

ISSN 0287 — 7066

津山工業高等専門学校紀要

第 52 号

BULLETIN
OF
TSUYAMA NATIONAL COLLEGE OF TECHNOLOGY
NO. 52

2 0 1 0

津山工業高等専門学校紀要 第 52 号 2010

目 次

論文

水中壁面移動ロボットのための非接触吸着機構の研究	吉富秀樹	1
Effects of Alloying Elements on Impact Properties of Ultra High-Strength TRIP-Aided Bainitic Ferrite Steels Tomohiko HOJO, Junya KOBAYASHI, Tomohiro KAJIYAMA and Koh-ichi SUGIMOTO		9
スピコート法によるCuInS ₂ 薄膜の作製	中村重之	17
Factory Automation 実験のテーマ開発と改善	前原健二	21
視線インタフェースを用いた家電製品の制御に関する研究 藪木 登・黒崎正裕・井上浩行・鷺見育亮・築谷隆雄		27
備前土の焼結の研究(第2報)	三浦和久・柳沢 寛・岡田 輝	35
Influence of Repetition of High-Temperature Treatment of H ₂ O ₂ -Treated Graphite on Adsorption of N ₂ Kazuhisa Miura and Hiroshi Yanazawa		41
The Second Generation Fukui Project and a New Application of the Asymptotic Linearity Theorem Shigeru Arimoto		49
位相差を加えた光線近似による虹の計算	佐藤 誠	57
単項曲線の特異点に対する r 点のヒルベルトスキームについて	渡利正弘	63

研究調査報告

燃費競技車両外装における機能性部品の設計開発 古矢和希・万治 志・山崎義久・岡 大志・小笠原雄一・橋本 淳		67
校内掲示板システムの更新	福田大賀・井上靖久・岡田 正	73
3年次自発的学習科目「チャレンジゼミナール」の導入と課題 江原由美子・佐藤 誠・松田 修・山本浩二		79
「男はつらいよ」の英語字幕と英語検定教科書の語彙比較	古樋直己	87
学校部活動への関わりと社会性獲得との関連性に関する実証的研究	山本浩二・荒木祥一・神野賢治	95
電子制御工学実験ⅢへのPIC マイクロコンピュータの導入	中尾三徳・西川弘太郎・鳥家秀昭	101
若手技術者育成型シーケンス制御教育システムの開発	西川弘太郎	105

校外における研究発表等

校外における研究発表等	111
-------------------	-----

論文

水中壁面移動ロボットのための非接触吸着機構の研究

吉富 秀樹*

A Study on a Non-Contact Adhesive Mechanism for Underwater Wall-mobile Robot

Hideki YOSHITOMI

The investigation described in this paper was undertaken to clarify the feasibility of a non-contact adhesive mechanism for underwater wall-mobile robot. This non-contact adhesive mechanism consists of a vortex cup with tangential nozzle and a wall. Water flows into the vortex cup through the tangential nozzle, and swirling flow occurs inside the cup to create a vacuum pressure at the central area of cup. This vacuum pressure causes the adhesive force. And non-contact adhesion is realized, because the water is delivered to the surrounding through a gap between the cup and wall. In this paper, the author clarifies that the non-contact adhesive mechanism can be applied to the underwater wall-mobile robot. And the author also discusses the relationship between the adhesive force and the gap.

Key Words: Non-contact adhesive mechanism, Underwater wall-mobile robot, Adhesive force, Vortex cup, Gap

1. はじめに

船舶外面や各種タンク壁面、原子力発電所機器貯蔵プール、および水族館の水槽壁面などは定期的に清掃や検査等の作業が必要である。しかし、水中での作業は危険を伴うし、原子力発電所では放射能汚染も懸念される。また、清掃作業では粉塵や汚泥なども発生するため、作業員の健康上の問題もある。そこで、近年、このような作業をロボットに代行させるため、壁面に吸着して移動する壁面吸着移動ロボットの研究開発が行われている⁽¹⁾⁽²⁾。このようなロボットの吸着機構は、多くの場合、真空ポンプなどによる負圧を利用した吸盤機構を用いている。この吸盤機構では、安定した吸着のためには吸着力を高める必要があるが、反面、走行時には吸盤が大きな抵抗となって安定な走行を妨げる。また、吸盤が壁面に直接接触するため壁面が傷つくことが懸念されるし、壁面が粗い場合は吸盤シールの摩耗なども問題となる。特に、壁面が傷つくことは、水族館の観賞用アクリル水槽などで問題となる。そこで、壁面に非接触で吸着し移動できる水中ロボットが開発できれば、アクリル材などの比較的柔らかな壁面の損傷などの問題が解決できるものと期待できる。

非接触で物体を吸着する技術として、半導体ウェーハーやガラス基板などの搬送を行うエンドエフェ

クタとして空気の旋回流を用いた非接触搬送装置が開発されている⁽³⁾。これは、旋回流の遠心力効果によって中心付近の圧力が低下するという現象を利用して物体を吸着するものである。この吸着機構を水中ロボットに取り入れれば、非接触で壁面に吸着するロボットが実現できる可能性がある。しかし、既に開発されている空気の旋回流を用いた非接触搬送装置でさえまだ特性が十分解明されてなく最近研究が開始された状況である⁽⁴⁾⁽⁵⁾。本報で提案している水の旋回流を利用した非接触吸着機構については研究の例が見当たらないし、その可能性についても未知である。そこで、本研究では、水族館などのアクリル壁面の清掃ロボットを開発することを目標として、水中壁面への非接触吸着機構の基礎研究を行い、特性を明らかにすると共に水中壁面移動ロボットへの適用性について検討する。

2. 非接触吸着機構

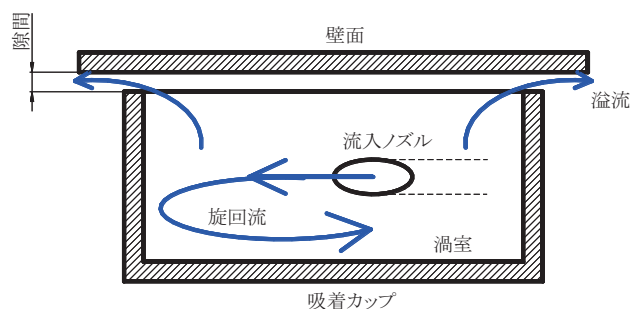


Fig.1 Non-contact adhesive mechanism

原稿受付 平成22年8月31日

* 機械工学科

旋回流を利用した非接触吸着機構の概念図を Fig.1 に示す。吸着カップは円筒状をしている。吸着カップの側壁に接線方向に取り付けられた流入ノズルから水噴流を供給すれば、吸着カップ内で旋回流が発生する。この旋回流が発生する部分を渦室と呼ぶ。渦室内では、旋回流の遠心力効果によって中心付近の圧力が低下し、吸着カップ外面に作用する水压と渦室内圧力との差圧によって吸着力が発生する。一方、渦室内に供給された水は、吸着カップと壁面との間に生じた隙間を通して流れ出ることになる。このように、本システムでは必然的に吸着カップと壁面との間に隙間が生じることになり、吸着カップと壁面は非接触状態となるのである。

3. 実験装置および実験方法

本研究の実験に使用した吸着カップの形状・寸法を Fig.2 に示す。吸着カップのボディーは実験装置に取り付けやすいように四角形にしてあるが、内部の渦室は円筒形状となっている。渦室直径 D_o は 120[mm] で、渦室深さ H は 40[mm] である。また、四角形のボディーと壁面との間隙は、渦室から流出する流れの抵抗となり吸着カップの特性に影響を及ぼすため、この間隙を拡大して流動抵抗を減らす目的で吸着カップの開口部には円筒状のつばを付けている。つばの厚みは 7[mm] で高さは 10[mm] である。流入ノズルは、直径 d_s が 13[mm] で、渦室の内壁に接線方向から取り付けている。流入ノズルの取り付け位置はカップ開口端から深さ 25[mm] の位置である。なお、この形状・寸法が吸着カップとして最適というわけではなく、今後の研究で最適化して行く必要がある。また、吸着カップの材料は、内部が観察で

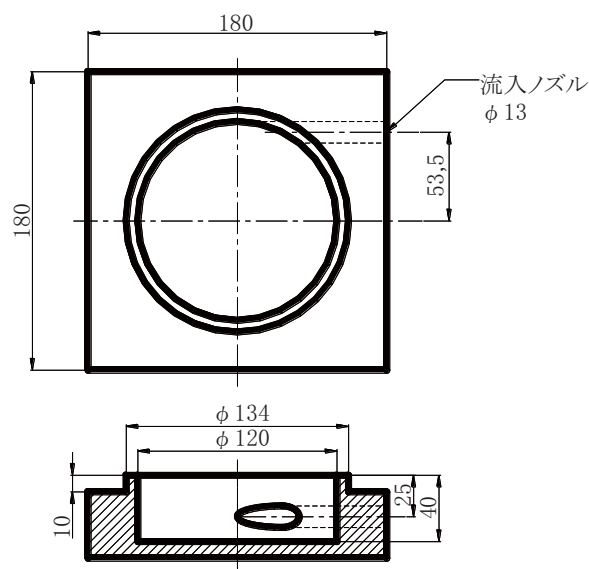


Fig.2 Adhesive cup

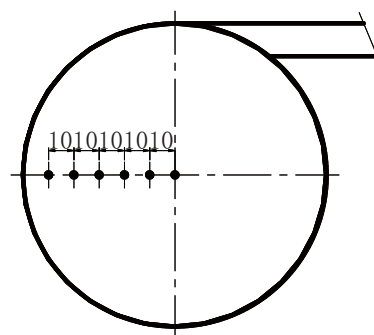


Fig.3 Pressure measurement holes

きるよう透明アクリル材を使用している。

次に、渦室内の静圧分布を計測するため、吸着カップの底面に直径 0.8[mm] の静圧孔を設けた。静圧孔の位置は、Fig.3 に示すように、流入ノズル取り付け位置から 90° 回った位置において半径方向に 10[mm] 間隔で 6 点設けている。

この実験用吸着カップの主要寸法を Table 1 にまとめて示す。

渦室直径 D_o	120[mm]
渦室深さ H	40 [mm]
流入ノズル直径 d_s	13[mm]
流入ノズル取り付け深さ	開口端より 25 [mm]

次に、隙間通路面積 A_o と流入ノズル断面積 A_s の面積比 χ は、吸着カップの特性を議論するためのパラメータとして重要であるので、これを Table 2 に示しておく。

隙間 δ	流入ノズル断面積 A_s	隙間の通路面積 A_o	面積比 $\chi = A_o/A_s$
0.5[mm]	1.33[cm ²]	1.88[cm ²]	1.4
1.0[mm]	1.33[cm ²]	3.77[cm ²]	2.8
3.0[mm]	1.33[cm ²]	11.30[cm ²]	8.5
5.0[mm]	1.33[cm ²]	18.84[cm ²]	14.2
7.0[mm]	1.33[cm ²]	26.38[cm ²]	19.8
10.0[mm]	1.33[cm ²]	37.68[cm ²]	28.4

なお、隙間距離を δ としたとき、 A_o と A_s 、および面積比 χ は次式で定義する。

$$A_o = \pi D_o \delta \text{ -----(1)}$$

$$A_s = \frac{\pi d_s^2}{4} \quad (2)$$

$$\chi = \frac{A_o}{A_s} \quad (3)$$

Table 2 より、隙間が 0.5[mm] のとき隙間通路面積は流入ノズル断面積の 1.4 倍、隙間が 1[mm] で 2.8 倍、隙間が 10[mm] では約 28 倍となることが分かる。

次に、渦室内静圧分布測定用実験装置の構成を Fig.4 に示す。吸着カップは開口部を上にして試験水槽内に水平に置かれている。開口部の上方にアクリル板材の壁面が設置され、吸着カップと壁面の隙間 δ は調整できるようになっている。また、水深は流入ノズルの位置で定義し、実験では 45[mm] にセットした。渦室に供給する水噴流は、水中ポンプによって供給され、面積式流量計および流量制御弁によって流量を調節し、ホースを介して吸着カップの流入ノズルに供給される。流入ノズルに供給された水噴流は、渦室で旋回流となった後、吸着カップと壁面の隙間を通る隙間流れとなって試験水槽に流出される。このため、水槽の水位は一定である。渦室内の静圧は、Fig.3 に示した静圧孔に導圧チューブを取り付け、これをデジタル圧力計につないで測った。なお、導圧チューブ内の気泡は実験前に取り除き、チューブ内は水で満たされている。また、実験では吸着カップと壁面の隙間 δ を 0.5、1、3、5、7、10[mm] の 6 通りに変化させて実験した。

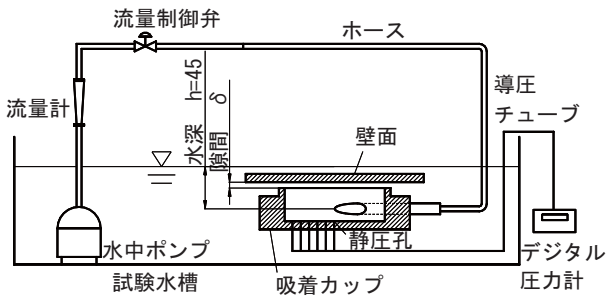


Fig.4 Experimental apparatus

実験方法は、まず吸着カップと壁面の隙間 δ を所定の値にセットした後、吸着カップを試験水槽に沈めた。このとき導圧チューブの中に気泡が入るが、別途設けた真空ポンプによって導圧チューブ内の水を吸引して気泡を取り除いた。次に、水中ポンプを運転して流量制御弁で流量を所定の値に調整した後、デジタル圧力計によって圧力を測定した。なお、流量 Q は、11.58[L/min]、16.16[L/min]、20.68[L/min] および 25.62[L/min] の 4 通りに変えたが、これらの流量は流入ノズルの断面平均流速 V_s に換算すると、

それぞれ 1.46[m/s]、2.03[m/s]、2.60[m/s]、3.22[m/s] に相当する。なお、実験ごとに水温と大気圧を記録した。

また、隙間を固定しないで吸着カップを壁面に自由に吸着させた状態における渦室内圧力分布も測定した。このような自由な吸着状態では隙間は吸着力と負荷（吸着カップの重量）との釣り合いによって決まるが、この実験装置では吸着状態での隙間を計測する装置は設けていないので隙間の実測はできない。しかし、後で考察するように、実験データを解析することにより、自由な吸着状態における隙間を推定することは可能である。

吸着カップの吸着力を直接測るため吸着力測定実験も行った。その装置の構成を Fig.5 に示す。壁面となっているアクリル板をバネばかりで上に引っ張り、吸着カップから引き離すときの力を測定した。このときの流量は、比較的強い吸着力が得られる流量である 20.68[L/min] および 25.62[L/min] の 2 通りに変えたが、これらの流量は流入ノズルの断面平均流速 V_s に換算すると、それぞれ 2.60[m/s] および 3.22[m/s] に相当する。

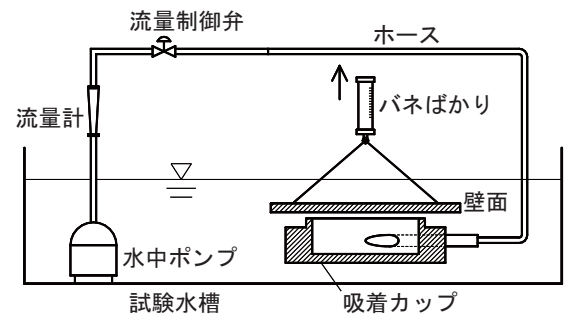


Fig.5 Experimental apparatus for adhesive force

4. 実験結果および考察

4. 1 吸着力

まず、Fig.5 に示した吸着力測定実験装置によって得られた吸着力の実測値を Fig.6 に示す。なお、こ

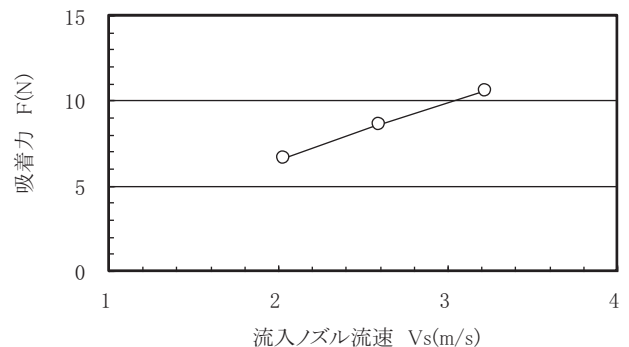


Fig.6 Adhesive force obtained by experiment

の値はバネばかりの指示値から、壁面となっているアクリル板の水中での重量（浮力を考慮）を、差し引いて求めた値である。Fig.6によると、吸着力 F は流入ノズルの流速 V_s によって変化しており、 $V_s=2.03[\text{m/s}]$ で $6.62[\text{N}]$ (0.68kgf)、 $V_s=2.60[\text{m/s}]$ で $8.58[\text{N}]$ (0.88kgf)、 $V_s=3.22[\text{m/s}]$ で $10.54[\text{N}]$ (1.08kgf) となっている。吸着カップの渦室の直径は $120[\text{mm}]$ であるから面積は $113[\text{cm}^2]$ であり、参考までに単位面積当たりの吸着力に換算してみると、例えば $V_s=3.22[\text{m/s}]$ のとき $0.0932[\text{N}/\text{cm}^2]$ となる。後述するが、吸着カップ内の圧力分布は比較的フラット（半径方向にほぼ一定）であるため、吸着力は面積に比例すると考えても大きな誤差はない。そこで、吸着カップ全体の吸着力は面積に単純比例するとして、吸着カップの渦室直径と吸着力の関係を計算してみると Fig.7 が得られる。

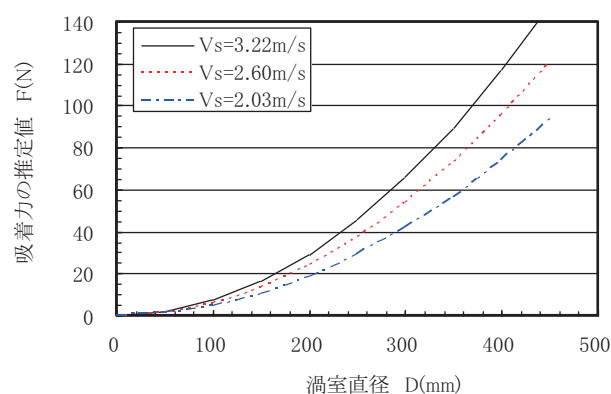


Fig.7 Adhesive force versus vortex chamber diameter

本研究の目的の一つが、このような吸着装置で実際に水中ロボットを吸着できる可能性があるのか検討することであった。そこで、水中ロボットの重量を $5[\text{kgf}]$ と仮定し、ノズル流速 V_s を $3.22[\text{m/s}]$ とすれば、Fig.7 より渦室直径 $200[\text{mm}]$ の吸着カップの吸着力は $29.3[\text{N}]$ なので、これを2個付ければ吸着力は合計で $58.6[\text{N}]$ すなわち $5.98[\text{kgf}]$ となり、ロボットの自重を少し上回る吸着力が得られることになる。このように、重量 $5[\text{kgf}]$ のロボットに直径 $200[\text{mm}]$ の吸着カップを2個付けることは実現性のある形態と考えられる。よって、壁に非接触で吸着する水中ロボットは、実現の可能性があると言える。なお、吸着カップを2個付ける理由は、1個では旋回流の反動によってロボット自体が回転してしまう恐れがあるので、逆方向に旋回する吸着カップを2個設置して反動力を打ち消すためである。

4. 2 渦室内静圧分布に及ぼす隙間の影響

前掲 Fig.4 に示した渦室内静圧分布測定用実験装

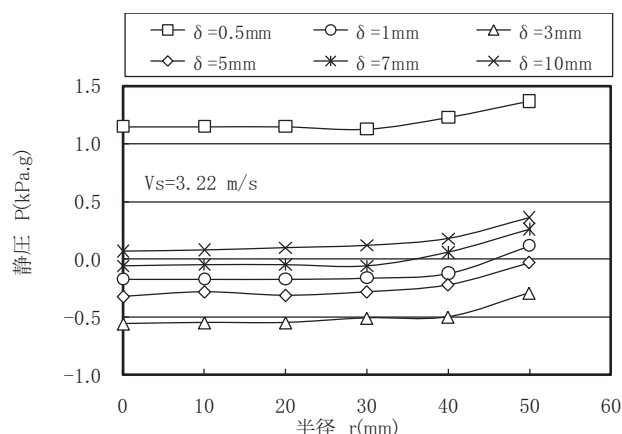


Fig.8 Static pressure distribution

置によって得られた渦室内の静圧分布を Fig.8 に示す。Fig.8 は、流入ノズル流速 V_s を $3.22[\text{m/s}]$ と一定にし、吸着カップと壁面との隙間 δ を $0.5[\text{mm}]$ 、 $1[\text{mm}]$ 、 $3[\text{mm}]$ 、 $5[\text{mm}]$ 、 $7[\text{mm}]$ 、および $10[\text{mm}]$ の6通りに変えて実験したものである。なお、この静圧の値はゲージ圧であり、デジタル圧力計の指示値を流入ノズルの高さの位置に補正した値となっている。

Fig.8 を見ると、半径方向の静圧分布は、半径 $50[\text{mm}]$ から内径側へ行くに従って半径 $40[\text{mm}]$ 付近までは圧力が低下しているが、半径 $40[\text{mm}]$ 付近より内径側では圧力はほぼ一定値となっている。この圧力分布は、明らかに自由渦の圧力分布ではなく、強制渦か、あるいは強制渦よりも内周部の流速が低下している渦の圧力分布に近い。飯尾ら⁽⁵⁾も PTV 法による流速測定結果として、渦室内の半径方向の周速度分布は放物線状になることを示しており、本研究の吸着カップでも同様の流速分布になっているものと考えられる。

また、Fig.8 より隙間 δ の影響を見ると、隙間が $0.5[\text{mm}]$ の時には、他のものより圧力レベルが高くなっている。これは、隙間が小さいため、隙間流れの流動抵抗が大きく、渦室内部の圧力が上がってしまったためと考えられる。このことは、Table 2 に示したように、隙間が $0.5[\text{mm}]$ では隙間通路面積 A_o と流入ノズル断面積 A_s の面積比 χ は 1.4 となっているが、この程度の面積比では隙間通路面積が小さすぎることを意味している。一方、隙間が $1[\text{mm}]$ になると圧力レベルは下がっており、半径 $40[\text{mm}]$ より内径側では負圧になっている。このときの面積比 χ は 2.8 であるので、隙間通路面積と流入ノズル断面積の面積比が 2.8 程度になれば渦室内圧力レベルを低下させることが分かる。また、隙間が $3[\text{mm}]$ になると、圧力レベルは更に低下しているが、隙間が $5[\text{mm}]$ になると、再び圧力レベルが上がってきており、隙間と

圧力レベルの関係は複雑であり興味深い。また、Fig.8の実験範囲では、隙間が3[mm]の時の圧力レベルが最も低い、つまり吸着力が最も大きい。なお、隙間が3[mm]の時の面積比 α は8.5となっている。

4. 3 渦室内静圧分布に及ぼす流入ノズル流速の影響

前節の Fig.8 より渦室内静圧分布に及ぼす隙間の影響が分かったので、ここでは隙間を固定して流入ノズル流速を変化させ、渦室内静圧分布に及ぼす流入ノズル流速の影響を調べた。隙間 δ が0.5[mm]の場合と3[mm]の場合では特性が全く異なるので、それぞれの場合の静圧分布を Fig.9 に示す。この実験では流入ノズル流速 V_s を1.46[m/s]から3.22[m/s]まで段階的に変化させている。隙間が0.5[mm]の時は、4.2節でも述べたように、隙間が小さいため隙間流れの流動抵抗が大きく、渦室内部の圧力レベルが全体的に上がっている。また、流入ノズル流速が大きいほど圧力レベルも高くなっているが、これは隙間が小さいのに水をどんどん送り込めば当然ながら渦室内圧力が上がることを意味している。一方、隙間が3[mm]の場合は傾向が異なり、流入ノズル流速が高くなるほど圧力レベルは低くなっている。Fig.9の実験範囲では、 $V_s=3.22$ [m/s]の時の圧力レベルが最も低い、すなわち吸着力が最も大きい。ところで、隙間

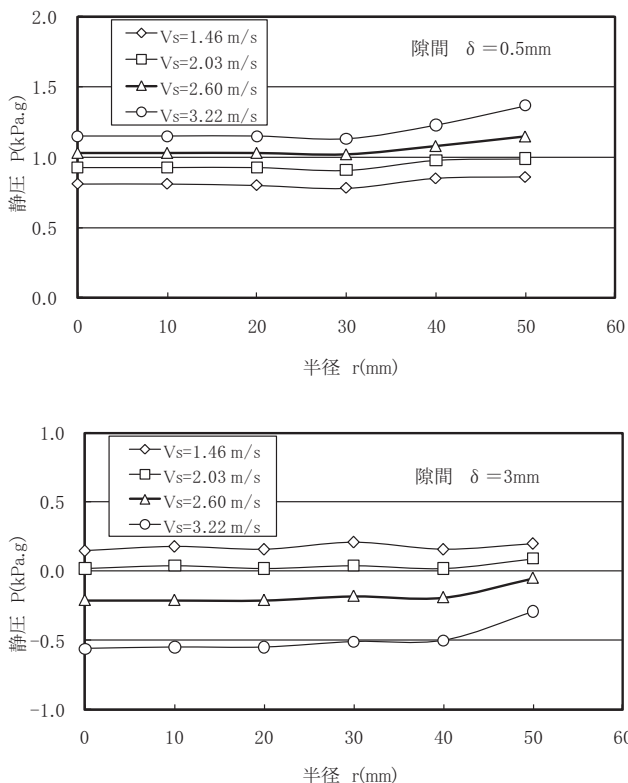


Fig.9 Static pressure distribution

が3[mm]の場合でも、流入ノズル流速を上げれば流量が増えるので、 $\delta=1$ [mm]の場合と同様に、隙間流れの流動抵抗が増える。その結果、流動抵抗に逆らって隙間流れを押し出すためには高い圧力が必要であり、渦室外周の半径60[mm]付近の圧力レベルは上がっているはずであるが、それにも拘わらず半径50[mm]より内径側の圧力レベルは下がっている。このことは、隙間が3[mm]の場合には、流入ノズル流速が高い方が強い渦（旋回速度が大きい渦）が形成されていることを示唆している。もちろん、流入ノズル流速をどんどん高めれば良いというわけではなく、隙間が3[mm]の場合にもおのずと限界があろう。

4. 4 水圧と渦室内静圧の差圧から求めた吸着力の計算値

測定した渦室内静圧と水圧との差圧 ΔP を求め、これに作用面積を乗じて渦室断面全体に積算することによって吸着力を計算してみよう。渦室内静圧を計測している位置は Fig.3 に示したように10[mm]間隔で半径方向に6ヶ所であるので、Fig.10のように静圧孔を含む幅10[mm]のドーナツ状の作用面積を考える。

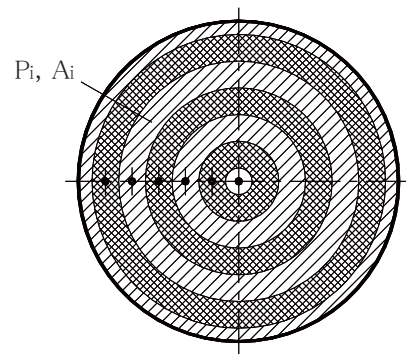


Fig.10 Adhesive force calculation model

なお、最外周部の半径55～60[mm]には静圧孔が無いので実測値が得られない。そこで、本報では示していないが、著者が別途開発した渦室内静圧計算法によって半径57.5[mm]の位置の静圧を計算し、この値を使った。そして、次式のように差圧と作用面積を掛け合わせ、これを積算して吸着力 F を求める。

$$F = \sum_{i=1}^7 (\rho g h - P_i) A_i = \sum_{i=1}^7 \Delta P_i \cdot A_i \quad \text{----- (4)}$$

ここに、 ρ は水の密度、 g は重力加速度、 h は水深、 P は渦室内静圧、 A は作用面積であり、添え字 i はドーナツ状の作用面積の番号を意味する。

式(4)によって求めた吸着力 F を前掲 Fig.6 の実測

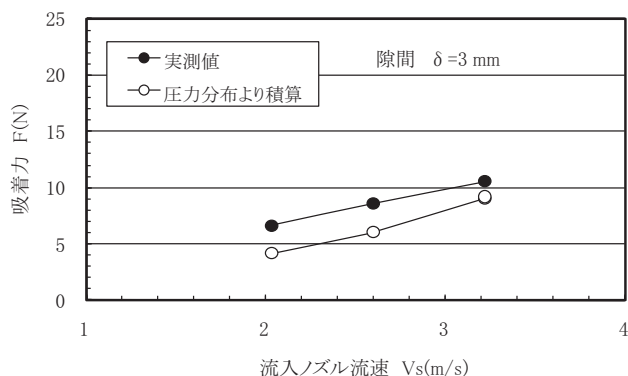


Fig.11 Adhesive force

値と比較したグラフを Fig.11 に示す。なお、実測値は、吸着カップを壁から引き離す時の最大吸着力を読み取ったものであるが、吸着力の計算値は隙間が 3[mm]の時の静圧データを使っているため、実測値の方が大きめの値となるはずである。このことを考慮して Fig.11 を見ると、吸着力の計算値と実測値の間に 1.5[N]～2[N]程度の差が認められるものの、比較的良く合っていると云えよう。

4. 5 吸着力と隙間の関係

前節で示したように、差圧 ΔP に作用面積を掛けて求めた吸着力は実測値に近い値を示すことが分かったので、隙間 δ を 0.5[mm]から 10[mm]まで変えて実験した静圧分布から吸着力を計算し、得られた結果を Fig.12 に示す。図中の○印は流入ノズル流速 V_s が 3.22[m/s]の時の吸着力の計算結果である。また、縦軸にして 2.95[N]の位置にある水平の実線が負荷（吸着カップの水中での重量）である。

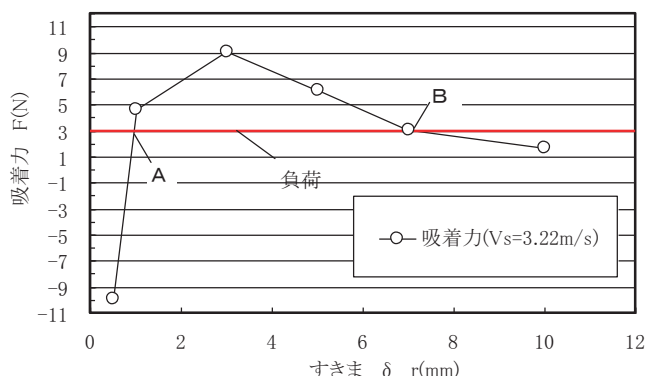


Fig.12 Relationship between adhesive force and gap

Fig.12 において、吸着力の計算値と負荷の交点が釣り合い点となるが、釣り合い点はA点とB点の2点が存在する。A点の近傍で考えると、隙間がA点より小さいと吸着力が負荷より小さいため吸着カップは壁から離れて行き、その結果、隙間は釣り合い

点のA点に向かう。また、隙間がA点より大きいと吸着力が負荷より大きいので吸着カップが壁に近づいて行き、この場合も隙間は釣り合い点のA点に向かう。つまり、A点近傍ではA点が安定吸着点であり、隙間がA点からずれても自動的にA点に復帰するのである。これは、A点からB点の範囲でも同様であり、結局、隙間がB点より小さい領域にあれば隙間はA点に向かい、A点で安定な釣り合い状態が実現できるのである。一方、隙間がB点より大きい領域では、吸着力が負荷より小さくB点へ復帰する力は作用しないため、もはや吸着は実現できないことになる。

4. 6 自由な吸着状態における隙間

隙間を固定することなく吸着カップが壁面に自由に吸着している状態において、隙間がどの程度の値になっているのかは興味深い。しかし、本研究の実験装置では吸着時の隙間を計測する装置は設置していないので、吸着時の隙間を直接測ることは出来ない。そこで本節では、実験データを解析することにより、自由な吸着状態における隙間の値を推定する。

まず、前節の Fig.12 の吸着力と負荷のバランス点から、吸着カップを壁面に自由に吸着させた時の隙間は 1[mm]程度になっているものと推測できる。そこで、隙間を 1[mm]に固定した場合の渦室内静圧分布と、自由に吸着させた吸着実験の静圧分布を比較してみると Fig.13 が得られる。

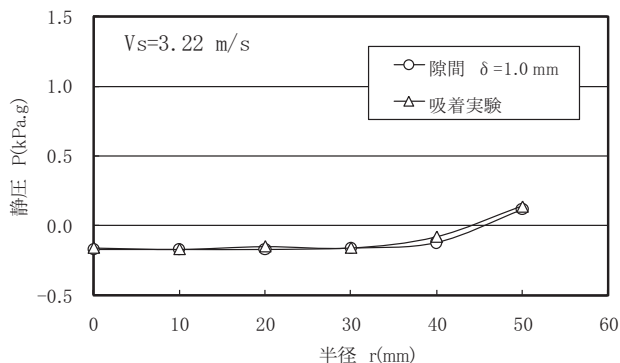


Fig.13 Static pressure distribution

隙間を固定した実験と自由な吸着実験の両者において、流入ノズル流速と隙間が同じであれば流動様式は等しいから静圧分布も同じになるはずである。したがって、静圧分布が同じであれば隙間も同じと判断できるのである。Fig.13 をみると、両者の静圧分布は極めて良く一致している。

結局、Fig.12 と Fig.13 の結果を総合して考えると、

流入ノズル流速 V_s が 3.22[m/s]において自由な吸着状態における隙間は 1[mm]程度になっているものと推測できる。

5. まとめ

本報では、水族館などの水槽壁面の清掃ロボットを開発することを目指として、水の旋回流を利用して壁面へ非接触で吸着する吸着機構の基礎研究を行った。得られた主な結果は以下である。

- 1) 実験の結果、例えば重量 5[kgf]の水中ロボットを吸着させるには、直径 200[mm]の吸着カップを2個設置すれば可能であることが分かった。このことは、水中ロボットの構成としても実現性のある形態である。
- 2) 吸着力は流入ノズル流速 V_s に依存するが、 $V_s=3.22\text{m/s}$ のとき、渦室の単位面積当たりの吸着力は $0.0822[\text{N}/\text{cm}^2]$ であった。
- 3) 本研究の実験範囲では、吸着カップと壁面の隙間が 3[mm]の時に吸着力が最も大きかった。
- 4) 水圧と渦室内静圧の差圧から計算した吸着力は、実測値とよく一致した。
- 5) 吸着力と吸着カップと壁面の隙間との関係が分かった。また、安定な吸着を実現できる隙

間値が存在することが分かった。

- 6) 吸着カップが自由に壁面に吸着しているときの隙間は、本実験では 1[mm]程度であることが実験データから推測された。

参考文献

- (1) (有)浦上技術研究所ホームページ
(<http://www.urakami.co.jp/ja/02/02c.html>)
- (2) 藤田恒昭、高橋剛史：原子力発電所における小型壁面除染ロボットシステムの開発、日本原子力学会和文論文誌、Vol.3、No.2(2004)、pp.68～74
- (3) 香川利春、黎 しん：旋回流を用いた非接触搬送装置、フルードパワーシステム、第39巻、第2号(2008)、pp.70～73
- (4) 黎、徳永、蔡、舩、川嶋、香川：旋回流を用いた非接触搬送系に関する研究（第1報 ボルテックス・チャックの基礎特性）、日本フルードパワーシステム学会論文集、Vol.38、No.1(2007)、pp.1～6
- (5) 飯尾、梅鉢、黎、香川、池田：旋回流を用いた非接触搬送装置に関する研究（カップとワーク間の隙間高さと旋回流特性との関係）、計測自動制御学会産業論文集、Vol.7、No.12(2008)、pp.79～84

Effects of Alloying Elements on Impact Properties of Ultra High-Strength TRIP-Aided Bainitic Ferrite Steels

Tomohiko HOJO^{*}, Junya KOBAYASHI^{**}, Tomohiro KAJIYAMA^{**} and Koh-ichi SUGIMOTO^{***}

To improve the toughness of ultra high-strength steels, the effects of alloying elements on impact properties of ultra high-strength low alloy TRIP-aided steels with bainitic ferrite matrix (TBF steels) were investigated. In this study, C-Si-Mn and C-Si-Mn-Al-Nb-Mo TBF steels were used. Upper shelf Charpy impact absorbed value of TBF steels were changed by the austempering treatments after annealing. When aluminium, niobium and molybdenum were added to C-Si-Mn TBF steels, excellent Charpy impact absorbed values were achieved. These were caused by the existence of a large amount of stable retained austenite due to the aluminium addition. Fracture appearance transition temperature of TBF steel was lowered by aluminium, niobium and molybdenum combined addition. This was caused by refined bainitic ferrite matrix by the aluminium addition and fine grain size by the addition of niobium and molybdenum. Hydrogen embrittlement on Charpy impact absorbed value of TBF steel was suppressed. This was because that retained austenite absorbed a lot of hydrogen and suppressed the hydrogen trapping to the grain boundaries.

Key Words: TRIP-aided steel, ultra high-strength steel, retained austenite, bainitic ferrite, toughness, alloying element, hydrogen

1. INTRODUCTION

Recently, to reduce the weight and improve the impact safety of vehicles, high-strength low alloy TRIP-aided sheet steels associated with TRIP (TRansformation Induced Plasticity)¹⁾ of retained austenite were applied for automotive parts due to excellent formabilities^{2), 3), 4), 5), 6), 7)}, impact properties⁸⁾ and fatigue properties.^{9), 10)} In the future, it is expected that ultra high-strength steels having a tensile strength more than 980 MPa grade will be required for auto motive parts since 590-980 MPa grade high-strength steels are used for present automotive high-strength sheet steels. Generally (1) deterioration of formabilities, (2) deterioration of impact properties and (3) occurrence of hydrogen embrittlement^{11), 12)} are the problems when tensile strength exceeds 980 MPa. It has been reported that TRIP-aided bainitic ferrite steel with bainitic ferrite matrix (TBF steel) can exhibit excellent formability in the range of tensile strength more than 980 MPa because of TRIP effects of retained austenite.^{4), 5)} On the other hand, impact properties of 980 MPa grade TBF steel were drastically deteriorated as shown in Fig. 1. In addition, hydrogen is expected to decrease toughness of TBF steels with tensile strength of more than 980 MPa grade, as occurs in conventional ultra high-strength steels.¹¹⁾

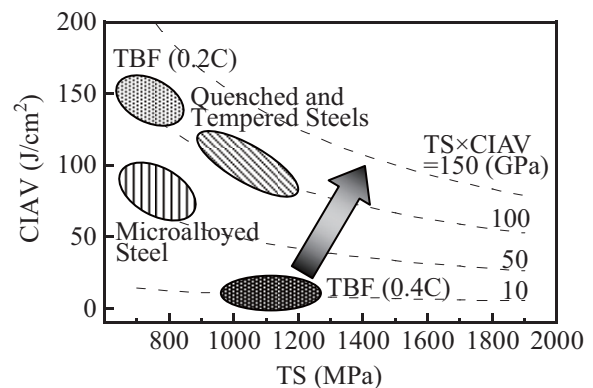


Fig. 1 Relationship between Charpy impact absorbed value (CIAV) and tensile strength (TS) of steels.

In general, impact properties and hydrogen embrittlement properties of TBF steels depend on microstructural morphology and characteristics of retained austenite. Since it has been reported that addition of alloying elements to TBF steel achieves fine microstructure and excellent retained austenite characteristics,^{13), 14)} it is considered that impact properties and hydrogen embrittlement properties of TBF steels are improved by the addition of alloying elements.

In this study, to develop the ultra high-strength low alloy TRIP-aided sheet steel having excellent impact properties and hydrogen embrittlement properties, the effects of alloying elements and hydrogen charging on impact properties of ultra high-strength TBF steels have been investigated.

2. EXPERIMENTAL PROCEDURE

In this study, two kinds of vacuum melted and hot-forged slabs were prepared. Steel A is base steel with

Received 31. 8. 2010

^{*} Department of Mechanical Engineering

^{**} Graduate Student, Shinshu University

^{***} Department of Mechanical System Engineering, Shinshu University

Table 1 Chemical composition (mass%) and estimated martensite-start temperature (M_s : °C) of steels.

Steel	C	Si	Mn	Al	Nb	Mo	Cr	M_s
A	0.40	1.47	1.50	0.04	-	-	-	348
B	0.40	0.49	1.48	0.96	0.024	0.10	-	376
M	0.39	0.19	0.68	0.031	-	0.17	0.95	383

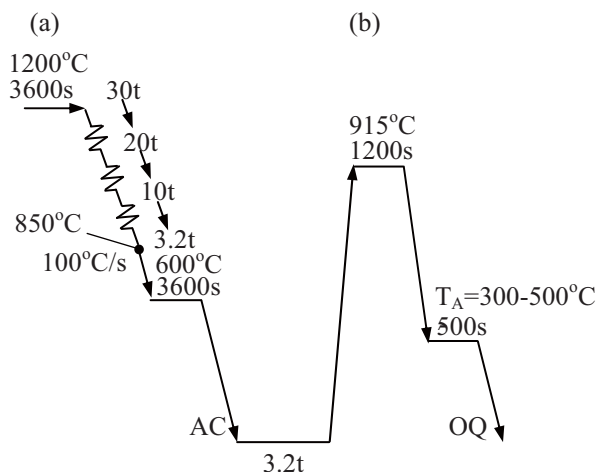


Fig. 2 Hot-rolling and heat treatment process of TBF steels.

chemical composition of 0.40 %C-1.47 %Si-1.50 %Mn. Steel B has additional aluminium of 0.96 %, niobium of 0.024 % and molybdenum of 0.10 %. Chemical compositions of these steels are listed in Table 1, with martensite-start temperature (M_s) estimated by the following equation (1).¹⁵⁾

$$\begin{aligned}
 M_s (\text{°C}) = & 550 - 361 \times (\%C) - 39 \times (\%Mn) - 17 \times (\%V) \\
 & - 20 \times (\%Cr) - 17 \times (\%Ni) - 10 \times (\%Cu) \\
 & - 5 \times (\%Mo + \%W) - 0 \times (\%Si) + 15 \times (\%Co) \\
 & + 30 \times (\%Al) \quad (1)
 \end{aligned}$$

where %X is content of element X in mass percent, respectively.

Hot-rolling process and heat treatment diagram are illustrated in Fig. 2 schematically. First, slabs were heated to 1200°C and hot-rolled to 3.2 mm thickness to a finishing rolling temperature of 850°C. Next, the sheet steels were annealed at 915°C for 1200 s in austenitic region and then austempered at 300-500°C for 500 s in salt baths to make the TBF steels. For comparison, tempered martensitic steel (M steel) was prepared by quenching and tempering at 200-600°C for 3600 s from commercial M steels (SCM435).

The volume fraction of retained austenite (f_γ , vol%) was quantified from the integrated intensity of (200) α , (211) α , (200) γ , (220) γ and (311) γ peaks by X-ray diffractometry using Mo-K α radiation.¹⁶⁾ The carbon concentration (C_γ , mass%) of retained austenite was

estimated from the lattice parameter using equation (2). In this case, lattice constant (a_γ) was measured from (200) γ , (220) γ and (311) γ peaks of Cu-K α radiation.¹⁷⁾

$$\begin{aligned}
 a_\gamma = & 3.5780 + 0.0330 \times (\%C_\gamma) + 0.00095 \times (\%Mn_\gamma) \\
 & + 0.0 \times (\%Si_\gamma) - 0.0002 \times (\%Ni_\gamma) \\
 & + 0.0006 \times (\%Cr_\gamma) + 0.0220 \times (\%N_\gamma) \\
 & + 0.0056 \times (\%Al_\gamma) - 0.0004 \times (\%Co_\gamma) \\
 & + 0.0015 \times (\%Cu_\gamma) + 0.0031 \times (\%Mo_\gamma) \\
 & + 0.0079 \times (\%Nb_\gamma) + 0.0032 \times (\%Ti_\gamma) \\
 & + 0.0017 \times (\%V_\gamma) + 0.0057 \times (\%W_\gamma) \quad (2)
 \end{aligned}$$

where concentrations of individual elements ($\%X_\gamma$) in retained austenite are in mass%, respectively. For convenience, added contents of alloying elements were substituted for these concentrations in this study.

Tensile tests were carried out on a hard type of testing machine at 25°C and at a crosshead speed of 1 mm/min (i.e. strain rate of 8.33×10^{-4} /s), using tensile specimens of 22 mm in gauge length, 4 mm in width and 2.5 mm in thickness. Tensile properties were evaluated by tensile strength (TS), 0.2 % offset proof stress (YS), total elongation (TEL), uniform elongation (UEL) and reduction of area (RA).

Impact tests were conducted on Charpy impact testing machine at a temperature range between -196 and 150°C before or after hydrogen charging using impact specimen of 55 mm in length, 10 mm in height and 2.5 mm in width with V- and U-notch. Liquid nitrogen, dry ice and ethanol were used for cooling the specimen. A thermostat bath was used when the specimen was heated. The specimens were held for 1800 s at the testing temperature before impact testing. Impact properties were evaluated by upper shelf Charpy impact absorbed value (CI_{AV}) and fracture appearance transition temperature ($FATT$).

Hydrogen was charged in the 0.1 mass%KSCN solution (relative amount of solution=0.5 ml/mm²) at 50°C for 48 hours. Total amount of solute hydrogen was measured by TCD (Thermal Conduction Detector). Specimen charged hydrogen was kept in liquid nitrogen to prevent hydrogen evolution from the specimen.

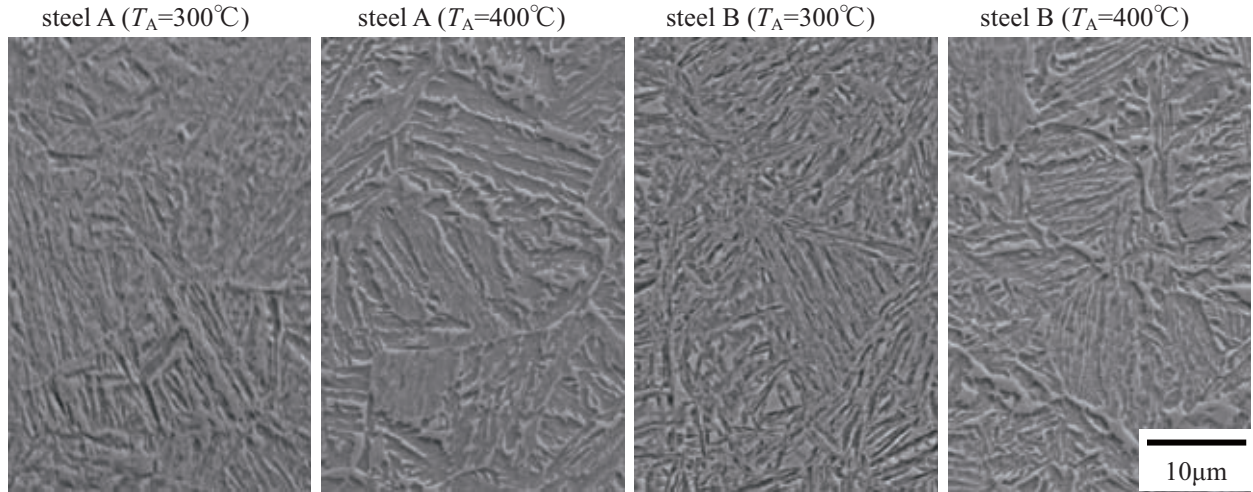


Fig. 3 Typical scanning electron micrographs of TBF steels austempered at 300°C and 400°C.

Table 2 Tensile properties and retained austenite characteristics of TBF and M steels.

steel	T_A	YS	TS	TEI	UEI	$f_{\gamma 0}$	$C_{\gamma 0}$
A	300	1683	1833	10.6	3.8	7.8	0.48
	325	1464	1701	16.8	6.0	7.7	0.99
	350	1323	1515	15.7	6.1	11.6	1.26
	375	1132	1346	25.0	12.6	16.3	1.29
	400	948	1211	31.6	23.8	21.4	1.21
	425	756	1174	31.7	26.1	17.5	1.03
	450	732	1145	22.1	16.5	11.6	0.99
	475	694	1138	17.1	13.9	6.5	0.98
	500	699	1142	15.6	12.6	4.5	0.51
B	300	1538	1729	14.4	4.9	8.2	0.83
	325	1456	1604	15.5	4.7	13.8	1.12
	350	1297	1421	16.3	5.1	18.3	1.45
	375	1114	1246	18.8	7.2	20.2	1.61
	400	967	1083	28.5	14.8	23.5	1.47
	425	796	1007	40.5	32.4	30.0	1.38
	450	738	1026	41.4	34.2	26.0	1.24
	475	504	1109	29.4	24.2	33.7	1.16
	500	640	1101	22.4	15.5	14.0	0.84
M	200	1394	1915	24.3	20.8	-	-
	400	1209	1492	14.7	12.1	-	-
	600	917	1027	16.2	10.9	-	-

T_A (°C): austempering temperature, YS (MPa): yield stress or 0.2% offset proof stress, TS (MPa): tensile strength, TEI (%): total elongation, UEI (%): uniform elongation, $f_{\gamma 0}$ (vol%): initial volume fraction of γ_R , $C_{\gamma 0}$ (mass%): initial carbon concentration of γ_R

Table 3 Fracture appearance transition temperature (FATT) of TBF steels.

steel	A		B	
T_A (°C)	300	400	300	400
FATT (°C)	-2	33	-50	-33

3. RESULTS

3.1 MICROSTRUCTURE AND TENSILE PROPERTIES

Fig. 3 shows typical scanning electron micrographs of as heat treated TBF steels austempered at 300 and 400°C.

Microstructures of these TBF steels consist of bainitic ferrite (α_{bf}) lath which has high dislocation density and interlath retained austenite (γ_R) films. When TBF steels are austempered below M_s , martensite (α_m) laths coexist with α_{bf} . In this case, volume fraction of the α_m increases with decreasing austempering temperature. Combined addition of Al-Nb-Mo tends to refine these lath width and retained austenite films and small prior austenite grain size in steel B.

Tensile properties and retained austenite characteristics of TBF and M steels after heat treatment are shown in Table 2. Initial volume fractions of retained austenite ($f_{\gamma 0}$) of steel A are between 4.5 and 21.4 vol%, and their carbon concentrations ($C_{\gamma 0}$) are between 0.48 and 1.29 mass% respectively. On the other hand, in steel B, $f_{\gamma 0}$ are between 8.2 and 33.7 vol% and their $C_{\gamma 0}$ are between 0.83 and 1.61 mass% respectively. Both $f_{\gamma 0}$ and $C_{\gamma 0}$ are increased by combined addition of Al-Nb-Mo.

Tensile strength (TS) of these steels are between 1101 and 1883 MPa and decrease with decreasing austempering temperature. The total elongations (TEI) are between 10.6 and 41.4 %. TEI of steel A are increased when steels A are austempered at 400 and 425°C. On the other hand, steels B austempering at 425-450°C indicate large TEI although TS of steel B are decreased compared with those of steel A.

3.2 IMPACT PROPERTIES

Fig. 4 shows Charpy impact absorbed value (CIAV) - testing temperature (T) curves for steels A, B and M for V- and U-notched specimens. When austempering treatments are carried out at 400°C for every TBF steels, upper shelf CIAV are higher than those of TBF steels austempered at 300°C. At austempering temperature of 400°C, steel B has higher CIAV compared to steel A at all tested temperatures, especially above -100°C. Table 3 shows fracture appearance transition temperature (FATT)

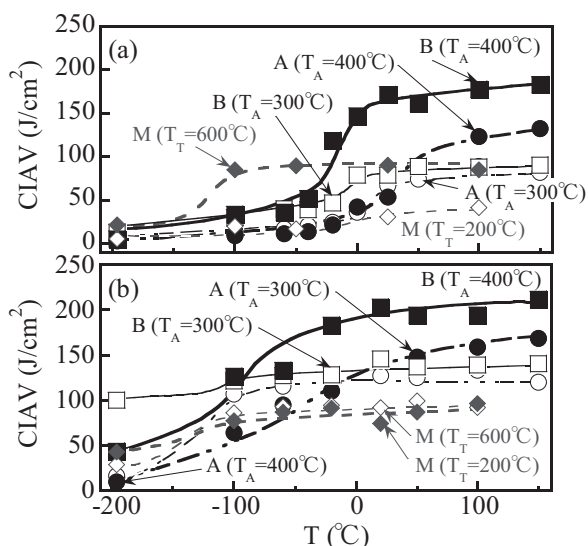


Fig. 4 Charpy impact absorbed value ($CIAV$) - testing temperature (T) curves for steels A, B and M for (a) V- and (b) U-notched specimens.

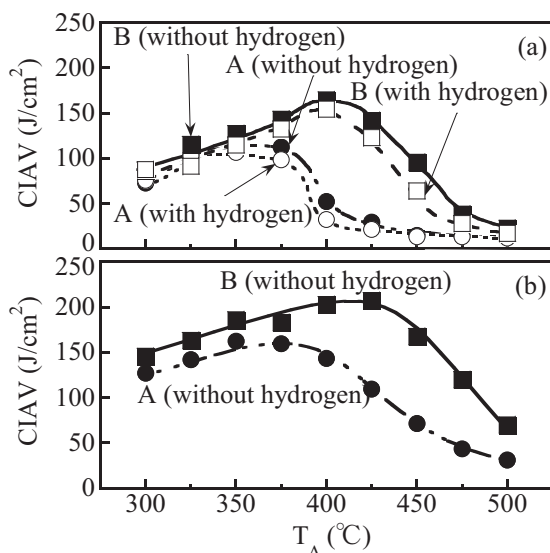


Fig. 5 Variations in Charpy impact absorbed value ($CIAV$) as a function of austempering temperature (T_A) in steels A and B testing at 25°C before and after hydrogen charging for (a) V- and (b) U-notched specimens.

of TBF steels. $FATT$ of these TBF steels austempered at 300°C are lower than those of TBF steels austempered at 400°C. $FATT$ of steel B tends to low temperature compared with that of steel A.

Fig. 5 shows variations in Charpy impact absorbed value ($CIAV$) as a function of austempering temperature (T_A) in TBF steels testing at 25°C before and after hydrogen charging for V- and U-notched specimens. The relationship between $CIAV$ and tensile strength (TS) in TBF and M steels testing at 25°C before and after hydrogen charging for V- and U-notched specimens is shown in Fig. 6. It is found that $CIAV$ of TBF steel is increased by combined addition of Al-Nb-Mo. $CIAV$ of steels A and B drastically change with changing T_A .

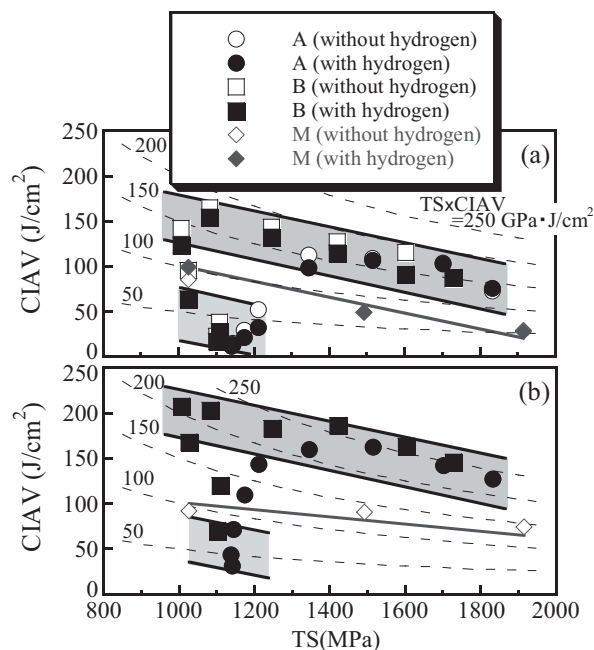


Fig. 6 Relationships between Charpy impact absorbed value ($CIAV$) and tensile strength (TS) in steels A, B and M testing at 25°C before and after hydrogen charging for (a) V- and (b) U-notched specimens.

Particularly, high $CIAV$ suggests at the austempering temperature between 350 and 375°C in steel A. On the other hand, steel B combined added Al-Nb-Mo austempered between 375 and 425°C indicates high $CIAV$. When hydrogen is charged in TBF steels, the $CIAV$ is slightly decreased. From Fig. 6, $CIAV$ of TBF steel decreases with increasing the TS . When $CIAV$ is arranged by the TS , $CIAV$ bands which are higher and lower than that of steel M are appeared.

Fig. 7 shows scanning electron micrographs of fracture surface of steels A austempered at 300 and 400°C, B austempered at 300 and 400°C and M tempered at 600°C tested at -100 and 25°C (before and after hydrogen charging) for V-notched specimens. It is found that in the TBF steel tested at -100°C, fracture occurs by quasi cleavage. When impact test is conducted at 25°C without hydrogen, both dimple and quasi cleavage fracture occur in steel A austempered at 300°C. In steel A austempered at 400°C, quasi cleavage fracture occurs as for at -100°C. On the other hand, dimple and quasi cleavage fracture coexist in the fracture surface of steel B austempered at 300°C. In steel B austempered at 400°C, fracture surface changes from quasi cleavage to dimple fracture. When TBF steel absorbs hydrogen, steel A austempered at 300°C and steel B austempered at 300 and 400°C indicate dimple fracture although dimple morphology becomes slightly large diameter compared with none hydrogen charged fracture surface. Steel A austempered at 400°C indicates quasi cleavage fracture

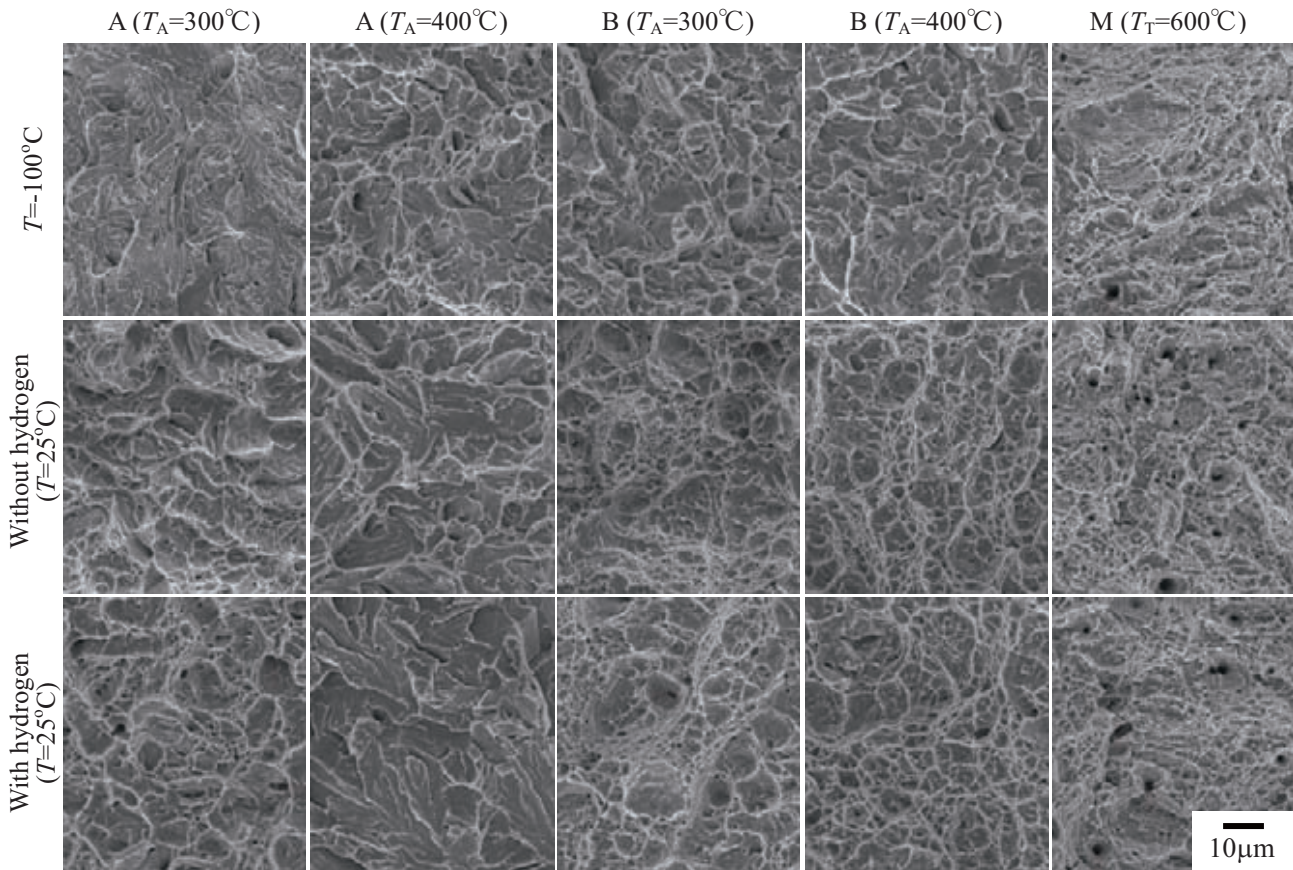


Fig. 7 Scanning electron micrographs of fracture surface of Steels A ($T_A=300, 400^\circ\text{C}$), B ($T_A=300, 400^\circ\text{C}$) and M ($T_T=600^\circ\text{C}$) tested at -100 and 25°C (before and after hydrogen charging) for V-notched specimens.

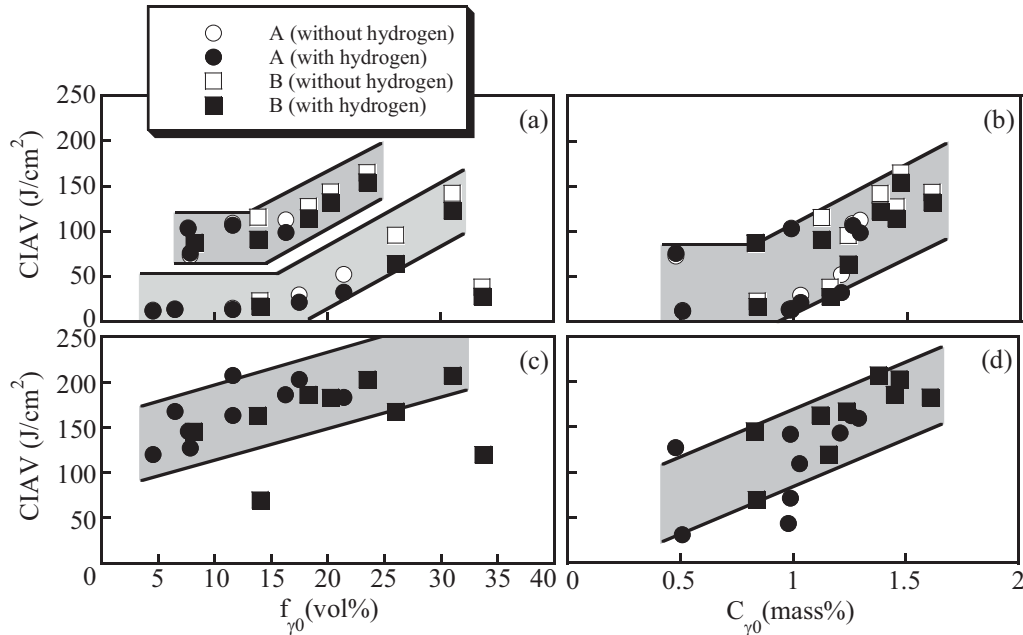


Fig. 8 Relationships between Charpy impact absorbed value ($CIAV$) and (a, c) initial volume fraction of γ_R (f_{γ_0}) and (b, d) initial carbon concentration of γ_R (C_{γ_0}) in steels A and B. (a, b) correspond to V-notched specimens and (c, d) to U-notched specimens.

4. DISCUSSION

as same as without hydrogen.

The tendency of impact properties between V- and U-notched specimens is similar in this study.

4.1 EFFECTS OF HEAT TREATMENTS

Charpy impact absorbed values were changed by the different austempering temperature in TBF steels, especially, when austempering treatments were carried

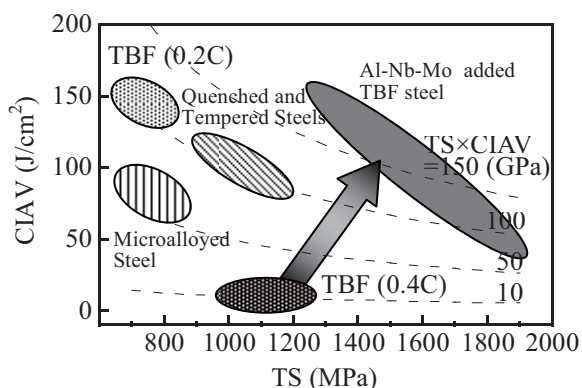


Fig. 9 Relationship between Charpy impact absorbed value ($CIAV$) and tensile strength (TS) of steels.

out at 350–375°C in steel A and 375–425°C in steel B. Fig. 8 shows relationships between initial volume fraction of retained austenite ($f_{\gamma 0}$) and its carbon concentration ($C_{\gamma 0}$) and Charpy impact absorbed value ($CIAV$) of TBF steels for V- and U-notched specimens. $CIAV$ of every TBF steels are increased with increasing $f_{\gamma 0}$ and $C_{\gamma 0}$. It was expected that $CIAV$ were related with retained austenite characteristics strongly. In these TBF steels, the retained austenite characteristics were drastically changed due to different austempering treatment for TBF steel (Table 2). According to previous studies,^{4), 5), 13)} high- and ultra high-strength TRIP-aided steels obtain high $f_{\gamma 0}$ and $C_{\gamma 0}$ when austempering treatment is conducted just above the M_s . The M_s calculated by equation (1) of steel B was higher than that of steel A because M_s were 348°C for steel A and 376°C for steel B. Hence it was suggested that steel B indicated excellent retained austenite characteristics at higher T_A range than those of steel A. The retained austenite which has high carbon concentration suppressed the initiation and growth of voids due to an effective deformation induced martensite transformation.⁸⁾ So it was noted that TBF steel which has high $f_{\gamma 0}$ and $C_{\gamma 0}$ indicated excellent $CIAV$.

When $CIAV$ was arranged by the TS , there were two bands (i. e. high and low $CIAV$ bands) (Fig. 6). TBF steels with the low $CIAV$ were mainly austempered at the higher temperature. Microstructures of these steels were characterised by coarse bainitic ferrite morphology and blocky retained austenite. In addition, $f_{\gamma 0}$ and $C_{\gamma 0}$ were decreased at the high austempering temperature region. Thus it was considered that coarse lath morphology and deterioration of retained austenite characteristics brought the low $CIAV$ in TBF steels.

4.2 EFFECTS OF ALLOYING ELEMENTS

In this study, high strength-toughness (TS - $CIAV$) balance of TBF steel compared with 590–780 MPa grade TBF steels and conventional quenched and tempered steels was achieved by combined addition of Al-Nb-Mo

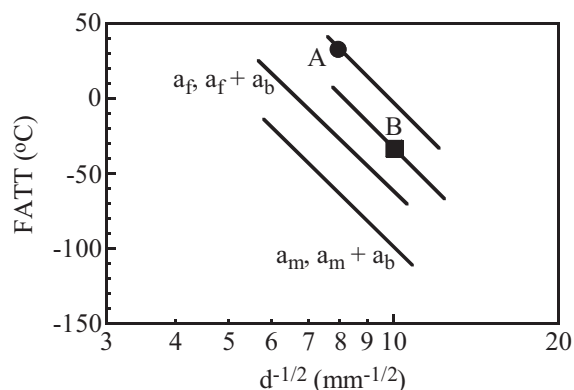


Fig. 10 Relationship between fracture appearance transition temperature ($FATT$) and unit crack path ($d^{-1/2}$) in steels A and B austempered at 400°C.

(Fig. 9). The volume fraction of retained austenite ($f_{\gamma 0}$) and its carbon concentration ($C_{\gamma 0}$) were higher in steel B than those of base steel (Table 2). Generally aluminium addition hardly changes the volume fraction of retained austenite, but promotes carbon-enrichment in retained austenite if austempering treatment is employed after annealing, because aluminium accelerates the start of ferrite transformation¹⁸⁾ and increases T_0 temperature which inspires the concentration of carbon to retained austenite during austempering treatment.¹³⁾ Thus it was considered that large amount of stable retained austenite was existed in steel B. As mentioned above, TBF steels which had high $f_{\gamma 0}$ and $C_{\gamma 0}$ indicated excellent $CIAV$ (Fig. 8). Moreover, microstructure of Al-Nb-Mo combined added TBF steel was refined bainitic ferrite lath morphology and small prior austenite grain size as shown in Fig. 3. It is known that voids and cracks of conventional steels initiate at grain boundary, lath boundary, matrix/carbide boundary and matrix/second phase boundary, and the cracks propagate along the grain and lath boundaries. In the fracture surface, steel B showed smaller size of dimple than steel A. This dimple size corresponded with bainitic ferrite lath width. So it was noted that initiation of voids in TBF steel was mainly at the lath boundaries. In addition, retained austenite of steel B was distributed finer and more uniformly at the lath boundaries than that of steel A. It was suggested that if the voids occurred at the bainitic ferrite lath boundary, growth of voids was suppressed by a stress relaxation of deformation induced by transformation of this fine retained austenite. So it has been considered that TBF steel with combined addition of Al-Nb-Mo obtained high $CIAV$ compared with base steel due to the suppression of initiation and growth of voids because of (1) existence of large amount of stable retained austenite and (2) the refine and the uniform of microstructure.

On the other hand, the fracture appearance transition temperature ($FATT$) of TBF steel decreased by a combined addition of Al-Nb-Mo (Table 3). Generally, relationship between $FATT$ and unit crack path (d) is given by following equation (3).¹⁹⁾

$$FATT \propto d^{-1/2} \quad (3)$$

Fig. 10 shows relationship $FATT$ and unit crack path ($d^{-1/2}$) in steels A and B austempered at 400°C. For the reference, results of ferrite-bainite or bainitic and martensite-bainite or martensitic steels which don't include the retained austenite are shown in this figure.¹⁹⁾ $FATT$ of TBF steels decreased with increasing $d^{-1/2}$. As mentioned above, the prior austenite grain size of TBF steel was smaller by the combined addition of Al-Nb-Mo due to a precipitation of carbide such as NbC during hot-rolling process. Furthermore, Al-Nb-Mo combined addition to the TBF steel led to refined bainitic ferrite morphology. These microstructure changes may be lower the $FATT$ of steel B than that of base steel.

4.3 EFFECTS OF HYDROGEN

In this study, Charpy impact absorbed value of TBF steel has not been deteriorated by absorption of

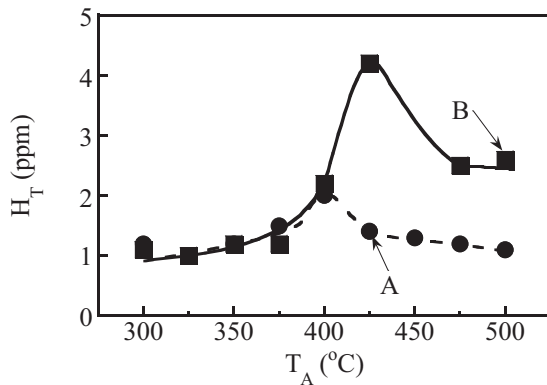


Fig. 11 Variations in total hydrogen concentration (H_T) as a function of austempering temperature (T_A) in steels A and B.

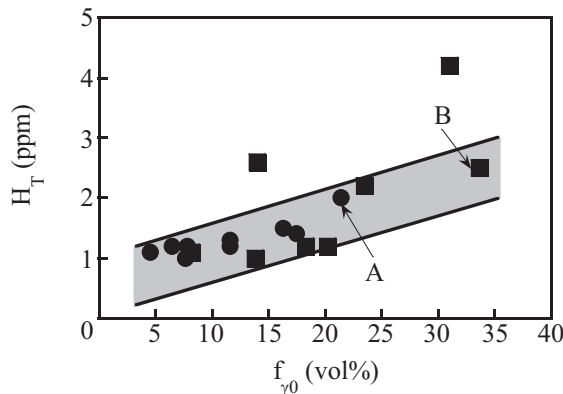


Fig. 12 Relationship between total hydrogen concentration (H_T) and initial volume fraction of γ_R (f_{γ_0}) of TBF steels.

hydrogen. Total hydrogen concentration (H_T) of TBF steels after hydrogen charging is shown in Fig. 11. TBF steels absorbed hydrogen more than 1 ppm. Particularly, the H_T of steel B austempered more than 375°C was increased. Fig. 12 shows relationship between total hydrogen concentration (H_T) and initial volume fraction of retained austenite (f_{γ_0}) of TBF steels. It was found that H_T of TBF steel was increased with increasing f_{γ_0} . Chan *et al.*²⁰⁾ have reported that martensitic steels containing retained austenite absorbed more hydrogen than martensitic steels without retained austenite, and this result was caused by a great deal of hydrogen trapping at retained austenite/martensite interface. In this study, a large amount of retained austenite existed in the TBF steel. Therefore, it was suggested that a lot of hydrogen was trapped in the retained austenite and/or at the bainitic ferrite matrix/retained austenite interface. In conventional ultra high-strength steel, hydrogen is mainly trapped on the grain boundaries,²¹⁾ on dislocations²²⁾ and at carbide/matrix interfaces.^{21), 23)} Hydrogen trapped at grain boundaries reduces atomic binding energy of the boundaries, and makes crack propagation along it easier.¹¹⁾ However, in TBF steel, it was expected that hydrogen trapping to at the grain and lath boundaries was suppressed because of a large amount of hydrogen trapping in the retained austenite and at the matrix/retained austenite interface. From Fig. 7, there was small change in the fracture surface of TBF steel although TBF steel charged hydrogen more than 1 ppm. Thus, it was noted that since TBF steel suppressed the hydrogen trapping to the grain and lath boundaries due to the high hydrogen absorption capacity of retained austenite, deterioration of $CIIV$ of TBF steel was small.

Fig. 13 shows relationship between reductions of Charpy impact absorbed value ($CIIV$) after hydrogen charging and total hydrogen concentration (H_T) of steels A and B. It was found that amounts of reduction of $CIIV$

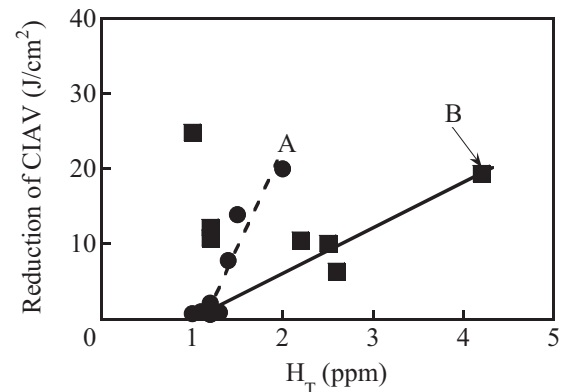


Fig. 13 Relationship between reductions of Charpy impact absorbed value ($CIIV$) after hydrogen charging and total hydrogen concentration (H_T) of TBF steels.

of every TBF steels were increased with increasing the H_T . However, if H_T was increased, amount of reduction of CI_{AV} of steel B did not increase as much as that of steel A. As mentioned above, a large amount of hydrogen was trapped in retained austenite and at matrix/retained austenite interface. TBF steel with addition of Al-Nb-Mo indicated higher $f_{\gamma 0}$ than steel A (Table 2). It was considered that the effects of H_T on the reduction of CI_{AV} were small because of the existence of a large amount of retained austenite in steel B.

5. CONCLUSIONS

The effects of alloying elements on impact properties and hydrogen embrittlement properties of ultra high-strength TRIP-aided bainitic ferrite steel was investigated to apply the ultra high-strength low alloy TRIP-aided steel for automotive structural steel. The results are summarised as follows.

- (1) C-Si-Mn TBF steel austempered at 350-375°C and C-Si-Mn-Al-Nb-Mo TBF steel austempered at 375-425°C indicated high Charpy impact absorbed value. This was caused by the high initial volume fraction of retained austenite and its carbon concentration in those austempering temperatures.
- (2) Al-Nb-Mo combined addition increased the Charpy impact absorbed value and lower the fracture appearance temperature of TBF steels. Increase in the impact absorbed value of Al-Nb-Mo TBF steel may be due to the increase in the initial volume fraction of retained austenite and its carbon concentration. The decrease in the fracture appearance transition temperature by the combined addition of Al-Nb-Mo was caused by the refine and uniform bainitic ferrite lath matrix and small grain size.
- (3) Charpy impact absorbed value of TBF steels was hardly decreased by hydrogen charging compared with that of TBF steel without hydrogen. This was consistent with reduction of hydrogen at the grain and lath boundaries due to the hydrogen trapping in the retained austenite and/or at the matrix/retained austenite interface.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors gratefully acknowledge financial support by Okayama Industrial Promotion Foundation and Electric Technology Research Foundation of Chugoku.

REFERENCES

- 1) V. F. Zackay, E. R. Parker, D. Fahr and R. Bush: The Enhancement of Ductility in High-Strength Steels, *Trans. Am. Soc. Met.*, **60** (1967), 252-259.
- 2) K. Sugimoto, M. Kobayashi and S. Hashimoto: Ductility and Strain-Induced Transformation in a High-Strength Transformation-Induced Plasticity-Aided Dual-Phase Steel, *Metall. Trans. A*, **23A** (1992), 3085-3091.
- 3) O. Matsumura, Y. Sakuma, Y. Ishii and J. Zhao: Effect of Retained Austenite on Formability of High Strength Sheet Steels, *ISIJ Int.*, **32** (1992), 1110-1116.
- 4) K. Sugimoto, J. Sakaguchi, T. Iida and T. Kashima: Stretch-Flangeability of a High-Strength TRIP Type Bainitic Sheet Steel, *ISIJ Int.*, **40** (2000), 920-926.
- 5) K. Sugimoto, M. Tsunezawa, T. Hojo and S. Ikeda: Ductility of 0.1-0.6C-1.5Si-1.5Mn Ultra High-Strength TRIP-Aided Sheet Steels with Bainitic Ferrite Matrix, *ISIJ Int.*, **44** (2004), 1608-1614.
- 6) K. Sugimoto, R. Kikuchi, M. Tsunezawa, S. Hashimoto, T. Kashima and S. Ikeda: The Effects of Heat Treatment Conditions on Stretch-Flangeability and Bendability of High-Strength Low Alloy TRIP-Aided Sheet Steels with Annealed Martensitic Matrix, *Tetsu-to-Hagane*, **89** (2003), 1065-1070.
- 7) K. Sugimoto, A. Kanda, R. Kikuchi, S. Hashimoto, T. Kashima and S. Ikeda: Ductility and Formability of Newly Developed High Strength Low Alloy TRIP-Aided Sheet Steels with Annealed Martensite Matrix, *ISIJ Int.*, **42** (2002), 910-915.
- 8) S. Song, K. Sugimoto, M. Kobayashi, H. Matsubara and T. Kashima: Impact Properties of Low Alloy TRIP Steels, *Tetsu-to-Hagane*, **86** (2000), 563-569.
- 9) K. Sugimoto, S. Song, K. Inoue, M. Kobayashi and S. Masuda: Effects of Prestraining on Low Cycle Fatigue Properties of Low Alloy TRIP Steels: *J. Soc. Mater. Sci., Jpn.*, **50** (2001), 657-664.
- 10) S. Song, K. Sugimoto, S. Kandaka, A. Futamura, M. Kobayashi and S. Masuda: Effects of Prestraining on High Cycle Fatigue Strength of High Strength Low Alloy TRIP Steels: *J. Soc. Mater. Sci., Jpn.*, **50** (2001), 1091-1097.
- 11) S. Matsuyama: Delayed Fracture, Nikkan Kogyo Shinbun Ltd., Tokyo, (1989).
- 12) H. Tsubakino, H. Harada: Effects of Retained Austenite on Hydrogen Permeation Behaviour in Steels, Advance in Delayed Fracture Solution, ISIJ, Tokyo (1997), 138-143.
- 13) K. Sugimoto, B. Yu, Y. Mukai and S. Ikeda: Microstructure and Formability of Aluminum Bearing TRIP-Aided Steels with Annealed Martensite Matrix, *ISIJ Int.*, **45** (2005), 1194-1200.
- 14) M. Murata, J. Kobayashi and K. Sugimoto: Stretch-Flangeability of Ultra High-Strength Low Alloy TRIP-Aided Sheet Steels with Mixed Structure Matrix of Bainitic Ferrite and Martensite, *Bull. Iron Steel Inst. Jpn.*, **15** (2010), 84-92.
- 15) I. Tamura: Steel Material Study on the Strength, Nikkan Kogyo Shinbun Ltd., Tokyo, (1970), 40.
- 16) H. Maruyama: X-Ray Measurement of Retained Austenite Volume Fraction, *J. Jpn. Soc. Heat Treat.*, **17** (1977), 198-204.
- 17) D. J. Dyson and B. Holmes: Effects of Alloying Elements on the Lattice Parameter of Austenite, *J. Iron Steel Inst.*, **208** (1970), 469-474.
- 18) W. Bleck, A. Frehn and J. Ohlert: Niobium in Dual Phase and TRIP Steels, Proc. of Int. Sympo. Niobium 2001, TMS, PA, (2001), 727-752.
- 19) H. Ohtani, F. Terasaki and T. Kunitake: The Microstructure and Toughness of High Tensile Strength Steels, *Tetsu-to-Hagane*, **58** (1972), 434-451.
- 20) S. L. I. Chan, H. L. Lee and J. R. Yang: Effect of Retained Austenite on the Hydrogen Content and Effective Diffusivity of Martensitic Structure, *Metal. Trans. A*, **22A** (1997), 2579-2586.
- 21) A. Kimura and H. Kimura: Effect of Carbon on the Hydrogen Induced Grain Boundary Fracture in Iron, *J. Jpn. Inst. Met.*, **47** (1983), 807-813.
- 22) T. Kushida: Correlation of Hydrogen Evolution Behaviour from Steel Observed by Thermal Desorption Analysis with Hydrogen Embrittlement, Advance in Delayed Fracture Solution, ISIJ, Tokyo (1997), 35-40.
- 23) T. Tsuchida, T. Hara and K. Tsuzaki: Relationship between Microstructure and Hydrogen Absorption Behavior in a V-bearing High Strength Steel, *Tetsu-to-Hagane*, **88** (2002), 771-778.

スピコート法による CuInS_2 薄膜の作製

中村重之

Preparation of CuInS_2 Thin Films by Spin-coat Method

Shigeyuki Nakamura

This paper describes preparation of CuInS_2 thin films as an absorption layer material for thin film solar cells. The film has been prepared by sulfurization of spin-coated Cu/In metal precursors. Cu/In ratios in the films were controlled by changing Cu/In ratios in the solution. The stoichiometric films were obtained at solution ratio of $\text{Cu/In}=1.7$, reputation of 8, sulfurizing temperature and time of 475°C and 45 min.

Keywords: CuInS_2 , solar cell, spin coat, sulfurization

1. 緒 言

カルコパイライト半導体の一つである CuInS_2 は、 10^4 cm^{-1} 程度の大きな光吸収係数と 1.5eV の禁制帯幅を持つことから太陽電池の光吸収層として期待されている。これまで金属を蒸着したプレカーサーを硫化する方法で 12% 程度の変換効率が得られている。スピコート法は、常温・常圧で製膜できるので、極めて低コストな製膜法である。これまで金属のナフテン酸塩を用いて製膜してきた[1,2]が、これらの材料は比較的高価なので、さらなる低コスト化を目指して原料に酢酸塩を用いることにした。

2. 実 験

酢酸銅 ($\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2$) と酢酸インジウム ($\text{In}(\text{CH}_3\text{COO})_3$) (いずれも純度 99.8%) を溶液のモル Cu/In 比が 1.0 から 2.0 になるように計量し、濃度が 1.75mM/l となるようにモノエタノールアミン

($\text{C}_2\text{H}_7\text{NO}$) とメトキシエタノール($\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_2$) (いずれも純度 90% 以上) に溶かした後、基板の上に塗布し、スピコートした。スピコートには、共和理研のスピナー K-3S9 S-1 を用いた。回転数は 4000rpm、時間は 30 秒である。基板には安価なガラス基板 (武藤化学(1102 水縁磨)) を使用した。スピコートした基板は、酸素雰囲気中で 450°C 、10 分の熱処理を行い、有機溶媒を除去した。膜厚を調整するため、スピコートと酸素熱処理を 4 から 8 回繰り返した。最後に Cu-In プレカーサーを硫化水素雰囲気 ($\text{Ar}+\text{H}_2\text{S}$ (10%)) で 15-60 分、熱処理して薄膜を作製した。作製した薄膜の元素組成比、表面形状、結晶構造を E PMA, SEM, XRD で評価した。光透過率と光反射率のスペクトルも測定した。測定には日本分光の jasco V-570 を用い、波長 400nm から 1500nm まで測定した。

3. 結果と考察

E PMA の結果から、熱処理過程で薄膜の Cu/In 比が減少することがわかった。それを見越して原料の組成比は銅リッチにしておかなければならない。

図1に示すように薄膜の組成比は、原料の組成比を変化させることで制御することができる。化学量論組成の薄膜は、原料 Cu/In 比=1.7の溶液から得られる。その際の熱処理条件は、475℃・60分である。溶液 Cu/In=1.7, 繰り返し8回, 硫化温度 475℃と一定にし、硫化時間を変化させたときの膜組成を図2に示す。これより30分程度の硫化で所望の組成比が得られることが分かる。

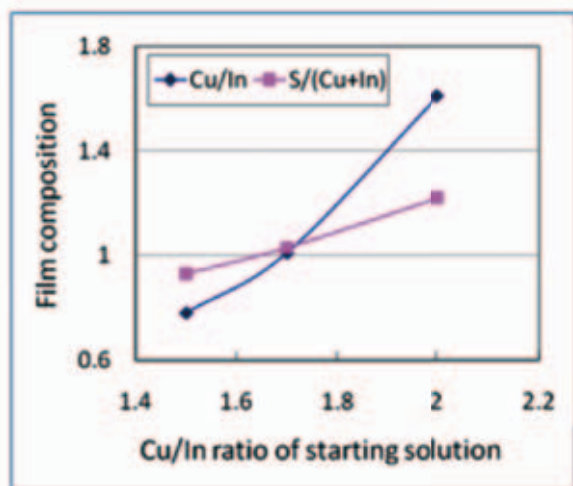


Fig. 1 Film compositions as a function of Cu/In ratio of the solution.
(475℃ 60 min)

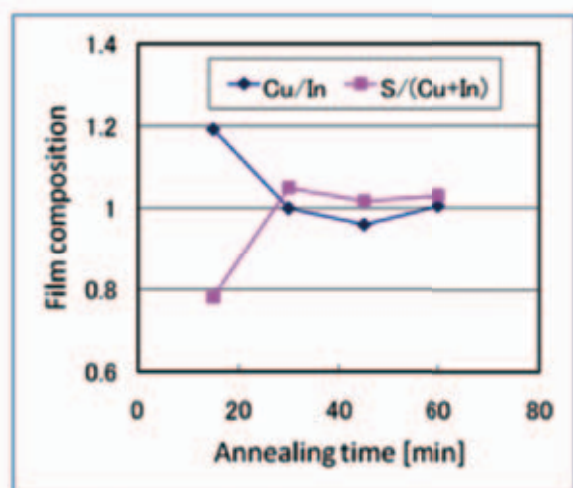


Fig. 2 Film compositions as a function of annealing time.
(Sol. Cu/In=1.7, Rep. 8, 475℃)

図3に、硫化時間に対するXRDパターンの変化

を示す。これより、いずれも(112)に配向した単相の CuInS₂ が得られていることが分かる。また、硫化時間が長くなるにつれて(112)配向が強くなってきている。組成比的には30分の硫化で十分であるが、結晶性の観点からは、すくなくとも45分から60分程度の硫化時間が必要である。図4に、膜組成に対するXRDパターンの変化を示す。これより、化学量論組成の膜が最も結晶性が良いことが分かる。銅リッチな膜には、異相を示すと思われるピークも観測された。

図5に、膜中 Cu/In 比=1.19, 膜中 S/(Cu+In)比=0.78, 475℃, 15分で硫化した堆積回数8回の表面SEM写真を示す。1~2μmのグレインの結晶が見えるが、膜全体を覆っていない。したがって大きな結晶が均一に成長するような条件を見出すことが必要となる。蒸着法で作成した膜と同様に、薄膜の組成比がInリッチになるほどグレインサイズが小さくなっていく[3]。

図6に、反射率補正を行った後の光吸収係数スペクトルを示す。(αhv)²とhvが比例するので直接遷移型半導体と考えられるが、光学吸収端が約1.41eVとCuInS₂の禁制帯幅に比べてかなり小さい。このことは、禁制帯中に多くの欠陥準位があり、そのためバンドギャップ以下の吸収が大きいことを示唆している。したがって、より一層、結晶品質を上げ、欠陥密度の低減を図らなければならない。

4. 結 言

低コストが期待できる酢酸化合物を用いたスピコート法を用いて CuInS₂ 薄膜を作製した。化学量論組成の薄膜は、溶液 Cu/In 比=1.7, 繰り返し回数8回, 硫化温度 475℃, 硫化時間 45分で得られた。XRDの測定では、(112)配向した半値幅の狭いピークが得られ、結晶学的には高品質な膜が得られたが、表面形状、光学特性には改善しなければならない点も見つかった。今後は、これらの点を改善していくと共に電気的特性の測定も行い、より一層、膜質の向上と太陽電池応用に向けての製膜条件の最適

化を目指していく。

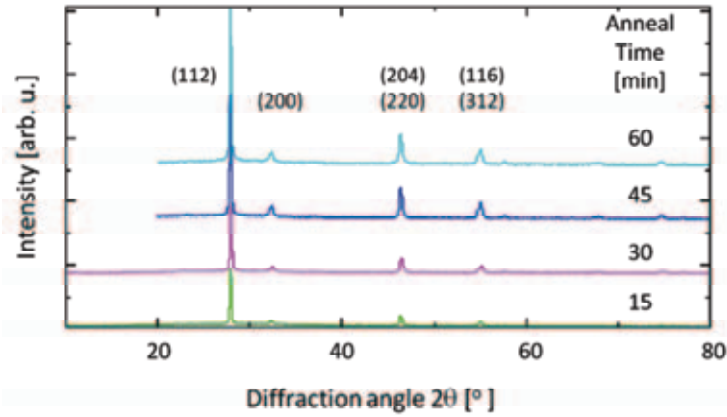


Fig.3 XRD patterns for various annealing time.

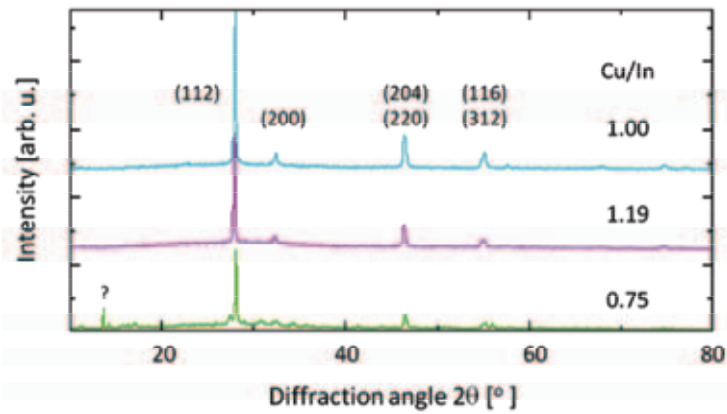


Fig4 XRD patterns for various Cu/In ratio of films.

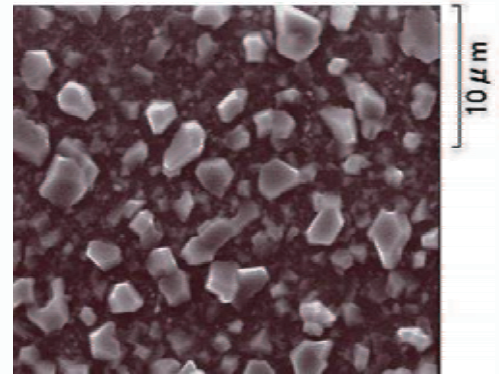


Fig.5 SEM micrograph of the film. (Sol. Cu/In=1.7, 475 °C, 15

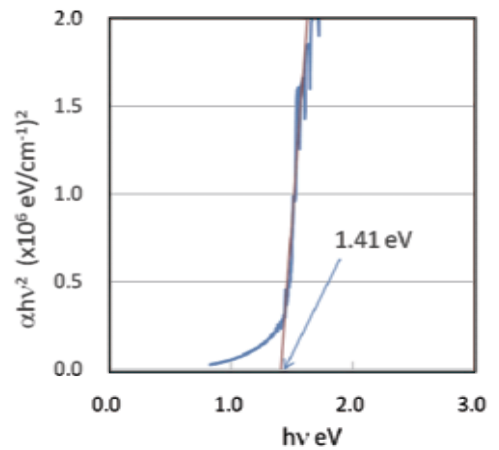


Fig.6 Absorption coefficient spectra (475 °C 45 min, Cu/In=0.85, S/(Cu+In)=1.09, reputation 8)

参考文献

- [1] S. Nakamura and S. Ando: 14th ICTMC, Sep. 27-Oct. 1 (2004) Denver, USA
- [2] S. Nakamura and S. Ando: J. Phys. and Chem. of Solids 66 (2005) 1944.
- [3] Y. Ogawa, S. Uenishi and K. Ito: Tech. Rep. IEICE CPM93-9 (1993) 51.

Factory Automation 実験のテーマ開発と改善

前原 健二*

Development and improvement of the subjects for the factory automation experiments

Kenji MAEHARA

This paper reports the development and improvement of the subjects for the factory automation of the experiments in electrical and electronic Engineering III class. The subjects contains the relay sequence and the programmable controller sequence with the BASIC FA KIT of the omron Co. Ltd. and have carried out from 2009. In the subject of the programmable controller sequence, the SFC is adopted as the tool of sequence program development.

From the results of the questionnaire to the students, these subjects are a help to understand the sequence control learned in the basic electrical controls class. For the lessons of the second term in 2010, the subject of the programmable controller sequence is improved on the contents so that students will experiment with it in more thinking style.

Key Words : factory automation, relay sequence, programmable controller, SFC, experiment

1. はじめに

平成 20 年度初め、オムロン株式会社から国立高等専門学校機構への教育支援として、「ベーシック FA 学習キット」および寄付金の提供が申し出された。これを受け、津山工業高等専門学校には平成 21 年度までに「ベーシック FA 学習キット」5 台と 200 万円の寄付金が支給されることになり、電気電子工学科には、2 台の「ベーシック FA 学習キット」、シーケンサ、ソフトウェアライセンスとともに 18 万円程度の物品購入費が配分された。

電気電子工学科の第 2 学年で開講される「制御基礎」の授業では、シーケンス制御についてリレーシーケンス、無接点シーケンス、シーケンサ (Programmable Controller, PC) について学ぶ。また、第 2 学年の電気電子工学実験Ⅱでリレーシーケンス制御の実験が実施されている。提供された「ベーシック FA 学習キット」はリレーシーケンスとシーケンサの学習に利用できるため、著者は第 3 学年の「電気電子工学実験Ⅲ」に「FA 制御」の実験テーマを 2 つ作り平成 21 年度から実施している。実験テーマはリレーシーケンス制御およびシーケンサのプログラム開発の実験であり、本論文では開発したテーマの内容および学生へのアンケート結果、アンケート結果による実験内容の改善について報告する。

2. ベーシックFA学習キットとシーケンサ

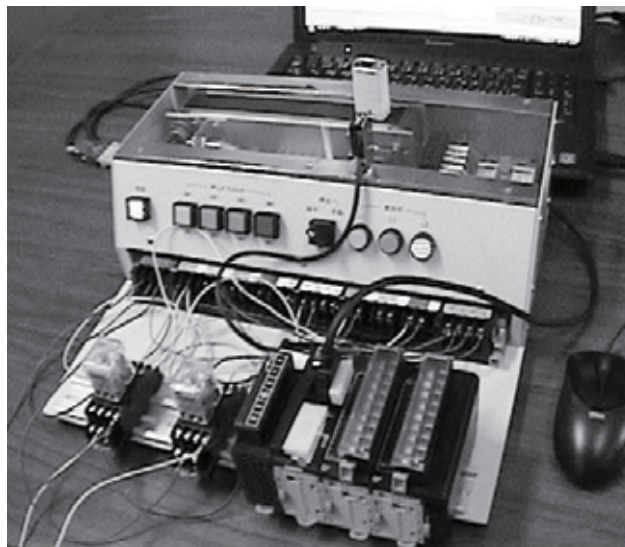


図 1 ベーシック FA 学習キットと PC (CJ1M)

「ベーシック FA 学習キット」はベルトコンベア機材や照光式スイッチ、表示灯、電源などからなる本体と、リレー、タイマ、カウンタ、マイクロスイッチ、光電センサ、近接センサなどの制御器具がセットになっており、「つなぎの技術」を体系的に学習できるシーケンス制御学習に最適な機材である。

寄附物品に付属のシーケンサはベーシックパッケージシリーズの CP1L で、プログラミングサポートツール CX-Programmer によりラダーおよびストラ

原稿受付 平成 22 年 8 月 23 日

* 電気電子工学科

クチャードテキスト言語 (ST 言語) によるプログラム開発ができる。¹⁾しかし、CP1L では実験テーマに相応しい内容の実験が難しいため、上記 2 言語の他に SFC (Sequential function chart) 言語にも対応するビルディングブロックシリーズのシーケンサ CJ1M と関連ユニットを寄付金により購入した。

3. リレーシーケンス制御実験の内容

第 2 学年の「制御基礎」の授業のリレーシーケンスで扱う基本回路は、AND, OR, NOT, NAND, NOR の論理回路、自己保持回路、インターロック回路、並列優先回路、新入力優先回路、直列優先回路、遅延動作回路、一定時間動作回路、カウンタを用いた制御である。

電気電子工学実験Ⅲは 150 分の授業であり、この時間内で学生が自主的に実験に取り組み結果を出せるよう、系統的に実験内容を組み立てた。

実験は① AND 回路、② OR 回路、③ NOR 回路、④自己保持回路、⑤一定時間動作回路、⑥センサを用いた物体検知制御、⑦カウンタを用いた制御の 7 つの制御からなり、基本的に前の制御を活かして次の回路を作っていく、タイムチャートに従って実験させる内容とした。

まず、① AND 回路は、「ベーシック FA 学習キット」本体の配線接続と論理回路の基礎理解のための導入である。② OR 回路は、AND 回路からの接続変更で機能を考えさせる。③ NOR 回路は、OR 回路からリレーを用いた信号反転により、リレーの使い方と a 接点、b 接点を学ばせる。以上が基礎的な接続実験である。

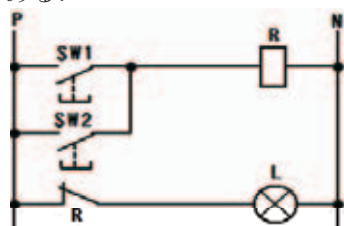


図2 NOT回路のシーケンス図

④自己保持回路は AND, OR, リレーを含む制御の基本回路であり、学生は 2 年生の授業で回路を覚えているが、改めて①～③をもとに配線を考えさせ、回路からその動作が説明できるようにさせる。

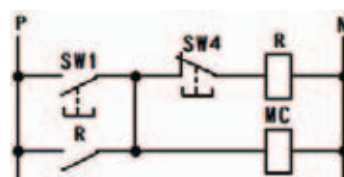


図3 自己保持回路のシーケンス図

⑤一定時間動作回路は、自己保持回路の停止スイッチをタイマーのb接点で置き換えたものなので、自己保持回路から容易に変形して作れ、動作も理解しやすい。

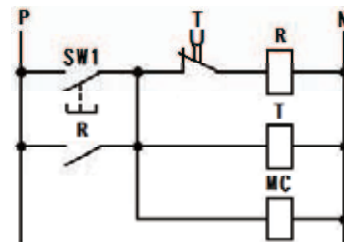


図4 一定時間動作回路のシーケンス図

⑥センサを用いた物体検知制御は、自己保持回路でベルトコンベアを動かし、ベルトコンベア上の移動物体を光電センサで検知させて停止させる、応用的な制御である。制御は複雑であるが、回路は自己保持回路の停止スイッチをセンサーの信号で動作する 2 つ目のリレーの b 接点で置き換えるものなので、自己保持回路から容易に変形して作れる。この実験では、実用的なベルトコンベア制御を実現させて学生に達成感と面白さを感じさせるとともに、センサの負論理入力の扱いを理解させる。

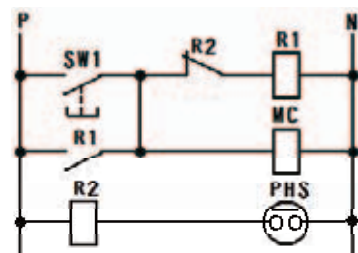


図5 物体検知停止制御のシーケンス図

⑦カウンタを用いた制御は、自己保持回路でベルトコンベアのモータを動かし、その回転を近接センサでカウント入力させて表示灯を点灯制御させる、応用的な制御である。制御は複雑であるが、回路接続は④の自己保持回路と「ベーシック FA 学習キット」本体から出ている近接センサの信号をカウンタに入れ、カウンタの出力を表示ランプに繋ぐだけ、と簡単である。リセットはカウンタの RST ボタンを使う。この実験も、複雑な制御を実現させて学生に達成感と面白さを感じさせるとともに、「ベーシック FA 学習キット」全体とカウンタの使い方を理解させることができる。

4. シーケンサのプログラム開発実験の内容

第 2 学年の「制御基礎」の授業のシーケンサでは、ラダープログラムと SFC を扱う。

ラダープログラムは、リレーを使ったシーケンス

図を基にしたシーケンスプログラム作成図面であり、リレーシーケンスを勉強してきた学生には馴染みやすい。しかし、ラダープログラムは回路と同様に、プログラム全体が時々刻々実行されて制御が進んでいくため、制御の規模が大きくなると設計が難しく初心者では扱えない。

一方、SFC はシーケンス制御をステートメントのつながりで表し、処理は各ステートメントを順番に行うことで実行される。ある時間帯には1つのステートメントのみが実行されるため、全体の制御を時間推移で分割して小さな制御の集まりとして設計できる。このため、各ステートメントの制御内容はリレーシーケンスで学習した回路で十分実現でき、初心者にも大きな規模の制御が作成可能である。なお、SFC の各ステートメントの制御内容は、ラダープログラムやST 言語により作成する。

実験は学生に実用的でなじみ深い制御の開発体験をさせることを目的としており、ある程度複雑な処理が必要であるため、SFC によるシーケンサのプログラム開発を採用した。実験の課題は自動販売機の模擬動作であり、制御は図 6 のような流れになる。

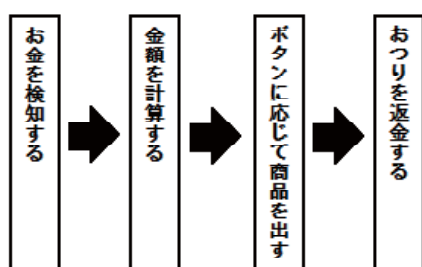


図 6 自動販売機の制御

この制御実験では、ベーシック FA キットの押しボタン SW1 を 100 円硬貨検知ボタン、SW2 を 120 円商品ボタン、SW3 を 150 円商品ボタンとし、表示ランプ L1 を 120 円商品販売ランプ、L2 を 150 円商品販売ボタン、L3 をお釣りの 10 円硬貨の数だけ点滅する返金表示ランプとする。

プログラム開発はプログラミングサポートツール CX-Programmer (図 7) を用いて行う。

一般に、ソフトウェア開発ツールはその使い方を習得するまでに時間がかかる。まして電気電子工学科ではこの種の授業はなく、プログラムの経験もない学生がこのソフトを使いこなすのは容易ではない。このため、実験書にはプログラム開発の手順と操作を具体的に事細かく記述し、学生は記述されたとおりに操作してプログラム開発を行う。実験書の趣旨は余分な操作を避けて、要点だけで設計を完結し、学生に設計過程をスッキリと理解させることである。

以下では開発の流れに沿って、設計方針の考慮点を説明する。

①プロジェクトの作成

CX-Programmer では以前に設計された時の諸設定がデフォルトで残されるので一度プログラム開発をしておけば、学生は指示に従って何度かマウスをクリックするだけで操作が完了する。

②I/O テーブル・ユニット設定

指示に従って、入力および出力ユニットに使用している CJ1W-ID211 と CJ1W-OD203 を選択する。

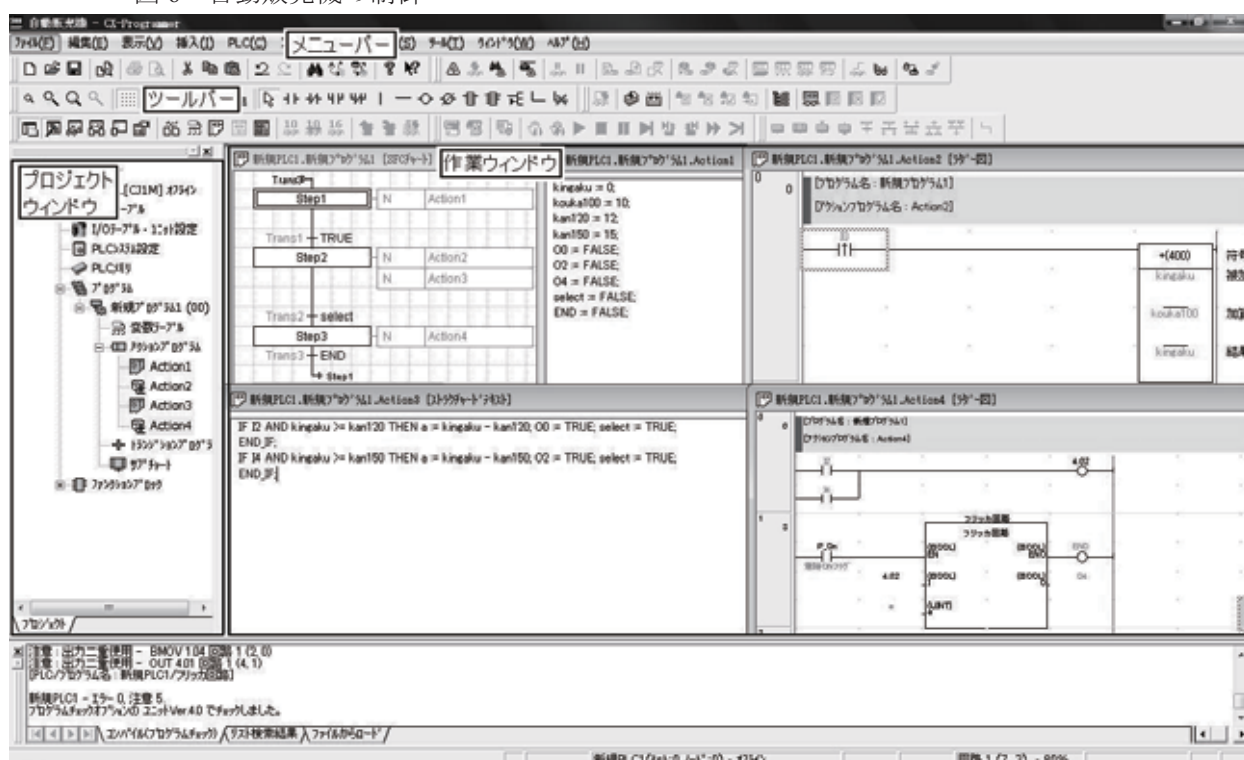


図 7 CX-Programmer の画面

③プログラムに使う変数の作成

プロジェクト内ではグローバル変数とローカル変数が定義できるが、このプロジェクトではプログラムは1つなのでローカル変数テーブルにのみ指定された変数名、データ型、アドレスまたは値を追加入力する。

④ファンクションブロックの使用

ファンクションブロックは設計者が予め作った部品回路であり、登録しておくことで部品として使える。自動販売機の模擬動作ではお釣りの数の点滅表示をフリッカ回路で行うが、この回路は複雑な回路で学生が作ると実験時間が足りない。このため、回路を事前に用意しておき、端子の接続法だけを指示する。また、ファンクションブロックは内部回路を隠すことができるので、余分なものを見せず自動販売機の制御に焦点を絞ることができる利点もある。

⑤ SFC のステートメントとアクションの枠作成

自動販売機の模擬制御の SFC は、ステートメント 1 で変数の値の初期設定 (アクション 1) を、ステートメント 2 で投入金額の計算 (アクション 2) および商品販売とお釣りの計算 (アクション 3) を、ステートメント 3 でお釣りの数の点滅表示 (アクション 4) を行う。枠作成の作業は、これらのステートメントおよび移行条件の追加と連結線のジャンプ追加、そしてアクション 1 と 3 の「ST プログラム」追加およびアクション 2 と 4 の「ラダープログラム」追加を指示する。なお、アクションにはクオリファイアの設定も必要であるが、実験ではデフォルトのノーマルのままとし、何も解説していない。

⑥移行条件フラグの変更

先の SFC の枠作成ではデフォルトの移行条件フラグ「FALSE」になっているので、各フラグに値または変数名を設定する。なお、移行条件の名前を変更することもできるが、余分な操作を避けるためデフォルトの名前のままにしておく。

⑦アクションの作成

アクション 1 および 3 は ST プログラムであるが、プログラムの授業は第 4 学年までなく、ST プログラムも第 2 学年の「制御基礎」の授業で扱っていないため、学生には示された記述をそのまま入力させる。

```
IF I2 AND kingaku >= kan120 THEN a := kingaku - kan120 ;
O0 := TRUE ; select := TRUE ;
END_IF ;
IF I4 AND kingaku >= kan150 THEN a := kingaku - kan150 ;
O2 := TRUE ; select := TRUE ;
END_IF ;
```

図 8 アクション 3 の記述

アクション 2 と 4 はラダープログラムであり、ツールバーの各アイコンと部品ウィンドウでの詳細設

定についての説明をもとにそれぞれの部品の配置と値の設定をする。アクション 4 で使用しているフリッカ回路の端子についても、指示に従って処理する。



図 9 アクション 2 の回路



図 10 アクション 4 の回路

アクション作成では、入力作業を通じて制御内容の意味を理解させることを目的としている。アクション 2 では硬貨検知入力の立ち上がりで投入金額が累算され、アクション 3 では投入金額が選択された商品金額以上ならお釣りの数を計算し商品を販売している。アクション 4 では select 信号を使ってフリッカ回路のみで動作させることもできるが、練習のために敢えて商品選択ボタン I2 または I4 による OR 信号 (4.02) を作らせ、さらに商品が販売されたという条件 (select 移行条件からの P_on 信号) で動作するようにしている。

⑧コンパイルおよびプログラム転送と制御実験

ベーシック FA キットとシーケンサを接続し、パソコンとケーブル接続して、コンパイルおよびプログラム転送をし、タイムチャートに従って実験する。コンパイルやプログラム転送についても特別な設定はなく、指示の通りにマウスをクリックしてだけで処理できる。

5. FA制御実験の実施とアンケート調査結果

5. 1 FA制御実験の実施

ベーシック FA キットとパソコンおよびプログラミングサポートツール CX-Programmer が 2 セット揃ったのが平成 21 年 7 月であり、後期の電気電子工学実験Ⅲで FA 制御 1 (リレーシーケンス制御実験) と FA 制御 2 (シーケンサのプログラム開発実験)²⁾を並行して行った。実験は 1 テーマ 4 人で行うが、ベーシック FA キットが各 1 台なので 4 人で 1 台の実験となる。プログラム開発実験のパソコンは

2人で1台の実験である。

①リレーシーケンス制御の実験

第3学年のFA制御実験に先立ち、第2学年の電気電子工学実験Ⅱのリレーシーケンス制御(1)(2)では、AND回路、OR回路、自己保持回路、インターロック、並列優先回路、直列優先回路、遅延動作回路、一定時間動作回路、カウンタ回路について、動作を確かめる実験を行っている。³⁾ この実験は、リレーシーケンストレナというスイッチ、ランプ、リレー等の部品とそのa接点、b接点の端子が沢山並ぶ実験装置を使い、実験書に書かれたシーケンス回路図のとおり接続して動作を確かめていくものである。この実験では回路は示されており、回路どうしの連続性もなく、実験装置上の配線は入り組み接続関係が直感的にイメージ出来ない。

これに対し、今回開発した第3学年のFA制御1では第3章で述べた7つの制御が発展的に関連づけであり、学生にはリレーシーケンス図を考えて描かせ、ベーシックFAキットでの配線もイメージしやすく、タイムチャートに示された順でスイッチを操作して各部の状態を記入させていくようにしている。さらに、レポートでは回路の動作説明も考えさせる。

これらの制御の殆どは第2学年で学習した内容であり、授業ノートを持参し内容を理解している学生は、器具の簡単な説明をするだけで大凡実験を旨く進めていた。授業ノートを用意せず学習内容も忘れていた学生でも、回路構成についてのヒントを与えれば回路を作成できていた。ただし、4人で1台の実験であるため、内2人は手持ちぶさたになっている様子が見受けられた。

②FA制御の実験

FA制御2の実験では、シーケンサCJIMのプログラム開発実験の前に、シーケンサCP1Lを用いてランプを5秒間点滅させる制御と物体検知停止制御の2つの制御をスイッチで切り替えて実行する制御を実験させている。この制御はベーシックFAキットのマニュアル¹⁾に掲載されている制御で、事前にシーケンサにプログラムが書き込んであり配線するだけで実験を行う。実験はタイムチャートに示された順でスイッチを操作して出力の状態を記入させていく。この実験では学生に複雑で複数の制御がシーケンサ1台で簡単に実現できることを実感させることを目的としている。その後、シーケンサCJIMのプログラム開発実験を2人1組で行う。学生は、操作を間違えてどうしたらよいか分からないときなどに質問をしてくるだけで、実験書のとおりに進めればほぼ問題なくプログラム開発を行うことができていた。実験はタイムチャートに示された順でスイッチを操作して出力の状態を記入させていく。レポートでは動作説明も考えさせる。

5. 2 アンケート調査結果

平成21年度に導入したFA制御実験について、これらの実験内容が今まで学習した授業内容の理解に役立っているかや第2学年の実験と比較してどうかを見るため、実験対象者の第3学年45人の学生に対し、学年末にアンケート調査を行った。アンケート結果の棒グラフを図11に示す。

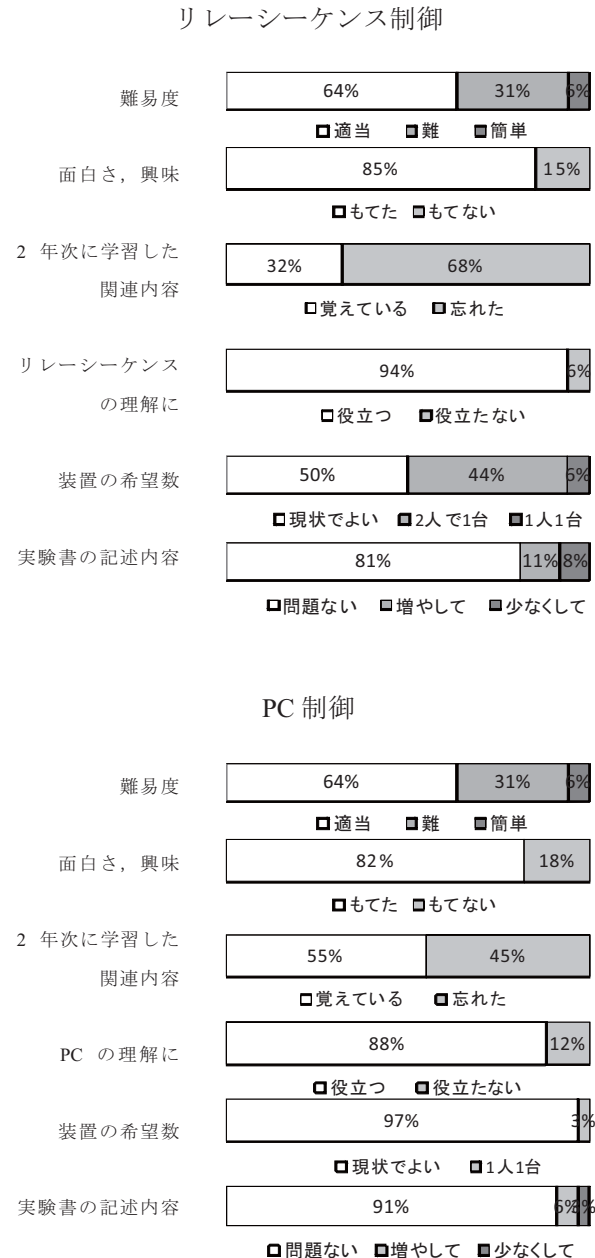


図11 FA制御実験のアンケート結果

リレーシーケンス制御のアンケート結果からは、前年度の授業で「学習した関連内容を忘れた」との意見が多く、実験中に回路図を直ぐに書けない学生の比率と符合している。「装置の希望数が現状の4

人で1台でよい」とする学生は、実験意欲の薄い学生と思われる。

PC制御のアンケート結果からも授業で学習した関連内容を忘れてしまっている学生が多いことが分かる。なお、実験内容が実験書通りに進めていくだけなので、「実験書の記述内容に問題ない」とする意見が多いことは期待はずれであった。数人からは、「SFC図くらい自分で考えさせるべき」との意見があり、もっともであると思う。

このアンケートは単年度だけのものでこれだけで検証を得ることはできず、今後も同様のアンケートを継続して検証する必要があるが、FA制御実験を新たに導入した教育効果はあったと見てよい。

6. FA制御実験の改善

平成22年度の電気電子工学実験Ⅲでは、リレーシーケンス制御実験の4人で装置1台の体制を改善するため、リレーシーケンス制御実験とPC制御実験の実施時期を前期と後期にずらせ、2人で装置1台の体制をとった。これにより、平成22年度のリレーシーケンス実験では学生の取り組み意欲に大幅な改善が見うけられた。要因の1つに実験時期が半年早まったため、前年度に習った学習内容を忘れていない学生が増えたこともあるようだ。

平成22年度のPC制御の実験書には、学生に考えさせる要素を取り入れた。⁴⁾シーケンサCP1Lを用いた2つの制御をスイッチで切り替えて実行する制御のSFC図を考え動作を説明させることと、自動販売機の模擬動作の制御開発では平成21年度に行っていたアクションの完成版資料とおりに入力していく方法ではなく、入力手法の説明文を見て課題に合わせて考えながら入力するようにした。ただし、学生は情報処理プログラムを一切習っていないため、アクション3のSTプログラムは資料とおりに入力させる。

なお、後期のPC制御実験は本論文作成時点では

実施していないため、成果は確認できていない。

7. ま と め

津山高専電気電子工学科の電気電子工学実験Ⅲ(3年生対象)に、平成21年度からオムロン(株)のベーシックFAキットを用いたFA制御実験を2テーマ取り入れた。

リレーシーケンス制御の実験では、AND回路から物体検知停止制御やカウンタを用いた制御まで、段階的に回路を応用、拡張して実験していくことで、学生が回路構成を理解し易く実験に取り組み易くしている。

PC制御の実験では自動販売機の模擬制御のプログラム開発を行わせることで、学生に実用的でなじみ深い制御の開発体験をさせている。PCのプログラム開発には、規模の大きな制御をステップ毎に分けて小単位で開発できるSFCを用いて、初心者でも理解し易く分かり易い内容にしている。

学生へのアンケート結果からは、これら2つのFA制御実験に学生たちは好感度を持っていることが分かる。残念ながら、前年度に学習している制御基礎の授業内容について実験時に覚えている学生の割合が低い、この実験で再度学習することで、シーケンス制御に対する理解を大いに深める効果があった。

参 考 文 献

- 1) オムロン(株)セミナ教育課:「ベーシックFA」マニュアル, オムロン(株), (2008)
- 2) 前原健二:FA制御(1)(2), 平成21年度後期電気電子工学実験Ⅲテキスト, (2009) 59-1 - 59-8
- 3) 小坂睦夫:リレーシーケンス制御(1),(2), 平成21年度後期電気電子工学実験Ⅱテキスト, (2009) 29-1 - 29-5
- 4) 前原健二:FA制御(2), 平成22年度後期電気電子工学実験Ⅲテキスト, (2010) 59-1 - 59-7

視線インタフェースを用いた家電製品の制御に関する研究

藪木 登* 黒崎正裕* 井上浩行** 鷺見育亮*** 築谷隆雄****

A Study on the Control System of Home Appliances using the Eye-gaze Interface

Noboru YABUKI*, Masahiro KUROSAKI*, Hiroyuki INOUE**, Yasuaki SUMI***, and Takao TUKUTANI****

It is difficult that physically handicapped person operates home appliances. If a physically handicapped person can operate home appliances, it is thought that the life becomes more convenient. We describe the control system of home appliances using the eye-gaze interface. This system has four parts, detection of face region, camera control, eye-gaze detection, and remote control. We explain each of four parts in this paper. Experimental results show that the proposed control system worked.

Key words: eye-gaze, control, image processing, home appliances, consumer electronics

1. はじめに

コンピュータの発展と共に我々の生活レベルは、向上している。身近な家電製品としてTV、パソコン、エアコン、ゲーム機などは我々の生活を豊かにしてくれる。またインタフェースとなるリモコンなどは機器の操作をより簡単・便利に行うことができる。しかし、全ての人々がこれらを簡単に操作できるわけではない。ALS(Amyotrophic Lateral Sclerosis: 筋萎縮性側索硬化症)や筋ジストロフィーなどの手足の自由が利かない障害者や高齢者など、通常生活で介護が必要な人は、例えば、リモコンで家電製品を操作するのが困難な場合が多い。そこで、体が不自由な人でもリモコンを使わずに、家電製品に操作を命令する一つ的手段として、視線が有効であることに注目してみる^{1), 2)}。人は家電製品をリモコンで操作するとき、必ずといってよいほど操作対象を注視する。その視線を検出し、操作対象の家電製品を操作できるようになれば、生活は便利になるだろう。

現在、いくつかの視線入力インタフェースが製品化されており、大別すれば頭部に測定器具を装着する接触式、頭部になにも装着しない非接触式がある。接触式^{1), 3)}は頭部にヘッドマウントディスプレイのような装置をつけるため、利用者への負担が大きい。他方、非接触式においてはカメラで利用者を撮影し、

視線を計測する手法であるため、利用者への負担は少ない。しかし、非接触式には多くの制約条件があり、例えば、利用者の姿勢は一定であることが条件となっている。ただ、利用者の姿勢は度々変化するため、この条件に当てはまるよう、利用者の姿勢にとらわれないシステムが必要となってくる。

現在、市販または研究されている視線入力インタフェースの多くは、予め決められているコマンドやメニューをモニタ上で選択するものである。これではコミュニケーションインタフェースとしては制約が多くあり、使い易いシステムとは言えない。反面、視線利用の実用化に関しては、ワープロ作業やWebサイトの閲覧などへ応用されつつあり、情報端末・コミュニケーションインタフェースとしての役割が大きくなっている^{4), 5)}。また、特にモニタでの操作を選択する方法ではなく、室内のような空間において存在する装置等を視線でコントロールする研究成果は十分ではない。よって現在問題となっている制約を最大限軽減し、利用しやすい視線を用いたコミュニケーションシステムについて検討を行うことが必要である。

そこで、我々は、視線を用いたコミュニケーションシステムに関する研究を行ってきた⁶⁾⁻⁹⁾。この一つとして、本稿では、視線を用いて室内にあるテレビや照明などの家電製品に視線を送ることにより、その製品を操作するシステムを構築し、実験によりシステムの動作を確認することを目的としている。この研究により、動くことが困難な障害者や高齢者に対して、室内空間での家電製品や介護ロボット等の遠隔操作の可能性を示すことができる。

原稿受付 平成 22 年 8 月 31 日

* 情報工学科

** 機械工学科

*** 鳥取環境大学

**** 松江工業高等専門学校

2. 視線インタフェースを用いた家電製品の操作システムの概要

我々は視線を用いたコミュニケーションシステム（視線コミュニケーションシステム）に関する研究を行っている。この視線コミュニケーションシステムとは、人が意思を伝える手段の一つとして利用している視線を用いて、コミュニケーションや動作を助けるためのシステムである。本稿では視線コミュニケーションシステムの一つとして、視線インタフェースを用いて家電製品を操作するシステムを構築する。本システムは、主に室内（個室）で利用可能である。利用者はソファやベッド、椅子等に腰掛けた状態で、室内にある家電製品を見つめると、コンピュータがカメラ画像から視線を読み取り、利用者の代わりにその家電製品をコントロールする仕組みとなっている（図1）。システムの構成図を図2に示す。

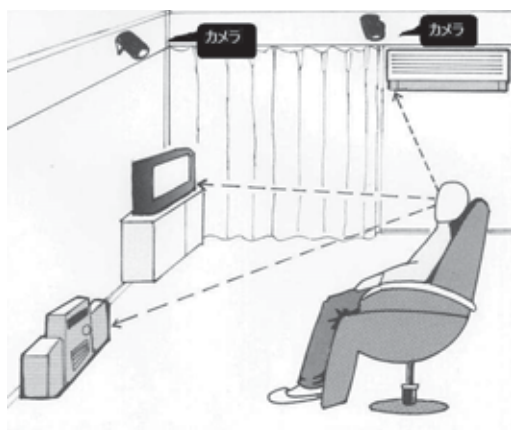


Fig.1 Diagrammatic illustration of proposed system.

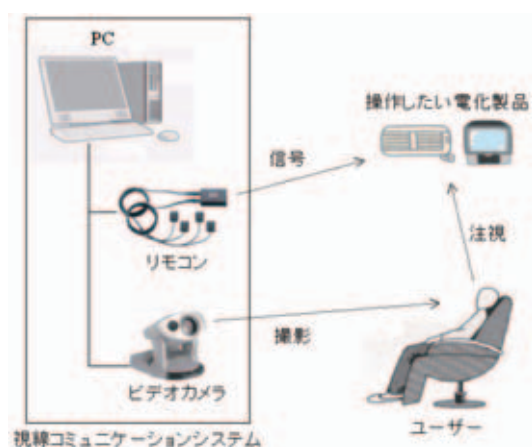


Fig.2 A figure of real constitution of proposed system.

また、システムの動作の流れを図3に示す。このシステムは、主に「顔領域の検出」、「カメラ制御」、「視線検出」、「リモコン制御」の4部分に分かれている。以下では、このシステムを構築していく上で必要となってくる検討事項をシステムの流れに沿って説明する。具体的な処理方法は、次章で述べる。

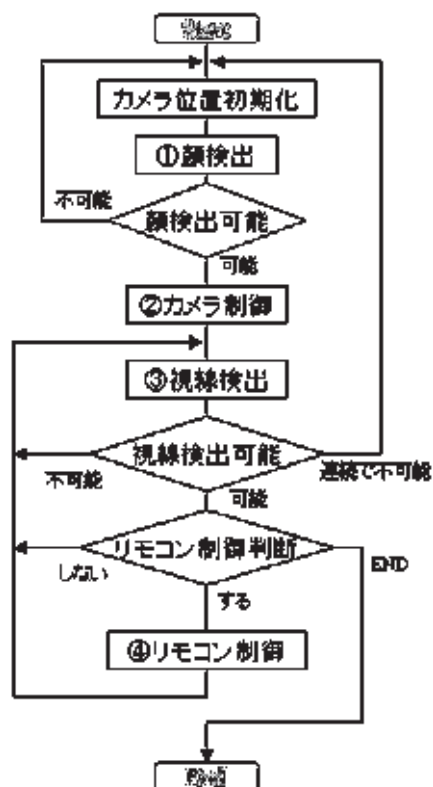


Fig.3 A flowchart of proposed system.

まず、このシステムにおいては、室内にリアルタイムで撮影が可能なカメラを設置することが前提条件となる。そのカメラの位置については、例えば主な家電製品（エアコンやテレビなど）に一台ずつ設置するようなことが考えられる。システムの利用者はソファやベッド、椅子等に腰掛けている状態とする。しかし、一定の場所で静止しているわけではないので視線を計測する以前については、利用者が動くことも考慮し、なるべく広い範囲を撮影する必要がある。主な処理を以下で説明する。

①顔領域の検出

このシステムでは、カメラの位置が利用者と離れた場所での視線検出を想定している。顔とカメラが離れていると顔領域が小さくなり、すなわち目の領域が小さくなるため視線検出をすることは困難になる。そこで利用者の顔部分だけを、肌色とその形から検出し、カメラ制御によって拡大すれば、より視線が検出しやすくなる。そのため、確実に顔の位置を求めるプログラムがここでは望まれる。

②カメラ制御

顔の位置を特定し、カメラ制御（パン、チルト、ズーム）により、顔領域を拡大することが必要となる。ここではより視線検出に適した顔画像の取得が望まれる。

③視線検出

顔領域を拡大すれば、画像中の目領域も大きくなり、より視線検出を正確に行いやすくなる。そして視線検出において虹彩(黒目)領域の検出は不可欠である。よって正確で安定した虹彩の検出が求められる。また虹彩だけでは、頭部自由状態において視線検出をすることは困難であるため、顔の動きに対応する特徴点も検出する必要がある。

④リモコン制御

視線検出結果を用いて、その視線先の家電製品のON・OFFなどの操作を行うため、リモコンの制御が必要となる。

3章で、各部分の詳細を説明する。

3. 提案システムの各部分

提案システムの「顔領域の検出」、「カメラ制御」、「視線検出」、「リモコン制御」の4つの部分に関する各方法をこの章で説明する。

3.1 顔領域の検出

顔領域の検出アルゴリズムを図4に示す⁶⁾。

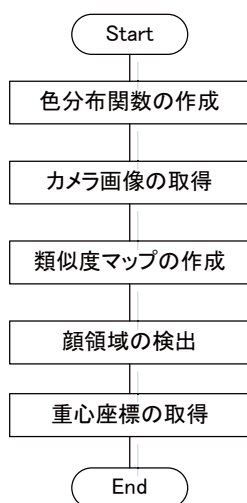


Fig.4 Flowchart of face region detection.

色分布関数とは、画像から検出した特定色の色分布をxy色度図上に表した関数のことをいう。これを用いることで、カラー画像からその特定色情報のみを検出することが可能となる。色分布関数は、任意に取り込んだ画像の色標本データから共分散行列を求めることで作成できる。また、色分布関数に汎用性を持たせるため関数自体にガウシアンフィルタを

重畳している。

(1)色分布関数の作成

本研究では、予めいくつかの顔を撮影した画像から肌色部分を抽出し、このデータをもとに肌色の色分布関数を作成する。

(2)カメラ画像の取得

カメラより、利用者の画像を入力する。

(3)類似度マップの作成

(1)で作成した肌色分布関数を(2)の入力画像に適用し、肌色特徴を表す類似度マップを作成する。

(4)顔領域の検出

類似度マップに対して、穴埋め処理等の2値画像処理により、顔の領域を抽出する。

(5)重心座標の検出

(4)で得られた顔領域の重心座標データを求め、次の「カメラ制御」処理へ送る。

3.2 カメラ制御

顔領域検出から得られた顔領域の重心座標データを用いて、特定対象への回転と拡大のためのカメラ制御を行う。その制御法とは、画像内をカバーできる画角を導出し、カメラの回転角と画像座標の関係式を求める。これにより、画像内の座標を指定するだけでその座標に向けてカメラが回転するようになっている。

ここでは、カメラから対象座標までの角度を計算によって導出する。

図5に画像中の対象の中心座標(m, n)とカメラの回転角度の関係を示す。

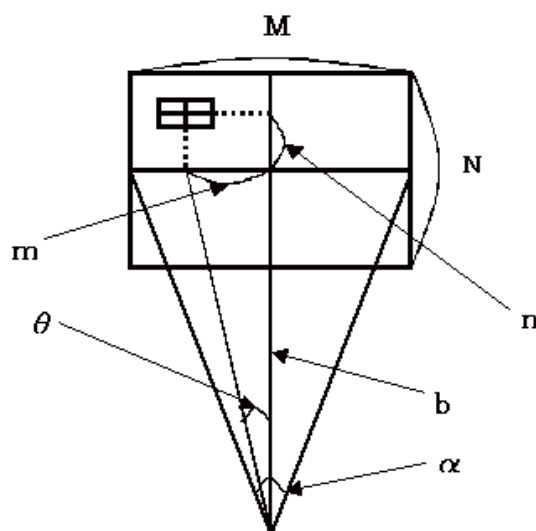


Fig.5 Relation between image and camera parameter.

なお、各パラメータは次の通りである。

M: 画像の横サイズ

N: 画像の縦サイズ

(m, n) : 対象物体の中心の座標

α (β) : 画角

θ : 動いた角度

b : レンズの中心から撮像面までの長さ

図5より式(1), (2)が導かれる. なお, β は縦にカメラが回転する画角で, θ_1 , θ_2 , はそれぞれ横, 縦の実際回転した角度で, b_1 , b_2 は横, 縦のレンズの中心から画像の中心座標までの長さである. 但し, $b_1=b_2=b$ である.

・横方向に m 画素だけ移動するとき

$$b_1 = \frac{M}{2 \tan \frac{\alpha}{2}} \quad \tan^{-1}\left(\frac{m}{b_1}\right) = \theta_1 \quad (1)$$

・縦方向に n 画素だけ移動するとき

$$b_2 = \frac{N}{2 \tan \frac{\beta}{2}} \quad \tan^{-1}\left(\frac{n}{b_2}\right) = \theta_2 \quad (2)$$

これらの式を使用し, 対象の中心座標が分かればカメラが実際に回転する角度が分かる. 本研究のように, 顔とカメラが離れていると, 視線検出をすることは困難であるため, 対象領域への移動・拡大処理を付加する.

以下, カメラの移動・拡大処理などのカメラの制御の手順のフローチャートを図6に示し, 次に説明する.

- ① カメラと通信可能であるか判断する.
- ② 通信可能な場合, カメラの初期設定を行う.

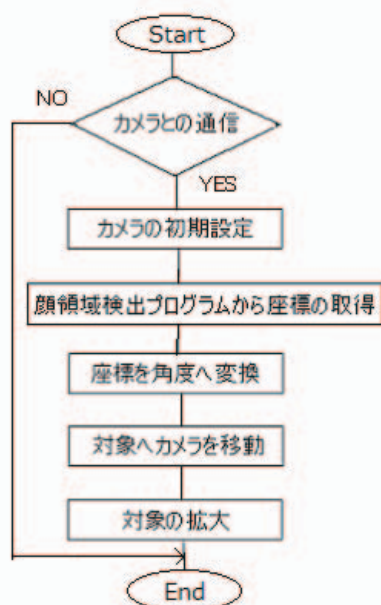


Fig.6 Flowchart of camera control.

③ 顔領域検出プログラムにより, 算出された対象の座標(m, n)を受け取る.

④ 算出された座標(m, n), 画像の横の長さ M, 画像の縦の長さ N, カメラの横の画角 α , カメラの縦の画角 β を角度に変換する式(1), (2)にそれぞれ代入し, 対象の角度を算出する.

⑤ この角度を用いてカメラをパン・チルトし, 対象領域の中心にカメラを移動させる.

⑥ 移動後, 拡大を行う.

⑦ 対象領域を拡大した画像を「視線検出」処理へ渡す.

3.3 視線検出

3.1.1 視線検出方法

このシステムでは利用者への負担・制約を可能な限り減らすため, 頭部を固定せず視線検出を行う. そのため虹彩位置だけを検出しても, 頭部が動くため視線方向を特定することはできない. したがって頭部の動きを検出する必要がある. 頭部の動きを検出するには顔の特徴点を検出し, その移動量で頭部の動きを検出する. また, この特徴点を用い, 特徴点から虹彩(黒目)までの位置で視線方向を特定できると考えた.

図7は顔を正面から見たときの目の領域を表している. 黒の楕円はそれぞれの目のふちを示している. その内部の黒い領域が黒目となる. 楕円を囲む大きな緑の円は, 目頭から目尻までを半径とした目の領域全体を含む円とする. その左右の円の中心座標を平均した座標を特徴点とする. 図7の(0, 0)の緑の点で示している. また左右の黒目を検出した赤い円の中心座標を平均した座標を赤の点とする. この検出した特徴点から黒目の平均座標までの位置で視線方向を特定する.

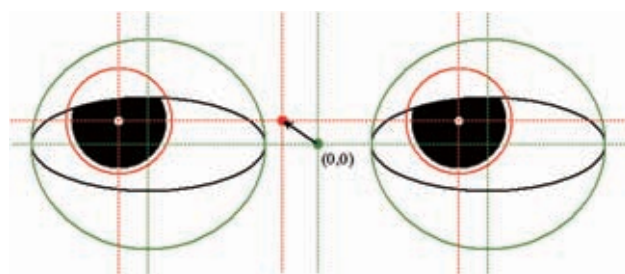


Fig.7 A method of eye-gaze detection.

3.1.2 視線検出プログラム

このシステムでは2値化領域全体を収縮, 膨張させることで黒目を特定するプログラムを作成し利用した. また頭部の微妙な動きに対応するため, 特徴点を検出し, その特徴点からの左右の黒目の座標を平均した点までの距離で視線方向を特定する. 図8に視線検出のフローチャートを示す.

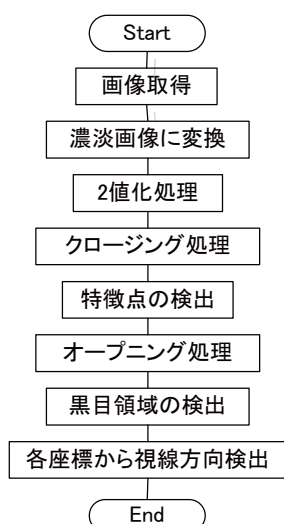


Fig.8 A flowchart of eye-gaze detection.

入力画像（図 9）から視線検出を行った結果が図 10 の画像である．なお，2 つの緑色の大円の中心の平均座標である特徴点を’+’（緑）印とし，また 2 つの赤色の小円の中心の平均座標を’+’（赤）印で示している．この特徴点からの黒目の平均座標までの座標を次のリモコン制御のプログラムに渡し，家電製品を注視しているか判断する．



Fig.9 Input image.

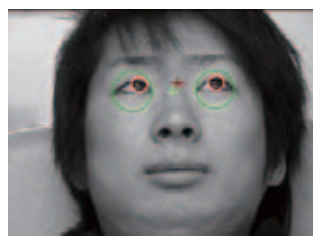


Fig.10 Result of eye-gaze detection.

3.4 リモコン装置

本研究では，学習可能なリモコン（学習リモコンと呼ぶ）を使用し，家電製品に制御信号を送る．この学習リモコンは，制御対象の家電製品に付属されている赤外線リモコンの信号を学習することができるものを使用する．

現在，本システムは，利用者は特定の場所にいることを前提としている．したがって，図 11 のように予備実験で求めた家電製品に対応する注視領域の座標範囲（点 (a, c), (a, d), (b, c), (b, d) に囲まれる長方形領域 ($a < x < b$, $c < y < d$)）を設定する．この領域中に検出した視線座標 (x, y) が一定時間あれば対応したリモコン信号を送るプログラムとなっている．

なお，家電製品を制御するリモコン信号は予め学習し登録しておく．図 12 に作成したリモコン制御プログラムのフローチャートを記す．

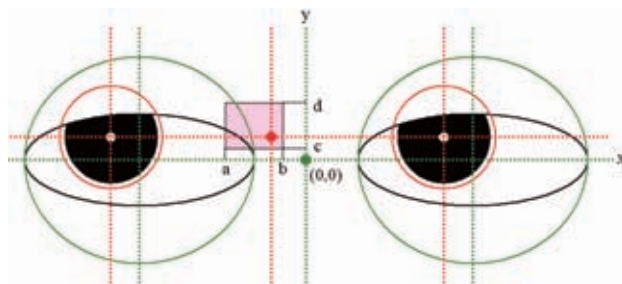


Fig.11 A control range.

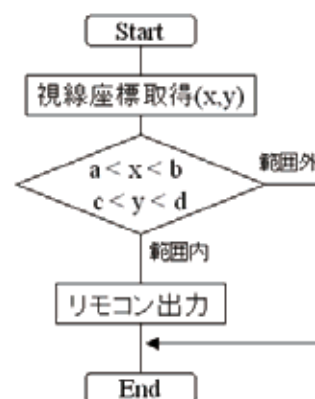


Fig.12 A flowchart.

また，リモコン制御の条件である注視領域の数を増やすことで，操作できるリモコン信号の数を増やすことができる．

4. 実験

4.1 実験装置

実験で使用した装置を説明する．

(1) コンピュータ

システムを統括するコンピュータは，CPU：Intel(R) Pentium(R) D 3.20GHz (2CPUs)，メモリ：RAM 2GB，OS：Microsoft Windows XP Professional，の性能のものを使用した．

(2) カメラ

カメラは，コンピュータからパン・チルト・ズーム等の制御ができるコミュニケーションカメラ VC-C50i (Canon) を用いて，対象を撮影し，視線検出が可能なサイズで顔領域を抽出できるように制御する．カメラとコンピュータの通信は RS-232C を利用している．カメラの仕様を表 1 に，外観を図 13 に示す¹⁰⁾．

Table 1 Specifications of VC-C50i

項目	内容
実用画素数	有効 63 万画素(実効 34 万画素)
フォーカス範囲	0. 01m $\sim\infty$ (W)/1. 6m $\sim\infty$ (T) オート/ マニュアル切替可能
水平画角	42° (W) $\sim$ 1. 7° (T)
パン角度範囲	$\pm 100^\circ$
チルト角度範囲	$-30^\circ \sim +90^\circ$
角速度	パン: 1 $\sim 90^\circ$ /秒, チルト: 1 $\sim 70^\circ$ / 秒
赤外カットフィルタ	電動出し入れ(可視光モード/赤外光 モード切替連動)
カスケード制御	9 台

(3) 画像キャプチャボード

画像のキャプチャボードを使用し、VC-C50i で撮影された画像をコンピュータに取り込むために使用する。今回使用したキャプチャボードはリンクス社の PicPort-Color¹¹⁾ である。キャプチャボードの主な特徴は以下に示す通りである。

- ・ 標準カラー (NTSC/PAL), 標準モノクロ (RS170/CCIR) 入力
- ・ 4 台までのコンポジット, または 3 台のコンポジットと S 入力
- ・ 複数カメラの高速切り替え
- ・ Linux, Windows XP/2000 対応 開発用 C ライブラリ
- ・ HALCON (Linux)¹³⁾ とのインタフェース

(4) リモコン装置

リモコン装置は、図 14 に示す学習リモコン KURO-RS (玄人志向)¹²⁾ を使用し、家電製品に制御信号を送る。この学習リモコンは、パソコンの USB インターフェースに接続し、制御対象のリモコン信号を学習することで、パソコンから対象の家電製品を制御することができる。

(5) プログラム開発

Microsoft Visual C++でシステムのプログラム開発を行う。また顔検出と視線検出の画像処理については画像開発処理ツール HALCON (Linux)^{13), 14)} を利用する。



Fig. 13 VC-C50i.



Fig. 14 Learning Remote Controller.

4.2 実験内容

作成したプログラムを用い、被験者が特定の場所において、対象の家電製品を視線により操作する実験を行った。実際の実験環境が図 15 である。実験では被験者は画像中の椅子に座り、顔を真正面に向けている状態とする。カメラと被験者の距離は約 2. 6 m で、被験者の真正面にカメラを設置する。家電製品としては、リモコンで操作可能なテレビ (TV) を用いる。また、カメラ制御に関するパラメータとして、画像の横の長さ $M=640$ 画素、画像の縦の長さ $N=482$ 画素とし、画角は予備実験によって導出し、横の画角 $\alpha=42^\circ$ 、縦の画角 $\beta=30^\circ$ であった。

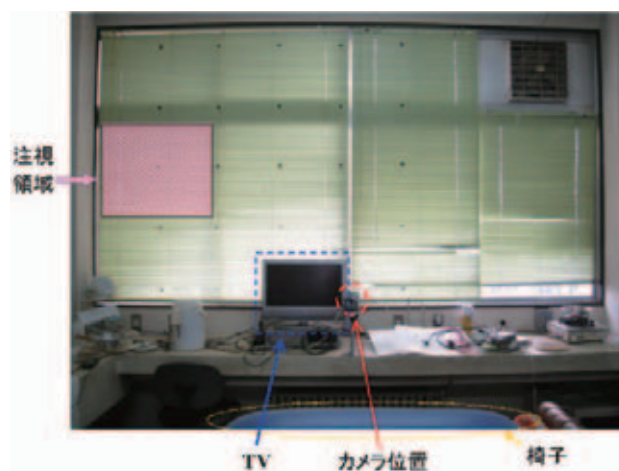


Fig. 15 Experiment environment.

この実験では被験者が椅子に座った状態で、画像中の TV の ON・OFF の操作を行う。しかし、TV は他の家電製品 (エアコンなど) と違い、利用する時にはずっと注視しているものなので、別に ON・OFF に対応する場所を決めておく。その場所は図 15 の画像中の注視領域 (黒枠で示した領域) とし、予備実験から被験者の注視領域における座標範囲を求めておく。実際に予備実験で求めた注視領域における座標範囲は $15.0 < x < 20.0$, $-13.0 < y < -10.0$ であった。この範囲内に一定時間被験者の注視座標があればリモコン制御が行われる。

4.3 実験結果

図 3 のシステム全体のフローチャートの順に処理結果を説明する。まず図 16 がカメラ位置初期化後のカメラ画像である。画像サイズは、 640×482 画素である。図 16 の顔領域検出後の画像が図 17 である。肌色の顔領域が検出されており、重心座標もほぼ顔領域中央に検出されている。その後、カメラ制御 (パン, チルト, ズーム) で拡大した後、視線検出を行った結果画像が図 18 である。画像左上に注視座標が表

示されている。

システムの処理時間は、初期設定（カメラの初期設定、ウィンドウの作成、表示）9.5 秒、顔領域検出 0.01 秒、カメラ制御約 2 秒、一回の画像入力に対する視線検出 0.06～0.08 秒（注視領域に視線検出した座標が一定時間（視線検出 50 回）存在すれば、注視していると判断する）、リモコン制御は 0.01 秒程度であった。

視線検出時のシステムの動作は以下の通りである。

- (1) 視線検出ができなかった場合（瞬きの瞬間を撮影した場合や、顔が動いたことで撮影した画像がぶれてしまう場合、外光の影響で検出できなかった場合など）でも繰り返し視線検出は行われる。
- (2) 被験者が連続で TV の ON・OFF に対応した領域を注視する（検出された注視座標が範囲内である状態が連続する）と、リモコン制御が行われ TV の電源が入る（つまり TV のリモコンの電源ボタンを押した事と同じ）。その後はまた視線検出を繰り返す。
- (3) 被験者が TV を見ている場合や、他の領域を注視している場合、視線検出がされていても、TV の ON・OFF に対応した注視範囲内ではないためリモコン制御は行われず、視線検出を繰り返す。
- (4) 連続して視線検出ができなかった場合（顔を横に向けた場合や、目をずっと閉じた場合、被験者が撮影範囲内から移動してしまった場合など）はプログラムの最初に戻り、カメラの撮影位置は初期化される。

また OFF 動作についても、通常 TV を見ている時は電源の OFF の動作はなく、電源を OFF したい時に、TV の ON・OFF に対応した領域を見ることで、電源が OFF された。これにより、このシステムが正常に動作していることが確認できた。

4.4 考察

実験結果より、被験者の位置に条件はあるものの、対象の家電製品の制御（ON・OFF）を行えることを確認できた。

また、視線検出において、外光の影響で視線検出が不可能な場合があった。これは、外光が明るすぎる場合、画像全体の輝度値が明るくなり、2 値化処理において検出されるべき虹彩や瞼の形状が変化するため、検出されなかったと思われる。また外光が暗すぎる場合、瞼の影が強膜に写り、2 値化処理において、その影が虹彩領域と一緒に検出されることにより、検出領域が大きくなり、黒目と判断されなかったと考えられる。

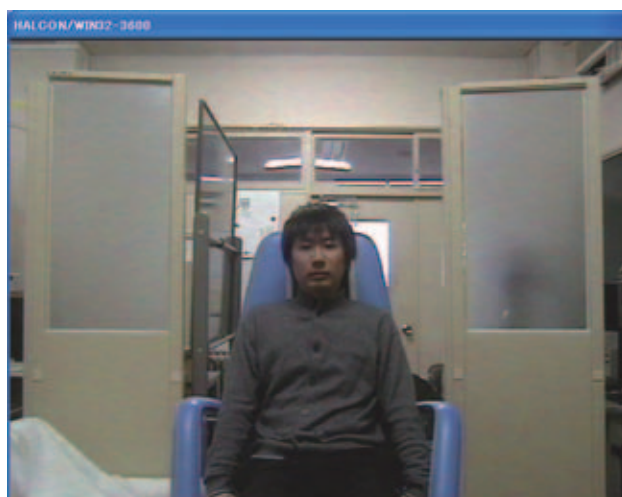


Fig.16 An input image.



Fig.17 Result of detection of face region.

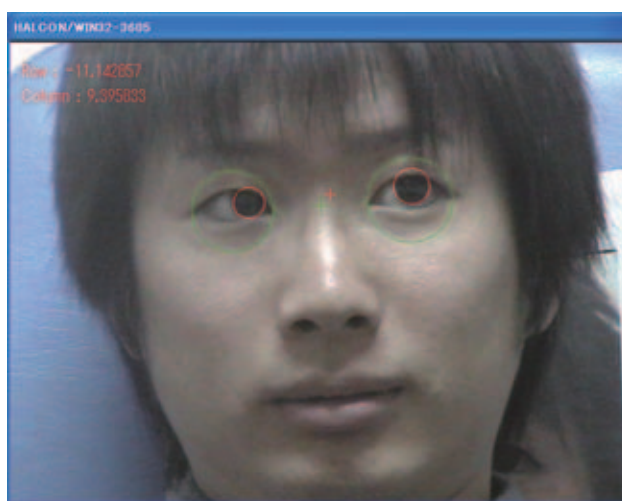


Fig.18 Result of eye-gaze detection.

5. おわりに

本稿では、「顔領域の検出」、「カメラ制御」、「視線検出」、「リモコン制御」の4部分に分けられた、視線インタフェースを用いた家電製品の制御システムについて検討を行うことを目的とした。

「顔領域の検出」においては、色分布関数、類似度マップにより肌色情報を取得し、顔領域を検出した。その結果より「カメラ制御」で、画像とカメラパラメータの関係を求め、本研究で用いているカメラの制御に合わせた、各パラメータを求めた。

「視線検出」においては、画像処理で視線を検出する場合、頭部を固定しない自由状態で視線検出を行えるよう、頭部の動きに対応する特徴点を検出した。そして、その特徴点から虹彩領域の距離で視線を検出する方法を試みた。「リモコン制御」においては制御条件について検討し、本システムを構成した。次に、家電製品としてテレビを用い、システムの動作実験を行った。実験の結果、利用者の位置に条件はあるものの、対象の家電製品の操作(電源ON・OFF)を行えることを確認した。

今後の課題として、視線検出精度の向上が上げられる。また、利用者の位置が大きく変わっても家電製品を制御できるように、カメラから利用者の位置を検出する方法の検討が必要である。

参 考 文 献

- 1) 田中幹也, 岩佐裕治, 水上嘉樹: 四肢障害者用コミュニケーションシステム, 第46回自動制御連合講演会, (2003)1144.
- 2) 阿部清彦, 佐藤寛修, 大山実, 大井尚一: 視線による重度肢体不自由者向けコンピュータ操作支援システム, 映像情報メディア学会誌, 60, 12 (2006) 1971-1979.
- 3) 株式会社ナックイメージテクノロジー: EMR-AT VOXER, http://www.eyemark.jp/product/emr_at/index.html (2008) .
- 4) 大野健彦: 視線を用いたインタフェース, 情報処理, 44, 7 (2003).
- 5) 阿部清彦, 大山実, 大井尚一: 自然光下における画像解析を用いた多指標視線入力システム, 映像情報メディア学会誌, 58, 11 (2004) 1656-1664.
- 6) 青木星也他: 視線を用いたコミュニケーションシステムの構築—顔領域の抽出—, 平成20年度電気・情報関連学会中国支部連合大会講演論文集(2008)425.
- 7) 黒崎正裕他: 視線を用いたコミュニケーションシステムの構築—非接触方式による視線検出—, 平成20年度電気・情報関連学会中国支部連合大会講演論文集(2008)426.
- 8) 井上浩行他: 視線を利用した環境制御装置の開発, 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス'07 講演論文集 (2007).
- 9) 井上浩行他: 視線を利用した生活支援インタフェースに関する研究, 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス'06 講演論文集 1P1-A16 (2006).
- 10) Canon: 製品ラインナップ VC-C50i 製品仕様, <http://cweb.Canon.jp/webview/lineup/vcc50i/spec.html> (2010) .
- 11) 株式会社リンクス: PicPort-Color 性能, http://www.linx.jp/product/image_board/picport_color/index.html (2010).
- 12) 玄人志向: KURO-RS, <http://www.kuroutoshikou.com/modules/display/?iid=928> (2010) .
- 13) 株式会社リンクス: 画像処理ソフトウェア HALCON マシンビジョン構築ツール, <http://www.linx.jp/product/halcon/index.html> (2008) .
- 14) 株式会社リンクス画像システム事業部: HALCON 活用法, 株式会社リンクス出版事業部 (2004).

備前土の焼結の研究(第2報)

三浦和久* 柳沢寛** 岡田輝***

Investigation on the Sintering of the Bizen Soil.2.

Kazuhisa Miura*, Hiroshi Yanazawa** and Teru Okada***

Three kinds of soils used for the Bizen ware were ignited at every 100°C interval of rising temperature up to 1000°C in N₂ atmosphere, and successively each of the soils thus treated was imposed to measurement of the surface area. It was found that the soil, Kurotsuchi, showed the largest decrease in surface area among them, corresponding to the occurrence of remarkable sintering. Choosing the Kurotsuchi as a sample suitable for inspecting the sintering effect, the present authors ignited it at four temperatures from 750 to 820°C for various periods. As a result, (1)the higher the ignition temperature was, the more steadily the decrease in surface area occurred. (2)At 750°C, differently from the cases at other temperatures, the surface area increased strangely in the initial stage of the ignition, began to decrease by way of the maximum, returned to the initial value, and then decreased gradually in the same way as other cases above 780°C. (3)Every declining curve of the surface area except 750°C's can be fitted to the equation of the first order reaction. (4)Above 780°C, the sintering process seems to be composed of the two mechanisms. The activation energy for the first mechanism can be estimated to be 413kJ/mol. Based on this value, the sintering process in Kurotsuchi is discussed briefly.

Key words: Bizen-ware, soil, rate of sintering, surface area, activation energy

1. 緒 言

岡山県の備前焼が多くの人々を魅了し、年々愛好家を増やし続けていることはよく知られている。備前焼に限らず、焼き物の寿命、色合い、キメの細かさは、原料粘土の焼成の際に、粘土内で生じる焼結の程度如何による。著者らはこの焼結現象をここ数年来調べて来た^{1,2)}。備前土の焼結については未だ充分な研究がなされていない^{3,4)}。土というものが混合物である事がその一因かも知れない。著者らは調査の重点を、土の化学的成分よりも、混合物全体としてどのように焼結が進むかという所に置いた。この方が実際に窯内で起きている現象に即しているという理解がベースにある。方法としては、他に例を見ない独特の方法を採った。即ち、還元雰囲気中での

加熱による備前土の表面積減少を追跡した。既に第1報において、極めて初歩的ではあったが興味ある種々の事実を紹介した¹⁾。

本報においては、三種類の原料土の窒素比表面積(比表面積とは1gの粉体が持つ表面積であり、N₂分子の断面積を単分子層の吸着に要したN₂分子の数に乗じて求める)の測定結果を基に、その焼結の程度を評価し、その中で最も焼結進行が顕著な黒土を選び、その焼結の活性化エネルギーを求めた^{5,6)}。

2. 実 験

前報¹⁾で紹介した、代表的な三種類の土を本研究で用いた。すなわち、大物用の田土C、鉄分がやや多い黒土および水簾(スイヒと読む。水簾とは行程を指す言葉である。すなわち冬期に掘り出した田の底の粘土を2~3年風雨に晒し、不純物を腐らす。その後、天日干し、粉碎を経て、水を加えて粘土を溶す。篩で小石や砂、木くずを取り除いて泥漿を沈澱

原稿受付 平成22年7月29日

*一般科目

**MEMS-CORE

***倉敷芸科大学

させ、水分を蒸発させて純粋な粘土を得る。この粘土を本報では水簾と名付けている)である。焼結速度測定を試料は、後述の理由から黒土とした。黒土を N_2 気流中($50cm^3/min$)で、予め設定した時間、所定温度で熱処理を行い、所定時間経過後急冷して、表面状態を凍結し、その後 $-196^\circ C$ で N_2 吸着測定に入った。このとき測定された N_2 吸着等温線に BET 法⁷⁾を適用し、試料の比表面積を求めた。その際に N_2 分子断面積として $0.162nm^2$ を用いた⁸⁾。 N_2 吸着等温線の測定には日本ベル社製の BEL-SORP 吸着装置を用いた。測定は試料を $7Pa$ 以下の真空度に排気後行った。

試料の SEM 観察には SEMEDXIII Type N/H 走査電子顕微鏡を用いた。

3. 結果と考察

Fig.1 に各土試料の熱処理温度による窒素比表面積の変化を示した。 N_2 気流中での各温度における熱処理時間は 5 時間とした。黒土では $600^\circ C$ から、他の二試料では $700^\circ C$ から比表面積が減少し始め、焼結が始まった事がわかる。 $1000^\circ C$ 処理後には比表面積値は殆どゼロになる。これから、黒土の比表面積が他の土のそれらよりも大きく減少するので、以下の実験では黒土の焼結に的を絞ることとした。

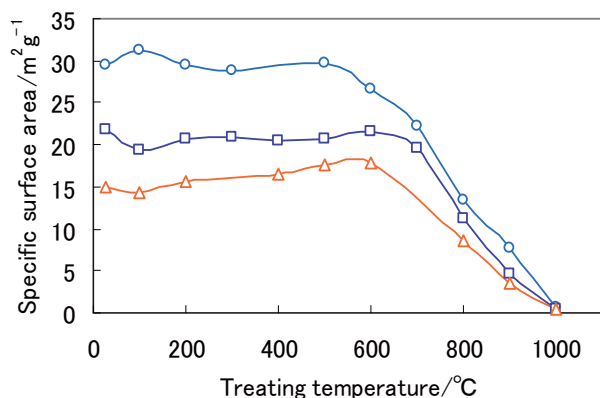


Fig.1 Changes in specific surface area of Bizen soil samples through heat treatment in N_2 atmospheric stream. ○: Kurotsuchi, □: Soil C, △: Suihi.

Fig.2 には、熱処理前後の黒土の SEM イメージを示した。 $1000^\circ C$ 処理後においては、ネック部(粒子と粒子の接触部)の拡大による粒子成長が進んでいる事がわかる。この事実が、先に見た、比表面積値が殆どゼロという事実に対応する。

Fig.3 は、縦軸に比表面積の相対値すなわち未

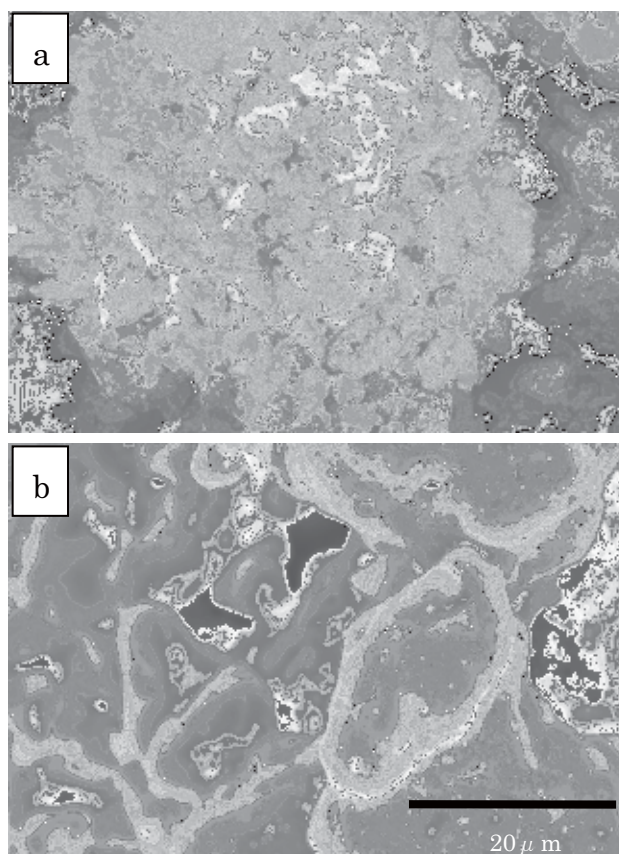


Fig.2 SEM images of Kurotsuchi before and after ignition at $1000^\circ C$. a: before ignition, b: after ignition.

処理黒土の比表面積を 100 として、熱処理後の黒土の比表面積を百分率で表した値を、横軸には処理時間を取ったものである。熱処理温度として Fig.1 の結果を基に、 $750^\circ C$ 、 $780^\circ C$ 、 $800^\circ C$ ならびに $820^\circ C$ の 4 つの温度を選んだ。

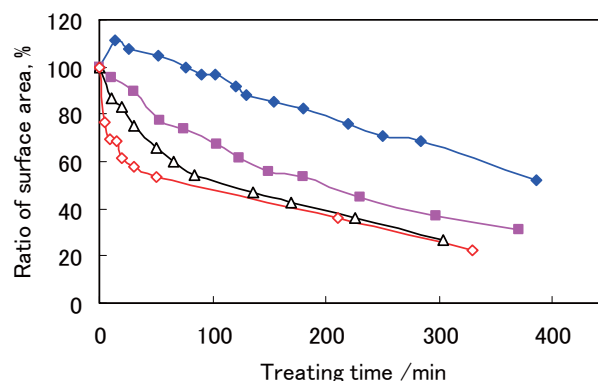


Fig.3 Surface-area change with retention time at the ignition temperature.

◆: $750^\circ C$, ■: $780^\circ C$, △: $800^\circ C$, ◇: $820^\circ C$.

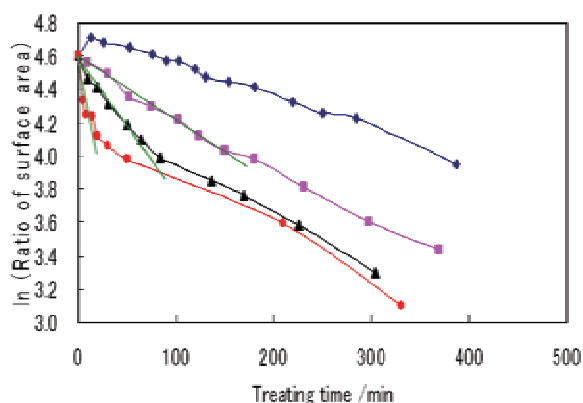
$750^\circ C$ より高温の熱処理では、処理時間が長くなるに従い比表面積は減少して行くが、 $750^\circ C$ では、奇妙な事に、比表面積は初め増加してから、

Table 1 Rate constants, k , for sintering.

Ignition temperature /°C	780	800	820
Rate constant, k /s ⁻¹	3.81×10^{-3}	7.49×10^{-3}	2.20×10^{-2}

漸減している。この理由を調べるべく、未処理黒土、熱処理済み黒土の両者を X 線回折によって調べた。その結果、未処理の黒土に含まれている層状化合物(面間隔 1.45nm)が 750°C で 13 分間熱処理することで、消失している事が分かった。さらに同温度で長時間加熱してもパターン上では大きな変化は認められなかった。従って、層状化合物の分解が比表面積増加の原因と考えられる。

ここで、Fig.3 のグラフ上の測定値の精度について言及する。各測定点に対応するいずれの採取試料においても、先ず未処理状態での黒土の比表面積を測定し、その後、所定温度で所定時間の熱処理を施し、比表面積を測定して比表面積の相対値を計算している。約 50 回の未処理黒土の比表面積測定から、標準偏差として ±2.4% 程のばらつきを確認した。


Fig.4 Relationship between logarithms of the ratio of surface-area and length of ignition time.

◆: 750°C, ■: 780°C, ▲: 800°C, ◆: 820°C.

さて、焼結は主としてイオン空孔が固体内拡散し、消滅することによって生じると言われているので⁹⁾、著者らは、Fig.3 に示す変化が一次反応と同様に取り扱えらと考えた。ここでの縦軸は焼結進行の程度を相対値で表したものであるから、直ちに Fig.4 の関係を得ることができる。

Fig.4 は、縦軸に面積相対値の対数を、横軸に熱処理時間を取ったもので、次の一次反応速度式(1)に当てはまると考えている。

$$-k t = \ln \left(\frac{a-x}{a} \right) \quad (1)$$

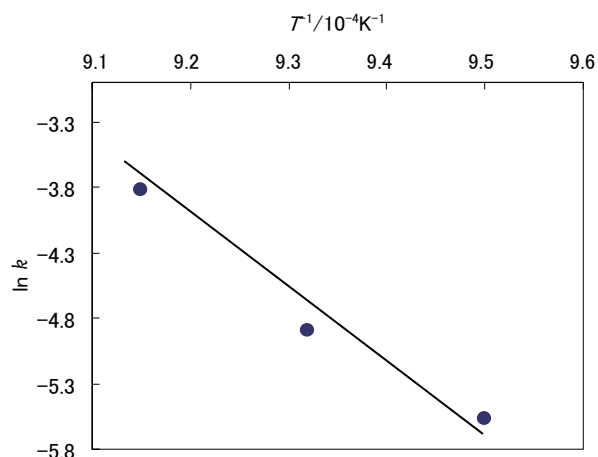
ここで、 k は速度定数、 t は熱処理時間、 a は未

処理黒土の比表面積、 x が焼結による面積減少分で、 $a-x$ は熱処理後の黒土の比表面積である。明らかに、750°C 処理を除き、いずれの焼結速度曲線も二本の直線から成っているようである。図中には始めに起きる方の焼結の速度定数を求めるため、直線を挿入した。後半に起きる焼結に対してもほぼ直線関係が見受けられる。780~820°C での焼結速度がこの様に二本の直線関係で表されるという事実は、黒土の焼結が二段階で進行している事を示唆する。初めの焼結は速く進み、二段目の焼結は緩慢である事が、Fig.4 から直ちに分かる。初めの直線部分から求めた速度定数を Table1 に示す。

これらの値を次のアーレニウスの式

$$k = A \exp(-E^*/RT) \quad (2)$$

に代入して、Fig.5 に示す良い直線関係を得た。(2)式において、 E^* は、これから求めようとする焼結の活性化エネルギー、 R は気体定数、 T は焼結温度、 A は比例定数である。


Fig.5 Arrhenius plot

温度域 780~820°C の範囲で、焼結の活性化エネルギーは 413 kJ/mol と算出された。

Table 2 に黒土の 1000°C 熱処理前後の元素分析結果を示す。これによると黒土には他の土よりも炭素が多く含まれているものの、熱処理後はすべて二酸化炭素として散逸したと思われる¹⁾。熱処理後の黒土のデータから、二酸化ケイ素と酸化アルミニ

Table 2 The results of elementary analysis on both Kurotsuchi and Kurotsuchi treated at 1000°C.

Soil	Number of samples	Elementary analysis /atomic %									
		C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ti	Fe	Ca
Kurotsuchi	3	13.93	63.41	nil	0.43	8.88	12.01	0.23	nil	1.12	nil
Kurotsuchi treated at 1000°C	5	nil	55.64	0.86	0.7	9.61	28.52	1.16	0.22	2.91	0.2

ウム(両者は粘土に見られる一般的な成分)が殆どであると考えて、二酸化ケイ素の質量百分率を求めると 85%であると分かった。一般に流紋岩の成分の 70%以上は二酸化ケイ素(石英など)であると言われている。黒土も Si^{4+} と O^{2-} とから成るイオン性粉体であると考えて良いだろう。その様な土粉体が焼結する際の活性化過程とはどのようなものなのか、以下に文献⁹⁾などを参考にして考察した。

相互に接触している粘土の微粒子を加熱すると接触部で、イオンの拡散が起こり、所謂ネックが形成され始める。このネックは、表面拡散や蒸発・凝着あるいはバルク内のイオン(観点を変えればイオン空孔)の拡散などによって拡大する。例えば、石英結晶の(110)面内にある Si^{4+} が同じ面内に隣接する空格子点に向かって[110]方向に拡散するとき、既存の O^{2-} とのイオン結合を切断しなければならない。この切断がイオン拡散の際の最も大きなエネルギー障壁であると考えられる。著者らは、その大きさを Born-Haber サイクルで見積もった上で、本研究で実測した活性化エネルギーと比較検討しようと試みたが、現在得られている文献上の実測データが不十分なため、算出できなかった。二段階の焼結の中で最初に起きる焼結はこの様なイオン(あるいはイオン空孔)が粘土バルク内を拡散することによって進行するものであろう。

これに引き続いて起きる焼結に関しては、データの不足で活性化エネルギーが計算できないが、恐らく結晶粒界が消滅して行く、いわゆる空洞収縮が起きていると推測される。

4. 結 論

装置の耐久温度という制限によって、実際の備前焼の温度約 1260°C までの実験はできなかったが、780~820°C の温度域で、重要な原料土の一つである黒土の焼結の活性化エネルギーを決定することができた。その活性化エネルギーは、イオン空孔が土内部を拡散し、ネック部が増大して行くときに要するものであると思われる。

今後に残された試みとしては、熱処理時間を変え

た土試料の SEM 観察を系統的に行って、焼結がネックの拡大から空洞収縮に移行していく状況を観察すること、ならびに空洞収縮の活性化エネルギーを評価することが挙げられよう。この方面での研究の進展を期待したい。

最後に、これからの研究が期待するような方向に進めば、その成果は、現在、備前焼の窯元で行われている古くからの伝承に則った製法に一石を投じるものと期待している。

謝 辞

電子顕微鏡観察および元素分析において、本校の教育研究支援センターの西彰矩氏に多大のご助力を賜った。

また、土試料の X 線回折において、岡山理科大学理学部化学科の森重国光教授に多大のご協力をいただいた。

ここに、両氏に、心から謝意を表したい。

参 考 文 献

- 1) 三浦和久, 柳沢寛, 岡田輝: 備前土の焼結の研究(第 1 報), 津山工業高等専門学校紀要, 50,(2008)31-35
- 2) 三浦和久, 柳沢寛, 岡田輝: 備前土の表面化学的研究, 第 13 回高専シンポジウム in 久留米, (2008)60
- 3) 土井章, 坂本尚史, 堤貞夫, 大塚良平, 加藤忠藏: 備前焼粘土の熱特性、日本化学会誌、(1979)71-75
- 4) K.Numoto, H.Yoshimatsu, T.Yabuki, K.Fujiwara, E.Fujii, M.Yamaguchi, T.Chiba: Study of cracks generated in drying and sintering processes of Bizen-yaki pottery., 岡山県工業技術センター報告(2002), 28, (Volume Date 2001) 76-78
- 5) 三浦和久, 柳沢寛, 岡田輝: 備前土の表面化学的研究(その 2)焼結速度の測定, 第 15 回高専シンポジウム in いわき, (2010)40
- 6) 三浦和久, 柳沢寛, 岡田輝: 備前土の焼結, 2010 年日本化学会西日本大会講演要旨集, (2010)69
- 7) S.Brunauer, P.H.Emmett, E.Teller: Adsorption of Gases in multimolecular layers., J.Am.Chem.Soc., 60,(1938)

309-319

- 8) I.M.K.Ismail: Cross-sectional areas of adsorbed N_2 , Ar, Kr and O_2 on carbons and fumed silicas at liquid nitrogen temperature., *Langmuir*, 8,(1992) 360-365
- 9) 久保輝一郎, 水渡英二, 中川有三, 早川宗八郎: 粉体(理論と応用), 丸善, (1968)278

Influence of Repetition of High-Temperature Treatment of H₂O₂-Treated Graphite on Adsorption of N₂

Kazuhisa Miura* and Hiroshi Yanazawa**

Sri Lankan natural graphite previously oxidized in H₂O₂ aq.soln. was heated under a current of 1 atm N₂ at 1273K repeatedly, and was measured volumetrically for its adsorption isotherm of N₂ at 77K after each heat treatment. It was found that every isotherm was of Type II with a distinct step around a relative pressure of 0.3, and that the oftener the graphite was subjected to the heat treatment, the less the amount of N₂ adsorbed grew, and the more remarkable such a step became as well. The mesopore size distribution with Cranston – Inkley method showed that such repetition made the pores shallower. In the extreme case of the 6th treatment, the pores with radii between 1.7~ 2.0nm were almost removed, to be roughly divided into two kinds: smaller ones with a peak radius of 1.21nm and larger ones with that of 2.38nm. And besides, the t-plots for the samples demonstrated that the percentage of micropores in the surface grew larger through the repetitive heat treatment at 1273K.

Key words: Natural graphite, N₂Adsorption, H₂O₂ liquid phase oxidation, repetition of heat treatment, porosity.

1. Introduction

There are two vital factors in the adsorption of gases onto graphite: One is the presence of various kinds of functional groups ¹⁻³⁾. They are reported to attract such a polar molecule as water through hydrogen bond ⁴⁻⁶⁾. The other is the existence of pores. When the peripheries of some neighboring basal planes are secluded together, there occurs a slit-shaped pore with width several times as wide as the interlayer distance, 0.34nm^{7,8)}. Not only polar molecules but also an inactive molecule like N₂ or Ar is thought to easily adsorb into such pores ⁹⁻¹²⁾

In the present investigation, such natural graphite as dealt so far ^{6-8,12)} was first oxidized in the H₂O₂ aqueous solution. Subsequently to the oxidation, the graphite was subjected to the heat treatment at 1273K several times repetitively. The N₂ adsorption isotherm was

measured after each heat treatment: A distinct step always appeared around a relative pressure of 0.3 on every adsorption isotherm. It was also found that the repetition of heating at 1273K made both the adsorbed amount of N₂ smaller and the step more prominent. Of the above-mentioned vital two factors, the porosity was found more effective to the adsorption of N₂ in the present case. Now, the present authors will describe and discuss the effect of repetition of the heat treatment on the basis of the change in shape of the adsorption isotherm and the porosity of the sample.

2. Experimental

The original graphite, from Sri Lanka, is labeled G25 hereinafter in the same way as before^{7,8,13)}, which is supplied as Graphite ACP (purity:99.5%, ash: 0.5%, particle size:1~ 30 μ m, suited to high quality small brushes, core leads, and conductive paints) from Nippon Kokuen Co. The H₂O₂ treatment was carried

Received Jul.29 2010

*Department of General Education

** MEMS-CORE Co., Ltd.

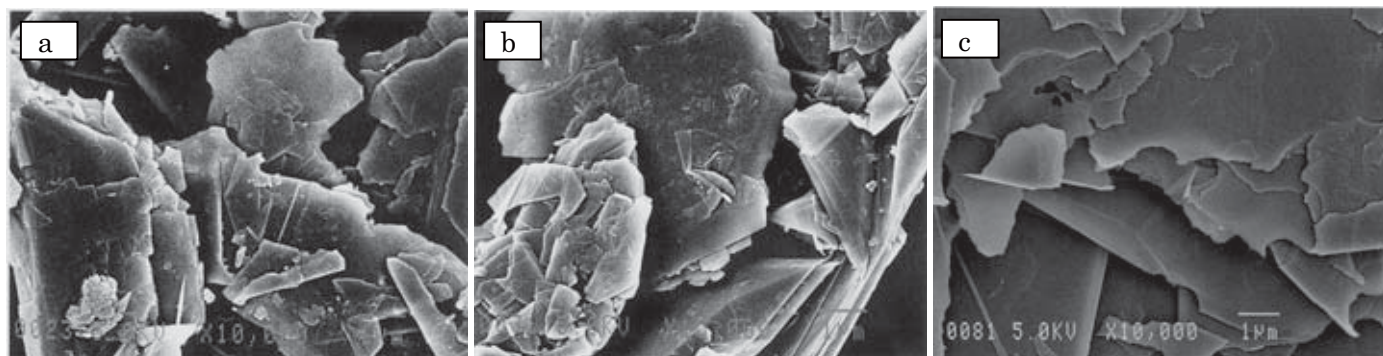


Fig.1 SEM images of graphite samples. a:G25, b:HPG25, c:HPG1000-6.

1 μ m

out in the following way: G25 was first treated at 3073K in dry N_2 atmosphere for an hour, and then it was exposed to H_2 at 1atm at 1273K for an hour. The graphite obtained at this stage had been labeled HYG25 and used as a sample in the previous work¹⁴⁾. After cooling, HYG25 was further oxidized in 31% H_2O_2 aqueous solution at 372K for an hour, to be filtered, dried at room temperature, and then stored in a silica gel desiccator. The graphite thus oxidized and stored is labeled HPG25 hereinafter. HPG25 was heated at 1273K under a current of 1atm N_2 at a flow rate of $50\text{cm}^3/\text{min}$. This graphite sample was labeled HPG1000-1, and then measured for its adsorption isotherms of N_2 at 77K. After that, a set of both 1273K-heating and measurement of N_2 adsorption was carried out several times. In this report, the sample labeled HPG1000- M stands for the sample that has experienced such a heat treatment M times by then.

The adsorption isotherms were measured automatically using BEL-SORP adsorption apparatus. In the calculation of BET surface area, the cross-sectional area of N_2 at 77K is assumed¹⁵⁾ to be 0.162nm^2 .

The gas expelled in heating HPG25 from room temperature to 1273K was analyzed quantitatively by gas chromatography and also alternately using two traps, one at 77K and the other at 195K¹⁶⁾. From among the various gases expelled, the present authors focused H_2O and CO_2 for the reasons given below.

The SEM observation was carried out using JEOL JSM-890 electron microscope, the operating voltage being 5kV.

3. Results and Discussion

SEM images of graphite samples The original graphite is powdery, and it looks like very small pieces formed in clipping off a lead of a pencil. Exactly this graphite has been used as mentioned in the experimental section.

As shown clearly in Fig. 1, little difference between G25 and HPG25 is observed, which demonstrates that the H_2O_2 oxidation scarcely affected the morphology of the graphite. Moreover, the prism planes of HPG1000-6 appear much eroded: A prominent difference is found in appearance between HPG25 and HPG1000-6. Actually, the graphite sample that experienced the heating at 1273K six times glitters in the light.

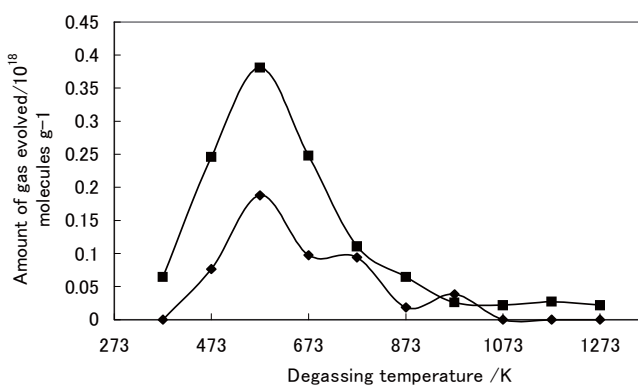


Fig.2 Amounts of H_2O and CO_2 evolved at intervals of 100K from HPG25 subjected to heating: ●: H_2O , ○: CO_2 .

H_2O - and CO_2 -producing surface functional groups

Figure 2 shows the temperature dependence of the amounts of H_2O and CO_2 expelled from HPG25 when it was heated for 5 h at every 100K interval of rising temperature. The liberation of those gases is a result of thermal decomposition of carboxyl, lactone, and hydroxyl groups. These functional groups are comparatively large in size and project out from the hexagonal carbon skeleton. They

probably play an important role in the formation of the slit-shaped pores in the graphite⁸). Clearly in Fig. 2, the total amount of H₂O was larger than that of CO₂, i.e., 1.21×10^{18} and 5.13×10^{17} molecules/g for H₂O and CO₂, respectively. (Both amounts were much larger compared to those expelled from HYG25, i.e., 4.34×10^{17} and 7.64×10^{16} molecules/g for H₂O and CO₂ respectively¹⁴), which means the oxidation using H₂O₂ showed the effect of increasing such functional groups.)

Adsorption isotherms of graphite samples

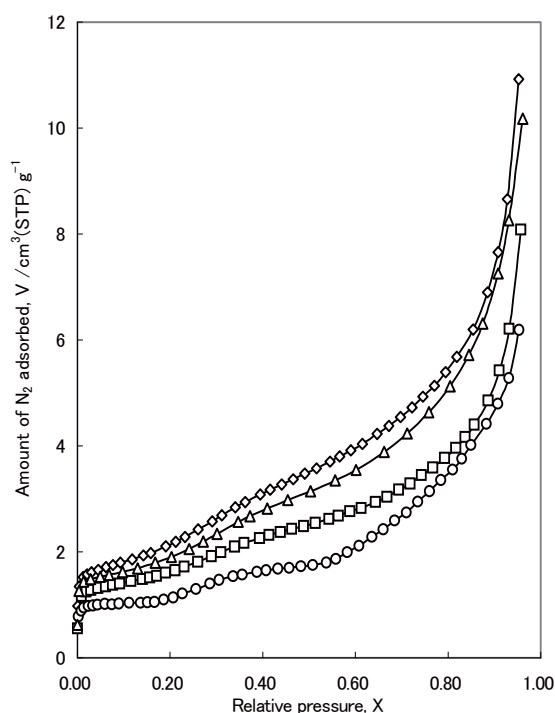


Fig.3 Adsorption isotherms of N₂ at 77K.

◇:HPG1000-1, △:HPG25,
□:HPG1000-3, ○:HPG1000-6.

As can be seen in Fig. 3, the adsorption isotherm for HPG1000-1 lay slightly above that for HPG25: the first treatment at 1273K increased the amount of N₂ adsorbed on the graphite sample. The pyrolysis of the surface functional groups probably raised the adsorption capacity, as observed previously⁷). It is very surprising, however, that the adsorbed amount decreased with repetition of the heating: The shape of the adsorption isotherm on HPG1000-1 differed considerably from that on HPG1000-6.

The step appeared around the relative pressure of 0.3 on every isotherm. It probably ascribes to the formation of the 2nd adsorption

layer⁸). Its shape became clearer through repetition of the heat treatment. Especially, the isotherm on HPG1000-6 in the initial part up to X=0.2 was very similar in shape to a Langmuir type, and then the adsorbed amount increased gradually after that pressure: The sample HPG1000-6 gave a unique stepwise adsorption isotherm of N₂.

The repetition of the heat treatment gradually turned the shape of an adsorption isotherm sigmoidal in this way. This fact suggests promotion of the surface homogeneity¹⁷). On the HPG1000-6 surface, especially, two kinds of sites seem to exist dominantly, which will be mentioned again concerning its pore size distribution.

According to Fig.4, we can see, on every isotherm, both beginning of the adsorption and steep rise in the adsorbed amount about X=0.2. At the beginning of the adsorption, N₂ molecules preferably occupy the active sites. It is found, in this sense, that the surface of HYG1000-1 was more active than that of HYG25. And moreover, the repetition of the heat treatment gradually made the surface more resistant to adsorption.

Every BET plot broke and bent downward

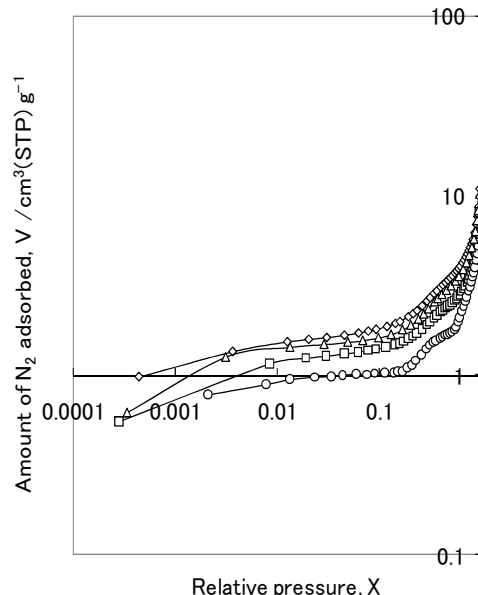


Fig.4 Adsorption isotherms of N₂ at 77K, drawn in logarithmic scale. ◇:HPG1000-1, △:HPG25, □:HPG1000-3, ○:HPG1000-6.

near X=0.2. At that pressure, the amount of N₂ adsorbed on every sample increased very steeply as shown in Fig.4. This kind of feature

Table 1 Parameters calculated from both adsorption isotherms and pore size distribution (pores < 30 nm diameter).

Sample	$V_m/\text{ml g}^{-1}$	$\Sigma/\text{m}^2\text{g}^{-1}$	V_{step}/V_m	$V_p/\text{mm}^3\text{g}^{-1}$	$A_p/\text{m}^2\text{g}^{-1}$
HPG25	1.497	6.51	1.81	15.432	7.59
HPG1000-1	1.702	7.45	1.80	15.642	8.59
HPG1000-3	1.288	5.60	1.81	12.117	5.61
HPG1000-6	0.923	4.02	1.83	9.571	3.85

has not yet been explained so far though it has usually been found in the N_2 adsorption on graphitized carbonaceous materials. The present authors adopted the BET theory to the data obtained below $X=0.2^8$). The surface area thus calculated decreased gradually with repetition of the heat treatment, as expected from change in shape of the adsorption isotherm. In Table 1, the values for the monolayer capacity, V_m , and the surface area, Σ , are given.

Steps in adsorption isotherms There appeared a step around $X=0.3\sim 0.4$ in each adsorption isotherm, as mentioned just above. The amount of N_2 adsorbed at the end of such step, V_{step} , was divided by V_m and the quotient V_{step}/V_m for each sample is also listed in Table 1. Values of this kind have not exceeded 2.05^8) until now. This fact strongly suggests that the step corresponds to the formation of the 2nd adsorption layer. These values in the present case are almost equal to 1.8. It is very interesting that the surface area decreased considerably, though the ratio of V_{step}/V_m is kept almost constant among all the samples. This fact means that the roughness of HPG25 surface did not change in a scale of N_2 molecular size in spite of heating at 1273K repetitively. This also means that N_2 molecules forms the 2nd layer onto the 1st one all the same way on every sample. As shown in Fig.2, the surface functional groups on HPG25 to evolve H_2O or CO_2 were small in number by nature. Therefore the prism plane is probably flat on either HPG25 or even HPG1000 series. The constancy in the quotient of V_{step}/V_m does not contradict such inherent, small amounts of the surface functional groups.

Reduced isotherms Figure 5 is the reduced isotherm, where the surface coverage θ is expressed as a function of the relative pressure

X . These isotherms are found slightly different from sample to sample: Each sample exactly has a different interaction with adsorbed N_2 molecules, e.g., the value of θ on HPG1000-6 near $X=0$ being clearly larger than

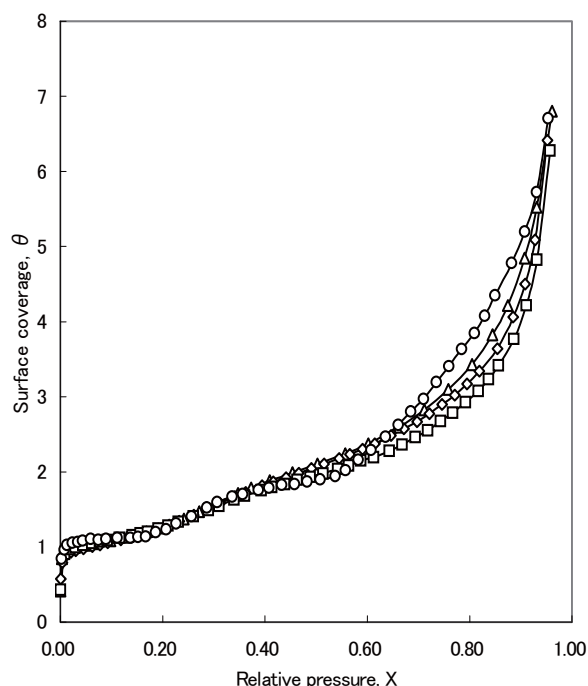


Fig.5 Reduced adsorption isotherms of N_2 at 77K. $\diamond$:HPG1000-1, $\triangle$:HPG25, $\square$:HPG1000-3, $\circ$:HPG1000-6.

that on HPG1000-1. Furthermore, over the region up to $X=0.17$, the θ value on HPG1000-6 lies above that on HPG1000-1. The isotherm for HPG1000-6 vertically rises to $\theta=1$ at $X=0$. And afterwards it is almost parallel with the abscissa of X until X reaches 0.2: Little adsorption occurs during that pressure region. Shortly after the relative pressure of 0.2, N_2 molecules a little suddenly begins to adsorb on or near the preadsorbed N_2 molecules, i.e., the appearance of the step around $X=0.3$, and accomplishes the 2nd adsorption layer.

In going into details, we can perceive the facts mentioned above. Taking a broad view of

the

reduced isotherms, however, we can find coincidence among the isotherms until $\theta = 3$. This suggests that the adsorption proceeds almost in the same way until completion of the 3rd layer on every sample: We can infer that the repetitive heating at 1273K did not bring about a big change in the adsorption energy.

Mesopore size distributions of samples Here, we must reconfirm that the pore present on the graphite is of a slit-shaped one: The C atoms

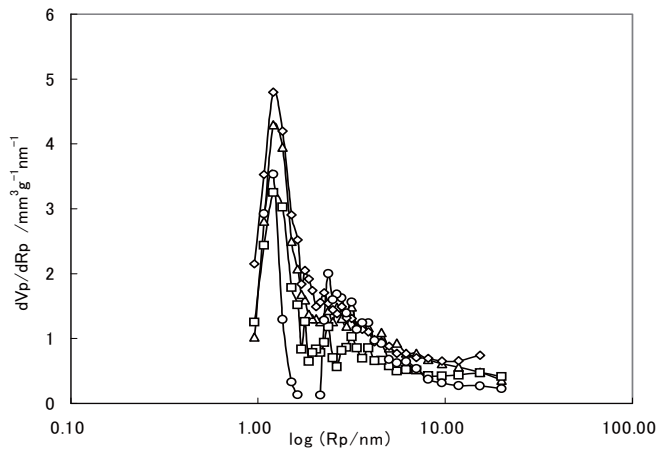


Fig.6 Distribution of pores present on graphite samples. $\diamond$:HPG1000-1, $\triangle$:HPG25, $\square$:HPG1000-3, $\circ$:HPG1000-6.

present on the peripheries of basal planes are so bumpy in themselves that there will inevitably be formed slit-shaped pores with its width nearly equal to the distance between two adjacent basal planes, 0.34nm. When several, neighboring sheets of basal planes are located together in secluded position, there will occur a slit-pore with its width much wider than 0.34nm. The pore size distribution of these graphite samples is given as Fig.6. The distribution curves were calculated by the classical Cranston–Inkley method¹⁸⁾. All the parameters calculated from the mesopore size distribution are listed in Table 1, which also includes the monolayer capacity V_m and the specific surface area Σ evaluated by the BET method and the value of V_{step} that was obtained from the isotherms using a similar method of Point B⁸⁾. The V_{step} can be considered to correspond to the amount of N₂ adsorbed at the completion of the 2nd layer.

Now, it can be found that the pores developed after the 1st heat treatment at

1273K. With repetition of heating at 1273K, however, the pore volumes became smaller gradually, as given in Table 1. At last, on HPG1000-6, the pores with a radius of 1.7~2.0nm extinguished: Two peaks apparently remained on HPG1000-6, one being 1.21nm and another 2.38nm, though the distribution curves on all the other samples gave the highest peak at radius of 1.21nm alone. On the basis of such a change as observed in Fig. 5, it can be inferred that the repetitive heating at 1273K made pores shallower than before.

It is unlikely that the decrease in pore volume stems from shortening the length of the slit. If such a shortening were the case, the particle size of the graphite crystallites would become smaller that much more, and as a result, the specific surface area would be larger. As shown in Table I, however, the specific surface area actually decreased with the repetition of the heat treatment. Eventually, the decrease in depth of slit means that the surface becomes flatter than before, which is also evidence for promotion of surface homogeneity.

t-plot The information concerning the microporosity will be obtained from the t-plots given as Fig.7. For the calculations, a master

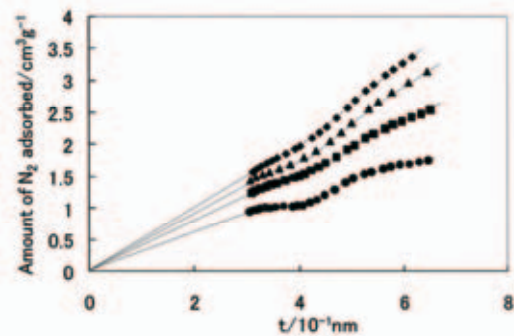


Fig.7 t-plot of N₂ on graphite samples. $\diamond$:HPG1000-1, $\triangle$:HPG25, $\square$:HPG1000-3, $\bullet$:HPG1000-6.

t-curve proposed by Smith and Kasten was used¹⁹⁾. It is very interesting that the plot shapes are different from those reported in the previous work^{8,12)} in that the slope of the 2nd straight line is smaller than that of the 1st line drawn from the origin to about $t=0.33$ nm. The external surface area of each sample can be estimated from the slope of its 2nd line. Table 2 lists the data calculated from these

Table 2 Parameters calculated from t-plot.

sample	Σ (BET) /m ² g ⁻¹	Σ (t) /m ² g ⁻¹	External Area /m ² g ⁻¹	Pore* Area /m ² g ⁻¹	Ratio of pore Area /%
HPG25	6.51	7.37	3.90	3.476.51	47.1
HPG1000-1	7.40	8.10	5.89	2.21	27.3
HPG1000-3	5.60	6.44	2.98	3.46	53.7
HPG1000-6	4.02	4.79	1.09	3.70	77.2

t-plots, where $\Sigma(t)$ is the total surface area estimated from the slope of the 1st line, the external area being obtained from that of the 2nd line. The present authors define “the pore area” as the difference between the above two. The ratio of the pore area is obtained through dividing the pore area by the total surface area.

Each 1st line breaks about $t=0.33\text{nm}$. Here, we notice that the interlayer distance in graphite is 0.34nm . Hence, the area in the smallest slit increases in its ratio to the total surface with increasing cycles of heating. As mentioned above, the wider slits are considered to have decayed gradually by repetitive heating and have become shallower, which probably results in the prevalence of micropores with radii less than about 7nm . Eventually, there has occurred the enhancement of surface homogeneity.

Model of N₂ adsorption into pores Graphite, as mentioned above, has two kinds of surface planes, i.e., prism plane and basal one. The pores are of slit-shaped ones and present on the prism plane. As shown clearly in Figs. 6 and 7, the porosity actually changed from sample to sample.

As demonstrated in Table 1, the values for the cumulative surface area A_p , which is estimated from the cumulative pore volume V_p , are nearly same as those for the specific surface area from BET method Σ , and besides, all the ratios of V_{step}/V_m stay almost the same. These facts strongly suggest that the adsorption over the middle range of pressure mainly occurs on the prism plane. Then, we can understand the process of N₂ adsorption onto the HPG samples in the following way.

N₂ molecules begin to adsorb in the slit-shaped pores to build the first layer. At the completion of monolayer, the micropores with 0.34nm wide will be filled with the adsorbed N₂

molecules, while the pores with radii larger than 1.21nm are not filled. In those mesopores, the 2nd layer will be formed above the 1st layer. At the completion of the 2nd layer, all the mesopores with radii below 1.21nm are filled with N₂ molecules: the 3rd layer will never be formed in this kind of pores. At this stage, the stacking condition of N₂ molecules adsorbed in the 2nd layer is similar to that in the 1st layer, because the slit-shaped pores are comparatively shallow. With a higher pressure region, especially, above $X=0.58$, all the pores with radii below 2.38nm are completely filled with N₂ molecules. The subsequent adsorption will proceed both into the pores with radii greater than 2.38nm and on the basal planes.

4. Conclusion

The amount of N₂ adsorbed increased over whole pressure range just after the first heating treatment at 1273K . Through repetition of the same treatment, the adsorbed amount declined gradually to about half of the amount on HPG1000-1. And at the same time, the step became more prominent: The 6th treatments made the isotherm of a Langmuir-type in shape during the region where X was less than 0.2 , to eventually give HPG1000-6 an adsorption isotherm with a clear step as a whole.

According to the pore size distribution for these graphite samples, we can conclude that the repetition of heating at 1273K made the prism plane gradually flatter as well as more homogeneous than before. It was also found that the adsorption of N₂ over the middle pressure range occurs mainly onto the slit-shaped pores on the prism plane.

Acknowledgement

The authors would like to thank Prof. Kunimitsu Morishige of the Okayama University of Science for his help with the electron microscopy experiments.

References

- 1) Boehm, H.P., Diehl, E., Heck, W., Sappok, R.: Oberflächenoxyde des Kohlenstoffs. *Angew. Chem.* 76, 742-751 (1964)
- 2) Barton, S.S., Harrison, B.H.: Acidic surface oxide structures on carbon and graphite—I. *Carbon* 13, 283-288 (1975)
- 3) Tremblay, G., Vastola, F.J., Walker, Jr., P.L.: Thermal desorption analysis of oxygen surface complexes on carbon. *Carbon* 16, 35-39 (1978)
- 4) Walker, Jr., P.L., Janov, J.: Hydrophilic oxygen complexes on activated Graphon. *J. Colloid Interface Sci.* 28, 449-458 (1968)
- 5) Stoeckli, H.F., Kraehenbuehl, F., Morel, D.: The adsorption of water by active carbons, in relation to the enthalpy of immersion. *Carbon* 21, 589-591 (1983)
- 6) Miura, K., Morimoto, T.: Adsorption sites for water on graphite. 3. Effect of oxidation treatment of sample. *Langmuir* 2, 824-828 (1986)
- 7) Miura, K., Morimoto, T.: Adsorption sites for water on graphite. Chemisorption of water on graphite at room temperature. *Langmuir* 4, 1283-1288 (1988)
- 8) Miura, K., Yanazawa, H.: Anomalies in standard gas adsorption isotherms of N₂ and Ar on graphite at 77K. *Carbon* 41, 151-156 (2003)
- 9) Salinas-Martinez de Lecea, C., Linares-Solano, A., Lopez-Gonzalez, J.de.D., Rodriguez-Reinoso, F.: Development of porosity and surface heterogeneity upon air activation of graphitized carbon black. *Carbon* 19, 65-70 (1981)
- 10) Kurk, M., Li, Z., Jaroniec, M.: Nitrogen adsorption study of surface properties of graphitized carbon blacks. *Langmuir* 15, 1435-1441 (1999)
- 11) Do, D.D., Do, H.D.: Adsorption of argon on homogeneous graphitized thermal carbon black and heterogeneous carbon surface. *J. Colloid Interface Sci.* 287, 452-460 (2005)
- 12) Miura, K., Yanazawa, H., Nakai, K.: The effect of burn-off on the adsorption of N₂ and Ar on a natural graphite. *Adsorption* 13, 139-147 (2007)
- 13) Miura, K., Morimoto, T.: Adsorption sites for water on graphite. 6. Effect of ozone treatment of sample. *Langmuir* 10, 807-811 (1994)
- 14) Miura, K., Morimoto, T.: Adsorption sites for water on graphite. 5. Effect of hydrogen treatment of graphite. *Langmuir* 7, 374-379 (1991)
- 15) Brunauer, S., Emmett, P.H., Teller, E.: Adsorption of gases in multimolecular layers. *J. Am. Chem. Soc.* 60, 309-319 (1938)
- 16) Morimoto, T., Miura, K.: Adsorption sites for water on graphite. 1. Effect of high-temperature treatment of sample. *Langmuir* 1, 658-662 (1985)
- 17) Ross, S., Oliver, J.P.: On Physical Adsorption. Interscience publishers, New York, p.137 (1964).
- 18) Cranston, R.W., Inkley, F.A.: *Adv. in Catalysis* 9, 143-154 (1957)
- 19) Smith, W.R., Kasten, G.A.: Porosity studies on some oil furnace black. *Rubber Chem. Technol.* 43, 960-968 (1970)

The Second Generation Fukui Project and a New Application of the Asymptotic Linearity Theorem[†]

Shigeru Arimoto*

The Asymptotic Linearity Theorem (ALT), which proves the Fukui conjecture in a broader context, plays a significant role in the repeat space theory (RST) - the central unifying theory in the first and the second generation Fukui Project. The present paper provides a new application of the ALT. This application is important for a new development of the RST towards the solution of Fukui's DNA problem. The present paper also reviews the notions of the normed repeat space $\mathcal{R}(q, d, p)$ and its super space $\mathcal{B}(q, d, p)$, which are special Banach algebras fundamental in the second generation Fukui project.

KEYWORDS: the Fukui conjecture, repeat space theory (RST), Asymptotic Linearity Theorem (ALT), Banach algebras

1. INTRODUCTION

In his later years, Kenichi Fukui (1918 - 1998, Nobel Prize 1981) presented several conjectures concerning the additivity problems of molecules having many identical moieties. Among them is the following which has been playing a significant role in the development of the repeat space theory (RST) (cf. [1-18]), which is the central unifying theory in the first (cf. [1,2]) and the second (cf. [2,3]) generation Fukui Project:

The Fukui Conjecture. *Let $\{M_n\}$ be a fixed element of the repeat space with block-size q , and let I be a fixed closed interval on the real line such that I contains all the eigenvalues of M_n for all positive integers N . Let $\phi_{1/2}: I \rightarrow \mathbb{R}$ denote the function defined by $\phi_{1/2}(t) = |t|^{1/2}$. Then, there exist real numbers α and β such that*

$$\mathrm{Tr} \phi_{1/2}(M_n) = \alpha N + \beta + o(1) \quad (1.1)$$

as $N \rightarrow \infty$.

Fukui's DNA problem, which is closely related to the Fukui conjecture above, is a long-range target of the first and second generation Fukui Project, whose underlying motive has been to cultivate a new interdisciplinary region between chemistry and mathematics, especially for tackling what we call *globally-pertaining-type problems*, or, for short, *g-type problems* [2]; these constitute physicochemical problems for whose solutions global mathematical contextualization is essential. "Can the conductivity and

other properties of a single-walled carbon nanotube be analyzed in the setting of a *-algebra equipped with a complete metric?" This metric problem is fundamental to proceed towards the solution of Fukui's DNA problem. In recent publication [3] by the present author, this metric problem was affirmatively solved and the new notion of normed repeat space $\mathcal{R}(q, d, p)$ was established. The normed repeat space $\mathcal{R}(q, d, p)$ is an intermediate theoretical device to shift from periodic polymers to aperiodic polymers like DNA and RNA in the Fukui Project. The space $\mathcal{R}(q, d, p)$ is a Banach algebra for all $1 \leq p \leq \infty$, and $\mathcal{R}(q, d, p)$ forms a C*-algebra for $p = 2$. Here, polymer moiety size number q and dimension number d are arbitrarily given positive integers. The generalized repeat space $\mathcal{R}(q, d)$ is contained in the normed repeat space $\mathcal{R}(q, d, p)$, which in turn is contained in one of its super spaces $\mathcal{B}(q, d, p)$ so that aperiodic polymers can be represented and investigated within this super space $\mathcal{B}(q, d, p)$.

The normed repeat space $\mathcal{R}(q, d, p)$ and its super space $\mathcal{B}(q, d, p)$ are fundamental in the second generation Fukui project.

Let q be any positive integer, the repeat space with block-size q , given in the Fukui conjecture stated above, is denoted by $X(q)$. Let $X(q)$ denote the set of all matrix sequences whose N -th term is an arbitrary $qN \times qN$ real symmetric matrix. Then, one can easily verify that the repeat space $X(q)$ with block-size q is expressed by $X(q) = X(q) \cap \mathcal{R}(q, 1)$. Thus, we have the following relations between the repeat space $X(q)$ in the Fukui conjecture, generalized repeat space $\mathcal{R}(q, 1)$, normed repeat space $\mathcal{R}(q, 1, p)$ and its superspace $\mathcal{B}(q, 1, p)$ (cf. the appendix for the definitions of the latter three spaces):

$$X(q) \subset \mathcal{R}(q, 1) \subset \mathcal{R}(q, 1, p) := \text{closure of } \mathcal{R}(q, 1) \subset \mathcal{B}(q, 1, p). \quad (1.2)$$

Received August 31, 2010

* Division of General Education and Research

[†]This article is dedicated to the memory of the late Professors Kenichi Fukui and Haruo Shingu.

The Asymptotic Linearity Theorem (ALT) plays a significant role in the repeat space theory. This theorem, which was proved by the present author for the first time (cf. [12] and references therein), implies the validity of the Fukui conjecture; combined with its associated theorems, it solves a variety of molecular network problems in a unifying manner (cf. [9,12] and references therein).

We retain the notation of [12]. (The reader is asked to briefly review [12] for the definition of symbols.) The present paper provides a new application of the ALT. The following theorem 1, from which fundamental theorem I in [1] easily follows, is important in a new development of the repeat space theory especially towards the solution of Fukui's DNA problem. The goal of the present paper is to give an affirmative answer to the following problem.

Problem 1. Is it possible to derive theorem 1 by using the ALT?

Theorem 1. Let $a, b \in \mathbb{R}$ with $a < b$, let $x(N, r) := a + (b - a)r/N$, and let $f \in AC[a, b]$. Then, we have

$$\sum_{r=1}^N f(x(N, r)) = (1/(b - a)) \left(\int_a^b f(\theta) d\theta \right) N + (1/2)(f(b) - f(a)) + o(1) \quad (1.3)$$

as $N \rightarrow \infty$.

In section 2, we prepare some tools for the affirmative solution to the above problem. The solution is given in section 3 by deriving, from the ALT, the following theorem 2, from which theorem 1 easily follows.

Theorem 2. Let $a, b \in \mathbb{R}$ with $a < b$, let $x(N, r) := a + (b - a)r/N$, and let g let $f \in AC[a, b]$. Then, there exist real numbers $\alpha(f)$ and $\beta(f)$ such that

$$\sum_{r=1}^N f(x(N, r)) = \alpha(f)N + \beta(f) + o(1) \quad (1.4)$$

as $N \rightarrow \infty$.

2. PREPARATION FOR A SOLUTION OF PROBLEM 1

Throughout, let $\mathbb{Z}^+$, $\mathbb{Z}_0^+$, $\mathbb{Z}$, $\mathbb{R}$, and $\mathbb{C}$, denote respectively the set of all positive integers, nonnegative integers, integers, real numbers, and complex numbers. Let us first recall the symbols we need in this section: Let $a, b \in \mathbb{R}$ with $a < b$, let $I = [a, b]$. The symbol $C(I)$ denotes the set of all real-valued continuous functions on I . A function $\varphi: I \rightarrow \mathbb{R}$ is said to be absolutely continuous on I if, given any $\varepsilon > 0$, there

exists a $\delta > 0$ such that for every finite system of pairwise disjoint subintervals $(a_1, b_1), (a_2, b_2), \dots, (a_n, b_n) \subset [a, b]$,

$$\sum_{k=1}^n (b_k - a_k) < \delta$$

implies

$$\sum_{k=1}^n |\varphi(b_k) - \varphi(a_k)| < \varepsilon.$$

The symbol $AC(I)$ denotes the set of all real-valued absolutely continuous functions on I . If f is a real-valued function on I and if S is a subset of I , then $f|_S$ denotes the function f restricted to S . In this article, the symbols $C(I)$ and $AC(I)$ used in [1,12] are often represented by $C[a, b]$ and $AC[a, b]$ respectively. The following propositions 1 and 2 are fundamental in the present article:

Proposition 1. Let $a, b, c \in \mathbb{R}$ with $a < c < b$. The following statements are true:

(i) If $f \in C[a, b]$, $f|_{[a, c]} \in AC[a, c]$, $f|_{[c, b]} \in AC[c, b]$, then $f \in AC[a, b]$.

(ii) Suppose that $f \in C[a, b]$ is a monotone non-decreasing function. Let $h > 0$, let $d_h: [a, b - h] \rightarrow \mathbb{R}$ denote the function defined by $d_h(x) = f(x + h) - f(x)$. If d_h is a monotone non-decreasing function for all $h > 0$, then $f \in AC[a, b]$. If d_h is a monotone non-increasing function for all $h > 0$, then $f \in AC[a, b]$.

(iii) If $f \in AC[a, b]$ is a monotone non-decreasing function and if $g \in AC[f(a), f(b)]$, then $g \circ f \in AC[a, b]$.

Proof. The conclusions easily follow from the definition of absolutely continuous functions. //

Proposition 2. Let $g: [0, 1] \rightarrow [0, 1]$ be a continuous monotone increasing function defined by

$$g(x) = \sin^2(\pi x/2). \quad (2.1)$$

Then, the following statements are true:

(i) $g^{-1} \in AC[0, 1]$. (2.2)

(ii) For any $f \in AC[0, 1]$ there exist real numbers $\alpha(f)$ and $\beta(f)$ such that

$$\sum_{r=1}^N f \circ g(r/N) = \alpha(f)N + \beta(f) + o(1). \quad (2.3)$$

as $N \rightarrow \infty$.

Proof. (i) One easily verifies this by proposition 1(i-ii). (One can also easily verify (i) by 1(i) and the well-known fact that if $f \in C[a, b]$ is a convex function then, $f \in AC[a, b]$.)

(ii) Recall $\{K_N\} \in X_r(1)$ given by (2.2) in [9], and define $\{M_N\} \in X_r(1) \subset \mathcal{H}_r(1, 1)$ by

$$M_N = (1/4)K_N. \quad (2.4)$$

Let $f \in AC[0, 1]$. Notice that the j th eigenvalue $\lambda_j(M_N)$ of M_N , arranged in the increasing order, is given by

$$\lambda_j(M_N) = \sin^2((j-1)\pi/(2N)), \quad (2.5)$$

and that

$$\text{Tr } f(M_N) = \sum_{j=1}^N f(\lambda_j(M_N)) = \left[\sum_{r=1}^N f \circ g(r/N) \right] + f(0) - f(1). \quad (2.6)$$

By the Asymptotic Linearity Theorem (Practical ALT, $X_r(q)$ -version) reproduced below (cf. [11,12] and references therein for details), the conclusion directly follows. //

Theorem PALT (Practical ALT, $X_r(q)$ -version). *Let $\{M_N\} \in X_r(q)$ be a fixed repeat sequence, let I be a fixed closed interval compatible with $\{M_N\}$. Then, for any $\varphi \in AC(I)$, there exist $\alpha(\varphi), \beta(\varphi) \in \mathbb{R}$ such that*

$$\text{Tr} \varphi(M_N) = \alpha(\varphi)N + \beta(\varphi) + o(1) \quad (2.7)$$

as $N \rightarrow \infty$.

Recall (1.2) and cf. (A.14) in the appendix for the definition of $X_r(q)$; a closed interval I is called compatible with $\{M_N\} \in X_r(q)$ if all the eigenvalues of M_N are contained in I for all $N \in \mathbb{Z}^+$ (cf. [12] and references therein for details). In proof (ii) of proposition 2 above, one can also apply the original version [9] of the ALT or the newest $\mathcal{X}_{\text{Hr}}(q, 1)$ version [14] of the ALT to the sequence $\{M_N\}$.

The reader who is not familiar with the notion of the ‘function’ $\varphi(M)$ of an $n \times n$ normal matrix is referred to [12] and references therein. We shall recall here only the basic definition and property of $\varphi(M)$. Let

$$M = \mu_1 P_{(1)} + \dots + \mu_r P_{(r)} \quad (2.8)$$

be the spectral resolution of the normal matrix M , where $\mu_1, \dots, \mu_r$ are all the distinct eigenvalues of M and $P_{(1)}, \dots, P_{(r)}$ are corresponding eigenprojections. Let J be a subset of $\mathbb{C}$ that contains all the eigenvalues of M and let φ be a complex-valued function defined on J . Then, we define $\varphi(M)$ by

$$\varphi(M) = \varphi(\mu_1)P_{(1)} + \dots + \varphi(\mu_r)P_{(r)}. \quad (2.9)$$

The fact that it is well defined is easily seen by the uniqueness of the spectral resolution.

Let U be an $n \times n$ unitary matrix such that

$$M = U \text{diag}(\lambda_1, \dots, \lambda_n) U^{-1} \quad (2.10)$$

where $\lambda_1, \dots, \lambda_n$ are all the eigenvalues of M counted with multiplicity, then one gets

$$\varphi(M) = U \text{diag}(\varphi(\lambda_1), \dots, \varphi(\lambda_n)) U^{-1}. \quad (2.11)$$

The Matrix Art and Math Art Programs (using computer

graphic visualization of matrices) in the Fukui project are philosophical and methodical extensions, from science towards art, of Fukui’s approach and also of the Approach via the Aspect of Form and General Topology (cf. [1,9,12,16] references therein) in the repeat space theory (RST), which is the fundamental unifying theory in the first and second generation Fukui project. In the above-mentioned programs, we often use special $n \times n$ matrices, which are referred to as central matrices. The definition of a central matrix is as follows:

Let $n \in \mathbb{Z}^+$, let $c = (c_1, c_2) \in \mathbb{R}^2$. An $n \times n$ complex matrix M is called a *central matrix with center c* in $\mathbb{R}^2$ if there exists a $p \in]0, \infty]$ and a function $f: [0, \infty[\rightarrow \mathbb{C}$ such that

$$M_{ij} = f(|i - c_1|^p + |j - c_2|^p)^{1/p} \quad (2.12)$$

for all $1 \leq i, j \leq n$, where

$$(|i - c_1|^\infty + |j - c_2|^\infty)^{1/\infty} := \max\{|i - c_1|, |j - c_2|\}. \quad (2.13)$$

The above central matrix M is denoted by

$$M = \text{Zen}(n, c, p, f). \quad (2.14)$$

(Remark: The German word ‘Zentrum’ means center.) Let $C^{[0, \infty[}$ denote the set of all functions $f: [0, \infty[\rightarrow \mathbb{C}$. Let $M_n(\mathbb{C})$ denote the complex linear space of all $n \times n$ complex matrices. One can also define the mapping

$$\text{Zen}: \mathbb{Z}^+ \times \mathbb{R}^2 \times]0, \infty] \times C^{[0, \infty[} \rightarrow \bigcup_{n \geq 1} M_n(\mathbb{C}) \quad (2.15)$$

by (2.12). We let Zen_n denote the set of all $n \times n$ central matrices. Thus, we have

$$\text{Zen}_n = \text{Zen}(\{n\} \times \mathbb{R}^2 \times]0, \infty] \times C^{[0, \infty[}). \quad (2.16)$$

Let span denote the linear span operation in $M_n(\mathbb{C})$. Then, it is easily seen that

$$\text{span } \text{Zen}_n = M_n(\mathbb{C}). \quad (2.17)$$

Let $n \in \mathbb{Z}^+$. An $n \times n$ complex matrix L is called a *circle matrix* if L is a central matrix with center $\gamma_n := ((n+1)/2, (n+1)/2)$. Thus, $n \times n$ circle matrix L is expressed in the form:

$$L = \text{Zen}(n, \gamma_n, p, f). \quad (2.18)$$

We let O_n denote the set of all $n \times n$ circle matrices. Thus, we have

$$O_n = \text{Zen}(\{n\} \times \{\gamma_n\} \times]0, \infty] \times C^{[0, \infty[}). \quad (2.19)$$

Matrix

$$M \in \text{span } O_n \quad (2.20)$$

is called a *span circle matrix*, or a *mandala matrix*.

(Mandala is a Sanskrit word that means circle. The basic form of most Hindu and Buddhist mandalas is a square containing circles and squares with a center point.)

An $n \times n$ complex matrix $M = A_1 + A_2 + \dots + A_k$, where $A_1, A_2, \dots, A_k \in \text{Zen}_n$, is said to be a k -centered matrix, if M cannot be expressed as a sum of k_0 central matrices with $k_0 < k$.

The following d -dimensional generalizations Zen^d and ζ^d of the mapping Zen have applications to quantum chemistry and physics.

Let $d \in \mathbb{Z}^+$ with $d \geq 2$. Define the mapping

$$\text{Zen}^d: \mathbb{Z}^+ \times \mathbb{R}^d \times]0, \infty] \times C^{[0, \infty[} \rightarrow \bigcup_{n \geq 1} M_n(\mathbb{C}) \quad (2.21)$$

by

$$\text{Zen}^d(n, c, p, f) = M(d, n, c, p, f), \quad (2.22)$$

where $M = M(d, n, c, p, f)$ with $c = (c_1, c_2, \dots, c_d) \in \mathbb{R}^d$ is an $n \times n$ complex matrix given by

$$M_{ij} = f((|i - c_1|^p + |j - c_2|^p)^{1/p}) \quad \text{if } d = 2;$$

$$M_{ij} = f((|i - c_1|^p + |j - c_2|^p + |0 - c_3|^p + \dots + |0 - c_d|^p)^{1/p}) \quad \text{if } d \geq 3; \quad (2.23)$$

for all $1 \leq i, j \leq n$. Here, the right sides of (2.23) with $p = \infty$ is given in the manner analogous to (2.13). Note that

$$\text{Zen} = \text{Zen}^2. \quad (2.24)$$

Let $n \in \mathbb{Z}^+$ and $d \in \mathbb{Z}^+$ with $d \geq 2$, let

$$\text{Zen}_n^d := \text{Zen}^d(\{n\} \times \mathbb{R}^d \times]0, \infty] \times C^{[0, \infty[}). \quad (2.25)$$

Then, we have the relationship

$$\text{Zen}_n = \text{Zen}_n^2. \quad (2.26)$$

Let $O_n^2 := O_n$, and let

$$O_n^d := \text{Zen}(\{n\} \times (\{\gamma_n\} \times \mathbb{R}^{d-2}) \times]0, \infty] \times C^{[0, \infty[}) \quad (2.27)$$

if $d \geq 3$. An $n \times n$ complex matrix M is called a *central matrix centering in $\mathbb{R}^d$* if

$$M \in \text{Zen}_n^d, \quad (2.28)$$

a *circle matrix centering in $\mathbb{R}^d$* if

$$M \in O_n^d, \quad (2.29)$$

a *span circle matrix* or a *mandala matrix centering in $\mathbb{R}^d$* if

$$M \in \text{span } O_n^d. \quad (2.30)$$

Let $d \in \mathbb{Z}^+$ with $d \geq 2$. Let $C^{\mathbb{R}^d}$ denote the set of all functions $F: \mathbb{R}^d \rightarrow \mathbb{C}$. Define the mapping

$$\zeta^d: \mathbb{Z}^+ \times \mathbb{R}^d \times C^{\mathbb{R}^d} \rightarrow \bigcup_{n \geq 1} M_n(\mathbb{C}) \quad (2.31)$$

by

$$\zeta^d(n, c, F) = M(d, n, c, F), \quad (2.32)$$

where $M = M(d, n, c, F)$ with $c = (c_1, c_2, \dots, c_d) \in \mathbb{R}^d$ is an n

$\times n$ complex matrix given by

$$M_{ij} = F(i - c_1, j - c_2) \quad \text{if } d = 2;$$

$$M_{ij} = F(i - c_1, j - c_2, 0 - c_3, \dots, 0 - c_d)$$

$$\text{if } d \geq 3; \quad (2.33)$$

for all $1 \leq i, j \leq n$. Let $f \in C^{[0, \infty[}$, let $p \in]0, \infty]$, and

let $F_{p,f}: \mathbb{R}^d \rightarrow \mathbb{C}$ denote the function defined by

$$F_{p,f}(x_1, x_2, \dots, x_d) = f((|x_1|^p + |x_2|^p + \dots + |x_d|^p)^{1/p}). \quad (2.34)$$

Then, we have the relationship

$$\zeta^d(n, c, F_{p,f}) = \text{Zen}^d(n, c, p, f), \quad (2.35)$$

valid for all $(n, c, p, f) \in \mathbb{Z}^+ \times \mathbb{R}^d \times]0, \infty] \times C^{[0, \infty[}$.

Let $n \in \mathbb{Z}^+$ and $d \in \mathbb{Z}^+$ with $d \geq 2$, let

$$\zeta_n^d := \zeta^d(\{n\} \times \mathbb{R}^d \times C^{\mathbb{R}^d}). \quad (2.36)$$

An $n \times n$ complex matrix M is called the ζ matrix of index (d, n, c, F) if

$$M = \zeta^d(n, c, F). \quad (2.37)$$

A ζ matrix of index (d, n, c, F) is called a *vertical matrix* if

$$c_1 = c_2 = (n + 1)/2, \quad (2.38)$$

and if

$$F(x_1, x_2, \dots, x_d) = F(-x_1, x_2, \dots, x_d) \quad (2.39)$$

for all $(x_1, x_2, \dots, x_d) \in \mathbb{R}^d$.

A ζ matrix of index (d, n, c, F) is called a *horizontal matrix* if

$$c_1 = c_2 = (n + 1)/2, \quad (2.40)$$

and if

$$F(x_1, x_2, \dots, x_d) = F(x_1, -x_2, \dots, x_d) \quad (2.41)$$

for all $(x_1, x_2, \dots, x_d) \in \mathbb{R}^d$.

The set of all $n \times n$ vertical matrices is denoted by Ve_n and the set of all $n \times n$ horizontal matrices is denoted by Ho_n .

The patterns of the following matrices (i) and (ii) are analyzed in the fundamental part of the Matrix Art Program, in conjunction with the Approach via the Aspect of Form and General Topology in the repeat space theory (RST), which originally stemmed from the experimental and empirical soil of chemistry and engineering: (i) Real-symmetric vertical/horizontal matrices M and $\varphi(M)$ with real-valued functions φ defined on suitable domains. (ii) Sum $M = A_1 + A_2 + \dots + A_k$ of central matrices $A_1, A_2, \dots, A_k$, matrix B defined by $B_{ij} = \varphi_1(M_{ij}), \varphi_2(M^*M)$, and

$\varphi_3((1/2)(M^*+M))$, with real-valued functions $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ defined on suitable domains.

The development of the Fukui project along the above line and its implications shall be published elsewhere.

3. AFFIRMATIVE SOLUTION OF PROBLEM 1

In this section, the symbol $AC(I)$ denotes the Banach space of all real-valued absolutely continuous functions on I equipped with the norm given by

$$\|\varphi\| = \sup \{|\varphi(t)| : t \in I\} + V_I(\varphi),$$

where $V_I(\varphi)$ denotes the total variation of φ on I , i.e.,

$$V_I(\varphi) = \sup_{\Delta} \sum_{i=1}^n |\varphi(t_i) - \varphi(t_{i-1})|.$$

$$(\Delta: a = t_0 \leq t_1 \leq \dots \leq t_n = b)$$

First, we establish theorem 1 by using theorem 2. Second, we derive theorem 2 from the ALT.

Proof of theorem 1 by using theorem 2. We assume theorem 2. Under the assumption of theorem 2, we show that

$$\alpha(f) = (1/(b-a)) \left(\int_a^b f(\theta) d\theta \right), \quad (3.1)$$

and that

$$\beta(f) = (1/2)(f(b) - f(a)). \quad (3.2)$$

Since f is absolutely continuous it is Riemann integrable, hence dividing both sides of (1.3) by $N/(b-a)$ and letting $N \rightarrow \infty$, we see that (3.1) is true.

Now let $\beta_N: AC(I) \rightarrow \mathbb{R}$ denote the linear functionals defined by

$$\beta_N(f) = \sum_{r=1}^N f(x(N, r)) - (1/(b-a)) \left(\int_a^b f(\theta) d\theta \right) N, \quad (3.3)$$

$N \in \mathbb{Z}^+$.

Let $C(I)$ denote the subspace of $AC(I)$ of all continuously differentiable functions on I . By using Taylor's theorem, it is not difficult to show that for each $f \in C(I)$.

$$\beta_N(f) \rightarrow (1/2)(f(b) - f(a)) \quad (3.4)$$

as $N \rightarrow \infty$. (Or, by using the Euler-Maclaurin theorem, C' version, one immediately sees that (3.4) is true for all $f \in C(I)$.)

Define $\beta: AC(I) \rightarrow \mathbb{R}$ by

$$\beta(f) = \lim_{N \rightarrow \infty} \beta_N(f). \quad (3.5)$$

Note that this functional β is well defined in view of theorem 2. Recall the fact that $AC(I)$ is a Banach space (Cf. [11] and references therein). It is now immediately seen that β is a bounded linear functional by virtue of the

Banach-Steinhouse theorem (the Uniformly Boundedness theorem). Define $\beta^\#: AC(I) \rightarrow \mathbb{R}$ by

$$\beta^\#(f) = (1/2)(f(b) - f(a)). \quad (3.6)$$

Then, it is easily seen that $\beta^\#$ is a bounded linear functional. Note that

$$\beta(f) = \beta^\#(f) \quad (3.7)$$

for all $g \in C(I)$. Recall the fact that $C(I)$ is a dense subset of $AC(I)$:

$$\overline{C(I)} = AC(I). \quad (3.8)$$

By the continuity of β and $\beta^\#$, we see that $\beta(f) = \beta^\#(f)$ for all $g \in AC(I)$. Therefore

$$\beta = \beta^\#, \quad (3.9)$$

This completes the proof. //

Proof of theorem 2. By changing the variable, we may assume that $a = 0$, and $b = 1$. We have only to verify that if $f \in AC[0, 1]$ then there exist real numbers $\alpha(f)$ and $\beta(f)$ such that

$$\sum_{r=1}^N f(r/N) = \alpha(f)N + \beta(f) + o(1) \quad (3.10)$$

as $N \rightarrow \infty$. But, by proposition 2, which was established by using the ALT in section 2, there exists a continuous monotone increasing function $g: [0, 1] \rightarrow [0, 1]$ with $g^{-1} \in AC[0, 1]$ such that for any $f \in AC[0, 1]$ there exist real numbers $\alpha(f)$ and $\beta(f)$ such that

$$\sum_{r=1}^N f \circ g(r/N) = \alpha(f)N + \beta(f) + o(1) \quad (3.11)$$

as $N \rightarrow \infty$. Let $u \in AC[0, 1]$ be arbitrary. Recall proposition 1(iii) and note that

$$u \circ g^{-1} \in AC[0, 1]. \quad (3.12)$$

So, setting $f = u \circ g^{-1}$ in (3.11), we get the conclusion. //

Thus, the goal of the present article has been attained.

We remark that the notion of the normed repeat space reviewed in the appendix unites the approaches via the aspects of form and general topology exploited in a variety of asymptotic analyses of molecular networks in [1-18] and references therein. Equipped with the machinery of Banach algebras and C^* -algebras, the notion of normed repeat space with the above-mentioned new unifying power forms a basis of the second generation Fukui project. For a review of the first generation Fukui project, whose basic philosophy we would like to carry on to the second generation project, the reader is referred to ref. [2] entitled 'Note on the repeat space theory – its development and communications with Prof. Kenichi Fukui'.

4. APPENDIX

Review of the Generalized Repeat Space and the Normed Repeat Space

I. Generalized Repeat Space

There are several equivalent ways of defining the generalized repeat space $\mathcal{R}(q, d)$ with a given size $(q, d) \in \mathbb{Z}^+ \times \mathbb{Z}^+$. We shall recall below the definition that uses the notion of the sum of subspaces of a linear space (cf. Refs. [1,13,15,16]).

Fix $(q, d) \in \mathbb{Z}^+ \times \mathbb{Z}^+$ and let $\mathcal{R}(q, d)$ denote the set of all matrix sequences whose N -th term M_N is an arbitrary $qN^d \times qN^d$ complex matrix, $N \in \mathbb{Z}^+$. This set constitutes a $*$ -algebra over the field $\mathbb{C}$ with term-wise addition, scalar multiplication, multiplication

$$\{M_N\} + \{M_N\} = \{M_N + M_N\}, \quad (\text{A.1})$$

$$k\{M_N\} = \{kM_N\}, \quad (\text{A.2})$$

$$\{M_N\}\{M_N\} = \{M_N M_N\}, \quad (\text{A.3})$$

and involution $(\cdot)^*$: $\mathcal{R}(q, d) \rightarrow \mathcal{R}(q, d)$ defined by

$$\{M_N\}^* = \{M_N^*\}, \quad (\text{A.4})$$

where the $*$ on the right-hand side of (A.4) denotes the adjoint operation.

Let P_N denote an $N \times N$ real-orthogonal matrix given by

$$P_N = \begin{pmatrix} 0 & 1 & & & & \\ & 0 & 1 & & & \mathbf{0} \\ & & 0 & \ddots & & \\ & & & \ddots & \ddots & \\ & & & & 0 & 1 \\ \mathbf{0} & & & & & 0 & 1 \\ 1 & & & & & & 0 \end{pmatrix}.$$

Let $P_N^a := (P_N^{-1})^a$ where $a \in \{-2, -3, \dots\}$. (Note that P_N^a equals the transpose of P_N^{-a} .)

Let S_N denote an $N \times N$ real idempotent matrix given by

$$S_N = \begin{pmatrix} 1 & 0 & & & & \\ 0 & 0 & 0 & & & \mathbf{0} \\ & 0 & 0 & \ddots & & \\ & & \ddots & \ddots & \ddots & \\ & & & \ddots & \ddots & 0 \\ \mathbf{0} & & & & 0 & 0 & 0 \\ & & & & & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

Let P_N^n denote the $N^d \times N^d$ matrix given by

$$P_N^n = P_N^{n_1} \otimes P_N^{n_2} \otimes \dots \otimes P_N^{n_d}, \quad (\text{A.5})$$

where $n = (n_1, n_2, \dots, n_d) \in \mathbb{Z}^d$, and $\otimes$ denotes the Kronecker product.

Let S_N^k denote the $N^d \times N^d$ matrix given by

$$S_N^k = S_N^{k_1} \otimes S_N^{k_2} \otimes \dots \otimes S_N^{k_d}, \quad (\text{A.6})$$

where $k = (k_1, k_2, \dots, k_d) \in (\mathbb{Z}^+ \cup \{0\})^d$.

Let $\mathcal{V}^k(q, d)$ with $k = (k_1, k_2, \dots, k_d) \in \{0, 1\}^d$ denote the subset of $\mathcal{R}(q, d)$ defined by

$\mathcal{V}^k(q, d) = \{\{M_N\} \in \mathcal{R}(q, d) : \exists m, n \in \mathbb{Z}^d, \exists Q \in M_q(\mathbb{C}) \text{ such that}$

$$M_N = (P_N^m S_N^k P_N^n) \otimes Q \text{ for all } N \gg 0\}. \quad (\text{A.7})$$

Let $\text{span } \mathcal{V}^k(q, d)$ with $k = (k_1, k_2, \dots, k_d) \in \{0, 1\}^d$ denote the linear span of $\mathcal{V}^k(q, d)$.

We defined three fundamental linear subspaces

$\mathcal{R}(q, d)$, $\mathcal{R}_\alpha(q, d)$, and $\mathcal{R}_\beta(q, d)$ of $\mathcal{R}(q, d)$ by

$$\mathcal{R}(q, d) = \sum_{k \in \{0,1\}^d} \text{span } \mathcal{V}^k(q, d), \quad (\text{A.8})$$

$$\mathcal{R}_\alpha(q, d) = \text{span } \mathcal{V}^0(q, d), \quad (\text{A.9})$$

$$\text{where } \mathbf{0} = (0, 0, \dots, 0) \in \{0, 1\}^d, \quad (\text{A.10})$$

$$\mathcal{R}_\beta(q, d) = \sum_{k \in \{0,1\}^d \setminus \{\mathbf{0}\}} \text{span } \mathcal{V}^k(q, d). \quad (\text{A.11})$$

In (A.8) and (A.11), the Σ denotes the sum of subspaces in the obvious manner.

We call $\mathcal{R}(q, d)$, $\mathcal{R}_\alpha(q, d)$, $\mathcal{R}_\beta(q, d)$, respectively, the generalized repeat space, generalized alpha space, and generalized beta space with size (q, d) , and each element of $\mathcal{R}(q, d)$, $\mathcal{R}_\alpha(q, d)$, $\mathcal{R}_\beta(q, d)$, respectively, a generalized repeat sequence, generalized alpha sequence, and generalized beta sequence with size (q, d) .

The following is one of the most fundamental theorems in the repeat space theory.

Theorem A1. For all $q, d \in \mathbb{Z}^+$, $\mathcal{R}(q, d)$ forms a $*$ -algebra.

Proof. This was proved in Ref. [15]. //

For the special definition of the generalized repeat space with size $(q, 1)$, set $d=1$ in the definition of $\mathcal{V}^k(q, d)$ given by (A.7) and observe that

$$\mathcal{R}_\alpha(q, 1) = \text{span } \mathcal{V}^0(q, 1)$$

$= \text{span } \{\{M_N\} \in \mathcal{R}(q, 1) : \exists m \in \mathbb{Z}, \exists Q \in M_q(\mathbb{C}) \text{ such that}$

$$M_N = P_N^m \otimes Q$$

$$\text{for all } N \gg 0\}, \quad (\text{A.12})$$

$$\mathcal{R}_\beta(q, 1) = \text{span } \mathcal{V}^1(q, 1)$$

$= \text{span } \{\{M_N\} \in \mathcal{R}(q, 1) : \exists m, n \in \mathbb{Z}, \exists Q \in M_q(\mathbb{C}) \text{ such that}$

$$M_N = (P_N^m S_N^1 P_N^n) \otimes Q$$

$$\text{for all } N \gg 0\}, \quad (\text{A.13})$$

and note that

$$\mathcal{R}(q, 1) = \mathcal{R}_\alpha(q, 1) + \mathcal{R}_\beta(q, 1). \quad (\text{A.14})$$

II. Normed Repeat Space

Let $\mathbf{C}^n$ denote the set of all column n -vectors. For each $1 \leq p < \infty$, let

$$\|\xi\|_p := \|(\xi_1, \dots, \xi_n)^T\|_p = (|\xi_1|^p + \dots + |\xi_n|^p)^{1/p}. \quad (\text{B.1})$$

Let

$$\|\xi\|_\infty = \|(\xi_1, \dots, \xi_n)^T\|_\infty = \max \{|\xi_i| : 1 \leq i \leq n\}. \quad (\text{B.2})$$

For each positive integer n and $1 \leq p < \infty$, let $\text{Mat}(n, p)$ denote the set of all $n \times n$ complex matrices with the norm given by

$$\|A\|_p = \sup \{ \|Ax\|_p / \|x\|_p : x \in \mathbf{C}^n - \{0\} \}. \quad (\text{B.3})$$

Fix $(q, d) \in \mathbb{Z}^+ \times \mathbb{Z}^+$ and let $\mathcal{A}(q, d)$ denote the set of all matrix sequences whose N -th term M_N is an arbitrary $qN^d \times qN^d$ complex matrix, $N \in \mathbb{Z}^+$. This set constitutes a $*$ -algebra over the field $\mathbb{C}$ with term-wise addition, scalar multiplication, multiplication

$$\{M_N\} + \{M_N\} = \{M_N + M_N\}, \quad (\text{B.4})$$

$$k\{M_N\} = \{kM_N\}, \quad (\text{B.5})$$

$$\{M_N\}\{M_N\} = \{M_N M_N\}, \quad (\text{B.6})$$

and involution $(\cdot)^*$: $\mathcal{A}(q, d) \rightarrow \mathcal{A}(q, d)$ defined by

$$\{M_N\}^* = \{M_N^*\}, \quad (\text{B.7})$$

where the $*$ on the right-hand side of (B.7) denotes the adjoint operation.

For each $q, d \in \mathbb{Z}^+$ and $1 \leq p < \infty$, let

$$\begin{aligned} \mathcal{B}(q, d, p) &:= \\ \{ \{M_N\} \in \prod_{N=1}^{\infty} \text{Mat}(qN^d, p) : \|\{M_N\}\|_p &:= \\ \sup_N \|M_N\|_p < \infty \}. \end{aligned} \quad (\text{B.8})$$

Note that $\mathcal{B}(q, d, p)$ forms a subalgebra of $\mathcal{A}(q, d)$. We also note that $\mathcal{B}(q, d, p)$ forms a Banach algebra for each $1 \leq p < \infty$ and a C^* -algebra for $p = 2$. The set $\mathcal{B}(q, d, p)$ is called the *bounded underlying space* (or *B-space* for short) of type (q, d, p) .

Now recall the definition of the generalized repeat space with size (q, d) , which is denoted by $\mathcal{A}(q, d)$ in (A.8).

Theorem B1. For each $q, d \in \mathbb{Z}^+$ and $1 \leq p < \infty$, we have

$$\mathcal{A}(q, d) \subset \mathcal{B}(q, d, p). \quad (\text{B.9})$$

Proof. This was proved in Ref. [3]. //

Definition of the Normed Repeat Space For each $q, d \in \mathbb{Z}^+$ and $1 \leq p < \infty$, let

$$\mathcal{R}(q, d, p) := \text{closure of } \mathcal{A}(q, d) \subset \mathcal{B}(q, d, p). \quad (\text{B.10})$$

The set $\mathcal{R}(q, d, p)$ is called the *normed repeat space* of type (q, d, p) .

Note that $\mathcal{R}(q, d, p)$ forms a Banach algebra for each $1 \leq p < \infty$ and a C^* -algebra for $p = 2$. This fact easily follows

from the observation that linear operations, multiplication, and involution are all continuous operations and that any closed set in a complete metric space forms a complete metric subspace. (The reader is referred e.g. to refs. [19,20] for the fundamental properties of Banach algebras and C^* -algebras.)

ACKNOWLEDGEMENTS

Special thanks are due to Prof. M. Spivakovsky for providing the author with valuable comments on the manuscript of this article. Thanks are also due to Prof. K.F. Taylor for valuable discussions on the practical version of the Asymptotic Linearity Theorem.

REFERENCES

- [1] S. Arimoto and K. Fukui, Fundamental Mathematical Chemistry, Interdisciplinary Research in Fundamental Mathematical Chemistry and Generalized Repeat Space, IFC Bulletin, Kyoto, 1998, pp 7-13.
- [2] S. Arimoto, Note on the repeat space theory - its development and communications with Prof. Kenichi Fukui, J. Math. Chem. 34 (2003) 253-257.
- [3] S. Arimoto, Normed repeat space and its super spaces: fundamental notions for the second generation Fukui project, J. Math. Chem. 46 (2009) 589.
- [4] S. Arimoto, M. Spivakovsky, K.F. Taylor, and P.G. Mezey, Proof of the Fukui conjecture via resolution of singularities and related methods. I, J. Math. Chem. 37 (2005) 75-91.
- [5] S. Arimoto, M. Spivakovsky, K.F. Taylor, and P.G. Mezey, Proof of the Fukui conjecture via resolution of singularities and related methods. II, J. Math. Chem. 37 (2005) 171-189.
- [6] S. Arimoto, Proof of the Fukui conjecture via resolution of singularities and related methods. III, J. Math. Chem. 47 (2010) 856.
- [7] S. Arimoto, M. Spivakovsky, K.F. Taylor, and P.G. Mezey, Proof of the Fukui conjecture via resolution of singularities and related methods. IV, J. Math. Chem. DOI: 10.1007/s10910-010-9709-z (On line version available at: SpringerLink <http://www.springerlink.com/content/764x1762p2353423/>)
- [8] S. Arimoto, K. Fukui, K.F. Taylor, and P.G. Mezey, Structural Analysis of Certain Linear Operators Representing Chemical Network Systems via the Existence and Uniqueness Theorems of Spectral Resolution. IV, Int. J. Quantum Chem. 67 (1998) 57-69.

- [9] S. Arimoto and M. Spivakovsky, The Asymptotic Linearity Theorem for the Study of Additivity Problems of the Zero-point Vibrational Energy of Hydrocarbons and the Total Pi-electron Energy of Alternant Hydrocarbons, J. Math. Chem. 13 (1993) 217-247.
- [10] S. Arimoto and K.F. Taylor, Aspects of Form and General Topology: Alpha Space Asymptotic Linearity Theorem and the Spectral Symmetry of Alternants, J. Math. Chem. 13 (1993) 249-264.
- [11] S. Arimoto and K.F. Taylor, Practical Version of the Asymptotic Linearity Theorem with Applications to the Additivity Problems of Thermodynamic Quantities, J. Math. Chem. 13 (1993) 265-275.
- [12] S. Arimoto, New proof of the Fukui conjecture by the Functional Asymptotic Linearity Theorem, J. Math. Chem. 34 (2003) 259.
- [13] S. Arimoto, Repeat space theory applied to carbon nanotubes and related molecular networks. I, J. Math. Chem. 41 (2007) 231.
- [14] S. Arimoto, Repeat space theory applied to carbon nanotubes and related molecular networks. II, J. Math. Chem. 43 (2008) 658.
- [15] S. Arimoto, K. Fukui, P. Zizler, K.F. Taylor and P.G. Mezey, Structural Analysis of Certain Linear Operators Representing Chemical Network Systems via the Existence and Uniqueness Theorems of Spectral Resolution. V, Int. J. Quantum Chem. 74 (1999) 633.
- [16] S. Arimoto, M. Spivakovsky, H. Ohno, P. Zizler, K.F. Taylor, T. Yamabe and P.G. Mezey, Structural Analysis of Certain Linear Operators Representing Chemical Network Systems via the Existence and Uniqueness Theorems of Spectral Resolution. VI, Int. J. Quantum Chem. 84 (2001) 389.
- [17] S. Arimoto, M. Spivakovsky, H. Ohno, P. Zizler, R.A. Zuidwijk, K.F. Taylor, T. Yamabe and P.G. Mezey, Structural Analysis of Certain Linear Operators Representing Chemical Network Systems via the Existence and Uniqueness Theorems of Spectral Resolution. VII, Int. J. Quantum Chem. 97 (2004) 765.
- [18] S. Arimoto, The Functional Delta Existence Theorem and the reduction of a proof of the Fukui conjecture to that of the Special Functional Asymptotic Linearity Theorem, J. Math. Chem. 34 (2003) 287-296.
- [19] J.B. Conway, *A course in Functional Analysis* (Springer, New York, 1985).
- [20] C. Constantinescu, *C*-Algebras, Vol. 2 and 3* (Elsevier, Amsterdam, 2001).

位相差を加えた光線近似による虹の計算

佐藤誠*

Ray trace simulation of rainbow with interference by phase shift

Makoto SATO

A new calculation method of rainbow angles for wavelengths is proposed, which consists of a ray trace simulation and a phase shift calculation. Because supernumeraries inside the primary bow is caused by optical interference, a simple ray trace method is not able to treat the phenomena. However introducing an idea of complex intensity according to phase shift, we can simulate the rainbow with good approximation and less amount of calculation.

Key words : rainbow, ray trace, interference, complex intensity, phase shift

1. はじめに

本校は内陸の盆地に位置するためか夏場は激しい夕立に見舞われる機会が多く、そのため虹を見る回数も多い。津山高専の校舎からからは、東方向、北辰寮の上に架かる虹を頻繁に見る。Fig.1はそのような虹の例である。主虹の外側に色の順序が逆の副虹が確認でき、さらにFig.2の写真のように主虹の内側に過剰虹を確認できる。ただし、写真のように副虹や過剰虹まで明瞭に観察できることは比較的稀である。

虹の理論は、1637年、R. Descartes の「3つの試論の内の気象学第8章、虹」に、彼自身が発展させた屈折の法則を用いて初めて与えられた。Descartes は球形雨滴の断面図に10000本もの入射平行光線を作図し、雨滴を射出する光線が、入射光と42度の角度をなす方向に際立って集中することを確認した。また、内部で2回反射する場合、52度に集中することを確認した。しかし、虹の色については1666年のI. Newton による「光学」の説明を待つことになる。Newton は色毎の水の屈折率を測定し、その結果を用いて、虹の色と見られる角度を計算し、実際の虹に良く一致することを確認した。このように幾何光学で主虹と副虹の存在、それらの見える方向と色の特徴を説明することに成功した。また、主虹と副虹に挟まれた空の部分には水滴からの光の反射光が戻ってこない部分があり、少し暗く見えることも説明できた。この暗い部分はアレクサンダーの暗帯と呼ばれ、Fig.1の写真でも確認できる。

過剰虹は、幾何光学からは説明できず、Thomas. Yang による光の干渉に関する法則（1803年）を待たねばならない。1838年にG. B. Airy が虹の回折理



Fig. 1 A main rainbow and a secondary rainbow.

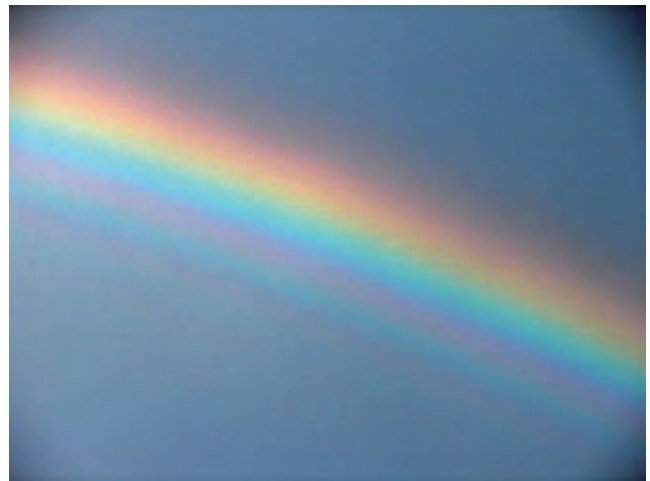


Fig. 2 Supernumeraries inside the same primary bow in fig. 1, but in different direction.

論を完成させ、Airy の虹積分と呼ばれる関数を用いて虹の強度分布を求めた。この計算はかなり乱暴な近似計算であるが現実の虹を再現良く説明できるこ

とが知られている。厳密には誘電体球による電磁場の散乱を Maxwell 方程式を直接解いて求めた Mie の散乱理論によることになる。Airy の虹積分は Mie の散乱理論で散乱体半径を大きくしたときの漸近解になる¹⁾。

それでは、虹の計算を Mie の散乱理論によって計算すれば、厳密に求めることができるのではないかということになるが、残念ながら現実には困難を伴う。Mie の散乱理論は霧のような小さな散乱体に対しては容易に計算できるが、虹を発生させるような大きな水滴では計算量が膨大になり、計算機で算出すると誤差が累積してノイズの多い、意味の無い結果しか得られない。

近似解である Airy の虹積分も事情は似ており、積分に周期関数を含むため収束が極めて悪く、計算に時間がかかると同時に精度が得られない。

虹を再現するには、見える角度と色のほかに、水滴境界での屈折や反射に伴う強度の変化を考慮しなければならない。透過率や反射率は偏光依存性があるので、境界面に電界が平行な S 波と電界が垂直な P 波についてそれぞれ計算する必要がある。Airy の虹積分では偏光や反射・屈折の効果が考慮されていないので、計算の質の問題だけでなく上記の問題もあり虹の計算方法として不満が残る。

本報告では、Descartes の光線近似に光路長による位相差をもとに、光線に複素強度を与え、最終的に同じ出射角同士で加算するという近似計算方法を提案する。光線近似は光の干渉とは相容れない概念であるが、量子力学における経路積分²⁾に類似した概念を持ち込むことにより計算が可能になるというアイデアである。もちろん乱暴な近似であることは承知の上であるが、光線の経路積分は最短経路付近の寄与が主となりそれ以外の経路からの寄与は小さくかつ互いに相殺する性質があるので、光線近似に複素強度を乗せる計算に物理的な裏付けが無いわけではない。どちらにしてもかなり突飛な計算方法であり、あまり感心できない方法であるが、虹の計算に適用してみたところ、少ない計算量で意外にも良く再現できることが分かり、虹の特徴を非専門家に説明する際には判りやすい理論ではないかと思われる。

以下、幾何光学による色と見える角度の説明と、複素強度の導入による過剰虹を含む虹の明るさの再現について説明する。

2. 幾何光学による計算

Descartes が行った作図に習い、光線追跡法で計算を行う。Fig.3は球状水滴の中心を含む断面を表す。入射光線は必ず球の中心を含む1つの平面内に拘束

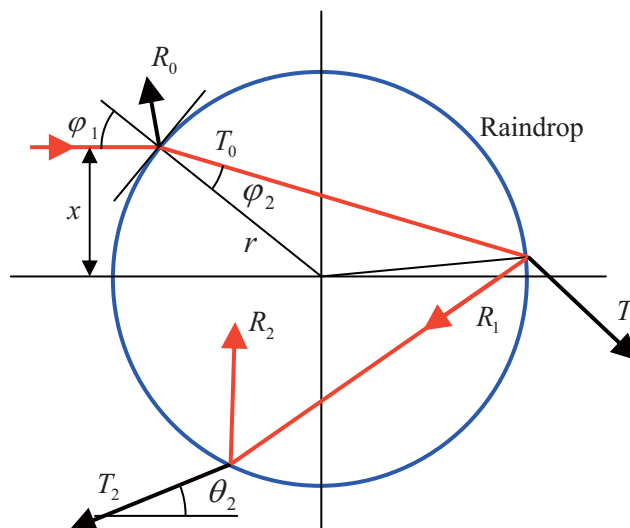


Fig. 3 Ray trace through a raindrop. T and R represent transmission and reflection. Suffix number for R is the count of reflection inside the raindrop and for T is one larger than the count.

されるので、円筒として近似することができる。

射出光線については雨滴内部での反射回数に1を加えた数を次数 m として、 $m=2$ の光線が主虹、 $m=3$ が副虹となる。雨滴表面で反射する光線の次数は $m=0$ 、内部反射無しにすり抜ける光線は $m=1$ となる。

Fig.3より雨滴から射出される光線の仰角（入射太陽光線が水平のとき地上から見上げる角度）は、次の関係式に表せる。

$$\theta_m = (2-m)\pi - 2\sin^{-1}\frac{x}{r} + 2m\sin^{-1}\frac{x}{nr} \quad (1)$$

ここで、 x は入射光線の雨滴中央からの距離、 n は水の屈折率、 r は雨滴の半径である。この角度計算は雨滴表面での反射 R_0 にも適用される。

虹は色のリングでできているわけではなく、 $m=2$ の光線についていえば、ある最大角度の内側に散乱されており、最大の仰角付近で光線が集中して明るく見えるわけである。Fig.4に入射光線の位置と散乱光線の仰角の関係から虹の見える角度が決定される説明を示す。虹の見える角度は散乱光線の仰角の微分値が0となる角度となる。次数 m の光線の仰角の微分は次式で表される。

$$\frac{d\theta_m}{dx} = -\frac{2}{r} \frac{1}{\sqrt{1-(\frac{x}{r})^2}} + \frac{2}{nr} \frac{1}{\sqrt{1-(\frac{x}{nr})^2}} \quad (2)$$

この最大角度の値が屈折率の波長依存により、波長の長い赤色は高い仰角に、波長の短い青色は低い

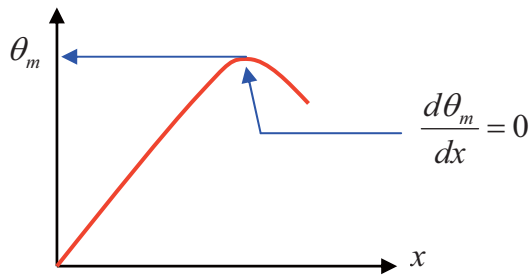


Fig. 4 The angle where the differential coefficient of outgoing angle to offset x of incident ray equals zero is the angle of rainbow.

仰角となり、色のグラデーション、すなわち虹をもたらす。

Fig.5のグラフは、入射光線の雨滴中央からの変位 x を横軸、次数 $m=1$ から 11 までの射出光線の仰角 θ を縦軸に描いたものである。水の屈折率は $n = 1.33$ とした。

2 次の射出光線については、グラフの極大が仰角 42度付近に、3 次射出光線については、極小が52度付近に確認できる。3 次射出光線では仰角極小のた

め、色の順番が主虹と逆向きになることがわかる。0 次と 1 次の散乱光は仰角が90度を超えるので虹を見る側からは見えない。また、極値を持たないので透過では虹のような現象は発生しないことが分かる。2 次と 3 次の光線のみとすると主虹と副虹の間に散乱光の存在しない角度領域が存在することが分かる。これが暗帯である。4 次以上の射出光線についても、極値となる仰角が存在するので、4 次の虹、5 次の虹が見えても良さそうであるが、これを確認するには強度について計算する必要がある。

3. 強度計算

水滴表面の境界での光の反射率、透過率はフレネルの式から以下のように計算される。

$m=0$ については、

$$\begin{aligned} R_{s0} &= I \cos \varphi_1 \cdot \alpha \\ R_{p0} &= I \cos \varphi_1 \cdot \beta \end{aligned} \quad (3)$$

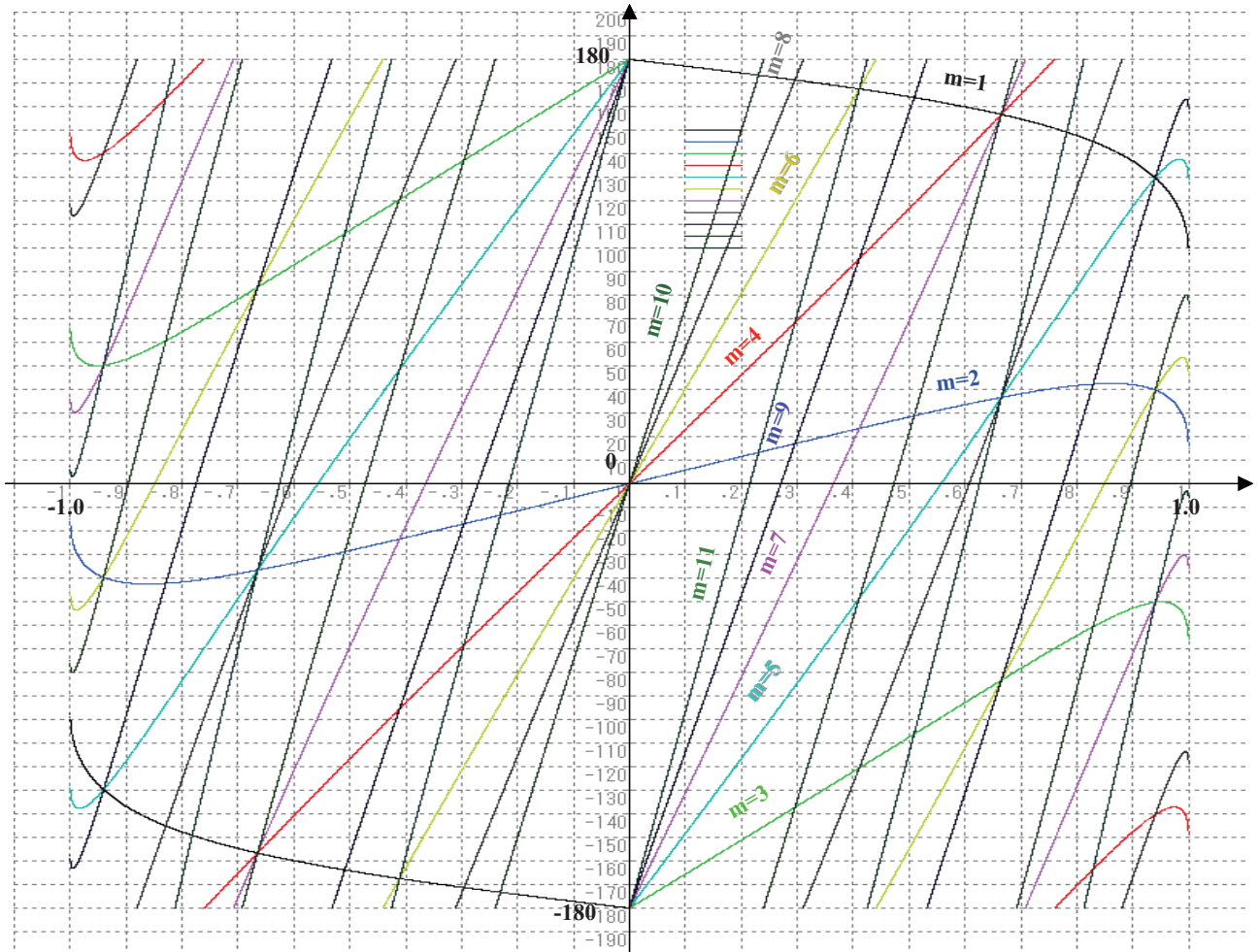


Fig. 5 Calculated relations between angle of elevation θ and offset x of incident ray for some m . Refractive index n of raindrop is 1.33.

となる．添字の s と p はS波とP波を表す． I は入射光線の強度である．ここで α と β は次の通りである．

$$\begin{aligned}\alpha &= \frac{\sin^2(\varphi_1 - \varphi_2)}{\sin^2(\varphi_1 + \varphi_2)} \\ \beta &= \frac{\tan^2(\varphi_1 - \varphi_2)}{\tan^2(\varphi_1 + \varphi_2)}\end{aligned}\quad (4)$$

$m \geq 1$ については，次のように表せる．

$$\begin{aligned}Rs_m &= I \cos \varphi_1 \cdot (1 - \alpha)^m \alpha \\ Rp_m &= I \cos \varphi_1 \cdot (1 - \beta)^m \beta \\ Ts_m &= I \cos \varphi_1 \cdot (1 - \alpha)^{m+1} \\ Tp_m &= I \cos \varphi_1 \cdot (1 - \beta)^{m+1}\end{aligned}\quad (5)$$

雨滴の屈折率の波長依存性は，理科年表に掲載されているいくつかのデータを補間して，Fig.6の関数で近似した．

ここまでの議論で幾何光学的な虹の計算は完結でき，主虹，副虹，暗帯，偏光，高次散乱光の寄与を調べることができる．しかし，干渉現象である過剰虹についての情報は当然ながら得られない．

幾何光学の範囲で計算すると， $m=4$ 以上の寄与は小さく， $m=0$ の表面反射も含めて，ベースのオフセットを与えるのみで，特徴的な色のパターンを発生することは無いことが確認される．また，主虹の原因となる光線が，雨滴内部で反射する角度は，33度付近になり，これが Brewster 角 37 度に近いため虹はS波（虹の円弧に沿った方向）にほぼ偏光していることが分かる．

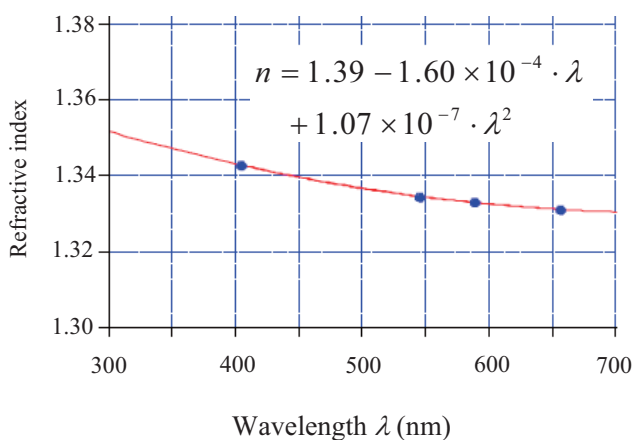


Fig. 6 Refractive index of water. The 4 data in graph are from reference 1. The temperature of water is 20 degree in centigrade.

4. 複素強度の導入

光線の雨滴による散乱は，前節までの議論にしたがい幾何光学的に算出する．強度についても同様であるが，ここで新たに導入する考えは，光路長差による位相である．Fig.7に考え方を示す．ある基準の位置を出発点として，光の進んだ光路すなわち実際の距離に屈折率を乗じた距離を波長で除して，端数に 2π を乗じた値を位相角度として導入する．矢印の長さを光線の強度，回転角度を位相角度とする．

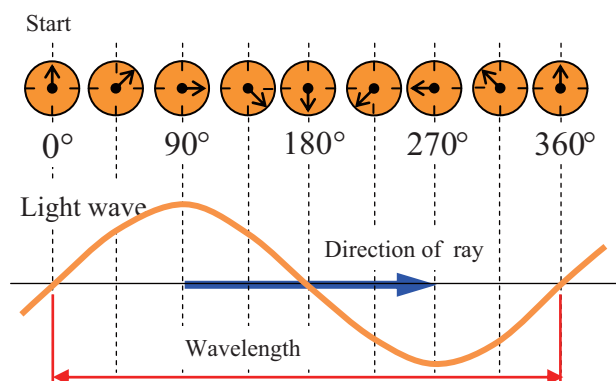


Fig. 7 Illustration of complex intensity of a ray. Radius of a clock panel represents intensity, and angle of an arrow represents phase.

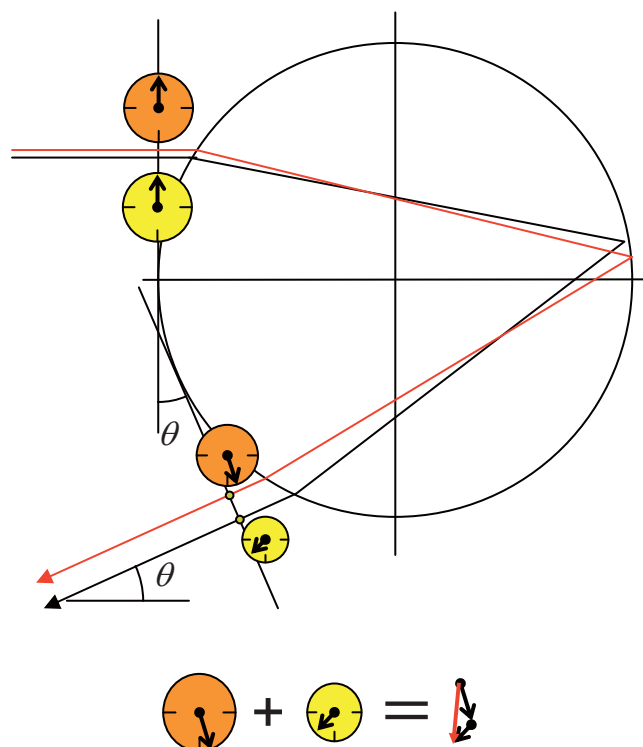


Fig. 8 Intensity is obtained as vector sum of complex intensities of rays in same outgoing direction.

複素平面のベクトルと同じ表現になるので、これを複素強度と呼ぶ。反射や屈折による強度の減小は、矢印の長さの縮小になる。図では時計の文字板と針で表し、光線の固有の時計として示す。最終的に強度計算する際は、Fig.8に示すように同じ角度に散乱される光線の複素強度をベクトル和として計算する。この計算方法は量子力学における経路積分に類似の方法である。ただし、確率の最も高い幾何光学的な経路（フェルマーの原理による最短経路）のみの重ね合わせという、かなりいい加減な近似になっており、このような計算が果たして許されるものか正直言って筆者も半信半疑である。

計算結果を Airy の虹積分による計算と比較してみた。ただし、上述したように Airy の計算では、反射屈折による強度の影響や偏光の効果は考慮されていないので定性的な比較しかできない。Fig.9は波長 550nm について雨滴径 0.1mm と 1.0mm について計算した結果である。Airy 理論の結果は角度については現実の虹を良く再現していることが判っており、虹の角度は幾何光学的に求めた値より低角度側になる¹⁾。我々の方法では幾何光学で射出角度を決定しているため高角度側に鋭いピークの形で主虹が

計算される。全体的には、過剰虹のピーク角度が高角度側にずれているものの周期や形は良く一致していることがわかる。我々の計算では高次の散乱項の影響も取り入れているので光強度のオフセットが表れている。また、偏光依存性も算出される。

本報告で提案する計算方法は、物理的には正しくなく、Airy 理論の結果とも角度に大きな食い違いが見られる。しかし、干渉以外の部分は幾何光学の概念を用い、干渉は、波の位相を考慮した複素強度を導入するという解かり易い説明になっている。虹の特徴を定性的には説明可能なので、説明のための方法としては有効であると思われる。

光学現象の計算には、一般に BPM や FDTD といった大規模なシミュレータソフトが用いられるが、大きな角度の屈折や反射には対応できない、膨大な計算量を要するなどの使い辛さがある。ここで提案する光線追跡法は簡便な計算で干渉も含めて強度を算出することができるので厳密ではないが現象の概略を把握するのに適しており、応用範囲は広いと期待される。なお、本報告における計算はすべて十進BASIC³⁾を用いて行った。

4. 虹の計算結果

Fig.10は雨滴径 0.1mm の場合の、波長400nm（青色）、500nm（緑色）、600nm（赤色）についての計算結果である。過剰虹などの暗い構造を分かり易くするため明るさを対数表示してある。偏光依存性が強く、主虹も副虹もS波に偏波していることがわ

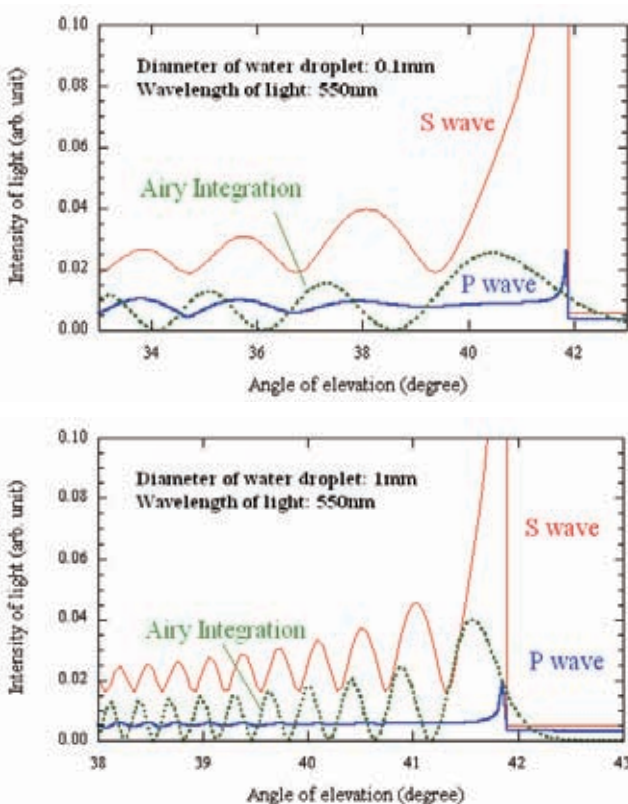


Fig. 9 Calculated results of Airy integration and the ray trace with complex intensity. Although the angle is shifted higher side from Airy integration result, the pattern of supernumeraries shows good agreement qualitatively.

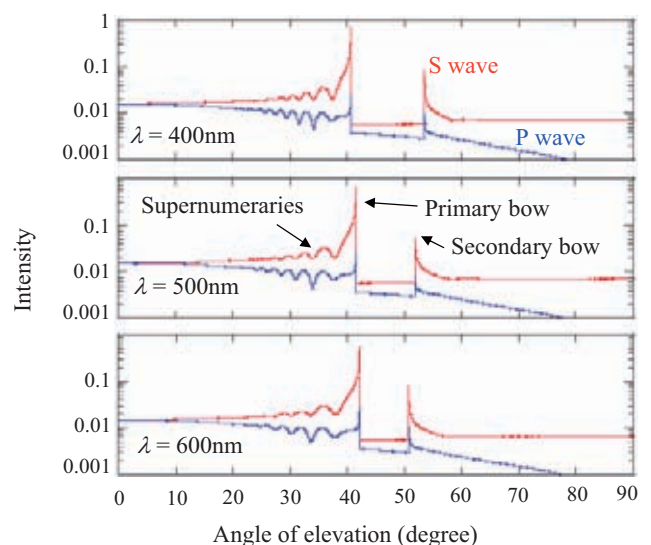


Fig. 10 Calculated results for some wavelengths. Scattering intensities are normalized with injecting light intensity and are plotted in log scale. Diameter of raindrop is 0.1mm.

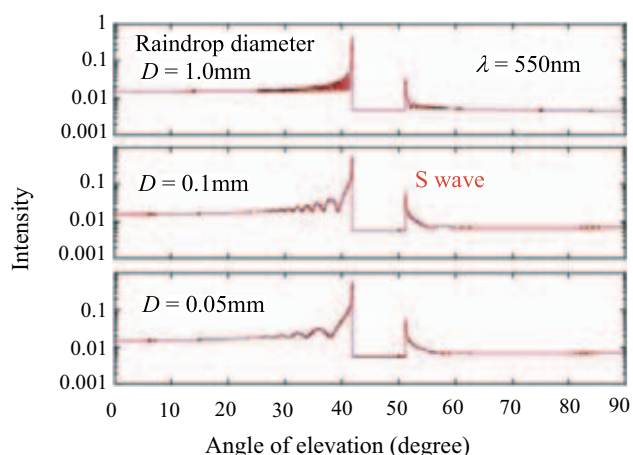


Fig. 11 Raindrop diameter dependent of supernumeraries.

かる．Airy 理論との比較で確認したように，本方法では主虹のピーク値が高く出る傾向があるため，実際にはグラフほどの主虹と副虹の強度比はないと推測される．波長が長い（赤色）ほど主虹の角度が高いことが確認される．逆に副虹では低くなることが確認できる．主虹と副虹に挟まれた角度領域では，暗いことが確認される．過剰虹の角度は長波長ほど主虹の角度と同じように高角度側にずれているとは思われるが，同時に明線の間隔が広がっているのので，内側最初の過剰虹については色が重なる結果になっている．2 番目の過剰虹では色のピークが主虹と逆転して赤が内側，青が外側になるようである．3 番目以降は各色が重なって白っぽく見えるのではないかと推測される．過剰虹の色は実際複雑で主虹の繰り返しにはなっていない．干渉現象なので波長と雨滴の大きさの関係で表れ方が変化することが容易に推測できる．

次に，雨滴の大きさによる効果を調べるため，同じ波長（550nm）について，雨滴径を 1mm, 0.1mm, 0.05mm について計算して比較してみた．Fig.11に S 波についての結果を示す．雨滴径が大きいと過剰虹の周期が細かくなることがわかる．周期が細かいと色が重なり過剰虹はただの白っぽい領域になり確認できなくなるだろう．逆に雨滴径が小さいと間隔が広くなりコントラストも落ち，やはり白っぽく消えてしまうと思われる．光線近似により角度を求めている関係で主虹と副虹の位置は雨滴径に依存しない結果が得られるのであるが，過剰虹の部分の形を見ると，雨滴径が小さいほど低角度側にシフトすることが推測される．

過剰虹の繰り返し間隔が雨滴径が大きいほど細かいことが計算から分るが，実際の虹でこの様子が観

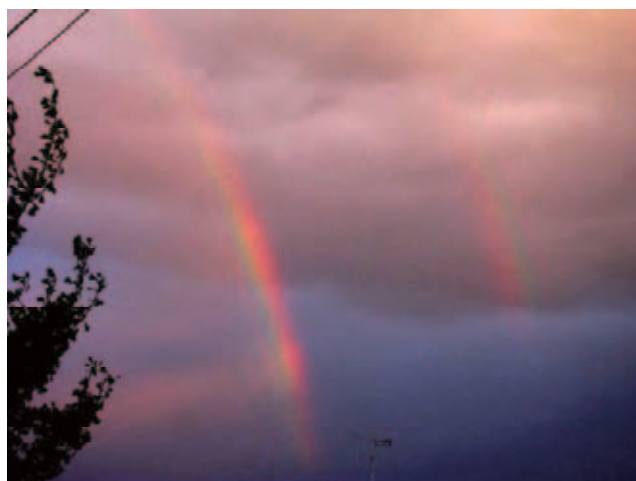


Fig. 12 A photograph of supernumeraries. The width of supernumeraries becomes wider as height becomes higher. The diameters of raindrops in higher position in the sky are supposed to be smaller than those in lower position. This photograph was taken at 18:30 on August 12, 2010.

察されることがある．Fig.12は今年の夏に撮影した虹で，副虹と過剰虹が確認できる．興味深いことに過剰虹の間隔が高いところほど広がっており，主虹と平行ではないことがわかる．雨滴は落下するにしたがいその径が大きくなると思われるので，上空ほど径が小さく，したがって過剰虹の繰り返し間隔が広がるという説明ができる．角度を測定すれば，シミュレーションの結果から雨滴の径を見積もることも可能だろう．

5. まとめ

名だたる光学の先駆者がその時々最先端の理論を虹に適用して虹の詳細を明らかにしてきた歴史があり，虹の解明への欲求が原動力となって光学が発展してきたのではないかとさえ思える．本報告では幾何光学に位相差を考慮した複素強度を導入することで近似的に干渉現象を扱える計算方法を提案し，虹の計算に適用した．角度計算は幾何光学の域を出ないが，定性的な特徴をつかまえることは可能であることが分った．他の光学現象にも応用可能と期待される．

参考文献

- 1) 鶴田匡夫：「光の鉛筆」，アドコム・メディア（株），30章(1984)248
- 2) R.P.ファインマン：「光と物質のふしぎな理論」，岩波書店，(1987)
- 3) <http://hp.vector.co.jp/authors/VA008683/>, 十進BASICホームページ

単項曲線の特異点に対する r 点のヒルベルトスキームについて

渡利正弘*

On the Hilbert schemes of r points for monomial curve singularities

Masahiro Watari

Pfister and Steenbrink studies Hilbert schemes of r points for monomial curve singularities. Our aim in this present paper is to show that if the Hilbert scheme of r points for given monomial curve singularity is irreducible, then it is a rational projective variety.

Key words Hilbert schemes of r points, monomial curve singularities

1. 導入

基礎体 k を標数 0 の代数閉体とする. 既約特異曲線の特異点に対する局所環 $\mathcal{O}$ が環

$$k[[t^{a_1}, \dots, t^{a_m}]] \quad (a_i \in \mathbb{N})$$

と同型であるものを, 単項曲線芽と呼ぶ. ここで $\gcd(a_1, \dots, a_m) = 1$ と仮定しても一般性を失わない. 局所環 $\mathcal{O}$ の元の位数の集合

$$\Gamma := \{\text{ord}(f) \mid f \in \mathcal{O}\}$$

を, 局所環 $\mathcal{O}$ に付随する半群と呼ぶ. 以下, 本稿で用いる主な記号を次の様に準備する.

$$\begin{aligned} \overline{\mathcal{O}} &:= k[[t]] \\ \overline{I}(n) &:= \{f \in \overline{\mathcal{O}} \mid \text{ord } f \geq n\} \quad (n \in \mathbb{N}) \\ I(n) &:= \overline{I}(n) \cap \mathcal{O} \\ \delta &:= \dim_k \overline{\mathcal{O}}/\mathcal{O} = \#(\mathbb{N} \setminus \Gamma) \\ c &:= \min \{n \mid \overline{I}(n) \subset \mathcal{O}\} \end{aligned}$$

$$\text{Gr}(\delta, \overline{\mathcal{O}}/\overline{I}(2\delta)) := \{\overline{\mathcal{O}}/\overline{I}(2\delta) \text{ の } \delta \text{ 次元の部分空間}\}$$

数字の 0 の位数を ∞ と定義することにより, 位数の集合 $\overline{I}(n)$ と $I(n)$ はそれぞれ, $\overline{\mathcal{O}}$ と $\mathcal{O}$ のイデアルになる. 上記の正整数 δ と c を, それぞれ局所環 $\mathcal{O}$ の δ -不変量, 導体と呼ぶ. これらについて, 次の命題が成立する.

命題 1 (cf. [3], p. 80, Proposition 7). 局所環 $\mathcal{O}$ の δ -不変量 δ と導体 c に対して, 関係式

$$\delta + 1 \leq c \leq 2\delta$$

が成立する. 特に $c = 2\delta$ となるのは $\mathcal{O}$ がゴレインシュタイン環の時, かつその時のみに限る.

ここで剰余環 $\overline{\mathcal{O}}/\overline{I}(2\delta)$ を考える. この環のベクトル空間としての次元が, 2δ であることに注意する. 次元が δ の部分ベクトル空間全体の集合を $\text{Gr}(\delta, \overline{\mathcal{O}}/\overline{I}(2\delta))$ と表す. $W \in \text{Gr}(\delta, \overline{\mathcal{O}}/\overline{I}(2\delta))$ がよい状態 (good) であるということを, 局所環 $\mathcal{O}$ の元との積

$$\mathcal{O} \times W \ni (f, \bar{v}) \mapsto \overline{f}v \in W$$

が定義され, この積に対して W が $\mathcal{O}$ -部分加群 であるときと定める. ここで $\text{Gr}(\delta, \overline{\mathcal{O}}/\overline{I}(2\delta))$ のよい状態である部分ベクトル空間の集合を

$$\mathcal{M} := \{W \in \text{Gr}(\delta, \overline{\mathcal{O}}/\overline{I}(2\delta)) \mid W \text{ はよい状態}\}$$

で表す. また記号 $\mathcal{M}_r$ で余次元が r である $\mathcal{O}$ のイデアルの集合を表すものとする. すなわち

$$\mathcal{M}_r := \left\{ I \subset_{\text{ideal}} \mathcal{O} \mid \dim_k \mathcal{O}/I = r \right\}$$

とする. 論文 [1] において, 写像

$$\begin{aligned} \phi_r : \mathcal{M}_r &\longrightarrow \mathcal{M} \\ \psi &\qquad \qquad \psi \\ I &\longmapsto t^{-r}I / I(2\delta) \end{aligned}$$

が定義できることが示された. また記号 ψ で $\text{Gr}(\delta, \overline{\mathcal{O}}/\overline{I}(2\delta))$ から射影空間 $\mathbb{P}^N$ ($N = \binom{2\delta}{\delta} - 1$) への Plücker 埋め込みを表すものとし, $\text{Gr}(\delta, \overline{\mathcal{O}}/\overline{I}(2\delta))$ の元 W の ψ による像を

$$\psi(W) = (\pi_{1,2,\dots,\delta}, \dots, \pi_{i_1,\dots,i_\delta}, \dots, \pi_{\delta+1,\dots,2\delta})$$

と表し, これを Plücker 座標と呼ぶ. 簡単のため添え字集合 $\{i_1, \dots, i_\delta\}$ を, 記号 Λ などで表す.

$$V_r := (\psi \circ \phi_r)(\mathcal{M}_r)$$

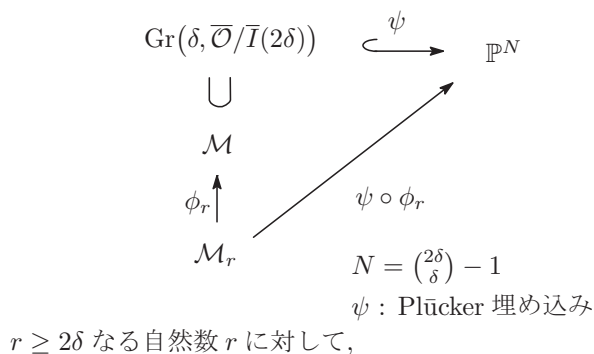
とおく. この V_r を, 与えられた特異曲線芽に対する r 点のヒルベルトスキームと呼ぶ. Pfister と Steenbrink は論文 [1] において, この写像 ϕ_r が次の性質を持つことを示した.

原稿受付 平成 22 年 8 月 31 日
*専門学科共通科目

定理 2 (Pfister, Steenbrink [1]). 写像 ϕ_r は単射である. 特に $r \geq 2\delta$ の時, 写像 ϕ_r は全単射である. 更に任意の自然数 r に対して, V_r はザリスキ閉集合である.

この定理より直ちに, 次の命題が導かれる.

系 3. もし $r \geq 2\delta$ ならば, $V_r = V_{2\delta}$ が成立する.



$$V := V_r$$

とおく. この射影代数多様体 V を **Pfister-Steenbrink 多様体**(PS 多様体) と呼ぶ. [1] では, 様々な単項曲線芽に対しての PS 多様体 V の構造が詳しく研究された. また [4] において, 次の既約な単純特異点

$$A_{2d}: x = t^2, y = t^{2d+1} \quad (d \geq 1),$$

$$E_6: x = t^3, y = t^4,$$

$$E_8: x = t^3, y = t^5,$$

に対して, 代数多様体 V_r ($1 \leq r \leq 2\delta$) の定義方程式が計算された.

本稿の目的は, 次の定理を証明することである.

定理 4. 任意の単項曲線芽に対する r 点のヒルベルトスキーム V_r ($r \geq 1$) は, 既約ならば有理的射影代数多様体である.

2. 定理 4 の証明

まず定理 4 の証明に必要な事柄を準備する. Plücker 埋め込み ψ を次のよう分解する.

$$\begin{array}{ccccccc}
 \psi: \mathcal{M} & \longrightarrow & \text{Gr}(\delta, 2\delta) & \longrightarrow & M_{\delta, 2\delta}(k)/\sim & \longrightarrow & \mathbb{P}^N \\
 \cup & & \cup & & \cup & & \cup \\
 W & \longmapsto & \langle \mathbf{a}_1, \dots, \mathbf{a}_\delta \rangle_k & \longmapsto & A_W & \longmapsto & (\pi_{i_1 \dots i_\delta})
 \end{array}$$

$\mathcal{M}$ の元 W を $W = \langle f_1, \dots, f_\delta \rangle_k$ と表す. ここで $f_i = \sum_{j=0}^{2\delta-1} a_{ij} t^j \in \overline{\mathcal{O}}/I(2\delta)$ は W の k -ベクトル空間としての基底である. この基底の係数から定まる $k^{2\delta}$ の横数ベクトルを

$$\mathbf{a}_i = (a_{i0}, \dots, a_{i, 2\delta-1})$$

とおき, 上の合成写像に現れる最初の写像はこの自然な対応によるものである. 次に $\delta \times 2\delta$ 行列

$$A_W = \begin{pmatrix} \mathbf{a}_1 \\ \vdots \\ \mathbf{a}_i \\ \vdots \\ \mathbf{a}_\delta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{1,0} & \cdots & a_{1,j} & \cdots & a_{1,2\delta-1} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ a_{i,0} & \cdots & a_{i,j} & \cdots & a_{i,2\delta-1} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ a_{\delta,0} & \cdots & a_{\delta,j} & \cdots & a_{\delta,2\delta-1} \end{pmatrix}$$

を δ 次元 k -ベクトル空間 W の表現行列と呼ぶ. W の表現行列は基底を取り方に依存するが, 同じ W を表すことに注意する (それらは互いに相似である). 合成写像に現れる 2 番目の写像は, k -ベクトル空間 W にその表現行列を対応させる写像である. ここで同値関係 $\sim$ は相似を表す. 最後の写像は, A_W に Plücker 座標を対応させる写像である. ここで $\pi_{i_1 \dots i_\delta}$ は A_W の $i_1, \dots, i_\delta$ 列を選んでできる小行列の値を表す.

G を加法を演算とする半群とし, 加法に関する単位元 0 を持つものとする. 加法を演算とする半群 M が **G -半群** であるとは, G の元と M の元との加法

$$\begin{array}{ccc}
 +: G \times M & \longrightarrow & M \\
 \cup & & \cup \\
 (a, x) & \longmapsto & a + x
 \end{array}$$

が定義されていて, G の単位元 0 に対して

$$0 + x = x$$

が任意の M の元 x に対して成り立つことである. また S を M の部分集合とすると, S を含む M の全ての G -部分半群の族 $\{N_\lambda\}_{\lambda \in \Lambda}$ に対して

$$[S]_G := \bigcap_{\lambda \in \Lambda} N_\lambda$$

を S で生成された G -部分半群という. 特に G -部分半群 M に対して, $M = [S]_G$ となるような部分集合 S を M の G 上の生成系という.

局所環 $\mathcal{O}$ のイデアル I に対して, 集合

$$\Gamma(I) := \{\text{ord}(f) \mid f \in I\}$$

を, **I の半群** と呼ぶ. この $\Gamma(I)$ は Γ -半群である. $\Gamma(I)$ の Γ 上の生成系が $\{p_1, \dots, p_s\}$ であるとき, イデアル I を $(p_1, \dots, p_s)$ 型であるという. $(p_1, \dots, p_s)$ 型であるイデアル全体の集合を記号 $J(p_1, \dots, p_s)$ と表す. 2 つのイデアル I_1 と I_2 が同じ型を持つのは, $\Gamma(I_1) = \Gamma(I_2)$ が成立する時, かつその時のみに限ることに注意する.

補題 5. 局所環 $\mathcal{O}$ のイデアル I が $\mathcal{M}_r$ に属するのは, 関係式 $\#\{\Gamma \setminus \Gamma(I)\} = r$ が成立する時, かつその時のみに限る.

補題5の証明は簡単なので省略する.

注意 6. 補題5は, イデアルの余次元は型によって決められる事を示唆している.

命題 7. もし $J(p_1, \dots, p_s) \subset \mathcal{M}_r$ であれば, $(\psi \circ \phi_r)(J(p_1, \dots, p_s))$ はアフィン空間である.

(証明) $I \subset \mathcal{O}$ を $(p_1, \dots, p_s)$ 型で余次元が r のイデアルとする. ここで δ 次元 k -ベクトル空間 $\phi_r(I)$ の基底を $\langle f_1, \dots, f_\delta \rangle_k$ とおく. ただし

$$f_i = x^{d_i} + \sum_{j=d_i+1}^{2\delta-1} a_{i,j} x^j, \quad (1 \leq i \leq 2\delta).$$

すると表現行列 $A_{\phi_r(I)}$ は, 次のような簡約階段行列にとることができる.

$$\begin{pmatrix} 0 \cdots 0 & 1 & \cdots & a_{1,d_2} & \cdots & a_{1,d_\delta} & \cdots & a_{1,2\delta-1} \\ & & & 1 & \cdots & a_{2,d_\delta} & \cdots & a_{2,2\delta-1} \\ & 0 & & & \ddots & \vdots & & \vdots \\ & & & & & 1 & \cdots & a_{\delta,2\delta-1} \end{pmatrix}$$

この時, 基底 f_1 から f_δ のそれぞれの先頭項に対応する Plücker 座標は

$$\pi_\Xi = 1, \quad (\text{ここで } \Xi = \{d_1 + 1, \dots, d_\delta + 1\})$$

となる.

また任意の添え字集合 Λ に対して,

$$(1) \quad \pi_\Lambda \in k[a_{i,j} | 1 \leq i \leq \delta, d_1 \leq j \leq d_\delta]$$

となることに注意する. 更に $A_{\phi_r(I)}$ の任意の成分 $a_{i,j}$ ($1 \leq i \leq \delta, d_1 \leq j \leq d_\delta$) に対して

$$(2) \quad \pi_\Lambda = (-1)^l a_{i,j}$$

となる自然数 l と添え字集合 Λ がかならず存在する.

例えば $\Lambda = \{d_1 + 1, \dots, d_{i-1} + 1, j + 1, d_{i+1} + 1, \dots, d_\delta + 1\}$ とすればよい.

座標 π_Ξ で同次座標を非同次化し, その非同次座標を

$$X_\Lambda = \frac{\pi_\Lambda}{\pi_\Xi}$$

とおく. この時, 代数多様体 $(\psi \circ \phi_r)(J(p_1, \dots, p_s))$ のアフィン多様体としての定義イデアルを J とすると, その座標環

$$k[X_{1,2,\dots,\delta}, \dots, \overset{\vee}{X}_\Xi, \dots, X_{\delta+1,\dots,2\delta}]/J$$

は適当な多項式環と同型になる. よって代数多様体 $(\psi \circ \phi_r)(J(p_1, \dots, p_s))$ は, 適当な次元のアフィン空間と同型になる.

次の命題は, よく知られた事実である.

命題 8 ([2], p.26, Corollary 4.5). 任意の既約な2つの代数多様体 X と Y に対して, 次の条件は同値である.

- (1) X と Y は, 双有理同値
- (2) X と Y のそれぞれの開集合 U, V で, $U \cong V$ となるものが存在する

(定理4の証明) 写像 $\psi \circ \phi_r$ は単射なので, 以下では $J(p_1, \dots, p_s)$ と $(\psi \circ \phi_r)(J(p_1, \dots, p_s))$ を同一視する. 任意の型 $(p_1, \dots, p_s)$ に対して $J(p_1, \dots, p_s)$ は, 命題7より適当なアフィン空間に同型である. 更に命題8より $J(p_1, \dots, p_s)$ は適当な射影空間と双有理同値となる. $\square$

参考文献

- [1] G. Pfister, J.H.M. Steenbrink, “Reduced Hilbert schemes for irreducible curve singularities”, J. Pure and Applied Algebra. **77**, 103-116, (1992).
- [2] R. Hartshorne, “Algebraic Geometry”, Springer, (1977)
- [3] J. P. Serre, “Groupes Algébriques et Corps de Classes”, Hermann, Paris, 1959.
- [4] 相馬芳紀, “平面曲線の単純特異点に対する r 点のヒルベルトスキーム”, 埼玉大学理工学研究科数理電子情報専攻 修士論文 (2010)

研 究 調 査 報 告

燃費競技車両外装における機能性部品の設計開発

古矢和希* 万治志** 山崎義久** 岡大志** 小笠原雄一** 橋本淳**

Development of Functional Components Implemented in Cowl of Mileage Competition Vehicle

Kazuki FURUYA, Nozomi MANJI, Yoshihisa YAMASAKI, Taishi OKA, Yuichi OGASAWARA
and Jun HASHIMOTO

To reduce the aerodynamic drag and the rolling resistance working on a mileage competition vehicle, functional components having a simple aerodynamic effect are installed in rear section of vehicle cowl, in single and multiple. In this paper, effects of those devices are investigated by Computational Fluid Dynamics (CFD). Diffuser, Vortex Generator (VG), Flap and Gentle Slope of Rear Section (GS) are chosen as a basic component. First of all, it is confirmed that each simple component affects the drag force and the lift force at the running condition of mileage competition. Diffuser, VG and GS shows an effect of reduction in the aerodynamic drag. Flap and GS generates the lift force, meanwhile, Diffuser shows a generation of down force. In the light of the reduction of the rolling resistance, generation of the lift force having a decreasing effect of vertical force is desirable. To complement and foster the each effect, some combined devices are proposed in this study. Type NDC consisting of Diffuser and GS aims to foster a decreasing effect of the aerodynamic drag. Another one, Type NCF5 consisting of GS and Flap aims to foster the lift force leading to a decreasing effect of the rolling resistance. As a result of CFD, Type NDC and NCF5 show the theoretical mileage improvement of 30 and 10 km/l respectively. These effects are smaller than that brought by improvements of the other items. However, development expense of producing functional components is inexpensive.

Key Words : Vehicle, Mileage, Drag Reduction, Aerodynamic Drag, Rolling resistance, Computational Fluid Dynamics

1. はじめに

世界規模でのエネルギー問題や環境問題が叫ばれる現代、自動車の燃費向上は非常に重要な課題とされ、各メーカーは改善に全力を注いでいる¹⁾。そのような背景の下、環境問題への意識を高めながら技術者を育成する試みの一つとして、自作自動車による燃費競技会が開催されている²⁾。燃費競技とは、“リッター何キロ”といった記録を競うものである。

燃費競技大会における競技車両の走行方法は、一般的な車両の走行パターンと比べて特徴的である。図1に競技車両の概観を、図2にその走行パターンの一例を示す。競技においては、走行路を規定数周回する間の燃料消費量から燃費記録(km/l)を算出する。その際、規則によって平均速度 25km/h での走行が定められている。各競技者はできるだけ吸排気損失の影響を小さくしながらこの規則を守るために、WOT (Wide Open Throttle) 加速－機関停止・惰

性走行－機関始動・WOT 加速・・・といったパターンを繰り返して走行する。このような運転条件を踏まえた上で、燃費競技記録向上のために技術面から用いられる主な手法を図3に、また、競技車両に作用する主な抵抗を図4に示す。従来、加速抵抗や路面抵抗の低減は積極的に試みられてきた。また、近年は予算的に厳しいチームにおいても、プラスチック

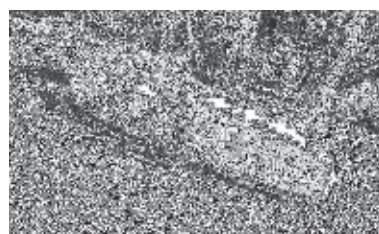


Fig. 1 Overview of the Mileage Competition Vehicle

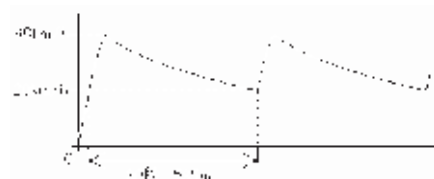


Fig. 2 Transient Running Pattern
of Mileage Competition Vehicle

原稿受付 平成 22 年 8 月 31 日

* 本田技研工業株式会社

** 津山工業高等専門学校 機械工学科

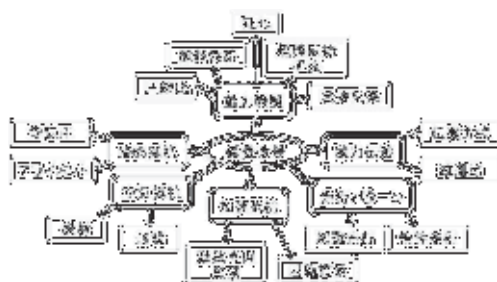


Fig. 3 Techniques to Improve the Mileage of Mileage Competition Vehicle



Fig. 4 Resistances Working on a Mileage Competition Vehicle

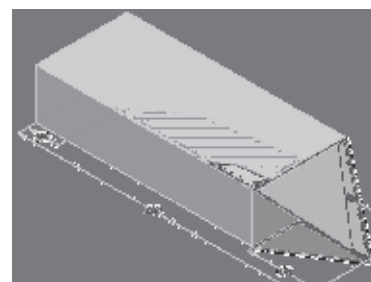


Fig. 5 Simple Model of Mileage Competition Vehicle

ク段ボールや塩ビ板を用いて外装を製作し、全体的な空気抵抗の軽減が行われるようになってきている。しかし、フォーミュラカーやエコカーで導入されているような、空気力学的な効果を有する機能性部品を活用し、空気抵抗の低減や揚力の制御を試みている例はあまり観られない。

そこで本研究では、空気力学的な機能性部品を競技車両外装後部に設置し、その単体、さらには複合効果によって、図4に示す各抵抗を低減することを目的とする。本論文ではまず、燃費競技の実施条件において、外装後部に設置した機能性部品の単体が与える空気力学的効果について明らかにする。さらにその結果を踏まえ、総合的な燃費向上効果を得るための複合型機能性部品の開発を試みる。

2. 計算および解析方法

予め行った実走試験³⁾および競技会での走行条件を熱流体解析ソフトウェア ANSYS CFX⁴⁾上で再現し、機能性部品の設置効果について検討した。1章で述べたように、燃費競技全国大会の規定⁵⁾によって、競技中の平均速度は 25km/h 以上と定められている。本研究では現象を簡単に扱うために、車両速度を 25km/h (6.94m/s) の一定値として解析を行う。主な計算条件を表1に示す。なお、評価結果の計算格子依存性については予備調査を行っており、機能性部品単体の効果を調べる際に用いた格子(四面体、空間格子サイズ 800mm 以下、インフレーション領域 100mm 以下、最大 5 層)より詳細な格子を用いた場合に対して、定性的には同様の傾向を示すことを確認してある。複合型機能性部品に関する検討においては、実走行に使用する外装モデルについて解析を行うため、より精度の高い格子(四面体、空間格子サイズ 200mm 以下、インフレーション領域 2.34mm 以下、最大 5 層)を用いて解析を行った。

3. 機能性部品の単体効果

本章ではまず、機能性部品単体での効果について

Table 1 Analysis Conditions

Domain	Atmospheric Pressure	1[atm]
	Fluid Temperature	308[K]
	Turbulence Model	Shear Stress Transport
	Inflow Fluid	Air
Inlet	Boundary Type	Inlet
	Fluid Speed	6.94[m/s]
	Option	Intensity and Length Scale
	Eddy Length Scale	0.1[m]
Outlet	Boundary Type	Outlet
	Option	Static Pressure
	Relative Pressure	0[Pa]
Freewalls	Boundary Type	Wall
	Option	Free Slip
Symp	Boundary Type	Symmetry
Body	Boundary Type	Wall
	Option	No Slip

検証する。基本となる機能性部品には、航空機や自動車の分野で用いられてきた要素を使用する。要素の名称および効果を表2に示す。計算は、図5に示す簡易外装モデルの後部に各部品を設置して行った。

表3に、各モデルに対して算出した空気抵抗 F_{air} 、揚力 L の値を示す。本論文ではN型は基準モデルを、ND型(図6)はディフューザの、NV型(図7)はボルテックスジェネレータ(以下、VG)の、NF型(図8)はフラップの、NC型(図9)は後方傾斜部の付加されたモデルを表す。各部品の詳細は後述する。全体的には、実際に製作する車体の寸法、機能性部品の取り付け可能空間を考慮しながら、車体後方 30cm、上方 10cm、下方 9cm の領域の活用可能性を検討した。

まず、ディフューザの設置が与える効果について述べる。車両後方の流れは、空気抵抗に大きな影響を与えることが知られている⁶⁾。そこで、外装後部に設置したディフューザが気流を拡散し、後流を縮小することができれば、空気抵抗を低減できるものと考えた。ディフューザは、車体後方 30cm 領域の下部において、6度の跳上角に設定した。ディフューザ部で気流が拡散され、後流領域が縮小している様子を図10に示す。表3から、N型に比べてND型は空気抵抗が減少していることがわかる。

Table 2 Aerodynamic Effects

Functional Components	Aerodynamic Effects
Diffuser	Diffusion of Airflow
Vortex Generator (VG)	Reduction of Separation Flow Area
Flap	Occurrence of Lift
Gentle Slope of Rear Section (GS)	Reduction of Wake Flow Area



Fig. 6 Overview of ND Model

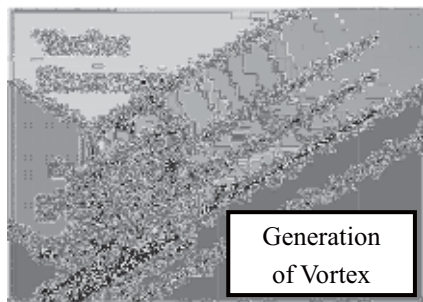


Fig. 7 Overview of NV Model

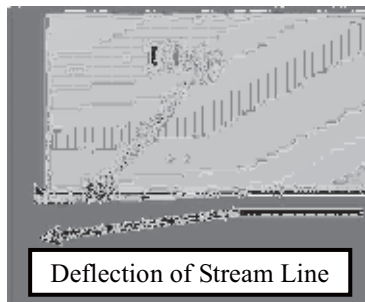


Fig. 8 Overview of NF Model

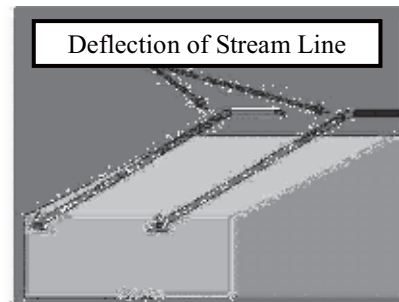


Fig. 9 Overview of NC Model

Table 3 Aerodynamic Force and Drag Coefficient

Type	F_{air} [N]	L [N]
N	10.1	-2.42
ND	8.98	-13.4
NV	9.20	-3.06
NF	9.70	2.52
NC	6.96	0.22

一方、垂直方向の力に着目すると、ND型ではN型に比べてダウンフォースが大きく増加していることがわかる。これは、ディフューザが気流拡散効果と同時に地面効果⁷⁾を生じているためと考えられる。ここで、揚力が減少した場合、車体に作用する下向きの力が大きくなり、車体重量が相対的に増大する。そのため、車体垂直方向の加重に依存する路面抵抗が増加する可能性が考えられる。

次に、VGの設置が与える効果について述べる。流れの剥離は外装後部の絞り込み部分で発生しやすく、剥離流は空気抵抗を増大させる。そのため、一部の条件においては従来、実用車両後部にVGと呼ばれる突起物を設置することで剥離を遅延化し、空気抵抗の低減が試みられてきた⁶⁾。本研究では競技車両外装後方にVGを設置し、競技条件におけるその効果について調査を行った。VGは5cmサイズの三角形、厚みは1cmとした。図11に、VGが剥離域を縮小する様子を示す。表3から、NV型はN型と比較して空気抵抗を低減できることが確認できる。しかし、その効果はND型と比較すると小さい。これは、VGが従来、航空機の分野で応急策や

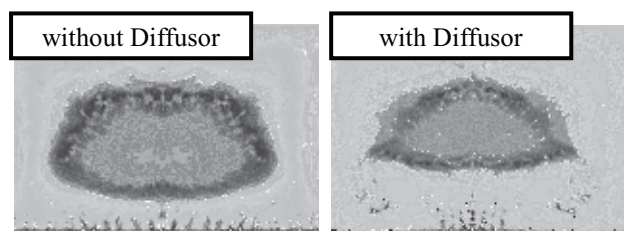


Fig. 10 Diffusion Effect of Airflow

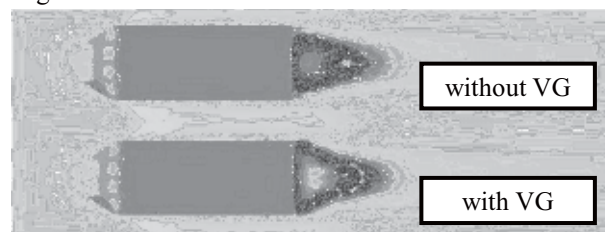


Fig. 11 Velocity Vector Maps of Wake Flow

微調整のために用いられてきた要素であることから、燃費競技の走行条件においては大きな効果が得られなかったものと考えられる。

車体に作用する抵抗力のうち、路面抵抗力は車体重量に依存する。そのため、適切な揚力を発生させることによって垂直加重を軽減できれば、燃費向上効果が期待できる。そこで、簡易なフラップを用いて揚力を発生させることによって、車体垂直加重の低減を試みた。フラップは車体の下部に、後方30cm領域において、車高を考慮した上で3度の傾斜となるように設置した。表3から、NF型を設置すると揚力が生じていることを確認できる。ここで、揚力が生じると車体に上向きの力が作用することとなり、車体重量を低減することにつながる。そのため、簡易フラップを設置することは路面抵抗力の低減に一

定の効果を有するものと推察される。

最後に、後方傾斜部の設置が与える効果を調査する。エコカーの外装後方は、後方へ向けてなだらかに傾斜していることが多い。これは、後流領域を縮小することによって、空気抵抗を低減できるからである⁸⁾。本稿では、製作する競技車両の寸法を考慮しながら、車体後方 30cm の領域に 20 度の傾斜を持たせた上で評価を行った。表 3 から、NC 型は他の機能性部品に比べて空気抵抗低減効果が大きく、後方傾斜部の設置が空気抵抗低減に有効であることがわかる。

4. 複合型機能性部品の開発指針

本章では、外装後部に機能性部品を組み合わせることで、その単体効果を補完・強化し、総合的な燃費向上効果を達成できる複合型機能性部品の開発を行う。解析には図 12 に示すモデル（2009 年度実製作外装）を用いる。また、組み合わせて使用する機能性部品は、3 章での解析後に寸法および個数についての最適化作業を行ってある。

まず、空気抵抗低減を主目的とした部品複合化について検討する。以下に述べる 3 つのモデルを用いて解析を行い、N 型の解析結果と比較した。はじめに、ディフューザとフラップを組み合わせる (NDF5 型) ことにより、ディフューザの地面効果をフラップの設置によって生じる揚力が打ち消し、ディフューザの空気抵抗低減効果のみを得る事ができると考えた。次に、ディフューザと VG の組み合わせ (NDV 型) およびディフューザと後方傾斜部の組

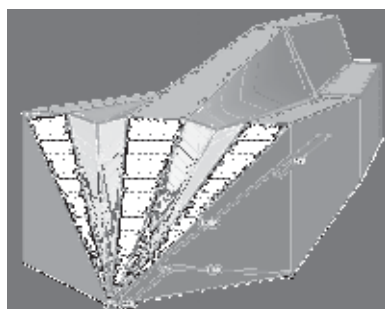


Fig. 12 Model of Mileage Competition Vehicle

Table 4 Aerodynamic Force

Type	F_{air} [N]	L [N]	Change Rate of F_{air} [%]	Change Rate of L [%]
N	3.84	-2.38	-	-
NDF5	3.84	-1.74	0.0	26.9
NDV	3.76	-2.60	2.1	-9.2
NDC	3.56	-2.22	7.3	6.7
NCF5	3.98	1.08	-3.6	145.5

み合わせ (NDC 型) を行うことにより、それぞれ双方の空気抵抗低減効果を同時に得ることができると考えた。各モデルに対する空気抵抗 F_{air} 、揚力 L の評価結果を表 4 に、外装後方流れ場の様子を図 13 に示す。

表 4 から、NDF5 型を外装後部に設置すると、空気抵抗は N 型と概ね変わらず、揚力が 27% 程度増加することがわかる。これは、フラップの設置によって生じた空気抵抗をディフューザの空気抵抗低減効果が相殺する一方、フラップが生じた揚力が地面効果の影響を小さくしたためと考えられる。また、NDV 型は N 型に対して空気抵抗を 2% 低減し、揚力を 9% 低下させることがわかる。しかし、揚力の低下による路面抵抗増加量としては概算で

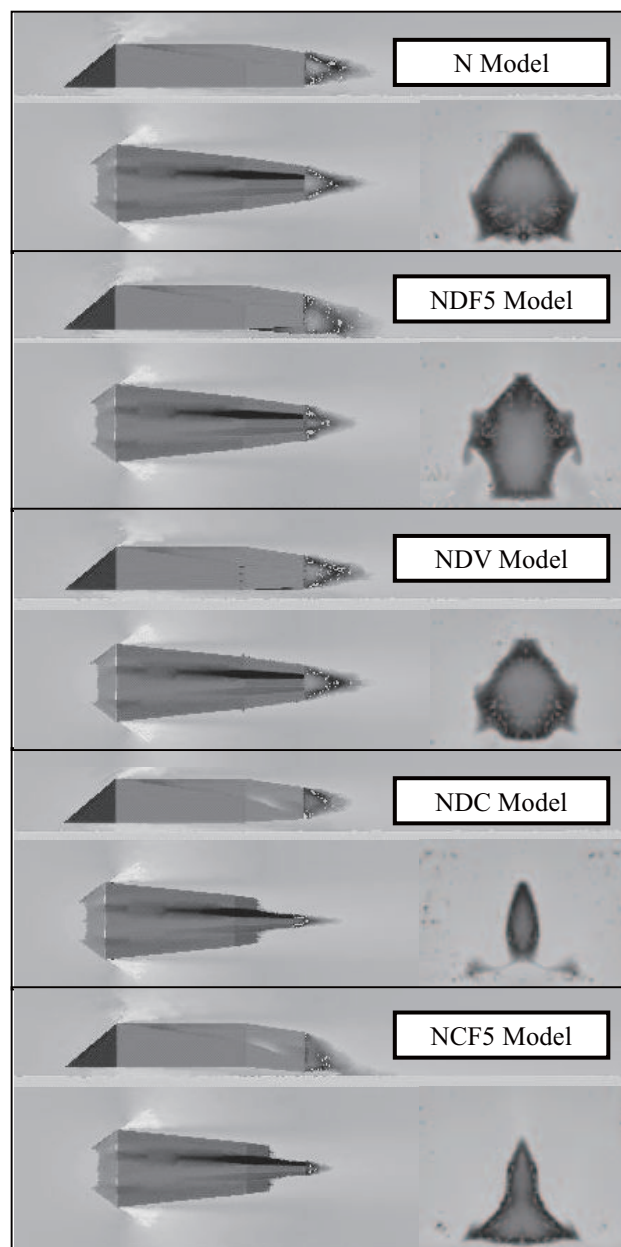
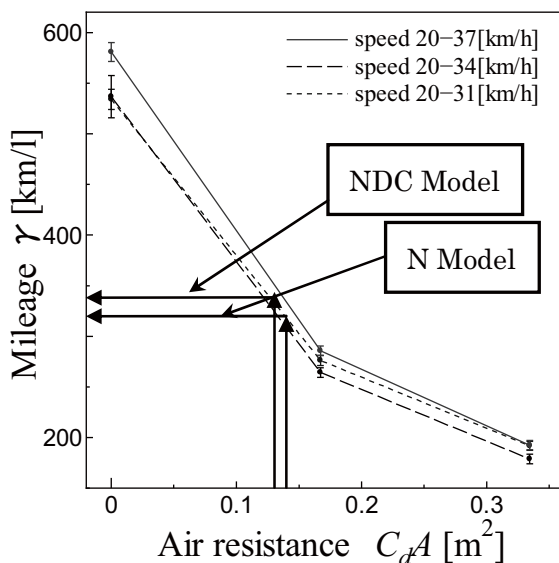


Fig. 13 Velocity Vector Maps of Wake Flow

Fig. 14 Effect of C_dA on Mileage

0.02%程度であることから、ディフューザが生じる地面効果の影響が、2009 年度モデルでは極めて小さいことがわかる。NDC 型については表 4 から、N 型に対して空気抵抗を約 7%低減し、揚力を 7%程度増加させている。このことから、他の複合型機能性部品と比較して空気抵抗低減効果が大きく、総合的な改善効果を有しているものと判断できる。これは、図 13 に示すように N 型と比較して後流が縮小されたことから確認できる。よって、最も優れた空気抵抗低減効果を有する複合型機能性部品は NDC 型である。ここでは、その燃費向上効果を既報^{9), 10)}の評価結果に基づいて試算する。まず、NDC 型を外装後部に設置したときの外装形状に対する空気抵抗係数を求める。空気抵抗係数を C_d 、流体密度を $\rho[\text{kg/m}^3]$ 、車両速度を $U[\text{m/s}]$ 、車両の前面投影面積を $A[\text{m}^2]$ とすると、空気抵抗 F_{air} は次式で表される。

$$F_{air} = \frac{1}{2} C_d \rho U^2 A \quad (1)$$

前面投影面積は 0.444m^2 であり、車両速度および流体密度は表 1 から 6.94m/s および 1.14kg/m^3 である。NDC 型に作用する空気抵抗は 3.56N であるので、これらを(1)式に代入して空気抵抗係数を求めると、 $C_d=0.29$ となる。その時、 C_dA 値は 0.13m^2 である。同様に、N 型の C_dA 値は 0.14m^2 と求められる。

ここで、 C_dA 値を変化させたときの燃費値推移を図 14 に示す^{9), 10)}。算出した C_dA 値から、NDC 型を外装後方に設置することによる理想的な燃費向上効果は、最大で 30km/l 程度であることがわかる。

次に、路面抵抗力の低減を主目的とした部品複合化について検討する。発生する揚力を増加させるために、車体後方の下降気流を大きくすることを目的としてフラップと後方傾斜部を組み合わせた(NCF5

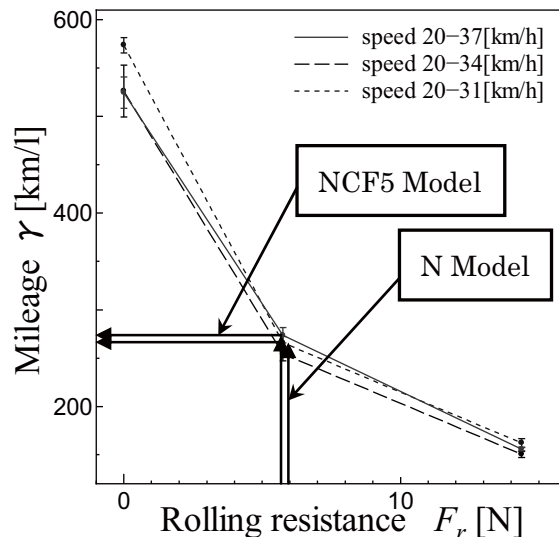


Fig. 15 Effect of Rolling Resistance on Mileage

型)。外装後方流れ場の様子を図 13 に、モデルに対する空気抵抗 F_{air} 、揚力 L の評価結果を表 4 に示す。表から、NCF5 型は N 型と比較して空気抵抗が 3.6%悪化するものの、揚力を 145%程度増加させることがわかる。これは図 13 から、下降気流が強化されることによって、その反作用による揚力が強化されたものと考えられる。生じた 3.5N 程度の揚力から試算すると、路面抵抗力を約 0.35%低減することができる。

その燃費向上効果を次のように試算する。まず、予め行った実走試験において、車体に作用する路面抵抗力が約 6N であることがわかっている。NCF5 型の設置による路面抵抗低減効果は 0.35%であるので、路面抵抗力を 0.021N 低減することとなる。したがって、NCF5 型を外装後方に設置したとき、車体に作用する路面抵抗力は約 5.97N である。ここで、路面抵抗 F_r の値を変化させたときの燃費値推移を図 15 に示す^{9), 10)}。算出した路面抵抗から、NCF5 型を外装後方に設置することによる理想的な燃費向上効果は最大で 10km/l 程度であることがわかる。

5. まとめ

以上、本稿では燃費競技車両の外装後部に空気力学的な機能性部品を付加することによって総合的な燃費の向上を試み、その効果とメカニズムについて流体解析を用いた検証を行った。本稿で明らかになった事項を以下に示す。

- (1) 燃費競技車両の走行条件において、ディフューザ、ボルテックスジェネレータ、フラップおよび外装後方傾斜部が持つ空気力学的効果

を明らかにした。

- (2) 機能性部品単体が有する利点および欠点を踏まえ、それらを組み合わせて設置することで効果を補完・強化し、総合的な燃費向上効果を得ることができる。
- (3) そのような複合型機能性部品を 2009 年度製作外装に設置した場合、本研究における試算に基づけば、最大 30km/l 程度の向上効果を得ることができる。

これらの改善効果は、動力機関等の改善による燃費向上効果に比べると比較的小さいものである¹¹⁾。しかし、外装後部の機能性部品は高価な FRP などでもなくとも、プラスチック段ボールや塩ビ板などで安価に製作することが可能であり、費用対効果としては、決して低くはないものとする。

謝辞

本研究の一部は、社団法人 発明協会および科学 Try アングル岡山のものづくり活動支援によって実施した。また、燃費競技車両の外装製作、実走試験、競技会参加の過程においては、津山工業高等専門学校 内燃機関同好会の部員諸君にご協力いただいた。最後に、津山工業高等専門学校 教育研究支援センターの先生方には、日頃から多大なご指導、ご助言をいただいている。ここに記し、謝意を表す。

参考文献

- 1) 畑村耕一：自動車エンジン技術が分かる本，ナツメ社，(2009)222-229
- 2) Honda エコノパワー燃費競技大会，<http://www.ecorun.info/>
- 3) 大原信哉，荒木佑介，藤井和樹，友野貴裕，橋本淳：燃費競技車両用小型火花点火機関の燃料消費量評価装置の製作，日本機械学会西日本エンジンシステム研究会 2008 年度夏季シンポジウム講演論文集，(2008)
- 4) アンシス・ジャパン株式会社，<http://ansys.jp/>
- 5) 第 29 回本田宗一郎杯 Honda エコノパワー燃費競技全国大会競技規則，(2009)5
- 6) 三菱自動車テクニカルレビュー，16，(2004)13-18
- 7) 週刊 AUTOSPORT GT FANBOOK，(2009)50-55
- 8) 小林敏雄，農沢隆秀：自動車のデザインと空力技術，朝倉書店，1998
- 9) 三浦寛史：燃費競技車両の記録向上に関する試み，津山工業高等専門学校 平成 20 年度 機械工学科卒業論文，(2008)9-35
- 10) 三浦寛史，藤井和樹，岡大志，小笠原雄一，大原信哉，橋本淳：燃費競技車両の競技記録向上に関する試み，計測自動制御学会 中国支部津山地区研究会講演論文集，(2009)
- 11) 伊藤宏一，中山紘一，塘春佳：数値シミュレーションによる省燃費エンジンの最適化に関する研究，東京都立航空工業高等専門学校 平成 12 年度 研究紀要，38，(2001)19-23

学内掲示板システムの更新

福田大賀* 井上靖久** 岡田 正***

Rebuild the Bulletin Board System constructed in our Campus

Taiga FUKUDA*, Yasuhisa INOUE** and Tadashi OKADA***

The bulletin board system constructed by the Web-technology in our campus has been operated it since 2004. Because the system became obsolete, we rebuilt it as one of graduation research themes. We report on the improved system using cheap general-purpose hardware and Open Source Softwares from the system requirement to details of system construction.

Keywords. Bulletin Board System, Web-Technology, Graduation Research Themes

1. はじめに

津山高専校内に設置されている掲示板システムは、平成16年1月から一部の運用を開始、同年4月から5カ所（1カ所につき標準3台の表示端末で構成）で本格運用を行ってきた¹⁾。さらに学生の要望を受け、平成21年度末に2カ所分のハードウェアを手配し、平成22年6月から稼働しているので、現在7カ所20台（情報工学科用のみ2台）の表示端末を通して学生向け情報を提供している。

掲示板システムは、授業変更、学生呼び出し、連絡事項など、それまで紙による掲示だったものを電子化することで、事務室に居ながらにして最新情報に更新できるようにしたものである。これにより、省力化・省資源化を図りつつ、短時間で情報の更新が行えるようになった。

導入にあたっては、情報の更新以外は人手をかけずに安定に自動で運用でき、また最小限の費用で構築できるように検討を進めた。このために、所定時刻の自動起動と停止、オープンソースソフトウェア(OSS)の活用、サーバ側管理プログラムの自作などの工夫を行って¹⁾、大きなトラブルなく5年以上運用できている。

しかし、初期に導入したハードウェアの耐久期限をむかえて、動作しなくなった表示端末が出ており、

システム全体を見直し最新技術に対応させた更新を行うべき時期にきている。導入時点から、OSS活用の事例として卒業研究課題の一つとして取り組んできたので、このたびも同様に扱って更新の検討を進めている。本報告では、掲示板システムの要件の見直しから、実際に採用した技術やプログラム、さらに長期運用の留意点まで、掲示板システムの更新内容に関する検討結果について述べる。

2. 掲示板システムの要件と更新事項

掲示板システムの基本要件としては、更新権限を持つ者であれば、ネットワーク接続されたパソコンから自由に更新処理ができ、更新情報が表示端末を通して直ちに閲覧可能とならなければならない。これはネットワークが完備された学内であれば、WWWの仕組みを使えば容易に実現できる。情報提供者が学内WWWサーバの情報を更新し、学内各所に設置された表示端末が定期的に自動で読み出し、これを学生達が見ればよい。

この考え方でWebベースのシステムを構築するとき、いかに安定で使いやすい表示端末を実現するかが、重要な検討課題である。このため、

- (a) 安定な表示機能を安価に構築できるか
- (b) 表示内容を望むように変更できるか
- (c) 任意の時刻に起動や停止が可能か
- (d) 障害発生時に短時間で容易に復旧できるか

といった観点から、利用技術と装置を検討した。その結果、初期のシステムでは、

- (1) 可動部を持たないハードウェア
- (2) オープンソースソフトウェア(OSS)

原稿受付 平成22年8月31日

*情報工学科平成21年度卒業生

*情報工学5年生

***情報工学科

(3) 週間設定可能な外部タイマ

を採用していた。(1)により(a)(d)を直接満たし、(c)に関しては(3)の外部タイマで強制的に電源を切っても機械的な障害が発生しないため間接的に満たしていた。さらに、(2)により(a)(b)(d)が容易になり、(3)で(c)を直接実現していた¹⁾。

今回の更新では、(1)に関して適切なハードウェアを見つけることができず、さらに自由に管理・設定できる OSS を導入したいということから、一般的で最も安価な ATX 規格²⁾のパソコン用ハードウェアを利用することにした。導入時は、外部タイマで強制的に毎日電源を切っていたので、安全のためハードディスクを持たないシステムとしていた。今回は、後述するように、各端末が自立して起動と停止を行えるようにしたので、起動・停止による機械的障害発生危険性は、大幅に低減した。また、可動部を持たないハードウェアは、高価で入手にくい。それよりも故障に備えて安価なハードウェアの予備を準備しておき、すぐに交換したほうが経済的で効率的である。さらに、使い慣れた OSS をインストールできるようになり、この点でも有効であると判断した。

(2)の OSS は、引き続き採用する。OSS を使うことにより、システム細部まで情報が公開されていて確認可能で、著作権に縛られることなく改変でき、技術を継承しながら無料で利用できるという利点がある。導入時のシステムでは(1)の条件を優先して選定し、インストール済の Linux 上で動作する初期の Mozilla (OSS 化された Web ブラウザプログラム) が搭載されていた。しかし、フラッシュメモリの容量に余裕がなくて機能追加が難しく、貧弱な機能のままでは使わなければならない、システム細部まで管理するという面で OSS の利点を活かしきっていなかった。例えば、機能追加や設定変更が不十分なため、端末だけの自動起動や表示領域の変更等に制限が多いシステムであった。このため、今回は、我々の研究室で使用実績のある OSS (FreeBSD³⁾, Apache, Perl, etc)⁴⁾が利用でき、機能も強化されているので、OSS 採用の利点が向上している。Web ブラウザについても、機能強化された Firefox⁵⁾が FreeBSD³⁾標準搭載になったので、種々のプラグインが使える機能強化が容易になった (3章で後述)。

細部まで情報公開された OSS や一般的なハードウェアを採用したことで、(3)の外部タイマを廃止できる。BIOS または WOL (Wake On LAN)⁶⁾による自立的または強制的な起動機能、および OS のコマンド自動実行による停止機能 (この前提としての時刻の自動調整機能) を使えば、外部タイマ利用よりも柔軟な管理ができるようになる。さらに使い慣れた OSS により、ハードウェア障害がない限り、一

表1 採用した物品・技術等

ハードウェア	ATX 規格の汎用品 (小型・省エネルギー)
OS	FreeBSD 最新リリース
Web ブラウ	Firefox (OS 標準組み込み)
プラグイン	stylish, R-kiosk

度設置すれば安定に動き続けること、障害発生時に再起動や設定変更をリモートで行えること、動作状況を自動で通知することなど、安定運営に向けて多くの改善が可能になる。

表示画面についても、最新の OSS による GUI 環境 (Xorg⁷⁾, Firefox⁵⁾)を使うことで、

- ・ 不要な情報を表示しないキオスクモード (Web ブラウザでウインドウを画面全体に広げ、タイトルバーなどを省いて表示するモード) で動作すること
- ・ 通常はカーソルを表示せず、必要なときに使えるようにできること
- ・ 省電力モード・ブラックアウト・スクリーンセーバモードにならないこと
- ・ 液晶ディスプレイとの相性で、画面サイズの変更に対応可能なこと

など、初期のシステムに比べて細かな設定を通して見やすくできる。

3. 利用技術と設定

2章で述べた要件や方針に基づき、表1に示す実際に採用した物品・技術等に関し、その具体的な内容と設定等の概要を述べる。

基盤となるハードウェアでは、BTO (Build to Order) 向け ATX 規格品の一般的なもののなかから、形状が小型で省エネルギータイプの最も安価な機種を採用した。CPU・メモリ・HDD の制約はないので標準構成のままで購入し、表示端末として設定できた後は、電力消費を減らすため、構築後に使わない CD/DVD ドライブを取り外して設置している。確認実験および長期運用のために、これまで複数のマザーボードベンダ (Intel, ASUS/ASUSTeK, GIGABYTE) が搭載された 10 種類以上の機種を使って、表示端末を構築してきた。その結果、インストールから設定まで、ハードウェア故障以外問題なく利用できている。

ソフトウェアのベースシステムには、FreeBSD³⁾を使っている。構築時点での最新リリースを使い、インストール時間短縮と多くのハードウェアに対応させるため、GENERIC Kernel のままで運用する。さらに表示端末用のアプリケーションとして、FreeBSD の標準ウインドウシステム Xorg⁷⁾と標準

Web ブラウザ Firefox⁵⁾ を Packages を使って関連プログラムとともにインストールした。また、表示の見やすさを改善するために、css 適応機能を追加・設定するための stylish⁸⁾ およびキオスクモードで起動できるようにする R-kiosk⁹⁾ の、二つのプラグインを使っている。

次に、表示端末とするために必要な設定を中心に、主要な設定内容と注意点を述べる。

○ FreeBSD ベースシステムの環境設定

FreeBSD が正確な時刻で動作するよう、rc.conf のなかで学内の標準 ntp サーバを指定して、時刻の自動同期機能が働くようにする。さらに、起動時にログインして掲示板としてのアプリケーションを実行できるよう、/etc/gettytab と /etc/ttys とを編集して自動ログインできるようにしておく。また、起動時には cron の @reboot により起動したことを、停止時には shutdown の実行を、それぞれ電子メールで管理者に通知するよう設定する。

○ 自立的起動／停止

掲示板システムは、毎日一定の時刻に自動で起動し、所定の曜日・時刻になれば自動で電源を落とさなければならない。起動では、BIOS に組み込まれている "Wakeup Event Detect" を有効にし、"RTC Alarm Resume" 可能な設定に変えて、毎日起動する時間を設定する。この設定では、BIOS の種類により位置と名前が異なる場合があるので注意を要する。一方、掲示板を見ない夜間や休日などは、自動で停止するように設定しておく。これは、UNIX 系 OS 標準の cron 機能により、所定曜日・時間に "/sbin/shutdown -p now" コマンドを実行させる。

○ 強制起動

最近のマザーボードは WOL 機能⁶⁾ を標準で搭載しているので、何らかの原因で自動起動できなかったり、上記の BIOS による設定時刻以外に起動させたい場合、他のサーバ等から信号を送って起動させることができる。この利用には、表示端末の MAC アドレスが必要となるので、構築時に調べて起動に使うサーバに登録しておく。また、BIOS 設定で "wakeup events" の "powoeon by pci card" をオンにしておかなければならない。

○ 表示画面の設定

インストールしたアプリケーションに関して、掲示板の表示に関連した内容を中心に述べる。

まず、X Window System はインストールしただけでは使えない。最初に X.org の基本設定が必要である。Xorg 7.4 から HAL (Hardware Abstract Layer) によりハードウェアを自動認識するように変更された。そこで、"/etc/rc.conf" のなかで HAL と DBus を有効にして、"Xorg -congure" コマンドを用いて機種固有の "xorg.conf" を作成しておく。

次に、xinitrc により、X.org と Firefox の起動設定を行う。毎回同じ状態で起動され、掲示板以外の無駄なものを表示させないようにする。表示端末ならではの特殊な内容として、省電力モードでブラックアウトしたり、スクリーンセーバーが働いて掲示内容が見えなくなってしまうといけない。この設定例は、

```
# start some nice programs
xset -dpms      ; 省電力モードをオフ
xset s o?       ; スクリーンセーバーをオフ
refox &        ; ブラウザ起動
exec xterm -geometry 80x66+0+0 -name login
```

となる。なお、掲示板は、設置場所により表示する情報が一台ごとに異なるので、最終的に個別設定が必要な箇所がある。

掲示板として使う画面にはマウスカーソルが不要なので、透明なマウスカーソル画像を用意し、デフォルトの画像と置き換えることで見えなくした。

次に、Firefox を起動したとき、毎回初期状態となるよう、所望の表示ができる設定ファイルを事前に作っておき、それを利用する。まず、ネットワークの設定を行って、Web ページが表示できるようにする。このとき、学内ネットワークのプロキシサーバが利用できるようにして、プラグインをインストールする。その後、正規稼働に入れば学内だけのアクセスなので、プロキシを使わない設定に戻しておく。

さらに、起動時に表示される端末ごとのホームページを設定するとともに、"about:cong" において、

```
browser.sessionstore.resume from crash
browser.sessionstore.enabled
```

の2つを false にして、不具合が出てエラーメッセージを表示しないよう設定する。

最後に、二つのアドオンを追加し設定する。一つは、stylish⁸⁾ で css 適応機能を追加し設定できるようにするもので、はみ出たところをそのままにスクロールバーを非表示にする "ow:hidden" が使えるよう設定している。もう一つは、キオスクモードで起動するための R-kiosk⁹⁾ で、Firefox 上でアドオン追加すれば特別な設定は必要ない。

○ 保守スクリプト

もしも不具合が起きたときに、OS 上の問題であれば、一般的な端末プログラムの ssh によりログインして処理できる。しかし、Firefox の設定のような GUI 操作では、マウスカーソルが見えない上に、キオスクモードが解除されない状態では対処のしようがない。そこでマウスカーソルの表示／非表示切り替えスクリプト、および R-kiosk の on-off 切り替えスクリプトを用意しておく。マウスカーソルの切り替えは、透明でないカーソルと置き換えることで実現した。R-kiosk の on-off 切り替えでは、一度

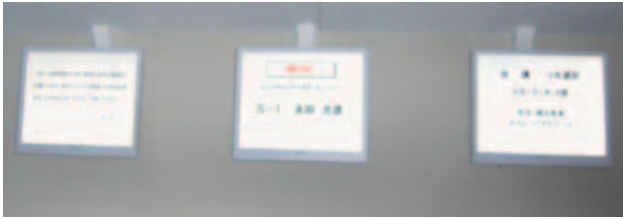


図1 表示端末の設置例

Firefox を閉じ、アドオンの設定ファイルを切り替えて Firefox を再起動し、切り替え用の設定ファイルに上書きされないように、元の設定ファイルに戻すという方法をとった。

4. 長期運用と課題

掲示板システムは、掲示情報を記憶し提供するサーバと、閲覧者に表示する表示端末からなる。サーバ側は、総合情報センターのネットワークサーバ更新スケジュールに従って定期的に更新されるので、ここで取り上げない。一方、表示端末は今回のような全面更新でなくても、故障等で不定期に更新する必要がある、この作業を効率的に行えるよう準備しておく必要がある。図1に示すように、液晶ディスプレイのみ外部に出ており、端末本体は天井裏に設置されているので、極力触らないですむような管理方法が望ましい。

表示端末の管理情報は、各端末固有情報（IP アドレスや表示内容など）と、システム共通情報とに分けることができる。これらを正しく区分して、同等機能を持つ新たな表示端末を、容易に大量に作成できるよう環境を整備している。このための基本の考え方を以下に示す。

- (1) 標準構成で設定済の表示端末をあらかじめ別途準備
- (2) FreeBSD をクリーンインストールして、固有情報を個別に設定
- (3) 表示関係等の共通設定をコピー
- (4) 表示関連の固有情報のみを書き換え

(1)の標準構成端末は、余分な表示端末を準備することになるものの、細かな設定をコピーで済ませるために準備した。(2)の FreeBSD インストールは短時間で終わり、固有情報の IP アドレス等の書き換えも簡単な作業である。こうして作成した端末に、(1)の標準端末から(3)のコピーにより表示端末用の設定を転送する。さらに、(4)の一部ファイルを編集するだけで、新たな表示端末が構築できる。毎回違ったハードウェアを使いながら、正しい設定の表示端末を短時間で作成するため、有効な環境が準備できたと考えている。

さらに、上記の表示端末作成環境そのものを、ゼロから準備できる環境を作るために、二つのマニュアルを整備している。一つは、標準端末を作成する手順や設定の意味をまとめたもので、表示端末そのものの構築マニュアルとなる。もう一つは、標準端末を使って運用端末を作成する手順と設定をまとめたマニュアルで、運用端末を短時間で準備する必要が生じたときに利用する。これらのマニュアルにより、一定水準の技術があれば誰でも表示端末の作成作業できるよう、整備しているところである。

長期にわたって多数の表示端末を使っていると、いろいろな問題が発生している。最も多いのは、ハードウェアに起因すると思われるもので、BIOS 設定で起動できなかったり、shutdown コマンドで停止できなかったりすることがある。しかし、改めて手動で電源を入れると、その後は問題なく動いていて再現性がない現象も多い。たびたび問題を起こす端末は利用を止め、新たなハードウェアに置き換えている。購入時期が異なるので、意図的に購入先を変えたりして、多様なハードウェアを使うようにすることで、結果的に危険性を分散している。

また、雷による突然の停電後は、問題が発生しやすい。一部の表示端末で自動起動しなかったり、shutdown コマンドを発行しても直後に reboot したりと、通常では起こらない現象を経験している。これらが起こっても、手動で起動すると問題なく利用できている場合が多い。

ハードウェアに関しては、電力消費を減らすためと、可動部をなくすという初期システムの思想を活かすためには、Flash SSD (Solid State Drive) の導入を検討すべきであろう。研究室レベルでシステム構築を行ったものの、高価なものと耐久性の確認ができていない。Flash SSD の価格が下がれば、長期運用での電力消費や故障率を考えると、HDD を置き換える優位性が得られると思われるので、今後も引き続き検討していきたい。

5. あとがき

本報告では、平成16年から稼働している学内掲示板システムが老朽化しており、より効率的で経済的に構築・運用できるよう、卒業研究の課題として検討を進めたので、その内容を述べた。安価な汎用ハードウェアと OSS を組み合わせることで、初期導入時よりも改善された掲示板システムになったと考えている。

旧端末が故障して使えなくなったら置き換えているため、まだすべての表示端末が置き換わっていない。必要に応じて徐々に置き換えるとともに、問題

点が見つかったら解決することで、より安定で手間をかけないシステムとしたい。また、OSS 活用の良い教材なので、教育利用の観点からも活用を続けたい。

謝 辞

掲示板システムに関する意見をいただいたり、管理で日々お世話になっている総合情報センターの関係者に感謝申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 宮岡樹外 2 名：Web ベース業務効率化システムのオープンソースソフトウェアによる構築，津山工業高等専門学校紀要 Vol.46 (2004) 59-66

- 2) the Form Factors Web Site : <http://www.formfactors.org/>
- 3) The FreeBSD Project : <http://www.freebsd.org/>
- 4) 田渕哲也外 2 名：Web サイト公開支援システムの構築とオープンソースの効果，津山工業高等専門学校紀要 Vol.48 (2006) 55-60
- 5) 次世代ブラウザ Firefox : <http://mozilla.jp/firefox/>
- 6) RTSECURITY.COM : Wake-On-LAN Online (WOL), <http://www.wakeonlan.me/index.php>
- 7) X.Org Wiki - Home : <http://www.x.org/wiki/>
- 8) Stylish :: Add-ons for Firefox: <https://addons.mozilla.org/ja/firefox/addon/2108/>
- 9) R-kiosk :: Add-ons for Firefox: <https://addons.mozilla.org/ja/firefox/addon/1659/>

3 年次自発的学習科目 「チャレンジゼミナール」の導入と課題

江原由美子*, 佐藤誠**, 松田修***, 山本浩二****

Introduction of Challenge Seminar, a New Active Learning Subject for Third Grade, and Some Issues for Its Operation

Yumiko EHARA*, Makoto SATO**,
Osamu MATSUDA*** and Kouji YAMAMOTO****

In 2009 a new subject, Challenge Seminar, was introduced for third grade students. Challenge seminar is a 2 unit yearly subject which requires students extra activities equivalent to that in class-room hours. In this report we summarize the aim and process for preparing of introduction of Challenge Seminar, presentation events and some issues cleared in the first year operation.

Key words : Challenge Seminar, active learning subject, third grade students, subject operation

1. はじめに

チャレンジゼミナール（以下チャゼミ）は、平成21年度カリキュラム改訂において、学年進行を待たずに3年次に導入された、選択制の2単位通年の自発的学習科目である。一般科目の教員（原則全員）が、希望する学生を受け入れ、各人の専門を活かした研究・探求活動を学生と一緒に展開する。平成21年度のカリキュラム改訂にあたっては、基礎学力の修得に軸足を移す観点から、1、2年生の自発的学習科目を廃した。チャゼミの導入は、低学年での学習の総まとめと、課題解決能力の育成、プレゼンテーション能力の強化による卒業研究への期待感の付与が目的で、同時に、懸案であった3年生の中弛みの解消への効果も期待している。教員側の思惑は、クラス単位の授業とは異なる少人数学習環境を学生に提供し、自立的に学習する態度を涵養する機会を与え、学ぶことの楽しさを知ってもらうことにある。また、卒業研究との関わりの薄い一般科目の教員が学生と一緒に活動する機会を得ることで、新たな視点を持ち、研究・教育活動を活性化することを期待した。

チャゼミの先行モデルは、木更津高専の一般科目

特別研究である¹⁾。詳細は省くが、3年次の必修科目で、年度毎の担当教員は、一般科目の半数で、1年毎に交代する。平成19年度、平成20年度の木更津高専の報告会に本校の教員を数名派遣し、調査を行い、科目運用上の参考とした。また、平成20年12月に教育セミナーを開催し、チャゼミの実施イメージを学ぶ目的で、一般特別研究「上総掘」の五十嵐譲介先生を招いてご講演いただいた²⁾。

本報告は、津山高専で開始したチャゼミの初年度の成果と明らかになった問題点を整理し、今後のチャゼミ実施の参考に供することを目的とする。また、他高専で類似の科目の導入を検討する際の参考となることを期待する。

2. カリキュラム上の位置付け（江原）

チャゼミは前述のように、3年次の全学生を対象とした、一般科目の選択科目である。授業時間外の自発的学習を含む、通年2単位の科目で、授業科目としては、これまで5年次に配当されていた、課題研究（文芸創作活動（国語）、人文・社会課題研究（社会）、数学課題研究、理科課題研究、トレーニング理論と実践課題研究（体育）、英語課題研究）に代わるものである。課題研究は、時期的に卒業研究と重なることもあり、履修者は少数であった。しかしチャゼミは、学生にとって時間的に余裕のある3年次での開講ということもあり、初年度から多くの学生が受講した。平成21年度は、カリキュラムの

原稿受付 平成22年8月31日

*一般科目（文科系） ehara@tsuyama-ct.ac.jp

**一般科目（理科系） satom@tsuyama-ct.ac.jp

***一般科目（理科系） matsuda@tsuyama-ct.ac.jp

****一般科目（理科系） yama-k@tsuyama-ct.ac.jp

移行期であったため、チャゼミと課題研究が同時に開講されたが、4月当初の受講者数（%は在学生数に対する割合）は、3年次のチャゼミが134名（78.8%）、5年次の課題研究が13名（8.4%）であった。

チャゼミの内容については、各教員が工夫を凝らし、受講学生の興味や関心、理解度に応じて、柔軟に対応した。途中で扱うテーマが変わったゼミもあったが、それは、教員と学生とが協調してそのゼミを成長させていった結果だと言えるかもしれない。また、後期末にチャゼミの成果報告会を行うことが当初より決まっていたため、各ゼミではそれに照準を合わせて、授業や自発的学習を進めた。

チャゼミでは、通常の一般科目の授業では学べない事柄を、少人数のゼミ形式で深く学ぶことができ、学生の視野を広げる良い機会になると思われる。チャゼミは、JABEEで掲げる学習・教育目標分類では、卒業研究につながる「課題解決能力の育成」に属す教科である。この教育目標が、どの程度達成されたか、あるいは今後達成されていくかは、受講学生が専門分野での研究に取り組む過程で検証されるだろう。また、教員にとっても、ゼミ形式の授業を行い、学生を指導することが、自身の研究力や教育力の向上につながる。

3. 初年度実施に向けた準備（松田）

まず、受講生募集に関することについて報告する。

平成21年度に、チャゼミをスタートさせるために、平成20年度教務委員の荒木教員の多大なる協力のもと、その募集には細心の注意を払って以下のような手法で行った。

- (1) 募集は前年度の平成21年2月に行うことにした。
- (2) 開講ゼミ数は新任教員2名と卒業研究担当者1名を除いて17とした。
- (3) 各ゼミの募集は、少人数教育を重視するために、面接により行うことにした。
- (4) 募集前にシラバスを各クラス及び学生課の前に掲示し、学生に、各ゼミの内容を把握させるようにした。
- (5) 1次募集のメンバーが決定し次第、教務委員に知らせ、その集計結果をすぐに一般科目全員に知らせることにした。
- (6) 履修希望用紙をつくり、担当教員の印で履修を認めることにした。

1次募集の結果、学生数が1～5名のゼミの数は6、6～10名のゼミの数は5、10～15名のゼミの数は3、16～20名のゼミの数は2であった。受け入れ

人数が最も多かったゼミの学生数は19名で、最も少なかったゼミの学生数は1名であった。この結果を受けて、2次募集をゼミの変更も認めておこなったが、動きがあったのは6つのゼミで、1名～2名の増減で落ち着いた。さらに、4月に入り外国人留学生に対しても募集を行い、1名の留学生が選択を希望した。

次に事務局設置について報告する。

平成21年度5月、一般科目教室会議では、今後のチャゼミ全体の活動をどう運営していくかについて議論し、募集時に、教務委員に過大な負担があったことを考慮し、有志による事務局設置が必要であるとの意見でまとまり、事務局を設置することになった。その後、事務局として、チャゼミにおける学生の校外発表等の支援に関して校長裁量経費を申請し、これが認められ、その運営資金を確保した。

4. ゼミの実施とイベント（山本）

時間割上は、平成21年度のチャゼミは金曜日8時間目に割り振られたが、受講者の便を考慮し、別の曜日、時間帯に変更したゼミもあった。4月の段階で受講生は確定していたため、初日から、ゼミは通常実施された。

チャゼミは実習主体の科目のため、短期で成績を評価することが困難であり、ある程度の活動の後、報告書等の提出で評価する形式をとらざるを得ない。そのため中間成績報告の段階では出欠のみの報告とし、期末成績のみ報告することとした。成績報告については、当初その方法が確定しておらず、報告の必要に迫られて決定した。そのため多少混乱があった。

前期が終了した時点で、各ゼミの進捗を把握する目的でアンケートを取り、関係教員に開示することでフィードバックをかけた。このアンケートをもとに11月の弥生祭（本校学園祭）に足を運んでくれた中学生や保護者を対象に、教務主催のミニオープンキャンパスの一角を借りて、チャゼミの紹介を行った。先のアンケートをもとに、各ゼミでどのような取り組みが行われているのかを展示した（図1、2）。各ゼミの個性豊かなタイトルに中学生も興味



図1 ミニオープンキャンパスのチャレンジゼミナール紹介展示

チャレンジゼミナール

～一般科目における教育活動の紹介～

チャレンジゼミナールとは・・・

与えられたテーマに沿って、主体的に問題に取り組み、問題を解決する能力を身につける。
さらに、得られた成果を適切な方法で表現する力を身につけることを目的としています。



<特徴>

- ①研究室(教室)にて、少人数のゼミ形式で行う
- ②自分で興味のある内容を選択・受講できる

チャレンジゼミナール担当教員および概要 一覧表

担当教員	テーマ	概要
<人文・社会系>		
中国	「アメリカ文化を英語で読む」	2年次までの英語学習を基礎に、アメリカ文化(アミッシュ)を扱った英語原書を読むことで、異文化を研究し理解を深める。自分でしっかり考え、その意見を発表する。
ランボ	「How to Give Presentation in English でのプレゼンテーションの方法)」	パワーポイントを使って英語でのプレゼンテーションを作成し発表する。簡単なトピックからはじめ、難しいトピックへと発展する。レップ チャレンジ プレゼンテーション!
久保川	「英字新聞を作ろう!」	興味・関心のある日本語の新聞をいくつか探し、各自の視点に取り入れた独自の英字新聞を作成する。その記事に立派な社会的・文化的背景などの知識を増やすことも図る。また、コミュニケーション能力の育成も図る。
吉越	「おもしろそうな画像に 英語字幕をつけてみる」	当初設定していたテーマとは変更し、受講生が興味を持った映画、その他DVDやYoutube等からダウンロードした動画に、英語字幕をつける。
杉山	「現代中国研究」	課題プリントを利用し、現代中国人・中国社会の事情を理解する。さらに自分なりの考察を加えてレポートを作成し、理解の定着を図る。適宜課題図書も与える。
侯野	「文学の発明とその使用-日本古代を中心に-」	人間の日常生活になくてはならない文字が、日本において使用されてきた経緯の中から、課題を見つけ、それを自ら考え、文章として表現することを目的としており、かつ内容も高度である。
大田	「バラク・オバマ大統領就任後の活動 その成功と失敗」	2009年1月の「オバマのアメリカ合衆国大統領就任に注目して、彼の大統領としての職務遂行を、アメリカメディアの報道を中心に、詳細に追跡していく。
稲田	「将棋における人間の研究」	将棋の対局を通して、客観的に自分を見る目を養ったり、不利な局面をもちこたえる精神力を培ったり、つまり広い意味での人間力を養成する。
角谷	「社会言語学入門」	社会言語学(ことばと社会の関係にかんする学問)の初歩をまなびながら、各研究テーマを設定し、研究をおこなう。進行して、サキストの講義をおこなう。
<自然科学系・体育系>		
最上	「ベクトル空間とその基底を学び、 編入学試験問題にチャレンジ」	教科書の巻頭(ゼミナール)をすることにより、2年生で学んだ基礎知識代位に続き、ベクトル空間と基底等価、内積空間、固有値と固有ベクトルについて学ぶ。その上で、大学編入学試験問題にチャレンジする。
有本	「英語導入数学と数理解科学よりのトピックス」	当本類数学サキストと英語数学サキストとの比較考察、及び物性論、行列・ベクトル空間に関連する数理解科学よりのトピックス紹介。
吉田	「身近な『整数』を題材に、素数のもの 不思議な性質についての知恵を学んでいく」	整数論への入門コースとして定番の「初等整数論」について学ぶ。約数、倍数や素数といった概念は何の知識を持たなくても比較的容易に理解できるものであるが、そのようなものから思わぬ豊かな世界が開けてくる種をサキストを精講する。
横谷	「トポロジー-面白い幾何学」	トポロジーは、別名「柔らかい幾何学」ともいわれる。比較的新しい幾何学のひとつの分野である。トポロジーでは、例えばトーナメントとコーヒーカップは同じものとみなされる。この授業では、トポロジーについて学ぶ。
松田	「4次元空間の超多角形の理解と4次元の 超立方体と分子モデルの構築」	前半は、配布資料をもとに、4次元多面体及び、3次元の原子と分子構造を学習する。その後、4次元の原子と分子構造に関する課題に取り組み。
佐藤	「ペーパークラフトを使った物理の学習」	プラズマ立体・落下時間尺・計算尺・分光器等の工作と関連・物理の学習・オリジナルペーパークラフト物理教材の開発・物理概念説明ポスターの製作。
三浦	「化学講習 (大学の入試問題を解く)」	化学1・2で学んだ知識を用いて、大学入試などに出題されたことのある様々な問題を解き、資料を作って説明する。また、後期後半では、比較的簡単な論文を題材にして、その紹介を試みる。
荒木	「トレーニングで自分の体を知ろう」	一般的なトレーニング理論について学習しながら、自らトレーニング・プログラムを作成し実施する。研究結果を報告書にまとめ、口頭でも発表する。

図2 ミニオープンキャンパス掲示ポスター



図3 木更津高専一般特別研究報告会への学生派遣
(左：開会式での本校学生の紹介、右：ポスター発表会場の様子)

を示していた。これには、初年度のチャゼミの進捗状況を各ゼミ受講者間で相互に把握する目的もあり、最終報告会へ向けての中間報告的役割を果たすことができ、有効であった。

平成22年2月26日に開催された木更津高専一般科目特別研究報告会にチャゼミ受講者を8名参加させ、2件の口頭発表と4件のポスター発表を行わせた(図3)。参加希望者を募って行ったこともあり、本校の発表のレベルは高く、学生だけでなく教

平成21年度 チャレンジ・セミナール報告会

チャレンジ・セミナールは、一般科目の教員と一緒に興味のあることをとことん学ぶ、3年生の選択授業(少人数制)です。この一年間の成果を、ぜひ、見に来てください。

新2年生へ

チャレンジ・セミナールは少人数による自発的学習活動です。週1時間、通年で行われる3年生を対象とした一般科目の選択科目です(2単位)。先輩たちの報告を参考に履修の計画や活動内容を今から思い描こう。

日時： 3月3日(水) 9:00-13:00
日程： 9:00-10:00 ポスターセッション
図書館1Fロビー
10:00-12:30 オーラルセッション
合併教室(管理一般科目棟3階)
12:30-13:00 ビア審査・表彰・開会式
合併教室(管理一般科目棟3階)

Poster Session -ポスター発表- **会場：図書館1Fロビー**

発表時間	発表題目	発表者
9:00-10:00	The Amish: 1. 起源・経緯	小川成一(E-3), 世原定幸(M-3)
	The Amish: 2. 日常生活	堀島大地(O-3), 山本真弘(O-3), 西原貴夫(O-3)
	The Amish: 3. 社会生活	山口真理子(O-3), 岩本陽(E-3), 樋口宣彦(O-3)
	Newspaper	早瀬和紀(E-3), 岩本一城(E-3), 林 尾光(E-3)
	現代の命名に関する調査と分析	笠原真由(E-3), 森岡博之(E-3), 菅井優太(E-3)
	大学編入学試験問題(ベクトル空間)にチャレンジ	佐藤直樹(O-3)
	ユーグリッドの互素性について	山口大輔(M-3), 山本俊之(M-3), 永嶋真平(S-3), 赤坂正樹(S-3), 杉山裕亮(S-3), 篠島大輝(S-3), 佐藤真貴(O-3)
	完全数について	青柳孝志(E-3), 志摩翔太(E-3), 小野田優(E-3), 新田貴寿(E-3), 森田政(E-3), 新田隆洋(O-3)
	4次元空間の幾何学	植見真也(M-3), 石井貴之(S-3), 岡田達也(S-3), 亀井聖佑(S-3)
	トポロジー：素数と幾何学	中野真貴(O-3)
	半減期とその利用について	竹森健斗(M-3)
	電子レンジについて	岡井謙裕(O-3)
	DVD-Rを用いた分光器作製	岡崎俊太(S-3), 神橋政士(S-3), 中田悠斗(O-3)
	ブラント定数の測定	伊藤博博(E-3), 松田和之(E-3), 山下敬樹(E-3), 鎌見哲也(E-3)
	スペクトル撮影	植木謙一郎(E-3), 宇田康生(O-3), 藤森大樹(O-3), 新田太(O-3)
太陽光スペクトルの暗線観察	中道愛陸(E-3), 佐野浩樹(E-3)	
踊るカラダ理論!	坂手康弘(S-3), 大塚正貴(M-3), 岡部湯香(M-3), 小川真(M-3), 小林貴貴(M-3)	

新3年生・新5年生へ

ポスター会場には、来年度開講される各チャレンジ・セミナールのシラバスが掲示されます。選択の参考にしましょう。担当教員と受講の了解ができたら履修届けを4月中に学生課へ提出してもらいます。5年生の一般科目課題研究(選択)も同時に提示されますので参考にしてください。

Oral Session -口頭発表- **会場：合併教室**

発表時間	発表題目	発表者
10:00-10:12	好きな動画に英語字幕をつけてみよう!	伊藤洋祐(O-3)
10:12-10:24	Topics in the News	Hiroki Oka(O-3), Rie Nagai(E-3), Wan Mohd Agi Wan Fauzi(M-3)
10:24-10:36	中国の平素語と面白き	小嶋宣弘(M-3)
10:36-10:48	日本における漢字の使用	飯前久樹(S-3), 藤岡博希(S-3), 岡本裕子(O-3)
10:48-11:00	オバマ大統領支持率の推移とその背景	林島大地(O-3)
11:00-11:12	英語テストの社会言語学的分析	笠原真由(O-3)
11:12-11:30	休憩	
11:30-11:48	MATLAB による数値計算の視覚化とFukui Project	堀田智弘(S-3)
11:48-12:00	nの階乗に含まれる素因子の数	渡邊悠人(E-3)
12:00-12:12	平方多角数の研究	高田和希(M-3)
12:12-12:24	トポロジー：素数と幾何学	大島秀平(O-3)
12:24-12:30	結晶化について	中野正真(S-3)

教職員の皆さんへ

21年度から始まったチャレンジ・セミナールの1年の締め括りとして受講学生による報告会を開催します。保護者の方へも学習活動の成果を見ていただけるよう案内を出しています。この会はどうしても聴いていただけるよう集めたもので聴いていただけるオープンな報告会です。他高専からも視察にいられます。午前中だけの短時間での報告会ですので、ぜひ時間を調整いただき会場へ足をお運びください。発表する学生に質問や助言をお願いします。

General Admission Division
Challenge Seminars
for 1st year students

図4 チャゼミ報告会ポスター(プログラム)



図5 チャゼミ報告会の様子（右：ポスターセッション、左：オーラルセッション）



図6 ピア評価結果による表彰の様子

員にとっても良い刺激になった。交流発表は今後も機会があれば継続したい。

木更津高専の報告会への参加は、後述の発表会の運営を担う条件で募った。5日後に迫った初めての報告会を滞りなく実施するにあたってよい予行演習ができた。この時期に学生を派遣できたのは、学年末試験が平成21年度より1週間前倒しになったことが大きな要因であった。

平成22年3月3日（特別教育期間初日）に「第一回チャレンジゼミナール報告会」を開催した（図4，5）。発表形態は「ポスターセッション」と「オーラルセッション」に分かれ、各ゼミ少なくとも1件はどちらかで発表することを義務付けた。報告会は校内外に開かれた自由参加型とした。チャゼミを受講した3年生を中心に、次年度に受講予定の2年生、本学教職員、少人数ではあったが保護者の方の参加もあった。なお、ポスター発表に課題研究受講の5年生の参加もあった。

「ポスターセッション」は、午前中1時間、図書館ロビーにて開催され、17件の発表があった。自分たちのゼミの内容を少しでも知ってもらおうと、目を引くポスターの作成と、説明の仕方に工夫が見られた。

ポスターセッション終了後、「オーラルセッション」を行う大教室へ移動した。1件につき、発表時間8分、質疑応答4分、計12分の発表を行った。ここでは、会の進行も学生自身が行い、表彰のための投票や票の集計においても学生主体で行った。

オーラルセッション終了後、学生によるピア評価（学生1名につき、ポスター、オーラル発表について、それぞれ優れていると思う2件を投票して集計。投票用紙は、一件ごとに別葉とし集計の効率化を図った）により、評価の高かった上位3件を表彰

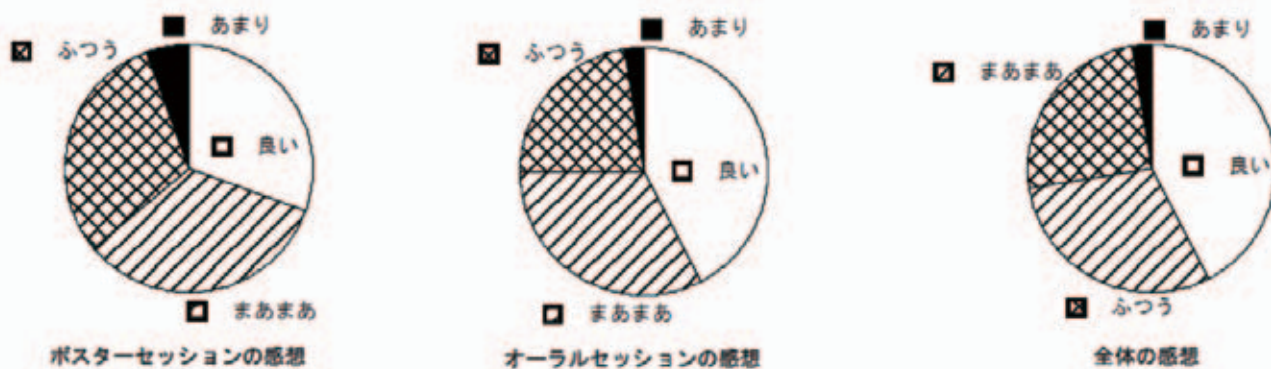


図7 報告会参加者アンケート（回収アンケート数43）

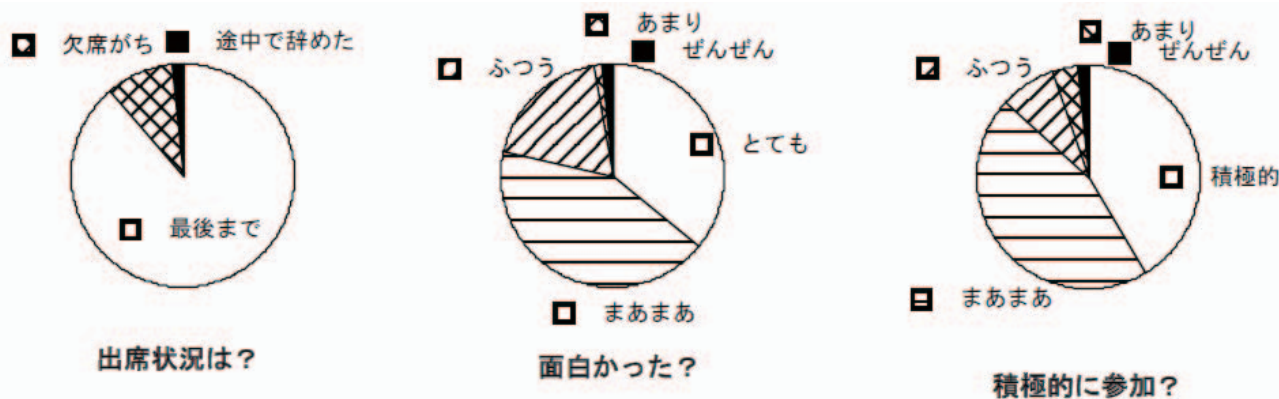


図8 チャゼミ受講者アンケート（回収アンケート数75）

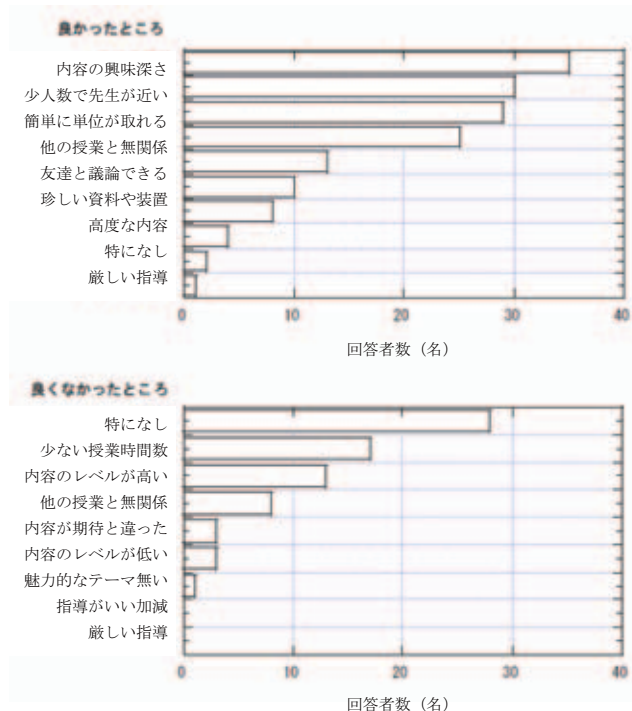


図9 チャゼミ受講者アンケートから
(上：受講して良かった点，下：悪かった点)

した(図6)。

報告会の参加者を対象にアンケート調査を行った。結果の主要な部分を図7に示す。概して肯定的な結果が得られている。

「ポスターセッション全般について、どう思いましたか(記述回答)」というアンケートの問いかけに、「発表することで、他人に自分の伝えたいことを伝える能力が身につくと思う(3年)」、「工夫した発表が多く、興味深かった(5年)」、「きちんと準備して、対応もしっかりしていたように思います(教職員)」など、短い時間で、如何に相手に伝えることができるかを、各ゼミごとに工夫し、しっかりと練習してきた様子が窺えた。

しかしながら、「1時間では全てのセッションを回ることができない(3年)」などの声も寄せられ、運営に多少の課題が残った。

「オーラルセッション全般について、どう思いましたか(記述回答)」というアンケートの問いかけに、発表者自身は、「プレゼンは社会に出てやらないといけないので、練習になる(3年)」、「各グループの代表者が発表しているだけに、完成度が高く、聞いていて楽しかった(3年)」など肯定的な意見が多かった。

また、報告会の参加者においても、「ゼミでどのような研究に取り組んでいるか知ることができた(保護者)」、「予想よりプレゼンが上手かった。熱意が伝わってきて大変好印象(5年)」などの声

があり、参加者にも発表者の伝えたいことが伝わったのではないだろうか。

しかし、いくつか問題点も指摘されている。「ポスター発表より質問できる雰囲気ではなかった(3年)」、「時間が伸びすぎ、もっとしっかり進行してほしい(3年)」などの進行、運営の問題。また、「十分に発表の練習をして臨んだ人と、そうでない人の差があった(教職員)」、「発表していないゼミがあり、納得できない。オーラルセッションをやってほしい(教職員)」など、各ゼミごとの温度差を指摘される意見もあった。

課題はあるものの、初めての報告会としては成功であったと評価できる。今後は、今回の報告会アンケート等の意見を踏まえ、より完成度の高い報告内容と運営になるよう、工夫と準備に、チャゼミ事務局はもちろん、一般科目全教員で取り組みたい。

概して、ポスター、オーラル共に本校学生のプレゼン能力の高さは特筆に価すると言うのが、報告会を終えてのチャゼミを担当した教員の感想である。専門科目では低学年からプレゼンテーション能力の向上に注力していることは学習系統図から推察されるが、チャゼミで改めてその成果を確認できたことは収穫であった。

5. 運用上の課題(佐藤)

図8と図9は、受講学生を対象としたアンケート結果である。概して肯定的に受け取られており、チャゼミのような従来の講義形式とは異なる授業の需要が潜在的にあったことがわかる。

一年を通じて、チャゼミを履修した学生は、年度末の報告会を目標に、各ゼミの担当教員の指導のもと、自発的学習を進展させることができたと評価される。アンケートで回答の多い項目は、「内容の興味深さ」、「教員との親近感」、「単位取得の容易さ」、「授業との距離」である。各ゼミの内容や性格で履修学生の意欲や意識の差はあるものの、チャゼミは、3年次のカリキュラムの中で、良い意味でも悪い意味でも、スパイス的な役割を果たしたと言える。週1時間拘束の授業であるが、積極的に参加した学生にとっては重きのある科目であり、自発的学習科目であること以上に、学習に割いた時間は長かった。チャゼミの導入で副次的に期待された、3年次の中弛みの解消についても、少なくない割合の学生に効果があったのではないかと推測している。

否定的な意見としては、ゼミ毎の学習負担の軽重や成績評価への不信が主たるものである。チャゼミ担当教員の立場からすれば、もともと扱っている対象も手法も異なるので、評価基準を揃えること自体が意味のないことと言いたくなる。2つのクラスに

それぞれ英語と物理の講義とテストを課して、その点数を同等に扱うような評価基準が存在するとは思えない。

しかし、教務や教育システムの立場から、この点に対する改善を要求されている。学科共通で同じ科目名のもとではたとえ担当教員が異なり、内容も異なるとしても、同じ評価基準であることが従来の枠組みでの約束事である。たとえば、卒業研究の評価は、各学科内ではシステム化され配属研究室による評価基準のばらつきは無いと聞いている。少なくともばらつきがあるとしても許容される範囲であり、ばらつきを低減する改善の仕組みが備わっているらしい。チャゼミの成績評価についても専門学科の卒業研究や課題研究科目を参考に複数教員による評価や評価基準シートなどによるマニュアル化の導入を検討する必要があると思われる。

本校には進級した学生に対して、未習得単位の救済処置として単位認定試験という制度がある。しかし、体育や実験など実技を伴う授業はこの対象にはならない。つまり未修得なら原級留置となる。チャゼミも、実質的に実技を伴う科目ではあるが、選択科目であるため、通常の講義科目と同じ扱いである。そのため対象となる学生が発生した場合、担当教員は単位認定試験を実施する義務がある。自発的学習科目の場合、たとえ時間外学習の成果を確認できなくても半分の学習時間を認める制度と単位時間の1/3の欠席まで許容するルールのため、半年欠席しても履修したことになるので、単位認定試験を受験する資格が与えられる。そのため、平成22年度にチャゼミ履修放棄学生が単位認定試験の対象となる事態が発生した。履修放棄学生は8名で、その内4年に進級した6名が単位認定試験の対象者となった。最終的には受験意思を確認した段階で、3名に落ち着いたが、想定外の事態であった。平成22年度からは、時間外学習時間は成果で確認するよう制度が変更されたため、この問題は軽減されると思われる。

チャゼミは講義科目のように課題と試験だけで単位認定ができる科目ではないので、平成22年度の単

位認定試験については、通年でゼミに参加し、提出された課題を評価することで対応している。つまり、実質、ほぼ再履修である。

自発的学習科目は実技を伴うのが普通で、チャゼミも本来は単位認定試験制度にはそぐわない。チャゼミは新しい形式の授業であるため、従来の枠組みに収めて運用すると上記のような不具合が生じることは避けられない。強く改善を求めたにも拘らず、成績集計用の教務システムが平成21年度末の更改においてもチャゼミの形態に対応できず、平成22年度も成績報告を紙ベースで提出しなければならなかった。このことから、チャゼミが本校において先進的な授業形式であることがわかる。チャゼミの運用を円滑にするために、時間は要するだろうが、大きいところではカリキュラム全体の成績評価に関する基本思想を再考するとか、対処療法的にはチャゼミを単位認定試験の対象から除外する、チャゼミの成績報告を例えば可否のみにするなどの制度の見直しを訴え続けたい。

6. 二年目に向けての準備（佐藤）

二年目の受講生募集は、4月に入ってから実施した。選択科目の履修願の提出は4月末であるため、4月はお試し期間として、いくつかのゼミに参加して最終的に決めるという手順を踏んだ。ただし、新3年生には、3月の報告会の時点で、次年度のチャゼミのテーマ一覧とシラバスを掲示して知らせた。平成22年度は新任教員と卒研担当者を除く18ゼミの開講であった。さらに新学期に各クラスへシラバスを綴じた冊子を配布し、ゼミ選択の参考としてももらった。そのため、初年度のときの三度に渡る集計や調整のような手順を踏まずに、円滑に受講生の割り振りができた。対象在学生数188名うち未履修24名であった（87.2%が履修）。受講生が3名以下という極端に受講生数の少ないゼミが4件発生したという問題はあるが、選択性のため止むを得ない（平均受講生数9.1名／ゼミ。最多31名、最少0名）。受講生募集の方法は、今回の方法が今後踏襲されるも

表1 初年度チャレンジゼミナール関連の校外発表

発表者	発表題目	会議名	発表時期
松田修（教員）	津山高専の3年選択科目「チャレンジゼミナール」の紹介	数学教育の会秋の会（お茶の水大学）	2010年9月
守屋茜（情報工学科4年）	国語テストの社会言語学的分析	日本高専学会第16回年会（長岡技術科学大学）	2010年8月
かどやひでのり（教員）	創造性をはぐくむ教育の原理について	日本高専学会第16回年会（長岡技術科学大学）	2010年8月
神橋政士、岡崎葵太（電子制御工学科4年）	Design and applications of a DVD-R Spectro-scope	The 5th International Symposium on Advanced Science and Technology in Experimental Mechanics（龍谷大学）	2010年11月

のと思われるが、担当ゼミへの学生確保のさらなる努力を教員に求めたい。

二年目のチャゼミ実施に関連して、外部の研究教育助成金を獲得する努力が行われており^{*}、物品購入や学生の旅費に大いに役立っている。教育の質を高めるためにも、外部資金の獲得は避けては通れないが、チャゼミがその原動力になることは大いに期待できる。

また、初年度の成果をもとに、学生や教員の校外発表が、表1に示すように、数件実施されており、将来はその数を増やすと共に、コンテスト等への応募も期待される。

7. まとめと今後の展望

何事も始めは苦労が多いのが常である。チャゼミは先例があったとはいえ、本校に導入するに当たっては授業のイメージがつかめず、不安を訴える教員もいた。しかし、実際始めてみると、教員と学生が一緒になって学ぶことの楽しさを改めて感じることで活動であることが認識できた。担当教員はチャゼミを1年間実施するに当たり相当に工夫し、試行錯誤の連続であった。まだ、満足できるレベルではないが、学生主体の報告会を催すことができ、初年度としては許容できる結果であったと総括している。

運用上の課題も顕在化してきた。特に成績評価の問題は大きな課題である。従来の科目の枠組みでは

^{*}）例えば、科学Tryアングル岡山・教育研究連携推進プロジェクトから「太陽を測る-その質量と直径を求めて-」に対して約38万円の助成を受けた。

取り扱えない新しい試みであるので、教務システムも含め、新たなカリキュラムの整理が必要と感じる。

木更津高専で始められた3年次の特別研究は、多くの高専が注目しており、すでに大阪府立高専が導入している。実は、本校は、3校目である。各校の事情に合わせ運用方法は異なっているが、3校間で学生の交流を期待している。平成22年度は本校の報告会に大阪府立高専と木更津高専から学生を招くことを予定しており、予算も校長裁量プロジェクト経費を獲得している。他高専にもチャゼミを広め、将来は全国規模で連携して高専3年次報告会として定着させたいと目論んでいる。

8. 謝 辞

我々のチャゼミが初年度より大過無く実施できたのは木更津高専の先行モデルのお蔭です。木更津高専一般科目教員の皆様の十年来のご努力に心より敬意を表し、チャゼミ開始に当たり快くノウハウを提供していただいたことに、深く感謝いたします。

本報告はチャゼミを担当した一般科目教員の協力のもとに、平成21年度のチャゼミ事務局においてまとめられました。関係者の皆様に対して、ここに感謝するしだいです。

参 考 文 献

- 1) 木更津高専一般教育研究会：「探究心に火をつける―授業『特別研究』の挑戦―」，学術図書出版社，(2005)
- 2) 五十嵐譲介，高橋克夫：木更津高専「上総堀りプロジェクト」，高等専門学校の教育と研究，14，4(2009)42-47

「男はつらいよ」の英語字幕と英語検定教科書の語彙比較

古樋直己*

The Comparison of Vocabulary Between English Subtitles of a Famous Japanese Movie *Tora-san* And Authorized English Textbooks

Naoki FURUHI

This paper mainly examines the distribution, levels, and uniqueness of the vocabulary in the English subtitles of a famous Japanese movie called *Tora-san --- A Lovable Tramp ---*, and authorized English textbooks published in Japan in order to find a effective way of understanding English subtitles of Japanese movies and getting accustomed to the exposure to English. The findings are as follows. First, the words in the subtitles of *Tora-san* cover a narrower range than the textbooks; therefore, learners do not have to memorize wider range of vocabulary. Second, the words in the movie mainly consist of GSL1 and 2 levels and contain much fewer difficult words, thus, students should chiefly study rather easier words. Finally, the lexicons in the subtitles have many atypical ones, therefore, learners need to pay more attention to such words as appearing only in the movie.

Key words: vocabulary, word, subtitles, Japanese movie, *Tora-san*, corpus

1. はじめに

本研究では、日本映画の英語字幕に用いられている語彙と、高等学校用の文部科学省英語検定教科書に出現する語彙を様々な面から比較する。

この研究を実施する背景は下記の通りである。英語力は語彙力で決まる。これは、英語力は読解力と密接な関係があり、その読解力と深い関係を持つのが語彙力であるからである。読解力は、単語認識力、単語認識速度、語彙力、統語処理力、文意味処理力、ワーキングメモリ能力からなり、さらに、語彙力が読解力を構成する諸要因の中でも重要な位置を占める(門田, 2003, p.134)。また、Nation(2001, p.144), Nassaji(2006)においても、語彙力の重要性が指摘されている。英語力は語彙知識により大きな影響を受けているのである。

語彙力を向上させるにはどのような方法があるのだろうか。未知語に遭遇した際には辞書で意味を確かめたりする意図的学習、英文を読み、背景知識や前後のコンテキストから推測する偶発的学習などの

方法がある。どちらの方法に重点を置くかはともかく、両者を適切な組み合わせで実践していくのが語彙力向上へとつながる。膨大な語彙を習得するためには意図的学習だけでは不十分であり、偶発的語彙習得も併用する必要がある。

また、一般的な紙媒体のテキストを用いる学習と、音声や映像を用いた学習もある。古樋(2009)は、日本映画を日本語音声、英語字幕で使用することによって偶発的に起こる語彙習得について検証した。結果として、どのような英語力の実験協力者についても、偶発的な語彙習得が起こっていることを、統計的手法を採用し、立証している。他にも、植松(2004)でも、映画の英語字幕の英語学習への応用に効果があるとされている。

このように、映画の英語字幕を活用した方法は、語彙習得の手段のひとつとして十分な可能性を秘めたものである。

さて、映画の英語字幕が語彙学習に活用できることは明らかとなったが、はたして、英語字幕に出現する語彙と、英語の検定教科書に登場する語彙とは、どの程度一致するのか確認することを考えた。

本来は、教科書の英語を学習していけば、英語字幕も不自由しない程度に理解可能かどうかを確認するべきではある。しかし、これでは、理解している

原稿受付 平成 22 年 8 月 31 日

* 一般科目

とはどのようなことであるか明確に定義することが困難である。よって、本研究では、英語字幕と検定教科書に使用されている語彙が、それぞれどのようなものであるか検証するにとどめる。

2. 先行研究

ここでは、語彙習得、映画を用いた語彙習得に関する先行研究について概観する。

語彙はどの程度の数の習得を目標とすればよいのだろうか。英語を第1言語とする教養ある大人の場合2万ワードファミリー程度の語彙を知っている(門田, 2003, p.266)。見出し語換算では、この1.6から2倍となる(門田, 2003, p.36)ので3万から4万語に相当する。この語彙数を習得することは現実的ではないかもしれない。

実際、中学校学習指導要領(文部科学省, 1999a)、高等学校学習指導要領(文部科学省, 1999b)によると、中学校で900語程度、高等学校では、英語I、英語II、リーディングでそれぞれ、400語、500語、900語程度習得することになっており、高校卒業までに合計で2700語程度学ぶ。教養あるネイティブスピーカーの語彙数とは一桁違う。

さて、語彙習得には様々な学習法がある。語彙習得の研究は多様である。たとえば、絵を用いた研究(Barcroft, 2002; Barcroft, 2003)や、テストなどの何らかの課題を与えた場合の語彙習得について研究(Barcroft, 2007; De Goot, 2006; Fukkink & de Glopper, 2001)、テキストに飾り付けなどを施し、語彙を強調すると呼ばれる方法について検証したもの(Lee, 2007; Min, 2008; Rott, 2007)、キーワード法を用いたもの(Sagara & Alba, 2006; Rodríguez & Sadoki, 2000)、会話による言葉のやりとりによる語彙習得を研究したもの(Brouwer, 2003)、思考過程を声に出すよう実験協力者に依頼した研究(Daalen-Kapteijns et al., 2001)、第1言語と第2言語が1対1対応している場合と、第1言語ひとつに対して訳語が2つ存在する場合での反応速度を見ている研究(Jiang, 2004)、綴りと音に注目した研究(Chikamatsu(2006); Schiff & Calif, 2007)、テキストを読むときの実験協力者のスキルに重点を置いたもの(Fukkink et al. 2005; Nassaji, 2003)、語彙知識の深さをテーマとしたもの(Gredanus & Nienhui, 2001; Nassaji, 2006)などが挙げられる。

また、植松(2004)、古樋(2009)などのように、映画を用いた語彙習得に関する研究もある。植松では洋画の英語字幕、英語音声を活用しているが、古樋では日本映画の英語字幕、日本語音声を活用している。日本語音声の採用は、物語の理解しやすさを優先し

た結果である。また、日本映画を採用した理由は、親しみのある文化、風景、俳優が登場するからである。

3. 目的

日本映画の英語字幕は、検定教科書に用いられている語彙とどのように異なるのかを、調査するため、下記のリサーチクエスチョンを設定し、具体的に調べることにする。

- (1) 語彙の多様性に差は存在するのか。また、その差はどのようなものか。
- (2) 語彙の難度に差は存在するのか。また、その差はどのようなものか。
- (3) 語彙の特殊性に差は存在するのか。また、その差はどのようなものか。

4. 素材と方法

リサーチクエスチョンに挙げた分析を実行するため、はじめに、必要なデータを電子ファイルで準備する。

日本映画には「男はつらいよ」の第1作(山田洋次, 2008)を使用した。この作品を採用した理由は、第1に英語字幕が準備されていることである。また、今後、素材を増やし、研究の制度を向上させることを考えると、様々なジャンルの日本映画を採用するよりも、同じ作品の続編を用いたほうがよい。この点から言えば、本作品は48作が市場に出ており、英語字幕の分量を多く得るには最適である。ただし、本研究では、後述するように英語字幕を電子化するのに手間取り、第1作のみとしている。

なお、日本映画の英語字幕について分析するための台詞の電子化は下記のように行った。フリーソフトのDVDDecypterとSubRipで文字化けが多いながらも台詞をテキストファイル化した。その後、映画を英語字幕を表示させながら再生して、手作業で修正している。

英語検定教科書は、最近3年以内発行の英語I用、英語II用をそれぞれ5種類準備した。英語Iは*Vivid I*, *Exceed I*, *Tomorrow I*, *Powwow I*, *Prominence I*、英語IIは*Vivid II*, *Exceed II*, *Tomorrow II*, *Powwow II*, *Prominence II*である。これらの教科書に決定したのは、手元に英文のテキストファイルが収録されているCD-ROMがあるからである。しかし、すべて、文部科学省の検定基準に沿ったものであり、使用語彙レベルなどは、一定の水準に収まっていると考えられる。

他に使用した素材として、石川(2008, pp. 166-167)の日本の英語教科書(英語 I, オーラルコミュニケーション I のもの)、韓国の英語教科書、代表的なコーパスである FLOB と FRONW、英米映画の各データも参考として用いている。

なお、リサーチクエスションに挙げている語彙の多様性、難度、特殊性の分析方法は、石川(2008, pp. 165-167)を採用している。概要を述べる。延べ語数(tokens)、異なり語数(types)、レマ語数(lemmas)をコンコーダンスソフトウェア Antconc で求める。さらに、表計算ソフトウェアにて Guiraud 値も求めている。Guiraud 値は下記の式(石川, p. 77)で算出される。

$$\text{Guiraud} = \frac{\text{types}}{\sqrt{\text{tokens}}}$$

この値は、語彙の多様性を表す。異なり語数を延べ語数で除した TTR(Type Token Ratio)では、延べ語数の増加に伴い、自然に低下するので、コーパスのサイズの差を考慮した Guiraud 値が存在する。この値は、語彙多様性の指標中、最も安定した結果を返すとされている。

5. 結 果

5-1 語彙の多様性の比較

表 1 には語彙の多様性の比較を行うために、教科書と映画英語字幕について、延べ語数、異なり語数、レマ、Guiraud 値を示した。

表 1 語彙の多様性の比較 1

	英語 I5 種類す べて	英語 II5 種類す べて	英語 I お よび II す べて(各 5 種類、 合計 10 冊)	男は つら いよ
延べ語 数	30778	41503	72281	5648
異なり 語数	3413	4596	5868	1132
レマ	2599	3458	4348	993
Guiraud	19.5	22.6	21.8	15.1

Guiraud 値は、映画のものが他よりもかなり低いことがわかる。たとえば、教科書 10 冊の値の 7 割に満たない。この映画に用いられている英語字幕の語彙は、同じ語彙の繰り返しが多く、多様性に乏しいことがわかる。また、英語 I の教科書と英語 II の教科書では、やはり英語 I のほうが英語 II よりも低い

値となっており、学年が進むにつれて、語彙の多様性が大きくなっていることがわかる。

つぎに、表 2 には、石川(2008, p.171)の情報を元に作成したものである。なお、表 2 の「映画」とは、石川が収集した英米の映画の台詞データコーパスである。

表 2 語彙の多様性の比較 2

	韓国教 科書(高 1 用 4 種 類)	FLOB	FRONW	映画	男は つら いよ
延べ語 数	185547	1199781	1206555	1396429	5648
異なり 語数	11111	43134	43222	35454	1132
レマ	9247	33181	33267	27361	993
Guiraud	25.8	39.4	39.3	30.0	15.1

表 2 においても、本研究で取り上げている日本映画の英語字幕に用いられる語彙の多様性は低いことがわかる。また、同時に、日本の教科書の語彙の多様性が低いことも理解できる。

このように、「男はつらいよ」の英語字幕の使用語彙は、ここで比べた他の素材よりも、多様性が低く、語彙の繰り返し使用が多いことがわかった。つまり、少ない語彙を習得できれば、理解可能である。

5-2 語彙の難度の比較

表 3 には語彙の難度を比較するために、各素材の語彙が、どの程度の難易度の語彙で構成されているのかをパーセントで示した。

語彙の難易度は、GSL1 から GSL3 に分類している。GSL1 に分類されるものが最もやさしく、数字が大きくなるにつれて難度が増す。この分析には、Range(<http://www.victoria.ac.nz/lals/resources/range.aspx>)というフリーソフトウェアを用いた。

表 3 からわかるように、GSL1, GSL2, GSL1 から 3 以外のその他には、各素材に大きな違いはない。しかし、GSL3 には日本映画と他の素材で 4 倍から 6 倍の差がある。

これは、日本映画には難度の高い語彙が非常に少ないことを意味する。少なくとも今回取り上げた日本映画の英語字幕を理解するには、難度の高い語彙の使用頻度が低いことを念頭に置いておけばよいことがわかる。

表3 語彙の難度の比較 1

	英語 I5 種類す べて	英語 II5 種類す べて	英語 Iおよ び IIすべ て(各5種 類, 合計 10冊)	男は つら いよ
GSL1[%]	84.9	82.7	83.7	83.5
GSL2[%]	5.2	5.8	5.6	7.1
GSL3[%]	1.2	1.8	1.5	0.3
その他[%]	8.7	9.7	9.3	9.2

表4 語彙の難度の比較 2

	日本 教科 書(英 語 Iと OCI 各4 種類)	韓国教 科書(高 1用4種 類)	FLOB	FROWN	映 画	男は つら いよ
GSL1	82.3	78.5	68.0	66.5	82.2	83.5
GSL2	6.3	5.8	4.7	4.6	5.0	7.1
GSL3	1.3	1.6	5.7	6.4	1.3	0.3
その他	10.1	14.1	21.6	22.5	10.5	9.2

つぎに、表4に表2と同じ素材の場合を挙げた。

やはり、今回取り上げた「男はつらいよ」の英語字幕のGSL3の低さは際立っている。同じ映画でも、英米の映画の23[%]に留まっている。

このように、今回の日本映画の語彙の難度は、他の素材と比較して、極めて低い。つまり、GSL1と2という基本的な語彙を習得していれば、十分に対応可能なことがわかった。

5-3 語彙の特殊性の比較

最後に、語彙の特殊性について確認する。特殊性とは、他の素材には出現しないが、当該素材には出現する割合がどの程度かと定義する。

この分析は、筆者の手元にある表1や表3で扱った素材のみについて行った。表2や表4の素材は詳細が不明で入手も困難なためである。

分析には Web 上で使用する Text-based Range(http://www.lex Tutor.ca/range/range_text/)というソフトウェアを用いた。この結果を表計算ソフトにて加工し、つぎの結果を得た。

まず、英語 I、英語 II の教科書、「男はつらいよ」の英語字幕のいずれか一つにでも出現するレマは3,030個であった。レマでこれだけの個数であるから、実際の語彙はより多様であるはずである。

また、英語 I 教科書に出現するのが1,905レマ、英語 II 教科書が2,421レマ、「男はつらいよ」が772レマである。なお、これらの数値は表1のものとは異なるが、ソフトウェアの違いによると思われる。

これらの数値の大小を検討するため、その素材内の語数との割合を算出する。もちろん、レマと語数(tokens)は異なった指標であるが、目安にはなる。その結果は、英語 I が6.2[%]、英語 II が5.8[%]、「男はつらいよ」が13.7[%]となる。この結果から、「男はつらいよ」には、総語数の割にレマの数は多い傾向にありそうなことになる。しかし、Guiraud 値が生まれたのと同じ考えでいくと、そもそも延べ語数に差がありすぎるので、必ずしも断言はできない。

なお、日本映画の772レマ中、英語の検定教科書には出現しないのが149レマ(付録)と20[%]程度を占めている。

つぎに、表5にその「男はつらいよ」独自のレマの難度を分析したものを示す。

表5 「男はつらいよ」
独自レマの難度

GSL1[%]	4.0
GSL2[%]	22.8
GSL3[%]	4.0
その他[%]	69.1

この表から、独自のレマは、GSL2 および GSL1 から3以外のものが多いことがわかる。

以上、5-1 から5-3 まで、語彙の多様性、難度、特殊性を調べてきた。まず、多様性については、今回の日本映画の英語字幕については、語彙の多様な範囲には分布しておらず、狭い範囲に集中していることが明らかになった。難度については、GSL1 および2の範囲が多く、GSL3 が少ない状態であり、比較的やさしい語彙が多く使用されていることがわかった。最後に、特殊性については、独自なレマについて、GSL のリストにないものが7割程度を占めることがわかった。

6. 考 察

では、リサーチクエスチョンに答えながら、結果について考えてみる。

まず、リサーチクエスチョン(1)の多様性であるが、各素材間での多様性の差は存在する。ただし、数倍の開きとまでは行かない。しかし、英語の検定教科書の語彙と比較して、狭い範囲に分布しているのは確かであるので、この日本映画の英語字幕を理解し

ようと思えば、教科書の語彙を理解するのよりも、狭い範囲の語彙を習得すれば、目的を果たせる可能性が高い。

つぎに、リサーチクエスチョン(2)の難度の差に進む。GSL3 レベルの語彙が日本映画には極端に少ない。検定教科書の場合の 20[%]前後に過ぎない。教科書ではある程度難度の高い語彙が出現するが、今回の日本映画にははるかに少ない割合でしか出現しない。

もちろん、英語 I および英語 II はオーラルコミュニケーションのみを対象としているわけではないので、会話表現が多い映画の字幕との比較で、一概には言えないかもしれない。しかし、表 4 にある英語 I とオーラルコミュニケーション I の教科書の場合でも、GSL3 の占める割合は 1.3[%]と、やはり「男はつらいよ」の 4 倍以上ある。

やはり、「男はつらいよ」の英語字幕には難度の高い語彙が少ない。この英語字幕を理解するのに GSL3 レベルの語彙にあまり注力する必要はない。

リサーチクエスチョン(3)の特殊性であるが、この映画の 2 割程度は検定教科書 10 冊に出現しないのである。この事実を踏まえれば、教科書に出てくる語彙を習得すればよいということにならないことがわかる。

7. ま と め

3 つのリサーチクエスチョンに回答していくなかで、「男はつらいよ」の英語字幕の理解に必要なことはつぎの 3 点である。狭い範囲のよく出現する語彙を習得するように心掛け、GSL3 レベルの語彙にはそれほど注力する必要はなく、独自の語彙に力を入れることが重要である。

とくに最初に書いた狭い範囲の語彙の繰り返し使用があることがわかった。6 回、16 回、あるいは 20 回と様々な研究結果が紹介されている(Zahar et al., 2001)が、複数回出現する語彙には偶発的な習得も期待可能である。また、映画は好みの作品であれば、2 時間程度で 1 回楽しむことができ、繰り返し見るのも苦にならない場合も多い。その結果、映画は偶発的な語彙習得も起こりやすい(古樋, 2009)。

つぎに、本研究の限界を明らかにしておく。まず、分析対象の日本映画が 1 本に過ぎず、延べ語数が他の素材よりもはるかに少ない点が問題である。

分析本数を増やすには、先に記したようになかなか大変な作業ではあるが、取り組んでいきたい。

また、今後は、外国映画についても、同様の分析を試みてみたい。

本研究を実際の教育の場にどのように応用できる

のかについても検討し、映画の英語字幕を効率的に活用し、容易に語彙習得が行えるような方法を創造していきたい。

* 本稿は、映画英語教育学会第 15 回全国大会(2009 年 6 月 20 日於 専修大学生田校舎)で行った口頭発表に加筆・修正を加えたものである。

参 考 文 献

- Barcroft, J. (2002). Semantic and structural elaboration in L2 lexical acquisition. *Language Learning*, 52(2), 323-363.
- Barcroft, J. (2003). Effects of questions about word meaning during L2 spanish lexical learning. *The Modern Language Journal*, 87(4), 546-561.
- Brouwer, C. (2003). Word searches in NNS-NS interaction: Opportunities for language learning?. *The Modern Language Journal*, 87(4), 534-545.
- Chikamatsu, N. (2006). Developmental word recognition: A study of L1 English readers of L2 Japanese. *The Modern Language Journal*, 90(1), 67-85.
- Daalen-Kapteijns, M. van, Elshout-Mohr, M., & de Gropper, K. (2001). Deriving the meaning of unknown words from multiple contexts. *Language Learning*, 51(1), 145-181.
- De Groot, A. M. (2006). Effects of stimulus characteristics and background music on foreign language vocabulary learning and forgetting. *Language Learning*, 56(3), 463-506.
- Fukkink, R. G., Blok, H., & de Gropper, K. (2001). Deriving word meaning from written context: A multicomponential skill. *Language Learning*, 51(3), 477-496.
- Fukkink, R. G., Hulstijn, J., & Simis, A. (2005). Does training in second-language word recognition skills affect reading comprehension? An experimental study. *The Modern Language Journal*, 89(1), 54-75.
- 古樋直己. (2009). 偶発的語彙習得と英語力・語の頻度・コンテキストの関係 ―英語字幕付き邦画を用いた場合―, 『英語教育研究』, 14, 29-40.
- 石川慎一郎. (2008). 『英語コーパスと言語教育』, 大修館書店.
- Jiang, N. (2004). Semantic transfer and its implications for vocabulary teaching in a second language. *The Modern Language Journal*, 88(3), 416-432.
- 門田修平(編著). (2003), 『英語のメンタルレキシコン』, 松柏社.
- Lee, S. (2007). Effects of Textual enhancement and topic familiarity on Korean EFL students' reading comprehension and learning of passive form. *Language Learning*, 57(1), 87-118.
- Min, H. (2008). EFL vocabulary acquisition and retention: Reading plus vocabulary enhancement activities and narrow reading. *Language Learning*, 58(1), 73-115.
- 文部科学省. (1999a). : 中学校学習指導要領第 9 節外国語,

- http://www.mext.go.jp/b_menu/shuppan/sonota/990301/03122602/010.htm
- 文部科学省. (1999b). : 高等学校学習指導要領第 8 節外国語,
http://www.mext.go.jp/b_menu/shuppan/sonota/990301/03122603/009.htm
- Nassaji, H. (2003). Higher-level and lower level text processing skills in advanced ESL reading comprehension. *The Modern Language Journal*, 87(2), 261-276.
- Nassaji, H. (2006). The relationship between depth of vocabulary knowledge and L2 learner's lexical inferencing strategy use and success. *The Modern Language Journal*, 90(3), 387-401.
- Nation, I. S. P. (2001). *Learning vocabulary in another language*, Cambridge University Press.
- Rodríguez, M., & Sadoki, M. (2000). Effects of rote, context, keyword, and context/keyword methods on retention of vocabulary in EFL classrooms. *Language Learning*, 50(2), 385-412.
- Rott, S. (2007). The effect of frequency of input-enhancements on word learning and text comprehension. *Language Learning*, 57(2), 165-199
- Sagara, N., & Alba, M. (2006). The key is in the keyword: L2 vocabulary learning methods with beginning learners of Spanish. *The Modern Language Journal*, 90(2), 228-243.
- 植松茂男. (2004). DVD 映画教材利用時の英語字幕が英語学習に与える影響について, メディア教育研究, 1, 107-114.
- 山田洋次. (2008). 「男はつらいよ HD リマスター版」, 松竹.
- Zahar, R., Cobb, T., & Spada, N. (2001). Acquiring vocabulary through reading: Effects of frequency and contextual richness. *Canadian Modern Language Review*, 15, 541-572.
- * 参考文献の記載様式は, 英語教育関係学会で標準とされる「APA 形式」による.

付録 「男はつらいよ」英語字幕のみに現れる語彙(レマ)149 個

abode	dowry	hypnotise	rubbish
acquaint	dragon	indebted	sacrifice
adequate	drawback	inn	salesman
apology	due	insist	sandal
arrow	dummy	insult	scum
ashamed	dump	kid	sentiment
bankrupt	dung	lame	shack
bargain	dust	loaf	shall
beer	economy	lousy	sir
bet	edit	lout	sire
birthplace	electron	mad	smart
blossom	electronic	manure	sneeze
boss	elegant	meddle	sob
brat	employ	mesmerise	sort
buddy	enterprise	neon	spoil
bug	errand	nut	stain
bump	expel	octopus	stairs
bust	fart	odd	steak
butter	fiancee	oriental	stove
catnip	formal	overtime	stuff
chase	fur	pamper	suicide
choke	gangster	pardon	suitor
complaints	gape	peddle	surname
conscience	geisha	personnel	swear
corpse	ghost	phony	tag
crap	glance	pierce	tax
creak	gory	pillow	textile
damn	groom	plump	tofu
dank	guest	poke	tonight
dare	gulp	praise	tramp
delinquent	guy	publication	ugly
deliver	hag	pun	urine
demon	hangover	pup	wistful
depress	headache	quarrel	wit
desperate	honeymoon	rant	wrist
dim	hook	rave	
discount	hum	repent	
disown	humble	reshuffle	

学校部活動への関わりと社会性獲得との関連性に関する実証的研究

山本 浩二*

荒木 祥一**

神野 賢治***

Empirical Study on Relation between Involvement in Extracurricular Activities and Acquisition of Sociality

Kouji YAMAMOTO, Shouichi ARAKI and Kenji KAMINO

The purpose of this study was to consider the contemporary meaning and the effectiveness of participating in extracurricular activities in senior high schools. Consequently, the effectiveness of extracurricular activities and the relation between sociality and extracurricular activities were confirmed. In addition, the participants in extracurricular activities are more eager than the non-participants in any activity at school. The increase in the number of students who take part in extracurricular activities leads to the revitalization of the school.

Key words: sociality, extracurricular activities, effectiveness of extracurricular activities

1. 緒 言

本学においては、「創造力のある実践的技術者の育成」といった明確な教育目標を掲げており、5年間の早期一貫教育の中で、各自が学生として自覚を持って行動することが要求されている。また、学校部活動（以下、部活動）においても運動部活動（以下、運動部）、文化部活動（以下、文化部）ともに数多く存在しており、学生、教員ともども意欲的に取り組もうとする姿勢がうかがえる。今現在、本学における運動部には約49%（約800人中390人）が所属しており、全国の高等学校運動部活動所属者（約37.4%）¹⁾と比べてもやや上回った所属率であると言える。また、文化部においても約18%（約140人）が所属しており、全体として約67%（530人）が部活動に所属している。

教員においては、昨年度後期より「学校部活動指導の全員化」を図ることとなった。全教員が部活動指導に関わることで、学生とのコミュニケーションの向上、学生への教育機会の拡大、さらには学校の活性化を目指し、新たな取り組みへと動き出している。

2. 学校部活動によせられた「期待」と「不安」

文部科学省は「平成19年度体力・運動能力調査結果」において、運動部・スポーツクラブ所属者と非所属者の間で、体格や体力にどのような差が見られるかを年齢と男女別で比較している²⁾。その中でも高等学校期（16歳、17歳）の子どもに注目してみると、男女とも「体格」・「体力（8種目スポーツテスト）」すべての項目において、運動・スポーツクラブ所属者の方が、非所属者を上回っていた。この調査においては、小学校期、中学校期の子どもにも同様の測定を施しており、その結果、体格面ではわずかに運動・スポーツを行っている方が高い値を示していたが、体力面では、すべての項目において顕著に高い値を示していた。つまり、これらの時期に、運動・スポーツを行うことが、子どもの「体格」、「体力」の向上に関連していると言わざるをえない。

しかしながら今日、部活動に関しては、体格・体力面以外においても多くの議論が交わされている。門脇は、社会をつくり、その社会を運営し、さらには今ある社会をより良いものにつくり変えていく能力を社会力として捉え、その社会力が形成される場として学校の重要性を指摘しており³⁾、それらを受けて中西らは、「運動・スポーツ活動は、子どもの社会力の形成に有意な影響を及ぼすことが明確にされるとともに、学校における体育・スポーツの重要性と存在価値が示唆された。」⁴⁾と述

*一般科目

**一般科目

***金沢星稜大学 人間科学部

べている。さらに運動部活動の有効性に関して、山本らは、高校生を対象に行った調査結果で、「運動部活動の『有効性』は、将来的に良好な社会性を獲得していく予備的能力の開発・開拓に大きな影響力を有している。」⁵⁾と推察している。

しかしながら、部活動に寄せられた「期待」とは裏腹に、「不安」な面を指摘されることも少なくない。水内は、「少子化・生徒数の急減のもとで、少なからぬ学校運動部が、存立の危機に直面したり、活動に支障を来したりしている。」と述べ、少子化による運動部の存立の危機打開策として、複数の運動部による「合同活動」や「地域社会との交流」をあげている⁹⁾。しかしながら、学校の統廃合にみられるように、少子化問題は運動部の存立どころか、学校存立にまで及んでいることが考えられる。その結果、運動部は、学校存立のために、宣伝・商品化され、学生獲得や学校の知名度上昇に利用されるといった状況も見られるようになった。

これらのことに関して、谷口は、「勝利至上主義によって奴隷化し、機械化し、その結果、他者の苦痛に関心を持ったり、痛みを感じたりすることのできない学生が大量につくりだされているのだ。」¹⁰⁾と述べている。

さらに近藤は、「大会必勝主義の下で部活動が過熱し、練習がますますハードなものになってくることによって、部員の日常生活が破綻したり、心身の健全な発達が阻害されるという部活動の弊害はよく指摘される場所である。しかしそれに加えて私は、部員にみられる、部活動以外の生活の貧しさということを、格別深刻な問題としてうけとめなければならないと考えている。」と述べ、練習による過労の慢性化が、学校での学習活動を妨げ、さらに自由な活動時間が著しく制限されることを指摘している¹¹⁾。

このようなことから、「部活動」、特に運動部に関しては、多くの「期待」と「不安」・「問題」がよせられていることがわかる。しかしながら、今年度後期より「部活動指導の全員化」を図る本校にとって、また、部活動の存続が少子化等の事情により危機に瀕している教育界にとって、学校部活動の在り方を再考することは、喫緊の課題であるといえよう。

以上の事柄から、本研究では、部活動と社会性獲得との関連性を把握した上で、部活動の有効性について再考していくこととする。

また、本研究で用いる「社会性」の位置づけとして、個人を取り巻く多様な環境において、自己を発揮し、実現していくための能力を「社会性」として捉え、門脇の言う、「今ある社会をより良い

ものにつくり変えていく能力『社会力』とは区別して考えたい。

3. 研究目的

本研究において言及する事柄は、以下の2点に集約できる。

- 1) 学校場面において、個人の社会性獲得の要因について分析し、学年間さらには部活動所属者と非所属者とを比較・検討する。
- 2) 1)の結果を受けて、高等学校期に部活動に参加することの今日的意味やその有効性を再考する。

4. 研究方法

1) 方法

2009年7月に本学782名を対象に現在の自分自身の生活状態および意識に関する調査を、質問紙調査法により実施した。調査は、調査実施者により、各保健体育の時間帯に配布・回収を行っている。

回収されたデータ数は全対象数である782部であったが、分析対象者は、欠損回答が皆無の704部(有効回答率90.0%)となった。内訳としては、男子636名、女子68名、さらに部活動所属者は489名(運動部所属者274名、文化部所属者215名)であり、以降の分析及び解析においては部活動所属者と非所属者との比較が主となる。

2) 質問項目

調査票に関しては、山本ら(2007)の先行研究をもとに、以下のとおり構成した。

(1) 社会性測定項目

山本ら(2007)が、探索的因子分析によって構造化を図った「高校生の社会性測定尺度(58項目)」を用い、回答を求めている。なお、この分析・解析作業は尺度の信頼性や妥当性の検証作業も包含している。

(2) 基本的属性

性別、学年(学科)、生活様式、中学校時の部活動所属、現在の部活動所属、現在の部活動での顧問教師の関わり方を訊ねる6項目を設定した。

(3) 各ライフステージにおける出来事(事柄)

本校入学後における、実際に体験した事柄を訊ねる18項目を設定し、回答を求めた。

(4) 現在の個人の意識調査

本学独自の行事(スポーツ大会、弥生祭、校内一斉清掃、定期考査)への参加意識を訊ねる

4項目を設定した。さらに学業に対する意識、精神的な変化について訊ねる2項目を設定し、それぞれ「1 大変感じている」～「4 まったく感じない」の4件法により回答を求めた。

3) 分析方法

回収した調査票は、SPSS for windows11.0Jを用い、集計・分析（解析）を行った。作業手順としては、「高校生の社会性測定尺度」の各因子得点をもとに、「学校部活動参加者」と「学校部活動非参加者」間、学年間、性別間において意識差の抽出を試みている。また、回答傾向をt検定によって比較検討している。

5. 結果と考察

1) 「社会性測定尺度」の解釈

本研究で用いている「社会性測定尺度」について概観しておきたい。これについては、山本ら（2007、2008）が先行の研究において用いた「高校生の社会性測定尺度」を援用した。予備調査により設定した58項目について、因子分析（主因子法、バリマックス回転）を行ったところ、本学生の社会性は大きく3つの構造から成り立っていることがわかった。第1に「ある目標に対して自分なりに考え、物事をうまく遂行していこうとする能力」である“目標遂行因子”と、第2に「自身の意見や考えを他者に伝えることに必要な能力」である“意思表示因子”、そして第3に「他者を理解し、自身にできることを考えるなどといった、他者との関わり合いに必要な能力」である“対人関係因子”といった3因子で構成されている。因子の解釈と命名については、因子負荷量0.40未満の項目や2つ以上の因子で0.40以上の因子負荷量を有する項目については削除しながら、最終的には58項目中36項目を削除し、解析対象は22項目とした。

また、すべて正規の分布を示したため、確認的因子分析を行った結果、複数の因子にまたがった3項目を除外すると、山本らの尺度と同様の因子構造をみることとなり、信頼性の数値も妥当であることから、本研究においてもこの尺度を採用することとした（表1）。

2) 学年と社会性獲得状況の関連性

「社会性測定尺度」で得られた、社会性得点において、学年間での比較を行った（図1）。

表1 社会性の因子構造

因子解釈と構成項目	(主因子法：Varimax回転)			
	因子負荷量			
	F1	F2	F3	共通性
第1因子：目標遂行($\alpha=0.82$)				
36 物事を実行する期間をきちんと決める	.67	.20	.11	0.49
25 計画に沿って進行することができる	.66	.17	.05	0.46
54 自分の問題点を明らかにし、改善していくことができる	.61	.19	.32	0.51
11 自分の立てた目標を目指して行動することができる	.59	.20	.24	0.45
53 何事も準備や練習はしっかり行うほうである	.58	.13	.31	0.45
41 物事を実行する目的を明確にしている	.56	.31	.27	0.48
24 自分の目標が、何を、いつまでに、どれだけ達成するかがわかっている	.52	.36	.06	0.44
38 物事の優先順位のつけ方はうまいほうである	.49	.29	.18	0.40
40 いったん始めたことは、とことんやりぬこうとする	.47	.08	.30	0.32
30 課題達成のために有効な手段・方法をいつも考えるようにしている	.44	.27	.26	0.35
21 原因を振り返り、今、何が一番重要かを考えることができる	.43	.27	.32	0.36
第2因子：意思表示($\alpha=0.83$)				
2 自分の意志を相手にはっきり伝えることができる	.18	.77	.25	0.68
1 人前で大きな声で、はっきりとした口調で話することができる	.17	.74	.22	0.63
32 自分の意見が通らない時は、反論できる	.24	.59	.15	0.42
50 先輩や目上の人と意見が違っても、自分の意図を説明できる	.28	.56	.22	0.44
19 大勢の人の前で、落ち着いて話することができる	.28	.56	.14	0.41
第3因子：対人関係($\alpha=0.79$)				
16 他人の良いところは自分にも取り入れたいと思う	.16	.11	.63	0.44
28 性別や年代に関係なく、誰でも仲良くしたいと思う	.07	.21	.60	0.41
10 他人からの期待には応えたいと思う	.27	.11	.56	0.40
45 自分によくしてくれる人に対して、自分もよくしてあげたい	.08	.12	.55	0.33
22 仲間づくりや人との交流を深めるために、何かしたいと思う	.32	.23	.53	0.44
4 他人が困っている時は、助けてあげたいと思う	.20	.20	.53	0.36
因子負荷量の2乗和	4.29	3.30	3.15	10.74
因子寄与率	17.14	13.23	12.60	42.97
累積寄与率	17.14	30.37	42.97	
因子間の相関				
F1 目標達成	1.000			
F2 対人関係	0.598	1.000		
F3 意思表示	0.551	0.472	1.000	

↑ 複数の因子に負荷量を示した項目は除外した

↑ 相関係数はすべて有意である（1%水準）

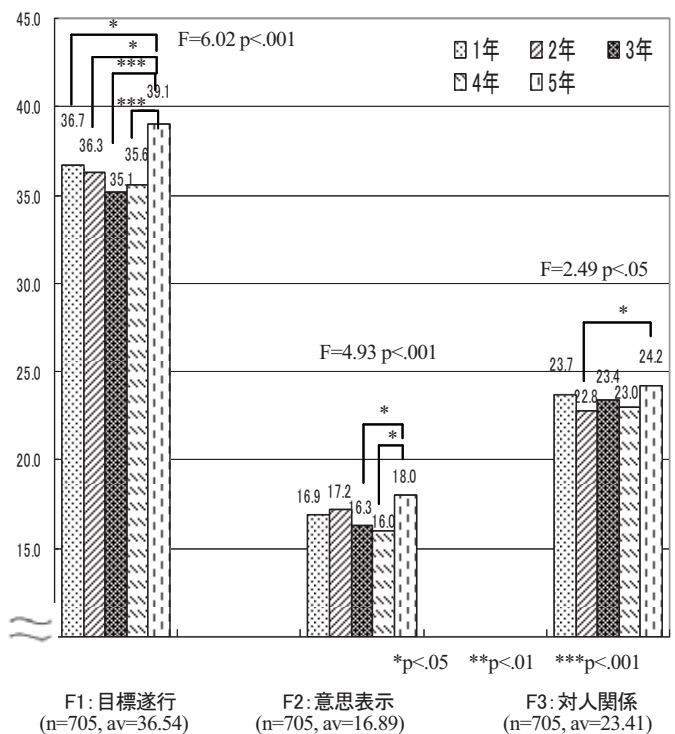


図1 社会性得点の学年間比較

この結果からわかるように、すべての項目において、5年生がもっとも高い値を示した。さらに、「目標遂行」においては、すべての学年との間に有意差が確認でき、顕著に高い値を示している。

また、すべての項目において、1年生より3・4年生が低い値を示していることも注目すべき点である。「目標遂行」、「対人関係」に限って言えば、2年生も1年生より低い値を示し、5年生に次いで1年生が高い値を示している。このことは、一般的に使われている「中だるみ」という学校社会の特性とも言うべき状態が、社会性得点の結果からも窺えるのではないだろうか。

3) 部活動と社会性獲得状況の関連性

(1) 部活動参加及び学年間の比較

表1で抽出された因子構造をもとに得点化したものを、部活動所属者と非所属者間及び、学年間で比較・検討した(表2)。

表2 社会性得点の学年間比較(所属の有無、平均値)

		所属者(489名)					F値	多重比較 (Tukey・5%水準)
		1年(163名)	2年(149名)	3年(145名)	4年(119名)	5年(128名)		
目標遂行	所属	36.59	37.23	35.23	35.76	39.71	4.50 ***	5>1,4,3
	非所属	37.42	33.98	34.83	35.56	38.42	3.22 *	5>2
意思表示	所属	17.09	17.75	16.37	16.00	18.24	4.25 **	2>4, 5>3,4
	非所属	15.83	15.83	16.14	16.02	17.74	2.45 *	n.s.
対人関係	所属	23.68	23.42	24.06	23.51	24.54	1.08	n.s.
	非所属	23.71	21.31	21.31	22.35	23.80	4.04 **	5>2,3

*p<.05, **p<.01, ***p<.001

† 多重比較の欄の数字は、学年を示すものである。

表2を見てわかることは、部活動に所属している5年生のほうが、すべての項目において顕著に高い値を示しているということである。「学年と社会性獲得状況の関連性」においても、部活動所属者と非所属者との平均値比較では、3因子ともに部活動所属者の方が非所属者より平均値が上回り、部活動参加者の方が獲得している社会性は富んだものであると考察できる。

このことについては、西(2006)の愛知県内某公立高等学校生徒への調査¹²⁾や、山本ら(2007、2008)の某私立高校に施した同様の調査においても、部活動所属者のほうが、社会性項目の平均値は高い値を示した^{6) 13)}ことから、高等学校期に部活動に所属することは、非所属者よりも、社会性を獲得できるということが出来る。さらに、社会性因子別に見ていくと、「5年生の部活動所属者」

がどの社会性因子においても最高得点を取っていることがわかる。

このようなことから、5年間の高専生活、もしくは5年間学校部活動が続けるということが、より高い社会性を獲得させる要因となっているのではないだろうか。最高学年になり、卒業後の進路を視野に入れ、部活動も引退に迫ってくるこの時期に、社会性の高まりを見せるのではないだろうか。しかしながら、この結果においては、「本学の学年の特性」というものが大きく関連していることが考えられ、これらのことを明らかにするためにも、今後、現在の1～4年生の追跡調査を行い、縦断的な調査研究を施す必要がある。

4) 部活動が高等学校期の前向きな意識・態度形成にもたらす影響力

学校行事への参加について、部活動所属者と非所属者の間で有意差が確認できた(表3)。これを見てわかるように、すべての項目において部活動所属者の平均値が高く有意差も確認できることから、部活動所属者のほうが非所属者よりも学校行事において意欲的であることがわかる。特に、「スポーツ大会」や「弥生祭」などの活動的な学校行事に加え、「学校の定期考査に一生懸命にかかわりたいと感じている」、「勉強の成績をあげたいと感じている」という項目でも顕著に有意差が確認できることから、学校部活動所属者は、「学業面」にも意欲的であるということが出来る。

さらに、学校行事に意欲的に参加する部活動所属者のどの社会性が影響力をもっているのか、各社会性因子(目標遂行スキル、意思表示スキル、対人関係スキル)ごとに社会性獲得度の高群・低群にわけ、学校諸活動との関連を見た(表4、表5、表6)。なお、社会性獲得度の高低群は、平均値±標準偏差を基準に抽出している。

表3 部活動参加別にみる「学校諸活動」との関連(平均値)

項 目	所属者(SD) n=473	非所属者(SD) n=212	t値
学校のスポーツ大会に一所懸命にかかわりたいと感じている	3.00(0.85)	2.79(0.87)	2.94 **
「弥生祭」に一所懸命にかかわりたいと感じている	3.01(0.85)	2.59(0.86)	5.84 ***
「校内一斉清掃」に一所懸命にかかわりたいと感じている	2.52(0.85)	2.41(0.85)	1.60
学校の定期考査(中間・期末)に一所懸命にかかわりたいと感じている	3.10(0.90)	2.82(0.93)	3.75 ***
勉強の成績をあげたいと感じている	3.44(0.77)	3.17(0.87)	4.07 ***

[4 大変感じている 3 まあ感じている 2 あまり感じない 1 まったく感じない]

=p<.01 *=p<.001

表4 部活動所属者の社会性獲得にみる「学校諸活動」との関連 (F1: 目標遂行、平均値)

項目	高群(SD) n=129	低群(SD) n=93	t値
学校のスポーツ大会に一所懸命にかかわりたいと感じている	3.32(0.73)	2.39(0.99)	8.07 ***
「弥生祭」に一所懸命にかかわりたいと感じている	3.15(0.82)	2.44(1.06)	5.60 ***
「校内一斉清掃」に一所懸命にかかわりたいと感じている	2.68(0.94)	2.12(0.92)	4.44 ***
学校の定期考査(中間・期末)に一所懸命にかかわりたいと感じている	3.34(0.82)	2.66(0.99)	5.63 ***
勉強の成績をあげたいと感じている	3.58(0.69)	3.06(0.88)	4.89 ***

【4 大変感じている 3 まあ感じている 2 あまり感じている 1 まったく感じている】

***=p<.001

表5 部活動所属者の社会性獲得にみる「学校諸活動」との関連 (F2: 意思表示、平均値)

項目	高群(SD) n=109	低群(SD) n=135	t値
学校のスポーツ大会に一所懸命にかかわりたいと感じている	3.33(0.82)	2.50(0.94)	7.25 ***
「弥生祭」に一所懸命にかかわりたいと感じている	3.17(0.90)	2.59(0.94)	4.83 ***
「校内一斉清掃」に一所懸命にかかわりたいと感じている	2.54(0.98)	2.30(0.87)	2.01 *
学校の定期考査(中間・期末)に一所懸命にかかわりたいと感じている	3.13(0.97)	2.89(0.92)	1.97 *
勉強の成績をあげたいと感じている	3.50(0.75)	3.25(0.87)	2.31 *

【4 大変感じている 3 まあ感じている 2 あまり感じている 1 まったく感じている】

*=p<.05 ***=p<.001

表6 部活動所属者の社会性獲得にみる「学校諸活動」との関連 (F3: 対人関係、平均値)

項目	高群(SD) n=160	低群(SD) n=114	t値
学校のスポーツ大会に一所懸命にかかわりたいと感じている	3.29(0.74)	2.44(0.89)	8.64 ***
「弥生祭」に一所懸命にかかわりたいと感じている	3.23(0.80)	2.40(0.93)	7.83 ***
「校内一斉清掃」に一所懸命にかかわりたいと感じている	2.64(0.95)	2.17(0.84)	4.28 ***
学校の定期考査(中間・期末)に一所懸命にかかわりたいと感じている	3.31(0.83)	2.70(0.96)	5.56 ***
勉強の成績をあげたいと感じている	3.68(0.62)	3.10(0.90)	6.37 ***

【4 大変感じている 3 まあ感じている 2 あまり感じている 1 まったく感じている】

***=p<.001

これらの結果より、社会性因子項目のうち、「目標遂行スキル」「対人関係スキル」が学校行事への意欲的参加を促す主要因であることが確認できる。しかしながら、「意思表示スキル」においても有意差が確認できることから、社会性因子項目すべてにおいて、獲得したスキルが高いほど、学校行事には積極的であることがわかる。

換言すれば、技術指導のみに特化しない部活動指導、つまり“社会性獲得への導き”を施すことは、子ども(学生)の学校生活をより豊かにする可能性を有していることが示唆される。

また、このことは、これまで教科の違い(体育・スポーツの専門性を有していないこと)から部活動指導に“拒否反応”を抱かざるを得なかった教員においても、部活動指導を担う意義として再確認することができるのである。

“社会性獲得”という視点は、本学の「部活動指導の全員化」に際し、子ども(学生)が部活動に関わっていく目的を活動ばかりに囚われることなく、多角的に捉えることへの第一歩となろう。

6. まとめ

本研究では、高等学校期の部活動への関わりと社会性獲得の関連性について実証的に検討するために、本学生を対象に質問紙調査を実施し、社会性の構造分析ならびに部活動がもたらす影響について考察してきた。本研究において得られた知見は以下のとおりである。

- 1) 社会性項目の得点は、部活動所属、非所属に関わらず、5年生が高い。また、社会性因子別に見ていくと、「5年生の部活動所属者」がすべてにおいて最高得点である。
- 2) 学校行事への参加において、部活動所属者のほうが非所属者よりも大いに意欲的である。社会性項目の平均値においても顕著に有意差が見られた。

以上2点より、今後の研究継続にあたり課題として挙げられることは、本結果において一部確認されることとなった「高専5年次での社会性得点の高まり」をより詳細に検討していくことである。このことに関しては、高等学校生を対象にした、山本ら(2007、2008)の先行研究においても高等学校最高学年となる3年次において、社会性得点は最も高い値を示している^{7) 14)}ことから、学校機関においては、その学校における「最高学年」に最も高い社会性を獲得できると考えられる。

また、5年生が社会性の高まりを見せた背景(要因)には、最高学年、進学・就職活動、部活動の引退など、さまざまな事柄が起因している可能性

が高い。現に4年生と5年生では、すべての項目において5年生の方が高く、そのうち2項目については有意差も確認できていることから、単に「進級」というものが関係するというよりも、この「4年生から5年生への進級」がもつ意味は、社会性獲得に大いなる影響を与えていると感じざるをえない。このことに関しては、山本ら(2008)が、縦断的研究を施し、「1年生から2年生へ進級する際の社会性得点の低下、2年生から3年生に進級する際の社会性得点の高まり」を明らかにしている¹⁵⁾ことから、現在(調査時)の5年生が、もともと高い状態にあったとは考え難く、4年生から5年生(最高学年)への「進級」が、社会性獲得に大いに関連しているということができる。

また、本研究においては、高等学校期に部活動に参加することの今日的意味やその有効性を再考することを目的とした。上記2)に見られるように、部活動所属者の方が、非所属者よりも学校行事に大いに意欲的であることから、部活動に参加する学生が増えることは、活気ある学校行事、ひいては、学校自体の活性化が成就される可能性が高い。本学生の中にも、本学への入学を希望した理由の一つに、「高専で部活動がしたかったから」と答える学生が存在する。「高専」という専門性に秀でた学校において、これまでの部活動の位置づけが、「補足的」な役割だったとしたら、もう一度考え直さなければならない。そういった意味で、本学教員の「部活動指導者の全員化」という取り組みは、学校全体の活性化へ繋がっていくことが期待できるのではないだろうか。

最後に、本研究において、分析を進めていくうえで認識することとなった制約事項と今後の課題を記しておきたい。

まず制約事項として挙げられるのが男女比である。分析対象となった704名のうち、男子636名、女子68名と、女子学生の数が極端に少ない。したがって、本研究においては、高等学校期における部活動の有効性と、「高専」における社会性獲得状況と部活動との関連性の一端を確認できたと感じている。

今後の課題としては、対象校と対象者数を拡大・増大し、本研究結果との比較・検討作業が必要である。また、本学に見られた、「5年生(最高学年)での社会性の高まり」さらには「部活動所属者は非所属者より、学業面および学校行事に意欲的であること」という結果は、先行研究の結果ともほぼ一致する^{8) 16)}ことから、単に「本学の特性」というよりも「高等学校期の生徒(学生)の特性」だと推察できる。そこで、今後、部活動が子どもたちにもたらす「社会性」の質的構造に関

して、探索的研究を施す必要性を感じる。

引用文献

- 1) 「平成16年文部科学白書」 文部科学省 第一部 第一章 第4節 図表1-1-11
- 2) 「運動部・スポーツクラブ所属の有無と体力測定・テストの結果」 文部科学省 平成19年度体力・運動能力調査
- 3) 門脇厚司 「子どもの社会力」岩波書店 1999 pp.175-176
- 4) 中西純司ら他 「子どもの運動・スポーツ活動と『社会力』との関連性に関する実証的検討」 福岡教育大学紀要 2007 第56号 p.144
- 5) 山本浩二ら他 「高校生における社会性獲得に関する実証的研究ー運動部活動参加状況による比較・検討を中心にー」 別府溝部学園高等学校紀要 2007 第19号 pp.50-62
- 6) 5) と同書
- 7) 5) と同書
- 8) 5) と同書
- 9) 水内宏 「学校教育における『運動部活動』の意義」 体育科教育 大修館書店 2000.6 p.21
- 10) 谷口源太郎 「大学スポーツの危機」 体育科教育 大修館書店 2006.1 p.45
- 11) 近藤義忠 「これからの社会と部活動のあり方」 学校体育 日本体育社 1988.10 pp.20-21
- 12) 西和任 「高校生の“社会性”獲得状況とその背景要因に関する探索的研究ー運動部活動参加との関連性に焦点化してー」 愛知県教育委員会教員 10年研修会レポート 2006
- 13) 山本浩二, 神野賢治 「高校生に関する社会性獲得に関する縦断的研究-年次推移による比較・検討を中心に-」 別府溝部学園高等学校紀要 2008 第20号 p.49
- 14) 13) と同書
- 15) 13) と同書
- 16) 13) と同書

参考文献

- 1) 三本松正敏 「スポーツ社会学における“社会化”研究の展開と課題」 福岡教育大学紀要 1981 第31号 pp.139-149
- 2) 玉江和義、谷口勇一、吉田毅 「福岡県内某公立高等学校1年生における精神健康と疲労に関する探索的研究ー中学校からの運動部活動歴との関連性の検討ー」 健康科学 20 pp.93-98, 1998
- 3) 永井洋一 「スポーツは『良い子』を育てるか」 日本放送出版協会 2004
- 4) 吉田浩之著 「部活動と生徒指導-スポーツ活動における教育・指導・援助のあり方-」 学事出版 2009
- 5) 荒井貞光 「これからのスポーツと体育」 道和書院 1986
- 6) 荒井貞光 「クラブ文化が人を育てる-学校・地域を再生するスポーツクラブ論-」 大修館書店 2003

電子制御工学実験ⅢへのPICマイクロコンピュータの導入

中尾三徳* 西川弘太郎* 鳥家秀昭**

Introduction of PIC microcomputer to the Experiments in Electronics and Control Ⅲ

Mitsunori NAKAO*, Kotaro NISHIKAWA*, Hideaki TOYA**

The Experiments in Electronics and Control Ⅲ was changed. After that, three years have passed.

The following contents are scheduled, it to be improved in 2011.

- 1) Improvement of experiment theme
- 2) Improvement of experiment text

Keywords: PIC microcomputer, experiment

1. まえがき

現在, PIC マイコンを使った教材は多くの高専で実験, 創造演習等の課題解決型授業に導入されている¹⁻³⁾. 電子制御工学科では, 一部の卒業研究でPICマイコンを使用していたが授業等への導入は未実施であった.

電子制御工学実験Ⅲ(以後, 実験Ⅲと称す.)のマイコン実験は, 平成19年までは, Z80 マイコンを使っておこなっていたが, 平成20年から, PIC マイコンを使った2人で1セットを使用する実験に変更された. Z80 マイコンでは, プログラム言語にZ80アセンブラを使用し, アセンブラ言語はマイコンによって違う記述フォーマットになっており, プログラミング言語を基本に考えると, 授業等と継続的なプログラミング言語実験には, なっていなかった. パソコンのプログラミングで使用されているC言語をマイコン実験で使用すれば, パソコンを使った授業からのリテラシーの継承ができ, マイコンを習得する学生にとっても処理内容が理解しやすいと考えられる. 実験Ⅲの実験概要は高専の低学年で体得した実験実習および授業の内容を網羅したテーマを8週間で実施することとなっている. 平成19年前までの実験Ⅲは, 3テーマの実験[マイクロコンピュータ, マイクロマウス, TeX]があり, それぞれのテーマを十数人の班に分け, 8週毎にテーマを変更し実践する. 3つのテーマは次のようになっている.

- 1) メカトロニクスに関する基礎的実験遂行能力を修得する(マイクロコンピュータ).

- 2) 実践的プログラミング能力を修得する(マイクロマウス).
- 3) 技術報告書の様式を理解し, 電子化する手法を修得する(TeX).

各テーマに共通にレポートを通じて, 実験結果の考察能力を修得する(レポート報告). 著者らが担当している1)のマイクロコンピュータに関する実験について以下のような内容に変更された. 平成19年度までの内容では,

- ① 基礎知識ガイダンスと機器組込用プロセッサの概略.
- ② 四則演算のアセンブラプログラミング.
- ③ Z80 マイコンの2チャンネル割込みの動作確認とプログラミング.
- ④ Z80 アセンブラの応用プログラム(エレベータシーケンス).

としていたが, 平成20年度からは,

- ① 電子素子・部品のガイダンスとPICマイコンの概略説明.
- ② PICマイコンの動作確認とプログラミング(C言語).
- ③ PICマイコンの基本プログラミング(LED点灯).
- ④ PICマイコンの応用プログラム(ブザー音制御・DCモータ制御).

となった.

従来のZ80マイコンはROMやRAM等のCPUの外側に周辺装置を配置しなければならず, 実験装置自体も大掛かりになっていた. それに対して, PICマイコンはEE-PROMやRAMやI/OやA/D変換PIO通信デバイス等もマイコン内部に持っており, 電源とクロッククリスタルがあれば, 即, 簡単な配線でデジタル電子回路を組み立てることができ, Z80マイコン実験装置の故障もあいまって, PICマイコン

による実験をおこなうことになった。また、近年、産業界でPICマイコンが多く使用されるようになり、これに対応する必要性が生じた。

実験Ⅲは、通常の実験実習のように毎週完結した内容でおこなう実験ではないので、実験担当教員と担当技術職員が実験計画を立て、これに基づき毎週の成果を評価していき、学生が独自に提案した計画、手法、問題提起を尊重し、実験手法を強制するような指導を極力しないように努めることが重要な点になっている。毎週、課す実施報告書はこのために有る。

本稿では、この実験ⅢでおこなったPICマイコンを用いたマイコン実験の1年目(平成20年度)の実験概要と成果、及び実験における問題点を授業アンケートの結果から学生の意見・感想、及び導入効果を検討する。さらに、2年目(平成21年度)の実験に向けておこなった改善内容、また、現在(3年目)の状況について報告する。

2. 実験Ⅲの平成20年度の実施内容

実験ⅢのPICマイコンの実験装置と学生の割り振りについては2人で1台の実験装置で実験をおこなっていた。プログラミング用パソコンに従来のものを使用していたため、性能的には低能力であり、故障が多く発生した。PICマイコンを用いたマイコン実験の各週毎の課題はTable 1のようになっている。PICマイコン実験は、1回が3時限、8回(週)でおこなうようになっている。実験方法については

- 1) 課題の電子回路を回路図エディターで作成する。
- 2) 課題の電子回路をブレッドボード上に電子素子を使用して配線する。
- 3) マイコンプログラミング用パソコンで課題のPICマイコン用C言語プログラム作成、コンパイルとリンクをおこない、PICマイコン用バイナリーHEXファイルをつくる。

Table 1 平成20年度各週毎のマイコン実験の課題

週	課題内容
1週目	導入、PICマイコン、電子素子、回路図エディター概要
2週目	電子回路作成とプログラムコンパイル実行
3週目	プログラムの制御とLEDランプの点灯制御
4週目	プログラムのサブルーチン(2次元配列)とLEDランプの点灯制御
5週目	タイマー制御、スイッチ入力、チャタリング処理、構造体
6週目	ブザー音制御
7週目	DCモータ回転制御
8週目	プログラミング割り込み制御

- 4) PICマイコンライターでバイナリーHEX ファイルをPICマイコンへ書込む。
- 5) PICマイコンをブレッドボード上の電子回路に取付け後、電子回路動作確認する。
- 6) 電子回路写真をデジタルカメラで撮影後、PICマイコン用C言語プログラム、ブレッドボード上の製作回路写真、及び電子回路図を添付した実験報告書を作成し、提出する。

1)から6)の処理を各週毎におこなう。

学生のレポート提出状況については平成20年度は実験時間の8週のうち、レポート提出は前半(4週)で1回、後半(4週)で1回の計2回提出することとしていたが、提出されたレポートは、内容が4週にわたるため初期の報告内容を忘れていたり、報告データが紛失していたりと提出内容について不備な学生が多かった。又、各週にレポート提出がなかったため、実験の進行状況も学生が把握できず、遅れてしまう学生が多かった。以上のことを踏まえ、平成21年度からは各週毎のレポート報告をおこなうようにした。その結果レポートの提出忘れはなくなった。

3. 実験Ⅲの平成20年度授業アンケートと集計結果

平成20年度の実験Ⅲは3つのテーマがあり、学生を3つの班に分けて、班毎に授業をおこなった。5年生は31名であったので、比較的小人数であった。全員の授業が終了した後、下記のような授業アンケートをおこなった。

(1) 電子制御工学実験Ⅲの授業アンケート依頼内容

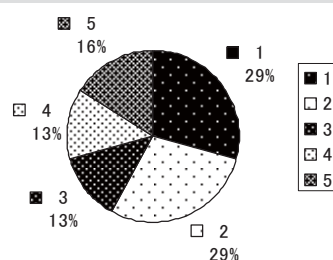
PICマイコンを使う実験テーマは、昨年までのZ80マイコンの代わりに平成20年度から新しく導入したが、今後、授業内容や実験方法を改善していく必要があると考えています。そこで、実験テーマや課題内容、及びテキストについて、下記のアンケート調査に協力して下さい。また、「改善提案」は「……する方がよい」と前向きに書いてください。最後に、自由意見・感想を書いてください。

(2) アンケートの回答

*以下の質問について該当すると思う数字を○で囲み、「改善提案」を書いて下さい。

質問①. この実験をおこなう前に、PICマイコンに対する興味・関心はどの程度ありましたか？

(小さい) ← 1・2・3・4・5 → (大きい)

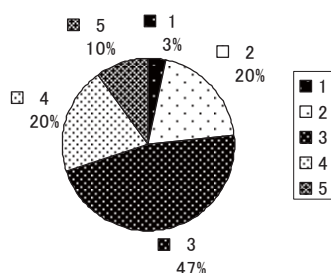


*回答の集計①: 1=9人・2=9人・3=4人・4=4人・5=4人
「改善提案」

- PIC を使うと、どんなおもしろい物ができるか、そのイメージを持たせる必要がある。
- パソコンが主流の中で、いまでも PIC が使われていることをアピールすべし。
- 予備知識が必要だと思う。
- 実験を始める前に、PIC がどのようなところに使われているか、重要性等を教えた方がよい。
- PIC の解説をしてから、実験をした方がよい。

質問②. PIC マイコンを使う実験テーマの難易度について、どうでしたか?

(難しい) ← 1・2・3・4・5 → (易しい)

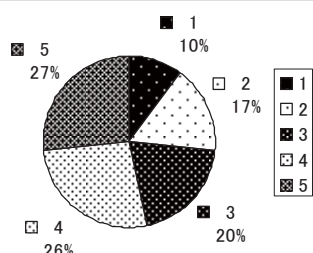


*回答の集計: 1=1人・2=6人・3=14人・4=6人・5=3人
「改善提案」

- PIC という不安定なところに、皆、つまづいていたので、教員のフォローが必要である。
- プログラムを組むと何ができるのか、より詳しく説明してほしい。
- 簡単な内容が多かったのでもう少し量を減らしてある程度、考察をした方がよい。
- 最初は PIC の知識がないので難しく感じた。
- もう少し回路的な知識を使った方がよい。

質問③. この実験をおこなうための授業時間について、十分でしたか?

(不十分) ← 1・2・3・4・5 → (十分)

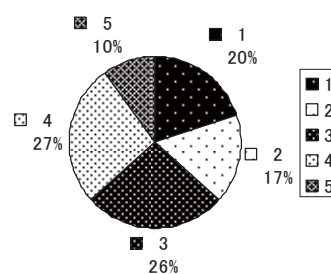


*回答の集計: 1=3人・2=5人・3=6人・4=8人・5=8人
「改善提案」

- 特に不満はないが冗長であったように思う。
- 1時間近く時間が余るときがあった。
- もう少し時間がほしい。
- 課題とレポートの両方が多くもう少し減らす方がよい。

質問④. この授業で使用したテキストは分かり易かったですか?

(難しい) ← 1・2・3・4・5 → (易しい)

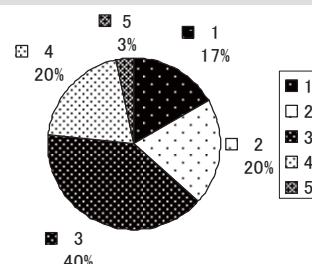


*回答の集計: 1=6人・2=5人・3=8人・4=8人・5=3人
「改善提案」

- テキストをもう少し改善すべし。あくまで PIC のテキストを使い必要な C 言語の知識は学校側が作成する方がよいかもしれない。
- 間違いが多すぎるのでちゃんとしたプログラムを提示する方がよい。
- 動かないプログラムを書かせるのはどうかと思う。
- ひっかけのような書き方をしているので手間がかかった。
- 間違いがある。書き方がマニア向けのようにいらついた。

質問⑤. この実験をおこなった結果、満足しましたか?

(不満足) ← 1・2・3・4・5 → (満足)

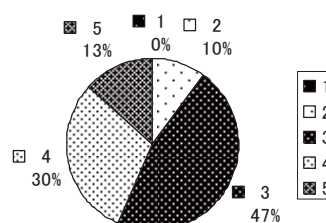


*回答の集計: 1=5人・2=6人・3=12人・4=6人・5=1人
「改善提案」

- 結局、PIC で何ができるのか分からない。そこを押すべきだと思う。
- スピーカで音を鳴らし、モータの回転を制御した後何か実用的なものの製作がある方がよい。
- テキストに記載されているプログラムを書いて、動作確認をするのは不要である。
- さらに踏み込んだ制御をおこってもよい。

質問⑥. この実験をおこった後に、PIC マイコンに対する興味・関心は高まりましたか?

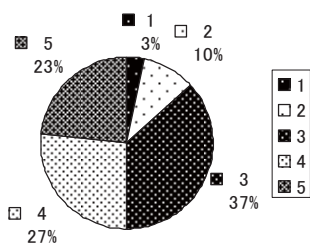
(低い) ← 1・2・3・4・5 → (高い)



*回答の集計: 1=0人・2=3人・3=14人・4=9人・5=4人

質問⑦. PIC マイコンを使う実験は、何学年に導入するのがよいと思いますか?

(どれか○で囲む) 1年・2年・3年・4年・5年



*回答の集計: 1年=1人・2年=3人・3年=11人・4年=8人・5年=7人

[自由意見・感想]

- まだ始まったばかりの授業というのがよく分かる。方向は正しいと思うので、細かいところを修正しつつPICが陳腐化するまでやっていただきたい。
- ICトレーナーで断線か、接触不良の箇所が多いためか、接触不良で回路が動かなかった。
- 情報処理の授業などと並行しておこなう方がよい
- 基本回路を最初に説明した方がよい
- より高度なレベルの所までやりたいと思った。
- 適当なレベルだと思うが、C言語を忘れがちなので分かりにくいところもあった。
- PICマイコンは大部分の制御に使われているので早い時期(1年生)から経験させた方がよい。

4. 考 察

今回の報告では、実験Ⅲの3テーマのうちのメカトロニクスに関する基礎的実験遂行能力を修得するマイクロコンピュータのテーマについて述べている。

平成20年度に実験を導入後、年度末にアンケートを取り、質問①⑤⑥からPICマイコンについて実験前より後の方が興味が大きくなっている。提案より具体的実験課題を考える必要がある。質問②より実験の難易度については普通のものである。提案より詳細な説明資料を準備する必要がある。質問③より実験時間は概ね適切なようであった。質問④よりテキストについては善し悪しが半々のものであった。質問⑦の実験を導入したら良い学年については3、4年生が多かった。自由意見については学生はPICマイコン実験に結構興味を持っていることが判明した。このアンケートの改善提案を参考に、平成21年度、平成22年度と実験方法を随時改善変更をおこなっている。

平成21年度改善は、前年度、実験計画の進行に追従できない学生が生じていたため、テキストの内容に追加補充するようにプロジェクターを使用し、補足説明をおこなった。また、課題の修正追加もおこ

ない学生の理解・実験の進行を調整した。また、市販テキストの正誤表も作成し、毎週レポート提出と実験テキストの修正をおこなった。

平成22年度改善は、レポート(報告書)の書き方・まとめ方の例をプロジェクターを使用し、提示した。また、平成21年度、説明不足であった電子素子(FET, ドライバIC等)の詳しい資料を用意した。プログラミング用パソコンをネットワークに接続し、インターネットから情報を得られるようにし、学生が分からない事があれば自主的にGoogle等を使って調べることができるようにした。新しいパソコンを1人1台導入し、実験装置もICトレーナーやPICライターを学生1人に1台ずつ対応させ、マイコン実験を1人ずつできるようにし、学生個人が一貫して終始実験がおこなえるようにした(平成21年度まではプログラム作成担当、電子回路作成担当のように分業して実験するケースがあった)。実験Ⅲは5年生が卒業研究と並行におこなっているため卒業研究テーマで組込みPICマイコンを使用する学生からは研究時にPICマイコンの取り扱い方がリアルタイムで分かり研究に集中することができるということであった。

5. ま と め

電子制御工学実験ⅢのPICマイコンテーマの導入から3年経過における改善策と現状について報告した。改善点は多々あるが、平成22年度に対しては、
1) 週毎の実験テーマの改善
2) 実験テキストの改善
をおこなっていく予定である。

謝 辞

本実験をおこなうにあたり、いろいろと便宜をはかってくださった電子制御工学科の皆様へ感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 黒田孝春, 石出忠輝, 小田功, 清水牧夫: PICマイコンによる課題製作を通じた電気工学実験の試み, 木更津工業高等専門学校紀要, 38 (2004) 1-10
- 2) 中尾三徳: 制御用マイコンPIC等を使ったマイクロコンピュータ実験・実習, 津山工業高等専門学校紀要, 48 (2006) 125-130
- 3) 米田知晃, 荒川正和, 丸山晃生, 三好正行, 斉藤弘一: PICマイコンで動作するライントレースマシン製作による「ものづくり」教育, 論文集「高専教育」, 31 (2008) 319-324

若手技術者育成型シーケンス制御教育システムの開発

西川弘太郎*

Development of a Sequence Control Education System Designed for Young Engineers' Training

Kotaro NISHIKAWA*

The purpose of this study is to develop the sequence system for engineer's training in the condition that simulated the practical work using a programmable controller. The shift from the former sequence control experiments by step program method to sequence control experiments by programmable controller corresponded to the ladder method, made practical and complicated sequence control possible. This year, we began to apply this sequence control training to electronics and control engineering experiment II. By this system, students can learn easily from the basics to the advanced. In this paper, I report about the construction of sequence control training system, including an improvement of the current experimental devices and the application of sequence control experimental devices donated by Omron, in the view of young engineers' training according to the latest sequence control techniques. I owe this to the Omron Control Techniques Seminar I attended in 2009.

Key words : sequence control, programmable controller, training

1. 緒 言

現在、企業では“団塊世代”と呼ばれる人々が一斉に定年退職される時期を迎え、特に産業界では若手技術者の技術力向上のための教育が急務¹⁾とされており、新人に対しては即戦力が求められている。また、世の中の産業製品や生産現場ではシーケンス制御が使われており、企業では設計職、生産職問わず技術者はシーケンス制御技術の習得が必要である。現在最新のシーケンス制御の形態は、工数削減や複雑で高度な制御に対応するため、有接点リレーやタイマ等を用いたリレーシーケンス制御からコンピュータでシーケンスプログラムを作成し、制御を実行するプログラマブルコントローラ（PLC；内蔵のコンピュータで演算処理をしながら要求する動きを実現する）を用いた制御へ変わりつつある²⁾。その様な中で最新のシーケンス制御技術を習得する上での教育システムとしては、将来若手技術者となる学生が対象の実務を模擬した教育システムはないのが現状である。

国立高等専門学校機構に対して、（株）オムロン

から寄付金事業により校内各 4 学科にシーケンス制御実験装置が寄贈されている。寄贈されたシーケンス制御実験装置を有効に活用するために、毎年、（株）オムロン制御技術セミナー研修が（株）オムロン主催で開催され、各高専より教職員が受講している。本稿では、筆者が平成 21 年度（株）オムロン制御技術セミナー研修を受講し、得られた技術・知識を基に、学生が本校を卒業し社会で活躍する若手技術者となるように、PLC に特化した最新のシーケンス制御技術を使ったシーケンス制御教育システムの構築・現行の実験装置の改良について報告する。

2. ㈱オムロン製シーケンス制御実験装置



Fig.1 Programmable controller (Omron CP1L)

原稿受付 平成 22 年 8 月 31 日

*教育研究支援センター



Fig.2 Experiment device of Omron

(株) オムロンより寄贈された、シーケンス制御実験装置は、PLC、コンベア機材実験装置、パーツボックス（リレー、リミットスイッチ、近接センサ、タイマ、カウンタ等）で構成され、実験装置一式で有接点および無接点のシーケンス制御実験が可能である。シーケンスプログラムは専用ソフト（(株) オムロン CX-Programmer）を使用し PLC とオンライン接続されたコンピュータによって作成し転送する。シーケンス制御の様子は、リアルタイムにコンピュータの画面で確認することが出来る。（株）オムロンから寄贈された PLC およびコンベア機材実験装置を Fig.1, 2（写真提供：（株）オムロン）に示す。

2.1 ラダー方式の重要性

シーケンス制御の方式には、ステッププログラム方式、SFC 方式（シーケンシャルファンクションチャート）³⁾ならびに、ラダー方式がある。ステッププログラム方式は制御のステップ毎に命令語をキー入力する必要があるため、ステップ数が多くなると時間を要す。SFC 方式はフローチャート方式とも呼ばれ、シーケンス制御の流れが整然と表現できる特徴があり IEC で規格化がされたところであるが、周辺ソフト等の整備が必要になることから今のところあまり普及していない。ラダー方式は、回路図をラダーシンボルに置き換えて図式化する方法で、回路図をそのままラダーシンボルに置き換えるだけであるため、比較的誰でも理解し易いことから現在、企業で最も多く使用されている。したがって、学生はラダー方式を用いたシーケンス制御技術を習得する必要がある。なお、寄贈された（株）オムロンの PLC はラダー方式に対応した仕様となっている。

2.2 実験装置の現状と問題点

筆者は電子制御工学実験Ⅱにおいて、プログラマブルコントローラと位置決め制御のシーケンス制御に関するテーマを担当している。その実験装置をそれぞれ Fig.3, 4 に示す。現行の PLC は、プログラムとコントローラで構成されている。実験の手順としては、シーケンスプログラムをステップ毎にコントローラで手入力し作成する。その次に、マイメモリへプログラムを書き込み、マイメモリをコントローラへセットしシーケンスプログラムを実行するため、手間がかかる。シーケンスプログラムの入力および修正作業においても時間を要する。また、現行の PLC は仕様上、最大入力可能ステップ数が 48 ステップであるため、複雑なシーケンス制御に不向きである。シーケンス制御実行中においても、ステップ番号のみがコントローラの 7 セグメントディスプレイに表示されるのみであるため、シーケンス制御の詳細が分かりにくい。この様に、現在ではあまり使用されていないステッププログラム方式の PLC にてプログラムを作成し比較的簡単なシーケンス制御実験を行っている。しかし、企業ではコンピュータと専用ソフトを使用し、シーケンスプログラムはラダー方式で作成されるのが一般的である。したがって、現行の実験のままでは実務と大きく異なるために実践的なシーケンス制御技術の習得が難しいものと考えられる。

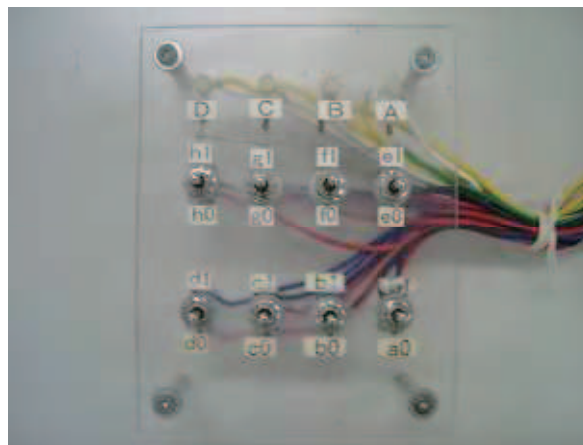


Fig.3 Controlled object (LED)

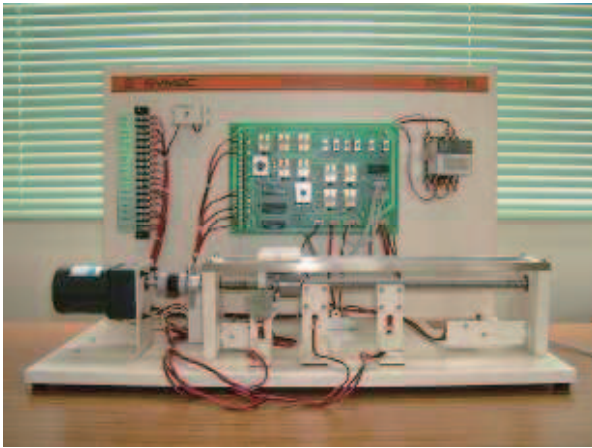


Fig.4 Controlled object (Position control system)

2.3 プログラマブルコントローラ

本テーマにおける制御対象はLED である。トグルスイッチの入力信号に対し、LED が点灯するシーケンスプログラムを作成し、動作を確認する内容である。しかし実際には、トグルスイッチの入力信号でLED のみをシーケンス制御する場合は少なく、押しボタンスイッチと赤、緑、黄色といったランプ類が制御盤に設置され、各アクチュエータが複雑に制御される。さらに、トグルスイッチは押しボタンスイッチの様に自動復帰しないため、シーケンス制御の基本である自己保持回路やa接点およびb接点の使い分けへの理解が難しい⁴⁾。

2.4 位置決め制御

本テーマの制御対象は、位置決め制御実験装置 (Fig. 4) である。付属の各種センサ (P1:フォトインタラプタ, P2:リードスイッチ, P3:ホール素子) の入力信号に対し、モータの回転運動によってボールねじ上を直線運動する移動ベンチの位置制御を行う。移動ベンチの運転モードを Fig. 5 に示す。P1～P3 はセンサの位置を表し、ハッチング部は一時停止として2秒のタイマを設けている。この運転モードを実現するシーケンスプログラムをステッププログラム方式で作成すると12ステップとなる。

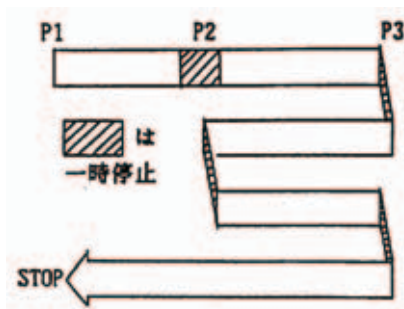


Fig.5 Mode of operation

3. 実験装置の改良

この実験で、現行の実験装置を活かしつつ、現在主流のPLC を用いた最新システムへ変更する。現行の実験で使用しているステッププログラム方式のPLC からラダー方式のPLC (Fig. 1: (株) オムロン CP1L, 5000ステップまで対応可能)へ変更する。これにより、企業のようにコンピュータを使用しシーケンスプログラムがラダー方式で設計可能になる。また、プログラムの確認や修正も容易でシミュレーションもコンピュータ上で可能 (Fig. 6) であり、ステッププログラム方式では困難だった比較的複雑なシーケンス制御へも対応出来るようになる。そこで、それに応じた演習も取り入れ、学生には複雑なシーケンス制御に慣れてもらう。PLCを用いたシーケンス制御実験では、シーケンスプログラムの割付に加え、センサ等からPLCへの入力配線やPLCから制御対象への出力配線も必要になるため、電気回路の理解もより深まる。

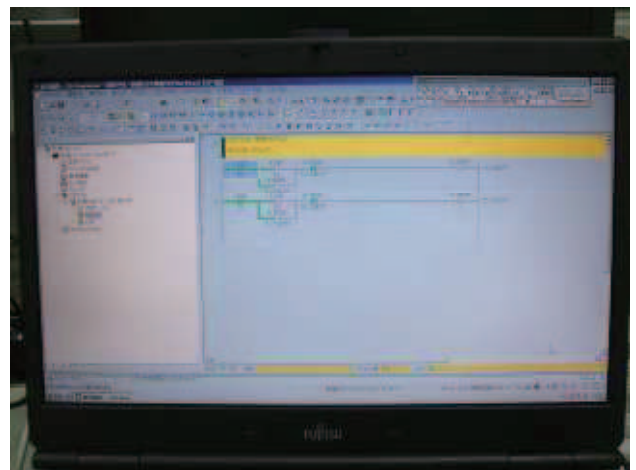


Fig.6 CX-Programmer

3.1 プログラマブルコントローラ

制御対象に関しては、LED+トグルスイッチに代わるものとして、(株) オムロンのコンベア機材実験装置 (Fig. 2) を使用する。本体には押しボタンスイッチとランプが付属しているので、それらを制御する。また、コンベア装置本体にはその名の通り、ベルトコンベアが装備されているので、付属の各種センサ類やランプ類と組み合わせて複雑なシーケンス制御を行う。このベルトコンベアは標準で右送り (正転) のみしか出来ない仕様であるため、本体内部にリレー ((株) オムロン MY2N DC24) を設置し、ベルトコンベアを左送り (逆転) にも出来るように改造を実施した⁵⁾。これにより、コンベア装置の拡張性

が向上した。

3.2 位置決め制御

位置決め制御に関しては、工場の生産ライン等、実務でも行う制御である。また、実務ではどのような制御対象においても所望の制御を実現することが求められる。したがって、制御対象は現行の位置決め制御実験装置を使用する。しかしながら、位置決め制御実験装置の出力がノーモルクローズであることや出力電圧が不安定なことから、(株)オムロンのPLCでそのまま制御することが出来ない。そこで、7CHシンクドライバIC (TD62003APG)を用いてインターフェース回路を製作した。新たな位置決め制御実験装置の外観をFig. 7へ、インターフェース回路をFig.8に示す。これにより、(株)オムロンのPLCを位置決め制御実験装置へ接続して制御出来るようになった。学生実験はシーケンスプログラムをラダー方式にて作成しシーケンス制御を行い、ステッププログラム方式と同様の運転モード (Fig.5) を実現し、ラダー方式に慣れてもらう。この運転モードを実現するシーケンスプログラムをラダー方式で作成すると8ステップで実現できる。ラダー方式によるプログラムはシンプルで比較的理解しやすい。プログラム例をFig.9に示す。

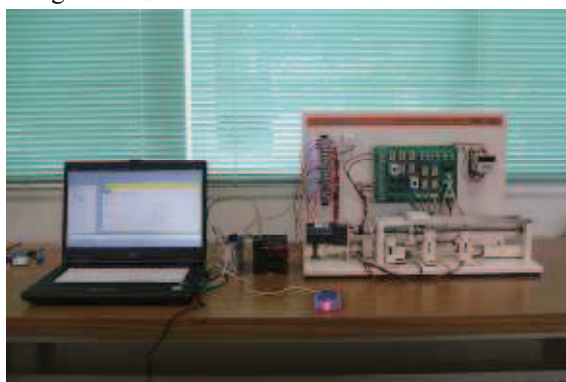


Fig.7 New position control system

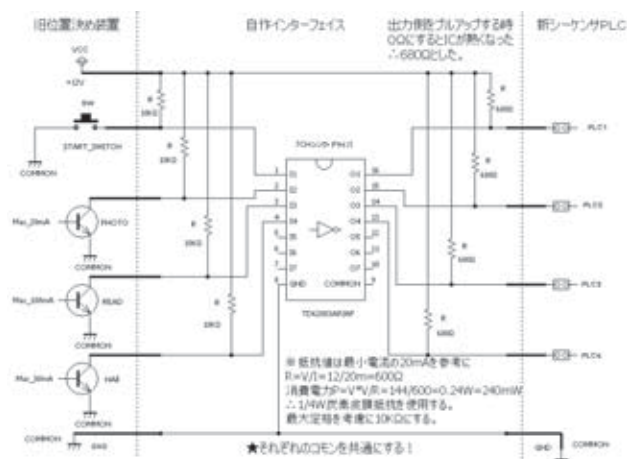


Fig.8 Interface circuit

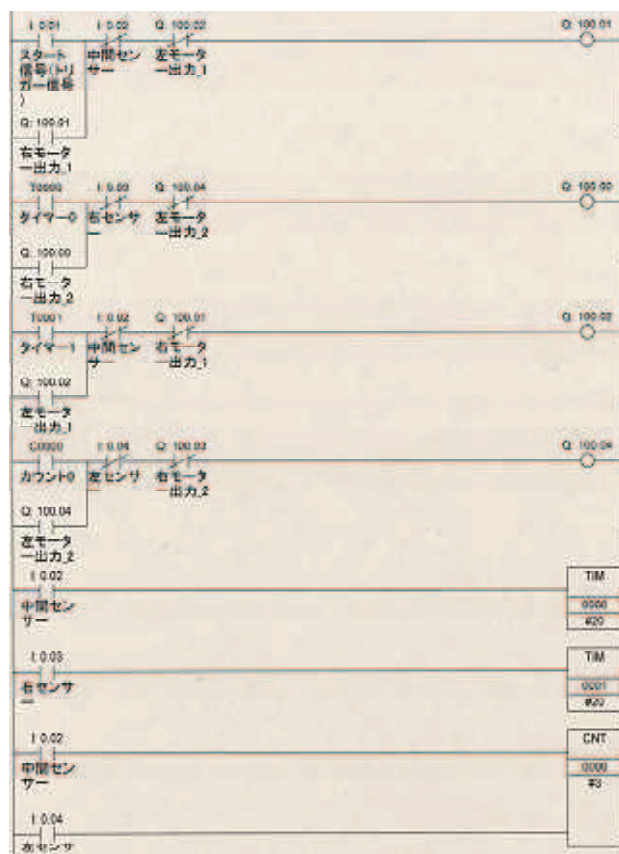


Fig.9 Example sequence program by ladder method

3.3 基本から発展までの演習を導入

若手技術者に必要なシーケンス制御技術を習得するために、基本から応用、そして発展までの実務的な実験内容へ変更した⁶⁾。プログラブルコントローラのテーマにおいて、学生は電子制御工学実験ⅠのICによる無接点シーケンス制御の経験があるので、まず基本編として電子制御工学実験Ⅰで実施した、自己保持回路、インターロック回路について復習させる。そして並列優先回路、新入力優先回路、直列優先回路のシーケンスプログラムを構築させ、ラダー方式を習得させる。シーケンスプログラムはコンピュータ画面に表示され、導通ラインは緑色で表示されるため、シーケンス制御を苦手としていた学生に対しても視覚的にシーケンス制御の理解を深めることが出来る。

次に実務的な応用編として、エスカレータ、駐車場表示板、エレベータ、工場の生産ライン、信号機等の演習を導入した。駐車場表示板の演習例をFig.10に示す。位置決め制御のテーマにおいても、生産ラインを模した複雑な位置決め制御を行い、同様に即戦力を養う。それに加え、a接点およびb接点の使い分けの方法やシーケンスプログラムを構築する際に誤作動を防止するための実務的なノウハウの解説も含めた。

さらに発展編では、学生がこれまでに習得した知識を駆使して、オリジナルな制御システムを考案し、実現させることでシーケンス制御技術をさらにアップさせる。

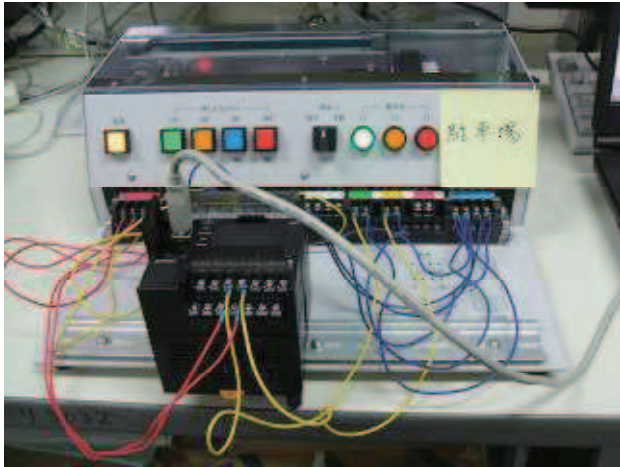


Fig.10 Application experiment of sequence control

4. 考 察

制御部をステッププログラム方式のPLCから現在主流のコンピュータを使用するラダー方式のPLCへ変更し、押しボタンスイッチ、ランプ、そして各種センサ類を制御対象として、現行の実験装置を活かしつつ実務に近いシーケンス制御を実験で行うことで、電子制御工学実験Ⅰとの関連性の向上にも繋がる。これにより、学生の理解もより深まり、社会で活躍する即戦力を養うことができるものと考えられる。

5. 結 言

本稿では若手技術者育成を目的として現行のシーケンス制御実験を改良し、シーケンス制御教育システムの開発を行い、平成22年度電子制御工学実験Ⅱへ適用を開始した。今後の展開は、より良い教育システムとするために制御対象の拡充を図り、報告する予定である。

謝 辞

本研究は、平成21年度校長裁量経費（プロジェクト経費）の援助を受けた。本システムの構築にあたり、制御実験導入検討WG、電子制御工学科ならびに教育研究支援センターの教職員の皆様に大変お世話になりました。ここに記して謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 川崎重工業株式会社技術開発本部：生産技術分野における当社の展開，川崎重工技報，生産技術特集号，164（2007），2-5
- 2) 三菱電機FAテクニカルセンター：三菱マイクロシーケンスリレーシーケンスで学ぶ 新よくわかるシーケンサ リレーラダー編，三菱電機株式会社（1997）14-15
- 3) 山崎靖夫・郷富夫：絵ときでわかる シーケンス制御，オーム社，（2004）159-167
- 4) 大浜庄司：図解 シーケンス制御の考え方・読み方，東京電機大学出版局，（2002）20-23,82-92
- 5) オムロン株式会社セミナー教育課：ベーシックFA，OMRON Corporation，（2009）123-125
- 6) オムロン株式会社カスタマーサポートセンタ：ベーシックFA（PLC基礎編），OMRON Corporation，（2009）30-33

校 外 に お け る 研 究 発 表 等

(2 0 0 9年9月1日～2 0 1 0年8月3 1日)

著書(専門分野)

伊藤國雄: 半導体レーザの基礎マスター, 電気書院, 2009 年 12 月

(概要) CD, DVD, Blu-ray などの光ディスク装置、レーザプリンタ、光通信などの光源としての半導体レーザを、工業高校卒業程度の数学と物理の知識で十分わかるように書いた解説書である。また著者のレーザ開発に関する研究開発から事業化にいたる歴史を「コラム」としてまとめている。

姉川尚史, **植月唯夫**, …他 (全 97 名): パワーエレクトロニクスハンドブック, オーム社, 2010 年 7 月

(概要) パワーエレクトロニクスは、携帯装置の電源から高電圧・大電流の電力変換装置まで、電力・産業・輸送・通信・家電など電気を扱う分野に現在なくてはならないものとして幅広く浸透し活用されている。また、環境対応として分散電源や電動機制御、省エネなどますます活用を場を広げようとしている。本ハンドブックでは、パワーエレクトロニクス活用システムの技術者・研究者を主たる対象に、最新のパワーエレクトロニクスに関する理論と技術全般をまとめて、関連の技術者・研究者に役立つハンドブックとするもの。植月は「1 編: 応用」の「5 章: 家庭のパワーエレクトロニクス」の中の「5.3.3 照明機器 (蛍光灯、電球形蛍光灯)」を執筆した。(全 744 ページ中 3 ページ、pp. 25-27)

著書(教育分野)

中岡尚美, **伊藤國雄**, **Eric Rambo**, **松田修**, **古樋直己**, **寺元貴幸**, **細谷和範**, **久保川晴美**, **西尾公裕**, **加藤学**: 技術英語: Technical English, 電気書院, 2010 年 3 月

(概要) 技術英語をこれから学ぼうとする学生のために作成した実践的技術英語の初級～中級編である。津山高専の一般英語科の教員と専門学科の教員とからなる「津山工業高等専門学校技術英語テキスト編集委員会」で編集した。

松田修: これからスタート! 理工学の基礎数学演習ノート, 電気書院, 2010 年 3 月

(概要) 姉妹書「これからスタート! 理工学の基礎数学」の演習書である。高専で学習する数学の総合的な力をつけるために、基礎的な問題を反復して学習する問題集である。

阿蘇和寿, **松田修**, **横谷正明**, 他: ドリルと演習シリーズ 微分積分, 電気書院, 2010 年 2 月

(概要) 高専や大学で学ぶ数学の自習演習書として、「基礎数学」を学んだ方が微分積分を学ぶためのドリルである。微分積分学の中で学ぶべき項目を再検討し、学習される方が無理なく学ぶことができる問題を集めた。本書に書かれてあることは、自然現象を理解する上でも、また、さらに進んだ数学を学んでいく上でも、必要不可欠なものばかりである。このドリルを使って学習されるみなさんが、微分積分学の基礎をしっかりと身につけられることを願っている。

阿蘇和寿, **松田修**, **横谷正明**, 他: ドリルと演習シリーズ 線形代数, 電気書院, 2010 年 2 月

(概要) 高専や大学で学ぶ数学の自習演習書として、「基礎数学」を学んだ方が線形代数を学ぶためのドリルである。線形代数の中で学ぶべき項目を再検討し、学習される方が無理なく学ぶことができる問題を集めた。このドリルに書かれてあることは、自然現象を理解する上でも、また、さらに進んだ数学を学んでいく上でも、必要不可欠なものばかりである。現在高専や大学で数学を学んでいる学生のみならず、およびもう一度数学を学び直したいとお考えの社会人のみなさんが、このドリルを使って学習することで、線形代数の基礎をしっかりと身につけられることを願っている。

論文(専門分野)

佐藤紳二, 古川明德: 翼角可変羽根車をもつ遠心ポンプの気液二相流性能とディフューザ翼設置効果, ターボ機械, 38 巻 2 号, 2010 年 2 月, pp. 100-105

(概要) 遠心ポンプ羽根車の翼出口角を可変にして、気液混合比を検知しつつ適切に翼出口角を変えることができれば、液単相流と気液二相流時の双方で高効率運転が可能となることが期待される。そこで本報では、翼出口角可変機構をもつ遠心羽根車を試作し、その液単相および気液二相流性能について

調査するとともに、翼角制御遠心羽根車とディフューザ翼を組合せた場合の気液二相流性能改善における相乗効果について、実験的に調査・検討した。

Hiroyuki INOUE, Toshiro NORITSUGU : Development of Walking Assist Machine Using Linkage Mechanism -Mechanism and Its Fundamental Motion-, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.22 No.2, 2010, pp.189-196

(概要) This paper proposes a walking assist machine, which is driven by a single actuator to reduce weight and cost, and describes its mechanism and fundamental motions. The machine is composed of a leg, which is responsible for assisting the motions of the lower extremities, and a waist, which contains the actuator. The leg is composed of sections for assisting the thigh, lower thigh, and foot, and the sections for assisting the thigh, lower thigh, which are composed of a four-bar mechanism. The effectiveness of the proposed walking assist machine is verified through experiments.

T. Ono: Tool wear characteristics of the micro milling optical glass, Transactions of NAMRI/SME, Vol.38, 2010, pp. 261-268

(概要) Wear characteristics of small ball end mills in the micro milling process on optical glass are discussed. A method to measure loss of cutting edge is developed to observe the wear characteristics of glass milling. This method allows the loss of cutting edge to be determined from the surface profile of a machined surface with a numerical approach. Cutting tests are performed by changing of the attitude of the tool cutting edge and typical cutting conditions to verify the validity of the developed method and to observe the wear characteristics in glass milling. In this experiment, the loss of cutting edge is changed by tool attitude because the cutter velocity of actual cutting area is changed by tool attitude. On the other hand, the loss of cutting edge is not changed with the rotational speed and feed rate of the milling tool in which a crack-free surface can be obtained. In addition, diamond-coated carbide tools show high durability. However, they leave small brittle cracks on the machined surface. It is concluded that the flank wear does not grow enough to suppress the brittle crack because of the hardness of the diamond coat.

中原真也, **橋本淳**, 白砂貴盛, 月川正善: 水素添加プロパン予混合乱流火炎の局所燃焼速度特性に関する実験的検討, 日本機械学会論文集(B編)75巻760号, 2009年12月, pp. 2550-2557

(概要) 層流燃焼速度を揃え、当量比を変化させ

たプロパン混合気に対し、局所的な火炎形状と局所伝ば特性の関係について、連続断層写真撮影により検討を試みた。本論文では特に、過濃条件において当量比範囲を拡大している。その結果、局所火炎変位速度の平均値は乱流燃焼速度特性と良い相関を示すこと、整理したマークシュタイン数と局所伸張強度の平均値を用いて予測された局所燃焼速度と局所火炎変位速度は良い一致を示すことが明らかになった。

Daizo Yamaguchi, Michikazu Hara : Starch saccharification by carbon-based solid acid catalyst, Solid State Sciences, vol. 12, 2010, pp. 1018-1023

(概要) The hydrolysis of cornstarch using a highly active solid acid catalyst, a carbon material bearing SO_3H , COOH and OH groups, was investigated at 353-393 K through an analysis of variance (ANOVA) and an artificial neural network (ANN). ANOVA revealed that reaction temperature and time are significant parameters for the catalytic hydrolysis of starch. The ANN model indicated that the reaction efficiency reaches a maximum at an optimal condition (water, 0.8-1.0 mL; starch, 0.3-0.4 g; catalyst, 0.3 g; reaction temperature, 373 K; reaction time, 3 h). The relationship between the reaction and these parameters is discussed on the basis of the reaction mechanism.

Satoshi Suganuma, Kiyotaka Nakajima, Masaaki Kitano, **Daizo Yamaguchi**, Hideki Kato, Shigenobu Hayashi, Michikazu Hara : Synthesis and acid catalysis of cellulose-derived carbon-based solid acid, Solid State Sciences, vol. 12, 2010, pp. 1029-1034

(概要) SO_3H -bearing amorphous carbon, prepared by partial carbonization of cellulose followed by sulfonation in fuming H_2SO_4 , was applied as a solid catalyst for the acid-catalyzed hydrolysis of β -1,4glucan, including cellobiose and crystalline cellulose. Structural analyses revealed that the resulting carbon material consists of graphene sheets with 1.5 mmol g^{-1} of SO_3H groups, 0.4 mmol g^{-1} of COOH , and 5.6 mmol g^{-1} of phenolic OH groups. The carbon catalyst showed high catalytic activity for the hydrolysis of β -1,4 glycosidic bonds in both cellobiose and crystalline cellulose. Pure crystalline cellulose was not hydrolyzed by conventional strong solid Brønsted acid catalysts such as niobic acid, Nafion NR-50, and Amberlyst-15, whereas the carbon catalyst efficiently hydrolyzes cellulose into water-soluble saccharides. The catalytic performance of the carbon catalyst is due to the

large adsorption capacity for hydrophilic reactants and the adsorption ability of β -1,4glucan, which is not adsorbed to other solid acids.

田辺茂, 貞森勇人: VBO フリー光サイリスタ変換器のスナバ回路ストレスの検討, 津山工業高等専門学校紀要 51 号, 2010 年 3 月

(概要) 順方向過電圧に対して自己保護機能を有する VBO フリー光サイリスタの電力用変換器への適用が始まりつつある。このサイリスタが連続 VBO ターンオンしたときのスナバ回路ストレスを、直流送電用サイリスタバルブを例にとり解析した。1 サイクルあたり 8 回の損失発生のうち、1 回のみに損失増大があり、その損失増大が平均損失に与える影響を明らかにした。

掛橋英典, 佐藤歩, 柳井武志, 福永博敏, **植月唯夫**: 誘導型無電極ランプの電子密度解析, 照学誌, 第 93 巻, 第 11 号, pp. 807-813, 2009 年 11 月

(概要) 135kHz で駆動されている誘導型無電極ランプの電子密度を把握するために有限要素法を応用した時期とプラズマの達成解析を行った。その結果、球場無電極ランプの電子温度および電子密度は中心に位置する誘導コイルの近傍で最大となり、実験結果と一致する買いが得られた。今後はこの解析を生かして、プラズマ分布に関してバルブのディメンジョンや誘導コイルの諸元の影響を調べていく。

武田雄士, 矢野英寿, 青山直樹, 大平琢真, **植月唯夫**, 福政修: 冷陰極ランプの電極消耗に対する水銀の影響, 照学誌, 第 94 巻, 第 2 号, pp. 135-140, 2010 年 2 月

(概要) Hg ありの CCFL (Hg-CCFL) と Hg なしの CCFL (Hg less-CCFL) を 5mA の一定電流で寿命試験にかけて電気特性を観察した。その結果 Hg-CCFL のランプ電圧実効値の経時変化は安定しているが、Hg less-CCFL は 6000 時間を超えた頃からランプ電圧が上昇し始め、発光色が紫色から赤色に変化した。また電流電圧波形を観察すると、Hg-CCFL では全く変化が見られなかったが、Hg less-CCFL では 6000 時間と 8000 時間で大きな違いが生じていた。6000 時間時点ではグロー放電で点灯しているが、8000 時間時点ではアーク放電に移行しかかっている様子が見られた。また 8500 時間で電極形状を観察すると、Hg-CCFL では全く変化が見られなかったが、Hg less-CCFL では先端形状が大きく変化していた。CCFL 点灯において、

寿命末期あるいは低温雰囲気中で点灯しているときに電極が消耗するのは、陰極近傍の Hg イオンが枯渇して電極表面が希ガスイオンによりスパッタされるためであることが確認できた。

Tadao UETSUKI : Masahiro UEDA, Satoshi NIMATA, Motohiro SAIMI, Hidenori KAKEHASHI : Effect of Operating Frequency on Plasma Characteristics of Inductively Coupled Electrode-less Lamp, J. Light & Env., Vol.34, No.1, pp.16-23, 2010

(概要) To increase the efficiency and lumen output of inductively coupled electrode-less lamps, numerous studies have attempted to reduce their operating frequency. This is because if the operating frequency is reduced, a wider range of semiconductor devices can be used that enable higher lumen outputs to be obtained from these lamps. The switching loss can be reduced thus increasing the efficiency. We investigated the relationship between the operating frequency of a 50-W electrode-less lamp and its characteristics. Operating frequencies of 13.56 MHz and 135 kHz were used. The characteristics that we investigated are its starting characteristics, the plasma characteristics (such as the temperature and density of the electrons), and its efficiency in producing UV radiation. The results show that the efficiency in producing UV radiation at 135 kHz is 7% lower than that at 13.56 MHz, and that plasmas generated at operating frequencies of 135 kHz and 13.56 MHz had different electron-density and electron-temperature distributions because of the different power input positions.

Kimihiro Nishio, Kenji Matsuzaka : Target Tracking System Using Analog Motion Detection Circuit Based on Biological Vision System, Far East Journal of Electronics and Communications, vol. 3, pp. 111-124, 2009

(概要) In this study, simple analog circuits and system for tracking a target was proposed based on the biological vision system. The structure of the circuit became simple. The circuit for tracking the target was fabricated on the printed board by using discrete metal oxide semiconductor (MOS) transistors. The circuit could output the voltage for controlling the motor used to the system. The developed system could track the target and capture the target on the center of the photodiodes array (input part). The realization of the compact visual sensor for the robotics and monitoring system can be expected by applying the proposed basic circuits and system.

Kimihiko Nishio: Simple Analog Edge Detection Circuit Based on Vertebrate Retina, Optical Review, vol. 16, pp. 521-525, 2009

(概要) Novel analog edge detection circuits were proposed based on the vertebrate retina. The unit circuit is constructed with one photodiode and about 8 n-channel metal oxide semiconductor (MOS) transistors. The simulation results with the simulation program with integrated circuit emphasis (SPICE) showed that the one- and two-dimensional array of proposed circuits can detect edge positions with dynamic range of about 5 decades. The measured results of the test circuit showed that the proposed circuit can detect edge positions. The advanced integrated circuit for edge detection which is characterized by high fill factor, wide dynamic range and low power consumption can be realized by applying the proposed circuit.

Kimihiko Nishio : Automatic Velocity Detection System Constructed with Digital Computer and Simple Analog Motion Detection Circuit, Advances in Computer Science and Engineering, vol. 4, pp. 77-88, 2010

(概要) The novel basic system by applying the analog circuit for detecting the motion in real time and the personal computer was proposed. As an example, the prototype of the automatic velocity detection system was fabricated in this research. The motion detection circuit was introduced to the first stage of the proposed system. And the circuit detected the velocity of the car. It was clarified from the measured results of the fabricated prototype that the proposed system can operate correctly.

Kimihiko Nishio, Wan Nor Dalila binti Wan Mahmood : Simple Analog Motion Detection Circuits Using Edge Detection Circuits Based on the Vertebrate Retina, Far East Journal of Electronics and Communications, vol. 4, pp. 1-14, 2010

(概要) Simple analog motion detection circuits were proposed in this study. The proposed pixel circuit for motion detection was constructed with about 6 n-channel metal oxide semiconductor (nMOS) transistors and 2 capacitors. The simulation results with the simulation program with integrated circuit emphasis (SPICE) showed that the proposed circuit can generate the motion signal. We can expect to realize the visual sensor in one chip, which is characterized by the high resolution, wide dynamic range and low power consumption by using

proposed circuits.

Kimihiko Nishio, Taiki Yasuda : Application System Using Simple Analog Motion Detection Circuit and Mobile Robot, Far East Journal of Electronics and Communications, vol. 4, pp. 15-24, 2010

(概要) We proposed application system using the simple analog motion detection circuit based on the biological vision system and the mobile robot. The measured results of the test circuit showed that the motion detection circuit can output the motion signal. The test system was fabricated by connecting with the test circuit and the mobile robot. It was clarified from the measured results of the fabricated system that the motion detection circuit can control the mobile robot.

Hideyuki Yagi, Jiro Shimonishi, Toru Yamamoto, Takao Hinamoto : Design of Performance-Adaptive PID Controller with a Model Prediction Structure, International Journal of Innovative Computing, Information and Control. Vol.5, No.10(A), pp. 2969-2984, October/2009.

(概要) In this paper, a new design of a performance-adaptive PID controller with model prediction structure is proposed, which automatically adjusts the user-specified parameter within the GPC-PID controller based on the control performance assessment. According to the proposed algorithm, the PID controller is re-tuned in order to obtain desirable system performance only if the practical performance indices to assess the control loop exceed user-defined regions.

細谷和範, 西隆一郎: 衛星画像及び公共用水域水質測定結果から得られた鹿児島湾に流入する外洋水の特徴, 海洋開発論文集 26, 2010 年 6 月, pp. 771-776

(概要) 本研究では、過去に定期的に行われた公共用水域水質調査結果の中から、水質調査日が偶然外洋水の流入時と一致したサンプルを抽出して流入に伴う湾内環境への影響（流入水塊が湾内水との混合形態や水質の変化）を定性的に調査した。また、湾央の一地点における水質の鉛直測定結果から流入水塊の厚さを推定した。衛星画像は既往の研究で多く用いられている表層水温 (SST) 画像に加え植物プランクトンの賦存量に係るクロロフィル a (Chl-a) 画像を用いる試みを行った。

小林敏郎, 佐藤恵一, 谷光男, 北本博子, 小笠原弘明, 柳雄二: 照明用有機 EL パネル成膜装置の開発 (第 2 報, ガラス基板の熱応力による破壊に関する検討), 日本設計工学会誌 44 巻 9 号, 2009 年 9 月, pp. 505-511

(概要) 有機 EL パネル製造中のガラス基板破壊を防止し、製造装置の高稼働率化技術を確立するために、製造プロセスにおけるガラス基板の熱応力、端面仕上げ条件と破壊確率の関係を把握すると共に、実用装置を用いてガラス基板の割れ現象の検証を行った。

Takao Tsukutani, Hideki Tsunetsugu, Yasuaki Sumi, **Noboru Yabuki** : Electronically tunable first-order all-pass circuit employing DVCC and OTA, International Journal of Electronics, Vol.97, No.3, 2010. 3

(概要) This article presents a realisation of an electronically tunable first-order all-pass circuit employing a differential voltage current conveyor (DVCC), an operational trans-conductance amplifier (OTA) and two MOS conductance. The circuit can realise two all-pass characteristics by choosing the current output of the OTA. Additionally, the circuit parameters ω_0 and H can be set independently by tuning the circuit active components electronically. Sensitivity analysis shows that the circuit enjoys very low sensitivity to the circuit components. An example is given together with simulated results by PSPICE.

小山将人, 鷺見育亮, 植田拓也, **藪木登**, 築谷隆雄 : SOM を導入した形状認識・抽出手法の開発, 鳥取環境大学紀要, Vol.8, pp. 1-12, 2010 年 6 月

(概要) 本論文では、画素の欠損に影響を受けにくい形状認識・抽出手法の検討を行い、自己組織化マップ (Self Organization Map : SOM) を導入した新しい形状認識法 (SOM's-SREM) を開発したことを報告する。開発した SOM's-SREM で、各種欠損を持ったシミュレーション画像、さらに確認実験として実画像を用いた形状認識・抽出実験を行い、正しく形状認識・抽出することができた。

論文(教育分野)

鳥家秀昭, **中尾三徳**, 奥山圭一, 湯地敏史, 鷺野祥 : 中学校と連携した GPS 出前授業教材の開発, 論文集

「高専教育」第 33 号, 2010 年 3 月, pp. 809-814

(概要) 平成 16~19 年度の卒業研究で、中学校と連携して開発した出前授業教材について述べる。この教材は GPS の原理と応用に関するもので、卒研学生が 5 つの中学校に出向いて講義と実技の授業を行った。そして、次年度の卒研で受講した中学生のアンケートを参考にして教材の改善を行った。実技では 2 点間の緯度差から地球の円周を計算する。また、実演では GPS ロボットの自動走行を行う。こうして開発した出前授業用 GPS 教材は、平成 20 年 11 月の土曜日に岡山市内の中学校で開催されたアフタースクール特別企画「理科教室」や平成 21 年 3 月に本校で開催した文部科学省戦略的大学連携事業「科学 Try アングル岡山」の特別授業で活用した。

岡田正, 長岡健一, 高橋章, 新開純子 : 全国の高専力を結集する試み ―情報基礎教育の提案と展開―, 論文集「高専教育」, 第 33 号, 2010 年 3 月, pp. 921-926

(概要) 全国に分散した高専の持つ力を集結し、高専教育の水準向上を図る試みの事例として、我々が 10 年近く活動が続けている「情報基礎教育」プロジェクトを取り上げた。活動を維持するための必要条件や工夫について述べている。

S. Arimoto : Proof of the Fukui conjecture via resolution of singularities and related methods. III, J. Math. Chem., 47, 2010, p.856

(概要) The present article is a direct continuation of the second part of this series. In conjunction with the analysis of the energy band curves of carbon nanotubes, we develop here fundamental theoretical tools, which are essential to prove the Local Analyticity Proposition (LAP). The LAP enables one to prove the Fukui conjecture (the guiding conjecture for developing the repeat space theory) in a new and powerful context of the theory of algebraic curves and resolution of singularities. The present fundamental tools also serve as modular tools for the repeat space theory, by which one can solve a variety of additivity and molecular network problems in a unifying manner.

S. Arimoto, M. Spivakovsky, K.F. Taylor, P.G. Mezey : Proof of the Fukui conjecture via resolution of singularities and related methods. IV, J. Math. Chem. DOI: 10.1007/s10910-010-9709-z

(概要) The present article is a direct continuation of the previous part III of this series of articles, which have

been devoted to cultivating a new interdisciplinary region between chemistry and mathematics. In the present part IV, we develop two sets of fundamental theoretical tools, using methods from the field of resolution of singularities and analytic curves. These two sets of tools are essential in structurally elucidating the assertion of the Fukui conjecture

(concerning the additivity problems) and the crux of the functional asymptotic linearity theorem (functional ALT) that proves the conjecture in a broad context. This conjecture is a vital guideline for a future development of the repeat theory (RST) - the central unifying theory in the First and the Second Generation Fukui Project.

講演・発表(専門分野)

田中雄也, 元番圭佑, 山本哲也, **佐藤紳二**: 開放形水車を用いたマイクロ水力発電に関する研究—第2報 水車の羽根数が出力特性に及ぼす影響—, 計測自動制御学会中国支部津山地区計測制御研究会講演会, 2010年2月

(概要) 一般に、ケーシングを有する水車ではメンテナンスに手間がかかることが問題となる。一方、開放形水車はメンテナンス容易な反面、効率が低い。そこで著者らは、開放形水車の効率向上をはかり、マイクロ水力発電目的の使用に堪え得る開放形水車の開発を目的として、集水装置設置の効果、羽数角が出力特性に及ぼす影響について検討してきた。本報では、更に、高効率開放形水車設計指針のための基礎データの充実を目指し、水車の羽根数が出力特性に及ぼす影響を調査・考察した。

木村裕一, **井上浩行**: 歩行支援を目的としたパワーアシスト装具の性能評価, 第18回計測自動制御学会中国支部学術講演会, 2009年11月, 講演論文集 pp. 192-193

(概要) 本研究では、試作している歩行補助機の軽量化を図るため、下肢の動きを実現するリンク機構を一部改良した。有効性を確認するために歩行実験を行った結果、通常歩行時と補助機装着時で股関節、膝関節、足関節の最大可動範囲はほぼ一致しているが、踵接地時において膝関節角度に差異があり、装具を装着することで歩幅が小さくなることがわかった。

池田竜二, **井上浩行**: 4節リンク機構を用いた歩行動作補助機構, 平成21年度計測自動制御学会中国支部津山地区計測制御研究会学術講演会, 2010年2月, 講演論文集 pp. 25-26

(概要) 本研究では、リンク機構を用い下肢の運動を補助する歩行補助機の脚部の設計手法を確立した。リンク機構を用いることで、脚部の動きは構成する各リンク長に応じて単一の動きとなる。そこで、まず各リンクが脚部の動きに与える影響を明らかにした。次に、脚部が目標とする動きを実現するように効率よく設計が行えるように、設計パラメータとなるリンクを選定した。

藤井拓馬, **井上浩行**, **藪木登**: 視線インタフェースにおいて操作画面が正答率に与える影響, 平成21年度計測自動制御学会中国支部津山地区計測制御研究会学術講演会, 2010年2月, 講演論文集 pp. 11-12

(概要) 本研究では、家電製品を視線で操作するため、円形の操作画面を用いる視線インタフェースを提案した。そして、確実に視線で操作が行えるように、操作画面の色が正答率に及ぼす影響を調べた。その結果、操作画面の色相を緑色とした場合には、彩度は中間で明度が低いほうが高い正答率が得られることがわかった。

塩田祐久, 近藤淳哉: 安定化ジルコニアにおける3次弾性定数の精密測定, 日本金属学会秋期大会, 2009年9月, 講演論文集 p. 457

(概要) 応力負荷の下で超音波進展速度を測定できる試験装置を作製し、安定化ジルコニア単結晶の弾性定数の精密な測定を試みた。超音波振動子としてLiNbO₃を用い、専用に作製した治具により試料の両端に取り付けた。弾性定数は試料に応力を加え、それと垂直に試料中を進展する縦振動あるいは横振動の超音波の速度を測定することにより求めた。作製した測定装置により精度良く超音波進展速度を測定できた。また、応力負荷により弾性定数が増加する傾向が見られた。

大野威徳: ガラスのエンドミル切削における工具摩耗特性, 2009年度精密工学学会秋季大会学術講演会, 2009/9, pp. 121-122

(概要) Characteristics of tool wear in glass milling are discussed. In cutting tests, soda lime glass plates are cut with carbide ball endmills to determine the lost of tool. And, a measurement method of edge profile from surface profile with numerical analysis is evaluated. As the result, the lost of tool is changing with tool attitude, and the

calculated edge profiles are agreed with the measured profile from SEM images.

大野威徳：ガラスのエンドミル切削における工具姿勢が仕上げ面性状に及ぼす影響，2009 年度精密工学会中国四国支部学術講演会講演論文集，2009. 11, pp. 33-34.

（概要） 超硬合金のボールエンドミル切削における cBN 工具の工具摩耗特性について述べている。研究では、仕上げ面断面形状から工具刃先形状の変化を計算する手法を開発し、工具摩耗経過曲線を簡便にかつ定量的に測定する。切削試験により工具姿勢と切削液について工具摩耗特性に及ぼす影響を明らかにした。その結果、工具姿勢を有する場合に空転期間が発生し正味の切削時間が短縮することで刃先後退量が抑制されること、乾式切削で工具摩耗が抑制されることを明らかにした。また、開発した測定方法により摩耗経過曲線を求めその妥当性を明らかにした。

大野威徳：ガラスのボールエンドミル切削における切削特性（比切削抵抗値の測定と切削抵抗の解析），日本機械学会中国四国支部 第 48 期総会・講演会，2010 年 3 月

（概要） ガラスのボールエンドミル切削における切削抵抗の数値計算について述べている。切削試験によりソーダライムガラスの比切削抵抗値を測定し、比切削抵抗法により工具姿勢が変化した場合の切削抵抗の変化を求め、実際の切削抵抗値と比較した。その結果、切り込みの開始から切削力が増加し最大値に達するまでの期間は両者がほぼ一致するものの、減少に転じて以降で差が生じることが明らかになった。この差は、逃げ面摩耗幅の増加とともに拡大してゆくことから逃げ面ランドと仕上げ面との接触による摩擦力による影響が考えられる。

橋本淳：一酸化炭素・水素・メタン混合燃料火炎の燃焼特性に及ぼす火炎伸張の影響，日本機械学会 2009 年度年次大会，2009 年 9 月

（概要） $\text{CO} \cdot \text{H}_2 \cdot \text{CH}_4$ 二成分混合燃料火炎の伸張応答特性について、反応動力学計算により検討を行った。その結果、マークシュタイン数は H_2 混合時の希薄および CH_4 混合時の過濃条件ではルイス数と同様に単調な傾向を示すこと、 H_2 混合時の過濃および CH_4 混合時の希薄条件では複雑な傾向を示すことがわかった。ゼルドヴィッチ数について検討した結果、これらの条件では低温領域で進行可能な反応群を有する効果が重要な役割を担っていることを明らかにした。

橋本淳：一酸化炭素・水素・メタン二成分混合燃料火炎の伸張応答特性，第 47 回燃焼シンポジウム，2009 年 12 月

（概要） $\text{CO} \cdot \text{H}_2 \cdot \text{CH}_4$ 二成分混合燃料火炎の伸張応答特性について、反応動力学計算により検討を行った。本講演では特に、圧力を増加させた条件についても検討を行った。感度解析および着火遅れの評価を行い、ゼルドヴィッチ数について検討した結果、これらの条件では低温領域で進行可能な反応群を有する効果が重要な役割を担っていることを明らかにした。一方、圧力の効果およびゼルドヴィッチ数の評価方法についてはさらなる検討を要する。

古矢和希，万治志，山崎義久，岡大志，小笠原雄一，

橋本淳：燃費競技車両外装における機能性部品の設計開発，計測自動制御学会 中国支部津山地区研究会，2010 年 2 月

（概要） 燃費競技車両の外装後部に空気力学的な機能性部品を付加することによって総合的な燃費の向上を試み、その効果とメカニズムについて流体解析を用いた検証を行った。その結果、ディフューザと外装後方傾斜部を組み合わせた複合型部品を設置することがもっとも効果的であることが明らかになった。得られる効果は動力機関等の改善に比べれば比較的小さい。しかし、機能性部品は安価に製作することが可能で、費用対効果としては決して低いものではない。

岡村知明，笠原幸平，坂本正直，**加藤学**，高橋勉：高速平面伸張流動場を実現するマイクロ流路の開発，計測自動制御学会中国支部津山地区計測制御研究会平成 21 年度学術講演会講演論文集，2010 年 2 月 7 日，pp. 22-23

（概要） 我々は高分子に配向を加える方法としてシース流れによる伸張流動場を得る手法を検討している。この手法では、流体と流路壁面との間にシース流体を流すことで、縮小流路を形成し、せん断の影響を小さくして流体に伸張変形を加えることが可能である。これまでにこの手法によって 10 s^{-1} 程度の伸張速度が得られることが確認されている。しかし、伸張流動場において流動誘起結晶化を発生させるためには 100 s^{-1} ほどの伸張速度が求められており、本手法の高速化が必要である。本稿では、高速平面伸張を得るためにシース流体とサンプル流体の合流後の流路断面積を減少させ、流れを可視化した実験から伸張速度の測定を行い、合流後の流路幅がシース流体流量と伸張速度の関係へ及ぼす影響を明らかにした。流路幅を小さくすることで伸張速度を増加

させうること、伸張流動領域では非一様な伸張速度分布が形成していること、局所的には非常に高い伸張速度が得られていることを確認した。

M.Kato, T.Okamura, K.Kasahara, M.Sakamoto and T.Takahashi : Observation of planar elongational flow using a sheath flow in a micro channel, 5th Pacific Rim International Conference on Rheology, 2010年8月3日, A-4-2

(概要) In order to investigate elongational flow induced crystallization on polymer melt, a cross junction micro channel has been developed. A carrier fluid is used to stretch sample fluid in this system. The carrier fluid and the sample fluid flow together in a junction region. Planer elongational flow is generated in the junction region. We used tap water and Indian ink as the carrier fluid and the sample fluid, respectively. The deformation of Indian ink in the junction region was observed and elongational rate was estimated from both the configuration of Indian ink and total flow rate. We experimented on the influence the flow rate ratio of both fluids and the channel width after junction region to elongation rate.

梶山智大, 杉本公一, **北條智彦** : 4 タイプの低合金 TRIP 鋼の衝撃特性に及ぼす添加合金元素の影響, (社) 日本鉄鋼協会 第 158 回秋季講演大会, 2009 年 9 月, p. 13177

(概要) 4 タイプの低合金 TRIP 鋼 (TRIP 型複合組織鋼 (TPF 鋼)、TRIP 型焼鈍マルテンサイト鋼 (TAM 鋼)、TRIP 型ベイニティックフェライト鋼 (TBF 鋼)、TRIP 型マルテンサイト鋼 (TM 鋼)) の衝撃特性を調査し、TAM および TBF 鋼の上部棚衝撃吸収値は TPF 鋼に比べ著しく上昇したことおよび、いずれのタイプの低合金 TRIP 鋼も、Al 添加によって上部棚衝撃吸収値はやや低下したが、遷移温度は TPF 鋼、TBF 鋼、TM 鋼で低下し、Al-Nb 複合添加により、いずれのタイプの低合金 TRIP 鋼も上部棚衝撃吸収値はやや上昇し、遷移温度は TPF、TBF、TM 鋼で低下したことを明らかにした。

山口大造, 北野政明, 中島清隆, 加藤英樹, 原亨和 : カarbon系固体酸触媒によるリグノセルロースの糖化, 第 104 回触媒討論会, 2009 年 9 月 27-30 日, p. 131 (3D07)

(概要) Carbon系固体酸触媒により、稲わら・バガス・杉の加水分解反応を行い、統計的な手法(人

工ニューラルネットワーク・応答曲面法)により、反応条件の最適化を行った。反応条件として、水量・基質濃度・触媒量を採り上げた。因子分析の結果から、これらのうち加水分解反応には水量が最も影響を与える因子であることが明らかになった。木質系および草本系バイオマスでは繊維飽和点の違いに起因して最適処理条件が異なることがわかった。

Daizo Yamaguchi, Michikazu Hara : 最適条件におけるCarbon系固体酸触媒によるセルロースの糖化第 6 回反応装置・プロセスシンポジウム, 2009 年 12 月 11 日, p. 1-4 (R01)

(概要) セルロースをCarbon系固体酸触媒により加水分解し、統計的な手法(応答曲面法、人工ニューラルネットワーク)によりグルコースおよびオリゴ糖生成速度を最大化する反応条件の最適化を行った。グルコースとオリゴ糖では最適条件が異なり、因子分析の結果から、水量の依存性が生成速度に影響を与えていることが明らかになった。

山口大造, 北野政明, 菅沼学史, 中島清隆, 原亨和 : Carbon系固体酸触媒によるリグノセルロースの糖化, 日本化学会第 90 春季年会, 2010 年 3 月, p. 1 D1-48 (DVD-ROM)

(概要) Carbon系固体酸触媒によるリグノセルロース(稲わら・杉・バガス)の糖化反応を最適化するとともに、反応支配因子を特定することにより糖化反応過程を検討した。

Daizo Yamaguchi, Michikazu Hara : Optimization of Hydrolysis of Cellulosic materials by a Solid Acid Catalyst, International Conference on Engineering and Meta-Engineering (ICEME 2010), 2010, April 6-9

(概要) The hydrolysis of cellulosic materials with a highly active solid acid catalyst, a carbon material bearing SO_3H , COOH and OH groups, was investigated using an artificial neural network (ANN) and a response surface methodology (RSM). The ANN models and RSM revealed that the amount of water dominates the hydrolysis reaction as well as cellulose saccharification by concentrated sulfuric acid, a conventional saccharification method. The correlation of the reaction and each parameter are discussed on the basis of the reaction mechanism, ANN and RSM.

Daizo Yamaguchi, Michkazu Hara : Hydrolysis of cellulose by a solid acid catalyst under optimal reaction conditions, Proceedings of the 5th International Symposium on Machinery and Mechatronics for Agricultural and Biosystems Engineering (ISMAB2010), 2010, April 5-7, D1-8 (DVD-ROM)

(概要) The hydrolysis of cellulose with a highly active solid acid catalyst, a carbon material bearing SO_3H , COOH and OH groups, was investigated at 323-393 K using an artificial neural network (ANN) and a response surface methodology (RSM). The ANN models and RSM revealed that the amount of water dominates the hydrolysis reaction as well as cellulose saccharification by concentrated sulfuric acid, a conventional saccharification method. The correlation of the reaction and each parameter are discussed on the basis of the reaction mechanism, ANN and RSM.

山口大造 : 新しいバイオマス糖化技術の開発, 第8回全国高専テクノフォーラム, 2010年8月18-19日, p. 37

(概要) カーボン系固体酸触媒によるリグノセルロース(稲わら・杉・バガス)の糖化反応を最適化するとともに、反応支配因子を特定することにより糖化反応過程を検討した。

Yuta Iwano, **Kunio Itoh**, Kenichi Takarabe, Shinsuke Kunitsugu, Yuzo Furukawa, Takashi Sugino : Application to White Light Emitting Device using Carbon Nitride films, 20th European Conference on Diamond, Sep.6-10, 2009(Athens, Greece), P2.8.04, 2009年9月9日

(概要) The possibility for light emitting devices using carbon nitride (CN_x) thin films has been studied. RF magnetron sputtering apparatus has been used for the formation of CN_x thin films. In this case, CH_4 is used as the source of hydrogen in order to investigate the effect of hydrogenated CN_x for luminescence. The photoluminescence (PL) measurement of the film grown by RF-sputtering shows the red-green spectrum, which can not be observed in the film without hydrogen. Together with the X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) analysis, it is concluded that the red-green peak originates from the level relating to H atom.

岸本慎平, 立花和也, 細尾倫成, 小津野将, 亀友健太, **伊藤國雄** : 白色LEDを目指したRFスパッタ装置による水素化窒化炭素薄膜の作製に関する研究,

第60回電気・情報関連学会中国支部連合大会, 講演番号 12-10 p. p. 175-176(広島市立大学), 2009年10月17日

(概要) R/G/Bの3原色の発光が可能なバンド構造を有する水素化窒化炭素膜をシリコン基板上に成長し、その光学的特性を測定した。結晶成長はRFスパッタ法でおこなった。反応ガスとして窒素とメタンガスだけを使用した場合、そのフォトルミネセンスはR/G/Bの光が均等に出ていたが、全体の発光強度は弱かった。一方反応ガス中にアルゴンを追加すると、発光強度は強くなったが青色発光が他の波長の発光に比べて少なくなった。

立花和也, 渡邊崇雅, 竹久和宏, 長瀧征弥, 光吉三郎, **伊藤國雄** : CuGaAlS_2 薄膜による青色発光素子の作製, 第60回電気・情報関連学会中国支部連合大会, 講演番号 12-12 p. 178 (広島市立大学), 2009年10月17日

(概要) 青色発光素子を目指して GaAs 基板上に CuGaAlS_2 の成長を試みた。具体的な成長法としてはまず CuGaS_2 を熱CVD法で作製し、その上に Al を蒸着して熱処理を施すことにより CuGaAlS_2 にする方法を用いた。XRD の測定より CuGaAlS_2 の膜ができているのが確認された。カソードルミネセンスの測定結果では、430nm にピークをもつ紫外光発光を確認できた。

立花和也, 岸本慎平, 岩野裕太, 光吉三郎, 亀友健太, 國次真輔, 財部健一, **伊藤國雄** : 窒化炭素薄膜の白色発光素子への応用, The 11th IEEE Hiroshima Student Symposium, 講演番号 B-01 p. p. 62-64, 2009年11月21日

(概要) 窒化炭素薄膜を ECR プラズマ CVD 法で Si 基板上に成長した。成長ガスとしては、アルゴン、窒素、メタンガスを用い、メタンガスの流量をパラメータとして発光特性との相関を調べた。その結果、メタンガスの流量を増加すると、フォトルミネセンス測定において赤色発光が増加することが確認された。また発光波長は 350nm~800nm の範囲となり、可視光領域をカバーしていた。しかし青色領域の発光が全体的に少なく、成長ガス量の最適化が必要である。

岸本慎平, 立花和也, 小津野将, 岩野裕太, 光吉三郎, 浦上法之, 亀友健太, 國次真輔, 財部健一, **伊藤國雄** : 水素化窒化炭素を用いた白色LEDの開発に関する研究, The 11th IEEE Hiroshima Student

Symposium 講演番号 B-02 p.p.65-68, 2009 年 11 月 21 日

(概要) 水素化窒化炭素膜をシリコン基板上に成長し、その特性を、フォトルミネセンス、カソードルミネセンス、吸収係数、X線光電子分光法を用いて調べた。結晶成長はRFスパッタ法でおこなった。反応ガス中にアルゴンを使用しない場合、成長膜中のN/C比は大きくなり、バンドギャップが狭くなることが確認された。またアルゴンを使用した場合、赤色発光が顕著にあらわれた。これはXPSの測定でC-N sp^3 が増加していることで説明できることを示した。

渡邊崇雅, 竹久和宏, 長瀧征弥, **伊藤國雄**: CuGaAlS₂の青色LEDへの応用に関する研究, The 11th IEEE Hiroshima Student Symposium 講演番号 B-03 p.p.69-71, 2009 年 11 月 21 日

(概要) GaAs 基板上に CuGaAlS₂ 薄膜の成長をおこない、電子線マイクロアナライザ、X線回折及びカソードルミネセンスでその特性を調べた。成長法は熱CVD法で作製したCuGaS₂の上にAlを蒸着してH₂Sガス中で熱処理を施しCuGaAlS₂にする方法を用いた。X線回折の結果、Cu(Ga_{1-x}Al_x)S₂のピークが確認されたが多くの異相のピークも現れた。カソードルミネセンスの測定結果では430nmの紫外領域に発光のピークが見られ、これよりCu(Ga_{0.535}Al_{0.465})S₂の層が形成されていることが確認できた。

Tadashi Kozuno, **Kunio Itoh**: Study of White LED using Amorphous Carbon Nitride deposited by RF-sputtering, 2009 Kosen Convention Record I.EE.Japan p.p.25~26 (中央電気倶楽部), 2010 年 3 月 6 日

(概要) The photoluminescence (PL) of a-CN_x:H thin film synthesized with RF-sputtering has emitted white-red light. In contrast, a-CN_x:H thin film synthesized with ECR-plasma CVD has emitted green-blue light. In this study, we tried to mix two thin films synthesized by both RF-sputtering and ECR-plasma CVD. The PL spectrum of new type double layer a-CN_x:H thin film was different from the simple sum of initial two PL spectra. The blue radiation was strongly enhanced. The color rendering index of this new type layer was as high as 81.8.

田辺茂, 西村正志, 石田優一: 直流送電システム関連規格の状況, 平成21年電気学会産業応用部門大会, 講演論文集 No. S10-5, I-101-104, 2009 年 9 月 2 日

(概要) パワーエレクトロニクス関連の規格・標準に関するシンポジウムの中で、直流送電関連について講演した。国際電気標準会議(IEC)の分化委員会の1つであるSC22Fが直流送電分野を扱っており、自励式直流送電を始めとする新技術について活発な活動を展開している。また、2008年に新設された専門委員会TC115との連携についても、その状況を述べた。

穴戸崇音, 青山直樹, **植月唯夫**, 武田雄士, 矢野英寿, 福政修: 電極形状・材料が冷陰極放電ランプの電極損耗に及ぼす影響に関する研究, 電気・情報関連学会中国支部第60回連合大会, 2009 年 10 月 17 日

(概要) CCLは液晶用のバックライト光源として使用されており、さらなる高性能化、特に高出力化が求められている。このような状況の中でランプの信頼性を高めることは非常に重要である。ランプが長時間点灯されると中に封入されている水銀は徐々に減少していく。そして最後には希ガスのみの放電に移行すると予想される。水銀が存在しているときと無くなったときとで、電極の損耗状態がどのように異なるかを把握することは非常に重要である、と考えられる。本発表では、電極形状および電極材料を変えたとき、水銀の有無が電極の損耗状態に及ぼす影響がどう異なるかを調べたので報告する。

TADAO UETSUKI, **YUKI GEMBA**, **TAKASHI KANDA**: A study on the influence of operating circuit on the position of emission point of fluorescent lamp, 62nd Annual Gaseous Electronics Conference, Saratoga Springs, New York, p.47, October 20-23, 2009

(概要) High efficiency fluorescent lamp systems driven by high frequency are very popular for general lighting. Therefore it is very beneficial to be able to predict the lamp's life before the lamp dying, because people can buy a new lamp just before the lamp dying and need not have stocks. In order to judge the lifetime of a lamp it is very useful to know where the emission point is on the electrode filament. With regard to a method for grasping the emission point, it has been reported that the distance from the emission point to the end of the filament can be calculated by measuring the voltage across the filament and the currents flowing in both ends of the filament. The lamp's life can be predicted by grasping the movement of the emission point with operating time. Therefore it is very important to confirm whether the movement of the emission point changes or not when the operating circuit is changed. The authors

investigated the difference in the way the emission points moved for two lamp systems which are very popular. One system had an electronic ballast having an auxiliary power source for the heating cathode. Another system had an electronic ballast with no power source, but with a capacitor connected to the lamp in parallel. In this presentation these measurement results will be reported.

TADAO UETSUKI, MASAO FUJITA, MOTOHIRO SAIMI, HIDENORI KAKEHASHI : A study on the ignition of inductively coupled electrode-less lamp, 62nd Annual Gaseous Electronics Conference, Saratoga Springs, New York, p.48, October 20–23, 2009

(概要) Almost twenty years have passed since the first electrode-less lamp operated at 13.56MHz was put on the market. Since then, it has come to be expected that the lumen output and the efficiency of these lamp systems would be improved. The present electrode-less lamp system operated at 135kHz has higher efficiency and output than the high pressure mercury lamp system which is very popular in the market. However, the ignition mechanism of the electrode-less lamp has not yet been completely worked out. To grasp the ignition voltage and time is very important for designing this lamp system, because these influence the cost of the system. The authors investigated how to reduce the ignition time. With regard to the ignition for magnetic coupled electrode-less lamp, it was reported that there are theoretically two types of ignition, E-discharge and H-discharge. However, the definition of the ignition actually is regarded as the time when the H-discharge occurs. The authors observed the starting state of the electrode-less lamp and found that the performance of the circuit influenced the transition from E- discharge to H- discharge. The large current is necessary for the smooth transition from E- discharge to H- discharge right after the E- discharge occurs.

TADAO UETSUKI, NAOKI AOYAMA, YUJI TAKEDA, HIDETOSHI YANO, OSAMU FUKUMASA : A study on the relationship between CCFL's characteristics and gas pressure, 62nd Annual Gaseous Electronics Conference, Saratoga Springs, New York, p.48, October 20–23, 2009

(概要) A continuous improvement in the lumen output and efficacy of the cold cathode fluorescent lamps (CCFLs) used for the backlight of LC-TVs is always expected. The lumen output and efficacy can be improved by controlling the electric field intensity by changing gas

pressure. Therefore it is very important to grasp the relationship between the CCFL's characteristics and gas pressure. The authors investigated the influence of gas pressure on the cathode fall voltage (CFV) and the electric field intensity of the positive column. The measurement results show mainly three points. The first is that the CFV of the Ne-Ar lamp reaches a minimum at 5.3kPa, while the CFVs of the Ne-Ar-Hg lamps decrease with a rise in gas pressure monotonously. This difference is caused by the variation of the sheath thickness arising from the presence of the mercury. The second point is that the CFV of the Ni-electrode lamp is higher than the Mo-electrode lamps' whether the mercury is present or not. This is caused by the difference of gamma coefficients between Ni and Mo. The third point is that the electric field strength increases with a rise in gas pressure whether the mercury is present or not. This is caused by the increase of the elastic collision loss between electrons and atoms

TADAO UETSUKI, Akira Matsuo, Katsuyuki Morii, Hisao Hatanaka : Study on a new material to replace the thoriated-tungsten electrode, The 12th International Symposium on the Science and Technology of Light Sources (LS12) and 3rd WhiteLED (White LED 3) conference, pp.215-216, July 11–16, 2010

(概要) Thoriated-tungsten (ThO₂-W) is popularly used for the electrodes of a super-high pressure mercury lamp, or for arc-welding, because of its excellent performance as to the electron emission. Because it is radioactive, however, a new material which can replace it would be desirable. We have attempted to find a material to replace ThO₂-W as the electrode. We have found that neodymium oxide or samarium oxide made under certain conditions produces encouraging results.

松本洋明, **原田寛治** : 高温超伝導バルクの液体窒素保有効果, 平成 21 年度電気・情報関連学会中国支部連合大会 p. 323, 2009 年 10 月 17 日

(概要) 本研究では Y123 バルクの空孔に着目し、マイスナー効果による磁石浮上時間を測定して空孔と冷却効果の関係を調査してきた。その結果、空孔が多いと液体窒素による冷却効果が高まり、浮上時間が向上することがわかった。そこで今回はバルクをアクリル塗料でコーティングすることにより空孔量を制御し、液体窒素保有量を制御することができた。この報告を松本が口頭発表した。

Shigeyuki Nakamura : Preparation of CuInS_2 Thin Films by Spin-coat Method, 19th International Photovoltaic Science and Engineering Conference and Exhibition (PVSEC-19), CIG-P3-10, 11th Nov. 2009, Jeju, Korea. 2009年11月11日 (Abstract Book p.258)

(概要) High quality CuInS_2 thin films were successfully obtained by cost-effective spin-coat technique. It is found that stoichiometric films obtained from the solution with $\text{Cu/In}=1.7$ have good crystallinity.

T. Yamaguchi, Y. Asai, N. Oku, S. Niiyama, T. Imanishi
S. Nakamura : Preparation of $\text{Cu(In, Ga)(S, Se)}_2$ thin films by sequential evaporation and annealing in sulfur atmosphere, 19th International Photovoltaic Science and Engineering Conference and Exhibition (PVSEC-19), CIG-P3-29, 11th Nov. 2009, Jeju, Korea. 2009年11月11日 (Abstract Book p.267)

(概要) Cu(In,Ga)(S,Se)_2 possesses a direct band gap in the range from about 1.0eV (CuInSe_2) to 2.5eV (CuGaSe_2) by increasing the Ga/(Ga+In) and S/(S+Se) ratio from 0 to 1. Therefore, Cu(In,Ga)(S,Se)_2 thin films are one of the promising candidates for absorber materials in single-junction and tandem solar cells. We proposed a new process using a vacuum deposition apparatus with three evaporation boats, which was the sequential evaporation from ternary CuGaSe_2 and CuInSe_2 compounds. In this study, we have fabricated Cu(In,Ga)(S,Se)_2 thin films by sequential evaporation from CuGaSe_2 , CuInSe_2 , In_2Se_3 and Ga_2Se_3 compounds and then annealing in H_2S gas atmosphere for photovoltaic device applications.

Yoji Akaki, Yu Kawano, **Shigeyuki Nakamura**, Keita Nomoto, Tsuyoshi Yoshitake, Kenji Yoshino : EFFECT OF ANNEALING FOR IN-RICH CuInS_2 THIN FILMS PREPARED BY A VACUUM EVAPORATION METHOD, 19th International Photovoltaic Science and Engineering Conference and Exhibition (PVSEC-19), CIG-P3-31, 11th Nov. 2009, Jeju, Korea. 2009年11月11日 (Abstract Book p.268)

(概要) CuInS_2 thin films were prepared from In-rich CuInS_2 powder by the vacuum evaporation method. After the vacuum evaporation, the films were subsequently annealed in air or H_2S atmosphere from 250 to 500 °C. Structural and electrical properties of the films investigated in

detail. The films examined by XRD, EPMA, SEM and Hall measurement.

Yoji Akaki, Kyohei Yamashita, **Sigeyuki Nakamura**, Keita Nomoto, Tsuyoshi Yoshitake, Kenji Yoshino : EFFECT OF H_2S ANNEALING FOR AGINS_2 THIN FILMS PREPARED BY A VACUUM EVAPORATION METHOD, 19th International Photovoltaic Science and Engineering Conference and Exhibition (PVSEC-19), CIG-P3-32, 11th Nov. 2009, Jeju, Korea. 2009年11月11日 (Abstract Book p.269)

(概要) AIS films were prepared by the vacuum evaporation method. The XRD patterns indicate that the AIS polycrystalline films are successfully obtained by annealing above 250 °C. The peaks of In_2O_3 crystal detected from the films annealed in air are not detected from the films annealed in H_2S . We find that the films become close to stoichiometry with increasing annealing temperature, the films annealed at 400 °C become In-rich. Maximum grain size of the samples is approximately 2 μm . The films annealed in air and H_2S indicate n - and p -type conduction, respectively, by Hall measurement, indicating that silver vacancy exists in the films.

中村重之 : 塗布法による CuInS_2 薄膜の作製, 応用物理学会多元系機能材料研究会 2009 年度講演会 0-05, 2009年12月12日

(概要) カルコパイライト半導体の一つである CuInS_2 は、 10^4 程度の大きな光吸収係数と 1.5eV の禁制帯幅を持つことから太陽電池の光吸収層として期待されている。これまで金属を蒸着したプレカーサーを硫化する方法で 12% 程度の変換効率が得られている。スパインコート法は、常温・常圧で製膜できるので、極めて低コストな製膜法である。これまで金属のナフテン酸塩を用いて製膜してきたが、これらの材料は比較的高価なので、さらなる低コスト化を目指して原料に酢酸塩を用いることにした。

藤丘英明, 林潤一, **中村重之**, 橘高稔明, 亀友健太, 財部健一 : 向ターゲット式スパッタ法による鉄シリサイド薄膜の作製および電気的評価, 計測自動制御学会中国支部津山地区計測制御研究会平成 21 年度学術講演会, 2010年2月7日

(概要) 本研究の目的は、 $\beta\text{-FeSi}_2$ の作製法を確立し、電気的特性の向上を試みて薄膜太陽電池を作

製することである。FTS 装置の試料台およびターゲットの組成比を工夫することによる組成比制御により、多結晶 β -FeSi₂ を得ることが出来た。また、熱処理によって試料の抵抗率を改善することが出来た。

丸本雄基, 三村真史, **中村重之**, 亀友健太: スパッタ法で作製した鉄シリサイド薄膜の熱電効果, 計測自動制御学会中国支部津山地区計測制御研究会平成 21 年度学術講演会, 2010 年 2 月 7 日

(概要) 鉄シリサイド薄膜の熱起電力-温度差特性を測定し、それよりゼーベック係数を求めると 17.84 [μ V/°C] であった。鉄シリサイドのゼーベック係数は約 350°C 辺りでピークが得られることが知られているが、測定結果からヒータと常温との温度差 400°C 辺りで熱起電力が急に増加することが確認できた。

藤丘英明, 林潤一, **中村重之**, 橘高稔明, 亀友健太, 財部健一, 福澤裕裕, 牧田雄之助: 対向ターゲット式スパッタ法による β -FeSi₂ 薄膜の作製および電気的評価, 電子情報通信学会関西支部学生会第 15 回学生会研究発表講演会 C-4, 2010 年 3 月 10 日

(概要) FTS 装置の試料台およびターゲットの組成比を工夫することによる鉄シリサイド薄膜の組成比の制御に成功した。C-V 測定による薄膜の評価の結果、電極形状によっては空乏層幅が基板にまで広がっていることがわかった。今後はホール効果測定を行い、 β -FeSi₂ の電気的特性をより詳しく調べていく予定である。

三村真史, 丸本雄基, **中村重之**, 亀友健太, 財部健一: スパッタ法で作製した鉄シリサイド薄膜の熱電効果, 電子情報通信学会 関西支部 学生会第 15 回学生会研究発表講演会 C-5, 2010 年 3 月 10 日

(概要) 鉄シリサイド薄膜の熱起電力-温度差特性を測定し、それよりゼーベック係数を求めると 17.84 [μ V/°C] であった。鉄シリサイドのゼーベック係数は約 350°C 辺りでピークが得られることが知られているが、測定結果からヒータと常温との温度差 400°C 辺りで熱起電力が急に増加することが確認できた。

赤木洋二, 山下恭平, **中村重之**, 徳田剛大, 吉野賢二: 真空蒸着法により作製した Ag-rich AgInS₂ 薄膜の熱処理の影響, 第 57 回応用物理学関係連合講演会 17a-TE-4 講演予稿集 p14-148 (2010 春 東海大

学), 2010 年 3 月 17 日

(概要) Cu(In,Ga)Se₂(CIGS)系太陽電池のさらなる変換効率改善のための一つの方法に太陽電池のタンデム化が挙げられ、CIGS 系太陽電池とのタンデム化には、バンドギャップや格子定数の大きさを考慮すると、AgInS₂(AIS)材料が有望である。これまで我々は、Ag/In 比が 1.0 の出発原料を用いて、真空蒸着法により作製した AIS 薄膜の熱処理の影響について研究を行ってきた。その結果、H₂S 中で 400 °C で熱処理することで良質の AIS 薄膜が作製できることを報告してきた。今回は、出発原料の Ag/In 比を Ag-rich とした場合に作製した AIS 薄膜の熱処理の影響について調査したので、その成果について報告する。

N. Yasui, K. Kametomo, K. Takarabe, H. Fujioka, J. Hayashi, R. Yarita, **S. Nakamura**: Preparation and Physical Properties of Single Layer Iron-Silicide Films, Asia-Pacific Conference on Semiconducting Silicides and Related Materials Science and Technology Towards Sustainable Optoelectronics (APAC-SILICIDE 2010), [24-P13], Tsukuba Japan, July 24-26 (2010), 2010 年 7 月 24 日

(概要) To realize optoelectronic applications of iron disilicide, β -FeSi₂, the precise electrical characterization is required. Unfortunately, the subsequent and comprehensive Hall effect analyses for both of p-type and n-type β -FeSi₂ thin films have not appeared up to date because the β -FeSi₂ thin film is usually grown on the Si substrate and the substrate effect of Hall measurement discourages the precise analysis of that because of the artificial subtraction of the substrate contribution. The reliable experimental way for this separation is the comparative study of Hall effect of the iron silicide with or without the Si substrate.

S. Nakamura, Y. Marumoto, M. Mimura, D. Sugiyama, T. Kittaka, K. Kametome, N. Yasui, K. Takarabe: Thermoelectric Properties of Sputtered Iron-Silicide, Asia-Pacific Conference on Semiconducting Silicides and Related Materials Science and Technology Towards Sustainable Optoelectronics (APAC-SILICIDE 2010), [25-P16], Tsukuba Japan, July 24-26 (2010), 2010 年 7 月 25 日

(概要) The thermoelectric properties are investigated for oxygen included iron silicide thin films prepared by FT dc sputtering. The highest Seebeck coefficient of 17.84 μ V/K and Z of 0.12×10^{-2} K⁻¹ are obtained. These

values are lower than these for bulk FeSi_2 thermoelectric devices. It is, therefore, needed to improve thermoelectric properties. For this we intend to optimize preparation conditions, such as deposition power and pressure.

Wan Nor Dalila binti Wan Mahmood, Siti Nur Ain binti Mehat and **Kimihiko Nishio** : Analog Motion Detection Circuits Using Simple Edge Detection Circuits Based on the Vertebrate Retina, The 9th International IFAC Symposium on Robot Control, 2009年9月10日

(概要) We proposed novel analog motion detection circuits based on the vertebrate retina, which is characterized by the wide dynamic range, low power consumption and compact structure. The simulation results with the simulation program with integrated circuit emphasis (SPICE) showed that the proposed circuit can generate the motion signal.

西尾公裕, 保田泰輝, 近藤康之, 朝比奈秀弥: 網膜に学んだ動き検出電子回路の構築とロボットへの応用, 日本神経回路学会 第19回全国大会, 2009年9月26日

(概要) これまでに、網膜に学んだ動き情報を生成するアナログ Metal Oxide Semiconductor (MOS) 電子回路が考案されている。本研究では、網膜に学んだシンプルな動き検出回路を作製し、それをロボットに搭載することを試みた。これにより、動き検出回路を用いた基本的なシステムを構築することを目的とした。本研究で構築したシステムを基礎とすることで、網膜に基づくシンプルな動き検出回路は、ロボットビジョンや監視システムなどのさまざまな分野で適用できると期待される。

Kimihiko Nishio, Taiki Yasuda, Takanori Tomibe : A Basic System Using Simple Analog Motion Detection Circuit Based on the Biological Vision System and Mobile Robot, 18th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication, 2009年9月30日

(概要) In this study, we proposed a basic system using the simple analog circuit for motion detection based on the biological vision system and the mobile robot. The test circuit was connected with the microcomputer introduced in the mobile robot, and the motion signal was input to the microcomputer. It was clarified from the measured results that the motion detection circuit can control the mobile robot.

近藤康之, 保田泰輝, **西尾公裕**: 生体の視覚系に基づく動き検出回路を搭載したロボットの構築, 電気・情報関連学会中国支部第60回連合大会, 2009年10月17日

(概要) 生体の視覚系に基づいた動き情報を生成する回路が考案されている。このような回路をロボットなどに用いて、検証することは必要不可欠である。本研究では、動き検出回路をロボットに搭載し、回路からの動き信号を使って、ロボットを制御することを目的とした。そのために、まず動き検出回路を作製して、その動作を検証した。次に、動き検出回路をロボットに搭載し、良好に動作することを確認した。

山崎匠弥, Wan Nor Dalila binti Wan Mahmood, Siti Nur Ain binti Mehat, **西尾公裕**: 生体の視覚系に基づく形状認識回路を用いた動き検出電子回路の構築, 電気・情報関連学会中国支部第60回連合大会, 2009年10月17日

(概要) これまでに、生体の視覚系に学んで、多くの動き検出電子回路が考案されている。しかし、これらの回路のみでは、回転してくる物体の回転速度や方向など、物体自体の動きを検出することは難しい。本研究では、生体の視覚系に基づく形状認識回路の出力信号を利用して、物体の回転を検出する電子回路を構築することを目的とした。考案した電子回路は、電子回路シミュレータ (SPICE) を用いて評価され、良好に動作することが確認できた。

富部孝則, 坂元文哉, **西尾公裕**: 生体の聴覚機能に基づく音源方向検出回路の構築, 電気・情報関連学会中国支部第60回連合大会, 2009年10月17日

(概要) 本研究では、生体の聴覚機能に基づいて、音の方向を検出する回路を考案した。考案した回路は実験結果より、良好に動作することがわかった。本回路と視覚機能に基づく物体追跡システムを併用することで、より高度なシステムの実現が可能になると考えられる。

富部孝則, 坂元文哉, **西尾公裕**: 聴覚システムに基づく音源定位機能の電子回路化, The 11th IEEE Hiroshima Student Symposium 講演番号 B-04, 2009年11月21日

(概要) 聴覚システムに基づく音源定位機能を有する電子回路を考案した。考案した回路は、SPICEを用いたシミュレーション結果およびテスト回路の実験結果より、良好に動作することがわかった。本

回路を視覚システムに基づく電子回路と組み合わせることで、物体が視野外に位置するときでも物体の位置を瞬時に検出し、それを追跡することが可能になると考えられる。(HISS 最優秀プレゼンテーション賞、HISS 優秀研究賞受賞)

Takanori Tomibe, **Kimihiro Nishio** : An Analog-Digital Circuit for Sound Localization Based on the Biological Auditory System, The 15th International Symposium on Artificial Life and Robotics, 2010 年 2 月 6 日

(概要) We proposed and designed the analog-digital circuit for sound localization based on the biological auditory system. The proposed circuit is characterized by the simple structure, high speed processing and the low power consumption. The measured results of the test circuit fabricated on the breadboard showed that the proposed unit circuits can operate normally.

竹内将雄, **八木秀幸**, **下西二郎**, 山本透 : プロセスシステムに適したパフォーマンス駆動型 CMAC-PID 制御系の設計, 計測自動制御学会中国支部津山地区計測制御研究会, 2010 年 2 月 7 日

(概要) 本論文では、CMAC の入力信号から目標値を廃することで必要な記憶容量を削減した CMAC-PID 制御系を設計する。最後に、本手法を非線形システムに適用した数値例を示し、その有用性を検証する。

津田道一, **八木秀幸**, **下西二郎**, 山本透 : 進化的計算手法を用いたパフォーマンス駆動型 PID 制御系の設計, 計測自動制御学会中国支部津山地区計測制御研究会, 2010 年 2 月 7 日

(概要) 本稿では、困難を要する GPC 則の設定パラメータの調整を、定常状態において所望の制御性能が得られるように遺伝アルゴリズム (Genetic Algorithm:GA) を用いて調整する方法について考察する。また、GA のみでは計算時間が膨大となってしまうため、計算時間短縮のためにニュートン法を組み合わせた手法も提案する。

太田直希, **八木秀幸**, **下西二郎** : 進化的計算手法を用いた制御性能に基づく PID 制御パラメータ調節法 電気学会中国支部第 2 回高専研究発表会, 5/Mar./2010.

(概要) 本稿では、困難を要する GPC 則の設定パラメータの調整を、定常状態において所望の制御性能が得られるように遺伝アルゴリズム (Genetic

Algorithm:GA) を用いて調整する方法について考察する。また、GA のみでは計算時間が膨大となってしまうため、計算時間短縮のためにニュートン法を組み合わせた手法も提案する。

八木秀幸 : 制御性能評価に基づく PID 制御系の設計 C I T 研究会 (徳島), 2010 年 3 月 28 日

(概要) CMAC の入力信号から目標値を廃することで必要な記憶容量を削減した CMAC-PID 制御系を設計する。また、困難を要する GPC 則の設定パラメータの調整を、定常状態において所望の制御性能が得られるように遺伝アルゴリズム (Genetic Algorithm:GA) を用いて調整する方法について考察する。

豆多弘紀, 奥山圭一, **鳥家秀昭** : 小型ロケットを用いた自律制御小型惑星探査実験機の開発, 第 46 回日本航空宇宙学会関西・中部支部合同秋期大会, 2009 年 11 月, 講演論文集, A-9

(概要) 無人火星探査機である米国航空宇宙局のオポチュニティやスピリットなどの探査機ローバが、様々な科学的観測を実施した。このような探査は宇宙科学の飛躍的な進歩につながると予想できる。本研究では、自律制御方法を採用したローバ実験機システムを設計、製作した。その妥当性については火星表面に酷似した米国ブラックロック砂漠において小型ロケットを用いた実運用実験で評価した。このローバ実験機の技術課題の一つは砂漠環境における踏破性能の向上であるが、本研究では超音波距離測定モジュールを用いた障害物回避システムについて各種実験を行ったので、その結果を報告する。

池内雄大, **山本吉範** : 真核生物における鞭毛運動の観察, 計測自動制御学会中国支部津山地区計測制御研究会平成 21 年度学術講演論文集, 2010 年 2 月, pp. 21-22

(概要) マイクロ・ナノロボットの駆動系として自然界の極小生物に習ったヒレ、毛、体の伸縮運動などが考えられる。本研究では、極小生物の持つ運動機関の中でも比較的ポピュラーな真核生物の鞭毛運動に着目する。特に、本報告では、扱い安さからマウスの精子を採用し、位相差顕微鏡を用いてその鞭毛運動を観察・記録した結果について報告する。

細谷和範, 宮本幸治, 田辺征一, 中谷公一 : 小型ロータリーディスプレイ式スターリングエンジン

の試作及び高効率化の検討, 日本機械学会中国四国支部第 48 期総会・講演会論文集, No.105-1, 2010 年 3 月, pp.349-350

(概要) 機械損失の大きな原因となるピストンの往復運動及びシリンダとピストンの摩擦による影響を減少させることができるロータリーディスプレイ式スターリングエンジンを製作し、工学教育に資する高効率かつ高出力のエンジンについて検討した。

春名康宏, **細谷和範**, 大山祐也, 西 隆一郎: 出前授業等への運搬が可能な小型簡易造波水槽の試作, 日本機械学会中国四国支部第 48 期総会・講演会論文集, No.105-1, 2010 年 3 月, pp.171-172

(概要) 一般の沿岸利用者への沿岸における危険な流れの周知活動は非常に重要である。本研究では可搬性があり、簡単な機構による造波水槽を試作し、流れの可視化や実演等の安全教育に適用可能かどうか検討した。

Kazunori HOSOTANI : Effect of the Oceanic Water Intrusions into Kagoshima bay in Japan on the Water Quality derived from Satellite Images and Public Water Monitoring Data , Proc. of the 4th International Engineering Research Conference (IERC2010 in Cebu, Phillipines), 2010, pp.42-45

(概要) The periodic Kuroshio Current brings a water intrusion into Kagoshima bay in Japan, known as the 'Kyucho' phenomena. This oceanic water intrusion influenced by the Coriolis effect intrudes with about 20cm/s. It is assumed that the water quality in Kagoshima Bay is affected by this phenomenon. However, even though the influence on the water quality by intermittent oceanic water intrusion is critically important, there is not enough information known about because it is difficult to observe this phenomenon, which occurs over several weeks. In this study, effect of these oceanic water intrusions into Kagoshima Bay on the water quality was estimated by the satellite images and water quality data collected by the local government.

Kazunori HOSOTANI, Kazuhito MISHIMA : Wind Energy Observation of the Traditional River Traffic System "Takasebune", Proc. of the 4th International Engineering Research Conference (IERC2010 in Cebu, Phillipines), 2010, pp.62-65

(概要) The characteristics of wind energy at Wake

city (in Okayama Prefecture, Japan) beside of Yoshii river were observed. The traditional river traffic system 'Takasebune' has operated since 1600's to 1930's going upstream with wind sail in narrow and twisty river course. This suggests that there was enough wind power to push a Takasebune ship (15m length) upstream, and that some areas along the river course will have stable and strong winds. This study focused on the yearly mean energy values of wind speed around a middle stream area in Wake town.

M.Takeishi, M.Yui, **T.Kobayashi**, F.Tsuri : Development of ultrasonic sensor for under-sodium volumetric inspection of heat exchanger pipe , Proceedings of the 18th International Conference on Nuclear Engineering (ICONE-18) May 2010, Xi'an, China

(概要) Under sodium sensor has been developed to inspect heat exchanger pipes in FBR plants. Low temperature diffusion bonding method was selected to bond piezoelectric element and thin stainless steel plate together for the boundary between piezoelectric element and sodium. Under sodium test has been made to verify the detection ability of the newly developed volumetric inspection sensor. Under sodium tests obtained that the sensor could detect 20% depth EDM slit in outer and inner surface of 1mm thickness pipe wall.

T. Kobayashi, R. Valizadeh, J. S. Colligon , H. Kanematsu , K. Morisato : A method for simulating thickness distribution on curved substrate during c-BN coating with ion beam assisted vapor deposition , Proceedings of the 18th International Vacuum Congress (IVC-18) Aug, 2010, Beijing, China

(概要) A simple model for the ion beam assisted vapor deposition was presented, which can be used for predicting the thickness distribution of c-BN films coated on curved substrate mainly being waved. Using an empirical boron resputtering yield, it was estimated that for static coating c-BN films would not be formed at the incident angle of more than 40 degree. These results were well consistent with the experimental results.

小林敏郎, 福井俊広, 橋本律男, 兼松秀行: 電子部材電極成膜装置の熱応力適正化に関する研究 (その 1, リニア蒸発源の熱応力解析結果), 計測自動制御学会中国支部津山地区計測制御研究会, 2010 年 2 月, 講演論文集 pp.19-20

(概要) Thermal stress generated in a graphite linear evaporator for large scale vacuum deposition equipment was evaluated, and optimization of the configuration was studied to prevent the evaporator from fracture. The thermal stress was calculated to investigate the effect of the parameters on the stress using a Finite element method (FEM) code which can handle thermal elasticity and geometric nonlinearity, then regression equations were formed by multiple regression analysis. Consequently, optimized configuration and dimension was determined and the validity was testified by the confirmation calculation using the FEM analysis.

森里邦彦, **小林敏郎**: イオンビーム薄膜形成装置シミュレーションに関する研究, 広島県機能性薄膜応用研究会研究発表会, 2010 年 3 月, 講演概要集 pp. 14-15

(概要) 曲面を有する基板へのイオンビーム蒸着時の堆積、及び堆積膜の再スパッタリング現象に関して、主に、揺動成膜時の膜厚分布シミュレーション手法を提案した。さらに、立方晶窒化ホウ素 (cBN) 成膜の実験結果を用いた検証を行い、基板を揺動した場合の膜厚分布が予測できることを確認した。

茂兼千明, **岡田正**: Web ユーザインタフェースの評価基準と対応技術, 平成 21 年度電気・情報関連学会中国支部第 60 回連合大会, 2009 年 10 月 17 日, 講演論文集 pp. 62-63

(概要) Web ユーザインタフェースの評価に関し、ISO によるユーザビリティから具体的な評価方法まで検討し、どのように評価に導入すれば良いかを提案した。さらに、評価基準を満たす技術との関連について報告した。

吉田真澄, **岡田正**: 地域情報化支援における安全で適切なネットワークシステムの構築基準, 平成 21 年度電気・情報関連学会中国支部第 60 回連合大会, 2009 年 10 月 17 日, 講演論文集 pp. 230-231

(概要) 地域の情報化支援を行うにあたって、安定で安全なシステムを提案するための要件を検討している。システム設計から運用管理まで体系的に調査し、実際のシステム構築に取り入れている事例等を報告した。

曾利仁, 安野卓: リカレント型ニューラルネットワークを用いた風速予測システムによる風力発電出力

予測, 平成 21 年度電気・情報関連学会中国支部連合大会, 2009 年 10 月, 講演論文集 p. 556

(概要) 現在、導入されている風力発電のほとんどが電力系統と連系されており、また、風力発電出力は風によって大きく変動するため、周波数変動問題による電力系統への影響が懸念されている。著者らはこれまで、予測対象地点における 10 分先の平均風速を、対象地点の局地的気象データのみを用いてニューラルネットワークにより予測する手法を提案した。本稿では、風速予測システムを用いた風力発電出力を予測する手法を提案する。

西本安里, **曾利仁**: ニューラルネットワークを用いた四脚ロボットの走行状況判断, 平成 21 年度電気学会中国支部第 2 回高専研究発表会, 2010 年 3 月, 講演論文集 p. 23

(概要) 人間は、自分の進行方向に障害物が現れても、障害物を避け衝突を防ぎ、次に自分が起こすべき行動に移ることが可能である。そのため、このような人間の行動制御を模擬することができれば、ロボットの行動を制御することが可能であると考えられる。本研究では四脚ロボットに搭載されているカメラから得る画像情報を使用する。この画像情報を環境情報として、ロボットの取るべき行動の関連づけを、ニューラルネットワークを用いて行うことを目的としている。

曾利仁, 安野卓: 階層型ニューラルネットワークとリアルタイム観測データを用いた台風接近時の風速風向予測システム, 平成 22 年度電気学会全国大会, 2010 年 3 月, 講演論文集 p. 122

(概要) 台風による強風害は、建築物や土木構造物のほか、農林水産業や交通機関、ライフラインなど広範囲にわたり多大な影響を与える場合がある。しかし、台風接近時に一定期間先の風速・風向を把握できれば、計画的に安全確保などの対策を執ることが可能となる。本稿では、リアルタイムに観測される気象データと階層型ニューラルネットワークを用いて 10 分先の風速・風向を予測する手法を提案し、その予測精度について検討している。

和田祥司, **大西淳**, ゲームに関する研究およびプログラミング教育に関する研究の紹介, 第 11 回 IEEE 広島支部学生シンポジウム, 2009 年 11 月

(概要) 津山高専大西研究室で行っているゲームに関する研究およびプログラミング研究の紹介を、これまでに得られている成果のデモンストレーショ

ンを交えてポスターセッションの形式で紹介した。

Byambadorj Mendbayar, **大西淳**, **曾利仁**, 武下博彦, 自転車ロボットを制御する C 言語プログラムの作成, 計測自動制御学会中国支部津山地区計測制御研究会平成 21 年度学術講演会, 2010 年 2 月, 講演論文集 pp. 27-28

(概要) 岡山県玉野市にあるタマデン工業株式会社と津山高専情報工学科は、自転車ロボットを利用したリアルタイム制御のプログラミングに関する教材作成に取り組んでいる。自転車ロボットは試作済みであり、アセンブリ言語で書かれたサンプルプログラムも存在する。このプログラムをもとに、広く用いられる C 言語によるリアルタイム制御プログラムの作成に取り組んだ。残念ながら完成しなかったが、ハンドルを動作させるところまではできた。

大田肇: 兵士の『生命に対する権利』—ヨーロッパ人権条約第 2 条の適用をめぐる—, イギリス憲法研究会, 2009 年 10 月 9 日

(概要) イラク戦争に参加し、その後の占領においても重要な役割を果たしたイギリス軍であったが、特に占領に対する準備不足から、様々な問題が生じた。そのひとつである装備の不備から生じた兵士の病死が、「生命に対する権利」が侵害されたケースに該当するのか否か、が裁判で争われている。その概要とそこでの争点を整理して、報告した。

Naoki FURUHI: How many basic collocations to acquire are used in the movies? The Association of Teaching English Through Movies 16th Annual Conference, Aug. 8, 2010

(概要) This research attempts to clarify how many basic collocations to acquire are used in the movies. The basic collocations here are Koya(2005)'s high frequency verb-noun collocations. Whether these collocations appear in the movies or not is analyzed with a web-based application software named Eigo Kensaku presented by ScreenPlay division of Fourin Inc. The findings show that the movies can be used for teaching the basic collocations, but that considering the efficiency from a pedagogical point of view the movies must be edited to suit the purpose.

Naoki FURUHI: Evaluating the validity of a word list and collocation list for engineering students with PERC

corpus, The Kansai English Language Education Society 2010 Summer Conference, Aug. 6, 2010

(概要) This research examined the validity of a word list (Ward, 2009) and a collocation list (Durrant, 2009) both for engineering students. These lists are compiled for university students studying engineering having difficulty in reading books or theses for engineering education written in English. To evaluate the lists, a large corpus named PERC Corpus (originating in Corpus of Professional English) was utilized. Koya(2005) indicates that identifying the reality of usage of collocations by native speakers of English is the first step to select the basic collocations for Japanese learners of English. From this point of view, word lists for engineering students are suitable for the students studying engineering. The findings show that the two lists serve as useful for engineering students.

古樋直己: 映画 DVD から字幕データを取り出す方法の整理, 映画英語教育学会第 7 回関西支部大会, 2009 年 9 月 26 日

(概要) 映画 DVD から字幕データを取り出す方法について整理し、解説するのが目的である。英語にせよ、日本語にせよ、字幕データを取り出せると便利に活用できる。しかし、通常の映画 DVD は、映画を楽しむのが目的で、英語教育への活用の利便性は通常は考えられていない。つまり、映画 DVD にテキストデータとして映画字幕は収められておらず、研究者による一手間が必要なのである。そこで、本発表では、その一手間にはどのような方法があり、どのような障害があるのか解説した。

S.Uchiyama, **M.Sato**, M.Usui, T.Sakata, and F.Shimokawa: NEW H-SHAPE SOFT TORTION SPRING AND ITS MICRO MIRROR APPLICATION, MEMS2010, Hong Kong, 1 February, 2010

(概要) This paper describes a new H-shape spring, which is soft enough to rotate the mirror but stiff enough to prevent from parallel displacement of the mirror toward the electrode. Four important spring constants can be controlled by adjusting the seven structural parameters of the H-shaped spring. This H-shape spring has a small footprint, which gives us more freedom of device arrangement and device integration. This paper also describes the characteristics of micro-mirror array devices for optical cross connect switches (OXC) that use rotational deformation and wavelength selective switches (WSS) with bending deformation as applications of the

H-shape spring.

松田修：線織面上の代数曲線の双有理不変量について 1, 2, 代数幾何学目白セミナー (学習院大学), 2009 年 12 月

(概要) 本発表は、不正則数が 1 以上の線織面上の曲線の分類を行ったものである。分類は曲面 S とその上の既約代数曲線 C の対 (S, C) の極小モデルで行った。双有理不変量である 2 種数 P_2 と曲線の種数 g に関する不変量 $P(p, g)$ 及び、曲面の標準因子と曲線の交点数に関する不変量 τ を提示し、それらによって、アルバネーゼ写像 $S \rightarrow \mathbb{A}^1_b(S)$ を D に制限した写像度 $\sigma(D)$ に関する評価式を提示した。

松田修：線織面上の曲線の混合多種数について、第 4 回津山代数幾何シンポジウム, 2010 年 8 月

(概要) 本発表は、不正則数が 1 以上の線織面上の曲線の分類を、曲面 S とその上の既約代数曲線 C の対 (S, C) の極小モデルで行った。特に分類が難しいとされる対の小平次元が 2 である一般タイプの対の分類を双有理不変量である混合多種数を用いて行った結果を発表した。

三浦和久, 柳沢寛, 岡田輝：備前土の表面化学的研究 (その 2) 焼結速度の測定, 第 15 回高専シンポジウム in いわき, 2010 年 1 月, 講演要旨集 p. 40

(概要) 窒素比表面積を基に備前焼に用いる三種の土、即ち、大物用田土、鉄分の多い黒土、水簸土の焼結を調べた。熱処理による比表面積の減少が最大であった黒土を試料とした。750、780、800、820℃の各温度で窒素気流中処理時間を変えて加熱した。その結果、780℃以上の処理では時間と共に比表面積は漸減するが、750℃では、比表面積は始め増加し、約 80 分後に未処理土と同じ面積に戻り、漸減して行くという興味ある事実が判明した。

向井功治, **佐々井祐二**：冷却 CCD を用いた天体の測光観測と分光観測, 第 15 回 高専シンポジウム in いわき, 2010 年 1 月, 講演要旨集 p. 234

(概要) 最近、津山高専に導入された観測装置を用いた天体の CCD 測光観測について報告する。冷却 CCD (SBIG ST-402ME) を用いた撮影写真を補正する画像処理、開口測光による補正画像からの恒星の等級測定、HR 図の作成による天体の年齢と距離の算出結果について、フィルターの違いを考慮した説明と考察を行う。観測対象は M44 プレセペ星団、NGC188

等である。引き続き、分光器 (SBIG DSS-7) を用いた分光観測によるスペクトル画像から、赤方偏移、後退速度、成分元素などの解析について経過報告を行う。

向井功治, **佐々井祐二**：冷却 CCD を用いた天体の測光・分光観測, 平成 21 年度計測自動制御学会中国支部津山地区計測制御研究会, 2010 年 2 月, 講演予稿集 pp. 7-8

(概要) 2009 年 3 月、津山高専に天体観測のための設備が導入された。本発表では津山高専の天文装置を用いる測光観測と分光観測の方法について報告する。冷却 CCD を用いた撮影写真を補正する画像処理、開口測光による補正画像からの恒星の等級測定、HR 図の作成による天体の年齢と距離の算出結果について、フィルターの違いを考慮した説明と考察を行う。

山根啓司, **佐々井祐二**：気象観測システムの構築と気象情報の発信, 平成 21 年度計測自動制御学会中国支部津山地区計測制御研究会, 2010 年 2 月, 講演予稿集 pp. 9-10

(概要) 本研究では、気象観測装置を利用して気象データを取得する気象観測システムを構築する。また、ホームページを用いてリアルタイムにおける気象状況の発信や、取得データを加工し、過去の任意の期間における気象状況の変化を示すグラフの作成と発信を目指す。

山根啓司, **佐々井祐二**：津山高専における気象観測システムの構築, 日本機械学会中四国学生会第 40 回学生員卒業研究発表講演会, 2010 年 2 月 24 日, 講演前刷集 p. 329

(概要) 2009 年 3 月、津山高専に天体観測を行う施設が導入された。本研究ではそれに関連して、気象観測装置の設置とネットワーク経由による気象データの取得を行なう気象観測システムを構築した。また、津山高専における気象状況を発信するホームページを作成する。ここでは、気象データがアップロードされると同時にリアルタイムで気象情報を発信することや、過去の任意の期間における気象状況の変化をグラフで表示し、発信することを目指す。

向井功治, **佐々井祐二**：津山高専における天体の冷却 CCD 測光・分光観測, 戦略 GP「科学 Try アングル岡山」平成 21 年度大学間研究教育連携成果発表会,

2010年3月, 講演予稿集

(概要) 2009年3月、科研費他により津山高専に天体観測のための装置・設備が導入された。また、天文好きを育てるため、今年度はマツダ財団助成の公開講座「天体観測会—君も未来のガリレオだ!—」計5回を実施した。さらに、津山高専においても天文学の教育的研究を行い、アマチュアの立場からの科学的貢献を目指したい。本研究では、現有の望遠鏡 Meade LX200GPS-35cm 他、冷却 CCD カメラ SBIG ST-402ME、分光器 SBIG DSS-7 を用いる測光観測と分光観測の手法を探った。目標天体としては、測光観測用に散開星団 M44(プレセペ星団)、分光観測用に M82 の活動銀河核を選び、観測データから各天体までの距離・年齢等を算出した。

相馬芳紀, **渡利正弘**: On the Punctual Hilbert schemes for rational plane curves with a simple singularity, 代数幾何学目白セミナー(学習院大学), 2009年12月

(概要) 既約単純平面曲線芽である A 型、E6 型、E8 型の 3 種類の特異点に付随する Punctual Hilbert scheme に関する計算方法を、特に A 型の簡単な具体例を用いて解説した。

相馬芳紀, **渡利正弘**: 平面曲線の単純特異点に対する r 点のヒルベルトスキーム II, 代数幾何ミニ研究集会(埼玉大学), 2010年3月

(概要) 既約単純平面曲線芽である A 型、E6 型、E8 型の 3 種類の特異点に付随する r 点のヒルベルトスキームに関する計算方法を、特に A 型の簡単な具体例を用いて解説した。

相馬芳紀, **渡利正弘**: Punctual Hilbert schemes for monomial plane curve singularities, アフィン代数幾何研究集会(関西大学大阪梅田キャンパス), 2010年3月

(概要) 既約単純平面曲線芽である A 型、E6 型、E8 型の 3 種類の特異点に付随する Punctual Hilbert scheme に関する計算結果を発表した。また“単項曲線芽に付随する Punctual Hilbert scheme は既約であれば、有理的である”という予想を発表した。

相馬芳紀, **渡利正弘**: Punctual Hilbert schemes for monomial plane curve singularities, 日本数学会代数分科会(慶応大学), 2010年3月

(概要) 既約単純平面曲線芽である A 型、E6 型、

E8 型の 3 種類の特異点に付随する Punctual Hilbert scheme に関する計算結果を発表した。

相馬芳紀, **渡利正弘**: Punctual Hilbert schemes for monomial plane curve singularities, 津山代数幾何シンポジウム(津山工業高等専門学校), 2010年8月

(概要) 既約単純平面曲線芽である A 型、E6 型、E8 型の 3 種類の特異点に付随する Punctual Hilbert scheme に関する結果を発表した。これは“単項曲線芽に付随する Punctual Hilbert scheme は既約であれば、有理的である”という予想を肯定的に解決した結果を含む。

Yosiki Soma, **Masahiro Watari**: Hilbert schemes of r -points for irreducible plane curve singularities, International Congress of Mathematicians 2010 (at Hyderabad, India), 21 August, 2010

(概要) I gave a presentation about Hilbert schemes of r -points for irreducible plane curve singularities. In particular, we mainly studied Hilbert schemes of r -points for simple irreducible plane curve singularities, A-type, E6-type and E8-type.

講演・発表(教育分野)

湯地敏史, 日高純一, 清田祐一, **鳥家秀昭**, 房野俊夫: 電気回路実験用教材の製作手法の検討, 日本産業技術教育学会第22回九州支部大会, 2009年10月, 講演要旨集 B21, pp. 31-32

(概要) 平成24年度から中学校に於いて実施される新しい学習指導要領では、電気と機械の内容がエネルギー変換に関する技術として変更されている。そこで、中学校における技術科教育における電気に関する学習内容を安全で簡単に学習できることを目的として、電気回路実験用教材ボードを設計製作した。そして、設計プロセスをフローチャート化して中学校でも利用できるようにした。

鳥家秀昭, 藤原貴典: 本科の教育課程や課外活動における知的財産教育の試み—(独)工業所有権情報・研修館知的財産教育推進協力校事業の活用—, 平成22年度高専機構主催教育教員研究集会講演論文集,

2010 年 8 月, pp. 431-432

(概要) 平成 15 年度から (独) 工業所有権情報・研修館主催の知財教育実験 (推進) 協力校事業に参加しているが、平成 21 年度以降の応募要件として専攻科の授業と本科の卒業研究が除外され、本科の教育課程において知財教育の実施が必要になった。そこで、平成 20 年度は電子制御工学科 3 年の「電子制御課題研究Ⅱ」と課外活動 (ロボット製作部) を応募し、採択された。平成 21 年度は別の課外活動 (内燃機関同好会) と全学科 5 年の「産業と商業」 (一般選択科目) でも知財教育を実施した。これらの概要とアンケートで収集した学生の反応、成果と今後の課題を述べる。

Kazunori HOSOTANI, Yasuhiro HARUNA, Yuya OHYAMA, Ryuichiro NISHI: Development of a small portable wave tank for an educational activity in coastal safety training program for tourists or children, Proc. of the 4th International Engineering Research Conference (IERC2010 in Cebu, Phillipines), 2010, pp.120-123

(概要) Many people come to public place seashore facilities for leisure every year. However, many accidents happened. Thus it is important to develop educational activities to inform people about the dangerous currents. Flow visualization of dangerous phenomenon using demonstration equipment is effective to help people intuitively understand. In this research, we developed a small size (1m-width and 2m length) wave tank, designed for portable use. As the result, this equipment could generate about 10cm/s rip current and clear visible flow pattern.

高橋章, 長岡健一, 新開純子, **岡田正**: 高専向け情報基礎教育教材の活用の広がりとその評価Ⅱ, 平成 21 年度情報教育研究集会, 2009 年 11 月 15 日, 講演論文集 pp. 43-45

(概要) 我々のグループが推進している高専の情報基礎教育について、新学習要領への対応を含む今後の方向性、教科書・学習ノートの改訂、学習評価への取り組みなど、現状と将来について述べた。

桐山和彦, 白石啓一, 原元司, 山本喜一, 本間啓道, 白濱成希, **岡田正**: オープンソースコンテンツによる教育環境整備, 情報処理学会第 72 回全国大会デモセッション, 2010 年 3 月 9 日~11 日

(概要) 我々のグループは、自由に利用可能なオープンコンテンツを配信させる環境を整備し、教育

での利用を推進している。この配信システムとコンテンツの収集・整備状況を、デモンストレーションにより紹介した。

岡田正: 高専における「情報基礎教育」への取組について, 福井県学習コミュニティ推進協議会 (フレックス) 第 4 回シンポジウム「情報基礎教育を考える」, 2010 年 6 月 12 日

(概要) 小中学校から大学までの情報教育の在り方を考えるシンポジウムにおいて、高専の情報基礎教育を講演で紹介するとともに、パネリストとして議論に加わった。

高橋章, 長岡健一, 新開純子, **大西淳**, 河野清尊, 松野良信, **岡田正**: 情報基礎教育教材の評価と改訂, 平成 22 年度高等専門学校教育教員研究集会, 2010 年 8 月 28 日, 講演論文集 pp. 437-440

(概要) 学科によらず入学直後から実施すべき「情報基礎教育」に関して、これまでに活動成果と新たな環境変化を踏まえ、教材の改訂や学習評価の検討などを総合的に報告した。

桐山和彦, 白石啓一, 原元司, 本間啓道, 白濱成希, **岡田正**: SD 起動ネットブック c-Learning 環境の構築とその利用, 第 30 回 (平成 22 年度) 高等専門学校情報処理教育研究委員会研究発表会, 2010 年 8 月 28 日, 情報処理教育研究発表会論文集 30 pp. 183-185

(概要) 我々が開発しているオープンコンテンツを配信する教育システム (c-Learning) に関して、身近になった SD 起動可能なネットブックを利用してシステムを構築したので、具体的な構築方法や利用例を報告した。

高橋章, 長岡健一, 新開純子, **大西淳**, 河野清尊, 松野良信, **岡田正**: 情報基礎教育教材の評価と改訂, 平成 22 年度全国高専教育フォーラム・教育教員研究集会, 2010 年 8 月

(概要) 著者等は高専向け情報基礎教育の確立と普及を推進する活動を行ってきており、その一環として教科書や学習ノートを刊行してきた。そして、平成 20 年および 21 年に告示された学習指導要領にあわせてこれらの改訂を行った。本講演では、この改訂作業について報告を行った。

鈴木康人, 長岡健一, **大西淳**, 原元司, **岡田正**, 牛丸真司, 長谷賢治, 小幡常啓: 高専における情報処理教育の現状と今後への提言, 第30回高等専門学校情報処理教育研究発表会, 2010年8月

(概要) 平成21年度, 専情委では、全国高専における情報系学科での教育内容を問うアンケートを実施した。本講演ではこれらの調査結果の総括、そして、情報処理学会のカリキュラム J07 と高等学校学習指導要領を基にした過不足について報告した。

前本智志, 大筆豊, 鷺見育亮, 難波福弥, **藪木登**, 築谷隆雄: 絵文字型プログラミング言語「ブロっくん」の移植と機能拡張の検討, 平成21年度電気・情報関連学会中国支部連合大会講演論文集, PP. 30-31, 2009年10月

(概要) 本研究の目的は、鳥取環境大学鷺見研究室で開催しているマイコンカー製作教室で利用している絵文字型プログラミング言語「ブロっくん」をさらに便利のようにバージョンアップを図り、生徒たちにより簡単操作ができる操作環境を提供することである。またこのような取り組みでは、ソフトのオープンソース化が求められている。これまでのバージョンの記述言語の Visual Basic から、Java 言語への移植と機能拡張に向けた取り組みを行った。

窪田直哉, 鷺見育亮, 植田拓也, 難波福弥, **藪木登**, 築谷隆雄: ヒストグラムを用いた Active Net の初期位置決定手法の改良, 平成21年度電気・情報関連学会中国支部連合大会講演論文集, P. 109, 2009年10月

(概要) 画像抽出技術の一つとして Active Net がある。Active Net で画像データを有効的に抽出するためにヒストグラムを使いネットをかける座標と幅を決める方式が提案されている。ヒストグラム方式では入力画像の座標と幅を正しく求めることが出来ない場合がある。本研究ではその解決策を検討してきた。その報告を行う。

小山将人, 鷺見育亮, 植田拓也, 難波福弥, **藪木登**, 築谷隆雄: 道路標識認識用 SOM の検討, 平成21年度電気・情報関連学会中国支部連合大会講演論文集, P. 110, 2009年10月

(概要) 本研究では、道路標識認識システムを用いて、道路標識の中で最も一般的な赤色道路標識の認識・形状抽出を行い、他の色(黄色・青色)への適用について研究を進めている。本稿では、SOM を用いた道路標識認識システムについて報告する。

歴舎朋矢, **藪木登**, 鷺見育亮, 難波福弥, 築谷隆雄: ヒストグラムを用いた Active Net の複数物体の領域検出に関する一検討, 平成21年度電気・情報関連学会中国支部連合大会講演論文集, P. 161, 2009年10月

(概要) Active Net の初期位置を求める方法として、ヒストグラムを用いる方法が提案された。しかし、この手法では、物体が斜め方向に隣接する場合は Active Net の初期位置が正しく定められない。本稿では画像を回転することで、対象物体の隣接方向と画像の座標軸を合わせ、ヒストグラムを用いた Active Net の配置実験を行った。対象が斜めに隣接する場合でも、Active Net を正しく配置し、物体を検出することができた。

金田美咲, 鷺見育亮, **藪木登**, 築谷隆雄: のりとはさみによるアルゴリズム力育成に関する一検討, 平成21年度電気・情報関連学会中国支部連合大会講演論文集, P. 425, 2009年10月

(概要) 現在、子どもの理科離れは深刻化してきている。鷺見研究室ではそんな子どもの理科離れを防ぐためにマイコンカー講習会を実施してきた。今回の講習会ではのりとはさみによる紙ブロっくんを用いたプログラミングによって、中高生のアルゴリズム力の向上を図る。

柳楽和志, 築谷隆雄, 恒次秀起, 鷺見育亮, **藪木登**: OTA と接地キャパシタによる高次フィルタ回路の1合成法, 平成21年度電気・情報関連学会中国支部連合大会講演論文集, P. 507, 2009年10月

(概要) 本報告は、OTA と接地キャパシタによる一般的な伝達関数の実現回路について検討している。状態変数フィルタをプロトタイプとした電流モード基本回路に基づき、電流モード回路および電圧モード回路を構成している。本回路は、入出力端子の選択により種々の回路特性を実現でき、その特性もバイアス電流により電子的にチューニングすることができる。

長妻優治, 築谷隆雄, 恒次秀起, 鷺見育亮, **藪木登**: CCCII と接地キャパシタによる高次電流モードフィルタ回路の合成, 平成21年度電気・情報関連学会中国支部連合大会講演論文集, P. 508, 2009年10月

(概要) 本稿では、CCCII を用いた高次電流モードフィルタ回路について検討している。本回路は、状態変数フィルタをプロトタイプとし、CCCII と接地キャパシタにより構成されている。そして、電流出力

の選択により種々のフィルタ特性が実現でき、その特性も CCCII のバイアス電流により電子的にチューニングできる。

荒木総一郎，築谷隆雄，恒次秀起，鷺見育亮，**藪木登**：OTA-C によるマルチモードバイカッド回路の合成，平成 21 年度電気・情報関連学会中国支部連合大会講演論文集，P. 509，2009 年 10 月

（概要） 本稿では、OTA と接地キャパシタによるマルチモードのバイカッド回路について検討している。電流モード基本回路をもとに、各種モードのバイカッド回路の構成法を示している。本回路は、入出力電流の選択により低域通過、帯域通過、高域通過、帯域除去、全域通過特性を実現することができる。また、回路パラメータ値も、バイアス電流により直交的にチューニングできる。

坂本尚幸，鷺見育亮，**藪木登**，築谷隆雄：自己組織化マップ（SOM）を用いた株価の予測，平成 21 年度電気・情報関連学会中国支部連合大会講演論文集，PP. 565-566，2009 年 10 月

（概要） 本研究では、日本の株式市場の主だった項目として日経平均の予測を自己組織化マップ（SOM: Self- Organizing Map）[1]を用いて行い、株価下落によるリスクを事前に察知して投資の判断材料のひとつになるシステムの検討を行う。

池本雄治，鷺見育亮，**藪木登**，築谷隆雄：SOM による動物マップの表示位置の固定化の研究，平成 21 年度電気・情報関連学会中国支部連合大会講演論文集，PP. 567-568，2009 年 10 月

（概要） 作成した動物マップ作成プログラムには、実行毎に動物マップの表示配置が変わるという現象が存在する。本研究では表示位置が変わる原因を特定し、表示位置の固定化に向けての検討を行い、その対策について述べる。

前川智紀，鷺見育亮，高濱勝利，**藪木登**，築谷隆雄：風力発電観測システムの保守・メンテナンスのための一考察，平成 21 年度電気・情報関連学会中国支部連合大会講演論文集，PP. 653-654，2009 年 10 月

（概要） 我々は学内に風力発電機を設置し、観測システムが設置されている通称「風車小屋」内に WEB カメラを設置して、風車の状況を見ることができるよう風力発電観測システムを構築し、その運用・管理について研究を行っている。突然停止などの異

常停止に対して故障個所の即応的な発見と対応できるように家庭用小型発電機の家庭での簡易的な保守・メンテナンスの手法の研究が主な目的である。

Takao Tsukutani, Hideki Tsunetsugu, Yasuaki Sumi, **Noboru Yabuki** : First-Order All Pass Section with Electronics and Independent Tuning, Proceedings of The 2009 IEEE International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems(ISPACS2009), Kanazawa, JAPAN, pp.276-279, 2009.12

（概要） This paper presents a realization of an electronically tunable first-order all pass section (APS) employing a differential voltage current conveyor (DVCC), an operational trans-conductance amplifier (OTA) and two MOS conductance. The circuit can realize two all pass characteristics by choosing the current output of the OTA. Additionally, the circuit parameters ω_0 and H can be set independently through adjusting the circuit active components electronically. Sensitivity analysis shows that the APS enjoys very low sensitivity to the circuit components. An example is given together with simulated results by PSPICE.

藤井拓馬，**井上浩行**，**藪木登**：視線インタフェースにおいて操作画面が正答率に与える影響，平成 21 年度計測自動制御学会中国支部津山地区計測制御研究会講演会論文集，pp. 11-12，2010 年 2 月

（概要） 本研究では、視線でテレビやビデオなどの家電製品を操作する環境制御装置の開発を目的とする。本稿では、基礎研究として、視野を円で近似して扇状の領域に分割したものを操作画面とする視線インタフェースを提案し、操作画面の色が使用者に及ぼす影響について調べた結果を報告する。

徳山亮，**藪木登**，鷺見育亮，築谷隆雄：自己組織化マップを用いた画像における輪郭線抽出方法の検討，平成 21 年度計測自動制御学会中国支部津山地区計測制御研究会講演会論文集，pp. 13-14，2010 年 2 月

（概要） 本研究では、自己組織化マップ（SOM: Self-Organizing Map）のアルゴリズムを応用した輪郭抽出手法である DCDAM（Direct Color Distribution Applying Method）によって得られた対象ユニットを B-spline 曲線を用いてなめらかに補間することで、直接的に輪郭を抽出する方法を検討し、実験により効果を確認した。

小山 将人, 鷺見育亮, 植田拓也, **藪木登**, 築谷隆雄: SOMを導入した形状認識ユニットによる形状認識・抽出手法の開発, 第23回 回路とシステム軽井沢ワークショップ, pp. 364-369, 2010年4月

(概要) 本論文では、画素の欠損に影響を受けにくい形状認識・抽出手法の検討を行い、自己組織化マップ(SOM)を導入した形状認識ユニットを開発し、それを用いた新しい形状認識法を開発したことを報告する。開発した形状認識法で、形状認識・抽出実験を行い、実験結果から、クラスタリング特性を持つSOMを形状認識ユニットに導入し、そのユニットを本手法に組み込むことで、輪郭線の欠損に影響されにくい、本手法の有効性を確認した。

寺元貴幸, 日下孝二, 佐々井祐二, 宮下卓也, 岡田正, 山本吉範: 従来サービスを可能な限り継承したサーバ更新について, 高等専門学校情報処理教育研究発表会論文集第30号, 2010年8月, pp. 264-267

(概要) 津山高専では、学内向けのサービスとして2種類(教職員向け・学生も含めた一般利用者向け)のファイル共有サービスを提供してきた。これらは細かいアクセス権の設定が可能なこと、また比較的用户の多いWindows系パソコンから簡単に利用できることを前提としてシステムを検討した結果、Windows系サーバを中心に構築することになり、2000年にWindows NT Server 4.0を使って構築を行った。しかし、サーバはハードウェア、OSを含めたソフトウェア、ウィルス対策ソフト等とともに老朽化が避けられない。そこでこれらのサーバを更新する必要がある。この時、従来のサービスを可能な限り継承し、しかもユーザ名やパスワード、ファイルのアクセス権などを可能な限りそのまま継承できるようにして更新するというポリシーで更新作業を行った。その様子について報告する。

日下孝二, 寺元貴幸, 佐々井祐二, 宮下卓也, 岡田正, 山本吉範: VPNを利用したセキュアなLAN接続サービスについて, 高等専門学校情報処理教育研究発表会論文集第30号, 2010年8月, pp. 313-315

(概要) 業務や研究の多様化により、学外から学内LANのリソースへ、自由にアクセスしたいという要望が増えてきている。しかし、学内には貴重な情報があり、学外と容易に接続できるような設定では、セキュリティ上問題となる。そこで、VPN装置を利用して、高いセキュリティを確保した上で、学外との接続が可能なシステムを導入し、教職員にサービスを行う体制を構築したので、その様子について報告する。

佐藤誠: CD-R 簡易分光器の学生探求活動への展開, 日本物理学会第65回年次大会, 2010年3月

(概要) 回折格子による分光スペクトルの結像位置を調べ、CD-RやDVD-Rを利用して分光器を構成する場合の設計について報告した。このようにして作製した分光器は波長読み取りや記録性に優れ、プランク定数の測定や太陽吸収線の観察などの学生の理科探求活動展開に活用できることをチャレンジゼミナールの成果をもとに紹介した。

松田修: Maximaを使った線形代数の授業内容, 2009年度数学教育の会秋の会(学習院大学), 2009年9月

(概要) 本発表は専攻科の線形代数において、ジョルダン標準系とその応用を、フリーソフトMaximaを使って実践した調査報告である。

松田修: 津山高専低学年で行った「数学と物理の授業アンケート」の集計結果, 2009年度数学教育の会年会(お茶の水大学), 2010年1月

(概要) 津山高専低学年で行った「数学と物理の授業アンケート」の集計結果を報告し、今後の工学教育における数学と物理の連携の在り方に関する問題点を提示した。

松田修: 津山高専における数学・物理教育, 科学トライアングル岡山主催・連携教育研究推進シンポジウム(岡山理科大学), 2010年7月

(概要) 津山高専での物理・数学教育改革WGの活動内容を紹介し、今後の工学教育における数学と物理の連携の在り方に関する問題点を提示した。

山本浩二: 学校運動部活動が子どもにもたらす「社会性」に関する実証的研究—縦断的研究による学校運動部活動の教育的有効性の再考—, 平成21年度岡山県体育学会大会, 2010年3月

(概要) 本研究では、高等学校期の子どもの「社会性獲得状況」を把握し、部活動所属者と非所属者との比較・検討を行った。さらにこれまでの先行研究に見られなかった「縦断的調査」を施すことで、年次推移に伴う社会性獲得状況の変化を明らかにすることを目的とした。部活動の継続は、社会性獲得に大いに影響を与え、部活動所属者の社会性は非所属者に比べ富んだものとなり、部活動の有効性の一端を確認することができた。

山本浩二，荒木祥一：神野賢治，本学学生における学校部活動への関わりと社会性獲得との関連性に関する実証的研究，第16回日本高専学会大会，2010年8月

（概要） 津山高専学生を対象に、質問紙調査を行い、学年さらには部活動所属の有無と社会性獲得状況との関連性について明らかにすることを目的とした。社会性得点を学年別に見ると、5年生が最も高い値を示した。全体的には2・3年生が低く、「中だるみ」のような状態が見られた。部活動所属者においては、非所属者よりも獲得している社会性は高く、また学年に見られた「中だるみ」の状態は、部活動所属者には見られず、社会性得点は年々上がっていた。

佐々井祐二：津山高専「天体観測会—君も未来のガリレオだ！—」の紹介，第24回天文教育研究会，2010年8月

（概要） 本天体観測会は、地域協力として岡山県津山地域の小中学生に天体観測の面白さを体験してもらうことを目的としている。昨年度は5回開催し、今年度も4回計画がスタートしている。活動内容とアンケート結果、問題点等について報告する。

佐々井祐二，最上勲：津山インターネット天文台実現へ向けて，日本物理学会第65回年次大会，2010年3月，講演概要集 第65巻第1号第2分冊 p.430

（概要） 科学研究費他により、津山高専校舎屋上に、完全遠隔制御可能なインターネット天文台を構築し、教育・研究活動を行う「津山インターネット天文台プロジェクト」に取り組んでいる。本発表ではプロジェクトの作業状況、口径35cmシュミットカセグレン式天体望遠鏡の制御方式、気象観測装置の組み込みなどについて報告する。また、通常のア天文台として、今年度5回計画で実施している公開講座「天体観測会—君も未来のガリレオだ！—」についても報告する。

特許・出願

山口大造，原 亨和（他4名）：バイオマス処理装置及び方法，特願2009-219362，2009年9月24日

（概要） バイオマスの加水分解処理方法として、固体酸触媒により加水分解する方法、超臨界水また

は亜臨界水（加圧熱水）により加水分解する方法があり、これは既存の硫酸（液体）を用いる方法の問題点を克服することができるものである。

固体酸触媒による方法では固体同士の反応であるが故に、反応速度および残渣と固体酸触媒の分離に問題がある。超臨界水または亜臨界水（加圧熱水）による方法では、C5およびC6単糖の過分解による糖収率低下、エタノール発酵阻害物質の生成という問題がある。本発明は上述した事情に鑑みてなされたものであり、糖収率の向上、及び固体酸触媒の反応速度と分離性の向上を図ることが可能なバイオマス処理装置及び方法を提供することを目的とする。このために、加圧熱水反応装置により2段階の反応条件100～200℃，200～290℃にてバイオマスを加水分解し、ヘミセルロースまたはセルロースを含む多糖液を生成し、前記多糖液を固体酸触媒反応装置により加水分解し単糖液を得る方法および装置を考案した。

山口大造，原亨和（他3名）：バイオマス処理システム及び方法，特願2009-257078，2009年11月10日

（概要） 固体酸触媒を用いて木質系バイオマスからグルコースを生成する場合において、固液分離後の固体物から固体酸触媒を分離する工程を省略或いは簡略化でき、固体酸触媒の再利用を容易とする。木質系バイオマスの前処理として前記木質系バイオマスに含まれるリグニンの除去処理を行い、前記前処理後の木質系バイオマスと固体酸触媒との混合物を加水分解処理することでグルコースを含む加水分解処理物を生成し、前記、加水分解処理物を固液分離することで前記グルコースを含む糖溶液と前記固体酸触媒を含む固体物とに分離し、前記固体物を回収して前記加水分解処理に再利用する。

山口大造，原亨和（他4名）：バイオマス処理装置，特願2010-8558，2010年1月18日

（概要） エネルギー効率を従来よりも向上させることを目的とする。バイオマス処理装置が、バイオマスに加圧熱水を通水させて加水分解することで多糖類を生成する加圧熱水反応装置と、固体酸触媒を用いて前記多糖類から単糖類を生成する固体酸触媒反応装置とを具備するバイオマス処理装置であって、前記固体酸触媒反応装置から送出された前記単糖類を含む単糖液の熱で前記加圧熱水を加熱する第1の熱交換器と前記加圧熱水反応装置から前記固体酸触媒反応装置に流入する前記多糖類を含む多糖液の熱で前記加圧熱水を加熱する前記第2の熱交換器を具備する。

山口大造, 原亨和 (他 4 名): バイオマス処理装置, 特願 2010-8555, 2010 年 1 月 18 日

(概要) 固体酸触媒反応において単糖化が十分に進行しない、もしくは固体酸触媒が劣化して失活することがないようにすることを目的とする。バイオマス処理装置が、反応槽内のバイオマスに加圧熱水を通水させて加水分解することで多糖類を生成する加圧熱水反応装置と、固体酸触媒を用いて前記多糖類から単糖類を生成する固体酸触媒反応装置とを具備するバイオマス処理装置であって、前記固体酸触媒反応装置は、前記加圧熱水反応装置の加水分解条件に応じた固体酸触媒分解条件を設定する制御部を具備する。

山口大造, 原亨和 (他 4 名): 固体酸触媒糖化装置及び方法, 特願 2010-8552, 2010 年 1 月 18 日

(概要) 固体酸触媒を用いた原料の糖化プロセスの反応状態を的確に把握する。原料である多糖類を水及び固体酸触媒 X2 と共に混合 X3 として収容し、固体酸触媒 X2 を用いて多糖類を単糖化处理する触媒反応槽 3 と、該触媒反応槽 3 における混合液 X3 を攪拌する攪拌装置 4 と、触媒反応槽 3 における混合液 X3 の酸化還元電位を計測する酸化還元電位計 5 と、触媒反応槽 3 における混合液 X3 の pH を計測する pH 計 6 とを具備する。

山口大造 (他 4 名): バイオマス糖化装置及び方法, 特願 2010-008556, 2010 年 1 月 18 日

(概要) 熱水流通式糖化技術を用いて従来よりも簡単かつ高い収率でバイオマスから多糖類を取得する。反応槽 4 に収納された原料バイオマスに加圧熱水を通水させて加水分解する熱水流通式バイオマス糖化装置 A であって、反応槽 4 の一端に加圧熱水を供給する加圧熱水供給部 8 と、反応槽 4 の他端から加圧熱水と分解液とを処理液として回収すると共に分解液を分別して外部に排出する液回収部 6 と、反応槽 4 内の温度を計測する温度計測手段 5 A ~ 5 D と、該温度計測手段 5 A ~ 5 D の計測値に基づいて加圧熱水供給部 8 を制御して加圧熱水の反応槽 4 への供給量を調節させると共に、温度計測手段 5 A ~ 5 D の計測値に基づいて液回収部 6 を制御することにより加圧熱水の供給量に応じて得られる異なる性状の分解液を分別させる制御装置 7 とを具備する。

山口大造 (他 4 名): バイオマス処理装置及びバイオマス処理方法, 特願 2010-008557, 2010 年 1 月 18 日

(概要) 従来よりも効率よく加水分解することを

目的とする。バイオマス処理装置が、バイオマスに加圧熱水を通水させて加水分解するバイオマス処理装置であって、前記加圧熱水を通水前に酸性にする。

伊藤國雄, 松本菜々子: 害虫駆除をともなった植物の栽培方法, 特許第 4560640, 平成 22 年 8 月 6 日

(概要) 植物を育成するに際して、紫外光または赤外光を播種された土壤に連続的あるいは断続的に照射することと、その土壤に電極を差し込んで、電流を連続的あるいは断続的に流すことを同時に行って、土壤中の害虫を駆除しながら植物を栽培する。

神川進, 森崎裕彦, 和田宏三, 平井悦郎, **小林敏郎**, 加藤光雄, 平野竜也, 真空蒸着機, 特許第 4475968 号, 2010 年 03 月 19 日

(概要) 大型基板においても、蒸着材料の蒸気の均一な流れを形成し、蒸気分布を制御して、蒸着を均一化できる真空蒸着機を提供する。蒸発室側から混合室側へ流入する蒸着材料の蒸気量を、ガラス基板の板幅方向において均一に制御する複数のスプールシャッタと、ガラス基板の下面側に、ガラス基板の被蒸着面に平行に配置され、混合室において混合された蒸着材料の蒸気の面内分布及び流れを、蒸着室内において整える多孔板シャッタとを、真空蒸着機に設けることで、ガラス基板の板幅方向の蒸着の均一化を図る。

神川進, 森崎裕彦, 和田宏三, 平井悦郎, **小林敏郎**, 加藤光雄, 平野竜也, 真空蒸着機, 特許第 4475967 号, 2010 年 03 月 19 日

(概要) 大型基板においても、蒸着材料の蒸気の均一な流れを形成し、蒸気分布を制御して、蒸着を均一化できる真空蒸着機を提供する。蒸発室側からガラス基板側へ流入する蒸着材料の蒸気量を、ガラス基板の板幅方向において均一に制御するスプールシャッタと、ガラス基板の下面側に、ガラス基板の被蒸着面に平行に配置され、蒸着材料の蒸気の面内分布及び流れを、蒸着室内において整える多孔板シャッタとを、真空蒸着機に設けることで、ガラス基板の板幅方向の蒸着の均一化を図る。

平野竜也, **小林敏郎**, 真空蒸着装置及び温度調整方法, 特許第 4468474 号, 2010 年 03 月 05 日

(概要) 簡素な構成で温度分布の均一化を図ることができ、材料の余分な充填を低減することができる真空蒸着装置及び温度調整方法を提供する。外部

より搬入される被蒸着体を収容可能な真空チャンバと、該真空チャンバ内に設けられて蒸着材料を収容する坩堝と、該坩堝を加熱して前記蒸着材料を気化させる加熱源と、坩堝の底部に分散配置され坩堝を

支持すると共に、坩堝と真空チャンバの床部との間で伝熱する複数の支持部とを備えることを特徴とする。

編 集 ワーキング・グループ

座長 中 岡 尚 美

(五十音順)

稲 田 知 己	植 月 唯 夫
河 合 雅 弘	佐 藤 紳 二
佐 藤 誠	鳥 家 秀 昭

津 山 工 業 高 等 専 門 学 校 紀 要

第52号

平成23年2月28日 発行

発行者 津山工業高等専門学校
津山市沼624-1

印刷所 かねしま印刷
津山市田町10

BULLETIN
OF
TSUYAMA NATIONAL COLLEGE OF TECHNOLOGY
NO. 52
CONTENTS

A Study on a Non-Contact Adhesive Mechanism for Underwater Wall-mobile Robot Hideki YOSHITOMI	1
Effects of Alloying Elements on Impact Properties of Ultra High-Strength TRIP-Aided Bainitic Ferrite Steels Tomohiko HOJO, Junya KOBAYASHI, Tomohiro KAJIYAMA and Koh-ichi SUGIMOTO	9
Preparation of CuInS ₂ Thin Films by Spin-coat Method Shigeyuki Nakamura	17
Development and improvement of the subjects for the factory automation experiments Kenji MAEHARA	21
A Study on the Control System of Home Appliances using the Eye-gaze Interface Noboru YABUKI, Masahiro KUROSAKI, Hiroyuki INOUE, Yasuaki SUMI, and Takao TUKUTANI	27
Investigation on the Sintering of the Bizen Soil.2. Kazuhisa Miura, Hiroshi Yanazawa and Teru Okada	35
Influence of Repetition of High-Temperature Treatment of H ₂ O ₂ -Treated Graphite on Adsorption of N ₂ . Kazuhisa Miura and Hiroshi Yanazawa	41
The Second Generation Fukui Project and a New Application of the Asymptotic Linearity Theorem Shigeru Arimoto	49
Ray trace simulation of rainbow with interference by phase shift Makoto SATO	57
On the Hilbert schemes of r points for monomial curve singularities Masahiro Watari	63
Development of Functional Components Implemented in Cowl of Mileage Competition Vehicle Kazuki FURUYA, Nozomi MANJI, Yoshihisa YAMASAKI, Taishi OKA, Yuichi OGASAWARA and Jun HASHIMOTO	67
Rebuild the Bulletin Board System constructed in our Campus Taiga FUKUDA, Yasuhisa INOUE and Tadashi OKADA	73
Introduction of Challenge Seminar, a New Active Learning Subject for Third Grade, and Some Issues for Its Operation Yumiko EHARA, Makoto SATO, Osamu MATSUDA and Kouji YAMAMOTO	79
The Comparison of Vocabulary Between English Subtitles of a Famous Japanese Movie <i>Tora-san</i> And Authorized English Textbooks Naoki FURUHI	87
Empirical Study on Relation between Involvement in Extracurricular Activities and Acquisition of Sociality Kouji YAMAMOTO, Shouichi ARAKI and Kenji KAMINO	95
Introduction of PIC microcomputer to the Experiments in Electronics and Control III Mitsunori NAKAO, Kotaro NISHIKAWA, Hideaki TOYA	101
Development of a Sequence Control Education System Designed for Young Engineers' Training Kotaro NISHIKAWA	105
〈Abstracts of Other Research Reports〉	111