

ISSN 0287 - 7066

津山工業高等専門学校紀要

第48号

BULLETIN
OF
TSUYAMA NATIONAL COLLEGE OF TECHNOLOGY
NO. 48

2006

津山工業高等専門学校紀要 第48号 2006

目 次

論文

不均質材料の弾性変形における変形拘束の解析	阿部武治・三宅哲也	1
アルミニウム合金基複合材料の繰り返し加熱冷却による熱ひずみ	萩原尚也・柴田政勝	9
プール吸込事故に対して安全な渦室付排水管の研究開発 ー流れ状態の変化に伴う吸引力の動的応答性の解析ー	吉富秀樹・田中秀和・井上和宏	15
視線を用いたロボット操作システムの開発と評価	柚本夏輝・林田泰明・井上浩行	23
断熱燃焼温度を揃えた水素・メタン・プロパン予混合火炎に対する火炎伸張の影響	早川晃弘・橋本 淳	29
SiCパワーデバイスの特性評価（第2報）	牧野友昭・長井 聡	37
マイクロ風力発電機の大出力化に関する研究	鳥家秀昭・築澤祐史・明石紀美・湯地敏史	41
DCサーボモータによる把持力制御	山本吉範・小林正幸	47
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	田渕哲也・佐野真澄・岡田 正	55
少量多品種生産のためのデータベースの検討	大平栄二・藤田浩嗣	61
エコーキャンセラ用信号分離回路の置換問題に関する検討	坂井良広	67
地域組織に対するプロジェクト支援に関する考察	滝沢陽三・岡田 正・大平栄二	73
有限密度格子QCDにおけるフェルミオン行列の様相	佐々井祐二・中村 純・高石哲弥	79
過酸化水素処理黒鉛への水、窒素およびアルゴンの吸着	三浦和久・柳沢 寛	85
水面に浮く水滴の安定性	佐藤 誠	91

研究調査報告

電気電子工学科における電子情報回路関係の授業系統	前原健二	97
津山高専志願者の確保のための電気電子工学科の試み	八木秀幸・伊藤國雄 ・下西二郎・田辺 茂・植月唯夫・原田寛治・中村重之・長井 聡	103
結晶粒粗大化シミュレーションへの温度勾配の適用	大西 淳・大重広明	107
スチール直定規を用いた光波長測定	佐藤 誠	113
高専女子卒業生の就労動向とキャリア教育	内田由理子・かどやひでのり	119
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	中尾三徳	125

校外における研究発表等

校外における研究発表等	131
-------------------	-----

論

文

不均質材料の弾性変形における変形拘束の解析

阿 部 武 治 * 三 宅 哲 也 **

Analysis of Mutual Constraint of Deformation at Boundary During Elastic Deformation of Inhomogeneous Material

Takeji ABE and Tetsuya MIYAKE

In the elastic deformation of inhomogeneous materials such as polycrystals, the deformation behavior is affected by the mutual constraint of deformation at the boundary. In the present study, starting from the well-known constant stress model and the constant strain model, the effects of the boundary angle and Poisson's ratio are studied, where a model of inhomogeneous material composed of two grains having inclined boundary is adopted. Next, a new model of inhomogeneous material called "modified constant stress model" is introduced, in which the deformation is constrained at the boundary between two different materials. Especially, the effect of constraint of strain along the boundary inclined to the direction of applied stress is discussed. The problem is also numerically analyzed with the elastic finite element method and the two-dimensional model of inhomogeneous material having the inclined boundary. The results of numerical calculation are compared with the analytical results adopting the parameter representing deformation mode which is called "constraint ratio".

Key Words : Elasticity, Composite Materials, Polycrystalline Metal, Constraint, Inclined Boundary

1. 緒 言

一般に複合材料や多結晶金属などの不均質な材料を変形させると、材料内部では応力やひずみの不均一を生じている。このような不均質体の力学的挙動を明らかにすることは重要であり、これを固体力学の観点から眺めると、場所によって材料の応力-ひずみ関係が異なる物体として扱うことができる。不均質体の変形について考える上での基本的なモデルとして、直列モデル（応力一定モデル）と並列モデル（ひずみ一定モデル）がある^{1)~5)}。多くの場合、不均質体の各領域や多結晶体の各結晶粒ではこれら二つのモデルの中間の変形が起きていると考えられる。すなわち、これら二つのモデルは不均質体の変形挙動の二つの極限、いいかえると上限と下限になっていることが知られている。

本報告では不均質材料の弾性変形において、一軸引張り負荷方向に直角な方向の拘束の影響を解析し、修正応力一定モデルとして提案し、ポアソン比の影響について検討する。また、2次元的な傾斜した境界をもつ不均質体モデルについて、弾性有限要素法を用いて数値計算を行い、上に述べた解析の結果と比較、検討する。

この修正応力一定モデルは、今後不均質体や複合材料の変形の解析に応用できる。また、このようなモデルは、ゴムの弾性変形や金属の塑性変形などの体積一定条件下での変形挙動の解明に役立つと考えられる。

2. 解 析 方 法

2. 1 修正応力一定モデルの提案

緒言でも述べたとおり、不均質体の変形を考えるモデルとして、ひずみ一定モデル（並列モデル）と応力一定モデル（直列モデル）がある（Fig. 1 (a) (b)）。

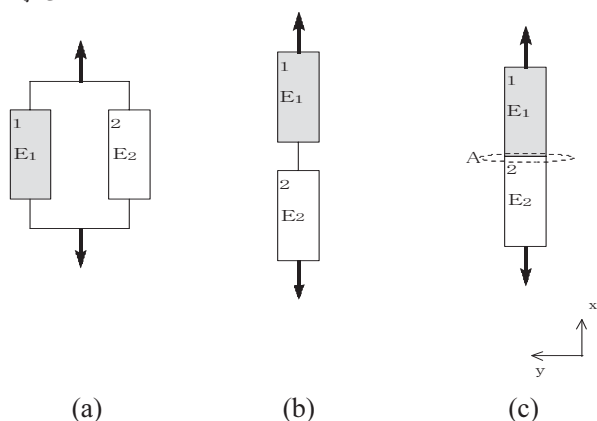
原稿受付 平成18年8月31日。

* 校長。

** 倉敷化工（株）倉敷市連島矢柄四の町 4630

ひずみ一定モデルは要素を荷重方向に対して並列に並べたものである。要素間の変形拘束が大きく、各要素における荷重方向のひずみは等しい。

一方、応力一定モデルは荷重方向に対して要素を直列に並べたものである。要素間の変形拘束は考えていない。また、各要素における荷重方向の応力は等しい。



(a) Constant strain model, (b) Constant stress model and (c) Modified constant stress model

Fig. 1 Models of inhomogeneous material

応力一定モデルでは要素の変形拘束は考えていない。しかし、各要素が接合していると考えたとき、Fig. 1 (c) の A で表される境界において荷重方向と垂直な方向 (Fig. 1 では y, z 方向) に変位が拘束されており、この変形拘束が荷重方向の変形拘束に影響することが考えられる。特に、粒界付近の変形挙動を表すにはこれを考慮したモデルを使う方が適していると考えられる。ここでは、この境界で変位が拘束されている応力一定モデルについて、平面応力や平面ひずみなどの場合について考慮した三つのモデル (Model 1~Model 3) を考える。

(a) 境界で変位が拘束されている応力一定モデル (Model 1)

Fig. 1 (c) の要素間の境界において、x 方向の荷重による各要素の y 方向と z 方向の変位が束されて

いると考える。境界における各要素の応力ひずみは次のように仮定する。

$$\begin{cases} \sigma_{x1} = \sigma_{x2} \\ \sigma_{y1} + \sigma_{y2} = 0 \\ \sigma_{z1} + \sigma_{z2} = 0 \\ \varepsilon_{y1} = \varepsilon_{y2}, \quad \varepsilon_{z1} = \varepsilon_{z2} \end{cases} \quad (1)$$

これらの条件と、各要素の各方向の応力-ひずみ関係式から、Model 1 の荷重方向の平均縦弾性係数 $E_{\sigma*}$ は次のように与えられる。(添字 1, 2 はそれぞれ不均質の領域 1, 2 に対応する。)

$$\frac{1}{E_{\sigma*}} = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2} \right) - \frac{\nu^2}{1-\nu} \left(\frac{\frac{1}{E_1} - \frac{1}{E_2}}{\frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2}} \right)^2 \quad (2)$$

(b) 境界で変位が拘束されている応力一定モデル (Model 2)

Fig. 1 (c) の要素間の境界において、x 方向の荷重による各要素の y 方向の変位が拘束されていると考える。平面応力の場合を考えて z 方向の応力を 0 とし、境界における各要素の応力、ひずみは次のように仮定する。

$$\begin{cases} \sigma_{x1} = \sigma_{x2} \\ \sigma_{y1} + \sigma_{y2} = 0 \\ \sigma_{z1} = \sigma_{z2} = 0 \\ \varepsilon_{y1} = \varepsilon_{y2} \end{cases} \quad (3)$$

これらの条件と、各要素の各方向の応力-ひずみ関係式から、Model 2 の荷重方向の平均縦弾性係数 $E_{\sigma*}$ は次のように与えられる。

Table 1 Averaged Young's moduli E_{ε} and E_{σ} for constant strain and constant stress model

	Constant strain model	Constant stress model
Plane stress	$E_{\varepsilon} = \frac{1}{2}(E_1 + E_2)$	$\frac{1}{E_{\sigma}} = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2} \right)$
Plane strain	$E_{\varepsilon} = \frac{1}{1-\nu^2} \frac{1}{2}(E_1 + E_2)$	$\frac{1}{E_{\sigma}} = (1-\nu^2) \frac{1}{2} \left(\frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2} \right)$

$$\frac{1}{E_{\sigma^*}} = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2} \right) - \frac{\nu^2}{2} \frac{\left(\frac{1}{E_1} - \frac{1}{E_2} \right)^2}{\left(\frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2} \right)} \quad (4)$$

(c) 境界で変位が拘束されている応力一定モデル (Model 3)

Fig. 1 (c) の要素間の境界において, x 方向の荷重による各要素の y 方向と z 方向の変位が拘束されていると考える. 平面ひずみの場合を考えて z 方向の変位 0 とし, 境界における各要素の応力, ひずみは次のように仮定する.

$$\begin{cases} \sigma_{x1} = \sigma_{x2} \\ \sigma_{y1} + \sigma_{y2} = 0 \\ \varepsilon_{y1} = \varepsilon_{y2} \\ \varepsilon_{z1} = \varepsilon_{z2} = 0 \end{cases} \quad (5)$$

これらの条件と, 各要素の各方向の応力-ひずみ関係式から, Model 3 の荷重方向の平均縦弾性係数 E_{σ^*} は次のように与えられる.

$$\frac{1}{E_{\sigma^*}} = (1-\nu^2) \frac{1}{2} \left(\frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2} \right) - \frac{\nu^2(1+\nu)}{2(1-\nu)} \frac{\left(\frac{1}{E_1} - \frac{1}{E_2} \right)^2}{\left(\frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2} \right)} \quad (6)$$

2. 2 傾斜した粒界を持つ不均質体の解析

2. 2. 1 不均質体のモデル

Fig. 2 に示すような 1 軸荷重における 2 つの結晶粒からなる傾斜した粒界を持つ不均質体について考える. 荷重方向を x , 荷重方向と垂直な方向を y , z とし, 粒界の法線方向を x' , 粒界の方向を y' とする. また, 荷重方向と粒界のなす角を θ , 荷重方向と粒界の法線方向のなす角を α とする. 各結晶粒の縦弾性係数とせん断弾性係数を E , G とする. ポアソン比は各結晶粒とも等しいとし, ν とおく.

粒界の法線方向 (x' 方向) と粒界の方向 (y' 方向) について $x'y'$ 座標系の材料定数を $E_{x'}$, $E_{y'}$, $G_{x'y'}$... とおくと, $x'y'$ 座標系の応力-ひずみ関係式は次のようにおける.

ここで, 不均質体の変形拘束をひずみ一定モデルと応力一定モデルを用いて解析するにあたって, Fig. 2 に示す不均質体の粒界付近において, 結晶

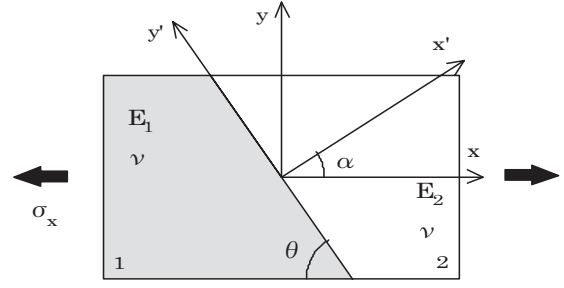


Fig. 2 Model of Inhomogeneous material with inclined boundary

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_{x'} \\ \varepsilon_{y'} \\ \varepsilon_{z'} \\ \gamma_{x'y'} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{E_{x'}} & -\frac{\nu_{y'x'}}{E_{y'}} & -\frac{\nu_{z'x'}}{E_{z'}} & 0 \\ -\frac{\nu_{x'y'}}{E_{x'}} & \frac{1}{E_{y'}} & -\frac{\nu_{z'y'}}{E_{z'}} & 0 \\ -\frac{\nu_{x'z'}}{E_{x'}} & -\frac{\nu_{y'z'}}{E_{y'}} & \frac{1}{E_{z'}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{x'y'}} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \sigma_{x'} \\ \sigma_{y'} \\ \sigma_{z'} \\ \tau_{x'y'} \end{Bmatrix} \quad (7)$$

粒は x' 方向には直列, y' 方向には並列に位置しているとみることができる. このことから, 各方向の応力に対して次のような変形が起こっていると仮定する.

- x' 方向の応力 $\sigma_{x'}$ による変形: 応力一定モデル
- y' 方向の応力 $\sigma_{y'}$ による変形: ひずみ一定モデル

- せん断応力 $\tau_{x'y'}$ による変形: 応力一定モデル

次に, 境界で変位が拘束されている応力一定モデルを用いる場合には, 次のような変形が起こっていると仮定する.

- x' 方向の応力 $\sigma_{x'}$ による変形: 境界で変位が拘束されている応力一定モデル
- y' 方向の応力 $\sigma_{y'}$ による変形: ひずみ一定モデル

- せん断応力 $\tau_{x'y'}$ による変形: 応力一定モデル

これらの仮定から, $x'y'$ 座標系の材料定数 $E_{x'}$, $E_{y'}$, $G_{x'y'}$ は次のようにおける.

$$E_{x'} = E_{\sigma}, E_{\sigma^*}, E_{y'} = E_{\varepsilon}, G_{x'y'} = G_{\sigma} \quad (8)$$

それぞれの変形モデルを用いた解析における $x'y'$ 座標系の材料定数はそれぞれ Table 2 のようになる.

2. 2. 2 不均質体の荷重方向の平均縦弾性係数 E_x

$x'y'$ 方向の応力-ひずみ関係式を座標変換して、 xy 方向の応力-ひずみ関係式を求め、 x 方向の応力 σ_x による x 方向のひずみ ε_x についての関係から x 方向の平均縦弾性係数 E_x の式を導く⁶⁾。

x 方向の平均縦弾性係数 E_x に各変形モデルを用いた解析での $x'y'$ 座標系の材料定数を代入すると、各モデルを用いた解析による不均質体の荷重方向の平均縦弾性係数 E_x が、それぞれ応力一定モデルについて式 (9)、ひずみ一定モデルについて式 (10)、境界で変位が拘束されている修正応力一定モデルについて式 (11) ~ (13) のように求められる。

(a) 応力一定モデルとひずみ一定モデルによる不均質体の荷重方向の平均縦弾性係数 E_x

・ 平面応力の場合

$$\frac{1}{E_x} = \frac{E_1 + E_2}{2E_1E_2} \sin^4 \theta + \frac{2}{E_1 + E_2} \cos^4 \theta + \left((1+\nu) \frac{E_1 + E_2}{E_1E_2} - \nu \frac{E_1 + E_2}{2E_1E_2} - \nu \frac{2}{E_1 + E_2} \right) \sin^2 \theta \cos^2 \theta \quad (9)$$

・ 平面ひずみの場合

$$\frac{1}{E_x} = (1-\nu^2) \frac{E_1 + E_2}{2E_1E_2} \sin^4 \theta + (1-\nu^2) \frac{2}{E_1 + E_2} \cos^4 \theta + (1+\nu) \left(\frac{E_1 + E_2}{E_1E_2} - \nu \frac{E_1 + E_2}{2E_1E_2} - \nu \frac{2}{E_1 + E_2} \right) \sin^2 \theta \cos^2 \theta \quad (10)$$

(b) 修正応力一定モデルによる不均質体の荷重方向の平均縦弾性係数 E_x

・ Model 1 の場合

$$\frac{1}{E_x} = \left(\frac{E_1 + E_2}{2E_1E_2} - \frac{\nu^2}{1-\nu} \left(\frac{1}{E_1} - \frac{1}{E_2} \right)^2 \right) \sin^4 \theta + \frac{2}{E_1 + E_2} \cos^4 \theta + \left((1+\nu) \frac{E_1 + E_2}{E_1E_2} - \nu \frac{4}{E_1 + E_2} \right) \sin^2 \theta \cos^2 \theta \quad (11)$$

・ Model 2 の場合

$$\frac{1}{E_x} = \left(\frac{E_1 + E_2}{2E_1E_2} - \frac{\nu^2}{2} \left(\frac{1}{E_1} - \frac{1}{E_2} \right)^2 \right) \sin^4 \theta + \frac{2}{E_1 + E_2} \cos^4 \theta + \left((1+\nu) \frac{E_1 + E_2}{E_1E_2} - \nu \frac{4}{E_1 + E_2} \right) \sin^2 \theta \cos^2 \theta \quad (12)$$

Table 2 Elastic constants for modified constant stress model in $x'y'$ -coordinates

	Model 1	Model 2	Model 3
$\frac{1}{E_{x'}}$	$\frac{E_1 + E_2}{2E_1E_2} - \frac{\nu^2}{1-\nu} \left(\frac{1}{E_1} - \frac{1}{E_2} \right)^2$	$\frac{E_1 + E_2}{2E_1E_2} - \frac{\nu^2}{2} \left(\frac{1}{E_1} - \frac{1}{E_2} \right)^2$	$(1-\nu^2) \frac{E_1 + E_2}{2E_1E_2} - \frac{\nu^2(1+\nu)}{2(1-\nu)} \left(\frac{1}{E_1} - \frac{1}{E_2} \right)^2$
$\frac{1}{E_{y'}}$	$\frac{2}{E_1 + E_2}$	$\frac{2}{E_1 + E_2}$	$(1-\nu^2) \frac{2}{E_1 + E_2}$
$\frac{\nu_{x'y'}}{E_{x'}}$	$\nu \frac{2}{E_1 + E_2}$	$\nu \frac{2}{E_1 + E_2}$	$\nu(1+\nu) \frac{2}{E_1 + E_2}$
$\frac{\nu_{y'x'}}{E_{y'}}$	$\nu \frac{2}{E_1 + E_2}$	$\nu \frac{2}{E_1 + E_2}$	$\nu(1+\nu) \frac{2}{E_1 + E_2}$
$\frac{1}{G_{x'y'}}$	$(1+\nu) \frac{E_1 + E_2}{E_1E_2}$	$(1+\nu) \frac{E_1 + E_2}{E_1E_2}$	$(1+\nu) \frac{E_1 + E_2}{E_1E_2}$

• Model 3 の場合

$$\frac{1}{E_x} = \left((1-\nu^2) \frac{E_1+E_2}{2E_1E_2} - \frac{\nu^2(1+\nu)}{2(1-\nu)} \left(\frac{1}{E_1} - \frac{1}{E_2} \right)^2 \right) \sin^4 \theta + (1-\nu^2) \frac{2}{E_1+E_2} \cos^4 \theta + (1+\nu) \left(\frac{E_1+E_2}{E_1E_2} - \nu \frac{4}{E_1+E_2} \right) \sin^2 \theta \cos^2 \theta \quad (13)$$

2. 3 不均質体の拘束率 η_x

前節で求めた不均質体の荷重方向の平均縦弾性係数 E_x によって変形拘束の強さを示すことはできる．しかし異なる材料定数を持つ別の不均質体と比較するのは難しい．そこで拘束の程度を表すパラメータとして先に提案されている次の拘束率 η_x を用いる^{7) 8)}．

$$\eta_x = \frac{\Delta \varepsilon_x}{(\Delta \varepsilon_x)_{\max}} \quad (14)$$

ここに、

$\Delta \varepsilon_x$: 不均質体内部のひずみ ε_x の平均値からのずれ

$(\Delta \varepsilon_x)_{\max}$: 応力一定の場合における不均質体内部のひずみ ε_x の平均値からのずれ

この拘束率 η_x を縦弾性係数 E_x , E_σ , E_ε で表すと次式のようになる．

$$\eta_x = \frac{E_x - E_\varepsilon}{E_\sigma - E_\varepsilon} \quad (15)$$

ここで、 $\eta_x = 0$ はひずみ一定に、 $\eta_x = 1$ は応力一定にそれぞれ対応する．つまり、拘束率が大きいほどその方向の変形拘束は小さいことを示している．

2. 4 有限要素法による不均質体の解析

前節の傾斜した粒界を持つ不均質体の解析と比較するために、弾性有限要素法 (FEM, Finite Element Method) を用いて、Fig. 3 に示す傾斜した粒界 (FH) をもつ二つの結晶粒 (AFHD, BCHF) からなる不均質体のモデル (ABCD, 693

節点, 1280 要素) を解析する．各結晶粒の縦弾性係数をそれぞれ E_1 , E_2 とし、ポアソン比は等しく ν とする．AB, AD の長さはそれぞれ 32, 20R である．境界条件は 1 軸引張りを考えて、平面応力の場合について DA, BC の x 方向の変位をそれぞれ 0, 0.1 とし、節点 B, D の y 方向の変位をそれぞれ $0.1R\nu$, 0 とする．また、平面ひずみ場合は節点 B の y 方向の変位を $0.1R\nu/(1-\nu)$ とする．そして粒界の角度 θ ($\theta = \tan^{-1} R$, $R = b/a$) を変化させ、J で示す粒界付近の 4 個の要素における x 方向の拘束率の平均値 η_j を求める．

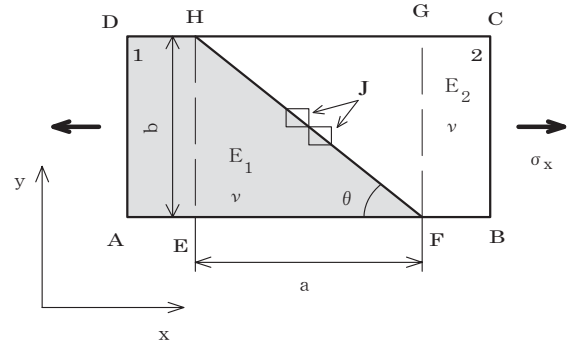


Fig. 3 Model of inhomogeneous body used for FEM calculation

ここで、Fig. 3 に示す不均質体モデルの要素 j における x 方向の拘束率 η_j は次式から求める^{7) 8)}．

$$\eta_j = -\frac{\Delta \varepsilon_x}{\Delta E_m} \bigg/ \frac{\overline{\varepsilon_x}}{E_m} \quad (16)$$

ここに、各変数は次のとおりである．

E_m : 不均質全体の平均縦弾性係数

$\overline{\varepsilon_x}$: 不均質体全体の平均ひずみ

$\Delta \varepsilon_x$: ε_x に対する要素 j のひずみのずれ

ΔE_m : E_m に対する要素 j の縦弾性係数のずれ

3. 解析結果と考察

以下では一例として、不均質体の各結晶粒の縦弾性係数 E_1 , E_2 を次のようにおいて数値計算を行い、比較検討する．

$$\begin{cases} E_1 = E_0(1+\phi) \\ E_2 = E_0(1-\phi) \\ E_0 = 100 \text{ [MPa]} \\ 0 \leq \phi \leq 1 \end{cases} \quad (17)$$

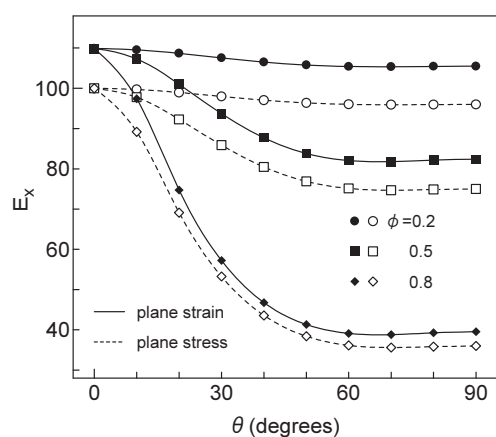
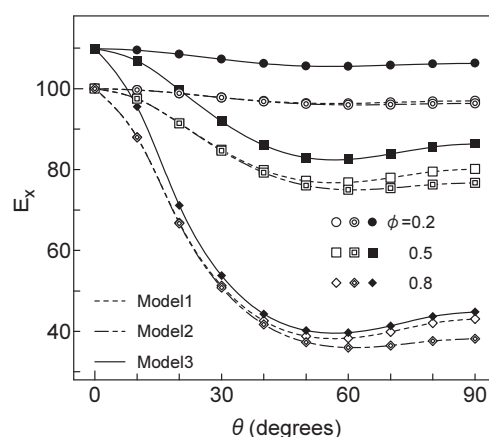
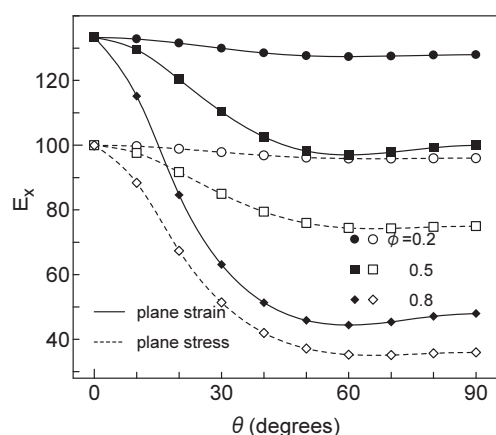
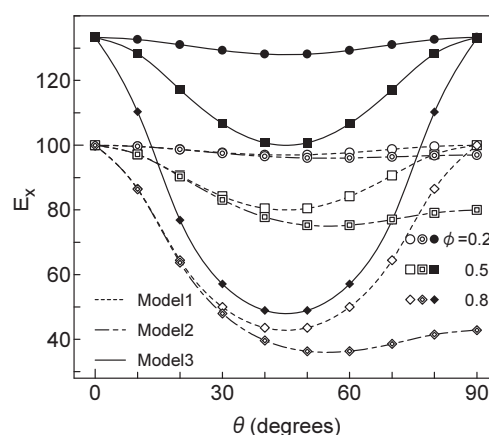

(a) Averaged Young's modulus for $\nu = 0.3$

(a) Averaged Young's modulus for $\nu = 0.3$

(b) Averaged Young's modulus for $\nu = 0.5$

(b) Averaged Young's modulus for $\nu = 0.5$

Fig. 4 Change of averaged Young's modulus E_x calculated for inhomogeneous body with angle θ of inclined boundary

Fig. 5 Averaged Young's modulus E_x in x-direction for modified constant stress models versus boundary angle θ

ここで、 ϕ は各結晶粒の縦弾性係数 E_1 、 E_2 の不均質の程度を表すパラメータである。

3. 1 不均質体の荷重方向の平均縦弾性係数 E_x

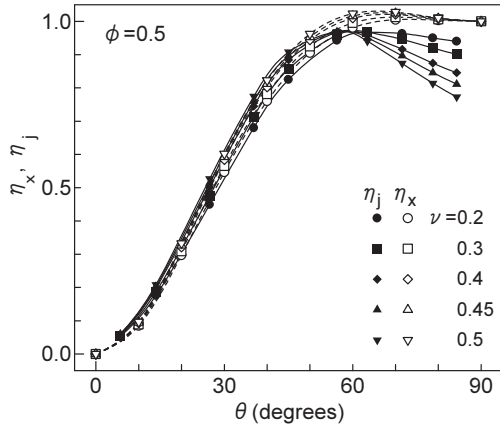
Fig. 4 はひずみ一定モデルと応力一定モデルを用いた解析で導かれた式から粒界の傾斜角度 θ と荷重方向の平均縦弾性係数 E_x の関係を示している。この図において、平面応力の場合にはポアソン比の影響があまりみられないが、平面ひずみの場合にはポアソン比の影響がみられる。また、平均縦弾性係数 E_x が最小となるのは変形拘束を考慮していない応力一定モデルとなる $\theta = 90^\circ$ のときではなく、およそ $60^\circ \sim 70^\circ$ 付近で最小になる。これはせん断応力の影響であると考えられる。

Fig. 5 は境界で変位が拘束されている応力一定モデルを用いた解析で導かれた式から Fig. 4 と同様の θ と E_x の関係を示している。この図では、Model 1～Model 3 のどの場合にもポアソン比の影響がみられるが、特にModel 1とModel 3で大きな影響が認められる。

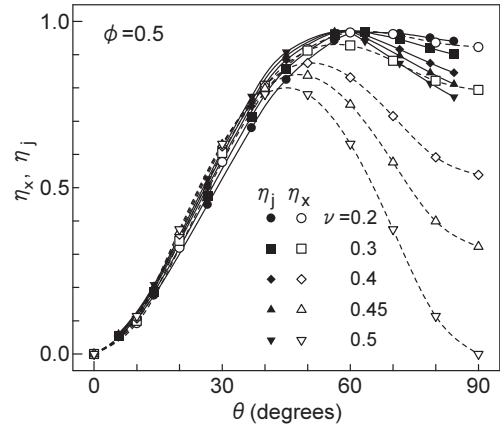
3. 2 不均質体の荷重方向の拘束率 η_x, η_j

Fig. 6 はそれぞれ不均質度 $\phi = 0.5$ のときのひずみ一定モデルと応力一定モデルを用いた解析による拘束率 η_x と有限要素法を用いた解析による拘束率 η_j を示している。

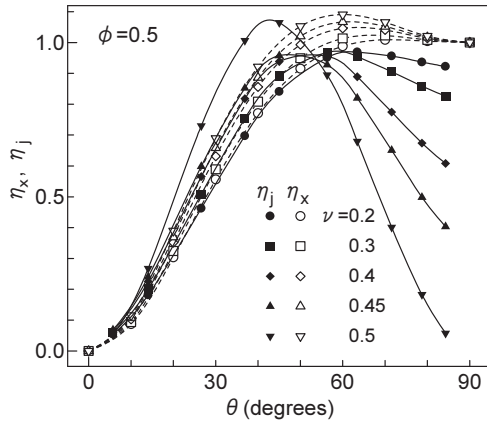
Fig. 6 において、粒界の傾斜角度 θ が小さいところでは η_x と η_j は近い値をとっているが、



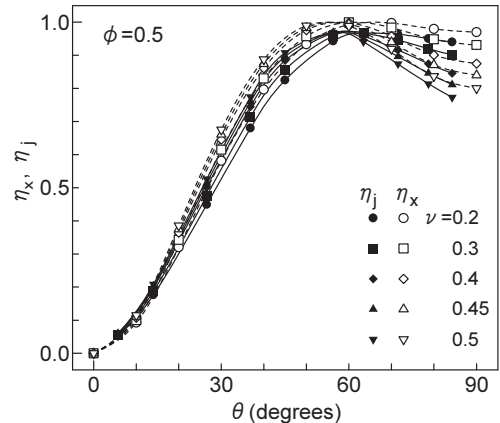
(a) Constraint ratio under plane stress



(a) Constraint ratio for Model 1 and plane stress FEM



(b) Constraint ratio under plane strain

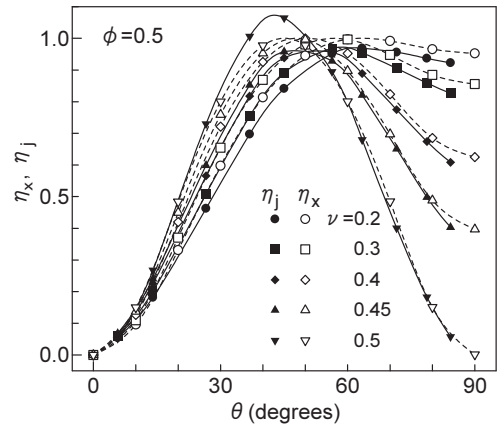


(b) Constraint ratio for Model 2 and plane stress FEM

 Fig. 6 Change of constraint ratios η_x calculated from modified constant stress model and η_j calculated by FEM with boundary angle θ ($\phi = 0.5$)

$\theta = 90^\circ$ (応力一定) に近いところでは η_x と η_j の違いがみられる。有限要素法による解析では $\theta = 90^\circ$ に近いところで η_j が η_x の値より小さくなっている。これは $\theta = 90^\circ$ 付近において変形拘束があることを示している。このことから必ずみ一定モデルと応力一定モデルを用いた解析について特に応力一定モデルが粒界付近の変形拘束を示すには十分でないとと言える。なお、不均質度 ϕ が大きくなると、粒界の傾斜角度 θ が小さいところでも η_x と η_j の差が大きくなる傾向を示した。

Fig. 7 はそれぞれ不均質度 $\phi = 0.5$ のときの境界で変位が拘束されている応力一定モデルを用いた解析による拘束率 η_x と有限要素法を用いた解析による拘束率 η_j を示している。



(c) Constraint ratio for Model 3 and plane strain FEM

 Fig. 7 Averaged Young's modulus E_x in x-direction for modified constant stress models versus boundary angle θ ($\phi = 0.5$)

Fig. 7 (a) では Model 1 を用いた解析の拘束率 η_x について粒界の傾斜角度 $\theta = 90^\circ$ 付近で η_x が

小さくなっている．特にポアソン比 ν が大きいとき強い拘束が発生しており，この点で平面応力の場合の FEM を用いた解析の拘束率 η_j と大きく異なっている．また，Fig. 7 (b) の Model 2 を用いた解析の拘束率 η_x と平面応力の場合の FEM を用いた解析の拘束率 η_j ，および Fig. 7 (c) の Model 3 を用いた解析の拘束率 η_x と平面ひずみの場合の FEM を用いた解析の拘束率 η_j については，それぞれの傾斜角度 θ においても近い値を示している．このことから，Model 2, Model 3 を用いることによってそれぞれ平面応力と平面ひずみの場合について傾斜した粒界を持つ不均質体の粒界付近の変形拘束を示すことができると言える．

以上のように，不均質体の変形における材料の境界での拘束については，ポアソン比の影響が大きく， $\nu=0.5$ ではその影響が特に大きいことが解析的に示された．このことは，次のような問題に対して考慮しておく必要があると考えられる．

(1) ゴム複合体の変形の場合．ゴムはポアソン比 $\nu=0.5$ であることが知られており，したがって本報告で述べたような境界面での変形拘束の影響が大きいと推定される．

(2) 金属などの塑性変形においては，体積一定条件がほぼ成り立つことが知られている．このことは，弾性変形においてポアソン比が $\nu=0.5$ であることに相当するので，複合体や多結晶体の塑性変形においても，境界面での変形拘束が影響すると考えられる．

4. 結 言

本研究では，傾斜した粒界を持つ二つの不均質な領域からなる材料が，1 軸応力を受ける場合の解析を行った．また，応力一定モデルにおいてモデルの要素の境界で荷重方向に対して垂直方向の変位が拘束されている場合について考え，この拘束によって荷重方向に変形拘束を持つ修正応力一定モデルを導いた．得られた主な結果を要約すると次のようになる．

(1) 不均質体の応力一定モデル，ひずみ一定モデルに対して，横方向の拘束を取り入れた修正応

力一定モデルを提案した．

(2) これらの解析と比較するために，傾斜した粒界を持つ不均質体のモデルについて有限要素法を用いて不均質境界付近の荷重方向の拘束率 η_j を求め，解析の結果と先に提案した拘束率で比較したところ，両者はよく一致した．

(3) すなわち，ひずみ一定モデルと応力一定モデルを用いた解析では拘束率について，粒界の傾斜角度 θ が小さいところでは有限要素法と近い傾向を示したが， $\theta=90^\circ$ (応力一定) に近いところでは拘束率 η_x ， η_j の差が大きくなった．このことから特に応力一定モデルが粒界付近の変形拘束を示すには十分でないと言える．

(4) 境界で変位が拘束されている修正応力一定モデルを用いた解析では粒界の傾斜角度が $\theta=90^\circ$ (応力一定) 付近で拘束が発生しており，拘束率は有限要素法による数値解析と同じ傾向を示した．このことから，本報告で提案した境界で変位が拘束されている修正応力一定モデルを用いることによって，不均質体の粒界付近の変形拘束を十分に表すことが可能であることが確認された．

参 考 文 献

- 1) 阿部武治，結晶塑性解析の発展，材料，**28**-305 (1979)，pp. 87-99.
- 2) 阿部武治，材料研究と数値シミュレーション (1)，機械の研究 **42**-3 (1990)，pp. 341-347.
- 3) 阿部武治，結晶塑性と構成式，塑性と加工，**29**-331 (1988)，pp. 789-798.
- 4) J. R. Vinson and R. L. Sierakowski, 福田博 他 訳：複合材料の構造力学，日刊工業新聞 (1987).
- 5) 森田幹郎，金原勲，福田博：複合材料，日刊工業新聞 (1988).
- 6) 藤本邦彦，加部和幸，石上俊弥，複合材料学会誌，**12**-4 (1986)，pp. 163-170.
- 7) 阿部武治，多結晶金属の変形，機械学会論文集，**34**-264 (1968)，pp. 1387-1393.
- 8) 阿部武治，多結晶など不均質な材料の多軸応力下の弾性変形，機械学会論文集，**44**-384 (1978)，pp. 2559-2567.

アルミニウム合金基複合材料の繰り返し加熱冷却による熱ひずみ

萩原 尚也 *

柴田 政勝 **

Thermal Strain of Thermally Cycled Aluminum Alloy Composites

Naoya HAGIHARA* and Masakatsu SHIBATA**

Aluminum alloy composites reinforced with aluminum borate particles (ABp) were thermally cycled between 293K and $T_{\max} = 573\text{K}$, 673K and 773K. Composites thermally cycled at $T_{\max} = 573\text{K}$ and 673K were contracted by 1,000 cycles, but after that expanded with increasing the number of thermal cycling. Composites thermally cycled at $T_{\max} = 773\text{K}$ uniformly expanded with increasing the number of thermal cycling. The thermal strain on thermal cycling of composites reinforced with ABp is less than that of composites reinforced with aluminum borate whiskers. The HR-TEM observation revealed that an ABp was composed from super fine particles. The finite element method analysis assumed the plastic deformation was caused in the composites heated from 273K to 573K.

Key words: aluminum alloy composites, aluminum borate particles, thermal strain, thermal cycling,

1. 緒 言

複合材料とは、母材（マトリックス）と強化材との異なった2種類以上の材料を組み合わせで作られたもので、それぞれの材料の特性が十分に活かされ、また、複合化することにより単一材料では望み得ない新しい性質を持たせた材料である。

本研究では、母材に塑性加工性と時効硬化性を重視して A6061 アルミニウム合金 (Al-Si-Mg)、強化材にセラミックである粒状ほう酸アルミニウム ($9\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{B}_2\text{O}_3$) を用いた、アルミニウム合金基複合材料を作製した。母材のアルミニウム合金は金属基複合材料において、最も広く用いられているが、これは、(1)軽量、(2)電気、熱伝導性が良い、(3)融解熱が高い、(4)酸化膜 Al_2O_3 が生成されることにより錆びにくい、(5)耐食性が良い。などの特性を持っているからである¹⁾。強化材については、現在実用化されているアルミニウム合金基複合材料の強化材として炭化ケイ素 (SiC) を用いたものがある。炭化ケイ素は、比強度、比弾性が高く、高温でも安定でアルミニウムとの反応も一般的に低い、高価である。そこで本研究では、価格が炭化ケイ素の10分の1であり、また、(1)熱膨張係数が小さいので、ひ

ずみが起こりにくい。(2)高強度、高弾性率を有している。(3)耐熱性に優れる。(4)耐酸性に優れる。などの特性を持つ、ほう酸アルミニウムを強化材として用いた。ほう酸アルミニウムウイスカを用いて得られる複合材料の性能は、炭化ケイ素の場合に比較しほぼ遜色がない²⁾とされている。強化材にほう酸アルミニウムウイスカを用いた複合材料はピストンリングなどの一部に用いられているが、粒状ほう酸アルミニウムを使用した例はない。粒状ほう酸アルミニウムの場合には粒状であるため機械的あるいは物理的性質の異方性が少ないことが予想されるが、エンジン回りの部品として使用されることを考えると、加熱冷却による熱ひずみが重要な問題である。

そこで、本研究では、異種材料の熱膨張係数の違いから引き起こされる熱ひずみに着目し、繰り返し加熱冷却実験を行い、熱ひずみの測定を行なった。一方、加熱冷却により生じる熱ひずみをより工学的に解析するため、有限要素法による熱膨張のシミュレーション解析を行った。

2. 実験方法

2. 1 複合材料の予備成形体（プリフォーム）の作製

粒状ほう酸アルミニウムは、四国化成(株)製のアル

原稿受付 平成18年8月31日

* 平成17年3月専攻科修了（現在岡山新晃株式会社）

** 機械工学科

ボライト (平均粒径 $8\mu\text{m}$ の粒状)⁴⁾ を用いた。体積率 $V_F=60\%$ の複合材料のプリフォームを以下の手順で作製した。

- (1) 粒状ほう酸アルミニウム 75g に蒸留水 250ml を加え、攪拌機で約 3 分間攪拌する。
- (2) これに高温時での結合剤であるシリカゾル 5 ~ 15ml を加え、約 3 分間攪拌する。
- (3) 蒸留水 100ml に硫酸アンモニウム 0.1 ~ 0.5g を溶解したものを加え、約 3 分間攪拌する。
- (4) さらに蒸留水 100ml にポリアクリルアミド 0.005 ~ 0.07g を添加した溶液を加え、超音波を与えながら約 2 分間攪拌する。
- (5) この溶液を内径 60mm、高さ 240mm のろ過器と真空ポンプを用いて吸引法で約 20 分間ろ過を行う。
- (6) 完全に水分を除去するために、まず室温で一日放置した後、353K でさらに一日乾燥させる。

2. 2 高圧鑄造法による複合材料の作製

次に、このプリフォームに熔融アルミニウムを流し込んで加圧するいわゆる高圧鑄造法によって複合材料を作製した。また、熔融アルミニウムが早く固まり、プリフォームに十分溶け込まない恐れがあるので、本研究では金型の内側に耐熱性のあるセラミックペーパーを巻き、保温性を高めた。複合材料作製手順を以下に記す。

- (1) 1073K に加熱したプリフォームを 573K に加熱した金型の中にセットする。
- (2) 同じく 1073K で熔融したアルミニウム合金をその金型の中に流し込む。
- (3) 熔融アルミニウムを流し込んだ上に素早く 573K に加熱しておいたポンチを乗せる。
- (4) ポンチを乗せると同時に、万能試験機を用いて 44MPa の加圧力で約 5 分間加圧する。

作製された複合材料は、直径約 60mm、厚さ約 30mm の円柱状であった。

2. 3 繰り返し加熱冷却による熱変形実験

円柱状の複合材料より、フライス盤などを用いて厚さ 4.5mm、長さ 41mm、幅 3.5mm の直方体状試験片を切り出した。次に繰り返し加熱冷却を行うために、AC サーボモータや制御装置などを使用し、自動的に試験片を炉に出し入れできるよう設定した。この時、炉内の最高加熱温度 $T_{\text{max}} = 573\text{K}, 673\text{K}, 773\text{K}$ に設定し、加熱時間は 8 分間で冷却は炉から出し強制送風により 5 分間行った。最高加熱温度に関しては、自動車のエンジン周りの部品温度を考慮した。また、各温度に対し試験片は 3 本ずつとした。あらかじめ決めたサイクル数ごとに常温まで冷却した時に装置を止め、実験装置から試験片を取り出し、マイクロメータによって長さ変化を小数点以下第三

位まで測定した。測定後に試験片をまた実験装置に戻し、さらに繰り返し加熱冷却を続けた。測定については、本研究での複合材料は熱膨張の異方性が少なく等方的と考えられるため、長さ方向で測定し、ひずみ量は試験片 3 本の平均で求めた。

2. 4 透過型電子顕微鏡による組織観察のための薄膜試料作製

本研究で作製した複合材料は、前記で述べた通り今まで報告がないため、良質な複合材料が得られたかどうか定かではない。そこで、本研究では、透過型電子顕微鏡 (TEM) および高分解能透過型電子顕微鏡 (HR-TEM) を用い、組織観察を行った。観察対象を透過して内部構造を観察することになるため、イオンミリングによって原子レベルで薄くし、薄膜試料を作製した。薄膜試料作製手順は次の通りである。

まず、複合材料から 30mm × 10mm × 4mm 程度の短冊状試験片を切り出した。さらに、これを鉄製の土台に瞬間接着剤を用いて接着し、水を流しながらエメリーペーパーを用いて研磨した。試験片がある程度薄くなった後、アルミナ研磨液およびサイトン研磨液を用い、バフ盤により超研磨を行い、約 10 ~ 30 μm 程度の鏡面の薄膜を作製した。

この薄膜試料に、モリブデン製補強リングをペトロポキシ 154 で接着し固定した。補強リングが完全に接着した後、試験片を補強リングに沿って丁寧に切断した。この試料をイオンミリング装置にセットし、電圧 6.0kV、電流 6.0mA に設定し、試料を回転させながらイオンビームを試料の中心に照射した。イオンミリング作業は、目安として試料中央に微小な穴が空く程度まで行った。

2. 5 熱膨張のシミュレーションの解析方法

複合材料の特性として、単一材料では望み得ない性質を持つことができるが、その反面、性質が異なる異種材料が存在しているため、界面密着性、界面反応などが問題となる。また加熱冷却を受けた際に、異種材料の熱膨張係数の違いから、熱応力、熱ひずみなどが生じ、母材と強化材にどのような影響を与えられているのかを知ることは非常に重要である。そこで本研究では、ANSYS を用いて、本複合材料内に生じる熱応力と熱ひずみの有限要素法解析を行った。母材のアルミニウム合金と強化材の粒状ほう酸アルミニウムが均一に分散した場合を考えるが、本来、強化材には物理的性質や機械的性質に異方性があるため、その強化材のそれぞれの方向に対して解析することは、非常に困難である。しかし、本研究で用いる複合材料の強化材は、3. 4 で記すように超微細な単結晶が集まってひとつの粒状ほう酸アルミニウム結晶が形成されていることから、等方的と見なすことが出来る。よってこの解析にあたって

も、強化材は等方的な性質を持っていると考え、また均等に分布していると仮定した。また三次元的でより分かりやすい解析を行うため、一つの粒状ほう酸アルミニウム結晶と、体積率から求めたアルミニウム合金の複合材料を考え、モデルを作成した。

モデルは、母材の半径が $4\mu\text{m}$ 、強化材の半径を $4.47\mu\text{m}$ とし、材料特性に関しては、Table 1 の物性値を参考に設定した。球の 1/8 モデルを用い、xy, yz, xz 平面を拘束し、293K から 573K までの加熱とした。また、6 面体異方性ソリッド要素を用い、要素数は 3256 とし解析を行った。

Table 1 Physical and mechanical properties of aluminum alloys and aluminum borate particles.

	アルミニウム合金	粒状ほう酸アルミニウム
線膨張係数	$23.6 \times 10^{-6}/\text{K}$	$4.2 \times 10^{-6}/\text{K}$
引張り強度	310MPa	7.8GPa
縦弾性係数	69.7GPa	392.4GPa
ポアソン比	0.33	0.2

3. 結果および考察

3. 1 プリフォームの作製

良質なプリフォーム作製条件を調べた。作製中における問題点として、プリフォームが割れたり、ろ過装置の内側面にプリフォームが密着して取り出せない、常温時の結合材であるポリアクリルアミドを配合した際、粒子が細かくダマを作り固まって分離するなどの問題があった。そこで様々な条件で予備実験を行なった結果、本実験では、攪拌時の超音波の付加が有効であることおよび蒸留水 100g に対し、次の各配合量が適切であることがわかった。

- 1) 粒状ほう酸アルミニウム : 75g
- 2) シリカゾル : 15ml
- 3) 硫酸アンモニウム : 0.5g
- 4) ポリアクリルアミド : 0.06g

3. 2 高圧鋳造法による複合材料作製

高圧鋳造においても、どれだけの加圧力をかけるか、また、シリカゾルに関しても高温時の結合剤であるため、配合量の検討する必要があった。そこで本研究では、加圧力を 25MPa~75MPa、およびシリカゾルの配合量を 6~15ml に変え、実験を行なった。

その結果、高圧鋳造工程途中で、少しでも手間取ってしまうと、熔融アルミニウムがうまく浸透してないものが作製されたり、複合材料が下部ではなく

中央部あたりに浮いて作製されてしまった。したがって、素早くこの工程を行なう必要がある。また、次に示す加圧力および配合量で良質な複合材料が得られた。

- 1) 加圧力 : 44MPa
- 2) シリカゾルの配合量 : 15ml

3. 3 繰り返し加熱冷却実験

繰り返し加熱冷却による熱ひずみの結果を Fig. 1 に示す。横軸に加熱冷却の繰り返し数、縦軸にひずみ量を示している。一回目の実験において、最高加熱温度が 573K、673K の場合、収縮が認められたので、同実験を二度行なった。ただし、二回目は試験片加工によるひずみを除去するため、実験開始前に 573K で 30 分間加熱した。

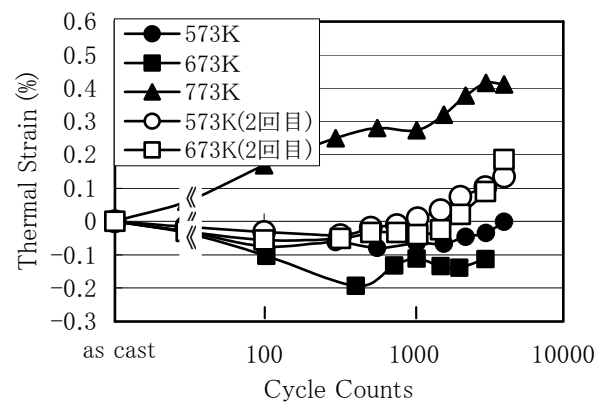


Fig. 1 Dimensional changes of the composites reinforced with the aluminum borate particles on thermal cycling.

$T_{\text{max}} = 773\text{K}$ の場合、加熱冷却の繰り返しの最初から膨張し、1000 サイクルで約 0.3%、3000 サイクルで約 0.4% 熱ひずみを生じた。なお、500 サイクルの辺りから一本の試験片が微小であるが湾曲し、4000 サイクルで残り 2 本も湾曲し、さらにヒビが入っていた。これ以上は測定困難となり中止した。

$T_{\text{max}} = 573\text{K}$, 673K の場合、一回目、二回目とも約 1000 サイクルまでは縮小し、その後は膨張する傾向が認められた。二回目もその傾向は、一回目と同じであるが、変化量は小さい。この原因としては、実験開始前の 573K での加熱による試験片加工の際の加工ひずみの除去によるものと考えられる。また、繰り返し加熱冷却の初期にわずかではあるが縮小が認められるのは、次のような理由が考えられる。本実験では、高圧鋳造法によって複合材料を作製しており、高温からの冷却凝固時に、材料内に大きな収縮または膨張の内部応力が生じており、これが繰り返し加熱冷却によって緩和される結果、収縮すると考えられる。

Fig. 2 は、文献⁵⁾による針状ほう酸アルミニウムを用いた複合材料の場合の同様の実験結果である。Tmax = 573K, 673K の場合、収縮は見られず最初から膨張し続けるが、同条件の粒状ほう酸アルミニウムの2回目と比較すると、ひずみの度合いは針状ほう酸アルミニウムの方が大きい。Tmax = 773K の場合、粒状ほう酸アルミニウムよりも熱ひずみは小さいように見えるが200サイクルあたりから試験片はわん曲し始めたため、長さはほとんど変化せず、1000 サイクルでは全く測定不能になるほど変形が大きかった。

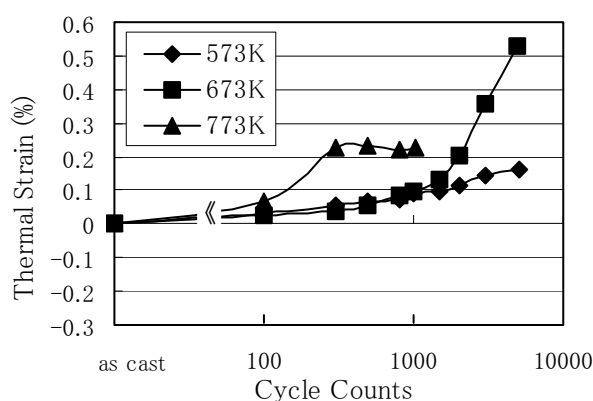


Fig. 2 Dimensional changes of the composites reinforced with the aluminum borate whiskers on thermal cycling.

また、針状は粒状と同様斜方晶であるが、粒状の膨張は3.4に記すように等方的であるため異方性の差が小さいのに対し、針状は単結晶でその熱膨張係数は、a 軸 $5.3 \times 10^{-6} \text{deg}^{-1}$ 、b 軸 $6.2 \times 10^{-6} \text{deg}^{-1}$ 、c 軸 $2.6 \times 10^{-6} \text{deg}^{-1}$ と異なる¹⁾。よって、熱応力の大きさも各方向により異なり、このような熱膨張係数の異方性が針状の複合材料の熱変形を大きくしている原因と考えられる。

以上の事から、熱ひずみは加熱冷却の繰り返し回数が多くなるほど、最高加熱温度が高いほど大きくなることからわかる。また、本研究で用いる複合材料は Tmax = 673K 程度までが許容範囲と考えられ、前記したエンジン周り部品の用途の温度差に耐えられるのではないかと考えられる。

Patterson W. G. と Taya M. らによると、母材に A2124 アルミニウム合金、強化材に体積率 15% の炭化ケイ素繊維を用いたアルミニウム合金基複合材料の場合、293K~673K の繰り返し加熱冷却による長さ方向の熱ひずみは、1000 サイクルで 5.5% であると報告されている⁶⁾。よって、A2124 と A6061 のアルミニウム合金の熱膨張係数には大きな差がないことを考えると、粒状および針状のほう酸アルミニウムを含むアルミニウム合金基複合材料は、強化材が炭化

ケイ素である場合と比べて、繰り返し加熱冷却による熱ひずみは著しく小さいことがわかる。ただし強化材の体積率は同一ではないので、単純には比較できないという問題は残っている。

3. 4 組織観察および結晶構造解析

TEM および HR-TEM を用いて観察した結果を Fig. 3 に示しているが、黒い部分と白い部分に分かれて見えた。しかし、この像を見た限りではどの部分がほう酸アルミニウムなのか特定できなかった。そこで、各部分の電子線回折を行った。

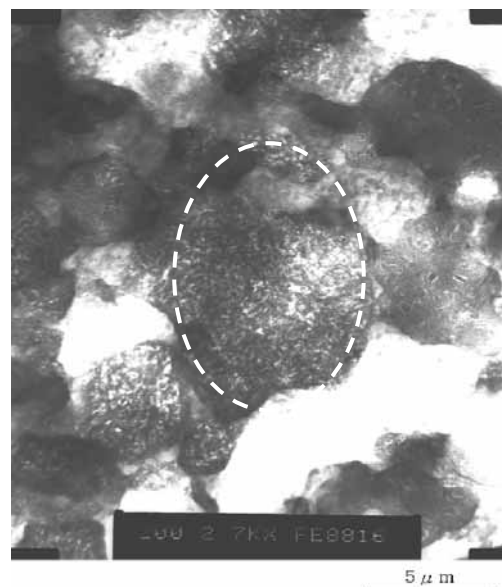


Fig. 3 TEM photographs of the composites.

Fig. 4 に示す写真が黒い部分 (Fig. 3 の破線内にある黒い塊状) の回折パターンであり、Fig. 5 に示している写真が白い部分の回折パターンである。

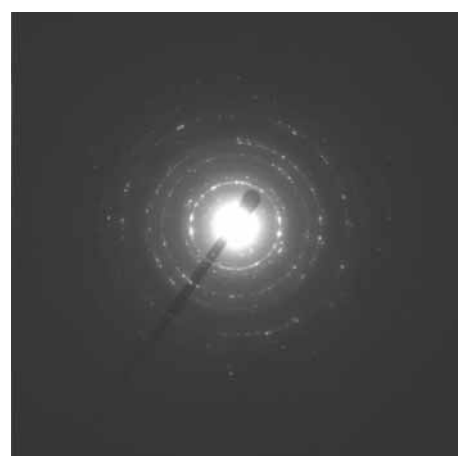


Fig. 4 The HR-TEM diffraction pattern from the black area in Fig. 3.



Fig. 5 The HR-TEM diffraction pattern from the white area in Fig. 3.

Fig. 4 では、デバイリング状の回折パターンが得られたのに対し、Fig. 5 はほぼ規則正しくはん点が配列した回折パターンが得られた。デバイリング状の回折パターンが得られたことから、黒い部分は直径およそ数 nm の超微細な粒状ほう酸アルミニウムが固まって出来ていることがわかる。これらの超微粒子は一個一個の単結晶と考えられるが、それぞれが様々な方向性を持った多結晶になっているため、回折パターンは必然的にデバイリング状に現れる。

以上の結果より、単結晶である白い部分が母材のアルミニウム合金、黒い部分が強化材の粒状ほう酸アルミニウムであることがわかった。針状のほう酸アルミニウムは単結晶であるのに対し、粒状ほう酸アルミニウムの一つの結晶は超微細な単結晶から構成されていることは注目に値する。このように、粒状ほう酸アルミニウムは粒状の単結晶が集まって、1つの粒状ほう酸アルミニウム結晶になっているので、その結果熱ひずみは等方的になり、大きな単結晶から出来ている針状のほう酸アルミニウムウィスカと比較して、熱膨張の異方性が現れにくいことが予想される。

3. 5 熱膨張のシミュレーション解析

ANSYSを用いて、複合材料を273Kから573Kまで加熱した際に生ずる熱応力と熱ひずみの解析を行った結果をFig. 6とFig. 7に示す。このモデルは8分の1モデルをワーキングプレーンによってさらに切断した図である。

Fig. 6に熱ひずみの解析結果を示す。粒状ほう酸アルミニウムの部分は、ひずみ量は非常に小さいが、アルミニウム合金部分では、母材と強化材の境界面付近のひずみが最も大きく、そこから外にかけて徐々にひずみ量が減少していた。また、原形図と比

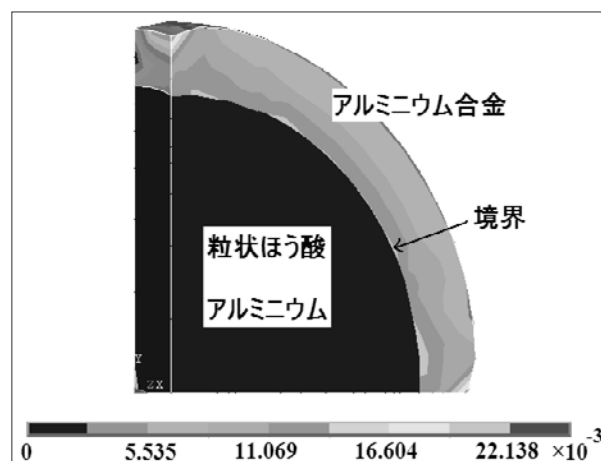


Fig. 6 The equivalent strain of the composites heated from 273K to 573K.

較すると、やはりアルミニウム合金部の方が大きく膨張変形していた。

Fig. 7は、熱応力の分布である。アルミニウム合金の境界面付近で熱応力は773MPaとなり、アルミニウム合金の降伏点275MPaを大きく上回っており、常温から573Kまでの加熱により塑性変形が起こることが予想された。したがってこの塑性変形が徐々に蓄積されることが、加熱冷却の繰り返しによって膨張していく原因のひとつであると考えられる。

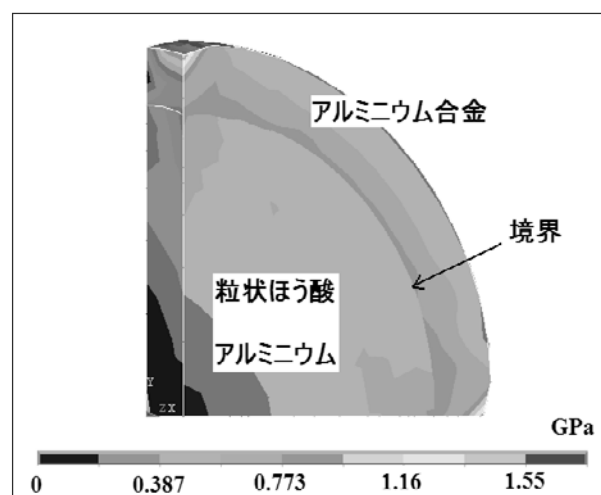


Fig. 7 The equivalent stress of the composites heated from 273K to 573K.

結 言

母材にA6061アルミニウム合金、強化材に粒状ほう酸アルミニウムを用いた複合材料を高圧鋳造法により作製し、繰り返し加熱冷却による熱の測

定を行った。その結果、以下の結果が得られた。

(1)良質なプリフォームを得るには、ポリアクリルアミドの配合量、超音波を付加した攪拌が重要な因子である。良好な複合材料の作製にはシリカゾルの添加量と、高圧鋳造の際の加圧力が重要な因子である。

(2)最高加熱温度 573K, 673K の場合、約 1000 サイクルまでは収縮し以降は膨張したが、773K の場合は繰り返しの初期から膨張した。

(3)粒状ほう酸アルミニウムを含むアルミニウム合金基複合材料は、針状ほう酸アルミニウムを含むアルミニウム合金基複合材料に比べ、熱膨張係数の異方性が小さいため、繰り返し加熱冷却を行なうと、熱ひずみが小さい。

(4)粒状ほう酸アルミニウムの結晶は、超微細なほう酸アルミニウムが集合した多結晶である。

(5)シミュレーション解析において、加熱により塑性変形することが予測された。

参考文献

- 1) 門間改三：大学基礎機械材料改訂版，実教出版株式会社，(1990)，163-171
- 2) 菅沼克昭，藤田輝昭，佐々木元，鈴木伸幸：軽金属，Vol. 41, No. 41, (1991)，270-271
- 3) 特許流通促進事業 NCIP：軽金属基複合材料，独立行政法人工業所有権総合情報館，(2004)
- 4) 四国化成工業株式会社：アルボライト技術資料，(1992)
- 5) 中藤雄介，中原弘明：津山工業高等専門学校卒業研究報告書，(2004)，8-9
- 6) Patterson W. G. and Taya M., Proc. ICCM-V, edited by W. C. Harrigan, Jr, et.al, TMS of AIME, (1985), 53-66

プール吸込事故に対して安全な渦室付排水管の研究開発

－流れ状態の変化に伴う吸引力の動的応答性の解析－

吉富秀樹* 田中秀和** 井上和宏**

Research and Development of a Safety Drainpipe with Vortex Chamber free from the Danger of getting caught in Pool Drain

- Analysis of the Dynamic Response of Suction Force caused by Change of Flow -

Hideki YOSHITOMI, Hidekazu TANAKA, Kazuhiro INOUE

In this study, a new drainpipe with vortex chamber was developed in order to free from the danger of getting caught in drain of swimming pool. The new drainpipe can control the suction force with the working of vortex flow. This paper deals with the dynamic response of suction force caused by the change of flow. At first, the dynamic responses are experimentally investigated by using small size drainpipe. Then a technical method based on the analogy between fluid-system and electric-circuit is described to predict the response of large drainpipe for practical use.

Key Words : Swimming Pool, Drain Pipe, Vortex Chamber, Suction Force, Dynamic Response

1. はじめに

近年、健康維持のための生涯スポーツとして水泳や水中ウォーキングが注目されており、各地に温水プールが設置され、幼児から高齢者や障害者まで多くの人が水中での運動を楽しんでいる。一方、プール水循環用の排水口へ遊泳者が吸い込まれる事故の可能性が指摘されており⁽¹⁾、最近においても女兒が流水プールの排水口に吸い込まれるという重大事故が発生した⁽²⁾。このような吸い込み事故は、何らかの人的ミスによって格子状の排水口カバーが外れることによって起こる。また、格子状の排水口カバーが付いていた状況においても、男児が排水口に張り付き動けなくなるという事故も発生している⁽³⁾。著者らは、このような排水口事故の危険性を以前より指摘し、万一排水口カバーが外れた場合でも、吸い込まれたり吸着されたりすることのない安全な排水管を提案している⁽⁴⁾。この排水管は、主要な構成要素として渦室を有していることから渦室付排水管と称している。また、この渦室付排水管は、流体素子の一種である渦型流体素子⁽⁵⁾の特性を応用したも

ので、機械的あるいは電氣的な可動部をいっさい持たず、流体自身の流れで吸引力を制御できることが特徴である。

これまでの研究において、提案する渦室付排水管の吸引力低減機能を実証するとともに⁽⁴⁾、形状パラメータが特性に及ぼす影響を明らかにして形状最適化を図り⁽⁶⁾、渦室付排水管内流れの理論モデルに基づく特性予測法を開発した⁽⁷⁾。本報では、渦室付排水管に吸着された時に、流れ状態が変化し、吸引力が弱まるまでの動的応答性について解析する。まず、渦室付排水管の小型モデルを用いて実験的に応答を計測する。そして、実験から得られた応答特性を解析し、流体システムと電気回路との数学的モデリングに関する相似性⁽⁸⁾から、寸法の大きい実機サイズ渦室付排水管の応答を推定する。また、応答時間と渦室充填時間との相関性の面からも実機サイズ渦室付排水管の応答時間の推定を試みる。

2. 渦室付排水管の特徴と吸引力の動的応答性の概念

2. 1 渦室付排水管の特徴

まず、従来から一般的に用いられている排水管の概念図を Fig.1(a)に示す。通常は、このように1本の排水管で水を吸引している。このため、プール底面の排水口に遊泳者が吸着されると、循環ポンプの吸

原稿受付 平成18年8月31日

* 機械工学科

** 専攻科 機械・制御システム工学専攻

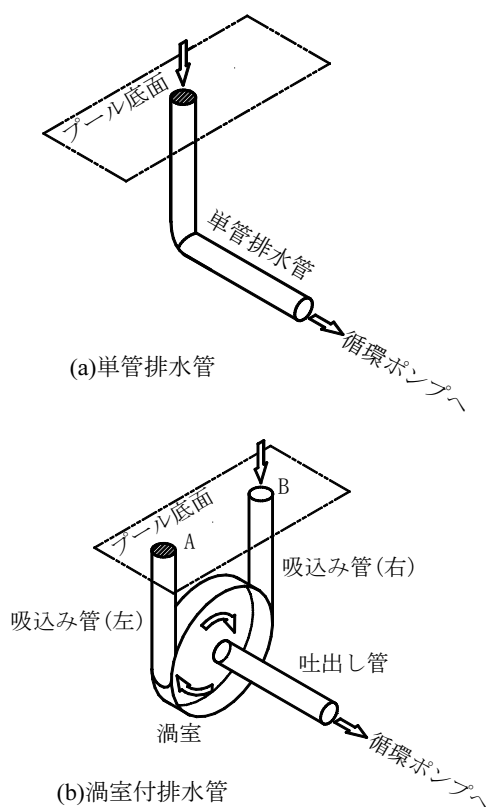


Fig.1 Diagram of drainpipe

引によって排水管内の圧力が真空に近い値まで低下し、その結果極めて大きな吸引力が作用する。この従来の排水管を単管排水管と呼ぶことにする。

一方、著者らが提案している渦室付排水管の概念図を Fig.1(b)に示す。薄い円筒状の渦室の外周に接線方向に取り付けられた左右2本の吸込み管がプール底面の2個の排水口 A、B につながっている。また、渦室中心に軸方向に取り付けられた吐出し管が循環用ポンプにつながる。通常は2本の吸込み管から同時に水が流入するが、もし一方の排水口 A に遊泳者が吸着されたら、もう一方の排水口 B から渦室へ流入する流れが強い渦巻き流れを発生する。この渦巻き流れによる遠心力場により渦室内は中心から外周に向かって強い圧力こう配が生じ、外周における圧力が上昇する。その結果、排水口 A の吸着部分の吸込み管内圧力も上昇し、吸着部の上面と下面の圧力差が減少する。この圧力差が小さくなれば吸引力は弱まり、遊泳者は吸着状態から離脱できる。

2. 2 流れ状態の変化に伴う吸引力の動的応答性の概念

渦室付排水管の2つの流れ状態を Fig.2 に示す。前述のように、通常は Fig.2(a)の流れ状態となっており、水は2本の吸込み管から同時に渦室内へ流入している。これを“通常流れ”と称すことにする。一方、排水口 A に遊泳者が吸着されると、Fig.2(b)のよ

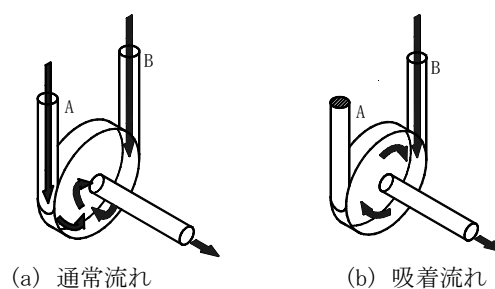


Fig.2 Flow pattern

うに水は排水口 B のみから流入し、渦室内で渦巻き流れとなる。これを“吸着流れ”と呼ぶことにする。

さて、本報の研究目的は、Fig.2(a)の通常流れ状態から Fig.2(b)の吸着流れ状態に切り換った瞬間における吸引力の過渡応答を解析することである。すなわち、排水口 A に遊泳者が吸着されたとき、渦室内に渦巻き流れが形成され、その旋回流れの効果によって吸引力が弱まるまでの応答を調べる。ここで、吸引力そのものの応答を直接計測することは難しいが、吸引力は吸着部の上面と下面の差圧に排水口面積を乗じたもので評価できるので、差圧変化を計測すればよい。また、吸着部の上面圧力はプールの水圧であり、これは一定と考えてよいから、結局、吸引力の応答を評価するためには吸着された側の吸込み管内の圧力変化を計測すればよいことになる。

3. 実験装置

3. 1 渦室付排水管の実験用小型モデル

実験で使用した渦室付排水管の小型モデルは、既報⁽⁶⁾で得られた最適形状を採用しており、主要寸法は、吸込み管径は左右共に 13mm、渦室直径は 120mm、渦室厚みが 13mm、そして吐出し管径が 26.2mm となっている。

3. 2 実験装置および実験方法

実験装置の構成を Fig.3 に示す。試験水槽⑧はプールに相当しており、水槽の底部に供試排水管①を取り付けている。供試排水管までの水位は、遊泳用プールのほぼ平均的水深である 1.2 m に設定してある。また、実際のプールで吸い込み事故が問題となるのは、循環ろ過用ポンプや起流ポンプで吸引されている排水口であるので、本実験装置も循環ポンプ④による強制吸引方式としている。循環ポンプは小型マグネットポンプを使用しており、その主な仕様は、最高揚程 9.7m、最大吐出し量 97L/min、定格出力 180W である。また、吸着流れを実現するため、排水口を塞ぐ手段として吸込み管に電磁弁②を取り付けている。電磁弁は、口径 3/4 インチの差圧ゼロ作動タイプのものを使用している。吸い込み管内の圧力変化は圧力センサ③で計測する。なお、電磁弁

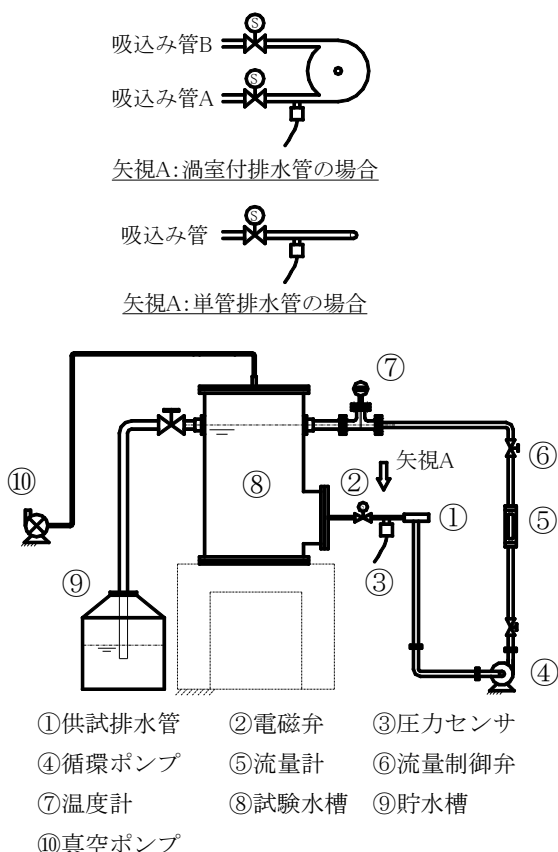


Fig.3 Experimental apparatus

は、Fig.3の“矢視A：渦室付排水管の場合”に示すように、両方の吸込み管に取り付けているが、実験では吸着される側を吸込み管Aとしたので、圧力センサは吸込み管A側のみに取り付けられている。

また、比較のために単管排水管についても実験した。このときは、試験水槽⑧から循環ポンプ④まで1本の管でつなぎ、Fig.3の“矢視A：単管排水管の場合”に示すように、渦室付排水管の場合と同様に電磁弁を設置した。

3.3 計測装置

計測装置の構成をFig.4に示す。圧力センサからの信号は、動ひずみアンプおよびセンサインターフェースを介してパソコンへ取り込んでいる。また、動ひずみアンプの出力はオシロスコープでも観察できるようにしている。動ひずみアンプのフィルターは100Hzに設定し、データのサンプリング周波数は

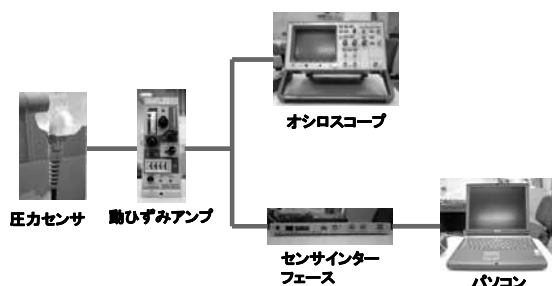


Fig.4 Metrological system

2kHzである。これらの計測器の主な仕様をTable 1に示す。

Table 1 Specification of the metrological system

圧力センサ	形式	ひずみゲージ式
	測定範囲	-98～500kPa [gage]
動ひずみアンプ	固有振動数	約19kHz
	周波数特性	DC～25kHz
センサインターフェース	フィルター設定値	100Hz
	応答周波数	DC～1kHz
センサインターフェース	サンプリング周波数	2kHz
	周波数	

3.4 実験方法

まず実験に先立ち、Fig.3の真空ポンプ⑩によってタンクおよび配管内を真空にし、水中に含まれている気泡をできるだけ取り除いた。実験方法は、まず電磁弁を開放し、循環ポンプを運転して通常流れ状態にしておき、計測を開始した後に任意のタイミングでFig.3の電磁弁②を閉じ、吸込み管内の圧力変動を計測した。なお、渦室付排水管の場合は、前述のように吸着される側を吸込み管Aとしたので、吸込み管A側の電磁弁のみを閉鎖した。

4. 実験結果

4.1 単管排水管の圧力応答

電磁弁を急閉した時の単管排水管の典型的な圧力応答をFig.5に示す。これは、通常流れ状態の流量 Q_n が20L/minのときの応答である。図中に示した V_{sn} は吸込み管内流速である。グラフ横軸の時間にして0.8秒付近で電磁弁が閉まり始めている。この時、電磁弁が閉まることで管の入口が閉塞されることになるが、循環ポンプは運転したままであるから管内の圧力が急低下する。Fig.5では、約-80kPa[gage]

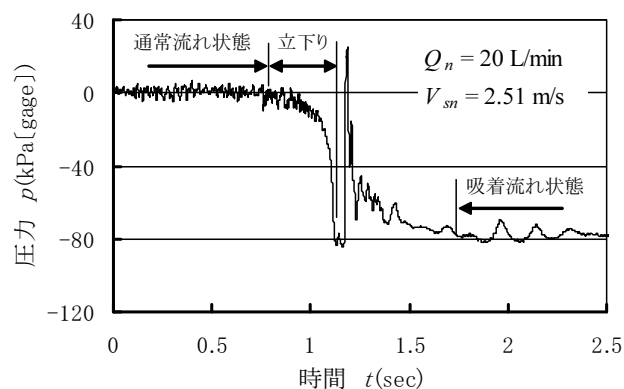


Fig.5 Pressure response of single pipe drain

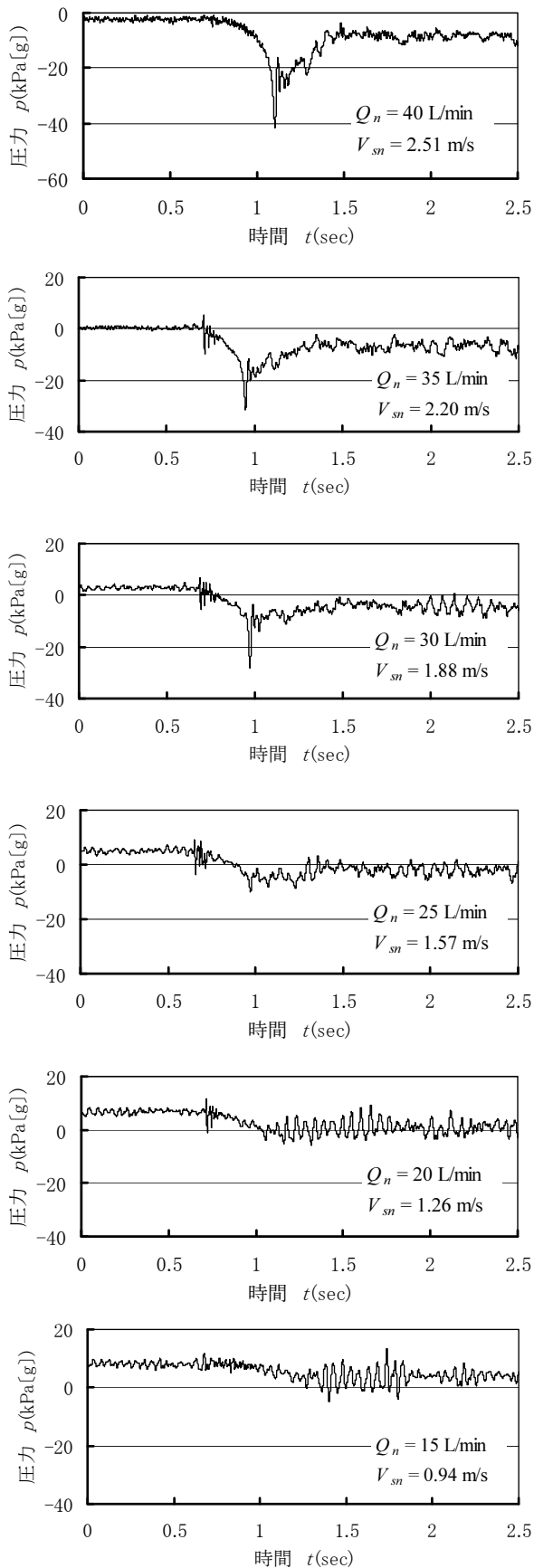


Fig.6 Pressure response of the vortex drain

まで圧力が下がっている。これを立下り応答と呼ぶことにする。このとき、実際に人間が吸着された場

合であれば、強く吸い込まれることになる。そして、1.1秒付近で圧力が変動しているが、これは水撃現象が起きているためと考えられる。その後、水撃がおさまり圧力は-80kPa [gage] でほぼ一定の状態を保っている。このとき遊泳者は、強い吸引力で吸着されており、脱出することができない状態である。ここで、参考までに、吸込み管内圧力 p が -80kPa [gage] の時の吸引力を試算してみる。例えば、水深 h が 1.2m において排水口径 d_s が 200mm とし、吸引力 F を次式より算出すると、

$$F = \frac{\pi}{4} d_s^2 (\rho g h - p) \quad \text{-----(1)}$$

F は 2.9kN (296kgf) となり、児童の力ではとうてい脱出できるものではないことが分かる。なお、式(1)の ρ は水の密度、 g は重力加速度である。

4. 2 渦室付排水管の圧力応答

渦室付排水管の圧力応答を Fig.6 に示す。これは、通常流れ状態の流量 Q_n を 40L/min から 15L/min まで段階的に変化させて圧力応答を計測したものである。比較的高流量のときに渦室付排水管の典型的な圧力応答が認められるので、流量 Q_n が 40L/min のときの応答を Fig.7 に掲示し、この図の応答について考察する。

Fig.7 の圧力応答は次のように考察される。まず、横軸の時間において約 0.7 秒の時に電磁弁が閉まり始めている。この時、電磁弁が閉まることで吸込み管 A の入口が閉塞されることになるが、循環ポンプは運転したままであるから吸込み管内の圧力が低下する。Fig.7 では、約 -40kPa [gage] の最低到達圧力まで下がっている。Fig.5 の単管排水管の場合と同様に、通常流れ状態の圧力から最低到達圧力までの圧力降下を“立下り応答”と称することにする。そして、最低到達圧力になった後は、圧力が上昇して行くのが確認できる。これは、前述のように、渦室

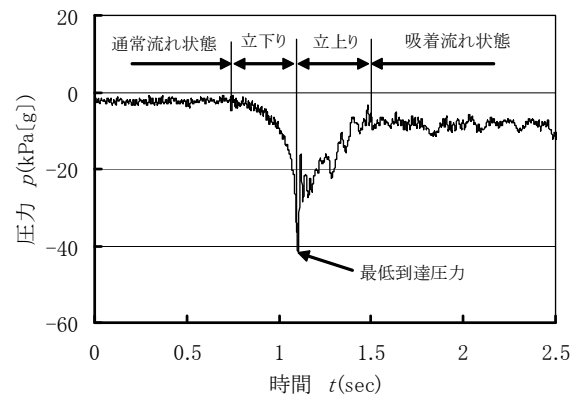


Fig.7 Typical pressure response($Q_n=40$ L/min)

内に渦巻き流れが形成されるに伴い、旋回流れの効果によって圧力が上昇しているためである。このように圧力が上昇することは、従来の単管排水管にはない現象であり、渦室付排水管の典型的な特徴である。なお、圧力が上昇して行く部分を“立上り応答”と呼ぶことにする。その後、定常な渦巻き流れが形成されると圧力がほぼ一定となる吸着流れ状態となるが、圧力レベルは Fig.5 の単管排水管の場合に比べて高い値となっており、吸引力が弱まっていることが分かる。

なお、Fig.6 を見ると、流量 Q_n が小さい場合には立下り応答と立上り応答は顕著には現れないが、定常な吸着流れ状態になった後の圧力レベルはいずれも高い値となっており問題ない。

4. 3 応答時間と最低到達圧力の考察

本節では渦室付排水管について、応答時間と最低到達圧力について考察する。

(1) 立下り応答時間

Fig.6 に示すように通常流れ状態の流量 Q_n を変化させて実験したが、立下り応答時間は 0.2～0.4 秒であった。また、Fig.5 の単管排水管の場合も立下り応答時間は約 0.3 秒であった。この応答時間は電磁弁の作動時間によるものである。つまり、電磁弁の作動時間はメーカーによると 0.3 秒程度とのことであるから、立下り応答時間は電磁弁が開放状態から閉鎖状態に移る作動時間と考えられる。また、Fig.5 に見られる水撃による圧力変動が立下り応答の直後に起こっていることから、立下り応答時間は電磁弁の作動時間と考えるのが妥当である。

(2) 最低到達圧力

最低到達圧力があまり低いと、吸着された瞬間に強く吸い込まれることになるので、この圧力レベルについて考察しておく。実験で得られた最低到達圧力を Fig.8 に示す。流量が増えれば最低到達圧力が低下している。これは、流量が多いほど配管内の流体の慣性効果が大きいので、管路を急閉したときの圧力降下も大きくなると考えられる。なお、Fig.8 に示した破線は、吸着流れ状態における吐出し管内圧力を示したものである。最低到達圧力と吸着流れ状態における吐出し管内圧力は同様の傾向を示していることが認められる。この相関関係の詳細な解析はここではしないが、過渡現象である最低到達圧力が、定常現象である吸着流れ状態の吐出し管内圧力の値からある程度予測可能であることが分かる。

(3) 立上り応答時間

立上り応答時間を Fig.9 に示す。この応答時間が、吸着されてから吸引力が弱まるまでの時間に相当し、本研究の重要なポイントである。Fig.9 を見る

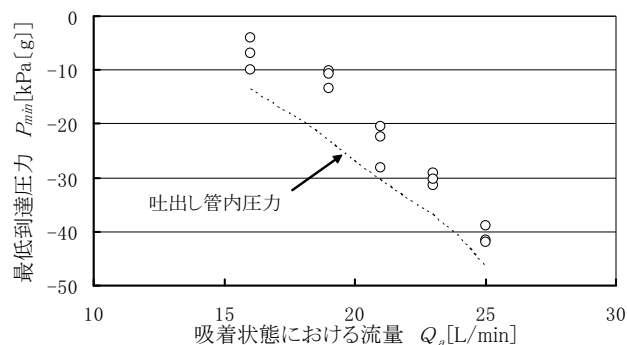


Fig.8 Minimum pressure in response

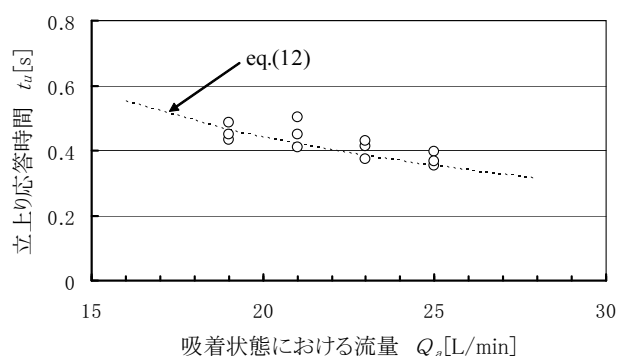


Fig.9 Pressure rise response time

と、応答時間は 0.35～0.5 秒程度の値となっており、図の右方すなわち流量が多い方が応答時間は若干短くなる傾向である。なお、図中の破線については 5.2 項で述べる。

さて、この実験では小型モデルを用いているため応答時間は短く 1 秒以内の値となっているが、この応答時間が寸法の大きい実機サイズ渦室付排水管でどうなるかを求める必要がある。つまり、実機の応答時間が長いようであれば、実際の吸い込み事故のときに、吸着されてから吸引力が弱まるまで息が続かないことになり実用上問題となる。そこで、本実験の小型モデルの応答結果から実機サイズ渦室付排水管の応答時間を推定する方法を次節で示す。

5. 実機サイズ渦室付排水管の応答時間の推定

実機サイズ渦室付排水管の立上り応答時間を求めるには、実規模試験を行うか、あるいは詳細な数値シミュレーションによって解析するのが望ましい。しかし、ここでは簡易的方法として、小型モデル実験で得られた結果から実機の応答を推定する方法について検討する。本節で検討した推定方法は以下の 2 つである。

- i) 電気回路の過渡応答を利用した推定
- ii) 渦室充填時間との相関性に基づく推定

それぞれの推定方法を以下に示す。

5. 1 電気回路の過渡応答を利用した推定

(1) 流体システムと電気回路の相似性の解析

流体システムは非線形特性を持っているが、動作範囲が小さい場合には線形と考えてよい場合があり、線形と考えると数学的モデリングにおいて電気回路との相似性が成り立つことが知られている⁽⁸⁾。この相似性を利用すれば、流体の圧力応答を電気回路の電圧応答として解析できる⁽⁹⁾。簡単な管路とタンクからなる流体システムは、電気回路のRLC回路と相似性がある⁽¹⁰⁾。そこで、Fig.10に示すように、Fig.10(a)の渦室付排水管をFig.10(b)の電気回路で模擬する。Fig.10(a)において P_i は入口圧力、 P_r は渦室外周部の圧力である。また、渦室外周部の圧力と閉塞された吸込み管内の圧力は等しいものとする。したがって、圧力 P_r は吸込み管内圧力ともなっている。Fig.10(b)の P_i と P_r はFig.10(a)の圧力に対応した電圧であり、電流 i は流量、抵抗 R_1 は吸込み管の流動抵抗、キャパシタンス C は渦室容積に起因する渦形成にかかる遅れ要素と考える。抵抗 R_2 は、渦室外周から中心部の吐出し管までの流動抵抗である。

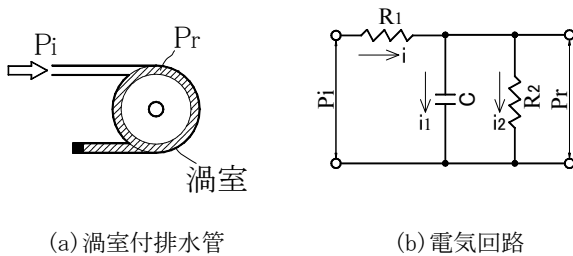


Fig.10 Analogy between drain and electric circuit

また、ここで解析する圧力応答は電磁弁が完全に閉まってからの立上り応答であるから、Fig.7においては最低到達圧力からの立上り部分の過渡応答に相当する。よって、解析を簡単化するため、圧力は最低到達圧力を基準レベル(零レベル)として考える。そうすると、Fig.10(b)の電気回路の基礎式は次のようになる。

$$P_i(t) = R_1 i(t) + P_r(t) \quad \text{-----}(2)$$

$$i(t) = i_1(t) + i_2(t) \quad \text{-----}(3)$$

$$P_r(t) = \frac{1}{C} \int i_1(t) dt \quad \text{-----}(4)$$

$$P_r(t) = R_2 i_2(t) \quad \text{-----}(5)$$

ここで、入力電圧は大きさ P_i の電圧がステップ状に入るとする。式(2)~(5)をラプラス変換し、出力電圧 P_r について解いた形にすると

$$P_r(s) = \frac{R_2}{\left(1 + \frac{R_1 R_2 C}{R_1 + R_2} s\right) s} P_i \quad \text{-----}(6)$$

となる。よって、過渡応答の時定数 T は、

$$T = \frac{R_1 R_2 C}{R_1 + R_2} \quad \text{-----}(7)$$

となる。十分時間が経った後の定常値は、ラプラス変換の最終値の定理より

$$P_r(\infty) = \lim_{s \rightarrow 0} s P_r(s) = \frac{R_2}{R_1 + R_2} P_i \quad \text{----}(8)$$

となり、入力電圧 P_i が抵抗 R_1 と R_2 によって配分された形となる。式(6)を展開定理により展開し、ラプラス逆変換すると出力電圧 P_r は、

$$P_r(t) = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2 C} t\right) \right\} P_i \quad (9)$$

となる。

ここで、Fig.7の立上り応答の部分を上記の電気回路の過渡応答として解析してみる。流動抵抗 R_1 、 R_2 は実験データの流量と各部圧力より求められる。一方、キャパシタンス C と時定数 T の間には式(7)の関係があるので、Fig.7の立上り応答のデータより時定数 T を求め、その値を式(7)に代入してキャパシタンス C を導出した。

Table 2 Characteristic values of the electric circuit

抵抗係数 R_1	4.781×10^4	kPa/(m ³ /s)
抵抗係数 R_2	7.699×10^4	kPa/(m ³ /s)
時定数 T	0.13	s
キャパシタンス C	4.408×10^{-6}	m ³ /kPa

このようにして求めた特性値をTable 2に示す。圧力応答の計算は、Table 2の値を式(9)へ代入して出力電圧 P_r を計算し、最低到達圧力-40kPa [gage]だけバイアス圧力があるとして、吸い込み管内圧力 P [kPa [gage]]を

$$P(t) = P_r(t) - 40 \quad \text{-----}(10)$$

より求める。

Fig.7の立上り応答の部分について、式(10)より得ら

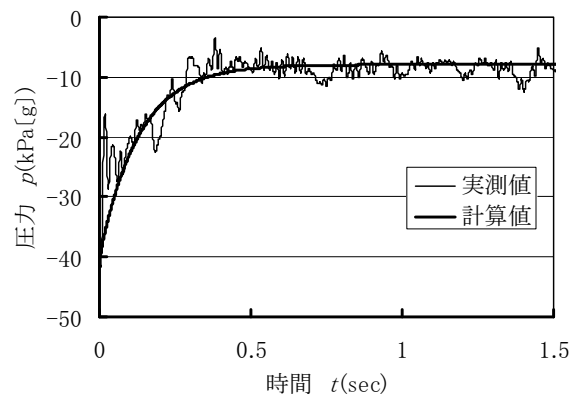


Fig.11 Pressure rise response($Q_n=40$ L/min)

れた計算値と実験値を比較すると Fig.11 が得られる。Fig.11 を見ると、計算値と実験値はよく合っていることが分かる。

(2)実機サイズ渦室付排水管の立上り応答の推定

渦室付排水管の実機の大きさは一概には言えないが、一般的な単管排水管の直径は 100mm～300mm 程度のものが多いので、管路の直径を平均的な値である 200mm に設定する。渦室付排水管の場合、吸込み管は 2 本あるが吐出し管は 1 本であるので、吐出し管径が 200mm になるように小型モデルの各部寸法を相似に拡大する。そうすると、吸込み管径は約 100mm となる。そこで、吸込み管径 100mm のものを実機サイズ渦室付排水管の代表例として応答を推定することにする。実験で使用した小型モデルの吸込み管径は 13mm であったので、寸法比 k は、

$$k = \frac{d_s}{d_{s-model}} = \frac{100}{13} = 7.7 \quad \text{-----}(11)$$

である。

小型モデル実験から実機サイズの応答を検討する場合、流量は当然異なるから、吸込み管内流速が等しい条件で解析するのが妥当である。そこで、Table 2 の各要素の値を寸法比 k で次のように修正して計算する。すなわち、抵抗係数は、通路面積が大きくなるので、寸法比の自乗に比例して減少させる。キャパシタンスは、体積に起因する値であるから、寸法比の 3 乗に比例して増やす。

このようにして換算した各要素の数値を式(9)に代入して実機の圧力応答を計算し、小型モデルと比較すると Fig.12 が得られる。圧力応答の最終値の 98% に達するまでの応答時間は、小型モデルの 0.4 秒に対し、実機サイズでは約 4 秒となっている。つまり、吸込み管径が 100mm の実機サイズ渦室付排水管では遊泳者が吸い込まれたら 4 秒程度で吸引力が弱まるものと推定される。この程度の時間で応答すれば、水中でも息が続くものであり、実用上問題ないものと考えられる。

5. 2 渦室充填時間との相関性に基づく推定

(1)立上り応答時間と渦室充填時間の相関性の解析

Fig.2 において、排水口 A に遊泳者が吸着された後、渦室内に定常な渦巻き流れが形成されるまでの時間が立上り応答時間に相当するわけであるが、この応答時間は、渦室内の水が排水口 B から新たに流入する水で入れ代わるまでの時間と何らかの相関性があるのではないかという仮説を立てた。この水が入れ代わるまでの時間を渦室充填時間 t_f と称し、次式で求める。

$$t_f = \frac{W}{\frac{\pi}{4} d_s^2 V_{as}} \quad \text{-----}(12)$$

ここに、 W は渦室容積[m³]、 d_s は吸込み管径[m]、 V_{as}

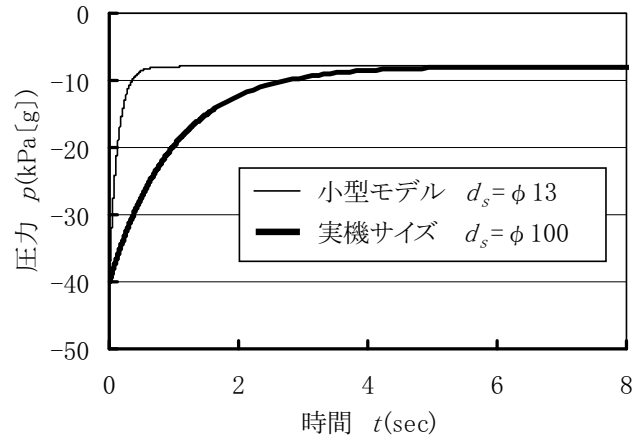


Fig.12 Pressure response estimation of practical drain

は吸着流れ状態の吸込み管内流速[m/s]である。

本研究で実施した小型モデル実験について、渦室充填時間を式(12)で計算し、その結果を Fig.9 に破線で示し相関性を調べた。Fig.9 を見ると、渦室充填時間と立上り応答時間は非常によい相関性が認められ、ほぼ一致している。

(2)渦室充填時間による実機サイズ渦室付排水管の立上り応答時間の推定

ここで、実機サイズ渦室付排水管の立上り応答時間を式(12)で推定するわけであるが、式(12)を適用するにおいて、吸込み管内流速 V_{as} を Fig.7 の実験条件に合わせると、吸着流れ状態の流量 Q_a は 25L/min であったので、流速 V_{as} は 3.14m/s となる。この流速における小型モデルのレイノルズ数 Re は、レイノルズ数を吸込み管で定義すると、 $Re = V_{as} d_s / \nu \approx 40000$ (ν は水の動粘度) となり、発達した乱流となっている。吸込み管径が 100mm の実機サイズ渦室付排水管の流れも $Re \approx 300000$ で発達した乱流であり、小型モデルと流れの様相が大きく異なることはないと考えられる。このことより、式(12)によって実機の立上り応答時間を推定できるものと言えよう。そこで、渦室付排水管の寸法を相似に変化させ、立上り応答時間を推定した結果を Fig.13 に示す。

Fig.13 を見ると、吸込み管径 100mm のとき、立上り

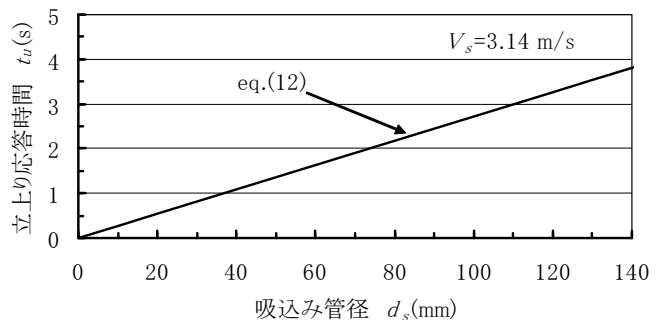


Fig.13 Estimation of response time

応答時間は約2.7秒となっている。この2.7秒という値は、5.1-(2)項で示した約4秒という値と少し異なるが、この4秒という値はFig.12において最終値の98%に達するまでの時間であった。しかし、Fig.12において最終値の95%に達するまでの時間を求めると、ちょうど2.7秒になるのである。Fig.12の応答曲線において、最終値の95%から98%の部分は漸近した領域であり、どちらをしきい値としても圧力レベルに大差ない。したがって、5.2-(2)項で得た結果は、5.1-(2)項における推定結果と矛盾するものではないと考える。

6. まとめ

本報では、プール吸込事故を根本的に防ぐ方法として著者らが提案している渦室付排水管について、この渦室付排水管に吸着された時に、流れ状態が変化し、吸引力が弱まるまでの動的応答性について検討した。

まず、吸込み管径13mmの小型モデルを用いて実験的に応答を解析した。その結果、吸着されてから吸引力が弱まるまでの応答時間は約0.4秒であることが分かった。

次に、この小型モデル実験の応答特性を解析し、寸法の大きい実機サイズ渦室付排水管の応答を推定した。その推定方法は、まず流体システムと電気回路との数学的モデリングに関する相似性を検討し、渦室付排水管の圧力応答を簡単な電気回路の電圧応答として解析できることを示し、電気回路の応答から実機サイズ渦室付排水管の応答を推定した。また、応答時間と渦室充填時間との間に良好な相関

性があることを示し、渦室充填時間から実機サイズ渦室付排水管の応答時間を推定する方法についても述べた。

これらの推定方法を用いて、小型モデルと相似形状で吸込み管径が100mmの渦室付排水管について応答時間を計算したところ、電気回路の方法では約4秒、渦室充填時間による方法では約2.7秒という値が得られた。これらの結果より、実機サイズ渦室付排水管の応答時間は数秒以内と推定され、この程度の時間で応答すれば水中で吸着されても吸引力が弱まるまで息が続くものであり、実用上問題ないものと考えられる。

参考文献

- 1) 例えば、<http://www.jp-taikushisetsu.or.jp/links/pool.html>
- 2) 例えば、朝日新聞記事、2006年8月1日発行版第1面
- 3) <http://www.yomiuri.co.jp/national/news/20060805i303.htm>
- 4) 吉富秀樹、佐藤紳二、小原涼：空気調和・衛生工学会論文集、No.85(2002)、pp.31～39
- 5) 尾崎省太郎、原美明：純流体素子入門、日刊工業新聞社、(1967)、pp.34～37
- 6) 吉富秀樹：空気調和・衛生工学会平成15年度学術講演会講演論文集、(2003)、pp.805～808
- 7) 吉富秀樹：空気調和・衛生工学会平成17年度学術講演会講演論文集、(2005)、pp.777～780
- 8) 増渕正美：システムのモデリング、計測と制御、Vol.45、No.1(2006)、pp.2～7
- 9) 田中豊、五福明夫、中村圭司：日本機械学会論文集(C編)、Vol.64、No.621(1998)、pp.1743～1748
- 10) 吉田鎌一：フルイディクスの使い方・作り方、オーム社、(1972)、pp.60～61

視線を用いたロボット操作システムの開発と評価

柚 本 夏 輝 * 林 田 泰 明 ** 井 上 浩 行 ***

Development and Estimation for Robot Operation System Using Human Gaze Information

Natsuki Yumoto, Yasuaki Hayashida and Hiroyuki Inoue

This paper proposes the eye-gaze input interface of a life support robot that is useful for improving the quality of life for the elderly and handicapped persons. This interface is easier to use for the heavily crippled persons. In this paper, the robot operation system including the proposed eye-gaze input interface is used to carry out the positioning task. The experimental results prove that proposed eye-gaze input interface is effective robot operation device for the crippled persons.

Key Words : medical and welfare assistance , eye-gaze input interface , positioning

1. 結 言

近年、高齢化が進み高齢者や障害者が増加する一方で、少子化も進んでいる。そのため、将来的には介護者が不足し、要介護者に対して十分な介護や生活支援がなされなくなる恐れがある。また、核家族化も進んでおり、高齢者や障害者が介護してくれる家族と離れて生活している場合もある。そこで、このような問題を解決する一つの手段として、高齢者や障害者の自立を支援する機器やロボットの実用化が期待されている。これらは、高齢者や障害者の使用を対象としているため、操作用のインタフェースは使用者の残存能力に合わせたものでなければならない。また、操作が単純で使用者にわかりやすいことも重要である。

小林ら¹⁾は、ロボットアームと皿の両方を動作させることによって食べ物を確実に把持する食事支援ロボットシステムを提案している。使用者はタッチセンサにより動作指示を行い皿の選択などを行うが、食べ物を口元に運ぶロボットアームの軌道は一定である。高橋ら²⁾は、使用者がホームロボットをレーザポインタや音声を用いて操作するシステム

を提案している。ロボットに汎用的な作業を行わせるには、使用者がレーザポインタ、ジョイスティックまたは音声などにより操作するのが一般的である。しかし、筋ジストロフィーや筋萎縮性側索硬化症などの重度肢体不自由者においては操作が困難である。そのため、久野ら³⁾は眼球運動を角膜網膜電位の変動として測定する視線インタフェースを提案している。落合ら⁴⁾は、モニタ上に配置された文字を注視して文字を入力する装置を試作している。しかし、視線により文字を入力する方式ではキーボード入力に比べて約9倍の時間がかかるため、操作性の観点からロボット操作には適さない。

本論文では、比較的障害が残りにくい眼球運動（視線）に注目し、視線でロボットを操作するシステムを構築する。視線でメニューやアイコンを選択する方式では、使用者が注視に費やす負担が大きく疲労の原因となるため、視線の動きに基づいてロボットの目標速度を生成する視線インタフェースを提案する。そして、提案する視線インタフェースの有効性を確認するため、視線入力とジョイスティック入力によりロボットの位置決め作業を行い、操作時間と位置決め精度から操作性を評価する。

2. 視線方向の検出

2.1 眼球の構造

眼球は直径約 24mm の球状構造物である。眼球の壁は3層の膜からできており、外側にあるのが硬

原稿受付 平成 18 年 8 月 31 日

* 阪神輸送機（株）

** 機械・制御システム工学専攻

*** 機械工学科

く強靱な外膜で、眼球を保護し一定の内圧によって眼球を球状に保っている。外膜の後部 5/6 は白色不透明の強膜で、前部の 1/6 は無色透明の角膜である。角膜には血管はないが知覚神経の終末がきており、角膜反射（角膜に触れると瞬きする反射）の受容器となっている。

2.2 眼球角度の測定

視線方向の検出については、眼球はその中心がほぼ固定された回転運動を行うため⁵⁾、何らかの方法で眼球運動（眼球角度）を測定すればよい。そこで、本研究では強膜反射法を用いたゴーグル式の眼球運動測定装置（竹井機器工業製）を用いる。

強膜反射法による眼球運動の測定原理を Fig.1 に示す。この方法は、眼球の白目（強膜）と黒目（角膜）の境界で反射率が異なることを利用したもので、黒目をはさんで2個の受光素子と中央に発光素子を配置する。発光素子からは微弱な赤外線が白目と黒目の境界に照射され、その反射光量を受光素子を用いて電圧に変換する。座標系を Fig.2 に示すように設定すると、眼球角度はピッチ角 β とヨー角 α として検出される。使用者がゴーグルを装着した様子を Fig.3 に示す。ゴーグルの右側に受光素子と発光素子が配置されており、右目の眼球角度を測定する。

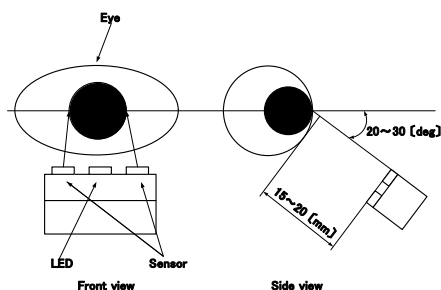


Fig.1 Limbus tracking

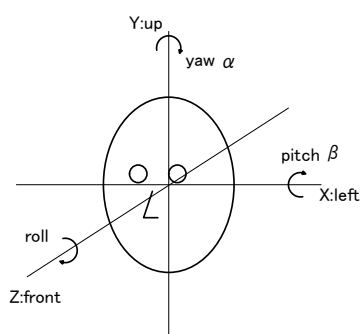


Fig.2 Definition of coordinate system

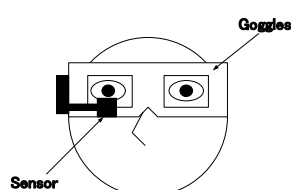


Fig.3 View of goggles

3. 視線インタフェース

3.1 概念

高齢者や障害者の自立を支援するロボットとしては、食事支援のように手の代わりや使用者に代わって遠くの物を動かしたりといった作業が考えられる。このようにロボットを生活環境に導入するためには、使用者の安全性と操作性の両方を考慮しなければならない。人間はロボットの速度ピーク位置や最大速度から心理的な影響を受けることが知られている⁶⁾。そのため、使用者がロボット動作中に恐怖や不快を感じないようにしなければならない。しかし、安全性を重視するあまりにロボットの動作速度を遅くすると作業に時間がかかってしまい、操作性が低下する。このように、ロボットの動作速度が安全性や操作性に及ぼす影響が大きい。

そこで、本研究では視線でメニューやアイコンを選択して予め設定されている目標速度を生成するのではなく、リアルタイムに測定される視線方向から目標速度を生成する。ロボットに行わせる作業としては、グラスやカップなどの軽量物を把持して初期位置から目標位置まで移動させることを考える。使用者がロボットを操作する手順を考えると、まず確認のために初期位置を見た後に目標位置を見るのが自然である。そこで、目標位置を注視することで大局的に目標位置近傍までロボットを移動させ、続いて視線方向を意図的に調節することでロボットを目標位置に停止させる。このように、自然に行われる視線移動を活用することで操作が直感的にわかりやすくなり、使用者の負担も軽減できる。

3.2 機能

安全性と操作性の観点から、ロボット操作の視線インタフェースに要求される機能としては、

- (i) 最大速度による迅速な移動
 - (ii) 滑らかな速度変化と正確な位置決め
- である。

提案する視線インタフェースについて説明する。まず、Fig.4 に示すように座標系を設定し、眼球の中心から距離 L の二次元平面上で、眼球の回転角度を 45° として視野を円で近似する。視線方向が貫く点を注視位置 $P(p_x, p_y)$ とすると、次式で表される。

$$\begin{aligned} p_x &= L \tan \alpha \\ p_y &= L \tan \beta \end{aligned} \quad (1)$$

ここで、 L がロボットまでの距離であれば、使用者は目標位置を注視することで移動距離 p_x , p_y を指示することができるため、眼球角度を測定することで移動距離を把握することができる。そこで、自然な視線移動からロボットの目標速度を定量的に生成す

るため、注視位置 $P(p_x, p_y)$ に基づいてロボットの目標速度 $v_d(v_{dx}, v_{dy})$ を生成する．ここで注意しなければならないのが、使用者からロボットまでの距離である．Fig.5 に示すように、同じ視線方向であってもロボットまでの距離の違いにより AB 間、CD 間の移動距離は異なる．このため、視線方向からロボットの目標速度を生成するためには、使用者から移動させる対象物を把持しているロボットまでの距離情報をシステムに与える必要がある．なお、ロボットの作業領域は鉛直平面内とする．

3.3 目標速度の生成

上述した2つの機能を実現するために、使用者が行う操作を移動操作と位置決め操作に分ける。移動操作とは、使用者が恐怖などを感じない速度でロボットを大局的に移動させる操作であり、位置決め操作とは目標位置にロボットを停止させるための操作である。

まず，移動操作におけるロボットの目標速度は次式で与える。

$$\begin{aligned} v_{dx} &= a_{ep} p_x \\ v_{dy} &= a_{ep} p_y \end{aligned} \quad (2)$$

v_{dx} , v_{dy} はロボットの目標速度, a_{ep} は定数である. 式(2)より, 目標速度は移動距離に比例しており,

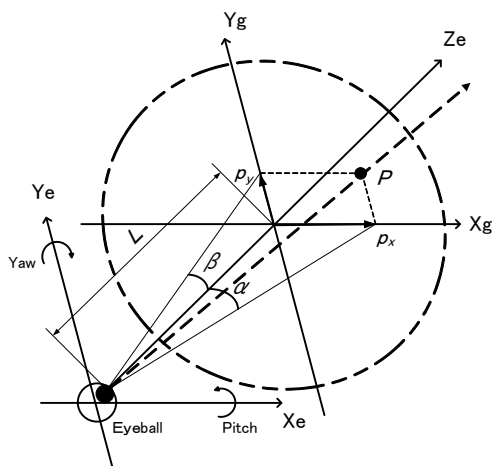


Fig. 4 Coordinate system in gaze direction

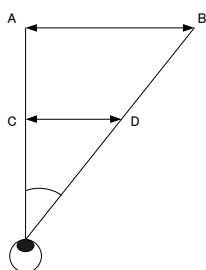


Fig.5 Relationship between position of robot and eye direction

定数 a_{en} により最大速度を設定する.

次に，位置決め操作におけるロボットの目標速度は次式で与える．

$$\begin{aligned} v_{dx} &= a_{ed} \frac{dp_x}{dt} \\ v_{dy} &= a_{ed} \frac{dp_y}{dt} \end{aligned} \quad (3)$$

a_{ed} は定数である．式(3)より，使用者は一点を注視することで $v_{dx}=0$, $v_{dy}=0$ となり，ロボットを停止させることができる．これより，式(2)はロボットを大局的に移動させる粗動モード，式(3)は位置決めのために微調整を行う微動モードとする．

使用者はロボットを目標位置まで移動させるため、移動状況に応じて視線により両モードを円滑に切換えながら目標速度を生成しなければならない．そこで、粗動モードと微動モードを切換える方法としてモード切換変数 s を導入し、両モードを組み合わせたものを式(4)に示す．

$$\begin{aligned} v_{dx} &= a_{ep} p_x s + a_{ed} \frac{dp_x}{dt} (1-s) \\ v_{dy} &= a_{ep} p_y s + a_{ed} \frac{dp_y}{dt} (1-s) \end{aligned} \quad (4)$$

モード切換変数 s は零から 1 の実数であり，モード切換えにより生じる急激な速度変化を防止するとともに，滑らかな速度変化を実現するために用いる．モード切換変数が 1 のとき粗動モード，零のとき微動モード，零と 1 の間であれば両モードによりロボットの目標速度が生成される．

3.4 暖きへの対応

眼球運動は速い眼球運動と遅い眼球運動に大別することができる。特に、粗動モードにおいてはサッケード運動という高速の跳躍的な運動が行われる。また、瞬きを操作のための視線移動として認識しないように対処する必要がある。

本研究では眼球運動の特徴を抽出するため、式(5)で表される **Waveform Length(WL)** により処理した値が、あるしきい値より大きければ注視位置を変更するためのサッケード運動または瞬きと判断し、しきい値より小さければ視線により操作がなされていると判断する。

$$WL = \sum_{k=1}^n |x_k - x_{k-1}| \quad (5)$$

ここで、 x_k は k 番目の眼球角度、 n はセグメントのサンプル数である。本インタフェースでは $n=40$ とした。 WL の値がしきい値より大きければ、1 サンプル前の眼球角度を保持する。

4. 実験システム

4.1 ロボットの概要

実験に用いた直交型ロボットの概形を Fig.6 に示す。これは、ストローク 300mm, リード 6mm のボールねじ駆動方式の直動スライドテーブルを直交させたものであり、DC サーボモータによって駆動される。評価実験で使用するジョイスティックは2自由度で可動範囲は $\pm 15^\circ$ である。作業座標系は Fig.6 に示すように設定する。

4.2 制御システム

制御システムの構成を Fig.7 に示す。眼球運動測定装置によって検出された眼球角度に相当する電圧は、A/D 変換ボードを介してコンピュータへ送られる。スライドテーブルの位置はロータリエンコーダによって検出され、カウンタボードを介してコンピュータへ送られる。コンピュータ内で制御則に基づいて計算された制御信号は、D/A 変換ボードを介して DC サーボモータのドライバに送られ、スライドテーブルが駆動する。制御プログラムは C 言語によって記述され、サンプリングタイムは 0.59ms である。

なお、評価実験で用いるジョイスティックの傾きはロータリエンコーダによって検出され、カウンタボードを介してコンピュータへ送られる。

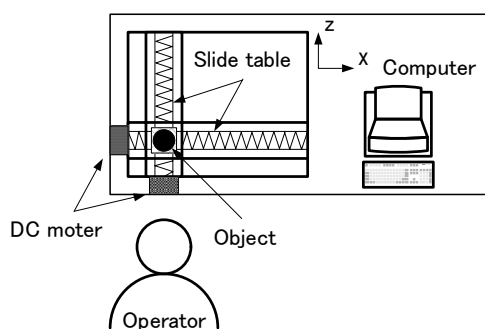


Fig.6 Experimental setup

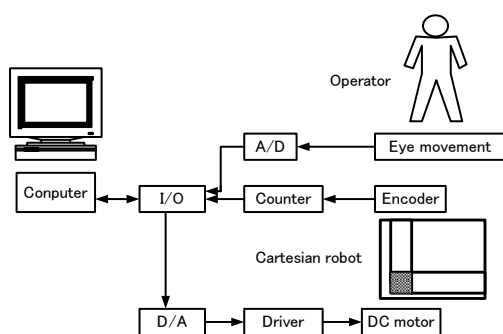


Fig.7 Experimental control system

5. 実験結果および考察

提案する視線インタフェースの有効性を調べるため、直交型ロボットを用いて位置決め作業実験を行う。被験者の前方 1m に直交型ロボットを配置し、x 軸方向にスライドテーブルを 200mm 移動させる。このとき、被験者がスライドテーブルの初期位置から目標位置へ視線を移動させたときの眼球角度は約 11.3° である。被験者は 22 歳の男子学生である。

定数 a_{ep} , a_{ed} の設定方法について説明する。予備実験ではプログラム制御を行い、粗動モードにおいて被験者がロボットの動きから恐怖を感じない最高速度が 30mm/s, 微動モードにおいて微調整が可能な速度が 5mm/s であることを調べた。そして、操作中に最大速度を超えるような目標速度が生成されないようにするため、安全性を考慮して眼球角度が 15° のときに最大速度が生成されるよう $a_{ep} = 0.112$, $a_{ed} = 0.280$ とする。モード切換変数 s の値は、操作開始時は $s=1$ とし、 $p_x < 0.122 (\alpha < 7^\circ)$ となるとモードを滑らかに切換えるために、Fig.8 に示すように t 秒で $s=0$ となるように直線的に変化させる。

次に、視線による操作方法について述べる。被験者が初期位置に静止しているロボットを注視した状態を初期状態とする。被験者が移動操作として目標位置に視線を移動させると粗動モードにより速度が生成され、スライドテーブルが移動し始める。スライドテーブルが目標位置に近づくと速度を減速して位置決め操作に備えるため、被験者は視線を正面に移動させる。このとき、 $p_x < 0.122 (\alpha < 7^\circ)$ となると微動モードへの切換えが開始される。被験者は位置決め操作に備えて首を動かしてスライドテーブルを注視し、目標位置との位置関係を確認しながら視線を移動させて位置決めを行う。スライドテーブルは被験者が一点を注視することで停止する。本実験では、モードの切換えに要する時間を $t=5$ 秒とした。

5.1 基本実験

瞬きがロボット操作に及ぼす影響を調べるため、約 6 秒後に視線を右方向へ 10° 移動させ、瞬きを行った結果を Fig.9 に示す。Fig.9 より WL により処理された値を用いることで瞬きの影響が抑制できることがわかる。

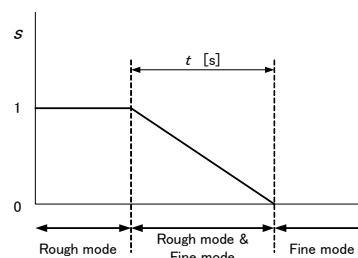


Fig.8 Change of mode by s

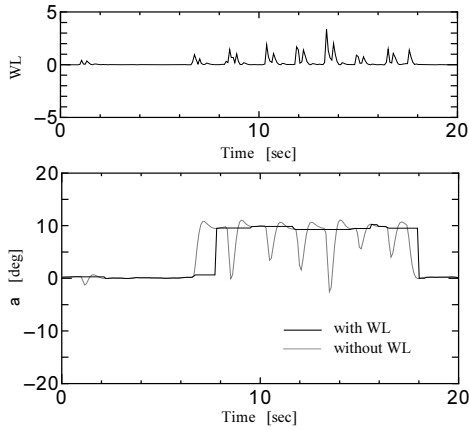


Fig.9 Influence of blinking

5.2 位置決め作業

被験者が視線入力により直交型ロボットの位置決め作業を行った結果を Fig.10 に示す。被験者は、約 7 秒後から視線を右方向に移動させ、粗動モードにより大局的にロボットを移動させている。その約 6 秒後に視線を正面に戻すことで微動モードへの切換えを開始している。このとき v_{dx} がほぼ零であるためにスライドテーブルは停止している。被験者は位置決め操作に備えて首を動かしてスライドテーブルを注視した後に視線を移動させて微調整を行い、約 50 秒後に一点を注視することでロボットを停止させている。位置決め精度は+2.48mm であった。

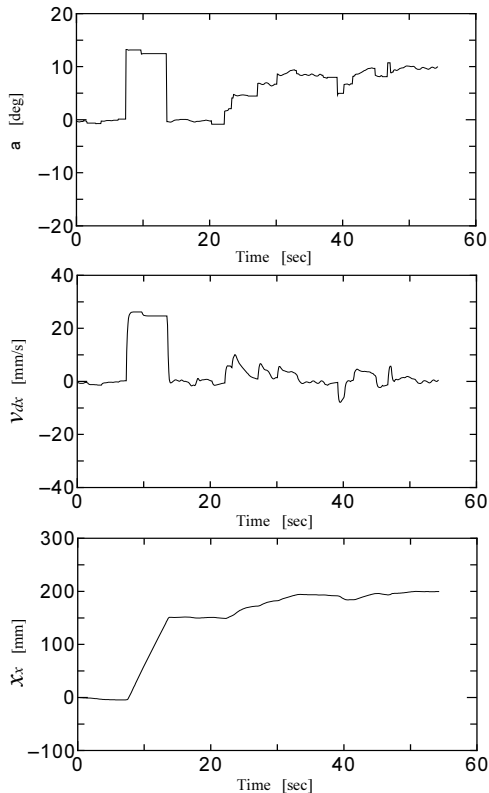


Fig.10 Experimental results of positioning task by eye gaze

5.3 評価実験

本ロボット操作システムの操作性を評価するために、従来の入力装置であるジョイスティックを用いて位置決め作業を行う。評価の観点には、位置決め作業における操作時間と位置決め精度である。評価実験では、ジョイスティックの傾きに基づき、次式により目標速度を生成する。

$$v_{dx} = a_{jp} \theta_x s + a_{jd} \frac{d\theta_x}{dt} (1-s) \quad (6)$$

ここで、 a_{jp} と a_{jd} は定数である。また、 θ_x はジョイスティックの傾きであり、可動範囲は $\pm 15^\circ$ である。 a_{jp} と a_{jd} は視線入力と同様に、ジョイスティックの傾きが 15° のとき最大速度の 30mm/s が生成されるよう $a_{jp}=2.0$, $a_{jd}=5.0$ とする。粗動モードから微動モードへの切換えはジョイスティックの傾きが $\theta_x < 7^\circ$ になると開始され、 $t=5$ 秒とした。被験者がジョイスティック入力により直交型ロボットの位置決め作業を行った結果を Fig.11 に示す。

被験者は、約 7 秒後からジョイスティックを右方向に傾け、粗動モードで大局的にロボットを移動させている。その約 5 秒後にジョイスティックを中央に戻すことで微動モードへの切換えを開始している。被験者は約 19 秒後からジョイスティックの傾きを調節しながら微調整を行い、約 48 秒後にジョイスティックの傾きを一定に保持することでロボットを

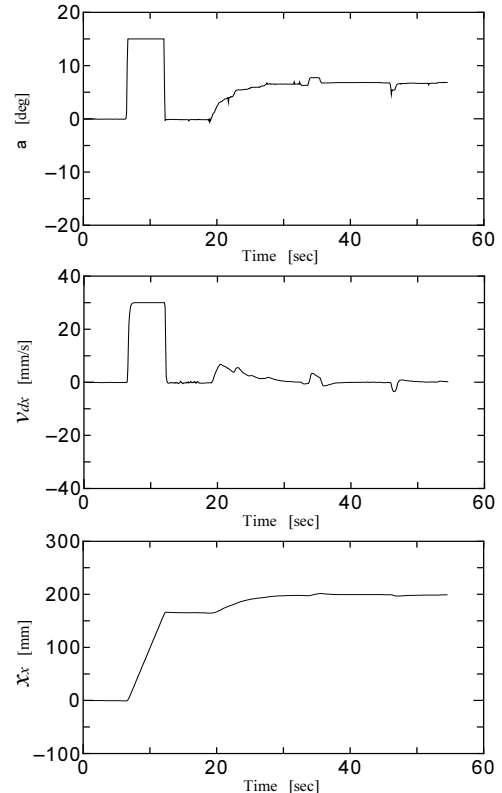


Fig.11 Experimental results of positioning task by joystick (Dominant hand)

停止させている．位置決め精度は $\pm 0.95\text{mm}$ であった．使用者が障害者であることを想定し，あごと足でジョイスティックを操作した結果を Fig.12 と Fig.13 に示す．位置決め精度は，あごで操作した場合が $+6.18\text{mm}$ ，足で操作した場合が $+3.15\text{mm}$ であった．なお，操作時間については大差がなかった．

視線入力と比較すると，手を用いてジョイスティックを操作した結果が操作時間ならびに位置決め精度から最も操作性が優れていることがわかる．理由としては，Fig.11 より位置決め操作においてジョイスティックを滑らかに傾けて目標速度を生成しているためである．これは，視線入力では意図的に一定の速度で視線を動かすには限界があるため，位置決め操作に時間を費やすことになり，位置決め精度にも限界がある．しかし，あごや足を用いてジョイスティックを操作した場合は，手に比べて位置決め精度が低下している．あごで操作する場合には，ジョイスティックを傾けるためには顔を動かすか傾けなければならないために，操作中に目の位置が動いてしまい目標位置とスライドテーブルの位置関係を正確に把握することができなかったために，位置決め精度が最も悪くなっている．足で操作する場合には，手に比べると思い通りに動かしてジョイスティックの傾きを細かく調節することができなかったために，視線入力と同程度の位置決め精度となっている．よって，ジョイスティック入力においても操作する人体部位によっては操作性が低下する恐れがあるため，使用者の残存能力に適した入力装置を用いなければならない．

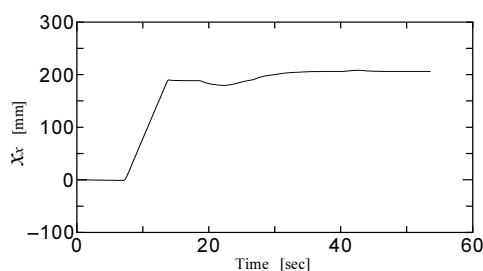


Fig.12 Experimental results of positioning task by joystick (Chin)

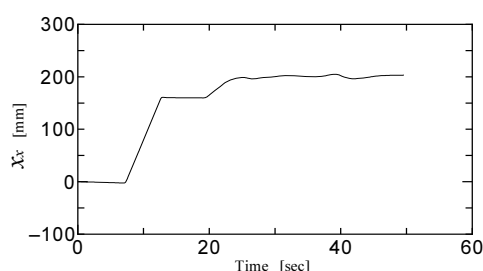


Fig.13 Experimental results of positioning task by joystick (Foot)

以上より，重度肢体不自由者の使用ならびに厳密な位置決め精度を必要としない作業であれば，提案する視線インタフェースは有効である．

6. 結 論

本研究は，高齢者や障害者の自立を支援する機器やロボットを操作する手段として，比較的障害が残りにくい眼球運動に着目し，視線によりロボットを操作する視線インタフェースを提案した．提案する視線インタフェースは，使用者の負担を軽減するために，視線でメニューやアイコンを選択するのではなく，視線の動きに基づいてロボットの目標速度を生成する．具体的には，移動操作を行う粗動モードと位置決め操作を行う微動モードを設定し，作業の進行に応じて自然な視線移動から両モードを切替えることにより，操作目的に適したロボットの目標速度を定量的に生成する．

具体的なロボット操作システムとして，直交型ロボットシステムに視線インタフェースを組み込んだロボット操作システムを構築した．実験としては，被験者が視線ならびにジョイスティック入力よりスライドテーブルを目標位置まで移動させる位置決め作業実験を行った．その結果，滑らかで細かい調節が可能なジョイスティック入力が視線入力に比べて操作性が優れていることがわかった．しかし，使用者の残存能力によってはジョイスティック入力においても操作性が低下するため，提案する視線インタフェースは重度肢体不自由者に対する一つのロボット操作手段として有効であることを確認した．

参 考 文 献

- 1) 小林宏，椎葉太一，小西健太郎：食事支援ロボットシステムの開発と定量的評価，機論 C 編，70，699 (2004)3252-3259
- 2) 高橋伸寿，梅田和昇，渋谷典之：レーザポインタを用いたホームロボット操作システムの構築（第2報音声認識の併用によるシステム構築），ロボティクス・メカトロニクス講演会 '03 講演論文集，(2003) 1A1-3F-C6
- 3) 久野悦章，八木透，藤井一幸，古賀一男，内川嘉樹：EOGを用いた視線インタフェースの開発，情報処理学会論文誌，39，5(1998)1455-1462
- 4) 落合積，石松隆和，高見修，松井稜治：目の動きを利用した身障者用文字入力装置の試作，機論 C 編，63，609 (1997)1546-1550
- 5) 田崎京二，大山正，樋渡涓二：視覚情報処理，朝倉書店，369
- 6) 池浦良淳，大塚英樹，猪岡光：皮膚電気反射に基づくロボット運動の心理的評価に関する考察，日本人間工学会誌，31，5 (1995)355-358

断熱燃焼温度を揃えた 水素・メタン・プロパン予混合火炎に対する火炎伸張の影響

早川晃弘*

橋本 淳**

A Study on Responses of Premixed Flames of Hydrogen, Methane and Propane having the same Adiabatic Flame Temperature to Flame Stretch

Akihiro HAYAKAWA and Jun HASHIMOTO

Recently, a development of the combustor having higher efficiency and being more clean has been required from the viewpoint of environmental problems. In a development process of such a combustor, computer simulation is an effective method for cost reduction. Large Eddy Simulation (LES) is one of the simulation technique of Fluid Dynamics. In recent years, it is attracting a lot of attention in the reason which can reproduce unsteady phenomena. When LES is applied to the flow field with combustion phenomena, it is necessary to give an appropriate combustion model. The flamelet existing in a flow field is affected by hydrodynamic strain. Burning velocity of such stretched flame changes from the value of laminar burning velocity by molecular and thermal diffusion effects. However, the combustion model which can evaluate such an effect adequately is not suggested till now. In this study, a response of burning velocity concerning flame stretch is examined by chemical kinetics computations. Especially, from a point of view of engineering, investigations are performed for premixed flames of hydrogen, methane and propane having the same adiabatic flame temperature. As a result, it is clarified that sensitivities to flame stretch of burning velocity can be explained approximately with mixture properties and ratio of those. Furthermore, in some mixture conditions, it becomes clear that the critical Lewis number play an important role in estimation of response.

Key Words : Premixed Combustion, Internal Combustion Engine, Adiabatic Flame Temperature, Flame Stretch, Markstein Number, Lewis Number, Chemical Kinetics

1. はじめに

近年、石油燃料の枯渇や種々の地球環境問題に対する解決策として、高効率かつクリーンな燃焼器の開発が求められている。そのような非従来型燃焼機の開発コストを削減するためには、計算機を用いたシミュレーションは非常に有効な手段である。現在用いられている主なシミュレーション手法には、RANS (Reynold's Averaged Navier-Stokes), LES (Large Eddy Simulation), DNS (Direct Numerical Simulation) がある。RANS は計算に要する時間が短いものの、非定常現象を再現することはできない。一方、DNS は支配方程式を物理現象に関連した最小スケールまで直接計算する。そのため、現象の厳密な理解には有効であるものの、現在の計算機性能では計算に膨大な時間を要し、実機スケールにおける評価は不可

能である。そこで近年、実機スケールにおいて非定常現象が再現可能な LES の有効利用が注目されている。LES においては、エネルギースペクトルに普遍性の観られる領域については格子を設けず、乱れに適切なモデルを与えて計算を行う。このような手法を燃焼場へ適用する場合、設定格子サイズ以下の領域において火炎に作用する乱れの効果を適切にモデル化し、与える必要がある。実用燃焼器内で見られる乱流燃焼場では、化学反応と乱れが干渉し、火炎面は面積増加効果に加え、歪や曲率の影響（火炎伸張）を受け、火炎強度、すなわち混合気の消費特性が変化する。そのため、これらの効果に対する火炎強度の応答特性を整理することは重要な課題となる。現在、主な燃焼モデルとして、Flamelet Concept や渦消散の概念を基本とした種々のモデルが提唱されている¹⁾。しかしながら、非量論まで含めた混合気条件において、伸張に対する燃焼速度の応答特性を適切に評価可能な燃焼モデルは見あたらない。

そこで本研究では、特に工学的観点から、断熱燃焼温度を揃えた希薄気体燃料予混合火炎に対して反

原稿受付 平成 18 年 8 月 31 日

*九州大学 工学部 機械航空工学科 機械工学コース

**津山工業高等専門学校 機械工学科

応動力学計算を行い、火炎伸張が局所的な燃焼速度特性に及ぼす影響について整理を試みる。

2. 計算および解析方法

本研究では、次世代燃料として注目されている水素、天然ガスやバイオガスの主成分であるメタン、気体燃料の範囲においてはその性質が最もガソリンに近いと考えられるプロパンを解析対象燃料とした。また、1章で述べたように、燃料-酸素を希釈することによって断熱燃焼温度を揃えた火炎を作成し、解析を実施する。希釈剤には大気の主成分である窒素を用い、混合気組成は EQUIL²⁾を用いた平衡計算により決定した。ここで、設定する断熱燃焼温度は NO_x の基礎的生成特性に基づき、1500K、1700K および 2000K に設定した。これは、文献³⁾および予備計算結果から、本研究で対象とする希薄予混合火炎においては Thermal NO_x が主要な NO_x 生成機構であり、特に 1700~1800K 以上の高温においてその生成が顕著となるためである。

表1に、本研究で用いた燃料-酸素-窒素混合気の組成を示す。ここで、 ϕ は当量比、 T_b は断熱燃焼温度、 D は多成分系拡散係数であり、添え字の f は燃料成分、 O は酸素を示す。 Le_f は不足成分（本研究の範囲では燃料）の多成分拡散係数に基づくルイス数である。 S_{L0} は PREMIX²⁾により求めた燃焼速度（冷境界流速）、 $\rho_u/\rho_b = T_b/T_u$ （定圧火炎の場合）は火炎前後の密度比を表す。

伸張を受けていない火炎の計算には一次元平面伝ば火炎を対象とした PREMIX²⁾を、伸張を受けた火炎の計算には対向流予混合火炎を対象とした OPPDIF²⁾を用いた。図1に、対向流予混合火炎の模式図を示す。本研究では、上下のノズルから同一組成の混合気を同一流速で噴出させることにより、よどみ面両側に伸張を受けた双子火炎を形成した。火炎に作用する伸張率は、ノズル出口流速を制御することによって変化させた。また、化学反応機構としては、53 化学種、325 段の素反応を考慮した GRI-Mech 3.0⁴⁾を用い、物性値は CHEMKIN²⁾により求めた。

伸張火炎の燃焼速度 S は、酸素の消費速度に基づ

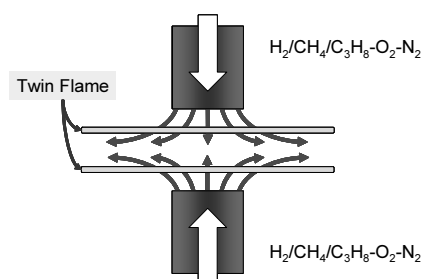


Fig.1 Schematic of Counter Flow Burner Configuration

き (1) 式のように定義し、算出した⁵⁾。

$$S = - \int_1^2 w_{O_2} dx / \rho_1 / (Y_1 - Y_2) \quad (1)$$

ここで、 w_{O_2} は酸素の消費速度、 ρ は密度、 Y は酸素の質量分率を表し、添え字の1はノズル出口、2はよどみ面を表す。また、火炎伸張率は、火炎前面の最大軸方向速度勾配として定義した。

火炎伸張が燃焼速度に及ぼす影響については、CLAVINらの漸近解析により、次の線形性が示されている⁶⁾。

$$S = S^0 - Lk \quad (2)$$

ここで、 S^0 は伸張を受けていないときの燃焼速度、 L はマークシュタイン長さ、 k は火炎伸張を表す。(2)式は、伸張を受けた状態における特性時間を用いて無次元化することにより、次のように変形される。

$$S^0/S = 1 + MaKa \quad (3)$$

ここで、 Ka は無次元伸張であるカーロビッツ数、 Ma はマークシュタイン数であり、無次元伸張に対する燃焼速度の応答感度を表す。本研究では、カーロビッツ数をおおむね0.1から0.4の線形性が観られる範囲内で変化させ、(3)式に基づいてマークシュタイン数を算出した。

3. 結果および考察

3.1 非伸張火炎の燃焼速度特性

Table 1 Properties of Mixtures

Fuel	T_b [K]	ϕ [-]	Mole Fraction x_i [-]			S_{L0} [cm/s]	Le_f [-]	D_f/D_0 [-]	ρ_u/ρ_b [-]
			Fuel	O ₂	N ₂				
H ₂	2000	0.4	0.228	0.285	0.487	125.5	0.420	3.791	6.711
		0.7	0.225	0.161	0.614	117.8	0.421	3.605	6.711
		1.0	0.225	0.112	0.663	112.0	-	3.542	6.711
	1700	0.4	0.183	0.228	0.589	51.6	0.399	3.613	5.705
		0.7	0.181	0.129	0.689	49.3	0.400	3.497	5.705
		1.0	0.181	0.090	0.729	49.9	-	3.454	5.705
	1500	0.4	0.154	0.193	0.653	22.1	0.385	3.525	5.034
		0.7	0.153	0.110	0.737	21.1	0.385	3.438	5.034
		1.0	0.153	0.076	0.771	21.6	-	3.406	5.034
	2000	0.4	0.079	0.396	0.525	38.1	0.856	1.184	6.711
		0.7	0.078	0.223	0.699	30.6	0.857	1.138	6.712
		1.0	0.078	0.156	0.765	19.7	-	1.123	6.711
CH ₄	2000	0.4	0.062	0.308	0.630	14.6	0.862	1.148	5.705
		0.7	0.061	0.174	0.765	11.8	0.862	1.118	5.705
		1.0	0.061	0.122	0.818	6.3	-	1.106	5.705
	1700	0.4	0.051	0.256	0.693	5.6	0.865	1.129	5.034
		0.7	0.051	0.145	0.804	4.6	0.865	1.106	5.034
		1.0	0.051	0.101	0.848	1.7	-	1.097	5.034
	1500	0.4	0.032	0.400	0.568	45.9	1.607	0.591	6.712
		0.7	0.032	0.225	0.743	37.0	1.598	0.577	6.711
		1.0	0.032	0.158	0.810	25.7	-	0.573	6.711
	2000	0.4	0.025	0.310	0.666	19.7	1.622	0.582	5.706
		0.7	0.025	0.175	0.800	16.2	1.614	0.572	5.704
		1.0	0.024	0.122	0.853	9.8	-	0.569	5.705
C ₃ H ₈	2000	0.4	0.020	0.256	0.723	8.6	1.631	0.577	5.033
		0.7	0.020	0.145	0.834	7.2	1.624	0.570	5.033
		1.0	0.020	0.101	0.878	-	-	0.567	5.033

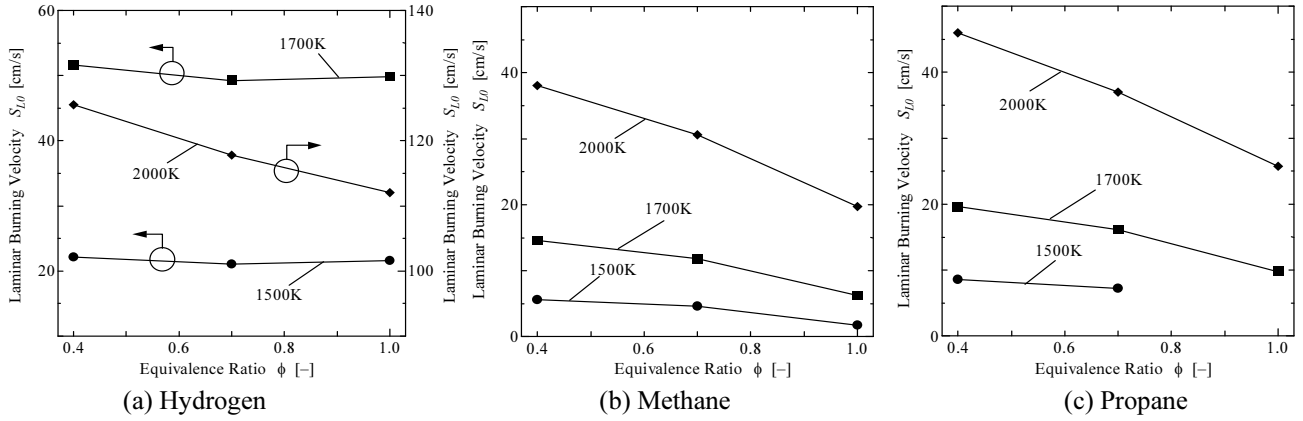
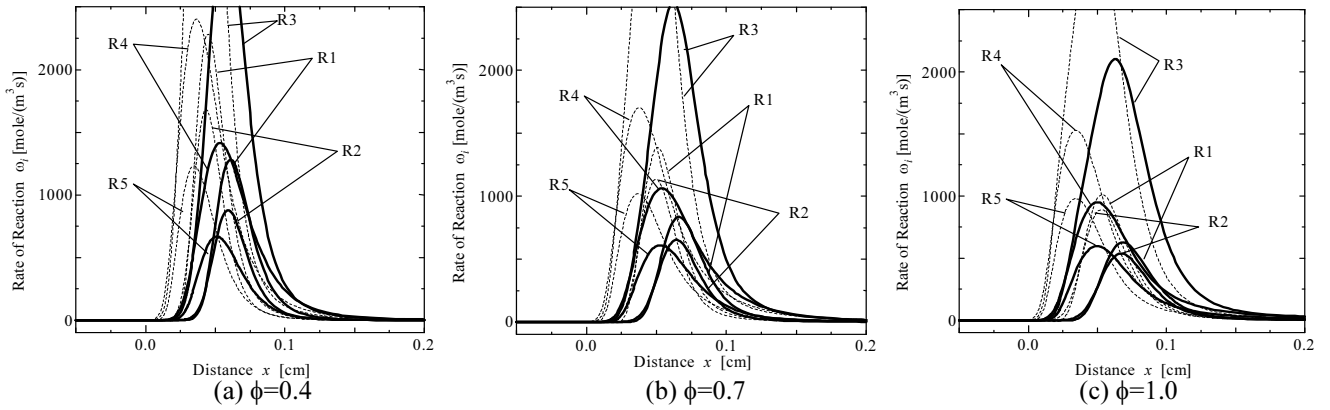
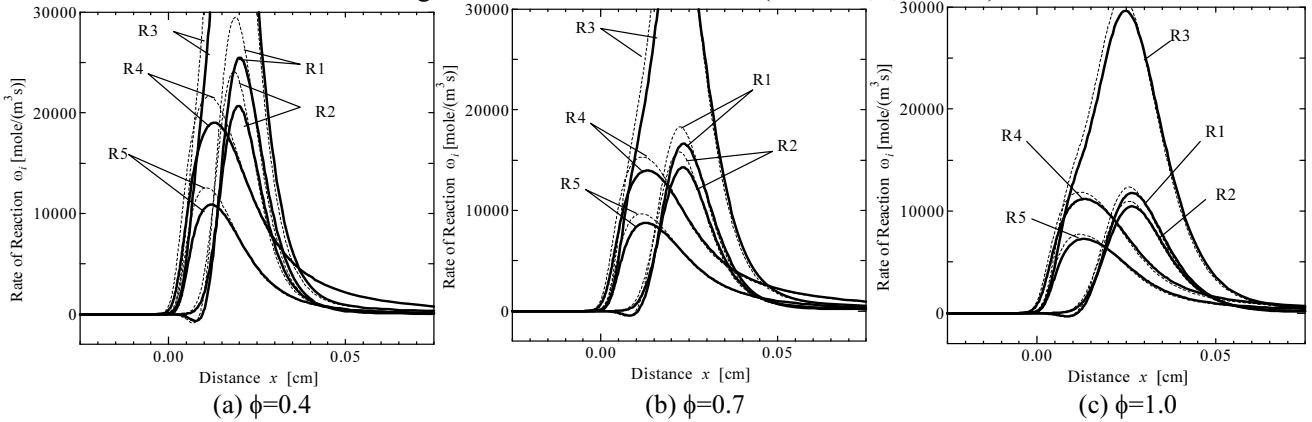

Fig.2 Variation of Laminar Burning Velocity S_{L0} with Equivalence Ratio ϕ

Fig.3 Profiles of Rate of Reaction ($H_2/O_2/N_2, T_b=1500K$)

Fig.4 Profiles of Rate of Reaction ($H_2/O_2/N_2, T_b=2000K$)

図2に、非伸張火炎の燃焼速度計算結果を当量比に対して示す。図から、水素火炎においては、断熱燃焼温度 $T_b=2000K$ の条件では、当量比の増加に伴い燃焼速度が大きく低下することがわかる。しかしながら、設定燃焼温度の低下に伴い、当量比に対する燃焼速度の減少率が低下し、概ね一定の燃焼速度を有する傾向がみられる。一方、炭化水素火炎においては、いずれの条件においても当量比の増加に伴い単調に燃焼速度が減少する傾向がみられる。

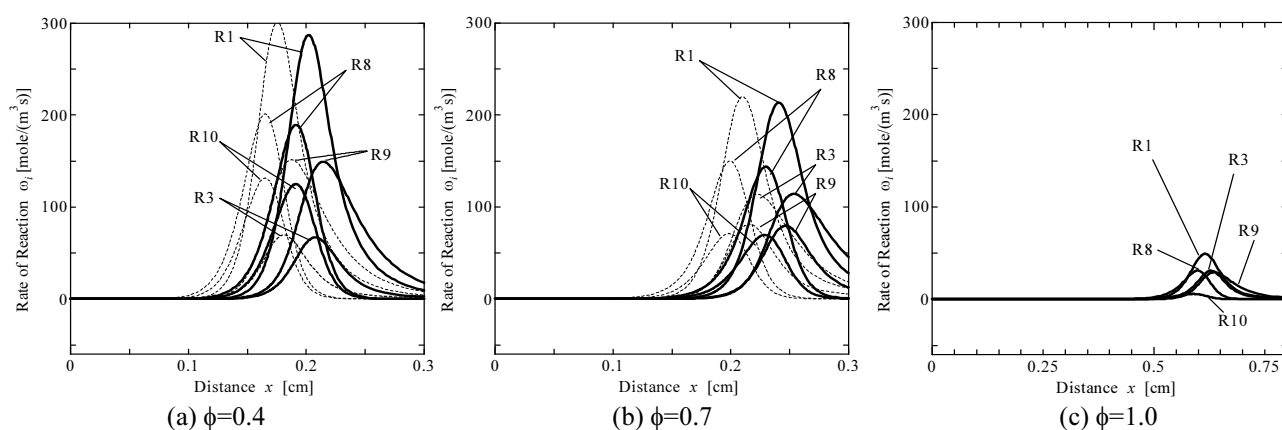
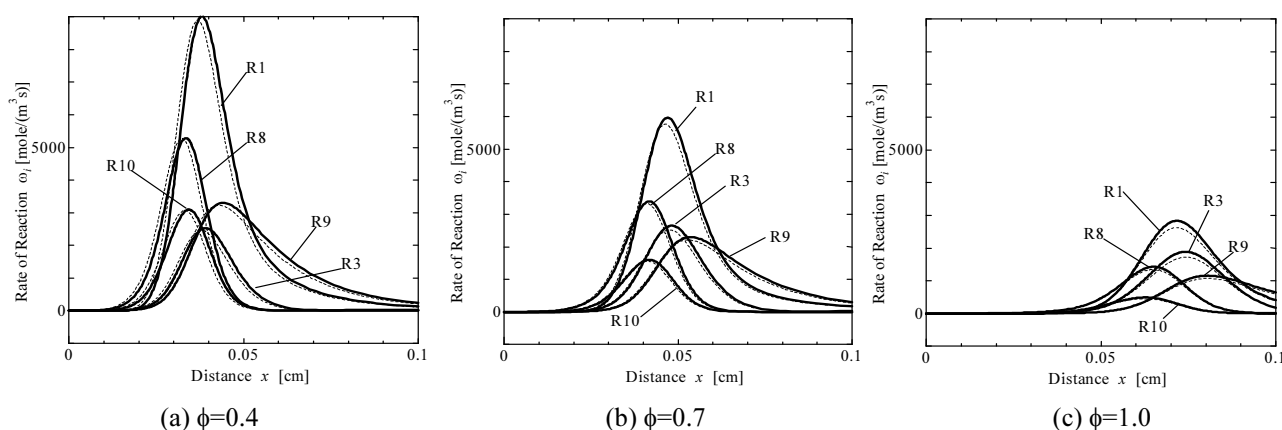
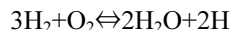
これらの性質について、反応動学的な観点から考察する。まず水素火炎に対する結果について述べる。図3および図4に、 $T_b=1500K$ および $2000K$ における主要素反応の反応速度 ω_i を示す。図は、ガス温度が $400K$ となる点を基準点($x=0cm$)として整理

してあり、実線は伸張を受けていない場合、破線は無次元伸張 $Ka \approx 0.3$ の場合を表している。なお、後者については3.3節で述べる。ここで、図中の反応番号に対応した素反応は以下に示すとおりである。



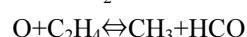
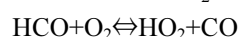
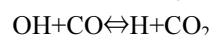
水素火炎の燃焼過程はおよそ $1100K$ を境として大別され、それぞれ低温領域反応群と高温領域反応群より構成されることが知られている⁷⁾。低温および高温部における反応の収支は次のように表される。



Fig.5 Profiles of Rate of Reaction ($\text{CH}_4/\text{O}_2/\text{N}_2, T_b=1500\text{K}$)Fig.6 Profiles of Rate of Reaction ($\text{CH}_4/\text{O}_2/\text{N}_2, T_b=2000\text{K}$)

すなわち水素火炎においては、高温側で余剰に生成された H 原子が低温側へ拡散し、化学エンタルピーを輸送することによって火炎が維持されている。ここで、図 3 および 4 から、特に高温領域における反応 R1 および R2 の反応速度が当量比の増加に伴い減少していることがわかる。このことから、高温領域反応群の支配性が強い $T_b=2000\text{K}$ の水素火炎では、当量比の増加に伴い大きく燃焼速度が低下したと考えられる。一方、 T_b が小さな水素火炎についても、同様に高温領域における反応の強度が低下する傾向がみられる。しかしながら、これらの設定条件では低温領域で進行する反応、すなわち活性化エネルギーの小さい反応群の支配性が強いいため、高温領域反応群の反応速度低下が火炎全体に及ぼす影響が小さくなるものと推測される。そのため、断熱燃焼温度の低下に伴い、当量比に対する燃焼速度減少率が低下する。

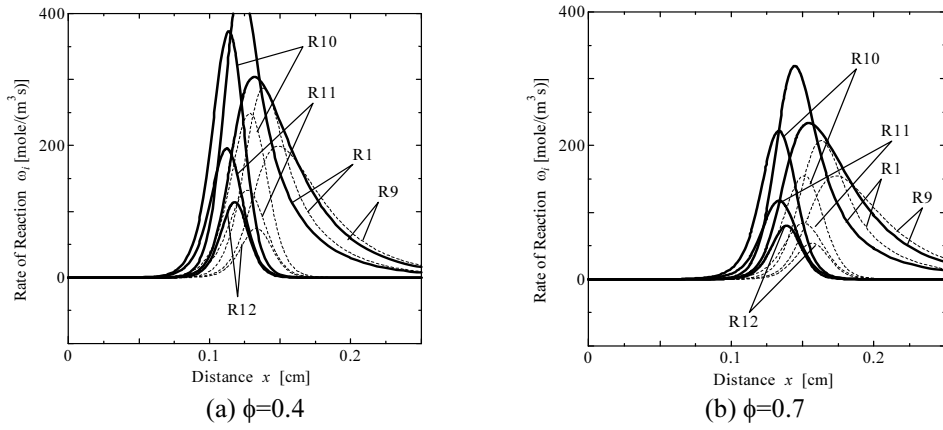
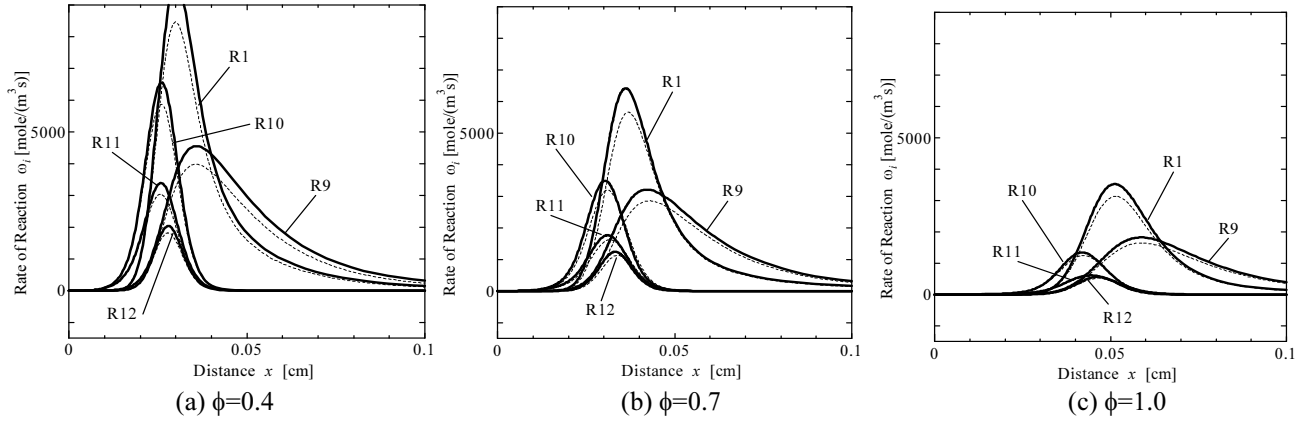
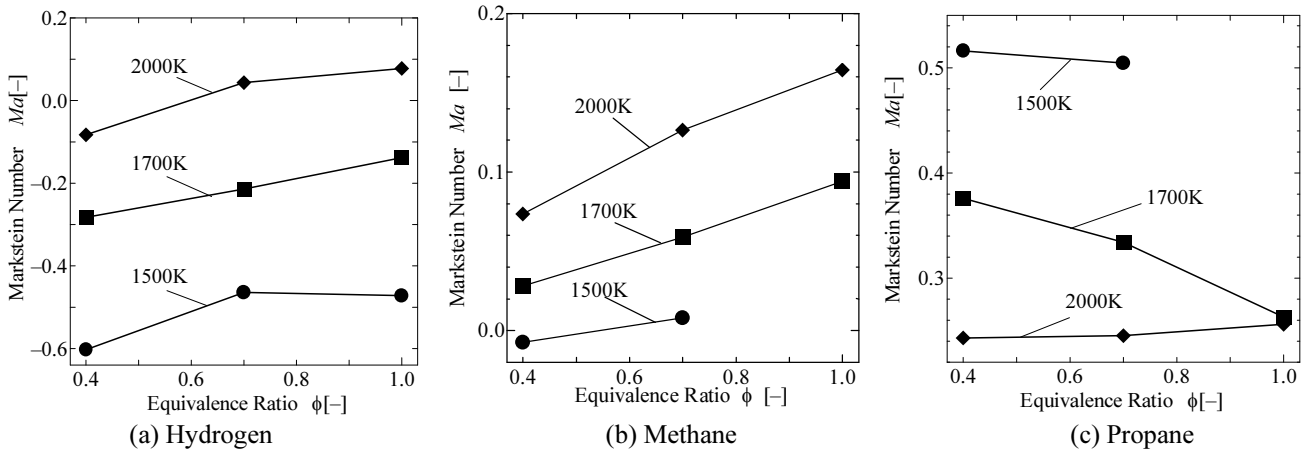
次に、炭化水素火炎における燃焼速度特性について考察する。図 5 および 6 にメタン、図 7 および 8 にプロパン火炎の、 $T_b=1500\text{K}$ および 2000K の条件における主要素反応の反応速度を示す。ただし、 $T_b=1500\text{K}$ 、当量比 1.0 のメタン伸張火炎については収束解を得ることができなかった。ここで、図中の反応番号に対応した素反応は次のとおりである。



炭化水素燃料の燃焼過程において、燃料成分は C_1 、 C_2 経路等を経由して分解・酸化され、最終的には CO_2 となる。この過程を最終段階まで進行するためには、O 原子が必要とされる。そのため、以上の反応群において、O 原子を生成する反応 R1 が炭化水素火炎の律則反応となる⁸⁾。R1 の正方向反応速度は酸素濃度に依存する。図 5～8 からは、当量比の増加、すなわち酸素濃度の減少に伴い R1 の反応速度が低下する様子が確認できる。そのため、炭化水素火炎では当量比の増加に伴い、燃焼速度は減少したと考えられる。

3.2 マークシュタイン数

図 9 に、2 章で述べた手法により解析した、伸張火炎の燃焼速度に対する応答感度係数であるマークシュタイン数 Ma を当量比に対して示す。図から、水素およびメタン火炎においては、設定断熱燃焼温度の低下に伴いマークシュタイン数は低下する傾向が見られる。一方、プロパン火炎については増加する傾向にある。また、当量比の変化に対しては、その減少に伴い、水素およびメタン火炎においてはマ

Fig.7 Profiles of Rate of Reaction ($C_3H_8/O_2/N_2, T_b=1500K$)Fig.8 Profiles of Rate of Reaction ($C_3H_8/O_2/N_2, T_b=2000K$)Fig.9 Variation of Markstein Number Ma with Equivalence Ratio ϕ

ークシュタイン数が減少，プロパン火炎においては増加する傾向が見られる。

まず，同一当量比において，設定断熱燃焼温度を変化させた場合の結果について考察する．表 1 から，同一当量比条件においては，水素火炎では断熱燃焼温度の低下に伴い不足成分（ここでは燃料）の拡散係数に基づくルイス数 $Le_f = a/D_f$ (a は熱拡散係数) が減少，メタン・プロパン火炎では増大している．伸張を受けた火炎においては，ルイス数が大きい条件ほど物質の拡散に比べて熱の拡散特性が相対的に増大し，火炎強度が低下する．火炎に作用するこのような効果をルイス数効果という．水素火炎におい

ては，断熱燃焼温度の低下に伴い，ルイス数効果によって火炎面からの熱の拡散（損失）が相対的に減少し，マークシュタイン数が低下する．一方プロパン火炎においては，熱の拡散が相対的に増大したため，マークシュタイン数は増加傾向を示したものと考えられる．

次にメタン火炎においては，設定断熱燃焼温度を低下させるとルイス数は増加するものの，マークシュタイン数は減少傾向を示しており，水素およびプロパン火炎とは異なった傾向が見られる．すなわち，単純にルイス数の大きさおよびその定性的な傾向のみでマークシュタイン数の評価を行うことができない

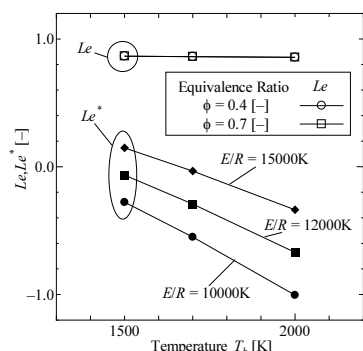


Fig.10 Critical Lewis Number vs. Temperature

い可能性がある。そこで、マークシュタイン数の定性的傾向について、臨界ルイス数 Le^* を用いて考察を試みる。CLAVIN らは、非常に限定された混合気・反応条件においてはああるものの、次のようなマークシュタイン数評価式を導出している⁹⁾。

$$Ma_t = \frac{\sigma}{\sigma-1} \ln \sigma + \beta \frac{Le-1}{2} \frac{1}{\sigma-1} \int_0^{\sigma-1} \frac{\ln(1+x)}{x} dx \quad (4)$$

ここで、 $\sigma = \rho_u / \rho_{bd} = T_{bd} / T_u$ (定圧火炎の場合) は膨張比、 x はダミー変数、 β は無次元活性化エネルギーを表すゼルドヴィッチ数であり、(5) 式で定義される。

$$\beta = \frac{E}{R} \frac{T_2 - T_1}{T_2^2} \quad (5)$$

E は総括反応における活性化エネルギー、 R は一般ガス定数である。(4) 式によれば、マークシュタイン数の正負には、第二項の Le が影響を及ぼす。 $Ma_t=0$ となる条件におけるルイス数を臨界ルイス数 Le^* と定義すれば、 $Le < Le^*$ の条件では、伸張率の増加に伴い燃焼速度は増加、一方、 $Le > Le^*$ の条件では減少することになる。そこで、(4) 式を Le^* について整理すると、次のように変形される。

$$Le^* = 1 - 2 \frac{\sigma \ln \sigma}{\beta} \left/ \left\{ \int_0^{\sigma-1} \frac{\ln(1+x)}{x} dx \right\} \right. \quad (6)$$

図 10 に、(6) 式を用いて評価を行った Le^* の計算結果を示す。 β の計算式における E/R の値は、10000K から 1000K おきに 15000K まで値を与えた。また、 $T_1 = T_u = 298K$ 、 $T_2 = T_b$ とし、 σ における燃焼後の温度 T_{bd} は、 T_b として計算を行った。図には、当量比 0.4 および 0.7 のメタン火炎におけるルイス数も掲示してある。図から、上記仮定値に基づいて (6) 式により評価した Le^* は非常に小さな値であることがわかる。しかしながら、臨界ルイス数は定量的には 1 より少し小さい値であろうとされている⁹⁾。また、図 10 および表 1 から、断熱燃焼温度の上昇に伴う Le^* の変化は、 Le の変化より比較的大きいことがわかる。そこで、臨界ルイス数を 1 より少し小さい値であると仮定し、特にルイス数との定性的関係にのみ注目

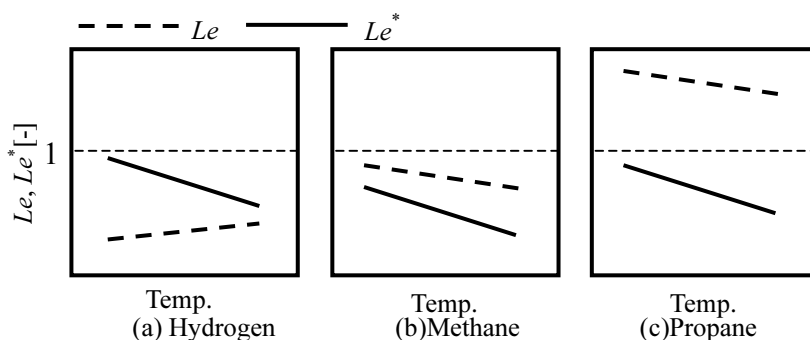


Fig.11 Schematic of Relationship between Critical Lewis Number and Lewis Number

して整理した概念図を図 11 に示す。この定性的な関係に基づき、メタン火炎の結果について考察する。表 1 から、ルイス数の値は 0.86 程度であり、これらの値は臨界ルイス数と同程度の値であるものと推測される。ただし、マークシュタイン数の値が正であることから、実際にはルイス数の値が若干臨界ルイス数を上回っているものと考えられる。そのため、メタン火炎の場合には Le と Le^* の差は設定断熱燃焼温度の増加に伴い増大してゆくものと推測される。以上の推察、臨界ルイス数の定義および (4) 式から、高温側では両者の差の増大に伴い、マークシュタイン数が増大したのものと考えられる。

同様の考察を、水素およびプロパン火炎に対しても行った。表 1 から、水素火炎のルイス数は 0.4 程度であり、臨界ルイス数が 1 程度の値であるとすれば、 Le は Le^* に比べて相対的に小さな値であると考えられる。さらに、図 11 から設定断熱燃焼温度の上昇に伴い臨界ルイス数とルイス数の差は減少するものと推測される。このことは、断熱燃焼温度の上昇に伴い、マークシュタイン数が増大する傾向と一致している。次に、プロパン火炎においては、メタン火炎と同様に設定断熱燃焼温度の増大にともないルイス数と臨界ルイス数の差が大きくなっていると推測される。これは、図 9 の (c) で示したプロパン火炎におけるマークシュタイン数とは異なる傾向であり、単純に Le と Le^* の差の絶対値の傾向が直接マークシュタイン数の傾向を示しているとは言えない。ここで、プロパン火炎のルイス数に着目すると、その値は 1.6 程度であり、1 のオーダーと考えられる臨界ルイス数に対して、かなり大きな値となっている。メタン火炎の場合は、ルイス数と臨界ルイス数の値が同程度であるため、臨界ルイス数による影響が大きく現れたものと推測される。一方、本来ルイス数と臨界ルイス数の値が比較的離れている水素およびプロパン火炎においては、臨界ルイス数による影響は比較的小さく、単純なルイス数効果の影響が支配的に作用したものと推測される。

次に、同一断熱燃焼温度を持つ混合気について、

当量比を変化させた場合の結果について考察する。表 1 から、同一断熱燃焼温度の条件では、ルイス数は当量比の減少に伴い水素火炎では減少、メタン火炎ではその変化は小さく、プロパン火炎では増加している。ここで、燃料成分と酸素の拡散係数それぞれに基づいたルイス数の比 $Le_o/Le_f=D_f/D_o$ に着目する。予混合火炎の前面には濃度勾配が存在する。伸張火炎のように、火炎面に対して流線がある角度を持つ場合、拡散特性の大きな成分は、流線とは異なる濃度勾配の大きな方向へ選択的に拡散する。その結果、局所的な火炎強度が変化する。このような作用を選択拡散効果という。本研究では、未燃混合気内の各反応物の拡散係数に基づいたルイス数の比、すなわち D_f/D_o を、各成分の選択拡散効果評価基準として用いる。表 1 から、全混合気条件において、同一断熱燃焼温度条件では当量比の減少に伴い D_f/D_o が増加していることがわかる。すなわち、希薄水素火炎においては、ルイス数効果に加えて不足成分である燃料成分の選択拡散効果が、また希薄メタン火炎では主に後者が強められた結果、火炎強度が相対的に強化され、マークシュタイン数が減少していると考えられる。一方、プロパン火炎においては、 D_f/D_o の増加に伴いマークシュタイン数は増大しており、水素およびメタン火炎と異なった傾向が見られる。これは、プロパン火炎では当量比変化に伴うルイス数の変化がより顕著であるため、選択拡散効果よりルイス数効果の影響が大きく表れたためであると推測される。

3.3 伸張火炎の各燃料における特徴的傾向

図 9 から、低温度条件における水素およびメタン火炎、高温度条件におけるプロパン火炎においては、マークシュタイン数の当量比に対する変動が、比較的小さい傾向にある。これら各燃料における特徴的な傾向に関しての理解を深めるため、反応速度の観点から考察を試みる。本研究における燃焼速度の定義式である (1) 式から、燃焼速度に影響を及ぼす因子としては、分子の反応速度、分母の $\rho_1(Y_1-Y_2)$ の項がある。本論文では省略するが、火炎に作用する伸張の有無により、 $\rho_1(Y_1-Y_2)$ の項はほとんど変化しないことが確認されている。そのため、燃焼速度は分子の酸素の消費速度に大きく影響すると考えられる。

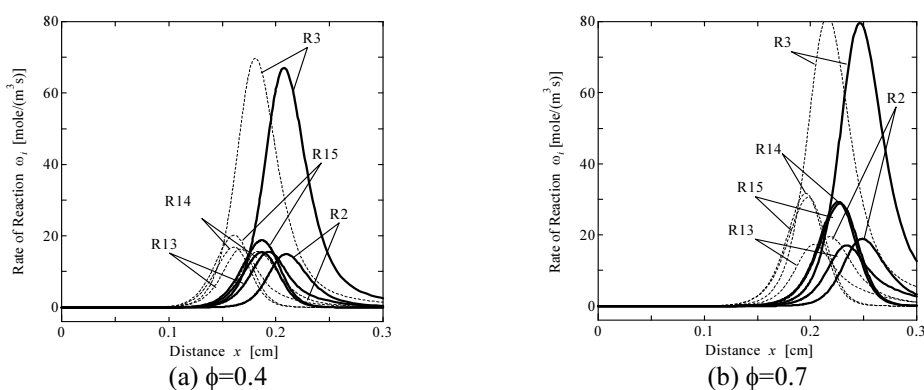
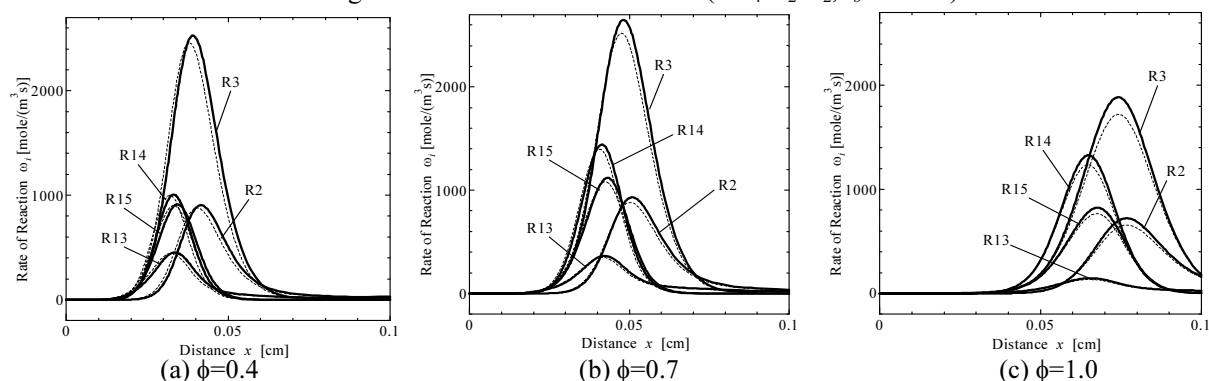
まず、水素火炎について考察する。3.1 節で、非伸張火炎において、当量比の増加に伴い、高温領域反応群の反応速度が大きく低下することに着目し、その支配性の観点から燃焼速度特性を考察した。図 3, 4 より、伸張火炎の場合、選択拡散効果およびルイス数効果により、火炎強度は全温度領域で全体的に強められている。そのため、高温水素火炎では高温領域反応群の、低温水素火炎では低温領域反応群の支配性は保たれていると推測される。したがって、

伸張火炎の場合においても、非伸張火炎と同様の議論が可能であると考えられる。すなわち、高温水素火炎では高温領域反応群の反応速度変化がその応答特性に大きく影響し、当量比に対するマークシュタイン数の変動が大きいと推測される。一方、低温水素火炎では高温領域反応群の及ぼす影響は小さいと推測されるため、マークシュタイン数の変動が小さいものと考えられる。

次に、メタン火炎について考察する。伸張の作用により、 $T_b=2000\text{K}$ のメタン火炎は、全体的に反応速度が低下している傾向が見られる。ここで、炭化水素燃料における律速反応である R1 に着目する。本研究では希薄火炎を対象としているため、酸素分子は豊富に存在する。したがって、R1 の反応が活性化するためには、H 原子の十分な供給が重要な要素となる。H 原子は、主にメタン火炎における中間生成物である H_2 分子より生成されると考え、 H_2 分子の消費、生成に係る素反応を調査した。その結果、特に反応速度が大きく、重要な役割を担うと考えられたものは R2 および R3、さらに、以下に示す各素反応であった。



これらの素反応について、特に断熱燃焼温度による性質の差異を調べるために、 $T_b=2000\text{K}$ と 1500K の条件について反応速度の比較を行った。その結果を図 12, 13 に示す。図から、伸張が作用することによって $T_b=1500\text{K}$ の条件においては全体に反応速度が増加している。一方、 2000K の条件においては全体に反応速度が低下していることがわかる。ここで、上記反応群の中において最も反応速度が大きく、R1 に及ぼす影響が大きいと推察される R3 に着目する。図 12, 13 より、伸張が作用することで、R3 の反応速度は $T_b=1500\text{K}$ の条件では増加、 2000K では低下している。このため、R1 の反応速度は 1500K では伸張の作用により増加、 2000K では低下したものと推測される。したがって、 $T_b=2000\text{K}$ の場合、3.2 節で述べた選択拡散効果に加え、R3 の影響による R1 の反応速度低下という二つの伸張による効果が生じる。一方 1500K の条件では、選択拡散効果によりマークシュタイン数は増加するものの、伸張により R3 の速度が増加することにより、R1 の反応速度が増加する。すなわち、 1500K の火炎は 2000K の火炎に比べて、R3 反応速度の増加により R1 反応速度が増大した効果により火炎強度が増した結果、マークシュタイン数増加が抑制されたと考えられる。その結果、 2000K の条件と異なり単純なマークシュタイン数増加ではなく、改善効果が作用した分、設定断熱燃焼温度 1500K のメタン火炎は当量比を増加させた場合


Fig.12 Profiles of Rate of Reaction ($\text{CH}_4/\text{O}_2/\text{N}_2, T_b=1500\text{K}$)

Fig.13 Profiles of Rate of Reaction ($\text{CH}_4/\text{O}_2/\text{N}_2, T_b=2000\text{K}$)

のマークシュタイン数変化が小さいと考えられる。

プロパン火炎に関しては、伸張を受けることによりいずれの条件においても、反応速度は低下する傾向が見られた。しかしながら、このことからプロパン火炎における特徴的な傾向である、断熱燃焼温度が大きい条件においてプロパン火炎のマークシュタイン数の変化が小さい原因を明らかにすることはできなかった。この点は今後の課題である。

4. まとめ

本研究では、断熱燃焼温度を揃えた気体燃料予混合火炎について反応動力学計算を行い、基礎的燃焼特性、また、火炎に伸張が作用した場合の燃焼速度応答特性について検討し、以下の結論を得た。

- (1) 層流燃焼速度は、設定断熱燃焼温度の上昇および当量比の減少に伴い増加する傾向がある。これらは、反応動力学観点から概ね説明できる。
- (2) 伸張に対する燃焼速度の応答感度係数であるマークシュタイン数は、水素およびメタン火炎では、断熱燃焼温度の低下および当量比の減少に伴い減少、すなわち燃焼速度特性は改善される傾向にある。一方、プロパン火炎については増大する傾向が見られる。
- (3) マークシュタイン数の傾向は、メタン火炎において設定断熱燃焼温度を変化させた場合を除き、ルイス数、およびその比である D_f/D_o とい

った値により概ねその傾向を整理することが可能である。断熱燃焼温度を変化させたメタン火炎においては、従来行われてきたように単純にルイス数のみで評価することはできず、臨界ルイス数の影響を考慮する必要がある。

謝 辞

終わりに、本研究の一部は第15回地球環境財団研究助成により実施した。ここに記し、謝意を表す。

参 考 文 献

- 1) 水谷幸夫:燃焼工学第3版, 森北出版, (2002) 96-100
- 2) KEE, R.J. et al.: Reaction Design, Inc., San Diego, CA, (2003)
- 3) 新岡嵩, 河野通方, 佐藤順一: 燃焼現象の基礎, オーム社, (2001) 259-262
- 4) BOWMAN et al.: Gas Research Institute, <http://euler.me.berkeley.edu/gri-mech/>, (2000)
- 5) POINSOT et al.: Theoretical and Numerical Combustion, wards, (2001)
- 6) CLAVIN, P.: Progress in Energy and Combustion Science, 11(1), (1985) 1-59
- 7) 日本機械学会:燃焼の数値計算, 日本機械学会, (2001) 64-70
- 8) 新岡嵩, 河野通方, 佐藤順一: 燃焼現象の基礎, オーム社, (2001) 156-158
- 9) 石塚悟:定常火炎における火炎伸張とその静的特性, 燃焼研究 116号, (2000) 217-220

SiC パワーデバイスの特性評価 (第2報)

牧野 友昭* 長井 聡**

Performance Evaluations of SiC Power Device(2nd Report)

Tomoaki MAKINO* and Satoshi NAGAI**

In recent years, next generation SiC(Silicon Carbide) power devices became to be in practical use. Last year, the authors evaluated the switching losses in basic experimental circuit and proposed the most suitable applications of SiC-SBD(Shottkey Barrier Diode). In this study, the authors evaluated SiC-SBD with IGBTs in practical inverter circuit. From the experimental results, switching losses of this inverter is lowered sufficiently over 100kHz frequency range.

Keywords : SiC-SBD, Switching Loss, IGBT, Power MOSFET, Resonant Inverter

1. はじめに

近年、次世代パワーデバイスの候補の1つとしてSiC(炭化ケイ素)デバイスに注目が集まっている。この中で、SiCショットキバリアダイオード(SiC-SBD)が先に実用化され¹⁾、普及が始まった。本論文では、昨年度²⁾に続きSiC-SBDの特性評価を行い、その最適応用について検証を行っている。

2. SiC-SBDの特性

各種半導体材料の特性³⁾をTable1に示す。SiCはSiに比べバンドギャップが広いため、高耐圧・高速・高温動作が可能となり、機器の小型化・高効率化が期待される。

Table1 Specifications of Semiconductor Materials

	Si	GaAs	SiC(6H)	SiC(4H)
バンドギャップ (eV)	1.12	1.43	2.86	3.02
電子移動度 (cm ² /Vs)	1500	8500	460	700
絶縁破壊電界 (MV/cm)	0.3	0.4	3	3.5
電子飽和速度 (× 10 ⁷ cm/s)	1	2	2	2.7
熱伝導率 (W/cm・°C)	1.51	0.54	4.9	4.9
性能指数	1	2.54	1298	3220

原稿受付 平成 18 年 8 月 17 日

* 平成 17 年度電気工学科卒業 (現在 NEC フィールドイン
グ(株))

** 電気電子工学科

現在商品化されているスイッチング用パワーダイオードには通常のPN接合Siダイオードの他、Si-SBD、GaAs-SBDなどがある。これらのうち、Si-SBDは耐圧が100V程度しかなく、用途が限られている。GaAs-SBD⁴⁾はSi-SBDより高耐圧品があるものの、PN接合Siダイオードには及ばず大容量品がないため普及していない。

SiC-SBDはこれらのデバイスと比較して、高耐圧・逆方向漏れ電流が少ない・200以上の高温で動作可能・温度係数が正なので熱暴走がない・逆回復電荷量が少ない、など多くの特徴を持っている。欠点として、電流サージ耐量が小さい・コストが高いなどがあるが、第2世代の製品が市販され改善されつつある。

3. スwitching損失の測定

測定方法は昨年度と同様であるが、5.のインバータ回路における評価を考慮し、スイッチングデバイスをIGBTに変更し、被測定ダイオードも一部変更した。メーカ・型番は以下の通りである。

・SiC-SBD

Infineon Technologies 製 SDT10S30

・Si-SBD

International Rectifier 製 MBR20100CT

・Si PN接合 FRD(Fast Recovery Diode)

International Rectifier 製 60EPU04

Table2に上記ダイオードの主な特性を示す⁵⁾⁻⁷⁾。ここで、

V_{RM} : 逆耐圧

I_F : 最大順電流

t_{rr} : 逆回復時間

Q_{rr} : 逆回復電荷

である。

Fig.1 にスイッチング損失の測定回路を，測定時の電圧・電流波形の概略を Fig.2 に示す．ダイオー

Table2 Specifications of Diodes

	$V_{RM}(V)$	$I_F(A)$	$t_{rr}(ns)$	$Q_{rr}(nC)$
SDT10S30	300	10	-	23
MBR20100	100	10	-	-
60EPU04	400	60	50	375

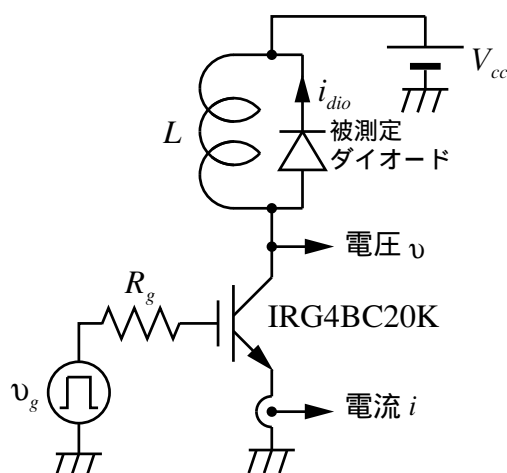


Fig. 1 Measurement Circuit Diagram

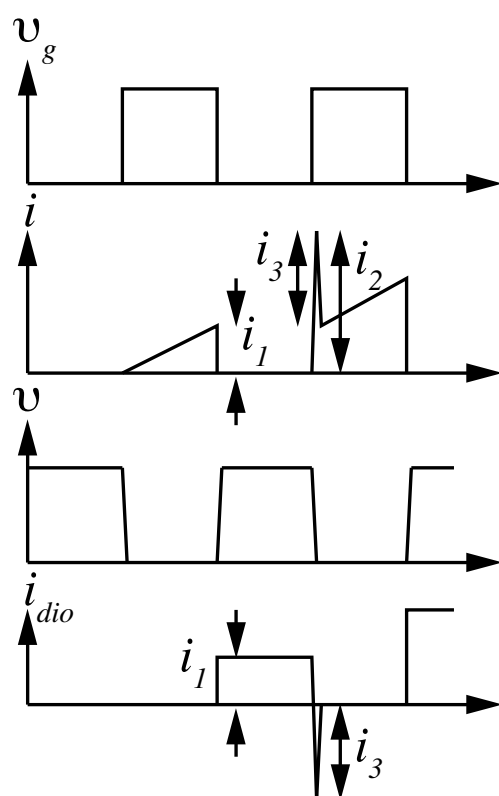


Fig. 2 Voltage and Current Waveforms of Measurement Circuit

ドのリカバリによる電流が i_3 で，この期間は十分短いためインダクタ電流は一定値 i_l であるとする。 i_2 から i_l を減算すれば i_3 が求められる。 i_3 と電圧波形 v の積を時間積分すればスイッチング損失が求められる。

4. 各種ダイオードの損失測定結果

Table3 に電源電圧 $V_{CC} = 100V$ の時のスイッチング損失の測定結果を示す。この結果より，SiC-SBD は Si-SBD と比較しても損失が 1/2 以下と非常に少ないことが分かる。よって SiC-SBD を使用することにより Si-FRD 並みの耐圧を持ちながらスイッチング損失を Si-SBD 以下に減少できることが期待できる。

Table3 Measured Switching Losses (J) ($V_{CC}=100V$)

SDT10S30	MBR20100CT	60EPU04
5.916×10^{-7}	1.489×10^{-6}	9.407×10^{-6}

5. インバータ回路による特性評価

第1報で報告した通り SiC ダイオードの最適応用法として，IGBT と組み合わせて電流進み位相で動作させることが考えられる。ここでは，直列共振 SEPP(Single Ended Push Pull) インバータ回路においてパワー MOSFET を使用した場合との比較により有効性を検証する。

Fig. 3 に測定に使用したインバータ回路を示す。

回路定数及び使用したデバイスは下記の通りである。

・回路定数

$R = 12.5\Omega$ (セメント抵抗), $L = 100\mu H$ (ドラムコア使用), $C = 0.0188\mu F$ (フィルムコンデンサ), 共振周波数約 120kHz

・パワー MOSFET

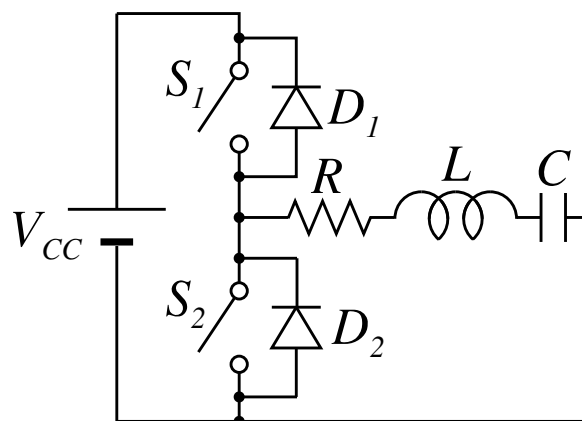


Fig. 3 Series Resonant SEPP Inverter Circuit

東芝製 2Sk2996⁸⁾, 最大定格 600V10A, オン抵抗 0.74Ω

・ IGBT

International Rectifier 製 IRG4BC30F⁹⁾, 最大定格 600V31A, $V_{CE(ON)} = 1.99V$

Fig. 4-1, 4-2 にパワー MOSFET を使用したインバータの S_2 , D_2 電圧・電流波形を示す．なお，このインバータでは D_1 , D_2 にパワー MOSFET のボディダイオードを使用した．インバータ周波数は 130kHz で，直流入力は 100V, 0.89A である．この動作条件では電流遅れ位相となり，原理的にターンオン損失は発生しないものの，ターンオフ損失はパワー MOSFET の特性に依存する．次に，Fig. 5-1, 5-2 に SiC ダイオードと IGBT を使用したインバータの S_2 , D_2 電圧・電流波形を示す．インバータ周波数は 110kHz で，直流入力は 100V, 0.89A である．この動作条件では電流進み位相となり，ターンオフ損失は発生しないものの，ターンオン時にダイオードのリカバリ電流により損失が発生する．

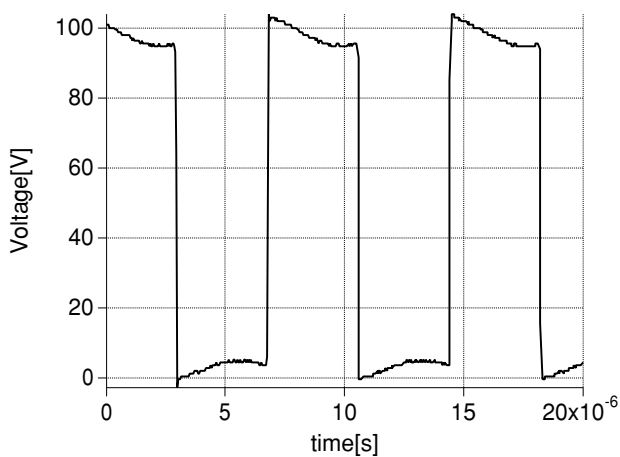


Fig. 4-1 Voltage Waveforms of Power MOSFET Inverter

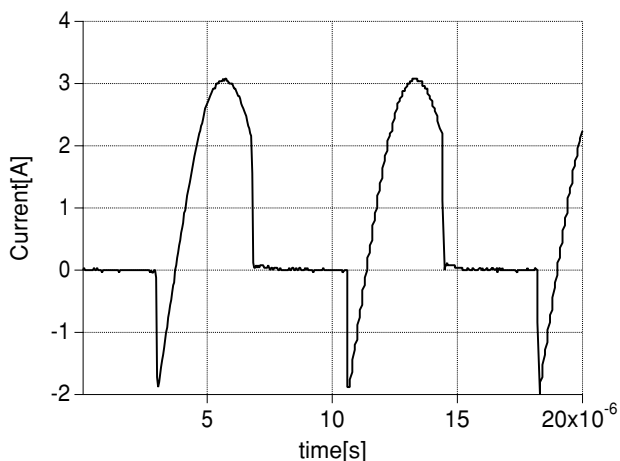


Fig. 4-2 Current Waveforms of Power MOSFET Inverter

Fig. 6 にはパワー MOSFET のターンオフ時の拡大波形を示す．測定条件は電源電圧 100V, 周波数 130kHz である．この波形の電流がゼロクロスする点までの電圧・電流の積和演算を行い，ターンオフ損失を求める．

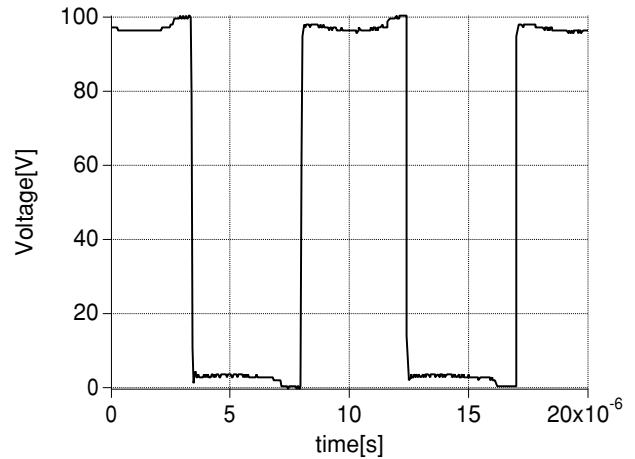


Fig. 5-1 Voltage Waveforms of SiC Diode + IGBT Inverter

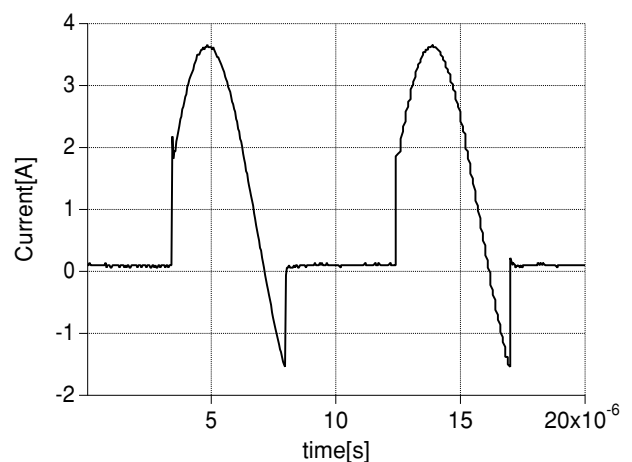


Fig. 5-2 Current Waveforms of SiC Diode + IGBT Inverter

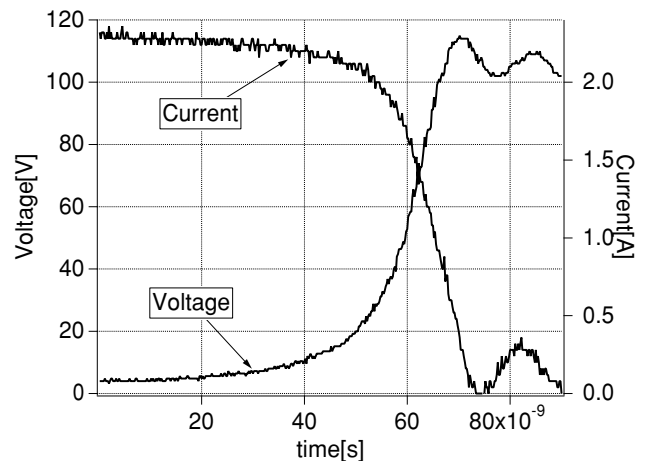


Fig. 6 Turn-off Waveforms of Power MOSFET

Fig. 7 には IGBT のターンオン時の拡大波形を示す。測定条件は電源電圧 100V, 周波数 110kHz である。この波形の電流立ち上がりから電圧がゼロクロスする点までの電圧・電流の積和演算を行いターンオン損失を求める。

Table4 はパワー MOSFET を使用したインバータにおいて周波数 130kHz 一定とし、電源電圧を変化させた場合のターンオフ損失の測定値を示す。この表より、ターンオフ損失の絶対値は十分小さく、電圧の 2 乗に比例して増加することが分かる。

Table5 は SiC ダイオードと IGBT を使用したインバータにおいて周波数 110kHz 一定とし、電源電圧を変化させた場合のターンオン損失の測定値を示す。この表より、ターンオフ損失の絶対値はパワー

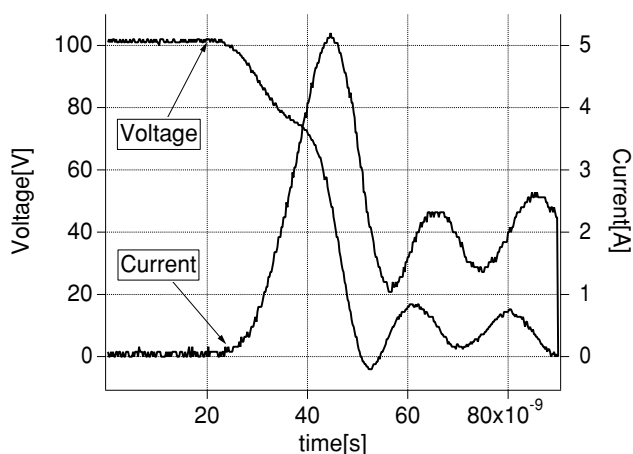


Fig. 7 Turn-on Waveforms of IGBT

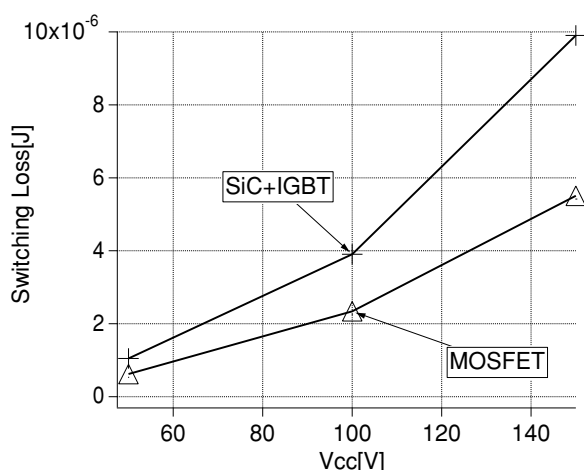


Fig. 8 Measured Switching Loss

Table4 Measured Turn-off Losses of MOSFET

DC Voltage[V]	DC Current[A]	Switching Loss[J]
50	0.45	6.199×10^{-7}
100	0.85	2.341×10^{-6}
150	1.22	5.509×10^{-6}

Table5 Measured Turn-on Losses of SiC+IGBT

DC Voltage[V]	DC Current[A]	Switching Loss[J]
50	0.45	1.050×10^{-6}
100	0.85	3.905×10^{-6}
150	1.33	9.902×10^{-6}

MOSFET には及ばないものの十分小さく、電圧の 2 乗に比例して増加することが分かる。

Fig. 8 は Table4, Table5 のスイッチング損失のデータをグラフにしたものである。

6. 結果の評価

5. の測定結果より、100kHz を超える周波数においても IGBT が低損失で動作可能であることが明らかとなった。これは、電流進み位相で動作させたことにより IGBT のテイル電流による損失発生がほぼ 0 となったことに加え、SiC ダイオードによりリカバリ損失が大幅に削減できたことによる。これらの結果、IGBT の動作可能周波数の大幅な引き上げが可能となり、より低損失・高電力密度の電源システムの実現が期待される。

参 考 文 献

- 1) "thinQ!TM Silicon Carbide Schottky Diodes: An SMPS Circuit Designer's Dream Comes True!", Christian Miesner, Roland Rupp, Holger Kapels, Michael Krach and Ilia Zverev
- 2) 山本祐輝, 長井聡 : SiC パワーデバイスの特性評価, 津山工業高等専門学校紀要第 47 号, pp.27-30, 2005
- 3) 財団法人 新機能素子研究開発協会ホームページ, http://www.fed.or.jp/project/sic/pro_sic06.htm
- 4) IXIS 社ホームページ, <http://www.ixys.com/Appasp/pdpgsd01.asp>
- 5) SDT10S30 Datasheet, infenion Technologies
- 6) MBR20100CT Datasheet, International Rectifier
- 7) 60EPU04 Datasheet, International Rectifier
- 8) 2SK2996 データシート, 東芝
- 9) IRG4BC30F データシート, International Rectifier

マイクロ風力発電機の大出力化に関する研究

鳥家秀昭* 築澤祐史** 明石紀美*** 湯地敏史****

Study for Increasing the Output Power of a Micro-Wind Generator

Hideaki Toya* Yuji Tsukizawa** Norimi Akashi*** Toshifumi Yuji****

A wind power generator is one of the clean energy sources. Since the output power increases proportionally to the third power of the wind velocity, a diffuser-type wind turbine has been known to increase the output power. Then, a study for increasing the output power of a micro-wind generator was performed. It is shown that novel diffuser structure (a cylindrical shroud) that can provide wind energy to blades effectively. The shroud was designed on the basis of an electronic computer analysis as well as experiment. The generation test with a truck running at a speed of 40-60km/h proves that the generator with shroud can provide higher output power than that without shroud. Based on the analysis, another diffuser structure (a compound shroud) was designed to reduce cost to manufacture the cylindrical shroud. The generation test was done with a test machine and preliminary result was reported.

Keywords: wind generator, diffuser-type wind turbine, shroud, blade

1. まえがき

地球環境保護やエネルギー資源の有効活用の観点から自然エネルギーを利用した発電は積極的に取り組むべき課題である。風力資源の利点は、永久に枯渇することがない点、昼夜を問わず利用可能な点、大気汚染や地球温暖化の心配がない点など多々あるが、特に注目すべきは比較的安価に家用風力発電が可能になる点である。日本では都市部においても常時平均 2~4m/s の風が吹いている所が多く、これを効率的にとらえて電気エネルギーに変換できれば、各家庭が自力で電気を蓄え、生活に利用することができる。一般に風力発電機の出力は風速の 3 乗に比例するため、強風地域に建設して商用電力に利用するために大形化の開発が活発に行われてきた。一方、近年の環境意識の高まりにつれて小形風車の研究も増加し、例えば、九州大学では風の出口にツバ状片を設置したディフューザによる大出力化の研究開発を行っている¹⁾。

小形風車とは発電出力が 20~30kW 以下とされているが、一般家庭用として普及している太陽光発電の発電出力が 2~3kW であることから、これに相当するものをマイクロ風力発電機と言われている。発電出力は風を受けるブレード（羽根）の有効面積にも比例し、現状の発電性能は、風速が 10m/s の条件下でブレード（羽根）の直径が 1.5m の風車の発電出力は高々 1 kW 程度である²⁾。本研究では、ツバの無い中細ディフューザ（以下、シュラウドという）を搭載したマイクロ風力発電機を対象として、平成 15 年度から発電実験を開始し³⁾、平成 16 年度からは ANSYS によるシュラウドの流体解析を実施している⁴⁾。研究の目的はシュラウド内外における風の流路を制御することにより風速増加効果を最大化し、5~10 倍程度の出力増大を実現することである。本報告では、これまでに行った、円筒型シュラウド付試作機の実験、ANSYS による流体解析、これに基づき設計・製作を行った複合型シュラウド付実験機について述べる。

2. 大出力化の原理・方法

大出力化の原理は、Fig.1 に示すようにプロペラ風車の周りを断面積が後方にゆくにしたがって拡大する円筒形の囲いで覆い、この拡散筒(ディフューザ)

原稿受付 平成 18 年 8 月 31 日

* 電子制御工学科

** 専攻科

*** 電子制御工学科卒業生(現、旭化成(株))

**** 広島商船高専

3. 実験及び結果

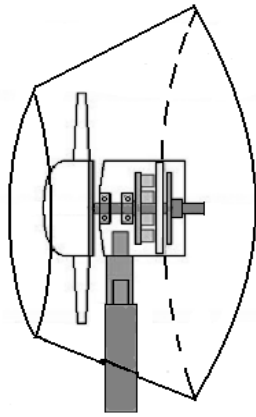


Fig.1. Diffuser envelope

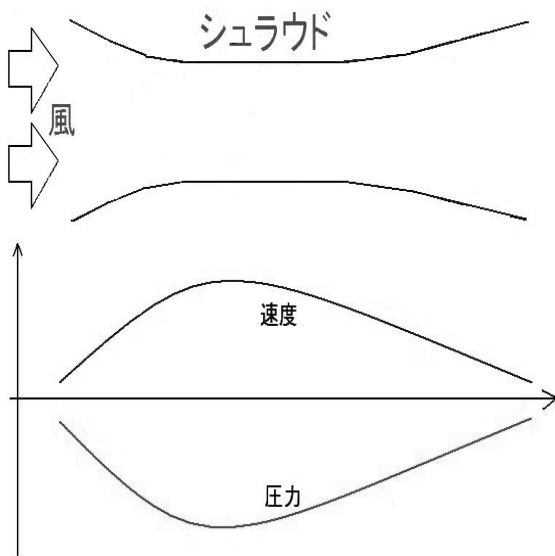


Fig.2 Distribution of wind velocity and pressure in a diffuser envelope

の作用によりシュラウド内外において圧力差を発生させて内部の風速を増大するものである。この方法は比較的簡単であり、また発電機を保護することにもなり、性能向上ばかりでなく安全性の確保の観点からも有効である²⁾。風速が増大する原理は、Fig.2の模式図に示すように、ベルヌーイの定理によりシュラウド内部を風が通過する際に断面積が最小になる領域では風速が最大で逆に圧力は最小になり、断面積と速度は反比例するという関係がある⁵⁾。

従って、風速が最大になる部分に風車のブレード（羽根）を設置することによりシュラウドのない場合に比べてブレードを高速で回転できる。前述したように風力発電機の発電出力は風速の3乗に比例して増大することから、発電出力の大出力化が可能である。

3. 1 実験装置と実験方法

実験に使用した円筒型シュラウド付実験機と実験方法について述べる。Fig.3に円筒型シュラウド付実験機の横断面図を示し、Fig.4(a), (b)に実験装置の配線図を示す。実験は風力発電機のみの場合と、風力発電機に円筒型シュラウドを設置した場合について、各々、別々にトラックに積載して走行し、トラックの走行速度が一定値になった時のブレードの回転数

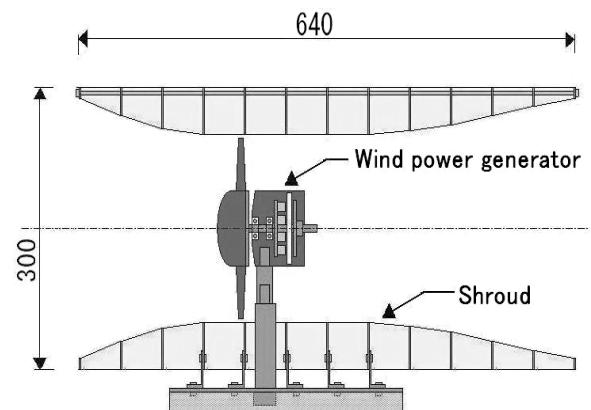


Fig.3 Cross-sectional drawing of a wind generator with a cylindrical shroud

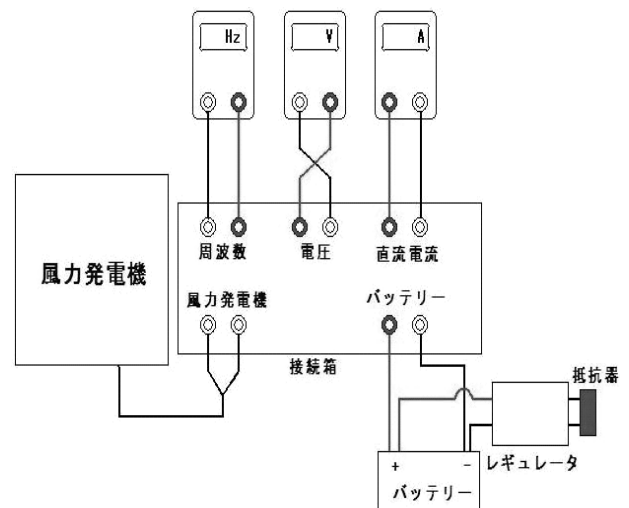


Fig.4(a) Experimental apparatus

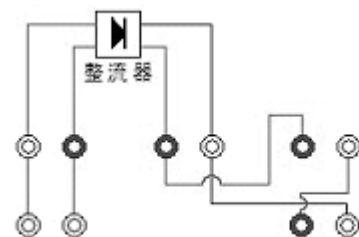


Fig.4(b) Distribution in the connection box

と発電機の電圧・電流をデジタルマルチメータで測定し、これらの指示値をデジカメに記録した。発電機の出力は交流であるが、今回の実験では整流器で直流に変換してバッテリー（12V/25Ah）に充電した。別途、抵抗負荷（2Ω）の場合の実験データも収集した。以上の測定データから、発電出力と走行速度の関係を求め、シュラウドの有無における発電出力を比較することによりシュラウドの効果を検討した。

3. 2 実験結果

円筒型シュラウド付実験機の実験結果を Fig.5～Fig.7 に示す。Fig.5 はシュラウドの有無における発電出力と車速の関係を示す。シュラウド無の場合は車速が 40km/h の時はほとんど発電しないが、車速が速くなるにつれて発電出力が増大し、65km/h の時に最大 2W になった。シュラウド有の場合は、車速が 40km/h の時に約 1W の出力があり、これより高速になるにつれてシュラウド無の場合との差が大きくなり、65km/h の時に最大 7W の発電出力が得られた。

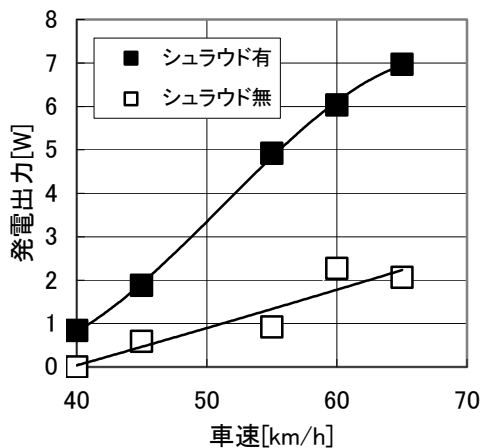


Fig.5 Generator output and truck speed

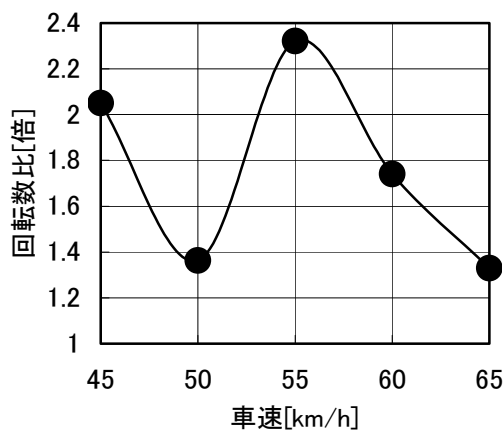


Fig.6 Rotational-number ratio with shroud to without

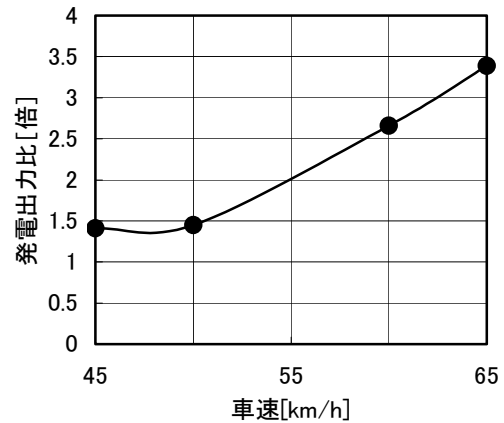


Fig.7 Output ratio with shroud to without shroud and truck speed

Fig.6 は、回転数比と車速の関係を示す。車速を一定に保つことが困難なため測定データのバラツキが大きい、回転数比は 1.4～2.4 倍である。Fig.7 は発電出力比と車速の関係を示す。車速が 50km/h 以上ではシュラウドの効果が顕著で車速の増加につれて出力比が上昇し、65km/h では約 3.5 倍になった。Fig.7 には示していないが、55km/h の時の出力比は約 5 倍に達した。これは Fig.5 に示す 55km/h の時のシュラウド無しの場合の出力が他の車速の時よりも低い（約 1W）ことと対応し、車速を一定に保持できなかったのではないと思われる。

4. シュラウド内外の風速と気圧の解析

本章では、サイバネットシステム（株）製の汎用構造解析プログラム(ANSYS)に付属しているプログラム (FLOTRAN) を使用して、シュラウド内外における流体解析⁶⁾を行った結果を述べる。解析には、ANSYS ED 版 Release 7.0 とテクノセンターの ANSYS Ver.8.0 を用いた。前者のプログラムは解析領域の分割数が高々 1000 と少ないため大まかな解析に使用し、詳細な解析は ANSYS Ver.8.0 で行った。

4. 1 円筒型シュラウド付実験機

円筒型シュラウド付実験機では車速が 65km/h の時の発電出力は最大 7W で、シュラウド無しの場合の発電出力より 3 倍程度増加した。Fig.3 に示すシュラウドの構造を最適化してこの実験結果よりもさらに風速を増大させることを目的に解析を行った。Fig.8 に円筒型シュラウドの全長に対するフラット部の長さの割合と最大風速の関係を示す。解析ではシュラウドの風の入口における風速を 10m/s として、フラット部の長さの割合が 20～35%程度の時、風速

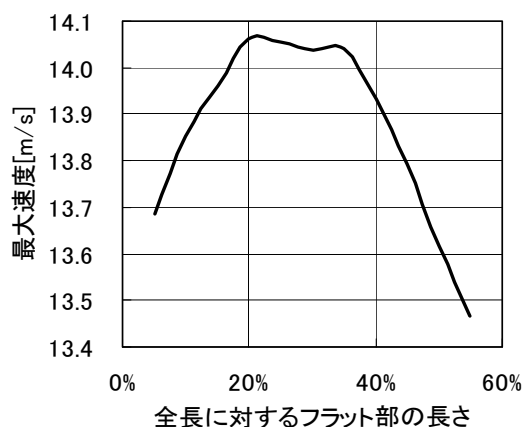


Fig.8 Maximum wind velocity and rate of the flat portion

シュラウドのフラット部は約 30%であり, 妥当な設計であると考えられる。

4. 2 内部テーパ型シュラウド付実験機

円筒型シュラウドの改良のためにシュラウドの外側に適当な他の部材を設置することが考えられるが実験機全体の寸法が大きくなり好ましくない。また, シュラウドの内壁にテーパ部を形成するのは構造的に加工し難く製作コストが高い。そこで, シュラウドの内部にテーパ部を形成したシュラウド (内部テーパ型シュラウドという) を考案した。いくつかの内部テーパ型シュラウドについて, 構造を変化させて ANSYS ED 版 Release 7.0 で解析した。これより得られた円筒型と内部テーパ型における風速分布を Fig.9 に示す。この解析では, シュラウド外部の風の流れを考慮していないが, 内部テーパ型の方がより高い風速が得られると思われる。

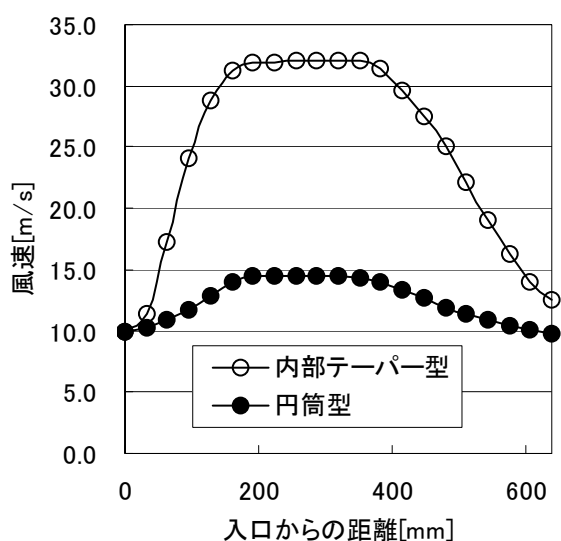


Fig.9 Distribution of the wind velocity for a cylindrical shroud and for an inner-taper shroud

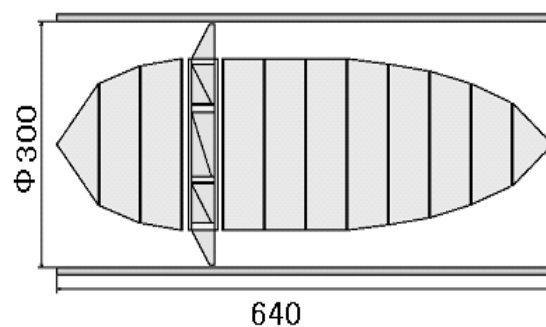


Fig.10 Cross-sectional drawing of a wind generator with an inner-taper shroud

以上の解析結果から Fig. 10 に示すような内部テーパ型シュラウド付実験機を設計した。

4. 3 内部テーパ型シュラウド付実験機の風速分布の再解析

前節で述べた内部テーパ型シュラウドの流体解析 (Fig.9) では, ANSYS ED 版 Release 7.0 を使用してシュラウドの入口から出口までの風の流れを調べた。しかし, 実験時の風の流れはこれとは異なりシュラウドの外側円筒 ($\Phi 300$) の外側の領域における空気の流れを考慮する必要がある。そこで, 解析領域としてシュラウドの風の入口の少し前から出口の少し後までとして ANSYS Ver.8.0 で再解析を行った。Fig.11 に示す再解析の結果から, 内部テーパ型シュラウドの外側円筒の外側の方がシュラウド内部より高風速になることがわかる。Fig.12 は 10m/s の風を送った場合のシュラウド内部の風速分布を示す。これらのことから, 内部テーパ型シュラウドはシュラウド内部の風速は円筒型と同程度であるが, 実験時にシュラウド内に風が入り難いと考えられる。

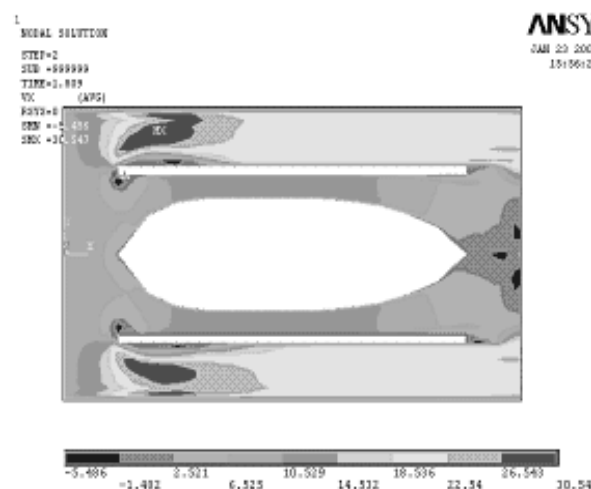


Fig.11 Wind velocity profile of the inner-taper shroud shown in Fig.10

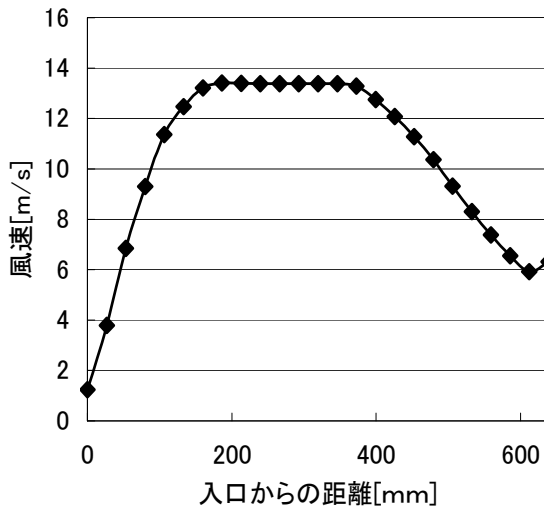


Fig.12 Distribution of the wind velocity in the inner-taper shroud shown in Fig.10

4. 4 複合型シュラウド付実験機

内部テーパ型シュラウドの改善策として、シュラウド内に風を取り込むためのインレット（案内材）を内部テーパ型シュラウドの風の入口に設置して開口面積を広げ、これによりシュラウドの外側に逃げていく風をシュラウド内に集めることを考えた。まず、シュラウドの風の入口に設置するインレットの角度として、 45° と 90° の 2 種類について ANSYS Ver.8.0 で解析を行った。インレットの長さは、シュラウドの円筒の内半径（約 150mm）を基準に 4 分割して、各々の風速分布を計算した。Fig.13~Fig.15 に示す解析結果から、2 種類ともシュラウド内部に高風速領域ができること、インレットの角度で多少の差はあるがインレットの長さ（開口面積）が増加するにつれて風速が増大することが分かる。また風速比が2倍になる時のインレットの長さ

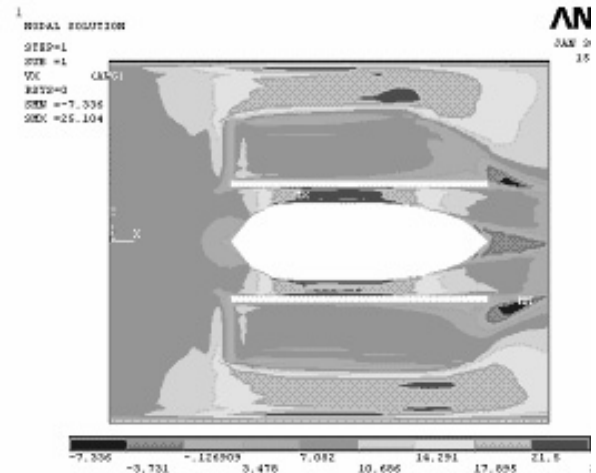


Fig.14 Wind velocity profile of the inner-taper shroud with a 90° inlet

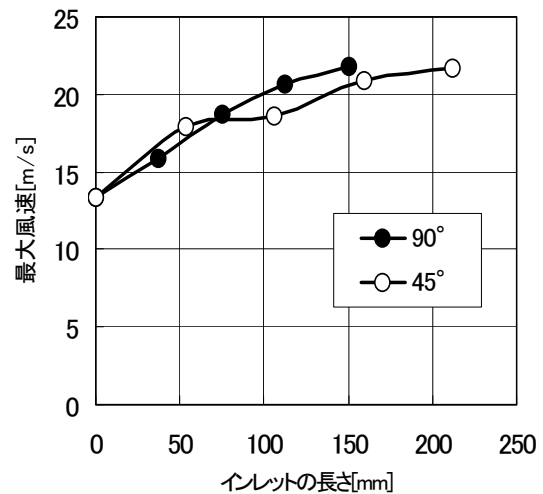


Fig.15 Maximum wind velocity in the inner-taper shroud with inlet and inlet length

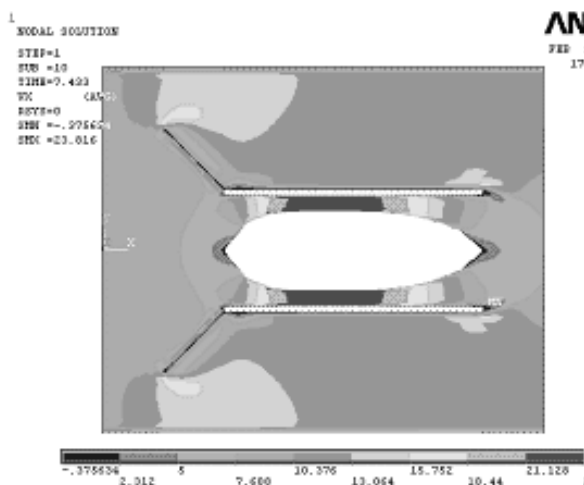


Fig.13 Wind velocity profile of the inner-taper shroud with a 45° inlet

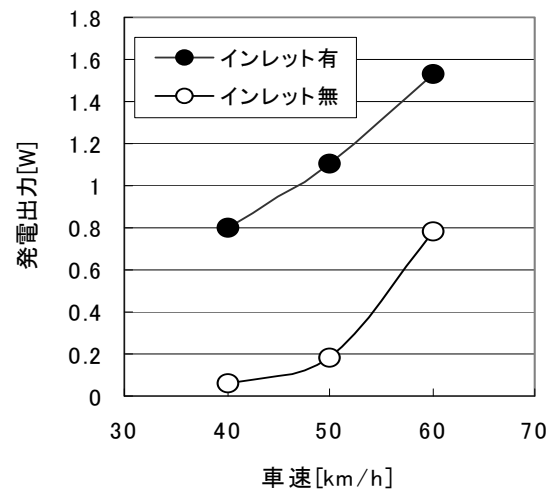


Fig.16 Output power and truck speed for the compound shroud with a 90° inlet

は Fig.15 から約 150mm であり、これより開口面積を求めると 216400mm^2 である。インレットの角度が 45° の方が機械的な強度は大きいと製作コストは高い。そこで、長さが約 150mm (外側直径 $\Phi 300\text{mm}$) の 90° インレットを製作し、これを内部テーパ型シュラウドに付加した実験機 (複合型シュラウド付実験機という) を製作して発電実験を行った。Fig.16 に示す実験結果は抵抗負荷 (1000Ω) の場合であるが、インレット有りの場合の発電出力は最大 5 倍程度増大したことが分かる。上記の複合型シュラウド付実験機の発電出力は円筒型シュラウド付実験機 (Fig.5) よりも大幅に低下した。主たる理由は、両者の実験機で発電機部分の構造が異なるためであると考えられる。しかし、ANSYS Ver.8.0 による解析結果で、円筒型 (Fig.8) と複合型 (Fig.15) を比較すると、後者の方が前者より約 1.4 倍高風速領域が出現することが分かる。これより、発電機部分の構造を改善することにより円筒型シュラウド付実験機と同程度の発電出力が得られると推測され、今後、発電出力の改善策を検討する予定である。

5. まとめ

マイクロ風力発電機の大出力化を目的として、新しい円筒型のシュラウドによる発電出力に及ぼす効果の確認実験を行い、目標どおり約 3 倍の出力比を得た。汎用構造解析プログラム (ANSYS) を用いて各種のシュラウド構造について流体解析を実施し、円筒型の風速増大効果を明らかにした。また、この解析に基づいて円筒型シュラウドより製作が容易で低コストの内部テーパ型シュラウドを考案した。

これにインレットを付加した複合型シュラウド付実験機を製作して、インレットの設置効果を実験で確認した。しかし、発電出力は円筒型シュラウド付実験機より低下しており、今後、発電出力の改善策を検討し、その結果を報告したい。

謝 辞

本研究は、平成 15 年度 (財) 八雲環境科学技術振興財団、平成 17 年度 (財) ウエスコ、ならびに平成 14, 16, 17 年度の本校傾斜配分枠研究費の援助により実施した。ここに記して感謝の意を表します。

また、卒業研究において、発電実験や ANSYS による流体解析を行っていただいた、電子制御工学科平成 15 年度卒業生三浦聡氏と平成 16 年度卒業生岡部克也氏に謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 大屋裕二他、第 23 回風力エネルギー利用シンポジウム講演論文集、pp.76-79
- 2) 牛山泉、さわやかエネルギー 風車入門増補版、(三省堂) pp.77-78 (2004)
- 3) 三浦聡、平成 15 年度電子制御工学科卒業論文
- 4) 岡部克也、平成 16 年度電子制御工学科卒業論文
- 5) 例えば、斉藤孟著、基礎機械工学「工業熱力学の基礎」pp.154-165 (サイエンス社)
- 6) CADCAE 研究会編、有限要素法解析ソフト ANSYS 工学解析入門第 2 版、pp.154-165 (理工学社)

DCサーボモータによる把持力制御

山本吉範*

小林正幸**

Grip Force Control by means of the DC Servo Motor

Yoshinori YAMAMOTO* Masayuki KOBAYASHI**

In this paper, the control method to gripping by means of a robot hand that automatically discriminates among rigid body, middle body and soft body is proposed. Further, an anti-fall method due to slipping of gripping body is made a trial by using a slipping sensor due to rotary encoder form to improve the reliability.

For a control of gripping behavior in this paper, the grip force control is enforced by means of DC servo motor instead of the stepping motor by reason of which have a weak gripping force and a slow gripping behavior. Still more, gripping control program is constructed by means of Visual Basic by reason of that express many data of gripping movement visually.

Key words: robot hand, gripping force, control, slipping sensor, DC servo motor

1. はじめに

ロボットハンドの研究は、古くから多くの研究がなされている¹⁾。その中で、人間が物を掴むという動作に着目した場合、人間は重さや摩擦係数が未知の物体や全く初めて目にする物を把持することが出来る。これは普段何気なく行っている動作であるが、指腹部で検出した触覚情報だけしか用いることが出来ないにもかかわらず、形状が同一で重さの異なる物体でも瞬時に把持し、過度な力による物体の破壊もない高度な把持力制御を行っている。

ロボットハンドに把持動作を行わせる場合、工業用ロボットなどは形状や重量が予め分かっている剛体物を扱う事が多いので、把持する力が多少強くても物体を握りつぶすことはない。したがって、簡単な圧力センサを用いて把持力を検出すれば十分である。しかし、近年研究が盛んに行われている医療用ロボット、介護用ロボット、家事用ロボットなどは形状が複雑で比較的柔軟性が高い物体を握りつぶさないように把持しなくてはならない。このように、ロボットハンドによる把持力制御は必要かつ重要な技術である。

本報告では、柔らかい物から硬い物まで自動的に判別して、1つのロボットハンドで把持出来るよう

な制御法を提案し、更に滑りによる落下を防止して、その把持成功頻度を高めるためにロータリーエンコーダ方式滑りセンサを利用したので、その結果について報告する。

2. 使用機器

図1-1及び図1-2のようにハンドを構成し使用する。

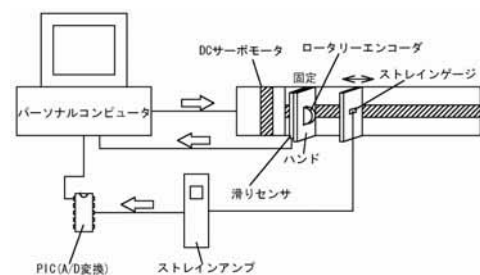


図1-1 システム構成図

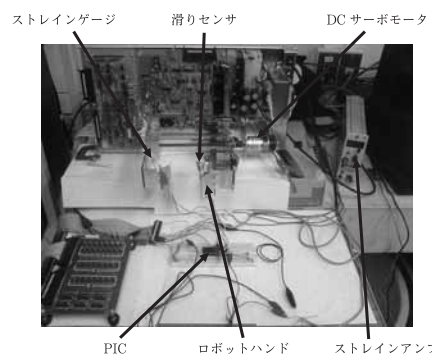


図1-2 システム構成の写真

*電子制御工学科

**平成17年度電子制御工学科卒業生 (現, (株)サノヤスヒシノ明昌)

ステッピングモータでは把持するための力が弱く、動作速度も遅いため DC サーボモータを用いた把持力制御を行うこととし、制御プログラムは把持動作を行う場合のデータを視覚的に表わすために Visual Basic を使用した。また、入力データは比較的安価で扱い易い PIC(Peripheral Interface Controller)を用いて AD 変換しパソコンに取り込んだ。

ハンドの開閉は、DC サーボモータをパソコンで制御し行う。硬いものから柔らかいものまで把持するために比較的たわみ易い板状のハンドを採用した。把持原理は、まず先端に把持力を受け、たわんだハンドの根元のひずみをそこに取り付けしたストレインゲージを用いて、ブリッジおよびストレインアンプを介して電圧値として出力する。その電圧値を AD 変換しパソコンに入力することで、そのときハンドが物体に加えている力が求まる。そして、求めた力が物体を把持するために必要な力になるまでハンドを閉じるという方法で物体を把持する。さらに、力学的センサであるストレインゲージを用い、把持成功頻度を向上させるために滑りセンサを導入した。

3. ハンド部の構成と理論的実験的検討

ハンドはアルミニウムの薄い板を2枚用い、さらに物体把持部（荷重点）にはアルミニウム板がたわんでも把持物体に均等に面圧が作用するようにアルミニウム製の支え部（対象物に接触している部分）を設けた。この支え部の回転支点と物体把持面との間に木片を入れて固定し、支え部自体のたわみを防止した。その構成を図2に示す。

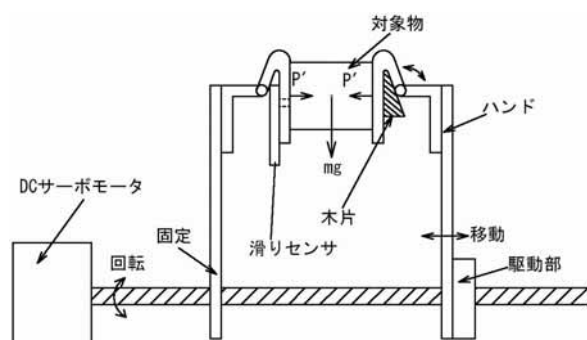


図2 ハンド部の詳細

ハンドで対象物を把持するとは、図2に示すように対象物を大きく変形させないで静止の状態に保つ（滑り落ちない）ことを指す。これを実現するために、まず初めに支え部について、物体把持面の面性状（面に貼り付けた材料）と対象物との間の静摩擦係数を実験的に求めた。対象物としては、全て支え部との接触面積をほぼ一定にした直方体形状とし、柔らかいもの硬いものその中間的なものの代表的な

3種類を取上げた。また、面性状についても身近にあり安価で手に入り易いアルミ板、薄いゴム、テープの上面（非粘着面）とした。実験方法は、対象物をそれぞれの面性状の板の上に乗せて引っ張り、その引っ張り力をバネばかりで測定することで摩擦係数を得た。その結果を表1に表わす。表1よりテープ面における静摩擦係数が大きいことが分かったので、支え部にテープを貼ることにした。

表1 静摩擦係数の測定値

	アルミ板	ゴム	テープ
木綿豆腐 200g 静摩擦係数 μ	0.4	0.467	0.533
積木 50g 静摩擦係数 μ	0.167	0.367	0.467
スポンジ 3g 静摩擦係数 μ	0.291	0.602	0.583

次に、図2より次のような関係が成り立つことがわかる。即ち

$$2\mu P' \geq mg$$

ここで、 P' は物体把持力、 m は物体の質量、 g は重力加速度をそれぞれ表わす。これより以下の関係を得る。即ち

$$P' \geq \frac{mg}{2\mu} \quad (3.1)$$

(3.1)式を用いて、各対象物の与えられた質量に対して、面性状をテープ面とした場合の最小把持力を計算し、以下の不等式を得る。即ち、

(i) 木綿豆腐 (100g)

$$P' \geq \frac{mg}{2\mu_7} = \frac{100 \times 9.8 \times 10^{-3}}{2 \times 0.533} = 0.919 [\text{N}] \quad (3.2)$$

(ii) 積木 (50g)

$$P' \geq \frac{mg}{2\mu_8} = \frac{50 \times 9.8 \times 10^{-3}}{2 \times 0.467} = 0.525 [\text{N}] \quad (3.3)$$

(iii) スポンジ (3g)

$$P' \geq \frac{mg}{2\mu_9} = \frac{3 \times 9.8 \times 10^{-3}}{2 \times 0.583} = 0.025 [\text{N}] \quad (3.4)$$

ここで、 μ_7, μ_8, μ_9 はそれぞれテープ面に対する木綿豆腐、積木、スポンジの静摩擦係数を表わす。

次に、物体把持力 P' を発生させることを考える。ここで考えているハンドは図2に示すように、アルミニウム板で構成される片持りである。この片持りの先端に荷重をかけると、はりたわみ、その固定点付近には歪みを生じることはよく知られてい

る。逆に、片持はりの先端を固定して固定点付近を移動させてはりをたわませれば、先端の固定部分に力を発生させることができる。この考えにより把持力 P' を発生させることにする。

ハンド（アルミニウム板）自体は、たわみ量が小さい場合、弾性体と見なすことができる。把持物体については、必ずしも弾性体ではないが変形量が十分小さいので、ここでは近似的に弾性体と見なして取り扱う。

ばね定数を k と表し、変位を x 、力を F とすると、弾性体に加わる力と変位について線形関係

$$F = kx \quad (3.5)$$

が成立する。把持力に対してハンド自体と把持する物体が直列に接続されているので、ハンド自体のばね定数を k_1 とし、把持する物体のばね定数を k_2 とすれば、両物体の合成ばね定数が(3.5)式の k となる。即ち、

$$k = \frac{k_1 k_2}{k_1 + k_2} \quad (3.6)$$

となる。ここで例えば把持する物体を剛体とした場合、 $k_2 = \infty$ となる。従って、(3.6)式よりこの場合の合成ばね定数は近似的に

$$k \cong k_1 \quad (3.7)$$

となり、ハンド自体のばね定数と等しくなる。これより把持する物体が剛体ならば、ハンド自体（アルミニウム板）の力学的議論を行えばよいことになる。

長さ l の片持はりの先端に加える力と変位は

$$F = \frac{3EI}{l^3} x \quad (3.8)$$

となる。ここで、 E は縦弾性係数、 I は断面二次モーメントを表わす。(3.5)式と(3.8)式より、ハンド自体のばね定数 k は

$$k = \frac{3EI}{l^3} \quad (3.9)$$

となる。ここで、 I は断面二次モーメントなので

$$I = \frac{bh^3}{12} \quad (3.10)$$

である。ここで、 b はハンドの幅、 h はハンドの厚さを表わす。

図2に示すハンドの幅 b は 43 [mm] であり、厚さ h は 1 [mm] である。(3.10)式より断面二次モーメント I は、

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{43 \times 10^{-3} \times (1 \times 10^{-3})^3}{12} \cong 3.583 \times 10^{-12} [\text{m}^4] \quad (3.11)$$

と求まる。ハンドの材料はアルミニウムなので、縦弾性係数 E は、70 [GPa] である。ハンドの長さ l は 120 [mm] より、ハンドのばね定数 k は、

$$k = \frac{3EI}{l^3} = \frac{3 \times 70 \times 10^9 \times 3.583 \times 10^{-12}}{(120 \times 10^{-3})^3} = 0.435 [\text{N/mm}] \quad (3.12)$$

となる。

片持はりの固定点付近の歪み ε_1 と先端に働く荷重 F との関係は

$$\varepsilon_1 = 0.5 lhF(EI)^{-1} \quad (3.13)$$

で与えられる。ここで、 l は固定点から先端の荷重点までの距離を表わす。(3.13)式より把持物体に働く把持力 P' を片持はりの固定点付近の歪み ε_1 を測定することで知ることができる。

実際には、DC サーボモータによりハンドの開閉動作を行わせるため、ハンドの移動量が問題となる。そこで、図1の実験装置を用いて把持物体に加わる力とハンド移動部の移動量との関係を実験的に調べた結果を図3-1に示す。また、その測定実験の様子を図3-2、図3-3及び図3-4に示す。

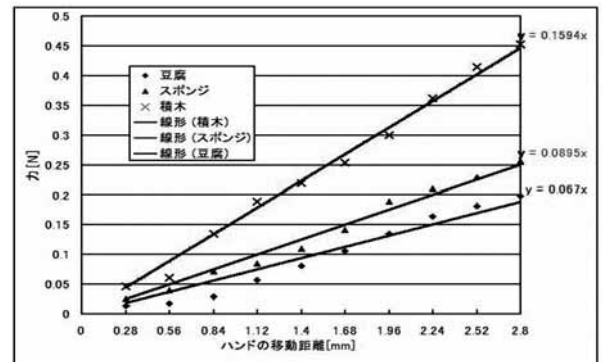


図3-1 ハンドの移動量と物体の反力

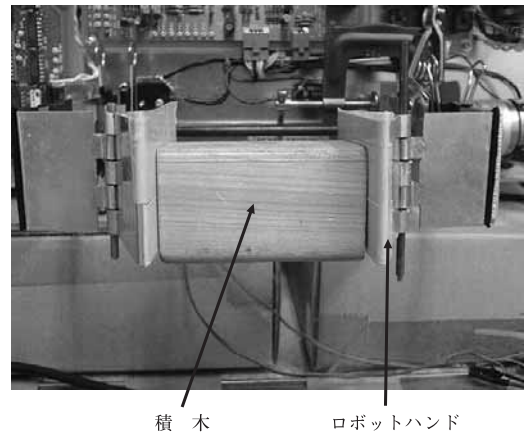
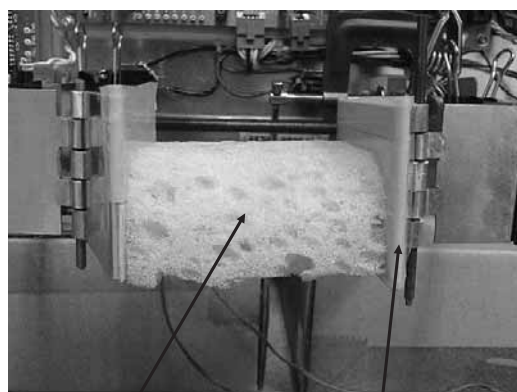
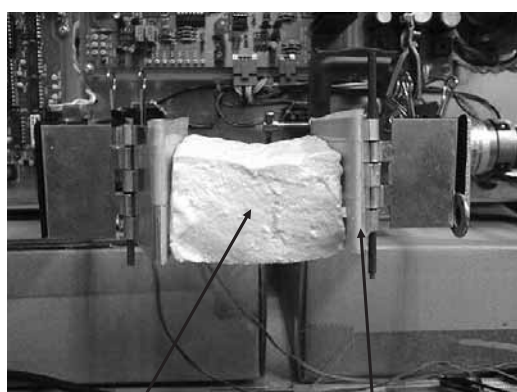


図3-2 積木の把持



スポンジ ロボットハンド
図3-3 スポンジの把持



木綿豆腐 ロボットハンド
図3-4 木綿豆腐の把持

この結果より(3.12)式のばね定数 $k=0.435[N/mm]$ と図3-1における積木のグラフの傾き $0.419[N/mm]$ がほぼ同じ値なので、ハンド自体(片持はり部)と把持物体の合成ばね定数とした仮定(3.6)式を採用できる。参考までにこの理論と実験結果を用いて、木綿豆腐とスポンジのばね定数を仮に計算すれば、

$$\left. \begin{array}{ll} \text{木綿豆腐} & k_2=0.15[N/mm] \\ \text{スポンジ} & k_2=0.367[N/mm] \end{array} \right\} \quad (3.14)$$

となる。これは柔らかいものほど同じ力に対しての変形量が多いことを表わす。

4. 対象物の硬さ軟らかさ判別法

硬いもの柔らかいものは、何処が異なるかであるが、1つには前節で調べたように擬似弾性定数に違いがあるといえる。すなわち、加える力に対して把持物体の変形量に違いが現れる。また、図3-1に見られるように加える力とハンドの移動量は、把持物体の変形量が少ない(加える力が小さい)領域でほぼ線形関係にあるといえる。

図3-1の近似直線の傾きの大きさは、硬いものほど大きく、柔らかいものほど小さい傾向にある。すなわち、硬さ柔らかさが異なる数種類の基準となる物体について、硬さや柔らかさ(図3-1に示す加える力とハンドの移動量)を実験的に調べ、柔らかい領域、硬い領域、その中間領域というように数段階に分けて境界(原点を通る直線)を決める。このようにして作成した基準図をもとに硬い、柔らかいを判別する。

具体的には、基準図の境界を決める直線は原点を通るので、各領域は横軸から測った原点回りにおける角度の大きさで指定できる。つまり、直線の傾きを a とするとその角度 θ は

$$\theta = \tan^{-1} a \quad [^\circ] \quad (4.1)$$

で求まる。この基準領域角の範囲を基準図にして示したものが図4である。

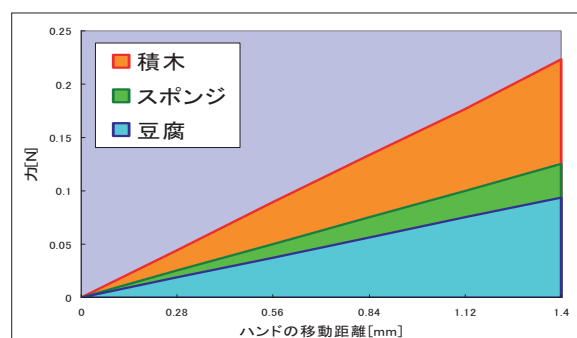


図4 基準図「カラー表示」

注意書き：1番下の領域が豆腐、下から2番目がスポンジ、3番目が積木の領域

図4の基準図は、硬いもの、やや硬いもの、柔らかいものの順に直線で原点0回りの角度を分割している。これら個々の角度範囲については、(4.1)式を用い各把持物体について70個の計測結果をもとに決めた。その結果、平均値はそれぞれ積木=21.02[°]、スポンジ=13.45[°]、豆腐=7.49[°]となり、値のばらつきの範囲は積木=18.63~24.16[°]、スポンジ=11.73~15.38[°]、豆腐=6.88~8.84[°]となった。従って、この3種類を判別するための境界線(直線)の角度は

$$\left\{ \begin{array}{ll} \alpha \text{ (積木)} & = 24.16 [^\circ] \\ \beta \text{ (スポンジ)} & = 15.38 [^\circ] \\ \gamma \text{ (木綿豆腐)} & = 8.84 [^\circ] \end{array} \right.$$

とし、それを図4に示した。ある未知の物体をハンドで挟み、数回の挟みデータ(荷重の大きさとハンドの移動量)を瞬時に取り込み、(4.1)式を用いて傾

き角度を計算する．その角度を図4の基準図に照らし合わせることで，その物体の硬さ柔らかさを判別する．

把持物体の重さと摩擦係数が前もって分かっているならば，その既知の物体を持ち上げられる最低の把持力を(3.1)式で計算できる．実際は，把持物体の重さや摩擦係数を前もって把握できない．ただし，比較的軽くて小さい把持物体の硬さ柔らかさは図4から把握でき，そのような物体に加える力の大きさと変形量も図4（あるいは図3-1）を用いてある程度推測可能である．軽く物体を挟んで，少しでも持ち上げた時に滑り始め，滑りが止まるまで挟む力を素早くかつ少しずつ増加してやれば，比較的軽くて硬めの物体について把持することが可能と推測できる．

このように把持物体の滑りを検出できれば，比較的軽くて硬めの物体を把持することがある程度可能になり，さらに滑りによる落下を防止して把持成功頻度を向上させることが出来ると考えられる．

5. 滑りセンサを用いた把持力制御

本研究で構成したロボットハンドでは，物体を把持した後，持ち上げることが出来ない．そこで，既知の把持物体が把持された後，何らかの影響により滑り始めた時，落下する前にその滑りを検知しハンドの挟み力を強めて物体の落下を防ぐことを考える．本研究で用いた滑りセンサの構成を図5-1に示す．また，滑りセンサはロータリーエンコーダ方式のものを使用し，実際に滑りセンサを取り付けた装置の構成を図5-2に示す．

今回の滑りセンサによる把持物体の落下防止実験は図5-2に示す実験装置を用いた．まず既知の把持物体（3種類の重さ）の硬さ柔らかさを判別して，その物体を適切な力で把持した後，ハンドを少しずつ開き物体が落下しようとしたときに生じるロータリーエンコーダからの滑り信号を読み取る．滑り信号を検知したら少し強めの力でハンドを素早く閉じ，物体を把持する．この動作を20回繰り返した実験結果を表2に示す．表2に示す結果より，重さが50gを越えると滑り防止成功頻度が落ちてくることが理解できる．

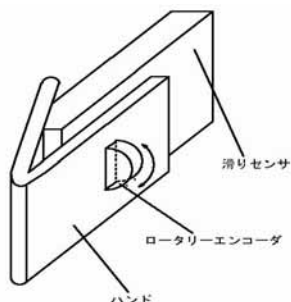


図5-1 滑りセンサの構成

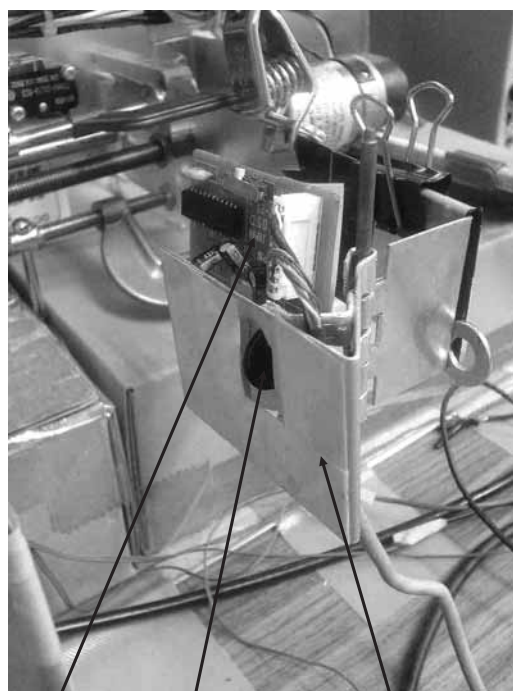


図5-2 滑りセンサ取り付け写真

表2 滑りセンサの実験結果

	積木 10g	積木 30g	積木 50g
測定回数	結果	結果	結果
1	○	○	×
2	○	○	×
3	○	○	○
4	○	○	○
5	○	○	×
6	○	○	○
7	○	○	○
8	○	○	○
9	○	○	×
10	○	○	○
11	○	○	○
12	○	○	○
13	○	○	×
14	○	○	○
15	×	○	○
16	○	○	○
17	○	○	○
18	○	○	○
19	○	○	○
20	○	○	○

○：成功、×：失敗

6. プログラムの Visual 化²⁾³⁾

Visual Basic は Windows で使用できるプログラミング言語で、視覚的にプログラミングができるため効率的に作業を進めることができる。以下、この言語を用いて把持実験の Visual 化を行った。図 6 に実際に Visual 化した結果を表示する。



図 6 プログラムの Visual 表示「カラー表示」

注意書き：上図のひずみは赤色バーと数値で表示

ボタンの機能を、以下に示す。速度、速度バーは速度に直接値を入力するか、速度バーをマウスで移動させる事で DC サーボモータの出力を変化させ、ハンドの移動速度を変更できる。変化可能な値は 0 ～ 127 となっていて片方を変更すればもう片方の値も自動的に変更する。左、停止、右スイッチをクリックすればそれぞれの動作をハンドが行う。ひずみでは、ハンドが物体を挟み、たわんだ時のストレインゲージ信号の変化をストレインアンプで増幅し、PIC で AD 変換してコネクタから読み取った値を出力する。出力は 0 ～ 1023 まで可能であるが、変化速度が速いため数値だけでは見づらいという事があり、右側の赤いバーで値を見やすくしている。パルスでは DC サーボモーターに組み込まれているロータリーエンコーダからの信号を読み取って、ハンドの位置決め制御に使用できる。パルスカウンタではパルス信号の変化をカウントして表示する。硬さ測定ではスイッチを押すと物体を軽く挟みハンドと物体を水平に調整し、それから硬さの測定を行いその値を最小自乗法で計算して傾きを求める。その傾きを角度に変換して出力する。角度では硬さ測定により求めた角度を出力する。そして、この角度の直線を左下の図に赤い線で出力し、測定結果がどの範囲の硬さになっているかが直ぐ分かる様になっている。測定データでは硬さ測定で測定された値を出力して

いて、左からパルスカウンタの値、ひずみの値より計算したハンドにかかる荷重 $P[N]$ 、移動距離[mm]を表す。物体把持はスイッチを押すと求めた角度により物体を判別し、その物体に適切な力で把持する。滑りセンサでは滑りセンサのロータリーエンコーダからの信号を読み取って出力する。滑りカウンタは滑り信号の変化をカウントし表示する。滑り制御スイッチを押すと少しずつハンドが開き物体が落下しようとするが、その前に滑りセンサからの信号を読み取りハンドを素早く閉じ物体の落下を防ぐ。終了スイッチを押すとハンドを初期の位置に戻してプログラムを終了する。

このように、1 枚のパネルで実験の操作や結果の表示ができ、作業効率の向上のために有効である。

把持動作の流れを図 7 に示す。具体的には、硬さ測定後ハンドを開き物体把持を行う。その後、滑り制御を実施して物体の落下を防げるか確認する。実験が終了すれば終了ボタンを押して終わる。図 8 は、この把持動作の中で特に硬さ測定とその決定手順の流れを示す。図 8 において、角度の決定に必要な直線の傾きを求める際、把持力と変位（ハンドの移動量）の関係を測定するが、把持物体が弾性体でないことや測定誤差のためにその値がばらつく。ここでは、ばらつきがありなおかつ少ない測定点の数でも精度の高い傾きを求められる最小自乗法を用いた。

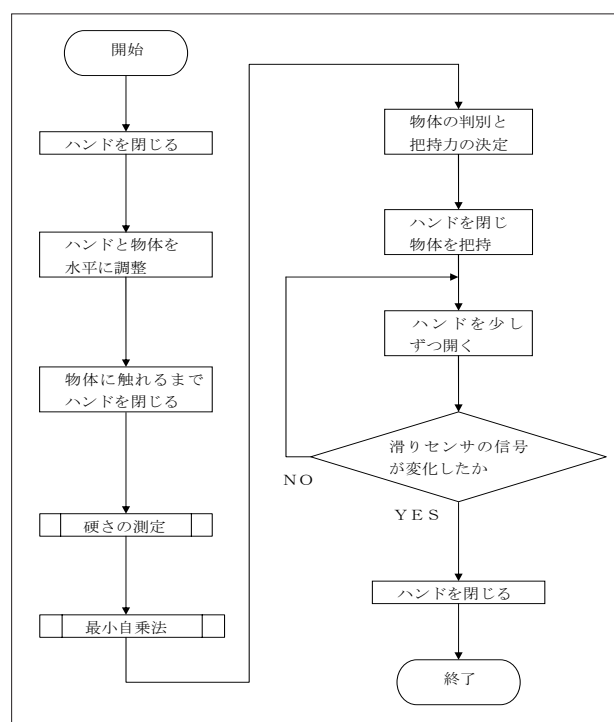


図 7 把持力制御のフローチャート

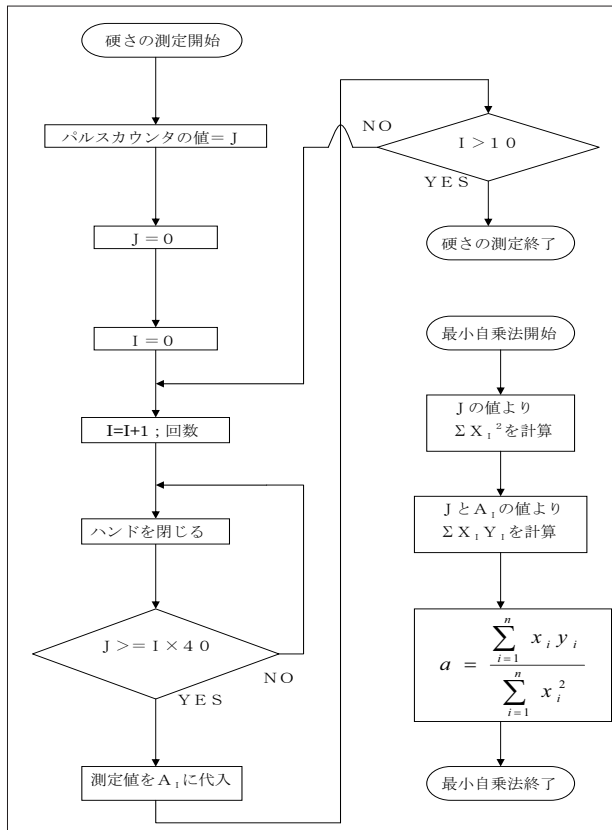


図8 硬さの測定と決定のフローチャート

7. おわりに

把持物体の硬さ柔らかさを判断するために、硬いもの柔らかいものその中間的なものを設定し、それをもとに硬さを3段階の角度領域として表わした。硬さ測定を通して、3段階のどの領域に把持物体の測定値が入るかで硬い柔らかいを判断できるようになった。

ロータリーエンコーダ方式滑りセンサをロボットハンドの先端に取り付けることによって比較的軽く硬めの物体の滑りを検知し、物体の落下を防げるようになった。その結果、ハンドの把持成功頻度がある程度向上させることができた。

Visual Basic によりプログラムを作成し、Visual

化をした結果、視覚的かつ効率的に作業を進めることができるようになった。

以上の結果より、本研究で構成したハンド構造は広範囲の硬さの物体を把持する上に有効である。また単純な硬さ判別法ではあるが確実性があり、介護や医療ロボットなどへの応用が可能である。

しかしながら、いくつかの問題点も残った。滑りセンサの成功頻度について表2より、積木30gまではほぼ確実に把持することが出来た。しかし50gになると滑りセンサは滑りを検知しているが、滑り信号を読み取ってからハンドを閉じる速度が追いつけない場合がある。従って、これ以上重い物体を把持したいならハンド支え部表面の摩擦係数を高める必要がある。

豆腐などは表面が水で濡れている上、ハンドで挟んだときに内部から水が染み出して来るなど、安定して把持することがとても難しい。測定する物体を豆腐ではなく他のもので検討すべきかもしれない。

謝 辞

本研究の遂行にあたり、山本研究室の卒業研究生、特に平成15年度卒業生栗本和政氏、花谷一樹氏、平成16年度卒業生青木吉春氏、栗井昭裕氏、平成17年度卒業生大極祐介氏には卒業研究を通じてご協力を頂いた。また、本校技術専門職員の中尾三徳様をはじめ多くの方々にご助言およびご協力を頂いた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 新井健生, ロボットの運動と制御-マニピュレーション-, 数理学, No.249, (1984), 25-31.
- 2) 川口, 河野, かんたんプログラミング Visual Basic 6 基礎編 技術評論社, (2001), 12.
- 3) 川口, 河野, かんたんプログラミング Visual Basic 6 コントロール・関数編 技術評論社, (2001), 12.

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

田淵哲也* 佐野真澄** 岡田 正***

Development of an Assistant System for Website Construction and an Effect of Using Open Source Software

Tetsuya TABUCHI, Masumi SANO and Tadashi OKADA

In a rapid spread of using the Internet, we developed a system of assistance for Website construction by using open source software. The open source software can use without charge and also its stability and security are no less than commercial software. In this paper, we describe the mechanism of this system and consider advantages of using open source software.

Keywords : Open source software, assistance for Website construction, Web-based system

1. はじめに

我々の研究室では、多様な地域組織に対してニーズに応じた情報化支援を行ってきた¹⁻⁶⁾。これらの活動の目的は、各組織の情報活用が活発になることはもとより、地域への技術移転や学生教育への良い効果を意図したものである⁷⁾。情報化が、パソコンの導入からインターネットを利用した業務へと、多様化・高度化するなかで、地域において一定の評価を得ている。最近では、インターネットを活用して業務改善を行いたい要求が増えており、ネットワークサーバ構築技術をベースに対応することが多い。

このようなネットワークサーバ分野では、オープンソースソフトウェア(OSS: Open Source Software)の活用が最も進んでいる。OSSは自由な開発環境のもとで、さまざまな人の協力のもとで開発されているソフトウェアである。OSSは無償で利用できることが表に出ることが多い。これは重要な性質であるものの、性能面でも一般的な商用ソフトウェアに劣るものではなく、利用分野によってはそれ以上の効果を得ることもできる。さらに重要なのは、ソフトウェアという知的創作物を自由に共有することで、技術の発展を促そうという考え方である^{8,9)}。これは、技術移転を視野に入れた我々の活動に通じる。

本論文では、このような背景のもとで、地域企業と共同でOSSを使って開発したインターネット応用システムについて述べる。今回開発したシステムは、最小限の知識でWebページとして情報を公開でき、維持管理も容易に行えるWebサイト構築支援システムである。このシステム構築を通して得られたOSSを利用する効果についても、合わせて議論している。

2. ではOSSの特徴と地域支援に利用する上での考え方を整理する。3. において、構築したシステムを具体的に述べ、4. でOSSの効果を具体的に検証する。

2. オープンソースソフトウェアと 利用における特徴

2. 1 オープンソースソフトウェアの定義

OSSは、広義にはソースコードが公開されているソフトウェアといえるが、ここでは客観性を持たせて、OSI(Open Source Initiative)¹⁰⁾の定義した10の条件、OSD(Open Source Definition)¹¹⁾を満たして頒布されるソフトウェアのことであるとする。以下にOSDの代表的な項目を挙げる。

(1) 再頒布の自由

オープンソースライセンスは、ソフトウェアを販売あるいは無償で頒布することを制限してはならない。ソフトウェア単体で頒布する場合だけでなく、他のソフトウェアと一緒にディストリビューションとして頒布する場合も同様である。このために、OSSは無償で頒布されている場合が多い。

原稿受付 平成18年8月31日

*専攻科電子・情報システム工学専攻科修了生(平成17年度)

**専攻科電子・情報システム工学専攻科修了生(平成15年度)

***情報工学科

(2) ソースコードの公開

プログラムのソースコードさえあれば、ソフトウェアはいくらでも複製したり改変できる。このソースコードを公開しなくてはならないという、オープンソースの基本の特徴である。ソフトウェアを頒布する際に、何らかの形でソースコードも入手可能にしなければならない。一般的にはインターネット上で無料ダウンロードできるようにしている。

(3) 派生ソフトウェアの許可

これは元のソフトウェアのソースコードを改変し、派生ソフトウェアの作成を許可するものである。また、派生ソフトウェアを元のソフトウェアと同じライセンスで頒布することも許可しなくてはならない。

(4) 作者のソースコードの完全性の保証

改変されたソースコードの頒布を制限し、元のソースコードと改変部分のパッチといった形で頒布させることができる。また、派生ソフトウェアに元のソフトウェアと異なる名前やバージョン番号をつけるように義務付けることもできる。こうすることで、元のソフトウェア作者の名声を保護したり、元のソフトウェアとの区別を明確にしている。

このような OSD をすべて満たすライセンスに基づき配布されるソフトウェアを厳密な OSS と呼ぶ。OSS のライセンスとして有名なものに、GPL (GNU General Public License)¹²⁾ や BSD (Berkeley Software Distribution) ライセンス¹³⁾ がある。

2. 2 情報化支援に利用する上での特徴

利用する上での OSS のもっとも大きな利点は、2. 1 の(1)による無償で利用可能な点である。OSD を満たす OSS は、自由に複製・改変するため、利用料金などは必要ない。ただし、個々のサポートは基本的に行っていないので、利用者の責任で対応しなければならない。例えば、バグを発見した場合、ソースコードが公開されているため、自分に技術があればバグを追跡し、原因を突き止めることができるかもしれない。そして作成したバグに対するパッチを開発コミュニティに送付することで、開発に貢献することもできる。

一般的に OSS は安定性や安全性が高いといわれており、事実メンテナンスの手間を大幅に削減できる。これは、OSS が従来のソフトウェア開発とは異なる「バザール方式」と呼ばれる開発形態をとっていることに起因する¹⁴⁾。従来のソフトウェアは、一部の専門家が企業内などの閉鎖的なコミュニティに集まって開発を行っていた。ソフトウェアのリリースには慎重を期し、テストを重ねるため、リリースの間隔が長くなる。これに対して、バザール方式

では、世界中の開発者が自分のできる部分を分担して開発しており、開発のスピードは速い。多くの開発者・利用者により検証されるので、バグの発見と修正も迅速に行われる。また、リリースを頻繁に行うことで、ユーザからの意見を開発に取り入れやすくしている。OSS ではユーザも開発に積極的に参加できる。さらに、企業主体の開発方式でないので、利益が出ないからといって開発を打ち切られる心配がなく、持続的な開発を行うことが可能である。

OSS は開発版と安定版の2系統に分かれて開発されている場合が多い。バザール方式では、開発者が興味を持ったことをソフトウェアにどんどん取り込んでいくことを推奨している。そのため、新しい技術への対応が早い反面、そうして追加された機能にはバグが入りやすい。これでは安定性が求められる業務には利用できないので、新しい技術を取り入れて開発される開発版と、十分にバグ取りが行われて基本機能に絞った安定版が必要となるわけである。安定版は新しく発見されるバグが少ないため、セキュリティのためのパッチ当てなどの作業が少なくなり、メンテナンス性も向上する。

OSS を利用したシステム上でプログラムを開発した場合、2. 1 の(2)(3)のために開発プログラムを公開することになる。これは、技術移転の観点からは望ましいことで、移転先の環境でも問題なく利用できる。ただ、GPL のように派生ソフトウェアに元と同じ GPL を強いるライセンスでは、知的財産を保護する目的であってもソースコードの一部を隠すことができない。これは、状況によっては開発者に不利益をもたらすことがあるので、注意を要する。

3. Webサイト構築支援システム

3. 1 開発システムの概要

今回開発したインターネット応用システムは、Web サイト構築支援システム「津山瓦版」¹⁵⁾と呼んでいる。津山周辺の中小企業が Web ページにより自らの宣伝を行うたのを支援するシステムで、地元のデザイン会社と共同で開発している。

近年のインターネットの爆発的な普及によって、地方の企業にとってもインターネットが有効な宣伝媒体となりつつある。従来、企業がインターネットを利用して宣伝活動を行う際には、Web サーバを用意して、Web コンテンツを作成し公開していた。しかし、地方の中小企業には、そういった IT 関連のノウハウ不足やコストの問題などで、Web サイトの公開に踏み切れない企業も多く存在する。

本システムは、そのような企業を対象とし、特別

な知識が必要なく簡単な操作で宣伝のための Web サイトを作成することを可能とするものである。利用したい企業は会員登録を行い、Web ブラウザを用いて、システムにより発行されるユーザ ID とパスワードをログイン用 CGI に入力し、システムにログインする。そして、専用の Web サイト編集 CGI を用いてコンテンツを送り Web サイトを自動的に構築することができる。

さらに、システム管理も可能な限り自動化する。例えば、登録希望企業の認証を終えると、会員専用のディレクトリやファイルを自動生成する。その他、見出しページの自動生成、古いコンテンツの自動消去など、管理の手間を減らす自動化を組み入れている。

3. 2 システム利用の流れ

本システムを使って Web サイトを作成する処理の流れは以下のようになる。

(1) システムを利用したい企業は会員登録を行う。

登録申請はメールか直接に管理者に行く。管理者は申請のあった企業が正規のものであることを確認できたら、Web ブラウザで管理用 CGI にアクセスし、会員登録を行う。システムは会員情報を保存し、自動的に会員用のデータ保存ディレクトリ・CGI ディレクトリ・公開用ディレクトリをサーバ内に作成する。そして、初期ファイルをそれぞれのディレクトリに自動でコピーする。

(2) 管理者は、会員登録の際に指定したユーザ ID とパスワードを会員に知らせる。会員は Web ブラウザでログイン CGI をアクセスする。自分のユーザ ID とパスワードを入力することで、専用の Web ページ生成用 CGI へアクセスできる。一度ログインすると、Web ページ生成用 CGI のログアウトボタンをクリックするか、Web ブラウザを終了するまでログインしたままとなる。

(3) Web ページ生成用 CGI にアクセスすると、まず編集するページを選択する画面が表示される。この画面から、他のさまざまなページを編集できるページにアクセス可能となる。各編集ページで必要な操作は、情報を所定のフィールドへ入力して送信するだけの簡単なものとなる。情報を受け取った CGI は、雛型の HTML と送信されたデータを組み合わせて、会員専用の公開ディレクトリに Web ページを生成する。

(4) 管理者が、作成された Web ページへのリンクを津山瓦版ページ内に用意する。

3. 3 システムの仕組み

システムは、管理用 CGI・ログイン用 CGI・Web ページ生成用 CGI の 3 つの CGI から構成されている。それぞれの動作を簡単に説明する。

(1) 管理用 CGI

管理用 CGI は、新規会員の登録や会員情報の編集などのユーザ管理と、システムに関する設定の変更を行う。本来なら、会員を追加するために、会員用のディレクトリの作成や情報の登録を行う必要がある。この CGI を利用することで、すべての処理を自動的に行うことができる。この CGI は管理者のみが利用できる。Fig.1 に会員登録画面を示す。

Fig.1 User Registration

ここでは、住所・氏名などの基本的な情報に加えて、カテゴリという情報を登録する。カテゴリは企業の業種ごとの大まかな分類である。カテゴリはあらかじめ決められており、リストから選択する。

登録された会員情報は、会員管理ページに一覧表示させることができる (Fig.2)。このページからは、会員情報の編集と会員の削除を行うこともできる。会員期限が 1 ヶ月以内に近づくと、会員期限を赤色で表示する。期限が過ぎると自動で登録情報が更新され、期限が 1 年間延長される。期限の延長を望まない会員がいる場合は、その会員の行にある削除のリンクをクリックすることで、会員に関する情報・ディレクトリなどをすべて自動で削除する。

会社名	ユーザ名	カテゴリ	登録日時	最終更新日	会員期限	操作
瓦版テスト用ユーザ	guest	その他		2005/06/22 14:21	1970/01/31	編集 削除
アドデザイン	uoya	趣味	2005/06/20 17:48	2005/06/20 17:48	2006/06/30	編集 削除
顔面百校	ganka	その他	2005/06/24 10:54	2005/06/24 10:54	2006/06/30	編集 削除
神田商店	kanda_uouo	その他	2005/06/27 22:19	2005/06/27 22:19	2006/06/30	編集 削除
テスト商店	test	健康と医療	2006/03/23 16:55	2006/03/23 17:48	2007/03/31	編集 削除

Fig.2 User Management

システムに関する設定の変更は、津山瓦版設定の変更とカテゴリの設定に別れる。まず、津山瓦版の設定では、アップロードする画像のサイズや、ニュース記事の最大投稿件数などの設定を行える (Fig.3)。カテゴリの設定では、現在登録中のカテゴリの変更と新しいカテゴリの追加を行える。カテゴリの変更を行った場合、現在登録しているすべての会員情報中のカテゴリ項目に反映される。

Fig.3 System Configuration

(2) ログイン用 CGI

ログイン用 CGI は、システムに登録されたユーザ ID とパスワードを用いてユーザ認証を行う CGI である。Fig.4 にログイン画面を示す。

Fig.4 CGI for Login

ログイン CGI は入力されたユーザ ID とパスワードをサーバ内のユーザ情報と照合し、合っていたならユーザ専用の Web ページ生成用 CGI にアクセスさせる。

(3) Web ページ生成用 CGI

Web ページ生成用 CGI は、会員専用の宣伝用 Web ページを作成するための CGI である。ログイン CGI 以外からのアクセスは受け付けない。Fig.5 にこの CGI の管理ページを示す。

現在のところ、本システムで作成できる Web ページはトップページ・ニュースページ・商品紹介ページ、そして要望に基づき追加したクーポンページである。また、この CGI を用いて「もらってゆずって」という無償で商品を提供するサービスも利用することができる。

Fig.5 CGI for Web Page Creation

トップページのリンクをクリックすると、Fig.6 のようなトップページ編集画面が表示される。編集ページは、いくつかの項目ごとのテキスト入力フィールドと、画像の登録を行うファイル名入力フィールド (Fig.6 には表示なし) で構成される。

Fig.6 Front Page Editing

トップページ以外のリンクをクリックすると、現在登録中の記事一覧が表示される。「記事を追加する」というリンクをクリックすると、トップページと同様な編集ページが表示される。

4. オープンソースソフトウェアの効果

4. 1 使用したオープンソースソフトウェア

本システムで利用した OSS を Table1 に示す。

Table1 OSS Used in the System

OS	FreeBSD
Web Server	Apache
DNS Server	BIND
Mail Server	Postfix
Image Processing	ImageMagick
CGI Language	Perl

OS にはネットワーク機能に定評があり、安定性の高い FreeBSD¹⁶⁾を使用した。FreeBSD は TCP/IP スタックを初めて搭載した BSD UNIX の後継であり、歴史が古く、実績もある。

Web サーバには高い安定性と軽快な動作を誇る Apache¹⁷⁾を用いた。DNS サーバにはデファクトスタンダードであり、情報量の多い BIND¹⁸⁾を使用した。メールサーバとしては FreeBSD に標準でインストールされている sendmail¹⁹⁾が有名だが、設定が複雑でわかりにくいいため、sendmail と互換性があり、設定の比較的容易な Postfix²⁰⁾を使用した。

これらサーバソフトウェアの他に、サムネイル画像の作成のため、画像処理ソフトウェアの ImageMagick²¹⁾を用いた。本システムを構成する CGI プログラムは Perl²²⁾言語を用いて記述している。この Perl の実行環境もオープンソースで提供されている。

以上、本システムで採用した OSS はごく一般的なもので、システム開発に関わる情報の入手が容易で、システムを移管するときの情報提供が行いやすい。さらに、運用中のセキュリティ情報が迅速かつ適切に提供され、リモート処理で簡単に処理できるものとなっている。

4. 2 オープンソースソフトウェアの評価

今回構築したシステムは、ソフトウェアとして OSS を用いており、それによって大きなメリットを得ることができた。まず、OSS は無償で利用できるためハードウェア代のみの負担と、システム構築にかかったコストが低減できた。今回は1つのサーバにすべての機能を持たせているため、サーバ1台分の費用のみである。商用ソフトウェアを利用した場合に比べて、格段に安くシステムを構築することができた。

OSS はライセンスによって再配布が許可されているため、OSS の著作権を特に意識する必要がなく、研究室で開発したプログラムの著作権に問題がなければ、自由に複製できる。そのため、研究室で

開発したシステムを企業へ移転する際にも費用などは発生せず、非常にスムーズに移転できた。事実、本校専攻科生の校外実習で手を加えたり、新たな管理者による拡張が行われている。

本システムは平成 17 年の 8 月より公開を開始しており、平成 18 年 7 月現在で登録企業は 100 社を越えている。このシステムの稼動から約 300 日経過した時点で、システムの不具合による再起動は行っていない。

セキュリティのためのパッチ当てやプログラム更新は、FreeBSD で 1 回、BIND で 1 回、Apache に 3 回と商用のソフトウェアと比べて非常に少ない回数である。セキュリティホールの内容も深刻なものは少なく、オープンソースソフトウェアの高い安全性を確認できた。オープンソースを用いたシステムでは、システム開発だけでなく、運用に入ってからへの対応も簡単に行える。

問題点としては、管理する企業に IT に詳しい人材がいなかったため、使いやすいシステムにしたとはいえ、設定変更や機能拡張に対して対応できることには限界があることが挙げられる。研究室の手を離れてからは、ソフトウェアのバージョンアップやプログラムのバグが発生した際に、まったく対処ができないといった状況になりかねない。現在は地元の IT 関連のサポート企業に間に入ってもらい、サポートを行ってもらっている。その後、システム管理を行える人材を配置し、現在では適切な管理が行えている。いずれにしても、システム管理担当者が見て、システムを理解できるような、詳細なマニュアルの作成が必要である。

5. あとがき

本論文では、OSS を利用したインターネット応用システムによる地域の情報化支援として、Web サイト構築支援システムについて取り上げた。OSS を利用することで、低コストで安定性の高いシステムを構築することができ、システム構築・運用・技術移転など多方面から、オープンソースソフトウェアの有用性を確認できた。

インターネット環境が地方にも整ってきた現代において、インターネット応用システムを利用することによるメリットは増加している。今後も、今まで培ったノウハウを駆使しつつ、地域に対して支援を行っていきたい。

謝 辞

本システムの開発には有限会社アドデザインの関

係者皆様の多大なご協力をいただきました。この場を借りて深く御礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 岡田・近藤: 津山工業高等専門学校紀要 **No.41** (1999) 5-11.
- 2) 岡田・松本: 津山工業高等専門学校紀要 **No.42** (2000) 35-40.
- 3) 岡田・山田: 津山工業高等専門学校紀要 **No.43** (2001) 65-68.
- 4) 岡田・野村: 津山工業高等専門学校紀要 **No.44** (2002) 21-24.
- 5) 岡田・後藤: 津山工業高等専門学校紀要 **No.45** (2003) 23-28.
- 6) 宮岡・衣笠・岡田: 津山工業高等専門学校紀要 **No.46** (2004) 59-66.
- 7) 岡田: 論文集「高専教育」 **No.23** (2000-3) 369-373.
- 8) 飯尾: リブレスフトウェアの利用と開発, ソフト・リサーチ・センター (2004).
- 9) 桐山・山本・本間・白濱・原・岡田・白石: 情報メディア学会第4回研究大会発表資料 (2005-6) 43-48.
- 10) Open Source Initiative OSI : <http://www.opensource.org/>
- 11) The Open Source Definition: <http://www.opensource.org/docs/definition.php>
- 12) GNU General Public License: <http://www.gnu.org/licenses/gpl.html>
- 13) The BSD License: <http://www.opensource.org/licenses/bsd-license.php>
- 14) Eric S. Raymond (山形浩生訳): 伽藍とバザール (<http://cruel.org/freeware/cathedral.html>)
- 15) 津山瓦版 : <http://www.e-tsuyama.com/>
- 16) The FreeBSD Project: <http://www.freebsd.org/>
- 17) The Apache HTTP Server Project: <http://httpd.apache.org/>
- 18) ISC BIND: <http://www.isc.org/sw/bind/>
- 19) Sendmail Home Page: <http://www.sendmail.org/>
- 20) The Postfix Home Page: <http://www.postfix.org/>
- 21) ImageMagick: <http://www.imagemagick.org/>
- 22) The Source for Perl: <http://www.perl.com/>

少量多品種生産のためのデータベースの検討

大平栄二* 藤田浩嗣**

A Data modeling for Production of Many Models in Small Quantities

Eiji Ohira and Koji Fujita

Recently, in order to compete with the productivity increase of developing countries, value added goods or services are needed in Japan. Some companies intend to adopt production systems of many models in small quantities to meet consumer request without a rise in production costs. But as these systems complicate inventory and parts management, the management by human hands is difficult. This paper describes a data modeling which is a basic technology to realize the management automatically.

Key words : data modeling, Production of Many Models, inventory management

1. 緒 言

近年、中国などのアジア諸国の発展は著しく、その安い人件費と豊富な労働力によって、低価格で品質の良い商品を生産可能となってきた。このため、あまり特徴のない多量生産可能な商品の価格は急速に下がり、収益が上がらない状況になってきた。

一方国内では、経済が成熟するのに伴い、消費者のニーズは多様化している。例えば、一般の日用品はできるだけ安いものを求めるが、自分のこだわりの商品には気に入れば多少高くても購入する傾向がある。また、好みの変化も非常に早く、ヒット商品の寿命も年々短くなってきている^{1,2)}。

このような背景のもと、各企業は収益性を向上させるための手段の一つとして少量多品種生産法を導入している。すなわち、多量生産でコストを下げるのではなく、一人ひとりの利用者のニーズに応える商品を提供することにより、付加価値の高い商品の提供を目指している。

しかし、少量多品種生産は多量生産に比べて多品種の商品を製造する必要があるため、工程が複雑となり、効率が低下しコスト高になってしまう問題が生じる。また、使用する部品（部材）の種類や商品

自体の種類も増加するため、在庫の管理が複雑化する。このため、従来からの見込み生産では、売れ残りの商品やその部材の在庫を多量に抱えてしまう危険がある。逆に個別生産法を採っても、コスト高に加えて納期が延びてしまう問題が生じてしまう。

今回、共同研究を行った家具メーカーは、商品として、ダイニングボードなどの家具の製造、販売をおこなっている会社で、詳細は後述するが、「組み合わせ製品」による製造を行なうことにより製造面の問題の解決を図っている。しかし、商品やその部材の在庫管理は人手に負うところが多く、年々その負担が増加し問題となってきた。本研究の目的は、この在庫管理の自動化を実現するために基盤となるデータベースの設計・構築を行うことである。

2. 組み合わせ製品による多品種生産

2.1 組み合わせ製品の概要

個別受注生産は、顧客のニーズの多様化に対応できるが、製造コストの上昇や納期が長くなってしまいう問題が生じる。これを防ぐために見込み生産を行うと、当然過剰在庫や売れ残り在庫を抱える危険性が大きくなる。

コストや在庫を増加させることなく、顧客の様々なニーズに応える商品を提供するため、組み合わせ製品による多品種少量生産法を導入している。本方式では、図1に示すように、まず単体でも製品とすることができる完成部品を製造する。そして、複数

原稿受付 平成 18 年 7 月 31 日

* 情報工学科

** 株式会社すえ木工

の完成部品を組み合わせることにより一つの製品を作る。各完成部品のカラーバリエーションは豊富であり、完成部品単位で色を組み合わせることが出来るため、膨大な種類の商品を提供できる。つまり消費者は、好みで組み合わせを変えることによってオリジナルな製品を購入することができる。

製造においても完成部品単位で製造を行い、消費者の要求にしたがって完成部品を組み合わせることで製品を作ればよいと、納期を短縮することが可能である。また、生産する種類もある程度限定できるため、製造コストを抑えることが可能である。

2.2 現状の問題点

このように、製造面では課題を解決しているが、製品や部材の管理面では次のような問題がある。

多品種に対応するため、製造や在庫の管理は、完成部品を中心に行っている。このため、顧客や販売店から製品の在庫の問い合わせがあったときは、その製品に必要な完成部品の在庫数を調べる必要があり、手間のかかる作業となる。この問い合わせの対応を表計算ソフト等を使って人手で行っていたが、人手では計算ミスが増える可能性があり、更に問い合わせ件数が増加すると対応できなくなる恐れがある。このため、この作業の自動化が大きな課題であった。

一方、製造においても、納期短縮のためにはある程度の見込み生産が必要である。製造に必要な部材を購入する場合、製品の受注見込み数を見積もった後、それに必要な完成部品数を求める。そして、その完成部品の製造に必要な部材を計算する必要がある。非常に複雑な処理となる。このため、どうしても多めに発注してしまい、余剰の在庫を抱えてしまう危険性がある。このため、同様に作業の自動化が望まれる。この作業を自動化することにより、完成部品段階で適切な製造個数の見積もりも可能となる。

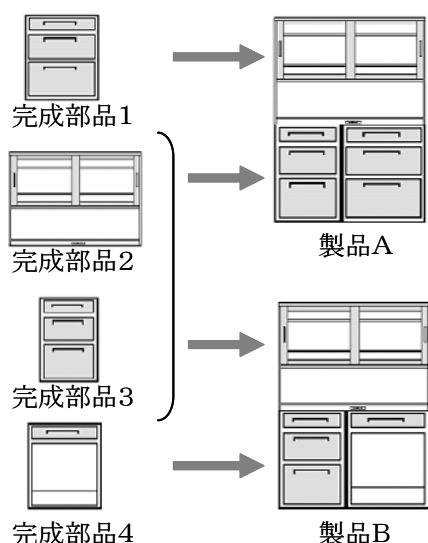


Fig. 1 組み合わせ商品

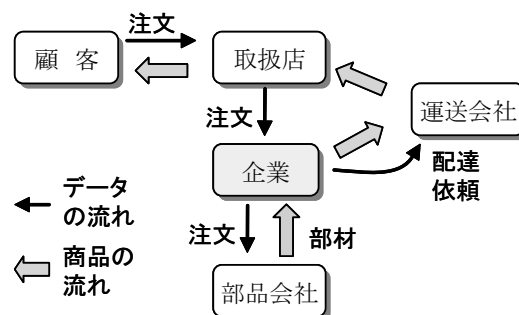


Fig. 2 Business flow Diagram

と考えられる。

2.3 自動化へのアプローチ

上記の処理の自動化は、製品や部材の在庫の情報をデータベースで管理することにより実現可能である。データベース化することにより、製品や部材の在庫数や購入すべき部材の数量は計算機によって自動で求めることができる。

また、インターネットと連携することにより、顧客や販売店からの製品の在庫の問い合わせは、インターネット経由で行うことができるため、問い合わせ対応の業務を削減できる。

さらに、情報をデータベース化することにより、将来的には、どのような顧客（地域、年齢など）がどのような商品を購入する傾向にあるかといった解析も可能となり、会計ソフトとの連携による会計事務の効率化にも結びつく。

3. データモデリングの検討

3.1 概念設計の概要

図2に共同研究を行った家具メーカー（株）すえ木工（以下、単に企業と呼ぶことにする）における業務の流れ図を示す。データベース化に際しては、各業務の処理をコンピュータ上に表現する。実世界の情報をコンピュータ上に表現することをデータモデリング（data modeling）という。一般にデータベース設計では実世界の情報を直接コンピュータ上のデータベースに落とさず、概念モデルを介して行う。これは、複雑な実世界とデータベースの間に記述表現上に大きな隔たりがあるためである。このため、まず、実世界を概念モデルの一つである実体関連モデル（entity-relationship model）で表現する³⁾。

実体関連モデルでモデル化した実世界の対象を視覚的に表現したものがE-R図である。E-R図は、実世界を実体集合と関係（実体間の関連）により表現する。実体集合は同一種類の実体の集まりを表す。

まず、実世界を法人をも含めた人の観点で捕らえると、図2に示すように、実体集合は大まかに5つ

あると考えた。「企業」、「取り扱い店」、「顧客」、「運送会社」、「部品会社」である。「顧客」は製品を実際に購入するエンドユーザー。「取り扱い店」は顧客からの注文を受け製品を卸す企業。「運送会社」は製品を「取り扱い店」に届ける運送会社。「部品会社」は製品の材料となる部材を販売している会社となる。

3.2 受注処理に関する情報の解析

図2における「企業」の業務の内、受注処理に関して詳細にモデル化したE-R図を図3に示す。図において四角形で表されているものが実体集合、ひし形が実体の間の関係である。実体のもつ各種の性質は、属性によって表現される。例えば、製品の実体は「製品ID」「製品名」「寸法」などを属性として持つ。実体集合の項目についている下線は主キーを表す。主キーとはそれを指定することによって実体集合から一意にひとつの実体を選択できる属性の集合である。例えば、「製品ID」の番号を指定すると必ず一つの製品を選び出すことが出来る。関係も属性を持つことがある。

まず、製品はキッチンやダイニングボードなど、どんな家具であるかを表すカテゴリーに分類されている。また、製品はshineシリーズなどシリーズ化されている。このため、カテゴリー、シリーズという実体集合を設けた。これにより、カテゴリー分けの見直しがあった場合も、これらの実体集合のみを

修正すればよいと、柔軟に対応できる。製品とシリーズ、シリーズとカテゴリーの間には親子関係がある（図ではhas_a関係と記載）。実体集合と関係をつなぐ線の両端についているm, nや1, nといった英数字はその実体集合同士が何対何の関係を持っているかを表している。親子関係は1対nになる。

前述したように、1つの製品には多くのカラーバリエーションがある。すなわち、図3の「色付製品」が実際の製品である。このため、「製品」と「色付製品」は親子関係が成り立つといえる。一方、「色付製品」は、汎化階層（図ではis_a関係と記載）とも考えることが出来る。前者は、どちらも独立した実体として認識したいとき、後者は、哺乳類と人間の関係のように親の実体集合（哺乳類）が子の実体集合（人間）の上位の抽象的概念と考えられるときに成り立つ。今回、「色付製品」は、色以外の属性を「製品」から全て継承することから、後者の汎化階層とした⁴⁾。

組み合わせ製品（色付製品）は、複数の完成部品（色付完成部品）から構成される。この両者の関係が図の「使用」である。1つの製品は、複数の完成部品を使用し、1つの完成部品は、複数の製品に使用されるので、両者の関係はm対nになる。また、1つの製品は同じ完成部品を複数個使用する場合があるので、関係「使用」の属性に個数を設けている。

3.3 製造処理に関する情報の解析

ここで、「完成部品」も多くのカラーバリエーションがあるため、製品と同様に「完成部品」と「色付完成部品」の間には、親子関係か汎化階層が成り立つと考えることが出来る。こちらも同様な理由で、汎化階層とした。

製造の観点で詳細にモデル化したE-R図を図4(a)に示す。製造の対象は「色付完成部品」である。「色付完成部品」は「部材」を使用するので、「使用」の関係があり、「部材」は「部品会社」から購入するので、「購入」の関係がある。両者ともm対n関係である。

一方、「色付完成部品」は企業自身で製造され、その「部材」や「色付完成部品」自身の在庫数も企業自身で管理される。図4(a)に示す、関係「製造」と二つの関係「管理」の記述は厳密には正しくない。関係「製造」を例にとると正確には図4(b)のように表現する必要があると考えられる。すなわち、製造では完成部品を1個ずつ作っていくため、同じ種類の完成部品でも1個1個を個別の実体として認識する必要がある。例えば、戸棚 45 という種類の完成部品があった場合、作成順に戸棚 45-1, 戸棚 45-2 などと番号を付けて管理する必要がある。図4(b)の実体集合「生産品」は1個1個の実体である戸棚 45-1, 戸棚 45-2 の集合である。このため、属性とし

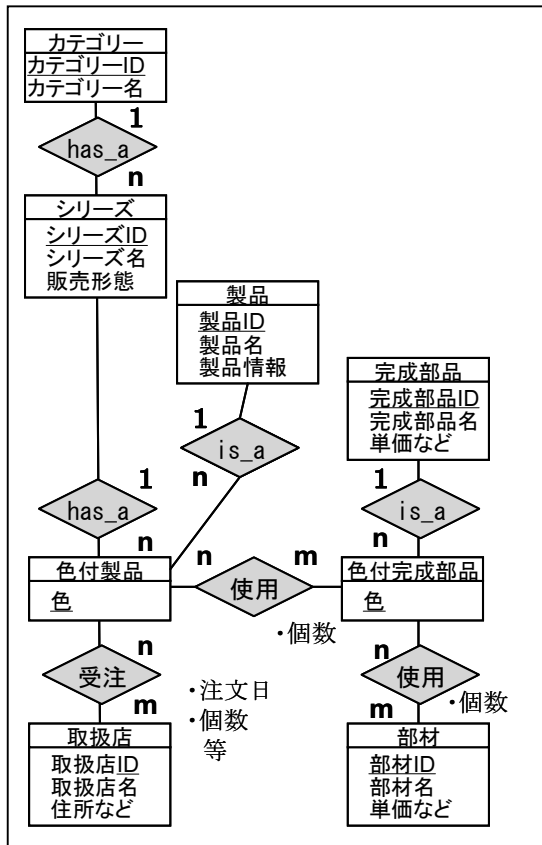


Fig.3 Entity-Relationship Diagram for Orders

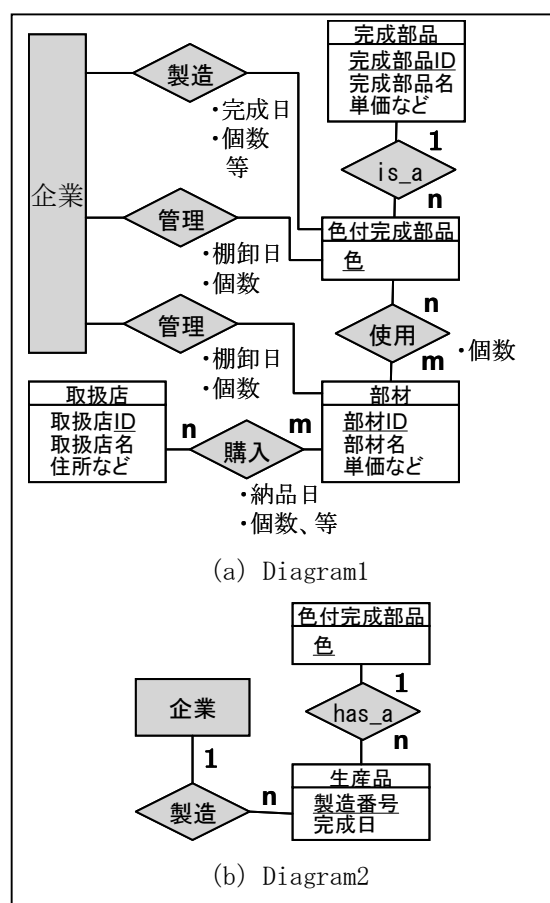


Fig.4 Entity-Relationship Diagram for Production

て、製造番号と完成日を持つ。個々の生産品は、「色付完成部品」と親子関係にあり、企業自身によって製造される（1対n関係）。関係「管理」についても同様である。

しかし、製品ではなく、1つ1つの完成部品に番号をふって管理するのは大変困難である。また、出来るだけ受注生産に近い形態を目指す、それだけでは納期などの点で問題があるため見込み生産も併用した方式をとっている。すなわち、製造においては、ある程度の個数をまとめて生産すると考えることが可能である。このため、関係「製造」に、属性として製造予定日、完成日と個数を設け、複数の「色付完成部品」が同時に完成すると考えることにし、図4(a)の表現をとった。

一方、具体的に実施される管理の業務は、ある決まった時間単位で行う棚卸し業務である。この結果がデータベースに入力される。このため、関係「管理」も、棚卸日と在庫数を属性として持たせた表現とした。図示していないが、これらは全て1対n関係である。

3.4 論理設計

モデル化したE-R図に基づいて、関係データベースのテーブルを作成する。以下では、テーブルを次

のように表現する³⁾。

テーブル名 (属性1, 属性2, ..., 属性n)

基本的に全ての実体集合は、一つのテーブルにする。例えば、実体集合「カテゴリー」は、その属性としてカテゴリーIDとカテゴリー名を持った「カテゴリー」という名前のテーブルとする。

カテゴリー (カテゴリーID, カテゴリー名)

このテーブルで、アンダーラインは主キーであることを示す。

実体集合のうち、親子関係で子になる実体集合は、自分自身の属性に親の主キーを加えたものを一つのテーブルにする。例えば、実体集合「シリーズ」は、親である「カテゴリー」の主キー「カテゴリーID」と自分自身の3つの属性を含む、以下のテーブルとなる。

シリーズ (シリーズID, シリーズ名, 販売形態, カテゴリーID)

さて、通常オブジェクト指向において、汎化階層は子を実体化する。例えば、親である「製品」の全ての属性に色の属性を加えた「色付製品」のテーブルを作成する。しかし、詳細は省略するが、このテーブルは第3正規形を満たさない冗長なテーブルとなる³⁾。このため、結果的には「色付製品」と親である「製品」の2つのテーブルに分解された形と同じになる。なお、「色付製品」の情報の全ては、関係「使用」のテーブルに含まれるため、テーブル化しないことも可能である。

一方、関係は、m対n関係のみ、一つのテーブルにする。このとき、関係する両方の実体集合の主キーと関係自身が持つ属性を含めたテーブルにする。例えば、「色付製品」と「色付完成部品」の間関係「使用」は、以下のように記述する。

使用1 (製品ID, 色1, 完成部品ID, 色2, 個数)

関係「製造」と関係「管理」も本来は図4(b)の関係なので、m対nの関係と同様に、「色付完成部品」または「部材」の主キーを加えて一つのテーブルにする。

3.5 モデルの検証

まず、データベースでは日々更新されるデータの入力作業が業務の一環としてスムーズに行えることが重要である。入力作業が現状の業務の一環でないと、余分な作業が発生するため、入力が滞りシステムがうまく機能しない。図3と図4における、関係「受注」、「管理」、「製造」が頻繁に更新されるテーブルである。それぞれに格納されるデータは、現状

でも受注時、棚卸時、製造完了時に作成する必要のあるデータであるため、問題ないと考えられる。

次に、今回の情報化の目的の一つである、製品の在庫数の検索を例にとってモデル化の検証を行う。組み合わせ製品の在庫は、「色付完成部品」の個数を基準に計算する。以下にある指定された日において使うことが出来る色付完成部品の在庫数を求める計算式を示す。

$$\begin{aligned} & \text{(指定日の) 色付完成部品の在庫数} = \\ & \quad [\text{(今月の) 棚卸数}] \\ & \quad + [\text{(棚卸日～指定日までの) 製造予定個数}] \\ & \quad - [\text{(棚卸日以降の) 出荷予定個数}] \end{aligned}$$

最新の棚卸において確認された色付完成部品の在庫数に、棚卸日以降指定日までの間に製造される予定の個数を加えたものから、棚卸日以降の出荷予定個数を引き算した個数となる。

棚卸数は、図4の関係「管理」より生成されるテーブルから、製造予定個数は、関係「製造」より生成されるテーブルからそれぞれ検索できる。出荷予定個数は、図3の関係「受注」から「色付完成部品」までの関連から求められる。すなわち、関係「受注」から製品の出荷個数が求まり、関係「使用」から、それに必要な色付完成部品の個数を計算できる。

4. おわりに

多品種少量生産のためのデータベース化の検討を行い、基本的な設計を完了した。まず、本生産法における問題点を解析し、特に受注時の在庫確認処理や製造に必要な部材の購入処理が隘路となることを明らかにした。次にこれらの処理の自動化を目的と

して、処理に関連する情報の解析を進め、製造から販売までの情報を一貫してコンピュータ上にモデル化することができた。これをベースにデータベースのテーブル設計とその検証を行い、実用化の上で重要となるデータの入力処理の容易さも含めてモデルに問題ないことを確認した。

今後は、ここで設計したデータベースを実際に構築していくとともに、データベースを用いて各種の管理の支援機能を開発していく必要がある。また、この開発を通してデータベース自身の改良も進めていく予定である。

謝 辞

本研究は、平成17年度の株式会社すえ木工殿との共同研究の一環として行ったものである。システムの試作、検証においては、平成17年度本科卒業生の水島圭一君と藤長尚見さんに多大の協力を頂きました。また、本研究に関して有益な議論をして頂いた本学情報工学科・教授岡田正先生、寺元貴幸先生、すえ木工・須江英典社長、福本淑子さんに感謝いたします。

参考文献

- 1) 大前研一：“ザ・プロフェッショナル”，ダイヤモンド社(2005)など
- 2) 田原総一郎：“田原総一郎の聞きだす力”，カナリア書房(2004)
- 3) 北川博之：“データベースシステム”，情報系教科書シリーズ第14巻，昭晃堂(1997)
- 4) 長尾 真：“日本語情報処理”，電子通信学会(1984)

— 67 —

ることにより、端子 $S_2(z)$ にはエコー信号だけが出力される。これをエコーキャンセラに入力すると、ダブルトークに影響されることなく、エコー経路 $G(z)$ を精度良く推定し、良好なエコー消去を実現できる³⁾。

2.2 提案構成における置換問題

ところで提案したシステムでは、ブラインド信号分離回路の $S_1(z)$ 端子に話者音声、 $S_2(z)$ 端子にエコー信号が分離して出力されることを期待しているが、ブラインド信号分離回路では分離規範に信号の独立性だけを用いているため、一般的には出力がどちらになるか不定となる置換問題が存在する⁴⁾。提案システムにおいて $S_2(z)$ に期待した信号と逆の信号が出力されると、エコーキャンセラの動作に大きな悪影響をおよぼす。そこで、提案したシステムにおけるブラインド信号分離回路の置換問題について検討した。

3 定式化

以下、ブラインド信号分離 (BSS) に絞って議論を進める。音響モデルによれば、 I 個の統計的に独立な音声信号 $s_i(n)$, $i = 1, \dots, I$ が J 個のマイクで受信される場合、受信信号は下記のように混合され畳み込みされたものになる。

$$x_j(n) = \sum_{i=1}^I \sum_{p=0}^{P-1} h_{ji}(p) s_i(n-p), \quad j = 1, \dots, J \quad (1)$$

ここで $h_{ji}(n)$ は音源 i からマイク j への P 点インパルス応答である。ベクトル表記に書き換えると、

$$\begin{aligned} \mathbf{x}(n) &= \sum_{p=0}^{P-1} \mathbf{H}(p) s(n-p) \\ &= \mathbf{H}(n) * s(n) \end{aligned} \quad (2)$$

ここで $\mathbf{X}(n) = [x_1(n), \dots, x_J(n)]^T$ は $(J \times 1)$ 個の受話信号、 $\mathbf{H}(n)$ は $(J \times I)$ の混合フィルタ行列、 $s(n) = [s_1(n), \dots, s_I(n)]^T$ は $(I \times 1)$ の音源信号ベクトルであり、 $*$ は畳み込みを表し、 $[\cdot]^T$ は転置操作を表す。BSS の目的は I 個の音源を分離する長さ Q の分離フィルタ $\mathbf{W}(n)$ を見いだすことである。すなわち

$$\hat{s}(n) = \mathbf{W}(n) * \mathbf{X}(n) \quad (3)$$

ここで $\hat{(\cdot)}$ は推定を表す。

ブラインド信号分離の要点は信号源の独立性にある。一般の信号源の場合は独立性を扱うために高次統計量を用いるが、これは計算量が多いうえに推定値にばらつきが存在する。一方音声信号の場合は非定常な性質を合わせ持つので、ブラインド信号分離は二

次統計量で十分であり、比較的計算量が少なくてすむ利点がある。統計的に独立で非定常な信号 $s_i(n)$, および $s_j(n)$ については、

$$E\{s_i(n)s_j^*(n-\tau)\} = 0, \forall n, \tau, i \neq j \quad (4)$$

が成り立つ。ここで $E\{\cdot\}$ は期待値、 $(\cdot)^*$ は複素共役を表す。

式 (3) に示すようにブラインド分離は時間領域では畳み込みのため複雑な問題であるが、周波数領域に変換することにより、各帯域ごとの単純な問題に置き換えられる。周波数領域手法は、時間領域手法に比べて計算複雑性を大きく減少させる⁵⁾。

4 周波数領域におけるブラインド音源分離

簡単のため、図2に示すように2チャンネルの場合を考える。

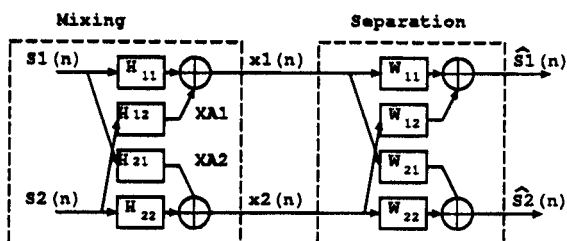


Fig.2 (2x2) convolutive blind source separation problem

出力 $x_1(n)$ と $x_2(n)$ は下記のように与えられる。

$$x_1(n) = h_{11}(n) * s_1(n) + h_{12}(n) * s_2(n) \quad (5)$$

$$x_2(n) = h_{21}(n) * s_1(n) + h_{22}(n) * s_2(n) \quad (6)$$

式 (2) における時間領域畳み込み混合 $\mathbf{x}(n)$ は、 T 点短時間フーリエ変換 (STFT) を計算することにより、周波数領域における瞬時混合に変換することができる。

$$\mathbf{x}(\omega, m) \approx \mathbf{H}(\omega) s(\omega, m) \quad (7)$$

ここで m はブロックのインデックスであり、相関を持つ要素の畳み込みへの影響を避けるために $T \geq 2P$ とする。P は混合フィルタの長さである。受信データについて下記の計算を行う。

$$\mathbf{x}(\omega, m) = \sum_{\tau=0}^{T-1} w(\tau) \mathbf{x}(\beta T m + \tau) e^{-j2\pi\omega\tau/T} \quad (8)$$

ここで、 $\omega = 1, \dots, T$, および $m = 0, \dots, (N - T)/(\beta T)$ とし、 $w(\tau)$ は窓関数であり、 $\beta(0 < \beta \leq 1)$

はデータのオーバーラップ係数である。ところで共分散行列 $\mathbf{R}_x(\omega, k)$ は、受信データのエルゴート性を仮定すれば、下記の式を用いて推定できる。

$$\hat{\mathbf{R}}_x(\omega, k) = \frac{1}{M} \sum_{m=0}^{M-1} \mathbf{x}(\omega, Mk + m) \mathbf{x}^H(\omega, Mk + m) \quad (9)$$

ここで $k = 0, \dots, K-1$ である。式 (9) において、スーパーブロック (M 個のブロックの連続) の番号 k における共分散行列を得るために、周波数領域データは $M = [N + T(\beta - 1)] / (K\beta T)$ の連続ブロックに渡って、オーバーラッピングしながら平均する。音源信号が互いに独立であるという仮定により、下記のような共分散行列の同時対角化を行って、推定された音源信号 $\hat{s}_1(n)$ と $\hat{s}_2(n)$ を無相関化する分離フィルタ行列を得る。

$$\Lambda_{\hat{\mathbf{s}}}(\omega, k) = \mathbf{W}(\omega) \hat{\mathbf{R}}_x(\omega, k) \mathbf{W}^H(\omega), \quad k = 1, \dots, K \quad (10)$$

各周波数における K 個の行列を連係して対角化する $\mathbf{W}(\omega)$ を見いだすことが必要である。

一般的な信号の場合は式 (10) の 2 次無相関化基準は $\mathbf{W}(\omega)$ を解くための十分な条件を単独では決定できない。しかし、非定常な信号については、 K 個の十分に離れた時間間隔について、独立な無相関化 (10) を実現することができる⁶⁾。各周波数帯 $\omega (\omega = 1, \dots, T)$ についての分離フィルタ $\mathbf{W}(\omega)$ (これは k 個の無相関化方程式を同時に満足する) は、下記の最小二乗解を用いて得ることができる⁶⁾。

$$\hat{\mathbf{W}}(\omega) = \arg \min_{\mathbf{W}(\omega)} \sum_{k=1}^K \|\mathbf{V}(\omega, k)\|^2 \quad (11)$$

ここで $\|\cdot\|^2$ は二乗ノルムであり、誤差は下記のとおりである。

$$\mathbf{V}(\omega, k) = \mathbf{W}(\omega) \hat{\mathbf{R}}_x(\omega, k) \mathbf{W}^H(\omega) - \text{diag}[\mathbf{W}(\omega) \hat{\mathbf{R}}_x(\omega, k) \mathbf{W}^H(\omega)] \quad (12)$$

ここで $\text{diag}(\cdot)$ は、行列要素の対角要素を抽出して作られる対角行列である。式 (11) に対する最小解は最急降下アルゴリズムを用いて得られる。

$$\begin{aligned} \mathbf{W}^{(l+1)}(\omega) &= \mathbf{W}^{(l)}(\omega) \\ -\mu(\omega) \frac{\partial}{\partial \mathbf{W}^{(l)*}(\omega)} \times \left\{ \sum_{k=1}^K \|\mathbf{V}^{(l)}(\omega, k)\|^2 \right\} \end{aligned} \quad (13)$$

ここで $\omega = 1, \dots, T$ である。文献⁶⁾を参考に、下記のステップサイズを用いる。

$$\mu(\omega) = \frac{\alpha}{\sum_{k=1}^K \|\hat{\mathbf{R}}_x(\omega, k)\|^2} \quad (14)$$

ここで α は正規化されたステップサイズである。各反復において、 $\mathbf{W}(\omega)$ の非対角要素だけを更新する。対角要素はそれらの初期値に保持する。この BSS アルゴリズムを以下周波数領域の二次統計量 (FDSOS) 方式と呼ぶ。これを用いて置換不整合問題を調査した。

5 実験条件および評価尺度

様々な動作条件で実際の音響環境において FDSOS アルゴリズムを実験した。各実験において、データベースの音声サンプルを用いた。オリジナルの音声データは 16kHz サンプルであるが、実験で用いるために 8kHz に間引きした。信号 $s_1(n)$ と $s_2(n)$ は、表 1 にリストしたように、異なる女性話者 (f) および男性話者 (m) によって読まれた文章である。

Table 1 Speech samples

$s_1(n)$ 入力	$s_2(n)$ 入力
f15	m33
f14	m10
f14	m13
f17	m08

音声データは、51.2s の録音である。すなわち、8kHz サンプリングレートにおいて $N = 409600$ サンプルである。このデータベースにおける全ての文は、同じ信号強度になるように概略正規化されている。

直接チャネル $[h_{11}(n), h_{22}(n)]$ および交差チャネル $[h_{12}(n), h_{21}(n)]$ のインパルス応答は、Fig.3 のように実際の部屋で測定したものである。

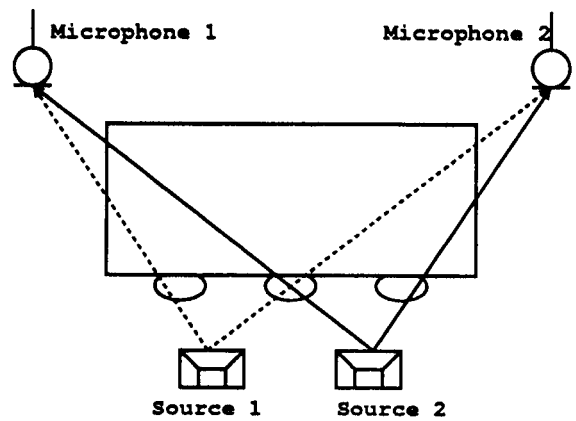


Fig.3 Room configuration where the actual impulse response were measured

部屋前方の左側と右側に 1 対の無指向性マイクがあり、部屋後方中央 (音源 1) と右位置 (音源 2) にスピーカを置いた。

性能評価のため下記の尺度を定義する。

- (1) 音源 1 に関する信号対妨害比 (SIR_1) および音源 2 に関する信号対妨害比 (SIR_2)

出力 1 における音源 1 の SIR は、音源 1 による所望信号のパワーと、音源 2 による非所望信号パワーとの比として定義する。2 つのマイクにおける受信信号については、その比は処理前 (入力音源 1) SIR と呼び、下記の式で表す。

$$SIR_{1i} = \frac{\sum_{\omega=1}^T |H_{11}(\omega)|^2 |s_1(\omega)|^2}{\sum_{\omega=1}^T |H_{12}(\omega)|^2 |s_2(\omega)|^2} \quad (15)$$

受信信号を処理した後の改善量を比較するため、処理後 (出力音源 1) SIR を下記のように定義する。

$$SIR_{1o} = \frac{\sum_{\omega=1}^T |A_{11}(\omega)|^2 |s_1(\omega)|^2}{\sum_{\omega=1}^T |A_{12}(\omega)|^2 |s_2(\omega)|^2} \quad (16)$$

ここで

$$\mathbf{A}(\omega) = \mathbf{W}(\omega)\mathbf{H}(\omega) \quad (17)$$

は総合的な伝達関数である。同様に音源 2 に関する SIR を定義する。

- (2) 平均信号対妨害比 (SIR)

平均 SIR は直接チャネル経由で得られた全体の信号パワーと、交差チャネル経由で受信された全体の信号パワーとの比として定義する。処理前では、下記のように定義する。

$$SIR_i = \frac{\sum_{\omega=1}^T \sum_{i=1}^2 |H_{ii}(\omega)|^2 |s_i(\omega)|^2}{\sum_{\omega=1}^T \sum_{i=1, i \neq j}^2 \sum_{j=1}^2 |H_{ij}(\omega)|^2 |s_j(\omega)|^2} \quad (18)$$

同様に、処理後の平均 SIR は下記のように定義する。

$$SIR_o = \frac{\sum_{\omega=1}^T \sum_{i=1}^2 |A_{ii}(\omega)|^2 |s_i(\omega)|^2}{\sum_{\omega=1}^T \sum_{i=1, i \neq j}^2 \sum_{j=1}^2 |A_{ij}(\omega)|^2 |s_j(\omega)|^2} \quad (19)$$

BSS 方式の目標は大きな SIR 改善を実現することである。SIR の改善とは、すなわち入力 SIR に対する出力の比である。

6 FDSOS 方式の基本的な性能

FDSOS アルゴリズムの基本性能を評価した。実験には音声サンプルペア (fl5, m33) を用いた。これらの音声はインパルス応答と畳み込みを行い、式 (5) と (6) によって混合信号を生成する。ステップサイズは各周波数帯ごとに式 (14) に従って、別々に選択し、 α は正規化された値 $\alpha = 0.5$ を用いた。初期値として $\mathbf{W}^{(0)} = \mathbf{I}_2$ を用いた。 $\mathbf{I}_2$ は、 (2×2) 単位行列である。アルゴリズムにおいては計算を 100 回反復実行した。関連推定値の計算に式 (9) を用いた。また式 (8) の

FFT は $T/2$ サンプルのオーバーラップ ($\beta = 0.5$) を持つハミング窓を用いて計算した。

FFT 計算において、通常は $T = 2P$ を選んだ。その目的は、式 (2) における線形畳み込みを循環畳み込みで近似するためである。しかし、もし P が大きければ、FFT はデータの定常な期間において計算しなければならないという仮定と矛盾する。 $P = 2048$ は 256ms に相当し、256ms 以上の FFT 窓長は一般的に音声データの定常仮定に反する。種々の T の値を用い、二つの音源について平均した FDSOS アルゴリズムの性能を評価した。その結果を Table 2 に示す。

Table 2 FDSOS の性能

T	Q	M	K	SIR_i (dB)	SIR_o (dB)
1024	1024	100	4	1.36	1.28
2048	2048	50	4	1.37	1.04
4096	4096	30	3	1.36	1.65
8192	8192	25	3	1.36	1.58

各場合においては、 M と K の種々の可能な組み合わせを試み、最良なものを選んだ。すべての場合において、分離フィルタ Q の長さは T に等しくなるように選んだ。

T, M , および K のどの組み合わせでも目に見えた分離性能にならないことがわかる。 $T = 1024$ と 2048 については、処理後 SIR は処理前 SIR さえも下回る。

7 置換不整合問題

周波数領域での信号分離は下記のように表現される。

$$\begin{bmatrix} \hat{s}_1(\omega) \\ \hat{s}_2(\omega) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W_{11}(\omega) & W_{12}(\omega) \\ W_{21}(\omega) & W_{22}(\omega) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(\omega) \\ x_2(\omega) \end{bmatrix} \quad (20)$$

周波数帯 ω における分離行列 $\mathbf{W}(\omega)$ のブラインド推定は、スケールと置換の組合せで表現される⁷⁾。すなわち、

$$\hat{\mathbf{W}}(\omega)\mathbf{H}(\omega) = \mathbf{P}(\omega)\hat{\mathbf{D}}(\omega) \quad (21)$$

ここで $\mathbf{P}(\omega)$ は置換行列、 $\mathbf{D}(\omega)$ は対角行列で、両方とも、 (2×2) 次元の行列である。 $\hat{\mathbf{W}}(\omega)$ は各周波数帯で独立に得られるので、回復された音源信号 $\hat{s}_i$ は、必ずしも、各周波数帯における推定 s_i の首尾一貫した推定であるとは限らない。この場合、すべての周波数帯に渡って置換を整列させるために何らかの方式を分離アルゴリズムに組み込まなければならない。

Para および Spence は分離フィルタ $W_{ij}(n)$ の長さを $Q < T$ となるように制約することにより置換問題

を解くことを提案した [6]。このような時間領域における有限長制約は、周波数領域において解を連続的にする。しかし分離フィルタの長さを制限することは音源を再構成するために利用可能な次数を減少させる。このためトレードオフの課題が発生する。

分離性能に対する制約 $Q < T$ の影響を検討する。5章で述べたように、混合過程 (式 2) を時間から周波数領域に変換する時に、 $T < 2P$ は循環畳み込み誤差をもたらすため、音声については $256\text{ms}(T = 2048)$ 以上の STFT 窓区間は定常仮定に違反する。このトレードオフは、付加的な制約 $Q < T$ については、より複雑である。良好な分離性能のために、理想的には Q は少なくとも P と同じ長さであるべきである。しかし $Q < T$ については、 T は P と等しいかそれ以上もあり得る。 T がとることのできる値と、満すべき要求との関係を Table 3 に示す。

Table 3 FDSOS における要求条件

要求条件	$T \leq P$	$P < T < 2P$	$T \geq 2P$
畳み込み条件	×	×	○
定常仮定 ($P = 2048$)	○	×	×
Q は P 以上	×	○	○

これらの要求を同時に満たす T の値は存在しない。そこで、各種パラメータ値に対する分離性能を評価し、最良となる設定条件を調査した。

Fig.3 に示した音響環境で、 $P = 2048$ として、様々な T, Q , およびブロック長 M について実験した。平均 SIR 性能を Table 4 に示す。

表にあるように下記の場合に性能は劣化する。

- 1) FFT 長 T がフィルタ長 $P(2048)$ より短い時、
 - 2) T が定常仮定に反するようになかなか長い時、
- $T = 2048$ が最良の性能を与えることがわかった。最良の組み合わせでは、約 3.5dB の SIR 改善量になった。これらすべての場合において、 $W(n)$ の長さを $Q = 500$ に制限することによって置換制約が適用される時に最良の SIR 改善を得られことがわかった。これは $P = 2048$ サンプルの混合フィルタが用いられても成り立つ。

8 置換整合誤りの影響

FDSOS アルゴリズムは、分離フィルタの長さを時間領域において制約することにより、周波数に渡る分離フィルタ行列の置換を整理させようと試みるものである。これは周波数領域において円滑性を向上させるが、限界があり、また Table 4 から明らかなように、大域的最適値に導くには不十分である。

Table 4 FDSOS の性能

T	Q	M	K	$SIR_i(\text{dB})$	$SIR_o(\text{dB})$
1024	300	100	4	1.36	4.48
1024	500	100	4	1.36	4.66
1024	500	200	2	1.36	4.66
1024	800	100	4	1.36	4.06
1024	1024	100	4	1.36	1.28
2048	300	50	4	1.37	4.39
2048	500	50	4	1.37	4.72
2048	500	65	3	1.37	4.81
2048	500	100	2	1.37	4.83
2048	800	50	4	1.37	4.62
2048	1000	50	4	1.37	4.57
2048	1500	50	4	1.37	4.24
2048	2048	50	4	1.37	1.04
4096	300	30	3	1.36	4.43
4096	500	30	3	1.36	4.66
4096	500	35	2	1.36	4.33
4096	1000	30	3	1.36	4.31
4096	1500	30	3	1.36	4.29
4096	2500	30	3	1.36	4.26
4096	3500	30	3	1.36	3.82
4096	4096	30	3	1.36	1.65
8192	2000	20	2	1.36	4.10
8192	8192	15	3	1.36	1.58

そのために、下記の実験を行う。実験では、アルゴリズムが一旦収束した後で置換を整理させる操作を行う。その際、比較評価のため、整理前後の SIR を計算する。

検討条件は、 $T = 2048, M = 50, K = 4$, 音声ペア I(f15,m33) とした。置換制約は緩和した。すなわち $Q = P = 2048$ とした。100 回反復計算後の収束時点で各周波数帯において $W(\omega)$ の置換を整理した。これは下記に定義するフリップ関数により実行した。

- (1) 下記の式を用いて音源 j による再構成信号 $i(i, j = 1, 2)$ について、各周波数において SIR_{ij} を計算する。

$$SIR_{11}(\omega) = \frac{|A_{11}(\omega)|^2 |s_1(\omega)|^2}{|A_{12}(\omega)|^2 |s_2(\omega)|^2}$$

$$SIR_{12}(\omega) = \frac{|A_{21}(\omega)|^2 |s_1(\omega)|^2}{|A_{22}(\omega)|^2 |s_2(\omega)|^2}$$

$$SIR_{21}(\omega) = \frac{|A_{12}(\omega)|^2 |s_2(\omega)|^2}{|A_{11}(\omega)|^2 |s_1(\omega)|^2}$$

$$SIR_{22}(\omega) = \frac{|A_{22}(\omega)|^2 |s_2(\omega)|^2}{|A_{21}(\omega)|^2 |s_1(\omega)|^2}$$

- (2) 下記の二値基準によって各周波数において、分離フィルタ $W(\omega)$ をフリップする。

●音源 1

If $SIR_{12}(\omega) > SIR_{11}(\omega)$ → $W(\omega)$ の列を交換する

else

→ $W(\omega)$ を交換しないでおく

●音源 2

If $SIR_{21}(\omega) > SIR_{22}(\omega)$ → $W(\omega)$ の列を交換する

else

→ $W(\omega)$ を交換しないでおく

(3) 音源 1, 音源 2, および平均 SIR を計算する.
結果を Table 5 に示す.

Table 5 フリップ前後の SIR

信号源	入力 SIR	フリップ前	方法 1	方法 2
音源 1	-0.58	-1.34	8.31	8.31
音源 2	3.37	3.56	9.08	9.08
平均	1.37	1.04	8.81	8.81

方法 1 : $SIR_{12} > SIR_{11}$ 方法 2 : $SIR_{21} > SIR_{22}$

$SIR_{12} > SIR_{11}$, $SIR_{21} > SIR_{22}$ のどちらでも同じ結果が得られた。結果として、置換の整列により平均出力 SIR において $8.81 - 1.04 = 7.77\text{dB}$ の改善を得た。この最大到達可能 SIR は、理想性能と言える。

置換制約 $Q = 500$ を適用した場合も検討した。100 回反復終了時点後、制約しない場合と同じ SIR 比較方式を用いて分離フィルタ行列の置換を整列した。その場合の平均出力 SIR は 7.12dB であった。8.81dB から 7.12dB への減少は $W(n)$ のサイズを 500 サンプルに制限したためである。

9 おわりに

先に提案したブラインド信号分離を前処理とするエコーキャンセラにシステムに関し、ブラインド信号分離回路における置換問題について検討した。ブラインド信号分離のアルゴリズムは FDSOS とし、実際の音響条件、音声サンプルを用いて基本性能を評価した。次にアルゴリズムにおけるパラメータと各種要求条件の関係について整理し、実験によって分離性能を最大化するパラメータの組合せを調査した。さらに周波数領域における分離行列の置換不整合の影響を評価した。今後は置換の不整合状態を改善するアルゴリズムについて検討を行う。

参 考 文 献

- 1) 伊藤, 丸山, 古屋 : テレコンファレンス用音声伝送装置の開発, 昭和 59 信学通全大 (1984) No.591
- 2) 古川 : 室内音響エコー消去方式の一検討, 昭和 59 信学通全大 (1984) No.2345
- 3) 坂井良広, 高橋弘太, 岩倉博 : ブラインド信号分離回路を用いた適応フィルタに関する一検討, 第 15 回デジタル信号処理シンポジウム講演論文集, (2000)359-364
- 4) J.F.Cardoso : Blind signal separation; Statistical principles, Pccoc.IEEE, vol.88, no.10 (1998) 2009-2025
- 5) F.Ehlers, H.G.Schuster : Blind separation of convolutive mixtures and and applicatiuon in automatic speech recognition in a noisy environment, IEEE Trans. SP, 45, 10 (1997) 2608-2612
- 6) L.Para, C.Spence : Covolutive blind separation of nosta-tionary sources : IEEE Trans,SAP, 8, 3 (2000) 320-237
- 7) L.Tong, R.W.Liu, V.C.Sonn : Indetermiacy and iden-tifiability of blind identification : IEEE Trans,CS 38, 5 (1991) 499-509

地域組織に対するプロジェクト支援に関する考察

滝沢 陽三*

岡田 正*

大平 栄二*

Case Studies of Project Support for a Regional Society

Yozo TAKIZAWA, Tadashi OKADA and Eiji OHIRA

Authors describe in this article about case studies to support for local organizations by the college of technology. They report the examples with their studies and discuss the possibility to apply results of the examples to other similar projects. Facts that seem to be required by local societies and college members are derived from the examples, analyzed to know the role of them for the projects. Authors classify the projects under several types of support and the awareness of supporting objects is key points for successful projects. Also it is discussed to study for other types of project of colleges of technology.

Key words: project support, local organizations, case studies, project classifying, supporting object

1. はじめに

本論文では、地域組織の情報化促進に対する支援について、筆者らが関わった各プロジェクトの特徴を分析・整理して類型化を試み、他のプロジェクトへの応用の可能性について検討する。

地域組織への支援は、地元指向が強い高専においては果たさなければならない役割として位置付けられており、業務の一つとして積極的に推し進めなければならない。しかし、プロジェクトとして本格的に進めようとする、そのプロジェクトに一定の範囲で専念する義務が生じ、基幹業務である学生の教育・研究活動に大きな支障が発生しかねない。また、そのままでは高専ならではの独自性も発揮できず、規模や予算が大きい大学や企業との競争を強いられる。高専はあくまでエンジニア育成を目的とした教育機関であり、それに見合った種類と規模の支援事業を模索するべきである。

2. において実際のプロジェクト例の概要を述べ、成果等を整理した上で提示する。3. ではプロジェクトを個別に分析し、特徴を抽出することで、類似のプロジェクトへの参考とする。4. では、事例以外のタイプの地域支援について考察する。

2. 地域組織支援プロジェクトの例

本章では、筆者らが関わった支援プロジェクトのうちの3件を挙げ、事例としてその概要を報告する。

(1) Web 経由の写真プリント支援システム

このプロジェクトは、地元カメラ店より依頼のあった、デジタルカメラで撮影した画像を店頭の専用機器で印刷（プリント）するサービスの改善を目的とするものである²⁾。以下はその概要である。

- ・ 対象は単一店舗とし、需要に見合った小規模なシステムとする。
- ・ 顧客の手間を省くため、撮影画像はインターネット経由で店舗に送付される。
- ・ 顧客とのコミュニケーションを重視するため、印刷写真は店頭渡しとする。

このプロジェクトには、本科および専攻科学生がそれぞれ卒業研究・特別研究の活動として参加し、次のような成果が得られた。

- ・ サーバ構築・運用に必要な基礎技術の修得
- ・ 具体的な事例に基づくシステム開発
- ・ 既存システムとの連動を考慮した CGI 作成
- ・ 実用的な顧客向け Web ページ作成ノウハウ

なお、構築されたシステムは現在実際にインターネット上で運用されており、利用実績の蓄積が行われている。

(2) 製品販売における在庫管理支援システム

このプロジェクトは、家具製造・販売を行う地元企業からの依頼で、受注生産を行う家具部材の効率的な在庫管理を行うシステムの構築・運用を目的とするものである³⁾。以下はその概要である。

- ・ 柔軟な検索機能など、表計算ソフトではカバー

原稿受付 平成 18 年 8 月 31 日

* 情報工学科

できない機能を実現する。

- ・ 市販の管理ソフト経由で利用可能なデータベースシステムを導入する。
- ・ 顧客が発注に必要な検索機能を将来的に利用できるように仕組みを整える。

このプロジェクトには、本科学学生が卒業研究の活動として参加し、次のような成果が得られた。

- ・ データベースの基礎知識の学習
- ・ 具体的な事例に基づくシステム開発
- ・ データベースサーバの試作
- ・ 市販ソフトをインタフェースとした在庫管理の実証実験

なお、プロジェクトでは3つの研究室にまたがる共同開発が行われ、データベース内部のデータ構造設計・管理と、データベースサーバのシステムソフトウェア導入・運用の大きく2つに分担された。これらを通し、要求仕様定義や基本・詳細設計など、ソフトウェア開発方法論に則ったグループ開発の経験も学生らは得ることとなった。

(3) 地域ポータルサイト構築・運用の支援

このプロジェクトは、地元密着型のポータルサイトの構築・運用を企画した地元デザイン企業の支援を行うものである⁴⁾。以下はその概要である。

- ・ 構築・運用の主体は当該地元企業とし、本校側はコンテンツ作成の支援は行わない。
- ・ 公式ページを独自に持たない組織や独自取材の情報掲載を中心とした草の根的なものとする。
- ・ 各参加組織は会員としてポータルサイトにアクセスし、自ら情報を作成・掲載できるようにする。

このプロジェクトには、本科および専攻科学生がそれぞれ卒業研究・特別研究の活動として参加し、次のような成果が得られた。

- ・ ポータルサイト構築・運用の基礎知識の学習
- ・ 具体的な事例に基づくシステム開発
- ・ サイト構築のためのプログラミング技術の修得
- ・ 利用者を意識した Web インタフェースの研究
- ・ 会員システムの実現と運用ノウハウの修得

掲載情報の作成については、個々の参加組織の紹介やイベント情報だけでなく、コンテンツ作りを通じた地元小学校の職場体験の手段ともなっている。

3. 事例の分析

前章で取り上げたプロジェクトは、進行中のものも含め、概ね成功している。これは、高専の関わるプロジェクトとして見合った、規模の小さなものであったこと、高専が支援しやすい種類のプロジェクトであったことなどが理由として考えられる。また、高専側はあくまで支援に徹し、地域組織側が中心と

なったプロジェクトへの支援という体制であることが功を奏している。これらのことについて、以下において詳細に分析・議論する。

3. 1 プロジェクトの規模

規模について、システムの側面と人的な側面について分析する。

IT 技術を活用した情報システムとしては、今回取り上げたどのプロジェクトにおいてもサーバマシンは一台ないしは二台であり、運用側や顧客のクライアント PC をネットワークで結んで運用している。サーバシステムの構築・運用には膨大なコストがかかると言われていたが、必要な機能を吟味した上で最低限のサーバマシンを用意するだけであれば、導入や保守にはそれほど手間がかからないことが分かる。また、全てのシステムがインターネットを通して広く展開することを想定しており、各クライアント PC は利用する各々のユーザが個々に管理していることから、ユーザに対しては簡易な機能のみを提供し、独自のソフトウェアや複雑な操作を必要としないことも成功の要因と言える。簡易なインタフェースは、システムに対する負荷も軽減している。

人的側面については、高専や地域組織の規模を考慮すると、開発に携わる人数は自ずと数名のオーダーとなる。しかしこのことは、コミュニケーションが行いやすいことを意味し、明確なプロジェクトリーダーを設けなくともプロジェクトを進めることが可能な規模と捉えることができる。これは、システムが小規模であるほどむしろ有利であり、電子メールやグループウェアを活用しなくとも密な交流が可能な範囲と言えるだろう。また、システムを利用する人々の規模が小さいことも、不具合（バグ）の発生や機能追加の規模を小さくし、プロジェクトを円滑に進める上で好都合である。

3. 2 プロジェクトの種類

本論文で取り上げた事例は、それぞれ顧客対応型、データベース型、コミュニティ型と捉えることができる。

顧客対応型については、システムが扱う中心的情報を顧客が所有しているタイプであり、その情報をいかに円滑に処理できるかが重要である。写真プリント支援システムでは、写真データという汎用的な情報を中心にしており、顧客自身がある程度責任をもって扱うことができるものである。また、印刷する機器は既に存在しており、店舗側も写真データさえ手に入れば、顧客へのフィードバックを含め、問題なく対応可能である。高専側が支援する対象はこの二者を円滑につなぐ部分のみであり、学生の研究活動で十分対応可能な範囲である (Fig.1)。もし、印刷そのもの、あるいは、顧客対応そのものにまで

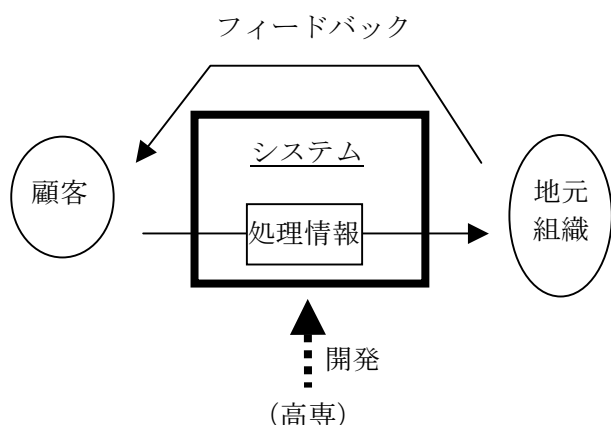


Fig.1 System Type for Customer Support

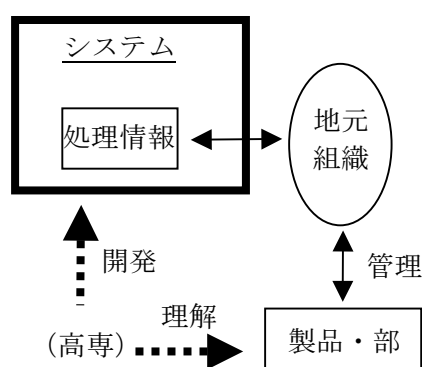


Fig.2 System Type for Database Management

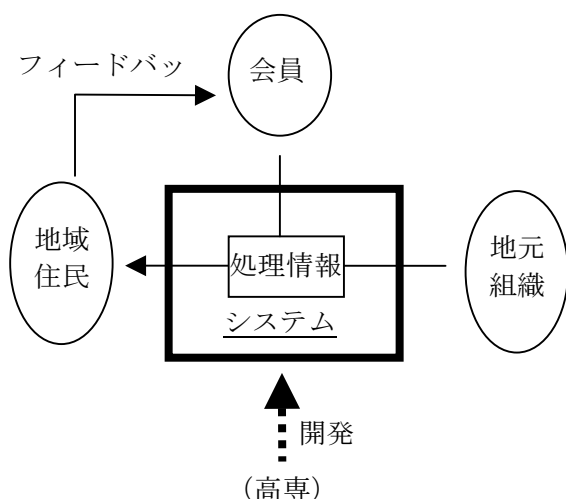


Fig.3 System Type for Community Site

及ぶ支援であれば、かなりの負担となっていただろう。

データベース型は、専門性の高いデータの集合を効率良く処理するタイプである。今回の在庫管理支援システムでは、扱うデータが地元企業側の管理す

る固有の製品・部品に対応するものである。プロジェクトにおいては全て地元企業側が責任をもちつつも、綿密な打合せを通じて高専側がデータモデリング等を行い、双方共に理解に努めている (Fig.2)。この結果、データベース設計に必要な知識や技術を高専側が得られると同時に、地元企業側も扱うデータについてより理解を深め、開発システムに対する提案も無理のないものとなっている。このようなシステムの場合、情報化にあたって効率の良い処理が行えるよう、また、導入期間を短縮できるよう、システム開発側が独自のフォーマットや既存の統合システムを導入しがちである。しかし、扱うデータが複雑であるほど誤解も生じ、導入後の運用時にトラブルをもたらす例が多い。高専側と地元企業側の双方の理解と協力が重要な事例と言える。

コミュニティ型については、扱う情報が膨大であると同時に、多岐に渡る内容であり、また、運用時に頻繁に情報が更新・蓄積されていくタイプである。組織や個人の Web サイトは一般にそのような特徴をもつが、今回扱うポータルサイトは Web サイトの集合体と考えることができる。この場合、各 Web サイトに相当する部分の情報の更新・蓄積について地元組織が責任をもつことは大きな負担となるが、それは、開発を支援する高専側も同様である。このため、ポータルサイトへの会員システム機能の導入は必須であり、利用する地域住民からのフィードバックも考慮すれば、参加する会員それぞれの責任で情報発信できることが重要である (運用組織へのフィードバックも必要だが、ここでは会員の一人を兼任すると捉える) (Fig.3)。責任分解点の定義がシステムの開発・維持に大きく影響する例と言える。一方で、会員数や、個々の会員が扱う情報の規模にも気をつけなければならない。当該システムは地域サイトのため会員数・情報共に小規模に留まっており、前節で述べたシステムの負荷や不具合発生を考慮できる範囲である。

以上の3種類のタイプはいずれも、扱うデータを中心にした考え方が必要であることを示している。今回扱った事例が全て情報化の支援であることが理由と考えられるが、その他の分野についても同様に捉えることが重要と考えられる。たとえば、物理的な加工や生産の品質・効率を改善するというプロジェクトであれば、加工・生産対象となる製品に対する理解を深めることは支援側も求められるし、扱う規模を考慮した仕組みを整えるべきであろう。

なお、どの事例もインターネットが関わっているが、利用者や地域が広がることによって負荷が増大することを除けば、コンピュータネットワークによって特徴付けられる要因は少ないと思われる。なぜなら、システムの機能や安全性は人的規模に因らず

重要だからである。

3. 3 支援を中心とした高専の役割

今回取り上げたプロジェクトにおいて、高専側はいずれも支援という形で関わっている。大学等の研究機関では、いわゆる産官学の一角を担う中心的な存在として大きく関わる地域プロジェクトが一般的だが、そのような役割を高専が果たすことは非常に難しいと考えられる。これまで述べてきた事例およびその分析から、人的資源が非常に限られることが主な理由と判断できる。具体的には、次のような事柄が背景として存在する。

- ・ 高専教員は大学等と比較して担当講義・実験が多く、プロジェクト業務に専念可能な企業・官庁とのコミュニケーションを密に行うことが難しい。
- ・ 同様に、大学と比較して参加可能な学生が少なく、大規模なプロジェクトを維持・推進することが難しい。これは教員と同様、能力的な側面よりも時間的側面が理由として大きい。

これらは、高専が、地域社会が求める中堅技術者を育成するという目的で設立されていることに起因する。昨今の大学編入学増加や専攻科設置、独立行政法人化に関わらず、高専が果たすべき役割として位置付けられており、カリキュラムは大学と同様の講義・実験および研究活動で占められているものの、中学卒業生を受け入れ5年間一貫教育が行えるよう設定される。このような状況においては、工業高校以上の科目履修が求められると同時に、学術研究機関の学生として学ぶべき科目も必要とされる。このためカリキュラムは過密であり、学生・教員共に時間的な余裕がないのが現状である。また、比較的余裕がある専攻科生は人数が絶対的に少ない。

しかし、支援を中心とした地域プロジェクト参加であれば、大学よりもむしろ高専の方が有利である。

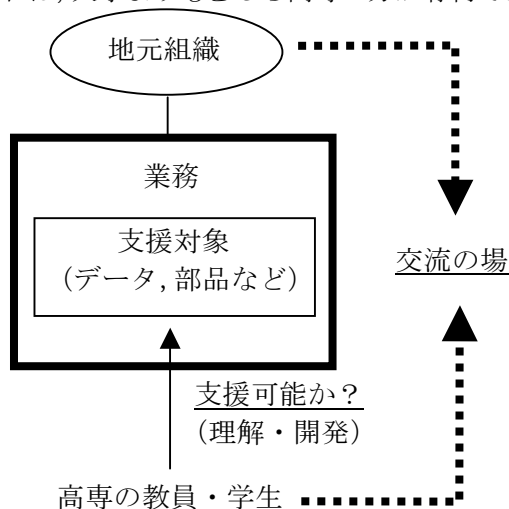


Fig.4 Practical Conditions for Joining Project

これまで述べてきた事例にもあるように、支援には実際のシステム開発だけでなく、現場で扱う製品やデータへの理解が求められるが、このような活動において得られる知識や技術には、高専のカリキュラムにおいて学ぶべき基礎知識・技術と一致する例が多い。大学では学生自身も当初から学会発表を想定した研究活動が求められ、プロジェクトの成果として最先端のものが必要とされるため、支援を中心としたプロジェクト参加では十分ではない場合が多い。高専においても専攻科生はそのような成果を必要とするものの、本科卒業研究において様々な支援プロジェクトに関わってきたのであれば、それらを実績・事例としてまとめ、より進展可能な研究テーマを設定し、外部資金を伴う大規模プロジェクトに参加することも可能である。これは、大学における学部卒業研究および大学院における研究活動と同等の効果が期待できることを意味する。

いずれにしても、高専が支援プロジェクトとして参加可能か否かの判断が重要になる。これについては、先の事例分析の結果より、次のような判断条件が導かれる (Fig.4)。

- ・ 支援可能な対象が明確である。
- ・ プロジェクト全体が小規模である。
- ・ 参加者の責任範囲が明確である。
- ・ 人的交流の場を常に設けることが可能である。

これらの多くは大規模プロジェクトでも同様であるが、小規模プロジェクトではこれらのことを明確にしないままスタートしがちである。逆に、支援可能な対象の明確化といったことは、支援可能な分野を広めていくきっかけともなる可能性があり、常に意識しておきたい条件である。また、プロジェクトを始めるにあたっては、これらの事柄を地元企業側に理解してもらうことが必須であると言えるだろう。

4. 他のプロジェクトへの応用の可能性

本章では、事例で取り上げたものとは異なるタイプの支援プロジェクトについて、前章で提案した条件に沿って考察する。

4. 1 公開講座の開催

公開講座は高専において伝統的に行われている地域貢献の一つである。しかし、総じて参加者は多くない。これは、工業系の専門分野を扱うテーマは一般市民が参加しにくいこと、企業など専門の人々が参加するには時間的な余裕が少ないこと、などが理由として挙げられる。

情報系分野においては、一時期 PC 利用入門の類が多く参加者を集めたが、そのような講座は近年では自治体などが無料で開催する例が増え、参加費用を徴収する公開講座への参加は急激に減少してい

る。また、情報処理技術者試験など検定や資格試験に関するものは、企業内でもコースを設けるようになっている。いずれにしても、従来同様の方法による開催は厳しくなっている。

しかし、支援可能な対象という形で捉えなおすと、様々なテーマ・手法が見えてくる。情報系分野で言えば、入門と検定の中間に位置する日常ツールの使い方といったものは、通常誰かに教えてもらうものではなく、利用者各自が試行錯誤の末に身につけるのが一般的である。しかし、PCの急速な普及に伴い、そのような試行錯誤ができないまま苦悩する例が多く聞かれる。インターネットの爆発的な浸透により、そのような問題は企業の業務だけでなく日常生活にも大きな影響を及ぼしている。一方、高専における教育・研究活動においてはそのような試行錯誤の経験は日常的であり、設備面を含め、その成果を生かした公開講座の開催はむしろ高専向きと言えるだろう。

ただし、従来行われていなかったようなテーマを設定する場合、広報の仕方に気を付ける必要がある。よく知られた内容ではないため、市報などでテーマ名や概要を提示するだけでは十分に伝わらないからである。様々な方法が考えられるが、そのようなテクニックを必要とすると思われる地域組織に個別にハガキやFAXで案内を出すことも必要になるかもしれない。

4. 2 開発を伴わない技術相談

技術相談の受け入れは、現在多くの高専で積極的に行われている活動である。各教員があらかじめ応じることができる専門分野をシーズ集などで公開し、組織として窓口を設けて受け付けている。

しかし、学会等で提示する分野名やキーワードをそのまま公開する例もあり、外部からは相談可能か否かの判断がつかないこともある。また、わかりやすさを重視して平易な言葉に直して提示する場合もあるが、いずれにしてもそのままでは内容的な判断材料にならない例が目につく。この問題においても、支援可能な対象という観点で捉えなおすべきだろう。

たとえば情報系分野では、単純にサーバ構築あるいはソフトウェア開発といったものよりも、事例で紹介したようなキーワード、すなわち、在庫管理システムの開発といった表現の方が、相談する側もイメージを掴みやすい。具体的な企業の業務に沿って

様々なキーワードを提示するのが理想であるが、そのためには、アンケートの類を実施する必要があるかもしれない。

なお、相談料の類を設定すべきかは、慎重に検討されるべきだろう。たとえ料金に見合った結果があるとしても、費用が必要となれば敷居が高くなり、特に地元中小企業からは敬遠されかねない。技術相談はあくまで無償サービスとし、相談の結果、実際の開発が伴うことになった際に、必要な実費であることを理解してもらった上で捻出されるべきである。高専においても外部資金導入の必要性は叫ばれているが、地域組織との連携という観点で言えば、高専自身も地域組織の一つであることを十分自覚しなければならない。

5. ま と め

本論文では、高専による地域貢献について、具体的な情報化支援プロジェクトの例を分析・考察し、様々な提案を行った。今後の高専における地域貢献事業を検討する際の参考になれば幸いである。

謝 辞

本論文の執筆は、独立行政法人国立高等専門学校機構において施行された高専間教員交流制度に基づく人事交流活動の一環として行われた。機構および当該高専関係者各位のご協力に厚く御礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 岡田 正：インターネット技術による地域情報化への貢献、高専教育、第23号、pp.369-373、2000。
- 2) 宮岡 樹、衣笠昭弘、岡田 正：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、第46号、pp.59-66、2004。
- 3) 大平栄二、藤田浩嗣：少量多品種生産のためのデータベースの検討、津山工業高等専門学校紀要、第48号（投稿中）。
- 4) 田淵哲也、佐賀真澄、岡田 正：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、第48号（投稿中）。
- 5) 滝沢陽三、岡田 正、大平栄二：学生教育と密着した地域組織の情報化支援、高専教育、第30号（投稿中）。

有限密度格子QCDにおけるフェルミオン行列の様相

佐々井祐二* 中村 純† 高石哲弥‡

On the Aspects of Fermion Matrix in Lattice QCD at Finite Density

Yuji SASAI, Atsushi NAKAMURA and Tetsuya TAKAISHI

Once the quark chemical potential μ is introduced in Lattice QCD at finite density, the fermion determinant $\det \Delta(\mu)$ appeared in the path integral measure becomes complex. In order to investigate the phase effect of SU(3) lattice QCD, we calculated the fluctuation of the phase of $\det \Delta(\mu)$ on a $8^3 \times 4$ lattice at $\mu a = 0.1, 0.2$ and 0.25 , as functions of $\beta = 2N_c/g^2$ from 5.20 to 5.40 , where a is the lattice spacing. Then we calculated the chiral condensate and Polyakov line in the phase quenched and reweighted cases. There is little difference between these two cases in these range of μa . To examine phase effects more, we study the range of $\mu a = 0.0 \sim 1.4$. We confirmed that the conjugate gradient calculation is possible in the higher density region though it was difficult in the intermediate density region (approximately $\mu a = 0.3 \sim 1.0$). We calculated the chiral condensate, Polyakov line, quark number density and the phase effect as functions of the μa at $\beta = 5.30$. We also investigated eigenvalue distributions of the fermion Matrix.

Key words: Lattice gauge theory, Phase effect, Fermion Matrix

1. Introduction

格子 QCD (Quantum Chromodynamics : 量子色力学) は非摂動領域の情報を得るための強力な手法である。近年は、有限温度に続き、有限密度の数値シミュレーションも活発に行われるようになってきた¹⁾。有限温度・有限密度系では、クォーク・グルーオンプラズマ相とハドロン相との相転移を調べることににより、中性子星や重核子などの高密度の核物質の様相や初期宇宙についての情報を得ることが期待されている。また、実験としてはBNLのRHICやCERNのSPSによる重イオン衝突実験がある。

有限密度においては、バリオン数化学ポテンシャルが導入される。有限密度において先駆的な仕事としては、NakamuraによるTwo-color QCDがあり、これは有限密度におけるSU(2)格子QCDである。有限密度におけるSU(3)格子QCDでは、フェルミオン行列式が複素数となってしまう、符号問題が発生し、ゲージ配位をボルツマンの重みで生成する通常のモンテカルロ法が使用できなくなる。FodorとKacは温度 $T \neq 0$ かつ化学ポテンシャル $\mu \neq 0$ におけるQCDをマルチパラメータ重み再定義法により研究した²⁾。 $\mu = 0$ と $\mu \neq 0$ における2つの測度がオーバーラップしている場合、この方法はうまく機能する。より良いオーバーラップは位相クエンチ測度を用いたシミュレーションにより得られる³⁾。ここで、位相クエンチ測度は位相を除いたものである。従って、 (T, μ)

パラメータ空間において位相の揺らぎの様相を調べることが重要であると考えられる。また、有限密度において、この位相を用いて種々の物理量を計算することが必要である。

そこで、 (T, μ) パラメータ空間、対応する格子上においては $(\beta, \mu a)$ パラメータ空間においてフェルミオン行列やその行列式の位相の特性を研究することが重要になってくる。ここで、 β は結合定数 g の関数 $\beta = 2N_c/g^2$ 、 N_c はカラー自由度、 a は格子間隔である。本稿では、様々な β と μa の値に対する位相の揺らぎと計算可能性、また、フェルミオン行列の固有値分布の様子を報告する。

2. Formulation

熱力学系は分配関数

$$Z = \text{Tr} e^{-\frac{1}{kT}(H - \mu N)} \quad (1)$$

で記述される。ここで、 k はボルツマン定数、 T は温度、 H は系のハミルトニアン、 N はバリオン数密度 $N = \int d^3x \bar{\psi} \gamma_4 \psi$ (ψ はフェルミオン、具体的にはクォーク) を表している。この式を経路積分形式で表し、フェルミオンについて積分すると

$$\begin{aligned} Z &= \int DU D\bar{\psi} D\psi \exp \left[- \int_0^{1/T} d\tau \int d^3x (L + \mu \bar{\psi} \gamma_4 \psi) \right] \\ &= \int DU (\det \Delta(\mu))^{N_f/4} e^{-S_g/kT} \end{aligned} \quad (2)$$

となる。ここで、 N_f はフレーバー数、 S_g はゲージ作用である。また、グルーオン (クォーク) に対応する格子上のリンク (サイト) 変数 $U(\psi)$ に対しては周

* 津山工業高等専門学校 専門学科共通科目

† 広島大学

‡ 広島経済大学

期的(半周期的)境界条件を課している．伝搬関数の考察により連続場の理論では，化学ポテンシャルは $p_4 \rightarrow p_4 - i\mu$ の置き換えにより導入される．格子上では，我々は Kogut-Susskind (KS) フェルミオンを採用している．この場合のフェルミオン行列は

$$\begin{aligned} \Delta(x, x') &= m \delta_{x, x'} + \\ &\frac{1}{2} \sum_{i=1}^3 \eta_i(x) \{ U_i(x) \delta_{x', x+i} - U_i^\dagger(x') \delta_{x', x-i} \} + \\ &\frac{1}{2} \eta_4(x) \{ e^{+\mu} U_4(x) \delta_{x', x+4} - e^{-\mu} U_4^\dagger(x') \delta_{x', x-4} \} \end{aligned} \quad (3)$$

ここで

$$\begin{aligned} \eta_\mu(x) &= 1 \ (\mu = 1), \ (-1)^{x_1} \ (\mu = 2) \\ &(-1)^{x_1+x_2} \ (\mu = 3), \ (-1)^{x_1+x_2+x_3} \ (\mu = 4) \end{aligned} \quad (4)$$

である．言い換えると，格子上では化学ポテンシャルはリンク変数 $U_4(x)$ に e^μ を

$$\begin{aligned} U_4(x) &\rightarrow e^\mu U_4(x), \\ U_4^\dagger(x) &\rightarrow e^{-\mu} U_4^\dagger(x) \end{aligned} \quad (5)$$

のように掛けることにより導入される．ここで， $U_\mu(x) = \exp(iaA_\mu(x))$ である．KS フェルミオンに対して，

$$\Delta(\mu)^\dagger = \Gamma_5 \Delta(-\mu) \Gamma_5 \quad (6)$$

が成り立つ．ここで， $\Gamma_5(x, x') = (-1)^{x_1+x_2+x_3+x_4} \delta_{x, x'}$ である．従って，

$$(\det \Delta(\mu))^* = \det \Delta(\mu)^\dagger = \det \Delta(-\mu) \quad (7)$$

の関係が成立するので， $\mu = 0$ であれば， $\det \Delta(\mu)$ は正実数となり数値計算は実行可能であるが， $\mu \neq 0$ であれば， $\det \Delta(\mu)$ は複素数となってしまう．

$$\det \Delta(\mu) = |\det \Delta(\mu)| e^{i\theta} \quad (8)$$

であるから，モンテカルロ計算におけるゲージ場の配位のアップデートの積分測度に位相 $e^{i\theta}$ が入るため，計算は困難となる．また， $\det \Delta(\mu)$ の計算には非常に時間が掛かるので， $\det \Delta(\mu) \rightarrow 1$ と置き換えたクエンチ近似を用いることがある．クエンチ近似は，物理的には真空からクォーク・反クォークの対生成を無視することに対応する．クエンチ近似で良い場合も多いが，化学ポテンシャルが入るような場合には $\det \Delta(\mu)$ を考慮する必要がある．そこで， $|\det \Delta(\mu)|$ のみ考慮に入れ， $e^{i\theta} \rightarrow 1$ と置き換えてゲージ場の配位をアップデートする位相クエンチがある．

モンテカルロシミュレーションにおいて，位相クエンチ測度 $DU |\det \Delta(\mu)|^{N_f/4} e^{-\beta S_g}$ ではあっても，位相 $e^{i\theta}$ を考慮に入れた計算をすることができる． $N_f = 2$

に対して，オペレータ O の期待値は以下のように与えられる

$$\begin{aligned} \langle O \rangle &= \frac{1}{Z} \int DU (\det \Delta(\mu))^{1/2} O e^{-\beta S_g} \\ &= \frac{\int DU |\det \Delta|^{1/2} e^{i\theta/2} O e^{-\beta S_g}}{\int DU |\det \Delta|^{1/2} e^{i\theta/2} e^{-\beta S_g}} \\ &= \frac{\int DU |\det \Delta|^{1/2} e^{i\theta/2} O e^{-\beta S_g}}{\int DU |\det \Delta|^{1/2} e^{-\beta S_g}} \\ &= \frac{\int DU |\det \Delta|^{1/2} e^{i\theta/2} e^{-\beta S_g}}{\int DU |\det \Delta|^{1/2} e^{-\beta S_g}} \frac{\langle O e^{i\theta/2} \rangle_0}{\langle e^{i\theta/2} \rangle_0}. \end{aligned} \quad (9)$$

ここで， $\langle \dots \rangle_0$ は位相クエンチ測度による期待値を意味する．また，参考までにオペレータ O の位相クエンチ測度による期待値 $\langle \dots \rangle_0$ とクエンチ測度による期待値 $\langle \dots \rangle_q$ を明白に書くと

$$\langle O \rangle_0 = \frac{\int DU |\det \Delta|^{1/2} O e^{-\beta S_g}}{\int DU |\det \Delta|^{1/2} e^{-\beta S_g}} \quad (10)$$

と

$$\langle O \rangle_q = \frac{\int DU O e^{-\beta S_g}}{\int DU e^{-\beta S_g}} \quad (11)$$

となる．次に，重み再定義された式 (9) の計算式的具体形を吟味する．

$$\begin{aligned} \langle O \rangle &= \text{Re} \frac{\langle O e^{i\theta/2} \rangle_0}{\langle e^{i\theta/2} \rangle_0} \\ &= \text{Re} \frac{\langle (\text{Re } O + i \text{Im } O)(\cos(\theta/2) + i \sin(\theta/2)) \rangle_0}{\langle \cos(\theta/2) + i \sin(\theta/2) \rangle_0} \\ &= \text{Re} \frac{\langle (\text{Re } O \cos(\theta/2) - \text{Im } O \sin(\theta/2)) \rangle_0}{\langle \cos(\theta/2) \rangle_0 + i \langle \sin(\theta/2) \rangle_0} \\ &\quad - i \frac{\langle \text{Re } O \sin(\theta/2) + \text{Im } O \cos(\theta/2) \rangle_0}{\langle \cos(\theta/2) \rangle_0 + i \langle \sin(\theta/2) \rangle_0} \\ &\approx \frac{\langle \text{Re } O \cos(\theta/2) \rangle_0 - \langle \text{Im } O \sin(\theta/2) \rangle_0}{\langle \cos(\theta/2) \rangle_0} \end{aligned} \quad (12)$$

ここで， $\sin$ は奇関数であるが，実際， $\langle \sin(\theta/2) \rangle_0$ は誤差の範囲内で 0 となる．また， $\langle \text{Im } O \sin(\theta/2) \rangle_0$ もほとんど 0 に近い値となる．

3. Numerical Investigation

我々は $8^3 \times 4$ 格子上，R-アルゴリズムを用いて，フレーバー数 $N_f = 2$ ，質量 $ma = 0.05$ において数値計算を実行した．計算は主にベクトル型計算機 NEC SX-5 上で行ったが，クエンチと固有値の計算についてはスカラー型計算機 日立 SR-11000 上で行った．位相クエンチのモンテカルロ計算では R-アルゴリズムに従い，また，クエンチの計算は LTK (Lattice Tool Kit) を用いてゲージ配位をアップデートしている．ステップサイズ $\Delta\tau = 0.01$ であり，5000 トラジェクトリ程度の計算を行うが，最初の 1000 回の結果は熱平衡化のため捨てる．また，LU 分解に対して

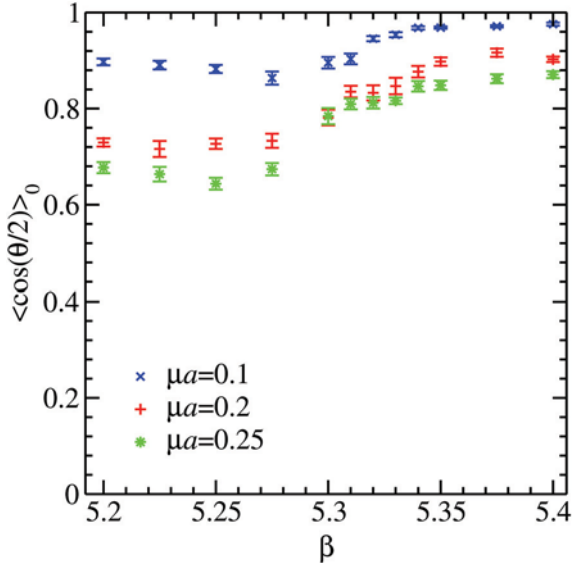


Figure 1. $\langle \cos(\theta/2) \rangle_0$ for $\mu a = 0.1, 0.2$ and 0.25 , as functions of β

は、LAPACK の関数 ZGEEV, 固有値計算にたいしては関数 ZGETRF を用いる。

最初に、フェルミオン行列式の位相 θ を調べたい。そのため、フェルミオン行列式 $\det \Delta(\mu)$ を計算する必要がある。そのため、我々は 2 つの方法: (I) 固有値を求めてから掛け合わせる, (II) LU 分解法により三角行列を求め対角成分を掛ける, を試した。我々が取り扱っているフェルミオン行列 $\Delta(\mu)$ は複素倍精度 6144×6144 次元行列である。NEC SX-5 上においてその行列式の計算時間は、(I) 固有値法では約 8 時間 10 分, (II) LU 分解法では約 15 分となった。そこで、我々は位相計算に対して (II) 固有値法を使うことにした。

10 トラジェクトリ毎に合計 400 個の $\det \Delta(\mu)$ を計算し $\cos(\theta/2)$ の統計平均をとった。図 1 は化学ポテンシャル $\mu a = 0.1, 0.2, 0.25$ のそれぞれの場合についての、 β の値に対する $\langle \cos(\theta/2) \rangle_0$ の揺らぎを示している。フレーバー数 $N_f = 2$ であるので、 $\langle \cos \theta \rangle_0$ でなく、 $\langle \cos(\theta/2) \rangle_0$ を計算している。一見して、小さな β では、 $\cos(\theta/2)$ の揺らぎは大きい。また、化学ポテンシャル μa の増大と共に、揺らぎが大きくなる傾向がある。より、大きな μa に対して、この傾向が続くか興味がある。

カイラル対称性が破れているか否かを吟味するために、カイラル凝縮 $\langle \bar{\psi} \psi \rangle$ を計算する。位相クエンチ (phase quench) の場合は $\langle \bar{\psi} \psi \rangle_0$ を計算するために、各トラジェクトリ毎、合計 4000 個の $\text{Re} \bar{\psi} \psi$ を計算し統計平均をとった。次に、 $\det \Delta(\mu)$ の位相 θ を用いて、重み再定義 (reweighted) の結果を得ることがで

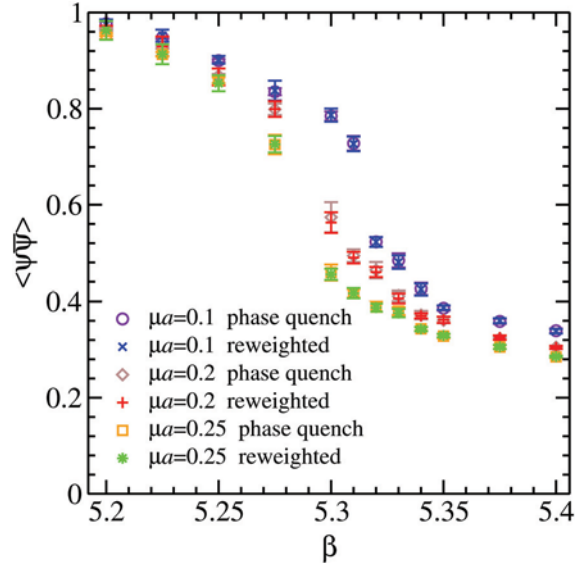


Figure 2. Phase quench and reweighted chiral condensates $\langle \bar{\psi} \psi \rangle$ for $\mu a = 0.1, 0.2$ and 0.25 , as functions of β

きる。この場合は位相の統計数の関係から、式 (13) に従い、10 トラジェクトリ毎に合計 400 回の統計平均をとっている。

$$\langle \bar{\psi} \psi \rangle = \frac{\langle \text{Re} \bar{\psi} \psi \cos(\theta/2) \rangle_0 - \langle \text{Im} \bar{\psi} \psi \sin(\theta/2) \rangle_0}{\langle \cos(\theta/2) \rangle_0} \quad (13)$$

$$\approx \frac{\langle \text{Re} \bar{\psi} \psi \cos(\theta/2) \rangle_0}{\langle \cos(\theta/2) \rangle_0} \quad (14)$$

図 2 から、 $\beta \approx 5.3$ 近傍が 1 次の相転移点 β_c であり、 $\beta > \beta_c$ では、カイラル対称性が回復していると考えられる。また図 2 から、重み再定義の印は位相クエンチの印とエラーバーの範囲で重なって、位相の効果が見られない。ここで、位相クエンチの結果は Kogut と Sinclair により報告された μ 特性と一致している⁴⁾。 $\langle \sin(\theta/2) \rangle_0 \approx 0$ であるから、位相の平均値は式 (14) の中で、因数分解され約分されているように見える⁵⁾。

図 3 は位相クエンチの場合と重み再定義の場合のポリヤコフ線の結果である。この 2 つの場合のマークは殆ど重なっている。もっと大きな μa に対して、位相効果が現れるか否か興味がある。我々の方法では、クォークの伝搬関数を求めるための共役勾配法の計算は $\beta = 5.20$ に対しては $\mu a > 0.27$ において収束しなくなる。つまり、我々は μa 方向の相転移点 μ_{ca} 以下でシミュレーションを実行している。もし、 $\mu a \geq \mu_{ca}$ でシミュレーションが実行できるならば、位相効果の解明につながると期待される。

我々は $(\beta, \mu a)$ 模式図 4 の化学ポテンシャル $\mu a = 0.0 \sim 0.3$ の付近で、縦方向の矢印の向き $\beta = 5.2 \sim$

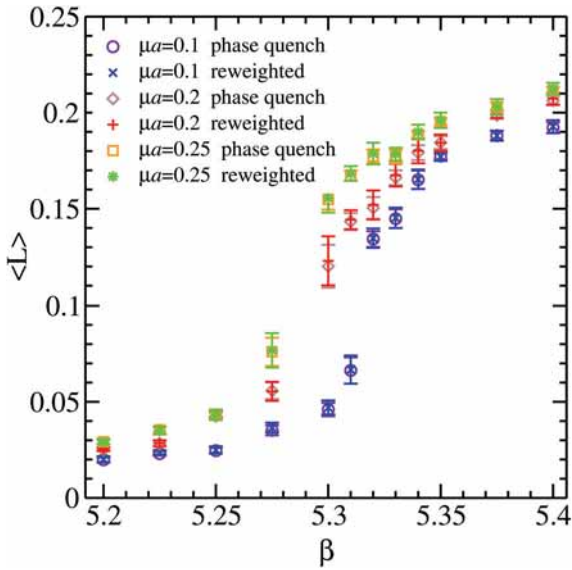


Figure 3. Phase quench and reweighted Polyakov lines $\langle \text{Re } L \rangle$ for $\mu a = 0.1, 0.2$ and 0.25 , as functions of β

5.4 の範囲で系の位相効果を調べてきた。しかし、 $\mu_c a$ に近づくにつれ、共役勾配法の計算が収束しなくなった。打開策を探るため、現実的ではない密度領域の μa まで図 4 の横方向の矢印の向き $\beta = 5.3$, $\mu a = 0.0 \sim 1.4$ の範囲で、準備的な計算を行った。図 4 において、○印は計算可能であった $(\beta, \mu a)$ 点、×印は共役勾配法の計算が途中で止まってしまった $(\beta, \mu a)$ 点を意味する。中密度領域 $0.3 < \mu a < 0.8$ では計算できなかったが、高密度領域の $\mu a \geq 0.8$ では計算可能になったことが分かった。我々の計算ではパイオンの質量は $m = 457 \text{ MeV}$ ($ma = 0.57$) であるので、計算はパイオンの質量付近の密度領域で困難になるようである。つまり、パイオン凝縮が共役勾配法の計算可能性に関係していることが考えられる。高密度領域ではカイラル対称性は回復しており、短時間に共役勾配法の計算は収束する。また、 $\mu a = 1.4$ において、徐々に β の値を下げて計算したが、カラー超伝導相 (CSC 相) 突入の兆候は見られなかった。

準備計算として行っているため、図 5 は統計数が少ないが、位相の揺らぎの傾向はつかめる。 μa の増加と共に、揺らぎが増加を続けるわけではなく、 $\cos(\theta/2)$ の値は 0.6 より下らない。図 6 は一端計算できなくなる中密度領域を抜けて、高密度領域ではカイラル対称性が回復することを示している。また、図 7 は、 μa の増加と共に、ポリヤコフ線が閉じ込め相を示す 0 から非閉じ込め相を示す非 0 の値へ推移していく、しかし、計算できない中密度領域を抜けて高密度領域に入ると、再度、ポリヤコフ線の値は下がってくる。

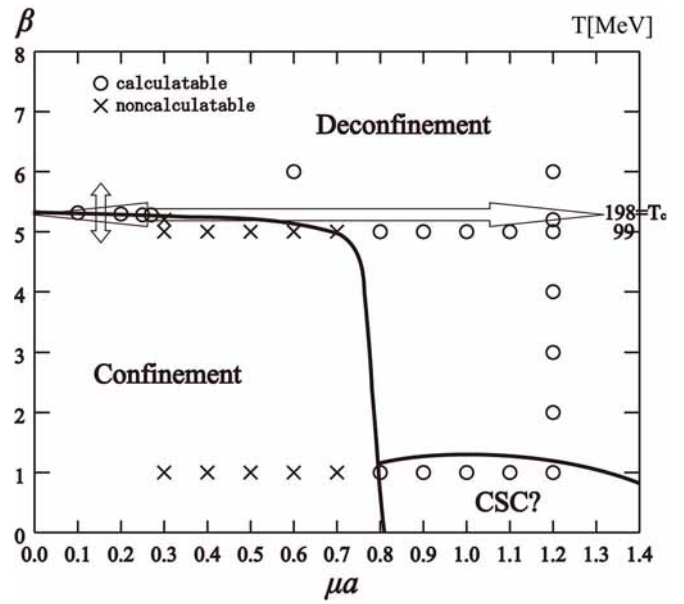


Figure 4. Schematic phase diagram of QCD in the $(\beta, \mu a)$ plane

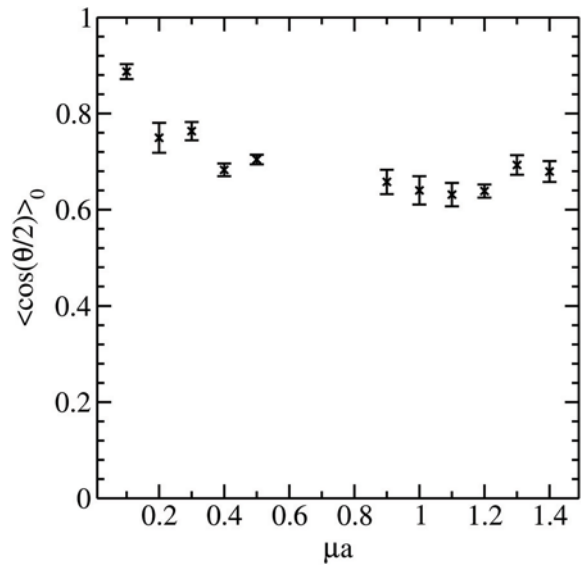


Figure 5. $\langle \cos(\theta/2) \rangle_0$ for $\beta = 5.30$, as functions of μa

一見して、高密度領域は閉じ込め相であるように見えるが、これは物理的直感に反する。格子サイズが有限であるがために、この領域ではクォークの自由エネルギーが無限大となり、ポリヤコフ線が 0 の値に近づいてくると考えられる。つまり、空間を 8^3 個、時間を 4 個に区切るにより構成されている格子の有限サイズ効果が原因である。ここで、図 6、図 7 と

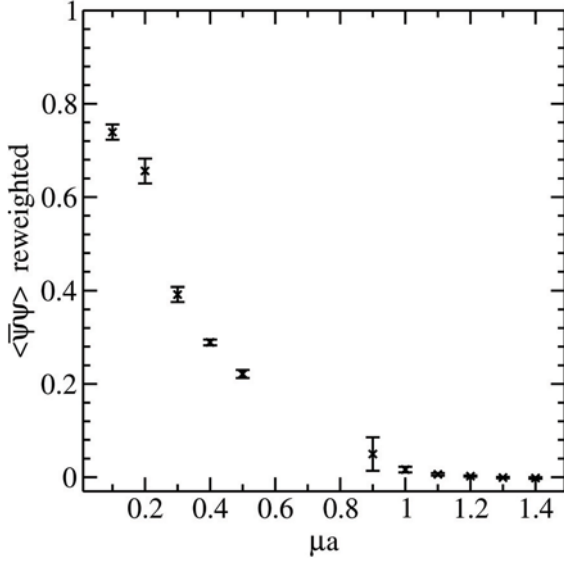


Figure 6. Reweighted chiral condensates $\langle \bar{\psi}\psi \rangle$ for $\beta = 5.30$, as functions of μa

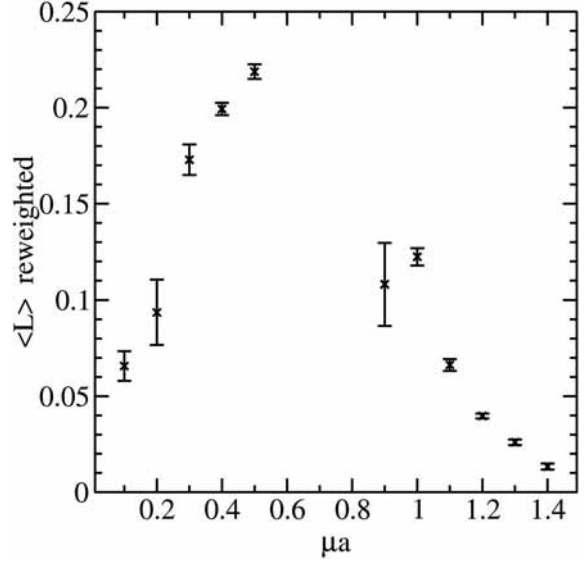


Figure 7. Reweighted Polyakov lines $\langle L \rangle$ for $\beta = 5.30$, as functions of μa

も、重み再定義の結果を示している。高密度領域であっても、重み再定義の結果と位相クエンチの結果には差が見られなかった。

図 8 にクォーク数密度 n の計算結果を示している。 μa の増大と共に、クォーク数密度 n の値は 3 に近づいていく。これはカラーの自由度 3 による規格化を施していないためである。Harsenfratz と Toussaint による 4^4 格子における計算結果と定性的に一致している⁶⁾。また、実線は自由クォークの場合の計算結果である。低密度領域では相互作用がある場合のクォーク数密度と良く一致しているが、値が 3 に近づくのはより高密度状態になってからである。また、中間密度領域 $\mu a = 0.5 \sim 0.9$ の範囲における計算例は、計算の困難性のために統計数はかなり少ない。図より、パイオンの質量 $m = 457\text{MeV}$ ($ma = 0.57$) 付近の密度領域から、計算が困難となるのが分かる。

図 9 に化学ポテンシャル $\mu a = 0.0 \sim 1.4$ の範囲で計算した KS フェルミオン行列の固有値分布のうち、 $\mu a = 0.0, 0.2, 0.5, 1.0$ の 4 つの結果を示す⁷⁾。ただし、これらは 1 つのゲージ配位に対しての固有値分布であり、統計平均を施したものではない。なお、図の横軸は複素固有値空間の実数成分、縦軸は虚数成分である。 $\mu a = 0.0$ の場合はクエンチの場合と同じであり、クォーク質量 $ma = 0.05$ に対応して実数成分が 0.05 の位置に固有値は分布する。 $\mu a = 0.2$ の場合は有限密度に対応し、固有値分布は実数成分 0.05 を中心として、実軸方向に分布が広がっていき、虚数成分 0.0 の部分の位置の密度分布が薄くなっていく。さらに、共役勾配法による計算が困難になってい

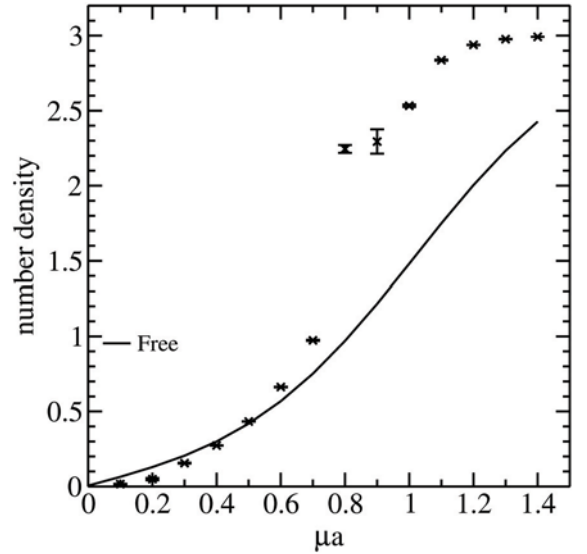


Figure 8. Quark Number Density n for $\beta = 5.30$, as functions of μa

く $\mu a = 0.5$ からは、原点上の固有値、つまり 0 固有値が発生してくる。この場合 $\det \Delta(\mu)$ は 0 となるので、クォーク伝搬関数を求めるための共役勾配法の計算が止まってしまう。計算できない中密度領域を抜けて、高密度領域 $\mu a = 1.0$ の場合は、実軸方向に固有値分布は大きく広がった穴を持ち、0 固有値は発生せず、計算の収束も高速になる。

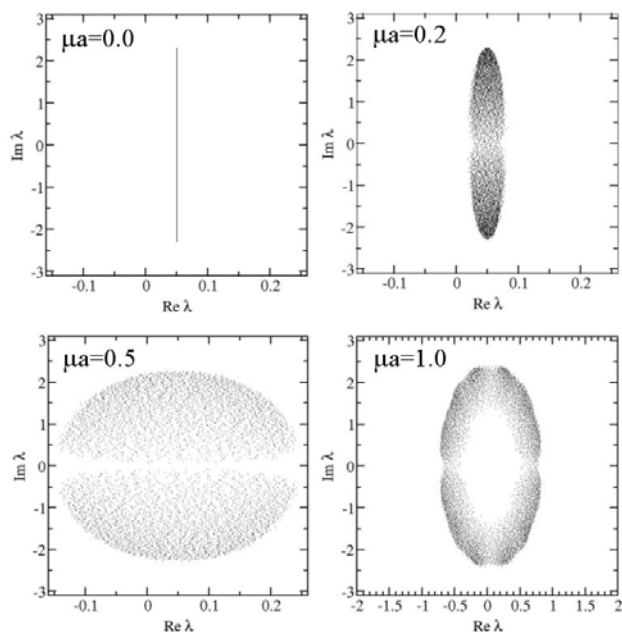


Figure 9. Eigenvalue distributions of KS fermion Matrix for $\mu a = 0.0, 0.2, 0.5$ and 1.0 at $\beta = 5.30$

4. Summary

我々は $8^3 \times 4$ 格子上で、化学ポテンシャル $\mu a = 0.1, 0.2, 0.25$ の場合についてフェルミオン行列式 $\det \Delta(\mu)$ の位相の揺らぎを調べた。 μ の増大につれて、位相の揺らぎも大きくなることが分かった。カイラル凝縮 $\langle \bar{\psi} \psi \rangle$ とポリヤコフ線 $\langle L \rangle$ を位相クエンチの場合と重み再定義の場合について計算したが、2つの場合の差は見られなかった。つまり、位相効果を発見することができなかった。

より大きな μa の場合の位相効果の有無に興味があるが、共役勾配法による計算の収束の関係で計算ができない。そこで、準備計算として、 $\beta = 5.3$, $\mu a = 0.0 \sim 1.4$ の範囲で計算可能性を調べた。

中密度領域ではパイオン質量付近で計算が困難になり、固有値分布の解析から、0 固有値が発生している場合に対応することが分かった。高密度領域では再度、計算が可能になるが、ここでも位相効果を発見することはできなかった。

現在は、スカラー型計算機日立 SR-11000 上で並列計算により、1つの固有値の計算時間が22分程度と大幅に短縮されている。SR-11000 上で1つの μa あたり、500個の固有値を計算しており、統計平均をとったヒストグラム表示も可能となっている。また、ゲージ場中のクォークの満足する Dirac 方程式の固有値分布を解析する理論としてランダム行列理論がある⁸⁾。今後は固有値空間の様相の解析に加えてランダム行列理論との比較を試みたい。

Acknowledgments

本数値計算は大阪大学核物理研究センター (RCNP) のベクトル型計算機 NEC SX-5 と広島大学情報メディア教育研究センターのスカラー型計算機 日立 SR-11000 によりなされました。ここに深謝いたします。

REFERENCES

- 1) S. Muroya, A. Nakamura, C. Nonaka and T. Takaishi, hep-lat/030631 (2003).
- 2) Z. Fodor and S.D. Katz, JHEP 0203 (2002) 014; hep-lat/0106002.
- 3) Ph. de Forcrand, S. Kim, T. Takaishi, Nucl. Phys. B(Proc. Suppl.) 119 (2003) 538; hep-lat/0209126.
- 4) J.B. Kogut and D.K. Sinclair, Phys. Rev. D66, 034505 (2002); hep-lat/029054.
- 5) Y. Sasai, A. Nakamura and T. Takaishi, Nucl. Phys. (Proc. Suppl.) 129-130C (2004) 539; hep-lat/0310046.
- 6) A. Harsenfratz and D. Toussaint, Nucl. Phys. B371 (1992), 539.
- 7) A. Nakamura, Y. Sasai, T. Takaishi, AMERICAN INSTITUTE of PHYSICS CONFERENCE PROCEEDINGS 756, 416 (2005).
- 8) G. Akemann and T. Wettig, Phys. Rev. Lett. 92, 102002 (2004); hep-lat/0308003.

過酸化水素処理黒鉛への水、窒素およびアルゴンの吸着

三浦和久* 柳沢寛**

Adsorption of Water, Nitrogen and Argon on Graphite treated with H₂O₂.

Kazuhisa Miura* and Hiroshi Yanazawa**

Natural graphite pretreated in H₂O₂ aq. soln. was measured volumetrically for its adsorption isotherms of H₂O, N₂ and Ar and its gas contents of both H₂O and CO₂ as well. The graphite thus pretreated was further pyrolyzed at 1000°C and measured in the same way. The anomalies appeared in the adsorption isotherms were investigated comprehensively on the basis of the gas contents and the porosity estimated from the isotherms. It was eventually found that the H₂O₂ oxidation diminished roughness in prism plane of the graphite to considerably reduce its surface area; the pyrolysis after the oxidation raised the surface area nearly to a level of the original graphite before the oxidation. Such an increase in the surface area is conjectured due to cleavage of the graphite.

Key words: natural graphite, treatment in H₂O₂ solution, H₂O adsorption, N₂ adsorption, Ar adsorption, porosity, surface functional groups

1. 緒 言

黒鉛のプリズム面に位置する末端炭素原子には種々の表面官能基が結合し、様々な分子の吸着サイトとして働くことが知られている。著者らは、今までに、種々の前処理を施した黒鉛への標準的な蒸気(H₂O)ならびに気体(N₂, Ar)の吸着現象を観測してきた。

まず、H₂O 吸着実験から、黒鉛上での H₂O 分子の種々の吸着サイトを吸着エネルギーの差から明らかにし¹⁾、続いて、N₂ と Ar の吸着実験から、それらの等温線に現れるステップなどの吸着異常の原因が表面官能基と細孔構造にあると考え、いくつかの報告を行ってきた^{2,3)}。

本研究においては、スリランカ原産の天然黒鉛を H₂O₂ 水によって液相酸化し、その表面官能基の構成を変化させ、上記 3 種の気体吸着を行った。さらに、

その酸化処理黒鉛を高温で熱処理し、同じ測定を行った。得られた吸着等温線には従来の研究でも認められたものと同種の吸着異常が現れたが、今回、興味ある新事実を得た⁴⁾のでここに報告する。

2. 実 験

原試料の天然黒鉛(日本黒鉛商事販売の黒鉛 ACP, 純度 99.5%, 灰分 0.5%, 粒度 1~30 μm)をここでは G25⁵⁾と略記する。この G25 を乾燥 N₂ 中、2800°C で 1 時間熱処理後、1atm の H₂ に 1000°C で 1 時間曝し、さらに 31% H₂O₂ 水を用いて 99°C で 1 時間処理した。これを濾過し、室温乾燥して HPG25 と名付けた。

このものに 25°C で H₂O 蒸気を、-196°C で N₂ および Ar を吸着させた。その後、HPG25 を 1000°C で熱処理して、試料 HPG1000 を調製した。このものに対しても同様の吸着を行った。

一方、試料 G25 ならびに HPG25 を 1000°C まで昇温脱離⁵⁾して、表面官能基を熱分解させ、その結果生成する CO₂ ならびに H₂O の量を容量法で測定

原稿受付 平成 18 年 8 月 31 日

*一般科目

**MEMS-CORE

した。

H₂O₂ 水を用いた液相酸化処理は東京大学生産技術研究所第4部の萩原茂示先生のご厚意で行った。

H₂O 蒸気吸着測定はバトロソ圧力計を装備したガラス製の容量法吸着装置を用いて行った。H₂O 蒸気吸着前には試料を 2.7×10^{-3} Pa まで十分に排気した。

また、N₂ と Ar の吸着測定は日本ベル社製の BEL-SORP 吸着装置を用いて -196℃ で行った。この場合には予め試料を 7.0 Pa まで十分に排気して、暫くこの真空度が維持されるのを確認後、測定に用いた。また、吸着等温線に BET 理論を適用して N₂ と Ar による比表面積値を求めた。その際の N₂ 分子断面積⁶⁾ならびに Ar のそれは⁷⁾それぞれ 0.162, 0.138 nm² とした。

3. 結果と考察

Fig.1 の a に G25, b に HPG25 の SEM イメージをそれぞれ示す。H₂O₂ 処理によって、黒鉛の特徴的

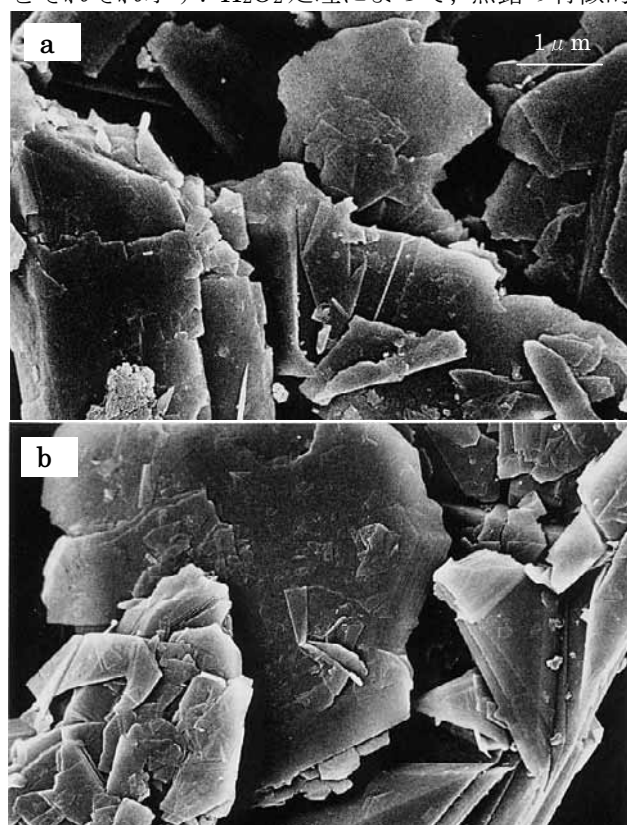


Fig.1 SEM images of the graphite samples; G25(a) and HPG25(b).

な試料形状には殆ど変化が生じていない事がわかる。すなわち、両試料ともベーサル面が優勢であり、そこには変化は認められない。しかし、積み重なった

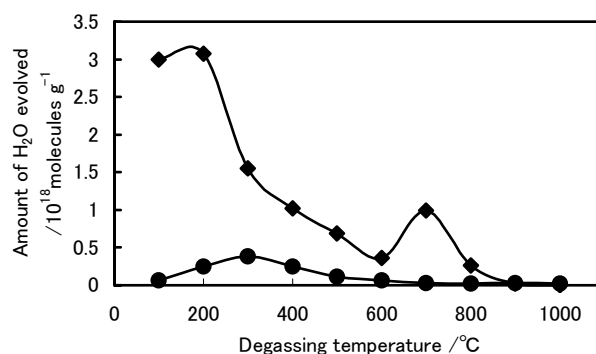


Fig.2 Temperature dependence of amount of H₂O evolved on pyrolysis of graphite samples; G25(◆) and HPG25(●).

ベーサル面の末端で形成されたプリズム面について、a ではギザギザ状になっている部分がよく目に付くが、H₂O₂ 処理を経た b ではこのギザギザが姿を消し、直線的によく揃っている様に変化した事が見て取れる。プリズム面は種々の気体の吸着サイトを提供する重要な場である。この試料が従来認められたものとは異なる現象を示すものと期待される。

Fig.2 と Fig.3 はこれら二種類の黒鉛試料、HPG25 と G25 を昇温脱離した結果、生じた H₂O と CO₂ のそれぞれの量を脱離温度に対してプロットしたものである。

Fig.2 から、G25 の H₂O 昇温脱離スペクトルでは 200 と 700℃ にピークがある。この事は、G25 上に在る、熱分解して H₂O になる表面官能基には、熱に対する安定さにおいて、少なくとも二種類のものがある事を示唆する。それが H₂O₂ 処理を受けた後は、一種類になり、脱離ピークは 300℃ にシフトする。

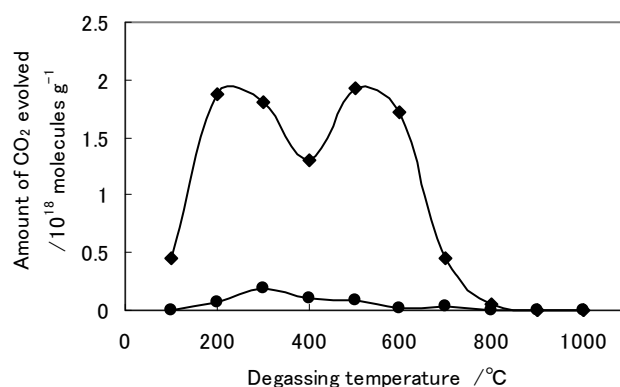


Fig.3 Temperature dependence of amount of CO₂ evolved on pyrolysis of graphite samples; G25(◆) and HPG25(●)

また、H₂O₂ 処理後はその脱離量は著しく減少している。H₂O₂ による液相酸化によって H₂O を放出す

る様な表面官能基すなわちフェノール基など⁸⁾は非常に少なくなったと考えて良い。

Fig.3から、G25のCO₂昇温脱離スペクトルは200と500℃にほぼ同じ大きさのピークを持つ。このダブルピークはH₂O₂処理によって300℃の極めて小さなピークに移行する。明らかに、H₂O₂処理によりCO₂放出型表面官能基の表面濃度も激減した。この事は、HPG25上で、カルボキシル基など⁸⁾の濃度も極めて低い事を示唆する。

この様に、極性を持つ表面官能基の濃度が極めて低い場合には、表面の疎水性が強く、極性分子であるH₂O分子の吸着は生じにくいと思われる。Fig.4には、実際にH₂O吸着を行った結果を示す。

Fig.4では、縦軸の吸着量を1nm²あたりに吸着したH₂Oの分子数で表現している。試料の比表面積は後述するN₂吸着データにBET法⁹⁾を適用して算出したものを用いている。また、横軸である相対圧とは、吸着平衡にある気相の圧力をその吸着剤の吸着温度における飽和蒸気圧で除したものである。

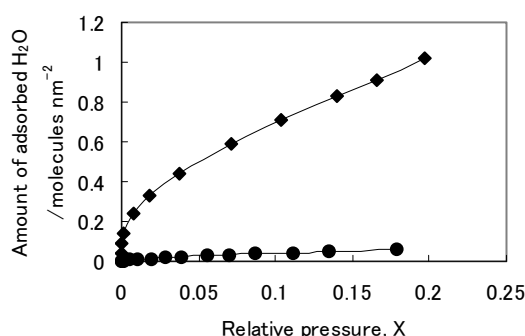


Fig.4 Adsorption isotherms of H₂O on HPG25(●) and G25(◆) at 25°C.

明らかにG25の吸着等温線はBDDTの分類¹⁰⁾のII型であり、HPG25のそれはIII型のようなものである。吸着初期の圧力領域でHPG25のH₂O吸着量はG25のそれよりも桁違いに小さく、H₂O₂処理は黒鉛表面を強い疎水性に変えた事が分かる。

それでは、これらの試料へのN₂ならびにArの吸着はどのように起きるのかを見る。

Fig.5はG25、HPG25およびHPG1000への-196℃におけるN₂の吸着・脱離等温線を示す。これから明らかなように、いずれの吸着等温線も相対圧X=0.3の辺りまでII型であるが、この相対圧を越えると小さなステップが現れる。X=0.95の辺りからの脱離等温線はこのステップの手前のX=0.5辺りで吸着等温線に一致する。ヒステリシスはどの試料でも認められるが、H₂O₂処理試料では原試料ほど大きくない。また、これが最も重要な事実であるが、N₂吸着量はH₂O₂処理によって全圧力領域で半減するものの、1000℃の熱処理によって原試料のレベルまで回復している。BET法によって算出したN₂比表面積

積値もHPG25、HPG1000、G25でそれぞれ6.31、11.91、12.30m²/gとなった。因みに、Ar比表面積

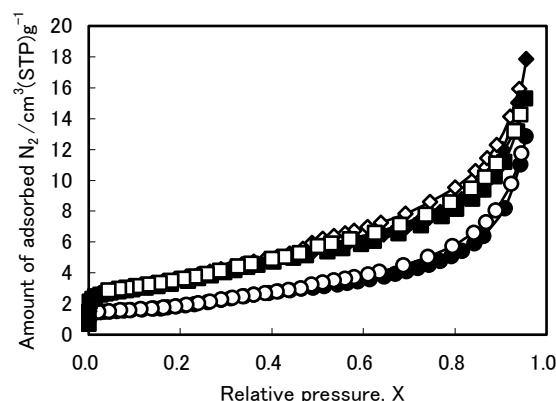


Fig.5 Adsorption-desorption isotherms of N₂ on graphite samples at -196°C. Filled marks: adsorption; open marks: desorption. ●○:HPG25, ■□:HPG1000, ◆◇:G25

はそれぞれ5.94、11.82、12.01m²/gであった。これらの黒鉛試料でも、従来見られたようにAr面積の方が小さくなっている。両者の差については本論文ではこれ以上触れない。重複するが、1000℃熱処理によってH₂O₂処理黒鉛の比表面積が殆ど2倍近くに増大し、原試料黒鉛の比表面積近くまで回復する事実は大変興味深い。

次に、Fig.6として、同じ試料への-196℃におけるArの吸着・脱離等温線を示す。Fig.5で認められた異常がArの場合にはより顕著に現れている事が分かる。ただし、Arの場合にはステップが生じる相対圧がN₂の場合よりも低く、さらにヒステリシスが閉じる相対圧もN₂の場合より低くなっている。これらの理由は先の報告³⁾でも述べているが、ArのほうがN₂よりも分極率が小さい事¹¹⁾ならびに-196℃

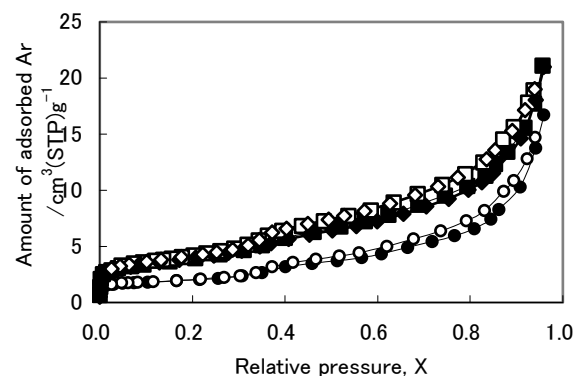


Fig.6 Adsorption-desorption isotherms of Ar on graphite samples at -196°C. Filled marks: adsorption; open marks: desorption. ●○:HPG25, ■□:HPG1000, ◆◇:G25

では Ar が N₂ よりも分子径が小さい^{6,7)}という二つの事に起因していると考えて良い。

X=0.3~0.4 に出現しているステップは JE ステップである^{2,3)}。Fig.6 では H₂O₂ 処理による差は明確には掴めないが、Fig.5 では、G25 よりも HPG25 の方によりはっきりとステップが確認できる。この事は、N₂ に対する均一性が HPG25 の方が強いという、従来一般的に認められている傾向^{12,13)}とは反する、結果を意味する。

結局、H₂O₂ 処理黒鉛で際だった特徴として挙げられる事実は二つあり、まず、表面官能基量が極めて少なく、特に嵩高いカルボキシル基などが処理後に激減している事(Fig.2, Fig.3)である。この事実は、H₂O₂ 液相酸化によってプリズム面が酸化前よりも遙かにスムーズになった事を示唆する。次に、この液相酸化で黒鉛の表面積が半減するものの、1000℃熱処理によってそれがオリジナル黒鉛 G25 の大きさに回復する事である。

さて、H₂O 分子の吸着の殆どは親水性官能基が存

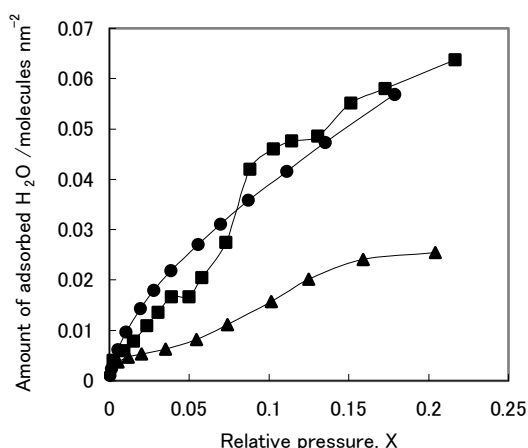


Fig.7 Adsorption isotherms of H₂O on HPG25(●), HPG1000(1st, ■), and HPG1000(2nd, ▲) at 25°C.

在するプリズム面で起きると考えられている。一方、N₂ や Ar の吸着は黒鉛粒子の全表面で生じるので、両吸着データとの比較から、プリズム面とベール面の吸着への寄与が分かる。

Fig.7 には Fig.4 に示した HPG1000 への H₂O 吸着等温線を拡大して、しかも H₂O 蒸気への暴露の履歴も考慮して示した。その縦軸は単位表面積当たり吸着する分子数で表している。

1000℃熱処理直後に行った H₂O 吸着が一次吸着であり、48時間 25℃で飽和 H₂O 蒸気に露出した後、上述した所定の真空度に到達するまで十分に排気してから行った H₂O 吸着が二次吸着である。一次吸着過程では H₂O の化学吸着と物理吸着とが同時に進行する¹⁶⁾。二次吸着過程では物理吸着のみが起こり、

その等温線には再現性が認められる^{1,5,14,15,17)}。HPG25 では、熱処理を施していないので一次と二次の吸着等温線には差が生じていない。HPG1000 の一次吸着等温線は、従来の 1000℃熱処理試料に共通して見られた不規則な形状^{1,5,14-17)}を示している。それが二次になるとスムーズな形状を取る。一次吸着過程で起きる H₂O の化学吸着によって再生された¹⁶⁾ごく僅かな表面官能基が水の吸着サイトとなっていると考えられる。一次吸着等温線の不規則な形状は、水分子の細孔充填によると考えて良い¹⁶⁾。そして、その細孔はプリズム面にしか存在しない。

Fig.8 は HPG1000 の一次吸着等温線から得た t-プロットを示す。プロットを作成するに当たっては、Hagymassy 等の先駆的な研究¹⁸⁾を参考にした。t 値を適切に選択した証拠として吸着初期に原点を通る直線関係が成立している。この直線は t=0.15nm 辺りで折れ曲がって、傾きの大きな直線につながる。傾きの増大は吸着量の急増を意味するが、これは細孔中に水が充填するためである。この充填が t=0.19nm 辺りで終わると、直線の傾きは小さくなる。これは H₂O 吸着の起きる場所が比較的平滑な表面に移っていくためである。結局、HPG1000 の t-プロットは大きく分けて三つの直線から成る。

細孔充填の生じている領域の t 値は黒鉛層間距離の半分である。プリズム面を形成している、隣り合うベール面末端の間隔である。従って、H₂O 分子は相対圧 X=0.05 を越える辺りからプリズム面にきた、溝の様な、狭いスリット内に侵入し始めるわけである。このスリット型細孔が従来の黒鉛試料に比べて非常に浅い事は、プロットの折れ曲がり点の縦軸の差すなわち細孔充填した吸着量が、従来の試料に比べて桁違いに小さいという事実から判る¹⁶⁾。この事は Fig.2 と Fig.3 から既に推測した事すなわち H₂O₂ 処理によってプリズム面が比較的平滑になっているという事と一致する。

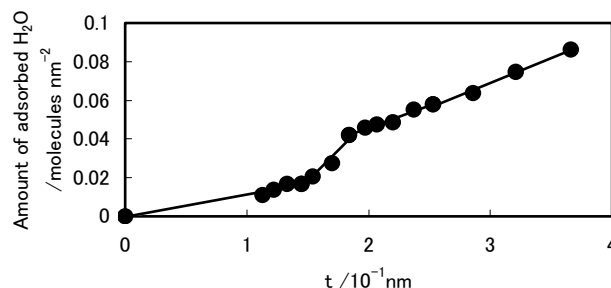


Fig.8 t-plot of H₂O adsorbed on HPG1000 at 25°C.

Fig.9 は、N₂ 脱離等温線(Fig.5)を基にしたメソポアの細孔分布曲線である。Cranston-Inkley 法¹⁹⁾を用いた。Fig.5 で観測されたヒステリシスは比較的

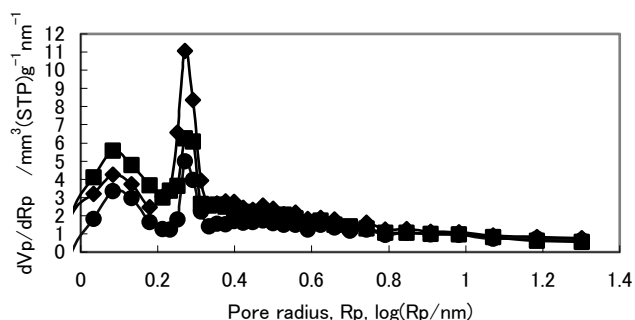


Fig.9 Pore size distribution curves of graphite samples calculated by the Cranston-Inkley method using desorption isotherms of N_2 .

●:HPG25, ■:HPG1000, ◆:G25.

フラットで、吸着・脱離の両等温線はほぼ並行に近い形を広範な圧力範囲で維持している。この形は $Do^{20)}$ によれば並行する壁を持つスリット型細孔に起因するものであり、その解析は吸着過程よりも脱離過程に着目して、Kelvin 式に基づいて行うべきであるとしている。著者らは Do の指針を採用して、脱離等温線を細孔分布の計算に用いた。いずれの試料でも細孔半径の最大値は 1.87nm である。細孔半径 1.26nm 付近にもピークがある。このピーク付近では HPG1000 の縦軸値が HPG25 も G25 をも凌駕しているが、HPG25, HPG1000, G25 それぞれの全細孔容積は 20.46 , 23.64 , $27.67\text{mm}^3/\text{g}$ である。HPG25 の 1000°C 熱処理によって増加した細孔容積の割合は高々 15% である。この増分だけで比表面積の倍増は説明できない。著者らは、HPG25 が 1000°C の強熱環境下で部分的に劈開²¹⁾を起こしているのではないかと考えている。この考えを支持するデータは今のところ、Fig.7 の H_2O 蒸気吸着等温線だけである。すなわち、測定圧力範囲で HPG1000 の二次吸着等温線と HPG25 の吸着等温線の吸着量が、前者 1 に対し後者 2 の関係になっている。この相対圧領域は単分子層が形成されつつある段階の吸着を表している。従って、 H_2O 分子がプリズム面にしか吸着しない事と、この図の縦軸が N_2 比表面積当たりの吸着量である事を考慮すれば、 1000°C 熱処理によってプリズム面積は殆ど増加していないと推測される。 N_2 はベールサル面にも吸着するので、 N_2 比表面積の倍増はベールサル面積のほぼ倍増によるものであり、それは劈開によって新たに出現したベールサル面の寄与であると考えざるを得ない。

4. 結 論

天然黒鉛を H_2O_2 で液相酸化すると、プリズム面の凹凸が削られて比較的スムーズになる。その結果、比表面積は半減する。その酸化処理済み黒

鉛を 1000°C で熱処理すると、劈開が起こり、新たなベールサル面が出現する。これが黒鉛の比表面積を再び原料黒鉛に近い値にまで回復させる。このような現象は今までの処理では認められなかった事である。液相酸化に独特の現象ではないだろうか。

謝 辞

黒鉛試料の SEM 観察に関しては、岡山理科大学理学部化学科森重国光教授のご厚意に寄るところが大である。ここに感謝の意を表する。また、この研究の一部は第 11 回高専シンポジウムにおいて講演発表したものである。同実行委員会に謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) K.Miura, T.Morimoto: Adsorption sites for water on graphite. 6. Effect of ozone treatment of sample., Langmuir, 10,(1994),807-811.
- 2) K.Miura, H.Yanazawa: Anomalies in standard Gas Adsorption of N_2 and Ar on graphite at 77K ., Carbon, 41, (2003), 151-156.
- 3) 三浦和久, 柳沢寛: 気相酸化処理黒鉛への窒素およびアルゴンの 77 における吸着, 津山工業高等専門学校紀要, 46,(2004),107-112.
- 4) 三浦和久, 柳沢寛: 過酸化水素処理黒鉛への水蒸気, 窒素およびアルゴンの吸着等温, 第 11 回高専シンポジウム(長岡)講演要旨集, (2006), 131.
- 5) T.Morimoto, K.Miura: Adsorption sites for water on graphite. 1. Effect of high temperature of sample., Langmuir, 1,(1985),658-662.
- 6) A.L.McClellan, H.F.Harnsberger: Cross-sectional areas of molecules adsorbed on solid surfaces., J.Colloid Interface Sci., 23,(1967), 577-599.
- 7) 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.
- 8) M.T.Coltharp, N.Hackerman: The surface of a carbon with Sorbed Oxygen on Pyrolysis., J.Phys.Chem., 72,(1968), 1171-1177.
- 9) S.Brunauer, P.H.Emmett, E.Teller: Adsorption of Gases in multimolecular layers., J.Am.Chem.Soc., 60,(1938),309-319.
- 10) S.J.Gregg, K.S.W.Sing: Adsorption, surface area and porosity, Academic press, London • New York • Paris • San Diego • San Francisco • Sao Paulo • Sydney • Tokyo • Toronto, (1982), 4.
- 11) S.Ross, J.P.Olivier: On physical adsorption, Interscience

- Publishers, a Division of John Wiley & Sons, Inc., New York • London • Sydney, (1964), 176.
- 12) D.W.L.Griffiths, W.J.Thomas, P.L.Walker,Jr.: Effect of oxidation on the surface heterogeneity of some graphitized carbons., Carbon, 1,(1964), 515-523.
- 13) P.L.Walker, Jr., J.Janov: Hydrophilic oxygen complexes on activated Graphon., J.Colloid Interface Sci., 28,(1968),419-458.
- 14) T.Morimoto, K.Miura: Adsorption sites for water on graphite. 2. Effect of autoclave treatment of sample., Langmuir, 2,(1986),43-46.
- 15) K.Miura, T.morimoto: Adsorption sites for water on graphite. 3. Effect of oxidation treatment of sample., Langmuir, 2,(1986),824-828.
- 16) K.Miura, T.morimoto: Adsorption sites for water on graphite. 4. Chemisorption of water on graphite at room temperature., Langmuir, 4,(1988),1283-1288.
- 17) K.Miura, T.morimoto: Adsorption sites for water on graphite. 5. Effect of hydrogen treatment of graphite., Langmuir, 7,(1991),374-379.
- 18) J.Hagymassy,Jr., S.Brunauer, R.Sh.Mikhail: Pore structure analysis by water vapor adsorption. 1. t-Curves for water vapor., J.Colloid Interface Sci., 29,(1969),485-491.
- 19) W.Cranston, F.A.inkley: The determination of pore structures from nitrogen adsorption isotherms., Adv. In Catalysis, 9,(1957),143-154.
- 20) D.D.Do: Adsorption analysis: equilibria and kinetics, Imperial College Press, London, (1998)142-143.
- 21) T.Moeller: Inorganic chemistry, an advanced textbook, John Wiley & Sons, Inc., New York,(1967), 667.

水面に浮く水滴の安定性

佐藤誠*

Stability of water droplets floating on water surface

Makoto SATO

Collapse of water droplets floating on water surface and anti-bubbles is analyzed with a high speed video camera. Stability of the air film suspending the water droplet from water surface is discussed with a concept of surface energy. A micro hole in the air film will shrink and vanish spontaneously if the diameter of the hole is less than the film thickness, and the energy barrier of the bubble collapse is a function of square of film thickness. The air film that suspends the water droplet may be unexpectedly stable.

Key words : Surface tension, anti-bubble, air film, stability

1. はじめに

ドリッパーでコーヒーを淹れるとき、抽出されて滴るコーヒーの滴がサーバーに溜まったコーヒーの液表面上に留まって漂うのを見ることができる。同じ種類の液体が互いに接しているにもかかわらず一体化することなく分離したまましばらく液面を滴が漂うのは実に不思議である。水滴がきらきらと光って見た目も美しいこの現象は昔から多くの物理学者の興味を引いてきた¹⁾。しかし、身近で取るに足りない現象にすぎないためか、現象の詳細な解明は未だに行われていない状況にある。

互いに混ざり合わない流体が接している界面には6種類の泡が存在する²⁾。空気と水を例にとれば、水面から離れた水中の空気の泡、水面に漂う泡、水面から離れ空気中に浮かんだ泡、すなわちシャボン玉。残りの3種類は、水と空気を交換した構造で、空中の水滴、水面に接して漂う水滴、水中に沈んだ薄い空気膜で覆われた水滴である(図1)。後者から2番目が本稿で主に扱う水面に浮く水滴である。また、最後の形態は逆シャボン玉と呼ばれるもので、近年子供向けの科学実験などで注目を集めている³⁾。

筆者は先の報告で、水面に浮く水滴、および逆シャボン玉は薄い空気の膜で水面、あるいは周囲の水から隔離された水滴であることを説明し、空気膜の厚さ維持機構について考察を行った⁴⁾。具体的には、静的な粘性、動的な空気膜の引きずり、表面張力波によるポンピングの可能性を示唆した。これらの機構が実際に働いていることの実証には至ってい

ないが、高速度カメラを用いた水滴や逆シャボン玉の崩壊の観察から、水滴を隔離している膜の安定性について知見が得られたので報告する。

2. オイル膜による水滴

水面に振動を与えたり、水滴が水面を走っていたりするときは水滴の寿命は長い、静的な状態では寿命は極めて短い。これは、静的な状態では新たな空気の供給が無く空気膜が薄くなるのを粘性抵抗で寿命を延ばしているだけになるからである。空気の粘性は低いのでしたがって寿命も短い。

空気の代わりに粘性の高い液体を用いれば静的な状態でも水滴の寿命を延ばし観察がしやすくなると期待された。そこで、シリコーンオイル(PDMS)を水面と水滴の隔離膜とすることを試みた。水面にシリコーンオイルを滴下すると、水よりわずかに密度が低い($\rho = 0.99 \text{g/cm}^3$)ので水面に浮いて円形の凸レンズ状の島を作る。このオイル滴の中央にバランスを取りながら水滴を滴下すると、図2に示すようなオイル膜で隔離された水滴を作ることができ

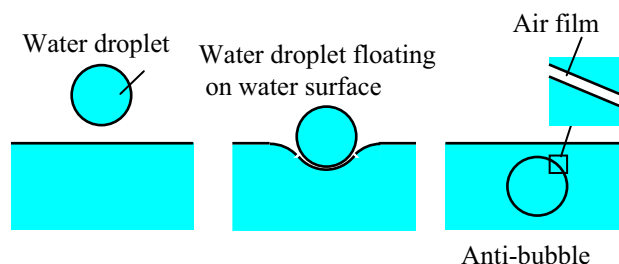


Fig. 1 Three types of water droplet (anti-bubble).

原稿受付 平成18年8月31日

*一般科目 satom@tsuyama-ct.ac.jp

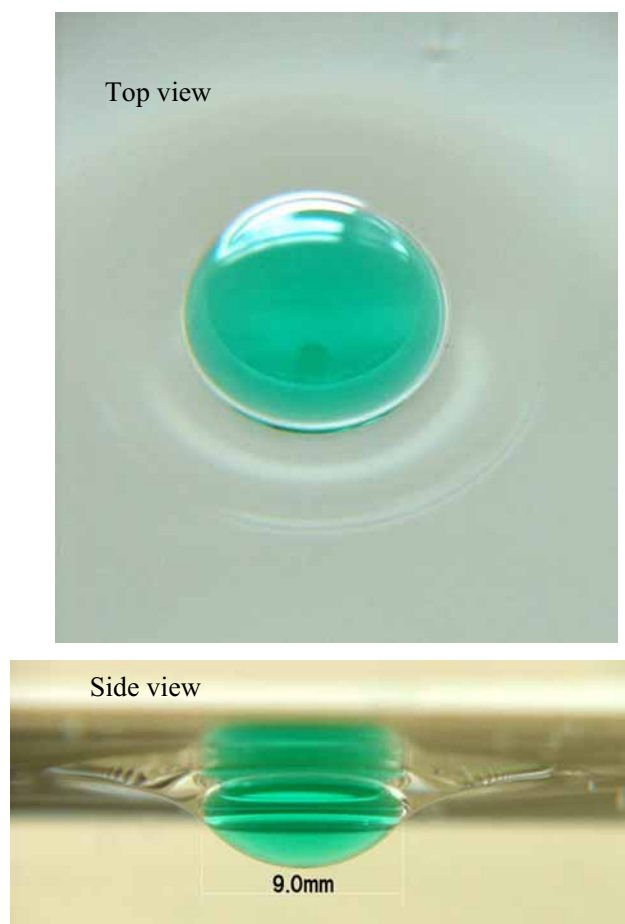


Fig. 2 A floating water droplet wrapped with oil film.

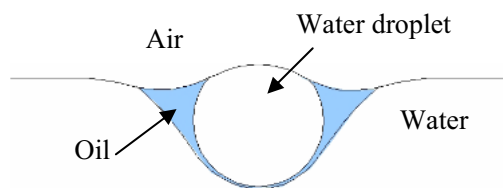


Fig. 3 Cross sectional structure of the floating water droplet wrapped with oil film.

る。水滴の形を判りやすくするため水滴の水は着色してある。水滴の断面構造は図3に示すとおりである。

予想したとおり水滴の寿命は大幅に延び、数分から数時間に増加した。また、水滴の大きさも通常の空気膜による隔離では達成できない直径数cmのサイズを容易に実現できることがわかった。

図4は水滴の崩壊の様子を高速度カメラで撮影する系を示したものである。アクリルで作製した矩形

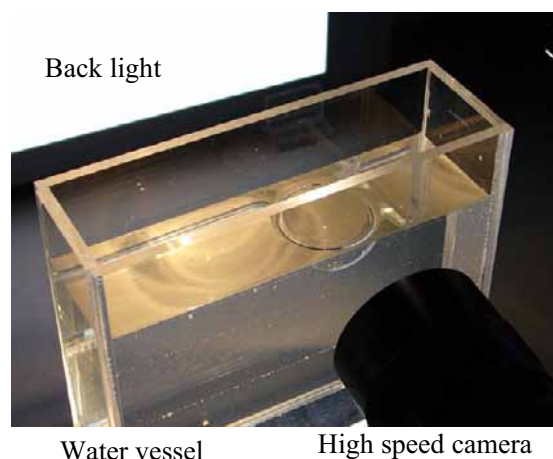


Fig. 4 Set-up for taking a high-speed video movie.

の水槽の後方に面状の光源を置き、影絵のようにコントラストをつけて撮影した。撮影は1/1000秒間隔で行った。図5に隔離膜が破壊するときの様子を時系列的にピックアップして示す。各画像間の時間間隔は10msである。重力の関係で最も膜が薄くなる箇所は最下点であるが、この最下点から破壊が開始されることは稀である。図5の例のように最下点から少し上方にずれた辺りから壊れることが一般的である。一旦、膜のどこかに穴が開くと、膜はもともとの形を維持したまま穴が拡大するように縮んで最終的に液面に達することがわかる。しかし、残念ながら現時点では崩壊までの寿命を決定している要因を抽出できていない。なお、シリコンオイルの粘性を50cSt, 100cSt, 500cStと変えて観察してみたが寿命に明瞭な差は見られなかった。これは予想に反する結果である。オイルの密度が水に近く浮力を受けないこと、また、薄い膜になったときの内部でのオイルの流れが非常に緩やかであるため粘性の依存が明瞭でなくなるのかもしれない。この点に関してはさらに考察が必要と思われる。

3. 逆シャボン玉の崩壊

逆シャボン玉は静的な状態でも数分間の寿命を持つ。図1に説明したように逆シャボン玉は、水面に浮く水滴が水中に沈んだもので、基本的には同じものであると認識されるが、水面に浮く水滴に比べて寿命が桁違いに長いというのは奇妙なことである。内部の水滴が回転している可能性を指摘したが⁴⁾、破壊の様子を観察した結果からは、単純に粘性抵抗による空気膜の厚さ減少の遅れと推測される。内部液滴が回転しているとすれば、球形からずれた形になると期待されるが、少なくとも形成直後の振動が収まった後は、変形はみとめられない。また、回転しているとすれば、膜厚が最も薄くなる箇所は最下

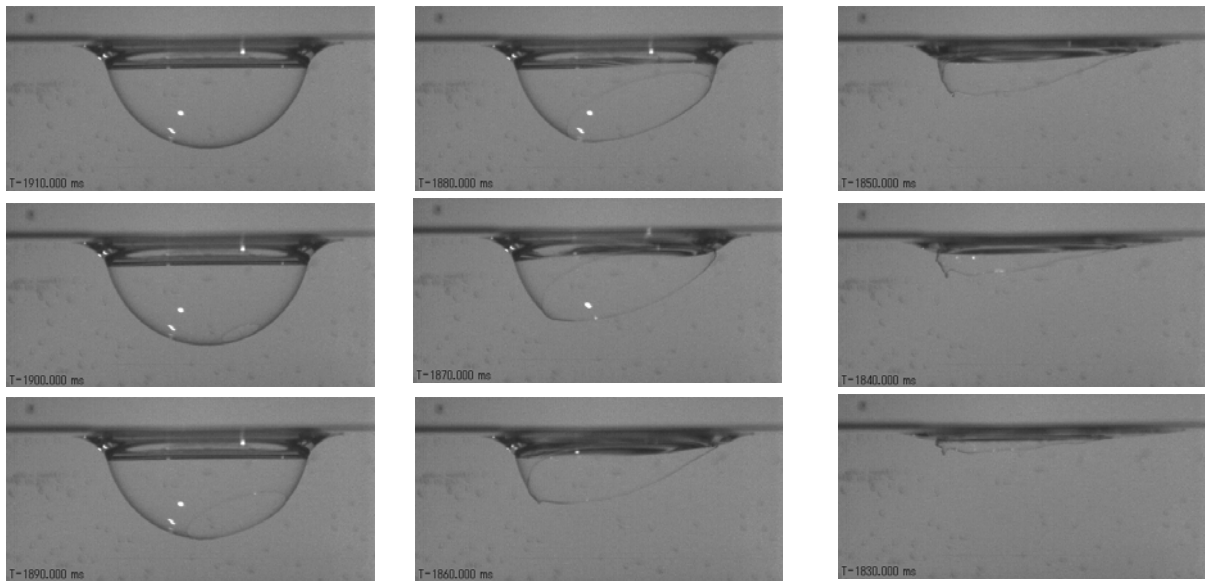


Fig. 5 Series of video frame of the collapse of water droplet wrapped with oil film (frame rate: 10ms)

点からずれた位置になるはずであるが、逆シャボン玉の崩壊は必ず最下点の穴から始まる。干渉縞の観察から時間の経過とともに上部の空気膜が厚く、下部が薄くなる様子が観察され、水平のどの方向からみても干渉縞は左右対称に見える。したがって、液滴が内部で回転しているとは考えにくい。

図6に逆シャボン玉の干渉縞の様子を示す。白色光の下ではシャボン玉と同様に虹色に見えるが、図のように緑色のフィルターにより単色光で観察すると明線、暗線が明瞭になる。膜厚が一樣であればこの透過光による干渉縞は同心円状に見えるはず（球形のため周辺ほど見かけの膜厚が増すため）であるが、上方は縞の間隔が狭く、下方で広く、かつ縞の中心が上方にずれていることから、下方に行くほど膜厚が薄くなっていることがわかる。時間の経過とともに干渉縞は上記の傾向を増す方向で変化し、最終的に最下点に発生した穴が拡大する形で崩壊する。図7に高速度カメラで撮影した逆シャボン玉の崩壊の様子を示す。各画像間の時間間隔は2msである。図5で示したオイル膜と違い空気膜の場合は縮む際に微小な気泡が残留し、崩壊直後には取り残された微小な気泡でもともとあった逆シャボン玉の輪郭を見ることができる。

4. 水滴の大きさと寿命

水面に浮く水滴を観察していて静的な状態では小さな水滴は寿命が短く、大きな水滴は比較的寿命が長い印象を受けていた。これは統計的な印象で個々の水滴について寿命はまちまちである。これを確認する目的で、水面に定量の水（わずかに界面活性剤

を混入）を滴下して水面に浮く水滴が発生した場合のその寿命を高速度カメラで記録しながら多数例の統計をとることを試みた。

図8はその結果である。プロット点は寿命の平均値を表す。寿命のエラーバーは計測された最大値と最小値を示す。水の量は、平均 35mm^3 から 110mm^3 までの5段階である。小体積では液滴はほぼ球形であるが、体積が大きな水滴では扁平な形状となる。最小体積の液滴はスポイトからの滴下で形成したもので体積の誤差は少ない。残りは透明なスチロールパイプにマーキングして液柱の長さを一定にすることで液量を調整した。そのため、液量の誤差はどれも $\pm 10\text{mm}^3$ 程度である。液滴が大きくなると寿命が延びる傾向があることがこの測定からわかる。ただし、液滴が大きくなって球形を維持できないほど不安定になると静的な状態を維持して計測することが

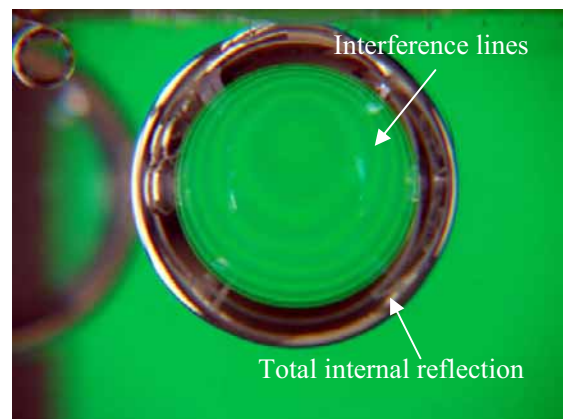


Fig. 6 Anti-bubble

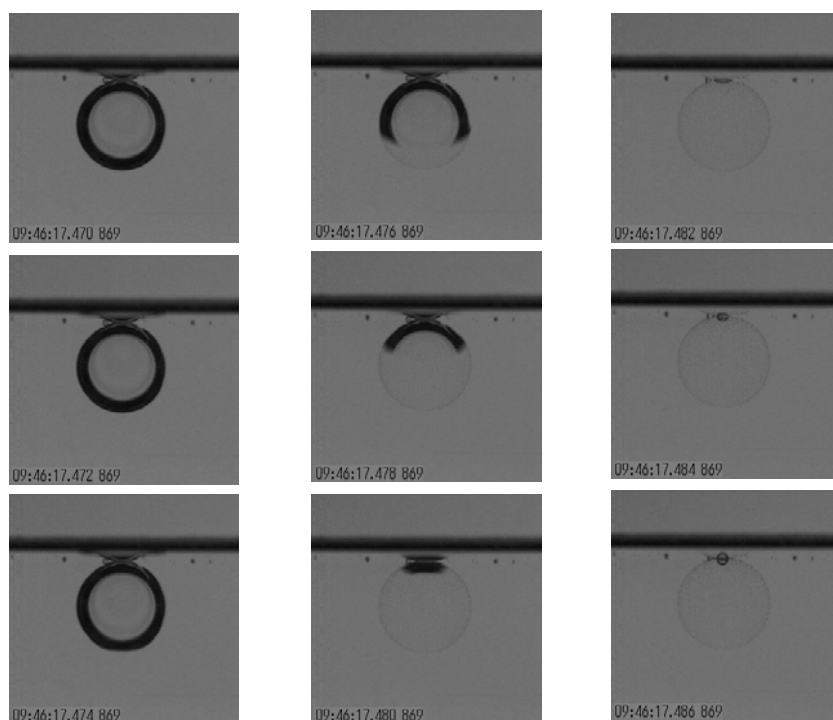


Fig. 7 Series of video frame of anti-bubble collapse (frame rate: 2ms)

困難になるので、体積の大きな水滴の寿命は長めに計測されている可能性はある。

小さな液滴に対して大きな液滴の寿命が長い理由として、水面と液滴が接している（正確には空気膜で隔てられている）箇所の面積が小さな水滴に比べ大きな水滴では広く、空気が排除されるのにより大きな粘性抵抗を受けることが考えられる。小さな水滴では、重力も小さく、水面は水平で液滴は球に近いので接する部分の空気は容易に周辺へ逃げることができる。大きな液滴では液滴は扁平で水平に広がり、支える水面も液滴の下面に沿う形で変形する。そのため上下の水面で挟まれた空間は薄く広くなり、空気が抜けるのに大きな粘性抵抗を受けることになると思われる。

5. 膜の安定性

水面に浮く水滴と逆シャボン玉の崩壊は、隔離膜に開いた穴が拡大する形で起こることが高速度カメラの観察からわかる。膜に穴が開くとその穴の面積分の界面が消失するので系のエネルギーが低下し、自発的に穴が拡大すると理解できる。しかし、膜には厚さがあるため穴によって消失する界面の面積より穴の側面の面積が大きい場合、穴は自発的に消滅するはずである。したがって、膜厚に対してある程度の大きな穴が発生しないかぎり膜は安定であるといえる。この考えにしたがい、穴径に対する余分な

表面エネルギーを求めると図9のようになる⁵⁾。計算を簡単にするため穴は円柱状であると仮定している。グラフの穴径は膜厚で規格化してある。この計算からわかることは、穴径が膜厚を超えないかぎり膜は壊れることはないということである。また、穴が自発的に拡大するための径を得るために必要なエネルギーは、 $\pi \gamma r^2/2$ と計算される。膜が重力の影響などで薄くなっていくと穴が開くために必要なエネルギー障壁は厚さの自乗で減少していく。膜破壊の直接的な原因を熱的な揺らぎと仮定すると、熱揺らぎを $k_B T$ の程度として室温($T=300\text{K}$)で破壊に至る膜厚は、 0.4nm と推定される。この値は常識的な感覚からは薄すぎるように思える。上記の安定性の考えはシャボン膜でも同様に成立し、界面活性剤の2分子膜が最少の膜厚と考えられ、界面活性剤分子の長さが数nm以上あることを考慮すると不自然に思われる。しかしながら界面活性剤の2分子膜が安定である可能性もあり⁶⁾、膜という構造は意外に安定なものなのかもしれない。膜が薄くなった際の膜の破壊のきっかけは熱揺らぎとは異なる要因に求めた方が良さそうである。

6. まとめ

水面に浮く水滴の寿命を決める要因を調べることを目的に、分離膜としてシリコンオイルを用いる方法を新たに考案した。この手法により長時間、安

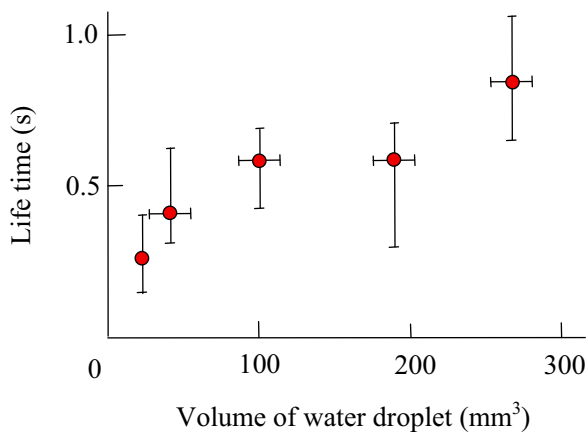


Fig. 8 Volume dependence of the life time of water droplets.

定に数cmの径を持つ水滴を静的に維持できた。高速カメラを用いて水滴と逆シャボン玉の崩壊の様子を観察し、隔離膜に開いた穴が拡大することで崩壊することがわかった。また、水滴の大きさと寿命に相関があることを確認した。この現象も隔離膜の膜厚維持から説明できる。膜に開いた穴の径と表面エネルギーの増加から、ある厚さ以下になるまでは穴が自発的に拡大するためには相対的に高いエネルギーが必要であることがわかった。したがって、隔離膜は厚い間は比較的安定なものであることがわかる。シャボン膜も液を供給し続けることで膜厚が薄くなることを防ぐといつまでも割れることなく維持することができると思われる。実際、数mの幅と高さを持つシャボン膜を展示することができるようである⁷⁾。しかし、穴が形成される原因として熱揺らぎを想定し、これに相当する膜厚を算出すると意味の無い小さな値になる。計算に用いた仮定が間違っており、穴の発生についてはさらに考察が必要である。

膜の安定性と壊れ方について観察と理論的考察の両面から検討してきたが、水滴の寿命については未だ確たる知見を得られた状況にはない。今後膜厚の時間変化、振動や滑走を伴う動的な状態での水滴の寿命について実験を重ねる予定である。

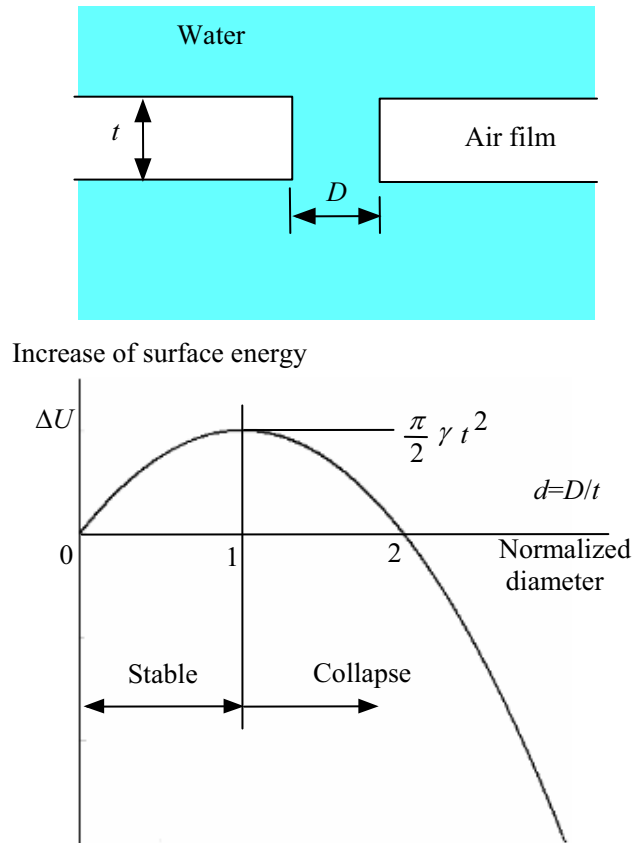


Fig. 9 Stability of the air film.

参考文献

- 1) P. Dell'Aversana and G. P. Neitzel: Physics Today, Jan., **51** (1998) 38-41
- 2) 佐藤誠：パリティ, **6** (1991) 76-77
- 3) URL: <http://www.cs.kyoto-wu.ac.jp/~konami/phys/antibubble.html>, http://www.denjiro.co.jp/01_index.html (逆シャボン玉の作り方の紹介)
- 4) 佐藤誠：津山高専紀要, **47** (2005) 83-87
- 5) 佐藤誠：第53回応用物理学関係連合講演会講演予稿集, 2006年春 武蔵工業大学, 第1分冊, p. 446, 22p-A-5
- 6) URL: <http://www.nims.go.jp/jpn/news/press/press121.html> (界面活性剤2分子の厚さに相当する安定な乾燥泡膜の発見の報告)
- 7) URL: http://www-lsp.ujf-grenoble.fr/vie_scientifique/annee_mondiale_de_la_physique/film_savon/ (巨大シャボン玉のデモンストラーション)

研 究 調 査 報 告

電気電子工学科における電子情報回路関係の授業系統

前原 健二*

The System and Contents of Electronic and Information Circuits Class in Department of Electrical and Electronic Engineering

Kenji MAEHARA

This paper reports the system and contents of digital circuits or electronic and information circuits class in department of electrical and electronic engineering. The class of digital circuits starts from a part of "Basic Electrical Controls" course at the second grade. Then, logic design and micro computer scheme are educated in "Electronic and Information Circuits" course at the third grade. Furthermore, controls with PIC, logic circuit design with HDL, or scheme of computer and OS are studied in some of elective required subjects at the fourth grade. These lectures and engineering experiments are complementary workable in understanding of digital circuits or electronic and information circuits.

Key Words : class, digital circuits, electronic and information circuits

1. はじめに

身の回りの様々な機械、製品は PIC やマイコンなどを用いた制御機器で動かされている。自動車、列車、航空機などの輸送機械からテレビ、オーディオ、洗濯機、エアコンなど家電製品まで、また、これらの製品を造る工場の産業機械などあらゆる場面にマイコン制御技術は必要とされている。このため企業の製品開発・製造部門で働く電気系技術者に求められる素養として、制御やマイコンなどの知識・技術は電気回路や電気機器、電力工学などの知識にひけを取らず重要な領域である。

津山工業高等専門学校（以下津山高専）では何度かの学科改組を経てきたが、「エネルギー・エレクトロニクス社会を担う技術者の養成」を旨とする電気電子工学科（旧電気工学科）における制御・電子情報回路関係の授業は今日に至るまで重要な位置づけを持ち脈々と実施されてきた。

本稿では、津山高専電気電子工学科のデジタル回路・電子情報回路関係の授業系統と授業内容について報告する。電子情報回路関係の授業内容は一般に論理回路、マイクロコンピュータ、デジタル回路設計、電子計算機が主な柱であるが、現在の授業では最近注目されている PIC などを用いたデジタル制御を積極的に取り入れている。

2. 電子情報回路関係の授業系統

2. 1 電子情報回路関係の科目

電気電子工学科の授業科目の中で電子情報回路関係の内容を含む科目には、制御基礎、電子情報回路、電子情報回路特論、電子計算機および電気電子工学実験Ⅱ、Ⅲ、Ⅳがある。

表 1 電子情報回路関係の授業時限数

必修選択の別	授 業 科 目	開設 学年	開設 単位数	本系統の 授業時限数
必修科目	制御基礎	2	2	20 時限
	電子情報回路	3	2	60 時限
	電気電子工学実験Ⅱ	2	2	4 時限
	電気電子工学実験Ⅲ	3	3	12 時限
	電気電子工学実験Ⅳ	4	3	9 時限
選択必修科目	電子情報回路特論	4	1	30 時限
	電子計算機	4	1	30 時限

1 時限は 50 分

表 1 には各科目における電子情報回路関係の内容の授業時限数を示し、合計で 165 時限数、単位換算すると 5 単位程で実施されている。ただし、電子情報回路特論と電子計算機は両者の内どちらかを選ぶ選択必修科目である。

2. 2 以前の電子情報回路関係の教科内容

電子情報回路関係の授業内容は一般的に、論理回路、マイクロコンピュータ、デジタル回路設計、電子計算機が主な柱であり、津山高専電気工学科にお

原稿受付 平成 18 年 8 月 31 日

* 電気電子工学科

いても 2002 年頃までは以下に示すように、この従来のスタイルの授業内容を踏襲してきた。

電子情報回路関係の授業は、まず 2 値論理、ブール代数から始まり、組み合わせ論理回路と順序回路、論理回路を使った制御、組み合わせ論理回路の設計、順序回路の設計へと進む。この段階で、論理回路を使った基本的なデジタル回路設計の授業範囲が習得できる。これに対して、半導体や集積回路の授業の流れと制御の授業の流れから半導体メモリ、A/D 変換、CPU へと進み、マイクロコンピュータシステムとそれを用いた制御など電子情報回路系の応用授業が実施される¹⁾。

マイクロコンピュータの授業では、マイコンを構成する機能回路のハードウェアについて学んだ後、CPU の内部構成と役割・動作を理解して、命令、アセンブラプログラム、入出力デバイス（PIO や割込み）を学び、実験によりボードマイコンを用いた制御実習²⁾を行う。これによりマイクロコンピュータシステムについて理解が深まり、簡単な制御が行えるようになる。図 1 には、マイクロコンピュータ実験の構成回路を示している。

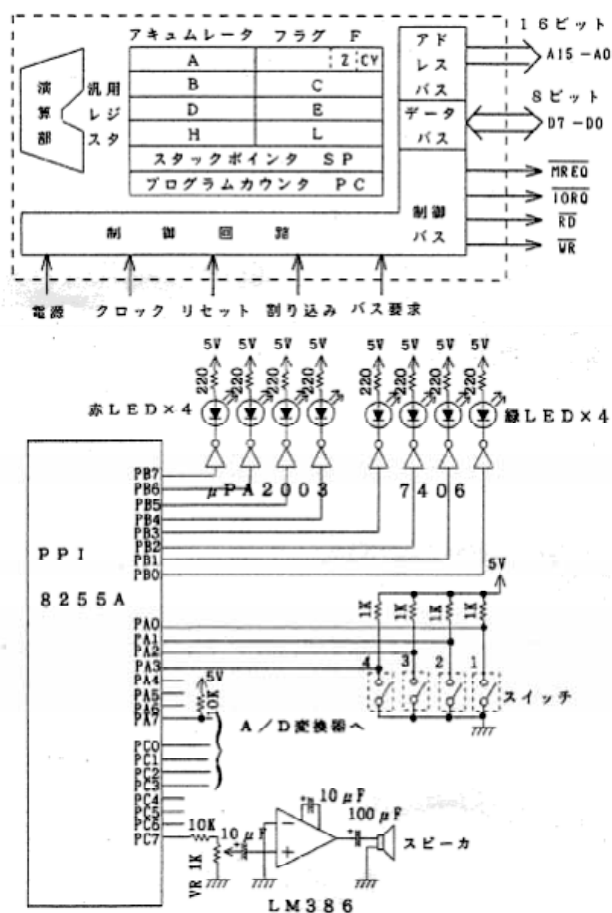


図1 マイクロコンピュータ実験の構成回路

更に進んで、パラレルデータ転送やシリアルデー

タ転送，割り込み制御などのマイコン応用システムの設計³⁾の授業や，コンピュータにおける数値の扱い，CPU のハードウェアや演算アルゴリズム，コンピュータのコントロール方式や記憶方式，データ通信などの計算機システム⁴⁾の授業が行われる。

なお、マイコン応用システムの授業で当初使用していた書籍の内容は、図2のようにZ-80 MPUを中心としたワンボードマイコンシステムの詳細な設計であり、学生にとって内容の理解が大変であった。

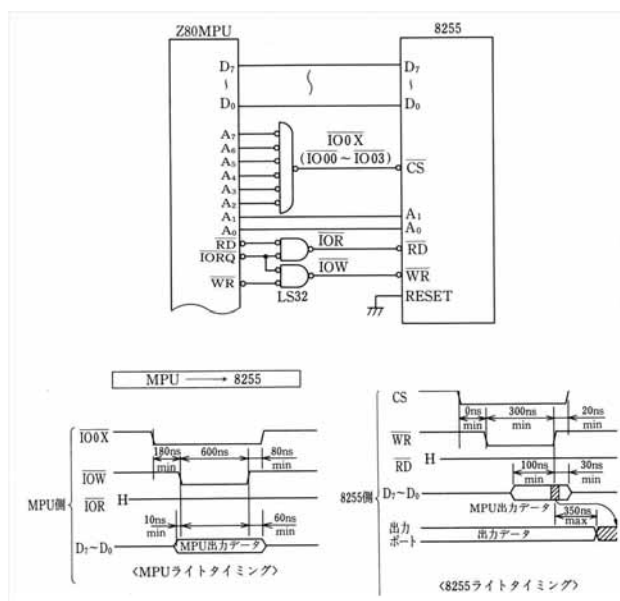


図2 マイコン応用システムの設計図面

このため、1995 年から授業内容の見直しを行い、図 3 のように内容をインタフェース回路と周辺回路の簡易設計と入出力制御に限定したカシオポケコンによるポケコン制御⁵⁾に変更した。

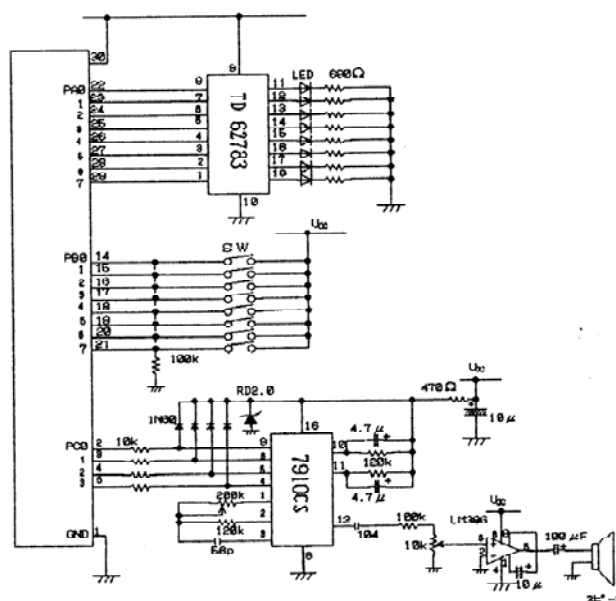


図3 カシオポケコンによる入出力制御回路

2. 3 現在の電子情報回路関係の教科内容

電気電子工学科では 2003 年から順次、電子情報回路関係の授業内容が従来のものから大きく変更されてきている。これは以前の電子情報回路関係の教科内容の柱であったマイクロコンピュータや計算機システムの構成や動作の理解という総合的な内容から、論理回路設計の強化と PIC 制御、プログラム動作の理解など、より実践的で具体的な内容への移行であり、電子情報回路、電子情報回路特論、電子計算機の授業及び関連する実験で関係する。

以下では、現在の電子情報回路関係の授業内容を再整理して科目毎に述べていく。

2. 3. 1 制御基礎

「制御基礎」の科目は、シーケンス制御の理論およびシーケンス回路図、具体的な制御回路の組み方を修得し、工学応用への基礎能力を養うことを目的とする。この授業では 2 単位という少ない時間数の中で、シーケンス制御全般の概要を理解した後、リレーシーケンス制御と無接点シーケンス制御について制御回路の組み方や具体的な制御例を学んでいく。

この内、電子情報回路系の無接点シーケンス制御は授業の約 1/3 で行う。まず 7 月に 2 値論理、真理値表、論理式、論理回路図、タイムチャートを学び、9 月に NOT, AND, OR など基本論理回路やフリップフロップ⁶⁾、そして論理式と論理回路図やリレーシーケンス回路図との関係およびそれらの置き換え方法を理解する。さらに 12 月から無接点シーケンス制御⁷⁾について、論理回路の内部回路や正論理・負論理、NAND 変換、論理回路のゲートとしての働きなどの基礎理論と、フリップフロップを用いた具体的な制御回路(優先制御、時間制御)を学ぶ。

これらを理解することで、デジタル回路により簡単な制御回路を組めるようになる。

2. 3. 2 電気電子工学実験Ⅱ

「電気電子工学実験Ⅱ」後期の 2 テーマでは論理回路の入出力関係およびリレーシーケンス回路から論理回路への変換を実習する。

論理回路の入出力関係を調べる実験⁸⁾では、ブレッドボードと入出力回路が備わった IC トレーナー上で簡単なデジタル IC 回路を組み、入力スイッチを切り替えて入出力のオン/オフを LED で観察する。論理式からそれを実現する論理回路を考えて、その回路を実験することも行う。実験対象の回路は NAND などの基本論理回路から 1 ビット加算器、マルチプレクサなどの応用回路まで実験するが、2 年生の講義では基本論理回路しか習っていないので応用回路については難しい内容となっている。

リレーシーケンス回路の論理回路への変換の実

験⁹⁾では、自己保持回路、インターロック、優先回路、タイマー回路などについて、リレーシーケンス回路とタイムチャートが与えられていてこれを論理回路に変換し回路に組んで入出力動作を確認する。

これらの実験により、講義で習う組み合わせ論理回路の入出力関係、NAND 変換、リレーシーケンス回路と論理回路の関係を復習することができる。

2. 3. 3 電子情報回路

「電子情報回路」の科目は、論理回路の機能を解析する能力と、課題に対して最適な論理回路を設計する技術を習得することを目的とする。

この授業では論理回路の基礎的内容を論理回路設計の立場から再確認するとともに、組み合わせ回路および順序回路の最適化設計の方法を学んでいく。まず、前期では論理演算に始まり、簡単化の手法(カルノー図、クワイン・マクラフスキー法)を理解した後、各種の組み合わせ論理回路とその設計法を学ぶ。後期ではフリップフロップ、カウンタなどの順序回路、一般的な順序回路の設計法(設計の最適化)を学んだ後、半導体集積回路による論理回路の実現、メモリについて学習し、コンピュータの構成と動作について学んでいく¹⁰⁾。

この授業により、マイクロプロセッサを構成する部品(ALU やシーケンサなど)の設計と、コンピュータの構成と動作の基礎が学習できる。

2. 3. 4 電気電子工学実験Ⅲ

「電気電子工学実験Ⅲ」後期の 4 テーマではデジタル回路の回路特性、論理回路の構成と動作¹¹⁾、そして論理回路 CAD を用いた論理回路設計¹²⁾について実習する。

デジタル回路の回路特性の実験では、IC 7404 の回路をトランジスタや抵抗など個別素子を用いてブレッドボード上に作成し、方形波入力を与えて各トランジスタの端子の電圧波形を測定して NOT 回路の動作の仕組みを理解する。また、7404 の入出力特性を測定して論理閾値やノイズマージンを調べたり、平均遅延時間などを測定したりする。

論理回路の構成と動作の実験では、まず NAND 等の基本論理 IC やそれらを組み合わせて作ったデマルチプレクサやマルチプレクサなどの組み合わせ回路の入出力波形を観測することで、論理回路のゲートとしての働きを調べる。次に、NAND で作成した RST-フリップフロップと JK-フリップフロップ IC について、手動スイッチで入力を与えて LED の点灯/消灯で入出力の状態を観測して、順序回路の動作を調べていく。

論理回路設計の実習では、半加算器、全加算器、RS-フリップフロップ、そして図 4 のような 3 進カウンタについて、真理値表または状態遷移表から回路図

を導き、源内 CAD を用いて図面入力してシミュレーションし、動作を確かめる。源内 CAD は詫間電波工業高等専門学校の松下浩明氏が開発した教育用の論理回路 CAD システムで、階層設計もできるので一般的な設計手順が簡便に実習できる。

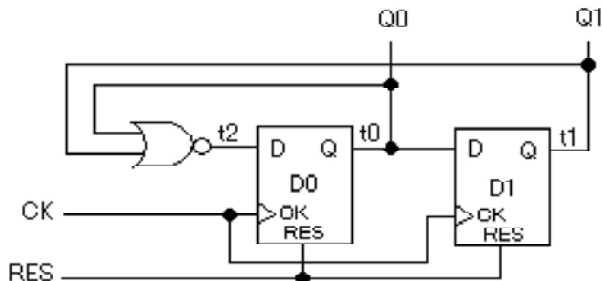


図4 3進カウンタ

この実験により、「電子情報回路」で学ぶ論理回路の回路特性や組合せ回路と順序回路の回路構成と動作、設計法が復習、確認できる。また、制御回路を設計する上で重要な論理回路のデータ加工機能も理解することができる。

2. 3. 5 電気電子工学実験Ⅳ

「電気電子工学実験Ⅳ」前期の4テーマでは回路シミュレーションと論理回路設計を行う。

回路シミュレーションの実験¹³⁾は電子回路設計でよく使われるアナログシミュレータ PSpice による実習を2テーマ行うが、その内の1テーマで CMOS の NOT 回路を直流解析および過渡解析する。この解析から、論理回路の直流雑音余裕度、負荷変化による遅延時間特性、PMOS と NMOS のゲート幅比と論理閾値や遅延時間特性の関係、電源電圧と遅延時間特性の関係を調べる。

この実験により、集積回路のデバイス回路設計で通常行われている作業を体験できる。

論理回路設計の実験¹⁴⁾では、実用的な設計ツールを用いてハードウェア記述言語による階層設計を行う。テーマ導入時の1993年から2004年までは、設計ツールに NTT データ通信(株)の PARTHENON を使い、半加算器、全加算器、4ビット加算器の順で設計およびシミュレーションし、最後に論理合成する内容であった。その後、ザイリンクス社の ISE

WebPACK が利用できるようになったためツールを変更した。ISE の設計統合システムでは設計作業の手続きが簡便に行えるため時間が短縮でき、以前の4ビット加算器の設計の他に D-フリップフロップを使った3進カウンタの設計も追加できた。図5には D-フリップフロップをハードウェア記述言語で表した例を示す。

architecture Behavior of dff is

begin

process (CK, RES, D)

begin

if RES='1' then Q <= '0' ;

else if (CK'event and CK='1') then Q <= D ;

end if ;

end if ;

end process ;

end Behavior;

図5 D-フリップフロップの VHDL 動作記述

2. 3. 6 電子情報回路特論

「電子情報回路特論」の科目は、コンピュータの中身と動作について理解を深めるとともに PIC による制御技術をマスターし、マイコン制御技術の基礎をハードウェアとソフトウェアの両面から身につけることを目的とする。

この授業では、PIC の命令やデータ形式、特殊レジスタ (SFR)、タイマ、割込みなどを学習して PIC の構成と動作を機能レベルで理解した後、アセンブラ言語や C 言語によるプログラミング技術と具体的な制御例を学ぶ¹⁵⁾。ここで扱う PIC は、図6に示すように単純な構成と命令を持つため内容が簡単で理解しやすい。

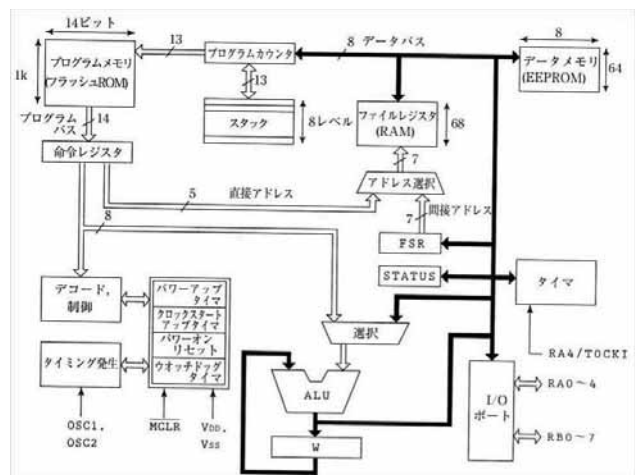


図6 PIC 16F84A のアーキテクチャ

PIC のプログラム開発には、マイクロチップテクノロジー社の開発ツール MPLAB と HI-TECH 社の PICC Lite を使用する。MPLAB は、デバッガが充実しておりプログラムを PIC に書き込んで実動させる前に開発ツール上で動作確認ができるとともに、アセンブリ言語の他に C 言語も組み込んで使えるので複雑な PIC 制御プログラムの開発も可能である。

PIC のプログラミング技術を学び、色々な回路の制御例を学んだ後は、実習として LED や LCD 制御のプログラムを作成し、図 7 のように PIC に書き込みブレッドボード上に回路を組んで動作確認をする。PIC による制御では周辺回路部品を殆ど必要としないので手軽に実験できる。



図 7 PIC による LED および LCD 制御

この授業で学生は、PIC マイコンの理解やプログラミング技術の習得の他に、制御回路のハードウェア理解や具体的な制御の実現まで一貫して設計実習ができるので、興味を持って取り組める。

2. 3. 7 電子計算機

「電子計算機」の科目は、電子計算機のハードウェアの仕組みと、アプリケーションプログラムの作成や実行に必要なコンパイラや OS など基本ソフトウェアの役割を学び、電子計算機上でプログラムが実行される仕組みを理解することを目的とする。

この授業は、以前に行われていた CPU のハードウェアや演算アルゴリズム、コンピュータのコントロール方式など計算機システムの内容から、プログラムが動作する仕組みを知るという観点からコンピュータの働きや OS の解説に視点が移された。

授業では、CPU の働きとレジスタの役割に始まり、数値表現、メモリーを扱うスタックやポインタ、圧縮などデータの扱いについて、更に OS やコンパイルそしてアセンブリ言語によるプログラム動作の詳細、ハードウェア制御などアプリケーションプログラムと OS の関係を学ぶ¹⁶⁾。

3. ま と め

津山高専電気電子工学科のデジタル回路・電子情報回路関係の授業系統と授業内容を紹介した。

デジタル回路関係の講義は 2 年生の一科目の一部で論理回路など基礎内容の導入が行われ、3 年生で設計を主とした電子情報回路の理論学習が行われ、4 年生で PIC、ハードウェア記述言語による回路設計、電子計算機の働きと OS など応用的な授業が行われる。これらの講義と実験は、理論・演習と実習が内容を補完し合い、また、論理回路の基礎理論から先端分野の技術習得まで一連の流れを形成している。

電子情報回路関係の分野は、技術の進歩とともに急激に発展しており、授業内容も年々修正を加えなければならない。現在の電気電子工学科の電子情報回路関係の授業は、論理回路の最適設計、PIC による制御、電子計算機で行われるプログラム動作の理解など実践的で具体的な内容を主軸としているが、電子制御工学科や情報工学科の類似科目の内容も参考にしながら、より良い授業系統が検討され確立されていくことを期待する。

参 考 文 献

- 1) 三木容彦：マイクロコンピュータ工学，オーム社，(1987)
- 2) 岡田正：マイクロコンピュータ(1)(2)，平成 15 年度後期電気電子工学実験Ⅲテキスト，(1994) 59-1 - 60-6
- 3) 柏谷英一，佐野羊介，中村陽一，浅野健一：図解 Z80 マイコン応用システム入門ーハード編ー，東京電機大学出版局，(1990)
- 4) 後藤宗弘：電子計算機，森北出版(株)，(1989)
- 5) 小野塚純夫：カシオポケコンで学ぶ情報技術基礎，コロナ社，(1994)
- 6) 望月傳：図解でわかるシーケンス制御の基本，技術評論社，(1998)
- 7) 松下電器産業(株)製造・技術研修所：プログラム学習による無接点シーケンス制御，廣済堂出版，(1979)
- 8) 徳方孝行：論理回路と無接点シーケンス(1)，平成 17 年度後期電気電子工学実験Ⅱテキスト，(2003) 31-1 - 31-5
- 9) 岡田正：論理回路と無接点シーケンス(2)，平成 17 年度後期電気電子工学実験Ⅱテキスト，(1990) 32-1 - 32-4
- 10) 坂井修一：論理回路入門，倍風館，(2003)
- 11) 前原健二：ディジタル回路(1)(2)，平成 17 年度後期電気電子工学実験Ⅲテキスト，(1995) 57-1 - 58-5
- 12) 前原健二：論理回路設計(1,2)，平成 17 年度後期電気電子工学実験Ⅲテキスト，(2005) 59-1 - 59-4
- 13) 前原健二：回路シミュレーション(1)(2)，平成 18 年度前期電気電子工学実験Ⅳテキスト，(1995) 66-1 - 67-5
- 14) 前原健二：論理回路設計(3,4)，平成 18 年度前期電気電子工学実験Ⅳテキスト，(1995) 68-1 - 68-7
- 15) 堀桂太郎：図解 PIC マイコン実習，森北出版(株)，(2003)
- 16) 矢沢久雄：プログラムはなぜ動くのか，日経 BP 社，(2001)

津山高専志願者の確保のための電気電子工学科の試み

八木秀幸* 伊藤國雄* 下西二郎* 田辺 茂* 植月唯夫*
原田寛治* 中村重之* 長井 聡*

Trials of the department of Electrical & Electronic Engineering for securing applicants to the Tsuyama National College of Technology

Hideyuki YAGI, Kunio ITO, Jiro SHIMONISHI, Shigeru TANABE, Tadao UETSUKI
Kanji HARADA, Shigeyuki NAKAMURA and Satoshi NAGAI

In the Department of the Electric and Electronics Engineering (DEEE) at Tsuyama National College of Technology (TNCT), it has the very important problems with regard to securing applicants for admission. For the settlement of the issues, the following efforts have been made: 1) the outside catering lecture for junior high school students, 2) the visitation to junior high school together with the advanced engineering students of TNCT, 3) the presentation of the department merits at the open campus and 4) opening the attractive homepage of the DEEE to the public. In this paper, the details about the above trials are reported and those effects are discussed.

Key Words : Securement of applicants, Outside catering lecture, Visitation to junior high school, Open campus, Homepage

1. はじめに

近年、少子化および小中学生の理工系離れについて数多くの報告^{1),2)}がされている。ここで、平成4年から平成16年までの18歳人口、大学・短大への入学者数・進学率、大学学部別志願者数の推移を調べてみた。文部科学省の統計³⁾によると、日本の18歳人口は平成4年の205万人をピークに、平成18年の133万人（平成4年の値と比較して64.9%）と年々減少している。このうち、大学・短大への入学者数は、平成4年の79万人から平成16年の71万人（同様に90.0%）へと若干の下落に留まっている。つまり大学・短大への進学率は年々増加し、平成4年の38%から平成16年には50%になり、18歳人口の半数近くが大学・短大へ進学していることになる。一方で、日本の大学工学部を志願する高校生の数²⁾は、平成16年に37万人（平成4年は62万人）とこの10年余りの間に4割も減少している。他学科（理学部82.2%、理工学部82.4%、農学部72.8%：それぞれ平成4年を1としたときの平成16年の相対値）も減少傾向にあるが、医学・薬学・リハビリ関連の学科への志願者数は1.5倍に増加している。このことから工学部離れの深刻さをみてとれる

が、その中でも電気・電子系が特に人気がないようだ。これは、「電機メーカーの業績不振」、「技術者に対する待遇の悪さ」などが挙げられ、社会全体に悪い印象を与えていることが一つの原因として考えられている。

このような電気離れ現象は津山工業高等専門学校（以下、津山高専と記す）でも長い間問題となっている。津山高専の過去10年における推薦入試志願倍率の推移をFig.1に、学力入試志願倍率の推移をFig.2に示している。ここで、Mは機械工学科、Eは電気工学科（～H14）・電気電子工学科（H15～）、Sは電子制御工学科、Cは情報工学科、Avはそれらの平均をそれぞれ表している。平成17年度までを見てみると、電気・電気電子工学科の推薦入試倍率は平均を下回っていることが多く、学力入試倍率においては4学科中最低となった年度がほとんどである。また、平成15年度より電気工学科から電気電子工学科へ学科名称を変更したにも関わらず、平成15年度の推薦入試志願倍率が上昇しただけでその効果は長続きしなかったことが読み取れる。

しかし、平成18年度の推薦・学力入試志願倍率を見てみると、電気電子工学科のみが増加に転じ、他学科は軒並み減少するという今までに見られなかった現象が表れている。このような結果となった理由は諸説あるが、最近の社会情勢が好転しつつあり電機メーカーの業績が回復してきた時期であり、このような状況を中学生が敏感に読み取ったのではない

原稿受付 平成18年8月31日

* 電気電子工学科

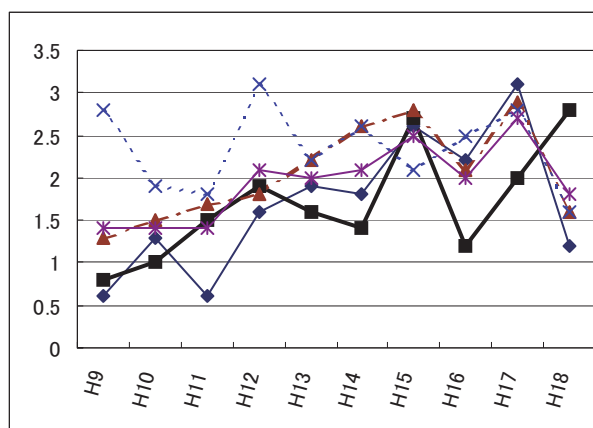


Fig.1 津山高専推薦入試志願倍率の推移

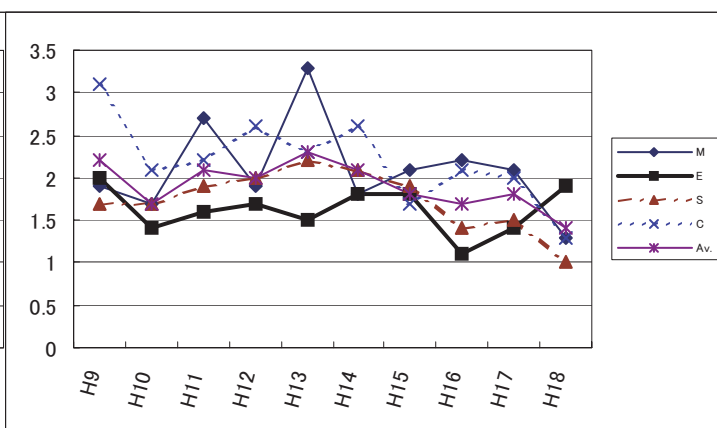


Fig.2 津山高専学力入試志願倍率の推移

かなどいろいろと考えられるが、来年度もこのような状況が続く保障はまったくない。いまや有名大学工学系学部学科でも入学者確保に奔走している現状があり、もちろん津山高専も例外なく今後も入学者確保に関するさまざまな対策を講じていく必要がある。

津山高専電気電子工学科では、このような入学志願者減少問題に早くから取組み、志願倍率を増加させることを目的としてさまざまな新しい挑戦を試みてきた。本報では、それらについて報告し、その効果について検証する。

2. 出前授業

中学生の“理科嫌い”や“理科離れ”は、主に中学校における実験および実習の体験不足が考えられる。そこで、電気回路に関する実験を通じて電気に興味を持ってもらうことを目的として、中学生の特に2・3年生を中心に、中学校へ出向いて授業を行った。授業内容としては「抵抗の並列接続についての実験」と「クリップモータの製作」の2つのテ

ーマを準備し、中学校から希望があったテーマで授業を行うという形をとった。5年生および専攻科生数名も帯同し中学生の傍について指導を行ったこともあり、参加した中学生の印象としては非常に好評であった。その様子を Fig.3 に示す。

出前授業の実施状況を Table 1 に示す。平成13年度から3年間でのべ8校で実施した。しかし、平成16年度以降は出前授業の実施には至っていない。この理由として次の2つがある。中学校での理科授業時間が大幅に削減され、その時間帯に出前授業を行うことは時間的に無理な状況である。また、中学校の選択授業時間と本科卒業研究時間割との折り合いが合わず、スケジュール調整が難しくなったこともあげられる。今後はこのあたりの問題解決が望まれる。

Table 1. 出前授業の実施状況

年度	実施中学校
H13	北陵中、鶴山中、加茂中、久米中
H14	美作中、津山西中
H15	美作中、中央中
H16	実施せず

3. 中学校訪問

入試志願倍率を上げるためには、より多くの中学生に津山高専について興味を持ってもらうことが先決であると考えられる。オープンキャンパスもその役割を担っているが、これは本校へ足を運んでもらい高専の中を実際にみてもらうという形をとっている。逆にこちらから中学校へ訪問して津山高専についてアピールする必要があると考え、平成16年11月末から12月にかけて実施した。訪問する中学校としては、電気電子工学科を卒業した専攻科生の出身中学校を中心に選択した。訪問した中学校・引率教



Fig.3 美作中学校での出前授業の様子 (H15/1/21)

員・専攻科生を Table 2 に示している。専攻科生に学校説明、質疑応答を任せ、引率者は基本的に聞いているだけとした。集まった中学生は熱心に質問をし、終始和やかに行われた。卒研生と違い専攻科生は時間的に余裕があり、出前授業と比べて準備やスケジュール調整もしやすいなどメリットはあるが、高専を第1志望としている生徒だけを参加させていたようで、中学校訪問による津山高専への志願者増加を図るには訪問の時期が重要であることを感じた。しかし、効果はどうであれ地道に津山高専を宣伝していくことは重要なことであり、今後も続けていく必要があろう。

Table 2. 中学校訪問の実施状況(2004)

訪問学校	引率教員	専攻科生
福田南中	伊藤國雄	名山俊輔
石井中	下西二郎	塚本俊昭
富山中	植月唯夫	寺尾勇哉
西大寺中	原田寛治	山口俊輔
山南中	原田寛治	山口俊輔

4. オープンキャンパスでの取組み

津山高専では、毎年8月下旬の2日間でオープンキャンパスを開催している。オープンキャンパスでは、おもに「専門学科の見学」（午前の1時間半）と「体験コーナー」（午後の1時間半）を実施している。「専門学科の見学」コーナーでは参加者にあらかじめ専門4学科のうちから2学科を選んでもらい、各学科40分間見学できるようになっている。「体験コーナー」では全8テーマを準備し、そのうちの1テーマについて実験・実習を体験できる。

電気電子工学科では、「専門学科の見学」において、中学生・引率者に対して学科主任から20分程度学科説明を行い、残りの20分を学科展示の見学に充てている。学科説明においては、主に“学科の特徴”、“学科独自の取組み”、“卒業後の就職先”、“卒業生の活躍状況や在校生の活動状況”について学科主任がパワーポイントを使用して説明している。

“学科の特徴”では、「エコロジー・環境」というキーワードを頻繁に使い、消費電力を抑える技術、燃料電池・太陽光発電・超伝導送電システムなど地球に優しい新発電技術について説明し、地球環境を考えた研究開発が活発に行われている旨の説明をすることで中学生に電気電子工学科に興味を持ってもらうようにしている。“学科独自の取組み”では、4年次からの研究室配属、補講体制の充実について説明している。進学希望者に対しては高専生が苦手とする「英語や文章力」を中心に、就職希望者

に対しては「論述試験対応力や面接時の自己表現力」をつけられるよう、学科独自で補講を行っていることを説明している。今のところ、電気電子工学科では編入学用英語補講（初級コース、中級コース）、TOEIC受験者用補講、電気主任技術者・電気工事士受験者用補講を行っている。卒業後の就職先の豊富さについても詳しく説明し、就職先に応じた面接練習についても徹底的に行うなど電気電子工学科全体で取り組んでいることを強調している。

“学科展示の見学”での説明員は、電気電子工学科4年生を中心に、人数が集中した場合は傍らで準備している5年生・専攻科生が入って説明を行っている。年齢が近いため中学生も質問しやすく、説明員を多く配置しているので全中学生に行き届いた説明を行うことができる。その様子を Fig.4 に示す。

オープンキャンパスの新展示物を作成することを目的として、平成16年度4年生が中心となってソーラーカーの製作に取りかかった。次年度から体験コーナーへ格上げし、これも4年生が中心となって乗車指導を行っている。この様子を Fig.5 に示す。また、弥生祭で展示を行っていた「イライラ棒」もオープンキャンパス学科見学で平成17年度より展示



Fig.4 オープンキャンパスでの本科4年生による中学生への説明の様子



Fig.5 オープンキャンパス体験コーナーでのソーラーカー乗車体験の様子

Table 3. 本科1年生へのアンケート結果
(2006)(教務委員会の調査より抜粋)

項目	M	E	S	C
家族	12	16	22	14
中学校の先生	7	2	5	4
パンフレット	4	7	5	7
オープンキャンパス	6	15	7	7
世間でのうわさ	4	5	4	9
塾・家庭教師の先生	10	3	4	4

することにし、実演を行っている。

オープンキャンパスへ参加していただいた中学生とその中学校の担当教諭に対し、オープンキャンパス参加への礼状を送付することとし、平成16年度に電気電子工学科として実施した。平成17年度からは教務委員会で行うこととなったが、このようなアフターケアは津山高専のイメージをアップさせるには重要なことであり、続けていく必要がある。

平成18年に教務委員会が1年生に行ったアンケートの中で、質問事項『あなたの「津山高専」志願のきっかけは自分の意志による以外にどれだったと思うか』の結果を一部抜粋してTable 3に示している。項目「オープンキャンパス」において、電気電子工学科は他学科と比べて倍以上の学生に指示されていることがわかる。この結果を見る限りでは、オープンキャンパスでの電気電子工学科の取組みが効果的であったように思える。しかし、中学校・塾・家庭教師の先生からの影響が非常に低く、今後はこのあたりを重点において対策を講じていく必要がある。

5. ホームページでの紹介

電気電子工学科では、学科独自のホームページに力を入れてきた。文章による説明は極力避け、写真



Fig.6 電気電子工学科 HP のトップページ

やイラストを多用することにより、視覚的に訴えかけるよう配慮し作成した。ホームページの内容については前節で述べた内容と同様のことが書かれているので割愛する。

推薦入学志願者の全員が学科ホームページをチェックしており、学科を選ぶ上で参考になっていることが分かった。そのような点で中学生へのアピールに非常に効果があり、常に最新の情報を提供する必要があり、頻繁に更新していくことが重要である。

6. おわりに

電気電子工学科で新しく取り組んでいることについて紹介した。平成18年度での入学志願者が、電気電子工学科だけ急上昇したが、この原因の一つはオープンキャンパスでのアピールの可能性があったように思われる。今後は、中学生・その父兄・中学校の先生などに津山高専に興味をもってくれるような対策を次々と手を打つことが重要であり、そのためには津山高専を積極的にアピールするための地道な活動を続けていく必要がある。また、教員の負担増加を恐れず有効と思える対策を即座に実効していく決断力も重要である。

日本の製造業は長年の不況から脱却し、景気が好転してきている。この傾向はしばらく続き、電機メーカーのみならず自動車メーカーなど異業種でも電気電子系技術者を積極的に採用してきており、電気・電子系技術者が今後不足してくると予想されている²⁾。しかし少子化・工学系離れと相まって、将来的には工学技術者の減少や国内産業における技術力の低下は避けられない状況である。このような問題を解決するためにも、志願者確保における早急な対策が必要である。

謝 辞

電気電子工学科における志願者確保に関して、電気電子工学科教職員ならびに本科生・専攻科生の協力を得て取り組んでいただいた。ここに記して関係各位に感謝の意を表す。

参 考 文 献

- 1) 黒杭清治, 理科離れについて考える, 工学教育, 50-4, (2002), pp27-34.
- 2) 日経エレクトロニクス: 「個」から始める電機の復権 技術者不足と向き合う, 日経 BP 社, no.930, 7-17(2006), pp89-115.
- 3) 文部科学省: 「経営困難な学校法人への対応方針について」ー経営分析の実施と学生に対するセーフティネットの考え方ー, http://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/17/05/05051901.htm, (2005, 5)

結晶粒粗大化シミュレーションへの温度勾配の適用

大西 淳* 大重広明**

A Study on an Application of a Gradient of Temperature to a Simulation of Grain Growth

Atsushi ONISHI* and Hiroaki OSHIGE**

For the purpose of schooling and technical training, it is helpful to visualize a phenomenon of grain growth. And many persons concerned pay attention to Monte Carlo simulation of grain growth, that is a simple but reasonable simulation method. Authors had developed the simulation system, which calculated a phenomenon of grain growth in parallel. In this article, we report a result of our survey of a way to apply a gradient of temperature to this system. As a result of the survey, we found the method that decided the probability of boundary of a crystal moving depending on temperature. We verified validity of this method by using results of simulation. And through trials of simulation, we got to know that simulation considering a gradient of temperature was faster than simulation in an isothermal situation.

key words: Monte Carlo simulation, grain growth, temperature

1. はじめに

金属など多結晶体に溶接熱などの熱を加えて温度を上げると、熱が伝導した部分で結晶粒のサイズの平均値が大きくなるという現象が起こる。この現象は結晶粒の粗大化と呼ばれる。この現象が起こる状況によってはその部分の組織が脆弱となり、後に亀裂が入るなど大きなトラブルが生じることがある。このようなトラブルを避けるには、溶接技術者に結晶粒の粗大化現象を理解させ、溶接技術の向上を促す必要がある。そのときの現象理解には、アニメーションなどの視覚教材が有用である。

結晶粒の粗大化現象は微小世界で起こる現象であり、現実の現象をそのまま視覚教材にすることは難しい。そこで、現象をコンピュータ上でシミュレーションすることが必要となる。そのための方法の一つとして、potts モデルによるモンテカルロ法が注目を集めている¹⁾³⁾。

この方法は単純なモデルを用いて結晶粒粗大化現象をうまくシミュレーションできるため、研究が進められてきた。しかし、この方法がもつ、シミュレーションに時間がかかるという問題を解決する研究については、著者らが調べた範囲内では報告がな

った。そこで、著者らの研究室では、並列計算化によってシミュレーションを高速化することについて研究を進めてきた⁴⁾⁸⁾。

これまでの研究では、多結晶体のモデル全域で温度が均一という条件のもとでシミュレーション・プログラムを作成し、それを並列計算化してきた。今回の研究では、このシミュレーション・プログラムに対して温度勾配を適用する方法を調査した。調査するにあたり、本研究室では今回の研究が温度勾配を考える端緒であることから、まず並列計算化する前のシミュレーション・プログラムに温度勾配を適用することを前提においた。また、上記の理由に加え、溶接母材における熱伝導の完全な解明や数学的記述はそもそも困難であること⁹⁾、材料特性の解析を目的とする場合と違って現象の視覚化を目的とする場合には、現象の概況をシミュレーションできればよいことから、できる限り単純なモデルを用いることとした。

以下、**2.**では、今回の研究における熱源と多結晶体のモデルについて述べる。そして、**3.**では調査した温度勾配の適用法等について述べる。続く**4.**では、調査結果に基づいて実施したシミュレーションの試行結果をもとに、今回採用した適用法の評価とシミュレーションの試行を通じてわかったことについて述べる。最後に、**5.**でまとめを行う。

原稿受付 平成 18 年 8 月 31 日

* 情報工学科

** 情報工学科, 現, 津山工業高等専門学校 名誉教授

2. 熱源と多結晶体のモデル

本研究では、比較的厚い金属板の溶接を行う状況を想定したシミュレーションを考えている。このような状況では、溶接金属に加えられた溶接熱は溶接金属中を3次元的に伝導する。そのため、今回の研究では、多結晶体を3次元で考えて、その中での熱伝導を考慮しなければならない。

そこで、本稿では x , y , z 方向の3次元座標軸を Fig.1 のように設定する。矢印の指す方向が正の方向である。そして、簡単のため、多結晶立体は x , y , z すべての軸の正負すべての方向に対して無限に広がる無限体であるとする。

このような多結晶体に対し、熱源は多結晶体中に置かれる点熱源としてモデル化する。このモデルは、溶接熱が極小領域に集中的に加えられ、そこから3次元熱流として伝搬することを表現している。溶接熱は現実には溶接金属表面から加えられる。しかし、熱が加えられている付近の状況は、想定する溶接方法によっては単純に多結晶立体の表面に熱源を置くという方法でモデル化できないことがある³⁾。そこで、温度勾配をシミュレーションに取り入れる端緒として、今回は熱源を3次元の無限体中に置かれる点熱源としてモデル化し、熱源の精密なモデル化は今後の課題とする。そして、溶接熱の移動は、点熱源が x 軸と並行に x 軸負の方向へ向かって一定速度で移動する等速運動として扱う。

次に、多結晶体のモデルについて説明する。今回の研究では、 x の値を固定して決まる yz 平面において観察される2次元の粗大化現象を扱う。座標の扱いを簡単にするため、シミュレーション領域を

$y \geq 0$, $z \geq 0$ に制限する（以下、この領域を観察領域と呼ぶ）。この制限のもとでも、熱源が通過する領域内の位置を任意に設定できれば、制限しない場合と同様のシミュレーションが可能である。観察領域は、例えば、Fig.1 において網掛けで示す領域となる。

この観察領域における結晶粒の分布状況は potts モデルを用いて表現する⁴⁾。potts モデルとこれに基づくモンテカルロ・シミュレーションは、モデルのサイズと現実の多結晶体のサイズとの対応、シミュレーション上での時間経過と現実の時間経過との対応など、物理的意味づけに関する詳細が十分理論化されているとは言えない³⁾。しかし、比較的簡単なモデルで結晶粒の粗大化過程をうまく視覚化できるため、視覚化を目的とするシミュレーションでは最も有用なシミュレータの一つとして注目されている。

potts モデルにより多結晶体の表面を表現した例を Fig.2 に示す。Fig.2 では、多結晶体表面が六角形

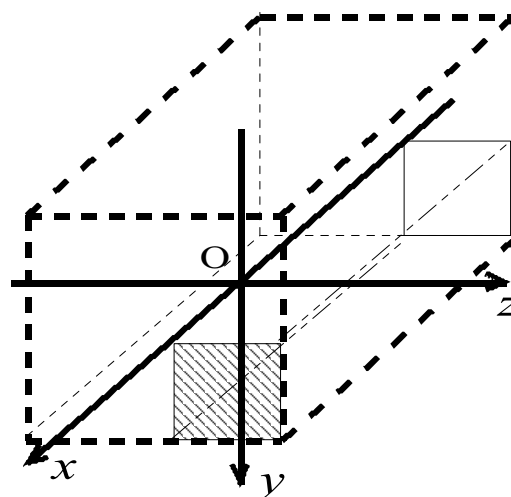


Fig.1 axioms.

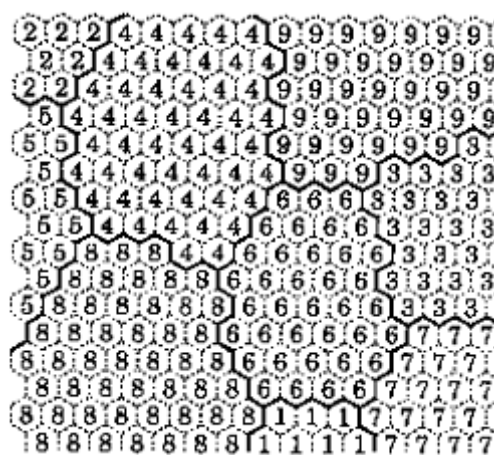


Fig.2 a model of a microstructure of polycrystalline aggregate¹⁾.

セルの集まりとして表現されている。1つのセルはその領域に存在する規則正しく配列した原子の集まりを表している。結晶粒とは、そこに含まれる原子が規則正しく配列して構成された多面体である。そして、多結晶体とは、原子の配列や位相（これらを結晶方位と呼ぶ）が異なる多数の結晶粒の集合体である。このような多結晶体をモデル化するにあたり、potts モデルでは各セルに異なるセル領域間での結晶方位の違いを区別するためのラベル（Fig.2 ではアラビア数字で表されている）をつける。ラベルは単に結晶方位の違いを区別するためだけにつけられるものであり、現実の結晶方位の物理的な特徴を表すものではない。このようにラベル付けすることにより、同じラベルをもつセルの集まりとして1つの結晶粒を表現でき、異なるラベルをもつセル間の境界で結晶粒界を表現できるようになっている。

3. 温度勾配のシミュレーションへの適用

3.1 アルゴリズムの変更

これまで本研究室で構築してきたシミュレーション・システムは、多結晶体表面を **2.** で説明した potts モデルでモデル化し、モンテカルロ法に基づいて等温環境における結晶粒粗大化現象を2次元シミュレーションする⁴⁾。アルゴリズムの概略のフローチャートを Fig.3 に示す。このアルゴリズムの開始時には、シミュレーションの対象とする多結晶体の表面領域のモデルに含まれるセルの総数と、その領域内に存在する結晶方位の種類の総数を入力する。これらの入力値を変えることにより、シミュレーションする領域の広さとその状況を変化させることができる。なお、現在のシミュレーション・システムでは、シミュレーション領域内における結晶方位の初期の分布状況は乱数によって決定することになっており、任意に指定される状況からシミュレーションを開始することはできない。

多結晶体は、**2.** で説明したとおり、結晶方位の異なる結晶粒の集合体である。そのため、結晶粒が粗大化し、結晶方位の異なる結晶粒同士がつきあつたと、そこに粒界が形成されてひずみエネルギー等が蓄積される。この粒界に蓄積するエネルギーのことを粒界エネルギーと呼ぶ。結晶粒の粗大化は、粒界エネルギーが減少して多結晶体が安定化する過程で起こる現象、すなわち、つきあつた結晶粒間で併合が起こり結晶粒界の総面積が減少していく現象である。potts モデルでは粒界に相当するセルの辺の総数で粒界エネルギーの大きさを表現する。そして、乱数を使ってセルをランダムに指定し、そのセルの結晶方位が周囲に分布するいずれのセルと同じ結晶方位になれば最も粒界エネルギーが減少するかを計算して、指定したセルのラベルを付け替える (Fig.4 参照)。粒界エネルギーが減少するようにセルのラベルを付け替えると、それに伴ってこのセル周囲に存在する結晶粒界が、セル周辺に分布するいずれかの結晶粒が粗大化するように付け替わる、または消滅する。このように、セルのラベルが付け替わり、結晶粒界を表すセルの辺が変化することを粒界移動と呼ぶ。Fig.4 ではラベル「2」の結晶粒が粗大化するように粒界移動が起こっていることを確認できる。

以上のようなセルの指定とラベルの付け替えを繰り返すことでシミュレーションを進めるが、モデル内のセルの総数と同じ回数の繰り返しをシミュレーションの単位とし、Monte Carlo Step (以下、MCS と略す) と呼ぶ。1MCS がシミュレーションにおける時間経過の単位となり、シミュレーションする時間的期間はこの MCS として開始時に指定する。

このアルゴリズムは等温環境でのシミュレーションを行うためのものである。等温環境と違い、溶接熱が局所的に加えられた場合など多結晶体内に温度

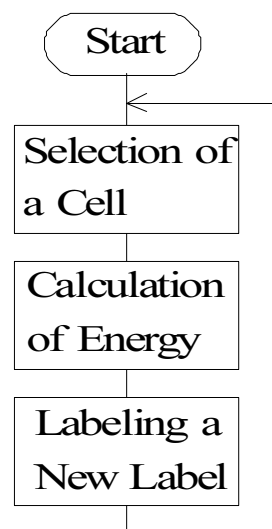


Fig.3 a flow chart of simulation algorithm.

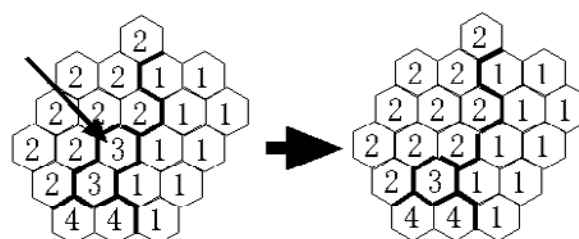


Fig.4 labeling a new label.

勾配が存在する場合には、温度が高い箇所ほど結晶粒の粗大化が促進されるという現象が現実には起こる。温度勾配を考慮したシミュレーションを行うには、この現象を再現できるよう Fig.3 のアルゴリズムに手を入れる必要がある。

そこで、同じ手法を用いてシミュレーションを行っている他の研究でどのように温度勾配を扱っているかを調査した。その結果、局所的に熱源を配置した場合のシミュレーションを行うには、結晶粒界の移動確率というものを導入すればよいことがわかった³⁾。結晶粒界の移動確率を導入する、つまり、乱数を使って指定したセルのラベルを付け替えるかどうかを確率的に決定するようにすれば、温度上昇が高い箇所ほど結晶粒界の移動確率を高めることにより、その箇所で起こる結晶粒の粗大化が促進することをシミュレートできる。調査した研究では、乱数で指定されたセル周囲の結晶粒界の移動確率 W を温度に関する次の式で計算している。

$$W = \exp(Q/T_{\max}) \cdot \exp(-Q/T) \quad (1)$$

ここで、 Q は粒界移動が起こるために必要な活性化エネルギーを表す定数、 T は指定されたセルの領域の温度上昇を表す変数である。また、 $T_{\max}$ は基準と

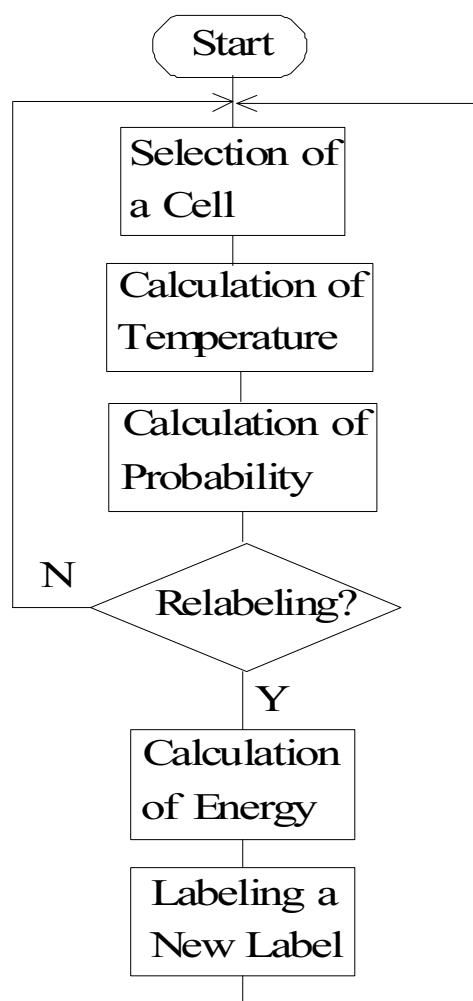


Fig.5 a flow chart of simulation algorithm after conversion.

なる温度であり、 $T = T_{\max}$ のときに $W = 1$ となる、すなわち、必ず結晶粒界が移動するような値に決める。調査の対象とした研究では、 $T_{\max}$ を T の最大値、すなわち、多結晶体の融点としていた。この式を使えば、 T が大きくなるほど W が大きくなるように移動確率を決めることができる。

本研究でも上述した調査結果を採用することにし、シミュレーションに温度勾配を適用できるようアルゴリズムを変更した。変更後のアルゴリズムのフローチャートを Fig.5 に示す。Fig.3 との主要な違いは、セルを指定した後、そのセルの部分の温度上昇および上述の式に基づく結晶粒界の移動確率を計算している点である。計算で得られた移動確率と乱数を使い、指定されたセルの結晶方位を変化させるか否かを決定している。変化させない場合には粒界エネルギーの計算は行わずに、次のセルを指定する。

3.2 温度の計算式

次に、温度上昇の計算式について述べる。今回の研究と温度勾配の扱いについて参考にした研究とでは熱源のモデルが違っている。そのため、温度上昇の計算式については改めて調査した。その結果、次の式が得られた⁹⁾。

$$T = \frac{q}{C\rho} \cdot \frac{e^{-\frac{r^2}{4kt}}}{(2\sqrt{\pi kt})^2} \quad \left(\text{ただし, } k = \frac{\lambda}{C\rho} \right) \quad (2)$$

ここで、 $q[\text{J/m}]$ は溶接長さ当たりの入熱量である。また、 $C[\text{J/kg} \cdot ^\circ\text{C}]$ は比熱、 $\rho [\text{kg/m}^3]$ は密度、 $\lambda [\text{J/m} \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C}]$ は熱伝導率を表す多結晶体に関する定数である。さらに、 $t[\text{s}]$ は観察領域を熱源が通過してからの経過時間、 $r[\text{m}]$ は熱源通過位置と温度上昇を計算するセルとの距離を表す変数である。

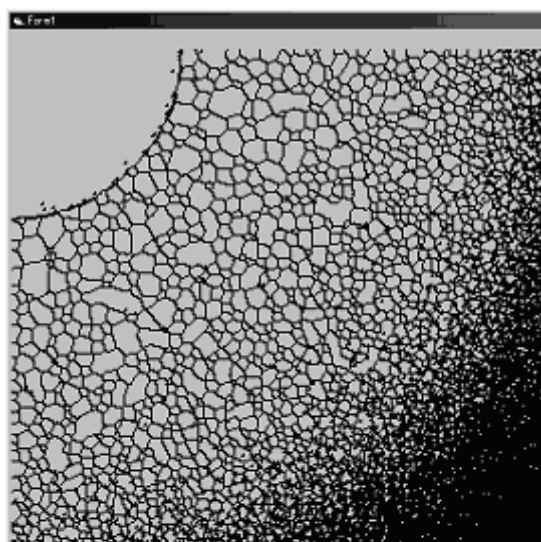
この式は、熱源が観察領域を通過して十分な時間が経過している場合に適用できるものである*。本研究で対象としているシミュレーションは、溶接熱が通過した後の温度が低下していく過程で起こる、結晶粒粗大化の様子を可視化することを目的に行う。そのため、この式が適用できる範囲内のシミュレーションが可能になればよい。そこで、今回はこの式を採用することにした。

4. シミュレーション結果に基づく考察

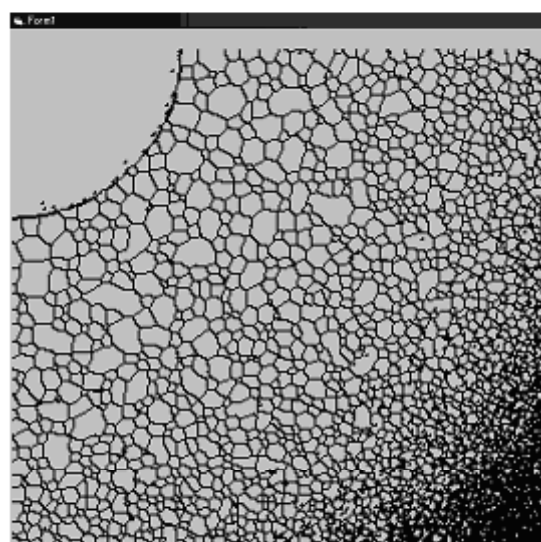
今回作成したシミュレーション・プログラムを用い、温度勾配を考慮して結晶粒粗大化現象を試行的にシミュレーションした結果を Fig.6 と Fig.7 に示す。これらの図は厚さ 3mm のステンレス鋼に、それぞれ、3kJ/cm および 10kJ/cm の熱を加えた場合のシミュレーション結果である。時間については、その起点を熱源が観測領域を通過した瞬間とした。熱源の通過位置はシミュレーション開始時に観察領域内の任意の点に指定できるが、今回の試行では、図の左上隅、すなわち、原点に指定した。また、図示しているのは、y 軸方向、z 軸方向それぞれ原点から 300セルの範囲であり、これは今回の試行で用いたパラメータ値について温度勾配を考慮した効果が視覚的によく確認できる範囲とした結果である。試行で用いた主なパラメータ値は Table 1 に示す。参考のため、今回用いたパラメータ値に対して文献 3 に基づいてセルの中心から隣接するセルの中心までの距離を算出すると、 $10 \mu\text{m}$ となった**。

* 式の適用範囲の詳細については、文献 9 を参照してほしい。

** 2. で述べたように、potts モデルと現実の多結晶体の物理スケールとの対応は、著者らが行った調査の範囲内では、十分に理論化されているとは言えない。ここで示した数値は文献 3 の成果に基づいて試行に用いたパラメータを使って算出した結果であり、著者らが物理的な実験結果と対比してその確実性を確認した数値ではない。あくまで参考値と考えてもらいたい。



after 20MCS

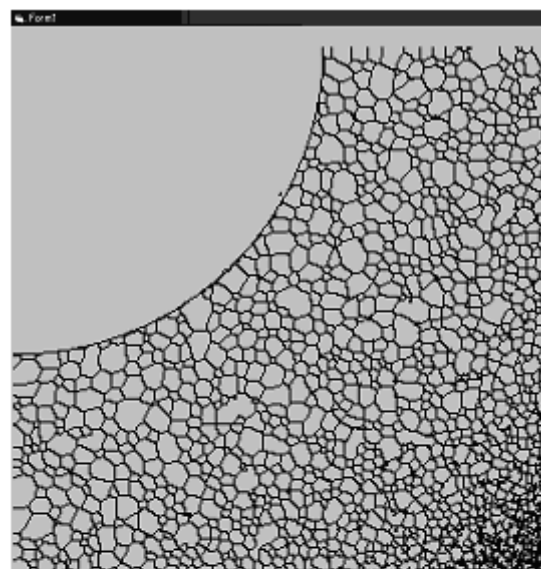


after 60MCS

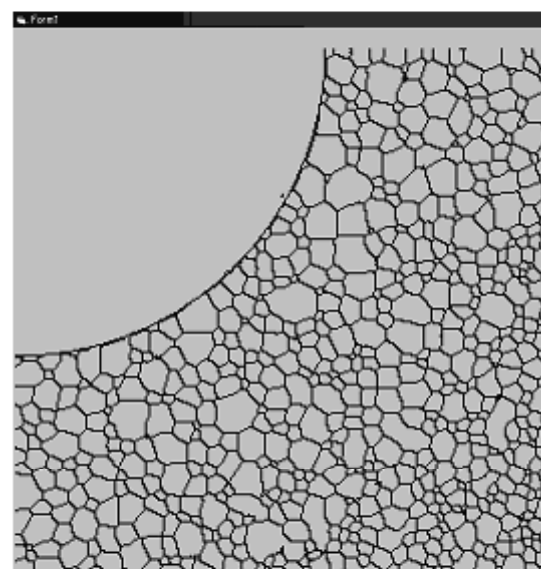
Fig.6 a result of trial ($q=3\text{kJ/cm}$).

シミュレーション結果の可視化には、本研究室で作成したツールを利用している⁴⁾。

Fig.6 および Fig.7 において熱源の通過位置を中心として 1/4 円状にみえる部分は、融点に達して溶解しているところに相当する。Fig.6 と Fig.7 を比較すると、入熱の多い Fig.7 のほうが熱の拡散範囲が広いことが観察される。また、これらの図によれば、熱源の通過位置に近いところほど結晶粒の粗大化が進んでいる様子が観察できる。さらに、時間が経過するにつれて粗大化が進んでいることも観察できる。これらの観察結果は、温度勾配が存在する場合に現実の結晶粒粗大化現象で観察される特徴である。このことから、シミュレーション結果を可視化して目視する限りにおいて、今回採用した温度勾配の適用法は、単純なモデルを使って現象の基礎理解のため



after 20MCS



after 60MCS

Fig.7 a result of trial ($q=10\text{kJ/cm}$).

Table1 parameters of trials.

Specific heat (C)	$0.5\text{J/g}\cdot^{\circ}\text{C}$
Thermal conductivity (λ)	$16.3\text{J/m}\cdot\text{s}\cdot^{\circ}\text{C}$
Density (ρ)	7.93g/cm^3
Activation energy (Q)	1500kJ/mol
Melting point (T_{max})	1480°C

の視覚教材を作成するという目的に対しては適切であったと考える。しかし、現実の溶接時の状況を厳密に再現するには、熱源のモデルなどにまだ検討の余地がある。

また、今回のシミュレーションの試行を通し、シミュレーションに要する時間について、等温環境でのシミュレーションより温度勾配を考慮したシミュ

レーションのほうが、所用時間が短くなるのではないかという見通しを得た。この見通しは、温度勾配に関する部分以外は同等のシミュレーションを試行したところ、等温環境のシミュレーションに対し、温度勾配を考慮したシミュレーションでは数分の1の時間しか要しなかった経験に基づく。このような時間差が生じる原因は、アルゴリズムを変更したことにあると考えている。アルゴリズム中最も時間を要する処理はエネルギー計算であり、温度勾配を考慮した場合には、温度の低い部分のシミュレーションにおいてこのエネルギー計算が高い確率で省略されるため、所用時間が短くなると推測している。

5. おわりに

今回の研究では、結晶粒粗大化現象のモンテカルロ・シミュレーション高速化に関する研究の一環として、温度勾配をシミュレーションに適用する方法について調査を行った。その結果、温度に依存させて結晶粒界の移動確率を決定する方法があることがわかった。この方法に基づいてシミュレーションを試行したところ、視覚教材作成を目的に単純なモデルを使って行うシミュレーションとしては、満足な結果が得られることがわかった。また、温度勾配を考慮したシミュレーションのほうが、等温環境におけるシミュレーションよりも処理時間が短くなるのではないかという見通しを得た。

2. で述べたように、今回使った熱源のモデルは溶接熱を精密にモデル化しているとはいえない。現実の熱伝導は複雑な現象であり、溶接の現場で実際に起こっている現象のモデル化法や、モデル化した結果の妥当性の判定法を考えることは困難を伴う。しかし、現実の現象に即したより効果的な視覚教材を作成するためには、これらの事項についてさらに検討することが必要である。

また、今回調査した温度勾配の適用法を、並列計算化したシミュレーション・プログラムに実装することが著者らの研究室において進んでいる。シミュレーション結果を現実の現象と照らしたときの妥当性の判定についても、上述した熱源のモデルの場合と同様、現実の結晶粒粗大化現象が複雑な現象で、実際の現象が計算で得られる理論値と一致しないことが多いことから、なにをもって妥当とするか基準の決定が難しい。しかし、時間経過に伴う結晶粒の平均サイズの変化や融解境界線からの距離による結晶粒の平均サイズの理論値など、過去の研究で用い

られている基準がいくつかある。これらの方法を調査して、並列計算化されたシミュレーションの結果の妥当性を検証し、その上で高速化の効果を評価することは、本研究に残された重要な今後の課題である。

謝 辞

本研究の一部は、津山工業高等専門学校の平成15年度傾斜配分枠研究費と、文部科学省および日本学術振興会の平成16年度科学研究費補助金により実施した。また、本研究のうち、シミュレーションに温度勾配を適用する方法の調査の部分は、津山工業高等専門学校情報工学科卒業生である石原尚実さんの卒業研究、シミュレーション・プログラムの変更およびそれを使ったシミュレーションの試行に関する部分は同卒業生である大橋克弘君の卒業研究に基づいている。ここに記して謝意を表す。

参 考 文 献

- 1) 大沼郁雄：計算機シミュレーションによる多結晶組織形成の予測，まてりあ，38,8(1999)610-614
- 2) D.J.Srolovitz, M.P.Anderson, G.S.Grest, P.S.Sahni：GRAIN GROWTH IN TWO DIMENSION, Scripta METALLURGICA, 17(1983)241-246
- 3) 西本和俊，才田一幸，鳥居尚之，大重広明：溶接熱影響部における結晶粒成長と再結晶のモンテカルロ・シミュレーション，溶接学会論文誌，21,2(2003)256-266
- 4) 大西淳，野村茜，大重広明：結晶粒粗大化のモンテカルロ・シミュレーションー各種プログラムの作成とシミュレーション結果の検討ー，津山工業高等専門学校紀要，45(2003)59-64
- 5) 大西淳，岡田卓也，大重広明：PC クラスタを用いた結晶粒粗大化シミュレーション・システムの構築ーシステム構成と試行シミュレーション結果の検討ー，津山工業高等専門学校紀要，47(2005)67-74
- 6) 野村茜，大西淳，大重広明：結晶粒粗大化のモンテカルロシミュレーションの試み，平成14年度電気・情報関連学会中国支部連合大会講演論文集，(2002)477
- 7) 大西淳，岡田卓也，T.Trung，大重広明：モンテカルロ法を用いた結晶粒粗大化シミュレーションの並列計算化，平成14年度電気・情報関連学会中国支部連合大会講演論文集，(2002)478
- 8) 大西淳：PC クラスタを用いた金属結晶粒粗大化過程シミュレーション・システムの構築，山陽放送学術文化財団リポート，48(2004)48-52
- 9) 佐藤邦彦，向井喜彦，豊田政男：溶接工学，理工学社，(1979)31-38

スチール直定規を用いた光波長測定

佐藤誠*

Measuring the wavelength of light with a metal ruler

Makoto SATO

An surprisingly easy method of measuring the wavelength of light based on diffraction from the indentations of a metal ruler, that has been reported in an article of the OSA magazine, is discussed with results and error estimation. This method is suitable for a student experiment in optics.

Key words : wavelength of light, He-Ne laser, steel ruler, grating

1. はじめに

干渉を利用して光の波長を測定するには、波長程度の寸法の構造が必要と常識的には考えられる。たとえば、ニュートンリングを利用する場合は、波長オーダーの間隙を正確に構成できるように曲率が正しく研磨加工された凸レンズが必要である。また、回折格子を用いる場合、波長オーダーの格子ピッチが形成されている必要がある。このように光の波長測定には特殊な機材が必須と通常は思われがちである。ところが身近にあるスチール直定規を用いて光の波長を測定できることが学会誌の記事で紹介されていた¹⁾。その記事によると、スチール直定規の目盛り部分に低い角度でレーザー光を照射すると、定規に刻まれた目盛りが回折格子となって回折パターンを得ることができると説明されており、測定の手順や結果が報告されている。私は、この実験を授業における教示実験や学生実験のテーマとして適していると興味を持った。実際、レーザーポインタとスチール直定規をポケットに忍ばせて授業中に回折光パターンを学生に見せることを何度か試みた。手近な材料で手軽に回折現象をデモンストレーションできるので学生に対する教示的効果は高い。また、光干渉の興味深い練習問題でもある。本稿は、学生実験用のHe-Neレーザーを光源として、この方法により波長測定した結果報告である。文献1)に記載されている測定精度は3桁 ($0.633 \pm 0.003 \mu\text{m}$) で測定誤差や精度についての詳細な説明はない。本稿では、測定精度に影響を与える幾何学的な実験系の設定について実験的、理論的に検討した。学生実験のテーマとして採用する際に本稿の議論は参考になるだろう。

2. 測定原理

測定に必要な機材は、光源のレーザーと回折格子となるスチール直定規、および回折光パターンの距離を計るための巻尺である。図1にスチール直定規の目盛り部分を示す。目盛りの刻み部分はおそらく薬液でエッチングされて削られており、個々の目盛り間の平坦部分（光を反射する領域）の幅はばらついているが目盛りの平均間隔は精度が高いと思われる。図1に示す側の目盛りは0.5mmで刻されているが、もう一方は1.0mm間隔である。

図2は、スチール直定規での回折の様子を説明した図である。レーザー光に対して角度 θ ほど傾けて定規を置き、表面で反射させ、 n 次回折光が角度 η_n に進むとすると、次の関係式が成り立つ。

$$d \{ \cos\theta - \cos(\eta_n - \theta) \} = n \lambda \quad (1)$$

ここで d は目盛りの刻みピッチ、 λ は光の波長であ

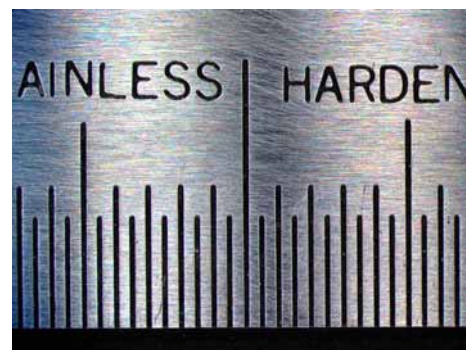


Fig. 1 Close-up of a steel ruler.

原稿受付 平成18年8月31日

*一般科目 satom@tsuyama-ct.ac.jp

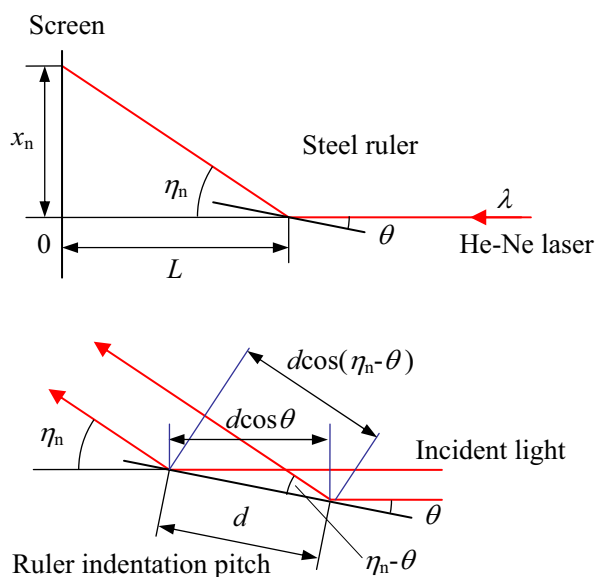


Fig. 2 Geometry of the diffraction pattern from the indentations of the ruler. Lower diagram illustrates of the optical path difference.

る. η_n は次式によりスクリーン上の回折光の位置 x_n と定規にレーザー光が入射した位置からスクリーンまでの距離 L を計測することで得られる.

$$\eta_n = \tan^{-1}(x_n/L) \quad (2)$$

回折光位置の原点 O は, 定規の無い状態でレーザー光を直進させたときのスクリーン上の光点を用いる. また, スチール直定規の傾斜角 θ は 0 次の回折光の位置 x_0 から次式により求まる.

$$\theta = (1/2) \tan^{-1}(x_0/L) \quad (3)$$

0 次回折光は通常の鏡面反射なので, $\eta_n = 2\theta$ の関係である. スクリーン上では最も明るい光点であるので容易に確認できる.

3. 測定

測定系を図 3 に示す. 光源には学生実験用の He-Ne レーザーを用い, 光線の水平を確保するためにビニールチューブに水を詰めた水準器を用いた. スチール直定規に光線が入射する位置からスクリーンまでの距離はおおよそ 5m で, 水平の誤差は mm 程度である. 天井から錘で吊るした金巻尺をスクリーンに用い, 鉛直を確保した. 回折光点列がスクリーン上に鉛直に並ぶようにスチール直定規を載せた台の左右の傾きを薄いアルミ板を台の下に挿入することで調整した. 定規の前後方向の傾斜角 θ も同様の方法で調整した. 図 4 にレーザー光が定規に入射してい

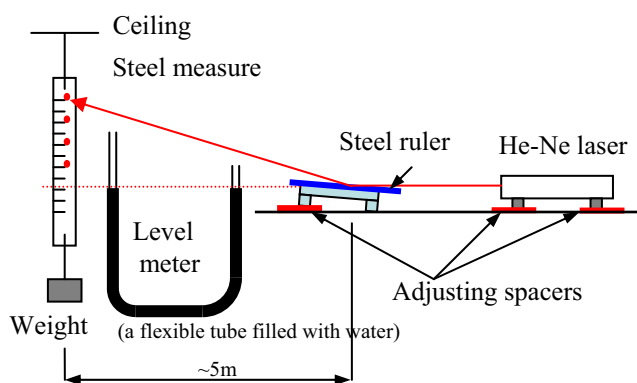


Fig. 3 Diagram of the experimental setup.

る様子を示す. スチール直定規の傾斜を調整すると, 光線が定規に入射する位置が変わり, したがって距離 L が変化する. 机上の白い三角のマーカは距離の基準を表し, この基準位置からのスクリーンまでの距離 (5m 程度) を mm の精度であらかじめ計測しておき, 測定ごとにこの基準からのレーザー光の定規への入射位置 (数 cm 程度) を測定して基準長から減算して距離 L を求めた. 図 5 はスクリーンの様子である. 巻尺を用いたので, 座標を直接読み取ることができ便利である. 当初, 実験室の壁をスクリーンに使用することを試みたが鉛直を確保することが困難であった. 同様にレーザー光線の水平も実験室の床面を基準にすると 5m で数 cm のずれを生じ測定に支障をきたすことがわかった. 安易に建物の床や壁を基準にすることは避けたほうがよい.

図 6 は実際に測定している様子である. 昼間は実験室内が明るく高次の回折光を読み取ることが困難であったため夜間に測定を行った. 昼間でも 5 次程度の回折光までは十分読み取ることができるので簡易な計測であれば通常の室内でも可能である. 定規の傾斜角は 2 度前後が適当である. 角度が高いと回折光の点列が詰まって分離しづらい. また, 光回折に寄与する目盛りの数が少なくなるので目盛りのピッチ誤差の平均化の効果が低くなり測定精度が下がる可能性がある. 逆に角度が低すぎると各光点の歪が大きくなり中心を読み取ることが難しくなる傾向がある.

スチール直定規の 1mm 目盛りと 0.5mm 目盛りについてそれぞれ傾斜角を変えて測定した. その結果を図 7 に示す. グラフは縦軸に $n\lambda$, 横軸に回折光の次数 n として各回折光点のデータをプロットしてある. 1mm 目盛りでは 20 次以上の点列まで読み取ることができた. 0.5mm 目盛りでは光点列がまばらになるので 10 次程度までである. 測定が正しく行われておればグラフ上の点列は原点を通る直線上に並び, グラフの傾斜が波長を与える. 学生実験では測定の実質を自分で視覚的にチェックできることは有用であ

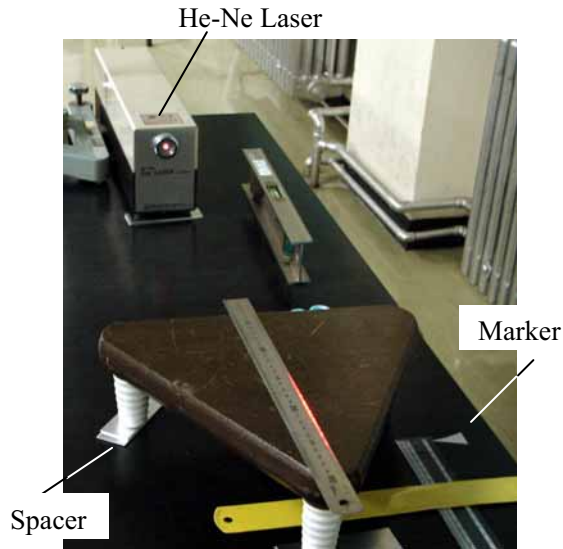


Fig. 4 Set-up of the He-Ne laser and the steel ruler.

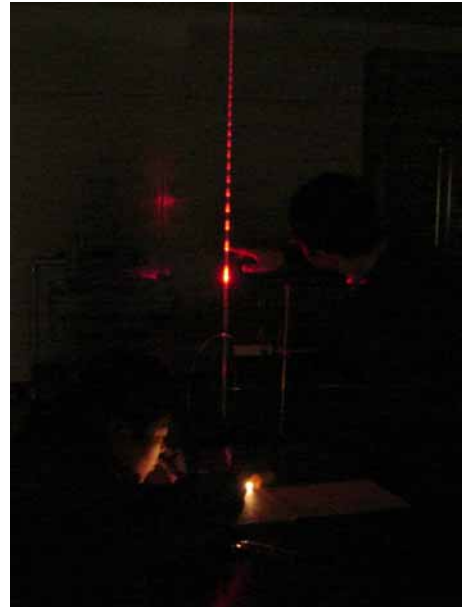


Fig. 6 Reading the position of diffraction pattern.



Fig. 5 Screen (steel measure) and the diffraction pattern of the light.

る．一次関数で最小二乗法回帰分析を行い波長を求めた．グラフ内に数値を記した．1mm目盛りを用いて， $632.6 \pm 0.8 \text{ nm}$ ， $632.0 \pm 0.5 \text{ nm}$ ，0.5mm目盛りで，

$630.6 \pm 3.8 \text{ nm}$ ， $633.9 \pm 0.8 \text{ nm}$ の値を得た．計測に適した2度前後の定規傾斜角の付近では傾斜角を高めにした方が精度は高くなるようである．これは，直定規の反りが原因と思われる．傾斜角を低くすると広い範囲に光線が入射し，定規の反りのため傾斜角が分布を持ち光点が歪むことが原因のようである．目盛り間隔については，0.5mmより1mmの方で高い精度が得られている．目盛りの刻み精度はどちらも同じであると考えられるので，間隔が狭いだけ相対的な精度は低下する．この結果はそれを反映していると思われる．ちなみにHe-Neレーザーの中心波長は 632.82 nm である．この値を真値として今回得た測定値と比較すると，この方法により3桁から4桁の測定精度が得られることが確認できる．この測定精度は基本的にはスチール直定規の目盛り刻みの精度を反映したものであると推定される．

4. 測定誤差

予備測定においてレーザー光線の水平を実験室の床面を基準にしてとったところ図8に示す結果を得た．得られた波長は， $624.7 \pm 1.0 \text{ nm}$ と真値からのずれが大きい．先に説明したように水準器を用いて確認したところ光線に-3cm程度の傾斜が確認された．これが誤差の原因であると考えられる．文献1)ではレーザー光線は水平である前提で説明されているが，要は光線に対するスクリーンの垂直度が重要なのである．スクリーンがレーザー光線に対して垂直から δ ほど傾斜して，本来の交点の位置 x_n が傾斜したスクリーン上で x'_n に計測されるとすると，次の関係式が成り立つ(図9)．

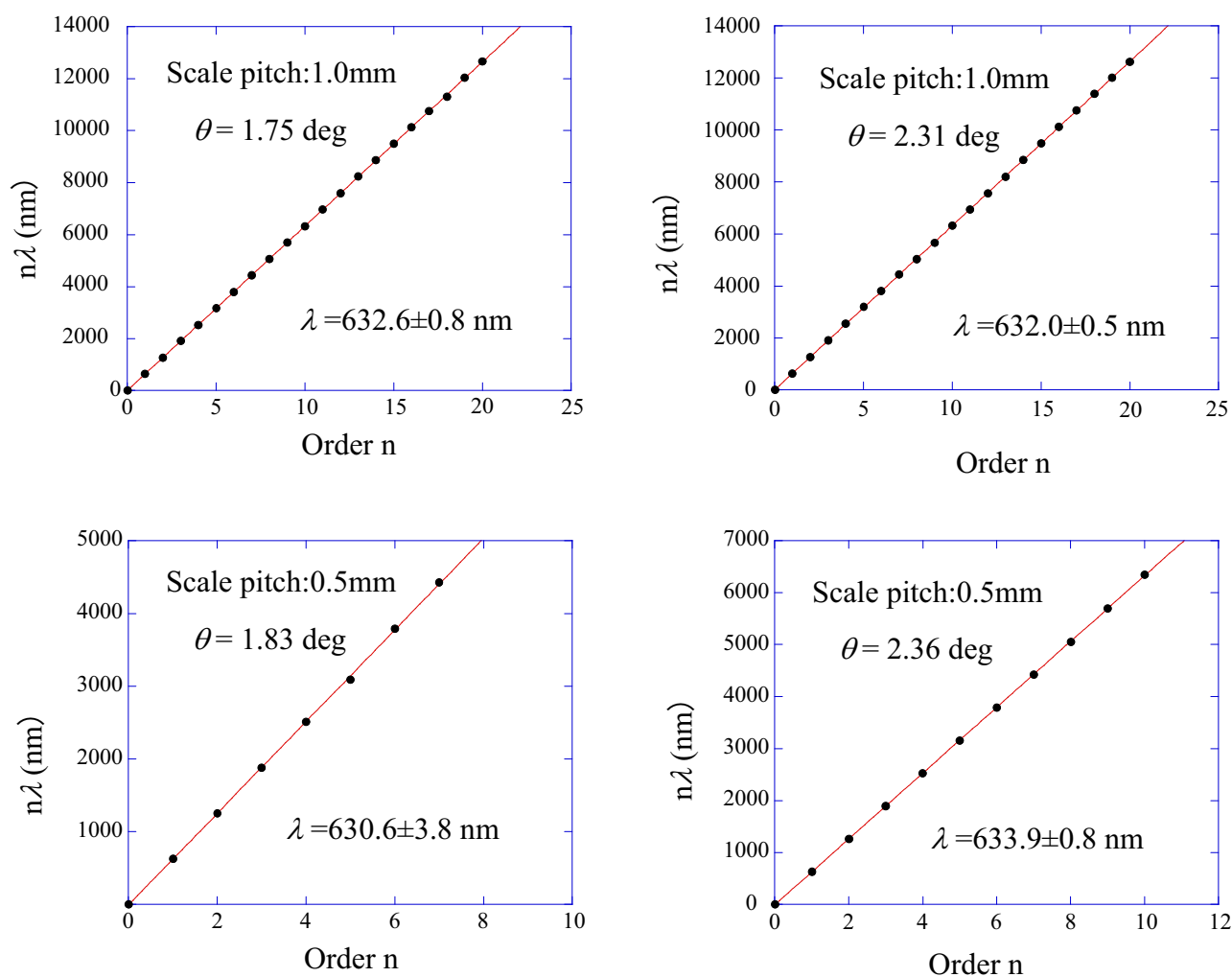


Fig. 7 The wavelength obtained from series of the diffraction spots data.

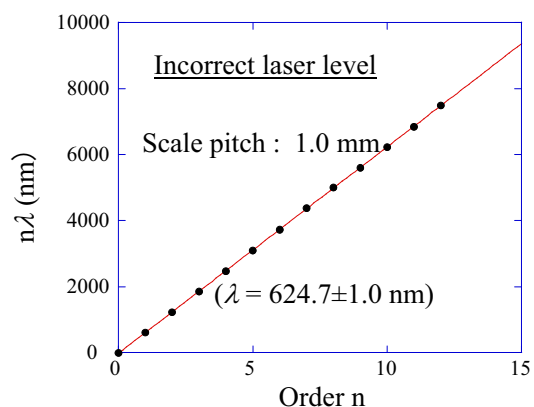


Fig. 8 A result obtained with the incorrect set-up where the level of laser light is a bit tilted (-3cm for 5m).

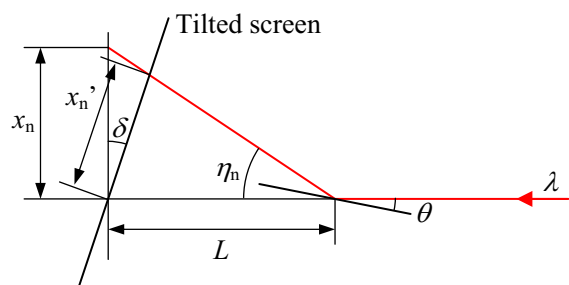


Fig. 9 Geometry of the diffraction pattern when the screen or the laser light is tilted

$$x_n = x_n' (\cos \delta + \sin \delta \tan \eta_n) \quad (4)$$

傾斜角 δ , 回折角 η_n が低いとして近似すると, 式 (4) は次のように簡略化される.

$$(x_n' - x_n) / x_n = -\delta \eta_n \quad (5)$$

これは計測される回折光点位置の読み取り相対誤差である. この関係を式 (1) に代入して計測される波長の相対誤差を求めると次式のように求まる.

$$(\lambda_n' - \lambda_n) / \lambda_n = -2 \delta \eta_n \quad (6)$$

すなわち, 相対誤差は回折角 η_n とスクリーン (あるいはレーザー光線) の傾き δ の積になることがわかる. また, 高次の回折光ほどスクリーンの傾きの影響を誤差として受けやすいことがこの関係式からわかる.

5. まとめ

スチール直定規で光の波長を測定できるという意表をついた実験を取り上げ, 学生実験のテーマとしての検討を行った. 実験系の設定においてレーザー光線の水平やスクリーンの垂直度が重要であること, 適正に測定が実行された場合, スチール直定規に刻まれた目盛りの精度に制限されるものの3桁から4桁程度の精度で光の波長を計測できることを確認した.

実験に積極的に協力していただいた数理科学 I 受講生, 青柳佑樹君, 藤原正浩君 (平成17年度制御工学科4年生) に感謝します.

参 考 文 献

- 1) K. Iizuka : Optics & Photonics News, June 2005, pp.25-29

高専女子卒業生の就労動向とキャリア教育

内田由理子* かどやひでのり**

Tendència a la col·locació laboral de les graduades de *Koosen* i l'educació professional.

本稿は、高専の技術系労働現場への女性技術者供給における役割に着目し、高専における女子学生への教育、特になかでも進路指導への示唆、提言を行うものである。高等専門学校開設来の女子学生の動向を明らかにするとともに、女子学生は高専に何を求め、何を期待しているのかを確認する。また、卒業後の就労状況を取り上げ、女子卒業生は技術者として果たしてどのように活用されているのか、その就労からみえてくるものは何か、析出し、検証する。

Key words : 高専卒業生、就労状況、転職・離職、進路指導

1. まえがき

高等専門学校（以下、高専と記す）は昭和 37 年の開設以来、約 32 万人弱（内、女子学生は 2 万 5 千人弱）の卒業生（平成 15 年度卒業生時点）を輩出してきたが、この 10 年来、学科の多様化、女子学生の増加、進学率の急増、専攻科設置、独立行政法人化等、制度上も存在意義も近年大きな変化をむかえている。日本の産業構造、企業の雇用体系の変化に加え、2007 年問題に直面している今、高専教育には何が要請され、高専は何を目指していくのか。今後、高専はより明確にその存在意義を示していく必要がある。

本稿では、高専では比較的少数の存在である女子学生の動向及び卒業後の就労状況を取り上げ、高専における女子学生の変遷を明らかにするとともに、技術職現場における女性技術者のありようの分析を試みる。その結果をもとに、高専における女子学生への進路指導等への示唆、提言を行う。

2. 女子学生の変遷

高専における初めての女子卒業生は、1966（昭和 41）年度生卒業生にみることができる。機械工学科 1 人（総数 1165 人）、電気工学科 6 人（総数 764 人）、工業化学科 17 人（総数 205 人）、土木工学科 3 人（総数 148 人）、計 27 人（総数 2431 人）であった。以来、

1988（昭和 63）年度以降の女子入学者増加に伴い、卒業生数も 1992（平成 4）年度以降比例して増加している（Fig. 1）。

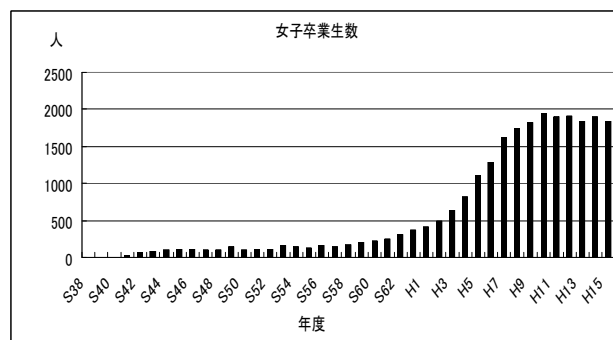


Fig. 1 女子卒業生数

男女比も 1998（平成 10）年度以降は女子卒業生比率が全学生数の約 20%となる（Fig. 2）。

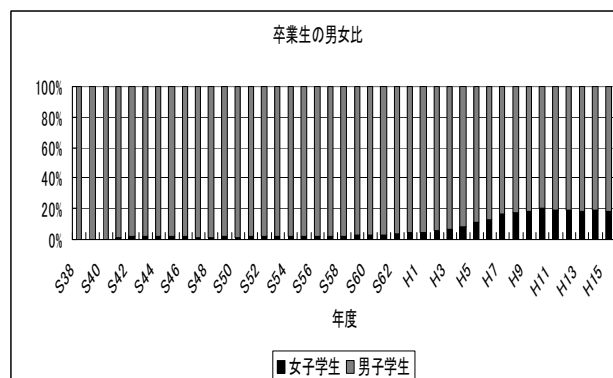


Fig. 2 卒業生男女比

原稿受付 平成 18 年 8 月 31 日

* 詫間電波工業高等専門学校一般教科

** 津山工業高等専門学校一般教科

このように、女子学生は異常なジェンダー比のなかで、高専での学校生活を送っていることがわかる。女子入学者数をみると、1995(平成7)年度2190人(総数11313人)をピークに、2005(平成17)年度女子入学者数は1796人(総数11271人)と減少傾向がみうけられる。女子学生増加の理由としては多様な学科の設置があげられよう。学科の種類は高専開設以来、以下のように年々増え続けている(Fig. 3)。

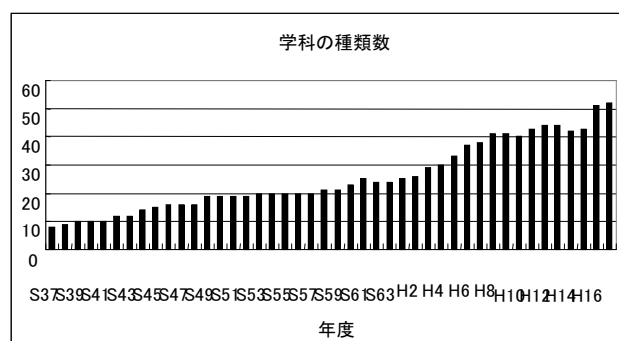


Fig. 3 学科の種類

女子学生の在籍数が多い学科は、高専開設当初より設置されている工業化学科や建築学科を初めとして、化学工学科、情報電子工学科、土木建築工学科、情報通信工学科、情報工学科、物質工学科、生物工学科などである。これらの学科が徐々に設置され、比例して女子学生数も増加をみてきた。しかし、2002(平成14)年度以降、その増加は減少に転じている。女子入学者数減少の原因は明らかではないが、近年指摘されている子どもの理科離れとともに、「女子は理数系には向かない」という旧来のジェンダー・バイアス(偏見)が依然影響しているとも推測できる。また、身近に目指すべき、ロールモデルとなる女性科学者、あるいは女性技術者がいない、少ないということにより、自身の将来像としてそれらをイメージしがたい、ということも指摘できよう。たとえば室伏きみ子の調査¹⁾によると、女子学生が理系学部を選ぶ際、影響を受けた人の第一位は母親、次いで第二位は高等学校の理科の教員(特に女性教員の場合)であった。これは、進路や生き方に対して、支援してくれる人物、ロールモデルとなる人物が同性であることの影響力の大きさを示す好例であろう。

では、女子学生たちは高専に何を求めて入学したのか、高専教育に何を期待していたのか、著者らが実施した高専卒業生の調査結果²⁾から、その入学動機を探ってみる。それによると、理系や技術へ興味関心を示している者が52%と最も多く、高専での専門教育を期待しての入学であることがわかる(Fig. 4)。一方で、進学・就職を入学動機にあげている回答者も22%存在しており、卒業後の進路を見据えての高専入

学であったことがわかる。

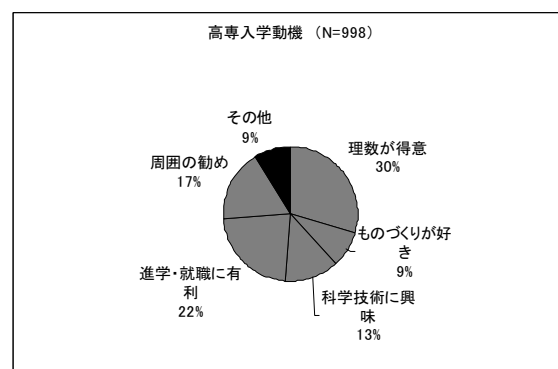


Fig. 4 女子学生の高専入学動機

3. 女子卒業生の就労状況

3.1 調査の概要

著者らは初章で示した問題意識のもと、2003(平成15)年～2004(平成16)年にかけて、高専男女卒業生への調査を実施した(平成15～17年科学研究費補助金基盤研究(C)(1)「高専女子卒業生の労働に関する調査研究」課題番号15510231)²⁾。調査協力が得られた全国高専39校の卒業生約9600名を対象に、郵送調査法による調査票調査を実施し、その結果、女性については計998名の有効回答を得ることができた。調査項目は回答者の属性、初職と現職場における就労状況と職場環境、就労継続と離職・転職状況、労働観、ジェンダー観、技術者のあり方、高専教育、進路などに関するものである。第2節以降では、女子卒業生の初職での起用、就労の継続性と離職・転職の特徴、技術者としての就労を中心に分析する。

3.2 調査回答者像

回答者の年代 回答者の年代層は20代が28.6%、30代が41.9%、40代が16.4%、50代が11.4%、60代が1.7%である。回答者の総数(以下Nと記す)は998人で、内、30・40代が58.3%を占めている(Fig. 5)。これは、名簿情報が新しい若い世代への調査票送付が確実になされたためと考えられる。

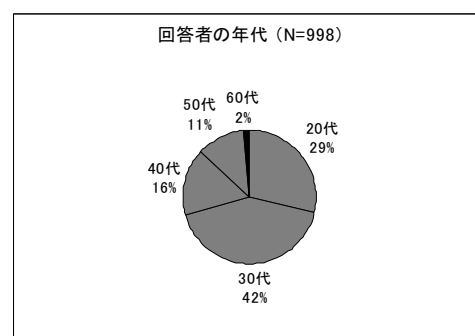


Fig. 5 回答者の年代

卒業学科 回答者の卒業学科は化学・物質・生物工学科が 32.3%, 土木・建築工学科が 25.5%, 情報・情報通信工学科が 18.7%, 電子・電気工学科が 14.8%, 機械・金属工学科が 4%, その他が 4.7%(N=997)である (Fig. 6). これは, 学科における女子学生在籍数が回答者の傾向に反映されているものといえる.

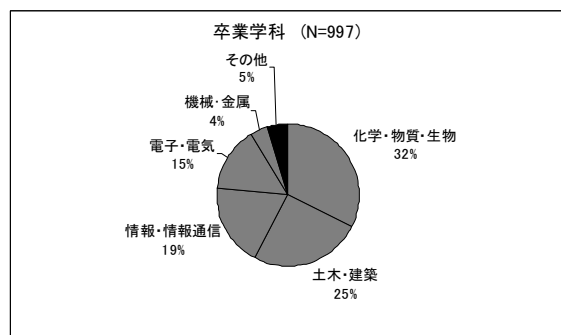


Fig. 6 回答者の卒業学科

3.3 初職職場での配置

当初, 著者らは高専卒女性技術者はその技能が職場で十分に活用されていないのではないかと, サービスエンジニア, 営業, 事務といった職種に配置が集中しているのではないかとという仮説を立てた. これまで女子卒業生から個別に受けた相談や, 教員間での情報交換等に立脚した仮説であった. しかし調査結果からは, その仮説は覆され, 開発・設計が 345 人, 品質管理, 施工・施工管理が 154 人, 両者で 52.2%を占めていた (Fig.7) .

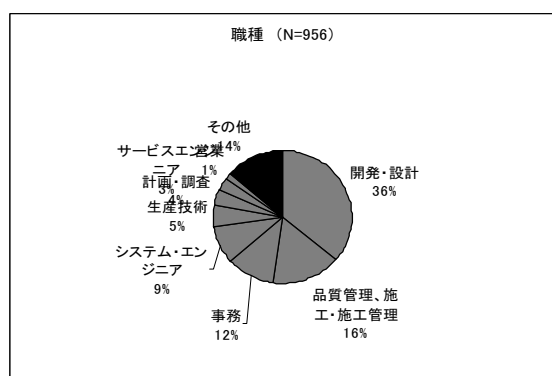


Fig. 7 初職職種

さらに卒業学科と職種のクロス集計からは, 各学科で「開発・設計」の比率が 28.3~48.2%と最も高いことがわかる (Fig. 8, $p < .001$)*. 技術者としての基

幹的業務への起用が確認できるとともに, 例えば土木・建築では「開発・設計」が 48.2%(N=245), 次いで「施工・施工管理」が 17.1%, 化学・物質・生物では「開発・設計」が 28.7%(N=310), 次いで施工・管理」が 25.2%, 情報・情報通信では「システム・エンジニア」が 20%(N=175)と, 学科の特性, つまり高専教育で習得した技能を活かした現場業務への配属が確認できた. その一方で, 事務の比率が全体では 12%, 学科別でみると情報・情報通信が 16.6%と最もその比率は高く, その他の学科 (3 項 2 節であげた学科以外) では 21.7%にのぼることも注視すべき点である.

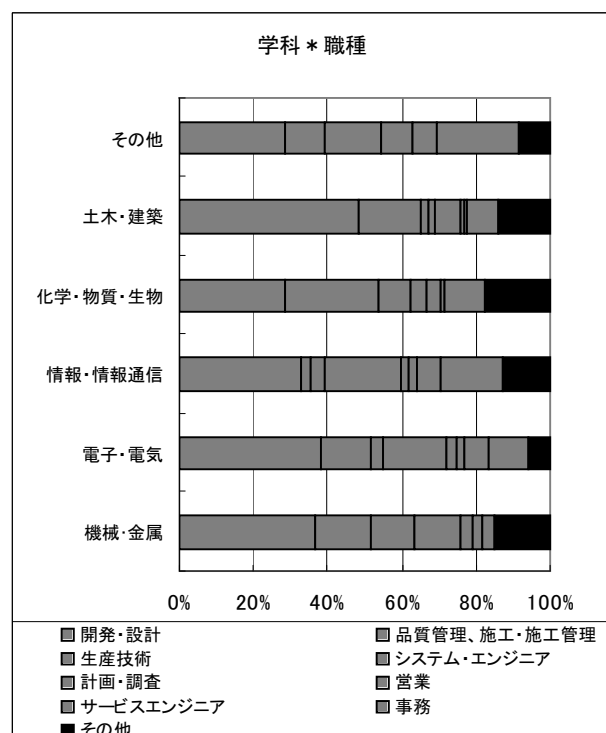


Fig. 8 学科 * 初職職種

3.4 就労の継続性と離職・転職

回答者の在職状況は Fig. 9 の通りである. 初職での就労を継続している者 (以下, 「継続者」と記す) は, 311 人 (31.3%), 離職者は 684 人 (68.7%), 離職者の内, 初職離職後, 現在就労している者 (以下, 「転職・再就職者」と記す) は 363 人 (36.4%), 初職離職後, 現在無職の者 (以下, 「無職者」と記す) は 321 人 (32.3%)と, 継続者, 転職・再就職者, 無職者の比率がほぼ同率であった (N=995) . 女子卒業生の約三分の一が無職者であるということは, 技術系の高等教育に投入された資源の相当部分が, 直接には社会に還元されていないという状況を示している.

* カイ二乗検定とは, 観測度と理論度数との合致度を検定するもので, 一般的に p 値が 0.05 未満の場合は 2 変数間に関連があると判定される.

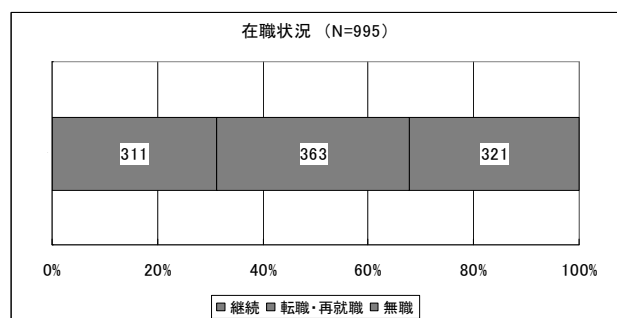
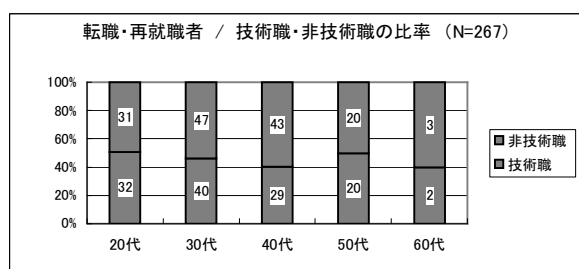
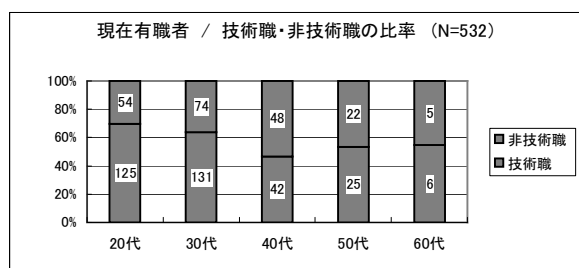


Fig. 9 在職状況

3.5 転職・再就職のパターン

転職・再就職では、キャリア向上・技能発揮、パート化・技能非発揮(技術を要しない職種)を目指すといった二極化のパターンが見出された。女性の場合は、技術職より非技術職への転職・再就職が53.9%(N=267)とやや高く、技術職への移動が容易ではないことを示している (Fig. 10)。一方、初職継続者も加えてみると、技術職としての就労者は61.8%と、20代・30代を中心にその比率が高いことがわかる (Fig. 11)。これらのデータからは、女性が技術者としての就労を目指す場合、離職は不利な因子として作用することを読みとれる。

Fig. 10 技術職・非技術職*年代
(転職者・再就職者のみ)Fig. 11 技術職・非技術職*年代
(調査時における有職者の全て)

3.6 技術者としての就労

ここでは40代以上で勤務年数10年以上の女性技術者を取り上げ、その就労状況等を明らかにしたい。

回答者998人中、該当者は45人であった。卒業学科、業種、業態、職種等を上位4位まで、以下一覧に整理する (表1)。

表1 40代以上、勤務年数10年以上の技術者

卒業学科 (N=45)			
化学・物質・生物	土木・建築	電子・電気	機械・金属
20	18	4	3
業種 (N=44)			
企業	自営	官公庁・公団	その他
27	11	5	1
業態 (N=45)			
製造業	建設業	サービス業	公務
14	10	7	5
職種 (N=45)			
開発・設計	生産技術	計画・調査	品質管理、 施工・施工管理
25	7	6	4
職階 (N=42)			
主任・係長	一般社員・職員	個人経営 職階なし	その他
14	10	7	4
職場規模/雇用者数 (N=44)			
10~999人	1~9人	1000人以上	官公庁
16	14	10	4
年収 (N=44)			
400~800万未満	130~400万未満	800~1200万未満	130万未満
23	10	7	4
女性への不当な扱い (N=21)			
昇進・昇格	賃金	募集・採用	教育・能力開発 の機会
11	8	1	1
仕事での課題 (N=44)			
評価	能力開発	業務内容	家事・育児・介護 との両立
9	7	7	7
仕事継続の理由 (N=44)			
自己実現・生き甲斐	職場での責任	働きやすい 職場環境	生活手段
22	6	5	5

ここで特徴的に浮かび上がってくるのは、製造業・建設業の比較的小規模企業で就労する女性技術者像である。多くは化学・物質・生物工学科、建築工学科出身で、職場では開発・設計に携わり、主任・係長クラスでその技能を発揮している。年収は職階に比例し400万~800万未満が多い。職場で「女性に対する不当な扱いがある」と感じている者は21人

で、その「不当な扱い」の内容をみると、21人中、11人は「昇進・昇格」を、次いで8名は「賃金」を指摘しており、仕事の課題で第一位となっている「評価」とも、関連していることが推測される。また、仕事継続理由として半数の22人が「自己実現・生き甲斐」と回答しており、彼女らにとって技術者であることはアイデンティティの一部となっていると思われる。

4. 高専教育と進路指導

4.1 高専教育と就労

高専で受けた教育が職場へ活用できたと思う回答者は172人、17.2%(N=992)、そのうち、「専門的な技能を活用できた」という点をあげている回答者は137人である (Fig. 12, Fig. 13)。

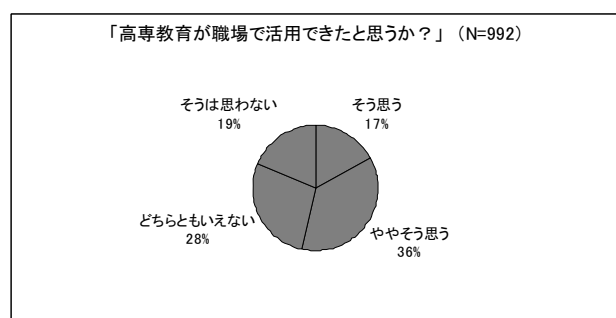


Fig. 12 高専教育の職場での活用

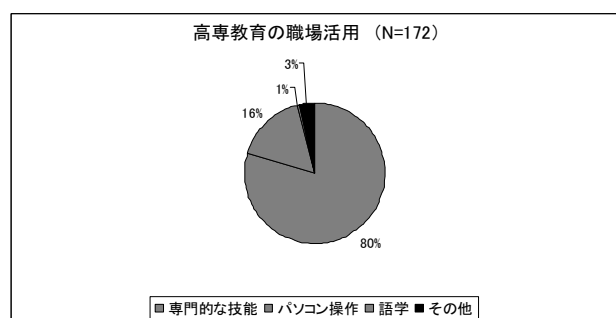


Fig. 13 高専教育の職場での活用

これらのデータからは、高専での教育が、即、職場での仕事に直結している卒業生ばかりではないことがわかる。では、それらの卒業生たちが高専教育のありがたに対して批判的であるかという点、必ずしもそうではない。むしろ、勉強に関する自由回答欄の記述からは、「役に立たないと思っけていても、後で必ず役に立つ」「無駄な勉強は何一つない」「高専で学んだことは自分の基礎となる」「仕事の基礎としての勉強が大切だ」といった意見が散見された。仮に在学中に高専での勉強に意義を見出すことができなくとも、

就職後意味をなすものとなるといった意見も多数みられた。

4.2 進路指導

進路指導で注目すべきは、女子卒業生の進路指導への要望である。「現場で働く先輩の情報・交流」が434名、「同性技術者が勤務しやすい企業の情報」が193名、「常に新しい情報」が167名、あわせて87.2%を占める。一方、男子卒業生の場合、「現場で働く先輩の情報・交流」が404名、「同性技術者が勤務しやすい企業の情報」が7名、「常に新しい情報」が150名、あわせて82.2%を占める (Fig. 14)。女子卒業生の、職場の実情や新鮮な情報、技術者としての生の声などを求める中で、同性つまり女性技術者が働きやすい企業情報を要望する回答が、男子の1.1%に比して20%に上るのは注目すべき点である。

では「勤務しやすい」とはどのような指標であろうか。本調査から析出できる点は、女性技術者が技術者としての能力を発揮でき得る職場環境、仕事と家庭が両立できる雇用体系が整備されている職場、である。初職職場で技能発揮できていると回答した女子卒業生は498名、技能発揮できていないと回答した者は254名、男子卒業生は各々493名と83名で、明らかに女子の方が技能が発揮できていないことがわかる。その理由を見ると、「技能と関係ない職場である」と回答した者が134名、「機会が与えられない」が51名、「実力不足」が53名である。ここには、雇用者側の女性技術者の活用法の問題とならんで、進路指導が問われる問題（就職者と就職先の不適合）があることを指摘できよう。また、初職での仕事の課題をみると、女子の場合、能力開発19.7%、業務内容17.1%に次いで家庭との両立が14.7%ある。この数値は男子が1.3%であることからすると、それが男性にはない「負担」を抱えながらの就労であることを確認できる。これらのことは、技術職労働現場が女性技術者にとって決して働きやすい職場環境とはいえないことを示していると考えられる。

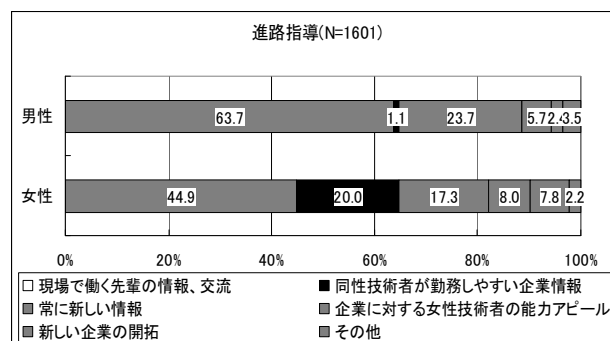


Fig. 14 進路指導への要望

次に卒業生がどのような観点から職場選択をしたのか、その職場選択理由をみている。技能活用や自己のやりがいを重視している者が34.8%、勤務地・勤務条件を重視している者が34%と高いポイントを示しているが、教官や家族の勧めが20%となっていることも無視できる数値ではない (Fig. 15)。

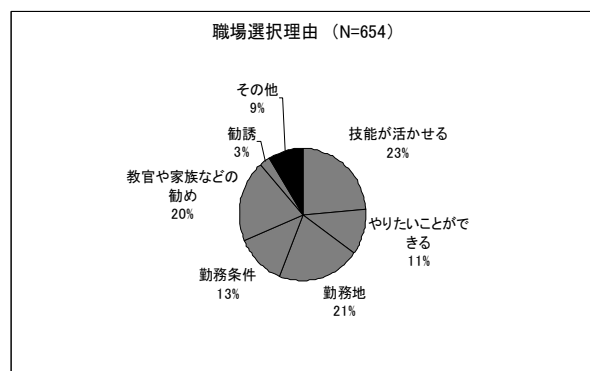


Fig. 15 初職職場選択理由

学生の進路には少なからず教員の影響が及んでいる。たとえば、あるフリーアンサー回答には「『女性の採用がある』というだけで熱烈に勧められ、勤めてみたら2年で潰れました。ちゃんと自分で見学して考えよう」とあった。このような例が女子学生に対する進路指導にみられることは、進路指導のありかたそのものを考えなおす起点にしなければならないだろう。

5. 考察

これまで、女子学生の高専における動向、女子卒業生の就労、高専教育に関して、卒業生への調査データを基に分析を加えた。高専開設以来、2002(平成14)年度まで増加し続けた女子学生に対し、高専は確かに技術系労働現場への女性技術者供給機関としての役割を果たしてきたといえよう。それは、第3章の就労分析で示したとおりである。しかしながらその就労状況からは高専における進路指導、キ

ャリア教育のあり方の再考をせまる要素を読み取ることができる。たとえば、女性の場合、技術職への転職・再就職が困難であることは第3章で明らかとなった。また、企業はどのように女性技術者を技術者として活用しているのか(あるいは活用していないのか)、初職では男性と比べて少なくない女性(本調査では14.7%)が仕事と家庭との両立を課題に持っていることなどを、進路指導の一環として学生に情報提供することが求められる。女性には特にライフステージがその後の就労と大きく関わってくることを認識し、学生へその点を必ず明示する必要がある。その上で、学生自身のライフプラン、キャリアプランを描かせることが不可欠である。その際、自己のプランをより設計しやすいよう、多くの同性ロールモデルを示すこと、次に、女性が働きやすいとされる職場情報を提供することも肝要であろう。換言するなら、進路指導においても、女子学生に対しては特にジェンダーの視点を盛り込んだ進路指導が求められるのである。

参考文献

- 1) 毛利衛・樋口恵子・青山聖子・國井秀子・千葉和義・室伏きみ子：「女性と科学」を科学する、お茶の水ブックレット6(2006)、49-52
- 2) 内田由理子(詫間電波高専)、太田智加子・奥田浩司(石川高専)、角谷英則(津山高専)、山本孝子(徳山高専)：高専卒業生に関する就労状況等調査報告書(2006)
- 3) 高等専門学校総覧平成18年度
- 4) 平成17年版男女共同参画白書、内閣府(2005)
- 5) 日本女性技術者フォーラム調査部会：女性技術者・就労とキャリア形成(2005)
- 6) 日本女性技術者フォーラム調査部会：女性技術者・就労環境の変化調査研究報告書(1999)
- 7) 本田(沖津)由紀、新谷康浩：高専卒業生のキャリアと高専教育、日本労働研究機構(1998)
- 8) 亀野辰三、平野喜三郎：女性土木技術者(高専卒業生)の活動状況に関する調査研究、高専教育第17号(1994)、343-350

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

中 尾 三 徳*

A Study on microcomputer teaching using PIC for control

Mitsunori NAKAO*

The Z80 microcomputer has been used for microcomputer teaching. The PIC microcomputer using a breadboard is low price, and highly efficient as compared with the Z80 microcomputer. This paper describes a result of research concerning an improvement by having altered into the PIC microcomputer from the Z80 microcomputer as teaching materials. Based on this research, since students could bring the PIC microcomputer another room, home and so on, they became possible learning still more deeply.

Key word : PIC, Student Experiment, Microcomputer

1. はじめに

現在のコンピュータの進歩に従い、パソコンは価格が安価になり、個人が手軽に所持することが出来るようになった。パソコンソフトウェアもインターネットの普及で、フリーのものが無料で手軽に手に入るようになった。使用方法もソフトウェアと同様に手軽に入手できる。しかし、コントロール用のマイコンは、電子素子やマイコン自体の仕様や使い方、配線の方法、各マイコン用のプログラム言語の学習とパソコンに比較すると学習にたいする障壁は高いものであり、価格的にもデバイスの購入、回路製作用道具の購入等々、費用がかかり、マイコンの制御技術を学んだものでなければ手のつけようがなかった。このような中で、大学・高等専門学校等の電子制御工学系の学科では、8ビットZ80マイコンを使ったマイクロコンピュータ実験・実習がおこなわれている。マイクロコンピュータの実験・実習ではハードウェアとソフトウェアの2つが揃わないと学習ができない。このためハードウェアを準備している実験室に行かなければ学習ができない。また特殊なマイコン用アセンブラソフトウェアの言語学習には時間がかかる。Z80ボードコンピュータは、ハードウェアの費用が一式10万円程度かかり、実験装置自体が組み立てられたものであり、移動持ち運び等も難しく、回路変更追加等ができにくい。そこで実験システム自体に安価なブレッドボードを使用して電子部品やマイコンを自由に配置配線して実験・実習課題に取り組むことは出来ないかと考えた。

そのような中で、近年、制御用マイコンは、Fig.1のPIC(Peripheral Interface Controller)等を使用する事が多くなっている。PIC等は数百円程度からマイコンCPU自体が手に入り、乾電池駆動ができ、基板その他を含めてもわずかな電子部品でマイコンシ



Fig.1 PIC microcomputer

ステムが構築できる。PIC等は時代の流れに沿っており、学生が個々に携帯でき、コストがかからない、即実用できるという利点があり、Z80CPUボードを使った既存の実験実習をこの制御マイコンPIC等を使って変更または追加したいと考えた。

既存のZ80を使ったマイクロコンピュータ実験・実習は、8ビットLEDの点滅制御、7セグメントLEDの表示制御、DCモータの回転制御、ステッピングモータの回転制御、割り込み等をおこなっている。これをPIC等のマイコンを使って実験・実習できるようにする。制御対象(DCモータ、ステッピングモータ、LED)は、使用可能なものは既設のZ80システムの制御対象を使い、制御マイコンとしてPIC等を使う。その上、学生が自宅に帰ってから再学習可能な様に実験・実習システムを乾電池駆動のPICマイコンと移動可能な小型ブレッドボード並びに小型のPICライター(自作)とアセンブラ言語(フリーソフト)、デスクトップPCを使って構築した。このシステムにより従来ではできなかったマイコンの学習が在宅でも可能となった。こ

原稿受付 平成18年8月31日

*教育研究支援センター第1技術班

これらの実験・実習システムについて報告する。

2. マイクロコンピュータ実験・実習

2. 1 マイクロコンピュータ実験の現状

現在、大学・高等専門学校の工学系の学科ではまだ、8ビットマイコンを使った制御用のマイクロコンピュータ実験・実習が行われている。代表的なも



Fig.2 Experiment equipment of Z80 microcomputer

のは Z80 マイコンである。Z80 は 1976 年ごろに開発され以来現在まで制御用の 8 ビットマイコンとして長期に使用され続けている。Z80 は CISC 型 (Complex Instruction Set Computer) の単体のコンピュータチップだけのものから現在では周辺回路を内蔵した TMPZ84C015 や最新の ASIC 技術で開発された KC80 など同じクロック周波数で従来の Z80 に比較して約 4 倍の処理能力の CPU も登場している。これらはワンチップマイコンになっており、ピン数が約 100 本程度あり、簡単に配線するわけにはいかない。

Z80 以外では PIC が 1980 年ごろから GE (General Instrument) 社により開発されこれが広範囲な用途に有用性が認められたため、1989 年に GI 社から独立した Microchip Technology 社が現在鋭意開発を続けている。PIC は他のマイコンのアーキテクチャがノイマン型アーキテクチャ (プログラムとデータが同じメモリにある) に対して、ハーバードアーキテクチャ (プログラムを格納するメモリとデータを格納するメモリが別々にある。) を採用しており、ノイマン型の欠点である CPU とメモリをつなぐ転送路 (BUS) においてプログラムとデータが競合するフォンノイマンのボトルネックを回避するように設計されている。そのほか日立ルネサス (株) の H8 やモトローラ社の MC6809 等のマイコンがある。

2. 2 津山高専のマイコン実験 (電子制御工学科)

電子制御工学科では以下の Table1 の日程で Z80 マイクロコンピュータ実験を行っている。プログラ

ムの入力、16 進キーボードから入力し、それぞれのプログラムリストの穴埋めを行って、課題を理解するようになっている。実験テキストをもとに学生がハンドアセンブルし、入力は 16 進マシン語コ

Table1 Schedule of Z80 microcomputer experiment

マイクロコンピュータ実験(電子制御工学科)の実験日程	
日程	実験内容
1週目	7セグメントLEDに"8"を表示
	"8"を左端とその他の隣の7セグメントLEDの2箇所に表示させる。
	左隣の7セグメントLEDに"8"が適当な時間経過で点灯するようにせよ!
	7セグメントLEDに"8"を表示セグメントを使った課題を処理する
2週目	8255PPのポートAの8ビットが回のように動作するプログラムを作れ
	8255PPのポートAのLEDが回のように点灯ローテーションするプログラムを作れ
	スイッチSW0を押すとポートAのLEDが全部点灯するようにせよ!
	スイッチをポートBのPB4に接続し、スイッチを回す時とポートAのLEDが全部ON
	ディップ・ロータリースwitchのコードをポートAに出力する。
	ディップ・ロータリースwitchのコードをポートAのLEDでカウンタとして数える。
3週目	スイッチを押すと値が込みが異なる、ポートAのLEDが全部点灯する。
	スタートはSW0でCTCを用いて1秒タイマを作り、ポートAをバイナリカウンタとする
	DCモータを回転させない
	DCモータのスピードコントロールを行うプログラムを作成せよ
	1相駆動でステップモータを動かすプログラムを作成せよ
	ステップモータを1相、2相、1-2相駆動で動かすプログラムを作成せよ
4週目	ステップモータを1回転させて停止させるプログラムを作れ
	前週まで、作成したプログラムをマイコンのROMに書きこみ実行する。

ードを 16 進キーボードよりメモリに入力し、Z80 マイコンを実行するようになっている。Fig.2 のマイクロコンピュータ実験装置は、日本システムレーション (株) 製 NEXUS-80 を使用している。

2. 3 PIC マイクロコンピュータ実験

今回開発した PIC を使用したマイクロコンピュータ実験システムではプログラムは PIC 用アセンブラ「MPLAB IDE Ver7.2」(フリー)を使っている。PIC は、RISC (Reduce Instruction Set Computer) コンピュータなので命令は全部で 35 個程度しかない。Z80 では 158 近くある。この命令でプログラミングする。PIC マイクロコンピュータ実験システム

ではブレッドボード、電源、各電子素子を接続するケーブルが必要となる。これは秋月電子(株)の EIC-108J ブレッドボードを使用した。ケーブルは 30 本ほど入っている秋月電子(株)のブレッドボード・ジャンパーワイヤー EIC-J-L を使用したが、これは線が硬くて配線しづらいので、今回は Fig.3 の 10BASE-T ケーブルの芯線を使用した。10BASE-T

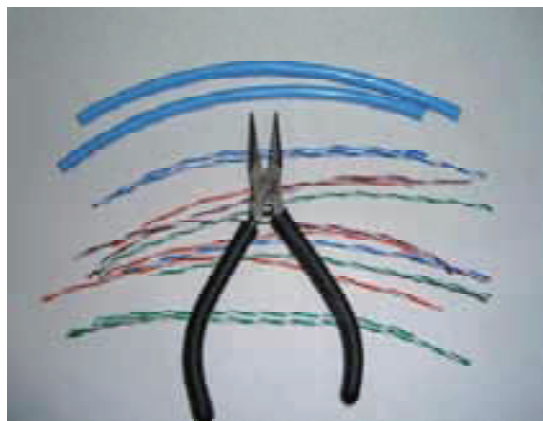


Fig.3 10base-t cable

ケーブルは、1 ケーブルあたり 8 本のカラー芯線から構成されており、ブレッドボードの配線には丁度良い太さと軟らかさ、価格であった。Fig.4 の PIC マイクロコンピュータ実験システムでは、ブレッド

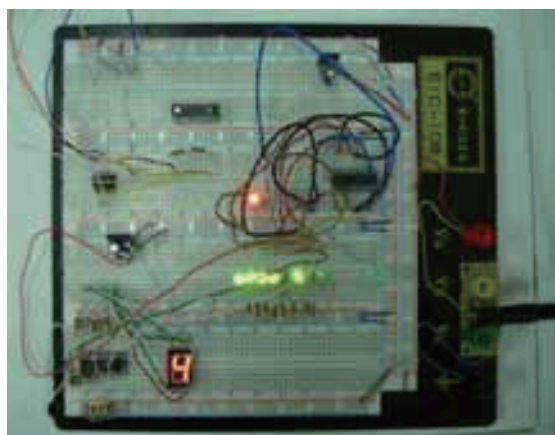


Fig.4 PIC microcomputer experiment

ボードを使用しているため、回路や各素子の配置を学生が自由に組むことが出来る。しかし、始めて回路を組む学生には、大変な障壁になるので、あらかじめ、こちらで基本となる回路素子配置を実験テキストとして示しておく。PIC マイコン用プログラム開発は、Fig.5 の Microchip Technology 社の統合型開発環境ソフト MPLAB という純正の統合環境アセンブラシステムが用意されている。このほか、有償ではあるが C 言語による開発環境もある。この統合環境では、各開発用言語で制御プログラムを PIC 実行用の 16 進のコードに変換し、このコードを PIC マイコンに書きこむための PIC ライターユーティ

リティプログラム IC-PROG, PICProg4U (フリーソフト) を使用して書き込む。今回使用した PIC ライターのハードウェアは Fig.6 の上方がシリアルポート (RS232C) インターフェイス接続の秋月電

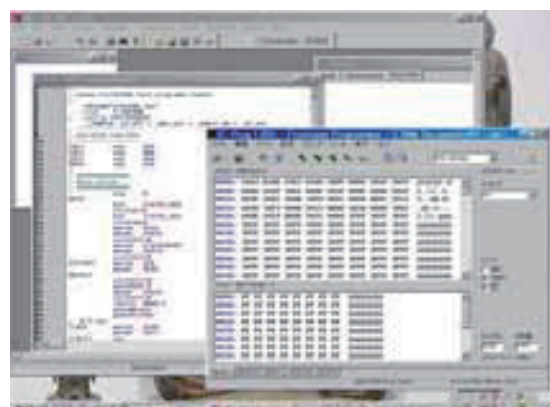


Fig.5 Integrated development software MPLAB

子通商(株)の AKI-PIC プログラマー Ver3.5 (Ver4.0) と下方は、USB インターフェイス接続の(株) IPI の PDE-XP を使用した。これ以外にも Microchip Technology 社の純正のシリアルポート接続の



Fig.6 PIC writer equipment

PIC-START-PULUS も使用した。

この実験では、PIC マイコンや各電子素子、IC の仕様書とともに回路配置図等の独自の実験・実習テキストも作成している。

この PIC マイクロコンピュータ実験・実習で講習可能な学生人数はブレッドボードと PC の数によ

って決まり、プログラム書き込み用のロムライターは共通で最低1つあればよく、PIC マイコンをロムライターに持っていき、そこで HEX ファイルに変換されたプログラムをFD(フロッピー)か又はUSBメモリ、LAN上の共有ファイルから受け取ってPICに書きこむ処理をすればよいので、1人に1台ロムライターが無くとも良い。ブレッドボードとPCさえあれば小人数から講習会等の多人数まで実験・実習を行うことが出来る。

8ビットマイコン Z80 は歴史が古いため利用価値のある制御プログラムシステムが多くあるが、PIC等は、マイコンの小型パッケージにすべての機能を内蔵しており、パワーアップタイム、ウォッチドッグタイム、割り込み、スリープモード、AD変換コンバータ等が使える。消費電力が少ない。命令数がわずか35個。取扱いが簡単で、安価であり、高速な処理が出来る等の長所がある。又、回路自体を小さくすることが出来るという長所もある。

2. 4 PICマイコン実験に必要な部品と装置

Fig.7のLED発光、7セグメント実験回路では、ブレッドボードに秋月電子(株)の型名：EIC-108Jを使い、電源としてスイッチングACアダプター(12V1.0A)型名：NP12-1S1210、12Vから5Vへの電圧変換は、3端子レギュレータ(低ドロップタイプ5V1.0A)は(株)東芝の型名：TA4805S、PICマイクロコンピュータはPIC16F84A、表示用高輝度LED赤色5mmは型名：L-513LE1T、7セグメントLED超高輝度赤色1文字(カソードコモン)型名：C-551SRDを使用した。

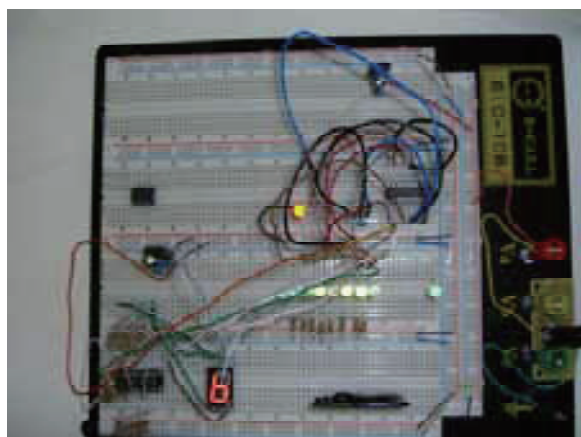


Fig.7 Experiment circuit of LED, seven segments

Fig.8のDCモータ実験回路では、ブレッドボード、電源、レギュレータ、LEDには前記と同じものを使い、モータの動作切り替え用スイッチは、基板用トグルスイッチ3P型名：P-00300、DCモータ用ドライバーは(株)東芝製の型名：TA7291P、DCモ

ータは、DCモータコントロールキット型名：2PK2400を使用した。

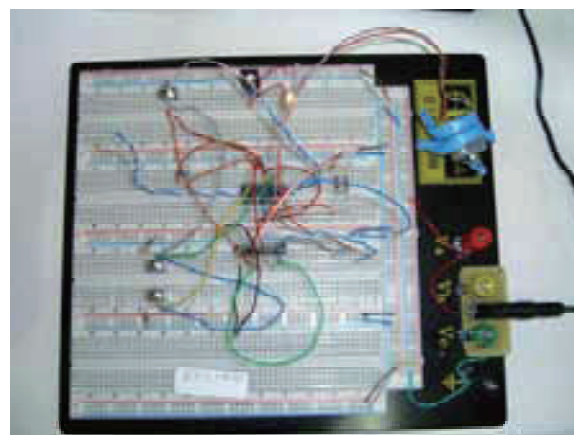


Fig.8 Experiment circuit of DC motor

Fig.9のステッピングモータ実験回路では、ブレッドボード、電源、レギュレータ、LEDには前記までと同じものを使い、ステッピングモータ駆動用ドライバーは、PICステッピングモータドライバーキット秋月電子(株)の型名：K-00154、ステッピングモータは、2相ユニポーラステッピングモータ(高トルクハイブリッド型200ステップ)秋月電子(株)の型名：TS3103N124を使った。

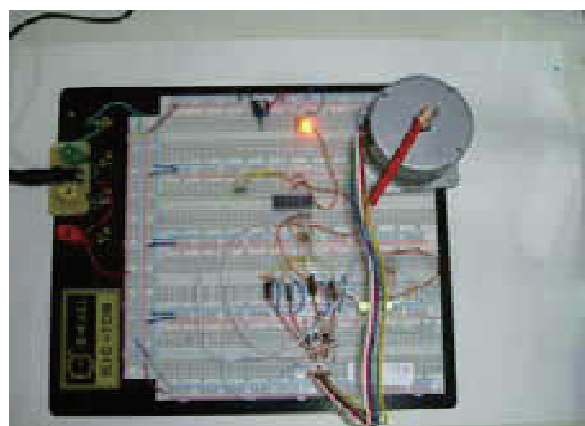


Fig.9 Experiment circuit of Stepping motor

2. 5 既存実験と新実験の比較

既存のZ80マイクロコンピュータ実験と新PICマイクロコンピュータ実験を比較した場合以下のようなになる。Z80マイクロコンピュータ実験とPICマイクロコンピュータ実験を比較すると新実験の方が長所が多いが、学生が実験前の座学の学習で、Z80マイクロコンピュータのニーモニックを使用しているため、この8ビットのニーモニックとPICのニーモニックの相互の関連づけが必要だと思われる。

ここで既存のZ80マイクロコンピュータシステムと新PICマイクロコンピュータ実験システムの

費用について比較してみると Z80 マイクロコンピュータでは一式が 10 万円程度掛かり，これに対して，PIC マイクロコンピュータ実験システムは，ブレッドボード+ PIC マイクロコンピュータ+各種ドライバ IC，電子素子，電源，ケーブルで約 4000 円程度で一式が構築出来る。

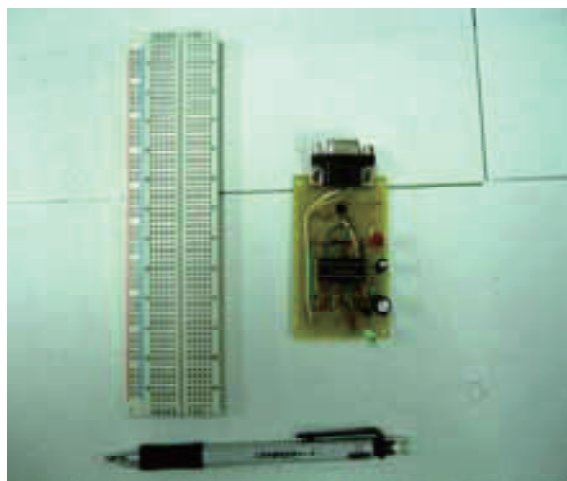


Fig.10 Portable PIC microcomputer system

2. 6 PICマイコン可搬式実験システム

以上は実験室における PIC マイクロコンピュータシステムであるが，この PIC マイクロコンピュータシステムを学生が自宅に帰ってからも学習出来るように Fig.10, Fig.11 のように小型ブレッドボー

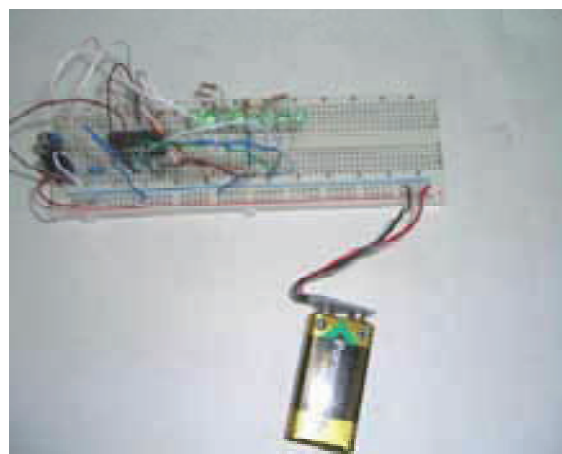


Fig.11 Portable PIC microcomputer system (After wiring)

ド，小型 PIC ライター，実験用各種 IC，電子素子，持ち運び用小型 BOX を組み合わせ，9V 乾電池で移動用の PIC マイクロコンピュータ実験・実習システムが構築出来る。Fig.12 のように，この小型 PIC ライターは，抵抗とコンデンサとツェナーダイオードから出来ておりデスクトップ PC の 9 ピンのシリアルポートに直結して使用する。このとき，接続する PC のシリアルポートの電気的特性によっては電力不足になり，書きこみできないこともある。又，

PIC の種類によっては書きこみできないものもある。今回は PIC マイクロコンピュータに 8 ピンの PIC12F629 と 18 ピンの PIC16F84A を使用しており，PC のシリアルポートが適合していれば書き込める。PIC ライターソフトとしては IC-Prog というフリーソフトを使用し PIC の純正の MPLAB アセンブラ統合ソフトとともに使用すればフリーのマイクロコンピュータ実験・実習システムが出来る。PIC には AD 変換，割り込み，ウォッチドッグタイマ等のいろいろな単機能をもった PIC が豊富に用意されている。これを使ってロボットの手足制御や AD 変換やコントロールユニット等に簡単に応用することが出来る。

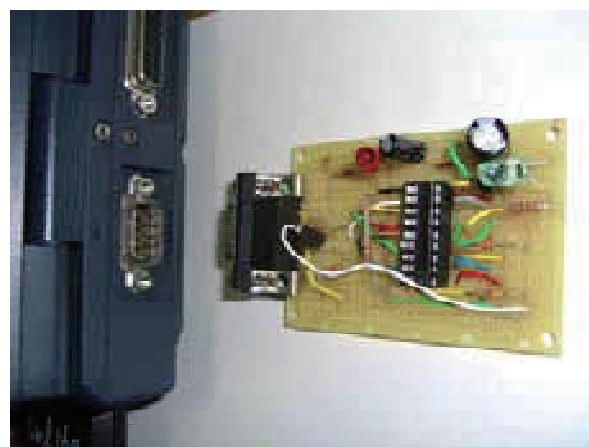


Fig.12 A small PIC writer and Serial IO device

3. 考 察

現在，各大学・高等専門学校のマイクロコンピュータ教育で，制御用のコントロールマイコンに何が使われているか詳しくは把握していないが，学校等の教育機材として使用されたコントロールマイコンがこれを学習した学生によって，卒業後に産業界で使われるようになり，それが産業界に普及していくのではないと思われる。Z80 より PIC の方がローコストでコストパフォーマンスが良く，簡単な機器の制御ならすぐでき，周辺の IC が不用で外部素子との接続がすぐ出来るのがポイントになっている。大学・高等専門学校の工学系の学科でも実験に使用される割合が多くなっている。^{1) 2) 3) 4) 5) 6)}

今回作製した PIC による 4 つの実験の日程は，実験回路の配線ならびに PIC のプログラミングと LED の発光制御実験 (1 週目)，7 セグメント LED 表示制御実験 (2 週目)，DC モータ回転制御実験 (3 週目)，ステッピングモータ回転制御実験 (4 週目) を 1 週あたり 3 時間で計 12 時間で履修させようと考えており，実験の対象学生としては工業高等専門

学校の制御工学系学科または電気電子工学系学科または情報工学系学科の第4学年以上を考えている。実験は週を追うごとに前回作製した回路の基本部分はそのままで新規の部分だけ追加変更するため、前述の時間配分で充分だと思われる。

既存の実験装置では電子回路が完成されているため CPU の動作はニーマニックスにより理解可能だが周辺の IC やドライバーの動作については理解し難い。新マイクロコンピュータ実験・実習のようにブレッドボードに自由に直接配線を行うことが出来るので電子素子の動作や接続方法について理解が深まる。既存の実験より新実験は移動可能なため学生の学習する機会が多く取れる。設備(実験装置)保守のコストが新実験のほうが安価に出来る。マイクロコンピュータの授業等では、Z80 アセンブラ(ニーマニックス)を使用して学習しているため、実験でこの PIC 系の実験・実習を組み込む場合、授業等でも PIC 系のアセンブラを対応させる必要が生じてくる。

4. 結 言

- 1) 現在おこなっている Z80 マイクロコンピュータ実験・実習をブレッドボードと PIC マイコン等を使って置き換える事ができた。
- 2) RS232C シリアルポートを持つパソコンがあれば、自宅でも再学習出来るような可搬可能なマイクロコンピュータ実験・実習システムが、移動可能な小型 PIC ライターとアセンブラ、PIC ライターソフト、小型ブレッドボードを使って構築できた。

- 3) 既存の Z80 マイクロコンピュータ実験・実習にはなかった A/D 変換実験等も追加することができる。

謝 辞

本研究は、平成 17 年度科学研究費補助金(奨励研究)課題番号 17918028 の援助を受けた。本システムの構築にあたり、いろいろと便宜をはかってくださった本校教育研究支援センター鷺田廣行技術長、徳方孝行技術専門職員、小坂睦雄技術専門職員、大谷賢二班長、永禮康恵技術補佐員並びに電子制御工学科の教員の皆様に感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 堀 桂太郎：図解 PIC マイコン実習ーゼロからわかる電子制御ー，森北出版株式会社，(2003)
- 2) 後閑哲也：たのしくできる PIC 電子工作，東京電機大学出版局，(1999)
- 3) 清水 当：PIC マイコン活用ハンドブック，CQ 出版株式会社，(2001)
- 4) 清水 当：ECB(Electro & Computer for Beginners) No.4 PIC マイコンを使おう，CQ 出版株式会社，(2000)
- 5) 小川 晃：First-PIC ガイドブック，(株)マイクロアプリケーションラボラトリー，(1999)
- 6) 井上和勇，西 彰矩：高専ハードウェア実験・実習の調査と情報工学科の取り組み状況，津山工業高等専門学校紀要，47(2005) 119-124

校 外 に お け る 研 究 発 表 等

(2 0 0 5 年 9 月 1 日 ~ 2 0 0 6 年 8 月 3 1 日)

機械工学科

【柴田政勝】

(講演発表)

題目 アルミニウム合金基複合材料の繰返し加熱冷却による熱ひずみ

講演者名 ○萩原尚也 柴田政勝

学会名等 日本機械学会中国四国学生会

発表年月 2006年3月

概要

最近開発された粒状ほう酸アルミニウムで強化したアルミニウム合金複合材料を高圧鋳造法で作製し、室温と最高加熱温度300℃～500℃との間で繰返し加熱冷却を行い寸法変化を調べた。針状ほう酸アルミニウムで強化した複合材料に比べ、全体的に寸法変化は小さかった。さらに針状、粒状いずれもほう酸アルミニウムで強化した複合材料の方が、一般的に使用されている炭化ケイ素で強化された複合材料よりも熱ひずみは小さいことを明らかにした。

題目 ホルツパターンを用いた金属基複合材料内の微小ひずみ場の解析

講演者名 ○柴田政勝 竹元嘉利

学会名等 日本金属学会

発表年月 2006年3月

概要

一般的に複合材料は物性値の全く異なる材料から構成されているため、加熱あるいは冷却された場合、熱ひずみが発生する。ほう酸アルミニウムウイスカで強化されたアルミニウム合金複合材料を高圧鋳造法で作製し、製造時に発生する熱ひずみを、集束電子線を照射することによって得られるホルツパターンを解析することによって格子レベルで実測した。

題目 ANALYSIS OF FINE STRESS FIELDS IN METAL MATRIX COMPOSITES USING HOLZ PATTERNS

講演者名 ○M. Shibata, Y. Takemoto and I. Shimizu

学会名等 THRERMEC'2006, INTERNATIONAL CONFERENCE on PROCESSING & MANUFACTURING OF ADVANCED MATERIALS

発表年月 2006年7月

概要

The thermal strain of aluminum alloy composites

reinforced with aluminum borate whiskers was estimated using HOLZ pattern analysis. Each (001) plane in the aluminum borate whiskers was rotated towards the [020] direction by up to 0.5° . With a unit of nearly $400\text{ nm} \times 400\text{ nm}$, each (100) plane was rotated towards the [020] direction in a corkscrew pattern. In addition the strain and the stress caused during the fabrication of the composites were estimated by using the finite element methods taking into account the anisotropies in both the CTE and the elastic modulus of the reinforcement material.

題目 津山高専における地域連携への取り組み

講演者名 柴田政勝

学会名等 中国地区国立高等専門学校教員研究集会

発表年月 2005年12月

概要

本校が行っている地域連携関連の各種行事ならびに内容について発表した。具体的には、公開講座、出前講座、専門セミナーのほか共同研究、受託研究および高専プラザとの連携事業を紹介した。

【吉富秀樹】

(講演発表)

題目 身体吸着事故に対して安全なプール排水管の研究開発 ―流れのモデル化による特性予測法の検討―

講演者名 ○三浦久雄, 吉富秀樹

学会名等 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17年度学術講演会講演論文集, pp. 3-4

発表年月日 2006年2月11日

概要

遊泳用プールなどで、排水口の格子状のふたが外れた場合に、遊泳者が排水口に吸い込まれる危険性がある。本研究は、このような事故を未然に防止するため、万一格子状のふたが外れた場合でも、流体自身の流れで吸引力を制御できる安全性の高いプール排水管を研究開発するものである。本報では、提案している排水管の設計コード化の一環として、排水管内流れをモデル化し、そのモデルに基づいた簡易特性予測法を開発した。この手法は、数値シミュレーションによる方法ではなく、半実験的・半解析的とも言える簡易手法であるが、検証実験の結果と良く合うことが分かった。

(特許)

題目 排液管ユニット及び循環式液槽装置

出願者名 吉富秀樹

出願日 2006年10月25日

出願番号 特願2005-309410

(その他)

題目 渦とその利用

講演者名 吉富秀樹

学会名等 平成17年度津山高専技術交流プラザ臨時
総会

発表年月日 2005年9月9日

概要

流体の旋回流れの一形態である渦について、その弊害と利用の両面から解説した。渦の弊害については、カルマン渦による流体励振の例として Tacoma 橋の事故等を示した。また、渦の利用については、渦流量計やサイクロン分離器などと共に、著者が提案している「身体吸込事故に対して安全なプール用渦室付排水管」について解説した。

【小西大二郎】

(論文)

題目 すべり案内・転がり案内の基本特性比較と高性能化

著者名 小西大二郎

学会名等 月刊トライボロジー, 9号, 217巻,
pp. 34-37

発表年月日 2005年9月10日

概要

工作機械をはじめとする産業機械・装置に対する高速・高精度化の要望が強く送り案内装置に高性能化の技術課題が課せられている。近年、この課題に応じて転がり案内の採用が増加している。

本報では、すべり案内、転がり案内それぞれについて基本特性を概説するとともに精度や剛性などの性能の面からそれぞれ比較・考察し、送り案内装置の高速・高精度化について考えた。

題目 創成科目「設計製作課題演習」によるデザイン能力の育成と教育的効果について

著者名 佐藤紳二・高本洋祐・柴田政勝・藤原 敏・
吉富秀樹・福田昌准・小西大二郎・井上浩行・
塩田祐久・橋本 淳・加藤 学

学会名等 独立行政法人国立高等専門学校機構, 高
専教育, 第29号, pp. 273-278

発表年月日 2006年3月24日

概要

本報告では、デザイン能力の育成を目標として開講されている「設計製作課題演習」(機械工学科4年)について、2003, 2004年度の実施状況を説明するとともに、学生の授業評価アンケートの結果をもとに、その教育効果と今後の課題について検討した。

結果、デザイン能力の育成のための実習テーマ・課題は、課題そのものがシンプルで学生の創造性を盛り込みやすく、また学生の興味を引きやすいものであるとともに達成感を味わえるようなテーマを設定することが重要であると考えられた。

題目 津山工業高専における教育・授業改善活動
事例報告 ―授業改善システム実施による教育・授業改善の結果とその考察―

著者名 小西大二郎・福田昌准

学会名等 独立行政法人国立高等専門学校機構, 高
専教育, 第29号, pp. 505-510

発表年月日 2006年3月24日

概要

授業改善システムは、「教員の教育目標計画」, 「シラバス」, 「授業評価アンケート」, 「自己点検票」などの授業改善ツールから構成される。これらを相互に運用することで授業のあり方と内容の選択が学習指導・支援のポイントと照らして教員自ら点検・評価でき、新カリキュラムや技術者教育プログラムが目指す教育目標に近づくような教育活動や改善活動を求めている。

本報告では、平成15, 16年度におこなった教育・授業改善の結果と新カリキュラムや技術者教育プログラムで実施した教育に対する評価を授業評価アンケートなどにに基づき調査し、その結果を報告した。

題目 歯車のトライボロジー

著者名 小西大二郎

学会名等 月刊トライボロジー, 6号, 226巻,
pp. 20-22

発表年月日 2005年6月10日

概要

機械装置の設計・使用に際して歯車の小型化と静粛化が求められ、歯車の小型化は高負荷能化、静粛化は高精度化により実現されつつある。近年は、ショットピーニングの採用などにより歯元強度が向上して歯元曲げ折損が減り、ピッチングの発生が増えている。歯車の面圧疲労損傷を防止し高負荷能化を実現するため、加えて高強度材の採用や歯車精度・歯面粗さの改善による歯車の高性能化が推進されて

いる。

このような状況の中、本稿では金属製歯車の高負荷荷能化および高精度化の観点から摩擦・摩耗および潤滑について概説した。

(講演発表)

題目 歯車の高性能化に関する研究

～すべり転がり疲労試験の評価～

著者名 ○石橋英之・小西大二郎

学会名等 平成17年度津山地区計測制御研究会講演会 pp. 23-24

発表年月日 2006年2月11日

概要

本研究では歯車ピッチング強さを向上させるための一方策として、歯車仕上げ加工にバニシ加工を適用することを考え、バニシ仕上げ加工を歯車歯面仕上がり加工法として適用することの有効性を二円筒すべりころがり疲労試験による転動疲労寿命評価から示そうとしている。

このため本報告では、二円筒すべりころがり疲労試験の試験条件及び統計的疲労試験方法を適用した疲労寿命評価方法の検討をした。

題目 平行しゅう動面の表面形状及び潤滑油粘度と潤滑摩擦特性の関係についての研究

著者名 ○政岡正紀・小西大二郎

学会名等 日本機械学会、中国四国学生会、第36回学生員卒業研究発表講演会、講演前刷集、p. 237

発表年月日 2006年3月7日

概要

現在、工作物の高精度加工への要求が高まっている。また同時に生産コスト削減のため高能率生産も求められる。このような要求の達成方法として案内要素、特に案内面の高性能化（低摩擦、高位置決め精度化）に着目した。現在、案内面として転がり案内面が多用されるが、剛性、減衰能が低く重切削が要求される工作機械には適さない。

本報告では、重切削で高加工精度の要求される工作機械すべり案内面の低摩擦化を目的に、しゅう動面をきさげ加工面またはポリシング加工面とした場合のしゅう動摩擦係数の大きさを調べるとともに潤滑油粘度、油溝の形状・配置を変化させた場合のしゅう動摩擦係数に及ぼす影響についても検討した。

【佐藤紳二】

(著書)

題目 遠心ポンプの気液二相流時における揚水性能とその改善に関する基礎研究

著者名 佐藤紳二

学会誌名等 博士(工学)論文

発表年月 2006年1月

概要

本論文は、遠心ポンプの気液二相流運転への要求に対して、遠心羽根車内気泡流モデルの一次元計算法を提案し、その計算と実験の両面から、遠心ポンプ構成要素が気液二相流性能に及ぼす影響を考察して揚水性能改善策を提示するとともに、気液二相流適応型遠心ポンプ開発への設計指針に関する有用な知見を提供したものである。

(論文)

題目 創成科目「設計製作課題演習」によるデザイン能力の育成と教育的効果について

著者名 佐藤紳二、高本洋佑、柴田政勝、藤原敏、吉富秀樹、福田昌准、小西大二郎、井上浩行、塩田祐久、橋本淳、加藤学

学会誌名等 論文集「高専教育」第29号 pp. 273-278

発表年月 2006年3月

概要

設計製作課題演習の授業実施状況を紹介するとともに、学生による授業評価アンケートの結果から、本科目によるデザイン能力の育成効果およびその他の教育的効果について検討した。

(講演発表)

題目 翼出口角可変遠心羽根車の液单相および気液二相流性能について

講演者名 ○田淵知之、佐藤紳二、古川明徳

学会名等 第54回ターボ機械協会(仙台)講演会講演予稿集 pp. 118-123

発表年月日 2005年10月7日

概要

遠心羽根車の翼角制御による気液二相流性能改善について、羽根車の円板摩擦損失の影響を踏まえて検討した。

題目 創成科目「設計製作課題演習」によるデザイン能力の育成と教育的効果について

講演者名 ○佐藤紳二

学会名等 岡山県工学教育協議会 特色GP 教育シンポジウム

発表年月日 2006年3月3日

概要

設計製作課題演習の授業実施状況を紹介するとともに、学生による授業評価アンケートの結果から、本科目によるデザイン能力の育成効果およびその他の教育的効果について検討した。

【井上浩行】

(講演発表)

題目 視線を用いた生活支援ロボットの位置決め作業

講演者名 ○柚本夏輝, 井上浩行, 藪木 登

学会名等 第14回計測自動制御学会 中国支部学講演会論文集 pp. 26-27

発表年月日 2005年11月19日

概要

本研究では、高齢者や障害者の自立を支援するため、視線により生活支援ロボットを操作することを試みた。視線インタフェースの多くは、予め配置されているコマンドやメニューを正確に注視しなければならないため、使用者の負担は大きい。そこで、視線方向からロボットの目標速度を生成する視線インタフェースを提案した。汎用的なロボット動作である位置決め作業を対象とし、ロボットの動作を移動動作と位置決め動作に大別し、各動作を実行するのに適した速度を視線方向に基づいて生成する。また、2自由度の直交型ロボットを用いて位置決め作業実験を行い、提案する視線インタフェースの有効性を確認した。

題目 視線を利用した生活支援インタフェースに関する研究

講演者名 ○井上浩行, 則次俊郎

学会名等 ロボティクス・メカトロニクス'06講演論文集 1P1-A16

発表年月日 2006年5月27日

概要

本研究では、高齢者や障害者の生活の質を向上させるため、視線により家電製品を操作することを試みた。提案する生活支援インタフェースは、使用者が操作対象物である家電製品を注視するとシステムが操作対象物を特定し、対応する操作内容が選択され使用者に表示される。使用者は、視線を上下左右に移動させて操作内容の選択ならびに調節を行うことで家電製品を操作する。また、テレビを模擬したタッチパネルを用いて、被験者が視線により音量を調節する実験を行い、提案する生活支援インタフェースの有効性を確認した。

【塩田祐久】

(講演発表)

題目 安定化ジルコニアにおける一軸引張り圧縮荷重下での内部摩擦測定

講演者名 ○宇田尚人(津山高専専攻科), 塩田祐久(津山高専)

学会名等 計測自動制御学会中国支部津山地区計測制御研究会

発表年月日 2006年2月11日

概要

安定化ジルコニアのイオン伝導のメカニズムは未だ解明されていない。この材料のイオン伝導特性と内部摩擦との間に強い相関があることが明らかにされており、内部摩擦の特性解明がイオン伝導機構の解明への糸口となる。内部摩擦のメカニズムを解明するためには一軸応力下で周波数依存性を測定することが重要となるが、このような測定方法そのものが確立されていないのが現状である。そこで本研究ではイットリア安定化ジルコニア多結晶を用いて、内部摩擦の測定を行う手法を確立した。また、イットリア濃度による内部摩擦の変化を測定するとともに、内部摩擦の活性化エネルギーを調べることにより、内部摩擦のメカニズムを考察した。

題目 安定化ジルコニア単結晶の内部摩擦

講演者 ○塩田祐久(津山高専), 近藤淳哉(滋賀県立大工)

学会名 日本金属学会 春期大会 p. 255

発表年月日 2006年3月21日

概要

10 mol%イットリアを添加した安定化ジルコニア単結晶の内部摩擦について、非線形ピークフィットを行った。内部摩擦はねじり振り子による自由減衰法を使って温度依存性を測定した。この材料の内部摩擦ピークは一般的な材料の力学的あるいは電氣的緩和ピークに比べて非常にブロードであった。そこで、緩和時間の連続分布を考慮に入れた関数を使ったフィッティングを試みた。数種類の緩和関数を用いて解析を行い、得られたパラメータの物理的な意味を調べることで、この材料に適した緩和関数と内部摩擦のメカニズムについて考察した。

【橋本 淳】

(講演発表)

題目 水素・メタン二成分燃料混合気の燃焼機構

講演者名 ○橋本淳, 城戸秀樹

学会名等 日本機械学会 2005年度年次大会

発表年月日 2005年9月21日

概要

本研究では層流燃焼速度を揃え、燃料混合割合を変化させた水素・メタンの二成分燃料混合火炎に対して反応動力学計算を行い、その燃焼機構、また、流体力学的伸張が燃焼速度特性に及ぼす影響について検討した。その結果、水素混合割合の増加に伴い、火炎維持に対する低温反応の寄与率が高まること、希薄、過濃の両条件において伸張応答特性は異なること、マークシュタイン数により乱れ場での燃焼速度特性が概ね説明できること、過濃側ではメタンと水素の共存が伸張場で悪影響を及ぼすことを明らかにした。

題目 断熱燃焼温度を揃えた水素・メタン・プロパン予混合火炎の伸張に対する特性

講演者名 ○早川晃弘, 橋本淳

学会名等 計測自動制御学会 中国支部津山地区研究会

発表年月日 2006年2月11日

概要

本研究では、断熱燃焼温度を揃えた水素、メタン、プロパン予混合火炎に対して反応動力学計算を行い、流体力学的伸張に対する燃焼応答特性について検討を行った。その結果、単一燃料成分から構成される予混合気を燃焼させた場合、その伸張応答特性は概ね熱および物質の拡散特性によって整理でき、定性的な予測が可能であることを明らかにした。一方、一部の混合気条件においては、臨界ルイス数が重要な役割を担うことを明らかにした。

題目 津山高専学生会による交通安全意識改善に対する取り組み

講演者名 ○藤原遼児, 杉本和謙, 橋本淳, 鳥家秀昭, 岡田正

学会名等 計測自動制御学会 中国支部津山地区研究会

発表年月日 2006年2月11日

概要

津山高専では現在、学生の免許取得に対して規制を設けていない。また、比較的自由に二輪および四輪車両を通学に利用することができる。この環境の下で近年、一部の学生による迷惑駐車や暴走運転等の迷惑行為が目立つようになってきた。これらは、学生自身が今を見直し、考え、基本的な意識を改善すべき問題である。そこで、津山高専学生会交通安全委員会では、学生の交通安全・交通マナーに対す

る意識を継続的に向上してゆく取り組みを検討した。その結果、津山高専出身教職員による交通安全講話会の企画を行い、平成17年度に実施した。過去、交通事故が多発した時期から現在に至る経緯、また命の尊さ等に関する講話は大変有益であり、参加学生からも一定の評価を得ることができた。

題目 水素・メタン二成分燃料予混合火炎の伸張応答特性

講演者名 ○橋本淳, 城戸秀樹

学会名等 日本機械学会 中国四国支部第44期総会・講演会

発表年月日 2006年3月8日

概要

本研究では層流燃焼速度を揃え、燃料混合割合を変化させた水素・メタン二成分燃料予混合火炎に対して反応動力学計算を行い、その燃焼機構、また、流体力学的伸張が燃焼速度特性に及ぼす影響について検討した。その結果、水素混合割合の増加に伴い、火炎維持に対する低温領域反応群の寄与率が高まること、希薄、過濃の両条件において伸張応答特性は異なること、マークシュタイン数により乱れ場での燃焼速度特性が概ね説明できること、さらにはルイス数に加えて、ゼルドヴィッチ数が重要である可能性を示した。

題目 学生会による交通安全意識向上に関する主体的取り組み

講演者名 ○橋本淳, 岡田正, 鳥家秀昭

学会名等 平成18年度 独立行政法人国立高等専門学校機構主催 教育教員研究集会

発表年月日 2006年8月24日

概要

津山高専では平成13年度より、学生の免許取得に関する規制を全廃している。技術者としての人間性育成をふまえたものではあるが、近年、校内および周辺地域における迷惑行為の増加がみられる。このような背景の下、教員による個別指導のみではなく、基本的な意識向上の必要性を学生会と共に議論した。その結果、学生会は継続的・自主的改善活動の一つとして交通安全講話会の企画を行い、平成17年度に実施した。本校の規則の変遷、また高専生が関わった交通事故等を話題とした講話会は学生にも好評であり、交通安全意識の向上に対する一つの役割を果たせるものとなった。さらには、困難な問題を分析し、解決方法を導き出して実践することができる、そのような学生を育成する過程において、学生会活動は教科的教育を補完するものとして重要な役割を

担うことが確認できた。

【加藤 学】

(論文)

題目 CTAB/NaSal系界面活性剤水溶液の流動誘起構造および流動不安定性におよぼす平面伸張ひずみ量の影響

著者名 加藤 学, 高橋 勉(長岡技大), 白樫正高(長岡技大)

学会誌名等 日本機械学会論文集(B編), 72巻720号 pp. 69-76

発行年月 2006年8月

概要

4-ロールミル流路内の平面伸張流動場において界面活性剤水溶液の流動誘起構造変化と不安定流動について調査を行った。ステップ状にロールを回転させるとあるロール角速度以上では顕著な白濁が現れる。その後、弾性はねもどりが発生し白濁は消失する。平面伸張ひずみの時間的変化を表す実験式を求め複屈折および透過光強度と平面伸張ひずみの関係を明らかにした。その結果、白濁の強さはひずみの蓄積と緩和時間に依存し弾性はねもどり現象はしきい値となる弾性エネルギーを超えたときに発生すること、およびミセルの構造変化の発生は平面伸張速度と流動開始からの伸張ひずみ量に依存するがいずれの値もせん断流動場の場合に比べて低いことを示した。

(講演発表)

題目 二次元対向流れにおける流動複屈折測定を用いた定常平面伸張粘度測定

講演者名 ○加藤 学, 延原伸治, 高橋 勉(長岡技大)

学会名等 日本機械学会 2005年度年次大会講演論文集, Vol. 2 pp. 47-48

発表年月日 2005年9月21日

概要

多様な流体の伸張粘度を測定可能にするために、二次元対向流れを用いる手法について検討を行った。この流路によって平面伸張流動場を作り出し、伸張応力を光学的に測定する装置を作成した。まず、流れの可視化実験より、よどみ点に発生する伸張速度と流入流量の関係を明らかにした。この結果より、流量一定のもとでの複屈折測定から、複屈折と伸張速度の関係を求め、さらに、光弾性則を用いて伸張粘度を算出した。測定結果を、4-ロールミル流路および平行平板スクイーズ流路を用いた場合と比較し、

測定結果がほぼ一致することを示した。

題目 二次元対向流れによる定常・非定常平面伸張流動場の形成

講演者名 ○橋本隆昌(阪大院), 加藤 学, 森 教安(阪大)

学会名等 日本機械学会 2005年度年次大会講演論文集, Vol. 2 pp. 51-52

発表年月日 2005年9月22日

概要

CTAB/NaSal系の水溶液を用いてスリット流路内の流動特性を調べ、複屈折や小角光散乱測定を行い、流動特性とミセル構造を比較検討した。流動曲線はニュートン領域、shear-thinning領域、shear-thickening領域、'shear rate jump'などを含んでおり、非常に複雑な形状を示した。複屈折はせん断応力の増加と共に変化し、一定値へと収束した。また、ミセルのネットワーク構造の変化と考えられる白濁の発生も見られた。さらに、小角光散乱測定ではshear-thickening領域において散乱パターンが見られ、流れ方向への配向を示唆するストリークが発生し、周期的な変動も見られた。

題目 二次元対向流れにおける流動複屈折測定を用いた定常平面伸張粘度測定

講演者名 ○延原伸治, 加藤 学, 高橋 勉(長岡技大)

学会名等 第53回レオロジー討論会講演要旨集 pp. 254-255

発表年月日 2005年11月29日

概要

低粘度粘弾性流体の非定常平面伸張流動特性を測定するために二次元対向流路を用いた方法について検討した。流路に流入する流量をステップ的に立ち上げた場合と正弦的に変化させた場合について、よどみ点における平面伸張速度と流動複屈折の時間的な変化の様子を実験的に明らかにし、本手法の有効性について検証した。

題目 ものづくりのおもしろさを伝える「小学生向けウィンドカーの製作」

講演者名 ○加藤 学, 佐藤紳二, 吉富秀樹

学会名等 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17年度学術講演会講演論文集 pp. 15-16

発表年月日 2006年2月11日

概要

本報では、2004年度に新たに作成した教材「小学生向けウィンドカーの製作」についての説明を行った。さらに、岡山リサーチパーク一般公開「おもしろ体験でえー」（2004年7月23、24日、岡山リサーチパーク）、および2004夢と技術の産業展（2004年11月13、14日、津山市総合体育館）での実施状況を紹介し、本教材がものづくりの面白さ、試行錯誤する楽しさを伝える効果について検討した。

題目 矩形断面ノズル寸法が二次元対向流れにおける平面伸張流動場に及ぼす影響

講演者名 ○吉竹敦章，延原伸治，加藤 学，高橋 勉（長岡技大）

学会名等 日本機械学会 中国四国学生会第36回学生員卒業研究発表講演会講演前刷集 p. 102

発表年月日 2006年3月7日

概要

低粘度粘弾性流体の平面伸張粘度測定用伸張レオメーターに利用する目的で、二次元対向流れによって発生する平面伸張流動場について、平面伸張速度と流量の関係を実験的に明らかにした。その結果、平面伸張速度と流量は線形的な関係があることを示した。本研究では、この手法において二次元対向流れを発生させるために用いる矩形断面ノズルの最適な寸法を検討するために、いくつかのノズル寸法およびノズル間隔においてトレーサー法による流れ場の可視化を行い、トレーサー粒子の移動から平面伸張速度を測定した。この結果より、境界条件が平面伸張速度と流量の関係および流れ場の二次元性におよぼす影響について明らかにした。

題目 二次元対向ノズルに作用する反力を用いた平面伸張応力評価手法の検討

講演者名 ○田淵泰弘，加藤 学，高橋 勉（長岡技大）

学会名等 日本機械学会 中国四国学生会第36回学生員卒業研究発表講演会講演前刷集 p. 113

発表年月日 2006年3月7日

概要

低粘度粘弾性流体の平面伸張粘度を機械的測定から評価するために、二次元対向流路を用いた手法について検討を行った。二対の対向に配置された矩形断面ノズルから流出する噴流を衝突させ、ノズル中間平面に平面伸張流動場を発生させる。その際にノズルに作用する反力を測定する装置を作製し、反力から平面伸張応力の評価を行った。流れ場の可視化から平面伸張速度を求め、ノズル反力から求めた平面伸張応力との関係から平面伸張粘度を算出した。

求めた平面伸張粘度をせん断粘度と比較し、本手法の妥当性について検討を行った。

題目 二次元対向流れを用いた粘弾性流体の動的平面伸張流動特性の評価

講演者名 ○延原伸治，加藤 学，高橋 勉（長岡技大）

学会名等 日本機械学会 中国四国支部第44期総会・講演会講演論文集No. 065-1 pp. 151-152

発表年月日 2006年3月8日

概要

著者らは、多様な流体に対しても適用可能な伸張レオメーターを開発することを目的に、二次元対向流れを用いた測定手法の提案を行った。本研究では、この装置をMaxwell流体に対して適用し、二次元対向流れの流量を正弦的に変化させた場合に生じる動的平面伸張流動場において、トレーサー法による流れの可視化および、よどみ点における流動複屈折測定を行った。これらの結果から、平面伸張速度および平面伸張応力の時間的変化を求め、両者の比較から試料の動的平面伸張流動場における流動特性の評価を行った。

【北條智彦】

（講演発表）

題目 Delayed Fracture Properties of Aluminum Bearing Ultra High Strength Low Alloy TRIP-aided Steels

講演者名 ○Tomohiko HOJO, Koh-ichi SUGIMOTO, Youichi MUKAI and Shushi IKEDA

雑誌名等 Proceedings of The 3rd International Conference on Advanced Structural Steels pp. 916-921

発表年月日 2006年8月22-24日

概要

The hydrogen absorption behavior and delayed fracture properties of aluminum bearing ultra high-strength low alloy TRIP-aided steels with bainitic ferrite matrix, "TBF steel", were investigated. When aluminum of 0.2-1.0 mass% was added, delayed fracture strength of the TBF steels was significantly increased. This was caused by the existence of refined and stabilized interlath retained austenite films which trapped most of charged hydrogen, as well as lath boundary and on highly distributed dislocations in the matrix. Furthermore, it was expected that these retained austenite films play a role of lowering the local stress concentration by plastic relaxation due to the strain induced transformation of retained austenite, not the stress-induced transformation on loading.

電気電子工学科

【伊藤國雄】

(著書)

題目 これからスタート！電気磁気学 要点と演習

著者名 伊藤國雄, 植月唯夫

発行所名等 電気書院

発行年月日 2006年4月12日 pp. 97-191

概要

難解な電気磁気学を, 高等学校の一般の数学や物理の知識があれば十分理解できることを目的として, 電気磁気学のテキストを作成した. 基本的なポイントを「要点」でまとめ, 「演習問題」で力がつくように工夫した. 各演習問題には詳細な解答をつけた. 電気学の章は植月が, 磁気学の章は伊藤が担当した.

(論文)

題目 Case study on combination of fluorescent materials for white LED to obtain high color rendering indexes

著者名 Shunsuke Nayama and Kunio Itoh

学会誌名等 Journal of Light & Visual Environment
Vol. 30, No. 1 pp. 39-42

発行年月日 2006年4月1日

概要

We realized the white LED whose average Color Rendering Index is as high as 94.2 by applying the commercial Red, Yellow, Green and Blue phosphors to near ultraviolet-LED. So far as we know, this value is the highest ever attained in white LED around the color temperature of 5500K. In order to realize the good Ra(average CRI), we made a CRI simulator and simulated the spectrum distribution of white LED with good Ra. The spectrum distribution obtained by this simulator was proved to be very useful as a landmark for realizing a prototype white LED with good Ra.

(講演発表)

題目 I-III-VI族化合物を用いた青色発光素子の検討

講演者名 ○妹尾 匠, 和田規正, 伊藤國雄

学会名等 電気情報関連学会中国支部第 56 回連合
大会講演番号 12-11

発表年月日 2005年10月2日

概要

従来青色 LED を作製するには高価で放熱性の悪いサファイアが基板として使われていた. 本研究では基板として安価な Si や GaAs などの半導体を用いて青色 LED を作ることを提案しその構造を設計した. 結晶成長の第 1 段階として Si 基板上に青色発光材料のもとになる CuGaS₂ を熱 CVD 法及びスパッター法で成長する条件を探した. その結果多結晶ではあるが基板上の成長が確認できた.

題目 高演色性を有する白色 LED に関する研究

講演者名 ○名山俊輔, 光吉三郎, 伊藤國雄

学会名等 電気情報関連学会中国支部第 56 回連合
大会講演番号 12-12

発表年月日 2005年10月2日

概要

現在市販の白色 LED は青色 LED に黄色の蛍光体を塗布して作製されており, 演色性は 70 程度であり良くない. 白色 LED を照明として用いるには演色性の改善は必須である. 我々は市販の紫外 LED と R/G/B/Y の 4 色の蛍光体を用いて演色性の高い白色 LED を作製することを試みた. 先ず蛍光体の組み合わせによりどの程度の演色性が可能かを予測できるシミュレーターを開発し, それを用いて演色性の予測を行い LED を試作した. その結果色温度が 5500K 付近では最高の演色評価指数である 94.2 を実現した. (平成 17 年度電子情報通信学会中国支部長賞受賞)

題目 I-III-VI族化合物半導体を用いた青色発光素子に関する研究

講演者名 ○妹尾 匠, 和田規正, 伊藤國雄

学会名等 The 7th IEEE Hiroshima Student
Symposium 講演番号 A-19

発表年月日 2005年11月26日

概要

現在実用化されている GaN 系青色 LED に変わる材料として Si もしくは GaAs を基板として I-III-VI族化合物半導体である CuGaAlS₂ を発光層に用いることにより青色 LED を作製することを目指す. まず Si 基板上に CuGaS₂ を結晶成長した. その成長膜の特性を詳しく述べた. (The 7th IEEE Hiroshima Section HISS 優秀研究賞, 優秀プレゼンテーション賞受賞)

題目 高演色性白色 LED に関する研究

講演者名 ○名山俊輔, 光吉三郎, 伊藤國雄

学会名等 The 7th IEEE Hiroshima Student
Symposium 講演番号 A-18

発表年月日 2005年11月26日

概要

紫外 LED と R/G/B/Y 蛍光体との組み合わせで高演色白色 LED を研究している。電気情報関連学会中国支部第 56 回連合大会発表では色温度が 5500K 付近で最高の演色評価指数である 94.2 を実現したことを発表した。今回はよりスペクトル幅が広い青色および黄色蛍光体を用いて白色 LED を作製した。開発したシミュレーターを用いて演色評価指数を予測したところ色温度 5500K で 96.1 が可能であるとの結果を得た。そこで実際にこの蛍光体を用いて白色 LED を作製したところ演色評価指数が 95.2 のものを実現することが出来た。

題目 Study on Combination of Fluorescent Materials for White LED to obtain High Color Rendering Indexes

講演者名 ○Saburo Mitsuyoshi and Kunio Itoh
学会名等 2005 Kosen Convention I.E.E. Japan
Record pp.37-38

発表年月日 2006 年 3 月 10 日

概要

The purpose of this study is to advance color rendering indexes of white LED by using UV-LED and commercial Red, Green, Blue and Yellow phosphors. The target value is $R_a=95$ for the color temperatures 5000~6500K, which are based on AAA CRI evaluation of fluorescent lamp. First, the CRI was calculated by using the simulator which we developed. The simulation result showed that $R_a=96.1$ was possible by using the commercially available phosphors. As a result, we got the highest value of $R_a=95.2$ with the chromatic value of $(x,y)=(0.31,0.34)(6250K)$. The spectra shape of experimental result and simulation result were almost the same.

(特許)

題目 半導体基板上にモノリシック集積化された光電子集積回路

出願者名 ○伊藤國雄, 岡本晃, 松崎陽介
公開年月日 2005 年 8 月 25 日
公開番号 特開 2005-228944

題目 半導体基板上にモノリシック集積化された三波長半導体レーザアレイ装置

出願者名 ○伊藤國雄, 妹尾匠, 名山俊輔
公開年月日 2005 年 8 月 25 日
公開番号 特開 2005-228945

【植月唯夫】

(著書)

題目 高電圧工学 (電気・電子系教科書シリーズ)

著者名 植月唯夫 松原孝史 箕田充志

発行所名等 コロナ社 pp. 8-70, pp. 131-144

発行年月日 2006 年 2 月 28 日

概要

(高電圧工学全体) 気体・液体・固体の破壊過程, 高電圧の発生と測定

題目 電気磁気学 要点と演習

著者名 伊藤國雄 植月唯夫

発行所名等 電気書院 pp. 1-95

発行年月日 2006 年 4 月 12 日

概要

電気磁気学の全体の要点を整理し, それを理解しやすいように演習問題を工夫したものである。

(特許)

題目 放電灯点灯装置

発明者 大西雅人, 神田隆司, 鳴尾誠浩, 植月唯夫

登録番号 特許第 3718911

登録日 2005. 9. 16

概要

放電灯点灯装置の限流要素を小さくしてランプを安定に点灯し, 広範囲の出力変化対応や輻射ノイズの改善が図れる放電灯点灯装置を提供する。

(講演発表)

題目 Study on Characteristics of Electrode-less Lamp

講演者名 ○Satoshi Nimata Tadao Uetsuki

学会名等 Light Source Workshop Ehime University, Wonkwang University

発表年月日 13th September 2005

概要

It is considered important to grasp the relationship of The characteristics of the electrode-less lamp's plasma, namely the induced coupling plasma, to the operating frequency. This paper reports the relationship of the plasma characteristics of two electrode-less lamp to the operating frequency as the followings. (1) Ignition at 150 kHz is harder than at 13.56 Mhz. (2) Electron temperature (Te) at 150 kHz is lower than at 13.56 MHz. (3) Electron density distribution (Ne) of the 150 kHz plasma is different from that of 13.56 MHz. (4) Ne measured at the one point of the electrode-less lamp

operated seems not vary if the operating frequency changes. (5) Efficacy (illumination per wattage) at 150 kHz seems lower than at 13.56 MHz

題目 The Investigation of the CCFL's cathode fall voltage characteristics

講演者名 ○Yuji Takeda, Ryota Kitamoto, Tadao Uetsuki, Osamu Fukumasa

学会名等 Light Source Workshop Ehime University, Wonkwang University

発表年月日 13th September 2005

概要

The cathode fall voltage (V_c) of a Cold Cathode Fluorescent Lamp(CCFL) was measured by our invented measurement method. Then the relevance of the V_c measurement method was investigated by observing the negative glow appearance. As a result, it is recognized that the area of negative glow covers the electrode surface is varied with the electrode materials even if same lamp current, and that the variation of the negative glow area on the electrode affects the fluctuation of the V_c when the lamp current is changed.

題目 磁気結合型無電極に関する研究

講演者名 ○植月唯夫, 二又里志

学会名等 第20回光源物性とその応用研究会,
(照明学会, 応用物理学会共催)

発表年月日 2005年9月12日

概要

Almost fifteen years have been passed since the electrode-less lamp was put on the market. Some kinds of the electrode-less lamps have been developed from some companies. The trends in the development are to get the higher lumen output and to operate this lamp at lower frequency. In this situation it is considered very important to grasp the relationship of the characteristics of the electrode-less lamp's plasma to the operating frequency. This paper reports on the difference of the plasma characteristics of two electrode-less lamps, which are operated at 13.56MHz and at 150kHz.

題目 高出力白色LEDの特性比較に関する研究

講演者名 ○金光圭介, 植月唯夫

学会名等 電気・情報関連学会中国支部第56回連合大会

発表年月日 2005年10月22日

概要

近年照明分野への白色LEDの利用を目的として, その高出力化が急速に進んでいる. ただLEDを照明用光源として使用する場合, 色バラツキや寿命に関する要求性能が従来の表示用に使用されていた場合と大きく異なる. LEDの光出力は使用環境によって大きく変化する. 特に温度の影響を受けやすく, 高温環境下で使用されると光出力の時間的な減衰が著しい(光束維持率が非常に悪い). これはLED自身の特性にも起因するが, それよりLEDに使用されている樹脂の特性に起因する. 本研究の最終目的は, 白色LED光源の寿命が使用環境から受ける影響について把握することである. 本発表は, その最初のステップとして, 各社で開発された高出力白色LED光源の初期特性を把握, 比較した結果を発表する.

題目 A STUDY ON THE RELATIONSHIP BETWEEN ELECTRODE MATERIALS AND CHARACTERISTICS OF CCFL'S NEGATIVE GLOW PLASMA

講演者名 ○Tadao Uetsuki and Ryota Kitamoto

Tsuyama Nat. Coll. of Tech., 624-1

Tsuyama, Okayama Jpn

Yuji Takeda

Harison Toshiba Lighting Corp., 5-2-1, Asahimachi

Imabari,

Ehime, Jpn

Osamu Fukumasa

Yamaguchi Univ., 2-16-1 Tokiwadai, Ube, Yamaguchi,

Jpn

学会名等 ICOPS 2006, Traverscity, USA

発表年月日 4th-8th June, 2006

概要

CCFLs (Cold Cathode Fluorescent Lamps) generally used for the backlight of the LC-TV and the note-PC are always expected the improvement of the electrode to make more lamp current flow for getting higher luminance. To improve the electrode to get the higher luminance, it is very important to grasp the electron emission ability of the cathode. Authors have considered that the electron emission ability determined by the nature of the material could be evaluated by the cathode fall voltage (CFV), and that CFV has the intimate relationship to the performance of negative glow's (NG's) plasma. 2 kinds of electrode materials, namely Ni and Mo, were used for this research. Though the common electrode of CCFL is hollow cathode, the electrode used here were in the shape of the plate, which had a length of 5.2mm, a width of 1.7mm and a thickness of 0.1mm. This is

because it is necessary to observe the NG's plasma for grasping the basic relationship between CFV and the performance of NG's plasma. The lamp diameter was 4mm and had Ne (8kPa) and Hg vapor. First, the relationship between a state of NG's plasma and discharge current was observed for each kind of electrode materials. The area of NG's plasma increased to whole area of the electrode as the discharge current increased. However the way to increase depended on the electrode materials. Secondly, the relationship of the CFV to the discharge current was measured. The method to measure the CFV was developed by improving the method for measuring the CFV of the fluorescent lamp¹. The CFV of Ni was higher than that of Mo. The ways of the change of the CFVs were similar in the following respect. That is to say, CFVs were constant until some discharge current, then increased as the discharge current increased. While, the increasing rates of CFVs were different from each other. Authors consider that the difference of gamma-coefficient causes the difference of CFV's increasing rate.

1. T. Uetsuki and Yuya Terao, "Study on the relationship of the emission performance of the fluorescent lamp to the lighting time", 5th Lux Pacifica, July 24-26, 2005, pp.29-32.

題目 蛍光灯の電極スポットの時間変化に関する研究

講演者名 ○三宅秀明, 植月唯夫

学会名等 照明学会全国大会

発表年月日 2006年8月24日

概要

蛍光灯でのインバータ点灯時の調光状態における電極の状況についてはあまり把握できていない。それを把握することができれば、蛍光灯点灯システムの設計が容易になる。そこで今回は蛍光灯の電気回路化について研究を行った。特に、寿命と密接に関係する、フィラメント部分の回路化に重点をおいて研究を行ったので報告する。本発表は基本的な特性を把握するため100%点灯状態でおこなった結果を述べる。等価回路として放電を抵抗と考え、フィラメントコイルを抵抗とインダクタンスの直列接続とみなした。そして電極スポットに放電電流が流れ込み、フィラメントでそれが分流するとした。そしてそのスポットが点灯時間と共に移動するとみなしてシミュレーションすると測定結果に近い値が出た。したがって、高周波点灯における蛍光ランプの等価回路化は、基本的に抵抗とコイルで近似できると考えられる。今後は各種点灯方式においてこの近時が

成立することを確認していく予定である。

題目 蛍光灯の電極スポットの時間変化に関する研究

講演者名 ○上田雅弘, 植月唯夫

学会名等 照明学会全国大会

発表年月日 2006年8月24日

概要

駆動周波数によって磁気結合型プラズマの特性がどのように変化するかは、ランプ効率を考える上で重要であるが、その詳細報告はなされていない。本研究の目的は、磁気結合型プラズマの特性を計測するシステムを構築し、プラズマの特性が駆動周波数によってどのように変化するかを把握することである。本発表では、実際に構築した計測システムでプラズマの測定を行い、電子温度を求めたので、その結果について報告する。13.56MHzプラズマの電子温度は時間変化に対して、追従して変化できないためほぼ一定となる。150kHzの場合、電子温度は時間変化に対して追従できる。13.56MHzのプラズマの電子温度と150kHzのプラズマの時間的に平均した電子温度を測定した。その結果、駆動周波数が高いほうが電子温度が高くなることが確認された。150kHz点灯時の電子温度の時間変化を測定すると、ばらつきがあるもののほぼ一定だと思われる結果を得た。

【八木秀幸】

(講演発表)

題目 レゴブロックを用いたロボット教育の実施報告 — 創造演習と公開講座を通じて —

講演者名 ○八木 秀幸, 春名 良美, 徳方 孝行, 小坂 睦雄, 下西 二郎

学会名等 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論文集

発表年月 2006年2月

概要

本報告では、これらLEGOロボット教育用キットを使って本年度に行われた演習科目「電気電子創造演習Ⅰ」での演習内容や小中学生向け公開講座での実施状況を紹介し、アンケート結果からその有用性について確認し、今後の演習・講座の方針について考察した。

(その他)

題目 小中学生向け公開講座"レゴブロックを使ったロボット製作"の紹介とその効果

講演者名 ○春名 良美, 八木 秀幸
学会名等 平成17年度 生涯学習推進専門講座Cコース (岡山県生涯学習センター)
発表年月 2005年11月
概要

本報告では、毎年夏休みに小中学生向けの公開講座として行っているレゴブロックを使ったロボット製作について受講風景について説明し、アンケート結果を示し参加者全員がこの講座に満足した結果について紹介した。

電子制御工学科

【鳥家秀昭】

(講演発表)

題目 小型風力発電機の故障予知診断手法の提案 (I)

講演者名 ○湯地敏史, 藤富信之, 房野俊夫, 鳥家秀昭, 濱田次男

学会名等 平成17年度電気・情報関連学会中国支部連合大会講演集 p. 577

発表年月 2005年10月

概要

一般家庭用の発電システムの一部として5枚翼、発電出力50W型のプロペラ式小形風車の開発を行っている。小形風車の導入実績は、最近のクリーンエネルギー事業のいろいろな取り組みにより年々増加傾向にある。これに伴って落雷や飛来物による風車ブレード部の損傷等、風車の故障報告が増加しており、故障の早期診断システムの開発が望まれている。これまでの研究で、AEセンサによる故障予知・診断手法を見出しているが、本報告ではAEセンサより簡易で安価なショックセンサを用いた故障予知・診断法について検討し可能性を得たのでその結果を述べる。

題目 Failure Forecast Diagnosis of Wind Turbine using Shock Sensor.

講演者名 ○T. Yuji, T. Hamada, T. Bouno and H.Toya

学会名等 2005 Korea-Japan Joint Symposium on Electrical Discharge and High Voltage Engineering (Hanyang University, Ansan Korea) pp.284-287.

発表年月 2005年11月

概要

Development of a fault diagnosis system for wind turbines is necessary, the system of wind-generated power has contributed to become outdated. There have been many cases of damages to the blades of wind turbines and to the internal areas of the generator due to flying objects and lightning. Using a small wind turbine, we researched electric or mechanical signals that go off when the blade or the inside of the generator becomes damaged. We searched for indicator that would trigger the fault diagnosis to start with a shock sensor, from which there was a prominent change in the signal output on damaging a 40mm area of the blade. A wave analysis of the output signal was also conducted by Fast Fourier Transform (FFT) analysis and similar results were obtained.

題目 出前授業によるデザイン教育の試み

ー卒業研究におけるGPSを用いた教材開発と授業の実施ー

講演者名 ○鳥家秀昭

学会名等 第4回全国高専テクノフォーラム, p. 49

発表年月日 2006年7月21日

概要

卒業研究はデザイン能力を育成する主要な授業科目であるが、有効なデザイン教育を行うためには研究テーマの選定が重要である。本稿では、地域連携の観点から「出前授業の教材開発と実施」というテーマの卒業研究を行い、これによりデザイン教育を試みた結果について述べた。出前授業の制作・実施という研究テーマは学生が自発的に取り組むことができるので、デザイン教育に適していると考えられる。

題目 卒業研究におけるデザイン教育の試み

ー中学校出前授業の教材開発と授業の実施ー

講演者名 ○鳥家秀昭, 杉本和樹

学会名等 平成18年度国立高等専門学校機構主催教育教員研究集会 pp. 109-112

発表年月日 2006年8月24日

概要

JABEEの要求するデザイン教育を行うためにはPBLの精神を取り入れた授業が必要である。本稿では、「中学校出前授業の教材開発と実施」というテーマの卒業研究により試みたデザイン教育について述べた。デザイン能力の達成度評価は、学生の自己評価と教員による評価の両方から行った。「種々の学問、技術の総合応用能力」や「創造力」に関する評価は

両方とも低いですが、その他の項目については良好で、特に「構想力」、「問題設定能力」、「コミュニケーション能力」が高い評価であった。このような研究テーマは学生が自発的に取り組むことができるので、ごく少人数であるがデザイン能力の育成に適していることが分かった。

(特許)

題目 喫煙抑制装置

出願者名 鳥家秀昭

出願年月日 2006年2月20日

出願番号 特願2006-041911

概要

本発明は、屋内のトイレなどの禁煙とされている場所で喫煙をした場合にセンサが喫煙を検知し自動的に喫煙を抑制する手段を有する装置を提供する。課題の解決手段としては禁煙の場所で喫煙する者がいた場合に煙センサで喫煙を検知し、信号処理回路の出力で噴霧器を作動させて喫煙者に霧吹きを行うことにより喫煙を抑制する。

【山本吉範】

(講演発表)

題目 粗協調作業型自立—非自立混合ロボットシステムに関する研究

講演者名 ○脇田直茂, 山本吉範

学会名等 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17年度学術講演論文集
p. 1

発表年月日 2006年2月11日

概要

複雑な作業をロボットに行わせる場合、1台の高機能なロボットで作業を行わせるよりも機能があまり高くないロボットを複数台使用して作業を分担し協力して作業させた方が効率のよい場合がある。s

本研究では2台のアームロボットによるものの受け渡し作業を実現した。さらに、軌道補間を行うことにより移動速度を制御することでアームにかかる負荷を軽減でき、動作を滑らかにすることができた。また、ファジイ制御を用いて最適な把持力制御を試みた。

【奥山圭一】

(論文)

題目 地球大気圏再突入環境におけるCFRPの熱化学

的損耗

著者名 奥山圭一, 加藤純郎, 山田哲哉

学会名等 炭素材料学会誌 pp. 232-237

発行年月日 2005年9月1日

概要

地球大気圏に再突入する宇宙機は、大気の断熱圧縮などによる凄まじい空力加熱環境に曝される。この空力加熱の機内浸入を防ぐため、機体表面は炭素繊維強化プラスチック (CFRP) 製の熱防御材料等で覆われる。このCFRPは、再突入環境における高エンタルピ空気流中の酸素成分などにより酸化し、表面が後退する。実際の再突入環境におけるCFRPの酸化損耗については、現在まで十分な知見が得られていなかった。

本論文では、将来の宇宙機設計の一つの資とするため、CFRPの酸化損耗量の地上加熱試験値と実際の地球大気圏再突入値とを比較し、CFRPの修正酸化依存定数を同定した。

題目 不活性雰囲気で加熱されたCFRPの弾性率と熱膨張率

著者名 奥山圭一

学会名等 炭素材料学会 pp. 238-242

発行年月日 2005年9月1日

概要

炭素繊維強化プラスチック (CFRP) などの材料の一面を非定常的に加熱し、非加熱面を熱的および機械的に拘束した場合、材料内部には大きな温度差と熱応力が発生する。この熱応力が材料の許容応力を超えた場合、材料は破壊される。この熱応力は、材料の弾性率や熱膨張率に強く依存する。CFRPの弾性率や熱膨張率は温度上昇に伴い、材料中樹脂成分の熱分解などにより複雑に変化する。

本論文では、不活性雰囲気で加熱したCFRPの弾性率や熱膨張率の温度依存特性が損傷変数に依存するものとして、それら値の温度依存特性を予測した。その予測値は計測値と一致し、計算により不活性雰囲気におけるCFRPの弾性率と熱膨張率の予測が可能であることを明らかにした。

(講演発表)

題目 Lessons Learned from the Recovered Heatshield of the USERS REV Capsule

講演者名 ○Tetsuya YAMADA, Seiji MATSUDA, Keiichi OKUYAMA, Nobuyuki ISHI

学会名等 2005 International Astronautical Congress

発表年月日 2005年10月15日-21日

概要

次世代型無人宇宙実験システム (USERS) は超電導材料製造実験などを目的とした宇宙機システムで、軌道上宇宙機SEMと再突入機REMから構成される。REMは、我が国がはじめて開発した鈍頭形状の大型再突入機であり、このREM開発にあたり幾つかの技術課題が存在した。

本講演は、REM開発上の技術課題を解決できる設計手法、アブレーション解析手法、高エンタルピ試験手法、強度設計手法 (熱応力制御方法)、軌道上熱制御手法などを示し、また地球大気圏再突入後に明らかになった熱防御材料内の欠陥発生のメカニズムに関する解析的研究の成果についても報告した。

題目 大気圏再突入カプセルの熱防御システム

講演者名 奥山圭一

学会名等 宇宙工学セミナー 於：九州工業大学

発表年月日 2005年10月20日

概要

まず「スペースシャトル」などの有翼タイプ、「アポロ」などの鈍頭形状のカプセルタイプの宇宙往還機が大気圏再突入時に受ける空力加熱環境の違い、特にカプセルタイプの空力加熱環境が厳しいことを説明した。

このカプセルタイプの空力加熱環境は、地上設備で完全に模擬することはできない。このため、カプセルの熱防御設計は解析的手法で実施し保証せざるを得ないが、解析方法の妥当性は地上試験で保証せざるを得ない。このパラドックス問題を如何に解き、如何に設計を進めていくかについて説明すると共に、土星衛星タイタン探査などの将来ミッションを提案した。

(特許)

題目 高速飛翔体フェアリングの熱抵抗抑制構造

発明者 奥山圭一

特許番号 P3776020

登録日 2006年3月3日

概要

大気中を高速で飛翔するロケットの先端部にあるフェアリングの外表面は、空気分子の衝突と断熱圧縮などによる猛烈な空力加熱環境に曝される。この空力加熱のロケット内侵入を防ぐため、フェアリングには耐熱性に優れるCFRPなどが採用される。

このCFRPの内側には、フェアリングの強度メンバーとなるアルミ合金製の金属構体が被装される。高温下におけるCFRPと金属構体の熱膨張率は大きく異なるため、その界面では大きな熱応力が発生することが予想される。

本発明は、界面に金属粉粒などを混ぜた耐熱性流動体や伝熱シートを置くことで、大きな熱応力の発生を防ぐ技術に関するものである。

題目 高速飛翔体フェアリングの熱伝導率制御方法

発明者 奥山圭一

特許番号 P3776021

登録年月日 2006年3月3日

概要

耐熱性強化を目的として、ロケットのフェアリング外表面には、CFRPなどが装着される。このCFRPは高エンタルピ空気流中の酸素成分などにより、材料表面が酸化し、後退する。このとき、フェアリング表面には、CFRPの酸化により発生したガスや、極微小の埃などが浮遊している。フェアリングを開頭し、衛星放出した場合、これらガスや埃が衛星に付着し、衛星に不具合を発生させる恐れがある。

本発明は、この不具合発生を防ぐため、空力加熱が大きいフェアリング先端部のCFRPの熱伝導率を大きくし、先端部の熱を下流域に逃がすことにより、CFRPから発生するガスや埃の量を抑制する技術に関するものである。

題目 高速飛翔体フェアリング、及びフェアリングの製造方法

発明者 奥山圭一

特許番号 P379849

登録年月日 2006年4月28日

概要

地球周回軌道に運ばれた衛星の質量は、ロケット全体の僅か数%である。ロケット質量の殆どは、高価な燃料である。衛星質量の大幅な軽量化は、ロケットの抜本的な軽減化、さらには低コストを実現できる。

本発明は、衛星の軽量化、低コスト化の資とするため、ロケットフェアリングと衛星構造とを一体化させた超小型衛星技術に関するものである。また、本発明では、この超小型衛星の内部温度が搭載機器の許容温度範囲を維持できるよう、太陽光吸収率が適正な値となるように機体表面の色を制御する技術や、加熱を受けることで発生した樹脂成分の熱分解ガス圧による材料破壊を抑制する技術に関するものでもある。

題目 太陽電池パドルの展開構造及び人工衛星

発明者 奥山圭一

特許番号 P3768474

登録年月日 2006年2月10日

概要

多くの大型衛星の電源は、太陽電池を用いて賄われている。この太陽電池はパドルに収められ、普通そのパドルは比較的余裕を持った大きさである。超小型衛星の場合、衛星自身が小さいため、太陽電池パドルも大きなものとする事ができない。

本発明は、太陽電池パドルの小型化や衛星の更なる軽量化の資とするため、太陽電池パドルに種々のセンサを艗装し、電力が最大となるよう太陽電池パドルの向きを制御する技術に関するものである。

題目 推力発生方法及び装置

発明者 奥山圭一

特許番号 P3828072

登録日 2006年7月14日

概要

地球を周回する大型衛星やスペースシャトルなどの宇宙機は、自身の位置や向きを制御するため、NH₃ガスの圧力、水素と酸素による化学反応のエネルギーなどを利用している。これら推進装置はいずれも大掛かりなもので、超小型衛星には到底艗装できるものではない。

本発明は、パラフィンのような比較的低温で昇華する物質を適宜加熱し、発生したガスを貯蔵し、必要量だけ噴射して衛星の位置や姿勢を制御する技術に関するものである。この推進装置は実現できる比推力が小さいものの、従来製品と比較して非常に小型軽量であるため、超小型衛星に適している。

【保田俊行】

(論文)

題目 Autonomous Role Assignment in a Homogeneous Multi-Robot System

著者名 Toshiyuki Yasuda and Kazuhiro Ohkura

学会名等 Journal of Robotics and Mechatronics
pp. 596-604

発行年月 2005年10月

概要

This paper describes an approach for controlling an Autonomous homogeneous multi-robot system. An extremely important topic for this type of system is the design of an on-line autonomous behavior acquisition mechanism that is capable of developing cooperative roles as well as assigning them to a robot appropriately in a noisy embedded environment. Our approach applies reinforcement learning that adopts the Bayesian

discrimination method for segmenting continuous state and action spaces simultaneously. In addition, a neural network is provided for predicting the average of the other robots' postures at the next time step in order to stabilize the learning environment. The proposed method is validated through computer simulations as well as our hand-made multi-robot system.

題目 A homogeneous mobile robot team that is fault-tolerant

著者名 Toshiyuki Yasuda, Kazuhiro Ohkura, and Kanji Ueda

学会誌名等 Advanced Engineering Informatics
pp. 301-311

発行年月 2006年7月

概要

This paper introduces a design methodology of a fault-tolerant autonomous multi-robot system (MRS). An important fundamental topic for this type of system is the design of an on-line autonomous behavior acquisition mechanism that is capable of developing cooperative roles as well as assigning them to a robot appropriately in an embedded environment. Our approach is to apply reinforcement learning that adopts the Bayesian discrimination method for segmenting continuous state and action space simultaneously. In addition, a neural network is provided for predicting the average of the other robots' postures at the next time step in order to stabilize the learning environment. Computer simulations are conducted to illustrate the fault-tolerance of our MRS against a system change that occurs after the MRS achieves stable behavior.

題目 実例に基づく強化学習法の頑健性向上に関する一考察：マルチロボットシステムによる検証

著者名 保田俊行，大倉和博

学会誌名等 計測自動制御学会論文集
pp. 1150-1157

発行年月 2006年10月

概要

連続な状態・行動空間を自律的に逐次分割する強化学習手法・BRLはマルチロボットシステムに対する有効性が示されているものの、安定な行動獲得後に実験を継続するほど過学習の影響が大きくなり、環境変化に対してシステムの挙動が次第に不安定になる傾向があること観測された。そこで、システムの頑健性の向上を目指し、ルールパラメータに基づいて有効ルールを選定・保持することでルール集合の

多様性を維持する拡張型BRLを提案した. 均質な三台のアーム型ロボットの協調荷上げ問題に適用した. 実機実験の結果, 従来型BRLと比較して頑健性が向上していることを確認し, 提案手法の有効性を示した.

(講演発表)

題目 適応的な行動空間の分割を行う強化学習を用いた実ロボットの行動獲得

講演者名 保田俊行, ○大倉和博, 田浦俊春

学会名等 日本機械学会 2005年度年次大会 pp. 251-252

発行年月 2005年9月

概要

自律的に状態・行動空間を分割する機能を持つ強化学習法であるBRLにおける課題のひとつとして, 行動空間の探索法がある. BRLでは未経験な状態に遭遇するとルールを生成するが, このときの動作パラメータはランダムな実数値として決定される. このランダムな動作により, さらに未経験の状態に陥るといった形で, 特に学習がある程度進行しているときにはロボットの振る舞いが不安定になる傾向が観測されている. そこで, 効率的な行動空間の探索を目指して, 既存ルールのパラメータに基づくルール生成法を付加した拡張型BRLを提案した. 一台のロボットの光源到達問題の計算機・実機実験を通してその有効性を検証した.

題目 オムニホイールを備えた自律ロボットの強化学習による行動獲得

講演者名 ○平松久征, 保田俊行, 大倉和博

学会名等 第48回自動制御連合講演会 pp. 181-182

発行年月 2005年11月

概要

車輪移動型のロボットが協調してひとつの荷物を搬送するタスクでは, 各ロボットが進行方向を適切に調整しないと押し合い・引き合いによって動くことができないという膠着状態に陥る場合がある. オムニホイールを備えたロボットを適用することで, この問題の解決を図る. しかし, 相手ロボットの影響によって, 次ステップでの状態やロボットの位置が大きく異なることがあるため, 出力を適切に調節する必要がある. そのため, 効率的に行動空間を探索することを目的とし, 既存ルールのパラメータに基づくルール生成法を付加した拡張型BRLを適用した. 二台の実ロボットによる搬送問題において, 協調行動の獲得が確認された.

題目 強化学習に基づく自律アーム型ロボット群の拡張性に関する一考察

講演者名 ○横田英二, 保田俊行, 大倉和博

学会名等 第48回自動制御連合講演会 pp. 183-186

発行年月 2005年11月

概要

マルチロボットシステムに期待される特徴のひとつに, ロボットの追加と削除が容易に行えるという拡張性がある. このロボットの追加と削除は, システム内のロボットにとって環境の変化といえる. そこで, 拡張性を実現するためには環境変化に対する頑健性が重要であるという観点から, 自律的に状態・行動空間を分割する機能を持つ強化学習法であるBRLの拡張を行う. このとき, 特に, BRLにおける過学習の抑制に着目する. ルールパラメータに基づいて有効ルールを選定・保持することでルール集合の多様性を維持する拡張型BRLを用いて, 協調荷上げ問題を通して過学習の影響と提案手法の有効性を検証した.

題目 オムニホイールを備えた自律ロボット群の強化学習による協調行動獲得

講演者名 ○平松久征, 保田俊行, 大倉和博

学会名等 ロボティクス・メカトロニクス講演会 '06

発行年月 2006年5月 CD-ROM (2A1-E20)

概要

実環境におけるマルチロボットシステムとして, オムニホイールを備えた自律移動ロボット群を取り上げた. 三台のロボットによる協調搬送問題において, 既存の有効ルールのパラメータを用いて行動空間の探索を行う拡張型BRLを制御器として適用し, 行動獲得実験を行った. 実験の結果, 三台のロボットが異なる役割を果たすことでタスク達成をしていることが観測された. また, 拡張型BRLにより得られたルールにより効率的なタスク達成を実現しており, 状態遷移が不確定である状況においても, 実環境におけるロボット群の行動獲得において, 拡張型BRLの有効性を示した.

題目 Behavior Acquisition based on Reinforcement Learning with an Adaptive Action Generator

講演者名 ○Toshiyuki Yasuda and Kazuhiro Ohkura

学会名等 The 6th International Workshop on Emergent Synthesis pp. 283-288

発行年月 2006年8月

概要

We have been developing a new reinforcement

learning called BRL. BRL has a unique feature that it not only learns in the learning space but also changes the segmentation of the learning space simultaneously. In this paper, a new function for segmenting its action space based on parameters of acquired rules is adopted to BRL in order to accelerate learning. We verify the performance of the proposed approach through computer simulations and physical experiments.

情報工学科

【大西輝尚】

(講演発表)

題目 歩行訓練ロボットの研究

講演者名 大西輝尚, 内藤真樹

学会名等 第50回システム制御情報学会研究発表講演会講演論文集

発表年月日 2006年5月10日 pp. 37-38

概要

歩行訓練ロボットを構成する場合には、従来の最適制御等による方法が考えられるが、自律型の構成を目指す場合には創発性を考慮する必要がある。そこで、ニューラルネットワークを使用して障害物を回避してランドマークを検出しながら訓練する方法を提案した。前提とした機構は2眼カメラ, 7自由度脚, 及び全方向移動機構付き足である。入力はロボットと目標点の張る角度, ロボットと障害点の張る角度, 及び目標点と障害点の距離の3入力とし, 出力はロボットの進行方向とした。中間層は1層, ニューロン数は9個とした。3入力の組み合わせは30パターンとし, 25000回の学習を行わせた。競歩型の歩行単位を1とした場合で, 20の距離を移動する場合に障害物を0.2回避して目標点に到達できることをシミュレーションで確認した。

(その他)

題目 Development of the basic structure for an exoskeleton cyborg system

著者名 T. Onishi, T. Arai, K. Inoue and Y. Mae

発行所等 <http://dx.doi.org/10.1007/BF02481155>

発表年月日 Wednesday, August 16, 2006

DOI10.1007/BF02481155 Pages95-101

概要

The human internal skeleton is referred to as an endoskeleton, while oyster shells and the cuticles of

lobsters and crabs are referred to as exoskeletons. A great deal of research has been conducted in an attempt to combine these endoskeletons and exoskeletons. However, there are hardly any instances of research being undertaken to create a cyborg by combining endoskeletons and exoskeletons. The human endoskeleton consists of three kinematic pairs that are joined together with a maximum of three degrees of kinematic freedom. These are:

1. A turning pair on a lateral-bending axis
2. A turning pair on a longitudinal-bending axis
3. A turning pair on the central axis of a skeleton

【岡田 正】

(著書)

題目 ネットワーク社会における情報の活用と技術 改訂版

著者名 岡田正・高橋参吉・藤原正敏(編著) 大西淳ほかICT基礎教育研究会(著)

発行所等 実教出版 A5判 iv+264pp.

発表年月 2006年3月

概要

後期中等教育段階の情報基礎教育用に作成した教科書の改訂版を出版した。旧版に寄せられた意見をもとに, 3つの小節やコラムを追加するとともに, 記述を全面的に見直した。旧版同様に, 岡田が編集代表者として改訂作業のとりまとめを行い, 大西は1.4の改訂を分担し1.4.4を追加執筆した。

題目 ネットワーク社会における情報の活用と技術改訂版 学習ノート

著者名 岡田正・高橋参吉・藤原正敏(編) ICT基礎教育研究会(著)

発行所等 実教出版 B5判 64pp

発表年月 2006年4月

概要

後期中等教育段階の情報基礎教育用に作成した教科書「ネットワーク社会における情報の活用と技術改訂版」に完全準拠の学習ノートを出版した。学習内容の確認と情報活用能力を育成する実習ができるよう, 6種類の問題を準備している。編集代表者として全体のとりまとめを行った。

(論文)

題目 津山高専における工学倫理教育の実践

著者名 岡田正・吉永洋一

学会名等 工学教育 Vol. 54 No. 1 pp. 136-140

発表年月 2006年1月

概要

平成14年度から専攻科専門共通科目として開講してきた「工学倫理」は、幅広い視野を与え実践力を身につけることを目指して、専門分野の異なる二人の教員が「ものづくりと工学倫理」と「ネットワーク社会の工学倫理」として講義している。この科目について、授業内容と教育効果、学生の評価などについて詳しく報告している。

(講演発表)

題目 OPEプロジェクトの進捗状況とその課題について

講演者名 ○原元司・桐山和彦・山本喜一・白濱成希・本間啓道・岡田正・白石啓一

学会名等 第4回情報科学技術フォーラム一般講演
論文集 Vol. 3 pp. 363-364

発表年月日 2005年9月8日

概要

情報教育環境を容易に構築できる我々の提案した教育用オープンソースプラットフォーム環境(OPE)では、オープンソースソフトウェアのみを用いたライブシステムとインストーラの開発を行っている。この進捗状況と課題について報告した。

題目 OPEディストリビューションCD-ROMの製作と実施結果

講演者名 ○桐山和彦・山本喜一・原元司・白濱成希・本間啓道・岡田正・白石啓一

学会名等 第4回情報科学技術フォーラム一般講演
論文集 Vol. 3 pp. 365-366

発表年月日 2005年9月8日

概要

教育用オープンソースプラットフォーム環境(OPE)の中核をなすユーザ環境構築インストーラと、ディストリビューションCD-ROMの製作方法とを説明し、その結果と保守・管理方法について述べた。

題目 地域組織の情報化支援Ⅳーオープンソースソフトウェアの活用と効果ー

講演者名 ○田淵哲也・松本哲始・岡田正

学会名等 平成17年度電気・情報関連学会中国支部
第56回連合大会講演論文集 p. 347

発表年月日 2005年10月22日

概要

我々の研究室で行っている地域組織への情報化支

援活動について、オープンソースソフトウェアを利用する場合を取り上げている。ネットプリントシステムと津山瓦版システムを中心に、オープンソースの利点や導入状況について、具体的に報告した。

題目 OSSを利用した協調型教育用コンテンツの開発について

講演者名 ○桐山和彦・原元司・本間啓道・白濱成希・岡田正

学会名等 平成17年度情報処理教育研究集会講演
論文集 p. 347

発表年月日 2005年11月5日

概要

オープンソースソフトウェア(OSS)を利用して、講義ノート・実験テキスト・卒業研究などの教育リソースを共有し再利用可能なシステムを提案している。ツールからコンテンツまですべてオープンかつ透明なものを利用したシステムについて、その理念と支援ツールについて述べている。

題目 高専における情報基礎教育の取り組みと今後の課題

講演者名 ○長岡健一・高橋章・岡田正・藤原正敏・高橋参吉

学会名等 平成17年度情報処理教育研究集会講演
論文集 pp. 403-406

発表年月日 2005年11月5日

概要

正式な活動を開始して5年目に入った高専の情報基礎教育への取り組みについて、これまでの活動と現状を整理するとともに、授業の実践事例を報告した。さらに、現在行っているテキスト改訂と学習ノートについても紹介した。

題目 OPE開発の現状と計画

講演者名 ○桐山和彦・山本喜一・本間啓道・白濱成希・原元司・岡田正・白石啓一

学会名等 平成17年度情報処理教育研究集会講演
論文集 pp. 537-540

発表年月日 2005年11月5日

概要

オープンソースで情報教育環境を構築しようというプロジェクト(OPE)について、発足の経緯から今後の計画までを報告した。併せて、ポスターセッションでの紹介とデモンストレーションを行った。

題目 君を感じるインターネットー超次元コラボ

レーションブラウザ「Antwave」という提案—

講演者名 ○井上恭輔・小野琢也・山下桂司・野田
昌弘・岡田正・寺元貴幸

学会名等 情報処理学会第47回プログラミング・シ
ンポジウム報告集 pp. 43-54

発表年月日 2006年1月11日

概要

インターネット上で他者の行動を感じることで
するというコンセプトで開発しているウェブブラウザ
システム「Antwave」について、その開発背景と「行
動共有」の提案から、実装したシステムの概要やビ
ジネスモデルの検討まで、総合的に報告した。

題目 OPEによるマルチデスクトップ環境の作成

講演者名 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

学会名等 情報処理学会第68回全国大会講演論文
集(4) pp. 671-672

発表年月日 2006年3月8日-10日

概要

オープンソースソフトウェアで構成されるシステ
ムを構築するためのツールであるOPEについて、いく
つかのサンプルデストリビューションスペックファ
イルを用いてデスクトップ環境をインストールする
ことで、実際の具体的なシステムについてスペック
ファイルの作成からインストーラの起動およびシス
テム設定までの手順を、デモセッションで示した。

題目 OPEプロジェクトとその進捗状況

講演者名 ○原元司・山本喜一・白石啓一・白濱成
希・本間啓道・桐山和彦・岡田正

学会名等 情報処理学会第68回全国大会講演論文
集(4) pp. 407-408

発表年月日 2006年3月9日

概要

我々のグループでは、平成15年よりオープンソー
スソフトウェアを用いて情報教育環境を容易に構
築・管理・運用可能な方法を探る研究プロジェクト
(OPEプロジェクト)を立ち上げた。このプロジェク
トでは、FreeBSDを核OSとした情報教育環境を検討
し、その情報教育環境を容易に構築できるインスト
ールCDを作成することが目的である。本報告では、
OPEプロジェクトの進捗状況とその課題について述
べた。

題目 OPEインストールCD-ROMの作成

講演者名 ○白石啓一・桐山和彦・原元司・山本喜

一・本間啓道・白濱成希・岡田正

学会名等 情報処理学会第68回全国大会講演論文
集(4) pp. 411-412

発表年月日 2006年3月9日

概要

オープンソースソフトウェアで構成されるシステ
ムを構築するためのツールOPEでは、構築するシステ
ムをスペックファイルによって指定する。本報告で
は、OPEシステムのうち、スペックファイルで指定さ
れたシステムをインストールするためのブータブル
CD-ROMを作成するツールについて報告した。

題目 OPEプロジェクトの現状とインストール
CD-ROM実装について

講演者名 ○原元司・桐山和彦・山本喜一・白濱成
希・本間啓道・岡田正・白石啓一

学会名等 第26回（平成18年度）高等専門学校情報
処理教育研究委員会研究発表会（情報処理
教育研究発表会論文集26） pp. 113-114

発表年月日 2006年8月22日

概要

オープンソースソフトウェアにより情報教育環境
を容易に構築可能なツールOPEについて、現状を整理
するとともに、研究成果の一つであるインストール
CD-ROMの実装を報告した。

題目 ユーザ環境自動構築ツール(urdttools)の開発

講演者名 ○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

学会名等 第26回（平成18年度）高等専門学校情報
処理教育研究委員会研究発表会（情報処理
教育研究発表会論文集26） pp. 115-118

発表年月日 2006年8月22日

概要

オープンソースデスクトップ環境を完全に自動的
に構築できるツール(urdttools)を開発した。urdttools
について、その動作概要と具体的な利用結果に基づ
く評価について報告した。

題目 協調型コンテンツ開発システムを利用した
情報処理教育教材の開発

講演者名 ○桐山和彦・原元司・本間啓道・白濱成
希・岡田正・小川伸夫・江崎修央・白石和
章

学会名等 第26回（平成18年度）高等専門学校情報
処理教育研究委員会研究発表会（情報処理
教育研究発表会論文集26） pp. 69-72

発表年月日 2006年8月22日

概要

講義ノートや実験手引書など、教育・研究に関するコンテンツを標準化して統一的に扱える協調型教育用コンテンツ開発システムを作成した。本システムは、コンテンツからツールに至るまで完全にオープンでトランスペアレントであり、オープンドキュメントとして自由にコピー・配布ができる。協調型教育用コンテンツについて解説するとともに、これらのコンテンツを管理統合するc-Learningシステムについても報告した。

題目 高専情報基礎教育用のテキスト改訂と学習ノート刊行

講演者名 ○岡田正・長岡健一・高橋章・渡部徹・成瀬喜則・新開純子・藤原正敏

学会名等 第26回(平成18年度)高等専門学校情報処理教育研究委員会研究発表会(情報処理教育研究発表会論文集26) pp. 73-76

発表年月日 2006年8月22日

概要

高専情報基礎教育として“入学直後から学科によらず実施すべき情報教育”を提案し、カリキュラム作成とこれに準拠したテキストを刊行した。このテキストは、高専だけでなく高校・大学等でも広く利用され、改訂版を発行することになった。改訂版と同時に学習ノートを刊行したので、これらを中心に情報基礎教育の活動状況を報告した。

(その他)

題目 著作賞：新しい『情報教育』に対応したテキストの刊行

著者名 岡田正・高橋参吉・藤原正敏

学会名等 工学教育 Vol. 53 No. 6 pp. 21-22

発表年月 2005年11月

概要

日本工学教育協会賞著作賞の受賞者の言葉として、「ネットワーク社会における情報の活用と技術」に関して、刊行目的や特徴ならびに今後の予定を紹介するとともに、謝辞を述べた。

【薮木 登】

(講演発表)

題目 顔画像における視線測定法の検討

講演者名 ○大原欣徳、薮木登、井上浩之、鷺見育亮

学会名等 平成17度電気・情報関連学会中国支部連合大会 p. 387

発表年月 2005年10月

概要

日常生活のあらゆる場面においてコンピュータを利用する社会が到来しつつある。しかしながらコンピュータを使うには作業をするための知識が必要であり、非熟練者には使いこなすのに苦勞することが多かった。そこで視線を利用したインターフェースは、このような問題を解決する可能性を持っていると考えられる。本研究は、顔画像からの視線測定の方法を検討した。実験では、水平方向は特に問題なく計測できた。

題目 動的ネットモデルの対象捕捉に関する一検討

講演者名 ○古林佑介、薮木登、鷺見育亮

学会名等 平成17年度電気・情報関連学会中国支部連合大会 p. 421

発表年月 2005年10月

概要

我々はこれまでに、動的ネットモデルの対象捕捉能力の向上について検討してきた。本研究では、画像中の対象物体(ターゲット)に対する動的ネットモデルでの捕捉能力の改善を目指し、雑音に強い動的ネットの提案と、その手法を用いた画像中のターゲットに対する捕捉シミュレーション実験を行う。その結果、提案手法により、雑音の影響を軽減できることが示せた。

題目 動的なネットモデル微細化に関する検討

講演者名 ○難波福弥、鷺見育亮、植田拓也、薮木登、副井裕

学会名等 平成17年度電気関係学会関西支部連合大会講演論文集 G299

発表年月 2005年11月

概要

本稿では、複数のターゲットを捉えるために、動的ネットモデルでのマルチネット方式に対する改良案として、ネットモデルの微細化による新手法を提案している。2値化処理された画像に対して提案手法の有効性は確認できた。

題目 動的ネットモデルにおける捕捉能力の改善に関する検討

講演者名 古林佑介、○薮木登、鷺見育亮、松前進、福本善洋、副井裕

学会名等 第19回 回路とシステム軽井沢ワークショップ, pp. 507 - 512

発表年月 2006年4月

概要

本稿は、動的ネットモデルの捕捉性能の問題として、入力画像に存在する雑音の影響について検討を行った結果について述べている。従来手法においては、入力画像に、ターゲットの他に雑音が存在してしまった場合、ターゲットと雑音の両方を捕捉し、ターゲットのみをそのままでは正しく検出できない場合がある。そこで、我々はネットの格子点に対応する画像の濃度値を変動させる手法を提案する。これにより、雑音の影響を軽減し、雑音を回避することが可能であることを、シミュレーション実験の結果から示すことができた。

題目 SOMによる道路標識内部領域の抽出処理の検討

講演者名 ○植田 拓也, 鷺見 育亮, 藪木 登, 松前進, 福本善洋, 副井 裕

学会名等 第19回 回路とシステム軽井沢ワークショップ, pp. 535 - 540

発表年月 2006年4月

概要

近年、道路交通システムは、インテリジェント化に向けて高度道路交通システム(Intelligent Transport System : ITS)への移行が強く期待されている。ITSのシステムの中で、安全運転の支援といったテーマがある。車両ドライバーは常に走行環境認識と車両の制御を行わなければならない。そこで、見落とされがちな道路標識を機械が自動的に検出、認識するシステムができれば、ドライバーの負担軽減につながる。本論文では、自己組織化マップを用いた輪郭抽出と、標識の内部領域の抽出手法の検討を行っている。

【宮下卓也】

(講演発表)

題目 利用者別のアクセス制御機能を有する情報コンセント

講演者名 ○宮下卓也, 小林裕士, 山口宏征

学会名 2006年電子情報通信学会総合大会 p. 129

発表年月日 2006年3月25日

概要

学校で無線LANなどの情報コンセントのサービスを行う場合、教師や学生などの恒久的な利用者と、学会等のイベントに参加する一時的な利用者がいると考えられる。一時的な利用者については、学内限定情報にアクセスできることがあってはならない。一方、恒久的な利用者については、当然学内限情報にアクセスできる必要がある。そこで、利用者別に

アクセス制限機能を有する情報コンセントシステムを開発した。

本システムでは、管理の省力化を図ることができるように、電子メールなどのユーザ情報を参照している。

題目 津山高専の新教育電子計算機システム

講演者名 ○宮下卓也, 岡田正, 寺元貴幸, 日下孝二, 最上勲

学会名 第26回高専情報処理教育研究発表会
pp. 119 - 122

発表年月日 2006年8月22日

概要

平成18年3月に更新した教育用電子計算機システムの基本構成はWindows Server と Windows PCである。本報告では、システムの特徴や構成についてまとめている。また、システム管理の簡単な紹介と、システム運用後に判明したトラブルとその対応として、5つの具体例を提示した。

【大西 淳】

(その他)

題目 結晶粒粗大化シミュレーションの並列計算したベース・システムと可視化ツールの構築

著者名 大西 淳

発行所名等 平成17年度科学研究費補助金実績書

発行年月 2006年4月

概要

平成17年度の研究成果として、新たなアイディアに基づく結晶粒粗大化シミュレーションの並列化システムを構築したこと、並列計算化による高速化の効果について一定の結論を得たこと、および、シミュレーション結果を可視化するツールを作成したことを報告した。

【寺元貴幸】

(講演発表)

題目 圧縮空気による木片搬送システムの解析とライセンスマネージャシステムの構築

講演者名 ○寺元貴幸, 鳥家康宏, 上村弘久, 佐藤紳二

学会名等 第8回PSE Workshop 講演論文集
pp. 72-75

発表年月 2005年9月

概要

地元企業からの要請をうけて、圧縮空気を使った木片搬送システムの固気2層ジェットノズルの設計支援を行った。実験グループがノズルのモデルを作成し、シミュレーショングループが流体計算ソフトを使って数値シミュレーションを行った。それぞれの結果をまとめている。また、シミュレーションを行うための数値解析ソフトANSYSのネットワークライセンスを効率的に運用するためのシステムについても説明する。

題目 ネットワーク環境におけるコンピュータ資源活用マネジメントシステムの構築

講演者名 ○鳥家康弘・寺元貴幸・岡田正

学会名等 平成17年度電気・情報関連学会中国支部第56回連合大会講演論文集 p. 346

発表年月 2005年10月

概要

ネットワーク上の資源としてソフトウェアのフローティングライセンスがある。これはネットワークで同時起動するソフトウェアの数をコントロールする技術であり、近年多くのソフトウェアに適応されている。ハードウェアに比べて少ないライセンス数でも柔軟な運用が可能であり、費用対効果が高い。しかし、シミュレーションにこれらのソフトウェアを使用する場合、必ずライセンスが使えぬ保証はなく、使用するユーザ間で調整する必要がある。この調整を自動的に行うことを目的としたマネジメントシステムを提案している。

題目 授業支援システムにおけるカーネル部分の安定運用に関する考察

講演者名 ○高橋原野・齊藤智也・岡田正・寺元貴幸

学会名等 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17年度学術講演会講演予稿集 pp. 17-18

発表年月 2006年2月

概要

授業支援システムは、学生の使うパソコン上で多くのプログラムが実行される。これらプログラムの安定運用について考察し、いくつかの方法を提案している。ここでは、そのシステムをパソコン用OSとしてもっとも普及しているWindows上で安定にしかも、ユーザが不用意に止めることがないようにして実行する方法を提案している。

題目 ネットワーク分散型ライセンスシェアリング

システムの構築

講演者名 ○寺元貴幸、鳥家康弘、岡田正

学会名等 第11回日本計算工学会計算工学講演会論文集 Vol. 11 pp. 529-530.

発表年月 2006年6月

概要

ネットワークライセンスとして同時起動数が制限されているソフトウェアをいかに効率的に運用するかを支援するシステムの構築について報告した。

今回は、データベースを導入し、ライセンスの使用予約システムの構築を行い、どのようにすれば予約が効率的に実行できるか検討している。

題目 3次元創造システムの活用によるコンピュータを中心とした新しい物作り教育

講演者名 ○寺元貴幸、佐藤紳二、前原健二、大西規雄、藪木 登、河合雅弘、日下孝二

学会名等 第26回（平成18年度）高等専門学校情報処理教育研究委員会研究発表会（情報処理教育研究発表会論文集26 pp. 81-84

発表年月 2006年8月

概要

3次元物体の形状データや複雑な人体の動作などの動的データをコンピュータにを入力し、そのデータにたいして分析処理や加工処理などのデータ処理を実施し、そして最終的にいろいろな方法で出力を行う3次元システムの構築を行った。そしてこの3次元創造システムを活用して実践的な創造技術の習得を目的とした物作り教育プログラムの作成を検討している。今回は今回導入した機器の概要と、これらを活用した物作り教育について報告する。

【曾利 仁】

(講演発表)

題目 四脚ロボットの歩行パターン

講演者名 ○小山育恵、曾利 仁、鎌野琢也、安野卓

学会名等 平成17年電気・情報関連学会中国支部連合大会講演論文集, No. 17-8 p. 514

発表年月日 平成17年10月22日

概要

脚式移動は制御の難しさにもかかわらず高い柔軟性を持っているため、それを歩行ロボットの制御に応用することは興味深いテーマの1つである。本稿では、SONY製AIBO ERS-7を対象として、四脚ロボットの歩行パターンの生成について実測により確認している。ここでは脚式型ロボットの制御方法として、

まず、各脚先の規範軌跡を定め、その軌跡を描くよう各関節のサーボ系を設計する手法を用いている。

一般科目

【佐々井祐二】

(論文)

題目 大島インターネット天文台の構築
著者名 佐々井祐二, 辻 啓介
学会名等 論文集「高専教育」第 29 号 pp. 719-724
発表年月 2006 年 3 月
概要

「インターネット天文台」の定義は、「インターネット上のユーザが観測の始まりから終わりまでリモートでリアルタイムに操作できる天文設備」である。我々は口径 35cm シュミットカセグレン式望遠鏡と冷却 CCD カメラを装備する大島インターネット天文台の構築を目的としている。この天文台は中四国地方における最初のインターネット天文台となる。また、我々はこの天文台が IT 時代の科学教育に対して有用であると期待している。既に天文台構築の段階から幾つかの教育的実践を実行している。本論文では大島インターネット天文台の作業状況を報告する。

(講演発表)

題目 有限密度格子 QCD におけるフェルミオン行列の固有値分布
講演者名 ○佐々井祐二, 中村 純, 高石哲弥
学会名等 日本物理学会第 61 回年次大会講演概要集第 1 号第 1 分冊 p. 15
発表年月日 2006 年 3 月 30 日
概要

有限密度格子 QCD において、我々は $SU(3)$ 格子 QCD の位相効果を調べるため、 $8^3 \times 4$ 格子を用い化学ポテンシャル $\mu a = 0.1 \sim 1.4$ の領域で計算を行った。次に、位相クエンチの場合とクエンチの場合の各々のアップデート法により得られたゲージ配位からフェルミオン行列の固有値分布を比較した。さらに、固有値分布のヒストグラムを計算し、 $8^3 \times 4$ 格子においてはゲージ配位アップデートに対する行列式 $|\det \Delta|$ の効果は少ないことを示した。

【三浦和久】

(講演発表)

題目 過酸化水素処理黒鉛への水蒸気、窒素およびアルゴンの吸着等温線

講演者名 ○三浦和久, 柳沢寛

学会名等 第 11 回高専シンポジウム(長岡)講演要旨集, p. 131

発表年月日 2006 年 1 月 21 日

概要

黒鉛プリズム面に位置する炭素原子には種々の表面官能基が結合し、吸着サイトとして働くことが知られている。本研究では、天然黒鉛に H_2O_2 を作用させて液相酸化し、官能基構成を変化させて水蒸気、窒素およびアルゴンを吸着させた。さらに、その試料を高温で処理して官能基を熱分解した試料にも同様の測定を行った。それぞれの気体の等温線に現れた吸着異常を報告し、若干の考察を述べた。

【俣野好治】

(著書)

題目 藤原永手—その政治姿勢と政治的立場

著者名 俣野好治

発行所名等 清風堂出版 pp. 251-267
『古代の人物③平城京の落日』

発行年月 2005 年 12 月

概要

奈良時代後半の政治家である藤原永手について、その政治姿勢と政治的立場を中心に彼の生涯をたどった。永手は正一位にまで登った奈良時代を代表する政治家であるにもかかわらず、彼を中心に据えた論考はこれまでほとんどなかった。わずかに永手について関説した先行研究でも、彼を藤原仲麻呂に対立する政治家であるという誤った評価がなされていた。こうした永手に対する従来の研究状況をふまえて、仲麻呂のみならず、その後権力を握った道鏡に対しても身をすり寄せることも、逆に彼らと真っ向から対立することもなかったことを明らかにし、その背後に彼の皇統意識、官人としての規範意識があったことを述べた。

(その他)

題目 辞典項目

著者名 俣野好治 他

発行所名等 大和書房『日本古代史大辞典』
pp. 247, 330-331, 356-357, 385, 433, 637-638

発行年月 2006 年 1 月

概要

本辞典は文献史学や考古学はもとより、神話学、

民俗学, 文化人類学など, 幅広く古代史をめぐる学際的研究の成果を反映し, また東アジアの視座から日本の古代を考えることに力点をおいて編集されている点に特徴がある。著者が担当したのは, 以下の律令財政関係の項目である。「雇役(こえき)」「正税帳(しょうぜいちょう)」「出挙(すいこ)」「雑徭(ぞうよう)」「調(ちょう)」「庸(よう)」。

【大田 肇】

(講演発表)

題目 「イギリスの軍事司法制度とイラク戦争
—2006年軍隊法案審議を中心に—」

講演者名 大田 肇

学会名等 岡山人権思想史研究会

発表年月日 2006年8月6日

概要

5年に一度更新されることになっているイギリス軍隊法が, 2006年にその更新を迎え, 現在国会でその法案が審議中である。特に今回は, 陸海空それぞれにあった軍隊法を一本化するという長年の課題を実現することに加え, イラク戦争・占領で生じたイギリス軍人の犯罪行為及びそれらへの軍の対応をめぐる諸問題への解決策が法案に盛り込まれることになり, 審議は難航している。それらの問題点を整理し, 報告した。

題目 「軍事システムと立憲主義」

講演者名 大田 肇

学会名等 イギリス憲法研究会

発表年月日 2006年8月10日

概要

「ウエストミンスターモデルの再検証と立憲主義憲法論の可能性についての総合的研究」をテーマとした共同科研(2006~08年)の最初の研究会。大田は上記の題目のもと, 国王大権にもとづき実質的には首相が行使してきた戦争開始権限につき, 国会の関与を認めようとする法律案が提出されるなどの新たな動きを報告し, ウェスタミンスターモデルにおける国王大権の位置づけなどに関し, 議論がかわされた。

【杉山 明】

(講演発表)

題目 上海へ行く

講演者名 杉山 明

学会名等 津山市立図書館まつり

発表年月日 2005年11月6日

概要

経済発展に沸く当節の上海の社会状況を紹介しつつ, 2005年春の反日運動の背景にも言及。相互理解の重要性を説くとともに, 本当の中国を理解するためには自分の目で確かめる以外に方法はないことを主張。幸いにも岡山からは上海への直行便が毎日運行されており, これを利用して上海を訪れてみようと呼びかけた。

題目 中華料理, メニューの読み方講座

—食事の注文くらい自分でしたい—

講演者名 杉山 明

学会名等 岡山県漢文学会

発表年月日 2005年11月1日

概要

中華料理のメニューはなかなか読めないものだが, 一定のルールがあつて, そのルールを理解すればおおよその見当がつく。ここでは基本的なルールを解説するとともに, 関連として包丁の入れ方や加熱法, 主な素材等の単語を紹介した。

(その他)

題目 お「食」辞海

著者名 杉山 明

発行所名等 中国語世界

発行年月日 2004年5月27日~連載

概要

「中国語世界」は隔週刊の中国語学習誌である。筆者は中国の食文化紹介のコーナーとして, 2004年5月27日号から「お食辞海」という連載を行っている。2004年5月から始まった連載は, 2006年8月で, すでに110回に達している。2006年9月以降も連載継続の予定である。

題目 上海満腹ウォーキング

著者名 杉山 明

発行所名等 中国語ジャーナル

発行年月 2001年4月~2006年3月

概要

「中国語ジャーナル」は月刊の中国語学習誌だが, 筆者は中国の食文化の紹介のコーナーとして, 上海市内の有名, 無名レストラン紹介の記事を連載した。2001年4月号の連載から2006年3月号で60回となり, 5年間の連載を終了した。

題目 食いしん坊旅行会話

著者名 杉山 明

発行所名等 中国語ジャーナル

発行年月 2006 年 4 月～

概要

「中国語ジャーナル」は月刊の中国語学習誌だが、筆者はバッキー村山のペンネームで、中国語会話の練習コーナーとして、表記の連載を行っている。会話練習とともに、中国におけるレストラン事情、背景知識を紹介し、実際の会話の助けとなるように努めている。2007 年 3 月号まで、都合 12 回の連載予定。

【佐藤 誠】

(講演発表)

題目 水面に浮遊する水滴の安定性

講演者名 佐藤 誠

学会名等 53 回応用物理学関係連合講演会 講演
予稿集(2006 春 武蔵工業大学) Vol. 1
p. 446, (22p-A-5)

発表年月 2006 年 3 月

概要

水面に浮遊する水滴は空気の薄い膜で包まれて水面から隔離されている不安定な構造物である。空気の隔離膜は短時間で薄くなり、界面のゆらぎで穴が発生すると膜は破壊し水滴は消滅すると考えられる。穴の発生による表面エネルギーの変化を考察することにより、穴径が膜厚以下では穴は成長することなく消滅し、膜厚を超えると自発的に穴が拡大することが明らかとなった。これにより膜が破壊するために超えるべきエネルギー障壁の高さは膜厚の 2 乗と表面張力の積に比例することが分ったが、表面張力が高いほど安定であることは観察結果に反している。これは、水滴の形状が表面張力に依存し、値が低いほど空気の閉じ込めが強いためと推測される。

(その他)

題目 マイクロ光通信デバイスの製造技術とその応用

著者名 下川房男, 牧原光宏, 佐藤 誠, 松井伸介

学会名等 砥粒加工学会誌 Vol. 49, No. 8,
pp. 425-428

発表年月 2005 年 8 月

概要

MEMS 製造技術は低コストで高性能、高機能な光通信デバイスを提供する手段として期待されている。

本稿では著者らが開発を進めてきたマイクロ光通信デバイスである熱毛管光スイッチを例に取り上げ、その製造にかかわる加工技術(高精度研磨技術、高アスペクト比深溝加工技術)と実装技術(基板接合技術、極微量液体注入技術)について解説している。また、この光スイッチの特性と信頼性について得られた結果を述べ、さらに、波長多重光通信に必須な Add/Drop スwitchやマトリクススイッチへの応用展開について述べている。

題目 表面張力の物理

—MEMS 応用デバイスについて—

著者名 佐藤 誠

学会名等 精密工学会誌 Vol. 72, No. 7 pp. 845-848

発表年月 2006 年 7 月

概要

表面張力は寸法の一次に比例する低次元力であるためサブミリの寸法を対象とする MEMS では駆動力としてこの表面張力を利用することが期待されている。本解説では、表面張力が駆動力となっている身近な現象として樟脳舟と酒の涙を取り上げ、表面張力を駆動源として用いる際の問題点を説明している。通常の毛管現象についての誤解を解説し、熱毛管現象や電気毛管現象といった古くから知られた現象を新しい観点に基づき工学的に利用することを提案している。熱や電気など制御性の良いパラメータで表面張力を制御することで実用的なデバイスを実現できる可能性がある。例として著者らが開発した熱毛管光スイッチを中心に解説をしている。

【稲田知己】

(著書)

題目 存在の問いと有限性

—ハイデッガー哲学のトポロギー的究明—

著者名 稲田知己

発行所名等 晃洋書房 pp. 1-434

発行年月日 2006 年 3 月 10 日

概要

筆者の一貫したこれまでの研究対象はハイデッガー哲学であるが、このライフワークの集大成が 2002 年に早稲田大学に提出した同名の学位論文だった。この論文で使用したハイデッガーのドイツ語原典は 80 冊あまり、参照引用した英語・ドイツ語・フランス語の研究文献は 180 点あまりに及び、分量は 400 字詰原稿用紙に換算して約 1100 枚分に相当した。これをさらに加筆して公刊したものが、本書にほかならない。

【Eric Rambo】

(講演発表)

題目 EFL Portfolios and Autonomy: a Symbiosis for
the College EFL Course

講演者名 Eric Rambo

学会名等 JACET 44th Annual Convention

発表年月日 September 9, 2005

概要

This presentation demonstrated the use of an “EFL Portfolio” for large college English classes in Japan (EFL=English as a Foreign Language). The portfolio contains assessment forms and other organizational tools that help manage day to day coursework. For example, each time students have a discussion, they fill in the “Discussion Evaluation” form in the portfolio. Likewise, when they give a presentation, they fill in a “Presentation Self-Evaluation” form. Periodically during the course the instructor collects and reads the portfolios, and at the end of the course assigns the portfolio a grade.

This approach encourages students to think about their learning process and complete their work. Moreover, it allows the instructor to see a broad range of work from each student and provide individualized instruction. This portfolio approach is effective in achieving specific course goals.

題目 The Effect of a Speech Contest on Student
Motivation

講演者名 Eric Rambo

学会名等 日本高専学会

発表年月日 2006年8月19日

概要

2年生の英語のクラスで、全学生が「スピーチコンテスト」に参加することを義務づけました。各学生は授業中にスピーチを書き、練習し、スピーチをしなければなりません。クラスでのコンテストの後、選ばれた8名の学生が、全2年生と教師の前でスピーチを行い、投票が行われました。

「協力」と「競争」をさせる教授法を使って、スピーチの書き方とやり方を教えました。特に以下の方法が用いられました: 1. Process Writing, 2. グループワーク, 3. コンテスト。コンテストの後、学生のスピーチコンテストについての感想を知るために、アンケートを行いました。

高専の英語カリキュラムの中で、Process Writing, グループワーク, およびコンテストの使用は有効であることを示す結果が得られました。より踏み込んだ研究が、高専での英語教育においてこれらの教授

法が有効であることを示してくれるであろうと思われます。

【松田 修】

(論文)

題目 Classification of algebraic curves on ruled
surfaces with irregularity one

著者名 Osamu Matsuda

学会名等 平面曲線の双有理的研究, 学習院大学理
学部数学科, pp. 175-203

発表年月 2006年1月

概要

本論文は、不正則数が1の線織面上の曲線の分類を行ったものである。そのために我々は、曲面Sとその上の既約代数曲線Cの対(S, C)の分類を一般の双有理幾何学の分類理論の立場から行った。すなわち極小モデルによる分類である。その分類にあたっては、対の2種数(対の標準因子の2倍による0コホモロジーの次元)と曲線の自交点数を使った。これによりこれまで困難であった一般型(小平次元が2)の対の分類表を得ることに成功した。すなわち、11の主系列と31の例外系列の合計42の分類表を得ることに成功した。さらに、ワイエルシュトラスのペー関数によるいくつかの具体的な曲線の構成を行った。

(著書)

題目 微分積分 基礎理論と展開

著者名 松田 修

発行所名等 東京図書 pp. 285

発表年月 2006年2月

概要

本書は、微分積分の基礎理論とその展開を、読者が他の本を参照することなく、しかも流れるように読んでいけるものとして書かれたものである。近年、微分積分の本や教科書は、基礎理論を省略し、微分積分の結果と使い方だけを書かれた本が多数出版されてきた。これはある意味で、数学教育の危機と感じた東京図書の担当者は、真実を知りたい読者向けの微分積分の本という企画を著者に依頼した。そしてそれを受けて実現したものである。したがって、本書は、実数の基本性質から出発し、 $\varepsilon-\delta$ 論法を丁寧解説した後、連続の正しい定義、一様連続性の定義、何故逆関数が必要かなどからスタートし、微分積分の完全理解を目指したものである。しかし、やはり理論の列挙だけでは不服であるという読者のために、随所にk-フィボナッチ数への応用、レムニ

スケート積分の成り立ちと応用などの話題を盛り込んだ。また、各セクションの最初には、そこで扱われる内容を象徴するテーマ問題を提示し、そしてその問題を解決する鍵となる概念や定理を紹介し、やがて解けるというストーリーを試みた。

(講演発表)

題目 線織面上の曲線の対数的 2-種数と自交点数による分類

講演者名 松田 修

学会名等 日本数学会秋期大会 (於：岡山大学)

発表年月 2005 年 9 月

概要

本発表では、論文「Classification of algebraic curves on ruled surfaces with irregularity one」の究の中間報告を行った。その内容は、一般型の対に関する 11 の主系列と 31 の例外系列の合計 42 の分類表に関する結果の概要である。

題目 k -パスカル三角形と k -フィボナッチ数列-について

講演者名 ○アクチバヤル・アマルサナー, 松田 修

学会名等 数学教育の会秋期会 (於：学習院大学)

発表年月 2006 年 9 月

概要

本発表は、モンゴルからの留学生アクチバヤル・アマルサナーが行った研究、主に k -フィボナッチ数列の応用について発表した。内容は以下の通りである。(1) k -フィボナッチ数列の一般項について (2) k -フィボナッチ数列を係数とするべき級数について (3) コイン投げゲームへの応用について。

なお、これらの内容は、教育的にも非常に優れたもので、著書「微分積分 基礎理論と展開」の例題に反映させた。

題目 Classification of algebraic curves on ruled surfaces with irregularity one

講演者名 Osamu Matsuda

学会名等 INTERNATIONAL CONGRESS OF MATHEMATICIANS MADRID 2006

発表年月 2006 年 8 月

概要

国際数学者会議は 4 年毎に行われる数学者会議の中で最も大きな会議である。前回の北京大会の発表後、これまで研究した成果をポスター発表した。内容は主に、論文「Classification of algebraic curves on ruled surfaces with irregularity one」についてである。

すなわち、対の小平次元が 0.1 の場合の分類、および対の小平次元が 2 の場合、11 の主系列と 31 の例外系列の合計 42 の分類表を得るということ、さらに、これらの極小モデルをワイエルシュトラスのペー関数を使って構成できるということについて、発表した。

題目 高専生が発見した数学教材とその取り組み
— k -パスカル三角形と k -フィボナッチ数列—

講演者名 松田 修

学会名等 木更津高専談話会

発表年月 2005 年 12 月

概要

木更津高専は、一般科目の中で探求的学習科目に取り組んでいる。その意味で、昨年度から取り組んでいる松田研究室の学生研究の方法の紹介を依頼され、1 時間の講演を行った。講演の内容は、津山高専 2 年生 3 人とモンゴルから留学生の研究で、内容は、 k -パスカル三角形と k -フィボナッチ数列の研究である。この研究がどのようにして始まったのか、そして彼らがどのような議論をして、彼らなりの事実を発見したかについて述べた。

題目 線織面上の曲線の対数的 2-種数と自交点数による分類

講演者名 松田 修

学会名等 埼玉大学談話会

発表年月 2006 年 1 月

概要

本発表は、論文「Classification of algebraic curves on ruled surfaces with irregularity one」について、その概要と主要定理の証明を行った。1 時間 30 分の講演であった。

題目 高専生が発見した数学教材とその取り組み
— k -パスカル三角形と k -フィボナッチ数列—

講演者名 松田 修

学会名等 フィボナッチ研究会

発表年月 2006 年 3 月

概要

本講演は、津山高専 2 年生 3 人とモンゴルから留学生の研究の紹介である。内容は、 k -パスカル三角形と k -フィボナッチ数列の研究である。この研究がどのようにして始まったのか、そして彼らがどのような議論をして、彼らなりの事実を発見したかについて述べた。

【横谷正明】

(著書)

題目 ドリルと演習シリーズ 基礎数学

編集 TAMS プロジェクト 4

著者名 阿蘇和寿, 松田 修, 横谷正明, 他

発行所等 石川工業高等専門学校

発行年月日 2006 年 3 月 31 日

概要

「基礎数学」に関するドリルである。効果的な活用と実践を踏まえて項目を厳選し、1 項目につき表と裏を合わせて 1 枚になるようにした。表頁には達成項目と例題および解説を載せ、裏頁にはドリルと発展問題としての演習を載せた。授業中の小テスト、あるいは課題などで使いやすくなるよう試みている。また、問題に極端な偏りがないよう努めてある。

(講演発表)

題目 TAMS プロジェクト 4「ドリルの作成」

講演者名 ○阿蘇和寿, 松田 修, 横谷正明, 他

学会名等 日本数学教育学会

発表年月日 2006 年 7 月 31 日, 8 月 1 日

概要

このプロジェクトは 2005 年夏の日本数学会定期大会高専・大学部会において提案され、24 名の参加を得て、最初のドリルである『ドリルと演習シリーズ「基礎数学」』を完成させることができた。選定された 1 項目あたり 1 枚とし、表ページに達成項目と例題および解説、その裏ページに授業中に小テストとしてできるようなドリル（解答部分あり）とやや発展的な演習を載せた。最終的な形は A4 判、項目数 106, 214 ページ、発行部数約 1, 500 部、単価 700 円である。

【古樋直己】

(その他)

題目 電験第 2 種一次試験攻め方・解き方マスタゼミ最終回 模擬試験 理論

著者名 古樋直己

学会名等 電気計算（電気書院） 2005 年 9 月（第 73 巻第 9 号） pp. 134-137

発表年月日 2005 年 9 月 1 日

概要

第二種電気主任技術者国家試験の「理論」科目の模擬試験

題目 電験第 3 種ステップアップゼミ第 1 回 理論 直流回路①

著者名 古樋直己

学会名等 電気計算（電気書院） 2006 年 1 月（第 74 巻第 1 号） pp. 81-85

発表年月日 2006 年 1 月 1 日

概要

第三種電気主任技術者国家試験の「理論」科目のうちとくに直流回路について解説した。

題目 電験第 3 種ステップアップゼミ第 2 回 理論 直流回路②

著者名 古樋直己

学会名等 電気計算（電気書院） 2006 年 2 月（第 74 巻第 2 号） pp. 89-93

発表年月日 2006 年 2 月 1 日

概要

第三種電気主任技術者国家試験の「理論」科目のうちとくに直流回路について解説した。

題目 電験第 2 種実力養成ゼミ第 3 回 機械 直流機

著者名 古樋直己

学会名等 電気計算（電気書院） 2006 年 3 月（第 74 巻第 3 号） pp. 150-153

発表年月日 2006 年 3 月 1 日

概要

第二種電気主任技術者国家試験の「機械」科目のうちとくに直流機について解説した。

題目 電験第 2 種実力養成ゼミ第 4 回 機械 パワーエレクトロニクス

著者名 古樋直己

学会名等 電気計算（電気書院） 2006 年 4 月（第 74 巻第 4 号） pp. 151-154

発表年月日 2006 年 4 月 1 日

概要

第二種電気主任技術者国家試験の「機械」科目のうちとくにパワーエレクトロニクスについて解説した。

題目 電験第 2 種実力養成ゼミ第 5 回 機械 電熱・電気化学

著者名 古樋直己

学会名等 電気計算（電気書院） 2006 年 5 月（第 74 巻第 6 号） pp. 143-146

発表年月日 2006 年 5 月 1 日

概要

第二種電気主任技術者国家試験の「機械」科目のうちとくに電熱・電気化学について解説した。

題目 電験三種合格“羅針盤ノート”理論編

著者名 古樋直己

学会名等 新電気（オーム社）2006 年 6 月号付録
2006 年 6 月号（第 60 巻第 6 号） pp. 13-36

発表年月日 2006 年 6 月 1 日

概要

第三種電気主任技術者国家試験受験者向けの直前対策書の「理論」科目全般について解説した。このテキストは毎年 6 月に東京、大阪などで行われるオーム社主催「電験三種突破研究会」で使用される。また、今年度は講義の様子が有料でネット配信されている。

【角谷英則】

（著書）

題目 『学術選書 009 諸文明の起源 9 ヴァイキング時代』

著者名 角谷英則

発行所名等 京都大学学術出版会 p. 287

発行年月 2006 年 3 月

概要

第 1 章 「ヴァイキング時代」を考えるために（ヴァイキングの社会は「文明」か？/「ヴァイキング時代史」の困難さ-ヴァイキングとナショナリズム）
第 2 章 移動の時代-銀がたどった道（「ヴァイキング」とは/「金の時代」から「銀の時代」へ ほか）
第 3 章 ヴァイキングを生んだスカンディナヴィア（スカンディナヴィアの都市的集落/ビルカとはなにか ほか）
第 4 章 ヴァイキング時代の社会（ヴァイキング時代の「商業」をめぐって/ヴァイキング社会における贈与行為 ほか）
第 5 章 ヴァイキング時代の王権と都市（都市建設の背景/ヴァイキング時代の「王」 ほか）

題目 『高専卒業生に関する就労状況等調査報告書』

著者名 ○内田由理子，太田智加子，角谷英則，山本孝子，奥田浩司

学会名等 2003-2005 年科学研究費補助金基盤報告書

発行年月 2006 年 3 月

概要

I. 調査の概要 第 1 章 調査目的/第 2 章 調査計画・方法/第 3 章 研究組織/II. 調査結果 第 1 章 回答者の概要/第 2 章 初職の就労/第 3 章 就労継続と離職・転職/第 4 章 ジェンダー観/第 5 章 資格取得/第 6 章 卒業生より高専生へのメッセージ/付録 単純集計表・調査票

（著書）

題目 『エスペラント日本語辞典』

著者名 かどやひでのり

学会名等 （財）日本エスペラント学会 p. 1327

発行年月 2006 年 6 月

（論文）

題目 「言語権のひとつの帰結としての計画言語」

著者名 ○かどやひでのり

学会名等 『社会言語学』第 5 号 pp. 35-52

発表年月 2006 年 8 月

概要

人権概念の一部を構成する言語権概念から導出可能であるものとして、すくなくとも計画言語をあげることができることを論証した。第 1 章 言語権/言語差別という概念 第 2 章 言語差別のあらわれかた 第 3 章 構造化された優位性 第 4 章 第一言語話者がもつ権力 第 5 章 あゆみよらせるコミュニケーションの個別状況における権力 第 6 章 第一言語話者不在のコミュニケーション 第 7 章 英語は平等をもたらすか？ 第 8 章 計画言語という選択肢

題目 「高専卒業生のジェンダー意識」

著者名 ○かどやひでのり，内田由理子

学会名等 『詫間電波工業高等専門学校研究紀要』（詫間電波高専）第 34 号 pp. 1-12

発表年月 2006 年 6 月

概要

2003-2005 年科学研究費補助金(c)(1)「高専女子卒業生の労働に関する調査研究」によってえられたデータをもとに、被調査者のジェンダー意識を分析した。

題目 「言語権からコミュニケーション権へ」

著者名 かどやひでのり

学会名等 『人権 21 調査と研究』（岡山人権問題研究所）第 183 号 pp. 78-83

発表年月 2006 年 8 月

概要

言語権概念が成立・普及する過程において、暗黙のうちに議論の前提とされてきたものに、まず音声言語によるコミュニケーションがあったこと、それは手話言語などへ拡張されてきたこと、しかし、依然その射程は「言語」にとどまっていること、その停滞はあらたなコミュニケーションからの排除＝言語差別をうむ可能性があることを指摘し、言語権概念はコミュニケーション権概念へと拡張されるべきことを主張した。

(講演発表)

題目 「言語権とエスペラント学習観」

講演者名 かどやひでのり

学会名等 日本エスペラント学会研究発表会
於：横浜開港記念会館

発表年月日 2005年10月21日

概要

「ブラハ宣言」をへた現在、エスペラントの理論的な根拠を言語権概念にもとめ、それをエスペラント運動の土台とすることについて異議をとねえるひとはいないとおもわれる。しかし、言語権を根拠とするのであれば、エスペラント(運動)のありかた全体を言語権擁護という立場からといなおし、再構成する必要がある。これまでのありかたに言語権と矛盾をきたす要素があるとすれば、それは運動全体の根拠をゆるがすかもしれないからである。しかし、現在のエスペラント界においてかような問題意識は希薄である。本報告では、とくにエスペラント学習観をとりあげ、そうしたなされるべき作業の一端を提示した。

題目 「教育実践における人格概念-高等専門学校における課外活動の検討をもとに-」

講演者名 かどやひでのり

学会名等 第12回日本高専学会 於：神戸研究学園都市・ユニティ、『年会講演論文集』pp. 15-18.

発表年月日 2006年8月19日

概要

高専教育の質的検証と改善のための活動においてみられる欠落のうち、教育実践としての課外活動に焦点をあて、教育の説明責任という観点から、現在の課外活動がもつ問題をあきらかにし、改善への展望をしめした。とくに課外活動の教育上の根拠として「人格」「人間性」概念をもちだすことの不当性・非教育性を指摘し、その濫用が教育の理論的準備をおこたる理由となっている現状を批判した。

題目 「卒業生調査からみる就労と高専教育」

講演者名 ○内田由理子, 太田智加子, かどやひでのり, 山本孝子

学会名等 2006年度独立行政法人国立高等専門学校機構教育教員研究集会 於：海外職業訓練協会国際能力開発支援センター

発表年月日 2006年8月24-25日

概要

2003-2005年科学研究費補助金(c)(1)「高専女子卒業生の労働に関する調査研究」の概要と分析の一部を提示した。

【中平 希】

(講演発表)

題目 「税関連訴訟から見る近世ヴェネツィア共和国のテッラフェルマ支配」

講演者名 中平 希

学会名等 日本西洋史学会 第56回大会, 千葉大学

発表年月 2006年5月

概要

16世紀以降、重要性を増すヴェネツィア共和国の内陸領テッラフェルマにおいて、この内陸領からの税関連上訴を専門に担当した司法機関の記録と統治官の報告書を史料として分析し、テッラフェルマでどのような問題を巡って係争が起こっていたのか、誰が訴訟当事者となったのか、また中央政府はその上訴にどのように対処したのかをあきらかにし、16世紀後半という時代がヴェネツィア共和国の領土政策にとってどのような時代だったのかを位置づけた。

(その他)

題目 「講演翻訳 ミケーラ=ダル=ボルゴ『近代地中海経済史とヴェネツィア共和国の文書館-史料研究案内』」

訳者名 中平 希

学会名等 『西洋史学報』33号 pp. 67-80

発行年月 2006年3月

概要

科学研究費補助金「中世・近世イタリアにおける地方文化の発展とその環境」(研究代表者 山辺規子)による外国人研究者の講演として、ヴェネツィア国立文書館の専門研究員を招いて、2005年10月10日に同志社大学において行われた講演の翻訳。

編集ワーキング・グループ（五十音順）

座長 俣 野 好 治

伊 藤 國 雄 大 平 栄 二

里 吉 昭 宣 杉 山 明

本 元 基 司 吉 富 秀 樹

本号に掲載された論文・調査研究報告の査読は、本校教員のほか、
阿南工業高等専門学校、鈴鹿工業高等専門学校、茨城工業高等専門学
校の協力の下行いました。

津 山 工 業 高 等 専 門 学 校 紀 要

第 4 8 号

平成 1 9 年 3 月 1 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 株式会社 廣 陽 本 社

津山市田町22

BULLETIN OF TSUYAMA NATIONAL COLLEGE OF TECHNOLOGY NO. 48 CONTENTS

<Research Reports>

Analysis of Mutual Constraint of Deformation at Boundary During Elastic Deformation of Inhomogeneous Material Takeji ABE and Tetsuya MIYAKE	1
Thermal Strain of Thermally Cycled Aluminum Alloy Composites Naoya HAGIHARA and Masakatsu SHIBATA	9
Research and Development of a Safety Drainpipe with Vortex Chamber free from the Danger of getting caught in Pool Drain — Analysis of the Dynamic Response of Suction Force caused by Change of Flow — Hideki YOSHITOMI, Hidekazu TANAKA, Kazuhiro INOUE	15
Development and Estimation for Robot Operation System Using Human Gaze Information Natsuki YUMOTO, Yasuaki HAYASHIDA and Hiroyuki INOUE	23
A Study on Responses of Premixed Flames of Hydrogen, Methane and Propane having the same Adiabatic Flame Temperature to Flame Stretch Akihiro HAYAKAWA and Jun HASHIMOTO	29
Performance Evaluations of SiC Power Device (2nd Report) Tomoaki MAKINO and Satoshi NAGAI	37
Study for Increasing the Output Power of a Micro-Wind Generator Hideaki TOYA, Yuji TSUKIZAWA, Norimi AKASHI, Toshifumi YUJI	41
Grip Force Control by means of the DC Servo Motor Yoshinori YAMAMOTO, Masayuki KOBAYASHI	47
Development of an Assistant System for Website Construction and an Effect of Using Open Source Software Tetsuya TABUCHI, Masumi SANO and Tadashi OKADA	55
A Data modeling for Production of Many Models in Small Quantities Eiji OHIRA and Koji FUJITA	61
Study on a permutation problem of Blind Source Separation Yoshihiro SAKAI	67
Case Studies of Project Support for a Regional Society Yozo TAKIZAWA, Tadashi OKADA and Eiji OHIRA	73
On the Aspects of Fermion Matrix in Lattice QCD at Finite Density Yuji SASAI, Atsushi NAKAMURA and Tetsuya TAKAISHI	79
Adsorption of Water, Nitrogen and Argon on Graphite treated with H ₂ O ₂ . Kazuhisa MIURA and Hiroshi YANAZAWA	85
Stability of water droplets floating on water surface Makoto SATO	91
The System and Contents of Electronic and Information Circuits Class in Department of Electrical and Electronic Engineering Kenji MAEHARA	97
Trials of the department of Electrical & Electronic Engineering for securing applicants to the Tsuyama National College of Technology Hideyuki YAGI, Kunio ITO, Jiro SHIMONISHI, Shigeru TANABE, Tadao UETSUKI, Kanji HARADA, Shigeyuki NAKAMURA and Satoshi NAGAI	103
A Study on an Application of a Gradient of Temperature to a Simulation of Grain Growth Atsushi ONISHI and Hiroaki OSHIGE	107
Measuring the wavelength of light with a metal ruler Makoto SATO	113
Tendència a la col·locació laboral de les graduades de <i>Koosen</i> i l'educació professional. Yuriko UCHIDA and Hidenori KADOYA	119
A Study on microcomputer teaching using PIC for control Mitsunori NAKAO	125
<Abstracts of Other Research Reports>	131