

ISSN 0287 - 7066

津山工業高等専門学校紀要

第 54 号

BULLETIN
OF
TSUYAMA NATIONAL COLLEGE OF TECHNOLOGY
NO. 54

2012

津山工業高等専門学校紀要 第54号 2012

目 次

論文

空気圧駆動バルブレスポンプの送液特性	吉富秀樹	1
Effects of Aluminum and Niobium on Impact Properties of Ultra High-Strength TRIP-aided Bainitic Ferrite Steels Tomohiko Hojo, Junya Kobayashi, Tomohiro Kajiyama and Koh-ichi Sugimoto		7
国外での武力紛争における「生命に対する権利」に関する イギリス裁判所の判決 その1	大田 肇	15
Repeat Space Theory Applied to Carbon Nanotubes and Matrix Art Shigeru Arimoto, Massoud Amini, Mark Spivakovsky, Joseph E. LeBlanc, Keith F. Taylor and Tokio Yamabe		31
打ち切り多項式環のホッホシルト・ホモロジー	横谷正明	39
The punctual Hilbert schemes of degree two for monomial plane curve singularities Masahiro Watari, Syogo Akihira, Yuki Hazuo, Shinnosuke Ideta, Kazufumi Otani, Kenshiro Kawamura, Satoshi Kojima, Ryota Sako and Hiroyuki Kusachi		45

研究調査報告

二層構造イットリウム系超伝導バルクの作製	志摩翔太・平松子竜・谷口よしの・原田寛治	49
ウェブユーザインタフェース評価基準を適用したウェブサイトの更新	山口英理子・岡田 正	53
スケジューリング労力低減のための知的エージェント実装の基礎検討	三宅佑磨・岡田 正	59
学生の学習意欲を維持・発展させることを目指したプログラミング実験の実施報告	大西 淳・高山直紀	65
新天体観測室の構築とすばる望遠鏡の利用法	佐々井祐二	71

校外における研究発表等

校外における研究発表等		77
-------------------	--	----

論文

空気圧駆動バルブレスポンプの送液特性

吉富秀樹*

Transport Characteristics of an Air Driven Valveless Pump

Hideki YOSHITOMI

The investigation described in this paper was undertaken to clarify the transport characteristics of an air driven valveless pump. This valveless pump uses the fluidic diode instead of usual mechanical movable valve to rectify the flow. The author designed and produced a test machine of the valveless pump by using performance calculation method shown in the previous paper. As the results of the transport examination, the flow rate of the test valveless pump was 225ml/min and the volumetric efficiency was 26.8%. Those observed performance values agreed with the design values extremely well. So, the validity of the performance calculation method was able to be confirmed. Moreover, it has been understood that the influence of driving cycle number on volumetric efficiency was clarified, and it was appeared that the optimum cycle number was in existent.

Key Words: Valveless Pump, Fluidic Diode, Transport Characteristics, Volumetric Efficiency

1. はじめに

近年、超小型化学反応装置（マイクロリアクター）などのマイクロ分野の液体移送技術として、バルブレスポンプすなわち機械的可動弁を用いないポンプが注目されている^{1),2)}。この背景として、マイクロ分野のポンプでは通常のチェック弁などの機械的可動弁を用いると、弁の摩擦力が流体力に比べて相対的に増大し、ポンプの安定な動作を妨げる要因になると言われている³⁾。また、バルブレスポンプは、当然ながら弁のメンテナンスの必要がなく、遠心ポンプなどのように軸受からの漏れも無いため薬液等の移送ポンプとしても利点があると思われる。そこで筆者は、機械的可動弁を用いることなく、流体制御素子の一種である流体ダイオード⁴⁾で整流するバルブレスポンプを考案し研究を行っている^{5),6)}。

前報⁵⁾では流体ダイオードの整流特性を実験的に解析すると共に、流体ダイオードを用いたバルブレスポンプの性能計算法を示し、当該バルブレスポンプの送液能力に関する可能性を検討した。

本研究では、前報⁵⁾で示した性能計算法を適用して実際にバルブレスポンプの試作機を設計製作し、送液試験を行って送液特性を実験的に解析すると共に前報⁵⁾で示した性能計算法の妥当性についても検証する。

本研究の空気圧駆動バルブレスポンプの設計仕様の策定においては、発熱量 100W の電子機器冷却

用ポンプへの適用を想定し、これに対応した流量 200mL/min 程度の送液能力を持つバルブレスポンプを試作することとした。この試作機を用いた送液試験の結果、ほぼ設計通りの性能が得られ、前報⁵⁾で示した性能計算法の妥当性が検証できた。また、当該バルブレスポンプについて、送液特性に及ぼす揚程の影響や駆動サイクル数の影響等が明らかになった。本報では以上の研究結果について報告する。

2. バルブレスポンプの原理

2. 1. 流体ダイオード

本研究のバルブレスポンプにおいて機械的可動弁の代わりに使う流体ダイオードの形状を Fig.1 に示す。この流体ダイオードは、薄い円筒状の渦室と、この渦室の中心に軸方向に取り付けられた軸ノズル、および渦室外周に接線方向に取り付けられた接線ノズルより構成されている。軸ノズルから流入し接線ノズルへ流出する流れを“順方向流れ”と呼び、これと逆方向の流れ、すなわち接線ノズルから流入する流れを“逆方向流れ”と言う。順方向流れ

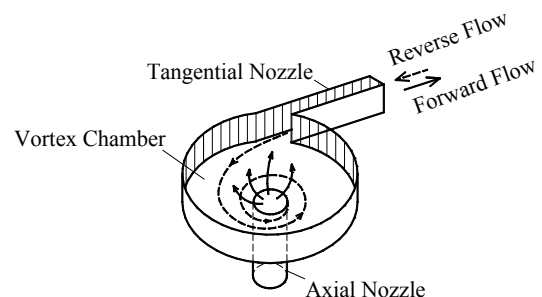


Fig.1 Fluidic Diode

は流動抵抗が小さいが、逆方向流れでは渦室内に強い渦巻き流れが生じて大きな抵抗を示す。一例として、前報⁵⁾で示した渦室直径 D_v が 27.6mm の流体ダイオードの特性を Fig.2 に示す。Fig.2 によると、順方向流れと逆方向流れで流動抵抗に大きな差があることが分かる。この流動抵抗の差に依って、順方向と逆方向のサイクリックな流れに対して、逆流を完全には阻止できないもののある程度の整流効果を発揮する。本研究では、この流体ダイオードを機械的可動弁の代わりに用いてバルブレスポンプを実現している。

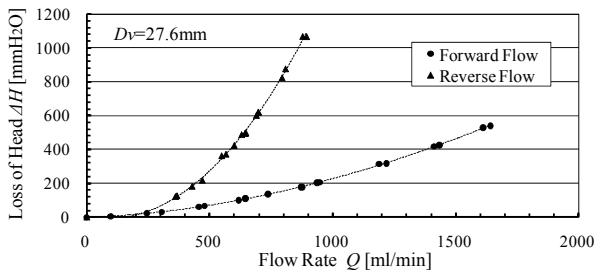


Fig.2 Characteristics of fluidic diode

2. 2. バルブレスポンプの基本構成

バルブレスポンプの概念図を Fig.3 に示す。このバルブレスポンプは形態としては容積型ポンプであり、可撓性ダイアフラムを伸縮させることで排除容積を生じさせて吸込行程と吐出行程を行う。バルブレス機構を実現するため、通常のチェック弁の代わりにポンプ室の吸込側と吐出側にそれぞれ流体ダイオードを設置している。吸込側ダイオードは吸込行程において順方向流れとなる向きに取り付け、吐出側ダイオードは吐出行程において順方向流れとなる向きに取り付けている。

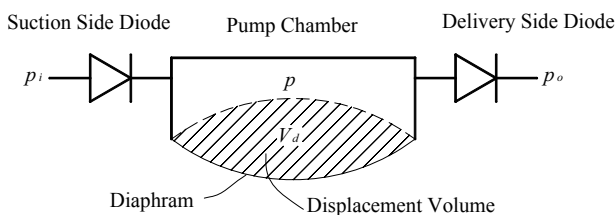


Fig.3 Schematic diagram of valveless pump

また、本研究のバルブレスポンプでは、ダイアフラムの駆動を空気圧アクチュエータ(エアシリンダ)で行うことから“空気圧駆動バルブレスポンプ”と呼んでいる。

3. 空気圧駆動バルブレスポンプの設計製作

本研究で試作する空気圧駆動バルブレスポンプは、発熱量 100W の電子機器冷却用ポンプへの適用

を想定して設計仕様を定めた。水を冷媒とした冷却システムを考えた場合、100W の熱を除去するために必要な冷却水量すなわちポンプ流量は、熱交換器の性能にも依るが、仮に熱交換器での温度上昇幅を 8℃ とすると 180mL/min の流量が必要となる。そこで、少し余裕を見込んで設計流量を 200mL/min とし、空気圧駆動バルブレスポンプを設計製作することとした。

上記の設計流量 200mL/min を実現するバルブレスポンプの性能設計は、前報⁵⁾で示した性能計算法を適用して行った。詳細は省略するが、試行錯誤的に性能計算を繰り返した結果、以降に述べるように、渦室直径が 18mm の流体ダイオードを用いることで設計流量を達成できるものと予測された。この性能設計の概要を示すと次のようになる。

すなわち、流体ダイオードのダイオード比(逆方向流れと順方向流れの抵抗比)を ψ とすると、渦室直径が 18mm の流体ダイオードのダイオード比は前報⁵⁾で示したデータから $\psi=1.9$ 程度と見込める。また、この流体ダイオードの渦室厚みは 2mm であるから渦室容積 V_v は 0.5mL となる。前報⁵⁾で示した性能計算法の設計指針によると、排除容積 V_d と渦室容積 V_v の容積比 $\beta=V_d/V_v$ は 10 以上にする必要があるの、ここでは $\beta=14$ として排除容積を 7mL に設定した。そうすると、前報⁵⁾の性能計算法で与えられている式よりポンプの容積効率 η_v は、

$$\eta_v = \left(1 - \frac{2}{\beta}\right) \frac{\psi - 1}{\psi + 1} = \left(1 - \frac{2}{14}\right) \times \frac{1.9 - 1}{1.9 + 1} = 0.266 \quad \text{--- (3-1)}$$

と計算でき 26.6% となる。

次に、ポンプのダイアフラムの単位時間当たりの往復動数を駆動サイクル数 f と呼ぶことにすると、空気圧アクチュエータで駆動する場合は高速駆動が可能であり 2~3c/s 程度の速度は出せると考えられるので、ここでは駆動サイクル数を 2c/s とし、設計する。よって、前報⁵⁾の性能計算法で与えられている式より 1 分間当たりの送流量 Q は、

$$Q = f V_d \eta_v \times 60 = 2 \times 7 \times 0.266 \times 60 = 223 \quad \text{--- (3-2)}$$

と計算でき、設計流量の 200mL/min を少し上回る 223mL/min の流量が見込めることになる。なお、上記で示した前報⁵⁾の性能計算法は、吸込ヘッドと吐出ヘッドが等しい場合(すなわち揚程がゼロ)の値であるので、揚程が高くなると当然ながら送流量は変化するが、揚程の影響は後で実験的に調べる。

ダイアフラムを駆動する空気圧アクチュエータとしては、ストローク長が 10mm のエアシリンダ(TAIYO 製の 10S-1RG 型)を用いた。このエアシリンダの動きに対応したダイアフラムによる排除容積 V_d が設計値の 7ml となるようダイアフラムの寸法を調整した。なお、ポンプが完成後に予備実験を別途行って排除容積が 7mL になっていることを確認して

いる。

本研究の空気圧駆動バルブレスポンプの主な設計仕様を Table 1 にまとめて示す。表中の流体ダイオードの欄の記号は、下記の挿絵の記号に対応している。

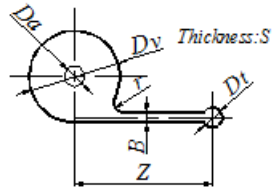


Table 1 Design specifications of the valveless pump

Fluidic diode	D_v	18mm
	S	2mm
	D_a	4mm
	B	2mm
	Z	20mm
Diaphragm	material	silicone rubber
	thickness	0.5mm
Pump chamber displacement volume	V_d	7mL
Pneumatic cylinder	type	TAIYO 10S-1RG
	Stroke length	10mm
Expected flow rate	Q	223mL/min
Expected volumetric efficiency	η_v	26.6%

製作した空気圧駆動バルブレスポンプの写真を Fig.4 に示す。Fig.4 はポンプを横から見た写真であるが、上部の円筒状の部分がバルブレスポンプ本体部分であり、その下に設置してある機器がエアシリンダである。ダイアフラムはポンプ本体部分に組み込まれているので写真では分かりにくいが厚さ 0.5mm のシリコンゴム製のダイアフラムを組み込んでいる。

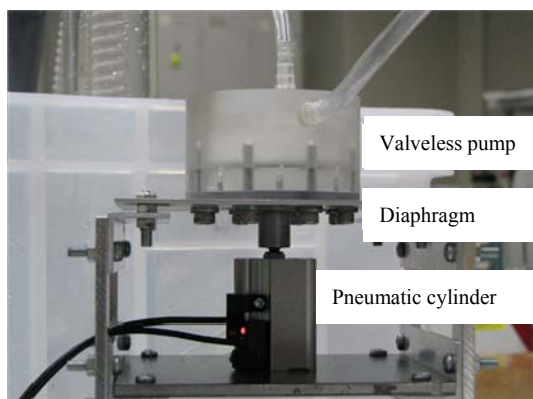


Fig.4 Photo of the valveless pump

4. 試験装置および試験方法

試験装置の構成を Fig.5 に示す。この試験装置

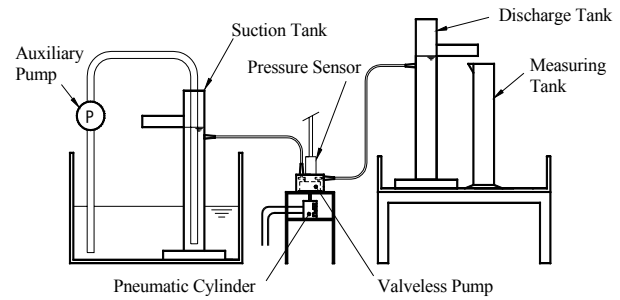


Fig.5 Experimental apparatus

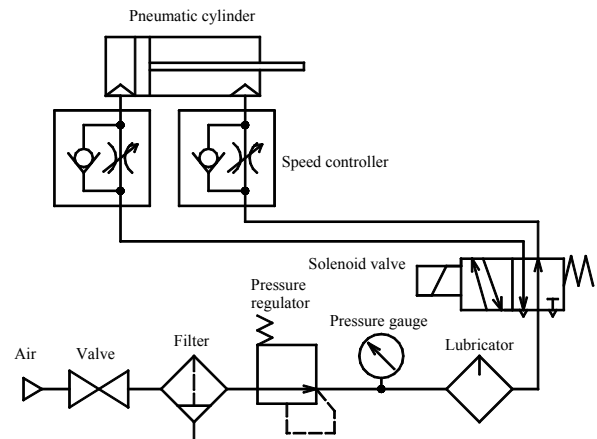


Fig.6 Pneumatic drive system

は、バルブレスポンプで水を吸込側タンクから吐出側タンクへ送るものである。したがって、揚程 H は、吸込側タンク水面と吐出側タンク水面の高さの差となる。なお、吸込側タンクは、補助ポンプから送った水をオーバーフロー管から溢れさせることによって水位を常に一定に保っている。送液量は、吐出側タンクのオーバーフロー管から出た水を計量タンクに溜めて体積と時間を測る体積法によって求めた。また、ポンプ室内の圧力変動は、圧力変換器をポンプ室上部に設置して測定した。エアシリンダを動かすための空気圧回路は、Fig.6 に示すような一般的な回路であり、電磁弁をプログラマブルコントローラーで制御している。試験液は常温の水道水を用いた。

試験方法は、まず揚程を設定したうえで、空気圧回路に設けた速度制御弁によって駆動サイクル数を所定の値に合わせた。なお、駆動サイクル数の設定時には、試験データの分析を考えやすくするため、エアシリンダの伸びる時間（ポンプの吐出行程に相当する時間）と縮む時間（ポンプの吸込行程に相当する時間）を便宜上合わせている。また、圧縮空気の圧力は、コンプレッサーで 0.7MPa.g の圧縮空気を生成し、減圧弁で 0.4MPa.g に降圧してエアシリンダに供給している。

5. 試験結果および考察

試験で得られた空気圧駆動バルブレスポンプの特性を Fig.7~Fig.10 に示す。これらの特性について以下に考察する。なお、以下の項で示す容積効率 η_v は式(5-1)で求めたものである。ここに、 Q は 1 分間当りの送液量、 V_d は排除容積、 f は駆動サイクル数である。

$$\eta_v = \frac{Q}{60V_d f} \quad \text{-----(5-1)}$$

5. 1. 性能計算法の妥当性の検証

前記第3章で示したように、前報⁵⁾の性能計算法に基づいて設計した性能予測値は流量が 223mL/min、容積効率が 26.6%であった。これは、駆動サイクル数が 2c/s で揚程は 0m での値であったので、Fig.7 において揚程 0m で駆動サイクル数 2c/s に該当する値を見ると 225mL/min となっており、容積効率は Fig.8 によると 26.8%であり、いずれも設計値と極めて良く一致している。

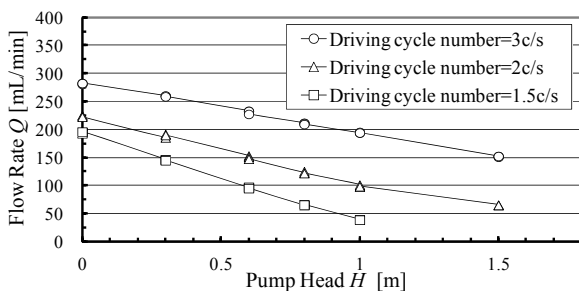


Fig.7 Characteristics of the valveless pump

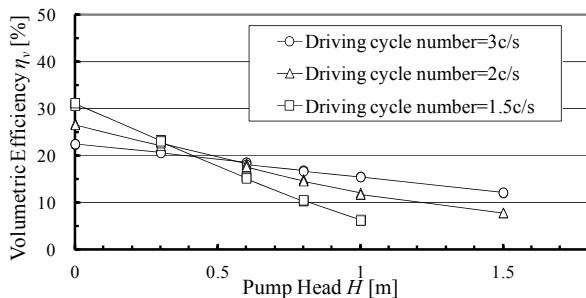


Fig.8 Characteristics of the valveless pump

ところで、前報⁵⁾で示した性能計算法はいくつかの仮定の下に成り立つ簡易的な設計法であるが、今回の試験結果とは予想以上に良く合っている。これは、今回のバルブレスポンプに使用している流体ダイオードが前報⁵⁾の性能計算法のベースとなった流体ダイオードとほぼ同一寸法であり、流体ダイオードの性能予測の精度が良いためと思われる。流体ダイオードの寸法が変わった時に性能予測値がどの程度実機と合うかが問題であるが、これは今後さらに種々のサイズのバルブレスポンプについて性能計算法の妥当性をチェックして行くことが必要である。いずれにしても、今回の試験データは性能予測値と

極めて良く合っており、前報⁵⁾で示した性能計算法は妥当なものであると言える。

5. 2. 流量特性に及ぼす揚程の影響

Fig.7によると、駆動サイクル数が同じ場合、流量は揚程が高くなるに従いほぼ直線的に減少している。この減少割合は、例えば揚程が 0m から 1.5m になると、駆動サイクル数が 3c/s の時は約 50%に低下し、1.5c/s の時には約 20%に低下している。つまり、揚程が高くなった時の流量の低下割合は駆動サイクル数によって異なり、高揚程になると駆動サイクル数はある程度大きくした方が流量増につながる事が分かる。ただし、後で述べるが、駆動サイクル数には適正値があって、むやみに大きくすれば良いというものでもない。

次に、Fig.8 から容積効率 η_v を見てみると、容積効率は最大でも 31%程度であり、一般的な容積型ポンプに比べると低いものである。これは流体ダイオードが逆流を完全には止められないことが原因であり、本研究の形式のバルブレスポンプにとっては宿命とも言えるものである。よって、バルブレスポンプの実用化を検討する場合、効率よりもメンテナンスフリーなどの特徴が活かせる付加価値の高い分野を対象にすることになる。

また、Fig.8 によると容積効率は揚程と駆動サイクル数の両方の影響を受けている。低揚程の場合は、駆動サイクル数が小さい方が容積効率は高いが、高揚程では逆に駆動サイクル数が大きい方が容積効率が高くなっている。これらの容積効率の特性については次節で詳細に考察する。

5. 3. 流量特性に及ぼす駆動サイクル数の影響

流量に及ぼす駆動サイクル数の影響を Fig.9 に示す。揚程は、0m、0.6m、および 1.0m の 3 種類に変えているが、いずれの揚程においても駆動サイクル数が 4c/s までは駆動サイクル数が大きくなるに従って流量も増えている。しかし、駆動サイクル数が 5 サイクルになると逆に流量が減ってしまっていることが分かる。バルブレスポンプの送液量は前記の式(3-2)で与えられるので、駆動サイクル数 f が同じで流量 Q が減少するということは容積効率 η_v が低下していることを意味している。そこで、Fig.9 のデータから容積効率を計算すると Fig.10 が得られる。

Fig.10 から容積効率の特徴が分かる。まず、揚程 0m の時には吐出側タンクから吸込側タンクへの逆流は考えなくてよいので、駆動サイクル数のみの影響が考察できる。そこで、Fig.10 の揚程 0m のデータの分布を見ると、駆動サイクル数が大きくなるに従って容積効率が一様に低下している。これは、エアシリンダを速く動かすと（駆動サイクル数が大き

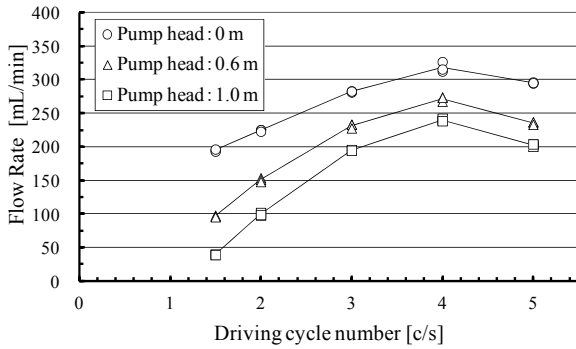


Fig.9 Characteristics of the valveless pump

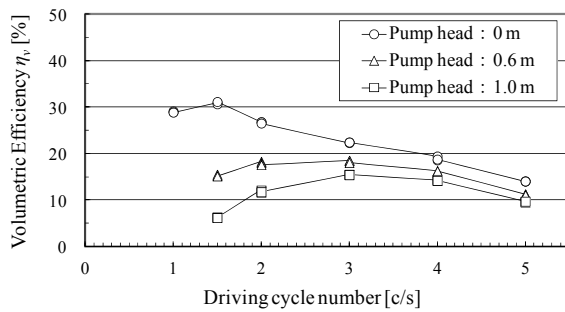


Fig.10 Characteristics of the valveless pump

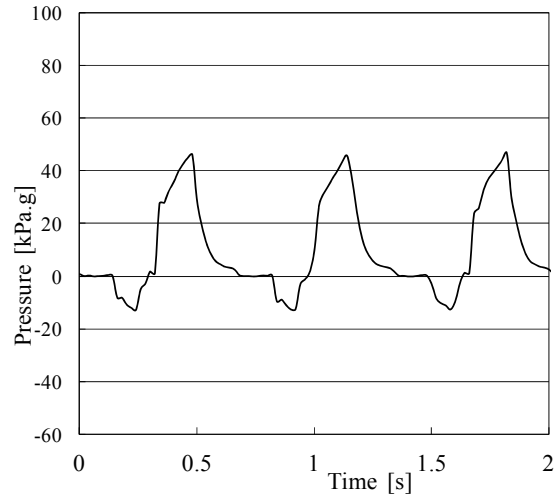
いことはエアシリンダを速く動かしていることに相当する), ダイアフラムが変形してしまって本来の排除容積を確保できず, 吸込と吐出が十分行われな
 いためと考えられる. 事実, 試験中のダイアフラム
 の様子を目視で観察したところ, 駆動サイクル数が
 大きくなると明らかにダイアフラムが変形している
 のが観察できた. また, 次節で述べるが, ポンプ室
 内圧力変動の計測値からも, 駆動サイクル数が大き
 くなるとダイアフラムの変形が起こるものと考えら
 れる.

一方, Fig.10 において揚程が 0.6m と 1m の時に
 は, 容積効率と駆動サイクル数の関係は単純ではな
 い. すなわち, 駆動サイクル数が 1.5c/s から 3c/s く
 らいまでは駆動サイクル数が大きくなると容積効率
 が高くなっている. これは, 揚程が 0m でない場合
 は吐出側タンクから吸込側タンクへの逆流が起こる
 が, エアシリンダをゆっくり動かしていると逆流量
 が増えてしまうため, ある程度速く動かした方が効
 率向上につながるためである. しかし, 3c/s 以上に
 増やすと前述と同様のダイアフラムの変形量が大き
 くなり容積効率が低下するものと考えられる. これ
 らのことから, ダイアフラム型バルブレスポンプの
 駆動サイクル数には, 揚程に応じて最適値が存在す
 ることが分かる.

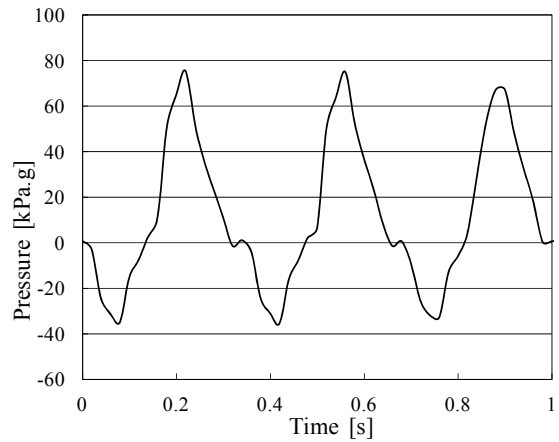
5. 4. ポンプ室内圧力変動

ポンプ室内圧力変動の計測値を Fig.11 に示す.
 Fig.11 の (a)~(c)より駆動サイクル数を大きくする

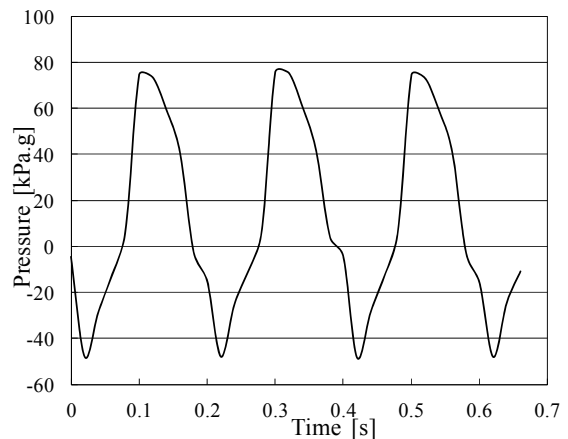
と, ポンプ室内の圧力が増加することが分かる. し
 かし, 駆動サイクル数が 3c/s の(b)と 5c/s の(c)を比べ
 ると圧力変動の増加はわずかである. これは, 駆動
 サイクル数を 3c/s 以上にするとダイアフラムが変形
 することで圧力変動を吸収するためと考えられる.
 この変形によって, 前節で述べたように容積効率が



(a)Driving cycle number=1.5c/s, Pump head=1.0m



(b)Driving cycle number=3.0c/s, Pump head=1.0m



(c)Driving cycle number=5.0c/s, Pump head=1.0m

Fig.11 Pressure fluctuation in pump chamber

低下してしまうのである。また、駆動サイクル数が小さい(a)を見ると、圧力が低下して行く行程（ポンプの吸込行程に相当する部分）において、圧力が0kPa.g付近で波形に段ができています。これは、エアシリンダがゆっくり動くと、吸込側と吐出側から水が自然にポンプ室内へ流入して来るため負圧にならず0kPa.g付近の圧力を維持している領域が生じるものと考えられる。なお、駆動サイクル数が大きくなると、吸込側と吐出側から水が自然にポンプ室内へ流入して来る時間的余裕がないため、圧力波形に段は無くなっている。

6. まとめ

本研究では、機械的可動弁を用いないバルブレスポンプとして、流体ダイオードを用いた空気圧駆動バルブレスポンプについて試験機を設計製作して送液試験を行い、送液特性を実験的に解析すると共に前報⁵⁾で示した性能計算法の妥当性を検証した。試作したバルブレスポンプは、発熱量100Wの電子機器冷却用ポンプに対応したもので、性能設計におけ

る予測流量は223mL/min、予測される容積効率は26.6%であった。これに対して、試験機の送液試験における実測流量は225mL/min、実測された容積効率26.8%であり、いずれも性能予測値と極めて良く一致しており前報⁵⁾で示した性能計算法の妥当性が確認できた。また、容積効率に及ぼす駆動サイクル数の影響が明らかになり、駆動サイクル数にはポンプの揚程対応した最適値が存在することが分かった。

参考文献

- 1) 田中，塚本，宮崎：ディフューザ型バルブレスマイクロポンプの開発，日本機械学会論文集(B編)，74，738(2008)323-328
- 2) Nam-Trung Nguyen, Steven T. Wereley: Fundamentals and Applications of Microfluidics, Artech House, (2002)308-312
- 3) 木寺，塚本，宮崎：圧電素子をアクチュエータとするバルブレスマイクロポンプ，ターボ機械，31，7(2003)435-439
- 4) 尾崎省太郎，原美明：純流体素子入門，日刊工業新聞社，(1967)34-37
- 5) 吉富，井上：流体ダイオードを用いたバルブレスマイクロポンプの研究ー流体ダイオードの整流特性とポンプ性能の理論解析ー，津山工業高等専門学校紀要，49(2008)9-15
- 6) 吉富：流体ダイオードを用いた空気圧駆動バルブレスポンプの送液特性，平成23年度フルードパワーシステム講演会講演論文集，(2011)22-24

Effects of Aluminum and Niobium on Impact Properties of Ultra High-Strength TRIP-aided Bainitic Ferrite Steels

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

The influence of alloying additions on the impact properties of TRIP-aided bainitic ferrite steel (TBF steel) has been investigated extensively. It has been found that the addition of 0.5 mass% aluminum to a 0.2%C-1.5%Si-1.5%Mn (mass%) TBF steel increases the upper shelf Charpy impact absorbed energy while lowering the fracture appearance transition temperature. This is mainly attributed to the localized stress relaxation due to strain-induced transformation of the fine and carbon enriched retained austenite films. It has also been observed that the addition of both 0.5 mass% aluminum and 0.05 mass% niobium to the steel A improves the impact properties, especially when austempered near the martensite start temperature. This is mainly caused by the refined bainitic ferrite lath structure, stable retained austenite and refined prior austenite grain size achieved by the addition of niobium.

Key Words: TRIP-aided steel; ultra high-strength steel; aluminum; niobium; microstructure; retained austenite; toughness

1. INTRODUCTION

Recently high- and ultra high-strength low alloy TRIP-aided steels associated with transformation induced plasticity (TRIP)¹⁾ have been developed for automotive applications to attain weight reduction and improve the impact safety of vehicles. TRIP-aided steel possesses excellent formability²⁻⁹⁾, hence their use for automotive impact members and centre pillars are expected.

At present, three kinds of TRIP-aided steels, namely TDP (TRIP-aided Dual Phase) steel with polygonal ferrite matrix²⁻⁷⁾, TBF (TRIP-aided Bainitic Ferrite) steel with bainitic ferrite matrix⁸⁾ and TAM (TRIP-aided Annealed Martensite) steel with annealed martensite matrix⁹⁾ have been developed. As the TBF steel is characterized by the highest tensile strength (780-1470 MPa) and the best toughness in the TRIP-aided steels¹⁰⁾, application as automotive hot-forgings is expected, replacing conventional structural steels. Since it is known that the impact property of TBF steel is greatly affected by the retained austenite characteristics and matrix structure (lath structure and prior austenite grain size), it is necessary to consider whether the addition of alloying element affects impact properties of TBF steel or not. However, the effects of alloying element on the toughness have not been extensively examined although there are very few studies on the TRIP-aided steels¹⁰⁾.

In this study, the effects of addition of aluminum and niobium on impact properties of the TBF steel have been

investigated. They have also been related with microstructural features and retained austenite characteristics of the steel.

2. EXPERIMENTAL PROCEDURE

In this study, three kinds of vacuum melted and hot-forged slabs were prepared. Steel A is the base steel with chemical composition of Fe-0.19%C-1.52%Si-1.51%Mn (mass%). In steel B, aluminum of 0.48 mass% was added to the steel A. Steel C had addition of 0.49 mass% aluminum and 0.05 mass% niobium. Chemical compositions of these three steels are listed in Table 1, with martensite-start temperature (M_s) estimated by the following equation (1)¹¹⁾.

$$M_s (^{\circ}\text{C}) = 550 - 361 \times (\%C) - 39 \times (\%Mn) - 0 \times (\%Si) + 30 \times (\%Al) - 5 \times (\%Mo) \quad (1)$$

where %C, %Mn, %Si, %Al and %Mo represent contents in mass percent of individual alloying elements, respectively.

Hot-rolling process and heat-treatment diagram are illustrated in Fig. 1 schematically. First, slabs were heated to 1200°C and hot-rolled to 3.2 mm thickness to a finishing rolling temperature of 850°C. Next, the sheet steels were annealed at 950°C for 1200 s in austenitic region and then austempered at 300-475°C for 200 s in

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

steel	C	Si	Mn	P	S	Al	Nb	N	M_s
A	0.19	1.52	1.51	0.015	0.002	0.038	-	0.0013	424
B	0.21	1.48	1.49	0.014	0.002	0.480	-	0.0014	430
C	0.19	1.51	1.50	0.010	0.002	0.480	0.05	0.0012	437

Received 31. 8. 2012

* Department of Mechanical Engineering

** Graduate Student, Shinshu University

*** Department of Mechanical System Engineering, Shinshu University

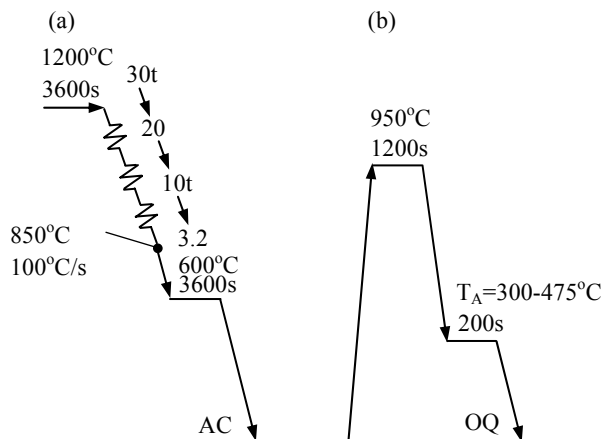


Fig. 1. Hot rolling and heat treatment process of TBF steels.

salt baths to make the TBF steels.

Volume fraction of retained austenite (f_r , vol%) was quantified from integrated intensity of $(200)_\alpha$, $(211)_\alpha$, $(200)_\gamma$, $(220)_\gamma$ and $(311)_\gamma$ peaks by X-ray diffractometry using Mo-K α radiation¹²⁾. The carbon concentration (C_γ , mass%) of retained austenite was estimated from the following equation (2). In this case, lattice constant (α_γ , $\times 10^{-1}$ nm) was measured from $(200)_\gamma$, $(220)_\gamma$ and $(311)_\gamma$ peaks of Cu-K α radiation¹³⁾.

$$\alpha_\gamma = 3.5780 + 0.0330C_\gamma + 0.00095Mn_\gamma + 0.0056Al_\gamma + 0.0220N_\gamma + 0.0051Nb_\gamma + 0.0031Mo_\gamma \quad (2)$$

where Mn_γ , Al_γ , N_γ , Nb_γ and Mo_γ represent concentrations of individual elements (mass%) in retained austenite. For convenience, bulk compositions of substitutional alloying elements were substituted for these concentrations in this study.

Tensile tests were carried out on a hard type of testing

machine at 25°C and at a crosshead speed of 1 mm/min (i.e. strain rate of 8.33×10^{-4} /s), using tensile specimens of 20 mm in gauge length, 4 mm in width and 2.5 mm in thickness.

Impact tests were conducted on Charpy impact testing machine at a temperature range between -196 and 150°C. Liquid nitrogen, dry ice and ethanol were used for cooling the specimen. A thermostatic bath was used when the specimen was heated. The specimens were held for 1800 s at the testing temperature before impact testing. Impact properties were evaluated by upper shelf Charpy impact absorbed value ($CIIV$) and fracture appearance transition temperature ($FATT$).

3. RESULTS

3.1. MICROSTRUCTURE AND TENSILE PROPERTIES

Typical scanning electron micrographs and transmission electron micrographs of steels A, B and C are shown in Figs. 2 and 3 respectively. Microstructures of these steels austempered at temperatures above M_s consist of bainitic ferrite matrix with interlath retained austenite films. On the other hand, when austempering treatment is carried out at temperatures below M_s , the lath-like martensite coexists with bainitic ferrite¹⁴⁾. In this case, volume fraction of the martensite increases with decreasing austempering temperature. Addition of aluminum tends to become finer lath width and retained austenite films in steel B. Further addition of niobium decreases the prior austenite grain size, although a small amount of pro-eutectoid ferrite is formed during cooling after austenitization. In the steel C, NbC is observed in both

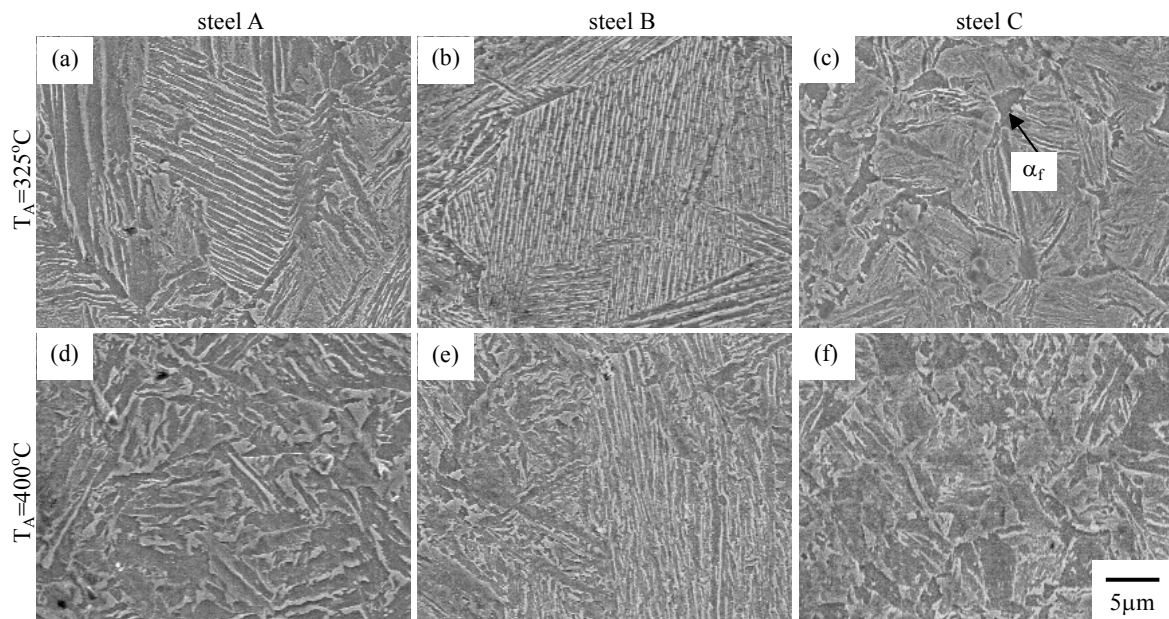


Fig. 2. Scanning electron micrographs of steels (a and d) A, (b and e) B and (c and f) C austempered at (a, b and c) 325°C or (d, e and f) 400°C, in which α_f is pro-eutectoid ferrite phase.

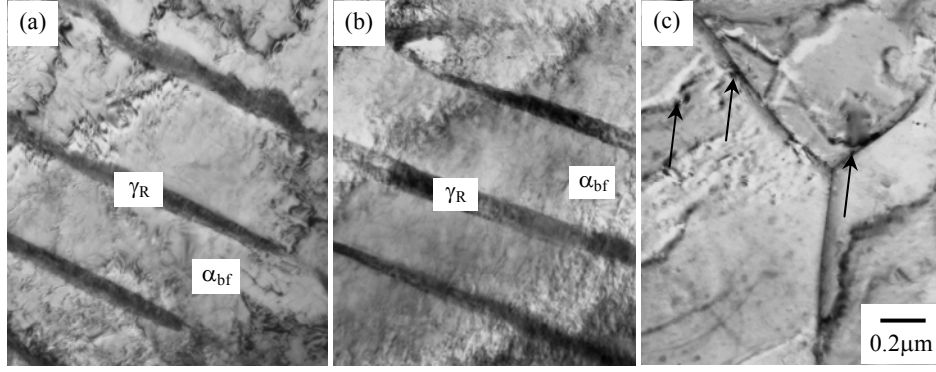


Fig. 3. Transmission electron micrographs of steels (a) A, (b) B and (c) C austempered at 400°C, in which α_{bf} and γ_R represent bainitic ferrite and retained austenite respectively and arrows represent NbC precipitations.

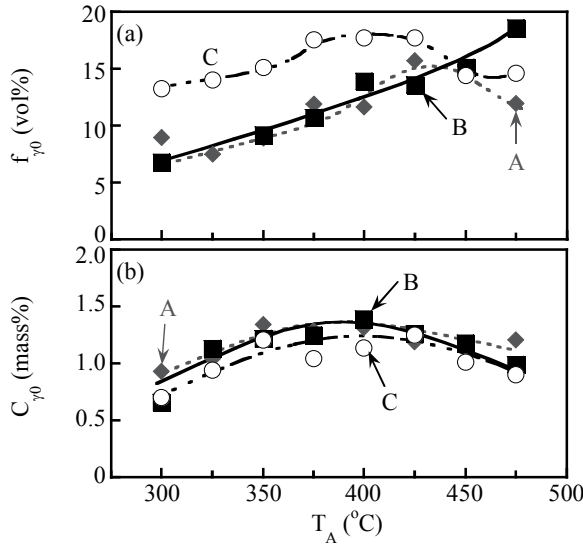


Fig. 4. Variations in (a) initial volume fraction of γ_R ($f_{\gamma 0}$) and (b) initial carbon concentration of γ_R ($C_{\gamma 0}$) as a function of austempering temperature (T_A) in steels A, B and C.

the matrix and at grain boundaries (Fig. 3(c)).

The initial volume fraction of retained austenite ($f_{\gamma 0}$) and its carbon concentration ($C_{\gamma 0}$) as a function of austempering temperature of steels A, B and C are shown in Fig. 4. The initial volume fractions of retained austenite in steel A are between 7.5 and 15.7 vol%, and their carbon concentrations are between 0.93 and 1.34 mass% respectively. Initial volume fractions of retained austenite of steel B are hardly changed by aluminum addition, although their carbon concentrations increase a little, compared with those of steel A. On the other hand, combined addition of aluminum and niobium tends to increase the initial volume fraction of retained austenite, with a little decrease in its carbon concentration.

Stability of retained austenite against the strain-induced transformation can be estimated from the carbon concentration of retained austenite. However, the true retained austenite stability should be evaluated by k value which is defined by the following equation (3)^{2, 3, 7-9}.

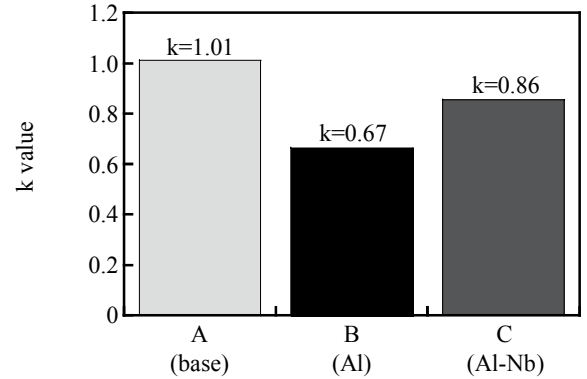


Fig. 5. k value of steels A, B and C austempered at 400°C.

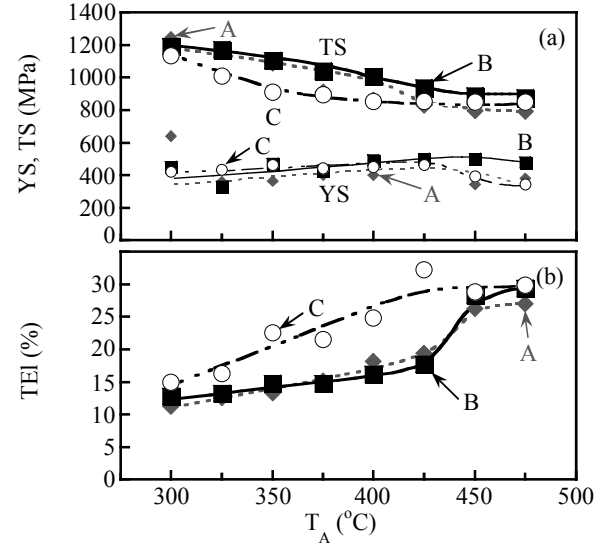


Fig. 6. Variations in (a) tensile strength (TS) and yield strength or 0.2% offset proof stress (YS) and (b) total elongation (TEI) as a function of austempering temperature (T_A) in steels A, B and C.

$$\log f_{\gamma} = \log f_{\gamma 0} - k \varepsilon \quad (3)$$

where $f_{\gamma 0}$ and f_{γ} are initial volume fraction of retained austenite and volume fraction after straining to plastic strain ε in uniaxial tension, respectively. Fig. 5 shows the k values measured in steels A, B and C austempered at 400°C. From Figs. 4(b) and 5, it is found that the lower k value corresponds with higher carbon concentration of retained austenite. So, the high carbon concentration of

retained austenite in Fig. 4(b) means high stability of retained austenite in the present steels.

Fig. 6 shows the tensile properties of steels A, B and C. Tensile strengths (TS s) of these steels are between 792 and 1233 MPa and the total elongations (TE s) are between 11.3 and 32.2 % respectively. TBF steels with added aluminum displayed high tensile strength of more than 980 MPa grade at the range of austempering temperature below 400°C compared with steel A. On the other hand, combined additions of aluminum and niobium decrease the tensile strength and increase the total elongation.

3.2. IMPACT PROPERTIES

Fig. 7 shows the typical testing temperature dependence of Charpy impact absorbed value ($CIAV$) of steels A, B and C austempered at 325 and 400°C. Upper shelf $CIAV$ s are clearly visible in all steels. It is noted that these $CIAV$ s rapidly decrease with decreasing testing temperature for all the steels.

Fig. 8 shows the variations in upper shelf $CIAV$ and

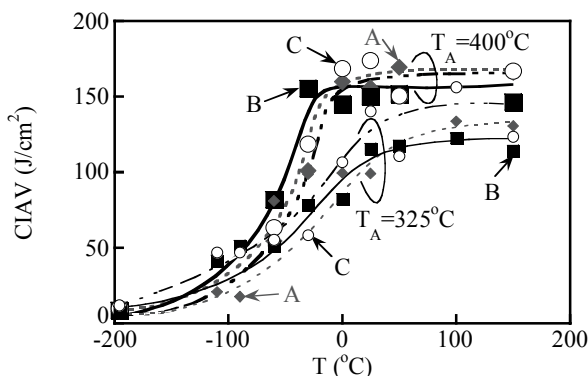


Fig. 7. Charpy impact absorbed value ($CIAV$) - testing temperature (T) curves for steels A, B and C austempered at 325°C or 400°C.

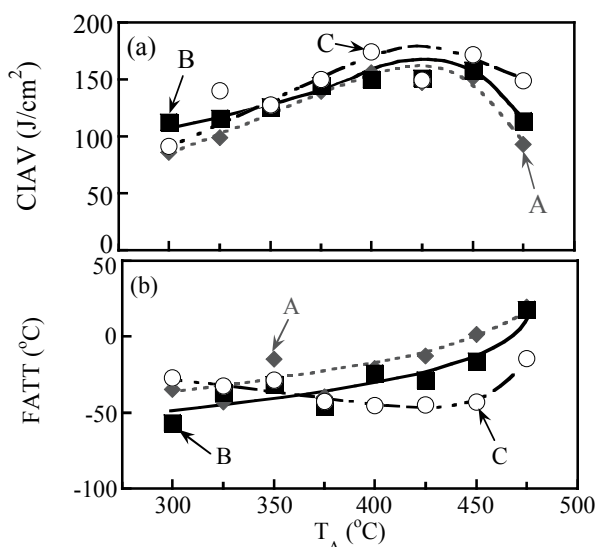


Fig. 8. Variations in (a) Charpy impact absorbed value ($CIAV$) at 25°C and (b) fracture appearance transition temperature ($FATT$) as a function of austempering temperature (T_A) in steels A, B and C.

fracture appearance transition temperature ($FATT$) as a function of austempering temperature (T_A) in steels A, B and C. When the steels are austempered close to their respective M_s , high upper shelf $CIAV$ s are obtained. It is clearly indicated in Fig. 8 that the upper shelf $CIAV$ is increased and the $FATT$ is decreased by aluminum addition and combined addition of aluminum and niobium respectively. It is noteworthy that the $FATT$ of steel C is lowered by austempering at region of 375-475°C. Fig. 9 shows the co-relation between the $CIAV$ tested at 25°C and $FATT$ versus tensile strength (TS) for all the steels. When the impact properties of the steels are related to tensile strength, the high upper shelf $CIAV$ s and low $FATT$ s are achieved in steels B and C.

Figs. 10 and 11 show impact load (P)-displacement (δ) curves and crack initiation energy (E_i), crack propagation energy (E_p) and total absorbed energy ($E_t = E_i + E_p$) measured from impact load-displacement curves at 25°C for TBF steels austempered at 325, 400 and 450°C (Fig. 10) and for steels A, B and C austempered at 400°C (Fig. 11). In Fig. 10, the peak of maximum impact load of TBF steel austempered at 450°C is at a larger displacement with lower value than those of transformed at 325 or 400°C. TBF steel austempered at 400°C indicates high E_i and crack propagation energy ratio (E_p / E_i) compared with TBF steels austempering at 325 and 450°C. If aluminum and niobium are both added, peak impact load is decreased compared with steels A and B (Fig. 11(a)). E_t , E_i and E_p of steel B are slightly decreased (Fig. 11(b)). On the other hand, a large difference in E_t , E_i and E_p between steel A and steel C is not observed.

Figs. 12 and 13 show typical scanning electron micrographs of fracture surface and cross sectional area

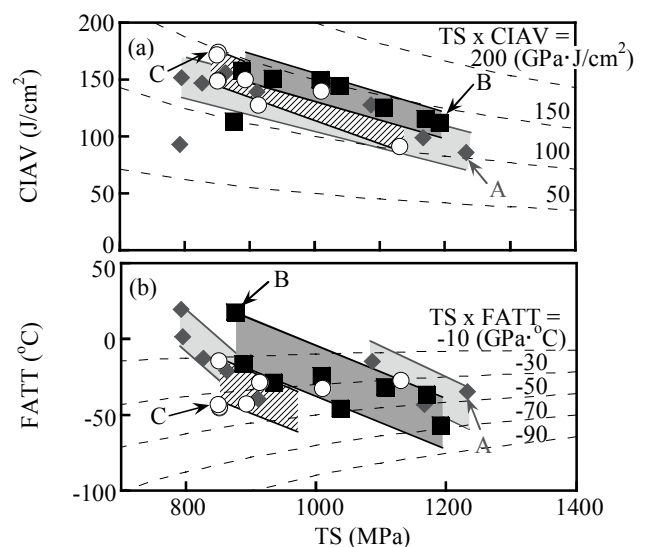


Fig. 9. Relationships of (a) Charpy impact absorbed value ($CIAV$) at 25°C and (b) fracture appearance transition temperature ($FATT$) and tensile strength (TS) in steels A, B and C.

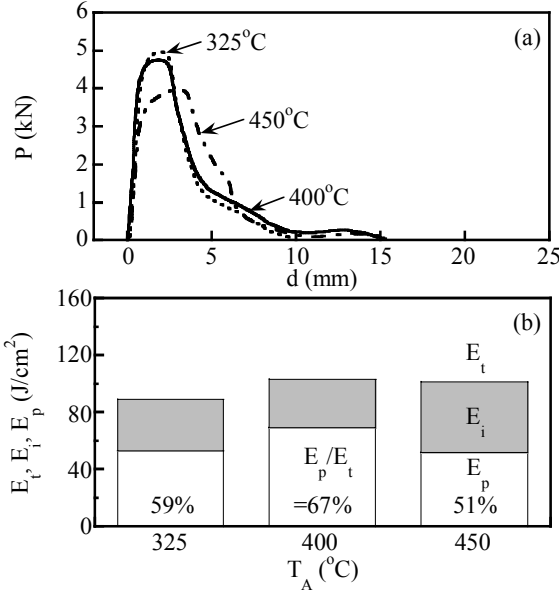


Fig. 10. (a) Impact load (P)-displacement (d) curves and (b) crack initiation energy (E_i), crack propagation energy (E_p) and total absorbed energy ($E_t = E_i + E_p$) measured from impact load-displacement curves at 25°C for steel A austempered at 325, 400 or 450°C.

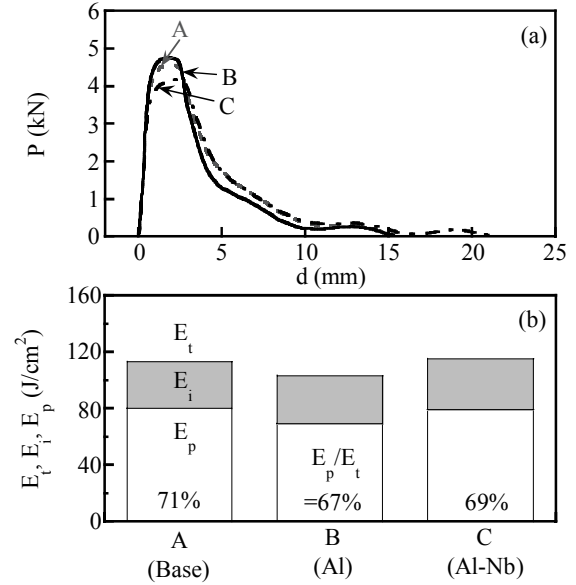


Fig. 11. (a) Impact load (P)-displacement (d) curves and (b) crack initiation energy (E_i), crack propagation energy (E_p) and total absorbed energy ($E_t = E_i + E_p$) measured from impact load-displacement curves at 25°C for steels A, B and C austempered at 400°C.

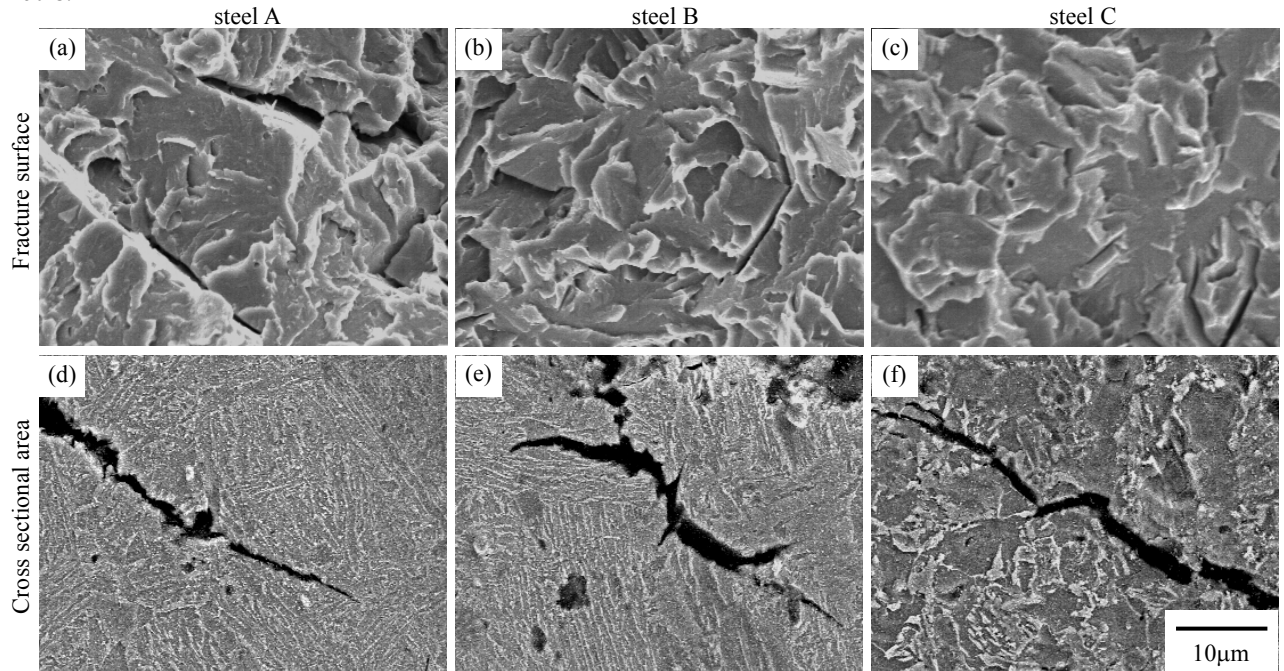


Fig. 12. Scanning electron micrographs of (a, b and c) fracture surface and (d, e and f) cross sectional area near fracture region of steels (a and d) A, (b and e) B and (c and f) C fractured at -196°C. Austempering temperature is 400°C.

near fracture region of steels A, B and C austempered at 400°C tested at -196°C (Fig. 12) and 25°C (Fig. 13). From Fig. 12, it is observed that quasi-cleavage fractures occurred in every TBF steels tested below the *FATT*. In steel C, facet size of quasi-cleavage fracture is decreased, compared with the other steels. The cracks propagate along a bainitic ferrite lath interface in steels A and B. In steel C, the cracks pass across the pro-eutectoid ferrite. In Fig. 13, fracture surface of steels B and C are characterized by deep dimple morphology, although the dimple size is relatively larger than that of steel A.

Initiation of voids is observed at bainitic ferrite lath

boundaries in steels A and B. On the other hand, in steel C, the void occurs at pro-eutectoid ferrite interface. Particularly, there are various large voids in steel A

4. DISCUSSION

In general, aluminum raises the T_0 (T_0') temperature and increases the carbon concentration of retained austenite with the further consequence of decreasing the volume fraction of retained austenite¹⁵⁾. On the other hand, niobium decreases the prior austenite grain size compared with steels B and C.

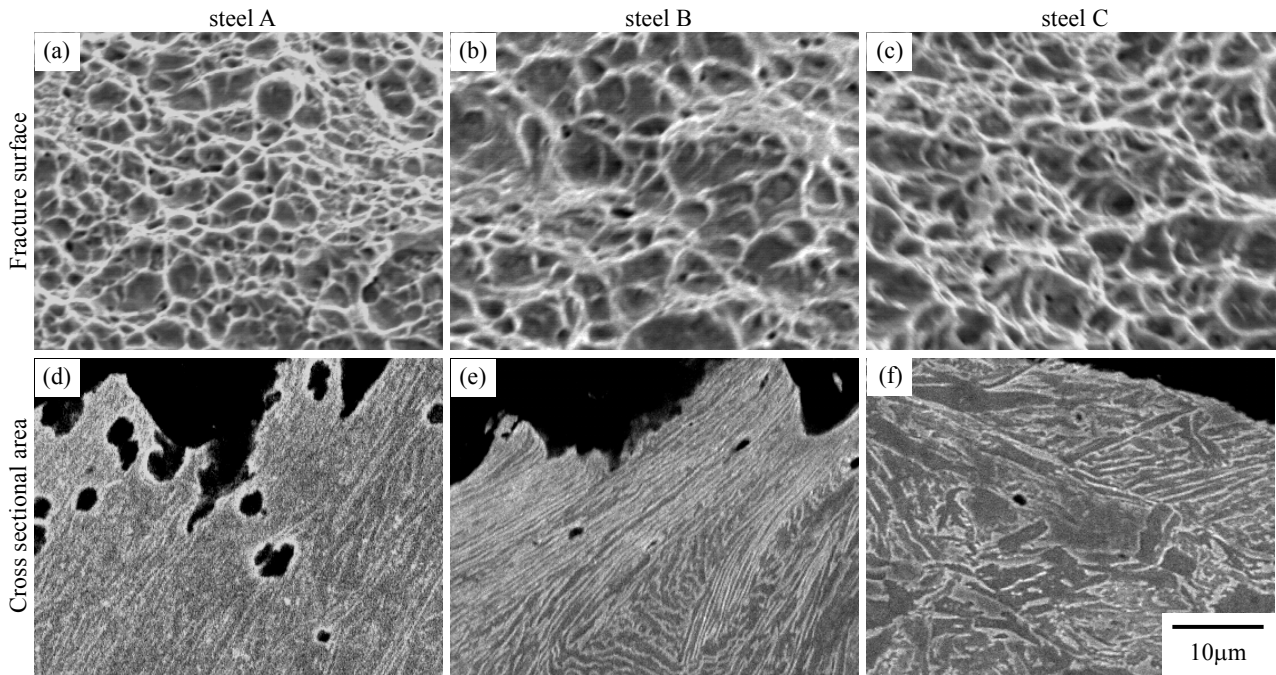


Fig. 13. Scanning electron micrographs of (a, b and c) fracture surface and (d, e and f) cross sectional area near fracture region of steels (a and d) A, (b and e) B and (c and f) C fracture d at 25°C. Austempering temperature is 400°C.

due to the precipitation of NbC at the grain boundary. Niobium tends to lower the carbon concentration of retained austenite¹⁶⁾. The same tendencies of microstructural change and retained austenite characteristics by addition of aluminum and niobium have been confirmed in this study.

According to the previous study¹⁰⁾, impact properties (i.e. upper shelf *CIIV* and *FATT*) are controlled by the extent of retained austenite, its stability, grain size etc. in TBF steel. If the large amount of stable retained austenite exists in the TBF steel and the size and width of the bainitic ferrite lath are small, the TBF steel can achieve the high upper shelf *CIIV*. In addition, if prior austenite grain is refined with containing few different phases such as dual phase steel, the *FATT* is lowered due to the decreased facet size. Also, the relationship between fracture appearance transition temperature (*FATT*) and unit crack path (*d*) is given by following equation (4)¹⁷⁾.

$$FATT \propto d^{1/2} \quad (4)$$

In this case, cleavage crack propagation is suppressed by the strain-induced phase transformation of retained austenite because the plastic zone of the crack is much larger than inter particle spacing of retained austenite films¹⁰⁾. So, the improved impact properties of steels B and C are correlated to the above microstructural properties and retained austenite characteristics.

4.1. EFFECTS OF ALUMINUM ADDITION

In this study, steel B indicates higher *CIIV* at 25°C and

lower *FATT* compared with the steel A (Figs. 7, 8 and 9). Fracture surface of TBF steel containing aluminum exhibits larger dimples than that of steel A. It is also observed that initiation and growth of the void at the bainitic ferrite lath boundary is suppressed compared with steel A (Fig. 13). According to Das et al.¹⁸⁾, dimple size of fracture surface at low strain rate became smaller when a large amount of austenite transformed to the martensite in AISI 304LN stainless steel. This result is caused by the suppression of void growth due to martensite transformation. From Figs. 4(b) and 5, it has been indicated that steel B possesses higher carbon concentration of retained austenite and lower *k* value than steel A in this present study. These results mean that it is not easy to transform from retained austenite to martensite in steel B compared with steel A. As shown in Fig. 14, strength-toughness balance (*TS* × *CIIV*) of steels A, B and C is linearly related with initial carbon concentration of retained austenite (*C_{γ0}*). So, it is noted that the improvement of upper shelf *CIIV* of the steel B is caused by the increase in its carbon concentration. This can suppress the initiation and growth of voids at the lath boundary due to the associated localized stress relaxation of the effective strain-induced phase transformation of retained austenite.

Moreover, the microstructure of steel B indicates refined bainitic ferrite lath morphology. It has been reported that void formation is promoted if the second phase particle is large¹⁹⁾ and when the inter particle spacing is small²⁰⁾. In steel B, retained austenite films as the second phase are refined in comparison to steel A.

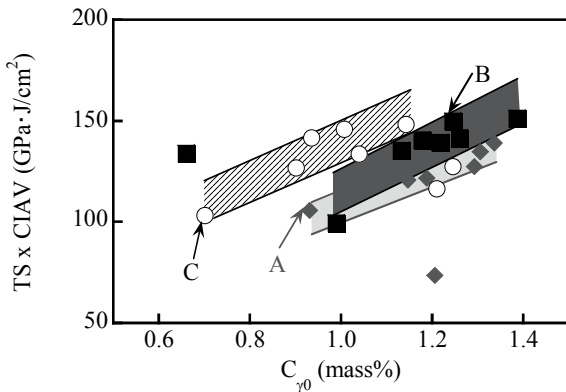


Fig. 14. Relationship of strength-toughness balance ($TS \times CIAV$) at 25°C and initial carbon concentration of γ_R ($C_{\gamma 0}$) in steels A, B and C.

This may be also increase the *CIAV* of steel B.

From Fig. 12, the facet size of cleavage fracture surface of steel B is almost the same as that of steel A, and cleavage crack of steel B is propagated along the bainitic ferrite lath boundary. As shown in Figs. 2 and 3, lath width of steel B is decreased and the large amount of refined retained austenite exists along the lath boundaries. So, it is noted that lower *FATT* of steel B is caused by the thin morphology of bainitic ferrite lath structure and more stabilized retained austenite, in the same way as the impact absorbed value.

4. 2. EFFECTS OF NIOBIUM ADDITION

Both high *CIAV* at the upper shelf region and low *FATT* have been combined in steel C, especially when austempered between 375 and 450°C. In this case, the microstructure is characterized by fine bainitic ferrite structure with pro-eutectoid ferrite and a large amount of stable retained austenite. From Fig. 13, the dimple size of steel C is large, similar to that of steel B, and few voids are observed at the pro-eutectoid ferrite interface in steel C although void nucleation and growth is suppressed compared with steel A. In Fig. 11(a), displacement of maximum impact load of steel C is larger with lower maximum load than steel A. Generally, the maximum load of this curve corresponds to the initiation point of void nucleation²¹⁾. However, crack initiation energy (E_i), crack propagation energy (E_p) and total absorbed energy (E_t) are almost the same values as those of steel A (resultantly E_p / E_t is almost same value) (Fig. 11(b)). So Fig. 11 suggests that steel C suppresses the void initiation until large deformation region during impact test. As mentioned above, localized stress relaxation due to the strain-induced martensite transformation suppresses the void nucleation and growth. Steel C exhibits excellent retained austenite characteristics compared with steel A (Which may be mainly caused by the aluminum addition). It is likely that high upper shelf

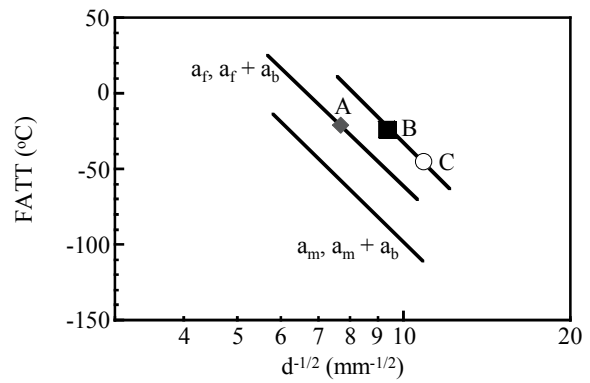


Fig. 15. Relationship between fracture appearance transition temperature (*FATT*) and unit crack path (d) in steels A, B and C austempered at 400°C.

CIAV of steel C is due to the fine and a large amount of stable retained austenite. In this case, pro-eutectoid ferrite may not influence the upper shelf *CIAV* although it decreases the tensile strength.

From Fig. 12, the facet size observed on the fracture surface of steel C is smaller than that of other steels, corresponding to the size of prior austenite grain. This fine prior austenite grain size is obtained by the precipitation of NbC. In addition, the crack of steel C is propagated not along the lath boundary but across the pro-eutectoid ferrite. Fig. 15 shows the relationship between fracture appearance transition temperature (*FATT*) and unit crack path (d) in steels A, B and C austempered at 400°C. The results of ferrite-bainite or bainitic and martensite-bainite or martensitic steels which do not include the retained austenite are also shown in this figure¹⁷⁾. The *FATT* of TBF steel is lowered with decreasing unit crack path. So, it is noted that low *FATT* of steel C is principally caused by the refined prior austenite grain size and mixed fine morphology of the grain. Also, the stabilized fine retained austenite suppresses the initiation and growth of cleavage crack formation. Therefore steel C exhibits lower the *FATT*.

5. CONCLUSIONS

The effects of aluminum and niobium on impact properties of TBF steels with tensile strength more than 980 MPa have been investigated. Main results are summarized as follows.

- (1) Aluminum addition of 0.5 mass% to the steel A increases upper shelf Charpy impact absorbed value and lowers the fracture appearance transition temperature. The improvement of the impact properties are associated with localized stress relaxation due to the strain-induced transformation of the fine and carbon enriched retained austenite films.
- (2) Combined additions of 0.5 mass% aluminum and

0.05 mass% niobium to the steel A improves the impact properties, especially when austempered at temperatures between 375 and 450°C. This is mainly caused by not only the refined bainitic ferrite matrix, retained austenite films and prior austenite grain size but also large amount of stable retained austenite by aluminum and niobium combined addition.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors gratefully acknowledge financial support by the Grant-in-Aid for Scientific Research (B), The Ministry of Education, Science, Sports and Culture, Japan (No.2008-20360311).

REFERENCES

- 1) V. F. Zackay, E. R. Parker, D. Fahr and R. Bush: Trans. Am. Soc. Met., 60 (1967)252-259
- 2) K. Sugimoto, N. Usui, M. Kobayashi and S. Hashimoto: ISIJ Int., 32 (1992)1311-1318
- 3) K. Sugimoto, M. Kobayashi and S. Hashimoto: Metall. Trans. A, 23A (1992)3085-3091
- 4) O. Matsumura, Y. Sakuma, Y. Ishii and J. Zhao: ISIJ Int., 32 (1992)1110-1116
- 5) Z. Hanzaki, P. D. Hodgson and S. Yue: ISIJ Int., 35 (1995)79-85
- 6) A. Nagasaka, K. Sugimoto, M. Kobayashi, Y. Kobayashi and S. Hashimoto: Tetsu-to-Hagane, 87 (2001)607-612
- 7) K. Sugimoto, A. Nagasaka, M. Kobayashi and S. Hashimoto: ISIJ Int., 39 (1999)56-63
- 8) K. Sugimoto, J. Sakaguchi, T. Iida and T. Kashima: ISIJ Int., 40 (2000)920-926
- 9) K. Sugimoto, A. Kanda, R. Kikuchi, S. Hashimoto, T. Kashima and S. Ikeda: ISIJ Int., 42 (2002)910-915
- 10) S. Song, K. Sugimoto, M. Kobayashi, H. Matsubara and T. Kashima: Tetsu-to-Hagane, 86 (2000)563-569
- 11) I. Tamura: Steel Material Study on the Strength, Nikkan Kogyo Shinbun Ltd., Tokyo, (1970)40
- 12) H. Maruyama: J. Jpn. Soc. Heat Treat., 17 (1977)198-204
- 13) D. J. Dyson and B. Holmes: J. Iron Steel Inst., 208 (1970)469-474
- 14) M. Murata, J. Kobayashi and K. Sugimoto: Tetsu-to-Hagane, 96, (2010)84-92
- 15) K. Sugimoto, B. Yu, Y. Mukai and S. Ikeda: ISIJ Int., 45 (2005)1194-1200
- 16) W. Bleck, A. Frehn and J. Ohlert: Proc. of Int. Sympo. Niobium 2001, TMS, PA, (2001)727-752
- 17) H. Ohtani, F. Terasaki and T. Kunitake: Tetsu-to-Hagane, 58 (1972)434-451
- 18) A. Das and S. Tarafder: Int. J. Plast., 25 (2009)2222-2247
- 19) J. J. Gurland and J. Plateau: Trans. ASM., 56 (1963)442-454
- 20) T. Inoue and S. Kinoshita: J. Jpn. Soc. Technol. Plast., 14 (1973)291-297
- 21) H. Nakazawa: Manual of Test for Metallic Material, Japanese Standards Association, Tokyo, (1987)82

国外での武力紛争における「生命に対する権利」に関する

イギリス裁判所の判決 その1

大田 肇*

The Judgments of UK Courts on “The Right to Life” in Armed Conflict outside its Territory No.1

Hajime OTA

The main purpose of this study is to analyze the conflict (?) between UK Supreme Courts and European Court of Human Rights over “the Right to Life” in the case of *Al-Skeini and others*. Six Iraqi civilians were killed by British Armed Forces in 2003 during its occupation of Iraq and their relatives applied for an order of judicial review against the Secretary of State for Defense in UK Courts and European Court of Human Rights. On the one hand five appeals of them did not succeed at UK Courts, on the other hand all their appeals succeeded at European Court of Human Rights in 2011.

Why does such a conflict (?) between two courts come about? How will the judgment of European Court of Human Rights influence the future judgments of UK Courts?

The purpose of this article is to analyze the judgment of Queen’s Bench Division of the case of *Al-Skeini and others* as the first stage of this study.

Key Words: The Right to Life, European Convention of Human Rights, Jurisdiction, Extraterritorial Application

1. はじめに

2003 年 3 月から始まったイラク戦争に続き、5 月からはイギリスを含む連合国によるイラク占領が始まったが、その期間中にもイラク市民の殺害およびイギリス兵の死亡が生じた¹⁾。その死者たちの遺族が「生命に対する権利」の侵害を根拠にイギリス国防省を相手取って訴訟をおこしていくが、2004 年 12 月 14 日に下された *Al-Skeini* 事件に関する高等法院・女王座部の判決²⁾は、それらに関する最初の司法判断である。

主たる争点は二つであり、ヨーロッパ人権条約および 1998 年人権法はこれらのイラクでの事件に適用されるか否か、および適用されるならば、それらの法で求められている手続上の義務、すなわ

ち公的調査が実施されたか否か、であった。

本稿では、この前者に焦点をあてながら、高等法院・女王座部の判決に沿って事実関係を詳細に紹介し、それらを踏まえて特にヨーロッパ人権裁判所・同人権委員会の判決・決定の流れを検討し、最後に女王座部判決に対する批判を考察する。

2. 事実関係

Al-Skeini 事件の原告は、連合国によるイラク占領期間中にイギリス軍によって、またはその作戦行動中に殺害された 6 人のイラク人の遺族であった。

原告は、イギリス国防省の決定（2004 年 3 月 24 日付）、すなわちイラク人殺害に関する独立した調査の実施を拒否し、これらの死亡に関する責任を否定し、および賠償支払いを拒否する決定に対する司法審査を、1998 年人権法第 6 条（1）および第

原稿受付 平成 24 年 8 月 31 日

*一般科目

7条(1)(a)³⁾に基づき、高等法院・女王座部に請求した。

2004年5月11日の審理において、訴えの司法審査請求が認められ、以下の二つの争点に関して審理がすすめられることになった。

1. ヨーロッパ人権条約および1998年人権法がこの事件の状況に適用されるか否か？
2. ヨーロッパ人権条約2条⁴⁾の手續上の義務が国防省によって果たされたか否か？

2. 1. イラク占領とイギリス軍の地位

アメリカ軍に主導された連合軍のイラク攻撃は2003年3月20日から始まり、主たる戦闘行動は5月1日に終了し、引き続きイギリス軍はイラクに駐留した。この5月1日から翌年の6月28日までの期間、国際法上、イギリス軍はその駐留していたイラク南部地域において、占領権力となった(原告の家族の死はすべて、この占領期間にイギリス軍が占領する地域内で生じた)。

イギリス軍が占領権力の一部となる過程を説明する。

2003年4月16日、フランク・アメリカ陸軍大將は連合国暫定政権(the Coalition Provisional Authority, “the CPA”)の設立を発表した。5月3日、アメリカ・イギリスの国連常動代表は、安全保障理事会議長に手紙を送ったが、その中で、「アメリカ、イギリスおよびその他の連合国は・・・、暫定的に統治権限を行使し、必要なときには特に、治安を維持し、人道支援の提供を保障し、武器や大量破壊兵器を廃棄するためにCPAを設立した」と述べた。続けて、「我々の目標は、できるだけ早くイラク代表機関に行政権限を移譲することである」とした。5月13日、ラムズフェルド・アメリカ国防長官は、正式にブレマー大使をイラクの暫定統治に責任を負うCAP代表に任命したことを発表した。5月22日、国連安全保障理事会は決議1483を採択して、CPAを承認した。

2003年5月16日以降、CPAは一連の文書(規則、命令、覚え書き、公的通知)を発したが、5月16日付けの規則1号には、次のようにCPAの権限が示されていた、「CPAには、その目的を達成するために、また決議1483を含む安全保障理事会の関連決議および戦時の法と慣習に基づいて執行されるために必要なすべての、行政、立法、司法上の権限が付与されている。」

CPAには連合国諸国から人員が派遣されていたが、事実上、多数の人員からなるアメリカによって支配されていて、イギリスの下部組織・機関ではなかった。イギリスの特別代表とその事務局はCPAの政策および決定に影響を及ぼそうと努めた

が、彼らはそこでは正式な決定権限を持っていなかった。

CPAの運営は地域ごとに分割され、CPA南部はイギリスの責任と監督の下にあり、そこにはイラクの18地域のうち南の4地域が含まれていた。イギリス軍も同じ地域に配置された。

連合軍は6師団からなり、アメリカ軍大將の命令下にあった。4師団はアメリカ軍で構成され、2師団は多国籍軍によって構成されていた。各師団に、それぞれの地域を担当する責任が付与され、イギリスには多国籍師団(南東)の指揮権が与えられていたが、そこはAl Basrahなどの地区を含み、ウェールズの約2倍の面積で総人口は460万人を数えた。これに対し、多国籍師団(南東)の兵力は14万5000人であり、そのうちイギリス軍は8150人であった。イギリス軍の主たる作戦活動地域はAL BasrahとMaysan地域であったが、そこでの総人口は約276万人、派兵されたイギリス兵の総数は8119人であった。イギリス軍の主たる任務は、その地域の安全を確保することであり、イラク警察を含むイラク治安維持軍の再建に努めることと、パトロール、逮捕、テロ対策活動、市民のデモの取締、重要施設の警備、警察署の警護などであった。もう一つの任務は、イラクの様々な文民機関を支援することであった。

2004年6月28日にイラク暫定政府が発足し、CPAは解散した。イギリス軍の南イラク占領も終了し、以後はイラク暫定政府の要請に応じて、駐留を続けた。

2. 2. Rules of Engagementの運用

イギリス軍の武器の使用については、Rules of Engagement(“ROE”)が適用されている。イラクにおけるROEの適用は、各兵士に渡される手帖の中で指導事項となっていた。2003年5月から2004年3月までに49人のイラク人がイギリス軍の武器を使用した事件において殺害された。

2003年6月21日、多国籍師団(南東)の司令将校が、発砲事件の捜査に関する基本的な指針を示した。そこでは、すべての発砲事件が報告され、当該師団の王立軍隊警察(Royal Military Police)に通知される。王立軍隊警察の下士官がその事件を評価し、ROEの範囲内か否か決定する。もしROEの範囲内と決定されれば、その決定は記録され、完成した報告書が指揮命令系統に沿って提出される。もしその事件がROEの範囲外であり、死亡または重傷を伴うならば、その捜査は王立軍隊警察・特別捜査機関(Special Investigation Branch)に委ねられなければならない、と。

しかし、モア陸軍准将は、王立軍隊警察・特

別捜査機関の捜査を開始するか否かの判断がより高いレベルでなされるよう、最初の指針は見直されなければならないとし、2003年7月28日、最初の指針は、多国籍師団（南東）によって発せられた新しい指針に取り替えられた。新しい指針では、すべての発砲事件が、事件発生後すぐに重要事件報告と同じ様式で、多国籍師団（南東）に報告される。もし当該兵士の部隊長(Commanding Officer)が彼の手元の情報から、兵士は適法にかつ ROE の範囲内で行動したと判断するならば、特別捜査機関の捜査開始は、要請されない。部隊長はその決定を文書で旅団長に送付する。もし部隊長が上記のように判断しない、または結論に達するには情報が不足するならば、彼は特別捜査機関の捜査開始を要請する、と。

2004年4月24日、さらに新しい指針が多国籍師団（南東）によって採用された。そこでは、イギリス軍が関連した、市民の死亡または負傷のすべての発砲事件が、特別捜査機関によって捜査される。例外は、旅団長がその捜査は必要なしと判断した場合であり、その判断は文書で多国籍師団（南東）司令官に通知されなければならない、と。

実際の捜査には、部隊長が巡回の兵士から報告を受け、無線記録を再読しながら関与した。死亡した者の家族または一族との会合を通じてさらなる捜査がおこなわれることもあった。しかし、設備の面から、旅団では科学捜査（forensic examination）をおこなうことはできなかった。部隊長は、事件を捜査したのち旅団長に報告書を提出し、そこで当該兵士が ROE の範囲内で行動したか否か、または当該事件は特別捜査機関に送られるべきか否かに関する彼の意見を述べた。もし ROE の範囲内で行動していなかったとの疑いがあれば、特別捜査機関に捜査を求めなければならなかった。事件が生じたとき、特別捜査機関に捜査を要請するか否かは、王立軍隊警察の指揮命令系統ではなく、現場の指揮命令系統によって決められていた。その決定は、事件発生から24時間以内になされなければならない。その決定には、事前に陸軍法規部長から法的助言を得ることが求められ、その決定を文書で、その法的助言と証拠とともに、多国籍師団（南東）の司令将校に送付しなければならなかった。特別捜査機関による事件の捜査の開始には、関係の部隊長からの依頼によるほかに、その依頼の前に既に特別捜査機関がその事件を知っている場合があったが、後者の場合は、王立軍隊警察司令官または関係の部隊長によって中止が指示されれば、中止されたであろう。特別捜査機関の将校は捜査後、関係の部隊長に証拠をとともに、報告書を送付した。この報告書には、事実

に関する決定、または何となされるべきかの結論は一切含まれなかった。証拠に基づく事実のみが示された。

2. 3. 死亡に至るそれぞれの経緯

(1) Hazim Ju' maa Gatteh Al-Skeini

2003年8月4日、Basra 近郊で、Ashcroft 軍曹によって射殺された。翌日、軍曹は事件に関する供述書を作成し、それは部隊長に送られた。部隊長はこの事件は ROE の範囲内と判断し、その旨の報告書を旅団長に送った。旅団長から質問を受けた部隊長は、その質問に答える報告書を提出した。旅団長はその報告書を検討し、副旅団長および法律顧問とともに、ROE の範囲内と判断し、さらなる捜査は命じなかった。

(2) Muhammad Abdul Ridha Salim

2003年11月6日、Basra 近郊で、Catteral 軍曹に撃たれ、翌日病院で死亡した。翌日、中隊長は事件に関する報告書を作成した。部隊長は、この報告書と中隊長との会話から、この事件は ROE の範囲内と判断し、王立軍隊警察・特別捜査機関の捜査を要請しなかった。そして同日、報告書を作成し旅団に送付した。旅団長は、この事件を副旅団長および法律顧問と、さらには政治顧問とも議論し、ROE の範囲内と判断した。

(3) Hannan Mahabis Sadde Shmailawi

2003年11月10日、Basra 近郊で、イギリス軍と武力集団とが交戦し、そのときの銃弾によって死亡した。翌日、中隊長は事件に関する報告書を、関係した兵士の証言と共に提出した。部隊長は、それらを考慮したのちこの事件は ROE の範囲内と判断し、王立軍隊警察・特別捜査機関の捜査を要請しなかった。そして、報告書を作成し旅団に送付した。旅団長は、この事件を副旅団長、法律顧問および部隊長と議論し、ROE の範囲内と判断した。

(4) Waleed Sayay Muzban

2003年8月24日、Basra 近郊で、Singleton 伍長代理に撃たれ、翌日病院で死亡した。部隊長は、8月29日に事件に関する最初の報告書を旅団に送ったが、その中で、ROE の範囲内と判断するとしながらも、複雑な事件なので王立軍隊警察・特別捜査機関の捜査が役立つだろうとの意見を付け加えた。旅団長はこの報告書を検討し、副旅団長と議論し、法的助言を受けて、十分に検討されるべきいくつかの質問を含めこの事件は部隊での捜査によって解明されるべきであると判断した。これを受けて、部隊長は、9月12日に二つ目の報告書を作成し、その中でそれらの質問に答え、特別捜査機関の捜査はもはや不要との結論を示した。旅団長は、再度副旅団長と議論し、さらなる法的助言

を受けて、ROE の範囲内と判断した。この時点で、旅団長は、この事件に関して特別捜査機関が捜査を開始したことを知らされ、特別捜査機関の責任将校（大尉）と会合し、特別捜査機関はその捜査の中止に同意した。

(5) Raid Hadi Sabir Al Musawi

2003 年 8 月 26 日、Basra 近郊で、Smith 軍曹に撃たれ、9 週間後の 11 月 6 日に病院で死亡した。8 月 27 日、副部隊長はパトロール隊隊長および他の 2 人の兵士と面接し、その後 ROE の範囲内であるとする事件報告書を作成して旅団に送付した。旅団長はこの報告書を検討し、この事件を副旅団長、法律顧問と議論し、ROE の範囲内と判断した。

(6) Baha Mousa

2003 年 9 月 14 日、Basra 市内のホテルで受付係として働いていたが、イギリス軍によって逮捕され、イギリス軍基地内の監禁室に収容された。監禁室内でイギリス兵によって虐待され、3 日後に死亡した。

旅団長は、Baha Mousa が逮捕された作戦に参加していたが、逮捕の際にはホテルの屋上にいて、9 人のテロ容疑者を逮捕したという報告は受けたが、暴行をともなう逮捕の現場を目撃していなかった。旅団長が次にこの事件について聞いたのは、9 月 15 日に、Baha Mousa が収容中に死亡した、および他の収容者も虐待されていたとの報告書を受け取ったときであった。旅団長は、その深刻さを悟り、特別捜査機関の捜査が必要であると考えたが、特別捜査機関には既に部隊長から通知済みであった。特別捜査機関の捜査は 2004 年 4 月の始めには終了し、その報告書が提出された。

3. ヨーロッパ人権条約の適用範囲

第 1 の法的問題は、ヨーロッパ人権条約がこれらの事件に適用されるか否かである。この問いに答えるためには、この条約の管轄権の性質と範囲を分析・検討しなければならない。

3. 1. ヨーロッパ人権条約の条文

最も重要な条文は第 1 条である。「(人権を尊重する義務) 締約国は、その管轄にあるすべての者に対し、この条約の第一節に定義する権利及び自由を保障する。」⁵⁾ 第 1 条は条約の節の前に置かれていて、第一節は第 1 条に続いて、「権利及び自由」と題して始まり、第 2 条から個々の権利・自由が順々に定義されていく。

第二節は「ヨーロッパ人権裁判所」と題されて第 19 条から始まり、「締約国が行った約束の遵守を確保するために」⁶⁾ ヨーロッパ人権裁判所の設

立を規定している。

第三節「雑則」には第 56 条（領域的適用）があり、「1 いずれの国も、・・・欧州評議会事務総長に宛てた通告によって、自国が国際関係について責任を有する地域の全部又は一部についてこの条の 4 に従ってこの条約を適用することを宣言することができる。・・・3 この条約の規定は、地方的必要に妥当な考慮を払って、これらの地域に適用される。」4 この条の 1 に基づいて宣言を行ったいずれの国も、宣言後のいずれのときでも、宣言が関係する一又は二以上の地域のために、この条約の第三四条に定める自然人・・・からの請願を受理する裁判所の権限を受諾することを宣言することができる。」⁷⁾ と規定されている。

その前文も重要である。「一九四八年一月一〇日に国際連合総会が宣明した世界人権宣言を考慮し、この宣言が、その中で宣言された権利の普遍的かつ実効的な承認及び遵守を確保することを目的としていることを考慮」すること、および「志を同じくし、かつ政治的伝統、理想、自由及び法の支配についての共通の遺産を有するヨーロッパ諸国の政府として、世界人権宣言中に述べられている権利の若干のものを集団的に実施するための最初の措置をとることを決意」⁸⁾ することを、目的として掲げている。

3. 2. ヨーロッパ人権条約の起草

ヨーロッパ人権裁判所は、*Bankovic v Belgium* (2001) 事件⁹⁾において、ヨーロッパ人権条約 1 条の起草過程を初めて考察した。そして、第 1 条の「その管轄にあるすべての者」は、当初は「その領域内に居住するすべての者」と下書きされていたが、「居住する」は、もし居住の正式な用語を法的指標とするよう求めていると解釈されれば、狭義のものになりすぎるのでは、という懸念から、当初の表現は現在のものへ変更された (para19)。そして、ヨーロッパ人権裁判所は、条約の管轄権が「領域概念」であることの根拠の一つとして、この起草過程での変更を主張した (para63)。

3. 3. 関連の他の国際条約

戦争犠牲者保護の 1949 年ジュネーブ 4 条約の第 1 条は、「締約国は、すべての場合において、この条約を尊重し、且つ、この条約の尊重を確保することを約束する。」¹⁰⁾ と規定し、「すべての場合において」という広い適用範囲を示し、その第 4 条約である戦時における文民保護に関するジュネーブ条約に反する「重大な違反行為」は、1957 年ジュネーブ条約法によって、イギリス裁判所で裁かれることが可能となった。

1985年拷問条約2条1項は、「締約国は、自国の管轄の下にある領域内において拷問に当たる行為が行われることを防止するため、立法上、行政上、司法上その他の効果的な措置をとる。」¹¹⁾としているが、1988年刑事裁判法により、拷問は、どこで、誰によってなされようとイギリス国内法の犯罪となっている。

占領に関しては、ハーグ陸戦法規慣例条約(1907年)附属の陸戦規則の第42条[占領地域]が、「一地方ニシテ事実上敵軍ノ権力内ニ帰シタルトキハ、占領セラレタルモノトス。占領ハ右権力ヲ樹立シタル且之ヲ行使シ得ル地域を以テ限トス。」¹²⁾と規定し、国防省もイギリス軍によるイラク占領を認めている。

4. 条約の適用範囲を巡る見解の対立

原告と被告との間で共通理解となっているのは、ヨーロッパ人権条約は本質的に領域に基づくものであり、かつその領域原則にはいくつかの例外があること、その対立は、その例外の広さ、性質、根拠、そしてその適用に関するものである。

原告側の Mr. Rabinder Singh は、二つの例外を示す。一つは、“personal jurisdiction” (人的管轄権) であり、ある国家の機関がその領域外の人や物を支配した場合に生じるもので、過去の一連のヨーロッパ人権裁判所判決の中で認められてきているとする。もう一つは、国家がその領域外で“effective control of an area” (その地域の実効的支配) を有する場合であり、1974年のトルコのキプロス侵攻に続く北キプロスにおける人権侵害事件に関する人権裁判所判決の中に見いだすことができるとする。そして、この二つの例外は、究極的には単一の原理(支配)であるところの二重の基準(人か領地か二つ)であり、国防省は軍隊によるイラク占領を国際法上認めているから、この原理がこの事件にも適用されると主張する。

被告側の Mr. Christopher Greenwood は、そのような占領状態が、ヨーロッパ人権裁判所において従来理解されてきた例外的な管轄権につながることに、異論を唱えた。“effective control of an area” (その地域の実効的支配) から導き出される例外的な管轄権は、人権裁判所の判決においては、問題の地域が被告国の領域ではなかったとしても条約締約国の領域内である場合、つまりこの北キプロスのような状況に限定されている、と。キプロスは条約締約国であったが、イラクは条約締約国の管轄領域内にあったことはない。そして、“personal jurisdiction” (人的管轄権) の原理に関しては、大使館、領事館、船舶、航空機など国際法上の国家主権の例外を除いて、人権裁判所判決の中には存在しておらず、この事件にはこれらの例外は適

用されないとする。

両者のもう一つの対立点は、*Bankovic v Belgium* (2001) 事件判決の評価である。Mr. Greenwood は、*Bankovic* 事件判決を分水嶺(watershed)と評価し、ヨーロッパ人権裁判所が国際法の原則に沿いながら、ヨーロッパ人権条約の管轄権に関する基本的な検討をおこなった最初のものとして位置づけた。ここでは、北キプロス事件判決での“その地域の実効的支配”原理は、条約締約国の領域内での支配に限定して理解されており、“人的管轄権”原理は、条約の本質的に領域的な性質を損なうものとして、否定されている、と主張する。これに対して、Mr. Singh は、*Bankovic* 事件判決を一連のヨーロッパ人権裁判所判決の一つと評価し、NATO 軍によるセルビア空爆という、領地の支配あるいはセルビア市民の支配を欠くという状況が、条約の管轄権の領域的な性格を強調することになったとし、イラクでの事件とは無関係であるとする。そして、この判決は、従来の判決をその中で2つの例外が原理として発展してきたものと理解しており、さらにこの判決以降の事件において、二つの例外は有効に存在していると主張する。

4. 1. ヨーロッパ人権裁判所の判決

高等法院・女王座部は、*Bankovic v Belgium* 事件判決を含む管轄権に関するヨーロッパ人権裁判所の一連の判決(ヨーロッパ人権委員会の決定を含む)を、年代順に検討していく。

(1) *X v Federal Republic of Germany* (1965)

女王座部に示された、最も初期の人権委員会の受理に関する決定である。原告はボヘミア生まれで、チェコ国籍を有していたが、1938年にドイツ国籍を取得した。1945年、彼はチヨコスロバキアから追放され、現在はモロッコに住んでいる。彼は、モロッコのドイツ領事館職員がモロッコ当局に彼を追放するよう依頼したことを訴えた。委員会は、原告の訴えを事実として却下したが、管轄権に関する例外的な場合として、条約締約国の外交代表および領事代表による義務の遂行が、その海外在住の国民に関わっている場合を挙げた。

(2) *Cyprus v Turkey* (1975)

北キプロス紛争に関する最初の委員会決定で、二つの訴えの受理を認めた。1974年7月20日にトルコ軍は北キプロスに侵攻したが、そこで生じた殺人、強姦などの様々な犯罪をキプロスは訴えた。トルコもキプロスも条約締約国であった。人権委員会は、締約国はその実際の権限と責任の下にあるすべての人に人権条約上の権利と自由を、その権限が領域内であるいは外で行使されようと保障

する義務を負う、と決定した。女王座部は、この決定をキプロスの主張の最も幅広いものが採用されたと評価し、この原理と条約の領域的管轄権とが両立することは難しいとした。さらに、人権委員会は、船舶、航空機は言うまでもなく、すべての国民がどこにしようとするのかと部分的にその国の管轄内に含まれ、外交機関、領事館、海外の軍隊のみならず、それらが権限を行使する人や物もその管轄に含まれる、と決定した。女王座部は、この決定を極めて幅広い決定と評価した。

(3) *Hess v United Kingdom* (1975)

ナチ戦犯のルドルフ・フスの妻が、西ベルリンのイギリス地区の、連合国4カ国によって管理されている刑務所で夫の収監は人権条約3条他に反するとして訴えた事件である。人権委員会は、この刑務所は4カ国合同の責任の下にあるので、その運営はイギリスの管轄に含まれないとした。女王座部は、もしこの刑務所がイギリス単独の責任の下にあれば、人権委員会はその管轄権を認めたであろうと推測し、それはかなり問題の残る理由づけである、なぜなら、もし領域が全く障害にならないのなら、なぜ主張されている違反行為が4カ国すべての管轄に含まれないのか、不明であるからである、と評価した。

(4) *X and Y v Switzerland* (1977)

スイス当局はスイス・リヒテンシュタイン協定に基づき、リヒテンシュタインへの外国人の入国等に関する権限を有し、ドイツ人Xは、スイス警察が発したXのリヒテンシュタイン入国を禁じる命令によって、それができなくなった。Xとリヒテンシュタイン在住のパートナーYは、人権条約3条他に違反するとして（入国禁止は「非人道的な若しくは品位を傷つける取扱い」に該当する）、人権委員会に訴えた。当時、スイスは締約国であったが、リヒテンシュタインはそうではなかった。人権委員会は、入国禁止はリヒテンシュタインで生じることでありスイスの領域外であるとする被告の主張を退け、禁止措置はリヒテンシュタインで効果を生じ、その効果は2国間協定によるものであるとしても、その措置はスイス領域内で生じているとした。女王座部は、この決定を、スイスがそれ自身の領域内で、協定による領域外への効果を生じさせながらも行動したことに基礎を置いたものと評価した。

(5) *X v United Kingdom* (1977)

イギリスに住んでいるイギリス人の母親が、その子をヨルダンに連れ去った夫から子連れ戻すに際し、ヨルダンのイギリス領事館が彼女に手助けをしなかったことを、人権委員会に訴えた事件で、その決定の中で、委員会は、当該委員会の一

貫した決定として、外交代表および領事代表を含む国の機関が、人や物にその権限を行使するに依りて、それらの人や物もその管轄に含んでいくとした。女王座部は、この事件はイギリス国民に関するものであることに注意を促した。

(6) *Tyrer v United Kingdom* (1978) ¹³⁾

この事件は人権条約1条の管轄権とは直接関係しない事件であるが、Mr. Greenwoodが条約のヨーロッパ中心主義を証明するものとして示したものである。マン島の15歳の少年が傷害罪でムチ打ち3回の刑を言い渡され、これは条約3条に違反するとして訴え、人権裁判所は、品位を傷つける刑罰と認めた。マン島はイギリスの一部ではなく属領(dependency)であり、人権条約がそこに適用されるのは、イギリスが条約56条（当時は第63条）により条約がそこに適用されるよう、通告したからである。人権裁判所は、マン島は、歴史的、地理的、さらに文化的に、常にヨーロッパ諸国家の家族に含まれてきており、人権条約前文の「政治的伝統、理想、自由及び法の支配についての共通の遺産」を完全に共有していると思われなければならない、とした。女王座部は、この判決は、人権委員会決定とは別の、我々が考慮しなければならない最初の人権裁判所判決であると評価した。その要点として、Mr. Greenwoodの主張を引用しながら、条約56条が、条約を締約国の境界を越えて他の領域に適用する唯一の適切な方法であること、条約の前文と第56条3項とが、ヨーロッパ諸国の共通の遺産を強調し、地方的必要性を考慮することによりヨーロッパの植民地や属領にも特別の適用を認めていることを挙げた。

(7) *W v United Kingdom* (1983)

Wはイギリス人で、その夫はアイルランドで殺され、その兄はアルスターで殺された。彼女は、イギリスは2人の生命に対する権利(人権条約2条)を保障することができなかったとして、人権委員会に訴えた。アイルランドでの殺人は、イギリスの管轄ではないとして、アルスターでの殺人は、他の理由から受理されなかった。女王座部は、この決定は領域原則の適用であると評価した。

(8) *Soering v United Kingdom* (1989) ¹⁴⁾

Soeringは西ドイツ市民であったが、アメリカで殺人を犯しイギリス逃亡中に逮捕され、アメリカから引渡を求められた。もし引き渡され死刑判決が下されれば、「死刑の順番待ち現象」(death row phenomenon)と呼ばれる長期にわたる拘禁に服することになるとして、人権条約3条に反していると訴えた。人権裁判所は、条約3条は死刑を一般的に禁止していると解釈することはできないが、その執行に関わる状況、彼が西ドイツで裁かれる

可能性もあるという特別な場合では、条約 3 条違反が生じていると判断した。女王座部は、人権裁判所が管轄権に関し領域的制限を認めていること、および人権条約は非締約国の行為を規律しないし、締約国に対して他国に条約上の基準を課すことを要求する手段となることも求めているとしたことに付け加えて、引渡請求国において待ち受けている状況が人権条約上の保障に完全に一致することを充足しない限り、締約国は個人を引き渡すことはできないといった一般原則を正当化する解釈はできないとしたにもかかわらず、同裁判所が条約 3 条における禁止の特別な、絶対的な、基本的な性質を考慮し、個人がもし引き渡されたならば、請求国において拷問、非人道的なあるいは品位を傷つける取扱いを受ける現実の危険に直面すると信じられる実質的な根拠がある場合には、引き渡すという決定は条約 3 条の問題を生じさせるとしたことに注目し、この判決を、その領域内での国家の行為でも十分に明快で重要な領域外での結果が伴うものは、当該国家の人権条約上の責任を惹起させることを示すものとして理解した。女王座部はまた、この判決の管轄権の領域的性質についての論述を、人権裁判所による初めての明快なかつ権威ある説明であると評価した。

(9) *Bui van Thanh v United Kingdom* (1990)

原告はベトナム出身であったが、香港の収容センターに収容された後、ベトナムに引き渡されることになった。原告がその引渡は条約 3 条に反するとして訴えた、*Soering* 事件と同じタイプの事件である。問題は、香港での引渡決定が、人権条約 1 条の管轄権に含まれるか否かであった。イギリスは条約 56 条による香港への人権条約適用の宣言をおこなっていなかった。人権委員会は、この宣言不在を決定的な根拠として、不受理とした。

(10) *Chrysostomos v Turkey* (1991)

この事件は、北キプロス紛争に関わる新たな、そしてトルコ軍から被害を受けた個人による申立てであった（トルコは 1987 年に個人申立権を、1990 年に人権裁判所の管轄権を受諾した）。人権委員会は、トルコの 1987 年受諾宣言に付されていた領域的制限（「トルコ国内での公的機関の行為・・・または共和国憲法が適用される領域内における行為」のみ）を無効とし、国外での国家機関の行為も管轄に含まれるとした。女王座部は、この委員会の管轄権に関する決定を、その 1975 年決定と同じものであると評価した。

(11) *Drozdz and Janousek v France and Spain* (1992)

女王座部はこの判決を、*Bankovic v Belgium* 事件判決の中で引用されている数少ないヨーロッパ

人権裁判所判決の一つとして、その重要性を強調した。原告 2 人はスペイン人とチェコ人であったが、アンドラ（Andorra）の裁判所で有罪判決を受けた。彼らは、その裁判を人権条約 6 条（公正な裁判を受ける権利）に反するものとして訴えた。アンドラは条約締約国ではなく、アンドラの裁判所はフランスとスペインの裁判官によって担われているので、その 2 国が被告となった。これはアンドラの変則的な国際法上の地位に由来するもので、国家元首であるスペインのウルヘル主教とフランス大統領によって裁判官は任命されるが、彼らはスペインまたはフランスの裁判官としてではなく、アンドラのそれとして任命される。

人権裁判所は、アンドラはフランスまたはスペインの一部ではなく、それらの共同地でもなく、ヨーロッパ評議会の一員ですらないから、そこには条約の領域的管轄権は存在しない、とする被告の主張を認めた。しかし、続けて人的管轄権に関する被告の反対意見を考察し、「締約国の責任はその国外で効果を生じさせる国家機関の行為によっても生じうる」とした。最終的には、スペインまたはフランスの裁判官は当該国家の裁判官としてではなく、アンドラのそれとして職務を遂行していることを根拠に、人的管轄権の不存在を認めた。

女王座部は、この判決にかなり困惑させられたと述べた。その人的管轄権の扱いは、本案での争点のように思われるとし、領域的管轄権と人的管轄権とがどのように相互に関係しているのか不明瞭であると評価した。さらに、この判決に基づけば、条約 1 条の管轄権は、本質的に領域的なものと称することは無理である、なぜなら領域性は人的管轄権が確立されれば全克的な外れのものになるからである、と指摘し、「締約国の責任はその国外で効果を生じさせる国家機関の行為によっても生じうる」という判決の文章を額面通りに受けとれば、それだけで十分に人的管轄権が確立されるとした。これまでで最も幅広い主張であると評価した。続けて、この主張は、その行為が領域内でなされれば理解できるが、その行為も結果も領域外で生じるのであれば理解しにくいとし、「責任は・・・生じうる」の「うる」（can）が強調されなければならないとした。

(12) *M v Denmark* (1992)

これは再度、大使館・領事館の行動に関する人権委員会の決定である。統一前のドイツにおいて、原告は東ドイツに住んでいたが、西ドイツに移ろうと試み、東ベルリンのデンマーク大使館に入館し、西ドイツへの移動を認めるように東ドイツ当局との交渉を迫った。デンマーク大使館の要請を受け、東ドイツ警察が大使館内に入り、原告らに

連行を求め、原告は逮捕され有罪判決を受けた。原告は、デンマークの様々な人権条約違反を訴えた。

委員会の決定は、原告の全面敗訴であったが、*X v United Kingdom* (1977) 事件判決を引用しながら、国家機関がその権限を人や物に行使するに応じて、それらの人や物もその管轄に含んでいくことは明確であるとし、大使の行為はデンマークの管轄に含まれるとした。しかし、大使館はデンマーク領域の一部ではなく、したがって事件が生じたとき、原告はデンマーク領域にいなかったのもので、原告が主張した条約の条文は適用されないとした。

女王座部は、人権委員会の見解を正確に理解できたか、確信を持てなかった。この決定が議論の一方をその他方よりも支持しているのかどうか、述べることは難しい、と。

(13) *Loizidou v Turkey* (Preliminary Objections) (1995) ¹⁵⁾

これは、先行的抗弁に関する人権裁判所大法廷判決である。1991年の *Chrysostomos v Turkey* 事件に関する人権委員会決定に不服であった原告が人権裁判所に付託した事例である。

人権裁判所は、領域的管轄権の例外として、まず 1989 年の *Soering v United Kingdom* 事件判決を引用して、引渡・追放は条約 3 条の問題を生じさせ、その国の責任が惹起されるとし、次に 1992 年の *Drozdz and Janousek v France and Spain* 事件判決を引用して、締約国の責任はその国外で効果を生じさせる国家機関の行為（国外のものも含む）によっても生じうるとし、人権条約の目的からすれば、軍事行動（その適法・違法に関係なく）の結果、締約国がその領域外においてある地域の“実効的な支配”をおこなった場合にも、その国の責任が惹起されるだろうとした。結論として、原告の訴えは条約 1 条に含むことができるとしたが、女王座部は、この「できる」(capable)を強調し、1991 年の委員会決定でのより確定的な表現からの変化を反映していると評価した。訴えられた事項がトルコの責任なのかの問題については、人権裁判所は本案の裁判所において決せられるだろうとした。

女王座部は、この判決に 4 つのコメントを付けた。その 1、1991 年の *Chrysostomos* 事件の委員会はその決定の中で、1975 年の *Cyprus* 事件委員会決定に言及し、そこからの関連文章を入れ込んだが、この裁判所はそうせず、*Cyprus v Turkey* 事件決定を間接的に参照しただけである、つまりその脚注で 1992 年の *Drozdz* 事件判決への参照を示し、その中の脚注で *Cyprus* 事件決定への参照が示された。その 2、この判決は例外を生じさせる 3 つ

の理由を示した。ア) 1989 年の *Soering* 事件判決を引用して、引渡・追放は条約 3 条の問題を生じさせるとした。しかし、女王座部は、原告の立場と同様に、関連する締約国の行為も、国外で原告に生じるかもしれない危険を根拠に条約 3 条が関わってくるとしても、共にその国の領域内であることに指摘する。イ) 1992 年の *Drozdz* 事件判決を引用して、締約国の責任は国外で効果を生じさせる国家機関の行為（どこでなされようと）によっても生じうるとした。女王座部は、再度、この理由はこれまでで最も幅広い主張と見なされるだろうとし、「責任が・・・生じうる」の「うる」(can)の幅に大きく左右されるとした。ウ) 別の原理「締約国がその領域外においてある地域の“実効的な支配”をおこなった場合、責任が惹起される」を編み出した。女王座部は、こうした用語が人権裁判所（人権委員会を含む）によって編み出されたあるいは採用されたのは初めてであるとした。1975 年の *Cyprus* 事件決定においては、人権委員会は人や物への軍隊による“支配”(control)の行使について述べたに過ぎない。その 3、女王座部は、イラクの行為が管轄に含まれうるとして原告の主張の受理を認めたその根拠は 3 つの理由のどれなのか（もし全部でないならば）、裁判所は明らかにしていないとしながらも、その根拠は 3 番目の理由であるという主張の存在を認めている。その 4、この判決全体の中に含まれている理論付けは、裁判所が条約 1 条に関して、幅広い見解あるいはある程度幅広い可能性のある見解を採用していることを示していると、Mr. Singh が主張することを可能にしていると女王座部は評価した。

(14) *Loizidou v Turkey* (Merits) (1996)

これは、本案に関する人権裁判所判決である。人権裁判所は、領域的管轄権の例外として、締約国の責任がその国外で効果を生じさせる国家機関の行為によっても生じうることを述べた後、この事件に特別な重要性をもつものとして、軍事行動（その適法・違法に関係なく）の結果、締約国がその領域外においてある地域の“実効的な支配”をおこなった場合にも、その国の責任が惹起されるだろうとした。そして、トルコが実際に北キプロス・トルコ共和国当局の政策や行為に細やかな支配をおこなっているか否かを決定する必要はなく、トルコ軍がその島の関連箇所で、実効的な全般的支配 (effective overall control) をおこなっていることは、そこでの実戦行動に参加している大規模な兵力から明らかである、とした。

女王座部は、前の先行的抗弁に関する判決を主として“その地域の実効的支配”に基づくものとして理解しようとしたことの正しさが、この判決

によって示されていると評価した。

(15) *Cyprus v Turkey* (1996)

この事件は、北キプロス紛争に関わる 3 番目の訴訟であり、1975 年のものと同じくキプロス政府によって人権委員会に申し立てられた。人権委員会はその訴えの受理を認め、本案の審理は後に回した。人権委員会は、トルコの管轄権が北キプロスに及ぶか否かの問題は、究極的にはトルコの責任の問題に巻き込まれていて、本案の審理において最終的に解決しようという被告の主張に同意した。が、続けて、この委員会の審理は、原告によって訴えられた事項がトルコの管轄に含まれるか否かの決定に限定してなされるとし、この決定は、本案で決定される問題、つまり訴えられた事項が本当にトルコの責めに帰しその責任を惹起させるのか否かの問題の事前判断では決してない、とした。

女王座部は、この決定を重要性の高いものと見なした。なぜなら、これまでの判決・決定の引用ができるだけ幅広く意味するよう表現されてきた理由を説明しているかもしれないからである。言い換えれば、人権裁判所・人権委員会は、受理審査の段階では、管轄権が基礎づけられる原理を明確にすることに、またそれを示すことにも関心を持っていなかったのではないかと指摘した。

(16) *Yonghong v Portugal* (1999)

これは、1990 年の *Bui van Thanh v United Kingdom* 事件と同じ争点をもつもので、受理に関する人権裁判所判決である。原告は台湾人であり、マカオで逮捕され、マカオ当局は中華人民共和国の要請により引き渡そうとした。原告は条約 3 条違反を訴えた。ポルトガルは、その植民地であるマカオには人権条約 56 条に基づいてその適用をおこなっていなかった。裁判所は、1992 年の *Drozdz and Janousek v France and Spain* 事件判決を参照し、締約国の責任は国外で効果を生じさせる国家機関の行為によっても生じうるとしながらも、人権条約 56 条の趣旨から、条約の適用範囲を拡大する宣言がなされていない場合は、締約国が責任を有する地域についても、条約は適用されないとし、したがって裁判所はこの訴えを審理する領域的管轄権を有していない、とした。

女王座部は、マカオへの条約適用がなかったことが決め手となったのか、あるいはその引渡にポルトガル当局の関与がなかったことが決め手となったのか、曖昧さが残ると指摘し、前者であろうが後者の可能性も排除できないと評価した。

(17) *Cyprus v Turkey* (2001)

北キプロス紛争に関わる 3 番目の訴えに対する、人権裁判所の、受理と本案を合わせての判決であ

る。1996 年の *Cyprus v Turkey* 事件の人権委員会から付託されたものである。人権裁判所は、1996 年の *Loizidou v Turkey* (Merits) 事件判決を参照しながら、北キプロスでの“実効的な全般的支配”から、トルコの責任はそれ自身の兵士・将校の行為に限定されず、トルコ軍その他の支援で存続している地方当局の行為も関わってくるとし、責任の範囲は人権条約に規定されているすべての実体的権利に及ぶ、とした。さらに、個々の人間を保護するヨーロッパ公序の文書であるというこの条約の特別の性格、および「締約国が行った約束の遵守を確保する」と人権条約 19 条に規定された使命を考慮しなければならぬとし、この事件で問題の事項はトルコの管轄に含まれ、したがって被告の責任を惹起させる、とした。

女王座部は、何がこの判決の理由付けになっているのか、よくわからないと評価した。人権裁判所は、ある意味では管轄権という先行的問題を扱うと主張しながらも、事実認定がされる段階では主として国の責任という用語で説明していった、と指摘した。また、人権条約のヨーロッパ公序の文書としての性格付けに関して、Mr. Singh と Mr. Greenwood との間の争点も取り上げた。Mr. Greenwood は、北キプロス訴訟の本当の理由付けは、それまで人権条約のキプロス管轄内にいた北キプロスの人々がその外の真空状態に追いやられることを裁判所が否定したことの中に見いだされる、との主張を、この判決で根拠づけたが、女王座部は、この理由付けは、いずれにしても 1995 年の *Loizidou v Turkey* (Preliminary Objections) 事件判決以後の“その地域の実効的支配”原理に依拠したものであると評価した。他方、Mr. Singh は、この性格付けを、余分なものとした。

(18) *Al-Adsani v United Kingdom* (2001) ¹⁶⁾

イギリスとクウェートの国籍を有する原告が、クウェートで誘拐され拷問を受けたとして裁判所に訴えた事件である。女王座部は、この判決によって、*Soering v United Kingdom* 事件判決の原理が働くのは、国外で拷問等を確実に引き起こすと思われる被告国の行為がその管轄内でなされている場合であることが示されたとした。

(19) *Bankovic v Belgium* (2001)

この事件の概要を説明する。コソボにおけるセルビア人とアルバニア系住民との紛争は 25 万人に及ぶ国外避難民を発生させ、またセルビア人による民族浄化運動によって多くのコソボ住民が虐殺された。これに対し、NATO 軍は旧ユーゴスラビア連邦 (FRY) 領域内のコソボを、1999 年 3 月から 6 月まで空爆したが、地上軍の派遣はなかった。1999 年 4 月のミサイルによる空爆で、ベオグラードの

放送局が破壊され、一般市民を含む32人の死傷者が出た。これらの負傷者および死者の遺族たちが、ベルギー他16カ国(人権条約締約国であった)を、人権条約2条の生命に対する権利他が侵害されたとして、ヨーロッパ人権裁判所に訴えた(FRYは条約締約国でなかった)。争点は、原告たちが条約1条の意味する被告国の管轄権に含まれるか否かであり、大法廷において審理され、含まれないと決せられた。

女王座部は、この判決を次のようにまとめた。大法廷は、基本的な問題を、被告の「領域外の行為」の結果、それによって負傷・死亡した者たちが被告の管轄に含まれるか否か、であるとし、ウィーン条約法条約(1969年)の規則に照らし条約1条の用語の「通常の意味」を考えれば、国家の管轄権は領域的なものであるとした。したがって、ある国家は他国による同意、要請、黙認なしにはその国の領域内で管轄権を行使することはできず、ただ他国を占領している国家の場合には、その占領地において少なくとも一定の事項について管轄権を行使できるにすぎないのであり、領域外の管轄権は例外的なもので、各場面の特定の状況の中で特別の正当化を必要とするとした。

そして、従来の人権裁判所の判決に関して、管轄権が本質的に領域的であるという立場を維持しつつも、例外的な場合として、締約国が領域外でおこなった行為あるいは領域外で効果が発生する行為が、条約1条の管轄権の行使にあたると認めてきたとし、しかし *Soering v United Kingdom* 事件などの引渡・追放に関する判決は領域外で効果が発生する行為に関連するとしても、領域外の管轄権に関する前例としては適切ではないとし、北キプロスに関する1992年の *Drozdand and Janousek v France and Spain* 事件判決などから、この例外的な場合は、被告国が関係領域あるいはその外国住民に対し、軍事占領の結果からあるいはその領域の政府の同意、要請、黙認による“その地域の実効的支配”を通じて、通常であればその政府が行使する公的な権力の一部を行使している場合だけであるとした。そして、それに付け加えて、国際法で認められている外交機関、領事館、船舶、航空機を例外として挙げた。

さらに、原告の、本件を管轄内として扱わないのでは公序擁護の使命(ordre public mission)は果たされず、人権保護の条約体制に不幸な真空を残すことになるとの主張に対しては、この裁判所の義務は、個々の人間を保護するヨーロッパ公序の基本的な文書であるというこの条約の特別の性格を尊重することであり、その役割は、条約締約国の約束の遵守を確保することであるとし、この条約は、同第56条(締約国は、国際

関係について自国が責任を有する地域についてこの条約を適用することを宣言できる)に従って、本質的に地域的な文脈の中で、また特に締約国の“法的空間”(espace juridique)の中で機能する多国間の条約であるとした。

1965年から2001年までのヨーロッパ人権裁判所の判決(同人権委員会の決定を含む)を概観して、女王座部は、*Bankovic v Belgium* 事件判決を次のように位置づけた。ア)この判決が初めて、条約1条の管轄権の問題を国際法の背景およびその基礎との関連で検証した、イ)同様にこの判決が初めて、1条に関わる条約の起草原稿を参照した、ウ)この判決で問われた本質的な問題は、*Loizidou v Turkey* 事件判決において検討されたもの、つまりその訴えは被告国の管轄権に“含まれるか否か”である、エ)この判決が初めて、条約1条の管轄権は基本的に“領域的な”ものであると宣言した、オ)条約1条の管轄権が領域外に及ぶという従前の例の引用が、ほとんどの場合、可能性として示されているのに対し、管轄権の領域外行使に関するこの判決自身の理解は、“例外的”と表現され、関連地域の“実効的な支配”の事例に限定されている、カ)その他、管轄権の領域外行使として認められた事例は、外交機関、領事館、船舶、航空機など国際慣習法が国家の管轄権外の行使を認めてきた場合であった、キ)この判決は、条約の本質的に地域的な内容とその目的を、次のように強調した。条約56条によりその適用を広げた明白な事例を示し、条約は締約国の行為であっても、世界中に適用されるようには作られていない、条約のねらい(“公序擁護の使命”)は、その目的を国際化するために、またはその範囲をそれ自身の“法的空間”の外に拡大するために使われてはならない、と。ク)その一般的な哲学として、2001年の *Cyprus v Turkey* 事件判決の“真空状態”に関する言及は、条約の世界的規模の望みに向けられたものではなく、北キプロスの人々がかつては享受していた条約の成果を奪われているという“全く別の状況”に向けられたものであると強調した、ケ)条約2条・3条の権利・自由を、条約全体としてのそれらから切り離すことができない理由を説明した。

(20) *Öcalan v Turkey* (2003)

女王座部が、2001年の *Bankovic v Belgium* 事件判決以後の判決で参照されなければならないと考えた、二つの判決のうちの一つである。原告は、トルコ国籍を有していたが、トルコ当局からテロ行為を扇動していると批判されている、クルド人抵抗組織 PKK(クルド労働者党)の指導者であった。彼はケニヤで逃走していたが、ケニヤ当局によってトルコ

当局に引き渡され、トルコ当局は、ナイロビ空港の国際線飛行機の機内で彼を逮捕した。その後トルコに連れて行かれ、長期間拘禁され、最後に裁判にかけられ、有罪・死刑が宣告された。彼は、条約6条に反する不公正な裁判を受けさせられたこと、その刑の執行は条約2・3条に反すること、彼がケニアからトルコに移送され、裁判まで拘禁された状況は、条約3条の非人道的な取扱いに相当することを主張した。人権裁判所は、条約6条と3条の違反があったとし（ただし、不公正な裁判に続く死刑判決に関してのみ）、その他の2条・3条違反は認めなかった。

この逮捕が、トルコの管轄外であるナイロビ空港の国際線飛行機の機内でおこなわれたという事実に関連して、トルコは、これは適法なもので、法律に規定された手続きに合致しており、ケニアとトルコの協力によってなされ、公式な引渡条約は存在しなかったが、ケニアの国家主権および国際法を侵害するではなかったと主張した。裁判所は、この主張を全面的に受け入れたが、トルコが *Bankovic* 事件判決に照らせば原告の国外での逮捕からトルコの責任は惹起されないと断定したことに関しては、原告がケニア当局によってトルコ当局に引き渡された後は、原告はトルコ当局の実効的な権限の下にあり、したがってその管轄に含まれていたとし、この事件の状況は *Bankovic* 事件判決のそれとは区別することができ、特にこの原告は、身体的に強制されて移送されたのであり、その後もトルコ当局の権限と支配の下にあった、判断した。

Mr. Singh と Mr. Greenwood は、この判決の解釈に関しても対立した。Mr. Singh はこの判決を、これまでの彼の主張、つまり *Bankovic* 事件判決はそれまでのヨーロッパ人権裁判所の判例を変更するものではなく、分水嶺ではないことを証明していると解した。これに対し、Mr. Greenwood は、この判決はトルコ航空機という特別な例外、あるいは航空機内での逮捕の瞬間は原告のトルコへの移送のプレリュードでしかなかったという事実に基づく特例であったと解した。

女王座部は、人権裁判所が既に *Bankovic* 事件判決の中で、*Öcalan v Turkey* 事件の受理に関する人権委員会決定においては、管轄権の問題はトルコによって主張されなかったことを指摘していたことに注目し、*Öcalan v Turkey* 事件の本案審理は管轄権の問題を抜きに行われたとし、したがってこの判決を参考となる判決として扱うことはできないと評価した。そして、この事件を *Bankovic* 事件と区別するものは、問題となった違反がトルコへの強制移送とそこでの拘禁であったと結論づけた。

(21) *Ilaşcus v Moldova* (2004)

女王座部が、*Bankovic* 事件判決以後の判決で参照

されなければならないと考えた、二つの判決のうちの残りの一つである。受理審査段階で、人権委員会は、管轄権の問題は本案の審理に巻き込まれているので、この段階で決定するのは不適切であるとした。したがって、この人権裁判所が、管轄権と本案ともに決定することになった。

この事件は、*Loizidou v Turkey* 事件のモルドバ版であるが、原告はトルコ（ここではロシア）と共にキプロス（ここではモルドバ）を訴えた。事件は人権条約締約国であるモルドバで発生したが、その中のドニエストル川東岸地域は「沿ドニエストル共和国」として知られている分離支持者の地域となっており、モルドバは条約を批准する際にその東岸地域については、その支配の不在を根拠にその責任の免除を求める宣言を発していた。裁判所は、国際法の下ではモルドバが東岸地域の唯一の正当な政府であると認めながら、その権限を行使していなかったことも認めた。

裁判所は、モルドバの管轄権と責任に関する争点を、次のように分析した。締約国が、他国による軍事占領によるものであろうとなかろうと、分離地域がつくられるような事実上の強制支配によって、その全領域に関する権限を行使できなくなる場合でも、締約国は、一時的に反乱軍または他国に支えられた地域当局に管理される領域の一部に対する、条約1条の管轄権を失うことはない。このような現状が管轄権の範囲を狭くするにもかかわらず、条約1条に基づく締約国による保障は、その管轄内の人に対するのみ、検討されなければならない。つまり、当該国家は、条約上の権利と自由の享受を保障し続けるため、国家および国際機関に関して利用可能なすべての法的かつ外交的手段を用いて、努力しなければならない。そして、裁判所は、当該国家によって実施された手段が適切かつ十分なものであったか、検証しなければならない、上手くいっていない場合は、それでも可能であった最小の努力とはどの程度のものであったのか、それは実施可能であったのか、を決定しなければならないとし、原告はモルドバの管轄に含まれる、その責任は、モルドバが実効的な権限を行使できない地域で生じた違反であるから、条約に基づく積極的な義務の観点から評価されなければならない、とした。

裁判所は、ロシアの管轄権と責任に関しては、次のように述べた。「沿ドニエストル共和国」はロシアの支援によって設立され、現在もその実効的な権限の下に、少なくとも決定的な影響の下にあり、ロシアからの軍事的、経済的、財政的、政治的支援によって存続していることは事実であり、したがって、原告はロシアの管轄に含まれロシア

の責任が惹起される、とした。

女王座部は、締約国による問題の領域の支配に関する限り、この判決は、1995年の *Loizidou v Turkey* 事件判決および2001年の *Cyprus v Turkey* 事件判決と原理において何らの進展はない、北キプロス紛争と同様、モルドバもロシアも条約締約国であった、と評価した。

(22) *Isaa v Turkey* (2004)

この事件の人権裁判所判決は、女王座部がこの判決を書き上げかけたときに、公表されたものである。この判決は、Mr. Singh と Mr. Greenwood との間に文書での、あるいは口頭でのさらなるやり取りを引き起こし、女王座部の判決の再検討を促した。

女王座部は、この判決が非常に重要なのはイラクに関するものだからであると指摘した。1995年3月19日から4月16日までの約1ヶ月間、トルコ軍は国境を越えて北イラクへ侵攻した。その目的は、北イラクで避難場所を探していたテロリストの搜索と追放であった。6人の原告は、1995年4月2日にトルコ軍に拘束され、その後殺害された7人の羊飼いの遺族である。条約2条、3条、5条、8条、13条、14条、18条を根拠に訴えがなされた。トルコは、問題の村落の10 km以内には立ち入っていないと反論した。裁判所は、その地域にトルコ軍が立ち入ったことを、合理的疑いを超える水準の証拠によって立証することができなかったことに基づいて訴えを棄却した。

この訴えの受理は、既に(2000年5月)、トルコ側から当該事件はその管轄の外で発生したという指摘がなされないまま、認められていた。本案審理において、トルコは管轄権の問題を取り上げようとし、原告はそれを手遅れであるとして反対したが、裁判所は、この問題は訴えの事実と密接に絡み合っており、本案審理に留保されていたと考えなければならない、とした。女王座部は、裁判所が本案審理においても羊飼いたちの死はトルコ軍の責任に帰せられないと認定し続けたので、なぜ故意に管轄権の問題を取り上げ、解決しようとしたのか、不明であるとし、近い将来、2003年のイラク侵攻から派生する訴えがこの問題の判断を必要とするようになることに、裁判所が気づいたからではないか、と推測した。管轄権の問題を避けることができたときにそうしなかったということは、その判決理由が厳密に言えば傍論で述べられていようと、綿密な考察に値するものに間違いないとする Mr. Singh の主張に力を与えると、評価した。

本審理において、トルコは、*Bankovic* 事件判決に基づいてイラクは条約の“法的空間”の外にあり、

この“法的空間”という概念は *Bankovic* 事件および北キプロス事件での決定を理解する上で基本となるものだった、と主張した。さらに、北イラクでの限られた時間と目的のためのトルコ軍の存在は、その地域での実効的支配の行使に該当しなかった、とした。

これに対し、原告は、管轄権の問題は *Bankovic* 事件判決によって変更されておらず、北キプロス事件判決、1992年の *Drozdz and Janousek v France and Spain* 事件判決および国際法の原則に基礎づけられていると見なされていると主張し、侵攻の事実に関しては、トルコ軍の行動(3万5000人の兵力をヘリコプター・戦闘機とともに派兵)は1995年と1996年の *Loizidou v Turkey* 事件判決の中の“実効的な全般的支配”に十分に相当するとした。また *Bankovic* 事件とは異なり、羊飼いたちは意図的に狙われ殺害されたと指摘し、さらに彼らは戦争犠牲者保護の1949年ジュネーブ4条約の第4条の「保護される者」に該当するとし、国際法に基づけばそれらの犠牲者が明らかにトルコの管轄に含まれるという事実は、自分たちの主張をさらに強固なものにする主張した。

人権裁判所は、「一般的原理」との表題の下で、その判断を示した。*Bankovic* 事件判決を引用して、条約1条の管轄権は国際法上の意味を考慮したものでなければならず、基本的に領域に基づくものであると述べ、続けて *Loizidou v Turkey*(Merits) 事件判決を引用して、その地域の“実効的な支配”を例外の原理として示した。さらに、1992年の *M v Denmark* 事件判決を引用しながら、他国の領域内ではあるが、締約国の機関を通じて(合法か違法かは別として)締約国の権限と支配の下にあるとされる人にも人権条約が適用されるという例外も示した。この例外は、条約1条を、締約国が自国では許されない違反を他国では犯すことができると解釈することはできない、という事実から導かれるとした。

女王座部は、この判決には領域原理に対する二つの例外が述べられているとし、その一つが、北キプロス事件での、その地域の“実効的な支配”であったが、この原理は条約の法的空間でのみ適用されるというトルコの主張に対する応答は何もなされなかった、と指摘した。二つ目として、他国の領域で活動する締約国の“機関を通じてのその権限と支配”の行使に関わるものを挙げ、これを幅広い主張であると評価した。そして、判決は当初、第二の例外の適用を始めながら、第一の例外の適用を検討して、トルコ軍の兵力の大きさを認めながらも、その実効的な全般的支配は認めなかった(北キプロス事件との差異として、軍隊の

長期にわたる駐留、その地域全体への配置、定期的なパトロールとすべての主要幹線における検問を挙げた)。女王座部は、この第一の例外の適用に関して、二つの指摘をおこなった。その一つは、この判決は、もし“その地域の実効的支配”が事実に基づいて認められれば、条約の法的空間の外にある地域でも当該締約国の管轄内のものとなることを、理論上認め、締約国の法的空間と世界の他の空間との違いを認める原理を完全に欠落させるものとなっている、と。もう一つの指摘は、Mr. Singhの主張の妥当性に関わるものである。彼は、“その地域の実効的支配”の原理が事実に基づいて否定された後、この *Isaa* 事件に適用できた原理は、“機関を通じてのその権限と支配”の原理であると主張し、判決の「究明されるべき本質的な問題は、事件当時、殺害がおこなわれた場所でトルコ軍が活動をおこなっていたかどうかである」に着目して、第二の例外を適用している、とした。そして、*Bankovic* 事件判決以降も、人権裁判所は、第一の例外であろうと第二のそれであろうと幅広い領域外適用の原理を用意し、それをイラクまで拡大した、と主張した。女王座部は、Mr. Singhの主張に立てば、イラクでトルコ地上軍が生じさせた死とセルビアで NATO 軍空爆によって生じた死との間の管轄上の違いを説明することは難しい、と評価し、それらの羊飼いたちは殺される前に拘束されていたという事実が重要ではなかったのか、と指摘した。

4. 2. 人権裁判所判決から導き出されること

管轄権に関するヨーロッパ人権裁判所の一連の判決(ヨーロッパ人権委員会の決定を含む)から、高等法院・女王座部は、次のような結論を導き出した。

(1) 条約1条の管轄権の基本的な性質は、領域的なものである。これは、国際法における主権の性質から、この条約が国際法の原則につながっているという事実から、条約1条の起草過程から、条約56条に示されている領域外適用方法から、この条約自体の基本的な地域的な性質から導かれる。

Bankovic 事件判決は、この基本的な見解とその理由付けを支える代表的な判例であり、その影響はその前後の判決に及んでいる。下記(5)でさらに詳しく説明する。

(2) 条約1条の管轄権にいくつかの例外が存在していることは、共通認識となっているが、その例外の適切な説明に関しては、議論がある。*Soering v United Kingdom* 事件判決は、正確には例外原則にはならない。もし条約が適切に適用されれば(締約国内での追放という行為それ自体が、条約違反の結果を生みだす)、原告は国外に行くことも、恐

れていた危険に遭うこともなかったからである。したがって、*Soering* 事件判決を管轄外で発生する効果に着目した領域外適用の幅広い原理の例とみなすことは、誤解を生むものとなる。

(3) しかし、締約国が、合法か違法かは別としてその地域に“実効的な支配”を及ぼしている場合は、例外が存在することになる。この原理は、最初は1995年の *Loizidou v Turkey* (Preliminary Objections) 事件判決で登場したが、その後主要な理由付けとなり、2004年の *Ilaşcus v Moldova* 事件判決においても用いられた。

この原理の重大な問題は、これが締約国の領域外の地域でも適用されるか否かである。事実として、この原理は、ヨーロッパ人権裁判所判決(人権委員会決定を含む)において締約国の領域内でのみ適用されてきた。結論は、下記(9)で述べられている。

(4) もう一つの例外の原理である“機関を通じてのその権限と支配”について、検討する。この原理は、1965年の *X v Federal Republic of Germany* 事件の人権委員会決定にそのルーツを辿ることができ、そこでは締約国の領事館職員から国外において何らかの処分を受けた締約国の国民は、その管轄に含まれる可能性が示された。その後、1975年の *Cyprus v Turkey* 事件、同年の *Hess v United Kingdom* 事件、1977年の *X and Y v Switzerland* 事件、同年の *X v United Kingdom* 事件、1991年の *Chrysostomos v Turkey* 事件、1992年の *M v Denmark* 事件の各人権委員会決定において引用され、それらの決定では管轄外適用に関する幅広い見解が示されていたにもかかわらず、北キプロス関係の事件以外、その訴えはすべて不受理となった。したがって、これらの決定から、領域外適用を可能にするこの原理が狭く評価されているのか広く評価されているのかを判断することは難しい。次に、1978年の *Tyrer v United Kingdom* 事件、1989年の *Soering v United Kingdom* 事件、1990年の *Bui van Thanh v United Kingdom* 事件、1992年の *Droz and Janousek v France and Spain* 事件の各人権裁判所判決からも、この原理を評価することは難しい。また、*Bankovic* 事件判決直近の人権裁判所判決の中の北キプロス紛争に関するもの、つまり1995年の *Loizidou v Turkey* 事件 (Preliminary Objections)、1996年の *Loizidou v Turkey* 事件 (Merits)、1996年の *Cyprus v Turkey* 事件、2001年の *Cyprus v Turkey* 事件の各人権裁判所判決(1996年 *Cyprus* 事件は人権委員会決定)から見れば、上記の人権委員会初期の幅広い人的管轄権アプローチは、現在主要な理由付けとなっている“その地域の実効的支配”原理に基づく特別な例外に取って代わられている。トルコ管轄権関与の理由

付けを導き出しているものは、人や物に対する対する権限の人的行使ではなく、北キプロス内の新しい軍事的、市民的政府としてのトルコの責任である。“機関を通じてのその権限と支配”の原理に戻れば、下記(5)で示されるように、それは人的管轄権の幅広い原理ではなく、領域管轄権という基本原理の枠の中の限定された例外である。下記(8)でも補足がなされている。

(5) こうした判決の後に、*Bankovic* 事件判決が出されている。この判決は、条約1条の管轄権原理を支える理論および国際法を考察した最初のものであり、したがって分水嶺と評価することができるものである。領域の範囲、ヨーロッパ公序、法的空間の重要性は、排他的なそれと包括的なそれの両方を有している。人権条約は共通の遺産をもつヨーロッパのための法的秩序を立ち上げているという意味では排他的な、人権条約の水準維持の保障に特別の配慮が求められるというヨーロッパ圏においては包括的なものである。*Bankovic* 事件判決においては、初期の判決(決定を含む)における管轄外適用の理由付けは、国際法や条約に基づく外交機関、領事館、船舶、航空機などの例外的ものに限定されながら、引用された。その後の *Öcalan v Turkey* 事件(2003年)、*Ilaşus v Moldova* 事件(2004年)に関する人権裁判所判決には、*Bankovic* 事件判決の主旨に反するものは含まれていない。

(6) しかしながら、直近の人権裁判所判決である *Isaa v Turkey* 事件判決(2004年)と *Bankovic* 事件判決との関係をどのように評価するか、が課題として生じる。Mr. Singh は、*Bankovic* 事件判決は *Isaa* 事件判決に照らせば分水嶺ではなく、締約国がその機関を通じて国外の人にその権限と支配を及ぼしていくため活動すれば、いつでもどこでも領域外適用が生じるという幅広い原理について、*Bankovic* 事件判決は触れていないと主張したが、この主張は、認められない。*Bankovic* 事件判決は、条約の管轄権の領域的な性質を完全に損なってしまうような、このような幅広い原理を支持していない。同じ理由から、*Isaa* 事件判決の中の幅広い原理は *Bankovic* 事件判決と一致していない。この幅広い原理を支持するとして *Isaa* 事件判決が引用したその判例は、実は十分にその原理を支えるものではなく、その中の幾つかの判決は既に *Bankovic* 事件判決においてその意味を割り引かれている。

(7) Mr. Singh は、1998年人権法2条1項¹⁷⁾に基づいて、*Isaa* 事件判決を考慮することはイギリス裁判所の義務であると主張した。彼は、*Isaa* 事件判決を、イラクを扱っていることから、ヨーロッパ

人権裁判所判決の中で最も関連の深いものであると主張した。彼は、Bingham 卿の意見「裁判所は、特別な事情がないなら、ストラスブール裁判所の明白で一貫した判例に従うべきである」(*R(Ullah) v Special Adjudicator* [2004]2 AC 323), para 20) に信頼を置いた。しかしながら、*Isaa* 事件判決の中の幅広い原理は“明白で一貫した判例”に従うものではない。逆に、この判決の原理は、*Bankovic* 事件判決およびその直近の一連のヨーロッパ人権裁判所判決と一貫していないものである。ストラスブールには一つより多くの学派があるのかもしれないし、またイラクでの最近の出来事を人権条約の範囲をはるかに超えるものとしてはならないという理解できる関心があるのかもしれない。しかし、現時点において、*Bankovic* 事件判決に示される有力な学派が存在しており、1998年人権法2条1項の義務を負っているのは、この学派に対してである。

(8) 国際法で認められている特別な事例の管轄外適用について、さらに詳細な理由付けを、敢えて提示してみる。締約国とは分離した、しかし準・領域的性質をもつ地域について、あるいは国外での国家機関の存在がその相手国に同意され、国際法によって保障されている場合には、認められる、とするものである。これには、外交関係の事務所、領事館、船舶、航空機などが含まれる。Mr. Greenwood は、この領域外適用の例外は、原告が被告である締約国の国民である場合に限定されると主張したが、この主張は多くの判決からは支持されていない。国家機関がその国民に、彼がどこにしようと支配を及ぼすことができるような、領域原則に対する追加の例外があるのか、という別の問題が存在するようであるが、ここでは取り上げない。

(9) *Isaa* 事件判決は、法的空間の原則を認めていたが、非締約国もそこで締約国の実効的な支配がおこなわれれば条約の適用領域になると主張することによって、法的空間の原則を無効なものにすることには成功しなかった。これまで示した理由から、*Isaa* 事件判決をこの原則を覆しているものと見なすことはできず、この点において2001年の *Cyprus* 事件判決、*Bankovic* 事件判決から首尾一貫しているものである。したがって、“その地域の実効的支配”の原理は、イラクには適用されない。

5. 事実に適用される原理

イラクはヨーロッパ人権条約の領域圏内ではないので、本件の原告は、“その地域の実効的支配”

原理に基づく領域外適用の例外として、イギリスの条約1条の管轄に含まれるということにはならない。残された問題は、本件が関わっている死が、国家機関の領域外活動から生まれるもう一つの例外に含まれるか、である。原告の中で、始めから5人の事例と、最後の6人目の事例を分けて考える。陸上での軍事行動によって生じた死は、つまり始めの5人の事件は、判例が度々引用している大使館、領事館、船舶、航空機での（からの）国家機関の活動の様々な例に含まれるとは思われない。これに対して、6人目のBaha Mousaの事例では、彼は、軍事行動の犠牲者ではなく、戦争捕虜でもなかった。彼はイギリス軍によって逮捕され、その軍事基地で拘禁され、殴打されて死亡した。イラク当局の同意に基づきイラクで活動しているイギリス軍の軍刑務所が、大使館、領事館、船舶、航空機などに限定された例外に含まれると考えることは、領域外管轄権の濫用にあたらない。したがって、始めの5人は、条約1条の管轄権には含まれないが、6人目のBaha Mousaは含まれる。

6. ま と め

Al-Skeini 事件に関する高等法院・女王座部判決については、1998年人権法に関する判例、あるいはヨーロッパ人権条約2条・3条が求める公開調査に関する検討が残されているし、この *Al-Skeini* 事件に関しては、控訴院、貴族院、そしてヨーロッパ人権裁判所での各判決の検討が残されている。本稿のタイトルに「その1」が付されているのは、そのためである。

Al-Skeini 事件の各判決については、かなりの数の批評が公表されており、現在も発表が続いている（特に2007年6月の貴族院判決と2011年7月のヨーロッパ人権裁判所判決に関して）。

ここでは、まず、高等法院・女王座部判決を最初に批評した Philip Leach による “The British military in Iraq – the applicability of the *espace juridique* doctrine under the European Convention on Human Rights”¹⁸⁾ を簡単に紹介しながら、この判決の意味を考察する。Philip Leach は、*Bankovic* 事件判決を変更する判決として2003年の *Öcalan v Turkey* 事件判決と2004年の *Isaa v Turkey* 事件判決を紹介している。*Öcalan* 事件判決は、“実効的な支配”の原理から、締約国の法的空間外での行動が管轄権に含まれることを導き出しているとして、Philip Leach はこれを“人的管轄権”の適用例と考え、この“人的管轄権”の原理が、*Bankovic* 事件判決における外交機関、領事館、船舶、航空機に限定されたものから漠然としたも

のへと変化し、*Öcalan* 事件の“トルコ防衛軍のメンバー”という用語は、外交機関・領事館よりも広範な国家公務員を含むものであるとし、これらとイラクでパトロールをしているイギリス軍兵士をどうやって区別することができるのか？ と問いかけている。次に、*Isaa* 事件判決は、国家による“実効的な権限または支配”の行使が、最も重要な問題であるとして、*Bankovic* 事件判決以前の判例に回帰し始めたことを示しているとし、これは法的空間に関する議論にもかかわらず到達した自覚的な決断であったと評価した。そして、関連地域における支配する国家と個人との関係の性質に注目すべきであると主張する。また、“人的管轄権”の適用と“その地域の実効的な支配”の原理との違いを認識しようとすることは間違っていて、*Öcalan* 事件判決と *Isaa* 事件判決においてはその違いの認識はほとんど無駄であるとしながら、特に *Isaa* 事件判決を高く評価している。ここで掲げられた二つの判決に関する評価は、Philip Leach と女王座部判決とは、かなりの違いが見受けられる。Philip Leach は、*Al-Skeini* 事件の始めの5人についても、ヨーロッパ人権条約1条の管轄に含まれることを求めているが、*Al-Skeini* 事件には国際法の存在価値に関わる重要な問題が横たわっており、さらなる検討が不可欠であると思われる。

参 考 文 献

- 1) 拙稿「武力紛争における『生命に対する権利』・その序論」『津山高専紀要』第51号、2009年、pp12-13
- 2) Regina (Al-Skeini and others) v Secretary of State for Defence (The Redress Trust intervening) [2004] EWHC 2911 (Admin)、[2005] 2 WLR 1401
- 3) 1998年人権法 (Human Rights Act 1998)
 - 第6条 公的機関
 - (1) 公的機関が条約上の権利に適合しない方法で行動することは違法である。
 - 第7条 手続
 - (1) 公的機関が第6条(1)項によれば違法となる方法で行動した（または行動することを提案している）と主張するものは、
 - (a) 適当な裁判所または審判所に、同法に基づき公的機関に対して訴訟を提起することができる（以下、略）
- （指宿正典・辻村みよ子編『新解説 世界憲法』、三省堂、2006年、pp35-36、江島晶子執筆）
- 4) ヨーロッパ人権条約
 - 第2条（生命についての権利）
 - 1：すべての者の生命についての権利は、法律によって保護される。何人も、故意にその生命を奪われない。ただし、法律で死刑を定める犯罪について有罪の判決の後に裁判

- 所の刑の言い渡しを執行する場合は、この限りでない。
(松井芳郎編『ベーシック条約集 2009』、東信堂、2009年、p238)
- 5) 前掲4) 同頁
6) 前掲4) p240
7) 前掲4) pp242-243
8) 前掲4) 同頁
9) Bankovic v Belgium and 16 other NATO Countries、Grand Chamber Decision、12 December 2001
10) 前掲4) p1033
11) 前掲4) p229
12) 前掲4) p1029
13) 門田孝「16 発展的解釈 刑罰としての樺棒による殴打は、条約3条に違反するータイラー判決ー」『ヨーロッパ人権裁判所の判例』戸波江二・北村泰三・建石真公子・小畑郁・江島晶子編、信山社、2008年、p134 参照
14) 古谷修一「14 ノン・ルフールマン原則と犯罪人引渡 人権侵害が予見される国家への引渡により生じる人権条約違反ーゼーリング判決ー」前掲13) p124 参照
15) 前田直子「9 実施機関の権限の制限 管轄権受諾宣に付された制限の有効性に関する解釈ーロイズイドウ判決(先決的抗弁)ー」前掲13) p101 参照
16) 葉師寺公夫「7 国家免除との関係 国際法上の外国国家の民事裁判権免除と裁判を受ける権利の関係ーアルアドサニ判決ー」前掲13) p90 参照
17) 1998年人権法(Human Rights Act 1998)
第2条 条約上の権利の解釈
(1) 条約上の権利との関係で生じる問題を決定する裁判所および審判所は、以下のいずれについても考慮に入れなければならない。
(a) ヨーロッパ人権裁判所の判決、決定、宣言または勧告的意見
前掲3) p33
18) Public Law [2005] Autumn pp448-458

Repeat Space Theory Applied to Carbon Nanotubes and Matrix Art

Shigeru Arimoto^{*}, Massoud Amini^{**}, Mark Spivakovsky^{***},
Joseph E. LeBlanc^{****}, Keith F. Taylor^{*****}, Tokio Yamabe^{*****}

In conjunction with the series of papers entitled “Repeat space theory applied to carbon nanotubes and related molecular networks. I, II, III” published in the J. Math. Chem., Springer, two Challenging Problems E and F have been formulated and discussed. The Matrix Art pictures of carbon nanotube energy band curves played a significant role as a heuristic trigger in formulating Problem E, and the pattern analysis of matrices in the repeat space was crucial in providing a conjecture in Problem F. The visual and audible data analysis are playing a significant role in the international, interdisciplinary, and intergenerational Second Generation Fukui Project and in its special new part, the Niagara Project.

Key Words: Repeat Space Theory (RST), Asymptotic Linearity Theorem (ALT), Analytic Curves, Resolution of Singularities, Fourier Expansions of Absolutely Continuous Functions

1. Introduction

The Repeat Space Theory (RST) [1-24] is a central unifying theory in the First and Second Generation Fukui Project [1-4], which was initiated in August 1992 by Kenichi Fukui (1918 - 1998, Nobel Prize 1981). The Matrix Art Program in the Niagara Project, which is a special new part of the Fukui Project started in 2010, and this program has merged to part III of the series of papers entitled “Repeat space theory applied to carbon nanotubes and related molecular networks” published in the J. Math. Chem. Springer [7-9]. In conjunction with this series, two challenging problems E and F have been formulated and discussed in the present paper. The Matrix Art pictures of carbon nanotube energy band curves played a significant role as a heuristic trigger in formulating Problem E, and the pattern analysis of matrices in the repeat space was crucial in providing Problem F, which together with other challenging problems from refs. [4,9] are enriching the interdisciplinary and inter-generational investigations in the field between mathematics and chemistry. We remark that the visual and audible data analyses are playing a significant role in the international, interdisciplinary, and inter-generational Second Generation Fukui Project and in its special new part, the Niagara Project.

2. Preliminaries and Challenging Problem E

Before formulating the problem, we need some preparations. Throughout, let $\mathbb{Z}^+$, $\mathbb{Z}_0^+$, $\mathbb{Z}$, $\mathbb{R}$, and $\mathbb{C}$ denote respectively the set of all positive integers, nonnegative integers, integers, real numbers, and complex numbers. (In the present paper, we retain the notation given in the “Nanotube Series, parts I ~ III” published in the Journal of Mathematical Chemistry [7-9]. The reader is referred to refs. [25-27] and references therein for the science and technology of carbon nanotubes.)

Let $\text{Arg}: \mathbb{C} \rightarrow]-\pi, \pi]$ denote the function defined by

$$\text{Arg}(z) = \begin{cases} 0 & \text{if } z = 0 \\ \theta & \text{if } z \in \mathbb{C} - \{0\}, \end{cases} \quad (2.1)$$

where $\theta \in]-\pi, \pi]$ and

$$z = |z| \exp(i\theta). \quad (2.2)$$

(Note that for each $z \in \mathbb{C} - \{0\}$, there is a unique $\theta \in]-\pi, \pi]$ such that (2.2) holds.)

For each $n \in \mathbb{Z}^+$, let $\text{Sg}_n: \{1, \dots, 2n\} \rightarrow \{-1, 1\}$ denote the function defined by

$$\text{Sg}_n(j) = \begin{cases} 1 & \text{if } j \in \{1, \dots, n\}, \\ -1 & \text{if } j \in \{n+1, \dots, 2n\}. \end{cases} \quad (2.3)$$

In part III of the “Nanotube series” [9], we proved the

Received August 29, 2012 ^{*} Div. of General Education and Research, TNCT
624-1 Numa, Tsuyama, Okayama, 708-8509, Japan (arimoto@tsuyama-ct.ac.jp)

^{**} Department of Mathematics, Faculty of Mathematical Sciences
Tarbiat Modares University, Tehran 14115-134, Iran (mamini@modares.ac.ir)

^{***} Institut de Mathematiques de Toulouse, Unité Mixte de Recherche CNRS
(UMR 5219) UFR MIG, Université Paul Sabatier, 118, route de Narbonne,
31062 Toulouse, Cedex 9, France (mark.spivakovsky@math.univ-toulouse.fr)

^{****} School of Integrated Studies, Pennsylvania College of Technology,
One College Avenue · Williamsport, USA, PA 17701 (jleblanc@pct.edu)

^{*****} Department of Mathematics and Statistics, Dalhousie University
Halifax, NS, Canada, B3H 3J5 (kft@mathstat.dal.ca)

^{*****} Institute for Innovative Science and Technology, Graduate School of
Engineering, Nagasaki Institute of Applied Science, 3-1, Shuku-machi, Nagasaki
851-0121, Japan (YAMABE_Tokio@NiAS.ac.jp)

following theorem using the technique of what is called the spectral symmetry (cf. [28,20] and references therein for the notion of the spectral symmetry and theorems related to it):

Theorem B. Let $n \in \mathbb{Z}^+$, let $t \in \mathbb{Z}$, let $c, d \in \mathbb{C}$, and let $\theta \in \mathbb{R}$. Let $\rho := \rho(d, \theta) = 1 + d^* \exp(-i\theta)$. Then, for $1 \leq j \leq 2n$, the eigenvalue $\lambda_j^{n,t,c,d}(\theta)$ of the $2n \times 2n$ Hermitian matrix $F^{n,t,c,d}(\theta)$ is given by

$$\begin{aligned} \lambda_j^{n,t,c,d}(\theta) &= \text{Sg}_n(j) \sqrt{|c|^2 + |\rho|^2 + 2 \operatorname{Re} \left(c \rho \exp \left(i \left(\frac{t\theta + 2\pi j}{n} \right) \right) \right)} \\ &= \text{Sg}_n(j) \sqrt{|c|^2 + |\rho|^2 + 2|c||\rho| \cos \left(\operatorname{Arg}(c) + \operatorname{Arg}(\rho) + \frac{t\theta + 2\pi j}{n} \right)}. \end{aligned} \quad (2.4)$$

Let us now recall the notion of an envelope of a family of curves (cf. e.g. [29]). An envelope of a one-parameter family of curves given implicitly by

$$U(x, y, \alpha) = 0, \quad (2.5)$$

where α is the parameter, is a curve that is tangent to every member of the family at some point. (Here, the differentiability of U and other smoothness conditions of U are usually assumed.) Define the two variable function with the parameter α by

$$V^{(\alpha)}(x, y) := U(x, y, \alpha). \quad (2.6)$$

Recall that the singular locus of the function $V^{(\alpha)}(x, y)$ is the collection of all the points (x, y) where the gradient vector of $V^{(\alpha)}$ vanishes:

$$\begin{aligned} (\operatorname{grad} V^{(\alpha)})(x, y) &= \\ (V_x^{(\alpha)}(x, y), V_y^{(\alpha)}(x, y)) &= (0, 0). \end{aligned} \quad (2.7)$$

In what follows, let U_α stand for the partial derivative of U with respect to α . It is well known that for a family of curves represented implicitly, the envelope is given by the following simultaneous equations with the unknowns x, y with the parameter α :

$$\begin{cases} U(x, y, \alpha) = 0, \\ U_\alpha(x, y, \alpha) = 0, \end{cases} \quad (2.8)$$

with the additional condition that

$$(\operatorname{grad} V^{(\alpha)})(x, y) \neq (0, 0). \quad (2.9)$$

Thus, at first, one has to solve the above simultaneous equations (by using e.g. the implicit function theorems) to obtain the parametric solution:

$$(x, y) = (x(\alpha), y(\alpha)) \quad (2.10)$$

that satisfies (2.8). Second, one has to check for each α if the solution is not a singularity of $V^{(\alpha)}$.

For example, if a family of curves is given implicitly by

$$U(x, y, \alpha) = (x - \alpha)^2 + y^2 - 1 = 0, \quad (2.11)$$

then, we have

$$U_\alpha(x, y, \alpha) = -2x + 2\alpha = 0, \quad (2.12)$$

so that $\alpha = x$. By solving the simultaneous equations (2.11) and (2.12), one has

$$(x, y) = (x(\alpha), y(\alpha)) = (\alpha, 1), (\alpha, -1). \quad (2.13)$$

Since

$$(\operatorname{grad} V^{(\alpha)})(x, y) = (2x - 2\alpha, 2y), \quad (2.14)$$

the singularity of $V^{(\alpha)}$ is $(\alpha, 0)$. So, neither of the parametric solutions $(\alpha, 1)$ and $(\alpha, -1)$ coincides with the singularity of $V^{(\alpha)}$. Thus, each parametric line $(\alpha, 1)$ and $(\alpha, -1)$ is an envelope of the given families of curves.

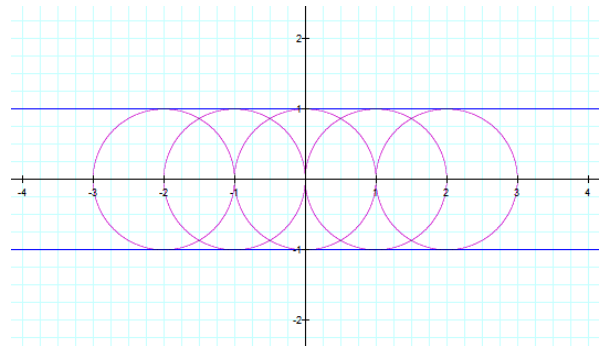


Fig. 1. Envelopes of (2.11)

On the other hand, if a family of curves is given implicitly by

$$U(x, y, \alpha) = (y - \alpha)^2 - x^2(x + 1) = 0, \quad (2.15)$$

then, we have

$$U_\alpha(x, y, \alpha) = -2y + 2\alpha = 0, \quad (2.16)$$

so that $\alpha = y$.

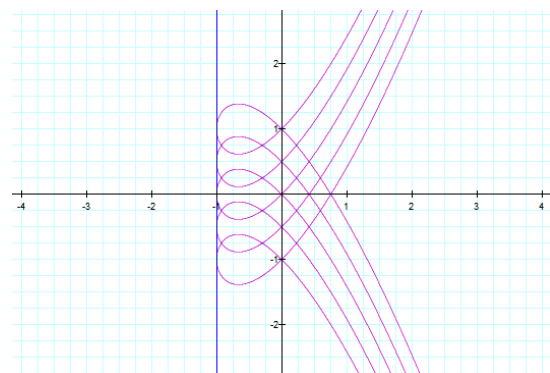


Fig. 2. Envelope of (2.15)

By solving the simultaneous equations (2.15) and (2.16),

one obtains

$$(x, y) = (x(\alpha), y(\alpha)) = (-1, \alpha), (0, \alpha). \quad (2.17)$$

Since

$$(\text{grad} V^{(\alpha)})(x, y) = (-3x^2 - 2x, 2(y - \alpha)), \quad (2.18)$$

the singularities of $V^{(\alpha)}$ are $(-\frac{2}{3}, \alpha)$ and $(0, \alpha)$. The parametric solution $(-1, \alpha)$ coincides with none of the singularities of $V^{(\alpha)}$, whereas the parametric solution $(0, \alpha)$ coincides with one of the singularities of $V^{(\alpha)}$. Thus, only the parametric line $(-1, \alpha)$ is an envelope of the given families of curves, and the parametric line $(0, \alpha)$ is the locus of one of the singularities of $V^{(\alpha)}$.

Now in Theorem B, fix $n \in \mathbb{Z}^+$, $t \in \mathbb{Z}$, $c \in \mathbb{C}$, and $d \in \mathbb{C}$, and set

$$\theta = x, \quad (2.19)$$

$$\rho = \rho(x) = 1 + d^* \exp(-ix), \quad (2.20)$$

$$\alpha = \frac{2\pi j}{n}. \quad (2.21)$$

Let

$$\begin{aligned} U(x, y, \alpha) &:= \\ y^2 - \left(|c|^2 + |\rho|^2 + 2|c||\rho| \cos \left(\text{Arg}(c) + \text{Arg}(\rho) + \frac{tx}{n} + \alpha \right) \right) \\ &= 0. \end{aligned} \quad (2.22)$$

First, notice the fact that the eigenvalues $\lambda_j^{n,t,c,d}(\theta)$ given in Theorem B are the solution of the quadratic equations (2.22) with α given by (2.21).

Second, notice that the following easily verifiable inequality holds:

$$\|c| - |\rho|\| \leq |y| \leq |c| + |\rho|. \quad (2.23)$$

Third, we remark that via the Matrix Art pictures of CNTs and associated computer experiments, one observes that the following four curves are parts of four highly smooth (real-analytic) curves.

$$y = |c| + |\rho(x)| = f_1(x), \quad (2.24)$$

$$y = \|c| - |\rho(x)\| = f_2(x), \quad (2.25)$$

$$y = -\|c| - |\rho(x)\| = f_3(x), \quad (2.26)$$

$$y = -(|c| + |\rho(x)|) = f_4(x). \quad (2.27)$$

Moreover, for each $\alpha \in \mathbb{R}$, there seem to exist two highly smooth (real-analytic) functions $\tilde{g}^\alpha$ and $\tilde{h}^\alpha$ on $\mathbb{R}$ which form the solution of (2.22).

We are now ready to formulate our Challenging Problems E (Envelope).

Challenging Problems E. Prove or disprove the following conjectures, and investigate the envelopes of the family of curves implicitly defined by $U(x, y, \alpha) = 0$, where $U(x, y, \alpha)$ is given by (2.22).

Conjecture 1. There exist four real analytic functions $\tilde{f}_1, \tilde{f}_2, \tilde{f}_3$, and $\tilde{f}_4$ defined on $\mathbb{R}$ such that the identity

$$\begin{aligned} &(y - f_1(x))(y - f_2(x))(y - f_3(x))(y - f_4(x)) \\ &= (y - \tilde{f}_1(x))(y - \tilde{f}_2(x))(y - \tilde{f}_3(x))(y - \tilde{f}_4(x)) \end{aligned} \quad (2.28)$$

holds for all $x \in \mathbb{R}$, where $f_1(x), f_2(x), f_3(x)$, and $f_4(x)$ are given by (2.24) ~ (2.27).

Conjecture 2. For each $\alpha \in \mathbb{R}$, there exist two real

analytic functions $\tilde{g}^\alpha$ and $\tilde{h}^\alpha$ such that the following identity

$$\begin{aligned} &y^2 - \left(|c|^2 + |\rho|^2 + 2|c||\rho| \cos \left(\text{Arg}(c) + \text{Arg}(\rho) + \frac{tx}{n} + \alpha \right) \right) \\ &= (y - \tilde{g}^\alpha(x))(y - \tilde{h}^\alpha(x)) \end{aligned} \quad (2.29)$$

holds for all $x \in \mathbb{R}$, where the left-hand side is $U(x, y, \alpha)$ given by (2.22).

We give preliminary considerations on the above problem, we invite the reader to tackle the problem further.

By taking the partial derivative of (2.22) with respect to α , we have

$$\begin{aligned} &U_\alpha(x, y, \alpha) \\ &= 2|c||\rho| \sin \left(\text{Arg}(c) + \text{Arg}(\rho) + \frac{tx}{n} + \alpha \right) \\ &= 0. \end{aligned} \quad (2.30)$$

By (2.22) and (2.30), we have

$$\left(y^2 - |c|^2 - |\rho(x)|^2 \right)^2 - 4|c|^2 |\rho(x)|^2 = 0. \quad (2.31)$$

This is a monic quartic equation with real coefficients analytically dependent on x . Note that the left-hand side of (2.31) can be factored as follows:

$$(y - f_1(x))(y - f_2(x))(y - f_3(x))(y - f_4(x)) = 0. \quad (2.32)$$

3. Challenging Problems F

In ref. [14], entitled ‘Proof of the Fukui conjecture via resolution of singularities and related methods. V’, the

theory of analytic (highly smooth) curves and resolution of singularities has been applied to prove the Fukui conjecture originating in chemistry. We remark that the investigations of highly smooth functions and of highly irregular functions are complementary in the repeat space theory (RST).

In contrast to Challenging Problem E formulated in Section 2, the following Challenging Problem F is related to absolutely continuous functions (generally highly irregular) and to their Fourier expansions.

Challenging Problem F is closely related to the Asymptotic Linearity Theorems (ALTs) in the repeat space theory (RST). The reader is referred to [19-24] for the ALTs and for the definitions of the original alpha space $X_\alpha(q)$ and of other symbols given in the following conjecture.

Conjecture 3. (OALT- $X_\alpha(q)$ AC(I) version). *Let $q \in \mathbb{Z}^+$, let $s \in \mathbb{Z}$, let $\{A_N\} \in X_\alpha(q)$, and let I be a closed interval compatible with $\{A_N\}$. Then, for any $\varphi \in AC(I)$, there exists an $\alpha_s(\varphi) \in \mathbb{R}$ such that*

$$\text{Tr}[(P_N^s \otimes I_q)(\varphi(A_N))] = \alpha_s(\varphi)N + o(1) \quad (3.1)$$

as $N \rightarrow \infty$. Moreover the real number $\alpha_s(\varphi)$ is represented by the integral given by

$$\alpha_s(\varphi) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \exp(is\theta) \text{Tr} \varphi(F(\theta)) d\theta. \quad (3.2)$$

Challenging Problem F. Prove or disprove Conjecture 3.

Let $P(I)$ denote the subspace of $AC(I)$ of all the polynomial functions with real coefficients. The Conjecture 3 with $AC(I)$ replaced with $P(I)$ is called Off-diagonal ALT, OALT- $X_\alpha(q)$, $P(I)$ version. The reader is invited to prove or disprove this simpler version first.

We note that in investigating the above and related conjectures, MATLAB and audio frequency analysis software called ‘‘Spectrogram’’ have been used to analyze the Matrix pattern of various ‘‘functions’’ of repeat sequences $\varphi(A_N)$. Using a MATLAB function, one can convert numerical data to audible sound data and one can use the latter heuristically to discover patterns in various ‘‘functions’’ of repeat sequences $\varphi(A_N)$. The new development along these lines of investigation is now under way. The frequency analysis of various sound data is now part of the Second Generation Fukui Project and in the Niagara Project. The reader is referred to the link [30], in which bio-electrical signals from muscle cells are analyzed via frequency analyzer.

4. Matrix Art and Computer Experiments for Challenging Problem E and Related Problems

In this section, we provide Matrix Art pictures (see the envelopes in Figs. 3, 4, and 5) that triggered discovering the envelopes discussed in Section 2. These pictures also serve to solve Challenging Problem A# formulated in the recent paper [9], entitled ‘Repeat space theory applied to carbon nanotubes and related molecular networks. III’. The reader is also referred to the Matrix Art pictures and notes given in [31].

Matrix Art pictures, or Math Digital Art pictures, have been so far created by mainly using MATLAB in Matrix Art Challenge Seminar in Tsuyama National College of Technology (TNCT). Cf. refs. [4-6,9,14] for the Matrix Art pictures created in TNCT and for the heuristic role played by the pictures. We have recently been extending the range of contributors of Matrix Art from the members of TNCT to include members of the Fukui Project Association. We are also extending the means by which we create such digital art pictures, beginning to use MATHEMATICA especially assessing its new capability of creating interactive files called CDFs, which can be opened and interactively used by anyone who can download a free CDF Player through the internet.

After finding the envelopes in several Matrix Art pictures, simple computer experiments have been made using Graphing Calculator. The following Figs. 6, 7 are snapshots of the screens of Graphing Calculator files which can be opened and interactively used by anyone who can download a free Graphing Calculator Viewer through the internet.

In connection to the fractal Matrix Art [4-6,9], the reader is invited to refer to Prof. H. Hironaka’s public speech entitled ‘Mathematics and the Sciences’ [32] for an instructive account of the notion of self-similarity, fractal geometry, and of mathematical sciences.

The reader is also referred to Prof. R. Hoffmann’s public speech entitled ‘One Culture’ [33], which expounds the cross-disciplinary interaction between science and art. We remark that two refs. [32,33] formed an important source of inspiration for the Fukui Project, which is devoted to cultivating a new interdisciplinary region in science, often utilizing dialectic interplay between a complementary pair of opposite notions and ideas. These two refs. [32,33] are also playing the role of a guideline for the Matrix Art Program of the Niagara Project (cf. [4,6,14,] for details), which is a special new part of the on-going international, interdisciplinary, and inter-generational Second Generation Fukui Project.

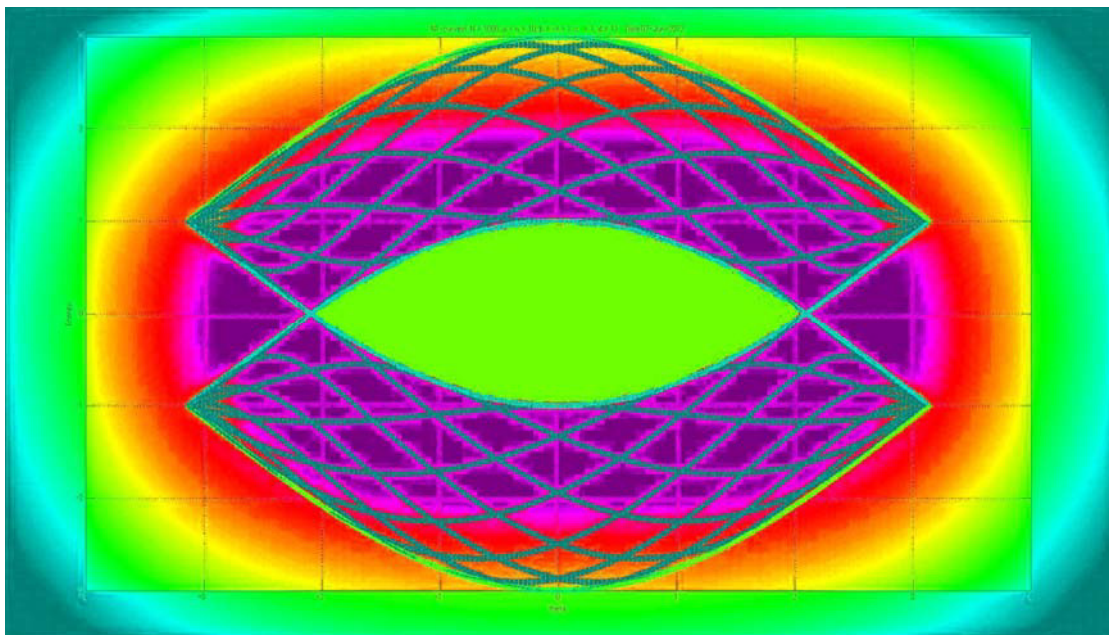


Fig. 3. Matrix Art picture 1 of CNT energy band curves

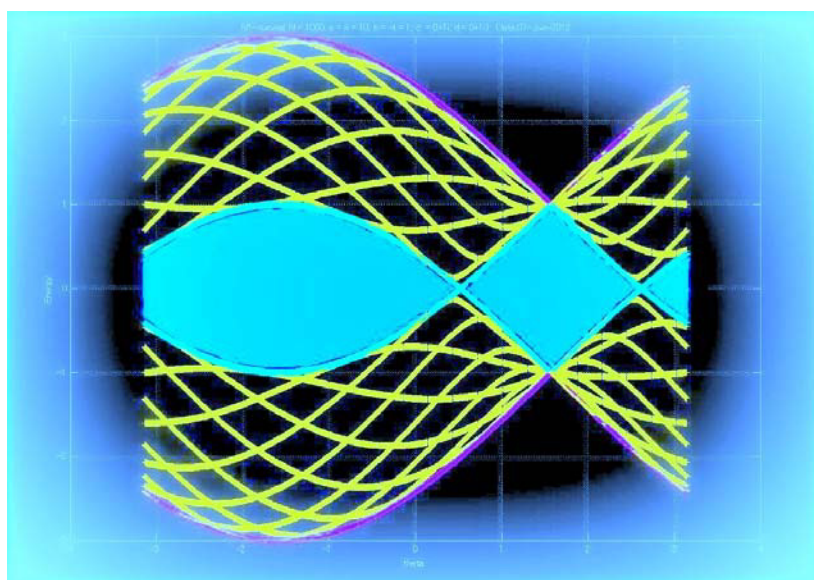


Fig. 4. Matrix Art picture 2 of CNT energy band curves

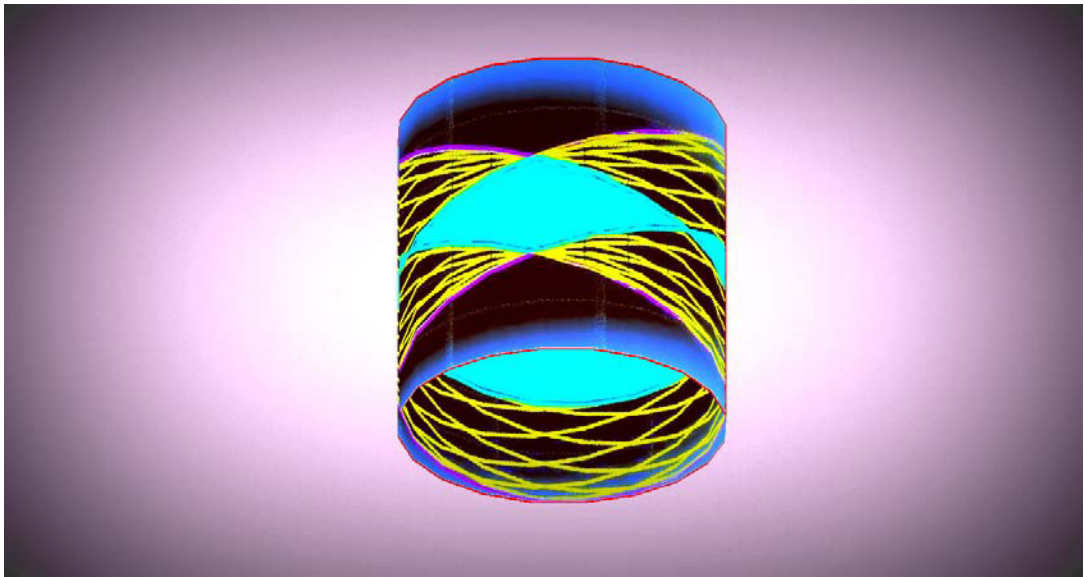


Fig. 5. Matrix Art picture 3 of CNT energy band curves on a cylinder

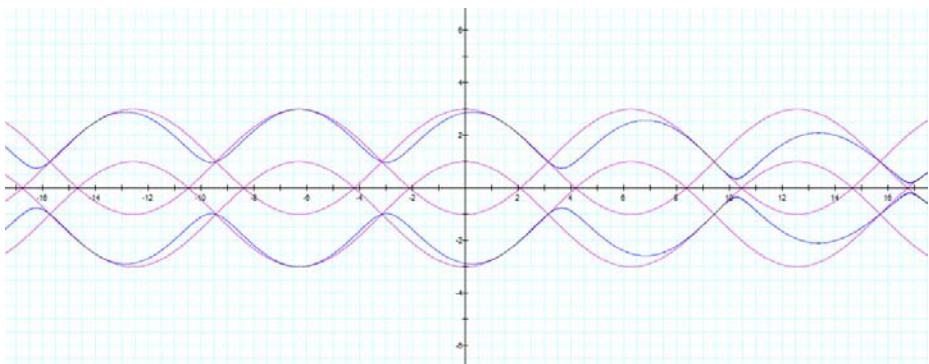


Fig. 6. Envelopes 1

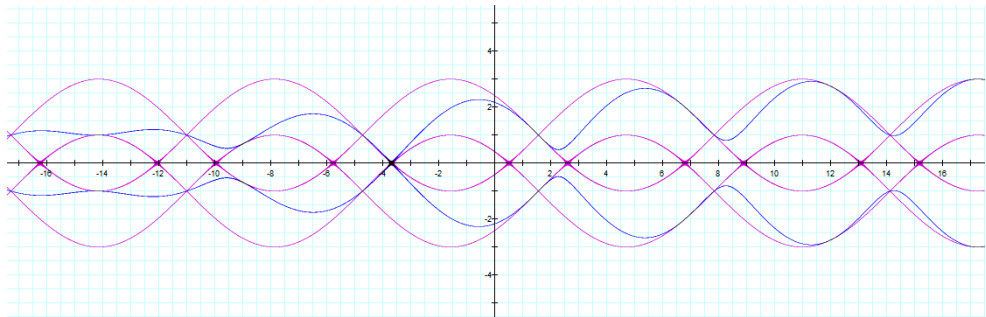


Fig. 7. Envelopes 2

Acknowledgements

The first author (S.A) was supported by the TNCT President Fund. The second author (M.A.) was partially supported by Iran National Science Foundation (INSF Grant No. 88002044). The authors would like to express sincere thanks to Ursula Egenter and Shihori Ando from the Fukui Project Association for their help in creating the Matrix Art pictures (Fig. 3 and Fig. 5 respectively).

References

- [1] S. Arimoto and K. Fukui, *Fundamental Mathematical Chemistry, Interdisciplinary Research in Fundamental Mathematical Chemistry and Generalized Repeat Space*, IFC Bulletin, Kyoto, 1998, pp 7-13.
- [2] S. Arimoto, Note on the repeat space theory - its development and communications with Prof. Kenichi Fukui, *J. Math. Chem.* 34 (2003) 253-257.
- [3] S. Arimoto, Normed repeat space and its super spaces: fundamental notions for the second generation Fukui project, *J. Math. Chem.* 46 (2009) 589.
- [4] S. Arimoto, Fundamental notions for the second generation Fukui project and a prototypal problem of the normed repeat space and its super spaces, *J. Math. Chem.* 49 (2011) 880.
- [5] S. Arimoto, Tsuyama-castle Function and Matrix Art, *Bulletin of Tsuyama National College of Technology*, 53E (2011) 1.
- [6] S. Arimoto, Multidimensional Magic Mountains and Matrix Art for the Generalized Repeat Space Theory, accepted for publication in *J. Math. Chem.* (2012). Springer Online: DOI 10.1007/s10910-011-9963-8
- [7] S. Arimoto, Repeat space theory applied to carbon nanotubes and related molecular networks. I, *J. Math. Chem.* 41 (2007) 231.
- [8] S. Arimoto, Repeat space theory applied to carbon nanotubes and related molecular networks. II, *J. Math. Chem.* 43 (2008) 658.
- [9] S. Arimoto, M. Spivakovsky, M. Amini, E. Yoshida, M. Yokotani, T. Yamabe, Repeat space theory applied to carbon nanotubes and related molecular networks. III, accepted for publication in *J. Math. Chem.* Springer Online: DOI 10.1007/s10910-012-0050-6
- [10] S. Arimoto, M. Spivakovsky, K.F. Taylor, and P.G. Mezey, Proof of the Fukui conjecture via resolution of singularities and related methods. I, *J. Math. Chem.* 37 (2005) 75-91.
- [11] S. Arimoto, M. Spivakovsky, K.F. Taylor, and P.G. Mezey, Proof of the Fukui conjecture via resolution of singularities and related methods. II, *J. Math. Chem.* 37 (2005) 171-189.
- [12] S. Arimoto, Proof of the Fukui conjecture via resolution of singularities and related methods. III, *J. Math. Chem.* 47 (2010) 856.
- [13] S. Arimoto, M. Spivakovsky, K.F. Taylor, and P.G. Mezey, Proof of the Fukui conjecture via resolution of singularities and related methods. IV, *J. Math. Chem.* 48 (2010) 776.
- [14] S. Arimoto, M. Spivakovsky, E. Yoshida, K.F. Taylor, and P.G. Mezey, Proof of the Fukui conjecture via resolution of singularities and related methods. V, *J. Math. Chem.* 49 (2011) 1700.
- [15] S. Arimoto, K. Fukui, K.F. Taylor, and P.G. Mezey, Structural Analysis of Certain Linear Operators Representing Chemical Network Systems via the Existence and Uniqueness Theorems of Spectral Resolution. IV, *Int. J. Quantum Chem.* 67 (1998) 57-69.
- [16] S. Arimoto, K. Fukui, P. Zizler, K.F. Taylor and P.G. Mezey, Structural Analysis of Certain Linear Operators Representing Chemical Network Systems via the Existence and Uniqueness Theorems of Spectral Resolution. V, *Int. J. Quantum Chem.* 74 (1999) 633.
- [17] S. Arimoto, M. Spivakovsky, H. Ohno, P. Zizler, K.F. Taylor, T. Yamabe and P.G. Mezey, Structural Analysis of Certain Linear Operators Representing Chemical Network Systems via the Existence and Uniqueness Theorems of Spectral Resolution. VI, *Int. J. Quantum Chem.* 84 (2001) 389.
- [18] S. Arimoto, M. Spivakovsky, H. Ohno, P. Zizler, R.A. Zuidwijk, K.F. Taylor, T. Yamabe and P.G. Mezey, Structural Analysis of Certain Linear Operators Representing Chemical Network Systems via the Existence and Uniqueness Theorems of Spectral Resolution. VII, *Int. J. Quantum Chem.* 97 (2004) 765.
- [19] S. Arimoto and M. Spivakovsky, The Asymptotic Linearity Theorem for the Study of Additivity Problems of the Zero-point Vibrational Energy of Hydrocarbons and the Total Pi-electron Energy of Alternant Hydrocarbons, *J. Math. Chem.* 13 (1993) 217-247.
- [20] S. Arimoto and K.F. Taylor, Aspects of Form and General Topology: Alpha Space Asymptotic Linearity Theorem and the Spectral Symmetry of Alternants, *J. Math. Chem.* 13 (1993) 249-264.
- [21] S. Arimoto and K.F. Taylor, Practical Version of the Asymptotic Linearity Theorem with Applications to the Additivity Problems of Thermodynamic Quantities, *J. Math. Chem.* 13 (1993) 265-275.
- [22] S. Arimoto, New proof of the Fukui conjecture by the Functional Asymptotic Linearity Theorem, *J. Math. Chem.*

34 (2003) 259.

[23] S. Arimoto, The Functional Delta Existence Theorem and the reduction of a proof of the Fukui conjecture to that of the Special Functional Asymptotic Linearity Theorem, J. Math. Chem. 34 (2003) 287-296.

[24] S. Arimoto, The Second Generation Fukui Project and a New Application of the Asymptotic Linearity Theorem, Bulletin of Tsuyama National College of Technology, 52 (2010) 49.

[25] S. Iijima, Nature 354 (1991) 56.

[26] T. Yamabe, Synthetic Metals 70 (1995) 1511.

[27] K. Tanaka, T. Yamabe and K. Fukui, *The Science and Technology of Carbon Nanotubes* (Elsevier, 1999).

[28] S. Arimoto, K. Fukui, K.F. Taylor, and P.G. Mezey,

Structural Analysis of Certain Linear Operators Representing Chemical Network Systems via the Existence and Uniqueness Theorems of Spectral Resolution. I, Int. J. Quantum Chem. 53 (1995) 375-386.

[29] J.W. Bruce, P.J. Giblin, *Curves and Singularities*, (Cambridge University Press, New York, 1984)

[30] S. Arimoto, J.E. LeBlanc: LINK <http://bit.ly/PVEPdJ>

[31] S. Arimoto, U. Egenter, S. Ando: LINK <http://bit.ly/QnvMEb>

[32] H. Hironaka, Mathematics and the Sciences, Proceedings of the 4th IFC Symposium, IFC Kyoto (1988) 88-93.

[33] R. Hoffmann, One Culture, Proceedings of the 4th IFC Symposium, IFC Kyoto (1988) 58-87.

打ち切り多項式環のホッホシルト・ホモロジー

横谷 正明*

Hochschild Homology of Truncated Polynomial Algebra

Masaaki YOKOTANI

Let K be an arbitrary field of characteristic zero. Where the case $|\alpha|$ is an even number, we want to determine the iterated Hochschild homology $HH_*^{(l)}(K[\alpha]/(\alpha^{n+1}), 0)$ and the iterated cyclic homology $HC_*^{(l)}(K[\alpha]/(\alpha^{n+1}), 0)$ of the truncated polynomial algebra $K[\alpha]/(\alpha^{n+1})$ together with the trivial differential. In order to get a clue, first of all we compute $HH_*^{(1)}(K[\alpha]/(\alpha^{n+1}), 0)$ for the iteration degree $l=1$ in this paper. The minimal Sullivan model of the complex is given by $\Lambda(\alpha, q)$; $d\alpha=0$, $dq=\alpha^{n+1}$. It is the minimal Sullivan model for the even dimensional sphere S^{2k} especially for $|\alpha|=2k$, $dq=\alpha^2$, or the complex projective space $\mathbb{CP}^n$ especially for $|\alpha|=2$, $dq=\alpha^{n+1}$. Therefore we can obtain the explicit forms of the cohomology $H^*(map(\mathbb{T}, X); K)$ of the mapping space $map(\mathbb{T}, X)$ for $X=S^{2k}$ or $\mathbb{CP}^n$, where $\mathbb{T}$ is the circle.

Key Words: Iterated Hochschild Homology, Iterated Cyclic Homology

1. はじめに

K を標数 0 の体とする. $|\alpha|$ が偶数のとき, 自明な微分をもつ K 上の α により生成される打ち切り多項式環 $K[\alpha]/(\alpha^{n+1})$ の累次次数 l のホッホシルト・ホモロジー $HH_*^{(l)}(K[\alpha]/(\alpha^{n+1}), 0)$ とサイクリック・ホモロジー $HC_*^{(l)}(K[\alpha]/(\alpha^{n+1}), 0)$ を決定したい. 本論文では, そのための足がかりとして, まずは累次次数 $l=1$ のホッホシルト・ホモロジー $HH_*^{(1)}(K[\alpha]/(\alpha^{n+1}), 0)$ を決定する.

複体 $K[\alpha]/(\alpha^{n+1}), 0$ の極小 Sullivan モデルは,

$$\Lambda(\alpha, q); \quad d\alpha=0, \quad dq=\alpha^{n+1}$$

で与えられる. とくに, $|\alpha|=2k$, $|q|=4k-1$, $dq=\alpha^2$ のときは偶数次元球面 S^{2k} の極小 Sullivan モデルであり, $|\alpha|=2$, $|q|=2n+1$, $dq=\alpha^{n+1}$ のときは複素射影空間 $\mathbb{CP}^n$ の極小 Sullivan モデルである. したがって $X=S^{2k}$ または $\mathbb{CP}^n$ に対して, 写像空間 $map(\mathbb{T}, X)$ のコホモロジー $H^*(map(\mathbb{T}, X); K)$ を求めたことになる¹⁾. ここで $\mathbb{T}$ はサークルである.

なお次数つき微分多元環のホモロジーを計算するに当たり, Kuribayashi, Mimura, Nishimoto の解説²⁾を参考にした.

2. ホッホシルト・ホモロジーの定義

以下, 次数つき微分多元環 (以後 DGA とあらわす) は可換, かつ標数 0 の体 K 上で定義されているものとする. そして ΛV または $K[V]$ により, 次数つきベクトル空間 V で生成される自由多元環をあらわす. $(\Lambda V, d)$ を自由 DGA, (B, d_B) を DGA とする.

DGA (B, d_B) に対して, $q \leq 0$ であるときに $B_q = \text{Hom}(B^{-q}, K)$ として次数つき微分双対多元環 B_* を定義する. すなわち B_* には, B の積の双対である双対積 D と, d_B の双対 d_{B^*} が微分として与えられている. さらに $a_1, a_2 \in \Lambda V$, $\beta \in B_*$ かつ $D(\beta) = \sum_i \beta'_i \otimes \beta''_i$ のとき, 自由多元環 $K[\Lambda V \otimes B_*]$ において $1 \otimes 1 - 1$ とすべての

$$a_1 a_2 \otimes \beta - \sum_i (-1)^{|a_2||\beta'_i|} (a_1 \otimes \beta'_i)(a_2 \otimes \beta''_i)$$

の形の元で生成されるイデアルを I とする. $K[\Lambda V \otimes B_*]$ は, 微分 $d \otimes 1 \pm 1 \otimes d_{B^*}$ をもつ DGA である.

Brown と Szczarba の結果³⁾における Theorem 3.3 により, 微分 $d \otimes 1 \pm 1 \otimes d_{B^*}$ はイデアル I を保つ. すなわち

$$(d \otimes 1 \pm 1 \otimes d_{B^*})(I) \subset I$$

である. さらに, 同³⁾Theorem 3.5 により連結写像

$$\begin{aligned} \rho_V : K[V \otimes B_*] &\xrightarrow{\text{inclusion}} K[\Lambda V \otimes B_*] \\ &\xrightarrow{\text{projection}} K[\Lambda V \otimes B_*]/I \end{aligned}$$

は次数つき多元環の同型写像である. したがって, $\tilde{d}$ が $d \otimes 1 \pm 1 \otimes d_{B^*}$ により誘導される $K[\Lambda V \otimes B_*]/I$ 上の微

分のとき, $\rho_V^{-1}\tilde{d}\rho_V$ により $K[V \otimes B_*]$ 上の微分 δ を定義することができる:

$$\begin{array}{ccc} K[V \otimes B_*] & \xrightarrow{\delta} & K[V \otimes B_*] \\ \rho_V \downarrow \cong & & \rho_V \downarrow \cong \\ K[\Lambda V \otimes B_*]/I & \xrightarrow{d} & K[\Lambda V \otimes B_*]/I. \end{array}$$

以上の構成法を, B が自明な微分をもつ DGA $\Lambda(t_1, \dots, t_l)$ の場合に適用する. ただし, 任意の i に対して $|t_i| = 1$ である. 以後 $t_1^{e_1} \dots t_l^{e_l}$ の双対基を $(t_1^{e_1} \dots t_l^{e_l})_*$ であらわす.

自由 DGA $(\Lambda V, d)$ に対する累次次数 l の累次ホッホシルト・ホモロジー $HH_*^{(l)}(\Lambda V, d)$ は, 複体 $(K[V \otimes B_*], \delta)$ のホモロジーとして定義される.

3. $HH_*^{(l)}(K[\alpha]/(\alpha^{n+1}), 0)$ の決定

ホッホシルト・ホモロジーの定義により

$$\begin{aligned} HH_*^{(l)}(K[\alpha]/(\alpha^{n+1}), 0) \\ = H(K[K\{\alpha, q\} \otimes \Lambda(t_1)_*], \delta). \end{aligned}$$

ここで

$$\begin{aligned} & K[K\{\alpha, q\} \otimes \Lambda(t_1)_*] \\ &= K[\alpha \otimes 1, \alpha \otimes t_{1*}, q \otimes 1, q \otimes t_{1*}] \\ &= K[\alpha \otimes 1, q \otimes t_{1*}] \otimes \Lambda(\alpha \otimes t_{1*}, q \otimes 1) \end{aligned}$$

である. 簡単のために, $\alpha \otimes 1$, $\alpha \otimes t_{1*}$, $q \otimes 1$, $q \otimes t_{1*}$ をそれぞれ α , $\bar{\alpha}$, q , $\bar{q}$ と略記する. すなわち

$$HH_*^{(l)}(K[\alpha]/(\alpha^{n+1}), 0) = H(K[\alpha, \bar{q}] \otimes \Lambda(\bar{\alpha}, q), \delta)$$

である.

命題 3.1. 複体 $(K[\alpha, \bar{q}] \otimes \Lambda(\bar{\alpha}, q), \delta)$ の微分

$$\delta: K[\alpha, \bar{q}] \otimes \Lambda(\bar{\alpha}, q) \rightarrow K[\alpha, \bar{q}] \otimes \Lambda(\bar{\alpha}, q)$$

について

$$\begin{aligned} \delta(\alpha) &= 0, \quad \delta(\bar{\alpha}) = 0, \\ \delta(q) &= \alpha^{n+1}, \quad \delta(\bar{q}) = (n+1)\alpha^n \bar{\alpha} \end{aligned}$$

が成り立つ.

証明. 複体 $(\Lambda(\alpha, q), d)$ の微分 $d: \Lambda(\alpha, q) \rightarrow \Lambda(\alpha, q)$ について,

$$d(\alpha) = 0, \quad d(q) = \alpha^{n+1}. \quad (3.1)$$

また, $\Lambda(t_1)$ の微分は自明だから

$$d_{\Lambda(t_1)_*} = 0: \Lambda(t_1)_* \rightarrow \Lambda(t_1)_*.$$

で,

$$d \otimes 1 \pm 1 \otimes d_{\Lambda(t_1)_*} = d \otimes 1 \pm 1 \otimes 0 = d \otimes 1 \quad (3.2)$$

となる.

定義より $\delta = \rho_{K\{\alpha, q\}}^{-1} \tilde{d} \rho_{K\{\alpha, q\}}$ だから, 式 (3.2), (3.1) により

$$\begin{aligned} \delta(\alpha) &= \delta(\alpha \otimes 1) = d\alpha \otimes 1 = 0 \otimes 1 = 0, \\ \delta(\bar{\alpha}) &= \delta(\alpha \otimes t_{1*}) = d\alpha \otimes t_{1*} = 0 \otimes t_{1*} = 0 \end{aligned}$$

である. また $\Lambda(t_1)$ の積の双対積 D に対して,

$$D^n: \Lambda(t_1)_* \rightarrow \overbrace{\Lambda(t_1)_* \otimes \dots \otimes \Lambda(t_1)_*}^{n+1}$$

は

$$D^n(1) = \overbrace{1 \otimes \dots \otimes 1}^{n+1}$$

だから, (3.2), (3.1) により

$$\begin{aligned} \delta(q) &= \delta(q \otimes 1) = dq \otimes 1 \\ &= \alpha^{n+1} \otimes 1 = (\alpha \otimes 1)^{n+1} = \alpha^{n+1}. \end{aligned}$$

さらに,

$$D^n(t_{1*}) = \underbrace{t_{1*} \otimes \overbrace{1 \otimes \dots \otimes 1}^n + \dots + \overbrace{1 \otimes \dots \otimes 1}^n \otimes t_{1*}}_{n+1}$$

だから, (3.2), (3.1) により

$$\begin{aligned} \delta(\bar{q}) &= \delta(q \otimes t_{1*}) = dq \otimes t_{1*} = \alpha^{n+1} \otimes t_{1*} \\ &= (\alpha \otimes t_{1*}) \overbrace{(\alpha \otimes 1) \dots (\alpha \otimes 1)}^n + \\ &\quad \underbrace{\dots + (\alpha \otimes 1) \dots (\alpha \otimes 1)}_{n+1} (\alpha \otimes t_{1*}) \\ &= \underbrace{\bar{\alpha} \alpha \dots \alpha}_{n+1} + \dots + \underbrace{\alpha \dots \alpha \bar{\alpha}}_{n+1} = \bar{\alpha} \alpha^n + \dots + \alpha^n \bar{\alpha} \\ &= (n+1)\alpha^n \bar{\alpha} \end{aligned}$$

である.

よって命題が成り立つ. □

ここで $K[\alpha, \bar{q}] \otimes \Lambda(\bar{\alpha}, q)$ の生成元のウェイトを

$$w(\alpha) = 0, \quad w(\bar{\alpha}) = 0, \quad w(q) = 0, \quad w(\bar{q}) = -1$$

として, フィルトレーションを与える (図 3.1). そして, このフィルトレーションにより与えられるスペクトル系列を考える.

補題 3.2. スペクトル系列の E_1 - 項は

$$E_1 = K[\alpha]/(\alpha^{n+1}) \otimes \Lambda(\bar{\alpha}) \otimes K[\bar{q}]$$

で与えられる.

証明. E_0 - 項について

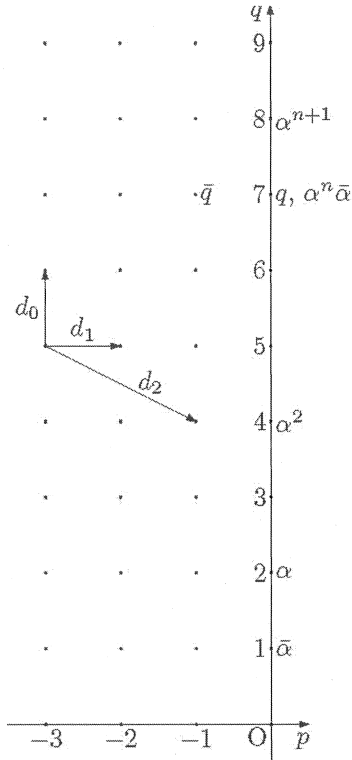


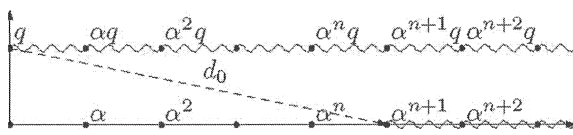
図 3.1 フィルトレイション

$$\begin{aligned} E_0 &= K[\alpha, \bar{q}] \otimes \Lambda(\bar{\alpha}, q) \\ &= (K[\alpha] \otimes \Lambda(q)) \otimes (\Lambda(\bar{\alpha}) \otimes K[\bar{q}]) \end{aligned}$$

であり, 命題 3.1, 図 3.1 により E_0 - 項の微分 d_0 は

$$d_0(\alpha) = 0, \quad d_0(\bar{\alpha}) = 0, \quad d_0(q) = \alpha^{n+1}, \quad d_0(\bar{q}) = 0$$

だから, 次の図式が成り立つ (図 3.2).


 図 3.2 E_0 - 項の微分 d_0

すなわち, 微分 d_0 により上の水平線上の点列が下の水平線上の点列に当たる. これより補題が成り立つ. $\square$

命題 3.1, 図 3.1 により, E_1 - 項の微分 d_1 は

$$\begin{aligned} d_1(\alpha) &= 0, \quad d_1(\bar{\alpha}) = 0, \\ d_1(\bar{q}) &= (n+1)\alpha^n \bar{\alpha} \end{aligned} \quad (3.3)$$

となる.

補題 3.3. 任意の $i=1, 2, \dots$ に対して

$$d_1(\bar{q}^i) = i(n+1)\alpha^n \bar{\alpha} \bar{q}^{i-1} \quad (3.4)$$

である.

証明. i に関する帰納法で示す.

$i=1$ のとき, 式 (3.3) により

$$d_1(\bar{q}^1) = d_1(\bar{q}) = (n+1)\alpha^n \bar{\alpha} = 1 \cdot (n+1)\alpha^n \bar{\alpha} \bar{q}^{1-1}$$

だから, 式 (3.4) が成り立つ.

$i=k$ のとき (3.4) が成り立つとすると

$$d_1(\bar{q}^k) = k(n+1)\alpha^n \bar{\alpha} \bar{q}^{k-1}$$

だから, (3.3) により

$$\begin{aligned} d_1(\bar{q}^{k+1}) &= d_1(\bar{q}^k \cdot \bar{q}) \\ &= d_1(\bar{q}^k) \bar{q} + (-1)^{|\bar{q}^k|} \bar{q}^k \cdot d_1(\bar{q}) \\ &= k(n+1)\alpha^n \bar{\alpha} \bar{q}^{k-1} \cdot \bar{q} + \bar{q}^k \cdot (n+1)\alpha^n \bar{\alpha} \\ &= k(n+1)\alpha^n \bar{\alpha} \bar{q}^k + (n+1)\alpha^n \bar{\alpha} \bar{q}^k \\ &= (k+1)(n+1)\alpha^n \bar{\alpha} \bar{q}^k \\ &= (k+1)(n+1)\alpha^n \bar{\alpha} \bar{q}^{(k+1)-1}. \end{aligned}$$

よって, $i=k+1$ のときも式 (3.4) が成り立つ.

したがって, 任意の $i=1, 2, \dots$ に対して式 (3.4) が成り立つ. $\square$

命題 3.4. スペクトル系列の E_∞ - 項は

$$E_\infty = (K[\beta_0, \beta_1, \dots] \otimes \Lambda(\gamma_0, \gamma_1, \dots)) / I,$$

ただし, I は $K[\beta_0, \beta_1, \dots] \otimes \Lambda(\gamma_0, \gamma_1, \dots)$ のイデアルで

$$\begin{aligned} I &= (\beta_k \beta_l - \beta_{k+l} \beta_0, \beta_0^n \beta_k, \beta_k \gamma_l - \beta_{k+l} \gamma_0, \\ &\quad \beta_0^n \gamma_k, \gamma_k \gamma_l \mid k, l = 0, 1, \dots) \end{aligned}$$

とする.

証明. 式 (3.3), 補題 3.3 により, 次の図式が成り立つ (図 3.3). すなわち E_1 - 項の微分 d_1 により, 点列 $\bar{q}^k$ ($k=1, 2, \dots$) が点列 $\alpha^n \bar{\alpha} \bar{q}^{k-1}$ ($k=1, 2, \dots$) に当たる. よって $\beta_k = \alpha \bar{q}^k$, $\gamma_k = \bar{\alpha} \bar{q}^k$ ($k=0, 1, \dots$) とおくと, E_2 - 項は

$$E_2 = (K[\beta_0, \beta_1, \dots] \otimes \Lambda(\gamma_0, \gamma_1, \dots)) / I,$$

ただし

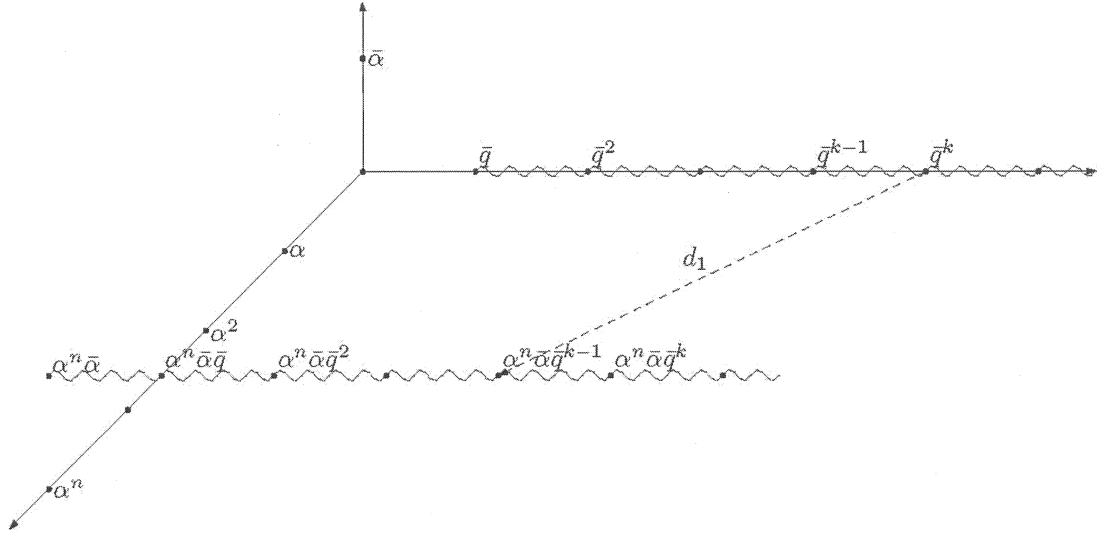
$$\begin{aligned} I &= (\beta_k \beta_l - \beta_{k+l} \beta_0, \beta_0^n \beta_k, \beta_k \gamma_l - \beta_{k+l} \gamma_0, \\ &\quad \beta_0^n \gamma_k, \gamma_k \gamma_l \mid k, l = 0, 1, \dots). \end{aligned}$$

さらに図 3.1 により $d_2 = d_3 = \dots = 0$ だから, $E_\infty = E_2$ が成り立つ.

したがって命題が証明された. $\square$

補題 3.3 と同様にして, 複体 $K[\alpha, \bar{q}] \otimes \Lambda(\bar{\alpha}, q)$ の微分

δ について, 次の補題を得る.


 図 3.3 E_1 - 項の微分 d_1

補題 3.5. 任意の $i=1, 2, \dots$ に対して

$$\delta(\bar{q}^i) = i(n+1)\alpha^n \bar{\alpha} \bar{q}^{i-1}$$

である.

定理 3.6. 打ち切り多項式環 $(K[\alpha]/(\alpha^{n+1}), 0)$ の累次次数 1 のホツホシルト・ホモロジーは

$$\begin{aligned} HH_*^{(1)}(K[\alpha]/(\alpha^{n+1}), 0) \\ = (K(\tilde{\beta}_0, \tilde{\beta}_1, \dots) \otimes \Lambda[\gamma_0, \gamma_1, \dots]) / I, \end{aligned}$$

ただし, I は $K(\tilde{\beta}_0, \tilde{\beta}_1, \dots) \otimes \Lambda[\gamma_0, \gamma_1, \dots]$ のイデアルで

$$\begin{aligned} I = (\tilde{\beta}_k \tilde{\beta}_l - \tilde{\beta}_{k+l} \tilde{\beta}_0, \tilde{\beta}_0^n \tilde{\beta}_k, \tilde{\beta}_k \gamma_l - \tilde{\beta}_{k+l} \gamma_0, \\ \tilde{\beta}_0^n \gamma_k, \gamma_k \gamma_l \mid k, l = 0, 1, \dots) \end{aligned}$$

とする.

証明. 命題 3.1, 補題 3.5 により

$$\begin{aligned} \delta(\beta_k) &= \delta(\alpha \bar{q}^k) \\ &= \delta(\alpha) \bar{q}^k + (-1)^{|\alpha|} \alpha \cdot \delta(\bar{q}^k) \\ &= 0 \cdot \bar{q}^k + \alpha \cdot k(n+1) \alpha^n \bar{\alpha} \bar{q}^{k-1} \\ &= k(n+1) \alpha^{n+1} \bar{\alpha} \bar{q}^{k-1}. \end{aligned} \quad (3.5)$$

さらに補題 3.5, 命題 3.1, $\bar{\alpha}^2 = 0$ により

$$\begin{aligned} \delta(\bar{\alpha} q \bar{q}^{k-1}) &= \delta(\bar{\alpha} q) \bar{q}^{k-1} + (-1)^{|\bar{\alpha} q|} \bar{\alpha} q \cdot \delta(\bar{q}^{k-1}) \\ &= \{\delta(\bar{\alpha}) q + (-1)^{|\bar{\alpha}|} \bar{\alpha} \cdot \delta(q)\} \bar{q}^{k-1} \\ &\quad - \bar{\alpha} q \cdot (k-1)(n+1) \alpha^n \bar{\alpha} \bar{q}^{k-2} \\ &= (0 \cdot q - \bar{\alpha} \alpha^{n+1}) \bar{q}^{k-1} \\ &\quad + (k-1)(n+1) \alpha^n \bar{\alpha}^2 q \bar{q}^{k-2} \\ &= -\alpha^{n+1} \bar{\alpha} \bar{q}^{k-1}. \end{aligned} \quad (3.6)$$

よって, $\tilde{\beta}_k = \beta_k + k(n+1) \bar{\alpha} q \bar{q}^{k-1}$ とおくと (3.5), (3.6) により $\delta(\tilde{\beta}_k) = 0$, すなわち $\tilde{\beta}_k \in \text{Ker } \delta$ となる. また, 命題 3.1, 補題 3.5, $\bar{\alpha}^2 = 0$ により

$$\begin{aligned} \delta(\gamma_k) &= \delta(\bar{\alpha} \bar{q}^k) \\ &= \delta(\bar{\alpha}) \bar{q}^k + (-1)^{|\bar{\alpha}|} \bar{\alpha} \cdot \delta(\bar{q}^k) \\ &= 0 \cdot \bar{q}^k - \bar{\alpha} \cdot k(n+1) \alpha^n \bar{\alpha} \bar{q}^{k-1} \\ &= -k(n+1) \alpha^n \bar{\alpha}^2 \bar{q}^{k-1} = 0, \end{aligned}$$

すなわち $\gamma_k \in \text{Ker } \delta$ である.

つぎに, $\bar{\alpha}^2 = 0$, $q^2 = 0$ より

$$\begin{aligned} \tilde{\beta}_k \tilde{\beta}_l - \tilde{\beta}_{k+l} \tilde{\beta}_0 &= \{\beta_k + k(n+1) \bar{\alpha} q \bar{q}^{k-1}\} \{\beta_l + l(n+1) \bar{\alpha} q \bar{q}^{l-1}\} \\ &\quad - \{\beta_{k+l} + (k+l)(n+1) \bar{\alpha} q \bar{q}^{k+l-1}\} \beta_0 \\ &= \{\alpha \bar{q}^k + k(n+1) \bar{\alpha} q \bar{q}^{k-1}\} \{\alpha \bar{q}^l + l(n+1) \bar{\alpha} q \bar{q}^{l-1}\} \\ &\quad - \{\alpha \bar{q}^{k+l} + (k+l)(n+1) \bar{\alpha} q \bar{q}^{k+l-1}\} \alpha \\ &= \alpha^2 \bar{q}^{k+l} + l(n+1) \alpha \bar{\alpha} q \bar{q}^{k+l-1} \\ &\quad + k(n+1) \alpha \bar{\alpha} q \bar{q}^{k+l-1} - kl(n+1)^2 \bar{\alpha}^2 q^2 \bar{q}^{k+l-2} \\ &\quad - \alpha^2 \bar{q}^{k+l} - (k+l)(n+1) \alpha \bar{\alpha} q \bar{q}^{k+l-1} \\ &= \alpha^2 \bar{q}^{k+l} + l(n+1) \alpha \bar{\alpha} q \bar{q}^{k+l-1} \\ &\quad + k(n+1) \alpha \bar{\alpha} q \bar{q}^{k+l-1} - 0 \\ &\quad - \alpha^2 \bar{q}^{k+l} - (k+l)(n+1) \alpha \bar{\alpha} q \bar{q}^{k+l-1} \\ &= 0 = \delta(0), \end{aligned}$$

すなわち $\tilde{\beta}_k \tilde{\beta}_l - \tilde{\beta}_{k+l} \tilde{\beta}_0 \in \text{Im } \delta$ となる. また

$$\begin{aligned} \tilde{\beta}_0^n \tilde{\beta}_k &= \beta_0^n \{\beta_k + k(n+1) \bar{\alpha} q \bar{q}^{k-1}\} \\ &= \alpha^n \{\alpha \bar{q}^k + k(n+1) \bar{\alpha} q \bar{q}^{k-1}\} \\ &= \alpha^{n+1} \bar{q}^k + k(n+1) \alpha^n \bar{\alpha} q \bar{q}^{k-1}. \end{aligned} \quad (3.7)$$

命題 3.1, 補題 3.5 により,

$$\begin{aligned}\delta(q\bar{q}^k) &= \delta(q)\bar{q}^k + (-1)^{|q|}q \cdot \delta(\bar{q}^k) \\ &= \alpha^{n+1}\bar{q}^k - q \cdot k(n+1)\alpha^n\bar{\alpha}\bar{q}^{k-1} \\ &= \alpha^{n+1}\bar{q}^k + k(n+1)\alpha^n\bar{\alpha}q\bar{q}^{k-1}.\end{aligned}\quad (3.8)$$

よって, 式 (3.7), (3.8) により $\tilde{\beta}_0^n\tilde{\beta}_k = \delta(q\bar{q}^k)$ だから,
 $\tilde{\beta}_0^n\tilde{\beta}_k \in \text{Im } \delta$ となる. さらに, $\bar{\alpha}^2 = 0$ より

$$\begin{aligned}\tilde{\beta}_k\gamma_l - \tilde{\beta}_{k+l}\gamma_0 &= \{\beta_k + k(n+1)\bar{\alpha}\bar{q}\bar{q}^{k-1}\}\bar{\alpha}\bar{q}^l \\ &\quad - \{\beta_{k+l} + (k+l)(n+1)\bar{\alpha}q\bar{q}^{k+l-1}\}\bar{\alpha} \\ &= \{\alpha\bar{q}^k + k(n+1)\bar{\alpha}q\bar{q}^{k-1}\}\bar{\alpha}\bar{q}^l \\ &\quad - \{\alpha\bar{q}^{k+l} + (k+l)(n+1)\bar{\alpha}q\bar{q}^{k+l-1}\}\bar{\alpha} \\ &= \alpha\bar{\alpha}\bar{q}^{k+l} - k(n+1)\bar{\alpha}^2q\bar{q}^{k+l-1} \\ &\quad - \alpha\bar{\alpha}\bar{q}^{k+l} + (k+l)(n+1)\bar{\alpha}^2q\bar{q}^{k+l-1} \\ &= \alpha\bar{\alpha}\bar{q}^{k+l} - 0 - \alpha\bar{\alpha}\bar{q}^{k+l} + 0 = 0 = \delta(0)\end{aligned}$$

だから, $\tilde{\beta}_k\gamma_l - \tilde{\beta}_{k+l}\gamma_0 \in \text{Im } \delta$ である. また

$$\tilde{\beta}_0^n\gamma_k = \beta_0^n\bar{\alpha}\bar{q}^k = \alpha^n\bar{\alpha}\bar{q}^k. \quad (3.9)$$

補題 3.5 により

$$\delta(\bar{q}^{k+1}) = (k+1)(n+1)\alpha^n\bar{\alpha}\bar{q}^k. \quad (3.10)$$

(3.9), (3.10) により,

$$\begin{aligned}\tilde{\beta}_0^n\gamma_k &= \frac{1}{(k+1)(n+1)}\delta(\bar{q}^{k+1}) \\ &= \delta\left(\frac{1}{(k+1)(n+1)}\bar{q}^{k+1}\right),\end{aligned}$$

すなわち $\tilde{\beta}_0^n\gamma_k \in \text{Im } \delta$ である. そして, $\bar{\alpha}^2 = 0$ より

$$\gamma_k\gamma_l = \bar{\alpha}\bar{q}^k \cdot \bar{\alpha}\bar{q}^l = \bar{\alpha}^2\bar{q}^{k+l} = 0 = \delta(0)$$

だから, $\gamma_k\gamma_l \in \text{Im } \delta$ である.

ゆえに定理が成り立つ. $\square$

参考文献

- 1) K. Kuribayashi and M. Yokotani, Iterated Cyclic Homology, Kodai Mathematical Journal, **30**(2007), 19-40.
- 2) K. Kuribayashi, M. Mimura and T. Nishimoto, Twisted tensor products related to the cohomology of the classifying spaces of loop groups, Mem. Amer. Math. Soc., March 2006, Vol. 180, Num. 849.
- 3) E. H. Brown Jr and R. H. Szczarba, Rational homotopy type of function spaces, Trans. Amer. Math. Soc. **349**(1997), 4931-4951.

The punctual Hilbert schemes of degree two for monomial plane curve singularities[†]

Masahiro Watari* Syōgo Akihira** Yūki Hazuo**
 Shinnosuke Ideta*** Kazufumi Ōtani*** Kenshirō Kawamura***
 Satoshi Kojima*** Ryōta Sako*** Hiroyuki Kusachi****

In this paper, we show that punctual Hilbert schemes of degree two for monomial plane curve singularities are isomorphic to a projective line.

Key words: Hilbert schemes of points, irreducible curve singularity

1. Introduction

Let k be an algebraically closed field of characteristic zero. In this paper, we consider a monomial plane curve singularity given by

$$(1) \quad x = t^a, \ y = t^b \quad (a < b, \gcd(a, b) = 1).$$

Its local ring $\mathcal{O}$ is isomorphic to $k[[t^a, t^b]]$. Let δ be the δ -invariant of $\mathcal{O}$. In our case, we have $\delta = (a-1)(b-1)/2$. In 6), Pfister and Steenbrink defined a special subset of the Grassmannian $\mathrm{Gr}(\delta, \overline{\mathcal{O}}/I(2\delta))$ for a given monomial plane curve singularity. We call it the Pfister-Steenbrink variety (PS variety) for the given singularity. They showed the existence of the punctual Hilbert scheme of degree r which parametrizes the ideals of codimension r in $\mathcal{O}$. It is realized as a connected component of the PS variety.

Pfister and Steenbrink analyzed the structure of the PS varieties for certain curve singularities. The first author argued the rationality of punctual Hilbert schemes for monomial plane curve singularities in 11). The punctual Hilbert schemes for monomial plane curve singularities of types A_{2d} , E_6 and E_8 were also studied in 9) and 10). On the other hand, the punctual Hilbert schemes for nodal singularity were considered in 7). The structure of the punctual Hilbert schemes for cuspidal and nodal singular-

ities applied to the string theory in 5). Also refer to 1) and 3) about punctual Hilbert schemes. Our main theorem is stated as follows:

Theorem 1. *Let C be a monomial curve singularity given by the parametrization (1), the punctual Hilbert scheme of degree 2 for C is isomorphic to a projective line.*

In Section 2, we briefly recall Pfister-Steenbrink theory. In Section 3, we prove Theorem 1. Finally, we consider the case of the plane curve singularity defined by $x = t^4, y = t^5$ in Section 4.

2. Preliminaries

We recall Pfister-Steenbrink theory and prove some lemmas needed later. We fix notations. Consider a monomial plane curve singularity whose local ring is $\mathcal{O} = k[[t^a, t^b]]$. The notions explained in this section hold more general situations. For details, see 6). We denote by $\overline{\mathcal{O}}$ the normalization of $\mathcal{O}$. Namely, $\overline{\mathcal{O}} = k[[t]]$. We call the set $\Gamma := \{\mathrm{ord}(f) \mid f \in \mathcal{O}\}$ the *semi-group* of $\mathcal{O}$. An element of the set $G := \mathbb{N} \setminus \Gamma$ is called a gap of Γ . We may assume that the semigroup Γ of $\mathcal{O}$ is minimally generated by a, b . For $n \in \mathbb{N}$, set $\overline{I}(n) := \{\mathrm{ord}(f) \mid f \in \overline{\mathcal{O}}\}$ and $I(n) := \overline{I}(n) \cap \mathcal{O}$. We call $c := \min\{n \mid \overline{I}(n) \subset \mathcal{O}\}$ the *conductor* of Γ . Define the δ -invariant of $\mathcal{O}$ to be $\dim_k(\overline{\mathcal{O}}/\mathcal{O}) = \#G$. Then the relation $\delta + 1 \leq c \leq 2\delta$ holds. Furthermore, the following lemma is known. See 4) and 8).

Lemma 2 (Gorenstein). *For a plane curve singularity, we have $c = 2\delta$.*

Received August 31, 2012

* Department of General Subject

** Department of Mechanical Engineering, third grader

*** Department of Electrical and Electronic Engineering, third grader

**** Department of Electronics and Control Engineering, third grader

[†] The study of a part of this article was done in the lecture “Challenge Seminar”.

For $p, q \in \mathbb{N}$ ($p < q$), put $[p, q] := \{x \in \mathbb{N} \mid p \leq x \leq q\}$. For a nonzero ideal I in $\mathcal{O}$, we call $r := r(I) := \dim_k \mathcal{O}/I$ the *codimension* of I . We denote by $\Gamma(I) := \{\text{ord}(f) \mid f \in I\}$ the *order set* of I . Set $G(I) := \Gamma \setminus \Gamma(I)$ and $c(I) := \max\{n \in \Gamma(I) \mid n-1 \notin \Gamma(I)\}$.

Definition 3. An element J of $\text{Gr}(\delta, \overline{\mathcal{O}}/I(2\delta))$ is called *good*, if the multiplication $\mathcal{O} \times J \ni (f, \bar{v}) \mapsto \bar{f}\bar{v} \in J$ is defined and J is an $\mathcal{O}$ -submodule with respect to this multiplication. Set

$$\mathcal{M} := \{J \in \text{Gr}(\delta, \overline{\mathcal{O}}/I(2\delta)) \mid J \text{ is good}\},$$

$$\mathcal{I}_r := \{I \mid I \text{ is an ideal of } \mathcal{O} \text{ with } \dim \mathcal{O}/I = r\}.$$

We prove some lemmas.

Lemma 4. An ideal I of $\mathcal{O}$ belongs to $\mathcal{I}_r$ if and only if we have $\sharp G(I) = r$.

Proof. We easily see that an ideal I belongs to $\mathcal{I}_r$ if and only if the relation

$$(2) \quad \mathcal{O}/I = \left\{ \sum_{i=0}^{r-1} a_i t^{d_i} \mid d_i \in G(I), d_i < d_{i+1} \right\}$$

holds. $\square$

Lemma 4 implies that the codimension of I depends on $\Gamma(I)$. For a Γ -module S , we denote by $\mathcal{I}(S)$ the set of all ideals in $\mathcal{O}$ with $\Gamma(I) = S$.

Proposition 5. There exists a finite number of distinct Γ -modules $S_1, \dots, S_h$ such that

$$(3) \quad \mathcal{I}_r = \bigcup_{i=1}^h \mathcal{I}(S_i)$$

where $\mathcal{I}(S_i) \cap \mathcal{I}(S_j) = \emptyset$ for $i \neq j$.

Proof. For a given codimension r , there exists a finite number of sets of gaps which satisfy the condition (2). So there exists finitely many distinct Γ -modules $S_1, \dots, S_h$ which are the order sets of ideals in $\mathcal{I}_r$. We obtain the desired decomposition (3). It is clear that $\mathcal{I}(S_i) \neq \mathcal{I}(S_j)$ for $i \neq j$. $\square$

Remark 6. An algorithm to compute Γ -modules $S_1, \dots, S_h$ was given in 12).

We consider the following composition map:

$$\psi : \mathcal{M} \rightarrow \text{Gr}(\delta, 2\delta) \rightarrow \text{M}_{\delta, 2\delta}(k)/\sim \rightarrow \mathbb{P}^N$$

Put $J = \langle f_1, \dots, f_\delta \rangle_k$ where $f_i = \sum_{j=0}^{2\delta-1} a_{ij} t^j \in \overline{\mathcal{O}}/I(2\delta)$. We identify f_i with a point $\mathbf{a}_i = (a_{i0}, \dots, a_{i, 2\delta-1})$ of $k^{2\delta}$. The first map in ψ is given by this identification. Let A_J be a $\delta \times 2\delta$ matrix whose i -th row is $\mathbf{a}_i$. We call A_J the *reperesent matrix* of J . The second map in ψ sends a k -vector space $\langle \mathbf{a}_1, \dots, \mathbf{a}_\delta \rangle_k$ to the coset $\overline{A_J}$ of A_J . Here the equivalence relation $\sim$ is the similarity of matrices. We may assume that $\overline{A_J}$ is represented by the reduced row echelon form. The third map in ψ is Plücker embedding with $N = \binom{2\delta}{\delta} - 1$. For $r > 0$, Pfister and Steenbrink defined a map $\varphi_r : \mathcal{I}_r \rightarrow \mathcal{M}$ by $\varphi_r(I) = t^{-r} I/I(2\delta)$. For φ_r , the following proposition was shown in 6):

Proposition 7. The map φ_r has the following properties.

- (i) The map φ_r is injective for any r .
- (ii) The map φ_r is bijective for $r \geq 2\delta$.
- (iii) The set $\varphi_r(\mathcal{I}_r)$ is a Zariski closed set in $\mathcal{M}$.

Definition 8. For a given monomial plane curve singularity, we call $\mathcal{M}$ and $\mathcal{M}_r := \varphi_r(\mathcal{I}_r)$ the *Pfister-Steenbrink variety* (PS variety) and the *punctual Hilbert scheme of degree r* respectively.

The following fact follows from (ii) in Proposition 7.

Corollary 9. The punctual Hilbert scheme $\mathcal{M}_r$ with $r \geq 2\delta$ coincides with the PS variety $\mathcal{M}$.

We define *Schubert cell* $W_{a_1, \dots, a_\delta}$ for $\delta \geq a_1 \geq \dots \geq a_\delta \geq 0$ to be the set of all elements W in $\text{Gr}(\delta, \overline{\mathcal{O}}/I(2\delta))$ which satisfy $\dim(W \cap V_{\delta+i-a_i}) = i$ for $1 \leq i \leq \delta$ and $\dim(W \cap V_j) < i$ for $j < \delta + i - a_i$. The 2δ -dimensional k -vector space $\overline{\mathcal{O}}/I(2\delta)$ has the canonical flag

$$0 \subset V_1 \subset V_2 \subset \dots \subset V_{2\delta} = \overline{\mathcal{O}}/I(2\delta)$$

where $V_i = \overline{I}(2\delta - i)/I(2\delta)$ for $1 \leq i \leq 2\delta$. This induces a partition of $\text{Gr}(\delta, \overline{\mathcal{O}}/I(2\delta))$ into Schubert cells $W_{a_1, \dots, a_\delta}$. For an index set $\Lambda = \{a_1, \dots, a_\delta\}$, we sometimes write W_Λ instead of $W_{a_1, \dots, a_\delta}$.

Proposition 10. For the Schubert cells, we have $W_{b_1, \dots, b_\delta} \subset \overline{W_{a_1, \dots, a_\delta}}$ if and only if $b_i \geq a_i$ holds for $1 \leq i \leq \delta$.

For the details about Schubert cells, see 2).

Let Δ be a subset of $[0, 2\delta - 1]$ such that $\sharp\Delta = \delta$ and $\Delta \cup [2\delta, \infty)$ is a Γ -module. Then we define $\mathcal{M}_r(\Delta)$ to be the subset of $\mathcal{M}_r$ parametrizing ideals I with $\Delta = (\Gamma(I) - r) \cap [0, 2\delta - 1]$.

Lemma 11. *Put $\Delta = \{b_1, \dots, b_\delta\}$ where $0 \leq b_1 < \dots < b_\delta < 2\delta$. Setting*

$$(4) \quad a_{\delta-i+1} = b_i - i + 1 \text{ for } 1 \leq i \leq \delta,$$

we have $\mathcal{M}_r(\Delta) = \mathcal{M}_r \cap W_{a_1, \dots, a_\delta}$ for $r \in \mathbb{N}$.

Proof. Under the same conditions, the relation $\mathcal{M}_{2\delta}(\Delta) = \mathcal{M}_{2\delta} \cap W_{a_1, \dots, a_\delta}$ holds (see Lemma 5 in 1)). So we have

$$\mathcal{M}_r(\Delta) = \mathcal{M}_r(\Delta) \cap \mathcal{M}_{2\delta}(\Delta) = \mathcal{M}_r \cap (\mathcal{M}_{2\delta} \cap W_{a_1, \dots, a_\delta}) = \mathcal{M}_r \cap W_{a_1, \dots, a_\delta}. \quad \square$$

For a component $\mathcal{I}(S_i)$ of the decomposition (3), we have $\mathcal{M}_r(\Delta_i) = (\psi \circ \varphi_r)(\mathcal{I}(S_i))$ where $\Delta_i = (S_i - r) \cap [0, 2\delta - 1]$. The decompositions of $\mathcal{M}_r$ follows from Proposition 5.

Corollary 12. *Corresponding to (3), we have*

$$(5) \quad \mathcal{M}_r = \bigcup_{i=1}^h \mathcal{M}_r(\Delta_i).$$

Proposition 13. *Each component $\mathcal{M}_r(\Delta_i)$ in the decomposition (5) is isomorphic to an affine space whose dimension equals the number of coefficients in the generators of $\mathcal{M}_r(\Delta_i)$ (as $\mathcal{O}$ -modules).*

3. Proof of Theorem 1

In this section, we prove Theorem 1. Let C be a plane curve singularity given by (1). Put $\mathcal{O} = k[[t^a, t^b]]$. It follows from Lemma 2 that $2\delta = c = (a - 1)(b - 1)$. Write

$$\Gamma = \{\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_{2\delta}, \dots\}$$

where $\gamma_i < \gamma_{i+1}$, $\gamma_1 = 0$, $\gamma_2 = a$, $\gamma_{2\delta} = (a - 1)(b - 1)$ and $\gamma_{2\delta+i} = (a - 1)(b - 1) + i$ for any $i \in \mathbb{N}$. By Lemma 4, we see that an ideal I of $\mathcal{O}$ belongs to $\mathcal{I}_2$ iff $\Gamma(I)$ coincides with one of Γ -modules $S_1 = \langle 2a, b \rangle$ and $S_2 = \langle a, b + a \rangle$. Here the notation $\langle p, q \rangle$ assigns the Γ -module generated by p and q . In our case, they are described as

$$\begin{aligned} S_1 &= \{\gamma_3, \gamma_4, \gamma_5, \gamma_6, \dots\} \quad (\gamma_3 = 2a), \\ S_2 &= \{\gamma_1, \dots, \gamma_{j-1}, \gamma_{j+1}, \dots\} \quad (\gamma_1 = a, \gamma_j = b). \end{aligned}$$

So the decomposition (3) in Proposition 5 is determined as

$$(6) \quad \mathcal{I}_2 = \mathcal{I}(S_1) \cup \mathcal{I}(S_2).$$

Furthermore, we easily see that

$$\begin{aligned} \mathcal{I}(S_1) &= \{(t^{2a}, t^b)\}, \\ (7) \quad \mathcal{I}(S_2) &= \{(t^a + pt^b, t^{b+a}) \mid p \in k\}. \end{aligned}$$

We obtain the decomposition (5) of $\mathcal{M}_2$ as

$$(8) \quad \mathcal{M}_2 = \mathcal{M}_2(\Delta_1) \cup \mathcal{M}_2(\Delta_2)$$

where

$$\begin{aligned} \Delta_1 &:= (S_1 - 2) \cap [0, 2\delta - 1] \\ &= \{\gamma_3 - 2, \gamma_4 - 2, \dots, \gamma_{2\delta+1} - 2, \gamma_{2\delta+2} - 2\}, \\ \Delta_2 &:= (S_2 - 2) \cap [0, 2\delta - 1] \\ &= \{\gamma_2 - 2, \dots, \gamma_{j-1} - 2, \gamma_{j+1} - 2, \\ &\quad \dots, \gamma_{2\delta+2} - 2\}. \end{aligned}$$

Here we rewrite Δ_1 and Δ_2 as

$$\begin{aligned} \Delta_1 &= \{m_1, \dots, m_{2\delta}\} \quad (m_i < m_{i+1}), \\ \Delta_2 &= \{n_1, \dots, n_{2\delta}\} \quad (n_i < n_{i+1}). \end{aligned}$$

According to (4), we define index set $\Lambda_1 = \{p_1, \dots, p_{2\delta}\}$ (resp. $\Lambda_2 = \{q_1, \dots, q_{2\delta}\}$) by $p_{\delta-i+1} = m_i - i + 1$ (resp. $q_{\delta-i+1} = n_i - i + 1$) for $1 \leq i \leq \delta$. It follows from (8), Lemma 11 and Proposition 10 that

$$\begin{aligned} \mathcal{M}_2 &= (\mathcal{M}_2 \cap W_{\Lambda_1}) \cup (\mathcal{M}_2 \cap W_{\Lambda_2}) \\ &= \mathcal{M}_2 \cap (\overline{W_{\Lambda_1}} \cup \overline{W_{\Lambda_2}}) = \mathcal{M}_2 \cap \overline{W_{\Lambda_2}} = \overline{\mathcal{M}_2(\Delta_2)}. \end{aligned}$$

Hence we have $\mathcal{M}_2 = \overline{\mathcal{M}_2(\Delta_2)}$. It follows from Proposition 13 and (7) that $\mathcal{M}_2(\Delta_2) = \mathbb{A}_k^1$. Hence we conclude that $\mathcal{M}_2 = \mathbb{P}^1$. Theorem 1 has proved.

4. Example

In this section, we consider the plane curve singularity which given by $x = t^4$, $y = t^5$. We have $\mathcal{O} = k[[t^4, t^5]]$ and

$$\Gamma = \{0, 4, 5, 8, 9, 10, 12, 13, \dots\}$$

where $c = 12$. Putting

$$\begin{aligned} S_1 &= \{5, 8, 9, 10, 12, 13, \dots\}, \\ S_2 &= \{4, 8, 9, 10, 12, 13, \dots\}, \end{aligned}$$

we obtain the decomposition (6) of $\mathcal{I}_2$ and have

$$\begin{aligned}\mathcal{I}(S_1) &= \{(t^5, t^8)\}, \\ \mathcal{I}(S_2) &= \{(t^4 + pt^5, t^9) | p \in k\}.\end{aligned}$$

The images of these set by φ_r are

$$\begin{aligned}\mathcal{M}(\Delta_1) &= \{(t^3, t^6)/I(12)\}, \\ \mathcal{M}(\Delta_2) &= \{(t^2 + pt^3, t^7)/I(12) | p \in k\}.\end{aligned}$$

These are the components of $\mathcal{M}_2$ (see (8)). In this case, $\mathcal{M}_2$ is embedded in $\mathbb{P}^{923}$ by ψ . Let J_1 (resp. J_2) be an elements of $\mathcal{M}(\Delta_1)$ (resp. $\mathcal{M}(\Delta_2)$). Then their represent matrices are

$$\begin{aligned}M_{J_1} &= \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \\ M_{J_2} &= \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & q & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}\end{aligned}$$

respectively. The images $\psi(J_1)$ and $\psi(J_2)$ are given in $\mathbb{P}^{923}$ by the following Plücker coordinates:

$$\begin{aligned}\psi(J_1) : \pi_\Lambda &= \begin{cases} 1 & \text{for } \Lambda_2 := \{4, 7, 8, 9, 11, 12\}, \\ 0 & \text{for the others,} \end{cases} \\ \psi(J_2) : \pi_\Lambda &= \begin{cases} 1 & \text{for } \Lambda_1 := \{3, 7, 8, 9, 11, 12\}, \\ q & \text{for } \Lambda_2 = \{4, 7, 8, 9, 11, 12\}, \\ 0 & \text{for the others.} \end{cases}\end{aligned}$$

Namely, they are represented by the vectors $\psi(J_1) = (0, \dots, 1, \dots, 0)$ ($\pi_2 = 1$),

$\psi(J_2) = (0, \dots, 1, \dots, q, \dots, 0)$ ($\pi_1 = 1, \pi_2 = q$). Here we rewrite π_{λ_1} and π_{λ_2} by π_1 and π_2 respectively. We infer from these facts that $\psi(\mathcal{M}_2)$ consists of all vectors $\mathbf{a} = (0, \dots, p, \dots, q, \dots, 0)$ with the conditions $\pi_1 = p$, $\pi_2 = q$ and $pq \neq 0$. Since ψ is injective, we identify $\psi(\mathcal{M}_2)$ with $\mathcal{M}_2$. Then there exists a natural isomorphism $\iota : \mathbb{P}^1 \rightarrow \mathcal{M}_2$ defined by $\iota((p : q)) = \mathbf{a}$.

References

- 1) J. Bertin, The punctual Hilbert scheme: an introduction, Fourier institute 2008 summer school lecture note, (2009).
- 2) Ph. Griffiths, J. Harris, Principles of Algebraic Geometry, Wiley, New York, (1978).
- 3) A. Iarrobino, Punctual Hilbert schemes, Mem. Amer. Math. Soc. **188**, (1977).
- 4) T. de Jong, G. Pfister: Local Analytic Geometry, Advanced Lectures in Mathematics, Vieweg, Germany (2000).
- 5) T. Kawai, Abelian vortices on nodal and cuspidal curves, J. High Energy Phys. **11**, (2009).
- 6) G. Pfister, J.H.M. Steenbrink: Reduced Hilbert schemes for irreducible curve singularities, J. Pure and Applied Algebra. **77**, 103-116, (1992).
- 7) Z. Ran, A note on Hilbert schemes of nodal curves, J. Algebra, **292** no.2, 429-446, (2005).
- 8) J.P. Serre, Groupes Algébriques et Corps de Classes, Hermann, Paris, (1959).
- 9) Y. Soma, M. Watari, Punctual Hilbert schemes for irreducible curve singularities of types E_6 and E_8 arXiv:math.AG/1109.4991.
- 10) Y. Soma, M. Watari, Punctual Hilbert schemes for irreducible curve singularities of type A_{2d} , preprint.
- 11) M. Watari, On the Hilbert schemes of r points for monomial curve singularities (in Japanese), Bulletin of Tsuyama National College of Technology, **52**, 63-66, (2010).
- 12) M. Watari, Remarks on a classification of ideals in local rings associated with curve singularities (in Japanese), Bulletin of Tsuyama National College of Technology, **53**, 65-67, (2011).

研 究 調 査 報 告

二層構造イットリウム系超伝導バルクの作製

志摩 翔太* 平松 子竜** 谷口 よしの*** 原田 寛治**

Fabrication of Two-layer Structure Superconducting Bulk with YBCO

Shota SHIMA, Shiryu HIRAMATSU, Yoshino TANIGUCHI and Kanji HARADA

YBa₂Cu₃O_y(Y123) superconductors are highly attractive for bulk applications, such as strong superconducting bulk magnets. Phase diagram shows a peritectic point at about 1010°C where Y₂BaCuO₅(Y211), a liquid and Y123 coexist. Y211 is known to contribute to a critical current density.

We put Y211 powder in Y123 powder and made the superconducting bulk. As the result, we could have Y211 film in Y123 superconducting bulk. We named two-layer structure superconducting bulk. We showed that superconducting properties improved by putting Y211 powder with an experiment.

Key Words: Superconductivity, Two-layer structure, YBCO bulk

1. 緒 言

高温超伝導体が発見されて以来、より高い臨界温度 (T_c)、や超伝導状態では電気抵抗がゼロであるが、電流を流すとある限界点で常伝導に転移する臨界電流密度 (J_c) の向上など、多くの研究がなされてきた。¹⁾ 本研究では、酸化物超伝導体の中でも、最も多くの研究がなされている YBCO 系を用いて試料を作製した。²⁾

超伝導体において、常伝導析出物が J_c 向上に寄与する最も有効なピン止め点になることや、YBa₂Cu₃O_{7-δ} (Y123 相) 超伝導相は、Y₂BaCuO₅ (Y211 相) 常伝導相と液相との包晶反応により生成されることが知られている。この包晶反応を積極的に利用し、ピン止め点を導入することにより、より高い J_c を得る研究がなされている。³⁾

また、YBCO バルクを部分熔融することにより、熔融凝固体は強い磁束捕捉効果を発揮し、強い永久磁石になることを以前の研究で確認している。

4-5)

本研究では Y211 常伝導体を真ん中に用いる Y123/Y211/Y123 二層構造を作製し、Y123 単体と比べて超伝導特性が向上することを実験により確認したので報告する。

2. 試料作製方法

試料は原材料として Y₂O₃, BaCO₃, CuO₂ を用い、全体の質量を 30g として、組成比 Y:Ba:Cu=1:2:3, Y:Ba:Cu=2:1:1 になるように試料を混合した。仮焼成後に粉碎し、これを 5 回繰り返した。つぎに、図 1 に示すように最初に Y123 (黒) をプレス器にかける器に半分ほど入れ、その後 Y211 (緑) を入れる。そしてさらに Y123 を入れ、プレスすることで二層構造を作製した。このときのプレス圧は 8kN、プレス時間は 7min とした。その後、本焼成 (900°C, 20 時間) を 2 回行った。

3. 実 験

3. 1. 試料形状

作製した二層構造バルクを図 2 (a) に断面内部を図 2 (b) に示す。作製したバルクは直径約 30mm、厚さ約 5mm であった。図 2 に示すように作製したバルクは図 1 のような真ん中が Y211 の常伝導相がある二層構造になっていた。

3. 2. 反発、吸引力測定方法

超伝導特性としてよく知られているマイスナー効果などの浮上力や吸引力を測定するには、秤の上に適当な永久磁石を置き、超伝導バルクを近づけて磁石が受ける力を測定する方法が知られている。⁶⁾ 本研究では図 3 に示す自作装置を用い、反発力 (バルクを磁石に近づけていく場合の力)、吸引力 (バルクを磁石から離していく場合の反発力)

原稿受付 平成 24 年 8 月 31 日

*電気電子工学科 平成 24 年 3 月卒業 (現 岡山大学在学中)

**電気電子工学科

***専攻科電子・情報システム工学専攻

を測定した。

①磁石：ネオジム磁石 0.3T×4個

②デジタル式ノギス (150mm)

：磁石と超伝導体の距離を測定するために使用
(シンワ測定株式会社製)

③ノブ式昇降台 (ジャッキ)

：超伝導体を上下させるために使用
(株式会社テラオカ製)

④断熱材 (発泡スチロール)

：液体窒素を長持ちさせるために使用。
(タテ×ヨコ×高さ=160×160×210mm)

⑤ポータブル天秤 BJ310

：反発, 吸引力を測定するために使用
(ザルトリウス (株) 製)

⑥超伝導試料

測定は秤の上に磁石を固定し発泡スチロールの底面に試料を置く。冷媒には液体窒素を使用した。

磁石と試料間の距離, 秤に表示される値を [Pa] に計算したものとの関係をグラフにする。距離は 20mm を最大とし, 0.5mm 間隔で値を取り, 距離はノギスを用いて計測する。距離を近づける場合を反発力, 離していく場合を吸引力とした。

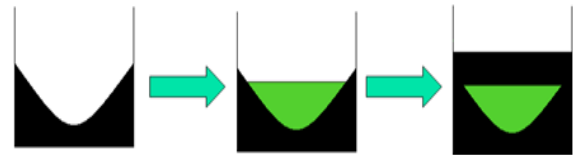
3. 3. 反発, 吸引力測定結果

バルクは Y123 のみのもの, Y211 を 0.1g 入れたもの, Y211 を 0.3g 入れた三種類のバルクを作製した。本焼成後の試料の反発, 吸引力測定結果を図 4, 5 に示す。また, 試料を冷却する場合, 磁石の影響を受けない距離に試料を配置し, ゼロ磁界冷却とした。各試料の最大反発力は Y123 のみ 56.0 Pa, Y211 (0.1g) 97.8Pa, Y211 (0.3g) 68.0Pa であった。Y211 (0.1g) のバルクが一番大きい反発力を示した。

3. 4. 各ヒステリシスループの面積

本研究で作製した Y 系超伝導体はバルク内に磁束が侵入する。そこで磁石面から十分離れたところで液体窒素温度に冷却したバルクを磁石に近づけると, 測定結果のように反発力は増大し, 吸引力は減少する。またバルクに磁束が侵入し, ピン止める効果のためにヒステリシスループが生じる。このヒステリシスループはピン止めの強さに大きく依存することが知られている。

図 6 に三種類の測定結果の面積を示す。なお面積は天秤の指示値[g]を距離[m]で規格化した。その結果 Y123 のみは 5.04g/m, Y211 (0.1g) では 11.3g/m, Y211 (0.3g) では 8.99g/m となった。



プレス時 8kN 7min

図1 二層構造作製



(a)



(b)

図2 二層構造バルクの内部

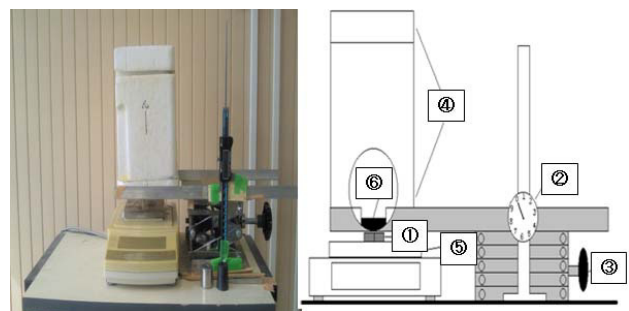


図3 反発, 吸引力測定装置

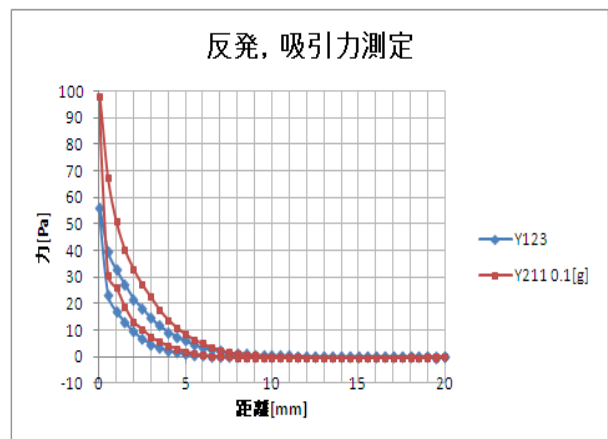


図4 反発, 吸引力測定結果 (Y211, 0.1[g])

4. 結果と考察

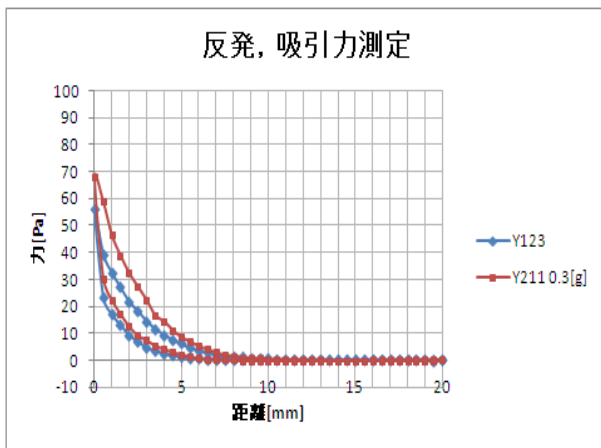


図5 反発, 吸引力測定結果(Y211, 0.3[g])

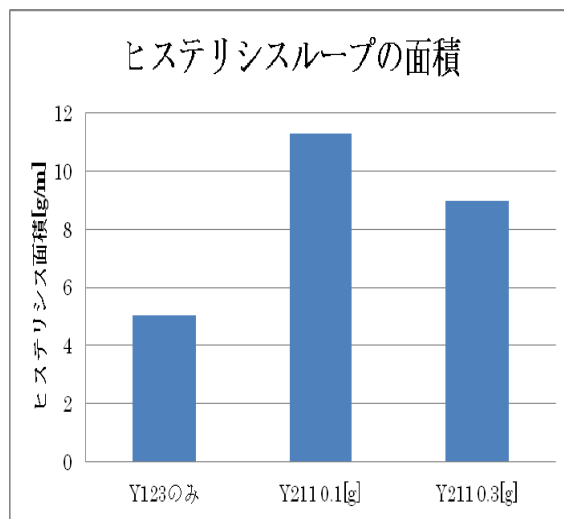


図6 ヒステリシスループ面積

Y123 内部に常伝導層の Y211 を導入することにより、反発、吸引力特性のヒステリシスループが変わることが実験より明らかになった。また、Y211 (0.1g) が Y211 (0.3g) よりヒステリシスループが大きくなるのは Y123 と Y211 との界面が特性に大きく寄与しているためと考えられる。また Y211 が多いと Y123 超伝導相が少なくなるため特性に影響を及ぼしていると考えられる。これらのことは、現在、強磁場マグネットに用いられている NbTi 線材においても、ピン止め中心が、常伝導層である α -Ti を熱処理により析出させ、特性を向上させていることと同様と考えられる。

これらのことより、Y211 常伝導層と Y123 超伝導層の界面が特性に大きく影響していると考えられ、今後さらに評価していく必要があると思われる。

参考文献

- 1) 坂井直道, 成木紳也, 村上雅人: 超伝導バルク磁石, 応用物理, 71, 5 (2002) 580-581
- 2) 中村雄一, 塩原融: 高温超伝導体バルク材料研究の進展, 応用物理, 61, 5 (1992) 456-463
- 3) 村上雅人: 高温超伝導体の材料科学, 内田老鶴圃, (1999) 210-212
- 4) 小野仁, 小倉雄一, 原田寛治: 高温超伝導バルクの表面拡散, 津山工業高等専門学校紀要, 43, (2001) 15-18
- 5) 芳野充, 原田寛治: 超伝導体の反発力及び吸引力の測定に関する研究, (1995) 平成 14 年度電気工学科卒業研究報告書
- 6) 田沼静一, 家泰弘: 高温超伝導体とエキゾチック超伝導体, 共立出版, (1999) 286-288

ウェブユーザインタフェース評価基準を適用した ウェブサイトの更新

山口英理子* 岡田 正**

Update of a Web Site Using Web User Interface Criterion

Eriko YAMAGUCHI* and Tadashi OKADA**

We updated the "FIE WEB SITE" which is for a fundamental information education portal site with consideration of the accessibility and the usability based on preceding studies of our laboratory. The purpose of this study is updating the portal web site to become easy to use it for access users. Then the considered points are discovered for the usability, and generalized them by adding to the checklist already made.

Key Words: Update of Web Site, Web User Interface Criterion, Web Site Design

1. はじめに

インターネットの一般家庭へのブロードバンド接続の普及に加え、スマートホンに代表される携帯端末の急速な利用拡大に伴い、ウェブサイトは、人々の生活にとってますます身近で、同時に欠かせない存在となっている。このためウェブサイトに関して、できる限り多くの人々がそのウェブサイトを使えるかどうかを意味するウェブアクセシビリティや、そのウェブサイトの使いやすさを意味するユーザビリティが重要視されるようになってきた。

これまで我々の研究室では、ウェブユーザインタフェース評価基準の一般化と具体的な適用評価を行ってきた。まずユーザビリティ評価法の一つである 10 ヒューリスティック評価法と、先行研究によって開発されたウェブユーザビリティ評価スケール (WUS : Web Usability evaluation Scale) というアンケート式ユーザビリティ評価法との関係の検証が行われた¹⁾。次に、国際的な規格である ISO 9241-11 で定義されるユーザビリティの考え方を基本として、自治体のウェブサイトのユーザビリティ評価を実際に行い、その結果をウェブサイト制作者向けのチェックリストとして一般化した²⁾。

本報告では、これまでの研究成果を基にして、ユ

ーザビリティに考慮して情報基礎教育ポータルサイトの更新を行ったので、その内容を述べる。更新対象としたサイト^{3,4)}は、平成 13 年度より開始された「高専情報基礎教育」プロジェクト⁵⁾の一環として構築された。高専情報基礎教育では、“入学直後から学科によらず実施すべき情報教育の実践”を目標として掲げ、標準的カリキュラムの策定、教科書や学習ノートの刊行^{6,7)}やポータルサイトの構築・運用を行っている。

更新するポータルサイトは、教科書や学習ノートに関する情報提供に加え、授業で利用している教員の活用事例報告を通した教育教材活用の広がりについて紹介するなど、情報基礎教育の啓発に関する活動も担っている。このため更新した後、利用者からの評価・意見をもらいながら、改良を重ねてきた。また、ウェブサイト制作時にユーザビリティの観点で注意すべきことをまとめた、前年度の研究で作成されたチェックリスト²⁾の内容を、今回の検討を通してさらに改良する。

本報告では、2 章でユーザビリティの定義と関連する規格や技術について述べる。3 章では情報基礎教育ポータルサイトの更新の手順を、4 章では更新にあたって発見した問題点や改善点ならびにチェックリストの改良について報告する。

2. ユーザビリティとアクセシビリティ

ユーザビリティは、先行研究で議論されており、「使いやすさ」という言葉で置き換えられる概念である。ISO 9241-11 の定義では、「特定のコン

原稿受付 平成 24 年 8 月 25 日

*情報工学科平成 23 年度卒業生

**情報工学科

テキストにおいて、特定のユーザによって、ある製品が、特定の目標を達成するために用いられる際の、効果・効率・ユーザの満足度の度合い」とされている⁸⁾。この意味するところは、ある製品やウェブサイトに対して、それが一般的に使いやすいかどうかを評価するものではなく、まずユーザ・利用状況・目標を定め、その上で効果・効率・ユーザ満足度という尺度を用いて評価するところにある。すなわち、本研究の目的であるユーザビリティに配慮したウェブサイトにするためには、「特定のユーザ」であるこのサイトの利用者にとって、使いやすいサイトになるような更新でなければならない。

一方、ユーザビリティに深く関連する概念として、アクセシビリティがある。アクセシビリティとは、健常者のみならず、高齢者や障がい者なども含む、できる限り多くの人々がそれを使えるかどうかを意味する。つまり、「使えない」状態を「使える」状態にすることに焦点を絞っている。

ウェブコンテンツのアクセシビリティに関して、2004年6月に規格「JIS X 8341-3 高齢者・障害者等配慮設計指針—情報通信における機器、ソフトウェア及びサービス—第3部：ウェブコンテンツ」、通称「ウェブコンテンツ JIS」が制定された⁹⁾。この上位規格である「高齢者・障害者等配慮設計指針—情報通信における機器、ソフトウェア及びサービス」の「第1部：共通指針」によると、情報アクセシビリティとは「高齢者・障害者が、情報通信機器、ソフトウェア及びサービスを支障なく操作又は利用できる機能」と定義されている。そして、ウェブアクセシビリティとは、情報アクセシビリティの中でも、インターネット技術を用いて制作されたコンテンツで、利用者がウェブブラウザなどを用いてアクセスするあらゆる情報やサービスに対するアクセシビリティを指す。

W3C が 1999 年勧告した「ウェブコンテンツ・アクセシビリティ・ガイドライン 1.0」(WCAG1.0)¹⁰⁾では、「ある障害を持っている人が、その内容を利用することが出来た時、その内容はアクセシブルだと言える。」と述べられている。つまり、ウェブアクセシビリティとは、高齢者や障がい者など心身の機能に制約のある人を含め、誰に対してもウェブサイト上で提供される情報がきちんと伝わり、誰もが提供される機能やサービスを容易に利用できることを意味する⁹⁾。

本研究でも、すべてのウェブサイト利用者が十分な情報を取得できるためには、障がい者・高齢者の特性に応じた補足情報を用意するなど、提供者側の配慮によってコンテンツのアクセシビリティを確保するよう配慮している。先に述べたユーザビリティとアクセシビリティは、対象とする問題が少し異な

っているものの、アクセシビリティに関する配慮があるからこそ、ユーザビリティに関する配慮が有効になるという場面が数多く存在すること²⁾を確認しながら、更新作業に活かしている。

3. 情報基礎教育ポータルサイトの更新

3. 1 更新の方針と環境

情報基礎教育ポータルサイト更新にあたっては、先行研究で作成されたユーザビリティの観点から注意すべきことをリストアップしたチェックリスト²⁾を参考にしながらサイトを改良する。さらに、元のサイトでは対応しきれていなかった情報についても、対応できるようにコンテンツを追加・整備し、更新用のページを作成する。そして、更新した内容をサイト利用者に実際に利用してもらい、評価をもらう。なお、このサイトは教科書「ネットワーク社会における情報の活用と技術」⁶⁾および同教科書用学習ノート⁷⁾のポータルサイトであり、サイトの利用者は主に、この教科書・学習ノートを使って学習する教員・学生である。

本研究の最終の目的は、サイト利用者からもらった評価を参考にして、利用者にとってより使いやすいサイトにするための研究を行い、このようなポータルサイトにおける配慮すべき点をまとめるとともに、一般的傾向を考察することで汎用化できるようにすることである。

なお、更新したコンテンツを公開サーバと同一環境で公開前に確認できるよう、専用のウェブサーバを準備して更新作業を行った。構築したサーバは、すべてオープンソースソフトウェア (OS: FreeBSD¹¹⁾, HTTP Server: Apache¹²⁾) を使用している。

3. 2 アクセシビリティに基づいた更新

2章で述べたように、ユーザビリティを考える上でアクセシビリティは欠かせない存在である。情報基礎教育ポータルサイトの更新においても、アクセシビリティの定義を満たしていることが必要であり、まずアクセシビリティの定義に基づいてサイトの改良を行った。アクセシビリティの評価には、先行研究で作成されたチェックリスト²⁾のチェック項目を満たしているかどうかを調べたり、富士通(株)が無償で配布しているソフトウェア "Fujitsu Accessibility Assistance"¹³⁾ の中の WebInspector, ColorSelector, ColorDoctor の3つを使用したりした。

WebInspector はソースを点検してウェブサイトのアクセシビリティを診断することができ、ColorSelector は背景色と文字色の見やすさを判定することができる。ColorDoctor では、各色覚特性に

表1 アクセシビリティに基づいた本サイトの問題点と改善法

問題点	改善法
背景と文字のコントラストが低く、文字が読みづらい	Colorselector を用いてコントラストを高くする
文字が小さかったり、行間が詰まりすぎたりして読みにくい	チェックリストに従って、文字や行間を相対値で調節する
トップページにおいてメニューの量が多く、配置に統一性がない	ページの左にメニュー欄を作り、利用者が比較的多いと想定される項目を載せる
リンク先のタイトルが、利用者に理解しにくい表現を使っている	リンク先のタイトルは、利用者が一目で理解できる表現を用いる
テキストの紹介に画像がない	テキストの画像を貼り利用者の理解を深める。その際、画像に alt 属性を付ける
ホームページ・リーダーへの対応が不十分である	日付の表記は略さず年月日を用いたり、字数を合わせるために単語の間に無駄な空白を入れたりしない

応じたシミュレーションを行うことができ、色覚に障がいを持っているユーザからどのような色で見えているのかを確認することができる。

これらを用いて、アクセシビリティの定義を満たしているかどうかを評価したところ、いくつかの問題点が見つかったため、表1に示すような改善を行った。

これらの改善により、ウェブアクセシビリティのチェック項目を概ね満たしたサイトを作ることができた。

3. 3 アンケートの実施

アクセシビリティのチェック項目を満たすサイトを公開し、ユーザビリティに配慮されたサイトかどうかの確認を行った。すなわち、“特定のユーザ”であるこのサイトの利用者にとって、使いやすいサイトであるかどうか、このサイトの評価してもらうためアンケートを実施した。

アンケートは、このサイトを普段から利用しておりこのサイトのメーリングリスト参加者である6名と、このサイトを利用したことのない4名を対象に行った。このサイトを利用したことのない人にもアンケートに答えてもらうことによって、このサイトに初めて訪れた人に対する配慮の研究資料とすることができた。

アンケートの内容は、富士通（株）と（株）イードが共同開発したウェブユーザビリティ評価スケール WUS を参考に作成し、アンケート項目をメールで対象者に送信し、回答（各項目への5段階評価とその他コメント）を記入して返信してもらう形で行った。

アンケートの実施により、このサイトの不十分な点や良い点、またサイトの利用者が普段特によく利用するページなどを知ることができた。そして、アンケートの結果を分析し、評価の悪かった項目や指

摘された問題点をまとめ、それらを中心にサイトを改良した。なお、普段から利用しておられる回答者と利用したことがなかった回答者との間に、明確な独自の違いは見られなかったもので、共通して分析し改善することで初めて訪れた人にも十分配慮したサイトになると考えた。

この際も、先行研究で作成されたチェックリストや富士通ウェブ・アクセシビリティ指針"Fujitsu Accessibility Assistance"と比較しながら、アクセシビリティの規則から外れないように注意して改良を行った。サイトを更新するにあたって見つかった問題点や、それに対する改善点は次章に記す。

4. サイト更新で見つかった問題点と改善点

4. 1 操作に関する改善点

利用者がこのサイトを操作しやすくなるように行った改善を示す。

(1) ページの見出し

このサイトでは、同じコンテンツでも、教科書初版と教科書改訂版、教科書三訂版に分けて、それぞれの内容に対応した情報を掲載している。例えば「用語解説」のページにおいて、教科書改訂版の利用者は改訂版の用語解説のページを、三訂版の利用者は三訂版用のページを見てもらうことになっている。改良前のページでは、ページの見出しにコンテンツの名前だけ記し何版なのかを示していなかったため、今見ているページが何版なのか分からなくなるという意見が利用者からあった。従って、ページの見出しに何版の情報なのかを記すようにするとともに、「三訂版（改訂版）をお使いの方は〇〇（ページタイトル）をご覧ください。三訂版（改訂版）に対応したページとなっています。」とリンクを付けた。こうすることで、誤って他のページに訪問したときでも、自分の求めているページへと移りやすく

なり、利用者がリンクを探す手間が省ける。

(2) サイト内位置の明示

アンケートの回答の中で、「自分がこのウェブサイト内のどこにいるのかわかりやすい」という項目の評価が低かった。従って、今見ているページがサイトのどこに位置するのかを利用者に知らせるためパンくずリストを付けることにした。こうすることで、利用者は自分が今サイト内のどこにいるのかが分かりやすくなる。また、検索結果よりサイトのページに直接アクセスしてくる人も多いので、そのような人たちにとっても、パンくずリストを付けることによって、トップページへ戻りやすくなるという利点がある。

(3) 表記の統一

このサイトでは、メーリングリストの参加者にのみ提供しているページもある。そのメーリングリストの参加者のことを、サイト内で「メーリングリストの参加者」と記したり「メンバー」と記したりと統一されていない部分があり、理解しにくいという指摘があった。従って、「メンバー」という表現に統一し、さらにメンバーとはメーリングリストの参加者のことであるということを明記した。

4. 2 構造に関する改善点

サイトの構造に関する改善点を示す。

(1) 新規ウィンドウへの対応

このサイトでは、用語解説のページのみフレームが重複するため、新規ウィンドウで開くようにしている。しかし、これでは元のページに戻れなくなる場合があるという指摘を受けた。従って、用語解説

のページには『「用語解説」を閉じる』というボタンを設け(図1)、用語解説のウィンドウを閉じて元のページへの戻るという操作を分かりやすくした。さらに、用語解説のページでのパンくずリストでは、新規ウィンドウでこのサイトのトップページが表示されるようにした。こうすることで、もし利用者が誤って元のページのウィンドウを消してしまっても、再び戻れるようになる。

(2) フレーム対応ページ

このサイトでは、2分割でフレームを使用している。しかし、フレームを使用する際にはいくつか配慮が必要であることが分かった。

まず、近年のロボット型検索エンジンの普及により、フレーム内のページに直接アクセスしてくる人も多いという意見があった。検索エンジンで検索したとき、フレームを定義しているトップページがヒットすればいいが、フレーム内に表示するページがヒットする場合の方が圧倒的に多い。そうすると、検索して来た人は、フレームがあることすら分からないことになる。そこで、パンくずリストでホームに戻るようにし、トップページにサイトのメニュー欄へのリンクを配置した。

さらに、フレームを使用する場合は、フレーム非対応のブラウザに対する配慮も必要である。改良前は、フレーム非対応のブラウザに対して<noframes>タグを指定し、「フレームに対応したブラウザでご覧ください。」というメッセージを入れていた。しかし、訳あってフレーム非対応ブラウザを使っている、もしくはそれしか使えないのにフレーム対応ブラウザで閲覧するように指示されても困るという指

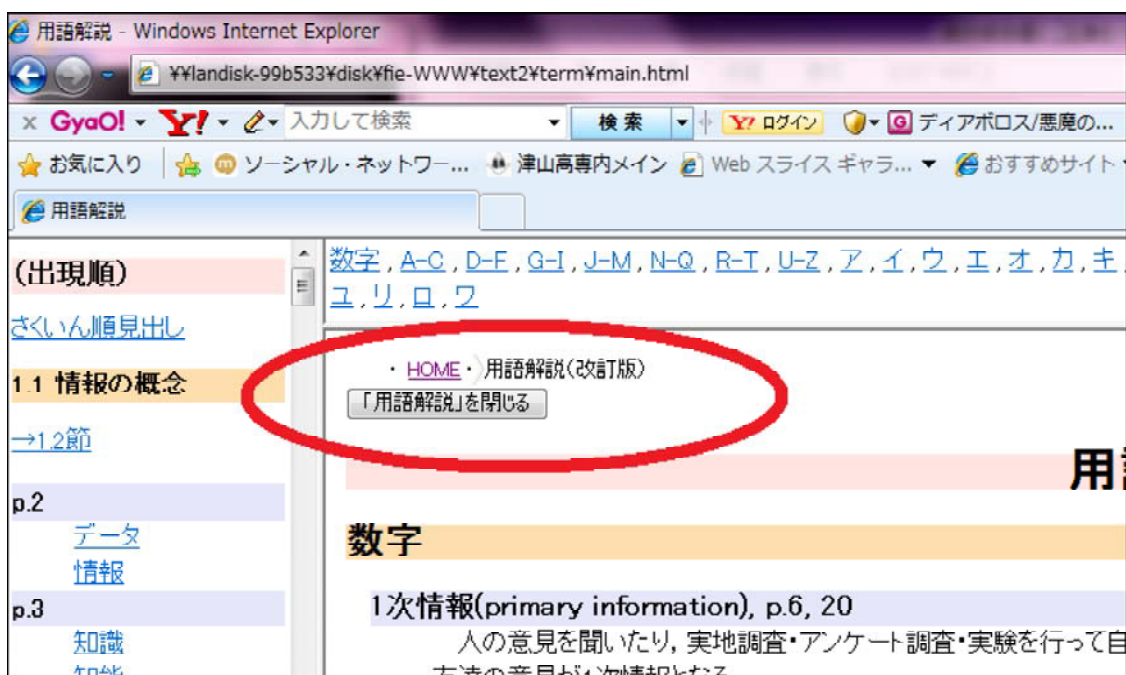


図1 ウィンドウを閉じるボタンを付けたページ

表2 チェックリストに追加した項目

- | |
|--|
| 1. すべてのページに内容を的確に示しページの識別が可能な見出しがつけられているか？
2. サイト内での表現は統一されているか？
3. フレームがなければ操作できない構造になっていないか？
4. フレーム非対応のブラウザ利用者でも、サイトを見られるようになっているか？
5. 新規ウィンドウを開いた際は、元のページに戻れるようになっているか？
6. 検索でページに直接アクセスしてくる人のために、トップページへ戻れるようになっているか？
7. 3クリックルールが適用されているか？ |
|--|

摘があった。そこで、〈noframes〉タグには、フレームを使用しなくても見られるように改良したコンテンツのメニューを置いた。こうすることで、フレーム非対応のブラウザでもサイトをすべて閲覧できる。

4. 3 適用しなかった意見の例

アンケートの回答でもらった指摘の中には、それを適用してしまうとアクセシビリティの規則から外れてしまうものもあり、そのような場合はアクセシビリティを優先することにした。

例えば、欲しい情報が3階層目にあり、もっと手前に持ってきたらどうかという意見があった。しかし、その情報を手前に持ってくるとメニュー項目が多くなりすぎ、アクセシビリティにある「メニュー項目数が多い場合は、わかりやすい並び順にするか、階層化、グルーピングなどにより、一度に把握しなければならぬ項目数を減らす。」という項目に反してしまう。

また、ユーザビリティ用語に「3クリックルール」というものがある。利用者が目的とするページまで、3クリック以内にたどり着けることが理想であるという目安を示したものである。サイト内での利用者の動きを最小限にするような設計にすることで、作業効率が向上し、利用者が効率よく閲覧できるという利点がある。今回の場合、3階層目に利用者の求めている情報があり、3クリック以内でたどり着けるので許容範囲と見なし、この意見については適用しないことにした。

4. 4 チェックリストの改良

本研究内容の汎用化を目指すため、先行研究で作成されたチェックリスト⁴⁾に本研究内容に関する項目を付け加え内容を深めた。付け加えた内容としては、今回更新のために改良した点の中で、このサイトだけでなく他のサイトにも共通して適用できる部分を付け加えた(表2)。サイトの作成者が、このチェックリストと作成したサイトを照らし合わせることで、サイトの問題点を発見し改善できるようになっている。

5. あとがき

本報告では、先行研究のウェブユーザインタフェースに関するチェックリストや指針に従ったウェブサイト更新を、具体的な情報基礎教育サイトに関して行った。ただ指針等に従うだけでなく、アンケートを実施することで、利用者の意見を聞きながらサイトを改良することができた。従って、よりユーザビリティに配慮されたサイトに更新することができた。また、改良した点の中でこのサイトのみに適用できることと、他のサイトでも共通で適用できることをそれぞれまとめ、共通で適用できる点においてはチェックリストに項目を追加したことで、内容がより実用的になった。

しかし、ウェブサイトの本質はコンテンツの内容であり、これからも不断に見直し改良して行く必要がある。また、更新したサイトは、デスクトップのフルスクリーンを想定してレイアウトしている。今後は、ネットブックやスマートフォン等で画面を縮小して閲覧している利用者にとっては、見づらくなっているかも知れない。そのような利用者に対する配慮の検討も必要である。これからも、こうしたユーザビリティについて検討を継続していく必要がある。

謝 辞

本研究のアンケート実施に際して、貴重な時間を割いてアンケート調査に協力してくださり、そして多くのご指摘をくださった回答者の皆様へ、感謝申し上げます。

本研究の一部は、科学研究費補助金(基盤研究(C)22500904)の助成を受けて行ったものです。

参 考 文 献

- 1) 茂兼千明, 岡田正: Web ユーザインタフェースの評価基準と対応技術, 津山工業高等専門学校紀要 第 51 号, pp.53-57 (2009).

- 2) 大谷舞, 岡田正: ウェブユーザインタフェース評価基準を適用したウェブサイトのユーザビリティ評価, 津山工業高等専門学校紀要 第 53 号, pp.79-84 (2009).
- 3) FIEWeb Site (メインサイト): <http://fie.tsuyama-ct.ac.jp/>.
- 4) FIEWeb Site (ミラーサイト): <http://fie.ishikawa-nct.ac.jp/>.
- 5) 岡田正, 高橋参吉, 藤原正敏: 高専情報基礎教育の提案と実現に向けての全国規模での展開, 工学教育 Vol.51 No.1, pp.66-71 (2003).
- 6) ICT 基礎教育研究会: ネットワーク社会における情報の活用と技術 初版(2003) 改訂版(2006) 三訂版(2010), 実教出版.
- 7) ICT 基礎教育研究会: 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(2006) 三訂版学習ノート(2010), 実教出版.
- 8) 樽本徹也: ユーザビリティエンジニアリング—ユーザ調査とユーザビリティ評価実践テクニック—, オーム社, pp.2-5 (2005).
- 9) 富士通株式会社総合デザインセンター: よくわかる Web アクセシビリティ&ユーザビリティ<改訂版>, FOM 出版, pp.153-157 (2006).
- 10) Web Content Accessibility Guidelines 1.0: <http://www.w3.org/TR/WCAG10/>.
- 11) The FreeBSD Project: <http://www.freebsd.org/>.
- 12) Welcome! - The Apache HTTP Server Project: <http://httpd.apache.org/>.
- 13) 富士通ウェブ・アクセシビリティ指針: <http://jp.fujitsu.com/webaccessibility/> (2006).

スケジューリング労力低減のための 知的エージェント実装の基礎検討

三宅佑磨* 岡田 正**

Basic Study of an Intellectual Agent Implementation for Scheduling Labor Reduction

Yuuma MIYAKE* and Tadashi OKADA**

In order to improve a quality of communication, we study a system to automate a personal schedule. The central part of the scheduling system is implemented as an intelligent agent build by a hybrid system with production and frame systems. The system is built as a Web system using the open source software such as Ruby, PostgreSQL, FreeBSD. We confirm that the basic operation of a scheduling generation is confirmed for sample tasks.

Key Words: Intellectual Agent, Scheduling Problem, Production and Frame Systems, Web system

1. はじめに

インターネットが普及することにより、人と人とのコミュニケーションは場所・時間を超えて活発に行われるようになった。しかし、コミュニケーションにおいて、実際に会って話すということの価値は変わっておらず、その価値は連絡手段の発達によりむしろ上がっているといえる。直接会うことは最も密にコミュニケーションを取ることができる方法で、インターネットが広まった現在でも変わることはない。

しかし直接会うには互いの予定を調整する必要がある、それは人数が増えるほど煩雑である。このことが複数人で予定を組み合わせて会うことの敷居を上げる原因となっている。この問題を解決するためには、複数人の予定調整に伴う労力を低減できて、コミュニケーション自体の質を高めるためのスケジューリングシステムが必要であると考えた。

本報告では、スケジューリングを行うためにエキスパートシステム [1-3] を使用した知的エージェントを実装するための基礎検討を行ったので、その内容を述べる。エキスパートシステムの知識表現には、

プロダクションとフレームのハイブリッドシステムを用いる。また、スケジューラとして外出先やモバイル端末での使用が想定されるため、ウェブシステムとして実装する。

実装にあたっては、全面的にオープンソースソフトウェアを採用し、Ruby⁴⁾ とウェブアプリケーションフレームワークである Ruby on Rails⁵⁾ を使い、運用には FreeBSD⁶⁾ 上の Apache HTTP Server⁷⁾ を用いる。さらに、エキスパートシステムで使用する知識ベースをリレーショナルデータベースで管理しているので、この方法も合わせて報告する。なお、本報告ではシステム開発の中間報告として、個人のスケジューリングまでを扱う。

本報告では、スケジューリング問題とエキスパートシステムとの関係を 2 章で取り上げる。3 章でシステムの要素と実装方法について、4 章では実際のシステム実装と動作確認のシミュレーションについて述べる。

2. スケジューリングとエキスパートシステム

2.1 スケジューリングとコミュニケーション

多くの人はスケジュールに則って行動している。現状の多くのスケジューラは、決まった日付にタスクを挿入する型式であるため、新たに会合などを計画する場合、あらかじめ参加者全員の予定を調整し、日付を決める必要がある。これは労力と時間を多大に要する作業で、結果としてコミュニケーションの

原稿受付 平成 24 年 8 月 31 日

*専攻科電子・情報システム工学専攻平成 23 年度修了生

**情報工学科

敷居を上げる原因となっている。

人の行うスケジュールとは、幾つかのタスクの集まりであるといえる。タスクには、「朝会」「会議」「営業」のように具体的なタスクの開始時刻が決まっているものと、「報告書作成」「読書」「掃除」などのように開始時刻は決まっておらず完了期限が決められているものや、それすらも決まっていない「趣味」のようなものがある。

現状の多くのスケジュールは、具体的な開始時刻が決まっているものしか扱うことができない。開始時刻が決まっていないタスクをスケジュールに組み込むためには、人が考えて入力するしかなく、これに人が費やす労力は多大なものとなる。この開始する時刻が決まっていないタスクを、スケジュールリングシステムで扱うことができるようにすることによって、タスクからスケジュールを組むことができる。組まれたスケジュールを複数人分照らし合わせ、空いている時間や重要度の低いタスクを移動させるなどの調整を行い、複数人で共有できる時間を生み出すことになる。

本報告のスケジュール生成には、エキスパートシステム¹⁻³⁾を用いた知的エージェントを使用する。ここでいう知的エージェントとは、ユーザに代わって知識を使い、ユーザに最適化されたスケジュールを、ユーザに代わって生成するシステムである。事前に入力したルール知識と事実知識に加え、ユーザが追加した情報に基づき、ユーザが入力したタスクからエキスパートシステムがタスクの優先度を求め、エージェントがスケジュールを作成する。

2.2 エキスパートシステム

エキスパートシステムとは、専門家の知識を取り出し、一定の形式で表現し利用することで問題解決を行うコンピュータシステムのことである¹⁻³⁾。特定分野の問題について情報を解析するルール群（知識ベース）と、その知識を使って答えを導きだすための推論エンジンから構成される。特徴として

- * 知識ベースを書き換えることで様々な問題に対応可能な汎用性
- * 対話式の推論実行
- * 推論により得られた結論の根拠を説明可能
- * 知識が多少不完全でも処理部分が正しければ動作可能

などを挙げることができる。

エキスパートシステムでは、知識をどのように表現するかが重要で、今回のスケジュールリング問題では、プロダクションとフレームによる知識表現を用いる⁸⁾。これらエキスパートシステムの構成要素とその特徴は、次のようになっている。

(1) プロダクションシステム

プロダクションシステムとは、IF-THEN 型のプロダクションルールを知識表現単位としたシステムで、ルール型システムとも呼ばれる。プロダクションシステムを構成するには、

- * ルールの集合であるプロダクション集合
- * 事実知識や途中結果を記憶する作業記憶（ワーキングメモリ）
- * 推論を制御する推論部

が必要となる。

(2) フレームシステム

フレームシステムとは、フレームを知識表現として使っているシステムのことである。フレームは、知識を表現し格納するための枠組みで、人間の認知活動の研究から生まれた。フレーム内の知識は、属性と値ならびに手続きの組として扱われ、フレーム同士を階層的につなぐことで、あらゆる知識を柔軟に表現・管理できる。

知識の単位がフレームであり、これを構成する多くの属性をスロット、その値をスロット値と呼ぶ。各スロットは、別のフレームへと結合することができ、複雑な知識であっても階層的に表現できる。フレーム内の各スロットの属性や条件を記述したものをファセットと呼ぶ。例えば、他フレームと結合しているかどうか、どのような制約内容があるかなどである。一般的に上位のフレームの値は、下位のフレームに種々の方法で継承される。

(3) ハイブリッドシステム

フレームシステムの長所は、使うフレームを選択することにより柔軟な推論を行えることである。一方、プロダクションシステムの長所は、厳密にルールを記述できることである。この両方の長所を場面に応じて使うため、フレームシステムを大枠に、フレームのスロットにルールを記述するなどして、ハイブリッドシステムとして使うことが多い。

本研究においても、フレームシステムを大枠とし、一部のスロットにプロダクションルールを記述する手法により、柔軟性の高いシステムを目指した。

(4) 知識ベース

エキスパートシステムの知識ベースに格納される情報には、『事実知識』『ルール知識』『メタ知識』の3種類がある。事実知識とは事実を単に述べるもの、ルール知識とは事実や処理の規則を表す知識である。事実知識に加えルール知識を持つことがエキスパートシステムの特徴である。一方、メタ知識は、探索条件や適用条件を定めた知識のように、知識を使うための知識である。「一般的なルールより具体的なルールを選択する」「危険なルールより安全なルールを選択する」「費用が少ないルールを優先する」などが、メタ知識の例である。

(5) 推論エンジン

推論とは、知識を使って結論を求めていく一連の過程のことをいう。

プロダクションシステムにおける推論の基本は、『事実知識』『ルール知識』『結論』からなる三段論法である。三段論法は無限に組み合わせることができ、この組み合わせの順序と方向により、前向き推論と後ろ向き推論に分けられる。前向き推論は事実（もしくは仮説）からスタートし、ルールから結論へ辿っていき証明を行っていく推論である。これに対して、後ろ向き推論は、証明したい結論からスタートし事実辿り着いたとき証明を終了する。

一方、フレームシステムでは、知識はファセットに記述されており、直接知識（値）が参照されるか、もしくはデーモン（関数）が呼び出されることで推論が進む。デーモンは特定の値を求める関数のほか、フレームの追加や削除を行う場合がある。フレームの継承機能により、参照したい知識がファセットにない場合、結合されているフレームをたどることで、すべての知識を与えなくても推論が可能になる。

本研究のハイブリッドシステムの場合、オブジェクトとしてフレームを使い、ファセットにプロダクションを記述する。推論の方法はプロダクションシステムと同じ三段論法を使い、同一フレームに結合されているフレームのルールを使う。さらに、状態に応じたフレームを用意し、フレームを使い分けることで、ユーザや場面に最適化した推論を行う。

（6）知識エディタと利用者インタフェース

知識エディタとは、知識ベースが知識を獲得するための道具で、知識ベースの内容をエディタに問い合わせることにより対話的に知識を入力していく。知識の入力には、他にもナレッジエンジニアと呼ばれる人が専門家にインタビューを行い知識を引き出し、知識表現のルールに置き換えていくというものがある。

利用者インタフェースは、利用者が推論を行うためのインタフェースである。対話式の質問に対して利用者が回答していく。回答の方法に、メニュー形式での回答選択、形式言語での回答、自然言語での回答、グラフィック表示とマウスなどでの選択などの方法がある。推論により結論に至った過程を説明する機能も、利用者インタフェースに含まれる。

3. 知的エージェントの実装

3.1 スケジューリング問題の定式化

今回扱うスケジューリング問題の内容に近いものの一つに、ナース・スケジューリング問題(NSP)^{8,9)}がある。NSPとは、ある期間におけるナースの勤務シフトを、各ナースの休み、時間帯ごとの必要なナースの人数など、さまざまな制約の下で求める問

題である。

これを参考にし、人の日常におけるスケジュールの生成方法を考える。タスクの分類・生成や割り当て時の制約等は NSP を参考にしながら、エキスパートシステムの手法を取り入れることで、柔軟性の高いスケジューリング生成を工夫している。本システムのスケジュール生成方法は、次の通りである。

- (1) ユーザ情報とタスク情報の設定
- (2) タスクを予定に追加
- (3) 予定に追加されたタスクのタスク情報と拘束条件から重要度の算出
- (4) スケジュールの生成
- (5) スケジュールの調整と決定

複数人でのタスクが追加された場合、既にスケジュールが組まれていたら空いている時間帯や重要度の低いタスクを移動させそこに追加、スケジュールが組まれていない場合は個人のタスクに追加する。これらの処理を、エキスパートシステムを用いた知的エージェントを使って処理する。エージェントはスケジュールを生成するために、ルール知識（スケジュール拘束条件）と事実知識（タスク情報・ユーザ情報・スケジュール情報）を使う。この二つの知識を照らし合せスケジュールを生成する。

スケジュールの拘束条件を大きく3つに分ける。

- (1) 決定済みタスク
- (2) タスク拘束条件
- (3) スケジュール拘束条件

決定済みタスクは、既にスケジュール開始時刻が確定されているという拘束条件である。タスク拘束条件は、タスクの質を保つための要素であり、続けて行うことが望ましくないタスクの連続割り振りを禁止にするなどの条件である。スケジュール拘束条件とは、タスクの質を保つための要素であり、例えばスケジュール全体から規定の休み時間を下回らないなどの条件となる。

拘束条件には個別に優先度を設け、競合した場合は優先度が高い順にスケジュールを生成していく。優先度が高いもの同士の競合についてはユーザに判断を委ねる。原則として禁止パターンの優先度は高く、次いで好ましくないパターン、望ましいパターンのような優先度を設定する。

事実知識には以下の3つを用いる。

- (1) タスク情報
- (2) ユーザ情報
- (3) スケジュール情報

タスク情報は、タスクに付随する情報で静的なものとの動的なものがある。ユーザ情報は、ユーザに関する情報で、静的なものである。これに対して、スケジュール情報は、そのときのスケジュールに左右される動的なものとなる。

ルール知識と事実知識の照らし合わせには、有能な秘書のような専門知識を想定したエキスパートシステムとして実装していく。

3.2 ルール知識の実装

本システムをウェブ上で動作させるため、知識ベースをリレーショナルデータベース(RDB)を使って管理し、プログラミング言語には Ruby⁴⁾を用いて実装している。

(1) フレームの実装

フレームはスロットを集めたものでできており、スロットには別の下層のフレームとなるものもある。スロット中の属性を表すものはファセットに入る。これをまとめると図1のようになる。これを Flame テーブルと Facet テーブルに分け 1 対 n で関連づけることにより、RDB でフレームシステムを表すことができる。この ER 図を図2に示す。

フレームの継承は、Flame テーブルに、継承元 ID (acced_id) カラムを外部キーとし、ID を主キーとして、継承元フレームと継承先フレームを 1 対 n で関連づけることにより実装する。継承元 ID を参照することで親フレームを見つけ出し、親フレームもそれを繰り返す。継承元 ID が Nil であればトップフレームである。

ファセットは Facet テーブルにより表す。Flame テーブルの ID を主キーとして、Facet テーブルのフレーム ID カラムを外部キーとして、1 対 n の関連により実装する。Flame テーブルには、継承元 ID とフレーム名が入る。Facet テーブルには、ファセ

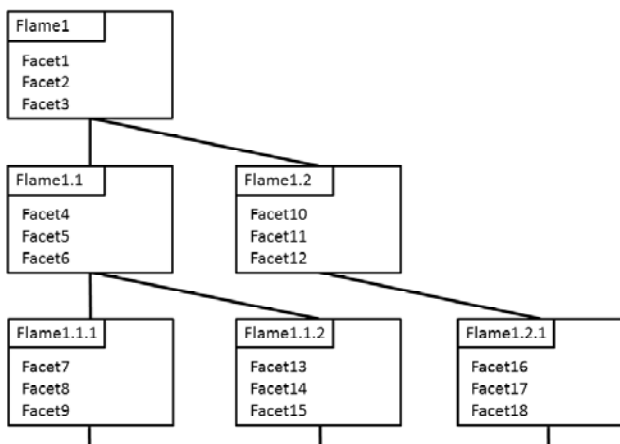


図1 各フレームとファセットの関係

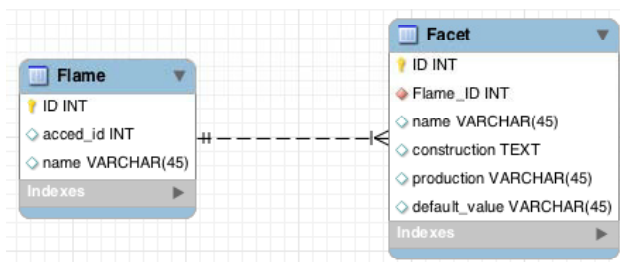


図2 フレームとファセットのER図

ットが入っているフレームの ID とファセット名・説明・プロダクションルールが入る。

以上より、継承が行えるフレームと、その内部にある複数のファセットを実装することができた。

(2) ワーキングメモリの実装

ワーキングメモリは、ハッシュテーブル（連想配列）を用いて実現する。状態名をハッシュ名とし、内容は真偽を持つ場合と数値を用いる場合が考えられるため文字列とする。実際には次のようになる。

```
WorkingMemory = Hash.new
```

ワーキングメモリを追加する場合は、次のように記述する。

```
WorkingMemory[ '状態名' ] = ( '内容' )
```

スケジュール生成には t 時におけるタスクの情報を使う。しかし、過去との関連（例えば肉体的労働を続けて行わないなど）を必要とするルールも存在しうするため、過去のワーキングメモリを残す必要がある。過去のワーキングメモリ (PastMemory) を次のように宣言する。

```
PastMemory = Array.new
```

```
PastMemory[n] = Hash.new
```

ここで n は t 時のタスクである。スケジュールとして採用された優先度が一番高いタスクは、ワーキングメモリ PastMemory に記録する。

(3) プロダクションルールの実装

プロダクションルールは、Facet テーブル内の production カラムに記述する。既存エキスパートシステムでは、一般に Prolog や Lisp など言語で記述することが多い。しかし、これらの言語は関数型プログラミング言語であり、近年主流である C 言語系の記述ではないため可読性が低い。開発を迅速に行い可読性を向上させるため、今回はシステム開発言語である Ruby で直接記述することにした。

例えば、下記のプロダクションルールは、

```
IF 咳が出る THEN 風邪である
IF 風邪 THEN 薬を飲む (結論)
```

次のように表現する。

```
if WorkingMemory[ 'have_a_cough' ]
  WorkingMemory[ 'have_a_cold' ] = true
end
if WorkingMemory[ 'have_a_cold' ]
  conclusion = 'take medicine'
end
```

if の条件とワーキングメモリの内容が一致すると、ワーキングメモリに新たな内容を追加したり変更したりする。conclusion は結論であり、本システムではタスクの優先度となる。

(4) 事実知識の実装

本システムでは3種類の事実知識（タスク情報、ユーザ情報、スケジュール情報）を使う。それをル

ール知識と同様に RDB で表す方法を考える。

タスク情報はタスクに関する情報である。実際のタスクは「数学の講義」「英語の講義」のように扱う内容は同じでも表現は別であったり、また繰り返すを行うタスクもあり、スケジュールに入力するタスク毎にタスクの全情報を決めるのは好ましくない。そこで、タスク情報を入れる Task テーブルと行動の種類を入れる ActionType テーブルとを別に設け、ActionType テーブルの ID を主キーとし、Task テーブルの ActionType_ID カラムを外部キーとして 1 対 n の関連を作る。

事実知識はルール知識の内容により必要な種類や数が増えるので、これも行動の種類と行動の事実知識とを分け、ActionFact テーブルを設ける。ActionType テーブルの ID を主キーとし、ActionFact テーブルの ActionType_ID カラムを外部キーとして 1 対 n の関連を作る。Task テーブルには、使用する ActionType・名前・必要経過時間（必要ならば）・開始時間（必要ならば）・人数が入る。ActionType には行動名が入る。ActionFact には、事実の種類 (FactName) と事実 (Fact) が入る。

ActionType と ActionFact は事前に入力しておき、タスク自体 (Task) はスケジュール追加したいタスクが発生した時に追加する（3. 3 で後述）。

（5）ユーザ情報の実装

ユーザ情報もルール知識により内容や種類が増えるので別テーブルとし、User テーブルの ID を主キーとし、UserFact テーブルの User_ID を外部キーとして 1 対 n の関連を作る。User テーブルにはユーザの名前などが入り、UserFact テーブルには事実の種類 (FactName) と事実 (Fact) が入る。

（6）スケジュール情報

スケジュール情報には、スケジュール生成に使う生成日時や期間などが入る。これはスケジュールを生成するたびに変わるため、HTTP の POST メソッドを使いスケジュール生成毎に入力する。

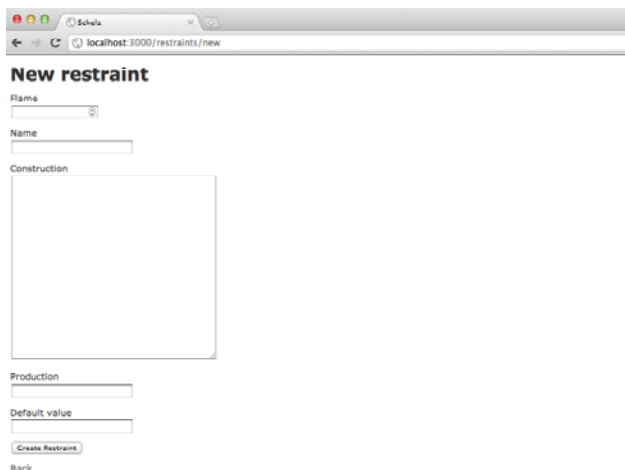


図3 知識入力フォーム

（7）知識エディタ

本来ならば対話的に知識を入力していくことが望ましい。今回は開発を迅速化させるため今後実装するとし、図3のような一般的な入力フォームを用いる。今回、知識の獲得は報告者自身の知識を用いる。

3.3 スケジュール生成の方法

スケジュールに追加したいタスクが生まれたらタスクを追加する。タスク作成に必要な情報は3. 2 で述べた内容である。名前 (Name) はタスクの名前を、ActionType はこのタスクの種類を示す。必要経過時間 (Elapsed time) は、ActionType で経過時間が決まっておらず、それを必要とする場合に入力する。人数 (People) は ActionType が参加人数を必要とする場合に入力する。開始時刻 (Start time) はあらかじめ決まっているタスクのみ入力する。これらにより、ルール知識・事実知識・タスクを獲得し管理することができるので、これらを使ってスケジュール生成が可能となる。

スケジュールは、生成したい期間を時間で区切って考える。今回は1日を1時間ごとで区切って処理したので、1日間のスケジュールで24個のタスクが入る。挿入するタスクは優先度が一番高かったものであり、優先度はプロダクションルールで次のように書かれている。

```
#開始時刻が決まっているタスクを決定する
```

```
if WorkingMemory[ 'StartTime' ]
```

```
    Priority[n] = 1
```

```
end
```

```
#正午に近い時間帯で昼食を取る
```

```
if t<11 && t>14
```

```
    Priority[n] += 0.4
```

```
end
```

```
#連続する肉体労働を避ける
```

```
if PastMemory[t-1][ 'labor' ]
```

```
    Priority[n] -= 0.3
```

```
end
```

このとき、Priority[n] は t 時におけるタスク n の優先度となり、この最も高いタスクが t 時のタスクとなる。スケジュールは、テーブルにタスク ID と DATE で保存される。0 時におけるタスク ID の Task ID0 から 23 時の Task ID23 までである。DATE はスケジュールの日時である。

4. システム構成とシミュレーション

4.1 システム構成

スケジューリングシステムは、外出先からの閲覧やモバイル環境からの使用も想定されるため、ウェブ対応が必要である。そこで、サーバサイドスクリ

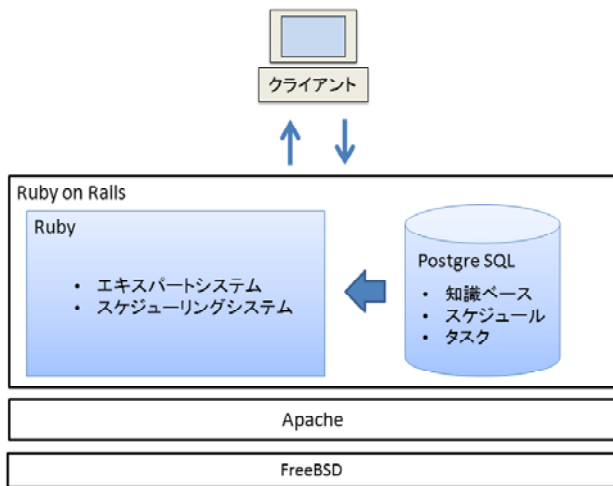


図4 システム構成

プト言語やデータベース，それらを一括で扱うためのウェブアプリケーションフレームワークを使って実装を行う．システム構成は図4のようになる．

サーバサイドスクリプト言語には，可読性を高めるためオブジェクト指向言語の Ruby を，ウェブアプリケーションフレームワークには Ruby で書かれている Ruby on Rails⁵⁾を使用する．データベースには PostgreSQL¹⁰⁾を採用した．これらを動かすサーバプログラムの開発には，Ruby on Railsに標準搭載されている WEBrick¹¹⁾を使った．サーバはすべてオープンソースソフトウェアで構成されており，HTTP サーバの Apache⁶⁾を OS FreeBSD¹²⁾のもとで運用している．

システムの動作は，パソコン・モバイル端末などから，タスクを必要情報とともにデータベースに追加する．タスクが貯まったらスケジュール生成を選択し，知的エージェントを実行してスケジュールを生成する．生成されたスケジュールはデータベースに保存され，いつでも閲覧することができる．

具体的な内部動作は，ブラウザから要求された HTTP リクエストを Apache が受け取り Ruby on Rails に渡す．Ruby on Rails では経路に従い呼び出されたコントローラに情報を渡し，必要ならばモデルを返して PostgreSQL にアクセスし，揃った情報をビューに渡し動的なサイトを生成する．これらの開発では，MacOSX, AptamaStudio3, Vim を用いた．

4.2 シミュレーション

本研究で開発したシステムを使って，実際にタスクを与えスケジュールの獲得を行って，動作シミュレーションを行った．シミュレーションでは，実際の架空のルール知識と事実知識を使いスケジュー

ルを生成している．スケジュール生成期間を9時から20時の12時間分とし，タスクを追加したり変更したりして，スケジュールを生成させた．その結果，利用に支障のないスケジュールが生成できており，基本的な動作確認ができた．

ただ，場面に応じたフレームに実装すべきルールや，競合の処理を行うプロダクションルールの高度化など，実用化に向けての課題が残されている．

5. あとがき

本報告では，多人数でのスケジュール管理の前段階として，個人のスケジュール管理を行うシステムを提案し検討した．本システムは，曖昧さを扱うことができ，さらにプロダクションシステムを場合により使い分けることで，個別ユーザや状況に応じたスケジュールを生成することができるものである．

基本部分の実装を行い，シミュレーションを通して，提案したシステムでスケジュールを獲得できるということが示された．しかしながら現時点ではエキスパートシステムの基本部分が完成したのみであり，フレームの整理や知識の追加，ユーザインタフェースの改善などを整備し，多人数のタスク管理機能の実現が今後の課題である．

参 考 文 献

- 1) 戸内順一：図解 エキスパートシステム入門[新版]，日本理工出版会(1997)．
- 2) 人工知能覚書：<http://fry.no.coocan.jp/lecture/AI/aimemo.pdf>．
- 3) 北橋忠宏：知識情報処理，森北出版(1998)．
- 4) オブジェクト指向スクリプト言語 Ruby：<http://www.ruby-lang.org/ja/>
- 5) Ruby on Rails：<http://rubyonrails.org/>．
- 6) The FreeBSD Project：<http://www.freebsd.org/>．
- 7) The Apache HTTP Server Project：<http://httpd.apache.org/>．
- 8) 現行の知識表現の比較：<http://www.sap-jp.net/mmi/sg001014.htm>
- 9) 池上敦子：“ナース・スケジューリング 調査・モデル化・アルゴリズム-”，数理統計，Vol.153, No.2, pp.231-259 (2005)．
- 10) 芝垣ゆかり，高木繁則，加藤康記，林和代：“制約指向型言語による看護婦スケジューリングシステム”，情報処理学会全国大会論文集，第51回平成7年後期(1)，pp.379-380 (1995)．
- 11) PostgreSQL:The world's most advanced open source database：<http://www.postgresql.org/>
- 12) Gnome's Guide to WEBrick：<http://microjet.ath.cx/WebWiki/WEBrick.html>

学生の学習意欲を維持・発展させることを目指した プログラミング実験の実施報告

大西 淳* 高山 直紀**

A Programming Experiment Aimed at Growing Students' Eagerness to Study

Atsushi ONISHI and Naoki TAKAYAMA

The importance of computer software is continuously increasing in the global marketplace. However, many people are not satisfied with the computer programming education provided by Institutes of Technology and Colleges. Therefore many teachers are trying to improve programming education, and the teaching staff of the Department of Computer and Information Engineering at Tsuyama National College of Technology is no exception. This article reports the results of a new programming experiment introduced into the curriculum of the 2nd year-class. The experiment challenges students to create easy programs, such as the construction of a small game program. We expected that the students would gain motivation to study programming through their attainments with these programming challenges. The results of questionnaires proved our success, with the presupposition that experimental attainments are related to eagerness to study. Our next attempt is to show this presupposition is true.

Key Words: Programming, Experiment, Eagerness

1. 緒 言

家電品など、我々の日常生活を支える工業製品の多くは、それに組み込まれたコンピュータにより動作が制御されている。また、金融機関の ATM サービスなど、日常生活で我々がよく利用するサービスの中にも、コンピュータを中心とするシステムで運用されているものが多く存在する。そのため、製品やシステムを実現することにより便利で豊かな生活を提供しようとする人材の養成機関である工業系大学や高専では、プログラミング技術が重要な教育項目の一つとなっている。

しかし、現状では、多くの工業系大学や高専において、プログラミング教育が世の中の期待に応えられているとはいえない。情報処理推進機構が平成 24 年に公表した資料¹⁾では、製品出荷後に判明した不具合の最多数の原因として、ソフトウェアの不具

合が指摘されている。

このような状況のため、各教育機関では、プログラミング教育の改善に向けて試みが重ねられている²⁾⁻⁷⁾。これは、津山高専情報工学科においても同様である。本稿では、カリキュラム改訂を機に平成 22 年度から津山高専情報工学科第 2 学年の工学実験に導入したプログラミング実験について報告する。この実験の内容を考案するにあたり、著者らは、実験を通して学生にまず成功体験を得させ、そこから達成感やプログラミングのおもしろさを感じさせることができれば、それが入学時に持っていたプログラミングに対する学習意欲の維持や新たな学習意欲の喚起につながる、という仮説を置いた。学生が学習意欲を持って臨めば、その後に受けるプログラミング教育の効果が高くなると考えられるからである。そこで、著者らは、この仮説のもと、プログラミングに関して学生が成功体験を得て、そこから達成感やおもしろさを実感できる、という要件を満足するように実験の内容を考案し、実際に実験を実施した。

本稿では、まず、考案した実験内容を提示する。そして、その後、この実験が上述の要件を満たしていることを確認するために実施したアンケートの結

原稿受付 平成 24 年 8 月 31 日

* 情報工学科

** 研究生

果について考察する。

2. プログラミング実験の内容

本稿で報告の対象とするのは、津山高専情報工学科第2学年を対象に実施したプログラミング実験である。このプログラミング実験は、工学実験（必修科目）の前期課題の一部として、平成22年度からカリキュラム改訂にあわせて新たに導入された。導入した主な目的は、第1学年配当の科目「プログラミング I」の内容を学生に復習させることである。他の目的として、ソースプログラムをエディタを使って入力して実行し、結果に問題があればそれを修正する、という一連のプログラミング作業の経験を反復して積ませるということも掲げている。本稿では、実施初年度である平成22年度と翌23年度を対象として報告する。

1世代前のカリキュラムにおける第2学年の工学実験では、前期にプログラミング実験を実施しておらず、後期においてのみプログラミング実験を実施していた。また、この後期プログラミング実験は、さらにもう1世代前のカリキュラムで実施していた実験課題をベースとして引き継ぎ、現行カリキュラムでも実施しているものであり、難易度が比較的高いのではないかと一部の教員からあがっている。このような状況のため、1世代前のカリキュラムでは、第2学年の後期実験に入った段階で、多くの学生は第1学年で学んだプログラミングの基本事項に習熟しておらず、学生の能力と実験課題との間にギャップが生じていた。本稿で対象とする実験は、この問題を解決するために導入した。

実験は、4回分（4週分）の実験課題で構成されており、1回あたり2コマ（100分）分の課題となっている。平成22年度と平成23年度では、難易度を調整した都合で異なっている課題が多少あるが、概ね同じような課題内容である。このうち、前半2回分は、標準入出力、条件分岐、反復など、JavaScriptを使って「プログラミング I」で学習した基本事項を、典型的な課題を解くことで思い出すようになっている。具体的には、整数の大小判定や自然数の総和と計算などを題材に、テキストに示したサンプルプログラムを、簡単な要件に従って改造するという課題を提示している。例えば、大小判定の条件を変更したり条件を増やしたりする、for文による繰り返し回数をキーボードから入力された値に変更する、for文の入れ子構造を応用して指定した図形を「*（アスタリスク）」で書かせる、などといった課題である。

そして、残る後半2回分は、前半で思い出した基本事項を活用して、じゃんけんゲームを作成し、これを改造していく課題となっている。最初に与える

サンプルプログラムは、標準入力で2人分のじゃんけんの手（グー、チョキ、または、パー）を入力すると、入力されたそれぞれの手を文字列として表示するというものである。これに、勝敗判定する機能を加える、1人分の手を乱数を使って決定するようにする、あいこの場合は決着がつくまで繰り返すようにする、1勝制から3勝先勝制（先に3勝したほうを勝ちとする）に変更する、勝率を表示する機能を加える、といった改造を施していく。

著者らは、実験作成の任を担った後、上述した実験内容を考案して課題としてまとめた。その際、復習と作業習熟という前述した実験導入の目的を意識したのは当然であるが、他にもう一つ別の目標を著者らの判断で掲げた。それは、プログラミングに対する学生の学習意欲をできるだけ維持したり、あるいは、新たに喚起したりできるような実験にしようという目標である。1世代前あるいはそれ以前のカリキュラムにおけるプログラミング教育を振り返ったとき、必ずしも、学生にプログラミング能力が身につけているとは言えない、という反省があった。その原因を、教員あるいは学生の立場から考えたとき、一つ思い当たるのが、多くの学生はプログラミングを楽しいものと考えておらず、それを学習しようという意欲が不足している点である。同様の考察は、プログラミング教育を行っている他の教育機関でもなされている⁸⁾。特に、津山高専情報工学科の1世代前のカリキュラムでは、前述したように、基礎学習の後に十分に習熟する機会を与えず、さらに、半年という空白期間において比較的難易度の高いプログラミング課題にとりくませており、このような実験の構成には不合理を感じた。

そこで、著者らは、次の4点に留意して実験課題の考案・作成を行った。これらの留意事項は、総じて、学生にまずプログラミングに関する成功体験を得させ、そこから達成感やおもしろさを感じさせることができれば、それが入学時に持っていたプログラミングに対する学習意欲の維持や新たな学習意欲の喚起につながる、という著者らの仮説に基づいて設定したものである。

- 1) 前半2回分の課題の難易度は極力低くし、できるだけ自力で、時間内に必ず完成できる課題にする。これらの課題を完遂することにより、多くの学生に成功体験を得させて達成感を感じさせ、後半の実験に向けてプログラミングをおもしろいと感じさせる。
- 2) 後半2回分の課題に取り組んだ後には、直感的に実現法を思いつくわけではない、よく見かける常識的な機能を複数持つ、やや規模の大きい身近な題材のプログラム作品を完成できるよう

にする。この成功体験を通して、さらにプログラミングのおもしろさを感じてもらう。

- 3) 特に後半 2 回分の課題を作成するにあたっては、極力、これまでの授業で学習した内容のみで完成できる題材を探す。具体的には、高度なグラフィック機能や再帰など、特殊・高度な機能や技巧を必要とせず、標準入出力、条件分岐、反復など基本的な機能と技法のみで実現できる題材を探す。これは、これまで学習してきた内容は十分に意味があったと自覚させると同時に、実験の難易度を上げないための留意事項である。
- 4) 学生間の能力差を吸収できるよう、必ず取り組まなければならない「必須課題」以外に、能力や時間に余裕があるもののみ取り組めばよい「任意課題」を設ける。特に、能力差が顕著になる後半 2 回分は「任意課題」を活用し、時間切れでどの課題で実験終了となっても、能力に応じて達成感を得られるようにする。

3. アンケート調査

3. 1. アンケートの概要

作成した実験課題を評価するため、導入初年度の平成 22 年度と翌年の平成 23 年度にアンケート調査を行った。アンケートの対象となった平成 22 年度および平成 23 年度の情報工学科第 2 学年の工学実験履修者数は、それぞれ、43 人および 40 人である。ただし、この中には、欠課その他の理由により、設問ごとに未回収や無回答だった学生が含まれる。

アンケートの主な目的は、2 章で述べた学習意欲に関する著者らの留意に対して学生がどのように反応したかを確認することである。この目的に添う質問項目として、次の 3 つに大別される内容を設定した。ただし、平成 22 年度と平成 23 年度のアンケートでは、実験課題が一部変更になったり、アンケート実施方法を見直したりしたため、質問の数や具体的な質問文は完全には一致しない。

- 1) 難易度や所要時間に関する質問（選択回答）
- 2) 成功体験や達成感に関する質問（選択回答）
- 3) 能力差の吸収に関する質問（選択回答、自由記述）

3. 2. 難易度などに関するアンケート結果

難易度および所要時間に関するアンケート回答の集計結果を、百分率を使って表 1 から表 3 に示す。なお、前述したように、質問ごとに回答総数が異なるが、集計の都合上、いずれの質問でも、分母は工学実験の履修者数（平成 22 年度は 43、平成 23 年度は 40）としている（以下、別の集計結果でも同様）。

表 1 難易度に関するアンケート結果（4 週分全体）

問い：難易度はどれくらいでしたか？（択一回答）				
	平成 22 年度		平成 23 年度	
	前半	後半	前半	後半
簡単すぎる	7.0%	0.0%	7.5%	2.5%
ちょうどよい	65.1%	34.9%	62.5%	62.5%
難しすぎる	14.0%	51.2%	20.0%	27.5%

表 2 難易度に関するアンケート結果（各週）

問い：難易度はどれくらいでしたか？（択一回答）				
	平成 22 年度			
	1 週目	2 週目	3 週目	4 週目
簡単すぎる	2.3%	4.7%	0.0%	
ちょうどよい	37.2%	27.9%	23.3%	
難しすぎる	14.0%	11.6%	25.6%	
	平成 23 年度			
	1 週目	2 週目	3 週目	4 週目
簡単すぎる	7.5%	2.5%	7.5%	2.5%
ちょうどよい	60.0%	62.5%	62.5%	60.0%
難しすぎる	22.5%	27.5%	22.5%	25.0%

表 3 所要時間に関するアンケート結果

問い：時間が足りなかった週がありますか？（重複回答）		
	平成 22 年度	平成 23 年度
1 週目	11.6%	35.0%
2 週目	27.9%	27.5%
3 週目	51.2%	17.5%
4 週目	44.2%	22.5%

また、前述したアンケート実施方法の違いなどの事情により、表 2 の平成 22 年度分の結果について、1 週目から 3 週目の回収率が他の結果に比べて悪くなっていること（約 50%）と、時間の都合で 4 週目のアンケートが実施されなかったことに注意を要する。

全 4 週分の実験を終えた後に全体的な難易度を問うた結果を示す表 1 と、4 週目を除いて各週の終わりにその週の難易度を問うた結果を示す表 2 を見ると、前半課題の結果は両年度であまり変化がないが、後半課題の結果は大きく変化していることがうかがえる。これには、平成 22 年度のアンケート結果を反省し、平成 23 年度後半課題を変更したことが影響していると考えられる。具体的には、平成 22 年度の 4 週目の課題（2 次元配列を応用した迷路ゲームの作成）を削除し、平成 23 年度は、平成 22 年度の 3 週目の課題（じゃんけんゲームの作成）にいくつか新たな課題を追加して、3 週と 4 週の 2 週にわたって実施するよう変更した。

このような課題変更の結果、平成 23 年度は、前半後半とも、「ちょうどよい」の回答が 60%以上を占

めて最多数となり、また、「簡単すぎる」の回答が10%未満と最少数となり、平成22年度前半と同じような傾向となった。「難しすぎる」の回答が30%弱を占める状況の善し悪しについては、断定的な判断は難しい。現時点で著者らは、次の理由により、この「難しすぎる」の回答状況には問題がないと判断している。

- ・「難しすぎる」の回答数は、クラスで6人～11人である。プログラミング実験は、クラスを3グループに分けて、グループごとに時期をずらして実施するため、同じグループ内で「難しすぎる」と回答した学生は、2人～4人程度と考えられる。また、著者らが実際に実験を担当して学生に対応した状況を顧みると、実験中に質問は多数寄せられたが、質問の多くは、if文やfor文の構文など、第1学年で学習済みの内容を思い出すためのもの¹であった。この程度の人数と質問内容であれば、教職員は十分に対応できている。プログラミング以外の課題の実験担当の経験と比べても、学生の実験態度などに問題はない。
- ・提出された実験レポートを確認しても、到達度や取り組みについて、他の実験との差異は認められない。

以上のことから、変更後の平成23年度の実験課題の難易度について、著者らは問題ないと判断している。

また、表3に示す所要時間に関するアンケート結果についても、実際に実験を担当した経験や提出された実験レポートを考慮に入れて、著者らは大きな問題はないと判断している。前述した後半課題の変更が、この結果にもよい方向で反映されている。

他に表3から読み取れることとして、1週目の回答数が平成23年度に増加していることがあげられる。その原因としては、平成23年度の1週目にあった標準入出力の復習課題に、新たに変数の型変換に関する課題を追加したことが考えられる。この課題追加に関して、表1の前半と、前述した回収率の違いに注意しながら表2の1週目の難易度に関するアンケート結果を参照すると、両年度の間で著しい変化は見られず、平成23年度は課題を追加したことにより単に時間不足に陥っただけと考えられる。この時間不足も、実験運用の工夫（実験時間の多少の延長や2週目への繰り越しなど）で十分カバーできている。

まとめると、断定的な判断が難しいところはあるが、アンケート結果と実際の実験の状況とを考え合わせて、平成23年度の実験課題に難易度と所要時間に関する問題はない、と著者らは判断している。

3. 3. 成功体験などに関するアンケート結果

次に、成功体験や達成感に関するアンケート回答の集計結果を、表4、表5、および、表6に示す。なお、表5と表6は、ともにおもしろかった課題を問う質問の結果であるが、平成22年度と平成23年度

表4 達成感や満足感に関する質問の結果

問い：今回の実験で、達成感や満足感を得られたと感じたことはありますか？（重複回答）		
	平成22年度	平成23年度
いろいろなプログラムを動かすことができたとき	53.5%	55.0%
任意課題を解くことができたとき	4.7%	27.5%
今まで知らなかった知識が得られたとき	32.6%	37.5%
プログラムにランダムな動きをもたせることができたとき	18.6%	15.0%
勝率などゲームの要素を実装することができたとき	25.6%	17.5%
上記以外	4.7%	2.5%
（どの選択肢にも印がない回答）	11.6%	10.0%

表5 おもしろかった課題を質問した結果（平成22年度）

問い：おもしろかった課題はどれですか？（重複回答）	
1週目：値の出力	9.3%
2週目：while文の条件を変更	4.7%
2週目：2次元配列	9.3%
3週目：じゃんけんの手を乱数で決めるよう改造	48.8%
3週目：3回勝つまでじゃんけんを続けるよう改造	25.6%
3週目：-1が入力されるとじゃんけんをやめるよう改造	18.6%
4週目：キーボード入力で迷路を移動	20.9%
（どの課題にも印がない回答）	2.3%

表6 おもしろかった課題を質問した結果（平成23年度）

問い：おもしろかった課題はどれですか？（重複回答）	
1週目：変数の型変換	7.5%
2週目：while文の条件を変更	10.0%
2週目：2重ループで四角を表示	17.5%
2週目：2次元配列	7.5%
3週目：じゃんけんの手を乱数で決めるよう改造	45.0%
4週目：3回勝つまでじゃんけんを続けるよう改造	37.5%
4週目：-1が入力されるとじゃんけんをやめるよう改造	27.5%
4週目：勝率表示などじゃんけんをさらに改造	25.0%
（どの課題にも印がない回答）	10%

¹ 実験でJavaScriptの実行環境として利用しているWebブラウザで、エラーメッセージを表示させる方法を知らない学生が多い。

では課題が一部異なっているため、表を分けている。また、紙幅の関係で、この質問の選択肢は主要な課題のみとし、全課題はあげなかった。

表 4 は、実験を通して達成感や満足感を得られた経験があれば、その状況と一致する選択肢に印をつけてもらった結果を示している。全く印をつけなかった学生、すなわち、4 週の実験を通して全く達成感や満足感を得られなかった学生が、残念ながら約 10% 存在したことがわかる。その一方で、「いろいろなプログラムを動かすことができたとき」という選択肢に印をつけた学生と、印をつけなかった学生の割合を比較すると、印をつけた学生が過半数であり、プログラムを動かすことで達成感や満足感を得られなかった学生より多いことがわかる。この結果に基づいて、著者らが配慮事項として想定した、課題を完遂させることが学生の達成感につながる、という考えは間違いではなかったと考えている。

また、このように過半数の学生が、いろいろなプログラムを動かすことができたときに達成感を感じたと回答したという結果は、学生にとって解決可能な難易度の課題が、学生が達成感を感じるのに十分な数だけ今回の実験に含まれていたことを示しているとも考えられる。この結果は、表 1 と表 2 に加えて、今回の実験課題の難易度が妥当であることを補強する事実であると考えられる。

続いて、表 5 および表 6 を見ると、いずれも後半、すなわち、3 週目と 4 週目の課題の数値が高くなっており、やや規模の大きいプログラム作品を完成させることでプログラミングのおもしろさを感じてもらおう、という著者らの狙いは、概ね達成できていると判断している。実験を実施する前は、実験の難易度が高すぎて意欲を失う学生が出るのではないかと心配していた。しかし、この心配は表 1、表 2 および表 4 の結果で解消され、このことが表 5 や表 6 の結果につながっていると考えられる。他の心配として、利用する機能や技巧が低すぎて、後半課題の題材が学生の興味を引きつけるものになっていないのではないか、というものもあった。しかし、この心配も表 5 や表 6 の結果により解消されたと考えている。ただし、さらに高い数値を目指して後半課題を改良する必要性を感じている。

また、表 5 と表 6 では、前半の数値が低くなっている。その原因としては、後半との相対的な判断が入っていることが考えられ、それが原因ならば大きな問題はないと著者らは判断している。他に、表 5 と表 6 において後半の数値が比較的高くなっていることから、前半で興味を失った学生は少ないことも推測される。この点からも、著者らは、前半の数値が低いことについては、あまり心配していない。ただし、後半課題と同様、前半課題についても、さら

に高い数値を目指して改良する必要性を感じている。

以上、本節の考察および 3. 2 節の考察から、学習意欲に関して著者らが留意した事項のうち、1) ～ 3) については、平成 23 年度に実施した実験課題で十分に反映されていると判断している。

3. 4. 能力差の吸収に関するアンケート結果

最後に、能力差の吸収に関するアンケート回答の集計結果を表 7、表 8、表 9、および、表 10 に示す。

表 7 任意課題に取り組んだか否かを質問した結果

問い：任意課題には取り組みましたか？（択一回答）		
	平成 22 年度	平成 23 年度
積極的に取り組んだ	9.3%	25.0%
自分でできそうなものを選んで取り組んだ	7.0%	15.0%
時間が足りないなどの理由で取り組まなかった	55.8%	40.0%
任意課題はやるつもりがなかった	11.6%	12.5%

表 8 任意課題はあったほうがよいか否かを質問した結果

問い：任意課題はあったほうがよいと思いますか？（択一回答）		
	平成 22 年度	平成 23 年度
あったほうがよい	16.3%	32.5%
どちらかというともあったほうがよい	25.6%	32.5%
どちらかというともいらない	34.9%	20.0%
いらない	7.0%	7.5%

表 9 任意課題の必要性を質問した結果

問い：なぜ必要だと思いましたか？（択一回答）		
	平成 22 年度	平成 23 年度
高いレベルを要求されてやる気が出る	2.3%	27.5%
早く解けた人が時間を有効に使える	23.3%	40.0%
解けそうにない問題でも飛ばして先に進める	4.7%	2.5%

表 10 任意課題の不要性を質問した結果

問い：なぜ不要だと思いましたか？（択一回答）		
	平成 22 年度	平成 23 年度
任意であればやりたくない	9.3%	10.0%
できなかったときくやしい	0.0%	2.5%
必須と任意の区別がややこしい	9.3%	5.0%
課題を飛ばして先に進むのがすっきりしない	11.6%	7.5%

なお、表9および表10に関する質問の対象者は、それぞれ、表8の回答で「あったほうがよい」、「どちらかといえばあったほうがよい」と回答した学生および「どちらかといえばいない」、「いない」と回答した学生である（百分率の分母は、他の表と同じく、履修者数）。また、表9と表10のアンケートには「その他」の選択肢も挙げていたが、省略してある。

表7の結果から推測されるのは、プログラミング実験に対する意識の差が両年度の間で存在したことで、平成23年度の学生の方が意識が高いと考えられる。この違いは、表8の結果や、表9の「高いレベルを要求されてやる気が出る」の結果に影響していると思われる。他に、これまでに示してきた表1～表6の結果にも影響しているかもしれない。

このような意識の差の影響を考えても、著者らは、表8の結果から、任意課題の存在は学生に受け入れられていると判断している。表8の質問に回答した理由に関するアンケート結果を、表9および表10に示す。これらの表で省略した「その他」を選択したのに対しては、自由記述で理由を問うていた。その結果、あったほうがよいとする理由としては、「いろいろな問題が解けるから」、「やりたい人がいるかもしれないから」、「好奇心旺盛な人がいるから」、「応用問題に挑戦することで実力UPするから」といった回答があった。また、なかったほうがよいとする理由としては、「時間が足りない」、「問題が多すぎる」といった回答があった。これらの自由記述による回答や表8の結果から、直接、任意課題があったほうがよいか否かは判断できない。しかし、自由記述の回答や表9および表10の結果を俯瞰してみれば、アンケートに回答する学生の態度に特に問題は感じられず、まじめにアンケートに取り組んでくれていると判断できる。この前提のもとで考えれば、表8の結果は学生の正直な気持ちを表しているのではないかと考えられる。さらに、表7の結果についても、学生なりに妥当な判断で任意課題に取り組んでくれており、著者らの留意事項4)も、十分に実験課題に反映できているのではないかと考えている。

4. ま と め

本稿では、平成22年度から津山高専情報工学科第2学年の工学実験に導入したプログラミング実験について報告した。課題を考案する際、学生に成功

体験を得させ、そこから達成感やプログラミングのおもしろさを感じさせる実験になるよう、著者らは、課題の難易度や課題解決に必要とする機能の種類などに気を配った。そして、この実験を平成22年度と平成23年度に受講した学生に対してアンケートを実施したところ、学生に達成感やおもしろさを感じさせるという著者らの狙いは実現できているという結果が得られた。

しかし、学生に達成感やおもしろさを感じさせることが、入学時に持っていたプログラミングに対する学習意欲の維持や新たな学習意欲の喚起につながっていく、という論理については、未だ仮説のままである。今後、本稿に掲載できなかった未整理のアンケート結果について考察を加えたり、新たにアンケートを実施したりすること、あるいは、他で行われた研究の成果を調査して活用することにより、この仮説を実証することが、残された課題である。他に、3.4節で述べた、プログラミングに対するクラスごとの意識の違いが、実験後の意識やアンケート結果に及ぼす影響について考えることも、今後の課題の一つに挙げられる。

謝 辞

本研究の一部は、JSPS 科研費 23501196 の助成を受けて実施している。ここに記して感謝する。

参 考 文 献

- 1) 情報処理推進機構 IT人材育成本部：IT人材白書2011，情報処理推進機構，(2012)87
- 2) 大西建輔ほか2名：プログラミング、何をどう教えているか，情報処理，51,10(2010)1341-1346
- 3) 有村光晴ほか4名：プログラミング、何をどう教えているか，情報処理，51,11(2010)1485-1491
- 4) 増原英彦ほか1名：プログラミング、何をどう教えているか，情報処理，51,12(2010)1627-1632
- 5) 伊藤一成：プログラミング、何をどう教えているか，情報処理，52,1(2011)111-113
- 6) 高田喜朗ほか1名：プログラミング、何をどう教えているか，情報処理，52,2(2011)210-215
- 7) 槇島和紀ほか1名：プログラミング、何をどう教えているか，情報処理，52,3(2011)361-367
- 8) 角田博保：プログラミングはたのしいですか？，情報処理，52,12(2011)1561

新天体観測室の構築とすばる望遠鏡の利用法

佐々井 祐二*

Construction of a New Astronomical Observatory and How to Use the Subaru Telescope

Yuji SASAI

We are performing various activities for astronomy education, such as open lectures for elementary and junior high school students entitled "Astronomical Observation Meeting - You can be a future Galileo too!" We have constructed a new astronomical observatory, which is equipped with a 35cm diameter ACF (Advanced Coma-Free) telescope. Moreover, for astronomy education and study, we investigated how to use the astronomical data of the Subaru telescope operated by the National Astronomical Observatory of Japan.

Key Words : Astronomy Education, Astronomical Observatory, Subaru Telescope

1. 緒 言

津山工業高等専門学校応用物理研究室では 2009 年 3 月に、口径 35cm シュミットカセグレン式望遠鏡と口径 4cm H α 太陽望遠鏡を装備するスライドルーフ天文台を構築し、本校 3 年の自発的学習科目チャレンジゼミナールあるいは 5 年卒業研究の学生と共に、天体の測光・分光観測など様々な天文教育研究活動を行っている。世界天文年 2009 から小中学生対象の公開講座「天体観測会—君も未来のガリレオだ！—」^{1),2)}を年 4, 5 回行っており、好評である。2012 年度は津山市公民館から依頼された「天体観測教室」を 2 回行った。5 月 21 日の大規模部分日食、6 月 6 日の金星の太陽面通過についても、校内向け観察会を開催し好評であった³⁾。また、岡山県井原市にある美星天文台はアマチュア天文家育成のため、公募審査により 101cm 望遠鏡の使用を許可しているが、本研究室では学生と共に公募観測を行っている。学生も貴重な体験ができ、観測やその後に高専で行うデータ解析作業について、非常に熱心に取り組んでいる。

口径 35cm シュミットカセグレン式望遠鏡に加え、本研究室では 2012 年 3 月に口径 35cm ACF (Advanced Coma-Free) 式天体望遠鏡を大型赤道儀に同架させた天体観測室を、2012 年 3 月に本校の校舎屋上に構築し、天文教育活動に使用している。

本稿では、新天体観測室の概要説明と、調査中

の国立天文台すばる望遠鏡の教育的利用について報告する。

2. 新天体観測室構築状況

2008～2010 年度の科学研究費、2008 年度本校重点整備費他により、口径 35cm シュミットカセグレン式天体望遠鏡（経緯台式）と冷却 CCD カメラ、口径 4cm H α 太陽望遠鏡等の装備品からなる天体観測室を津山工業高等専門学校の校舎 B 棟屋上に設置した⁴⁾。Web で操作するインターネット天文台構築と共に 3 年チャレンジゼミ生の教育、天体観測会に供している。

口径 35cm シュミットカセグレン式望遠鏡 LX200GPS-35 は世界最大の望遠鏡メーカーの Meade 社製で業界標準の制御コマンドを有している。しかし、2008 年度の国内総代理店の都合で新品が入手できず、中古品を入れている。光軸調整など行っているが経年変化の影響は否めない。新品と換装すると共にインターネット経由で科学データも取得可能とするよう進化させたい。つまり、コマンド系を調査の上、長時間露光可能な赤道儀式に変更を行い、より利用に適した形態とすることを目論んだ。当初は、既設観測室の天体望遠鏡を換装する計画であったが、中古品とはいえ、天体望遠鏡とピラー脚を含めて 100kg 程度をコンクリート基礎にボルト固定しており、最適化された状態であるので、そのまま利用することにし、新観測室構築を目指した。

2.1 天体観測室設置作業

2011～2013年度の科学研究費、2011年度本校教育研究活動支援経費・経営戦略経費他により、口径35cm ACF式天体望遠鏡を大型赤道儀に同架させた新天体観測室を、2012年3月に本校の校舎E棟屋上に構築した。

天体観測用スライドルーフ観測室は協栄産業製SR23DAであり、そのサイズは縦2m×横3m×高さ1.8m(ルーフオープン時1.4m)、重量約0.8トンである。ただし、コンクリート基礎重量は約2トンある。また、特別にルーフ電動化準備済仕様としており、2012年度中に電動化の予定である。

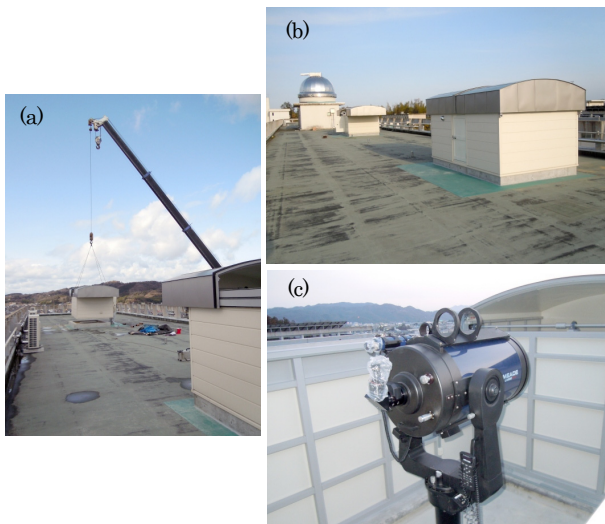


図1 天文台設置工事 (a) 吊上搬入 (b) 屋上設置(手前より、西観測室、東観測室) (c) 移設直後の東観測室望遠鏡

校舎E棟屋上に、2012年2月4日防水シート補強工事、2月18日と3月3日コンクリート基礎工事を行った。コンクリート基礎が固まった3月19日観測室移設(東観測室)と新設工事(西観測室)を耐震壁上に行った。観測室をクレーンにて屋上に吊り上げ(図1(a))、基礎の上にアンカーボルトで固定した(図1(b))。東観測室は移設なので、業者が経緯台ピラー脚と天体望遠鏡(図1(c))を移動させ、ボルト固定した。3月28日と29日には電源とLANの配線工事を行い、東観測室のルーフが電動開閉するようになった。

新設の西観測室(図2(a))については、観測室設置業者と天体望遠鏡納入業者が異なるため、望遠鏡の設置については本校で行わなくてはならなかった。3月30日には、西観測室に重量が約100kgある赤道儀ピラー脚を本校職員に手伝って頂きながら搬入した。両観測室のコンクリート基礎については、重量軽減のため観測室を支えるロ字型基礎と望遠鏡ピラー脚を支える円柱形基礎から成る布基礎と呼ばれるタイプである。しかし、床がフラットではなく、室内の有効活用が図れず、観測

会で子供達が入室する際の安全面が心配された。そこで、4月14日、近郊の木工業者に、床がフラットになるように木材で床を貼り、シートを貼ってもらった。東観測室とピラー脚をコンクリート基礎に固定する際に用いたアンカーボルトはM12のタイプであった。しかし、西観測室のピラー脚の固定には非常に太いM20のタイプを指定されており、これも近郊の業者にやってもらった。今回の観測室移設と設置については、コンクリート基礎の軽減化、利便性と安全性に配慮して進める関係で、問題があれば特に本校施設係に協力を依頼し、解決していった。

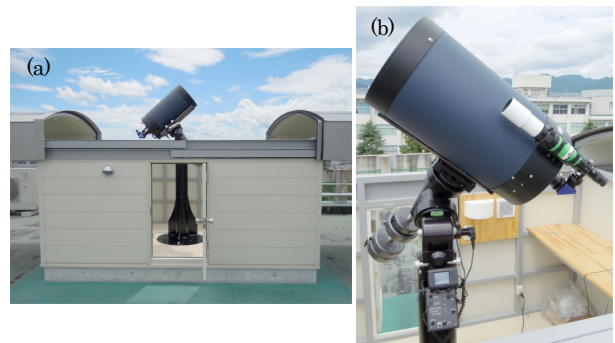


図2 西観測室 (a) 外観 (b) 口径35cm望遠鏡と赤道儀、コントロールボックス

2.2 主要装置概要

主望遠鏡を説明する。鏡筒は米国Meade社の口径35cm ACFのLX200ACF-35⁵⁾である。ACFはシュミットカセグレン光学系のコマ収差を排除し、平坦でシャープな像を結ぶ光学系である。

赤道儀は米国Losmandy社のHGM TITAN赤道儀⁵⁾である(図2(b))。ピリオディックエラー±5秒角以内、最大搭載重量約45kg(撮影用鏡筒搭載時)である。もちろん、現在35kg使用しているカウンターウェイトは搭載重量に含まれない。

自動導入コントローラについては、同社のGemini 2^{5), 6)}を使用する。Gemini 2は初めてタッチパネルを採用した赤道儀コントローラであり、操作性に優れる。また、Gemini 2はGemini Level 4のCPUを強力にし、メモリを増やし、タッチパネル等よりユーザインタフェースを向上させたモデルである。Level 4の主な特徴は以下の通りであり、Gemini 2も準拠している。

- ・内蔵データベースは41,000天体(Messier=110個, NGC=7840個, IC=5386個, Sh2=313個, Bright Stars=167個, SAO=17635個)である
- ・導入精度は全天で3分角未満、領域限定で1分角以内
- ・制御ソフトウェアにはThe Sky(LX-200互換プロトコル)他がある

一般的に、赤道儀を利用する際には、極軸を天の北極へ向けなければならない。北極星は、2000年分点で約 44 分角だけ天の北極から離れている。つまり、北極星は他の天体と同様に日周運動をしている。極軸を適当に合わせても、眼視による観望には差し支えないが、写真撮影のためには極軸を天の北極に 1 分角程度に調整する必要がある、そのために通常は極軸望遠鏡を使用する。しかし、極軸望遠鏡は月 1 個分以上天の北極から離れた北極星まで視野に収めるため低倍率であり、製作や調整に誤差がある可能性もある。厳密には、ノートタッチガイドの場合で、実際に星を高倍率で長時間追尾しながら方位角と高度の極軸修正機構により、少しずつ修正するしかない。ただし、現在はオートガイダーを用いることにより、少し甘い極軸であっても写真撮影を行うことができる。

TITAN 赤道儀にも極軸望遠鏡はあるが、極軸の外に平行に取り付ける珍しいタイプである。Losmandy 社を始め米国の天体望遠鏡メーカーは、極軸望遠鏡は補助手段として、ソフトウェア的に極軸合わせをする傾向のようである。

Gemini 2 では、高精度の自動導入を実現するため、複数の基準星を導入してモデルを構築するモデリングを一度行う必要がある。モデルとは、データベース座標と望遠鏡が指向する天球座標との正確なシンクロナイズを実現するためのパラメータのことである。導入する基準星の数が多いほど高精度になる。これにより、架台の極軸誤差に関係なく、地平線上の全天球の天体を高精度に導入することができる。ただし、高精度自動追尾機能を実現するには正確な極軸合わせが必要である。また、Gemini 2 では、コーンエラーを考慮し、子午線を挟んだ東半球と西半球で別々にモデルを構築する。モデリングでは基準星 1 個までで赤経・赤緯軸の座標エラーの補正、5 個までで極軸エラーの補正、9 個までで赤経赤緯両軸の非垂直パラメータを加えて補正、10 個以上で鏡筒やカウンターウェイトのたわみまで補正する。このモデリングだけで、充分眼視に耐えられるようになる。

モデリング後、PAC (Polar Axis Correct) により、合致精度 2 分以内の正確な極軸合わせが可能となる。天の北極から離れた天の赤道に近く子午線付近の基準星を選び、アイピース中央に導入する。次に PAC ボタンをタッチすると、Gemini 2 が計算したその基準星があるべき位置まで鏡筒が移動する。赤道儀の極軸調整 (方位、仰角) 機構を使用し、手動でアイピースの視野中央まで入れ直す。これにより、極軸合わせが完了する。ただし、PAC を使用するためには、鏡筒のスタートポジションがある程度は天の北極を向いている必要があるよ

うである。

モデリング等の初期設定が済んだ Gemini 2 の利用は非常に簡単である。もちろん、プラネタリウムソフトで制御することも簡単であるが、細かい調整ができないので、遠隔制御以外ではタッチパネルのコントローラを利用するのが便利である。

2. 3 天体観測室利用方法

以下に利用の流れを示す⁶⁾。

(1) 観測室準備

北側ドアから室内に入り、合わせ目のロックを解除しルーフを開ける。もちろん、35cm 鏡筒とファインダーのダストカバーを外しておく。

(2) Gemini 2 起動

メインコントロールパネルの電源を ON にすると、暫くしてスタートメニュー画面が表示される。ここで、「Warm Restart (ウォームリスタート)」をタッチし選択する。これは、望遠鏡を据え付けていて、鏡筒が前回観測終了時のままの姿勢の場合の起動メニューである。ただし、Gemini 2 の水晶発振器の性能の問題で、時刻がずれやすいので、間隔の開いた観測の際にはメニュー一覧 (図 3) 「TIME」メニューから時刻合わせをしておくが良い。後述の PC を接続すると、自動的に時刻を取得する。本望遠鏡は据付使用するので、絶対的な必要はないが GPS レシーバの利用も便利である。ただし、時間帯によっては GPS 受信に時間が掛かることがある。

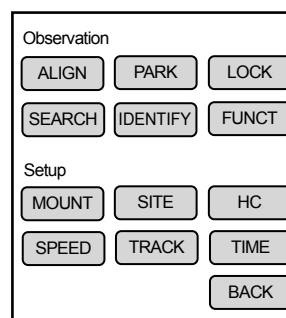


図3 メニュー一覧

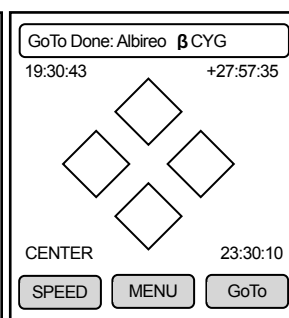


図4 トップ画面

(3) 望遠鏡コントロール画面

望遠鏡の方向を変えるには「方向ボタン」をタッチする。アイピースを覗きながらの導入作業には、コントローラ裏面の「方向ボタン」(タッチパネルではない) が便利である。トップ画面 (図 4) の「MENU」をタッチするとメニュー一覧 (図 3) が表示される。「SPEED」をタッチすると、「方向ボタン」を実行する際の架台の駆動スピードが、「SLEW」→「MOVE」→「CENTER」→「GUIDE」の順に遅くなる。「GoTo」をタッチするとデータベース一覧 (図 5) が表示される。

(4) データベース一覧

「Bright Star」は Gemini 2 の基準星リストである。「Catalog Object」は 3 画面に渡って表示される天体カタログである。「Solar System」は月を含む太陽系の全惑星カタログである。「Coordinate Input」は赤経赤緯座標を直接入力するメニューである。また、「Park」は望遠鏡終了時のメニューである。

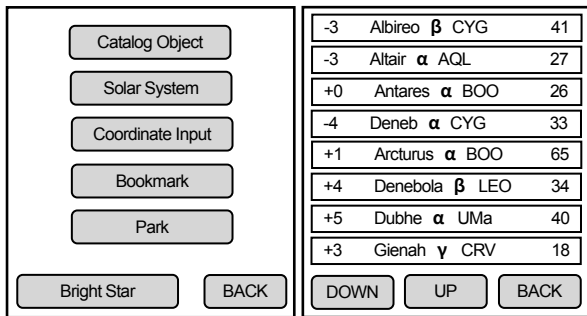


図5 データベース一覧

図6 基準星一覧

(5) 観測

例として、こと座の恒星アルクトールスの導入を考える。まず、データベース一覧画面を表示させ、基準星一覧「Bright Star」(図6)を選択する。現在、観望可能な2等星以上の基準星のリストが表示される。「UP」や「DOWN」をタッチして、「Arcturus」を選択する。左の「+1」は時角、右の「65」は高度を表す。「Arcturus」をタッチするだけで架台が移動し、アルクトールスの導入が行われる。アイピースの視野中央からずれて導入された場合は、「方向ボタン」で視野中央に導入する。また、口径35cm鏡筒の下部のピントノブ(上のノブはミラーロック)を回し、適切なピントに合わせて、アルクトールスの観察を行う。ルーフが観察の妨げにならないように、架台の不動点高を高くしてあるので、高度の低い天体の観察には踏み台を使用する。落ちないように、安全面の留意が必要である。

(6) 終了

鏡筒を天の北極に向けた状態では、鏡筒上部はルーフよりも高い位置にあり、ルーフを閉じることができない。そこで、観測終了時には「Park」—「Park at Home Position」を選択する。予め設定した望遠鏡を横に寝かせる位置まで架台が移動してから停止する。通常は電源をOFFとする。望遠鏡のダストカバーをはめて、ルーフを閉めれば、全て終了する。

西観測室は通常のア天文台として利用可能になっているので、既に、3年チャレンジゼミ生を補助学生とした天体観測会などに使用されている。

今後の計画を述べる。Gemini 2 には Ethernet ポ

ートがあり、IP アドレスを割り当ててネットワーク上から Web ブラウザ経由で、ハンドコントローラと同等の操作ができる。遠隔で天体撮影するには、電動ピント調整機構が必要で、MoonLite Telescope Accessories の MoonLite CS Focuser を用いる。最近はパルスカウントによって制御できる天体機器のドライバの統合パッケージとして、Windows 用にはオープンソースの ASCOM Platform がある。Linux 用には同様の INDI がある。フォーカサーも含め、冷却 CCD など ASCOM や INDI を利用することで、インターネットの Web ブラウザ上から科学的データ取得可能な天文台を構築することが可能となる。現在の東観測室とは内容が異なるが、本校学生の卒業研究などで遠隔制御に取り組んでいくことも意味がある。

3. すばる望遠鏡の利用法

国立天文台ハワイ観測所のすばる望遠鏡は、標高 4,200m のハワイ島マウナケア山頂にある口径 8.2m の大型光学赤外線望遠鏡である⁷⁾。著者は 2012 年 9 月にハワイ観測所にて開催される「第 8 回 最新の天文学の普及をめざすワークショップ」に参加する。科学コミュニケーターの立場から、すばる望遠鏡の成果を利用した実践やすばる望遠鏡のアウトリーチ活動として「高専からの教育的利用」についての要望を発表する予定である。ここでは、すばる望遠鏡の簡単な紹介と教育的利用のアイディアについて述べる。

現在、口径 8m 以上の望遠鏡は世界には 8 箇所程度あるが、すばる望遠鏡は分割鏡でなく単一鏡としては世界最大級の口径 8.2m であり、天体からの微弱な光を集めることができる。また、すばると比較して集光力が 13 倍、解像力が 4 倍の口径 30m 次世代超大型望遠鏡 TMT (Thirty Meter Telescope) も 2018 年観測開始を目指し、計画が進んでいる。

3.1 すばる望遠鏡の最新技術

すばる望遠鏡の最新技術をまとめる⁷⁾。

(1) 主鏡を支える能動工学

すばる望遠鏡の口径 8.2m 鏡は、重量を最小にするため厚さが 20cm しかなく、鏡を傾けると歪んでしまう。そこで、261 本のアクチュエータが裏側から支え、主鏡の形を理想的に保持する。

(2) 空気の揺らぎを抑える円筒型ドーム

外部の乱流を含んだ空気を流入させないように、風通しが良く、内部の熱を効果的に排出することができる。

(3) 観測装置自動交換システム

標高 4,200m のマウナケア山頂で、安全、正確に観測装置を交換するために、自動交換装置を多く取り入れている。

(4) すばる望遠鏡 4 つの焦点

すばる望遠鏡は、主焦点、カセグレン焦点、そしてナスミス焦点 2 個、合計 4 個の焦点を持っている（図 7）。主焦点は主鏡に入射した平行光線が焦点を結ぶ所で、視野を広く取れ、ファイバー多天体分光器 FMOS や主焦点カメラ（Suprime-Cam）を置くことができる。ナスミス焦点はカセグレン焦点の直前に斜鏡を置き、光軸を高度軸と一致させて像を結ばせる所で、装置の姿勢が変化しないので重量やサイズの大きい装置を据え付けることができる。ナスミス焦点の装置（可視光）として高分散分光器（HDS）を置いている。また、装置（赤外線）としては、近赤外線分光撮像装置（IRCS）と 188 素子波面補正光学装置（AO）を置いている。カセグレン焦点は主焦点の直前に副鏡を置いて、主鏡の中心部に開けた穴を通して像を結ばせた所で、比較的複雑な装置でも取り付けることができ、多天体近赤外撮像分光装置（MOIRCS）、微光天体分光撮像装置（FOCAS）、冷却中間赤外線分光撮像装置（COMICS）を置いている。

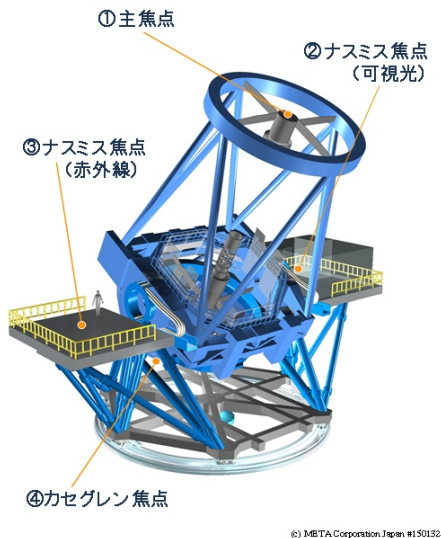


図7 すばる望遠鏡4つの焦点（すばる望遠鏡 Web ページより引用）

(5) 補償光学装置

天体からの光は、地球の大気の揺らぎにより乱され、ぼやけて、望遠鏡に到着する。星像を元に戻し、望遠鏡の限界性能を実現する技術が補償光学と呼ばれる。補償光学装置では、形状を制御できる鏡（可変形鏡）を用いて大気のゆらぎによる星像の乱れを補正する。すばるでは、望遠鏡の先端から波長 589nm のレーザー光を、上空 90km に

あるナトリウム層に向けて照射し、人工的に参照星を作る。

(6) 主焦点カメラ Suprime-Cam⁸⁾

すばるは口径 8 メートル級の望遠鏡の中で、最大の視野（直径 30 分角、つまり満月の大きさ）、を持つ望遠鏡である。この主焦点に取り付けられた主焦点カメラ Suprime-Cam は CCD を 10 個並べた 8000 万画素 CCD カメラである（図 8）。広い天体を効率良く観測することで、銀河の誕生と進化や宇宙の構造の研究、太陽系外縁部の小天体の探索などに威力を発揮する。



図8 主焦点カメラ（すばる望遠鏡 Web ページより引用）

3. 2 高専からの教育的利用

(1) SMOKA⁹⁾ による公開データの利用

国立天文台天文データセンター（NAOJ/ADC）の天文データアーカイブセンター（ADAC）が中心となって開発、運用を行っている すばる 三鷹 岡山 木曾アーカイブシステム SMOKA（Subaru Mitaka Okayama Kiso Archive）は、すばる望遠鏡、岡山天体物理観測所 188cm 望遠鏡、東京大学木曾観測所 105cm シュミット望遠鏡 MITSuME、東広島天文台かなた望遠鏡の公開データ（観測から 18 ヶ月間を過ぎたデータ）を提供している。主に天文学の研究者向けに作られているが、これを利用したい。

(2) SDFRED⁸⁾ による Suprime-Cam の一次画像解析

Suprime-Cam で得られた画像データを整約する為のパッケージソフトウェアが SDFRED（Suprime-cam Deep Field REDuction）パッケージである。SDFRED は、Suprime-Cam の膨大な raw データを、標準的なパラメータを用いて半自動もしくは自動で処理し、一枚の大きな整約済み画像（最終画像）を作成する。この整約済み画像は、そのままサイエンスに用いることができる。

具体的には、バイアス引きおよびオーバースキャンの切り取り、フラット作成、感度補正（flat fielding）、歪補正および微分大気差補正、PSF（Point Spread Function）測定と合わせ、スカイの差し引き、組み合わせ（mosaicing）などの作業を半自

動で行い、整約済み画像を得ることができる。

(3) 測光解析及び分光解析

測光解析には、SDFRED の測光機能あるいはすばる望遠鏡画像解析ソフト マカリ (Makali'i) を利用する。分光解析にはソフト IRAF (Image Reduction and Analysis Facility) を利用する。

(4) 目的とするサイエンス

上記(2), (3)は天文学の研究者を志す大学学部生や高専専攻科生、さらには大学院生向けの内容である。高専本科生が一次画像解析、測光解析及び分光解析に習熟するには時間が掛かると思われ、卒業研究で取り扱うのが望ましい。しかし、テーマを絞り、そのルーチンワーク的な作業については、熱心な本科生であれば、可能ではないかと期待する。

具体的なサイエンスとしては、星や銀河の光度関数、超新星や変光星、系外惑星などの変光天体、衛星や小惑星などの移動天体、重力レンズ効果測定、星や銀河の色等級図、特定の波長で光っている(吸収がある)天体の検出、距離の推定、星種類の推定などが考えられる。

本校の天体観測室でも取り扱う天体のより精密なデータとして SMOKA の利用、国立天文台等がなされた科学的発見のデータ解析的な確認、あるいは SMOKA データの独自の解析などが考えられる。ただ、本校学生の教育的な天文研究の意味では、国立天文台からアドバイスも頂けるようなコラボレーションが望ましい。

3.3 要望

高エネルギー加速器研究機構(KEK)において、2004 年以来実施されている B-Lab (ビー・ラボ: 新しい素粒子発見のための公開データ解析プログラム)¹⁰⁾ について述べる。KEK では粒子と反粒子の物理法則の違いを調べるための B ファクトリー実験が行われ、その違いを説明する小林-益川理論を検証した。B-Lab プログラムは、この実験で収集されたデータの一部をインターネット経由で主に高校の科学クラブなどに公開し、「新粒子探索」を行わせるものである。この実験では実験グループにより 20 種類以上の新しい粒子が発見されているが、この内 2 種類の粒子については高校生達に再発見されている。

また、国立天文台(総合研究大学院大学)は、ハワイ観測所、光赤外研究部、及び天文データセンターが中心となって、研究の第一線を目指す大学学部生、高専専攻科生及び大学院生に対し、春の学校、秋の学校、観測体験企画の 3 つの教育プログラムを用意している。

高専本科からの教育的利用を考えると、B-Lab と同様に SMOKA のデータを高校生(高専本科を含む)が利用できるような「新天体・新現象確認のための公開データ解析プログラム」を開発して頂けると非常に有用である。基本的には科学的トピックスの再発見であるが、全国の熱心な高校生の作業により、新事実も発見される可能性もある。また、SMOKA データ利用を目指す高校生向けの教育プログラム「夏の学校」を開催頂くと、より効果的で、将来の天文学者の育成が非常に期待される。

4. 結 言

本稿では、応用物理研究室が手掛けた新天体観測室構築の概要説明と、国立天文台すばる望遠鏡の公開データの高専からの教育的利用について述べた。2012 年 8 月、満月 9 個分の視野を一度に撮影できる約 8 億 7000 万画素の次期主焦点カメラ Hyper Suprime-Cam(HSC)の試験観測が始まった。HSC はダークエネルギーの解明を目指しているが、公開される観測データの解析を通して、高専からの科学的寄与を目指したい。

なお、本取組と調査は科学研究費補助金(23501047)と 2011 年度本校教育研究活動支援経費・経営戦略経費を受けて行ったものであり、ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 佐々井祐二:津山高専「天体観測会ー君も未来のガリレオだ!ー」の紹介, 第 24 回天文教育研究会集録(2010) 166-169
- 2) 佐々井祐二, 最上勲:公開講座「天体観測会ー君も未来のガリレオだ!ー」ー教員と学生が取り組む小中学生向け天文啓蒙活動についてー, 論文集「高専教育」, 第 34 号(2011) 601-606
- 3) 佐々井祐二:大規模部分日食と金星日面通過観察会 ~中国地方のある高専の活動記録~, 天文教育, 117 号(2012) 21-22
- 4) 佐々井祐二:天文台構築と天文教育活動, 津山工業高等専門学校紀要, 第 53 号(2012) 59-64
- 5) (株) ジズコ URL: <http://www.zizco.jp/>
- 6) (株) ジズコ:ジェミニ 2 基本操作マニュアル(2012) 1-20
- 7) すばる望遠鏡 URL: http://subarutelescope.org/j_index.html
- 8) Suprime-Cam URL <http://subarutelescope.org/Observing/Instruments/SCam/>
- 9) SMOKA URL: <http://smoka.nao.ac.jp/index.ja.jsp>
- 10) B-Lab URL: <http://belle.kek.jp/b-lab/>

校 外 に お け る 研 究 発 表 等

教員の校外における研究発表等につきましては、「教育研究業績」として本校ホームページで公開しておりますので、下記URLからご参照くださいますようお願いいたします。

津山高専ホームページ > 教員の活動状況 > 教育研究業績の公開内容
<http://www.tsuyama-ct.ac.jp/honkou/gijutsu/naiyou.htm>

編 集 ワーキング・グループ

座長 大 田 肇

(五十音順)

稲 田 知 己	植 月 唯 夫
大 平 栄 二	小 西 大二郎
佐々井 祐 二	山 本 吉 範

津 山 工 業 高 等 専 門 学 校 紀 要

第 5 4 号

平成25年 2 月28日 発 行

発行者／津山工業高等専門学校
津山市沼 6 2 4 - 1

印刷所／(株) 三 勝
津山市高野山西2115-15

BULLETIN
OF
TSUYAMA NATIONAL COLLEGE OF TECHNOLOGY
NO. 54 (2012)
CONTENTS

Transport Characteristics of an Air Driven Valveless Pump Hideki Yoshitomi	1
Effects of Aluminum and Niobium on Impact Properties of Ultra High-Strength TRIP-aided Bainitic Ferrite Steels Tomohiko Hojo, Junya Kobayashi, Tomohiro Kajiyama and Koh-ichi Sugimoto	7
The Judgments of UK Courts on "The Right to Life" in Armed Conflict outside its Territory No.1 Hajime Ota	15
Repeat Space Theory Applied to Carbon Nanotubes and Matrix Art Shigeru Arimoto, Massoud Amini, Mark Spivakovsky, Joseph E. LeBlanc, Keith F. Taylor and Tokio Yamabe	31
Hochschild Homology of Truncated Polynomial Algebra Masaaki Yokotani	39
The punctual Hilbert schemes of degree two for monomial plane curve singularities Masahiro Watari, Syogo Akihira, Yuki Hazuo, Shinnosuke Ideta, Kazufumi Otani, Kenshiro Kawamura, Satoshi Kojima, Ryota Sako and Hiroyuki Kusachi	45
Fabrication of Two-layer Structure Superconducting Bulk with YBCO Shota Shima, Shiryu Hiramatsu, Yoshino Taniguchi and Kanji Harada	49
Update of a Web Site Using Web User Interface Criterion Eriko Yamaguchi and Tadashi Okada	53
Basic Study of an Intellectual Agent Implementation for Scheduling Labor Reduction Yuuma Miyake and Tadashi Okada	59
A Programming Experiment Aimed at Growing Students' Eagerness to Study Atsushi Onishi and Naoki Takayama	65
Construction of a New Astronomical Observatory and How to Use the Subaru Telescope Yuji Sasai	71
〈Abstracts of Other Research Reports〉	77