

研 究 紀 要

第 57 号

平成 31 年 3 月

RESEARCH REPORTS
OF
KOBE CITY COLLEGE OF TECHNOLOGY
NO. 57
MARCH, 2019

神戸市立工業高等専門学校

目 次

論 文

- 次世代型高速半導体スイッチを用いたコンデンサ急速充電電源の開発
戸田 颯, 村中 智穂子, 赤松 浩 1
- 呈色試験紙を用いた土壌分析における人と色判別装置の正確さの比較
瀧澤 由佳子, 松井 謙介, 伊藤 貴康, 森田 二郎, 三浦 久典, 才木 常正 5
- 演習主体授業における Bluetooth スピーカーシステムを用いた BGM 導入の教育効果
中川 卓也, 大向 雅人, 津吉 彰 13
- 陽極酸化チタンの X 線応力評価
江副 真悠, 西田 真之 21
- 炭素繊維材料の X 線応力測定
河村 惟友, 西田 真之 27
- X 線ラインプロファイル解析を用いた転位密度評価
西田 真之, 松英 達也 33
- 直近 15 年間における神戸市内都市河川水質の時空間変動特性
宇野 宏司, 富士 和伽 39
- 様々なバッファ層を持つ $\text{Bi}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ 薄膜のガラス基板上への作製と磁気光学的評価
池原 成拓, 西 敬生, 石橋 隆幸 45
- 文法用語と文法力の調査
上垣 宗明 49
- 日本手話の「来る」の分析
今里 典子 55

資 料

- 陸上競技部短距離選手の競技力向上のための新練習体制構築～選手兼指導者による指導事例とその効果～
工藤 桃成, 大村 悠真, 橋本 紳吾, 岡本 章宏, 安立 健太郎 61

CONTENTS

PAPERS

- Development of Fast Capacitor-Charging Power Supply with Next Generation Power Semiconductor
Hayate TODA, Chihoko MURANAKA, Hiroshi AKAMATSU 1
- Accuracy Comparison between People and Imaging Device in Soil Analysis with Color Reaction Test Paper
Yukako TAKIZAWA, Kensuke MATSUI, Takayasu ITO, Jiro MORITA, Hisanori MIURA, Tsunemasa SAIKI 5
- The Educational Effect of Back Ground Music with a Bluetooth Speaker System
Takuya NAKAGAWA, Masato OHMUKAI, Akira TSUYOSHI 13
- X-rays Stress Measurement of the Anodized Titanium Plate
Mayu EZOE, Masayuki NISHIDA 21
- X-ray Stress Measurement of Carbon Fiber Material
Yuito KAWAMURA, Masayuki NISHIDA 27
- Estimation of Dislocation Density by X-ray Line Profile Analysis
Masayuki Nishida, Tatsuya Matsue 33
- A Spatiotemporal Fluctuation Characteristics of River Water Quality in Kobe City during the Last 15 Years
Kohji UNO, Nodoka FUJI 39
- Magneto-optical characterization and preparation of $\text{Bi}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ thin films using various buffer layers grown on glass substrates
Shigehiro IKEHARA, Takao NISHI, Takayuki ISHIBASHI 45
- A Research on Students' Awareness of English Grammatical Terms and Their English Grammatical Abilities
Muneaki UEGAKI 49
- An Analysis of 'come' in JSL
Noriko IMAZATO 55

RESEARCHES AND FINDINGS

- Construction of a New Training Structure for Improving Students' Performances in Short-Distance Races
Momonari KUDO, Yuhma OMURA, Shingo HASHIMOTO, Akihiro OKAMOTO, Kentaro ANDACHI 61

次世代型高速半導体スイッチを用いたコンデンサ急速充電電源の開発

戸田颯* 村中智穂子** 赤松浩***

Development of Fast Capacitor-Charging Power Supply with Next Generation Power Semiconductor

Hayate TODA* Chihoko MURANAKA**
Hiroshi AKAMATSU***

ABSTRACT

A capacitor charging power supply for pulsed power generator in high power pulsed sputtering has been developed with next generation power semiconductor. The power supply has a forward type single chopper geometry with a pulsed transformer. Gallium nitride (GaN) HEMT as a high speed power semiconductor was used for chopping device. In addition, GaN HEMT was compared with SiC MOSFET about the switching performance. The condenser charging times for voltage of 800 V were 1 ms for GaN HEMT and 4 ms for SiC MOSFET. The power supply with GaN HEMT has the fastest time for charging voltage of 800 V.

Keywords : capacitor charging power supply, next generation power semiconductor, gallium nitride, silicon carbide, high power pulsed sputtering

1. はじめに

低気圧プラズマを用いた機能性薄膜形成技術として、1936年にマグネトロンスパッタリング (Magnetron Sputtering: MS)が発見された。図1に、MS技術の推移を示す。MSは、絶縁体薄膜形成を目的とした高周波MS、スパッタ粒子のイオン化を目的としたイオンアシストMS、ホローカソード放電型MS、磁場配置を不均衡としたアンバランスMSなど様々な改良がなされ、今日では半導体製造およびコーティング技術として欠かすことのできない基盤技術となっていた(1,2)。

さて、1999年にMSにおけるメタルプラズマの高イオン化を目的として、大電力パルススパッタリング (High Power Pulsed Sputtering: HPPS)が提案された(3)。この方式では、MS源にキロワット級の大電力かつ数10 μ sのパルスを印加することにより、メタルプラズマの高イオン化を試みている。メタルプラズマのイオン化率が高くなると、成膜に関わるメタルイオンの比率が

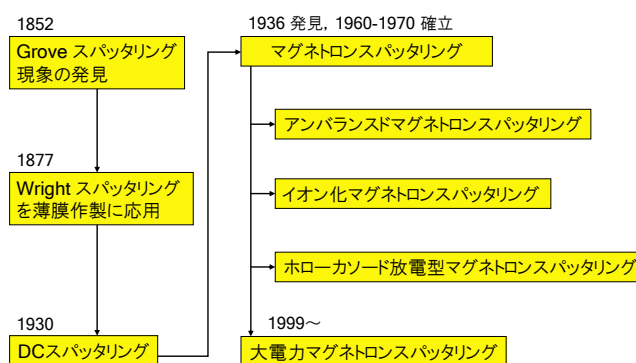


図1 MS技術の推移。

高くなり、ドロップレットの少ない高品質の成膜が可能となる。

HPPSの電源装置に着目すると、コンデンサを用いた容量性エネルギー蓄積方式のパルスパワー電源に分類できる。図2に、一般的なHPPSの電源構成図を示す。電源の動作は、エネルギー蓄積素子であるコンデンサを直流電源によって充電し、パワー半導体スイッチのオンによってMS源にパルス状の大電力を供給する。

* 電気工学科 研究生
** 電気工学科 本科生
*** 電気工学科 准教授

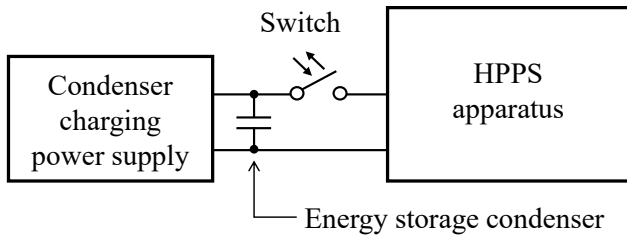


図2 大電力パルススパッタリングの電源構成.

表1 パワー半導体材料の特性.

	Si	4H-SiC	GaN
比誘電率 ϵ	11.8	10	9.5
電子移動度 μ [cm^2/Vs]	1350	700	1500
電子飽和速度 [cm/s]	1×10^7	2×10^7	2.7×10^7
絶縁耐力 E_c [MV/cm]	0.3	3	3.3
バリガ指数(Siを1とする)	1	439	1128

このとき、コンデンサを急速充電できれば、MS 源の大電力パルスを高繰り返しで印加することができ、メタルプラズマの高イオン化を促進できると期待できる。

本研究では、コンデンサを急速充電できる直流電源の開発を目的とした。コンデンサ急速充電電源は、出力電圧が 800 V~1000 V であるため、AC100 V を昇圧・整流する機構が必要である。そこで、昇圧にはパルストランスを用いたフォワード型シングルチョップ回路、整流には半波整流回路を採用した⁽⁴⁾。また、コンデンサ急速充電電源の小型化を想定した場合、構成部品の中で最も大きいパルストランスを小型化することが重要である。そのため、シングルチョップに使用する半導体スイッチには、窒化ガリウム(Gallium Nitride: GaN) 高電子移動度トランジスタ(High Electron Mobility Transistor: HEMT)を採用した。GaN は、表1 に示すよ

表2 使用したパワー半導体スイッチの定格.

	SiC MOSFET	GaN HEMT
	SCT2120AF	TPH3206PS
ドレイン・ソース間電圧 V_{DSS} [V]	650	600
ゲート・ソース間電圧 V_{GS} [V]	-6 to 22	± 18
連続ドレイン電流 I_D [A] DC	29	17
パルスドレイン電流 I_D [A] Pulse	72	60
ドレイン・ソース間オン抵抗 $R_{DS(ON)}$ [$\text{m}\Omega$]	120	150

うに炭化ケイ素(Silicon carbide: 4H-SiC)と同様に次世代型高速半導体として従来のシリコン(Silicon: Si)にくらべ性能指数であるバリガ指数が極めて大きいという特徴をもつ⁽⁵⁾。GaN を用いて製造された HEMT は、メガヘルツ級の高速スイッチングが可能であり、パルストランスを磁気飽和させずに昇圧機能を維持できるため、小型のパルストランスを採用できる。

本報告では、シングルチョップに GaN HEMT および SiC MOSFET を用いた場合のコンデンサ充電電圧の充電速度を比較した。

2. 実験方法

図3 に、作製したコンデンサ充電電源の回路図を示す。同図は、半導体スイッチおよびパルストランスを用いたフォワード型シングルチョップである。AC100 V を、スライダックを介し全波整流して1次ストレージコンデンサ $C_0=1000 \mu\text{F}$ を充電する。半導体スイッチを ON すると、コンデンサからのエネルギーがパルストランスの1次巻線に付与され、昇圧されて2次側の半波整流回路を通してコンデンサ $C=330 \text{ nF}$ を充電する。半導体スイッチには、GaN HEMT (TPH3206PS, Transphorm)および SiC MOSFET (SCT2120AF, ROHM) を使用した。両半導体スイッチの定格を表2 に示す。

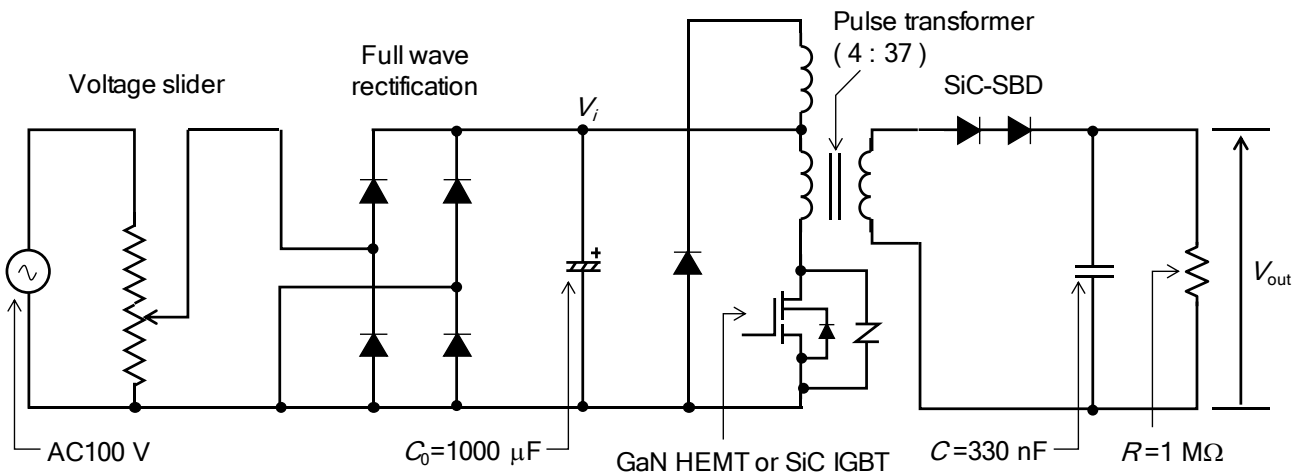


図3 コンデンサ充電回路の回路図.

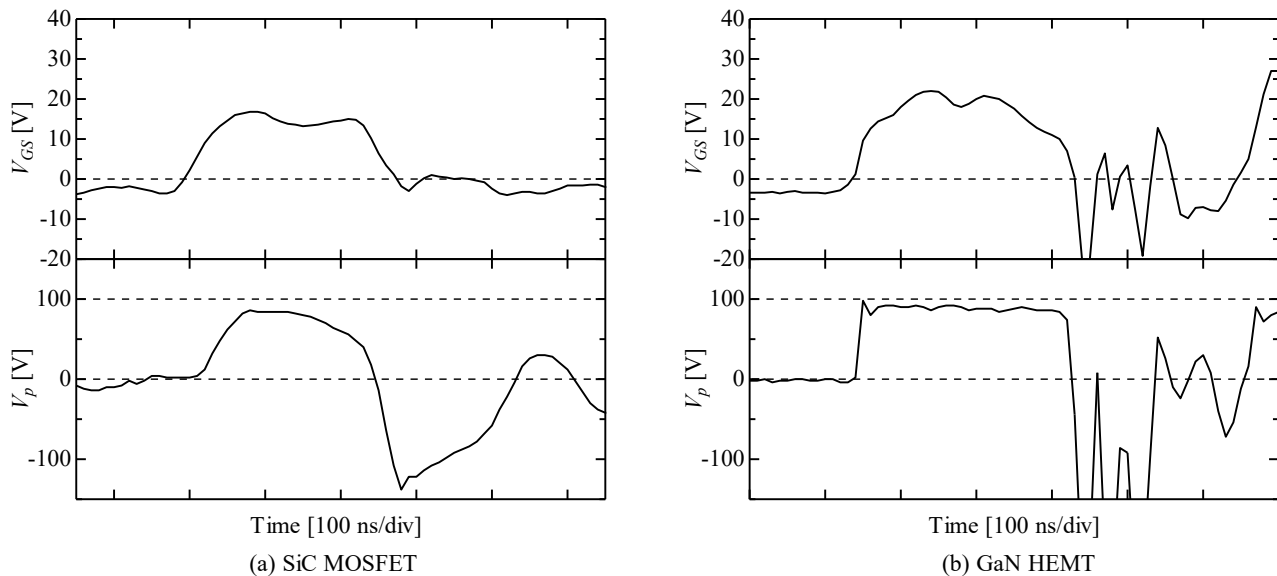


図4 半導体スイッチの V_{GS} およびパルストランス1次コイルの電圧 V_p の波形.

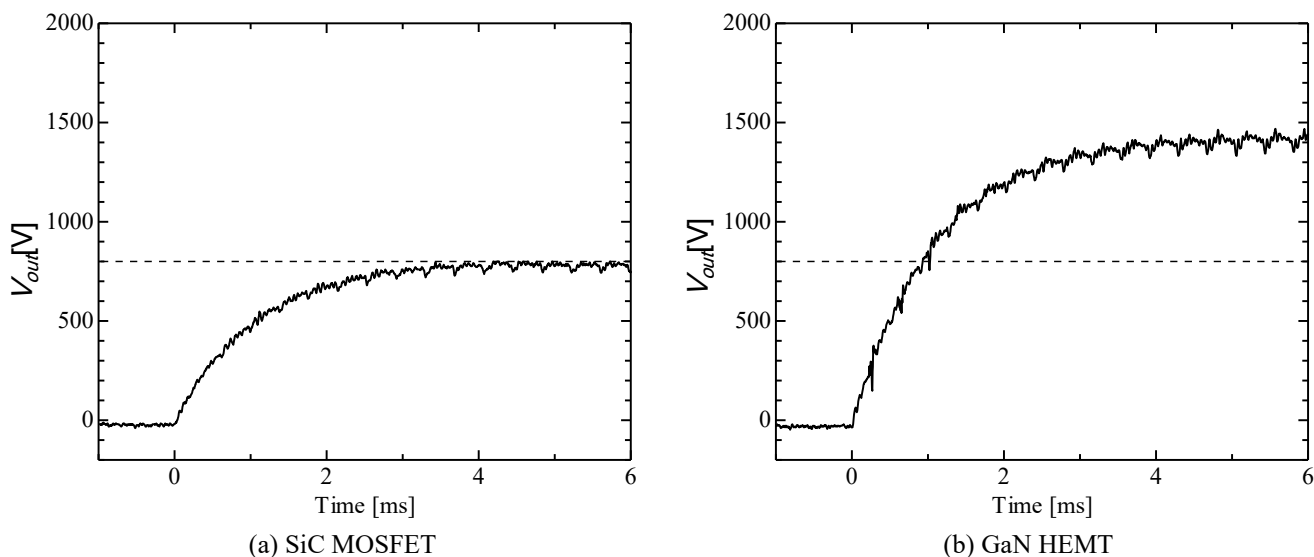


図5 SiC MOSFET および GaN HEMT を用いたときのコンデンサ充電電圧の時間変化.

半導体スイッチの選定基準は、耐電圧が 600 V であることを条件とした。半導体スイッチのゲート駆動回路は、PIC マイコン(PIC16F84A)および光アイソレータ(TLP351)を用いて構成した。ゲート信号は、オン時間 200 ns、周波数を 1 MHz とした。パルストランスは、コアにファインメット(FT-3M, Hitachi Metals)を使用し、1 次および 2 次の巻数をそれぞれ 4 および 37 とした。昇圧比は 9.25 である。また、1 次巻線には、ダイオード(C2D20120D, CREE)を併用したリセット回路も接続している。

コンデンサ充電電源の出力電圧 V_{out} は、高電圧プローブ(HV-P30, Iwatsu)およびオシロスコープ(TDS2024C, Tektronix)でモニターした。

3. 実験結果

図 4 に、(a) SiC MOSFET および(b) GaN HEMT を用いた場合における、半導体スイッチのゲート・ソース間電圧 V_{GS} およびパルストランス1次コイル電圧 V_p を示す。なお V_p は、 $V_i - V_{DS}$ として算出した。いずれの場合も、ゲートに電圧が加わると V_p が立ち上がっている。同図(a)から、SiC MOSFET の場合、 V_p の立ち上がり速度は 1.2 V/ns であった。また、パルス時間は半値幅で 180 ns であった。一方、同図(b)から、GaN HEMT では、 V_p の立ち上がり速度は 9.2 V/ns、パルス時間は 280 ns であった。立ち上がり速度は GaN HEMT が 7 倍程度大きいことがわかった。なお、ゲート信号のパルス時間が 200 ns に対して GaN HEMT の V_{GS} は 280 ns となったことは調査が必要である。

図 5 に、1 次ストレージコンデンサの充電電圧 V_i を DC100 V としたときの、電源出力電圧 V_{out} の時間変化を示す。同図(a)において、SiC MOSFET では到達電圧が目標電圧である 800 V であり、充電に要した時間は約 4 ms であった。一方、同図(b)より GaN-HEMT を用いたとき到達電圧は 1400 V であり、目標電圧である 800 V までの充電に要する時間は約 1 ms であった。以上から、GaN HEMT を用いた場合は SiC MOSFET の 4 分の 1 の時間で 800 V まで充電できることが分かった。

この原因を考察する。図 4 から、SiC MOSFET の場合、パルストランスの 1 次コイル電圧 V_p は平均 73 V、パルス時間は 180 ns である。一方、GaN HEMT の場合、 V_p の平均値は 89 V でパルス時間は 280 ns であった。以上から、GaN HEMT の方がパルストランスの 1 次コイルに印加される電圧が高く、時間も長いことから目標電圧 800 V までの充電時間を短くできたと考えられる。

4. まとめ

本実験では、パルスパワー電源のエネルギー蓄積コンデンサを急速充電する直流電源をフォワード型シングルチョップ方式回路として作製した。また、シングルチョップに使用する半導体スイッチとして、次世代パワー半導体である GaN HEMT および SiC MOSFET を比較した。実験の結果明らかになったことを以下にまとめる。

- (1) 半導体スイッチのゲート駆動にオン時間 200 ns、周期 1 MHz の信号を用いたとき、SiC MOSFET および GaN HEMT でのパルストランス 1 次コイル電圧のパルス時間はそれぞれ 180 ns および 280 ns であった。

- (2) 1 次側整流電圧を 100 V としたとき、コンデンサ充電電源の出力電圧は SiC MOSFET および GaN HEMT でそれぞれ 800 V および 1400 V であった。
- (3) 出力電圧の目標値 800 V までの充電時間は、SiC MOSFET および GaN HEMT でそれぞれ約 4 ms および約 1 ms であった。
- (4) 本実験において、GaN HEMT(TPH3206PS)は、SiC MOSFET (SCT2120AF)の 4 分の 1 の時間で目標電圧 800 V の充電を達成できた。

参考文献

- (1) 福島志郎, 細川直吉:「スパッタリングの歴史と応用」, 金属表面技術, Vol. 36, No. 6, pp.218-228, 1985.
- (2) 東欣吾:「大電力パルススパッタリングプラズマ源」, 電気学会論文誌 A, Vol. 132, No. 4, pp. 272-277, 2012.
- (3) Vladimir Kouznetsov, Karol Macak, Jochen M. Schneider, Ulf Helmersson, Ivan Petrov: “A novel pulsed magnetron sputter technique utilizing very high target power densities”, Surf. Coat. Technol., Vol. 122, pp. 290-293, 1999.
- (4) 梶原泰治, 境健太, 佐久川貴志, 秋山秀典:「パルスパワー用シングルチョップ方式超小型キャパシタ充電回路」, 電気学会論文誌 A, Vol. 134, No. 4, pp. 211-216, 2014.
- (5) 山本真義:「ウルトラ・ハイスピード・パワー・トランジスタ GaN HEMT 実験レポート」, トランジスタ技術, 2015 年 2 月号, CQ 出版.

呈色試験紙を用いた土壌分析における 人と色判別装置の正確さの比較

○瀧澤由佳子* 松井謙介** 伊藤貴康**
森田二郎*** 三浦久典* 才木常正****

Accuracy Comparison between People and Imaging Device in Soil Analysis with Color Reaction Test Paper

Yukako TAKIZAWA* Kensuke MATSUI** Takayasu ITO**
Jiro MORITA*** Hisanori MIURA* Tsunemasa SAIKI****

ABSTRACT

We assumed soil analysis by using color-reaction paper at an outdoor farm, and we compared the accuracy of the results given by people and those given by an analyzer with an imaging device. First, by using 3 kinds of pH-test papers immersed in solutions with a pH of 5, 6, and 7, we carried out a color discrimination experiment with ten participants that had no defective color vision. As a result, it was shown that between about 40 and 80 % of the pH values were correctly determined by participants and that this varied greatly with the difference in the pH values of the used test papers. Then, we carried out the same experiment with a system that mimics the analyzer with the imaging device. As a result, it was shown that the rate of pH values correctly determined by this system was about 100 %. From these results, it was found that the accuracy of the pH values analyzed with the mimicking system was much higher than that of the analysis done with people. This fact indicates that, for analyzing soil with color-reaction test paper, an analyzer with an imaging device has greater accuracy potential.

Keywords : agriculture, soil analysis, color-reaction, human error, color sensor

1. はじめに

農業においては作物の品質向上や収穫量増加のため、作物を生育させる土壌の pH 値や養分含有量を常時正確に管理することが望まれている。正確に土壌を分析するには原子吸光光度計等の高価な装置⁽¹⁾を利用すれば良いが、分析機関に依頼する必要があるためコストが必要となり農家にとって負担が大きく、更に分析結果が返ってくるまでの日数がかかり土壌の常時管理には向かない。ちなみに、pH 値の測定であれば、分析機関では一般に pH メータが使用される。しかし、これを使用するには既知の pH 値の水溶液を用いた校正や電極部の洗浄等の作業を要し、農業現場ではこれらを実施しづらい。従って、やはり常

時の使用には向かない。

そこで、変色を伴う化学反応つまり呈色反応を示す試験紙(以後、呈色試験紙という。特に、pH 試験紙やリトマス試験紙は有名である。)を用い、農家自らが土壌分析を行っている⁽²⁾。具体的には、分析者が現場で呈色試験紙を土壌の懸濁液に浸した後、この試験紙の呈色と色見本中の一致する色を目視で探して色判別を行い、pH 値等の分析結果を得ている。このため、呈色試験紙が同じであっても、現場での照明となる太陽光の差異(例えば、日中と夕方)や被験者の加齢による色覚低下度合いの違い⁽³⁾⁻⁽⁶⁾等により分析結果が異なることは容易に推測することができる。

そこで、著者らは、この分析結果に差異が生じる問題を解決するために、一定照明下で試験紙の呈色をカラーセンサ等の撮像素子で読み込んで色判別を行う、持ち運び可能なポータブル土壌分析装置が農家にとって必要であると考えた。そこで本研究では、本ポータブル土壌分析装

* 兵庫県立工業技術センター

** 明咲出荷組合

*** 神戸市立工業高等専門学校 電気工学科 教授

**** 兵庫県立大学大学院工学研究科 客員教授

置の必要性を調べるため、まず現状の pH 試験紙を用いた人による太陽光下での色判別分析の正確さについて調べた。次に、上記のポータブル装置による土壌分析の原理を模したシステムを構築して、このシステムによる pH 試験紙の色判別分析の正確さを調べた。そして、これら人とシステムによる色判別分析の正確性を比較し、撮像素子を用いたポータブル土壌分析装置の有用性について検討した。

2. 人による呈色試験紙の色判別分析

本節では、日常的に農家が行っている呈色試験紙による土壌分析作業を基に考えた汎用 pH 試験紙による人の色判別の実験方法について述べる。そして、この実験から得られた結果を基に、人の色判別分析で得られた pH 値の正確性について述べる。

2.1 実験方法

pH 試験紙を用いた人による色判別実験の様子を図1に示す。本実験は、平成29年1月18日午後1時から約20分の間に、神戸市立工業高等専門学校(神戸工業高専)の電気工学科棟の屋上で、曇天の下、被験者全員に対して一斉に行った。実験に参加した被験者は加齢による色覚低下のない年齢15~16歳の男性9名と女性1名であり、被験者全員にインフォームドコンセントを実験前に得ている。実験では、まず、被験者に机(高さ70 cm、白色の天板)脇に置かれた椅子(高さ42 cm)に着席してもらい、下記の教示を行った。

教示:「スライドガラスの上で小さな紙を順々にお見せします。この紙の色に最も近いと思われる色見本の番号を回答用紙に記入してください。」

その後、被験者に机上で小さな紙(以後、試験紙サンプルという)を順次提示し、自作の色見本(以後、実験用色見本という)と見比べて色判別分析を行ってもらった。

実験中に試験紙サンプルを照らしていた太陽光の照度と相関色温度はそれぞれ約50,000 lx と約6,000 K であり、太陽光の照度範囲(数lx~約100,000 lx)と相関色温度範囲(約2,800 K~約8,000 K)⁽⁷⁾⁽⁸⁾から考えると本実験中の太陽光はこれら範囲のほぼ中心付近であったことがわかる。ちなみに、これら実験中の太陽光の照度と色温度値は照度センサ(GRAPHTEC 製, GS-LXUV)及び分光放射計(トプコン製, SR-LEDW)で計測した。

被験者に提示した試験紙サンプル例を図2に示す。試験紙サンプルは、9 mm 角にカットした pH 試験紙(東洋濾紙製, 図3参照)を任意の pH 値に調整した無色透明の水溶液に浸した後、pH 試験紙を振り余分な水分を取り除いて作成した。このような水分除去法を採用した理由は、現場での農家の作業内容に準じたためである。こうして作成した試験紙サンプルを、被験者1人当たりにつき、pH 5, 6, 7 の3種類を各5個ずつの計15個用意した。そして、実験ではこれらの試験紙サンプルを被験者にランダムに提

示した。ちなみに、試験紙サンプルに用いた pH 5~7 は多くの作物種を生育するのに最適な pH 値である⁽⁹⁾。

次に、試験紙サンプルの色判別分析するために自作した実験用色見本を図4に示す。実験用色見本には目盛が等間隔で描かれており、これらの下部には0から16までの

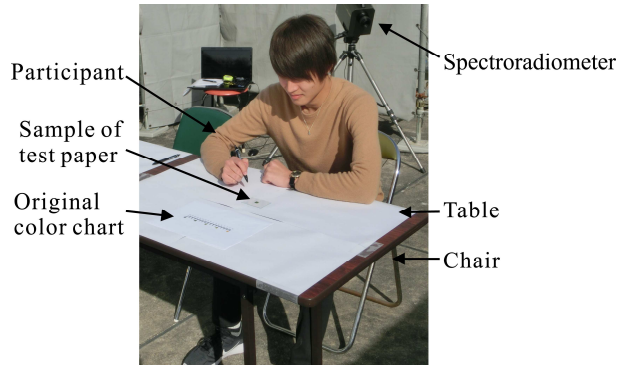


図1 pH 試験紙を用いた人による色判別実験の様子(被験者の後、分光放射計等)。

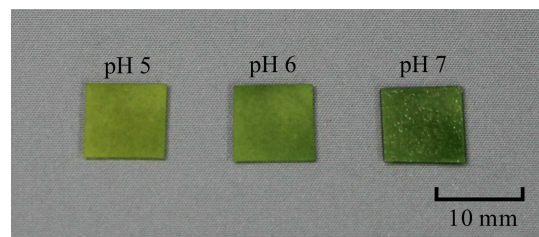


図2 被験者に提示した試験紙サンプルの例。

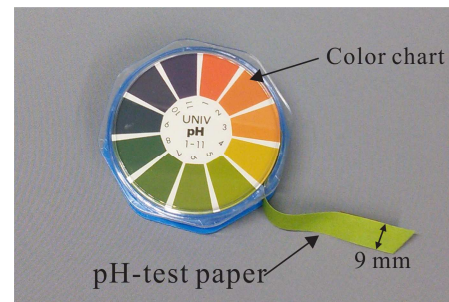


図3 実験で用いた pH 試験紙とそれに付属している色見本。

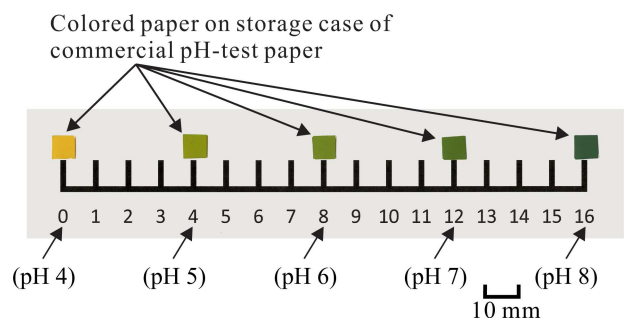


図4 試験紙サンプルの色判別分析するために自作した実験用色見本。

番号が書かれている。そして、4目盛毎(番号0, 4, 8, 12, 16に相当)にpH試験紙ケースに付帯している色見本(以後、付帯色見本という)から切り取ったpH4, 5, 6, 7, 8に相当する色紙を貼り付けている。参考までに、実験用色見本の色紙各5枚の $u'v'$ 色度座標値の平均値及び標準偏差を図5に示す。これらの値は色比較・検査用蛍光灯照明(東芝ライテック製, FL20S.D-EDL-D65, 照度 1200 lx)下で分光放射計により測定した値から算出している。

2.2 実験結果

pH6の試験紙サンプルに対して各被験者が回答した実験用色見本の番号を図6に示す。横軸は各被験者を表し、縦軸はその被験者が答えた実験用色見本の番号を表す。また、丸印中の色は被験者がその実験用色見本の番号を回答した回数を示し、白、グレー、黒色はそれぞれ1, 2, 3回を表す。例えば、被験者Aであれば、実験用色見本の番号の7, 8, 10をそれぞれ1回答えており、番号9を2回答えている。この図を見ると、同じ被験者に同じpH値の試験紙サンプルを提示しても同じ実験用色見本の番号を回答しておらず、回答する実験用色見本の番号が分布していることがわかる。そして、この回答した実験用色見本の番号の分布は被験者毎に異なっていることもわかる。このことから、色覚正常者を対象にしても、pH試験紙を用いた色判別分析の結果に個人差が生じることが明らかになった。ここでは詳細は述べないが、このような個人差はpH6だけではなくpH5とpH7の試験紙サンプルにおいても同様に生じていた。

次に、全被験者が回答した実験用色見本の番号全てを試験紙サンプルのpH値毎に分別し、それらの平均値と標準偏差をまとめて図7に示す。この図から、試験紙サンプルのpH値が大きくなるに従い、被験者が回答した実験用色見本の番号の分布が大きい方にシフトすることがわかる。そして、それらの分布を実験用色見本の番号(左の縦軸を参照)でなく図3に示した試験紙ケースの付帯色見本でのpH値(右の縦軸を参照)で見ると、試験紙サンプルのpH値より小さな付帯色見本でのpH値で分布していることがわかる。定量的には、pH5, 6, 7の試験紙サンプルの付帯色見本でのpH値の分布は平均値がそれぞれ4.8, 5.7, 6.4であり、標準偏差がそれぞれ0.3, 0.5, 0.5であった。これらの結果から、屋外で呈色試験紙を用いたpH値の色判別分析を行う場合、色覚正常者であってもpH値を0.2~0.6小さく読み違える可能性があることが明らかになった。

そこで、各pH値の試験紙サンプル毎に、被験者がpH値をpH1の精度でどの程度正確に判別できるかを正答率を用いて検討した。ここでは、pH値が α の試験紙サンプルに対して被験者の回答した実験用色見本の番号に相当する付帯色見本でのpH値が $\alpha \pm 0.5$ の範囲内であれば正解、それ以外の範囲であれば不正解と定義した。

次に、この正答率の求め方を具体的な例を挙げて説明する。pH6の試験紙サンプルの被験者全員分の付帯色見

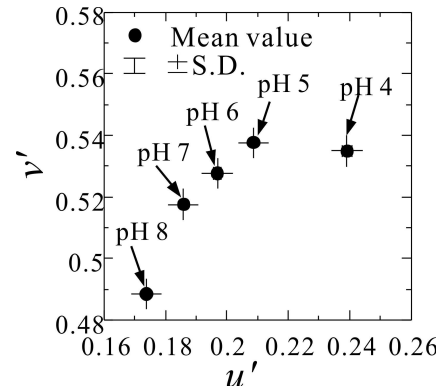


図5 実験用色見本に貼り付けた色紙の $u'v'$ 色度座標値。

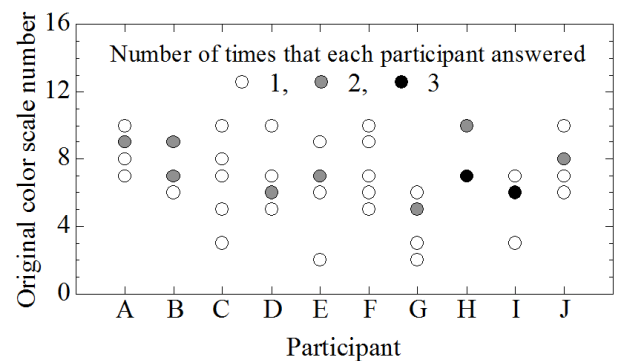


図6 試験紙サンプル(pH6)に対して各被験者が回答した実験用色見本の番号。

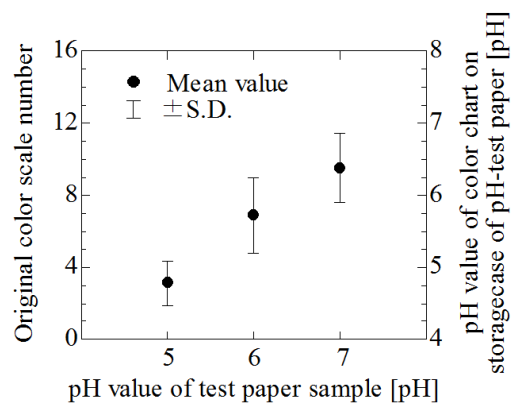


図7 試験紙サンプルのpH値と被験者が回答した実験用色見本の番号。

本でのpH値の分布を正規分布と仮定すると、図8のグラフが描ける。ちなみに、図7の説明でも述べたが、この分布の付帯色見本でのpH値の平均は5.7であり、その標準偏差は0.5である。この分布における付帯色見本でのpH値が5.5から6.5の範囲が正解に相当するので、その正解の面積 A_C を求める。更に、それ以外の範囲に相当する不正解の面積 A_{I1} と A_{I2} も求める。最後に、これら面積比 $A_C/(A_C+A_{I1}+A_{I2})$ を計算して、pH6の試験紙サンプルにおける全被験者に対する正答率が得られる。このpH6の試

験紙サンプルにおいては、 A_c , A_{I1} , A_{I2} の面積は分布全体の面積の60%, 33%, 7%なので、全被験者に対する正答率は60%であった。

上記方法で求めた各 pH の試験紙サンプルにおける全被験者に対する正答率をまとめて、図9に示す。pH 5, 6, 7の試験紙サンプルにおける全被験者に対する正答率はそれぞれ81%, 60%, 39%であり、試験紙サンプルのpH値が大きくなるほど、正答率が低くなる傾向があった。このことから、pH 7の土壌が最適な作物を育成している場合を考えると、色覚正常者の6割程度がpH 7ではなくpH 6の土壌に調整する可能性があることが予測され、屋外でのpH試験紙を用いた人による色判別分析の不確かさが伺える。

3. カラーセンサを用いたシステムによる呈色試験紙の色判別分析

前節で、pH試験紙を用いて人が色判別分析を行う場合に、その正確さに問題があることを示した。本節では、ポータブル土壌分析装置を模したカラーセンサを用いたシステ

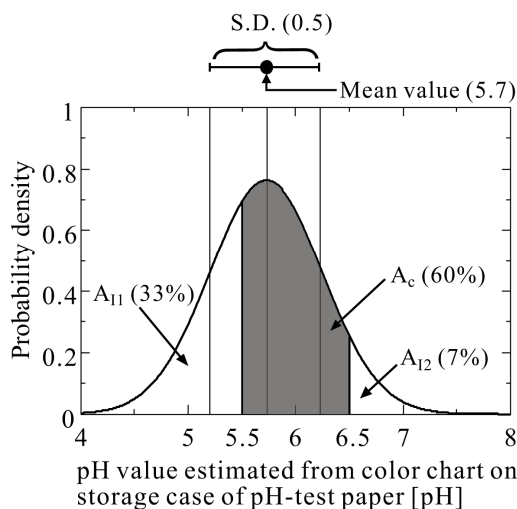


図8 試験紙サンプル(pH 6)の付帯色見本での pH 値の分布(正規分布と仮定)。

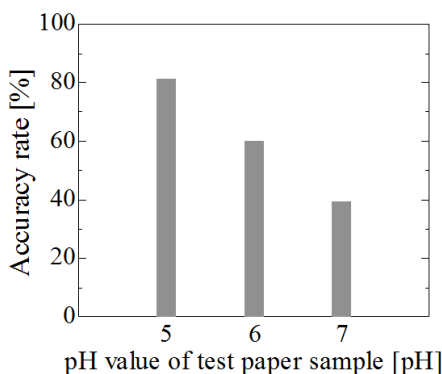


図9 各 pH の試験紙サンプルにおける全被験者に対する正答率。

ムにより、pH試験紙を用いた色判別分析の正確さがどの程度向上するかを検討する。

3.1 実験方法

試験紙の呈色をカラーセンサで読み込み、色判別を行うポータブル土壌分析装置を模したシステムを図10に示す。ちなみに、ポータブル土壌分析装置では、装置外部からの光が入射しないように遮光した上で、呈色試験紙用の照明光を配置することで照明環境を一定にできる。このシステムでは、試験紙サンプルに対して斜め55度の45cmの位置に配置した蛍光灯(MITSUBISHI/OSRAM製、EFD25ED/21、相関色温度6700K)2台で試験紙サンプルを照明し、試験紙サンプルから55cmの位置に設置したデジタルカメラ(Canon製、本体EOS Kiss X5、レンズEF-S 18-15 IS II)で試験紙サンプルを撮影する。そして、撮影された試験紙サンプルのRAW画像データ(16bit)を基に、画像処理ソフトウェア(Adobe製、Photoshop Element)を用いて、試験紙サンプルの中央部分の3mm角に相当する100x100画素領域の画像データを抽出する(図11参照)。その後、抽出した画像データである10,000画素分の階調値をR(赤色)、G(緑色)、B(青色)成分に別けて、それぞれの平均階調値(以後、試験紙サンプルから得たR、G、B成分の階調値という)を求めた。

本実験で用いた試験紙サンプルは前節と同じpH 5, 6, 7の3種類であり、それらを各20個用意した。これら試験紙サンプルの作成方法は前節とほぼ同じであるが、カラーセンサを用いたポータブル土壌分析装置でより正確にpH値

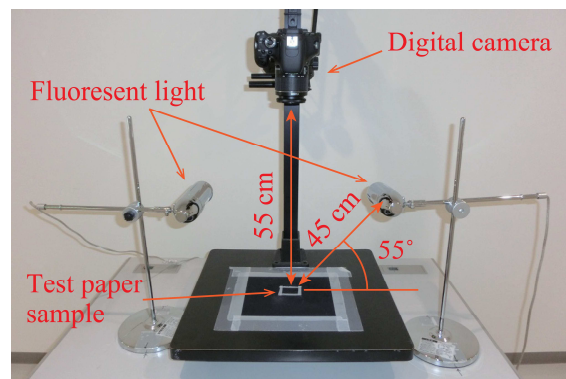


図10 カラーセンサを用いたポータブル土壌分析装置を模したシステム。

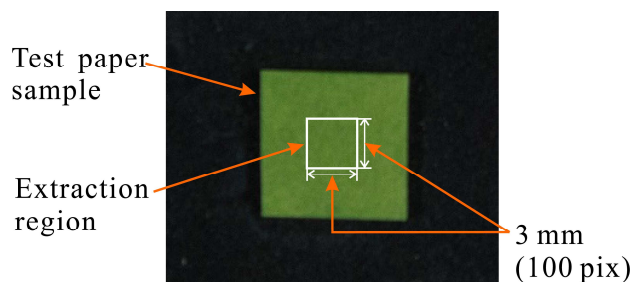


図11 デジタルカメラで撮影した試験紙サンプルの写真の例(pH 6)。

の色判別分析を行うことを考え、前節とは異なった試験紙サンプルの水分除去方法を採用した。具体的には、水溶液に試験紙サンプルを浸した後に、それを不織布(ベンコット, 旭化成製)上に置くことで水分除去を行った。ちなみに、このような不織布による水分除去機構の土壌分析ポータブル装置への組み込みは構造を少し工夫することで容易に実現できると考えられる。このようにして、試験紙サンプル上の液膜による鏡面反射の影響を無くし、試験紙サンプルの呈色を正確にカラーセンサの受光部に取り込む工夫をしている。

3.2 実験結果

カラーセンサを用いたポータブル土壌分析装置を模したシステムを用い、pH 5, 6, 7 の試験紙サンプルから得た R, G, B 成分の階調値を図 12 に示す。これら図中の白, グレー, 黒色の丸印は各 pH 値の試験紙サンプル 20 個分から得た R, G, B 成分の階調値のそれぞれの平均を表し、エラーバーはそれらの平均±標準偏差の範囲を表す。図中の R と G 成分を見ると、試験紙サンプルの pH 値が大きくなるに従い、試験紙サンプルから得た階調値の分布が小さい方にシフトすることがわかる。一方、図中の B 成分を見ると、R と G 成分とは逆に、試験紙サンプルの pH 値が大きくなるに従い、試験紙サンプルから得た階調値の分布が大きくなる方がシフトすることがわかる。更に、R, G, B 成分全てにおいて試験紙サンプルから得た階調値のエラーバーの範囲が各 pH 間で重ならないこともわかった。これらの重なり度合いより図 7 の実験用色見本の番号のエラーバーの各 pH 間でのそれらが高いことから、人による pH 試験

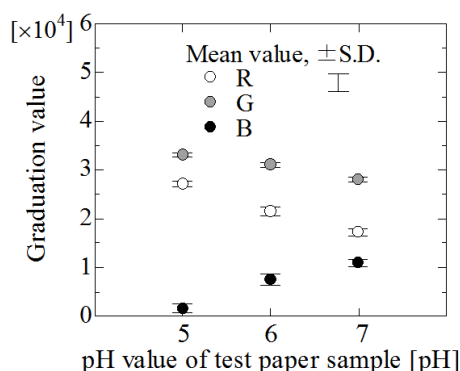


図12 各 pH の試験紙サンプルから得た階調値。

表1 各 pH 値の試験紙サンプルから得た階調値間の差異(t 値)。

Sample pair of test papers	t-value		
	R-component	G-component	B-component
pH 5 vs. pH 6	22.3	11.9	17.4
pH 6 vs. pH 7	15.6	17.6	11.2
pH 7 vs. pH 5	44.3	29.1	34.7
Mean value	27.4	19.5	21.1

紙を用いた色判別分析よりポータブル土壌分析装置のそれの方が正確に行えることが推測できる。

そこで、ポータブル土壌分析装置が人より pH 値をどの程度正確に分析できるかを検討するため、人の場合と同様にポータブル土壌分析装置を模したシステムの正答率を調べた。ここでは、試験紙サンプルから得た R, G, B 成分全ての階調値からシステムの正答率を求めるのではなく、その内の 1 つの成分の階調値から正答率を求める簡便な方法を採用した。まず、どの成分により正答率を求めるかを決定するため、R, G, B 成分毎に試験紙サンプルから得た階調値分布の pH 値間の差異を Welch の t 検定により調べた。その結果を、各 pH 間の試験紙サンプルの t 値を R, G, B 成分毎にまとめて、表 1 に示す。この表より G と B 成分より R 成分の t 値が相対的に大きい、すなわち試験紙サンプルから得た階調値分布の各 pH 値間の差異が大きいことがわかった。このことより、R 成分の試験紙サンプルから得た階調値で pH 値の分析をするのが一番正確であると推測でき、これを基にポータブル土壌分析装置を模したシステムの正答率を求めることにした。

次に、ポータブル土壌分析装置を模したシステムの正答率を求めるために、試験紙サンプルから得た R 成分の階調値から pH 値を推定する必要があり、これらの関係を決定しなければならない。ちなみに、今後、ポータブル土壌分析装置が開発され、実際に分析する際には、この階調値と pH 値の関係式を基にして、試験紙から得られた階調値そのものではなくそれから推定した pH 値を表示し分析者に見せる必要がある。そこで、試験紙サンプルから得た R 成分の階調値の平均と試験紙サンプルの pH 値が対をなすと決めて、図 13 のグラフの黒丸印をプロットした。そして、新たに作成した pH 4 と 8 の試験紙サンプルから得た R 成分の階調値の平均も加えて白丸印でプロットし、隣り合う丸印を直線で結んだ。そして、このグラフに示された関係を基に、試験紙サンプルから得た R 成分の階調値から pH 値を計算することにした。そして、pH 値が α の試験

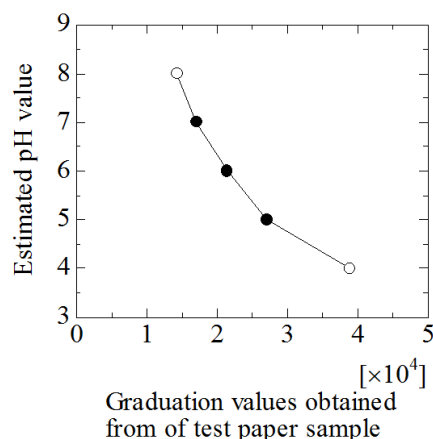


図13 試験紙サンプルから得た R 成分の階調値と推定 pH 値の関係。

紙サンプルから得た階調値を基に計算した pH 値が、人の場合と同様に、 $\alpha \pm 0.5$ の範囲にあるときを正解として、ポータブル土壌分析装置を模したシステムの正答率を求めた。

各 pH 値の試験紙サンプル毎にポータブル土壌分析装置を模したシステムの正答率まとめて、図 14 に示す。この結果より、ポータブル土壌分析装置を模したシステムを用いた場合、全ての pH 値の試験紙サンプルにおいて正答率が 97% 以上になることがわかる。このことより、pH 値の色判別分析においてポータブル土壌分析装置を用いることで正答率が人のそれら(図 9 参照)より約 20~60% 上昇すること明らかになり、本ポータブル土壌分析装置の有用性が示された。

4. 考察

2 節において、屋外で人が呈色試験紙を用いて pH 値を分析する場合には、真の pH 値より若干低い値として認識し、pH が 1 毎の判断であれば 1 つ下の pH 値として間違える可能性が大きいことを示した。このことから、試験紙ケース(図 3 参照)の各 pH 値の見本色を一つ小さな pH 値の色彩へ近づけることで、分析者の pH 値判定の正答率が上がることを期待できる。そこで本節では、試験紙ケースの各 pH 値の見本色を修正することによる人の呈色試験紙を用いた色判別分析の正確さ向上の可能性について検討する。

ここでは、実際に各 pH 値の見本色を修正して被験者に色判別の追加実験をしてもらうのではなく、図 6 に示した pH 6 の試験紙サンプルの各被験者が回答した実験用色見本の番号のデータを基に、見本色を修正した場合の色判別分析の正答率を推定する。具体的には、図 7 の右縦軸に表されている試験紙の付帯色見本の pH 値の目盛を、図 15 の上記グラフに示すように、 $\text{pH } \alpha$ の試験紙サンプルにおいて被験者が回答した実験用色見本の平均番号と試験紙の付帯色見本の $\text{pH } \alpha$ が一致するように書き換える。こうすることで、被験者全体に対して最適な色彩へ近づけ

た、pH 値の色判別分析の架空見本色を想定した。そして、この架空見本色を基に図 15 の下記グラフを作成して、被験者が回答した実験用色見本の番号から架空色見本での pH 値を求めた。そして、2 節と同様の方法により、架空色見本を用いた場合の pH 値の色判別分析の正答率を被験者毎に計算した。

架空色見本を用いた場合の被験者毎の pH 値の色判別分析の正答率と現状の色見本を用いた場合のそれらと併せて、図 16 に示す。この図を見ると、pH 試験紙ケースに付帯する色見本の色彩を修正することで、被験者 E, G, I の色判別の正答率が上がり、他の被験者のそれは下がっている。このことから、単純に pH 試験紙ケースに付帯している pH 値の色見本の色彩を全被験者にとって最適に修正しても、多くの被験者の pH 値の色判別分析の正答率が

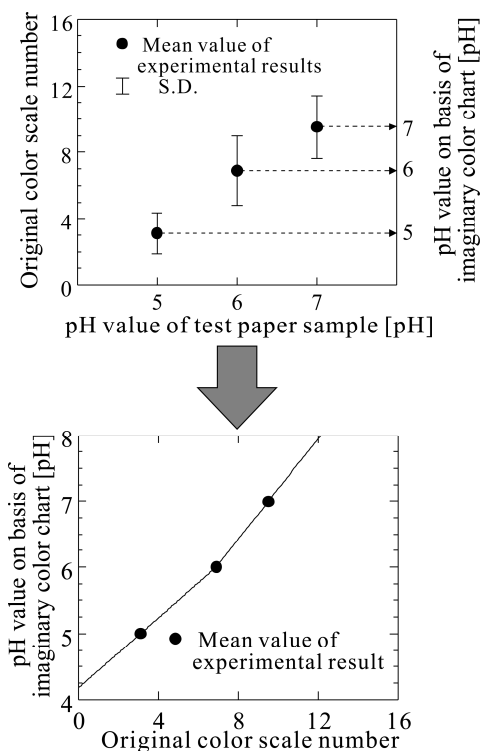


図15 試験紙サンプル (pH6) の各被験者が回答した番号から架空色見本の pH 値への推定方法。

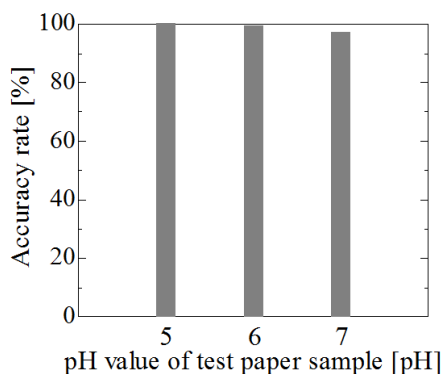


図14 各 pH 値の試験紙サンプルにおけるポータブル土壌分析装置を模したシステムの正答率。

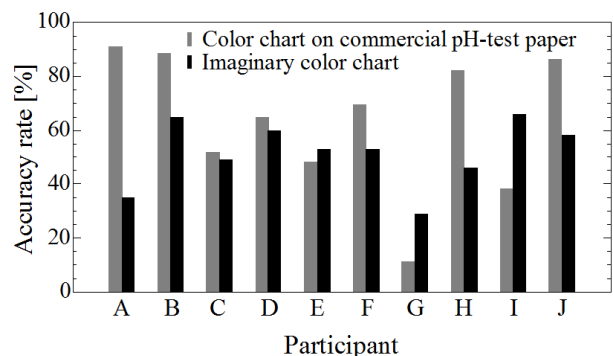


図16 実験用色見本と架空色見本を用いた場合の各被験者の pH 値の色判別分析の正答率。

高くなると限らないことがわかった。以上のことより、農業現場においては分析者の個人差が影響しないカラーセンサを用いたポータブル土壌分析装置による pH 値の色判別分析の重要性が再確認できた。

5. おわりに

屋外の農業現場において人の目で行われている呈色試験紙を用いた土壌分析の正確さに、著者らは疑問を感じていた。そこで本研究において、人の代わりに、一定照明下で試験紙の呈色をカラーセンサで読み込んで色判別を行うポータブル土壌分析装置の有効性について検討した。

まず、人による呈色試験紙を用いた土壌分析の正確さを調べるため、屋外での色覚正常な被験者 10 人に呈色試験紙の一つである pH 試験紙を用いて色判別分析実験を行った。その結果、被験者が実際の pH 値より 0.2~0.6 小さく判断していることがわかった。更に、真の pH 値を被験者が正解する率(正答率)は pH 5, 6, 7 においてそれぞれ 81 %, 60 %, 39 %であることがわかった。これらのことから、屋外において目視で行われている呈色試験紙を用いた pH 値の色判別分析の正確性に問題があることがわかった。

次に、ポータブル土壌分析装置を模したシステムを構築し、このシステムを用いて pH 試験紙の色判別分析実験を行った。そして、人と同様にこのシステムの pH 値の色判別分析の正答率を算出した。その結果、このシステムの pH 5, 6, 7 における正答率が 97 %以上となることがわかった。

以上のことより、一定照明下で試験紙の呈色をカラーセンサで読み込んで色判別を行う土壌分析装置を用いて pH 値の色判別分析を行うことで、その正答率は人のそれより約 20~60 %上昇することが明らかになり、本ポータブル土壌分析装置の有用性が確認できた。

今後、ポータブル土壌分析装置の実用化を目指し、農業現場の土壌の色(黒, 赤, 黄, 白っぽい)が及ぼす試験紙への呈色以外の着色について調べる。そして、カラーセンサから得られた階調値データ上で、この着色分を呈色反応後の試験紙色から差し引くアルゴリズムについて検討し、土壌色の影響を無視できるポータブル土壌分析装置を開発する予定である。

謝辞

本実験にご協力頂いた、神戸市立工業高等専門学校
の当時学生であった足立龍哉氏、中尾優作氏、兵庫県立
工業技術センター 吉田和利氏に感謝します。

参考文献

- (1) 一般財団法人日本土壌協会:「土壌、水質及び植物体分析法(電子版)」, CD-ROM, 東京, 2001.
- (2) 一般財団法人日本土壌協会編:「土づくりとエコ農業

2011年6・7月号」, p.50, 東京, 2011.

- (3) 湯尻照:「照度レベルによる表面色の色の見えの変化と個人差」, 光学, 19巻9号, pp.41-49, 1990.
- (4) Weale RA: “Age and the transmittance of the human crystalline lens”, Journal of Physiology, Vol.395, pp.577-587, 1988.
- (5) 岩田三千子, 岡嶋克典, 氏家弘裕:「照度レベルに依存するコントラスト感度の加齢変化」, 照明学会誌, 85巻5号, pp.352-359, 2001
- (6) 佐藤千穂:「加齢に伴う色の見えの変化」, 照明学会誌, 82巻8A号, pp.530-537, 1998.
- (7) 大田登:「色彩工学 第2版」, p.83, 東京電機大学出版局, 東京, 2001.
- (8) 篠田博之, 藤枝一郎:「色彩工学入門」, p.49 および p.150, 森北出版, 東京, 2007.
- (9) 農林水産省 農業環境技術研究所:「農耕地土壌分類 第3次改訂版」, pp.18-28, 1995.

演習主体授業における Bluetooth スピーカーシステムを用いた BGM 導入の教育効果

中川 卓也* 大向 雅人** 津吉 彰***

The Educational Effect of Back Ground Music with a Bluetooth Speaker System

Takuya NAKAGAWA* Masato OHMUKAI** Akira TSUYOSHI***

ABSTRACT

The education effect of back ground music (BGM) was reported prominent. In this study, the configuration of several speakers in a classroom has been considered experimentally with the help of a Bluetooth system. Questionnaire investigation revealed that the two speakers installed in the front and in the back of the classroom are effective for relaxing the students. In addition, volume of the BGM can be finely controlled with a Bluetooth system, which is a great advantage.

Keywords : practice in a class, educational effect, kind of music, bluetooth speaker

1. はじめに

高専教育は、5年間という限られた教育課程において、1年次より徐々に専門教育が増えていくといった特徴がある。しかし、専門科目になればなるほど、学生の理解度には個人差が生じ、単に講義を行うだけでは学生全員の習熟度レベルを引き上げることは難しいため低学年から継続して学習を行う環境を作ることが重要であると考えられる。そこで、継続して学習を行う教育効果の工夫の一つとして BGM 導入を行い、

- ・演習を行うとき等、緊張状態にある場合はリラックス効果がある
 - ・学習の導入効果、もしくは学習の持続効果がある
- といった効果から、BGM の導入に関しては大きな教育効果をもたらしている⁽¹⁾という結果が得られた。

次に、導入する BGM は、クラシック音楽、次いで現代音楽も十分効果を発揮している。導入のタイミングは演習のときが良い⁽²⁾という結果が得られた。

そこで、今回は BGM を導入するにあたり、

- ・スピーカーの位置を変えることができるシステムを導入する
 - ・演習中、解説を行うタイミングで即座に音量を下げることができる環境を構築する
- の 2 点について検討する。

それらがどのように影響を及ぼしているか、どのような教育効果が得られるのか検証を試みた。また、BGM 導入による教育効果に関して、学生にアンケート調査を実施し、その報告を行う。

2. BGM の導入方法について

2.1 BGM の種類と導入のタイミングについて まず、導入する BGM の種類とタイミングについて考える。中川らの過去の研究⁽¹⁾⁽²⁾において、BGM の種類はクラシックが良かったこと。導入のタイミングに関しては演習時の導入が最も効果的であったという結果から、

- ・BGM の種類 : クラシック
(バッハ:ブランデンブルグ協奏曲(K30Y 12))
 - ・導入のタイミング : 演習時のみ
- の条件で導入を試みることにした。

このように BGM の種類と導入のタイミング条件を絞ることにより、スピーカーの位置による影響や構築したシステムの効果がより顕著に現れるのではないかと考える。

* 明石工業高等専門学校 技術教育支援センター
技術専門職員

** 明石工業高等専門学校 電気情報工学科 教授

*** 神戸市立工業高等専門学校 電気工学科 教授

2.2 システムの構築 過去の研究において、同じ音響信号を再生してもスピーカーの位置によって空間的印象が変わることが知られている⁽³⁾。本研究においても、スピーカーの位置関係やスピーカーからの距離がどのような影響を与えているのか、比較・検討を試みることにする。

中川らの過去の研究⁽¹⁾⁽²⁾においては、教室に既設されている音響設備を使用していた。しかし、スピーカーは教室前方に据付けのため、

- ・BGM 音量が大きくなりがち
- ・教室前方と後方で音量差が出てしまう
- ・音量調節や導入時のタイミング等において、細かい操作がしづらい

といった欠点があった。それら、既設設備の教室のイメージ図を図1に示す。



図1 既設音響設備イメージ図

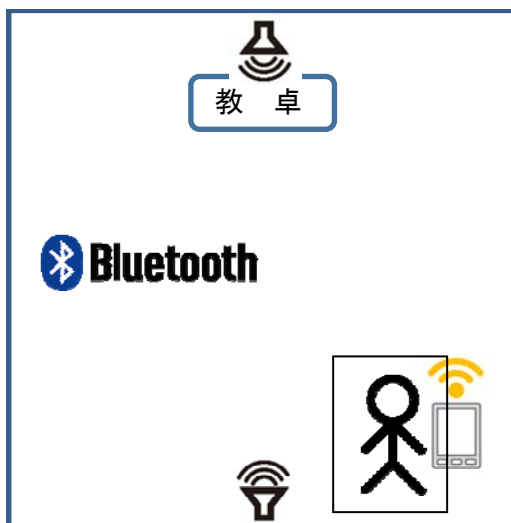


図2 Bluetoothスピーカー導入イメージ図

図1より、スピーカーは教室前方に固定されているため、教室の真ん中あたり（I群）に音量を合わせると教室後方（II群）は音量が小さくなってしまふ。かといって教室後方（II群）に音量を合わせると、今度は教室真ん中あたり（I群）の音量が大きくなってしまふ、どうしても教室内で音量に差が生じてしまふ。

次に、固定されていないスピーカー、つまり、Wirelessタイプのスピーカー（以下、Bluetoothスピーカーと呼ぶ）を導入した場合について考える。Bluetoothスピーカーを導入したイメージ図を図2に示す。

図2のように、スピーカーを教室の前後に配置すると、教室全体にBGMがいきわたると考えられる。すなわち、Bluetoothスピーカーを導入することで、

- ・配置によって、教室全体にBGMをいきわたらせるようにできるため、全体的に音量を抑えることができる

といったメリットが考えられる。

そこで今回は、

- ・音響本体：iPad Pro
- ・スピーカー：Bluetoothスピーカー 2台
(ONKYO SAS2000)

を導入し、システムの構築を行うこととした。

2.3 スピーカー配置パターンについて スピーカーの配置パターンは、図1の既設設備と比較できるようにBluetoothスピーカーを使用して

- ・教室前方（2か所）
- ・教室後方（2か所）
- ・教室前後（2か所、図2参照）

の3パターンでの配置パターンの導入を試みることにした。

3. 授業アンケートの実施

BGM導入について“電気回路I（第1学年，通年）”において試みた。なお、この講義を選択したのは、

- ・基本的な講義方法・講義内容が基礎的な内容であり、毎年同じ内容の講義が提供できている。
- ・学生の基礎知識の差にばらつきがない。電気回路Iは1年生（入学直後）において行う講義であるため、学生の基礎知識にはほとんど差がみられない。そのため、Bluetoothスピーカー導入の効果が素直に反映されると考えられる。

という二つの理由が挙げられ、それらが客観的な検討が可能であると考えられるためである。

また、Bluetoothスピーカー導入に関して“学生はスピーカーの位置関係の違いをどのように感じているのか”“スピーカーからの距離による影響をうけているのか”等、アンケート調査を実施した。

アンケートの対象は平成27年度の学生とした。今回アンケート調査の対象となった学生は、図1の既設音響設備を用いてアンケート調査を行った学生と、図2

の Bluetooth スピーカーを導入してアンケート調査を行った学生は同一クラスの学生である。アンケート内容は『参考資料Ⅰ』『参考資料Ⅱ』の2通りとした。参考資料Ⅰ・Ⅱ共にスピーカーの位置関係について設問を行っているが、アンケートを行った日は異なる。さらに、参考資料Ⅱは回答者の位置（前から何列目か?）についての項目を付け加えている。また、Bluetooth スピーカー導入効果の関連について明確な回答を得るため、参考資料Ⅰ・Ⅱ共にアンケートは質問に対して記述式ではなく、A 群の質問に対して回答を選択する形式と B 群の複数回答可の選択式とした。なお、A 群・B 群の設問内容は同じとしている。それは、同じ質問を行うことにより、A 群と B 群の回答結果において同じ傾向が出ればデータとしての信頼性が高いと考えられるためである。

4. アンケート結果と考察

4.1 スピーカーの配置について スピーカーの配置に関して、それらが学生に対してどのような効果・影響を及ぼしているかについての検討を行う。

まず、参考資料Ⅰより A 群の設問で“BGM を流す時、スピーカーの位置について良いと思うところを選んでください”の問いに関する図を図3に示す。

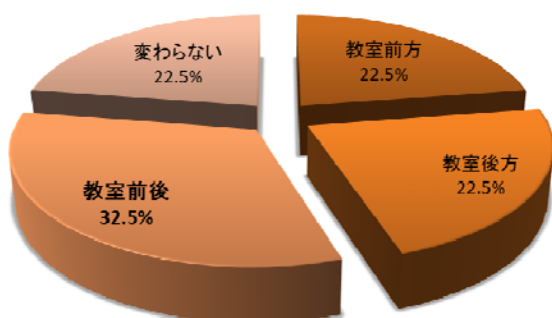


図3 [参考資料Ⅰ] A 群-BGM を流す時、スピーカーの位置について良いと思うところ

図3より、スピーカーの位置について教室前方が良いは40人中9人(22.5%)、教室後方が良いは40人中9人(22.5%)、教室前後が良いは40人中13人(32.5%)、変わらないは良いは40人中9人(22.5%)という結果となった。

次に、参考資料Ⅰより B 群の設問で“スピーカーを教室前方におき、BGM を聞く方が良いと思う”“スピーカーを教室後方におき、BGM を聞く方が良いと思う”“スピーカーを教室前後におき、立体的に BGM を聞く方が良いと思う”“スピーカーの置き方は関係ないと思う”の問いに関する図を図4に示す。

図4より、“スピーカーを教室前方におき、BGM を

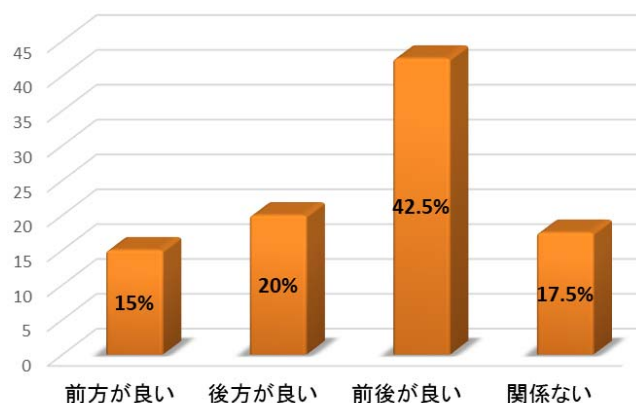


図4 [参考資料Ⅰ] B 群-BGM を流す時、スピーカーの位置について良いと思うところ

聞く方が良いと思う”は40人中6人(15%)、“スピーカーを教室後方におき、BGM を聞く方が良いと思う”は40人中8人(20%)、“スピーカーを教室前後におき、立体的に BGM を聞く方が良いと思う”は40人中17人(42.5%)、“スピーカーの置き方は関係ないと思う”は40人中7人(17.5%)という結果となった。

図3・図4を比較すると、各項目ごとに多少の数値の差がみられる。これは、設問形式の異なるアンケートに答えた学生の揺らぎ(誤差)ではないかと考えられる。しかし、図3・図4共に

- ・教室前後が良い

という項目が突出しており、他の項目に関してもほぼ同じ数値結果となっていることを考えると、A 群と B 群のアンケート結果から同じ傾向が得られたと考えられる。

ここで、参考資料Ⅱより A 群の設問で“BGM を流す時、スピーカーの位置について良いと思うところを選んでください”の問いに関する図を図5に示す。

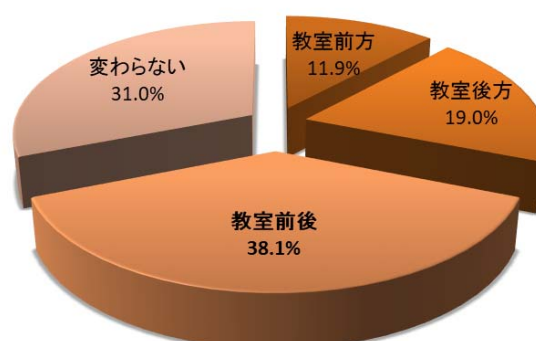


図5 [参考資料Ⅱ] A 群-BGM を流す時、スピーカーの位置について良いと思うところ

図5より、“スピーカーを教室前方におき、BGM を聞く方が良いと思う”は42人中5人(11.9%)、“スピ

一カーを教室後方におき、BGM を聞く方が良いと思う”は42人中8人(19.0%)，“スピーカーを教室前後におき、立体的にBGM を聞く方が良いと思う”は42人中16人(38.1%)，“スピーカーの置き方は関係ないと思う”は42人中13人(31.0%)という結果となった。

次に、参考資料ⅡよりB群の設問で“スピーカーを教室前方におき、BGM を聞く方が良いと思う”“スピーカーを教室後方におき、BGM を聞く方が良いと思う”“スピーカーを教室前後におき、立体的にBGM を聞く方が良いと思う”“スピーカーの置き方は関係ないと思う”の問いに関する図を図6に示す。

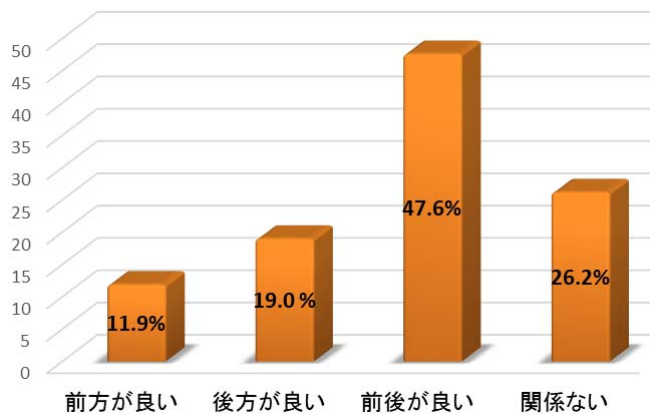


図6 [参考資料Ⅱ] B群-BGMを流す時、スピーカーの位置について良いと思うところ

図6より、“スピーカーを教室前方におき、BGM を聞く方が良いと思う”は40人中5人(11.9%)，“スピーカーを教室後方におき、BGM を聞く方が良いと思う”は40人中8人(19%)，“スピーカーを教室前後におき、立体的にBGM を聞く方が良いと思う”は40人中20人(47.6%)，“スピーカーの置き方は関係ないと思う”は40人中11(26.2%)という結果となった。

図5・図6を比較すると、各項目ごとに多少の数値の差がみられる。これは、設問形式の異なるアンケートに答えた学生の揺らぎ(誤差)ではないかと考えられる。しかし、図5・図6共に

- ・教室前後が良い

という項目が突出しており、他の項目に関してもほぼ同じ数値結果となっていることを考えると、A群とB群のアンケート結果から同じ傾向が得られたと考えられる。

さらに、参考資料Ⅰのアンケート結果である図3・4と参考資料Ⅱのアンケート結果である図5・6の傾向に着目する。

先にも述べた通り、“教室前後が良い”という項目が突出している。その“教室前後が良い”という項目について比較すると、参考資料Ⅰ・Ⅱ共にA群よりもB

群のアンケート結果の数値が大きくなっている。これは、A群の質問に対して回答を選択する形式よりもB群の複数回答可の選択式の方が学生の本音が顕著に表れたためではないかと考えられる。

以上、図4~図6の傾向からアンケート結果の信頼性はかなり高いと考えられ、

- ・スピーカーの配置は教室前後が良いということがいえる

4.2 スピーカーの距離について 導入するスピーカーからの距離がどのように影響を及ぼしているかについての検討を行う。

まず、参考資料ⅡよりA群の設問で“BGM を聞く時、スピーカーとの距離について良いと思うところを選んでください”の問いに関する図を図7に示す。

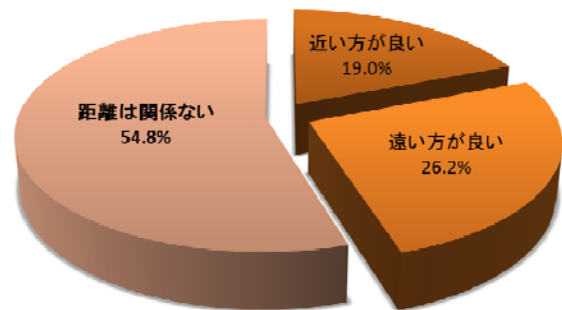


図7 [参考資料Ⅱ] A群-BGMを聞く時、スピーカーのとの距離について良いと思うところ

図7より、“近い方が良い”42人中8人(19.0%)，“遠い方が良い”は42人中11人(26.2%)，“距離は関係ない”は42人中23人(54.8%)という結果となった。

次に、参考資料ⅡよりB群の設問で“BGM を聞く時、スピーカーとの距離は近い方が良いと思う”、“BGM を聞く時、スピーカーとの距離は遠い方が良いと思う”、“BGM を聞く時、スピーカーとの距離は関係ないと思う”の問いに関する図を図8に示す。

図8より、“BGM を聞く時、スピーカーとの距離は近い方が良いと思う”は42人中8人(19.0%)，“BGM を聞く時、スピーカーとの距離は遠い方が良いと思う”は42人中11人(26.2%)，“BGM を聞く時、スピーカーとの距離は関係ないと思う”は42人中21人(50.0%)という結果となった。

図7と図8を比較すると、“距離は関係ない”については若干異なる結果となっているが、(B群の結果)図8は複数回答可ということを考慮すると学生の揺らぎ(誤差)と考えられ、ほぼ同じ結果が得られたと考えられる。

また、参考資料ⅡよりA群の設問で“BGM を流す

時、スピーカーの位置について良いと思うところを選んでください”の問いに関する図5の列ごとに分けた詳細図を図9に示す。

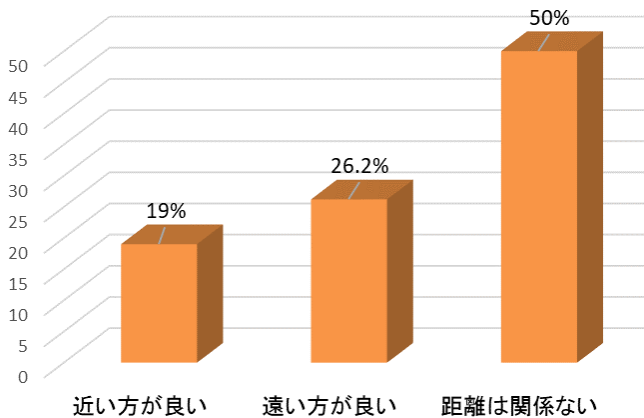


図8 [参考資料Ⅱ] B群-BGMを聞く時、スピーカーのとの距離について良いと思うところ

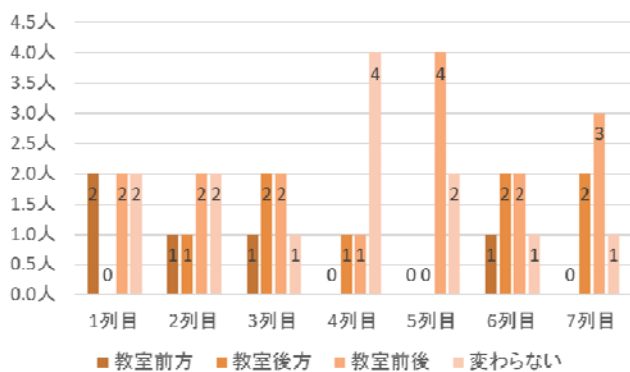


図9 [参考資料Ⅱ] A群-BGMを流す時、スピーカーの位置について良いと思うところ一列ごとの内訳

図9より、1・2列であっても“教室後方が良い”，6・7列であっても“教室前方が良い”との回答があり、必ずしも“スピーカーから近い方が良い”という結果になっていないことがうかがえる。つまり，“スピーカーとの距離は関係ない”ということがいえる。

以上、図7～図9の結果とスピーカーの位置によって空間的印象が変わるという過去の研究⁽³⁾から、

- ・スピーカーとの距離ではなく、スピーカーの空間的な位置関係における心地よさが影響を及ぼしている

ということが考えられる。

4.3 既存設備との比較 ここで、Bluetoothスピーカー導入のメリットについて検討を行う。

Bluetoothスピーカーの最大の特徴は、配線工事等が不要なため、場所を選ぶことなく導入することが可能な点である。つまり、教室に限らずどこでも導入できるということである。次に、配線工事等が不要なため、

設置型の設備よりも安価に導入できるという点である。さらに、Bluetoothに対応した機器(iPadやノートPC)が増えてきたため、導入の際に専門的な知識を必要としないのも大きな特徴である。そのため、誰でも手軽に導入できるといったことも大きなメリットと考えられる。つまり、

- ・場所を選ばず、どこにでも導入できる
- ・安価に導入できる
- ・専門的な知識を必要としない

といったメリットが挙げられる。

次に、中川らの過去の研究(図1の既設音響設備を使って調査を行った学生を対象とした研究)⁽²⁾において、頑なに“BGMを流さない方が良い”という学生が42人中1人(2.4%)という結果があったが、Bluetoothスピーカーを導入すると“BGMを流さない方が良い”という学生はいなくなった。さらに、Bluetoothスピーカーを導入後の自由記述においても、

- ・雑音が気にならない人で、微かに聞こえる程度の音量でとの意見が寄せられた。

これは、Bluetoothスピーカーを導入したことで、

- ・音量が全体的に抑えられた
- ・演習中に解説を行うとき、BGMの音量をなくすといったような、状況に応じて細かな音量操作を行うことによって学生の不快感がなくなった

といったことが考えられる。

以上から、

- ・状況に応じて細かな音量調整が可能なBluetoothスピーカーを導入するメリットは大きいと考えられる。

4.4 まとめ 以上、これまでの考察をまとめると、I) スピーカーの(空間的な位置関係の)配置は、教室前後が良い

II) スピーカーとの距離ではなく、スピーカーの空間的な位置関係における心地よさが影響を及ぼしている

III) 状況に応じて細かな音量調整が可能なBluetoothスピーカーを導入するメリットは大きいということが考えられる。

本研究では、音響本体(iPad)とBluetoothスピーカー2台(ONKYO SAS2000)を導入し、状況に応じて細かな音量操作を行うシステムの構築を行った。その結果、BGM導入に否定的な学生の意見に変化が表れたことは大きいと考える。そういった意味でも、Bluetoothスピーカーを導入するメリットは非常に大きいと考えられる。

5. おわりに

本論文では、演習主体授業において教育効果を上げる工夫の一つとしてBGMとBluetoothスピーカーを導入

入し、スピーカーの空間的な配置や距離との関係について論じた。アンケート結果からも“スピーカーを教室前後に配置すると良い”という結果が得られた。また、BGMを導入するにあたっては個人差があるが、Bluetoothスピーカーを導入し、状況に応じて細かな音量操作を行うシステムの構築を行った。その結果、BGM導入に否定的だった学生に変化が表れたことは大きいと考えられる。今後、少しでも多くの授業にBGMとBluetoothスピーカーを導入することが望まれる。

参考文献

- (1) 中川卓也, 大向雅人, 津吉 彰:「演習主体とする授業における BGM 導入による教育効果」, 神戸高専紀要, 第 55 号, pp. 1-6, 2017.
- (2) 中川卓也, 大向雅人, 津吉 彰:「演習主体とする授業における BGM 導入による教育効果 2」, 神戸高専紀要, 第 55 号, pp. 41-48, 2018.
- (3) 澤谷郁子, 入江健介, 杉本岳大, 安藤彰男:「22.2 マルチチャンネル音響再生システムにおけるスピーカー位置の違いが空間的印象に与える影響」, NHK 技研, No.148, pp. 33-44, 2014.11.

《参考資料 I》

電気回路 I 授業アンケート (2016.1.29)

A.下記問いについて、最も近いものを選んでください

Q1.BGMが流れていて良かったと思う

そう思う 思わない どちらでもない

Q2.BGMが流れていても流れていなくても、変わらないと思う

そう思う 思わない どちらでもない

Q3.演習を解くときにBGMが流れていたほうが良いと思う

そう思う 思わない どちらでもない

Q4.BGMを流す時、スピーカーの位置について良いと思うところを選んでください

教室前方 教室後方 教室前後 変わらない

B.下記項目に当てはまると思うものにチェック☑をしてください（複数回答可）

- BGMが流れていると授業に集中できると思う
- BGMは流れていても流れていなくても授業には関係無いと思う
- BGMが流れているとリラックスしながら授業を受けれると思う
- 演習問題を解くとき、BGMが流れていたほうが良いと思う
- 演習問題を解くとき、BGMが流れていても流れていなくてもかわらないと思う
- BGMが流れているとリラックスしながら演習問題を解けると思う
- スピーカーを教室前方におき、BGMを聞く方が良いと思う
- スピーカーを教室後方におき、BGMを聞く方が良いと思う
- スピーカーを教室前後におき、立体的にBGMを聞く方が良いと思う
- スピーカーの置き方は関係ないと思う

C.その他、気付いたことなどを自由に記述してください

《参考資料Ⅱ》

電気回路Ⅰ 授業アンケート (2016.2.05)

A.下記問いについて、最も近いものを選んでください

Q1.あなたの座席は前から何列目ですか？

前から _____ 列目

Q2.BGMを流す時、スピーカーの位置について良いと思うところを選んでください

教室前方 教室後方 教室前後 変わらない

Q3.BGMを聞く時、スピーカーとの距離について良いと思うところを選んでください

近い方がよい 遠い方がよい 距離は関係ない

B.下記項目に当てはまると思うものにチェック☑をしてください（複数回答可）

- スピーカーを教室前方におき、BGMを聞く方がよいと思う
- スピーカーを教室後方におき、BGMを聞く方がよいと思う
- スピーカーを教室前後におき、立体的にBGMを聞く方がよいと思う
- スピーカーの置き方は関係ないと思う
- BGMを聞くとき、スピーカーとの距離は近い方がよいと思う
- BGMを聞くとき、スピーカーとの距離遠い方がよいと思う
- BGMを聞くとき、スピーカーとの距離は関係ないと思う

C.その他、気付いたことなどを自由に記述してください

陽極酸化チタンの X 線応力評価

江副真悠* 西田真之**

X-rays Stress Measurement of the Anodized Titanium Plate

Mayu EZOE* Masayuki NISHIDA**

ABSTRACT

Titanium is used in various industrial fields. There are various coloration processes to improve added values of titanium. In this study, residual stresses in various anodized titanium plates were estimated by the X-ray diffraction method. Thin polished titanium plates were flowed in phosphating solution with a current of 16V. Diffraction profiles from the anodizing sample and the titanium substrate were compared. From these experimental results, both diffraction profiles matched exactly, and there was no diffraction peaks from the anodized film on the titanium surface. On the other hand, results of the stress measurement from titanium substrates showed good linearities in $2\theta\text{-sin}^2\psi$ diagrams. The compressive residual stresses in the titanium substrate were reduced by an anodized treatment. Thicknesses of anodized films were measured in this study. In the point of view of an absorption of X-ray beams, the low incident angle method by the X-ray diffraction was employed to estimate thicknesses of anodized film on the titanium substrate. From this investigation, it was found that the thickness value of the anodized film was about 400 nm.

Keywords : Anodizing films, Titanium, X-ray diffraction method, Film thicknesses

1. はじめに

チタンは高強度、軽量、高耐食性を有する金属で、航空や海洋、原子力などの様々な分野で使用されている⁽¹⁾。チタンはその優れた特性からそのまま使用されることも多いが、付加価値を向上させるために各種着色処理がなされている。その中で陽極酸化法が最も使用されている。しかし、着色性の向上に関する研究は数多くされているが、応力状態などの工業的見地からの研究は少ない。そこで本研究では X 線応力測定法を用いて陽極酸化法を行ったチタンの材料強度への影響を探る。

2. X 線応力測定

X 線応力測定法は X 線回折によって測定される。格子間隔を一種のゲージとして扱い、材料表面の応力状態を非破壊・非接触で測定する手法である。弾性論の基本的な応力-ひずみの関係から基礎式が導かれ次

式となり $2\theta\text{-sin}^2\psi$ 法として知られ、広く用いられている⁽²⁾。

$$\sigma_x = -\frac{E}{2(1+\nu)} \cdot \cot \theta_0 \cdot \frac{\partial(\theta\psi)}{\partial(\sin^2\psi)} \cdot \frac{\pi}{180} \quad (1)$$

E はヤング率、 ν はポアソン比、 θ_0 は無応力状態の回折角度である。

本研究では陽極酸化膜による材料表面の応力状態の変化を調べる。チタン表面の応力状態を測定するために $2\theta\text{-sin}^2\psi$ 法で並傾法を用いた。

Table1 に X 線応力測定条件を示す。また、応力値算出のための応力定数は 277 MPa/deg を用いた⁽³⁾。この値は日本材料学会 X 線委員会の HP よりクリーナーモデルを用いて計算した。

3. 試験片と実験方法

本研究では陽極酸化の方法として、酸化剤に 20% のりん酸水溶液を用い、電極はアノード、カソードの両極をチタン材とした。

* 一般科 教授

** 専攻科 機械システム工学専攻

Table 1 Conditions of X-ray stress measurement

Characteristic X-ray	CuK α
X-ray optics	Parallel beam
Tube voltage	40 kV
Tube current	20 mA
$\sin^2\psi$	0 ~ 0.6
hkl plane	213
Diffraction angle	$2\theta = 139.7^\circ$
Fixed time	10 sec
Filter	Ni
Irradiated area	2×4 mm

電圧を 16 V に調整して陽極酸化膜の色を変化させ、酸化させる時間で膜厚を制御することとした。Fig.1 に本研究で用いた陽極酸化の略図を示す。陽極酸化の前準備として、チタン表面を流水で洗い流しながらエメリー研磨を行う。エメリー研磨終了後、バフ研磨を行い、表面を鏡面に仕上げる。そして、表面をアセトンで脱脂し、その後 Fig.2 に示す通電状態の溶液に 30 分漬けておく。陽極酸化後に流水で洗い流し乾燥させる。その後、応力測定、膜厚測定を行う。応力測定は鏡面状に仕上げた直後と陽極酸化後に行っている。

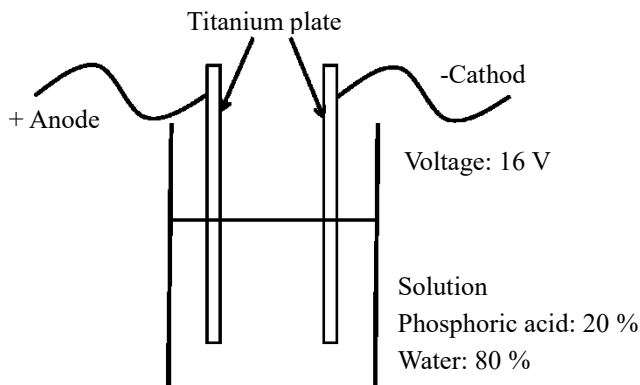


Fig.1 Schematic diagram of anodizing system

今回の測定においてあらかじめ陽極酸化前のサンプルと陽極酸化後のサンプルを X 線で測定し、回折線プロファイルを確認した。その結果、陽極酸化により着色されたサンプルにおいて陽極酸化の前後で回折線プロファイルはほぼ完全に一致し、膜からの回折線は確認されなかった。これを、Fig.2 に示す。そのため、本報告ではチタン基板側の応力変化などを評価し、陽極酸化の影響を調べることにした。

また、陽極酸化膜の膜厚測定を行った。初めに、チタン基板上にエポキシ系の接着剤を塗布し、オーブン内で 100 °C、30 分で硬化させた。このチタン基板に陽極酸化を行い、着色後に接着剤を剥がした状態のサンプルを Fig.3 に示す。その後図中の矢印部分を表面粗さ計で測定し、膜厚測定を試みた。Fig.3 より十分な厚さ

の陽極酸化膜が形成され、青色に発色していることが確認できる。Fig.4 に表面粗さの測定結果を示す。図中の太字の矢印付近に酸化膜とチタン基板の境界があるが、表面粗さの測定結果には表われていない。

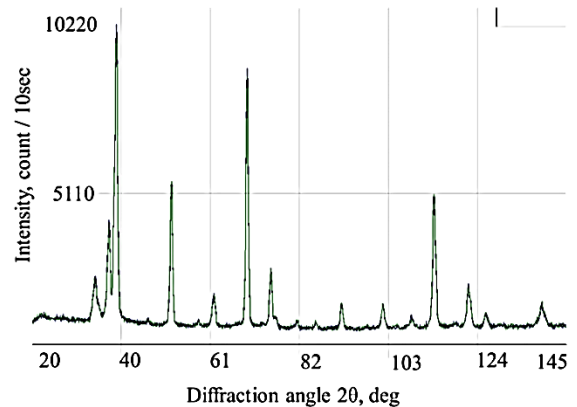


Fig.2 Diffraction profile of the anodizing surface and the untreated surface



Fig.3 Anodized sample and measurement position

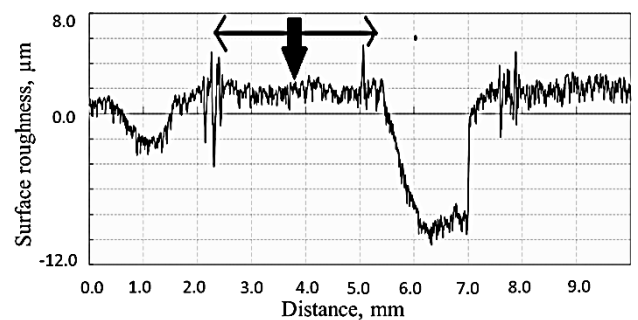


Fig.4 Result of surface roughness measurement

次に、陽極酸化終了後のサンプルの半面をバフ研磨で研磨する。膜が除去できたとし、Fig.5 中の矢印部分

を表面粗さ計で測定, 膜厚測定を試みた. Fig.6 に表面粗さの測定結果を示す. Fig.6 の図中のように僅かに段差が確認できた. しかし, 結果として, 膜厚は約 $0.3 \mu\text{m}$ と推測され, 陽極酸化膜の膜厚は表面粗さ計の精度(約 $1 \mu\text{m}$)よりも薄いと考えられる.



Fig.5 The measurement sample of the level difference: The anodized area and the polished area can be observed

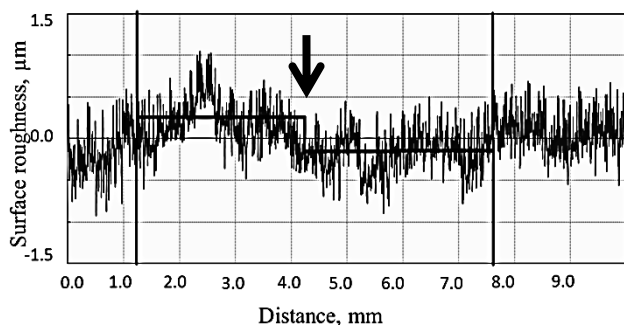


Fig.6 Results of surface roughness measurement

Fig.4, Fig.6 から, 陽極酸化皮膜は Fig.7 に示すようにチタン基板上に積層されるのではなく, 基板表面から内部に向かって膜が形成されていくのではないかと考えている. そのために表面粗さ計では測定できなかったと推測される. そこで X 線回折による低角入射法を用いて膜厚算出を試みた.

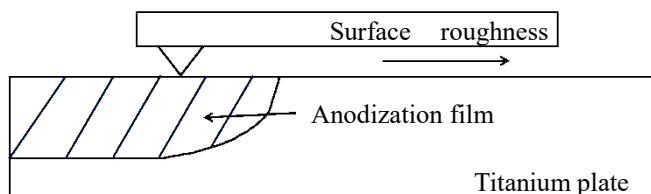


Fig.7 Schematic diagram of the anodized surface and the titanium substrate

4. X 線回折による低角入射法を用いた膜厚算出

本研究では, X 線回折による低入射法を用いて, チタン基材上の陽極酸化膜の膜厚を推定した. Fig.8 は, X 線回折による低入射角法の概略図を示す. 入射 X 線の角度を低角度に固定し, 受信カウンターを $2\theta = 5^\circ$

$\sim 45^\circ$ で動かした. ほとんどの場合, この低角入射法は, 薄膜の特性調査に有用である. 本研究では, この方法をチタン基材上の陽極酸化皮膜の厚さの推定に適用した. Table.2 に, X 線回折による低角入射法の条件を示す.

Table.2 Conditions of the low incident angle method by X-ray diffraction

Characteristic X-ray	CuK α
X-ray optics	Parallel beam
Tube voltage	40kV
Tube current	20mA
Incident angle	$\alpha = 1 - 20^\circ$
Scanning region	$2\theta = 5 - 45^\circ$
Fixed time	3 sec
Filter	Ni
Irradiated area	$2 \times 4 \text{ mm}$

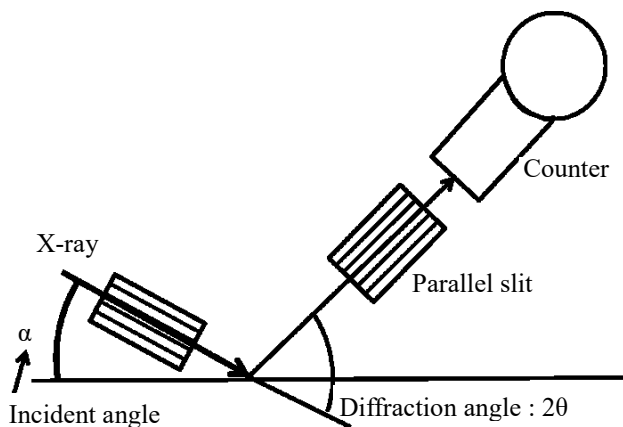


Fig.8 X-ray diffraction by the low incident angle method

Fig.9,10 および 11 は, X 線回折による低角入射法の結果である. これらの結果では, 2 つのピーク線図が描かれており, 1 つが陽極酸化膜からの回折線ピーク, もう一方がチタン基板表面からの回折線ピークである.

Fig.9 は, 入射角 $\alpha = 1^\circ$ の場合である. Fig.9 の結果から, 陽極酸化膜またはチタン基板のいずれからも回折線ピークは存在しなかった. 通常, チタン 100, 002 及び 101 面からの回折線ピークは, $2\theta = 30^\circ$ から 45° まで現れる. しかし, Fig.9 の結果から, この領域に回折線ピークは存在しない. さらに, 陽極酸化された回折線プロファイルとチタン基板の回折線プロファイルとの差異も, 明確には得られなかった. Fig.10 は, $\alpha = 12^\circ$ の場合の結果を示す. これらの結果から, $2\theta = 5^\circ \sim 45^\circ$ のチタンピークが得られた. これらの回折ピークは, 100, 200 及び 101 面からのものであった. 特に, 陽極酸化膜とチタン基板表面との間のピーク強度の差がこ

の結果から明確に観察される。チタン基板表面からのピーク強度は、陽極酸化膜からのピーク強度よりも大きかった。この傾向は、100, 002 および 101 面の3つのピークにおいて同じであった。Fig.11 は、 $\alpha = 18^\circ$ の場合の結果を示す。3つのピークが非常にはっきりと現れた。しかし、3つのピークのピーク強度は、陽極酸化膜およびチタン基板と一致する。3つのピークのそれぞれにおけるピーク形状と強度の差を得ることは困難である。Fig.11 のこれらの結果は、陽極酸化膜とチタン基板との間の2つの回折線プロファイルが完全に重なる Fig.2 の結果と同じであった。したがって、チタン基板上に生成した陽極酸化膜の影響は、X線回折による低角入射法では、 $\alpha = 7 \sim 15^\circ$ のX線入射角からのみ現れた。

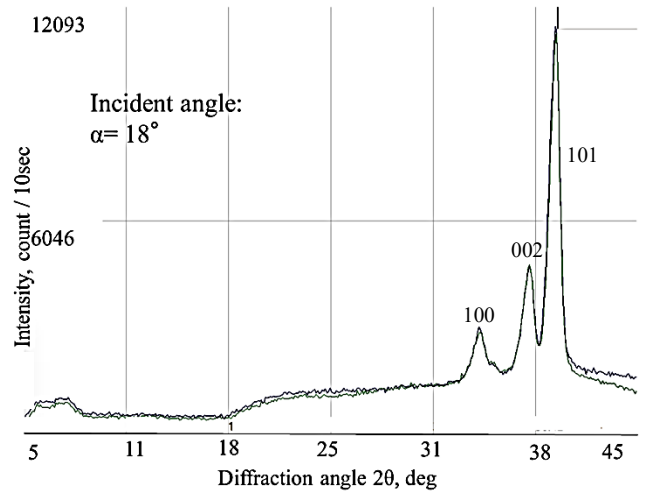


Fig.11 Results of the X-ray diffraction by the low incident angle method: The case of $\alpha = 18^\circ$

Fig.12 は、ピーク強度と X 線入射角との間の関係を示す。この結果は、100 面のピーク ($2\theta = 34.8^\circ$) から生成される。これは Fig.10 や Fig.11 の3つのピーク例であり、002 面と 101 面の他ピークの結果も同様の傾向を示す。Fig.2 に陽極酸化処理した試験片とチタン基板の結果をプロットしている。実線は陽極酸化された試験片の結果で、点線はチタン基板の結果である。チタン基板の場合、X線入射角 $\alpha = 7^\circ$ 付近にピーク強度が現れ、入射角 α でピーク強度が増加した。入射角が $\alpha = 15^\circ$ のとき、強度は最大強度となった。陽極酸化された試験片の場合、傾向はチタン基板と同じであり、曲線の形状はどちらの場合もほぼ同じである。しかし、チタン基板の曲線と比較して、陽極酸化された試験片の曲線は α 約 3° 右にシフトする。これらの傾向は、002 ピークおよび 101 ピークからの他の結果で確認される。チタン基板の曲線と陽極酸化された曲線との間のこの差は、チタン基板上に陽極酸化膜が存在することに起因すると考えられる。

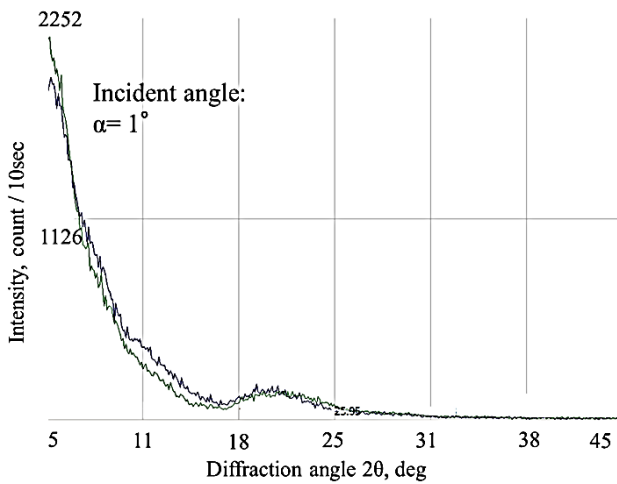


Fig.9 Results of the X-ray diffraction by the low incident angle method: The case of $\alpha = 1^\circ$

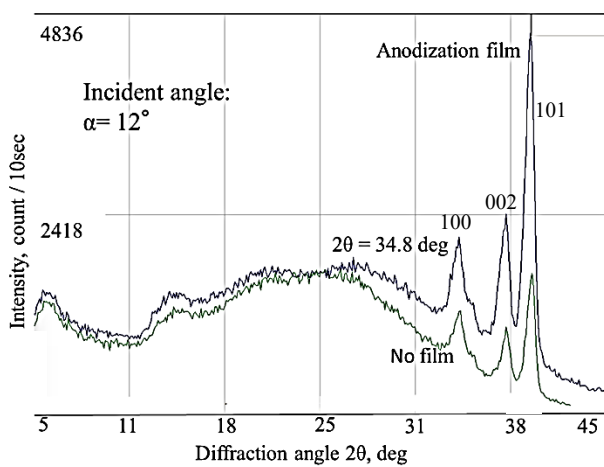


Fig.10 Results of the X-ray diffraction by the low incident angle method: The case of $\alpha = 12^\circ$

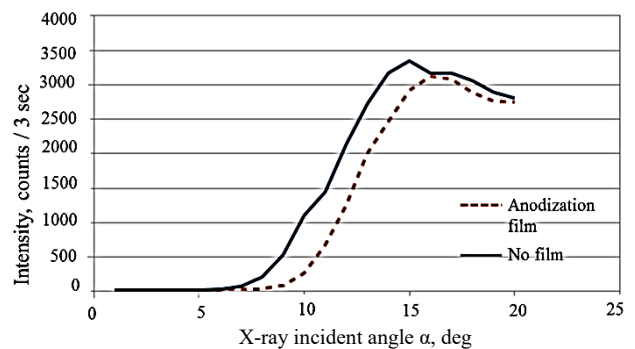


Fig.12 A typical relationship between peak intensities and X-ray incident angles

本研究では、上記の現象を X 線吸収の観点から考察し、X 線侵入深さは $1/e$ に減衰した強度で定義した。Fig.13 には、(a) チタン基板および (b) 陽極酸化された試験片の X 線侵入深さの模式図が示されている。Fig.14 は、曲線の基本的な概念の概略図を示す。

Fig.13 から、X 線の入射角度を α とした場合、チタン基板の侵入深さは A となる。X 線の強度を I_A とする。陽極酸化された試験片の場合、チタン基板への実際の侵入深さは B となった。この場合の X 線の強度を I_B とする。X 線が陽極酸化膜に吸収され、チタン基板の侵入深さが小さいため、 I_B は I_A よりも弱かった。Fig.14 から、チタン基板のピーク強度を I_A で示す。陽極酸化試料の場合、X 線が同じ入射角 α で入射したとき、入射した X 線は陽極酸化膜によって吸収された。したがって、X 線強度は I_B よりも弱く、侵入深さが浅く (Fig.13 参照)、陽極酸化膜の吸収により強度 I_B' となった。

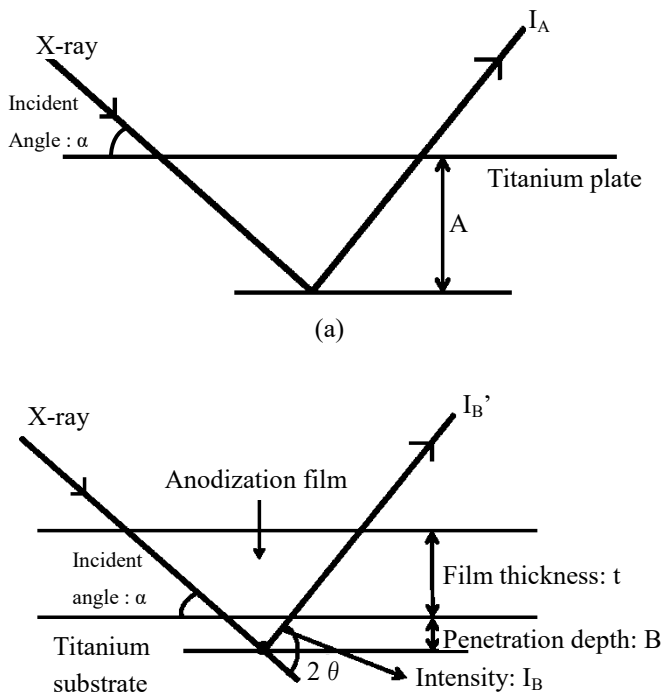


Fig.13 Schematic diagram of X-ray penetration depths in; (a) the non-anodized sample, (b) the anodized sample

一方、これらの X 線強度の低下は X 線入射角 α 、陽極酸化膜の厚さ t 、陽極酸化膜およびチタンの質量吸収係数に依存する。したがって、必要なパラメータが定義され、計算値が実験結果と一致すれば、チタン基板上の陽極酸化膜の厚さを推定することができる。本研究では、次の吸収式を使用し、いくつかの厚さの陽極酸化膜でシミュレーションを行った。

$$I_A' = I_B \exp -\{(\mu/\rho)_{TiO_2} \rho_{TiO_2} L\},$$

$$L = \{(1/\sin \alpha) + (1/\sin(2\theta - \alpha))\} \quad (2)$$

$(\mu/\rho)_{TiO_2}$ は TiO_2 の質量吸収係数、 ρ_{TiO_2} は TiO_2 の密度である。

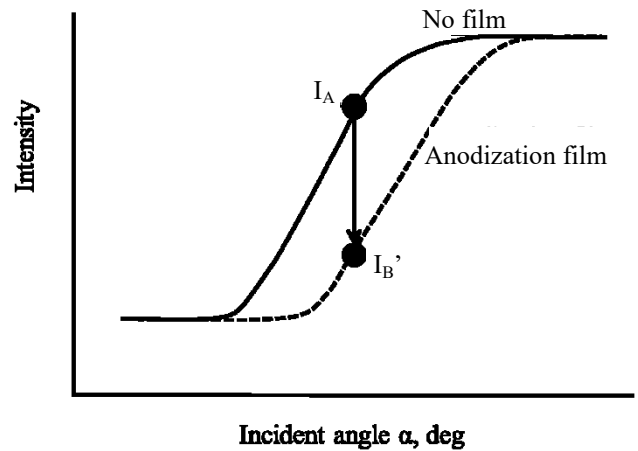


Fig.14 The schematic diagram of the basic thinking of the curve line shifting

式 (2) のシミュレーション結果を Fig.15 に示す。実験値は実線でプロットしている。点線は、陽極酸化膜のいくつかの厚さから計算される。これらの結果から、チタン基板上の陽極酸化膜の厚さは約 400 nm であると予想される。この 400 nm の値は、Fig.6 の実験結果と同じ順序である。

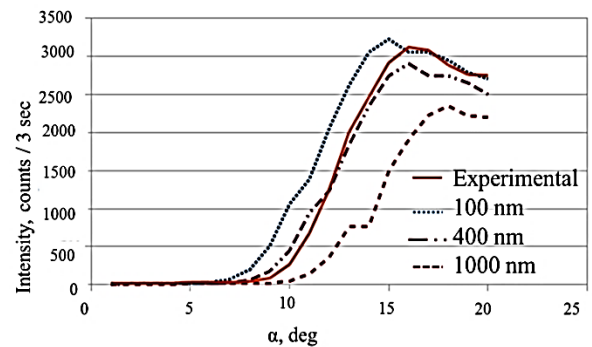


Fig.15 Results of the calculated X-ray intensity by Eq. (1)

Fig.16 は、X 線応力測定の結果を示す。チタン基板について $2\theta\text{-}\sin^2\psi$ 線図をプロットした。この結果から、 $2\theta\text{-}\sin^2\psi$ 線図はわずかに下に凸の曲線を描く。通常この曲線は、表面から内部領域への残留応力分布の存在を証明している。チタン基板表面にバフ研磨を施すと、チタン表面の下に圧縮残留応力が発生した。したがって、表面近傍の圧縮残留応力は深い位置よりも大きくなる。これらの傾向は、Fig.16 の 2 つの回帰線によって説明された。Fig.17 は、陽極酸化された試験片の $2\theta\text{-}\sin^2\psi$ 図を示す。1 日陽極処理した試料と 5 日間陽極酸化した試料の結果を Fig.17 に示す。これらの結果が

ら、陽極酸化した試験片ではデータの散乱や曲線が改善され、回帰直線の直線性も改善された。X線残留応力測定の結果を Table 3 に示す。すべての試験片に圧縮残留応力が存在した。陽極酸化されていない試験片の圧縮残留応力は、陽極酸化試料よりも約 40 MPa 大きかった。回折線プロファイルの半値幅も陽極酸化された試験片では減少した。Fig.18 は、陽極酸化処理と残留応力値の変化との間の関係についての考え方の概略図を示す。これらの応力変化は、チタン表面の陽極酸化処理によってチタン表面近傍の圧縮残留応力値が陽極酸化膜にとってかわられたため、陽極酸化試料の圧縮残留応力が減少したと考える。

Table 3 Half maximum width and stress value

	H.W.	Stress value
Emery polishing	2.47°	-361MPa
1day anodization	1.64°	-322MPa

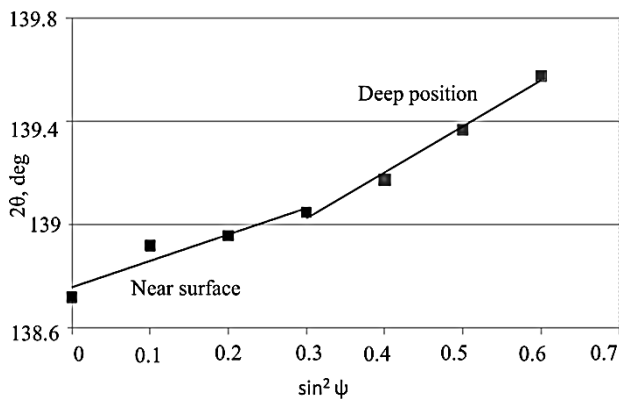
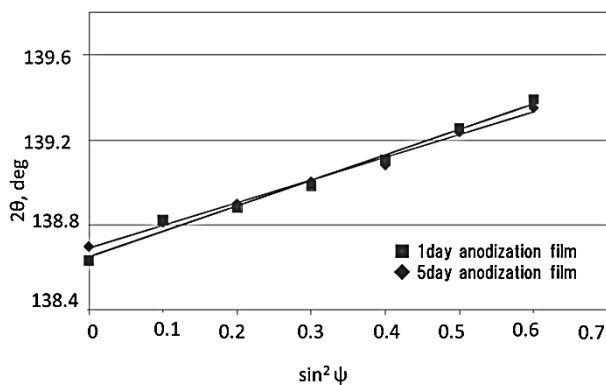


Fig.16 2θ-sin²ψ diagram of polished titanium



Fi.17 2θ-sin²ψ diagram of 1day and 5day anodization film

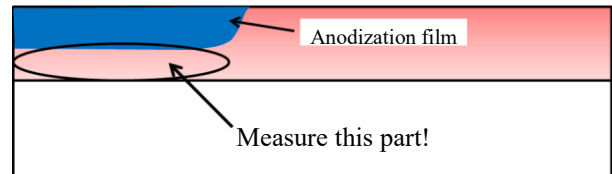


Fig.18 Reason for reduction of stress value

5. まとめ

- 1) 陽極酸化膜からの回折プロファイルはなかった。
- 2) 陽極酸化皮膜の厚さは、X線回折の低入射角法により約 400nm である。
- 3) 陽極酸化処理により、チタン基材の圧縮残留応力が低減された。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 25420037 の助成を受けたものです。ここに謝意を表します。

参考文献

- (1) (社)日本チタン協会:「チタンの加工技術」, 日刊工業新聞社, (2003), pp190-191
- (2) 社団法人日本材料学会:「X線応力測定法標準(2002年版)-鉄鋼編-」, 社団法人日本材料学会, (2002), pp28
- (3) Web page of JSMS committee on X-ray Study of Mechanical Behavior of Materials: <http://www.jsms.jp>

炭素繊維材料のX線応力測定

河村惟友* 西田真之**

X-ray Stress Measurement of Carbon Fiber Material

Yuito KAWAMURA* Masayuki NISHIDA**

ABSTRACT

In a fiber reinforced material such as CFRP(carbon fiber reinforced plastic), a large residual stress occurs in the reinforcing fiber due to the difference in thermal expansion coefficient between the fiber and the base material. The purpose of this research is to focus on the carbon fiber material and the polyamide used for CFRP and evaluate its internal stress state. In this study the residual stress was measured by X-ray stress measurement method. In this research, we attempted stress measurement with higher precision by using the transmission method instead of the reflection method. Tensile loads were applied to a carbon fiber material by a small tensile testing machine, and the generated stress was measured using characteristic X-ray of MoK α and CuK α . As a result, in the X-ray stress measurement method using the transmission method, the high angle side of the diffraction peak shifted and the asymmetry increased.

Keywords : X-ray stress measurement, carbon fiber, CFRP, residual stress, d - $\sin^2\psi$ method

1. はじめに

炭素繊維は高分子材料と組み合わせることで、炭素繊維強化プラスチック(CFRP)などの複合材料として用いられる。現在、CFRPは鉄やアルミ等の金属材料より低密度ながらも比強度が高く、軽くて強い材料である。そのため、航空宇宙や自動車分野などで広く使用されている。繊維強化材料では、繊維と母材間の熱膨張係数の違いから繊維強化内部に熱誘起型の大きな残留応力が発生し、材料の性能に与える影響が問題となっている。そこで、これらの材料内部に存在する残留応力を測定する方法としてX線応力測定法がある。

本研究では、CFRPに使用される炭素繊維材料の内部応力を評価する。既知の引張負荷を与え、発生した応力をMoK α とCuK α の2種類の特性X線を用いて測定する。得られた結果から負荷応力とX線により測定された応力の関係を求め、X線的弾性定数を算出し、炭素繊維材料の内部応力状態について比較を行う。また、CFRPの母材に使用されるポリアミドについても同様にX線応力測定を行い、内部応力状態を考察する。

2. X線応力測定および測定試料の準備

2.1 $\sin^2\psi$ 法 Fig. 1にX線応力測定における座標系を示す。この図において試料法線方向からの傾きを ψ 角と定義する。

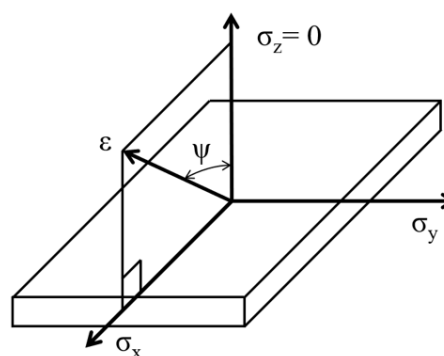


Fig. 1 Coordinate system of X-ray stress measurement.

ここでX線の侵入深さがきわめて浅い場合、もしくは試料厚さがきわめて薄い場合、試料の測定部分は平面応力状態であると仮定でき、表面層の応力 σ はフックの法則を用いてまとめると式(1)のようになる⁽¹⁾。

$$\sigma = \frac{E}{1+\nu} \cdot \frac{1}{d_0} \cdot \frac{\partial d_\psi}{\partial(\sin^2\psi)} \quad (1)$$

* 専攻科 機械システム工学専攻

** 機械工学科 教授

ここで、 E はヤング率、 ν はポアソン比、 d_0 は無応力状態の格子面間隔、 d_ψ は ψ 角傾いた時の格子面間隔である。いくつかの ψ 角で回折線ピークを測定し、格子面間隔 d を算出する。これらの測定結果を縦軸に ψ 角毎の回折角 2θ から算出した格子面間隔 d 、横軸に $\sin^2\psi$ でグラフにプロットする。これらの測定点を回帰直線で直線近似すると、近似直線の傾きから応力を計算することが可能となる⁽²⁾⁽³⁾。このグラフは $d\text{-}\sin^2\psi$ 線図と呼ばれ、X線応力測定法では最も広く利用されている手法である。Fig. 2 に $d\text{-}\sin^2\psi$ 線図の概要を示す。

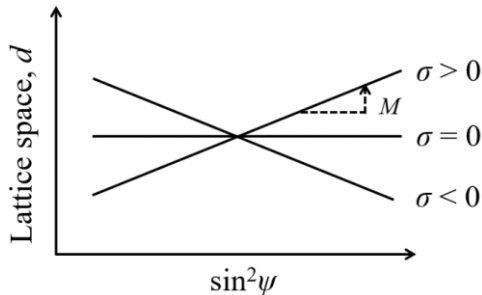


Fig. 2 Schematic diagram of $d\text{-}\sin^2\psi$ diagram.

さらに、一般的な応力測定を適用するために、試料に既知の応力負荷を加え、いくつかの $d\text{-}\sin^2\psi$ 線図を作成する。これらの $d\text{-}\sin^2\psi$ 線図から得た直線の傾き M を縦軸に、既知の負荷応力を横軸にとると、Fig. 3 に示す $M\text{-}\sigma$ 線図が得られる。この $M\text{-}\sigma$ 線図を材料ごとに準備すれば必要な応力評価が可能となる。

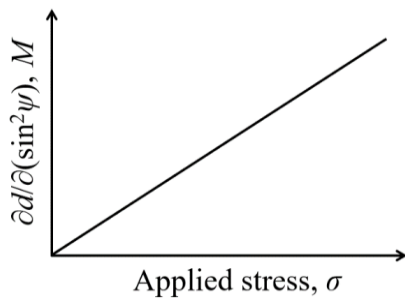


Fig. 3 Coordinate system of $M\text{-}\sigma$ diagram.

この $d\text{-}\sin^2\psi$ 法を用いた測定法として、反射法と透過法があり、一般に金属材料のX線応力測定には反射法が用いられ、エネルギーが高いX線や吸収率が低い材料の場合には透過法を用いることができる。反射法および透過法のモデル図を Fig. 4 に示す。

低角側に出現する材料の回折線ピークを測定する場合、通常の並傾法ではX線応力装置の照射域に対して試料の可動域が小さいため、 ψ 角を十分に確保できない。しかし、透過法を用いればX線応力装置の照射域に対して試料の可動域を大きくとることができ、 ψ 角を十分に確保することができる。逆に回折線ピークの出現位置が低角側であ

るほど ψ 角を広く設定することができる。

また、透過法では反射法のように回折線が受光側のスリット上に集光せずに発散してしまう。そのため、透過法を使用するときには、光学系としては並行スリットまたはコリメータを使用する必要がある。

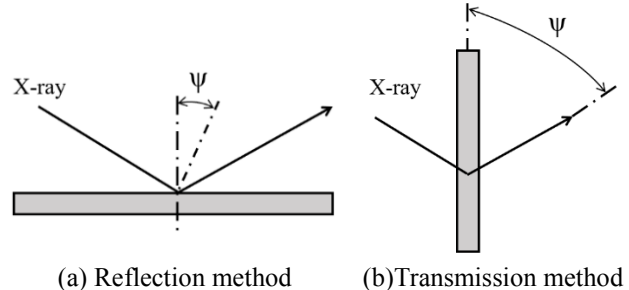


Fig. 4 Reflection and Transmission method.

2.2 測定試料の準備 測定に用いた炭素繊維は、Table 1 に示す物性値を有する(株)東レの T300-3000 である。炭素繊維に引張の負荷を与えるために小型の引張試験機を使用する。Fig. 5 に示すように炭素繊維の両端に圧着端子を取り付け、エポキシ系接着剤で固定することにより引張試験機のチャック部での滑りを低減させた。

本実験では、炭素繊維 3000 本の束を 5 本使用し、それをひとつにまとめて炭素繊維 15000 本の試料を用意した。また、ポリアミドの測定には 80×10 mm、厚さが 0.055 mm の寸法のポリアミドシートを使用した。Table 2 にポリアミドシートの物性値を示す。

Table 1 Characteristics of T300-3000.

Maximum stress [GPa]	3.53
Young's modulus [GPa]	230
density [g/cm^3]	1.76
Maximum strain [%]	1.5



Fig. 5 Sample of carbon fiber.

Table 2 Characteristics of polyamide.

Poison's raito	0.41
Young's modulus [GPa]	2.5
Density [kg/m^3]	1130
Liner expansion coefficient [ppm/K]	90
Thermal conductivity [$\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$]	0.25

3. 実験方法

3.1 MoK α 線を用いた X 線回折 本実験では炭素繊維とポリアミドの試料をそれぞれ, MoK α の特性 X 線を用い透過法にて X 線応力測定を行う. 二つの試料を MoK α の特性 X 線で測定したピークプロファイルを図. 6 に示す.

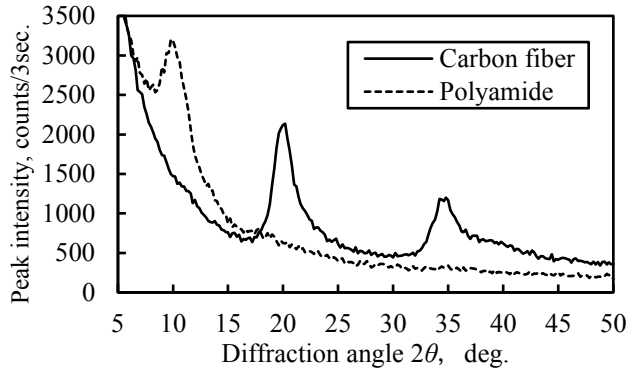


Fig. 6 Peak profile of carbon fiber and polyamide (MoK α).

Fig. 6 に示している炭素繊維のピークプロファイル上において, $2\theta = 20^\circ$ 近辺に出現しているピークを使用して内部応力状態を確認する. 炭素繊維試料を X 線回折装置のゴニオメータ上に設置した小型の引張試験機に取り付け, 段階的に荷重を与えていく. 引張荷重はねじを締めていくことで負荷しており, 小型引張試験機に取り付けられたひずみゲージから荷重を算出している. また, ポリアミドの測定ではポリアミドシートを試験機に取り付け, 分銅によって段階的に引張荷重を与えていく. ポリアミドのピークプロファイル上において, $2\theta = 10^\circ$ 近辺に出現しているピークを使用する. MoK α の特性 X 線を用いた X 線応力測定の測定条件を Table 3 に示す.

Table 3 Condition of X-ray measurement (MoK α).

Characteristic x-ray	MoK α
Tube voltage [kV]	40
Tube current [mA]	20
$\sin^2\psi$	(carbon fiber) 0.5~1.0
	(polyamide Sheet) 0.5~1.0
Measurement angle	(carbon fiber) $2\theta = 17.0 \sim 25.0^\circ$, 0.2 step
	(polyamide Sheet) $2\theta = 8.0 \sim 14.0^\circ$, 0.2 step
F.T. [sec]	15
Filter	Zirconium

3.2 CuK α 線を用いた X 線回折 前節と同様に炭素繊維とポリアミドの試料をゴニオメータ上の試験機に設置し, 段階的に引張荷重を与え, CuK α の特性 X 線を用い透過法で X 線応力測定を行う. 二つの試料を MoK α の特性 X 線で測定したピークプロファイルを図. 7 に示す.

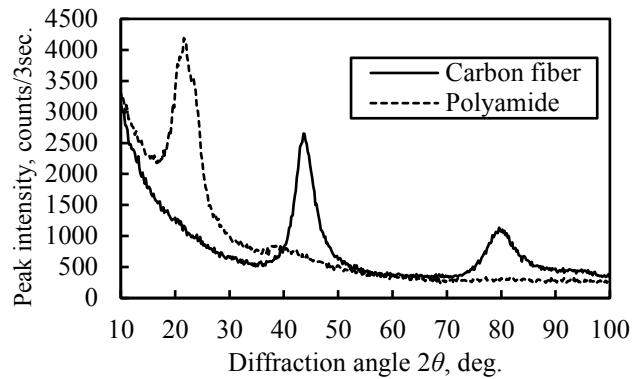


Fig. 7 Peak profile of carbon fiber and polyamide (CuK α).

Fig. 7 に示している炭素繊維のピークプロファイル上において, $2\theta = 45^\circ$ 近辺に出現しているピークを使用する. また, ポリアミドの場合はピークプロファイル上において, $2\theta = 22^\circ$ 近辺に出現しているピークを使用する. CuK α の特性 X 線を用いた X 線応力測定の測定条件を Table 4 に示す

Table 4 Conditions of X-ray measurement (CuK α).

Characteristic x-ray	CuK α
Tube voltage [kV]	40
Tube current [mA]	20
$\sin^2\psi$	(carbon fiber) 0.5~1.0
	(polyamide sheet) 0.5~1.0
Measurement angle	(carbon fiber) $2\theta = 38.0 \sim 51.0^\circ$, 0.2 step
	(polyamide Sheet) $2\theta = 17.0 \sim 28.0^\circ$, 0.2 step
Fixed time [sec]	15
Filter	Nikkel

4. 実験結果および考察

4.1 MoK α 線を用いた X 線回折結果 Fig. 8 に MoK α 線による炭素繊維の X 線回折結果から半価幅法を用いて求めた d - $\sin^2\psi$ 線図を示す. また, d - $\sin^2\psi$ 線図から得られた傾きと負荷応力により描いた M - σ 線図を図. 9 に示す.

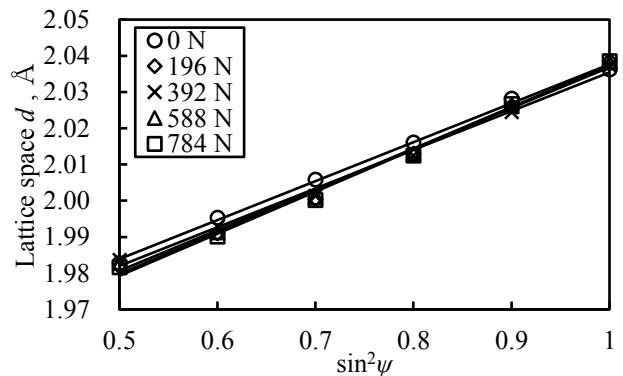


Fig. 8 d - $\sin^2\psi$ diagrams of carbon fiber (H.W. 50 %, MoK α).

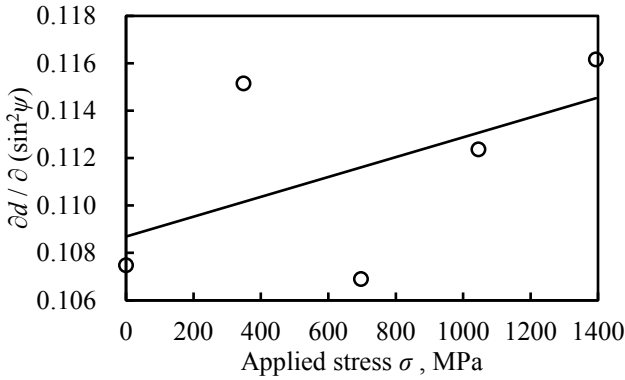


Fig. 9 M - σ diagram of carbon fiber (H.W. 50%, MoK α).

Fig. 8 より、負荷をかけていない初期状態においても d - $\sin^2\psi$ 線図が傾いていることが確認できる。また Fig. 9 より、 M - σ 線図にプロットされた点がきわめてばらついており、直線性が良くないことが分かる。プロットした点がばらつくひとつの要因として、 ψ 角が 90° から 45° へと傾くに連れて回折線ピークの高角側がシフトし、ピークプロファイル全体が非対称性を示して回折線ピークが広がることが挙げられる。そこで、非対称性が大きくなるピークの高角側を除いて Gauss 曲線近似法を用いて再度ピーク位置の決定を行った。Fig. 10 に Gauss 曲線を用いた d - $\sin^2\psi$ 線図を示し、Fig. 11 に M - σ 線図を半価幅法と Gauss 曲線近似法で比較したグラフを示す。

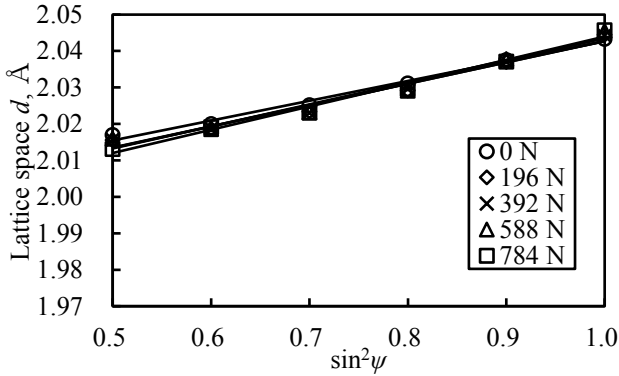


Fig. 10 d - $\sin^2\psi$ diagrams of carbon fiber (Gaussian 80 %, MoK α).

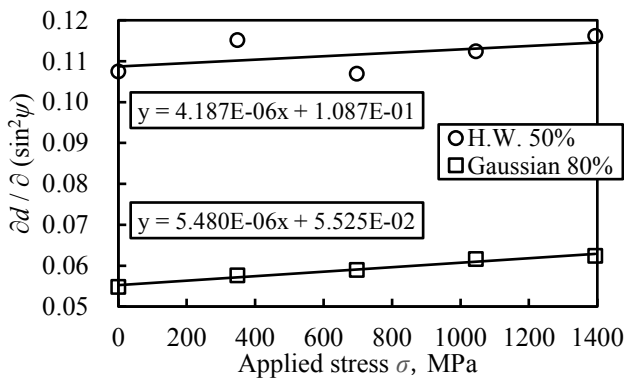


Fig. 11 M - σ diagrams of carbon fiber (H.W. 50 % and Gaussian 80 %, MoK α).

Fig. 10より、Gauss曲線近似法を用いた場合でも負荷をかけていない初期状態において d - $\sin^2\psi$ 線図が傾いていることが確認できる。また、炭素繊維に与える負荷が大きくなるにつれて、わずかながら d - $\sin^2\psi$ 線図の傾きが変化していることが分かる。Fig. 11より、半価幅法と Gauss 曲線近似法で M - σ 線図を比較すると Gauss 曲線近似法を用いた場合で直線性が良くなり、わずかながら傾きも増大している。このことから、MoK α 線を用いた炭素繊維の X 線回折において、Gauss 曲線近似法でのフィッティングが有効であると考えられる。

次に、Fig. 12 に MoK α 線を用いたポリアミドの X 線回折結果から半価幅法でピーク位置の決定をして求めた d - $\sin^2\psi$ 線図を示す。また、 d - $\sin^2\psi$ 線図から得られた傾きと負荷応力により描いた M - σ 線図を Fig. 13 に示す。

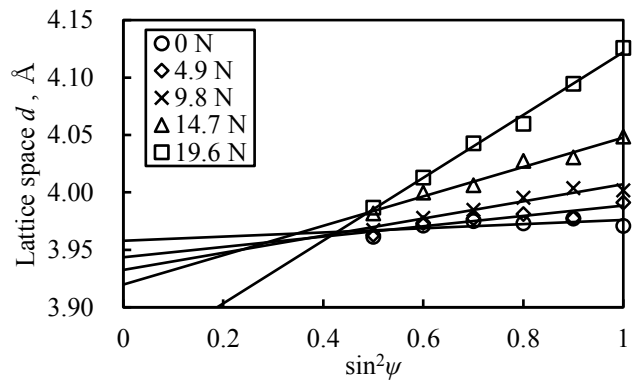


Fig. 12 d - $\sin^2\psi$ diagrams of polyamide (H.W. 50 %, MoK α).

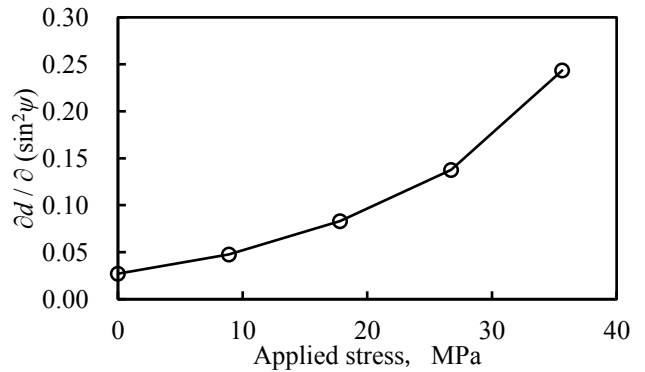


Fig. 13 M - σ diagram of polyamide (H.W. 50 %, MoK α).

Fig. 12より、それぞれの近似直線は良好な直線性を示し、 $\sin^2\psi = 0.4$ 付近で交わっている。したがって、残留応力を算出することが可能であると考えられる。近似直線のひとつが大きく傾いているが、これは負荷応力が大きいために塑性変形を起こしているためだと考えられる。Fig. 13より、負荷応力が増加するにつれて d - $\sin^2\psi$ 線図の傾きも増大している。よって、ポリアミドの残留応力測定は可能であることが分かる。しかし、 M - σ 線図は直線的ではなく湾曲している。このことについては更なる調査が必要である。

4.2 CuK α 線を用いたX線回折結果 Fig. 14にCuK α 線を用いた炭素繊維のX線回折結果からGauss曲線近似法を用いて求めた d - $\sin^2\psi$ 線図を示す. また, M - σ 線図をMoK α 線とCuK α 線で比較したグラフをFig. 15に示す.

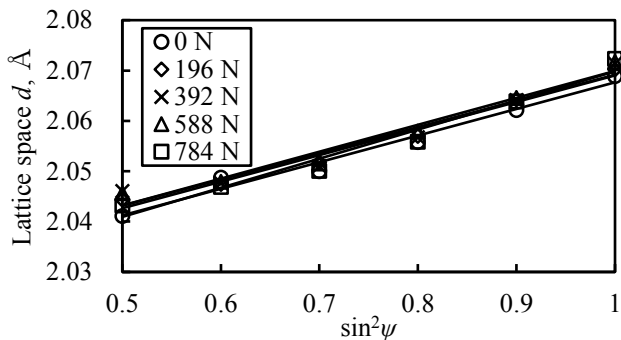


Fig. 14 d - $\sin^2\psi$ diagrams of carbon fiber (Gaussian80%, CuK α).

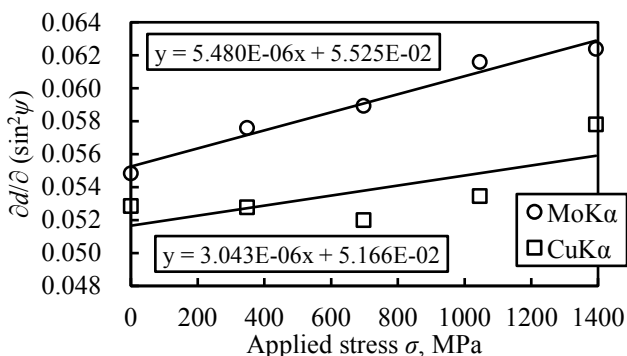


Fig. 15 M - σ diagrams of carbon fiber using MoK α and CuK α .

Fig. 14より, 負荷をかけていない初期状態においても d - $\sin^2\psi$ 線図が傾いていることが確認でき, CuK α 線を用いた炭素繊維のX線回折結果はFig. 10のMoK α 線を用いた回折結果と同様に d - $\sin^2\psi$ 線図が湾曲している形となった. Fig. 15より, MoK α とCuK α の特性X線の違いを比較すると, MoK α 線を用いて測定した場合で直線性が良好であり, 傾きもわずかではあるが大きい. したがって, 炭素繊維のX線回折応力測定においてMoK α の特性X線を用いて測定することでより詳細な内部応力状態を考察できると考えられる.

次に, Fig. 16にCuK α 線を用いたポリアミドのX線回折結果から求めた d - $\sin^2\psi$ 線図を示す. また, M - σ 線図をMoK α 線とCuK α 線で比較したグラフをFig. 17に示す.

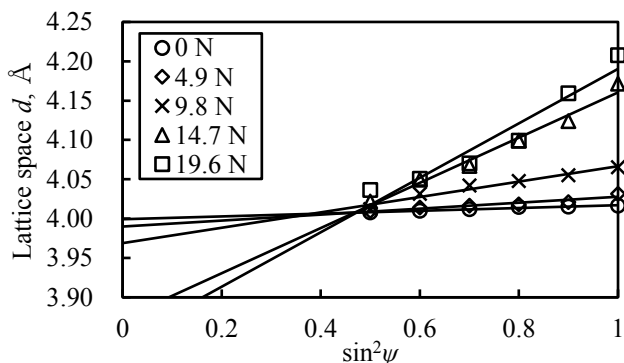


Fig. 16 d - $\sin^2\psi$ diagrams of polyamide (H.W. 50 %, MoK α).

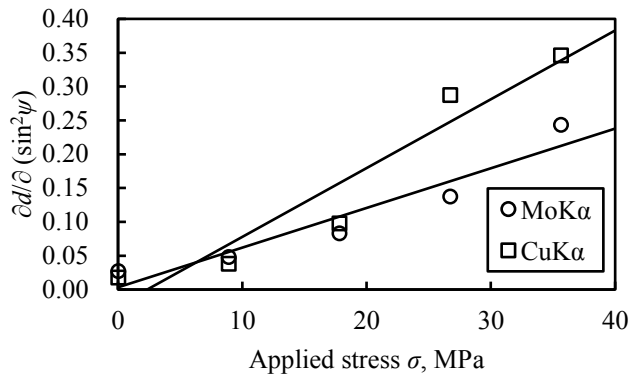


Fig. 17 M - σ diagrams of polyamide using MoK α and CuK α .

Fig. 16よりCuK α 線を用いた測定においても直線性が良好であることが分かる. Fig. 17より, 特性X線の違いによって比較すると, CuK α の特性X線を用いて測定した場合で傾きがやや大きくなっている. したがって, ポリアミドのX線回折応力測定においてCuK α の特性X線を用いて測定することでより詳細な内部応力状態を考察できると考えられる.

5. まとめ

1. 炭素繊維の X 線応力測定において, 透過法を用いた d - $\sin^2\psi$ 法では回折線ピークの高角側がシフトし非対称性が大きくなる.
2. 炭素繊維の X 線応力測定において, Gauss 曲線近似法でピーク位置の決定を行うことで良好な直線性を得ることができる.
3. MoK α と CuK α の特性 X 線を用いた透過法によって, 炭素繊維, ポリアミドの負荷荷重による d - $\sin^2\psi$ 線図の傾きの増加を確認できた.

謝辞

本研究は JSPS 科研費 25420037 の助成を受けたものです. ここに感謝の意を表します.

参考文献

- (1) Masashi Kitamura, Masayuki Nishida and Takao Hanabusa: "Residual Stress Measurement of High Molecular Matter by Transmission X-ray Diffraction", Materials Science Forum, Vol. 681, pp 381-386, 2011.
- (2) Taisei Doi, Masayuki Nishida and Junichi Ozaki: "Residual Stress Measurement of Industrial Polymers by X-ray Diffraction", Advanced Materials Research, Vol. 1110, pp 100-103, 2015.
- (3) Masayuki Nishida, M Refai Muslih, Yasukazu Ikeuchi, Nobuaki Minakawa and Takao Hanabusa: "Internal stress measurement of fiber reinforced composite by neutron diffraction with in-situ low temperature stress measurement system", Materials Science Forum, Vol. 490-491, pp 239-244, 2005.

X線ラインプロファイル解析を用いた転位密度評価

西田真之* 松英達也**

Estimation of Dislocation Density by X-ray Line Profile Analysis

Masayuki Nishida* Tatsuya matsue**

ABSTRACT

X-ray line profile analysis is one of useful method for the estimation of material characteristics. The new analytical techniques of the modified Williamson-Hall method and the modified Warren-Averbach method were developed recently. Using these new techniques, the x-ray diffraction profile by the simple diffractometer system is possible to estimate several kinds of characteristics such as grain size, dislocation density, microscopic strain and so on. In this study, the basic x-ray diffraction system which is existing in Kobe City College of Technology were use to measure the x-ray line profile analysis, and the transmission diffraction method with the MoK α characteristin x-ray was employed in this system. The dislocation density and the grain size were estimated in several metal materials. From measurement results in this study, the line profile analysis succeeded in the steel powder. However, it could not have a exact result in the case of the aluminum balk material. The cause of the unstable results from the aluminum balk material was assumed the existence of strong texture in the aluminum sample by the rolling process of manufacturing. The dislocation densities and the grain size of the steel powder were $\rho = 4.44 \times 10^{15} \text{m}^{-2}$, $D = 22.7 \text{nm}$ respectively in this study.

Keywords : x-ray diffraction, line profile analysis, transmission diffraction, dislocation density

1. 緒言

材料の結晶サイズや結晶形状などのマイクロレベルでの微視的組織⁽¹⁾や、さらに微細な転位密度および移動などのナノレベルの研究にはSEMやTEMによる直接観察がこれまで主に行われてきた。しかし試料製作の際に加工が必要であり、微視的な組織状態が変化してしまうリスクを常に伴っている。一方、X線による回折線プロファイルには材料の微視的組織の情報が含まれており、ラインプロファイルの解析を通して材料の転位密度や結晶子サイズの定量評価が可能である⁽²⁾⁽³⁾。また、X線によるラインプロファイル法はTEMによる方法に比べて簡便だけでなく非破壊での評価が可能となる。近年、材料の弾性異方性を考慮した新たな手法が開発され⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾、X線ラインプロファイルによる測定精度が飛躍的に向上しており、工業分野においても実用段階に入ったと言える。本研究ではアルミニウム圧延材の薄板に対して、MoK α 特性X線による透過法を用いたラインプロファイル解析を行う。通常X線回折は反射法が用いられるが、放射光および中性子などへの展開を視野に入れて透過法を用いた測定に挑戦し、転位密度および結晶子サイズを求める際に必要な基礎知識を得ること主な目的としている。

2. 透過法を用いたX線ラインプロファイル解析

MoK α 線はCuK α 線などに比較して波長が短く、材料に対する透過力が大きいことから、アルミニウムなどの金属に対しても透過測定が可能となる。Fig.1にアルミニウムに対するX線の透過厚さを、CuK α 線とMoK α 線を比較した結果を示す。MoK α の場合は約1mmの厚さのアルミニウムでも透過可能であることがわかる。Table1にX線の測定条件を示す。通常ラインプロファイル解析には分解能の高い集中法の光学系が用いられるが、本研究ではより簡便な光学系として、応力測定用の発散角1°の平行スリットを使用した。K β 線はZrフィルターを用いて除去を行っている。

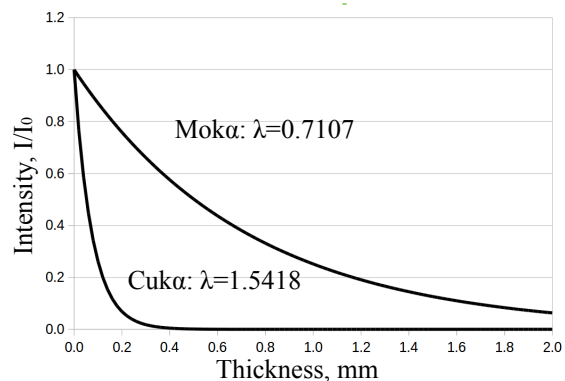


Fig.1 X-ray absorption ratio for aluminum material.

* 神戸高専 機械工学科 教授

** 新居浜高専 環境材料工学科 教授

Table 1 Conditions of X-ray profile measurement.

Characteristic X-ray	Moka
X-ray optics	Parallel beam
Tube voltage, current	40kV, 20mA
2θ angle	$10^\circ \sim 80^\circ$
Fixed time, step	3 sec., 0.1°
Filter	Zirconium
Irradiated area	$2\text{mm} \times 4\text{mm}$

3. アルミニウム引張試験サンプルによる測定

本研究で使用した測定サンプルを Fig.2 に示す。材質は工業用純アルミニウム (JIS A1050) を使用し、サンプルは圧延方向と圧延直交方向から切り出した。サンプルが破断するまで引張試験を行い、サンプル上にマーキングした評点距離の変化から塑性ひずみを算出した。測定箇所は図中に赤丸で示す箇所であり、ひずみはそれぞれ約 20%, 10% およびほぼ 0% である。

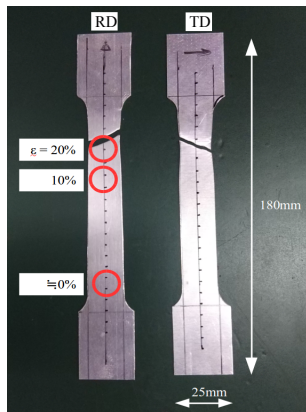


Fig.2 Photograph of extended aluminum tensile samples.

4. アルミニウム材の測定結果

Fig.3 は本研究で用いた工業用純アルミ材の極点図である。図中の RD は圧延方向、TD は圧延直交方向を示し、一例として 222 面と 311 面の測定結果を示している。この結果より、圧延による非常に強い集合組織が存在することがわかる。このような強い集合組織の存在により、サンプルのセッティング方向および X 線の入射方向に依存してピークの出現位置や強度が変化することが予想される。

Fig.4 は圧延直交方向を長手方向とするサンプルにおいて、反射法と透過法による測定状態を模式的に示した図である。X 線の照射部分の横線は回折に寄与する結晶面を表している。この図より、同じ圧延直交方向のサンプルであっても反射法と透過法では回折に寄与する結晶の方位が異なることがわかる。また、本研究では特性 X 線として Moka 線を用いていることから侵入深さがサンプルの板厚に対して十分

深くなる。そのため、反射法および透過法共に X 線が照射された領域の表面から内部にかけての平均的な測定結果が得られることになる。

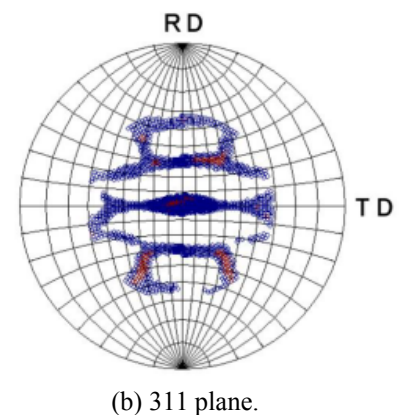
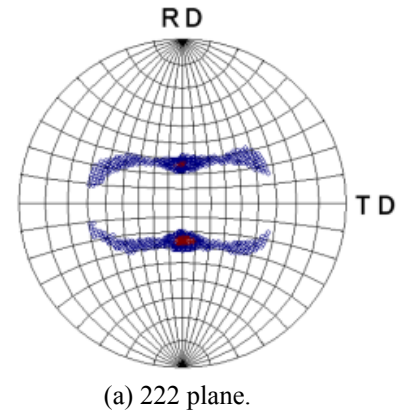


Fig.3 Results of the pole figures in rolled aluminum sample; (a) 222 plane and (b) 311 plane. RD indicates the rolling direction, TD is the transverse rolling direction.

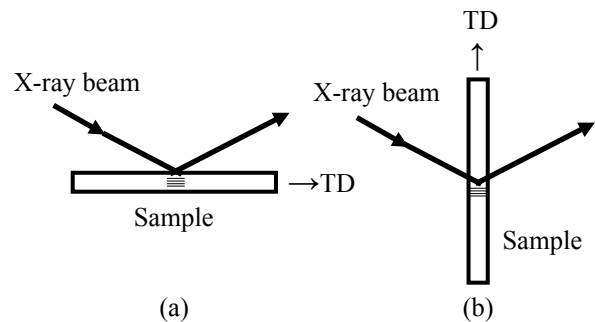


Fig.4 Diffraction condition of measured samples; (a) reflection method and (b) transmission method. The extended direction is TD in this case. The diffraction planes are indicated by short lines in samples.

Fig.5 は Fig.2 の引張破断したサンプルにおいて、圧延直交方向を長手方向として、ひずみ 20% の部分を測定した X 線回折線プロファイルである。図中には透過回折と反射回折の測定結果を示している。この結果より、透過回折線からは 12 個のピークが、反射回折の場合は 8 個のピークが確認できる。このよう

に

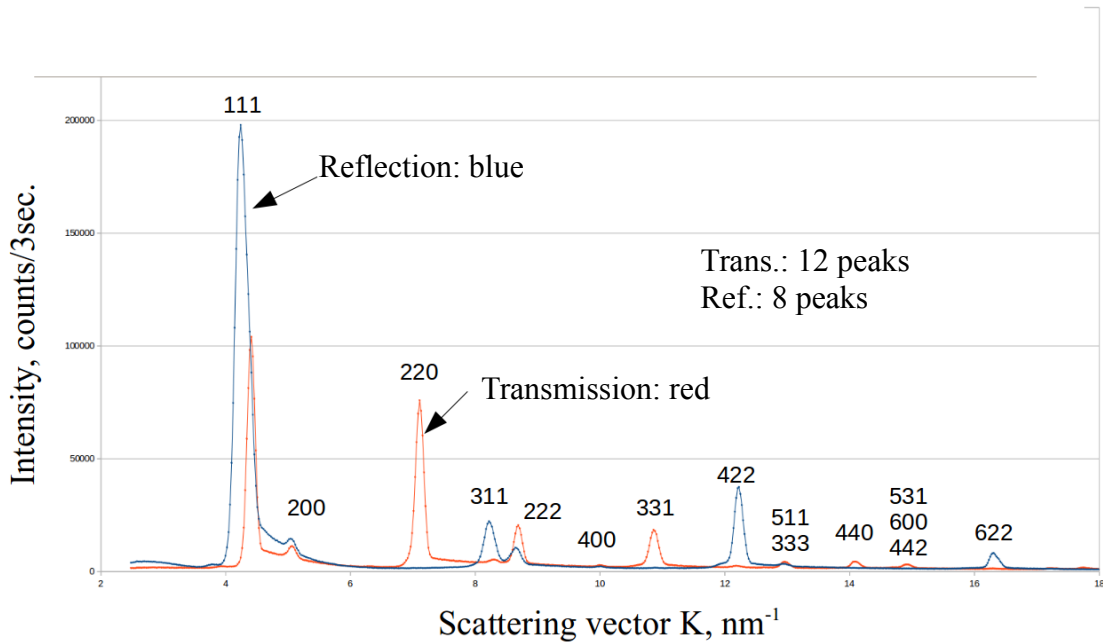


Fig.5 X-ray diffraction profile of aluminum sample. The blue line shows the diffraction by the reflection method and the red line is the transmission method.

ことから、ラインプロファイル解析においてはデータ数が増加することになり有利な結果と言える。

一方で透過法と反射法でピークの数に差ができています。これはアルミ圧延材が強い集合組織を持っていることを示しており、ラインプロファイル解析の妨げになる可能性があります。また、低角側のピークではピーク（特に111回折）が非対称になり、かつ、ピークの裾野が広がっているのが確認できる。これは平行スリットの光学系に起因するアンブレラ効果のためと考えられ、フィッティングに影響を与えることから測定精度の低下につながる恐れがあり、今後詳細な検証が必要である。

ラインプロファイルには必ず装置独自の装置起因によるピークの幅広がりを含んでいる。このため、あらかじめ装置起因のプロファイルの幅広がりの評価して差し引く必要がある。アルミバルク材には前述のように集合組織およびピークの非対称性などの解析上影響を与えると考えられる問題点が存在し、測定データの補正を検討する必要がある。しかしながら、ピークの非対称においては、本研究で基準材料とするSiパウダーの回折線においても同様の誤差が含まれていることから、ピークの非対称性の影響も装置起因による誤差として同時に差し引くことでその影響を小さくすることができると考えられる。このような観点から、本研究では測定されたデータを補正などを加えずにそのまま解析に使用している。

Fig.6にSiパウダーから測定した半価幅の変化を示す。この測定結果より、半価幅 ΔK は高角側になるほど減少していることが確認できる。一般的には回折線ピークは高角側になるほどピークの幅広がりが大きくなる傾向があるが、本研究の測定では逆の結果となっている。これは前述の平行スリットの光学系によるアンブレラ効果の影響が顕著に現れたため

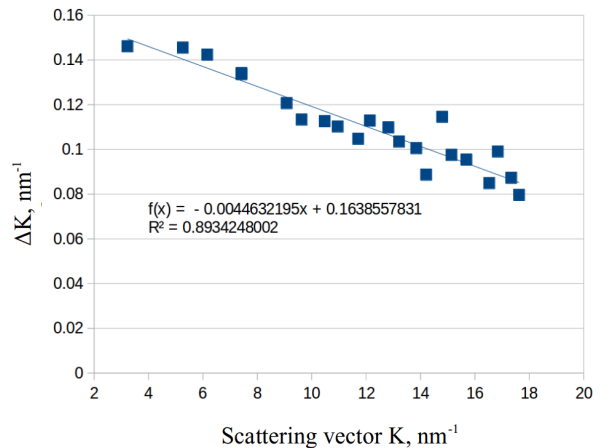


Fig.6 Relationship of the extension width of ΔK vs. scattering vector K by Si powder diffraction.

あると考えられる。これらの影響も含めて、Siパウダーから測定した半価幅をアルミニウム材の測定結果から差し引き、ピークの幅広がり进行评估した。

今回の測定では前述のアンブレラ効果などの光学系の装置起因の影響も含めて、装置起因の幅広がりを以下の式を用いて半価幅 ΔK から差し引いている。

$$(B_f^G)^2 = (B_h^G)^2 - (B_g^G)^2 \quad (1)$$

ここで、添字のfが真の値、hが測定値、gがSiパウダーから測定した装置起因の半価幅である。

測定後、ピークプロファイルデータからバックグラウンド除去し、 $K\alpha_2$ 線はRachinger分離してプロファイルフィッティングを行った。フィッティングは解析ソフトを利用してガウシアンフィッティングで半価幅 ΔK を求めた。

Fig.7に12個のピークプロファイルと比較するために規格化した結果を示す。この結果より、特に311において顕著な幅広がり確認された。これはプロファイルのピーク強度が弱いためフィッティングの精度が低くなったこと、さらには集合組織の影響も考えられるが今後の課題とする。規格化したプロファイルから幅広がりをもとめ、回折面指数の二乗を考慮したパラメータ H^2 で整理する⁽⁴⁾⁽⁵⁾。

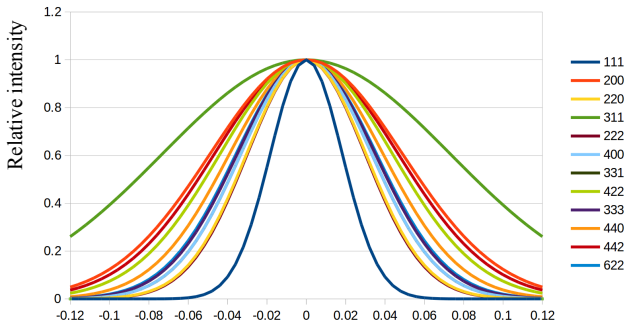


Fig.7 Results of the normalized peak profiles fitted by Gaussian method.

Fig.8 にコントラストファクターを求めるため、 $(\Delta K^2 - \alpha)/K^2$ を H^2 対して整理したグラフを示す。本来であればこのグラフ上の測定結果は一直線上に並び、直線近似することで近似曲線の傾きと切片からコントラストファクターを求めることができる⁽⁴⁾⁽⁵⁾。手順としてはそのコントラストファクターを用いて測定データを修正することで転位密度および結晶粒径を定量的に求めることができる。しかしながら、今回の測定ではFig.8の結果から明らかなように、測定結果のばらつきが激しく直線近似が不可能であり、コントラストファクターを求めることができないため、転位密度および結晶粒のサイズも求めることができない。

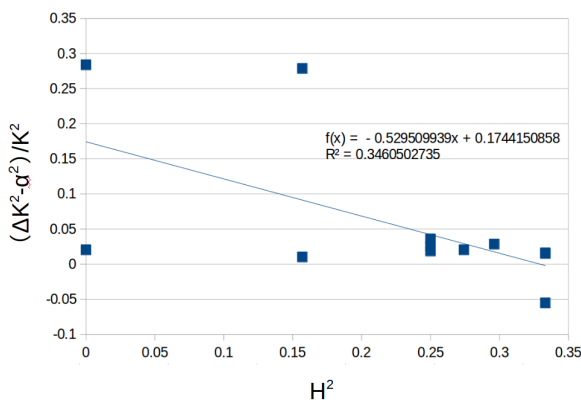


Fig.8 Results of the optimization for the contrast factor.

このように測定データが直線上に乗らない原因としては、アルミニウムの圧延材が強い集合組織を持っているためラインプロファイルの理論に適用でき

なかった可能性がある。さらに、アルミは弾性異方性が小さいことから、弾性異方性の差異を評価するコントラストファクターの計算には精度の高い測定が必要である。これらの影響を詳細に評価検討する必要があるが、現時点ではその原因をすることは至っておらず今後の検討課題としたい。

5. 金属パウダーによる測定

前述の引張破断したアルミ材の測定が不調に終わったことを受けて、バルクではなくパウダーの測定を試みた。測定対象として低炭素鋼 (JIS-SS400) をやすりがけで粉末化し、ワセリンと混合後に粉末用サンプルホルダーに詰め込んで測定を行った。サンプル写真と測定の様子をFig.9に示す。なお、鉄鋼材パウダーの測定には反射法を使用している。

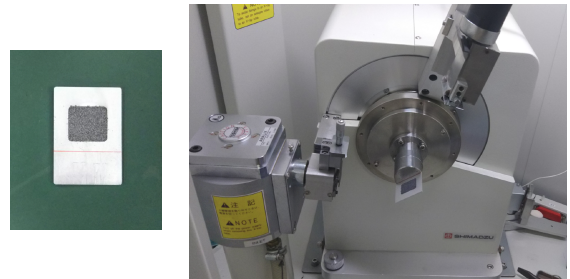


Fig.9 Low carbon steel powder and measurement system.

鉄鋼材パウダーのX線プロファイルを図.10に示す。この測定結果より回折面の多重ピークを除いて、11ピークをラインプロファイルに適用できることが確認できる。ピークのフィッティングについてガウシアンフィッティングを行ったところ、アルミニウムと同様にデータのばらつきが大きくなり、解析が不可能であった。このため、フィッティングをローレンツフィッティングに変更すると解析が可能となった。

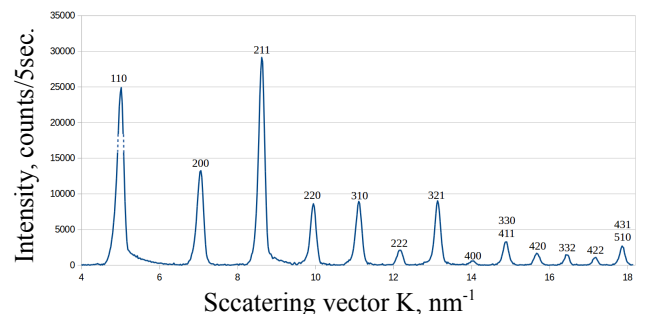


Fig.10 X-ray diffraction profile of aluminum sample.

Fig.11にローレンツフィッティングで規格化したプロファイルを示す。ガウス曲線に比べて鋭いピーク形状になっている。ガウスフィッティングでばらつきが大きくなった原因としては低角領域でのピークの

裾部分のフィッティングが不完全であるためと考えられる。ローレンツフィッティングの方が全体的に先端が鋭い形状となり、フィッティングできる領域が増加したと考えられる。この傾向は、フィッティングの良し悪しによってデータの解析結果が大きく影響を受けることを意味しており、転位密度や結晶粒サイズの定量評価を行う場合、今後の重要な課題となる。

Fig.11のプロファイルの幅広がり ΔK からコントラストファクターを求めた結果、コントラストファクターの計算に必要な C_{h00} および q の値はそれぞれ 0.260 と 3.095 となった。これらの結果を用いて半価幅 ΔK をプロットすると Fig.12 の結果となった。このようにコントラストファクターを考慮することで測定結果が直線に乗ることがわかる。

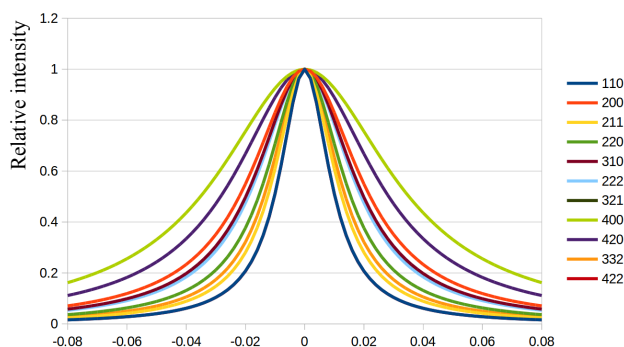


Fig.11 Results of peak profile fitting by Lorentzian.

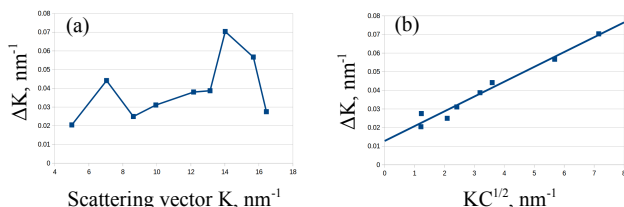


Fig.12 The effect of the contrast factor; (a) before correction, (b) contrast factor used.

さらに、プロファイルをフーリエ変換し、求めたフーリエ係数の対数を縦軸に、散乱ベクトルの平方 K^2C を横軸にとってプロットすると Fig.13 となる。Fig.13 で示される近似 2 次曲線は次式で表され⁽⁴⁾⁽⁵⁾、この式において、 K^2C の 1 次項には転位密度の ρ が含まれており、また、定数項には結晶子サイズの D が含まれていることから、

$$\ln A(L) \approx \left(1 - \frac{l}{D}\right) - \rho B^* L^2 \ln\left(\frac{R_e}{L}\right) K^2 \bar{C} + O(K^4 \bar{C}^2) \quad (2)$$

これらの結果より転位密度 $\rho = 4.44 \times 10^{15} \text{m}^{-2}$ 、および結晶子サイズ $D = 22.7 \text{nm}$ となった。

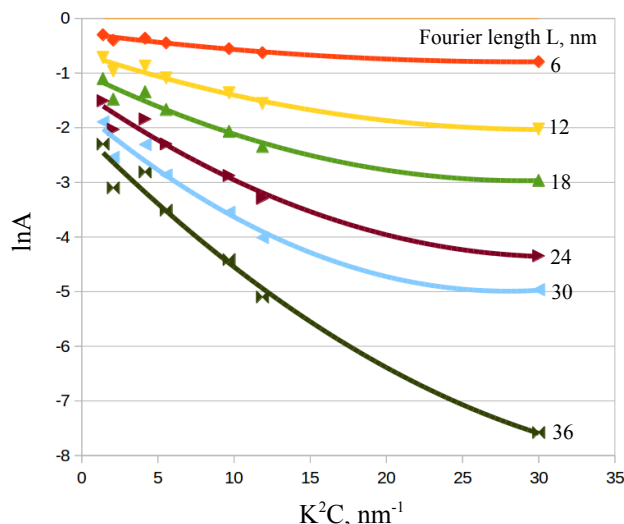


Fig.13 Results of K^2C vs. $\ln A$ plot.

6. 結言

今回、アルミニウム板材のサンプルからはコントラストファクターを求めることができなかった。強い集合組織影響などが要因と考えられるが、今後さらに調査が必要である。一方、低炭素鋼粉末においてはコントラストファクターおよび、転位密度と結晶子サイズを求めることができた。

参考文献

- (1) D. Hull and D. J. Bacon, Introduction to dislocations, 5th ed. Elsevier, 2011, p. 43 and 205.
- (2) G. K. Williamson and W. H. Hall, "X-ray line broadening from filed aluminium and wolfram" Acta Metall., vol. 1, no. 1, pp. 22–31, Jan. 1953.
- (3) B. E. Warren and B. L. Averbach, "The Effect of Cold-Work Distortion on X-Ray Patterns" J. Appl. Phys., vol. 21, no. 6, p. 595, 1950.
- (4) T. Ungár and A. Borbély, "The effect of dislocation contrast on x-ray line broadening: A new approach to line profile analysis" Appl. Phys. Lett., vol. 69, no. 21, p. 3173, 1996.
- (5) T. Ungár, S. Ott, P. Sanders, A. Borbély, J. Weertman, "Dislocations, grain size and planar faults in nanostructured copper determined by high resolution X-ray diffraction and a new procedure of peak profile analysis" Acta Mater., vol. 46, no. 10, pp. 3693–3699, 1998.
- (6) A. Revesz, T. Ungár, A. Borbély, J. Lendvai, "Dislocations and grain size in ball-milled iron powder" Nanostructured Mater., vol. 7, no. 1, pp. 779–788, 1996.

直近 15 年間ににおける神戸市内都市河川水質の時空間変動特性

宇野宏司* 富士和伽**

A Spatiotemporal Fluctuation Characteristics of River Water Quality in Kobe City During the Last 15 Years

Kohji UNO* Nodoka FUJI**

ABSTRACT

瀬戸内海では、近年、栄養塩類の減少により水質の改善が過度に進み、海が痩せているとの指摘がある。「きれいな海」から「豊かな海」づくりへの転換を図るための施策を展開するには、陸域からの負荷量を適切に管理する必要があるが、そのためには、現状の陸域負荷量を把握することが重要である。本研究では、神戸市内を流れる河川の代表的な公共用水域水質測定点における水質測定結果(2001～2015 年度)をもとに、市内都市河川の水質の時空間変動特性を明らかにした。また、生活環境項目である BOD, SS, DO, T-N, T-P の平均値を対象としたクラスター分析では、流域の地勢特性に対応した良好な分類結果を得ることができた。

Keywords : water quality, public waters, hierarchal cluster analysis, Kobe City

1. はじめに

公共用水域における水質の状況については、水質汚濁防止法第 16 条⁽¹⁾に定められた測定計画に基づいて常時監視がなされ、各自治体や関係機関でその測定データが公開されている。神戸市では、高度成長期に、工場や人口が集中している市街地からの排水により河川や海域での水質汚濁が進み、公害問題が深刻化したことを受けて、市内主要企業と公害防止協定を締結し、総量規制の考え方を導入した独自の規制や、下水処理施設の整備により生活排水対策等のさまざまな水環境保全施策が展開されてきた。その結果、市内の河川水質は大きく改善され、近年は良好な水質を維持している。その一方で、行き過ぎた水質改善が原因と考えられる海苔の色落ち問題など、新たな問題も生じている。そのため、平成 27 年 10 月には瀬戸内海環境保全特別措置法⁽²⁾が改正され、さらに平成 28 年 10 月には同法に基づく兵庫県計画⁽³⁾が策定された。瀬戸内海を人の活動により、自然が持つ価値や機能が最大限に発揮される「豊かな海(里海)」とすることを目的として、「沿岸域の環境の保全、再生・創出」「水質の保全、管理の推進」「自然景観、文化的景観の保全」「資質資源の持

続的な利用の確保」を 4 つの柱として、各種施策が進

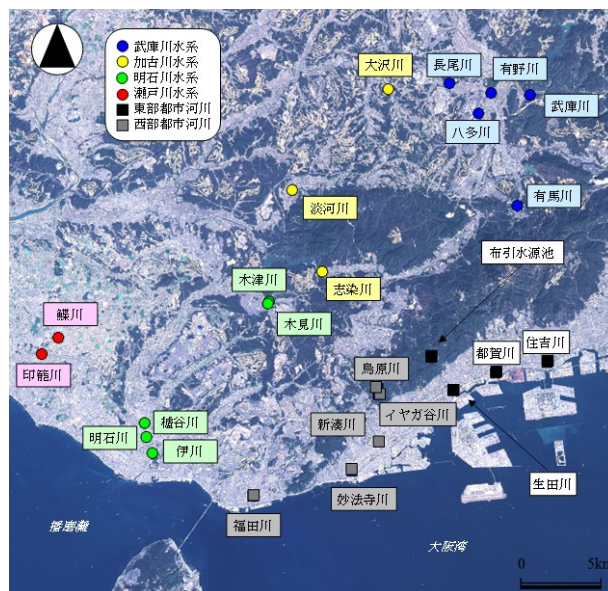


図 1 解析対象地点の空間分布

められようとしているところである。

神戸市内の河川は、図 1 に示すように 6 つの水系(水域)に分けられ、それぞれ特色ある流域を有している。公共用水域の常時監視結果については、当該年の概況

* 都市工学科 准教授

** 都市工学科 卒業生

表1 解析対象地点の位置情報

水域名	水系名	No.	河川名	測定地点名	緯度 (N°)	経度 (E°)	標高 (m)
北神水域	武庫川水系	1	武庫川	亀治橋	34.86694	135.25750	133.8
		2	有馬川	長尾佐橋	34.80278	135.24861	330.2
		3	有野川	流末	34.86778	135.23000	158.0
		4	八多川	才谷橋	34.85611	135.22111	168.0
		5	長尾川	大江橋	34.87333	135.20056	168.1
	加古川水系	6	大沢川	万歳橋	34.87028	135.15694	120.5
		7	淡河川	万代橋	34.81167	135.08944	116.9
		8	志染川	坂本橋	34.76417	135.11056	150.0
西神水域	明石川水系	9	明石川	上水源取水口	34.66861	134.98583	10.5
		10	木津川	流末	34.74694	135.07250	118.0
		11	木見川	流末	34.74556	135.07194	111.2
		12	櫛谷川	流末	34.67611	134.98472	9.3
		13	伊川	二越橋	34.65861	134.99028	7.3
	瀬戸川水系	14	鱒川	西区岩岡町	34.72556	134.92389	43.6
		15	印籠川	西区岩岡町	34.71611	134.91194	27.4
都市河川水域	東部都市河川	16	住吉川	住吉川橋	34.71194	135.26889	11.8
		17	都賀川	昌平橋	34.70528	135.23278	7.5
		18	生田川	小野柄橋	34.69556	135.20278	10.0
		19	布引水源池	水源池上流	34.71444	135.18750	228.0
		20	新湊川	南所橋	34.66556	135.15028	7.7
	西部都市河川	21	鳥原川	水源池上流	34.69667	135.14972	125.0
		22	イヤガ谷川	水源池上流	34.69333	135.15000	97.5
		23	妙法寺川	若宮橋	34.64833	135.13139	6.0
		24	福田川	福田橋	34.63389	135.06083	1.4

【武庫川水系】武庫川

【加古川水系】淡河川



【明石川水系】明石川・伊川

【瀬戸川水系】印籠川



【東部都市河川】住吉川

【西部都市河川】福田川

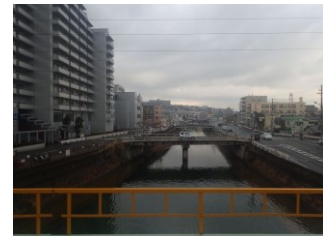


写真1 各水系(水域)の景観

や経年変化についてまとめられている⁽⁴⁾ものの、市内全域を対象にした河川水質の時空間的な変動特性までは言及されていない。また、市内河川を対象に底生生物と水環境との関係を調べた研究などがある⁽⁵⁾が、その他の既往の研究も少ない状況である。

神戸市内河川は、いずれも個々のスケールは小さいものの、それらをあわせると大阪湾奥部へのまとまった陸域流入負荷源として考えることができる。そのため、流域スケールでの水質変動を把握することは広域な水環境保全の観点からも重要である。特に、市内の下水処理施設の整備が概ね完了し、その整備率がほぼ横ばいになる2000年以降の期間を対象にすることは、対策実施後の陸域発生源負荷の実態を把握する上で意味をもつ期間である。

以上のような社会背景を踏まえ、本研究では、神戸市内における代表的な公共用水域水質測定点の測定結果(2001~2015年度)をもとに、時空間変動の特性や隣接する水域との相似性や独立性についての検討をおこなった。

2. 研究方法

2.1 解析対象水系(水域)の地形的特徴 表1に解析対象地点の位置情報、写真1に各水系(水域)の景観を示す。市内北東部に位置する武庫川水系河川(武庫

川・有馬川・有野川・八多川・長尾川)は、六甲山系北側の丘陵地を北上し、宝塚市や西宮市を經由して、大阪湾に流入している。測定地点付近は標高も高く、溪流となっている。市内北部に位置する加古川水系河川(大沢川・淡河川・志染川)は六甲山系北側から三木市や加古川市を經由して兵庫県内最大の流域規模を誇る加古川に接続している。市内西部に位置する明石川水系河川(明石川・木津川・木見川・櫛谷川・伊川)は、六甲山系西側から田園地帯を緩やかに流下し、明石海峡に流入している。市内西端に位置する瀬戸川水系河川は、最も流域面積が小さく、他の河川に合流することなく、独立して瀬戸内海に流入している。流域面積の約半分が農地であり、多くのため池を結ぶ水路ネットワークが形成されている。「表六甲河川」とも称される東部都市河川(住吉川・都賀川・生田川・布引水源池)及び西部都市河川(新湊川・鳥原川・イヤガ谷川・妙法寺川・福田川)における中下流域では、観測開始当初から市街化が進んでいるが、その源流の多くは六甲山系内にあり、清廉な水が流れている。

2.2 使用データ 対象とするのは表1、写真1に示す神戸市内6水域24地点の公共用水域水質測定結果のうち、2001年度から2015年度の4季(5月、8月、11月、2月)データ(生活環境項目:BOD, COD, SS, DO,

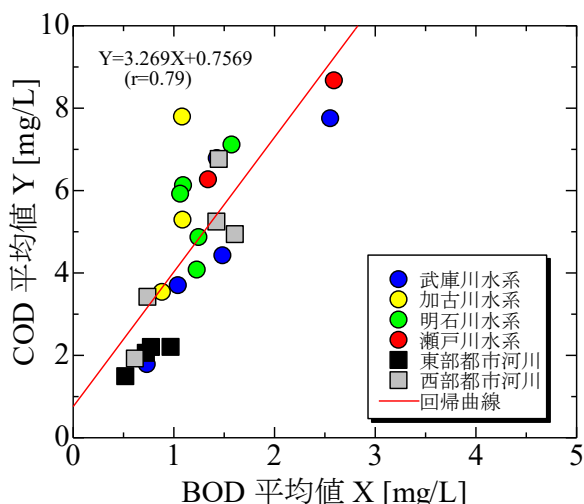


図2 水質相関図 (BOD-COD)

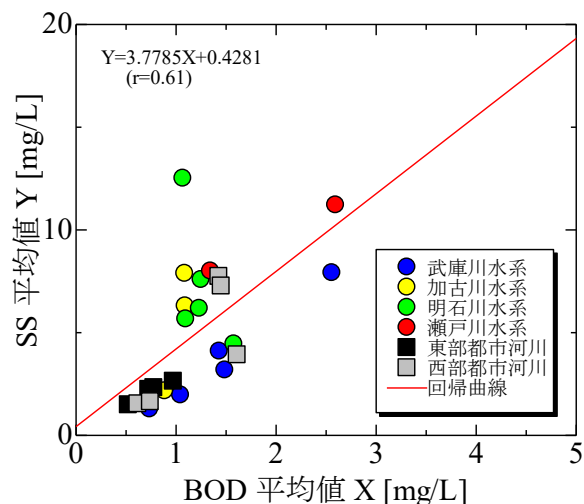


図4 水質相関図 (BOD-SS)

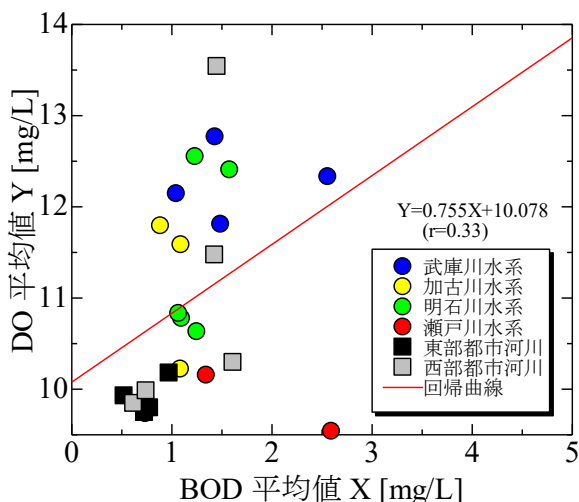


図3 水質相関図 (BOD-DO)

T-N, T-P) である。ただし、欠測の場合には直近の月の測定値を引用するか年平均値を適用するなどして補完した。また、定量下限値未満のものは、定量下限値を測定値とした。これらをもとに、各水質項目について年度ごとの統計値(平均値, 変動係数)を算出し、これを解析データとした。

2.3 統計解析 階層的クラスター分析は、最も似ている組み合わせから順番にまとまり(クラスター)にしていく方法で、途中過程が階層のように表せ、樹形図(デンドログラム)が得られる⁽⁶⁾。

本研究でのクラスター間の距離測定方法には、分類感度が群平均法や最短距離法などの他の測定方法よりも優れているとされるウォード法を採用した。

階層型クラスターの短所として、分類の対象が非常に多い場合、計算量が多くなり、実行が困難になったり、樹形図(デンドログラム)が巨大になり、結果が不明瞭になったりすることが指摘されている。そこで

本研究では、各河川だけではなく、6つの水系(水域)を対象にした分析についても実施し、両者を比較した。

3. 結果と考察

3.1 水質項目間の相関特性 図2にBOD(生物化学的酸素要求量)とCOD(化学的酸素要求量)との相関を示す。両者はともに試料水中に含まれる有機物等を酸素消費量を指標として表したものであり、強い正の相関が見られた。ただし、前者は微生物分解によるもの、後者は酸化剤を用いた分解によるものであり、両者は必ずしも一致しない。河川では有機物の指標としてBODを用いるのが一般的であるが、ここでは各水系における事業排水からの影響を検証するために両者を比較することとした。一般に畜産系や食品事業系からの排水の影響が強いところではCOD/BOD < 1となることが知られている。神戸市では事業規模こそ大きくはないが、西区を中心に畜産業も展開されている。しかしながら、市内河川ではいずれの測定地点もCOD/BOD比が1を超える結果となっており、そのような影響は確認されなかった。

図3にBODとDO(溶存酸素量)との相関を示す。両者の間には弱い正の相関が見られた。一般に上流域(溪流)では流れが速く、不連続な縦断面形状により落差も大きいため、水面が波立ちやすく酸素の取り込み量が多い。そのためDO値は高くなる傾向にあるが、そのような地勢条件を満たす武庫川水系ではこのことが確認された。また、一般に下流に向かうにしたがって、有機物量が増えBOD値は上がる傾向が見られるが、東部都市河川や西部都市河川では、下流域の測定地点でもBOD値は低いままである。この要因としては、河川長が短いため、森林域に源を発する良質の河川水が容易に下流に流達しやすい地勢にあることや、市街地における分流式下水処理施設の整備により、流下過程で生活雑排水の流入がなく、汚染されにくい状況であ

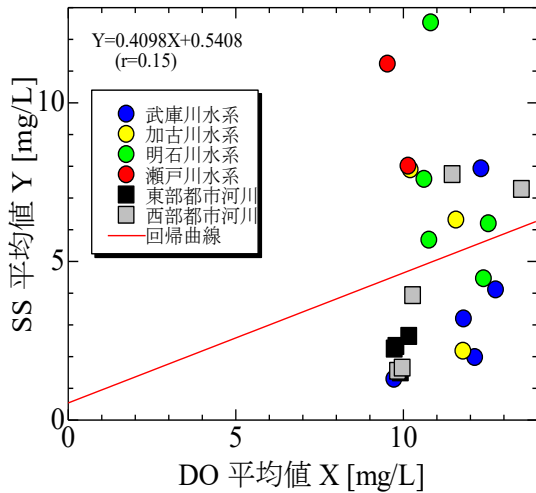


図5 水質相関図 (DO-SS)

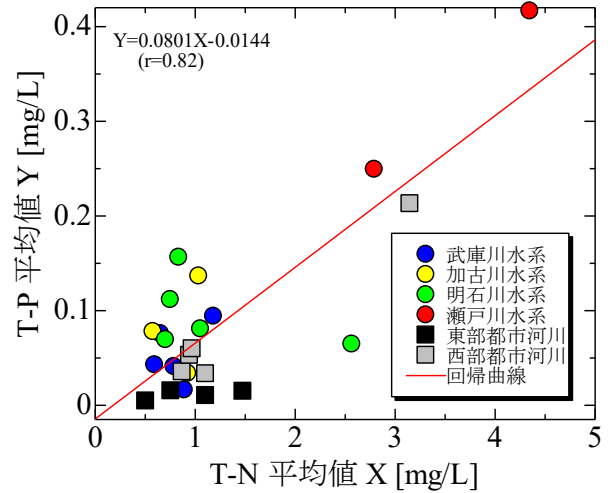


図6 水質相関図 (T-N-T-P)

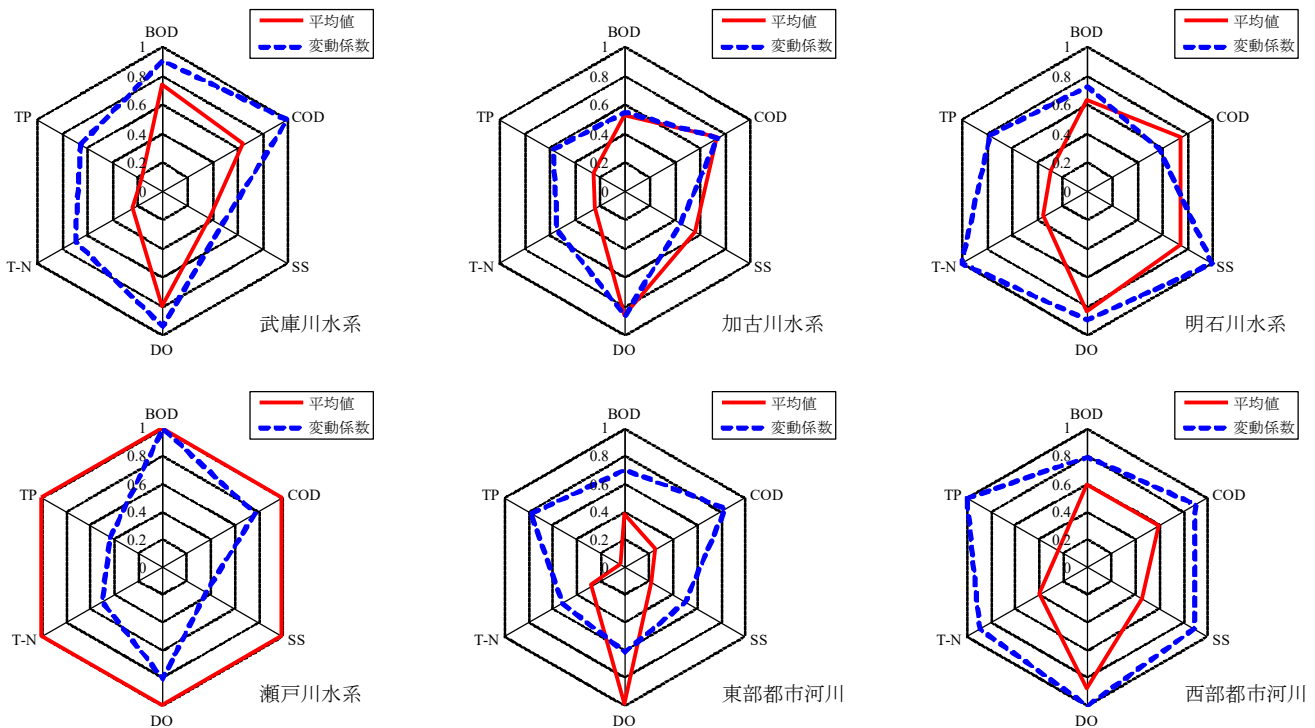


図7 水域別水質レーダーチャート

ることなどの理由が考えられる。

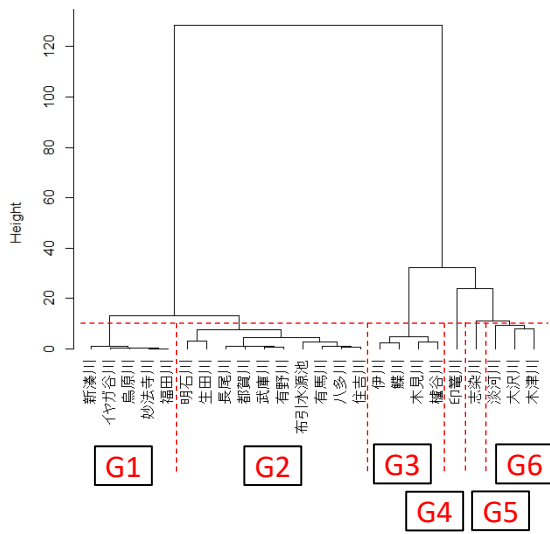
図4にBODとSS(浮遊物質)との相関を示す。両者の間には正の相関が見られ、河川中の浮遊懸濁物質の多くは有機物である可能性が高いと考えられる。これが腐敗した場合には水中の溶存酸素が消費され、水質の汚濁が進行することが懸念されるが、当該水域では、図5に示のように、いずれの河川ともDO=8mg/Lを上回っており、DOとSSとの相関は弱く、水質汚濁が進行しているとは考えにくい状況である。

図6にT-N(全窒素)とT-P(全リン)との相関を示す。両者の間には強い相関が見られた。他水系に比べて、瀬戸川水系における栄養塩濃度が顕著に高くあら

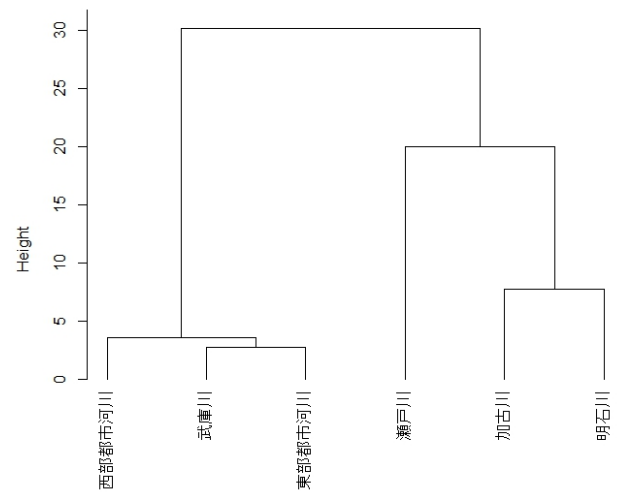
われている。この要因としては、瀬戸川流域に張りめぐらされた用水ネットワークへの給水源が上流の呑吐ダムからのものであることや、流域面積の約半分が農地という土地利用形態にあると考えられる。なお、西部都市河川においてもT-NとT-Pが高い測定地点が1点見られるが、これは新湊川での測定結果で、鈴蘭台処理場での下水処理水流入の影響を受けているためである。

3.2 水域別水質の時空間変動特性 図7に水域別水質レーダーチャートを示す。各図において、平均値、変動係数ともに全水域の最大値(DOのみ最小値)で除

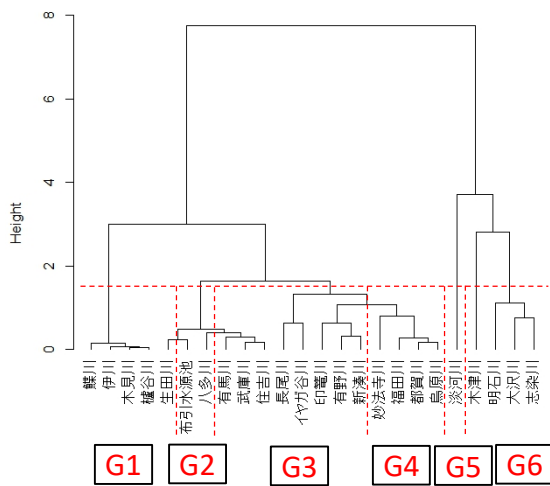
【河川別水質 5 項目平均値】



【水域別水質 5 項目平均値】



【河川別水質 5 項目変動係数】



【水域別水質 5 項目変動係数】

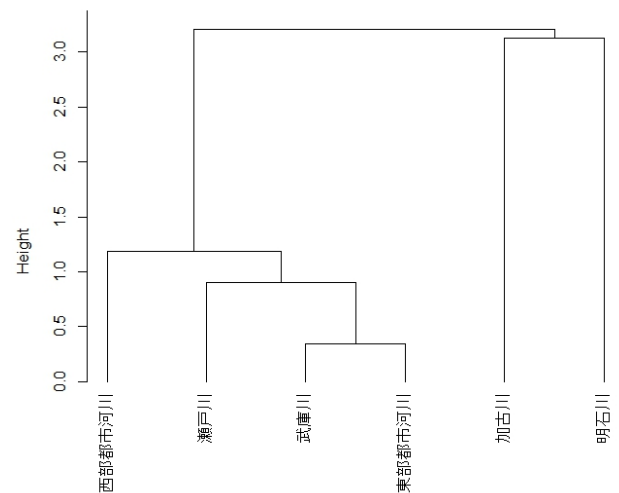


図8 河川別クラスター分析結果

図9 水域別クラスター分析結果

することで0 (影響小) ~1 (影響大) 間で基準化して表示している. 各レーダーチャートの平均値を比較することにより水系 (水域) 間の空間変動特性を, 変動係数を比較することにより時間変動特性を把握することができる. 前者の特徴としては, 瀬戸川水系における環境負荷の増大傾向 (DO 減少, その他の水質項目の増加) や, 武庫川や加古川, 東部都市河川における栄養塩 (T-N, T-P) 流入の低下傾向を見ることができる. 一方, 後者の特徴としては, 直近 15 年間で安定している加古川水系や東部都市河川と比較して, 明石川水系や西部都市河川での時間的変動が大きくなる傾向を見ることができる.

3.3 クラスタ分析 図8に河川別の分析結果, 図9に水域別の分析結果を示す. 河川別の水質平均値を用いた分類結果 (図8上) について, 6つのグループに分けた際の各グループに含有される河川の属する水系を

みると, G1 は全て西部都市河川, G2 は東部都市河川と武庫川水系, G3 は明石川水系, G4 は瀬戸川水系, G5 と G6 は加古川水系の河川が卓越する結果となっている. また, それより上位の階層での類似性についても, 実際の地勢に近い分類結果を示している. 例えば, G1 と G2 の関係については, 西部都市河川と東部都市河川及び武庫川水系という地勢状のつながりが分類結果にもよくあらわれている. その一方で, 河川別の水質変動係数を用いた分類結果 (図8下) は, 前述の平均値を用いた場合のような結果を得るには至らなかった. この場合, G1 における明石川水系, G2 における東部都市河川と武庫川水系, G6 における加古川水系の卓越は良好な分類結果と見なせるが, G3 では西部都市河川が卓越する一方で全ての水系の河川が含まれているなど, 地理的な位置関係からの解釈が難しい結果となった.

水域別の水質平均値を用いた分類結果 (図9上) に

【BOD 平均値】

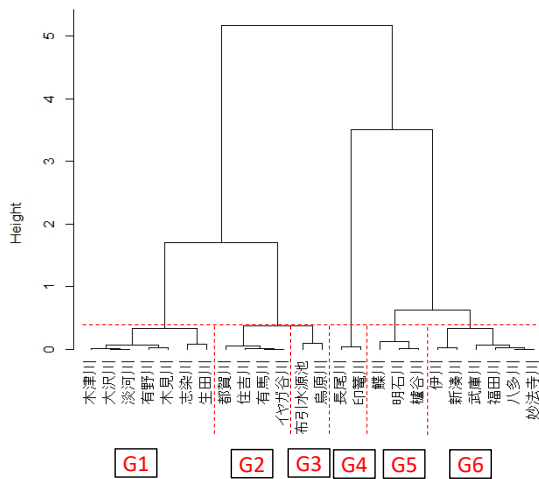


図 1 0 河川別クラスター分析結果

については、河川別の水質平均値を用いた分類結果（図 8 上）と同様に、実際の地勢関係を反映した良好な分類結果を示している。一方、水域別の水質変動係数を用いた分類結果（図 9 下）については、こちらも河川別の水質変動係数を用いた分類結果（図 8 下）と同様に、地理的關係からは説明困難な分類結果が得られた。

上記の結果は、個々の河川スケールや水域スケールで流域の水質特性の把握を試みる場合、時間的な変動特性よりも濃度そのものの空間特性に着目することがより有効であることを示している。ただし、図 1 0 に示すように 1 項目のみに着目するだけでは、得られた分類結果の妥当性は低く、複数の水質項目を選択する必要がある。今回指標として選択した BOD、DO、SS、T-N、T-P は、生活環境項目の中でも最も基本となる指標であり、観測当初から測定されているため、いずれの河川においてもデータは充実しており、他の流域・河川との比較をする上でも有用であると考えられる。

4. まとめ

本研究では、神戸市内における代表的な公共用水域水質測定点の測定結果をもとに、水系（水域）スケールでの水質の時空間変動の特性について検討した。直近 15 年の生活環境項目（BOD・DO・SS・T-N・T-P）の水質データの平均値を用いてクラスター分析を行ったところ、良好な分類結果が得られた。

各機関や自治体で継続的に取得されている公共用水域水質データの多くは、現況の環境監視の指標として使われるに留まっているが、対象範囲の広さ、周期的な観測定時性の確保、精度保証といった面で、他の追従を許さない優れたオープンデータとしての活用が期待できる。今後は、他の水質項目についても同様の解

析を進め、より多角的な視点から、当該水域における水質の時空間変動特性について明らかにしていく予定である。

参考文献

- (1) 水質汚濁防止法施行令：
<http://law.e-gov.go.jp/htmldata/S46/S46SE188.html>（2018年10月1日確認）。
- (2) 瀬戸内海環境保全特別措置法：
<http://law.e-gov.go.jp/htmldata/S48/S48HO110.html>（2018年10月1日確認）。
- (3) 兵庫県：瀬戸内海の環境の保全に関する兵庫県計画，
http://www.kankyo.pref.hyogo.lg.jp/files/5014/7696/7418/03_.pdf（2018年10月1日確認）。
- (4) 神戸市：公共用水域の常時監視，
<http://www.city.kobe.lg.jp/life/recycle/environmental/earth/kokyo.html>（2018年10月1日確認）。
- (5) 小谷英之，辻本剛三，藤原雅弘，日下部重幸，中尾幸一：神戸市内の河川における底生生物と河川環境との関わり，河川技術論文集，Vol.8，pp.289-294，2002。
- (6) 新納浩幸：R で学ぶクラスタ解析，オーム社，208p.，2007。

様々なバッファ層を持つ $\text{Bi}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ 薄膜のガラス基板上への作製と磁気光学的評価

池原 成拓* 西 敬生** 石橋 隆幸***

Magneto-optical characterization and preparation of $\text{Bi}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ thin films using various buffer layers grown on glass substrates

Shigehiro IKEHARA* Takao NISHI** Takayuki ISHIBASHI***

ABSTRACT

Bismuth Iron Garnet (BIG) thin films using various composition buffer layers grown on glass substrates has prepared by MOD method. The structural and magneto-optical properties of these BIG thin films on various buffer layers which are Bi-YIG, GSGG, EGG, NGG, and MgO were studied. Crystal structure of the garnet phase was only obtained on the buffer layer with garnet structure. The Faraday rotations of BIG thin films on a GSGG buffer layer were 12.08 deg/ μm at a wavelength of 538 nm. It was observed that figure of merit in BIG thin film on EGG buffer layer is larger than that on GSGG buffer layer in the long wavelength region of 550-700 nm.

Keywords : Bismuth iron garnet, metal organic decomposition, Faraday effect, magnet-optical characterization

1. はじめに

$\text{R}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ (RIG)で表される希土類磁性ガーネットの R を Bi で置換すると、置換量に比例して磁気光学特性が大きく向上する⁽¹⁾ことが知られており、光アイソレータの小型化に役立ち、磁気転写膜や磁気光学空間光変調器⁽²⁾などへの応用も期待されている。

Bi 置換 Yttrium Iron Garnet (Bi-YIG), Bismuth Iron Garnet (BIG)の作製には、これまで様々な方法が採られてきた。ガラス基板上の作製に限っても、レーザーアブレーション法⁽³⁾、イオンビームスパッタ(IFS)法⁽⁴⁾、RFスパッタ法⁽⁵⁾、ゾルゲル法⁽⁶⁾などがある。しかし、大掛かりな装置が必要なこと、BIG のみの単相膜が得られないことや膜の平坦性が悪いこと、ゾルゲル法においては溶液の安定性が悪いことが問題であった。これに対し希土類や Fe の有機金属化合物を有機溶媒に溶かした液体原料を基板に塗布して薄膜作製を行う、有機金属塗布分解(MOD)法は、これらの問題を解決できるだけでなく、得られる結晶粒子のサイズを反映したサブミクロンサイズの空間分解能

を持つ磁気転写が実現できることが報告される⁽⁷⁾など、磁気光学デバイスとの相性がいいことが知られている。

BIG は非熱平衡相であるため、ガーネット結晶上でのみ作製される。近年我々は低コスト・大面積化を目的とし、MOD 法を用いたガラス基板上への BIG 薄膜作製に関して研究を行ってきた。これまでに、 $\text{Y}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ (YIG)を Bi 置換した Bi-YIG 薄膜をバッファ層とすれば、BIG の結晶化が可能であることを報告した⁽⁸⁾。本研究ではこのバッファ層を、様々な組成のガーネットやその他の物質にした時に、BIG が得られるかどうかや、結晶性の比較、磁気光学特性の違いについて評価したので報告する。

2. 実験方法

バッファ層および BIG は、MOD 法により作製した。今回使用したバッファ層は、ガーネット構造を持つものの中から $\text{BiY}_2\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ (以下 Bi-YIG), $\text{Gd}_3\text{Sc}_2\text{Ga}_3\text{O}_{12}$ (以下 GSGG), $\text{Er}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}$ (以下 EGG), $\text{Nd}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}$ (以下 NGG)を、ガーネット構造ではないものからは MgO を選んだ。MgO 結晶系が立方晶で、格子定数の 3 倍が BIG のそれと近いことから選んだ。用いた MOD 原料溶液はシメトリックス製(品名に SYM-が付くもの)と高純度化学研究所製(品名に SYM-が付かないもの)で、Bi-YIG に BiFeY-03, NGG に

* 2013 年専攻科修了

** 電子工学科 教授

*** 長岡技術科学大学 物質材料工学専攻 教授

GaNd-03, EGG に SYM-ER01 および Ga-05 を調合したものを, GSGG に GaGdSc-025, MgO に SYM-MG05 を使用した. 基板はコーニング製イーグル XG ガラス(18 mm×13 mm×0.7 mm)ならびに石英ガラス(18 mm×13 mm×1 mm)とした. 基板の有機洗浄は 15 min の紫外線照射により行った. 原料溶液をディップコーターまたはスピンドーターで塗布した. これをホットプレートで乾燥し, 電気炉で仮焼成および本焼成を行った. 仮焼成は 450°C で 30 min, 本焼成は 700~950°C で 120 min という条件でガーネット構造が得られる温度を探索した. この中でガーネット構造が得られた Bi-YIG, GSGG, NGG, EGG と, 結晶化が認められた MgO をバッファ層として, BIG の積層を試みた. BIG の原料溶液には高純度化学研究所製 BiFe-03 を用いた. 塗布はディップコーターで引き上げ速度を 1.0 mm/s, 乾燥を 130°C で 15 min, 本焼成は 490°C で 15 min という工程を繰り返して 5 層積層した. 得られた試料は, XRD 測定, ファラデー回転スペクトル, 赤外・可視分光光度計により評価した.

3. 実験結果と考察

3.1 バッファ層の本焼成温度と XRD 測定結果

バッファ層となる Bi-YIG は本焼成温度が 700°C 以上でガーネット構造の XRD パターンが現れる. また GSGG の場合は, 800°C まではアモルファスだが, 850°C でガーネット構造を示すピークが現れた. EGG は 800°C で結晶化される. NGG では, 800~850°C で焼成した場合にガーネットのピークに加え, Nd_2O_3 によるピークが現れガーネットによるピークの強度を上回った. さらに温度を上昇させ, 900°C で本焼成したときにガーネットを示すパターンが支配的になったが, Nd_2O_3 によるピークも確認された. MgO については, 700°C で顕著なピークが確認された.

3.2 バッファ層上への BIG 薄膜の積層

3.1 で作製したバッファ層上へ BIG を積層した. バッファ層は Bi-YIG, GSGG, EGG, MgO は 1 層であり, NGG については 1, 2, 4 層の 3 種類を作製した. 試料の XRD パターンを Fig. 1 から Fig. 3 に示す. Fig. 1(a) から (c) の XRD パターンが示すように単相の BIG の結晶化が確認された. Fig. 1(a) の BIG/Bi-YIG と比べ, (b), (c) の GSGG および EGG バッファ層を用いた方が全体的なピーク強度の増加が見られた. また EGG バッファ層の場合, 最大強度の(420)回折線の FWHM が 0.223 deg. であり, GSGG の 0.290 deg. や Bi-YIG の 0.262 deg. よりも狭くなった. しかし(420)回折線の積分強度では Bi-YIG が 98.3 deg.·cps, EGG が 109.3 deg.·cps であるのに対して, GSGG は 125.3 deg.·cps であることから, 結晶量においては GSGG をバッファ層に用いた場合が最も多い BIG が得られることがわかった. 一方で NGG バッファ層の場合は, 他と異なり 1 層では BIG が結晶化されなかった. Fig. 2(a), (b) に示すように 2, 4 層と層

数を増やすと BIG が結晶化し, 結晶量も増大していく結果となった. また異相である Nd_2O_3 と思われるピーク (×印) も見られた. ここまでの結果より, NGG は今回用いた溶液では比較的ガーネット構造を組みにくく, 仮に組んだとしても単相 NGG が得られ難く, バッファ層としては層数が必要であることが分かった. 最後に, MgO バッファ層の場合には, Fig. 3 に示すように BIG が結晶化しなかった. バッファ層に用いる結晶にはガーネット構造を持つことが必要と考えられる.

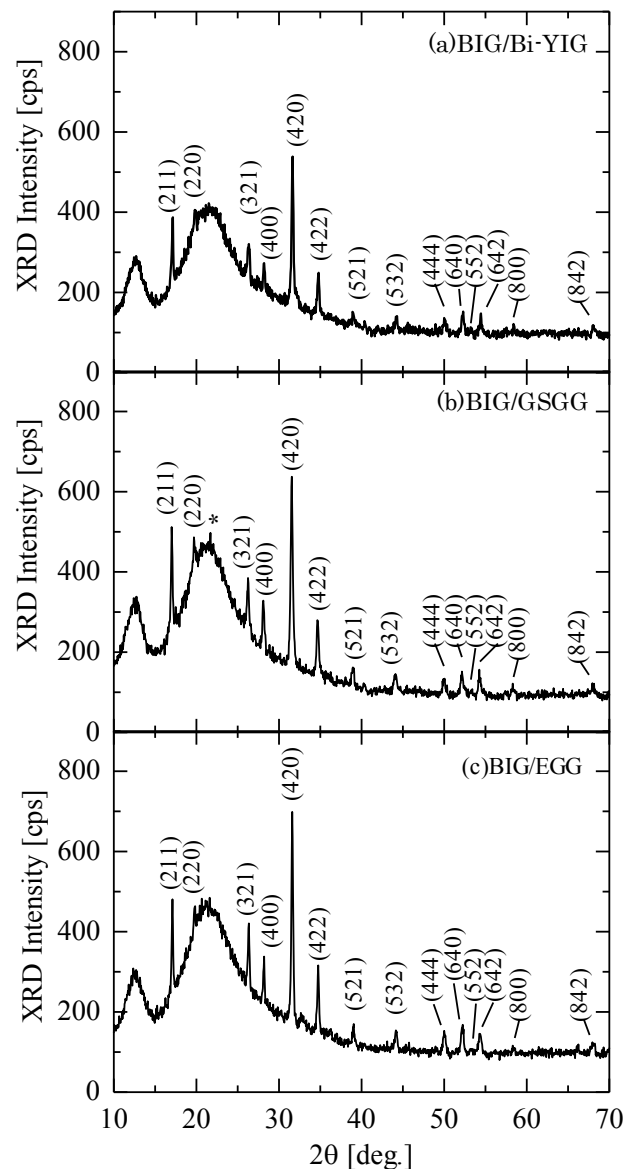


Fig. 1 異なるバッファ層上の BIG の XRD 測定結果; (a)Bi-YIG, (b)GSGG, (c)EGG がバッファ層.

バッファ層の格子定数, 積層された BIG の格子定数, 格子不整合度について Table 1 にまとめた. Bi-YIG の格子定数は過去の報告⁶⁾より, その他は Fig. 1(b), (c), 2(b)の(642)回折ピークより計算した. Table 1 から, 格子不整合度の大きいものでも BIG の格子定数が大きく, XRD パターンにおいて結晶性の良さがみられる. 一般

にエピタキシャル成長では格子不整合度が小さくなれば結晶性が向上されるが、今回は反対の結果となった。

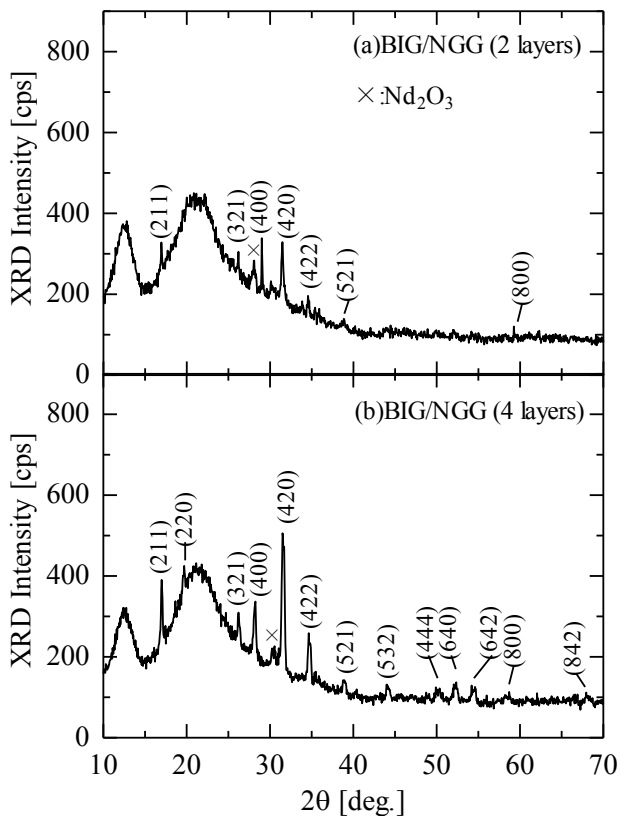


Fig. 2 NGG バッファ層上の BIG の XRD 測定結果; (a)バッファ層が 2 層, (b)4 層の場合.

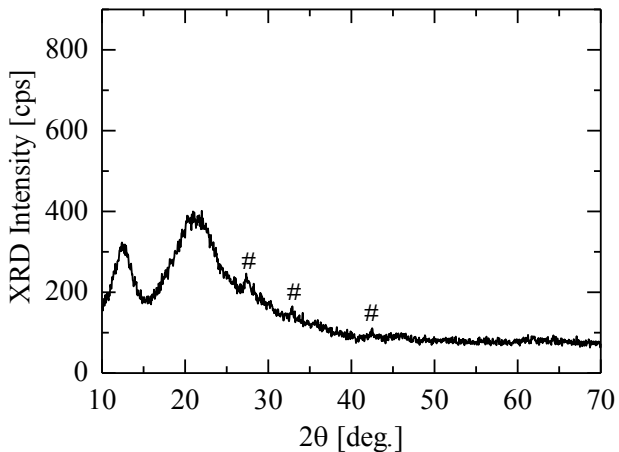


Fig. 3 MgO をバッファ層とした場合の XRD 測定結果

Table 1 バッファ層と BIG の格子不整合度

バッファ層格子定数 [Å]	BIG 格子定数 [Å]	格子不整合度 f [%]
Bi-YIG	12.47	1.203
GSGG	12.51	1.119
NGG	12.57	0.3977
EGG	12.28	3.013

3.2 ファラデー効果の測定

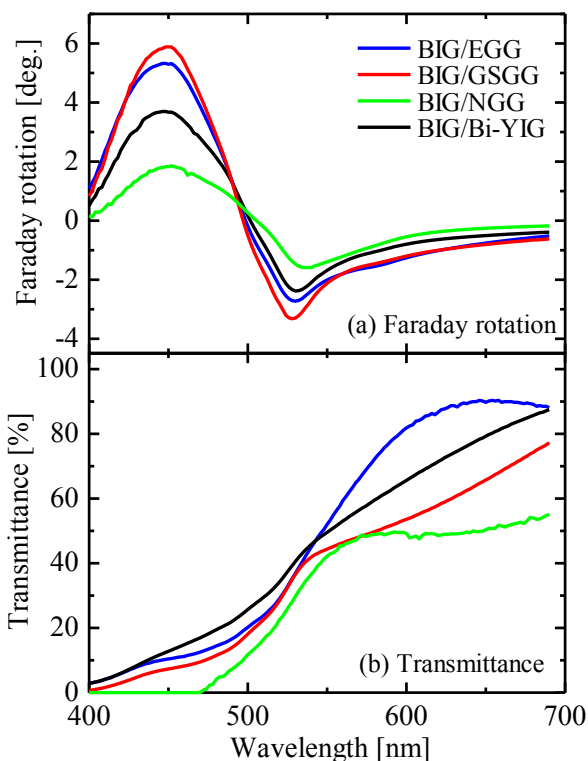


Fig. 4 異なるバッファ層上の BIG の(a)ファラデー回転角スペクトルおよび(b)透過率スペクトル測定結果.

得られた試料の磁気光学特性の評価を行った。Fig. 4 は異なるバッファ層上に作製した BIG のファラデー回転角と透過率の測定結果である。いずれのスペクトルも形状が過去の報告⁽⁸⁾と一致したため、BIG の特性が得られていることがわかった。ファラデー回転角は波長が 450 nm 付近で最大となっているが、透過率を考慮して Bi 置換ガーネットは通常 500 nm 付近で使用される。つまり負のピーク値が重要となるため、これら 4 つの試料のファラデー回転角のピーク値を Table 2 に示す。また分光エリプソメトリ測定により、膜厚が 1 層あたり約 55 nm であったことをもとに単位膜厚あたりの回転角を算出した結果も示す。バッファ層の違いによる比較では、GSGG が最も特性が良く、続いて EGG, Bi-YIG, NGG となった。これは 3.2 で述べた結晶性や結晶量と強く関係している。ガラス基板上での多結晶ガーネット成長では、EGG と BIG の 3% 程度の格子不整合度では大きな影響を及ぼさないと推察される。

次に、Bi 置換ガーネットの特性を表すのに用いられる性能指数(Figure of merit)をファラデー回転角 θ_F [deg/μm]と吸収係数 α [μm⁻¹]を用い、以下の(1)式

$$\text{Figure of merit} = \frac{|\theta_F|}{\alpha} \text{ [deg.]} \quad (1)$$

で表したとき、得られた試料の性能指数の計算結果を Fig. 5 に示す。530 nm 付近で最も高い数値となったの

が GSGG で、続いて EGG, Bi-YIG, NGG となった。しかし 550~700 nm の長波長領域では EGG で顕著な性能指数の増大が確認された。

Table 2 ファラデー回転角の最大値

試料	ピーク波長 [nm]	回転角 [deg.]	1 μm あたりの回転角 [deg/ μm]
BIG/Bi-YIG	540	-2.381	-8.657
BIG/GSGG	538	-3.321	-12.08
BIG/EGG	540	-2.725	-9.909
BIG/NGG	546	-1.591	-5.786

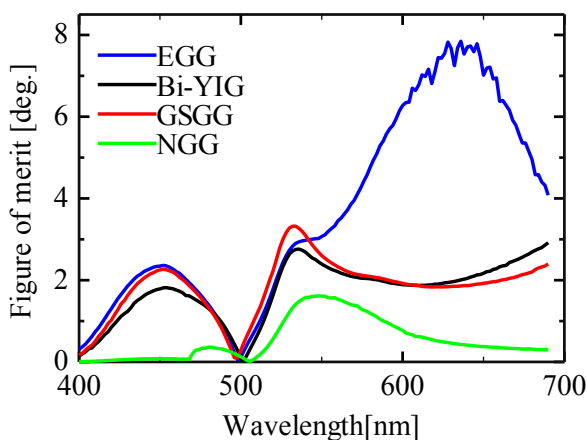


Fig. 5 各バッファ層上に作製した BIG の性能指数

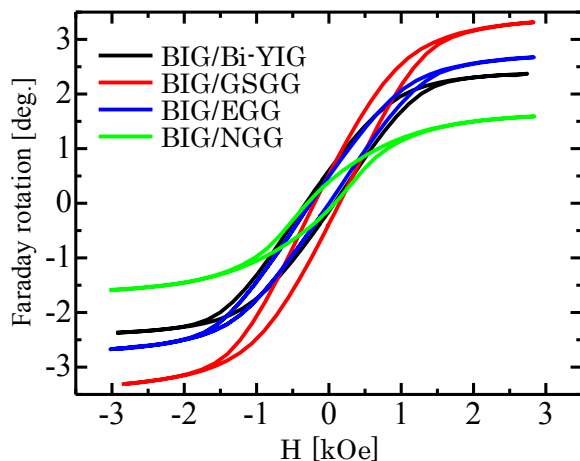


Fig. 6 ファラデー回転角の印加磁場依存性

Fig. 6 は、それぞれの試料のファラデー回転角の印加磁場依存性を測定したものである。測定光の波長 λ は、BIG/Bi-YIG が 520 nm, BIG/GSGG が 515 nm, BIG/EGG が 530 nm, BIG/NGG が 536 nm である。いずれもヒステリシスループがみられ、形状が矩形でないことから容易磁化方向は面内であることが分かる。過去に報告した Bi-YIG⁽⁸⁾に比べ、ループの開きが大きい。これは

Gd₂BiFe₅O₁₂をバッファ層として MOD 法によりガラス基板上に作製した Bi_{2.5}Y_{0.5}Fe₅O₁₂においても見られる⁽⁹⁾。この試料が無配向多結晶膜であることに起因する結晶磁気異方性であると考えられ、Bi 置換量の増加とともにループが開く傾向にある。ループの開きは、保磁力が大きくなることを表すため、磁気転写膜へ応用する場合には改善しなければならない。

4. まとめ

MOD 法を用いて様々なバッファ層上に BIG 薄膜を作製し、その結晶性や磁気特性について評価した。ガーネット構造を有するバッファ層上では BIG の結晶化が確認されたが、MgO のような別の結晶構造では確認できなかった。試みた様々なバッファ層の中で GSGG がバッファ層の場合、波長 538 nm において 12.08 deg/ μm と大きなファラデー回転角が得られた。550 nm 以上の波長域では、EGG がバッファ層の場合に大きな性能指数を示した。

参考文献

- (1) S. Sugano, et al.: Magneto-optics, Springer, p. 154, 1999.
- (2) 長岡技術科学大学 光・磁性材料工学研究室 Web ページ: <http://mst.nagaokaut.ac.jp/~t_bashi/>, 2018 年 10 月 25 日閲覧.
- (3) H. Kidoh, et al.: "Magneto-Optical Characteristics of Bi-substituted Rare-Earth Iron Garnet Films Prepared by Laser Ablation", J. Appl. Phys., vol. 33, p. 4094, 1994.
- (4) T. Okuda, et al.: "In Situ Growth of polycrystalline Bismuth-iron-Garnet Films on Quartz Glass Substrate", J. Phys. IV France, 07, C1-707, 1997.
- (5) M. Gomi, et al.: "rf sputtering of highly Bi-substituted garnet films on glass substrates for magneto-optic memory", J. Appl. Phys., vol. 57, p. 3888, 1985.
- (6) Y. ZHANG, et al.: "Characterization of Bi-substituted Dysprosium Iron Garnet Films Prepared by Sol-gel Process", J. Mater. Sci. Technol., vol.20, p. 66, 2004.
- (7) T. Kosaka, et al.: "Preparation and Character-ization of Y_{3-x}Bi_xFe₅O₁₂ Films for Magneto-optical Indicator Films By Metal Organic Decomposition", J. Magn. Soc. Jpn., vol. 35, p. 194 (2011).
- (8) S. Ikehara, et al.: "Preparation and Characterization of Bi₃Fe₅O₁₂ Thin Films Grown on Glass Substrates by MOD Method", J. Magn. Soc. Jpn., vol. 36, p. 169, 2012.
- (9) T. Kobayashi, et al.: Preparation and characterization of Y_{0.5}Bi₂Fe₅O₁₂ films for magneto-optical indicator films on glass substrates, Extended Abstract of The Japan Society of Applied Physics, The 72nd Autumn Meeting, 2011.

文法用語と文法力の調査

上垣宗明*

A Research on Students' Awareness of English Grammatical Terms and Their English Grammatical Abilities

Muneaki UEGAKI*

ABSTRACT

This study aims at researching the students' awareness of English grammatical terms, their English grammatical abilities and their English proficiency. To research on their awareness of English grammatical terms, first grade students had an original questionnaire in April 2018, which I had made. According to the result of this questionnaire, I divided the students into two groups. The same questionnaire had been conducted for third grade students in July 2017. To evaluate their grammatical abilities, I made an original test consisting of 30 questions. The first grade students took this test in the beginning of April, 2018. Concerning their English proficiency, I referred to the English proficiency test which they took in April, 2018. I found out the relationship with these three factors: the students' awareness of English grammatical terms, their English grammatical abilities and their English proficiency. Furthermore, first graders' awareness of English grammatical terms has stronger relationship with the scores of Proficiency test than those of Achievement test.

Keywords : English Grammatical Ability, English Ability, Awareness of Grammatical Terms

1. はじめに

神戸市立工業高等専門学校(以降、神戸高専)に入学する学生は、中学生時代に学習指導要領に基づいた英語教育を受けてきている。現行の中学校学習指導要領は平成24年4月より全面施行されており⁽¹⁾、調査対象となる学生は現行の指導要領に基づき、中学校の英語学習を行ってきた。

現行の学習指導要領では、第2章 各教科 第9節 外国語の言語材料の文法事項⁽²⁾の項目に、中学時代に学習すべき文法項目が記載されている。文法事項として、「(ア) 文、(イ) 文構造、(ウ) 代名詞、(エ) 動詞の時制など、(オ) 形容詞及び副詞の比較変化、(カ) to 不定詞、(キ) 動名詞、(ク) 現在分詞及び過去分詞の形容詞としての用法、(ケ) 受身」の記載がみられる。(ア)(イ)(ウ)(エ)は、更に詳しい記述があるが、(オ)以降は、これ以上の記述がなく、上記の用語のみの記載となっている。(エ)動詞の時制についての更に詳細な項目としては、「現在形、過去形、現在進行形、過去進行形、現在完了形及び助動詞などを用いた未来表現」⁽³⁾の用語が記載されている。現在進行形や現在完了形は重要な文法項目である。しかし、松井が中学3年生、あるいは、高校1年生が完了形等

を理解することの難しさを以下のように述べている。

完了形、完了進行形…… 英語には日本語には存在しない時制がいくつもあります。中でも完了形と完了進行形は鬼門です。

これらの時制を習うのはだいたい中3から高1あたりですが、その頃から英語がチンプンカンプンになってしまう人、とつても多いのではないかと思います⁽⁴⁾。

理解することが難しいと思われるにも関わらず、現在完了形は中学校で必ず教える必要があり、生徒は理解すべきものである。しかし、生徒の中にはこのような文法項目を理解できないまま神戸高専に入学している学生もいるように思われる。あるいは、中学時代は高校入試受験のために、一所懸命勉強して理解できていたにもかかわらず、受験後に忘れてしまった可能性も考えられる。

文法の指導について、現行の高等学校学習指導要領解説 外国語 英語編では、「文法については、コミュニケーションを支えるものであることを踏まえ、言語活動と効果的に関連付けて指導すること。」⁽⁵⁾との記述があり、効果的な指導が必要であることが確認できる。

神戸高専で今後文法指導を効果的に行っていくために

* 一般科 教授

は、新入生の英文法等についての習得状況を把握することは重要である。そうすることができれば、文法項目や文法用語の指導に関して、効果が期待できる指導方法を検討する上で貴重な資料となり得る。そのために、平成30年度新入生に対して、文法の理解度とその内容を表している用語の周知度についての調査を行った。平成29年度3年生(平成27年度新入生)3クラスの文法用語の周知度についての調査結果を利用し、2年間の神戸高専での英語教育で、文法用語の周知度にどのような変化が見られるのかを考察する。また、この2学年間で、新入生時の文法テストと新入生実力試験の結果に違いがあるのかやそれらの結果と文法用語の周知度との関連などを分析する。

2. 調査について

2.1 文法用語の周知度について

文法用語の周知度について、平成30年度に入学した3クラス120名を対象に、平成30年4月上旬に質問紙を利用し調査した。今後、2年次、3年次でも同じ質問紙を利用し、文法用語の周知度の変化を調査するため、神戸高専1年、2年で学習する用語も調査対象とした。調査した文法用語は22用語である。22用語中10用語は中学校学習指導要領を参考にして抽出し、残りの12用語は、今後2年間で学習すべき用語から抽出した。用語は、一般的に授業で使われる基本的なものから少し難しいと思われるものを選んだ。表1に、その一覧を記載する。

表1 文法用語一覧

中学で学習する用語	神戸高専で学習する用語
7 時制を下げる	1 分詞構文
8 現在分詞の後置修飾	2 独立分詞構文
9 過去分詞の後置修飾	3 仮定法過去
10 to 不定詞の3用法	4 仮定法過去完了
11 現在完了の経験	5 使役動詞
12 三人称単数現在のs	6 知覚動詞
14 第V文型	13 動名詞の意味上の主語
15 文の要素	16 原形不定詞
18 補語と目的語の違い	17 強調構文
19 関係代名詞	20 先行詞を含む関係代名詞
	21 形式目的語
	22 不定詞副詞的用法の結果

質問紙は、その用語を認識して、文法内容が分かるかどうかを判断し、分かればその番号を答えるという形式である。解答する前に、成績とは全く関係がないことと完全に理解している必要がなく、その用語を見れば、なんとなく英文などが思い浮かぶかどうかで判断するように指示した。神戸高専で2年間英語を学習した平成29年度3年生3クラス(平成27年度入学)を対象として同じ質問紙を使い、平成29年7月に調査を行っていた。両学年の結果を比較し、2年間の神戸高専での英語教育で文法用語の周知度

に変化が生じるのかどうかや周知できる用語数の違いがテストの点数と関係があるのかを分析し、考察を加える。

本調査の統計処理は、「エクセル統計(BellCurve for Excel)」を使用した。

2.2 文法テストについて

調査対象は、平成30年4月に神戸高専へ入学した3クラス120名である。3クラスとも4月中旬の入学後2時間目の英語の授業中に、英語文法に関する力を把握するために、30問からなる文法テストを実施した(Appendix)。

文法テストを作成する際に、島田の以下の記述を参考にした。

日本人初中級英語学習者は文法性判断テストにおいて、文法的文よりも非文法的文の正答率が低い。つまり、文法的文は適格であると判断をすることができるのに、非文法的文をも容認してしまう傾向がある(6)。

島田の指摘から、本調査の対象は初中級学習者なので、非文法的な文でも、文法的とみなしてしまう傾向があることが分かる。文法的文を適格と判断するよりも、非文法的な文となっている箇所を指摘し、正しく訂正することは難しいように思える。そして、そこを指摘し、訂正できれば、その文法事項を理解できていると判断できる。問題作成時には、そのようなことに留意した。その上、出題形式に関しては、池上が、文法診断テスト作成に関しての取り組みについて、以下のように述べている。

多肢選択形式の場合は、選択肢そのものがヒントになっていたり、消去法などのテスト・テクニックを使って正答を選べたりする可能性があり、「正答が分からなくても正答が選べる」という大きな問題があることには留意しなければならない(7)。

この指摘に従い、出題形式として一般的な多肢選択形式とは異なり、正答が分からないと正解できないと思われる下記の形式とした。

- 例 1) Which do you like good, tea or coffee?
 解) × good → better
- 2) Who was late for school?
 解) ○ _____ → _____

例のように、英文が記述してあり、それが文法的に適切かどうかを判断し、不適切な場合はその語句を適切なものに書き換える形式で、1問1点の30点満点とした。文法的に適切な設問も3問含み、その場合は例2)のように、解答欄に“○”を記入するように教示した。

同じテストを平成 27 年 7 月中旬に当時の新入生 111 名を対象に実施していた⁽⁸⁾。その結果と今回の結果を比較し、両学年に違いが見られるのかや文法テストと用語の周知度との関連についても検討する。

2.3 新入生実力テストについて

神戸高专では、新入生の英語の実力を把握するために、平成 24 年度より同じ試験問題を利用し、入学後すぐに実力テストを実施し、比較や分析を行っている。

実力テストは 100 点満点で、基礎問題 70 点分を春休みの課題から出題し、応用問題として 30 点分を過去の高校入試問題から出題している。基礎問題は春休みの課題の理解度を評価するので Achievement Test に近い要素を多く含み、応用問題の 30 点分は Achievement Test よりも、過去の高校入試からの抜粋であるために、学生の総合的な英語力を測る Proficiency Test の要素を含んでいる。それぞれ評価する英語力が異なるために、合計、基礎、応用、に分けて分析した。平成 30 年度新入生は 3 クラス 120 名と平成 27 年度新入生は 3 クラス 111 名を分析対象とし、用語の周知度や文法力との関連についても検討する。

3. 結果について

3.1 文法用語の周知度

平成 30 年度の新入生 120 名を対象に行った文法用語の周知度の調査結果を表 2 に示す。

表 2 平成 30 年度 新入生文法用語の周知度

用語	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
人数	12	2	5	2	17	7	16	53	50	91	101
割合	9.8	1.6	4.1	1.6	13.9	5.7	13.1	43.4	41	74.6	82.8
用語	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
人数	112	47	48	45	16	7	22	112	42	5	12
割合	91.8	38.5	39.3	36.9	13.1	5.7	18	91.8	34.4	4.1	9.8

表 2 から、中学校学習指導要領に記載のない文法用語を周知している学生が、少数だがいることが分かる。その中でも、2 独立分詞構文や 4 仮定法過去完了は、高校 1 年か 2 年で学習するので、知らなくても当然だが、知っている学生が 2 人もいることに驚きを感じた。知っていると答えた学生に直接聞いてみると、「参考書を利用して自分で勉強した。」と、回答が返ってきた。

12 三人称単数現在形の s や 19 関係代名詞などの用語は、90%以上の学生が周知しており、中学時代に最低限の文法用語を学習していることが分かった。その次に周知度が高いものは、10 to 不定詞の 3 用法で約 75%の学生が周知できているという結果であった。しかし、授業中の様子からは、名詞的用法、形容詞的用法、副詞的用法の用語は理解しているが、実際の英文中に出てくる to 不定詞がどの用法なのかを正確に理解できていない学生は全体の 25%よりも多いように感じる。

周知度が 30%台の用語は、14 第 V 文型 (39.3%)、13 動名詞の意味上の主語 (38.5%)、15 文の要素 (36.9%)、20 先行詞を含む関係代名詞 (34.4%) の 4 用語であった。13 と 20 は中学校の授業で学習することはないが、14 と 15 は文法事項として学習している。例えば、第 V 文型に関しては、学習指導要領で教えるべき文法事項に、「[主語+動詞+目的語+補語]のうち、主語+動詞+目的語+名詞、形容詞」との記述があり⁽⁹⁾、第 V 文型との記述がないので、この用語を教えることはないと思われる。塾や参考書などを利用して勉強している学生は、これらの用語を周知していることが考えられる。

次に、平成 29 年度に 3 年生を対象に実施した 105 名の文法用語の周知度の結果を表 3 に示す。

表 3 平成 29 年度 3 年生文法用語の周知度

用語	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
人数	70	3	63	50	46	43	51	25	21	83	50
割合	66.7	2.9	60	47.6	43.8	41	48.6	23.8	20	79	47.6
用語	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
人数	82	43	62	30	30	53	27	80	40	7	15
割合	78.1	41	59	28.6	28.6	50.5	25.7	76.2	38.1	6.7	14.3

周知度の高い順に、10 to 不定詞の 3 つの用法 (79%)、12 三人称単数現在形の s (78.1%)、19 関係代名詞 (76.2%)、1 分詞構文 (66.7%)、3 仮定法過去 (60%) となっており、この 5 用語は、周知度が 60%を超えているので、多くの学生が周知できているといえる。反対に、周知度が低い用語は、2 独立分詞構文 (2.9%)、21 形式目的語 (6.7%)、22 不定詞副詞的用法の結果 (14.3%)、この 3 用語は 15%以下の周知度であった。これらの 3 用語に関しては、新出時に授業でしっかりと説明し、用語及び内容を理解させている。しかし、既習となると説明することが少なくなり、また、教科書に出てくる頻度が下がるために、用語を忘れてしまっている学生がかなりいることが分かる。

表 2 と表 3 の結果において、どの文法用語の周知度に差があるのかを、割合で比べた結果を表 4 に示す。表中の“—”で表された数値は、30 年度 1 年生の方が 29 年度 3 年生よりも周知できている学生の割合が高いことを示す。

表 4 文法用語周知度の違い

用語	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
差	56.9	1.3	55.9	46	29.9	35.3	35.5	-19.6	-21	4.4	-35.2
用語	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
差	-13.7	2.5	19.7	-8.3	15.5	44.8	7.7	-15.6	3.7	2.6	4.5

1 年生の方が 3 年生より周知度の高い用語は、11 現在完了の経験、9 過去分詞の後置修飾、8 現在分詞の後置修飾、19 関係代名詞、12 三人称単数現在形の s、15

文の要素, の 6 用語であった. これらの用語は, 神戸高専 2 年の教科書では, 既習として扱われているために, 時間を割いてまでも説明をしていない. 特に, 文の要素については, 1 年の初期に教える用語であり, 2 年生以降はほとんど触れていない. その他の用語は中学時代に学習するもので, 高専での授業では, ほとんど復習していない. つまり, 簡単な用語でも, 普段から聞いていなければ忘れてしまうということを示している. “15 文の要素” 以外は, 高校入試では必ず出題される文法事項であるために, 数ヶ月前まで高校入試のための受験勉強をしていた新入生の方が周知度はかなり高くなったのだろう.

3 年生の方が 1 年生よりも周知度の高い用語は, 1 分詞構文, 3 仮定法過去, 4 仮定法過去完了, 17 強調構文, で, 40% 以上の違いがある. これらの 4 用語は非常に理解するのが難しい項目で, 高専の 1, 2 年で学習する項目である. これらの用語を周知できているのは, 理解するのが難しいために, 普段の授業でも教科書に出てくれば, 頻繁に復習しているから, 3 年生では多くの学生が周知できていたのだろう.

3.2 周知している用語の合計数

次に, 22 用語のうち, 各学生が周知している用語の合計数を調査した. 1 年生の結果を図1に, 3 年生の結果を図2に示す.

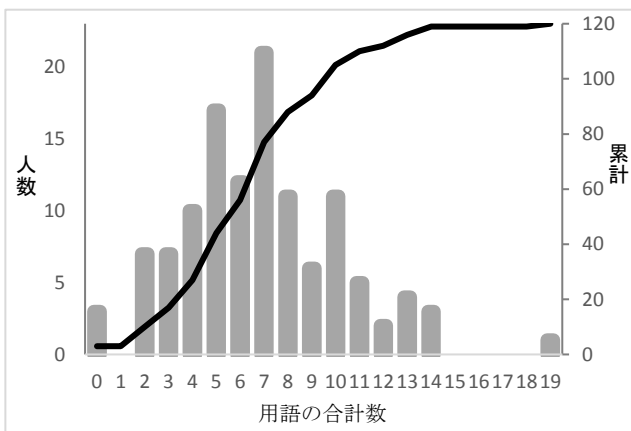


図1 1 年生の用語の合計数

図1の下の値は, 各学生が周知できた用語の合計数を示し, その人数を図左の値で示された棒グラフで表している. 折れ線グラフは, 0 語から各用語数を周知できた学生の累計を示し, 図右の値で表している. 周知できた用語数の平均は, 6.9 用語であり, 最少 0 語 3 名, 最多 19 語 1 名であった.

図2も, 図1と同じ様式で表している. 3 年生の周知できた用語の合計数の平均は 9.3 語, 最少 1 語 6 名, 最多 21 語 1 名, であった.

図1と図2を比べると, 図1(1年)に関しては, 7 語を中心に大きな山が一つあり, 用語を多く知っている学生のほうに緩やかに傾斜している. 一方, 図2(3年)に関しては, 4,

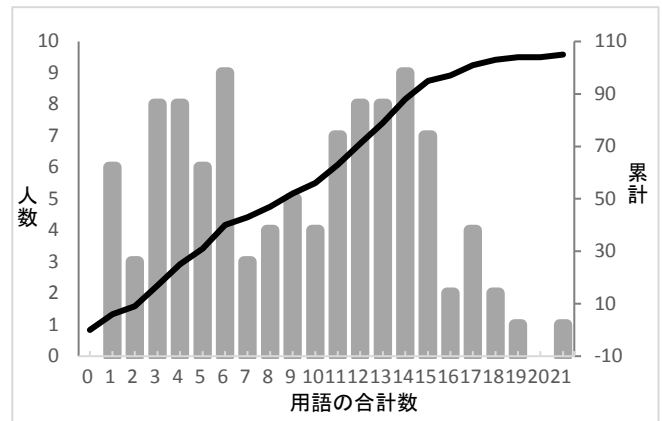


図2 3 年生の用語の合計数

5, 6 語を頂点とする山と 13, 14, 15 語を頂点とする 2 つの山を形成している. 3 年では, 文法用語をあまり知らない学生と多く知っている学生の 2 極化していることが読み取れる. 英語の文法用語や文法項目を意識して学習する学生は, ますます多くを周知できるようになっていることを示している.

3.3 用語数の違いについて

両学年において, 周知している用語数の少ない群と多い群の 2 群に分けて更に詳細な分析を加える.

平成 30 年の新入生においては, 120 名が解答したが, 0 語 3 名, 19 語 1 名を外れ値として扱い, 調査対象から省いたために 116 名が対象となった. 2 語から 6 語まで周知している学生は合計で 53 名, 7 語から 14 語が 63 名であった. 10 名の違いがあるが, 2 語から 7 語以下なら 74 名, 8 語以上が 42 名となり, 32 名の違いが生じる. 両群の人数をできるだけ同じようにするために 6 語以下を A 群とし, 7 語以上を B 群とした.

平成 29 年の 3 年では, 105 名が受験しているが 1 年生と同様に最少 1 語 6 名と最多 21 語 1 名を外れ値として扱い, 98 名を対象とした. 3 年生は, 2 語から 10 語が 50 名と 11 語から 19 語が 48 名と 2 名の違いしかなかったために, 10 語以下を C 群とし, 11 語以上を D 群とした.

A 群(平均: 4.4 語 標準偏差: 1.8) と B 群(平均: 9.1 語 標準偏差: 2.1) では, 平均の差が 4.7 語あり, コルモゴロフ=スミルノフ検定の結果, 1%水準の有意差がみられた(統計量 KS: 5.36 p 値: $p < 0.001$). C 群(平均: 5.7 語 標準偏差: 2.4) と D 群(平均: 13.9 語 標準偏差: 2.33) では, 平均で 8.2 語の差があり, コルモゴロフ=スミルノフ検定の結果 1%水準で有意差が見られた(統計量 KS: 4.95 p 値: $p < 0.001$). 注目すべきは, 各群における平均の差である. 1 年生の A 群(4.4 語)と B 群(9.1 語)の差は 4.7 語だが, 3 年生の C 群(5.7 語)と D 群(13.9 語)の差は 8.2 語に広がっている. ここでも, 3 年生の 2 極化現象がみられる. 更に, 特徴的なのは, 両学年における周知できる用語の少ない群(A 群と C 群)と多い群(B 群と D 群)の平均の差である. A 群(4.4 語)と C 群(5.7 語)

では、1.3 語の差しか見られないが、B 群(9.1 語)と D 群(13.9 語)では、4.8 語の差がある。この比較から、普段の英語学習への取り組みの差が顕著であることが明確である。あまり用語を知らない、あるいは、意識しない学生(A 群 4.4 語、C 群 5.7 語)は、わずか 1.3 語しか増加していないにもかかわらず、用語等を意識して身に付け、多く知っている学生(B 群 9.1 語、D 群 13.9 語)は、4.8 語も周知できる用語を増やしている。

3.4 文法テストについて

平成 30 年度新入生と平成 27 年度新入生の文法テストの結果を表 5 に示す。

表 5 文法テストの結果

	平成30年	平成27年
人数	120	111
平均	23.6	21.3
最高	29	29
最低	13	9
標準偏差	3.08	4.15

両学年での平均の差は 2.3 点あり、標準偏差においても 1.07 の差があった。統計的に差があるのかをブルンナー=ムンツェル検定した結果、1%水準の有意差が認められた(統計量 W:4.2 自由度:214.23 p 値:p < .001)。平成 30 年度の新入生の方が平成 27 年度の新入生よりも、文法テストでは良い点数を取っていることが分かった。

平成 30 年の新入生の A 群と B 群で、文法テストの結果に差があるのかをブルンナー=ムンツェル検定で分析した。その結果、A 群(平均:23.1 標準偏差:7.86)と B 群(平均:24 標準偏差:3.12)では、平均の差は 0.9 とわずかったが、5%水準の有意差が認められた(統計量 W:2.02 自由度:113.1 p 値:p = 0.044)。この学年においては、文法用語を多く周知している学生が、文法テストでよい点数を取っていることが分かった。

3.5 新入生実力テストの結果

平成 30 年度と平成 27 年度の新入生実力テストの結果を表 6 に示す。

表 6 実力テストの結果

		平成30年	平成27年	差
人数		120	111	
合計	平均	84.6	82.3	2.3
	標準偏差	8.83	9.03	0.2
基礎	平均	63.2	62.7	0.5
	標準偏差	4.6	5.3	0.7
応用	平均	21.4	19.6	1.8
	標準偏差	5.4	5	0.4

両学年の新入生実力テストにおいて、合計 100 点、基礎問題 70 点、応用問題 30 点のそれぞれに統計的に差があるかを確かめるために t 検定を行った。合計で、5%

水準の有意差が確認できた(統計量:2.17 自由度:229 効果量:0.27, p 値:p = .0314)。基礎問題では、有意差は確認できなかった(統計量:0.76 自由度:229 効果量:0.09, p 値:p = .0452)。応用問題では、1%水準の有意差が確認できた(統計量:2.74 自由度:229 効果量:0.37, p 値:p = .007)。結果をまとめると、基礎問題は 70 点満点で平均の差が 0.5 点と小さく有意差はみられなかったが、合計と応用問題で有意差が確認できた。特に、応用問題は、30 点満点で平均点 1.8 点の差があり、平成 30 年度新入生の方が高かった。応用問題の差が合計点に影響を与え、合計でも有意差がみられたのだろう。

平成 30 年の新入生実力テストの結果において、A 群と B 群で差があるのかをブルンナー=ムンツェル検定で調査した。その結果を表 7 に示す。

表 7 2 群の実力テストの結果 (平成 30 年)

	合計		基礎		応用	
	Avg.	S.D.	Avg.	S.D.	Avg.	S.D.
A 群	81.9	7.69	61.9	4.2	20.0	5.13
B 群	87.3	7.47	64.5	3.5	22.8	4.96
差	5.4	0.22	2.6	0.6	2.8	0.17
統計量 W	4.14		4.11		3.29	
自由度	113.1		113.2		109.7	
p 値	< 0.001		< 0.001		0.001	
判定	**		**		**	

表 7 より、平成 30 年度の新入生は、実力テストの結果から、文法用語を多く知っている学生(B 群)の方が、合計、基礎、応用において、有意に高い点数を取っていることが確認できた。また、両群の基礎 70 点と応用 30 点の平均の差は 0.2 点で応用問題の方が大きかった。得点の比率から考えると応用 30 点に対し基礎 70 点なので、2 倍以上の差があっても不思議ではない。配点を考慮すると応用問題の方が基礎問題よりも、A 群と B 群の差を顕著に表すことができているといえる。つまり、周知している文法用語の差は、基礎問題よりも応用問題の方に影響を与えているといえるだろう。

4. 結果の考察

文法用語の周知度に関しては、同じ学年での比較ではないが、新入生よりも 3 年生の方が平均で 2.4 語多くの文法用語を知っていることが分かった。しかし、用語の中には、新入生の方が周知度の高い用語が 6 語あり、3 年生では普通の授業でよく耳にするとと思われる用語の周知度が高く、あまり耳にしない用語は周知度が低かった。中学校時代には良く耳にしていた用語でも、高専に入学すると新しい文法事項を多く学習するため、既習の文法を説明する時間が少なく、解説する回数が減ってしまう。そのために、1 年と 3 年で逆転がおこったと考えられる。また、3 年では

2 極化が見られ、多くの用語を周知している学生とそうではない学生の 2 グループに別れていることが分かった。新入生の時よりも用語を多く知っている群とそうでない群の周知できる用語数の差が広がっていた。

両年度の新生において、文法テストと新入生実力テストでは、平成 30 年の新入生の方が有意に高い結果を示していた。しかし、基礎問題では、文法テストの結果とは異なり、有意差は認められなかったが、応用問題では有意差が確認できた。文法テストと応用問題の結果は、平均点の差においては同じ傾向の有意差がみられた。これらは、出題範囲の指定がなく、応用問題は過去の高校入試の抜粋であるために Proficiency Test の要素を多く含んでいる。文法テストは、総合的な英語力は評価できていないが、中学 1 年生から中学 3 年生までの学習内容から出題しているために、基礎問題よりも応用問題で評価できる能力に近い英語力を評価していたのだろう。基礎問題は全て春休みの課題から出題されているので、Achievement Test の要素を含んでおり、応用問題は Proficiency Test の要素を含んでいることから考えれば、文法テストは Achievement Test より Proficiency Test に近い要素を含んでいたと考えられる。

平成 30 年度 1 年生で、A 群(周知している用語数:少)と B 群(周知している用語数:多)について調査した結果、文法テスト、実力テスト(合計、基礎、応用)で有意差が確認でき、全てにおいて B 群の方が高かった。特に、応用問題は平均点の差が大きく、両群の差を顕著に表していた。周知できる用語数の違いが、文法テストや新入生実力テスト、特に応用問題の結果に影響していると推測できる。

平成 30 年度 1 年生と平成 27 年度 1 年生の比較では、文法テストと新入生実力テストの合計と応用で有意差が確認でき、平成 30 年度 1 年生の方が平均点は高かった。平成 30 年度 1 年生の A 群と B 群では、文法テスト、基礎問題、応用問題の全てにおいて、B 群の方が有意に平均点は高いことが分かった。基礎問題の 2 学年間の比較のみ有意差が確認できなかった。今回の調査では、学年間での比較よりも、周知している文法用語数に差がある 2 群の比較の方が、文法テストや新入生実力テストの結果の差を顕著に表すことができていた。

5. 今後の課題

文法テストと新入生実力テストは、2 学年で、入学して間もない時期に実施したが、文法用語の周知度の調査は、1 年の 4 月(平成 30 年)と 3 年の 7 月(平成 29 年)で、異なる学年で実施したものを比較せざるをなかつた。今後は、過去の資料などを有効に使えるようにするためにも、同じ学年や同じ時期に実施できるような工夫が必要である。

今回の調査では、文法用語と文法事項をそれぞれに分けて調査した。そのために、個々の文法用語と文法事項の関連については分析できていない。今後、知っている文法用語とその用語が示す文法事項が理解できているかどうか

かを学生個人、文法事項や用語、それぞれに焦点をあてて詳細に調査する。学生が理解できていない文法事項や用語を把握することができれば、学生の個々にあった効果的な指導が可能となる。また、学生の多くが周知できていない用語や理解できていない文法事項が分かれば、授業内容を厳選し、効果的な文法指導に役立てることができる。

英語の授業において、新出の文法事項を学生が理解できるまで繰り返し教えることは、かなりの時間が必要である。文法事項とその用語を同時に習得できれば、既習の文法用語を聞くだけで、その内容を頭に思い浮かべることができるようになり、用語のみを使っての説明が可能となる。既習の文法項目を確認するときに、その用語を使うだけで十分といえる。授業という限られた時間内で時間の短縮ができれば、他の学習活動に時間を割くことができ、時間を有効に使った効果的な授業実践が期待できる。

参考文献

- (1) 文部科学省 現行学習指導要領の基本的な考え方
http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/idea/index.htm
- (2) 文部科学省 中学校学習指導要領第 2 章 各教科 第 9 節 外国語
http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/youryou/chu/gai.htm
- (3) (2) と同じ
- (4) 松井博, <https://brighture.jp/b-blog/1281>
- (5) 文部科学省, 高等学校学習指導要領, p.92 平成 21 年 3 月。
http://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/_icsFiles/afieldfile/2011/03/30/1304427_002.pdf
- (6) 島田勝正:「文法性判断テストにおける問題文提示 時間制限の有無と明示的・暗示的知識」, 英文論評, 第 24 号, pp.41-53, 2010
- (7) 池上直人:「英文法診断テストの作成の試みー設問形式と採点・診断方法の検討ー」, 松山大学言語文化研究, 第 28 巻, 第 2 号, pp.121-143,2009.
- (8) 上垣宗明:「動機づけと英語力について」, 神戸市立工業高等専門学校研究紀要, 第 54 号, pp.27-32, 2016.
- (9) (2) と同じ

Appendix (抜粋)

1, Was the letter writing by him?
2, Every boys likes to watch this movie.
3, Tom and Ken is good friends.
4, They are play the guitar now.
5, These cakes were made yesterday.
6, My sisters was out when I came back.
7, Jane is knowing Tom's father.

日本手話の「来る」の分析

今里典子*

An Analysis of ‘come’ in JSL

Noriko IMAZATO*

ABSTRACT

Motion verbs have drawn the interest of researchers as sources of grammatical elements resulting from grammaticalization. Ichida (2005) pointed out that the JSL motion verb [kuru (come)] has a usage as an auxiliary verb expressing highly probable conjecture, but it does not reflect the process of grammaticalization. By analyzing [iku (go)] as the second verb of serial verb constructions (SVCs), Imazato (2009, 2010, 2016) elucidated that [kuru] shares basic usage with [iku] while it does not share highly grammaticalized usages: but Imazato did not provide a complete overview of [kuru] usages. The purpose of our research therefore is to show how [kuru] has various extended usages by analyzing the JSL western dialect data. Our practical study reveals five distinct usages, and concludes that the most semantically bleached and phonetically reduced usage has established a grammatical element because of the condition of SVC that facilitates grammaticalization.

Keywords : JSL, serial verb construction, grammaticalization, motion verb, metaphorical extension

1. はじめに

日本手話 (Japanese Sign Language, 以下 JSL) 西日本方言の分析結果から, [行く・来る] (以下 JSL の語は本文中[]表示) には空間移動以外にも様々な用法が発達していることは, 関連する先行研究, 今里(2009, 2010, 2016)⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾で指摘されている。どちらの動詞も連続動詞構文 (Serial Verb Construction, 以下 SVC) である V1+V2 の V2 の位置に現れて「様態」および「目的」用法を表す。さらに [行く] は, 同じ SVC 環境で非常に文法化の進んだ「勧誘 (cohortative)」および「命令 (imperative)」用法を発展させている。しかし [来る] は, 命令用法としては非常に限られた数の動詞を V1 とする例外的な場合しか現れる事はできず, 勧誘用法は存在しないことを今里 (2010) は指摘する。つまり [来る] の文法化は, [行く] と比べて非常に厳しく制限されているように見える。一方市田 (2005)⁽⁴⁾は, [来る] に「確実性の高い推量」を表す文法化した助動詞用法が存在すると指摘する。しかし残念ながらこの用

法の存在を確定する分析過程が全く示されていない。

そこで本論は, JSL の移動動詞 [来る] について実例を集めて分析し, 意味の広がり进行を明らかにし, 様々な用法が拡大する環境条件について議論することを目的とする。第 2 章で [来る] の助動詞としての用法に関する市田 (2005) の主張を見た上で, 第 3 章では本論で分析するデータの種類について説明する。第 4 章では, [来る] の基本を解説した後, 撮影された様々な例文を音韻・文法的振る舞い・意味の面から分析し, [来る] には 5 つの意味・用法: 「具体物接近」・「出来事接近」・「直示」・「目的」・「予測」が観察できるが, その内予測用法は, 最も文法化が進んでいる場合にモダリティを表す文法要素となっていることをその道筋とともに明らかにする。最後に第 5 章で, [来る] の分析結果をまとめ, JSL において文法化を育む環境として, 動詞連続が重要な役割を果たす可能性を議論し, 今後の課題についても述べる。

なお, 本研究で JSL の文を表記する場合には, 以下の記号とルールに従い文を記述している。本文内では手話単語は [手話] のように括弧でくくる。通し番号のついた例文内では手話単語は相当する日本語で示し, 動詞語幹に包入される名詞要素を表す手の形である類

* 一般科 教授

辞 (classifier, 以下 CL) は, [人] のように括弧でくる。動詞については, 空間動詞では [動詞 f-s] のように移動の始点と終点を, 一致動詞では [x 動詞 y] のように動詞の前に主語と後ろに目的語の位置をそれぞれ示す。但し, s はサイナーの位置, f はサイナー前方の離れた位置, x と y はそれぞれサイナーの利き手側と非利き手側の位置を示し, u はデフォルトの位置より上, d は下であることを意味する。口型はカタカナで表す。また () でくくられた語は省略可能であることを示す。

2. 先行研究における[来る]の分析

JSL を対象とした文法化の視点からの最も先進的な研究の一つが市田 (2005) である。その中で [来る] を取り上げ, 文法化が進んだ結果としての用法が, 他のいくつかの手話単語 (例えば [規則] 等) の同様の用法とともに, 相互に時に重なり, あるいは補い合っ てムードやアスペクトを表す助動詞のグループを形成していると指摘している。そのうち [来る] に関わる主張をまとめると, JSL の [来る] には動詞の直後に現れて文法化した助動詞として機能する用法があり, 確実性の高い推量 (～に違いない・～はず) を意味するという。しかし詳細な例文の分析や文法化のプロセスは示されていないので, JSL においてどのようなプロセスで文法化が起こったと考えられるか, 文法化が起こった環境はどのようなものか, 文法化した用法は機能語 (助動詞) と考えてよいのかが実証的に明らかになっていない。(なお市田は音韻弱化的の問題点についても議論しており, 重要な課題ではあるが本論では立ち入らない。) そこで本論では, JSL の動詞 [来る] にどのような用法があるのかを実例に基づき記述・分析し, [来る] の各用法がどのように拡張したのかを詳細に観察する。

3. 取り扱う JSL データ

JSL は, サイナーの失聴時期・生育環境等による個人差が大きい。さらにサイナーの居住地や聾学校毎のいわゆる地域差, そして世代間の違いも表現に大きく影響する。また書記体系を持たないため, 文法化のプロセスに関する研究に本来必要な歴史的データが圧倒的に不足している。そこでこのような JSL の特徴によるデータのばらつきを減らし, 歴史的データ不足を補う必要がある。まずサイナーの失聴時期・生育環境・地域方言差・世代格差を最小にする為, 分析する手話データを, デフ・ファミリーの中で手話を見て育ち, 関西の聾学校出身で現在関西在住の西日本方言を使用する聾者から提供を受けることとした。年齢は現在 40～60 歳代で, 言語習得過程を通じてメールや SNS 等の日本語の書き言葉に日常的に触れていない。またこの世代は 60～80 歳代の親や親の友人, 祖父母等と手話によ

るコミュニケーションが問題なくでき, かつ子供世代の若いサイナーの手話も理解するので, 高齢者の手話と現在の手話の違いについてよく理解している。手話表現については 40～60 歳代のサイナーに, 与えられた様々なシチュエーションで自分なら日常的にどう表すかを考え自由に自発的に発せられた表現を撮影した。また 70 歳以上のサイナーによる古い手話データがある場合はそれも分析対象とするが, 40～60 歳代の手話と差がない場合は特に言及しない。またインタビューで語られた表現に関するコメントも参照する。

4. [来る]の意味・用法

4.1 [来る]: 具体物接近 JSL の移動動詞「来る」は, JSL 動詞の 3 分類のうち, いわゆる空間動詞に分類される語で, その手の形は人差し指 1 本をのばして下向きにした指差しの形で, はじめに移動主体が移動を開始する位置 (始点) を指差し, サイナーの方向を目指し最終的にはサイナーの位置 (終点) まで移動する。そして人やものなど具体的な対象がサイナーの位置に接近あるいは到着するという意味をあらわす。なお, 例文内の PT (Pointing) は指差し表現をあらわし, PTf は f の位置を指差す事を示していることを断っておく。

- (1) 犬 (PTf) ここ sd 来る f-s
(その犬が私のところに来る)
- (2) 友人 (PTf) PT1-家 s 来る[人] f-s
(友達が私の家に来る)

例文(1)の [来る] は, はじめは手話空間内のデフォルトである胸の高さの「犬」のいる位置 f にある手が, そこから直線的に普通でサイナーの位置 s まで移動することで表現される。手の形について言えば, 例えば人間である [友人] が主語の場合は, (2) のように人差し指の指先上向きの [人] を意味する CL の形にして動かす事になる。他にも [男] や [女], 複数を表す [2] のような数, さらに物が主語の場合は [自動車] 等を表す手の形が CL として動詞に包入され, 移動主体の種類・数・性別などについて詳細化する。その手の動きは, 速度のみならず, 移動経路の形状 (ジグザグ, 上り, カーブ等) や様態 (滑らかに, 弾むように, ゆっくりと等) を反映できる。

4.2 [来る]: 出来事接近 [来る] の主語が, 4.1 で見た具体的な「人やもの」から抽象的な「出来事やその日時」になると, 比喩を介して意味が拡大し, 出来事の予定が近づくという意味を持つようになる。この時 JSL では主に 3 つの表現方法が想定される。まず, [来る] を述語とする例としては, 例えば幼い子供がクリスマスを楽しみに待っていて母親に「もうすぐクリスマスが来るね」と確認する場合に可能な表現である。

- (3) a. クリスマス 来る fu-s (PT)
 b. クリスマス 来る[人]fu-s
 (クリスマスがくる)
 c. *12月25日 来る fu-s
 (12月25日がくる)

このタイプの例文が容認される場合、手の形は下向き指差し形、または[人]のCLのどちらかのみであるが容認度には個人差がある。手の位置はデフォルト位置より少し高い頭の高さの前方位置が移動の始点、終点がsで、手の動きは直線的にゆっくり降りてくるような動きで、移動の経路や速度のバリエーションは反映できない。そして(3b)を容認するサイナーにとっての動詞に含まれるCLの指示対象、さらに動詞にCLを含まない(3a)のみ容認するサイナーにとっての文末PTの指示対象をたずねると、サンタクロース、あるいはサンタクロースを含む抽象的なクリスマスという出来事を指示すると言う。つまりこの「クリスマス」は厳密には「12月25日」という日時ではなく、その日に起こる「出来事(の内容)」を意味している。実際具体的な日時を主語にした(3c)は容認されず、普通は次のような「(時間的に)近づく」や「(時間的距離が)縮む」などの動詞を使って表現される。

- (4) 正月 迫る fu-su (正月がやって来る)
 (5) 海の日 縮む fu→su (海の日がやって来る)
 <夏が大好きで休みを楽しみにしている場合>

出来事や出来事の日時が接近することを表す最も一般的な方法の1つは(4)のように、「迫る」という動詞を使う事である。「迫る」では両手を、5指を伸ばした指文字の「テ」と同じ形である「テ手形」を掌を迎え合わせの方向にして、片手は顔の前方の離れた位置fu、もう片方は顔のすぐ前suに置いて、fu位置の手をsu位置の手近づけることで表す。これを簡素化した形として顔の前の手は省略し、fu位置の手形のみをサイナー方向へ動かす事でも表現出来る。位置fuにある手の形が予定される日時・出来事を指示しており、これがサイナーの方に動くので、「予定の出来事・日時が自分の方に迫って近づく」という意味になる。

もう1つの一般的な形は、(5)のように距離が「縮む」を意味する、両手共にOKのジェスチャーで伸ばしている3指を握り込んだ形にして、片方を顔の前方の離れた位置fuに、もう片方は顔のすぐ前suに指先同士を向き合わせておいて、両手を互いに近づける表現である。こちらは予定されている出来事やその日時にサイナーの方から近づいて、予定に積極的に関与を希望する、あるいは待ちこがれるような場合に使用する傾向があるという。「迫る」と「縮む」は予定日時を主語に取る事ができ、サイナーに予定の時間が接近する

ことを表している。一方「来る」では、(3c)で見たように予定日時は主語に取れず、(3a)(3b)のように出来事のみを主語にとることから、時間の接近よりも、出来事自体の実現を意味していると考えられる。

予定する出来事の予定日が近づくという意味を表す場合には、少なくとも調査対象となった世代のサイナーは、(4)(5)で見た表現がより自然で一般的な表現であり、(3a)(3b)のような例は若い世代でより一般的だと証言する。また70代のサイナー1名はどうしてもこの(3a)(3b)は容認できないと主張した。今回調査した世代においては、「来る」のこの用法は、存在し、見て理解はできるがそれほど生産的ではないといえる。さらに(3)に見られる「来る」は他の動詞V1と連続したV1+V2のSVCの環境でV2として表れることはできないことも指摘しておく。

4.3 直示用法 4.2の意味を持つ「来る」はSVCのV2としては表れることはなかったが、4.1で見た具体物を主語とする「来る」は、V1+V2の順に他の動詞V1と共に表れSVCを構成する場合がある。「行く」と同様に、「来る」はこの構造で直示用法を表現できる(この用法は先行研究の今里(2010)やImazato(2016)等では様態用法と呼ばれる)。この時V1には、「走る」や「歩く」等の様態動詞が広く選択される。JSLの様態動詞の多くは、手形の移動を含まない無変化動詞なので、単独では移動方向を表現できない。そこでV2の「来る」で対象移動はサイナー方向であることを表すことによって直示を表現している。このような「来る」には、辞書形である下向き指差しの他、多様なCLの包入が可能で、手の動きには様々な様態、経路を自由に反映する事ができるなど、4.1で見た用法と極めて類似している。

4.4 目的用法 様態以外のV1とSVCをなすV2の位置に現れる「来る」は、「行く」とは移動方向が異なるだけで全く同様の目的用法を表現ができることが、例えば今里(2010)等にも既に詳しく述べられているので、ここでは簡単に説明するにとどめる。

- (6) a. 友人f 食べる 来る f-s (PTf)
 (友達が食べに来る)
 b. PT1 食べる 行く s-f (PT1)
 (私が食べに行く)

「来る」の手の移動の終点はsに決まっているが、始点は自由に指定が可能で、直示用法より制限はあるものの[人]などのCLを包入でき、動詞は移動の意味を保持してもいる。但し手の動きが経路や速度等の様態を反映することはないことが4.3の直示用法とは異なっている。

4.5 予測用法 4.2の出来事接近を意味する「来る」が生産的でなかったのとは対照的に、どの世代のサイナー

一にとっても慣れ親しみのある用法として、市田(2005)が指摘した用法がある。この指摘は主に東日本で使用される表現の観察結果と推測されるが、西日本方言でも一般的によく見られる表現である。本論では西日本方言に見られる相当する、あるいは類似の用法を予測用法と名付け、コンサルタントから得たデータの分析を試みる。

(7) a. 事故 来るウ

b. 事故 起こる 来るウ

(事故がおきることになるだろう)

典型的例として(7a,b)をあげる、アドバイスに反して危険運転を続ける友人に対して発せられる表現で、どちらも同じように「(事故という)出来事が近づいてきて近々実現するだろう」という意味を表している。(7a)の[来る]はこの節の述語動詞であり機能語ではない。出来事は近づいてくるだけでなく実現するだろうことをサイナーは予測している。(7b)では出来事の実現はV1で表され、V2は市田が指摘するように予測の意味を加えていると考えられる。

4.2で見た出来事接近の表現とこの用法は、どちらも出来事を主語に取り、かつ表す意味も関連している。一方最も大きな相違点はまず音韻である。[来る]が出来事接近を表す場合、指差しの手の形は、デフォルト位置より高い位置前方からs位置へと直線的にゆっくり動かされる傾向があった。しかし予測用法では、指差しの形がその指先で、サイナーの体の前方にサイナーの利き手側上から非利き手側下へ斜めに横切る線を描くように非常に素早く短く動かす動きで表される。

文法の面では、予測用法にのみ、動詞の行為が未発、つまりまだ起こっていないことを示す口型ウが動詞[来る]と共に義務的で、ないと非文になるという。また多くの例で来るべき事態が起こる時期を示す「これから、今後、～年後、後で、将来、今度」などの副詞が伴われる。JSLの時制は通常このような副詞表現によって明示されるので、例文の時制は未来である。また出来事接近の[来る]はSVCのような複雑な構造を取ることはできなかったのだが、予測用法では(7b)のようにSVCの文が可能である。

但し実際の予測用法のデータを注意深く観察すると、2つの動詞が並んでいてもそれらの構造は一樣ではない事がわかる。2つの動詞の間に、主語の「指差し(PT)」のような手指による語や、「領き(N)」、「間(m)」などの非手指標示が観察される例が少なくない。これらはいずれも節末標示機能を持つ。さらに口型パのように出来事の完了を表す非手指標示も見られる。このような現象は直示用法や目的用法のSVCでは見られなかった特徴である。予測用法の述部は実際どのような構造を持つのだろうか。並列する動詞の間に節末標示機能

を持つ要素の有無に着目して整理する。(なお紙面の都合上2行にわたって記述している場合でも、以後[～]記号の前後は滑らかに続いており、例文はまとまった1文であるとする。)まず、2つの動詞の間に別要素が入る例がある。

さて、以下の例(8)は、「歌が上手な自分の娘yが歌手になり、人気が出てきつつある」という状況が与えられた時に自発的に表現された文である。

(8) 将来 PT1 家 s yu 与える sd PT1 ~

来るウ m 待つオ

(将来私は(娘yから)家をもろうことになるだろうと

楽しみに待っている)

[与える]の後に現れる下線をほどこした節末標示の[PT1]により区切られ、前半の部分が「私が家をもろう(こと)」という意味のひとつの単位となり、文全体の述語[来る]の主語になっている。この場合PT1はいわゆる名詞化辞としての機能を果たしていることがわかる。

次の(9)の口型パは、到達・達成動詞と共に起してその述部が示す行為や出来事が完了した事を表す。出来事は一旦終了するので、[パ]出現後に別の動詞(V2)が続いて全体としてV1+V2のSVCを作らないが、自発的表現として以下のような例が見られる。

(9) 問題 なくなるパ 来るウ

(問題が解決してしまうことだろう)

これらの観察結果から、(8)(9)の[来る]を含む表現における、一見V1+V2の連続動詞に見える部分は、実は1つの述部を構成していないことがわかる。最後の動詞[来る]の前の部分は“いわゆる名詞節”と考える事ができ、このような[来る]は本動詞であり補助動詞や助動詞ではない。しかし以下の例(10a)(11a)は異なる振る舞いを見せる。

(10) a. ビル d-u N 完成する 来るウ

b. ビル d-u N 完成する m 来るウ

(ビルが完成するようになるだろう)

(11) a. 男 a 泣く 来るウ PTa

b. 男 a 泣く PTa 来るウ

c. *男 a 泣く PTa 来るウ PTa

(男が泣くことになるだろう)

自発的な発話で得た(10a)(11a)の2つの動詞の間には、一切の要素はなくSVCをなしていることは明らかである。ところが(10a)の2つの動詞の間に「間」をおいて表現できるかどうかテストしてみると、(10b)のように全く違和感なく許容され、aとbで意味も変わらないという。また(11b)のように2つの動詞の間にPTが

あっても非文にならない。但し文末と2動詞の間の両方に付けた場合には、冗長であるという理由で容認されない。既に見た(7a)(8)(9)(10b)(11b)では「来る」は文の唯一の動詞だが(7b)(10a)(11a)ではSVCのV2として現れる。V1と結びつき補助動詞となっている可能性もある。(市田が指摘した「確実性の高い推量を表す助動詞」とは、このV2に相当する。)

さて、上記のような予測用法の振る舞いをどう説明すべきだろうか。興味深いのは(10)(11)の例が示す通り、これら二つの表現は並び立つという事実である。

- (12) a. 男 x アメリカ 行く[飛行機]s-ux ~
m 来るウ PTx
b. ?男 x アメリカ 行く[飛行機]s-ux ~
来るウ PTx
(彼はアメリカに行く事になるだろう)

自発的表現例(12a)と、作成例(12b)はほぼ同じ意味を表すことができる。但し「来る」の前に「間」がない(12b)より、「間」がある(12a)のほうが好まれる。「来る」の直前の動詞が「行く」のような移動動詞である場合、これら2つの動詞を「間」をあげずに表現すると「行ったり来たりする」という意味を表すと誤解される可能性があるため、「間」を入れるほうが良いと説明するサイナーがいる。(10b)(11b)のように特に誤解の恐れがない時には、2つの動詞の間に「間」や「領き」等の要素は必要なく、容易に脱落する事で(10a)(11a)が得られる。

この状況を理解する鍵は「文法化」にある。人・ものの移動を表す動詞「来る」は、SVCの環境で、直示用法と、後に目的用法を発展させたと考えられる。この順番は動詞にCLを包入する可能性と、手の移動が様態を反映できる可能性が、いずれも目的用法のほうがより厳しく制限されること等から推測できることはすでにわかっている。さて、4.1で見た具体物接近の意味から4.2で見た出来事の接近へは具体から抽象への比喻を介して意味が拡大することで得られる。「来る」は、(8)のように節の形で表現される複雑な出来事を主語とすることができる。また(11a)の例で、節末標示のPTは誤解を生む恐れさえなければ容易に省略される事実を見た。PTが省略されても「領き」・「間」のような非手指表現があるが、これらも(10a)のように省略の対象となりやすい。これらの要素が省略されると物理的に隣り合う動詞がSVCであると再解釈される。その際V2の位置にある「来る」は、V1と結びついてV2の出来事の実現を予測するようなサイナーの判断を表す補助動詞と認識され、予測用法の「来る」が確立していると考えられる。「来る」が出来事接近、次に予測用法の順に確立されたであろうことは、出来事接近の表現よりも予測用法の方が短く素早く表現され音韻的に簡素化が進んでおり、且つ元々あった「移動」の意味が失われ漂白されている事から十分推測できる。ある語の文法化は、特定の環

境下で繰り返し使用されることで、その語彙要素が文法的機能を表す要素へと一方向に変化していくという、Heineら(1991)⁽⁵⁾提案の一方向仮説、さらにJSLにおいて「行く」や「見る」等の動詞もSVC構文の環境で文法化する(今里2014)⁽⁶⁾という事実を考え合わせると、JSLの「来る」もSVC環境で文法化するという主張は妥当であると考えられる。また今回、特に若い40代のサイナーの方が、「領き」や「指さし」がない表現を好む傾向も文法化を暗示する。

ここで「来る」の出来事接近と予測の意味の違いを確認しておく。例文訳からわかるように、出来事接近は単に出来事が近づいている事を述べている。一方予測用法は出来事実現の「予測」を意味する。サイナーが出来事実現性をどう判断するかに注目した表現なので、結果予測の余地がない場合にこの用法は使えない。

- (13) a. *5年後 医者 (成る) 来るウ
b. 5年後 医者 成るウ
(5年後医者になるだろう)

例えば現在医学部1年の学生が「5年後医者になるだろう」という単純未来の意味で(13a)は容認されない。現在医学部1年生は順当にいけば5年後に医者になるのは規定通りで、わざわざ何らかの予測をする余地がない。順当な結果の場合には(13b)のように「成る」で止めるべきで「来る」の使用は不適切である。順当な通常ステップを踏んで徐々に変化してくる出来事は、その変化を見ていれば結果は自明で予測の必要はない。例えば手話を指導中の今はまだ上手でない学生のセンスや努力を知った後、以下の例を表現する場合を考える。

- (14) a. 将来 PTf うまい 来るウ PTxf
b. ???将来 PTf 進歩する[男]d-u パパパ ~
来るウ PTxf
(将来あの人には上手になるだろう)

(14a)では今は「下手」だが、将来「上手」な状況が実現するだろうと予測している表現である。(14b)の動詞「進歩する」には、「段階的に、徐々に」という意味を付加する副詞表現である口型パパパが付帯する。この口型付きのV1と「来る」は共起しにくい。徐々にレベルが上がっていく様を見れば当然「うまく」なることは明らかで、わざわざ予測用法は使わない。また以下の(15a)で見ると、予測に反するような「思いがけず・意外にも」という意味を表す副詞の口型ポが「建つ」に共起すると例文は決して容認されない。

- (15) a. *建物 建つポ 来るウ
b. 建物 建つ 来るウ
(建物が建つだろう)

比喩的拡大を↓, 文法化を⇒とすると, JSL [来る] の意味・用法の拡張は(16)のようにまとめられる。

(16) JSL 動詞 [来る] の意味・用法の拡大



5. まとめ 今後の課題

JSL の西日本方言の分析から, 動詞 [来る] が, 比喩的拡大と SVC 環境における文法化という2つの方法でその用法・意味を拡大していく道筋が明らかになった。[来る] には SVC 環境下において文法化が非常にすすんだ用法があることを見た。最も基本的な意味である「具体物接近」は, SVC の V2 として, 音韻の簡素化・意味の漂白とともに直示用法, さらに進んで目的用法を確立することはすでに示されていたが, その文法化の道筋とは別系統の拡大として, 具体から抽象への比喩を介する事により, 「出来事接近」の意味を表現するようになる。このとき主語は“いわゆる名詞節”で表現される出来事でもよい。いわゆる“名詞節”を作る為に, 日本語における「こと」や「の」のような, “節”の名詞化を決定づける要素は必須であるが, JSL では “節”が名詞と同等であることを示す名詞化辞として機能する節末標示の PT は必須要素ではない。この PT が省略されると, 非手指表現として「間」や「傾き」が表れていたとしても, SOV 言語である JSL では, もともと PT の前にある主語の“節”内の最後の動詞と, 文全体の述語である [来る] が手指表現として並列するようになり, その結果, 手指表現として隣り合う2つの動詞は SVC を形成していると再解釈されるようになる。そしてこの SVC という環境の中で文法化が起こると考えられる。さらに文法化が進んだ先では, 西日本方言でも予測用法が補助動詞の役割を果たす可能性があることを見た。

またインタビューで, 現在 70 歳代のサイナー 1 名は子供時代に予測用法を使用していた事をエピソードとともにはっきり覚えている事を証言した。また 60 歳代のサイナー達によると, 予測用法は親世代も使用しており確かに昔から存在していたが, 自分たちの世代では徐々に使用頻度が増え, 若い世代は自分たちよりもさらによく使うようになってきていると感じると証言する。確かに調査に協力して下さった世代の中でも比較的若いあるサイナーは, 通常 2 つの動詞 V1+ [来る] の間に「間」や [指差し PT] を挟む事は可能だが挟まない方が自然に感じると証言した。より若い世代で予測用法が使いやすくなっているこの状況も文法化を示唆していると言えよう。JSL のように歴史的なデータが残りにくい言語では, 言語の時間的変化を捉える為には,

世代を区切った分析が有効である可能性も指摘しておきたい。

最後に, 動詞と共に口型ウの働きについての詳しい分析がこれから必要になると考えている。JSL において, ある語が文法化し機能語を生み出す背景には, SVC と共に, 決まった口型が伴われる事実は既に観察されている (今里 (2009, 2010), Imazato (2016) 他)。今回の JSL の西日本方言の [来る] でも, 文法化が非常に進んだ用法成立には口型ウが必要である事を指摘した。手話言語に特徴的な口型が文法化において果たす役割や, 音声言語の文法化プロセスとの関連を明らかにすることは, 今後の課題である。

謝辞

本研究は, コンサルタント, 研究協力者としての JSL サイナーの協力なしには進める事は不可能であった。データ撮影に際してご協力いただいた方々は, 今泉友幸, 高田英充, 高田順子, 田中元三, 馬場博史, 藤井孝子, 前川和美の諸氏である。コンサルタントの方々にはデータ撮影のみならずネイティブ・サイナーとして有益なコメントも与えていただいた。ここに心よりの感謝を表したい。なお論文に残る不備はすべて筆者の責任である。

本研究は, 科学研究費補助金基盤研究(B)「移動表現による言語類型: 実験的統一課題による通言語的研究」課題番号: 15H03206 (研究代表者: 松本曜), 科学研究費基盤研究(C)「日本手話の動詞連続について」課題番号: 15K02551 (研究代表者: 今里典子) の支援を受けている。ここに心よりの謝意を表する。

参考文献

- (1) 今里典子: 「日本手話の連続動詞構文」, 神戸高専研究紀要 No.47, pp.135-140, 2009.
- (2) 今里典子: 「“行く・来る”を含む連続動詞構文: 日本手話/日本語対照研究」, 『ことばの対照』, 岸本秀樹 (編), pp.15-26, 2010.
- (3) Imazato, Noriko, “Japanese Sign Language Syntax”, Handbook of Japanese Applied Linguistics, Minami Masahiko (ed.), pp.483-510, 2016.
- (4) 市田康弘: 「手話の言語学(11) 文法化 日本手話の文法(7)「助動詞, 否定語, 構文レベルの文法化」」, 『月間言語』 34(11), 大修館, pp.88-96, 2005.
- (5) Heine, Bernd, Claudi Urlike, and Friederike Hünemeyer “Grammaticalization: A Conceptual Framework”, Chicago, London: University of Chicago Press. 1991
- (6) 今里典子: 「日本手話における主語/目的語標示の助動詞について」, 言語研究 146, pp.31-50, 2014.

陸上競技部短距離選手の競技力向上のための新練習体制構築 ～選手兼指導者による指導事例とその効果～

工藤桃成* 大村悠真** 橋本紳吾*** 岡本章宏*** 安立健太郎***

Construction of a New Training Structure for Improving Students' Performances in Short-Distance Races

Momonari KUDO* Yuhma OMURA** Shingo HASHIMOTO***
Akihiro OKAMOTO*** Kentaro ANDACHI***

ABSTRACT

This article describes our approaches from April 2018 in KCCT (Kobe City College of Technology) athletic club to improve students' performances in short-distance races. Our new training structure helps student members to develop their sprint skills such as footspeed and muscle strength. The results reported in this article also show that many students succeeded in improving their performances in short-distance races. For over the past twenty years, KCCT athletic club had no coach who could teach technical skills in sprint. Club members, who all are students, had tried to develop their performances by themselves, but there were still various difficulties in, for example, designing practice/training programs, teaching technical skills, and selecting effective, appropriate and efficient practice/training. These difficulties came from the fact that most of students lacked the opportunity to acquire accurate technical knowledge and coaching skills for improving performances in track and field. At April 2018, the first author joined KCCT athletic club as a new coach with coaching skills specific to short distances. After that, student members (mainly the second to fifth authors) and the first author started many kinds of approaches, including the new training structure, to solve problems in the sprint group of the club.

Keywords : track and field, short sprint, training plan

1. はじめに

学校教育における部活動は、学校の生徒または学生（部員）と教員（顧問）とで構成されており、それは5年一貫教育である高等専門学校においても同様である。しかし、特に運動部活動において、専門的指導ができる顧問が必ずしもいるとは限らないため、部員が十分な指導を受けられないケースも多く存在する。実際、2014年に日本体育協会（現日本スポーツ協会）が実施した調査では、中学校と高等学校の双方において、「担当教科が保健体育ではない」かつ「現在担当して

いる部活動の競技経験なし」の教員の群が最も多かったと報告されている⁽⁴⁾。このような状況の対策として、近年では部活動指導員制度（従来の外部指導者）が施行（H29.4）されたが、全ての学校が指導員を受け入れることができるとは限らない。そういった場合、部員だけで部活動の日常的な管理・運営、練習計画の組み立てを行うことになる。

部員自身が部活動を運営し練習計画を組み立てることは、組織的・主体的な運営をする実践力の育成という観点では非常に有益である。特に、5年一貫教育である高等専門学校においては、経験豊富な4・5年生部員が実質的に運営に携わることも可能であり⁽⁵⁾、部員自身が部活動を運営する形態をとることも少なくない⁽²⁾。一方で、完全に生徒・学生のみで現場を管理・運営する場合、活動中に事故が発生した際の対処や責任

* 一般科 助教（陸上競技部顧問）

** 本科 応用化学科（陸上競技部部員）

*** 本科 機械工学科（陸上競技部部員）

の所在などが問題になる。高等専門学校であっても、高校生相当である3年生以下の学生が運営を行う場合、安全・危機管理の知識・経験が十分でないだけでなく、年齢的にも発達段階であるため、状況に応じた適切な判断が行えず重大な事故に繋がる危険性もある。また、選手自身が練習を組み立てる長所として、当日の体調の良し悪しによる調整ができることに加え、練習に責任を持って取り組むことができる一方で、

- ・ 練習計画・メニューを考案する選手が競技や練習内容に関する専門知識を持っている必要がある
- ・ 練習計画・メニューを考案する選手の特長（競技能力や性格・人間関係）に影響されやすい

といった問題点がある。部長・副部长といった管理・運営の立場にある者（あるいは部内で最も競技能力の高い者など）が、慣習的に練習計画・メニュー考案を行うことも考えられるが、部長・副部长としての管理・運営業務やその他の事務的業務に加えて、練習メニュー作成・他選手への指導によって負担が集中してしまう。そうすると、指導を行う部員は自身の競技力向上に専念できないだけでなく、学生の本分である勉学に支障が生じる可能性もあり、これでは本末転倒である。また、当日に練習メニューを決定することが長く続くようなケースだと、知らず知らずのうちにメニューに偏りが生じるだけでなく、練習のマンネリ化による記録の停滞（スランプ現象）に陥ることが危惧される。

神戸市立工業高等専門学校の陸上競技部（以下、本校陸上部）においても、2018年3月までの20年以上もの長い間、技術練習の実演を含む専門指導ができる顧問を欠いたため、本稿の第二・第三著者らが中心となって練習メニューを考案・実施してきた。2018年4月に、現役の短距離競技者でもある第一著者が本校陸上部の顧問となり、本校陸上部の一層の競技力向上を目指して、第二・第三著者らとともに練習計画・メニュー作成を含む運営体制の見直し・一新を検討してきた。近畿地区高等専門学校体育大会（以下、近畿地区高専体育大会）終了後の2018年7月には、第四・第五著者を含む二年生部員と第一著者の合議による練習計画体制を確立させることに成功した。現在は、学生の主体性・自主性を重視しつつも、競技経験の長い第一・第二著者とともに練習計画を立てて実践することで、練習内容のより一層の充実と競技力の向上を図っている。また、現場での安全面での不安を可能な限り取り除くとともに、選手自身の安全管理意識を高めるよう留意している。そこで本稿では、部活動に取り組む学生や現場指導者に向けて、部活動運営・練習計画を含む現場指導の事例について情報提供することを目的とし、本校陸上部・短距離ブロックの競技パフォーマンス向上に向けて、2018年4月以降に著者の5名を中心に取り組んできた活動の概要を報告する。

2. 本校陸上部・短距離ブロックの概要と問題点

本節では、本校陸上部の短距離ブロックの概要（部員構成、年間の活動計画）を述べた後、第一著者が顧問として着任した際に、運営上または練習計画・メニューの作成において部内で課題となったことを挙げる。

2.1 現在の短距離ブロックの構成

平成30年10月現在、本校陸上部員数のうち1～3年の短距離選手は23名である。部内短距離選手の学年別・男女別内訳を表1に示している。

表1: 部内短距離選手の学年別・男女別内訳人数

	3年	2年	1年	合計
男子	3	7	7	17
女子	2	2	2	6
計	5	9	9	23

2.2 年間の活動計画

表2に本校陸上部の年間の活動計画のうち、短距離選手が参加・出場する主要大会を示す。1～3月と11・12月に試合はなく、オフシーズン（冬季練習の期間）である。前半シーズンにあたる4～7月に出場する試合のうち、特に兵庫県高等学校総合体育大会と近畿地区高専体育大会に部としての焦点を合わせている。本校陸上部は主に3年生以下の部員が選手として活動しており、7月の近畿地区高専体育大会までは3年生が中心となって運営している。7月の近畿地区高専体育大会終了と同時に、部長などの役職を2年生に引き継ぐ形となっており、一般的な高等学校の部活動（5・6月の高校総体直後に運営学年を3年から2年に引き継ぐ）と類似した形態である。

表2: 年間の活動計画（参加・出場する主要大会のみ）

月	参加大会名
1～3月	※冬季練習期間（試合はない）
4月	兵庫陸上競技春季記録会 兵庫リレーカーニバル 神戸市民体育大会
5月	兵庫県高等学校総合体育大会
6月	兵庫県高等学校総合体育大会 神戸市立高校体育大会
7月	近畿地区高専体育大会 兵庫県高等学校ユース陸上競技対校選手権大会神戸地区予選会
8月	全国高等専門学校体育大会 兵庫県高等学校ユース陸上競技対校選手権大会
9月	神戸地区高等学校陸上競技対校選手権大会
10月	兵庫県高等学校秋季記録会 兵庫陸上競技秋季記録会
11・12月	※冬季練習期間（試合はない）

2.3 運営または練習計画上の課題(2018年4月時点)

第一著者が本校陸上部の顧問となった2018年4月時点で、それ以前の活動における運営上または練習計画・メニューの作成・実施上の課題として、次のようなものが挙げられた。

- [1] 学生部員が練習メニューを作成しているが、専門的な知識が不十分であったため、中には慣習的に実施しているだけの練習もあり、作成者自身も含めた選手がその目的を理解できていない練習が多い(特にフォームや基本技術を習得する練習)。このため、練習の本来の効果が十分に現れていない。
- [2] 1節第2段落で述べたように、練習メニューが立案者の特性(特に専門種目)に依存している。その結果、部内の短距離選手全体として、立案者の専門種目以外の記録が向上していない傾向にある。
- [3] 事前に練習計画を立てるのではなく、当日に練習メニューを考案・実施することが長く続いている。その結果、知らず知らずのうちに練習内容に偏りが生じ、一部の部員に練習のマンネリ化による記録の停滞(スランプ現象)が見られる。
- [4] 練習内容に短距離走で最も重要となる「最大スピードを高めるトレーニング」が少ない。
- [5] ウォーミングアップ不足や、実戦形式の練習不足などが原因で、試合によって記録の良し悪しの差が大きい。
- [6] 筋力不足が顕著であることに加えて、ランニングスキル(フォーム、スタート方法、加速技術など)の習熟水準が低いため、特定の部位に負荷がかかるような走りをしている選手の故障が目立つ。

3. 練習体制の一新と得られた成果

2.3節における[1]～[6]の課題を解決し、本校陸上部短距離選手の競技力を向上させるために、著者らは2018年7月(3.3と3.4は4月)以降の7つに取り組んでいる。なお、括弧内に対応する課題番号を記す。

- 3.1 学生と顧問の合議による練習計画体制 ([1], [2])
- 3.2 期分けに基づく練習計画 ([3])
- 3.3 最大スピードを高めるトレーニング ([4])
- 3.4 ウェイトトレーニングの導入 ([6])
- 3.5 短距離基本練習のルーティン化 ([1], [5], [6])
- 3.6 校内記録会の定期的な実施 ([3], [5])
- 3.7 他チームの指導者との交流 ([1], [3])

本節では、上記の7つの取り組みのそれぞれについて、各小節で概要を説明する。

3.1 学生と顧問の合議による練習計画体制 課題 [1], [2] を解決するために、運営を担う学年(2018年7月以降は2年)の部員と第一著者とで練習計画・メニュー作成のための話し合いを定期的に行うようにした。実際には、顧問であり競技歴の長い第一著者が、次節で説明する「期分け」に基づいた大まかな練習計画と

練習方法の事例を提示する。次に、提示された練習計画をもとに、学生と第一著者とで話し合いながら、目的に応じた練習を選択し、練習メニューを組み立てる。これにより、練習目的と効果が明確なものとなる。また、特定種目の特性に依存しないように、異なる種目を専門とする学生複数名に話し合いに参加してもらっている。現在の2年生が3年生になる頃には、練習計画をも学生が作成し、学生によって作られたメニューを顧問が添削する、といった形を目指している。

3.2 期分け(ピリオダイゼーション)に基づく練習計画

期分け(ピリオダイゼーション)とは、目標とする試合を設定し、その試合までの期間(マクロサイクル)をさらに細かい期間(メゾサイクル)に分割し、各メゾサイクルの目的に応じて段階的かつ効率的にトレーニングを計画することである^{(6),(7)}。メゾサイクルには、準備期(鍛錬期)、試合期、移行期などがあり、さらに個々のメゾサイクルはマイクロサイクルという1～2週単位のトレーニング期間から構成される。期分けに基づいて練習を行うことにより、例えば次のような効果が期待できる：

- ・ 目標とする試合にピークの状態でも臨むことが可能
- ・ 練習内容のマンネリ化によるパフォーマンス停滞(スランプ現象)やモチベーション低下の防止
- ・ オーバートレーニングによる故障の防止

本校陸上部においては、2018年7月を目途に、8月以降の練習計画を次のように立案した。まず、目標とする試合を「兵庫陸上競技秋季記録会」(10月13・14日に開催、表2を参照)とし、一般的準備期(4週間)、専門的準備期(4週間)、試合期(2週間)、移行期(2週間)を表3のように設定した。

表3: 本校陸上部の練習計画の期分け(2018年8月～)

期間	メゾサイクル
8月6日～9月2日(4週間)	一般的準備期
9月3日～9月30日(4週間)	専門的準備期
10月1日～10月14日(2週間)	試合期
10月15日～10月28日(2週間)	移行期

表4では、メゾサイクル全てに共通する週間の練習の流れを示している。

表4: 本校陸上部の週間練習計画(2018年8月～)

曜日	主練習の目的	強度
月	筋力・基礎体力	3～4
火	スピード	4～5
水	積極的休養	1
木	筋力・基礎体力	3～4
金	スピードまたはスピード持久	4～5
土	試合、または総合的な体力強化	-
日	試合、または完全休養	-

1日の練習は「基本練習」(3.5節)と「主練習」から構成される。主練習では種目ごとのメニューを行うこともあれば、全種目共通のメニューを行うこともある。

3.3 最大速度向上のためのトレーニング 短距離走の記録向上のためには、より高い最大速度を獲得することが必須である。実際、100m走は「加速局面」、「最大速度局面」、「スピード維持局面」の3つの局面に分けられ⁽³⁾、その中でも最大速度局面における疾走速度が100m走の記録を決定する主要因だと考えられている⁽⁴⁾。従って、短距離選手のパフォーマンス向上のためには、最大速度を高めるためのトレーニングを一定の頻度で継続的に実施することが必要である。最大速度を高めるためのトレーニングは、例えば次のような2つに類別される：

- A. 最大速度を実際に出す練習
- B. 最大速度時に必要となる筋力を強化する練習 (レジスタンストレーニング)

表5に、上記のA、Bの練習の具体例を示す。

表5: 最大速度を高めるためのトレーニングの例

A. 最大速度を実際に出す練習	加速走、ダウン・ヒル、牽引走 など
B. 最大速度時に必要となる筋力を高める練習 (レジスタンストレーニング)	ウエイトトレーニング、プライオ・メトリクス、アップ・ヒル、スレッド走 など

2018年4月以降、本校陸上部では、加速走、ウエイトトレーニング、プライオ・メトリクスを毎週のメニューに必ず組み込んでいる。

3.4 ウエイトトレーニングの導入 陸上競技に限らずスポーツ全般において、故障をしないための身体作りと、(競技特性に応じた)身体の使い方を習得することは重要である。さらに、短距離走で最も重要となる最大速度を高めるためには、最大筋力を向上させることが必須である。そこで本校陸上部でも、2018年4月以降、週2回は必ずウエイトトレーニングを行うことで、身体作り・身体の使い方の習得・最大筋力の向上を図っている。具体的には、月・木のそれぞれで、下半身・上半身について表6に示す種目を実施している。

実施にあたっては、ウエイトトレーニングの知識・経験のある第一・第二著者が中心となって実技指導・補助を行うとともに、安全管理の徹底を部員に促している。なお、未経験者への導入時には、フォームの習得を最優先にしている。回数とセット数については各メゾサイクルの目的に応じて設定している。重量については各選手の最高挙上重量(Max重量)をベースに、「筋肥大の場合はMax重量の70~80%」というように統一設定した上で実施している。

表6: 本校陸上部のウエイトトレーニングの例

月曜 ※下半身中心	スクワット (ハーフ・パラレルなど各種) スクワットジャンプ フロントランジ デッドリフト ハイクリーン ヒールアップ ボックスジャンプ メディシンボールジャンプ
木曜 ※上半身中心	ベンチプレス ベントオーバーローイング バックプレス アームカール バックエクステンション ローベンチショット&アップ ダンベルワンハンドローイング チンニング、鉄棒ぶら下がり ハンギングレッグレイズ

3.5 短距離基本練習のルーティン化 短距離走の記録向上のためには、競技歴の長短や競技能力に関わらず、動き作りを繰り返すこと(ドリル)で、基本動作(適切なフォーム)を習得することが常に必要である。さらには、スタートの姿勢作りや最大速度を実際に出す練習(3.3節参照)を通して、習得した基本動作を実際の走りの中で体現し、定着を図りたいところである。そこで、2018年8月以降、ウォーミングアップにおいて「スプリントドリル」、「流し」、「スタート練習」、「30+30の加速走」の一式を「短距離基本練習」として短距離選手全員で毎日行うことにした(表7)。

表7: 本校陸上部短距離のウォーミングアップ

2018年7月以前	2018年8月以降
ジョギング・体操・ストレッチ	
各自で Warm-Up ・流し ・各自でドリルなど	短距離基本練習(全員) ・スプリントドリル ・流し ・スタート練習 ・30+30の加速走
補足： <ul style="list-style-type: none"> ・流し・・・100~150mの距離を主観強度の70~80%(100m走を想定)で気持ちよく走り、フォームや調子の確認を行う。「ウインドスプリント」や「快調走」とも呼ばれる。 ・30+30の加速走・・・60mのうち前半30mを加速区間、後半30mを最大速度区間として疾走する。後半の30mについてはタイムを計測する。 	

「スプリントドリル」については各種目の目的・効果を明確にし、第一・第三著者が技術的な指導を行ってきた。現在は運営を担う学年の第四・第五著者が後輩部員を先導し、毎日の練習のルーティンとなっている。

3.6 校内記録会の定期的な実施 2.3 節の課題 [5] で指摘したように、選手によっては実戦形式の練習が不足していたため、試合によって記録の良し悪しの差が大きい傾向にあった。そもそも高等専門学校の場合、そのカリキュラム・授業日程の特異性によって、普通高校と比べて出場できる大会・記録会が少ない。このような状況を打開するために、3.2 節で示した期分けによる練習計画の導入と同時に、校内記録会を定期的に実施している（2018 年は 7 月、8 月、9 月、10 月にそれぞれ 1 回実施）。これにより、実際の試合に近い形式で走る経験を積むことができるだけでなく、練習成果が実際に得られているかを客観的に確認することが可能である。加えて、試合がない期間が続いた場合でも、目標を持って練習に取り組むことができるので、練習のマンネリ化の防止や、選手のモチベーション維持といった効果があると考えられる。

3.7 他チームの指導者との交流 選手の現状を客観視し、練習内容をより効果の高いものとするための方法として、他チームの指導者との連携が挙げられる。本校陸上部では、2018 年 8 月に熊本で開催された全国高専大会において、熊本県八代市を拠点とする陸上競技クラブチーム「前田アスリートクラブ」（第一著者が 2018 年 3 月まで所属）の監督である前田浩二氏との交流の機会を設けた。前田氏は元熊本県高校記録保持者という実績を持ち、20 年以上にわたり地域選手の育成に従事してきた人物である。全国高専大会の際、前田氏に大会会場に来ていただき、スプリントドリルの各種目の目的・動作の確認や、スタート方法の講習などを行った。その後も、本校陸上部の短距離選手は第一著者を通して、定期的に前田氏から技術的な面での助言を受けている。具体的には、各選手の試合や練習中の映像等を前田氏に確認してもらい、第一著者が前田氏からのフィードバックを受け、それを各選手に伝えている。例えば、次のようなものがある：

- ・ 各種ドリルやウエイトトレーニングのフォーム
- ・ スタート姿勢や、各疾走局面におけるフォーム
- ・ 各選手のフォームや身体特性に応じた、新たなトレーニング方法の提示（前田氏による実演を含む）

4. 得られた成果と今後の課題

4.1 得られた成果 2018 年 7 月に開催された近畿地区高専体育大会では短距離個人種目全て（男子 100m、200m、400m、女子 100m）において決勝進出・入賞を果たし、2018 年 10 月には部内短距離選手の多くが自己ベストまたは今シーズン（2018 年 4～10 月）ベストを更新することに成功した（表 8）。

表 8：兵庫県高等学校秋季記録会（2018 年 10 月 6 日開催）または兵庫県陸上競技秋季記録会（2018 年 10 月 13・14 日開催）における今シーズンベストまたは自己ベスト更新者の述べ人数

種目	100m	200m	400m
今シーズンベスト達成	9	2	3
うち自己ベスト更新	7	0	1
出場者数（2 大会述べ）	16	3	3

表 8 に示すように、100m、200m、400m のそれぞれにおいて、記録向上が多くの選手に見られた。以下に、「ショートスプリント種目」に位置付けられる 100m、200m と、「ロングスプリント種目」に位置付けられる 400m とに分けて考察を述べる。

- ・ 100m、200m で自己ベストまたは今シーズンベストを更新した選手に共通する特徴として、今シーズン初め（2018 年 4 月）と比べて最大スピード（30+30 の加速走のタイム等）、および、最大筋力（ウエイトトレーニングの各種目の Max 重量）が大きく向上している。また、シーズンを通して大きな怪我をすることなく、継続的に練習に取り組むことができたことも挙げられる。怪我を防止できた理由としては、期分けに基づく計画的な練習（3.2 節）によりオーバートレーニングを防止できたことや、フォームの改善を含むランニングスキル向上（3.5 節）により特定の部位に負荷がかかるような走りをしなくなったことが考えられる。
- ・ 400m においても、出場者全員が自己ベストまたは今シーズンベストを達成している。一般的に 400m では、最大スピード・最大筋力を含むスプリント能力に加えて、筋持久力を含むスピード持続力や、ペース配分能力などがパフォーマンスの決定要因となる。400m に出場した 3 名のうち 2 名（今シーズンベスト達成）は、100m または 200m を専門としており、400m のためのスピード持続トレーニングよりも、最大スピード・最大筋力を含むスプリント能力の向上に重点を置いてきた。実際、両者ともに 100m または 200m においても自己ベストまたは今シーズンベストを達成している。残りの 1 名（自己ベスト達成）は 400m を専門としているが、中学校卒業から今シーズン 7 月までの約 1 年 3 ヶ月にわたってブランクがあったため、スプリント能力の向上とフォームの習得を最優先にした上で、スピード持続トレーニングを実施した。このことから、上記の 3 名については、最大スピード・最大筋力の向上、および、フォームの改善による走りの効率性の向上により、レース全体において余裕のある走りが可能となったことが、400m の記録向上の主要因だと考えられる。

以上のことから、本校陸上部の短距離選手の記録向上には、学生と顧問の定期的な話し合い(3.1節)により提案された、

- ・ 最大スピードを高めるトレーニング(3.3節)
- ・ ウェイトトレーニングの導入(3.4節)
- ・ 短距離基本練習のルーティン化(3.5節)

などを、期分けに基づき計画的に実行したこと(3.2節)が大きく影響したと考えている(科学的な根拠については現在調査中)。

4.2 今後の課題 現在、技術指導については顧問を含む第一～第三著者らが中心となって行っているが、第四・第五著者らを含む2年生部員も十分な知識を身に付け、他選手への技術指導を行えるようになることを目指している。各専門種目につき1名以上はその種目特有の技術指導ができるようになることが理想である。また、1年生を含む選手全員が、自身または他選手に必要な練習を選択できるようになれば、自主練習や試合調整がさらに充実したものになると考えられる。

5. まとめ

本稿を通じて、本校陸上部・短距離ブロックの2018年3月以前における運営または練習計画上の課題と、2018年4月以降に取り組んできた解決策およびその効果について報告した。運動部活動において、専門的指導ができる顧問が必ずしもいない場合、部員自身が自主・主体的に部活動を運営し練習計画を組み立てることで、組織的・主体的な運営をする実践力を培うことができる。一方で、本校陸上部のように2年数か月という限られた期間で選手全体(競技未経験者を含む)のパフォーマンスを向上させなければならない場合、専門的な知識に基づいて計画的かつ効率的に練習を実施することが重要である。そのためには、練習計画・メニューを考案する選手が競技や練習内容に関する専門知識を持っている必要がある。しかしながら実際には、部長・副部長といった管理・運営の立場にある者(あるいは部内で最も競技能力の高い者など)が、慣習的にメニュー作成と現場指導にあたるのが少なくない。その結果として特定の部員に負担が集中し、練習のマンネリ化やそれによる故障、記録の停滞などを招く可能性がある。本校陸上部の場合、2018年4月に短距離走を専門とする第一著者が顧問となり、第二～第五著者と協力して運営体制・練習計画の見直し・一新を図った。具体的には、学生部員と顧問による練習計画の話し合いを導入し、期分けと呼ばれる方法を用いて計画的に練習に取り組んできた。その結果として、近畿地区高専体育大会では短距離個人種目全てにおいて決勝進出・入賞を果たし、2018年10月には部内短距離選手の多数(400mに関しては出場者全員)が自己ベストまたは今シーズン(2018年4～10月)ベストを更新することに成功した。

該当する競技を専門とする顧問がいない場合、本稿で述べた取り組みの全てを実施することは難しいかもしれないが、学生部員全体で練習計画・内容について定期的に話し合う機会を設ける、あるいは外部指導者との連携(部分的な活用)などを行うことで、練習のマンネリ化を防ぎ、練習内容の一層の充実や選手のモチベーション向上を図ることができると考えられる。

謝辞

本論文を丁寧に精読頂き、有益なコメントを多く下さった査読者の方に深く感謝します。本研究は本校陸上部の部員と顧問の協力の下で進められました。本校の体育教員の方々からは、練習を実施する上での安全管理の面や、部活動運営を円滑に進めるための方法について、多くの助言を賜りました。ここに謝意を表します。また、本稿で提案した練習計画の実施にあたり、前田アスリートクラブの前田浩二氏、熊本陸協の西村直哉氏、香川 ST の城栄作氏に協力いただき、本校陸上部の学生に対して競技に関する多くの助言や指導を賜りました。この場を借りて御礼申し上げます。

参考文献

- (1) 阿江通良, 鈴木美佐緒, 宮西智久, 岡田英孝, 平野敬靖, 世界一流スプリンターの100 m レースパターンの分析—男子を中心に—, 世界一流競技者の技術, 第3回世界陸上選手権大会バイオメカニクス班報告書, 日本陸上競技連盟強化本部バイオメカニクス班編, ベースボールマガジン社, 東京, pp. 14-28, 1994.
- (2) 大向雅人, 「学生の自主性を尊重した部活指導の提案」, 明石高専研究紀要, **48**, pp. 25-27, 2005.
- (3) C. H. Delecluse, H. V. Coppennolle, E. Willems, R. Diels, M. Goris, M. Van Leemputte and M. Vuylsteke, “Analysis of 100 meter sprint performance as a multidimensional skill”, *Journal of Human Movement Studies*, **28**, pp. 87-101, 1995.
- (4) 日本体育協会, 「学校運動部活動指導者の実態に関する調査報告書」, 2014.
- (5) 春名桂, 「高専におけるクラブ指導の実践と課題—バスケットボール部の活動を通して—」, 神戸高専研究紀要, **48**, pp. 133-137, 2010.
- (6) T. Bompa and G. Haff G, “Periodization. Theory and Methodology of Training” (5th ed), Champaign, IL: Human Kinetics, pp. 125-146, 2009.
- (7) L. Mateyev, “Periodisierung des Sprotichen Training”, Berlin, Germany: Berles and Wernitz, 1972.

神戸高専研究紀要 投稿規定（投稿の手引き）

1. まえがき

本誌は、神戸市立工業高等専門学校の研究紀要として毎年発行する。

2. 編集委員会

『研究紀要』の編集、発行は、研究紀要編集委員会（以下、編集委員会と称する）がその任にあたる。編集委員会は、情報委員会により組織される。

3. 投稿資格

原稿の内容は学術に関する未公開の論文、または、資料とする。投稿者は、神戸市立工業高等専門学校の教職員、前教職員、非常勤講師および在学生とする。共著論文または共著資料は、少なくとも前記1名を共著者として含まなければならない。

4. 投稿方法

投稿者は、後述の「投稿上の注意」を熟読の上、本規定に適う形式で原稿を作成し、投稿すること。

原稿は、ワードプロセッサなどで作成したA4サイズのPDF形式ファイルを提出すること。フォーマットが投稿規定に準拠していること、図表が十分な品質であること、全てのフォントが埋め込まれていることを確認し、別途案内する方法で提出すること。受理した原稿は全て編集委員会によって査読する。査読後、編集委員会によって採録または修正条件付採録と判定された原稿の著者は、最終原稿を提出すること。

最終原稿の作成、提出にあたっては編集委員会の指示に従うこと。特に、ランニングヘッドおよびページ番号は、編集時に一括処理するので原稿に記入しないこと。

著者には、抜き刷り（別刷）30部を無償配布する。これを超える部数の抜き刷りは自己負担とする。

5. 原稿の査読（校閲）

研究成果を発表する論文としての、また教育・研究に有用な資料としての体裁を整えるために、学内学識経験者による査読を行う。査読者は、編集委員会が選出、指名する。

査読結果に基づいて、編集委員会より、変更、削除など、原稿の修正再提出を求めることがある。著者による修正がなされない場合は、編集委員会の判断によって掲載を見送ることがある。また、編集委員会は、資料相当と判断した原稿の資料への、論文相当と判断した原稿の論文への変更を要求することもある。査読終了後の訂正は認められない。

査読者はいかなる理由であっても公表されない。

6. 投稿上の注意

以下に示す投稿上の規定、注意は、指示や特記事項がない限り、論文、資料の両者に適用される統一規定となるので、投稿者は、原稿作成の前に必ず熟読すること。

<6-1> フォーマット

ワードプロセッサなどを利用して投稿原稿を作成する際に、原稿の余白等は次のように設定する。また、フォーマットの種類は、論文の分野、内容に応じて、投稿者が表1の中から適当なものを選択すること。文字の大きさや文字数は、選択したフォーマットによって異なるので注意すること。

- (a) 原稿は、A4サイズで作成し、本投稿規定最終頁に示す形式を厳守すること。
- (b) 余白：上25mm、下24mm、左右各16mm、段間8mm
- (b) 文字の大きさ、片段の行数、文字数などは、下記の表1に従うこと。

表1 投稿原稿のフォーマット（論文，資料共通）

フォーマット	段組，文字・行数/1ページ	文字の大きさ	制限枚数
1. 和文（横書）	2段組，24文字×50行	10ポイント	原則として， <u>6ページ</u> 以内でまとめること。 超過の場合は10ページ以内とし，それを超えることは認められない。
2. 英文	2段組，48文字×50行	10ポイント	
3. 和文（縦書）	2段組，33文字×32行	10ポイント	
4. 和文，英文（横書特例）	(和)1段組，50文字×46行 (英)1段組，100文字×46行	10ポイント	

<6-2> 表題ページ

(a) フォント・フォントサイズ

表題ページのフォント，フォントサイズについては，表2を参照すること。なお，表2では，フォントを明朝体，Timesなどに指定しているが，それに酷似した他のフォントを使用しても構わない。また，英語以外の外国語（独語，仏語など）を使用する場合は，表2の英文に準じるものとする。ただし，この場合，英語表題は必要となるので注意すること。

表2 表題ページに使用するフォント・フォントサイズ

フォーマット	表題	著者名	英語表題	英語著者名	英文要旨	本文
1. 和文（横書）	ゴシック体 18ポイント	明朝体 12ポイント	Times 14ポイント	Times 12ポイント	10ポイント ・見出しの「Abstract」はゴシック ・要旨本体はTimes	明朝体 10ポイント
2. 英文	ゴシック体 18ポイント	Times 12ポイント				Times 10ポイント
3. 和文（縦書）	ゴシック体 18ポイント	明朝体 14ポイント	Times 10ポイント	Times 10ポイント		明朝体 10ポイント
4. 和文，英文（横書特別）	上記の1（和文・横書），2（英文）に準ずる					

(b) 表題・著者名

[1] 和文（横書）

- ・ 表題は，原稿の2行目中央に記入し，2行にわたる場合は，原稿の2行目～4行目に適当な配置で記入すること。
- ・ 著者名は，表題の後に1行あけて記入し，共著者名も同じ行に略さずに記入すること。
- ・ 英語表題は，著者名の後に1行あけて記入し，2行以上にわたる場合は，適当な配置で記入すること。表題に使われる各単語の頭文字は，大文字とすること。ただし，冠詞・接続詞・前置詞は除く。
- ・ 英語表記の著者名は，英語表題の後に1行あけて記入すること。名(First Name)は頭文字のみを大文字とし，姓(Family Name)は全て大文字とすること。
- ・ 表題・著者名は，段組を行わずに中央揃えとすること。

[2] 英文（他の外国語の文）

- ・ 表題は，原稿の2行目中央に記入し，2行にわたる場合は，原稿の2行目～4行目に適当な配置で記入すること。各単語の頭文字は大文字とすること。ただし，冠詞・接続詞・前置詞は除く。
- ・ 著者名は，表題の後に1行あけて記入すること。名(First Name)は頭文字のみを大文字とし，姓(Family Name)は全て大文字とすること。
- ・ 表題を英語以外の外国語で表記する場合，その表題の後に1行あけて，英語表記を記入すること。そして，さらに1行あけて，著者名を記入すること。
- ・ 表題・著者名は，段組を行わずに中央揃えとすること。

[3] 和文（縦書）

- ・ 表題は，原稿の3行目から記入すること。このとき，表題の上部には，4字程度の余白をとること。

- ・ 著者名は、8行目に略さずに記入すること。著者名の下部には、4字程度の余白をとること。
- ・ 英語表題と英語著者名は、表題ページには記入せず、論末にアスタリスク記号を表示し、その下に
“英語表題”：英語著者名
の形で記入すること。

(c) 著者の所属機関

著者の所属機関は、ページ左下に実線を引き、その下に記入すること。なお、連名の場合は、名前の後ろにアスタリスク等の記号を上付きで「*」、「**」のように付け、ページ左下に対応する所属機関を記入すること。

(注) 著者の所属機関の表記法は、以下を参照すること。

- 著者が本校に属する場合：学科、職名の順で記載。例) 電気工学科准教授、機械工学科名誉教授
- 本校以外の機関に属する場合：所属機関名を記載。例) ××大学、△△株式会社、□□研究所
- 本校に在籍する学生の場合：所属、学科・専攻を記載。例) 本科都市工学科、専攻科応用化学専攻
- 本校の卒業生の場合：所属・卒業年度を記載。例) △△株式会社 (平成8年度卒)

(d) 英文要旨

論文として投稿する場合は、シングルスペースで150語程度の英文要旨を必要とする。ただし、和文(縦書)の論文、および資料に関しては、英文要旨を必要としない。また、英語以外の外国語(独語、仏語など)で本文を書く場合でも、論文であるならば英語による英文要旨は必要である。

- ・ 英文要旨は、前述(b)の英語著者名の後に1行あけ、中央に「**ABSTRACT**」と表示すること。このとき、フォントはゴシック体で全て大文字とすること。
- ・ 「**ABSTRACT**」から1行あけて、英文要旨の本文を記述すること。要旨を記述する際、左右に2文字程度の空白をとること。

(e) キーワード

- ・ 英文要旨から1行あけて「*Keywords:*」と斜文字(イタリック)の文字スタイルで記述すること。
- ・ 同じ行に続けて5つ以内の英文キーワードを記述すること。文字スタイルは、標準(Normal)を用いること。
- ・ 各キーワードは、名詞形で記述し、それぞれをカンマ(,)により区切ること。また、特に意味がある場合を除き、全て小文字で示すこと。尚、文字の大きさは10ポイントとする。
- ・ 英文キーワードが2行にわたる場合は、適切に配置し見やすいものにする。本文が英語以外の外国語の場合、本文と同じ外国語を用いても構わない。
- ・ 和文(縦書)、資料に関しては、キーワードは必要としない。

(f) 本文

上述のキーワードから1行あけて2段組となる本文を書き出すこと。特例を除き、本文は2段組とする。

※ 英語表現、英文要旨、キーワード、および英文論文など、外国語で記述する文章、単語は、それを読んだ国内外の読者が「正確明快に理解できる」ということに注意して執筆すること。

<6-3> 本文

本文は、章(チャプター)、節(セクション)に分け、それぞれに番号と適当な見出しを付け、読者が理解しやすいようにすること。このとき、章や節の見出しのフォントは、ゴシック体にすること。

(a) 章(チャプター)について

本文中の各章の始めには、例えば、「**1. はじめに**」、「**2. 実験操作**」、等々の章番号と適当な見出しを付け、改行してから文章を書くこと。また、各章の区切りは、1行あけること。

(b) 節(セクション)について

一つの章をさらに細かい節(セクション)に分ける場合は、例えば、「**2. 1 分析条件**」や「**3. 2 温度変化の追跡**」、等々の節番号と適当な見出しを付けること。文章は原則として改行せずに見出しから2文字あけて書き始めること。構成上、改行したほうが見やすくなる場合は改行しても構わない(例えば、見出しが

長くなり、文章が若干しか書けない場合など). セクションの区切りは、行をあけないこと。

※ 節をさらに細かく分ける場合も、適当な見出しは必要となる。このとき、細節番号の決め方やフォントなどは著者の見識にゆだねることとする。例えば、「2. 2. 1」, 「2. 1. 2」や「(a)」, 「(b)」, 「(c)」など。

<6-4> 数式

数式には、「(1)」, 「(2)」のように通し番号を付けること。また、長い数式等が存在し、一つの式が2行以上にわたる場合は、次行の冒頭に、「=」, 「+」, 「-」, 「×」, 「÷」などの記号がくるようにすること。

<6-5> 図 (写真を含む), 表

PDF原稿を印刷したとき、図表が鮮明に描かれるように作成すること。説明文 (caption) は図表の中央にくるようにセンタリングし、文字サイズは、本文と同じか少し小さめであることが望ましい。

(a) 図 (写真を含む) について

本文中の各図には、「図1」, 「図2」, 「Figure 1」, 「Figure 2」のように通し番号を付け、1文字あけて図の説明文を書くこと。通し番号と説明文は、横書原稿の場合は図の下部に, 縦書原稿の場合は図の右側に書くこと。図の大きさは、左右 (または上下) どちらかの1段の中に納まることが望ましいが、図の性質上、2段にわたる必要がある場合は、2段使用しても構わない。

(b) 表について

本文中の各表には、「表1」, 「表2」, 「Table 1」, 「Table 2」のように通し番号を付け、1文字あけて表の説明文を書くこと。通し番号と説明文は、横書原稿の場合は表の上部に, 縦書原稿の場合は表の右側に書くこと。表の大きさは、左右 (または上下) どちらかの1段の中に納まることが望ましいが、表の性質上、2段にわたる必要がある場合は、2段使用しても構わない。

<6-6> 謝辞

論文や資料に謝辞を必要とする場合は、最終節の文末の後に1行あけて、段の中央にゴシック体で「**謝辞**」, または「**Acknowledgement (s)**」という見出しを付け、次の行から本文中と同じフォントで記述すること。謝辞には節番号は付けないこと。助成金、装置の借用、資料の提供を受けた場合は、謝辞に記述すること。

<6-7> 参考文献 (引用文献)

(a) 参考文献の書き方

本文中で引用した参考文献は、最終節の文末の後 (謝辞がある場合は、その後) に1行あけて、段の中央にゴシック体で「**参考文献**」, または「**REFERENCES**」という見出しを付け、次の行から本文中と同じフォントで記載すること。参考文献には節番号は付けないこと。なお、和文、英文以外の論文は、使用した言語で「参考文献」を意味する単語を記載すること。

引用した参考文献には、本文中で現れる順番に通し番号を付け、左詰めで書くこと。参考文献の記述様式は、原則として、著者名、題目 (表題)、論文誌名 (雑誌名または出版社)、巻、号、ページ、発表年月 (出版年月) の順に記述すること。

(参考文献の記述例) 以下の例は全て架空のものである。

- (1) 神戸太郎, 高専次郎, その他: 「高専教育に関する研究」, 神戸高専研究紀要, 第55号, pp. 30-35, 2000.
- (2) 神戸太郎著: 「高等専門学校の変遷」, コロナ社, 第2章, 1975.
- (3) 調査専門委員会編集: 「最近の科学の進歩について」, 電気学会, 1989.
- (4) 神戸三郎, その他: 「有機化合物の発光特性」, 応物学会全国大会講演論文集[3], pp. 3-75, 2000.
- (5) 神戸花子: 「SI デバイスの応用」, 物理学会 SI デバイス研究会講演論文集, Vol. 7, pp. 23-28, 1998.
- (6) 高専史郎, 高専五郎: 「長良川河口堰の現状」, 土木学会論文誌 A, Vol. 116-7, pp. 245-253, 1997.
- (7) Hanako Kosen, Taro Kobe, et al.: "A Novel Scheme for DSG System", IEE-Transactions on Nuclear Science, Vol. 30, No. 5, pp. 555-561, 1999.
- (8) Taro Kobe: "Design Considerations for New Circuit Topology", Proceedings of IEEE-International Symposium on Power Electronics Circuit (SPEC' 98), Vol. 1, pp. 23-28, 1998.

英文の場合、「Conference」や「Symposium」, 「International」等を「Conf.」, 「Symp.」, 「Int.」と略しても構わない。また、「Proceedings」や「Transactions」等も「Proc.」, 「Trans.」と略しても構わない。

上記の文献(8)を略式で記述すると以下のようになる。

(8) Taro Kobe: "Design Considerations for New Circuit Topology", IEEE Proc. Int. Symp. on Power Electronics Circuit (SPEC' 98), Vol.1, pp.23-28, 1998.

(b) 本文中での引用

本文中に引用する場合は、その文章や項目の終わりに、「⁽¹⁾」、「^{(1),(3)}」、「⁽⁴⁾⁻⁽⁸⁾」のように、文末に挙げた参考文献の文献番号を上付で記入すること。また、参考文献中の文章等をそのまま引用する場合は、引用符「」や“ ”、で括るか、横書の場合は左端に、縦書の場合は上端に、本文より2～3文字(4～6文字)多めに余白を取り、引用箇所が明確に識別できるようにすること。本文と引用箇所間に1行空白を入れても構わない。

一般に公開されていない委員会報告等は参考文献としてあげないようにすること。また、掲載は決定しているが未発行の論文等は、巻、ページの代わりに「印刷中」もしくは「in press」と書くこと。

尚、ページのレイアウトに関する詳細は、本規定の末尾に添付した『神戸高専の紀要に関するフォーマット』を参照すること。

7. 著作権

神戸高専研究要に掲載された論文、資料の著作権(著作財産権, Copyright)は神戸市立工業高等専門学校に帰属する。

尚、本投稿規定は、平成24年8月に改正され、平成24年度から施行されるものとする。

(平成18年3月改訂)

(平成21年3月改訂)

(平成22年12月改訂)

(平成24年8月改訂)

25 mm

(1行空ける)

神戸高専の紀要に関するフォーマット (18 pt, ゴシック)

(1行空ける)

神戸太郎* 高専次郎** (12 pt)

(1行空ける)

Format for Memoirs of Kobe City College of Technology (14 pt)

(1行空ける)

Taro KOBE* Jiro KOSEN** (12 pt)

(1行空ける)

ABSTRACT (10 pt, Sans-serif)

(1行空ける)

行頭は字下げせずに、150ワード程度の英文要旨を、10ポイント、Times系書体で書く。この時、左右にはそれぞれ2文字程度の余白を取ることを忘れないようにする。十分に推敲した英文要旨を記載すること。また、要旨は改行せずに一段落で書き、引用番号を付けての文献引用はしない(必要であれば要旨中に記述する)。

(1行空ける)

Keywords : format, reference (Times系10pt, “Keywords”のみ斜体, 5件以内, 左に2文字程度余白)

(1行空ける)

1. はじめに

このファイルは投稿規定の中で特に重要と思われる部分および補足説明を記したものである。詳細については、

<http://www.kobe-kosen.ac.jp/activity/publication/kiyou/> を参照すること。なお、このファイルはWindows版Microsoft Word(2003以前)で作成しているため、これ以外の環境では適宜調整すること。

見出し、本文とも10ptとし、章と節の見出しのみゴシック/Sans-serif体にする。本文は、和文は明朝体、英数字はTimes系とする。和文中に混在する英数字もTimes系とすること。

(章の間は1行空ける)

2. 章の分け方

章と章の区切りは上記のように改行し、必ず1行空ける。また、本文は、章の見出しを記述した行から改行して書き始めること。(↓節の間は改行しない)

2.1 節について 節(セクション)の見出しには、左記のように「.」で区切った節番号をつける。このときセクションの本文は、セクションの見出しを記述した行から改行せず、2文字分あけて書き始めること。ただし、下記のように見出しでその行のほとんどが埋まる場合は改行して本文を書き始めても構わない。(↓節の間は改行しない)

2.2 節を更に細かく分ける場合(サブセクション)

更に細かく分けられた節(サブセクション)には、適当な見出しは必要であるが、その記述方法や使用書体は著者に委ねる。例として、「2.2.1」、「2.2.2」や(a)(b)(c)など。

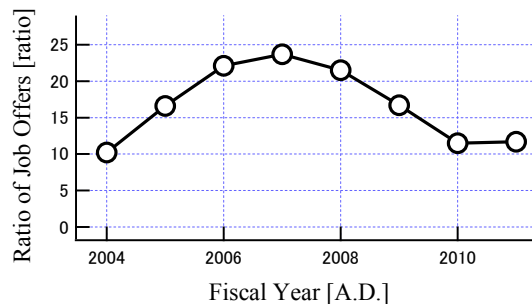


図1 神戸高専本科の求人倍率の推移。

(図表の下は1行空ける)

表1 投稿紀要のフォーマット。

フォーマット	段組・文字×行数	文字	制限枚数
1. 和文	2段, 24字×50行	10 pt	原則6ページ以内。超過の場合も10ページ以内。それ以上は認めない。
2. 英文	2段, 48字×50行		
3. 和文(縦書)	2段, 33字×32行		
4. 横書(和) 特例(英)	1段, 48字×46行 1段, 96字×46行		

(図表の下は1行空ける)

3. 原稿の記述について

下記の指針に従って原稿を作成すること。

3.1 図や表について 図や表は、図1や表1のように

16 mm

16 mm

24 mm

* 一般科 教授

** 専攻科 電気電子工学専攻

通し番号を付けて掲載すること。通し番号と説明文は、図の場合は下部、表の場合は上部に記載する。

3.2 単位について 数値と単位の間空白を入れ、変数を表す文字は斜体(イタリック体)、数値と単位は正立(ブロック体)で記述すること。例：左右マージンは $d = 16 \text{ mm}$ とする。

3.3 参考文献について 参考文献は末尾のフォーマットを参考に引用順に列挙すること⁽¹⁾。引用は上付き、丸括弧で番号を記すこと⁽²⁾⁽³⁾。

3.4 投稿ファイルについて 投稿は PDF ファイルとする。その際、図表が十分なクオリティであることと、全てのフォントが埋め込まれていることを確認すること。印刷工程上、フォントが埋め込まれていない原稿は処理できない。フォントが埋め込めているかどうかについては、Adobe Reader であれば、[ファイル]-[プロパティ]-[フォント] で全てのフォントが図2のように「(埋め込みサブセット)」と表示されていることを確認すればよい。

参考文献

- (1) 研究振興委員：「神戸高専研究紀要 投稿規定」，神戸高専研究紀要，第 37-2 号，pp.75-78，1999.
- (2) Hanako Kosen, Taro Kobe *et al.*: “A Novel Scheme for Kosen System”, IEEE Trans. on Kosen Education, Vol.12, No. 3, pp.456-789, 2012.
- (3) 高専次郎：「高専紀要執筆学概論」，神戸高専出版，2012.

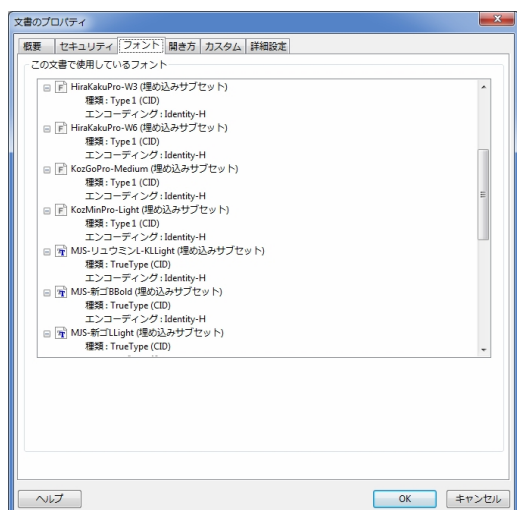


図2 フォント埋め込みの確認。

(図表の下は1行空ける)

なお、オンライン公開なので必要であればカラー図版を使用しても差し支えない。また、ランニングヘッド、ページ番号および受理年月日は、編集時に一括処理するので原稿に記入しないこと。

(章の間は1行空ける)

4. まとめ

投稿者が提出した PDF 原稿がそのまま印刷原稿として用いられるため、決められた規定には充分注意を払って原稿を作成して頂きたい。神戸高専研究紀要をより充実したものにするため、みなさまのご協力をお願いする。

(謝辞の前は1行空ける)

謝辞

本研究の一部は〇〇の支援を受けて進められました。ここに謝意を表します。

(参考文献の前は1行空ける)

神戸高専研究紀要第 57 号 編集委員

谷口 博 (総合情報センター長)	児玉 宏児 (副センター長)	佐藤 洋俊 (副センター長)
尾山 匡浩 (副センター長)	朝倉 義裕 (機械工学科)	赤松 浩 (電気工学科)
久貝 潤一郎 (応用化学科)	田島 喜美恵 (都市工学科)	内藤 哲男 (学生係)
杉岡 節昌 (総合情報センター)	稲田 真一 (図書館)	中西 厚子 (図書館)

研 究 紀 要 第 57 号 (非売品)

発 行 日 平成 31 年 3 月 1 日

発 行 者 神戸市立工業高等専門学校
神戸市西区学園東町 8 丁目 3 番地

TEL (078) 795-3311 (代)

FAX (078) 795-3314

神戸市広報印刷物登録

平成 30 年度 第 236 号 (広報印刷物規格 A-5 類)