

研 究 紀 要

第 54 号

平成 28 年 3 月

RESEARCH REPORTS

OF

KOBE CITY COLLEGE OF TECHNOLOGY

NO. 54

MARCH, 2016

神戸市立工業高等専門学校

目 次

論 文

各種火炎における大気圧低温プラズマ支援燃焼に関する研究	廣澤 謙弥, 吉本 隆光	1
リーディング中の眼球運動に関する研究について	今村 一博	7
2-(β -置換エチル)-8-キノリノール化合物の合成と Pd 錯体の立体構造	大淵 真一, 荒巻 裕二	11
$\Gamma_0^{(2)}(5)$ の Siegel 保型形式	吉村 弥子	17
契丹国（遼朝）時代の陶枕について-陶磁器における唐宋時代の継承と断絶-	町田 吉隆	21
動機づけと英語力について	上垣 宗明	27
W/Ti 複合材料の極低温から高温領域にかけての X 線応力評価	西田 真之, 土居 泰成	33
豪雨時の事前通行規制のための雨量観測体制に関する一考察	鳥居 宣之, 小野 泰東	39
表六甲渓流域における出水特性	宇野 宏司, 吉賀 一弘	45
プロトタイピング技術習得のための教材開発	藤本 健司, 早稲田 一嘉	51

資 料

パッケージのようなふっくらとしたパンケーキを作る方法の調査	西山 貴偉, 稲本 宅哉, 中妻 果穂, 中岩 映梨香, 細野 悠風, 田中 香織, 久保 昂大, 角野 秀太, 谷口 博, 大多喜 重明	57
Report: Globalization at Kobe City College of Technology 2014-15	Mark PILEGGI	61

CONTENTS

PAPERS

- Low temperature Plasma assisted Combustion at Atmospheric pressure
for various species of Flame
Kenya HIROSAWA, Takamitsu YOSHIMOTO 1
- With Regard to Research on Eye Movements in Reading
Kazuhiro IMAMURA 7
- Synthesis of 2-(β -Substituted Ethyl)-8-Quinolinol Compounds and Steric Structure of Pd Complexes
Shinichi OHFUCHI, Yuji ARAMAKI 11
- Siegel modular forms of $\Gamma_0^{(2)}(5)$
Miko YOSHIMURA 17
- A study of the ceramic pillows in the Kitai
- Succession and break between the Tang and the Sung period -
Yoshitaka MACHIDA 21
- A Research of the Students' Motivation and their English Ability
Muneaki UEGAKI 27
- In-situ Stress Measurement of Fiber Reinforced Composite
from Low Temperature to High Temperature State by X-ray Diffraction
Masayuki NISHIDA, Taisei DOI 33
- Actual condition and agenda of rainfall observing system for early traffic warning systems
against heavy rainfall
Nobuyuki TORII, Taiki ONO 39
- A Characteristic of Runoff at Omote Rokko Mountain Area
Kohji UNO, Kazuhiro YOSHIGA 45
- Development of Teaching Materials for Prototyping Technology Learning
Kenji FUJIMOTO, Kazuyoshi WASEDA 51

RESEARCHES AND FINDINGS

- A Study on the Recipe for a Plump Pancake Like Its Mix Package
Takayori NISHIYAMA, Takuya INAMOTO, Kaho NAKATSUMA, Erika NAKAIWA, Haruka HOSONO,
Kaori TANAKA, Akihiro KUBO, Shuta KADONO, Hiroshi TANIGUCHI, Shigeaki OHTAKI 57
- Report: Globalization at Kobe City College of Technology 2014-15
Mark PILEGGI 61

各種火炎における大気圧低温プラズマ支援燃焼に関する研究

廣澤謙弥* 吉本隆光**

Low temperature Plasma assisted Combustion at Atmospheric pressure for various species of Flame

Kenya HIROSAWA* Takamitsu YOSHIMOTO**

ABSTRACT

The bio-mass gas which is one of renewable energies is remarked for keeping resources and environment. However, it makes unstable flames and emits Fuel NO_x, because it contains such adulterants as moisture, nitrogen and their compounds. Meanwhile, Plasma Assisted Combustion is studied now. Then, fuel gas is radicalized due to plasma produced in the fuel gas by dielectric barrier discharge. In this study, as biomass gas is imitated, the fuel which is methane or hydrogen is diluted with nitrogen. Therefore, the stability limit, flame temperature and NO_x are measured on various conditions. The results are obtained as follows. (1) In diffusion flame, blow off velocity is increased to about 2 times when plasma is applied in methane. This effect is also remarked when methane was diluted by nitrogen. In case of hydrogen flame, the constriction is observed earlier with increasing the fuel velocity. (2) When the high voltage (5000~10000V) is discharged in the fuel, radical makes the flame stabilized. (3) In diffusion combustion of the fuel to contain small amount of ammonium, Fuel NO_x concentration is decreased by plasma. But in premixed combustion, it is increased.

Keywords : plasma assisted combustion, bio-mass gas, NO_x concentration, flame stability

1. はじめに

現在、資源の枯渇や地球環境汚染などの種々の問題に対応するため、比較的豊富で環境負荷の小さい、ガス燃料への注目が集まっている⁽¹⁾。その中でもバイオマスガスは、再生可能エネルギーでありゼロエミッションを達成できることから、特に関心が高い。しかしながら、バイオマスガスは、低カロリー・低濃度燃料で、安定燃焼させるには高濃度化の前処理等が必要になる。また燃料中に水分や窒素・二酸化炭素等を含み、燃焼が比較的不安定である。それに加えて、燃料中に窒素化合物を含むため、フューエル NO_x を生成し、周囲の大気環境を汚染するリスクがある。

そこで、本研究では、燃料ガスに大気圧低温プラズマ⁽²⁾によって、ガスの活性化して、燃焼の安定化を図る。またその火炎内構造について調べた^{(3) (4)}。加えて、燃料中に NH₃ や N₂ を混入し、バイオマスガスを疑似的に生成し、ここにプラズマを印加することによる、Fuel NO_x の生成への影響を調べた。また、プラズマ支援燃焼時の火炎電子密度および電子温度への影響を調べる

ための安定した燃焼場を得るため、平面火炎バーナを製作した。その火炎特性についても報告する。

2. 実験方法

2.1 実験装置構成 Fig.1 に実験装置の系統図を示す。燃料には、バイオマスガスの可燃性成分であるメタンあるいは水素を用いる。また、燃料に窒素を混入することによる希釈や、アンモニアを燃料に加えて窒素化合物含有燃料を疑似的に生成することでバイオマスガスを模擬した。各ボンベから燃料や希釈用ガス(窒素)または酸化剤(空気)さらにフューエル N (アンモニア) を、実験条件に合わせて、それぞれ設置された流量計で流量測定後、混合してノズルから噴出して火炎を形成した。これらのガスは、流量計で調整され、ガラス管へ流入する。ガラス管内部には高電圧電極を挿入し、ガラス管外に巻きつけたアース電極との間で、誘電体バリア放電を生じさせた燃料ガスをプラズマ状態にした。この際電圧は、数 kV 程度(5kV~10kV)のものを、17 kHz の高周波で印加した。プラズマ化された

* 専攻科 機械システム工学専攻

** 機械工学科 特任教授

ガス内ではラジカルが生成される．このような可燃ガスがガラス管上部から噴出し，火炎を形成した．

2.2 火炎観察 ノズル上に形成された火炎が，プラズマ印加によりどのように変化するか観察する．特に火炎の安定性に注目し，火炎の形成できる燃料の噴出限界の流速を測定する．また，シュリーレン写真を用いて火炎及びガス流へのプラズマの影響を調査した．

2.3 火炎構造測定(火炎内温度分布・NOx 濃度)

火炎内構造を調査するため，素線 0.1mm の R 型熱電対 (Pt-PtRh13%) 用いて温度測定する．また，NOx はサンプリングプローブを用いて吸引して NOx 分析計 (島津製, NOA-8000) で測定した．

2.4 火炎伝播観察 プラズマ印加による火炎伝播への影響を観察した．ガラス管に，予混合気充滿させ点火し，その際の火炎伝播の様子を高速度動画撮影した．

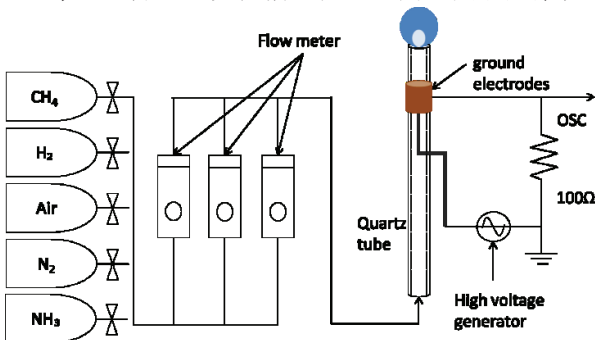


Fig.1 Flow sheet

3. 実験結果

3.1 噴流火炎

3.1.1 火炎吹き飛び速度 メタン拡散火炎においてプラズマを印加すると，火炎の吹き飛び速度が上昇し，火炎の安定性が増すが，Fig.2 のように先行研究で報告⁽⁵⁾されている．このグラフは，ノズル直径ごとの火炎の吹き飛び速度を示している．

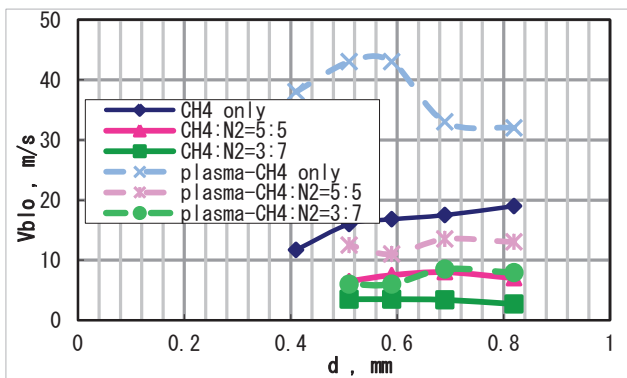


Fig.2 The blow off velocity of methane micro flame

純粋なメタン拡散火炎に対して，窒素分を混入し燃料成分を薄めることで，吹き飛び速度が低下することが分かる．しかしながら，これらの燃料に対して，プラズマを印加することで，吹き飛び速度が 2 倍程度増大

し，火炎の安定性が高まっている．これは，窒素で薄めた燃料に対しても，有効であることから，不純物を多く含むバイオマスガスによる燃焼に対しても有効性があると言える．この結果を受けて，同じくバイオマスガスの主成分である水素でも，同様の実験を行った．Fig.3 にその結果を示す．水素は，燃焼速度がメタンに比べて高いため，数十倍高い吹き飛び速度となっていることが分かる．また，窒素で希釈した場合は，メタンと同じく，吹き飛び速度が低下した．しかしながら，内径 0.51mm のノズルにおいてプラズマを印加したが，火炎吹き飛び速度が向上する傾向はみられなかった．この理由の一つとして，メタン等炭化水素燃料では火炎伝播速度 30~40cm/s (当量比 1 近傍) であるが，水素の火炎伝播速度は 150~200cm/s と非常に高く，プラズマ支援でのラジカルによるが燃焼促進の効果は火炎安定効果としては見られなかった．

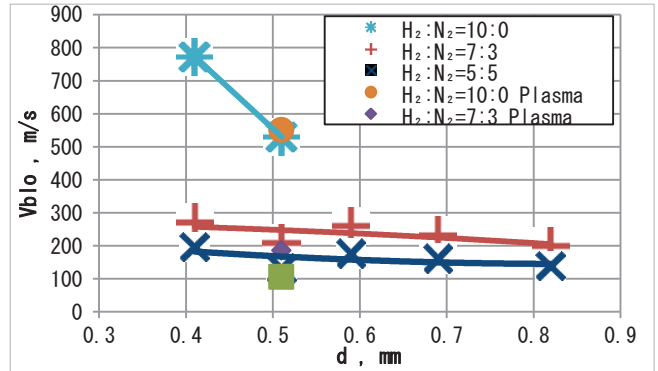
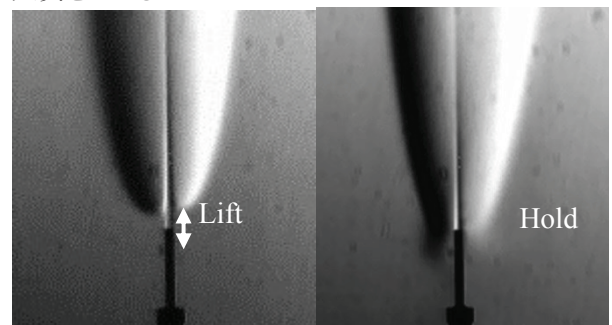
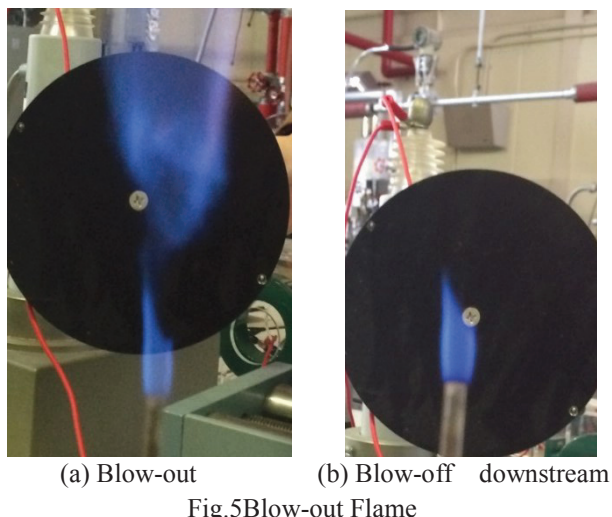


Fig.3 The blow off velocity of hydrogen micro flame

3.1.2 メタン火炎の安定性と火炎伝播 Fig.4 にメタンを 0.65L/min で内径 0.81mm のノズルから噴出させ，形成した火炎のシュリーレン写真を示す．この条件では，通常であれば(a)のように火炎基部の浮き上がりが大きくなり，さらに流量を増やすことで，火炎は吹き飛んでしまう．しかしながら，プラズマを印加することによって，火炎基部は，ノズルに密着し，より安定に燃焼していることが分かる．また，より大きなノズルでは，Fig.5 に示すように，吹き飛び速度付近で火炎が上流側と下流側に分断され，吹消え現象を生じた．また，さらに流量を増加させることで，火炎基部のみを残した火炎を生じる．

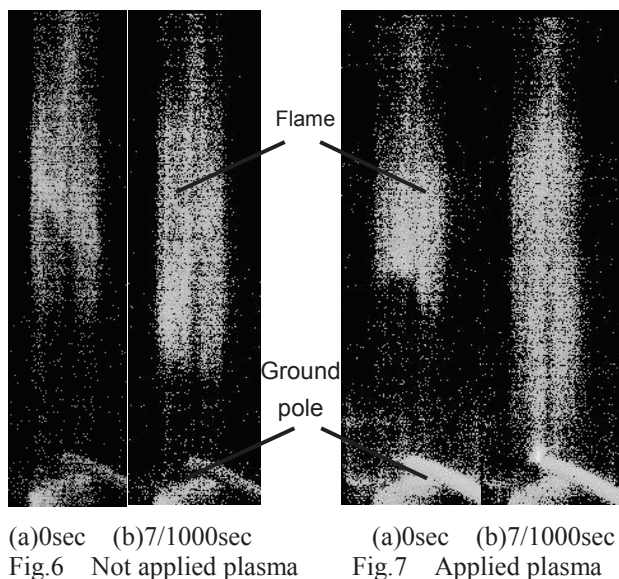


(a) Not applied plasma (b) Applied plasma
Fig.4 Schlieren photograph of methane flame



また、プラズマによる火炎伝播への影響を観測するため、ガラス管内に当量比 1 のメタン予混合気燃料で満たし、管内を伝播する火炎を高速度ビデオカメラで撮影した。撮影位置は接地電極のから下流およそ 50mm 付近である。Fig.6 にはプラズマを印加しなかった時のもの、Fig.7 はプラズマを印加した時のものを示す。それぞれ設置電極からおよそ 20mm 上方に火炎先端が達した(a)を基準とし、7/1000 秒後の画像を(b)に示した。このときガラス管の内径は 8.9mm のものを使用し、メタンは 80mL/min, 空気は 800mL/min 供給した。

Fig.6 のプラズマを印加しない場合に比べて、Fig.7 の印加した場合の方が、より早く火炎が上流側に遷移していることが分かる。また、この傾向は、接地電極付近で顕著に見られ、逆に(a)より下流部では、大きな変化は見られなかった。プラズマ印加によって生じるラジカルの寿命は、数マイクロ秒と非常に短いため、電極直後の伝播速度にのみ影響を及ぼしたものであると考えられる。



また、火炎の安定に大きくかかわるのは、ノズル出口における燃焼速度と燃料噴出速度のつり合いである。以上の結果から、プラズマ支援燃焼によるラジカルの生成により、ノズル出口付近の燃焼速度が増大したため、Fig.4 や Fig.5 で示したようなノズル出口付近に火炎が密着し保炎されていると考えられる。

3.1.3 水素火炎の形状への影響 Fig.8 に水素拡散火炎の各流量における火炎を映した直接写真を示す。このとき、ノズル内径は 0.82mm であった。4L/min までは先細った火炎で、流量増大に伴って火炎長さが伸長していることがわかる。しかしながら、5L/min では突如火炎長さは短くなり、火炎先端が開いている。さらに流量を増加させると、火炎長さがさらに短縮するほか、上流部にくびれを生じ、流量増加に伴ってくびれの位置がノズル側に近づいていることがわかる。これは、くびれより下流部が乱流状態となったためであると考えられる。

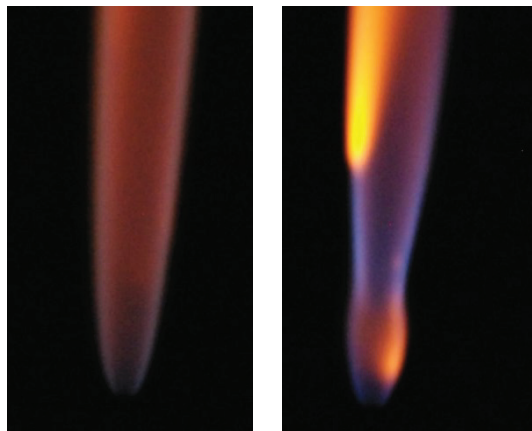


Fig.8 Configuration of Hydrogen diffusion flame

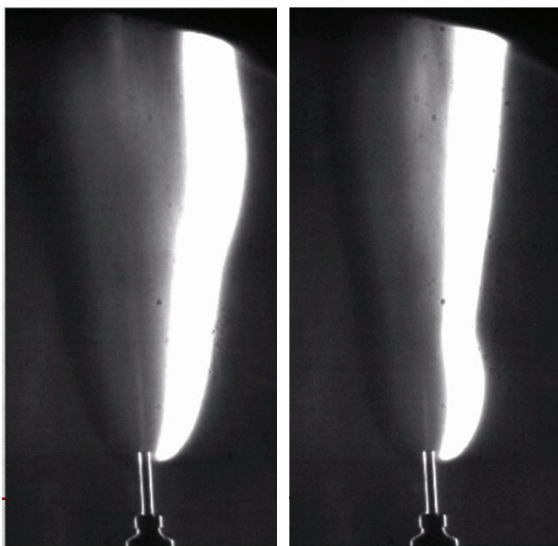
続いて、Fig.9 に水素拡散火炎に対するプラズマ印加の有無による火炎基部の形状の比較を示す。(a)は、プラズマを印加していない状態、(b)は、印加した状態を示している。この時、燃料流量はどちらも 4L/min とした。(a)では Fig.8 中の 4L/min の火炎と同じく、くびれない火炎形状であった。しかし、プラズマを印加すると、Fig.8 中の 6L/min 以上の火炎と同様に上流部にくびれを生じた。

そこで、Fig.10 に示すように、この火炎のシュリーレン写真を撮影した。(a)がプラズマ印加していない状態、(b)が印加している状態を示している。火炎内を流れるガス流に注目すると、(a)では、図中の線に沿って、細長い層流が下流まで続いていることがわかる。それに対して、(b)では層流部がノズル出口からわずかしか存在していない。また、層流部の終点は、およそくびれの位置に位置しており、くびれより下流では下流部に向けて先の広がってゆく乱流が観察された。既報⁽³⁾

でプラズマ印加時にガス流に乱流が生じることが観測されている。またプラズマ印加時に、生じる電場によって、イオンが移動することでイオン風が生じることが知られている。



(a) Not applied plasma (b) Applied plasma
Fig.9 Direct photograph of constriction by applying plasma



(a) Not applied plasma (b) Applied plasma
Fig.10 Schlieren photograph of constriction by applying plasma

3.1.4 NO_x 濃度への影響(拡散燃焼) Fig.11 に、メタン拡散火炎における、NO_x 濃度を示す。燃料流量は 100mL/min とし、ここに窒素 10mL/min を混入した。測定位置は、ノズル直上 7.5mm とし、ノズル径は 0.82mm とした。NO_x 濃度は 25ppm 程度であったが、ここにプラズマを印加した場合、1 割程度低減した。

一方で、窒素中にアンモニアを 10%含んだ混合ガスを、燃料ガス中に混合させると、NO_x 濃度は 245ppm 程度まで増大した。これは、燃焼することによってアンモニアがフェューエル NO_x に変換されたためであると考えられる。この燃料に対して、電圧 7kV、周波数 9.75kHz 程度でプラズマを印加した場合、NO_x は 15%

程度低減した。(低減時の測定値は 200~225ppm)

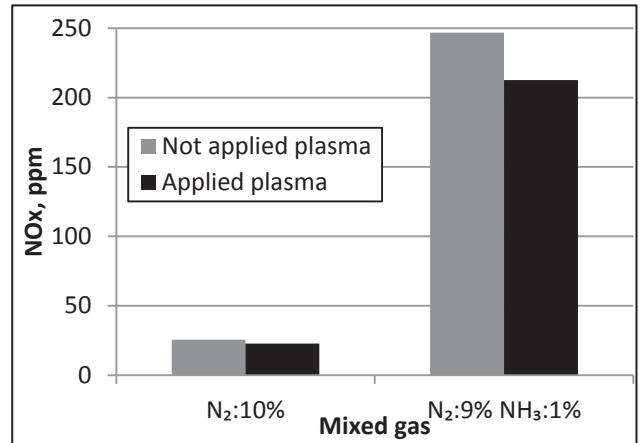


Fig.11 NO_x concentration of methane diffusion flame

また、Fig.12 では、主燃料をメタンから水素に切り替えて同様の実験を行った。アンモニアを混入せず、プラズマも印加しない場合は、NO_x 濃度は 20ppm 程度であったが、プラズマ印加によりメタンと逆の傾向に増加している。

一方アンモニアを混入した場合は、メタン同様に NO_x 濃度が増大し、そこへのプラズマ印加により NO_x 濃度は 20%程度低下している。これは、フェューエル NO_x の生成での影響を与えるようであり、プラズマを印加することにより、その発生を抑えられたと考えられる。

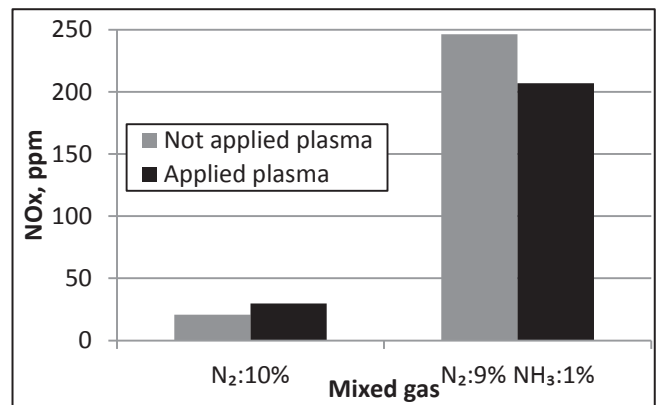


Fig.12 NO_x of hydrogen diffusion flame

3.1.5 NO_x 濃度への影響(予混合燃焼) Fig.13 にメタン予混合火炎における、ノズル直上高さ方向の NO_x 濃度分布を示す。ガス流量は、メタン 200mL/min、空気 1.5L/min とする。また、窒素を 20mL/min 混入した。

プラズマを印加することで、ノズルより上流側においても、NO_x が生成されていることがわかる。これは、高電圧電極からの放電により短絡防止対策のために、サンプリングプローブに長い碍子管を用いた。火炎で加熱されたプローブが高温になり、NO_x の生成反応が起きたと考えられる。ただし、プラズマ印加時にのみ NO_x が生成していることから、プラズマ印加により、反応性の高いラジカルが生成され、高温場で反応した

と考えられる。

そこで、プラズマ印加の有無での比較のため高さ 0 mm での NO_x 濃度を合わせ (図中点線)。下流部に進むにつれて、プラズマ印加の有無による NO_x 濃度の差が広がっていくことがわかる。これは、予混合気中でのプラズマ印加により生成されたオゾンやラジカルによって、燃焼が促進されたと考えられる。

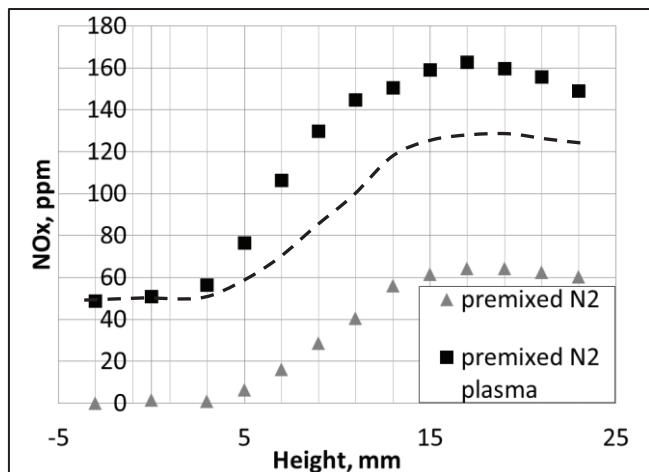


Fig.13 NO_x of methane premixed

Fig.14 にメタン予混合火炎における、ノズル直上高さ方向の NO_x 濃度分布を示す。ガス流量は、メタン 200mL/min, 空気 1.5L/min とする。また、アンモニアを 10%含む窒素を 20mL/min 混入した。

プラズマを印加していない場合でも高い NO_x 濃度であることから、アンモニアの燃焼により、NO_x 生成量のピークが、混入無のものに比べて、5 倍程度に増大していることがわかる。プラズマの印加の有無による NO_x 濃度の差が下流に行くほど縮んでいる。

上流部での NO_x 濃度の立ち上がり大きいのは、アンモニアの活性化による燃焼促進でフェューエル NO_x が生成されていることが主要因と考えられる。

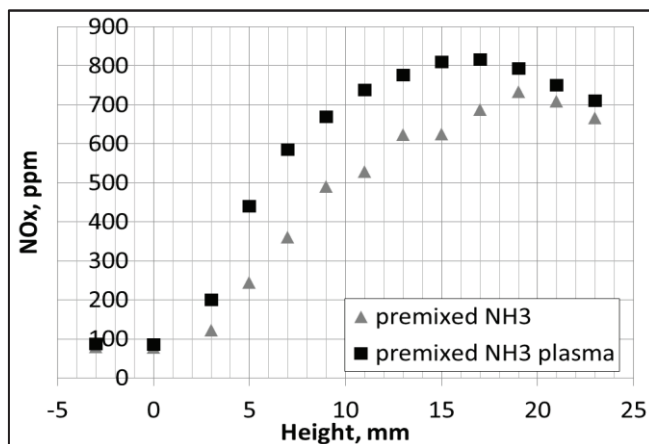


Fig.14 NO_x of methane premixed with ammonium

3.1.6 火炎温度への影響 Fig.15 にメタン(既報), Fig.16 に水素拡散火炎の、各高さ断面におけるノズル

半径方向の火炎内温度分布を示す。ノズル径は、0.82mm のものを用い、燃料流量はメタン 20mL/mi, 水素 100mL/min とした。このような内径が 1mm のノズルで形成される火炎は、マイクロフレームと呼ばれる。

水素の火炎温度は、通常の大きなノズルで形成される火炎の温度分布と異なり、火炎中心付近に最高温度点を持っていることがわかる。これは、既報⁽⁵⁾のメタンマイクロフレームと同様の傾向であり、内径が小さいノズルで、小流量の火炎を形成した場合、形成形態が自然対流より拡散により強く支配され、また火炎サイズも小さいため、伝播や輻射の影響により火炎中心部に最高温度点があると考えられる⁽⁵⁾。

さらに、プラズマ印加時にいずれの火炎においても、火炎上流側、中心側で僅かに温度上昇し、外側では、温度が低下する傾向が見られた。これは、プラズマ印加による燃焼促進の影響により、火炎形状が変化したためであると考えられる。

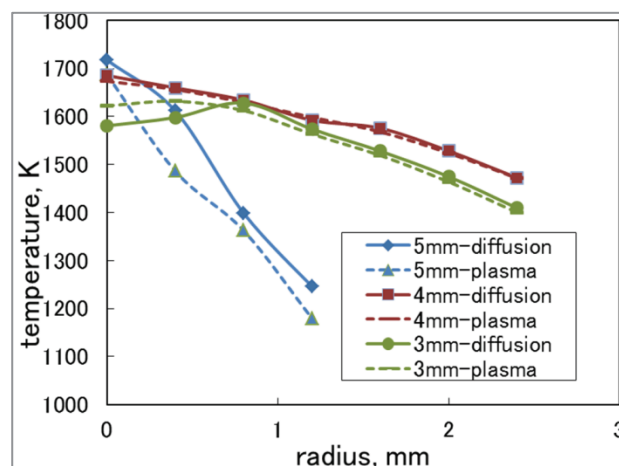


Fig.15 Temperature profile of methane micro flame

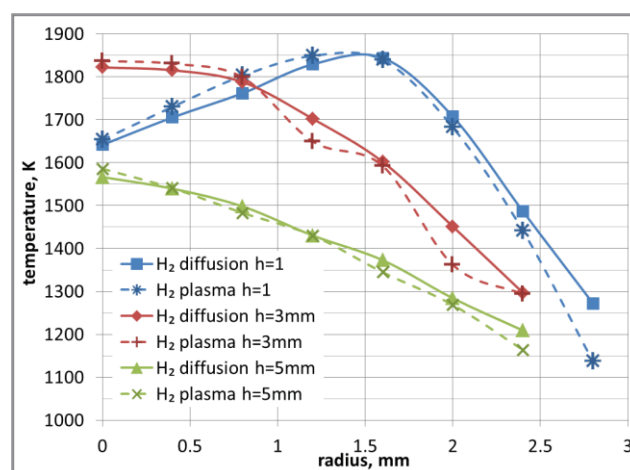


Fig.16 Temperature profile of hydrogen micro flame

3.2 平面火炎と電子密度・電子温度測定

以上の様に、プラズマ支援燃焼を行うことで、火炎に種々の影響が見られた。低温プラズマ内では、電子

温度のみが高められる。このようなガスを用いた火炎内の電子密度および電子温度がどのような状態であるかを解明することは、燃焼において、電子が燃焼に及ぼす影響を知るうえで重要である。

火炎における電子温度や電子密度を測定するためには、安定した火炎が求められるため、以下のような平面火炎を製作し、その燃焼特性を評価した。

3.2.1 ノズル形状と火炎形状 Fig.17 に平面火炎用ノズルの概要図を示す。チャンバー内に繊維を充填し、ここに予混合ガスを流入させると、チャンバー内に入った拡散される。その後ガスは、上部に設置した多孔質の焼結金属の無数の孔から噴出し、平面火炎を形成する。メタン 0.6L/min 空気 6L/min の予混合気による Fig.18 のような平面的な火炎を形成した。

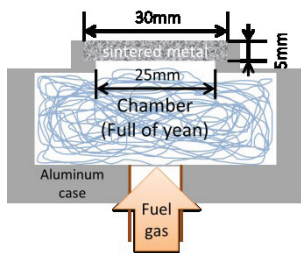


Fig.17 Flat flame nozzle

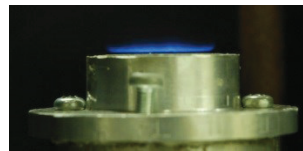


Fig.18 Flat flame

3.2.2 火炎内温度分布 Fig.19 に各高さ断面における、半径方向の火炎内温度分布を示す。燃料はメタンを流量 0.6L/min の当量比 1 とし、焼結金属のノズルから噴出させている。どの高さ断面においても、均一な温度分布を持っていることがわかる。このことから平面的な火炎を形成していることがわかる。

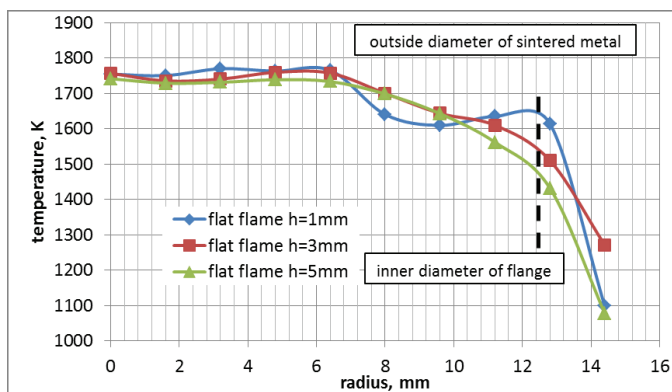


Fig.19 Flat flame temperature in radius direction

また、Fig.20 に、ノズル中心部における、燃料流量ごとの高さ方向の温度分布を示す。ここから、半径方向だけでなく、高さ方向にも温度低下の少ない火炎であることがわかる。これは、流れ方向に面した広汎な火炎面を持つことによって、火炎中心部が保温されているためであると考えられる。それに加えて、燃料流量を増加させるにつれて、全体的に温度が上昇している。しかしながら、燃料流量 0.8L/min では、火炎基部

の温度が低下していることがわかる。これは、火炎面が燃料流量の増加によって下流部へ遷移したためであると考えられる。

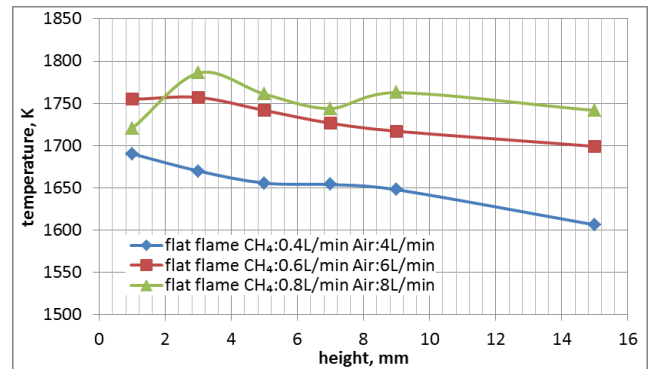


Fig.20 Flat flame temperature in height direction

4. まとめ

(1)メタンを主燃料とする火炎にプラズマ支援燃焼を行い、吹き飛び速度が 2 倍ほどになり、火炎の安定性が向上することを確認した。希釈な燃料での効果も同様に火炎安定効果があることが分かった。水素においては、吹き飛び速度には差が見られないが、燃料噴出速度を上げていくと、プラズマ印加により火炎基部でのくびれ部（層流）が早く形成される。

(2)プラズマ支援燃焼において、ガラス管内における火炎伝播の様子から、ラジカルの発生により燃焼速度が高まって、火炎が安定すると思われる。その因子として、電子密度・温度が関係すると思われる。今後、平面火炎にて電子密度・温度による燃焼への影響を明らかにする必要がある。

(3)メタンまたは水素拡散火炎に対してアンモニアを添加し、プラズマ支援燃焼を行うと、NO_x 生成量が 15% 程度低減する。また、メタン予混合火炎に対してアンモニアを添加し、プラズマ支援燃焼を行った。プラズマを印加しない場合に比べて、より上流部で NO_x が生成される。

参考文献

- (1)吉本隆光・木之下幸一郎・北村英樹・谷川涼一,高温学会誌, 5-36 (2010) 233-239.
- (2)赤松浩・金田知大・市川和典:神戸高専研究紀要, 50 (2012), pp.87-92.
- (3)長家知生, 赤松浩,高寺健太郎,吉本隆光,プラズマ応用科学 (Journal of JAPS) , 21-1(6/2013), 41-46.
- (4)K.TAKATERA, T.YOSHIMOTO, H.AKAMATSU, T.NAGAYA, T.TAKAGI: Proceedings of The 4th International Symposium on Micro and Nano Technology, ID27 (2013).
- (5)高寺健太郎, 吉本隆光:「各種燃焼方式によるマイクロフレームの燃焼特性」, 神戸高専研究紀要, 第 52 号, pp1-6, 2014

リーディング中の眼球運動に関する研究について

今村 一博*

With Regard to Research on Eye Movements in Reading

Kazuhiro IMAMURA*

ABSTRACT

For many years, much has been expected from research applying eye movement methods to reading, since eye movements in reading can be investigated at every moment in the research. However, it is difficult to say that this line of studies has made any great advancements in terms of understanding L2 reading. This is partly because the apparatus remains costly and the methodology of L2 reading research utilizing eye movements has not been established yet. Therefore, this study presents an overview of the features of eye movements used in reading, important related terms, and some eye movement research in L1 and L2 reading, which will lead to various suggestions for future research. Finally, the research methodology, including what kind of data should be utilized, and future research will be discussed in order to yield implications for education.

Keywords : eye movements, reading, fixation, saccade

1. はじめに

眼球運動、事象関連電位(ERP)、機能的磁気共鳴画像法(fMRI)、光トポグラフィーを用いた心理学及び心理言語学分野の手法を用いた研究は近年ようやく増えつつある。それらの手法の中でも特に以前から期待されてきた眼球運動を利用した研究について、L1(母語)での研究は増えつつあるが、L2(第二言語)での研究は依然として多いとは言えない。日本語を母語とする学習者を対象にして、英語でのリーディング時における眼球運動を調査した研究もまだ少ない状況が続いている。

その理由としては、眼球運動を調査するのに利用される機器が高価であることが先ず挙げられる。次に先行研究がまだ多くないため、特にL2での先行研究が少ないため、研究手法が確立していないことも理由として挙げられる。

しかし、眼球運動を利用したリーディング研究では、リーディングを開始した瞬間から、終了する瞬間まで

絶えずどの位置に視線を置いているかがわかるという大きな利点がある。リーディングの正確さを測るために行われる読解テスト、リーディングの速さを測るテスト等の結果からは、リーディングの途中の過程がわかりにくい、そうした部分を補うことができると考えられる。このため、今後そうした研究が盛んに行われ、リーディング研究が進展することが期待される。しかし、リーディング時の眼球運動がどのような特徴を持っているか、これまでどのような先行研究が行われてきたか、第二言語習得や外国語教育の分野においても広く知られているわけではない。そこで本稿では先ず、リーディング時の眼球運動、よく用いられる関連する用語も合わせて概観した後、L1及びL2での眼球運動に関する先行研究について見ていきたい。最後に今後の研究について考えることにする。

2. リーディング時の眼球運動

リーディング時の眼球は、スムーズに動いているように思われるかもしれないが、実際には連続してジャンプ(跳ぶ)をしながら、ジャンプとジャンプの間に静止

* 一般科 教授

した状態がある。このジャンプはサッカード (saccades) と呼ばれ、英語母語話者では 20~40 ミリ秒程度必要とする。静止した状態は注視 (fixations) と呼ばれ、英語母語話者では平均 200~400 ミリ秒程度であるが、短い場合は 50~100 ミリ秒、長い場合は 500 ミリ秒程度と幅がある。意味のある情報は、注視している間にのみ得られ、サッカードの間には得られない。⁽¹⁾

一般的な英語母語話者のリーディングでは平均的なサッカードで 7~9 文字程度移動する。しかしサッカードの移動の長さは大きく異なり、1 文字分の場合から、20 文字を超える場合もある。熟練した読み手ではサッカードの約 90 パーセントは視線が前に進み、約 10 パーセントは後ろに戻る。この逆に戻る視線の動きは逆行 (regressions) と呼ばれる。理解が困難な部分では逆行が生じやすい。また注視の頻度は単語の長さ等によって影響を受け、特に短い語などは飛ばされる (skip) ことが多い。⁽¹⁾

3. L1 を対象とした研究

L1 においても L2 においても、眼球運動、視線解析を利用したオンラインの研究では、語彙レベル、統語レベルの研究が多く、依然として談話レベルのものは少ないが、以下で談話レベルの先行研究を示す。

3.1. Schoot 他⁽²⁾ (2011)

Schoot 他の実験 1 では、オランダ人の 10~12 歳の子どもの対象とした。31 人の高い読解力レベルの群 (高読解力群) と、26 人の低い読解力レベルの群 (低読解力群) に対して、L1 (オランダ語) のリーディングに関して調査が行われた。

実験協力者である子どもたちが読む文章は、話の終わりの方に位置するターゲット文 (target sentence) がそれまでの話の展開と一貫性のある (consistent) 文章、そして一貫性がない (inconsistent) 文章の大きく分けて 2 種類があった。さらにその各々において、一貫性の有無を左右する文が、ターゲット文と位置的に近いか遠いかによって、local 条件と global 条件の 2 種類を作り、計 4 種類の文章が用意された。つまり、①一貫性のある文章 (local 条件)、②一貫性のある文章 (global 条件)、③一貫性のない文章 (local 条件)、④一貫性のない文章 (global 条件) という 4 種類の文章が作成された。

協力者はボタンを押す毎にモニター上に次の 1 つの文が提示される、自己ペース移動窓 (self-paced window) で文章を読み、ターゲット文 (1 つの文) を読む時間の長さが、4 つの文章各々において測定された。

結果として、高読解力群は global 条件で、一貫性のある文章よりも、一貫性のない文章を読む際に、話の展開の矛盾に気づき、ターゲット文を読む時間が長く

なった。一方、低読解力群では、展開の矛盾に気づかず、一貫性が無くても、ターゲット文を読む時間が長くならなかった。

しかし、実験 1 では、常に自己ペース移動窓内の 1 つの文しか読めず、前の文脈に戻って読み直すことができないという欠点があったために、自己ペース移動窓方式ではなく、実験 2 では次のような眼球運動を調査する視線解析方式が採用された。

具体的には、実験 1 と同じ文章が使われたが、モニター上に 7~8 行の文章が提示され、協力者がスペースキーを押す毎に次の 7~8 行の続きの文章が提示された。協力者は同じくオランダ人の子どもたちで、16 人の高読解力群と、15 人の低読解力群に対して、L1 のリーディングに関して研究が行われた。手続きとしては、協力者が文章を読んでいる際に、ターゲット文への初回通過経過時間 (first pass duration: 注視が領域内に最初に入ってから出るまでの継続時間)、ターゲット文との矛盾の原因となる描写への逆行 (regressions) 等の回数が調査された。

統計処理後、実験 1 の結果と同様の結果が、詳細に確認され、状況モデル、ワーキングメモリー等の観点からも考察された。Schoot 他⁽²⁾ (2011) では、実験 1 と 2 の結果はほぼ同じことを示したが、実験 2 では協力者が 1 文ごとではなく、7~8 行の文がモニターに示され、話の展開上の矛盾に気づいた際に先行文脈に逆行できるなどより自然なリーディングに近い状態であったこと、また視線解析によって逆行の回数がカウントされ、かつターゲット文を読むのに要した時間等が詳細に記録されたという点で、実験 1 を補完したと言える。

3.2. Everatt 他⁽³⁾ (1994)

ノッティンガム大学の学生・職員 36 人を協力者として、モニター上に 3 行提示して文章を読ませ、眼球運動を測定する装置を用いて、ターゲットとなる語の凝視継続時間 (gaze duration)、総注視時間 (total fixation time: 逆行時の注視時間も含めた、注視時間の合計) 等を調査した。さらに読解テスト (空欄補充式)、読解速度テスト、語彙テスト (同意語を選択する多肢選択式)、実在語及び非実在語の語彙性判断課題テスト等を実施した。

ステップワイズ式重回帰分析を行ったところ、「読解力」は、35 パーセントが非実在語の語彙性判断課題の反応時間、9 パーセントが凝視継続時間、7 パーセントが語彙力で説明される結果となった。

読解力、つまり読みの正確さと読みの速さの相関が低いことが示された。一方、眼球運動によって調査された凝視継続時間が他の多くの項目よりも読解力を説明する割合が高く、語彙力とほぼ同様、またはそれよりもむしろ高いという興味深い結果となった。しかし、

この研究だけでは解明されていない点も多く、今後の研究が期待される。

4. L2 を対象とした研究

4.1. Bax⁽⁴⁾(2013)

71 名のマレーシア人大学生を調査対象とした。IELTS (International English Language Testing System) の2つの英語(マレーシア人大学生にとってはL2)の文章、計11の質問項目をモニター上で取り組んでいるところを、(i)テキスト全体、(ii)1文、またはそれ以上のテキストの重要部分、(iii)単語またはフレーズという3種類のレベルで、眼球運動に関するデータ、つまり総注視時間や総注視回数等を調査した。その後、リコール・インタビューが実施された。

眼球運動に関するデータ、リコール・インタビュー結果から、テキスト全体から単語レベルまで、いずれの認知処理レベルにおいても、上手な読み手(successful reader)と下手な読み手(unsuccessful reader)には違いがあった。例えば下手な読み手は、上手な読み手に比べて、テキスト中で答えの根拠となる部分を探すのに時間がかかる傾向が見られた。単語やフレーズレベルにおいて、それらの意味がわからなかったり、答えの根拠となる部分とテキスト中の語彙を自信を持って結びつけることができなかったりして、同じところに長く視線が留まる傾向が見られた。

この研究は IELTS という資格テストに実際に取り組んでいる大学生を対象に、眼球運動に関するデータを利用して行われた数少ない貴重な研究であり、こうした研究は多くの指導者やテスト開発に携わる者に多くの示唆を与えると考えられる。

4.2. 門田⁽⁵⁾(2010)

外国語として英語を学ぶ日本の大学生・大学院生計18名を対象にして、眼球運動データを採取した研究である。提示した英文テキスト・設問は TOEIC の予想問題集(速読問題)を利用し、その中から長文パッセージ(約120~130語)及び短文パッセージ(約50~70語)を各々4つずつ、計8つ用意した。テキストの提示は、1画面に1つのパッセージ及び設問を表示した。

結果は以下の通りであった。

- (1)1秒間に単語数で約1.844語、文字数で9.241字の処理スピードを持つ。
- (2)1語について平均1.609回停留(1回の停留に換算して平均約4文字を知覚)し、停留時間の平均は約333ミリ秒である。
- (3)1語毎に平均0.380回(約3語に1回)の逆戻りが見られ、眼球の平均移動量は視野角にして4.03度である。

この基礎的研究は平均的な日本の英語学習者の眼球運動に関するデータを提示したが、今後、多様な習熟度の日本の英語学習者を対象とした研究、様々な読み

の条件下で読んだ場合の比較に用いることが予想され、貴重なデータと考えられる。

5. 眼球運動データを利用した今後の研究

眼球運動データを利用した今後の研究について考えてみたい。研究手法についてはまだ確立されているとは言えないので、こうした研究を行った場合には、論文等で調査方法を再現性が保証されるように詳細に報告し、結果についても後にメタ分析が可能なように詳しく報告することが重要であると思われる。

眼球運動データとしては、先行研究で多くのものが使用されてきている。Hyona⁽⁶⁾(2003)では既存のものでは領域内凝視継続時間(regional gaze duration: 領域から出る前に、領域内で注視された時間の合計)、二回目注視時間(second-pass fixation time: 領域における初回のリーディングの後、その領域に戻ってなされた注視時間の合計)を推奨し、拡張初回通過注視時間(extended first-pass fixation time: ある領域を読み終えるために戻る限りは、初回の読みを終えないで、初回のリーディングの途中で前の領域に戻ることを許す、領域内凝視継続時間)を提案している。他にも類似したものが提案されているが、いずれにせよ前の文脈に戻って読むことを想定したデータを含むべきである。視線解析用ソフトウェアでは、領域の指定をデータ採取後、何度でも指定できるものが多いので、各々の調査に合ったものをいくつか試みるのが望ましいと考えられる。

また眼球運動を利用した研究では、先述の通り、リーディングが開始されてから終了するまで絶えずデータを採取し、観察することが可能であり、これは大きな長所である。しかしながら視線が置かれていることが、必ずしも理解していることと同義ではないので、理解度を合わせて調査することや、インタビュー等と合わせて行うことが必要である。

本稿では、語彙レベルや統語レベルではなく、文章レベル、ディスコースレベルの先行研究を意図して選んで示したが、そうした研究は依然として極めて少ない。今後こうした研究の数が増え、従来の伝統的な手法を補完し、多くの新たな教育的示唆が得られることが期待される。

また、門田⁽⁵⁾のように、特にタスクを設けずに、テキスト全体を読んだ場合の基礎的データが、多様な習熟度の学習者(母語話者も含めて)を対象に集積されていくと、学習者の習熟度の向上の指標に、将来利用することができる可能性があると考えられる。そのため、こうした基礎的研究が今後数多く実施されることが期待される。

参考文献

- (1) Staub, A., Rayner, K.: “Eye movements and on-line comprehension processes”, (Editor: Gaskell, M.) Oxford Handbook of Psycholinguistics, Oxford University Press, pp. 327-341. 2007.
- (2) Schoot, M., Reijntjes, A., and Lieshout, E.: “How do children deal with inconsistencies in text? An eye fixation and self-paced reading study in good and poor reading comprehenders”, *Read Writ*, 25, pp. 1665-1690. 2012.
- (3) Everatt, J., and Underwood, G.: “Individual differences in reading subprocesses: relationships between reading ability, lexical access, and eye movement control”, *Language and Speech*, 37, pp. 283-297. 1994
- (4) Bax, S.: “The cognitive processing of candidates during reading tests: Evidence from eye-tracking”, *Language Testing*, 30, pp. 441-465. 2013.
- (5) 門田修平: 「SLA 研究入門」, 第 4 章, くろしお出版, 2010.
- (6) Hyona, J., Lorch, R., and Rinck, M.: “Eye movements measures to study global text processing”, (Editors: Hyona, J., Radachi, R. and Deubel, H) *The Mind’s Eye: Cognitive and Applied Aspects of Eye Movement Research*, North-Holland, Ch. 16. 2003.

2-(β-置換エチル)-8-キノリノール化合物の合成と Pd 錯体の立体構造

大淵真一* 荒巻裕二**

Synthesis of 2-(β-Substituted Ethyl)-8-Quinolinol Compounds and Steric Structure of Pd Complexes

Shinichi OHFUCHI* Yuji ARAMAKI**

ABSTRACT

Usually, 8-quinolinol forms a stable M:L=1:2 complex with a divalent metal. In the presence of pyridine, 2-(β-substituted ethyl)-8-quinolinol compounds that have substituents at the β-position carbon of 8-quinolinol-2-position and a divalent palladium were mixed in water-alcohol system solvent. It had reported 1:1 complex that has pyridine as external ligand is formed with known 1:2 complex. So, to consider for formation ratio of 1:1/1:2 complex, it was investigated by the use of various β-position carbon substituent in this work. On the whole, 1:1 complexes were obtained higher yield than 1:2 complexes. In 1:1 complexes formation, 1:1 complexes that have two ester groups at β-position carbon substituent, were obtained higher yield than 1:1 complexes that have two ketone groups at β-position carbon substituent, by action of C-O-C bond in ether bond. And, ¹H NMR spectrum shows degree of freedom of β-position carbon substituent in 1:1 complexes was lowed.

Keywords : 8-quinolinol, β-position carbon substituent, Pd-Cσ bond

1. 序論

8-Quinolinol は酸素と窒素という 2 つの異なる結合場所を持った古典的な 2 座配位子であり、多数の 2 価金属(Cu²⁺、Fe²⁺など)と極めて安定な 1 : 2 錯体を形成し¹⁾、抗菌作用を示すことが報告されている²⁾。8-Quinolinol と、metronidazole や triphenylphosphine (PPh₃)などの関連化合物を用いてのキレート化による製剤効力の研究が報告されている³⁾。また、8-quinolinol の 2 位に置換基が存在する場合には、キレートの形成が立体的な相互作用によって妨げられるために、一般に錯体の安定性が減少することが知られている⁴⁾。ここで、2 位置換炭素のβ位に置換基を有する 2-(β-置換エチル)-8-キノリノール化合物と 2 価パラジウム(Pd(II))を水-エタノール混合溶媒中、pyridine と水酸化カリウム(KOH)存在下で反応させると Pd(II) : 8-quinolinol 化合物=1 : 2 錯体と共に、Pd-Cσ結合と外部配位子としてピリジン⁵⁾を有する 1:1 錯体が形成する

ことを報告している⁵⁾。どちらの錯体が優先的に生成するかは解明されていないが、β位炭素との Pd-C 結合(1 : 1 錯体)生成か、あるいは 2 分子目の 2-(β-置換エチル)-8-キノリノール化合物との Pd-O 結合(1 : 2 錯体)生成のいずれが優先するかはβ位炭素置換基の構造が影響を与えていると考えられる。そこで本研究では、配位子に 2-(β-置換エチル)-8-キノリノールを用いて、β位炭素置換基の種類(エステル基あるいはケトン基)、および立体的なかさ高さが 1 : 1 錯体と 1 : 2 錯体の生成比にどのような影響を与えるかを収率から、また錯体の立体構造を ¹H NMR スペクトルから検討することを目的とする。

まず、2-Chloromethyl-8-quinolinol(**1**)を米田らの方法⁶⁾により合成した。得られた **1** と様々なβ-ジケトン類の反応を dimethylformamide(DMF)中で行い、2-(β-置換エチル)-8-キノリノールの合成を試みた。続いて、得られた化合物を配位子として Pd(II) と pyridine の存在下で反応させ、Pd(II)-2-(β-置換エチル)-8-キノリノール錯体の合成を試みた。

* 応用化学科 教授

** 太陽鉱工(株)(平成 14 年度応用化学専攻修了)

2. 実験

2.1 測定装置 機器分析には次の機種および測定条件を用いた。融点: 柳本製作所 微量融点測定装置 MP 型。IR: 日本分光 JASCO FT/IR-300 赤外分光光度計 (KBr)。¹H NMR: BRUKER DRX500 (500 MHz), 溶媒, CDCl₃ (内部標準 TMS, 0 ppm)。元素分析: 柳本 CHN-Corder MT-5 型。

2.2 2-Chloromethyl-8-quinolinol (1) の合成 米田らの方法⁶⁾により合成した。融点: 113.0~114.0 °C (lit.⁶⁾ 56°C)。

2.3 配位子の合成 配位子の合成は米田らの方法により Scheme 1 に従い合成した。ただし **2b** は対応する 2-(β-置換エチニル)-8-キノリノールの水素添加により合成した(Scheme 2)。

2.3.1 Acetyl 2-(8-hydroxy-2-quinolyl) methylene acetone (2b) の合成 Acetyl-2-(8-hydroxy-2-quinolyl) methylenidene acetone⁵⁾ (0.50 g, 1.96 mmol) を酢酸 (300 ml) に溶かし、10% Pd-C (30 mg) を加え、水素を 3 時間添加した。混合物をろ過後、減圧下で除去した。残留物を chloroform (CHCl₃) と水で洗浄後、有機相を無水硫酸ナトリウム (Na₂SO₄) で脱水した。ろ過後、減圧下で溶媒を除去した。カラムクロマトグラフィー (ワコーゲル C-200 溶離液; 酢酸エチル (EtOAc) : hexane = 2 : 3) にて精製し、目的物を粘性黄色固体として得た (収量 0.40 g, 80.77%)。¹H NMR (keto form) δ [ppm] 2.27 (s, 6H, COCH₃), 3.57 (d, 2H, C_αH₂, *J* = 7.3 Hz), 4.54 (t, 1H, C_βH, *J* = 7.3 Hz), 7.17 (d, 1H, 5-quiH, *J* = 7.8 Hz), 7.26 (s, 1H, 8-quiOH), 7.29 (d, 1H, 7-quiH, *J* = 8.3 Hz), 7.34 (d, 1H, 3-quiH, *J* = 8.3 Hz), 7.41 (dd, 1H, 6-quiH, *J* = 7.8, 7.8 Hz), 8.07 (d, 1H, 4-quiH, *J* = 8.3 Hz); (enol form) 2.14 (s, 3H, COCH₃), 2.14 (s, 4H, C(OH)CH₃), 3.99 (s, 2H, C_αH₂), 7.16 (d, 1H, 5-quiH, *J* = 7.8 Hz), 7.26 (s, 1H, 8-quiOH), 7.29 (d, 1H, 7-quiH, *J* = 8.3 Hz), 7.31 (d, 1H, 3-quiH, *J* = 8.3 Hz), 7.42 (dd, 1H, 6-quiH, *J* = 7.8, 7.8 Hz), 8.10 (d, 1H, 4-quiH, *J* = 8.3 Hz); IR [cm⁻¹] 3400 (OH), 1720, 1700 (C=O)。

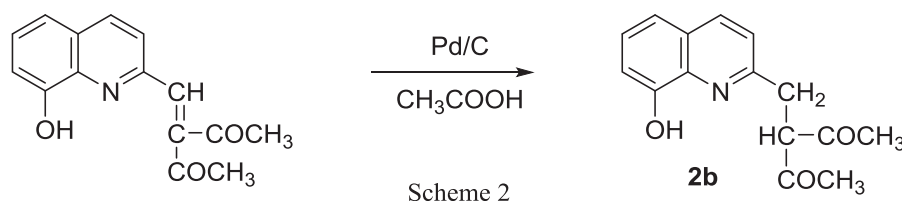
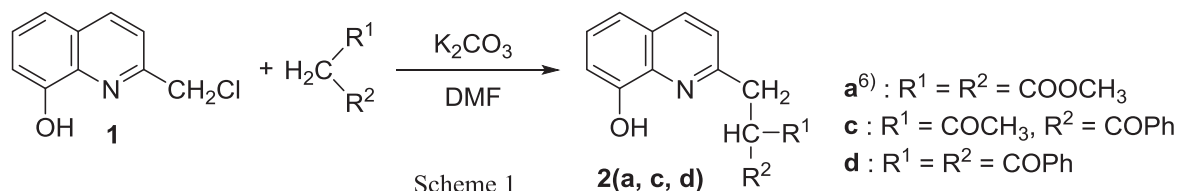
2.3.2 Benzoyl 2-(8-hydroxy-2-quinolyl) methylene acetone (2c) の合成 **1** (2.00 g, 10.33 mmol) と、benzoyl acetone (3.35 g, 20.66 mmol)、無水炭酸カリウム (K₂CO₃)

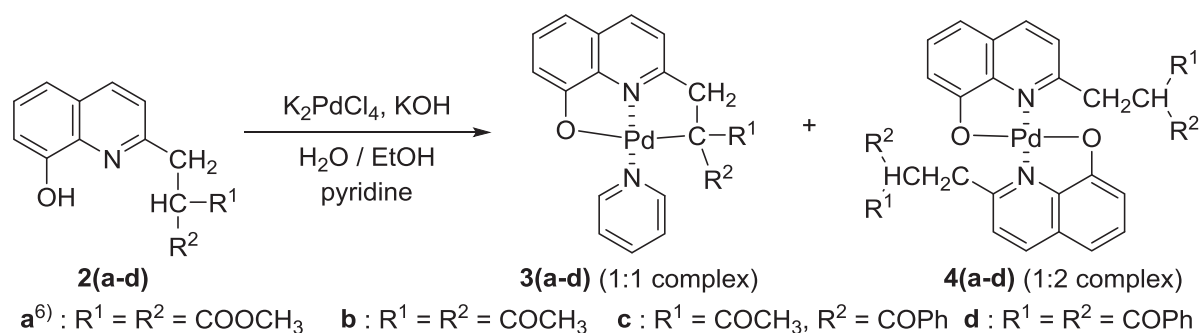
(4.28 g, 30.99 mmol)、DMF (120 ml) の混合物を室温で 24 時間攪拌した。混合物をろ過後、減圧下で溶媒を除去した。残留物を CHCl₃ と水で洗浄後、有機相を Na₂SO₄ で脱水した。ろ過後、減圧下で溶媒を除去した。カラムクロマトグラフィー (ワコーゲル C-200 溶離液; EtOAc : hexane = 1 : 4) にて精製し、目的物を白色固体として得た (収量 0.63 g, 19.01%)。融点: 112.5~114.0 °C, ¹H NMR δ [ppm] 2.27 (s, 3H, COCH₃), 3.69 (dd, 1H, C_αH_AH_B, *J* = 5.7, 5.7 Hz), 3.90 (dd, 1H, C_αH_AH_B, *J* = 8.4, 8.6 Hz), 5.43 (dd, 1H, C_βH, *J* = 5.7, 8.4 Hz), 7.05 (d, 1H, 7-quiH, *J* = 7.6 Hz), 7.26 (d, 1H, 5-quiH, *J* = 6.8 Hz), 7.26 (s, 1H, 8-quiOH), 7.35 (dd, 1H, 6-quiH, *J* = 7.5, 7.5 Hz), 7.36 (d, 1H, 3-quiH, *J* = 8.2 Hz), 7.57 (t, 2H, C_{OPh}-metaH, *J* = 7.7 Hz), 7.67 (t, 1H, C_{OPh}-paraH, *J* = 7.5 Hz), 8.04 (d, 1H, 4-quiH, *J* = 8.4 Hz), 8.16 (d, 2H, C_{OPh}-orthoH, *J* = 7.3 Hz); IR [cm⁻¹] 3402 (OH), 1722, 1676 (C=O); 元素分析値 C: 75.32, H: 5.60, N: 4.39%。C₂₀H₁₇NO₃ としての計算値 C: 75.22, H: 5.37, N: 4.39%。

2.3.3 1,1-Dibenzoyl 2-(8-hydroxy-2-quinolyl) ethane (2d) の合成 **1** (2.00 g, 10.33 mmol) と、dibenzoyl methane (4.63 g, 20.66 mmol) を用いて、2.3.2 と同様に行い、目的物を白色固体として得た (収量 0.55 g, 13.99%)。融点 97.5~99.5°C, ¹H NMR δ [ppm] 3.87 (d, 2H, C_αH₂, *J* = 6.8 Hz), 6.26 (t, 1H, C_βH, *J* = 6.8 Hz), 7.07 (d, 1H, 7-quiH, *J* = 7.5 Hz), 7.27 (d, 1H, 5-quiH, *J* = 8.9 Hz), 7.36 (dd, 1H, 6-quiH, *J* = 7.8, 8.0 Hz), 7.40 (d, 1H, 3-quiH, *J* = 8.6 Hz), 7.43 (s, 1H, 8-quiOH), 7.49 (t, 4H, C_{OPh}-metaH, *J* = 7.7 Hz), 7.60 (t, 2H, C_{OPh}-paraH, *J* = 7.5 Hz), 8.05 (d, 1H, 4-quiH, *J* = 8.8 Hz), 8.06 (d, 4H, C_{OPh}-orthoH, *J* = 7.8 Hz); IR 3419 (OH), 1697 (C=O) cm⁻¹; 元素分析値 C: 78.96, H: 5.38, N: 3.66%。C₂₅H₁₉NO₃ としての計算値 C: 78.42, H: 5.02, N: 3.67%。

2.4 錯体の合成 Scheme 3 に従い、得られた配位子を用いて Pd(II)-2-(β-置換エチル)-8-キノリノール錯体の合成を試みた。

2.4.1 {Acetyl 2-[(8-oxy-κO-2-quinolyl-κN) methylene] acetone-κC} (pyridine) palladium(II) (3b) 錯体の合成 **2b** (85.0 mg, 0.33 mmol) を ethanol (10 ml) に溶解させた





Scheme 3

溶液に、それぞれ水(10ml)に溶解させた K_2PdCl_4 (108.0 mg, 0.33 mmol)と KOH(70.0 mg, 1.2 mmol)の溶液を加え、室温で 20 分間攪拌後、pyridine (1 ml)を加え、さらに室温で 24 時間攪拌した。減圧下で溶媒を除去後、残留物を $CHCl_3$ と水で洗浄し、 Na_2SO_4 で脱水した。ろ過後、減圧下で $CHCl_3$ を除去した。カラムクロマトグラフィー(ワコーゲル C-200 溶離液 EtOAc : hexane = 1 : 1)にて精製し、目的物を黄色固体として得た(106.3 mg, 69.0%)。融点 184.5~186.0 °C, 1H NMR δ [ppm] 2.21(s, 6H, $COCH_3$), 3.22(s, 2H, $C_\alpha H_2$), 6.88(d, 1H, 7-quiH, $J = 7.9$ Hz), 6.95(d, 1H, 5-quiH, $J = 7.9$ Hz), 7.36(t, 2H, 3,5-PyH, $J = 8.1$ Hz), 7.48-7.51(m, 2H, 3,6-quiH), 7.87(t, 1H, 4-PyH, $J = 7.7$ Hz), 8.14(d, 1H, 4-quiH, $J = 8.7$ Hz), 8.65(d, 2H, 2,6-PyH, $J = 5.1$ Hz); IR [cm^{-1}] 1638 (C=O).

2.4.2 {Benzoyl 2-[(8-oxy- κO -2-quinoly- κN) methylene] acetone- κC } (pyridine) palladium(II) (3c), bis{benzoyl 2-[(8-oxy- κO -2-quinoly- κN) methylene] acetone} palladium(II) (4c)錯体の合成

2c(111.8 mg, 0.35 mmol)と K_2PdCl_4 (114.3 mg, 0.35 mmol)と KOH(78.6 mg, 1.4 mmol)を用いて 2.3.1 と同様に行い、2つの画分(**3c**, **4c**)を得た。

3c : 黄色固体(27.1 mg, 15.40%)を得た。融点 209.5~211.0 °C, 1H NMR δ [ppm] 2.13(s, 3H, $COCH_3$), 3.84(d, 1H, $C_\alpha H_A H_B$, $J = 18.4$ Hz), 3.92(d, 1H, $C_\alpha H_A H_B$, $J = 18.4$ Hz), 6.93(d, 1H, 7-quiH, $J = 7.9$ Hz), 6.98(d, 1H, 5-quiH, $J = 8.0$ Hz), 7.27(d, 1H, 3-quiH, $J = 8.4$ Hz), 7.30-7.43(m, 3H, 3,5-PyH, 6-quiH), 7.47(t, 2H, COPh-metaH, $J = 7.4$ Hz), 7.54(t, 1H, COPh-paraH, $J = 7.4$ Hz), 7.82(t, 1H, 4-PyH, $J = 7.6$ Hz), 8.12(d, 1H, 4-quiH, $J = 8.6$ Hz), 8.49(d, 2H, 2,6-PyH, $J = 5.1$ Hz), 8.75(d, 2H, COPh-orthoH, $J = 7.5$ Hz); IR [cm^{-1}] 1631(C=O); 元素分析値 C: 59.73, H: 4.18, N:5.74%. $C_{25}H_{20}N_2O_3Pd$ としての計算値 C: 59.71, H: 4.01, N: 5.57%.

4c : 黄色固体(18.2 mg, 7.00%)を得た。融点 180.3~181.3 °C, 1H NMR δ [ppm] 2.04(s, 6H, $COCH_3$), 3.56(d, 2H, $C_\alpha H_A H_B$, $J = 6.6$ Hz), 4.12(d, 2H, $C_\alpha H_A H_B$, $J = 7.1$ Hz), 4.91-4.93(m, 2H, $C_\beta H$), 6.86(d, 2H, 7-quiH, $J = 7.9$ Hz), 6.90(d, 2H, 5-quiH, $J = 7.9$ Hz), 7.15(dd, 2H, 6-quiH, $J = 7.3, 7.2$ Hz), 7.32(d, 2H, 3-quiH, $J = 8.7$ Hz), 7.51(t, 2H,

COPh-paraH, $J = 7.7$ Hz), 7.56(t, 4H, COPh-metaH, $J = 7.6$ Hz), 8.08(d, 2H, 4-quiH, $J = 8.6$ Hz), 8.43(d, 4H, COPh-orthoH, $J = 7.1$ Hz); IR 1608 (C=O) cm^{-1} .

2.4.3 {1,1-Dibenzoyl 2-[(8-oxy- κO -2-quinoly- κN)] ethane- κC } (pyridine) palladium(II) (3d), bis{1,1-dibenzoyl 2-[(8-oxy- κO -2-quinoly- κN)] ethane} palladium(II) (4d)錯体の合成

2d(125.9 mg, 0.33 mmol)と K_2PdCl_4 (107.7 mg, 0.33 mmol)と KOH(67.3 mg, 1.2 mmol)を用いて 2.3.1 と同様に行い、2つの画分(**3d**, **4d**)を得た。

3d : 黄色固体(27.8 mg, 14.91%)を得た。 1H NMR δ [ppm] 3.67(d, 1H, $C_\alpha H_A H_B$, $J = 11.7$ Hz), 4.52(d, 1H, $C_\alpha H_A H_B$, $J = 11.6$ Hz), 6.83(d, 1H, 7-quiH, $J = 7.5$ Hz), 6.92(d, 1H, 5-quiH, $J = 7.4$ Hz), 7.02(d, 1H, 3-quiH, $J = 8.3$ Hz), 7.29(t, 2H, 3,5-PyH, $J = 7.7$ Hz), 7.35(dd, 1H, 6-quiH, $J = 7.9, 7.9$ Hz), 7.44(t, 4H, COPh-metaH, $J = 7.0$ Hz), 7.63(t, 2H, COPh-paraH, $J = 7.3$ Hz), 7.89(t, 1H, 4-PyH, $J = 7.5$ Hz) 8.16(d, 1H, 4-quiH, $J = 8.3$ Hz), 8.52(d, 2H, 2,6-PyH, $J = 5.0$ Hz), 9.00(d, 4H, COPh-orthoH, $J = 5.1$ Hz); IR [cm^{-1}] 1671 (C=O).

4d : 黄色固体(19.9 mg, 6.95%)を得た。 1H NMR δ [ppm] 3.54-3.59(m, 2H, $C_\alpha H_A H_B$), 3.84-3.89(m, 2H, $C_\alpha H_A H_B$), 4.92-4.94(m, 2H, $C_\beta H$), 6.86(d, 2H, 7-quiH, $J = 7.9$ Hz), 6.90(d, 2H, 5-quiH, $J = 8.0$ Hz), 7.01(dd, 2H, 6-quiH, $J = 7.1, 7.3$ Hz), 7.34(d, 2H, 3-quiH, $J = 8.6$ Hz), 7.52(t, 8H, COPh-metaH, $J = 7.7$ Hz), 7.57(t, 4H, COPh-paraH, $J = 7.5$ Hz), 8.09(d, 2H, 4-quiH, $J = 8.7$ Hz), 8.43(d, 8H, COPh-orthoH, $J = 5.1$ Hz); IR [cm^{-1}] 1697 (C=O).

3. 結果と考察

3.1 配位子の合成 **1** と様々なβ-ジケトン類の反応を DMF 中で行い、2-(β-置換エチル)-8-キノリノールの合成を試みた。得られたそれぞれの配位子の収率および 1H NMR を Table 1 にまとめた。

3.1.1 配位子の収率について **2a** は R^1, R^2 が共にエステル基であり、収率 45.0%で得られた⁶⁾。一方 R^1, R^2 が共にケトン基である **2c** と **2d** の収率はそれぞれ 19.0、14.0%と低くなった。これはケト-エノール互変異性が起こり、目的とするケト形のほかにエノール形

が生成したため、収率が低下したのだと考えられる。実際にエノール形の生成は¹H NMR で確認することが出来た。また、**2d**の原料である dibenzoyl methane は溶液中においてケト形が約 20%、エノール形が約 80%の比率で存在している。つまり **2c** や **2d** の様にβ位炭素にケトン基を有するときには、エノール形の生成が増加するため、ケト形の収率が低下することが分かった。**2b** もβ位炭素にケトン基を有しているが 89.3%という高収率で得られている。しかしこれは合成法が異なるだけでなく、ケト形とエノール形の分離が行われていないためである。

3.1.2 配位子の¹H NMR について **2c**のβ位炭素置換基 R¹、R²は COCH₃ と COPh という異なる置換基であり、β位炭素は不斉となっているため、その隣接炭素であるα位炭素置換プロトンはジアステレオトピックであり、その吸収が 2 つのダブルダブレット(dd)として現れている。**2a**、**2b**、**2d** のβ位炭素置換基 R¹、R²は同一置換基であり、β位炭素は不斉ではないため、α位炭素置換プロトンの吸収はダブルレット(d)として現れている。

3.2 錯体の合成 得られた配位子を Pd(II)と pyridine と KOH の存在下で反応させ、Pd(II)-2-(β-置換エチル)-8-キノリノール錯体の合成を試みた。得られたそれぞれの錯体の収率および¹H NMR を Table 1 にまとめた。

3.2.1 錯体の収率について β位炭素置換基 R¹、R²が共にエステル基であるもの⁶⁾、共にケトン基であるもの関わらず、全体的に 1 : 1 錯体と 1 : 2 錯体の収率を比べると、1 : 1 錯体の方が高い収率で得られている。

これは、β位炭素に結合した水素が活性水素となりカルバニオンを生成し Pd-C 結合形成する割合が、2 分子目の 2-(β-置換エチル)-8-キノリノール O⁻との Pd-O 結合形成する割合よりも高いという事が考えられる。加えて、8-quinolonol の 2 位に置換基が存在する場合には、キレート形成が立体的な相互作用によって妨げられるために 1 : 2 錯体の安定性が減少することが知られており、そのために 1 : 2 錯体の収率が低下するという事も考えられる。つまりこれら 2 つの要因により、1 : 1 錯体の方が高い収率で得られているのではないかと考えられる。錯体 **b** では、1 : 1 錯体は 69.0%で得られたが、1 : 2 錯体は生成していなかった。この原因を追求するために、配位子 **2b** を用いてピリジンを添加しない反応を行った。予想としては 1 : 2 錯体が生成するだろうと考えていたが、実際は Figure 1 のような化合物が得られた。これはおそらく、1 : 2 錯体のアセチル基が塩基的作用によって外れてしまったためだと思われる。他の錯体形成時は溶液が濁り 1 : 2 錯体が生成しているという実験事実があるのに対し、錯体 **b** では溶液には沈殿が生じておらず、1 : 1 錯体が高い収率で得られている。また、前述の pyridine を添加しない反応で

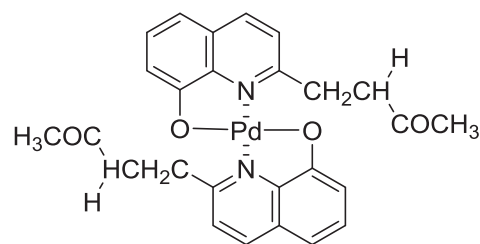
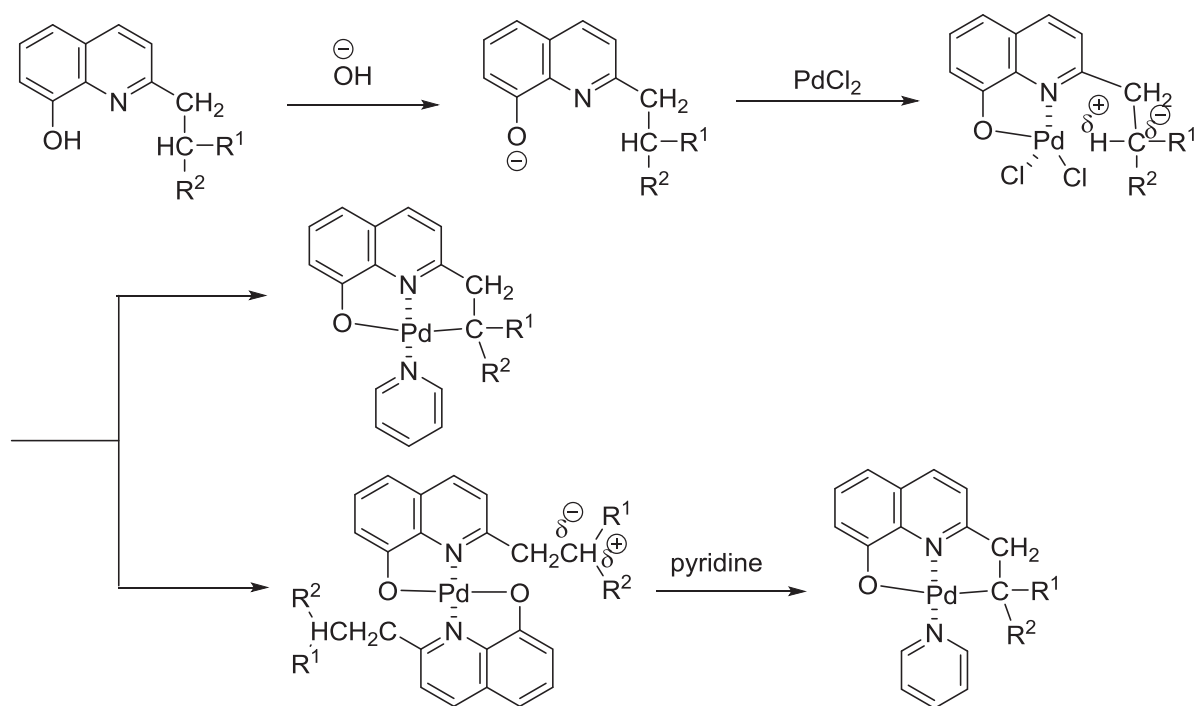


Figure 1. Non-pyridine reaction product.

Table 1. Yield and ¹H NMR spectrum of compounds

Compounds	C _α H ₂	C _β H	esterCH ₃	COCH ₃	Yield (%)
2a ⁶⁾	3.68 (d, 2H, <i>J</i> = 7.8 Hz)	4.30 (t, 1H, <i>J</i> = 7.8 Hz)	3.79 (s, 6H)		45.0
2b	3.57 (d, 2H, <i>J</i> = 7.3 Hz)	4.54 (t, 1H, <i>J</i> = 7.3 Hz)		2.27 (s, 6H)	89.3*
2c	3.69 (dd, 1H, <i>J</i> = 5.7, 5.7 Hz) 3.90 (dd, 1H, <i>J</i> = 8.4, 8.6 Hz)	5.43 (dd, 1H, <i>J</i> = 5.7, 8.4 Hz)		2.27 (s, 3H)	19.0
2d	3.87 (d, 2H, <i>J</i> = 6.8 Hz)	6.26 (t, 1H, <i>J</i> = 6.8 Hz)			14.0
3a ⁶⁾	4.00 (s, 2H)		3.51 (s, 6H)		34.0
3b	3.22 (s, 2H)			2.21 (s, 6H)	69.0
3c	3.84 (d, 1H, <i>J</i> = 18.4 Hz) 3.92 (d, 1H, <i>J</i> = 18.4 Hz)			2.13 (s, 3H)	15.4
3d	3.67 (d, 1H, <i>J</i> = 11.7 Hz) 4.52 (d, 1H, <i>J</i> = 11.6 Hz)				14.9
4a ⁶⁾	4.00 (d, 4H, <i>J</i> = 7.6 Hz)	4.48 (t, 2H, <i>J</i> = 7.8 Hz)	3.69 (s, 12H)		10.0
4b					non
4c	3.56 (d, 2H, <i>J</i> = 6.6 Hz) 4.12 (d, 2H, <i>J</i> = 7.1 Hz)	4.91–4.93 (m, 2H)		2.04 (s, 6H)	7.0
4d	3.54–3.59 (m, 2H) 3.84–3.89 (m, 2H)	4.92–4.94 (m, 2H)			7.0

* 他と合成法が異なる (ケト : エノール = 7 : 3 混合物)



Scheme 4

Figure 1 のような化合物が得られたことより、溶液の濁りが 1 : 2 錯体であると予想され、錯体形成には 1 : 2 錯体の反応溶媒への溶解度が関与しているのではないかと、つまり 1 : 2 錯体の溶解性が高ければ 1 : 1 錯体の収率が高くなるのではないかと考えた。ここで、錯体の予想される反応機構を Scheme 4 に示す。まず、塩基(KOH)によりキノリノール 8 位 OH が O⁻になる。続いて K₂PdCl₄ を添加すると、Pd とキノリノール O⁻ が結合し、同時に N とも配位結合する。このときβ位炭素とその置換プロトンはそれぞれδ⁻とδ⁺に分極する。次いで pyridine を添加すると、β位炭素との Pd-C 結合と pyridine との Pd-N 結合が形成する(1:1 錯体)。また、2 分子目のキノリノールとの Pd-O、Pd-N 結合も形成する(1 : 2 錯体)。この時 1 : 2 錯体では溶液中で pyridine との配位子交換が起こり、1 : 1 錯体が形成する。すなわち、1 : 2 錯体の溶解性が高ければ pyridine との配位子交換が起こりやすい、つまりは 1 : 1 錯体が形成しやすいのではないかと考えた。

3.2.2 錯体の ¹H NMR について 3a のメチルエステル基のピークは 3.51 ppm、3b、3c のアセチル基のピークは 2.21、2.13 ppm であり、それぞれ配位子の 3.79、2.27、2.27 ppm と比べて高磁場シフトしており⁶⁾、β位炭素と Pd が Pd-C 結合することでエステル基の自由度が減少していることが分かる⁷⁾。また、4a のメチルエステルのピークは 3.69 ppm であり、配位子より高磁場シフトしているが、3a よりも低磁場に観察される。この事より 1 : 2 錯体には Pd-C 結合がないため、エステル基が 1:1 錯体ほどの束縛を受けていないことが分かる。しかし 4c のアセチル基のピークは 2.04 ppm であり、1 : 1 錯体よりも高磁場に吸収が見られる。これは

4c のアセチル基は隣接するベンゾイル基のベンゼン環の環電流効果を受け高磁場シフトしたと考えられる。

4. 総括

2-Chloromethyl-8-quinolinol(1)から3つの新規な2-(β-置換エチル)-8-キノリノールを合成した。これらはN、Oに加え、Cを配位原子とする三座配位子として作用した。この2-(β-置換エチル)-8-キノリノールを用いてPd(II)錯体を合成した。1 : 1 錯体および1 : 2 錯体の生成比は、β位炭素置換基のC-O-C結合の存在、および1 : 2 錯体の反応溶媒への溶解性が関与していた。¹H NMR データより、1 : 1 錯体と1 : 2 錯体におけるβ位炭素置換基の自由度は、1 : 1の方が低いことが分かった。また、β位炭素置換基にベンゼン環を持つケトン基を有する1 : 2 錯体では環電流効果が見られた。

参考文献

- 1) H. Fielder, U. Kaben, *Pharmazie*, **21**, 233 (1966).
- 2) 喜谷喜徳, 稲垣健治, *化学の領域*, **28**, 351(1974).
- 3) R. G. Taylor, L. S. O'Connell, L. W. Sheibel, *Arch. Invest. Med.*, **18**, 119 (1987).
- 4) W. D. Jhonston, H. Freiser, *J. Am. Chem. Soc.*, **74**, 5239 (1952).
- 5) S. Ohfuchi, C. Kitamura, Y. Maekawa, G. R. Newkome, A. Yoneda, *日化誌*, **1999**, 151.
- 6) A. Yoneda, G. R. Newkome, K. J. Theriot, *J. Organomet. Chem.*, **401**, 217 (1991).
- 7) S. Ohfuchi, C. Kitamura, G. R. Newkome, A. Yoneda, *日化誌*, **2002**, 201.

$\Gamma_0^{(2)}(5)$ の Siegel 保型形式

吉村 弥子*

Siegel modular forms of $\Gamma_0^{(2)}(5)$

Miko YOSHIMURA*

ABSTRACT

Siegel modular forms of degree two of weight k of level N are given explicitly for $N=1, 2$, and given under some conditions for $N=3, 4$. So it has reasons and meanings that giving them for $N=5$. This paper shows several hints on giving Siegel modular forms of $\Gamma_0^{(2)}(5)$ and show some of the forms by describing their Fourier expansions.

Keywords : $\Gamma_0^{(2)}(5)$, Siegel modular form, lifting, theta function

1. はじめに

$$H_2 = \left\{ Z = X + iY \in M_2(\mathbb{C}) \mid \begin{array}{l} X, Y \in M_2(\mathbb{R}) \\ {}^tZ = Z, Y > 0 \end{array} \right\}$$

$$\Gamma_0^{(2)}(N) = \left\{ g = \begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix} \in M_4(\mathbb{Z}) \mid \begin{array}{l} {}^tg \begin{pmatrix} 0 & -1_2 \\ 1_2 & 0 \end{pmatrix} g = \begin{pmatrix} 0 & -1_2 \\ 1_2 & 0 \end{pmatrix} \\ C \equiv 0 \pmod{N} \end{array} \right\}$$

とする。このとき H_2 上の \mathbb{C} 値正則関数 f で

$$\forall Z \in H_2, \forall g = \begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix} \in \Gamma_0^{(2)}(N)$$

に対して、

$$f\left((AZ + B)(CZ + D)^{-1}\right) = \det(CZ + D)^k f(Z)$$

を満たすものを、 $\Gamma_0^{(2)}(N)$ 上の weight k の Siegel 保型形式といい、このような f の集合は環をなす。それを $\Gamma_0^{(2)}(N)$ の保型形式環という

現在までに $\Gamma_0^{(2)}(= \Gamma_0^{(2)}(1)), \Gamma_0^{(2)}(2)$ については保型形式環が完全にわかっている。また、 $\Gamma_0^{(2)}(3), \Gamma_0^{(2)}(4)$ については、ある character を使って定義した指数 2 の部分群に関する保型形式環が具体的に与えられている。($\Gamma_0^{(2)}(1)$ については Igusa, その他については Ibukiyama らによる。) よって次に $\Gamma_0^{(2)}(5)$ の保型形式環について調べることに意味がある。具体的には、 $\Gamma_0^{(2)}(5)$ の保型形式のなす環の構造を決定し、また、その生成元となる保型形式をすべて具体的な式で構成して書き下す必要がある。

この論文では、 $\Gamma_0^{(2)}(5)$ の保型形式環についてすでに

わかっていることと保型形式のいくつかの具体的な計算方法のヒントを述べ、さらに現在までに計算できている保型形式を紹介する。

2. $\Gamma_0^{(2)}(5)$ の weight ごとの次元と $\Gamma_0^{(1)}(5)$ の様子

$A_k(\Gamma)$ を Γ に関する weight k の保型形式全体、 $S_k(\Gamma)$ を Γ に関する weight k の保型形式のうちの cusp forms 全体としたとき、 Γ に対する t を変数とする無限和 $\sum_{k=0}^{\infty} \dim A_k(\Gamma) t^k$, $\sum_{k=0}^{\infty} \dim S_k(\Gamma) t^k$ は次元公式と呼ばれており、様々な Γ に関する次元公式が Ibukiyama によりすでに計算されている。それによると、 $\Gamma_0^{(2)}(5)$ の次元公式は

$$\begin{aligned} & \sum_{k=0}^{\infty} \dim A_k\left(\Gamma_0^{(2)}(5)\right) t^k \\ &= \frac{1 + t^2 + 4t^4 + 7t^6 + 10t^8 + 10t^{10} + 3t^{11} + 10t^{12} + 6t^{13} + 6t^{14} + 10t^{15} + 3t^{16} + 10t^{17} + 10t^{19} + 7t^{21} + 4t^{23} + t^{25} + t^{27}}{(1-t^4)^2(1-t^6)(1-t^{10})} \\ &= 1 + t^2 + 6t^4 + 10t^6 + 22t^8 + 34t^{10} + \dots \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \sum_{k=0}^{\infty} \dim S_k\left(\Gamma_0^{(2)}(5)\right) t^k \\ &= \frac{t^4 + 5t^6 + 11t^8 + 14t^{10} + 3t^{11} + 14t^{12} + 6t^{13} + 9t^{14} + 10t^{15} + 5t^{16} + 10t^{17} - t^{18} + 10t^{19} - 3t^{20} + 7t^{21} - 3t^{22} + 4t^{23} + t^{25} + t^{27}}{(1-t^4)^2(1-t^6)(1-t^{10})} \\ &= t^4 + 5t^6 + 13t^8 + 25t^{10} + 3t^{11} + 44t^{12} + \dots \end{aligned}$$

*一般科 准教授

である. この式において, $\Gamma_0^{(2)}(5)$ の保型形式環およびその cusps に weight k のものが何次元分存在するのか (つまり独立なものがいくつとれるのか) が t^k の係数としてあらわれている. 例えば, weight 0,2 の保型形式は1次元 (cuspなし), weight 4 の保型形式は6次元 (うち cusp が1次元), weight 6 の保型形式は10次元 (うち5次元が cusps) であるとわかる. よってそれぞれの weight ごとにその次元分の個数の独立な保型形式を見つけることが保型形式環の構造と生成元の決定につながる.

ところで,

$$H_1 = \{z \in \mathbb{C} \mid \text{Im}(z) > 0\}$$

$$\Gamma_0^{(1)}(N) = \left\{ g = \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix} \in M_2(\mathbb{Z}) \mid \begin{array}{l} {}^t g \begin{pmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} g = \begin{pmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \\ c \equiv 0 \pmod{N} \end{array} \right\}$$

としたとき, H_1 上の \mathbb{C} 値正則関数 f で

$$\forall z \in H_1, \forall g = \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix} \in \Gamma_0^{(1)}(N)$$

に対して,

$$f\left(\frac{az+b}{cz+d}\right) = \det(cz+d)^k f(z)$$

を満たすものを, $\Gamma_0^{(1)}(N)$ 上の weight k の保型形式といい, このような f の集合は環をなす.

$N = 5$ の場合の保型形式環 $A(\Gamma_0^{(1)}(5))$ およびその cusps からなる環 $S(\Gamma_0^{(1)}(5))$ の構造とそれらの次元公式には次のような対応がある.

$$A(\Gamma_0^{(1)}(5)) = \mathbb{C}[E_2, \chi_4] \oplus f_4 \mathbb{C}[E_2, \chi_4]$$

$$\updownarrow$$

$$\sum_{k=0}^{\infty} \dim A_k(\Gamma_0^{(1)}(5)) t^k = \frac{1+t^4}{(1-t^2)(1-t^4)}$$

$$S(\Gamma_0^{(1)}(5)) = \chi_4 A(\Gamma_0^{(1)}(5))$$

$$\updownarrow$$

$$\sum_{k=0}^{\infty} \dim S_k(\Gamma_0^{(1)}(5)) t^k = \frac{t^4(1+t^4)}{(1-t^2)(1-t^4)}$$

ここで, $q = e^{2\pi i \tau}$ として,

$E_2 = E_2(\tau) = 1 + 6q + 18q^2 + 24q^3 + 42q^4 + \dots$ は weight 2 の保型形式, $\chi_4 = \chi_4(\tau) = q - 4q^2 + 2q^3 + 8q^4 - \dots$ と $f_4 = f_4(\tau) = -24 + 240q + 2160q^2 + 6720q^3 + \dots$ は weight 4 の保型形式で, χ_4 は cusp form である.

この対応と, $\Gamma_0^{(2)}(5)$ の次元公式と $\Gamma_0^{(2)}(5)$ の保型形式環の構造には類似性が有るのではないかと考えられている.

3. $\Gamma_0^{(2)}(5)$ の保型形式の具体的な構成について

$\Gamma_0^{(2)}(5)$ の保型形式の構成方法として, Eisenstein級数, Theta定数, 球関数付き theta関数, 微分作用素を使う方

法, Hecke作用素を使う方法, liftingによる方法などが知られている. ここでは, 第4章で示す保型形式を計算した方法である lifting で使った $\Gamma_0^{(1)}(5)$ の Jacobi forms と, 球関数付き theta関数を具体的に構成した際に使った行列などを示す.

3.1 liftingする $\Gamma_0^{(1)}(5)$ の Jacobi forms $\Gamma_0^{(2)}(5)$ の保型形式は, $\Gamma_0^{(1)}(5)$ の Jacobi forms の Saito-Kurokawa lifting によっても作られる. ここでは, $\Gamma_0^{(1)}(5)$ の Jacobi forms のなす空間 $J_{k,1}(\Gamma_0^{(1)}(5)^J)$ を具体的に示す.

$$J_{k,1}(\Gamma_0^{(1)}(5)^J) = A(\Gamma_0^{(1)}(5)) f_{2,1} \oplus \mathbb{C}[E_2, \chi_4] \chi_{4,1} \oplus \mathbb{C}[E_2, \chi_4] E_{4,1}$$

ここで, $q = e^{2\pi i \tau}$, $\zeta = e^{2\pi i z}$ として,

$$f_{2,1} = f_{2,1}(\tau, z) = 1 + \left(\frac{1}{\zeta^2} + \frac{2}{\zeta} + 2\zeta + \zeta^2\right) q + \left(\frac{6}{\zeta} + 6 + 6\zeta\right) q^2 + \left(\frac{2}{\zeta^3} + \frac{6}{\zeta^2} + 8 + 6\zeta^2 + 2\zeta^3\right) q^3 + \dots$$

$$\chi_{4,1} = \chi_{4,1}(\tau, z) = \left(\frac{1}{2\zeta} + \frac{\zeta}{2}\right) q + \left(-\frac{3}{2\zeta} - 1 - \frac{3\zeta}{2}\right) q^2 + \left(\frac{1}{2\zeta^3} - \frac{1}{\zeta^2} + 3 - \zeta^2 + \frac{\zeta^3}{2}\right) q^3 + \dots$$

$$E_{4,1} = E_{4,1}(\tau, z) = 1 + \left(\frac{1}{\zeta^2} + \frac{56}{\zeta} + 126 + 56\zeta + \zeta^2\right) q + \left(\frac{126}{\zeta^2} + \frac{576}{\zeta} + 756 + 576\zeta + 126\zeta^2\right) q^2 + \dots$$

である.

3.2 球関数付き theta関数で使った行列 この論文における計算では, level $q = 5$, $\det F = 25$ である次の行列

$$F = \begin{pmatrix} 2 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 10 & 5 \\ 0 & 1 & 5 & 4 \end{pmatrix}$$

を使っている. まず, ${}^t \xi F \xi = O$ の解 $\xi \in M_{4,2}(\mathbb{C})$ を探す. その解を $\xi_{i,j}$ として,

$$Tk[k; i, j] = \sum_{N \in M_{2,4}(\mathbb{Z})} (\det(NF\xi_{i,j}))^{k-2} e^{\pi i \text{tr}(NF^tNZ)}$$

を計算したものが0にならないければ, それが求める weight k の球関数付き theta関数の一つである. ここ

で $Z = \begin{pmatrix} \tau & z \\ z & \omega \end{pmatrix}$ である.

さらに, $Tk[k; i, j] \neq 0$ のとき, その実部 $Tkr[k; i, j]$ と虚部 $Tki[k; i, j]$ ももちろん球関数付き theta関数である.

なお, 球関数付き theta関数を求めるために, この論文では以下のベクトルを用いて $\xi_{i,j} = ({}^t m[i] \ {}^t m[j])$ とした.

$$\begin{aligned}
 m[3] &= (\sqrt{5}, -2\sqrt{5}, \sqrt{3}i, 0) \\
 m[5] &= (5, 0, \sqrt{5}i, 0) \\
 m[9] &= (\sqrt{5} - i, \sqrt{5} + 2i, 3i, -3i) \\
 m[27] &= (3\sqrt{5} - \sqrt{15} - (3 - \sqrt{3})i, \\
 &\quad 2(3 - \sqrt{3})i + 2\sqrt{15}, \\
 &\quad 6i, -3(3 - \sqrt{3})i)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &(L_5(f_{2,1}))^2 \\
 &= \frac{1}{36} + \frac{q}{3} + 2q^2 + \frac{22q^3}{3} + \frac{58q^4}{3} + \frac{115q^5}{3} + \dots \\
 &\quad + \left(\frac{1}{3} + \left(\frac{1}{3\zeta^2} + \frac{2}{3\zeta} + 2 + \frac{2\zeta}{3} + \frac{\zeta^2}{3} \right) q + \dots \right) w \\
 &\quad + \left(2 + \left(\frac{2}{\zeta^2} + \frac{6}{\zeta} + 8 + 6\zeta + 2\zeta^2 \right) q + \dots \right) w^2 \\
 &\quad + \dots
 \end{aligned}$$

4. 具体的に計算した Siegel 保型形式

ここからは、計算され、Fourier展開を具体的に書き下された $\Gamma_0^{(2)}(5)$ の Siegel 保型形式を各 weight k ごとに示す。ここで、 $q = e^{2\pi i\tau}$, $\zeta = e^{2\pi iz}$, $w = e^{2\pi iw}$ である。

4.1 $k=0$ weight 0 の保型形式は1次元, cusp はない。しかもそれは定数関数, 即ち, $f = \text{“定数”}$ である。

4.2 $k=2$ weight 2 の保型形式も1次元で cusp はない。そのひとつとして, $f_{2,1}$ の lifting $L(f_{2,1})$ を取れる。

$$\begin{aligned}
 &L_5(E_2f_{2,1}) \\
 &= -\frac{31}{60} + q + 9q^2 + 28q^3 + 73q^4 + q^5 + 252q^6 + \dots \\
 &\quad + \left(1 + \left(\frac{1}{\zeta^2} + \frac{2}{\zeta} + 6 + 2\zeta + \zeta^2 \right) q + \dots \right) w \\
 &\quad + \left(9 + \left(\frac{6}{\zeta^2} + \frac{18}{\zeta} + 24 + 18\zeta + 6\zeta^2 \right) q + \dots \right) w^2 \\
 &\quad + \dots
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &L_5(f_{2,1}) \\
 &= \frac{1}{6} + q + 3q^2 + 4q^3 + 7q^4 + q^5 + 12q^6 + 8q^7 \dots \\
 &\quad + \left(1 + \left(\frac{1}{\zeta^2} + \frac{2}{\zeta} + 2\zeta + \zeta^2 \right) q + \left(\frac{6}{\zeta} + 6 + 6\zeta \right) q^2 \right. \\
 &\quad \quad \left. + \left(\frac{2}{\zeta^3} + \frac{6}{\zeta^2} + 8 + 6\zeta^2 + 2\zeta^3 \right) q^3 + \dots \right) w \\
 &\quad + \left(3 + \left(\frac{6}{\zeta} + 6 + 6\zeta \right) q \right. \\
 &\quad \quad \left. + \left(\frac{3}{\zeta^4} + \frac{6}{\zeta^3} + \frac{12}{\zeta^2} + \frac{6}{\zeta} + 6\zeta + \dots \right) q^2 + \dots \right) w^2 \\
 &\quad + (\dots)w^3 + \dots
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &L_5(E_{4,1}) \\
 &= -\frac{31}{60} + q + 9q^2 + 28q^3 + 73q^4 + q^5 + 252q^6 + \dots \\
 &\quad + \left(1 + \left(\frac{1}{\zeta^2} + \frac{56}{\zeta} + 126 + 56\zeta + \zeta^2 \right) q + \dots \right) w \\
 &\quad + \left(9 + \left(\frac{126}{\zeta^2} + \frac{576}{\zeta} + 756 + \dots \right) q + \dots \right) w^2 \\
 &\quad + \dots
 \end{aligned}$$

4.3 $k=4$ weight 4 の保型形式は6次元あり, そのうち1次元が cusp である。現在までに cusp が1つと独立な non-cusp が3つ見つかった。具体的には, cusp として $\chi_{4,1}$ の lifting $L_5(\chi_{4,1})$ があり, non-cusp として $k=2$ の non-cusp を2乗した $(L_5(f_{2,1}))^2$, $E_2f_{2,1}$ の lifting $L_5(E_2f_{2,1})$, $E_{4,1}$ の lifting $L_5(E_{4,1})$ がある。なお, cusp は球関数付き theta 関数としても構成できるが, 当然ながら lifting で得られるものと同じものである。

4.4 $k=6$ weight 6 の保型形式は10次元で, そのうち cusps が5次元である。

今までに独立な cusps が5つ計算できているので, cusps は本質的には全て見つかったと言える。独立な5つとして, weight 2 の non-cusp と weight 4 の cusp の積 $L_5(f_{2,1}) \times L_5(\chi_{4,1})$, $\chi_{4,1}$ の lifting $L_5(\chi_{4,1})$, 球関数付き theta 関数 $Tk[6; 5, 9]$ の実部の $Tkr[6; 5, 9]$, 球関数付き theta 関数 $Tk[6; 3, 27]$ の実部の $Tkr[6; 3, 27]$ と虚部の $Tki[6; 3, 27]$ を取れる。

$$\begin{aligned}
 &L_5(\chi_{4,1}) \\
 &= \left(\left(\frac{1}{2\zeta} + \frac{\zeta}{2} \right) q + \left(-\frac{3}{2\zeta} - 1 - \frac{3\zeta}{2} \right) q^2 + \dots \right) w \\
 &\quad + \left(\left(-\frac{3}{2\zeta} - 1 - \frac{3\zeta}{2} \right) q + (\dots) q^2 + \dots \right) w^2 \\
 &\quad + \dots
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &L_5(f_{2,1}) \times L_5(\chi_{4,1}) \\
 &= \left(\left(\frac{1}{12\zeta} + \frac{\zeta}{12} \right) q + \left(\frac{1}{4\zeta} - \frac{1}{6} + \frac{\zeta}{4} \right) q^2 + \dots \right) w \\
 &\quad + \left(\left(\frac{1}{4\zeta} - \frac{1}{6} + \frac{\zeta}{4} \right) q + \dots \right) w^2 \\
 &\quad + \dots
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & L_5(\chi_4 f_{2,1}) \\
 = & \left(q + \left(\frac{1}{\zeta^2} + \frac{2}{\zeta} - 4 + 2\zeta + \zeta^2 \right) q^2 + \dots \right) w \\
 & + \left(\left(\frac{1}{\zeta^2} + \frac{2}{\zeta} - 4 + 2\zeta + \zeta^2 \right) q + \dots \right) w^2 \\
 & + \dots \\
 & \text{Tr}[6; 3, 27] \times \text{ある定数} \\
 = & \left(\left(\frac{1}{\zeta} + \zeta \right) q + \left(\frac{\frac{1351}{27} + \frac{190}{3\sqrt{3}}}{\zeta} + \dots \right) q^2 + \dots \right) w \\
 & + \left(\left(\frac{\frac{1351}{27} + \frac{190}{3\sqrt{3}}}{\zeta} + \left(\frac{916}{27} + \frac{160}{3\sqrt{3}} \right) + \dots \right) q \right. \\
 & \left. + \left(\frac{\frac{1351}{27} + \frac{190}{3\sqrt{3}}}{\zeta^3} + \frac{\frac{1829}{54} - \frac{455}{9\sqrt{3}}}{\zeta^2} + \dots \right) q^2 + \dots \right) w^2 \\
 & + \dots
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \text{Tr}[6; 5, 9] \times \text{ある定数} \\
 = & \left(\left(\frac{27}{\zeta} + 27\zeta \right) q + \left(\frac{91}{\zeta} - 74 + 91\zeta \right) q^2 + \dots \right) w \\
 & + \left(\left(\frac{91}{\zeta} - 74 + 91\zeta \right) q + \dots \right) w^2 \\
 & + \dots
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \text{Ti}[6; 3, 27] \times \text{ある定数} \\
 = & \left(\left(\frac{1}{\zeta} - 2 + \zeta \right) q^2 + \left(-\frac{2}{\zeta^2} + 4 - 2\zeta^2 \right) q^3 + \dots \right) w \\
 & + \left(\left(\frac{1}{\zeta} - 2 + \zeta \right) q + \left(\frac{1}{\zeta^3} + \frac{\frac{3}{2} - \frac{5\sqrt{3}}{2}}{\zeta^2} + \dots \right) q^2 + \dots \right) w^2 \\
 & + \dots
 \end{aligned}$$

また, non-cusps は3次元分見つかった。構成できた non-cusps はさらに多くあるが, 独立でないものを除くと3つしか残らなかった。それらの3つの取り方は色々あるが, 環の構造を意識して, 例えば weight 2 の non-cusp の3乗である $(L_5(f_{2,1}))^3$, weight 2 の non-cusp と weight 4 の non-cusp の積である $L_5(f_{2,1}) \times L_5(E_2 f_{2,1})$, $E_2^2 f_{2,1}$ の lifting $L_5(E_2^2 f_{2,1})$ を取ることができる。

$$\begin{aligned}
 & (L_5(f_{2,1}))^3 \\
 = & \frac{1}{216} + \frac{q}{12} + \frac{3q^2}{4} + \frac{13q^3}{3} + \frac{217q^4}{12} + \frac{697q^5}{12} + \dots \\
 & + \left(\frac{1}{12} + \left(\frac{1}{12\zeta^2} + \frac{1}{6\zeta} + 1 + \frac{\zeta}{6} + \frac{\zeta^2}{12} \right) q + \dots \right) w \\
 & + \left(\frac{3}{4} + \left(\frac{1}{\zeta^2} + \frac{5}{2\zeta} + \frac{13}{2} + \dots \right) q + \dots \right) w^2 \\
 & + \dots
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & L_5(f_{2,1}) \times L_5(E_2 f_{2,1}) \\
 = & -\frac{31}{360} - \frac{7q}{20} + \frac{19q^2}{20} + \frac{73q^3}{5} + \frac{1351q^4}{20} + \dots \\
 & + \left(-\frac{7}{20} + \left(-\frac{7}{20\zeta^2} - \frac{7}{10\zeta} + 3 - \frac{7\zeta}{10} - \frac{7\zeta^2}{20} \right) q + \dots \right) w \\
 & + \left(\frac{19}{20} + \left(\frac{3}{\zeta^2} + \frac{39}{10\zeta} + \frac{189}{10} + \dots \right) q + \dots \right) w^2 \\
 & + \dots \\
 & L_5(E_2^2 f_{2,1}) \\
 = & \frac{781}{126} + q + 33q^2 + 244q^3 + 1057q^4 + q^5 + \dots \\
 & + \left(1 + \left(\frac{1}{\zeta^2} + \frac{2}{\zeta} + 12 + 2\zeta + \zeta^2 \right) q + \dots \right) w \\
 & + \left(33 + \left(\frac{12}{\zeta^2} + \frac{30}{\zeta} + 78 + \dots \right) q + \dots \right) w^2 \\
 & + \dots
 \end{aligned}$$

4.5 k=8以上 $k = 8$ の保型形式の次元は22であり, そのうち cusps が13次元である。現在までに cusps が11次元分, non-cusps が5次元分決定できている。これ以上の weight を持つ保型形式についても計算を進めている。

5. 最後に

现阶段ではまだ $\Gamma_0^{(2)}(5)$ の保型形式環の全体像をとらえられる状況には至っていないが, 徐々に計算は進められている。

ところで計算には計算機上で mathematica をソフトとして使用しているが, 本来, 無限和であるものをかなりの次数まで計算しているため, 相当な計算時間を要する。実際, この論文にある程度の低い weight のものでも計算に数時間以上かかったものもあるため, 今後 weight が高くなれば1つの保型形式の計算に日単位の時間がかかることが予想される。より効率的な計算方法を模索すると共に, 環の構造を考えることによって計算量を減らせるように工夫してゆきたい。

参考文献

- (1) M.Eichler, D.Zagier : “The Theory of Jacobi Forms”, Progress in Mathematics, Vol.55, 1985.
- (2) E.Freitag : “Siegelsche Modulfunktionen”, Grundlehren der Mathematischen Wissenschaften 254. Springer-Verlag, Berlin, 1983.
- (3) 伊吹山知義 : 「Siegel保型形式入門と保型形式環」, 第1回保型形式周辺分野スプリングコンファレンス報告集「保型形式環」, pp.1-42, 2002.
- (4) T.Ibukiyama : “Saito-Kurokawa liftings of level N and practical construction of Jacobi forms”, Kyoto Journal of Mathematics, Volume 52, Number 1, pp.141-178, 2012

契丹国（遼朝）時代の陶枕について －陶磁器における唐宋時代の継承と断絶－

町田 吉隆*

A study of the ceramic pillows in the Kitai -Succession and break between the Tang and the Sung period

Yoshitaka MACHIDA*

ABSTRACT

We are able to find out a unique style in the Kitai (契丹) Pottery. There is a theory which has been generally called. These styles are similar to the pottery in the Tang Dynasty (唐朝) rather than the pottery in the Northern Sung Dynasty (北宋朝) of the same era (A.D.10-12c). In other words, the style of the Kitai pottery is the border character. Is its character of the Kitai pottery which has been expressed concretely? This paper will survey one of characteristics of the Kitai pottery. It's checked taking the Pillows of the pottery for instance.

Keywords : pottery, Kitai, China, history

1. はじめに

現行の高校教科書において、唐代と宋代における文化の相違点を説明する際に、陶磁器を例として取り上げているものがある。たとえば「唐代を代表する陶磁器の唐三彩と、宋代を代表する白磁・青磁をくらべてみると、色彩豊かで具象的な唐三彩に対し、宋の白磁・青磁はすっきりした理知的な美しさをもっている。それは、外面的な装飾をそぎ落とし、ものごとの本質に直接せまろうとする宋代文化の特徴をあらわしている。」(木村・佐藤・岸本 2012) という内容である。他にも唐代においては「唐三彩」が取り上げられ、「華やか、貴族的、国際的」な社会の象徴として、宋代においては白磁（定窯）や青白磁（影青・景德鎮窯）が大量に生産され、「簡潔清廉、士大夫的、経済的な発展」が説明される。

陶磁器における唐宋変革をポリクロームからモノクロームへの嗜好の変化と捉えることは日本の陶磁器研究の中でも指摘されてきたし（佐藤雅彦 1978）、また宋代 10 世紀以降の変化を「士大夫の時代、庶民文化の隆盛」から説くことは歴史学・美術史学双方の共通認識でもあった（愛宕松男 1987、矢部良明 1992）。その

* 一般科 教授

中で、戦前には「宋三彩」と呼ばれたが、実際には 12 世紀以降、金朝支配下の華北で盛行したポリクロームの陶磁器は「北方騎馬民族の好み」が反映されたものと説明され、例外的現象とされることもあった（佐藤雅彦 1978）。

報告者は契丹国（遼朝）の陶磁器について学習する過程で、契丹国の絵画（主には壁画を資料とする）が同時期の北宋支配下のそれに比べ、「周縁性」を有するという見解（小川裕充・弓場紀知 1998）に触発され、陶磁器においても、そのような傾向が見られるかどうか検証を続けている。この報告では唐代 8 世紀より継続して華北で生産されていた器種（form）である陶枕を取り上げ、契丹国（遼朝）における陶枕と対比することで、唐代と宋代における陶磁器史における変容の実相と契丹国（遼朝）の「周縁性」について考えてみたい。

2. 唐代の陶枕

報告者が初めて陶枕という器種を見たのは 1984 年に大阪市立東洋陶磁美術館で開催された「楊永徳収蔵中国陶枕」であった。同展図録に所載の「中国の陶枕－唐より元へ」において三上次男氏は初・盛唐（7 世

紀初~8世紀前半)の陶枕について「この箱形の器具は、ほとんど広義の唐三彩か絞胎磁に属しており、前者は白地の上に型押しされた(印花)宝相華・唐草・小花繋ぎなどの植物文、幾何文、鴛鴦その他の鳥・獣文などの文様と、緑彩・燈黄彩・藍彩などはなやかな三彩釉のおりなす色彩の組合せとによって飾られており、また後者は白土と褐土の練りあわせによって生じる木理文の上をさらに黄釉や三彩釉葉で彩っている。」と説明されている。



図1. 三彩筐形品(東京国立博物館蔵)

これらの上面の長さ11-13cm、高7-10cm程度の器については、直方体に近い筐形品(図1)と上面を凹状に湾曲させ、底面は釉葉を施さない露胎の2つの器種に分けられることが近年の研究で判明した(神野恵2010、亀井明德2013)。このうち、後者がやや大ぶりになって、中・晩唐(8世紀後半-10世紀初)、特に9世紀以降、箱形陶枕の型式(type)が定着していく。前者の用途についてはさまざまな議論があるが、ここでは枕としての機能が継承されていく後者について話を絞りたい。

中唐の人、沈既濟の『枕中記』(『文苑英華』巻833)には

翁探囊中枕以授之曰、子枕吾枕當令子適如志。其枕青瓷竅其兩端、生俛首就之見其竅。

と記されている。青磁とあるが現在見ることができる所蔵品例から類推するに、緑釉の低火度鉛釉陶の陶枕がモデルであったと思われる。陶枕の内部は空洞になっており、底面もしくは側面(背面が多い)に空気穴が開けられている。携帯可能な日常用品として、すでに8世紀後半には陶枕が生活の中に普及していたことが伺える。この話は「邯鄲の夢」として有名であるが、後、宋代には磁州窯が成立する河北省南部に近い陶磁窯では、河北省の邢州窯(河北省邢州市)と河南省の黄冶窯や白河窯(河南省鞏義市)において陶枕の生産が確認されている。特に黄冶窯では近年の調査により、三彩をはじめとする低火度鉛釉陶の陶枕が多く生産さ

れていたことがわかった(河南省鞏義文物保護管理所2003、奈良文化財研究所2003、奈良文化財研究所2006、飛鳥資料館2008)。

9世紀以降、陶枕は長沙銅官窯(湖南省長沙市)や黄堡窯(陝西省銅川市)でも生産され、特に前者では大量に生産されており、同時期には黄冶窯と共に主要な産地になっていた。また越窯(浙江省寧波市など)の諸陶磁窯でも生産が確認されている。



図2. 緑釉兔形枕(長沙銅官窯)

9世紀以降の陶枕には形象座脚枕が現れることも特筆される。象や獅子、虎、兎などの動物をかたどった上に枕面を載せる形態である(図2)。これは『旧唐書』巻34五行志に載せる辟邪のための枕を陶磁器で表現したものではないか、と思われる。

韋庶人妹七姨嫁將軍馮太和權傾人主、嘗爲豹頭枕以辟邪、白澤枕以辟魅、伏熊枕以宜男。楕圓形や如意頭形に変容していく箱形陶枕と共に二つの主流な型式として定着することになった。

3. 五代・北宋時代の陶枕

10世紀前半、五代・十国の時期には引き続き、長沙銅官窯や越窯で陶枕の生産が続けられた。特に越窯では形象座脚枕に怪獣を配置するものが見られる。唐代以来の辟邪枕の性格がより強調されたようである。

北宋時代以降、陶枕の型式は多様化する。従来の箱形陶枕は楕圓形、腰円形、如意頭形など丸みを帯びるものと、長方形や束腰形など角隅を強調する形態に分かれる。また形象座脚枕には、枕面を広げ座脚をシンプルにしたもの(如意頭形台付枕、図3)と童子像や婦人像を座脚とする型式が現れた。また獅子や虎、童子など形象そのものの背面を枕面とする形象枕も出現した。

これらの陶枕は景德鎮窯(江西省景德鎮窯)や黄堡窯が発展した耀州窯(陝西省銅川市)など青白磁や青磁を焼造した陶磁窯でも作られたが、多くは磁州窯(河北省邯鄲市)に代表される現在の河北省南部、河南省

北部、山西省、山東省、安徽省の一部にまたがる磁州窯系陶磁窯群で生産された。

張耒『柯山集』卷十「謝黃師是惠碧瓷枕」では、鞏義県で作られた陶枕で夏の夜の炎暑を避けることができるが、老いて眠りが浅いと嘆く。

鞏人作枕堅且青、故人贈我消炎蒸。持之入室涼風生、腦寒髮冷泥丸驚。
 夢入瑤都都玉城、仙翁支頤飯未成。鶴鳴月高夜三更、報秋不勞桐葉聲。
 我老耽書睡苦輕、遶牀惟有書縱橫。不如華堂併玉屏、寶鈿敲斜雲髻傾。

（武英殿聚珍版集本）

張耒の生没年（1054年－1114年）から考えると11世紀末から12世紀初めになお鞏義で焼造を続けている窯場があったことが推測される。



図3. 白地黒花如意頭形枕（静嘉堂美術館所蔵）

同時期の女流詩人である李清照も「笑語檀郎、今夜紗幮、枕簟涼」（「采桑子」、詞牌「攤破浣溪紗」）や「佳節又重陽、玉枕紗幮、半夜涼初透」（「醉花陰」、共に『漱玉集』所収）と詞中に陶枕を涼夜の風趣として述べるし、歐陽脩は王安石が陶枕は夏の午睡に効用があると述べたと記す。

介甫嘗云。夏用昼睡方枕爲佳、其何理。云睡久氣蒸枕熱則轉一方冷處。

（『試筆』百川學海本）

前者は廬陵の、後者は臨川と共に江南西路（現在の江西省）の出身ではあったが、鉅鹿県（河北省邢台市）からは「崇寧二年新婿」「長命枕」と記した如意頭形台付枕（崇寧二年は1103年）が出土しているから、華北も含む全国で用いられていたことがわかる（李詳著、張厚璜 1923）。読書人の間では風趣のある器物として受容されていたのであろう。後、明代の『考槃餘事』では副葬品として用いられたものとして認識されており、この間に生活の中で用いられる道具としての陶枕に対する認識は大きく変容したと考えられる。

4. 金代・南宋時代以降の陶枕

袁豊氏の編年によれば、磁州窯系では北宋時代には線彫り（剔刻）や白地掻き落とし（剔花）など工程数の多い技法が用いられたが、時代が下がるにつれて、スタンプで文様を印刻する技法（印花）や特に鉄絵具で釉薬の下に文様を描く技法（鉄絵）が増加するとされている。磁州東義口村窯のように鉄絵の陶枕を多く、生産していた陶磁窯もあれば、河南省新安県窯のように鉄絵技法の例が見られないところもある。また14世紀以降に見られる白地鉄絵の上にコバルト釉をかけて、他の陶磁窯では類例が無い翠青の陶磁器を焼造していた禹県扒村窯（河南省）など、陶磁窯の生産活動期指標ともなる。



図4. 三彩詩文枕（白鶴美術館所蔵）

12世紀半ば、磁州窯系陶磁窯の多くが金朝の支配下に入った時期には花鳥画や詩文、風景などが鉄絵で自在に描かれるようになる（図4）。図録などで最も取り上げられるのがこの時期の陶枕であり、日本を含む各地の所蔵品にもその数は多い。

南宋の支配下では吉州窯（江西省）でやはり鉄絵の陶枕が多く生産されたが、同時期に活発に生産しており、貿易陶磁として日本でも出土例の多い龍泉窯系（浙江省）の陶磁窯では出土陶磁片や所蔵品もほとんど例がない。また至治3年（1323）以降に遭難した韓国新安沖の元代沈没船（京都・東福寺の荷札も確認されている）に景德鎮窯の青白磁婦人座脚枕が見られるが、12世紀以降の出土品や所蔵品には類例が少ない。

明代16世紀後半の人、屠隆の『考槃餘事』巻四、枕の条に

舊窰枕。長二尺五寸、闊六寸者可用。長一尺者謂之尸枕、乃古墓中物。雖宋磁白定亦不可用。

（龍威秘書本）

盗掘された陶枕が骨董として流通していたことを示唆するが、これは同時代には風趣を帯びた陶枕が生産されていなかった事情も伺わせる。清代19世紀初めの藍浦『景德鎮陶録』巻十には、

昔尚瓷枕、暑月用之必佳。今鎮只有孩児枕。として、陶枕の生産・使用が廃れていたことを記している。

もちろん陶枕そのものは現在も中国において、土産物などとして製造・販売されているが、唐代8世紀以降続いた陶枕の生産は14世紀以降には10世紀から13世紀にかけて生産の中心であった華北の磁州窯系陶磁窯を含めて衰微してしまったことは確かなようである。

5. 契丹国(遼朝)時代の陶枕

中国遼寧省および内蒙古自治区の博物館、文物保存機関を訪問すると、その所蔵陶磁器の中に陶枕がよく見られる。

その型式は方形の台座に方形凹面状の枕面を載せ、側面に文様が施され、枕面は無文か花卉文が印刻される。高さ8~11cm前後、枕面長15~20cm前後、枕面幅8~12cm前後、底面は長さ、幅とも1~3cm短くなる。ほぼ、この型式のみである(図5)。

遼寧省博物館所蔵の白地鉄絵虎枕を契丹国(遼朝)時代に比定する図録もあるが、形象虎枕は他に例を見ず、金代まで時代を下げる、あるいは枕と異なる用途、獣座である可能性も検討する必要があるように思われる。



図5. 白釉方形枕(遼上京博物館所蔵・中国内蒙古自治区巴林左旗)

出土品のうち、調査報告で確認できるものとしては、①内蒙古自治区通遼市二林場遼墓出土の白釉方形枕前後の側面に仙人騎鳥と雲文と草木文、左右側面に舞踏仙人を印刻(陽刻)。

(張柏忠「内蒙古通遼県二林場遼墓」『文物』1985-3、pp.56-62)

②河北省尚義県岡圖村石棺墓出土の白釉方形枕前後の側面に花卉文と伏鹿文、左右側面に双蝶文を印刻(陽刻)。型式や釉薬と胎土の剥離の状態などは河北井陘窯(河北省石家庄市)に類似しているが、枕面の張り出しと側面や枕面の文様装飾は全く異なる。

③内蒙古巴林右旗和布特哈達墓出土の黄釉方形枕

側面四方に菊花文を印刻(陰刻)して、底面を除く全面に黄色釉を施す。

(趙連季「遼代黄釉菊花枕」『内蒙古文物考古』2000-3、p69)

④内蒙古札魯特旗浩特花遼代壁画墓出土の緑釉方形枕の残欠

施釉は白釉か黄釉、緑釉の単色であり、これは実見できた所蔵品も含め共通している。色釉を合わせる三彩釉の陶枕は見られない。

(中国社会科学院内蒙古考古研究所内蒙古工作队ほか「内蒙古札魯特旗浩特花遼代壁画墓」『考古』2003-1、pp.3-14)

契丹国(遼朝)統治下の陶磁窯で陶枕を焼造していたことが確認されるのは赤峰缸瓦窯(内蒙古自治区赤峰市)と北京龍泉務窯(北京市門頭溝区)である。詳細な発掘調査報告のある北京龍泉務窯の出土状況は以下の通りである。

◇二期(11世紀前半)

未施釉、低火度素焼された長方形枕の残片で、側面には櫛齒文で区画した中に牡丹文を印刻(陽刻)している。報告書では三彩陶枕の半製品と推測している。

◇三期(11世紀後半-12世紀初)

13点の陶枕片が確認されており、うち8点の長方形枕は完形への復元が不可能であるが、側面に手に持つ棒に瓢箪をぶら下げて座る人物が印刻(陽刻)されているものがある。残長10cm。他に枕面に芍薬文、牡丹文を印刻(陽刻)した残片もある。

2点は蓮形枕面台付枕の残片。3点が凹状枕面方形枕(報告書は元宝枕と記す)の残片で池水面に魚が跳ね、蓮花が水面上につきだしている様子を印刻(陽刻)している。

いずれも素焼きの状態、完成後の釉色はわからないが、墓葬出土、所蔵品の凹状枕面方形枕と類似している。また文様に脱俗、仙界を思わせるモチーフを用いている点も特徴的である。

◇四期(12世紀)

13点の陶枕片のうち、7点は復元不可能な方形枕片で区画された枕面に蓮花文が線彫りされている。いずれも未施釉。2点は角の丸い緑釉方形枕の残片で牡丹文が線彫りされている。4点の残片は蓮花形枕面形象座脚枕として復元可能で、座脚は円筒に亀四匹が背中合わせに座る上に枕面を載せる形態である。形象座脚枕ではあるが鞏義三彩枕や長沙銅官窯のそれとはかなり異なる。枕面には蓮葉文が線彫りされるが未施釉である。

四期は金代に属すると考えられるので、北京龍泉務窯では少数の蓮形枕面台付枕が確認される以外はいずれも長方形枕、特に復元可能なそれは凹状枕面方形枕(元宝枕)であった。

資料数の不足は否めないが、墓葬出土品や各所蔵品の凹状枕面方形枕（元宝枕）は文様の印刻（陽刻）、モチーフなどから 11 世紀後半－12 世紀初と比定できるであろう。彭善国氏は五代後梁墓出土の陶枕との比較から 10 世紀前半に比定しているが（彭善国 2003、p176）、その生産時期を下げて考える必要があるように思う。釉薬の状態における類似を指摘した先述の河北井陘窯に多くみられる型式を裴豊氏が 11 世紀後半－12 世紀初に編年していることもそれを裏付けるであろう（裴豊 1980、pp.82-83）。

しかし、河北井陘窯はもとより同時期の北宋磁州窯系陶磁窯では多種多様な技法、型式が用いられており、それらの影響は陶枕に関する限り、契丹国（遼朝）の陶磁器には見られない。

6. むすび

契丹国（遼朝）時代の陶枕の特色をまとめてみる。

- ① 白色釉、緑釉、黄釉の単色の凹状枕面方形枕が多く、蓮花形台付枕が見られる。
- ② 枕面は無文か花卉文を印刻、側面には人物、池、蓮、瓢箪、魚、鳥などを印刻、いずれも印刻で文様を描く。特に側面は陽刻で神仙的とも言えるモチーフが描かれる。
- ③ 唐代の陶枕との関連では方形小型枕という型式を継承しているが、やや大きくなっており（最大長 20cm）、枕面の湾曲・張り出しも大きい。9-10 世紀以降に盛行、北宋時代にも継承された型式である形象座脚枕は見られない。
- ④ 同時代の五代、北宋時代に磁州窯系陶磁窯で焼成された如意頭台付枕や腰円枕など多様な型式が発達した。枕面最大長が 25cm 以上になるような陶枕も現れるが、これらは隣接していた契丹国（遼朝）の世界では例を見ない。また同時代の磁州窯系では白化粧土を掻き落としたり、鉄絵具を充填したりする彫刻的な技法が多く用いた「白と黒」のコントラストが流行するが、唐代に盛行した低火度鉛釉陶器を陶枕を含めて焼造していた契丹国（遼朝）時代の陶磁窯とは大いに異なっていた。
- ⑤ 金朝支配下の華北で陶枕生産は再び緑釉や黄釉を用いるようになり、鉄釉から作られる黒や朱色と共に、ポリクロームの時代を迎える。ただし、低火度鉛釉陶器という点では共通するものの、契丹国（遼朝）時代の陶枕と 12 世紀以降の陶枕の間には継承関係は観察されない。

中国陶磁史上の唐宋時代における画期について、大勢としては還元焰焼成する青磁や青花に主流が移っていくことはあったが、10 世紀以降も華北を中心に酸化焰で焼成する陶磁器、特に低火度鉛釉陶器が晩唐・五代、北宋・契丹国（遼朝）、金朝・南宋時代にも継続し

て生産され、使用されていた。ただし、陶枕という器種に限って観察してみても、これらの地域間の相互関係・前後の時代における継承関係は明瞭とは言い難い。たとえば、9-10 世紀の唐代に盛行した唐三彩の形象座脚陶枕と金代 12 世紀に現れる形象虎枕を、契丹国（遼朝）の陶枕がつなぐ要素はなさそうである。

また「周縁性」の問題に関しても、長江中流域の長沙銅官窯（湖南省）の影響を受けて、上流域の邛窯（四川省邛崃市）でも方形陶枕を作るようになり、北宋初めまで継続したような関係は「周縁性」として説明できるであろう。鞏義諸窯（河南省）の三彩陶枕と契丹国（遼朝）の陶枕との間には具体例に基づく継承関係を今回は見いだせなかったが、契丹国（遼朝）の低下度鉛釉陶器の淵源は、唐代以降の河南・河北の陶磁窯に遡って考えていくより方法が無いように思われる。工人が移動することによって生産技法と共に陶磁器の様式（style）にも影響が生じるだろう。ただし契丹国（遼朝）の陶枕に限って言えば、「周縁性」というよりは断絶したところに、独特の様式を生み出したようである。

陶枕のうち、完形を保つ所蔵品の多くが墓葬からの出土品であったと思われる。しかし遼墓からの出土例は他の器種に比べ多くはない。宣化遼墓など残存状況の比較的良好な墓葬からの出土例も少なく、副葬されることが少なかったことも想像される。では、どのような階層の人々が、どのように使用していたのか。まだわからないことは多く、大方の示教を請う所以である。

参考文献

- 李詳耆、張厚璜 1923『鉅鹿宋器叢録 第 1 編』天津博物院、第三十三葉
- 黒田源次、杉村勇造 1966『遼の陶磁 陶器全集 14』平凡社
- 杉村勇造 1974『遼の陶磁 陶磁体系 40』平凡社
- 佐藤雅彦 1978『中国陶磁史』平凡社
- 裴豊 1980「Freedom of Clay and Brush through Seven Centuries in Northern China: Tz'u-chou Type Wares 960-1600 A.D.」Indianapolis Museum of Art
- 馮先銘他 1982『中国陶瓷史』文物出版社
- 蕭湘他 1982『長沙銅官窯』上海人民美術出版社・美乃美
- 村上哲見 1984「陶枕詞考」『奈良女子大学文学部研究年報』28
- 三上次男 1984「中国の陶枕－唐より元へ」『楊永徳収蔵 中国陶枕』大阪市立東洋陶磁美術館、のち 1989『中国陶磁史研究』pp.222-238
- 愛宕松男 1987「宋代の文化と陶瓷」『愛宕松男東洋史学論集 1 中国陶瓷産業史』pp.190-221
- 陝西省考古研究所 1992『唐代黄堡窯址』上下 文物出

版社

- 矢部良明 1992『中国陶磁の八千年』平凡社
弓場紀知 1995『三彩 中国の陶磁 3』平凡社
北京大学考古学系・河北省文物研究所・邯鄲地区文物
保管所 1997『観台磁州窯址』文物出版社
小川裕充・弓場紀知 1998『世界美術大全集 東洋編 5・
五代・北宋・遼・西夏』小学館
馮永謙 2000『中国陶瓷全集 9 遼・金・元』上海人民美
術出版社
北京市文物研究所 2002『北京龍泉務発掘報告』文物出
版社
耿宝昌 2002『邛窯古陶瓷研究』中国科学技術大学出版
社 p171
大阪市立美術館 2002『白と黒の競演—中国・磁州窯系
陶器の世界』
彭善国 2003『遼代陶瓷的考古学研究』吉林大学出版社
李紅軍 2003『遼代陶瓷—鑑定与鑑賞』江西美術出版社
河南省鞏義文物保護管理所 2003『黄冶唐三彩窯』科学
出版社
奈良文化財研究所 2003『鞏義黄冶唐三彩』奈良文化財
研究所史料第 61 冊
奈良文化財研究所 2006『黄冶唐三彩窯の考古新発見』
奈良文化財研究所史料 73 冊
飛鳥資料館 2008『まぼろしの唐代精華—黄冶唐三彩窯
の考古新発見』
河南省文物考古研究所、中国文化遺産研究院、奈良文
化財研究所 2009『鞏義白河考古新発見』大象出版社
陝西省考古研究院 2008『唐長安醴泉坊三彩窯址』文物
出版社
神野恵 2010「大安寺陶枕再考」『河南省鞏義市黄冶窯
跡の発掘調査概報 奈良文化財研究所研究報告第 2
冊』 pp.49-76
木村靖二、佐藤次高、岸本美緒『詳説世界史』山川出
版社 pp.163-164
亀井明德 2013「三彩陶枕と筐形品の形式と用途」『中
国陶瓷史の研究』 pp.221-241 六一書房
大阪市立東洋陶磁美術館 2013『定窯—優雅なる白の世
界 窯址発掘成果展』

動機づけと英語力について

上垣宗明*

A Research of the Students' Motivation and their English Ability

Muneaki UEGAKI*

ABSTRACT

This paper focuses on the relation with students' English ability, their grammatical ability and their motivation for English and its learning. To survey their motivation, a questionnaire was conducted to 120 first grade students in July 2015. Concerning their English ability, I referred to the two term exams, midterm and term exams of the first term, 2015. To evaluate their grammatical ability, I made an original test consisting of 30 questions. According to the results of two term tests, I divided them into three groups. With the statistic analysis, I analyzed their results. I found out the correlation of their English ability with their grammatical ability. Especially, the highest group had the strong correlation between them. But I could only find out the weak correlation of their English ability with their motivation. So I could say that to arouse their English ability is more necessary to increase their grammatical ability than to increase their motivation for English and its learning.

Keywords : motivation, English ability, English grammatical ability

1. はじめに

平成 27 年 4 月に神戸市立工業高等専門学校（以下、神戸高専）に入学した 1 年生 3 クラスを対象に、英語や英語学習に対する意識や動機づけ、英語の学力や英語の文法力についての調査を行った。

平成 23 年度に、新小学校指導要領⁽¹⁾が施行され、5・6 年生で、英語の授業が必修となった。今回の調査対象の学生は、6 年生の時に新学習要領に移行しており、5 年生までは旧学習要領に基づいて授業が行われていた。指導要領移行期間の学生の英語や英語学習に対する動機づけを調査できるのは、現高校 1 年生の学年、つまり、今回の調査対象となった学年だけである。この学年の学生を調査することは、今後、新学習要領で小学校の英語授業を受けた学生、そうでない学生、移行期間の学生についての英語力等を調査する際に貴重な資料になるといえる。

神戸高専は 5 年制で他の校種と比較しても修業年限が長く、英語に関する授業は 1 年生から 5 年生まで継続して実施されている。入学当初の学生の英語に対す

る学習動機をしっかりと把握しておくことは、今後、学生のニーズにあった効果的な英語教育を提供していくうえでは必要なことである。また、文法事項に関しても、中学校で学習した内容が定着しているかを確認しておくことは、授業を行っていく際に、注意すべき文法項目を指導する時の貴重な情報となる。

2. 調査について

分析対象となるデータは、2 つの試験、文法テスト、質問紙の 3 つである。試験については、平成 27 年度前期中間試験と前期定期試験のそれぞれの素点、7 月中旬に実施した英語や英語学習に対する意識や動機づけに関する質問紙 (Appendix 1)、7 月中旬に実施した文法テスト (Appendix 2) の 3 つのデータを分析対象とする。

2.1 試験について

現在では、英語力を測定するテストとして TOEIC テストが企業や教育機関などで一般的に認められている。神戸高専専攻科入試においても、2011 年度以降、当日の英語の試験に代わり、TOEIC の取得点を 100 点満点に換算し、合否の判定資料として用いている。以前の著者の調査⁽²⁾で、学校の試験と TOEIC や TOEIC Bridge のスコアの相

* 一般科 教授

関が高いことがわかった。本稿では、TOEIC スコアと関が高い学校の試験を学生の英語力を判断する資料として利用する。

中間試験は平成 27 年 6 月 15 日月曜日の 1 時間目に実施された。3 クラスとも全員出席しており、120 名が受験した。定期試験は、平成 27 年 9 月 17 日木曜日の 1 時間目に実施され、中間試験同様に 120 名が受験した。試験時間は両試験とも 50 分である。両試験の結果を表 1 に示す。

表 1 中間試験と定期試験の結果

	n	m.s.	S.D.	max	min
中間試験	116	76.09	12.62	95	46
定期試験	116	76.22	12.58	97	41
平均	116	76.16	11.73	95.5	45.5

(n: サンプル m.s.: 平均値 S.D.: 標準偏差
max: 最高点 min: 最低点)

両試験において、平均点では僅か 0.13 点、定期試験の方が高かった。統計的に差があるのかを確認するために統計処理を行った。本調査の統計処理は、「エクセル統計 2008(SSRI: 社会情報サービス株式会社)」を使用した。その結果、有意差は見られなかった($n = 116, t = 0.16, p = 0.43$)。そのため、1つの試験結果よりも2つの試験結果を分析対象とする方が客観性が高まるので、以降、中間試験と定期試験の平均点を分析対象とする。

2.2 文法テストについて

3 クラスとも夏季休業に入る前の英語の授業中に、英語文法に関する能力を測定するために、30 問からなる小テストを実施した。

クラス A 7月15日(水) 11:25~11:45 40名
クラス B 7月13日(月) 14:00~14:20 39名
クラス C 7月15日(水) 13:30~13:50 39名
クラス B, C で欠席者が各 1 名ずつ、合計 2 名おり、合計 118 名が受験した。

出題形式は以下の通りである。

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、その英文が文法的に適切か、不適切かを判断し、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ある。テストの点を 100 点に換算した。その概要は、平均 71.56、標準偏差 13.84、最高 96.7、最低 30 であった。

2.3 質問紙について

英語や英語学習に対しての動機づけや意識を調査するために、『外国語教育リサーチマニュアル』⁽³⁾を参考にした質問紙を著者が作成した。質問は 21 項目からなり、4 段階評価(1. 全然そう思わない, 2. あまりそう思わない, 3. だいたいそう思う, 4. まったくそう思う)で回答を求めた。質問紙を配布し、「このアンケートは成績に全く関係ありません。正直に答えてください。」と教示した。実施要領は以下の通りである。

クラス A 7月22日(水) 11:15~11:25 40名
クラス B 7月22日(月) 14:20~14:30 38名
クラス C 7月15日(水) 13:20~13:30 39名
クラス B と C で合計 3 名の欠席者がいた。調査対象となる試験、文法テスト、質問紙の全てを受けた学生は合計 116 名だったので、この 116 名を分析対象とした。

質問紙が同じ概念を測定しているのかを示す指標である内的一貫性についても注意を払った。内的一貫性を測定するためのクロンバック α 係数という値を用いた。ゾルタイは、「うまく作られた質問紙であれば、たとえ 10 項目程度しかない場合でも、内的一貫性による信頼度係数は 0.8 程度あります。」⁽⁴⁾と述べている。この指摘に沿うように、クロンバック α 係数が 0.8 に近づくように調整した。

まず、21 項目全てに対してクロンバック α 係数を求めた。その結果、0.703 と低かった。項目 6 英語を勉強するのは嫌だ (-0.38), 8 高専では英語の勉強は必要ないと思う (-0.25), 9 今後、英語よりも数学のほうが大切だと思う (-0.13), 17 本を読むのが嫌いだ (-0.15) が相関係数でマイナスの値を示していた。これらの質問内容については、17 以外、英語や英語を勉強することについての動機づけを調査するうえで、逆数を示す項目である。17 を含め、それぞれの値を $5 - X$ (X は素点) で計算した。その結果、クロンバック α 係数は 0.82 となり、英語や英語学習への動機づけを測定する信頼度係数は十分に確保されていると思われる。

3. 調査対象のデータについて

調査対象のデータの概要については既に示したが、次は、試験の平均点をもとに上位群、中位群、下位群に分け、それぞれの群について試験、文法テスト、質問紙を分析し、検討を加える

3.1 各試験の詳細

より正確に分析するために各群の人数を 36 人に統一した。分析対象から省いた学生は、下位群の一番点数が悪い学生と中位群の点数の良い学生 7 名、合計 8 名である。各群の試験、文法テスト、質問紙の平均点(値)、標準偏差、最高点(値)、最低点(値)を表 2 に示す。

表 2 が示すように、文法テストも、質問紙の値も、上位群が一番高く、続いて中位群、下位群の順番と

表2 各群の概要

	上位群	中位群	下位群
サンプル数	36名	36名	36名
試験平均	88.5	79.15	62.4
標準偏差	3.51	3.07	6.2
最高 / 最低	95.5 / 84	83.5 / 74	70 / 50.5
文法平均	79.72	71.57	64.07
標準偏差	9.70	11.78	15.31
最高 / 最低	96.7 / 60	90 / 47	86.7 / 30
質問紙平均	60.33	57.69	54.92
標準偏差	8.03	8.2	8.9
最高 / 最低	76 / 44	76 / 42	75 / 38

なっている。試験の平均では、上位群と中位群で9.35、中位群と下位群で16.75、上位群と下位群では26.1の差があった。標準偏差では、下位群の値が他の2群と比べるとかなり高く、点数のばらつきが大きいことがわかる。

3.2 試験の結果の詳細

各群の平均点では差がみられるが、統計的に有意差があるのかを多重比較検定 (Sceheffe 法) で分析した。その結果を表3に示す。

表3 試験の分析結果

	平均	差	χ^2 乗値	p 値	判定
上位群 中位群	88.5 79.2	9.35	23.79	.00	**
上位群 下位群	88.5 62.4	26.1	95.16	.00	**
中位群 下位群	79.2 62.4	16.8	23.79	.00	**

** : 1%有意 * : 5%有意

各群において1%水準の有意差が確認できる。試験の平均点では各群で明らかに違いがみられた。

3.3 文法テストの結果の詳細

この3群で文法テストにおいて有意差が見られるのかを分析した。その結果を表4に示す。

表4 文法テストの分析結果

	平均	差	χ^2 乗値	p 値	判定
上位群 中位群	79.7 71.6	8.1	7.72	.02	*
上位群 下位群	79.7 64.1	15.6	20.99	.00	**
中位群 下位群	71.6 64.1	7.5	3.25	.19	

表4からわかるように、文法テストでは、上位群と下位群で1%水準の明確な有意差があることがわかる。上位群と中位群では、5%水準の有意差があったが、中位群と下位群では有意差がなかった。1%水準の強い有意差があった上位群と下位群では、文法テストのどの問題の正解率に違いがあるのかを調べた。両群において、正解率で20%以上の違いがみられた問いは、2(22%), 7(31%), 9(42%), 22(25%), 23(33%), 24(28%), 27(25%), 28(42%), 30(25%)の9問であった。

3.3.1 特徴的な問題の分析

特徴的な結果と思われるこの9問について、全体、上位群、中位群、下位群の正解率を表5に示す。

表5 正解率に差がある項目

問い	2	7	9	22	23	24	27	28	30
全体	18	29	33	27	35	78	78	72	71
上位	33	42	56	39	50	92	89	92	86
中位	14	39	31	31	39	75	81	81	58
下位	11	11	14	14	17	64	64	50	61

問い2と9は、“every”と“each”に関する知識を問う問題だが、下位群では理解できている学生が少ないことがわかる。“every”は単数を示す指標であることを知らない学生が多く、全ての群で正解率は低いが、特に下位群の学生の理解不足が目立つ。“each”も“every”と同様に単数を示すが、全ての群で“every”よりも正解率が高い。これは、日本語による干渉もあると思われる。問い7は、状態を表し進行形にならない“know”についての問題である。3群共に正解率は高くないが下位群が他の2群と比べると特に低いことがわかる。9は、前置詞の目的語となる代名詞の格についての問題である。上位群の学生が他群に比べて20%以上も正解率が高いのが特徴的である。23は、英文の内容を理解し受動態か能動態かを判断する問題で比較的難しい問題と思われる。上位群の正解率は50%と、難しい問題にしては正解率が高いといえる。英文の内容を理解して解答している。24に関しては、三人称単数現在の“have”と“has”についてであるが、簡単な問題にもかかわらず、下位群の学生の正解率は64%で2/3程度の学生しか理解していなかった。上位群については、不正解率が8%でそれでも3人の学生は間違えていた。27は、受動態に関する問題だが、24とほぼ同様に、2/3の学生しか理解できていなかった。28は、現在完了の文で使われる“for”と“since”の知識を問う問題だったが、上位群は92%の正解率で

下位群は50%の正解率であった。現在完了に関する基本的な知識を問う問題にもかかわらず、下位群では半分の学生しか理解できていないことが明確になった。30は、最上級を用いる際の冠詞“a”と“the”についての問題で、上位群と下位群では正解率に25%の違いが見られた。表には記載していないが、29の比較級の問題は多くの学生が正解しており、3群において違いが見られなかった。形容詞の比較級、最上級の問題だったが、学生にとっては、冠詞の問題として捉え、不正解者が下位群に多かったのだろう。

文法テスト全体を通して、試験で良い点数を取得する学生が試験とは全く関係のない出題範囲の文法テストでも良い点数を取っていることが明らかになった。文法項目ごとの各群での差はバラつきがあったが、“every”や“each”などの語句の知識が上位群の方が定着していた。進行形や受動態などの英語学習するうえでは非常に重要な事柄は下位群の学生も身に着けていた。しかし、23のように、英文を見ただけでは受動態か能動態かの判断が難しい問題では、下位群の学生は正解率が他の群よりも低かった。上位群は英文の内容を理解し、正しい判断ができる学生が多いことがわかった。

3.4 質問紙の結果の詳細

次に質問紙について、3群で有意差が認められるのかを分析した。その結果を表6に示す。

表6 質問紙の分析結果

	平均	差	χ^2 乗値	p値	判定
上位群 中位群	60.3 57.7	2.6	1.8	.41	
上位群 下位群	60.3 54.9	5.4	7.73	.02	*
中位群 下位群	57.7 54.9	2.8	2.1	.35	

** : 1%有意 * : 5%有意

表6が示すように、上位群と下位群で5%水準の有意差が見られた。上位群と下位群ではどの項目に違いが見られるのかを確認するため、平均値に大きな差があるものについて検討する。

平均値で、上位群と下位群で0.3以上、上位群の方が高かった項目は7項目(1, 2, 3, 4, 6, 9, 13)あり、この7項目について詳しく検討する。下位群の方が平均値が高い項目も数個(7, 14, 17, 20)あるがその差が0.1未満の項目が2つあり、比較的数値に差が見られる17と20の2つの項目についても検討する。

上位群の平均値が高い項目は、1 自分の英語が通じるとうれしい、2 外国人ともっと会話してみたい、3 英語を話せるようになりたい、4 英語は簡単だと思う、

6 英語を勉強するのは嫌いだ(逆転項目)、9 今後、英語よりも数学の方が大切だと思う(逆転項目)、13 外国で暮らしてみたい、の7項目であった。下位群の方が平均値が高く差が大きかったのは、17本を読むのは苦手だ(逆転項目)、20 e-mailを英語で書けるようになりたい、の2項目であった。

3.4.1 特徴的な項目の分析

特徴的な結果となった9項目について、全体、上位群、中位群、下位群の平均値を表7に示す。

表7 特徴的な質問項目(抜粋)

項目	1	2	3	4	6	9	13	17	20
全体	3.6	2.9	3.6	1.8	2.6	2.7	2.5	3.1	2.6
上位	3.8	3.1	3.8	2.1	3.0	3.1	2.7	2.9	2.6
中位	3.6	2.9	3.7	1.8	2.5	2.6	2.4	3.1	2.5
下位	3.5	2.7	3.4	1.6	2.4	2.6	2.4	3.1	2.8

数値の開きが一番大きい項目は6であり、この項目は逆転項目であるために、英語を勉強するのが嫌いではない、という問いになる。上位群の学生の傾向として、英語を勉強することが嫌いではないと思っていることがわかる。全体の平均値と比較しても0.4高いのは、上位群特有である。下位群は、あまり英語の勉強をすることが好きではない学生が多いこともわかる。

次に開きが大きい項目は9で、この項目も逆転項目である。上位群の学生は、数学よりも英語の方が今後大切になると感じている傾向が強い。下位群は平均値とあまり変わらないので、中位群の学生も下位群と同様に数学の方が大切だと感じている傾向が強い。

項目4は、全体の平均値も低いですが、上位群は英語の勉強内容を理解できているので、英語の勉強をあまり難しいと感じていないが、下位群の学生は英語を簡単だとは感じていない傾向が表れている。英語の勉強が嫌ではない上位群の学生が勉強することで英語力や英語文法力が身につく、さらに勉強が嫌いではなくなるという好循環となっているのだろう。

項目1, 2, 3, から、英語を話せるようになりたいと強く思っている学生が上位群に多いことがわかる。特に、平均値が全項目を通して2番目に高かった1については、上位群3.81, 中位群3.64, 下位群3.48と各群に差があり上位群ほど英語が通じたときの喜びを強く感じており、下位群は上位群ほど喜びを感じていないことがわかる。上記の項目をまとめると、上位群の学生は英語が通じたときのうれしさを知っているので、さらに話せるようになるために英語を勉強すべきだと思っている。

項目13は、他の項目の平均値の傾向とは異なって

いた。17, 20以外の多くの項目は、上位群、中位群、下位群と平均値が低くなるが、この項目は、上位群 2.72, 中位群と下位群は 2.42 と上位群のみが他群と比べて高い平均値である。質問内容は、海外で暮らしてみたいか、というものであった。このことから、上位群の学生は将来海外で暮らしてみたいと思っている学生が多いことがわかる。しかし、全ての群の平均値が 3 に達していないので、中位群と下位群の学生のほとんどが海外で暮らしたいと思っていないといえる。

上位群と下位群で 0.3 以上の差はなかったが、全項目で一番高い平均値を示したのは、5 であった。全体の平均値 3.68, 上位群 3.83, 中位群 3.61, 下位群 3.58, という値を示していた。質問は、将来英語が必要と思うかを尋ねたものだが、全ての群で、英語の必要性を実感している。特に上位群の学生は強く感じており、そのために英語を頑張って勉強し、試験で良い点数を取得している。そのことを項目 8 が裏付けている。逆転項目である 8 は、高専では英語の勉強は必要であると思う、という内容である。全体の平均値が 3.56, 上位群 3.69, 中位群 3.53, 下位群 3.5 であった。項目 5 と同じような傾向の平均値で、中位群、下位群に比べて、上位群がかなり高い値を示していることから、上位群の学生は英語を勉強することの必要性を強く感じていることがわかる。

項目 17, 20 は、上位群と下位群の平均値が逆になっている項目である。17 は、本を読むのが苦手だ、であるが、逆転項目なので本を読むのが苦手ではないという内容の設問になる。英語学習とはあまり関係がない質問であるために、他の項目の平均値と異なる傾向を示していると考えられる。20 については、e-mail を英語で書けるようになりたい、という質問で、下位群が中位群や上位群よりも高い値を示している。表 7 には記載されていないが、項目 21 英語の歌を聞くのが好きだ、も、他の項目とは傾向が異なり、上位群 3.08, 中位群 2.83, 下位群 2.94, と中位群が一番低かった。項目 20 と 21 を合わせて検討すると中位群が一番英語を書いたり、聞いたりしたいと思っていない学生が多い。上位群においては、英語を書くことよりも聞くことに興味があり、下位群は、聞くことよりも書くことに興味を示している学生が多い。先述した項目 1, 2, 3, を合わせて考察すると、上位群の学生は英語を話すことや聞くこと、つまり英語の言葉でのコミュニケーションに関心が高い。しかし、下位群は言葉でのコミュニケーションよりも文字でのコミュニケーションに関心が高いことがわかる。

3.5 試験, 文法テスト, 質問紙の相関について

試験では各群において有意差が認められた。文法テストでは、上位群と下位群で 1%, 上位群と中位群で 5% の有意差があった。質問紙では、上位群と下位群にのみ 5% の有意差があった。つまり、試験の点数は、質問紙の結果よ

りも文法テストの結果に強く影響を与えていた。

差ではなく、相関についても調査した。試験と文法テスト、試験と質問紙のどちらが相関が高いのかをスピアマンの順位相関係数を利用して分析した。その結果を表 8 に示す。

表 8 相関係数について

	試験/文法	試験/質問紙	文法/質問紙
全体	0.477	0.251	0.145
上位	0.139	0.0034	0.0034
中位	0.039	0.029	0.0248
下位	0.489	-0.027	-0.005

表 8 から、学生全体の相関係数が各群に比べて高い値であることがわかる。その中でも、試験と文法テストの相関が際立って高い。各群では、対象となる人数は 36 名と全て統一したが、下位群は、試験と文法テストの相関が際立って高く、試験と質問紙、文法テスト質問紙の相関は際立って低く、マイナスの値を示していた。全体的には、試験と文法テストの相関が試験と質問紙、文法テストと質問紙よりも高い値を示している。試験との相関は、質問紙よりも文法テストの方が高いことが相関係数の値からわかる。

4. まとめ

中間試験と定期試験の平均点で、上位群、中位群、下位群の 3 群に分け、文法テストと英語や英語学習に対する動機づけや意識についての質問紙を利用した調査の結果を分析した。

質問紙の結果から、上位群と中位群、中位群と下位群では、有意差が認められなかったが、上位群と下位群では、5%水準の有意差が認められた。殆どの項目で、上位群の平均値が高かった。特に、差が大きかった項目は英語を勉強することに対する意識で、上位群の学生は、英語が理解できているから勉強をすることに対して苦痛を感じずに学習できていることがわかった。英語学習に対しての意識の違いが、試験で良い点数を取っている学生とそうでない学生とで異なっていた。次に、差が大きかった項目から、上位群は、今後、英語が必要だと強く感じており、書くことよりも英語を話したり、聞いたりできるようになりたいと思っている学生が多いことがわかった。下位群の学生は上位群の学生よりも、英語で e-mail を書けるようになりたいと思っている学生が多いことがわかった。

文法テストで高得点を取得する学生は、中間試験や定期試験でも高得点を取得する相関が強いことが明確になった。試験で高い点数を取るためには、文法項目をしっかりと定着させることが必要である。中学生時

代にしっかりと英語を勉強し、文法事項を身につけている学生は、神戸高専に入学しても、英語学習に対して苦痛を感じずに英語を学習し試験で良い点数を取っていた。文法の力をあまりつけていない学生は、英語学習に対してあまり好意的に感じずに学習しているために、試験で良い点数が取れていなかった。

5. 今後の課題

本調査で、学校での試験の点数は、動機づけよりも文法力との相関が高いことがわかった。今後は、文法力、語彙力、学習動機、3年次に受験する TOEIC Bridge、4年次に受験する TOEIC などの多くのデータを利用し、英語力に影響を与えているものを明確にし、英語力を高めるための指導方法を考えていきたい。また、今後、4年間神戸高専に在籍し英語を勉強していくので、継続的に長期にわたって動機づけなどの変化の調査を行い、学生の英語力への影響を詳しく調べていく。

Appendix 1

1 自分の英語が通じるとうれしい
2 外国人ともっと会話してみたい
3 英語を話せるようになりたい
4 英語は簡単だと思う
5 将来、英語は大切だと思う
6 英語を勉強するのは嫌だ
7 文法よりも単語や熟語のほうが大切だと思う
8 高専では英語の勉強は必要ないと思う
9 今後、英語よりも数学のほうが大切だと思う
10 英語以外の外国語も勉強したい
11 世界の出来事に関心がある
12 外国の文化や習慣を勉強したい
13 外国で暮らしてみたい
14 将来、アジアになりたい
15 英語を使う仕事に就きたい
16 理系より文系科目が得意だと思う
17 本を読むのは苦手だ
18 吹き替えなしで洋画が見たい
19 PC よりも英語が使えるようになりたい
20 e-mail を英語で書けるようになりたい
21 英語の歌を聞くのが好きだ

参考文献

- (1) MEXT 新学習指導要領 第4章 外国語活動
http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/youryou/syo/gai.htm
- (2) 上垣宗明 「TOEIC スコアと中間・定期試験の点数について」、神戸高専研究紀要、第52号、pp.97-102、2014.
- (3) ハーバード・W・セリガー、イラーナ・ショハミー著、土屋武久他訳:「外国語教育リサーチマニュアル」、大修館書店、2001.
- (4) ズルタイ・ドルニエイ著、八島智子、竹内理訳:「外国語教育学のための質問紙調査入門」、関西大学出版部、2006.

Appendix 2

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.
8, You bags are so big.
9, One of our opened the door.
10, Please teach he how to use this computer.
11, This is Kumi bag.
12, Tom looks happily.
13, I am interesting in English.
14, Jane got up early every morning.
15, Those is your pens.
16, He goes to school every day.
17, We eating apples now.
18, This is an big apple.
19, Are that woman Mrs. Smith or Mrs.Obama?
20, The boys are in that room yesterday.
21, Takeo watchs TV every day.
22, Each student study English very hard.
23, The student who won the contest was giving a gold medal.
24, Johnson have to help his mother.
25, Bill doesn't going to read the book.
26, Ken has a cat. The cat is black.
27, French is speaking in this country.
28, She has lived in this city since two years.
29, Tommy is young than Ken.
30, A longest river in Japan is the Shinano..

W/Ti 複合材料の極低温から高温領域にかけての X 線応力評価

西田真之* 土居 泰成**

In-situ Stress Measurement of Fiber Reinforced Composite from Low Temperature to High Temperature State by X-ray Diffraction

Masayuki NISHIDA* Taisei DOI**

ABSTRACT

The tungsten fiber reinforced titanium composite (W/Ti composite) was produced by the spot welding method. This manufacturing method used only a simple spot welding system, and it did not need a vacuum chamber and a high temperature furnace such as existing common methods. The thermal residual stress alteration of W/Ti composite was estimated by the x-ray diffraction with the cryogenic cooling system. Residual stress alterations were measured by the in-situ x-ray stress measurement technique under the cooling cycles from 25 °C to -250 °C. Residual stresses in tungsten-fiber were investigated at several temperatures. In the longitudinal fiber direction, the initial thermal residual stress generated in the manufacturing process was -810MPa. These thermal residual stresses change to the maximum value of -1000MPa in the lowest temperature at -250°C. It is assumed that these results depend on the thermal expansion mismatch between the titanium-matrix and the tungsten-fiber. The calculated results of the simple elastic model consisting of the thermal expansion mismatch and the volume fraction agreed with the experimental results of in-situ thermal stress measurement qualitatively. Furthermore, these results of the thermal stress alteration were discussed with the other results in the high temperature state which has been reported by same author.

Keywords : X-ray stress measurement, high-low temperature, composite material, tungsten fiber

1. はじめに

チタンは耐熱性、耐食性、耐細菌性、比強度の大きさなどで優れた材料であり、その利用分野は強度部材としての機械、自動車などの分野はもとより、医療、航空、宇宙開発など広範囲となっている。

チタンの成型は現在鍛造と切削加工の組み合わせが主流であるが、繊維強化材の場合は繊維の断線を避けるために、鋳造法もしくは HIP などが用いられる。鋳造の場合、チタンは高温での酸化が激しいことから、大型の真空チャンバー内部に高温炉を設置して鋳型に流し込むことが多い。さらに、チタンは融点が純チタンで 1895K (1662°C) と高い上に熔融状態での活性が極めて高いことから、強化繊維として挿入される金属中に拡散または化合して繊維そのもの消失させてしまう場合が多い。一方 HIP などの方法で製作する場合は、

複合材料の大きさが限られたものとなる点が問題である。筆者らはこれまでに、これらの問題点を克服するために、一般的に用いられる電気抵抗式スポット溶接機（以下、スポット溶接）を用いてチタン母材を長繊維のタングステン繊維で強化したタングステン繊維強化チタン複合材料（以下 W/Ti 複合材）を製作することに成功している⁽¹⁾。また、繊維強化材料には一般的に繊維と母材間の熱膨張係数の差から熱誘起型の残留応力が生じ、機械的特性への影響評価が重要となることから、製作した W/Ti 複合材をインドネシア原子力研究所（BATAN）に設置された中性子回折装置と 2 次元検出器を組み合わせ、低温熱サイクル下における試料内部の熱残留応力を中性子その場応力測定法を用いて評価した⁽¹⁾。

本報告では同じ W/Ti 複合材において、中性子応力測定と同様に極低温における X 線回折を用いたその場応力測定を行う。そのために、クライオポンプを改良し

* 機械工学科 教授

** 専攻科 機械システム工学専攻

た極低温冷却装置を製作し、神戸高専既存の X 線応力測定専用装置と組み合わせることで低温熱サイクル下の X 線によるその場熱残留応力評価を可能とした。

2. W/Ti 複合材料の製作

本研究ではスポット溶接を用いて W/Ti 複合材料の製作を行った。この繊維強化材料は繊維に純度 99.99% のタングステン繊維を使用し、母材には板厚 0.5mm の工業用純チタンを使用している。Table 1 に本研究で使用したチタン材の成分を示す。

Table 1 Contents of titanium plate.

	C	H	O	N	Fe
Chemical composition, %	0.0	0.003	0.06	0.0	0.06

本研究で用いたタングステン繊維の直径は 100 μ m であり、通常このような細い繊維を溶融したチタンに入れると、タングステン繊維はチタンとの拡散反応によって簡単に消失してしまう。そのため、チタンの溶融を伴わないスポット溶接を用いた製作方法が有効である。

Fig. 1(a),(b) にスポット溶接を用いた W/Ti 複合材の製作手順を示し、その際の溶接条件を Table 2 に示す。

Table 2 Conditions of spot welding.

Welding voltage & current	200V, 7.8A
Welding pressure	1.9kN
Holding time	200msec.
Diameter of electrode	11mm

本研究では厚さ 0.5mm のチタン板にタングステン繊維を均等に巻き付け、両側から厚さ 0.2mm のチタン板材で挟んだ状態でスポット溶接を行った。スポット溶接は局所的な溶接であり、広い面積を均一に溶接接合するには不向きである。そのため、試料の全面を埋め尽くす形でスポット溶接を繰り返しおこない、試料全面の溶接を行った。Fig. 1(b) はスポット溶接による溶接位置を示している。直径約 3mm の溶接痕となるスポット溶接を Fig. 1(b) に示す重なりを繰り返しながら全面に施した。この際のカバレッジ(試料表面に対する総溶接面積)は約 150% となり、本研究での W/Ti 複合材料はタングステン繊維が 7 層までの複合材の製作に成功した。また、最終的に試料全体に対するタングステン繊維の体積割合は約 5% となった。本研究ではこの 7 層の W/Ti 複合材を測定試料として使用している。

試料作成後、X 線応力測定の際にクライオスタットに試料をセットすることを考慮し、ファインカッターで試料を切り出した。最終寸法は 12mm \times 12mm、厚さ 7mm とした。Fig. 2 に製作した W/Ti 複合材の断面および X 線応力測定のためにタングステン繊維を露出させた表面の光学顕微鏡による観察結果を示す。

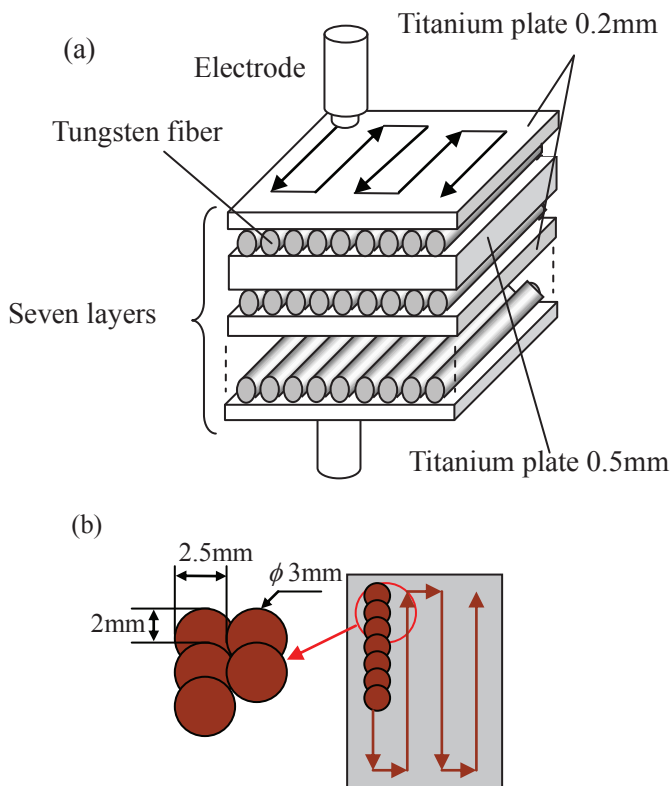


Fig. 1 Schematic diagram of: (a) the manufacturing procedure by the spot welding method, (b) the spot welding positions which define the coverage for W/Ti composite.

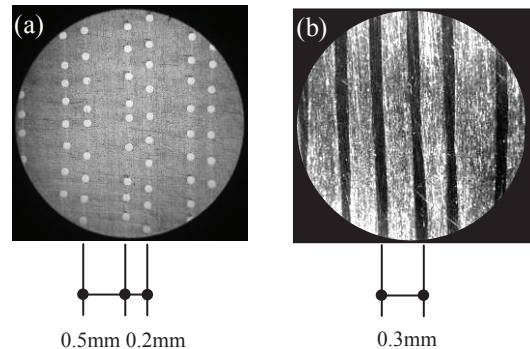


Fig. 2 Photographs of the W/Ti composite; (a) a microphotograph of the cross section of the W/Ti composite, (b) the specimen surface polished by emery paper #1500.

3. X 線応力測定法の原理

本研究で用いた W/Ti 複合材を X 線応力測定法で測定する際の座標を定義するモデル図を Fig. 3 に示す。この図において x_1 軸と x_2 軸は試料上の測定表面に対して平行であり x_1 軸が繊維の長手方向となる。また、 x_3 軸は試料表面の法線方向に一致している。X 線回折を用いて測定されるのは特定の hkl 回折面の法線方向ひずみ $\epsilon_{\phi\psi}$ であり、その方向は図中の ψ と ϕ の表記角で示されている。材料が等方弾性体であることを仮定す

ると弾性論によりこの座標系における応力とひずみの関係式は式(1)で表記される。

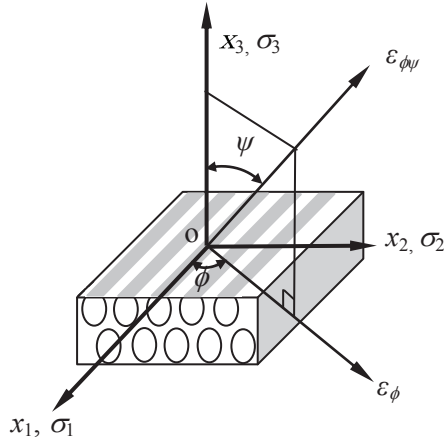


Fig. 3 Coordinate system and definition of the ψ and ϕ angles.

$$\begin{aligned} \varepsilon_{\phi\psi} = & \frac{1+\nu}{E} (\sigma_{11} \cos^2 \phi + \sigma_{12} \sin 2\phi + \sigma_{22} \sin^2 \phi - \sigma_{33}) \sin^2 \psi \\ & + \frac{1+\nu}{E} \sigma_{33} - \frac{\nu}{E} (\sigma_{11} + \sigma_{22} + \sigma_{33}) \\ & + \frac{1+\nu}{E} (\sigma_{23} \sin \phi + \sigma_{31} \cos \phi) \sin 2\psi, \end{aligned} \quad (1)$$

ここで、 E はヤング率、 ν はポアソンである。タンゲステン繊維に対する長手方向応力 σ_{11} を測定する場合には ϕ 角はゼロと定義される。また、過去の報告から長繊維の複合材料の場合はせん断応力もゼロであることが知られている⁽²⁾。さらに X 線による応力測定は試料表面近傍であることから法線方向応力もゼロと仮定できる。ことから、 $\phi = 0^\circ$ および $\sigma_3 = 0$ として方向をあらわす添え字を省略形で表すと式(1)を式(2)で表記することができる。

$$\varepsilon_{\psi} = \frac{1+\nu}{E} \sigma_1 \sin^2 \psi - \frac{\nu}{E} (\sigma_1 + \sigma_2). \quad (2)$$

この式より、 ε_{ψ} と $\sin^2 \psi$ は直線関係にあることがわかり、繊維長手方向の応力 σ_1 は $\varepsilon_{\psi} - \sin^2 \psi$ 線図の傾きで表現されることになる。このことから、いくつかの ψ 角度におけるひずみを測定し、 $\varepsilon_{\psi} - \sin^2 \psi$ 線図を描くことで応力を評価することができる。また、 ε_{ψ} は X 線による回折角度 $2\theta_{\psi}$ からも式(3)を用いて計算することができる。

$$\varepsilon_{\psi} = \frac{d_{\psi} - d_0}{d_0} = -(\theta_{\psi} - \theta_0) \cot \theta_0 \cdot \frac{\pi}{180}, \quad (3)$$

ここで θ_0 は材料の無応力状態で得られる回折角度である。この $2\theta - \sin^2 \psi$ 線図はいくつかの ψ 角度における回折角度 2θ の値を直接使用することができることから、日本における応力測定の標準的な測定方法となっている⁽³⁾。式(3)を式(2)に代入すると次式(4)が得られる。本研究ではこの式(4)を用いて応力測定を行った。

$$\sigma_1 = -\frac{E}{2(1+\nu)} \cot \theta_0 \frac{\partial(2\theta_{\psi})}{\partial(\sin^2 \psi)} \cdot \frac{\pi}{180}. \quad (4)$$

4. 実験方法および測定準備

極低温測定にはクライオポンプの冷却機を利用した試料冷却装置を準備した。クライオポンプは真空容器内に極低温面を設置し、これに容器内の気体分子を凝縮または吸着させて排気するポンプである。本研究ではポンプ内の吸着パネルやバップルなどをすべて取り外し、冷却ヘッドを露出させた状態にした。さらに、冷却ヘッドの上にヒーターを巻いた試料台を設置して温度調節を可能とした。測定可能温度範囲は室温から -250°C までの任意温度である。

X 線応力測定装置は粉末回折装置を使用する予定であったが、クライオポンプのチャンバーが大型かつ重量があり、ゴニオメータ上に設置することができなかった。このため、本研究ではクライオポンプの真空チャンバーの口を上を向く方向に設置し、樹脂製製の応力測定専用装置 (MSF-2M) で測定を行うこととした。X 線応力測定の諸条件を Table3 に示す。

Table 3 conditions of x-ray stress measurement.

Characteristic x-rays	CrK α
X-ray optics	Parallel beam
Measurement method	$2\theta - \sin^2 \psi$ and fixed ψ_0 method
Tube voltage [kV] and current [mA]	8, 25
$\sin^2 \psi$	0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5
hkl plane & diffraction angle [deg.]	W 211, $2\theta = 125.1^\circ$,
2θ step angle [deg.] & fixed time [sec]	W: 0.1° , 10sec.
Filter	Vanadium
Irradiated area [mm]	10 \times 5
Peak deciding method	FWHM method
Young's modulus: E [GPa] & Poisson's ratio: ν	W: $E = 417.7$, $\nu = 0.278$

特性 X 線は CrK α を用い、 $2\theta = 125.1^\circ$ に出現する 211 回折面からのピークプロファイルを測定した。この装置での X 線応力測定法は $2\theta - \sin^2 \psi$ 法による ψ_0 一定法⁽³⁾ となるため

$\sin^2\psi = 0$ の位置は測定できない。X 線の弾性定数およびポアソン比は日本材料学会 X 線材料強度部門委員会のホームページ⁽⁴⁾上の Kroener モデルでの計算結果を使用した。また、応力測定専用装置の測定範囲は $2\theta=170^\circ$ から 140° までなので、低角側への測定範囲を 25° 分だけシフトさせる拡張治具を製作し測定を可能とした。Fig.4 に測定装置に角度の拡張アタッチメントを装着し応力測定を行っている様子を示す。

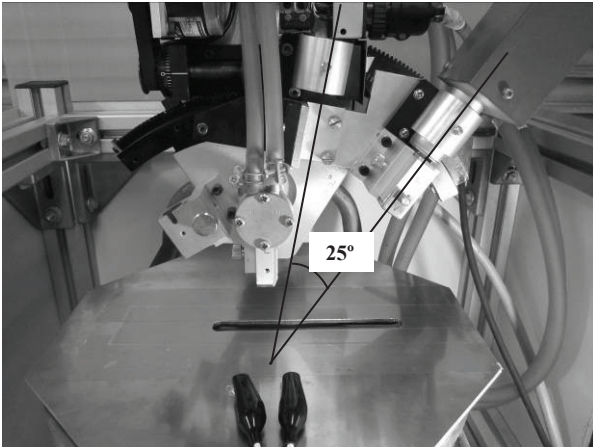


Fig.4 X-ray stress measurement system with 2θ angle extension attachment.

試料は Fig.2(b)に示すとおり、試料表面にタングステン繊維を露出させ測定した。表面は#2000 のエメリー研磨し、真空炉で 630°C 、2 時間のひずみ取り焼なまし処理を行った。試料は冷却ヘッド上に取り付けた試料台に取り付けるが、試料台との接触面を増やす目的でインジウム薄膜を挟みこんでねじ止めし、温度測定用の熱伝対は測定する試料表面に接触させている。測定方向はタングステン繊維長手方向の応力を $2\theta\text{-}\sin^2\psi$ 法を用いて測定した。冷却装置に試料をセットした状況を Fig5 に示す。冷却測定の場合には測定中にチャンバー外周に結露が発生し、外気温の変化で試料温度が不安定になる現象を防ぐ必要がある。

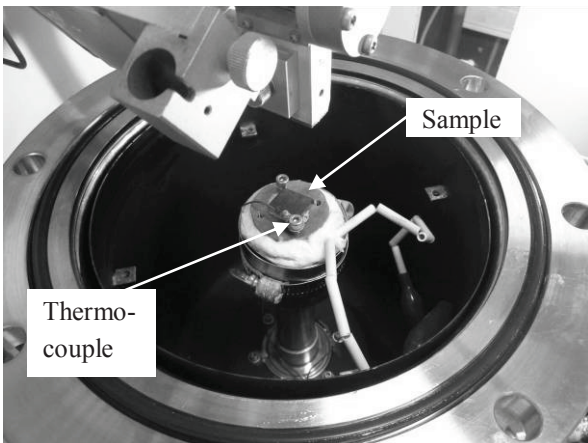


Fig.5 Sample setting and thermocouple.

本研究では、測定に際してはこのチャンバー上にアルミ板のカバーをかけ、真空ポンプで真空引きをして外気温から断熱した状態で測定を行った。X 線はポリプロピレンで遮蔽されたアルミ板のカバーにあけた窓から透過し試料に照射され測定が行われた。

Fig.6に本研究で低温その場測定に用いた温度プログラムを示す。最高冷却温度は -250°C である。熱サイクルは 25°C (室温) $\sim -250^\circ\text{C}$ の間を 50°C ごとに測定した。冷却および加熱速度は約 $5^\circ\text{C}/\text{min}$ であり、目標温度に到達してから10分間保持した後に測定を開始した。

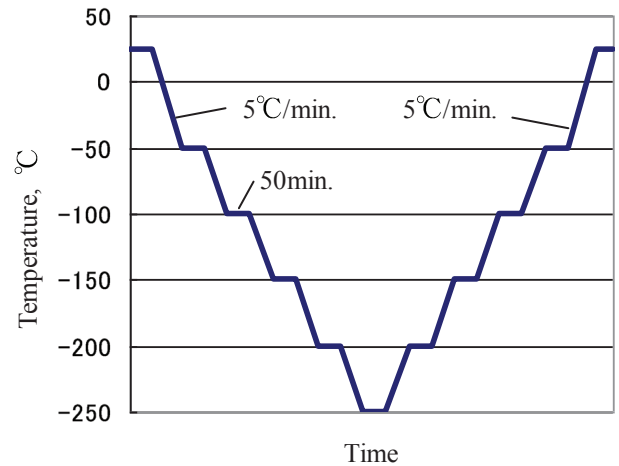


Fig.6 Schematic diagram of temperature vs. time program for in-situ stress measurement of W/Ti composite.

5. 測定結果と考察

本研究の測定ではタングステン繊維の結晶優先配向などは確認されず、すべての ψ 角度で測定が可能であった。各測定温度においても $2\theta\text{-}\sin^2\psi$ 線図の直線性は良好であり、十分な測定精度が得られた。

Fig.7に代表的な温度における $2\theta\text{-}\sin^2\psi$ 線図を示す。この結果より、良好な直線性および温度が低下すると共に 2θ 回折角度が高角側にシフトしているのが確認できる。

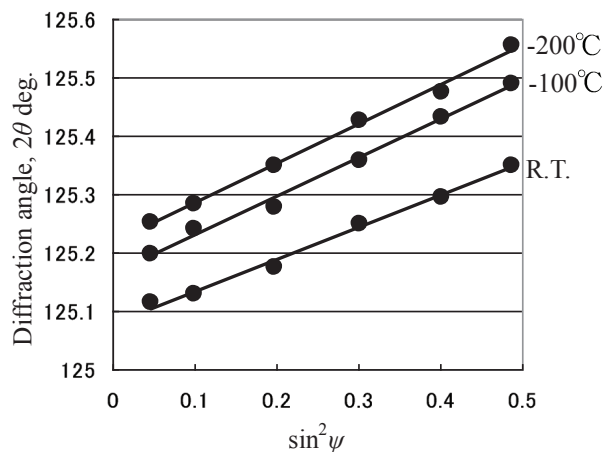


Fig.7 $2\theta\text{-}\sin^2\psi$ diagram of several temperature.

これまでの調査結果より、W/Ti複合材料中のタングステン繊維は強い110配向を示すことが確認されているが⁽¹⁾、本実験ではそのような配向性は確認されなかった。これはタングステンを露出させるためのエメリー研磨の影響で、タングステン繊維表面の結晶状態が変化したためと考えられる。

Fig.8はタングステン繊維における極低温その場測定の測定結果である。測定方向はタングステン繊維長手方向の応力を示している。また、温度上昇時と降下時での経路は図中に矢印で示している。

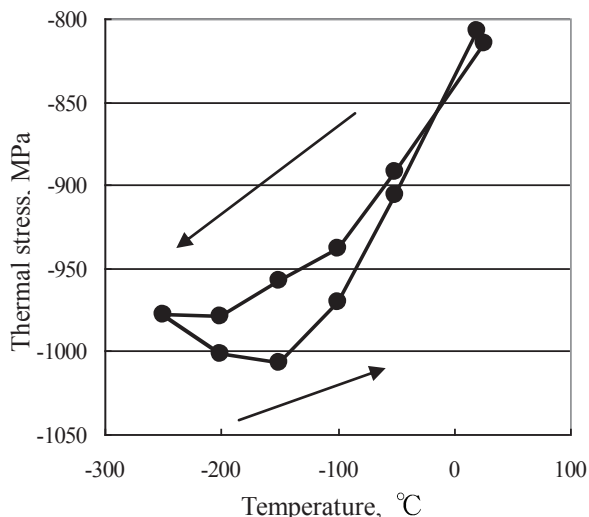


Fig.8 Results of in-situ stress measurement in low temperature.

初期残留応力は約810MPaの圧縮残留応力となっている。このサンプルは630°Cでひずみ取り焼なましを行っていることから、この初期残留応力はチタン母材とタングステン繊維の熱膨張係数の差から発生した熱誘起型の残留応力であると推察できる。温度の降下と共に圧縮の残留応力は増加し、-250°Cで約980MPaの圧縮残留応力値となる。なお、-250°Cでの測定の場合、クライオポンプの原理と同様の現象が発生し、試料表面に固体化した窒素や酸素と推察される霜状の析出物が吸着した。このためタングステン繊維からの回折線強度が極めて小さくなった。温度降下時の-200°Cと-250°Cの応力値にはあまり差が確認されないが、これは、-250°Cでの応力測定の精度が低下したため、測定結果がそれまでの温度降下時との傾向からずれたと考えている。さらに、温度上昇時には温度降下時と異なった経路を通して圧縮残留応力が徐々に減少し、最終的に室温ではスタート時点とほぼ同じ応力値を示している。このように熱膨張による残留応力の変化は温度の降下・上昇の際に異なった経路を通るヒステリシスループを描く傾向を示す。ここで、一般的に繊維強化材の母材側の塑性変形によるヒステリシスも似たような形の傾向を示すが、ヒステリシスの発生するルートが逆方向となることから、本測定におけるこのヒステリシスの原因は塑性変形ではなく、他の原

因があると考えられる。Fig.9は過去に報告した、同じサンプルに対して同様の極低温その場測定を中性子を用いて行った結果である⁽¹⁾。図中には繊維直交方向応力を σ_N 、繊維長手方向応力を σ_L 、また、数値計算結果を σ_{cal} としてプロットしている。X線および中性子で測定される領域はW/Ti繊維強化材料のそれぞれ表面数 μm と内部全体である。ここで繊維長手方向の応力変化について、Fig.8とFig.9を比較した場合、両者の室温から-250°Cまでの応力変化は約-800MPaから-1000MPaの間で変化し、同様のヒステリシスを描いていることが確認できる。両者の測定結果はきわめて似た結果となっており、ヒステリシスを描く方向も一致している。

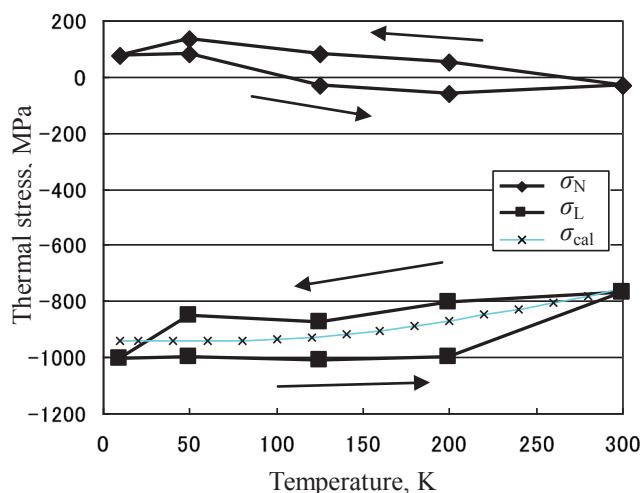


Fig.9 Result of the neutron in-situ thermal residual stress measurement in tungsten-fiber.

また同じ報告から、チタン母材の応力値を測定した結果と文献値からチタンの各温度での耐力を考えた結果、チタン母材は降伏していないことが確認されている。したがって、タングステン繊維の測定結果において、温度上昇時と降下時の応力値が異なるのは塑性変形に伴うヒステリシスではなく他に原因があると考えるのが妥当だといえるが、詳細については今後調査を進めたい。

一方、高温領域の応力状態については、ゴニオメータ上にセッティングした高温炉を用いることで測定が可能であり、その結果は既に筆者らにより報告されている⁽⁵⁾。これらの結果と本研究の測定結果を比較した結果をFig.10に示す。図中(a)の領域は本研究で測定した低温領域の測定結果であり、(b)の領域は既に報告されている室温から高温領域にかけての応力変化を測定した結果である。ここで、(a)および(b)の測定結果は共にタングステン繊維の応力測定結果である。高温領域の(b)において、図中の破線は初期状態から最初の昇温過程を示し、その後の昇温・降温過程は実線で示している。タングステン繊維の初期残留応力は約-810MPaの圧縮状態であり、低温測定(a)の室温の応力値とほぼ一致する。初期残留応力は温度上昇とともに圧縮応力が減少し、600°Cでほぼゼロとなり700°Cま

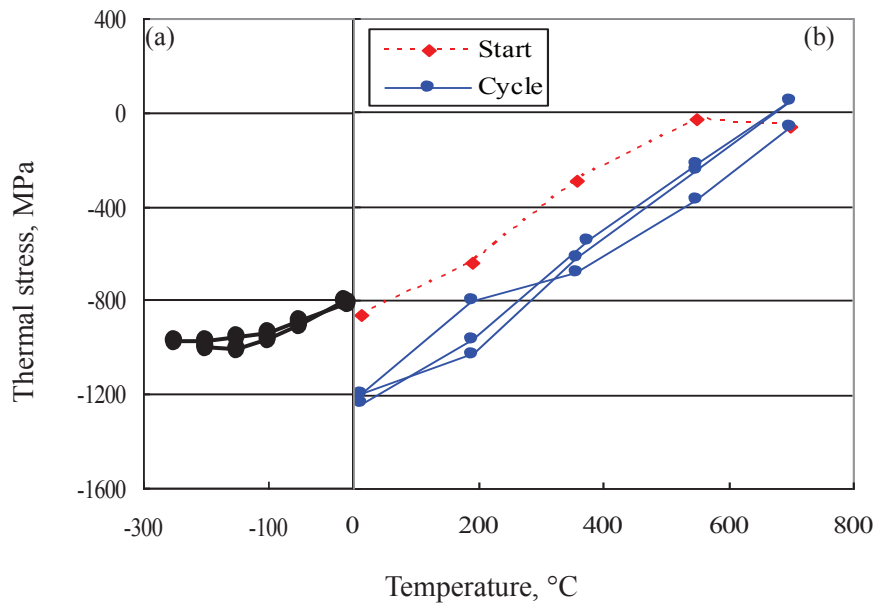


Fig.10 Combination results of the in-situ x-ray stress measurement technique ;(a) in the cryogenic region, (b) the high temperature region. These combination techniques will make it possible to estimate of the thermal stress estimation in the low-high temperature state.

で応力ゼロの状態を保持する。その後の温度降下で再び圧縮へと移行し、室温では-1200MPaの大きな圧縮応力となっている。その後の熱サイクル過程では昇温過程および降温過程ともにほぼ同じ経路を直線的に往復することが確認できる。この現象はエメリー研磨によって発生した圧縮の初期残留応力が過熱により600°Cで完全にキャンセルされ、700°Cからの降温過程ではタングステン繊維とチタン母材の熱膨張係数差に起因する熱応力が支配的になると考えられる。その結果、その後の熱サイクルにおいて熱応力はほぼ同じ経路を往復すると考えられる。

ここで(a)および(b)における室温での応力値が両者で完全に一致しない理由として、両者で使用したサンプルが異なることがその原因と考えられる。両者のサンプルは同じスポット溶接法で、同じ製作条件の下で製作されたが、製作時にはスポット溶接の溶接位置が手送りであることから、溶接部分のオーバーラップ部分や、製作時の温度履歴が若干異なるためこのような初期残留応力の値の違いが生じたものと考えられる。また、(b)の高温領域ではエメリー研磨によって生じた残留応力は約600°Cで緩和されるが、(a)の低温領域ではエメリー研磨によって生じた残留応力が緩和されない。その初期残留応力に、冷却によって生じる熱応力が重畳された応力変化が測定されていることが確認できる。この結果より、700°Cの高温領域から-250°Cの極低温領域に至る広範囲の温度領域をX線応力測定を用いて非破壊で評価できる体制が整ったことになる。

5. 結論

1) クライオポンプを改良した極低温試料冷却装置を用いて極低温その場測定を可能とした。

2) 極低温熱サイクルにおいてその場測定の結果、W/Ti複合材料中のタングステン繊維には熱誘起型の残留応力が発生し、その値は低温側で大きくなる。

3) 熱サイクル下における温度変化はヒステリシスループを描くがその原因は、一般的な母材の塑性変形とは異なる。

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)W/Ti複合材料の極低温サイクルにおける中性子応力測定(2報), 西田真之ほか, 第48回X線材料強度に関するシンポジウム講演論文集, 2014.07.24-25, pp.103-106.
- (2) Y.Ikeuchi, K. Iga and T. Hanabusa, J. Soc. Mat. Sci., Japan, 1994, **43**: pp. 792-798.
- (3)The Society of Materials Science Japan ed. *Standard Method for X-Ray Stress Measurement* (2005), ISBN 4-901381-27-X, The Society of Materials Science Japan.
- (4) http://x-ray.jsms.jp/x_database/index.html より.
- (5)MASAYUKI Nishida, MASASHI Haneoka, TATSUYA Matsue, Tian Jing and TAKAO Hanabusa, Thermal Stress Estimation of Tungsten Fiber Reinforced Titanium Composite by In-situ X-ray Diffraction Method, Materials Science Forum Vols. 768-769 (2014) pp 335-342, doi:10.4028/www.scientific.net/MSF.768-769.335).

豪雨時の事前通行規制のための雨量観測体制に関する一考察

鳥居宣之* 小野泰東**

Actual condition and agenda of rainfall observing system for early traffic warning systems against heavy rainfall

Nobuyuki TORII* Taiki ONO**

ABSTRACT

During the last decade, local heavy rainfalls have increased sharply, therefore increasing the risk of slope disasters. In our country, countermeasures, such as structural and non-structural measures, have been carried out to prevent and mitigate of road disasters. As non-structural measures for national road, road sections which are susceptible to slope disasters during heavy rainfalls, are closed based on criteria which are set according to past experiences, and the traffic restrictions are forewarned to ensure the safety of drivers. The purpose of this research is to clarify the actual condition and agenda of rainfall observing system for early traffic warning systems against heavy rainfall by the comparison and discussing Radar-AMeDAS precipitation data at in and around the location of telemeter.

Keywords : heavy rainfall, early traffic warning system, rainfall observing system

1. はじめに

近年では、自然災害の誘因として、局地的な集中豪雨（いわゆるゲリラ豪雨）が増加傾向にある。このような局地的な集中豪雨の増加に伴い、がけ崩れや土石流などの土砂災害の発生数の増加が危惧されている。わが国の道路では、斜面に対して法面对策工などの斜面对策工（いわゆるハード対策）を施すことに加え、災害の発生しそうな箇所に観測降雨量に応じて通行規制をかけ、事前に被害発生を食い止めること（いわゆるソフト対策）で、道路防災・減災対策が行われてきている。現在の国道における道路通行規制は、事前通行規制区間（以下、通行規制区間と称する）付近に設置された雨量観測計（テレメーター）にて観測される一定の条件を有する連続した時間雨量の累計が、その道路における規定雨量を超えた際に発令される仕組みとなっている⁽¹⁾。最近では上述したように局地的な集中豪雨の観測事例が数多く報告されてきており、このような集中豪雨は、空間的にも時間的にも発生予測が非常に難しいことから、現在のテレメーターの配置では捉えきれない降雨が通行規制区間に降ったにもかかわらず通行規制がかからないといった事態が生じる可能性が懸念される（図1参照）。そこで、本研究ではある国道を対象として、テレメーター設置位置とその

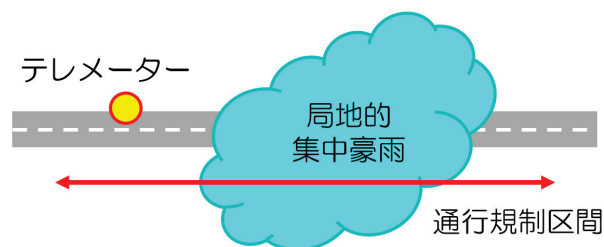


図1 テレメーター設置個所で降雨を捉えられない事例

周辺のレーダー・アメダス解析雨量データを比較・検討し、雨量観測体制の課題点等を明らかにすることを目的とする。

2. 国道における雨量通行規制の現状^{(1), (2)}

国道では、国道41号飛騨川バス転落事件を契機として、現に崩落等が発生しているか否かを問わず、崩落

* 都市工学科 教授

** 元 都市工学科 学生

等の危険があると認められる雨量時点で、この区間への進入を禁止するという異常気象時における道路通行規制制度を導入している。現在、国土交通省近畿地方整備局管内の国道では、34箇所の通行規制区間が設定されている。それぞれの通行規制区間では、過去の事例などを参考に定めた規定の降水量に連続雨量が達した場合(図2参照)に「通行止め」など道路の通行を規制することで、道路利用者の安全を確保する仕組みとなっている。ここで、国道における連続雨量とは、降り始めからの降雨量の累計であり、3時間以上2mm以下になると累計雨量はゼロにリセットされると定義されている。近畿地方整備局管内の34箇所の通行規制区間の区間延長の内訳は、図3に示すとおりであり、通行規制区間のほとんどが4km未満であることがわかる。

3. 対象地の降雨特性

本研究では、図4に示したある国道の通行規制区間(区間延長:1.2km, 規制雨量:連続雨量200mm)ならびにその周辺を対象に検討を行うこととした。まず、当該地域の降雨特性を把握するため、観測点から最も

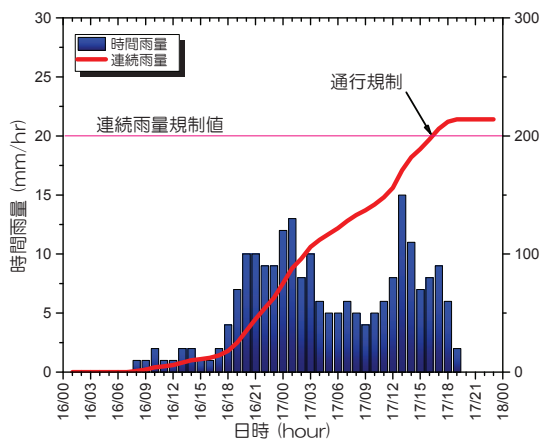


図2 通行規制の概念図。

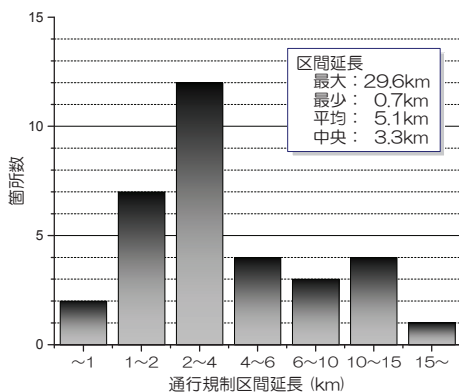


図3 近畿地方整備局管内の通行規制区間延長。

近い場所に位置する気象庁管轄のアメダス観測所(F観測所)において観測された時間降水量のデータを用いて、岩井法⁽³⁾により連続雨量の確率降水年を算出した。なお、連続雨量は、国道における連続雨量の定義と同様に、2mm以下の降雨が3時間以上続いた時点でひとつの区切りとし、また、継続時間が1時間以下の降雨は除くこととした。この条件で算出した連続雨量のうち、各年の年最大連続雨量を用いて確率計算を行った。なお、雨量データは気象庁データベース⁽⁴⁾から引用し、F観測所における1976年1月からの約40年分の観測記録を使用した。降雨確率年の算定結果を表1に示す。表1より、対象とした通行規制区間の通行規制雨量である連続雨量200mmの確率年は、「1/40年」程度であることがわかる。また、近年の気候変動に伴い、今後は確率年が短くなることが予想される。

4. レーダー・アメダス解析雨量を用いた検討

本章では、テレメーター設置位置とその周辺のレーダー・アメダス解析雨量結果を比較・検討し、雨量観測体制の課題点等を明らかにする。ここで、レーダー・アメダス解析雨量とは、国土交通省河川局・道路局と気象庁が全国に設置しているレーダーやアメダス等の地上の雨量計を組み合わせ、降水量分布を約1km四方の細かさ(標準地域メッシュ(3次)に相当)で解析したものである⁽⁵⁾。



図4 通行規制区間とF観測所の位置関係。

表1 降雨確率年(F観測所)。

確率年(年)	連続雨量(mm)
200	254
100	231
50	208
30	192
20	179
10	156

4.1 検討範囲および解析を行う降雨の選定 検討範囲は図 5 に示したように、対象とした通行規制区間の雨量観測地点であるテレメーターの設置位置から両側に約 4km（標準地域メッシュ（3次）×4メッシュ）を解析範囲としている。これは、前述した国土交通省近畿地方整備局の管轄である 34 の通行規制区間延長の平均値ならびに中央値を参考に決定した。また、比較・検討に用いた降雨は、H26 広島豪雨災害が発生した時と同時期に発生し、近隣地域に土砂災害等の被害を与えた H26.8.16-8.17 の期間での降雨に加え、F 観測所において降雨量が多かった次の 5 つの期間（H21.8.9-8.10, H23.5.10-5.12, H23.5.28-5.30, H23.9.19-9.22, H25.9.14-9.16）のレーダー・アメダス解析雨量データを用いることとした。

4.2 レーダー・アメダス解析雨量による連続雨量 前述した 6 つの降雨期間の解析雨量データをもとに国道における連続雨量の定義に従って、検討範囲におけるメッシュごとの連続雨量を算定した。以下に期間ごとの比較・検討結果を示す。

(1) H26.8.16-8.17 の期間 連続雨量分布図を図 6 に示す。また、連続雨量の時間変化を図 7 に示す。なお、図中には、テレメーター設置位置のメッシュならびに雨量分布中の連続雨量の最大値・最小値を示したメッシュにおける結果を示している。前述したように、この期間の降雨により近隣では土砂災害が発生していたが、図 6 より、検討区間では連続雨量としては、最大でも 140mm 程度の降雨であったことがわかる。また、メッシュごとに連続雨量が異なっており、最大値 143mm、最小値 68mm とその差は 75mm と倍半分の差が生じていたことがわかる。一方、通行規制区間内で見ると、116mm と 99mm であり、テレメーターの設置位置でのメッシュの方が小さな値を示している。図 7 より、連続雨量の時間変化をみると、降雨降り始めから 18 時間ぐらいまでは、メッシュ間での差はほとんどないが、その後降雨継続時間が長くなるにつれて、時間雨量の降り方の違いにより、連続雨量に差が生じている。

(2) H21.8.9-8.10 の期間 連続雨量分布図を図 8 に示す。また、連続雨量の時間変化を図 9 に示す。図 8 より、メッシュごとに連続雨量が異なっており、検討区間では最大値 214mm、最小値 175mm とその差は 39mm となっている。一方、通行規制区間内で見ると、200mm と 190mm であり、テレメーターの設置位置でのメッシュの方が小さな値を示している。この場合、通行規制区間内では連続雨量の規制値の 200mm の降雨が降っていたにもかかわらず、テレメーターの設置位置では連続雨量の規制値に達していないため、通行止めの処置が行われていなかったことになる。図 9 より、連続雨量の時間変化をみると、降雨降り始めから 23 時間まではメッシュ間での差はほとんど見られず、降雨

期間終盤での時間雨量の降り方の違いにより、最終的な連続雨量に差が生じている。

(3) H23.5.10-5.12 の期間 連続雨量分布図を図 10 に示す。また、連続雨量の時間変化を図 11 に示す。

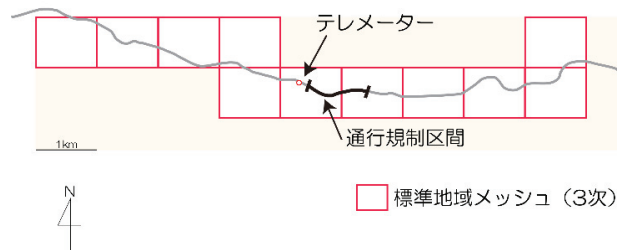


図 5 検討範囲。

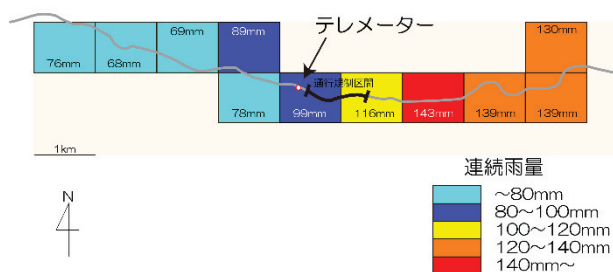


図 6 連続雨量分布図（H26.8.16-8.17）。

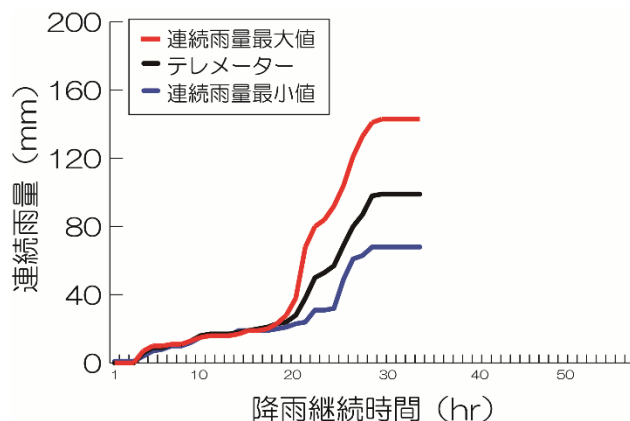


図 7 連続雨量の時間変化（H26.8.16-8.17）。

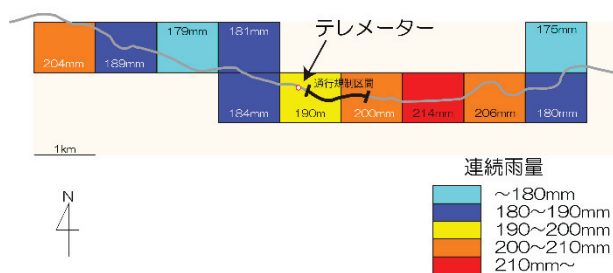


図 8 連続雨量分布図（H21.8.9-8.10）。

図 10 より、メッシュごとに連続雨量が異なっており、検討区間では最大値 204mm、最小値 151mm とその差は 53mm となっている。一方、通行規制区間内でみると、204mm と 192mm であり、テレメーターの設置位置でのメッシュの方が大きな値を示しており、連続雨量の規制値を超える降雨がテレメーターの設置位置でとらえられていたことになる。図 11 より、連続雨量の時間変化をみると、降雨降り始めから 5 時間以降では時間雨量の降り方の違いにより、連続雨量に差が生じている。

(4) H23.5.28-5.30 の期間 連続雨量分布図を図 12 に示す。また、連続雨量の時間変化を図 13 に示す。

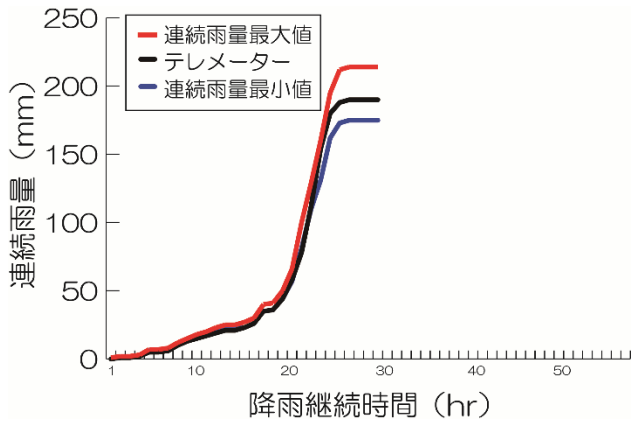


図 9 連続雨量の時間変化 (H21.8.9-8.10)。

図 12 より、メッシュごとに連続雨量が異なっており、検討区間では最大値 214mm、最小値 170mm とその差は 44mm となっている。一方、通行規制区間内でみると、213mm と 207mm であり、テレメーターの設置位置でのメッシュの方がわずかにあるが大きな値を示しており、連続雨量の規制値を超える降雨がテレメーターの設置位置でとらえられていたことになる。図 13 より、連続雨量の時間変化をみると、降雨降り始めから 18 時間以降では時間雨量の降り方の違いにより、連続雨量に差が生じている。

(5) H23.9.19-9.22 の期間 連続雨量分布図を図 14 に示す。また、連続雨量の時間変化を図 15 に示す。図 14 より、メッシュごとに連続雨量が異なっており、検討区間では最大値 268mm、最小値 220mm とその差は 48mm であり、いずれのメッシュにおいても連続雨量の規制値を超える降雨が降っていたことがわかる。

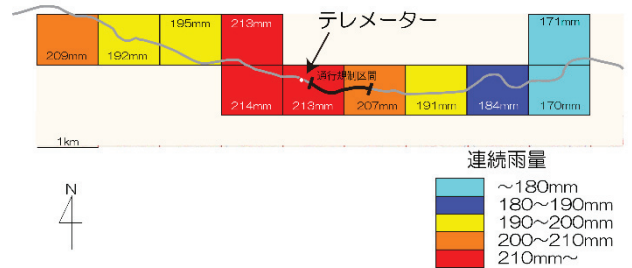


図 12 連続雨量分布図 (H23.5.28-5.30)。

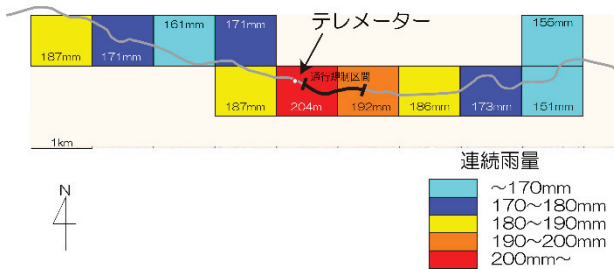


図 10 連続雨量分布図 (H23.5.10-5.12)。

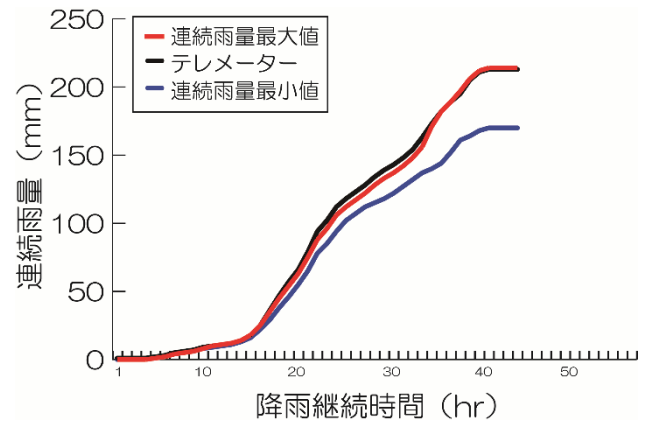


図 13 連続雨量の時間変化 (H23.5.28-5.30)。

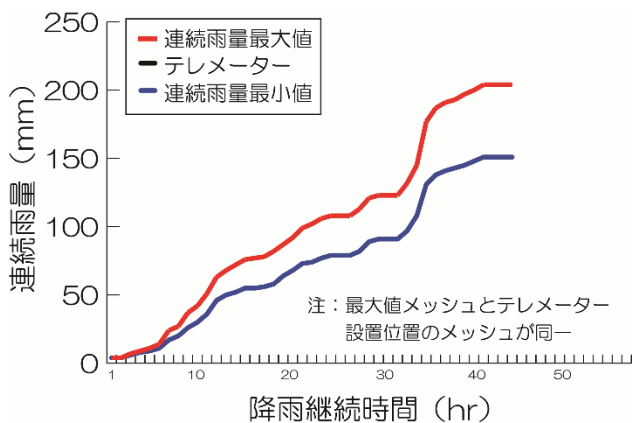


図 11 連続雨量の時間変化 (H23.5.10-5.12)。

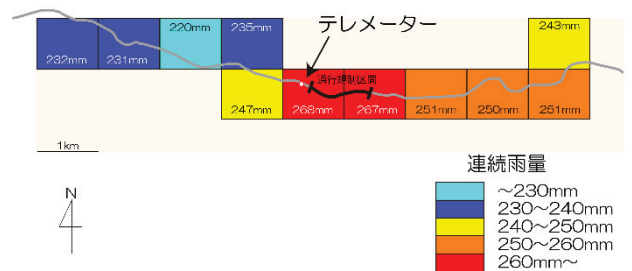


図 14 連続雨量分布図 (H23.9.19-9.22)。

一方、通行規制区間でみると、268mmと267mmとほぼ同じ値を示しており、通行規制値を超える降雨がテレメーターの設置位置でとらえられていたことになる。図15より、連続雨量の時間変化をみると、降雨降り始めから8時間以降では降雨継続時間が長くなるにつれて、時間雨量の降り方の違いにより、連続雨量に差が生じている。

(6) H25.9.14-9.16の期間 連続雨量分布図を図16に示す。また、連続雨量の時間変化を図17に示す。図16より、メッシュごとに連続雨量が異なっており、検討区間では最大値229mm、最小値208mmとその差は21mmであり、いずれのメッシュにおいても連続雨量の規制値を超える降雨が降っていたことがわかる。一方、通行規制区間でみると、229mmと224mmとテレメーターの設置位置でのメッシュの方がわずかではあるが大きな値を示しており、連続雨量の規制値を超える降雨がテレメーターの設置位置でとらえられていたことになる。図17より、連続雨量の時間変化をみると、最大値と最小値を示したメッシュでの違いが大ききは見られない。

(7) 考察 以上の結果をまとめると、降雨の局地性が見て取れ、隣接するメッシュにおいて連続雨量の差が約20~30mmみられる降雨もあり、さらに検討区間内においては最大と最小の連続雨量の差が最大で75mm生じる降雨もあった。また、テレメーター設置位置において、当該降雨期間中の最大連続雨量が観測される降雨もあれば、最大連続雨量との差が40mm以上もある降雨も見られた。また、通行規制区間内では連続雨量の規制値を超える降雨が降っていたにもかかわらず、テレメーターの設置位置では連続雨量の規制値に達していない降雨も見られた。一方、連続雨量の時間変化についてみると、各メッシュにおいて降雨の降り始めには、メッシュ間の差がほとんどないが、降雨継続時間が長くなるにつれて、時間雨量の降り方の違いにより、連続雨量に差が生じていることが分かる。本研究で対象とした国道では、通行規制区間が1.2kmであったため、テレメーターの設置位置と通行規制区間内の連続雨量との差は最大でも17mmしかなかったが、通行規制区間が長くなればなるほど、テレメーターの設置位置と通行規制区間の連続雨量に大きな差が生じる可能性が懸念される。言い換えれば、通行規制区間が長くなればなるほど、上述したような通行規制区間内に規制雨量を超える雨が観測されているにもかかわらず、テレメーター設置位置では、規制雨量を超える雨が観測されないような降雨が生じやすくなり、その結果、通行規制発令のタイミングに関する問題を生じる可能性が考えられる。したがって、通行規制区間が数kmに及ぶような場合、テレメーターの設置位置については、当該地域の降雨特性を詳細に調べるなどの検討が必要であり、テレメーターを補足するような雨量観測体制の構築が重要であると考えられる。

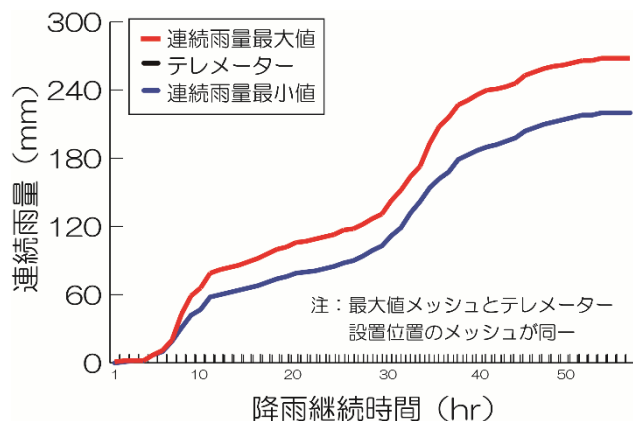


図15 連続雨量の時間変化(H23.9.19-9.22)。

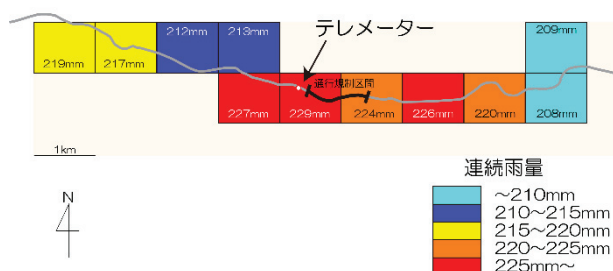


図16 連続雨量分布図 (H25.9.14-9.16)。

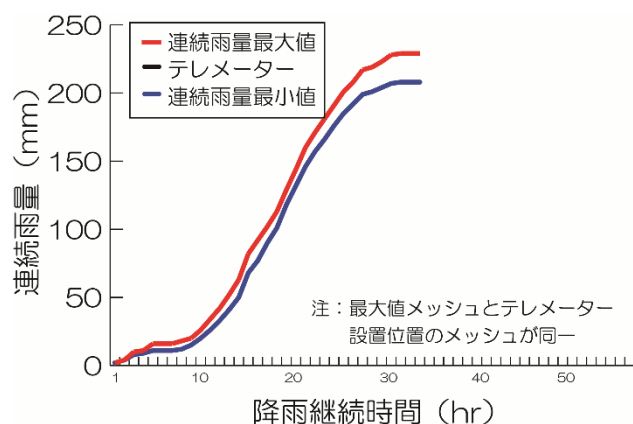


図17 連続雨量の時間変化(H25.9.14-9.16)。

4. まとめ

本研究ではある国道を対象として、テレメーター設置位置とその周辺のレーダー・アメダス解析雨量結果を比較・検討し、雨量観測体制の課題点等を明らかにした。以下に得られた結果を示す。

1)降雨の局地性が見て取れ、隣接するメッシュにおいて連続雨量の差が約20~30mmみられる場合や検討区間内においては最大と最小の連続雨量の差が最大で75mm生じる場合もあった。

2)連続雨量の時間変化についてみると、各メッシュにおいて降雨の降り始めには、メッシュ間の差がほとんどないが、降雨継続時間が長くなるにつれて、時間雨量の降り方の違いにより、連続雨量に差が生じていた。

3)通行規制区間内では連続雨量の規制値を超える降雨が降っていたにもかかわらず、テレメーターの設置位置では連続雨量の規制値に達していない降雨も見られた。通行規制区間が長くなればなるほど、このような降雨が生じやすくなり、その結果、通行規制発令のタイミングに関する問題を生じる可能性が懸念される。

4)テレメーターの設置位置については、当該地域の降雨特性を詳細に調べるなどの検討が必要であり、テレメーターを補足するような雨量観測体制の構築が重要である。

謝辞

レーダー・アメダス解析雨量データの収集にあたっては、国際航業(株)の原口勝則氏の助力を得た。ここに記して深く感謝致します。

参考文献

- (1) 国土交通省：事前通行規制及び道路防災対策について，<http://www.mlit.go.jp/common/000186389.pdf>.
- (2) 国土交通省近畿地方整備局：事前通行規制区間情報一覧，<http://road.kkr.mlit.go.jp/road/index.html>.
- (3) 岩井重久，石黒政儀：応用水文統計学，森北出版，370p.，1970.
- (4) 気象庁：過去の気象データ・ダウンロード，<http://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php>.
- (5) 気象業務支援センター：解析雨量，<http://www.jmbc.or.jp/hp/offline/cd0100.html>.

表六甲渓流域における出水特性

宇野宏司* 吉賀一弘**

A Characteristic of Runoff at Omote Rokko Mountain Area

Kohji UNO* Kazuhiro YOSHIGA**

ABSTRACT

In Omote rokko mountain area, there are several streams which flow in parallel in narrow area. The characteristic of rainfall in this area is exactly alike, however, that of runoff is still unveiled. In this study, we tried to clarify the difference of the characteristics of runoff by the difference with or without river structure. Study site are the Karasuhara river and the Iyatani one. In both rivers, continuous monitoring of water level and water temperature and scheduled field observation on water quality and sediment property were carried out. At the beginning of the rainfall, the water level drastically got higher, however, in the reduction term, the recovery of water level tends to delay at downstream of Karasuhara river. This phenomena might be affected by the dam.

Keywords : Omote Rokkou mountain area, runoff, Ishii dam, mountain stream

1. はじめに

兵庫県南部，表六甲地域には比較的流路の短い急勾配の都市河川が数多く流れている⁽¹⁾。昭和 13 年の阪神大水害をはじめ，この地域では古くから土砂災害が多発し，国の直轄事業として砂防堰堤等の整備が進められてきた⁽²⁾。その一方で，平成 7 年の阪神大震災以降は，親水空間の整備も図られている。

応用生態工学の観点からは，河川生態系の連続性や生息場に攪乱をもたらす洪水パルスの重要性が指摘されているが，表六甲地域を流れる都市河川を対象にこのような検討は過去にはなされていない。表六甲河川には様々な河川構造物が設置されている一方で，比較的狭いエリアで並行して流れているために，地勢や降雨のタイムラグやその量にはほとんど差がないと思われる。そこで，本研究では，ほぼ同一の流域条件の中での水位や底質の変動の違いを比較することで，河川構造物の有無による下流域への流域環境へのインパクトの差異について検討した。



図1 調査地点

* 都市工学科 准教授

** 日本ミクニヤ 技師（都市工学科卒業生）



図2 石井ダム



図3 イヤガ谷調整池

表1 石井ダムの概要⁽³⁾

項目	内容
事業者	兵庫県
所在地	兵庫県神戸市北区山田町下谷上
緯度・経度	北緯34度42分11秒 東経135度08分53秒
河川水系	新湊川水系
目的	洪水調節 農地防災 レクリエーション
型式	重力式コンクリート
堤高	66.2m
堤頂長	155m
堤体積	182,000m ³
流域面積	6.9km ²
湛水面積	110,000 m ²
総貯水容量	2,200m ³
有効貯水容量	2,000m ³
着手/竣工	1972年/2008年

表2 イヤガ谷調整池の概要⁽⁴⁾

項目	内容
事業者	神戸市
所在地	神戸市北区山田町藍那字下ノ切20-1
緯度・経度	北緯34度42分11秒 東経135度7分36秒
河川水系	新湊川水系
目的	洪水調節
型式	コンクリート
堤高	11.0m
堤頂長	51.0m
堤体積	2,575m ³
流域面積	3.13km ²
湛水面積	7.279m ²
総貯水容量	148.18m ³
有効貯水容量	143.91m ³
着手/竣工	1982年/1985年

2. 調査河川と代表的な河川構造物

2.1 調査河川 本研究で調査対象とするのは新湊川水系に属する鳥原川とイヤガ谷川の2河川である。鳥原川の上流には1960年代に開発された宅地が広がっている。一方、イヤガ谷川は、深く落ち込んだ急峻な谷あいが曲折しながら連続する中を流れており、都市部から比較的近い距離にありながら開発の手も及ばず、非常に貴重な動植物の生態系を維持している。訪れる者もまれであることから「神戸最後の秘境」とも言われている。本研究では、図1に示すとおり、それぞれの河川の上流域と下流域に調査地点を設けた。

2.2 代表的な河川構造物 本研究の調査対象河川の一つである鳥原川の中流には、石井ダム(図2)が設置

されている。本ダムの諸元を表1に示す。本ダムは、平常時は堤体下部の常用洪水吐から放水するが、洪水時には呑口6門、吐口2門を有する非常用洪水吐から、天端側水路方式によって自由越流形態で放流される。本ダムは、その目的の1つにレクリエーションを掲げる全国でも珍しいダムとなっており、ダム堤体に多目的のホールが設けられたり、展望台としてダム天端が開放されたりしている。

一方、イヤガ谷川の上流域にはイヤガ谷調整池(図3)が存在する。本調整池の諸元を表2に示す。この調整池は流域の宅地造成を目的とした日生鈴蘭台第3土地区画整理事業に伴い、周囲の雨水を集めるために建設されたものである。なお、この調整池は上流観測点よりもさらに上流に設置されている。

両河川には、これらの構造物以外にもいくつかの堰や落差工などが見られるが、それらの諸元の詳細が不

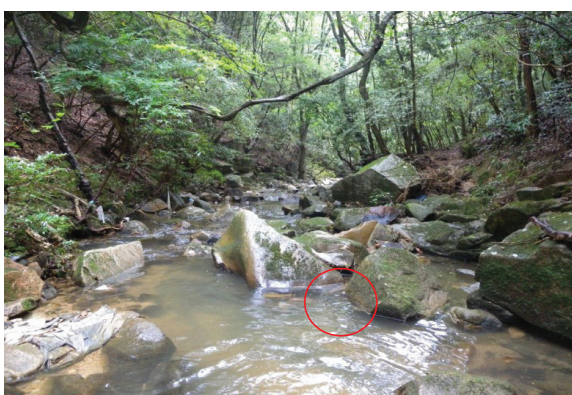
【鳥原川上流】



【鳥原川下流】



【イヤガ谷川（石井川）上流】



【イヤガ谷川（石井川）下流】

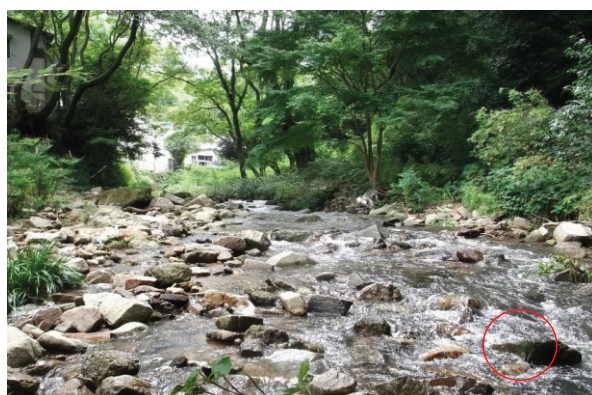


図 4 調査地点の様子 (○印は自記録式水位計の設置場所)

表 3 調査日

調査日	調査時間帯	天候
2014.6.3	9～12 時	晴
2014.7.2	13～16 時	晴
2014.7.25	10～13 時	晴
2014.8.12	8～11 時	曇
2014.9.11	9～12 時	雨
2014.10.8	8～11 時	晴
2014.11.5	8～11 時	曇
2014.12.3	10～13 時	晴
2014.12.27	9～12 時	晴

明であること、また上述の構造物に比べてスケールが小さいことから本論文では取り扱わないこととする。

3. 調査地点・調査方法

調査地点の特徴、現地調査の内容を以下に示す。

3.1 調査地点の特徴 調査地点は、図 4 に示す 4 地点で、それぞれ以下のような特徴がある。鳥原川上流 (図 4 左上) は、調査地点の中では最も市街地に近く、

周囲には住宅街が広がっており、また神戸電鉄の車両基地などもある。この地点周辺には、洪水出水の際に上流から運ばれてきたと思われる岩石が点在している。この地点から、石井ダムを経て鳥原貯水池に至る途中に、鳥原川下流の調査地点 (図 4 右上) がある。上流地点よりも水勢があり、岩床が露出している。また小滝のような落込みが繰り返し出現している。一方、イヤガ谷川上流 (図 4 左下) は、周囲を完全に木々に覆われているために日中でも光が届きにくい状況である。イヤガ谷川下流 (図 4 右下) の調査地点は、神戸電鉄鶴越駅近くの民家が点在する谷沿いにある。大小さまざまなサイズの石、家庭等から投棄されたと思われるブロック・タイル等が多く見られ、出水時の地形変化は 4 地点の中で最も顕著である。

3.2 連続モニタリング調査 2014 年 6 月より石井川と伊屋ヶ谷川の上流部と下流部に設けた合計 4 か所の計測地点で連続モニタリング調査を実施した。調査日を表 3 に示す。モニタリングに際しては自時記録式水位計 (HOBO U-20, onset 社) を使用し、測定時間間隔 2 分で水温と水位 (圧力から換算) データを取得した。器材の設置に際しては、園芸用ブロック内に格納した上で、さらに現地周辺の転石等を載せ、出水による流

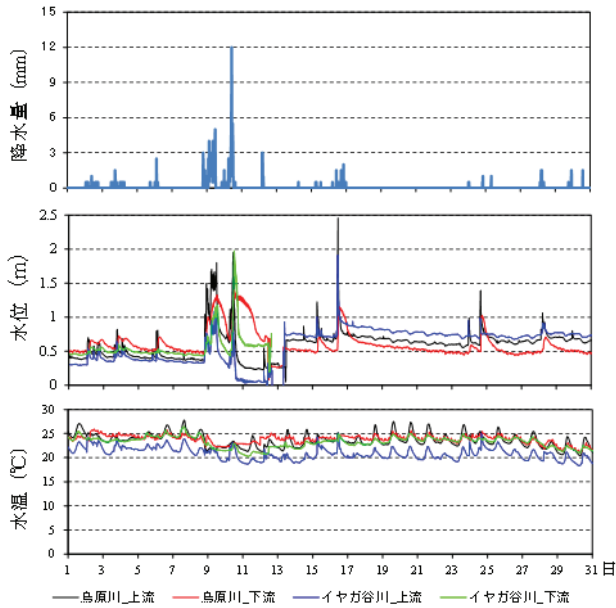


図5 出水期の降水量・水温・水位変動
(2014年8月)

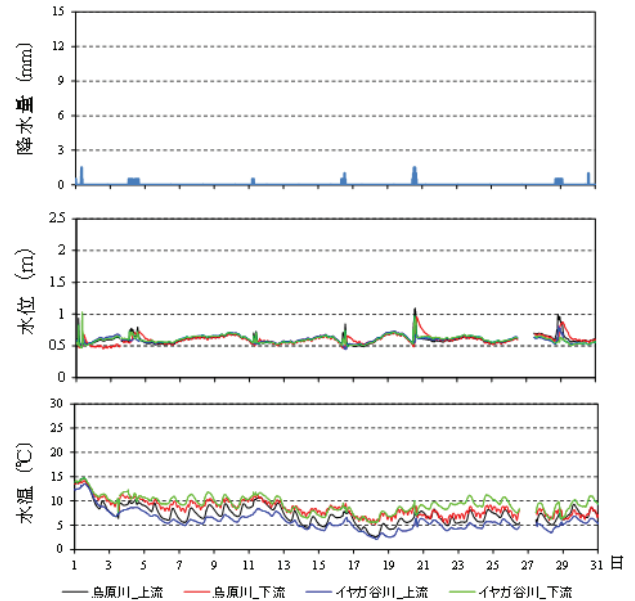


図6 渇水期の降水量・水温・水位変動
(2014年12月)

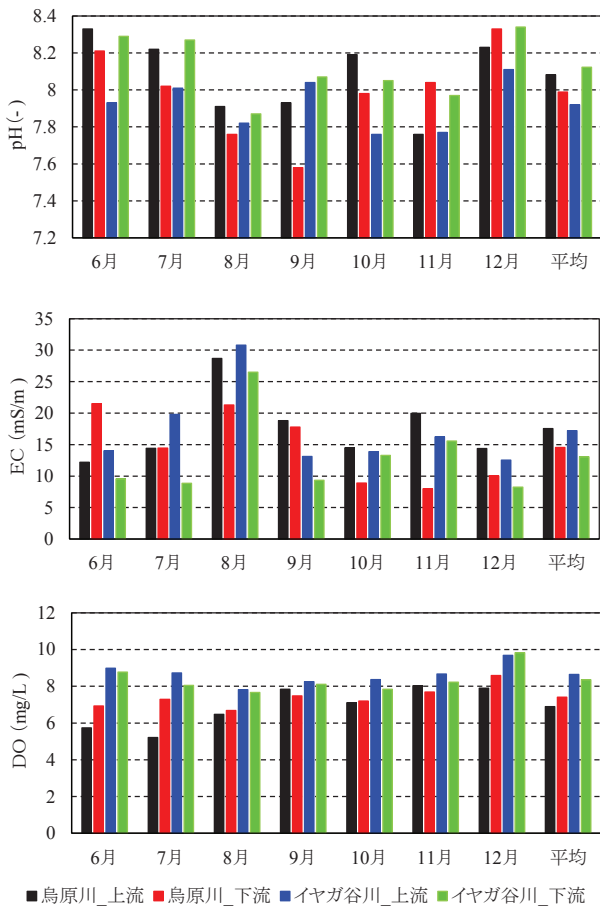


図7 水質 (pH・EC・DO) の時間変化

出を防ぐ措置を施した。器材の交換，データ回収は，以下に示す水質・底質調査時に実施した。

3.3 水質・底質調査 連続モニタリング調査と並行して水質調査⁽⁵⁾と底質調査を行った。水質調査では，水温

のほかに水素イオン指数 (pH)，溶存酸素 (DO)，電気伝導度 (EC) の3項目を携帯型質計 (東亜ディケーケー製) にて計測した。

一方，底質調査については，現地で採取した河川表層砂を実験室に持ち帰り，有機物量 (強熱減量) の測定を行った。強熱減量は採取した底質を約 80°C の炉乾燥炉に入れて水分を飛ばした後に，約 800°C の電気炉に入れ，半日間で減少した有機物量を求めた。また，撮影した底質の画像解析⁽⁶⁾により，平均粒径，中央粒径，淘汰係数を求めた。

4. 調査結果及び考察

4.1 水温・水位の時間変動 図5に出水期(2014年8月)，図6に渇水期(2014年12月)の降水量(気象庁アメダス観測点：神戸)⁽⁷⁾，水位，水温変動を示す。

図5において，2014年8月上旬に見られるまとまった降雨は台風1412号の通過によるものである。この台風では，芦屋市と有馬温泉を結ぶ芦有ドライブウェイの一部区間が崩落し通行止めになるなど，調査地点付近においても大きな被害が出た⁽⁸⁾。当該調査期間中において最大規模のまとまった降雨を記録しており，2m近くの水位上昇が見られた。また，8月中旬にはこの台風接近時の先行降雨の影響を受けて，わずかな降雨ながら2m以上の大幅な水位上昇が見られた。こうした出水時の水位変動についてみると，増水時にはいずれの地点においても急激な立ち上がりを示すことに加え，減水時に鳥原川下流において水位低下が遅れる傾向が見受けられる点が特徴として挙げられる。各地点が降雨に対応した流出形態を示す理由としては，周

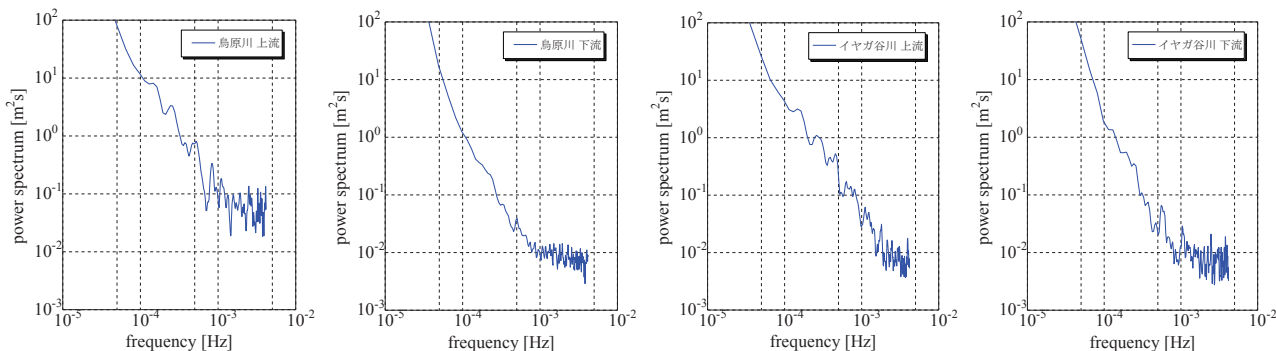


図8 スペクトル解析結果 (水位)

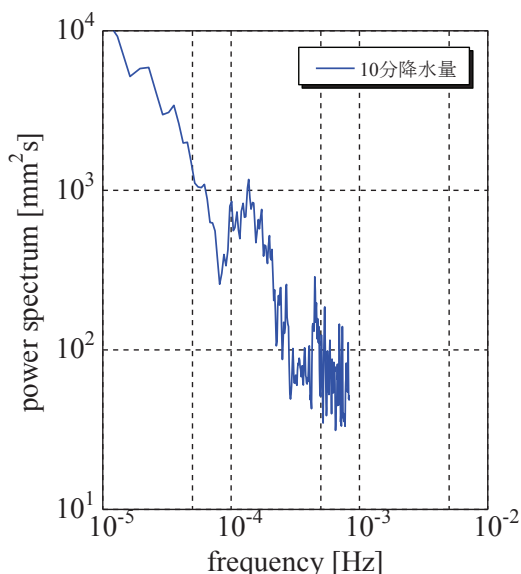


図9 スペクトル解析結果 (10分降水量)

辺の宅地開発の影響や雨の集まりやすい地勢が考えられる。一方、鳥原川下流で水位低下が遅れる理由としては、上流に設置された石井ダムにおける貯留効果によるものと考えられる。

図6より、渇水期においても、鳥原川下流での出水時水位低下の遅れは認められるが、地点間の水位変動の差は出水期ほどの大きな差異は見られなかった。

水温変動については、出水期、渇水期ともイヤガ谷川上流で最も低くなる傾向が見受けられる。一方、最高水温については、出水期(夏季)には鳥原川上流、渇水期(冬季)にはイヤガ谷川下流での出現機会が多くなっている。出水期(夏季)に鳥原川上流で水温が高くなるのは、同地点が他の地点よりも滞留しやすい地形となっていることが一因と考えられる。一方、渇水期(冬季)にイヤガ谷川下流で水温が高くなるのは、水量が少なくなり地表面の日中の温度上昇の影響を他の地点よりも強く受けやすいためであると考えられる。

4.2 水質の時間変化 図7に水素イオン指数(pH)、電

気伝導度(EC)、溶存酸素(DO)の時間変化を示す。

溶液の酸性・アルカリ性の度合いをあらわす水素イオン指数(pH)については、全期間を通じて中性から弱アルカリ性の値を示し一般的な自然河川の指標レベルに収まっていた。8月には、全地点でpH値が下がっているが、これは、光合成に寄与する河道内の藻類が台風接近に伴う出水により一掃され、二酸化炭素の消費が減った結果、 $[H^+]$ が増加したためと考えられる。

電気伝導度(EC)は、水中に溶存しているイオンの量と各イオンの当量電導度と水温に支配されるもので、水中の化学成分の存在の目安になる指標である。これについては、pHとは逆に8月に値が増加していることから、洪水時にはより多くの電解質が溶出していることがわかる。

水棲生物の生存可否の目安となる溶存酸素(DO)については、全期間を通じ、鳥原川上流で低く、イヤガ谷川上流で高くなる傾向が見られる。鳥原川上流でのDOが低くなる要因としては、付近の民家からの生活排水の流入や、他の地点に比べて滞留しやすい地勢の影響が考えられる。一方、イヤガ谷川上流はほとんど手付かずの溪流環境が残されており、良好な水環境が維持されていると推察される。このように地点によって多少の差異は認められるものの、当該調査期間においては、各地点とも生態系に影響を与えるとされる3mg/Lを下回ることはなかった。

4.3 水位変動に関するスペクトル解析 図8に出水期(8月)の水位データ、図9に同時期の10分降水量データに対するスペクトル解析の結果を示す。10分降水量データに対するスペクトル解析の結果からは、 $10^{-4}Hz$ (2.7時間周期)と $5 \times 10^{-4}Hz$ (33分周期)付近にスペクトルのピークが見られるが、水位の応答性はいずれの地点においても $5 \times 10^{-4}Hz$ (33分周期)付近の方で確認されており、短期集中型の降雨イベントとの応答性が確認された。また、パワースペクトルの卓越周期はいずれの河川とも上流で複数確認できるが、下流ではそれが鈍る傾向にあることがわかる。

4.4 底質の時間変化 図10に底質(平均粒径・淘汰度・

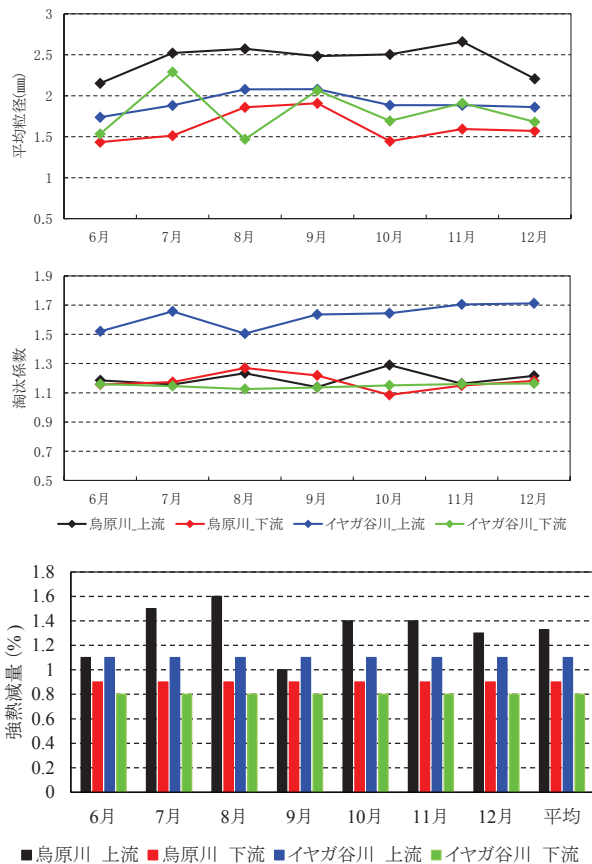


図10 底質の時間変化
(平均粒径・淘汰係数・強熱減量)

強熱減量)の時間変化を示す。

平均粒径は、その地点に作用した直近の掃流力の履歴を間接的に示す指標である。これは必ずしも洪水時の最大値を示すものとはならず、流況によっては洪水末期に運ばれた微細粒子が堆積している可能性も考えられる。流下途中に石井ダムを擁する烏原川では、上流での平均粒径は2.5mm程度、下流での平均粒径は1.5~2.0mm程度で推移していた。8月の台風出水前後での顕著な粒径変化は認められなかった。一方、イヤガ谷川においては、上流・下流ともに平均粒径は2.0mm前後で推移していた。また、下流地点で8月の台風出水直後で一時的に細粒化していた。

淘汰係数は粒度分布の特徴を表し、ばらつきや分級の程度をあらわす指標で、0に近づくほど粒子は均一、値が大きくなるほど粒子は不揃いとなる。当該研究期間ではイヤガ谷川上流地点で1.6前後、その他の3地点において1.2前後で推移していた。イヤガ谷川では上流から下流に向かうに連れて淘汰が進んでいるのに対し、流下途中にダムのある烏原川では、淘汰が進んでいないことがわかる。

強熱減量は、底質に含まれる有機物量を示す指標で

ある。4地点を比較するといずれの月においても、烏原川上流で最大となっていた。また、8月の台風出水直後では、同地点を除く3地点で強熱減量が減少していた。これらの地点では洪水により底質表層に付着していた有機物が洗い流されたことが考えられる。一方、烏原川上流は滞留しやすい地勢のため、他の3地点に比べて有機物の剥離や底質の移動があまり見られなかったのではないかと考えられる。

5. まとめ

本研究では、表六甲地域を流れる、途中の河川構造物の異なる2つの溪流を対象に、降雨時の出水特性の違いを比較し、河川構造物の有無の違いによる流出形態の違いについて考察した。流下途中に石井ダムを有する烏原川では、下流側で顕著な流出の遅れが認められたほか、土砂供給の分断化が進んでいる可能性が示唆された。今回は水位や水質・底質といった物理的・化学的指標の観点から両河川を比較したが、引き続き生物調査等を導入することで、より多面的に都市部に残存する溪流環境の実態を明らかにする予定である。

参考文献

- (1) 神戸市建設局防災部：こうべの川，26p.，2014.
- (2) 国交省近畿地整六甲砂防事務所：六甲山の災害史，<http://www.kkr.mlit.go.jp/rokko/disaster/history/index.php> (2015年10月30日確認)
- (3) 一財 日本ダム協会：ダム便覧「石井ダム」，<http://damnet.or.jp/Dambinran/binran/TopIndex.html> (2015年10月30日確認)
- (4) 神戸市建設局，伊屋ヶ谷調整池台帳
- (5) 西條八束・三田村緒佐武：新編湖沼調査法，230p.，1995.
- (6) 宇野宏司，濱森彩，辻本剛三，柿木哲哉：デジタルカメラ画像を用いた淡路島・成ヶ島における底質環境モニタリング，土木学会論文集 B2(海岸工学)，Vol.66, No.1, pp.676-680, 2010.
- (7) 気象庁：過去の気象データ検索，<http://www.jma.go.jp/jma/menu/menureport.html> (2015年10月30日確認)
- (8) 神戸市：台風11号及び8月16日の大雨への対応について(まとめ)(平成26年8月20日15:00現在)2p.，2014.

プロトタイピング技術習得のための教材開発

藤本 健司* 早稲田 一嘉**

Development of Teaching Materials for Prototyping Technology Learning

Kenji FUJIMOTO* Kazuyoshi WASEDA**

ABSTRACT

In recent years, prototyping technology has attracted attention. Especially, rapid prototyping using the 3D printer is very famous. This rapid prototyping has brought a big change to the manufacturing industry. This method does not require a metal mold when creating a prototype. Therefore, companies are able to save costs and the work period could be shortened. In addition, there is also a method of using a Arduino and Raspberry PI as other prototyping technology. This method is used to create the devices using sensors, and prototype of robots. In the future, these techniques are required in various companies and fields. However, it is difficult to learn these technologies in higher education institutions. Therefore, we developed the teaching materials using the 3D printer and the Arduino, for learning the prototyping technology.

Keywords: prototyping technology, teaching material, arduino, 3D printer

1. はじめに

2013年6月に政府が示した成長戦略の中にプログラミングや3Dプリンタなどの項目が組み込まれたように、この数年でこれらを用いて企業内のハードウェアやソフトウェアに関する開発設計の現場は大きく変化してきている。その中でも、ラピッドプロトタイピングとして知られている3DCADと3Dプリンタを用いた開発手法は、製造業界に大きな変革をもたらしている。ラピッドプロトタイピングでは、試作品を作成する際に、従来のように金型を必要とせず、3Dプリンタを用いるため完成品をすぐに確認できたり、仕様の変更にも柔軟に対応できるといったメリットがある。また、金型を製作しないで済むため、工期の短縮や経費の削減にも役立つことが分かっている。

他にも、このような3Dプリンタを用いたラピッドプロトタイピング以外の手法がいろいろと検討されている。その中の1つにArduinoやRaspberry PIなどを利用した試作品の開発が挙げられる。これらは、現在、工場などで利用されるセンサーを用いた検査機器や汎用ロボットの試作などに用いられることが多い。先述のラピッドプロトタイピングを含め、これらを総じて

プロトタイピングと呼ぶが、ここ数年、これらの技術の重要性は増しており、各企業においては、プロトタイピング技術を身に付けた人員の育成や確保に力を入れている。しかし、資本の少ない中小企業においては、人材の育成の余裕がないことが多く、新しく育成することができない企業も多い。

このような中、高等教育機関におけるプロトタイピング技術の習得が望まれているが、現在のところ、3DプリンタやArduinoに関する実習がある高等教育機関はそれなりにあるものの、それらを組み合わせた統合的な実習教材などはほとんどないのが実情である。

そこで、本論文では、現在までに開発していたペーパークラフト風車⁽¹⁾⁽²⁾を用いた実験教材を改良し、3Dプリンタ及びArduinoを用いたプロトタイピング技術習得用教材の作成を行ったので報告を行う。本教材は、高等教育機関での利用はもちろんのこと人材育成のため使用を希望する企業でも自由に利用できるようにする予定である。

2. 実験教材について

今回提案するプロトタイプ技術習得用教材は、利用する対象者に応じて難易度を選択できるように作成している。図1にその例を示す。例えば、一番左側にある、ペーパークラフト風車とArduinoの組み合わせでは、Arduinoの基本的な操作を風車を用いることで習

* 電子工学科 准教授

** 機械工学科 准教授

得が可能である。また、ペーパークラフトと QBlade と 3D プリンタの組み合わせでは、ペーパークラフト風車において効率的な翼の形状を実験により探しだし、その形状を QBlade を用いてシミュレーションを行ったり、3DCAD データの作成が行えるため、実際に 3D プリンタを用いて風車の翼を作成することが可能であり、簡単なシミュレーション技術や 3D プリンタの操作を身に付けることができる。

最終的には、3DCAD を用いて風車を設計し、各種センサーを Arduino と連携させた教材を作成する予定であるが、今回は、点線部で示された組み合わせと、実際に 3D プリンタで作成した風車を用いる教材について説明を行う。

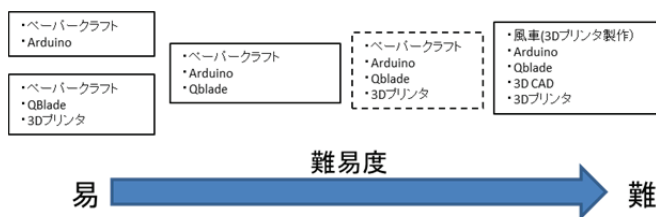


図 1. プロトタイピング用教材の組み合わせ例

2.1~2.4 に今回の教材開発に用いた各種機器やツール、教材などを説明する。

2.1 ペーパークラフト風車 今回用いるペーパークラフト風車は本校機械工学科早稲田研究室で作成されているものを使用する⁽¹⁾⁽²⁾。本風車内部は、図 2 のように増速機と発電機を有しており、実際の風車の仕組みとほぼ同じ構造を模している。また、風車の種類も図 3 のような水平軸型（アップウィンド）風車の他にも垂直型風車などがある。また、これらに各種センサーをつけることのできるモデルも作成している。

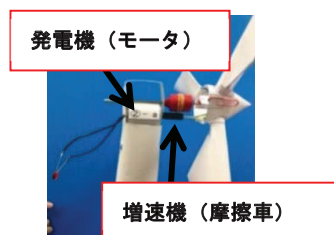


図 2. 風車の内部構造



図 3. 水平軸型風車（アップウィンド型）

2.2 QBlade 本研究では、QBlade と呼ばれる風力タービン解析ソフトウェアを用いて風車の翼の解析や設計を行う。QBlade は、2次元翼型解析ソフトとして有名な XFOIL を内包している。XFOIL はフリーの解析ソフトとして非常に有名であるが、CUI で扱うことを前提として作成されているため、初心者が扱うのは非常に困難であるという欠点があった。しかし、QBlade では、その欠点である部分を GUI を用いることで克服しており、初心者でも直感的に扱うことの出来るソフトウェアとなっている。この QBlade を用いて実験用教材では、以下のようなことを行うようにしている。

- (1) 翼型の解析
- (2) ブレードの設計
- (3) 性能解析
- (4) 3DCAD データファイルの作成

図 4 に実際に QBlade を用いて製作した一例を示す。



図 4. QBlade を用いて設計した 3D データと製作物
上側：QBlade を用いて設計した 3D データ
下側：3D データを基に 3D プリンタで製作したものの

2.3 Arduino 次に風車で発電された電圧や各種センサーから得られた信号を処理するために利用する Arduino について説明する。Arduino は AVR マイコンや入出力ポートを備えた基板（ハードウェア）とその基板上のマイコンへのプログラミングやファームウェアの転送を行うためのソフトウェア開発環境（ソフトウェア）からなっている。従来提供されていたロボット製造用コントロールデバイスをより安価で簡単に利用できることを目的に作られたデバイスであるため、汎用性は非常に高く、オープンソースハードウェアでもあるため、Arduino を用いて試作品を作成した場合、必要な部分だけを抜き出して実際の回路を容易に作成することができる。現在、Arduino は様々なバージョンが存在しているが、今回は、図 5 に示す Arduino UNO R3 を用いている。この機種は、永久保証がついているため、教材として用いる際の保守性も高いことが挙げられる。

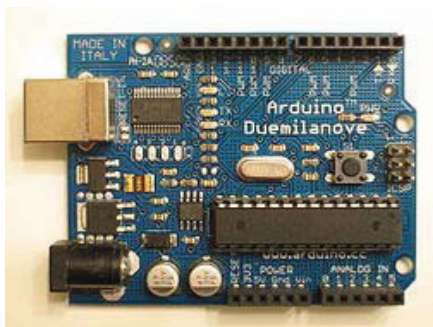


図 5. Arduino UNO R3

2.4 3Dプリンタ 今回使用した3Dプリンタは図6に示すMF-1000（ムトーエンジニアリング社製）と図7に示す3D Touch（BITS FROM BYTES社製）の2種類の3Dプリンタを用いた。両方とも熱溶解積層方式である。



図 6. MF-1000（ムトーエンジニアリング社製）



図 7. 3D Touch（BITS FROM BYTES社製）

現在、3Dプリンタは様々な種類が発売されているが、今回使用する3Dプリンタとしては、手に入りづらいハイエンドクラスのものではなく、20万円～50万円程度のローエンドクラスからミドルエンドクラスのものを選択している。

3. 作成した実験教材

次項より、図1に記載している今回開発した教材について説明する。

3.1 QBlade を用いた設計開発教材 QBlade を用い

た設計開発教材については以下の6つのステップから成り立っている。

- (1) 翼の設計
 - (2) 翼の解析（XFOIL）
 - (3) 回転翼の設計
 - (4) 回転翼の解析
 - (5) 3Dデータの作成
 - (6) 3Dプリンタを用いた回転翼の作成
- 以下にそれぞれのステップについて説明を行う。

(1)の翼の設定では、図8のように2次元で翼を設計する。水平軸型、垂直軸型用の翼のテンプレートがあるため、最初はそちらを選択する。その後、翼の幾つかの主要な部分のポイントをマウスで移動させることで簡単に形状を変化させることができる。また、より詳細に設計することもモードを変更することで容易に対応することができる。

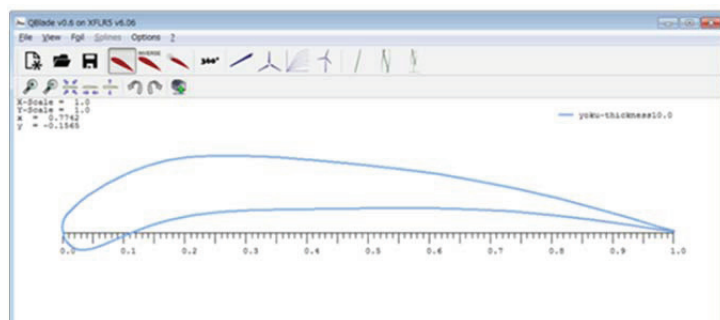


図 8. 翼の設計画面

(2)の翼の解析として、QBlade では図9のように(1)で作成した翼の特性を解析することができる。解析用のパラメータも右画面の設定項目から変更することができる。

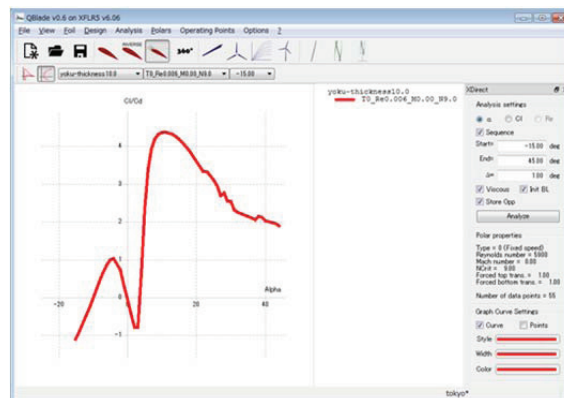


図 9. 翼の解析画面

(3)の回転翼の設計では、図10のように実際に回転する翼を3Dで作成することが可能である。この作成

についても 3DCAD の知識が無くても、翼を幾つかのパートに分けて自由に変形させることができる。

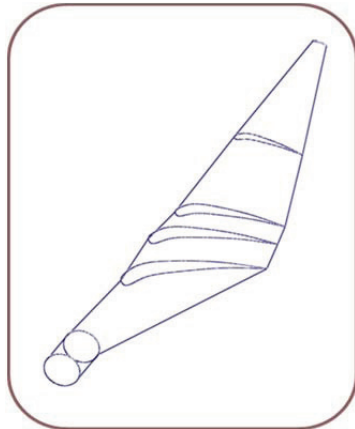


図 10. 回転翼の設計

(4)の回転翼の解析では、図 11 のように(3)の 3D データを用いて回転翼の解析を行うことができる。この結果を(3)にフィードバックさせ最適な回転翼を作成していくことが可能である。また、解析自体は解析用のボタンを押すことで自動で解析を行ってくれる。

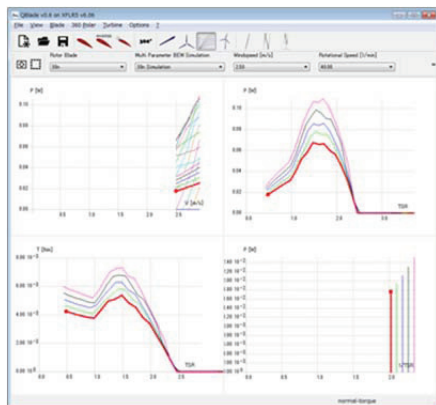


図 11. 回転翼の解析

(5)の 3D データの作成については、(3)で作成した 3D モデルをそのまま 3DCAD 用のデータとして図 12 のように外部データとして保存することができる。このデータを用いることで 3D プリンタで風車の回転翼を作成することができる。

(6)では、(5)で作成したデータを基にして 3D プリンタを用いて作成していく。(1)~(6)の過程を行うことで 3DCAD の知識が無くても風車の翼の設計や解析を行うことができ、3D プリンタの操作の習得を行うことができる。

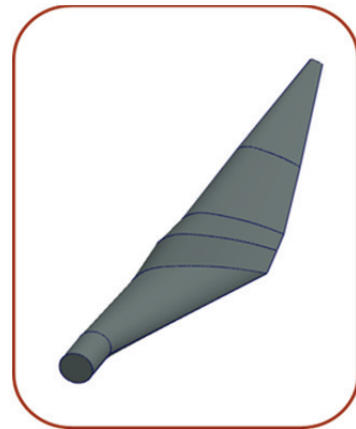


図 12. 3D データの作成

3.2 風車組立用簡易パーツ(3D プリンタ製作) 今回、ペーパークラフト風車との比較を行うために、実際に 3.1 の QBlade で作成した風車の回転翼を設置することの出来る風車組立パーツの 3D データを作成した。実際に作成したデータを図 13 に示す。

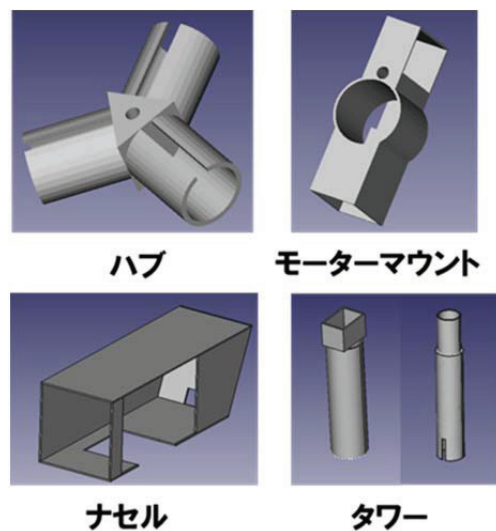


図 13. 風車組立用簡易パーツ(3D データ)

このパーツを前もって 3D プリンタで印刷して組み立てることで、風車の回転翼のみに着目した実験を行うことができる。また、このデータ自体は簡易な構造をしているため、実際にこのデータを参考にしつつ 3D CAD の練習を行うことができるようになっている。実際に組み立てたものを図 14 に示す。

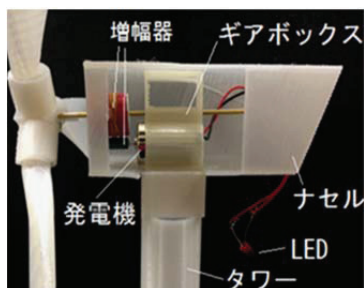


図 14. 風車簡易モデル(3D プリンタ製)

この作成した風車の内部構造は、図 3 に示したペーパークラフト風車の内部構造と同じ構造となっており、比較がしやすくなっているのが特徴である。

3.3 風車組立用パーツ(3D プリンタ製作) 3.2 で作成したのは、3DCAD の知識が無い人向け用の簡易パーツ(図 13)であったが、より高度な組立用パーツとして図 15 のようなパーツを準備した。本教材は、3.2 で使用したパーツを 3DCAD を用いて作成できるようになった受講者向けの教材となっている。具体的には、3.2 のものに比べて摩擦車をギアに変更し、竹ひごで作成していたシャフト部分など風車のほぼ全ての部分を 3D プリンタを用いて作成している。そのため、図 13 に示されるパーツでは、どうしても組立時に各パーツとの結合部分に隙間などができてしまい強度が落ちてしまう欠点などがあったが、そういった欠点が解消されたものとなっている。特に、ブレード部分を接合するハブの部分の構造を大幅に変更したことで装着の簡易化に成功した上で強度の向上も実現することができた。



図 15. 風車組立用パーツ

実際に、図 15 のパーツを用いて作成したのが図 16 の風車モデルである。全てのパーツを 3D プリンタで作成したため重量が増加してしまっただが、強度が向上したため、安定して風を受けて風車が回転できるようになっている。



図 16. 図 15 を用いた風車モデル

3.4 Arduino 用プログラミング手順説明書 今回利用する Arduino 用のプログラミング手順書を作成した。これは、現在、本校電子工学科 2 年の実験で使用されている Arduino 用のプログラム手順書⁽³⁾に、各種センサーなどが取り扱えるように応用的な部分まで記載されたものになっている。以下に内容を記載する。

- (1) Arduino の使用方法
- (5) LED を用いた実験 (デジタル入出力)
- (6) アナログ入力を読み取る方法
- (7) シリアル通信の原理とその準備
- (8) シリアル通信の方法
- (9) Processing を用いたデータロガー
- (10) イベント処理 (キーボード, マウス)
- (11) Processing を用いた視覚化 (背景色の変化)
- (12) Processing を用いた視覚化 (図形描画)
- (13) 配列に関する処理
- (14) サンプルプログラム (曲げセンサー: 回路図付)
- (15) サンプルプログラム (回転計: 回路図付)
- (16) サンプルプログラム (距離センサー: 回路図付)

この手順書には Arduino の他に、データを視覚化するために Processing のプログラミングの内容も含まれている。初心者でもステップアップしながら学べる内容となっており、プログラム初学者である本校電子工学科 2 年の学生でも問題なく、この手順書を読みながら(1)~(13)までの内容を修めることができている。追加されている(14)から(16)においては、センサーの利用方法や回路図の作成方法についても記載されており、これらのセンサーを用いた実践的なプログラミングを組むことができるようになっている。

3.5 汎用計測ツール Arduino で計測した各種センサーの値を可視化することは試作品開発などを行う上で非常に有用である。この可視化の技術については 3.4 の教材を使うことで習得可能であるが、ソフトウェア

技術の習得に時間をかける必要のない場合のために、汎用計測ツールを作成した。このツールは、今回の教材で利用できる発電電圧測定、距離センサによる距離測定、ひずみセンサによる荷重計測などが行えるようになっている。また、独自にセンサー計測を行うことができるように拡張可能となっている。図 17 にメニュー画面、図 18 に計測画面の例を示す。



図 17. 汎用計測ツールメニュー画面



図 18. 電圧測定画面

図 18 に示すように、現在使用可能な CH は 6CH としている。それぞれ同時に画面に表示することも個別に画面に表示することも可能である。また、それぞれのデータを記録することも可能となっており、計測後に、データの検証を行うことが可能である。図 18 のケースでは時間(ms)と電圧(V)が出ているが、時間の精度としては、Arduino 側の各アナログポートの入力速度が実測で約 $110 \mu\text{S}$ (10 回平均：プログラム内のループ処理時間含む) となっており、ms オーダの計測であればさほど問題が無いと考えられる。

4. 運用状況及び今後の展望

現時点では、3.1～3.5 で説明した教材が作成できている。一部の教材については運用しているが、まだ全ての教材を用いた運用までは行っていない。まずは、現在、本教材の一部を利用している電子工学科の学生からの利用アンケートの結果を基に教材の修正を行い、来年度から実施予定の機械工学科の実験実習にフィードバックしていきたいと考えている。

その後は、実際に高学年の学生向けの実験への導入や、本校だけの利用に限らず、外部向けに Web など

提供を行うことで、本教材の有用性を確認していきたいと考えている。

謝辞

本研究の一部は、科学研究費助成金(若手研究(B)25871037)の助成を受けて行われた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- (1) 早稲田一嘉, 立川力, 稲垣照美, 杉森健志: "ペーパークラフト風車の開発と学生による学生のための技術者教育の継続的な実践", 工学教育, J. of JSEE 58-4(2010), pp. 109-114. ,2010
- (2) 早稲田一嘉, 原宏太朗, 立川力, 飯田誠, 稲垣照美: "風力発電用大型風車のペーパークラフト開発—機械機能及び組み立てやすさの改良—", (社)日本工学教育協会第 60 回工学教育研究講演会講演論文, 2010
- (3) 藤本 健司, 早稲田一嘉: "ペーパークラフト風車を用いた実験教材の開発", 神戸高専研究紀要, 第 52 号, pp. 43-47, 2014.

パッケージのようなふっくらとしたパンケーキを作る方法

西山貴偉* 稲本宅哉* 中妻果穂* 中岩映梨香* 細野悠風* 田中香織* 久保昂大*
角野秀太* 谷口博** 大多喜重明***

A Study on the Recipe for a Plump Pancake Like Its Mix Package

Takayori NISHIYAMA* Takuya INAMOTO* Kaho NAKATSUMA* Erika NAKAIWA*
Haruka HOSONO* Kaori TANAKA* Akihiro KUBO* Shuta KADONO*
Hiroshi TANIGUCHI** Shigeaki OHTAKI***

ABSTRACT

We examine the difference in thermal expansion of pancake by changing cooking instructions in order to consider an appropriate recipe for a plump pancake like its mix package picture. The cooking instructions we studied are as follows; with or without the top of the frying pan, mixing time of ingredients, egg preparations, and amount of milk in the pancake mix. The grill temperature is same for all the instructions. The results show that the most suitable instructions for a plump pancake are to stir 200-g of the pancake mix with 100-ml of milk for three minutes in the yolk mixture with a prepared whipped the egg white and to cook with a lid of pan.

Keywords : plump pancake, recipe

1. はじめに

市販のホットケーキミックスのパッケージには、ふっくらとしたパンケーキの写真が記載されている。しかし、家庭でつくるパンケーキはパッケージの写真のようにうまく膨らまない。パンケーキの膨化は、加水量・鉄板温度上昇に左右されることが知られている⁽¹⁾⁽²⁾。小麦粉に水分を足した生地を力を加えるとグルテンが出来る⁽⁵⁾。生地中に形成されたグルテンは網目で細い繊維状になり、小麦粉中のでんぷん粒や気体を包み込むため、結果として生地が膨らむことになる⁽⁶⁾。また、グルテンの網目状組織は熱で変性して固くなり、生地中にしっかりと骨組みができて、冷えてもその形状を保つことが出来る⁽⁷⁾⁽⁸⁾。ホットケーキミックスに含まれるベーキングパウダーは、主としてグルテンに気体を送り込む役割をする。ベーキングパウダーの主成分である「重曹」と呼ばれる炭酸水素ナトリウム(NaHCO_3)を加熱すると、分解して

炭酸ナトリウム、二酸化炭素(炭酸ガス)、水、を生じる化学反応が起こり、この炭酸ガスの泡によってグルテン、つまり、小麦粉が膨らむ仕組みになっている⁽⁹⁾。

一方、副原料である卵・牛乳の影響については、鉄板や室内の温度、室内の湿度、成分の影響によって変化するため、条件が複雑であり解釈が難しいことが知られている⁽³⁾⁽⁴⁾。

そこで本研究では、厚みをふっくらしているとみなし、鉄板の温度を一定として、パンケーキを作る上で必ず含まれる条件や行程である蓋の有無、材料を混ぜる時間、卵の下処理、牛乳の量といった調理手順・調理条件を変えた場合に、パンケーキの膨張の違いを調べることにした。

2. 方法

2.1 材料 卵(1個 Mサイズ 58g)、調理油(5mL)、牛乳(殺菌法:130秒 2秒間 ホモ)、ホットケーキミックス(200g, TOPVALU)を使用し、実験の基本となるパンケーキを作成する(全て常温に戻して使用)。

2.2 器具 使用する器具は以下のとおりである:ハンドミキサー(imarflex IX-320)、ターナー、レードル、乾

* 本校 自然科学部 部員

** 一般科准教授(自然科学部顧問)

*** 一般科教授(自然科学部顧問)

湿温度計，表面温度計，ホットプレート(TOPVALU AOPX-TV1280-R)，ボウル，クッキングリング(φ120mm)，ノギス(デブスパー部)，調理蓋，計量スプーン，ハンドミキサー(imarflex IX-320)は，材料を加減関係なくかき混ぜるために使用する．ターナーはパンケーキを裏返すために使用する．レードルは，混ぜた材料を鉄板に注ぐために使用する．乾湿温度計は，実験を行う室内の気温と湿度を計測するために使用する．表面温度計は，鉄板の表面温度を計測するために使用する．ホットプレート(TOPVALU AOPX-TV1280-R)は，材料を焼くために使用し，今回は温度変更ができないものを使用する．ボウルは，材料を混ぜる際の容器として使用する．クッキングリング(φ120mm)は，生地を面積を均一にするために使用する．今回はパンケーキの膨らみを深さとして測定するため，デブスパー部を使用した．調理蓋は，パンケーキを焼く際に水分を逃がさないために使用する．計量スプーンは，材料を量り入れるために使用する．

2.3 検討する調理条件 4つの調理条件を変えて，それぞれ4回(実験2は7回)実験を行い，それぞれパンケーキの厚さを計測する．検討した調理条件は以下のとおりである．

- (1) 蓋の有無(実験1)
蓋をした状態と蓋をしていない状態でパンケーキを焼き膨らみの差を調べる
- (2) 混ぜる時間(実験2)
材料を混ぜる時間(1分，2分，3分)を変えてパンケーキを焼き膨らみの差を調べる．
- (3) 卵の下処理(実験3)
卵の下処理は以下の4通りを行う．なお，卵の下処理を行ったものはその後生地に混ぜる．卵1個分の質量を58gと統一して行った．
 - (A) あらかじめ白身と黄身に分けておき，白身をハンドミキサーで1分混ぜた後に黄身を加える
 - (B) あらかじめ白身と黄身に分けておき，黄身をハンドミキサーで1分混ぜた後に白身を加える
 - (C) 白身のみ(卵1つ分と同質量)をハンドミキサーで1分混ぜる
 - (D) 黄身のみ(卵1つ分と同質量)をハンドミキサーで1分混ぜる
 (A)-(D)のそれぞれについて，パンケーキを焼き膨らみの差を調べる．
- (4) 牛乳の量(実験4)
牛乳の量(100mL，150mL，200mL)を変えてパンケーキを焼き膨らみの差を調べる．

2.4 手順 以下に示す手順はホットケーキミックスのパッケージに掲載してあるものである．なお，全ての実験の基本となる手順は以下のものであるが，実験1から順に良い結果の手順を引き継いでいき，実験4の1番良い結果のものが本研究の最も良い手順となる

ようにした．

- (1) 室内の湿度温度を測定した．
- (2) 鉄板を210度まで温めた．
- (3) ボウルにホットケーキミックス一袋，牛乳(150mL)，卵(1個)加えた．
- (4) (3)をハンドミキサーで1分かき混ぜた．
- (5) (4)を100mLずつに分けた．
- (6) 鉄板にクッキングリングを置き調理油(5mL)をひいた．
- (7) クッキングリングに(5)を注ぎ，3分焼いた．
- (8) (7)をひっくり返し，3分焼いた．
- (9) (8)をクッキングシートに移した．
- (10) (9)の厚さをノギスで測定した．

3. 結果

3.1 蓋の有無を調べた結果(実験1) 蓋の有無による影響を調べた実験の結果を表3.1，平均値で比較した結果を図3.1に示す(実験日2015.05.27，気温24.6℃，湿度55.0%)．

実験1の結果，蓋有りの方が蓋無しの場合よりもパンケーキが膨らむことがわかった．

表3.1 実験1: 蓋有り/無しによる違い[mm]

蓋	1回目	2回目	3回目	4回目	平均	SD
無し	24.55	26.45	29.00	26.60	26.65	1.579
有り	28.70	31.65	31.25	31.50	30.78	1.206

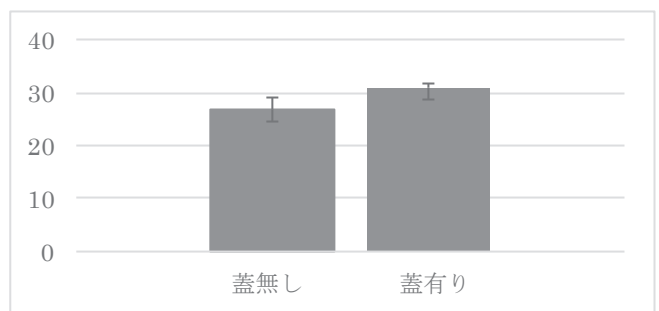


図3.1 実験1の結果 厚さの平均値[mm]

3.2 混ぜる時間を変えた結果(実験2) 混ぜる時間による影響を調べた実験の結果を表3.2，平均値の比較を図3.2に示す(実験日2015.06.24，気温27.3℃，湿度84.5%)．この実験は数値のばらつきが他の実験に比べて大きかったため，合計7回の実験をした．

実験2の結果，混ぜる時間を3分にした場合が一番厚さが大きかったものの，大差は無かった．

表 3.2 実験 2：混ぜる時間による違い[mm]

	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目	7回目	平均	SD
1分	26.70	31.65	31.25	31.50	31.30	35.20	33.40	31.57	2.403
2分	30.70	28.45	24.30	31.70	30.50	33.10	32.70	30.21	2.806
3分	32.00	34.50	29.95	31.50	33.00	33.10	29.50	31.94	1.653

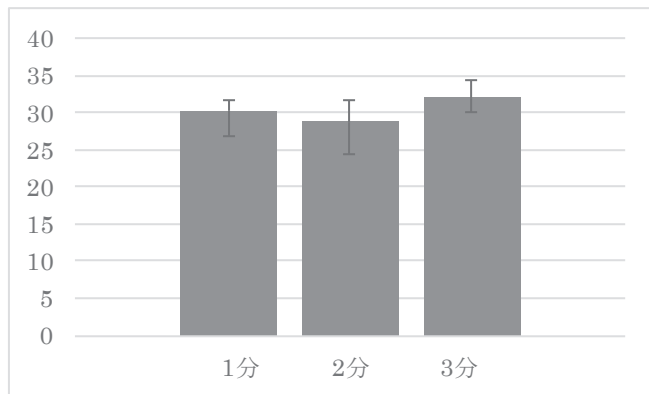


図 3.2 実験 2 の結果 厚さの平均値[mm]

3.3 卵の下処理を変えた結果 (実験 3) 卵の下処理による影響を調べた実験の結果を表 3.3, 平均値の比較を図 3.3 に示す (実験日 2015.08.21, 気温 29.0°C, 湿度, 85.0%)。

実験 3 では, あらかじめ卵を白身と黄身に分けておき, 白身をハンドミキサーで 1 分混ぜた後に黄身を加えた場合が最も厚さが大きかった。

表 3.3 実験 3：卵の下処理による違い[mm]

卵の状態	1回目	2回目	3回目	4回目	平均	SD
白身先+黄身	36.50	25.20	25.70	28.90	29.08	4.515
黄身先+白身	29.20	24.50	24.00	25.00	25.68	2.605
白身だけ	21.35	18.90	27.05	22.43	22.43	2.956
黄身だけ	27.05	26.30	30.50	27.95	27.95	1.583

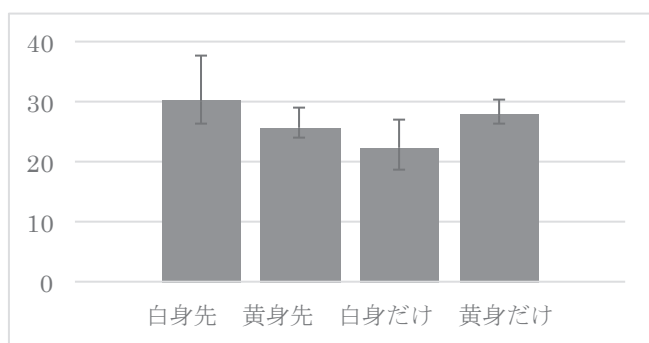


図 3.3 実験 3 の結果 厚さの平均値[mm]

3.4 牛乳の量を変えた結果 (実験 4) 牛乳の量による影響を調べた実験の結果を表 3.4, 平均値の比較を図 3.4 に示す (実験日 2015.08.25, 気温 25.5°C, 湿度 88.0%)。実験 4 では, 牛乳の量を 100mL にした場合に最も厚さが大きかった。牛乳の量が少ないほうがパンケーキは膨らむという結果となった。

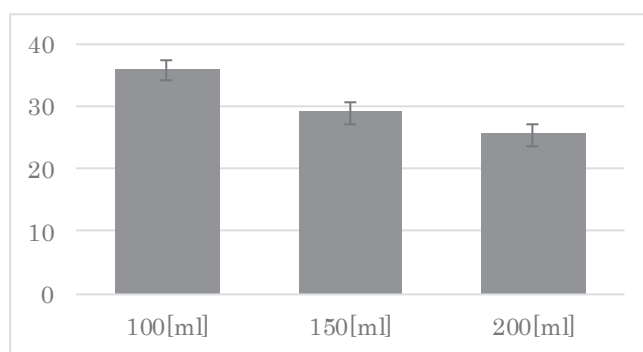


図 3.4 実験 4 の結果 厚さの平均値[mm]

4.まとめ・考察

4.1 蓋の有無 蓋が有る場合にパンケーキがより膨らむことがわかった。蓋をすると蓋の中の気温が高くなり全体に火が通りやすくなる。また、蓋をすると、材料に含まれる水分が水蒸気として気化しても、蓋の内側で再び液化し、雫となって生地に戻される。それにより生地がベタベタにならないことが重要であるが、パンケーキの生地にとって適切な水分量であれば材料の中に適切に還元されることを本実験は示唆している。これらの要素が、厚さを大きくするのに寄与した可能性が考えられる。

4.2 混ぜる時間 数値にばらつきがあったため 7 回実験を行ったが他の実験と比べるとパンケーキの膨らみの差はとても小さかった。よって、パンケーキミックスを混ぜる時間による膨らみ方への影響は小さいと考えられる。本来パンケーキミックスは、ゴムベラでさっくりと切り混ぜる位が良いとされている⁽¹⁰⁾。パンケーキミックスを長時間混ぜると、小麦粉に含まれるたんぱく質から多量のグルテンが形成される。グルテ

表 3.4 実験 4：牛乳の量による違い[mm]

牛乳の量	1回目	2回目	3回目	4回目	平均値	SD
100[mL]	36.20	36.25	34.00	37.35	35.95	1.216
150[mL]	36.50	25.20	25.70	28.90	29.08	4.515
200[mL]	23.80	29.50	24.70	24.50	25.63	2.262

ンが多量に生成されると生地が固くなるため、パンケーキの膨らみが妨げられると考えられる。今回の実験では、ハンドミキサーを用いており、実験全体でグルテンが多量に出来ていたことが予想される。そのため、混ぜる時間の違いに大きな差はなくなったと考えられる。

4.3 卵の下処理 水は表面張力が 72.75mN/m と他の多くの液体よりも高い部類に入る⁽¹²⁾。そのため、気泡ができて表面張力によってそれを破って平らな状態に戻ろうとするので、表面張力を弱めると気泡が割れにくくなる。卵白には表面張力を小さくするタンパク質(グロブリン)が含まれている。今回の実験では、白身を先に泡立て黄身をいれたものが一番膨らみ、白身だけのものが一番膨らまなかったという結果になった。卵白の気泡(タンパク質の膜)は油分や水分によって破壊されるため泡立ちが抑えられてしまう⁽¹¹⁾。そのため、白身だけの場合だと表面張力は弱まり気泡は割れにくくなるが、気泡は破壊されているため膨らまないことになる。今後は白身と黄身がパンケーキの膨張に及ぼす影響を調べるのが課題である。

4.4 牛乳の量 牛乳の量が少ないほうがパンケーキは膨らむという結果になった。牛乳には発酵を妨げるカゼインという成分や雑菌が含まれている。牛乳を過度にパンケーキミックスに投入すると、発酵が妨げられパンケーキミックス中に出来る気泡の量が減ることが予想される。一方、適度なグルテンの生成のためには牛乳は必要である。本実験の結果は、パンケーキの厚さを大きくするための要素として、牛乳の量が重要であることを示唆している。本実験結果は、最適な牛乳量を決定するには至っていないが、本研究の手順の牛乳の量に比べて過度な量の牛乳はパンケーキの厚みには負の効果にはたらくことを実証しており、興味深い結果となった。

参考文献

- (1) パンケーキの膨化について 瀬口 正晴：
https://www.jstage.jst.go.jp/article/cookeryscience196/8/17/3/17_136/pdf
- (2) パッケージのようなふっくらぶ厚いホットケーキを焼くコツは温度にあった！：
<http://okguide.okwave.jp/guides/33860>
- (3) 小麦の科学 長尾 精一 朝倉書店
- (4) 小麦の機能と科学 長尾 精一 朝倉書店
- (5) パン作りの仕組み：
<http://lovebread.web.fc2.com/pandukurino-sikumi.html>
- (6) 覚えておこう！パンの作りの知識：
<http://www.eurus.dti.ne.jp/~kae-/pan/kihon.html>
- (7) パンに不可欠な4つの材料、その理由とは：
<http://textview.jp/post/cooking/12517>

- (8) 小麦・小麦粉に係る基礎知識：
<http://www.seifun.or.jp/kisochishiki/tanpakusituguruten.html>
- (9) ホットケーキやパンが膨らむ科学について：
http://www.tcoop.or.jp/anzen/documents/2011027_p46_indd.pdf
- (10) パンケーキの歴史物語 お菓子の図書館 原書房
ケン アルバーラ(著) 関根 光宏(翻訳)
- (11) カソウケン(家庭科学総合研究所)：
<http://www.kasoken.com/03kitchen/merengue.php>
- (12) 表面張力. Wikipedia.
<https://ja.wikipedia.org/wiki/表面張力>

Report: Globalization at Kobe City College of Technology 2014-15

Mark PILEGGI*

ABSTRACT

From April, 2014 the writer of this paper was employed full time by the City of Kobe as a full time English teacher at Kobe City College of Technology. It has been almost 10 years since KCCT put globalization as one of the three main goals of the school, and the employment of a full-time native English teacher was a big step in moving towards that goal. Considering the situation, the writer of this paper felt both a lot of pressure and great possibilities were laid before him. Of course there had been native English teachers working part-time at KCCT for years already, but the difference in responsibility is quite great when one's primary purpose is to propagate globalization on-campus. Teaching English communication skills in the classroom is the main responsibility, however outside of the classroom is equally important regarding the globalization of a campus. On top of those responsibilities, the foreign teacher must also decide how much of the Japanese paperwork, emails, meetings and duties are mandatory or if some of them can be done in English instead.

Keywords : communication skills, globalization, native English speaker

1. April, 2014 – A New Start at KCCT

The writer was employed full time as a native English lecturer at Kobe City College of Technology as of April 1st, 2014.

In August of 2014 the writer traveled to Massachusetts, in the United States of America. This is his home state and he has many connections there. His father is a retired Electrical Engineer and he has many colleagues in the area as well. The writer contacted several technical high schools, colleges and universities. Particularly of interest was Worcester Polytechnic Institute where a close friend to the family and doctor in the field of Electrical Engineering is still employed there and the school seemed very welcoming of students or teachers interested in study or research, or doing something in collaboration. At first glance the financial burden seems too large to recommend for students to apply, as full time students, however scholarships and various programs are available to consider in the future. It is about 1 hour from Massachusetts Institute of Technology by car, which is in Boston, the state capital. The writer is willing and able to approach other schools in foreign countries to help establish connections that could eventually lead to friendly destinations for our students and teachers for study abroad, sabbaticals and homestays. Not only

outbound program expansion, he could help organize inbound exchange programs allowing KCCT to invite bright young students and instructors from around the world to visit and study, research or teach at the KCCT campus.

2. March, 2015 – Travel to Dunedin, New Zealand

Because the writer is part of the Global Collaboration Research Committee he had the opportunity to help chaperone a group of students going to study abroad. He accompanied third and fourth year KCCT students, supervising them with one other Japanese Engineering teacher on a two week study abroad and home stay program at Otago Polytechnic. The school has wonderful facilities with very kind and helpful staff and faculty.



*General Studies Lecturer

Pic.1 Engineering English at Otago Polytechnic

They were very accommodating to our students as well as to the chaperone teachers. All of the classes were held in English and most of them were focused on some sort of engineering concepts.

Engineering specialists in civil engineering and mechanical engineering had the students doing hands on experiments which proved to be valuable learning experiences that they will not forget. In order to run the experiments all in English, they also carefully explained everything before-hand in the classroom, giving our students new vocabulary and PowerPoint explanations of what they were going to do. The practical hands-on experiences included preparing cement cylinders then testing the durability of the cement, creating a wooden trestle bridge then testing to see how much weight it could support before it broke, and also making 3-D CAD projects of interlocking puzzle pieces and a nut and bolt with animated videos at the end.

There was a conversation English class every morning which was very practical and students had to talk in all English for one minute to their peers each day, many times in a row.



Pic.2 Students talking in English at Otago Polytechnic

At the beginning of the two weeks, students complained that it was difficult to speak for one minute but after two weeks they could speak for five minutes with no problem. The greatest evidence of the students' progress was noticed when they came back to the KCCT English classroom. When students are asked to speak in English in front of the class, they always are very slow to agree and are usually very shy. Every student that went to New Zealand when asked to speak in English in front of the class showed no hesitation and was very comfortable speaking in English, or at least tried to answer the teacher's questions or follow the teacher's directions.

There were daily tours of the Polytechnic facilities or some introduction of a native New Zealand activity such as an introduction to playing cricket. There were also 2

occasions where the Japanese students could meet with Kiwi engineering students to eat lunch together and exchange stories about their school life. They showed our students a giant JENGA game made by the school's carpentry students, which was fun for everyone to try. Otago Polytechnic's staff also set up a hospitality class to host the KCCT students where they listened to the student presentations introducing Japan, followed by small group discussions (groups of 3 or 4 students) in a computer lab allowing students to use the Internet to help explain their favorite things back home. These were great global learning opportunities with international exchange happening very naturally for the students and on future programs it would be great if the number of student to student interactions could be increased. Both the Kiwi students and the KCCT students seemed to have a great time talking to each other.

Off campus excursions on weekends included a scenic train tour of the beautiful local area scenery, a bus tour of the city and area including observation decks overlooking Dunedin, a visit to an albatross and penguin colony and a visit to the local Cadbury Chocolate factory. Besides these tours, many students' host families took them to other local attractions and sight-seeing destinations. The Southern Island of New Zealand is more rural which means it's a great vacation destination even for Kiwi people, so there are lots of gorgeous sight-seeing spots.

One of the optional trips scheduled for the KCCT students was to visit Queenstown for a weekend but the students opted to not go and spend more time with their home stay families. Nishida-sensei and the writer of this paper were able to rent a car and travel to Queenstown which is a town near the center of the Otago Peninsula that has scenic beauty second to none. The purpose for making the three hour trip was to confirm the quality of the area for future trips and decide whether it would be worth offering it as an optional tour to KCCT students or not. It was decided that it would indeed be a special weekend if they could go, but it would involve more money not only for the traveling and staying overnight, but any activity in Queenstown was quite expensive. However, for jet-boat rides, skydiving, bungee jumping and other outdoor activities, many of which could not be done in Japan, it was the perfect setting.

3. Regarding home stay programs

A very interesting and important thing to note about the homestay families in New Zealand is that the KCCT students stayed in homes with teachers' families that work at the Polytechnic Institute. Also, many of the families had more than one international student staying at their house. The government paid money, or the school pays money to

the homestay families to help support the living expenses of the international students. Perhaps this money was collected partially from our student fees as well. The writer has not asked about the details directly to Otago Polytechnic staff but is looking forward to doing so in the future if allowed. We should think about developing a more realistic system if we are going to have a proper homestay program at our school. Continuing to do a completely volunteer based home stay recruiting plan from KCCT students' families will become more and more difficult and long term home stays will be nearly impossible for foreign students interested in studying at our school. Getting advice and inspiration from schools that already have good programs working, that have similar conditions to our school would be a valuable source of knowledge in this area. The writer is very happy to contact other schools to find out more information about how a good homestay program is run.

4. On campus at KCCT

Since the writer was hired he has been the representative of the global society outside of Japan at KCCT on a daily basis. The particular advantages and disadvantages can be thought of this way. Some students are afraid of foreigners and try their best to avoid any contact. However, that is a small percentage of the student population. Most students are very eager to test the limits of their English and are much more willing to challenge speaking in English with a foreigner than with a Japanese teacher that may be very good at speaking English. Students have more motivation to speak in English with a native English speaker. They are generally more motivated in class as well. Greetings are more common as it is considered more of a fun challenge than a required task. Cultural differences for example, such as holidays; Christmas, Valentine's Day and Halloween offer special opportunities for fun interactions between the students and foreign teacher as well. Also, there is a natural curiosity about the way things are done in a different country, compared to in Japan.

The writer of this paper has willingly taking on responsibility to make opportunities for motivated students to speak English outside of the classroom such as eating lunch together. Other students can practice their English when they visit the native English teacher's research laboratory or by getting involved in the speech contest which will allow them to work on a one-on-one basis with the native English teacher. The writer is also responsible for the ESS club with Dr. Imamura at present, and he teaches the students in the club once a week on Thursdays for an hour or an hour and a half. This is an open club and other students not regularly in the ESS club are able to visit if

they like, which is highly recommended for returning exchange students, although to date it has not been utilized by them so much. Because the ESS club doesn't have tournaments or other weekend commitments the native English teacher is able to visit other clubs and enjoy their activities with them on an irregular basis as well. The writer enjoys playing table tennis, tennis, soccer, baseball, archery, Kendo, and volleyball so there are lots of chances to interact with students doing club activities in their favorite sports. The writer also enjoys music, photography, drawing, games and other cultural activities, so in the future joining in a band to sing some western music or helping with an art exhibition or something of that nature might be fun for those types of students as well.



Pic.3 Entering for the first time ever, KCCT took 3rd & 4th place at the 2014 Kansai Region Speech contest

The recent addition of an “English Lounge” at KCCT has opened the door for an official English speaking opportunity to students who want to speak with a native English speaker outside of the classroom setting. Since the start of this program it seems to be drawing about 20 students each time. If nurtured this could turn into a valuable resource for the KCCT students. The writer of this paper joined the first session, but a part-time foreign lecturer from Kobe City University of Foreign Studies has agreed to take care of the Lounge for the year of 2015-16.

Another great opportunity for students to speak with native English speakers is when international visitors come to visit our school. The writer of this paper is a member of the Global Collaboration Research Committee at KCCT and has many opportunities to help facilitate guests that come to visit KCCT. There have been international visitors from Singapore, Canada, New Zealand, the United States and other countries as well. During their visits KCCT students are always asked to show the international guests around

campus, eat lunch together with them, and present their research information in English to the guests. This is a wonderful opportunity for students to talk with native English speakers and non-native English speakers close to their age. Presenting their research information is a great opportunity for them to practice skills valuable for their future jobs and careers. Sometimes students' families are willing to accept international guests for a short homestay program. This is also valuable chance for them to experience international guests in a private setting. In order to continue families' cooperation entertaining international guests in this way we must consider offering money to help support the costs incurred by the international guests.

5. In the Classroom at KCCT

There is curiosity about how things are done in other countries that draws them to the foreigner and they are more likely to pay attention during class. The style of teaching also differs which can be good or bad for the students. A few students are much more comfortable listening to lectures and changes to their norm can make them uncomfortable or stressed. They are unable to assimilate to the changes and have negative feelings throughout the term. On the contrary, most students are stimulated by change, find it more interesting and are willing to try things outside of their comfort zone. The writer of this paper teaches English in different areas. Teaching for the TOEIC Test and the TOEIC Bridge Test require the native English teacher to drill the students on difficult vocabulary and grammatical points. These lectures are very difficult to be held all in English because of the content difficulty. On the other hand English communication skills lessons are taught for half of the syllabus. During these classes the native English teacher is able to encourage students to challenge their English speaking and listening abilities. Using group activities and pair work, students are taught practical communication skills. Rejoinders are the first lesson done in the communication English class. Rejoinders teach students how to respond when someone says something to them in English. In the second English communication class they are taught how to ask follow-up questions to help keep the conversation going. In the third English communication class they are taught how to confirm details to make sure they have not mistakenly heard information. The writer has specifically chosen a text entitled, "Conversation Strategies" by Kehe⁽¹⁾ for the English communication portion of his class. It is a valuable tool that teaches English in a very practical and useful manner for the English communication portion of his class. The writer also believes that many students are lacking in Japanese communication

skills, therefore this class may help them improve their communication in any language.

At the time of this paper being written the native English teacher has about 330 students to take care of. During the school year the writer of this paper starts by teaching all of the fourth year students, which translates to being first year university level students. On top of this the writer is teaching a humanities class for around 35 5th year students. After the first term the writer then changes from fourth-year to 3rd year students. This means in September the writer of this paper must learn to 240 students new names. On top of that as of 2015, the writer has begun teaching two more fifth year English classes. The focus of the fifth year English classes has been turned to presentations and English related to their future jobs and careers. Considering the burden of the other English teachers, this is not an extreme load, but it is very difficult for the native English teacher to give one on one time to each student. In the future it would be ideal to break the third and fourth year classes in half allowing the native English teacher to teach English communication skills to between 20 and 25 students at a time. There was a proposal made by KCCT President Ito for just such an adjustment, however, due to lack of teaching staff and funding it is impossible at this juncture. Also ideally, removing the necessity for the native English teacher to instruct about the TOEIC Test or TOEIC Bridge Test would be preferable. This would allow for the possibility of the native English teacher conducting classes completely in English.

References

- (1) Kehe D., Kehe, P. D.(2007). *Conversation Strategies -2nd ed.* United States of America: Pro Lingua Associates, pp.1-12.

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。

(c) 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こと。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)

(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。

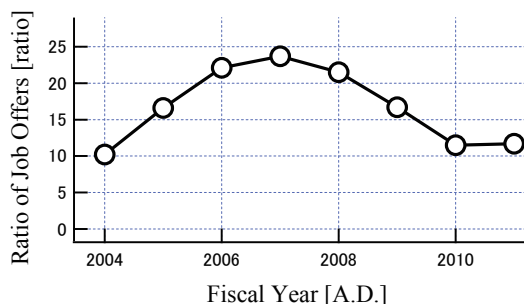


図1 神戸高専本科の求人倍率の推移。

(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

* 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。フォントが埋め込んで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.

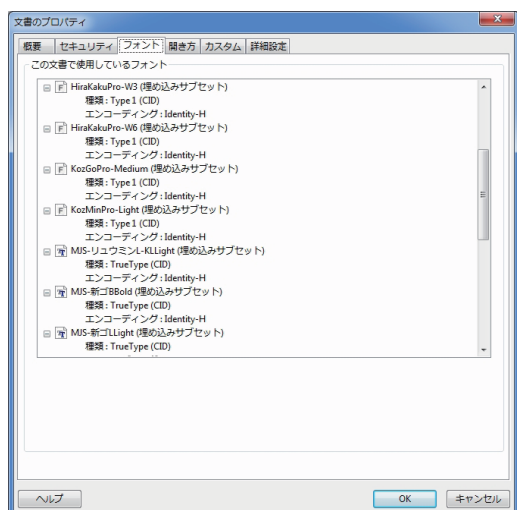


図2 フォント埋め込みの確認。

(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 54 号 編集委員

児玉 宏児 (総合情報センター長)

西村 征也 (副センター長)

尾山 匡浩 (副センター長)

柿木 哲哉 (副センター長)

谷口 博 (副センター長)

清水 俊彦 (機械工学科)

赤松 浩 (電気工学科)

戸崎 哲也 (電子工学科)

小泉 拓也 (応用化学科)

柿木 哲哉 (都市工学科)

高見健太郎 (一般科)

山本 元紀 (学生係)

杉岡 節昌 (総合情報センター)

稲田 眞一 (図書館)

豊田千代子 (図書館)

研 究 紀 要 第 54 号 (非売品)

発 行 日 平成 28 年 3 月 8 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 27 年度 第 634 号 (広報印刷物規格 A-5 類)



United Nations
Educational, Scientific and
Cultural Organization

City of Design
KOBE 

Member of the UNESCO
Creative Cities Network
since 2008



古紙パルプ配合率70%再生紙を使用

リサイクル適性 

この印刷物は、印刷用の紙へ
リサイクルできます。