Research Reports of

National Institute of Technology, Tokyo College

No.49, Mar. 2018

東京工業高等専門学校 研究報告書



第 49 号

2018.3

東京工業高等専門学校研究報告書 第49号

目 次

車軸と	車輪の	間の	動壓擦係数	(減速係数)	の測定3
 	- T- TIII V ノ	コロコマン			マンはけんこう

- 反射型光センサ(フォトリフレクタ)による実装を目的とした装置開発-

藤井 俊介 1

A Study Note on William Faulkner's Sense of Place

横溝 仁 6

スリランカのヘレニズム・ローマ文化に関する考古学的研究

鈴木 慎也 13

熱負荷を受ける単純重ね合わせ接着継手の力学特性

志村 穣、池滝 健一、後藤 隆生、黒﨑 茂 19

永久磁石モータの零速度駆動時の素子発熱集中緩和法に対するシミュレーション検証

綾野 秀樹、嶋本 椋太、松井 義弘 24

窒素ドープした TiO2 系透明導電膜の評価

伊藤 浩 30

フォトリソグラフィを用いた MOEMS 技術の教材開発 - 第7報 専攻科特別実験への導入-

新國 広幸、伊藤 浩 34

モーバイル広域マルチホップネットワークの一検討

田中 晶、澁田 叡知、中新井田 覚志、新井 将司、三枝 日奈子、 41 坂本 亮、佐々木 貴啓、佐藤 恵介、松村 岳信、溝畑 祐太

楽曲を用いた情報伝達システム Tone Code

小嶋 徹也、鎌田 寛、Udaya PARAMPALLI 47

フミン酸の重金属吸着能力に与える共存イオンの影響

庄司 良、岩田 孝樹 53

桃太郎絵巻から見えるもう一つの桃太郎像(上)

舩戸 美智子 58

平成29年度教員教育研究業績

68

Research Reports of National Institute of Technology, Tokyo College No.49

CONTENTS

Measurement of Deceleration Coefficient in a Simple Experimental System	
with One Wheel and One Axis part 3	
-Intended for the implementation of the photo-sensing devices (photo-reflector) $-$	
Shunsuke FUJII	1
A Study Note on William Faulkner's Sense of Place Hitoshi YOKOMIZO	6
Archaeological studies on Hellenistic and Roman culture in Sri Lanka Shinya SUZUKI	13
Mechanical Properties for Adhesively Bonded Single-lap Joints Subjected to Thermal Loadings Jyo SHIMURA, Kenichi IKETAKI, Takao GOTO, Shigeru KUROSAKI	19
Simulation Verification of the Alleviation Technique for Thermal Concentration on Power Devices	
in Zero-speed Driving of PMSM Hideki AYANO, Ryohta SHIMAMOTO, Yoshihiro MATSUI	24
Preparation of Nitrogen-Doped TiO2 Transparent Conductive Thin Film Hiroshi ITO	30
Development of Teaching Materials for MOEMS Technology by Using Photolithography —7th Report, Introduction into Advanced Laboratory Work in Advanced Course— Hiroyuki NIKKUNI, Hiroshi ITO	34
A study on mobile wide-area multihop networks Akira TANAKA, Akitomo SHIBUTA, Satoshi NAKANIIDA, Masashi ARAI, Hinako SAEGUSA, Ryo SAKAMOTO , Takahiro SASAKI, Keisuke SATO, Takenobu MATSUMURA, Yuta MIZOBATA	41
Tone Code: A Communication System Based on Musical Pieces Tetsuya KOJIMA, Kan KAMADA, Udaya PARAMPALLI	47
Effect of coexisting ions on the ability of humic acid adsorbed with heavy metals Ryo SHOJI, Kohki IWATA	53
On the Image of Momotaro in Momotaro Emaki Michiko FUNATO	58
Education and Research Activities	68

車軸と車輪の間の動摩擦係数(減速係数)の測定3

一反射型光センサ(フォトリフレクタ)による実装を目的とした装置開発一

藤井 俊介*

Measurement of Deceleration Coefficient in a Simple Experimental System with One Wheel and One Axis part 3

-Intended for the implementation of the photo-sensing devices (photo-reflector)

Shunsuke FUJII*

Intended for precise measurement of the velocity of a dynamical cart, its angular velocity measurement has been investigated with the same photo-sensing device as in Fujii[2015, 2016]. Instead of using the photo-interrupter, the measurement by the photo-reflector, more practical for the implementation to the dynamical cart, is considered.

(Keywords: Physics education, kinetic friction, deceleration coefficient, photo-reflector)

1. 背景

力学台車(図 1)の加速度(角速度の時間変化)の精密測定を目的として、車輪に直接固定された自作ロータリーエンコーダを読み取る、光センサによる非接触測定を行

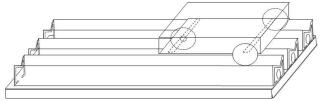


図 1 台車レール上を運動する力学台車

ってきた。(藤井 2015[1], 2016[2]) 実際に用いたモデル実験の装置は図2のとおりで、木製の土台に台車用の軸を固定し、測定したい車輪をのせ空転させる。

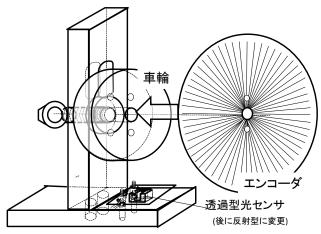


図 2 摩擦測定装置の図

車輪には、運動を符号化するための金属板(ロータリーエ

ンコーダ板)が固定してあり、車輪の減速運動に合わせ て、等角度回るごとに(赤外)光の透過・遮蔽が切り替わる。 この切り替わりを直接的にパルスで符号化するのが、フ ォトインタラプタという透過型光センサで安定動作のた めにトランジスタを通した後、その出力信号を、(時間, 電圧)を含んだ Excel ファイル生データ出力またはビット マップでのグラフ出力が可能な Iwatsu DS-5104 デジタ ルストレージオシロスコープ(以下、「オシロスコープ」 と略記)で読み取る。本実験装置の第一の開発の方向性は、 ノイズが比較的少なく角度分解能の高い透過型光センサ を用いて、**摩擦の素過程を精密に調べる**ということであ る。この第一の方向性で力学台車への実装を考えるため、 藤井(2016[2])においてエンコーダ板の小型化などを試み た。しかし、車輪の外側に幅 18mm ほどのアタッチメン トを通して車輪に装着された小型エンコーダ板(直径 100mm→直径 40mm)では、車輪の横揺れがデータに混 ざり、精密測定データを大きく乱してしまう原因となっ た。そこで、実装化と精密測定を分けて考える。第二の 開発の方向性として、**力学台車そのものへの実装**を目的 とし、精度を落としてでも実装可能な形(小型化・軽量 化・製造過程の簡易化・素材の再選択)を考える。特に、 反射型光センサの利用を念頭に置いて開発する。

ところで、車輪の摩擦過程は、純粋な「動摩擦係数」 として取り扱うには十分でない。いくつかの例をあげる と、軸の荷重が曲面上の各点に非一様にかかる点、車輪 の変形による「転がり摩擦」(抗力が垂直・接線方向の両

*一般教育科 (物理)

成分を持つ)による影響、一般の車輪ではベアリングの 内部構造に起因する摩擦、高速回転時の車輪の横揺れ (振動の励起)と、振動に伴う音波の放射によるエネル ギー損失などが挙げられる。これらのあらゆる効果が 加速度に影響する。本実験における測定可能量は、角 速度の時間変化のみであるので、実験上は要因ごとに 分類した議論は行わない。そこで、車輪の接線方向の 加速度を重力加速度 g で規格化した「減速係数」

$$\mu_{\text{eff}} = \frac{m|a|}{mg} = -\frac{a}{g} \cdot \cdot \cdot \cdot (1)$$

(藤井(2015[1], 2016[2]))を定義し、議論を進める。

今回の回路の検出装置は、図3のように、従来の(藤井[1][2])で用いていた透過型フォトインタラプタ (EESJ-5) から反射型フォトリフレクタ (RPR-220, OMRON)に変更した。

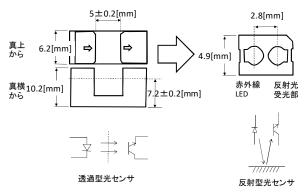


図 3 光センサ(透過型、反射型)の概形

検出回路は、図 4 の以前([1][2])の回路と同一で、 製作上は透過型光センサ(フォトインタラプタ)を反

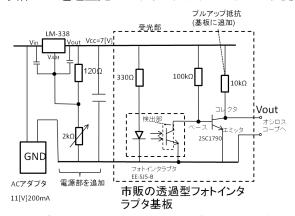


図4 透過型フォトインタラプタ光信号検出回路図

射型光センサに置き変えたものを用いる。この検出 回路を図2の装置に取り付けて測定を行う。

1 フォトリフレクタとは、対象物に赤外線をあててその反射 光を検出して、パルス状の信号を出力する素子のこと。フォ トインタラプタは、光線の直線経路をさえぎりにより内部の フォトトランジスタが ON/OFF する。フォトリフレクタは反 射光でフォトトランジスタが ON/OFF する 本稿の構成は、以下の通りである。2節(1)において、フォトリフレクタの性能評価・使用条件の実験的確認、2節(2)においてフォトリフレクタを用いた実際の計測の設定・実験結果および解析(ソフトウェア)の条件設定の確認、3節で将来に向けた予備実験の紹介、4節ですべてを総括する。

2. 実装化への試み

(1) 反射型光センサ(フォトリフレクタ)の分解能確認 フォトリフレクタは、テスト時には 5V で動作させた。

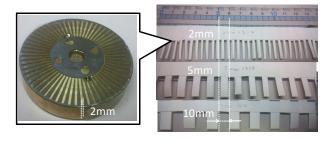


図5 分解能のテスト

図 5(左)のような反射板を用意して、図 2 と同様の装置を用いてテストしたが、オシロスコープに反応が現れなかった。これは反射型フォトリフレクタが、2mm幅の障害物に反応できないことを意味している。確認のために、図 5 の(右)のような反射板(2mm,5mm,10mm幅)を紙で製作し、テストしたところ、5mm,10mm幅では反射光が認識できたが、2mm幅では反射光が認識できなかった。この状況は、図 6 のように赤外線が広がりをもって伝搬・反射するためであり、透過型ではこの曖昧さはなかった。入射赤外光の広がりに対して

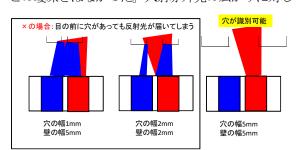


図 6 識別不可能になる状況

エンコーダ板の間隔が狭すぎる場合、光を逃がす穴が図6のように、目の前にあってもどこかで反射光が生じてしまい受光部に届く。このため、穴が正面に来てもフォトリフレクタは反応できない。この傾向は、90°回転させて配置しても分解能は同じであった。幅にして5mm、半径20mmの車輪で分解能は、

となる。つまり、12.6[穴/1 回転]以下(29° 間隔以上)

にしないと認識できない可能性がある。

また、この光センサに加えるべき電圧についても別途測定実験を行った。結果として、センサが正常動作するのは電源電圧が 2[V]程度であり、それ以上の電圧をかけて動作させると例えば図 7 のように、パルスの立ち上がりが緩慢になり正しい測定ができなくなる。



図7 フォトリフレクタの動作(不適正な動作電圧) 以下の実験では電源電圧を全て2[V]以下とした。

(2) 5[穴/1 回転]の簡易エンコーダの計測(反射型) (2-1)計測の概略

5穴(60°間隔)に白黒を精密に塗り分けて、ラベルシール(A-one,72201,マット,ホワイト;以下「シール」と略記)に印刷、車輪に貼りつけた簡易エンコーダを試みる。(初期モデルでは、紙印刷で試したが、紙が車輪からはがれてはためくためデータが大きく乱れた。)





図 8 5 穴/10 穴のエンコーダ(印刷用)

以下のグラフは、図 8(左)の 1 回転あたり 5 穴(影部分が穴に相当)のシールを車輪(直径 40mm)に貼りつけ、

0列	P列	Q列	R列
データ番号	1メモリあたり	速度[m/s]	抽出 行番号
1	0.019866	0.713865	307
2	0.039125	0.705159	389
3	0.058383	0.705159	471
4	0.078111	0.688370	555
5	0.098074	0.680271	640
6	0.118506	0.664633	727
	-	- /	- ;

番号から、別表のデータを自動リストアップ VLOOKUP(検索範囲, 番号,列番号)②

②IF(R6="","",IFERROR(VLOOKUP(R6,\$J\$6;\$M\$1003,2),""))
②IFERROR(VLOOKUP(R6,\$J\$6;\$M\$1003,4),"")
①IFERROR(SMALL(\$J\$6;\$J\$1003,06),"")

※閾電圧は、ソフトウェア上で自由に変えることができる

図9 自動グラフ化に用いた主なコマンド(Excel)

図2の装置につけて、減速運動を計測したものが図10 のグラフである。本稿でも、生データをソフトウェア 的に処理(図9参照)しているが、オシロスコープから得た5000行くらいの生データを貼り付けるだけでvtグラフを自動表示できるようになった。具体的には、Microsoft Excelで、再隣接データ間の電位の差をとり、関電圧値を超えたもの(≒立ち上がりパルス)を検出する。それらのデータに対して、先頭の立ち上がりデータの選択的表示、現れたデータの行番号表示、自動並べ替えなどの処理のあと、vtグラフとして表示する。

(2-2)フォトリフレクタの分解能について

(1)で見積もったフォトリフレクタの分解能について、 エンコーダの 1 回転あたりの穴の数を増やしながら、 vt グラフ表示をさせてその傾向を見る。以下の図 10 ~図 13 のデータは、オシロスコープで直接計測される

1.58[V],5穴/1回転 (反射型)低速回転、閱電圧0.1[V]

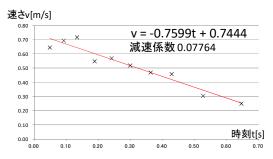
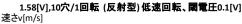


図10 5穴のエンコーダの解析結果



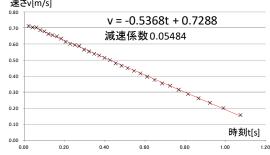


図11 10 穴のエンコーダの解析結果

1.58[V],15穴/1回転 (反射型)低速回転、関電圧0.1[V] 速さv[m/s]

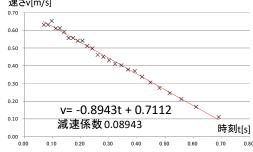


図 12 15 穴エンコーダの解析結果

入力電圧が 1.58[V]になるように、電源部の可変抵抗を 調整した上で、それぞれ 5.10.15.30[穴/1 回転]の場合に ついて解析した結果である。図 10 では、動摩擦を含む台車の運動でよくみられる、上に凸な形で揺らぐデータの傾向がみられる。図 10~図 12を見ても分かるが、ほとんど速度が変わらない領域が vt グラフに現れている。このメカニズムの解明は、今後の課題としたい。低速回転(接線速度 0.7[m/s]程度)では、図 10~図 12 の5 穴、10 穴、15 穴について物理的に意味のある解析ができている。しかし、30 穴になると、図 13 のように、(1)で定性的に確認したデータのとりこぼしが多く生じ、vt グラフの信頼性が著しく損なわれている。

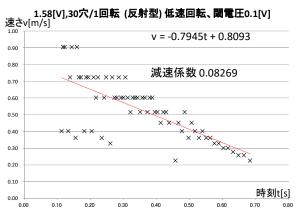


図13 30 穴エンコーダの解析結果

(1)における 12 穴程度で分解能に限界が来るという見積もりは、目安としては悪くない。

また、15 穴の高速回転時(接線速度 2.2[m/s]程度)でもデータの乱れ始めがみられる。初速度と半径から割り出す 1[s]あたりの初期回転数は図 12 で測定半径 r=16.9[mm], 6.97[回転/s]、図 15 では r=16.1[mm], 21.9[回転/s]であり、1[s]あたりに通過する穴の数から応答時間に必要な時間を見積もるとそれぞれ、10[ms]、3.0[ms]となる。これは、図 14 のオシロスコープから測定できるフォトリフレクタのパルスの立ち上がり時間が 2[ms]程度であるので、ほぼ立ち上がりパルスの短さの限界からこの分解能が決まっていると言える。

以上から、反射型光センサ(フォトリフレクタ)を用いた場合のエンコーダの分解能は、反射光による空間分解能の制限とパルスの立ち上がりから決まる光センサの応答速度からくる制限の2つの要因が考えられる。

(2-3)v-t グラフの閾値電圧依存性について

パルスの立ち上がり(白→黒)で境界の通過を判定しているので、その立ち上がり電圧の差の閾電圧の取り方によって、vtグラフのデータが異なってくる。まずは、パルスの時間変化を見てみる。図 14 は、15[穴/1 回転]のエンコーダ(シール)を貼りつけた車輪を回転させたときのパルスの時間変化である。このパルスの立ち上がりは、同一パルスでも何段階かにパルスが積み重な

りながら立ち上がっている。そのため隣同士の電位の 差とその閾値(閾電圧)の設定(立ち上がり電圧の定義) によってはパルス間隔をソフトウェア的に読み誤る恐

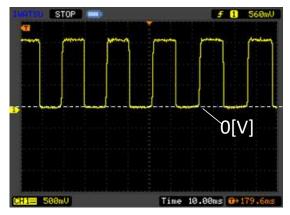
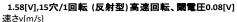


図 14 計測された波形(1.58[V],反射型)

れがある。そこで、同じ生データに対して閾電圧を変えたvtグラフの比較を行う。特に、信頼性が保たれる 閾電圧の条件について調べる。図12の15穴の低速回転時の解析結果は物理的解釈が可能であるが、図15の高速回転時には、データの揺らぎがみられ、測定限界に近く信頼性が下がっている。同じ生データに対して、 閾電圧の依存性をみたのが図15,16で、図15では閾



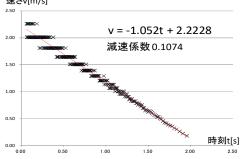


図 15 15 穴高速回転時の解析結果

1.58[V],15穴/1回転 (反射型) 高速回転、関電圧0.9[V] 速さv[m/s]

V = -0.9988t + 2.063 減速係数 0.1020

図16 関電圧をあげた時の信頼性の低下

電圧を低く、図 16 では関電圧を高く設定した。図 15 で関電圧を程よく低く設定したために、パルスの立ち上がり直後が測定できている。しかし、図 16 のように、関電圧を高く設定しすぎるとパルス時間間隔の読み誤

りを含んだv-t グラフとなる。なぜなら、再隣接データ の電位の差だけを見る現在の方式では第1回目以外の 立ち上がり時刻を拾ってくる可能性があるからである。 具体的には、再隣接データの差は、0[V]から立ち上が った瞬間の時刻の電位の差を読み取ってこそ、黒い影 が横切った瞬間を意味するが、実際の生データは、図 14のように、同一パルス中に第二第三の立ち上がりを 含む場合が多く含あり、最悪の場合、「再隣接データの 電位の差>閾電圧」を満たす、隣り合っていないパルス 間時刻を拾う恐れがある。例えば、図 14 は図 15, 16 と同じ15穴の測定波形であるが、0.2[V]くらいの電位 の差を持つパルスは同一立ち上がりパルス中でも複数 見られ、電位差 0.2[V]は閾電圧値としては不適当であ る。さらに、0.9[V]の閾電圧に対応する点は、図 14 で はパルスで見て 1 個飛ばしに現れ、その結果、図 16 では、加速度の大きさが 1/4~1/2 倍になった「複数の v-t グラフ」が現れ、物理的解釈が不可能となる。この ように、閾電圧は測定装置や測定方法に大きく依存し、 現状では最適に低い値を手動で選ぶしかない。

1.58[V],15穴/1回転 (反射型)高速回転、開電圧0.02[V] 速さv[m/s]

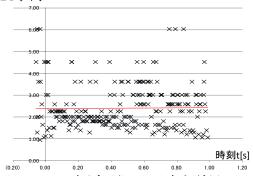


図17 ノイズが多く混じった解析結果

一方で、閾電圧を低く設定しすぎると、図 15 で用いたのと同じ生データであるにも関わらず、図 17 のように、電位 0[V]付近のノイズが v-t グラフに混入するため不適当である。今後は、物理的に最適な閾電圧を選ぶ方法を模索し、解析ソフトウェアの改良を進める。

3. 透過型光センサを用いた予備実験

従来のマシニングセンタ/NC 旋盤で精密加工された 金属製のエンコーダ板を持った方式から、素材・製作 過程の簡易化を試みたのが図 18 である。金属板の代わ りにパターンが印刷された OHP シート(A-one, 27054, モノクロ専用, PPC 用)を用いた。この分解能を金属製 のエンコーダをつけた場合の車輪のデータと比較する ことも行いたい。



図 18 エンコーダ部分を簡略化した実験装置

4. まとめ、今後の展開

反射型光センサ(フォトリフレクタ)の実装に向けてそ の分解能の見積もり、Microsoft Excel を用いた生デー タ解析ソフトウェアの開発を行ってきた。この開発を 通して、生データの物理的解釈が難しくなる v-t グラフ が現れる原因が見えてきた。第一に、再隣接データ間 の電位の差>閾電圧という条件からくる制限である。 第二に、フォトリフレクタの反射に起因する分解能の 制限、立ち上がりパルスの応答速度に起因する制限で あり、車輪の接線速度で数[m/s]程度までの測定に限ら れる。しかし、この検出可能速度の制限は、物理教育 用としては全く問題ないと考えてよい。今後の力学台 車への実装を考えるにあたって、以下の2つの方法が 考えられる。第一は、反射型光センサ(フォトリフレク タ)の実際の台車への実装につなげること。第二は、デ ータの信頼性が高い透過型光センサ(フォトインタラ プタ)の実装方法を新しい視点で進めることである。第 二の方向性については、車輪以外の場所にエンコーダ を設置するなど多角的に装置開発を行っていく。

参考文献

[1] 「車軸と車輪の間の動摩擦(減速)係数の測定 2— 実装へ向けての拡張と装置開発—」、藤井俊介、東京 工業高等専門学校研究報告書第48号、p8-p12(2016) [2] 「車軸と車輪の間の動摩擦係数の測定—力学台車 と自作レールの性能評価のために—」、藤井俊介、東 京工業高等専門学校研究報告書第47号、p1-p5(2015) [3]「力学台車の動摩擦係数の測定—転がり摩擦を考慮 した台車と自作レールの性能評価」,藤井俊介、全国 理科教育大会兵庫大会研究発表論文(資料)集,第35 巻 p50-p53,2013年,岩手県高等学校教育研究会理科 部会 理科部会誌第44号,p3-p9,2014年

[4] 「日本重力基準網 1975 の設定」, Journal of Geodetic Society of Japan, Vol. 22, No. 2, (1976), pp. 65-76

(平成 30 年 1 月 12 日 受理)

A Study Note on William Faulkner's Sense of Place

Hitoshi YOKOMIZO*

Abstract

By way of exploring William Faulkner's sense of place, this study note critically reviews two significant studies on Faulkner's relationship with place: Cleanth Brooks's William Faulkner: The Yoknapatawpha Country (1963) and Charles S. Aiken's William Faulkner and the Southern Landscape (2009). The former is a literary, aesthetic analysis of Faulkner's sense of place; the latter is a physical, geographic analysis of it. Both studies are suggestive enough to open up a new reading of Faulkner's South and his unique sense of place. This study note will provide a key to finding in Faulkner's elaborate literary expressions his subtle environmental imagination that resonates with the physical South of his era.

(Keywords: Faulkner, sense of place, the South)

1. Introduction

Let me begin this study note with a personal tale. Almost six years have passed since I came back from Long Beach, California, where I studied American culture and literature for about three years. Still missing the life in Long Beach, these days, I ponder on "sense of place": the sense of place is both of here in Japan and of Long Beach. Before living in Long Beach, I had never been particularly aware of my hometown and its charms so much. Surroundings were always just there and too familiar; I couldn't seem to pay special attention to them. It was when I lived in Long Beach that I could "discover" the surroundings that I had but I had never known I had. This seems somewhat ironic but true. Put simply, the move between two different places led me to what is called sense of place.

As I reflect on this, I recall William Faulkner, an American writer, and his sense of place. Although he spent most of his life in Oxford, Mississippi, he visited and stayed in various "foreign" places: the North, the West (Hollywood), Europe, or even Japan. It is not difficult to imagine that Faulkner, visiting and experiencing different foreign places, saw the South in a relative way and became obsessed with his home place in a quite ambivalent way. In this study note, by way of exploring Faulkner's sense of place, I critically review two significant studies that address Faulkner's relationship with place or, to be more exact, the environment. At first, I would like to take up Cleanth Brooks's William Faulkner: The Yoknapatawpha Country (1963). This book is old, but it is a very fundamental study not only of Faulknerian literature but also of Faulkner's relationship with the Southern environment. Secondly, I pay attention to Charles S. Aiken's William Faulkner and the Southern Landscape (2009), which would complement Brooks's argument in terms of the Southern environment and geography.

* Department of Liberal Arts

2. Aesthetic analysis of Faulkner's sense of place

In his essays "Faulkner the Provincial" and "Faulkner as Natural Poet" in *William Faulkner: The Yoknapatawpha Country*, Cleanth Brooks addresses Faulkner's relationship with the Southern environment (nature). In the opening passage of the former essay, Brooks suggests that Faulkner—like Thomas Hardy (Wessex) or William Butler Yeast (Ireland)—has "a basically agricultural economy, a life of farms, villages, and small towns, an old-fashioned set of values, and a still vital religion with its cult, creed, and basic norms of conduct" (1). Brooks thinks that Mississippi "provides [Faulkner] with a vantage point from which to criticize, directly or perhaps merely by implication, the powerful metropolitan culture" (1). Brooks considers Faulkner as a provincial writer who makes a criticism of modernization.[1]

In addition, Brooks argues that "Faulkner is preoccupied with the past and with a rural setting, and what possible value can these have except perhaps as negative object lessons? Faulkner's treatment of history is, then, a confirmation of our disowning the past, Faulkner's famous county (obvious a rural slum) a way of reminding us how far we have progressed" (3-4). In short, for Brooks, Faulkner is a nostalgic writer who is obsessed with the past. It seems that Brooks's observation is reasonable from a macroscopic perspective, but it seems somewhat dubious when we pay attention to the details in his novels or public comments. Surely, for Faulkner, the past has very crucial meanings, but Faulkner appeared to realize that he is never free from modernization. Indeed, while lamenting for the passing of an era, Faulkner arguably accepted the change of times, as it is suggested by his comment on the passing of the wilderness at the University of Virginia. It is true that Faulkner was really skeptical about change and progress brought by modernization, but it is also true that he realized he could not escape from them. In my view, Faulkner is not optimistic enough to think people can escape from reality to the past; at the same time, he is not opportunistic enough to subjugate himself to modernization without hesitation. In one sense, Faulkner, like Thoreau, lived in the middle ground. Actually, after the Civil war, the South gradually became a middle ground between the modern world and the agricultural, rural world.

In the former essay, Brooks makes a significant comment regarding the importance of "location" in Faulkner's writings. He detects Faulknerian literature's strength in "the writer's sense of belonging to a living community and the special focus upon the world bestowed by one's having a precise location in time and in history" (3). This statement is meaningful when we deal with Faulkner's writings from eco- or environmental perspectives. Brooks, however, does not necessarily have a particular interest in addressing Faulkner or his novels in terms of actual or factual "location in time and in history." Rather, he puts a particular emphasis on the fictionality of Faulkner's works rather than on the factuality of them.

Brooks states: "Faulkner's novels and stories, properly read, can doubtless tell us a great deal about the South, but Faulkner is primarily an artist. His reader will have to respect the mode of fiction and not transgress its limitations if he is to understand from it the facts about the South—that is, he must be able to sense what typical and what is exceptional, what is normal and what is an aberration. He can scarcely make these discriminations unless he is prepared to see what Faulkner is doing with his 'facts'" (6). In Brooks's view, important is the manner through which Faulkner sublimates the physical South to the fictional South. I do agree with Brooks's

view, but his reading of Faulkner's novels does not really explore the gap between the physical South and the fictional South; he is more inclined to examine the fictional South. It seems to me that more important here is to examine carefully how Faulkner transforms the physical South into the fictional South in his writings.[2] In order to attempt this, we need to research Faulkner's South in terms of the environment (geography), social relations, and human subjectivity.

In the latter essay, "Faulkner as Natural Poet," simply put, Brooks delineates Faulkner's relationship with nature. At first, Brooks mentions Malcolm Cowley's reference to Faulkner's "brooding love for the land where he was born and reared" (qtd. in Brooks 29) and suggests Faulkner's profound attachment to the Southern natural environment. Importantly, Brooks points out that "nature [in Faulkner's writings] is often much more than mere background and one can point to a number of functions that it performs" and continues that "Nature frequently reflects, and may even generate, a mood in man" (30). It is significant that Brooks suggests that nature is not just a projection of human mind but it could affect human mind. But, for Brooks, nature seems not so much something physical as something aesthetic, religious, or abstract.

Taking "Delta Autumn" for example, Brooks points out that "nature is not only set over against man's restless violence; it becomes a judgment on that impious violence" (31) and quotes a passage from the short story: "The woods and fields [man] ravages and the game he devastates will be the consequence and signature of his crime and guilt, and his punishment" (Faulkner 332). Brooks also quotes another Faulkner's voice: "The beauty—spiritual and physical—of the South lies in the fact that God has done so much for it and man little" (qtd. in Brooks 32). By citing these passages, Brooks manages to suggest Faulkner's deep attachment to nature. On the other hand, however, he refuses to see in Faulkner a "philosophy of primitivism" (32): Faulkner "is certainly no simple follower of Rousseau, and if his villains are indeed all of them men who have in some sense denied nature, the converse is not necessarily true. The Faulknerian hero does much more than follow his natural impulses: he achieves his virtue by disciplined effort and difficult choice" (32). While Brooks does not affirm a view that Faulkner is a primitivist, he stresses that Faulkner's attachment to nature is "certainly powerful and deep-seated, and on occasion it rises up into great rhapsodic hymns that celebrate the power and continuity of nature, finally changeless through all its apparent changes" (32). Although Brooks here intends to foreground Faulkner's deep attachment to nature, his observation seems to become more idealistic or religious.[3]

Brooks's discussion on Faulkner's relationship with nature gradually shifts to a problem of human subjectivity in nature. For example, he contends: "In spite of Faulkner's loving contemplation of nature, he expects man to struggle with it. Nature is the necessary theater of man's activity, the realm in which man must prove himself" (37). In the final statement, Brooks asserts that "For Faulkner... there can be no easy subsidence into nature. True, men run the risk of distorting themselves if they reject nature in a cold and callous asceticism, and they become monstrous if they vent their hatred of nature, if their appropriation of nature becomes a kind of rape. But love nature though man should, and respect it though he must, he is alienated from nature and must never presume upon an easy union with it if he wishes to call himself a man" (46). Brooks here sees Faulkner as a kind of skeptic who does not believe in human oneness with nature. It seems right that while having a deep

attachment to nature, Faulkner never falls into an optimistic, simple view that human beings can be one with nature.

In my view, Brook's argument, though it was done in 1960s, still offers some important issues. For example, suggestive is that Brooks locates Faulknerian literature's intensity in "the writer's sense of belonging to a living community and the special focus upon the world bestowed by one's having a precise location in time and in history" (3). Brooks does not really examine Faulkner's sense of place (location) in time and in history; we can work on it by taking advantage of the recent fruit of environmental criticism. Above all, as we will see later, by addressing Faulkner's works from geographic points of view, we could open up a new reading of Faulkner's sense of place. Plus, Brooks's statement that "For Faulkner... there can be no easy subsidence into nature" is important for us not to fall into an easy, optimistic conclusion about Faulkner's sense of place.

In an essay titled "Imagined Territory: The Writing of Wetlands" (1999), William Howarth pays attention to the importance of "place" in literature. After giving a detailed explanation about the concept of place, Howarth states: "While the ways that places look, smell, and baffle have long intrigued writers, they are of less apparent interest to critical readers. Ecocritics could dispel that apathy by attending closely to textual places, neither skipping irritably over pages of place-description, nor casually accepting how we think we see them" (512). In addition, he suggests that some ideas from geography give helpful ways for ecocritics to read textual places. In the essay, Howarth addresses briefly Faulkner's "The Bear" from a geographical perspective. Discussing main character Issac McCasline's ethics of relinquishment, Howarth points out: "For him, that ethic rises from the geographic identity of a place he found and lost. The tale strongly invokes geography because tracking and hunting, like surveying and mapping, are acts that put mind to land, trace nature's contours to learn what it knows" (519). Howarth's emphasis on place in literature and his focus on geography are beneficial. His perspective would complement aesthetic or literary-oriented approach to Faulkner's sense of place. It seems to me, however, that Howarth's geographic reading of "The Bear" is not so convincing in that it does not really take into consideration that Faulkner's place is a complex configuration of not only geography but also history, social relations, and human subjectivity. The following Aiken's study complements Brooks's and Howarth's discussions.

3. Physical, geographic analysis of Faulkner's sense of place

In William Faulkner and the Southern Landscape, geographer Charles S. Aiken provides a great observation about how Faulkner transforms Oxford and Lafayette Country into the fictional Jefferson and Yoknapatawpha Country, giving a rich geographic context for Faulknerian literature with history and social relations in mind. In Chapter 2 titled "Geographical Fact into Fiction," Aiken says: "Yoknapatawpha... is not an actual place but a fictional mutation with certain of its geographical components drawn from a reality that was deliberately altered. This is known, but Faulkner's process in sublimating the actual geography has never been assessed" (24). When closely exploring how and why Faulkner transforms the physical environment (geography) into his fictional environment (geography), we can seem to open up a new way to Faulkner's sense of place.

In Chapter 7, "Geographical Interpretation of 'The Bear'," Aiken gives a detailed biographical and geographical context for Faulkner's "The Bear." In this essay, Aiken offers much crucial, helpful information about "The Bear," but I mention here only a few of them. Firstly, it is worth noting that Faulkner "loved the forest" and "[a]s a child, he learned the Tallahatchie bottom where his father, Murry, hunted" (159). According to Aiken, the location of de Spain's camp in Yoknapatawpha is near "the location in Lafayette Country of the Cain plantation that Murry [Faulkner's father] liked to visit" (159). In addition, during the 1920s and the 1930s, Faulkner's hunting took place "at the camp of 'General' James Stone" (Aiken 161). Owing to the lack of game and his financial predicament, Stone was to lose interest in his hunting territory; at that time, Faulkner, "[i]n sentimental attempt to preserve something in which he had spent so many enjoyable hours," forms the Okatoba Hunting and Fishing Club (Aiken 166).[4] The motto of the club was "to aid and assist in the preservation of game and fish on the lands on which the corporation shall acquire hunting and fishing privileges" (qtd. in Aiken 166). As de Spain sells his hunting domain, however, the Stone family, in 1937, also "disposed of the land on which the hunting camp was located, the timber rights were sold, and the wilderness was logged" (Aiken 166).

During 1935, when he was really involved in the Okataba activism, Faulkner wrote "Lion," which was developed into "The Bear." There is a crucial difference between "Lion" (1935) and "The Bear" (1942). In "Lion," Major de Spain quits visiting to the hunting camp after Old Ben is slain, but "his reason is not developed"; in addition, the other hunting members like General Compson don't think about organizing a club (Aiken 166). As Aiken mentions, when developing "Lion" to "The Bear," Faulkner "drew richly on his experience and termed the fictional hunting-club scheme to arrest change 'an invention doubtless of the somewhat childish old General but actually worthy of Boon Hogganbeck himself" (Aiken 166-67). It seems that Faulkner reflects his own involvement in the Okataba in a somewhat "masochistic" way, as it is suggested by Issac who "recognized it for the subterfuge it was: to change the leopard's spots when they could not alter the leopard, a baseless and illusory hope" (Faulkner 301). When the Stone family sold the timber right and the wilderness was cleared, Faulkner probably realized that he had been optimistic too much about the Okataba and its purpose to preserve the wilderness and its wild animals. After the Stone Family's selling the hunting domain, Faulkner seemed to gradually acknowledge the passing of an era, i.e., "change."

Indeed, Faulkner, about twenty years later, gave a retrospective, reflective comment on "The Bear" at the University of Virginia meeting:

What the writer's asking is compassion, understanding, that change must alter, must happen, and change is going to alter what was. That no matter how fine anything seems, it can't endure, because once it stops, abandons motion, it is dead. It's to have compassion for the anguish that the wilderness itself may have felt by being ruthlessly destroyed by axes, by men who simply wanted to make that earth grow something they could sell for a profit, which brought into it a condition based on an evil like human bondage.... [B]ut they [the big woods] were obsolete and had to go. But, that's no need to not feel compassion for them simply because they were obsolete. (qtd. in Aiken 167)

From an ecocentric point of view, Faulkner's acknowledgement of the passing of the wilderness or that of the unavoidable change and progress might be controversial. It seems to me, however, that Faulkner was sober enough neither to fall into the nostalgic indulgence in the past nor to affirm the passing of an era without hesitation. As modernist poet William Carlos William sublimated the changes brought by modernity into his poetry, Faulkner turned the changes themselves to the literary intensity of "The Bear." Faulkner is neither an ecocentric writer nor a serious environmental activist, but he certainly had moderate critical, ethical eyes for the change of the environment.

Elsewhere in the chapter on "The Bear," Aiken provides a quite important geographic context for "The Bear" with history of social and racial relations in mind. When Faulkner worked on "The Bear," "the Yazoo Delta with more than one and a half million acres in cotton was one of the most intensely farmed monoculture regions in the United States. Eighty-nine percent of the farmland in the Yazoo Delta was in plantations worked by 58,592 tenant families, 88 percent of whom was blacks" (168). More importantly, Aiken indicates how miserable the lives of sharecroppers were:

The sharecropper was the principle type of tenant farmer in the Delta. Houses of sharecroppers dotted the fields, and cotton production was so intense that the crop was literally planted to the doorsteps. The owners of some plantations did not permit sharecroppers to have even a small vegetable garden. More than sixty-four thousand sharecroppers were in the Yazoo Delta in 1930. Because sharecropping was a family system that employed even small children and because most sharecropper family were large, approximately three hundred thousand persons in the Yazoo Delta were part of the tenure system. The physical and social isolation and the economic plight of sharecropper families are vividly revealed in documentaries of the 1930s. Sharecroppers were among the American serfs who lived out their lives in the depths of poverty. (Aiken 168)

This information is very beneficial when we explore the sharecroppers in Faulkner's novels, particularly Lucas Beauchamp in "The Fire and the Hearth." The information not only deepens our understanding of Lucas but also might open up a new possibility of reading *Go Down, Moses* in terms of environmental (in)justice. "Mixed-race" sharecropper Lucas is a very complex, significant character who embodies a tragedy of the South; he would be the personification of the Southern racial, social, gender, and environmental problems.

To conclude, geographic perspectives exemplified by Aiken are quite beneficial to explore Faulkner's sense of place, though he does not really analyze Faulkner's literary manner closely. Thus it is important to synthesize Brooksian literary, aesthetic analysis of Faulkner's sense of place and Aikenian physical, geographic analysis. By doing so, we can more clearly detect in Faulkner's elaborate literary expressions, especially in *Go Down, Moses*, his subtle environmental imagination that resonates with the physical South of his era.

Notes

- [1] Brooks also mentions that "Faulkner's work, like that of the great Irish poet [Yeats], embodies a criticism of the prevailing commercial and urban culture, a criticism made from the standpoint of a provincial and traditional culture" (2).
- [2] The difference between fact and fiction is controversial. As postmodern thought has revealed, there seems no clear division between fact and fiction—they seem more relative. What has been assumed as "factual" can be fictitious or ideological. I think Faulkner knew this.
- [3] As Brooks addresses the linkage between Faulkner and Wordsworth in elsewhere in the essay, Brooks seems to detect in Faulkner a Romantic lineage. Brooks says: "In his attitude toward nature, Faulkner is in some respects actually closer to Wordsworth.... The truth of this observation will become clear if we explore some parallels between Faulkner and Wordsworth, especially the way in which the joy that both men take in nature springs ultimately from a Christian base" (36). In light of Faulkner's involvement with the Romantic poets including Keats, Brooks's view may be possible; nevertheless, I think that after giving up writing poetry, Faulkner seems to gradually become more anti-Romantic, particularly after *The Sound and Fury*. For example, in *Go Down, Moses*, Faulkner never simply apotheosizes nature.
- [4] According to Aiken, Faulkner "advocated the preservation of objects that seemed quite undistinguished and ordinary long before such efforts become fashionable" (165). In 1947, Faulkner wrote to the *Oxford Eagle*'s editor and inquired "a proposal to raze the old courthouse and to erect a new one" (165). Faulkner writes in the letter: "Bravo your piece about the preservation of the courthouse. I am afraid your cause is already lost though. We have gotten rid of the shade trees which once circled the courthouse yard and bordered the Square... all we have left now to distinguish an old southern town from any one of ten thousand towns built yesterday from Kansas to California are the Confederate monument, the courthouse and the jail.... Your cause is doomed. They will go the way of the old Cumberland [Presbyterian] church.... They call this progress. But they don't say where it's going; also there are some of us who would like the chance to say whether or not we want the ride" (qtd. in Aiken 165-66).

References

- (1) Aiken, Charles S. William Faulkner and the Southern Landscape. The U of Georgia P, 2009.
- (2)Brooks, Cleanth. William Faulkner: The Yoknapatawpha County. Louisiana State UP, 1990.
- (3) Faulkner, William. Go Down, Moses. Vintage International, 1990.
- (4) Howarth, William. "Imagined Territory: The Writing of Wetlands." *New Literary History*, vol. 30, no. 3, 1999, pp. 509-539.

(Received January 12, 2018)

スリランカのヘレニズム・ローマ文化に関する考古学的研究

鈴木慎也*

Archaeological studies on Hellenistic and Roman culture in Sri Lanka

Shinya SUZUKI*

This paper reviews the chronology and origin of glass products excavated from Mantai ruins in Sri Lanka. Results of comparative studies suggest that those glass products can be dated from the 1st century A.D. to the 3rd century A.D., and are kinds of Unguentarium originating in the eastern Mediterranean.

(Keywords: The Periplus of the Erythraean Sea, Unguentarium, Mantai, Sri Lanka)

1. はじめに

近年、中国の一帯一路政策の海上ルートの要として注目されつつあるスリランカは、古代においても 交易の拠点として栄えた地域である。

スリランカは、インド最南端のコモリン岬東方沖 のインド洋に、北西部を接するように浮かぶ島国で、 その大きさは北海道よりもやや小さく、九州と四国 を合わせたほどしかない (総面積約65,607 km²)。し かし、狭い国土でありながら、その地形は起伏に富 んでおり、島の中央部には、2500m級の山岳地帯が 広がっている。この山岳地帯がスリランカの気候帯 を大きく二分している。すなわち、全土の約4分の 3 を占める、北部から中央東部および南東部にかけ ての「ドライゾーン」と、中央山岳地帯から南西海 岸部にかけての「ウエットゾーン」である。スリラ ンカはいわゆる「モンスーン」と呼ばれる季節風の 影響を大きく受ける、熱帯性モンスーン気候であり、 11月~3月には北東モンスーンが、5月~9月には 南西モンスーンが雨雲を伴って吹き付ける。この湿 った風が中央山岳地帯でぶつかることで、11月~3 月にかけてドライゾーンに雨をもたらし、5月~9月 にかけてウエットゾーンに雨をもたらす。そのため、 このモンスーンは古来よりスリランカの人々にとっ て、恵みの雨をもたらす大変重要な風であった。

また、このモンスーンは古くからインド洋を航海する沿岸諸地域の商人に知られており、既に紀元前1世紀頃の古代ギリシア・ローマでは、特に南西モンスーンを「ヒッパロスの風」と呼んでいたことが明らかとなっている。つまり、このモンスーンはスリランカをはじめとする南アジア地域に恵みの雨を

もたらしていただけではなく、西方からの来訪者と 彼らが携えた様々な商品をももたらしていたわけで ある。

スリランカは何世紀にもわたって周辺諸国の影 響を受け、その中で独自の文化的発展を遂げてきた。 紀元前3世紀頃から仏教国として栄え、その後は隣 国のインドや東南アジア、中東、ローマ等との交流 を通じて、多民族・多宗教が共存する独特な社会が 構築されていた。スリランカは、アラビア半島を中 心とした中東地域とインド亜大陸との交易の拠点と して古代から栄え、遠く離れたローマからも多くの 商人たちがスリランカを訪問していたことが当時の 文献資料から明らかとなっている。しかしながら、 これまでにスリランカで行われてきた発掘調査は、 主に前3世紀以降の仏教遺跡を対象としたものばか りである。この背景には、仏教がスリランカの独立 運動と密接に関係していたことと、2009年に終結し たシンハラ人とタミル人の民族紛争の際に、シンハ ラナショナリズムと仏教が密接に関係したことに起 因したものである。したがって、当該地域の歴史時 代、特に紀元前3世紀の仏教伝来以降の考古学的研 究は、仏教史研究からアプローチされることがほと んどであり、仏教以外の外部からの影響については 捨象される傾向にあった。

そこで本稿では、筆者がこれまで研究対象としてきた東地中海におけるヘレニズム・ローマ時代の小型の香油瓶に関する知見に基づき、古代から貿易港として栄えたマンタイ遺跡出土のガラス器に注目し、その年代と起源について再考察するとともに、紀元前後の西方世界が、スリランカに与えた影響につい

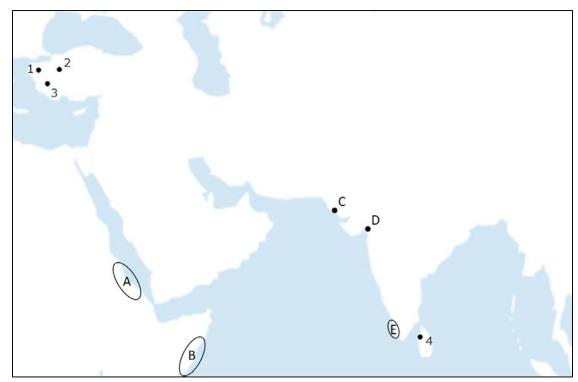


図1 本稿で扱った遺跡の分布図

1.ダルダノス墳墓, 2.ジュリオポリス遺跡, て、ごく大雑把な素描を試みたい。

2. エリュトゥラー海案内記から見たセイロン島 エリュトゥラー海案内記は、ローマ帝政期にエジプト在住のギリシア商人によって著されたと言われており、当時の紅海、アラビア海、インド洋を舞台とした交易に従事する商人のための案内書である。その成立年代については、これまでに盛んな議論・研究がなされてきたが、現在では紀元後1世紀半ばから後半頃の成立とみなす諸家が大勢を占めている。

スリランカに関する直接的な記述は、本書の第61節に見ることができる。その中で、当時のスリランカはパライシムーンドゥー、タプロバネーの名称で呼ばれおり、ストラボン(I.4.2; II.1.14, 17;5.14,32,35; XV.1.14·15)やプリニウス(VI.23. 79·24.81; 24.91; IX.54.106; XXXII.53.143)も使用しているタプロバネーという呼称がより一般的だったようである(蔀2016)。この節の中では、スリランカの地理的情報と主な産物について記述されるのみで、肝心の輸入品については言及されていない。また、その地理的情報にも誤りがあり、スリランカをアフリカ付近まで達するほどの東西に長い島として認識していた。このように、スリランカに関する誤った認識や、輸入品に関する情

3.トラレス遺跡, 4.マンタイ遺跡

報の欠如は、著者及びインド洋交易に従事した西 方の商人が、間接的な情報しか持たなかったこと を推察させる。しかしながら、そのわずか数行の 中に注目すべき記述がある。

「その向こうの地方はというと、今や航路が東に 曲がると、外海の中に西に向かって(現在は)パ ライシムーンドゥーと呼ばれ、昔の住民にはタプ ロバネー(と呼ばれた)島が突き出している。 <u>そ</u> の北側の部分(に住む人々)は開化していて、そ こへの渡航は [・・・・]、 そしてほとんど対岸の アザニアーまで延びている。ここでは真珠、透明 石、上製綿布、亀甲を産する。」(LXI)(蔀勇造訳 註、2016、31 頁)。

つまり、当時のスリランカ北部が栄えていたこと、そこへ至るための情報が記述されていたことは、彼らの当地への関心の高さを窺わせるものである。また、残念ながら写本の原文が欠損しているため、あくまで推測の域を出ないが、当時の都であるアヌラーダプラの外港として栄えたマンタイこそが、本書の中で渡航先として想定されていた港である可能性は高いと言えるだろう。

- 3. エリュトゥラー海案内記から見たガラス交易マンタイ遺跡出土のガラス製品の年代・起源について再考察を行う前に、紀元後1世紀半ばから後半頃のインド洋沿岸地域における、西方からのガラス製品(素材も含む)の伝播を裏付ける記述を本書の中に求めたところ、以下のように5つの節の中において確認することができた。なお、地名の後ろに付したアルファベットは図1の地図中のアルファベットと対応している。
- ・第6節 アドゥリースとその周辺 (A) 輸入品: 多種の色ガラス、ディオスポリス製 ミッレフィオーリ・ガラス
- ・第17節 ラプタまでのアザニアーの諸港 (B) 輸入品: 多種の色ガラス
- ・第39節 シントス川 (現インダス川) 河口付近 に位置するバルバリコン (C) 輸入品 ガラス器
- ・第49節 ラムナイオス川 (現ナルマダー川) 河口 付近に位置するバリュガザ (D)

輸入品 加工用ガラス、精選香油(王への献上品)

第56節 ムージリス、ネルキュンダ(E) 輸入品 加工用ガラス

先述したように、本書の中でスリランカに関する記 述は僅かであり、輸入品について言及されておらず、 西方からガラス製品、加工用ガラスがもたらされてい たことを示す直接的な証拠は得ることができなかっ た。しかしながら、すでに紀元後1世紀には、西方か ら多種のガラス製品や加工用のガラスが南インドに もたらされていたことは、明らかであり、直接的、間 接的にスリランカにそれらがもたらされていた可能 性は十分にあると言える。その一方で、インドのバリ ュガザ、ムージリス、ネルキュンダにガラス製品では なく、加工用のガラスが輸入されていたことは、これ らの地域において、すでにガラス加工業が十分発達し ていたことを窺わせる。その点を考慮するならば、マ ンタイ遺跡から出土しているガラス製品も西方から の渡来品ではなく、これらのガラス加工業が発達して いたインド産である可能性が出てくる。特に模倣しや すい単純な器形のガラス製品はその起源について考

察する際に注意が必要となるだろう。それらの点を踏まえた上で、マンタイ出土のガラス製品の年代及びその起源について再考察を試みたい。

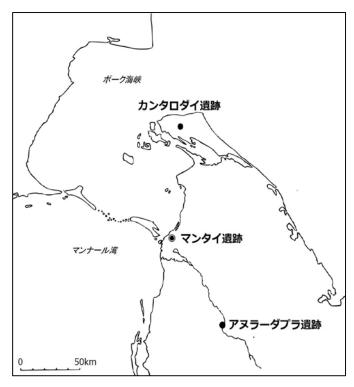


図2 スリランカ 紀元前後の主要遺跡分布図

4. マンタイ遺跡出土のガラス製品の検討

マンタイ (Mantai) は、インド亜大陸南端東岸とセイロン島西岸の間に位置するマンナール湾に面しており、古代からインド洋交易において、交通の要所として栄えてきた(図2)。また、紀元前5世紀頃〜紀元後11世紀にかけてアヌラーダプラが都として栄えた時代には、その外港としての役割を担っており、マンタイを通じてスリランカ各地に様々な交易品がもたらされていた。

特に 12 世紀頃には東西海上交易において中心的な役割を担っていたとされており、それを裏付けるように大量のイスラーム陶器や中国産の陶磁器が遺跡から出土している。同遺跡ではこれまでの調査によって、ローマ時代の金貨や青銅貨幣の出土が確認されており、何らかのかたちで西方からこれらの文物がもたらされていたことが示唆される。しかし、これまでに刊行されたマンタイの発掘報告書を確認したところ、貨幣以外に地中海世界からもたらされた考古資料の報告は見つけることができなかった。そこで再度、各報告書を精査し、搬入品として紹介されている遺物に注目したところ、イスラームガラスとして報告されて

いた一群の中に、地中海起源と考えられるガラス容器 を複数点確認することができた。

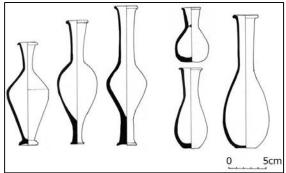


図3 紡錘形(左), 球根形(右)

(Anderson-Stojanovic, V. R. 1987 より一部改変) 4-1. 球根形ウンゲンタリウムについて

ウンゲンタリウム (Unguentarium) は、主に香油 瓶として使用されていた小型容器である。ヘレニズム 時代からローマ時代にかけて使用されていた非常に ポピュラーな香油瓶であり、パレスチナからスペイン にわたる地中海世界一帯に広く分布していた。

この器種はヘレニズム時代からローマ時代へ移行 する時期に、材質と器形の面で大きな変化が起きたこ とがこれまでの研究によって明らかにされている (Anderson 1987)。材質は、ヘレニズム時代からロ ーマ時代初期にかけて十製が中心であったのに対し、 ローマ時代初期以降になると、ガラス工芸技術の向上 に伴い、ガラス製が中心となる。その器形は図3に示 すように2つのグループに大別されており、ヘレニズ ム時代には紡錘形が、ローマ時代には球根形がそれぞ れ主流となる。今回、マンタイ遺跡から出土が確認さ れたのは、主にローマ時代に生産された球根形ウンゲ ンタリウムである。この型式のウンゲンタリウムが一 般的に用いられるようになるのは前1世紀~後3世 紀の間であり、吹きガラスというガラスの成型技術を 用いることで容易に製作することができたため、前1 世紀以降、地中海一帯に瞬く間に広まっていった。

図4はマンタイから出土した球根形ウンゲンタリウムとそれに類似するいくつかの事例をまとめたものである。完全な形で出土したものはこの 1 点だけだが、遺跡からは同様のものと見られる複数のガラス片が出土している。報告書の中では、その起源を中東地域に求めるとともに、年代については紀元後 8 世紀以前としている。これは、おそらくササン朝ペルシアの製品として解釈したものと考えられるが、ササン朝ペルシアはローマガラスの製品を模倣することで急激にその高度な技術を吸収し発展したと考えられており、その形状からだけでは、ローマ帝国のガラス

製品とササン朝のそれとを峻別することは困難である。そのため、現時点ではこの球根形ウンゲンタリウムは、ローマ帝国領内で生産されたものである可能性もあり、その場合、本資料の年代はその上限が紀元前1世紀となる。

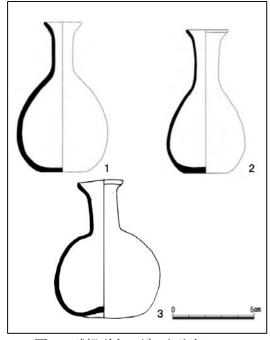


図4 球根形ウンゲンタリウム 1.~2.トラレス遺跡(後1世紀中頃)3.マンタイ遺跡

4-2. ドーム状口縁付ウンゲンタリウムについて 研究者間で Domed-Mouth Unguentarium と呼ば れている型式である。その名の通り、この型式の最 大の特徴は、口縁部が内側に大きく張り出す形で内 湾し、ドーム型になっている点である。このように 口縁部を成型することで、内容物を取り出す際に、 一度、内湾する溝に内容物が留まりやすくなること から、こぼれにくい形状となっている。この特徴を 有する十製のウンゲンタリウムは、前3世紀中頃か ら前1世紀中頃まで比較的長期間にわたって出現し ている。この型式の存在を最初に指摘したJ.W.へイ ズ(Hayes)は、その起源をパフォス(Paphos)遺跡 を中心としたキプロス島である可能性が高いとした が、その後の調査・研究により、他の地域からの出 土事例が増えたことで、必ずしもキプロス島が起源 であるとは言えなくなってきている。また、近年の 研究では、クニドス (Knidos) 遺跡とその周辺から 多くの資料が出土していることから、クニドス遺跡 の位置するカリア地方が起源である可能性が指摘さ れている (Dotterweich 1999)。この特徴的なドー ム状口縁部は紀元前1世紀以降になると、土製やガ

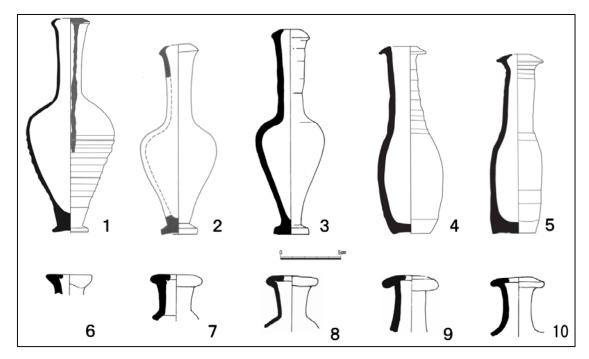


図5 ドーム状口縁付ウンゲンタリウム ※1.~5. はいずれも小アジアの遺跡から出土した土製品 1.~3. ダルダノス墳墓(前 3-1 世紀),4.~5.ジュリオポリス遺跡(後 1-3 世紀),6.~10. マンタイ遺跡

ラス製の球根形ウンゲンタリウムにも見られるようになり、小アジアやエジプトを中心に紀元後2~3世紀の遺跡からも多数出土している。

マンタイからは口縁部の破片が複数確認されている (図5)。胴部は欠損してしまっているが、頸部から胴部にかけての曲線から推察すると、いずれも球根形のウンゲンタリウムの一部であると考えられる。先述したように、ガラス製ウンゲンタリウムが地中海世界において出現するのは遅くとも紀元前1世紀の中頃以降であること、小アジア周辺で特徴的に見られたドーム状口縁付ウンゲンタリウムは紀元後2~3世紀までは地中海各地でみられることから、マンタイ出土のこれらの口縁部をもったガラス製品は、前1世紀中頃〜紀元後3世紀に地中海世界からもたらされた搬入品である可能性が高いと言える。

5. 考察

マンタイの報告書によると、遺跡から出土したガラス製品及びその破片の実に 97%は7世紀以降のものであり、7世紀以前のものは僅かに 3%に過ぎない。エリュトゥラー海案内記の記述にもあったように、当時、南インドにおいて西方のガラス製品は交易品として流通しており、高価な舶来品であった。

そのような中で、マンタイから出土した球根形ウンゲンタリウムやドーム状口縁付ウンゲンタリウムは紀元前後に西方からもたらされた舶来品の一例で

ある可能性が高いと言える。特にドーム状の口縁を 有するウンゲンタリウムは、インド洋交易の西の玄 関口であったとされるローマ時代のエジプトの遺跡 からも多数出土が確認されていることから、その時 代に西方からもたらされた可能性が高い。また、そ の内容物については、特徴的な口縁部の形状から、 粘性が弱い液体であることが分かる。粘性が弱い液 体で、容量の少ない貴重なガラス容器に入れられて いた物とは何か。その答えをエリュトゥラー海案内 記の第49節の中に見出すことができる。先述した バリュガザへの輸入品の一覧の中に、加工用ガラス と並んで王への献上品として精選香油が挙げられて いる。貴重な香油を入れるための容器は、器そのも のの美しさと保存性を兼ね備えたガラス製容器であ った可能性が極めて高い。つまり、東地中海から遠 く離れたインド洋沿岸地域においても、香油を入れ るという同様の目的のためにこれらのガラス容器が 使用されていたと考えることができるのである。

6. 結論と課題

本稿では、マンタイ遺跡出土のガラス製品に注目し、 その起源を東地中海一帯で出土しているウンゲンタ リウムという小型の香油瓶に求めた。そこから導き出 された年代は、紀元後7世紀以前という報告書の中で 提示された漠然としたものではなく、紀元前1世紀~ 紀元後3世紀というより具体的なものであった。しか しながら、本稿で筆者が提唱した年代及び起源はあくまでも、小アジアとスリランカという点と点を結んだものに過ぎず、現時点では試論の域を出ていない。しかしながら、それまでのスリランカにおけるヘレニズム・ローマ時代の考古資料に関する研究のほとんどが、貨幣を対象としたものであった現状を鑑みれば本研究での試みは十分に意義のあるものだと言えるだろう。

今後の課題は、大きく3つある。1つは点と点を結 ぶのではなく、如何に面的な広がりの中でスリランカ から出土した遺物と地中海世界のそれとの比較考察 を行うことができるかという点である。そのためには、 今後、小アジアとスリランカの間に位置し、インド洋 交易の中で西方への玄関口であったエジプトや多く のローマ時代の遺物が出土している南インドの資料 の集成を進めていく必要がある。もう1つは、点と点 の直接の結びつきを明らかにするために、理化学的な 手法を用いてガラス製品の成分分析を行い、その起源 を明らかにするという点である。そして3つ目は、加 工用ガラスを用いたバリュガザ、ムージリス、ネルキ ュンダなどの南インドで生産されたのガラス製品が 西方世界の影響をどの程度受けていたのかを検証し、 スリランカから出土するガラス製ウンゲンタリウム が地中海方面からの搬入品なのか、それとも現地にお ける模倣品なのかという点について明らかにしてい く必要があるという点である。特に課題2・3につい ては理化学的な分析が必要不可欠であることから、今 後、関連諸学との学際的な研究について検討していく 所存である。

参考文献

- 1) 浅香正 2001 「ローマ世界と東方交易」『ローマと地中海世界の展開』晃洋書房、2-26項。
- 2) 蔀勇造 訳註 2016 『エリュトゥラー海案内記 1』 平凡社。
- 3) 蔀勇造 訳註 2016 『エリュトゥラー海案内記 2』 平凡社。
- 4) ウィーラー、M. (糸賀昌男訳) 1957 『大ローマ帝 国の膨張』 みすず書房。
- 5) Anderson-Stojanovic, V. R. 1987 "The Chronology and Function of Ceramic Unguentaria", American Journal of Archaeology, 91, 105-122.

- 6) Arunraj, T. 2015 Role of satellite sites for the growth of Arikamedu as Indo-Roman trading station. Delhi: Agam Kala Prakashan.
- 7) Carswell, John, S. U. Deraniyagala, and Alan H. Graham. 2013 *Mantai* : city by the sea. Archaeological Department of Sri Lanka Aichwald, Germany: Linden Soft Verlag,
- 8) Coningham, R. 2006 Anuradhapura, vol. 2: The Artefacts (BAR International Series) 1, Oxford: Archaeopress.
- 9) Coningham,R. et al. 2017 "Reconstructing Networks of Trade and Exchange in the Indian Ocean during the Early Historic Period:Case Studies from Anuradhapura(Sri Lanka)," in K.S. Mathew (ed.), *Imperial Rome, Indian Ocean regions and Muziris: new perspectives on maritime trade.* London: Routledge, 31-52.
- 10) Dotterweich, U. 1999 *Unguentarien mit kuppelförmiger Muündung aus Knidos*. Knidos-Studien Band I (1999).
- 11) Muthucumarana, R., Gaur A.S., Chandraratne W.M., Manders M., Ramlingeswara Rao B., Ravi Bhushan & Khedekar V.D. and Dayananda A.M.A. 2014, "An early historic assemblage offshore of Godawaya, Sri Lanka: Evidence for early regional seafaring in South Asia", *Journal of Maritime Archaeology*9(1), 41-58.
- 12) Somasiri D.2007 "Maritime Archaeology in Sri lanka" *History and Archaeology Of Sri Lanka Volume II: The Art And Archaelogy Of Sri Lanka I*, Central Cultural Fund, Miniatry of Cultural Affairs, Colombo.
- 13) Walburg, R. 2008 Coins and tokens from ancient Ceylon: Being a critical survey of the coins and coin-like objects unearthed on the island based on a thoroughly annotated catalogue of finds, and supplemented by an analytical part dealing with the island's ancient economy and its trade with the western world, Reichert Verlag.

(平成 30 年 1 月 12 日 受理)

熱負荷を受ける単純重ね合わせ接着継手の力学特性

志村 穣*, 池滝健一**, 後藤隆生***, 黒﨑 茂****

Mechanical Properties for Adhesively Bonded Single-lap Joints Subjected to Thermal Loadings

Jyo SHIMURA*, Kenichi IKETAKI**, Takao GOTO***, Shigeru KUROSAKI****

In this study, we have tried to research the mechanical properties of the adhesively bonded single-lap joints subjected to thermal loads. Adherend materials for the case of similar and dissimilar joints are composed of stainless steel SUS304 only, aluminum alloy A6063 and SUS304, respectively. To figure out deformation and stress distribution of the joints, thermal stress analyses using FEM were performed. Furthermore, the effects of lap length, adhesive thickness on the mechanical properties of the joints were investigated by the simulation. In addition, experiments using strain gauges for strain distribution and temperature measurement of the joints were carried out to confirm the validity of the analytical results. As a numerical result, it was suggested that the stress concentrations occurred at the edges in the adhesive layer of the dissimilar joint. It was also indicated that the stress concentrations at the edges increased as the lap length increased. Moreover, it was expected that the stress distribution at the adhesive layer became homogeneous as the adhesive thickness increased.

(Keywords: Adhesively Single-lap Joint, Thermal Stress, Stress Distribution, FEM)

1. 緒言

現在主流の接合方法としてねじ締結や溶接などが 挙げられるが、これらを接着接合に置き換えること で軽量化を初めとした更なる利点が得られるものと 期待されている.近年では自動車ボディのマルチマ テリアル化 いにおいて接着接合が重要な役割を果た しており、今後益々その需要が高まるものと予想さ れる.接着接合の適用拡大には、接合強度の向上や 信頼性確保が必須であるが、未だそれらの問題点を 孕んだまま導入され、かつ二次構造に対する適用が 限界、というのが現状である.

このような背景から本研究室では、接着接合強度の向上を目的に、優れた力学状態となる接合部形状を模索している。なかでも、接合面が曲面と平滑面から成る"波型重ね合わせ接着継手"は、一般的な継手形態である単純重ね合わせ接着継手よりも顕著な強度の向上が確認されている²⁻⁷⁾.

接着継手に限らず,各種の機械要素や機械構造物は様々な環境負荷に対する耐久性を備え,所定の性能を発揮しなければならない.しかし近年では,世界各地で気温上昇が顕著となっており,それらの使用温度域が上昇していることは想像に難くない.これまでとは異なる温度環境下,特に,高温度環境下

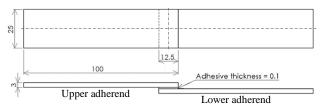


Fig.1 Dimension and geometry of adhesively single-lap joint

での使用を想定した設計思想が必須と言える.

したがって、本研究では強度特性に優れる波型重ね合わせ接着継手の熱負荷時における力学特性を解明するために、まず、比較対象となる単純重ね合わせ接着継手の応力および変形状態を熱応力解析により調査することを目的とする。また、被着体材料の組み合わせが継手の力学特性に及ぼす影響を検討するとともに、解析結果の妥当性を検証するためにひずみゲージを用いたひずみ分布測定実験を実施した。

2. 実験方法

2.1 継手形状および継手構成材料

本研究で取り扱う接着接合体の形状は、最も一般 的である単純重ね合わせ接着継手とした. 主要寸法 は日本工業規格 8)を参考に、重ね合わせ長さ 12.5[mm], 接着層厚さ 0.1[mm], 試験片の幅 25[mm] および板厚 3[mm]にそれぞれ設定した. 被着体材料 にはアルミニウム合金 A6063(以後, A6063 と記載す る)およびステンレス鋼 SUS304(以降, SUS304 と呼 称する)を使用し、被着体が同種および異種材料の場 合を対象とすることで、線膨張係数の差異が継手の 力学特性に及ぼす影響を検討する.併せて,重ね合 わせ長さや接着層厚さ等の継手の寸法変更と力学特 性との関係を調査する.接着剤はスリーボンド製一 液性エポキシ配合樹脂 TB2222P を使用する. Fig.1 に 本研究で対象とする単純重ね合わせ継手の形状およ び寸法を示す. なお, 継手名称は"下側被着体材料 名/上側被着体材料名 joint" として"SUS304/A6063 joint"のように呼称する.

2.2 接着継手試験片の製作

まず、被着体接合面をサンドペーパー(#80,100)により研磨しつつ、算術平均粗さ Ra を小形表面粗さ測定器(ミツトヨ製サーフテスト SJ-210)で測定し、2.0±0.3[μm]に収まることを確認する.次いで、超音波洗浄器にて 10 分間の超音波洗浄およびアセトンによる脱脂・洗浄を行い、一液性加熱硬化型エポキシ樹脂(スリーボンド製 TB2222P)を両被着体の接合面に塗布し重ね合わせて接着する.この際に接着層厚さを 0.1[mm]とするために、Fig.2 のように、専用治具と万力を用いて試験片を固定する.最後に、定温乾燥器(ヤマト科学社製 DVS402)により 1 時間加熱することで、接着継手試験片が完成する.

2.3 ひずみ分布測定実験

本実験は継手の熱負荷時のひずみ分布測定を行い、解析結果の妥当性を検証するものである。Fig.3(a)に示すように、接着継手試験片の重ね合わせ部側面に高温用ひずみゲージ(共和電業製 KFR-02-120-C1)を10枚、被着体上面および下面に温度センサ付ひずみゲージ(共和電業製 KFGT-2-120-C1)を8枚貼付した接着継手試験片を定温乾燥器(ヤマト科学社製DVS402)内に入れ、任意温度まで上昇させた際のひずみおよび温度をデータロガー(東京測器研究所製TDS-530)により測定、記録する。Fig.3(b)は熱ひずみ測定の実際の様子である。なお、本実験での接着継手試験片は、ひずみゲージの寸法およびその貼付箇所を鑑み、重ね合わせ長さを25[mm]とした。

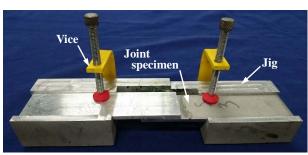
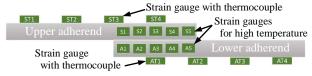


Fig.2 Fabrication of joint specimen



(a) Schematically illustration of each glued strain gauge



(b) Actual situation of strain measurement experiment Fig.3 Apparatus for measuring of heat strain

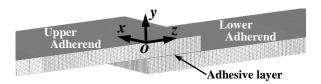


Fig.4 An example mesh divisions used in FEM

Table 1	Thermal	constants	for each	materials

Material	Temperature	coefficient of thermal expansion $\alpha [\times 10^{-6}]^{\circ}$
SUS304	27	17.3
A6063	27	21.8
TB2222P	24	45

3. 解析方法

3.1 有限要素モデルおよび境界条件

2.1 節で言及した継手を解析対象とし、熱負荷時の力学状態を熱応力解析により調査する。解析ソフトウェアは Femap with NX Nastran ver.11.1.2 を使用し、熱伝導解析と線形静解析を連成させた熱応力解析を実施する。座標系は継手幅方向をx軸,厚さ方向をy軸,長手方向をz軸としている。FEM モデルは六面体要素を用いて作成し,接着層と両被着体との境界は互いの節点を共有し,各領域の要素毎に材料定数を設定することで接着継手をモデル化した。Fig.4に継手の要素分割の一例を示す。

3.2 定常熱伝導解析

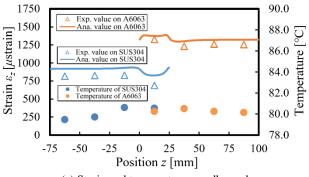
単純重ね合わせ接着継手が一様な高温の雰囲気温度の定温乾燥器内に置かれた状態を想定し、定常熱伝導解析を行う. FEM モデルの表層サーフェスには荷重条件として対流条件を設定し、その熱伝達率は10[W/m²K]とした. また、初期条件として解析モデルの全節点に24[℃]の温度情報を与えた. Table 1 に本解析に用いた熱的特性値 9.10)を示す.

3.3 熱応力解析

前節の定常熱伝導解析より得られた継手の温度分布を熱的負荷条件とし、これを線形静解析に読み込むことで熱応力解析が可能となる。本解析ではモデルの剛体変位の抑制が必須である。そのため、下側被着体下面重ね合わせ部の中心にある節点を完全拘束し、その接点からz軸方向に隣接する節点のx軸方向の並進運動を拘束した。さらに、上側被着体上面の重ね合わせ部の中心にある節点について,x,y軸方向の並進運動をそれぞれ拘束した。これらの拘束条件は継手の変形が妨げられないように留意している。また、本解析ではTable 2 に示す材料特性値 10-121を用いた。なお、一液性加熱硬化型エポキシ樹脂TB2222Pの縦弾性係数は動的粘弾性測定結果 100の貯蔵弾性率から読み取った値を用いている。

Table 2 Material properties for each materials

Material	Temperature $T[^{\circ}\mathbb{C}]$	Young's modulus E [GPa]	Poisson's ratio	
SUS304	24	195.2	0.25	
	149	188.3	0.27	
A6063	27	68.94	0.33	
	93	66.18		
TB2222P	24	0.90	0.39	
	100	0.79		



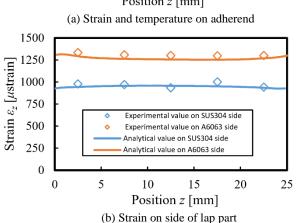


Fig. 5 Comparison of strain ε_z distribution between analytical result and experimental one

4. 結果および考察

4.1 ひずみ分布測定実験結果と解析結果との比較

ここではまず、任意温度下における接着継手のひずみ分布測定実験結果と熱応力解析により得られたひずみ分布とを比較し、解析結果の妥当性を評価する. 対象とする継手は SUS304/A6063 joint とし、ひずみ値の測定箇所およびそれらに対応した解析ひずみの抽出箇所は Fig.3(a)に示すとおりである.

Fig.5(a)は雰囲気温度 $80[^{\circ}]$ における両被着体のひずみおよび温度分布を示す.縦軸第一軸は継手長手方向の垂直ひずみ ε_z [μ strain],縦軸第二軸は温度[$^{\circ}$ C],横軸は継手長手方向の位置 z [mm]である. \triangle および \bigcirc のプロットがひずみおよび温度の測定値を,実線が解析ひずみ値をそれぞれ示す.ここで,測定値のプロットは継手試験片 2 本に対し各 3 回測定した結果の算術平均値である.Fig.5(a)によると,ひずみ値は A6063 側被着体の方が大きく生じている.また,左右の被着体のひずみ分布は重ね合わせ部(z=0 \sim

25)以外の領域でほぼ横這いであるが、重ね合わせ部ではひずみ値の増減が見られる. ひずみ測定と同時に熱電対による温度測定を実施した. その結果が○プロットであるが、定温乾燥器内の雰囲気温度80[℃]に設定対し、継手表面温度がほぼ 80[℃]になっていることが確認できる.

Fig.5(b)は重ね合わせ部側面の接着層付近のひずみ分布である. 縦軸, 横軸は Fig.5(a)と同様である. ◇プロットがひずみの測定値を, 実線が解析ひずみをそれぞれ示すが, 測定値のプロットは継手試験片3本に対し各3回測定した結果の算術平均値である. この図から, 重ね合わせ部においても A6063 側のひずみの方が大きい値を生じていることがわかる.

以上より、実験結果と解析結果によるひずみ分布 比較から、両者の数値および分布は近しいものとなっており、本解析結果は妥当性を有するものと考え られる.

4.2 継手の応力および変形状態

雰囲気温度 $80[^{\circ}C]$ の熱的負荷を、被着体が同種材料で構成される SUS304/SUS304 joint に与えた場合のミーゼス応力 σ_m と変形のコンター表示を Fig.6(a)に示す.紫色が低応力領域で最小0[MPa]、赤色が高応力領域で最大0.15[MPa]を意味する.変形は実変形量の50倍の拡大表示としている.両被着体のほぼ全域で応力は生じていないが、重ね合わせ部では応力変動が顕著となっている.特に、接着層近傍で最大応力値を示している.継手の変形は僅かであり、こ

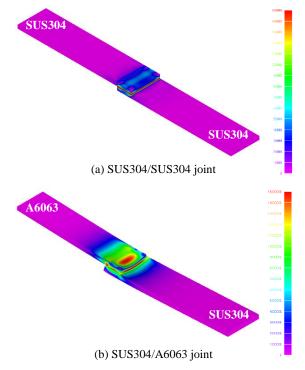
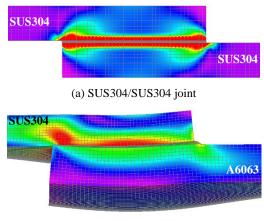


Fig. 6 Contour indication of Mises stress σ_m and deformation for whole joint



(b) SUS304/A6063 joint

Fig. 7 Contour indication from side view of Mises stress σ_m and deformation at boded part

の図からは確認することができない.

Fig.6(b)は被着体が異種材料である SUS304/A6063 joint の雰囲気温度 80[$^{\circ}$ C]におけるミーゼス応力 σ_m と変形のコンター表示である. この図では,紫色が低応力領域で最小 0[MPa],赤色が高応力領域で最大 15[MPa]を示す. 前述同様,変形は実変形量の 50 倍としている. 前述の SUS304/SUS304 joint に比べて,重ね合わせ部上面にも高応力領域(赤色)が見られ,応力状態が極めて異なることがわかる. また,継手全体の形状は重ね合わせ部を中心に湾曲し,下に凸の変形状態となっている. SUS304/A6063 joint では両被着体の線膨張係数差により変形量に差異が生じるため,これが他方の被着体の変位を拘束することになり,結果として熱応力が生じやすい状態になると考えられる.

Fig.7 は Fig.6 のコンター表示における重ね合わせ部付近を横から眺めたものである。色合いで示された応力レベルは Fig.6 と同様である。両継手いずれも接着層近傍において高応力領域が見受けられる。Fig.7(a)の SUS304/SUS304 joint の応力状態はほぼ点対称分布であるが、Fig.7(b)の SUS304/A6063 joint の場合は SUS304 側被着体接着層近傍で高応力領域が生じている。これは SUS304 被着体の縦弾性係数がA6063 より大きいため、同一の温度変化であれば熱応力が大きく算出されることに起因する。また、形状変化に着目すると、SUS304/SUS304 joint の場合は上下被着体の位置関係が平行を保持しつつ膨張するが、SUS304/A6063 joint では両被着体の線膨張係数差により、長手方向および幅方向に対して下に凸の変形状態になることが示唆された。

4.3 接着層の応力分布

接着継手の力学特性の評価において,接着層の応力分布を検討することが重要である. その際の評価

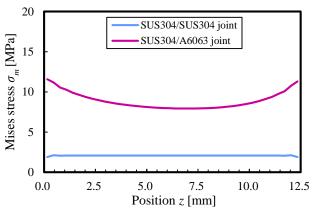


Fig. 8 Mises stress σ_m distribution at the adhesive layer for each joint

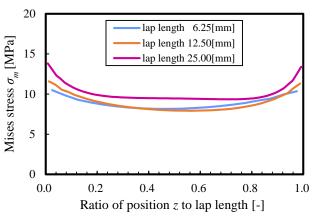


Fig. 9 Mises stress σ_m distribution at the adhesive layer for each lap length

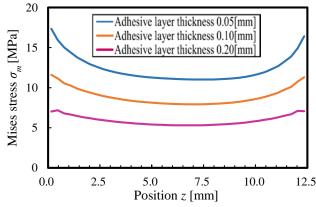


Fig. 10 Mises stress σ_m distribution at the adhesive layer for its thickness

応力として、はく離応力およびせん断応力を用いることが一般的であるが、ここではミーゼス応力 σ_m を用いることとする.

Fig.8 は継手重ね合わせ部側面(x=0)の接着層中央におけるミーゼス応力 σ_m 分布である。いずれも接着層厚さ 0.1[mm],重ね合わせ長さ 12.5[mm]および雰囲気温度 $80[^{\circ}C]$ の際の結果である。縦軸にミーゼス応力 $\sigma_m[MPa]$,横軸に重ね合わせ部の位置 z [mm]をそれぞれ採っている。両被着体が同種材料である SUS304/SUS304 joint では応力分布が全域にわたりほぼ一様であるが,異種材料被着体の SUS304/A6063 joint では接着層両端部に近づくにつれ応力が増加する分布を呈している。Fig.7(b)の SUS304/A6063 joint のコンター表示より,重ね合わせ部での顕著な応力

変動が示唆されたが、接着層内においても同様に SUS304/A6063 joint の方が厳しい応力状態にあると 言える.

4.3.1 重ね合わせ長さが応力分布に及ぼす影響

SUS304/A6063 joint の接着層厚さを 0.1[mm]で固定しつつ,重ね合わせ長さを 6.25, 12.50,および 25.00[mm]に変化させた場合のミーゼス応力 σ_m 分布を Fig.9 に示す.雰囲気温度は 80[$^{\circ}$ C]である.縦軸はミーゼス応力 σ_m [MPa],横軸は重ね合わせ部の位置 z を重ね合わせ長さで除した無次元量である.いずれの場合も接着層両端部(x=0, 1.0)で最大応力値を示す分布であるが,重ね合わせ長さが大きくなるにつれ,その最大値が増加することがわかる.これは重ね合わせ長さが大きいほど,線膨張係数差の影響を受ける部分が増すためと考えられる.あるいは,重ね合わせ部の剛性が高まり,変形が抑制される結果として応力が増加するとも推察される.

4.3.2 接着層厚さが応力分布に及ぼす影響

Fig.10 は SUS304/A6063 joint の接着層厚さを変えた際(0.05, 0.10, 0.20[mm])のミーゼス応力 σ_m 分布を示す. 縦軸, 横軸は Fig.8 と同様である. 接着層厚さを大きくするほど, 応力分布は均一化し, その数値も減少していることがわかる. この一因として,接着層から両被着体までの距離が短いほど,接着層が両被着体の変形による影響を受けやすくなることが挙げられる.

5. 結言

本研究では、熱負荷を受ける接着継手の力学状態を熱応力解析により調査するとともに、重ね合わせ長さ等の接着条件が応力分布に及ぼす影響を検討した。これまでに得られた知見を以下に記す。

- (1) ひずみ分布に関する実験結果と解析結果との比較から、本解析手法の妥当性を確認した.
- (2) 熱応力解析の結果,接着層およびその近傍において高応力領域となることが示唆された.
- (3) 被着体が異種材料の場合,継手全体の変形および接着層応力分布の変動が顕著になると推察される.
- (4) 重ね合わせ長さを大きくするほど、接着層応力 分布の最大値が増加する.
- (5) 接着層厚さを大きくするほど、接着層応力分布 は均一化しつつその数値が減少する.

謝辞

実験に御協力いただいた株式会社ホクョーの竹田 信介氏に,ここに記して謝意を表する.

参考文献

- 日刊工業新聞社,工業材料 特集 自動車の軽量 化とマルチマテリアル技術の進展 (2017), No.12, Vol.65.
- 2) 前川ら、"重ね合わせ接着継手の継手形状の最適 化に関する研究",日本機械学会関東支部第 18 期 総会講演会講演論文集 (2012), pp.575-576.
- 3) 志村ら, "曲げモーメントを受ける各種重ね合わ せ接着継手の強度特性", 日本機械学会関東支部 第19 期総会講演会講演論文集 (2013), pp.195-196.
- 4) コアら、"異種材料の被着体を有する波型重ね合わせ接着接手の曲げ強度特性評価", 日本機械学会関東支部第 20 期総会講演会 CD-ROM 講演論文集 (2014), 20402.
- 5) 荘山ら, "引張せん断荷重下における異種材料波型重ね合わせ接着継手の強度特性評価", 日本機械学会関東支部第 21 期総会講演会 CD-ROM 講演論文集 (2015), 20402.
- 6) 志村ら,"波型重ね合わせ接着継手の圧縮せん断強度特性",東京工業高等専門学校研究報告書 (2010), Vol.48, pp.50-53.
- 7) 伊原ら, "異種材料波型重ね合わせ接着継手の圧縮せん断強度特性", 日本機械学会関東支部第23期総会講演会 CD-ROM 講演論文集 (2017), GS0202-03.
- 8) 日本規格協会, JIS ハンドブック 29 接着 (2004), pp.194-196.
- 9) 日本機械学会, 伝熱工学資料 改訂第5版 (2009), pp.284-288.
- 10)株式会社スリーボンド,技術資料 スリーボンド 2222P 半田耐熱性一液性エポキシ配合樹脂 (2002), pp.1-3.
- 11)日本規格協会, (新版) 非鉄金属選択のポイント, (2002), pp.47.
- 12)日本機械学会, 金属材料の弾性係数 (1980), pp.99.

(平成 30 年 1 月 12 日 受理)

永久磁石モータの零速度駆動時の素子発熱集中緩和法に対する シミュレーション検証

綾野 秀樹*,嶋本 椋太**,松井 義弘*

Simulation Verification of the Alleviation Technique for Thermal Concentration on Power Devices in Zero-speed Driving of PMSM

Hideki AYANO*, Ryohta SHIMAMOTO**, Yoshihiro MATSUI*

This paper verifies the effect of the alleviation technique, which is proposed by the authors, for the thermal concentration on specific power devices by using thermal simulations. The feature of the proposed technique is that, in a three-level inverter driving a permanent magnet synchronous motor (PMSM), it is possible to change the current path by using a zero-sequence voltage even under zero-speed and high torque condition. The simulation is carried out under two conditions: In one case, the thermal conductivity on the surface of the heatsink is large, and in the other case, that is small. As a result, in the former case, the maximum temperature of the power devices can be reduced by 15 $^{\circ}$ C compared with the conventional method, and it will be 108 $^{\circ}$ C. In the latter, it can be reduced by 67 $^{\circ}$ C compared with the conventional method and it will be 98 $^{\circ}$ C. It can be expected that the maximum temperature of the actual power devices will be intermediate between the two conditions in the experiment.

(Keywords: zero-sequence voltage, three-level inverter, thermal concentration, zero-speed, PMSM)

1. 諸言

近年,地球温暖化の防止などの環境問題に対応するために、家電製品や産業機器の省エネルギー化が求められている。その一例として、高効率駆動が可能である永久磁石モータの利用範囲が拡大している。一般的な永久磁石モータは、回転子が永久磁石であり二次銅損が発生しないため高効率である。また、ネオジム磁石など強力な永久磁石を使用することで、同じ出力の誘導機よりも小型化できる。このため、永久磁石モータは、冷蔵庫、エアコン室外機掃除機などの家電製品から電気自動車、エレベータなどの産業用電動機まで、幅広い分野で使用されている。近年では、東京メトロ銀座線など鉄道にも永久磁石モータが使用されており、新幹線でも試験運転がなされている」。

一方,電気自動車の坂道発進時,エレベータの始動・停止時,鉄道の後退起動などの零速度で高トルクが要求される条件では、永久磁石モータには直流の大電流が流れる。この場合には、インバータの特定の素子に損失が集中し、発熱が偏る課題があり、素子寿命の低下や冷却装置の大型化の恐れがある²⁰。この課題は変換器として一般的に使用される2レベルインバータでは解決できない課題である。筆者らは、新幹線などの大容量機器で使用される3レベルインバータにおいて、零速度・高トルクの場合に電圧指令値に零相電圧を重畳する制御法により、特定素子での損失集中を緩和す

る手法を提案している³⁾。近年では 3 レベルインバータ用のモジュール素子が販売され、3 レベルインバータの実装が容易になってきている。提案法では、零相電圧を利用して電流経路を変化させ、これまで解決できなかった素子損失の均一化を図る。

本論文では、シミュレーションにより熱回路モデルから3レベルインバータの各素子の温度を算出する。 さらに、永久磁石モータの零速度・高トルク駆動時の 提案手法の効果を素子温度の観点で評価する。

2. 提案方式の原理

2. 1 システム構成

Fig. 1に、提案方式のシステム構成図を示す。提案方式では、3レベルインバータを使用する。3レベルインバータは各相4個ずつのスイッチ素子と還流ダイオードで構成される。3レベルインバータは、一般的な2レベルインバータと比較して、部品数が多くなり制御が複雑になるが、相電圧が3段階で出力されるため出力電圧・出力電流のひずみを低減できる。インバータの出力には永久磁石モータ(PMモータ)を接続する。本評価では、20kW相当の永久磁石モータを定格負荷で駆動するモデルとする。また、インバータの直流側は720Vとしており、中性点を接地する構成とする。

制御回路では、一般的なベクトル制御により導出した電圧指令値に対して、零相電圧 V_Z を与える。この

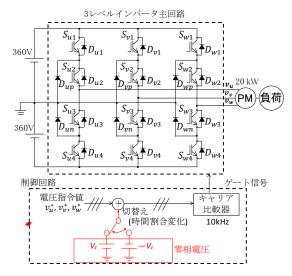


Fig. 1 System configuration.

Vz について、時間割合を変えて正負に切り替える点が提案手法の特徴である。なお、本評価では Vz を 300 V としている。また、制御回路では、Vzを加算した指令値に対して、キャリア周波数が 10 kHz の三角波搬送波と比較し、主回路の素子にゲート信号を与える。

Fig. 2 に、提案手法により V_z を重畳させた場合の電圧指令値の特性を示す。ここで、電圧指令値は、U 相指令が最大となる磁極位置を仮定する。U 相に着目した場合、U 相電圧指令値 v_{uref}^* と三角波搬送波との関係から、 $(1) \sim (4)$ 式に示す条件に従ってゲート信号を出力する。

$$S_{u1}$$
のゲート信号=
$$\begin{cases} \text{ON } (v_{uref}^* \geq \textit{Carrier1}) \\ \text{OFF}(v_{uref}^* < \textit{Carrier1}) \end{cases} \end{cases} (1)$$
 S_{u2} のゲート信号=
$$\begin{cases} \text{ON } (v_{uref}^* \geq \textit{Carrier2}) \\ \text{OFF}(v_{uref}^* < \textit{Carrier2}) \end{cases} (2)$$
 S_{u3} のゲート信号=
$$\begin{cases} \text{ON } (v_{uref}^* < \textit{Carrier1}) \\ \text{OFF}(v_{uref}^* \geq \textit{Carrier1}) \end{cases} (3)$$
 S_{u4} のゲート信号=
$$\begin{cases} \text{ON } (v_{uref}^* < \textit{Carrier2}) \\ \text{OFF}(v_{uref}^* \geq \textit{Carrier2}) \end{cases} (4)$$

(1)~(4)式より、 S_{u1} と S_{u3} 、 S_{u2} と S_{u4} はそれぞれ相補の関係にある。 S_{u1} 、 S_{u2} がオン、 S_{u3} 、 S_{u4} がオフの場合、出力電圧 v_u は360 Vとなり、 S_{u1} 、 S_{u2} がオフ、 S_{u3} 、 S_{u4} がオンの場合、 v_u は-360 Vとなる。また、 S_{u1} 、 S_{u4} がオフ、 S_{u2} 、 S_{u3} がオンの場合、 v_u は0となる。V相、W相の場合も同様である。

Fig. 2(a) より、 V_z が零の場合(従来方式の場合)は、U 相電圧指令値 v_{uref} *がCarrier1と比較され、V 相電

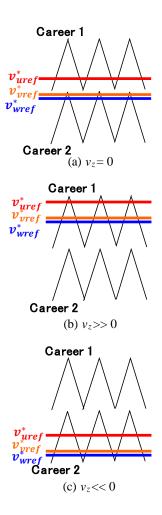


Fig. 2 Characteristics of the voltage references when the zero-sequence voltage is added.

圧指令値 v_{vref} *と W 相電圧指令値 v_{wref} *がCarrier2 と比較される。U 相素子に着目すると,指令値がキャリアよりも大きい期間は S_{u1} はオン, S_{u3} はオフとなり,指令値がキャリアよりも小さい期間は S_{u1} はオフ, S_{u3} はオンとなる。また, S_{u2} は常に導通し, S_{u4} は導通しない。

Fig. 2 (b)より、十分に大きい正の V_z を重畳する場合は、各相の電圧指令値はCarrier1のみと比較される。この場合のU相では、Fig. 2 (a)と比較して S_{u1} の導通時間が増加し、 S_{u3} の導通時間は減少する。また、 S_{u2} 、 S_{u4} は変化しない。Fig. 2 (c)より、絶対値が十分に大きい負の V_z を重畳する場合は、各相の電圧指令値はCarrier2のみと比較される。この場合のU相では、 S_{u1} と S_{u3} はスイッチングをせず、 S_{u1} は常にオフ、 S_{u3} は常にオンとなる。また、 S_{u2} と S_{u4} は

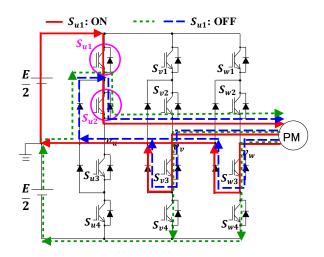


Fig. 3 Current paths under zero speed condition (conventional method).

スイッチングし、指令値がCarrier2よりも大きい期間は S_{u2} はオン、 S_{u4} はオフとなり、指令値がキャリア2よりも小さい期間は S_{u2} はオフ、 S_{u4} はオンとなる。このように、3レベルインバータでは、 V_z を各相に重畳することで、駆動スイッチを切替えることができる。

2. 2 零速駆動時の電流経路と発熱集中緩和の原理 Fig. 1のシステムにおいて、永久磁石モータが回 転している場合,インバータが出力する電流は三相交 流となるため、転流に伴って電流経路が変化する。し かし、永久磁石モータが零速度の場合、インバータは 直流電流を出力するため、電流経路は変化せず同じ状 態を継続する。Fig. 3 に、従来($V_z = 0$ V)の 3 レベ ルインバータにおいてU相電流が最大となる場合の、 零速時の電流経路を示す。実線、点線は、 S_{u1} がオン の場合とオフの場合それぞれの電流経路を示す。U相 に着目すると、 S_{u1} がスイッチングするため、スイッ チング損失と導通損失が発生する。さらに、 S_{u2} は常 に導通しており導通損失は最大となる。永久磁石モー タの零速度時は、回転に伴う転流が発生しないため、 一定の電流状態が継続する。つまり、 S_{u1} と S_{u2} に損失 が集中する。このため、永久磁石モータの零速度状態 では特定の素子に発熱が偏り、素子寿命の低下や冷却 装置の大型化をもたらす恐れがある。

Figs. 4, 5 に V_z = +300 Vを重畳した場合, V_z = -300 Vを重畳した場合の電流経路をそれぞれ示す。回転子はU 相電流が最大となる位置と仮定している。Fig. 5 より, V_z = -300 Vの条件で S_{u1} がオフの場合,電流は S_{u2} を流れなくなる。したがって,従来方式で

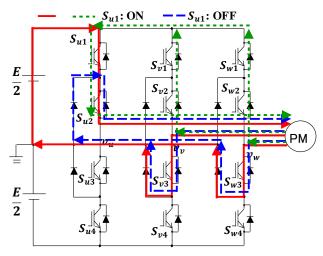


Fig. 4 Current paths under zero-speed condition $(v_z = 300V)$.

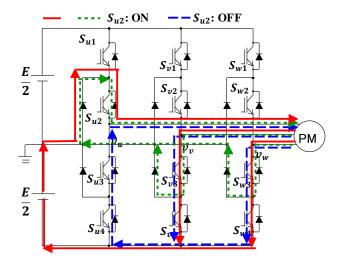


Fig. 5 Current paths under zero-speed condition $(v_z = -300\text{V})$.

は大きかった S_{u2} の損失を低減できる。 V_z は特定の時間割合で正負を切り替え,電流経路を変化させる。これにより,損失が発生する素子を切り替えることができる 3 。

3. 素子温度評価のための熱回路モデル

Fig. 6 に半導体素子とヒートシンクの簡略図を示す。半導体の故障要因の1つに、素子内部のワイヤとチップ間の接合部の温度上昇がある。過電流が流れる場合など接合部温度が規格値の範囲を超えた場合は、はんだが溶解したりワイヤが焼損することで故障する。また、接合部温度が規格値の範囲内であっても、温度の増減を繰り返すことで、経年的にワイヤとチップの膨張率の差による応力で接合面に亀裂が生じ、最

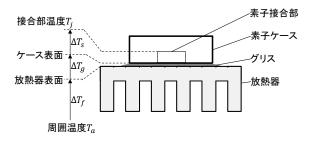


Fig. 6 Schematic of the power device and heat sink.

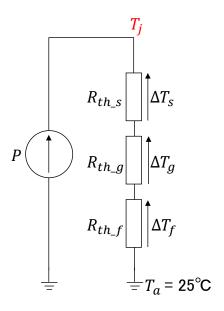


Fig. 7 Thermal circuit model per one phase.

終的に接合部が剥離して素子は故障する。この温度の 増減による繰り返し故障では、接合部での温度変化幅 が大きいほど素子寿命は短くなる。一般的には、素子 寿命を向上させるために素子にヒートシンクなどの 放熱器を設置し、接合部の温度上昇を抑制する。さら に、素子損失により発生する熱を効率よく外部に伝達 するために、素子と放熱器の間にシリコングリスを塗 布し、素子と放熱器を密着させる。この場合、シリコ ングリスや放熱器などの熱伝導体の熱抵抗が小さい ほど放熱性が向上する。

Fig. 7 に,Fig. 6 に対応する熱回路モデル図を示す。素子損失にあたる熱流源 P[W] を電流源 I[A] に,熱抵抗 $R_{th}[^{\circ}C/W]$ を電気抵抗 $R[\Omega]$ に,温度 $\Delta T[^{\circ}C]$ を電圧 V[V] に置き換えることで,電気回路 と同様の計算が適用可能となり,オームの法則 $V=R\times I$ に対応して,(5)式が成立する。

Table 1 Thermal resistances

要素	条件	記号	熱抵抗[K/W]
	IGBT部	$R_{ths}Q$	0.19
接合・ケース間	(1/2モジュール)	IT ths Q	0.13
熱抵抗	Diode部	$R_{ths}R$	0.35
	(1/2モジュール)	I ths I	
ケース放熱器間	0.9W/(m · K)	R_{thg}	0.07
熱抵抗	のグリス	" thg	0.07
放熱器熱抵抗	2m/sの強制空冷	R_{thf}	0.29

$$\Delta T = R_{th} \times P \tag{5}$$

したがって,素子損失をP,素子接合部とケース間の 熱抵抗を R_{th_s} ,グリスの熱抵抗を R_{th_g} ,放熱器の熱 抵抗を R_{th_f} ,周囲温度を T_a とすると,素子接合部の 温度 T_j は,それぞれの熱伝導体の温度差 ΔT_s , ΔT_g , ΔT_f を用いて,(6)式で表される。

$$T_{j} = \Delta T_{s} + \Delta T_{g} + \Delta T_{f} + T_{a}$$

$$= R_{th_{s}} \times P + R_{th_{g}} \times P$$

$$+ R_{th_{f}} \times P + T_{a}$$
(6)

 T_j が大きい場合には、素子は故障する恐れがあるため、素子で発生する損失と周囲環境に応じて適切な熱設計が必要になる。

4. 素子温度のシミュレーション結果

本論文では、素子損失のシミュレーション結果3)を 使用し、熱回路モデルを適用することにより素子温度 を評価する。評価条件は、Fig. 1のシステムにおい て3レベルインバータに使用する IGBT と還流ダイオ ードは1ケースに2素子ずつ内蔵された IGBT モジュ ール CM200DY-12NF (三菱電機製)を想定する。 IGBT の ターンオン時間とターンオフ時間をそれぞれ 0.12 μs, 0.36 μsと仮定し, IGBT の損失としてスイ ッチング損失と導通損失を,ダイオードの損失として 導通損失をシミュレーションにより計算する³⁾。 Table 1 に、各要素の熱抵抗値を示す。素子温度は定 常状態のみを考え、過渡熱抵抗および熱容量による影 響は無視する。放熱器はP35/250A(Semikron 社製)を 想定し、風速 2m/s のファンによる強制空冷を仮定し て素子温度を評価する。熱抵抗はデータシートの値を 使用し、強制空冷により放熱器の熱抵抗は0.62 倍に なると仮定する。

Fig. 8 に、想定する 3 レベルインバータ主回路の

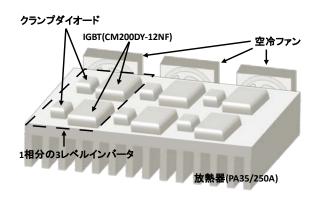


Fig. 8 Schematic of the main circuit of the threelevel inverter.

概略図を示す。熱回路モデルでの温度評価は次の2つ の条件で実施する。

- ・条件 1: 放熱器表面の熱伝導率が十分に大きく, 各素子ケース間でも熱伝達が発生する と仮定。
- ・条件2:各素子ケース間での伝達する熱流量が放 熱量と比較して十分に小さく無視でき、 各素子ケース間での熱伝達は無視でき ると仮定。

また、条件2において、放熱器の放熱面積は、損失が発生している素子ケースで分割するものとし、熱抵抗値は3倍になるものとする。(条件1と条件2はともに限界値の条件であり、実機では条件1と条件2の間の値となると考える。)

Fig. 9に、条件1の1相分の熱回路モデル図を示す。放熱器表面の熱伝導率が十分に大きいため、すべての素子はグリスの熱抵抗を介して1つの放熱器に接続される。Fig. 10に、条件2の1相分の熱回路モデル図を示す。各素子間の熱伝達は無視されるため、素子はそれぞれ独立した放熱器に接続される。

Figs. 11, 12 に、各条件において負の零相電圧を重畳する時間割合をパラメータとした場合の素子温度評価結果を示す。負の零相電圧を重畳する時間割合が 0 %の場合は常に $V_0 = +300$ Vが重畳され、100 %の場合は常に $V_0 = -300$ Vが重畳されることを意味する。なお本評価では、回転子は U 相電流が最大となる位置と仮定しており、Figs. 11, 12 では、温度が低い素子は記載を省略している。Fig. 11 より、条件1 では、負電圧の重畳時間割合が約 54 %の場合に最大素子温度が最小となり、約 108 Cとなる。この場合、従来方式と比較して素子温度の最大値を約 15 C 低減できる。Fig. 12 より、条件2 では、負電圧の重

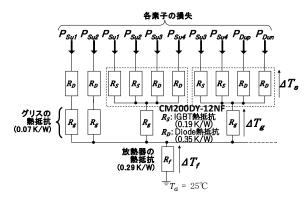


Fig. 9 Thermal circuit model per one phase in three-level inverter (condition 1).

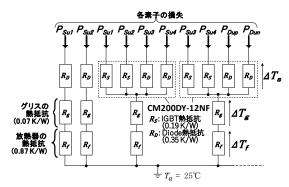


Fig. 10 Thermal circuit model per one phase in three-level inverter (condition 2).

畳時間割合が約61 %の場合に最大素子温度が最小となり、約98 ℃となる。この場合、従来方式と比較して素子温度の最大値を約67℃低減できる。実機においては、各素子ケース間について、条件1と条件2の中間の結果になると予想できる。したがって、永久磁石モータの零速度・高トルク状態の場合に提案手法を用いることで、大幅に素子温度上昇を抑制することが可能となり、冷却装置の小型・軽量化に貢献できると考える。

5. まとめ

本論文では、熱回路モデルから 3 レベルインバータ各素子の温度を算出し、永久磁石モータの零速度・高トルク駆動時の提案手法の効果を素子温度の観点でシミュレーション評価した。評価は、放熱器表面の熱伝導率が十分に大きいと仮定して、各素子ケース間でも熱伝達が発生する条件(条件 1)と各素子ケース間での伝達する熱流量が放熱量と比較して十分に小さく無視できる条件(条件 2)で実施した。条件 1, 2 とも、最大素子温度を十分に低減できることを示した。実機実験を実施した場合は、2 つの条件の中間の結果

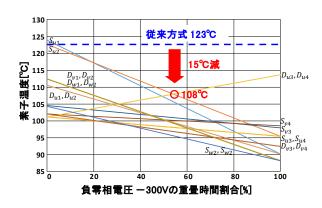


Fig. 11 Simulation results of the temperatures of the power devices (condition 1).

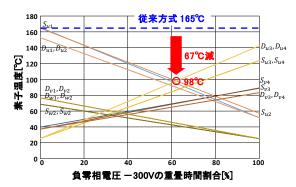


Fig.12 Simulation results of the temperatures of the power devices (condition 2).

になると予想できる。この結果から、永久磁石モータの零速度・高トルク状態の場合に提案手法を利用することで、大幅に素子温度上昇を抑制することが可能となり、冷却装置の小型・軽量化の見込みが得られた。

謝辞

本研究の一部は、2017 年度日本学術振興会 科学研究費補助金基盤研究(C)「零相電圧の積極活用手法による電動機駆動用電力変換器の素子発熱低減技術に関する研究」、東京工業高等専門学校の平成 28 年度重点配分経費の援助により行われた。

参考文献

- 村上理,白石茂智,長谷部寿郎,「環境に配慮した 鉄道車両用主電動機」,東芝レビュー,Vol.64 No.9,(2009)
- 2) 日向敏文,加藤康司,伊東淳一,「低速運転時のインバータ素子温度の上昇回避法」,平成21年電気学会産業応用部門大会,1-55(2009)

3) 綾野秀樹,浅井亨太,松井義弘「永久磁石モータ の零速度運転時における素子発熱集中緩和法」, 電気学会論文誌 D, Vol. 136, No. 9, pp. 646-654 (2016)

(平成 29 年 8 月 18 日 受理)

窒素ドープした TiO2系透明導電膜の評価

伊藤 浩*

Preparation of Nitrogen-Doped TiO₂ Transparent Conductive Thin Film

Hiroshi ITO*

In this paper, the transparent conductive thin film of nitrogen doped titanium dioxide was characterized. The TiO_2 :N film were deposited by the reactive sputtering method with reactive mixture gases of oxygen and nitrogen. At low fraction of nitrogen f_N under 40%, the transmittance of the film was high and the electrical resistivity was several Ω cm. At high fraction of nitrogen f_N upper 95%, the transmittance of the film was low and electrical resistivity was about 10^2 Ω cm. It was suggested that the impurity-levels were formed in the TiO_2 energy band at the low nitrogen fraction about 40% and the mixture film of TiN and TiO_2 were deposited at the high nitrogen fraction about 100%. It was noted that the nitrogen doped TiO_2 films deposited by the proposed method are available for lowering electrical resistivity in the transparent conductive thin film.

(Keywords: transparent conductive, titanium dioxide, electrical resistivity)

1. 諸言

近年、スマートフォンやフラットディスプ レイなどの普及により、光を透過する電導材 料である透明導電膜が注目されている[1]。現 在、抵抗率が 10⁻⁴Ω cm と低く、透明性に優れ ることから透明導電膜には ITO (In₂O₃:Sn) 膜が主に利用されている。しかし、ITO 膜の 原材料にレアメタルの In を使用するため、材 料価格が高く、さらに資源枯渇の問題がある。 そこで、安価で ITO 膜と同等性能の材料とし て TiO₂ が注目されている^[2-4]。 TiO₂ の結晶構 造にはアナターゼ型とルチル型があるが、透 明導電膜にはアナターゼ型が Ti の原子間距 離が短く抵抗率が低くなることから用いられ る^[5]。また、キャリアを増加させるために原 子半径の大きい Nb を添加させ、抵抗率が 10-4 Ω cm オーダまで低減できている。

そこで本研究では、簡便な成膜手法である 反応性スパッタリング法用いて、TiO2膜の低 抵抗化を目指し、調査してきた^[6-8]。今までに、 TiO2膜のアナターゼ結晶化の成膜条件を調査 し、基板温度 400℃で結晶化することを確認 した。しかし、スパッタ膜特有の程度で、 影響で抵抗はわずかに減少する程度で必要が がははおずかにる低減させる必要が であるにで、TiO2薄膜に窒素を添加させ、 キャリアの増加によるの研究からアニールの こととした。今までの場性とである により透過率や電気伝導性が向上することが 分かってとから、本報告ではアニール 条件と窒素の添加量の関係性と、TiO2膜の 条件と窒素の添加量の関係性と、TiO2膜の 条件と窒素化について検討する。

2. 実験方法

N₂添加 TiO₂薄膜の製作には、反応性スパッ タリング装置(芝浦メカトロニクス社製 CFS-4ES)を用いて実験を行った。ターゲッ トには Ti (4N) を用い、スパッタガスには O₂ と N₂ を用いた。ここで、通常スパッタガ スには Ar ガスを用いるが、窒素の反応性スパ ッタでは窒素の含有率が低く、窒化膜になり づらいことを考慮し、スパッタエネルギーの 高い Ar は使用せずに成膜することにした。基 板には石英基板を用い、アセトン及びアルカ リ洗浄液(セミコクリーン56)で超音波洗浄 した。 N_2 のガス流量比 f_N は、100%, 95%, 90%, 50%, 40%, 20%, 0%の7条件とした。成膜時間 はプレスパッタを5分、メインスパッタを10 分および30分で行った。アニール処理には赤 外線ゴールドイメージ炉(アドバンス理工 RHL) を用い、5×10⁻³Pa 以下の真空中で、ア ニール温度を T_a=300, 400, 500, 800, 1000℃の 5条件でおこない、アニール時間は30分とし た。電極には、AIをスパッタ成膜し、電極間 隔 100μm のエッチング加工を行った。 膜の評 価では、XPS (PHI X-tool)、分光光度計(日 立計測 U-3400)、電気テスターを用い、組成 比分析、透過率、抵抗率を評価した。

3. 実験結果と検討

Fig. 1 に TiO_2 薄膜の成膜速度の N_2 流量比依存性を示す。 N_2 流量比 f_N が $0\sim50$ %あたりまでは窒素量にあまり影響が無く成膜速度は一定であることが分かる。しかし 80%以降では

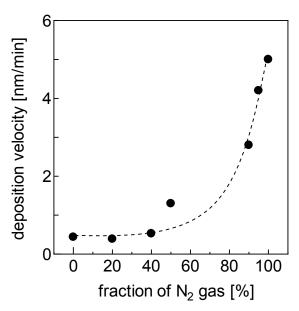


Fig.1 成膜速度の窒素流量比依存性

急速に成膜速度の上昇がみられた。この結果から、50%以下の酸素が多い状態では酸素の反応性が高いため、膜の成長過程には窒素はあまり影響を与えていないことが考えられる。しかし、 f_N が 80%以上では窒素がある程度支配的な量となると急速に反応し、窒化されているものと考えられる。これらのことから、 f_N が 50%以下では酸素による酸化反応が支配的であり窒化反応は少なく、80%以上では逆に窒化反応が活性となり、TiN 膜と TiO_2 膜の混合膜になると考えられる。

Fig. 2及び Table 1にアニール前の TiO₂ 薄膜 の組成比を示す。この結果から、N₂流量比が 40%以下では窒素は検出されないが、50%で 3%添加されていることが分かる。また、比率 をみると、Ti と O は約 1:2 であり、TiO2 膜の 化学量論比となっていることが確認できる。 これは先の結果の低窒素量領域では酸化が支 配的であることから推察できる。また、流量 比 100%では 27.7%の窒素を含むことから、 約3割が膜中にTiN膜を含んでいることと考 えられる。しかも f_Nが 95%と比較すると急速 に組成比が上昇していることが確認できる。 一方で、Ti の組成比は 34%であることから TiO₂の割合を考えみると、6.3%となり、化学 量論比から考えると酸素の組成比は 12%程 度になる。しかし、酸素は38%含んでおり、 TiO₂と TiN からなる混合膜だけとは考えられ ない。酸素と窒素の反応性スパッタ膜である ことから TiON などの非平衡の結合状態で膜

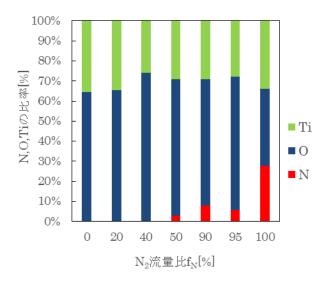


Fig.2 TiO₂:N 薄膜の組成比 (アニール前)

Table 1 TiO₂薄膜の組成比(アニール前)

N ₂ 流量比[%]	N [%]	O [%]	Ti [%]
0	0	64.4	35.6
20	0	63.1	36.9
40	0	64.9	35.2
50	3.0	67.9	29.2
90	8.0	63	29.0
95	5.6	66.5	27.9
100	27.7	38.3	34.0

Table 2 TiO₂ 薄膜の組成比(アニール後)

	D 47		
N ₂ 流量比[%]	N [%]	O [%]	Ti [%]
0	0	64.3	35.7
20	0	62.8	37.2
40	0	62.8	37.3
50	4.8	67.6	27.6
90	4.1	64.3	31.6
95	3.8	66.8	29.4
100	27.3	38.7	33.9

中に取り込まれた可能性も考えられ、その成分を約30%と考えると結果と合う。しかし、TiON膜の形成については不明であるが、ケミカルシフトやより詳細なスペクトル分析の検討により明らかとなると予想されるが、本研究では窒素添加による抵抗率への影響を検討することを主な目的のため、これ以上の検討は行わないこととした。Table2にアニール後の組成比を示す。この結果からアニール前の結果と変化がなく、アニール加熱による薄膜からの窒素や酸素の脱離等はないと考えられる。

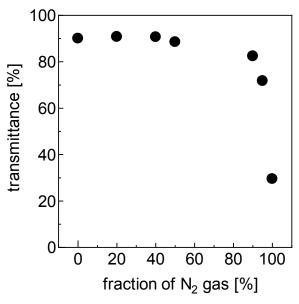


Fig.3 透過率の窒素流量比依存性

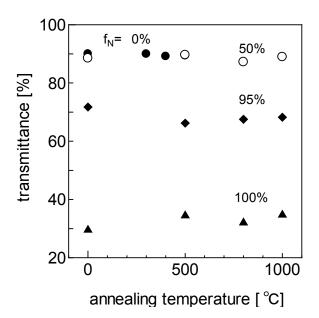


Fig.4 透過率のアニール温度依存性

Fig. 3 に透過率の N_2 流量比依存性の結果を示す。流量比 f_N が 40 %まではほとんど変化がなく透過率は 90%程度と非常に高い。 50%でわずかに透過率は減少し、流量比 90%以上では急速に減少し、100%では透過率は 30%となる。この時の膜の色は黒色となり、透明とは言えない。 XPS の組成比の結果から流量比が 50%以上で微量であるが窒素が添加されることから、透過率は窒素含有量に影響していることが分かる。 Fig. 4 に透過率のアニール温度依存性を示す。 N_2 流量比 f_N が 0%~ 50%ではほとんど変化がなく、透過率は 90%である。流量比 f_N が 95%では、わずかに増加している。また、100%では、わずかに増加し

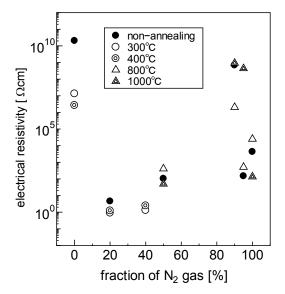


Fig.5 抵抗率の窒素流量比依存性

ている。一般的に蒸着法やスパッタ法で作製した薄膜をアニールすると、基板上の急冷による非平衡状態で吸着した原子が、加熱により安定状態に遷移するよう原子が結合し、ダングリングボンドの削減、膜の緻密化などが生じ、バンドギャップが大きくなり透明性が向上する。本結果では、100%の結果でわずかに透過率の上昇が見られるものの、あまりアニール効果による透明性の向上は無いことが分る。

Fig. 5 に抵抗率の N₂流量比依存性を示す。 流量比 f_Nが 0%では抵抗率は非常に高く、ア ニール温度 400℃でも 10⁶Ωcm オーダとなっ ている。しかし、流量比 f_Nが 20%、40%では 急激に減少し、アニール温度によらず数 Ωcm オーダとなった。さらに、流量比 f_Nが 50%以 上では抵抗率は上昇し、90%付近で 10⁹Ωcm オーダと高く、100%でまた $10^2\Omega$ cm 程度に減 少する。この結果から TiO2 薄膜の抵抗率を削 減する窒素添加効果には二つの要因があると 考えた。一つは、流量比 f_N 20%~40%の領域 では、XPSの組成比分析の結果では窒素は検 出されなかったが、XPS では検出できない 数%以下の微量の窒素が添加されており、 TiO₂結晶構造の酸素と置換し、窒素が不純物 準位として活性化したものである。二つ目は 流量比 f_N 95%~100%の領域では、窒素を多 く含み、TiO2と TiN の混合膜となっていると 考えられ、アニール効果により TiN 膜成分の 抵抗率が減少し、膜全体の抵抗率が減少した と推察する。ここで、一般的に TiN 膜はアニ

ール処理することにより金属と同等の抵抗率 を示すことが分かっている。

また、流量比 50%以上で抵抗率が上昇するのは XPS で窒素が検出されたことから、TiO₂ 結晶構造を乱す程度に窒素が添加されたため、キャリアの移動度の減少と、窒素が不純物準位として機能せず抵抗率が増加したものと思われる。

これらの結果から、流量比 f_N が $20\% \sim 40\%$ で最も抵抗率が減少したことから、TiN との混合膜による低抵抗化よりも有効であり、窒素が不純物準位として機能したことを期待できる結果を得た。

4. 結論

本研究では、反応性スパッタリング法を用 いて TiO₂ 薄膜の低抵抗化を目指し、窒素添加 による影響について検討した。この結果、N₂ 流量比 f_Nが 50%付近を境に2つの効果がある ことがわかった。流量比 40%までは XPS で検 出できない程度の微量な窒素が添加され、こ の窒素が TiO₂ 結晶における不純物として機 能して抵抗率を少させる効果と、流量比が 50%以上では窒素の組成比が数十%となり、 TiO2結晶構造に乱れが生じ一旦抵抗率が上昇 するが、抵抗率の低い TiNと TiO2との混合膜 により抵抗率が減少する効果である。しかし、 透明導電膜への応用を考えた場合には、窒素 流量比 100%では不透明であり応用できない が、流量比40%程度では透過率は95%と高く、 応用性に優れる。

以上のことから、反応性スパッタリング法による窒素添加効果が、TiO2膜の低抵抗化に有効な手段であることを確かめることができた。

参考文献

- [1] "透明導電膜の技術(改訂 2 版)" 日本学術 振興会, 透明酸化物光・電子材料第 166 委員会, オーム社, p.53 (2007).
- [2] 一杉太郎, 山田真臣, 長谷川哲也: "TiO₂ 系透明導電体のスパッタ成膜技術"表面 技術, p.799 (2007).
- [3] T. L. Chen, Y. Furubayashi, Y. Hirose, T. Hitosugi, T. Shimada, T. Hasegawa:

- "Anatase phase stability and doping concentration dependent refractivity in codoped transparent conducting TiO2 films" J. Phys. D-Appl. Phys. 40, 5961-5964 (2007).
- [4] N. L. H. Hoang, N. Yamada, T. Hitosugi, J. Kasai, S. Nakao, T. Shimada, and T. Hasegawa: "Low-temperature Fabrication of Transparent Conducting Anatase Nb-doped TiO2 Films by Sputtering" Jpn. J. Appl. Phys. 47, 1184-1187 (2008).
- [5] S.X. Zhang, D.C. Kundaliya, W. Yu, S. Dhar, S.Y. Young, L.G. Salamanca-Riba, S.B. Ogale, R.D. Vispute, T. Vemlatesan: "Intrinsic Transparent metallic anatase versus highly resistive rutile phase" J. App. Phys. 102, 013701 (2007).
- [6] 佐藤拓哉:"酸化チタン系透明導電膜の作成と評価"東京工業高等専門学校電気工学科平成27年度卒業論文(2015).
- [7] 三浦夕人: "酸化チタン系透明導電膜の作成と評価"東京工業高等専門学校電気工学科平成 26 年度卒業論文(2014).
- [8] 樫原巧: "TiO₂ 系透明導電膜の作製と評価"東京工業高等専門学校電気工学科平成 25 年度卒業論文(2013).

(平成 30 年 1 月 12 日 受理)

フォトリソグラフィを用いた **MOEMS** 技術の教材開発 - 第 7 報 専攻科特別実験への導入-

新國広幸*, 伊藤浩*

Development of Teaching Materials for MOEMS Technology by Using Photolithography

-7th Report, Introduction into Advanced Laboratory Work in Advanced Course-

Hiroyuki NIKKUNI*, Hiroshi ITO*

In this report, teaching systems for MOEMS technology were introduced into the experiment class of advanced laboratory work in advanced course. The basic MEOMS technologies of photolithography, etching, deposition and materials evaluation were conducted in the experiment program. To confirm the effect of these experiments, a questionnaire survey was carried out. According to the results of the survey, the teaching systems were good for training up MEMS engineer. We will improve based on the results.

(Keywords: MOEMS, teaching materials, advanced laboratory work)

1. はじめに

MOEMS(Micro Opto Electro Mechanical Systems)はマイクロ光電気機械システムのことで、近年の LSI 技術、マイクロマシン技術の進展に伴って、スマートフォン中の気圧センサ、マイクロホン、自動車エンジン圧モニタリング用圧力センサ等、様々な MOEMS デバイスが世の中に出てきた。さらに、これからの IoT (Internet of Things) の普及でより多くの MOEMS センサがあらゆるモノに組み込まれ、トリリオンセンサ時代に予想されている。

MOEMS は光学,電気工学,機械工学,化学,情報工学といった幅広い知識・技術が要求される学際領域であり,技術者には対象とする MOEMS デバイスに応じて様々な知識・技術が要求される。我々は,2012 年から MOEMS 教育システムの構築に取り組んできて,MEMS 作製の基礎技術(フォトリソグラフィ技術,Siエッチング技術,薄膜作製技術,物性評価技術),理論解析,MOEMS 圧力センサの試作評価の教育システムの基盤を構築した(1)-(6)。

本取り組みでは、構築した教育基盤を 2016 年の 専攻科電気電子工学専攻の学生の電気電子工学特別 実験に導入した。実験では、MEMS 作製技術の基礎 知識習得を目的としてフォトリソグラフィ、エッチ ング、薄膜作製、材料評価の各技術を実験的に習得 する。また、実験の効果についてアンケート調査、 実験の結果・様子等で分析したので、その結果について報告する。

2. 実験概要

2-1 実験項目

本実験は、「MEMS 作製技術の実験」の実験テー マとして専攻科電気電子工学専攻の特別実験に導入 した。まず、MEMS 実験の導入にあたって、専攻科 特別実験の時間数を検討した。特別実験では後期の 15 週を 3 期に分け、4 週/期とし、6 時間/週で実 験を実施している。各期6テーマ程度の中から選択 し、学生は特別実験として3テーマの実験を行うこ とになる。一人の教員の担当回数は4週となってい たため、MEMS のプロセス実験を行うには時間数が 足らないと考えた。そこで、新國、伊藤の2名分の 担当枠を一テーマとし、2期連続の8日間の日程に 変更した。この8日間でMEMSプロセスの基礎技 術を実施する実験項目を考えた。これまでに教材開 発として検討してきた MEMS 技術の実験では, MEMS 圧力センサなどの微細なマイクロセンサを 作製し、評価することまでを想定していたが、実際 にはダイヤフラム作製におけるエッチング時間だけ でも7時間程度掛り、まだ完全にセンサ素子を完成 させる実験設備、技術までは構築できていない。ま た,受講学生は初めて触れる実験装置,実験器具や, 薬品などの扱いが不慣れであることが考えられるた め、本実験では MEMS 作製技術の基礎知識の習得 を目的として、フォトリソグラフィ、エッチング、 薄膜作製, 材料評価の各技術を実験的に学習する MEMS 技術の各要素技術について体験する内容と した。

表1に実験スケジュールを示す。実験はMEMSプロセスの基礎となるSiダイヤフラムプロセス,薄膜

作製及び、評価技術の基礎を体験的に学ぶことを考慮し設計した。

2-2 基板カットと洗浄

実験1回目では、実験の説明と準備実験として、Siウエハをダイヤモンドカッターで20mm角程度の大きさにカットするところから、アセトンによる基板洗浄までをおこなう。これにより基板の扱い方等を体験する。また、Siウエハとして酸化膜付きを用いることで、エリプソメータによる酸化膜厚の測定も容易に行うことが可能で、膜厚評価方法を学ぶことができる。

表 1 MEMS 作製技術の実験スケジュール

回数	内 容
1	実験ガイダンス 基板カット,基板洗浄,基板の測定
2	パターニング実験 (フォトリソグラフィ)
3	エッチング実験 I (Si02 膜のエッチング)
4	エッチング実験Ⅱ (Si 基板のエッチング)
5	薄膜作製の実験 (スパッタリング法)
6	電極作製の実験 (A1 膜のパターニング)
7	評価実験 (Si ウエハの評価)
8	成果発表会

2-3 パターニング実験

実験2回目では、パターニング実験としてフォトリソグラフィ技術を学ぶ。まず、クリーンルームに入室する際の準備を行い、表面活性剤による前処理、レジスト塗布、プリベーク、露光、現像、ポストベークの手順で作業を行う。フォトリソグラフィの実験条件は十分確認できている値を用いている。フォトマスクパターンには、ダイヤフラム作製用のパターンを用い、十分目視できる程度の大きさとすることで、現像時に不良パターンを即確認できる。パターン形成の確認のため、光学顕微鏡によりパターンの状態を観察する。

2-4 エッチング実験 I

実験3回目では、エッチング実験として、フッ化 水素酸によるSiO₂膜のエッチングを行う。エッチン グ液にはフッ化水素酸とフッ化アンモニウムとの混 合液であるバッファードフッ酸BHFを用いる。BHF はエッチング速度がHFに比べて遅く、実験でエッ チング評価を行う際に都合がよい。実験では、ある一定時間ごとにエッチング後の SiO₂ 厚をエリプソメータにて評価する。完全に SiO₂ が除去されると Si 表面の疎水性により、水の弾く様子から目視で容易に確認できる。最後に保護膜のレジスト膜を剥離液に浸漬させ、除去、洗浄、乾燥を行う。この作業により SiO₂ 膜にダイヤフラムパターンが形成でき、Si エッチングの保護膜が完成する。

2-5 エッチング実験Ⅱ

実験4回目では、エッチング実験Ⅱとして、水酸化カリウム水溶液 KOHによる Si の異方性エッチングを行う。KOHの濃度、温度については、今までの準備実験で得られた成果より、34wt%、70℃としている。ここでは、Si の異方性エッチングを体験してもらう目的として、実験時間の範囲内でできるエッチング時間(60~120分)を設定している。一般的に、ダイヤフラム作製には数時間を要し、実験時間内では不可能なためである。実験では、30分ごとにエッチング量を計測する。計測には、光学顕微鏡を用い、<111>面の幅を測定し、エッチング角度の54.7度から算出する。

2-6 薄膜作製の実験

実験 5 回目では、薄膜作製の実験として、スパッタリング法による AI 膜を作製する。真空装置の回転ポンプ、拡散ポンプの原理、操作を学んだ上で、装置を立ち上げ、基板をチャンバにセットした後、真空引きを開始する。この際に、真空度と時間を計測し、排気特性を確認しておく。AI のスパッタリング後、試料を取り出し、成膜後の試料を観察する。

2-7 電極作製の実験

実験6回目では、AI 膜を成膜した試料にフォトリソグラフィにより電極パターンを形成する。フォトリソグラフィの方法などは実験2回目で実施済みである。形成する電極パターンは透明なプラスチックシートに油性マジックで描き作製する。フォトリソグラフィ後、AI エッチャント液にて AI 膜をエッチングする。その後、レジストの剥離、洗浄、乾燥を行い、電極パターンが完成する。

2-8 評価実験

実験7回目では、Si ウエハの評価を行う。評価前に、AI 電極のアニール (真空 400℃, 30 秒) を行い、電極の接触特性を改善する。測定にはプローバを用いて測定する。測定した I-V 特性と電極幅の寸法か

ら抵抗率を算出する。最後に得られた抵抗率から Si ウエハの不純物濃度を見積もり, Si ウエハの仕様値 との比較検討を行う。

2-9 成果発表会

以上の実験結果をまとめ、最後に全員で成果発表会を行う。発表する内容は、一人一テーマとして、担当を割り振る。一人10分程度を目安に発表し、テーマごとに質疑応答を行いより実験の理解を深めている。テーマは以下の4つを用意した。

- ・フォトリソグラフィ技術の調査と実験結果、考察
- ・エッチング技術の調査と実験結果、考察
- ・薄膜作製技術の調査と実験結果, 考察
- ・材料評価技術の調査と実験結果, 考察

3. 実施結果

3.1 実験結果

基板カットではシリコンの結晶方位とへき開について理解してもらい、その後の洗浄工程ではアセトンによる超音波洗浄の仕方とその重要性について理解してもらった。また、Si 基板の基板厚、SiO2膜厚をそれぞれマイクロメータとエリプソメータ ESM-1にて測定した。基板厚は $0.528~\mathrm{mm}$ で,仕様の $0.5~\mathrm{mm}$ 世 mm の範囲内であることが確認できた。また、 SiO_2 膜の厚さは $107~\mathrm{nm}$ と評価され、公称値 $100~\mathrm{nm}$ と近い値が得られた。基板厚、 SiO_2 膜厚それぞれの測定実験を通して、学生にウェハー厚、薄膜厚の評価方法を学んでもらうことができた。

フォトリソグラフィによるパターニング実験では、 直径1mmの円形ダイヤフラム,5mmの正方形ダイ ヤフラム, 10mm の正方形ダイヤフラムの3パター ンについてリソグラフィを行った。本実験を通して、 表面活性剤、レジスト塗布方法としてのスピンコー ト法、露光・現像原理、プリベーク、ポストベーク についてそれぞれの方法・必要性について習得・理 解してもらった。実験後の直径 1 mm 円形ダイヤフ ラムの光学顕微鏡での撮影写真を図1に示す。図1 (a)より円形状にパターニングされていることがわ かるが、図 1(b)の拡大図からは、境界線が凸凹にな っていることが分かった。この原因としては露光時 の照射光が平行でなかったことによる干渉の影響等 が考えられ、本実験を通して、学生にフォトリソグ ラフィで実際どのように露光されるのかとその限界 について理解してもらった。





(a) 50 倍

(b) 400 倍

図1 光学顕微鏡で撮影したパターニング写真

エッチング実験 I (SiO₂膜のエッチング)では,バ ッファードフッ酸によるエッチング速度を評価する ために、エッチング時間が30秒、60秒、120秒、210 秒, 240 秒, 270 秒の試料を作成し, 各々の SiO2 膜 厚をエリプソメータ ESM-1 で測定した。なお、フッ 酸は毒物で取扱いが注意の薬液であるため、実験前 には薬液の性質、用途、毒性等についてしっかり説 明し、ドラフトチャンバー内で教員の管理のもと実 験を行った。測定結果を図2に示す。この結果より、 30 秒の段階ですでに SiO₂ 膜はすべてなくなってい ることがわかる。エッチング前の厚さ 107 nm が 30 秒でなくなったと仮定するとエッチング速度は 0.214 µm/min となり、実際のエッチング速度は0.214 μm/min 以上であることが想定される。より正確なエ ッチング速度を導出するためには、エッチング時間 が 0 秒から 30 秒の間の試料を作製する必要がある ことがわかった。

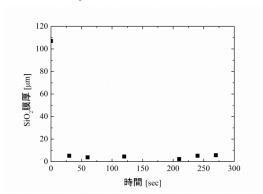


図 2 バッファードフッ酸によるエッチングで の時間と SiO₂膜の関係

エッチング実験 II (Si 基板のエッチング)では、水酸化カリウム (KOH) 水溶液によるエッチング速度を評価するために、エッチング時間が $30 \, \text{min}$, $60 \, \text{min}$, $90 \, \text{min}$, $120 \, \text{min}$ の試料を作製した。KOH 水溶液は強アルカリで劇物であるため、実験前には性質、毒性等について説明し、ドラフトチャンバー内で安全に留意して実験を行った。なお、図 $3 \, \text{のよう}$ に、単結晶シリコン基板の<111> 面の角度は $54.7 \, \text{度}$ で一定なので、<111>面の横幅< wを光学顕微鏡で測定し、エッチング深さ $< d \, w$ を計算により導出した。



図3 エッチング後の Si 基板断面の概形

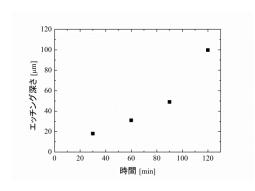


図4 KOH 水溶液によるエッチングでの時間とエッチング深さの関係

図4に測定結果を示す。 $30 \, \text{min}$ から $90 \, \text{min}$ の範囲では時間に比例してエッチング深さが大きくなっていることがわかる。 $30 \, \text{min} \sim 90 \, \text{min}$ で傾きを求めると $0.517 \, \mu \text{m/min}$ となり,この値がエッチング速度となる。 $90 \, \text{min} \sim 120 \, \text{min}$ の間での変化が大きくなっているが,この原因はエッチング温度が高くなっためだと考えられる。

薄膜作製の実験では、スパッタリング法による AI 膜の成膜については実験手順通りに実施することができた。真空排気特性について測定した結果を図 5 に示す。この結果から、時間の対数に対して線形性を見ることができた。さらに、考察として排気特性の理論から、以下の関係式を調査し、結果との比較検討を行った。

$$P(t) = P_0 \exp\left(-\frac{S}{V}t\right) \qquad \cdot \cdot \cdot$$
 (1)

ここで,P(t)は真空度[Pa],S は排気速度[L/s],V は チャンバ体積 $[m^3]$ である。この関係式から,真空度 は時間の対数で変化することを理論と実験から確か めることができた。

電極作製の実験では、図6に作製した電極パターンのフォトマスクの例を示す。また図7に、このフォトマスクを使って AI 電極を作製した例を示す。透明フィルムに油性マジックによって簡易的に作製ができることで、学生ごとにオリジナルのパターンを安価で短時間に作製でき、創造力を養うよい実験内容と思われる。ただし、油性マジックの濃度により光が透過する部分も見受けられ、実験精度的な課題があるため、ある程度大きめな寸法である必要が

ある。

評価実験では、先に作製した学生一人一人の試料のI-V特性を評価した。その結果の例を図8に示す。 少し非線形性が見られたが、ほぼ線形となるオーミック特性を得ることができた。また、測定結果から Si ウエハの抵抗率を評価した結果を図9に示す。この結果から,抵抗率は6.71Ωcmと求めることができ、 Si ウエハの仕様値の 6-8Ωcm と一致することを確かめることができた。

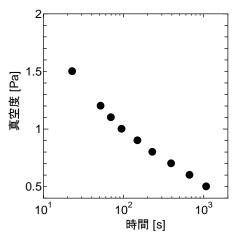


図5 排気特性の実験結果





図6 作製したフォトマスクの例





図7 AI 電極を作製した結果

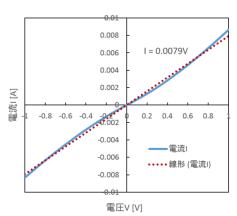


図 8 I-V 特性の測定結果の例

膜厚W: 0.53[mm] 電極間距離s: 1.45[mm] 奥行きd: 1.95[mm] 補正係数CF: 1.00[-] 抵抗率 $\rho = \frac{V}{I} \cdot W \cdot CF$ = 6.71 [Ω - cm] 試料の抵抗率: 6-8 [Ω -cm]

図9 抵抗率の評価結果の例

3.2 発表結果

図 10 に学生が作成したパワーポイントを示す。 全学生、MEMS 技術についてよく調査が行われていて、 実験結果についてもしっかりと考察が行われていた。 測定試料の写真や実際に使った実験器具の写真がな かったので、今後は、実験時、各工程前後の試料の 写真と実験器具の写真を撮影して発表資料やレポー トに載せるようにアドバイスしていく。質疑応答で は、基本的な原理を深く質問すると上手く答えられ ない学生もいたので、適宜アドバイスを行った。

4. アンケート評価

実験の教育効果を確認するために、パワーポイントでの発表後に本実験を受けた4名の学生にアンケートに答えてもらった。表2、3にアンケート項目を示し、図11に実際の回答結果を示す。

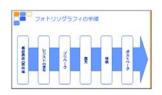
設問 1,2より MEMS 技術への興味から本実験を選択し、内容について少し知っていたことが分かった。設問 3 から実験内容についてはやや難しいという意見が多く、設問 4 から進め方は適切な早さだったという回答で、設問 7 からはレポートの課題量は適切だったという意見があり、レベル・進め方・課題量すべて適切だったと考えられる。

設問5では興味をもった実験内容について聞いていて、回答は全項目に跨り、学生ごとに関心のある実験が異なることが分かった。回答5の具体的な理由では、「写真現像技術という一見半導体とは縁のない分野を応用しているから」、「普段から使っているデバイスの MEMS 技術の精密さを改めてしることができたから」、「自分で調べ発表を行ったから」という回答があり、本取組みを通して MEMS 技術の概要について理解してもらえたと考えられる。

設問6では、ほとんど学生から「役に立つと思う」 という回答が得られたが、1名の学生からは「今は どちらとも言えない」という回答があった。

設問 8,9 からは発表会が実験の理解の役にたっ





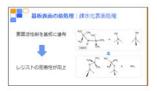




図 10 学生が作成したパワーポイント (フォトリソグラフィ技術の概要)

表 2 アンケート項目(1)

- 1. この実験を選択した理由は何ですか。
 - ①MEMS 技術に興味があった
 - ②特別研究に関連するから
 - ③友人からの誘い
- ④特にない
- ⑤その他
- 2. MEMS について知っていましたか。
 - ①知っていなかった
- ②少し知っていた
- ③かなり知っていた
- 3. この実験内容は難しかったですか。
 - ①簡単
- ②やや簡単
- ③やや難しい
- ④難しい
- 4. 実験の進め方について、どう思いますか。
 - ①進度が早い
- ②適切
- ③遅い
- 5. この実験で興味をもった実験内容はなんですか。
 - ①フォトリソグラフィ
- ②異方性エッチング
- ③等方性エッチング
- ④薄膜作製
- ⑤電極作製
- ⑥材料評価
- (7)その他
- 6. この実験は将来役に立つと思いますか。
- 7. 実験で課されたレポート課題の量はどう感じましたか。
 - ①適切
- ②少ない
- ③多い
- 8. 発表会について、実験の理解の役に立ちましたか。
 - ①すごく役にたった
- ②役に立った
- ③役に立たなかった
- 9. 設問8の理由について教えてください。
 - ①データを整理し、資料を作製することでとても 理解が深まった
 - ②全員で議論することがよかった
 - ③その他
- 10.他に MEMS に関してやりたい実験を教えてくだ さい。
- 11. この実験で、改善した方がいいと感じたこと はありますか
 - ①実験内容
- ②テキスト
- ③発表会
- ④レポート
- ⑤なし

表3 アンケート項目 (2)

- 12. 設問11で①から④を選んだ学生に質問です。どのようにしたら、よくなるでしょうか。
- 13. MEMS 技術の知識は深まりましたか。
 - ①非常に深まった
- ②深まった
- ③あまり深まらなかった
- 14. MEMS 技術に興味を持ちましたか。
 - ①非常に持った
- ②少し持った
- ③あまり持てなかった
- 15. 電気電子系の授業には MEMS 技術の実験が必要だと感じましたか
 - ①とても必要である
- ②少しは必要
- ③必要ない
- 16.この実験は、関連する専門教科の理解に役に立つか
 - ①特別研究で使うのでとても役に立つ
 - ②特別研究には関係ないが、とても役に立つと 感じた
 - ③少し役に立つ
 - ④あまり役に立たない
- 17. この実験の率直な感想を教えて下さい

たという回答が得られ、理由は「データの整理、資料の作成が理解を深めた」、「全員で議論するのがよかった」というものだった。設問 10 の他に MEMS に関してやりたい実験内容については、「実際にセンサを作製したい」、「自作センサを作って電子回路と連携させたい」、「評価実験に関してはもう少し深くやりたい」という回答があり、個々の実験よりセンサの完成やその応用実験を希望していることがわかった。

設問 11,12 では、本取組みの改善点について尋ねていて、「KOH でのエッチング実験時にエッチング液からの取り出し方を工夫すればより精度の高いデータが得られるのでは」という意見や、「もう少し色々とデータをとったほうがよいと思った」という回答があり、今後の取り組みに活かしていきたい。

設問 13 と 14 の回答から,本実験を通して MEMS の知識が深まり,より興味をもつようになったことがわかった。

設問 15 と 16 の回答から、電気電子系の実験に MEMS 実験が必要で、この実験を通して、関連する 専門教科の理解につながるという回答があった。

設問17では、「普段の実験では触ることのできない機器や技術について学ぶことができた」、「自分で手を動かしての実験は楽しかった」との回答があった。以上のアンケート評価結果については今後の特別実験にフィードバックしていく。

```
平成 28 年度
        専攻科特別実験 「MEMS 作製技術の実験」のアンケート
                                                担当: 伊藤、新國
  この実験を選択した理由は何ですか
 ①MEMS・技術に興味があった ②特別研究に関連するから ③友人からの誘い ④特にない
 その他:(
2. MEMS について知っていましたか
 ①知っていなかった ②をし知っていた。 ③かなり知っていた。
  この実験内容は難しかったですか。
                                  の難じい
                    ②やや難しい
         ②やや簡単

    実験の進め方について、どう思いますか。
    ①進度が早い ②適切 ③遅い

5. この実験で興味をもった実験内容はなんですか。 (権数回答司)
①フォドリングラフィ ②真方性エッチング ③等方性エッ
④薄膜作製 ③電極作製 ⑤材料評価 ⑦その他(
                               ③尊方性エッチンク
                               ⑦その他(
 具体的な理由:「写真现像如屁枝術」、一見半寿俸とは
          (銀八分·分野之后用している点に與水社特、f.
6. この実験は将来役に立つと思いますか。
)、この大阪には不成れている。

①すご(食化立つ ②教に立つ ③あまり教に立たない ⑥今はどちらともおれている。

風体的な理由:「電子工分科では外に外に外に対けずいすり作製エトト、センサを使うなべ
              ②役に立つ ②あまり役に立たない ④今はどちらとも言えない
          とからついての正明が三字まった。
  実験で毎回課されたレポート課題の量についてどう感じていますか。
        ②少ない
8. 発表会について、実験の理解の役に立ちましたか。
①すごく役にたった ②仮に立った ③役に立たなかった
  8の理由について飲えてください
①データを整理し、資料を作製することでとても理解が深まった
②全員で議論することがよかった
```

```
<u>平成 28 年度</u>
10. 他に MEMS に関してやりたい実験を散えてください。
   「東峰にも5升も作製しりて34長い、
11. この実験で、改善した方がいいと感じたことはありますか
①実験内容
 ②テキスト
④レポート
⑤なし

    12. 11で①から④を選んだ学生に質問です。どのようにしたら、よくなるでしょうか。

13. MEMS 技術の知識は探まりましたか
①非常に探まった ②探まった ③あまり探まらなかった
14. MEMS技術に興味を持ちましたか。
 ①非常に持った ②少し持った ③あまり持てなかった
15. 電気電子系の授業には MEMS 技術の実験が必要だと感じましたか
①とても必要である ②少しは必要
                      ③必要ない
  この実験は、関連する専門教科の理解に役に立つか
 ①特別研究で使うのでとても役に立つ
②特別研究には関係ないが、とても役に立つと感じた
 ④あまり役に立たない
17. この実験の率直な必想を教えて下さい
  普段はにけずく使っている、MEMS 技術を定降に体験に挙ばったご
   理計がシネキ、たと見るよりかニサテルなの作製し近いことを体験したい。
```

図11 アンケート回答結果の例

5. まとめ

本報告では、構築した MOEMS 教育基盤を専攻科の電気電子工学特別実験に導入した。実験では、MEMS 技術の基礎としてのフォトリソグラフィ、エッチング、薄膜作製、材料評価の各技術について実施した。実験の効果についてアンケート調査を行い、回答結果より、本教育システムは学生に対しての

MEMS 技術・知識の育成に効果的であり、学生は MEMS 作製等の物性実験に関心があることがわかった。回答では、「センサを完成させたい」、「電子回路と組み合わせて実験を行いたい」というものがあり、今後の実験内容にフィードバックしていく。

謝辞

東京大学大規模集積設計教育研究センター (VDEC) 所有の F5112+VD01 EB 描画装置 (株式会社アドバンテスト寄付)を使用してマスクの作製を行った. 文部科学省ナノテクネットワークの支援を受けた.

参考文献

- (1) 伊藤 浩, 新國広幸, "フォトリソグラフィを用いたMOEMS技術の教材開発", 東京工業高等専門学校研究報告書, 第43(2)号, 2012, pp.107-112.
- (2) 新國広幸, 伊藤 浩, "フォトリソグラフィを用いたMOEMS技術の教材開発 -第2報 マイクロ光電子デバイスの実現に向けた基礎特性の評価-", 東京工業高等専門学校研究報告書,第44(2)号,2013,pp.85-90.
- (3) 新國広幸, 伊藤 浩, "フォトリソグラフィを用いたMOEMS技術の教材開発 -第3報 マイクロ光電子デバイスの設計及び基礎特性の評価-", 東京工業高等専門学校研究報告書, 第45(2)号, 2014, pp.73-80.
- (4) 伊藤 浩, 新國広幸, "フォトリソグラフィを用いたMOEMS技術の教材開発 -第4報 ダイヤフラム作製プロセスの基礎特性の評価-", 東京工業高等専門学校研究報告書, 第46(2)号, 2015, pp.50-55.
- (5) 新國広幸, 伊藤 浩, "フォトリソグラフィを用いたMOEMS技術の教材開発 -第5報 ダイヤフラム作製プロセスの改善", 東京工業高等専門学校研究報告書, 第47号, 2015, pp.36-39.
- (6)伊藤 浩, 新國広幸, "フォトリソグラフィを用いたMOEMS技術の教材開発 -第6報 圧力センサの試作と評価-", 東京工業高等専門学校研究報告書, 第48号, 2016, pp.51-55.

(平成 30 年 1 月 12 日 受理)

モーバイル広域マルチホップネットワークの一検討

田中 晶*, 澁田 叡知**, 中新井田 覚志**, 新井 将司*, 三枝 日奈子*, 坂本 亮*, 佐々木 貴啓*, 佐藤 恵介*, 松村 岳信*, 溝畑 祐太*

A study on mobile wide-area multihop networks

Akira TANAKA*, Akitomo SHIBUTA**, Satoshi NAKANIIDA**, Masashi ARAI*, Hinako SAEGUSA*, Ryo SAKAMOTO*, Takahiro SASAKI*, Keisuke SATO*, Takenobu MATSUMURA*, Yuta MIZOBATA*

Many studies on multihop networks have provided useful results and several systems are practically used even though in some special filed. Routing methods are very complicated, difficult traffic control because of variety of terminal characteristics and special terminal functions are still major challenges. On the other hand, peer-to-peer communications among many terminals without any access points and base stations can be easily set up by multihops systems. Collaborative group-robot or network-linked-car controls, communications with local burst traffic, local communications in such as a school or neighborhood, combined IoT device control, are typical usage scenes. Cognitive data transfer by wide-area mesh networks contribute a lot to such communications. Information-communication laboratory (Tanaka Lab.) studies mobile wide-area multihop networks with already developed "locally exploitable heterogeneous multihop networks". Prototype networks are developed with smartphones / microcomputer / field programmable gate array (FPGA), visible light / infrared / WiFi / Bluetooth / UHF, robots and drones. Wider area inter-cluster communication, positioning map generation, group-drone control, virtual private network (VPN), accurate rerouting, multimedia security, distributed database, are discussed in this article.

(Keywords: mobile multihop communications, heterogeneous communications, clustering, routing, VPN, positioning, security, group drone control, database, smartphone, FPGA)

1. はじめに

1.1 メッシュ構造のマルチホップ通信システム

すでに実用の域に達したマルチホップネットワークも存在しているが、ルーティング機構の複雑さ、トラヒック制御の困難さ、特殊な端末機能の必要性等から現在もごく限られた用途向けにとどまっている。アクセスポイントや基地局等の基幹ネットワークシステムを用いずに多数の端末間で通信可能な特性の活用が想定されるシーンは、複数ロボットや自動車の協調制御、局所的にバースト性を持つ通信や学校等の組織内や近隣間の情報交換、複合的な IoT 機器制御情報の伝達、等多々存在しており、これらはとりわけ広域メッシュ構

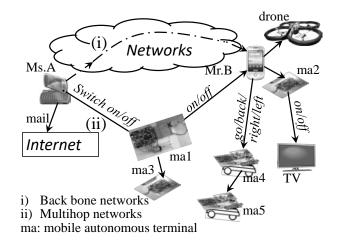


Fig. 1 Locally exploitable multihop networks

造ネットワークを介した相互融合的なデータ交換 により大きな効果が得られる. 近年の並列処理シ ステムの発展を取り入れつつ、ネットワーク構造 と一体化した通信処理と機械制御システムの設計 により、これまで困難だった広域モーバイルメッ シュ通信も実現可能になる. 情報通信研究室(田 中研)では、任意の場所で随時メッシュ構造のマ ルチホップ通信システムを提供できるよう、身近 に存在する端末や機材を使って図1のような「身 近なマルチホップネットワーク」を設計してきた1 ⁻⁹. これは、日常非常に多くの人が携帯している スマートフォンをマルチホップ端末とする、WiFi /Bluetooth, 及び, Field Programmable Gate Array (FPGA)を使った、可視光/赤外線/UHF のヘテロジニアスなマルチホップ通信システムで あり、連接ロボット/ドローン制御、地図自動作 成、インターネット接続、クラスタ制御や最適ル ーティングが実現されている1-9.

1.2 マルチホップメッシュネットワーク

至る所で多様な端末が多様な通信方式で多数接 続されるこのヘテロジニアスマルチホップネット ワーク¹⁻⁹は, 主に(A) Bluetooth と WiFi でメッ シュ接続されるスマートフォンクラスタ構造部分, (B) UHF 帯/可視光/赤外線でメッシュ接続され る FPGA 端末構造部分,及び,(C) WiFi で連接さ れる群ドローン、さらにこれら相互のインタフェー ス部で構成されている. (A)のクラスタはせいぜい 200-300m 四方の範囲で現在は遅延も無視できず 端末台数に限界がある. (B)のクラスタにより遠距 離で複数の(A)間の通信を行う. 多数配備が難しい 特殊な通信装置を前提とせず、日常的或いは緊急 時の即座の利用にも広域モーバイルメッシュ接続 が確立できるほぼ唯一のシステム構成である. 緊 急時を含め想定される多くのネットワーク使用形 態では、局所的に収集され局所的な処理に用いら れる情報と、広域的に収集・処理される情報が、 存在する. そこで実際の応用を想定し、緊急時の 避難用マップ等を3次元で自動生成する(A)型ク ラスタ (2章), どのような場所にあっても互いの 位置を高精度で推定して経路構成する(A)型のモ ーバイル最適ルーティングクラスタ (3章), マル チメディア(A)型クラスタのセキュリティシステ ム(4章), (A)型クラスタ収集情報の広域データベ ース (5 章), 群ドローン制御の精度向上 (6 章), ルーティングに基づくセキュリティ(7章),(B) 型の仮想プライベートネットワーク(8章),等を 新たに設計し、さらにネットワーク内の機能を選

択結合して利用シーンの範囲・形状,位置・時間 に応じた処理構造を組み込むマルチホップネット ワークコンピューティングシステムを目指す.

2. 3次元マップデータベースの自動生成

1.2 節(A)型のマルチホップネットワークでは、これまでに各端末間の電波強度(RSSI: Received Signal Strength Indication)を測定して3点測量により相対位置を求め、スマートフォン画面に端末位置を表示する機能が完成している の. 本機能はAndroid端末を使用し、アプリケーションとして実装され、端末間通信はWi-Fi/Wi-Fi-Directを使用している。端末が地図を任意の場所で途切れなく生成できる程度に高密度に分布している場合が前提のため、3点測量に用いる3番目の端末を多数端末の中から最も正三角形に近くなるよう選択する機能が実装されている。加えてRSSIによる距離推定は精度が低く初歩的な近似を用いて距離を求め必要に応じランドマークの位置を参考に手動補正を行う。

ところで、端末は平面上に分布しているとは限らないため、4端末間の互いの相対位置を測定して3次元マップを生成し(図2参照)、補正や絶対位置との標準ポイントに用いるランドマークをコメントとしてマップ上に自動的に追加し表示させる改良を行う10°.ランドマークはデータベース化するためAndroid標準のSQLiteを用いている.相対地図 ©上に、子機の利用者が実際に目で見た情報をアプリケーションを用いて地図上に追記し、相対位置座標を絶対位置座標と結びつける.

被災地等ではつい先刻までは問題なく使用でき

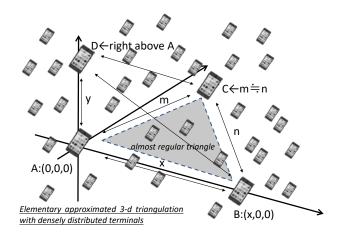
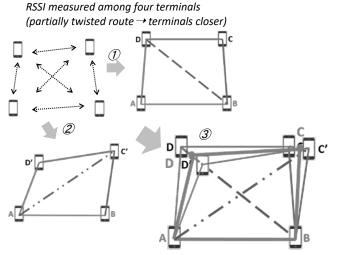


Fig. 2 Auto-generated 3D map database

た情報でも使用できなり得るが,各所のハザード 情報や,近隣の避難所同士の情報共有が必要であ る. 本研究では、通信端末のみで構成することが 可能なマルチホップ通信を利用し、各端末の座標 の履歴からリアルタイムで地図上に道を描き出し、 さらに生成した地図上に施設情報やハザード情報 などの必要な地図情報を追加編集して通信端末間 で共有可能な実用性の高い地図が作成される.

3. モーバイル最適ルーティングクラスタ

1.2 節(A)型のマルチホップネットワークの一つ で、緊急時や災害時に通常の通信手段が絶たれた 場合等で、特に移動するグループ向けの通信方法 として Bluetooth によるリング型クラスタを保持 しながらグループメンバの追加や離脱に対応する マルチホップ通信システムが設計されている1-9. 過年度の研究では移動に伴いクラスタ形状が非効 率になった場合の検出と解消(ルート再構築)を 行うシステムが設計された. これは端末間の RSSI で端末間の距離を得てルート算出しているが、 RSSI の精度が低く最適性に欠け、手動で端末間距 離を設定すると最適なルートが再構築されていた. そこで,端末間距離の精度を向上し,全自動状態 でも最適ルートが再構築されるシステムに改良す る. 被災地域や山間トレッキング等で移動しなが らメンバやその周囲状況を共有できるように、撮



① & ②: two squares described from two diagonal lines ③: intermediate position square (A-B-C-D) based on A-B

Fig. 3 Mobile optimum cluster

影と同時に端末で動画を見ることの出来る人感センサ類との連動も組み入れる.

特に非効率なクラスタ形状は、元はリングだった 形状がグループメンバの位置の変化によりねじれ

て8字型になる場合である。 ねじれを解消してリ ング型に再構築する機能はすでに実装済であるが、 スマートフォンで測定可能な距離は精度が低く十 分な機能を発揮できない. さらに、2 章記述のマ ップシステムと異なり端末台数は疎なので、3点 測量で用いる 3 台がどのような位置関係にあって も適切な位置関係を取得する必要がある. また, 移動を前提にしているので距離精度向上のために 何度も測定する方法は、時間とともに端末の位置 関係が変わってしまうので不適である. 加えて最 近の Android のバージョンではユーザが Bluetooth を使って RSSI を容易に取得できない (詳細は文献 ¹¹⁾). そのため, 同時に並列に端末 4 台の距離を測定し、目視等で互いの位置関係が確 認できる2台を結ぶ線を基準に端末内で二通りの 四角形を生成し、これらの中間の位置に四角形を 生成して 4 台間の相対位置について同時に誤差を 縮小する方法をとる(図3参照).この結果,クラ スタは常に最大に近い形状を取り続けることがで きる.

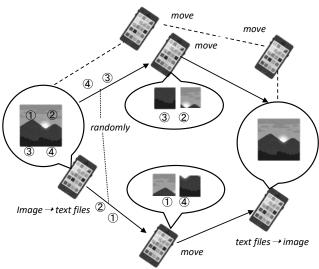
本システム¹¹⁾ により、被災地や山間部等でがれきや建物内、洞窟や地下街等、どのような場所であってもグループ内で多くの人が保持しているBluetooth 端末を使った最も効率のよい接続を維持し連絡が取りあえる状態で探索活動が行えるようになり、一か所でも漏れを防ぎたい緊急時に有効な通信手段が提供できる.

標を算出し、それらの平均値を用いる方法にする.

4. セキュリティマルチホップ通信におけるマル チメディア化

スマートフォン (Android 端末)でのマルチホップ通信は、遅延が無視でないため極力内部処理時間を削減する必要がある.一方で、第三者の端末を経由する可能性があるため、セキュリティも課題となるが、キー情報自体が第三者端末を経由する方法の適用は難しい.これら両方の難点を解決するため、暗号化を行わず、転送情報をランダムな数でランダムなサイズのパケットに分割し、パケットごとに複数経路をランダムに選択して送信し、受信側で結合する機能を設計した6-8.端末周囲の無線環境や移動状況により各径路の状況は常に異なり3章等の経路再構築1-8も行われるため、単純な方式ながら強いセキュリティが確保される.

現在は文字データのみが対象であるが、もともと 1.2 節(A)型のマルチメディアシステムは画像も送信できる 4 ⁻ 9ため、セキュリティ機能を画像伝送チホップ通信へ適用する ¹²⁾. 画像の分割送受信するにあたっては、画像を複数ブロックに分け、空白のブロックを追加した上で各経路に同じ数のブロックが送られる固定長フレームにする. 分割ブロックにはシーケンス番号を与えておき、受信側でシーケンス番号順に結合する(図 4 参照). 各経路に送出されるブロックはランダムに決定される. 現在のテキスト転送機能を共用するので画像はテキストファイルに変換される. 今後は小規模



non-predicable route form, route number and relay terminals

Fig. 4 Multimedia multihop security

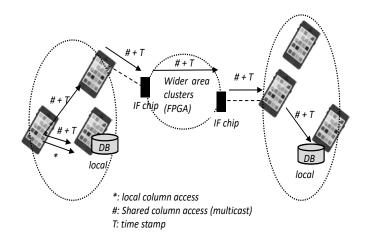


Fig. 5 Cluster distributed database

な動画への対応も行う.

5 クラスタ間広域分散データベース

1.2 節(A)型クラスタと(B)型クラスタは結合され

て広域な複合クラスタを構成できる6-8.また, (A)型クラスタ内にデータベースを保持できて、マ ルチホップ経由でアクセスできる5-8. そこで, (A)(B)を結合した複合広域クラスタの中で、複数の (A)クラスタにデータベースを保持しこれらに簡 単なデータベース間通信機能を追加したクラスタ 間広域データベース ¹³⁾を設計する (図 5 参照). (A) クラスタと(B)クラスタ間はアダプタチップ 8 で 結合されているが実験システムとして設計してい るため速度が遅く大量のデータ転送は難しい. そ こで、一か所に集約せず、簡単な分散データベー ス機能を用いて各(A)クラスタ内の局所データは 全て当該(A)クラスタ内に留め、共有が必要な要素 のみをあらかじめ特定し専用レコードに格納し同 期して保持する. 即ち、特定レコードへのアクセ スは局所データベースだけでなく、タイムスタン プとともにクラスタ間インタフェース端末へも同 報され,(B)クラスタを経由して他の(A)クラスタへ 送信される.

6 マルチホップ連接群ドローンの制御精度向上

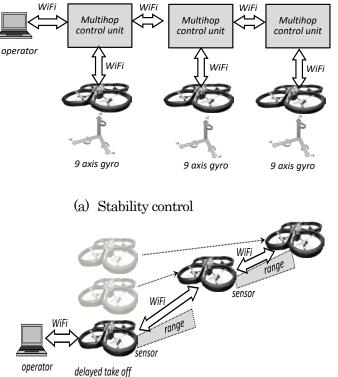
マルチホップで連接した群ドローンは、災害時などの使用を想定しているため、入手しやすい市販のドローンを用い、当初スマートフォンの WiFiでマルチホップ通信を行っていたが遅延の削減が困難であり、現在は汎用の小型マイコンと電池をドローンに張り付け、マイコンの WiFiで通信制御している. GPS 等も不要であり、先頭ドローンの映像を見ながら先頭のドローンだけを操作すると後続のドローンがマルチホップ中継を行いながら自動追尾するので、次々にドローンを繰り出すと理論的には無限の距離まで到達できる6-8. がれきや建物の中、地下や山林内等、直接電波が届かないエリアへも容易に入り込み、情報収集や作業が行える.

市販のドローン (AR.DRONE 2.0%を) 自体でも 姿勢制御も可能であるが目視を前提としているため,本研究で想定している非常時等の悪環境内での探索の際には,想定しているコースから外れる,後続のドローンが正確に追尾できない,等の精度上の課題が生じる.そのため,完全自律で姿勢制御し,また,各ドローンの間隔はできるだけ各ドローンの最大電波到達距離にして14,トータルの到達距離を最大化する15改良を行っている.ホバリング時に離陸位置と着陸位置が異なるケースがあり,9軸のジャイロセンサを用いて静止状態の安定を初期の目的としている(図 6(a)参照).後続

機が前方機の進行方向から逸れるケースは、悪環境下では飛行時における目標姿勢を正確に把握することが難しく、ジャイロのみでは制御しきれない、そこで、現在は超音波センサを搭載して前方機の概ねの存在範囲を推定し、センサ距離から外れてしまうより十分以前に前方機に接近させる方法で対処する(図 6(b) 参照)。センサ距離がドローン間隔を支配するため、到達距離最大化には高性能センサ搭載が必要になるが、進行方向に対する前方機の角度もある程度取得可能になるので後続機の進行方向補正にも有効である。

7 マルチホップメッシュへの仮想プライベートネットワーク導入

1.2 節(B)型クラスタは、台数は少ないがメッシュ 結合されていて、(A)型のスマートフォンクラスタ を中継して広域化できる. 緊急時の探索等では帯

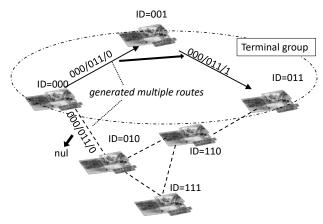


(b) Maximized communication distance

Fig. 6 Multihop linked group drone control

域保証のできない小規模なデータ転送が他トラヒックに妨げられないようにする必要があり、IP型のルーティングでは特定の(A)型クラスタからのセンシングデータがバースト的に発生する等の場合、必要な情報が損失する.このため、仮想プライベートネットワークの実装を進めている.過年

度にはFPGAと無線モジュールで構成された小規 模なメッシュネットワークを設計しラベルスイッ チング (MPLS: Multi protocol label switching) の基本部分を実装して簡易ルーティング動作を確 認した. (A)型クラスタを中継できる広域メッシュ 構造のためラベルテーブルを縮退して実装する必 要があり、「到達不要な宛先へのルートに関する ラベルが存在しない」構成に改良する(図7参照) 16). 近隣に多数端末が存在する場合にも対応可能 なようにチャネルを共用しており近隣端末は同一 信号を受信するため、ルート外の端末での冗長処 理を削減できて効果的である. 往復ルートは同一 にしend-endのackは逆方向の通信で代用する等, 簡易化を図りながらMPLSの基本部分を活用して 仮想プライベートネットワークへ発展させる. 多 数の端末内でグループを成す端末群ヘラベル配信 し(現在は手動),この端末群だけで占有するル ートを生成し、周囲からの高負荷に対しても帯域 を確保する. さらに、(A)型クラスタのインタフェ ースポイントとなる端末間にラベル配信してスマ ートフォン端末間通信のトンネリングを提供でき る.



Label: source/dest./hop-number/. . .

Fig. 7 VPN on multihop mesh networks

8まかすび

情報通信研究室(田中研)では、スマートフォン、 FPGAとマイコンを使用してWiFi/Bluetooth/可 視光/赤外線/UHFによるヘテロジニアスメッシ ュマルチホップシステムを設計し多数の機能の動作 確認を行ってきた. 誰でも保持している/容易に使 える端末を前提にしているので、災害や緊急時、さらに身近な日常生活の中でも利用できる。商用の予測しやすい環境ではないため、トラヒックの局所性、小規模トラヒックの優先度、クラスタ形状の変化、セキュリティ、ドローン等の機械協調制御、端末位置の認識、データ集約と参照、高効率ルーティング等の特に重視すべき特性に適応する、広域のマルチホップメッシュネットワークを設計し、評価を行っている。ネットワーク機能や構成、これまでに解決した課題とそのアプローチの概要を中心に報告した。

謝辞

本研究の一部は,東京工業高等専門学校の平成 28年度重点配分経費により行われた.

参考文献

- A. Tanaka, "Locally exploitable heterogeneous multihop communications applied to cooperative-robots," Proc. 5th Int'l Conf. on Ubiquitous and Future Networks (ICUFN 2013), No.7A-5, pp.321-326, Da Nang, Vietnam, Jul. 2013.
- A. Tanaka, "Locally exploitable heterogeneous multihop communications applied to cooperative-robots with awareness," The Information, Vol.17, No.8, pp.3985-3998, Aug. 2014.
- 3) 田中晶, "マルチホップ移動体無線通信の一検討 ー身近な通信システムを目指して一,"東京工業 高等専門学校研究報告書, No.43(2), pp.127-133, Mar. 2012.
- 4) 田中晶, "ヘテロジニアスマルチホップ移動体無線通信の一検討," 東京工業高等専門学校研究報告書, No.44(2), pp.105-108, Mar. 2013.
- 5) 田中晶, "ヘテロジニアスマルチホップ通信と探 索連接ロボット制御への応用," 東京高専研究報 告書, No.45(2), pp.113-117, Mar. 2014.
- 6) 田中晶, 内海楽, 柴田尚輝, 橋本拓磨, 諸星匡 吾, 山野井匠, 河井泰輝, "ヘテロジニアスマルチ ホップベース IoT の一検討," 東京高専研究報告 書, No.47, pp.50-57, Mar. 2016.
- 7) 田中晶, "ヒューマンセントリックヘテロジニアスマルチホップ通信の一検討," 信学技報, Vol. 115, No. 394, IT2015-67/SIP2015-81/RCS2015-299, pp.113-117, Jan. 2016.
- 8) 田中晶, 大場裕也, 菊池隼人, 澁田叡知, 中新 井田覚志, 松本 貴大, 小出 瑞生, "可変領域マル

- チホップネットワークの一検討,"東京高専研究報告書, No.48, pp.59-65, Feb. 2017.
- 9) 田中晶, "マルチホップ通信システムを用いた再構成可能ネットワークコンピューティングの一検討," 2017 年信学会通信講演論文集, B-5-35, p.284, Sep. 2017.
- 10) 新井将司, "マルチホップ通信を用いたマップ データベースの自動生成の研究," 2017 年度東京 高専卒論, Feb. 2018. (予定)
- 11) 三枝日奈子, "マルチホップリング型クラスタ の形状最適化の研究の研究," 2017 年度東京高専 卒論, Feb. 2018. (予定)
- 12) 松村岳信, "Android 端末を用いたセキュリティマルチホップ通信におけるマルチメディア 化," 2017 年度東京高専卒論, Feb. 2018. (予定)
- 13) 坂本亮, "マルチホップ通信を用いた分散データベースの構築の研究," 2017 年度東京高専卒論, Feb. 2018. (予定)
- 14) 佐々木貴啓, "マルチホップ通信を用いた群ドローンの飛行制御の研究," 2017 年度東京高専卒 論, Feb. 2018. (予定)
- 15) 佐藤恵介, "マルチホップ通信を用いたドローンの安定飛行制御の研究," 2017 年度東京高専卒 論, Feb. 2018. (予定)
- 16) 溝畑祐太, "マルチホップメッシュへの仮想プライベートネットワークの実装," 2017 年度東京高専卒論, Feb. 2018. (予定)

(平成 30 年 1 月 11 日 受理)

楽曲を用いた通信システム Tone Code

小嶋 徹也*, 鎌田 寛*, Udaya PARAMPALLI**

Tone Code: A Communication System Based on Musical Pieces

Tetsuya KOJIMA*, Kan KAMADA*, Udaya PARAMPALLI**

Tone Code is a communication scheme based on musical pieces. In Tone Code, the message is embedded into the components of the musical pieces, such as chord progressions, distortions, rhythms, and so on. The embedded message is considered as one of the components of the musical pieces and harmonizes with other components. It can be heard by the human ears as the sound played by the additional musical instruments while it can transmit the secret messages. If the recorded musical pieces are stored in smart phones or tablets, the transmitted message can be referred to anytime and anywhere. In this paper, the concept and future applications of Tone Code are introduced.

(Keywords: Tone Code, communication system, musical piece, data hiding)

1. QR コードと Tone Code

みなさんも QR コードはご存知だろう。QR コードとは図 1 のようなもので、これを携帯電話などのカメラで撮影すると、ウェブサイトの URL やメールアドレス、その他の情報などを読み取ることができる。もともとは工場における部品の在庫管理、流通管理などのために開発されたシステムであったが、現在では2次元バーコードの一種として一般に広く利用されている。

QR コードそのものを眺めてみても、それが何を意味しているかは人間にはわからない。しかし、撮影されたコードは、携帯電話などのアプリで意味のあるメッセージに復号することができる。QR コードは、秘密の情報をメディアに隠すデータハイディングと



図 1. QR コードの例.

Figure 1. An example of QR codes.

1. QR Code and Tone Code

You may know what QR code is. An example of QR codes is shown in Fig. 1. If you capture such a code by your smartphone camera, you can get the information such as URL of a website, e-mail address, and so on. QR codes were originally developed for the purposes such as stock control in factories or logistic management, and so on. They have been widely used as generic 2-dimensional barcodes for general purposes these days.

If you look at QR code itself, you cannot get what it means. However, the code captured by a camera can be decoded into the original message by smartphone applications. QR code is one of the data hiding techniques which are technologies to embed the secret information in multimedia data¹⁾. More specifically, it can be called a visible data hiding since the code carrying the secret message is visible for human eyes (see the next section for the details). QR code itself is not beautiful as an image, but it is not annoying in the printed media or webpages since the printed area is not very large in general. Besides, there are some trials to print some photo images or illustrations behind QR codes. It can improve the appearance of QR codes.

The authors have proposed a new technology called

呼ばれる技術¹⁾の一種であり、メッセージを含んだコードそのものが目に見えることから可視的データハイディングとも呼ばれる(後述参照)。QRコードは見た目には決して美しいとは言えないが、通常あまり大きくは印刷されないため、周囲の画像などの邪魔になるようなことはない。また、最近では、QRコードの背景に写真やイラストなどを配置することで、QRコードそのものの見た目を改善する工夫も提案されている。

著者らは、この QR コードの概念を音楽データに 応用できないかと考え、Tone Code なる技術を提案し た²⁾。Tone Code は伝えたい秘密のメッセージを楽曲 の構成要素の一つとして符号化する技術である。楽 曲を聴いていても、その中に秘密のメッセージが含 まれていることは人間にはわからない。しかし、専用 アプリを用いることで、録音された楽曲から意味の あるメッセージが復号できるというものである。メ ッセージは、コード進行やリズム、ギターサウンドの 歪み (ディストーション) などの音楽要素として符号 化されるため, 人間の耳には自然な楽曲の構成要素 として認識され、かつ、他の音楽要素とも自然に調和 するように工夫されている。OR コードが可視的なデ ータハイディングであったのに対し, Tone Code は符 号化されたメッセージが音楽要素として聴こえるた め、可聴的データハイディングと呼ぶことができる。 データハイディングについては次の節で詳しく紹介 することにしよう。

2. データハイディングと Tone Code

前述の通り、Tone Code は可聴的データハイディングの一種であると言える。データハイディングとは、画像や音響信号、映像などのマルチメディアデータの中に、人間の知覚にはわからないように秘密のメッセージを埋め込む技術のことを指す。データハイディングの例としては、電子透かしや電子指紋などが知られている1)。

電子透かしは、マルチメディアデータの所有権や著作権を保護するために、著作者などの情報をメディアに埋め込む技術のことである。一方、電子指紋とは、デジタルメディアの不正コピーの防止や追跡を目的としたものである。例えば、インターネット上で写真や音楽を売買する際に、購入者に固有の情報をメディアに埋め込んで販売する。購入者がこの電子メディアを不正にコピーした場合、通常、この購入者の情報が

Tone Code²⁾, where the concept of QR code is extended to the music data. Tone Code is a technology to encode secret messages as one of the components of a musical piece. If you listen to the musical piece composed by Tone Code, you cannot find out if it conveys a secret message similarly as QR code case. However, the message can be decoded from the recorded musical piece by the designated smartphone application. In Tone Code, a message can be encoded into the musical components such as chord progressions, rhythms, or distortion effects for the guitar sound, and so on. Such encoded musical components can be naturally recognized by human ears as well as they can harmonize with other components included in the musical piece. As described above, QR code can be called a visible data hiding while Tone Code can be called a hearable data hiding since the encoded message can be recognized as a musical component. In the next section, the details of data hiding technologies are introduced.

2. Data Hiding and Tone Code

As described above, Tone Code can be considered as a hearable data hiding. Data hiding is a technology to embed secret messages into the multimedia data such as images, audio and video signals without being recognized by human recognition systems. The technologies such as digital watermarking or digital fingerprinting are included in data hiding.

Digital watermarking is a technology to embed the copyright or ownership information into the multimedia data to protect the intellectual property rights. On the other hand, digital fingerprinting is a technology to avoid or track the illegal copies or distributions of the multimedia data. For example, when photo images or musical pieces are purchased through the internet, the consumer information is embedded into such multimedia materials. If the consumer illegally copies the purchased material, there are plural copies which convey the identical consumer information though there should be only one copy with his/her information. Therefore, such illegal copies or distributions can be disclosed by digital fingerprinting.

Data hiding technologies are, in general, used for the security purposes such as protecting the copyrights or avoiding the illegal copies. However, they can be used for the secret communication means between two parties. For

埋め込まれたコピーは1個しか存在しないにも関わらず、複数のコピーが存在することとなり、不正コピーの発見や摘発が可能となる。

このように、データハイディング技術は通常、著作者の権利の保護や不正利用防止などのセキュリティ目的で用いられることが多い。しかし、第三者にわからないような方法で、秘密通信に使うことも可能である。例えば、テレビ放送や携帯電話は、メッセージを伝える媒体として電波を利用している。これに対し、電波の代わりに映像や音楽などの電子メディアをメッセージ伝達に利用することも可能なのである。Tone Code はまさにこれを実現したものであり、BGM などの音楽をスピーカから放送するだけで、情報伝達が可能となる技術である。

3. Tone Code のしくみ

本節では、Tone Code を実現する方法の一つとして、文献 2)で提案されたものの概要を紹介する。この方法は、音楽の構成要素であるメロディ、ハーモニー、リズムのうち、ハーモニーに相当するコード進行を用いて伝達するメッセージを表現するものである。

コード、あるいは和音とは、音程が異なる複数の音が同時に響く音のことである。三つの音による和音は三和音、四つの場合は四和音などと呼ばれる。ここでは、三和音を利用して透かし情報を埋め込む方法を紹介する。コードの構成音とその周波数の例を表1に示す。コード進行とは、楽曲のコードの移り変わりを表すものである。ロックやポップス、EDM (Electronic Dance Music) など、現代音楽ではコード進行に則った曲作りが原則であると言える。

一つの三和音は表1に示すように周波数の異なる三つの音の組み合わせで構成される。Tone Code では、楽曲のコード進行を構成する三和音の各構成音に対応する周波数成分にメッセージ信号を配置することで、メッセージ信号のみでコード進行に対応する音響信号を構成する。これはちょうど、シンセサイザなどの電子楽器でコードを演奏し、既存の曲に重ね合わせたものに相当するため、メッセージが作り出す音ははっきりと聴こえるが、他の音楽要素と完全に調和がとれているため、自然な1曲の楽曲として認識できるのである。文献2)では、主観実験を通して、メッセージが埋め込まれた楽曲が自然に認識できることが示されている。

また、コード進行以外の要素を用いた方式も提案

表 1. コードとその構成音の例.

Table 1. Examples of the chord structures and the frequency components corresponding to each note.

Chord	Three notes and						
Chora	the corresponding frequency components [Hz]						
С	C/261.73	E/329.63	G/392.00				
F	F/349.23	A/440.00	C / 523.25				
A	A/440.00	C# / 523.25	E/659.26				
Dm	D/293.66	F/349.23	A/440.00				
Bm	B/493.88	D/587.33	F#/698.46				

example, electro-magnetic wave is used for broadcasting, wifi networks, smartphones, and so on. In fact, the electronic media such as photo images, music or video can be used as a communication means instead of the electro-magnetic waves. It can be realized by Tone Code. Tone Code can transmit the message only by broadcasting the musical pieces from loud speakers.

3. How Tone Code Works

In this section, we introduce one of the methods to realize Tone Code²⁾. In this method, a message is encoded into the chord progressions of the musical piece. There are three major components of musical pieces, that is melody, harmony and rhythm. The chord corresponds to one of them, harmony.

A chord consists of multiple different harmonic notes which are made simultaneously. A chord which has three different notes is called as a triad. Here we introduce a way to embed the secret message into the musical piece by using triads. Table 1 shows some examples of the chords and frequency components of each note constructing those chords. The chord progression represents the transition of the chord in a musical piece. It is inevitable to take the chord progression into account when one composes musical pieces in almost all genres of contemporary music.

A triad consists of three different notes corresponding different frequency components shown in Table 1. In Tone Code, a message is divided into three parts in advance. Such divided part of messages is encoded and located at three different frequency components corresponding to the chord progression of the musical piece. In other words, the audio signal corresponding to the chord progression can be composed only by the encoded messages. Such audio

されている。文献 3)では、ロック音楽におけるギターサウンドなどで用いられる電子的な歪み(ディストーション)を用いてメッセージを伝達する方法が提案されている。これは、二種類のディストーション信号を用い、このそれぞれに2進符号化されたメッセージの0と1を対応させることで、メッセージを表現するというものである。さらには、メッセージを符号化した信号でスネアドラムの音を表現し、楽曲のリズムでメッセージを伝送する試みも行なわれている。

4. Tone Code の応用と関連技術

以上で述べた通り、Tone Code は音楽を用いてメ ッセージを伝達するものであるため、BGM などの形 で音楽が流れている場面には応用が可能である。例え ば、商業施設などで音声アナウンスの代わりに利用す ることが考えられる。音声アナウンスは、はっきりと 聞き取ることが難しいこともある上, 耳の不自由な人 には情報を伝達することができない。Tone Code を用 いれば,音楽に埋め込まれたメッセージがスマートフ ォンやタブレットなどで視覚的に表示できるため,伝 達する情報の格差を解消することもできる。また、美 術館や博物館などでオーディオガイドの代わりとし て導入することもできる。従来のオーディオガイドで は、専用の端末上で指定された番号を入力することで 展示品の説明等を聴くことができた。これに対し Tone Code では、展示品の周辺で BGM さえ放送され ていれば、手持ちのスマートフォンなどを利用して説 明を聴いたり、読んだりすることができる。

Tone Code で楽曲に埋め込むメッセージは文字情報だけではなく、音声信号や画像も2進の符号として表現されていれば、埋め込みが可能であるため、楽曲を放送するだけでさまざまな情報を伝達することが可能である。しかし実際の応用に際しては、スピーカから楽曲を放送しスマートフォンなどで受信することを想定するため、商業施設など人が多く雑音が多い環境下では、正しく通信が行えないことも考えられる。また、音響信号は距離により減衰し、反響などの影響もあるため、長距離での通信も容易ではない。一方、美術館などでは BGM を放送できたとしても音量を小さく保つ必要があるため、微弱な信号からでもメッセージを復号できる技術が必要であり、今後の研究開発における課題も多い。

著者らは、Tone Code にさきがけて、サイレン音に 災害情報や避難経路等の情報を埋め込んで、WiFi な signals can be recognized as the sound played by additional musical instruments such as digital synthesizers. Therefore, the chord progression conveying the message is hearable for human ears, and it also can naturally harmonize with other musical components. It has been shown that the musical piece conveying the secret messages can be naturally recognized as a kind of digital music by human ears through subjective assessments²).

It has also been proposed that the musical components other than the chord progression can be utilized to send the secret messages. For example, it is shown that the messages can be embedded into the distortion effects for the sounds of electric guitar used in rock music³⁾. In this method, the two different distortion signals are employed to represent 0's and 1's in the binary-encoded messages. On the other hand, there is another idea to embed the message into the rhythm of the musical piece. Specifically, the message is expressed by the snare-drum sounds in this method.

4. Tone Code and the Related Topics

As mentioned above, Tone Code is a technology to send the message by using the musical piece as a communication medium. Therefore, it can be applied into various scenario where the music pieces are broadcast as the form of back ground music, and so on. For example, it can be used in the market complexes instead of the conventional audio announcements. It is often difficult to catch the audio announcements clearly. Especially, such announcements cannot be recognized by hearing-impaired people. In Tone Code, such information-gap problems can be solved since the message embedded into the musical piece can be decoded and displayed on the screen of smartphones or tablets. Tone Code can also be employed in the art galleries or museums instead of the audio-guide. In the conventional audio-guides, the visitors can listen to the explanations on the exhibits as they input the numbers of the items on the designated mobile terminals. Such terminals are not required if Tone Code is applied for this purpose since the visitors can hear or see the explanations on their smartphones by recording the back ground music broadcast from the speakers.

In fact, the messages transmitted by Tone Code can be given in various forms. For example, images, videos or another audio signals as well as text messages can be ど電波による無線通信を用いず、サイレン音のみで 通信を行う防災無線システムを開発してきたも。実際 の災害においては、携帯電話やインターネットなどの 通信網が遮断されることも予想され、サイレン音を放 送するだけで情報伝達が可能である技術は極めて重 要度が高いと考えられる。

この技術も Tone Code と同様に電波を用いず、音響信号のみで無線通信を実現するものであるが、音響信号はあくまでもサイレン音であるところだけが異なっている。この場合、音質が低くても問題ないこと、使用する周波数帯にも自由度があることから、長い距離でも正しい通信を行うことや雑音への耐性といった技術的課題を解決することも比較的容易であると言える。屋内においてスピーカからサイレン音を放送し、スマートフォンを用いて受信する実験では、10mを超える距離であっても、ほとんど誤りのない通信が可能であることが報告されている5。Tone Code の場合は、楽曲を放送する必要がある関係上、音質にもある程度配慮する必要があり、通信品質の向上にはさらなる工夫が必要である。

5. 今後の展望

Tone Code は、無線通信技術としてもデータハイディング技術としても、これまでにない新しい特徴を持った技術であるが、前節で述べた通り、解決すべき技術的課題も多い。商業施設や美術館など、応用する場面によって必要とされる条件も異なるが、いずれの場合においても通信距離をある程度に保つことと、誤りのない通信を行なうことは最優先で解決すべき課題である。これまでは誤り訂正などを用いずに通信実験などを行なってきたが、実際の応用に際しては、適切な誤り訂正符号を用いることが必要である。

また、コード進行やディストーション、リズムのみならず、音楽のありとあらゆる要素にメッセージを埋め込むことで、楽曲の一部分に大量の情報を多重化して埋め込むことも興味深い問題である。さらには、この技術を映像などに応用し、映像として自然に視聴できるが、スマートフォンで録画することでメッセージを受信できるようなシステムへと拡張することも検討されている。すなわち、デジタルサイネージなどに投影された映像を録画するだけで、そこに埋め込まれたメッセージを常に持ち運ぶことができるような日がやがて訪れるかもしれない。

encoded and embedded into the musical pieces. However, it is sometimes difficult to decode the transmitted message correctly under the noisy environments such as the market places crowded with many people since the musical pieces are broadcast from the loud speaker and received by the smartphones through quite noisy communication channels. In addition, it is not easy to send the messages for long distance because the audio signals are attenuated with the distance, and affected by echoes or ambient noise in general. In the art galleries or museums, the volume of the background music should be suppressed, which implies that it is required to decode the transmitted message successfully even if the recorded audio signals are weak. These problems should be solved in the future studies.

The authors have proposed a disaster prevention broadcasting system using audio data hiding⁴⁾ before proposing Tone Code. In this system, the messages including the detailed disaster information or the evacuation route are embedded into a siren sound and broadcast from the loud speakers. It does not require any wifi connections or internet access, so it can be used under the large-scale disasters such as earthquakes or tsunamis.

This system also transmits the messages only with the audio signals in a similar way as Tone Code. However, it is different from Tone Code since siren sounds are employed as the communication media in this system. In general, it is easier to transmit the messages by using siren sounds than using musical pieces since the quality of the siren sounds is not required to be very high, and various frequency components can be used to embed the message. Therefore, the performances of such broadcasting system using siren sounds are better than those of Tone Code. In our recent studies⁵⁾, it has been shown that the messages embedded into the siren sound and broadcast from the loud speaker can be correctly received and decoded by the smartphones through the distance larger than 10 meters under an indoor environment. In the case of Tone Code, the quality of the musical pieces should be maintained at high definition, which implies that there are many problems to be solved to improve the performances of the communications.

5. Future Studies

Tone Code is one of the novel technologies as data hiding techniques as well as wireless communications.

謝 辞

本研究の一部は、JSPS 科研費 15K01109、および東京 工業高等専門学校平成 29 年度重点配分経費の助成を 受けて行なわれました。

References (参考文献)

- F. A. Petitcolas, R. J. Anderson and M. G. Kuhn, "Information Hiding — A Survey," Proc. IEEE, vol. 87, no. 7, pp. 1062–1078, Jul. 1999.
- K. Kamada, T. Kojima and U. Parampalli, "Tone Code: A Novel Method for Covert Communications Based on Musical Components," Proc. ISITA 2016, Monterey, CA, USA, pp. 340–344, Nov. 2016.
- Y. Matsunaga, T. Kojima, N. Aoki, Y. Dobashi and T. Yamamoto, "A Digital Watermarking Technique for Music Data Using Distortion Effect," Acoustic Science and Technology, vol. 39, no. 1, pp.37–39, Jan. 2018.
- T. Kojima, T. Tachikawa, A. Oizumi, Y. Yamaguchi and U. Parampalli, "A Disaster Prevention Broadcasting Based on Data Hiding Scheme Using Complete Complementary Codes," Proc. ISITA 2014, Melbourne, Australia, pp. 45–49, Oct. 2014.
- Y. Sada and T. Kojima, "Improvement of Emergency Broadcasting System Based on Audio Data Hiding (in Japanese)," IEICE Tech. Rep., vol.117, no.476, EMM-2017-88, pp.55–60, Mar. 2018.

However, there are many problems in the future study as mentioned above. For example, it is quite important to realize the error-free communications for a long distance regardless of the applied scenario such as market complexes or museums. In the previous studies, any error correcting codes have not been employed, but they are strongly required to be used in the practical applications.

It is interesting to embed the messages into various musical components other than the chord progressions, distortion effects or the rhythms. It is expected that a large amount of message is multiplexed and embed into various musical components such as melody lines, chords, rhythms, and so on. It can be considered that the concept of Tone Code can be applied into the video signals like short movies. In this case, messages are embedded into various components of the video signals. Such signals conveying the messages can be recognized as a short movie by human eyes. The messages can be decoded from the recorded video signals by the smartphone applications in a similar way as Tone Code. In our future, for example, the messages embedded into a short movie displayed as a digital signage can be carried anywhere if such a movie is recorded by your smartphone.

Acknowledgments

This work is partly supported by JSPS KAKENHI Grant Number 15K01109, and also funded by National Institute of Technology, Tokyo College.

(平成 30 年 1 月 12 日 受理)

フミン酸の重金属吸着能力に与える共存イオンの影響

庄司 良*, 岩田 孝樹*

Effect of coexisting ions on the ability of humic acid adsorbed with heavy metals

Ryo SHOJI*, Kohki IWATA*

Heavy metal contamination is a serious environmental problem all over the world. Further decontamination of heavy metals is troublesome and expensive. As one possibility, naturally-derived and low-cost humic acid adsorbs heavy metals so that easy and cost-effective improvement of soil contamination can be expected. Humic acid is a substance produced by the decomposition of microorganisms of animal and plant remains. Humic acid has carboxyl and phenol groups that have important function of adsorption of heavy metals. On the other hand, lime is sprayed to improve pH of soil acidified in farmlands. The amount of heavy metals adsorbed by the humic acid should be decreased by calcium interaction. In this study, changes in the adsorption amount of copper ion to humic acid were evaluated by the NICA (Non Ideal Competitive Adsorption)-Donnan model with and without calcium co-existing. The amount of copper ion adsorbed to the humic acid could be predicted by using the NICA-Donnan Model with high accuracy. The effect of calcium on the amount of copper ion adsorbed decreased due to the increase in pH. Parameters given by the NICA-Donnan Model of phenolic groups by calcium ions have significantly changed than those without calcium ions. The calcium ions may therefore affect the amount of copper adsorption on phenol group of the humic acid substance.

(Keywords: Humic acid, copper ,calcium, NICA-Donnan Model)

1. 緒言

硫酸銅と消石灰の混合物であるボルドー液は最も古い農薬とされ、現在でも幅広く用いられている.しかし、長期間ボルドー液を散布した農地は銅が蓄積する回.ボルドー液の主成分である銅は生態に有害であるため、農地を転用する場合、銅の除染は必要になる.

他方、フミン酸という安価かつ自然由来でクリーンな物質は重金属と錯形成能力があるため重金属土壌汚染の改善を期待できる.フミン酸にはカルボキシル基とフェノール基が存在し、プロトンが解離することで重金属が吸着できる.またフミン酸の粒子近傍の負電荷によって陽イオンの濃度が高くなる領域が存在する.この領域はドナン相と定義され,このドナン相も重金属の吸着サイトである②.重金属のサイト別でフミン酸と重金属の吸着量を予測できるモデルとしてNICA(Non Ideal competitive adsorption)・Donnan Model が存在する.NICA・Donnan Model はフミン酸への重金属の吸着量を予測できるモデルである③.フミン酸への重金属の吸着量を NICA・Donnan Model で予測することで,フミン酸と重金属の吸着比を定量的に表すことができる.

一方、実際の環境には様々な物質が存在している。一例として農地では比較的高濃度のカルシウムが存在している。農地のpHは雨などによって酸性に傾いているため、これの改善のために石灰が散布される。石灰の散布により土壌のpHが上昇し、カルシウム分を作物に供給できる。山土壌のpH改善のために石灰を散布される頻度は農薬と比べて多く、散布量も大きい。従って、農地では比較的高濃度のカルシウムの存在によってフミン酸と銅の吸着を阻害することが懸念される。しかし既往の研究では、フミン酸と重金属の吸着において共存物質の影響を考慮している事例は少ない。「共存物質が存在する場合、NICA-Donnan Modelで得られるフミン酸と重金属の吸着の分子数の比や吸着量そのものも変化する可能性がある。従って、共存物質の存在の有無によるフミン酸の性質を検討する必要がある。

そこで本研究では、Ca²⁺の共存の有無によるフミン酸(和光純薬(株))の銅吸着等温線を解析し、吸着サイト別に整理し、全吸着サイトおよび各吸着サイトの Cu²⁺の吸着量の変化を NICA-Donnan Model を用いて評価することで、pH やカルシウムによるフミン酸の銅吸着に対する影響を明らかにすることを目的とした.

2. 実験

2.1 フミン酸の交換性プロトン容量の測定

フミン酸のカルボキシル基とフェノール基の交換性プロトン容量とドナン相体積を算出することを目的として、交換性プロトン容量を測定した. フミン酸(和光純薬(株))を 5.0×10^3 mol/L の水酸化ナトリウム水溶液で溶解させ、1 g/L になるように調製した. この溶液に少量の0.1 mol/L の塩酸を加えてpH を4 以下にし、窒素ガスを30 分間曝気した. 再び少量の0.1 mol/L の塩酸を加えてpH を3.5 以下にした. そして0.1 mol/L の水酸化ナトリウム水溶液を順次滴下して、pH の変化量を記録した. この操作をpH が10 になるまで行った. pH が3.5 の時にイオン強度が0.01,0.1 mol/L になるように塩化ナトリウムを加えたフミン酸溶液を用いて、同様の操作を行った.

2.2 フミン酸の Cu²⁺吸着量の測定

今回の実験では Cu^{2+} 選択電極(東亜 DKK, Cu^{-2021})を用いた。通常の校正では Cu^{2+} の検量線は 10^{-8} mol/L まで直線性が得られる。しかし実環境中の Cu^{2+} の活量はさらに低い。そこで Avdeef らはエチレンジアミンを用いることによって 10^{-19} mol/L までの低濃度領域に検量線を作成した[6]。今回は Avdeef らの方法に従って次のように検量線を作製した。 10^{-4} mol/L の硝酸銅水溶液に 10^{-4} mol/L のエチレンジアミンを加え,起電力・pH・温度を測定した。あらかじめ Cu^{2+} の活量を算出し, Cu^{2+} の活量と起電力をプロットして検量線を作製した。この検量線を用いて Cu^{2+} の吸着実験における Cu^{2+} の活量を算出した。

次のような操作で Cu^{2+} の吸着量を測定した. フミン酸を 5.0×10^{-3} mol/L 水酸化ナトリウム水溶液に溶解させ、1g/L になるように調製した. 少量の 0.1 mol/L の塩酸を用いて pH を 4以下に調整し、窒素ガスを 30 分間曝気した. その後、少量の 0.1 mol/L の水酸化ナトリウムを用いて pH を 5.0 にした. 0.01 mol/L の硝酸銅溶液を順次滴下し、 Cu^{2+} の活量が充分に上がったところで実験を終了した. pH を 7.0, 9.0 に変更し、同様の操作を行った.

2.3 Ca²⁺存在下でのフミン酸の Cu²⁺吸着量の測定

 Ca^{2+} 存在下での Cu^{2+} 吸着量の測定の際, Ca^{2+} の活量を測定するために今回の実験では Ca^{2+} 選択電極(東亜 DKK, Ca^{-2} 031)を用いた. Ca^{2+} 選択電極は Cu^{2+} 選択電極のような検量線の作成方法はない.通常の校正では Ca^{2+} 選択電極の読み値はg1 で表記されるためわずかな読み値で濃度がずれる.そこで今回の実験では 10^{-7} , 10^{-5} , 10^{-3} , 10^{-2} mol/L の濃度の Ca^{2+} 溶液の起電力と濃度で検量線を作製した.

次に Ca^{2+} 存在下での Cu^{2+} の吸着量を測定した. フミン酸を 5.0×10^{-3} mol/L の水酸化ナトリウム水溶液に溶解させ、1g/L になるように調製した. また Ca^{2+} が 0.01 mol/L になるように少量の 1 mol/L 塩化カルシウム水溶液を加えた. 0.1 mol/L の塩酸を用いて pH を 4 以下にし、窒素ガスを 30 分間曝気した. そして 0.1 mol/L の水酸化ナトリウムを用いて pH を 5.0 にした. 0.01 mol/L の硝酸銅溶液を加え、 Cu^{2+} の活量が充分に上がったところで実験を終了した. pH を 7.0, 9.0 に変更し、同様の操作を行った.

2.4 NICA-Donnan Model

フミン酸はカルボキシル基,フェノール基,ドナン相が存在し、これらは重金属との吸着サイトと考えられる.フミン酸と重金属との吸着を予測できるモデルとして、NICA-Donnan Model は NICA モデルと Donnan モデルを組み合わせたものである.

NICA モデルはフミン酸が有するカルボキシル基とフェノール基を重金属との吸着サイトと仮定し、重金属との吸着をモデリングしたものである。Hill 方程式を、化学種iの局所的な吸着を表す等温式として採用している。そして Sips 分布を組み込むことでフミン酸の不均質性、陽イオンの競争的な吸着、化学量論比を考慮できるようになる。拡張した Hill 方程式を次に示す。

$$Q_{M} = \sum_{i} \left[\frac{Q_{\max,i} \ n_{M,i}}{n_{H,i}} \times \frac{\left(K_{M,i} \ C_{S,M,i}\right)^{n_{M,i}}}{\sum \left(K_{M,i} \ C_{S,M,i}\right)^{n_{M,i}}} \times \frac{\left\{\sum \left(K_{M,i} \ C_{S,M,i}\right)^{n_{M,i}}\right\}^{P_{i}}}{1 + \left\{\sum \left(K_{M,i} \ C_{S,M,i}\right)^{n_{M,i}}\right\}^{P_{i}}} \right]$$

$$(1)$$

 Q_M [mol/kg] は各吸着サイトに吸着した金属 M の総量, $Q_{max,i}$ [mol/kg] はある吸着サイトに吸着した金属 M の総数, n_M [-] は金属 M と吸着サイトの平均的な化学量論比に関するパラメータ, K_M [L/mol] は安定度定数の分布の中央値, $C_{S,M,i}$ [mol/kg] は吸着サイト近傍の金属 M の濃度, p [-] は安定度定数の分布の幅に関するパラメータである. また重金属が含まれない系の場合, フミン酸に吸着するイオンは水素イオンのみである. 吸着質が 1 つの場合, (1)式は簡略化され(2)式のように示される.

$$Q_{H} = \sum_{i} \left[Q_{\text{max},i} \times \frac{(K_{\text{H},i} \ C_{s,H,i})^{\text{m}_{\text{H},i}}}{1 + (K_{\text{H},i} \ C_{s,H,i})^{\text{m}_{\text{H},i}}} \right]$$
(2)

水素イオンのみの場合ではLangmuir-Freundlich型の吸着等温線になる. この時 Q_H [mol/kg] は吸着サイトの総数, $Q_{max,i}$ [mol/kg] は各吸着サイトの総量, $K_{H,i}$ [L/mol] は酸解離定数の分布の中央値, $C_{S,H,i}$ [mol/kg] は吸着サイト近傍水素イオン濃度, $m_{H,i}$ [-] は $m_{H,i}$ = n_m

 $\times p$ で表されるパラメータである。酸塩基滴定では n_m と p の値を算出することはできない。しかしその積である $m_{H,i}$ は算出できる。 n_m と p の値を算出するために 金属の吸着実験を行う必要がある[7].

Donnan モデルはフミン酸の吸着サイトと化学種 i の静電相互作用由来の親和性を考慮しており、この親和性によってフミン酸近傍のイオン濃度は Boltzmann 因子分だけ溶液内のものと異なる. したがって静電相互作用の考慮が必要である. 次式のようなボルツマン因子を考慮した式によって Donann 体積内部のイオン濃度を計算する.

$$C_{s,M,i} = C_{b,m,i} \exp(\frac{-z_M F \Psi_D}{RT})$$
 (3)

ここで $C_{0,M,i}$ [mol/L]は水溶液全体の金属イオン M の濃 度, z_M [-]は金属イオン M の電荷, F [C/mol]はファラ デー定数、 Ψ_D [V]はドナン相内の静電ポテンシャル、 $R[J/(mol \cdot K)]$ は気体定数、T[K]は絶対温度である。 (3)式を用いることでランダムな不均質性を仮定するこ とができるため、平均的な分子量および性質を持つフ ミン酸の近傍のポテンシャル ₹Дから吸着サイトの不 均質性に起因する依存性を排除することができる. こ れを利用してイオン強度の異なるフミン酸溶液に化学 種 i を添加した時の曲線から静電相互作用の寄与を取 り除くと、1本の曲線に収束する. この曲線を Master curve と呼ぶ. さらに Ψ_D を解析するためにフミン酸と 化学種iの静電相互作用だけでなく,フミン酸粒子内部 のドナン体積について検討する必要がある. イオン強 度が 0.01 mol/L 以上の時のドナン体積は Benedetti ら によって pH 依存性が低く, イオン強度の寄与が大き いという実験結果を得ている. そこから経験式として 以下の式でドナン体積を求められるとしている[8].

$$\log V_D = -1 + b(1 - \log I) \tag{4}$$

ここで $V_D[L/kg]$ はドナン体積, $b[\cdot]$ は Master curve を最適化した際のパラメータであり,間接的にドナン体積を示すとされる.I[mol/L]はイオン強度である.以上の NICA 方程式と Donnan モデルを組み合わせることによりフミン酸と重金属の吸着量を予測できる.

交換性プロトン容量, Cu²+の吸着量の予測値は次のように算出した. (2)式を用いて交換性プロトン容量の予測値を算出し, 実測値と予測値の残渣の総和が最も小さくなるように酸解離定数などのパラメータの値を決定することで交換性プロトン容量の予測値を算出した. (3)式を用いてカルボキシル基とフェノール基のCu²+の吸着量の予測値を算出し, 実測値と予測値の残

渣の総和が最も小さくなるように安定度定数などのパラメータの値を決定することでカルボキシル基とフェノール基の Cu^{2+} の吸着量の予測値を算出した。またドナン相の Cu^{2+} の吸着量は,(4)式を用いて $\log V_D$ の値を算出し, $\log V_D$, Cu^{2+} の総濃度,ドナン相内の Cu^{2+} を用いてドナン相における Cu^{2+} の吸着量の予測値を算出した。

3. 結果と考察

イオン強度を変更した交換性プロトン容量の結果を NICA-Donnan Model で整理してイオン強度に依存しない Master curve を引いた。 Fig. 1 に各イオン強度における交換性プロトン容量と Master curve を示す。横軸の pH_D とはフミン酸のドナン相内の pH を示し,縦軸はフミン酸の交換性プロトン容量を示す。 Table 1 に NICA-Donnan Model によって得られるパラメータの吸着サイト数,酸解離定数の分布,複合的な不均質性を表すパラメータを示す。

 pH_D を横軸に整理することで、異なるイオン強度における滴定曲線は 1 本の Master curve に収束した。 pH_D の上昇に伴いフミン酸の交換性プロトン容量が増加した。また低 pH と高 pH に変曲点が存在していることが Master curve からわかる。これはカルボキシル基由来のおよびフェノール基由来の交換性プロトン容量である。先行研究でも同様の結果が得られている[9]。この結果から得られたパラメータを用いることで Cu^{2+} の吸着量を NICA-Donnan Model で予測できる。

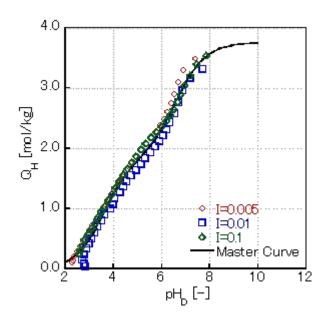


Fig. 1 ドナン相内でのイオン強度の違いによる交換性プロトン容量の変化を表す滴定曲線と収束した Master Curve

Table 1 フミン酸の交換性プロトン容量の測定結果から得られた NICA-Donnan モデルのパラメータ

	Q _{max} [mol/kg]	logK [-]	m [-]
カルボキシル基	1.70	3.30	0.868
フェノール基	2.74	6.35	0.601

Ca²⁺の存在の有無による Cu²⁺の吸着等温データと NICA-Donnan Model によって回帰して得られた吸着 等温線を Fig. 2 に示す. 横軸に Cu2+の濃度を示し、縦 軸に Cu2+の吸着量を示す. また Table 2 に NICA-Donnan Model によって得られるパラメータの吸着サ イト数,安定度定数,フミン酸と Cu2+の吸着比を示す. pH が上昇するに伴ってフミン酸の Cu²⁺の吸着量は増 加した. これはフミン酸の交換性プロトン容量は pH が 上昇すると増加するためである. Fig. 2 では Cu²⁺の吸 着量は Ca²⁺の影響がほとんどないことがわかる. Table 2 からフミン酸と Cu2+が吸着した時の安定化される度 合いを示す logK の値が上昇している. これは Ca²⁺の 添加によるイオン強度の増加が原因であると考えられ る. イオン化傾向は Ca2+より Cu2+の方が小さい. した がってイオン強度が増加することにより Cu2+の状態で 存在するより、フミン酸と吸着した状態の方が安定化 されるためであると考えられる. またフェノール基に 関するパラメータの変化はカルボキシル基のパラメー タと比べ, カルシウムの添加による変化量が相対的に 大きい. 従って、Ca2+はカルボキシル基よりもフェノー ル基の Cu²⁺吸着量に対して影響を与える可能性が考え られる.

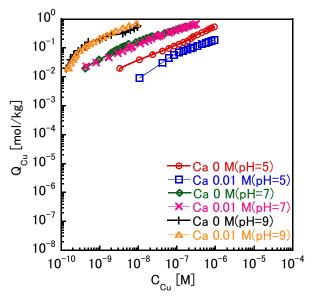


Fig. 2 Ca²⁺の有無による Cu²⁺の吸着等温関係(プロット)と NICA-Donnan Model から得られた Cu²⁺吸着等温線(カーブ)の予測

Table 2 NICA-Donnan Model から得られた Cu²⁺の吸着実験における各パラメータ

	Ca [M]	Q _{max} [mol/kg]	logK [−]	n [-]
カルボキシル基	0.00	1.70	1.31	0.67
フェノール基	0.00	2.74	1.85	0.77
カルボキシル基	0.01	1.47	2.59	0.57
フェノール基	0.01	2.30	5.33	1.02

Ca²⁺の影響による Cu²⁺の吸着量の変化を詳細に解析 するためにカルボキシル基、フェノール基、ドナン相の 各吸着サイト別の Cu²⁺の吸着量を Fig. 3, Fig. 4, Fig. 5 にそれぞれ示す. 横軸に Cu²⁺の濃度を示し、縦軸に Cu²⁺の吸着量を示す. Fig. 3 よりカルボキシル基にお ける Cu2+の吸着量は Ca2+の影響が少ない. これは全て の pH やカルシウムイオン濃度においてカルボキシル 基のほぼ全ての吸着サイトが利用できる状態にあるこ とを示している. 従って、Cu²⁺と Ca²⁺の競合の影響が 小さいと考えられる. Fig. 4 より Ca²⁺がフェノール基 における Cu2+の吸着量に与える影響は pH によって差 があった. フェノール基の吸着サイト数は pH の上昇 に伴い増加する. pH5 では少ない吸着サイト数に対し て Cu2+と Ca2+が競合するため Cu2+の吸着量は大きく 減少したと考えられる. pH9 ではフェノール基の吸着 サイト数は pH5 の時よりも格段に増加するため Ca2+ と Cu²⁺との競合が起こった時の影響が減少したと考え られる. Fig. 5よりドナン相における Cu²⁺の吸着量は Ca²⁺の存在により大きく減少した. これは Ca²⁺がフミ ン酸の負電荷を中和するためであると考えられる.

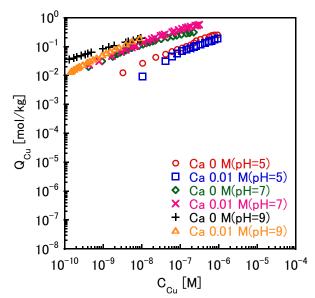


Fig. 3 NICA-Donnan Model によって予測されるカルボキシル基への Cu²⁺の吸着量

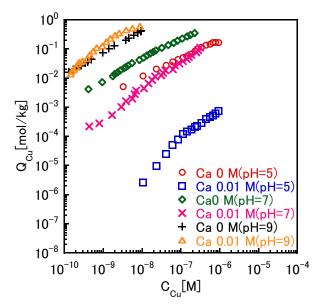


Fig. 4 NICA-Donnan Model によって予測されるフェノール基への Cu²⁺の吸着量

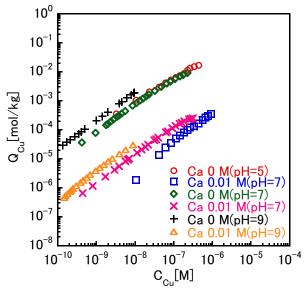


Fig. 5 NICA-Donnan Model によって予測されるドナン相への Cu²⁺の吸着量

4.結論

フミン酸の交換性プロトン容量の測定を行い,NICA-Donnan Model で整理してイオン強度によらない Master curve を引くことができた。これによってイオン強度,pH の影響を考慮してフミン酸と Cu^{2+} の吸着量を予測することが可能になった。

 Ca^{2+} の存在の有無による Cu^{2+} の吸着実験を行い、NICA-Donnan Model でモデル解析を行った。その結果、 Ca^{2+} の共存を考慮して NICA-Donnan Model で Cu^{2+} の吸着量を予測することができた。 Cu^{2+} の全吸着量では Ca^{2+} の影響はほとんどなかった。しかし吸着サイト別に Cu^{2+} の吸着量を整理することによって、 Ca^{2+}

がフミン酸の吸着能力に影響を与えることが確認でき、 特にフェノール基に対する銅の吸着量へのカルシウム 共存による影響が大きいことが明らかとなった.

参考文献

- [1] 庄司良,田中優也,ダイコン・キャベツを用いた迅速・簡便な銅蓄積能力の評価法,東京工業高等専門学校研究報告書,41(2),83-86(2010)
- [2] 庄司良,岩瀬鉄也,木材由来フミン酸と土壌由来フミン酸の NICA-Donnan Model を用いた解析による銅結合特性の評価,日本土壌肥料学会誌,87(5),348-355
- [3] Saito T., Nagasaki S., Tanaka S., Koopal L.K., Application of the NICA-Donnan model for proton, copper, and uranyl binding to humic acid, Radiochimica Acta 92, 567-574 (2004)
- [4] 三枝正彦, 低 pH における作物の生育: 植物有害 Al と下層土のエダフォロジー, 日本土壌肥料学会誌, 62 (4), 451-459 (1991)
- [5] 庄司良, 牧野春香, 腐植の程度が異なる腐棄土由来の土壌フミン酸のカルシウム共存下の同との吸着作用と2, 4-ジクロロフェノキシ酢酸ジメチルアミンとの吸着作用の変化, 化学工学論文集, 43(5), 1-9(2017)
- [6] Avdeef A., Zabronsky J., Stuting H.H., Calibration of copper ion selective electrode response to pCu 19, Analytical Chemistry 55, 298-304 (1987)
- [7] 庄司良,沖田尚久, NICA(Non-Ideal Competitive Adsorption)-Donnan model による銅のミカヅキモ生 長阻害性に対する多摩川底質フミン酸の影響の解析,水環境学会誌,36(1),1-9(2013)
- [8] Benedetti M.F., Van Riemsdijk W.H., Koopal L.K., Humic substances considered as a heterogeneous donnan gel phase, Environmental Science and Technology 30, 1805-1813 (1996)
- [9] Kinniburgh D.G., Van Riemsdijk W.H., Koopal L.K., Borkovec M., Benedetti M.F., Avena M.J., Ion binding to natural organic matter: competition, heterogeneity, stoichiometry and thermodynamic consistency, Colloids Surf. A 151, 147-166 (1999)

(平成 30 年 1 月 5 日 受理)

桃太郎絵巻から見えるもう一つの桃太郎像 (上)

舩戸 美智

On the Image of Momotaro in Momotaro Emaki

Michiko FUNATO

This paper aims to analyze 34 kinds of Momotaro Emaki, the picture scrolls which were produced from the Edo era to the Meiji era.

It leads to the two assumptions as follows:

- 1. It can be assumed that the Japanese old tale of Momotaro—the Peach Boy—had already been spread before the Edo era
- 2. It can be assumed that the image of Momotaro is that of elegance in Momotaro Emaki—the picture scrolls—written in the Edo era, which is different from his image of bravery in Kusazoshi—the picture books—written in the same era

The assumption 2 will be explained in the next paper.

(Keywords: Momotaro, Emaki)

はじめに

いで此寺の先師一休和尚の放気(おどけ)咄して聞かすべし」とて

江戸時代に入ってからである。っていない。明らかに桃太郎そのものが書物の中に現れるのは、およそっていない。明らかに桃太郎そのものが書物の中に現れるのは、およそ今日の桃太郎の昔話がいつ頃から語られていたのかは、定かにはわか

ばなし」序文には 小池藤五郎によれば (注1)、寛文八年 (一六六八) 刊の仮名草子「一休

「山へ洗濯しに、川へ柴刈りに」と申ければ、「古めかしの咄しや。ば)との咄しより知らぬ我なれば、「かしこまりたり」とは申せ共、「むかし物語をせよ」と仰せられければ、祖父(おほぢ)と祖母(う

この頃の読み物に描かれた桃太郎話の主な特徴は、次のとおりである。八年(一七二三)の赤小本「もも太郎」はよく知られてのとおりである。桃太郎が絵で現れ始めるのは、草双紙という読み物の中である。享保

- $\widehat{1}$ 爺婆が桃を食べて若返り、婆の出産によって桃太郎が生まれる
- 2 宝を取りに鬼ヶ島へ向かう
- 鬼から差し出される宝は、隠れ蓑笠、 など人間界にはない鬼の宝である 打 ち出の小槌、 如意宝珠

うになるが、 説と結んで、 道夫もこれを支持し、「どことも所在のしれぬ鬼ヶ島に宝があるという伝 田 為朝鬼ヶ島渡り伝説にあることを指摘しており(注2)、それを踏まえ志 ていたにちがいない」(注4)と捉えている。 れ蓑笠を持っていたことは、 したという理由付けが付加され、 伝説の直系に属するものと見るのが妥当」と述べている(注3)。 これらは、 桃太郎話の源流を 元の目的は宝取りにあったとみていいだろう。 宝物を得てゆたかな暮らしをしたいという庶民の夢が生き 現代伝えられているものとはかなり異なっている。 江戸時代の滝沢馬琴が『保元物語』 「間接に為朝伝説に含まれてゐる鬼ヶ島宝 桃太郎は鬼を征伐に行くと語られるよ 後年には、 鬼が悪いことを 鬼が隠 の中の 滑川

口

て一番古いものである。二つに割れた大きな桃から、 れた優美な女性が立ち姿で描かれている。 れた鈴木春信の浮世絵「見立て桃太郎」(注5)が年代のわかるものとし つ頃からあるのか。私見では、明和二年(一七六五)の絵暦として描か 現在の桃太郎話で知られる桃から生まれる果生型の桃 桃太郎に見立てら 太郎は、

かと言われてきたが、 中で双方の桃太郎を紹介していたことも頷けるのである。 同時期に存在していたことになる。後年、 ただし、江戸中期の読み物の「桃太郎」では、]時期に混在していたのかは、 そのことから、 少なくとも江戸中期には、 口 [春型のほうが果生型よりも早い 今後の課題でもある。 滝沢馬琴が前述の著書(注2) 婆が出産する回春型の 回春型と果生型は しかし、 のではない 両方 な ほ

このように書承を頼りに辿ってきた桃太郎話の研究は、 主に読み物や

> 機会を得 浮世絵、 について比較検討し、 がある。ここでは、それらを踏まえながら、 日本桃太郎会連合会の活動の中で、「桃太郎絵巻」三種を同時に閲覧する った国内外の桃太郎の絵巻を調査することになった。 すでに太田昌子氏 芸能などの資料を基にすることが多かった。 (注6)、それをきっかけに、これまであまり注目されてこなか 分析を行った。 (注7)、 小峯和明氏 管見に至った絵巻約三十 (注8) 等による紹介と論考 桃太郎絵巻につい しかし、 このたび

考察していくが、 .扱う絵巻は、後掲の表1 まずは調査した桃太郎絵巻全体の様相を概観し、 紙面の関係上、 「桃太郎絵巻一覧」のC群までとした。 二回に分けて紹介することとする。 そこに表れた問題

= 桃太郎絵巻の諸本の概要

これは、 郎資料館本が写していることは明らかである。 が酷似しているものがあり、それによるグループ分けができる点である。 猿を従え、 はっきりとした形で表れている。 らかにされていない絵巻もかなりの数に及ぶのではないかと考えている (武田・1995)。 わゆる狩野派の粉本主義などの絵巻の模写による画業の継承である これらの絵巻の第一の特徴は、 これまでの調査で存在が明らかになった桃太郎絵巻は、 覧」が示すとおり三十四種である。 絵巻を制作した絵師たちの画業が関係していると考えられる。 犬と出会う場面だが、 今回の絵巻の比較対照では、 絵巻間で登場人物のポーズや配置など たとえば、後掲図1・2では、 図1の兵庫歴博本の粉本を図2の 実際には、 その模写の経緯がかなり まだその所在 表 1 桃

では多くの絵図を省略せざるを得なかった。 分類して整理した。 今回は、 このような模倣関係にある絵巻を大まかにA群からD 以下、 詳細を述べていく。 次回補填したい。 なお、 残念ながら、

表中の整理番号に従い、 以下に概略を補足説明していく。 特に

記載の無いものは 「回春型」である。

1 桃太郎絵巻 享保二〇年(一七三五)

堀野文禄蔵

不明で、管見には至っていないが、 の戯作者である。昔話好きで、 これは、 滑川の桃太郎年表に記載されていたものである。現在は所在 所蔵者の堀野文禄は、 蒐集も行っていたらしい。(注9) 京の藁兵衛という名でも知られる明治 年代がわかるものとしては、これが

A

2

の中の「英一蝶」にある以下の記述に基づく。 これは、村松梢風『本朝画人伝』(中央美術社(大正一三~一五)下巻) 桃太郎一代記 英

主へ献上の巻物を一蝶にからせると、 宝暦年間のこと、 西本願寺法主が江戸へ下向の時、 一蝶はそれへ桃太郎一代記を 小田原町から法

巻を納めたことは興味深い。所在は確認できていないが、次の5立教大 このように狩野安信の門人でもあった英一蝶が、 英一蝶が描いたものを模写したといわれる絵巻が残っている。 西本願寺へ桃太郎絵

A 2

5 桃太郎絵巻 龍雲斎写 奥書に 「右英一蝶図 寛政七年(一七九五) 立教大学図書館蔵 /寛政乙卯秋 龍雲斎写」

公文教育研究所蔵

6

高嵩谷画

天明期か

奥書 「高嵩谷」

桃太郎絵巻 洞春美信画

7

内藤記念くすり博物館蔵①

いては、まず桃を拾った婆が盥を頭に載せて帰宅する場面が特徴的であ 5については、 小峯和明氏による詳細な紹介がある 「洞春美傳画 〈朱印〉」 (注8)。 内容につ

従者と出会う場面までは、この5と6の絵の構図に類似性がみられる。

英一蝶の門人佐脇嵩之について画を学んでいること

る。それと同じ姿で描かれているのが、

6の公文本である。

桃太郎が三

では①と②で区別する。 にある大同薬室文庫のものである (注10)。 桃太郎絵巻は二種あり、ここ 7の絵巻は、 製薬会社エーザイの創業者によって開設された博物館内 から、

英派の絵師として関係性が深い。

6の絵師高嵩谷は、

描く絵巻は果生型で、 連があると考えられるが、その絵巻とこの7の絵巻とでは類似点は少な だという(注11)。この石里洞秀は、 門人で黒田家江戸詰の絵師、 福岡藩御用絵師で駿河台狩野家の四代目である。 奥書にみえる「洞春美傳画」の洞春美は、駿河台狩野家の洞春美信 舟上で帆の上に猿が乗っている図柄程度である。 洞春のものは回春型になっている。 石里洞秀(同名父)に絵を学び、 20 の東博本Aの絵師洞秀美之と関 幼いときに父を失い、 また、 師の洞秀が 名跡を継

桃太郎が持ち上げる石が平らで角張っていること、門破りでは、 鬼王の側には姫と下女がいることなどである。 が後ろ姿で描かれていること、宝献上場面では、 蝶に関係ある5・6・7を一群としてA群に含めた。 むしろ、この7の絵巻は6の絵の特徴と一致する点が多い。例えば、 それらの共通点により、 桃太郎が鬼にまたがり、

献上までは、 5の立教本の後半、 次の3桃太郎神社本a 舟で従者たちと鬼ヶ島に向かう場面 (図3)と絵の内容が一致している。 から宝

桃太郎の見栄・その時の従者の位置、 舟中で肘をついて寝そべる桃太郎、 後の戦いの場面の絵の構図は、 の側に座す若い姫と下女、 かざしながら飛んで戦う様子、宝を前にして鬼にまたがる桃太郎、 凱旋の従者の様子などの場面である。 後述の系列A3とも一致するものである。 無地の帆、 鬼との戦い時に雉子が日の丸扇を また鬼の城の門破りで 特に最 鬼王 の

A 1

3 桃源遺事 英

Ш 画

太郎神社 蔵 a

26 (御巻噺桃太郎) 太郎絵巻

奥書「英

Ш

画

〈朱印〉」

桃太郎神社蔵b 大寿苑

蔵

きるよう額装されている。 間に飾られている。 代目で、 もう一つの26の絵巻と箱が入れ替わったか。 絵巻が一川の手になるとすれば、一川の没年は安永七年 (一七七八) にな のである。 御巻噺桃太郎 桃源遺事」は、 この3と またこの3の絵巻と似ているのは、他にもある。4の大寿苑本である。 箱書きにある寛政六(一七九四)の制作はありえないことになる。 明和から安永にかけて活躍した。この絵巻の箱書き、 3は一部ヤケがあるものの、豪華な作りとなっている。 26 高松市鬼無町にある特別養護老人ホーム「大寿苑」の応接 の絵巻は、愛知県犬山にある桃太郎神社が所蔵しているも 一軸」、箱裏|寛政六甲寅年/五月吉日」とあるが、この 『棠陰比事』のもじりであろう。 絵巻を六曲 その制約のためか、 双の屏風仕立てに直し、 26 場面最後は鬼との戦い の絵巻については未詳。 絵師英一川は、 絵巻が 蓋表には 英家三

> 料館本の高嵩渓の絵巻とは、 によれば、 絵師は高嵩渓と伝えられていたようだが、 絵の印象はかなり異なる。 次の8高松歴史資

A 3

8

桃太郎絵巻 桃太郎絵巻 高嵩渓画 ドイツ リンデン民族学博物館蔵 高松市歴史資料館蔵

三井家の旧蔵といわれ、 れない。 巻については、二、三の類似場面はあるものの、 高嵩渓は、 奥書に「右一巻應需而画 これら8と9の絵巻の関係性も非常に高いと考えている。 6 公文本の高嵩谷の子または婿養子と言われるが、桃太郎絵 高嵩渓が請われて制作したもののようである。 文化十一申戌年九月 高嵩渓 あまり影響関係は見ら 朱印」とある。 8の絵巻は、

ければわからないが、印刷ではない絵巻の世界で、 る桃太郎の装束や勇ましい表情までもが酷似している。 残念ながら門破りの場面のみを知るばかりだが、8の絵巻とは門破りす で絵巻を描くことがあったのか、 関連が深いと考えられるのは、9のドイツリンデン本(注 興味深いところである。 同じ絵師が同じ図様 全体を比較しな 12)である。

してまとめた。 して括った。 以上、ここまでの絵巻は英一蝶に関連すると思われる狩野派をA群と 次のB群はまた異なる絵の雰囲気を持つ狩野派の系統と

10 B 11 ティ・ライブラリー蔵 武清筆絵巻 太郎絵巻 栄川画 伝 喜多武清筆 狩野典信画 巻末奥書 アイルランド 「武清筆」「可庵 狩野勝川 天保八年模写 チェスター・ビ 〈朱文方印〉」

関係する絵師が3を模写していることは間違いないだろう。

けて制作されたものと思われる。

装幀や絵師は3とは異なるが、

英派に

4

の所蔵者

絵巻自体も豪華に制作されており、

富裕層から依頼を受

(写し) 「白玉法眼典信 〈花押〉」奥書「天保八年二月 日」「雅信

場 ことなどである。これらの類似点から、 投げようとすること、最後に、平安貴族風の爺婆に桃太郎が宝を見せる 桃太郎がイノシシに向かって大石を投げること、舟上では桃太郎が錨を 2003)。これらに共通するのは、爺が初めのほうで夢告を受けること、 いる可能性はあるだろう。また違いとしては、 らかい線で素描されており、双方の関係性もすでに指摘されている(太田 11 ては、 面があることだ。これはたいへん珍しい展開である。 10 は国文学研究資料館で調査が行われ、報告されている(注13 絵図は一部しか窺い知ることができないが、 太田氏の前掲論文を参照されたい。 双方が同じ絵巻を元に模写して 10 が舟上で戦い勝利する 絵は二つともに柔 なお、 詳細につ \circ 残念

次は、 やはり狩野派と思われるC群である。

C 1

12 昔噺シ桃太郎絵巻 狩野元信画 かか

兵庫県立歴史博物館蔵

外題に「古法眼/元信之圖 桃太郎絵巻

13

桃太郎資料館蔵

(入江コレクション)

(小久保桃江コレクション)

れている。このことは、 またこの絵巻は、 の中で指摘している。 である。その絵師がこれを描いたとすれば、これが一番古いものになる。 五五九)といえば、 いることから、観賞用ではなく、絵手本として制作されたものと考えら 12 は絵師の名が題簽に記されている。 墨での描写を多用し、彩色箇所の指示が書き込まれて 狩野派の画風を大成したといわれる室町時代の絵師 しかし、 すでに井乃香樹が『紀記の神話と桃太郎』 兵庫歴博では、 元信の絵は手本として出 狩野元信 (一四七六~一 一 注 14)

> は懐疑的で、江戸時代の作だろうと推定している。 回っていることが多かったことから、 つの範となっていたことは確かなようである。 12 の墨描きの絵巻は、 狩野派の桃太郎絵巻の粉本として、狩野派の一 室町時代の元信が描いたというの だが、少なくともこ

の

のは、 彩色してあり、 江氏の旧蔵のものである。この絵巻は 1 の絵(図1)の構図とほぼ同じで、 本にあるいくつかの場面がこの絵巻には欠けている。 れていることだ。桃太郎話が文字で綴られている。また、 (図2)である。これは、桃太郎の研究家として知られていた故小久保桃 先にも述べたが、それを写したと思われる絵巻が 13 の絵巻には、上下各巻の初めに、十五行ほどの詞書きが添えら 模写されたことは疑いない。 ただ全体を比較して異なる 13 の桃太郎資料館本 12 の兵庫歴博

C 2

桃太郎絵巻

昔物語桃太郎

15

一代記

内藤記念くすり博物館蔵②

個人蔵

仙台陸奥守より拝領した旨が箱書きにあり (注 15

る。 る。これは、鬼の関連で明らかに「酒呑童子」をふまえたものになってい ような鬼が縛り上げられており、 14 この の絵巻である。 ここでの姫は、 15 の絵巻にも詞書きがある。 最後の宝献上の場面では、 連れ去られた姫であろう。 側には十二単をまとった姫が座してい 特にこれと特徴が似ているのが、 大柄で真っ赤な酒呑童子の

Ξ 桃太郎話の受容からみた桃太郎絵巻の特徴

が、 以下、 ここで、これらの絵巻を桃太郎話の受容という観点でもう一度見直 表1中の 16 5 34 の絵巻については、 次回に触れることとする

してみたい。

膾炙していたかという証でもあろう。のは、六種のみであった。つまり、これは当時、桃太郎話がいかに巷間にきのないものが多いことである。三十四種の内、詞書きが確認できるもして挙げた絵図の類似性の他、第二の特徴として見えてくるのは、詞書管見に入った限りにおいて桃太郎絵巻を調査した結果、前述の特徴と

られていたのかということも推測可能になるはずである。された年代を遡ることよって、同時に桃太郎話がいつの時代にすでに知さらに、誰もが知っていたということを前提に考えれば、絵巻が制作

して認知されていた、ということのほうが重要である。描いたと信じられるほど、江戸期の「桃太郎」が狩野派の絵巻の画題となる。しかし、ここでは、昔話の一つにすぎなかった「桃太郎」を元信がはり元信が活躍した室町時代からすでに語られていたという一証左には17の絵巻が狩野元信の描いたものと確証が得られれば、桃太郎話がや17の絵巻が狩野元信の描いたものと確証が得られれば、桃太郎話がや

場面がどの絵巻もほぼ一致している。桃太郎話のどこを場面として描くかということだが、絵巻の場合、その水太郎話のどこを場面として描くかということだが、絵巻の場合、そのさらに第三の特徴は、絵巻特有の場面のパターン化である。これは、

- 1 川で洗濯している婆のもとへ、桃が流れてくる。
- 〈果生型では、桃を割ると、中から着衣の小さい男児が現れる。〉2 婆が帰宅する途中、爺と会い、若返った婆を見て爺が驚く。
- げつけて、それを追い払う。 3 家の前で、桃太郎をからかう村の子供たち。 桃太郎は重い臼を投
- 4 爺と婆がきび団子をつくる。桃太郎は傍らで刀を研ぐものもある。
- 5 桃太郎は菅笠に帯刀して、鬼が島に出かける。見送る村人たち。
- 6 村の小さな祠に、安全祈願をする爺婆
- 8 一行は、帆かけ舟で鬼ヶ島に向かう。桃太郎が寝そべっているも7 猿・犬・雉子それぞれに出会い、きび団子をやって従者とする。

もある。

- 鬼ヶ島に着き、桃太郎が門を破る
- 鬼が降参し、桃太郎に鬼の宝を差し出す。そばに若い姫がいる。従者たちは刀を、桃太郎は大木を振りかざして鬼たちと戦う。

11 10

12

従者に宝を持たせて、桃太郎が爺婆の家へ帰る。

桃太郎、 婆の出産場面である。 巻でも、 素である。 を裏切り、 のだが、「鬼一法眼三略巻」を下敷きにしており、 は鬼の娘である可能性も高い。読本『桃太郎物語』(注 のもあるが、よく見ると、下女に角が見えるものもあり、 側に座しているものがある(図4)。酒呑童子にさらわれた姫とみなせるも らは、昔話「寝太郎」型の要素が含まれていると考えられるのである。 いるとすれば、最後に配偶者を得る「妻覓ぎ」とみなすこともできよう。 もある。「金太郎」に見まがうほどだ。さらにその力自慢を修験者らしき 人物が目撃している場面も「金太郎」 また、 さて、これらの絵巻と同時期の草双紙の桃太郎物との大きな違いは、 さらに、宝献上の場面では、若い姫君が乳母らしき下女とともに鬼の ここでまず気になるのは、 桃太郎の力自慢の場面では、 頭を垂れる鬼王の側に控える鬼の娘が、 10鬼との戦い場面では、桃太郎は大木を振り回している。それ 3の村の子どもたちのからかい場面や、 義経ならぬ桃太郎に協力したことを匂わせている。 絵巻桃太郎の中に見え隠れする別の話 や「酒呑童子」によく見られる。 小熊やイノシシを投げ飛ばすもの 鬼の娘が親である鬼王 桃太郎に恋心を寄せて 8の舟中で寝そべる 15)はパロディも そばにいるの

では描かれるが、婆の出産場面を扱ったものはほとんどなかった。となっている。しかし、これまで調査した絵巻には、爺婆が若返った姿れる。回春型の桃太郎物の作品でも、出産場面を描くことが一つの常套草双紙では、『鼠の嫁入り』等でも女性が家で出産する場面はよく描か

と言われている。絵巻の絵師は幕府や藩に抱えられていた御用絵師も多 然だったに違いない。 関係がありそうである。 表1の絵巻 24 は、 ら絵巻が与えられたとすれば、 これは何を意味しているのか。 絵巻は主の求めに応じて、 男子には縁遠い出産場面は省かれても当 幼い男子に桃太郎たらんことを願いなが その鍵の一つは、 徳川家慶が幼少期に見ていた 絵巻を観る鑑賞者に

四 終わりに

桃太郎を描いて見せている。そこには、後に時代に翻弄される桃太郎像 どの影響を強く受け、桃太郎は荒々しい若衆姿を意識しているのに対し、 会に行う予定である。 は見当たらない。なお、 絵巻は大和絵の画風を守り、 しくも穏やかな桃太郎像になっているということだ。 以上の調査により明らかになったことは、絵巻の中の桃太郎は、 それらについての詳細な検証は、 時には平安朝の公達を思わせるような雅な 草双紙が歌舞伎な 改めて別の機 勇ま

諾下さり、 県立美術館、 渡ってご協力をいただいた大久保和彦氏に心から感謝申し上げます。 ました。さらに、 嗣氏を始めとする会員の皆様、 た、絵巻の閲覧に際しては、東京国立博物館・国立歴史民俗博物館、 太郎絵巻を閲覧する機会を与えて下さった日本桃太郎の会の会長松川忠 最後に拙稿をまとめるにあたり、まずはこの調査の過程で、 心より御礼申し上げます。 兵庫県立歴史博物館など諸機関にもたいへんお世話になり 桃太郎神社、 大寿苑、 特に情報提供や絵巻の整理など多方面に 小川護氏他の皆様にも閲覧をご快 様々な桃 岡山 ま

注

1 記録されたる桃太郎古説話の研究(上), 小池藤五郎, 国語と国文学 11 巻2号

- 滝沢馬琴『燕石雑志』文化八 <u>八</u>二 年刊
- 志田義秀『日本の傳説と童話』 大東出版社, 昭和一 一六(一九四

3 2

- 滑川道夫『桃太郎像の変容』東京書籍, 昭和五六(一九八一)
- 昭和四八(一九七三)年刊 鈴木春信 「見立て桃太郎」米 ポートランド美術館蔵 『浮世絵大系』 2,集英社

5

4

画か 古い例である。 また、宝暦から安永にかけて描かれたと思われる上方の絵本 (『近世子どもの絵本集』(上方篇)岩波書店所収)も読み物の果生型としては 「桃太郎」北尾雪坑斎

栄堂蔵本(映像)、岡山シティミュージアム蔵本 史史料館本、岡山県立美術館本、小久保桃江氏旧蔵本の桃太郎絵巻の他、 市歴史史料館では「再発見!桃太郎の世界」展が行われた。 6二〇一四年四月、 香川県高松市で行われた桃太郎サミットにあわ (映像)も展示された。 そこに高松市歴 庿

絵巻と芸能から影響を受けていた草双紙とに表れた桃太郎像を比較し、絵巻 三月刊。太田氏はその中で、若武者姿の桃太郎のイメージがどこから出現し 7 にも草双紙からの影響が見られると考察している。 たのかに視点をおきながら、絵巻七点を対象に、一点ものとして制作された 太田昌子「桃太郎のイメージ」『文化史の構想』吉川弘文館,二〇〇三年

8 論叢第1号,二〇〇一年三月刊 小峯和明一資料紹介--立教大学図書館蔵『桃太郎絵巻』」立教大学大学院日本文学

9 額がある。 交ぜがあり、それが額にもなっている。左方の楣間に、抱一の筆の「昔噺亭」とした 正面には是真が丹青を凝らした桃太郎の絵が掲げてある。月耕その他の昔話の絵の貼 記述がある。「その店は昔話風の装飾で充たしてある。格子戸を開けて入ると、店の 松本道別『東京名物誌』明治三四(一九〇一)年刊。その中に文禄堂についての

10 大同薬室文庫は、 (一八七四~一九四七)の旧蔵コレクションよりなる。 秋田出身で幕末から明治にかけて活躍した漢方の大家、 中野

辞典』(講談社)を参照した。 11 石里洞秀については、 福岡県立美術館HPの洞秀略歴・解説及び『日本人名大

絵巻の一部所収。 『秘蔵日本美術大観 12 ヨーロッパ蒐蔵 日本美術選』講談社,一九九四年刊

12

国文学研究資料館『チェスタービーティライブラリィ絵巻解題目録 図録篇

中で「桃太郎の熱心な研究家中田豊氏は室町時代に狩野元信の書いた古法眼元信圖昔 勉誠出版,二〇〇二年三月刊 井乃香樹『記紀の神話と桃太郎』建設社出版部, 昭和一六 (一九四一) 年刊の

噺桃太郎繪巻の扮本を發見して入手せられた由、これこそは記録せられた桃太郎とし て最も古い物であらう」と触れている。

拙稿「翻刻『新版/繪入/桃太郎物語』」『読本研究』第7輯下套,平成五(一

九九三)年九月刊



図 1 従者との出会い 兵庫県立歴史博物館蔵 写真提供:兵庫県立歴史博物館



従者との出会い 桃太郎資料館蔵 写真提供:大久保和彦氏

〈参考文献〉

〇三) 年三月 武田恒夫『狩野派絵画史』吉川弘文館,平成七(一九九五)年刊 太田昌子「桃太郎のイメージ」『文化史の構想』吉川弘文館,平成一五 『桃太郎像の変容』東京書籍, 昭和五六(一九八一)年刊



図3 鬼ヶ島へ向かう桃太郎一行 桃太郎神社蔵 a 写真提供:大久保和彦氏



図4 鬼の王が降参し、桃太郎に宝を献上する場面 桃太郎神社蔵 a 写真提供:大久保和彦氏

桃太郎絵巻一覧

表1

凡 例

: 制作年が明らかなものを基準に古いものから並べた。

ある。 A

なお、絵師がわかっている場合は、その没年によって制作年を類推して並べている。題目は外題があるものについては「」でそれを記載し、他のもの

また同じグループ内でも酷似しているものは、さらに番号で区別した。それにより、年代が下るものでも上の方に並んでいることが

さらに絵の構成などから類似性が高いと判断した絵巻同士については一つのグループとして括

ABなどと示した。

との区別化を図った。

this you							2018.1.20現在		
整理 番号	系紛	題目	年号	絵師	巻数	所蔵	大きさ等	詞書	出生
_1		桃太郎絵巻	享保20 1735	不明	不明	堀野文禄 (京の藁兵衛)	不明	不明	
2	Α	「桃太郎一代記」	宝暦頃 1751-1763	英 一蝶	不明	不明	不明	不明	不明
3	Α	「桃源遺事」	-安永7 -1778	英 一川画 (-1778)	1巻	桃太郎神社 a	290×17860mm	×	回春
4	1	桃太郎絵巻	江戸中期	不明		大寿苑(高松)	六曲一双屏風仕立て。1曲3場 面、36場面。	×	回春
5	A	「桃太郎絵巻」	寛政7 1795	(英一蝶画) 龍雲斎写	1軸	立教大学図書館	表紙後補、無文紺色、表紙縦 24.8cm横23.0cm、料紙楮紙、淡 彩、43紙貼り継ぐ。全長 1287.7cm 16場面 紙本1巻淡彩	×	回春
	2		天明期か	÷#.0/1700 1004 \			1巻16図 29×1360cm	×	回春
<u>6</u> 7		桃太郎絵巻 桃太郎絵巻	-1804 江戸後期 -1797	高嵩谷(1730-1804) 洞春美信(1747- 1797)か 「洞春美傳画」	1巻	公文教育研究所 内藤くすり博物館①	<u>紙本着色</u> 冒頭欠	×	回春
	Α		文化11					×	回春
8	3	桃太郎絵巻	1815 江戸後期	高嵩渓(1760-1817)	1巻 上下2	高松市歴史資料館 リンデン民族学博物館(ド	305×21110mm 紙本着色 巻子	×	(回春)
9		桃太郎絵巻	-1893	不明	巻	イツ)	上29.8×950.8cm 紙本淡彩画·巻子1軸·27.5cm×	^	(四省)
10	В	「武清筆絵巻」	文化文政写か 1804-1829	伝喜多武清筆 写本 (1776-1856安政3没)	1巻	チェスター・ビーティ・ライ ブラリー (アイルランド)	68.7cm/表紙 27.9×45.2 全長 316.4cm表紙絹、浅葱、無文。楮 紙。 全10図(冒頭欠) 紙本淡彩	×	回春
11		「桃太郎絵巻 栄川画」	寛政2画1790 天保8写1837	狩野典信画 狩野勝川模写	1軸	東京国立博物館蔵 B	27.3×772.7cm 全10図 款記(写し)	×	回春
12	C 1	「昔噺シ桃太郎絵巻」	室町-江戸初期か	狩野元信か(1476- 1559)	1巻	兵庫県立歴史博物館	一巻 紙本着彩 巻子装 縦26.4cm×横1600.9cm 全48紙 総 絵14段 印記「□□□水(朱文円印)」(紙 総面所)	×	回春
13		桃太郎絵巻	江戸後期	不明	2巻	桃太郎資料館(小久保桃 江旧蔵)	紙本着彩 上 27×7220 21面	0	回春
14	С	桃太郎絵巻	江戸後期	不明	1巻	内藤記念くすり博物館②		×	回春
15	2	「昔物語桃太郎一代記」	江戸後期	不明	2巻	個人	上 30cm×900.5cm 下 未詳 箱書あり	0	回春
16	D	桃太郎絵巻	江戸中期	不明	上下2 巻	岡山県立美術館	上巻:26.8×969.2 下巻:26.8× 978.1, 紙本着色	×	回春
17	_	桃太郎絵巻	-天保頃 1831-1845	默庵筆	1巻	岡山シティミュージアム	307mm(軸は336mm)× 10910mm	0	回春
18		「絵巻/桃太郎物語」	江戸後期	不明	2巻	不明	紙本彩色30×1420cm 箱に墨書きあり 上300×8550mm+	0	回春
19	D2	「桃太郎絵詞」	文化4 1808	円洲 円得写 手柄岡持 賛評	上下2 巻	不明	下300×1350mm 上10図、下9図	不明	回春か
20	D	「桃太郎ものかたり絵巻」	江戸中期 -1827 /明治 写	洞秀美之筆(1756- 1827)	1巻	東京国立博物館 A	巻中 42.3×769.5cm .天地 41.2cm 紙本着色	×	果生
	3		文政頃か		上中下		上 28.2×450cm 中 28.2×450cm 下 28.2×460cm	×	果生
21	D	「桃太郎画伝絵巻」	1818-1831 享和-文政	<u>狩野探玄画</u>	3巻 上下2	国立歴史民俗博物館 ニューヨーク市立図書館, スペンサー・コレクション	紙本着色 紙本淡彩 上10図 下8図 上31.9×893.7cm 下31.9×933cm	×	果生
22		桃太郎絵巻	11(-1828)	狩野伊川院栄信画	巻 下の		1-01.3 × 0000m		(m ()
23		「昔語桃太郎圖會」	江戸後期 1800年画か 安政6 写	不明	み	遠野市立博物館		×	果生
24	D 5	桃太郎絵巻	1859	渡辺尚輝模写	1巻	廣栄堂 ジェノヴァ東洋美術館(キ	27cm×約1000m 紙本淡彩 巻子(全1巻)		
25		桃太郎絵巻	元治元 1864	樋口探月	1巻	ヨッソーネ東洋美術館)(イタリア)	15.5 × 916.0cm	0	果生
26		(御巻噺桃太郎)	寛政6 1794	不明	1軸	桃太郎神社 b	不明	×	不明
27		桃太郎絵巻	江戸中期 (-1823)	大田南畝 模本	不明	不明	不明	0	回春
28		桃太郎絵巻	安政元 1855	冷泉為恭筆	1巻	藤澤衛彦旧蔵か	不明	不明	回春
29		「桃太郎絵巻下絵」	江戸末期 1831-1889	河鍋暁斎画	1巻	河鍋暁斎記念美術館	紙本淡彩 320×8238mm	×	果生
			江戸後期-明				黄土色繍表紙,縦11.1cm,	0	果生
30		「日本一の物語」	治 明治	不明	1巻	慶応大国文学研究室		不明	不明
31		「椿岳桃太郎鬼退治絵巻」	-1889 明治-大正か	淡島椿岳(-1889)	1巻	不明	4000cm余り	不明	
32		桃太郎絵巻	-1926 江戸後期	淡島寒月画	不明	不明	不明		
33		桃太郎絵巻	明治	不明	1巻	個人	小品絵巻	× x n	果生果生
34		桃太郎絵巻		不明	1巻	個人	色紙を継いだ体裁	不明	米生

(平成三十年一月十二日 受理)

平成29年度 教員教育研究業績

1. 研究論文・著作物(著書・翻訳書等)

一般教育科

- (1) Ayaka Takamoto, Mitsuo Yoshida, Kyoji Umemura, **Yuko Ichikawa**: Computing Information Quantity as Similarity Measure for Music Classification Task.
 - The 2017 International Conference On Advanced Informatics: Concepts, Theory And Application (ICAICTA2017). 2017
- (2) 高本綺架, 吉田光男, 梅村恭司, **市川祐子**: 「作曲者判定タスクのために分析すべき楽曲の長さ」, 研究報告音楽情報科学(MUS), 2017-MUS-116(19), 1-5(2017-08-17), 2188-8752
- (3) 河村豊, 多羅尾光徳, 池内了, 山崎正勝ほか(共著):『「軍学共同」と安倍政権』, 新日本出版社, 2017年6月27日
- (4) **河村豊**: 戦時下日本で科学者はどのように軍事研究に関わったか、シリーズ: 安全保障と天文学, 天文月報, 第111巻, pp. 202-211, 2018 年3月号
- (5) **樫村真由**: 工学専攻の学生の参加する海外インターンシップにおける英語を使用するタスクの調査の試行, 全国高等専門学校英語教育学会研究論集,第37号,全国高等専門学校英語教育学会,pp. 21-30,2018 年3月
- (6) 土屋結城、**樫村真由**、北和丈、伊澤高志、瀧口美佳、佐藤繭香 : コミュニケーション、経験、言葉一文学テクストとして読む大学入試センター試験、実践英文学、第70号、pp. 21-38、2018 年 3 月
- (7) **黒田一寿**, 松尾秀樹: 高専教育と障害者差別解消法-平成28年4月1日施行の法律がもつ意味-, 日本高専学会誌、 Vol. 22, No. 3, pp. 33-40, 2017年7月
- (8) **舩戸美智子**: 桃太郎絵巻から見えるもう一つの桃太郎像(上), 東京工業高等専門学校研究報告書, 第49号, pp. 58-67, 2018年3月
- (9) **井口雄紀、大塚友彦**: 社会人基礎力「前に踏み出す力」の主観的な評価手法に関する一考察、工学教育、Vol. 66, No. 2, pp. 54-57, 2018 年3日
- (10) **藤井俊介**: 車軸と車輪の間の動摩擦係数(減速係数)の測定 3 —反射型光センサ(フォトリフレクタ)による実装を目的とした装置開発—, 東京工業高等専門学校研究報告書, 第49号, pp. 1-5, 2018年3月
- (11) **鈴木慎也** : スリランカのヘレニズム・ローマ文化に関する考古学的研究, 東京工業高等専門学校研究報告書, 第49号, pp. 13 −18, 2018 年3月
- (12) **南出大樹**, 森田健: 統一試験から考察するミャンマーの数学教育, 独立行政法人日本学生支援機構日本語教育センター紀要(13), pp. 41-53, 2017
- (13) 藤間貴子, 石橋裕子, 上田直子, 田内郁子, 中前真紀子, 岸本素子, **南出大樹**: カリキュラム・教材開発報告 『留学生のための理科系専門 用語辞典[数学・物理・化学・生物] 日本語-英語-アラビア語 【改訂増補版】』作成報告, 独立行政法人日本学生支援機構日本語教育センター紀要 (13), pp. 60-68, 2017
- (14) **Hiroki Minamide**, Shintarou Yanagida, Kota Yoshioka : The Wall-Crossing Behavior for Bridgeland's Stability Conditions on Abelian and K3 Surfaces, Journal für die reine und angewandte Mathematik 735 (2018), pp. 1-108, Jan. 2018.
- (15) Hitoshi Yokomizo: A Study Note on William Faulkner's Sense of Place, 東京工業高等専門学校研究報告書, 第 49 号, pp. 6-12, 2018 年 3 月

機械工学科

- (1) **多羅尾進** 林丈晴, **大塚友彦** : 社会実装教育における枠組みの構築と実装活動の客観的・主観的評価手法の開発, 工学教育, Vol. 65, No. 4, pp. 29-34, 2017 年 7 月
- (2) 林丈晴, **多羅尾進**, 浅野敬一, 佐藤知正, 丹野浩一: 科学技術イノベーション教材 "社会実装イントロ講座" のカバレッジ分析とその評価, 工学教育, Vol. 66, No. 2, pp. 85-90, 2018 年 3 月
- (3) Hiromichi Nakadate, Kurtoglu Evrim, Masashi Koizumi, M., Hidenori Furukawa, Shigeru Aomura, **Akira Kakuta**: Micro groove structures for directional control of neuronal growth for DAI investigation, Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology, Vol. 4, No. 5 pp. 7304-7307, May. 2017
- (4) Shota Shirasaki, Hiromichi Nakadate, Shigeru Aomura, **Akira Kakuta**: Contribution of repetitive stretching to neurite injury in cortex primary neuronal cells, SB3C2017 Summer Biomechanics, Bioengineering & Biotransport Conference, Jun. 2017
- (5) Shota Shirasaki, Hiromichi Nakadate, Shigeru Aomura, **Akira Kakuta**: Development of axonal stretching device for in vitro repetitive mild traumatic brain injury model, XXVI Congress of the International Society of Biomechanics (the 9th Asian-Pacific Conference on Biomechanics), July. 2017

- (6) Hiromichi Nakadate, Kurtoglu Evrim, Hidenori Furukawa, Shoko Oikawa, **Akira Kakuta**, Yasuhiro Matsui : Strain—Rate Dependency of Axonal Tolerance for Uniaxial Stretching, 61st Stapp Car Crash Conference, Nov. 2017
- (7) **Akira Kakuta**, Shunsuke Kawakami: Autonomously Generating Nano-Micro Textured Ultra Flat Surfaces by Applying Molecular Beam Epitaxy, The 7th International Conference of Asian Society for Precision Engineering and Nanotechnology, Nov. 2017
- (8) Hiromichi Nakadate, Kurtoglu Evrim, Hidenori Furukawa, Shoko Oikawa, **Akira Kakuta**, Yasuhiro Matsui: Strain-rate dependency of axonal tolerance for uniaxial stretching Stapp Car Crash Journal, Vol. 61, pp. 53-65, Nov. 2017
- (9) 宮川睦巳, 吉田和将, **志村穣**, 中村一史: 疲労き裂先端の応力解析と圧電アクチュエータを用いた破壊制御実験, 日本交通科学学会誌, Vol. 17, No. 1, pp. 19-31, 2017
- (10) Toshinaka Shinbutsu, Shuichi Amano, Teruie Takemasu, Toshihiko Kuwabara, **Jyo Shimura**: Thread rolling and performance evaluations of a new anti-loosening double thread bolt combining a single thread and multiple threads, Procedia Engineering, Vol. 207, pp. 603-608, Sept. 2017
- (11) **志村穣** 田中孝明, **町田茂**, 吉長和男, 加藤仁士 : 産地の異なる木材の強度に関する研究 第1報, 遠赤外線低温乾燥木材の強度特性評価 , 材料技術, Vol. 35, No. 4, pp. 99-105, 2017
- (12) **志村穣** 池滝健一, 後藤隆生, 黒崎茂 : 熱負荷を受ける単純重ね合わせ接着継手の力学特性, 東京工業高等専門学校研究報告書, 第49 号, pp. 19-23, 2018 年 3 月
- (13) **堤博貴**、羽田千晶、小池大地 : 当たり面認識システムを有する自動きさげ盤の開発(第4報),精密工学会誌、Vol.83, No.5, pp.468-473, 2017年5月
- (14) Nuorn Choothong, Kenichiro Kosugi, **Yoshimasa Yamamoto**, Seiichi Kawahara: Characterization of brominated natural rubber by solution-state 2D NMR spectroscopy, Reactive & Functional Polymers (2017), 113, 6-12, Apr. 2017
- (15) Fumitoshi Noguchi, Yuanbing Zhou, Kenichiro Kosugi, **Yoshimasa Yamamoto**, Phan Trung Nghia, Masao Fukuda, Seiichi Kawahara: Effect of strain-induced crystallization on the tear strength of natural rubber/styrene butadiene rubber blend, Advances in Polymer Technology, in Press, Jun. 2017
- (16) **山本祥正**, 宇川仁太, 浅野敦志, 岩井智昭, 河原成元, 倉本直明, 篠原裕和, 尻池寛之, 新藤寛明, 竹中克彦, 富永洋一, 西谷要介, 平原英俊, 堀内健, 松浦亜衣, 渡辺訓江: カーボンブラック充塡加硫天然ゴム, イソプレンゴムおよび脱タンパク質化天然ゴムのフィラーの分散構造と物性, 日本ゴム協会誌, Vol. 90, pp. 470-474, 2017 年 10 月

電気工学科

- (1) **Hideki Ayano**, Kyota Asai, **Yoshihiro Matsui**: Alleviation Technique for Thermal Concentration on Specific Switching Devices in Zero-Speed Driving of PMSM, Wiley, Electrical Engineering in Japan (English translation of Denki Gakkai Ronbunshi), Vol. 200, pp. 23-32, July. 2017
- (2) **綾野秀樹**, 石川清太郎, **松井義弘**: 零相電圧を利用した零速度運転時のキャリア騒音拡散法, 電気学会論文誌 D, Vol. 137, No. 4, pp. 302-309, 2017 年 4 月
- (3) **Hideki Ayano**, Seitaro Ishikawa, **Yoshihiro Matsui**: Method for Diffusing Carrier Noise under Zero-Speed Condition using a Zero-Sequence Voltage, Electrical Engineering in Japan (English translation of Denki Gakkai Ronbunshi), Vol. 202, pp. 44-54, Feb. 2018
- (4) **綾野秀樹**, 嶋本椋太, **松井義弘**: 永久磁石モータの零速度駆動時の素子発熱集中緩和法に対するシミュレーション検証, 東京工業高等専門 学校研究報告書, 第49号, pp. 24-29, 2018 年 3 月
- (5) Hiroki Takamatsu, Masahito Niibe, XiaoLong Zhou, Keiji Komatsu, Hidetoshi Saitoh, Hiroki Akasaka, **Akihiro Saiga**, **Koji Tamada**, Masahito Tagawa, Kumiko Yokota, Yuichi Furuyama, Kazuhiro Kanda: Soft X-ray irradiation effect on the fluorinated DLC film Diamond & Related Materials, Vol.79, pp. 14-20, 2017
- (6) Kazuhiro Kanda, Hiroki Takamatsu, Eri Miura-Fujiwara, Hiroki Akasaka, **Akihiro Saiga**, and **Koji Tamada**: Erosion of fluorinated diamond-like carbon films by exposure to soft X-rays Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 57, pp. 045501-1 ~ 045501-4, 2018
- (7) **松井義弘 綾野秀樹**, 増田士朗, 中野和司 : FIR フィルタによる VRFT のためのプレフィルタの実現, 電気学会論文誌 C, Vol. 137, No. 7, pp. 884890, 2017 年 7 月
- (8) Shiro Masuda, Xianda Kong, Koki Udagata, **Yoshihiro Matsui**: Virtual Feedback Reference Tuning Using Closed Loop Step Response Data in Frequency Domain, ELECTRONICS AND COMMUNICATIONS IN JAPAN, Vol. 100, No. 10, pp. 24-31, Oct. 2017
- (9) 荒木望, 今井慎一, 大西義浩, 大森浩充, 金子修, 上泰, 木下拓矢, 小西克己, 佐藤孝雄, 高木太郎, 高橋将徳, 日高浩一, 逸見知弘, 増田 士朗, **松井義弘**, 水本郁朗, 矢納陽, 山本透, 弓場井一裕, 脇谷伸: データに基づく性能指向型制御システム設計, 電気学会技術報告, 1411 号, 2017 年 11 月
- (10) 伊藤浩: 窒素ドープした TiO2 系透明導電膜の評価,東京工業高等専門学校研究報告書,第49号,pp. 30-33,2018年3月
- (11) **Hiroyuki Nikkuni**, Masashi Ohkawa, Takashi Sato: Design guidelines for a guided—wave optical pressure sensor based on dependences of sensitivity and resonance frequency on diaphragm dimensions, Optical Engineering, Vol. 56(5), pp. 057108-1 ~ 057108-9, May. 2017

- (12) **新國広幸**, 伊藤浩: フォトリソグラフィを用いた MOEMS 技術の教材開発 第7報 専攻科特別実験への導入-, 東京工業高等専門学校研究報告書, 第49号, pp. 34-40, 2018 年 3 月
- (13) Masahiro Kobayashi, **Yuto Omae**, Kazuki Sakai, Akira Shionoya, Hirotaka Takahashi, Takuma Akiduki, Kazufumi Nakai, Nobuo Ezaki, Yoshihisa Sakurai, Chikara Miyaji: Swimming Motion Classification for Coaching System by using a Sensor Device, ICIC Express Letters, Part B Applications, Vol. 9, No. 3 pp. 209-217, 2018
- (14) Yuto Omae, Hirotaka Takahashi: Feature Selection Algorithm Considering Trial and Individual Differences for Machine Learning of Human Activity Recognition, Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, Vol. 21, No. 5, pp. 813—824, 2017
- (15) **Yuto Omae**, Yoshihisa Kon, Masahiro Kobayashi, Kazuki Sakai, Akira Shionoya, Hirotaka Takahashi, Takuma Akiduki, Kazufumi Nakai, Nobuo Ezaki, Yoshihisa Sakurai, Chikara Miyaji: Swimming Style Classification Based on Ensemble Learning and Adaptive Feature Value by Using Inertial Measurement Unit, Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, Vol. 21, No. 4, pp. 616-631, 2017
- (16) **Yuto Omae**, Tatsuro Furuya, Kazutaka Mizukoshi, Takayuki Oshima, Norihisa Sakakibara, Yoshiaki Mizucchi, Kazuhiro Yatsushiro, Hirotaka Takahashi: Machine Learning-Based Collaborative Learning Optimizer toward Intelligent CSCL System, 2017 IEEE/SICE International Symposium on System Integration, Paper WeC1.1, pp. 577-582, Dec. 2017
- (17) Kazutaka Mizukoshi, Tatsuro Furuya, Takayuki Oshima, Norihisa Sakakibara, Yoshiaki Mizuochi, **Yuto Omae**, Hirotaka Takahashi, Kazuhiro Yatsushiro, Performance Analysis of "edulog" System, 2017 IEEE/SICE International Symposium on System Integration, Paper WeC1. 2, pp. 583-588, Dec. 2017
- (18) **大前佑斗**, 吉野華恵, 三井貴子, 高橋弘毅, 山梨英和中学校・高等学校における課題研究のルーブリック評価, 山梨英和大学紀要, Vol. 15, pp. 23-30, 2017
- (19) 伊藤浩志、相原伸平、**大前佑斗**、宍戸英彦、田村尚之、スポーツデータの解析に適した数理アルゴリズムの検討、2016 年度国立スポーツ科学センター年報、pp. 41-42、2017 年 6 月
- (20) 伊藤浩志, 相原伸平, **大前佑斗**, 宍戸英彦, 深尾拓生, 松村真一, 松本実 : IT を活用したトレーニング支援システムの開発, 2016 年度国立スポーツ科学センター年報, pp. 49-50, 2017 年 6 月
- (21) 伊藤浩志、相原伸平、松村真一、澤田みのり、松本実、宍戸英彦、深尾拓生、**大前佑斗**、杉山恵令奈 : 競技会場でのサポートシステムの構築、2016 年度国立スポーツ科学センター年報、pp. 53-54、2017 年 6 月

電子工学科

- (1) 佐藤知正, 林丈晴, **大塚友彦**: 科学技術イノベーション実現のための社会実装教育~社会実装コンテスト~, 工学教育, Vol. 65, No. 4, pp. 3-9, 2017年7月
- (2) **Takahisa Ichinohe**: Silver oxide films fabricated by plasma assisted deposition, Vacuum and Surface Science, Vol. 61, No. 3, pp. 172-176, Mar. 2018
- (3) Ryo Sakuma, **Hyunho Kang**, Keiichi Iwamura, Isao Echizen: Digital Watermarking Scheme Based on Machine Learning for the IHC Evaluation Criteria, Smart Innovation, Systems and Technologies, Springer, Cham, Vol. 81, pp. 370-380, Aug. 2018
- (4) Masataka Ikeda, **Hyunho Kang**, Keiichi Iwamura: Direct Challenge Ring Oscillator PUF (DC-ROPUF) with Novel Response Selection, 2017 IEEE 6th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE), IEEE Xplore, pp. 1-2, Oct. 2017
- (5) Ahmad Akmal Aminuddin Mohd Kamal, Keiichi Iwamura, Hyunho Kang: Searchable Encryption of Image based on Secret Sharing Scheme, Proceedings of APSIPA (Asia-Pacific Signal and Information Processing Association) Annual Summit and Conference, pp. 1-9, Dec. 2017
- (6) Yufeng Yan, **Hyunho Kang**, Keiichi Iwamura, Isao Echizen: Efficient Image Watermarking Using the Difference Value of Two Wavelet Filters, RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing 2018 (NCSP2018), pp. 1-3, Mar. 2018
- (7) **Shinichiro Mito**, Yuki Yoshihara1, Hiroyuki Takagi, and Mitsuteru Inoue: Stress induced modulation of magnetic domain diffraction of single crystalline yttrium iron garnet, AIP Advances 8, 056439, Jan. 2018
- (8) **Toshitaka Yasuda**, Midori Fukiwake, Kenji Shimokasa, Yasuhiro Mine: Investigation of Food Characteristics Modulating Spoon Motions in Skilled Spoon Users to Propose a Control Target for the Active Self-feeding Spoon, Advanced Biomedical Engineering, Vol. 6, pp. 110-121, 2017

情報工学科

(1) Hiroshi Aoki, Takahiro Matsumoto, **Tetsuya Kojima**, Hideyuki Torii, Yuta Ida, Shinya Matsufuji : Study on Rotation Attack Tolerability of Digital Watermarking Based on Two-Dimensional Complementary Pairs, Proceedings of the 2017 International Workshop

- on Smart Info-Media Systems in Asia, pp. 238-243, Sept. 2017
- (2) Yuto Matsunaga, **Tetsuya Kojima**, Naofumi Aoki, Yoshinori Dobashi, Tsuyoshi Yamamoto: A Study on a Digital Watermarking Technique for Music Data Using Distortion Effect, Proceedings of the Eighth International Workshop on Signal Design and Its Applications in Communications, pp. 131–134, Sept. 2017
- (3) **Tetsuya Kojima**, Kakeru Kato: On the Host Signal Approximation for Image Data Hiding Scheme Based on Complete Complementary Codes, Proceedings of the Eighth International Workshop on Signal Design and Its Applications in Communications, pp. 135-139, Sept. 2017
- (4) Yuto Matsunaga, **Tetsuya Kojima**, Naofumi Aoki, Yoshinori Dobashi, Tsuyoshi Yamamoto: A Digital Watermarking Technique for Music Data Using Distortion Effect, Acoustical Science and Technology, Vol. 39, No. 1, pp. 37–39, Jan. 2018
- (5) **小嶋徹也**, 鎌田寛, Udaya Parampalli : 楽曲を用いた情報伝達システム Tone Code, 東京工業高等専門学校研究報告書, 第49号, pp.47-52, 2018年3月
- (6) **田中晶**、澁田叡知, 中新井田覚志, 新井将司, 三枝日奈子, 坂本亮, 佐々木貴啓, 佐藤恵介, 松村岳信, 溝畑祐太 : モーバイル広域マルチホップネットワークの一検討, 東京工業高等専門学校研究報告, 第49号, pp. 41-46, 2018年3月
- (7) **吉本定伸**: 安全教育支援システムの開発と小学校との連携による社会実装,工学教育, Vol. 65, No. 4, pp. 35-39, 2017 年7月
- (8) **Daisuke Kitakoshi**, Souta Noguchi, Kentarou Suzuki, **Masato Suzuki**: A Study on Fall-Prevention System for Older Adults with Communication Robot, Proceedings 2017 International Conference on Biometrics and Kansei Engineering, pp. 153-157, Sept. 2017
- (9) Daisuke Kitakoshi, Kazuki Yanagisawa, Masato Suzuki : Empirical Study of Student Evaluations of Research Activity Support System for Higher Education Students in Various Fields, Proceedings of the 2017 Conference on Technologies and Applications of Artificial Intelligence (TAAI2017), Dec. 2017
- (10) Toshiki Tomihira, **Akihiro Yamashita**, **Katsushi Matsubayashi**: Estimation of user attributes using LIWC and application to SNS, Proceedings of the First International Symposium on AI for ASEAN Development, Phuket(Thailand), 2018
- (11) Haruki Eguchi, Senri Yoshikawa, **Akihiro Yamashita**, **Daisuke Kitakoshi**, Yihsin Ho, Yasunari Hujimoto, Toru Yamaguchi, Tomomasa Sato: Analysis of pyroelectric sensor data installed in the homes of elderly individuals, Proceedings of the First International Symposium on AI for ASEAN Development, Phuket(Thailand), 2018
- (12) Senri Yoshikawa, Kazunori Takishima, Toshiki Tomihira, Yunosuke Sato, Akira Homma, **Akihiro Yamashita**, **Katsushi Matsubayashi**: Whitewater Slalom Pseudo Experience Device using 3-DOF Motion Base and VR Goggle, The 2017 Conf. on Technologies and Applications of Artificial Intelligence (TAAI 2017), Taipei (Taiwan), Dec. 2017
- (13) Akihiro Yamashita, Kei Sato, Syunta Sato, Katsushi Matsubayashi: Pedestrian Navigation System for Visually Impaired People Using HoloLens and RFID, The 2017 Conf. on Technologies and Applications of Artificial Intelligence (TAAI 2017), Taipei (Taiwan), Dec. 2017
- (14) Yuki Endo, Kei Sato, Akihiro Yamashita and Katsushi Matsubayashi: Indoor Positioning and Obstacle Detection for the Visually Impaired Navigation System based on LSD-SLAM, 2017 International Conf. on Biometrics and Kansei Engineering (ICBAKE2017), OS2-3, Kyoto (Japan), Sept. 2017

物質工学科

- (1) **石井宏幸**, 高井陽平, 西岡央成 : 層内圧力変動モデルによる気泡流動層の総時速の妥当性検証, 化学工学論文集, Vol. 43, No. 3, pp. 139-144, 2017 年 5 月
- (2) 武末早織, 橋本耕佑, 北折典之, 大西則彦 : ステンレススチールのレーザー加工および溶接により生じる変色部位の除去剤開発, Material Technology, Vol. 35, No. 3, pp. 70-76, 2017
- (3) 原島朋美, 武末早織, **北折典之**, 平宮健美 : 硝酸ナトリウムの添加による次亜塩素酸ナトリウムの安定性と殺菌力の向上, Material Technology, Vol. 35, No. 3, pp. 77-80, 2017
- (4) 前野夕紀, 武末早織、**北折典之**: 純水にクエン酸または界面活性剤を添加した溶液の SPE 電解によって作製されたオゾン水の特性, 日本防 菌防黴学会誌, Vol. 46, No. 2, pp. 51-55, 2018
- (5) **高橋三男**: 酸素が見える!楽しい理科授業 酸素センサ活用教本, 日刊工業新聞社, 2017年6月
- (6) **庄司良**, 岩田孝樹 : フミン酸の重金属吸着能力に与える共存イオンの影響, 東京工業高等専門学校研究報告, 第49号, pp. 53-57, 2018 年3月
- (7) Takuya Nozaki, **Ryo Shoji**, Yasukazu Kobayashi, Kazunori Sato: Feasibility of macroporous CeO2 photocatalysts for removal of lead ions from water, Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis, in press, 2018
- (8) 庄司良、牧野春香: 腐植の程度が異なる腐葉土由来の土壌フミン酸のカルシウム共存下の銅との吸着作用と 2, 4-ジクロロフェノキシ酢酸ジメチルアミンとの吸着作用の変化、化学工学論文集、Vol. 43、No. 5、pp. 1-9、2017 年 9 月
- (9) Yasukazu Kobayashi, Ryo Kanasaki, Takuya Nozaki, **Ryo Shoji**, Kazunori Sato : Improving Effect of MnO2 addition on TiO2-Photocatalytic Removal of Lead Ion from Water, Journal of Water and Environment Technology, Vol. 15, No. 2, pp. 35-42, Apr. 2017

- (10) Morihiro Saito, Shinpei Kosaka, Taichi Fujinami, Yusuke Tachikawa, **Hidenobu Shiroishi**, D. Streich, E. J. Berg, Petr Novák, Shiro Seki : A New Concept of an Air-Electrode Catalyst for Li₂O₂ Decomposition Using MnO₂ Nanosheets on Rechargeable Li-O-2 Batteries, Electrochimica Acta, Vol. 252, pp. 192-199, Oct. 2017
- (11) Naoki Matsuda, Tatsurou Nakashima, Hirotaka Okabe, Hiroshi Yamada, **Hidenobu Shiroishi**, Toshihiko Nagamura : Preparation of Au nano-particle dispersed water solution without surfactant for surface-enhanced Raman scattering platform, Molecular Crystals and Liquid Crystals, Vol. 653, pp. 137-143, 2017
- (12) Yuji Hirai, Koji Furukawa, He Sun, Yuta Matsushima, Keiji Shito, Akito Masuhara, Ryoma Ono, Yuma Shimbori, **Hidenobu Shiroishi**, Matthew Schuette White, Tsukasa Yoshida: Microwave—assisted hydrothermal synthesis of ZnO and Zn—terephthalate hybrid nanoparticles employing benzene dicarboxylic acids, Microsystem Technologies, pp. 1-10, 2017
- (13) Yuji Sasaki, Ryo Yoshimitsu, Syouhei Nishihama, Yuma Shimbori, **Hidenobu Shiroishi**: Solvent extraction of metal ions using a new extractant, biuret (C8), Separation Science and Technology, Vol.52, pp. 1186-1192, May. 2017

2. 学会における口頭発表

一般教教育科

- (1) **市川裕子**: e-ラーニング利用による数学教育の効果と課題 -確実に問題を解かせることを目指して一, 第99回全国算数・数学教育研究(和歌山)大会, わかやま県民文化会館, 2017年8月
- (2) **市川裕子**: STACK 利用の実践報告 2- コンテンツ作成における考察, 数学ソフトウェアとその効果的教育利用に関する研究, 京都大学数理解析研究所 共同研究, 2017 年 9 月
- (3) Ayaka Takamoto, Mitsuo Yoshida, Kyoji Umemura, **Yuko Ichikawa**: Computing Information Quantity as Similarity Measure for Music Classification Task, The 2017 International Conference On Advanced Informatics: Concepts, Theory And Application (ICAICTA2017).
- (4) 高本綺架, 吉田光男, 梅村恭司, **市川裕子**: 作曲者判定タスクのために分析すべき楽曲の長さ, 第116回音楽情報科学研究会(夏のシンポジウム), 2017
- (5) 奥本隼、吉田光男、梅村恭司、**市川裕子**: Response Collector: 反転授業のための学習ツール、第25回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ、2017
- (6) **河村豊**: 「戦時科学史と軍事研究促進の動きについての検討」シンポジウム「軍事研究と学術体制」, 日本科学史学会年会,香川大学, 2017 年6月3日
- (7) **河村豊**: 「島田・牛尾実験所跡地:歴史遺産としての価値を考える一調査の現状と展望ー」,静岡県島田市主催,社会教育講座「旧海軍 島田・ 牛尾実験所を語る」〜最新の研究成果から島田の科学遺産を考える〜, 島田市金谷公民館(みんくる), 2017 年 12 月 3 日
- (8) **河村豊**: 「科学技術政策の軍事化、軍民融合の動きに対抗する「軍民分離の科学技術政策」という考え方について」,日本科学者会議東京支部主催,第19回東京科学シンポジウム,【11】分科会名: 軍学共同への抵抗の現段階とこれから-日本学術会議の新声明を受けて一,2017年12月12日
- (9) **HORI Tomoko**, **YOSHIMOTO Sadanobu**, **KOJIMA Tetsuya**, NOGUCHI Judy: Acoustic Features of English Oral Presentations, The Japan Association for Language Education & Technology, The 57th National Conference, pp. 144–145, Aug. 2017
- (10) 赤塚麻里, **堀智子**, 遠山道子: 日本人英語学習者における英語イントネーションの発音指導の効果, 外国語教育メディア学会第57回全国研究大会発表予稿集, pp. 146-147, 2017 年8月
- (11) 杉浦香織、泉惠美子、里井久輝、平井愛、藤原由美、**堀智子**、藪内智: 日本人英語学習者の定型表現親密度別観点からの分析、全国英語教育学会島根研究大会、pp. 374-375、2017 年 8 月
- (12) **HORI Tomoko**: ALLEY Michael: Rethinking oral presentations for engineers in a global society, 2017 JSEE Annual Conference International Session Proceedings, pp. 61–64, Aug. 2017
- (13) **樫村真由**: 学専攻の学生が参加するインターンシップにおける英語で課されるタスクについて ~言語を介した作業に焦点を当てて~, 第 40 回全国高等専門学校英語教育学会, 2017 年 9 月
- (14) 北和丈, **樫村真由**, 伊澤高志, 佐藤繭香, 瀧口美佳, 土屋結城 : 大学入試センター試験が映し出す英語—電子コーパスとして読む英語問題, 第7回日本国債教養学会全国大会, p. 4, 2018 年 3 月
- (15) Yuki Tsuchiya, Kazutake Kita, Takashi Izawa and Mika Takiguchi, **Mayu Kashimura**, Mayuka Sato: Globalisation represented in English tests: a literary view of the Japanese national center test, English Scholars Beyond Boarders, the 5th Conference and Symposium, pp. 37–38
- (16) **黒田一寿** : 学生支援アーカイブの構築と ICT による共有, 日本学生相談学会第 35 回大会, 2017 年 5 月
- (17) 黒田一寿 : 高専における車いすを利用する学生の就学と課題, 全国高等教育障害学生支援協議会第3回大会, 2017年6月
- (18) 黒田一寿 : 共助・相互交流の仕掛けをもった健康に関する授業の展開,日本高専学会第23回年会講演会,2017年9月

- (19) 波止元仁: Relation between mixing properties and chaos in the sense of Devaney, 日本数学会, 2018年3月18日
- (20) **藤井俊介**: 動摩擦の測定2 一実装に向けてのいくつかの試作と摩擦の基礎実験装置として, 平成29 年度岩手県高等学校教育研究会理科部会物理部会総会並びに研究発表会及び講演会, 岩手県花巻市, 2017年11月
- (21) [Poster] Shunsuke Fujii and Akio Hosoya : "Informational theory of Relativity", Karl Schwarzschild meeting (Germany, Frankfurt), July. 2017
- (22) 藤井俊介、細谷暁夫 : "情報論的相対論の構築とその応用", 日本物理学会秋季大会, 宇都宮大学, 2017 年9月
- (23) **Shunsuke Fujii** and Akio Hosoya : "Informational Black hole", 特異点研究会, 大阪市立大学, 2017年12月
- (24) 鈴木慎也 : 小アジアのケルト人ーガラティア人の物質文化に関する一考察一, 第67回日本西洋史学大会, 一橋大学, pp. 27, 2017年5月
- (25) **横溝仁**: ウィリアム・フォークナーの "Pantaloon in Black" 再読 日本ウィリアム・フォークナー協会「第6回アメリカ南部文学読書会」、国分寺市南町センター、2017年9月23日

機械工学科

- (1) 神山昂大, **清水昭博**, **多羅尾進** : 回転翼を使わない浮遊ロボットの提案, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2017 (ROBOMECH2017)講演論文集, 資料番号 1P2-F01, 2017 年 5 月
- (2) **清水昭博**, 清水優史, 福島吉之助 : 円周方向溝付管内振動流による炭酸ガスの有効拡散係数に及ぼす溝内容積の影響, 日本機械学会第30回 バイオエンジニアリング講演会, 2017年12月
- (3) Naoaki Tsuda, **Susumu Tarao**, Yoshihiko Nomura, and Norihiko Kato: "Attending and Observing Robot for Crutch Users", Proc. of the Companion of the 2018 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI2018), pp. 259-260, Mar. 2018
- (4) 橋本健太, 奥薗郁仁, 出口潤郎, 林丈晴, 高橋良彦, **多羅尾進**, **綾野秀樹**: 乗りやすさを考慮した直立乗車式買い物用電動車の開発に関する研究, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2017 (ROBOMECH2017) 講演論文集, 資料番号 2A2-NO2, 2017 年 5 月
- (5) 柳沢拓哉, **多羅尾進**: インホイールモータを採用した中型サイズ自律移動ロボットの機構と制御, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2017 (ROBOMECH2017) 講演論文集, 資料番号 1P1-F07, 2017 年 5 月
- (6) 金子英路, **多羅尾進**, 中島俊英 : 全方向移動型マテリアルハンドリングロボットの機構と制御, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2017 (ROBOMECH2017) 講演論文集, 資料番号 2A1-E03, 2017 年 5 月
- (7) **多羅尾進** 藤原康宣, 津田尚明 : プロトタイピング協働ネットワークによる自律移動ロボットの開発, 日本ロボット学会第35回学術講演会予稿集, 資料番号 RSJ20173H1-01, 2017 年9月
- (8) 林丈晴, **多羅尾進**, 浅野敬一, 佐藤知正, 丹野浩一 : 社会実装教材 "社会実装イントロ講座"の科学技術イノベーションプロセス-段階 分析, 日本ロボット学会第35回学術講演会予稿集, 資料番号 RSJ20173H1-05, 2017 年9月
- (9) **多羅尾進** 柳沢拓哉, 伊藤善仁, 小知井秀馬, 萩原雅, Vo Van Nghia : インホイールモータからなる駆動ユニットを備えた自律移動ロボット高尾5号の走行制御, 第18回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(SI2017)論文集, pp. 1202-1203, 2017 年12月
- (10) **多羅尾進** 柳沢拓哉, 伊藤善仁, 小知井秀馬, 萩原雅, Vo Van Nghia : インホイールモータ駆動式自律移動ロボット高尾 5 号の走行用 地図作成, つくばチャレンジ 2017 シンポジウム参加レポート集, pp. 157-158, 2018 年 1 月
- (11) **多羅尾進**:機械工学分野における社会実装プロジェクトの取り組み手法に関する一考察,日本機械学会講演論文集(九州支部久留米講演会), No. 178-3, pp. 17-18, 2017 年 10 月
- (12) 井ノ口魁, **角田陽**, 舘野寿丈 : 紅色光合成細菌を用いた直接光合成型燃料電池の開発_微細形状付与電極による高性能化の検討_, 2017 年 度精密工学会秋季大会学術講演会, 2017 年 9 月
- (13) 中楯浩康, 白崎祥多, 青村茂, **角田陽**: 神経軸索の方向制御技術を応用した細胞引張実験, 2017 年度精密工学会秋季大会学術講演会, 2017 年9月
- (14) 中楯浩康, 白崎祥多, 青村茂, 及川昌子, **角田陽**, 松井靖浩 : 繰り返し衝撃ひずみ負荷による神経軸索の耐性評価, 日本機械学会バイオ エンジニアリング講演会, 2017 年 12 月
- (15) 井ノロ魁、 角田陽、 舘野寿丈 : 紅色光合成細菌を用いた直接光合成型燃料電池の開発 振動付加が微細形状付与電極の発電性能に及ぼす影響 2018 年度精密工学会春季大会学術講演会、2018 年 3 月
- (16) 内部銀二, **角田陽**, 林丈晴, 丸田陽 : 高分子材料を用いたマイクロ部品作製のための材料特性評価, 2018 年度精密工学会春季大会学術講演会, 2018 年 3 月
- (17) 渡部遥平, 後藤隆生, 大槻直也, **志村穣**: 波型重ね合わせ接着継手の熱応力解析に関する研究, 日本機械学会関東学生会第57回卒業研究発表講演会, 915, 2018年3月
- (18) 笹谷雄作, 黒﨑茂, 鈴木拓雄, **志村穣**: 応力拡大係数の解析用ひずみゲージの精度検証, 日本機械学会関東学生会第 57 回卒業研究発表 講演会, 1002, 2018 年 3 月
- (19) 柳田剛志, 田宮高信, 黒﨑茂, **志村穣**: UD-CFRP/Metal 二重重ね合わせ接着継手の引張せん断強度特性, 日本機械学会関東学生会第57回卒業研究発表講演会, 1005, 2018年3月
- (20) 佐藤瑞樹、 林丈晴、 黒崎茂、 **志村穣** : 応力聴診器と打撃加振を併用したボルト締結体の緩み検出に関する基礎研究、日本機械学会関東学生会第57回卒業研究発表講演会、1006、2018年3月

- (21) 芦原直也, 宮川睦巳, 黒﨑茂, **志村穣**: 擬似等方性 CFRP の積層構成が単純重ね合わせ接着継手の曲げ強度に及ぼす影響, 日本機械学会関東学生会第57回卒業研究発表講演会, 1012, 2018年3月
- (22) 芦原直也, **志村穣** 宮川睦巳, 黒﨑茂 : 被着体に擬似等方性 CFRP を用いた単純重ね合わせ接着継手の強度特性(曲げモーメントを受ける場合),日本機械学会関東支部・精密工学会共催 山梨講演会 2017, 104, pp. 7-8, 2017 年 10 月
- (23) 田村龍希, 宮川睦巳, **志村穣** 中村一史 : せん断変形を受ける部材のエネルギ吸収に関する有効性と形状保持を目的とした座屈解析, 日本機械学会 M&M2017 材料力学カンファレンス, PS25, 2017 年 10 月
- (24) 芦原直也, **志村穣** 宮川睦巳, 黒﨑茂 : 被着体に擬似等方性 CFRP を用いた単純重ね合わせ接着継手の曲げ強度特性, 日本機械学会 M&M2017 材料力学カンファレンス, 0S1404, 2017 年 10 月
- (25) Toshinaka Shinbutsu, Shuichi Amano, Teruie Takemasu, Toshihiko Kuwabara, **Jyo Shimura**: Thread rolling and performance evaluations of a new anti-loosening double thread bolt combining a single thread and multiple threads, International Conference on the Technology of Plasticity, Sept. 2017
- (26) 田村龍希, 宮川睦巳, 中村一史, **志村穣**: せん断非線形要素を用いたラーメン構造のせん断座屈解析, 日本機械学会 2017 年度年次大会, G0300604, 2017 年 9 月
- (27) 新仏利仲, 天野秀一, 竹増光家, **志村穣** 坂本誠 : 並目一条・並目多条二重ねじ機構に基づく新型緩み止めボルト締結体の開発,日本機械学会 2017 年度年次大会,S1130303, 2017 年 9 月
- (28) 新仏利仲, 天野秀一, 竹増光家, 桑原利彦, **志村穣**: 改良型並目一条・並目多条二重ねじ機構に基づく緩み止めボルト締結体の転造加工性および強度の改善, 日本塑性加工学会平成29年度塑性加工春季講演会, pp. 93-94, 2017年6月
- (29) 小野悠太, **志村穣** 田宮高信, 黒﨑茂 : 擬似等方性 CFRP/Metal 単純重ね合わせ接着継手の振動特性, 日本設計工学会 2017 年度春季大会 研究発表講演会, pp. 39-40, 2017 年 5 月
- (30) 伊原久美子, **志村穣** 宮川陸巳, 黒崎茂 : 波型重ね合わせ接着継手の圧縮せん断強度特性(被着体が異種材料の場合), 日本設計工学会 2017 年度春季大会研究発表講演会, pp. 43-44, 2017 年 5 月
- (31) 芦原直也, **志村穣** 鈴木拓雄, 黒﨑茂 : 擬似等方性 CFRP の積層構成が接着継手強度に及ぼす影響(曲げモーメントを受ける場合), 日本設計工学会 2017 年度春季大会研究発表講演会, pp. 45-46, 2017 年 5 月
- (32) 中村榛希, **志村穣** 宮川睦巳, 黒﨑茂 : バンド接着された波型重ね合わせ接着継手の引張せん断強度特性, 日本設計工学会 2017 年度春季大会研究発表講演会, pp. 47-48, 2017 年 5 月
- (33) 山本祥正, 居石一朗, 石井宏幸, 河原成元: 天然ゴム製品の溶出タンパク質量と窒素含有率, 日本ゴム協会 2017 年年次大会, C-13, 2017 年5月
- (34) **山本祥正**,河原成元 : 二酸化炭素存在下での水プロセスにおける陽極酸化反応による天然ゴムの臭素化,第66回高分子学会年次大会,3Pc019, 2017年5月
- (35) **山本祥正**, 工藤孝也, 河原成元 : 二酸化炭素存在下での水プロセスにおける電気分解による天然ゴムの臭素化,第 66 回高分子討論会, 1L20, 2017 年 9 月
- (36) Yoshimasa Yamamoto, Takaya Kudo, Seiichi Kawahara: Electrochemical Bromination of Natural Rubber in Latex Stage, The 3rd Asia Pacific Rubber Conference, RCM1, Nov. 2017
- (37) **山本祥正**, 工藤孝也, 河原成元 : ラテックスの状態での天然ゴムの電気化学的エポキシ化,第28回エラストマー討論会,D-13, 2017年 12月

電気工学科

- (1) **Hideki Ayano**, Shuta Oka, **Yoshihiro Matsui**: Verification of carrier noise diffusion technique using a zero-sequence voltage at zero-speed drive, IEEE Conference Proceedings, International Future Energy Electronics Conference and ECCE Asia (IFEEC 2017 ECCE Asia), pp. 1363-1368, 2017
- (2) **綾野秀樹**, **松井義弘**: 零相電圧を利用した零速度運転時の伝導ノイズ低減法に関するシミュレーション評価, 平成29年電気学会産業応用部門大会, 1-3, 2017年8月
- (3) 綾野秀樹. 松井義弘: PWM インバータの過変調領域における高調波抑制方法の検討, 平成30年電気学会全国大会, 4-117, 2018年3月
- (4) **松井義弘** 岡田裕司, **綾野秀樹**, 増田士朗, 中野和司 : データ駆動極配置法の積分器を持つ動的補償器調整への応用, 電気学会制御研究会資料, 2017 年 6 月
- (5) 松井義弘 荻原美樹 綾野秀樹 : データ駆動型極配置法の2慣性系の状態フィードバック制御ゲイン調整への応用、電気学会電子・情報・システム部門大会講演論文集、2017年9月
- (6) PARK Jongho, 増田士朗, **松井義弘**: 閉ループステップ応答データを用いた VRFT に基づく連続時間 I PD ゲイン調整, 電気学会電子・情報・システム部門大会講演論文集, 2017 年 9 月
- (7) 岡田裕司, 松井義弘, 綾野秀樹: 閉ループデータを用いた位置決め制御系の同定と制御器調整, 第60回自動制御連合講演会, 2017年11月
- (8) 松井義弘 安田航基, 綾野秀樹: 閉ループデータを用いた不安定系の同定と制御ゲイン調整, 第60回自動制御連合講演会, 2017年11月

- (9) Ryota Kajiwara, Shiro Masuda, **Yosihiro Matsui**: Pre-Filter Design for Non-Iterative Data-Driven Controller Parameters Tuning Using Closed-Loop Step Response Data, 2017 Asian Control Conference, Dec. 2017
- (10) 増田士朗、 松井義弘 : ループステップ応答データを用いたデータ駆動型制御器調整における規範モデルの設計法、電気学会制御研究会資料、2018年1月
- (11) 松井義弘、 綾野秀樹 : 外乱オブザーバの実装法について、電気気学会制御研究会資料、2018年1月
- (12) 松井義弘, 綾野秀樹, 増田士朗, 中野和司 : 雑音と外乱を考慮した位置決め制御系の閉ループ同定, 計測自動制御学会第5回制御部門 マルチシンポジウム, 2018 年3月
- (13) 梶原諒太, 増田士朗, 松井義弘: 操作量評価を考慮した閉ループステップ応答データを用いたデータ駆動型制御器調整における規範モデルの設計法,計測自動制御学会第5回制御部門マルチシンポジウム, 2018年3月
- (14) 松井義弘 綾野秀樹 : 負荷側のみのフィードバックによる2 慣性系の位置制御系の設計, 平成30年電気学会全国大会, 2018年3月
- (15) **伊藤浩**、 新國広幸 : TiN を用いた MEMS ガスセンサ用マイクロヒータの作製と評価、 第34回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム、01pm4-PS-108、2017 年 11 月
- (16) **新國広幸**, 伊藤浩: 円形ダイヤフラムを有するシリコン基板光導波型圧力センサ, 第34回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム, 01pm4-PS-152, 2017年11月
- (17) 新國広幸、 伊藤浩: 光導波路用 SiC 薄膜におけるアニール昇温時間と膜特性の関係、2018 年電子情報通信学会総合大会、2018 年 3 月 13 日
- (18) 森雅也、秋月拓磨、高橋弘毅、**大前佑斗**: 身体動作の異常値検知問題における CHI-FS 評価関数の信頼性の検証、情報処理学会第80回全国 大会、2018年3月
- (19) 森雅也, **大前佑斗**: 畳込みニューラルネットワークと慣性センサによる運動支援システムの構築, 情報処理学会第80回全国大会, 2018年3月
- (20) 古屋達朗, **大前佑斗**, 水越一貴, 榊原範久, 八代一浩, 水落芳明 : 同期型 CSCL システムを通した学習履歴の相互閲覧が学習のまとめレポートに与える効果に関する研究, 第16回臨床教科教育学セミナー, 2018年1月
- (21) 榊原範久, 大島崇行, 古屋達朗, 水落芳明, 八代一浩, 水越一貴, **大前佑斗**: 同期型 CSCL で学習状況を可視化したアクティブ・ラーニング における教師の言動の傾向性に関する研究, 第16回臨床教科教育学セミナー, 2018 年1月
- (22) 秋月拓磨,長澤潤,章忠,神尾郁好,高橋弘毅。**大前佑斗** : 装着型センサを用いたドライバ状態検出手法の検討,統数研・共同研究集会「複雑系の逆問題とその周辺(2)」, 2017年12月
- (23) 長澤潤, 秋月拓磨, 神尾郁好, 高橋弘毅, **大前佑斗**, 章忠: 生理・身体情報を用いたドライバ状態検出手法の検討, 第60回自動制御連合講演会(SuI1: 0S019: スキルアシスト&トレーニング), Sul1-1, 2017年11月
- (24) Masahiro Kobayashi, **Yuto Omae**, Hirotaka Takahashi : Swimming motion classification for swimming motion coaching system by using a sensor device, The 6th International GIGAKU Conference in Nagaoka, Oct. 2017
- (25) **大前佑斗**,小林幹京,酒井一樹,塩野谷明,高橋弘毅,宮地力,櫻井義久,中井一文,江崎修央,秋月拓磨:深層学習と慣性センサを活用した個別ストローク動作開始タイミングの推定手法,電子情報通信学会技術研究報告(パターン認識・メディア理解研究会),117(238),pp. 155-160,2017 年 10 月
- (26) **大前佑斗**, 古屋達朗, 水越一貴, 大島崇行, 榊原範久, 水落芳明, 八代一浩, 高橋弘毅 : 知能情報処理を活用した学び合い支援システム Collaborative Learning Optimizer の提案 -モデル構造と学習者の個性に関する検討-, 電子情報通信学会技術研究報告 (パターン認識・メディア理解研究会), 117(238), pp. 193-198, 2017 年 10 月
- (27) 森 雅也, 秋月 拓磨, 高橋 弘毅, **大前 佑斗**: 身体動作の個人差に対してロバストな特徴量空間評価関数の提案, 電子情報通信学会技術研究報告(パターン認識・メディア理解研究会), 117(210), pp. 1-6, 2017 年 9 月
- (28) Masahiro Kobayashi, **Yuto Omae**, Kazuki Sakai, Akira Shionoya, Hirotaka Takahashi Takuma Akiduki, Kazufumi Nakai, Nobuo Ezaki, Yoshihisa Sakurai, Chikara Miyaji : "Swimming Motion Classification for Coaching System by Using a Sensor Device", The 12th International Conference on Innovative Computing, Information and Control (ICICIC2017), Aug. 2017

電子工学科

- (1) **青木宏之**, **永井翠**: 東京高専社会実装のものづくり, 難病・重度障害者支援福祉ものづくりミニシンポジウム, 社会福祉法人訪問の家共催, 立正大学, 2017年7月
- (2) 青木宏之: 社会実装プロジェクトと高専教育, 難病・重度障害者支援福祉ものづくりシンポジウム, 立正大学主催, 2017年12月
- (3) Ryo Ishikawa, **Tomohiko Ohtsuka**: Reliable Iris Feature Extraction by Local Thresholding with Optimum Block Size, Proceedings of 2017 IEEE International Conference on Biometrics and Kansei Engineering, pp. 60-63, Sept. 2017
- (4) 石川力, **大塚友彦**: 抽象化輪郭グラフ解析による虹彩検出のための瞳孔中心検出手法, 2018 年電子情報通信学会総合大会予稿集, pp. D-12-41, 2018 年 3 月
- (5) **大塚友彦**, 佐藤知正, 林丈晴 : 科学技術イノベーション教育としての社会実装コンテスト, 第35回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 3H2-01, 2017年9月
- (6) 大塚友彦 : 「やり抜くカ」の主観評価の有効性に関する考察、平成29年度工学・工業教育研究講演論文集、 pp. 108-109, 2017年8月

- (7) Katsuki Tozawa, Riki Ishikawa, **Tomohiko Ohtsuka**: Fast and Reliable Iris Detection by Boundary Tracing, Proceedings of Joint 17th World Congress of International Fuzzy Systems Association and 9th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems, pp. 1-4. Jun. 2017
- (8) 素村晃浩, 塚本貴広, **加藤格, 雑賀章浩**, 須田良幸: 抵抗変化型不揮発性メモリダイオードの低温形成技術, 第78回応用物理学会秋季学術講演会, 8p-PA1-9, 2017 年 9 月
- (9) 仲山広記, 塚本貴広, **加藤格**, **雑賀章浩**, 須田良幸 : CuNiSi 酸化物を用いた抵抗変化型不揮発性メモリ, 第78回応用物理学会秋季学 術講演会, 8p-PA1-10, 2017 年 9 月
- (10) **Hiroshi Nagayoshi**, Hirotomo Demura, and Alexander Ulyashin "Point Contact Formation Using Nanoparticle Dispersed SiO₂" Proceedings on 33nd European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, 700-702, Sept. 2017
- (11) **一戸隆久** : プラズマアシスト蒸着法による銀酸化物薄膜の形成, 第58回真空に関する連合講演会講演予稿集, 1P11, p. 47, 2017 年8月
- (12) **T. ICHINOHE**, H. SHIMIZU, T. SEKI, T. MORITOH and **H. OHNO**: Properties of TiO2 Films for Photo Sensors, 第27回日本 MRS 年次大会 Abstracts C-P6-011, 2017 年12 月
- (13) 佐久間稜 **姜玄浩**, 岩村惠市, 越前功 : 画像電子透かしに対する機械学習アルゴリズムの性能評価, コンピュータセキュリティシンポジウム 2017 (CSS2017), pp. 465-471, 2017 年 10 月
- (14) 野本和義, **姜玄浩**: 顔認証のなりすまし防止に関する研究, 電子情報通信学会 マルチメディア情報ハイディング・エンリッチメント研究会 (EMM), 2018 年 3 月
- (15) 田島リオ, **姜玄浩** : 加速度センサと機械学習による個人認証システムの研究, 電子情報通信学会 マルチメディア情報ハイディング・エンリッチメント研究会 (EMM), 2018 年 3 月
- (16) 竹内優哉, **姜玄浩** : ウェーブレット変換を用いた撮影カメラ識別, 電子情報通信学会 マルチメディア情報ハイディング・エンリッチメント研究会 (EMM), 2018 年 3 月
- (17) 永井翠: 社会実装教育に参加した学生の社会人基礎力, 第65回工学教育研究講演会, 2017年8月
- (18) 水落大生, **永井翠**: 咀嚼カウンタによる認知症予防デバイスの検討, 生体医工学シンポジウム, 2017年9月
- (19) 磯部魁、 永井翠 : 直感的な筋電義指における遅延時間の検討, 第27回ライフサポート学会フロンティア講演会, 2018年3月
- (20) **Shinichiro Mito**, Yuki Yoshihara1, Hiroyuki Takagi, and Mitsuteru Inoue: Stress induced modulation of magnetic domain diffraction of single crystalline yttrium iron garnet, 62nd Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials, Pittsburgh, PA, USA, Nov. 2017
- (21) 山田恭平, 水戸慎一郎 : 人との関係性に注目した空気環境可視化デバイスの開発, 第16回情報科学技術フォーラム、M-008, 2017年9月
- (22) 水戸慎一郎、山田恭平: ハードウェア開発能力に注目した IoT 教材の開発, 信学技報, IEICE HPB NO17, pp.6-8, 2017年6月
- (23) 伊藤誉敏、**水戸慎一郎**、菊地颯希: アルミニウム置換酸化亜鉛と磁性ガーネットの積層構造における磁気光学応答、信学技報、Vol. 117, No. 224, CPM2017-64, pp. 25-28, 2017 年 10 月
- (24) 小山 諒也, 水戸慎一郎: 屋内空調制御に向けた無線風速計の開発, 信学技報, IEICE HPB N018, pp. 6-8, 2018 年 2 月
- (25) 伊藤誉敏 **水戸慎一郎**: スパッタリング法による酸化亜鉛/磁性ガーネット積層構造における磁気光学応答, 信学技報, Vol. 117, No. 461, CPM2017-117, pp. 7-10, 2018 年 3 月
- (26) 志村開, 伊藤誉敏, 吉原優紀, **水戸慎一郎**: 逆磁歪効果と回転磁界により制御される磁気光学光偏向器の開発, 信学技報, Vol. 117, No. 461, CPM2017-127, pp. 43-48, 2018 年 3 月
- (27) 沖田涼、**水戸慎一郎**: RF マグネトロンスパッタ法による高濃度 Bi 置換 YIG 擬単結晶膜の作製と光偏向素子への応用、信学技報、Vol. 117, No. 461, CPM2017-129, pp. 53-56, 2018 年 3 月
- (28) 水戸慎一郎: IoT を活用した高速ものづくりプラットフォームの開発と応用, 平成 29 年度全国高専フォーラム, 2018 年 8 月

情報工学科

- (1) 鎌田寛, **小嶋徹也**: Tone Code の屋内伝送性能,電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 117, No. 201, EMM2017-52, pp. 75-79, 2017 年 9 月
- (2) 小嶋徹也: 有限体上のアダマール型行列に関する一考察,第40回情報理論とその応用シンポジウム,ポスターセッション,2017年11月
- (3) **Tetsuya Kojima**: Hadamard-type Matrices on Finite Fields and Their Applications, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 117, No. 394, IT2017-62, pp. 43-48, 2018 年 1 月
- (4) 佐田悠生, **小嶋徹也**: 音響データハイディングを用いた防災無線システムの改良, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 117, No. 476, EMM2017-88, pp. 55-60, 2018 年 3 月
- (5) 小牧瑛一, 鈴木将希, **鈴木雅人, 北越大輔, 西村亮, 高橋三男**: 視覚しょうがい者のための理科則的実験支援システムの開発, 第9回大学 コンソーシアム八王子学生研究発表会用紙集, pp. 158-159, 2017 年 12 月
- (6) **鈴木雅人、北越大輔**: 画像の微小スケール空間を活用した特徴点抽出に基づく手書き文字認識法に関する検討, 信学技報 IE2017-115, pp. 257-261, 2018 年 2 月
- (7) **田中晶**, 丸山充, 漆谷重雄 : 小規模無線メッシュネットワークと VPN による perceptual IoT 設計の一検討, 電子情報通信学会技術研究報告, NS2017-232, pp. 363-368, 2018 年 3 月

- (8) **田中晶**: マルチホップ通信システムを用いた再構成可能ネットワークコンピューティングの一検討, 2017 年電子情報通信学会ソサイエティ 大会(通信)講演論文集, B-5-35, 2017 年 9 月
- (9) 田中晶:モーバイルマルチホップメッシュネットワークの一検討. 2018 年電子情報通信学会総合大会講演論文集. B-5-55, 2018 年3月
- (10) 長田巧我, **吉本定伸**, 岩永景一郎, 土肥哲也 : 超低周波領域における窓振動を対象としたアクティブ制御の試み, 電子情報通信学会 2018 年総合大会講演論文集 A-5-4, 2018 年 3 月
- (11) 上倉颯太, **吉本定伸**, 金森克浩, 佐野将大 : タブレットPCによる複数の入力手法に対応した肢体不自由者の入力評価アプリケーション, 電子情報通信学会 2018 年総合大会講演論文集, H-4-5, 2018 年 3 月
- (12) 渥美亮祐, 丸龍之介, 三島成美, 福島シオン, 小久保奈緒美, **吉本定伸**: Android タブレット端末を用いた認知機能検査・トレーニング中の行動データ取得とフィードバック, 電子情報通信学会 2018 年総合大会講演論文集, H-4-13, 2018 年 3 月
- (13) 福島シオン、 小久保奈緒美、 渥美亮祐、 丸龍之介、 三島成美、 **吉本定伸** : Android タブレット端末を用いた認知機能検査・トレーニング中の脈波推定、電子情報通信学会 2018 年総合大会講演論文集、H-4-14、2018 年 3 月
- (14) 長田巧我, **吉本定伸**, 岩永景一郎, 土肥哲也: 超低周波音を対象にしたアクティブ制御システムの試作ー模擬家屋における窓振動と室内音の制御一, 日本音響学会, 2017 年 12 月騒音・振動研究会, 2017 年 12 月
- (15) 石川将吾, **吉本定伸**: Android タブレット端末を利用した小学校安全マップ活動支援アプリケーションの改良-操作性の向上を目指して-,教育システム情報学会,2017 年度第4回研究報告,pp. 23-26,2017 年12 月
- (16) 三島成美, 丸龍之介, 渥美亮介, 福島シオン, 小久保奈緒美, **吉本定伸**: 認知症の評価及び維持・促進を目的とした Android アプリケーションの開発 -UI/UX の検討と実装-, 教育システム情報学会, 2017 年度第 4 回研究報告, pp. 27-30, 2017 年 12 月
- (17) 丸龍之介、 三島成美、 渥美亮介、 福島シオン、 小久保奈緒美、 **吉本定伸** : 認知機能の評価及び維持・促進を目的とした Android アプリケーションの開発 レーニングモード機能の拡充-、教育システム情報学会、2017 年度第4回研究報告、pp. 53-56, 2017 年 12 月
- (18) Ng Xin Shien, **吉本定伸**, 谷本式慶 : 肢体不自由者のための Kinect V2 センサーを用いた腕トレーニングシステムの改良, 教育システム 情報学会, 2017 年度第4回研究報告, pp. 61-64, 2017 年 12 月
- (19) 上倉颯太, **吉本定伸**, 金森克浩, 佐野将大: 複数の入力手法に対応した特別支援教育における入力評価アプリケーションの開発, 教育システム情報学会, 2017 年度第4回研究報告, pp. 65-68, 2017 年 12 月
- (20) 青木塁, **北越大輔**, 鈴木健太郎, **鈴木雅人**: ロボットを用いた対戦型ゲームにもとづく転倒予防システムの開発 ―システムの紹介とこれまでの成果―, 第27回日本保健科学学会学術集会, 2017年9月
- (21) 鈴木健太郎, **北越大輔**, 清水俊平, **鈴木雅人**: タブレット端末を用いた認知訓練システムの考案 —ゲームの紹介とアンケートの回答から—, 第27回日本保健科学学会学術集会, 2017年9月
- (22) 鈴木健太郎, **北越大輔**, 青木塁, 野口颯太, **鈴木雅人**: 転倒予防へのロボットを用いたゲームの活用 —考案ゲームと印象評価—, 第14回 東京都作業療法学会, 2017年6月
- (23) 松林圭, **山下晃弘**, 中村拓哉, 吉田優之, 川村秀憲 : 蓄積情報からの特徴語抽出に基づく自動要約・提示システムに関する研究, 5P-01, 情報処理学会第80回全国大会, 東京, 2018年3月
- (24) 佐藤佳、 佐藤俊太、 **山下晃弘、 松林勝志** : 視覚障がい者ナビゲーションのための HoloLens を用いた環境認識と障害物回避、5R-06、情報 処理学会第80回全国大会、東京、2018年3月
- (25) 浅妻佑弥, 山下晃弘, 松林勝志: SNS 上への発言の特徴分析に基づくユーザの属性推定, 1T-03, 情報処理学会第80回全国大会, 東京, 2018年3月
- (26) 冨平準喜, **山下晃弘**. **松林勝志**: LIWC を用いたユーザー属性推定手法の検討と SNS データへの応用, 1T-02, 情報処理学会第80回全国大会, 東京, 2018年3月
- (27) 今野陽子, **山下晃弘**, 松林圭, 松原良和, 鈴木恵二, 川村秀憲, 井上祐寛: 特定の話題に関する対話エージェントの実現に向けた特徴語と状態に基づく応答法, 201-2, 第31回人工知能学会全国大会, 名古屋, 2017年5月
- (28) 石田岳志, 山下晃弘, 松林勝志: PCANet のアンサンブル学習への適用, 1K1-5, 第31回人工知能学会全国大会, 名古屋, 2017年5月
- (29) **西村亮**, 竹岡久慈 : 若手技術者の学び直しのための MOOC 教材開発一電気回路教材の開発一, 日本工学教育協会平成 29 年度工学教育研究講演会講演論文集, pp. 436-437, 2017 年 8 月
- (30) **坂井良広**: The Acoustic Echo Cancellation Using Blind Source Separation to Improve Echo Reduction Stability, 電気学会システム研究会、ST-17-028、2017 年 9 月
- (31) **坂井良広** : ブラインド信号分離を用いたエコーキャンセラの新構成, 電気学会システム研究会, ST-18-002, 2018 年 1 月

物質工学科

- (1) 堀内夏樹, 佐藤優光, **石井宏幸**: ベンチュリーノズル式マイクロバブル発生装置のスケールアップ, 2017 年度材料技術研究討論会講演要旨集, 2017 年 12 月
- (2) 森本喬介, 小泉玲央, **石井宏幸**: 小型気泡流動層内の圧力変動測定における限界と流動化状態の相似性, 第23回流動化・粒子プロセッシングシンポジウム, 2017 年12 月
- (3) 武末早織, 篠崎昌樹, 北折典之: 気相法による針状酸化亜鉛結晶の生成, 材料技術研究協会討論会講演要旨集, 2017年12月

- (4) 田辺玲太, **北折典之**, 中島俊英 : ガラス粒子とエポキシ樹脂からなる複合材料の検討, 材料技術研究協会討論会講演要旨集, 2017年12月
- (5) 前野夕紀, **北折典之**, 竹越洋介, 大竹駿, **伊藤未希雄**: 過酸化水素水を利用した木綿生地の漂白, 材料技術研究協会討論会講演要旨集, 2017年12月
- (6) 原島朋美、**北折典之**、平宮健美 : たばこの煙とにおい除去装置の開発、材料技術研究協会討論会講演要旨集、2017年12月
- (7) **高橋三男, 小坂敏文**, 羽田宜弘, 川島徳道, 後藤顕一, 松原静郎 : 視覚障碍者における音声化と触知化による理科教材開発, 日本理科教育学会北海道支部大会研究発表要旨集, 2017 年 10 月
- (8) **Ken-ichi Tsuchiya** : "Progress of density functional methods in LENR and their problems", JCF18 ABSTRUCT, JCF18_08
- (9) 細田凌 松村賢征 **中川修**: ポリメタクリル酸2-(エチルチオ)エチルの熱分解挙動の解析,第66回高分子学会年次大会,高分子学会予稿集 Vol. 66(1) 3Pb020, 2017 年5 月
- (10) 小泉淳史, 益子葵音, **伊藤篤子**: 甲殻類鰓脚綱アルテミア耐久卵形態形成過程におけるトロポミオシンアイソフォームの解析, 日本動物 学会関東支部第70回大会, 2018年3月
- (11) 小玉智恵、 飯田佑佳、 伊藤篤子 : 二枚貝類貝柱グリセリン筋の収縮性に関する報告、日本動物学会関東支部第70回大会、2018年3月
- (12) 伊藤篤子: 二枚貝類アカガイを用いた血球観察実験の構築と普及の試み, 日本生物教育学会第102回全国大会, 2018年1月
- (13) **伊藤篤子** : マガキ *Crassostrea gigas* を用いた初等・中等教育における初期発生観察実験の実践と普及, 日本動物学会第88回富山大会, 2017 年9 月
- (14) 八幡直樹, 伊藤篤子: アカガイ Scapharca broughtoniiにおけるトロポミオシンアイソフォームの解析, 日本動物学会第88回富山大会, 2017年9月
- (15) 伊藤篤子: アカガイ血球を用いた動物血球観察実験の実践と普及,日本理科教育学会第67回全国大会,2017年8月
- (16) 室賀拓也, 松下悠貴, 伊藤未希雄: 金単結晶上の自己組織化単分子膜の構造の面方位依存性, 第20回化学工学会学生発表会, 東京大会, 2018年3月
- (17) 中森省吾, 中村茜里, 一戸悠里, 金子嗣弘, **伊藤未希雄**: 金単結晶上の自己組織化単分子膜の構造の面方位依存性, 第20回化学工学会学 生発表会, 東京大会, 2018年3月
- (18) **庄司良**, 江野七海, 熊谷望美 : 炭酸ガスのばっ気によるクロレラ並びにアルテミアに対する銅の生態毒性の変化, 第23回日本環境毒性学会研究発表会, P-9, pp. 9, 2017 年 9 月
- (19) 佐野博昭、小竹望、桑嶋啓治、尾形公一郎、川原秀夫、**庄司良**、磯村尚子:沖縄地域の赤土等流出に係る農地から海域までの総合的環境保全・修復技術の開発、平成29 年度赤土等流出防止交流集会発表予稿集、pp. 16-21, 2017 年 9 月
- (20) 鈴木大介, **庄司良**: フミン酸の与える銅イオン生態毒性の緩和効果, 第9回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集, P027, pp. 244-245, 2017 年 12 月
- (21) 廣田季璃 **庄司良**: 再生石膏と土壌並びに混和物の溶出試験及びフッ素溶出量の評価, 第9回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集, P041, pp. 272-273, 2017 年 12 月
- (22) 望月優作, **庄司良**, 小林靖和, 佐藤一則, 山内紀子 : テンプレート法により作製した多孔質な Sn02/Ce02 光触媒を用いた排水中の重金属イオン処理, 第3回 北関東磐越地区化学技術フォーラム 講演要旨集, OP-01, 2017年12月
- (23) 岩田孝樹, **庄司良**: カルシウムイオンの影響によるフミン酸の重金属及び農薬の吸着性能の評価, 第3回 北関東磐越地区化学技術フォーラム 講演要旨集, PP-29, 2017年12月
- (24) 青山祐大,堀切文裕,**城石英伸**,齋藤守弘,桑野潤,田中優実 : Zn/Co 系 ZIF 固溶体を前駆体とする ORR 触媒の調製と活性評価,触媒討論 会討論会 A 予稿集、Vol. 120th,pp. 441 - 442, 2017 年 9 月
- (25) 安藤圭祐, 白石美佳, 白石理沙, 中川清晴, **城石英伸**, 安藤寿浩, 勝亦徹, 蒲生(西谷)美香 : Ni Zn 二元系触媒を用いたマリモカーボンの 合成に及ぼす Zn の添加効果, 表面技術協会講演大会講演要旨集, Vol. 136th, pp. 141 142, 2017 年 9 月
- (26) 刀川祐亮, 高坂晋平, 三上拳斗, **城石英伸**, 齋藤守弘 : ランタンマンガナイト空気極触媒におけるカーボン担体の酸化処理による効果とリチウム空気電池への応用, 電気化学秋季大会講演要旨集(CD ROM), Vol. 2017, (2J17), 2017 年 9 月
- (27) 松平雅道, 高坂晋平, 三上拳斗, **城石英伸**, 齋藤守弘 : 非水系Li 空気電池の正極反応に及ぼす MnO₂ナノシート/KB 複合触媒の効果, 電気化学秋季大会講演要旨集(CD ROM), Vol. 2017, (2J18), 20170828, 2017 年 9 月
- (28) 小野遼真、城石英伸、齋藤守弘、吉田司、宮澤薫一、田中優実 : "Fe/N/C 系非白金系酸素還元触媒調製時における亜鉛塩の添加効果"、電気 化学秋季大会講演要旨集(CD - ROM)、Vol. 2017、(1F10)、2017 年 9 月
- (29) 原田祐弥, **城石英伸**, 山田晋矢, 齋藤守弘 : Ir/MWCNT および Pt シェル Ir コア/MWCNT 上でのアンモニア酸化時に生成する窒素被毒種の脱離過程の解析, 電気化学秋季大会講演要旨集(CD ROM), Vol. 2017, (1F09), 2017 年 9 月
- (30) 城石英伸, 伊藤篤子, 庄司良, 髙橋三男, 中野雅之, 井手智仁, 金澤亮一, 石井宏幸, 雑賀章浩, 西村亮: "物質工学分野における多様な障害を持った学生に対応した早期技術者教育における実験実習教材の開発(1)", 電気化学秋季大会講演要旨集(CD ROM), Vol. 2017, (1F29), 20170828, 2017 年 9 月
- (31) 小笠原気八, **城石英伸**, 齋藤守弘, 田中優実 : "CsH₂PO₄-xPO₄ プロトン導電ガラスの合成と中温作動型燃料電池の無加湿発電", 第7回 CSJ 化学フェスタ 2017, (P6-022), 2017 年 10 月 17 日
- (32) 小笠原気八, 城石英伸, 齋藤守弘, 田中優実 : "リン酸水素セシウムをベースとしたプロトン伝導ガラスの合成と中温作動型燃料電池への応用", 平成29年度日本太陽エネルギー学会・日本風力エネルギー協会合同研究発表会(発表番号110), 2017年10月26日

- (33) 田中駿乃介, **城石英伸**, 平出有吾, 小野遼真 : "常温常圧下における電気化学的窒素還元触媒の探索(1)", 平成29 年度日本太陽エネルギー学会・日本風力エネルギー協会合同研究発表会(発表番号111), 2017年10月26日
- (34) 小野遼真、 城石英伸、 齋藤守弘、 吉田司、 宮澤薫一、 田中優実 : "固体高分子形燃料電池用 Fe/N/C 酸素還元触媒前駆体に添加した亜 鉛塩のカウンターアニオンの影響"、 第10回新電極触媒シンポジウム&宿泊セミナー(P-05)、2017 年10月27日
- (35) 原田祐弥, **城石英伸**, 山田晋矢, 齋藤守弘: "Ir/MICNT および Pt シェルーIr コア/MICNT 上でのアンモニア酸化時に生成する窒素被毒種のノーマルパルスボルタンメトリーによる解析", 第10回新電極触媒シンポジウム&宿泊セミナー(P-21), 2017 年10月27日
- (36) 原田祐弥, **城石英伸**, 齋藤守弘, 山田晋矢 : "Pt 族ナノ粒子上でのアンモニア酸化時に生成する窒素被毒種の脱離過程のノーマルパルスボルタンメトリーによる解析(1)", 電子情報通信学会 有機エレクトロニクス研究会, 発表番号 2, 2017 年 12 月 28 日
- (37) 小野遼真, 城石英伸, 齋藤守弘, 吉田司, 宮澤薫一, 田中優実 : "固体高分子型燃料電池カソード触媒としての Fe/N/C 型酸素還元触 媒前駆体に対する亜鉛塩の添加による影響", 電子情報通信学会 有機エレクトロニクス研究会, 発表番号 3, 2017 年 12 月 28 日
- (38) 山田碧悠, 飛田仰喜, 川口楓, **城石英伸**: "過酸化水素電解を用いた低コストヒドロキシ化法の開発", 第20回化学工学会学生大会(東京大会), E07, 東京理科大学(東京), 2018年3月3日
- (39) 川口楓, 飛田仰喜, 山田碧悠, **城石英伸**, 平岡紘次, 遠藤可菜枝, 桑折仁, 関志朗 : "三相界面を利用した低温常圧下における二酸化炭素電解還元触媒の開発", 第20回化学工学会学生大会(東京大会), E09, 東京理科大学(東京), 2018年3月3日
- (40) 志田敦 小笠原気八 **城石英伸**, 齋藤守弘, 田中優実 : "金属酸化物の添加によるプロトン伝導性リン酸塩ガラス電解質の耐水性の向上". 電気化学会第85回大会, 東京理科大学(東京), 2018年3月9日
- (41) 岩浪滉毅、 前文四郎、 **城石英伸** : " 半経験的分子軌道計算による電気化学的窒素還元触媒のスクリーニング"、電気化学会第85回大会、東京理科大学(東京)、2018年3月9日
- (42) 前文四郎, 田中駿乃介, 小笠原気八, **城石英伸**, 堀口元規, 刀川祐亮, 齋藤守弘, 平岡紘次, 遠藤可菜枝, 関志朗 : "W/Ruナノ粒 子担持カーボン触媒の調製", 電気化学会第85回大会, 東京理科大学(東京), 2018年3月9日
- (43) 小野遼真, 城石英伸, 笠原一生, 菅野康仁, 田中優実 : "ソルボサーマル法を用いたフッ化物処理によるFe/N/C系酸素還元触媒の高耐久化", 電気化学会第85回大会,東京理科大学(東京), 2018年3月9日
- (44) 原田祐弥 **城石英伸** 高橋圭太朗 関志朗 山田晋矢 齋藤守弘 : "Pt/C 上でのアンモニア酸化時に生成する窒素被毒種の脱離過程の解析", 電気化学会第85回大会,東京理科大学(東京), 2018 年3月9日
- (45) 山納真人,土戸良高,**井手智仁**,小坂田耕太郎 : Dynamic Behavior of a Molecular Bevel Gear with η²-Coordinated Ag(I) Ion, CEMSupra 2018, P-98, 2018 年 1 月
- (46) 今野龍刀、櫻沢裕平、佐野巧真、杉田諒、井手智仁 : 新規フェナジン系色素分子の合成、第20回化学工学会学生発表会(東京大会)、C20、2018年3月
- (47) 平山裕也, 井手智仁 : 水中溶存ホウ素の吸着除去, 日本化学会第98回春季年会, 2PA-205, 2018年3月
- (48) 昌原慎悟、**井手智仁** : 不均一系反応合成による発光性銅 (I) 錯体の合成、日本化学会第98回春季年会、2PA-205、2018年3月
- (49) 山田錦, **井手智仁**: 蛍光分子を取り込ませた金属有機構造体(MOF)を用いたガスセンサーの開発, 日本化学会第 98 回春季年会, 3PB-002, 2018 年 3 月
- (50) 山納真人、土戸良高、井手智仁、小坂田耕太郎 : 銀(I) 錯体形成による傘歯車型分子ギアの回転運動の制御、日本化学会第98回春季年会、 4F4-10、2018年3月

3. その他

(1) 学位取得·学会賞·論文賞

JAILA 第6回全国大会優秀発表賞

「大学入試センター試験を歴史化する—文学テクストとして読む英語長文問題」

(日本国際教養学会,2017年9月15日)・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・土屋結城、伊澤高志,**樫村真由**,北和丈,瀧口美佳

依頼講演 : 桃太郎絵巻が語るもの, 第15回桃太郎サミットin 東京

(日本桃太郎会連合会、於東京工業高等専門学校、2017年9月2日)・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・**舩戸美智子**

基調講演 : KOSEN 発"イノベーティブ・ジャパン"プロジェクトの成果と展開

「科学技術イノベーション実現のための社会実装教育」

招待講演 : - AL への戸惑いと悩みに対する解決策とは -

「知能情報処理を活用した学び合い支援システム」

(第2回高専 -技科大AL 研究集会、於木更津工業高等専門学校、2018年3月7日)・・・・・・・・・高橋弘毅、**大前佑斗** 情報処理学会第80回全国大会学生奨励賞

「身体動作の異常値検知問題における CHI-FS 評価関数の信頼性の検証」

(情報処理学会、2018年3月13日)・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・森雅也、秋月拓磨、高橋弘毅、**大前佑斗**(指導教員)

高専ワイヤレス IoT コンテスト採択	
「無給電・非侵襲・ワイヤレス電力センサを用いた中小企業の働き方改革」	
(総務省,2017 年 10 月 12 日)・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・山田恭平, 水戸慎一郎 (指導教員	į)
平成29年度社会実装教育フォーラム社会実装大賞	
「無給電電力センサを用いた操業監視と省エネ対策」	
(東京工業高等専門学校、2018年3月3日)・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・山田恭平、 水戸慎一郎 (指導教員	∄)
招待講演 : Spread-Spectrum Based Data Hiding Schemes and Beyond, Conferences of Communications Sensing and Coding	-/
(The University of Melbourne, Australia, 2017年11月24日)・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ Tetsuya Kojir	ma
情報処理学会優秀教育賞受賞	ша
「ITコンテストを通じた情報教育と組み込みシステム開発マイスターの取り組み」	
(情報処理学会, 2017年6月2日)・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 松林勝志	•
第7回「ものづくり日本大賞」(内閣総理大臣賞)受賞	
「ものづくりの将来を担う高度な技術・技能」分野「青少年部門(大学・高等専門学校・専門学校クラス)」	
「リアルタイムに選手とシンクロするスポーツ観戦システム」全国高等専門学校第27回プログラミングコンテスト(課題部門)	
平成28年度最優秀賞(文部科学大臣賞)受賞	
(首相官邸, 2018年1月22日)	
・・・・・・・・・・・・・富平準喜,吉川千里,瀧島和則,小牧瑛一,丸龍之介, 松林勝志 (指導教員), 山下晃弘 (指導教員	1)
情報処理学会 CDS トランザクション論文賞受賞	
「UHF 帯 RFID を用いた視覚障がい者向け歩行者ナビゲーションシステムの開発と展示会への適用」	
情報処理学会 CDS トランザクション、Vol.7、No.1、pp.34-43	
(情報処理学会,2018 年 3 月 13 日)・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	志
平成 29 年度化学教育賞受賞	
「手作り酸素センサを用いた創造的化学教育への開拓」	
(日本化学会,2018 年 3 月 21 日)・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 高橋三男	,
日本化学会記者会見 : ハイライトプレゼンテーションに選出	
「視覚障碍者の測定実験を支援するための教材開発」	
(化学会館、2018 年 3 月 8 日)・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	丑
(16 1 ZAE, 2010 — 0710 E7	•
(2) 科 学研究費補助金(研究実績報告書・研究成果報告書等)	
社会実装能力涵養のためのコンテスト教育有効性の分析解明とその効果向上研究	
研究実績報告書 基盤研究 (B) 17H01987 (2017 年度~2019 年度)・・・・・・・・・・・・・・新 保幸一,大塚友彦 , 多羅月	弘
自閉症スペクトラムの特徴に対する当事者と周囲の理解ーその質を高める実践研究ー	3.JE
研究実績報告書 基盤研究 (C) 16K04858 (2016 年度~2018 年度)・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	_
	"对
<考える哲学・倫理学の授業>の実質化のための研究	
研究実績報告書 若手研究 (B) 16K21571 (2016 年度~2020 年度)・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	之
社会実装指向型ロボット教育手法の深化および機械工学分野における実践的高度化の試み	
研究実績報告書 基盤研究 (C) 16K00984 (2016 年度~2018 年度)・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	進
雰囲気制御分子線エピタキシャル結晶成長による規則的マイクロテクスチャの自律的創成	
研究実績報告書 基盤研究 (C) 16K06031 (2016 年度~2018 年度)・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	3陽
老朽化社会インフラのための応力聴診器を用いた欠陥及びボルト締結緩み検出技術の研究	
研究実績報告書 基盤研究 (C) 16K01301 (2016 年度~2018 年度)・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	穰
零相電圧の積極活用手法による電動機駆動用電力変換器の素子発熱低減技術に関する研究	
研究実績報告書 基盤研究 (C) 17K06328 (2017 年度~2019 年度)・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	\$樹
ディープラーニングを活用した単一の慣性センサによる競泳パフォーマンス定量化手法	
研究実績報告書 若手研究 (B) 17K13179 (2017 年度~2018 年度)・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 大前 依	≒≊L
知識・スキル・マインドの涵養により学生が主体的に取り組む人間中心デザイン教育	4
	÷
研究実績報告書 基盤研究 (C) 16K01096 (2016 年度~2018 年度)・・大塚友彦、木村知彦、田中晶、金澤亮一、永井翠、西村	兀
握る強弱による動作をイメージ時の脳波と筋電位による手指の義肢製作	Lor
研究実績報告書 若手研究 (B) 16K21570 (2016 年度~2017 年度)・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	- ×
高速磁区制御機能を持つ光人工磁気格子の形成と固体光偏向素子への応用	_
研究宝结報告書 芸毛研究(R)16K21569 (2016 年度~2018 年度)・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	_自化

映像への情報ハイディング技術に基づく効果的なMOOCs利用能動学習システムの開発
研究実績報告書 基盤研究 (C) 15K01109 (2015 年度~2017 年度)・・・・・・・・・・・・・・・・小嶋徹也, 田中晶, 土居信数, 市川裕子
視覚障害者と健常者が共に快適でバリアフリーなオフィス環境を構築するシステムの開発
研究実績報告書 挑戦的萌芽研究 16K12967 (2016 年度~2018 年度)・・・・・・・・・・・・・・・・ 松林勝志 、山下晃弘
ノウハウモデルを用いた知識の共有と活用・発見・創造にもとづく研究活動支援システム
研究実績報告書 基盤研究 (C) 26330415 (2014 年度~2017 年度)・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
SNS 利用におけるプライバシー保護を目的とした個人プロファイル分析手法の開発
研究実績報告書 若手研究 (B) 15K16092 (2015 年度~2017 年度)・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 山下晃弘
多様な障害を持った学生に対応した早期技術者教育における実験実習教材の開発
研究実績報告書 基盤研究 (C) 17K00995 (2017 年度~2019 年度)
・・・・・・・・・西村亮、高橋三男、大塚友彦、清水昭博、松井義弘、一戸隆久、城石英伸
視覚障害者の理科教育支援のための教材開発と展開研究
研究実績報告書 基盤研究(C) 15K01001 (2015 年度~2017 年度)・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 高橋三男
初中等教育現場で実践可能な海産無脊椎動物を用いた実験教材の開発と普及
研究実績報告書 基盤研究 (C) 16K01046 (2016 年度~2018 年度)・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
窒素循環型システムのための中低温作動型窒素還元およびアンモニア酸化触媒の開発
研究実績報告書 基盤研究 (C) 17K06871 (2017 年度~2019 年度) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
(3) 特許等
(0) 1981 4
計測装置用の電子回路、計測装置および計測方法,特許第6278377号,2018年1月26日
・・・・・・・・・ 水戸慎一郎 ,山田恭平
(4) 解説・研究ノート,エッセイ等
戦時科学史研究の到達点と解決すべき課題
(小特集 日本戦時科学史と現代, 科学史研究, 56(282), pp. 154-158, 2017 年 7 月)・・・・・・・・・・・・・・ 河村豊
身近な材料を使い、ゼロから始めるものづくり スチロール容器で風力発電機を作る!(おもしろイベント報告②)
(日本機械学会誌, Vol. 120, No. 1185, p. 43, 2017 年 8 月)・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
Hybrid Adaptive Learning System based on Reinforcement Learning and Mixture Probability (Invited Speech)
(The 3rd International Conference on Fuzzy Systems and Data Mining (FSDM2017), Nov. 2017) • • • • • • Daisuke Kitakoshi

©東京工業高等専門学校

東京工業高等専門学校研究報告書 第49号 平成29年度

平成30年3月31日発行

編集者 東京工業高等専門学校情報・図書・広報室 発行者 東京工業高等専門学校 〒193-0997 東京都八王子市椚田町1220-2

TEL (042) 668-5111

The name of this journal has been changed from "Research Reports of Tokyo National College of Technology" into "Research Reports of National Institute of Technology, Tokyo College" since the 2014 issue.

本研究報告書の英語表記は、2014年より"Research Reports of Tokyo National College of Technology" から"Research Reports of National Institute of Technology, Tokyo College" に変更いたしました。