

*Research Reports of
National Institute of Technology, Tokyo College
No.47, Mar. 2016*

東京工業高等専門学校
研 究 報 告 書



第 47 号

2016. 3

目 次

車軸と車輪の間の動摩擦係数の測定 ー力学台車と自作レールの性能評価のためにー	藤井 俊介	1
Q-Uを用いた学級集団の分析（その3）	黒田 一寿	6
電磁超音波探傷法による材料内部欠陥の可視化 福田 勝己、西村 良弘、鈴木 隆之、池田 泳樹、内部 銀二		17
一方向性炭素繊維強化樹脂積層板および金属材料の被着体を有する単純重ね合わせ接着継手の引張せん断強度特性 志村 穰、伊藤 惇、林 丈晴、黒崎 茂		25
層状半導体 GaTe 薄膜の作製と電気的特性 伊藤 浩		31
フォトリソグラフィを用いた MOEMS 技術の教材開発 -第5報 ダイアフラム作製プロセスの改善- 新國 広幸、伊藤 浩		36
専門基礎実験における学生の主体的な学びの実践例 一戸 隆久、大塚 友彦、加藤 格、新田 武父		40
プログラミング演習課題の収集 Web システム 小坂 敏文、吉本 定伸、松林 勝志、山下 晃弘		44
ヘテロジニアスマルチホップベース IoT の一検討 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		50
完全相補系列系とその通信への応用 小嶋 徹也		58
準天頂衛星システムと RFID を用いた視覚障がい者向け道案内システムの開発 山下 晃弘、佐藤 佳、坂上 晴信、佐藤 俊太、高石 一樹、木岡 拓海、松林 勝志		66
大気汚染指標となる道路粉塵の有害性を高感度に評価するミミズを用いた毒性試験の開発 庄司 良、並木 辰也		71
平成 26 年度教員教育研究業績		76

CONTENTS

Measurement of Kinetic Friction in a Simple Experimental System with One Wheel and One Axis – Intended for Characterizing Hand-made Rail for Dynamical Cart –	Shunsuke FUJII	1
An analysis of class communities by using Questionnaire-Utilities (Part 3)	Kazutoshi KURODA	6
Visualization of Internal Defects by Electromagnetic Ultrasonic Flaw Detection Method Katsumi FUKUDA, Yoshihiro NISHIMURA, Takayuki SUZUKI, Eiki IKEDA, Ginji UCHIBE		17
Tensile Shear Strength Properties for Adhesively Single-lap Joints Composed of Unidirectional CFRP Laminates and Metal Materials Jyo SHIMURA, Jun ITO, Takeharu HAYASHI, Shigeru KUROSAKI		25
Thin Film Growth and Electrical Characteristics of Layered Semiconductor GaTe Hiroshi ITO		31
Development of Teaching Materials for MOEMS Technology by Using Photolithography – 5th Report, Improvement of Diaphragm Fabrication Process – Hiroyuki NIKKUNI, Hiroshi ITO		36
Practice of Fundamental Engineering Education to Cultivate the Independent Intellectual Mind Takahisa ICHINOHE, Tomohiko OHTSUKA, Itaru KATOU, Takenori NITTA		40
Web system for Collecting Reports of Programming Language Exercise Toshifumi KOSAKA, Sadanobu YOSHIMOTO, Katsushi MATSUBAYASHI, Akihiro YAMASHITA		44
A Study of Heterogeneous Multihop-based IoT Akira TANAKA, Raku UTSUMI, Naoki SHIBATA, Takuma HASHIMOTO, Kyogo MOROBOSHI, Takumi YAMANOI, Taiki KAWAI		50
Complete Complementary Codes and Its Applications in Communications Tetsuya KOJIMA		58
Development of a Pedestrian Navigation System for Visually Impaired People with QZSS and RFID Akihiro YAMASHITA, Kei SATO, Harunobu SAKAUE, Syunta SATO, Kazuki TAKAISHI, Takumi KIOKA, Katsushi MATSUBAYASHI		66
Development of Sensitive Toxicity Test by Using Earthworms' Avoidance Movement from the Toxicity of Road Dusts Ryo SHOJI, Tatsuya NAMIKI		71
Education and Research Activities		76

車軸と車輪の間の動摩擦係数の測定

ー力学台車と自作レールの性能評価のために

藤井 俊介*

Measurement of Kinetic Friction in a Simple Experimental System with One Wheel and One Axis

—Intended for Characterizing Hand-made Rail for Dynamical Cart
Shunsuke FUJII

In developing educational instruments for physics, it is important to implement new measuring techniques and technology into actual experiment. Using photo-sensing electric devices (photo interrupter) and mechanical plate for encoding the motion into signal, mechanical deceleration has been observed. The experimental system used here is simple rotating brass wheel which slides along the surface of the aluminum axis. Using photo interrupter and basic transistor amplification circuit, precise signal can be produced. The acquisition time intervals of such wheel's deceleration due to kinetic friction is order of 10 millisecond. With this precision data, normal model of kinetic friction holds unlike author's former desktop experiment with mechanical cargo and mechanical timer for education.

(Keywords : Physics education, kinetic friction)

1. 背景

物理の教材は、視覚的イメージから物理現象の理解を補うことができるため、学生の基礎概念形成に大変有用である。筆者は、ここ数年間、図 1 のような力学台車のレールを自作し、力学台車の加速度を測定することで、自作レールの滑らかさ(=自作レールの性能)を評価する方法を模索してきた。具体的には、図 1 の力学台車に初速度を与えて、レール上を減速運動する台車の速度を測

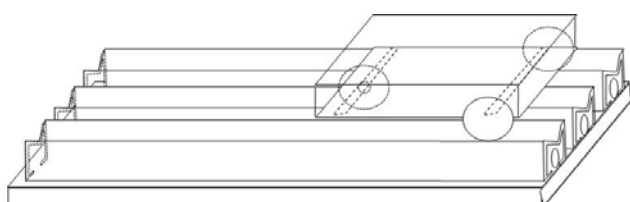


図 1 自作レールと力学台車(既製品)

定し、その速度変化から実効的な動摩擦係数を求める。しかし、得られたデータは非常に乱れており、物理的な解釈が困難であった。測定を困難にする要素としては、軸と車輪の間にあるボールベアリングが複雑な構造をしている点、レールと車輪の間には車輪とレールの相対的な滑りが生じることに起因する摩擦が生じる点、接触しているレールから車輪がうける「垂直抗力」による減速(転がり摩擦)が生じる点、複数の車輪が同じ滑り方をしているとは限らない点、などが挙げられる。他にも、回転に伴って車輪自体に起こる横ゆれ振動による減速など、

図 1 の実験系を想定するだけでも、多くの減速要素があることが分かる。さらに、レール自体の平行性も非常に重要である。レールが少しでも平行でない場合、台車がせり上がり、レールを走る台車の重心の位置エネルギーが変わってしまう。台車の運動エネルギーが位置エネルギーに吸収されることによって、減速が起こりうる。

それに加えて、加速度を測定するための装置の精度の問題も大きく関わっている。以前の測定では、台車の測定に 1 秒間に 50 打点の計測が可能な打点式の記録タイマーを用いていた。打点式の記録タイマーは、交流の 100V 電源の周波数 50Hz に合わせて振動し、振動部分を記録テープに直接たたきつけて、時間あたりの変位を記録するため、テープとタイマーの間の摩擦や、テープ自体の空気抵抗の影響、物理的に打点を打つ速度が揺らぐなど、データの揺らぎが出やすいという困難がある。また、打点が近接していると打点が重なってしまうため、打点の個数を読み誤る恐れもある。カーボン紙を 1 秒間に 50 回という速さで打点するため、打点が薄くなり見過ごしてしまう恐れもある。測定データに揺らぎが強く生じるように見えたため、5 打点ごとの平均変位から平均速度を導くなど、平均化による揺らぎの低減を図ってきた。実際に測定を行うと速度-時間グラフが図 2 のようになり、動摩擦の標準的なモデルが示すような一定の傾きになるようには見えない¹⁾。

*一般教育科 (物理)

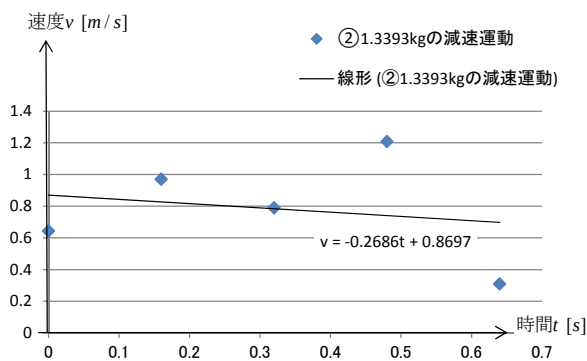


図 2 力学台車と台車レール間の摩擦由来の減速

このグラフは縦軸が速度、横軸が時間のグラフである。このような、揺らぎの大きなデータでは、平均値の比較さえ意味付けが弱く、例えば、時刻 0.5[s]に見られる平均速度の増加を事実として認めるには、統計的な有意性から吟味しなおす必要がある。ここでは、極力単純な系で測定・分析方法を確認しながら、図 2 のようなグラフが現れるかどうか、以下再検証する。

本稿では、図 2 の乱れたデータの原因を究明するための第一ステップとして、回転する車輪と軸の間の、実効的な動摩擦係数の測定に特化した図 3 のような実験を行う。台車やレールが無い余計な荷重が車輪にかからず、車輪は車輪と 1 つの軸の間のみから摩擦力を受け、減速していく。市販の力学台車の減速と違って、軸と車輪の間にベアリング等の要素もない。また、軸はアルミニウム製、車輪は黄銅製の異種金属による接触であるため金属同士の吸着等の効果が生じにくい。以上のように、極力単純化した図 3 のような実

験装置で測定を行う。以降の節では、装置の概略図や回路図を見ながら、実際の測定原理の説明、実際の動作・信号処理について詳述し、得られたデータとともに、摩擦による減速について考察し、より複雑な実験系である図 2 のデータの乱れた原因についても示唆を得たい。

2. 実験装置

2-1. 機構部分

実験装置は図 3 のように直径 6mm のアルミ棒の軸に黄銅製の車輪をさし、ロータリーエンコーダー用の厚さ 1mm の円板を付けて、回転させる。軸は木製の土台に固定されており、検出部のフォトインタラプタ(赤外線の流れに合わせて信号を出力する電子部品)の高さに合わせて、底面から 69mm の位置から±5mm の微調整ができるようにしてある。軸は、ナットで台に固定する。この装置を動かす時に何らかの、揺れが生じた場合でも、土台を通じてロータリーエンコーダー基板も一緒に動くため、外乱に対してノイズがデータに乗りにくい構造となっている。

また、摺動部は軸とは異なる異種金属(アルミニウム-黄銅)同士の摩擦となっている。軸と車輪の製作にあたっては、車輪に余計な横揺れが生じないことと、ある程度なめらかに回ること、という 2 つの条件を満たすため、車輪の厚みを 8mm に、軸の直径は車輪の内径である 6mm よりわずかに小さくしてあり、3/100 倍程度「遊び」を持たせてある。潤滑油は一切用いず、単純にアルミニウム軸の周りの車輪の回転による摩擦減

速を観察する。ロータリーエンコーダー部の円板は、マシニングセンタで正確に 6° ごとに穴開け加工してある。検出部のフォトインタラプタが円板に遮られた時間から、その瞬間の角速度 ω [rad/s] を測定することができる。

本装置は、図 2 の元データ計測に用いた接触式のタイマーとは異なり、検出部が非接触式であるこ

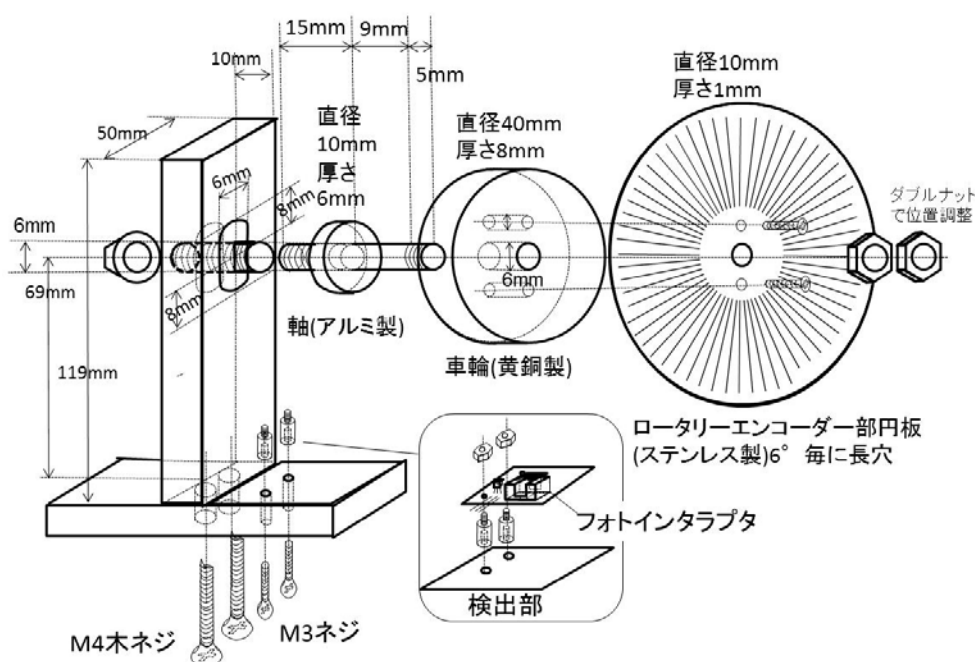


図 3 実験装置の製作

とが最大の特徴である。検出部の電子回路の動作の詳細については、次の節で示す。

ところで、ロータリーエンコーダー用の円板を車輪に固定すると、厚みが 9mm となり、軸の端につけるナットを締めすぎてしまうと摩擦力が増大し、車輪の回転が妨げられる恐れがある。そこで、ダブルナットにして、ナットがロータリーエンコーダー部に触れないようなナット自体の位置調整もできるようにした。

2-2. 電子検出部

非接触式のセンサには、赤外線発光素子が内蔵されている OMRON 透過型フォトインタラプタ EE-S J5-B を用いる。透過型のメリットは、非接触式であるため読み取りに関わる物理過程

が単純なことから、データ出力を電子的に行うため、1つ1つの打点が精密に識別できることである。

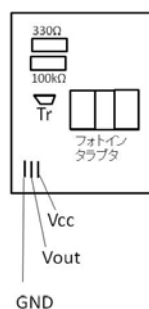


図4 フォトインタラプタ基板

検出回路の動作

図5の回路図で動作の概要を見ておきたい。エンコーダ円板が光線をふさいでいる間はフォトインタラプタが動作せず OFF となり、光線が透過すると ON となる。フォトインタラプタは、いわば、エンコーダー円板に同期した「光スイッチ」として動作する。

簡易的な透過型フォトインタラプタ基板は、図4のような外形をしており、図5のように、フォトインタ

に入力され、その電位の高低によってトランジスタがスイッチング動作される。

ACアダプタからとってきた電源電圧を、可変三端子レギュレータ LM-338 を用いて、調整可能なようにしておく。動作電圧は 7[V] になるように、半固定抵抗で調整した。ロータリーエンコーダー円板がフォトインタラプタの受光部をふさいでいるときは、図5のフォトインタラプタ内の受光素子には赤外線が届かず OFF 状態となる。その先につながるトランジスタの、ベース-エミッタ間にも電圧がかからず OFF となる。コレクタが OFF になるのでその先の 10kΩ のプルアップ抵抗にも電流は流れない。その結果この抵抗にかかる電位差がゼロ、オームの法則から図5の Vout は、Vcc(=7V) と等電位になる。ここで、ロータリーエンコーダー円板が回転し、赤外線を受光しだすと、受光素子が ON になり、トランジスタのベース電圧が上昇、エミッタ-コレクタ間が導通する。このとき、エミッタは GND(=0[V]) につながっているため、トランジスタが導通するとコレクタの電位が 0[V] に強制的に変わる。これにより、Vout-GND 間でパルスが立ち下がる。さらに、ロータリーエンコーダー円板が回転し、再びフォトインタラプタをふさぎ始めると、受光素子はただちに OFF となり、続くトランジスタも OFF となるため、Vout の信号が電源(Vcc)レベルに立ち上がる。この立ち上がり/下がりのスイッチング動作がエンコーダー円板の穴の運動に同期して起こる。

この回路の動作チェックには、市販のデジタルオシロスコープキット DSO-138 を別途製作していたので、それを通して、波形が出力されることを確認した。

実験で得られるパルス幅を見積もっておく。本ロータリーエンコーダは、手で軽く回転させる程度の減速実験を想定しているので、回転速度は高々数 m/s 程度である。ロータリーエンコーダ円板の1周は 15cm 程度であるから回転数は1秒あたり 6-10 回転程度である。1回転で 60 個のパルスが出力されるため、1秒あたり多くても 360-600 パルス程度であり、パルス幅にして 1.6ms~3ms 程度の分解能があれば本測定には十分である。実際のデータ解析には、0.5 秒間程度の精密な記録(約 8000 データの記憶)と Excel/画像データの USB メモリへの転送が可能なデジタルオシロスコープを用い

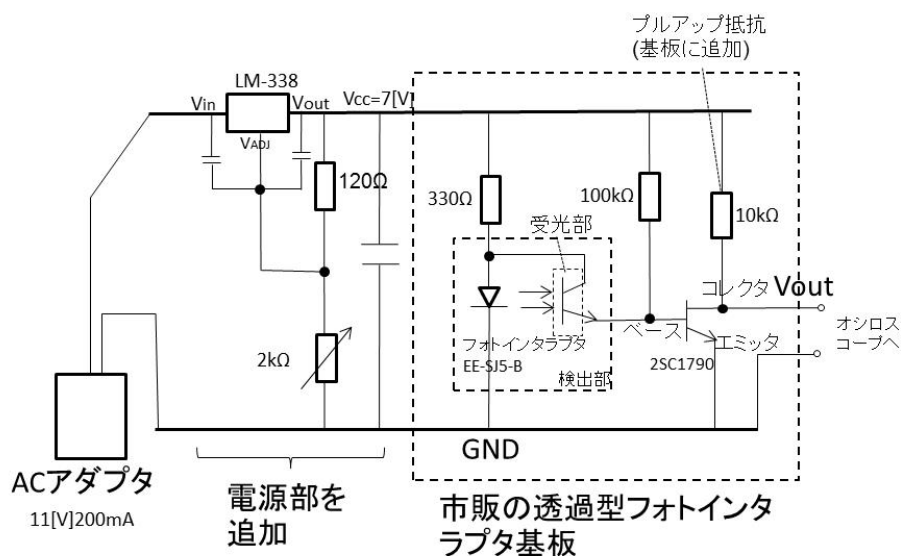


図5 検出部の回路図

ラプタからの信号がトランジスタ(2SC1790)のベース

る。

製作上の注意事項を挙げておきたい。この基板の V_{out} はコレクタとつながっているだけで浮いている(電位が確定せず望みの動作しない)。図 5 のように、 $10k\Omega$ のプルアップ抵抗を電源(V_{cc})に接続することで初期電位を $V_{cc}(=7V)$ に確定する必要がある。

2-3. データ解析の方法

データ測定は、パルスの立ち上がり(ロータリーエンコーダー円板が赤外線を隠した瞬間)の時刻を精密に測定する。実際に測定すると立ち上がりが必ずしも $V_{cc}(=7V)$ まで上るとは限らず $1V$ 程度の立ち上がりパルスも見られた。実際、この「小さな」立ち上がりを無視してしまうと、図 2 と類似の「揺らぎの大きな」データが再現され、解析不可能となった。このことから、たとえ $1V$ 程度の立ち上がりであっても、穴を横切る瞬間のデータであり、ノイズ(実際、リップルノイズは $10mV$ 程度)と考えるべきでないことが分かる。パルスの時間間隔は、 $10ms$ 程度となった。

3. 結果

図 6 は本測定によって得られたパルス波形である。なるべく広い時間範囲を記録できるように 1 区画 $50ms$ とした。

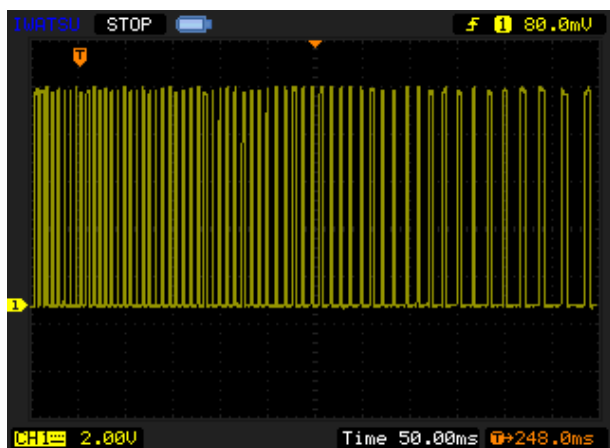


図 6 得られたパルス波形

図 6 の立ち上がりのパルス波形の時間間隔 Δt から各時刻の角速度は、 $\omega = 2\pi \times \frac{6^\circ}{360^\circ} \times \frac{1}{\Delta t}$ [rad/s] とし求められる。本実験の目的は、半径 $20mm$ の車輪の「台車」の対地速度の評価であるから、得られた角速度-時間データを半径 $20mm$ の車輪の速度に書き換えて、以下、図 7、図 8 の v - t グラフとして表示した。(実際には、半径 $45.5mm$ の位置にあるフォトインタラプタで測定したが、角速度を算出しているので、データ

自体の半径依存性はない。) 近似曲線は最小二乗法によった。図 7 と図 8 は、互いに異なる試行の実験である。

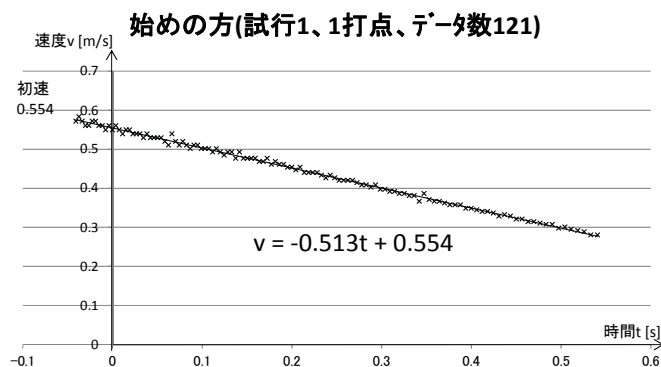


図 7 角速度から計算した車輪の速度(半径 $20mm$)

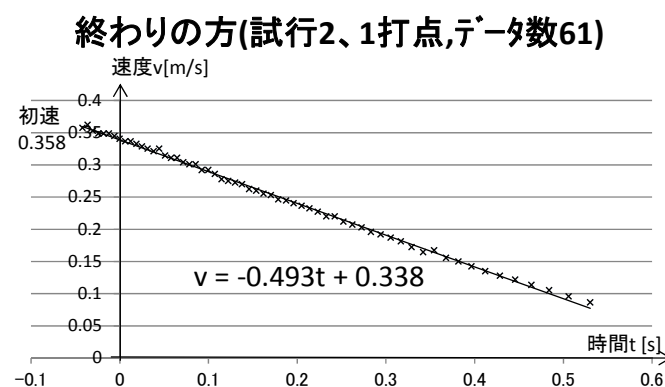


図 8 角速度から計算した車輪の速度(半径 $20mm$)

試行 1 のほうが、初速度が速かった。この初速度の違いはエンコーダー板を各試行ごとに手で直接回しているために生じる。グラフは、近似曲線とよく一致しており、この傾きはこの減速運動の加速度といえる。それぞれ $-0.513[m/s^2]$ 、 $-0.493[m/s^2]$ (平均値 $-0.503[m/s^2]$) である。ロータリーエンコーダーと車輪の合計質量は、 $106.1[g]$ であり、東京の重力加速度 $g=9.787[m/s^2]$ ²⁾ を用いると、質点を受ける動摩擦のモデルにおいては

$$ma = -\mu'_{eff} N = \mu'_{eff} mg$$

$$\mu'_{eff} = \frac{-a}{g} = \frac{-(-0.503)}{9.787} = 0.0513$$

である。実際は、車輪は慣性モーメントで回り続けようとするため、減速されにくくなっている。その効果は付録で述べる。

4. 考察

図 2 のグラフと比較して図 7、図 8 のデータは「揺らぎ」が十分小さく、1 打点(6°)ごとの時間測定にも意味がある。図 7、図 8 のグラフから、黄銅製の車輪とアルミニウム製の軸の間の摩擦は、通常の動摩擦のモデルでうまく説明できる。また、図 7、図 8 の解析

には、1V 以上の立ち上がりの時間を見落とすと図 2 と類似の $v-t$ グラフが再現されたことから、図 2 のデータも打点式タイマーの打点が重なるなど「打点の読み取りエラー」によってデータが乱れた可能性が示唆される。本実験では、摩擦面が円柱の曲面である以外は荷重が車輪のみの単純な実験系である。この結果と、より複雑な要素からなる実際の台車の減速実験である図 2 のデータを直接比較していくためには、条件を変えたさらなる追試が必要である。

5. 結論と今後の展望

軸と車輪の間の動摩擦のみ、車輪にはたらく荷重が車輪の重力のみという最も単純な減速実験で、車輪と軸の間の実効的な動摩擦力は一定値を示し、動摩擦のモデルで車輪と軸の撓動はよく説明できることがわかった。

今後の展望について述べておきたい。今回は測定器の都合で 0.5s 間程度の長さを持つデータに限定された。この測定時間は十分とはいえないので、延長が可能な実験方法を模索する。さらに、荷重を変えた場合の動摩擦係数について調べたい。また、系の軸受けをボールベアリングにするなど複雑にした場合のデータについても調べていく。ベアリングの中には鉄球と潤滑油が注入してあり、減速が起こるメカニズムを解析するのは、容易でない。この複雑な系を少なくとも数十秒、同様の車輪と軸からなる実験系で観測し、 $v-t$ グラフを精密観測したい。

実際の台車にこのシステムを実装することも考えたい。そのためにはロータリーエンコーダー円板の半径を小さく、遮り穴の角度間隔をさらに小さくし、コンパクトで精密な計測ができるようにする。これと打点式タイマーを同時に用いた、減速運動の測定を行い、打点タイマー自体の性能評価も行う。このように、装置の誤差、台車各部の誤差を総合的に評価し、図 2 のような乱れた $v-t$ グラフになった原因を究明していく。

謝辞：本研究においてロータリーエンコーダー円板の改良や車輪、アルミ軸を精密に製作する必要があった。木製土台も含めて、本実験器具を作ってくれた東京工業高等専門学校ものづくり教育センターの中村源一郎氏に大変感謝します。また、デジタルオシロスコープを快くお貸しいただき、実験装置・測定装置の微調整などにご協力いただいた電子工学科教職員の皆様にも感謝します。

円柱の対称軸と本実験の回転軸は一致しているものとして、剛体的に扱った場合の動摩擦係数を求める。

外形 R 、内径 r_0 、厚み h 、質量 m の車輪の角速度を

ω [rad/s] とおくと、回転の運動方程式は

$$I \frac{d\omega}{dt} = -f' r_0 \cdots \cdots \textcircled{1}$$

$$f' = \mu' N = \mu' mg \cdots \cdots \textcircled{2}$$

$$I = \frac{\pi \rho h}{2} (R^4 - r_0^4) \rho \cdots \cdots \textcircled{3}$$

$$m = \pi \rho (R^2 - r_0^2) h \cdots \cdots \textcircled{4}$$

ただし、 f' [N] は動摩擦力、 I [kg・m²] は車輪の慣性モーメント、 ρ [kg/m³] は密度、 m [kg] は車輪の質量である。

ここで、③を用いて④の密度 ρ を消去すると、

$$I = \frac{m}{2} (R^2 + r_0^2) \cdots \cdots \textcircled{5}$$

⑤、②を①に代入して

$$a = r_0 \frac{d\omega}{dt} = - \frac{2r_0^2}{R^2 + r_0^2} \mu' g \doteq -\mu'_{\text{eff}} g$$

$$\text{よって、} \mu' = \frac{R^2 + r_0^2}{2r_0^2} \frac{a}{g} \text{ を得る。}$$

これに実測値 $a = -0.0503$ [m/s²]、 $R = 0.02$ [m]、 $r_0 = 0.003$ [m]、 $g = 9.787$ を用いると、「裸の」動摩擦係数が $\mu' = 1.16$ となり、 $\frac{\mu'}{\mu'_{\text{eff}}} \approx 22$ であるから、

異種金属でも実際の測定値 μ'_{eff} と大きく異なる。

参考文献

- 1) 「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
- 2) 「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 27 年 12 月 25 日 受理)

A. 附録

Q-Uを用いた学級集団の分析 (その3)

黒田一寿*

An analysis of class communities by using Questionnaire-Utilities (Part 3)

Kazutoshi KURODA

We have conducted Questionnaire-Utilities (Q-U) that targets TNCT first-year students during 5 years from 2011 through 2015. In each year, Q-U was applied three times to all classes in April, June and December. These Q-U scores were compared in order to analyze the variations in adjustment of each TNCT first-year students from 2011 through 2015. The score of "Aggrievedness" was kept low throughout the year in the last 3 years. Previously it tended to be higher gradually in the second half of the year, because of that, the ratio of Satisfied-group in July and December was lower than in April. But in the last 3 years, the ratio of Satisfied-group has been maintained more than 40% until December. Previously, high "Desire for study" in April fell in about 8 months. But in the last 3 years, Desire for study has been maintained at a high level until December. "Relations with teachers" have been getting better gradually. "Relations with class" in April and July have been getting better especially in the last 2 years, but it fell in December also. Overall, it can be said that the adjustment of TNCT first-year students is improving.

(Keywords : Q-U, class communities, satisfaction with school life, willingness school life)

1. はじめに

1.1 Q-Uの概略

Q-U (Questionnaire-Utilities) は、河村茂雄 (早稲田大学) 氏が開発し、図書文化社によって標準化され販売されている心理テストである。このテストへの回答結果から大きく以下の3つの情報を得ることができる¹⁾。

- 1) 児童生徒個人についての情報 (クラスへの満足度や学校生活における意欲など)
- 2) クラス集団についての情報 (クラスの雰囲気や集団の成熟段階など)

3) クラス集団における児童生徒の相対的位置
さらに、集計結果を解釈していくことで「不登校になる可能性の高い子どもはいないか?」「いじめ被害を受けている可能性の高い子どもはいないか?」「意欲低下が顕著な子どもはいないか?」「クラス集団の雰囲気やまとまりはどうか?」といったことを、定量化されたデータに基づいて推測や比較を行うことが可能である。

児童生徒の学校生活における適応状態は、教員にとって、特に担任にとっては必要不可欠な情報である。子どもたち一人ひとりを理解して教育や支援を行いたいという、教員としてごく自然なモチベーションもさることながら、不登校やいじめ、

自殺といった深刻な問題の予防的対応のためにも必須の情報である。今や社会的要請に基づくリスク管理のひとつと言っても過言ではない。

河村によれば¹⁾、Q-Uが開発された背景にも、1990年代の不登校の深刻化があったそうだ。教員は普段から子どもたちの様子を気にかけて、観察し、声かけし、対話するなどして理解に努めるが、それだけでは限界がある。教員の経験的手法を補うために、質問紙による調査が活用されるようになったのである。こうした流れは、学校をめぐる諸問題への対策を法制化する動きにも取り込まれた。

「いじめ防止対策推進法」(2013年9月施行)では、いじめ早期発見のための措置として「定期的な調査」を学校に義務づけている。この調査にQ-Uを活用している学校も多い。

1.2 東京高専におけるQ-Uの導入

東京高専におけるQ-Uの導入について、その経緯を以下にまとめる。筆者は、2009年夏に国立高等専門学校機構主催の「クラス経営・生活指導研修会」に参加し、河村氏によるQ-Uの講義を受講した。これをきっかけに、同年、この研修会と一緒に参加した同僚らと共に本校へのQ-U導入を目的として学内重点配分経費を申請し、採択²⁾された。この予算でQ-Uの高校生版である Hyper

*一般教育科 (体育)

Q-Uを購入し、任意のクラスで試験的に実施した。また同年、Q-U集計結果の解釈方法を学ぶため、品田笑子氏（都留文科大学地域交流研究センター）を招き、校内研修会を開催した。

このプロジェクトは、翌2010年度も引き続き学内重点配分経費に申請し、採択³⁾され、この予算でHyperQ-Uを追加購入した。同年、前期2クラス、後期3クラスに分けて、1年生全員を対象にHyperQ-Uを実施した。学内重点配分経費の支援を受けたことは、本校にQ-Uを導入するうえで大きな助けとなった。その後2011年度から2015年度現在まで、1年生を対象に、年間3回繰り返して実施している。さらに2013年度からは、前述のいじめ防止対策推進法への対応として、2・3年生でも年1回実施している。

Q-U実施後の集計処理は、2012年度の2回目までは図書文化社情報センターへ有料で集計処理（コンピュータ診断）を委託していたが、この時点で重点配分経費²⁾³⁾で購入した集計処理費込みのHyperQ-Uの在庫が尽きたため、2012年度の3回目実施分からは自前で集計を行っている。質問文が印刷された冊子は購入したものを使用し、回答用紙は自前で作成したマークシート形式のものを使用、回答されたものをドキュメントスキャナでデジタル化し、マークシート認識ソフト（Remark Office OMR）と表計算ソフト（Excel）で集計、簡易なグラフ出力も行っている。

Q-Uの集計結果は、学生指導およびクラス経営に役立てるための資料として、毎回、担任と相談室にフィードバックしてきた。特に、要支援群に相当する学生や被侵害得点が高い学生については、面談などの機会を設けるなどして、学生の置かれた状況を把握するよう要請している。

1.3 Q-Uを活用した研究や研修

2010年2月、品田氏による研修会から1週間後、Q-U活用に興味を示してくれた教員で集まり、検討会を実施した。この検討会では、「Q-Uは出てきた結果に基づいて担任が何らかのアクションをすぐに起こすことが前提」「とりあえずデータを取ってみようではないか」「学生にこのクラスを良くしていこうというメッセージが伝わるのが大切」といった議論や、質問に回答する学生の心理的負担を考慮した実施方法、効果的な実施時期、繰り返し実施することによって経年変化を追い

けること、などが検討されている。振り返ってみると、この議論がQ-U導入を具体化するうえで重要な土台となった。

その後、学内で機会を見つけてはQ-U活用法を紹介し、クラス経営に役立てるよう呼び掛けていった。2010年7月には一般教育科の成績報告会において、12月には教育研究会（全教職員会議）において、2011年5月には基礎教育連絡会（1年生の担任会）において、Q-Uの活用法を紹介し、学内重点配分経費によるプロジェクトの趣旨や成果を報告した。その後も、Q-Uの集計結果をフィードバックする際には、担任会において簡単な説明を行うようにしている。

データが蓄積するにつれ、これを俯瞰する分析の必要性も出てきた。そこで2011年度1年生のQ-Uデータを整理し、分析結果を東京工業高等専門学校研究報告書において報告⁴⁾した。ここでは、Q-Uの基本的な理解について紹介したうえで、2011年度本校1年生の集団特性、年間を通じたクラス集団の変化、成績上位層と下位層の比較、クラス間の比較などを行っている。続けて2012年度1年生のQ-Uデータも整理し、同報告書において続報を報告⁵⁾した。ここでは、前年度との比較を中心にクラス集団特性の変化をまとめた。また新たに実施した「困り具合に関するセルフチェック」の結果を因子分析し、Q-Uの回答結果との関連から、要支援群と判定される学生へどういった支援が必要かを検討した。またこれらの一連の分析をもとに、学習面・学級生活面・要支援学生の3つの観点から本校のクラス経営の課題と改善に向けた提言をまとめ⁶⁾、校長に報告している。

東京高専におけるQ-U活用の取り組みを他高専にも紹介する試みとして、平成25年度全国高専教育フォーラムにおいて口頭発表⁷⁾を行った。また平成25年度から27年度にかけて、国立高等専門学校機構主催の高等専門学校教員研修（クラス経営・生活指導研修会／中堅教員研修）においてワークショップ形式でQ-Uを紹介し、東京高専におけるQ-Uの活用事例を報告している。

さて、本校1年生のQ-Uデータは、現在までに2011年度から2015年度にかけて5年分が蓄積されている。本稿では、この5年間の変化を中心に分析を進め、本校1年生におけるクラス経営改善の成果と課題としてまとめてみたい。

2. 調査方法

本研究の分析対象としたQ-Uの実施方法について、以下に概要を示す。

調査対象：2011年度～2015年度の1年生全員

調査時期：1回目は4月末または5月上旬

2回目は6月下旬または7月上旬

3回目は12月中旬

心理テスト：HyperQ-U

（高校生用，図書文化社）

集計処理：2012年7月分までは図書文化社情

報センターに委託，以降は自前集計

費用：集計処理費を含む場合1名につき

¥520，検査用紙のみは1部¥230

実施時間：1・2回目は健康科学の授業にて

3回目はロングホームルームにて

所要時間：1回およそ15分～20分（全73問）

HyperQ-Uの尺度構成は以下の通りである。

◇ 学級満足度尺度

└ 承認（友だちや教師から認められているか？）

└ 被侵害（不適応感，いじめ・冷やかしを受けていないか？）

◇ 学校生活意欲尺度

└ 友人との関係（気軽に話せる友人がいるか？など）

└ 学習意欲（勉強に自分から進んで取り組んでいる？など）

└ 教師との関係（担任の先生とうまくいっている？など）

└ 学級との関係（仲のよいクラスだと思う？など）

└ 進路意識（興味をもっている職業がある？など）

◇ ソーシャルスキル尺度（今回は分析対象外）

└ 配慮（対人関係の基本的なマナーやルール）

└ かかわり（人とかかわるきっかけや関係の維持）

◇ 参考資料（悩みに関する質問項目）

Q-Uを実施した際に欠席していた学生については，できるだけ機会を別途設け，回答を得るようにしている。これは，休みがちな学生がスクリーニングから漏れないためにも必要な措置である。ただし休学中の学生や進路変更のために登校していない学生については回答を求めている。よって，そうしたケースは分析に用いたデータセットからも除外した。

今回の分析の対象とした回答は，2011年度が214人分，2012年度が211人分，2013年度が211

名分，2014年度が209名分，2015年度が207名分，合計で1052名分である。統計処理にはSPSS（ver.21）を用いた。質問項目が73問と多いため，どうしても未回答や多重回答などの欠損値が出るが，分析においてはSPSS上で欠損値のあるケースを除外して分析を行った。各因子得点の集計において欠損値として扱われたデータは因子毎に異なるが，それぞれケース全体に対して1.1%～3.9%であった。

Q-Uの集計結果を担当にフィードバックする際には，未回答項目のある学生の回答であってもわずかな数の不備は欠損値として扱うことはせず，平均値で補間するなどして処理している。なぜなら，今回の統計分析とは目的が異なり，回答ミスをした学生のデータもスクリーニングの対象から除外すべきではないからだ。それらのデータもグラフにプロットし，指導や支援に生かす必要がある。一方で，本研究における分析は個人のデータを扱うものではなく，各年度における1年生の集団特性を，因子得点の学年平均値といった代表値を用いて比較検討することを目的としている。したがって，欠損値は統計処理の手法に則って扱うこととした。そのため，担任にフィードバックした資料と本分析では欠損値の扱いが異なり，平均値などにおいて微妙な差異が生じることを予め断っておく。

3. 結果と考察

3.1 承認得点と被侵害得点の5年間の推移

承認得点とは，「友だちや教師から存在や行動が認められている」と感じる度合いを表している。担任は，これが徐々に高まるようなクラス運営を目指したいところである。なお，この因子得点の最高点は50点，最低点は10点である。表1に過去5年間の東京高専1年生学年全体の承認得点平均値と標準偏差を示す。図書文化社がQ-Uの標準化に用いている全国2万人の高校1～3年生のデータ（2012年時点）では，平均値は30.1（SD=7.4）であり，これを全国平均値として用いる。

一方，被侵害得点とは，冷やかしやからかいを受けていないか，あるいは孤立していないかを表しており，得点が低いほど「そうした侵害行為は受けていない」と思っていることを意味する。クラス経営においては，クラス内のルールや人間関

表 1 承認得点の 1 年生学年平均値と標準偏差

(各年度 4 月, 7 月, 12 月の 3 回実施した 5 年間のデータ)

		記述統計量		
		$\bar{x}$	平均値	標準偏差
2011年度	4月	207	31.78	7.48
	7月	207	32.57	7.80
	12月	206	31.86	7.87
2012年度	4月	204	31.76	7.27
	7月	205	31.69	8.02
	12月	208	32.56	7.48
2013年度	4月	208	31.59	7.80
	7月	205	32.69	7.84
	12月	207	32.70	7.73
2014年度	4月	206	32.46	7.20
	7月	203	33.77	7.43
	12月	202	33.54	7.35
2015年度	4月	204	32.89	8.00
	7月	203	32.88	8.27
	12月	204	33.35	8.05

表 2 被侵害得点の 1 年生学年平均値と標準偏差

(各年度 4 月, 7 月, 12 月の 3 回実施した 5 年間のデータ)

		記述統計量		
		$\bar{x}$	平均値	標準偏差
2011年度	4月	206	16.65	6.08
	7月	206	18.19	7.92
	12月	206	18.73	8.09
2012年度	4月	202	17.20	7.42
	7月	206	18.85	8.25
	12月	208	19.38	8.26
2013年度	4月	210	16.99	6.37
	7月	205	18.71	7.33
	12月	205	18.20	7.39
2014年度	4月	207	15.81	6.36
	7月	205	18.41	8.14
	12月	201	17.70	7.51
2015年度	4月	204	16.56	6.16
	7月	204	16.75	6.39
	12月	205	17.80	7.38

係のマナーをある程度維持しながら, この被侵害得点が高くならないように指導していきたいところである。最高点は 50 点, 最低点は 10 点となり, こちらは点数が低いほど望ましい。表 2 に過去 5 年間の東京高専 1 年生学年全体の被侵害得点平均値と標準偏差を示す。全国平均値は 18.6 ($SD=7.6$) である。

図 1 は, 表 1 をグラフに表したもので, 図中の点線は全国平均である。本校 1 年生の承認得点は, 過去 5 年間ともほとんどの実施回で全国平均を上回っている。各年度および 3 回の実施月毎の承認得点平均に差があるかを検討するために, 二要因の分散分析を行った。年度間要因は被験者間要因,

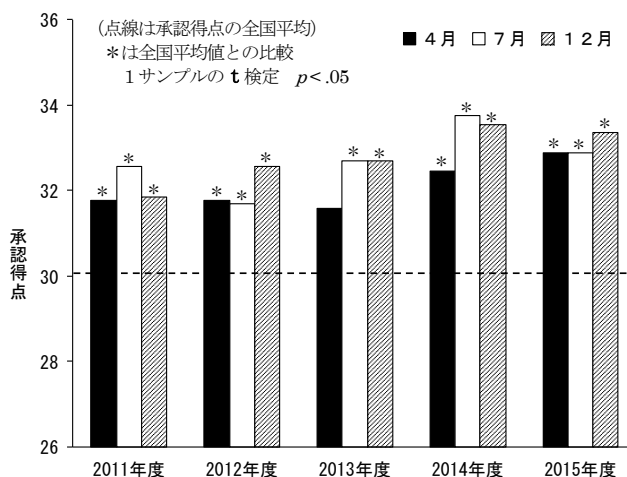


図 1 承認得点の 1 年生学年平均値の推移

(各年度 4 月, 7 月, 12 月の 3 回実施した 5 年間の推移)

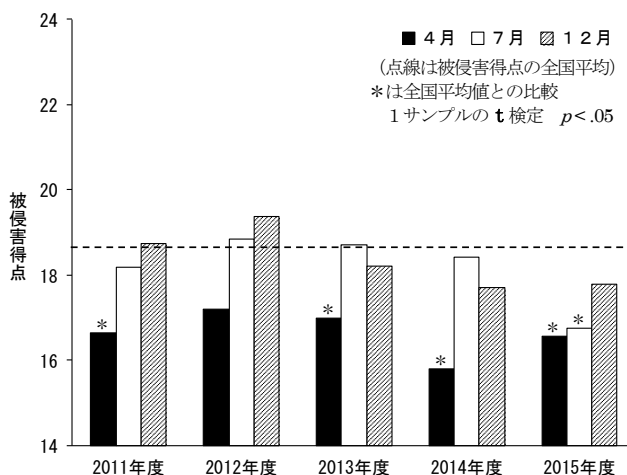


図 2 被侵害得点の 1 年生学年平均値の推移

(各年度 4 月, 7 月, 12 月の 3 回実施した 5 年間の推移)

実施月要因は被験者内要因である。その結果, 実施月要因に 1 %水準で有意な主効果がみられ ($F(1.94, 1912.98) = 10.88, MSe = 19.92, p < .01$: Greenhouse Geisser 調整), 多重比較 (Bonferroni) の結果, 1 %水準で, 4 月 < 7 月, 4 月 < 12 月であった。なお, 年度間要因の主効果および実施月と年度間の交互作用はみられなかった。すなわち, 承認得点は年度間で有意な差はみられず, 4 月時点と比較すると, 7 月時点および 12 月の方が有意に高い, 望ましい推移であることがわかった。

図 2 は, 表 2 をグラフに表したもので, 図中の点線は全国平均である。被侵害得点は, 概ね全国平均並みか下回っているが, 5 年間のうち前半で

は、全国平均を上回る実施回もみられる。一方、後半の年では、前半の年よりも年間を通して被侵害得点が低く抑えられている。承認得点と同様に、こちらでも二要因の分散分析を行った。その結果、実施月と年度間に交互作用が認められた ($F(8, 1974) = 2.06, MSe = 25.92, p < .05$)。そこで、単純主効果の検定 (Bonferroni) を行った結果、各年度において実施月の間に5%水準で有意差がみられた。2011年度および2012年度、2014年度では、4月<7月、4月<12月であった。2013年度では、4月<7月であった。2015年度では、4月<12月であった。すなわち、各年度において、4月・7月・12月と3回実施したQ-Uの被侵害得点の変化のパターン異なるということである。

そこで、被侵害得点の経時変化を示したものが図3である。二要因分散分析の結果と合わせて解

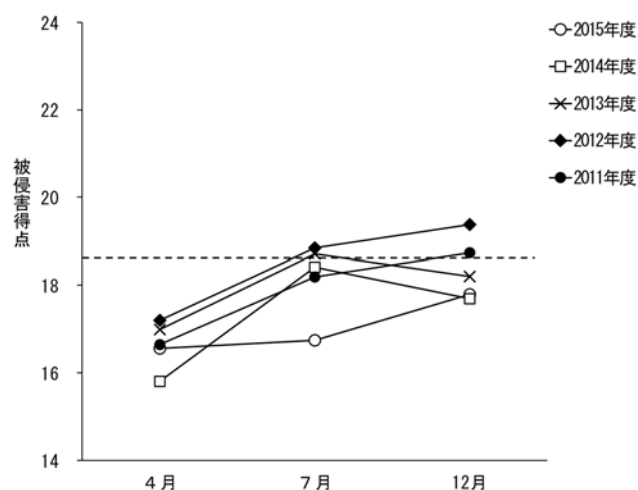


図3 年度毎の被侵害得点の年度内の推移

(2011年度から2015年度まで各年度毎に示したもの)

積すると、5年間のうち前半の2011年度・2012年度においては、4月から7月にかけて被侵害得点が上昇し、そのまま12月でも低下しないという推移である。4月時点の被侵害得点は全国平均よりも有意に低いので、本校1年生は「4月時点ではクラスのルールが徹底しているが、早い段階でルーズになる」状態であったと言えよう。それが2013年度においては、4月から7月にかけて上昇した被侵害得点が、12月にかけてはさらなる上昇を抑えられていることになる。ルーズになった状態に対して、何らかの対応策が試みられ、それが成果として現れたと考えても良いのではないだろうか。2014年度は、統計的有意差のみから考

えると、5年間のうちの前半の年と同じパターンに戻っている。ただ、有意差はないものの、7月と12月の平均値を比較すると、平均値自体は7月よりも12月の方が低い。むしろ4月から上昇した被侵害得点が12月にかけては上昇が抑えられている点では、2013年度と似ている変化である。また12月の被侵害得点は、5年間で最も低い水準である。そして2015年度においては、前年度までのパターンであった4月から7月にかけての被侵害得点の上昇がみられなくなっており、クラスのルール維持機能が以前より長持ちしたと言えよう。それでも12月にかけてはやはり被侵害得点が上昇するが、5年間のうちでは最も低い水準である。

3.2 学級満足度尺度に基づく4群の割合の推移

Q-Uでは、承認得点と被侵害得点を合わせて学級満足度尺度と呼び、この尺度をもとに、それぞれの学生を満足群・非承認群・侵害行為認知群・不満足群の4群の区分し、適応状況をみる際の参考にしている。単純化しすぎではあるが、それぞれのグループは次のようにも表現できるだろう。

満足群は、被侵害得点が低く承認得点が高いグループで、からかいや冷やかしを受けていない、あるいは孤立していない、友だちや教師から認められていると感じ、意欲的に生活しているグループである。非承認群は、被侵害得点は低いものの承認得点も低いグループで、からかいや冷やかしはを受けていない、孤立もしていないが、友だちや教師から認められているという実感が少ない、やや意欲の低いグループである。侵害行為認知群は、承認得点が高いものの被侵害得点も高いグループで、友だちや教師に認められていると感じる面はあるものの、からかいや冷やかしを受けている、あるいは孤立していると感じることがある、他の学生とトラブルを起こしている可能性もあるグループである。不満足群は、承認得点が低く被侵害得点が高いグループで、からかいや冷やかしを受けることがあり、あるいは孤立していると感じることがあり、友だちや教師から認められているという実感がなく、クラスに居場所を見いだせていない可能性が高いグループである。

図4は、4群の割合がこの5年間でどのように推移したか、実施回毎に示している。4群の割合の推移をみると、4月時点ではいずれの年も満足

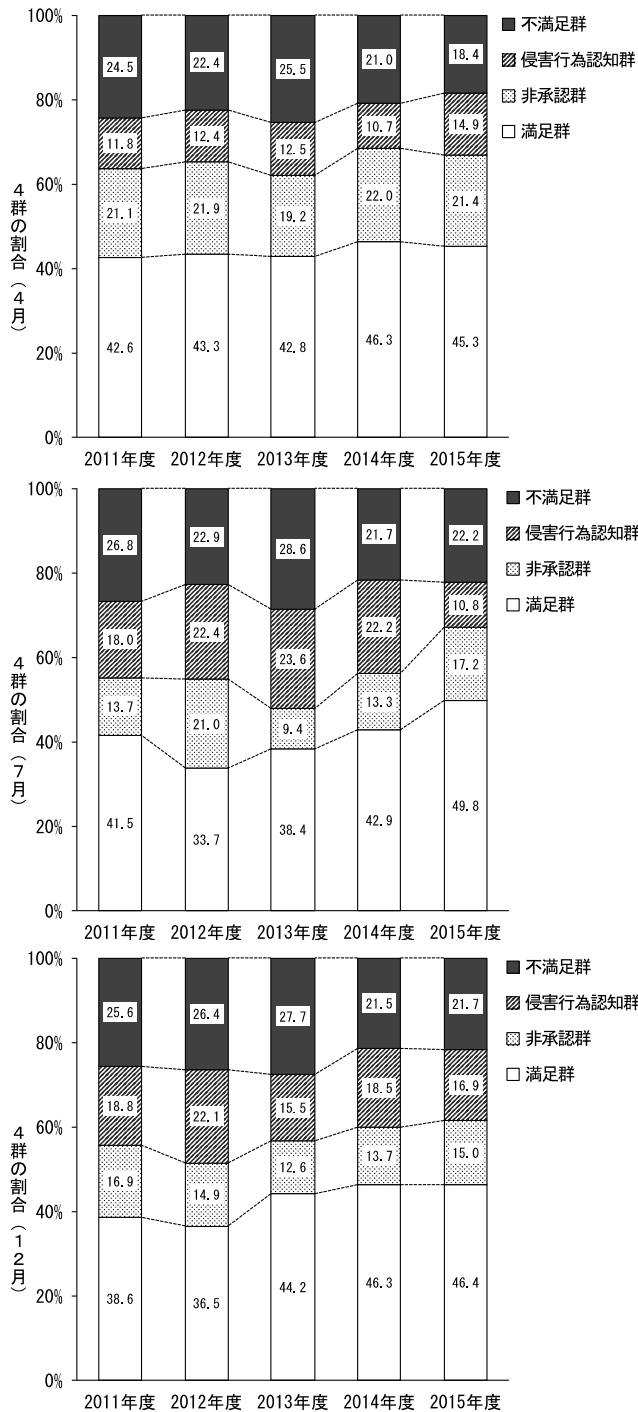


図4 学級満足度尺度による4群の比率の推移
(各年度4月、7月、12月の3回実施した5年間の推移)

群の割合が4割以上と高い。高校生の全国平均では、満足群の割合は36%である。2015年度以外、7月時点で満足群の割合は低下するが、5年間で低下率は徐々に改善しているように見える。12月時点でも、満足群の割合は5年間の後半の年の方が高い。年度と4群の割合に関連があるかを検討するために、クロス表分析を行った。 χ^2 検定を行ったところ、7月実施分についてのみ有意であった ($\chi^2(12) = 32.17, p < .01$)。そこで7月実施分

のクロス表を表3に示す。さらに残差分析を行ったところ、調整済み残差の欄にみられるように、2012年度は満足群が少なく非承認群が多く、2013年度は非承認群が少なく、2015年度は満足群が多くて侵害行為群が少ないことが示された。

表3 年度と学級満足度尺度に基づく4群との関連
(7月に実施したQ-Uについて)

年度	学級満足度尺度に基づく4群				
	満足群	非承認群	侵害行為認知群	不満足群	合計
2011年度	度数	85	28	37	55
	%	41.5%	13.7%	18.0%	26.8%
	期待度数	84.5	30.6	39.8	50.1
	調整済み残差	0.1	-0.6	-0.6	0.9
2012年度	度数	69	43	46	47
	%	33.7%	21.0%	22.4%	22.9%
	期待度数	84.5	30.6	39.8	50.1
	調整済み残差	-2.5*	2.7*	1.2	-0.6
2013年度	度数	78	19	48	58
	%	38.4%	9.4%	23.6%	28.6%
	期待度数	83.7	30.3	39.4	49.6
	調整済み残差	-0.9	-2.5*	1.7	1.5
2014年度	度数	87	27	45	44
	%	42.9%	13.3%	22.2%	21.7%
	期待度数	83.7	30.3	39.4	49.6
	調整済み残差	0.5	-0.7	1.1	-1.0
2015年度	度数	101	35	22	45
	%	49.8%	17.2%	10.8%	22.2%
	期待度数	83.7	30.3	39.4	49.6
	調整済み残差	2.8*	1.0	-3.5*	-0.8
合計	度数	420	152	198	249
	%	41.2%	14.9%	19.4%	24.4%

□ p < .05

筆者は、以前の報告^{4) 5)}において、東京高専1年生の学級満足度尺度の特徴として、「入学時は満足群の割合が高いが、年度後半に向けて徐々にその割合が低下し、12月時点では不満足群や侵害行為認知群の割合が上昇してしまう」ことをあげている。この分析は2011年度、2012年度のデータを対象としたものであった。残差分析の結果も2012年度において7月時点の満足群の割合が低いことを示しており、5年間の前半の年ではこうした特徴があったことを支持している。それが、5年間のうち後半の2015年度においては、7月時点における満足群の割合が前半の年よりも高く、満足群が減少する傾向が改善されたと言えよう。

一年間の中で、満足群・不満足群・侵害行為認知群それぞれの割合がどのように推移するかを、各年度毎に示したものが図5である。満足群と侵害行為認知群についてみると、5年間のうち前半の2011年度・2012年度においては、一年間の中で満足群の割合が減少し、侵害行為認知群の割合が増加することがよくわかる。一方、5年間のうち後半の2014年度・2015年度は、満足群の割合が高い水準で維持されている。また、不満足群に

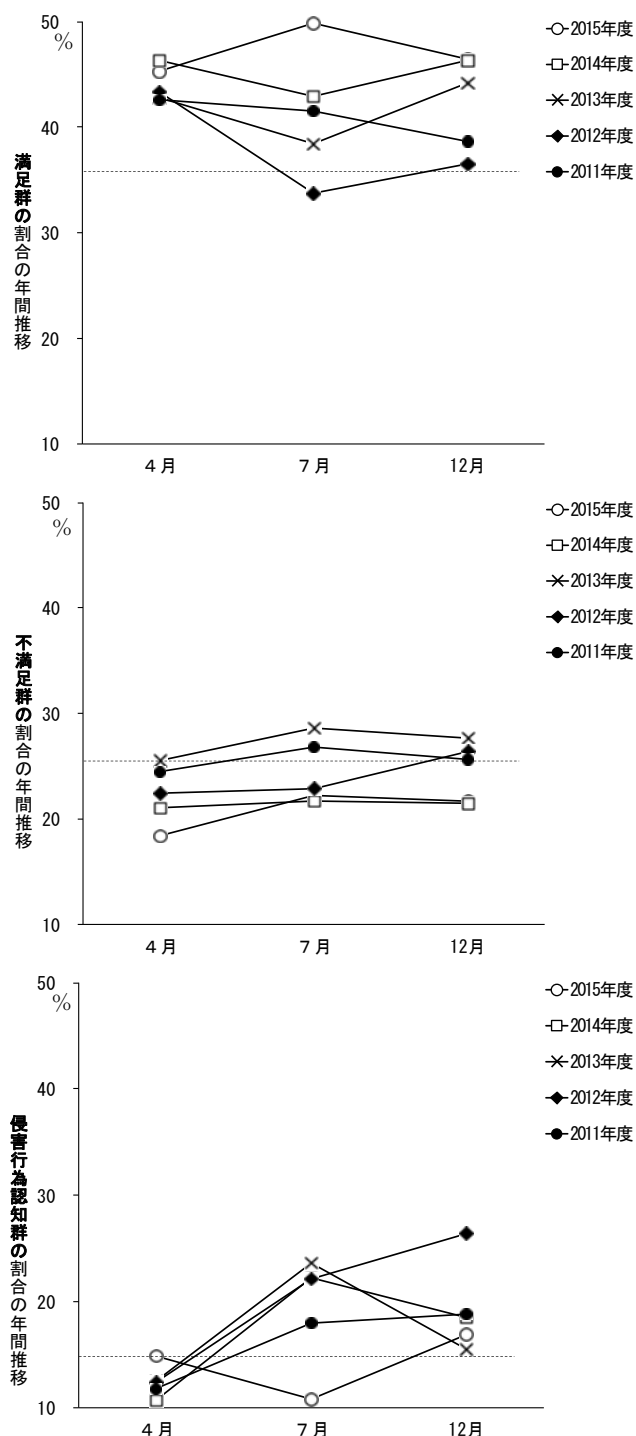


図5 満足群・不満足群・侵害行為認知群の割合の年度内の推移
(点線は全国平均)

については、年度後半に向けての割合の上昇が抑えられ、全国平均より低い水準に維持されている。

侵害行為認知群については、2011年度・2012年度においては、年度後半に向けて割合の上昇がみられていたものが、2013年度・2014年度では7月に一旦大きく上昇し、その後12月には低下するという動きをみせている。2015年度では4月

よりも7月でやや低下し、12月に戻るといった動きである。侵害行為認知群の上昇は主に被侵害得点の上昇によるもので、2015年度はかなり抑制されているが、年度後半においてはまだ上昇がみられる。この傾向は、2年生に進級したあと、学級満足度がどう変化していくかという課題につながっていくだろう。上級生になるほどクラスのルールがルーズになっていくのでは、1年生でせっかく高い割合に保たれていた満足群の学生が、被侵害行為認知群に流れてしまう危険がある。

3.3 学校生活意欲の推移

Q-Uでは、学校生活意欲尺度として、5つの領域を設けている。「友人との関係」因子は、クラスメイトと親和的な関係を築くことへの意欲を表している。「学習意欲」因子は、学習を通して能力を発揮しようとしているかを表している。「教師との関係」因子は、教師と親和的な関係を築くことへの意欲を表している。「学級との関係」因子は、クラスで活動することを肯定的にとらえているかどうかを表している。「進路意識」因子は、将来や職業について考えようとしているかどうかを表している。各因子の満点は20点、最低点は4点である。それぞれの全国平均は、「友人との関係」因子で16.6 ($SD=2.9$)、「学習意欲」は12.5 ($SD=3.3$)、「教師との関係」は12.3 ($SD=3.6$)、「学級との関係」は13.6 ($SD=3.8$)、「進路意識」は14.2 ($SD=3.7$)である。

図6は、学校生活意欲尺度5因子それぞれについて、過去5年間の東京高専1年生学年全体の因子得点平均値が、各年度において、4月・7月・12月とそれぞれの時点で、どのように推移したかを表している。

各年度および3回の実施月毎の「友人との関係」に差があるか検討するために、二要因の分散分析を行った。年度間要因は被験者間要因、実施月要因は被験者内要因である。その結果、実施月要因に1%水準で有意な主効果がみられ ($F(1.93, 1909.81) = .88, MSe = 2.99, p < .01$: Greenhouse Geisser 調整), 多重比較 (Bonferroni) の結果, 1%水準で4月 < 7月, 5%水準で4月 < 12月であった。なお、年度間要因の主効果および実施月と年度間の交互作用はみられなかった。すなわち、クラスメイトとの親和的な関係は、どの年も4月時点よりも7月時点および12月時点で有意に高く

なるということであり、友人関係が時とともに深まるのは望ましい推移と考えてよいだろう。

同様に「学習意欲」についても二要因分散分析を行った。その結果、実施月と年度間に交互作用が認められた ($F(8, 1944.74) = 4.38$, $MSe = 4.47$, $p < .01$)。そこで、単純主効果検定 (Bonferroni) を行った結果、2011 年度、2012 年度、2014 年度、2015 年度において、実施月の間に 1 %水準で有意差がみられた。2011 年度は、4 月 > 7 月、4 月 > 12 月、7 月 > 12 月であった。2012 年度および 2014 年度は、4 月 > 7 月、4 月 > 12 月であった。2015 年度は、4 月 > 7 月であった。すなわち、各年度において、「学習意欲」の変化のパターンは異なるということである。

そこで、「学習意欲」の経時変化を示したものが図 7 である。二要因分散分析の結果と合わせて解釈すると、5 年間のうち前半の 2011 年度においては、入学時に高い水準にあった「学習意欲」が、4 月から 7 月にかけて低下し、さらに 7 月から 12

月にかけて低下してしまっている。それが、2012 年度においては、4 月から 7 月にかけての低下はあるものの、7 月から 12 月にかけての低下は有意なものではない。つまり学習意欲の低下をくいとどめる方向にパターンが変化している。このあたりは、2011 年度・2012 年度の 1 年生を成績で 3 群にわけて分析した以前の報告⁵⁾も参照して頂きたい。続いて 2013 年度においては、4 月・7

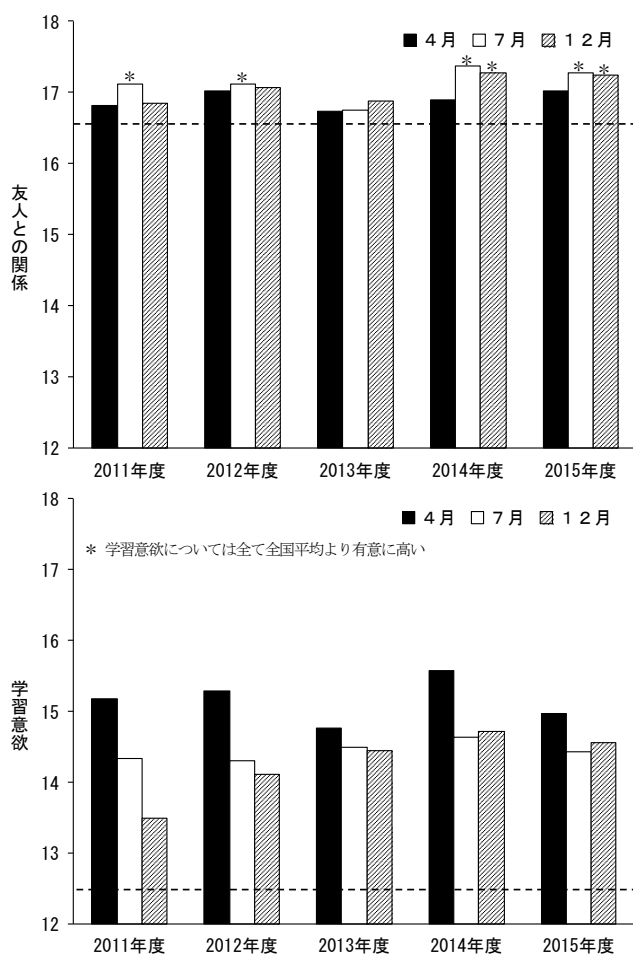


図 6 学校生活意欲尺度における 5 因子それぞれの学年平均値の 5 年間の推移

(各年度 4 月、7 月 12 月の 3 回実施した 5 年間の推移、点線は全国平均を表す。*は全国平均値との比較で 1 サンプルの t 検定)

$p < .05$

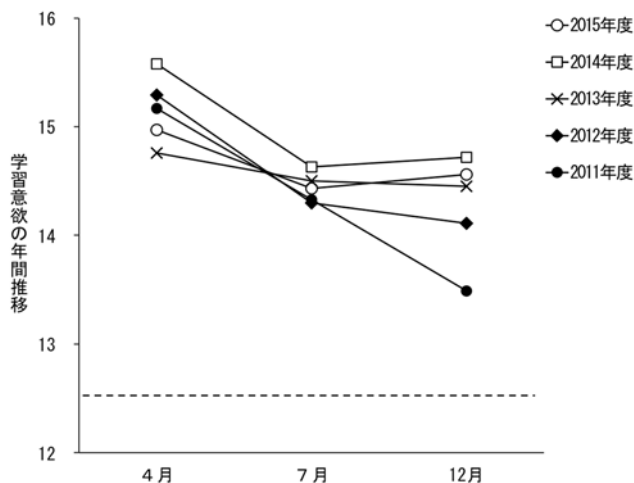


図7 学習意欲の学年平均値の年度内の推移
(点線は全国平均を表す)

月・12月の間で「学習意欲」の差に有意差がみられず、入学時の「学習意欲」を維持したと言える。ただし、他の年度に比べるとスタートの4月時点での「学習意欲」が低い水準に位置している。2014年度は2012年度同様、4月から7月にかけての低下はあるものの、7月から12月にかけては維持している。また、5年間の中で、全体的に「学習意欲」がもっとも高い水準にある。5年間のうち後半の2015年度では、4月から7月にかけての低下はあるものの、幅は小さく、7月から12月にかけては維持し、「学習意欲」を持ち直そうという方向にパターンが変化している。

次に、「教師との関係」についても二要因分散分析を行った。その結果、実施月と年度間に交互作用が認められた ($F(7.95, 1988.87) = 2.42, MSe = 5.12, p < .05$)。そこで、単純主効果検定 (Bonferroni) を行った結果、2011年度、2013年度、2014年度において、実施月の間に1%水準で有意差がみられた。2011年度は、4月 < 7月、7月 > 12月であった。2013年度は、4月 < 12月であった。2014年度は、4月 < 7月、4月 < 12月であった。すなわち、各年度において、「教師との関係」の変化のパターンは異なるということである。

そこで、「教師との関係」の経時変化を示したものが図8である。二要因分散分析の結果と合わせて解釈すると、5年間のうち前半の2011年度においては、4月当初はまだ打ち解けていなかったであろう「教師との関係」が、7月には上昇するものの、7月から12月にかけては、また低下す

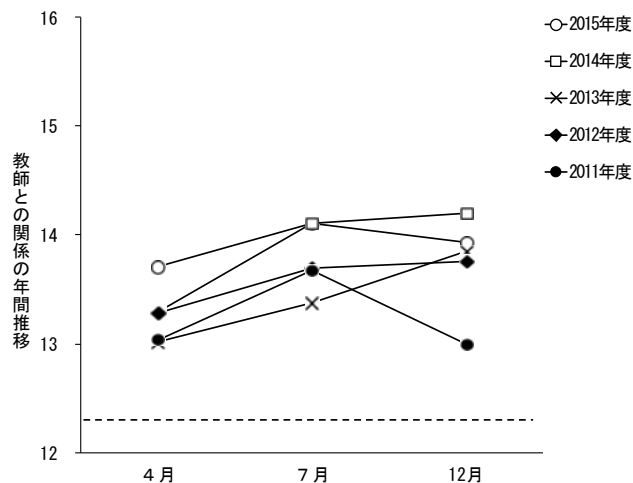


図8 教師との関係の学年平均値の年度内の推移
(点線は全国平均を表す)

る結果となっており、教師との関係が深まりきれずに1年が過ぎている印象だ。それが2012度においては、4月から有意な変化は見られないものの、平均値自体は4月から12月に向けてゆるやかに上昇していく形に近づいている。2013年度においては、その傾向が有意差に現れ、4月よりも12月で有意に「教師との関係」が高まっている。5年間のうち後半の2014年度においては、4月から早い段階の7月にかけて「教師との関係」が高まり、そのまま維持している。2015年度では、4月から有意な増減は認められないものの、4月時点の「教師との関係」が高く出ており、2014年度よりもさらに早い段階で教師との距離が縮まり、年の後半まで維持していると言えよう。

次に「学級との関係」についても、同様に二要因分散分析を行った。その結果、実施月と年度間に交互作用が認められた ($F(7.83, 1957.77) = 2.47, MSe = 4.95, p < .05$)。そこで、単純主効果検定 (Bonferroni) を行った結果、2011年度において、実施月の間に5%水準で有意差がみられた。また2014年度において、実施月の間に1%水準で有意差がみられた。2011年度は、7月 > 12月であった。2014年度は、4月 > 12月、7月 > 12月であった。すなわち、各年度において、「学級との関係」の変化のパターンは異なるということである。

そこで、「学級との関係」の経時変化を示したものが図9である。二要因分散分析の結果と合わせて解釈すると、5年間のうち前半の2011年度においては、4月時点から7月にかけて「学級との

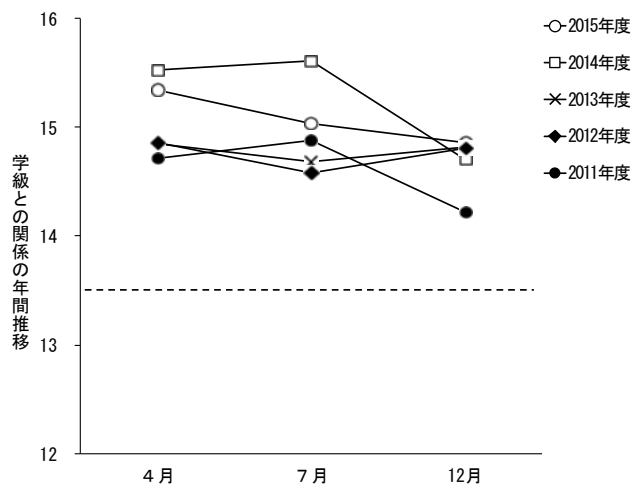


図9 学級との関係の学年平均値の年度内の推移
(点線は全国平均を表す)

関係」が上昇しきれず、7月から12月にかけて有意に低下してしまっている。2012年度は4月時点の水準を1年間維持しており、2013年度においても同様である。5年間のうち後半の2014年度においては、5年間でもっとも高い水準で4月にスタートし、7月まではそれを保つが、7月から12月にかけて有意に低下している。続く2015年度は、有意な低下はみられないが、下降傾向である。ただし5年間の中では、高い方の水準である。

最後に「進路意識」について、二要因分散分析を行った。その結果、実施月と年度間に交互作用が認められた ($F(7.80, 1931.26) = 2.99, MSe = 4.85, p < .05$)。そこで、単純主効果検定 (Bonferroni) を行った結果、2013年度および2015年度において、実施月の間に5%水準で有意差がみられた。2013年度は、4月>12月、7月>12月であった。2015年度は、4月>7月であった。すなわち、各年度において、「進路意識」の変化のパターンは異なるということである。

そこで「進路意識」の経時変化を示したものが図10である。二要因分散分析の結果と合わせて解釈すると、5年間のうち前半の2011年度および2012年度においては、4月時点の「進路意識」に有意な変化はみられない。2013年度においては、7月から12月にかけては有意に低下している。5年間のうち後半の2014年度においては、4月時点の「進路意識」に変化が少なく、これを維持している。2015年度は、4月から7月にかけて有意に低下し、7月から12月にかけてやや持ち直すというパターンである。また、東京高専1年生

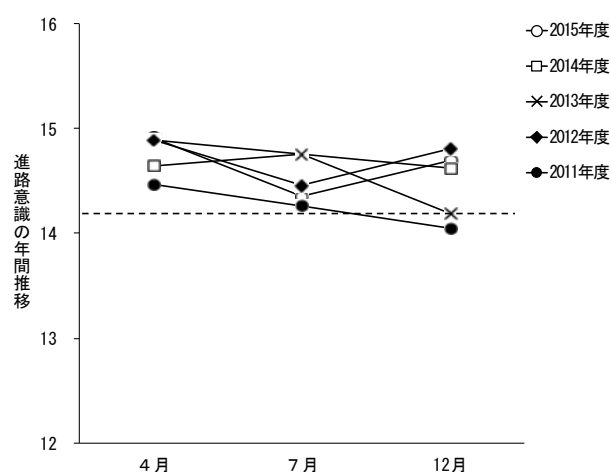


図10 進路意識の学年平均値の年度内の推移
(点線は全国平均を表す)

の「進路意識」学年平均値は、全国の平均値とほぼ同等の水準で、特段高い水準にあるわけではない。本校では、2年次に学科配属が控えているため、1年次に2度の学科ガイダンス、学科希望仮調査、学科見学会などが行われるが、その割には進路意識があまり高まっていない印象である。

4. まとめ

本研究では、東京高専1学年において年3回、5年間にわたって継続的に実施してきたQ-Uのデータ、のべ3000人分におよぶ回答を分析した。学生一人ひとりの回答を丁寧に読み解くことがQ-U活用の本質であると思うが、本研究では学年全体の平均値等を分析対象とし、5年間の推移を俯瞰してみることで、1年生全体の集団特性とその変化について言及してきた。こうした変化が担任の働きかけによってもたらされたものなのか、それとも新入生の性質の変化によるものなのか、厳密にはその因果関係を明確にすることはできない。しかし、クラスの学生の承認欲求を満たし、侵害行為を抑制し、学校生活への意欲を高めることは、まさにクラス経営の目的そのものである。それらを表現するために開発されたQ-Uのデータの推移には、良くも悪くも担任のクラス経営が深く関わっていると考えてよいだろう。またその変化に一定の方向性がみられ、良い方向に向かっているならば、それは担任団による教育改善の成果と言って良い。改善の余地が残されている指標に変化がみられなければ、それは担任団にとっての課題と言えよう。こうした観点で分析を振り返り、ま

とめてみたい。

承認得点は全国平均より少し高く、4月時点から12月時点に向かって、わずかに上昇する。しかしさらなる上昇の余地は大いにあるので、学生一人ひとりを認めてやれる工夫をさらに行うことが課題である。ただし、これはなかなか難しい課題であり、この5年間で改良はみられていない。一方で、本校クラス経営の課題であった被侵害感の抑制については、この5年間で着実に成果をあげたと言えよう。以前は入学後すぐにクラスのルールがルーズになる傾向があったが、この5年間でルーズになるのを抑制するクラス経営が機能し始めている。これに伴い、満足群の割合も高い水準で維持できるようになっている。さらなる改良を目指すには、被侵害得点を抑えながら承認得点を増加させる、すなわち、ルールはルールとして守らせ、マナーを大切にしつつも、一人ひとりが認められている感をもてる明るい雰囲気づくりが必要であろう。繰り返しになるが、この承認得点を高めるのはなかなか手のかかる仕事で、近道はない。基本的には、担任が学生と関わる時間を少しでも増やすことがどうしても必要だろう。学生と「教師との関係」については、この5年間で距離が近づきつつあると言えよう。担任のカウンセリングマインドが浸透しつつあるようにも思う。前述の通り、被侵害感の抑制、すなわちルールやマナーを守らせる指導は成果をあげていると思われるので、カウンセリングマインドとブレない指導は共存しうることが示されている。あるいは、本校1学年の担任2名体制という仕組みが、父性と母性のバランスを保ちながら学生に接することを可能にしているのかもしれない。

「学習意欲」の低下は、この5年間でかなりくい止めることができるようになった。しかし入学時点からさらに学習意欲を「引き上げる」には至っていない。学習支援は、クラス経営のなかで大きなウェイトを占めるようになってきているが、この課題は担任だけの力では既に限界が来ているように思う。教員間の連携や新しいアイデアが必要ではなかろうか。

「学級との関係」からみえてきたことは、クラスという40人単位でのまとまりは、維持することがなかなか難しいということである。1年間同じクラスで過ごすのだから、徐々にクラスがまと

まって、盛り上がって欲しい、と担任なら願うものだが、実態はそううまくは行っていない。一方、「友人との関係」については良好なので、言い換えれば、小グループから中グループまでは仲間になれるけれども、その小グループ同士が折り合いをつけて、クラスという単位の集団にまでは育っていないというのが現状ではなかろうか。学校行事など、クラス単位で取り組む機会がないわけではないので、そのような機会をもっと大切にして、活動の質を高めることが必要だと思われる。

最後に、これまで「クラス経営を評価する」ということ自体、あまり行われて来なかったと思う。担任制という制度がありながら、「担任力」を評価したり、教員のスキルアップを支援する仕掛けが校内には見当たらない。むしろ、「よそのクラスのこと」を言及するのはタブーであるような雰囲気さえ感じることがある。あるいは、クラスに課題があっても、達観主義的な意見や自嘲気味な説明しかなされないときもある。クラス経営に関する教育改善は、教員にとって押しつけられたノルマのようなものではなく、学生と接することやクラスが育っていくことが楽しみになるような大切な教育活動だと考える。そこに、Q-Uのような実証性のある評価方法を組み合わせれば、エビデンスベースの教育改善が可能となるだろう。

参 考 文 献

- 1) 河村茂雄 (2007) 学級づくりのためのQ-U入門, 第2版, 図書文化社
- 2) 堀智子, 黒田一寿, 堤博貴 (2009) Q-Uの活用による学生理解・学級理解とクラス経営の後方支援, 東京高専平成21年度学内重点配分経費
- 3) 堤博貴, 黒田一寿, 堀智子 (2010) Q-Uの活用による学生理解・学級理解とクラス集団育成, 東京高専平成22年度学内重点配分経費
- 4) 黒田一寿 (2012) Q-Uを用いた学級集団の分析, 東京工業高等専門学校研究報告書, 44 (1), 23-32
- 5) 黒田一寿 (2013) Q-Uを用いた学級集団の分析 (その2), 東京工業高等専門学校研究報告書, 44 (2), 27-36
- 6) 黒田一寿 (2013) Q-Uを用いた1年生の分析報告 (黒田レポート), 学内資料 (非公開)
- 7) 黒田一寿 (2013) Q-U等を用いた1年生クラス集団の分析, 平成25年度全国高専教育フォーラム教育研究活動発表概要集, 217-218

(平成27年12月25日 受理)

電磁超音波探傷法による材料内部欠陥の可視化

福田勝己* 西村良弘** 鈴木隆之** 池田泳樹*** 内部銀二*

Visualization of Internal Defects by Electromagnetic Ultrasonic Flow Detection Method

Katsumi FUKUDA, Yoshihiro NISHIMURA, Takayuki SUZUKI,
Eiki IKEDA and Ginji UCHIBE

In order to detect defects in high damping materials by Electromagnetic Acoustic Transducer, it is necessary to increase the power of the incident wave to the inspected object. As the first step, the fundamentals and the effectiveness of the impedance matching for chromium molybdenum steel were examined. Consequently, the effectiveness of the impedance matching was confirmed.

Keywords : Electromagnetic Acoustic Transducer, LC Circuit, Impedance Matching

1. 緒言¹⁾

化学プラントで使われているステンレス製の遠心铸造管は、その表面が凸凹しているため、超音波探傷プローブを押し当て走査することが困難である。また、ステンレス自体が高減衰材料であるため、超音波探傷による検査規格が存在せず、その製造過程において全数検査は行われていない。そのため、全数検査を実施することができる設備が実現できれば、ステンレス鋼管に高い信頼性を持たせることができる。そこで本研究では、被測定物を非接触で測定ができる電磁超音波探傷と高出力の電源及び探傷回路の電力効率を最大化するためのインピーダンスマッチング回路を用いて、ステンレス鋼管の内部欠陥の特定を目指している。本報では、マッチング回路開発の初期段階として、反射信号の取得が容易なクロモリブデン鋼を対象に測定を実施し、インピーダンスマッチングの有効性について検討した。

また、従来の超音波探傷は欠陥の有無などの判断に熟練を必要とする。そこで本研究では、熟練を必要としない画像によって欠陥の有無などを確認できるシステムの開発を目指している。

2. 電磁超音波探傷法²⁾

2-1. 電磁超音波探傷法とは

電磁超音波探傷法とは、コイルと永久磁石とで構成されるプローブの電磁的作用によって、被検査体（金属材料の表面）が振動し発生する超音波を用いて探傷を行う技術である。圧電素子による超音波探傷の場合、センサと被検査体の間に接触媒質が必要になるが、電磁超音波の場合は接触媒質が必要なく、被検査体に対して非接触で測定することができる（図1）。また、電磁超音波は被検査体の磁性によって超音波の発生メカニズムが異なる。

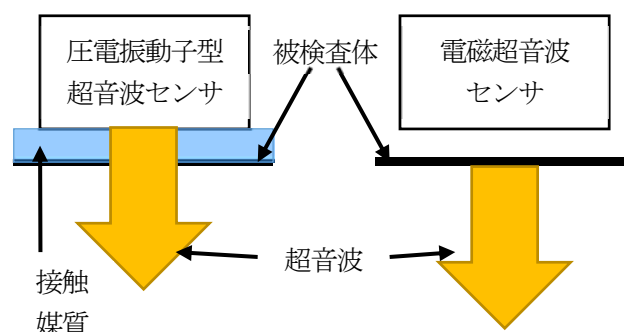


図1 電磁超音波と圧電振動子型超音波の比較

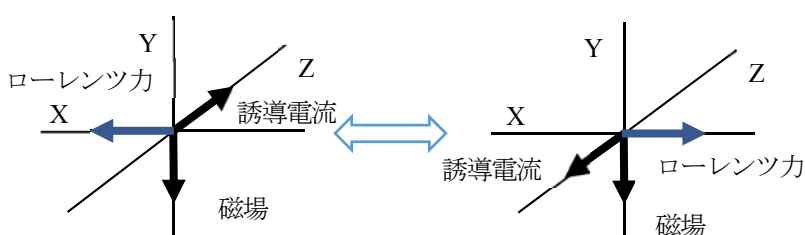


図2 ローレンツ型電磁超音波の発生メカニズム

2-2. ローレンツ力型

駆動力としてローレンツ力を用いるもので、被検査体が常磁性体の場合に使用される。被検査体上でコイルに交流電流を流すと、周期的に変動する渦電流が発生する（図 2）。この渦電流と磁石による静磁場によって、周期変動するローレンツ力が発生し、超音波に変換される。このメカニズムの逆過程によって超音波の受信を行う。

2-3. 磁歪効果型

被検査体が強磁性体の場合、図 3 に示すように、静磁場を付加することによって磁区の整列や磁気スピンの発生し、伸縮が発生する（磁歪効果）。コイルに流れる交流電流により発生する誘導磁場をこの付加磁場に重畳すると、磁場の強度が周期的に変動し、被検査体の周期的な伸縮が起こり、超音波に変換される。この逆過程によって超音波の受信を行う。

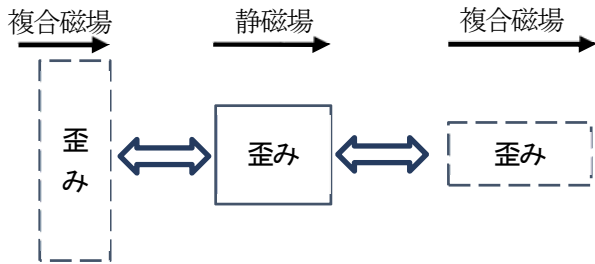


図 3 磁歪効果型電磁超音波の発生メカニズム

3. インピーダンスマッチング

3-1. 出力と入力との関係

インピーダンスマッチングとは、出力インピーダンスと入力インピーダンスをマッチング(整合)させることである。図 4 に入力インピーダンス Z_i をもつ電源とインピーダンス Z_0 をもつプローブからなる交流回路を示す。図中の E は見かけの電圧、 E_{out} は真の電圧を表す。 E_{out} から見れば、 Z_i と Z_0 には同じ電流が流れるため、どちらがより大きな電力を消費するかは、 Z_i と Z_0 とのバランスによって決まる。それぞれのインピーダンスは(1)、(2)式のように表される。

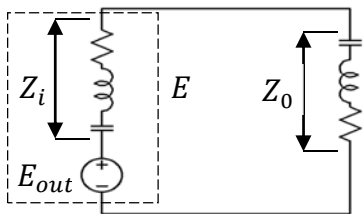


図 4 電源とプローブの回路図

$$Z_i = R_i + jX_i \quad (1)$$

$$Z_0 = R_0 + jX_0 \quad (2)$$

プローブで消費される電力 P は(3)式で表され、消費電力 P が最大になる条件は(4)、(5)式のように、 Z_i と Z_0 とが複素共役である場合である。

$$P = \frac{R_0}{(R_i + R_0)^2 + (X_i + X_0)^2} |E_{out}|^2 \quad (3)$$

$$R_i = R_0 \quad (4)$$

$$X_i = -X_0 \quad (5)$$

3-2. LC 回路によるインピーダンスマッチング

超音波探傷装置は一般に電力効率を考え設計されている電源とプローブがセットで販売されているが、本研究ではそれらを用いないため、電力効率が悪い可能性が高い。そこで図 5 に示すような LC 回路によってインピーダンスマッチングを実施した。

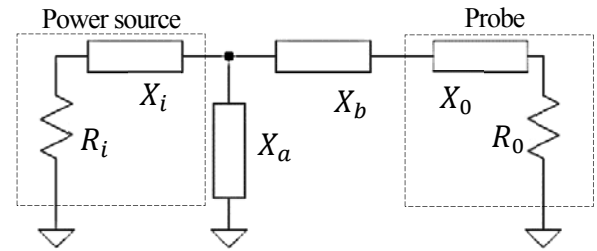


図 5 マッチング回路の一例

図 5 において、 X_a 及び X_b はインダクタまたはキャパシタのリアクタンスである。それらの大きさは(6)、(7)式で表される。

$$X_a = \frac{-(R_i^2 + X_i^2)}{QR_i + X_i} \quad (6)$$

$$X_b = QR_0 - X_0 \quad (7)$$

ここで Q は、(6)式で定義される。

$$Q = \pm \sqrt{\left(\frac{R_i [1 + \left(\frac{X_i}{R_i} \right)^2]}{R_0} - 1 \right)} \quad (8)$$

また、図 5 においてプローブと電源の位置を逆にする事で異なる X_a 及び X_b を求めることができる。

よって, インピーダンスマッチングには合計 4 つの解が存在する.

3-3. マッチングのスミスチャートによる理解

インピーダンスマッチングを行う際によく用いられるものにスミスチャートがある. スミスチャートを使うことによって, インピーダンスマッチング回路のある部分にどのような素子が必要になるか, その素子の値をどうしなければならないかを直観的に判定することができる.

図 6 に示すような横軸にレジスタンス, 縦軸にリアクタンスを取った X-Y 対数座標系の Y 軸の端点(無限点)を図 7 のように曲げると図 8 のようなもの (インピーダンス・スミスチャート) になる. 図 8 において, 中央線 (水平に伸びている直線) は回路の抵抗値 R を表している. 中央線に接して伸びている円弧は回路のリアクタンス値 X を表している. インピーダンスチャートを使うことで, どのような素子を負荷 (プローブ) に対して直列に接続すればよいか分かる.

また, 回路中の電流の流れやすさを表すアドミタンス ($Y = Z^{-1}$) についてもチャートがあり, アドミタンス・スミスチャートという. これはスミスチャートを 180° 回転させた形をしている. アドミタンスチャートを使うことで, どのような素子を並列に接続すればよいか分かる.

多くの場合, 負荷に対して素子を直並列に接続し, マッチングを図るため, これら 2 つのチャートを組み合わせたイミッタンスチャートと呼ばれるものを用いる. 解説のためイミッタンスチャートの一部を拡大表示したものを図 9 に示す. 図 9 において, 負荷に対して素子 (インダクタンスまたはキャパシタンス) を並列に接続すると点 A はアドミタンスチャートに沿って移動する. 負荷に対して素子を直列に接続すると点 A はインピーダンスチャートに沿って移動する. これに従って基準点 (図中(1,0)のことで, 線路の特性インピーダンスのことを指す. 図 9 では横軸, 縦軸共に特性インピーダンスで除しているため, (1,0)が基準点となる.) を目指して移動するように調整し, 負荷に接続する素子を決定する.

図 9 の点 B ではマッチングの解が 4 通り存在しているが, インピーダンスチャートにおいて, 負荷インピーダンスが基準点を通る円の内側に位置するとき, 図 5 に示した素子の配置では(8)式の Q が虚数となり, 解が求まらないため, マッチングの解は 2 通りになる. アドミタンスチャートにおいても同様で, 解は 2 通りになる.

本研究では, LC 回路の計算((6), (7), (8)式)とスミスチャートの両方を用いてインピーダンスマッチングを行っている.

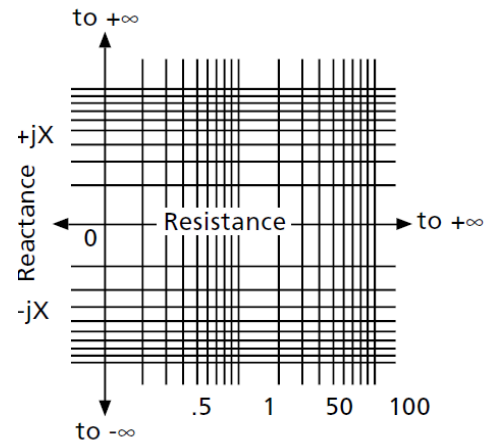


図 6 対数 X-Y 座標系³⁾

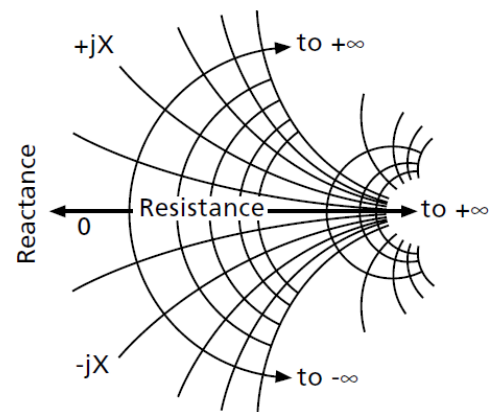


図 7 X-Y 座標系の端点を曲げる様子³⁾

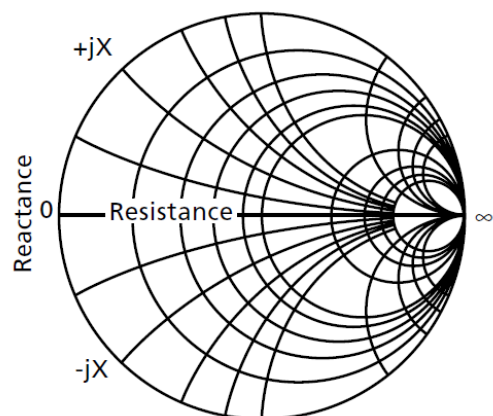


図 8 インピーダンス・スミスチャート³⁾

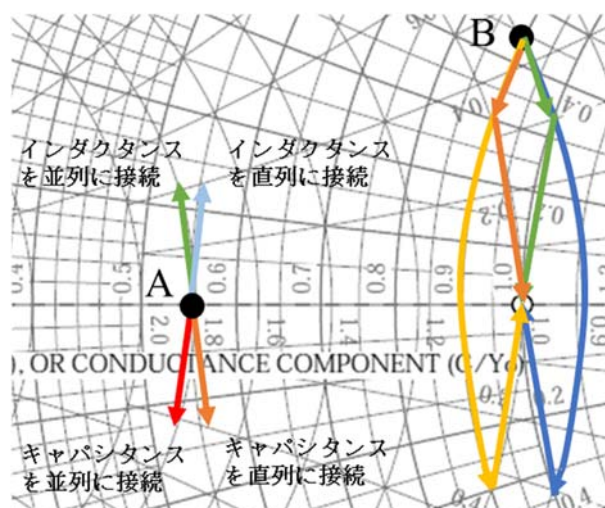


図9 イミッタンスチャート及びチャート上での負荷インピーダンスの動き方の例

4. プローブのインピーダンス測定

インピーダンスマッチングについて検討するためには、プローブのインピーダンスの測定値が必要である。そこでLCRハイテスタ3535（日置電機社製）を用いて、各周波数におけるプローブのインピーダンスを測定した。図10にプローブ及び電磁超音波探傷の被検査体としたクロムモリブデン鋼の寸法を示す。プローブはE110-SB（OLYMPUS社製）を用いた。

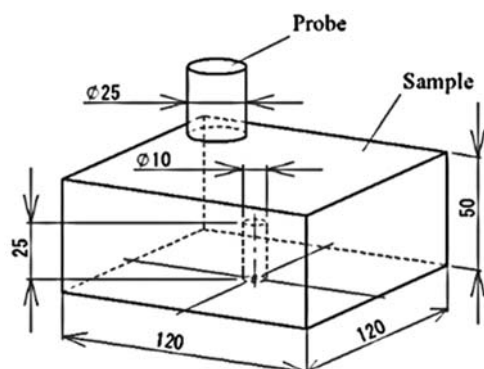


図10 プローブ及び被測定物の寸法

図10に示したようにプローブをクロムモリブデン鋼の上に配置した状態でプローブのインピーダンス測定を行った。その結果を表1に示す。

表1 プローブのインピーダンス測定結果

周波数[MHz]	R[Ω]	X[Ω]
4.6	22.06	105.64
5.0	27.62	123.9
5.2	31.23	134.6

5. シミュレーション

実機で電磁超音波測定を行う前に、シミュレーションによってインピーダンスマッチングの効果を確認した。まず、測定したプローブのインピーダンスから、マッチングに必要な素子を計算した。今回は出力インピーダンスを 50Ω とし、(8)式の Q が負の場合について計算した。その結果を表2に示す。

表2 インピーダンスマッチングに用いる素子の値

周波数[MHz]	$L_a[\mu\text{H}]$	$C_b[\text{pF}]$
4.6	1.53	264.67
5.0	1.77	213.74
5.2	1.97	192.58

表2において L_a とは、図5における X_a に挿入するインダクタンス値であり、 C_b とは図5における X_b に挿入するキャパシタンス値のことである。

表2の値を用いてシミュレーター (LTspice) 上で回路を作成し、シミュレーションを実施した。その結果を図11に示す。図11より、各周波数において電圧が最大になっていることが確認された。

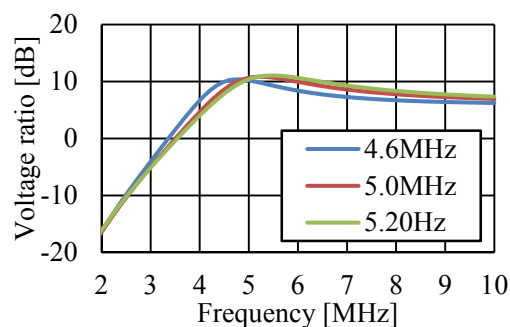


図11 マッチングシミュレーションの結果

6. インピーダンスマッチング

6-1. LC回路

図12に本研究で製作したLC回路を示す。この回路はバリャブルコンデンサ (10~250pF) とロータリーインダクタ (300nH~16μH) から構成されており、各つまみを回すことでその値を調整することができる。

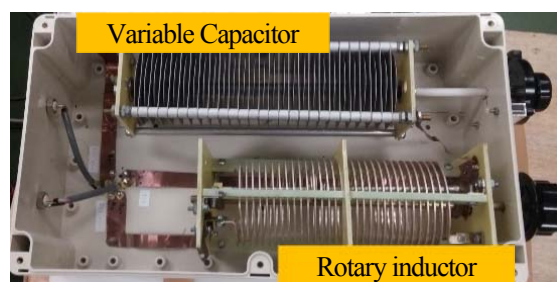


図12 製作したLC回路

6-2. インピーダンスマッチングの手順

以下の手順でインピーダンスマッチングを行った。

- (1). LC 回路を構成する各素子を LCR ハイテスタに接続し, 表 2 の値になるようにつまみを回す。
- (2). LC 回路とプローブを接続する。
- (3). LC 回路及びプローブの合成インピーダンスを LCR ハイテスタで観測しながら, 各つまみを操作し, 出力インピーダンス (50Ω) の複素共役, つまり 50Ω となるように調整する。

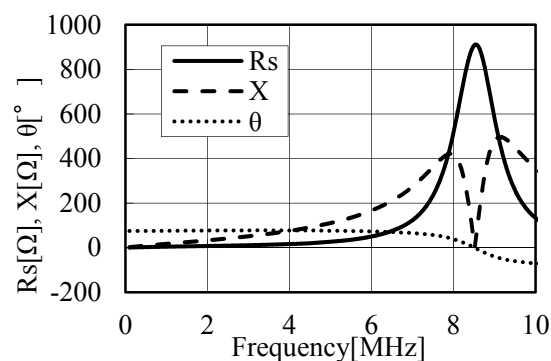


図 13 プローブ単体の周波数特性

6-3. インピーダンスマッチングの確認

図 12 に示す LC 回路によって電源の出力インピーダンス (50Ω) とプローブ (入力側の回路全体) のインピーダンスとが複素共役の関係になっているかを確認するため, LCR ハイテスタ 3535 を用いて入力側回路全体の周波数特性を測定した。また, その比較としてプローブ単体 (LC 回路を接続しない) についても周波数特性を測定した。プローブ単体の周波数特性を図 13 に, 各周波数においてインピーダンスマッチングを実施した場合の周波数特性を図 14 に示す。

プローブ単体の周波数特性を示す図 13 において, どの周波数においてもプローブのインピーダンスが電源の出力インピーダンスと複素共役にならないことがわかる。

一方で図 14 では, インピーダンスマッチングを実施した各周波数において, 電源の出力インピーダンスと入力側の回路全体の合成インピーダンスが複素共役になっていることがわかる。

また, インピーダンスマッチングが実施されている状態で, 各素子のインダクタンス及びキャパシタンスを測定した。その結果と表 2 の計算値とを比較した表を, 表 3 に示す。表 3 より, 計算値と実測値とは大きな差があることがわかる。これは計算においては回路を形成する線路の影響を考えていないためであると考ええる。実際には線路はインダクタンスとして作用しているため実測値の方が計算値よりも大きなインダクタンスを示し, 小さなキャパシタンスを示したと考える。

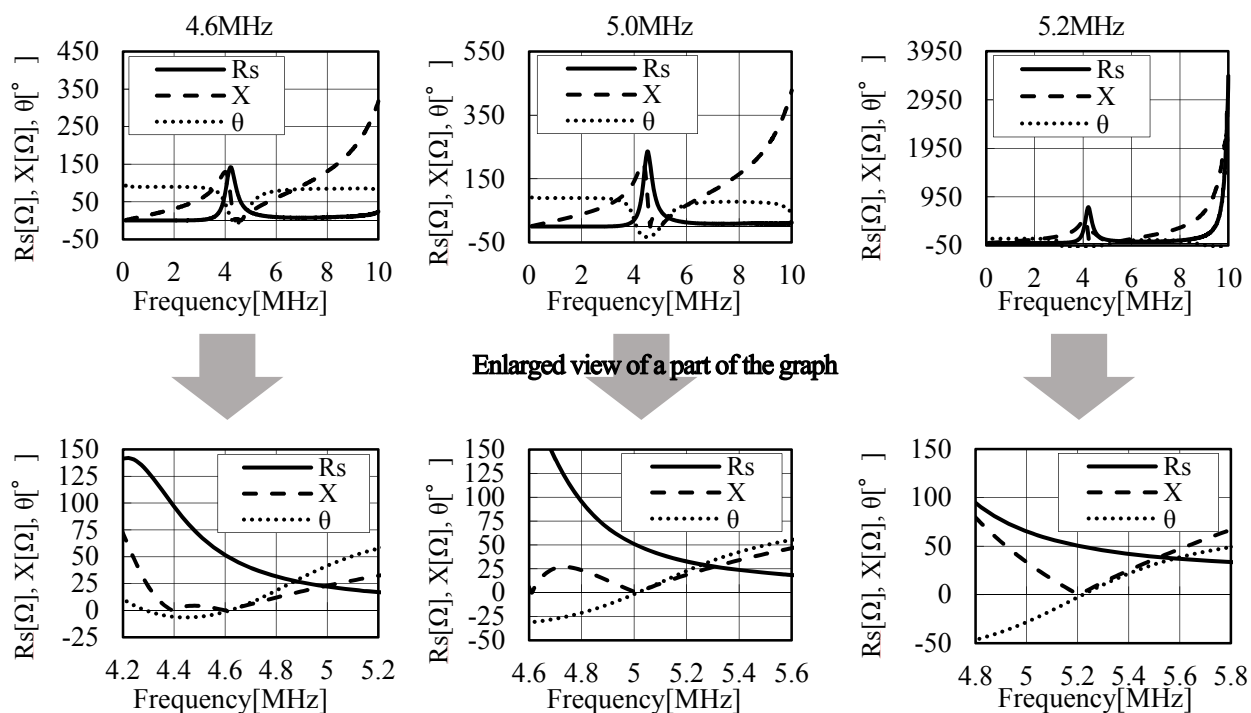


図 14 各周波数においてインピーダンスマッチングを実施した場合における入力側の回路全体の周波数

表 3 マッチングに使用した素子の計算値と実測値

周波数 [MHz]	計算値		実測値	
	La[μ H]	Cb[pF]	La[μ H]	Cb[pF]
4.6	1.53	264.67	2.33	222
5.0	1.77	213.74	3.33	160
5.2	1.97	192.58	6.09	153

7. 電磁超音波探傷波形の比較

7-1. 検査対象

被検査体は図 10 に示した直方体のクロムモリブデン鋼で、探傷面の裏面の中心から直径 10mm のドリルで穴をあけ、仮想欠陥としたものである。

7-2. 測定装置

測定装置のシステム図を図 15 に示す。本システムではファンクションジェネレータに WW2571A (Tabor Electronics 社製) を、パルサー・レシーバーに RPR-4000 (RITEC 社製) を、3 次元スキャナには産総研が独自開発したものを使用した。

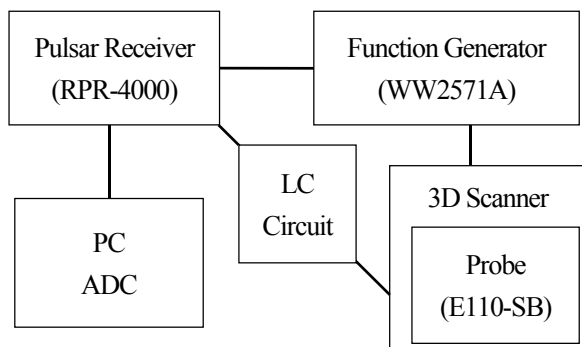
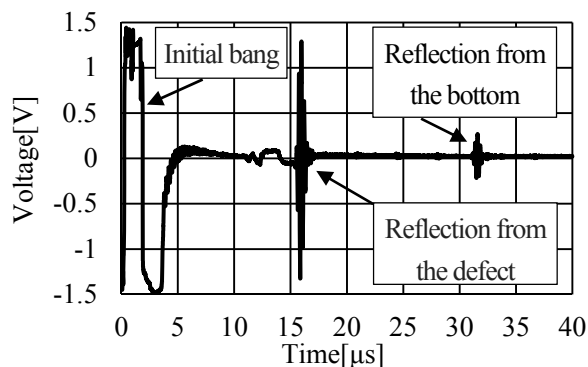


図 15 測定システム

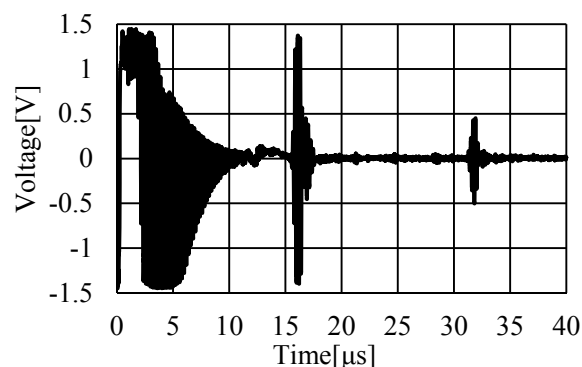
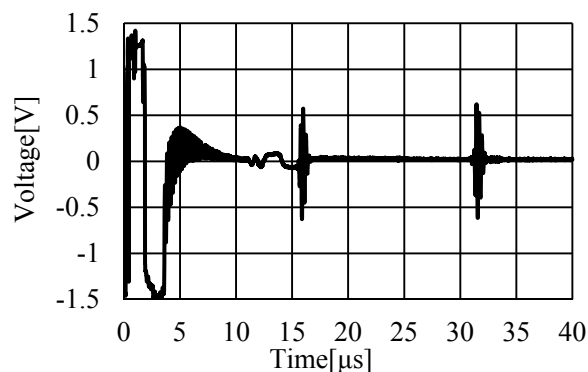
7-3. 波形測定

図 6 の被検査体を対象に各周波数においてインピーダンスマッチングを実施しない場合 (パルサー・レシーバーとプローブとの間に LC 回路を挿入しない場合) と、実施した場合で測定される反射波の比較を行った。図 6 において、仮想欠陥のほぼ真上にプローブを固定し、1000 回の測定を実施し、その平均値を求めた。

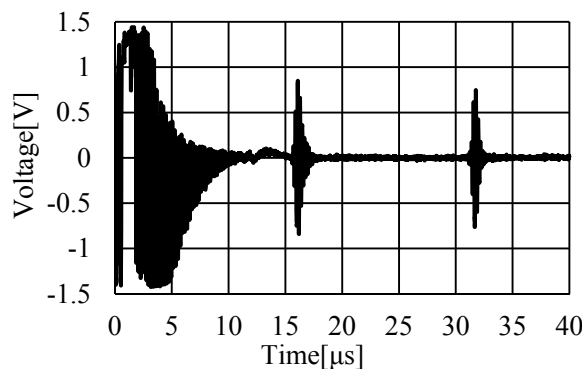
その結果を図 16~18 に示す。図 16~18 より、どの周波数においてもインピーダンスマッチングを実施したほうが実施しない場合よりも反射波が大きいことがわかる。これはつまり、電力効率が高まり、入射波が大きくなったためだと考えられる。以上より、インピーダンスマッチングの有効性が確認された。また、各周波数のインピーダンスマッチングを実施しない場合を比べると、波形の大きさが違うことがわかる。これは各周波数で測定点が違うためである。

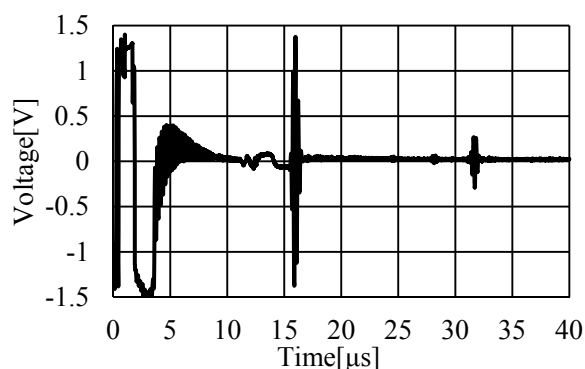


(a) インピーダンスマッチングを実施しない場合

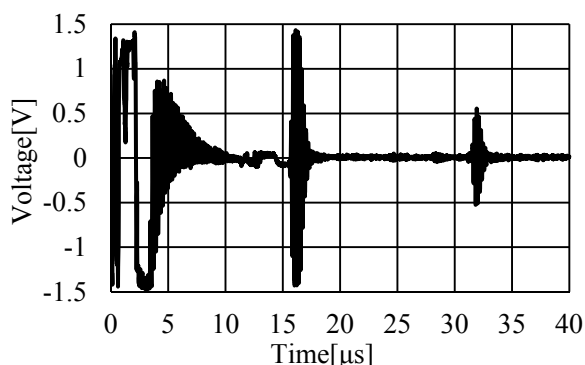
(b) インピーダンスマッチングを実施した場合
図 16 4.6MHz における反射波の測定結果

(a) インピーダンスマッチングを実施しない場合

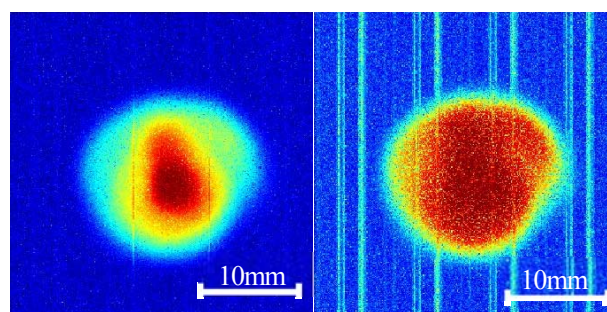
(b) インピーダンスマッチングを実施した場合
図 17 5.0MHz における反射波の測定結果



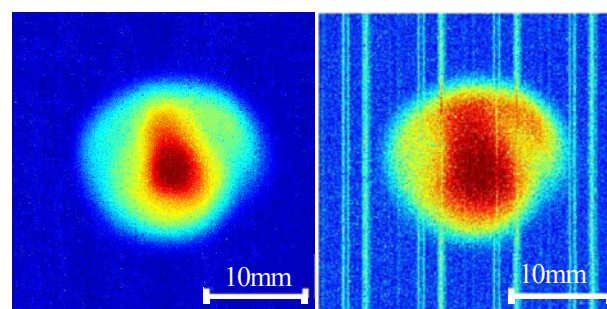
(a) インピーダンスマッチングを実施しない場合



(b) インピーダンスマッチングを実施した場合
図 18 5.2MHz における反射波の測定結果



(a) マッチングなし (b) マッチングあり
図 19 4.6MHz における画像の取得結果



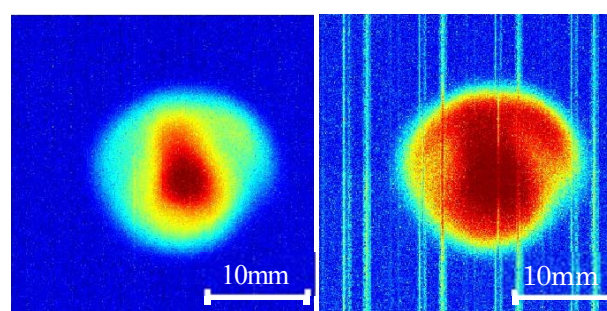
(a) マッチングなし (b) マッチングあり
図 20 5.0MHz における画像の取得結果

8. 画像化

図 10 の被検査体上面で仮想欠陥をほぼ中心とする 30mm×30mm の範囲について、3次元スキャナを用いて走査(X 方向に 0.01mm 間隔で 3000 点かつ 10 点ごとに平均化、Y 方向に 0.1mm 間隔で 300 点)し、画像を取得した。画像の取得はインピーダンスマッチングを実施しない場合と実施した場合の両方について行った。その結果を図 19~図 21 に示す。図 19~21 より、どの周波数においてもインピーダンスマッチングを実施したほうが、欠陥のサイズをより正確に再現できていることがわかる。このことから、画像化においてもインピーダンスマッチングが有効であることが確認された。

9. 結言

ステンレス鋼に対する電磁超音波探傷システム開発の初期段階として、クロムモリブデン鋼に対しインピーダンスマッチングを実施した場合と実施しない場合とで比較測定を行った。その結果、シミュレーション、波形測定、画像化においてインピーダンスマッチングの有効性が確認できた。



(a) マッチングなし (b) マッチングあり
図 21 5.2MHz における画像の取得結果

参考文献

- 1) Y.Nishimura, T.Suzuki, K.Fukuda, M, Fukuta, E. Ikeda, "ULTRASONIC IMAGE RECONSTRUCTION OF INTERNAL DEFECTS DERIVED BY EMAT USING TRUNCATED SINGULAR VALUE DECOMPOSITION", WCCM 2014 proceedings, Ebook Congreso Mundial TOMO VI.
- 2) Masahiko Hirao, Hirotsugu Ogi. "EMATs for Science and Industry Noncontacting Ultrasonic Measurements". Springer, (2003), pp.39-43.
- 3) Advanced Energy®, "インピーダンス整合" http://www.advanced-energy.co.jp/upload/File/White_Papers/JPN-WHITE18-270-02.pdf

[Accessed 21 December 2015].

- 4) Gary Petersen, L-Matching the Output of a RITEC Gated Amplifier to an Arbitrary Load. [pdf] Available at: <http://www.ritecinc.com/pdfs/match3.pdf> [Accessed 21 August 2014]

(平成 27 年 12 月 25 日 受理)

一方向性炭素繊維強化樹脂積層板および金属材料の被着体を有する 単純重ね合わせ接着継手の引張せん断強度特性

志村 穰*, 伊藤 惇**, 林 丈晴*, 黒崎 茂***

Tensile Shear Strength Properties for Adhesively Single-lap Joints Composed of Unidirectional CFRP Laminates and Metal Materials

Jyo SHIMURA, Jun ITO, Takeharu HAYASHI, Shigeru KUROSAKI

Recently, adhesive bonding has been used in functional composite structures. The purpose of this study was to clarify the strength properties for adhesively bonded single-lap joints composed of unidirectional CFRP and metal material adherends subjected to tensile shear loads. Tensile shear experiments using universal test machine were carried out to measure the failure loads of various joints. In addition, the effects of adhesive thickness, lap length and metal side adherend on the tensile shear strength were investigated. From the experimental results, it was found that the tensile shear strength and crosshead displacement increase as Young's modulus of the metal adherend increases. Furthermore, the tensile shear strength became lower with increasing the lap length. Besides, no relation was recognized between the adhesive thickness and the tensile shear strength.

(Keywords: Adhesively Single-lap Joint, UD-CFRP, Tensile Shear Strength, Adhesive Thickness, Lap Length)

1. 緒言

近年、環境性能および運動性の向上を目的に複合材料の開発、適用が進んでおり、従来の構造部材と炭素繊維強化プラスチック(以下、CFRP と記す)との接合が重要な課題となっている。繊維方向に高強度、高弾性率を有する異方性材料である CFRP はその優れた機械的特性を活かし、航空機、輸送機器やスポーツ用品の軽量化、高性能化に寄与している。

CFRP と等方性材料として扱われる金属被着体が接着接合された場合、CFRP の異方性が接着層の応力分布に影響を及ぼすと考えられる。そこで本研究室では、強い異方性を示す一方向性炭素繊維強化プラスチック(以下、UD-CFRP と記す)と金属材料で構成される単純重ね合わせ接着継手を対象とし、強度特性の解明を中心に研究を進めている。小坂ら¹⁾は、UD-CFRP と金属材料から成る単純重ね合わせ接着継手に引張せん断荷重が作用する場合の有限要素応力解析を行い、接着部の応力状態を詳細に調査するとともに、接着層厚さや重ね合わせ長さが継手の力学特性に及ぼす影響を検討した。豊川ら²⁾は、上述と同様の接着継手に曲げモーメントを負荷した時の強度特性を三点曲げ負荷実験および三次元有限要素応力解析により明らかにした。

本研究では、小坂ら¹⁾の研究内容を発展させることを目的に、UD-CFRP/Metal 単純重ね合わせ接着継手の引張せん断強度特性を実験的に解明することとする。被着体金属材料はアルミニウム合金 A6063 および一般構造用圧延鋼 SS400 を対象にし、被着体材

料の組み合わせが引張せん断強度に及ぼす影響を検討するとともに、接着層厚さおよび重ね合わせ長さの影響についても調査を行う。

2. 実験方法

2.1 継手形状および継手構成材料

本接着継手の形状および寸法は、日本工業規格「JIS K6850 接着剤—剛性被着材の引張せん断接着強さ試験方法³⁾」に準拠し、Fig.1 に示すものとした。被着体の組み合わせの呼称方法は、Fig.1 の状態を基本とし以後、(Adherend A)/(Adherend B)と記す。被着体材料はアルミニウム合金 A6063-T5 と一般構造用圧延鋼 SS400 の 2 種類の金属材料および UD-CFRP を使用した。実験に供する UD-CFRP 材は、東レ製炭素繊維トレカ T700SC とエポキシ樹脂により構成されるトレカー方向プリプレグを用いて、サカイ・コンポジット社により積層、成形されたものである。本 UD-CFRP の仕様を Table 1 に示す。これらを構造用接着剤により接着接合し、UD-CFRP と A6063 お

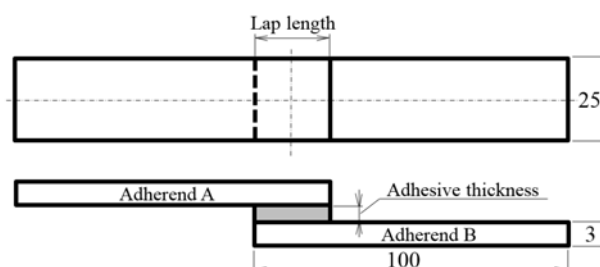


Fig.1 Dimension and geometry of single lap joint

Table 1 Specification of UD-CFRP

Carbon fiber	T700SC
Matrix resin	Epoxy (#2592)
Number of ply	12
Fiber direction	0°

Table 2 Material constants of adherends and adhesive

Material	Young's modulus [GPa]		Poisson's ratio	
	E_x	$E_y = E_z$	$\nu_{xy} = \nu_{xz}$	ν_{yz}
UD-CFRP	115	7.60	0.35	0.02
A6063	70.31		0.33	
SS400	206		0.30	
SW1838 B/A	3.40		0.39	

Table 3 Parameters of adhesively boned part (unit: mm)

Adhesive thickness	0.05	0.10	0.20
Lap length	6.25	12.50	25.00

よび SS400 材からなる 2 種類の接着継手試験片(以後、UD-CFRP/A6063 joint, UD-CFRP/SS400 joint と記す)を対象とする。比較のため、金属材料同士の接着継手試験片(以後、A6063/A6063 joint, SS400/SS400 joint と記す)も 2 種類製作した。Table 2 に継手構成材料の材料特性値を示す^{1,4)}。また、接着条件が引張せん断強度に及ぼす影響を考察するため、Table 3 に示すように接着厚さおよび重ね合わせ長さを変化させる。

2.2 接着継手試験片の製作

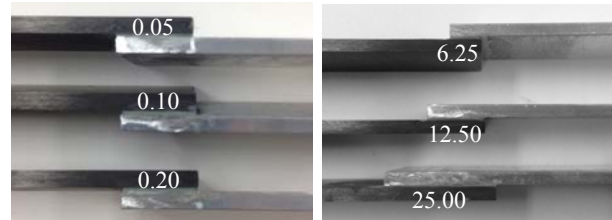
試験片における接着面の表面処理はサンドペーパーにより算術平均粗さ $Ra\ 2.0\mu m$ 程度に調整し、アセトンによる表面の洗浄および脱脂を行う。その後、ミットヨ製小形表面粗さ測定器 SURFTTEST SJ-210 を用いて接着面の表面粗さを測定する。接着剤はエポキシ系構造用接着剤住友スリーエム SW1838B/A を使用する。本接着剤は二液室温硬化型接着剤であり、主成分エポキシ樹脂の主剤と主成分ポリアミドアミンおよび酸化クロムの硬化剤を重量比 1:1 で混合したあと、接着部に塗布する。この際に専用の治具を用いることで接着層厚さの調整を行う。その後、定温乾燥機により室温 $25^{\circ}C$ に設定し 24 時間乾燥させる。接着部のだれはデザインナイフと電動グラインダーを用いて除去する。Fig.2 に製作した接着継手試験片 UD-CFRP/A6063 joint の外観を、Fig.3 に接着条件を変化させた各接着継手試験片の接合部をそれぞれ示す。

2.3 引張せん断負荷実験

製作した接着継手試験片を島津製作所製精密万能試験機オートグラフ AG-Xplus に取り付け、変位速



Fig.2 Fabricated joint specimen, "UD-CFRP/A6063 joint"



(a) Adhesive thickness

(b) Lap length

Fig.3 Each joint specimen for parameter variations



Fig.4 Experimental setup of tensile shear test

度 $0.3[mm/min]$ の引張せん断を負荷し、継手が破壊するまでのクロスヘッド変位および荷重を記録する。なお、本継手形態は引張せん断負荷の際に接着部に曲げモーメントも作用するため、これを取り除くことを目的に試験片両端部にタブを設けている。

また、被着体材料の組み合わせが引張せん断強度に及ぼす影響を調べるために、接着継手試験片を計 4 種類(A6063/A6063 joint, UD-CFRP/A6063 joint, SS400/SS400 joint, UD-CFRP/SS400 joint)用意し、各試験片 5 回ずつ、合計 20 回の試験を行った。この際の接着条件は接着層厚さ $0.10[mm]$ 、重ね合わせ長さ $12.50[mm]$ である。くわえて、UD-CFRP/A6063 joint における接着条件を変化させ、それらが引張せん断強度に及ぼす影響を検討した。接着層厚さ 0.05 、 $0.20[mm]$ の接着継手試験片についてそれぞれ 5 回ずつの実験を実施した。次に、重ね合わせ長さと同張

せん断強度との関係を把握するため、重ね合わせ長さを 6.25, 25.00[mm]に変化させた接着継手試験片に対して各 5 回の実験を行った。引張せん断負荷実験の様子を Fig.4 に示す。

3. 実験結果および考察

3.1 被着体材料の組み合わせの影響

UD-CFRP/A6063 joint, UD-CFRP/SS400 joint, A6063/A6063 joint および SS400/SS400 joint の引張せん断負荷実験により得られた荷重-クロスヘッド変位線図を Fig.5 に示す。実験は各継手 5 回行っているが、図中に示されているものはそれぞれの一例である。各継手の破壊に至るまでの挙動はほぼ線形的であり、被着体に UD-CFRP を用いた場合は、破壊荷重、クロスヘッド変位ともに増加する傾向が見られる。Fig.6 は引張せん断負荷試験により得られた荷重およびクロスヘッド変位をもとに、引張せん断強度とクロスヘッド変位のそれぞれを算術平均値として整理したものである。接着条件は接着層厚さが 0.10[mm]、重ね合わせ長さが 12.50[mm]である。引張せん断強度は継手の破壊荷重を接着面積 312.5[mm²]で除することにより算出した。実験回数は各継手 5 回である。4 種の継手のうち、UD-CFRP/SS400 joint の引張せん断強度およびクロスヘッド変位が最も高くなっている。全体の傾向として、被着体材料に SS400 を用いると引張せん断強度、クロスヘッド変位ともに高くなる傾向が確認できる。SS400 より剛性の低い A6063 を被着体に用いる方が継手全体の伸びが大きくなると予想されるが、実際には SS400 で構成される継手の方が伸びている。これは継手構成材料の機械的特性のみならず、接着面性状が影響していると考えられる。各継手の破壊形態を確認したところ、UD-CFRP/A6063 joint は A6063 側界面から接着層がはく離していた。この傾向は UD-CFRP/SS400 joint にも見られ、UD-CFRP と金属材料を被着体とする継手の特徴のようである。継手試験片製作時に、接着面の表面粗さを $Ra=2.0[\mu m]$ 程度に調整しているが、実際には SS400 の接着面は A6063 のそれより、若干粗い状態になっているため、このことが UD-CFRP/SS400 joint の引張せん断強度および伸びが大きくなる原因と推察される。

3.2 重ね合わせ長さの影響

Fig.7 は重ね合わせ長さに対する引張せん断強度、クロスヘッド変位との関係である。UD-CFRP/A6063 joint の接着層を 0.1mm で固定し、重ね合わせ長さを 6.25, 12.50 および 25.00[mm]の 3 通りに変化させた。

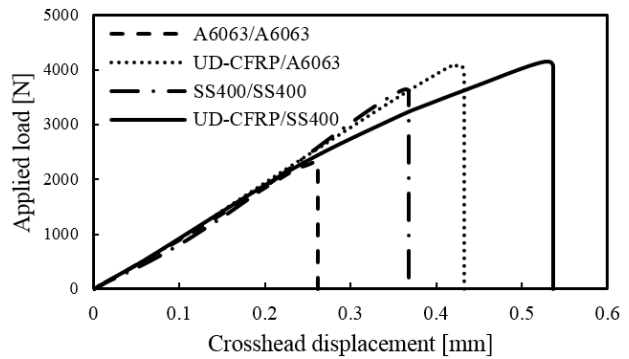


Fig.5 Applied load – crosshead displacement diagram

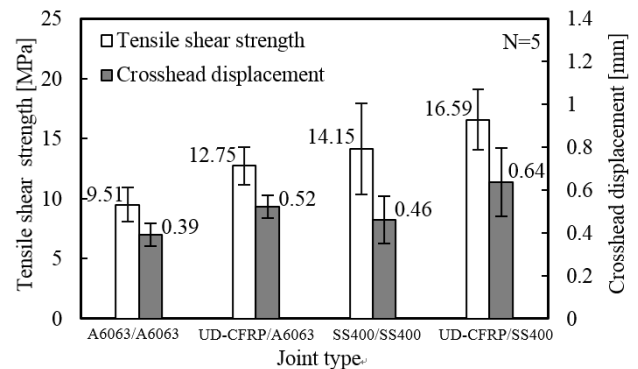


Fig.6 Relationship among tensile shear strength, crosshead displacement and joint type

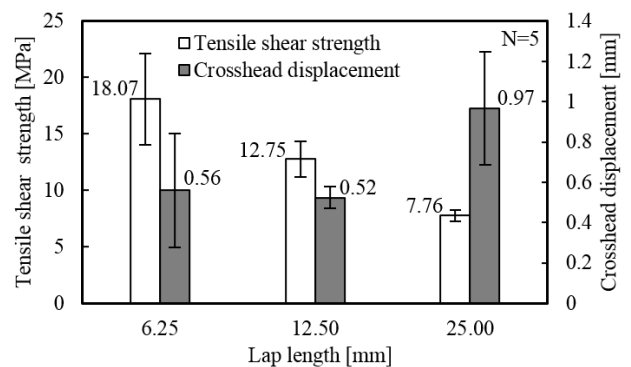


Fig.7 Effects of lap length on tensile shear strength and crosshead displacement

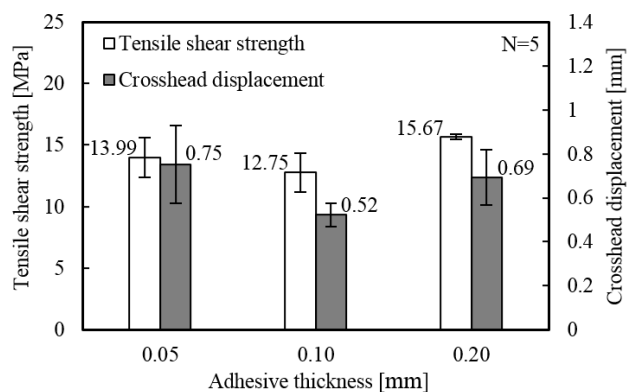


Fig.8 Effects of adhesive thickness on tensile shear strength and crosshead displacement

図中には各継手 5 回の測定値の算術平均値を示している。この図によると、重ね合わせ長さを小さくするほど、引張せん断強度が高くなる反面、ばらつきが大きくなっている。一方、クロスヘッド変位は重

ね合わせ長さとの関係を見出せず、全体としてばらつきも大きい。

3.3 接着層厚さの影響

Fig.8 は、接着層厚さが引張せん断強度およびクロスヘッド変位に及ぼす影響を示す。UD-CFRP/A6063 joint の重ね合わせ長さを 12.50[mm]で固定し、3 種類の接着層 0.05, 0.10, 0.20[mm]を検討した。図中のプロットは各継手 5 回の測定値の算術平均値である。引張せん断強度は接着層が 0.20[mm], クロスヘッド変位は 0.05[mm]の時にそれぞれ最大値を示したが、双方とも接着層厚さに対する規則性は見られない。ただし、小坂ら¹⁾によると接着層を 0.5[mm]まで大きくするほど、接着層界面端部のせん断応力が抑制されることを示唆しており、本研究で設定した 0.2[mm]より大きい接着層厚さでの検討が望まれる。

3.4 破断面観察

3.4.1 A6063/A6063 joint の場合

A6063/A6063 joint の破断面の一例を Fig.9 に示す。この場合の重ね合わせ長さおよび接着層厚さはそれぞれ 12.50, 0.1[mm]である。この図より、片方の接着面に多くの接着剤の付着が見られる。この傾向は残りの継手試験片においても同様であり、界面破壊が支配的であると言える。

3.4.2 UD-CFRP/A6063 joint の場合

Fig.10(a)は重ね合わせ長さ 6.25[mm], 接着層厚さ 0.10[mm]の時の破断面の一例である。この図に限らず他の試験片においても、A6063 側の接着面に部分的に UD-CFRP が付着していることを確認でき、これ以外の領域では界面破壊が生じている。この継手では界面破壊と UD-CFRP 被着体の材料破壊が混在していることから、UD-CFRP 被着体の材料強度そのものも継手強度に影響を及ぼしていると推察される。

Fig.10(b)に重ね合わせ長さ 12.50[mm], 接着層厚さ 0.10[mm]の場合の一例を示す。この図では Fig.10(a)と同様に界面破壊と材料破壊とが混在した破壊様相を呈しているが、Fig.10(a)よりも界面破壊の占める割合が増加する傾向が確認できる。

Fig.10(c)は重ね合わせ長さ 25.00[mm], 接着層厚さ 0.10[mm]の際の破断面の一例である。A6063 側の界面からほぼ全ての接着剤が剥離していることがわかる。残り全ての試験片でも同様な破壊形態を示すため、界面破壊が支配的であると考えられる。

UD-CFRP/A6063 joint では、重ね合わせ長さを小さくすると、UD-CFRP 被着体の重ね合わせ部の曲げ

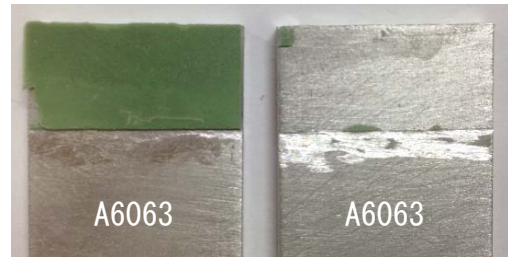
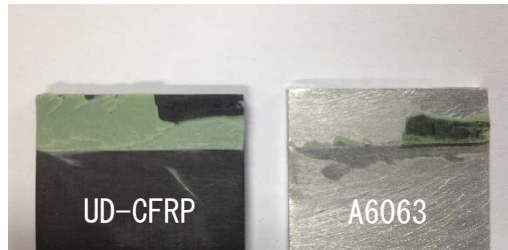
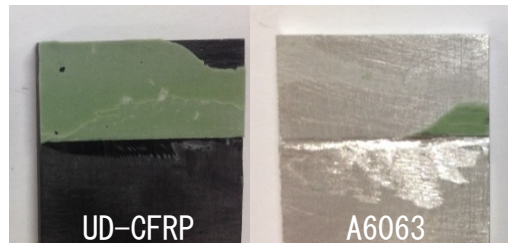


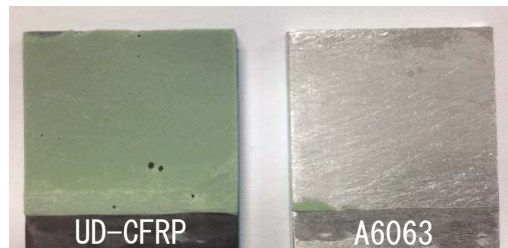
Fig.9 Fracture surface in the case of A6063/A6063 joint



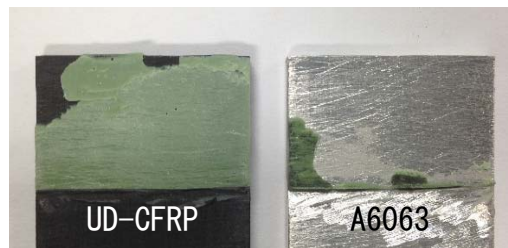
(a) Cases of lap length and adhesive thickness are 6.25mm and 0.10mm, respectively



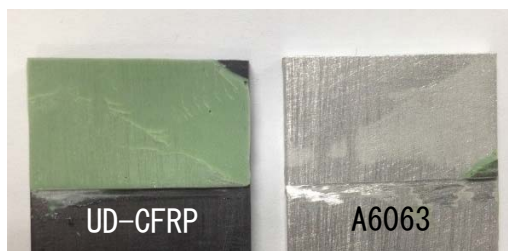
(b) Cases of lap length and adhesive thickness are 12.50mm and 0.10mm, respectively



(c) Cases of lap length and adhesive thickness are 25.00mm and 0.10mm, respectively



(d) Cases of lap length and adhesive thickness are 12.50mm and 0.05mm, respectively



(e) Cases of lap length and adhesive thickness are 12.50mm and 0.2mm, respectively

Fig.10 Fracture surface in the case of UD-CFRP/A6063 joint

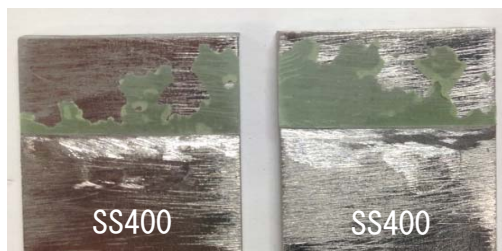


Fig.11 Fracture surface in the case of SS400/SS400 joint



Fig.12 Fracture surface in the case of UD-CFRP/SS400 joint

剛性が低下し曲げ変形が誘起され, UD-CFRP 被着体の重ね合わせ部において層間にはく離が生じやすくなり, 結果として材料破壊に至ると推察される. また, Fig.7 の引張せん断強度と重ね合わせ長さとの関係より, 重ね合わせ長さを小さくするほど引張せん断強度が増加していることから, UD-CFRP/A6063 joint では材料破壊を起こさせる重ね合わせ長さに設定することが有用であると言える.

Fig.10(d), (e)は重ね合わせ長さを 12.5[mm]で固定し, 接着層厚さを 0.05, 0.2[mm]に変化させた際の破断面の一例である. Fig.10(b)の重ね合わせ長さ 12.5[mm], 接着層厚さ 0.10[mm]の場合と併せて比較すると, いずれも UD-CFRP 被着体からの材料破壊を確認できるが, 接着層厚さが増加するにつれ材料破壊の領域が減少し, 界面破壊が顕著になることがわかる. Fig.8 の引張せん断強度と接着層厚さとの関係では両者に相関は見られず, 接着層厚さを最大の 0.2[mm]とした時に引張せん断強度が最大値を示す. これは前述の通り, 界面破壊が支配的であり, 重ね合わせ長さを変化させた場合の結果と矛盾している. これらより, 接着層の最適なアスペクト比(重ね合わせ長さとの比)の存在が予期される.

小坂ら¹⁾によると, UD-CFRP/A6063 joint の接着層応力は A6063 側接着界面で最大値を示すとされており, このことが Fig.10 の全てに見られる A6063 側での支配的な界面破壊に繋がる一因と考えられる. また, UD-CFRP/A6063 joint の接着層を大きくするほど, UD-CFRP 側接着界面のせん断応力分布が平滑化され, その最大値も減少することが示唆されているが, 接着層厚さが大きくなると UD-CFRP 被着体からの材料破壊領域の減少を確認できる Fig.10(b), (d), (e)の破断面状況と関連を有することがわかる.

3.4.3 SS400/SS400 joint の場合

Fig.11に SS400/SS400 joint の破断面の一例を示す. 重ね合わせ長さは 12.50[mm], 接着層厚さは 0.10[mm]である. 部分的に界面破壊や凝集破壊が存在する複雑な破壊状態となっており, これまでに示した破断面とは様相が異なっている. A6063 被着体の接着面と比べると凝集破壊が見られることから, SS400 の方が A6063 よりも界面強度が高いと言える.

3.4.4 UD-CFRP/SS400 joint の場合

UD-CFRP/SS400 joint の破断面の一例を図 12 に示す. 重ね合わせ長さ, 接着層厚さはそれぞれ 12.50[mm]および 0.10[mm]である. 大部分では SS400 界面からの界面破壊が支配的であるが, 若干, 凝集破壊が見受けられる. 4 種類の継手の中で UD-CFRP/SS400 joint の引張せん断強度が最大となるのは, SS400 被着体接着面の界面強度に起因すると推察されるが, これを厳密に論じるには, 濡れ性等の検討が必要になるであろう.

4. 結言

本研究では, UD-CFRP と金属材料で構成される単純重ね合わせ接着継手に引張せん断が作用する場合の強度特性を明らかにするとともに, 被着体材料の組み合わせおよび接着条件が引張せん断強度に及ぼす影響を検討した. 以下に得られた知見を示す.

- (1) 4 種類の継手のうち, UD-CFRP/SS400 joint は引張せん断強度およびクロスヘッド変位の双方で最大値を示す.
- (2) 重ね合わせ長さを小さくするほど引張せん断強度は高くなる傾向が見られ, 既報¹⁾の研究結果との関連性を示した.
- (3) 本研究での接着層厚さの設定範囲では, 引張せん断強度およびクロスヘッド変位との間に規則性を確認できないが, 既報¹⁾の研究結果より, その検討の余地を示唆した.

謝辞

実験を共に進めた本校機械工学科卒業生(現, 本校専攻科学生)の伊藤 惇君および治具製作に御協力いただいたものづくり教育センター第一グループ各位に, ここに記して謝意を表する.

参考文献

- 1) 小坂ら, 東京工業高等専門学校研究報告書, Vol.42, No.2 (2011), pp.99-104.
- 2) 豊川ら, 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), 20401.

- 3) 日本規格協会, JIS ハンドブック 2004, (2004),
pp.194-196.
- 4) 松井ら, 東京工業高等専門学校研究報告書, Vol.41,
No.1 (2010), pp.29-33.

(平成 27 年 12 月 25 日 受理)

層状半導体 GaTe 薄膜の作製と電気的特性

伊藤 浩*

Thin Film Growth and Electrical Characteristics of Layered Semiconductor GaTe

Hiroshi ITO*

In this paper, the crystallinity and the electrical conductivity of gallium telluride films were characterized. The crystalline GaTe films were fabricated by the electron-beam deposition apparatus at the substrate temperature up to 525 °C. The crystallinity of these GaTe films on the Si(100) wafer and the quartz substrate showed the different crystal orientations. The I-V characteristics of the Al/GaTe/n-Si/Al structure indicated the diode characteristics. Therefore, it was considered that these GaTe films were p-type semiconductor. The electrical conductivity of the crystalline GaTe film were also measured. From these results, it turned out that the acceptor levels were 0.13eV and 0.19eV.

(Keywords: thin film, gallium telluride, electrical conductivity)

1. 諸言

テルル化ガリウム (GaTe) は III-VI 族化合物半導体の中の一つで、層状結晶構造を有する半導体である。層間はファン・デル・ワールス (FDW) 結合で、層内は共有結合である。層状半導体の GaSe や GaS などは結晶の *c* 軸方向が FDW 結合面に対し垂直であるが、GaTe は単斜晶系となり、FDW 面が傾いた複雑な構造となっている^[1]。このため、GaTe の薄膜結晶成長に関する報告はバルク研究に比べ少ない。また、GaTe のバンドギャップは 1.7eV で可視光領域に基礎吸収端を持つ直接遷移型であることから、光学センサー等のデバイス化に期待されている材料である^[2,3]。GaTe の電気的特性については、バルク結晶の移動度が調べられている^[4]。層と平行の移動度は 5 cm²/Vs、層に垂直な方向では 20 cm²/Vs と大きく、強い異方性を示す。

そこで、本研究では電子ビーム蒸着法を用いて GaTe 薄膜の結晶成長を試み、結晶性 GaTe 薄膜の結晶性及び、電気伝導特性を評価することを目的とする。これまでに、GaTe 薄膜の研究結果から、Si ウエハ基板において、基板温度 500°C 以上で結晶化することを見出してきた。また、結晶性が蒸着速度に依存することも分かってきた。しかし、作製した GaTe 薄膜の元素組成を評価したところ、酸素を検出し、酸化ガリウム GaO が混在した膜であることも分かった。これは、GaTe の成膜時の真空度及び、GaTe 母材自体の酸化が影響し

たものと考えている。このことから、本実験では酸素の混入を少なくするよう工夫して作製する。また、光学的な応用を考え、石英基板への成膜実験も試み、Si ウエハとの比較検討を GaTe の結晶性から検討する。さらに、GaTe 薄膜の電気的特性を評価し、半導体の伝導型、局在準位などを考察する。

2. 実験方法

GaTe 薄膜の作製には電子ビーム蒸着装置を使用し、母材には純度 99.999% GaTe の塊状結晶をタブレット状に整形して用いる。基板には、Si ウエハ(100)面と、熔融石英ガラス基板を用い、アルカリ性基板洗浄液とアセトン溶液の超音波洗浄後、乾燥したものをを用いた。酸素の影響を考慮して以下の成膜手順で行った。まず、真空度が 5×10^{-3} Pa まで真空排気をし、基板ホルダのヒータにて 525°C まで加熱する。加熱によるチャンバ内の放出ガスで圧力が上がるが、放出ガスの減少とともに圧力が下がるまで待機する。さらに、母材の GaTe 表面に吸着した酸素除去のため、蒸発しない程度の電子ビームを母材に照射し、10 分程度加熱した。この蒸着前の加熱を十分に行い、GaTe の蒸着を開始する。水晶振動子膜厚計の周波数の変化量を一定として、膜厚を約 600nm となるようにした。これらの蒸着条件を表 1 に示す。また、GaTe タブレット母材は、蒸着前に真空アニール装置にて 600°C, 30 分間のアニール処理を行った。

*電気工学科

表 1 GaTe 薄膜の作製条件

母材	GaTe99.999%
真空度	5×10^{-3} Pa 以下
基板温度	500℃、525℃
基板	Si(100)、熔融石英
膜厚	550～630nm
蒸着速度	20～40nm/min

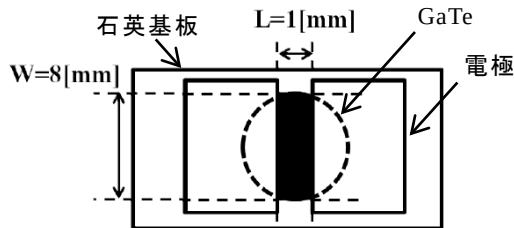


Fig. 1 電気伝導度測定のための電極配置図

GaTe 試料の評価には、 θ - 2θ 法を用いた X 線回折装置(D8 ADVANCE)にて結晶性を評価した。X 線源は $\text{CuK}\alpha$ 線である。また、N 型 Si ウエハ上に蒸着した GaTe 薄膜に、電極を付け Al/GaTe/n-Si/Al 構造の I-V 特性を評価した。さらに、石英基板にて結晶化した GaTe 薄膜の電気伝導度の温度特性を評価した。この測定には、Fig.1 に示すように電極を付け、クライオスタットを用いて室温 (RT) から 300℃まで温度を変化させた。

3. 実験結果・考察

3.1 GaTe 薄膜の結晶性

Fig.2、Fig.3、Fig.4 に、Si ウエハ及び石英基板上の GaTe 薄膜の XRD の結果を示す。基板温度が 525℃では両基板とも GaTe の回折ピークを示し、結晶化していることが分かる。しかし、Si ウエハと石英基板とで異なる回折ピークが現れている。Fig.2 では、10.5 度に GaTe 結晶の (200) 面が両基板で現れているが、11.8 度の (-210) 面を示す回折ピークは Si ウエハのみである。また、Fig.3 では、両基板で 21.4 度に (400) 面の回折ピークを示し、Si ウエハのみ (-420) 面の回折ピークが現れる。これは、Fig.2 の結晶配向性と一致している。また、石英基板のみ 26.2 度に (030) 面の弱い回折ピークが検出された。Fig.4 では、Si ウエハで 31.8 度に (600) 面の回折ピークが確認でき、32.9 度は Si 基板の回折ピークである。また、石英基板では回折ピークはない。

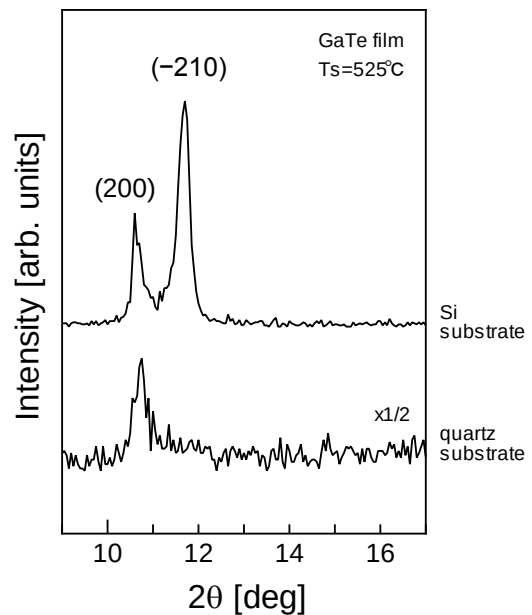


Fig. 2 GaTe 薄膜の XRD 測定結果 (1)

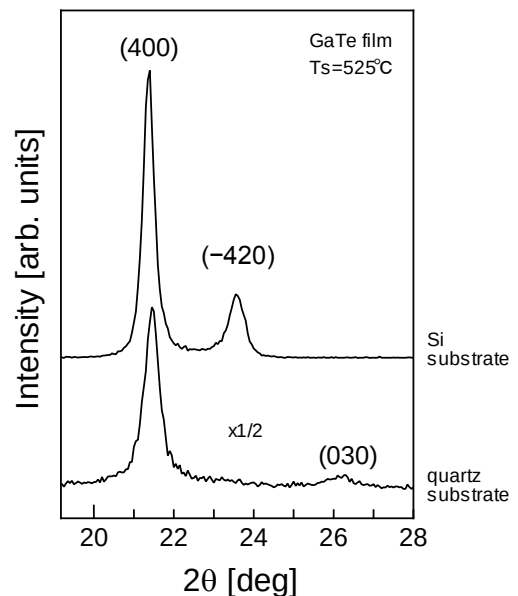


Fig. 3 GaTe 薄膜の XRD 測定結果 (2)

以上のことから、Si ウエハでは、基板面に対して垂直に (100) 軸と (-210) 軸が配向し、石英基板では (100) 軸に強く配向し、わずかに (010) 軸に配向することが分かった。GaTe の単斜晶系結晶の a 軸方向は、層が斜めに傾いた方向で、層の端部が表面となるため結合ボンドが多く、膜成長過程において活性なサイトである。よって、蒸発原子が飛来し、表面拡散によって多くの原子がこの活性なサイトに吸着し、 a 軸の方向に膜が成長していくと考えられる。一方の (-210) 面方向は、GaTe

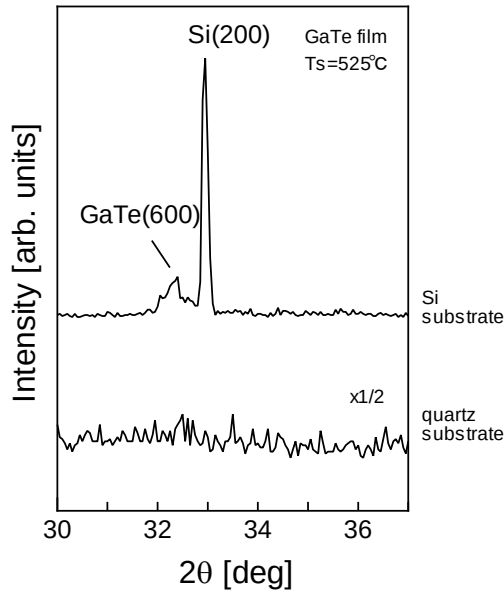


Fig. 4 GaTe 薄膜の XRD 測定結果 (3)

層と平行な結晶面であり、ファン・デル・ワールス (FDW) 結合面である。この FDW 結合面では結合ボンドが存在せず、吸着サイトは不活性な状態となる。よって、飛来原子は不活性な表面を広く拡散でき、層の端部で活性なサイトに取り込まれ吸着し、2 次元結晶成長の Frank-van der Merwe 型成長様式となる。このことから、Si ウエハ上 GaTe 結晶では、この 2 種類の結晶配向が存在し、表面凹凸の大きい部分と平坦な部分が混在した膜となっている。一方の石英基板では、活性な結晶面で成長する a 軸方向の配向となる。一般的に異種基板上で結晶成長を行う場合は、基板との格子整合性を考慮し、できるだけ GaTe の格子定数に近い材料の結晶基板を使用する必要がある。しかし、層状結晶材料の場合は、ファン・デル・ワールスエピタキシー (FDWE) によって膜成長することが知られていて [5-7]、FDW 結合の弱い結合力のため基板の影響をあまり受けず、基板面に対し層が水平に成長する。このことは我々の研究室でも GaSe や GaS の結晶成長で確認できている [8,9]。しかし、GaTe の場合では、層が斜めとなる a 軸に配向しやすい傾向を示した。この理由については、Te 原子の蒸気圧が高く、525°C で加熱した状態では膜から Te 原子が多く脱離するため、層表面が Te となる FDW 面の成長速度が、Ga で結合する a 軸方向よりも相対的に低くなることが関係しているのではないかと推察して

表 2 XRD 結果から求めた格子面間隔 d

	Si ウエハ	石英基板	Bulk
(200)	4.21 Å	4.14 Å	4.23 Å
(400)	2.12 Å	2.11 Å	2.14 Å
(600)	1.44 Å	—	1.46 Å
(-210)	3.81 Å	—	3.75 Å
(-420)	1.92 Å	—	1.91 Å

いる。

表 2 には、XRD の結果から求めた格子面間隔 d を示す。Si ウエハ上で結晶化した GaTe 薄膜は、バルク値とよく一致しており、歪みの少ない膜である。一方、石英基板上ではバルク値に比べ格子面間隔 d が小さく、圧縮方向に歪んでいることが分る。

3.2 GaTe 薄膜の I-V 特性

Fig.5、Fig.6 に GaTe/n-Si 構造の I-V 特性を示す。GaTe 薄膜の基板温度が RT の場合は、非晶質となり、500°C の場合は結晶化している。非晶質及び、結晶化した試料の両方で、整流特性を示している。立ち上がり電圧はおよそ 1.7V 程度で GaTe のバンドギャップに近い値であった。順方向特性では、非晶質 GaTe 薄膜の方が傾きは高く、抵抗成分を見積もると 1.9k Ω となり、結晶化した試料 (2.6k Ω) より低い値となった。また、結晶化 GaTe 試料の逆方向特性は整流性が弱く、オーミック接合の線形的な特性を示した。これは 500°C で蒸着した GaTe 薄膜は膜全体が結晶化した状態ではなく、多結晶で界面を多く含み、GaO や非晶質の領域、又は Te の脱離で Ga リッチとなった領域とが混在した状態と考えられ、それらの一部分は半導体として機能するが、等価的に高抵抗なオーミック特性となったものと考えられる。一方、RT で蒸着した試料では GaTe の組成比は保たれ、膜全体が均一な非晶質半導体として特性を示したものと推察する。また、N 型 Si との接合にて整流特性を示したことから、作製した GaTe 薄膜が P 型半導体と推察でき、Sn/p-GaTe 構造の電気的特性の報告例と一致する [10]。

3.3 GaTe 薄膜の電気伝導度の温度特性

Fig. 7 に石英基板上、525°C で作製した GaTe

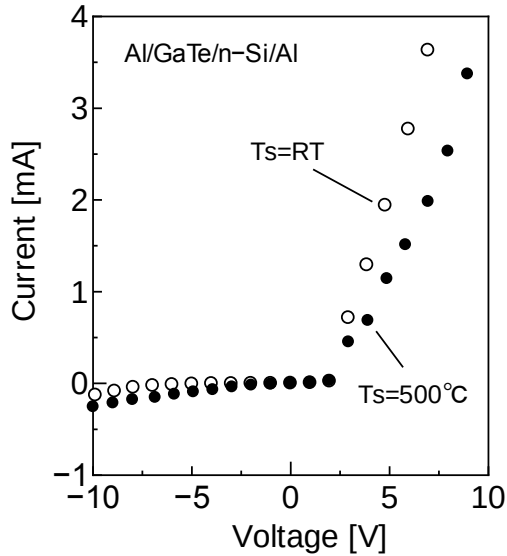


Fig. 5 GaTe/n-Si 構造の I-V 特性 (1)

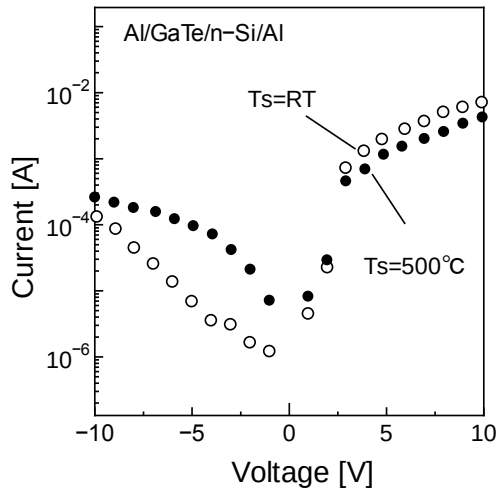


Fig. 6 GaTe/n-Si 構造の I-V 特性 (2)

薄膜の電気伝導度の温度特性を示す。本結果から温度上昇と共に伝導率は向上することから、キャリアの熱励起作用による半導体性を示している。ここで、一般的に電気伝導度の温度特性は、活性化エネルギーを E_a とすると以下の式のように表せる。

$$\sigma = \sigma_0 \exp\left(-\frac{E_a}{kT}\right) \quad (1)$$

ここで、活性化エネルギー E_a は半導体の伝導機構ではキャリアを伝導帯に励起するのに必要なエネルギーであり、真性半導体ではバンドギャップ E_g に対応する。この式 (1) から、本測定結果の活性化エネルギーを求めると、低温側で 0.13eV、高温側で 0.19eV となった。この値は GaTe のバンドギャップ 1.7eV

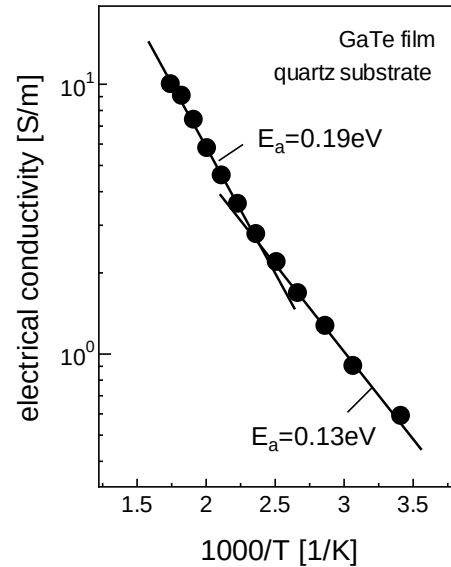


Fig. 7 結晶性 GaTe 薄膜の電気伝導度の温度

と比べ非常に小さく、バンドギャップ中の局在準位からのキャリア遷移であると考えられる。この局在準位は格子欠陥や粒界面のダングリングボンドなどによって生成したものと考えられる。また、I-V 特性の考察から、作製した GaTe 薄膜は P 型と考えると、これらの準位はアクセプター準位と考えられ、価電子帯の端から 0.13eV 及び 0.19eV に位置する浅いアクセプター準位と考えられる。

4. 結論

本研究では、電子ビーム蒸着法にて層状半導体 GaTe 薄膜を作製し、結晶性と電気的特性を評価した。この結果、基板温度が 525°C で GaTe は結晶化し、Si (100) ウエハと石英基板上で異なる結晶配向性を示すことがわかった。また、Si ウエハ上では、層状物質特有のファン・デル・ワールス結合面が基板と水平方向に成長する FDW エピタキシーが確認された。GaTe/n-Si 接合の I-V 特性においては、整流特性が確認でき、作製した GaTe 薄膜は P 型であると考察した。また、電気伝導率の温度特性から、作製した p-GaTe 薄膜のアクセプター準位は 0.13eV と 0.19eV の二つ存在していることを確認した。

以上のことから、電子ビーム蒸着法で結晶性 GaTe 薄膜を得る作製条件を見出すことができ、結晶配向性、電気的特性をさらに詳細に調べることで、異方性を活用した光学デバ

イスへの応用に期待できるものと考えている。

参考文献

- [1] S.A. Semiletov and V. Vlasov, Sov. Phys. Crystallogr. 8, 704 (1964).
- [2] A. Yamamoto, A. Syouji and T. Goto, Phys. Rev. B, 64, 35210 (2001).
- [3] J. Z. Wan, J. L. Brebner, R. Leonelli and J. T. Graham, Phys. Rev. B, 46, 1468 (1992).
- [4] R.H. Tredgold and A. Clark, Sol. State Comm. 7, 1519, (1969).
- [5] R. Rudolph, C. Pettenkofer, A. Klein and W. Jaegermann, Appl. Surf. Science 166, 437-441 (2000).
- [6] A. Koma, J. Crys. Growth 201, 236-241 (1999).
- [7] N. Kambe, J. Appl. Phys. 69(4), 2697-2699 (1991).
- [8] 大山昌憲, 伊藤 浩, 日本真空技術, 46(3), 318 (2003).
- [9] 大山昌憲、伊藤 浩、佐藤有紀、竹内 学、表面技術 157(9)、50-55 (2006).
- [10] C. Coskun, M. Biber and H. Efeoglu, Appl. Surf. Science 211, 360-366 (2003).

(平成 27 年 12 月 22 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 5 報 ダイアフラム作製プロセスの改善－

新國広幸*, 伊藤浩*

Development of Teaching Materials for MOEMS Technology by Using Photolithography

－5th Report, Improvement of Diaphragm Fabrication Process－

Hiroyuki NIKKUNI*, Hiroshi ITO*

The diaphragm fabrication process was improved in order to develop teaching materials for MOEMS technology. In the anisotropic etching of single-crystal silicon, the SiO_2 mask is needed as the protection film, and we chose the SiO_2 thin film by the sputtering method. The adhesion to the silicon substrate and compactness of the SiO_2 thin film were improved by the annealing treatment at temperature of 1000 °C. The etching rate of the annealed SiO_2 became lower than that of the SiO_2 without the annealing treatment. From these experimental results, it was found that the annealing process was effective for the diaphragm fabrication process.

(Keywords : MOEMS, diaphragm, etching)

1. はじめに

MOEMS (Micro Opto Electro Mechanical Systems)は光学部品, 電気部品, 機械的構造を集積化させた光・電気・機械微細システムである。MOEMS はフォトリソグラフィ技術を用いて作製され, 高機能でかつ小型・軽量のセンサやアクチュエータを実現することができる。MOEMS 技術は, 電気電子系, 機械系, 化学系の工学分野を跨った複合融合技術であり, 現在もプロセス技術, デバイス開発の研究・開発が活発に行われている。また, 実社会においても, MOEMS の小型で高機能であるという特徴により, 自動車用の圧力センサやスマートフォンの中に実装されている気圧センサ, ジャイロセンサなど, さまざまな分野で利用されていて, 社会からの MOEMS 作製技術者の育成需要も高まっている。

本取り組みでは, MOEMS 技術の教材開発を目的に, 基礎研究を継続的に行っている。第 1 報では, フォトリソグラフィに関する基礎的データの収集を行った⁽¹⁾。第 2 報では, フォトリソグラフィ技術を利用して光導波路, 物性評価デバイスシステムの作製を行い, その評価まで実施した⁽²⁾。第 3 報では, 光導波路に機械的構造体であるダイアフラム構造を一体形成した MOEMS 圧力センサ(光導波型圧力センサ)の設計指針を理論的に明らかにし, また, ネガ型フォトレジストを利用したフォトリソグラフィに関する基礎的データの収集に取り組んだ⁽³⁾。第 4 報

では, MEMS 圧力センサの教材開発に向けたダイアフラム作製プロセスの基礎特性の構築を目指し, 単結晶シリコンの異方性エッチングと非晶質シリコンの等方性エッチングについて基礎的なデータを集めた⁽⁴⁾。

単結晶シリコンの異方性エッチング時の課題として, スパッタリング法により成膜したマスクとしての SiO_2 膜がエッチングされることと, SiO_2 膜とシリコン基板との密着性が不十分であったためにエッチング中に SiO_2 膜が剥離してしまうことが挙げられる。本研究報告では, ダイアフラム作製プロセスの改善により, SiO_2 マスクの緻密性と Si 基板との密着性を向上させたので, その方法と結果について報告する。

2. 実験方法

本実験では, SiO_2 マスクの緻密性と Si 基板との密着性を向上させるために, SiO_2 膜にアニール処理を施し, その効果を確認した。以下に, ダイアフラム作製プロセスを示す。Si 基板には, (100)面方位の単結晶シリコンを利用する。

- ① Si 基板をアセトンにて超音波洗浄する。次に, 自然酸化膜を除去するために, 半導体洗浄液セミコクリーン 23 またはバッファードフッ酸 (BHF63)のいずれかにより洗浄を行う。
- ② Si 基板上にマスクとしての SiO_2 を RF スパッタ

* 電気工学科

リング法により成膜する。SiO₂膜の厚さは 1.5 μm とする。SiO₂膜作製後、アニール処理を 1000 °C、30 分で行った。アニールには、赤外線ゴールドイメージ炉を用いた。

- ③ SiO₂膜上に、感光剤であるレジストを塗布し、フォトリソグラフィ法により、レジスト上にダイヤフラムパターンを転写する。
- ④ バッファードフッ酸 (BHF63) により、ダイヤフラム部の SiO₂ をエッチングする。その後にレジストを剥離する。
- ⑤ KOH 水溶液により、Si の異方性エッチングを行い、ダイヤフラムを作製する。KOH 水溶液の濃度は 34 wt.% とした。

KOH での異方性エッチングの際、エッチング温度は、50 °C、60 °C、70 °C、80 °C の 4 条件とし、それぞれの温度について SiO₂ のエッチング速度を求めた。エッチング速度を求めるために、各温度でエッチング時間を変えてエッチング量を測定する実験を行った。それぞれの温度で、10 分、20 分、40 分エッチングを行った。加えて、80 °C では、90 分、120 分でもエッチングを行った。SiO₂膜のエッチング量はエリプソメータで評価した。

3. 実験結果と考察

3.1 SiO₂膜の KOH エッチングの結果

Fig.1 に KOH による SiO₂ のエッチング量の評価結果を示す。KOH の温度の上昇とともにエッチング量も増加している。また、Fig.2 には、SiO₂膜を成膜後、1000 °C、30 分間でアニール処理した場合の結果を示す。同様に、KOH 温度の上昇とともに、エッチング量も増加していることが分かる。また、Fig.3 には、Fig.1、Fig.2 の結果から求めた KOH による SiO₂膜のエッチング速度を示す。図には比較のため、アニール処理の無い場合とある場合とを示している。この結果から、わずかではあるがアニール処理をした SiO₂膜の方が、エッチング速度が遅くなっている傾向を示した。また、傾きから活性化エネルギーを求めると、アニールの無い場合が 0.80 eV に対し、アニールをした場合は 0.82 eV となった。一般的に、液体中の化学反応に伴うエッチング量は、活性化エネルギー E_a を使って以下の関係式で示される。

$$d = C \exp\left(-\frac{E_a}{kT}\right) \quad (1)$$

ここで、 d をエッチング量、 C は比例定数、 k はボルツマン定数、 T は絶対温度である。先の結果から求めた、

E_a はほぼ同じ値を示した。これは OH-水酸基が Si-O 結合に反応し溶解させるのに必要な活性化エネルギーと考えられ、アニール処理によって、SiO₂膜の Si-O の結合状態には影響しないことを示していると考ええる。また、アニールによってエッチング速度の絶対値が下がっていることについては、以下のように考える。スパッタ法で成膜した直後の SiO₂膜では、スパッタリングによって物理的に吸着した Si 及び O 原子は、膜中で SiO や、SiO_{1.5} など不完全な状態となっているものと考えられる。また、スパッタ膜特有の柱状構造を有し、原子レベルでは隙間のある状態となっている。そのため、KOH によるエッチングでは、膜中に溶液が容易に浸透しやすく、Si/SiO₂ 界面に KOH 溶液が達した場合、先の実験では SiO₂膜の剥離が発生する場合も見られた。

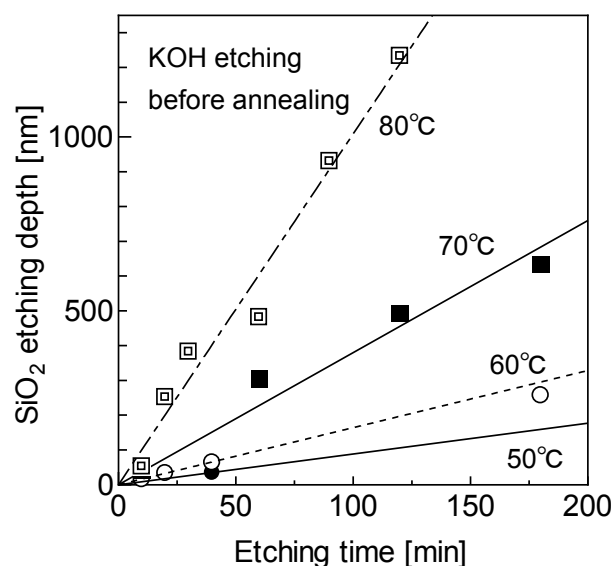


Fig. 1 SiO₂膜の KOH エッチング特性 (アニール処理なし)

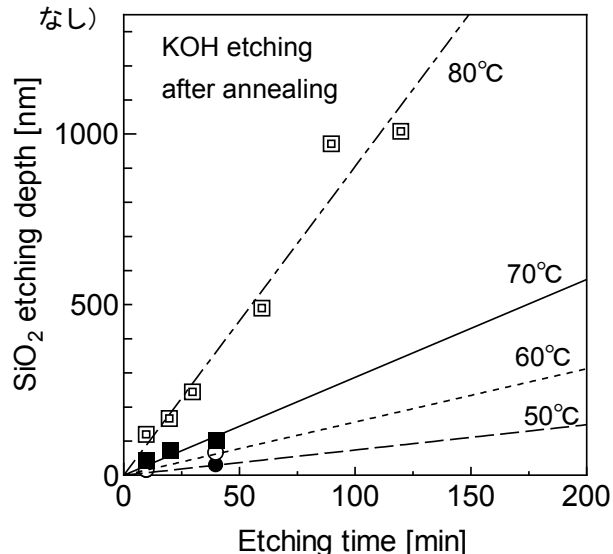


Fig. 2 アニール処理した SiO₂膜の KOH エッチング特性

1000℃と高温でアニールすることにより、不完全な状態で存在していた原子は安定な位置や状態へ遷移し、膜が緻密化し、結合も SiO_2 化する。この結果、KOH によるエッチング耐性が向上し、エッチング速度が低下したものと考えられる。ただし、 SiO_2 が KOH と反応し、溶解する反応過程は、同じエッチング条件であれば変化はないと考えられるので、本実験で求めた活性化エネルギーは、アニールの有無に関係なくほぼ同等な値となった。

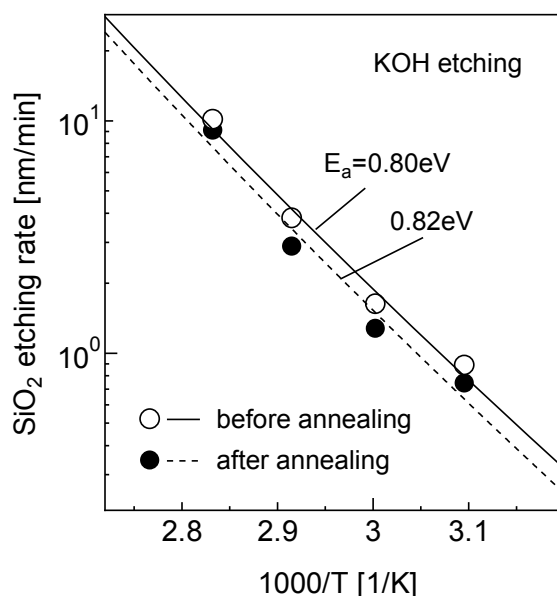


Fig. 3 KOH 溶液における SiO_2 膜のエッチング速度 (アニールの有無による比較)

3.2 ダイヤフラム作製の改善結果

Fig.4 にアニール処理の有無によるダイヤフラム作製の実験結果を示す。両試料とも KOH 70℃に 460 分浸漬した結果である。アニール処理を行わない試料では、 SiO_2 膜は完全に剥がれ、Si の溶解がおきている。これに対して、アニール処理をした試料では SiO_2 が残り、ダイヤフラムが作製できている。この結果、アニール処理により SiO_2 膜の密着性、緻密性が向上し、最後まで SiO_2 膜が存在し、Si の保護膜として機能することが確かめられた。よって、本実験のように SiO_2 スパッタ膜を利用する場合、長時間のエッチングが必要となるダイヤフラム作製には SiO_2 膜のアニール処理が必要であることが確かめられた。

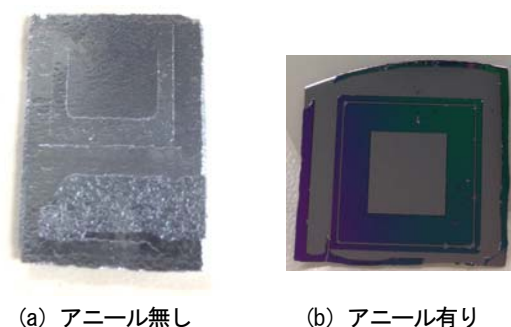


Fig. 4 アニール処理の有無によるダイヤフラム作製の実験結果

4. まとめ

本報告では、フォトリソグラフィを用いた MOEMS 技術の教材開発を目指して、スパッタリング法により作製した SiO_2 マスクの緻密性と Si 基板との密着性を向上させ、ダイヤフラム作製プロセスの改善を図った。

実験の結果、KOH 水溶液の温度上昇につれて、 SiO_2 膜のエッチング速度が増加することが分かった。また、 SiO_2 に 1000℃でのアニール処理を施すことにより、 SiO_2 膜の緻密性が上がり、エッチング速度が遅くなり、加えて、Si 基板との密着性の向上により、エッチング途中で SiO_2 膜が剥離することもなくなった。アニール処理により、 SiO_2 膜の膜質、密着性が改善することから、スパッタ膜の SiO_2 膜をダイヤフラム作製プロセスのマスクとして利用する際にはアニール処理が有効であることが明らかになった。

以上の成果より、MOEMS の三次元微細構造であるダイヤフラムの作製プロセスにおける一知見を得ることができた。今後は、本ダイヤフラムを利用したピエゾ型圧力センサや光導波型圧力センサを試作し、MOEMS 技術教材開発へ向けた基礎研究に取り組んでいく予定である。

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, 新国広幸, “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) 新国広幸, 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, ダイア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 .

(平成 27 年 12 月 22 日 受理)

専門基礎実験における学生の主体的な学びの実践例

一戸隆久*、大塚友彦*、加藤 格*、新田武父**

Practice of Fundamental Engineering Education to Cultivate the Independent Intellectual Mind

Takahisa ICHINOHE, Tomohiko OHTSUKA, Itaru KATOU, Takenori NITTA

We made a practice of fundamental engineering education to cultivate the independent intellectual mind using the revised content (electromagnetism). Although it seemed to be hard for many students to discuss any ideas to make the product, some of them seemed to be satisfied with their efforts to make it after the class. Inquiries to students showed that 23 % were interested in the contents, but that 35 % found the contents the hardest in all of the contents. It is farther expected to develop the way to carry on the content.

(Keywords : fundamental engineering, independent intellectual mind)

1. はじめに

本校では入学生全員が工学の基礎を身に着け、興味関心を広げることが目的として、実験科目「ものづくり基礎工学」をカリキュラムに設置し、全5学科の専門導入基礎を体験的に学んでいる¹⁾。本科目では、必ずしも希望学科ではない分野の実験も行うことから、中学卒業者が理解できる基礎的な実験をテーマとして選び、内容についての改訂を随時行ってきた。電子工学(D)分野においても、当初5テーマ中直流2テーマだったところ²⁾を1テーマに絞り、電磁現象を1テーマ増やした³⁾。また、予め基板化された実験教材をただ計測ばかりして楽しみが見出せない学生のために、回路を自分で作り測定できるよう教材を工夫し、授業改善³⁾を行ってきた。

一方、分野ごとの内容改善、授業改善だけにとどまらずに、もっと学生が主体的に授業から大切な事柄を学び取り自らの理解を深められるようにするために、平成25年度から5分野共通の試みとして、実験を体験し、体験したことを文章化し、他者へ伝えるという3段階の学習プロセスを用いた教育⁴⁾を試行している。さらに学生自身が実験に主体的に取り組めるように、D分野では5テーマのうち1テーマの内容を改善し、学生の観察眼を育て、他者と相談して解決に向かう力を発揮するようアクティブ性の高い授業法を模索し、学生自身の問題解決能力を引き出させるよう取り組んでいる⁵⁾。本報告では実験テーマの一部授業法を改善し、

学生の観察力とグループでの話し合いによる解決策の見出しを志向した学生の主体的思考力を育成するための取り組みについて、授業実践例を述べる。

2. 電子工学分野の取り組み

「ものづくり基礎工学」は分野ごとに5テーマずつの実験が実施されているが、D分野においては中学校を卒業したばかりの新入生に修得可能なテーマとして次の5テーマを実施している。(1)直流回路の性質、(2)光エレクトロニクス入門、(3)電磁力、(4)電波と通信のしくみ、(5)増幅のしくみ、である。

これらのテーマの中で「電磁力」のテーマについて焦点をあて、次のような方針で学生の主体的な思考力の育成を試みた。中学校までに習った基本的な電磁現象の法則を復習するために、午前中はオーソドックスな実験を行い、午後に2、3名を1グループとして単極モータの製作に取り組むことにした。製作手順書はなく、ビデオ映像により製作例の回転風景を見せた後、実験教材(乾電池、ネオジウム磁石、エナメル線、紙やすり)を配布する。グループごとに学生同士で話し合いながら現象を理解し、製作に取り組み、さらに周囲の学生との話し合いから改良点を見出す。製作物の完成後、製作した状況を思い返し、レポート内容として製作手順書を学生自身が書き、話し合った点と工夫した点を文章でまとめることとした。

最終回に5テーマについてのアンケート評価を実施

し、興味のもてたテーマ、難しかったテーマを調査した。

3. 取り組みの結果と考察

3.1 授業スタイル

図 1 に実際に授業で使用しているスライドの抜粋を示す。初めに、磁石上に電池を配置し、コイルを乗せた単極モータの回転の様子をビデオ映像で見せることで電流の向き、磁界の向きなどを考えさせ、電極位置やコイル形状をグループ毎に話し合わせる。事前にエナメル線の被覆についてはやすりで削るように情報提供し、話し合うポイントとして構造、形状、原理などを指示するだけで、あとは学生の話し合いに任せた。

各クラスの授業では実験教材を配布後、グループ毎に製作を開始すると、学生同士でどうしたらうまく回



図 2 授業の様子

転するかなど工夫点を積極的に話し合うところもあれば、話し合いながら製作に取り組むがなかなかコイルを回転させられず途方に暮れるグループも少なくなかった。そこである程度の時間を経た後、話し合う人数を増やすためグループ間での話し合いを促し、解決策へ向かうよう呼びかけた。

授業の進め方は午後 2 時間を使っているため、まずはグループ毎に実際に試行錯誤しながら製作に取りまかせ、なかなかコイルを回転させられないという失敗の経験を積ませる。その後、グループ同士の話し合いからヒントを得たり、回転させることができたグループの工夫点を聞いたりさせることで、自分たちの失敗経験と他者の成功体験から学ぶことができ、全グループが自分たちなりに工夫点を見つけ、最終的に全グループがコイルを回転させられる、という授業計画で進めた。

いずれのグループでも構成員のうち 1 人が話し合いを元に率先して進めるリーダー格となり、そのリーダーが試行錯誤してもうまくいかない場合には他の学生がトライし始める様子が見られた。図 2 は学生が製作に取り組んでいる授業の様子である。なかなか見本映像のようにコイルが回転しない班では飽きた学生が傍観することになるため、時間を見計らってグループ間同士の話し合いを呼び掛けた。しかし、グループ間での話し合いはほとんどのクラスで進まず、仲の良い学生同士が席を飛び越えて問いかける程度であった。

そこで、最初にコイルを回転させたグループ、または非常に安定に回転させているグループの作品をクラス全員が見られるように書画カメラに映し、当該グループの学生にマイクを向けてインタビュー形式で工夫点を話してもらうことにした。消極的な学生同士の場合、あまり積極的に周囲へ作品を見せようとしな



実験(2人1組)

使用するもの

エナメル線、紙やすり、単三乾電池、
ネオジウム磁石

Point

- ・電極は？
- ・エナメル線の形状は？
- ・回転の原理は？

グループディスカッション(4人1組)

- エナメル線が回転する原理を説明しよう
- うまく回すためのコツは？ 工夫点を話そう
- 形状の違いを話し合おう
- もっと回転させるにはどうしたら良いか、話し合いを参考に、再チャレンジしよう

図 1 授業で実際に使用したスライドの抜粋

照れ隠しでマイクから顔をそむけてしまう学生もいるが、グループ構成員全員にインタビューすると、いずれか1名はどんなことを考えたのか、工夫点は何かを一言程度ではあるが、話してくれた。教員側からの発問、インタビューによってではあるが、クラス内で互いに発表し合い工夫点を情報共有することでヒントを得て、自分たちの製作物を完成させたグループも少なくなかった。これは、いくつかのグループに工夫点を尋ねると、先の班の工夫点を真似たという発言から分かったことである。

3.2 教員の役割

学生たちにとっては話し合いながら共同作業を進めることも不慣れであるが、人前で発表することも苦手意識が高く、この実験授業ではその両者を試みているため思うように進まない場面が多々あった。しかし、「回った!」という歓声が聞こえるとその様子を伺うグループも多く、さらに自分たちも負けられないという意識が働き、次々と改善策に取り組む姿が見られた。

一方で、何度も試行錯誤しているうちにどうしたらよいか分からなくなり、塞ぎ込んでしまう学生たちもいるため、教員や技術職員が声掛けし、相談にのったり手を貸して学生と一緒に試行錯誤したりする場面もあった。最終的にコイルが回転した時は塞ぎ込んでいた学生の表情が明るく安堵した様子であった。得意な学生も苦手意識の高い学生も混在したクラスの中では、学生同士に任せる場面と、放っておけない場面とを見極めて工夫点やどこに問題がありそうかを学生と一緒に悩み、解決策を見出す「寄り添い型」の指導が学生のやる気を引き出す重要な要素であることを示唆している。

学生のレポートを見ると、学生が書いた手順書は再現実験が難しいと思われる記述が多いが、学生自身が

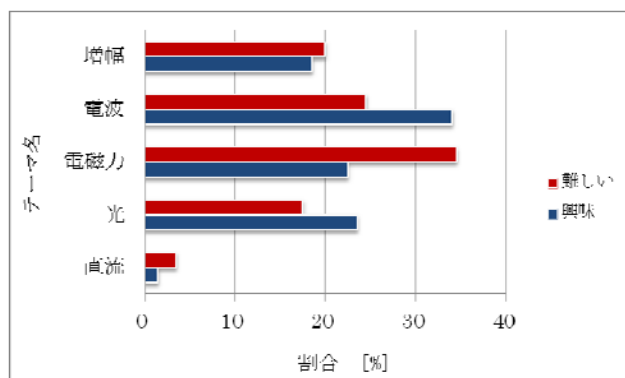


図3 興味・関心の高いテーマと難しいテーマの割合

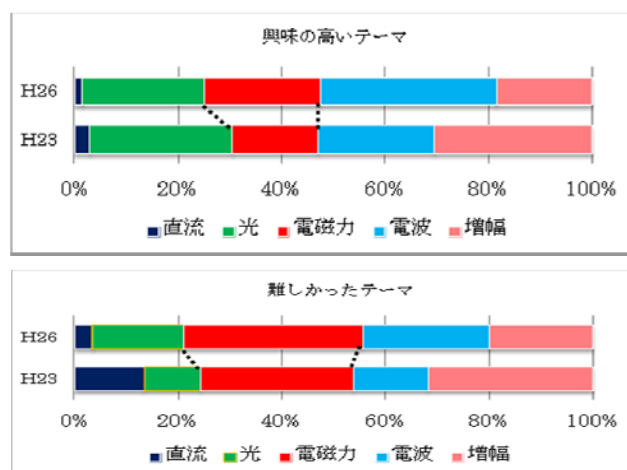


図4 興味・関心の高いテーマと難しかったテーマの割合における過去との比較

初めて記述したことに意義があり、自分たちの実施した実験を思い返し、他者へ伝えるために表現を選び、文章として再構築する過程で理解が深まる。学生同士で話し合った内容や工夫点をまとめるのに比べると、製作手順を他者に伝わるようにまとめ直して記述するのは中学校を卒業したばかりの学生にとって非常に難しい作業だったと思われるレポートが多かった。

3.3 学生アンケートからの分析

1年間の授業を振り返り、最終回にD分野で実施した5テーマについて学生のアンケート調査を行った。興味・関心をもったテーマと難しかったテーマを一つずつ挙げてもらい集計した結果を図3に示す。「電磁力」のテーマに興味・関心が持てた学生が23%であり、「電磁力」のテーマが難しいと感じた学生は35%であった。興味・関心が持てた学生の割合は他のテーマと比較してもほぼ同等の評価である一方、難しいと感じた学生の割合は最も多かった。このテーマにおける取組は、学生たちにとって非常にやりにくいものと思われたが、自由記述欄には満足感が高い様子を記述している学生もいた。アンケート結果は、達成感を感じ興味を湧いた学生が一定の割合でいる一方、手順書もないままに自分たちで考えて製作物を完成させる難しさを率直に回答した結果と思われる。

図4に興味・関心の高いテーマと難しかったテーマの割合における過去との比較を示す。平成23年当時は、実験内容5テーマを現在の編成に改訂しコイルを自作したりブレッドボード上に回路製作して計測したりと、計測主体の実験内容から学生が自ら手を動かす内容へ変更した頃である。それ以前には興味の高い実験テーマに大きな偏りがあったが、上述のテーマ内容

改訂により興味が分散したことを報告³⁾した。図 4 より興味・関心の高いテーマとして「電磁力」のテーマが、23 年当時より微増していることが分かる。授業中の様子から自分たちで考え悩み、見本映像のようにコイルが回転した時の達成感を感じた学生が少なからずいたことを表していると思われる。一方、難しかったテーマにおいても「電磁力」のテーマが微増した。

直流のテーマは計測機器を使いこなせるようにする目的で計測主体の内容であり、ほとんど興味が湧かず、難しさもないことを表した結果が示されている。計測の大切さが学生に伝えられない課題もあるが、他の 4 テーマについては、興味関心の高いテーマにおいても難しかったテーマにおいても、以前はテーマ評価が偏って特定のテーマに集中していたが、現在は学生の評価が平均化してきたと見ることもできる。これは授業改善の効果以外にも、学生の気質変化による可能性もある。

4. まとめ

本報告では、実験テーマの一部授業法を改善し、学生の観察力とグループでの話し合いによる解決策の見出しを志向した学生の主体的思考力を育成するための取り組みについて述べた。学生同士の話し合いを取り入れ、それぞれに工夫点を見つけていく授業スタイルには学生自身が一慣れなため話し合いを進める点で非常に難しく思われた。しかし、学生が自ら悩む様子が見られ、授業終了後は満足感が高い学生もいた。学生のアンケート調査から、電磁力のテーマは興味が持てた学生が 23%と他のテーマと比較してもほぼ同等である一方、難しいと感じた学生も 35%と高かった。教育効果の高さが伺える一方、学生の話し合いを積極的に進めるきっかけ作りに課題がある。

謝辞

本研究は科学研究費補助金基盤 C 一般、課題番号 25350217-0001 の支援を受けたものである。

参考文献

- 1) 大塚友彦、小坂敏文、大貫繁雄、清水昭博、西村亮、城石英伸、黒崎茂、福田勝己、森下達哉、堤博貴、土井淳、伊藤浩、山内峯生、木村知彦、加藤格、一戸隆久、正木進、鈴木孝、松林勝志、吉本定伸、松本章代、中野雅之、羽鳥広範、鈴木塔二、藤野宏、

海津朋之、中村源一郎、米谷雄介、松岡敏、村田賢俊、雑賀章浩、新田武父；東京工業高等専門学校研究報告書 第 38(2)号 (2007) 71

- 2) 一戸隆久、加藤 格、新田武父、大塚友彦、正木 進；平成 19 年度工学・工業教育研究講演会講演論文集 (2007) 570
- 3) 一戸隆久、大塚友彦、加藤 格、新田武父；平成 24 年度全国高専教育フォーラム教育研究活動発表概要集 (2012) 297
- 4) 小坂敏文、大塚友彦、清水昭博、木村知彦、新國広幸、一戸隆久、西村亮、城石英伸、藤野宏、羽鳥広範、永吉真知子、雑賀章浩、新田武父；東京工業高等専門学校研究報告書 第 45(2)号 (2014) 109
- 5) 一戸隆久、大塚友彦、加藤格、新田武父；第 76 回応用物理学会秋季学術講演会講演予稿集 (2015) 01-064

(平成 27 年 12 月 24 日 受理)

プログラミング演習課題の収集 Web システム

*小坂敏文, *吉本定伸, *松林勝志, *山下晃弘

Web system for Collecting Reports of Programming Language Exercise
Toshifumi KOSAKA, Sadanobu YOSHIMOTO,
Katsushi MATSUBAYASHI, Akihiro YAMASHITA

It is strongly recommendable for students in computer science course both to write lots of computer programs and to read good programs to master programming languages. In addition, it is considered that practice is one of correct methods to study engineering. It is hard for teachers to collect and correct the assignment reports with printed material. In order to reduce these works of teachers in charge, a web system for collecting and inspecting reports has been developed.

In the system, the students are asked to upload their reports at the special website. The system checks students' programs and programming styles automatically. To build the system a teacher is asked to make only several CSV files that consist of the tables of students IDs and their assignment reports. It was shown that the system can reduce teachers' work effectively.

In this report the details of the system are introduced and how it works is also mentioned.

(Keywords: C Programming, Exercise, Report Collecting System)

1. はじめに

工業高等専門学校だけでなくすべての教育において大事にしなければならないのは、教育を受ける側が力をつけた自信を持つことであろう。高専低学年では、新しい何かができるようになることを充実感として感ずる場合が多いと思われる。

情報工学科 2 年生の科目プログラミング言語演習 (通年 2 単位) では、C 言語を取り上げているが、

(1) プログラミングの普遍的な考え方

(2) プログラミングの学習の仕方

を習得させることに主眼を置いている。C 言語がそのまま卒業後に使われる場面は多くないが、プログラミングの制御構造、変数の使い方など、多くのプログラミングの基礎になる部分が多く含まれている。また、卒業後に新しいプログラミング言語の自力での修得を迫られる場面があるが、プログラミングの習得方法を理解していれば、困ることはないと思われる。「新しいプログラミング言語の自力での修得」のことを考えると、「説明文をよく読んで理解する」訓練が必要となる。新しいことを修得する時は、導入部で苦労することが多いため、導入部の説明には教員による丁寧さが必要だが、その後は自分で「説明文をよく読んで理解する」方法で学んでもらうことが大事だと考える。

プログラミングでは、プログラムを読む力と書く力をつけることが必要である。授業では、多く

のプログラムの読みこなしをしてもらうことを念頭に、毎年内容が豊かに更新されている Web テキストでプログラムを読む機会を増やし、プログラムの流れを読むことを助けるプログラム可視化ツール (StepperforWeb) ¹⁾ を使って、読みこなしを助けている。プログラム作成においては年間 100 課題程度の多くの課題プログラミングに取り組み、プログラムを読みこなしながら作るスタイルの学習を身につけてもらうことにしている。1 年間の単位認定目標最低ラインは、プログラムの読みこなしに設定している。プログラミングの修得は学習者のそれまでの体験・経験から得ている類推力・構成力の影響が大きく、個人差が急速に広がってしまう。同じサンプルプログラムを読んでも「気付き」で修得する内容は個人差が大きい。多くの友人に支えられながらようやく課題を提出する学生もいれば、半年以下で 1 年分の課題を終えてしまう学生もいる。授業中は前者の学生を励まし支援するのが教員の仕事となっている。後者の学生は自分で次の目標を掲げて自分で勉強してゆくようになっている。

さて、年間 100 課題のプログラミングを課すからには、提出状態の管理は必須であるが、紙媒体提出やメール添付課題提出では、提出管理に時間を取られてしまう。また教員がしっかりと課題を見てあげることが必要となる。40 人クラスでは 4000 個のレポートをチェックする必要がある。他

*情報工学科

の科目と合わせると年間 200 課題 8000 個のレポートを提出させている。これを可能にするためにすでに 10 年にわたり開発改良を加えてきた教員支援のための電子レポート収集システムがある。前回報告時²⁾よりパワーアップして強力に教員の指導方針を支援する点について述べる。

なお同様なシステムとして blackboard を体験したが、提出課題の自動チェックを盛り込むなどのカスタマイズは困難であること、汎用に作られているため、コメントの送出・受信など同じ作業をするときでも手数がかかることがわかった。

初期の数年の実施の後、実際のレポートチェックにおいて最初の頃の学生向けのコメントは、次の 3 つが大多数であることがわかった。

- (1) レポートの体裁(自分の出席番号, 名前, レポート課題番号)が不完全であり, 受理できない
- (2) C プログラムコードの字下げ(インデントーション)ができておらず, 長いプログラムでは, 読み取りやデバッグが困難
- (3) コンパイルは成功しているが, 動作が不完全で, テストデータに対して正しく動作していない

そこで, 電子レポート収集システムは次のことを自動で行える必要がある。

- (1) 提出日と提出期限をシステムとしてチェック
- (2) レポートの体裁の自動チェック
- (3) C プログラムのコンパイルエラーの自動チェック
- (4) C プログラムコードの字下げ自動チェック
- (5) 課題で指定された仕様に従って実行結果を同時に貼り付けて提出するようにし, その内容について自動チェック

2. 電子レポート収集システムの仕様

多くの課題レポートを課し提出課題の提出日チェックや, 内容チェックを行うことのできる電子レポート収集システムに求めることは次の 7 点である。

- (R1) 学生が課題をアップロード提出ができること。方法は単純でドラッグ&ドロップが使える他, 同時に複数課題のドラッグ&ドロップ提出ができること。(このことは前年度の学生アンケートの結果の改善である。)
- (R2) 提出した課題は, パスワードなどで守られており, 安全であること。他の学生が自分の提出課題を無断でコピー出来ないこと。
- (R3) 学生は課題提出結果が提出直後にわかること。レポート体裁のチェックの結果, プ

ログラミングスタイルのチェックの結果, コンパイル&リンク作業でのエラー, 貼り付けた実行結果が正しいかどうかはすぐに学生にわかること。

- (R4) 学生は自分の提出状況を自分で一覧表の形で把握でき, 必要なら自分の提出課題のダウンロードができること。
- (R5) 教員も学生の課題提出状況(提出期限と提出日チェックを含む)を一覧できること。
- (R6) 教員は学生の提出課題のプログラムを少ない手数で検査・評価ができ, 即座に学生にフィードバックできること。評価にはリジェクトも含まれ, コメント送出とともに再提出を求められること。
- (R7) 学生が再提出した場合, 教員はそのことがわかり, 再評価ができること。
- (R8) 教員が電子レポートシステムを生成するに当たり, いくつかの設定ファイルを準備し, ボタン 1 つで生成作業が終わるようにすること。多くの科目を担当する場合でも個別の煩雑な設定を行わないで済むようにする。この作業は 1 年に 1 回か 2 回しかないため, できるだけ単純化すべきである。
- (R9) 学生が自分のパスワードを忘れた場合でも即座に対応できること
- (R10) 課題レポートなどは個人情報であるため, 不正な進入が防がれていること。

3. 現在使用できるリソース

本校の教育用 UNIX サーバは php など動的 Web サービスを行っていないため, 上記条件を満たしていない。そこで, PC 上に Web サーバ (PHP 作動) を構築し, 動的 Web サイトとしてレポート収集システムを載せることができるようにする。安全のため, この PC は校内 LAN に置き, 校内からのみ見えるようになっている。そして, Web テキストからリンクされた Top ページをもつようにして, 関連ページにリンクを張っている。

4. 電子レポート収集システム

4. 1 学生から見た電子レポート収集システム

電子レポート収集システムを学生からみると次のようになっている。

学生は受講科目に対応した自分専用の「学生の作業スペース」(図 1) を持っている。この Web ページに入るには, ユーザ ID とパスワードが必要である。

このページでは, 次のことができる。

- (1) ドラッグ&ドロップによる課題ファイルのアップロード提出(複数ファイル同時アップロード可能)

2J01秋山雄二 [プログラミング言語C]

2015/12/22 18:35

1. 課題提出

提出ファイルをドラッグ&ドロップまたは「ファイル選択」ボタンで設定してから、「アップロード」ボタンを押してください。
複数ファイルを同時にアップロードできます。

Drop File(s)

ファイル選択 アップロード キャンセル

2. システムメッセージ

ブラウザによってはコメントボックスの縦方向の大きさを変更できます。
システムメッセージはありません。

3. 教員からのコメント

ブラウザによってはコメントボックスの縦方向の大きさを変更できます。
p01ex04.c : 字下げに注意してください。実行結果の改行が乱れています。また、xの値の表示に誤差があります。プログラムをチェックしてください。

4. 課題提出履歴

表示ON/OFF 「状況・評価」表示の説明

課題	提出期限	提出日	再提出日	状況・評価
p01ex01.c 1st	2015/4/10	2015/4/6	2015/4/10	R Gd
p01ex02.c 1st	2015/4/15	2015/4/6	2015/5/7	R Gd
p01ex03.c 1st	2015/4/20	2015/4/6	2015/4/25	R Gd
p01ex04.c	2015/4/25	2015/4/6	0/0/0	R Rj

図1 学生の作業スペースの例

上部にファイルアップロード用のファイルドロップ領域がある。システムメッセージや教員からのコメントを表示する欄があり、自分の課題提出履歴も見られる。リジェクトになっている課題が1つ見えている。

- (2) 提出期限を含む課題一覧、教員からの個々の課題に対する評価を含む提出状況、再提出を求められている課題の一覧、自分の提出課題のダウンロードリンク
- (3) 提出時の収集システムからの応答およびその履歴
- (4) 教員からのコメント閲覧
- (5) 教員へのコメント発信
- (6) パスワードの変更

課題ファイルのアップロードの直後には、課題チェックサブシステムによる検査結果が表示される。

また、学生は「提出状況一覧ページ」を見て、先行していることや遅れていることを確認できる。このページは学生氏名を伏せてある。また教員も

見ることができるので、課題提出状況をクラス担任教員が把握することもできる。

4. 2 課題チェックサブシステム

学生が学生作業ページからアップロード提出した課題は、受付時に次の検査が自動的に行われ、結果を学生作業ページに表示する。

(1) 課題 ID、ユーザ ID が課題中に正しく記述されているかどうか。

(課題 ID は提出課題ファイル名)

(2) C プログラムの字下げが K&R 書法に準拠しているか。

(3) コンパイルエラーはないか。

(4) 課題文中で、プログラムに定型記述を指定している場合は、これがあるかどうか。

(5) テストデータによる実行チェック結果をファイル中に貼りつけて

いるか、またそれは正しいか。

(6) 提出期限前か後か。

これらのチェック項目のうち、(1) から (5) については、チェックしないようにするオプションもあるので、C プログラムの課題だけでなく、テキストファイルや pdf ファイルなど様々な形式のファイルによる課題提出にも使うことができる。

また、再提出の場合は、最初に提出されたファイルがバックアップ保存され、提出期限チェックは最初の提出に対して行われたものが有効になる。

4. 3 電子レポート収集システムと教員の作業

課題チェックサブシステムが課題受付時に定型の検査をしてから課題を受け付けるため、教員はきめ細かな課題チェックに時間を割くことができ

る。教員は「提出状況一覧ページ」(図 2)で、提出が遅れている学生を発見し、実支援に当たれる。リンクボタンにより提出課題を表示検証し自動チェックできなかった問題点をコメントとして学生に伝えることができる。コメント作成の自由度を確保するために、3つの入口を設けている。

- (1) ある学生のある提出課題の閲覧評価作業中にその学生向けにその課題に関してコメントを作成する。
- (2) ある学生の課題提出一覧を見ながらその学生にコメントを作成する。
- (3) 全学生へのコメント一覧を見ながら、その内の一人の学生に向けコメントを作成する。

教員にとっては、コメントを発信したい場面はさまざまなので、発信したい時にコメントを作成できることは便利である。

教員は各課題に対して図 3 のウインドウから課題に対して評価を与えている。(ここにもコメント生成ボタンが見えている。)

教員は学生の課題レポートをまとめてダウンロードでき、2つの場面でダウンロード作業ができるようになっている。

- (1) ある科目の全課題(アップロードされたファイル)を保存構造のまま取り出し、各課題レポートへのローカルなリンクページ **html** ファイルと共に圧縮して1つのファイルとしてダウンロード
- (2) ある科目の特定の課題について、全員の課題(アップロードされたファイル)を取り出し、圧縮してダウンロード

また、教員は学生の課題提出状況を科目ごとに **csv** ファイルとして取り出すことができる

5. 電子レポート収集システムの生成

電子レポート収集システムの生成は教員にとって負担にならないことが重要である。この電子レポート収集システムの生成に必要な情報ファイルは以下の3種類である。

- (1) 学生 ID と学生名の対応表「学生情報ファイル」
学生 ID と学生名が一覧表となっている。学生 ID は学生の初期パスワードとしても使われる。この情報は1クラス分が1つの **csv** 形式の「学生情報ファイル」にまとめられている。
- (2) 教科ごとの課題一覧表「課題情報ファイル」
課題については、提出ファイル名、提出期限、課題チェックサブシステムでどこまで提出時チェックを行うかの指示、オプションとしてテキストファイルに含まれるべき文字列を与えることができる。この情報

は1教科分が1つの **csv** 形式の「課題情報ファイル」にまとめられている。

- (3) 教科とクラスの対応表「登録一覧ファイル」
ある教科はどのクラスに対応しているのかの一覧を示すファイル。このファイルはシステム中に1つだけである。

一方、PC サーバ管理者は **Web** サービスフォルダ領域に1教員に1つのフォルダを用意し、

- (1) 初期設定 **Web** ページ
- (2) システム生成実行ファイル
- (3) 教員用 ID、パスワードファイル

の3つを用意している。

教員は、以下の操作により、自分用の電子レポート収集システムを生成できる。

- (1) 「教員用初期設定 **Web** ページ」にて、
 - 1) 「登録一覧ファイル」
 - 2) 「学生情報ファイル」(複数可)
 - 3) 「課題情報ファイル」(複数可)
 をアップロード登録する。
- (2) 「教員用初期設定 **Web** ページ」にて、「構成」ボタンを押す。

教員が、授業の進行に従って、途中で科目を追加したり、ある科目内の課題を追加したり、課題提出期限を変更する場合は、「教員用初期設定 **Web** ページ」にて対応する **csv** ファイルをアップロード登録・上書き更新し、「構成」ボタンを押せばよいようになっている。

6. プログラミング言語の **Web** テキスト

プログラミングの入門においてはできるだけ多くのプログラムを読むことが重要である。プログラミング言語の授業テキストは **Web** テキストとしている。紙媒体のテキストの一覧性は犠牲にしているが、プログラム例を紙面の制約がなく多く載せることができる。また学生の疑問に対してリアルタイムで説明が更新できる利便性がある。この **Web** テキストはチュートリアルになっており、学びながら多くの練習課題を行うことができるようになっている。¹⁾

また、途中で困ってしまった学生だけが読むための特別な説明ページ(全員が読まなくてもよいようになっている。)や、先に進みたい学生向けの課題も用意されている。

7. 定期試験への対応

授業では本システムを用いてプログラムを書く能力を高めている。しかしプログラムを書くためには自分の書いたプログラムの振舞を読む必要がある。主にプログラムの振舞を読み解く力を定期試験では問うようにしている。定期試験で読ませるプログラムは、コンパイルエラーは起こさないが、誤った動作をするものを選んで出題している。

情報工学科2学年

「プログラミング言語C」 レポート提出集計

2015/12/22 18:43
説明表示ON/OFF 「状況・評価」ボタン表示の説明

学生からのコメント
2015/12/22: 秋山雄二 p01ex03.cでのwhileから抜け出した時のcの値が思った値111になっていないのですがどうしてでしょう。
p01ex04.cでインデントが不正だと言われているのですが、どこが不正かよくわかりません。

Update Page

No	ID	検査文字列 一斉評価 再評価要求	p01ex01.c	p01ex02.c	p01ex03.c	p01ex04.c	p01ex05.c	p01ex06.c	p01ex07.c
1	2J01 秋山雄二	Comment	Gd	Gd	Gd	Rj	Gd	Rj	X
2	2J02 飯坂孝平	Comment	Gd	Gd	Gd	Gd	Ex	P	Evaluate
3	2J03 小倉理恵	Comment	N Rj	Gd	Gd	Gd	Gd	Evaluate	X

図2 教員の作業スペースの例

上部に学生からのメッセージや教員からのコメントを表示する欄がある。提出課題テーブルは課題へのリンクになっており、また課題への評価やリジェクト、コメント作成もできる。リジェクトした課題を学生が再提出して着信していることもわかる。

秋山雄二

[プログラミング言語C : p01ex02.c]評価

次の中から評価を選択してから送信してください。

Excellent+ Excellent Good Reject(要再提出) 評価なしで確定 未評価にする

成績送信 何もせず閉じる

コメント作成へ

図3 教員評価記入ウインドウの例

ループの入口出口の振る舞い、判断分岐の振る舞い、関数への引数や戻り値の振る舞いを読み解かせている。試験では過去の試験問題を本番通りに解いて自分で解答例を見ながら自己採点する方法を取らせている。この勉強法を取れば理解度およびケアレスミスを自己判断できる。定期試験で合

格できなかった場合には、対象学生のみを集めた補講で丁寧な説明を加えている。前期中間試験では、勉強の仕方を学ばせるため、不合格点を取った学生にはもう一度機会を与え、持ち点回復試験を行なっている。

8. 学生の評価

Webテキスト、電子レポート収集システム、プログラム可視化ツール、

過去試験問題 Web 公開によって授業を進めているが、それについての学生の評価を調査した。図4にアンケート結果を示す。4月から授業が開始された後8月の時点でのアンケート結果であり、39名中35名の回答を得ている。

(1) あなたにとってプログラミングの修得は難しいですか。

1) 容易である	3
2) 容易なこともある	11
3) どちらとも言えない	11
4) やや困難	3
5) 困難	4

(2) 小坂の授業は、自分で Web テキストを読んで、課題プログラムを作成する形式である。この授業方法についてあなたはどのように思いますか。

1) 自分のペースで進められるので今のままでよい	25
2) どちらでもない	8
3) 口頭で全員に説明する時間を作った方がよい	2

(3) この授業方法はクラス全体にとって有効だと考えますか。

1) 出来る学生中心になっていて好ましくない	4
2) どちらでもない	10
3) それぞれのペースで学習できるのでよい	21

(4) プログラミング課題にはどのように取り組んでいますか。

1) 必ず自力でプログラムを作る	9
2) 友人と相談することもあるがほとんど自力でプログラムを作る	24
3) 友人のプログラムなどに助けられているが、必ずプログラムを理解して提出している	1
4) 友人のプログラムなどを真似て提出しているが、中身は理解していない	1

(5) 課題の量についてどのように感じていますか。

1) 自分にとって簡単すぎて無駄と思える課題が多い	3
2) 1つ1つ課題をクリアするとプログラミング能力が向上していくように思う	28
3) もっと簡単な課題を増やして欲しい	2
4) 課題が多すぎて、やりきれない・説明文を読む時間がない	2

(6) プログラムの振る舞いを見る Web アプリを公開していますが、これに関してどのように感じていますか。

1) 試験前などに利用して、理解が深まった	10
2) 利用しようと思ったが、ネット上でどこにあるのかわからなかった	7
3) 利用しようとしたが利用方法がわからなかった	9
4) 使っても理解出来ないことがあるので使わなかった	1
5) プログラムの振舞いは理解できているため、利用する必要性を感じなかった	8

(7) Web サイトで課題をアップロード提出となっていますが、この提出方法についてどのように感じていますか。(複数回答可)

1) 自分の課題提出状況がわかってよい	28
2) 提出の手続きが簡単である	27
3) 自分の提出物を自分の知らない間に他人がコピーすることが出来ないところはよい	7
4) 他の人の提出プログラムを自由に見られる方がよい	5
5) 紙に印刷して提出するほうが良い	0

図 4 アンケート結果

アンケート結果をみると、Web テキスト・電子レポート収集システム・プログラム可視化ツール・過去試験問題 Web 公開による授業は、プログラム可視化ツールの浸透に問題を含みつつも、学生たちの学習に咬み合っているように思える。

9. まとめ

電子レポート収集システム (ERSYS 4) は、学生に多くの課題を与え、全体の課題の管理をコンピュータが上手にこなし、教員の手助けをしてくれる。

すでに、このシステムを稼働させ、改良を重ねて 12 年が経過した。これまでにプログラミング言語演習、コンピュータ計測制御、制御工学、実践プログラミング、電子計算機 I, II, クラス担任指導でこのシステムを用いて電子媒体提出物を受けとっている。電子メールによる課題提出よりも受け取り側は楽である。また既存の e-ラーニング LMS より自動コンパイルの導入やコメント生成など小回りがきくシステムとなっている。教員 1 人で全教科年間 200 の課題レポート (40 人 1 クラスなので 8000 レポートをチェック) の収集に役立っている。特にプログラミング言語の授業では、以前は年間 20 課題程度が限度であったが、現在は年間 100 課題を与えている。学生にとってはハードだが、定期試験結果などをみると、力は確実に付けていると考えている。

毎年度当初、後期授業開始時期におけるシステムの生成に当たっての作業量が非常に少ないことも、このシステムの利点となっている。

参考文献

- 1) 小坂敏文, 吉本定伸, 松林勝志, プログラミング言語演習科目のための支援システムの構築, 論文集「高専教育」第 35 号, 2012.3, pp131-136
- 2) 小坂敏文, 水村亮介, 松林勝志, 吉本定伸, C 言語学習支援ツールの開発, 東京工業高等専門学校研究報告書第 46 号 (2), pp.62-65, 2015.3

(平成 27 年 12 月 24 日受理)

ヘテロジニアスマルチホップベース IoT の一検討

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*

A Study of Heterogeneous Multihop-based IoT

Akira TANAKA, Raku UTSUMI, Naoki SHIBATA, Takuma
HASHIMOTO, Kyogo MOROBOSHI, Takumi YAMANOI, Taiki
KAWAI

Information-communication laboratory (Tanaka Lab.) has developed the heterogeneous multihop communication system with smartphones, field programmable gate-array (FPGA) and microcomputer. Anyone, anytime and anywhere this multihop system provides with communications based on transmission medium optimization (WiFi / Bluetooth / Infra-Red / Visible-Light / UHF), inter-cluster communication, cluster merge/divide, internet connection, route-diversity-and-multipath solution, error correction, multimedia multicast, electronic circulation, database service, power saving routing procedure, and mobility prediction. Auto-following robots function as terminals so that network can be autonomously generated and extended. Moreover, this multihop system can be used for wide-area sub-infrastructure of communications.

(Keywords: mobile multihop communications, heterogeneous communications, clustering, positioning, power-saving routing, security, group robot control, smartphone, FPGA)

1. はじめに

1.1 簡易なマルチホップ通信機能の確立

情報通信研究室（田中研）では、「誰でもすぐに設計できるネットワーク」を目標に、容易に入手可能な、或いは容易に修正ができる装置類を用いて身近なマルチホップ無線通信システムの研究を進めてきた。これまでに、スマートフォンを使用した実験システムと、再構成可能デバイスを使用した実験システムにより、WiFi/Bluetooth/赤外線/可視光/UHF 最適選択、クラスタ間通信・同融合分離、ルートダイバシティとマルチパス解消、誤り訂正、マルチメディアマルチキャスト、電子回覧板や DB、省コスト経路選択や移動予測機能、等を持つヘテロジニアスマルチホップネットワークを設計した。インターネットプロトコル (IP) を使用してインターネット自動接続も可能にし、さらに、接続自律追尾ロボットを端末として組み入れたことによりネットワーク自体が自律的に拡張する機能も追加できており、これら機能の動作確認を通し有効性が実証された。

こうして、多くの人が普段から保持している装置を用いてグループ内やグループ同士で簡易にネットワークを組むに必要な機能・動作が確立された (図 1, 図 2)。本システムは通信基盤が使用できない災害現場、インフラネットワーク未整備環境、通信システム利用に制限がある場所などにおける通信・機器制御等への応用或いは Internet of things (IoT) への発展が期待できる^{1),2),3),4),5)}。

1.2 カスタマイズド通信と広域化

自研究室で設計・確立されたマルチホップ通信技術に基づいて、様々な実際の利用シーンに適合したカスタマイズドアプリケーション、さらには、広域化や三次元化が図れる構造自由度を高めたクラスタ間通信を開発し、普段の生活に親和した通信方式、並びに、これまであまり利用されていない場所でも利用できる通信の提供と検証を行う。

カスタマイズドアプリケーションは主に下記 3 機能である。

i) 自律拡張マップアプリケーション

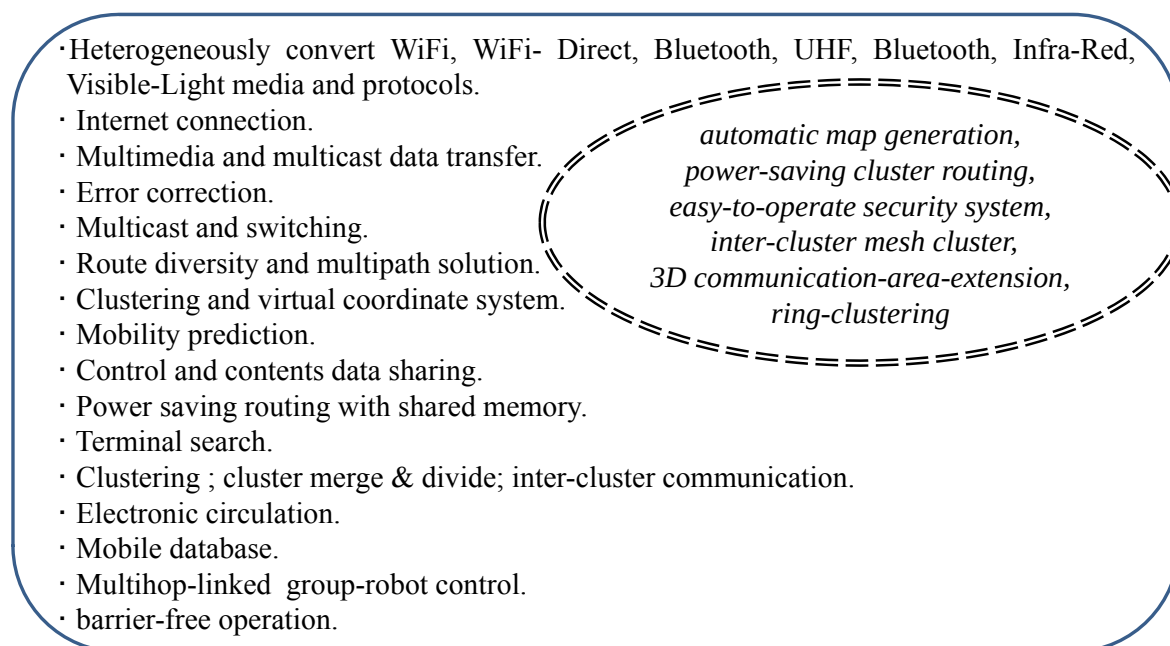


Fig. 1 Developed heterogeneous multihop networks: functions

スマートフォン端末が三台単位でクラスタを組み、三点測量法によって端末の相対位置さらに絶対位置を特定する地図⁶⁾を生成する。加えて、端末位置に付随する情報とリンク付けして地域情報マップとしての機能も持てる⁷⁾。

ii) 省電力クラスタ間ルーティング

近距離クラスタ同士を接続するクラスタ間接続用中距離クラスタを構成する端末（スマートフォン）が、予想通信継続時間に基づく最大通信可能時間を持つ端末となるように随時ルーティングを更新する⁸⁾。

iii) 導入容易なセキュリティ

送信情報を送信端末（スマートフォン）で複数に分割し異なる中継機でホップし、受信端末で復元し、中継端末上での望まれない情報参照を防ぐ。暗号を導入する場合は、上記 i) と連携した三次元画像の視覚情報を鍵にできる⁹⁾。

次に広域化は主に下記 3 機能である。

iv) クラスタ間メッシュクラスタ

再構成可能デバイス的一种 field programmable Gate-array (FPGA) と UHF (特定小電力無線モジュール) によりメッシュクラスタを構成し、分散型ルーティングを実装して二次元的に任意方向に容易にクラスタ間ネットワークを作成可能にする¹⁰⁾。

v) 三次元自律拡張

接続自動追尾ロボット端末の機能を発展させてド

ローンに実装し、マルチホップの先端端末（ドローン）が電波到達範囲外に移動すると自動的に後続端末が追尾して通信リンクを維持する。（本機能については、接続自動追尾ロボットでは動作確認済である¹¹⁾）。

vi) リングクラスタ

スマートフォンによるマルチホップシステムは仮設住宅等を前提とした鎖（ライン）型クラスタであり、移動しつつ平面的に広がる利用者に対応できるリング型クラスタとする¹²⁾。

1.3 IoT としてのヘテロジニアスマルチホップシステム

上記 1.2 節の i), ii), iii), vi) はスマートフォン (Android 携帯) を使ってマルチホップネットワークを設計している。クラス内や近隣居住者、仮設住宅内、グループ行動等で構成するクラスタを想定しているが、距離の短い Bluetooth 通信と二百数十 m の WiFi 通信を選択するヘテロジニアス設計であり、学校敷地程度であればカバー範囲にできる。また、v) もリモコン機種であれば一般的に対応できるようなスマートフォンの中継装置として使用する。一方、iv) は UHF を使用しやや離れた通信が可能でクラスタ間通信に適し、FPGA のため (シリアルポートからの) 仕様更新も容易である。これまで開発した接続小型ロボット制御も含めた機器制御と通信を一体化したヘテロジニアスマルチホップシステムは、専用通信機器や大規模ネットワークによらない IoT を

2. 自律拡張マップアプリケーション

2.1 構造概要

学校敷地内で学生達が持っている, 或いは, 被災地域内の各所で人々が持っているスマートフォン (Android 端末) をマルチホップ接続してその相対位置情報を元にマップデータベースを自動生成し, さらに, 位置に付随する副情報も格納し敷地内や関連領域の情報提供を行うことを目的にしている. 過年度の研究^{13),14)}も参考にしている. 被災地や山岳地帯などでも使用できるよう, 基地局アクセスはしない前提である. 屋内や地下でも切れ目無く利用できるようにするために, 個人情報に指定されておりプライバシー保護のために, 電池消耗防止 (山岳地帯等) のために, 抑制される GPS を原則的には使用しない状況を想定している. 図 3 のように 3 台単位の端末からなるクラスタを順次接続して地図領域だけでなくマルチホップネットワーク自体を拡大することも目標である. アプリケーションとして実装するにあたり, 端末間通信には Android 4.0 以降標準の Wi-Fi Direct を利用し, データベースには, Android 標準サポートの SQLite を使用する.

2.2 主な処理

端末の相対位置情報を取得するため, 一定以上の距離に存在する 3 端末でリングクラスタを作成するが, 端末間の受信信号強度 (RSSI) をもとに平面的な端末間距離を算出し, 3 端末間距離から各端末の相対座標を計算する. 図 3 で示すように頂点が端末の三角形が幾つか接続された状態ではこれら全ての端末の相対位置座標がデータベース化されることになる. そのためこれら端末の中で絶対位置情報を取得

している端末が 2 台 (理想的には 3 台) 以上ある場合, それらの座標からマップを構成する全端末の絶対位置を計算できる. 端末間 RSSI を更新する際に近隣の他端末の RSSI も検出し, バックグラウンドで新たな三点クラスタを生成し追加する.

データベースにはマルチホップネットワーク内に存在する端末の相対位置情報が固有 ID (MAC アドレス) と共に格納される. 最初に端末間通信を始めた端末が保持することを想定しているので, 他端末はマルチホップ通信を利用してデータベースへアクセスすることになる. 端末位置を表示する地図の画像データの緯度・経度の基礎情報を別途取得し, 地図上に各端末位置と副情報 (気圧センサを利用した高度情報も含む) を表示する.

3. 省電力クラスタ間ルーティング

3.1 構造概要

田中研のスマートフォンによるヘテロジニアスマルチホップ通信^{14),15)}では, Bluetooth を利用して生成されたクラスタに Bluetooth と Wi-Fi の通信媒体変換をして Bluetooth クラスタと Wi-Fi クラスタ双方と通信できる「変換端末」機能を用意する. 続いて複数の Bluetooth クラスタ内で 1 台ずつ用意された変換端末を接続した Wi-Fi クラスタを生成する.

この通信方法ではクラスタ生成の際, Wi-Fi クラスタの内部に 1 台でも長時間通信が難しい端末が含まれていると, 短時間でネットワークが切断されネットワーク通信寿命が低下してしまう可能性がある. そこで, ヘテロジニアスマルチホップ通信ネットワークの通信時間をできるだけ長時間保てるよう, 一定時間ごとに, 各 Bluetooth クラスタ内の「変換機能」を有する端末の中で最も長時間通信可能な端末を変換端末として選択し, 「変換端末」をより長時間通信可能な端末に入れ替える機能を設計する.

3.2 主な処理

まず, 各 Bluetooth クラスタ内の親端末 (メッセージ送信の起点端末) は電池残量と使用傾向から導いた自端末の「予想通信継続時間及び Wi-Fi MAC アドレス」を Bluetooth クラスタ内全端末へ巡回送信する (図 4 の A). Bluetooth クラスタ内の各端末は受信した「予想通信継続時間及び Wi-Fi MAC アドレス」リスト末尾に自身の「予想通信継続時間及び Wi-Fi MAC アドレス」を追加し, 次の通常端末へ送信する. 文字列がクラスタの末端まで到達すると, 今度は来たルートを折り返され, クラスタ内の全端末の「予想通信継続時間及び Wi-Fi MAC アドレス」リストが「変換端末」に到達す

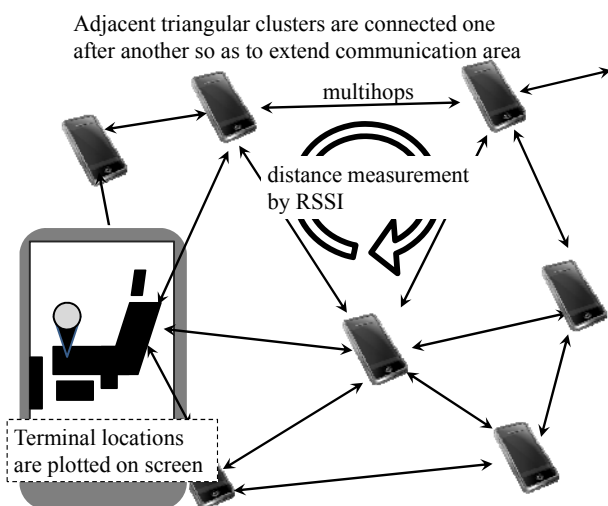


Fig. 3 Automatic map generation

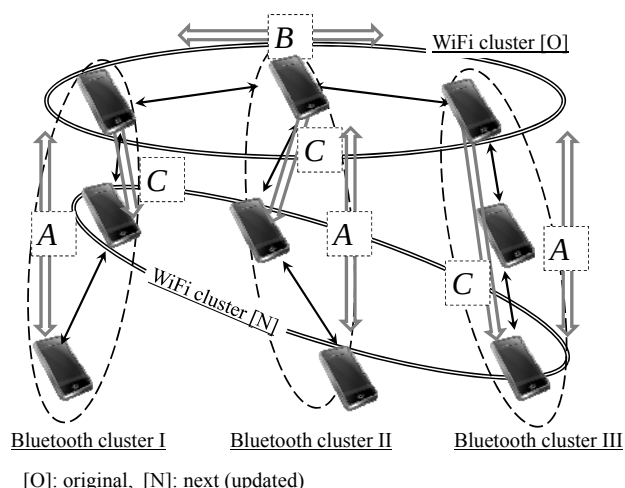


Fig. 4 Power-saving cluster routing

る。これは、全ての Bluetooth クラスタ内で行われる。

次に、「変換端末」は、Bluetooth クラスタ内の予想通信継続時間及び WiFi MAC アドレス」リストから通信継続の可能性が最も大きい端末を選ぶ。各 Bluetooth クラスタの「変換端末」は WiFi クラスタを構成しているので、今度は「変換端末」が“自 Bluetooth クラスタの最長通信可能端末の予想通信継続時間及び WiFi MAC アドレス”を順次追加するリストを WiFi クラスタ内に巡回させる(図 4 の B)。こうして各 Bluetooth クラスタ内の「変換端末」は全 Bluetooth クラスタの中で最長通信可能端末 ID リストを取得できる。

このリストには端末 ID も付加されているので WiFi クラスタ内を構成する全ての「変換端末」は、この“最長通信可能端末 ID リスト”を自 Bluetooth クラスタ内の最長通信可能端末に送り(図 4 の C)、リストを受信した端末は新たな WiFi クラスタを設定する(図 4 の「WiFi cluster [N]」)。

4. 導入容易なセキュリティ

4.1 構造概要

マルチホップ通信においては通常、データ保護のため暗号化が行われる。しかし、マルチホップにおける暗号化では暗号化・復号化の設定を、送受信端末となり得る端末間全てで共有する必要がある、取り扱いが複雑になる。そこで導入容易な簡易セキュリティを実装する。一つは、送信データを分割して複数経路送信を行い、受信端末で受信データを統合してデータ復元する方法である(図 5 上部参照)。一つ

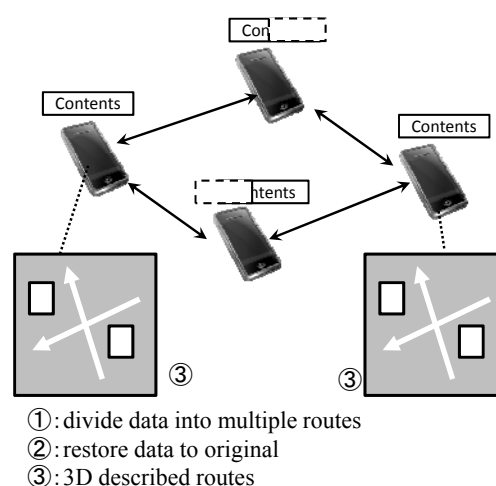


Fig. 5 Easy-to-operate security system

の経路上には分割されたデータの一部しか通らないため、1つ経路を監視して全データ内容を傍受することは不可能になる。ルーティングテーブルを入れ替えて経路を切り替え、より傍受しにくくする。本機能におけるマルチホップ通信は過年度の研究¹⁴⁾の通信部分を元に改良した。

また、マルチホップ通信の経路は平面的ではなく三次元になるため、これを 3D で表示する機能を追加する。送受信端末で経路図の三次元座標軸の回転角の同期を取り(図 5 下部参照)、経路交点情報(予め定めた 3D から得られる情報、例えば所定の角度から経路を見たときの交点の数等)を共有する。実際には経路も表示する。クラスタ外からは交点情報の予測が難しいので暗号化鍵に利用する応用を想定している。今回は 3D 画像の表示に、Android 2.2 以降対応のコンピュータグラフィックス用 API である OpenGL ES 2.0¹⁶⁾を使用する。

4.2 3D 経路情報導入上の特徴

2 章のマップデータを三次元化すると、本章記述のセキュリティ機能を共通化できる利点がある。田中研が担当した八王子市小学生講座¹⁷⁾においてサーバークライアント型の 3D アニメの同期システムを設計導入したが、本研究ではマルチホップの P to P を設計している。また、3D 経路情報を利用するとアプリケーション内で暗号鍵を生成する必要がある。アプリケーション内で生成する手法の場合、プログラムのコードから暗号鍵の生成方法が把握されてしまう可能性があるが、通信路を通らない 3D 経路情報と操作者の判断を利用すれば防ぐことが出来る。

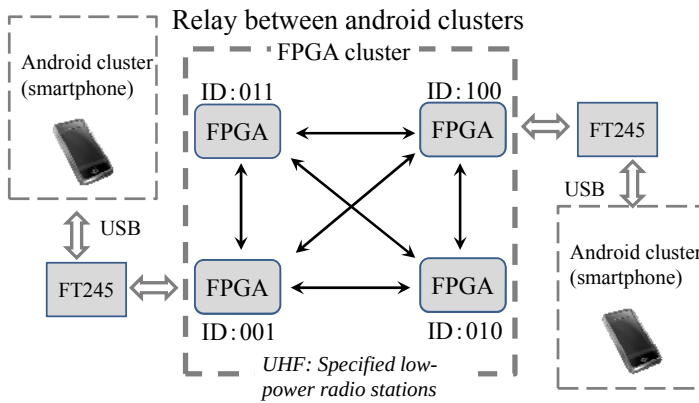


Fig. 6 Inter-cluster mesh cluster

端末が生成する鍵を受信者以外に取得, 或いは照合を行えないようにするため, 受信者のみに 3D 画像生成の権限を与えておく. 3D 画像は既定のアプリケーションを用いて同一の条件で生成しなければ一致せず, データ分割送信によってデータ自体も傍受しにくくされているため, 取り扱いが容易な手法を幾つか組み合わせてはいるが暗号鍵の予測やデータ復元は困難である.

5. クラスタ間メッシュクラスタ

5.1 構造概要

Android 端末を用いたヘテロジニアスマルチホップシステムで使用している Wi-Fi や Bluetooth は通信距離が短い. 田中研の FPGA を用いた無線通信のシステム (1), (2), (3), (4), (5), (18) をもとにしてスマートフォン (Android 端末) クラスタ間を接続するクラスタ間接続クラスタを完成する. 更にサイト間の通信距離を延伸する無線通信 (特定小電力無線, UHF 帯) によるマルチホップ分散制御通信システムも開発する. ヘテロジニアスマルチホップ通信の広域化には可視光通信部分の長距離化の方法も考えられたが, マイコン制御で概ね完成できると思われたため, 平面的に拡張し易い無線通信の分散制御のシステムによるクラスタ間結合で広域化をする. 並行してスマートフォンとの通信システムを開発することで, スマートフォンクラスタを複数接続する新しい広域マルチホップ通信システムが構築できる.

5.2 主な処理

図 6 では濃い点線で囲まれた部分が FPGA クラスタである. 4 台の FPGA は準独立制御であり, どの端末からどの端末へもデータを送信でき, FPGA

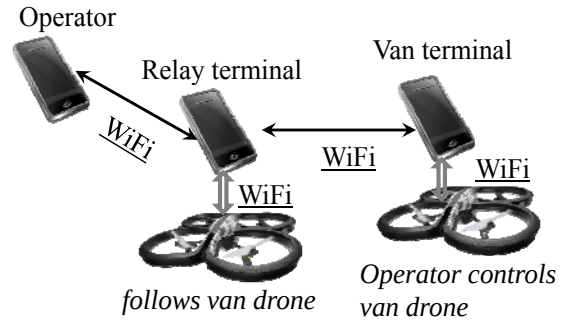


Fig. 7 3D communication-area-extension

ことで FPGA 毎に準独立のルーティングも可能である. FPGA には USB-パラレル変換モジュールである FT245RL¹⁹⁾を介しスマートフォンを有線で接続するので, 送受信側はスマートフォンクラスタと接続される.

スマートフォンから入力された送信データは FPGA 内では送信フレーム化されるが, 実験用のため固定フレームで, 送信元の端末 ID, 宛先端末の ID, 自端末の ID, 次にデータを送る端末の ID 等が書かれる. ACK 信号も小さく, スタートビット, 自端末の ID, ストップビットだけである.

データ受信した FPGA は, 無線受信回路から受信したデータを自分宛てかどうか判断し, 自分宛てであれば FT245 を経由しスマートフォンに受信データを送る. 自分宛てではないと, ルーティングテーブルを参照して送信フレームを再構築して転送する. 特に送信情報生成・再構築は本機能用に改造した.

6. 三次元自律拡張

6.1 構造概要

田中研のマルチホップ通信の自走中継機の研究 (1), (2), (4), (5), (20), (21) を元に, Drone でマルチメディアマルチホップ通信 (以下, マルチホップ通信) を行う. これにより, 火山の上や, 瓦礫や倒壊建物内といった人が入れない場所等での Drone の飛行距離の拡大を目指す. そのため中継機として使用するスマートフォン (Android 端末) アプリケーション, 追尾を行う Drone 制御アルゴリズムを設計する. 図 7 のように, マルチホップ通信をスマートフォンで行い, スマートフォン 1 台に Drone を 1 台割り当てて drone を使ったマルチホップ通信を可能にする. 過年度時

点で図 7 の Drone を地上走行ロボットに置き換え

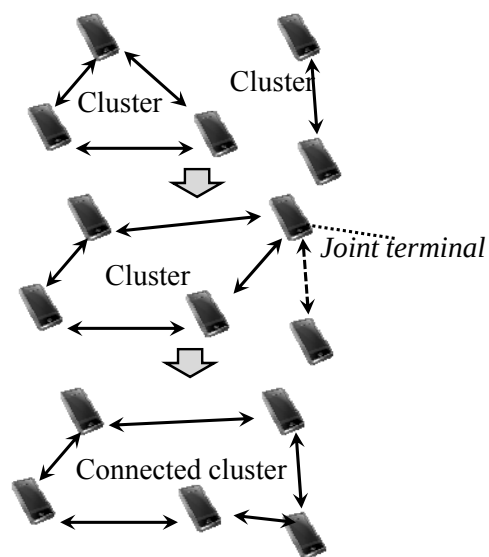


Fig. 8 Ring-clustering

たシステムが完成済みで^{20),21)}, 今年度は Drone を用いて操作端末～先頭端末～先頭 Drone 操縦まで実施し, さらに図 7 の完成を目指す。

6.2 Drone 制御導入上の特徴

スマートフォンに実装する Drone 操作アプリケーションは Processing²²⁾上で動作する ARDroneforP5²³⁾をベースに作製する。Processing は画像処理やアニメーションなどのプログラミングに特化したオープンソースのプログラミング環境であり (グラフィック向けに Java を単純化した言語で, Linux, Mac や Windows で利用できる), その上で動作するライブラリが ARDroneforP5 である。ARDroneforP5 は AR Drone²⁴⁾との Wi-Fi 通信をメインスレッドで行う。しかし Android ではメインスレッド上でネットワーク通信を行えないので, 非同期処理を行う AsyncTask クラスを用いてバックグラウンドで通信を行うこととし, AsyncTask を継承したクラス AsyncDrone connection を用意することで, Drone への制御信号の送信を全てバックグラウンドで行っている。但し, 安定性は改良の余地がある。

追尾処理でのスマートフォンを利用したマルチホップ通信に Wi-Fi Direct を用いるが, スマートフォン～Drone 通信も Wi-Fi であるため, マルチホップ通信と Drone 通信を切替える (チャンネル切り替えも含む) 必要がある。そのためマルチホップ通信で制御信号を受信すると一旦通信が切断し Drone 接続するまでに処理遅延が発生する。ヘテロジニアス機能¹⁴⁾を利用する方法も考えられるが, 遅延性能上は Drone 内部のプログラムの改造が望ましい。但し,

本体の処理構造は機種ごとに大きく異なったり非公開なので, 今回採用している操縦アプリケーションをインストールしたスマートフォン搭載方式のほうが設計上容易であり, 更には他のロボット操縦との共用も容易である。

なお, 実験については規制に従い, 例えば共同実験室内のみで行う。本システムの応用先としては災害時の情報収集機や人が入り込めない広大な土地などでの自然調査が想定できる。

7. リングクラスタ

7.1 構造概要

田中研で設計されたスマートフォンによるマルチホップ通信は鎖 (ライン) 型クラスタを構成している 1),2),5),14),20),25)。仮設住宅などへの利用が想定されていて, クラスタの分離はどの位置からでも出来るが結合はクラスタの両端同士でしか行えず, 一旦クラスタ内の端末機能を移動する方法が取られる。そのため, 自在に移動する端末を対象にした場合は処理が複雑になる。リング型クラスタであればどの位置からでもクラスタ分離・結合が可能であり, 高頻度・広範囲のモバイル化を図るためリング型クラスタに変更し分離・結合を可能にする。リング型は端末分布に制約が生じるが情報伝達の重複がなく伝達も速い。

7.2 リングクラスタ導入上の特徴

クラスタには, 最初にクラスタ生成を行った端末である親端末が 1 台存在し他は子端末となる。親端末ではクラスタの生成・分離・結合を行う機能を持ち, クラスタ規模の拡大や縮小ができる。

クラスタの生成・結合は, 接続したい端末を探索して発見した端末と通信を行い, アドレスを受け取る。このアドレスをルーティングテーブルの最後尾に追加して現行クラスタを構成している全端末に送信し, 新たな (或いは結合した) クラスタ内通信に用いる。鎖型クラスタでは末端に親機能が存在すると分離結合が難しいため親交換機能を有するが, リング型クラスタも同様で, 分離結合は親端末付近の端末を対象にするため, 親機能を他端末に移す親交換機能を持つ。また, クラスタの結合を一度に行うと一時的に 2 個所の結合点が発生する場合があります, 通信ルートが複雑になりすぎるため, ジョイント端末を選定して順次結合する (図 8 参照)。クラスタの分離では分離する端末が起動元となり, 自端末のアドレスを削除したルーティングテーブルを全端末に送信する。

8. むすび

田中研ではこれまでに, 主にスマートフォンと FPGA とマイコンを使用してヘテロジニアスマルチホップシステムを設計し, 多くの課題を解決, 動作確認を経て各種評価を行ってきた. 比較的限られた範囲を適用目標としていたが, インターネット接続や自走端末による自動的な拡張等により広域化も可能となっている. クラスタ間メッシュ結合で拡張方向の自由度を高めて, クラスタ形状変更を容易化し, Drone により空中へも拡張し, 連続使用時間を最大化しつつ, マルチホップ機能自体を地図情報自動生成に融合して利用者に領域内の有益な情報提供を図る. 一方でマルチホップに適したセキュリティも導入する. 本システムは確実な動作が得られている段階となっており, 災害時の通信手段や, 学校内等の閉じた集団での利用に限らず, 多くの利用シーンに対応できる機能を持ち, 普段の生活の中への実地導入を目指したさらなる発展が期待できる.

謝辞

本研究の一部は, 東京工業高等専門学校の平成 26 年度重点配分経費により行われた.

参考文献

- 1) 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.
- 2) 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ー," 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接続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, "マルチホップ無線通信におけるノード識別方式の一検討," 2011 年信学ソ大 (通信), No. B-5-87, p466, Sep. 2011.
- 7) 内海楽, "マルチホップ通信によるマップデータベース生成の研究," 2015 年度東京高専卒論, Feb. 2016. (予定)
- 8) 柴田尚輝, "通信継続時間に基づくマルチホップ通信のルーティングの研究," 2015 年度東京高専卒論, Feb. 2016. (予定)
- 9) 橋本拓磨, "マルチホップ通信における経路制御に基づくセキュリティの研究," 2015 年度東京高専卒論, Feb. 2016. (予定)
- 10) 諸星匡吾, "Android サイト間のマルチホップヘテロジニアス通信," 2015 年度東京高専卒論, Feb. 2016. (予定)
- 11) 山野井匠, "マルチホップ通信を利用した Drone の飛行制御の研究," 2015 年度東京高専卒論, Feb. 2016. (予定)
- 12) 河井泰輝, "マルチホップリング型クラスタのモバイルインターフェースの研究," 2015 年度東京高専卒論, Feb. 2016. (予定)
- 13) 酒井元太, "マルチホップ通信を用いた災害利用データベースの研究," 2014 年度東京高専卒論, Feb. 2015.
- 14) 牧野康平, "スマートフォンによるヘテロジニアスマルチホップ通信の研究," 2014 年度東京高専卒論, Feb. 2015.
- 15) 牧野康平, 田中晶, "スマートフォンによるヘテロジニアスマルチホップ通信," 平 26 年度信学会東京支部学生会研究発表会, B-5, p99, Mar. 2015.
- 16) The Khronos Group, "The Standard for Embedded Accelerated 3D Graphic," <https://www.khronos.org/opengles/>, (access 11/30/2015)
- 17) 田中晶, 土屋賢一, 林丈晴, 中野雅之, 小池和摩, 酒井元太, 菅原健太, 仲林龍馬, 牧野康平, "八王子市小学校科学教育センター「インターネット講座」の実施," 東京高専研究報告書, No.46(2), pp.66-74, Mar. 2015.
- 18) 菅原健太, "マルチホップヘテロジニアス音声光通信の研究," 2014 年度東京高専卒論, Feb. 2015.
- 19) <http://akizukidenshi.com/catalog/g/gK-01799/>, (access 12/10/2015)
- 20) 小池和摩, "WiFi マルチメディアマルチホップ通信の自走中継機の研究," 2014 年度東京高専卒論, Mar. 2015.
- 21) 小池和摩, 田中晶, "WiFi マルチメディアマルチホップ通信の自走中継機の研究," 平 26 年度信学会東京支部学生会研究発表会, B-5, p102, Mar. 2015.
- 22) Processing, <https://processing.org>, (access

11/20/2015)

23) S. YOSHIDA, “ARDroneforP5,”

<http://kougaku-navi.net/ARDroneForP5/>, (access

11/20/2015)

24) <http://ardrone2.parrot.com>, (access 12/1/2015)

25) 仲林龍馬, “マルチホップ通信クラスターの分

離・結合の研究,” 2014 年度東京高専卒論, Feb.

2015.

(平成 27 年 12 月 25 日 受理)

完全相補系列系とその通信への応用

小嶋 徹也*

Complete Complementary Codes and Its Applications in Communications

Tetsuya KOJIMA

It is important to find spread spectrum sequences that have auto correlation with a single sharp peak and zero cross correlations. Such sequences play important roles in many applications such as wireless communications and radar systems. Complete complementary code (CCC) is a collection of sets of spread spectrum sequences with ideal auto and cross correlation properties. In previous studies, CDMA communication systems and information hiding technologies based on CCC have been proposed. In this paper, the properties, variations, generation methods and some applications of CCC, especially in communication fields, are introduced.

1 まえがき

自己相関関数値がゼロシフト以外の任意の時間シフトで 0 であり, 相互相関関数値が常に 0 であるようなスペクトル拡散系列は, 無線通信システムやレーダーシステムなどの多くの応用分野できわめて重要である. しかし, 相関関数の値には理論的上限があるため, そのような系列は一般に存在しないことが知られている [1-4].

Golay [5] と Turyn [6] は, 自己相関の和がゼロシフト以外で 0 となるような 2 値系列の組, すなわち相補系列ペアを提案した. これ以降, さまざまな相補系列が提案されており, 例えば, 相補系列集合 [7], 多相相補系列 [8,9], 周期相補系列集合 [1] などが知られている.

末広ら [10,11] は, 完全相補系列 (CCC : complete complementary code) と呼ばれる相補系列の集合を提案した. CCC では, 任意の異なる相補系列集合 (これを系列系と呼ぶ) のペアにおいて, 対応する系列どうしの相互相関関数の和が常に 0 となる. すなわち, CCC は理想的な自己相関および相互相関特性をもつと言える. CCC は非周期的系列, つまり有限長の相補系列の集合である. 一般に, 非周期相補系列の集合は周期相補系列集合の特別な場合であることが知られている [1].

CCC は良い相関特性をもつため, 無線通信システムや情報ハイディング技術など, さまざまな分野で応用されている. 代表的なものとして, CCC を用いた CDMA (code division multiple access) 通信システムのための信号設計法 [12] が挙げられる. この通信システムでは, 通信の同期が近似的に保持されているという条件下で, チャネル間干渉やマルチパスフェーディングといった問題を回

避することができる. また, マルチパス特性を推定し, かつ, この方式で設計された信号系列を用いて, ある種の畳み込みのような方法で送信データ系列を変調することによって, 周波数利用効率を飛躍的に向上させることが可能であることも報告されている [13]. この信号設計法にはいくつかのバリエーションがあるが, これらを用いた場合のさまざまな通信環境下での性能についても研究が行なわれている [14].

CCC を用いた通信システムとしては, CT-CDMA (convoluted-time and code division multiple access) というものも提案されている [15,16]. CT-CDMA では, 異なるユーザのデータが互いに重ね合わされた状態で送信される. この方式では, 複数のユーザの送信データがただ一つの系列系を用いて, かつただ一つの周波数帯のみを用いて送受信可能である. このことにより, CCC を用いた CDMA システムの問題点の一つであったセル容量を大幅に向上させることができる. さらに, 同時に複数の系列系を利用することにより, 大量の情報を多重化して, 単一の周波数帯で同時送受信することも可能である.

既に述べた通り, CCC は通信システムのみならず, 情報ハイディング技術にも応用することができる. マルチメディア情報ハイディングは, デジタルメディアの不正コピーの防止や追跡, あるいはある種の秘密通信を実現することを目的として, 画像, 音声, 動画といったマルチメディア・コンテンツの中に秘密のメッセージを埋め込む技術である [17]. スペクトル拡散通信のモデルは, 情報ハイディングのモデルときわめて類似していることが知られている. このことから, スペクトル拡散に基づく情報ハイディング方式が数多く提案され

ている [18–22]. CCC を用いた画像電子透かし方式や電子指紋方式も提案されている [23–27]. CT-CDMA 通信技術と同様な方式でデータを変調することで CCC データハイディング技術に応用する方式についても研究が行なわれ、静止画像 [28–30], および音響信号 [31, 32] に対して特性の検証が行なわれている.

本論文では, CCC の定義や性質, および生成法について述べ, 特に通信分野での応用例を中心として紹介する. この中では, 情報ハイディング方式に基づく秘密通信に関するものについても述べる. さらに, CCC に関するバリエーションや最近の話題についても簡潔に紹介する. 本論文は, 2015 年 5 月に京都で行なわれた電子情報通信学会情報理論研究会で招待講演として発表されたもの [33] に加筆を施したものである.

2 完全相補系列系 (CCC)

2.1 準備

長さ L の任意の有限長複素数値系列 $\mathbf{c}_a \stackrel{\text{def}}{=} \{c_{a,0}, c_{a,1}, \dots, c_{a,L-1}\}$ に対し, これを無限長に拡張した系列を

$$C_a(t) \stackrel{\text{def}}{=} \sum_{i=0}^{L-1} c_{a,i} \delta_{i,t} \quad (1)$$

と定義する. ここで, $\delta_{i,n}$ はクロネッカーのデルタである. 系列 $C_a(t)$ は無限長であるが, $t \leq -1, L \leq t$ の範囲ではその値は 0 である. したがって, $C_a(t)$ は $\mathbf{c}_a$ と本質的に同一である. このとき, 任意の二つの有限長系列 $\mathbf{c}_1 = \{c_{1,0}, c_{1,1}, \dots, c_{1,L-1}\}$, $\mathbf{c}_2 = \{c_{2,0}, c_{2,1}, \dots, c_{2,L-1}\}$ に対する相互相関関数は

$$R_{C_1, C_2}(\tau) \stackrel{\text{def}}{=} \sum_{t=-\infty}^{+\infty} C_1(t) C_2^*(t - \tau) \quad (2)$$

のように定義することができる. ここで, $C_a^*(t)$ は $C_a(t)$ の複素共役である. $\mathbf{c}_1 = \mathbf{c}_2$ のとき, 相関関数 $R_{C_1, C_1}(\tau)$ を特に自己相関関数と呼ぶ.

2.2 CCC の定義

長さ l の有限長系列 n 個からなる集合を考え, これを系列系と呼ぶ. さらに, この系列系 m 個からなる集合を考える. この集合は

$$\left\{ \begin{array}{l} \left\{ \mathbf{c}_0^{(0)}, \mathbf{c}_1^{(0)}, \dots, \mathbf{c}_{n-1}^{(0)} \right\} \\ \left\{ \mathbf{c}_0^{(1)}, \mathbf{c}_1^{(1)}, \dots, \mathbf{c}_{n-1}^{(1)} \right\} \\ \vdots \\ \left\{ \mathbf{c}_0^{(m-1)}, \mathbf{c}_1^{(m-1)}, \dots, \mathbf{c}_{n-1}^{(m-1)} \right\} \end{array} \right\} \quad (3)$$

と書くことができる. ここで, 各系列の上添え字 i は系列系を表し, 下添え字 j は, 系列系の中の各系列を特定するものである. 各系列 $\mathbf{c}_j^{(i)}$ の長さは $0 \leq i \leq m-1, 0 \leq j \leq n-1$ を満たす任意の i, j について一定値 l である.

任意の整数 l, m, n に対し, 任意の $i, k = 0, 1, \dots, m-1$ についてその相関関数が条件:

$$\sum_{j=0}^{n-1} R_{C_j^{(i)} C_j^{(k)}}(\tau) = \begin{cases} ml & (i = k, \tau = 0) \\ 0 & (\text{otherwise}) \end{cases} \quad (4)$$

を満たすとき, 集合 (3) は, (m, n, l) -CCC と呼ばれる.

式 (4) は, 各系列系に含まれる系列の自己相関関数の総和が, $\tau = 0$ の場合を除き 0 であることを示している. このような系列系を自己相補系列系と呼ぶ. 一方, 任意の二つの異なる系列系に含まれる対応する系列間の相互相関関数の総和は常に 0 となる. このような系列系のペアを相互相補系列系と呼ぶ. したがって, CCC とは, 任意のペアが相互相補系列系となるような m 個の自己相補系列系の集合として定義される.

2.3 CCC の生成法とバリエーション

CCC は複数のアダマール行列を用いて容易に生成可能で, 異なる行列の組合せにより, 異なる CCC を作ることができる. CCC の生成法の詳細は文献 [10, 11] に譲る. CCC の構成法には別の手法も存在する. 文献 [34] では, 系統的な構成法が提案されており, CCC の系列長の拡張や異なる CCC の個数についても議論されている. また, Reed-Muller 符号を用いた方法 [35] や直交ベクトル集合を用いた方法 [36], 再帰的アルゴリズムによる生成法 [37] 等も提案されている.

通常, CCC は同じ長さの 1 次元系列の集合として定義されるが, 高次の CCC に関する議論もある. 例えば, 2 次元および 3 次元系列の集合として CCC を定義した例も知られている [38–40].

3 CCC を用いた通信システム

チャネル間干渉とマルチパスフェーディングはモバイル無線通信における重要な技術課題である. 近似同期 CDMA システムにおいて, これらの問題を解決するための CCC を用いた信号設計法が提案されている [12]. さらに, マルチパス特性を推定し, 送信データを畳み込みのような方法で変調することにより, 通信速度と周波数利用効率を向上させることができることが知られている [13]. これらの信号設計法の性能については, さまざまな通信環境下においた解析も行なわれている [14].

本節では、CCC を用いた CDMA システム [14] および CT-CDMA システム [15, 16] の概要について述べる。また、最近の関連する研究成果についても紹介する。

3.1 基礎系列

(m, n, l) -CCC を考える。 T を、 $T \geq l$ を満たす整数とする。ここで、 l は CCC における各系列 $c_j^{(i)}$ の系列長である。 $C_j^{(i)}$ を式 (1) と同様に定義される有限長系列 $c_j^{(i)}$ に対する無限長系列とする。任意の無限長系列 $S = \{S(t)\}$ に対し、 Z^{-k} を長さ k の遅延演算子とし、 $S \cdot Z^{-k} = \{S(t-k)\}$ を満たすものとする。したがって、 $0 \leq i \leq m-1$, $0 \leq j \leq n-1$ を満たす任意の二つの整数 i, j に対し、 $C_j^{(i)} \cdot Z^{-jT}$ は、無限長系列 $C_j^{(i)}$ を jT チップだけ遅延させたものを表す。

ここで、任意の整数 i ($0 \leq i \leq m-1$) に対し、

$$S^{(i)} \stackrel{\text{def}}{=} \sum_{j=0}^{n-1} C_j^{(i)} \cdot Z^{-jT} \quad (5)$$

で定義される無限長系列 $S^{(i)}$ を考える。 $S^{(i)}$ は、CCC における i 番目の系列系に含まれる n 個の系列を一定の間隔 $T-l$ で接続して生成される長さ nT の有限長系列 $s^{(i)}$ を、無限長に拡張したものである。系列 $S^{(i)}$ の生成法に関する詳細は文献 [14] に譲る。

3.2 CCC を用いた CDMA システム

CCC を用いた CDMA システムでは、マルチパス特性を推定し、受信信号を復調する際にこれを利用する。基礎系列 $S^{(0)}$ をマルチパス特性を推定するためのパイロット信号とする。 (m, n, l) -CCC では、1 個の系列系をパイロット信号とし、残りの $m-1$ の系列系をデータ通信に利用できる。したがって、 $(m-1)$ 個の系列系を $(m-1)$ 人のユーザ (送信器) に割り当てることとする。 k 番目の送信器 ($k \neq 0$) が長さ L のデータ系列 $(d_0^{(k)}, d_1^{(k)}, \dots, d_{L-1}^{(k)})$ を系列系 $\{C_0^{(k)}, C_1^{(k)}, \dots, C_{n-1}^{(k)}\}$ で構成される基礎系列 $S^{(k)}$ を用いて変調することとする。このとき、データ系列はある種の畳み込みのような形式で、

$$\alpha \sum_{i=0}^{L-1} d_i^{(k)} \cdot S^{(k)} = \alpha \sum_{i=0}^{L-1} d_i^{(k)} \sum_{j=0}^{n-1} C_j^{(k)} \cdot Z^{-jT} \quad (6)$$

のように変調される。ここで、 α は信号の振幅を制御する正の定数である。

送信器は、パイロット信号とデータ信号を同一の搬送波で狭帯域変調し、同時に送信する。送信された信号はマルチパス通信路を介して受信されることとする。

受信機は、受信信号を送信側で用いたのと同じ搬送波で相関検波し、これを時刻 $(n-1)T$ だけ遅延させて、系列 $C_0^{(0)}, C_0^{(1)}, \dots, C_0^{(m-1)}$ に対応する m 個のマッチトフィルタに入力する。同時に、同じ信号を時刻 $(n-2)T$ だけ遅延させて、系列 $C_1^{(0)}, C_1^{(1)}, \dots, C_1^{(m-1)}$ に対応する m 個のマッチトフィルタに入力する。同様の操作を、信号を系列 $C_{n-1}^{(0)}, C_{n-1}^{(1)}, \dots, C_{n-1}^{(m-1)}$ に対応する m 個のマッチトフィルタに遅延なしで入力するまで繰り返す。

$(p_0, p_1, \dots, p_{L-1})$ を複素数値をとるマルチパス特性の系列とする。マルチパスの最大遅延時間は $L-1$ と仮定する。この方式では、複素系列 $(p_0, p_1, \dots, p_{L-1})$ は系列 $C_0^{(0)}, C_1^{(0)}, \dots, C_{n-1}^{(0)}$ に対するマッチトフィルタ出力の和を観測するだけで得ることができ、受信器側で用意にマルチパス特性を把握できる。 k ($k = 1, 2, \dots, m-1$) 番目のデータチャンネルに対しては、別の複素数値系列 $(q_0^{(k)}, q_1^{(k)}, \dots, q_{L-1}^{(k)})$ が、系列 $C_0^{(k)}, C_1^{(k)}, \dots, C_{n-1}^{(k)}$ に対するマッチトフィルタ出力の和から求められる。

本方式では、パイロット信号とデータ信号は同時に送信されるため、これらが同じマルチパス特性をもつ通信路を介して受信されると仮定する。データ系列 $(d_0^{(k)}, d_1^{(k)}, \dots, d_{L-1}^{(k)})$ が送信されたとき、受信器は連立 1 次方程式：

$$P \cdot \mathbf{d}^{(k)} = \mathbf{q}^{(k)} \quad (7)$$

を構成することができる。ここで、 $\mathbf{d}^{(k)}, \mathbf{q}^{(k)}$ はそれぞれ、 $\mathbf{d}^{(k)} = [d_0^{(k)}, \dots, d_{L-1}^{(k)}]^\dagger$, $\mathbf{q}^{(k)} = [q_0^{(k)}, \dots, q_{L-1}^{(k)}]^\dagger$ で定義される L 次ベクトルである。 $\dagger$ はベクトルの転置を表す。係数行列 P は

$$P = \begin{bmatrix} p_0 & 0 & \cdots & 0 \\ p_1 & p_0 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{L-1} & p_{L-2} & \cdots & p_0 \end{bmatrix} \quad (8)$$

で与えられる。

係数行列 P とベクトル $\mathbf{q}^{(k)}$ はフィルタ出力から既知であり、未知パラメータはベクトル $\mathbf{d}^{(k)}$ のみである。この方程式は、係数行列が下三角行列であるため、容易に解くことができる。すなわち、まず、 $d_0^{(k)}$ が

$$d_0^{(k)} := \frac{1}{p_0} q_0^{(k)} \quad (9)$$

のように得られ、続いて $i = 1, 2, \dots, L-1$ に対して

$$d_i^{(k)} := \frac{1}{p_0} \left(q_i^{(k)} - \sum_{j=0}^{i-1} p_{i-j} d_j^{(k)} \right) \quad (10)$$

のように解が求められる。したがって、長さ L のデータ系列 $(d_0^{(k)}, d_1^{(k)}, \dots, d_{L-1}^{(k)})$ が正確に復調できる [14]。

CCC を用いた CDMA システムには別の手法も存在する。文献 [14] では、上記の方式（方式 1）ともう一つの方式（方式 2）の性能が計算機シミュレーションを通して評価、比較されている。方式 2 では、パイロット信号やデータ信号として、基礎系列を複数回反復した系列が用いられる。したがって、方式 2 では、基礎系列がガードインターバルをもった周期系列として用いられていると解釈することもできる。方式 2 においては、式 (7) と同様な連立方程式が受信側で構成される。ただし、この場合、係数行列が下三角行列ではなく巡回行列

$$P' = \begin{bmatrix} p_0 & p_{L'-1} & \cdots & p_1 \\ p_1 & p_0 & \cdots & p_2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{L'-1} & p_{L'-2} & \cdots & p_0 \end{bmatrix} \quad (11)$$

で与えられる。巡回行列 P' の逆行列は離散フーリエ変換 (DFT) により求めることが可能であるため、方式 2 の場合の連立方程式も容易に解くことができる [14]。

これらの CDMA システムの変復調方式の詳細や例については、文献 [14] に譲る。

3.3 CT-CDMA 通信方式

第 3.2 節で述べた CDMA 方式では、セル容量が小さい、送信信号電力が大きいなどの問題点が指摘されている。これらを解決するために、CT-CDMA と呼ばれる通信システムが提案されている [15,16]。CDMA の場合とは異なり、CCC における 1 個の系列系が複数の異なるユーザに対して割り当てられる。異なるユーザの送信信号は、一定間隔で遅延されて互いにオーバーラップした形で送信される。すなわち、異なるユーザの信号は 1 個の系列系のみを用い、ある種の畳み込みのような形式で変調される。さらに、複数の系列系を同時に使用して送信信号を多重化すれば、CCC を用いた CDMA システムの場合よりも飛躍的にセル容量を向上させることができる [14]。

式 (5) と同じ基礎系列 $S^{(i)}$ を考える。ここでも、 $S^{(i)}$ は長さ nT の有限長系列 $s^{(i)}$ の無限長拡

張である。 $0 \leq i \leq m-1$ を満たす任意の i に対し、系列 $s^{(i)}$ を無限回連接することで無限周期系列 $\tilde{s}^{(i)}$ を構成する。

ここで、系列 $\tilde{s}^{(0)}$ を、マルチパス系列を推定するためのパイロット信号とする。一方、データ系列は、周期系列 $\tilde{s}^{(1)}$ を用いて、通常の直接スペクトル拡散 (DS-SS : direct sequence spread spectrum) と同じ方法で変調される。具体的には、 k 番目の送信器が L ビットのデータ $(d_0^{(k)}, d_1^{(k)}, \dots, d_{L-1}^{(k)}) \in \{-1, +1\}^L$ を送信し、このデータを表す時間信号 $b_t^{(k)}$ が任意のビット $i = 0, 1, \dots, L-1$ に対して、

$$b_{t+iT}^{(k)} = d_i^{(k)} \quad (12)$$

と表されるとするとき、データ信号は $b_t^{(k)} \cdot \tilde{s}_t^{(1)}$ のように拡散変調される。

M 人のユーザがそれぞれのデータを同時に送信する際は、各ユーザの拡散変調されたデータ信号は一定間隔 τ チップだけ遅延させて送信される。すなわち、 M 人のユーザの送信信号は、

$$\sum_{k=0}^{M-1} b_t^{(k)} \cdot \tilde{s}_t^{(1)} \cdot Z^{-k\tau} \quad (13)$$

のような形式で畳み込まれることとなる。このように変調された全ユーザの信号と共通のパイロット信号が同一の搬送波で狭帯域変調され、送信される。送信された信号は、マルチパス通信路を介して受信される。

上記に示した変調方式では、データ変調とパイロット信号として、1 組の自己相補系列系のペアしか使用されていない。一方、 (m, n, l) -CCC 全体を用いることを考えると、全部で $(m/2)$ 個の系列系のペアを同時に使用することができる。仮に複数の系列系のペアを用いて、変調後の信号を同時に送信したとしても、CCC は理想的な相互相関特性をもっているため、チャネル間干渉は理論上生じることはない。したがって、既に述べた通り、チャネルの分割は、送信信号の畳み込みと CCC の相互相関特性の双方を利用して行なうことができる。このことが、本方式が時間畳み込み・符号分割 (CT-CDMA) と名付けられた所以である [15,16]。

受信器は、受信した信号を送信側で用いられたのと同じ搬送波で相関検波する。こうして復調されたベースバンド信号は時刻 $(n-1)T$ だけ遅延されて、系列 $C_0^{(0)}$ に対応するマッチトフィルタに入力される。同じ信号が、時刻 $(n-2)T$ だけ遅延されて、系列 $C_1^{(0)}$ に対応するマッチトフィルタにも入力される。同様な操作が、同じ信号を系列 $C_{n-1}^{(0)}$ に対応するマッチトフィルタに遅延なしで入力されるまで繰り返される。この方式では、各ユーザのマルチパス特性 $(p_0^{(k)}, p_1^{(k)}, \dots, p_{L-1}^{(k)})$ は

n 個のマッチトフィルタ出力の和を観測することで得られる。

一方、受信器は上記と同じ受信ベースバンド信号を同様の方法で、 n 個の系列 $C_0^{(1)}, C_1^{(1)}, \dots, C_{n-1}^{(1)}$ それぞれに対応したマッチフィルタに入力する。このとき、これら n 個のマッチトフィルタ出力の和を観測すると、系列 $d_i^{(k)} \cdot (p_0^{(k)}, p_1^{(k)}, \dots, p_{L-1}^{(k)})$ が得られる。したがって、この方式では、CDMA 方式の場合のような連立方程式を解く必要はなく、単にマッチトフィルタバンクの出力を観測するだけで、送信データビットの復調が可能である。

文献 [16] では、CT-CDMA システムの性能について議論が行なわれており、CDMA 方式の場合と比較して、情報伝送速度は犠牲となるが、大きなセル容量を実現し、復調方法もシンプルであり、かつ送信信号電力を一定値に保つことができることが指摘されている。CT-CDMA システムに関する詳細や数値例については、文献 [16] を参照されたい。

CT-CDMA に類似した他の通信システムも存在する。例えば、送信信号をオーバーラップさせ、時間領域で多重化する方式 [41] が提案されている。しかし、使用している拡散系列の相関特性が考慮されていないため、通信の正確性の面で CT-CDMA には及ばない。

3.4 他の関連研究

以上で述べた CDMA システムや CT-CDMA システムでは、送信データは単一の搬送波で変調されていた。したがって、これらはシングルキャリア CDMA (SC-CDMA) の一種であると考えられる。一方、CCC のマルチキャリア CDMA (MC-CDMA) への応用についても議論が行なわれている [42, 43]。また、MC-CDMA に必要なパワーコントロールに CCC を用いる方法に関する提案 [42] 等も行なわれている。

スペクトル拡散技術は通信目的だけではなく、レーダーシステムへ応用することもできる。MIMO レーダーに CCC を応用した事例も知られており、この分野の最新の研究例としては、文献 [44, 45] 等が挙げられる。

4 情報ハイディング技術への応用

今日のネットワーク通信においては、画像、音声、動画等、さまざまな形式のマルチメディアコンテンツの生成や配信が行なわれている。このような環境下では、デジタルファイルの不正コピーを防止したり追跡したりすることが大きな技術課題である。電子透かしや電子指紋といった情報ハ

イディング技術は、このようなマルチメディアデータの配信を管理する上で重要な役割を果たすと考えられる [17]。第 1 節で述べた通り、スペクトル拡散通信のモデルは情報ハイディングのモデルに類似している。具体的には、情報ハイディングにおけるカバーデータは通信のモデルにおける雑音のある通信路に対応している。この事実に基づき、スペクトル拡散技術に基づく情報ハイディング方式が数多く提案されている [18–22]。これらの方式の多くにおいて、埋め込まれた情報は、使用された拡散系列の相関関数を評価することにより検出される。したがって、これらの情報ハイディング方式においても、相関特性の優れたスペクトル拡散系列を用いることが求められる。CCC は理想的な相関特性をもつことから、これを用いた画像電子透かし [23, 24] や電子指紋方式 [26, 27] が提案されている。

CD-CDMA で用いたものと同じ周期的な基礎系列 $s^{(i)}$ を考える。CCC を用いた電子透かし方式では、一組の ID 番号のペア、すなわち、グループ ID (GID) とユーザ ID (UID) が透かしとして埋め込まれる。 GID は共有鍵のような役割をもっており、基礎系列 $s^{(i)}$ の番号 i で特定される。一方、 UID は埋め込まれる秘密情報そのものであり、基礎系列の周期シフトにより特定される。言い換えると、任意の ID 番号のペアは、使用される基礎系列とその周期シフトによって表されることとなる。

透かしを埋め込む際、ID ペアを表す系列がカバー画像の周波数領域に埋め込まれる。カバー画像が離散コサイン変換 (DCT) で変換された後、系列には正の定数 α が乗じられ、カバー画像の DCT 成分の一部に加算される。パラメータ α は埋め込み強度と呼ばれ、埋め込まれる系列の振幅を制御するものである。

検出側で埋め込まれた ID ペアを抽出する方法には二つの手法が存在する。一つはプライベート型抽出法で、もう一つがブラインド型抽出法である。前者においては、埋め込まれた透かしを抽出するためにカバー画像を参照する必要があるが、後者では、カバー画像は一切参照することが許されない。プライベート型の場合は、カバー画像と透かしが埋め込まれたステゴ画像の DCT 成分の差を求め、この差分系列と用いた系列系との相互相関の和を求めることにより、埋め込まれた情報を抽出することができる。一方、ブラインド型の場合は、カバー画像を参照することなく、単にステゴ画像の DCT 成分と使用された系列系の相互相関の和のみから埋め込まれた情報が抽出される。本方式の埋め込み、および抽出方式の詳細は、文献 [23, 24] に譲る。

このような電子透かし方式や電子指紋方式では、例えば、著作権や個人情報など、単一の秘密情報だ

けしか、デジタルコンテンツに埋め込むことができない。ところが、CCC に基づく CT-CDMA の考え方を応用すると、この電子透かしモデルを拡張し、1 枚の画像に複数の秘密情報を同時に埋め込むことが可能となる [25, 29]。このように拡張された方式は、さまざまな目的で応用することができる。例えば、複数のユーザの ID を同時に埋め込むことができる。これにより、複数の開発者のグループによって作成されたデジタルコンテンツの特許情報や著作権情報を容易に埋め込むことが可能となる。あるいは、ある種の秘密通信を実現するために、デジタルファイルの中にサイズの大きなメッセージを埋め込むことが可能となる。このような技術はステガノグラフィ、あるいは単にデータハイディングなどと呼ばれる。

M 個の異なる ID を同時に埋め込む場合、検出側で相関関数の和を求めると M 個のピークが観察される。この拡張方式では、これら M 個のピークの系列が M ビットの情報データ系列、すなわち埋め込まれた秘密のメッセージを表すと考え、CT-CDMA の場合と同様に、秘密のメッセージは CCC のうち、単一の系列系だけを用いてカバーデータに埋め込まれる。もし、複数の系列系を同時に使用して埋め込みが行なわれたとしても、CCC の理想的な相互相関特性により、いかなる符号間干渉も生じず、すべての情報を正しく抽出することが可能である。このことは、複数の系列系を用いてメッセージを多重化変調することにより、埋め込み可能なメッセージのサイズを飛躍的に増大できることを意味している。

CCC を用いたデータハイディング方式は、当初、画像データに応用された [28–30]。特に、文献 [28] においては、埋め込み容量、すなわち、埋め込み可能な最大のメッセージサイズが理論的に評価されている。また、検出誤りを修正するために LDPC 符号を応用した研究も行なわれている [30]。この方式は、音響信号にも応用することが可能で [31, 32]、画像の場合と同様に埋め込み系列を設計することができ、変調後の系列はカバー音声信号の周波数領域に埋め込まれる。この音響データハイディング方式を応用して、災害情報をサイレン音に埋め込み、音声信号のアナログ伝送だけで情報伝達を行なうことができる防災放送システムも提案されている [31, 32]。このシステムでは、ステゴサイレン音がスマートフォンやタブレットなどの内蔵マイクで受信された後、埋め込まれた情報が抽出され、ディスプレイに視覚的に表示される。このため、聴覚だけで情報伝達するよりも大容量かつ正確な情報伝達が可能であるばかりでなく、電波を利用しないため、災害時に携帯電話網や WiFi システムが機能しない場合でも、スピーカさえあれば情報伝達を行なうことができる。

さらに、近年、CCC に基づく動画電子透かし方

式も提案されている [46]。

5 むすび

CCC の定義や性質、いくつかのバリエーション等について述べた。また、CCC を無線通信システムやレーダーシステム、および情報ハイディングシステムに応用した例を紹介した。これらの応用例では、CCC の優れた相関特性を活用することで、従来の方式に比べ性能を向上させることができることについても述べた。

謝辞

著者は、本論文に関連する研究を行なう上で有用なご議論をいただいた、CCC の考案者である末広直樹先生、中国・西南交通大学の Pingzhi Fan 先生、山口大学の松藤信哉先生および松元隆博先生、オーストラリア・メルボルン大学の Udaya Parampalli 先生に深く感謝いたします。

参考文献

- [1] P. Fan and M. Darnell, Sequence Design for Communications Applications, Research Studies Press LTD, 1997.
- [2] L.R. Welch, “Lower bounds on the maximum cross correlation of signals,” IEEE Trans. Inform. Theory, vol.20, no.3, pp.397–399, May 1974.
- [3] V.M. Sidelnikov, “On mutual correlation of sequences,” Soviet Math. Dokl., vol.12, no.1, pp.197–201, 1971.
- [4] D. Sarwate, “Bounds on crosscorrelation and autocorrelation of sequences,” IEEE Trans. Inform. Theory, vol.25, no.6, pp.720–724, Nov. 1979.
- [5] M.J.E. Golay, “Complementary series,” IRE Trans. Inform. Theory, vol.7, no.2, pp.82–87, Apr. 1961.
- [6] R. Turyn, “Ambiguity functions of complementary sequences,” IEEE Trans. Inform. Theory, vol.9, no.1, pp.46–47, Jan. 1963.
- [7] C.C. Tseng and C.L. Liu, “Complementary sets of sequences,” IEEE Trans. Inform. Theory, vol.18, no.5, pp.644–652, Sept. 1972.

- [8] R. Sivaswamy, "Multiphase complementary codes," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol.24, no.5, pp.546–552, Sept. 1978.
- [9] R.L. Frank, "Polyphase complementary codes," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol.26, no.6, pp.641–647, Nov. 1980.
- [10] 末広直樹, "倍数差直交系列と完全相補系列系," *信学論*, vol.J65-A, no.12, pp.1247–1253, Dec. 1982.
- [11] N. Suehiro and M. Hatori, " N -shift cross-orthogonal sequences," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol.34, no.1, pp.143–146, Jan. 1988.
- [12] N. Suehiro and N. Kuroyanagi, "Binary signal design for approximately synchronized CDMA systems without detection sidelobe nor co-channel interference using auto- and cross-complementary codes," *Proc. ICUPC'98*, pp.1097–1102, Florence, Italy, Oct. 1998.
- [13] N. Suehiro, N. Kuroyanagi, T. Imoto, and S. Matsufuji, "Very efficient frequency usage system using convolutional spread time signals based on complete complementary code," *Proc. PIMRC 2000*, pp.1567–1572, London, UK, Sept. 2000.
- [14] T. Kojima, A. Fujiwara, K. Yano, M. Aono, and N. Suehiro, "Comparison of the two signal design methods in the CDMA systems using complete complementary codes," *IEICE Trans. Fundamentals*, vol.E89-A, no.9, pp.2299–2306, Sept. 2006.
- [15] T. Kojima and M. Aono, "On a convoluted-time and code division multiple access communication system using complete complementary codes," *Proc. IWSDA 2007*, pp.30–33, Chengdu, China, Sept. 2007.
- [16] T. Kojima and M. Aono, "Properties of a convoluted-time and code division multiple access communication systems based upon complete complementary codes," *IEICE Trans. Fundamentals*, vol.E91-A, no.10, pp.2881–2884, Oct. 2008.
- [17] 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.
- [18] A.Z. Tirkel, G.A. Rankin, R.M. vanSchyn-
del, W.J. Ho, N.R.A. Mee, and C.F. Os-
borne, "Electronic watermark," *Proc. of DICTA '93*, pp.666–673, Sydney, Australia, Dec. 1993.
- [19] A. Piva, M. Barni, F. Bartolini, and V. Cap-
pellini, "DCT-based watermark recovering
without resorting to the uncorrupted origi-
nal image," *Proc. of ICIP'97*, pp.520–523,
Washington, D.C., USA, Oct. 1997.
- [20] I.J. Cox, J. Kilian, F.T. Leighton, and T.
Shamoon, "Secure spread spectrum water-
marking for multimedia," *IEEE Trans. Im-
age Process.*, vol.6, no.12, pp.1673–1687,
Dec. 1997.
- [21] L.M. Marvel, J. C. G. Boncelet, and C.T.
Retter, "Spread spectrum image steganog-
raphy," *IEEE Trans. Image Process.*, vol.8,
no.8, pp.1075–1083, Aug. 1999.
- [22] M. Kuribayashi, "Interference removal op-
eration for spread spectrum fingerprinting
scheme," *IEEE Trans. Inf. Forensics Secu-
rity*, vol.7, no.2, pp.403–417, Mar. 2012.
- [23] Y. Horii and T. Kojima, "On digital wa-
termarks based on complete complementary
codes," *Proc. of IWSDA'09*, pp.126–129,
Fukuoka, Japan, Oct. 2009.
- [24] T. Kojima, Y. Horii, N. Ohtani, and T.
Sene, "On some properties of a digital wa-
termarking based on complete complementary
codes," *Proc. of IHMSp 2010*, pp.498–501,
Darmstadt, Germany, Oct. 2010.
- [25] T. Kojima, N. Ohtani, T. Matsumoto, and
U. Parampalli, "On multiple information
embedding by digital watermarking based
on complete complementary codes," *Proc.
of IWSDA 2011*, pp.100–103, Guilin, China,
Oct. 2011.
- [26] N. Ohtani and T. Kojima, "A digital fin-
gerprinting scheme based on complete com-
plementary codes," *Proc. of ISTS 2011*,
pp.237–240, Bangkok, Thailand, Jan. 2012.
- [27] T. Kojima and N. Ohtani, "Private and
blind digital fingerprinting schemes based
upon complete complementary codes,"
Proc. of ISITA 2012, pp.806–810, Honolulu,
Hawaii, USA, Oct. 2012.

- [28] R. Mayuzumi and T. Kojima, "A blind digital steganography scheme based on complete complementary codes," Proc. of IHHMSP 2011, pp.45–48, Dalian, China, Oct. 2011.
- [29] T. Kojima, R. Mayuzumi, and N. Ohtani, "On information hiding technologies based on complete complementary codes," 信学技報, vol.112, no.129, EMM2012-3, pp.17–22, Jul. 2012.
- [30] R. Mayuzumi and T. Kojima, "On data hiding technique based on complete complementary codes," 信学技報, vol.113, no.138, EMM2013-33, pp.227–232, Jul. 2013.
- [31] T. Kojima, A. Oizumi, K. Okayasu, and U. Parampalli, "An audio data hiding based on complete complementary codes and its application to an evacuation guiding system," Proc. of IWSDA'13, pp.118–121, Tokyo, Japan, Oct. 2013.
- [32] 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. of ISITA 2014, pp.45–49, Melbourne, Australia, Oct. 2014.
- [33] T. Kojima, "Complete complementary codes and its applications," 信学技報, vol.115, no.37, IT2015-16, pp.87–92, May 2015.
- [34] C. Han, N. Suehiro, and T. Hashimoto, "A systematic framework for the construction of optimal complete complementary codes," IEEE Trans. Inform. Theory, vol.57, no.9, pp.6033–6042, Sept. 2011.
- [35] C.Y. Chen, C.H. Wang, and C.C. Chao, "Complete complementary codes and generalized Reed-Muller codes," IEEE Commun. Lett., vol.12, no.11, pp.849–851, Nov. 2008.
- [36] 金一, 古賀弘樹, 末広直樹, "直交したベクトルの集合を利用した統一的な完全相補系列系の構成法," 信学論, vol.J92-A, no.2, pp.105–114, Feb. 2009.
- [37] R.S.R. Durai, "A class of optimal complete-complementary codes of different length," Proc. of IWSDA '11, pp.92–95, Guilin, China, Oct. 2011.
- [38] P. Farkaš and M. Turcsány, "Two-dimensional quasi orthogonal complete complementary codes," Proc. of SympoTIC '03, pp.37–40, Bratislava, Slovakia, Oct. 2003.
- [39] M. Turcsány and P. Farkaš, "Three-dimensional orthogonal complete complementary codes," Proc. of SympoTIC '04, pp.24–26, Bratislava, Slovakia, Oct. 2004.
- [40] M. Davidekova, P. Farkaš, and E. Ruzicky, "Generalized construction of two-dimensional complete complementary codes," Proc. of TSP 2013, pp.747–750, Rome, Italy, Jul. 2013.
- [41] J. Wang and D. Li, "Single-carrier time-domain overlapping multiplexing for uplink wireless communications," Proc. IWSDA'07, pp.238–242, Chengdu, China, Sept. 2007.
- [42] Z. Liu, Y.L. Guan, and U. Parampalli, "New complete complementary codes for peak-to-mean power control in multi-carrier CDMA," IEEE Trans. Commun., vol.62, no.3, pp.1105–1113, Mar. 2014.
- [43] Z. Liu, Y.L. Guan, and H.H. Chen, "Fractional-delay-resilient receiver design for interference-free MC-CDMA communications based on complete complementary codes," IEEE Trans. Wireless Commun., vol.14, no.3, pp.1226–1236, Mar. 2015.
- [44] S.F. Li, J. Chen, and L.Q. Zhang, "Optimisation of complete complementary codes in MIMO radar system," Electronics Letters, vol.46, no.16, pp.1157–1159, Aug. 2010.
- [45] J. Tang, N. Zhang, Z. Ma, and B. Tang, "Construction of doppler resilient complete complementary code in MIMO radar," IEEE Trans. Signal Process., vol.62, no.18, pp.4704–4712, Sept. 2014.
- [46] D. Jiao, Y. Xue, C. Wang, and F. Gao, "Dual-tree complex wavelet transform blind video watermark based on complete complementary codes," Proc. of ICSPCC 2014, pp.250–253, Guilin, China, Aug. 2014.

(平成 27 年 12 月 25 日 受理)

準天頂衛星システムと RFID を用いた視覚障がい者向け道案内システムの開発

山下 晃弘* 佐藤 佳* 坂上 晴信* 佐藤 俊太*
高石 一樹* 木岡 拓海* 松林 勝志*

Development of a Pedestrian Navigation System for Visually Impaired People with QZSS and RFID

Akihiro YAMASHITA* Kei SATO* Harunobu SAKAUE* Syunta SATO*
Kazuki TAKAISHI* Takumi KIOKA* Katsushi MATSUBAYASHI*

It is extremely hard for visually impaired people to walk unknown places. Using a white cane or taking a guide dog is required by law when they go outside. However, even if they are used to using the white cane or familiar with a guide dog, they usually hesitate to go to unknown places because these canes or dogs don't have any ability to navigate the user. In this research, we propose a pedestrian navigation system named "PULLDOG" for visually impaired people with UHF band RFID technology and quasi-zenith satellite system (QZSS) Michibiki. This system calculates as safe routes as possible from current position to destination, such as giving priority to braille block way. We investigated accuracy of positional estimation with RFID and QZSS and implemented the route-search algorithm based on Dijkstra's method. In this paper, the system outline and the results of investigations are described. Additionally, the results and feedbacks from demonstration experiments at Keio Kitano station are also reported.

(Keywords : Pedestrian Navigation, Visually Impaired, RFID, QZSS)

1. はじめに

視覚障がい者は、外出する際に、白杖の携帯、または盲導犬の同伴が義務付けられており、自ら安全を確保しながら歩行する。しかし、訪れたことの無い場所へ一人で出かけることは困難である。その原因の一つは、白杖や盲導犬はナビゲーション機能を持たないため、道案内を受けられないことである。従来のナビゲーションシステムは、情報の提示方法や位置測位の精度など、健常者による使用を想定しており、視覚障がい者が同様に使用するのには難しい。

そこで本研究では、視覚障がい者が土地勘のない場所でも一人で安全に外出できるシステムの開発を目的とする。本システムは、位置測位に RFID や準天頂衛星 (QZSS) を使い、力覚という新しい方向の提示方法を活用して設計した。また本稿では、実環境として駅構内及び駅前の歩道で実施した実証実験の結果も報告する。

2. システム構成

従来より RFID 技術を用いた視覚障がい者向けのナビゲーションシステムが研究されている[1][2]。しかし、専用の白杖が必要であり、GPS との連携が無いなど、実用化には至っていない。そこで本研究では RFID と高精度 GPS を連携させることで汎用性を高めることを検討する。本システムの全体構成を図 1 に示す。本システムは、中

央制御基板、RFID リーダ、QZSS 受信機、スマートフォン、操作ボタン、マイク・スピーカ、バッテリーから構成されている。中央制御基板、RFID リーダ、QZSS 受信機、バッテリーは鞆に収納し、スマートフォン、マイク・スピーカは鞆の肩紐に固定され、ユーザからの入出力をスムーズに行うことが可能になっている。また、視覚障がい者がスマートフォンの画面を操作することは困難であるため、腕に装着した凹凸のある2つの操作ボタンのみで、システム全体を操作する。実際に視覚障がい者が本システムを装着している様子を図 2 に示す。



図 1 システムの全体構成

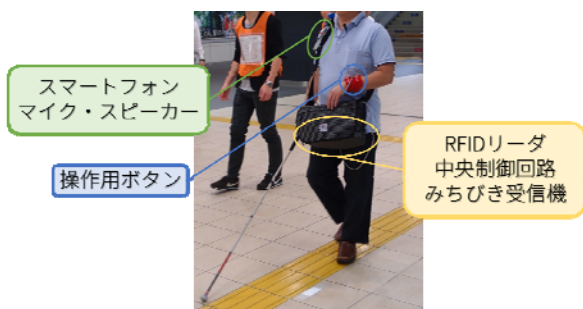


図 2 システムを装着した様子

3. RFID タグを用いた位置測位

3.1 RFID タグ読み取りに関する予備実験

本システムでは、点字ブロックに埋められた RFID を読み取ることで現在位置を推定する方法を採用する。点字ブロックは一般的にコンクリート製であるため、コンクリート内に埋め込まれた RFID タグを読み取る必要がある。また、カバンの中に RFID リーダを所持する場合、路面から 80cm 以上の距離で読み取りが可能でなければならない。そこで、比較的長距離の通信が可能である UHF 帯の RFID タグを用いる事とした。先行研究では、UHF 帯 RFID タグを自動車ナビゲーションへ応用する研究成果も報告されている[3]。実際に読み取り可能な条件を検証するため、先行研究[4]を参考に表 1 の RFID タグに関して次の測定を実施した。

- ・静止状態での読み取り可能距離の測定(屋内等を想定しコンクリート床に直接 RFID タグを設置する場合についても測定)
- ・歩行中を想定した移動状態での測定
- ・水分(雨)が読み取り可能距離に及ぼす影響の測定
- ・実環境のコンクリート製点字ブロック内に埋設した RFID タグに対しての読み取り測定

測定結果について次節以降で述べる。なお RFID リーダは Unitech 社の RM300 を使用した。

3.2 静止状態での読み取り可能距離の測定

タグを点字ブロック内に埋め込んだ状態とアスファルトの上に直接置いた状態で測定した。読み取り距離は 0 cm から 20 cm 刻みで読み取り不可能になるまで距離を離して測定した。受信信号強度を表すパラメータである RSSI も測定したが本稿では省略する。また金属対応の一部のタグについては、裏に金属板を取り付けることで読み取り可能距離の変化を検証した。結果を図 3, 4 に示す。紙面の都合上、計測したタグのうち、H1, H1 (iron)(H1 タグの下面に薄いステンレス板を設置), H1 (aluminum)(H1 タグの下面に薄いアルミ板を設置), S1, H2-2, H3, M4QT, IQ600, IQ600 (iron)(IQ600 タグの下面に薄いステンレス板を設置)の測定結果を掲載する。この結果か

ら H1 のタグが最も読み取り可能距離が長いことが分かり、金属板による読み取り可能距離の大きな差は見られなかった。以上より、点字ブロック下への埋設用には H1 のタグを採用し、コンクリート床に直接設置する場合には、タグの薄さを考慮してカードタイプの IQ600 を採用した。

表 1 RFID タグの候補

タグID	製作企業	品名	タグの性質	通信距離
H1	CONFIDEX	SURVIVOR	金属対応	長
H2-1	CONFIDEX	HALO	金属対応	長
H2-2	CONFIDEX	CARRIER TOUGH	金属対応	長
H2-3	CONFIDEX	CARRIER PRO	金属対応	長
H2-4	CONFIDEX	IRONSIDE SLIM	金属対応	長
H3	CONFIDEX	IRONSIDE	金属対応	中
H4	CONFIDEX	不明	金属対応	中
H5	CONFIDEX	IRONSIDE MICRO	金属対応	短
S1	Omni-ID	Exo750	金属対応	中
M4QT	SMARTRAC	M4QT	カード型	中
IQ600	Omni-ID	IQ600	カード型	中
IQ400	Omni-ID	IQ400	カード型	短
X1	UPM	Belt	金属非対応	短
X2	不明	不明(リーダ付属)	金属非対応	短

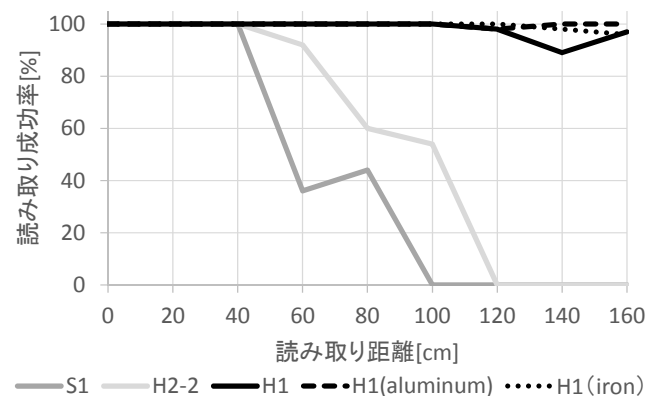


図 3 点字ブロック内に埋め込んだ RFID タグの読み取り可能距離の測定結果

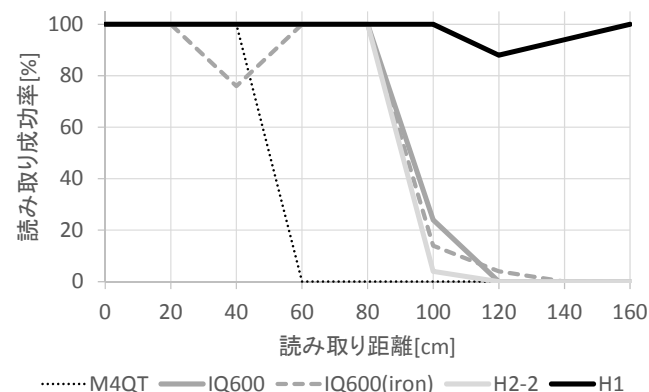


図 4 コンクリート上に直接置いた RFID タグの読み取り可能距離の測定結果

3.3 歩行中を想定した移動状態での測定

歩行中に RFID タグを読み取ることが可能かを検証するため、図 5 のように等間隔に設置した 3 つの点字ブロッ

クの中に H1 タグを埋め、2km/h、5km/h、10km/h の各速度で歩行し、通過するまでの各タグの読み取り回数と RSSI を測定した。図 6 は、各歩行速度で 10 回ずつ測定した時の読取回数の平均値である。2km/h と 5km/h では各タグを必ず 2 回以上読み取りすることに成功した一方で、10km/h では読み取り回数の平均値が 2 回を下回り、10 回の測定のうち、一度だけ一つのタグを読み飛ばしてしまう場合が存在した。しかし、10km/h はジョギングほどの速さであり、視覚障がい者が通常歩行する速度よりはるかに速い速度であるため、実用の上の問題はない。

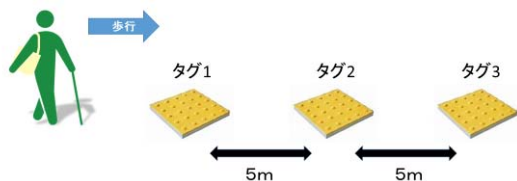


図 5 歩行中の RFID タグの読み取り測定

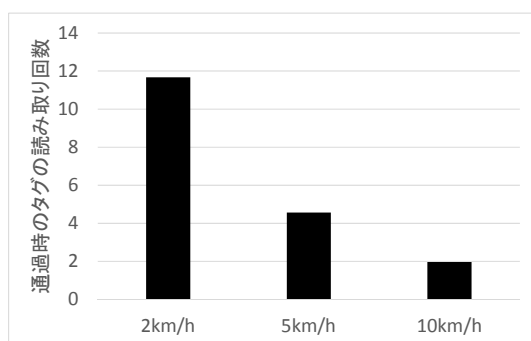


図 6 各歩行速度で通過した際のタグの平均読取回数

3.4 水分を含む点字ブロック内タグの読み取り測定

点字ブロックが雨に濡れた場合を想定し、透水性の点字ブロックの下に H1 のタグを埋め、吸わせる水分量を変化させて読み取り可能距離を測定した。その結果、300ml 程度の水であれば読取可能であった(図 7)。一つの点字ブロックの面積は 900 cm²であるため、計算上、雨

量 1mm の雨が約三時間降り続けても読み取り可能である。強い雨の時に視覚障がい者が外出する機会は少ないため十分に実用の範囲内である。

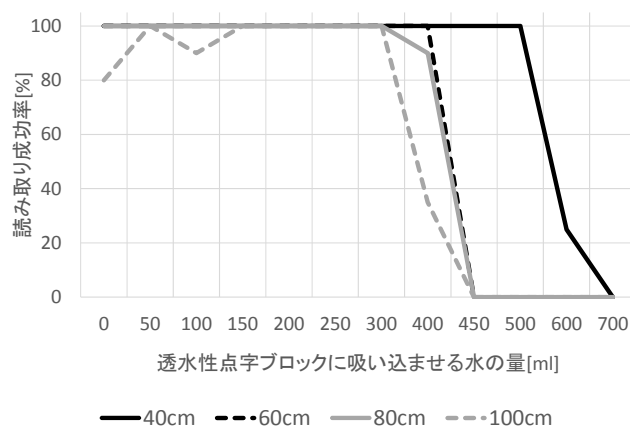


図 7 水分を含む点字ブロック内タグの読み取り結果

3.5 実環境での読み取り測定

実環境で本システムの有用性を検証するため、八王子市の協力により京王線北野駅南口の点字ブロック下に 157 個の H1 タグを設置した(図 8)。実環境に設置したタグが読み取り可能かを検証するため、敷設から三か月経過後の現場にて 3.2 節と同様の測定を実施した。建造物の有無や人通りの量で読み取り距離にばらつきはあったものの、全ての場所で 80cm 以上の読み取りが可能であることを確認した。3.2 節で述べた実験では H1 タグの読み取り距離は 160cm 以上であったが、実環境での読み取り距離は場所によって大きく異なっていた。特にバス停や横断歩道前など、点字ブロックの終端の一部では通信距離の低下が目立った。これは傾斜の影響で点字ブロック下のタグに雨水が浸水している可能性が考えられる。対策としては、点字ブロックの下に埋設するのではなく、点字ブロックの中に埋め込むなど、より地表に近い部分に RFID タグを設置することが考えられる。

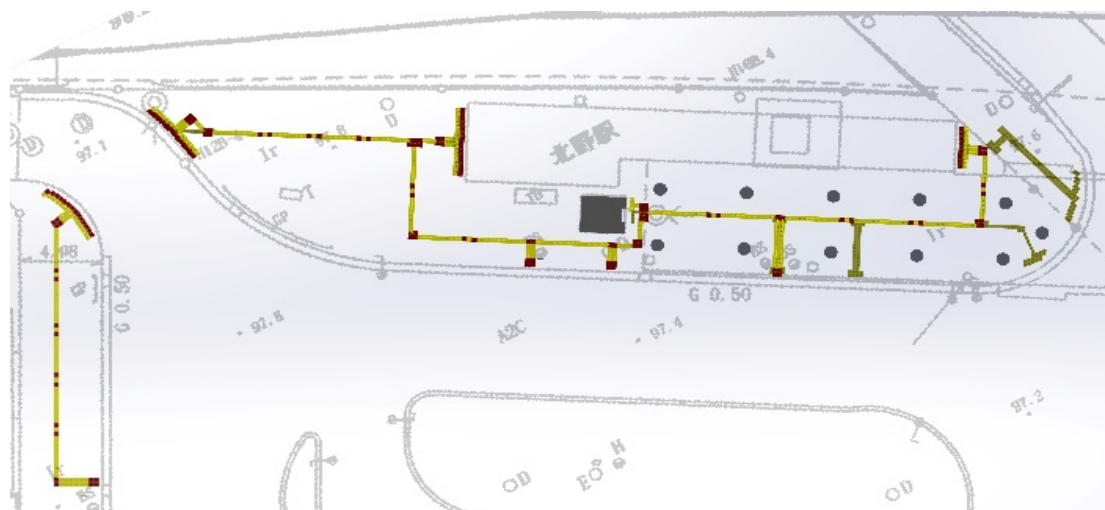


図 8 京王線北野駅南口に敷設した点字ブロックの図面

4. 準天頂衛星(QZSS)による位置測位

RFID タグが敷設されていない屋外では、QZSS「みちびき」の高精度な GPS 信号を元に位置測位を行う。QZSS の利用により、従来は 10m 程度の精度のところ、1m 程度まで高めることが可能である。実際の QZSS の精度を検証するため、1 周 400m の東京高専運動場を徒歩で 5 周し、軌跡を描いた。その結果、誤差が 1~2m の範囲に収まることを確認した(図 9)。

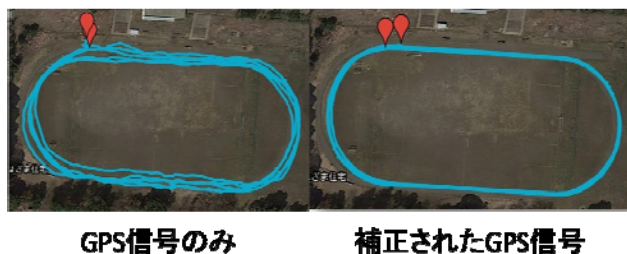


図 9 準天頂衛星を用いた測位実験の結果

5. 案内のための力覚デバイスの開発

本システムは、音声での案内を基本とするものの、視覚障がい者が頼りにする聴覚をできる限り阻害しない方法として、力覚[5][6]を活用する。図 10 は開発した力覚デバイスであり、ソレノイドと 3D プリンタで作成したケースから構成される。力覚は、物体を左右に非対称の加速度で振動させる「非対称性振動」によって生み出される。本研究では力覚を最大化する振動の方法についてシミュレーションも交えながら検討した。数十名に体感して頂いた結果、ほぼすべての方に力覚を感じて頂くことができた。しかし、現段階ではサイズや固定方法の問題でナビゲーションへの応用には至っておらず、今後の課題である。



図 10 開発した力覚デバイス

6. 実証実験

本研究では開発したシステムの有用性を検証するため、八王子市と京王電鉄株式会社の協力のもと、京王線北野駅にて実証実験を実施した。本実験は、北野駅ホームで降車した被験者が、本システムを利用して改札を通過し、バス停を目指す想定で行った。実験に協力頂いたのは、30 代の盲学校教諭で先天性の全盲の方である。この教諭は北野駅を訪れた経験は無い。

6.1 実証実験(一回目)

実証実験の様子を図 11 に示す。システムを収納する背負い鞆を身に付けてもらい、被験者はその鞆と白杖のみを所持した状態で実験を行った。

実験では、RFID タグの読み取りが安定せず、何度か被験者が点字ブロック上から離脱してしまった。これは、(1)鞆に入った RFID アンテナの位置が高くタグとの距離が想定よりも離れてしまった事、(2)RFID アンテナの位置が体より後ろのため読み取りが遅れた事、の二点が原因であった。また、音声案内のタイミングや案内の内容について指摘を頂いた。主な改善点は次のとおりである。

- ・ RFID リーダの高さを下げアンテナが体の前の位置になるよう工夫する
- ・ 目的地点が近づいたら音声でそれを伝える
- ・ 分岐点では手前で案内し分岐点上での指示は不要
- ・ 「右奥」や「左奥」という指示を「右斜め前」「左斜め前」という表現に変更する
- ・ 改札は「有人改札」か「無人改札」のどちらであることを明示する
- ・ バス停の系統の情報を追加する



図 11 実証実験の様子

6.2 実証実験(二回目)

二回目の実験では、鞆を肩掛けタイプに変更し、RFID アンテナの位置が地上に近くなるように改善した。また一回目の実験結果に基づいて音声で提示する案内の内容も一部改良した。

二回目の実証実験では、9 割以上の RFID タグの読み取りに成功し、被験者は一回目の実験の時のようにコース上から逸脱することなく、被験者は最終地点まで一人で到達することができた。また、被験者からより多くのフィードバックを得ることができた。以下に主な意見を示す。

- ・ システムの完成度が高く安心して歩行でき実用的
- ・ スロープが上りなのか下りなのかの指示が欲しい
- ・ 指示が連続する地点では「右斜め前の後、左折すると横断歩道です」のようにまとめて欲しい
- ・ 分岐点では「左折後、直線が 10m 続きます」のように

その地点の分岐の情報も伝えて欲しい

- ・エレベーターでは、ボタンの位置や降りた後の場所の情報が欲しい
- ・「右です. 右です.」ではなく、「右です. さらに右です.」のような表現にすれば混乱しない
- ・システムの起動時に音声通知があると良い
- ・音声入力でアプリを終了できると良い
- ・エレベータより階段を選択するなど、ユーザに合ったルート作成ができると便利
- ・鞆が体の前にあると白杖が振りにくいため、リュックやポケットに入れられたほうが良い
- ・手首にボタンを付けると拘束感があるのでスマートフォンの画面を直接操作できる方が汎用的

6.3 実証実験の結果と今後の展望

北野駅での実証実験により、視覚障がい者への本システムの有用性が確認できた。フィードバックで得た改良点を反映させ、今後は対応地域の広域化、力覚デバイスの活用、提示する音声情報の内容の改善、インタフェースの改善などの実用化に向けた取り組みが必要である。また、本研究で構築した RFID 及び QZSS を用いた位置測位及び案内システムの仕組みは、視覚障がい者だけではなく、年配者や、一般の健常者の方に対しても応用可能である。視覚障がい者以外の方へのサービス提供も考えた場合、RFID タグの設置方法やアプリケーションの提供方法など、ユニバーサルデザインを意識した開発を行うことで、社会インフラ等に急速に普及する可能性を秘めている。

7. まとめ

本研究では、視覚障がい者向けのナビゲーションシステムを開発するため、UHF 帯の RFID と準天頂衛星みちびきを利用した高精度な位置測位と、力覚による直観的な誘導を実現し、システムとして実装した。また、実環境での有用性を検証するために、八王子市、京王電鉄株式会社、都立八王子盲学校などの協力のもと、京王線北野駅構内と南口に RFID タグを設置し、システムを利用して全盲の方を案内する実証実験を実施した。RFID による高精度な位置測位を実現するためには、安定した RFID の読み取りが不可欠である。そこで、実環境を想定した様々な常況での読み取り実験を実施し、視覚障がい者向けのナビゲーションシステムを実現する上で十分な読み取り性能が得られることを確認した。また、準天頂衛星みちびきは、従来の GPS と比較して高精度な位置測位が可能であることが示せた一方で、現在稼働してい

る衛星は一基のみであり、まだ利用できる時間帯や状況が限られている。2019 年度までに四機体制に拡大されることが既に決定しており、今後は常時高精度な位置測位が実現できる可能性が高い。しかし、高い建物の付近や屋内などではマルチパスの影響で誤差が大きくなってしまいうため、RFID とのハイブリッド式による位置測位技術が確立できれば有用である。本研究では RFID と準天頂衛星を組み合わせ、屋内外に関わらず高精度な位置測位に基づいたナビゲーションが実現できることを示した。

実環境を想定した実証実験では、視覚障がい者に対する具体的な案内の方法やタイミングなど、実際に全盲の方から多くの有益なフィードバックを得ることができた。今後は本システムを他のフィールドに展開して普及させることを目指すと同時に、より多くの視覚障がい者の方にシステムを使って頂き様々な角度からフィードバックを得ることで、社会インフラとしての採用を自治体等に働きかけ、実用化を目指す予定である。

謝 辞

本研究は、八王子市交通部(北野駅南口点字ブロック下に RFID を敷設)、京王電鉄(株)(駅構内実証実験)、都立八王子盲学校(実証実験)、(財)交通安全試験研究センター(点字ブロック)、菱電商事(株)(RFID タグ提供)、(株)東京地図研究社(点字ブロック敷設地図データ提供)、の皆様に支援を頂いた。ここに感謝の意を表する。

参 考 文 献

- [1] Willie Martin, et al., The Smart cane: An Electrical Engineering Design Project, Proc. of the 2009 ASEE North Central Section Conference
- [2] 鶴沼 宗利, RFID を用いた歩行者の経路誘導 -視覚障がい者向け道案内システム-, 情報処理 Vol.45, No.9, pp.918-922, 2004
- [3] Takeshi Kawamura, et al., Vehicle navigation system using UHF RF-ID, Eur. Transp. Res. Rev. 5, pp.91-99, 2013
- [4] 杉本彩, オフラインデバイスネットワーク構築のための RFID タグ埋め込み条件に関する研究, 高知工科大学, 2010.3
- [5] 雨宮 智浩, 他: “牽引方向近くにおける能動的探の有効性を活用した屋内歩行ナビゲーションシステムの開発”, 電子情報通信学会論文誌 Vol.J97-D No.2, pp.260-269, 2014.2
- [6] 雨宮 智浩, 他: “知覚の非線形性を利用した非接地型力覚惹起手法の提案と評価”, 日本バーチャルリアリティ学会論文集 Vol.11, No.1, 2006

(平成 27 年 12 月 25 日 受理)

大気汚染指標となる道路粉塵の有害性を高感度に評価する

ミミズを用いた毒性試験の開発

庄司 良*, 並木 辰也**

Development of Sensitive Toxicity Test by Using Earthworms'

Avoidance Movement from the Toxicity of Road Dusts

Ryo SHOJI, Tatsuya NAMIKI

An indicator of ecotoxicity of air pollution was investigated to evaluate toxicity of the road dust by using an avoidance movement of earthworms. Also, the avoidance test was examined in order to improve the sensitivity of the acute toxicity test. Comparing the acute toxicity test with the avoidance test for the heavy metal toxicity, the avoidance test has been confirmed to have higher sensitivity than the conventional acute toxicity test. In addition, it was shown that some road dust samples can be meaningfully evaluated by using the avoidance test.

Keywords : Heavy metals, Sensitivity, Dose response curve, Air pollution

1. はじめに

地球環境問題としてよく取り上げられる大気汚染は、多様な化学物質が原因になっており、呼吸を通して曝露されるため、多種多様な生物に対して影響を与える可能性があり、毒性の評価手法の開発が急がれている。しかし、現在大気汚染物質の濃度測定が行われているものの、大気汚染の毒性評価は十分に行われていない。大気汚染の毒性評価の方法として、ラットを用いた急性吸入試験があげられるが¹⁾、試供生物が大型であることや専用の機材が必要であることなど問題点が多い。そのため大気汚染の生態毒性を評価する新たな指標を設けることで、毒性評価を行うことが必要と考えられる。

本研究では、新たな指標として、大気汚染物質が降下し堆積することにより発生する道路粉塵を用いた。この道路粉塵は、降雨などにより含有する有害物質が流出することで、周辺環境への汚染の原因となっており、水・土壤環境汚染の代表的

なノンポイントソースとなっているという特徴を持つ²⁾³⁾。また簡易にサンプルを入手することができるので、局所的な大気汚染が与える影響を見ることが可能であり、道路粉塵の毒性評価を行うことは大気汚染の毒性評価に有効な切り口を提供する。

毒性を評価する際には、その環境の代表的な生物を試供生物に用いた毒性試験を行い、その生物と食物連鎖などの関係性を考慮しながら評価を行う。現在の毒性試験は、主に試供生物の個体死をエンドポイントとした試験である。この毒性試験は、個体死を確認するため、結果の確認が容易である反面、個体死以前の反応を確認することは困難である。有害物質の中には、死に至らしめるような濃度でなくとも、生物に疾患を与えたり、異常を起こさせたりするものがある。そのような物質を通常の毒性試験に供した場合、毒性を低く見積もってしまう可能性がある。そのため個体死以前のエンドポイントを用いた毒性試験が必要であ

ると考えられる。個体死以前の反応として有効であると考えられるのが忌避行動である⁴⁾。この忌避行動は、危険が迫ってきた場合や、現在の環境が悪化した場合に起こる防御反応であり、様々な生物でこの反応が見られる。そのため忌避行動をエンドポイントとした毒性試験を行うことで、感度の高い毒性試験が行えると考えられる。しかし、忌避試験の応用例は乏しく⁵⁾⁶⁾、道路粉塵などの個体試料の評価に用いられた例は少ない⁶⁾。

よって本研究では、忌避試験が急性毒性試験よりも好感度な試験を行うことができるかの検討、及び忌避試験を用いることで個体試料である道路粉塵及び道路粉塵から流出する溶出液の毒性評価を行うことができるかの検討を目的とした。

2. 実験方法

2-1. 試供生物

本研究では忌避試験を用いた道路粉塵の毒性評価を行うため、道路粉塵の溶出液及び道路粉塵自体の毒性試験を行った。そのため土壌毒性試験をベースとし、試供生物に土壌の代表的な生物であり、簡易に入手が可能であるミミズを用いた。また使用したミミズは、釣餌(株式会社マルニチ社製)として市販されているものを購入して用いた。試験に供したミミズは、赤色の体節を有し、口前葉に切れ込みがあり、サドル型環帯、ルンブリクス A 型の剛毛などからアカミミズ(*Rumbricus rubellus*)と同定した。

2-2. 試料調製

忌避試験の感度を調査するため、ECOTOX を用いて、ミミズの急性毒性試験結果を収集した。急性毒性試験のデータとしては、50%の個体死を示す暴露濃度 EC_{50} を用いた。また ECOTOX にデータが存在する重金属の重金属水溶液を作製した。

重金属は $FeCl_3$, $ZnCl_2$, $CuCl_2$, $CdCl_2$, $NiCl_2$ とし、各重金属イオンの濃度が $10^{-4}, 10^{-3}, 10^{-2}, 10^{-1} \%$ となるように調整した。

大気汚染の指標として道路粉塵の毒性を調査するため、東京都八王子市、神奈川県横浜市、千葉県市原市、山梨県上野原市、栃木県小山市、東京都立川市の 6 地点より道路粉塵を採取した。採取地点の詳細を表 1 に示す。採取条件は 3 日間以上降雨がない日を条件として採取を行った。採取した道路粉塵を 0.5mm のふるいにかけ夾雑物を除去し、道路粉塵試料とした。また環境省告示第 13 号法に基づき各道路粉塵試料の純水溶出液を作製した。作製した純水溶出液の原液と純水溶出液を 2,5,10 倍に希釈したものを試料液とし、2-3 の忌避試験法に基づいて試験に供した。また各地点の道路粉塵試料を粉塵試料が占める重量割合が、40,60,80,100%になるようにゼオライトを用いて調整したのち、粉塵試料とした。

2-3. 忌避試験

土壌を用いないミミズの忌避試験を参考に行った⁵⁾。重金属水溶液と道路粉塵純水溶出液を試料液とした忌避試験では、試験容器として 100mL ビーカー、土壌の代用としてゼオライトを用いて行った。図 1 にミミズ忌避試験の模式図を示す。また本忌避試験で使用したミミズの体長は 6.5 ± 0.5 cm、体重は 425 ± 50 mg、太さは 0.5 ± 0.2 cm の個体を使用した。ゼオライト(10g)に純水(4ml)を加えたものを対照区、ゼオライト(10g)に試料液(4ml)を加えたものを処理区とした。ビーカーの半分に対照区のゼオライトを入れ、残りの半分に処理区のゼオライトを入れた。境界には仕切り等は設けず、対照区も処理区も行き来が可能な状態にした。その上にアカミミズを 5 頭曝露し、パラフィルムで蓋をして、20℃のインキュベーター内で

表 1 道路粉塵採取地点の詳細

採取場所	採取日	付近の交通量(台/日) ⁷⁾	車線数	緯度	経度
八王子	3月25日	9292	片側二車線	35.638305	139.299633
横浜	3月31日	14249	片側一車線	35.549089	139.482571
市原	4月24日	4231	片側一車線	35.533718	140.114227
上野原	4月24日	5328	片側一車線	35.638228	139.105902
小山	5月2日	15050	片側一車線	36.319542	139.842212
立川	5月3日	14025	片側一車線	35.699160	139.424694

24 時間静置した。各濃度区の連数は 3 とした。24 時間静置後にアカミミズの処理区からの忌避数及び死亡固体の有無を観察した。アカミミズは試験溶液の壁面に沿って定着することが多く、忌避率の確認は容易であった。また道路粉塵試料を直接曝露する忌避試験では、上記の処理区を粉塵試料(10g)に純水(4mL)を加えたものとして行った。

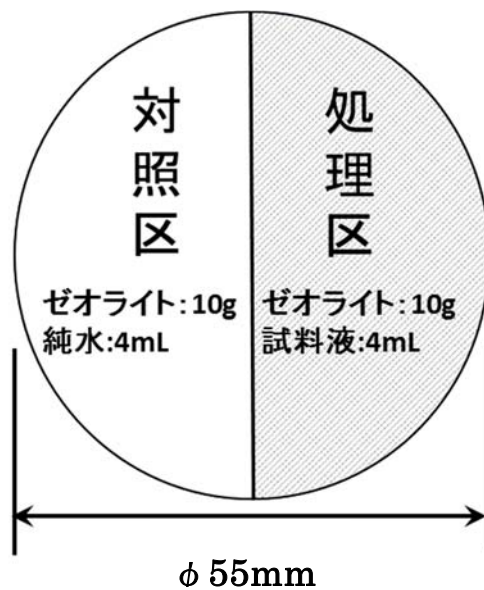


図 1 ミミズの忌避試験の模式図

また本研究の忌避試験において、忌避率 50~100%を忌避行動が認められるとしたため、50~100%で回帰する Logistic 回帰式を導入した。式を以下に示す。この式において y は忌避率(%), x は濃度(%), A と B は定数を示している。

$$y = 50 + \frac{50}{1 + A \times e^{-B \times x}} \quad (1)$$

また(1)式で回帰した結果から、忌避率 50~100%の中央値である EC_{75} を算出し、毒性の評価を行った。本忌避試験では、基礎研究より忌避率の $\pm 10\%$ を生物の持つ誤差とした。そのため忌避行動が確認できたとした忌避率 50%の $+10\%$ である、忌避率 60%以上をミミズに対して毒性があったと判断した。

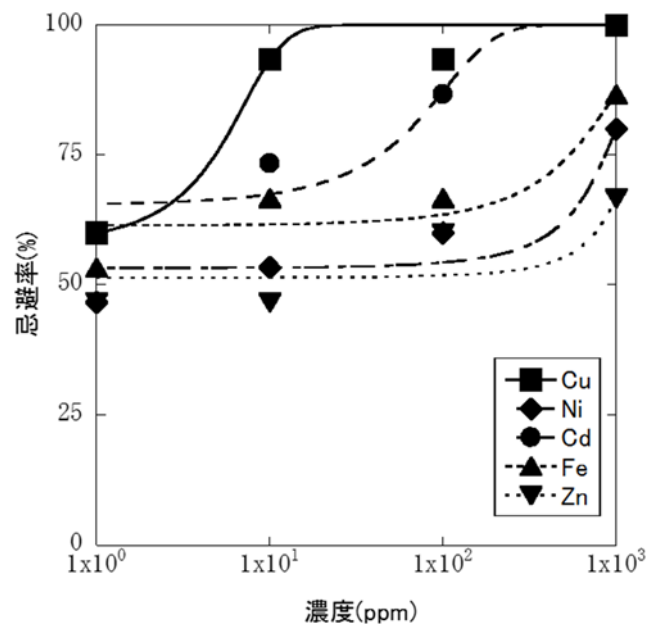


図 2 重金属の忌避試験で得られる用量作用曲線

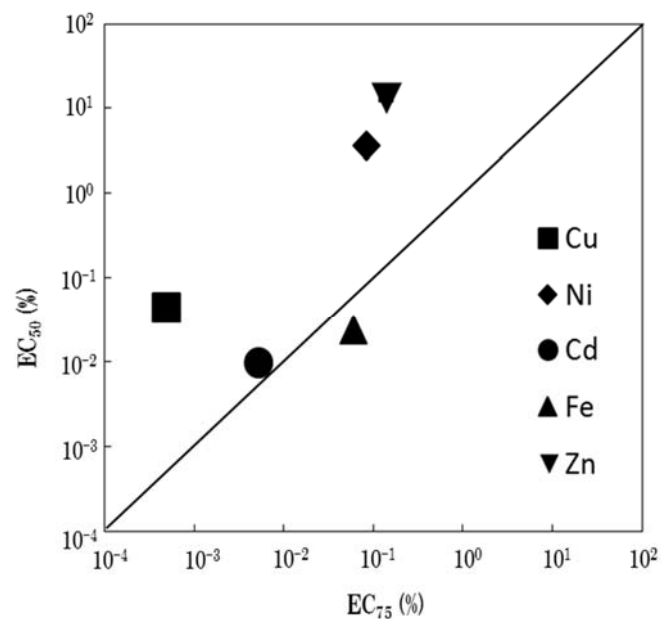


図 3 既報の急性毒性試験の EC_{50} ^{8)~11)}と本研究で開発した忌避試験で得られた EC_{75} の関係

3. 結果と考察

3-1. 忌避試験の有用性

重金属の忌避試験を行った結果を図 2 に示す。図 2 より溶液の濃度(x)が上昇すると忌避率(y)が 100 に回帰し、濃度が低下すると忌避率が 50 に回帰していることがわかる。また各回帰曲線の R^2

は Zn が 0.627 であったものの、そのほか 4 試料においては 0.822~0.955 と高い値を示した。よって(1)式は妥当であり、(1)式を用いることで忌避試験を評価することが可能であると示唆された。ECOTOX より収集した^{8)~11)}各重金属の急性毒性試験結果と忌避試験結果を比較した(図 3)。Fe を除く、すべてのプロットが、 $y=x$ の直線より EC_{50} の軸に近いことから、急性毒性試験よりも忌避試験の方が、感度が良いと考えられる。よって生物の個体死以前のエンドポイントで評価する忌避試験が有用であると言える。

3-2. 道路粉塵の毒性評価

道路粉塵純水溶出液の忌避試験結果を図 4 に示す。本忌避試験において全試料、全濃度区で死亡個体は見られなかった。上野原市純水溶出液と市原市純水溶出液を除く 4 地点の試料では、原液において毒性が確認された。しかし、ブランクとの有意差検定を行ったが、どの濃度区でも有意な差は確認されなかった。この理由として、道路粉塵純水溶出液の場合、対象となる有害物質が純に溶解する物質に限られていることが関係していると考えられる。一方、忌避試験用 Logistic 式を導入し EC_{75} を算出した結果、試料の毒性の強さは、横浜市 $\geq$ 小山市 $\square$ 立川市 $\geq$ 八王子市 $>$ 市原市 $>$ 上野原市となった。以上のことから道路粉塵純水溶出液のような試料の毒性評価は、ミミズの忌避試験を用いて有意な差を出すことは難しいと考えられるが、忌避試験用 Logistic 式を用いることで有意な差ではないものの、毒性の強さを数値的に表現することができると示唆された。

道路粉塵試料の直接曝露忌避試験の結果を図 5 示す。本忌避試験において全試料、全濃度区で死亡個体は見られなかった。粉塵割合が 80,100% の濃度区では全ての試料において毒性が確認できた。またブランクとの有意差検定を行った結果、東京都八王子市、神奈川県横浜市、山梨県上野原市の 100% と東京都八王子市の 50% において、5% の危険率で有意差が確認できた。よって忌避試験を用いることで道路粉塵試料の毒性を評価することが可能であると示唆された。さらに忌避試験用 Logistic 式を導入し EC_{75} を算出した結果、毒性の強さは八王子市 $>$ 横浜市 $>$ 上野原市 $>$ 市原市 $>$ 小山市 $\square$ 立川市となった。忌避試験用 Logistic 式を

用いることで純水溶出液の評価時と同様に、毒性の強さを数値的に表現することが可能であると示唆された。

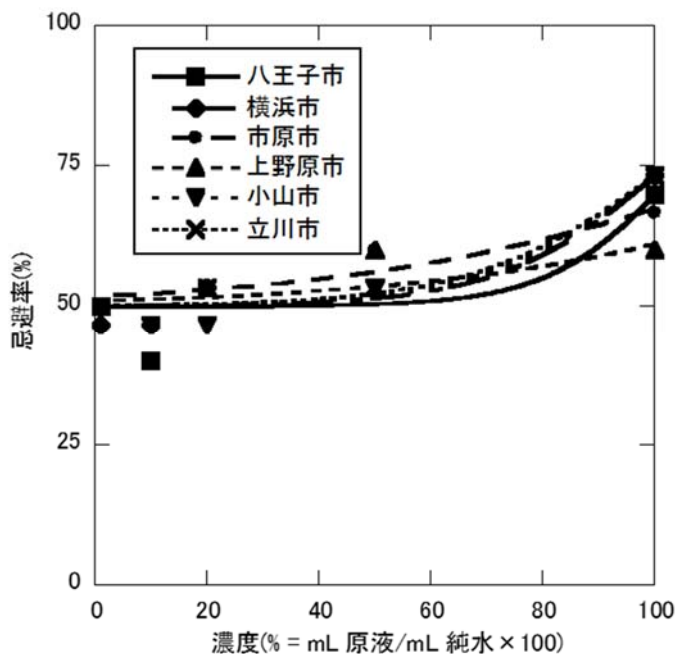


図 4 各道路粉塵純水溶出液の忌避試験結果

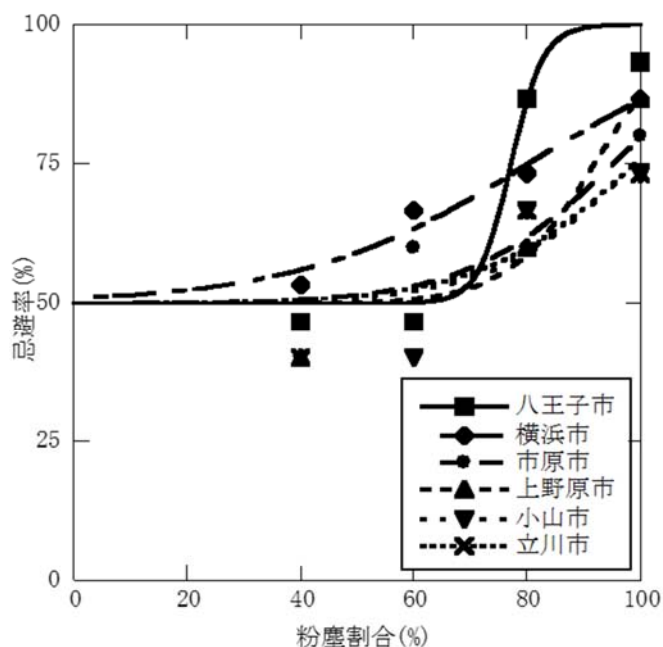


図 5 各道路粉塵試料の直接曝露忌避試験結果

* : $p < 0.05$

4. まとめ

本研究においてミミズの忌避試験を用いた毒性評価の可能性の検討と道路粉塵の毒性評価を行った。

(1)ミミズの急性毒性試験結果及び重金属の忌避試験結果の比較検討から、ミミズの忌避試験が急性毒性試験よりも感度が高く有用であると考えられた。

(2)道路粉塵純水溶出液の毒性評価を、ミミズを用いた忌避試験によって行い、有意な差を出すことは難しかったが、忌避試験用 Logistic 式を用いることで毒性の強さを数値的に表現することができた。また道路粉塵試料の毒性評価では、ミミズの忌避試験を行うことで、幾つかの試料において有意な差を出すことができた。

5. 参考文献

- 1)OECD テストガイドライン TG436, 2009.
- 2)三島恥子ら, 高架道路から水域への重金属流出と由来, 環境科学会誌, Vol. 15, No. 2, pp. 335-343, 2005.
- 3)市木敦之, 道路・大気降下物の影響, 環境技術, Vol. 33, No. 5, pp. 377-380, 2004.
- 4)Christopher N et al, Assessment of avoidance behavior by earthworms (*Lumbricus rubellus* and *Octolasion cyaneum*) in linear pollution gradients, Ecotoxicology and Environmental Safety, Vol. 124, pp. 324-328, 2016.
- 5)阿部誠ら, ミミズの忌避性を指標とした処分場浸出水試料の環境影響評価手法, 環境科学会誌, Vol. 20, No. 6, pp. 503-510, 2007.
- 6)阿部誠ら, ミミズの忌避性を指標にした固体廃棄物の環境影響評価, 第 18 回廃棄物学会研究発表会, 2007.
- 7)国土交通省, 全国道路・街路交通情勢調査(道路交通センサス)一般交通量調査, 2010.
- 8)Willuhn J. A. Otto et al, Subtoxic Cadmium-Concentrations Reduce Copper-Toxicity in the Earthworm *Enchytraeus buchholzi*, Chemosphere, Vol. 32, NO. 11, pp. 2205-2210, 1996.
- 9)Qureshi S. A, Acute Toxicity of Four Heavy

Metals to Benthic Fish Food Organisms From the River Khan, Ujjain, Int. J. Environ. Stud, Vol. 15, No. 1, pp. 59-61, 1980.

10)Shuhaimi-Othman M, Toxicity of Metals to an Aquatic Worm, *Nais elinguis (Oligochaeta, Naididae)*, Res. J. Environ. Toxicol, Vol. 6, No. 4, pp. 122-132, 2012.

11)Rathore R. S, Effects of Temperature on the Sensitivity of Sludge Worm *Tubifex tubifex* Muller to Selected Heavy Metals, Ecotoxicol. Environ. Saf, Vol. 53, No. 1, pp. 27-36, 2002.

(平成 27 年 12 月 17 日受理)

平成 26 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

日本における強力電波兵器開発計画の系譜―戦時下の「殺人光線」に関する検討―

(『イル・サジアトーレ』 No.41, 2014 年 5 月, pp.1-16) 永瀬ライマー桂子, 河村豊

The Auditory Priming Effect in Japanese Learners of English: Effects of Voice Specificity and Word Stress Patterns

(『Bialystok Language Archives (Bialostockie Archiwum Jezykowe)』), 2014. 4, pp.65-79)

. Tomoko HORI, Kaori SUGIURA

Effects of Vowel Duration, Intensity, and Articulation Rate on Judgements and Intelligibility of Japanese Learners' English

(『音声研究』第 18 巻第 2 号, 2014. 8, pp.30-41) Yoko MORI, Donna ERICKSON, Albert RILLAD, Tomoko HORI

Acoustic Correlates of English Rhythmic Patterns for American versus Japanese Speakers

(『Phonetica』 71, 2014. 9, pp.83-108) Yoko MORI, Tomoko HORI, Donna ERICKSON

Polynomial lower bounds on large deviations for some partially hyperbolic diffeomorphisms

(『Far East Journal of Mathematical Sciences』 to appear) Jin Hatamoto

放射線教育の充実に向けた取り組み

(『東京工業高等専門学校研究報告書』第 46(1)号, 2014. 12, pp.1-8)

. 尾沼猛儀, 中川修, 多羅尾進, 綾野秀樹, 一戸隆久, 北越大輔, 衣笠巧, 黒澤剛, 前段眞治, 大野秀樹

紙上対話という授業実践の試み―哲学的議論による思考力の育成を目指して―

(論文集『高専教育』第 38 号, 2015 年 3 月, pp.368-373) 村瀬智之監訳 (共訳)

(『探求の共同体 考えるための教室』マシュー・リップマン著, 玉川大学出版部, 2014 年)

. 河野哲也, 土屋陽介, 村瀬智之監訳

長期休暇用課題への取り組み方と学力との関係

(『東京工業高等専門学校研究報告書』第 46(2), 2015. 3, pp.1—7) 安富義泰

長期休暇明け試験における学力の推移

(『東京工業高等専門学校研究報告書』第 46(2), 2015. 3, pp.8—12)

. 安富義泰, 市川裕子, 小中澤聖二, 中里肇, 波止元仁, 石田唯之, 笠谷昌弘, 藤川卓也

最後の砦としての物理教育～工業高校生徒の補習・授業中のやり取りの中で見えてきたもの～

(『岩手県高等学校教育研究会理科部会 理科部会誌』第 45 号, 2015 年 3 月, pp.7-12) 藤井俊介

機械工学科

第 6 章 CFRP の成形・加工技術の現状と展望

(『炭素繊維強化プラスチック(CFRP)の開発と市場』シーエムシー出版, 2015. 2, pp.55-67) 木村南

炭素繊維を用いたカート用シートの試作

(『東京工業高等専門学校研究報告書』第 46(2)号, 2015. 3, pp.13-17) 木村南, 山岸勇介

Coarse and Fine Motion Simulator between a Magnetically Levitated Robot and an Industrial Robot

(『Int. J. of Mechatronics and Automation』 Vol.4, No. 4, 2014, pp.269-280)

. Susumu TARAO, Moein Mehrdash, Naoaki TSUDA, Mir Behrad Khamesee

社会実装ロボット教育の取り組みプロセスの分析

(『工学教育』 Vol. 63(1), 2015, pp.62-67) 多羅尾進, 浅野敬一, 佐藤知正

波動逆解析による材料内部の欠陥可視化システム

(『東京工業高等専門学校研究報告書』第 46(2)号, 2015. 3, pp.18-23) 福田勝己, 西村良弘, 鈴木隆之, 福田昌了

マイクロ領域における摩擦特性 (第 4 報: 摩擦係数の周波数特性)

(『東京工業高等専門学校研究報告書』第 46(2)号, 2015. 3, pp.24-30)

. 福田勝己, 小林光男, 鈴木健司, 三原純一, 吉岡 亨

In vitro uniaxial stretch model for evaluating the effect of strain along axon on damage to neurons

(『Journal of Biomechanical Science and Engineering』 Vol.9, No.3, p.14-00136, 2014)

. H. NAKADATE, Y. FUKUMURA, Y. KANEKO, A. KAKUTA, H. FURUKAWA, S. AOMURA

3D-micro Shape Generation of Polymer by using 355 nm Pico-second Pulse Laser

(『Proceedings of the 15th International Conference on Production Engineering (ICPE)』 JSPE, 2014, CD-ROM)

. A. KAKUTA, K. KANOU

Additive Manufacturing by use of Thixotropic Materials under Shaking Vibration

(『Proceedings of the 15th International Conference on Production Engineering (ICPE)』 JSPE, 2014, CD-ROM)

. T. TATENO, H. OGO, A. KAKUTA

Autonomously Generating Micro-Textured Surfaces with Regular Alignment Shapes by using Molecular Beam Epitaxy for Nanoimprint Die

(『Proceedings of the International Conference on Micromanufacturing (ICOMM)』 I2M2, 2015, CD-ROM)

. N. TAIRA, A. KAKUTA

異方性材料の弾性論

(コロナ社, 2014. 4) 中曽根祐司, 田中純夫, 木村清和, 黒瀬雅詞, 鈴木拓雄, 宮川睦巳, 志村穰, 佐々木徹
一方向性炭素繊維強化樹脂積層板および金属材料の被着体を有する単純重ね合わせ接着継手の曲げ強度特性

(『東京工業高等専門学校研究報告書』第46(1)号, 2014. 12, pp.9-13) 志村穰, 豊川澄斗, 黒崎茂, 林丈晴
ものづくりの流れを重視した設計製図の授業実践とその効果の検証

(『論文集「高専教育」』38号, 2015. 3, pp.61-66) 林丈晴, 多羅尾進, 志村穰, 中村源一郎

Comparison between Anand Model and Classical Decoupled Creep and Plasticity Model

(『東京工業高等専門学校研究報告書』第46(1)号, 2014. 12, pp.14-21)

. 林丈晴, 高部真彰, 海老原理徳, 志村穰

Development of Small Compact Electric Motor Tricycle for shopping

(『Proc.14th Int. Conf. on Control, Automation and Systems (ICCCAS)-IEEE conference publication』2014. 10, pp.710-715)

. Takeharu Hayashi, Yoshihiko Takahashi

粘塑性・クリープ分離型構成モデルを用いた鉛フリーはんだ接合部の疲労寿命評価

(『スマートプロセス学会誌』第3巻第4号, 2014. 7, pp.218-224) 林丈晴, 渡邊裕彦, 海老原理徳, 浅井竜彦

電気工学科

電力系統の周波数変動解析と負荷側での周波数制御分担の検討

(『東京工業高等専門学校研究報告書』第46(1)号, 2014. 12, pp.22-29) 土井淳, 寺崎真志

線形システム制御論

(朝倉書店, 2015. 3, 第8章) 山本透, 水本郁朗, 松井義弘, 大塚弘文, 川田和男, 佐藤孝雄, 坂口彰浩, 逸見知弘

閉ループ過渡応答データを用いた連続時間系の同定

(『電気学会論文誌C』第134巻, 9号, 2014. 9, pp.1206-1213) 松井義弘, 綾野秀樹, 増田士朗, 中野和司

周波数領域上における最適プレフィルタを用いたFRIT法とそのPIDゲイン調整への応用

(『電気学会論文誌C』第134巻, 9号, 2014. 9, pp.1247-1254) 合田雄樹, 増田士朗, 松井義弘

非対称な直流電圧源を有する単相線間7レベルインバータの制御方式の検証

(『電気学会論文誌D』第134巻, 10号, 2014. 10, pp.04-912) 綾野秀樹, 大隅竜太, 坂本祥太郎, 松井義弘

電気工学科4年次のPBL教育の検証

(『東京工業高等専門学校研究報告書』第46号(2), 2015. 3, pp.37-42)

. 綾野秀樹, 伊藤浩, 松井義弘, 羽鳥広範, 松岡敏

素子損失のアンバランスを考慮したインバータノイズ低減法の評価

(『東京工業高等専門学校研究報告書』第46号(2), 2015.3, pp.43-49) 綾野秀樹, 佐藤優太, 松井義弘

Al₂O₃を用いた太陽電池用パッシベーション膜の評価

(『東京工業高等専門学校研究報告書』第46(1)号, 2014.12, pp.30-34) 伊藤浩

フォトリソグラフィを用いたMOEMS技術の教材開発ー第4報 ダイヤフラム作製プロセスの基礎特性の評価ー

(『東京工業高等専門学校研究報告書』第46(2)号, 2015. 3, pp.50-55) 伊藤浩

ポリイミドフィルムの大気雰囲気下での熱分解挙動

(『炭素』No.262, 2014年5月1日, pp.63-66) 玉田耕治, 小林崇, 松本明彦, 竹市力, 横田力男, 林正添

電子工学科

高専の電気電子系分野における社会実装教育導入に向けて大切なこと

(日本工学教育協会『工学教育』第63巻第1号, 2015年1月, pp.81-87) 青木宏之

自律移動ロボットのための位相限定相関法を用いた路面画像による移動量計測

(『東京工業高等専門学校研究報告書』第46(2)号, 2015. 3, pp.56-61) 鈴木与海, 多田昂介, 青木宏之

情報工学科

八王子市小学校科学教育センター「インターネット講座」の実施

(『東京工業高等専門学校研究報告書』第46(2)号, 2015.3, pp.66-74)

. 田中晶, 土屋賢一, 林丈晴, 中野雅之, 小池和摩, 酒井元太, 菅原健太, 仲林龍馬, 牧野康平

Locally Exploitable Heterogeneous Multihop Communications Applied to Cooperative-robots with Awareness

(『The Information』Vol.17, No.8, August 2014, pp.3985~3998) Akira TANAKA

コミュニケーションロボットとの対戦型ゲームにもとづく介護予防システムの提案

(『電子情報通信学会論文誌』J97-A・6, 2014年6月, pp.406-410) 北越大輔, 岡野卓矢, 鈴木雅人

A Reinforcement Learning System to Dynamic Movement and Multi-Layer Environments

(『Journal of Intelligent Learning Systems and Applications, Journal of Intelligent Learning Systems and Applications』6・4, 2014年11月, pp.176-185) Uthai Phommasak, Daisuke Kitakoshi, Hiroyuki Shioya, Junji Maeda

社会実装スパイラル型開発を通じた実践的技術者育成を目指す教育プロジェクト

(日本工学教育協会『工学教育』第63巻第1号, 2015年1月, pp.105-110) 北越大輔

SNS プライバシー保護とリスク管理の検討 ―ソーシャルモニタリングツールの開発に向けて―

(『情報処理学会デジタルプラクティス』 Vol.6, No.2, 2015, pp.150-158) 山下晃弘, 上村卓史, 川村秀憲, 鈴木恵二

イベント開催情報推薦のためスコアリグの検討

(『観光情報学会誌『観光と情報』 Vol.11, No.1, 2015, pp.23-34) 小野良太, 山下晃弘, 川村秀憲, 鈴木恵二

物質工学科

Convergence Aspect of the Self-consistent Calculations for Quantum States of Charged Bose Particles in Solids

(『Proceedings of the 15th Meeting of Japan CF Research Society』 2015, p.91)

. Ken-ichi TSUCHIYA, Sommy KOUNLAVONG

Characterization of the anionic polymerization of 2-(ethoxy)ethyl methacrylate by $t\text{-C}_4\text{H}_9\text{MgBr}$ in toluene

(『Polymer Bulletin』 Vol.71, 2014, pp.1645-1660) Osamu NAKAGAWA, Hitoshi SAITO, Kie SHINOMIYA

フミン酸と銅との結合等温線のNICA-Donnan Modelを用いた解析による多様な性質を持つ実環境由来フミン酸の銅結合性の評価

(『化学工学論文集』 40, 2014, pp.1-9) 庄司良, 黒川輝

A simple biofuel cell cathode with human red blood cells as electrocatalysts for oxygen reduction reaction

(『Biosensors and Bioelectronics』 55, 2014, pp.14-18)

. Yusuke Ayato, Kenichiro Sakurai, Saori Fukunaga, Takuya Suganuma, Kiyofumi Yamagiwa, Hidenobu Shiroishi, Jun Kuwano

Synthesis of multiwall carbon nanotube-supported platinum catalysts by solution plasma processing for oxygen reduction in polymer electrolyte fuel cells

(『Electrochimica Acta』 164, 2014, pp.73-78)

. Naoki Matsuda, Tatsuro Nakashima, Takumi Kato, Hidenobu Shiroishi

Antioxidants for EPDM seals exposed to chlorinated tap water

(『Rubber Chemistry and Technology』 87(1), 2014. 4, pp.1-9)

. Mio Gonokami, Yoshimasa Yamamoto, Oraphin Chaikumpollert, Yoshito Ohtake, Seiichi Kawahara

Organic-inorganic nanomatrix structure and properties of related naturally occurring rubbery macromolecules

(『Polymer』 55(20), 2014. 8, pp.5024-5027)

. Seiichi Kawahara, Nurul Hayati Yusof, Kenshi Noguchi, Kenichiro Kosugi, Yoshimasa Yamamoto

Preparation of polymer electrolyte membrane with nanomatrix channel through sulfonation of natural rubber grafted with polystyrene

(『Solid State Ionics』 268(Part_A), 2014. 11, pp.191-197)

. Lina Fukuhara, Noriyuki Kado, Kenichiro Kosugi, Patjaree Suksawad, Yoshimasa Yamamoto, Hiroyuki Ishii, Seiichi Kawahara

FIB processing for natural rubber with nanomatrix structure

(『Polymer』 57(28), 2015. 1, pp.143-149)

. Lina Fukuhara, Kenichiro Kosugi, Yoshimasa Yamamoto, Hiroshi Jinnai, Hideo Nishioka, Hiroyuki Ishii, Seiichi Kawahara

タンパク質を除去することによる精製天然ゴムの調製

(『高分子論文集』 72(1), 2015. 1, pp.1-6)

. 福原吏奈, 宮野快, 山本祥正, 石井宏幸, 河原成元

ラテックス NMR スペクトルの分解能に関する研究

(『高分子論文集』 72(1), 2015. 1, pp.22-30)

. 福原吏奈, 箕輪淳, 小杉健一郎, 山本祥正, 石井宏幸, 河原成元

ラテックスの状態におけるエポキシ化天然ゴムの水素化

(『高分子論文集』 72(3), 2015. 3, pp.118-123)

. 山本祥正, 塩原圭一郎, Nguyen Thu Ha, Phan Trung Nghia, 福原吏奈, 石井宏幸, 河原成元

ポリ乳酸/エポキシ化天然ゴムブレンドのリアクティブ混合と力学物性

(『高分子論文集』 72(3), 2015. 3, pp.124-129)

. 山本祥正, 石田卓也, Phan Trung Nghia, 福原吏奈, 小杉健一郎, 石井宏幸, 河原成元

Removal of Proteins from Natural Rubber Latex and Gloves

(『Kautschuk Gummi Kunststoffe』 68, 2015. 3, pp.24-29)

. Lina Fukuhara, Kai Miyano, Yoshimasa Yamamoto, Hiroyuki Ishii, Phan Trung Nghia, Masao Fukuda, Seiichi Kawahara

Nanomatrix Structure Formed by Graft Copolymerization of Styrene onto Fresh Natural Rubber

(『Rubber Chemistry and Technology』 88(1), 2015. 3, pp.117-124)

. Lina Fukuhara, Noriyuki Kado, Surapich Loykulant, Krisda Suchiva, Kenichiro Kosugi, Yoshimasa Yamamoto, Hiroyuki Ishii, Seiichi Kawahara

Promoted C-C bond cleavage over intermetallic TaPt₃ catalyst toward low-temperature energy extraction from ethanol

(『Energy & Environmental Science』 8(6), 2015. 1, pp.1685-1689)

. R. Kodiyath, G. V. Ramesh, E. Koudelkova, T. Tanabe, M. Ito, M. Manikandan, S. Ueda, T. Fujita, N. Umezawa, H. Noguchi, K. Ariga, H. Abe,

Design of Pt-CeO_x hetero-interface on electrodes in polymer electrolyte membrane fuel cells

(『IOP Conference Series: Materials Science and Engineering』 54(2014)012010, pp.1-8)

. T. Mori, K. Fugane, S. Chauhan, M. Ito, T. Masuda, H. Noguchi, K. Uosaki

The significance of a second adsorption phase with weakly adsorbed species for the calculation of the surface concentrations of a mixture: methanol-DME and methanol-ethene adsorption in SAPO-34

(『Research on Chemical Intermediates』 DOI 10.1007/s11164-015-1981-x)

. Fei Wang, Yasukazu Kobayashi, Yuxin Li, Yao Wang, Dezheng Wang

2.学会における口頭発表

一般教育科

スクリーンキャストアプリケーションを用いた反転授業の試み

(RIMS共同研究「数学ソフトウェアとその効果的利用に関する研究」京都大学数理解析研究所, 2014年9月)

.....市川裕子

スクリーンキャストアプリケーションを用いた反転授業の試み

(国立高等専門学校機構主催平成26年度関東信越地区高専教員研究集会, 群馬工業高等専門学校, 2014年9月)

.....市川裕子

物理学者と戦時下の秘密兵器開発—海軍牛尾実験所遺構を中心に—

(日本科学史学会, 61 回年会 酪農学園大学, 2014 年 5 月) 河村豊

高専編入学前留学生のための専門予備教育講座の取り組み

(平成26年度全国高専教育フォーラム教育研究活動発表概要集, 2014. 8, pp.520-521)

竹田恒美, 玉田耕治, 木村知彦, 新國広幸, 大塚友彦, 一戸隆久, 城石英伸, 前段眞治, 大野秀樹, 尾沼猛儀 (以上東京高専)

関口昌由, 板垣貴喜, 小川登志男, 歸山智治, 栗本育三郎 (以上木更津高専)

Hitting time distributions for diffeomorphisms with weak hyperbolic product structure

(日本数学会, 明治大学, 2015.3) 波止元仁

幾何代数入門

(「核と人と宇宙」研究会 (岩手大学主催), 2014 年 6 月) 藤井俊介

機械工学科

3D プリンタから転写したシリコンゴム型によるコイルスプリングの作製

(日本機械学会 生産システム部門研究発表講演会 2015 講演論文集, No.15-8, 2015. 3, pp.101-102)

..... 木村南, マンボ・ベルビル・ポール

アディティブ・マニファクチャリングを利用した CFRP 成形技術

(日本機械学会 生産システム部門研究発表講演会 2015 講演論文集, No.15-8, 2015. 3, pp.103-104) 木村南, 浅野剛史

3D プリンタプラスチック成形品を射出成型型として利用する短納期生産システムの開発

(日本機械学会 生産システム部門研究発表講演会 2015 講演論文集, No.15-8, 2015. 3, pp.105-106)

..... 丸田陽, 丸田智子, 小池大地, 木村南

炭素長繊維束で成形したチェーンスプロケットの自転車長時間実走試験

(日本機械学会[No.14-40], シンポジウム:スポーツ・アンド・ヒューマンダイナミクス 2014, B-5) 木村南

内面リブ付炭素繊維強化プラスチック製パイプの試作

(日本機械学会第 10 回生産加工・工作機械部門講演会, 2014. 11, C42) 木村南, 臼井大樹

CFRTP 製ハニカムコアを用いたサンドイッチ構造体の試作

(第 58 回日本学術会議材料工学連合講演会講演論文集, 2014. 10, pp.46-47) 木村南, 北村飛翔

CFRP の穴周りの補強に関する一考察

(第 58 回日本学術会議材料工学連合講演会講演論文集, 2014. 10, pp.48-49) 木村南, 菊地飛鳥

CFRP 製スプロケット歯先部の強度に及ぼす炭素繊維配向の影響

(第65回塑性加工連合講演会講演論文集, 2015. 10, pp.117-118) 木村南, 越智啓文

自転車走行時の消費カロリー測定に関する研究-GPSサイクルコンピュータおよび活動量計の比較-

(日本時計学会 2014年度マイクロメカトロニクス学術講演会講演論文集, 2014. 9, pp.1-4) 木村南

測地情報からなるランドマークを参照するロボットの自律走行

(日本機械学会関東学生会第 54 回学生員卒業研究発表講演会講演前刷集, 2015 年 3 月, 資料番号 809)

..... 上田稜, 山川史, 島根機太郎, 多羅尾進

乗用車用カムシャフト組み立て工程の自動化に関する研究

(日本機械学会関東学生会第 54 回学生員卒業研究発表講演会講演前刷集, 2015 年 3 月, 資料番号 911)

..... 岩崎圭太, 多羅尾進

車いす型自律移動ロボット高尾 4 号の開発とつくばチャレンジ 2014 への参加

(つくばチャレンジ 2014 シンポジウム参加レポート集, 2015 年 1 月, pp.129-134)

..... 多羅尾進, 山川史, 島根機太郎, 上田稜, 小林巧実, 青木宏之

人が搭乗できる自律移動ロボット高尾 4 号の試作と走行実験

(第 15 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論文集, 2014 年 12 月, pp.437-438)

..... 多羅尾進, 山川史, 島根機太郎, 上田稜, 小林巧実, 青木宏之

全方向移動機構とパラレルリンク機構を組み合わせた 6 自由度モーションベースの試作と運動学解析

(2014 年度マイクロメカトロニクス学術講演会講演論文集, 2014 年 9 月, pp.1-2) 多羅尾進, 清野大樹

ロボット機器を社会に実装できるエンジニア育成を目指す社会実装プロジェクトにおけるプロセス分析の試み

(日本ロボット学会第 32 回学術講演会予稿集, 2014 年 9 月, 資料番号 RSJ2014AC3G1-05)

..... 多羅尾進, 浅野敬一, 林文晴, 北越大輔, 佐藤知正

自走型 6 自由度モーションベースを構成するペン操作型機構の設計と運動学の解析

(日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'14 講演論文集, 2014 年 5 月, 資料番号 3P2-C08)

..... 清野大樹, 多羅尾進

機動性を重視した車椅子型自律移動ロボット高尾4号の開発

(日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'14 講演論文集, 2014年5月, 資料番号 2A2-C07)

..... 山川史, 佐々木理, ゴバックズン, 林丈晴, 多羅尾進

家庭用掃除ロボットを応用した単純な触れ合う動作を基本とする見守りシステム

(日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'14 講演論文集, 2014年5月, 資料番号 1A1-N02)

..... 佐々木智也, 林丈晴, 多羅尾進

微小領域における摩擦特性 (第6報)

(第58回日本学術会議材料工学連合講演会講演論文集, 2014.10, pp.27-28)

..... 福田勝己, 小林光男, 鈴木健司, 三原純一

アレイプローブを用いた波動逆解析による内部欠陥の可視化

(第58回日本学術会議材料工学連合講演会講演論文集, 2014.10, pp.209-210)

..... 福田勝己, 西村良弘, 鈴木隆之, 福田昌了

電磁超音波探傷法による内部欠陥の可視化

(第58回日本学術会議材料工学連合講演会講演論文集, 2014.10, pp.211-212)

..... 福田勝己, 西村良弘, 鈴木隆之, 池田泳樹

微小領域におけるトライボロジー特性評価 (第8報)

(日本機械学会九州支部第68期総会・講演会講演論文集, 福岡大学, 2015.3)

..... 福田勝己, 小林光男, 鈴木健司, 三原純一

高圧設備のねじ構造における設計指針に関する研究 (荷重分布へ及ぼすねじ部長さ及び呼び径の影響)

(日本設計工学会北海道支部2014年度研究発表講演会講演論文集, 2015.3)

..... 小林光男, 福田勝己

衝撃荷重を受けるねじ締結体のゆるみに及ぼすすべりの影響

(日本機械学会北陸信越支部第52期総会・講演会講演論文集, 新潟工科大学, 2015.3)

..... 槽谷雄亮, 小林光男, 福田勝己, 小幡悦郎

薄肉円筒の衝撃吸収特性に及ぼす形状寸法の影響

(日本機械学会東北支部第50期総会・講演会講演論文集, 東北大学, 2015.3)

..... 長尾一輝, 安田翔一, 一之瀬和夫, 小林光男, 福田勝己

衝撃荷重を受ける各種材料の摩擦係数の評価 (第2報)

(日本機械学会東北支部第50期総会・講演会講演論文集, 東北大学, 2015.3)

..... 大島直樹, 田頭和洋, 小林光男, 後藤芳樹, 福田勝己

熱負荷に対するねじ締結体の軸力挙動 (第2報)

(日本機械学会東北支部第50期総会・講演会講演論文集, 東北大学, 2015.3)

..... 山田泰広, 門脇孝裕, 小林光男, 後藤芳樹, 福田勝己

フラーレン薄膜のマイクロ摩擦特性

(日本機械学会関東支部第21期総会・講演会講演論文集, 横浜国立大学, 2015.3)

..... 福田勝己, 小林光男, 尾上順, 増田秀樹, 吉岡亨

微小領域におけるトライボロジー特性 (第4報)

(日本機械学会関東支部第21期総会・講演会講演論文集, 横浜国立大学, 2015.3)

..... 福田勝己, 小林光男, 鈴木健司, 三原純一

ナノインデンテーション法による多層薄膜の硬さ評価

(日本機械学会関東支部第21期総会・講演会講演論文集, 横浜国立大学, 2015.3)

..... 福田勝己, 小林光男, 伊藤拓嗣, 安城雄大

フラーレンポリマー薄膜の機械的特性 (第2報)

(日本機械学会関東支部第21期総会・講演会講演論文集, 横浜国立大学, 2015.3)

..... 福田勝己, 小林光男, 尾上順, 増田秀樹, 李元斌

電磁超音波探傷法による材料内部欠陥の可視化

(日本機械学会関東支部第21期総会・講演会講演論文集, 横浜国立大学, 2015.3)

..... 福田勝己, 西村良弘, 鈴木隆之, 池田泳樹

波動逆解析による材料内部の欠陥可視化システム

(日本機械学会関東支部第21期総会・講演会講演論文集, 横浜国立大学, 2015.3)

..... 福田勝己, 西村良弘, 鈴木隆之, 福田昌了

高強度小ねじの締付け特性

(日本機械学会関東支部第21期総会・講演会講演論文集, 横浜国立大学, 2015.3)

..... 福田勝己, 小林光男, 小澤瑠

微細凹凸溝によるPC12細胞の神経突起の伸長方向制御

(精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, 2014, CD-ROM)

..... 古川英典, 角田陽, 中樞浩康, 青村茂

衝撃圧力がラット脳毛細血管の内皮細胞間接着に与える影響

(日本機械学会バイオフロンティア講演会講演論文集, 2014, CD-ROM)

..... 大津英理子, 中樞浩康, 青村茂, 角田陽

in vitro 血液脳関門モデルを用いた衝撃圧力負荷による血管内皮透過性亢進の評価

(日本機械学会バイオエンジニアリング講演会講演論文集, 2015, CD-ROM)

..... 川股理紗, 大津英理子, 中樞浩康, 青村茂, 角田陽

衝撃ひずみが脳神経細胞の情報伝達に与える影響

(日本機械学会バイオエンジニアリング講演会講演論文集, 2015, CD-ROM)

..... 菊田和紘, 中樞浩康, 青村茂, 角田陽

単位形状を規則的に配列したマイクロテクスチャ面の創成 (第1報)

(精密工学会春季大会学術講演論文集, 2015, CD-ROM)

..... 平直樹, 角田陽

円周方向溝付管内振動流中での有効拡散係数に溝ピッチが及ぼす影響

(日本機械学会第27回バイオエンジニアリング講演会講演論文集, 新潟市, 朱鷺メッセ新潟コンベンションセンター, 2015. 1 pp.547-548,) 吉田康人, 清水昭博, 清水優史, 菅原路子

ピッチの異なる円周方向溝付管における間欠振動流中の可視化を通じた流れ解析

(日本機械学会第27回バイオエンジニアリング講演会講演論文集, 新潟市, 朱鷺メッセ新潟コンベンションセンター, 2015. 1 pp.549-550) 靱山由樹, 清水昭博, 清水優史, 菅原路子

タンデムピストン型HFOV式人口呼吸器による上気道閉塞を想定した生体外換気実験

(日本機械学会第27回バイオエンジニアリング講演会講演論文集, 新潟市, 朱鷺メッセ新潟コンベンションセンター, 2015. 1 pp.351-352) 安田剣太, 清水昭博, 清水優史, 菅原路子

タンデムピストン式人口呼吸器と実形状肺モデル間における接続間の最適長さ

(日本機械学会第27回バイオエンジニアリング講演会講演論文集, 新潟市, 朱鷺メッセ新潟コンベンションセンター, 2015. 1 pp.285-286) 須田大樹, 清水昭博, 清水優史, 菅原路子

ピッチの異なる円周方向溝付管内における間欠振動流中の有効拡散係数

(日本機械学会第25回バイオフロンティア講演会講演論文集, 鳥取市, とりぎん文化会館, 2014. 10, pp.105-106)

. 吉田康人, 清水昭博, 清水優史, 菅原路子

タンデムピストン式人口呼吸器と実形状肺モデルとの接続管の長さが換気性能に及ぼす影響

(日本機械学会第25回バイオフロンティア講演会講演論文集, 鳥取市, とりぎん文化会館 (2014. 10, pp.85-86)

. 須田大樹, 清水昭博, 清水優史, 菅原路子

専門導入基礎教育におけるスケッチ, テクニカルイラストレーション, 立体模型製作の一連のものづくり体験の試み～「今日のテーマのまとめ」を通じた分析能力の養成～

(平成 26 年度全国高専教育フォーラム, 金沢大学, 2014. 8, pp.454-455)

. 清水昭博, 角田陽, 林丈晴, 藤野宏, 鈴木塔二, 降矢司, 中村源一郎, 大森茂俊

Effective Diffusivity of Carbon Dioxide by Intermittent Oscillatory Flow in a Pipe with Circumferential Grooves Imitated from Periodic Cricoid of Trachea

(7th World Congress of Biomechanics, July 6-11, Boston(USA), T420, 2014. 7)

. A. Shimizu, R. Hayashi, M. Shimizu, M. Sugawara

応力聴診器を用いた欠陥検出に関する基礎的検討

(日本機械学会関東支部第 21 期総会・講演会, 横浜国立大学, 2015. 3, 20103) 高松歩未, 志村穰, 黒崎茂, 鈴木拓雄

応力聴診器およびニューラルネットワークを用いた欠陥検出の試み

(日本機械学会関東支部第 21 期総会・講演会, 横浜国立大学, 2015. 3, 20104) 新幸樹, 志村穰, 北山光成, 黒崎茂

UD-CFRP/Metal単純重ね合わせ接着継手の引張せん断強度特性

(日本機械学会関東支部第21期総会・講演会, 横浜国立大学, 2015. 3, 20104) 伊藤惇, 志村穰, 黒崎茂, 宮川睦巳

被着体簡易加工による接着継手の引張せん断強度向上の試み

(日本機械学会関東支部第21期総会・講演会, 横浜国立大学, 2015. 3, 20302) 佐野哲史, 志村穰, 林丈晴, 黒崎茂

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, 横浜国立大学, 2015. 3, 20303) 莊山杏, 志村穰, 林丈晴, 黒崎茂

遠赤外線低温乾燥木材の機械的特性評価

(日本機械学会関東支部第21期総会・講演会, 横浜国立大学, 2015. 3, 11103) 田中孝明, 志村穰, 吉長和男, 町田茂

き裂の応力拡大係数解析用ひずみゲージの開発

(第58回日本学術会議材料工学連合講演会, 京都テルサ, 2014. 10, pp.213-214)

. 黒崎茂, 山地周作, 小針遼, 兼平光隆, 施村偉, 志村穰

曲げモーメントを受ける波型重ね合わせ接着継手の有限要素応力解析と強度評価

(日本機械学会関東支部・精密工学会共催 山梨講演会2014, 山梨大学工学部, 2014. 10, pp.213-214)

. レバン コア, 志村穰, 黒崎茂, 林丈晴

応力聴診器およびピエゾフィルムを用いた欠陥検出の試み

(日本機械学会関東支部・精密工学会共催 山梨講演会2014, 山梨大学工学部, 2014. 10, pp.101-102)

. 高松歩未, 志村穰, 黒崎茂, 宮川睦巳

曲げモーメントを受けるUD-CFRP/Metal単純重ね合わせ接着継手の強度特性

(日本機械学会2014年度年次大会, 東京電機大学東京千住キャンパス, 2014. 9, G0310904)

. 志村穰, 豊川澄斗, 黒崎茂, 宮川睦巳

き裂の応力拡大係数解析用ひずみゲージの開発 (第1報 開口モード応力拡大係数解析式と精度検証実験)

(日本機械学会 M&M2014材料力学カンファレンス, 福島大学金谷川キャンパス, 2014. 7, OS0503)

. 山地周作, 黒崎茂, 小針遼, 兼平光隆, 施村偉, 志村穰

き裂の応力拡大係数解析用ひずみゲージの開発 (第2報 混合モード応力拡大係数の解析式と精度検証実験)

(日本機械学会 M&M2014材料力学カンファレンス, 福島大学金谷川キャンパス, 2014. 7, OS0504)

. 黒崎茂, 山地周作, 小針遼, 兼平光隆, 施村偉, 志村穰

き裂の応力拡大係数解析用ひずみゲージの開発—第1報 開口モード応力拡大係数の解析式と精度検証実験—

(日本非破壊検査協会平成26年度春季講演大会, アルカディア市ヶ谷, 2014. 6, pp.87-90)

. 山地周作, 黒崎茂, 小針遼, 兼平光隆, 施村偉, 志村穰

き裂の応力拡大係数解析用ひずみゲージの開発—第2報 混合モード応力拡大係数の解析式と精度検証実験—

(日本非破壊検査協会平成26年度春季講演大会, アルカディア市ヶ谷, 2014. 6, pp.91-94)

..... 黒崎茂, 山地周作, 小針遼, 兼平光隆, 施村偉, 志村穰

異種材料波型重ね合わせ接着接手の曲げ強度特性評価

(日本設計工学会2014年度春季大会研究発表講演会, 明治大学中野キャンパス, 2014. 5, pp.81-82)

..... レ コ ア バ ン, 志村穰, 黒崎茂, 林丈晴

被着体円孔の接着剤充填による投錨効果を利用した継手強度向上の試み

(日本設計工学会2014年度春季大会研究発表講演会, 明治大学中野キャンパス, 2014. 5, pp.83-84)

..... 志村穰, 大田浩之, 黒崎茂, 宮川睦巳

汎用エンジニアリング用高分子系材料の応力緩和試験とその有限要素解析

(日本機械学会関東支部第 21 期総会・講演会講演論文集, 横浜国立大学, 2015. 3, 20310) 佐藤怜, 林丈晴, 関志朗

構成モデルの表現する力学的特性がはんだ接合部の累積非弾性ひずみ挙動に及ぼす影響

(日本機械学会関東支部第 21 期総会・講演会講演論文集, 横浜国立大学, 2015. 3, 20307)

..... 高部真彰, 林丈晴, 海老原理徳, 志村穰, 渡邊裕彦

温度サイクル負荷を受ける鉛フリーはんだ接合部の力学的特性

(日本機械学会関東支部第 21 期総会・講演会講演論文集, 横浜国立大学, 2015. 3, 20306)

..... 林丈晴, 渡邊裕彦, 海老原理徳, 榎健太, 高田健斗, 広松健, 志村穰

小型せん断試験片を用いた鉛フリーはんだの疲労試験

(日本産業技術教育学会第 26 回関東支部大会 (横浜国立大学・横浜) 講演要旨集, 2014. 12, pp.125-126)

..... 高田健斗, 林丈晴, 海老原理徳, 志村穰

粘塑性・クリープ分離型構成モデルへの陰的時間積分法の適用と安定性の検討

(第 21 回エレクトロニクスにおけるマイクロ接合・実装技術シンポジウム (パシフィコ横浜・神奈川) 論文集, 2015. 2, pp.13-16)

..... 林丈晴, 海老原理徳, 渡邊裕彦, 浅井竜彦

小型せん断試験片を用いた鉛フリーはんだの引張試験

(日本産業技術教育学会第 26 回関東支部大会 (横浜国立大学・横浜) 講演要旨集, 2014. 12, pp.123-124)

..... 榎健太, 林丈晴, 海老原理徳, 志村穰

鉛フリーはんだ小型せん断試験片の有限要素解析

(日本産業技術教育学会第 26 回関東支部大会 (横浜国立大学・横浜) 講演要旨集, 2014. 12, pp.91-92)

..... 広松健, 林丈晴, 海老原理徳

歯車装置学習用教具の開発

(日本産業技術教育学会第 26 回関東支部大会 (横浜国立大学・横浜) 講演要旨集, 2014. 12, pp.39-40)

..... 林丈晴, 土屋賢一, 田中晶, 中野雅之

学習者の意識を高める設計製図の授業方法に関する研究

(日本産業技術教育学会第 20 回技術教育分科会・発表会 (株式会社内田洋行新川本社・東京) 講演要旨集, 2014. 11, pp.1-2)

..... 林丈晴, 多羅尾進, 志村穰

超小型電気自動車競技会 pico-EV・エコチャレンジ開催報告

(ロボティクス・メカトロニクス講演会 2014 (富山市総合体育館・富山) 講演論文集, 2014. 5, 1P2-A07)

..... 林丈晴, 原圭吾, 武村泰範, 宇田和史, 高橋良彦

コンパクトな室内移動用超小型電動三輪車の駆動部の開発

(ロボティクス・メカトロニクス講演会 2014 (富山市総合体育館・富山) 講演論文集, 2014. 5, 1P2-A06)

..... 林丈晴, 西野永一, 高橋良彦, 佐々井博岳, 多羅尾進

電気工学科

実務に役立つ電磁気学—電磁現象の見える化—

(平成 26 年度全国高専教育フォーラム教育研究活動発表会 AP23_3_1, 金沢大学, 2014. 8)

..... 土井淳, 佐川正人, 玉田耕治, 松岡敏

M-ary スペクトル拡散を用いたキャリア位相補償

(信学技報 114 (418), pp.185-189) 荒川智洋, 土居信数

キャリア周波数補償への M-ary/SS の適用

(信学総大 A-5-2) 荒川智洋, 菅長陽一, 土居信数

Parametric Plant Modeling Using One-Shot Closed-Loop Transient Response Data

(11th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON 2014), May 14-17, 2014, pp.1-6, Thailand)

..... Yoshihiro Matsui, Hideki Ayano, Kazushi Nakano

PID Tuning Based on Partial Model Matching Using Closed-Loop Plant Response Data

(5th International Symposium on Advanced Control of Industrial Processes (AdCONIP 2014), May 28-30, 2014, pp.207-212, Hiroshima)

..... Yoshihiro Matsui, Hideki Ayano, Kazushi Nakano

System Identification of Mechanical Systems Using One-Shot Closed-Loop Step Response Data

(SICE Annual Conference 2014 (SICE 2014), Sep 9-12, 2014, pp.287-290, Hokkaido)

..... Yoshihiro Matsui, Hideki Ayano, Kazushi Nakano

Disturbance Attenuation Fictitious Reference Iterative Tuning in Frequency Domain

(14th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS 2014), Oct 22-25, pp.258-263, Korea)

..... Shiro Masuda, Yuki Gohda, Yoshihiro Matsui

速度制御ステップ応答データを用いたDCモータの同定

(電気学会C部門大会, 2014. 9, pp.720-721) 松井義弘, 綾野秀樹, 中野和司

閉ループステップ応答データを用いたDCモータの伝達関数推定

(第57回自動制御連合講演会, 2014. 11, pp.1783-1784) 松井義弘, 綾野秀樹, 中野和司

閉ループステップ応答データを用いた非線形系の同定と制御器設計

(電気学会制御研究会資料, CT-14(82-95), 2014. 12, pp.9-14) 松井義弘, 増田士朗, 綾野秀樹, 中野和司

周波数領域における閉ループステップ応答データを用いたVirtual Reference Feedback Tuning (VRFT)

(電気学会制御研究会資料, CT-14(76-81), 2014. 12, pp.13-16) 孔憲達, 宇田川光輝, 増田士朗, 松井義弘

A novel technique for reducing leakage current by application of zero-sequence voltage

(IEEE, International Power Electronics Conference (IPEC-Hiroshima- ECCE-ASIA 2014), 2014. 5)

..... Hideki Ayano, Kohei Murakami, Yoshihiro Matsui

変調方式の違いにおける電圧・電流ひずみの比較

(平成 26 年電気学会産業応用部門大会, 1-8, 2014. 8, pp.I-69-72) 綾野秀樹, 松井義弘

社会人向けパワーエレクトロニクス公開講座事例

(平成 27 年電気学会全国大会, 4-S24-2, 2015. 3, pp.S24(2)-S24(5)) 船渡寛人, 綾野秀樹, 石橋正基, 佐藤宣夫

零速度運転時のモータから発生するキャリア騒音の低減法

(平成 27 年電気学会全国大会, 4-098, 2015. 3, pp.165-166) 綾野秀樹, 石川清太郎, 松井義弘

永久磁石モータの極低速運転時における素子発熱集中の緩和法

(平成 27 年電気学会全国大会, 4-164, 2015. 3, pp.272-273) 浅井亨太, 綾野秀樹, 松井義弘

電子工学科

Reliable Background Prediction by Approximate Gaussian Mixture Model Frame Differences for Background Subtraction

(Proceedings of the Seventh International Workshop on Image Media Quality and its Applications (IMQA 2014), September 2014, pp.84-87) T. Maeda, T. Ohtsuka, H. Aoki

積分画像を用いた Haar-like 特徴量に基づく虹彩検出の高速化

(第 4 回バイオメトリクスと認識・認証シンポジウム論文集, November 2014, p.64) 大貫量孝, 石川 諒, 大塚友彦

Ultra Fine Silicon Nanowire Formation Using Hydrogen Radical Etching Reaction

(Silicon 2014, 2014 Irukutsuk 71) H. Nagayoshi, S. Diplas, J. C. Walmsley, N. H. Andersen, A. Karlsson, J. S. Graff, V. Chirvony, J. M. Pastor, A.G. Ulyashin

Excellent Passivation Effect on N-type c-Si Surface Using Low Cost Liquid Source SiO₂

(Proceedings on 29th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, 2014 Amsterdam 1000-1002)

..... Hiroshi Nagayoshi, Chihiro Hagiwara

TiO₂ Nanoparticle/Liquid source SiO₂ Back Reflector for Solar Cells

(6th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion 2014 Kyoto 593-594) Takuya Murooka, Hiroshi Nagayoshi

Effective Low Cost SiO₂ Passivation Using Perhydropolysilazane

(6th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion 2014 Kyoto 699-700) Chihiro Hagiwara, Hiroshi Nagayoshi

Effective Liquid Source SiO₂ Passivation on N-Type Silicon Using Perhydropolysilazane

(5th International Conference on Silicon Photovoltaics, SiliconPV 2015 Konstanz)

..... Hiroshi Nagayoshi, Chihiro Hagiwara

TiO₂ Nanoparticle/SiO₂ Composite Back Reflector for Solar Cells

(5th International Conference on Silicon Photovoltaics, SiliconPV 2015 Konstanz)

..... Hiroshi Nagayoshi, Takuya Murooka

TiO₂ ナノ粒子/SiO₂ ハイブリット膜を用いた太陽電池裏面反射構造

(75 回応用物理学会学術講演会, 札幌, 2014) 室岡拓也, 永吉浩

液体原料 SiO₂ による Si 表面パッシベーションの安定性評価

(75 回応用物理学会学術講演会, 札幌, 2014) 萩原千祐, 永吉浩

TiO₂ ナノ粒子/SiO₂ コンポジット膜を用いた太陽電池裏面反射構造 II

(第 62 回応用物理学会春季学術講演会, 神奈川, 2015) 室岡拓也, 永吉浩

細金属ワイヤへのポリピロール薄膜形成

(第 62 回応用物理学会春季学術講演会, 神奈川, 2015) 出村洋智, 永吉浩

専門導入基礎教育における主体的思考力の涵養―体験・分析・表現の 3 段階学習プロセスを用いて―

(日本工学教育協会 平成 26 年度工学教育研究講演会, 講演論文集, 広島大学, 2014 年 8 月 30 日, pp.424-425)

..... 一戸隆久, 小坂敏文, 清水昭博, 新國広幸, 西村亮, 城石英伸

専門導入基礎教育における主体的思考力の育成―東京高専電子工学分野―

(平成 26 年度全国高専教育フォーラム教育研究活動発表会, 金沢大学角間キャンパス, 発表概要集, 2014 年 8 月 27 日, pp.320-321)

..... 一戸隆久, 大塚友彦, 加藤格, 新田武父

Some Properties on Disaster Prevention Broadcasting Based on Data Hiding Technique

(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, サンリフレ函館, 2014. 7, pp.259-264)

..... Tetsuya KOJIMA, Akihiro OIZUMI

KOSEN All English サマースクールの成果報告

(平成 26 年度全国高専教育フォーラム教育研究活動発表会, 金沢大学角間キャンパス, 2014. 8)

..... 小嶋徹也, 堀智子, 竹田恒美, 村井三千男, 櫻村真由, Gates John, 関根紳太郎
尾沼猛義, 堤博貴, 玉田耕治, 永吉浩, 石井宏幸, 小林弘美, 青山陽子

A Disaster Prevention Broadcasting Based on Data Hiding Scheme Using Complete Complementary Codes

(International Symposium on Information Theory and Its Applications 2015, Melbourne Convention and Exhibition Centre, Melbourne, Australia, 2014. 10, pp.45-49)

..... Tetsuya KOJIMA, Toru TACHIKAWA, Akihiro OIZUMI, Yoshimasa YAMAGUCHI, Udaya PARAMPALLI

音声データハイディングを用いた防災無線システムにおける誤り訂正符号の導入

(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, 大濱信泉記念館, 2015. 3, 信学技報, Vol.114, No.511, EMM2014-87, pp.61-66) 三島陵亮, 小嶋徹也

音声データハイディングを用いた防災サイレンにおけるステゴ音声品質の検討

(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, 大濱信泉記念館, 2015. 3, 信学技報, Vol.114, No.511, EMM2014-87, pp.73-78) 大泉明弘, 小嶋徹也

混合部分の正規分布の線形結合による手書き文字特徴量の分布推定に関する検討

(情報処理学会第 77 回全国大会, 京都大学, 2D-03, 2015. 3) 鈴木雅人, 北越大輔, 松本章代

WiFi マルチメディアマルチホップ通信の自走中継機の研究

(平成 26 年度電子情報通信学会東京支部学生会発表会, 2015. 3, p.102) 小池和摩, 田中晶

スマートフォンによるヘテロジニアスマルチホップ通信

(平成 26 年度電子情報通信学会東京支部学生会発表会, 2015. 3, p.99) 牧野康平, 田中晶

スマートフォンによるヘテロジニアスマルチホップ通信

(防災とマルチメディア技術研究集会, 東京工業高等専門学校, 2015. 3, pp.35~40) 牧野康平, 田中晶

Analysis of a System for Dementia Prevention based on the Concept of Human-Agent Interaction

(2014 IEEE International Conference on Granular Computing, 2014. 10, pp.88-93)

..... Ryo Hanada, Daisuke Kitakoshi, Masato Suzuki

高等専門学校における三次元 CAD および三次元プリンタ教育の実践

(日本産業技術教育学会第 57 回全国大会, 2014, pp.G14) 堤博貴

自立型ロボット製作を題材とした創造的メカトロニクス教育の試み

(日本産業技術教育学会第 57 回全国大会, 2014, pp.1H23) 堤博貴

Kinect を用いたジェスチャ認識による指さし位置推定手法の検討

(社会システムと情報技術研究ウィーク (WSSIT2015), SIG-SAI, ルスツ, 2015) 餅川穂, 山下 晃弘

SNS における炎上リスク分析と対策システムの開発

(人工知能学会合同研究会 2014, 人工知能学会研究会資料 SIG-KBS-B402, pp.19-24, 横浜, 2014)

..... 山下晃弘, 中村拓哉, 川村秀憲, 鈴木恵二

指さし動作認識による移動ロボットの操作

(HAI シンポジウム 2014, G-6, 岐阜, 2014) 餅川穂, 山下晃弘

Twitter を情報源とした発話ロボットシステムの開発

(第 13 回情報科学技術フォーラム (FIT2014), C-016, 筑波, 2014) 藤原裕樹, 山下晃弘

RFID タグを用いた買い物支援システムにおける利用者の移動検出

(第 13 回情報科学技術フォーラム (FIT2014), C-019, 筑波, 2014) 川口正太郎, 山下晃弘

OpenStreetMap データを利用したヘッドマウントディスプレイによる AR 案内システムの構築

(第 13 回情報科学技術フォーラム (FIT2014), C-017, 筑波, 2014) 原裕己, 山下晃弘

指さし動作認識による移動ロボットへの目標地点の指示

(第 13 回情報科学技術フォーラム (FIT2014), C-018, 筑波, 2014) 餅川穂, 山下晃弘

イベント情報推薦のためのスコアリング手法の比較

(2014 年度サービス学会 第 2 回 国内大会, 函館, P2-2(Web), 2014) 小野良太, 山下晃弘, 川村秀憲, 鈴木恵二

粒子密度の大きな流動化粒子における気泡流動層の相似性

(第20回流動化・粒子プロセッシングシンポジウム・第9回反応装置プロセスシンポジウム, 平成26年12月, P1-4)

..... 石井宏幸, 西岡央成

Convergence Aspect of the Self-consistent Calculations for Quantum States of Charged Bose Particles in Solids

(Japan CF-Research Society, November 1-2, 2014, Sapporo) Ken-ichi TSUCHIYA, Sommy KOUNLAVONG

リガンド分子間相互作用に着目した耐熱性金ナノ粒子の開発

(東京都立産術研究センター 平成26年度研究成果発表会, 2014. 6) 町田茂, 土戸良高, 奥村篤

アザビスモシン骨格を有する金ナノ粒子の作製

(日本化学会第95春季年会講演予稿集, 1A6-28, 2015.3, DVD-ROM) 小野壮哉, 島田茂, 町田茂

二枚貝類アカガイ *Anadara (Scapharca) broughtonii* におけるトロポミオシンアイソフォームの解析

(日本動物学会関東支部第67回大会, 早稲田大学先端生命医科学センター, 2015. 3.14)

..... 塩野里奈, 足立成美, 野口尊生, 藤ノ木政勝, 伊藤篤子

マガキ *Crassostrea gigas* を用いた発生生物学教材の開発

(日本動物学会関東支部第67回大会, 早稲田大学先端生命医科学センター, 2015. 3.14)

..... 藤田翠, 藤ノ木政勝, 伊藤篤子

軟体動物マガキ *Crassostrea gigas* を用いた発生生物学教材の開発

(日本生物教育学会第98回全国大会, 愛媛大学, 2015. 1.10-11) 伊藤篤子, 藤田翠, 藤ノ木政勝

二枚貝類マガキ *Crassostrea gigas* におけるトロポミオシンcDNAのクローニング

(日本動物学会第85回仙台大会, 東北大学, 2014. 9.11-13) 伊藤篤子, 吉田薫, 藤ノ木政勝

土壌中の鉛の簡易検出法の開発

(第6回大学コンソーシアム八王子学生発表会, 八王子市学園都市センター, 2014. 12)

..... 田中一光, 徳永晶子, 庄司良, 若杉玲子, 坂本達宣, 高木泰憲, 深浦仁美

道路粉塵中のサブミリオオーダーの粒径毎の含有重金属分析と毒性評価

(第17回化学工学学生発表会, 八戸工業高等専門学校, 2015. 3, B21, p.36) 庄司良, 並木辰也, 倉澤裕己

土壌に含まれる鉛をオンサイトで検出するデバイス開発

(第17回化学工学学生発表会, 八戸工業高等専門学校, 2015. 3, B22, p.37)

..... 庄司良, 徳永晶子, 田中一光, 若杉玲子, 坂本達宣, 高木泰憲, 深浦仁美

環境因子の変動による重金属の毒性への影響

(第17回化学工学学生発表会, 八戸工業高等専門学校, 2015. 3, C17, p.49) 庄司良, 谷口太郎, 島袋将弥

NICA-Donnan model による植生や土壌によって異なるフミン酸の金属との結合評価

(第17回化学工学学生発表会, 八戸工業高等専門学校, 2015. 3, D19, p.62)

..... 庄司良, 岩瀬鉄也, 倉澤裕己, 黒川輝, 沖田尚久, 中西弘貴

フミン酸の銅イオン結合に対する温度依存性の検討

(電気化学会第82回大会, 横浜国立大学, 2015. 3, 1S23) 岩瀬鉄也, 倉澤裕己, 庄司良

低電圧ソリューションプラズマ法による金属ナノ粒子の合成(3)

(2014 年電気化学会秋季大会(1A17), 北海道大学, 2014. 9) 堀口元規, 城石英伸, 中島達朗, 松田直樹

ZrO₂-1.6P₂O₅ ハイブリッド ZnO-2P₂O₅ ガラス電解質のプロトン導電度の湿度依存性

(2014 年電気化学会秋季大会(1A18), 北海道大学, 2014. 9) 大屋彼野人, 城石英伸, 齋藤守弘

水熱合成法による非導電性ナノ微粒子型新規プロトン導電体の合成

(2014 年電気化学会秋季大会(1A20), 北海道大学, 2014. 9) 小林昌広, 城石英伸, 福島奈津子, 松島賢太郎, 桑野潤

低電圧ソリューションプラズマ法による金属ナノ粒子の合成と酸素還元能

(第7回新電極触媒シンポジウム&宿泊セミナー(P7), 軽井沢, 2014. 10) 堀口元規, 城石英伸, 中島達朗, 松田直樹

塩基性下における鉄コバルト担持多層カーボンナノチューブの酸素還元能と酸素発生活性

(第7回新電極触媒シンポジウム&宿泊セミナー(P8), 軽井沢, 2014. 10)

..... 高橋勝國, 城石英伸, 鈴木啓志, 齋藤守弘, 田中優実

Cr₂O₃-Pb₂Ru₂O₇₋₆ コアシェル助触媒を用いた水の可視光分解

(平成26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45), いわき, 2014. 11)

..... 羽生真也, 城石英伸, 齋藤守弘, 田中優実

回転リングディスク電極法を用いたナノ微粒子触媒評価時におけるキャスト法の問題点と改善策

(平成26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57), いわき, 2014. 11)

..... 青柳朔水, 城石英伸, 高橋勝國, 齋藤守弘, 田中優実

D-グルコースを原料とした水熱合成法による非導電性ナノ炭素質微粒子型新規プロトン導電体の合成

(平成26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58), いわき, 2014. 11)

..... 小林昌広, 城石英伸, 福島奈津子, 松島賢太郎, 桑野潤

低電圧ソリューションプラズマ法による金属ナノ粒子の合成と酸素還元能

(平成26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59), いわき, 2014. 11)

..... 堀口元規, 城石英伸, 中島達朗, 松田直樹

中温域プロトン導電型燃料電池用 ZrO₂-1.6P₂O₅ コンポジット ZnO-2P₂O₅ ガラス電解質の特性

(平成26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60), いわき, 2014. 11)

..... 大屋彼野人, 安藤慶介, 城石英伸, 齋藤守弘

ペリジル系酸素還元触媒の塩基性電解液中における酸素還元および酸素発生反応の電位依存性

(電子情報通信学会 有機エレクトロニクス研究会, 機械振興会館 (東京), 2014.12, 発表番号 8)

..... 高橋勝國, 城石英伸, 鈴木啓志, 齋藤守弘, 田中優実

カーボン担持多層シェルコア型金属微粒子触媒によるアンモニアの電気化学的酸化

(電子情報通信学会 有機エレクトロニクス研究会, 機械振興会館 (東京), 2014. 12, 発表番号 9)

..... 白坂亮, 工藤瑛士, 城石英伸, 齋藤守弘, 太田拓, 蒲生西谷美香

鉄コバルト錯体担持多層カーボンナノチューブ触媒の酸素還元触媒活性に与える分散法の影響

(電気化学会第 82 回大会(発表番号 1S29), 横浜国立大学, 2015. 3)

..... 青柳朔水, 高橋勝國, 城石英伸, 齋藤守弘, 田中優実

水熱合成法による非導電性ナノ炭素質微粒子型新規プロトン導電体の合成(2)J

(電気化学会第 82 回大会(発表番号 1S30), 横浜国立大学, 2015. 3)

..... 小林昌広, 城石英伸, 木島匡彦, 田中優実, 桑野潤

チタン錯体を前駆体とした非白金系酸素還元触媒の開発(1)

(電気化学会第 82 回大会(発表番号 1S31), 横浜国立大学, 2015. 3)

..... 松下悠貴, 青柳朔水, 高橋勝國, 城石英伸, 齋藤守弘, 田中優実

A サイトまたは B サイト置換 Pb₂Ru₂O_{7-δ} 触媒による光化学的水の酸化・プロトン還元能の研究(1)

(電気化学会第 82 回大会(発表番号 1S32), 横浜国立大学, 2015. 3)

..... 高橋優, 羽生真也, 城石英伸, 齋藤守弘, 田中優実

低温焼結型(ZrO₂-1.6P₂O₅)-(ZnO-2P₂O₅)ハイブリッド電解質のプロトン導電率

(電気化学会第 82 回大会(発表番号 1S33), 横浜国立大学, 2015. 3)

..... 大屋彼野人, 城石英伸, 齋藤守弘

マイクロバブルソリューションプラズマ法によって調製した白金ナノ粒子の酸素還元能

(電気化学会第 82 回大会(発表番号 1S34), 横浜国立大学, 2015. 3)

..... 近岡優, 堀口元規, 城石英伸, 中島達朗, 松田直樹

低電圧ソリューションプラズマ法による金属ナノ粒子の合成(4)

(電気化学会第 82 回大会(発表番号 PF11), 横浜国立大学, 2015. 3)

..... 堀口元規, 近岡優, 城石英伸, 中島達朗, 松田直樹

Pt 担持多層カーボンナノチューブ触媒の酸素還元およびアンモニア酸化触媒活性に与える分散法の影響

(電気化学会第 82 回大会(発表番号 PFC12), 横浜国立大学, 2015. 3)

..... 白坂亮, 青柳朔水, 城石英伸, 太田拓, 蒲生西谷美香

リングディスクフロー電極法を用いた酸素還元能の評価

(電気化学会第 82 回大会(発表番号 PFC15), 横浜国立大学, 2015. 3)

..... 高橋勝國, 中村源一郎, 城石英伸, 岡田達弘

プロトン導電ガラスと複合化した ZrO₂-1.6P₂O₅ 電解質の改良

(電気化学会第 82 回大会(発表番号 PFC24), 横浜国立大学, 2015. 3)

..... 小笠原気八, 大屋彼野人, 城石英伸, 齋藤守弘

Polymer Electrolyte Membrane with Nanomatrix Channel Prepared by Sulfonation of Natural Rubber Grafted with Polystyrene

(3rd Workshop on Establishment of Carbon-cycle-system with Natural Rubber, 2014. 9, O-06a, Hanoi)

..... Yoshimasa Yamamoto, Seiichi Kawahara

Bromination of Natural Rubber by Anodic Oxidation in Water Process in the Presence of Carbon Dioxide

(The 10th SPSJ International Polymer Conference, 2014. 12, p.211, Tsukuba)

..... Yoshimasa Yamamoto, Yudai Yamamura, Seiichi Kawahara

Bromination of Natural Rubber by Anodic Oxidation in Water Process in the Presence of Carbon Dioxide

(The 8th International Conference on Materials Science and Technology, 2014. 12, p.367, Bangkok)

..... Yoshimasa Yamamoto, Yudai Yamamura, Seiichi Kawahara

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 2014 年年次大会, 大宮, 2014. 5, p.117) 山本祥正, 宮野快, 石井宏幸, 小杉健一郎, 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 63 回高分子学会年次大会, 名古屋, 2014. 5, 3E14) 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 63 回高分子討論会, 長崎, 2014. 9, 1H11) 山本祥正, 山村友大, 河原成元

ナノマトリックスチャネルを有するプロトン伝導性高分子電解質膜の調製

(第62回レオロジー討論会, 福井, 2014. 10, pp.282-283)

..... 山本祥正, 福原吏奈, 角紀行, 小杉健一郎, Patjarree Suksawad, 石井宏幸, 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

(成形加工シンポジウム'14, 新潟, 2014. 11, p.69) 山本祥正, 山村友大, 河原成元

天然ゴムの脱タンパク質化技術

(第 210 回ゴム技術シンポジウム, 東京, 2015. 2, p.19) 山本祥正

振動分光法による表面有機単分子層の構造及び反応の評価

(有機エレクトロニクス研究会, 2014 年 12 月) 伊藤未希雄, 野口秀典, 魚崎浩平

MnO₂ 担持メソポーラス TiO₂ による水中に存在する微量鉛イオンの選択的光電析除去

(電気化学会第 82 回大会, 2015 年 3 月 15 日) 金崎稜, 野崎拓弥, 小林靖和, 佐藤一則

Fe₃O₄ 担持マクロポーラス TiO₂ を用いた水環境中の鉛イオン光電析除去とその回収

(電気化学会第 82 回大会, 2015 年 3 月 15 日) 野崎拓弥, 金崎稜, 小林靖和, 佐藤一則

粒子状物質(PM)酸化除去用 Ag/CeO₂ 触媒のルースコンタクト活性評価の標準化

(化学工学会第 17 回学生発表会 (八戸大会), 2015 年 3 月 7 日) 彦坂莉希, 佐瀬醇, 小林靖和

PM 燃焼反応に用いるルースコンタクト試料の標準化

(第 35 回参照触媒討論会, 2014 年 9 月 24 日) 小林靖和, 彦坂莉希, 佐瀬醇

Evidence for Dual Adsorption Sites in SAPO - 34 for Gases in The MTO Process, and The Significance of This for The Calculation of Surface Concentrations

(The 7th Tokyo Conference on Advanced Catalytic Science and Technology, 2014 年 6 月 5 日)

. Y. Kobayashi, F. Wang, YX. Li, Y. Wang, DZ. Wang

3.その他

(1)学位取得・学会賞・論文賞

招待講演:「哲学対話をする」とは何をすることか

(P4E ワークショップ「学校」をめぐる哲学対話, 東京大学, 2014 年 6 月) 村瀬智之

日本機械学会関東学生会第54回学生員卒業研究発表講演会 Best Presentation Award

「測域情報からなるランドマークを参照するロボットの自律走行」

(日本機械学会関東学生会第 54 回学生員卒業研究発表講演会講演前刷集, 2015 年 3 月, 資料番号 809)

. 上田稜, 山川史, 島根機太郎, 多羅尾進

第 3 回生活支援を目的としたアイデアコンテスト最優秀賞 「お年寄りと仲良く見守ルンバ」

(日本生活支援工学会, 2014 年 9 月) 佐々木智也, 多羅尾進

2014 年産業応用部門優秀論文発表賞受賞 「単相 7 レベルインバータの実験検証」

(電気学会) 大隅竜太, 綾野秀樹(指導教員)

電子情報通信学会基礎・境界ソサイエティ編集活動感謝状

(電子情報通信学会 2014 年度ソサイエティ大会, 2014. 9) 小嶋徹也

(2) 科学研究費補助金 (研究実績報告書,研究成果報告書)等

電子技術史を事例にした占領期日本における軍民両用科学技術に関する歴史的分析

基礎研究 (C) 課題番号 26350369 (2014年度 ~ 2017年度) 河村豊

音声信号処理技術に基づく英語プレゼンテーションのための音声学習支援ソフトの開発

基礎研究 (C) 課題番号 25370680 (2013年度 ~ 2016年度) 堀智子, 小嶋徹也, 吉本定伸, 野口ジュディ

思考力にかんする研究

研究活動スタート支援 研究課題番号 25884092 (2013年度 ~ 2014年度) 村瀬智之

非侵襲型人工呼吸器実現を目指した溝付管路内の間欠振動流による高頻度振動換気

基盤研究 (C) 課題番号 24592758 (2012年度 ~ 2014年度) 清水昭博

応力聴診器及び piezofilm を用いた危険予測のための欠陥・き裂検出技術の基礎研究

若手研究 (B) 課題番号 25871030 (2013年度 ~ 2015年度) 志村穰

零相電圧を有効利用した電力変換器のノイズ低減技術の研究

基盤研究 (C) 課題番号 25420275 (2013 年度 ~ 2015 年度) 綾野秀樹

高性能なスペクトル拡散型電子透かしを防災サイレンに応用した防災無線システムの開発

研究実績報告書 基盤研究 (C) 課題番号 24510240 (2012年度 ~ 2014年度) 小嶋徹也

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) 課題番号 26330415 (2014年度 ~ 2017年度) 北越大輔

無機-無機ハイブリッド型電解質を用いた中温作動プロトン伝導型燃料電池の開発

若手研究 (B) 課題番号 26820321 (2014年度 ~ 2016年度) 城石英伸

光電析法による重金属イオンの高効率捕集用新規ランタノイド系酸化物の開発

高専一長岡技科大共同研究助成 (2014年4月 ~ 2015年3月) 小林靖和

(3) 特許等

換気装置 特許公開 2014-233413 (2014 年 12 月)

. 清水昭博, 内田敦士

電力変換装置およびその温度上昇演算方法 登録番号5514010 (2014年6月)

. 綾野秀樹, 石川勝美, 小南勉, 国広真実

環境汚染物質の検出材およびその製造方法, ならびに環境汚染の評価方法 特許公開2015-028398 (2015年2月)

. 若杉玲子, 坂本達宣, 深浦仁美, 庄司良

(4) 解説・研究ノート・エッセイ等

エッセイ:技術者の卵のための哲学教育(2)

(『哲楽』MIDアカデミックプロモーションズ, 6号, 2014年, pp.74-75) 村瀬智之

新聞での鼎談:てつがくカフェ

(『毎日小学生新聞』イラスト:熊谷理沙, 2014年4月5日号より, 毎週土曜日連載)

. 村瀬智之、紙上鼎談(河野哲也・土屋陽介)

ピエゾフィルムを用いたひずみ計測の新展開—繰返し動ひずみの可視化フィルムの提案—

(非破壊検査“特集 応力・ひずみ実験解析”, Vol.63, No.7, 2014. 7, pp.345-351) 黒崎茂, 志村穰

全国理系 学び舎紀行

(『電気新聞』2014年6月10日, 2014. 6) 土井淳

技術解説: アナログ乗算ICによる変調器とアナログ・スイッチによる変調器—古典的アナログICと標準ロジックIC74HC4066によるDBMの動作を考察する—

(トランジスタ技術増刊『無線と高周波の技術解説マガジン RFワールド』No.29, CQ出版社, ISBN978-4-7898-4872-5, 2015. 2, pp.115-120.) 小池清之

天然ゴム材料の電子顕微鏡観察

(『化学と教育』62(7), 2014. 7, pp.338-339) 山本祥正

FIB 加工による超薄切片の作製およびTEM観察

(『高分子』63(9), 2014. 9, pp.642-643) 山本祥正, 福原吏奈, 石井宏幸

天然ゴムの脱タンパク質化技術

(『プラスチック成形加工学会誌』26(10), 2014. 10, pp.456-460) 福原吏奈, 山本祥正, 石井宏幸, 河原成元

Controlling the performance of filled rubbers

(『Nihon Reorogi Gakkaishi』42(2), 2014. 5, pp.79-88)

. Seiichi Kawahara, Yoshimasa Yamamoto, Yoshinobu Isono

©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47号

平成27年度

平成28年3月1日発行

編集者 東京工業高等専門学校図書委員会

発行者 東京工業高等専門学校

東京都八王子市櫛田町1220-2

TEL (042) 668-5111

〒193-0997

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.