

八戸工業高等専門学校

紀 要

第 53 号

平 成 31 年

八 戸 工 業 高 等 専 門 学 校

八戸工業高等専門学校紀要 第53号 目次

＜教育論文＞

八戸高専生の現時点における英語に対する意識調査：アクティブラーニング法をどう用いるか？	・・・	横田実世	菊池秋夫	・・・ 1
プレゼンテーションスキル向上のため試み2 - 自主探究と直結した国語教育 -	・・・	齋	麻子	・・・ 7

＜研究論文＞

環状ジオール認識機能を有する高分子膜の調製と特性	・・・	菊地康昭	佐藤久美子	・・・ 13
書くことに〈資格〉は必要か - 当事者性と想像力の中の震災高校演劇	・・・	戸田山	みどり	・・・ 19
潤滑すべり条件下における金属及び樹脂材料の焼付き挙動	・・・	荒木亮太	赤垣友治	・・・ 25
超音波分散されたY2O3が極微細金属粉末を用いて作製したSOF C用金属セパレータの酸化皮膜剥離に及ぼす影響	・・・	古	谷一幸	・・・ 31
新教材・教育法の開発を目指した3Dプリンタによる分子計算のマテリアライゼーション(2) — カーボンナノチューブのマテリアライゼーションと3Dプリンタによる造形技術に関する検討 —	・・・	松橋信明	豊岡怜崇	・・・ 35
組み込みロボット授業における地域企業と連携したものづくり技術交流の実践(2)	・・・	細川靖昭	鎌田雅貴	・・・ 43
方程式誤差法を用いた音響用エコーキャンセラの検討	・・・	工藤憲昌	釜谷博昭	・・・ 49
酸化物単結晶基板上のスパッタ触媒金属膜を用いたグラフェン合成	・・・	中村嘉孝	松元ほの香	・・・ 53
Connarusエキスのアポトーシス誘導作用	・・・	立花千優	佐々木隆典	・・・ 57
電解採取効率に及ぼす変動電流の影響	・・・	新高宏忠	松本卓也	・・・ 63
PMA-qPCR法におけるろ過濃縮の検討	・・・	日脇陸生	脇口淳一	・・・ 67

<報告>

八戸高専留学生と市民の交流7
—アジアのスポーツを用いた出前授業—

…… 齋 麻 子…… 73

RESEARCH REPORTS
National Institute of Technology, Hachinohe College
No.53 2018
Contents

<Education Theses>

Current attitudes of Hachinohe-Kosen students toward English -What needs to be done with active-learning?- Miyo YOKOTA Akio KIKUCHI 1
The Attempt to Develop Japanese Presentation Skills Vol2 - Subjects for Japanese Language Classes Connected Directly with 'Self-Research Activities' - Asako SAI 7

<Research Theses>

The preparation and characterization of polymer membranes having recognition ability for cyclic diols Yasuaki KIKUCHI Kumiko SATOH 13
Do You Need Any Qualification to Write? : Authenticity and Imagination for SHINSAI Theater Arts in High Schools Midori TODAYAMA 19
Seizure Behaviors of Metal and Plastic Materials under Oil-Lubricated Sliding Contacts Ryota ARAKI Tomoharu AKAGAKI 25
Effect of ultrasonic dispersed Y2O3 on spalling of scale of SOFC metal separator fabricated by using very fine powder metal Kazuyuki FURUYA 31
Materialization of Molecular Calculation by 3D Printer with the Aim of the Development of New Teaching Material and Teaching Method (2) – Materialization of Carbon Nanotube and Study on Modeling Technology by 3D Printer – Nobuaki MATSUHASHI Reina TOYOOKA Takaaki YOTSUYAKU Kazumasa YAMADA 35
Craftsmanship Tchnology Exchange which Cooperated with the Local Company on Handicraft Class of Line-following Robots by Microcomputers (2) Yasushi HOSOKAWA Masaaki YOSHIDA Takaharu KAMADA Takashi NONAKA Tatsuya TOHDA 43
A study on an acoustic echo canceller using an equation error method Norimasa KUDOH Hiroyuki KAMAYA Yoshiaki TADOKORO 49
Graphene Synthesis Using Sputtered Catalyst Metal Film on Oxide Single Crystal Substrate Yoshitaka NAKAMURA Honoka MATSUMOTO 53

Apoptosis-inducing effect of aqueous extract of <i>Connarus ruber</i> cortex	Chihiro TACHIBANA Yu F SASAKI Takanoiri NAKAMURA Kayoko YAMASAKI Ryo MURASHIGE	57
Effect of Variation Current on Electrowinning Efficiency	Hirotsada ARAI Takuya TAKAHASHI Katsutoshi MATSUMOTO	63
Examination of the PMA treatment combined with quantitative PCR for concentrated bacteria by membrane filter	Rikuo HIWAKI Junichi YAGUCHI	67
<Report>		
Cultural exchange between foreign students at NIT Hachinohe College and citizens 7 - Workshop using sports in Asia -	Asako SAI	73

Current attitudes of Hachinohe–Kosen students toward English –What needs to be done with active–learning?–

Miyo Yokota*, Akio Kikuchi*

*Department of General Science and Education

ABSTRACT : The Japanese Ministry of Education, Science and Technology (MEXT) has recommended that schools and teachers utilize ‘active learning’ methods to improve students’ English language skills. Despite this effort, English levels of Hachinohe–Kosen students remain low. This study investigated the current attitudes of students at Hachinohe–Kosen toward English and the practicality of introducing English into classes as part of active learning efforts.

Keywords: Active–learning, English survey, students’ attitudes toward English, practical English

INTRODUCTION

Japan has been the world leader of medicine, science, technology, and engineering, yet, it has been struggling to produce students who are proficient in English. Although Japanese students study English for six years in junior and senior high schools, they continue to have problems with English comprehension and limited communication skills, relative to non–native English speaking students from other countries¹. To solve this problem, the Japanese Ministry of Education, Science and Technology (MEXT) recommended that schools and teachers utilize ‘active learning’ methods in English education for improving students’ language skills¹. Despite MEXT’ s effort, students’ English language skills within NIT College systems (Kosen) remain low. In part, the definition of active learning methods is unclear, and its interpretation varied among schools and teachers^{2,3}. In addition, the majority of the contents in high school textbooks registered by MEXT tend to be designed for liberal arts students, which may not fully engage the interest of Kosen students^{4–6}. Furthermore, Kosen students living in more rural areas may have less exposure to English. Nevertheless, English is in high demand at graduate schools and companies, where Kosen graduates are seeking positions. This is a pilot study to 1) understand current students’ attitudes, motivation, and thoughts toward English language; and 2) demonstrate the value of incorporating English into an active learning method.

METHOD

Fourth year students (n = 148) consisting of four majors (mechanical system design, electrical/computer engineering, civil engineering/architectural design, material/biological engineering) at Hachinohe–Kosen were enrolled in an English class (Enshu IA). The majority of students were native speakers of Japanese, but three were international students. The initial questionnaire, designed to capture information regarding students’ attitudes about English were administered in the first week of April, 2018 (Appendix A).

During spring and summer sessions (total 16 weeks), an instructor taught a course primarily in English using a basic Science and Engineering (SE) English language textbook⁷. The students learned SE materials by identifying main principles, and learning to understand SE terminology and the definitions in English. They were encouraged to explain SE concepts and techniques in plain or commonly used English. In addition, the students were asked to present short

SE presentations in English as a group by creating prototypes using SE materials. Building prototypes is often incorporated into SE research projects at companies and universities. Figure 1 is the example of active learning procedure (Unit 1 from SE textbook⁷). In the end of summer session, students were asked if their interests in English have changed positively and responded to an open note question, “What have you learned from English Enshu IA?”

3. RESULTS

A: Survey

Figure 2 shows the summary of students’ attitudes toward English language. One-third of students answered that English was of little or no interest; however, approximately 45% students indicated that they liked English some or very much (Figure 2a). Although more students showed interest in English, more than half of the students (56%) assessed themselves that they were less or least skilled in English (Figure 2a). The reasons (Survey question 2) given by those students who showed some preference or interest in English included interest in foreign cultures and sports (e.g., music, movies, people), experiences while studying abroad, and/or positive impressions toward English language (i.e., “cool”). On the other hand, the majority of the students who disliked English or lacked interest in English expressed problems with learning the language (e.g., grammar, speaking) and educational systems (e.g., teaching methods, less English hours decreased in motivation). The two-third of students expressed their interests learning SE materials in English and 71% of the students felt that learning SE materials in English would not interfere with their specialized studies (Figure 2b). In the open note question (Question 7b), many students indicated that English was important in their future career and they could broaden their knowledge by learning in English.

B: Active-learning

Initially, students were reluctant to participate during the classes in English. Japanese students tend to be afraid of making mistakes in English and generally they are not accustomed to participate actively in classes. In addition, Hachinohe students are culturally reserved. However, by encouraging students to learn from their mistakes, demonstrating to them the logic of learning in English, and praising their abilities and potential helped them more actively engage in the use of the English language as a part of their academic curriculum. For instance, a few students started to participate by asking questions either in English or Japanese during the class. When the questions were in Japanese, students were encouraged to ask or translate the question in English. In addition, group English presentations helped them have some fun and motivate to learn in English. In the end of summer session, almost half of students (n = 69) responded positively and less than 10% (n = 7) of them responded negatively to this active-learning method used in Enshu IA. Figure 3 shows examples of positive comments.

Goal: Students learned structures and mechanisms of airplanes in English



Step1: Students make their own origami airplanes

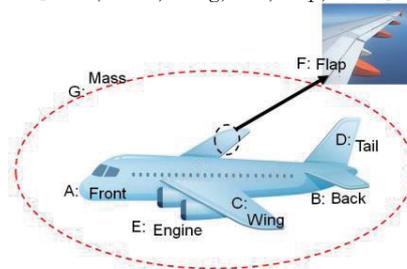
Instruction

1. Fold a sheet of paper to make a simple paper dart or model plane
2. Experiment with throwing your plane and see how it flies
3. Make some adjustments to its shape and balance and see how it flies.



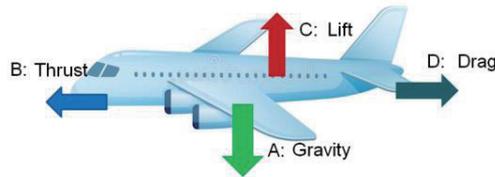
Step2: Airplane structure

Instruction: Where is [front, back, wing, tail, flap, mass] of an airplane?



Step3: Airplane mechanism

Instruction: What is [gravity, thrust, lift, drag]? How does it work?



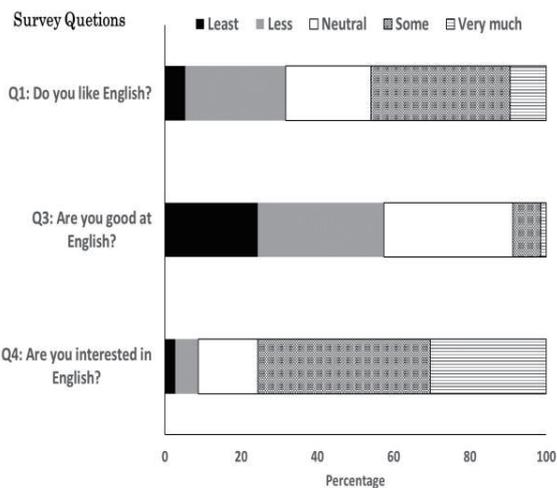
Application: Group English Presentation (origami airplane prototype)

Instruction:

- Three or Four people in a each group
- Compare your own origami airplane with others, and select **the final prototype**
- **Present** why your group chose the prototype (e.g., colors, functions, measurements)
- Each group has **~15 minutes** for the presentation including Q & A
- Make sure **each of you talk in English** during the presentation
- Visual presentations (power point, video, throwing air planes) are helpful.

Figure 1. Active learning procedure (Unit 1 from Science and Engineering textbook).

a) Preference, skills and interest



b) SE learning

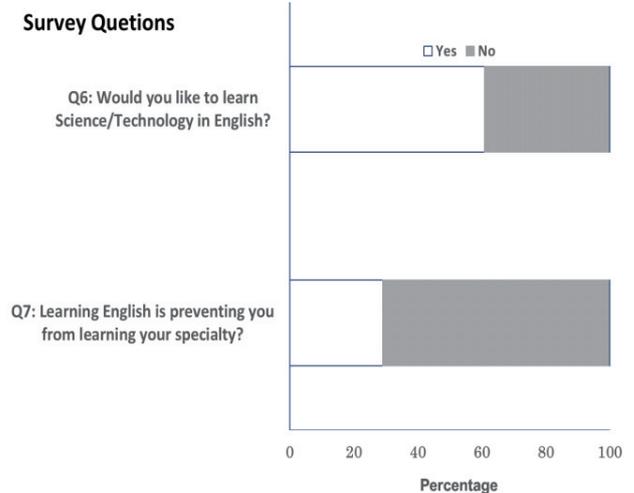


Figure 2. Summary results of a) Students' preference, skills and interest in English and b) interest in learning Science and Engineering (SE) in English

- "I did not think of learning English in English"
- "English presentation helped me practice speaking in English"
- "I feel that my English comprehension skills (e.g., vocabulary and reading) have improved"
- "I learned difficulty working as a group and presenting in English"
- "I started enjoying learning in English"
- "It is important to use English in daily life (rather than just cramming English)"
- "I learned that it is important to convey my own opinions"
- "The class was more practical than a traditional English class"
- "Learning in English was not as bad as I thought"

Figure 3. Examples of positive comments in Enshu IA.

DISCUSSION

In this study, the number of Hachinohe-Kosen students who showed some preference and interest in learning in English surpassed the number of those who disliked and showed a lack of interests in English. The students with a positive perspective were generally more interested in foreign cultures and sports. The students, who expressed some difficulties with the English language and having problems with an English curriculum, tended to respond unfavorably toward English. The students who liked to learn SE in English did not feel any difficulties in learning their specialized materials when studying in English. In the open notes, many students indicated that English would be useful in their career and deepen their knowledge base by improving their abilities to read technical papers and to better understanding technologies from different countries. However, they acknowledged that they were not good at English and their English skills were poor.

The active learning method in this pilot study was promising. The students felt that the approach was new to them but found some merits in this teaching style. However, active-learning may not be the best option for all students to

learn English language: students with particular personalities and characteristics, or students with learning disabilities may not be suitable. Follow-up surveys need to be conducted to ensure the long-term effects of this method on students’ abilities to learn in English as a part of their academic curriculum can be maintained.

References

1. Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT) (2008) MEXT Meeting on Education Rebuilding report http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/shotou/102/houkoku/attach/1352464.htm; accessed on October 10, 2018
2. Kamegai, M, and R. Croker (2017) Defining active learning: From the perspective of Japanese high school teachers of English 朝日大学一般教育紀要 42: 65-79.
3. Jones, BA and R. Palmer (2017) Active Learning in Japanese University EFL Classes: Clarifying the Construct. Hiraio School of Management Review 7: 107-125.
4. Ito, O et al., (2016) New One World. Tokyo: Kyoiku Shuppan.
5. Morizumi, M et al (2016) My Way: English Communication I. Tokyo: Sanseido
6. Ooura A et al., (2016) Cosmos: English Communication I, Tokyo: Sanyuusha
7. Okumura N et al., (2017) Exploring SciTech English. Tokyo: Kairyudo

Appendix A. English Survey

Page 1

英語調査 1

氏名 _____ 学年 _____ 専攻 _____

次の書ではまるものによるをしてください。また理由を書くところはなるべく詳しく理由を述べてください。

1. あなたは英語が好きですか
 - とても好き
 - 少し好き
 - 好きでもないし、嫌いでもない
 - 少し嫌い
 - とても嫌い
2. ①の答えについて：理由を簡単に書いて下さい（なぜ好きなのか、嫌いなのかなど）
3. あなたは英語が得意ですか
 - とても得意
 - 少し得意
 - 得意でもないし、不得意でもない
 - 少し不得意
 - とても不得意
4. あなたは英語に興味がありますか？
 - とても興味がある
 - 少し興味がある
 - 興味があるわけでもないし、興味がないわけでもない
 - ほとんど興味がない
 - 全く興味がない

Page 2

英語調査 1

氏名 _____ 学年 _____ 専攻 _____

5. あなたは興味・趣味・関心は何ですか。 _____
6. サイエンス・テクノロジー関連を英語で学びたいですか

はい いいえ
7. サイエンス・テクノロジー関連を英語で学ぶことは現在及びこれから学ぶ専門科目の役に立つと思いますか？ はい、または、 はい/いいえのどちらかに先を以て理由を書いて下さい。

はい

理由例：英語を学ぶのは難しく専門科目を学ぶのに時間がたつ。英語を学ぶのは難しいが、将来役に立つのでチャレンジしてみたい

あなたの理由 _____

いいえ

理由例：英語は好きなので専門科目に関することも英語で学んでみたい；専門科目に関する内容を英語で学ぶのはいいが、日本語よりも楽しくないと思える

あなたの理由 _____

|

ありがとうございました。

プレゼンテーションスキル向上のための試み 2

- 自主探究と直結した国語教育 -

齋 麻子*

The Attempt to Develop Japanese Presentation Skills Vol2
- Subjects for Japanese Language Classes Connected Directly with ‘Self-Research Activities’ -

Asako SAI

* 総合科学教育科

Keywords : Japanese Presentation Skills, Subjects for Japanese Language , ‘Self-Research Activities’

1. はじめに

八戸工業高等専門学校では、平成 27 年 4 月より、四学期制および自主探究を導入した。四学期制導入に際し、前年度に開講科目の見直しを行ったが、それはあくまでも既存の科目を四学期制の学期区分にいかにも適切に割り振るかの検討を行ったに過ぎなかった。自主探究を実施し、自主探究の“肝”となるポスター発表会に臨む間近になり、ポスター作成の場面において学生たちの困惑する姿が数多く見られた。これまで彼らが受けてきた教育の中で、研究発表のポスターを作ることはおろか、見る経験さえなかったのである。その学生が初めてポスターを作成し、発表するのであるから、困惑は当然である。

本校国語系科目では、長く 4 年次に「日本語コミュニケーション」を開講しており、4 年次に初めて、授業としてポスター作成を行ってきた。しかし、自主探究が開始されたことにより、自主探究に取り組む 1 年次の段階でポスター作成に関わる内容を取り入れるべきであることが判明した。そこで、平成 28 年度より 1 年次にポスター作成のカリキュラムを組むことにした。

本稿は、自主探究の導入から 4 年目に入り、1 学年最初の国語系科目「国語 I A」内でのコミュニケーション分野（国語表現分野）として自主探究との関連を持った取り組みの報告である。

2. 自主探究を目標に据えた国語教育

四学期制導入以前は高等学校の国語教育に準じたカリキュラムを組んできた。そのため、低学年では、古典および漢文の教養的な内容を中心としてきた。しかし、四学期制導入により自主探究において、自主探究の成果発表の場として「ポスター発表」が設けられた。学生は探究の取り組み内容をポスターとして表現し、他者に伝えなければならない。入学して半年程度の 1 年生もポスター作成を強いられるため、ポスター作成のスキルを持たない学生にとって、ポスター作成は困難を極める。

そこで、本校 1 学年次最初の国語系科目「国語 I A」においてポスター作成のスキルを身につける国語表現分野の内容を平成 28 年度より導入することとした。1 学年次に国語表現分野を導入し、3 年目に入る平成 30 年度の「国語 I A」では、さらに自主探究と密に連動した授業を展開した。

2.1 国語系科目内での位置づけと「国語 I A」の二本柱

平成 30 年度の国語系科目の開講科目、開講時期、単位数を表 1 に示した。平成 29 年度 3 学年次より順次、「日本語コミュニケーション」を「コミュニケーション」と名称変更を行っている。

学年	科目名	単位数	開講時期	区分
1	国語ⅠA	1	夏	履修
1	国語ⅠB	1	冬	学修
2	国語ⅡA	1	夏	学修
2	国語ⅡB	1	冬	履修
3	国語Ⅲ	1	春	履修
3	コミュニケーションⅠ	1	夏	学修
4	コミュニケーションⅡA	1	春	履修
4	コミュニケーションⅡB	1	冬	学修
留3	日本語ⅠA	1	春	履修
留3	日本語ⅠB	1	夏	学修
留3	日本語ⅠC	1	冬	履修
留3	日本事情Ⅰ	1	春	履修
留3	日本事情Ⅱ	1	夏	学修
留3	日本事情Ⅲ	1	冬	学修
留4	日本語ⅡA	1	春	履修
留4	日本語ⅡB	1	夏	履修
専2	表現法	1	前期	演習

表1 平成30年度四学期制導入後の国語系科目一覧(注1)

本校学生が入学して初めて受講する国語系科目「国語ⅠA」は1年次夏学期に履修科目として、週2回、計4時間開講されている。週2回の授業を、国語ⅠA①、国語ⅠA②と2つに分け、2つの柱を2名の教員が分担して実施している。以下は、「国語ⅠA」での分担を示す。

①…コミュニケーション分野(国語表現分野)

担当：齋 麻子

②…古典および漢文の教養(古典分野)

担当：海野かおり(本校非常勤講師)

コミュニケーション分野(国語表現分野)が自主探究の基礎となるポスター作成の基礎を教育内容として展開するために設けたものであり、新しい取り組みである。古典および漢文の教養については、従来、高等学校の指導要領に寄り添う内容で、同世代の高校生に準ずる教養を身につけるための内容を展開している。

2.2 「国語ⅠA」コミュニケーション分野の実施内容

秋学期スタートする自主探究の前に、夏学期の約2か月間、全7回実施する授業内容は以下のとおりである。

1回目と6、7回目はホームルーム教室でグループディスカッションを含む、口頭による表現活動として実施し、2～5回目の授業については、PC室を利用し、学生個々

がコンピュータに向かい表現活動する授業を展開した。学生個々での活動の中では、進度のばらつきが生じないように、毎回課題を配布し、個人の活動を行う中でも全体の動きを見失わないように工夫した。以下は授業内容である。配布資料については拙稿(第51号掲載)にも掲載したが、課題テーマが異なるため改めて本稿にて紹介する。配布資料は末尾にまとめて掲載することとする。

- 1回 ポスター発表のテーマに関する趣旨説明(HR教室)
発表プランについての個々による口頭での紹介
配布資料：①テーマ設定案、②設計図
- 2回 発表内容の決定およびポスター作成(PC室)
②設計図を基にポスター作成
配布資料：③掲載写真リスト・全体レイアウト案
- 3回 配布済み資料②③を参照しながらのポスター作成
完成に向け、個々に作成作業を継続(PC室)
配布資料：④ポスター完成チェックシート
- 4回 ポスター完成・提出および発表原稿作成の解説
印刷したポスターを提出(PC室)
作成したデータを Blackboard に提出
配布資料：⑤発表原稿シート
- 5回 グループワークによる口頭発表練習(HR教室)
印刷したポスターと原稿を連動させての練習
評価シート配布により相互評価を行う
配布資料：⑥ポスター発表評価シート
- 6回 ポスター発表会実施(HR教室)
スクリーンにポスターを投影し、1人1分間発表。
配布資料：⑦ポスター発表評価シート
- 7回 振り返り・自主探究に向けての講義(HR教室)
ポスター内容と口頭発表についての振り返り課題
自主探究のポスター作成に関する講義
配布資料：⑧振り返りシート

授業内で課題は毎回配布し、授業内での活用や、次の作業をアシストするための課題として利用した。

2.3 テーマ設定の変更

以上のような授業計画を基に授業を実施したのは、自主探究導入の翌年・平成28年度からであるが、当初、ポスター作成のために課した共通テーマは「わたしのふるさと紹介」である。学生の身近な“ふるさと”として、出身小中学校の学区内を紹介することを課題とした。

ポスター発表にあたり、全員に共通した大テーマを「わたしのふるさと紹介」とし、学生の身近な“ふるさと”として、小中学校の学区内についてポスター発表を行うこととした。身近なテーマを設定することにより、全体

を流れる大テーマを設けつつ、学生個々に小テーマを自ら設定することができ、プランを立てるところから、実行に移すまで、教員と配布資料のサポートにより、自らの力で課題完成を目指すアクティブラーニングとなっていた。

平成 30 年度、自主探究の実施方法が春学期と夏学期に自主探究 Day を全 4 日間(1 学年は 4.5 日間)入れたことにより、自主探究の取り組みが前倒しされたこと、学年全体で統一されたことなどから、自主探究のテーマ決定を早めることが可能となった。そのため、自主探究とは直結していなかったこれまでの課題テーマ「わたしのふるさと紹介」ではなく、「わたしの自主探究紹介」と変更することで、国語“表現”としての技術を習得するだけでなく、内容的にもより自主探究と直接的に連動することが可能となった。

3. 自主探究との関わり

筆者の平成 30 年度の校務分担は 1 学年担任であり、自主探究コーディネーターであった。平成 30 年度の自主探究コーディネーターは、1～3 学年のコーディネーターが 6 名のみで構成された。自主探究を運営する上で、入学まもない学生を本科目の中でいかに導くか、科目との連動を考慮しながら学生を導くことができた。本節では、自主探究の実施方法と 1 学年の国語との連動を紹介する。

3.1 平成 30 年度の自主探究実施方法

前年度までは、秋学期のみ自主探究の期間と称し、実施されてきた。クラスによっては夏季休業前の時点で自主探究のテーマがある程度決まっている場合もあれば、秋学期に入ってようやくテーマ設定から考える場合もあり、秋学期の自主探究の進捗がクラス単位で大きく異なっていた。

平成 30 年度は、クラス間での取り組みへのばらつきを取り除くため、また、充実した秋学期の自主探究期間とするためのテーマ設定を考える期間として、春学期と夏学期に自主探究 Day を開設した。この日は、1～3 学年の低学年生対象に「自主探究以外の授業は入れない日」として 4 日間設定した。さらに、1 学年の場合は入学まもないため、「自主探究とは何か」を理解させるために、「Day0」という時間を半日設け、自主探究の導入とした。

秋学期の自主探究に関しては、主に SPD(Student Peer Discussion)とユニット活動を実施し、自主探究の進捗を見守りながら、1 分間プレゼンテーションの準備およびポスター作成へと導いた。

3.2 自主探究 Day の動き

春学期・夏学期に実施した自主探究 Day の内容は以下のとおりである。

Day0(4 月 12 日午後のみ)

1 学年のみを対象に実施した自主探究ガイダンス。校長による自主探究に関する講演会。昨年度の受賞学生による自主探究の取り組み紹介。昨年度の受賞ポスターの鑑賞会を実施。

Day1(4 月 16 日)

1 学年は、自主探究のテーマを考える上で他者の意見を取り入れるため、グループを作り、ディベートを実施した。2・3 学年は、ペアでの探究を推奨するため、ペア探究のアプローチの仕方についての活動を行った。ファシリテーター学生の取り組み事例紹介や、各自の探究テーマの構想についての意見交換を行った。教員とふあしりてへたへ学生を相談員とした大相談会も開催した。

Day2(5 月 11 日)

教員とファシリテーター学生を相談員とした大相談会開催し、思い描いているテーマが実現可能かどうか、相談を行った。

Day3(6 月 4 日)

教員とファシリテーター学生を相談員とした大相談会を開催した。また、同時並行で、自主探究テーマライセンス取得のための審査会を開催した。

Day4(7 月 17 日)

教員を審査員とした自主探究テーマのライセンス取得のための審査会を開催した。ファシリテーター学生は相談員となり、相談会を行った。

3.3 「国語 I A」の果たした役割

「国語 I A」の開講時期が夏学期であり、授業の展開が 6 月から 7 月にかけての時期であったため、ちょうど自主探究 Day3 と 4 の実施日と重なっていた。自主探究テーマを決定させるためにも、自らの構想を審査する教員に伝えるための自主探究 Day と「国語 I A」の課題が一致した。そのことにより、「国語 I A」はより実践的な課題としての意味を持ち、学生たちは、「国語 I A」で作成した課題を自主探究のライセンス取得審査会に持ち込み、プレゼンテーションに活用することができた。

また、平成 30 年度の課題の新たな取り組みとして、PowerPoint で作成した課題を Blackboard で提出することとした。

後の、秋学期の SPD をはじめ、自主探究に関わる提出物の提出先が Blackboard に提出することとなった。1 学年の学生が授業の中で Blackboard を操作する環境に慣れてい

ないため、夏学期の授業を通して課題提出の方法を一度踏んでいることは、少人数のコーディネーターが3学年分の提出物の管理をするのに大いに役立つことになった。

4. おわりに

「国語 I A」において、自主探究に直結した授業展開を行ったため、ポスター作成および口頭発表に対して、表現のための技術面において、躓きを感じる学生はほとんどいなかった。

前年度までの自主探究も、秋学期に入ってからテーマ選びを模索することが、学生個々の探究自体の内容の深まりにつながらない問題になっていた。平成 30 年度の新たな取り組みである春および夏学期で設けられた「自主探究 Day」は、テーマ選びのための模索期間としての主旨自体には問題はなかったが、6 名という極めて少人数のコーディネーターで、3 学年をコーディネートしたことに、学生個々へのケアが手薄になり、結果として、秋学期までテーマ変更が相次いだ、という結果になった。

しかしながら、自主探究の前倒しが起こったとしても、自主探究と直結する形で「国語 I A」という科目が存在していれば、学生の技術的な躓きは回避できるということが明確となった。

今後、自主探究を秋学期ではなく、夏学期へということも一部で考えられているようであるが、いずれにせよ、「国語 I A」が自主探究の実施よりも常に先導する形で直結した授業展開を行えば、学生のポスター発表および 1 分間プレゼンテーションに関する技術的なスキルを獲得できると考える。しばらくは「国語 I A」という科目が自主探究とかなり密接な動きをしていかねばならない、基幹的科目であると考えます。

注記

1. 表 1「平成 27 年度四学期制導入後の国語系科目一覧」は便宜上、留学生の 3 年生を「留 3」、留学生の 4 年生を「留 4」、専攻科 2 年生を「専 2」とした。

謝辞

平成 30 年度自主探究の実施において、共にコーディネーターとして意見を出し合いながら新たな取り組みに積極的に関わってくださった先生方（中村美道先生、吉田雅昭先生、中村嘉孝先生、和田和幸先生、中村泰朗先生）をはじめ、自主探究に関わってくださったすべての教職員みなさまに心より感謝いたします。

(原稿受付：2018 年 11 月 26 日)

【別添資料】

「国語 I A」配布資料

①

国語 I A① わたしの自主探究テーマ紹介・課題①			
クラス	レ	No.	氏名

紹介するテーマ名			
【仮称】_____			
ポスターに利用する予定の写真の内容			
1. _____			
2. _____			
3. _____			
4. _____			
5. _____			
【その他】初回授業のうちに相談しておきたいことなど			

②

国語 I A① わたしの自主探究テーマ紹介・課題②			
クラス	レ	No.	氏名
			提出日
			月 日
自分がこれから秋学期に取り組みたい自主探究のテーマを紹介します。			
テーマ名**・課題を定める。何に焦点をあてるかを明確に紹介する。			
【仮称】_____			
【序論】紹介する大まかな内容			
探究する題材の名称			
自分が取り組む自主探究の内容の大まかなこと、初歩的な紹介。			

なぜこの内容を探究しようと思ったのか、動機に繋がること。			

【本論①】			
どのような手順で探究を進めていこうと思っているか。			

【本論②】			
-探究が成功した時、どのような結果が導き出されるか			

-探究が失敗した時、どのような対応をする予定か			

【結論】			
探究の結果から、どのような結論が導き出されると予想しているか、また、これからの探究活動への意気込み。			

⑥⑦

H30 国語 I A①課題⑥ ★ポスター発表評価シート★ _____年____月____日
 他の学生の発表をきいて、評価してください。

1.

発表者名			
ポスター	とても興味が湧いた	まあまあ見やすかった	興味が湧かなかった
スピーチ	とてもわかりやすかった	まあまあ理解できた	発表の意図がわからなかった
コメント			

2.

発表者名			
ポスター	とても興味が湧いた	まあまあ見やすかった	興味が湧かなかった
スピーチ	とてもわかりやすかった	まあまあ理解できた	発表の意図がわからなかった
コメント			

3.

発表者名			
ポスター	とても興味が湧いた	まあまあ見やすかった	興味が湧かなかった
スピーチ	とてもわかりやすかった	まあまあ理解できた	発表の意図がわからなかった
コメント			

4.

発表者名			
ポスター	とても興味が湧いた	まあまあ見やすかった	興味が湧かなかった
スピーチ	とてもわかりやすかった	まあまあ理解できた	発表の意図がわからなかった
コメント			

5.

発表者名			
ポスター	とても興味が湧いた	まあまあ見やすかった	興味が湧かなかった
スピーチ	とてもわかりやすかった	まあまあ理解できた	発表の意図がわからなかった
コメント			

6.

発表者名			
ポスター	とても興味が湧いた	まあまあ見やすかった	興味が湧かなかった
スピーチ	とてもわかりやすかった	まあまあ理解できた	発表の意図がわからなかった
コメント			

クラス: _____ 番号: _____ 名前: _____

⑧

国語 I A① わたしの自主探究紹介・課題⑥「ふりかえり」

クラス _____ No. _____ 氏名 _____ 提出日 _____月____日

※箇条書き NG です！文章で表現しましょう。

【自分が作成したポスターの振り返り】

自分の取り組みを振り返って、評価すべき点改善すべき点を述べよう。
 (他の人のポスターとも比較して書えてみましょう。)

【自分の発表に対する振り返り】

原稿作成から発表会当日の自分を振り返って、評価すべき点改善すべき点を述べよう。
 (他の人の発表とも比較して書えてみましょう。)

【自主探究への展望・応用】

このポスター作成・発表を通して、自主探究のポスター発表にどんなことが活かせるか考えるか、述べよう。

環状ジオール認識機能を有する高分子膜の調製と特性

菊地 康昭*、佐藤 久美子**

The preparation and characterization of polymer membranes having recognition ability for cyclic diols

Yasuaki KIKUCHI*, Kumiko SATOH**

*総合科学教育科、**産業システム工学科 マテリアルバイオ工学コース

Abstract : Calix[4]resorcarene(n-Host) is the host molecule that forms complex via multiple hydrogen-bonding with polar organic compounds such as cyclic diols and saccharides. This host shows molecular recognition ability, but this ability is performed in solution. Therefore, the polymer membranes containing n-Host were prepared because materialization of the host molecule is necessary to use functions widely.

The characterizations of n-Host in the membranes were examined by adsorption of guest molecules. The polymer membranes were shaken in the solution of each guests (cyclic diols, cyclohexanol, 1,2,3-cyclohexanetriol). The solution before and after the adsorption were investigated by HPLC. Binding amounts of membrane were calculated by HPLC peak area change before and after the adsorption. Binding amounts of cyclic diols became the largest when uses solution of MeOH 25vol% as solvent. In two kinds of solvents, binding amounts of cyclohexanol and 1,2,3-cyclohexanetriol were small comparing with 1,2-, 1,3- and 1,4-cyclohexanediols. On the other hand, the binding amounts for cyclic diols of polymer membranes containing n-Host (10wt%, 15wt% and 20wt%) were compared. The binding amounts were increased by the increment of host molecules in 15wt%, but binding amounts were decreased in 20wt%.

Keywords : resorcinol cyclic tetramer, molecular recognition, Host-guest interaction, cyclic diol

1. 緒言

機能性ホスト分子であるレゾルシン環状四量体 (n-Host) は、非極性溶媒中で、糖類やアルコール類などの極性有機化合物と多点水素結合による相互作用によって錯体を形成する。また、この際に基質選択性、位置選択性、立体選択性を発現することが確認されている。特に非極性溶媒中において、シクロヘキサンジオール類に対する相互作用は詳細に検討されており、ジオールの水酸基の位置に対する選択性やジオールの立体配置の違いに対する選択性が発現することが報告されている¹⁾。

しかし、これまでに検討されてきた n-Host の相互作用は、溶媒中におけるものが殆どである。溶液状態では相互作用により形成されたホスト-ゲスト錯体をゲスト分子の分離に応用することが困難である。このため、このような相互作用を分離技術に応用するためには、ホスト分子の材料化が極めて重要となると考えられる。この方法としては、(1) ホスト分子に重合可能な二重結合を結合させてホスト分子をモノマーとして扱い、これを重合させることでホスト分子を有する高分子材料を調製する方法、(2) 高分子材料とホスト分子を溶解しておき、溶媒

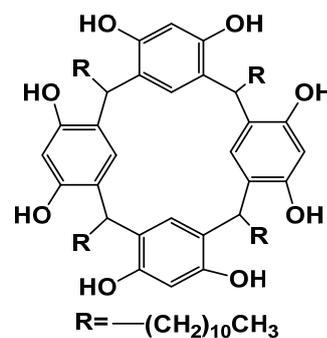


図1 n-Host の構造式

を除去することによりホスト分子を含有する高分子材料を調製する方法、の2種類が考えられる。ただし、高分子材料を分離に用いる場合、材料中にゲスト分子を浸透させる必要があるため、多孔質構造を有している必要がある。(1)の方法では多孔質構造を形成するのかが不明であるため、(2)の方法、つまり、多孔質構造を形成することが既知の高分子材料中にホストをブレンドすることが効果的であると考えられる。

そこで、本研究では多孔質高分子膜を形成することが

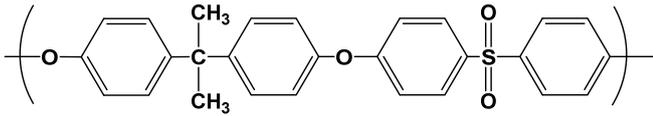


図2 ポリスルホンの構造式

知られているポリスルホンを高分子材料として用い、これに n-Host を含有させた機能性多孔質高分子膜を調製し、その膜を用いて溶媒の極性を変化させて、環状ジオール類(シクロヘキサンジオール類、シクロペンタンジオール類)、シクロヘキサノール、1,2,3-シクロヘキサントリオールに対する吸着実験を行うことで、溶媒の極性が吸着量に及ぼす影響、水酸基の数が吸着量に及ぼす影響、ホスト含有率が吸着量・位置選択性・立体選択性に及ぼす影響について検討を行った。

2. 実験方法

2.1 n-Host の合成

レゾルシノールとドデカノールを反応器に取り、反応溶媒であるエタノールを加え溶解させ、窒素下において 12N-HCl を加え、10 時間加熱攪拌した。その後、反応液に蒸留水を加え、生成物を析出させた。生成物は濾液が中性になるまで洗浄し、メタノールで数回再結晶を行った後、ヘキサンの数回再結晶を行い、真空乾燥の後にレゾルシン環状四量体の結晶を得た。合成反応式を図3に示す。

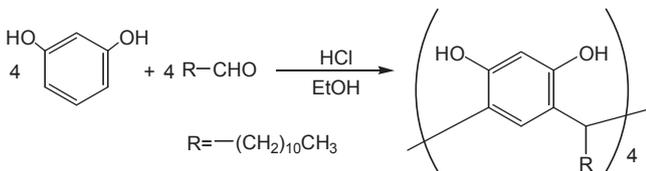


図3 n-Host の合成式

2.2 機能性高分子膜の調製

各種機能性高分子膜の調製のための溶媒や溶質の質量を表1に示す。高分子材料にはポリスルホン(和光純薬試薬)を用い、溶媒には N-メチル-2-ピロリドン(NMP)(和光純薬試薬)を用いた。Ref 膜とは n-Host を含まない膜のことである。

表1 高分子膜 調製溶媒・溶質質量

	Host [wt%]	Solvent [g]	n-Host [g]	Polysulfone [g]
polymer only (ref)	0	8.0	0.0	2.0
	10	8.0	0.2	1.8
n-Host polymer	15	8.0	0.3	1.7
	20	8.0	0.4	1.6

n-Host と膜材を 50°C で終夜攪拌することによって混合してポリマー溶液を調製した。ポリマー溶液を 50°C のガラスプレート上に広げ、その後 25°C の 2 リットルの水中に入れてポリマーを相分離法により凝固させた。ポリマーの凝固後、3 日間で数回蒸留水で洗浄し完全に溶媒を除去することで高分子膜を調製した²⁾。

この高分子膜の断面を走査型電子顕微鏡(SEM)により観察し、溶液が高分子膜材中に侵透しうる多孔質構造を維持していることを確認した(図4)。なお、走査型電子顕微鏡は日本電子株式会社製の電界放出形走査電子顕微鏡 JSM-7100F を用いた。

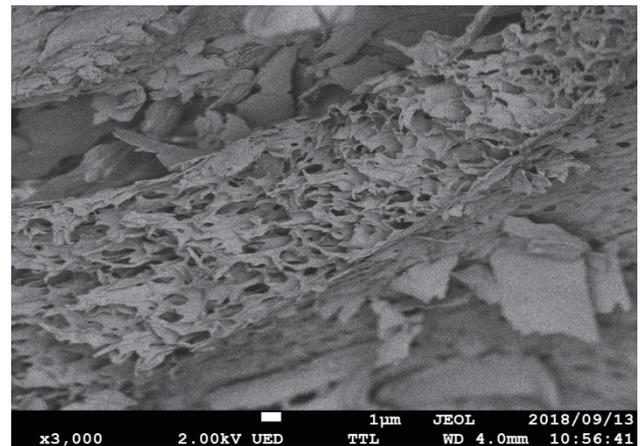


図4 n-Host 含有高分子膜の SEM 画

2.3 溶媒の極性の影響

溶媒の極性が高分子膜の吸着量に与える影響について、吸着実験と高速液体クロマトグラフィー(HPLC)測定によって検討した。ゲスト分子としては 1,4-シクロヘキサンジオール、1,2-シクロペンタンジオールを用いた。

吸着実験は、Ref 膜、10wt% n-Host 含有高分子膜 1cm 角 50 枚を各ゲスト溶液(水あるいはメタノール 20,25,33,50vol% 水溶液、それぞれゲスト 0.01mol/L 溶液) 10mL 中、25°C で 24 時間振とうし、ゲスト分子を高分子膜に吸着させることで行った。その後、ゲスト溶液の HPLC 測定により吸着率を算出し、そこから吸着量を求めた。吸着量は高分子膜 1 g あたりの吸着量 (μ mol) である。HPLC は、送液ポンプ PU-980 (日本分光製)、カラムオープン CTO-10AC (島津製)、検出器 RI-930 (日本分光製) を用いて測定した。

2.4 ゲスト分子の水酸基の数の影響

水酸基の数が、高分子膜の吸着量に与える影響について、吸着実験と HPLC 測定によって検討した。ゲスト分子としてはシクロヘキサノール、1,2,3-シクロヘキサントリオール、シクロヘキサンジオール類(1,2-シクロヘキサンジオール、1,3-シクロヘキサンジオール、1,4-シクロヘ

キサンジオール)を用いた。

吸着実験は Ref 膜、10wt%*n*-Host 含有高分子膜 1cm 角 50 枚を各ゲスト溶液 (水あるいはメタノール 25vol% 水溶液中、それぞれゲスト 0.01mol/L 溶液) 10mL 中、25°C で 24 時間振とうし、ゲスト分子を高分子膜に吸着させることで行った。その後の操作は 2. 3 の方法と同様である。

2. 5 *n*-Host の含有率の影響

高分子膜中の *n*-Host の含有率が吸着量や位置選択性、立体選択性に及ぼす影響について、吸着実験と HPLC 測定によって検討した。ゲスト分子としてはシクロヘキサンジオール類とシクロペンタンジオール類(1,2-シクロペンタンジオール、1,3-シクロペンタンジオール)を用いた。

吸着実験は Ref 膜、各種 *n*-Host 含有高分子膜 (10,15,20wt%)1cm 角 50 枚を各ゲスト溶液 (メタノール 25vol% 水溶液中、それぞれゲスト 0.01mol/L 溶液) 10mL 中、25°C で 24 時間振とうし、ゲスト分子を高分子膜に吸着させることで行った。その後の操作は 2. 3 の方法と同様である。

3. 結果と考察

3. 1 溶媒の極性が吸着量にもたらす影響

メタノール 20,25,33,50vol% 水溶液中における 1,4-シクロヘキサンジオールと 1,2-シクロペンタンジオールの吸着量をそれぞれ表 2 と表 3 に示す。

表 2 1,4-シクロヘキサンジオールの吸着量

Solvent	Binding amount [μ mol/g]
20vol%	20. 0
25vol%	47. 5
33vol%	34. 7
50vol%	9. 87

表 3 1,2-シクロペンタンジオールの吸着量

Solvent	Binding amount [μ mol/g]
20vol%	49. 3
25vol%	62. 0
33vol%	32. 2
50vol%	25. 1

その結果、メタノール 25vol% 水溶液を使用した際の吸着量が最も大きく、メタノールの比率がそれより小さくても大きくても吸着量は減少することが示された。

これは、今回用いたホスト分子である *n*-Host とゲスト分子の間に働く相互作用のバランスに起因するものと考えられる。*n*-Host とゲスト分子間に働く、錯体形成のた

めの主な相互作用力としては、ホスト分子の水酸基とゲスト分子の水酸基の間に働く水素結合が考えられるが、*n*-Host は構造中に 4 個のベンゼン環の形成する疎水性の空洞や長いアルキル鎖、ゲスト分子はシクロヘキサニル環やシクロペンタン環をもち、さらに吸着実験は水溶液中で行われたため、疎水性相互作用も錯体形成の際に補助的に働くと考えられる。

ホスト-ゲスト間の水素結合は溶媒の極性が低いほど、有効に働くため、メタノールの含有率が高いほど水素結合による相互作用が向上すると期待される。一方、ホスト-ゲスト間の疎水性相互作用は溶媒の極性が高いほど有効に働くため、水素結合とは逆に、メタノールの含有率が低いほど疎水性相互作用が向上すると期待される。

そのため、メタノールの含有率が 25vol% 水溶液を用いた時に 2 種類の相互作用が相補的に働いて、吸着量が最も増加したと考えられる。

3. 2 水酸基の数が吸着量に与える影響

水酸基の数が吸着量に与える影響を検討するために、同じシクロヘキサニル環構造をもち、水酸基の数だけが異なるシクロヘキサニル、1,2,3-シクロヘキサニルトリオール、シクロヘキサニルジオール類の水中小およびメタノール 25vol% 水溶液中における吸着実験を行った。これらの結果をそれぞれ表 4 と表 5 に示す。

表 4 水溶液中における吸着

Guest	Binding amount [μ mol/g]
1,2-cyclohexanediol	16. 7
1,3-cyclohexanediol	6. 60
1,4-cyclohexanediol	39. 1
cyclohexanol	4. 97
1,2,3-cyclohexanetriol	3. 32

表 5 メタノール 25wt% 水溶液中における吸着量

Guest	Binding amount [μ mol/g]
1,2-cyclohexanediol	32. 1
1,3-cyclohexanediol	17. 5
1,4-cyclohexanediol	47. 5
cyclohexanol	4. 44
1,2,3-cyclohexanetriol	6. 47

吸着実験の結果より両方の溶媒において、シクロヘキサニルジオール類の吸着量が、他の 2 つのゲスト分子よりも大きくなっているという結果が得られた。

シクロヘキサニルとシクロヘキサニルジオール類の比較では、非極性の溶媒中の結果と同様の傾向がみられたことから、膜中においてもホスト分子とゲスト分子の間の 1 点水素結合よりも 2 点水素結合の方が、*n*-Host と相互作用する際、有効に働くことを示していると考えられ

る³⁾。図5に1点および2点水素結合による n-Host とゲスト分子の相互作用の違いの模式図を示す。

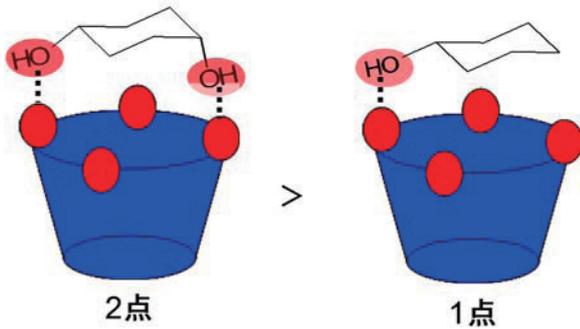


図5 2点および1点水素結合による相互作用模式図

一方、1,2,3-シクロヘキサントリオールにおいては、水酸基の数の増加に伴って極性が増大し、疎水性のポリスルホン膜自体への親和性が減少したことにより相互作用力が低下して、シクロヘキサンジオール類よりも吸着量が少なくなったものと考えられる。

3.3 n-Host の含有率が吸着量と位置選択性に与える影響

膜中の n-Host の含有率が吸着量に与える影響、およびジオール類の2個の水酸基の位置選択性を検討するために、n-Host 含有率の異なる高分子膜(10,15,20wt%)を用いて、シクロヘキサンジオール類とシクロペンタンジオール類に対する吸着実験をメタノール 25vol%水溶液中で行った。

表6 シクロヘキサン・シクロペンタンジオール類の吸着量

Guest	Host content in the membrane [wt%]	Binding amount [μ mol/g]
1,2-cyclohexanediol	10	32.1
	15	49.3
	20	10.2
1,3-cyclohexanediol	10	17.2
	15	25.5
	20	5.45
1,4-cyclohexanediol	10	47.5
	15	68.5
	20	14.1
1,2-cyclopentanediol	10	62.0
	15	96.5
	20	19.7
1,3-cyclopentanediol	10	30.9
	15	46.0
	20	8.44

各膜を用いた際の吸着量の結果をそれぞれ比較してみると、10~15wt%では、膜中の n-Host の含有率の増加に伴い、すべてのゲスト分子で吸着量の増加がみられたが、20wt%では逆に吸着量の減少が全ての膜において確認された。この減少の原因としては、含有率の増加に伴

い n-Host の結晶が高分子膜材中に析出してしまったことが考えられる。

このため、SEM によって高分子膜を観察して、n-Host の結晶の晶出を検討した。その結果、10,15wt%の膜では観察されなかったため、n-Host は高分子膜中に分子レベルで溶け込み、ゲスト分子の吸着に有効に関与できると考えられる。しかしながら、20wt%の膜を観察すると、図6に示すように膜の多孔質構造は見られるものの、n-Host の結晶の晶出が確認される。つまり、n-Host が高分子膜中に分子レベルで溶け込んでいないため、吸着量が減少したことが示唆された。

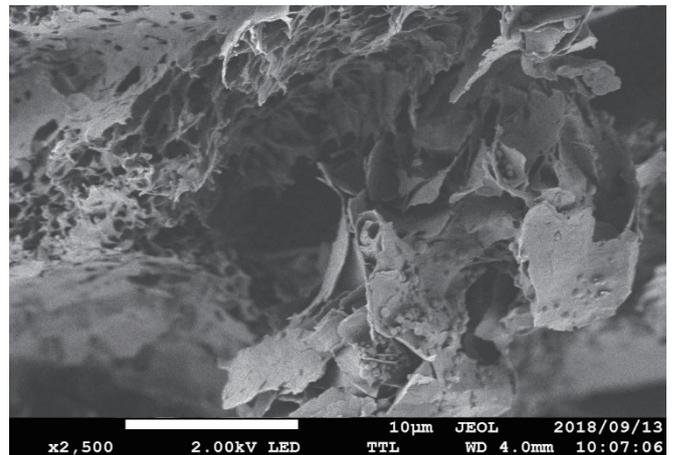


図6 n-Host 含有高分子膜(20wt%)のSEM画像

一方、ゲスト分子の環状ジオールの2個の水酸基の位置が吸着に与える影響、つまり位置選択性について、ゲスト分子の吸着量が最も大きくなる n-Host の15wt%含有高分子膜で比較検討を行った。

その結果、シクロヘキサンジオール類に対しては、1,4-シクロヘキサンジオールが最も相互作用しやすく、ついで1,2-シクロヘキサンジオール、1,3-シクロヘキサンジオールの順に相互作用しやすいことが示された。また、シクロペンタンジオール類に対しては、1,2-シクロペンタンジオールが最も相互作用しやすく、次いで1,3-シクロペンタンジオールが相互作用しやすいという傾向となった。

これらの結果は、クロロホルムを用いた均一溶媒系における n-Host と環状ジオール類の相互作用の結果と全く同様であり、ホスト分子の分子認識能が高分子膜在中でも有効に働いていることが示された。

3.4 n-Host の含有率が吸着量と立体選択性に与える影響

膜中の n-Host の含有率が立体選択性に与える影響を検討するために、すでに吸着量の増加が確認されたメタノール 25vol%水溶液中における10wt%と15wt% n-Host

含有高分子膜による立体異性体(cis 体,trans 体)の吸着量を比較検討を行った。以下の表 7 に吸着実験の結果を示す。なお、今回用いた環状ジオール類にはすべて立体異性体が存在するが、HPLC により立体異性体を分離することができた 1,4-シクロヘキサジオール、1,2-シクロペンタンジオール、1,3-シクロペンタンジオールの立体異性体の吸着量を比較した。

表 7 環状ジオールの立体異性体における吸着量

Guest	Host content in the membrane[wt%]	Binding amount [μ mol/g]	
		cis	trans
1,4-cyclohexanediol	10	26.3	21.2
	15	41.6	26.9
1,2-cyclopentanediol	10	49.7	12.3
	15	78.5	18.0
1,3-cyclopentanediol	10	27.5	3.39
	15	40.5	5.49

表 7 から、ホスト分子の含有率が増加すると、用いた全てのゲスト分子の吸着量が増加しており、ホスト分子が吸着に有効に働いていることは明白であることが確認された。

次に、ゲスト分子のシス型とトランス型の立体異性体に対する吸着量を検討したところ、それぞれの立体異性体で吸着量が異なっており、吸着において立体選択性が発現していることが確認された。さらに、シス型とトランス型に対する吸着量を比較すると、全てにおいてシス型の吸着量がトランス型よりも多いことが示された。

既に報告されている均一溶媒系における溶液中での立体選択性は、図 7 に示すように、1,4-シクロヘキサジオールではシス型がトランス型よりもホスト分子と相互作用しやすく選択性が最も高い。同様に、1,2-シクロヘキサジオールと 1,2-シクロペンタンジオールでもシス型に対する選択性が高いことが報告されている¹⁾。

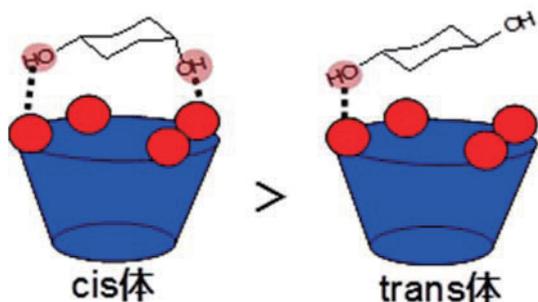


図 7 cis- および trans-1,4-シクロヘキサジオールとの相互作用模式図

今回の吸着実験における結果も、均一溶媒系における選択性と全く同じ傾向となった。これは、高分子膜中においてもホスト分子の有する分子認識機能が発現することを示唆している。また、この吸着における溶媒は、メタノールの割合が 25vol% と多いことも影響していると考えられる。つまり、メタノールは極性溶媒ではあるものの、水と比べて極性が低いため、メタノールの含有率が 25vol% の溶媒中では、ホスト-ゲスト間の水素結合がある程度有効に働いたことが示唆される。勿論、極性溶媒中での吸着であるため、疎水性相互作用も協同的に関係していることは考えられるが、水素結合なしには立体選択性の発現が困難であると考えられるため、水素結合に基づくホスト分子の分子認識機能の発現が高分子膜材中においても起こることが十分に示唆された。

4. 結 言

ホスト分子の有する分子認識機能を広く利用するためには材料化が欠かせない。このため、多孔質高分子材料を形成するポリスルホンにホスト分子をブレンドした、ホスト分子含有高分子膜を調製し、シクロヘキサノールやシクロヘキサジオール類、シクロペンタンジオール類、シクロヘキサントリオールをゲスト分子として、メタノール水溶液中、吸着実験を行ったところ、ホスト分子の持つ基質選択性や立体選択性が発現することを見出した。これらの選択性は、均一溶媒系における選択性と全く同様な傾向を示したことから、ホスト分子の持つ分子認識機能を有する機能性高分子材料を開発することが出来た。これにより、ホスト分子の機能を容易に高分子材料化できる道筋が示されたと考えられる。

参 考 文 献

- 1) Y. Kikuchi, Y. Tanaka, S. Sutarto, K. Kobayashi, H. Toi, Y. Aoyama, *J. Am. Chem. Soc.*, **114**, 10302-10306 (1992).
- 2) Che Ku M. Faizal, Yasuaki Kikuchi, Takaomi Kobayashi, *Journal of Membrane Science*, **334**, 110-116 (2009).
- 3) Yasuaki Kikuchi, Yasushi Kato, Yasutaka Tanaka, Hiroo Toi, and Yasuhiro Aoyama, *J. Am. Chem. Soc.*, **113**, 1349-1354 (1999).

(原稿受付: 2018 年 11 月 7 日)

書くことに〈資格〉は必要か—当事者性と想像力の間の震災高校演劇

戸田山 みどり*

Do You Need Any Qualification to Write? : Authenticity and Imagination for SHINSAI Theater Arts in High Schools

Midori TODAYAMA

* 総合科学教育科

Abstract : There have been many literary and theatrical works written after the Disaster of the Great East Japan Earthquake. Some have been played for general audience, but others were made and have been performed by high school students and teachers. There have been criticisms on the works made by those who were not experienced the disaster themselves. Yet, as art for future audience, imagination is more and more demanded.

Keywords : Theater Arts, Education, Disaster

1. はじめに

本論では、2011年3月11日に三陸沖で発生した地震とそれによって引き起こされた津波、さらに両者の影響化で起きた福島第1原子力発電所の爆発と、その後のすべての状況による被害を含めて東日本大震災とみなす。本文中では、とくにことわりが無い限り、この災害を「震災」と略期する。

「高校演劇」に関しては、主として高等学校の課外活動で行われる生徒の自主的な活動を言及するものとする。課外活動としての演劇は、その多くは各都道府県単位の高等学校文化連盟に所属している。大多数は、年1回開催される全国大会を最終段階として、前年の夏～秋に開始される各地区のコンクールを皮切りに、都道府県大会、ブロック大会の順で上演校がしぼられるという制度に参加している。高等専門学校は、ほかの部活動と同様に、3年生以下がこの大会に参加可能である。

2. 文学と震災

2.1 震災後の創作文学：一般文芸書の場合

震災後に震災を扱った文学作品と映像作品をまとめて、2013年に『震災後文学論-新しい日本文学のために』を上梓した木村朗子によれば、震災後もっとも早く発表された震災を題材に組み込んだ文学作品は『群像』6月号に掲載された川上弘美の「神様2011」である。この作品

は1994年の最初期の作品「神様」を、設定をわずかに変更して書き直したものである。「わたし」という登場人物が「くま」と近所を散歩する、という内容に、原発事故の結果とおぼしい放射性物質の飛散後の生活シーンが何気無く挿入される、という変化は、東日本大震災による被害のうち最大の問題は放射性物質による環境汚染であるという認識を示していた。木村はそれまでの日本の文学関係者が「長きにわたって失語状態におかれていた」という状況に対して、川上のこの作品は「風穴をあけた最初の突破口だった」（木村、18）と評価している。

だが、木村がここで「突破口」という表現を必要としたように、震災後の文学にとって、「3.11の記憶を語ること、そのことへの逡巡、困難、恐怖、苦悩が書き手の中に、あるいは創り手のなかにはある」（木村、36）というのが、木村の評価である。それは、「神様2011」が描いてみせた原発事故の問題だけではない。たしかに、2011年の事故以前から原発の存在そのものが言論の現場でタブーのように回避されていたことは、さまざまに指摘されており、事故の広範な影響が地域社会を壊滅させた後には、追い討ちをかけるように故郷を離れざるを得なかった人々に対する複雑な感情が生じている。原発の事故は直接には人災であり、さらに言えば、そのような施設に依存しなければならぬ現代のこの社会という文明の責任を問わざるを得ない。書き手にとって、それは自身自身の関与をも追求しなければならない問題となる。

しかし、大量の死をもたらした津波もまた、多くの書き手にとってタブーとなっていたことを、木村は指摘し

ている。それを明らかにしたのは、2013年上半期の芥川賞の選考過程だった。そこで最終候補作に上がっていたいとうせいこうの『想像ラジオ』が、選考委員のほとんどから支持を得られなかったのだ。『想像ラジオ』は、津波の犠牲となり木の上に引っかかったままの男性の「想像」によるDJの語りと、震災後にボランティア活動に参加している小説家による一人称の場面を交互に描く。小説家は死者の声が聞こえるか聞こえないか、といったことを口にしてしまったばかりに、若いボランティア仲間から「死者を侮辱してる」（いとう、73）と非難される。同じことが、芥川賞の選考委員会で繰り返された。つまり、選考委員は「震災犠牲者を利用して書いているという誹りを恐れず」書くことを引き受けたことを評価したと共に、やはり、倫理的に許されない、という意識を持っていたことが明らかになったのだ（木村、43）。少なくとも2013年の段階で、震災はまだ、題材とするにはなまなましい出来事だったと言える。

たしかに、作者が『想像ラジオ』の登場人物に言わせているように、「遠い過去」「つまり広島や東京（大空襲）の話」であれば、「語る人が色々でもむしろ事実を忘れないためにいい」が、その時点で「自分一人生き残った人に対して」死者が語っているのが聞こえるような気がする、と伝えることは憚られるのだ、ということは共有された感覚だったのだ（いとう、72）。そして、その上で、あえてこのような作品を発表したことに対して、時期尚早という判断を下した同業者が多かった、ということだった。

では、どのくらい時が経てば「事実を忘れないために」、当事者ではなく他人が想像をはたらかせて描く文学が「死者を侮辱している」（いとう、73）と見なされなくなるのか。震災の翌年から年に2回発行されている東北学院大学による総合学術誌『震災学』は、毎回いくつかのテーマに基づき特集を組んでいる。防災、産業、ボランティア、住居、といったテーマの他に、キリスト教系の大学であるという背景から、宗教の役割を問う特集が並ぶ中で、文学がテーマとなるのは2017年3月発行の10号となってからである。それはようやくその時期になって文学のようなものに目が向けられる余裕が出てきたということでもあり、また、「事実を忘れないために」文学のようなものが必要となってきた、ということでもある。

その間、文学者たちはそれぞれの方法でこの大災害の問題に取り組んできた。例えば、八戸市出身の作家、木村友祐は雑誌『すばる』2011年12月号に、震災直後の5月頃の八戸を舞台とした「イサの氾濫」を発表している。また、被災した地域に近い作家の貢献が大きいことはさることながら、海外在住であったり海外の文学関係者と

の交流が深い作家が鋭敏に反応したことは、この災害によって日本という国のあり方があらわになったという側面を示していると考えられる。そして、その日本的な態度の一つとして指摘されていることが、急速な忘却であることは、残念ながら事実である。

2.1 震災後の創作文学：児童文学・ヤングアダルト文学の場合

2017年9月に岩手県立図書館で開催されたシンポジウム「子どもの本の視点から震災を振り返る」に登壇者として参加した評論家の野上暁は、その報告の中で、同じく登壇者だった児童文学者の濱野京子の次のような発言を紹介している。「震災を扱った一般文芸書はたくさんあるが、児童書では絵本やノンフィクションはずいぶん書かれているものの、創作読み物のジャンルが希薄だ」（野上 30）。濱野自身は震災の1年後には中学生を主人公として原発の話題にも踏み込み震災の日を描いた『石を抱くエイリアン』の雑誌連載を開始しているからこその発言だろう。野上はその理由を「あるべき日常が反転してしまった重い事態を物語化するには、一定程度の時間が必要なのだともいえる」と説明している。同時に、「日本の児童文学は…社会的なテーマを忌避する傾向が目立ってきた」とも指摘している。その上で、被曝という観点から多くの文学者が結びつけてとりあげた原爆の主題にあらためて取り組んだ作品を含め、8名の作家の作品を紹介している。だが、その中で直接この度の震災そのものを題材としているフィクションの作品は柏葉幸子『岬のマヨイガ』と古内一絵『フラダン』の2点程度（他は広島原爆や原発事故を描く近未来小説など）しか見られない。つまり、児童文学としてとりあげるには、まだ十分に歴史になりきれていないのだとも考えられる。

3. 演劇と震災

3.1 震災後の一般向けの演劇活動

『テアトロ』、『悲劇喜劇』といった演劇雑誌は、震災の直後から演劇関係者のエッセイを掲載し、被災地の演劇人の報告を載せて震災の影響を伝えた。またその年の末、年度末、1年後といった区切りに、特集記事をあげて演劇界の対応を総括した。演劇は現在の出版を介した文学の流通経路とは異なり、基本的に製作者が受け手に直接手渡すメディアである。会場の物理的制約から1回の公演の観客数には限度があり、そのぶん逆に地域の小さな劇団に存在意義がある。印刷媒体を用いて発信できる作家として被災した地域に在住

していた数に比べて、災害を直接体験していた演劇関係者の数のほうがおそらく多いだろう。このことは、被災直後の現地の演劇関係者の活動となって現れる。

地震のあった3月11日当日から余震の続いた一ヶ月ほどの間、劇場への影響は東京周辺へも及んだ。当日は停電もあり、そもそも物理的に公演ができなかったが、その後も安全性の観点から国立劇場や新国立劇場が3月末まで公演中止の措置をとった。また、このような甚大な被害の出ている状況では演劇などできるものではないとして公演そのものを自粛した劇団もあった。仲代達矢が主催する無名塾や北島三郎の芸能生活50周年記念公演がそれに当たる。いっぽう、設備点検などで休演を余儀なくされていたNODA・MAP主宰の野田秀樹は、15日に公演を再開するにあたって開幕前に「劇場の灯を消してはならない」と観客に呼びかけた。この発言は、演劇人にとっては舞台から作品を届けることが社会への貢献であるという立場を明確にしたと受け止められた。被害の比較的少なかった首都圏やさらに西の劇団は、やがてその多くが東北地方へのチャリティ公演をすることになる（中川ほか、6-7）。

いっぽう、劇場そのものが甚大な被害を受けた地域も少なくない。とくに、当時市内だけで30を超える劇団を擁していた仙台では、1つをのぞいて全ての劇場（大小含め）が損傷し、唯一無事だった仙台市市民活動サポートセンターは災害復興センターに転用された。そのため、仙台市内で上演を計画していた団体は全て公演中止や延期を決めた（丹野40）。結局、仙台市内の劇場が完全に復旧するには1年近くを要している（くらもち他、50）。そのような状況で、3月29日には仙台で活動してきた演劇人が中心となって、「東北復興に向けての舞台人会議」が開催され、4月4日に「アートリヴァイヴァルコネクション東北」（略称ARC>Tあるくと）が結成されている（2013年に解散、ARCTという名称で再始動）。避難所での読み聞かせやストレッチ指導などのボランティア活動の他に、早くも4月下旬からメンバーの石川裕人はトラックを舞台にも転換できるようにした「夢トラック劇場」による『ゼロ弾きのゴーシュ』の公演を、被災地6ヶ所で行なっている。また、福島大学OBを中心とした劇団、大信ペリカン主宰による満塁鳥王一座は、6月に、福島の被災を元に製作した作品『キル兄にゃとU子さん』の東京公演を行なった。被災後に状況を踏まえて製作された演劇作品としては、最も早い例に当たる。

同様に福島で高校教員をしながら劇団ユニット・ラビッツを主宰し、2011年9月に公演を行った佐藤茂紀は当時の心境を「後から回想するのではなく、今ち

ゃんと言葉にしておかなければ、芝居というツールを使って体に染み込ませた言葉をどこかに持って行かなければ」「福島がどんどん住みにくくなる」というものだったと説明する。「町の人たちを元気づけたい」と、会場は廃ビルや大型店舗のエントランスホールを利用しての公演だったが、むしろ当時の方が観客の反応がよかった、と2017年の座談会で佐藤は振り返っている（くらもち他、p.48）。

翌2012年9月には、前出の石川は主宰する劇団Theatre Group “OCT/PASS”を率いて震災三部作の第1作目として構想された『方丈の海』を上演している（しかし、石川は初演から間も無く病没し、三部作は完成を見ることはなかった）。同じ2012年10月、岩手内陸の盛岡で活動しているくらもちひろゆきは、たまたま3月11日当日に自身が常磐線内で被災した経緯にもとづいてつくりあげた『震災タクシー』をいわきと愛知県長久手市、東京、盛岡で上演した。（くらもちちは、その日乗っていた列車が常磐線原ノ町駅付近で止まり、タクシーで目的地のいわき市まででかけていった後、再びレンタカーとタクシーで盛岡に帰ったという。）しかし、震災を題材とした作品が数を増してくるのは、もう少し後になる。2014年に劇作家協会全国大会のシンポジウムが行われた際に、「震災戯曲」を集めたら、ほとんどが阪神・淡路大震災を題材としたものだった、と被災三県の代表として参加していた文月奈緒子は回想している。文月は「阪神で被災した方が『自分が書けるようになったのは震災から6年後だった』とおっしゃった。震災の経験を消化して書くには相応の年月が必要なんだなと思いました」と述べている（くらもち他、p.52）。

震災後に、その影響下に作られた作品は、このように「震災戯曲」、「震災演劇」と呼ばれるようになっていった。2018年1月には一般社団法人日本劇作家協会東北支部により「震災演劇連絡センター」が設立され、収集された「震災戯曲」をホームページ上で公開している。センターのホームページには設立の趣旨として『『風化』に抗い、演劇によって、震災と東北を伝え続けることが、わたしたちに与えられた大きな使命なのだと考えています』と述べられている。2018年10月現在、10本の作品を読むことが可能だ。

3.2 震災後の高校演劇

教育の現場では、このような重大な心理的重圧を経験している時、演劇はまず、一種のセラピーとして機能する。以前から授業の中に演劇を取り入れて、優れた指導者のもと、演劇を通した自己表現のスキルの蓄

積があった福島県立いわき総合高等学校では、早くも2011年7月に校内において『Final Fantasy for XI.III.MMXI』を発表している。この作品は、地震と原発事故のために文化祭が中止になったある高校の生徒たちが、それを阻止しようと復活の呪文を求めて地震以来立ち入り禁止となっている廃校舎に潜入、次々と現れる敵と対決する、という物語だ。そこには原発事故によって日常を壊されたことへの高校生の怒りが荒唐無稽な展開となって反映していた。また、並行して津波で失った友人との「別れ直し」が重ねられており、復活の呪文によっても取り戻すことのできない現実が描かれていた。この作品は、当時同校演劇部の顧問だったいいみちこが、「客観的にこの情勢を見るために芝居をつくろう」と部員を励まして、生徒たちがつくりあげたエピソードを顧問が構成したという経緯を持つ。作品はその年の県代表の一つとなって東北大会まで進出しただけでなく、神戸と東京で一般に向けて上演された（中川他、p.10）。

その年の東北ブロック大会は、実際、多くの作品に震災の影響が見られた。むしろ、どのような作品にも震災の影を観客が投影して見てしまった、ということかもしれない。それは、必ずしも被災3県に限ったことではなかったし、また沿岸部の学校にのみ見られた現象ではなかった。その年の東北大会には八戸高専演劇部も参加している。10年後の原発事故の巻き添えで帰宅できなくなる高専生を描いた八戸高専演劇部の作品『そして誰も帰れなくなった』（佐々木杏作）も「震災演劇」に分類されるだろう。岩手県立福岡高等学校の『田頭諒という男』（福岡高校演劇部 Featuring DJ. Ryo 作）は内陸の二戸の学校でありながら、主人公の高校生が津波のあった日から帰ってこない友人について語ることで、被害の甚大だった県内沿岸部と連帯しようとする意思を示したと言えるだろう。

だが、その年の最大の収穫は青森中央高校の顧問である畑澤聖悟による『もしイタ～もし高校野球の女子マネージャーが青森のイタコを呼んだら～』だろう。青森の弱小野球部のピッチャーが、イタコによって往年の名投手澤村榮治の霊の依り代となることで「超高校級」の力を発揮し、県大会の決勝戦まで進出するも無理がたたって惜しくも優勝を逃す、という、ギャグ満載の展開だが、主人公の少年は津波のために全てを失って絶望しているという設定であり、最後には現在のチームメイトが依り代となってかつてのチームメイトの声を届けようとする。自分一人だけが生き残ってしまったという主人公の苦悩は、あの世から戻ってきた友人たちの言葉によって癒される。この作品は東北ブロックの代表となったあと、翌年の全国大会で最優

秀賞を獲得した。また、高校演劇の大会への参加と並行して、被災地での上演を重ねており、参加者を更新しながら、現在も活動が続けられている。

2012年の東北大会では宮城県立名取北高等学校の顧問である安保健と演劇部員の合作である『好きにならずにいられない』が上演され、翌年の全国大会へ推薦された。名取市の沿岸部は津波により甚大な被害を受けている。作中では瓦礫と化した海辺の公園で妹を探そうとする姉の姿が描かれ、作品化するのに1年以上を要した作者の心情が伝わってくるようだ。同じ年、福島県の代表の一つは内陸の大沼高校演劇部顧問佐藤雅通の創作による『シュレーディングターの猫~Our Last Question~』だった。作中では津波やとりわけ原発事故の影響で沿岸部から転校してきた生徒を巡って、受け入れた側の本音が炸裂する。顧問創作とはいえ、生徒たちと話し合いながらつくりあげたという作品は、事故後一年以上が過ぎても先が見えない当時の福島の住民の苛立ちを反映している。この作品も2014年には東京で一般向けの公演を行なっている。

その後も毎年各地の学校で震災と向き合う試みは続いている。2017年の東北大会ではいわき総合高校の『ありのままマーチ』（原案:いわき総合高校演劇部 構成・脚本:齋藤夏菜子）と岩手県立大船渡高校の『ブルーシート』が「震災演劇」に当たるだろう。（実は『ブルーシート』は脚本家の飴屋法水が2013年にいわき総合高校の「演劇」の授業で生徒たちと話し合いながら書いた作品である。飴屋はこの一作により、2014年に第58回岸田國士戯曲賞を受賞している。）

だが、そのように多くの観客に届ける機会に恵まれる作品は稀である。2011年の地区大会から、特に被災3県では多くの高校が震災をテーマに作品を発表しているが、その多くは地区大会のみか、せいぜい県大会までの数回しか上演されずに終わっている。日本劇作家協会東北支部は震災演劇連絡センターHPの設立にあわせて、2018年7月には1回または数回の上演で「ほとんどそのまま眠ってしまう高校演劇震災戯曲」を遺すことを目的とした戯曲リストの作成を始めており、東北各地の高等学校演劇部の顧問を通して情報の収集を始めている。

4. 書くために〈資格〉は必要か

4.1 当事者性の問題

震災をめぐる表現を論じる中で回避することができない問題が「当事者性」ということである。これは今回の東日本大震災に限ったことではなく、大きな災害や戦

争・紛争、人種・民族差別などの長期にわたる迫害といった負の経験について表現しようとする際に、必ず問われる問題であるとも言える。端的にいえば、その辛い経験を直接に体験していない者に、表現する資格があるのか、という問題である。

参加者が4名とも震災以前から東北で活動している演劇人である座談会「〈震災戯曲〉のいま」の中で、自身の被災の経験を作品にしているくらはちもは、しかし、次のように述べている。「盛岡にいる我々は震災の当事者性がすごく薄い。少なくとも僕は当事者性を持って物を書くことができないんです。沿岸部から遠い僕らが被災者として芝居を作るのはためらわれた。」(くらはち他 p.51)

いわき総合高校の教員として、当時の生徒たちの生の声を元に『Final Fantasy...』を構成したいしかわ(石川路子)は、作品とともに「福島は見捨てられた」「未来がない」という高校生たちの言葉を紹介した。それに対し、震災以前から学校の演劇教育に関わってきた劇作家・演出家から「『見捨てているという意識は外側の人間には全くないのでそう感じていると知りビックリした』との率直な感想を聞いた」と報告している。いしかわはそれを「当事者意識の有無かもしれない」と述べながら、低線量被曝のリスクのもと、窓も開けられない中で登校している生徒たちの実感と、そのような状況が日常としてあるわけではない「外側」の意識の乖離を指摘している(石川 p.38)。

東日本大震災の場合、「当事者」は大きく分けて3つのカテゴリーに分類される。1つ目は自然災害としての地震・津波による被害の当事者である。ここには自身の死・身内や親しい人の死・家や財産、地域社会の喪失といった体験がある。この災害での特徴は、地震よりも圧倒的に多くの人々が津波によって命だけでなく人の繋がりを断たれたことであり、くらはちの述べているように内陸部と沿岸部の意識の違いは大きい。

2つ目は、いわき総合高校の実例がそうであるように、原発事故によってもたらされた分断である。のちに明らかになったように、原子力発電所の爆発の影響は当時の気象条件のために、単純な同心円とはならず、関東地方にまで広く放射性物質の落下が観測されたことは、より問題を複雑にした。実際、高校演劇の作品に限って見ても、その意味での〈震災演劇〉は関東地方にまで及んでいる。2011年に東京都立東高等学校が製作し、翌年の全国大会で上演された『桶屋はどうなる』には、風が吹いたために「とんでもないものが体にどンドン蓄積し」た野菜であるベジ子が登場する(美輪 p.175)。この実例が示すように、福島県のみならず全国に多数の原子力関連施設が存在している現状では、潜在的には、ほとんどすべての地域の人々が「当事者」となる可能性がある

言えなくもない。絶対に津波の被害を受けることはありえないという地域はあっても、空中に飛散する放射性物質の脅威から逃れることはできない、という点では、私たちはみな同じように当事者である。しかし、現実問題として、そのような発想は容易ではなく、実際には被曝した人・地域とそうでなかった人・地域の間に、意識の相違があるのが現状だ。

3つ目の当事者は、直接の被害をそれほど受けなかった人々の中に存在する。この人々の中には「経験の欠落」がもたらす「罪の意識」を強く意識している例が見られる。もちろん、そのような意識も持たず、つまりは全く震災のことなど忘れて生活している人々が大多数だろう。また、震災を含めてこの国土では毎年どこかで災害が甚大な被害をもたらしているのであり、そこではそれぞれの当事者が生まれているとも言える。幸いにも今までのところどのような試練にも見舞われずに済んだ、でも、そのことに「後ろめたさ」を感じる人々は、別の意味で災害の当事者であると言えるだろう。

このように考えて見た時、〈震災演劇〉はどれかのカテゴリーに分類することができる。もちろん、重複する場合もある。演劇は個人の作品というより集団の意識の反映である場合もあるからだ。いわき総合高校のように、生徒たち一人一人の経験を作品に反映する手法をとる場合は、顕著に言えることである。ある生徒にとって震災は津波の被害であり、ある生徒にとっては原発事故による故郷の喪失である。また、直接の被害を体験していない別の生徒にとっては、体験の有無による友人たちの意識との乖離こそが辛い経験となっている、というように。

震災後、被災者を元気づけようと製作された『もしイタ』は第3のカテゴリーに分類される。青森市は津波の被害を受けなかったし、生徒の中にも、少なくともその時点では津波の被害者はいなかったようだ。いっぽう、脚本の《あとがき》によれば、『好きにならずにいられない』の作者は、自身が担任した生徒を津波で喪っている(安保他、p.59)。

4.2 記録と想像力の役割

2017年12月の東北ブロックの大会は、前述のように少なくとも2校が「震災演劇」を上演していた。八戸高専の演劇部は2011年に上演校として参加して以来一度も東北大会まで進出したことはないのだが、毎年欠かさず見学を続けている。2017年には当時の1年生2名と2年生2名が顧問の戸田山とともに山形市で開催された大会の2-3日目を観劇した。いわき総合と大船渡の作品は、当時、現地で確認したものである。

2018年の地区大会の作品を準備するにあたり、脚本の

創作はかなり難航した。脚本を書こうとする部員は2名いたのだが、どちらも何を伝えたくて創作にあたっているのか、うまく説明ができない。いつまでも完成しない。6月末、それまで書きかけていた作品をいったん棚上げにして、部員がほぼ全員集まった中で、あらためて演劇部を選んだ理由や八戸高専を受験した理由を話してもらった。その結果生まれたのが地区大会で上演した作品『ぼくらがここにいる理由』である。

最終的に脚本は、作者であるN君による震災の体験を中心に描かれることになった。小学生だった彼は、震災の当日、準備してあった荷物を背負って、家族とともに高台に避難した。津波の後で一度だけ見た自宅は、玄関に木が突き刺さっていた、という。そのような体験をしてきた彼にとって、昨年の東北大会で上演された他校の震災を扱った作品が「つくられたもの」に思えたようである。(実際には、いわき市も大船渡市も、彼の出身地である階上町とは比べものにならないほど被災している、という事実は、個人の主観の前ではあまり関係がない。)それまでの1年以上、一度も自身の被災に関して言及したことのなかった彼は、ようやく7年前の自分の体験を、他の人に伝えたいと考えるようになったのだ。

とはいえ、震災直後の直接の叫びのような他の作品とは異なり、作品を書くに当たって、彼に様々な逡巡があったのも事実である。家族や町内の人命には影響がなかったとはいえ、家屋の被害による住居の喪失がどれほど幼い彼にとって重圧だったか、他の部員や観客に理解してもらえるだろうか。また、被災者を励まそうとする他校の作品の努力に対し、「当事者のことは分かるはずがない」という意識を脚本の中であからさまに描くのは、失礼にあたるのではないか。作者の姉はいじめによる不登校の時期を経験しているが、自分に姉の気持ちがわからないと同じく、他者には自分が体験したことを理解してもらうことはできないのではないか。

最終的には、作品の中で、作者をモデルとした演劇部員が自分の体験を語るという形で脚本は完成したが、当の作者に自分の作品の意味がじゅうぶん理解されていたかは断言できない。上演後、この作品の趣旨を「わかってもらえるかどうかはともかく、伝えようとするのが大事」とまとめたのは、作者ではなく、作者をモデルとした登場人物を演じた別の部員の方だったからだ。

それでも、震災から7年が過ぎた今、ようやく口にすることができるようになった体験がある、ということを経験することができたことは重要である。また、それを表現しても良いのだ、と思えるようになったことは、被災のトラウマを乗り越える上で不可欠な条件だろう。

それとともに、次第に薄れ、風化していく自分自身の体験を記録することにもまた、意味がある。彼自身が素

早く避難したことで助かったように、記録は集団の記憶となって、次の災害の備えになるはずだからである。

だが、それと同時に、自分自身が書くことを通して、体験した者だけが語る資格を持つわけではないこと、自分一人の体験には限界があり、結局、他者の体験や感情は想像することによってしか理解できないことを納得してもらえたのであれば、演劇(や文学)という手段に意味があると言えるだろう。

震災の記憶が風化しつつあるということは、自分自身の体験ですら想像力をもって想起しなければ再現できなくなりつつあるということでもある。それは、早くも東日本大震災の経験が広島・長崎や東京大空襲のような「遠い」できごとになりつつあるということでもあり、逆に、当事者性の枠が緩み、この国土に住む限り誰もが何らかの形で潜在的な当事者となることでもある。自然災害は繰り返される。それを人災としないためには、自分自身を当事者とみなす想像力が求められている。演劇や文学の果たす役割はそこにあるのだ。

参 考 文 献

初出順

- 1) 木村朋子『震災後文学論-新しい日本文学のために』青土社、2013.
- 2) いとうせいこう『想像ラジオ』河出文庫、2015.
- 3) 木村友祐「イサの氾濫」、『すばる』2011年12月号初出。『イサの氾濫』未来社、2016所収。
- 4) 野上暁「東日本大震災以降の児童文学読み物から」、『子どもの本棚』47巻3号、2018. pp. 30-32.
- 5) 濱野京子『石を抱くエイリアン』偕成社、2014.
- 6) 柏葉幸子『岬のマヨイガ』講談社、2015.
- 7) 古内一絵『フラダン』小峰書店、2016.
- 8) 中川美登利ほか「総括座談会：3.11以降と日本演劇」、『テアトロ』858号、2012. pp. 5-43.
- 9) 丹野久美子「みんなが元気で生きていてくれたから、私は」、『悲劇喜劇』2011年6月号 pp.39-49.
- 10) くらもちひろゆき・鈴木拓・佐藤茂紀・文月奈緒子「座談会：〈震災戯曲〉のいま-岩手・宮城・福島 あの日からの演劇」、『震災学』vol.11 2017. pp.40-56.
- 11) 震災演劇連絡センター <http://shinsai-engeki.com/index.php>
- 12) 石川路子「福島で生きる私たちの未来」、『第三次シアターアーツ』47号 2011. pp.34-39.
- 13) 美輪忍「桶屋はどうなる」、『季刊 高校演劇』、No.221. 2013. pp.168-188.
- 14) 安保健+名取北高演劇部「好きにならずにいられない」、『季刊 高校演劇』No.221. 2013. pp.41-59.

潤滑すべり条件下における金属及び樹脂材料の焼付き挙動

荒木亮太*・赤垣 友治**

Seizure Behaviors of Metal and Plastic Materials under Oil-Lubricated Sliding Contacts

Ryota ARAKI, Tomoharu AKAGAKI

* 専攻科 機械・電気システム工学専攻 学生

** 産業システム工学科 機械システムデザインコース

ABSTRACT: The seizure behaviors of metals and plastics are studied under oil-lubricated sliding contacts. The experiments are carried out with balls on a ring wear tester. High carbon chromium steel (SUJ2) and Poly-ether-ether-ketone (PEEK) are used as the ball specimen with a diameter of 3/4 inches. The ring is made of forged steel (SF540A). The sliding velocity is varied from 4 to 19 m/s. The load is increased at a rate of 1 N/s up to the maximum load of 1177 N. The ring temperature is measured with an alumel-chromel thermocouple with a diameter of 0.5 mm, located 1 mm below the frictional surface. Results indicate that PEEK transits to seizure whenever the ring temperature exceeds about 160°C. In contrast, SUJ2 transits to seizure depending on the load, not on depending the temperature. The particle counter method can detect the seizure in the PEEK and SUJ2 materials. However, the number of wear particle generated in the seizure of PEEK materials is much less than in SUJ2. The wear mechanisms in the seizure are discussed, based on the observation results of scanning electron microscope (SEM).

Keywords: Seizure, PEEK, Number of Wear Particle, Oil Lubrication

1. 緒言

水車発電機用大型すべり軸受材料は、金属ではホワイトメタルが、樹脂材料では PEEK 複合材料や PTFE 複合材料が主に使用されているが、両材料とも摩擦摩耗低減のために油潤滑下で使用されている⁽¹⁾。ホワイトメタルは、起動停止時の摩擦摩耗が大きく、油温の上昇や油の劣化により異常摩耗や焼付きを生ずるという欠点を有する。一方、PEEK 等のスーパーエンジニアリングプラスチックは高温・高強度で化学的にも安定しており、耐疲労性・耐クリープ性等の動的耐久性にも優れており、無潤滑・低速・高面圧下でも優れた摩擦摩耗特性を有していることが知られている⁽¹⁾。このように、PEEK 等の樹脂材料は金属材料と比較して優れたトライボロジー特性を有し、起動停止時に摩擦摩耗が小さく、また金属と比較して焼付きにくいと言われている^(2,3)。しかし、これらの材料が高速油潤滑下で使用されるにもかかわらず、過酷な実験条件下で PEEK 等の焼付き挙動を調べ、金属材料の焼付き挙動と比較、検討した研究は少ない⁽⁴⁾。PEEK が高速下で使用される機械要素として産業界で広く使用されるために、またそのメンテナンスのためには、基本的な摩擦摩耗特性のみではなく、その焼付き挙動や使用限界などの情報が必要不可欠である。

そこで本研究では、ボールオンリング型摩擦摩耗試験機を用い、油潤滑下において高速すべり条件下で PEEK 及び SUJ2 の焼付き挙動を調べ、比較検討を行った。また、焼付き過程で発生した摩耗粒子数をパーティクルカウンタでリアルタイムに測定した。実験後、焼付き後のボール摩耗痕を走査型電子顕微鏡 (SEM) で観察し、摩耗機構を考察した。

2. 実験装置及び方法

本研究で使用したボールオンリング型摩擦摩耗試験機⁽⁴⁾の概略図を図 1 に示す。

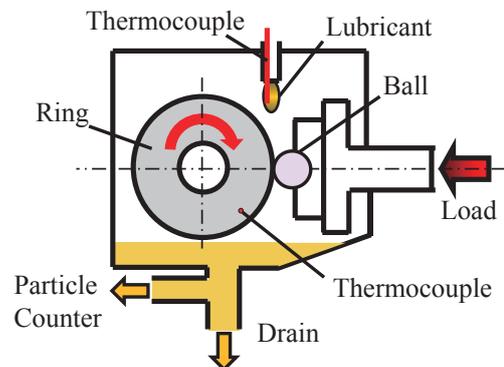


図 1 実験装置概略図

本研究で使用した試験片の特性を表 1 に示す。リング試験片は、直径約 130 mm、幅 20 mm である。リング試験片の材質は鍛鋼 (SF540A) で、円筒研削仕上げによって、表面粗さが $0.20 \pm 0.02 \mu\text{m Ra}$ となるように仕上げた。ボール試験片は、直径 3/4 インチの高炭素クロム軸受鋼 (SUJ2)、ポリエーテルエーテルケトン (PEEK) の 2 種類で、市販品のボールをそのまま使用した。

表 2 に実験条件を示す。実験は無負荷運転で空転トルク及びパーティクルカウンタの粒子数が安定したことを確認した後、回転しているリング試験片にボール試験片を静かに押し当て、毎秒 1 N の割合で荷重を増加させた。実験は焼付きを生じるまで、または本実験装置に用いた圧縮コイルバネの最大荷重である 1177 N まで行った。潤滑油は、マイクロチューブポンプを用いて摩擦面に 65 cc/min の割合で滴下供給した。実験時、荷重と摩擦トルク及びリング温度の測定データをハイブリッドレコーダで 0.5 秒毎にパソコンに取り込むと共にペンレコーダでも記録した。

パーティクルカウンタを用いて、ドレインから排出される潤滑油中に含まれる摩耗粒子の数をリアルタイムで測定した。潤滑油がパーティクルカウンタに到達するまでに要する時間は約 90 秒で、若干のタイムラグがある。焼付きを生じたすべり速度では、焼付き前のサンプルを採取するために、焼付き荷重以下での実験も行った。リング試験片やボール試験片は、有機溶剤 (ヘキサン) で洗浄した後、実験に使用した。試験片固定ホルダーやオイルカップ等の油の触れる部分は、実験毎に、有機溶剤または中性洗剤、流水を用いて洗浄し、清浄な状態で実験を行った。

表 1 試験片材料の特性

	Materials	Hardness	Surface roughness
Ring	SF540A	HV189±8	$0.20 \pm 0.02 \mu\text{m Ra}$
Ball	SUJ2	HV785±15	$0.05 \mu\text{m Rz}$
	PEEK	HRR126	$0.80 \mu\text{m Rz}$

表 2 実験条件

Sliding velocity [m/s]	4, 10, 15, 19
Load [N]	0~1177
Lubricant	Turbine oil, ISO-VG46
Flow rate [ml/min]	65
Oil temp. [°C]	30 ± 3

3. 実験結果及び考察

3.1 荷重増加試験における摩擦挙動の比較

3.1.1 荷重と摩擦係数の関係

図 2 に各すべり速度における荷重と摩擦係数の関係を

示す。図 2(a) より、SUJ2 では 4.0、10.0、14.9、18.7 m/s に対して、荷重 137、91、42、20N で各々摩擦係数が急激に上昇した。SUJ2 においては、摩擦係数が急激に増加した時の荷重を焼付き荷重とした。このように SUJ2 では、すべり速度が増加すると焼付き荷重が低下する。

一方、PEEK では図 2(b) に示すように、すべり速度が 4.0 と 10.1 m/s の時、摩擦係数が各々 0.03、0.02 で安定し焼付きを生じなかった。14.8 m/s では、摩擦係数が荷重の増加とともに減少する傾向を示したが、荷重が約 900 N に達すると変動しながら 0.055 まで上昇し、焼付きの様相を示した。この時、摩擦面が高温になったために激しく油煙が発生した。その後、リング温度が 180°C に近づいたため実験を中止した。

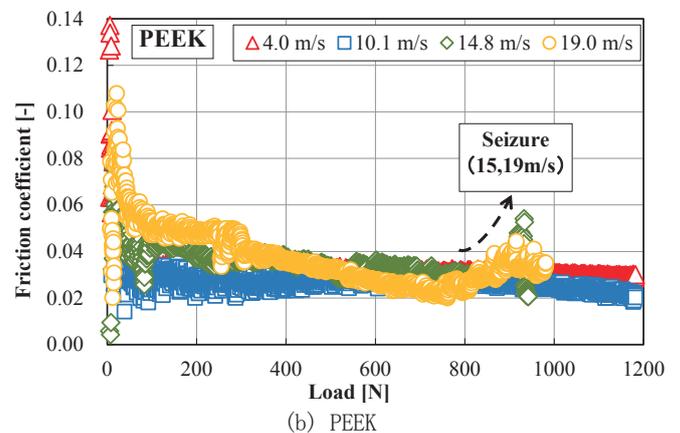
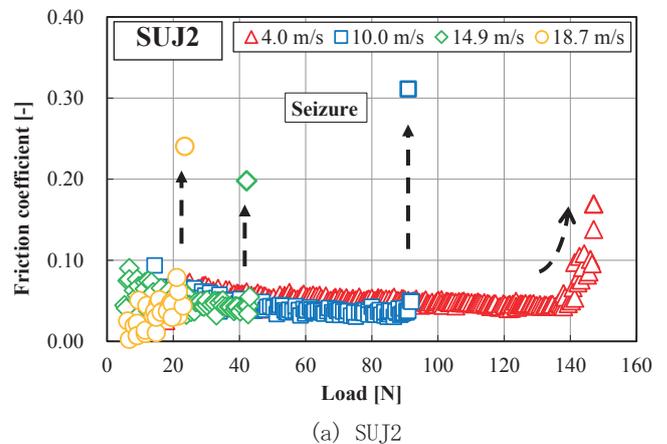


図 2 荷重と摩擦係数の関係 (a)SUJ2, (b)PEEK

19.0 m/s の場合、荷重約 760 N で摩擦係数が増加し始め、0.044 まで上昇し焼付きの様相を示した。このように高速下では摩擦面の温度が上昇するために潤滑状態が不良となり、PEEK 表面が軟化し大規模な塑性流動を起こしたために摩擦係数が増加したと考えられる。19.0 m/s の場合もリング温度が 180°C を超えたため実験を途中で中止した。本研究では PEEK において、摩擦係数が増加し変動したときの荷重を焼付き荷重とした。そのため、すべ

り速度 4.0、10.1 m/s に対する焼付き荷重は 1177 N 以上、14.8、19.0 m/s に対する焼付き荷重は各々約 900 N、760 N となった。SUJ2 が PEEK と比較して非常に小さい荷重で焼付きが生じた原因は、点接触という高い圧力が発生する条件下で金属同士を高すべり速度で接触させたため、局所的な接触により容易に凝着を起こし、焼付きに至ったと考えられる。このように PEEK は SUJ2 と比較して優れた耐焼付き特性を有していることがわかる。

3.1.2 リング温度と摩擦係数の関係

SUJ2 を用いた実験では焼付き荷重が小さいため、リング温度がほとんど上昇しないうちに焼付いた。このため、本条件においてリングの温度上昇と焼付き荷重の関係を明確にできなかった。

図 3 に PEEK を用いた場合のリング温度と摩擦係数の関係を示す。4.0、10.1 m/s では実験終了時の温度はそれぞれ 82°C、143°C で、温度上昇に関わらず、摩擦係数はほぼ一定だった。しかし、14.8、19.0 m/s ではリング温度が約 150°C を超えると摩擦係数が増加し始め、約 160 °C を超えると急激に増加・変動していることが確認できる。これは、摩擦面の温度が PEEK のガラス転移温度である 143 °C 以上に達したため、ガラス状態からゴム状態に変化し、軟化したために真実接触面積が増加し、摩擦係数が増加したと考えられる。このように PEEK の摩擦挙動は温度に敏感であると言える。

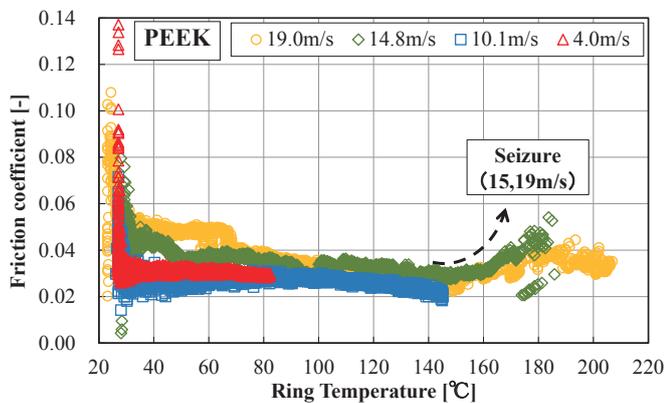


図3 リング温度と摩擦係数の関係 (PEEK の場合)

3.1.3 すべり速度と焼付き荷重の関係

図 4 に 4~19 m/s における SUJ2 と PEEK の P-V 線図(焼付き限界曲線)を示す。SUJ2 では、19 m/s の高速では約 20 N で焼付きを生じた。一方 PEEK は、19 m/s において平均で 760 N で摩擦係数が増加し、焼付きの様相を示した。これより、PEEK の高速下での焼付き限界荷重が極めて高いことがわかる。また、4、10 m/s では SUJ2 では平均で 125、94 N で焼付きが生じたのに対し、PEEK では試

験終了条件の 1177 N でも焼付かず、更に大きな荷重にも耐えられると推測できる。SUJ2 では、全てのすべり速度で焼付きが生じ、焼付き荷重は小さかった。このように PEEK は SUJ2 に比べて高い焼付き限界を有し、優れた耐焼付き特性を有することがわかる。

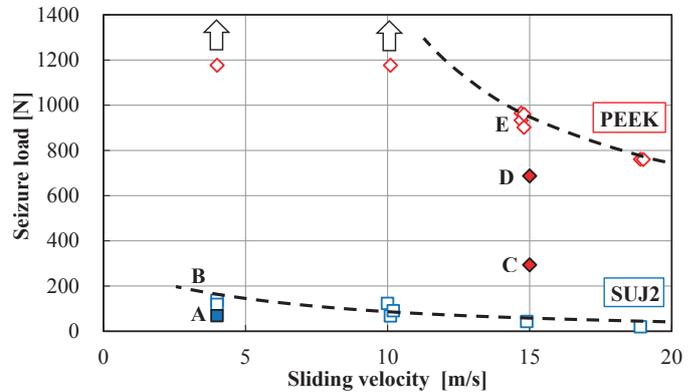


図4 焼付き限界曲線 (P-V 線図)

3.2 焼付き過程において発生した摩耗粒子数の変化

図 5 に焼付き過程で発生した摩耗粒子数の測定結果を示す。SUJ2 の場合を図 5(a) に示す。すべり速度は 4.0 m/s である。SUJ2 は 2 分程度の短時間で焼付きを生じた。粒子測定タイムラグである 90 s を考慮すると、摩擦を開始して間もなく摩耗粒子が増加しており、焼付き直前の摩擦開始約 90 s 後には潤滑油 100 ml あたり約 10 万個もの摩耗粒子が発生した。そして、焼付き後の潤滑油には 100 ml あたり最大約 120 万個の摩耗粒子が含まれていた。SUJ2 は摩擦開始直後に摩擦係数が約 0.1 であったこと、そして数多くの摩耗粒子が発生していたことから混合潤滑あるいは境界潤滑状態であったと考えられる。このように SUJ2 の焼付き時には非常に多くの摩耗粒子が発生することがわかる。

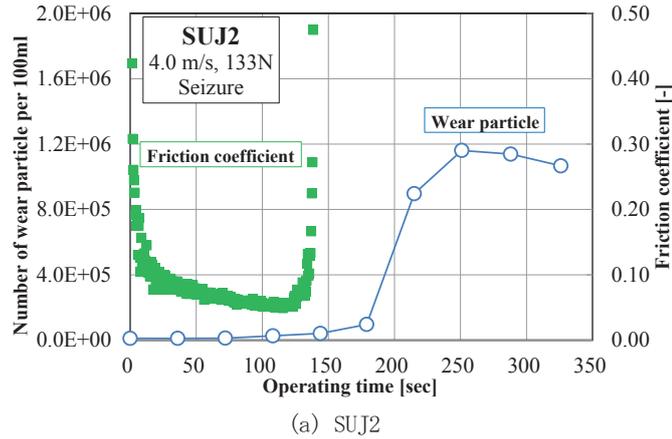
次に PEEK の場合を図 5(b) に示す。すべり速度は 14.8 m/s である。粒子測定タイムラグである 90 s を考慮すると、摩擦開始後直ぐに混合潤滑状態になり摩耗粒子が緩やかな増加傾向を示した。その後、摩擦開始から約 900 s 後(リング温度 160°C)の摩擦係数の増加前から摩耗粒子数が急増している。

SUJ2 と PEEK の焼付きを比較すると、PEEK の焼付き時に発生する摩耗粒子数がとても少ない。これは SUJ2 の場合には、PEEK に比べて加工硬化などで摩耗粒子が脆性的に脱落しやすいためと考えられる。

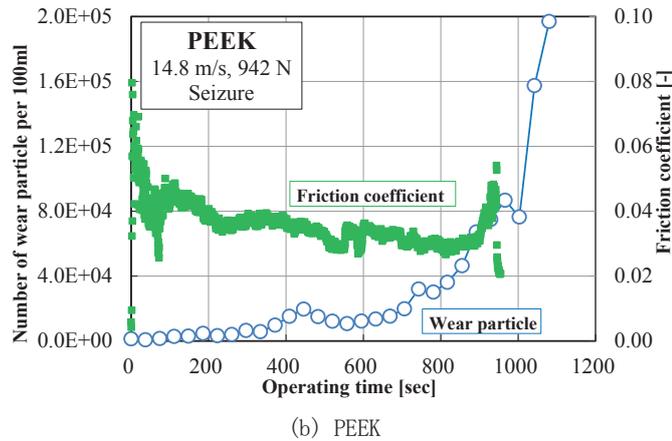
図 6 に PEEK の焼付き過程で発生した摩耗粒子を粒子径別に整理した結果を示す。粒径 5-15 μm の摩耗粒子数は、荷重に比例して増加している。しかし、25 μm を超える大きな摩耗粒子の数は、摩擦係数が増加し焼付きに遷移すると増加傾向を示すことが確認できる。これより、発生

する摩耗粒子径の観点から摩耗状態の変化を知ることが可能だと考えられる。これはSUJ2に関しても同様の傾向が確認できた。

このように、SUJ2とPEEKの焼付きへの変化は摩耗粒子数の観点から知ることが可能であると言える。また、焼付き前の混合または境界潤滑状態における摩耗粒子の発生も検出しているため、パーティクルカウンタ法は焼付き前後の潤滑状態の変化を検出できると言える。



(a) SUJ2



(b) PEEK

図5 パーティクルカウンタによる焼付き過程の測定

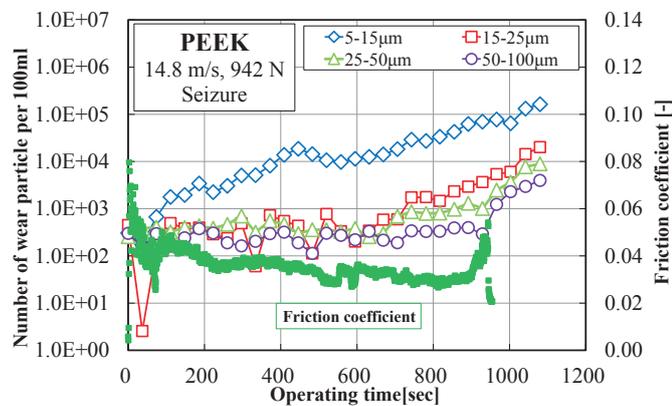


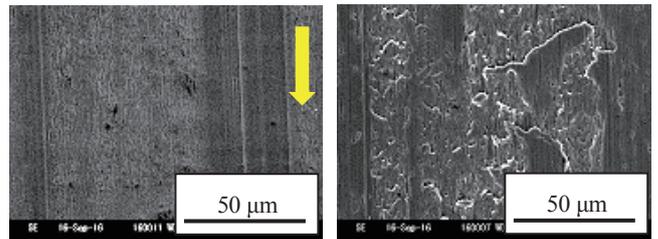
図6 摩耗粒子径別発生摩耗粒子数の変化

3.3 ボール摩耗痕のSEM観察

図7に焼付き前後における摩耗痕のSEM写真を示す。図7(a)、(b)は各々図4のA点(焼付き前)、B点(焼付き後)におけるSUJ2の摩耗痕写真である。(c)はD点(焼付き前)、(d)~(f)はC点(焼付き後)のPEEKの摩耗痕写真を示す。矢印は相手面のすべり方向を示す。

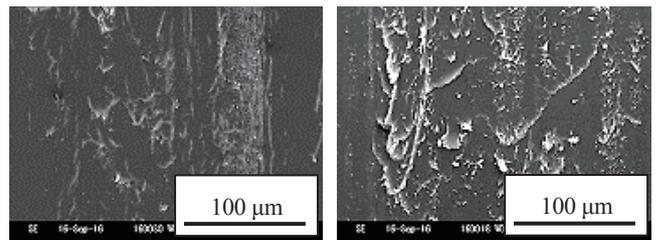
SUJ2では、(a)より焼付き前の摩耗痕は非常に小さく滑らかであることがわかる。しかし、焼付き後では、(b)に示すように、摩耗痕が非常に大きく、粗くなっていることがわかる。また、プレート層の剥離が起きていることや凝着破断と思われる剥離痕跡を確認できた。これらは、荷重増加によってSF540AとSUJ2が激しい凝着破断を起こしたことを示している。

PEEKでは、焼付き前の滑らかな摩耗痕の中に(c)のように、粗くなっている面が確認できる。これより局所的に接触し表面層が摩擦方向に流動していることがわかる。また、その流動の先端部分ではフィルム層のせり出しが観察される。これの脱落により、パーティクルカウンタで観測した小さな粒子が増加すると考えられる。また、荷重の増加と共に増加する傾向が見られた。



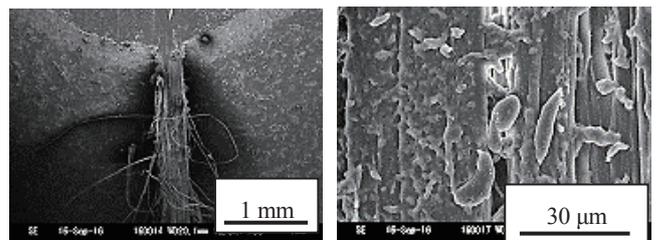
(a) SUJ2 (A点, 69N)

(b) SUJ2 (B点, 133N)



(c) PEEK (D点, 687N)

(d) PEEK (E点, 942N)



(e) PEEK (E点, 942N)

(f) PEEK (E点, 942N)

図7 ボール摩耗痕のSEM写真(矢印は相手面の移動方向)

(原稿受付：2018年11月5日)

焼付きが発生した摩耗痕(d)では、(c)と比較して全体的に粗くなっていることがわかる。また、流動層が焼付き前に比べて巨大化していることがわかる。これは、摩擦面の温度が上昇し、摩擦面が流動しやすくなったため、より大きな流動層が生成されたと考えられる。これらが脱落し、パーティクルカウンタで粒径 25 μm 以上の大きな摩耗粒子として計測されたと考えられる。PEEK の焼付きの特徴は、(e)に示すように、摩耗痕出口からリボン状のせり出しが多数観察されることである。そのせり出し長さは約 5 mm であった。それを拡大すると(f)に示すように低荷重では見られなかった長さ約 20 μm のころ状の摩耗粒子が観察できた。これは、高荷重下においてガラス転移温度に到達したため、せりだしたリボンの表面層から薄く剥離し、ローリングアップによってころ状摩耗粒子になったと考えられる。また、その表面は熔融したと思われる様相を呈し、摩擦面が高温であったことを示している。

4. 結論

ボールオンリング型摩擦摩耗試験機を用いて、油潤滑下、すべり速度 4~19 m/s の範囲で荷重増加試験 (0~1177 N) を行い、高炭素クロム軸受鋼 (SUJ2) と PEEK 樹脂材料の摩擦摩耗挙動を調べた結果、以下の知見が得られた。

(1) PEEK は SUJ2 より非常に優れた耐焼付き特性を有していることがわかった。SUJ2 の焼付き荷重はすべり速度 4、10、15、19 m/s に対して各々約 125、94、42、20 N であった。これに対し、PEEK の焼付き荷重は 4、10 m/s に対しては 1177 N 以上、15、19 m/s に対しては各々約 942、760 N であった。

(2) SUJ2 及び PEEK の境界潤滑状態から焼付き状態への遷移過程をパーティクルカウンタ法によって検出することが可能であった。しかし、PEEK の焼付き過程で発生する摩耗粒子数は、金属材料の場合に比べてとても少なかった。

(3) SUJ2 の焼付き後の摩耗痕では、プレート状の剥離や凝着破断の痕跡が特徴的に観察された。PEEK の焼付きでは、フィルム層の発生や摩耗痕出口から長い多数のリボン状のせり出し等の塑性流動が特徴的に観察された。

参考文献

- 1) 赤垣友治：トライボロジスト, 52, 2(2007)126-131.
- 2) 山田豊, 上里元久, 神野秀基, 福田清治：ターボ機械, 21, 7(2004)395-399.
- 3) 赤垣友治：トライボロジスト, 57, 1(2012)18-23.
- 4) 赤垣友治, 八木崇広：八戸高専研究紀要, 49 号, 2015. 2, p. 1-6.

超音波分散された Y2O3 が極微細金属粉末を用いて作製した SOFC用金属セパレータの酸化皮膜剥離に及ぼす影響

古谷 一幸*

Effect of ultrasonic dispersed Y2O3 on spalling of scale of SOFC metal separator
fabricated by using very fine powder metal

Kazuyuki FURUYA

* 産業システム工学科 機械システムデザインコース

Abstract : Currently, development of fuel cells is rapidly carried out after measures of new energy production. Fuel cells are power generation devices that are high in power generation efficiency and friendly to the global environment. In this research, we are developing a separator which is a component of fuel cell. We are developing separators with superior characteristics at lower cost than conventional products by manufacturing separator materials by powder metallurgy method using ultrafine metal powder prepared by water atomization method. In this study, we conduct investigation of 1000 hours of exposure using atmospheric exposure tester, investigate the oxide film formed on the surface layer of the developed material and investigate the heat resistance. It was confirmed that Fe - 35Cr - 0.49Si which was the first developed product was not suitable for separator material because SiO₂ which is an insulator was formed on the surface layer. In the second developed product Fe - 35 Cr - 0.2 Si, though the suppression of SiO₂ was successful, the problem of oxide film peeling occurred. Therefore, in this report, we report the investigation results of developed materials with Y₂O₃ added, which has detachment inhibiting effect.

Keywords : 固体酸化物形燃料電池、金属セパレータ、粉末金属、粉末冶金、酸化膜剥離

1. はじめに

近年、地球温暖化抑制のためクリーンなエネルギーの開発が急速に進んでいる¹⁻³⁾。なかでも燃料電池は燃料と酸素を電気化学的に反応させ、電気エネルギーを発生させる発電装置で、発電効率が高く、地球環境に優しい発電装置であることなどの点から近年急速に開発が進められている。本研究ではその中でも構成物が全て固体である固体酸化物形燃料電池 (SOFC) の構成部材に用いられるセパレータの開発を目的としている。

セパレータは電解質、燃料極、空気極の 3 層からなるセルの両面に配置され、ガス流路を形成するとともに電流を流す役目を有する。したがってセパレータには、高温での電気伝導性、耐酸化性、さらに電解質との熱膨張差が小さいことなどの特性が要求される。図 1 にセルの構造を示す。現在このセパレータに用いられる材料として有力なのが Crofer 22APU である。

本研究では、水アトマイズ法によって製造した微細金属粉末を用いた粉末冶金法によって開発材を製造することによって、セパレータ材として良好な電気伝導性、高い耐酸化性を有するとされる Crofer 22APU よりも、低コ

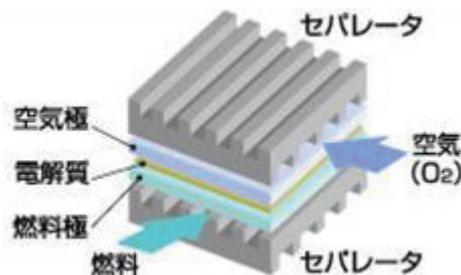


図 1 SOFC 用セルの構造概略図

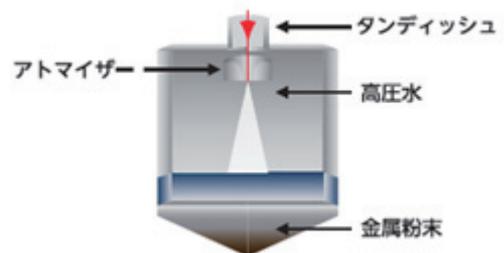


図 2 水アトマイズの概念図

ストで同等もしくはそれ以上の性能を有するセパレータ材を開発するため、高クロム鋼 (Fe-35Cr) の試作材に対し材料特性評価を行い、最終的には商品化を目的としている。図2に水アトマイズ法の概略図を示す。

これまでの研究では、最初の開発品 Fe-35Cr-0.49Si に対し、900°C大気暴露試験を行った結果、表層に Cr₂O₃, SiO₂ が形成されることが確認できた。1) SiO₂ は絶縁体であるため、電気伝導性を著しく低下させ、セパレータ材としては致命的な問題となる。また、セパレータ材に求められる特性として、鋼材の高温暴露時に発生する酸化膜の剥離現象を抑制しなければならない。よって本研究では、SiO₂ 形成の抑制及び酸化膜の剥離抑制を目的に調査を行ったので報告する。

2. 実験方法

2.1 Si 量低減による SiO₂ 抑制の調査

実験に用いた各材料の化学組成を表1にそれぞれ示す。Fe-35Cr-0.49Si (以下 0.49Si と表記) で形成された絶縁体 SiO₂ を抑制するため、高クロム鋼へ添加する Si 量を 0.49wt%から 0.2wt%まで低減させた Fe-35Cr-0.2Si (以下 0.2Si と表記) を第二回目の開発品として製造した。0.49Si, 0.2Si に対し、大気炉にて 900°Cで 1000h の暴露試験を行った後、SEM, EDS を用いて Si 量低減による SiO₂ 抑制が可能であるか調査を行った。また、比較材 Crofer 22APU の暴露試験結果との比較も同時に行った。

表1 用いた試料の化学組成

Fe-35Cr-0.49Si (mass%)								
C	Cr	N	Si	Mn	P	Ni	Co	Fe
0.03	35	0.05	0.49	0.17	0.01	0.20	0.09	Bal.
Fe-35Cr-0.2Si (mass%)								
C	Si	Mn	P	Ni	Cr	S	Fe	---
0.01	0.2	0.04	0.005	0.01	35.0	0.004	Bal.	---
Crofer 22APU (mass%)								
C	Cr	Si	N	Mn	Ti	Ta	Zr	Ni
0.01	22	0.01	0.001	0.4	0.06	0.07	0.001	0.16
P	S	Cu	Al	W	Mo	Nb	Fe	--
0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	Bal.	--

2.2 Y₂O₃ 添加による剥離抑制の調査

0.49Si では部分的に酸化膜の剥離現象が生じていることが確認された。酸化膜の剥離は、セパレータのガス流路の目詰まりや SOFC 故障の原因になる可能性があるため防がなければならない。よって、本実験では酸化膜剥離の抑制効果を有するとされる Y₂O₃ を添加した開発品に対して、実験 2-1 同様に大気炉にて 900°Cの 1000h 暴露試験を行い、SEM, EDS を用いた調査によって剥離抑制効果を検証する。また、Y₂O₃ 添加の方法として造粒前に

①通常添加した開発材 ID:8, ID:9, ②超音波を用いて攪拌した後に添加した開発材 ID:8U, ID:9U の二通り行ったためそれぞれについて調査を行う。開発材 ID:8 と ID:9 の違いは焼結圧力の違いである。Table2 に Y₂O₃ 添加材の化学組成を示す。①と②の材料組成は同一である。

表2 ID:8U 及び ID:9U の化学組成

ID:8U, ID:8 (mass%)
Fe-35Cr-0.1Si-0.2C+1Y ₂ O ₃ (300MPa)
ID:9U, ID:9 (mass%)
Fe-35Cr-0.1Si-0.2C+1Y ₂ O ₃ (600MPa)

3. 実験結果および考察

3.1 Si 量低減による SiO₂ 抑制の調査結果

3.1.1 SEM 観察結果

図3および図4に 0.49Si 及び 0.2Si の 1000h 暴露材 SEM 観察結果を、図5に比較材 Crofer 22APU の SEM 観察

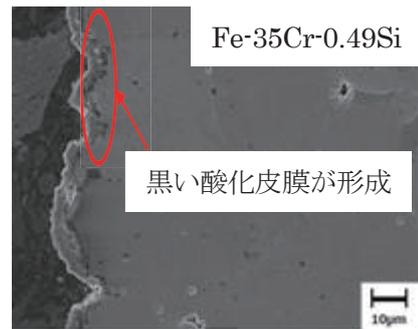


図3 0.49Si 含有試料表面近傍の SEM 画像

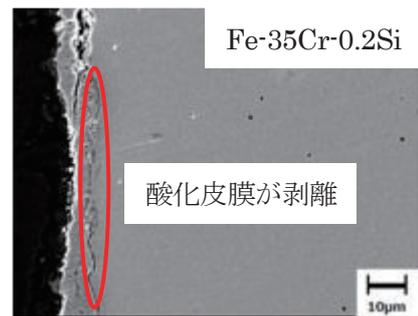


図4 0.2Si 含有試料表面近傍の SEM 画像

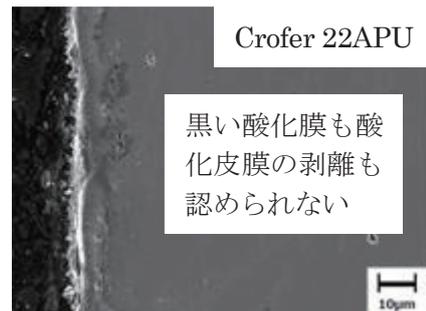


図5 標準材料表面近傍の SEM 画像

結果を示す。観察倍率は 1000 倍である。図 3 および図 4 より、0.49Si では 2 種類の酸化膜が形成されていることが確認されておるが、0.2%Si では 0.49%Si に見られる黒い酸化膜が形成されていないことがわかる。また、0.2%Si では広い範囲で酸化膜の剥離現象が生じていることが確認できた。また、図 5 より Crofer 22APU では均一に酸化膜が形成されており、母材としっかり密着していることが確認できている。

3.1.2 EDS 分析結果

図 6 に 0.49%Si 及び比較材 Crofer 22APU の EDS 線分析結果、図 7 に 0.2%Si の EDS 線分析結果を示す。観察倍率は 1000 倍である。図 6 より、EDS 分析によって 0.49%Si では過去の実験同様に Cr2O3 の他に SiO2 が形成されていることが確認できた。SiO2 は絶縁体であるため、電気伝導性を著しく低下させる。よってセパレータ材としては適していない。Crofer 22APU では剥離現象は生じておらず、酸化膜の密着性に優れていることがわかった。また、酸化膜は均一に厚さ 12 μm 程度の Cr2O3 酸化膜が形成されていることが確認できた。図 7 より、0.2%Si では SiO2 の検出がされなかったため、Si 量を低

減したことによって SiO2 の形成を抑制することができたことが明らかとなった。また、0.2Si では多くの表層にて Cr2O3 が検出されなかったため酸化膜の剥離現象が生じていることが確認できた。

3.2 Si 量低減による SiO2 抑制の調査結果

3.2.1 SEM 観察結果

図 8 および図 9 に Y2O3 通常混合材 ID:8, ID:9 の SEM 観察結果を示す。また図 10 および図 11 に Y2O3 超音波混合材 ID:8U, ID:9U の SEM 観察結果を示す。Y2O3 を通常混合で添加した ID:8, ID:9 では酸化膜が材料に密着しているため、Y2O3 は酸化膜の剥離抑制の効果を有することが確認できた。しかし、ID:8, ID:9 ともに材料表層や材料内部で 10~20 μm 程度の凝集体が形成されていることを確認した。Fig.10 及び Fig.11 より超音波分散を行った ID:8U, ID:9U においても、酸化膜剥離の

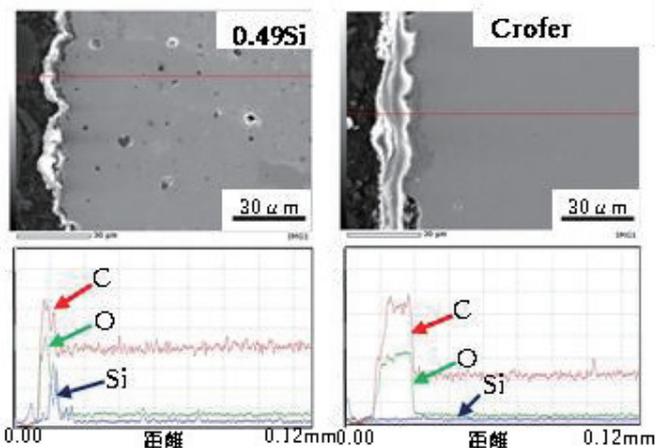


図 6 各試料の表面からの EDS 線分析結果：標準物質および 0.2%Si 含有試料

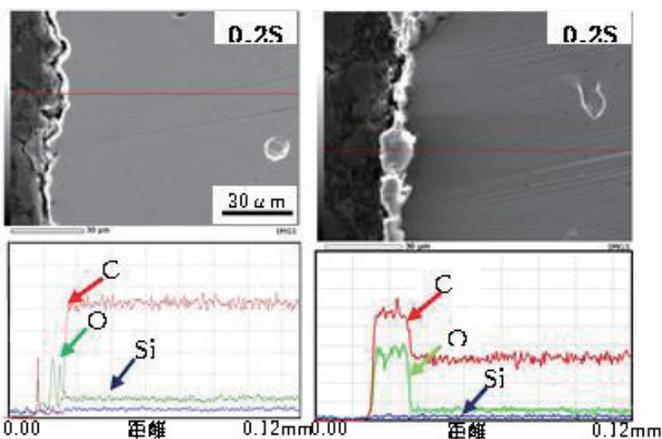


図 7 0.2%Si 含有試料の EDS 分析結果

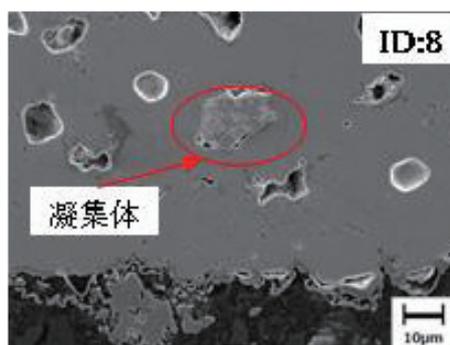


図 8 ID:8 表面近傍の SEM 画像

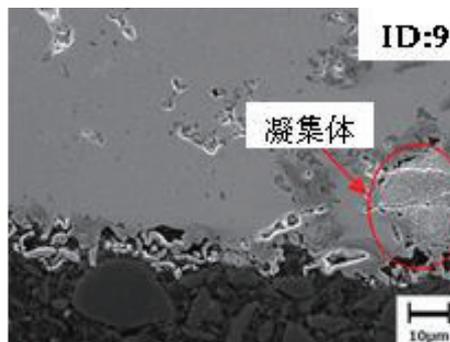


図 9 ID:9 表面近傍の SEM 画像

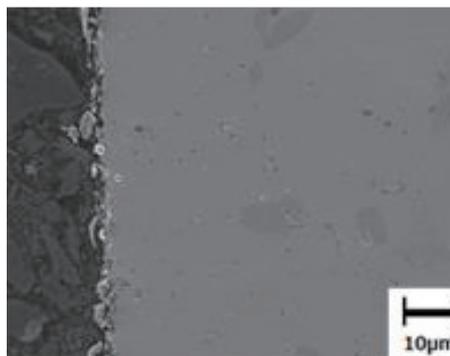


図 10 ID:8U 表面近傍の SEM 画像

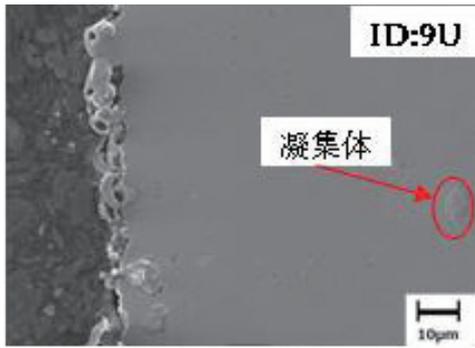


図 11 ID:9U 表面近傍の SEM 画像

抑制できていることが確認された。また、通常混合材に見られた凝集体は最大で 10µm 程度で形成されている数も全体的に減少しているため超音波分散することで大幅に改善されることが確認できた。

3.2.2 EDS 分析結果

図 1 2 に Y2O3 を通常混合した ID:8, ID:9 の EDS 線分析結果, Fig. 13 に Y2O3 を超音波分散添加した ID:8U, ID:9U の EDS 線分析結果を示す。観察倍率は 1000 倍である。図 1 2 及び図 1 3 より ID:8, ID:9, ID:8U, ID:9U では表層に Cr₂O₃ が形成されており、酸化膜の剥離も抑制できていた。また、酸化膜の厚さは 4µm 程度とその他

の材料に比べて薄く形成されていることが確認できた。また、EDS 分析の結果 Y₂O₃ 超音波混合材 ID:8U, ID:9U や通常混合材 ID:8, ID:9 で見られた凝集体は Y₂O₃ であることが確認できた。

SEM 観察結果より測定した各材料の酸化膜厚さを図 1 4 にそれぞれ示す。図の酸化膜厚さの測定結果よりすべての開発材において、酸化膜厚さは比較材に比べると薄いことがわかった。また、Y2O3 を添加した開発材に関しては添加していない開発材に比べて酸化膜の厚さが薄くなることがわかった。これより、Y2O3 には酸化膜の成長を抑制する効果も有する可能性があると考えられる。

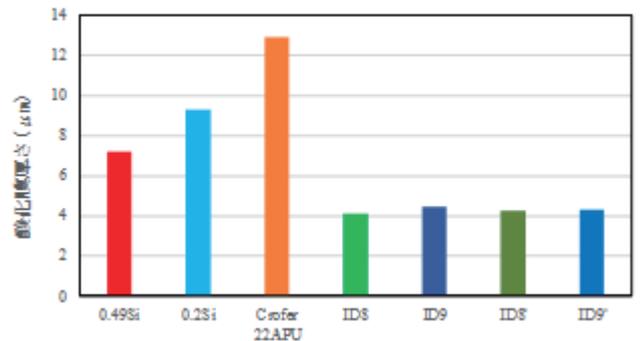


図 14 1173K で 1000 時間熱処理した各種試料の酸化スケールの厚さ

4. おわりに

本調査では、SiO₂ 抑制のための Si 量低減、酸化膜の剥離現象抑制のための Y2O₃ の添加を行った高クロム鋼の暴露試験結果を調査した結果、以下の知見が得られた。

- (1) Si 量を 0.49wt% から 0.2wt% まで低減することで SiO₂ 形成を抑制することが可能である。
- (2) Y2O₃ を添加することによって酸化膜の剥離現象を抑制する効果がある。
- (3) Y2O₃ を通常混合から超音波分散混合にすることで、Y2O₃ の凝集体の大きさは 10~20µm 程度の大きさから 10µm 程度の大きさまで抑えることができる。また、凝集体の数も減少する。
- (4) 1000h 暴露試験の各材料の酸化膜厚さは比較材の Crofer 22APU が最も厚い 12.9µm で 0.2Si が 9.2µm, 0.49Si が 7.3µm, Y2O₃ を添加した ID:8U, ID:9U, ID:8, ID:9 は約 4µm と Y2O₃ を添加した開発材が最も酸化膜厚さが薄くなった。

参考文献

- 1) 鈴木, 林: 精密工学誌, 52[9](1986), 1497.
- 2) 河合, 平野, 立野, 本間: 粉体および粉末冶金, 32(1986), 402.
- 3) 河合, 平野, 立野, 本間: 粉体および粉末冶金, 34(1987), 33.

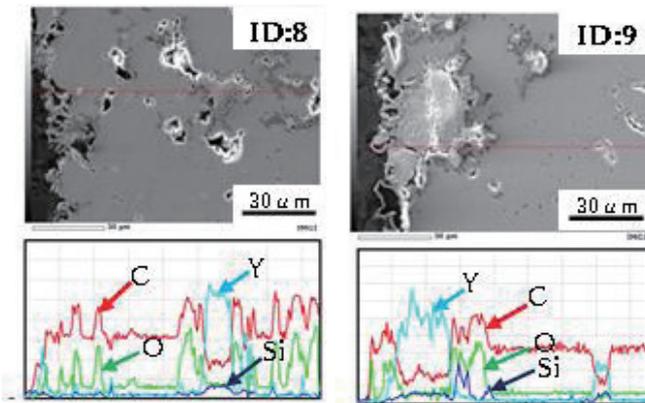


図 12 ID:8 及び ID:9 の表面からの EDS 分析結果

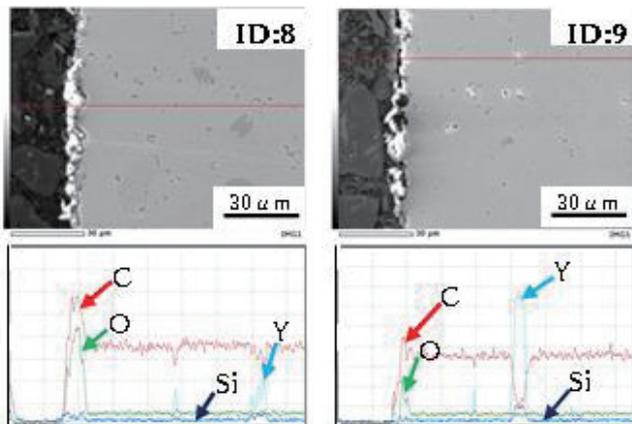


図 13 ID:8U 及び ID:9U の表面からの EDS 分析結果

新教材・教育法の開発を目指した 3D プリンタによる分子計算のマテリアリゼーション (2)

— カーボンナノチューブのマテリアリゼーションと 3D プリンタによる造形技術に関する検討 —

松橋 信明*・豊岡 怜菜**・四役 崇明**・山田 一雅***

Materialization of Molecular Calculation by 3D Printer with the Aim of the Development of
New Teaching Material and Teaching Method (2)

— Materialization of Carbon Nanotube and Study on Modeling Technology by 3D Printer —

Nobuaki MATSUHASHI, Reina TOYOOKA, Takaaki YOTSUYAKU and Kazumasa YAMADA

* 産業システム工学科 電気情報工学コース

** 電気情報工学科 学生

*** 函館工業高等専門学校 生産システム工学科

Keywords: マテリアリゼーション, 分子計算, カーボンナノチューブ, STL ファイル, 3D プリンタ

1. はじめに

本研究は、「3D プリンタによる分子計算のマテリアリゼーション —新教材・教育法の開発—」という研究テーマで、平成 28 年度から 32 年度の 5 年間、JSPS 科研費 16K00981 (基盤研究(C)) の助成を受けながら行う研究である。本研究に先駆けて、高専の電子系専門教育における有用な新しい教材と教育法の開発を目指し、平成 25 年度から平成 27 年度の 3 年間、JSPS 科研費 25560092 (挑戦的萌芽研究) の助成を受けながら、「分子軌道法と分子動力学法を活用した新たな教材と教育法の開発」という研究テーマに精力的に取り組んで来た結果、多くの研究成果 1)~4) を上げることができた。

そして、前稿 5) において、現在取り組んでいる JSPS 科研費 16K00981 (基盤研究(C)) の研究背景、研究目的、学術的な特色・独創的な点、予想される結果と意義、研究計画について説明した。そして、具体的に完全な C60 フラーレンのマテリアリゼーションが完成するまでの一連の取り組み内容について紹介した。

本稿では、これまでの研究をより一層発展させ、分子動力学法による機能性有機材料であるカーボンナノチューブの熱特性に関する研究と、電子材料の教材として最適なカーボンナノチューブの 3D プリンタによるマテリアリゼーションについて紹介する。また、3D プリンタを用いて造形する際に生じる様々なエラーの原因や解決方法について、3D プリンタによる造形に必要な STL (Stereo lithography) ファイルと関連付けながら、調査及び検討した内容を紹介する。

2. カーボンナノチューブの熱特性と造形

カーボンナノチューブは、医学や工学、宇宙学など様々な分野から注目されており、高専の電子材料関連の講義においても時々紹介されている機能性有機材料である。そのようなことから、カーボンナノチューブの特性を調べたり、3D モデルを造形することによって、視覚的にわかりやすい効果的な教材を開発できると考えられる。

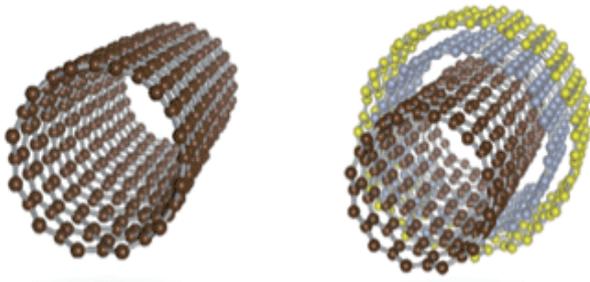
そこで、カーボンナノチューブの特性を理解するために分子動力学法を用いた熱特性の研究と、3D プリンタによる 3D モデルのマテリアリゼーションに取り組んだ。

2.1 カーボンナノチューブの分子計算

2.1.1 カーボンナノチューブ

カーボンナノチューブは、その名の通り炭素で構成されている直径がナノメートルサイズのチューブ状の物質である。ベンゼン環を平面上にすべて隣り合うように広げたシートを、円筒状に巻いた構造をしている。図 1(a) に示すように円筒一層のものが単層カーボンナノチューブ、図 1(b) に示すように径の異なる複数のカーボンナノチューブが同軸で重なり、数層で形成されている構造のものが多層カーボンナノチューブである。多層カーボンナノチューブは比較的合成が容易で、電池やキャパシタ部材などの産業材料として普及している。

カーボンナノチューブは炭素元素のみで構成されているため密度はアルミニウムの半分程度と非常に軽量でありながら、理論上の最大引張強度は鋼の 50 倍以上、高電



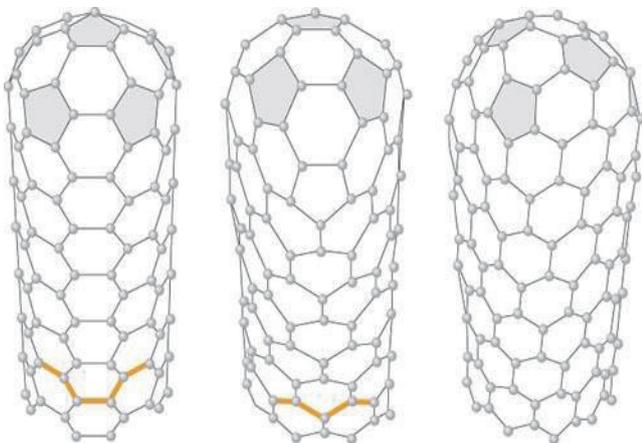
(a) 単層 (b) 多層
図1 カーボンナノチューブの構造

流密度耐性は銅の1000倍、熱伝導性は銅の10倍以上という性質を持っている。また、カーボンの強固な化学結合で構成されているので、化学的にも熱的にも非常に安定している。

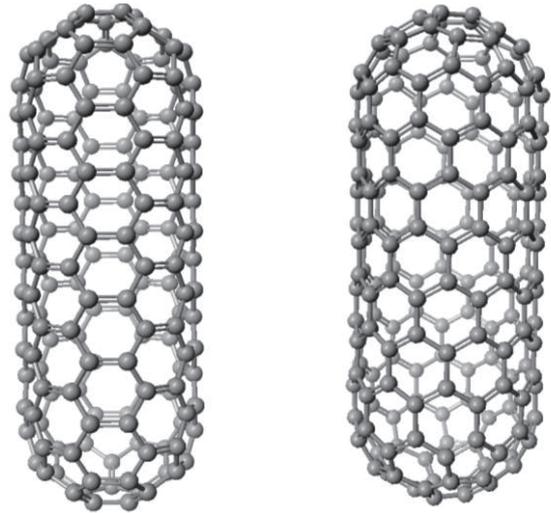
このように、カーボンナノチューブは電氣的、熱的、機械的、光学的に優れた特性をもつ物質であることから、複合材料分野、エレクトロニクス・フォトニクス分野、エネルギー分野、ナノテクノロジー分野、化学・材料分野、医療・健康分野、超高性能デバイス等、多様な用途に展開できると期待されており、宇宙エレベーターを実現する唯一の物資と考えられている⁶⁾。

2.1.2 分子モデルの作成

シミュレーションは、構造が単純な単層を選択した。さらにその構造はグラフェンシートの巻き方によって、図2に示すように(a)アームチェア型、(b)ジグザグ型、(c)カイラル型の3種類がある⁷⁾。本研究では、六員環が椅子の肘掛のように配置されているアームチェア型と六員環がジグザグ状になっているジグザグ型についてシミュレーションを行った。



(a)アームチェア型 (b)ジグザグ型 (c)カイラル型
図2 単層カーボンナノチューブの分類



(a)アームチェア型 (b)ジグザグ型
図3 カーボンナノチューブの分子モデル

分子計算ソフトウェア(富士通社製 SCIGRESS)を用いて分子モデルを作成する。図3に構造最適化を行って完成した(a)アームチェア型と(b)ジグザグ型のカーボンナノチューブの分子モデルを示す。本来のカーボンナノチューブは六員環で構成される無限長の円筒であるが、五員環を使用して有限長の両端を閉じた構造にした。このようにすることによって、より安定した構造となる。図3からわかるように、シミュレーションによってアームチェア型とジグザグ型のカーボンナノチューブの分子モデルを正確に作成することができた。

2.1.3 分子動力学法によるシミュレーション

作成したカーボンナノチューブの分子モデルに対し、分子動力学法によるシミュレーションを行う。表1にシミュレーション条件を示す。

表1 シミュレーション条件

アンサンブル	NTV
温度	250 [K]→5000[K]
圧力	1 [atm]
周期境界条件	適用する
セルの形状	可変
総ステップ数	10000[steps]
時間刻み幅	0.1[fs]
出力開始ステップ	10 [steps]
出力間隔ステップ	10 [steps]
出力ステップ数	1000[steps]
ポテンシャル関数	LJ Dreiding

2.1.4 シミュレーション結果と考察

加熱したときの諸特性を調べるべく、温度を 250[K] から 5000[K] まで変化させ、シミュレーションを実施した。

(1) エネルギー変化

図 4(a) にアームチェア型の運動エネルギーを、図 4(b) にジグザグ型の運動エネルギーの変化を示す。グラフの横軸は時間で、縦軸は運動エネルギーと絶対温度である。どちらも温度に比例して運動エネルギーが増加しているが、アームチェア型よりもジグザグ型の方が、高温時のエネルギーが大きいことがわかる。

図 5(a) にアームチェア型のポテンシャルエネルギーを、図 5(b) にジグザグ型のポテンシャルエネルギーの変化を示す。運動エネルギーのような単調増加ではなく、値の上下変動を繰り返しながら全体としてポテンシャルエネルギーが増加している。また、この値の上下は温度が高いほど大きい傾向にある。これは、カーボンナノチューブの変形によるものと考えられる。加熱している最中、

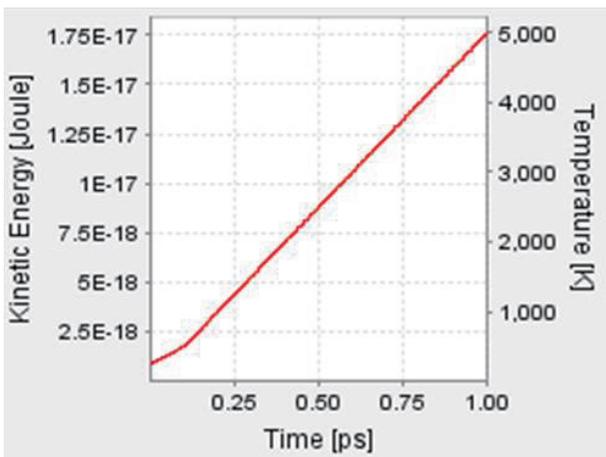


図 4(a) アームチェア型の運動エネルギー変化

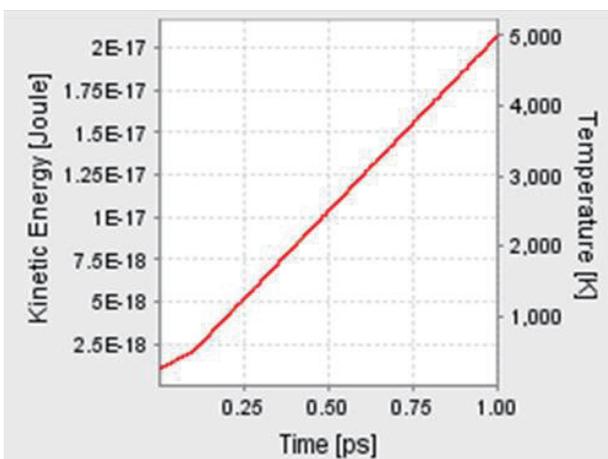


図 4(b) ジグザグ型の運動エネルギー変化

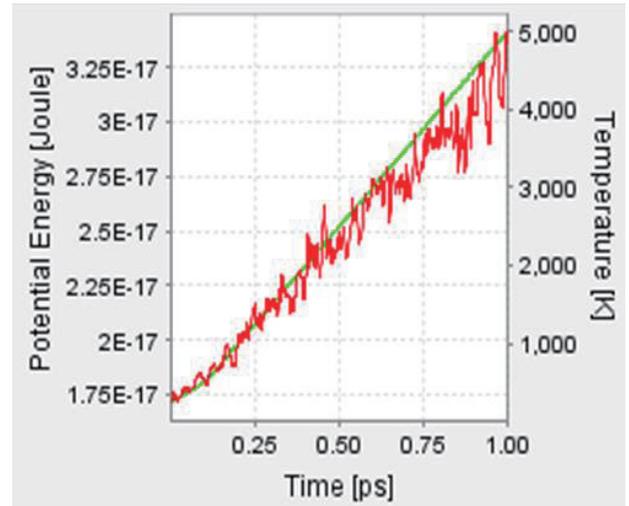


図 5(a) アームチェア型のポテンシャルエネルギー変化

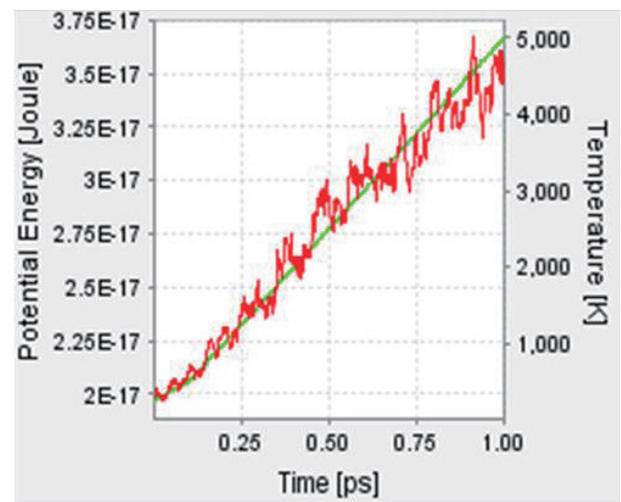


図 5(b) ジグザグ型のポテンシャルエネルギー変化

カーボンナノチューブを構成する炭素原子は振動しており、分子が膨張と収縮を繰り返す。分子の中心を基準として、そこから外に広がろうとするエネルギーを正、中心に向かおうとするエネルギーを負とする。カーボンナノチューブが膨張しているときは外へ向かって広がっているため正のポテンシャルエネルギーを持つ。反対に収縮しているときは中心に向かっているため負のポテンシャルエネルギーを持つ。加熱している最中はこの膨張と収縮を繰り返しているためポテンシャルエネルギーが上下に変動していると考えられる。またエネルギーの上下は温度が高くなるほど大きくなる傾向にあり、温度が高くなるにつれてカーボンナノチューブの膨張や収縮の規模が大きくなると考えられる。

なお、アームチェア型とジグザグ型のエネルギー変化については、大きな違いは見られなかった。

(2) 分子の歪み

加熱する前は分子構造に歪みは見られないが、加熱していくと分子構造が少しずつ変形して行く。これは(1)で説明したカーボンナノチューブの膨張や収縮によるものである。加熱している最中、カーボンナノチューブを構成する炭素原子は振動しており、カーボンナノチューブは膨張と収縮を繰り返す。その結果、少しずつ変形して行くと考えられる。図6にアームチェア型の(a)加熱前と(b)加熱後のカーボンナノチューブの歪みの様子を示す。

この現象について、変化の様子をリアルに再現するアニメーションを得ることができた。非常にインパクトがあり、視覚に訴えるわかりやすく効果的な新教材としての活用が期待できる。

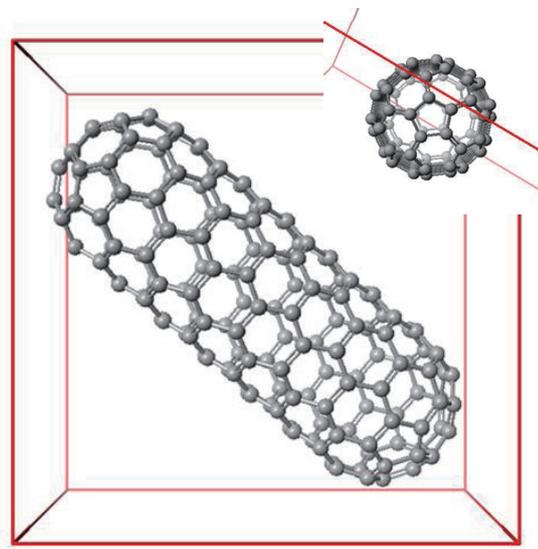


図 6 (a) 加熱前のカーボンナノチューブ

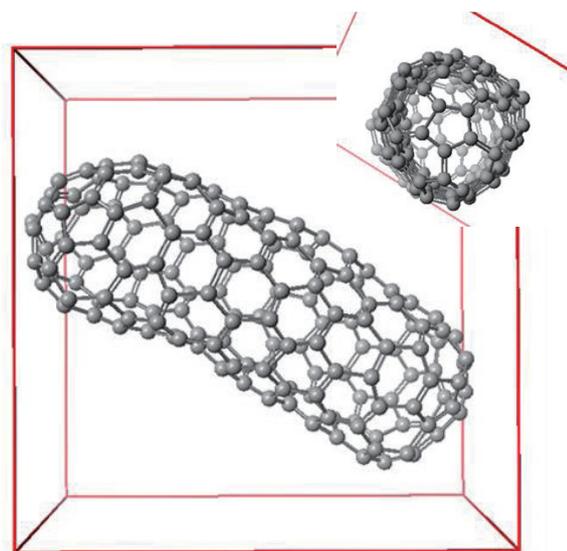


図 6 (b) 加熱後のカーボンナノチューブ

2.2 カーボンナノチューブのマテリアライゼーション

SCIGRESS は 3D プリンタによる造形用の STL ファイル出力を装備しており、それを利用してカーボンナノチューブの 3D モデルのマテリアライゼーションを試みたので、その結果を報告する。

2.2.1 3D プリンタによる造形(1)

前稿 5)で報告した C60 フラーレンの 3D モデルの造形と同様に、3D プリンタはストラタシス社製の Objet Eden260V を使用した。3D プリンタに STL ファイルを読み込ませたところ、「閉じていない部分がある」というエラーメッセージが出たが、出力実行可能だったため続行した。その結果を図 7 に示す。一見問題ないように見えるが、細かく見ると結合子がない部分があり、一応造形はできたが、完全なカーボンナノチューブの 3D モデルの作成には至らなかった。

この現象は、前稿 5)で報告したバッドエッジエラーと全く同じである。そこで、基礎的な 3D プリント用デー

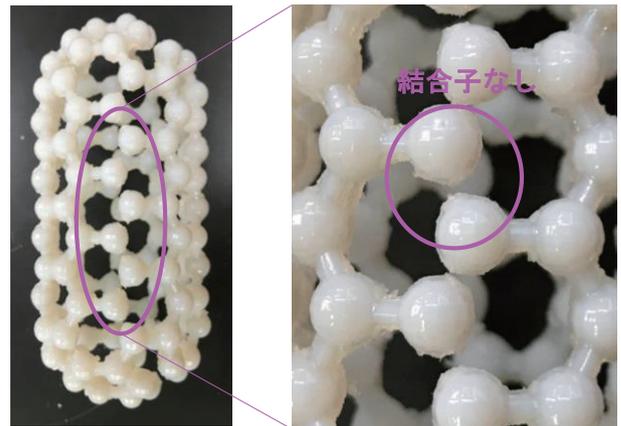


図 7 不完全なカーボンナノチューブ

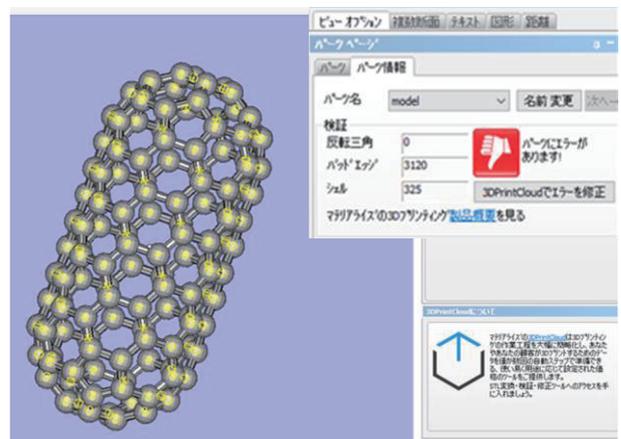


図 8 Materialise MiniMagics 3.0 による解析

タを解析できるフリーソフトウェア Materialise MiniMagics 3.0 で STL ファイルを解析したところ、やはりバッドエッジというエラーがあることがわかった。図 8 に Materialise MiniMagics 3.0 による解析結果を示す。バッドエッジエラーについては、すでに SCIGRESS の開発元である富士通(株)に依頼して解決済と考えていた。また、カーボンナノチューブの両端を閉じた構造にすることによって、「閉じていない部分がある」というエラーを回避したつもりであった。

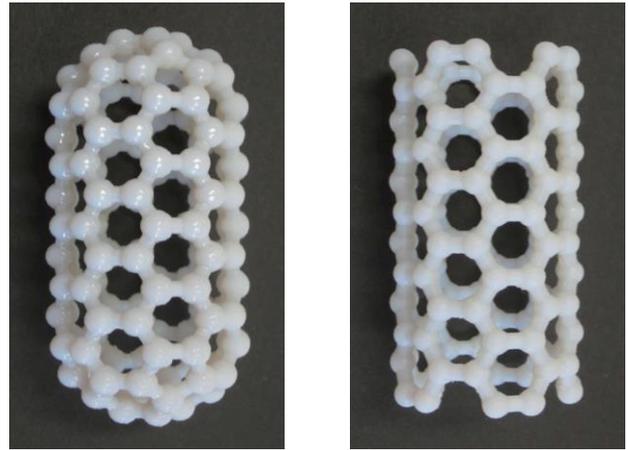
バッドエッジとは、面を閉じていない部分のことをいう。図 8 の Materialise MiniMagics 3.0 による解析結果から、作成したカーボンナノチューブの SCIGRESS の STL ファイル出力は結合部 195 本×円筒の端面 2 面×八角形の辺 8 本=3120 箇所のバッドエッジが存在していることがわかる。しかしながら、3D プリンタの自動修復機能によりなんとか造形はできたが、未結合部分があくつか発生し、完全なカーボンナノチューブのマテリアリゼーションには至らなかった。

2.2.2 3D プリンタによる造形(2)

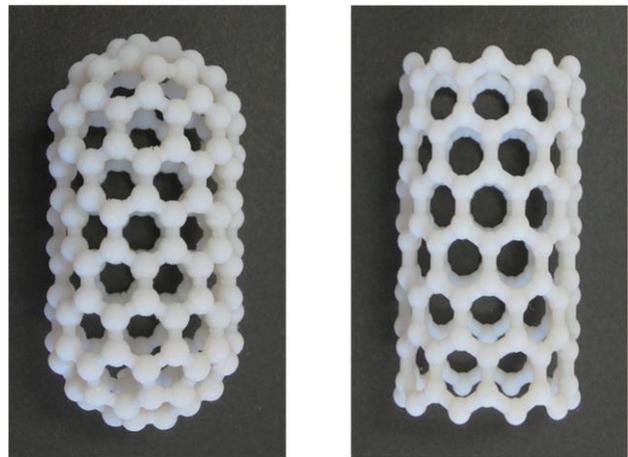
富士通(株)に問い合わせたところ、SCIGRESS と互換性のある SCIGRESS ME で再度確認してほしいとの依頼があった。SCIGRESS ME とは、分子動力学計算に限定したシミュレーションソフトで、富士通(株)が開発した初代の分子動力学計算ソフトである WinMASPHYC や後継の Materials Explorer の流れを組む最新版であり、分子軌道計算と分子動力学計算を統合した SCIGRESS とは計算アルゴリズムが少し異なるらしい。

早速、SCIGRESS で作成したカーボンナノチューブの分子モデルを SCIGRESS ME で読み込み、STL ファイルを出力させ、Materialise MiniMagics 3.0 でエラーチェックしたところ、バッドエッジエラーは 0 になった。また、その STL ファイルを 3D プリンタに読み込ませても、「閉じていない部分がある」というエラーメッセージは出なくなった。また、カーボンナノチューブの両端を閉じずにオープン状態にした 3D モデルも作成したが、バッドエッジエラーは出なかった。図 9 に完成したアームチェア型カーボンナノチューブの 3D モデルを示す。(a)は両端を閉じたタイプ、(b)は両端を開いたタイプである。また図 10 にジグザグ型カーボンナノチューブの 3D モデルを示す。(a)は両端を閉じたタイプ、(b)は両端を開いたタイプである。また、手のひらサイズでがっしりと握れる直径 6[cm]で長さ 15[cm]の 3D モデル (図 11) も製作したので、教材として有効活用したい。

なお、SCIGRESS ME で確認した結果を富士通(株)に連絡して SCIGRESS の STL ファイル出力を修正するよう依頼し、その後改善されたことを確認している。



(a) 両端を閉じたタイプ (b) 両端を開いたタイプ
図 9 アームチェア型カーボンナノチューブ



(a) 両端を閉じたタイプ (b) 両端を開いたタイプ
図 10 ジグザグ型カーボンナノチューブ



図 11 手のひらサイズのカーボンナノチューブ

3. 3D プリント時のエラーの原因や解決方法

近年 3D プリンタでの造形がより身近になり、様々な場面で活用されている。その際に、様々なエラーが発生する可能性がある。本研究は、3D プリント時に発生するエラーの原因や解決方法について調査・検討することを目的とする。具体的には、接合、データの厚み、複数シェルや反転三角に関するエラーについて検討する。

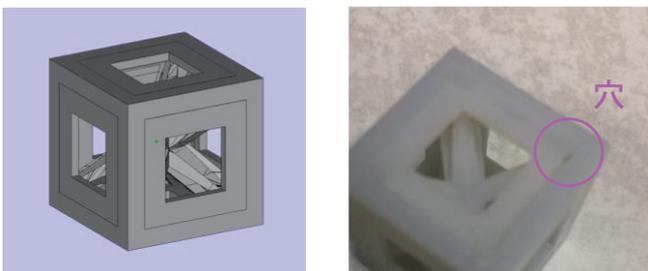
3D プリントの造形に必要な 3D データである STL ファイルは、Microsoft Windows 10 に装備されている 3D モデリングソフト 3D Builder により作成する。作成した STL ファイルを Materialise MiniMagics 3.0 を用いてエラーチェックする。また、3D プリンタはストラタシス社製 Objet Eden260V を使用する。

3.1 接合に関するエラー

設計した箱型のモデルを図 12(a)に示す。この 3D データは面の中央をくりぬいた立方体の内部に、面の中央をくりぬいた三角錐をはめ込み設計したものである。Materialise MiniMagics 3.0 を用いてエラーチェックしたが、この段階ではエラーが検出されなかったため、3D プリンタで造形した。造形結果を図 12(b)に示す。繋ぎ目部分が薄くなっており、穴が開くというエラーが発生した。原因として、立方体と三角錐をぴったり合うように設計してしまったため、そのつなぎ目部分がわずかな隙間として造形時に現れてしまったと考えられる。

このエラーの解決方法として、隙間が発生しないように立方体と三角錐の寸法を調整し、面が重なるように設計修正することが有効である。その結果、接合に関するエラーを回避できた。図 13 に修正した 3D モデルを示す。

上記の検討から、モデルの中につなぎ目をなるべく作らない方が良いと考えられる。つなぎ目は構造的に脆く、時間経過や温度変化などでモデルが収縮した時、ひび割れなどが起きる可能性があるため、面をフラットに作る事が大切だと考えられる。また、寸法に余裕を持たせ、重なりが生まれるように設計すると良いと考えられる。



(a) 設計モデル (b) 造形結果

図 12 接合に関するエラー

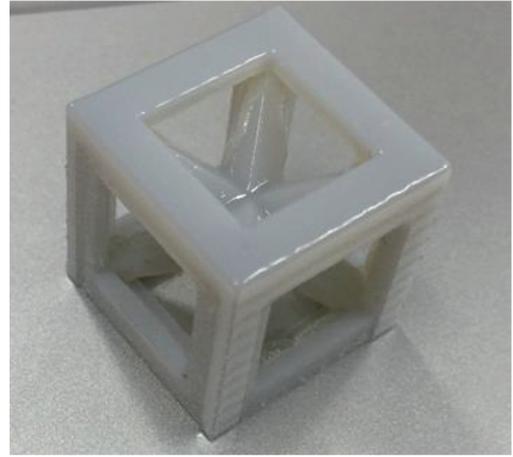


図 13 修正した 3D モデル

3.2 データの厚みに関するエラー

Objet Eden260V は、超細緻の積層ピッチで、非常に細やかで複雑な形状や極めて薄い壁を持ったモデルをプリントする⁸⁾。しかしながら、造形材やサポート材の柔らかさを考えると、現実的には造形できる厚さの限界があると考えられる。

そこで、厚さ 30[μm]から 100[μm]まで 10[μm]間隔で 8 個のサンプルを造形してみた。その結果を図 14 に示す。3D プリンタ出力は造形できたように見えるが、できあがったのは黄みがかっているサポート材のみで、肝心の灰色の造形材は存在しない。サポート材とは、造形時に造形材による造形物を支える材料である。結果として、100[μm]以下では造形できないことがわかった。

次に、厚みを増して 0.1[mm]から 1[mm]まで 0.1[mm]間隔で 10 個のサンプルを造形してみた。その結果を図 15 に示す。0.1[mm]より厚い場合は、造形材で構成され

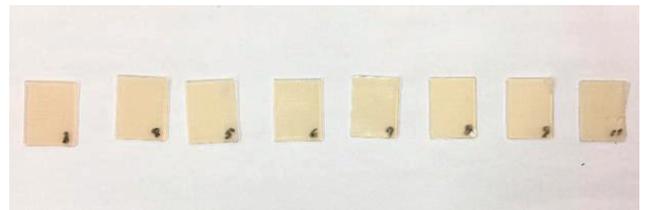


図 14 厚さ 30[μm]から 100[μm]の造形



図 15 厚さ 0.1[mm]から 1[mm]の造形

たサンプルが造形できた。以上のことから、Objet Eden260V で造形できる薄さの限界は 0.1[mm]であることがわかった。しかしながら、厚さ 1[mm]の造形物はあまりに弱く、触ると簡単に變形し、壊れてしまった。造形材の強度を考えると、少なくとも数[mm]の厚さで造形する必要がある。特に、ウォータージェットで造形物の周辺に付着したサポート材を水圧を利用して吹き飛ばす際に、造形物が弱いと壊してしまう可能性があるため、注意が必要である。

3.3 複数シェルや反転三角に関するエラー

図 16(a)に示すような中が空洞となっている球体を設計した。Materialise MiniMagics 3.0 で解析した結果、シェルが 2 つ存在 (複数シェル) し、反転三角が多数存在するというエラーが発生した。

複数シェルとは、つながるべき面が分割されていたり、必要のない面が重なっていることで、シェルエラーとなる。3D モデルは、全ての面がつながって 1 つのシェルになっていなければならない。3D プリントを行う場合、1 つのモデルは原則 1 シェルで、1 体型で造型する場合は重なっているパーツ部分は結合し、シェルを 1 つにまとめる必要がある⁹⁾。

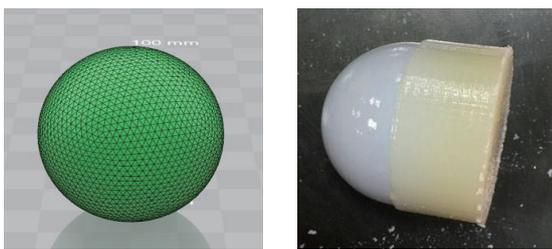
また反転三角とは、3D モデルの表・裏が定義されて面 (ポリゴン) が反転している (裏面が 3D モデルの表に出ている) ことによるエラーで、反転三角が存在すると、その 3D モデルの内側・外側が正しく判断できないためにその部分が造形されない。3D データで作成した面は、表側と裏側の情報を法線の向きで区別しており、3D モデルの表面は全て表側で構成されていなければならない¹⁰⁾。

図 16(b)に造形結果を示す。また図 16(c)はその造形物の断面である。Materialise MiniMagics 3.0 の解析結果では複数シェルと反転三角のエラーが検出されたが、3D プリント出力が可能だったので造形し、断面を確認したところ、きちんと空洞になり、その空洞部分にはサポート材が充填されており、設計通りの造形ができた。

空洞球体の場合、内側のシェルと外側のシェルが存在すると判断され、その結果シェルが 2 つ存在する複数シェルのエラーが発生したと考えられる。さらに、図 17 に示すように内側のシェルの法線ベクトルと外側のシェルの法線ベクトルの向きが反対になってしまい、それが原因で反転三角のエラーが発生した。3D モデルの法線ベクトルはモデルの内側に向くことはなく、外側を向く。したがって外側及び内側のシェルの法線ベクトルが外向きになった結果、外側と内側で法線ベクトルの向きが反対になってしまい、反転三角となってしまった。すなわち、複数シェルが存在することによって反転三角が引き起こされたと考えられる。

今回はたまたま正常に造形できたが、より複雑な 3D モデルになった場合、複数シェルや反転三角が存在することにより、隙間ができて接合エラーが発生する可能性がある。そこで、これらのエラーを解決するために、3D モデルに微小な穴を開けて設計することを考えた。微小な穴を開けることで、外側のシェルと内側のシェルがつながり、1 つのシェルになると考えられる。その結果、シェルは 1 つになり、反転三角をなくすることができた。

複数シェルの解決方法の 1 つとしてブーリアン演算¹¹⁾を実行する修正ソフトの利用があげられる。ブーリアン演算とは体積を持った形状を集合とみなし、複数の形状を和、差、積といった集合演算により組み合わせ、合成された形状を作る演算で、1 シェル化に有効である。



(a) 設計モデル (b) 造形結果



(c) 造形物の断面

図 16 空洞球体の造形

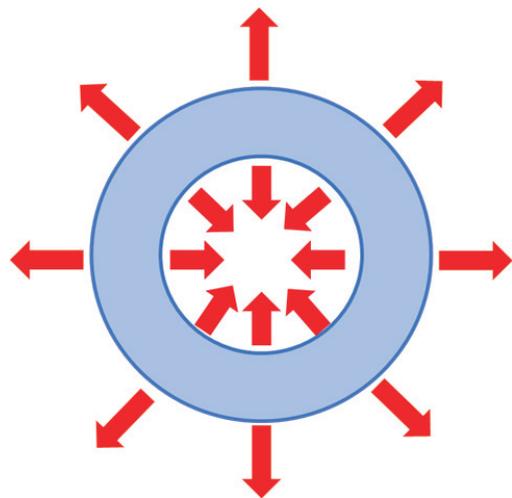


図 17 空洞球体の法線ベクトル

4. おわりに

アームチェア型とジグザグ型の2種類のカーボンナノチューブについて、熱特性を研究するべく、分子動力学シミュレーションにより温度変化に対する運動エネルギーとポテンシャルエネルギーの変化を調べた。加熱によってカーボンナノチューブは膨張と収縮を繰り返し、その変化の様子をアニメーションによってリアルに再現することができた。さらに分子シミュレーションによって得られた3Dモデルを3Dプリンタでマテリアライゼーションすることに取り組み、アームチェア型とジグザグ型でそれぞれ両端を閉じたタイプと開いたタイプの造形に成功した。非常にインパクトがあり、視覚に訴えるアニメーションや3Dモデルを作成でき、学生の興味を喚起するわかりやすく効果的な新教材を開発できた。

実際に授業で活用するべく、C60 フラーレンとカーボンナノチューブを教室に持ち込み、説明後に学生に回覧して実際に手に取らせた。学生の興味津々の様子から、3Dモデルを見せるだけではなく手に取って確認させることの大切さとその効果を実感することができた。C60 フラーレンは美しさを考えて結合子を細目に造形してあったが、強さを確認しようとした学生によって壊れてしまった。やはり3Dプリンタで造形したものは材質が柔らかいので結構壊れやすい。しかし、3Dデータがあるのでまた簡単にコピーを造形でき、また容易にサイズ変更もできるのが、3Dプリンタのすばらしいところである。ちなみに壊れたものはグラフェンとして再利用している。また、カーボンナノチューブは、強くて見映えの良いものを一つ準備しようと思い、直径6[cm]で長さ15[cm]の手のひらサイズでがっしりと握れる3Dモデルも造形した。多くの材料費と時間を費やしたが、さすがにここまで大きいと、迫力があり、硬くて強いのが実感できた。

3Dプリンタによる造形技術の検討も重要なことから、3Dプリント時のエラーの原因や解決方法について検討した。具体的に、接合に関するエラー、データの厚みに関するエラー、複数シェルや反転三角に関するエラーについて検討し、有用な情報を得ることができた。3Dデータは、3Dプリントする前に必ずエラーチェックすべきである。しかしながら、エラーチェックしてエラーがなくても造形した結果、不完全の場合や、エラーが出ていながら造形に成功する場合があります、造形に影響の少ないエラーと影響の大きいエラーが存在することがわかった。

今後、飛躍的な教育的効果の向上が期待できる新教材や新教育法の開発を目指して、さらに様々な電子材料について分子軌道法と分子動力学法による分子シミュレーションを推進すると同時に、3Dプリンタによるマテリアライゼーションと造形技術の向上を図りたい。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 16K00981 (基盤研究(C)) の助成を受けたものであり、謝意を表します。

また、3Dプリンタによる造形に協力いただいた本校教育研究支援センターの遠田達也氏に感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 松橋信明, 山田一雅: 分子軌道法と分子動力学法を活用した新たな教材と教育法の開発 (1), 八戸工業高等専門学校紀要, **48** (2013) pp.85-90.
- 2) 松橋信明, 宮田直人, 釜谷諒悟, 山田一雅: 分子軌道法と分子動力学法を活用した新たな教材と教育法の開発 (2), 八戸工業高等専門学校紀要, **49** (2014) pp.27-32.
- 3) 松橋信明, 櫻庭正将, 大島悠太, 川村徳幸, 堀内翔太, 山田一雅: 分子軌道法と分子動力学法を活用した新たな教材と教育法の開発 (3), 八戸工業高等専門学校紀要, **50** (2015) pp.79-85.
- 4) 松橋信明, 佐藤紀吏友, 山端優斗, 西川美奈海, 榎本優斗, 山田一雅: 分子軌道法と分子動力学法を活用した新たな教材と教育法の開発 (4), 八戸工業高等専門学校紀要, **51** (2017) pp.75-81.
- 5) 松橋信明, 山田一雅: 新教材・教育法の開発を目指した3Dプリンタによる分子計算のマテリアライゼーション (1), 八戸工業高等専門学校紀要, **52** (2018) pp.71-77.
- 6) 井上治博: カーボンナノチューブのすべて, 日刊工業新聞社, (2016) p.21.
- 7) <http://www.surf.nuqe.nagoya-u.ac.jp/research/nanotubes/structure.html>
- 8) <http://www.3d-printer.jp/productlist/objet-eden260v>
- 9) <https://3day-printer.com/guide/words>
- 10) <http://www.irii.jp/irii/pdf/3derror.pdf>
- 11) https://ja.wikipedia.org/wiki/Constructive_Solid_Geometry

(原稿受付: 2018年10月9日)

組み込みロボット授業における地域企業と連携したものづくり技術交流の実践(2)

細川 靖*・吉田 雅昭**・鎌田 貴晴*・野中 崇*・遠田 達也†

Craftsmanship Technology Exchange which Cooperated with the Local Company on Handicraft Class of Line-following Robots by Microcomputers (2)

Yasushi HOSOKAWA, Masaaki YOSHIDA, Takaharu KAMADA, Takashi NONAKA, Tatsuya TOHDA

* 産業システム工学科 電気情報工学コース

** 総合科学教育科

† 教育支援センター

Keywords : 鉛フリーはんだ, Arduino, はんだ付け講習会, すずメッキ線, スイッチ基板工作, 工場見学

1. はじめに

八戸工業高等専門学校(以後、本校と略す)の産業システム工学科電気情報工学コース第3学年での、図1に示すライントレースを自作ロボットで行う授業「ロボットエレクトロニクス」において、これまで鉛フリーはんだ付けによるマイコン基板の工作の実践¹⁾や、本校の鉛フリー化を推進するために各学科の協力を得て行った調査²⁾について述べた。前稿³⁾では、平成28年度電気情報工学科第3学年生の鉛フリーはんだ付け技術の向上を目指し、地域企業と連携したものづくり技術の交流の実践として、すずメッキ線を用いたスイッチ基板工作と、地域のものづくり企業の工場見学を行った。その結果として、学生の工作技術の向上と学習意欲向上の確認結果について述べた。

本稿では、前稿³⁾に引き続き平成29年度電気情報工学コース第3学年生の鉛フリーはんだ付け技術の向上を目指し、地域企業と連携したものづくり技術の交流の実践として、すずメッキ線を用いたスイッチ基板工作と、その評価を行った。さらに地域のものづくり企業の工場見学を行ったので報告する。



図1 ロボットエレクトロニクス授業風景

2. 鉛フリーはんだ付けマイコンボード工作と調査

2.1 平成29年度のマイコンボード工作の実施

電気情報工学コース第3学年では、「ロボットエレクトロニクス」の授業にて組み込み技術を学ぶため、Arduino⁴⁾の秋月電子通商製互換マイコンボード⁵⁾を用いる。このボードは未完成品なので、はんだ付け工作する必要がある。本稿では前稿³⁾と異なり夏学期の実験実習時間を活用して、鉛フリーはんだのはんだ付けと鉛の環境への影響についてパワーポイントで説明を行った後、温度調節付のはんだごてと専用こて先などの工具や自作の工作マニュアルを用い、練習用基板で鉛フリーはんだ付けの練習を行い、その後にマイコンボードのはんだ付け工作を行った。

はんだ付け工作のサポート教員は細川と、第3学年実験実習担当の野中先生、佐々木修平先生、遠田技術職員計4名で行った。工作実施日は平成29年7月14日(金)と7月21日(金)の9:00~12:00の2回で合計5時間と、ほぼ前年度と同等の時間とした。

反省点は、学生側の工作ミスとして、ICソケットを逆にはんだ付けした者や、ジャンパピンの長い方と短い方を間違え逆にはんだ付けした者が多数であった。これらのトラブルがあった学生達もサポート教員の対処により、最終的に工作した38名全員がマイコンボードを動作させた。鉛フリーはんだ付けによるマイコンボード工作後の動作率は平成24年度が98%であったが、平成25年度から5年連続で100%となり、想定以上の結果であった。

2.2 マイコンボード工作のアンケート調査項目と結果

マイコンボード工作後に、筆者らが想定した工作時間、

説明などが十分で学生達が工作できたか評価を行うため電気情報工学コース第3学年の38名を対象にアンケート調査を行った。十分が5、不十分が1の5段階評価とし、集計を遠田技術職員が担当した。以下にその調査項目を示す。また、表1に前稿³⁾の平成28年度アンケート調査結果と平成29年度のアンケート調査結果比較を、図2にアンケート調査結果のグラフを示す。

- 1) 作業時間は十分か
- 2) 抵抗器・コンデンサ・水晶振動子の実装
- 3) ICソケットの実装
- 4) ピンソケット(メス1×8, 1×6)の実装
- 5) 電源ICとLEDの実装
- 6) スイッチとブリッジダイオードの実装
- 7) ピンヘッダ(オス2×3, 1×4)の実装
- 8) 電解コンデンサとDCジャックの実装
- 9) USBモジュールの実装
- 10) マイコンの装着とジャンパピンの接続
- 11) プレート加工と基板固定
- 12) ブートローダの書き込みと動作確認
- 13) 鉛フリーはんだ付け
- 14) 鉛入りはんだの環境への影響
- 15) マイコン工作は楽しかったか
- 16) マニュアルは理解しやすかったか
- 17) マニュアルははんだ付け工作に役立ったか

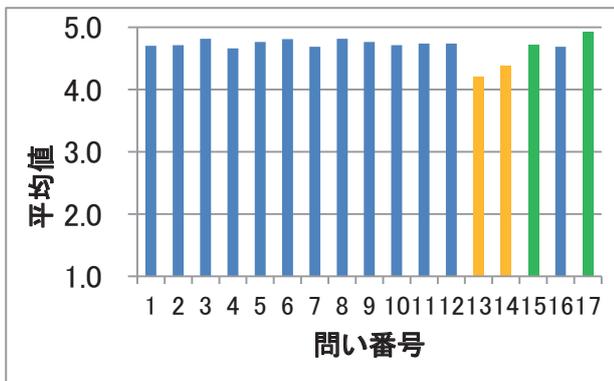


図2 平成29年度マイコンボード工作アンケート結果

これらの結果を見ると、平成29年度は平成28年度に比べ全体的にはほぼ同じで、全ての調査項目で4以上であり、達成度は十分であると言える。問い1の作業時間については4.70と平成28年度と同等で、実験実習で時間が十分取れ順調に進められたため学生も満足していることがわかった。問い13の鉛フリーはんだ付けに関しては4.21、問い14の鉛入りはんだの環境への影響は4.38と他の項目より低い。達成度としては十分と言えるが、マニュアルを基本にしていて講師による鉛フリーはんだ付

けの講習を行っていないので、少し難しいと感じたり、環境影響もよく理解できていない学生もいるようである。問い15のマイコン工作は楽しかったかについては平成28年度以上の4.71となり工作が楽しく、授業満足度も前年度同様に維持でき本研究の教育実践の効果があつたと考えられる。問い17のマニュアルに関する評価も平均4.92と平成28年度よりも高く、カラーの写真付き工作マニュアルは有用で、十分であることが確認できた。

表1 平成28年度と29年度のアンケート調査の平均値比較

	H28年度 平均値	H29年度 平均値
問1	4.72	4.70
問2	4.87	4.71
問3	4.85	4.82
問4	4.76	4.66
問5	4.76	4.76
問6	4.78	4.81
問7	4.74	4.68
問8	4.78	4.82
問9	4.85	4.76
問10	4.78	4.71
問11	4.84	4.74
問12	4.81	4.74
問13	4.33	4.21
問14	4.57	4.38
問15	4.57	4.71
問16	4.52	4.68
問17	4.64	4.92
平均値	4.72	4.69

3. 鉛フリーはんだ付け基礎技術習得のための基板工作練習の試行

3.1 基板工作練習の目的と経緯

鉛フリーはんだ付けは工作技術を必要とするので、マイコンボード工作だけでは時間も短く、両面スルーホール基板のはんだ付けなので学生の技術向上はあまり期待できない。本研究では、すぐメッキ線を用いたスイッチ基板の工作を行う事ではんだ付け技術の向上を目標とするが、学生が基本技術の習得が無い状態では、工作技術を要するすぐメッキ線を用いたスイッチ基板工作には多くの作業時間を要する可能性が高い。特に外部講師を招聘して工作の講習会を実施した際、時間内に完成できない場合には自信喪失と満足度の低下も予想される。学

生が自信喪失して鉛フリーはんだ付けへの苦手意識を持つことは、本研究の目的とは反する結果となる。前年度も基板工作には想定よりも時間を要しており、学生の工作練習不足を感じていた。そこで、本研究では、スイッチ回路基板工作の前に、工作練習を実施することとした。

3.2 基板工作練習の計画

鉛フリーはんだ付け技術向上を目的として、平成 29 年 2 月 16 日(金)の 13:00~15:00 に電気情報工学コース第 3 学年の 38 名を対象に鉛フリーはんだ付けの練習会を実施した。はんだ付け技能保持者の総合科学教育科の吉田先生からはんだ付けの技術講習を受け、回路基板にすずメッキ線での配線練習を行った。書画カメラで手元のはんだ付けを撮影し、学生が講師の工作風景を見られるよう工夫した。前年度は過去に製作されたすずメッキ線によるスイッチ回路基板を剥がしたが、作業時間がかかってしまったので、平成 29 年度は新品のユニバーサル基板を用いて吉田先生考案の直角配線を工作することとした。学生への連絡は担任の鎌田先生に依頼した。以下、作業予定と直角配線工作資料を図 3 に示す。

工作練習作業予定：

- ・ 準備 (10 分)
- ・ 部品配布 (10 分)
- ・ 講師工作実演 (20 分)
- ・ 配線レイアウト (20 分)
- ・ 休憩 (5 分)
- ・ 抵抗の折り曲げとはんだ付け (25 分)
- ・ まとめと振り返り (5 分)
- ・ 後片付け (10 分)

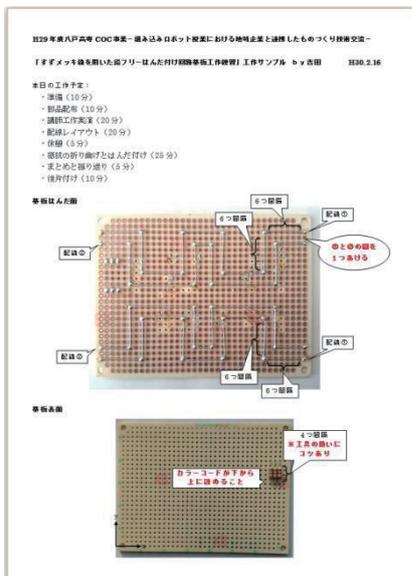


図 3 工作練習用回路配線資料

3.3 基板工作練習の実際

作業時間は 2 時間程度であった。学生は実際には熱いすずメッキ線のはんだ付けが想定より困難で時間がかかり、直角配線を時間内に終えたのは 38 名のうち 11 名のみであった。また、はんだ付けの直角配線も困難で、丁寧に工作できた学生と、殆ど工作できなかった学生がおり、はんだ付け練習作品の完成度の差が大きかった。練習工作の優良例と不良例を図 4 に、真摯に取り組んでいる工作練習の風景を図 5 に示す。

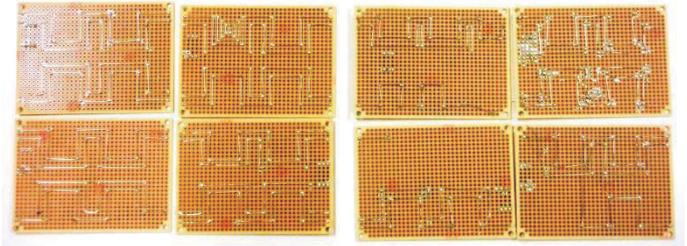


図 4 工作練習用直角配線の優良例(左)と不良例(右)



図 5 工作練習風景

4. 地域のスペシャリストによる鉛フリーはんだ付け技術向上のための電子回路工作講習会

4.1 鉛フリーはんだ付け技術向上のための電子回路工作講習会

地域のスペシャリストによる鉛フリーはんだ付け技術の向上を目的とし、平成 30 年 2 月 22 日にスイッチ回路基板のすずメッキ線を使った鉛フリーはんだ付けの講習会を実施した。鉛フリーはんだ付けにて製品を製造している企業の講師として、アンデス電気株式会社より、開発部長細川進氏、営業部海外営業課長中嶋博行氏、人事総務課係長櫻田憲司氏、また株式会社 AOE より、五日市悠氏に來校いただいた。講習会は、講師より環境を意

識した RoHS 対応と鉛フリーはんだ付けで行っている製品について、資料やパワーポイントを用いて概要説明があり、企業における鉛フリーはんだ付けのニーズを学んだ。また、鉛フリーはんだ付けの方法の説明を受け、工作技術を学んだ。以下に企業より提案された工作講習会の予定を示す。図 6 に講師による講習風景を示す。

鉛フリーはんだ付け回路工作講習会予定：

- 1. はんだとは 13:00～13:20(20分)
- 2. はんだの方式 13:20～13:40(20分)
- 3. はんだの種類と部品 13:40～14:10(30分)
- 4. はんだの国際規格 14:10～14:20(10分)
- 5. 最新はんだ技術 14:20～14:40(20分)
- 6. 工作実習 14:40～15:50(70分)

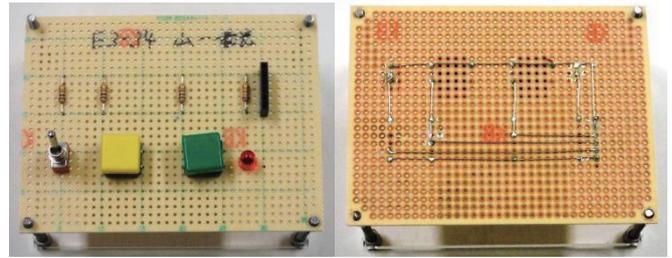


図 7 学生が工作した回路の部品面(左)と配線面(右)

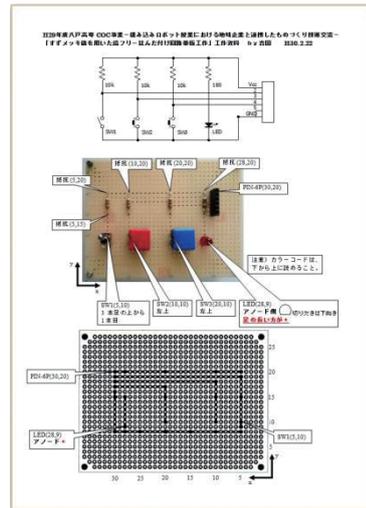


図 8 スイッチ回路工作用資料



図 6 地域スペシャリストによる講習風景

4.2 鉛フリーはんだ付け工作実習

すずメッキ線を用いた鉛フリーはんだ付け工作の実践として、吉田先生作成の資料を参考に電気情報工学コース第3学年の授業「ロボットエレクトロニクス」で利用しているマイコンのための2ボタンスイッチ回路の工作を講師の指導の下に行った。回路完成後には筆者らが前年度に試作したサーボモータを用いた教材を使って回路基板の動作確認を行った。工作のみの時間は計 90 分程度であった。図 7 に学生が実際に作成した優秀回路基板例を示す。また、基板工作の資料を図 8 に、講師の指導を受けながら工作した実習風景を図 9 に示す。

4.3 鉛フリーはんだ付け工作におけるアンケート調査実施と分析

地域のはんだ付けスペシャリストによる鉛フリーはんだ付け工作実習の実施後に、工作時間の過不足や自己評価のアンケート調査を行った。また、実践した地域企業と連携したものづくり技術交流によって、学生の鉛フリーはんだ付けの技術向上が行えたかについてもアンケート調査を行った。対象者は発展学習期に実施したため、工作に参加した電気情報工学コース第3学年 25 名で十分が 5、不十分が 1 の 5 段階評価とし、集計を遠田技術職員が担当した。以下に鉛フリーはんだ付け工作実習に関する調査項目を示す。また、調査結果を図 10 に示す。



図 9 スイッチ回路工作実習風景

工作調査項目：

- 1) 工作時間は十分か
- 2) 抵抗器の実装
- 3) トグル SW1 (TSW) の実装
- 4) プッシュ SW2・3 (PSW) の実装
- 5) 発光ダイオード (LED) の実装
- 6) ピンソケット (メス 1×6) の実装

- 7) すずメッキ線による配線の実装
- 8) 基板足の実装
- 9) Arduino ボードと工作基板との接続
- 10) Arduino プログラムの実行
- 11) トグル SW 動作確認・理解
- 12) プッシュ SW 動作確認・理解
- 13) 鉛フリーはんだ付け
- 14) Arduino でのサーボモータの利用方法
- 15) アクチュエータのリンク機構の理解
- 16) 回路工作・演習は楽しかったか

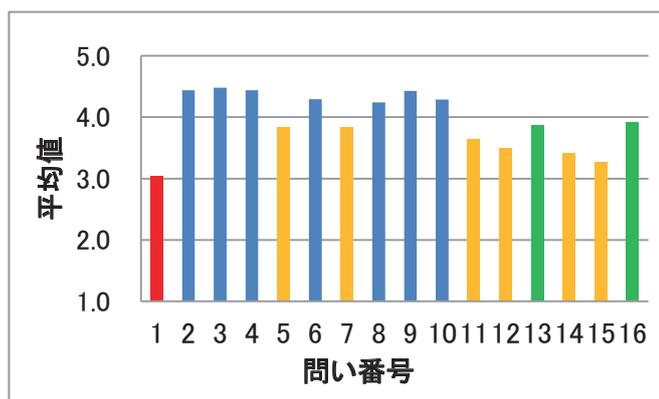


図 10 鉛フリーはんだ付け工作実習調査

図 10 の調査結果より、殆どの学生が作業時間が十分でなかったことが分かった。鉛フリーはんだ付けも良好にでき、楽しく満足度も高かったことが分かる。ただし、問い 5, 7, 11, 12 は資料にミスがあったため低くなった。回路基板工作の動作確認用としてサーボモータを用いたリンク機構の教材を用いたが、時間の関係で事前説明を行えなかったため、平均がほぼ 3.5 以下と他に比べ低い評価になった。

次に、学生の鉛フリーはんだ付けの技術向上に関する調査項目を示す。

はんだ付け技術向上調査項目：

- 1) はんだ付けが好きになったか
- 2) 想像より楽しかったか
- 3) 地域企業のニーズを理解したか
- 4) 鉛の環境影響を意識するか
- 5) はんだ付け技術の向上
- 6) はんだ付け知識習得
- 7) 問題解決能力の向上
- 8) 達成感があつたか
- 9) リンクとサーボの理解
- 10) 後輩も実施する方がいいか

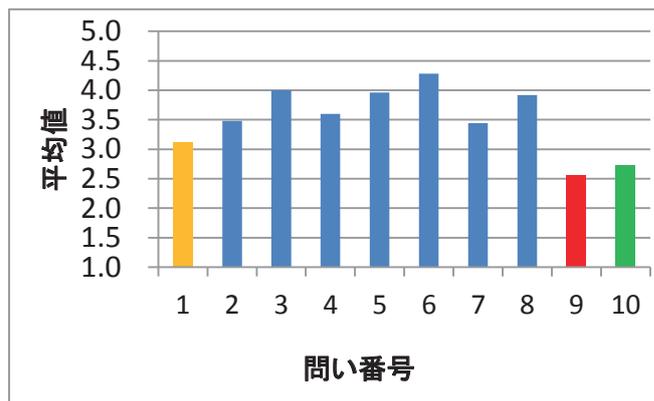


図 11 学生の鉛フリーはんだ付けの技術向上に関する調査

図 11 の調査結果より、殆どの学生が地域企業のニーズを理解し、鉛の環境影響を意識したことと、はんだ付け技術が向上し、はんだ付け知識が習得でき、問題解決能力が向上し、達成感があつたことが分かった。また、本研究の同様の取り組みを後輩達も体験した方が良いかという問いは、はい・わからない・いいえの 3 段階であったが、平均は 2.72 と高く、後輩達も実施する方が良いと考えていることが分かった。しかし、ここでもリンクとサーボの理解については高くない結果であった。

本研究では、技能保持者吉田先生による練習基板とスイッチ回路基板のはんだ付け技能の評価を行った。評価項目は、「はんだ付け 5 点」、「メッキ線配線 4 点」、「抵抗の折り曲げ 3 点」、「外観(見た目) 3 点」の 4 項目で合計 15 点満点とした。評価の結果、練習基板は 36%、スイッチ回路基板は 13%が優良工作(12 点又は 10 点以上)であった。内訳は、練習ありで評価低が 2 名(向上無)、練習ありで評価低から高になったが 2 名(向上有)、練習ありで評価高が 3 名(向上有高品質)であった。

5. 地域のものづくり企業工場見学

平成 30 年 2 月 23 日の 12:45 に集合してバスに乗り、地域のものづくり企業の理解のため、八戸市内の企業であるアンデス電気株式会社と株式会社 AOE の工場見学を電気情報工学コース第 3 学年を対象に行った。対応者は前日に工作指導を行った、アンデス電気株式会社人事総務課係長櫻田憲司氏と株式会社 AOE 五日市悠氏の 2 名であった。工場見学では学生も企業対応者が初見ではなく見知っているため、気軽に質問をしていた。

始めに企業紹介があり、アンデス社の製品紹介としては、新幹線に採用された空気清浄機や、電器店の LED 照明など身近な製品であった。AOE 社の製品紹介としては五日市氏が担当した液晶タッチパネル開発で、自動車に搭載されているものであった。

見学は、アンデス社の開発した製品（空気清浄機、LED照明等）と、AOE社の開発した製品（タッチパネルの製造工程や、クリーンルーム等）と試作工場であった。見学後に質問会を行った。これらの様子を図12に示す。



図12 地域のものづくり企業工場見学の様子

学生達は企業見学が初めてで、見学後のアンケート調査の感想として、「八戸で作られたものが全世界で使われていることに驚いた」、「思った以上に自分の身の周りの製品製作に携わっていて驚いた」、「地元企業にここまで身の周りにあるものを作っているところがあるとは思わなかった」、「高専生ってすごいと感じた」等の意見から、地元企業への興味が喚起されたことが分かった。

また、「電気の勉強をもっと頑張りたいと思った」、「今勉強していることが身の周りにどう役立つか分かった」、「英語が大切と聞いてちゃんと英語を勉強しようと思った」等、学業への意識向上も確認できた。

さらに、「進学しようと思っていたが就職するのも良いと思った」、「重い雰囲気とかでなく楽しそうな職場で良いなと思った」、「自分も新しい製品を作りたいと思った」、等の意見があり、地域企業就職への意識向上も確認できた。

これらのアンケート結果から、実は身近な製品が八戸から世界へ出荷されていることを知り、地域企業への興味喚起とOBの先輩の活躍などの刺激を受け、学生達の学業や、地域企業への就職の意識向上が確認できた。

6. まとめ

本研究では、電気情報工学コース学生の鉛フリーはんだ付け技術の向上を目指し、地域企業と連携したものづくり技術交流を实践し、すずメッキ線を用いたスイッチ基板工作と、地域のものづくり企業の工場見学を行った。

アンケート調査では、実際に自分ではんだ付けした難しさから多数の学生が「講師のはんだ付け技術に驚いた」と答え、講習後は「はんだ付け技術が向上した」と答えており、本研究の成果が確認できた。

地域のものづくり企業見学では、「地元企業の製品が世界に行くと驚いた」、「就職するのも良いと思った」、「英語を勉強しようと思った」、等の肯定的な意見が多く、教育的成果と、学習意欲向上と地域理解向上が確認できた。

鉛フリーのはんだ付け工作は技術が必要だが、本研究では事前練習を行った結果、殆どの学生が完成できた。スイッチ基板の作業時間不足と発展学習期に実施したので参加学生が少なかったのが課題である。

「はんだ付け工作後のものづくり企業見学」が地域理解に有効なので、今後も本研究を継続して授業と地域のものづくり企業を連携させて、環境を意識したはんだ付け教育を継続・推進したいと考えている。

謝辞

アンケート調査にご協力いただいた学生諸君と本研究にご協力いただいた教職員の皆様には感謝致します。また、本研究の一部は、平成29年度の八戸工業高等専門学校でCOC事業「組み込みロボット授業における地域企業と連携したものづくり技術交流」の支援により行ったものであり、援助いただいた関係各位に深く感謝致します。

参考文献

- 1) 細川 靖, 島脇良介: マイコンを用いた自走ロボット工作授業の展開(3), 八戸高専紀要, 第48号, pp.91-95(2013).
- 2) 細川靖, 野中崇, 鎌田貴晴, 吉田雅昭, 沢村利洋, 齊藤貴之, 丸岡晃, 遠田達也: 校内鉛フリー化推進調査と鉛フリーはんだによる基板工作の实践, 八戸高専紀要, 第49号, pp.37-42(2014).
- 3) 細川靖, 吉田雅昭, 秋田敏弘, 中ノ勇人, 遠田達也, 工藤隆男, 組み込みロボット授業における地域企業と連携したものづくり技術交流の实践, 八戸工業高等専門学校紀要, 第52号, pp.5-10(2018).
- 4) Arduino 公式ウェブサイト, <https://www.arduino.cc/> (2017).
- 5) 秋月電子通商公式ウェブサイト, <http://akizukidenshi.com/> (2017).

(原稿受付: 2018年11月5日)

方程式誤差法を用いた音響用エコーキャンセラの検討

工藤 憲昌*・釜谷 博行**・田所 嘉昭**

A study on an acoustic echo canceller using an equation error method

Norimasa KUDOH, Hiroyuki KAMAYA, Yoshiaki TADOKORO

* 産業システム工学科 電気情報工学コース

** 豊橋技術科学大学 工学部

Abstract : Acoustic echo signals generated by acoustic echo path have usually long duration. The echo signals are likely to be generated when meetings are held using TV-conference systems, in which loudspeakers and microphones are used. Because communication quality may become worse, these echo signals should be reduced. FIR-typed echo cancellers, however, have some problems which are increasing circuit scales and large computational burden. From these reasons, An ARMA-typed echo canceller, which is able to estimate and simulate more effectively compared with an FIR-type one, is investigated. IIR-typed adaptive digital filters have problems of stability, so we propose cascade configuration of 2nd order IIR filters, whose stability is easily checked. From extensive simulations, it is confirmed that the proposed method has good echo cancelling performance with less computational burden.

Keywords : equation error method, echo canceller, adaptive filter

1. はじめに

TV 電話システムやハンズフリー電話といった音響的な反響路をもつ系を使用したとき、自分の声がエコーとして聞こえてくることがある。これは、スピーカーから出力された音声が入力された音声であり、一定の通話品質を保つためには除去する必要がある。

拡声通信系や長距離電話回線で使われる適応デジタルフィルタでは、未知系のインパルス応答長が数百ミリ秒以上と非常に長い。適応デジタルフィルタにおいては、(1)入力信号が音声信号のように有色信号である場合適応パラメータの収束速度が遅い、(2)未知系のインパルス応答長が長い場合に回路規模および適応パラメータ更新の演算量が増加する、等の解決策を検討することが課題である。(1)の課題に対しては、時間領域或いは直交変換領域で入力信号の直交化を行うことを基本にして多くの試みがなされている。(2)に対しては IIR 型で推定系を構成する検討が行われている^{1,2)}。

本稿では、エコー経路を効率的に実現できる ARMA (Auto Regressive Moving Average) 型のエコーキャンセラについて検討を行ったので報告する。

以下に本稿の構成を示す。2. では、未知系に対して、推定系を直列と並列に接続する方程式誤差型の適応エコーキャンセラ、安定化法、係数更新法について述べる。3.

は、数値例でありエコー低減量について述べる。4. はまとめである。

2. 適応エコーキャンセラ^{3),4)}

ARMA 型エコーキャンセラには、係数の学習時に図 1 の構成をとる出力誤差型(並列型)と、図 2 に示す方程式誤差型(直並列型)の 2 つがある。出力誤差型は間接的に極を推定するため発振の可能性がある、また誤差局面が多峰性なので最適値に収束する保証はない。これに対して、方程式誤差型は必ず最適値に収束する単峰性となっていることから、学習時には方程式誤差型を用いて未知系 $H(z) = B(z)/(1+A(z))$ を推定し、相手側発話時といった非学習時には、図 1 のように未知系に対し並列に動作する。

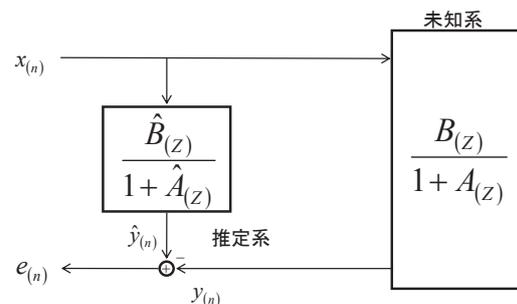


図 1 出力誤差型(並列型)

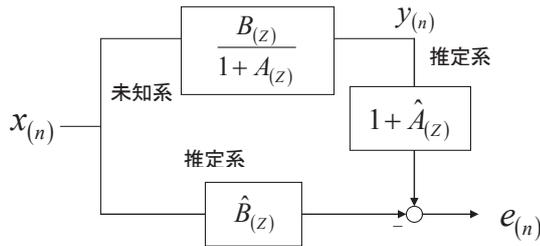


図2 方程式誤差型(直並列型)

式(1)に伝達関数を、式(2)に方程式誤差型の場合の推定誤差 $e(n)$ の算出法を示す。

$$B(z) = \sum_{n=0}^{N-1} b_n z^{-n} \quad A(z) = \sum_{m=1}^{M-1} a_m z^{-m} \quad (1)$$

$$e(n) = y(n) - \hat{y}(n) \\ = y(n) - \left\{ \sum_{i=0}^{N-1} \hat{b}_i x(n-i) - \sum_{i=1}^{M-1} \hat{a}_i y(n-i) \right\} \quad (2)$$

2.1 安定性を保証した ARMA 型エコーキャンセラ

2.で述べたように図2に示す方程式誤差型では未知系の極の部分(1+A(z))を零点として推定しているの、システムの安定性が保証される。しかし、図1の構成となる相手通話時には零点が極となるため、単位円外に極が存在した場合、安定性が保証されない。このため、零点の半径を把握する必要があるが、系の次数が3次以上となると容易に因数分解による零点の判別を容易に行うことができない。以上の理由より、2次システムの縦続接続を考慮する。

例として M=6 における $1 + \hat{A}(z)$ を実現した式、構成をそれぞれ、式(3)、図3に示す。このように、2次のフィルタの縦続系で構成することにより、根の公式を用いて容易に零点を算出することができる。

$$1 + \hat{A}(z) = \prod_{i=1}^{M/2-1} (1 + \alpha_i z^{-1} + \beta_i z^{-2}) \quad (3)$$

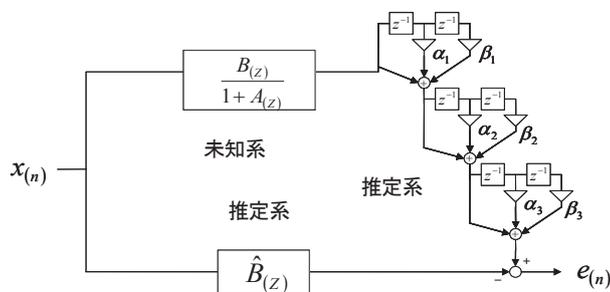


図3 縦続システムを用いた構成

式(3)を展開し式(1)の A(z) の同一次数の係数と対応さ

せる。例として、 a_1 を式(4)に示す。

$$a_1 = \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 \quad (4)$$

2.2 全域通過フィルタ(APF)による安定化²⁾

相手側発話時に適用される図1の構成で、未知系の極が単位円に近く、適応エコーキャンセラの推定系の零点が単位円の極半径1を超えてしまうと、フィルタが不安定になってしまう。この不安定な根を判別し、全域通過フィルタ(APF: All Pass Filter)を通す操作を前項の縦続系の計算に追加することによって安定性を確保する。

今、図3の構成の1段目の2次のフィルタを考える。この零点を根の公式より求め、それぞれ Z_1, Z_2 とすると、

$$1 + \alpha_1 z^{-1} + \beta_1 z^{-2} = 0 \quad (5)$$

より

$$z_{1,2} = \frac{-\alpha_1 \pm \sqrt{\alpha_1^2 - 4\beta_1}}{2} \quad (6)$$

と表される。このとき算出された零点の大きさが1を超えた場合に、全域通過フィルタを通して零点の大きさを単位円内の相反な位置に折り返す処理を追加する。

全域通過フィルタのシステム関数 $H_{ap}(Z)$ を、式(7)に示す。ここで、*は複素共役を示す。なお、 $1/Z_1^* = Z_2$ の関係がある。

$$H_{ap}(Z) = \frac{Z^{-1} - Z_1^*}{1 - Z_1 Z^{-1}} \quad (7)$$

式(7)の Z_1 と Z_2 は相反な位置にあり、それぞれ極と零点となっている。不安定な零点が、APFの極によって打ち消しあい、APFの安定な零点が残る、つまり単位円を基準として相反な位置に折り返されることになる。

2.3 縦続系における係数更新²⁾

図3に示す縦続系の係数更新においても二乗誤差の瞬時勾配を用いる。縦続系 α_i の瞬時勾配は式(8)に示すように、誤差を式(4)で表される各係数で偏微分した値の和で表される。 β_i についても同様である。

$$\hat{\nabla} \alpha_i(n) = \frac{\partial e(n)^2}{\partial \alpha_i} = 2e(n) \frac{\partial e(n)}{\partial \alpha_i} \\ = 2e(n) \sum_{k=1}^6 \frac{\partial e(n)}{\partial a_k} \frac{\partial a_k}{\partial \alpha_i} \quad (8)$$

式(8)の瞬時勾配を用いて導出した更新式の一例 (α_1) を式(9)に示す。他の更新式も同様に求めることができる。

$$\alpha_{1(n+1)} = \alpha_{1(n)} - \mu e(n) [y_{(n-1)} + y_{(n-2)} \{ \alpha_{2(n)} + \alpha_{3(n)} \}]$$

$$\begin{aligned}
 &+ y_{(n-3)}\{\alpha_{2(n)}\alpha_{3(n)} + \beta_{2(n)} + \beta_{3(n)}\} \\
 &+ y_{(n-4)}\{\alpha_{2(n)}\beta_{3(n)} + \alpha_{3(n)}\beta_{2(n)}\} + y_{(n-5)}\beta_{2(n)}\beta_{3(n)}] \quad (9)
 \end{aligned}$$

これまで、式(4)の係数計算式と、偏微分を用いた各 α 、 β の更新式を机上で導出し、シミュレーション用のプログラムに実装していた。しかし、縦続接続する段数の増加と共に畳み込みの式の計算量が増加、複雑化してしまい、高次化が困難となっていた。また、C 言語で実現しているため、プログラム上での文字式、偏微分計算といった数式処理が実現不可能であった。

そこで、プログラム上において、段数と次数を入力することで係数値、更新値を計算するアルゴリズムを検討した。係数値の計算が畳み込みで計算できることを利用して段数ごとに次数に沿って計算していく。式(10)は n 段目、 i 次の係数値を表している。

$$a_{n-i} = a_{(n-1)-i} + a_{(n-1)-(i-1)}\alpha_n + a_{(n-1)-(i-2)}\beta_n \quad (10)$$

式(4)より、前段の係数値に、前段の係数値と現在の段の α 、 β との積を加算していく形となっている。この式の前段の係数値を用いて α_n 、 β_n で偏微分する。

$$\frac{\partial a_i}{\partial \alpha_n} = a_{(n-1)-(i-1)} \quad (11)$$

$$\frac{\partial a_i}{\partial \beta_n} = a_{(n-1)-(i-2)} \quad (12)$$

式(11)、(12)に示すように、偏微分値を再帰的に前段の係数値を用いて表すことができる⁵⁾。最終段目以外の α 、 β については計算順序を変更することにより同様に計算できる。

3. 数値例

$B(z)$ に 20 次の LPF、 $(1+A(z))$ に 6 個の極を用いた未知システムを用いてシミュレーションを行った。この未知システムの特性を図 4 に示す。分散が 1 のガウス性白色雑音を、音声(母音)を模擬した AR 過程のフィルタを通して有色化した信号を入力として用いた。シミュレーションのパラメータを以下に示す。

ステップサイズ $\mu = 0.01$
 繰り返し回数 $n = 10000$
 観測雑音の分散 $\sigma_y^2 = 0.1$ (ガウス性白色雑音)

ERLE はエコーキャンセラの性能指標であり、式(13)で定義される。図 5 に ERLE (Echo Return Loss Enhancement)の収束特性を示す。なお、ERLE は、20

回の独立した試行の集合平均をとって求めた。

$$ERLE_{(n)} = 10 \log_{10} \left(\frac{y_{(n)}^2}{e_{(n)}^2 + 10^{-8}} \right) [dB] \quad (13)$$

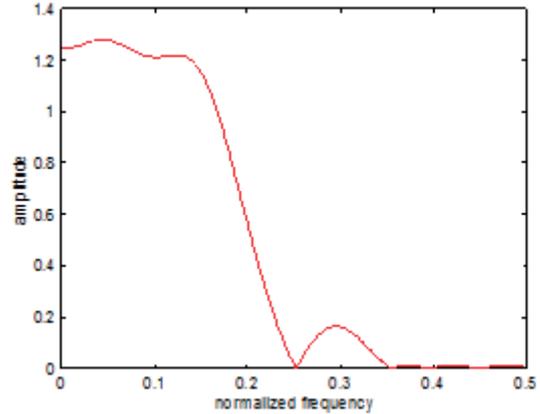


図 4 未知システムの特性

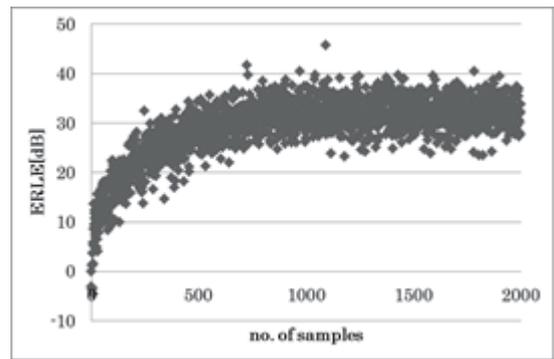


図 5 収束特性

4. まとめ

方程式誤差法を用いて、学習時および非学習時に安定な ARMA 型の適応エコーキャンセラの構成および係数更新式を述べた。計算機シミュレーションにより、ERLE は 40[dB]に近い値に到達しており、十分な性能をもっていることがわかる。今後は、DSP (Digital Signal Processor) に実装し、音声のような有色信号を用いた学習の検討、ブルトーク検出等の実環境に沿った構成の実現を行なう。また、全域通過フィルタは振幅特性を変化させないが位相特性を変化させるので、位相補償の方法等を検討する予定である。

参考文献

- 1) 小林, " 直交関数系を用いたエコーキャンセラ", 信学論 B Vol. J 70-B. pp. 1124-1131 (1987)
- 2) 工藤, 田所, " 位相補償器を縦続接続した IIR 適応フィルタ

- の検討”,計測自動制御学会 東北支部研究会 161-8 pp. 1-5 (1996)
- 3) B.widrow, S.D.Sterns, “Adaptive signal Processing”, Prentice-Hall. (1985)
 - 4) 福士,工藤,田所”方程式誤差法を用いた VoIP 用エコーキャンセラの検討”,電気関係学会東北支部連合大会 講演論文集 2F09 (2010)
 - 5) 福士,工藤,田所,”方程式誤差法を用いた音響用エコーキャンセラの検討”, SICE 講演論文集 265-12 (2011)

(原稿受付 : 2018 年 11 月 14 日)

酸化物単結晶基板上的スパッタ触媒金属膜を用いたグラフェン合成

中村 嘉孝*、松元 ほの香**

Graphene synthesis using sputtered catalyst metal films on the oxide single crystal substrates

Yoshitaka NAKAMURA*, Honoka MATSUMOTO**

* 産業システム工学科

** 電気情報工学科 学生

Abstract : In order to apply graphene to biosensor and gas sensor, it was fabricated on oxide single crystal substrate with Cu catalytic metal. A Cu thin film was deposited on a c-sapphire and (100) MgO single crystal substrate by a sputtering method. When Cu was sputter deposited on a sapphire substrate at a substrate temperature of 600 ° C., a (111) oriented Cu thin film grew. When Cu was sputtered on a MgO substrate at a substrate temperature of 600 ° C., a (100) oriented Cu thin film grew. Next, graphene was grown on the substrate with Cu thin film by thermal CVD method. It was confirmed that single-layer graphene was growing by Raman spectroscopy.

Keywords : Single layer graphene, c-sapphire and MgO substrate, Cu catalyst

1. はじめに

炭素材料の一つであるグラフェンは、図 1 に示すように、炭素原子が蜂の巣格子状に互いに強固に共有結合した二次元結晶である。原子一個の厚さしか有していない極限の厚さを持った物質と言える。グラフェンの移動度は非常に高いため電気伝導性が高い。また熱伝導性も良好であり、更に反磁性を示すなど様々な個性的な特徴を有している。そこで、グラフェンを用いた様々な応用が検討されている。その一つとして、グラフェンを用いたガスセンサーが有望である。Jian 等は CO₂ 一個の分子の吸着および脱離を室温で検出したと報告し¹⁾、究極の感度を持つガスセンサーが開発された。また、様々なグラ

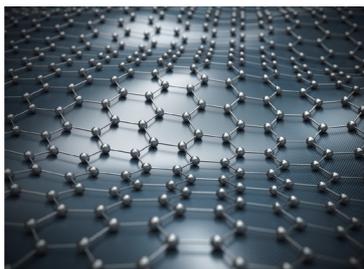


図 1 グラフェンの結晶構造

フェンバイオセンサーも開発されている²⁾。これらのデバイスを作成するには高品質なグラフェンが要求される。Cu や Ni などの金属箔は多結晶である為、安価ではあるが困難な面がある。そこで、B. Hu らは(0001) Al₂O₃単結晶基板を用いてヘテロエピタキシャル成長した(111)配向した Cu 触媒薄膜を合成し、高品質なグラフェンの合成に成功している³⁾。

本研究では、(0001) Al₂O₃と(100)MgO 酸化物単結晶基板を用いて、Cu 薄膜をスパッタ法により作製し、その上に熱 CVD 法により高品質なグラフェンの合成を試みたので報告する。

2. 実験・評価方法

銅薄膜の堆積は RF マグネトロンスパッタリング装置を用いた。堆積条件は成膜真空度 0.05[torr]、Ar ガス流量 30[sccm]、投入電力 20[W]、堆積時間 60 分とし、基板温度を 600~750[°C]と 50°Cきざみで変化させた。使用した基板は(0001)Al₂O₃と(100)MgO の二種類の単結晶基板である。

グラフェン結晶は熱 CVD 法を用いて成長させた。堆積条件は基板温度 1000[°C]、H₂流量 38[sccm]、C₂H₂流量

1.2[sccm]とした。作製プロセスは、目的の 1000[°C]に到達後、H₂を60[分]流し、その後C₂H₃を60[分]流した。可動式の電気炉を速度 0.9[cm/s]で移動させることで、急冷却を行った。また、成長プロファイルを図2に示す。(a)は1000°Cで60分水素ガス中で熱処理するプロセスを含み、(b)は熱処理を行っていない。

試料は、銅薄膜の結晶配向性はX線回折法(XRD)により、グラフェンの評価はレーザーラマン分光法により行った。

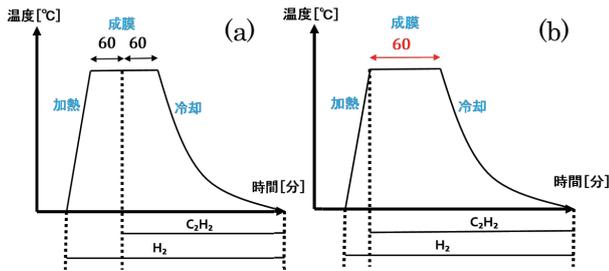


図2 CVD法によるグラフェンの作製プロセス。(a)と(b)はそれぞれ、1000°Cでの加熱時間が120分と60分である。

3. 結果・考察

3.1 Cu 薄膜作製・評価結果

MgO および Al₂O₃基板上にスパッタリング法を用いてCu 薄膜を作製し、X線回折法により配向性を調べた。図3にMgO基板上に基板温度600°Cおよび750°Cで銅を堆積させた時のXRDパターンを示す。600°Cでは(100)配向して成長しているが、750°Cでは(100)配向が支配的ではあるが、(110)配向した結晶粒が成長してくることが分かった。図4にAl₂O₃基板上に基板温度600°Cおよび750°Cで銅を堆積させた時のXRDパターンを示す。600°Cでは若干(100)配向が見られるが、(111)配向が支配的である。

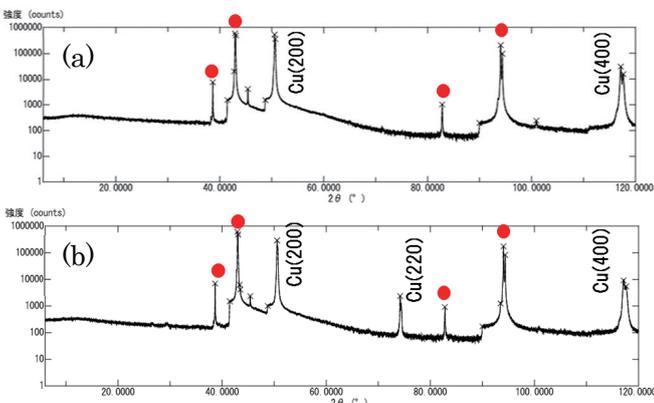


図3 Cu/MgOのXRDパターン。(a)と(b)の基板温度は、それぞれ600°Cと750°Cである。

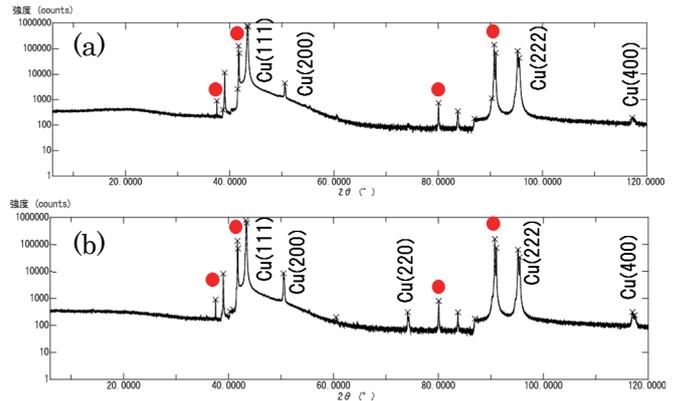


図4 Cu/Al₂O₃のXRDパターン。(a)と(b)の基板温度は、それぞれ600°Cと750°Cである。

750°Cでも(111)配向が支配的ではあるが、(100)と(110)配向成分が現れてくることが分かった。

3.2 グラフェン作製・評価結果

次にグラフェンを熱CVD法により成長させた。図5はMgO基板上の銅薄膜表面の写真とラマンスペクトルである。作成プロセスは、図2(a)のプロセスである。図5(a)と(b)はグラフェンを成長させる前と後の表面であり、①②③④の試料はそれぞれ、基板温度600°C、650°C、700°Cそして750°Cで銅薄膜を堆積させた試料である。グラフェンを成長させると、銅薄膜の色が変化している。これ

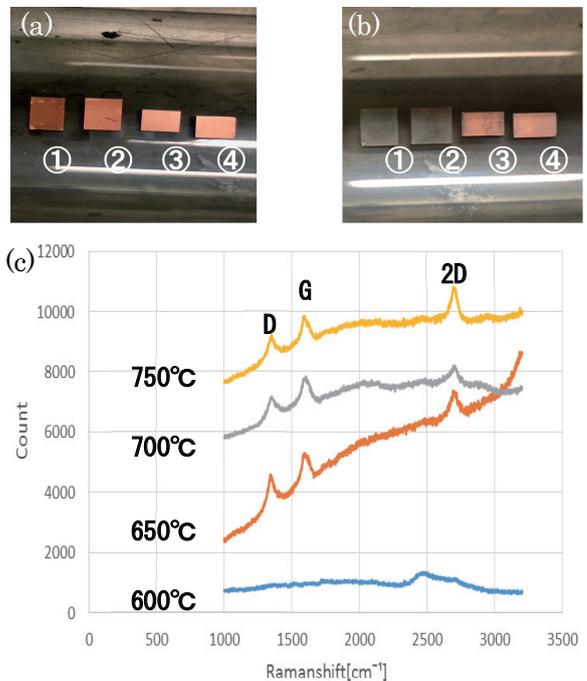


図5 Graphene/Cu/MgOのラマンスペクトル。(a)はCu/MgO、(b)はGraphene/Cu/MgOの表面写真である。(c)はCuスパッタ堆積基板温度をパラメータにした時のGraphene/Cu/MgOのラマンスペクトルである。

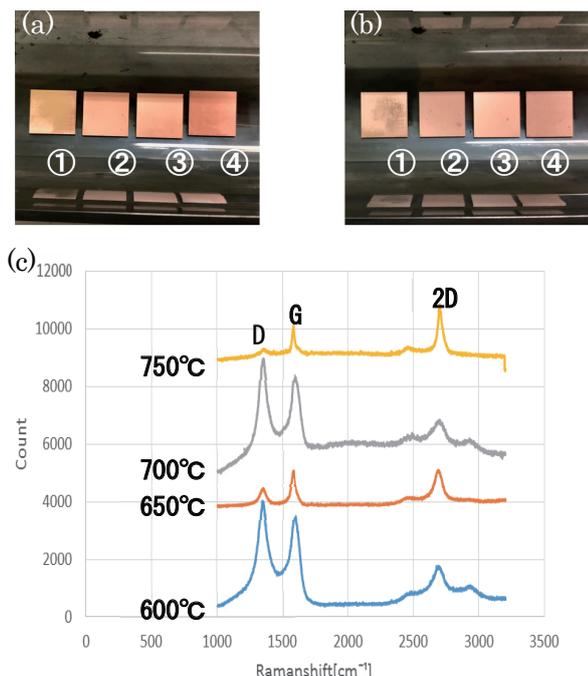


図6 Graphene/Cu/Al₂O₃のラマンスペクトル。(a)はCu/ Al₂O₃、(b)はGraphene/Cu/ Al₂O₃の表面写真である。(c)はCu スパッタ堆積基板温度をパラメータにした時のGraphene/Cu/ Al₂O₃のラマンスペクトルである。

は、1000℃で2時間加熱してグラフェンを成長させたことから、銅が蒸発し薄くなったためと考えられる。図5(c)は各試料のラマンスペクトルである。銅薄膜がほとんど存在しない600℃で銅を堆積した試料①以外では、Dピーク,Gピーク,2Dピークが観測されているが、ピーク強度は全体的に弱くなっている。

図6は Al₂O₃基板上的銅薄膜表面の写真とラマンスペクトルである。作成プロセスは、図2(b)を用いた。これは、1000℃での加熱時間が2時間と多かった MgO 基板では、銅の蒸発が多かったため、蒸発量を抑えるために、このプロセスに変更した。図6(a)と(b)はグラフェンを成長させる前と後の表面であり、①②③④の試料はそれぞれ、基板温度600℃、650℃、700℃そして750℃で銅薄膜を堆積させた試料である。グラフェンを成長させても銅薄膜はしっかりと残っていることが分かった。加熱時間を1時間に減らした効果が見られる。図6(c)は各試料のラマンスペクトルである。750℃で堆積した銅薄膜上の試料④は全体的にGピーク,2Dピーク共に強いことがわかる。また、Gピーク強度より2Dピーク強度が高く、単層グラフェンであることが分かる。更に、Dピークは小さいことから、欠陥の少ないグラフェンであることが分かる。

図7にCuの堆積基板温度750℃におけるAl₂O₃基板上グラフェンのラマンマッピング像を示す。図6(b)の④の

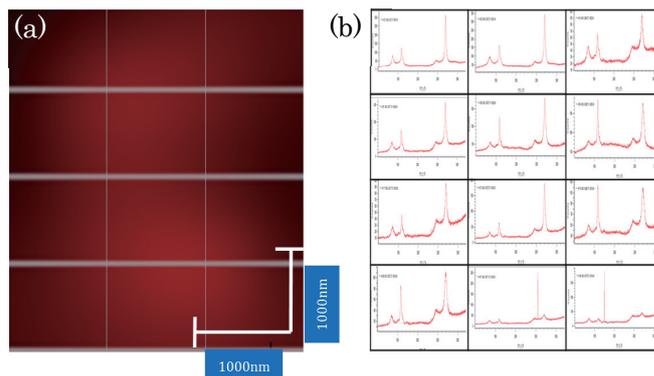


図7 基板温度750℃でCuをスパッタ堆積したGraphene/Cu/Al₂O₃のラマンマッピング像(a)と各領域でのラマンスペクトル(b)。

試料である。図7(a)の図は、Gと2Dピークの強度比(I_{2D}/I_G)を明暗で示している。明るい部分は強度比が高く、暗い部分は低いことを表す。(b)の図は、各領域のラマンスペクトルである。全体的にGピークより2Dピークが非常に高く、単層グラフェンが成長していることが分かる。しかし、Dピークも観測されることから、結晶欠陥が含まれている事がわかる。以上より、3μm×3μm弱の面積を持つグラフェンを成長させる事ができた。

4. まとめ

スパッタリング法を用いて基板温度600℃でCu薄膜を堆積したところ、(100)MgOと(0001)Al₂O₃単結晶基板上に、それぞれ(100)配向および(111)配向した銅薄膜が成長する事がわかった。これらの配向膜にCVD法を用いてグラフェンを成長させた。MgO基板およびAl₂O₃基板の両方でグラフェンが成長していた。Al₂O₃基板上グラフェンのラマンマッピング測定の結果、3μm×3μm弱の面積を持つグラフェンが成長している事がわかった。

文 献

- 1) J. Sun et al., Sci. Adv. 2016;2:e1501518
- 2) N. M. Zaifuddin et al., Jpn. J. Appl. Phys. 52(2013)06K04
- 3) B. Hu et al., CARBON 50 (2012) 57-65
- 4) 齋藤理一郎,「フラーレン・ナノチューブ・グラフェンの化学」,共立出版

(原稿受付:2018年12月10日)

Connarus エキスのアポトーシス誘導作用

立花千優*・佐々木有*・中村隆典**・山崎佳代子**・村重諒**

Apoptosis-inducing effect of aqueous extract of *Connarus ruber* cortex

Chihiro Tachibana, Yu F SASAKI, Takanoiri NAKAMURA, Kayoko YAMASAKI, Ryo MURASHIGE

* 物質工学科

** 姫路獨協大学薬学部

Abstract *Connarus ruber* Planchon, a dicotyledon of *Connaraceae*, is distributed throughout tropical regions; it grows in Maués in the Amazon. We have shown that its aqueous extract has a genotoxicity-suppressing effect against ultra violet C (UVC) in cultured human cells. Recently, we investigated whether it also shows a genotoxicity-suppressing effect against inhaled cigarette smoke in mice. The genotoxicity-suppressing effect against tobacco smoking has been showed clinically, suggesting that it could potentially reduce the risk of tobacco carcinogenesis. Apoptosis is an important factor to determine the fate of mutant cells to develop into cancer cells. In this study, aqueous extract of *Connarus* was examined to induce apoptosis in cells exposed to oxidative stress. Human lymphoblastoid TK6 $P53^{+/+}$ and WTK1 $P53^{-/-}$ cells were exposed to H_2O_2 at $25 \mu g/mL$ for 30 min, and then culture for 48 and 96 h in the presence of *Connarus* extract. The tear drop assay slides were prepared immediately after the exposure to H_2O_2 , 48 h culture, and 96 h culture. In TK6 $P53^{+/+}$ cells exposed to H_2O_2 but not un-exposed to H_2O_2 , the apoptotic cell frequency increased after 96 h culture with *Connarus* extract in, showing that *Connarus* extract can induce apoptosis in the cells exposed but not un-exposed to oxidative stress. On the other hand, in WTK1 $P53^{-/-}$ cells either exposed and un-exposed to H_2O_2 , the apoptotic cell frequency did not increase after 96 h culture with *Connarus* extract in, showing that *Connarus* extract can induce apoptosis in $P53^{+/+}$ cells exposed to oxidative stress. P53 protein plays an important role to induce apoptosis to exclude severely damaged cells before the fixation of DNA damage, from which it could be considered that *Connarus* can inhibit initiation step by to exclusion of severely damaged cells. Therefore, it could be concluded that *Connarus* can be effectively used to reduce carcinogenic risk.

Keywords : *Connarus* エキス、変異原性抑制作用、アポトーシス誘導

1. はじめに

熱帯雨林には多くの薬用植物が生育していると考えられているものの、その多くは薬理作用が科学的に証明されていない。ブラジルのアマゾン流域の熱帯雨林もそのような薬用植物の宝庫である。*Connarus ruber* はアマゾン中流域のマナウス近辺に自生するマメドキ科の植物であり、その樹皮抽出エキスは糖尿病に効果があるとされ^{1,2)}、現地では日常的に飲用されている。我が国においても、そのエキスを試用した成人病担当医師より、血糖値は穏やかに下がるがそれ以上に、インスリン投与の頻度が減る患者がいる、通

常考えられない改善が診られる、という報告が寄せられ、 α -グルコシターゼ阻害活性はもとより高い抗酸化活性が確認された(北村、私信)。このような *Connarus* エキスを配合した清涼飲料(Reddish tea)の開発の過程における薬理作用の研究で、我々は変異原性抑制作用(DNA 損傷抑制作用)を見出し、その遺伝毒性抑制機構はヌクレオチド除去修復の切り出し段階の亢進によっていることなどを報告し、その遺伝毒性抑制作用は煙草主流煙に対してもみられることもマウスを用いて示してきた³⁾。その上で、煙草主流煙に対する遺伝毒性抑制作用がヒトでもみられことを、臨床的に示した⁴⁾。臨床試験では喫煙者の被験者に *Connarus* エキスを含

む飲料(エキス分濃度 758 ppm)を 500 mL/day で 28 日間にわたって飲用させ、飲用開始前、飲用終了直後、飲用終了の 28 日後に採血し、白血球の DNA 損傷を測定し、飲用開始の前後の DNA 損傷を比較した。

Connarus エキス飲用後の DNA 損傷量は飲用前に比べて有意に低かったことから、*Connarus* エキスは煙草主流煙に対して遺伝毒性抑制作用を示すことがヒトで臨床的に確認され、通常の飲用に供することが可能な飲用量(500 mL/day)の *Connarus* エキスを含む飲料の飲用で喫煙の遺伝毒性リスクを低減できるものと考察された。

変異原性抑制作用とは正常な細胞に DNA 損傷が生じるのを抑制する作用である^{5,6,7)}。一般に、DNA に生じた損傷が原因となって癌遺伝子や癌抑制遺伝子などに突然変異が集積して癌細胞が転換すると考えられているが、抗癌剤や放射線治療により、癌細胞はアポトーシスを起こすことで、退縮・消失する。このようなアポトーシス誘導が、多くの抗癌剤の作用機序となっている⁸⁾。また、アポトーシスが正常に機能しなかった場合、変異細胞が増殖し発癌過程が進むとされている。そこで、アポトーシスの誘導によって損傷細胞を除去できれば、発癌過程を抑制できる可能性も考えられる。

そこで、変異原性抑制作用がみられた *Connarus* エキスがアポトーシスによる細胞死を誘導するか、検討した。

2. 実験方法

2.1 *Connarus* エキスの調整

240g の *Connarus* 樹皮を 18L の蒸留水に投入し、97°C±2°C で 15 分間保温、濾過して樹皮と抽出液を分離し、エバポレーターを用いて溶媒を蒸発させて *Connarus* 水溶性抽出物 91g を得、dimethyl sulfoxide (DMSO) に溶解して用いた。H₂O₂ は生理食塩水で溶解した。

ヒトリンパ芽球様 TK6 細胞および WTK1 細胞を用いた。TK6 細胞は *P53* 野生型、WTK1 細胞は *P53* 変異型であり、いずれも 10% 馬血清、200 μg/mL のピルビン酸ナトリウム、200 μg/mL のストレプトマイシンを添加した RPMI1640 培養液を用いて 37°C、CO₂ 分圧 5% で培養した。

TK6、WTK1 細胞を H₂O₂ に用量 25 μg/mL で 30 分暴露し、直ちに用量 1.25、2.5、5.0、10 μg/mL の *Connarus* エキス存在下で、最大 96 時間培養した。H₂O₂ 暴露直後、培養開始 48、72 時間後に経時的に細胞を採取し、テアドロップアッセイ標本作製した。作成した標本は細胞溶解後、TAE 緩衝液

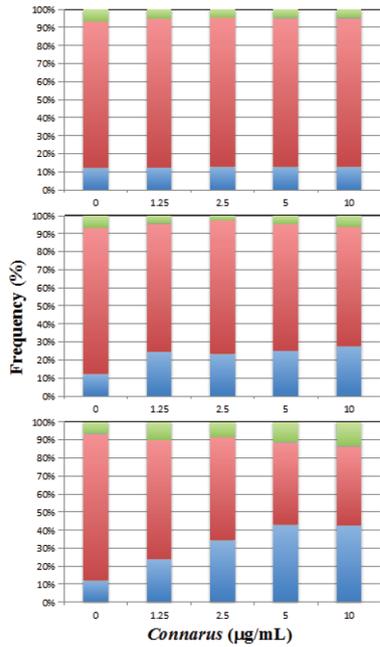
で電気泳動を行った。対照として、H₂O₂ に暴露しない細胞について同様に実験を行った。テアドロップアッセイでは、DNA が一定の長さに切断されるアポトーシス細胞では電気泳動により DNA の大部分が核から離れた位置に移動し、顕微鏡下で涙滴のようなアポトーシスに特有の像となる。DNA がランダムに切断されるネクローシス細胞では電気泳動により DNA が核からスメア状に移動し、顕微鏡下で彗星状の像となる。生細胞では DNA の移動が見られず、顕微鏡下では核の形のままの像となる⁹⁾。各標本について、生細胞像(テールを持たない像)、アポトーシス像、ネクローシス像の頻度を計測した。

3. 結果

TK6、WTK1 細胞のいずれでも H₂O₂ の暴露の有無にかかわらず、培養開始時にはアポトーシス細胞はみられなかった(Figure 1-4 上)。しかし、H₂O₂ に暴露しなかった TK6 の 48 時間培養では *Connarus* の用量 1.25 μg/mL 以上でネクローシス細胞頻度の増大がみられたが、アポトーシス細胞頻度の増大はみられなかった(Figure 1 中)。H₂O₂ に暴露しなかった TK6 の 96 時間培養では *Connarus* の用量 1.25 μg/mL 以上で用量に依存したネクローシス細胞頻度の増大がみられたが、アポトーシス細胞頻度の用量に依存した増大はみられなかった(Figure 1 下)。

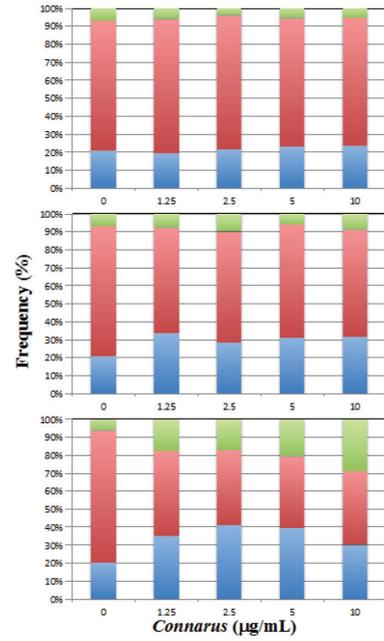
H₂O₂ に暴露した TK6 細胞の 48 時間培養では *Connarus* の用量 1.25 μg/mL 以上でネクローシス細胞頻度の増大がみられたが、アポトーシス細胞頻度の増大はみられなかった(Figure 2 中)。H₂O₂ に暴露した TK6 細胞の 96 時間培養では *Connarus* の用量 1.25 μg/mL 以上でアポトーシス細胞頻度の用量に依存した増大がみられた。ネクローシス細胞頻度も *Connarus* の用量 1.25 μg/mL 以上で増大がみられたが、5 μg/mL 以上の用量ではアポトーシス細胞頻度の増大と逆相関する形でネクローシス細胞の減少がみられた(Figure 2 下)。

H₂O₂ に暴露した WTK1 細胞の 48 時間培養では *Connarus* の用量に依存したネクローシス、アポトーシス細胞頻度の増大はみられなかった(Figure 3 中)。H₂O₂ に暴露した WTK1 細胞の 96 時間培養では *Connarus* の用量 1.25 μg/mL 以上でネクローシス細胞頻度の増大がみられたが、アポトーシス細胞頻度の増大がみられなかった(Figure 4 下)。



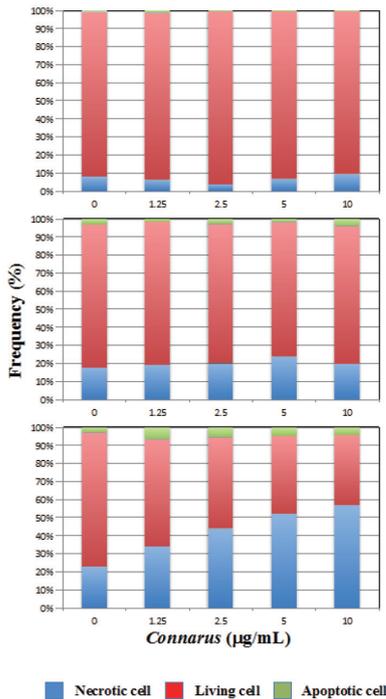
■ Necrotic cell ■ Living cell ■ Apoptotic cell

Figure 1 H₂O₂非暴露 TK6 細胞における生細胞、ネクロシス細胞、アポトーシス細胞の頻度上、培養開始時; 中、48 時間培養; 下,96 時間培養



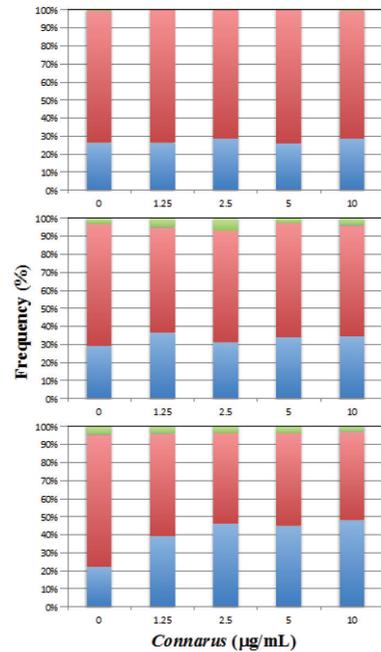
■ Necrotic cell ■ Living cell ■ Apoptotic cell

Figure 2 H₂O₂暴露 TK6 細胞における生細胞、ネクロシス細胞、アポトーシス細胞の頻度上、培養開始時; 中、48 時間培養; 下,96 時間培養



■ Necrotic cell ■ Living cell ■ Apoptotic cell

Figure 3 H₂O₂非暴露 WTK1 細胞における生細胞、ネクロシス細胞、アポトーシス細胞の頻度上、培養開始時; 中、48 時間培養; 下,96 時間培養



■ Necrotic cell ■ Living cell ■ Apoptotic cell

Figure 4 H₂O₂暴露 WTK1 細胞における生細胞、ネクロシス細胞、アポトーシス細胞の頻度上、培養開始時; 中、48 時間培養; 下,96 時間培養

4. 考察

Connarus は喫煙による変異原性抑制に効果があると過去の研究より示されていたが^{3,4}、今回の研究で新たに、アポトーシスを誘導する作用がある可能性が示された。特に注目すべきは、アポトーシスの誘導が H_2O_2 に暴露した *P53* 野生型細胞においてのみ見られたことである。以上の結果から、*Connarus* は、酸化ストレスによって何らかの損傷細胞をもった細胞にのみアポトーシスを誘発し、損傷のない細胞にはアポトーシスを誘導しないと考えられる。アポトーシスの誘導経路には *p53* 経路、ミトコンドリア経路など多くが知られている¹⁰。*P53* 野生型細胞においてのみ *Connarus* によるアポトーシスの誘導がみられたことから、*p53* 経路の可能性が高いと考察される。発癌の多段階メカニズムでは正常細胞の DNA が損傷を受けて修復されずに突然変異や染色体異常として固定されるイニシエーション段階と変異細胞が無限増殖能を獲得するプロモーション段階に分けられる。酸化ストレスなどによって DNA に損傷をもった細胞ではその損傷が著しい場合はアポトーシスによって死に至って排除される。*P53* タンパクはそのような場合のアポトーシス誘導に大きな役割を果たす¹⁰。これらのことから、*P53* 野生型細胞において *Connarus* によって誘導されたアポトーシスは、著しい損傷をもった細胞の DNA が突然変異や染色体異常として固定される前に排除するのに有効であり、すなわち、イニシエーションの阻害に有効であると考えられる。一般に、アポトーシスの誘導による細胞の排除は、それが損傷の有無にかかわらずおきる場合はいわゆる諸刃の剣である。しかし、*Connarus* は損傷のない細胞にはアポトーシスを誘導しなかったことから、*Connarus* による損傷細胞の排除にはそのような可能性が低いと考えられる。

Connarus には ①抗酸化性によって酸化ストレスを減弱することで DNA 損傷の誘発を抑制する desmutagen (*Connarus* 含有飲料飲用後に血清抗酸化性に上昇という形で臨床的にも示されている)、② DNA 修復の促進 (ヌクレオチド除去修復の切り出し段階の促進として培養細胞で示されている)、③著しい損傷をもった細胞をその DNA 損傷が固定される前に排除することによるイニシエーションの阻害、という機能があることが示されたことになる。このように *Connarus* にはイニシエーションの複数の段階を阻害する機能があり、*Connarus* 含有飲料は発癌リスクの低減に有効であると考えられる。

本論文は 2017 年度物質工学科卒業研究優秀賞を獲得した立花千優による卒業研究から *Connarus* のアポトーシス誘導に関する部分を抜粋したものである。

5. 参考文献

- 1 Nwodo OF, Alumanah EO. Studies on *Abrus precatorius* seed II, Antidiarrhoeal activity. *J Ethnopharmacology* 1991; 31: 394-395.
- 2 Monago CC, Alumanah EO. Antidiabetic effect of chloroform-methanol extract of *Abrus Precatorius* Linn Seed in alloxan diabetic rabbit. *J Appl Sci Environ Mgt* 2005; 9: 85-88.
- 3 Nakamura T, Ishida Y, Ainai K, Nakamura S, Shirata S, Murayama K, Kurimoto S, Saigo, Ryo Murashige S, Tsuda S, Sasaki YF, Genotoxicity-suppressing effect of aqueous extract of *Connarus ruber* cortex on cigarette smoke-induced micronuclei in mouse peripheral erythrocytes. *Genes Environ* 2015; 37: 17-23.
- 4 Nakamura T, Kurimoto S, Saigo K, Takenokuchi M, Taniguchi T, Honda G, Mitani K, Ishida Y, Ainai K, Kawaguchi S, Miura M, Nakamura S, Yamamoto A, Tsuda S, Sasaki YF, Genotoxicity-Suppressing Effect of a *Connarus Ruber* Cortex Aqueous Extract on DNA Damage in Smoker's White Blood Cells: A Preliminary Study, *Journal of Clinical and Laboratory Investigation Updates*, 2016, 3, 1-7
- 5 Wang ZY, Cheng SJ, Zhou ZC, Athar M, Khan WA, Bickers DR, and Mukhtar H, Antimutagenic activity of green tea polyphenols, *Mutat Res.* 1989; 223: 273-285.
- 6 Sasaki YF, Yamada H, Shimoi K, Kator K, Kinai N, The clastogen-suppressing effects of green tea, Po-lei tea, and Rooibos tea in CHO cells and mice, *Mutat Res.* 1993; 286: 221-232.
- 7 Nakamura T, Nakazawa Y, Onizuka S, Satoh S, Chiba A, Sekihashi K, Miura A, Yasugahira N, and Sasaki YF, Antimutagenicity of Tochu tea (an aqueous extract of *Eucommia ulmoides* leaves): 1. The clastogen-suppressing effects of Tochu tea in CHO cells and mice, *Mutat Res.* 1997; 388: 7-20.
- 8 佐藤聡, がん細胞のネクロシス/アポトーシス切替制御機構の解明と新規制がん略, *YAKUGAKU ZASSHI*, 2017; 137(11) 1315-1321.

- 9 Wada S, Van Khoda T, Kobayashi Y, Funayama T, Yamamoto K, Natsuhori M, Ito N Detection of radiation-induced apoptosis using the comet assay, *J. Vet. Med. Sci.* **2003**; **65(11)** 1161–1166.
- 10 橋本嘉幸、細胞の増殖と死Ⅲ - 細胞死（アポトーシスとがん）, 黒木登志夫、澁谷正史（編）, 細胞増殖とがん, 岩波書店、1999, pp 51-70

電解採取効率に及ぼす変動電流の影響

新井宏忠*・高橋卓也**・松本克才*

Effect of Variation Current on Electrowinning Efficiency

Hirotsuda ARAI, Takuya TAKAHASHI, Katsutoshi MATSUMOTO

* 産業システム工学科 マテリアル・バイオ工学コース
** 産業システム工学科 マテリアル・バイオ工学コース専攻

1. 緒言

近年の低炭素社会へのシフトや脱原発の流れを受け、化石燃料からの脱却が図られている。また、地球温暖化防止のため、特に欧州を中心に CO₂ 削減規制が厳しくなっている。そのため、自然エネルギー利用が推進されており、例えば、青森県は風力等の自然エネルギー源を豊富に有している (表 1)。しかしながら、自然エネルギーは新電源として十分に機能しているとは言い難い。その要因として、自然エネルギーであるために気象条件に左右され、出力変動があることやコスト高が挙げられる。加えて、自然エネルギー由来の電流が既存電力網に流れ込むことで電流波形の乱れが生じるが、精密産業分野においてはこの波形の乱れが製造に支障をきたす。

これらの問題を解決する一つの方向性として、貯蔵・エネルギー転換がある。図 1 に自然エネルギー源と貯蔵形態の相関関係を示すが、最も進んでいるのは種々の形態のエネルギーを電気エネルギーとして蓄える、つまり蓄電池の活用である。その他、水素を生成して化学的なエネルギーとして蓄える技術も検証が進められている。本研究においては、化学エネルギーの形態として金属としてエネルギーを蓄えることに着眼した。

表 1 県の再生可能エネルギー供給状況¹⁾

エネルギー種	年間供給量 [TJ]	供給量ランク
太陽光発電	3439	37
風力発電	7496	1
地熱発電	0	14
小水力発電	3056	16
バイオマス発電	433	24
太陽熱利用	89	45
地熱利用	2053	3
バイオマス熱利用	13	36
合計	16579	19

表 2 に示すように、構造材料から機能性材料に至るまで、種々の金属元素が添加される。日本はそのほとんどを輸入に頼っているため、資源セキュリティ上望ましくない。また、可採量が限られている場合や資源の劣質化が進んでいる場合もあり、リサイクルの重要性はますます増している。そのため、日本国内に社会蓄積されている廃家電や電子機器からの回収が着目され、都市鉱山という捉え方が広まっている。そこで、自然エネルギー由来の電気エネルギーを金属元素の回収に利用することとし、製錬法の一つである電解採取法への適用可能性を調査した。本報においては、まず外部電力の出力変動に対する電解採取効率を評価した。対象として、今回はマイナーメタルとして銅を選択し、硫酸銅溶液中からの金属銅の回収を行った。

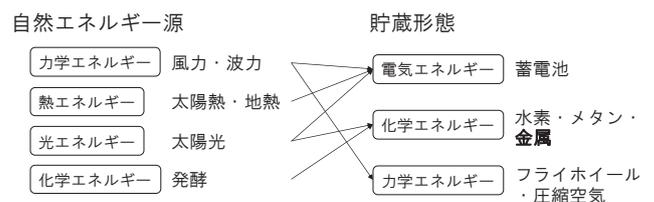


図 1 自然エネルギー源と貯蔵形態および手法の相関

表 2 材料用途とその素材に含まれる代表的な金属元素

用途	素材	元素
構造材料	添加元素、耐熱合金、Al 合金、Ti 合金	Cr, Ni, Co, V, Al など
電子・磁性材料	半導体、磁石、燃料電池	Li, Ga, Si, As, Sb, Ta など
機能性材料	水素吸蔵合金、ITO、光学レンズ	Ni, Ti, V, In, Sn など

2. 実験方法

装置概略図を図 2 に示す。外部電源から定電流および変動電流を与え、表 3 に示すとおり、298 K の硫酸酸性硫酸銅水溶液から銅を電解採取した。バッチ式の電解採取では溶液濃度は変化するが、本実験では単純化のためにカソード、アノードともにハルセル銅板(CDA No.C1020, 厚さ 0.3 mm)を用い、カソードへの銅析出による濃度変化をなくした。また、液攪拌はせず静止浴で実験を行った。

電流の変動パターンはファンクションジェネレータにて三角波で与えた。パラメータは図 3 に示す通り、平均電流値 I_{ave} 、変動電流の最大値 I_{max} および最小値 I_{min} 、周期 f である。

電解採取後、カソードの重量変化を測定し、析出量 W' を求めた。析出量から電流効率 E_I ならびに単位重量当たりの電力消費量 Q (kWh/t) を算出し、評価指標とした。

電流効率は次式で求められる。

$$E_I = \frac{W'}{W} \quad (1)$$

ここで、 W は理論析出量であり、

$$W = \frac{M}{nF} It \quad (2)$$

である。 M は原子量 (g/mol)、 n はイオンの価数、 F はファラデー定数 (96485 C/mol)、 I は電流値 (A)、 t は時間 (s) である。

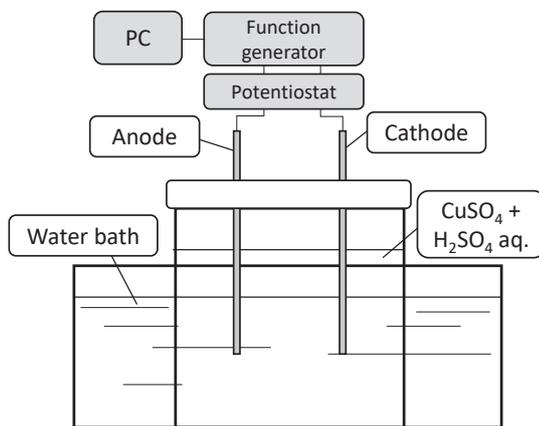


図 2 実験装置概略図

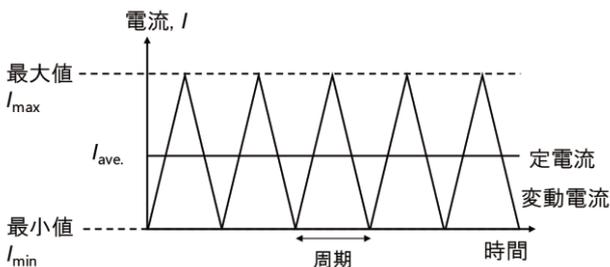


図 3 印加電流パターンの模式図

単位重量当たりの電力消費量は

$$Q = \frac{IVt}{W'} \quad (3)$$

で求めた^{注1)}。ここで、 V は電圧である。 I, V はともに実測値を用い、電解採取時間で積算して電力量を求めている。

表 3 実験条件

Solution	/ g L ⁻¹	[Cu ²⁺]=30 [H ₂ SO ₄]=40
Temperature	/ K	298
Anode		Cu plate
Cathode		Cu plate

3. 結果

3.1 最大電流値を揃えた場合

図 4 および 図 5 に定電流印加時(0.3 A)と変動電流印加時 ($I_{max}=0.3$ A, $I_{min}=0.0$ A)の電流効率ならびに電力消費量を示す。この条件では、変動電流印加時の最大電流値を定電流の値に揃えている。電流効率は約 100%であり、変動電流の影響はない。

一方、電力消費量は変動電流条件の方が低く、効率がよいといえる。この条件では、変動電流印加時の最大電流値を定電流の値に揃えているため、電流値が低下した際に電極界面近傍の濃度境界層厚みが薄くなり、濃度分極が低減したと考えられる。この結果より、電流変動があった場合の方が電解採取効率がよいと考えられる。

ただし、この条件では変動電流の電力量は定電流条件の場合の半分であり、単位時間当たりの金属採取量も半分となる。これは生産性の面では不利である。そこで次に、平均電流値を揃えた場合で同様の評価を行った。

3.2 平均電流値を揃えた場合

図 6 および図 7 には平均電流値 0.15 A で揃えた場合の電力消費量を示す。図 6 は $I_{max}=0.3$ A, $I_{min}=0.0$ A であり、図 7 は $I_{max}=0.225$ A, $I_{min}=0.075$ A であり、変動幅を小さくしている。なお、電流効率の図は示していないが、どちらの条件でもほぼ 100%であり、電流効率への影響は見られなかった。

図 6、図 7 ともに、周波数が小さい(変動周期が長い)と定電流条件よりも電力消費量が増加しており、効率は悪化している。その後、周波数が大きくなる(変動周期が短い)とともに減少しており、速い電流変動を与えた方が効率はよくなる。ただし、変動幅の大きい図 6 の条件では定電流条件を下回ることはなかったが、図 7 の条件では下回っている。したがって、変動電流の周波数と変

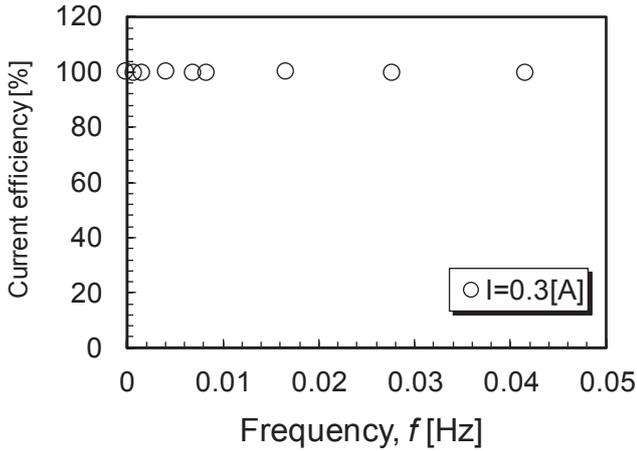


図 4 電流効率

(定電流条件 $I=0.3$ A, 変動電流 $I_{max}=0.3$ A, $I_{min}=0.0$ A)

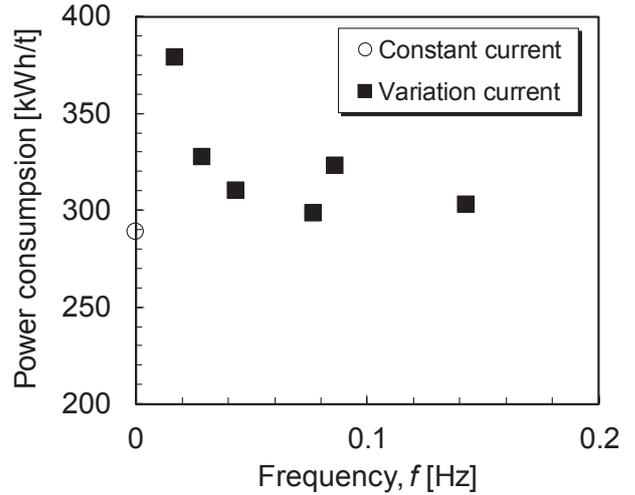


図 6 電力消費量

(定電流条件 $I=0.15$ A, 変動電流 $I_{max}=0.3$ A, $I_{min}=0.0$ A)

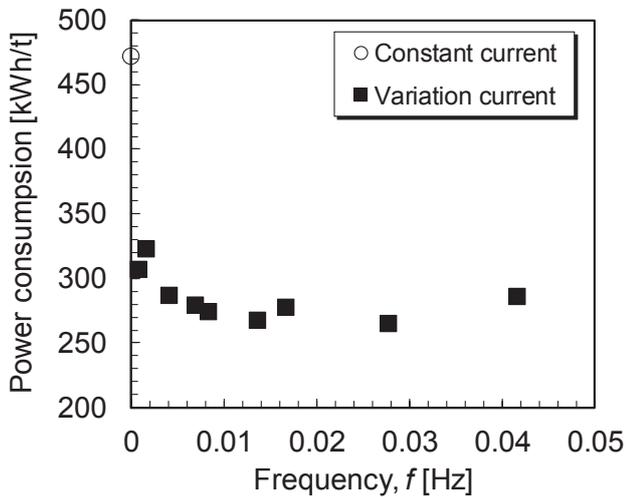


図 5 電力消費量

(定電流条件 $I=0.3$ A, 変動電流 $I_{max}=0.3$ A, $I_{min}=0.0$ A)

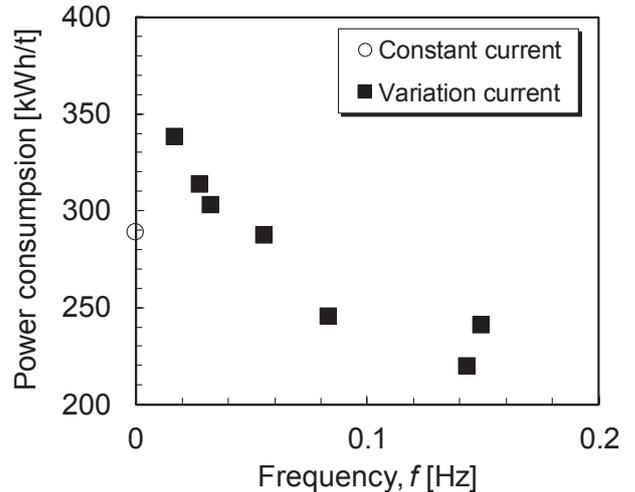


図 7 電力消費量

(定電流条件 $I=0.15$ A, 変動電流 $I_{max}=0.225$ A, $I_{min}=0.075$ A)

動幅が適正範囲であれば、定電流の場合よりも電力消費量が低下し、高効率になるといえる。

この要因として、電極界面の濃度分極や濃度対流による物質移動の関与が指摘されている²⁾。電解採取時、電極界面近傍には銅イオンの消費（析出）に伴う濃度境界層が形成され（図 8(a)）、濃度分極が生じる。変動電流印加時も濃度境界層が形成されるが、電流変動に従ってその厚みも変動する（図 8(b)）。

周波数が小さい場合、定電流の電流値よりも大きい電流が流れている時間が長い。そのため、濃度境界層がより発達して濃度分極が大きくなるため電極間電圧も高くなり、電力消費量が定電流条件よりも大きくなったと考えられる。

高周波数域においては、変動が早く、濃度境界層の発達が変動電流に追従せずに、定電流条件よりも薄くなっている可能性が考えられる。それにともない濃度分極は小さくなるため、電力消費量が減少したと推定している。

また、変動幅を小さくした場合、高周波数域で定常電流の電力消費量よりも低下している。これは単純に最大電流値が小さくなったために、濃度境界層がより薄くなったと推察しているが、まだ検証は行えておらず、不明確である。また、本実験は静止浴であるため、濃度境界層が発達すると濃度対流も生じる。この濃度対流の発達も電力消費量に関係すると考えられ、シミュレーション等による解析が必要である。

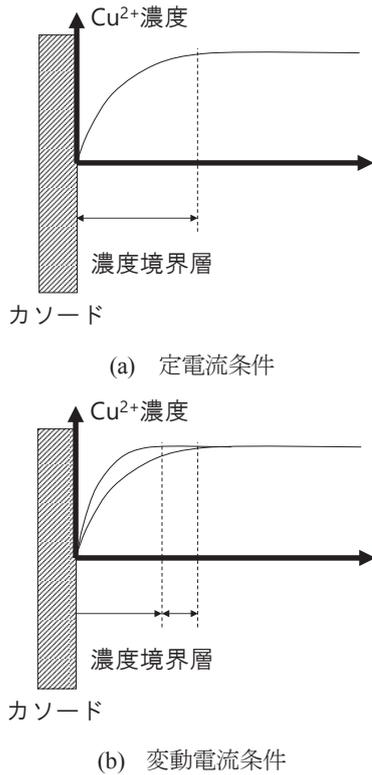


図 8 電極界面における濃度境界層

4. まとめ

本報では、自然エネルギーの変動を模した変動電流が電解採取効率に及ぼす影響を銅の電解採取実験にて評価し、以下の結果を得た。

- (1) 電解採取において、電流変動は電流効率に影響を及ぼさない。
- (2) 電解採取において、平均電流値を揃えた場合、電力消費量は周波数が高くなるほど低下した。
- (3) 平均電流値が同等であっても、電流変動幅の小さい方が電力消費量は小さい。
- (4) 周波数と変動幅が適正範囲であれば、定電流の場合よりも電力消費量が低く、高効率な条件が存在する。

注

- (1) 電解採取の実操業データと合わせるため、電力消費量の単位には kWh/t を用いている。

参考文献

- 1) 永続地帯 2016 年度版報告書
- 2) T. Pearson and J. K. Dennis, "Facts and Fiction about Pulse Plating", *Trans. Inst. Metal Finish*, **69** (1991), 75-79.

(原稿受付：2018 年 11 月 12 日)

PMA-qPCR 法におけるろ過濃縮の検討

日 脇 陸 生*・矢 口 淳 一**

Examination on the PMA treatment combined with quantitative PCR for concentrated bacteria by membrane filter

Rikuo HIWAKI, Junichi YAGUCHI

* 八戸工業高等専門学校専攻科 産業システム工学専攻 環境都市・建築デザインコース

** 八戸工業高等専門学校 産業システム工学科 環境都市・建築デザインコース

Abstract : A combination of propidium monoazide (PMA) with quantitative PCR (PMA-qPCR) have been successfully applied to distinguish between viable and dead microorganisms. However, PMA treatment of the filtered bacteria was reported to show no effect of discrimination. In this study, the efficient filtration procedure was examined to enumerate viable *Escherichia coli* by PMA-qPCR. After filtration, a final concentration of PMA treatment was regulated with ultrapure water and PBS solution. The treatment with 50 μ M PMA indicated no significant difference in viable cells between ultrapure water and PBS solution. The treatment with 100 μ M showed PBS solution had viable cells as high as suspended ones, although ultrapure water resulted in lower viable cells than suspended cells. In addition, the PMA treatment of the membrane filter fixed in the holder was more efficient than those of the filters unfixed.

Keywords : DNA, 大腸菌, PMA(propidium monoazide), PCR, メンブレンフィルター

1. はじめに

水環境中の病原性細菌を検出及び計数することは、人々への感染症被害を防止するために必要不可欠であり、特に生理的活性のある細菌を検出することが重要である。しかし、環境中には生きてはいるが培養できない状態 (VBNC: Viable but non-culturable) の細菌が存在していることが明らかになっている¹⁾²⁾³⁾。そのため寒天培地等を用いた培養法では検出に長い時間を要する上に VBNC 状態の細菌を検出することは困難である。

現在では遺伝子レベルで細菌を検出する方法が研究開発され、その中でもリアルタイム PCR 法は、PCR で増幅される DNA の増幅量をリアルタイムで測定し定量することが可能であり、迅速かつ特異的に細菌を検出・定量可能である。しかし、水環境中には死滅した細菌の DNA が比較的長期間にわたって保持されており⁴⁾⁵⁾、リアルタイム PCR を適用した場合、それらの DNA や細胞外 DNA も検出してしまい細菌の生死を判別することが出来ない。そこで、近年 Nocker ら⁶⁾によって核酸染色試薬 PMA(propidium monoazide)とリアルタイム PCR を組み合わせた PMA-qPCR 法が提案され、生理的活性のある細菌のみを検出可能となった。PMA 試薬は細菌の細胞膜が損傷している、すなわち死滅している場合に細胞内に浸透し、光が照射されることで DNA と試薬が結合

する。その結果、死菌由来の DNA の増幅が PCR 時に阻害され、生存している細胞の DNA のみが増幅されることで活性のある細菌のみを検出することができる。

類家ら⁷⁾は PMA-qPCR 法の適用可能性を検討するため、浮遊菌体及びメンブレンフィルターによつてろ過濃縮された菌体における PMA 処理過程で用いられる LED 光の最適照射時間や、リアルタイム PCR の検出感度の検討を行った。彼らの研究では、フィルターろ過によりほとんどの菌体が細胞膜に損傷を受けることが示唆されており、フィルターろ過と PMA-qPCR を組み合わせる際には十分な検討が必要であると指摘している。また、フィルターろ過時における PMA 処理方法は研究者によって大きく異なっており、細菌細胞を傷つけない前処理方法の検討が必要である。

本研究では、まずメンブレンフィルターによるろ過濃縮時に細菌が損傷を受けて死滅しているかどうか、蛍光染色試薬を用いて検討した。次に PMA 処理液について、超純水と PBS(Phosphate buffered salts)の違いによって細菌が死滅し PMA-qPCR による計測菌数への影響が生じるか検討した。また PMA 処理方法の検討では、類家ら⁷⁾の方法の他に二つの異なる方法を用いて PMA-qPCR を行い、処理条件の違いによる計数への影響について検討した。

2. 実験材料

2.1 実験材料

理化学研究所系統施設から大腸菌 *Escherichia coli*(JCM1649^T)を購入し実験に用いた。リアルタイムPCR と組み合わせることで生理的活性のある細菌と死滅した細菌を区別することができる核酸染色試薬として Biotium 社の PMA(propidium monoazide)を使用した。また全菌数測定に使用した蛍光試薬は DAPI(4',6-diamidino-2- phenylindole)(和光純薬)で、フィルターろ過において細菌の細胞膜の損傷を検討するため、蛍光試薬として LIVE/DEAD^R BacLightTM Bacterial Viability Kits (Molecular Probes) を使用した。

2.2 大腸菌の培養

大腸菌を LB 液体培地を用いて一晩 37°C で振とう培養した。さらに極少量の培養液を新しい LB 培地に添加して数時間培養した菌液を実験に用いた。

2.3 PMA 処理

浮遊状態の大腸菌については培養した菌液を 0.5mL の透明なマイクロチューブに採り、PMA 濃度が 50 μ M 及び 100 μ M となるように添加して暗室で 5 分間放置した。その後 LED 光源 (タカラバイオ, LED Cross linker12 EM200)で光を 15 分間照射した。フィルターろ過捕集した大腸菌については類家ら⁷⁾の方法で行った。0.5mL の菌体をポリカーボネートフィルター (Advantec, 孔径 0.2 μ m, 直径 47mm) にろ過した後、浮遊菌体の場合と同様に濃度を 50 μ M, 100 μ M として PMA をフィルターが完全に浸るように 2mL 添加し、暗室で 5 分間放置した。5 分後、PMA をろ過排出し、PBS でフィルターを洗浄後フィルターをシャーレに移し、LED 投光器 (Global Japan, GJ-LP-30RGB) の青色光 (波長 460~470nm)を 40 分間照射した。

PMA 処理方法の検討では、類家ら⁷⁾の方法に加え Krapf ら⁸⁾と Pang ら⁹⁾が用いた手法も検討した。前者の処理方法では、0.5mL の菌体液をフィルターでろ過して PBS で洗浄後、フィルターをシャーレに移し PMA 試薬を 50 μ M となるように 1mL 添加した。その後は類家ら⁷⁾の方法と同様に 5 分間暗室で放置した後、LED 光を 40 分間照射した。後者の PMA 処理では、同様に菌体をフィルターろ過した後、透明な 10mL チューブにフィルターを移した。次に PBS をチューブに添加し 3 分間ボルテックスを行う操作を 2 回行った後、13,000rpm で 5 分間遠心分離を行った。遠心分離後、上澄み液とフィルターを捨て菌体を 500 μ L に濃縮し

て上述の浮遊状態の大腸菌と同様に PMA 濃度が 50 μ M となるようにして処理を行った。

2.4 BacLight 法

フィルターろ過による細菌細胞膜の損傷の検討では、後述に示した DVC 法に加え、以下の 2 つの BacLight 法を用いた。

1 つ目の手法は培養した大腸菌液を 10³~10⁴倍に希釈して、浮遊状態の菌体液 0.5mL と BacLight 試薬 0.5mL を滅菌済み試験管内で混合し 15 分間染色してポリカーボネートフィルター (Advantec, 孔径 0.2 μ m, 直径 25mm) にろ過後、落射蛍光顕微鏡 (オリンパス製 BX41) の B 励起で緑色蛍光を発する生菌数と赤色蛍光を発する死菌数を計数した(BacLight ①)。

2 つ目は菌体液 500 μ L をポリカーボネートフィルターでろ過し、フィルターを BacLight 試薬 0.5mL に浸して 15 分間染色した後に蛍光顕微鏡により計数した (BacLight ②)。

2.5 DVC(Direct Viable Count)法

DVC 法は細胞分裂抑制剤のナリジクス酸を菌体に添加し培養することで、細胞分裂を阻害し肥大した細胞を計数する方法である¹⁰⁾。初めに 1mL の大腸菌液をポリカーボネートフィルター (Advantec, 孔径 0.2 μ m, 直径 25mm) で吸引ろ過した。次に滅菌済みシャーレに入った吸収パッド(直径 37mm, Advantec 製)に R2A 培養液 0.5mL と 40 μ g/L のナリジクス酸 0.5ml を混合した溶液を染み込ませ、その上にフィルターを敷いた。シャーレを密閉し 20°C で 24 時間培養した後、4%ホルムアルデヒド溶液 1mL を染みこませて 10 分間放置し菌を固定した。菌を固定したポリカーボネートフィルターを再びろ過器に戻し、2%Tween80 を混合した 10 mg/L の DAPI 溶液 0.5ml を添加し 5 分間放置した後、吸引ろ過した。フィルターを洗浄後、落射蛍光顕微鏡の U 励起の蛍光ライトで、肥大もしくは伸長している菌と変化のない菌をそれぞれ計数した。

2.6 DNA の抽出

DNA の抽出については Bio-rad 社のプロトコルに従って InstaGene Matrix (Bio-rad) で行った。PMA 処理後の浮遊菌体からの抽出ではマイクロチューブを 12,000rpm で 1 分間遠心分離した後、上澄み液を除去し滅菌済みの PBS で 2 回菌体洗浄を行った。次に InstaGene Matrix を 200 μ L 添加した後チューブを 56°C で 30 分間加熱し、ボルテックスで混合後さらに 100°C で 8 分間加熱した。その後再びボルテックスで混合し遠心分離後、上澄み液を PCR 反応に用いた。メ

ンブレンフィルターにろ過捕集した菌体では PMA 処理を施したフィルターを 0.5mL マイクロチューブに入れ、そこに InstaGene Matrix を 200 μ L 添加してボルテックスを行った後、浮遊菌体と同様に DNA を抽出し、チューブからフィルターを除去し PCR 反応に用いた。

2.7 リアルタイム PCR

細菌の系統解析等に用いられる 16S rRNA 遺伝子をターゲットとし、リアルタイム PCR を MiniOpticon™ (Bio-rad) で行った。PCR 用試薬には SsoAdvanced™ universal Proves Supermix (Bio-rad) を使用した。プライマーについてはすべての細菌の 16S rRNA 遺伝子を検出可能なユニバーサルプライマーを用いた¹¹⁾¹²⁾。また、プライマーセットの塩基配列や PCR 反応の温度条件を表 1 に示した。

3. 実験結果および考察

3.1 大腸菌液に対するフィルターろ過の影響

浮遊状態の大腸菌液に BacLight を混合し染色した後にろ過濃縮を行ったサンプル(BacLight ①)とろ過捕集した大腸菌液に BacLight を添加し染色したサンプル(BacLight ②)、及び DVC 法を適用したサンプルを用いてフィルターろ過による細菌細胞への影響を検討した。図 1 に各手法によって得られた大腸菌の計数結果を示した。ろ過前に BacLight で染色したサンプルでは緑色蛍光を示す生菌を 87.9% 検出したが、ろ過後に染色したサンプルでは 22.3% にまで減少していることを確認した。この結果は類家ら⁷⁾の実験と同様に BacLight 法ではろ過によって細菌のほとんどが赤色に染色され、細胞膜が損傷していることを示した。そこで他の細菌計数の方法でも同様の結果を得られるのかを確かめるため、ろ過濃縮した大腸菌体に DVC 法を適用した結果、伸長肥大した生菌の割合が 83.5% と高い割合を示した。従ってろ過によって細胞が必ずしも死滅するわけではなく、BacLight で赤色に染色されても生存していることが分かった。

3.2 PMA 処理液の検討

ろ過濃縮した大腸菌液を PMA 処理する際の PMA 処理液による菌数計測への影響を検討した。処理液には PBS と超純水を使用し、50 μ M, 100 μ M の濃度でそれぞれ PMA 処理を行い DNA を抽出した後、PMA-qPCR を行った。また、浮遊状態の菌液に PMA 処理を施したサンプルをコントロールとして用いた。図 2 に 50 μ M の PMA 濃度で処理を施した PMA-qPCR による計数結果を、図 3 に 100 μ M の PMA 濃度で処理

表1 使用したプライマー、プローブの塩基配列、濃度及び温度条件

Target gene	16S rRNA gene			
PCR reagent	SsoAdvanced™ Universal Probes Supermix			
Forward primer	BACT1369F (5'-CGGTGAATACGTTCCCGG-3')			
Reverse primer	PROK1492R (5'-TACGGCTACCTGTTACGACTT-3')			
Primer concentration (nM)	200			
Probe	TM1389F (5'-FAM-CTTGTACACACCGCCCGTC-NFQ-MGB-3')			
Probe concentration (nM)	250			
Thermal cycling conditions	Temp (°C)	Time (s)	Cycle	
	step.1	95	180	39
	step.2	95	15	
	step.3	55	30	1
step.4	55	120		
References	Suzuki et al. ¹¹⁾ , Frank et al. ¹²⁾			

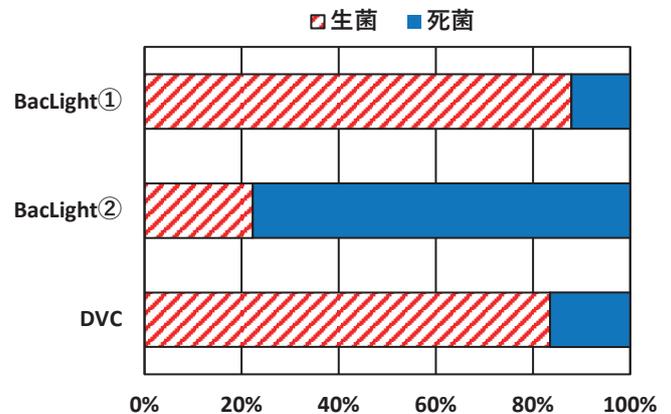


図1 BacLight 法と DVC 法によるろ過捕集した大腸菌の計数結果

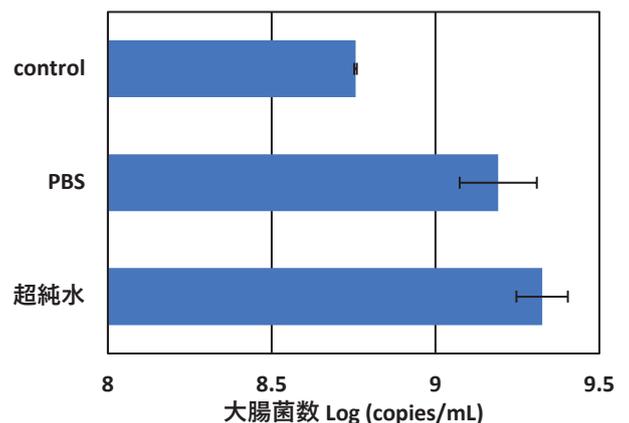


図2 PMA 濃度 50 μ M の時の PMA-qPCR に対する PMA 処理液の影響

を施した PMA-qPCR による計数結果を示した。図 2 において PBS と超純水を用いたサンプルの菌数はコントロールに比べ大きな値を示しており、PBS と超純水に大きな菌体計数差は見られなかった。一方、図 3

においては PBS を処理液に用いたサンプルに対し、超純水を使用したサンプルの計数値が 1 オーダーほど低く、コントロールよりも低い計数結果となった。これらの結果から超純水を用いた場合、PMA 濃度が $100\mu\text{M}$ になると細菌の細胞膜が損傷し、PMA による生菌と死菌の分別効果が過大に発揮されると考えられる。従って、ろ過濃縮菌体の PMA 処理において PMA 濃度が $50\mu\text{M}$ 以上で処理する場合、処理液には必ず PBS を使用する必要があることが分かった。

3.3 ろ過濃縮菌体に対する PMA 処理方法の検討

ろ過濃縮した大腸菌液に対する PMA 処理方法による PMA-qPCR の計数値への影響を検討した。PMA 処理は $50\mu\text{M}$ の濃度で行い、類家らの方法⁷⁾をはじめとして、Krapf ら⁸⁾と Pang ら⁹⁾の方法を用いた。また浮遊状態の大腸菌液に $50\mu\text{M}$ で PMA 処理を施したサンプルをコントロールとして用いた。PMA 処理液にはいずれの場合も PBS を用いた。図 4 に PMA-qPCR で得られた大腸菌の計数結果を示した。図 4 において類家らの方法はコントロールに近い値を示しており比較的高い濃度で生菌の DNA を回収できていると考えられる。しかし Krapf らと Pang らの PMA 処理方法を適用した結果は、類家らの方法の大腸菌数に比べ 1~2 オーダー低い値となっている。これは、類家らの方法がろ過フィルターホルダーにフィルターをセットしたままの状態での PMA 処理を行うのに対し、それ以外の 2 つの方法ではろ過フィルターホルダーからフィルターを取り外し PMA 処理を行っているため、処理過程で菌体の損失や DNA の回収率が減少してしまったと考えられる。また、類家らの方法は処理プロセスが簡潔であり、従って今回比較を行った 3 つの手法ではろ過濃縮菌体に対する PMA 処理は類家らの方法が最も適していると考えられる。

4. 結論

本研究では大腸菌を使用してろ過濃縮と PMA-qPCR を組み合わせた生菌検出手法における、フィルターろ過による細菌の細胞膜の損傷、PMA 処理液、ろ過濃縮菌体における PMA 処理方法の検討を行った結果、以下の結論が得られた。

- (1) ろ過濃縮によって菌体が損傷を受けて死滅してしまうわけではなく、BacLight 染色する場合はフィルターろ過前に染色することで生菌を検出できることが分かった。
- (2) ろ過濃縮菌体の PMA 処理において PMA 濃度が $50\mu\text{M}$ 以上で処理する場合、処理液には必ず

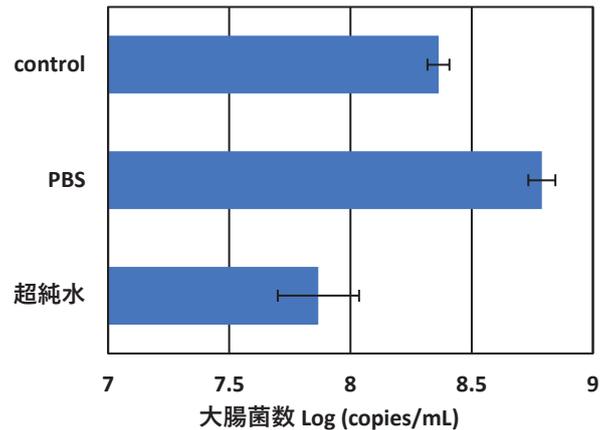


図3 PBS 濃度 $100\mu\text{M}$ の時の PMA-qPCR に対する PMA 処理液の影響

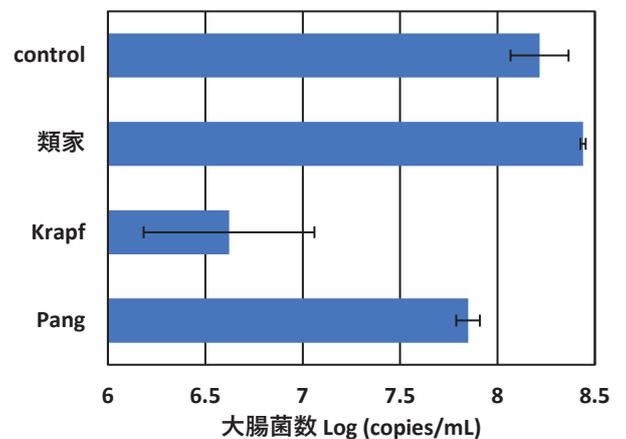


図4 3 つの PMA 処理方法による PMA-qPCR の計数結果

PBS を使用する必要があることが分かった。

- (3) ろ過濃縮した菌体に対して PMA 処理を行う場合、フィルターホルダーにろ紙をセットしたまま PMA 処理を行うことで効率よく計数可能であることが示された。

謝 辞

本研究を進めるに当たり、八戸高専建設環境工学科の学生、上野航君(当時)にご協力いただきました。また本研究は、科学研究補助金基盤研究 C(課題番号 16K06559)の支援を得て行われました。ここに記して深く感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 木暮一啓：環境を支配している培養できない細菌群，バイオサイエンスとインダストリー，Vol.57, No.11, pp.731-736, 1999.
- 2) J.D.オリバー：生きてはいるが培養できないバクテリアの公衆衛生

- 上の重要性,R.R. コールウェル,D.J.グリムズ (遠藤圭子,清水 潮訳):培養できない微生物たち,pp.250-280.学会出版センター,2004.
- 3) 木暮一啓:微生物学における培養不能細菌の概念,月刊 海洋 号外 No.33 培養不能細菌-VNC 研究の現状と課題-,pp.5-11,2003.
 - 4) Josephson K.L., Gerba C.P. and Pepper I.L. : Polymerase chain reaction detection of nonviable bacterial pathogens, *Appl. Environ. Microbiol.*, Vol.59, pp.3513-3515,1993.
 - 5) Sheridan G.E.C., Szabo E.A. and Mackey B.M. : Effect of post-treatment holding conditions on detection of *tufA* mRNA in ethanol-treated *Escherichia coli*: implications for RT-PCR-based indirect viability tests, *Letters in Applied Microbiology*, Vol.29, pp.375-379, 1999.
 - 6) Nocker A., Cheung C. and Camper A.K. : Comparison of propidium monoazide with ethidium monoazide for differentiation of live vs. dead bacteria by selective removal of DNA from dead cells, *J. Microbiol. Methods*, Vol.67, pp.310-320, 2006.
 - 7) 類家 渉, 山本 歩, 矢口 淳一, 久保田 健吾, 李 玉友 : PMA-qPCR 法への LED 光源の適用とろ過濃縮の影響, 土木学会論文集 G (環境), Vol.72, No.7, pp.315-323, 2016.
 - 8) Krapf T., Kuhn R.M., Kauf P., Gantenbein-Demarchi C.H. and Fieseler L. : Quantitative real-time PCR does not reliably detect single fecal indicator bacteria in drinking water, *Water Science and Technology : Water Supply*, Vol.16, pp.1674-1682, 2016.
 - 9) Pang Y-C., Xi J-Y., Xu Y., Huo Z-Y. and Hu H-Y. : Shifts of live bacterial community in secondary effluent by chlorine disinfection revealed by Miseq high-throughput sequencing combined with propidium monoazide treatment, *Appl Microbiol Biotechnol.*, Vol.100, pp.6435-6446, 2016.
 - 10) Kogure K., Shimidu U. and Taga N. : A tentative direct microscopic method for counting living marine bacteria, *Can J. Microbiol.*, Vol.25, pp.415-420, 1979.
 - 11) Suzuki M.T., Taylor L.T. and Delong E.F. : Quantitative Analysis of Small-Subunit rRNA Genes in Mixed Microbial Populations via 5'-Nuclease Assays, *Applied and Environmental Microbiology*, Vol.66, No.11, pp.4605-4614, 2000.
 - 12) Frank J.A., Reich C.I., Sharma S., Weisbaum J.S., Wilson B.A. and Olsen G.J. : Critical Evaluation of Two Primers Commonly Used for Amplification of Bacterial 16S rRNA Genes, *Applied and Environmental Microbiology*, Vol.74, No.8, pp.2461-2470, 2008.

(原稿受付 : 2018 年 11 月 05 日)

八戸高専留学生と市民の交流 7

-アジアのスポーツを用いた出前授業-

齋 麻子*

Cultural exchange between foreign students at NIT Hachinohe College and citizens 7
-Workshop using sports in Asia-

Asako SAI

* 総合科学教育科

Keywords : Cultural exchange, Foreign students, Workshop

1. はじめに

平成 23 年度に開始した八戸高専留学生と市民との交流は平成 29 年度で 7 年目となる。この交流は八戸高専の留学生科目「日本事情」(3 年生の履修科目)の取り組みであり、留学生が「八戸市民との交流を目的とする活動」である。この活動を行うことにより、日常のほとんどを学内で過ごす留学生に、日本の社会・文化を体感的な理解を促す。机上で知識として詰め込むのではなく、市民との交流を通して現実の日本文化を体感的に知り、身に着けることが第一の目標である。また、八戸市民への国際交流の場の提供もこの活動の目的のひとつである。八戸は全国的にみて、在住外国人の少ない地域であり、八戸市民と外国人との交流の機会は極めて少ない。そのような八戸市民に対しての交流の場の提供という試みでもある。本稿では、これまでの取り組みを紹介するとともに、回を重ねるごとに生じる発展的な新たな活動について報告する。

2. 7 年間の取り組み

平成 23 年度、初回となる取り組みは、「料理を通して伝える国際文化」と題し、八戸市による「八戸市学生地域貢献表彰制度」事業の助成を受けて、市民向けの料理教室を実施した。八戸市ポータルミュージアム「はっち」

(以下、「はっち」)にて 2 度実施した。本企画は、本校留学生が日本社会を理解し、適応するために、校内という閉鎖された空間では得難い市民との交流を行うことで、体感的に日本社会を理解することを第一の目的とした。また、本校留学生のほとんどが東南アジア出身であるが、地方都市・八戸には、東南アジアの文化を知る機会に恵まれていないことから、八戸市民に留学生たちが母国文化を紹介したいとの思惑もあった。助成を受けての実施であったことから、料理教室での交流に加え、留学生たちは市長や市民を前にしての活動報告の場も経験することができた。(1)

2 年目となる平成 24 年度も料理教室の継続を試みた。会場を中心街の「はっち」から郊外の白山台公民館に移したことで告知や立地の問題により、ごく少人数の参加者となった。結果を踏まえ、留学生自身の発案により、大人対象の料理教室から、小学生を対象とした遊びによる国際交流に切り替えることとした。白山台みどりのかぜ児童クラブの児童を対象に「遊びを通して伝える国際文化」や、当時本校に存在していた読み聞かせサークル「八戸高専はぐるまの会」との合同企画で、とどろき保育園にて園児対象のイベントも実施した。また、根城公民館主催事業「高専の日」の一つとして根城地区の児童を対象としたものと、計 3 回の遊びによる国際交流を実施した。(2)

2年目の活動の結果、平成25年度より、根城公民館・白山台公民館2館での公民館主催の事業として現在に至るまで毎年、活動依頼を受けることとなった。

平成25年度は小学生対象の「遊びを通して伝える国際文化」を軸に、両公民館で活動を行ったほか、さらに根城公民館から「青年学級」の講師としてインドネシア人留学生2名が講師として招かれ、未婚の青年を対象とした国際交流の場も設けられた。(3)

平成26年度より、本校COC事業・地<知>の整備事業がスタートしたことにより、COC事業の活動の一つとして実施することとなった。(4)平成26年度の新規の成果としては、八戸市立吹上小学校への出前授業を行ったことである。公民館から学校への活動の場・提供する相手を広げることで、留学生の母国の特性を活かしながら提供する内容を深めることとなった。

本活動開始当初から手作りのカードやスライドショーなどを活用し、言語の紹介と各国の身体をつかった遊びを提供してきたが、平成27年度の活動の試みとしては、留学生が母国で入手した言語習得のためのテキストや小学生の民族衣装を紹介することも行った。

平成28年度は本校COC事業との関わりから、八戸市教育委員会からの出前授業の依頼を受けることとなった。「はっち」を会場に、八戸市公開講座推進事業として「留学生と遊ぼうー日本の玩具“おはじき”を使ったアジアの国々の遊びー」と題して実施した。「留学生と遊ぼう」というコンセプトのもとに、日本の伝統的な玩具を用い、留学生の国々の「遊び」を紹介できないか、という課題を設定し、留学生たちが授業プランを練った。(5)

このように継続して実施できるようになった本活動は、留学生科目「日本事情」の中で行われている活動のため、留学生が自身の母国をいかに紹介しつつ、日本文化にも触れるかが問われることとなる。現在は活動の場を拡大する活動よりも、内容の充実を図ることに軸足を置いて活動している。



写真1 平成26年度の八戸市立吹上小学校出前授業



写真2 平成28年度の八戸市公開講座推進事業

3. アジアのスポーツを用いた出前授業

回を重ねるごとに、留学生の母国文化を紹介する内容を、各々異なる母国出身の留学生たちが共通したテーマを持って伝えることができないかと、授業内容の充実も図ってきた。平成28年度が“おはじき”を中心に構想を練って実施したことから、平成29年度は“スポーツ”を中心テーマに出前授業プランを練ることとした。平成29年度の留学生がラオスとマレーシア出身の3名であったことから、各国でのスポーツの紹介を試みた。

3.1 白山台公民館で試み

平成29年度の出前授業の実施は以下のとおりである。

- 1.根城公民館主催事業（「高専の日」）
平成28年6月17日
- 2.白山台公民館主催事業
平成28年12月9日
- 3.八戸市立西白山台小学校6学年
（親子レクリエーション）
平成30年2月8日

根城公民館での出前授業は、3学年に編入した留学生が、まだ新たな環境に慣れていない段階での実施であることから、「留学生と遊ぼう」という基本コンセプトのみで出前授業のプランを考え、実施した。12月開催の白山台公民館での出前授業は、よりテーマ性を持たせた母国文化の紹介をするべく、ディスカッションを通して授業プランを練り、“アジアのスポーツ”をコンセプトにすることとなった。中でも、日本ではほとんどなじみのないセパタクローとセパブルタンキスを紹介することとした。

・セパタクロー

セパタクローは籠を編んだような球を蹴る競技で、

バレーボールのコートを使用することなど、競技ルールはバレーボールに近い。

・セパブルタンキス

セパブルタンキスは、バドミントンのシャトルを全長 30 cm 程度に巨大化した羽を用い、足で蹴るスポーツである。

これら 2 つの“足で蹴る” = “セパ” という言葉のついたスポーツの紹介を行った。

白山台公民館での出前授業は、参加者が白山台ニュータウン児童館の土曜日の利用者を中心であるため、小学 1～3 年生という学齢が参加年齢の中心となる。また、公民館事業として開かれた事業であるため、互いが初対面の参加者も存在する。これらの参加者側を考慮した場合、球技のルールを教えることまでは到達できず、はじめて見る道具を互いにパスしあうという、基本動作の紹介と実践に留まった。

小学校低学年の子供たちにとっては、はじめて見る道具に触れるというだけでも十分に楽しめたようであった。



写真 5 白山台公民館出前授業 チューターの力を借りず



写真 6 白山台公民館出前授業 ラオスの遊び



写真 3 根城公民館出前授業 チューターと共に



写真 4 根城公民館出前授業 マレーシアの遊び

3.2 西白山台小学校 6 学年での試み

白山台公民館での出前授業を踏まえ、参加した子供たちの感触をつかんだことから、西白山台小学校の出前授業では、より競技として紹介することを念頭に置いて出前授業を行った。出前授業の対象となる子供たちが、これまでの小学校低学年から小学校高学年に移ったこと、また、小学校の出前授業と言うことで、参加する子供たちにすでにコミュニティが確立しているところから、チームを構成して、競技としてルールを紹介することが可能であった。小学校の体育館にバドミントンのコートを準備し、参加した子供たちは、はじめて体験する競技を楽しんでいた。

アジアのスポーツを中心テーマとして実施したものであったが、スポーツの紹介にとどまらず、留学生の母国を知ってもらうために、以下のような内容で実施した。

1. 母国紹介…スライドによる地理的な紹介
2. 母語でのあいさつと数字 (1～10) の読み方
…マレー語・ラオス語
3. アジアのスポーツ紹介
…セパタクローとセパブルタンキスの紹介

マレー語とラオス語の簡単なあいさつも子供たちに教えることから、競技の中でもその言語を用いることを意識的に行った。



写真7 西白山台小学校出前授業 母国文化紹介の様子



写真8 西白山台小学校出前授業 セパタクローの説明



写真9 西白山台小学校出前授業 子どもたちと共に

4. おわりに

平成29年度の取り組みは6月の根城公民館、12月の白山台公民館、2月の八戸市立西白山台小学校6学年出前授業の計3回の出前授業を実施することができた。

この他にも留学生の活動として、「八戸高専まちなか文化祭(12/16)」にて、来場した八戸市民向けに、母国紹介のプレゼンテーションを行っている。(6)

6月の根城公民館での出前授業では、日本人チューターのサポートを受けて進行させたが、「八戸高専まちなか文化祭」と西白山台小学校での出前授業では、チューターのサポートを受けずに、留学生自身で司会進行も務めることができた。八戸市民に母国の文化を伝えることができた上に、留学生自身の日本語力向上やプレゼンテーション力の向上の効果も見られ、子供たちとの交流を介して日本文化理解の一助となったと思われる。

7年に渡り継続してきた本活動は、これまで八戸工業高等専門学校地域文化研究センターの『地域文化研究』において発表を重ねてきた。この継続した活動は他高専で類似事例が少ないことなどから、平成29年度全国高専フォーラム(長岡技術科学大学・8/23)においてオーガナイズドセッションとして長岡高専・石川高専の事例と共に本取り組みを紹介することとなった。また、平成30年9月19日には、広島大学においてIAIC国際会議において「【Contribution to local communities by foreign students】Workshops by Foreign Students—Global Culture through Playing—」と題して、留学生が取り組む地域貢献活動の紹介としてオーガナイズドセッション形式で発表することとなった。本稿は、こうした一連の実績を踏まえて、『地域文化研究』から『八戸工業高等専門学校紀要』へと投稿先を変更することにした。

次年度もこの活動を継続し、留学生と八戸市民との交流の機会を支援する予定である。特に、「日本事情」という授業は、留学生の日本文化への適応を第一の目標としているため、より留学生が主体的に自身の母国を紹介できる出前授業の内容の深まりに取り組んでいきたいと考えている。

謝辞

本校留学生による出前授業を公民館主催行事として毎年行事に取り込んでくださった根城公民館の工藤様、澤山様、白山台公民館の武尾様をはじめ、両公民館の皆様には大変お世話になりました。根城小学校の児童クラブや白山台の児童館への広報活動をしていただき、留学生と小学生との懸け橋になっていただき、感謝いたします。また、出前授業の機会を与えてくださった八戸市立西白山台小学校の教職員の皆様に感謝いたします。さらに、本取り組み事例を広く紹介するようにとオーガナイズドセッションに誘ってくださった石川高専の小松恭代先生、鹿児島高専の塚崎香織先

生には深く感謝いたします。留学生のこの活動に対し、ご理解とご協力いただいた本校教職員並びに学生の皆様に感謝いたします。この場をお借りして御礼申し上げます。

注記

(1)「八戸市学生地域貢献表彰制度」は、八戸市が市内の高等教育機関の学生を対象に、学生の地域貢献活動を助成する取り組みである。活動の最後に活動報告をプレゼンテーションし、優劣を審査される八戸市の事業である。

(2) 異文化を絵本を通して伝えたいという試みで発足された八戸高専の読み聞かせサークル。異文化理解を目的とした絵本の収集および保育園などでの読み聞かせを行っていた。中心となった学生が卒業したことにより、現在は休眠状態のサークルである。また、高専の日とは、根城公民館主催により八戸高専がコンテンツを提供する出前授業であり、毎年年に数回、土曜日に地域の子供たちを対象として開催されている。

(3) 根城公民館の青年学級は、20代～40代の独身男女を対象としたもので、毎年開講されている。6月から12月まで毎週水曜日に開講されている。定員40名の人気のある公民館事業である。

(4) 地域社会の課題解決と活性化を目的として、大学・高専が自治体と連携し、学校全体で地域を志向した教育・研究・社会貢献を進めていく文部科学省の事業。八戸高専は、平成26年度にこの事業に採択され、継続して活動を行っている。

(5) 八戸市教育委員会社会教育課が主催して行われた八戸市公開講座推進事業に依頼を受けてポータルミュージアム「はっち」にて実施した。会場・告知参加者募集などの事前準備はすべて八戸市教育委員会が行った。

(6) 平成26年12月14日を初回「八戸高専まちなか文化祭」として、ロボットコンテストをはじめとした高専ならではのコンテスト出場作品や文化部の活動などを市民に紹介するイベントとして実施された。COC事業の一つとしての位置づけをもつイベントであり、平成28年度も実施された。その中で、留学生の母国紹介プレゼンテーションを行った。このプレゼンテーションには、当時短期留学で来日していたフランス人留学生1名も参加した。

参考文献

1. 拙稿(2012.3)「八戸高専留学生と市民の交流ー料理を通して伝える国際文化ー」(『地域文化研究』第

20号(2011), pp71-74)

2. 拙稿(2013.3)「八戸高専留学生と市民の交流2ー遊びを通して伝える国際文化ー」(『地域文化研究』第21号(2012), pp57-62)

3. 拙稿(2014.3)「八戸高専留学生と市民の交流3ー青年学級と留学生ー」(『地域文化研究』第22号(2013),pp63-66)

4. 拙稿(2015.3)「八戸高専留学生と市民の交流4ー小学校へのお出前授業ー」(『地域文化研究』第23号(2014),pp125-130)

5. 拙稿(2016.3)「八戸高専留学生と市民の交流5ースリランカの言語と民族衣裳ー」(『地域文化研究』第24号(2015),pp39-44)

6. 拙稿(2017.6)「八戸高専留学生と市民の交流7ー日本の玩具・おはじきを用いた遊びー」(『地域文化研究』第25号(2016),pp23-29)

(原稿受付：2018年11月26日)

紀要編集委員会

委員長	工藤憲昌		
委員	菊地康昭	赤垣友治	釜谷博行
	長谷川章	藤原広和	
幹事	鎌田貴晴		

八戸工業高等専門学校 紀要 第53号

平成 31 年 2 月 22 日 発行

編集兼 八戸工業高等専門学校
発行者 〒039-1192八戸市田面木字上野平16の1

印刷所 新光印刷株式会社
〒031-0813 八戸市新井田字鷹清水9-11