

八戸工業高等専門学校

紀 要

第 54 号

令 和 2 年

八戸工業高等専門学校

＜教育論文＞

技術英語と持続可能な社会スタディキャンプ in ニュー
ジーランド …… 阿 部 恵 …… 1

クラスがグローバル化する時：英語授業の観点から …… 横 田 実 世 …… 5

女性エンジニアへのキャリア支援
-八戸高専「ろぼっと娘」の社会貢献活動を通して - …… 齋 麻 子 …… 9

八戸高専専攻科エンジニアリングデザイン科目の変遷 …… 沢 村 利 洋 …… 15

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(3) …… 細 川 靖
吉 田 雅 昭
松 橋 中 信 明
野 野 中 達 崇
遠 田 達 也 …… 23

＜研究論文＞

新規癌温熱療法用加温装置の設計・開発 …… 井 関 祐 也
黒 澤 俊 祐
西 舘 嗣 海 …… 29

OpenFOAMを用いたふく射・対流場の連成伝熱解析の妥当性
評価 …… 小 泉 匠 摩
古 川 琢 磨 …… 33

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 (3)
— 炭素材料に関する分子シミュレーションとマテリアリ
ゼーション — …… 松 橋 信 明
高 橋 功 蓮
大 橋 和 一
小 田 一 樹
山 田 雅 …… 37

多チャンネルANCの構成についての検討 …… 工 藤 憲 昌
釜 谷 博 行
田 所 嘉 昭 …… 45

³¹P-NMRを利用した二酸化炭素固定反応の解析 …… 齊 藤 貴 之
福 松 嵩 博
佐 藤 久 美 子 …… 51

ポリオキサゾリンとトリアジンチオール複合機能利用に
よる各種材料への展開 …… 佐 藤 久 美 子 …… 55

ニンニクの無農薬水耕栽培の可能性 …… 東 麗 緒 菜
山 本 本 歩 …… 59

<報告>

チュラポーン王女サイエンスハイスクールにおける自主探 究	杉 塚 馬	山 本 場	直 秋	曆 樹 雄	63
---------------------------------	-------	-------------	-------------	--------	-------------	-------	----

RESEARCH REPORTS

National Institute of Technology, Hachinohe College

No.54 2019

Contents

<Education Theses>

Study Camp for Sustainable Society Program	..... Megumi ABE	..... 1
When a Class Becomes Global: Teacher and Student Perspectives	..... Miyo YOKOTA	..... 5
Developing career paths for future female engineers -female students at NIT-Hachinohe College and their social activities Robot Musume	..... Asako SAI	..... 9
Transition of The Engineering Design Program in Advanced Course of National Institute of Technology (KOSEN), Hachinohe College	..... Toshihiro SAWAMURA	..... 15
Craftsmanship Tehnology Exchange which Cooperated with the Local Company on Handicraft Class of Line-following Robots by Microcomputers (3)	Yasushi HOSOKAWA Masaaki YOSHIDA Nobuaki MATSUHASHI Takashi NONAKA Tatsuya TOHDA	..... 23

<Research Theses>

Design and Development of New Heating Applicator for Hyperthermia treatment	Yuya ISEKI Shunsuke KUROSAWA Tsugumi NISHIDATE	..... 29
Evaluation of validity of coupled analysis of radiation and convection field using OpenFOAM	..... Takuma KOIZUMI Takuma KOGAWA	..... 33
Materialization of Molecular Calculation by 3D Printer with the Aim of the Development of New Teaching Material and Teaching Method (3) — Molecular Simulation and Materialization on Carbon Materials —	Nobuaki MATSUHASHI Ren TAKAHASHI Kouichi OHASHI Kazuki ODA Kazumasa YAMADA	..... 37
Improvement on performance of a multi-channel ANC using narrowband signals	Norimasa KUDOH Hiroyuki KAMAYA Yoshiaki TADOKORO	..... 45
Analysis of the carbon dioxide fixation Reaction by ³¹ P-NMR	Takayuki SAITO Takahiro FUKUMATSU Kumiko SATO	..... 51
Expansion into the Preparations of Various Materials by Utilizing the Compound Functions of Polyoxazolines and Triazinethiols	..... Kumiko SATOH	..... 55
Study for pesticide-free hydroponic culture method of garlic	..... Reona HIGASHI Ayumi YAMAMOTO	..... 59

<Report>

Self-Directed Research at Princess Chulabhorn Science High
School

Koyomi SUGIYAMA
..... Naoki TSUKAMOTO 63
Akio BABA

技術英語と持続可能な社会スタディキャンプ in ニュージーランド

阿部 恵*

Study Camp for Sustainable Society Program

Megumi ABE

*総合科学教育科

ABSTRACT: In 2019, National Institute of Technology (KOSEN) held a “Study Camp for Sustainable Society Program” at Otago Polytechnic, New Zealand, for two weeks. The purpose of this program was to foster global engineers who have an interest in global issues and problem-solutions toward achieving Sustainable Development Goals and who have global challenges from their earlier years. NIT, Hachinohe College was directly involved with this program. A total of 14 Kosen students from seven Kosens took part in this program. This is a report about this program. In addition to this report, students’ perspectives on their experiences of this program were explored based on their reports and questionnaires before and after the program.

1. はじめに

本プログラムは、高専機構の国際化戦略を踏まえ、高専生の国際社会における活躍を嘱望し、国際適応力を本科低学年生から教育することを目標とした。学習形式はスタディ・キャンプであり、ニュージーランドのオタゴポリテクニク(Otago Polytechnic)を会場とし、本科 2～3 年生が参加した。担当校は八戸高専である。

オタゴポリテクニクは 1966 年に創立され、オークランド、セントラル、ダニーデンの 3 つのキャンパスを展開し、学生数は約 7300 名、教職員数は約 700 名である。本校は、平成 28 年(2016 年)にオタゴポリテクニクと交流協定(Memorandum of Understanding)を締結した。平成 29 年度(2017 年)と平成 30 年度(2018 年)の研修は、高専本科 3 年生のみを対象とし、複数校の高専生に募集を行った。研修内容は技術英語と基礎的な工学の実験活動を導入した研修であった。令和元年(2019 年)は、参加者を本科 2～3 年生にして、全国の高専に募集をした。プログラムは SDGs (Sustainable Development Goals)に重点をおいた研修内容とした。

2. 「技術英語と持続可能な社会スタディ・キャンプ in ニュージーランド」プログラム

2.1 プログラムの目的と概要

本プログラムである「2019 年技術英語と持続可能な社会スタディ・キャンプ in ニュージーランド」の目的は、(1) 現地の家庭でホームステイをしながら、文化や習慣、物の考え方などを学ぶこと、(2) ニュージーランドのオタゴポリテクニクにて約 2 週間、技術英語を学ぶこと、(3) 持続可能な社会に係る課題を学習し、調査、考察する実践的体験を通じて、グローバルエンジニアに必要な課題考察力を高めることにある。

本プログラムの対象は、全国高専に在籍する本科 2 年生と 3 年生で、英語レベルは英検準 2 級以上、または TOEIC 400 点以上 (TOEIC Bridge 141 点以上) である学生とした。全国高専に応募し、各高専からの申し込みには人数制限は設けなかったが、多数の応募がある場合は申し込みの際に推薦順位をキャンパス別に付すよう依頼した。応募学生の提出書類は、参加申込書、参加理由書、同意書、推薦書である。応募者多数の場合は、推薦順位、英語レベル、参加

理由の順で選考を検討していたが、予定していた15名を下回る14名の応募となったため、全員参加とした。

2.2 プログラムの日程

プログラム期間は、2019年8月29日から9月15日の移動日含む18日間で、移動や現地滞在中を含めた全日程に高専教員3名が交代

で同行した。事前研修と事後研修はテレビ会議を使って実施した。事前研修は渡航約1カ月前に実施して、引率教員と参加学生の紹介をするとともにプログラムの日程等について詳しく説明した。また、研修約1カ月後に事後研修を実施してプログラムの振り返りを行った。各高専により異なるが、本校からの参加学生は学内の他学生にプレゼンテーションを行い、多くの学生と体験を共有した。

DAY	DATE	ACTIVITIES
Day 1	8/29	Leave Tokyo
Day 2	8/30	Arrive in Dunedin Homestay Orientation and meet host families
Day 3-4	8/31-9/1	Free time with host families
Day 5	9/2	AM: Official Welcome & Orientation & Placement Test PM: Workshop 1 (Familiarize with SDGs) Excursion to Wind turbine on campus
Day 6-9	9/3-6	AM: English Communication & Technical English relevant to the SDGs PM: Workshop 1 (Familiarize with SDGs) & Excursion for observation of NZ Engineering Companies & Sustainable practice - Power House Wind, South Dunedin (9/3) - Tahua Water treatment plant (9/4) - Water of Leith walk, Vanuatu Project Summary (9/5) - Blueskin Energy Network, Orokonui Ecosanctuary (9/6)
Day 10-11	9/7-9/8	Free time with host families
Day 12-15	9/9-12	AM: English communication & Technical English Work on programme written artefact PM: Engineering Workshop
Day 15	9/12	Prepare for final presentations
Day 16	9/13	AM: Prepare for final presentations PM: Language test and reflection Final presentation & Awards for all projects
Day 17	9/14	Leave Dunedin
Day 18	9/15	Leave Auckland and arrive in Tokyo

表1 プログラムの日程



写真1 Otago Polytechnicの校舎



写真2 Excursionの様子

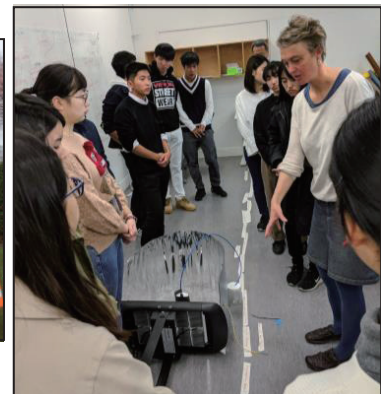


写真3 ワークショップの様子

3. 調査の概要と結果

3.1 参加学生と調査の概要

本プログラムに参加した学生は、国立高専 7 校から合計 14 名(男子学生7名、女子学生7名)で、3 年生が 11 名、2 年生が 3 名である。参加学生の渡航歴は、3 名が初めての海外であり、他 11 名においては、海外渡航が 2 回目の学生が 4 名、3 回目が 6 名、4 回以上が 1 名であった。

本プログラムを通じた学生の変化については、本プログラム応募への動機(応募時に提出)、事後報告書、および本プログラムへのアンケート調査をもとに、学生の視点から学生の意識を調査した。なお、本プログラムの最初と最後に実施した英語の試験結果は含まない。

3.2 調査結果

本プログラムの体験を通して学生自身が変わったと思うことについて、学生からの視点からまとめた結果を(1)英語の授業および英語力向上と(2)SDGs への理解力の向上について述べる。

(1) 英語の授業および英語力向上

英語の授業については、参加者全員が「大変満足」と回答し、その理由を下記のように述べている。

- ・理解しやすいようにゆっくりわかりやすい英語で話してくれた。
- ・専門的なことも簡単な英語でわかりやすく教えてくれた。
- ・英語を学ぶのとはなく、英語を用いて様々な活動(SDGs やスピーチなど)を行うことで使える語彙力が向上した。また、会話のための英語力の向上方法について丁寧な説明をいただいた。
- ・アウトプット型の授業形態がおもしろく、より記憶にて定着した。

英語力向上については、リスニング力やスピーキング力が伸びたと感じている学生が多いが、それ以上に一番変わったと感じていることが、英語への抵抗感の低減である。例えば、「英語への

抵抗感が減ったというのは、英語の発音が間違っていたとしても恐れずに英語を話すことができるようになったということである」や「全員が意見を発表する NZ の能動的な授業によって、・・・恥ずかしがらずに意見を言うことができるようになった。」などである。このように、英語を使うことへの抵抗感が減ったことが示されている。

(2) SDGs への理解力の向上

英語担当教員と SDGs 担当教員が共同して、英語教員が SDGs 活動に関連した用語や様々なアクティビティを取り入れ、SDGs 担当教員は学生たちが学んだ英語を使って SDGs の授業を進めていた。SDGs の授業の理解度(質問6-2. SDGs について英語での説明はどれくらい理解できましたか)については、「100%~80%を理解できた」が 43%、「79%~60 %」が 43%、と全体の理解度が高いことが示されている。参加学生が学んだと感じる内容についても興味深いものであったことが語られた。

- ・SDGs という全体像を学ぶだけでは見えにくい、「個人が何をすべきか」という点をわかりやすく学ぶことができた。
- ・多様な分野の人の話を聞き、たくさんのことを学ぶことができた。
- ・SDGs について考えながら活動している人が世界にいることを肌身で実感でき、内容も興味深いものばかりだった。
- ・今研修では SDGs #6、#7の水と電気に着目していたが、これらは今回直接的には学ばなかった他のゴールとも深く繋がっていると学んだ。例えば、従来のような環境を考慮しない開発によって綺麗な水が世界中に行き渡っても SDGs は達成できないということだ。
- ・ニュージーランドで学ぶことによって日本にいると気がつかなかった日本の問題点や世界の問題に気づくことができた。ニュージーランドと日本で共通している問題もあり、先進国は発展途上国のサポートだけでなく、自国の現状を見直し、改革を進めていかないと、SDGs は達成できないと実感した。



写真4 英語でのプレゼンの様子

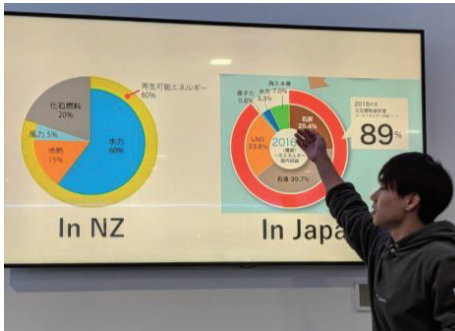


写真5 英語でのプレゼンの様子



写真6 技術英語の授業

さらに、SDGs 活動を通して、多くの場面で自分の意見を積極的に伝えることが求められたため、「自分の意見を伝えることができるのは自分しかないという気持ちから、自分で考え、それを自分から相手に直接伝えることができるようになった」など積極性や行動力が向上したと感じている学生が多いことも示された。

4. 考察

本報告と調査では、(1) 英語の授業および英語力向上と、(2) SDGs への理解力の向上の視点から、本プログラムに対する満足度が概ね高く、

「英語への抵抗感が減ったこと」と「英語を使うという積極性や行動力の向上」において、学生たち自身の中で大きく変化したと感じていることがわかった。

この変化の背景には、このプログラムの2つの特徴が考えられる。一つは14名という少数のクラスで実施され、教員が一人ひとりの英語力を把握して質問に答えながら指導することができたことである。もう一つは、SDGs のテーマと連動させて英語の授業内容を組み立てたため、実際に使用する英語を事前に学ぶことが可能となり、アウトプットを視野に入れた授業の展開となっていたことである。本プログラム実際に学ぶ英語と使用する英語を連携させた英語教育を、現在の高専英語教育に繋げることが望まれる。

一方で、現地学生との交流がほとんどないことを残念に感じていることが示された。現地学生との交流導入については、研修を企画した時から話し合いをしてきているが、派遣時期のオタゴ側の事情もあり実現できていない。引き続きオタゴポリテク側と話し合いを継続していく予定である。

謝辞

最後に本研修実施に多大なお力添えをいただいた、オタゴポリテク教職員をはじめ、プロジェクト立ち上げにご尽力くださった高専機構本部国際交流センター戸谷順信副センター長、山崎美佐子コーディネーター、学生引率にご協力くださった熊本高等専門学校光永武志先生、鳥羽商船高等専門学校の橋爪仙彦先生、調査にご協力いただいたすべての方々に感謝の辞を申し上げ、この文の結びとします。

(原稿受付: 2019年12月20日)

クラスがグローバル化する時:英語授業の観点から

横田実世*

When a Class Becomes Global: Teacher and Student Perspectives

Miyo YOKOTA

* 総合科学教育学科

Abstract : NIT-Hachinohe College accepted two Thai freshman students from Princess Chulabhorn Science High Schools (PCSHS) in April, 2019. This study reports how English classes were conducted and students responded when a class became global.

Keywords : English language, Global education, International students

1. はじめに

平成 31 年度に八戸工業高等専門学校（八戸高専）ではグローバルエンジニア育成の一貫でタイのチュラポーン王女サイエンスハイスクール(以下 PCSHS)から 1 年生 2 名を受け入れた。今までの留学生は自国から日本で先ず 1 年間程日本語を習得してから本校に編入するのが定例であるが、PCSHS のタイの留学生たちは日本語習得の経験がないまま、ダイレクトに本校で一般及び専門の勉強をすることとなった⁽¹⁾。本校では日本語で授業が行われる科目がほとんどであるため PCSHS の留学生の初期対策として授業内外を英語でサポートをする教員を常時チューターとしてつけ、また英語が話せる日本語教師による日本語の授業を別カリキュラムで行っている。

PCSHS の留学生の目標は先ず日本語を習得して一般・専門の科目を学ばなければならないため、英語の授業に関しては文部科学省検定教科書「Crown English Communication I」⁽²⁾ を使った英語 IA（春学期）と IB（夏学期）のクラスを約 4 ヶ月受講した。

本研究は英語力が一般的に高くない日本人学生と日本語が理解できない留学生が共存したときの授業の進め方の試み、それに対する学生の反応をアンケート調査した。

2. 方法

2.1. 授業体系

クラスは 1 年生計 43 名（日本人：41 名、タイ人留学生 2 名）で成り立ち、英語の授業ではチューター教員のサポートは入らなかった。英語 IA と IB は週 2 回（1 回 90 分授業）であり、日英 2 か国語のシラバスを作った。授業中は基本的に日本語で英文の構造を説明し、英語で

の補足説明はおよそ 8:2 の割合で行った。しかし宿題やテストに関することは日本語と英語の両方でその場で伝えた。また週 2 回の英語の授業のほかに週 1 コマ補講の授業を英語で行った。補講は基本的に留学生のための授業であったが興味のある日本人学生も受講可能にした。英語の補講にはほとんどの日本人学生が出席した。

授業では英語の文章は英語読みでなるべく日本語訳をせず概念を読み取るように何回も練習させた。また、ペアになって教科書をお互いに音読し、さらに時間のある時は教科書の文章を写させ英語を体で覚えさせた。教科書のレッスンごとに付随のワークブックを 1 人で解き、授業で答え合わせをした。さらに到達度試験前は宿題で試験問題のシミュレーションとして学生各自で 2-3 問題を作ってもらいそれを 4-5 人のグループワークで解いたり、わからないところをグループメンバー同志で教えあったり先生に質問をして理解度を高めた。

タイ人留学生と日本人学生がいるグループは日本語と英語を駆使しながら勉強した。図 1 は授業風景である。



図 1. 英語の授業風景

2.2.テスト体制

レッスン毎に単語テストを実施した。その形式は先生が発音した単語の意味を学生が書くことを基本としたが、タイ人留学生の日本語熟達度を考慮しその単語の定義を英語で書いてもよいこととした。

到達度試験では日本語と英語の2か国語で問題提示をし、日本語はなるべくわかりやすい、簡単な言葉を選び、ルビもつけた。また、問題の形も日本語が不自由なタイ人留学生でもある程度わかるように、長文を読んで答える True/False の問題や文章の並び替え、単語の定義を英語で答える問題などを主に出題した。図2は問題文の例である。

B 日本語に合うように()に単語を入れなさい。 // Put a suitable word in each parenthesis to match a Japanese meaning. // 1点×10

(1) Some people say e-mail has () the () of letters.
Eメールは手紙に取って代わったという人もいます。

(2) () () as he got up, the boy took his dog for a walk.
起きるとすぐ少年は犬の散歩に出かけた。

(3) She was excited and talked () and ().
彼女は興奮してとどんどん(もつと)話し続けた。

(4) () their (), their first album was a great hit.
彼らが驚いたことに、彼らの最初のアルバムは大ヒットだった。

(5) He () a () before dinner.
彼は夕食の前に風呂に入った。

C 日本語に合うよう()内の語句を並び替えなさい。 // Put the words in the parentheses in the right order to match a Japanese meaning. //

(1) May I (you / tomorrow / lunch / buy) ?
あしお昼をごちそうしましょうか。

(2) Let's save money (taking a taxi / by / instead / walking / of).
タクシーに乗る代わりに歩くことでお金を節約しましょう。

(3) Would you (something / like / drink / to) ?
お飲みものはいかがですか。

(4) She is (enough / working / to / money / hard / get) for the trip.
彼女は旅行の十分な資金を貯めるために一生懸命働いている。

(5) We (decided / lunch / have / to) at the famous restaurant.
私たちは有名なレストランで昼食をとることに決めた。

D 次の意味を表す単語を下から選びなさい。 // Choose a suitable word for each definition. // 1点×5

(1) a way out of a public room, building etc.
(2) a scientific test to discover something
(3) a simple picture that shows a word or phrase
(4) a person who is trained to travel in a spaceship
(5) something you say or do when meeting someone
[astronaut / greeting / pictogram / exit / experiment]

図2 英語の到達度試験例

3. 学生へのアンケート調査と結果

学生の英語に対する意識及び授業に対するアンケート調査を春学期英語 IA の最初の授業の時 (Before) と夏学期の英語 IB (After) の2度にわたって行った。春学期のアンケート質問内容は主に英語への「好き嫌い」「得意性」「興味」「英語で科学技術を学びたいか」「英語は将来必要と感じるか」に関してで、夏学期ではこの質問にさら

に「授業で楽しかったことや大変だったこと」などの質問を付け加えた。

3.1. 授業前の英語に対するスタンス

表1は授業前(春学期初回)の1年生の英語に対する態度である。約70%の学生が英語は好きであり、クラスの約半分が得意だと答えた。また、80%以上の学生が英語への興味を示した。好きな理由として主に「いろいろな人と話をすることで自分の考えやコミュニケーション力が深まる(n=7)」、「洋楽・映画などが好きだから(n=7)」「留学生やいろいろな人と英語を話し通じる時がうれしい(n=6)」などがあった。逆に英語が嫌いな主な理由として英語が「難しい」が10名であった。「科学技術を英語で学びたいか」という質問には65%(n=28)が「はい」と答え、30%(n=13)はいいえであった。(2名は無回答)。また、英語は将来必要であるかという問いには、86%の学生(n=37)が必要、約5%(n=2)は不必要と答えた。(4名は無回答)。

表1: 英語の授業前(春学期初回)のアンケート結果

英語は…	はい	ふつう	いいえ
好きである	30 (69.7%)	6 (14.0%)	7 (16.3%)
得意である	22 (51.1%)	14 (32.6%)	7 (16.3%)
興味がある	38 (88.4%)	2 (4.6%)	3 (7.0%)

3.2 授業後の英語に対するスタンス

表2は夏学期授業後の学生の英語に対する態度である。英語が好きであると答えた学生は授業前(春学期初回)よりもおおよそ10%多く、嫌いであると答えた学生は約11%減少した。しかし、「英語が得意であるか」の質問に対しては「はい」と答えた学生は約12%減少し、「ふつう」、「いいえ」と答えた学生がそれぞれ7%、5%と増加した。

表2: 英語の授業前のアンケート結果

英語は…	はい	ふつう	いいえ
好きである	34 (79.0%)	7 (16.3%)	2 (4.7%)
得意である	17 (39.5%)	17 (39.5%)	9 (21.0%)
興味がある	32 (74.4%)	9 (21.0%)	2 (4.6%)

また英語の授業で楽しかったことや大変だったことに関する質問では、「グループワーク」「わかったときの達成感」「新しいことを学ぶ」ことが主に楽しい理由であった。また、大変だったことに関しては「テスト」や「新しいことを学ぶ」という答えが主であった。表3はそのま

とめである。その他大変だったことでは「勉強に時間がかかる(n=1)」、「教科書を写して英語を書く(n=1)」、「グループワーク (n=1)」、「留学生と話すときに直ぐに言葉が出て来なくて困った(n=1)」という意見もあった。さらにどうすれば英語が上達すると思うかに関する質問では「日常で英語を使うようにする(n=13)」、「単語力、文法力をつける(n=9)」、「教科書などを使って繰り返し声に出す、写し書きする(n=5)」、「毎日予習復習をする(n=4)」という意見が主であった。その他モチベーション関連の答えとして「積極性を養う(n=2)」、「留学生にもっと話す(n=2)」、「努力する (n=2)」という答えもあった。

表 3：英語の授業で楽しかったことや大変だったこと

英語の授業で…	n
楽しかったこと	
グループワーク	12
わかったときの達成感	4
新しい英語(単語・表現など)を学ぶこと	4
授業	3
問題にチャレンジすること	2
大変だったこと	
単語テスト・到達度試験	12
新しい英文法・単語・長文を学ぶこと	8
勉強の予習復習	2

注：学生の複数回答を含む

4. 考察

今年度から本校では初めての試みとして日本語を事前に習得しなかったタイ人留学生が日本人学生と同じクラスで文部科学省検定教科書を使い、日本語で主に文章を説明する英語を学んだ。タイ人留学生は日本語がわからないが教科書で出てきた英文はある程度理解ができた。また、単語テストに関しては先生の発音した単語を英語で書いてその後日本人学生は全員日本語に訳し、タイ人留学生は英語でその意味を説明した。到達度試験においてもタイ留学生は問題文を把握でき、解答率が高かった。

しかし、一番大変だったのは検定教科書の日本語で説明する英文法を教員が英語で説明することであった。また、英語を使用言語とした補講においては、タイ人留学生からの質問は英文法や語法に関するものではなく日本語の使い方に関するものが多かったのでその使い方を英

語で説明することが多くあった。

タイ人留学生と同じクラスで学んでいる日本人学生は入学時から比較的英語が好きと答え(クラスの2/3以上)さらに英語が得意と答えたものは半分以上であった。この最初の英語に対する好意的なスタンスは今回の日本語がわからないタイ人留学生を受け入れる体制、また授業を日本語と英語で行う環境において比較的潤滑に進めることができた。単語テストや到達度試験においても勉強・準備が大変だったと答えた学生は多かったが、試験のフォーマットや内容が不明瞭であるというクレームはなかった。

夏学期の授業後のアンケート調査では英語の授業・グループワークが楽しいという意見が多く英語が「好き」であるという回答が約10%増加し、「嫌い」の比率が約11%減少した。この結果は日本人学生とタイ人留学生が共存して共に英語を楽しく学ぶことができるポジティブな状況といえよう。しかしながら日本人学生にとっては中学校の英語と比べ内容は確実に難しくなり、新しいことを学ぶ単語量また長文も増えて、「英語が得意である」という回答は春学期と比べて約11%減少した。さらに「英語に興味がある」と答えた学生数も夏学期には約14%減少し、代わりに「ふつう」と答えた学生の比率が約16%増加した。このことから勉強は大変ではあるが、モチベーション・楽しさが授業に反映されると英語が好きになり、苦手でも英語から逃げerのではなくしっかりと直面する学生の態度がうかがえた。

今回のアンケート調査で85%以上の学生が「英語は将来使うと思う」と答えたが、その主な理由としてグローバル化のため海外交流・論文・技術英語に必要であること、また2020年の東京オリンピックや深刻な人手不足から日本政府が昨年外国人雇用の門戸を広げたことから更に海外の人と話す機会増えることをあげていた。多くの学生がグローバル化を意識する中、英語が得意・不得意であろうとも将来学生が異なる文化・社会・人々と接する時に「不得意だからやらない」のではなく不得意でも挑戦し、仕事・研究を遂行する態度を築き上げる「KOSEN」英語を現在本校では展開し、取り組み中である。

日本での「グローバル化」が促進する中、多くの日本人の語学力は世界から見てもまだ低く⁽³⁾、その結果海外とのコミュニケーションの壁が存在し、海外の文化・社会への認識力も不足している^(4,5)。高専の科学技術および高専卒業生は企業への即戦力でもあり、そのためにも高専のクラスのグローバル化は日本・外国人学生相互の将来の進学・就職・研究につながる重要な意識づけのスタート地点である。今後この授業形態をもっと頻繁に導入し、

「当たり前」化し、グローバルを意識しなくてもいい状態になる時が真のグローバリゼーションといえよう。

謝辞

本論文を修正・校正していただいた本校非常勤講師の大山誠先生に謝意を表す。また、アンケート調査に協力してくれた L2 の学生に感謝する。

参考文献

- 1) ライブドアニュース (2018) 『高専にタイの理工系エリート中卒生受け入れ』 <https://news.livedoor.com/article/detail/14302831/>
- 2) 三省堂(2017) 『Crown English Communication I』
- 3) EFEPPI (2018) 『EFEPPI English Proficiency Index』 Toronto: Education First.
- 4) 経済産業省 (2015) 『第2章：グローバル経営力の強化のために』通商白書 pp. 269-284.
- 5) 杉本春重 (2016) 『日本企業が抱えるグローバル問題—企業とグローバル人材の問題について—』 開発工学 36:1-6.

(原稿受付：2019年11月20日)

女性エンジニアへのキャリア支援

-八戸高専「ろぼっと娘」の社会貢献活動を通して-

齋 麻子*

Developing career paths for future female engineers

- female students at NIT-Hachinohe College and their social activities ‘Robot Musume’ -

Asako SAI

* 総合科学教育科

Keywords :

Career paths, Female engineers, Social activities

1. はじめに

平成 30 年 5 月より、愛好会「ろぼっと娘」が俄に結成された。筆者が機械システム工学コースと電気情報工学コースの女子学生たちに呼びかけ、結成し、活動を開始したものである。なぜ専門外である教員が呼びかけたのか、なぜ俄に結成され、活発に活動しているのか、その背景と活動内容、その意義について本稿で報告する。

また、本稿は、令和元年 8 月 22 日に全国高専フォーラム 2019 において、OS「高専生の専門性を生かした社会貢献活動を通じて育てるグローバルコミュニケーション」の中で「八戸高専『ろぼっと娘』の活動」として発表した内容を踏まえたものである。

2. 「ろぼっと娘」結成の背景

平成 29 年 12 月 18 日、19 日の両日に行われた高専機構主催の「女性教員キャリアアップセミナー」において、鹿児島高専学生主事である塚崎香織教授より、鹿児島高専「Robogals」の活動を報告していただいた。鹿児島高専と同様の活動を展開することの誘いを受け、本校の COC 事業においての学生による地域に貢献する活動の実績と関連させれば無理なく「Robogals」の活動を行えるのではないかと発想した。翌 30 年 2 月に本校に来校し

た塚崎教授より、機械システム工学コースと電気情報工学コースの女子学生たち向けに鹿児島高専の事例を紹介いただいた。それをきっかけとなり、学生の自主的な行動力によって「ろぼっと娘」が結成された。



写真 1 鹿児島高専塚崎教授による活動紹介

2.1 「Robogals」とは

2008(平成 20)年に、オーストラリアのメルボルン大学の学生が設立した国際的ボランティア団体であり、ヨーロッパ・アフリカ・北米・アジア太平洋地域に 30 を超える支部を持っている。ロボットなどを用い、理工系を目

指す女性を育成するために子供たちに科学イベントなどの活動を通して啓蒙活動をするボランティア団体である。「Robogals」を名乗って活動するためには、メルボルン大学にある「Robogals」本部からの承認を受ける必要があり、承認を受けるためには、活動実績などが必要となる。(注1)

2.2 日本での「Robogals」の現状

日本では、かつて函館高専が第1号として承認された。しかし、「Robogals」の承認を受け、活動した学生が卒業したのに伴い、函館高専「Robogals」の活動は休眠状態にある。函館高専「Robogals」が活動した期間およびその実績はほとんど知られていない。その後2012年に承認された東京工業大学を中心とした「Robogals Tokyo」と2017年に承認された鹿児島高専「Robogals Kagoshima」の2団体が現在活動している。高専としては、函館高専は休眠状態にあるため、鹿児島高専だけが活動している状況にある。理工系を目指す女子「リケジョ」の育成は、全国の高専にとって非常に重要な課題であり、現在活動中の鹿児島高専が中心となり、全国高専での「Robogals」活動を推進しようとしている。正式に「Robogals」として活動しているのは鹿児島高専1校であるが、鹿児島高専を中心に、女子学生のこのような活動を広げる活動を、佐世保高専・宇部高専と、そして、本校・八戸高専との4校が連携している。この連携活動は各校での取り組みについての教員間による情報交換や、学生参加型の交流の機会など、1高専による単独の活動で終わらせず全国的な広がりを作ろうとしている。

3. 「ろぼっと娘」の活動

前節で結成の背景を述べたが、団体を結成するにあたり、本校が抱える問題を踏まえて設立の方向に舵を切った。設立意図は以下の通りである。

3.1 女子学生を取り巻く環境

高専機構のデータ「平成29年度各高専における在学学生数及び女子学生比率」(注2)によると、本科の女子学生の比率は、1位・富山(射水)高専43.9%、2位・福島高専34.6%に次いで、3位八戸高専29.8%である。本校は全国の高専の中でも、女子の在籍率が高く、工学系だけの高専としては女子の在籍率は1位であることがわかる。

しかし、コース別に分けると表1のようにマテリアル・バイオ工学コースと環境都市・建築デザインコースが50%に近づく在籍割合に対して、機械システムデザインコースと電気

情報工学コースは10%台にとどまっている。本科の女子学生比率の時点でコースによる比率の偏りが大きいことから、専攻科・大学進学率にも大きな偏りがみられる。

	M		E		C		Z		学年別合計		
	人数	女子比率	人数	女子比率	人数	女子比率	人数	女子比率	人数	女子比率	女子比率
1学年	46	20%	38	13%	47	23%	47	22%	178	59	33%
2学年	45	7%	39	13%	47	22%	40	20%	171	50	29%
3学年	39	0%	41	17%	45	16%	47	22%	172	45	26%
4学年	42	7%	38	16%	36	17%	39	19%	155	45	29%
5学年	38	13%	35	26%	40	19%	36	18%	149	51	34%
コース別合計	210	10%	193	17%	215	9%	209	10%	825	250	30%

表1 八戸高専令和元年度本科コース別在籍者数

東北大学工学部学科別女子学生在籍比率(平成30年度)

	学生総数	女子数	女子比率
東北大学工学部	3498	415	12%
機械知能・航空工学科	1060	95	9%
電気情報物理工学科	1016	80	8%
化学・バイオ工学科	469	105	22%
材料科学総合学科	481	40	8%
建築・社会環境工学科	472	95	20%

表2 東北大学平成30年度学科別在籍者数(注3)

また、本校卒業後の進路先として目標に掲げられる東北大学工学部の学科別女子学生比率(表2)をみると、本校の女子比率と似た傾向がみられる。このことから、本校だけに限った問題ではないことがわかる。

女子の理系選択を推進する“リケジョ”という言葉が生み出されてから、まもなく10年になろうとしている。しかし、女子の理系選択の多くは、看護学系が多くを占め、工学系では化学・バイオ系が多くを占める。本校で在籍比率の低い機械系・電気情報系は、全国的にも女子の関心の低い分野と言える。

さらに、本校が所在する青森県は、女子の大学進学率が全国43位と低く、さらに大学進学率を阻む要因として、貧困率は全国8位、父子・母子家庭数は全国9位と高い数値を示し、「女子が大学に進学する」という意識を持つには、女子のキャリア育成の土壌としては地域的特性による障壁が大き

い。(注3)

これらの本校および青森県を取り巻く現状を踏まえ、具体的な進路選択を迫られる中高生世代よりも、地域的特性による心理的障壁が生じる前の低年齢世代で抱く興味関心こそが、後の進路選択に大きな影響を与えると考えた。これまで本校はCOC事業「まちなか文化祭」などのイベントにおいて、学生が地域の子どもたちに科学の面白さを伝える場面を経験してきた。また、これらのイベントに地域の子どもたちが強い関心を抱いて参加している状況も確認してきた。これらの実績を踏まえると、「Robogals」をスタートさせる下地があり、「Robogals」活動を通して、学生が自身の専門の社会的有用性を見出し、進学意欲に結びつくと考えた。さらに女子学生の活動は地域の女子の理系選択率の向上に貢献できると確信したため、鹿児島高専に続く活動を開始した。

3.2 平成30年度の活動

平成30年5月に結成された「ろぼっと娘」は、結成当初、電気情報工学コース4年の女子学生2名が代表・副代表となり、活動の基礎を作った。結成当初は、機械システムデザインコース4年生2名、電気情報工学コース4年生2名、3年生2名、2年生6名の計12名で構成された。

メンバー全員による活動と、メンバー個々が自らのスキルアップのために活動するものと2種類の活動がある。活動内容を分類すると以下のように分けられる。

【メンバー全員による活動】

- ・まちなか文化祭等イベント参加のための企画・運営・実施
- ・小中学校への出前授業のための企画・運営・実施

【メンバー個々による活動】

- ・出前授業の教材開発(自主探究の取り組みとして)
- ・公開イベントの教材開発(岩手大学 enPit 参加の中で)
- ・Robogals 交流行事への参加

3.2.1 メンバー全員での活動

平成30年はCOC事業の集大成として、「まちなか文化祭」を青森市(6/16)と弘前市(7/14)でも開催する運びとなった。そのイベントに体験ブースとして参加することで、「ろぼっと娘」外部活動の基礎作りを図った。

Ozobot というカラーコードを読み取り、ラインレースをするロボットを用い、来場した子どもたちはカラーコードを自由に描き、ロボットを動かす面白さを体感するという内容である。この体験ブースを企画・実施するための活動を行った。

12月2日の八戸でおこなわれた「まちなか文化祭」には、青森・弘前での実績をもとにした体験ブースと秋に実施した出前授業の教材(Smart Small Turtle Robot)の体験ブースを準備し、活動内容に広がりを持たせることができた。

特に、八戸での「まちなか文化祭」参加をきっかけとして、以降の出前授業実施の依頼も舞い込むことになった。



写真2 「まちなか文化祭 in 青森」での様子



写真3 「まちなか文化祭 in 八戸」での様子

「まちなか文化祭」のイベント参加の他に小学校での出前授業も行った。この授業の趣旨は、2020年から開始される小中学校でのプログラミング教育必修化を念頭に置いた教育ボランティア活動である。「小中学校でのプログラミング必修化」に必要とされることを想定した教材開発を自主探究として3年生の学生が行い、開発した教材を用いて「ろぼっと娘」のメンバー全員で出前授業として実施するという活動を行った。自主探究期間中の10月22日と11月2日の2回、八戸市立西白山台小学校4学年67名を対象に行った。開発した教材は、Smart Small Turtle Robot を用いて、プログラミング的思考を学ぶものとした。



写真4 八戸市立西白山台小学校出前授業1回目の様子



写真5 八戸市立西白山台小学校出前授業2回目の様子

西白山台小学校での出前授業が10月30日付のデーリー東北に掲載された。この記事に注目し、12月の「まちなか文化祭」に来場した市民からの要望により、3月12日に八戸市立明治小学校5・6学年50名を対象に出前授業を行う機会を得た。着実に活動の場が広がるとともに、地域に認知され始めていることがわかった。



写真6 八戸市立明治小学校出前授業の様子

3.2.1 メンバー個々による活動

前項で述べたように、小学校で実施する際、「2020年からの小中学校でのプログラミング教育必修化」導入前という時期を活用して、ろぼっと娘の出前授業を行った。対象となる子どもたちにプログラミング的思考を楽しんでもらうだけでなく、小学校の先生の困りごとに応えるという面も考慮し、出前授業の内容を企画した。詳細な教材作成は自主探究のテーマとすることで、学生個々の活動となり、学生自らが問題意識をもって取り組む内容となった。

学生個々による「ろぼっと娘」の活動は学内的な自主探究にとどまらず、学外でも活動の場を持った。

また、同様に学生が専門性を高めながら、社会的なニーズに応える学びの場として、岩手大学が行っている enpit に参加することで、専門的技術の向上とそれを活用した社会貢献活動のプラン作りを経験した。本校からは「ろぼっと娘」メン

バーの4名の女子学生に加え、男子学生も参加し、秋田公立美術大学の学生と1つのチームを構成して活動した。enpitの活動は約1年におよび、合宿活動や一般市民への公開性の高い活動報告会を通して研鑽を積んだ。学生たちはこの活動に参加することで、「ろぼっと娘」の活動に対する技術的な蓄積をもたらした。(注4)



写真7 enpitの活動報告会 プレゼンの様子



写真8 enpitの活動報告会 体験会の様子

9月12日～14日の日程で、鹿児島高専・佐世保高専・宇部高専と共に4校共同の交流会を鹿児島高専と佐世保高専を会場に行い、2年生の学生2名が本校「ろぼっと娘」の代表として参加した。鹿児島高専に4校の学生たちが集合し、ソニーセミコンダクタマニュファクチャリング株式会社や長崎県ハウステンボス「変なホテル」およびホテル内の無人コンビニ見学を経て、佐世保高専での活動報告会を行い、本校の活動を報告した。

工場見学では高専卒のロールモデルとして活躍する女性エンジニアの方のライフワークバランスを紹介していただいた。「変なホテル」では、最新の技術をサービスとして提供するホテルを見学し、社会でどのような取り組みかなされているか、エンジニアとして将来を考える機会を得られた。

また、遠く離れた高専に在籍する初対面の学生同士ではあるが、似たような環境で学んでいることを知り、「Robogals」

を目指して、同じような活動を開始しようとするにはどのような活動をすべきかなどをディスカッションし、有意義な意見交換の場となった。



写真9 4校合同交流会「変なホテル」にて



写真10 4校合同交流会・佐世保高専での交流会

11月5日～11月10日の日程で、イギリス北アイルランドでの海外研修に4年生の学生2名が鹿児島高専の学生2名と共に参加した。北アイルランド・ベルファストにあるSERC およびクイーンズ大学において「Robogals」に関する研修と報告会に参加し、本校の活動報告を行った。また、現地の小学校で行われているプログラミング教育の現場を見学した。

これらの学外に出た個々の活動は、残念ながらすべてのメンバーが体験できるものではなかったが、おおよその個々の活動が終息した時期に、「活動報告会」と称して、個々の体験を全員で情報共有する機会を持った。また、この時、まだメンバーに加わっていなかった1年生に活動紹介する目的も含まれており、1年生の中にも、「ろぼっと娘」の活動に加わりたいと希望する学生も現れた。



写真11 イギリス北アイルランド研修 参加学生

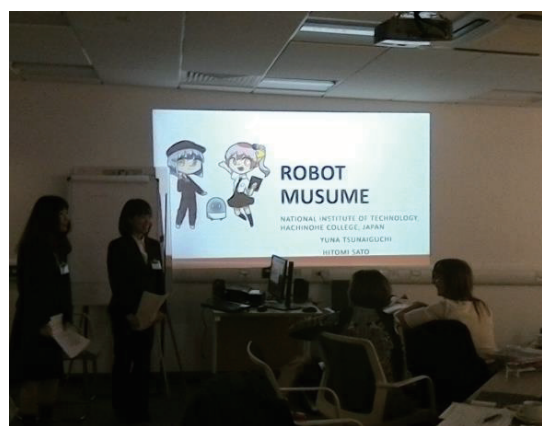


写真12 イギリス北アイルランド研修 プレゼンの様子

4. おわりに

結成初年度の活動としては、COCのイベントなど多くの活動の機会に恵まれ、本校独自の「ろぼっと娘」としての活動を順調に滑り出すことができた。また、鹿児島高専を中心とした「Robogals」に関わる高専間の交流としての活動もかかわった学生は少人数ながらも、報告会を開催することでメンバー全員の共通理解につなげ、幅広く経験することができた。結成当初は4学年、3学年、2学年中心であった構成メンバーも、12月からは1年生もメンバーに加わった。年度が替わり、新入生も新たなメンバーとして加わり、令和元年度の新体制「ろぼっと娘」は八戸市より「学生まちづくり助成金」(注5)の採択を受け、地域に貢献すべく2年目の活動を行っている。

これらの本校女子学生による活動が、活動している学生自身はもとより、地域の子供児童生徒たちの啓蒙活動として根付くことを切に願う。

謝辞

本校「ろぼっと娘」結成にあたり、「Robogals」の活動を紹介し、お誘いくださった鹿児島高専の塚崎香織教授

に深謝いたします。また、活動を開始するにあたり、活動に賛同し、副顧問的な立場として、技術的にサポートしてくださった本校電気情報工学コース・細川先生、海外研修に引率指導してくださった本校総合科学教育科・横田先生にも感謝いたします。「ろぼっと娘」の活動に機会を与えてくださった八戸市立西白山台小学校および八戸市立明治小学校の教職員、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) 「Robogals」とは、オーストラリアのメルボルン大学の学生が結成し、運営している教育ボランティアの学生団体であり、世界中に 30 を超える支部を持つ。「Robogals」の HP にて活動内容が確認できる。

<https://robogals.org/about/about-us/>

鹿児島高専の「Robogals Kagoshima」の活動紹介は内閣府男女共同参画局の HP 上で閲覧できる。

http://www.gender.go.jp/about_danjo/whitepaper/r01/zentai/html/column/clm_05.html

(2) 東北大学工学部学科別女子学生比率は東北大学工学部の HP に掲載されている学部学生数を元に女子学生の比率を算出した。

<https://www.eng.tohoku.ac.jp/intro/org/student.html>

(3) 青森県の女子の大学進学率および貧困率、父子・母子家庭数のランキングは「都道府県別統計とランキング」で見る県民性」による。

<https://todo-ran.com/t/kiji/15083>

(4) enpit とは、文部科学省による「成長分野を支える情報技術人材の育成拠点の形成」という事業であり、大阪大学を中心として、「ビックデータ・AI 分野」「セキュリティ分野」「組込みシステム分野」「ビジネスシステムデザイン分野」の 4 分野からなる。本校学生は、名古屋大学がリーダーとする「組込みシステム分野」の岩手大学が実践する事業に参加している。Enpit に関する詳細は enpit の HP 上で確認できる。

<http://www.enpit.jp/>

(5) 八戸市による「学生まちづくり助成金」は八戸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に対し助成する取り組みである。年度末には「八戸市学生地域貢献表彰制度」と連動し、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。

(原稿受付：2019 年 12 月 18 日)

八戸高専専攻科エンジニアリングデザイン科目の変遷

沢村利洋*

Transition of The Engineering Design Program in Advanced Course of National Institute of Technology (KOSEN),
Hachinohe College

Toshihiro SAWAMURA

* 産業システム工学科機械システムデザインコース

Keywords: エンジニアリングデザイン、COOP 教育、PBL 教育、JABEE

1. はじめに

八戸高専専攻科 1 年次に開講されているエンジニアリングデザイン科目は、2010 年に一般社団法人日本技術者教育認定機構 (JABEE) が示したエンジニアリングデザイン教育審査方針¹⁾への対応として検討が始められた。その後、海外研修に参加せず国内に残る学生への対応や地域貢献のあり方など、様々な外因や要望を受けて現在の授業形態に至っている。

本報は、エンジニアリングデザイン科目の 2010 年度 (平成 22 年度) から 2016 年度 (平成 28 年度) までの 7 年間の変遷を、(I) 試行期間、(II) 海外研修との並列開講期、(III) 独立科目として、といった 3 つの時期に分け、それぞれの開講形態、実施コンセプト、実施内容概略を振り返り、その変遷と八戸高専の現状から今後の指針の一助となる資料としたい。なお、実施内容詳細とその評価は別紙にて報告する。

2. 八戸高専エンジニアリングデザイン科目の概要

2.1 授業コンセプト

2009 年に JABEE から発表されたエンジニアリングデザイン教育の定義²⁾には、「1. 目標設定」「2. 学習体験」「3. 必要能力と複数解の存在」「4. 達成度評価」「5. 裏付け資料」の 5 つの観点に記載されている。当時、八戸高専専攻科では、上記 5 項目を満たす科目として当初専攻実験を考えたが、デザインの要素を十分に満たすことができないことから断念している。次案として、当時開講していた「技術者倫理+工業経営学+社会技術システム工学+人文社会科学概論」の 4 科目でエンジニアリングデザイン科目群を構成することが検討された。しかしながら、JABEE の定めるエンジニアリングデザインに必要な要素は満足できたが、複数の専攻にまたがる担当教員の負

担が大きかった社会技術システム工学の授業内容改善と、2000 年代初めに提示された高専機構の目指す技術者像³⁾に対応する形で、当時、複数の高専で展開されていた産学連携教育の一形態である COOP 教育⁴⁾⁵⁾の導入が望まれていたことから、学外機関との連携で実施する方向性が示された。

新規開設する科目名は、最初は地域外部機関と連携した COOP 教育の観点から地域貢献を強く打ち出す名称が考えられたが、今日、八戸高専のもう一方の柱となったグローバル化への対応も考慮し幅広い課題に対応できるように単純に「エンジニアリングデザイン (通称 ED)」と決定し、社会技術システム工学の代わりに社会ニーズと PBL 教育を担当することになった。また、ED 科目に必要な要素として次の 6 項目が定められた。

- a. PBL であること。
- b. グループで作業すること
- c. 製作工程・コストを考慮すること
- d. 製品の倫理的な要素を考えること
- e. プレゼン能力を養成すること
- f. COOP 的内容であること

さらに、本校独自に授業において学生へ提示する目標とする人材像として、次の 4 項目が設定された。

- a. 自ら動くことのできる
- b. 幅広い視野でどのような課題にも立ち向かえる
- c. グループ内での自分の立ち位置を認識できる
- d. 社会人として必須のコミュニケーションスキルを身につけている

授業内容については、「異分野・初テーマを与えられたときに、自分の経験・考えとグループメンバーの有する総合知識をもとに、解決をはかる過程で現実的・社会的な思考法や手法を学習する」とコンセプトが定められた。

2.2 開講単位の変遷

2010年にED科目は導入されたが、学位授与機構にカリキュラムとして認定されるまでの2010、2011年度は試行期間という位置づけで実施された。また、2009年度まで、リールIUTへの海外研修は春季に実施されていたため前期授業時期と重なっていた。派遣学生は前期開講科目単位取得には帰国後の放課後の補講が必要となり、派遣学生にも教員にも負担になっていた。その状況改善のため、2010年度以降、専攻科1年後期を前半と後半に分け、前半には座学科目は入れず、海外研修、長短期インターンシップ、ED等で自由に活動できる期間としている。2010、2011年度は、表1に示すように、前期に既存科目である社会技術システム工学で1単位、後期前半に学外研修の1単位として実施した。

2012年度、学位授与機構にED科目を含む新カリキュラムが承認されED科目が正規科目として開講される。2012年度と2013年度は、海外研修にもエンジニアリングデザイン要素を組み込むことを試みた。前期にED Iを1単位実施し、後期前半にED IIAを国内エンジニアリングデザイン、ED IIBを海外エンジニアリングデザインと位置づけ実施した。しかしながら、海外研修先のすべてで本科目の意義と必要とされる実施内容および評価方法を十分に理解してもらうことは困難であり、また、海外研修を学外研修とED IIBの2科目で評価するという単位取得の考え方も煩雑であった。

そこで、2015年度からは、全員が履修するED Iは継続して必修科目として開講され、EDの後半は、学外研修(1~4単位)とエンジニアリングデザイン科目ED II(1単位)のふたつに明確に区別され両者の選択とされ、現在に至っている。

2.3 実施経費

ED科目の展開におけるアイデア実現の自由度は、経費規模に左右された。今日に至るまで、経費の使用時期の制約等で実施期間等に支障が出たこともあったが、幸

表1 ED科目の開講単位と経費の変遷

年度	開講単位	経費	備考
2010	1(社会技術システム工学) 1(学外研修)	学内教育研究プロジェクト(八戸高専)	学外研修1単位で試行
2011	〃	企業技術者等活用プロジェクト(高専機構)	〃
2012	1(ED I、全員必修) 1(ED IIA、選択必修)	〃[2年目]	新カリで正規科目にED IIB(海外研修)との選択必修
2013	〃	〃[3年目]	
2014	—	COC経費を見込んだが時期合わず次年度合同実施	
2015	1(ED I、必修) 1(ED II、選択)	COC事業(文部科学省)[2年目]	
2016	〃	〃[3年目]	

いにもある程度物品を購入できる補助金が2010年度以降途切れず続いている。

2010年度は、八戸高専学内教育研究プロジェクトに採択され試行期間の準備に活用できた。2011年度は前年度の実績をもとに高専機構企業技術者等活用プロジェクトに申請した「地域資源を活用した集中型EDプログラム～多様な地域課題に対応可能な専攻科におけるエンジニアリングデザイン教育～」が採択された。この助成金は2013年度までの3年間活用することができた。2014年度は文部科学省「地(知)の拠点整備事業(通称COC事業)」の申請にEDを組み込み採択された。しかし、本事業補助金の使用許可は2014年12月に下りたため当該年度のED IIは延期され、次年度の2015年度に1,2学年合同で実施された。それ以降、八戸高専COCが弘前大学COC+に組み込まれるなど多少の状況の変化はあったが、事業終了の2019年度までは本事業費が活用できている。

2.4 EDスキーム概略

EDのスキームを図1に示す。この図は、高専機構企業技術者等活用プロジェクト採択時のコンセプト図であり、今日まで基本的にこの流れで実施している。

実施課題には、工学とは一見無関係な地域の学外機関が所有している多様かつ学際的な問題を取り上げている。これは、前述の授業コンセプトから、担当学生が自分の専門外の分野において工学や自分の専攻がどのように活用できるか、また、グループ内で自分の貢献できる役割は何か考えることを目的にしている。この目的と地域貢献の観点から、八戸高専に馴染みのある工学系企業の課題だけでなく、医療系や美術系など高専生に馴染みの薄い分野の学外機関との連携も目指した。

講師には、各機関で実務の第一線で活躍している中堅の方にお願ひし、授業を進める中で報連相など社会的コミュニケーションスキルの向上を目指した。

実施にあたって、各課題につき、できるだけ専攻が異

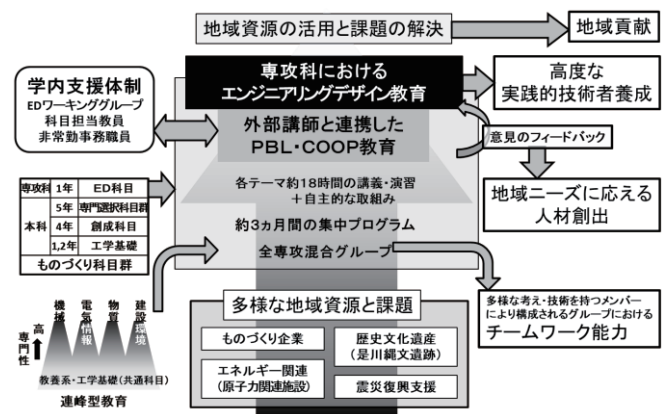


図1 EDスキーム概略

なる3名程度を1グループとした。そのため、各年度のテーマは、海外研修学生が確定しED受講学生の人数が定まった時点で、協力して下さる学外機関との調整により決定された。

本授業の最終的な目標は2つある。一つは、2.1で示した人材を養成することであり、もう一つは、本授業による課題解決により地域貢献を実現し地域活性の一助とすることである。そのため、発表会は外部に対してオープンにして行った。

2.5 授業内容

授業は、その年度の事情により多少の実施時期や進め方に違いはあったが、2010年度の試行から基本的に図2のように実施している。

最初に、専攻科1年必修科目のEDIで、ED授業の説明と5名程度の各学外連携機関の講師によるそれぞれの業界の実情と課題説明の講演が行われた。学生は、各講演後にA4用紙1枚の授業内容メモを提出し、また、講演最後に提示される課題をA4用紙1枚にまとめて次の回に提出した。

EDI終了後、海外研修に行く学生を除く全学生が、提示されたその年度の実施テーマから希望のものを選択し、さらに調整のうえ、グループが決定された。

その後は、各グループごとでの活動になる。ED担当教員の役割は、授業の進捗状況の把握と必要物品購入や授業内容の記録等での事務との連携、学生と学外講師とのやり取りの確認が主たる業務であり、授業の進行は授業コンセプトを理解した学外講師にほぼ一任した。

EDIIでは、初回はアイスブレイキング等によるメンバー紹介と課題背景の詳細説明の後、課題が設定された。課題はあらかじめ準備されている場合もあれば、背景説明をもとに学生が課題を見つけ出して設定する場合もあった。その後は、学生がグループごとに集まり自主的に

1. テーマ説明

↓
1年全員に各テーマ担当講師が背景と課題を説明
課題に対してのアイデアを提出

2. グループ分け

↓
海外研修に行く学生を除いた全員を複数専攻学生が
1グループになるように班分け

3. 課題の詳細決定

↓
グループ毎に、議論により目的と課題の詳細を決定

4. 講義・現場見学・演習・製作・実験

↓
グループ毎に、課題の解決に向けて設計等を進める
適宜、担当講師の講義と打ち合わせが入る
不足分は、メールでのやり取りで

5. 報告会およびレポート作成

↓
報告会を開催
学修成果レポート形式で、レポート作成

図2 ED授業の進め方

進めるが、進捗状況は逐一メールで学外講師に報告し、また、定期的に学外講師との打合せを行い、期間内での解決を目指し活動した。また、どのテーマにおいても、現場を知ることが必要であると考え、施設見学等学外での見学や実習が組み込まれた。

活動の成果は報告会で学内外に公表し、また、専攻科生の学位取得に必要な学修成果レポート作成の練習も兼ねて、学修成果レポートと同様のフォーマットを用いた成果レポートの提出を必須とした。評点は、担当学外講師とED担当教員およびグループ内学生相互評価による取り組み評価(40%)、全学外講師とED担当教員による報告会のプレゼン評価(40%)、ED担当教員による成果レポート評価(20%)により求められた。

3. 実施内容

3.1 試行期間(2010年度、2011年度)

2010年度から2016年度までの実施テーマ一覧を表2に示す。ED科目の初年度の2010年度⁶⁾は、八戸高専OBのいる多摩川精機と、田面木塾で館長とのつながりができていた是川縄文館に本授業コンセプトの理解をいただきそれぞれ1テーマずつ受け持っていた。また、2010年度は、八戸で全国高等専門学校デザインコンペティションが開催された。専攻科からはED科目にテーマを取り入れ2件応募した。ただ、この応募のため、グループ構成に専攻の偏りが生じた。多摩川精機からの課題では実際の製造現場を知るため八戸事業所を見学し、是川縄文館からの課題では縄文館の展示見学により理解を深めトチの実を用いた料理がつけられた。

2011年度⁷⁾は東日本大震災が発生した年である。八戸高専では河村教授を中心に野田村震災復興支援が展開され、専攻科生もエンジニアリングデザインの授業という縛りはあったが、復興支援という地域貢献に関与することができた。多摩川精機からの課題では、この後のセグウェイ開発に続くジャイロセンサを用いた二輪ロボットの開発が行われた。2011年度は多摩川精機の福地工場と三沢工場の企業見学に加え、ロボット需要を知るため東京ビッグサイトで開催された「国際ロボット展」の見学も行われた。是川縄文館からの課題は、当初、考古学では使用されていない分析方法の提案であったが、授業期間内での学生の課題理解が不十分だったため、土器そのものを高専所有の分析機器で成分解析し得られた知見をまとめることに変更された。原研青森研究開発センターからの課題である「核融合炉の燃料配置の新提案」は、学術的難易度が高かったが実験により熱伝達特性を調査するところまで到達することができた。

なお、2011年度から外部講師、担当学生、海外研修学

生それぞれの考え共有の場として報告会后に情報交換会を開催している。

2011年度の講義内容は授業スキームとともに、高専機構の「エンジニアリングデザイン教育事例集 vol.5」⁸⁾に掲載された。

**3.2 海外研修との並列開講期
(2012年度、2013年度)**

2012年度専攻科にはJABEEの新審査基準に対応した新カリキュラムが導入された。導入にあたって、2004年度より実施されてきた約3カ月のフランス海外研修ではED IIを受講できず、新審査基準に対応したエンジニアリングデザイン要素を満たせないことが問題となった。そこで、2012年度以前の専攻科生の海外研修報告会や担当教員の海外視察報告から、研修先で行う活動はエンジニアリングデザインの要素を満たしているだろうと判断し、2012、2013年度は、海外研修の一部をED IIBとして1単位科目に設定し、地域学外機関からの課題解決を目的とするED IIAとの選択必修とした。以下、ED IIA

の実施内容について報告する。

2012年度⁹⁾の連携機関は前年度と同様であった。多摩川精機からの課題は前年度の二輪ロボットを発展させセグウェイの開発を行い、前進後退が可能なマシンを完成させた。また、多摩川精機の福地工場見学だけでなく、製造業従事者の海外での働き方を知る目的で、八戸高専非常勤講師であり元多摩川精機八戸事業所所長であった正木氏の協力の下、担当学生3人全員が年度末に4日間中国太倉市にある日系企業3社(多摩川精密電気、日精樹脂機械、アルパイン)を見学した。是川縄文館の課題は海浜部と山間部とで発掘された土器の成分調査を行い作り方や用途を比較することであった。土器の理解のため、担当講師による八戸市博物館および是川縄文館の説明付き見学のほか、八戸地域研究所の分析機器の借用や、実際の発掘現場に行き発掘体験を行ったりした。原研青森研究開発センターからの課題は核融合炉の大型セクター移動方法の検討であった。おおよそ幅1.6m×奥行7m×高さ14m重量530tに及ぶ巨大な物体の、放射線の影響のない機械的な移動方法を提案するというものである。

表2 ED IIの連携機関および実施テーマ一覧(2010~2016年度)

年度	テーマ	連携機関等	担当学生コース				
			ASM	ASE	AC	AZ	
2010	トラックボール装置の製作と試験	多摩川精機		2	2		
	縄文プロジェクト	是川縄文館			5		
	Universal Designの設計	デザコン2010in八戸参加	2		1		
	構造デザインコンペティション	デザコン2010in八戸参加				4	
2011	ACサーボモータおよびジャイロセンサを使った新しいアプリケーションの製作	多摩川精機	1	1	1		
	貝塚一環境と人々のくらし	是川縄文館	1		2		
	核融合炉工学	原研青森研究開発センター	1	2	1		
	流された写真処理と防寒対策	野田村震災復興		2	1		
2012	サーボモータとジャイロセンサーを用いたセグウェイの開発	多摩川精機			1	2	
	「土器づくりの地域性」について	是川縄文館		1	1	1	
	セクター保守方式における移動方法の検討	原研青森研究開発センター		1	1	1	
	津波災害時案内標識について	野田村震災復興			2	1	
2013	サーボモータとジャイロセンサーを用いたセグウェイの開発	多摩川精機			1	1	
2015	新規のクリオネ飼育用水槽の開発	水産科学館マリエント	1	1	1	1	
	水族館展示コーナーにおける新たな展示品の考案	水産科学館マリエント	1	1	1	1	
	臭いを抑制するオムツの開発	八戸市立市民病院	1		2	1	
	経鼻栄養チューブの先端位置確認方法の提案	八戸市立市民病院	1		1	2	
	核融合炉ダイバータにおける高熱負荷の除去1	原研青森研究開発センター	1	1	1	1	
	核融合炉ダイバータにおける高熱負荷の除去2	原研青森研究開発センター	2		1	1	
	ハウス用暖房機の可搬性向上	南部サポートソサエティ	1		1	1	
	美術館照明の改善	八戸市美術館	2		1	1	
	参加型美術館に必要な施設の検討	八戸市美術館	1		1	1	
	八戸高専周辺の地域防災マップの作成	田面木地区連合町内会	2		1	1	
	田面木地区の防災活動	田面木地区連合町内会	1			1	
	工場排水時のエネルギーを用いた小水力発電～腐食の影響分析	大平洋金属	2		1	1	
	工場排水時のエネルギーを用いた小水力発電～設置位置の提案	大平洋金属	2	1		1	
	2016	点滴スタンドの安全性と利便性の向上	八戸市立市民病院	1		1	1
	大水槽清掃ロボットの製作	水産科学館マリエント	1	1	1	1	
核融合原型炉におけるブランケットセグメントの交換手法検討	原研青森研究開発センター	1	1	1			
就職説明会用プロモーションビデオの作成	セイシンハイテック	1	1	1			
知名度アップのためのポスター制作	アルバック東北	1		2			
八戸市新美術館開館に向けた検討	八戸市美術館	1	1	1	1		
田面木地区避難訓練から見える地方都市における事前防災の課題	田面木地区連合町内会	1		1	1		

本課題においては、8月末から3日間的那珂核融合研究所と高エネルギー加速器研究機構の見学と、続けて12日間の大洗研究開発センターでの研修講座の受講が行われた。野田村復興支援における課題では、必要な津波災害時案内標識を、現地のフィールドワーク調査と住民アンケート調査により考察し、その結果をもとに標識のデザインを行い、最終的には調査報告書が野田村役場に提出された。

2013年度¹⁰⁾は、ほとんどの学生が海外研修を選択したため国内に残る学生は2名だけであった。そのため、実施された課題は多摩川精機からの1件だけであった。課題内容は、前年度開発されたセグウェイを前後左右および速度調整可能なものにバージョンアップさせることであった。ACとAZの学生のみで実施されたが、平らな場所での自由な移動が可能なマシンが完成した。開発の過程においては、PM (Project Management) の手法をPMIの講師の協力のもと導入してみた¹¹⁾。本セグウェイは、11月に東京ビッグサイトで開催された国際ロボット展に展示され、担当学生は多摩川精機ブース内での自分達が製作したマシンの説明を受け持った。また、2月には中国太倉市および上海市にある日系企業(多摩川精密電気、上海信泰鹿島電子)、取引先の中国系(HRT、衆豊)、台湾系企業(金益成、洋保電子)計6社の企業見学を3泊4日で行った。また、この年には、6月にED IでPMI事務局長 田坂氏による講演が実施され、8月には、専攻科生、ED 担当講師、八戸高専教職員の希望者を対象に、プラネット 中嶋秀隆 社長 によるPM研修会が開催された¹¹⁾。

3.3 独立科目として(2014~2016年度)

2014年度は八戸高専COC事業の採択の通知が届いたため、実施経費にその補助金を見込んでいた。しかしながら、実際に使用可能になったのが年末だったため、2014年度のED IIは延期され、翌2015年度に専攻科1、2年合同で実施された。COC事業において専攻科エンジニアリングデザインは地域貢献・活性化の事業の柱の一つとして考えられていた。これらのことから、2015年度の連携機関とテーマ数は表3に示されるように多種多様であった。また、八戸高専は2015年度のJABEE継続審査を受けずJABEE認定を外れたため、エンジニアリングデザイン要素のある授業の縛りが緩くなった。加えて、海外研修先の増加により研修先での活動も多様化してきた。そこで、ED IIBとして実施していた海外研修は、学外研修単位に戻し、ED IIAをED IIと独立させて開講するようになった。

2015年度の活動内容¹²⁾における特記事項を述べる。新たな連携機関に、以前から医工関連で協力いただいでい

た八戸市立市民病院が入り、野沢臨床工学技士から医療における工学的課題が提示された。また、八戸市美術館からは、まず、美術分野における工学的課題の一つとして小規模美術館における照明問題が提示され、担当学生は八戸市美術館と七戸鷹山美術館の施設見学行い課題解決を試みた。また、2011年オープン予定の八戸の新美術館には「共育」を担う「エデュケーションセンター機能」が備えられることが明記¹³⁾されているが、それに対する高専生を含む地元の理工系学生のアクティビティの提案が課題とされた。水産科学館マリエントからは、新規展示企画の提案と、結露対策が施されたクリオネ飼育用水槽の開発が課題として提示された。クリオネ飼育用水槽は担当学生の強い要望により授業期間後も改善が行われ、現在、実際の展示に使用されている。工場の廃熱水の流れを活用した小水力発電の開発¹⁴⁾は、八戸地域高度技術振興センター高度技術利用研究会のテーマ別研究会の一つであり、設置場所である大平洋金属を中心とした地元企業と八戸高専とで構成される小水力利活用委員会を主体組織として展開していた。その開発課題の一部をEDの中で実施した。

2016年度¹⁵⁾は、新たにCOC事業の協力機関である青森県三八地域県民局・八戸インテリジェントプラザ主催の「地域ぐるみによる三八地域ものづくり産業人材育成事業」の一環として地域企業のプロモーションツール制作に取り組んだ。セイシンハイテックとの成果は本事業コンテストにおいて最優秀賞を獲得した。2016年度の成果報告会は、11月に八戸商工会館で開催された八戸高専COCフォーラムの1セッションとして実施された。

4. EDの成果と課題

毎年のことだが、美術館、博物館といった地元の施設に行ったことのない専攻科生が多くいる。EDにおける美術館館長や川縄文館学芸員の講演を聴講したり、実際に施設を見学したりすることで、地元の観光資源や工学以外の分野に興味を抱いた学生が多くいた。本授業は「地域を知る」機会になったことであろう。

学外講師とのやり取りを見ていると、当初は、友達感覚のメール連絡しかできなかつたり、打ち合わせ時に議論に入らなかつたりする学生もいた。しかしながら、担当講師の社会マナーの指導や学生間の注意により徐々にグループ内での自分の役割を理解し積極的に関わるように成長していった。このような、外部とのコミュニケーションスキルの向上が全体的に見られた。

臨床工学技士という医療における工学的な職業や、美術等の様々な分野における工学的課題の存在を知ることができ、世の中をこれまでよりいっくらか広い視野で見る

こともできるようになったのではないだろうか。

多摩川精機のセグウェイやマリエントのクリオネ水槽など成果物がその連携機関にとって実際に役立つものとなった例もあり、一定の地域貢献が果たせたと考える。

デザインコンペティションなど様々なコンテストへの応募作品の製作自体を ED のテーマとする可能性も示された。同様に、ED から派生した中国日系企業見学や原研施設での研修などからは、ED における国内外での実施研修の可能性がうかがえる。

一方で、実施期間が実質 3 ヶ月間と短かったことから、背景理解やアイデア出しに十分な時間がとれなかったりして、当初の目標まで達成できた例は少なかった。そのため、学生は未知の分野に関わったことで楽しく受講できたようだが、授業全体に対する満足度は年度によっては高くはなかった。

この実施期間の短さは、本 ED 授業が補助金に依存していることも一因であった。しかしながら、現在の授業形態では一定の経費が必須であり、また、実際のところ、活用できる金額が多ければ、製作コストの縛りが緩くなり、学生のアイデアもより実現しやすくなった。

本授業は、講義のほとんどを外部講師に一任してはいたが、担当教員は学内外の連携、学生の進捗状況や外部講師とのやり取り等を常に確認する必要があり、テーマ数が増えるにつれ、その負担は増大した。授業コンセプトを理解して、どのテーマも一定の評価基準にするためには、全テーマに関わる教員を配置する必要があったため、なかなか複数教員での実施は難しかった。

5. まとめ

八戸高専エンジニアリングデザイン科目は、JABEE 対応から始まり、多くの地域の連携機関の協力を得て実施されてきた。2015 年度に八戸高専は JABEE 認定校をやめたが、エンジニアリングデザイン能力は、「高専機構モデルコアカリキュラム (MCC)」¹⁶⁾で技術者に必要とされる能力の一つに定められており、その教育における重要性は導入当初から変わっていない。また、本校 ED で実施し可能性を模索してきた「地域課題発見・解決」、「各種コンテストへの応募」、「(技術者としての国際)共同教育」等は、高専機構の掲げる「MCC に基づく高専教育のアクティビティ例¹⁷⁾」として示されている。さらに、第 5 期科学技術基本計画¹⁸⁾で提唱された「Society5.0」では、社会の価値観の多様性とそれに対応できる柔軟性が求められている。

八戸高専では、2015 年度から本科で四学期制とアクティブラーニングを目的の一つとした自主探求が始まった。2016 年には国際交流センターが設置され海外研修に対

して組織的なバックアップを受けられる体制が整った。カリキュラム改正も定期的に行われ、ED 導入当初と大きく変わってきた。そのため、本科との連携、学士課程における位置づけなど、授業のあり方を再考する時期に来ていると考えられる。

また、地域との連携を促進し、ED 科目においても重要な資金源であった COC(+)¹⁹⁾事業は 2019 年度をもって終了する。今後の実施経費の工面と合わせて現在における最適な実施形態、COC 事業で展開していたイノベーションベンチャーコンテストやライブ研究成果報告会など地域への発信事業と ED の関わり等、検討課題は多い。

八戸高専エンジニアリングデザイン科目の導入検討開始から 10 年が経過した今、当初の設計が今日の時流にそぐわなくなっている可能性がある。今後の専攻科教育の柱をどのように設定するのか再考が必要であろう。

謝 辞

本授業は、歴代の専攻科委員、連携外部機関、関連する教職員の方々から多大な協力と支援を受けてきました。また、八戸高専学内プロジェクト経費、高専機構企業技術者等活用プロジェクト経費、文部科学省 COC 事業経費の一部の助成を受けました。ここに記して心から感謝申し上げます。

参 考 文 献

- 1) エンジニアリング・デザイン教育の審査方針、JABEE ホームページ、https://jabee.org/doc/engineering_design_100430b_100806.pdf、(2010)
- 2) JABEE におけるエンジニアリング・デザイン教育への対応基本方針、JABEE ホームページ、https://jabee.org/doc/engineering_design_100430a.pdf、(2010)
- 3) 国立高専の現状と展望、四ツ柳隆夫、51 巻 1 号、pp. 5-10、(2003)
- 4) ものづくりエリート技術者養成コーオペ教育プロジェクトの取り組みと成果、原野智也 他 3 名、工学教育、58 巻 4 号、pp. 65-70、(2010)
- 5) 日本式産学官連携教育実践への調査研究、池田千里 他 4 名、工学教育、56 巻 3 号、pp. 74-79、(2008)
- 6) 平成 22 年度 エンジニアリングデザイン報告会概要集、八戸高専専攻科、(2010)
- 7) 平成 23 年度 エンジニアリングデザイン報告会概要集、八戸高専専攻科、(2011)
- 8) エンジニアリングデザイン教育事例集 No. 5、高専機構ホームページ、https://www.kosen-k.go.jp/Portals/0/resources/letter/kouhou/engineeringdesign_v05.pdf、(2012)
- 9) 平成 24 年度 エンジニアリングデザイン報告会概要集、八

- 戸高専専攻科、(2012)
- 10) 平成 25 年度 エンジニアリングデザイン報告会概要集、八戸高専専攻科、(2013)
 - 11) 八戸工業高等専門学校とのコラボレーション活動 結果報告、PMI ホームページ、https://www.pmi-japan.org/news/info/2013_12_26_academic_collaboration_HACHINOHE2.php、(2013)
 - 12) 平成 27 年度 エンジニアリングデザイン報告会概要集、八戸高専専攻科、(2016)
 - 13) 八戸市新美術館整備基本構想、八戸市ホームページ、<http://www.city.hachinohe.aomori.jp/index.cfm/12,99616,43,242,html>、(2016)
 - 14) 平成 26 年度事業報告書、八戸インテリジェントプラザホームページ、http://www.hachinohe-ip.co.jp/center_pdf/center2/H26jigyoku_houkoku.pdf、(2014)
 - 15) 平成 28 年度 エンジニアリングデザイン成果発表概要集、八戸高専専攻科、(2016)
 - 16) モデルコアカリキュラム -ガイドライン-、国立高等専門学校機構、(2017)
 - 17) モデルコアカリキュラムに基づく高専教育、国立高等専門学校機構、(2019)
 - 18) 第 5 期 科学技術基本計画、内閣府ホームページ、<https://www8.cao.go.jp/cstp/kihonkeikaku/index5.html>、(2016)

(原稿受付：2019 年 11 月 11 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(3)

細川 靖*・吉田 雅昭**・松橋 信明*・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 (3)

Yasushi HOSOKAWA, Masaaki YOSHIDA, Nobuaki MATSUHASHI, 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学年では、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」を行っており、筆者らは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コース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、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が確認できたことを報告した。

本稿では、前稿³⁾に引き続き平成30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30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。このボードは未成品品なので、はんだ付け工作をする必要がある。本稿では前稿³⁾と同様に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崇先生、佐々木修平先生、遠田技術職員の計4名で行った。工作実施日は平成30年7月20日(金)と7月27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39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6年連続で100%となり、満足できる結果であった。

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39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29年度アンケート調査結果と平成30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。青は前年度とほぼ同様、橙は平均以下、緑は前年度以上である。

- 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

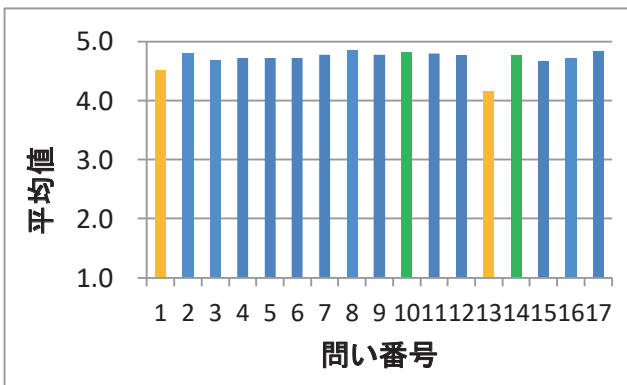


図2 平成30年度マイコンボード工作アンケート結果

これらの結果を見ると、平成30年度は平成29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4.51と前年より少し下がった。実験実習の時間で工作を進めたが工作が不得意な学生には時間が不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も4.15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ようである。問い14の鉛の環境影響について

は、4.77と平成29年度に比べ0.4も向上した。パワーポイントでしっかり説明したため理解が進んだためと考えられる。問い16は4.72と平成29年度より向上し、問い17は4.84と平成29年度に比べ少し低下したが、マニュアルに関する評価は平成29年度とほぼ同等で、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29年度と30年度のアンケート調査の平均値比較

	H29年度 平均値	H30年度 平均値
問1	4.70	4.51
問2	4.71	4.79
問3	4.82	4.69
問4	4.66	4.72
問5	4.76	4.72
問6	4.81	4.72
問7	4.68	4.77
問8	4.82	4.85
問9	4.76	4.77
問10	4.71	4.82
問11	4.74	4.79
問12	4.74	4.77
問13	4.21	4.15
問14	4.38	4.77
問15	4.71	4.67
問16	4.68	4.72
問17	4.92	4.84
平均値	4.69	4.71

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、比較的容易な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、すず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、基本技術の習得が無い状態では、工作技術を要するすず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。そこで、本研究では前年度と同様に、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 31 年 2 月 14 日(金)の 13:00~15:00 に電気情報工学コース第 3 学年の 39 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雅昭准教授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。平成 30 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松橋先生に依頼した。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)
- ・配線レイアウトの練習 (20 分)
- ・休憩 (5 分)
- ・抵抗の折り曲げとはんだ付け (10 分)
- ・抵抗、タクト SW のはんだ付け (15 分)
- ・まとめと振り返り (5 分)
- ・後片付け (10 分)

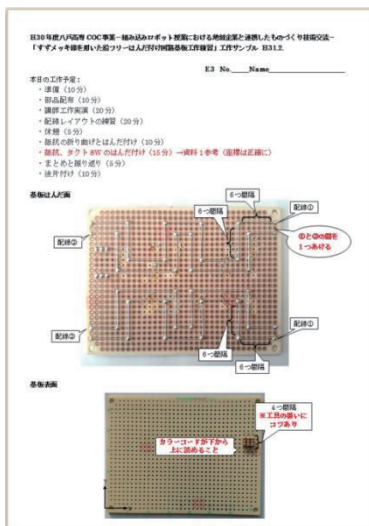


図 3 工作練習用回路配線資料

3.3 基板工作練習の実際

工作時間は 2 時間程度であった。説明を待つ時間が多く学生は実際には工作時間がかかり、直角配線 1 つを時間内に終えたのは 38 名のうち 25 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。

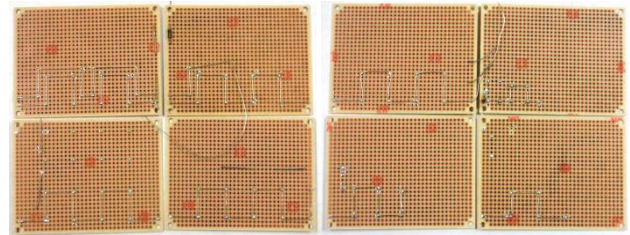


図 4 工作練習用直角配線の優良例(左)と不良例(右)



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 年度から始まった冬学期到達度試験後の特別学習指導・研修期間の平成 31 年 2 月 21 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. はんだの種類と極性 13:20~13:30(10分)
- 3. はんだ付けの方法と部品 13:30~13:50(20分)
- 4. はんだの国際規格 13:50~14:00(10分)
- 5. 最新はんだ技術 14:00~14:10(10分)
- 6. 工作実習 14:20~15:50(90分)



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、吉田雅昭准教授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。

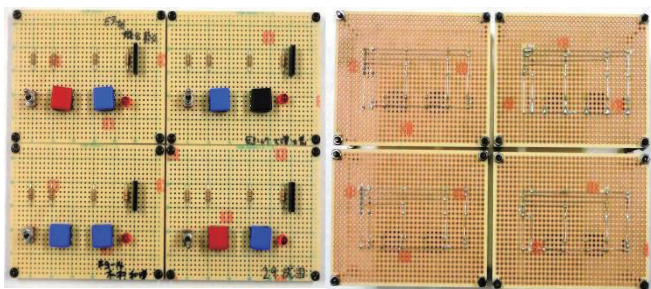


図7 学生が工作した回路の部品面(左)と配線面(右)

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。平成30年度の対象者は、工作に参加した電気情報工学コース第3学年39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。

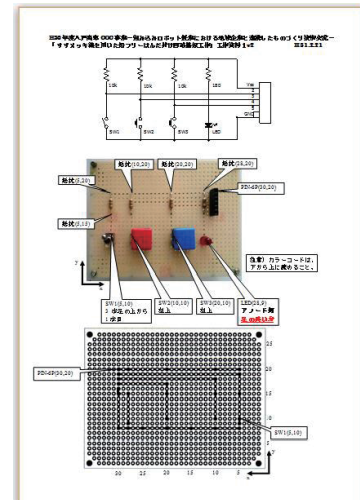


図8 スイッチ回路工作用資料



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

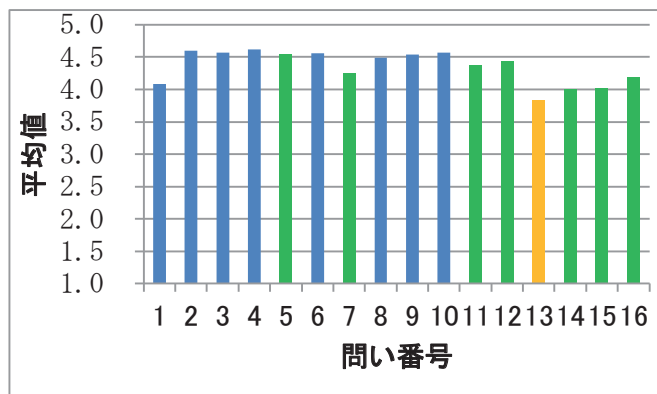


図 10 鉛フリーはんだ付け工作実習調査

図 10 の調査結果より、問い 1 では工作時間を増やす改善をしたことで平成 29 年度に比べ殆どの学生が工作時間が十分であったことが分かった。楽しく満足度も高かったことが分かる。問い 5, 7, 11, 12, 14, 15, 16 は前年度より向上し、全体的に高評価であった。しかし、工作指示にミスがあったため、問い 13 の鉛フリーはんだ付けのみ前年度よりも低い結果となった。今後は工作指示を確認して、工作時間を増やすだけでなく練習の質を向上させることが必要と考える。

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) 達成感があったか
- 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 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、はんだ付け知識が習得でき、達成感があったことが分かった。また、

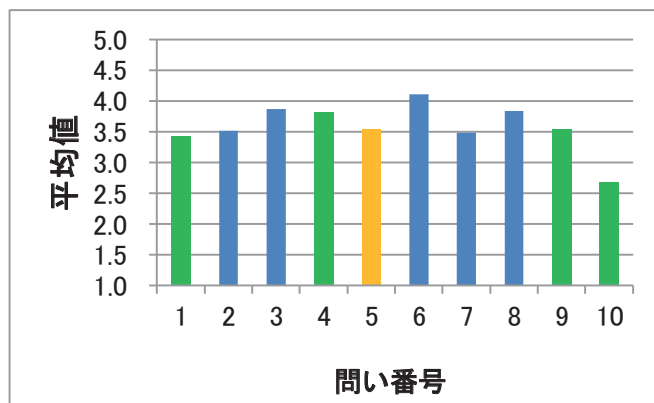


図 11 学生の鉛フリーはんだ付けの技術向上に関する調査

本研究と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 2.68 と高く、後輩達も実施する方が良く考えていることが分かった。前年度に比べはんだ付け好きになり、鉛の環境影響を意識し、リンクとサーボの理解も高くなった。しかし、問い 5 のはんだ付け技術の向上については 3.5 と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。前年度の優良工作（11 点または 10 点以上）は練習が 36% で回路が 14% であった。これに対し平成 30 年度は、練習基板は 26%、スイッチ回路基板は 42% が優良工作となった。この内訳は、練習ありで評価低 2 名（向上無）、練習ありで評価低から高へ向上が 7 名（向上有）、練習ありで評価高が 7 名（向上有高品質）であった。全体では練習よりも回路工作での評価値が 10% 向上し、はんだ付け練習の効果が確認できた。

5. 地域のものづくり企業工場見学

平成 31 年 2 月 22 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営業部海外営業課長中嶋博行氏と人事総務課係長櫻田憲司氏と製品技術ユニット係長五日市悠氏の 3 名であった。

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、電器店の店舗に用いられている LED 照明など身近な製品であった。

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、機器の試作工場であった。見学後に本校 OB

と OG によるグループディスカッションの質問会を行った。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、「八戸の企業が新幹線などに役立つ技術を持っていた事に驚き地元企業の凄さを感じた」、「この企業の説明会を見に行きたい」、「とても興味深かった八戸でここまで多くの事をやれるんだと思った」、「開発に興味があるので見ていて面白かった」、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、「一つの専門的な知識を深めるだけでなく様々な幅広い知識が必要だと感じた」、「目標を持って勉強に励みたい」、「専門をもっと頑張ろうと思った」等、学業への意識向上も確認できた。

さらに、「地元就職の魅力を感じたので視野に入れたい」、「中は静かだったが協力し合っていると思った」、「多くの別の会社も見たい」、「高専の知識が生かせようと思いました」、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、社会に役立つ製品が八戸で開発生産されていることを知り、地域企業への興味喚起と高専出身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実践し、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「はんだ付けが好きになった」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、「企業に初めて見学に行けてとても楽しかった」、「実際に仕事しているのを見て興味を持った」、「目標を持って勉強に励みたい」、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により全員が完成でき、作品品質も前年度より向上できた。工作が上手なのに学生自己評価が低い学生がいるので、フィードバックが今後の課題である。

「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 30 年度の八戸工業高等専門学校と大学 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実践, 八戸高専紀要, 第 49 号, pp.37-42(2014).
- 3) 細川靖, 吉田雅昭, 鎌田貴晴, 野中崇, 遠田達也, 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), 八戸工業高等専門学校紀要, 第 53 号, pp.43-48(2019).
- 4) Arduino 公式ウェブサイト, <https://www.arduino.cc/> (2019).
- 5) 秋月電子通商公式ウェブサイト, <http://akizukidenshi.com/> (2019).

(原稿受付: 2019 年 11 月 5 日)

新規癌温熱療法用加温装置の設計・開発

井関 祐也*・黒澤 俊祐**・西舘 嗣海**

Design and Development of New Heating Applicator for Hyperthermia Treatment

Yuya ISEKI, Shunsuke KUROSAWA, Tsugumi NISHIDATE

* 産業システム工学科 機械システムデザインコース

** 産業システム工学専攻 機械システムデザインコース 学生

Keywords : Hyperthermia, Heating Applicator, Resonant cavity

1 緒言

ハイパーサーミアは癌が熱に弱く、42~43℃程度で加温されると死滅する臨床事実に基づいている¹⁾。手術や抗がん剤治療と比較して患者への負担が少ないことから近年注目を集めている。臨床における加温装置として、針状電極加温装置やRF (Radio Frequency) 容量結合型加温装置などがある。前者は針状の電極を体内に刺入し、針電極周辺の癌を直接的に加温する。電極が刺入された箇所が確実に加温できる反面、侵襲的(体に傷をつける)である。後者の加温装置は、一対の電極で患部を挟み込み、電極間に高周波電流を流すことで加温を行う。非侵襲(体に傷をつけない)に加温が行える反面、電極直下の発熱が顕著となることや、癌だけを局所的に加温することが容易でないなどの問題点がある。すなわち、体内の癌だけを非侵襲かつ効果的に加温可能な装置の開発が急務である²⁾。

このような研究背景から著者らは空胴共振器加温装置を提案している³⁾。図1は本加温装置の概略図である。ループアンテナによって電力を供給し、空胴共振器内部に共振周波数に応じた電磁界共振モードを発生させる。空胴共振器の両底面にはリエントラントと呼ばれる内円筒を設置しており、電磁界をこの間隙に集中的に発生させる役割がある。すなわちリエントラント間隙部に患部を設置することにより非接触状態で深部局所加温を行う。

本論文では空胴共振器加温装置を新たに設計・試作し、その加温特性について評価した。具体的には有限要素法(FEM: Finite Element Method)による電磁界解析および温度分布解析から深部加温を実施するために最適な空胴共振器の寸法および共振周波数の特定を行った。次にシミュレーション結果を基に空胴共振器を試作し、加温実験を実施した。最後にシミュレーション結果と加温実験とを比較し、本加温装置の有用性について示す。

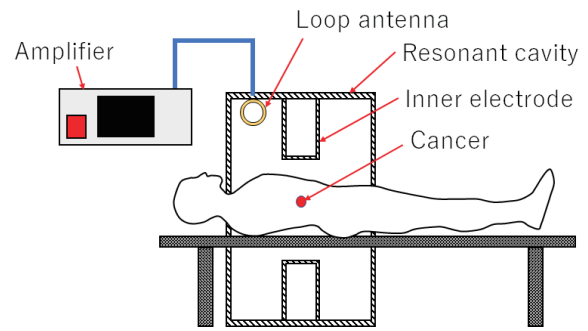


Fig. 1 Illustration of resonant cavity applicator

2 支配方程式

コンピュータ・シミュレーションに用いた支配方程式は式(1)~式(5)の通りである。まず式(1)の波動方程式によって空胴共振器内部の電磁界分布を計算する。次に式(3)によって電磁波による加温熱エネルギー W_h を算出し、式(4)の生体熱伝導方程式を解くことによって温度分布を得る³⁾。

$$\nabla^2 E + k^2 E = 0 \quad (1)$$

$$k^2 = \omega^2 \epsilon \mu \quad (2)$$

$$W_h = \frac{1}{2} \sigma |E|^2 \quad (3)$$

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \kappa \nabla^2 T + W_h - W_c + M \quad (4)$$

$$W_c = (F\rho)_{tissue} \times (\rho c)_{blood} \times (T - T_b) \quad (5)$$

ここで、 E は電界強度、 ω は角周波数、 ϵ は真空の誘電率、 μ は透磁率、 σ は導電率、 ρ は体積密度、 c は比熱、 T は温度、 t は時間、 κ は熱伝導率、 M は代謝熱、 T_b は血液の温度である。なお、血液の灌流による冷却エネルギー W_c および代謝熱 M は加温対象がファントムであるため本論文では無視した。

3 コンピュータ・シミュレーション

3.1 解析モデル

図 2 はコンピュータ・シミュレーションに用いた空洞共振器の各寸法である。外形は直径 400 mm、高さ 450 mm、リエントラントは直径 100 mm、高さ 125 mm とした。加温対象物のファントムは直径 180 mm、高さ 130 mm とした。ファントム設置位置は空洞共振器中央である。図 3 はコンピュータ・シミュレーションに用いた要素分割例である。コンピュータ・シミュレーションにはオープンソース有限要素法解析ソフトウェア Elmer (フィンランド) を用いた。

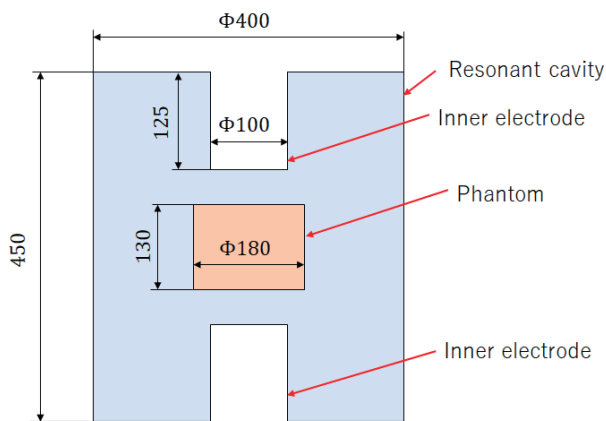


Fig. 2 Dimensional drawing of resonant cavity

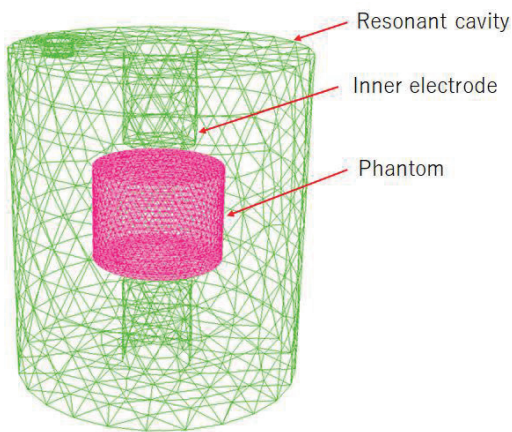


Fig. 3 FEM model

3.2 解析結果

図 4 は周波数応答解析結果である。縦軸にファントム内部の電界強度、横軸に周波数をとっている。加温実験時のパワーアンプの仕様が 200 MHz~400 MHz であるため、この周波数帯域での周波数応答解析を実施した。図 4 より、246 MHz、290 MHz、383 MHz の 3 か所に電界強度のピークが生じており、電磁界共振が発生していることがわかる。

図 5 は各共振周波数におけるファントム中央断面の温度分布である。図 5 より、246 MHz、290 MHz の共振周波数を選択した場合には深部のみに加温エネルギーが集中しており、深部局所加温に適していることがわかる。一方、383 MHz の電磁界共振モードはホットスポットが二か所に発生しており、他の共振モードとは異なった加温分布を呈している。このように、本加温装置は電磁界共振モードに応じた様々な温度分布を得ることができる。

以上の解析結果より、パワーアンプの仕様である 200 MHz~400 MHz の周波数帯域に深部加温を行える電磁界共振モードが存在することから図 2 の寸法を採用した。

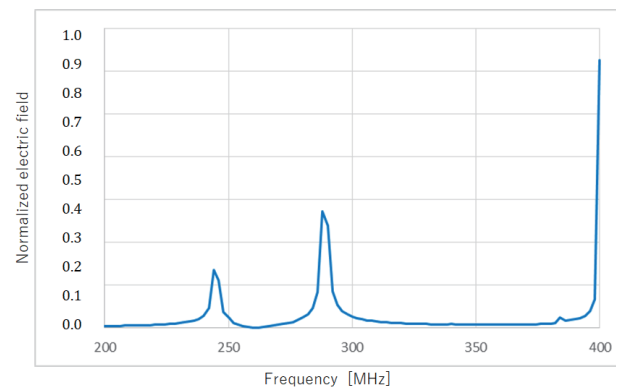


Fig. 4 Normalized electric field vs frequency

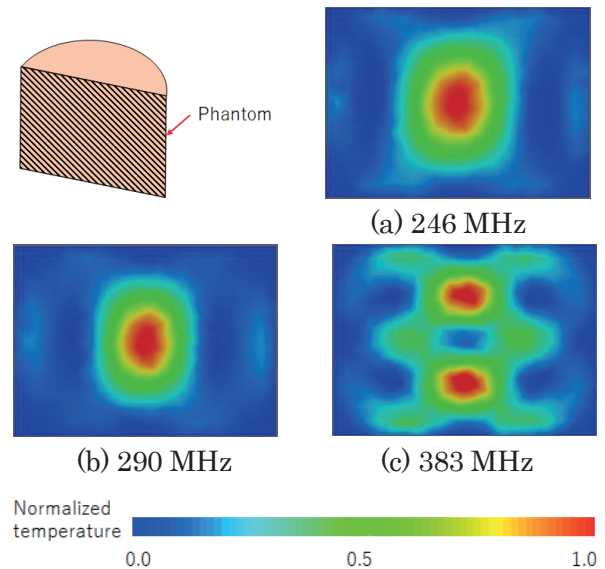


Fig. 5 Temperature distributions

4 空洞共振器の試作

前章でのコンピュータ・シミュレーション結果を基に空洞共振器の試作を行った。図 6 は設計した空洞共振器の 3D CAD モデルである。本加温装置は、天板、リエントラント、ボディーの 3 種類のパーツによって構成されている。加温時の空洞共振器内壁には壁面電流が流れる

ため、全てのパーツは導電性および強度を考慮してアルミニウムを採用した。また、ボディ側面にはファントムを挿入するための直径 250 mm の窓を設けた。

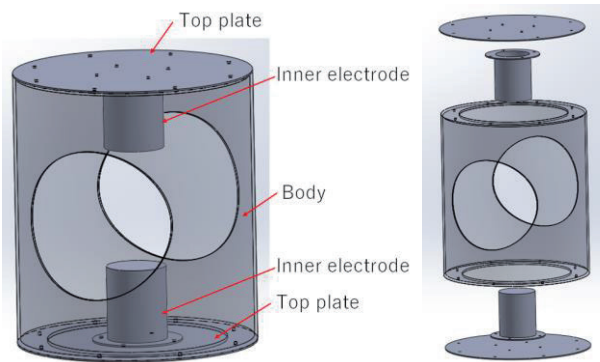
図 7 は加温システム全体の写真である。高周波パワーアンプはオートマッチング機能を搭載しており、共振周波数の特定からインピーダンスマッチングまでをフルオートで実施する。すなわち臨床応用時には工学的知識に乏しい医師などもスムーズに治療を行うことができる仕様となっている。高周波パワーアンプとループアンテナとは同軸ケーブルによって接続されている。本研究では被加温体として日本ハイパーサーミア学会において標準化されている筋肉等価寒天ファントムを用いた。寒天ファントムは直径 180 mm、高さ 130 mm とした。寒天ファントムはあらかじめ中央で切断してあり、密着させた状態で加温実験を行う。加温実験終了直後にこの断面を赤外線サーモカメラによって撮像することで温度分布の可視化を行う。寒天ファントムを設置する台はテフロン製である。図 8 は空洞共振器内部のループアンテナの詳細図である。アンテナは導電性および加工性を考慮して銅を採用した。



Fig. 8 Photograph of loop antenna

5 空洞共振器を用いた加温実験

前章において試作した空洞共振器加温システムを用いた加温実験を実施した。全ての加温実験において加温電力は 20 W、加温実験は 20 分とした。図 9 は加温実験直後の寒天ファントム中央断面をサーモカメラで撮像した結果である。図 9 (a) は共振周波数 271 MHz で加温を行った結果である。寒天ファントムの中心のみにホットスポットが生じていることが確認できる。図 9 (b) は共振周波数 380 MHz の場合の結果である。図 9 (b) からホットスポットが二か所に生じており、図 9 (a) とは異なった温度分布であることが確認できる。これらの結果から試作した空洞共振器加温装置を用いて深部局所加温を行える可能性を示した。



(a) Assembly view (b) Exploded view
Fig. 6 3D CAD model

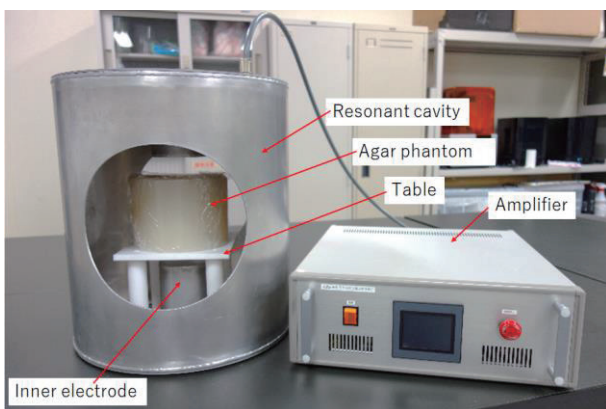
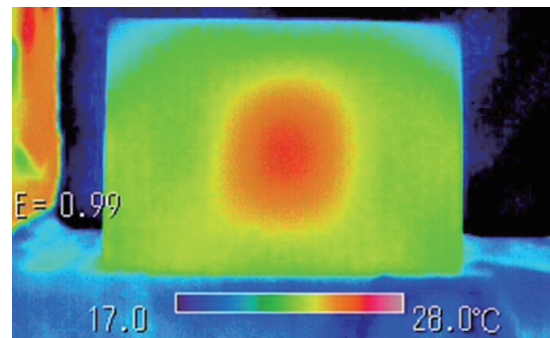
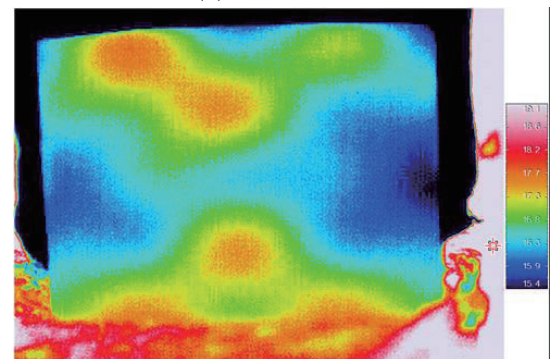


Fig. 7 Photograph of resonant cavity



(a) 271 MHz



(b) 380 MHz

Fig. 9 Temperature distributions

6 結果と考察

ここで、コンピュータ・シミュレーション結果と加温実験結果との比較を行う。図 5 (b) と図 9 (a) の温度分布を比較するとどちらも中心部分のみにホットスポットが生じており、よく似ていることがわかる。しかしながら加温実験結果では下部方向にかけてやや縦長な温度分布となっており、不安定な電磁界共振モードであったことが予想される。これはインピーダンスマッチングやアンテナの最適化がされていないためと考えられる。

同様に図 5 (c) と図 9 (b) の温度分布を比較すると、図 9 (b) の加温実験では温度上昇が低いことやぼやけた温度分布であるが、ホットスポットが上下二か所に生じている特徴などがよく一致している。

以降では、コンピュータ・シミュレーションと加温実験結果とをより詳細に比較するため、式 (6) に示した正規化式によって温度上昇を無次元化して議論する。

$$T_N = \frac{(T - T_{min})}{(T_{max} - T_{min})} \quad (6)$$

ここで、 T_N は正規化温度、 T_{min} は最低温度、 T_{max} は最高温度である。

図 10 は寒天ファントム中央断面における温度分布プロファイルの比較である。オレンジ色の線が加温実験結果、青色の線がコンピュータ・シミュレーション結果である。生体の初期温度を 37°C 、ハイパーサーミアに求められる温度が $42^{\circ}\text{C} \sim 43^{\circ}\text{C}$ であることから、求められる温度上昇は $5 \sim 6^{\circ}\text{C}$ である。すなわち、温度上昇の約 8 割がハイパーサーミアに有効な加温領域となることから正規化温度 0.8 を指標に議論する。図 10 は図 5 (b) と図 8 との比較である。図 10 より両者の温度プロファイルはよく似ていることがわかる。正規化温度 0.8 での両者の加温領域を比較すると、シミュレーションによる加温領域 $\alpha 1$ が 36.4 mm 、加温実験による加温領域 $\beta 1$ が 40.3 mm であったことから、両者は 90% 程度一致していることがわかる。一方、加温実験結果の方がやや広い温度分布を示しているが、これはインピーダンスマッチングが十分に行われていなかったためと考えられる。今後、アンテナの形状、大きさ等を見直すことを予定している。

図 11 は、図 5 (c) と図 9 との比較を示している。図 11 から両者の温度プロファイルはよく似ていることがわかる。2 か所に生じたホットスポットのピーク的位置関係もよく一致した。上部側のホットスポットの加温領域を例にして比較すると、 $\alpha 2$ が 16.9 mm 、 $\beta 2$ が 19.5 mm であったことから、両者は 87% 程度一致した。しかしながら、ファントム下部の温度分布はよく一致しておらず、装置の改良の余地があることが示唆された。

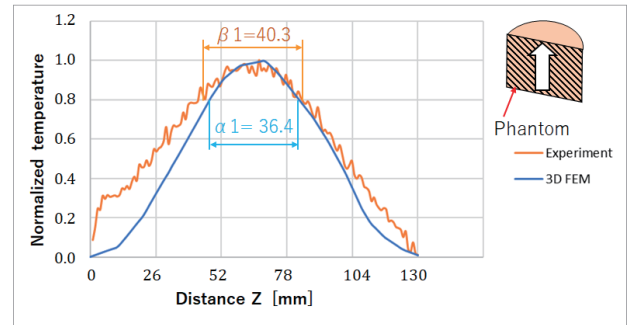


Fig. 10 Normalized temperature distribution

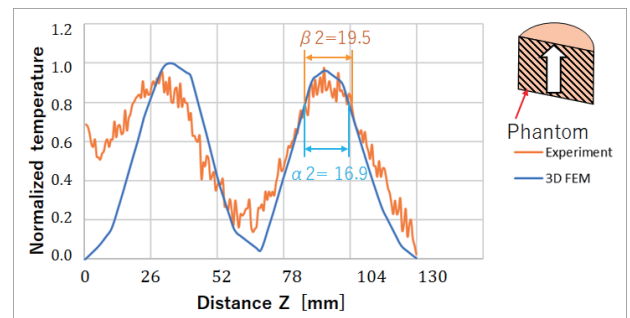


Fig. 11 Normalized temperature distribution

7 結語

これらの結果から、コンピュータ・シミュレーション結果と加温実験結果とは 90% 程度の精度で一致し、空洞共振器加温装置の深部局所加温の有用性を示した。

今後、加温中の温度分布を超音波画像から非侵襲に計測する手法を確立し、空洞共振器加温装置と組み合わせることによって、非侵襲加温および非侵襲温度計測が可能な装置の開発を行うことを予定している。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP18K18408 の助成を受けたものです。

参考文献

- 1) 日本ハイパーサーミア学会編、ハイパーサーミアがん温熱療法ガイドブック、2008 年
- 2) 癌温熱治療のための RF 加温装置の加温特性、井関祐也、八戸工業高等専門学校紀要、第 51 号、65-70、2017
- 3) A New Heating Control Method for Effective Hyperthermia Treatment of a Brain Tumor Using the Resonant Cavity Applicator with a Segmented Dielectric Bolus, Iseki Y., Takahashi H., Uzuka T., Kazuo K., Thermal Med, 30: 41-53, 2014.

(原稿受付：2019 年 10 月 30 日)

OpenFOAM を用いたふく射・対流場の連成伝熱解析の妥当性評価

小泉 匠摩**・古川 琢磨*

Evaluation of validity of coupled analysis of radiation and convection field using OpenFOAM

Takuma KOIZUMI, Takuma KOGAWA,

* 産業システム工学専攻機械システムデザインコース

** 専攻科機械システムデザインコース

Abstract : In recent years, natural ventilation has attracting attention as a ventilation method for buildings. In order to realize the method, it is important to understand natural convection of large-scale air in the building considering radiation influenced by the thermal radiation. This research aims to understand the combined heat transfer phenomenon of natural convection and radiation by using OpenFOAM, a CFD open software that has been attracting attention in recent years. Although the radiation library is attached to OpenFOAM, there are many unclear points regarding the analysis accuracy of this library. To evaluate the accuracy of the radiation library of OpenFOAM, a laminar natural convection under the influence of radiation was analyzed in this study. The dependence of the number of divisions on the spatial angle of radiation calculation was investigated. Assuming that 10 degree of the division angle is correct, the accuracy dependency of the discretizing angle for ray for discrete ordinate method was investigated. Temperature and velocity distribution, and heat transfer coefficient were used as parameters for comparison. As a result, it was found that the error was less than 1 percent when divided into 18 degrees.

Keywords : Natural convection, Radiation, OpenFOAM

1. 緒言

近年、建築物の換気方法の中で、自然換気システムが注目されている。自然換気システムは外部動力を必要としない利点がある一方、動作安定性が低いことが欠点として挙げられる。

自然換気システムを効率的に利用するためには、より移流効果の強い自然対流を発生させる必要がある。自然換気システム内部では対流発生領域中のスケール効果性によりふく射伝熱が対流伝熱に影響を及ぼす。ふく射伝熱は表面ふく射効果とガスふく射効果の二種類に分別することができる。表面ふく射効果は固体表面間で交換されるふく射伝熱であり、ガスふく射効果とはガスのふく射吸収によって発生する伝熱効果である。これら両効果を積極的に応用することが可能となれば、より移流効果の強い自然対流場に制御可能であると考えられる。

ふく射伝熱を用いた自然対流場の制御のためには、ふく射伝熱を考慮した建築物内の換気システムに応用される大規模系での自然対流伝熱現象を把握することが重要である。これまで数多くの研究者によって自然対流とふく射の複合伝熱現象に関して調査が行われてきた。Lariらは通常室内条件下での矩形キャビティ内の自然対流熱

伝達に対するふく射伝熱の影響を解析した¹⁾。Soucasseらは断熱壁を有する加熱キャビティ内の壁、またガス放射が関連する非定常性への移行と弱い乱流自然対流の運動を数値的に研究した²⁾。Salatらは15Kの温度差のある加熱キャビティ内で発生する乱流自然対流を実験的および数値的に調査した³⁾。また近年では汎用CFDソフトウェアを用いた複合伝熱現象の解析も行われており、本複合伝熱現象に関する知見が増えると考えられる。

本研究では近年注目されているCFDオープンソフトウェアであるOpenFOAMを用いることで自然対流、ふく射の複合伝熱現象を理解することを最終目的とする。OpenFOAMにはふく射ライブラリが付随しているが、本ライブラリの複合伝熱現象に対する解析精度に関しては不明な点が多い。そこで本研究では自然対流とふく射場の複合伝熱現象の解析手法の構築を目的とする。本目的を達成するために、ふく射影響下の層流自然対流の解析を行い、ふく射計算の空間角度の分割数の依存性を調査する。

2. 研究方法

本研究では、OpenFOAMを用いたコンピューターシミュ

シミュレーションを行う。今回の目的を達成するために行った研究の進め方を記述する。1. ケース作成、2. 計算条件の設定、3. 計算の実行、4. paraView を用いた可視化、5. データの取得、6. 各空間角度分割数での比較、である。

2.1 作成ケース

作成したケースは、0.1m 四方の通常室内条件下での二次元空洞矩形であり、内部は空気が存在している。中心温度は 300K で、左側が高温壁 305.34K、右側が低温壁 294.66K であり、上下は断熱壁である。レイリー数は 10^6 で、熱拡散率などの各物性値は伝熱工学⁴⁾を参照した。メッシュ数は 160×160 で、壁付近に向かうにつれて細分化される勾配メッシュを用いた。

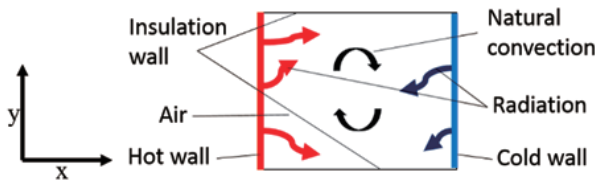


図1 作成ケース

計算は pure convection (ふく射の影響がない) と τ (光学厚さ) = 1, 5, 10 のケースを作成し、行った。

2.2 支配方程式

本研究で用いる支配方程式を記す。ブジネスク近似を用いたナビエストークス方程式とエネルギー方程式、ふく射輸送方程式である。本研究では、主に断熱壁に放射されたふく射の散乱及び、ふく射性媒体でのふく射吸収・放射を考慮するため、離散方位法 (DOM) を用いた。ここで u, v は x, y 方向の速度、 t は時間、 ρ は流体の密度、 p は圧力、 β は体膨張係数、 g は重力加速度、 T は温度、 T_0 は中心温度、 α は熱拡散率、 c_p は定圧比熱、 $\nabla \cdot q_r$ は放射束、 I_λ は単色入射ふく射強度、 \vec{r}, \hat{s} は光の位置及び方向、 S は距離、 κ_λ は吸収係数、 $\sigma_{s,\lambda}$ は散乱係数、 $I_{b,\lambda}$ は黒体ふく射強度、 \hat{s}' はある方向ベクトル、 $\Phi_\lambda(\hat{s}' \rightarrow \hat{s})$ は \hat{s}' 方向に散乱される単位立体角当たりの割合、 Ω は立体角である。

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \dots\dots\dots (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + \beta g (T - T_0) \dots\dots\dots (2)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) - \frac{1}{\rho c_p} \nabla \cdot q_r \dots\dots\dots (3)$$

$$\frac{dI_\lambda(\vec{r}, \hat{s})}{ds} = -(\kappa_\lambda + \sigma_{s,\lambda}) I_\lambda(\vec{r}, \hat{s}) + \kappa_\lambda I_{b,\lambda}(T) + \frac{\sigma_{s,\lambda}}{4\pi} \int_{4\pi} I_\lambda(\vec{r}, \hat{s}') \Phi_\lambda(\hat{s}' \rightarrow \hat{s}) d\Omega \dots\dots\dots (4)$$

また、本研究で用いた最大クーラン数は 0.5 である。

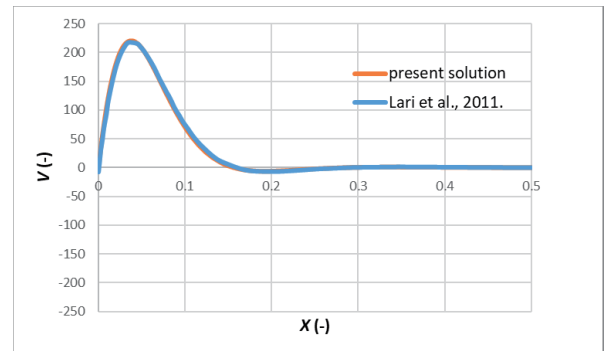
2.3 各空間角度分割数の比較

本研究では、無次元位置と無次元速度を用いて、 $X-V, U-Y$ 、対流熱伝達率 h_c 、ふく射熱伝達率 h_r の計算値の各空間角度分割数の比較を行った。ここで、 $X = x/L, V = \nu L/\alpha, U = uL/\alpha, Y = y/L, h_c = \frac{k \frac{\Delta T}{\Delta x}}{T_w - T_c}, h_r = \frac{q_r}{T_w - T_c}$ 、である。 L はキャビティ幅、 k は空気の熱伝導率、 q_r は壁からのふく射による熱流束、 T_w, T_c は加熱壁、冷却壁温度である。

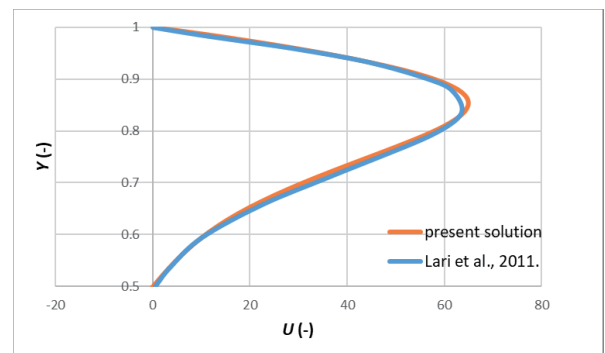
立体角は、各光学厚さにおいて球座標系における方位角、天頂角が等角度になるようそれぞれ 36:18, 10:5, 6:3, 2:1 に分割した。例えば 36:18 に分ける場合は、方位角 $\varphi = 180^\circ/36 = 5^\circ$ 、天頂角 $\theta = 90^\circ/18 = 5^\circ$ 、となる。これよりそれぞれの分割角度は $5^\circ, 18^\circ, 30^\circ, 90^\circ$ となる。

3. 研究結果と考察

まず、用いた複合解析手法の妥当性評価のため、pure convection の計算結果と先行研究の速度分布のグラフを示す。



(a)



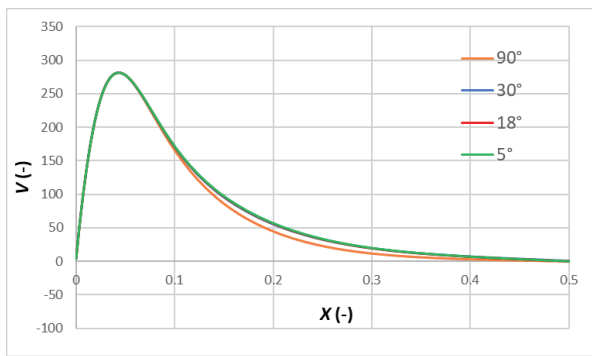
(b)

図2 加熱壁中央部の速度(a)と上部断熱壁中央部の速度(b)の比較 ($\tau=5$)

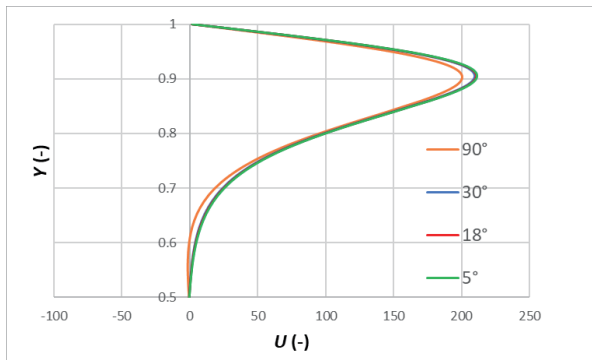
これらのグラフは pure convection の位置と速度の関係を示している。ここで、pure convection とはふく射を考慮しない場合である。 $Y-U$ のグラフでは境界層付近に多少

のずれがあるものの、分布は一致している。このずれは先行研究から値を取得する際に生じた誤差であると考えられる。 $X-V$ のグラフはほぼ完全に一致している。これらより、pure convection での計算結果は正しいことが確認された。

次にふく射計算の際の空間角度分割数の依存性について評価した。今回は結果の一部として $\tau=5$ のグラフを掲載する。図 3(a)は、加熱壁中心部の速度分布を示している。図 3(b)は、上部断熱壁中心部の速度分布を示している。



(a)



(b)

図3 加熱壁中央部の速度(a)と上部断熱壁中央部の速度(b)の比較 ($\tau=5$)

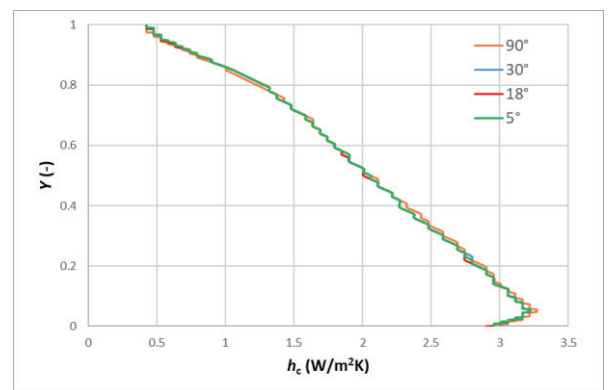
$X-V$ のグラフを見ると、全ての角度分割数で速度境界層の位置や大きさは一致している。しかし、 X が0.1~0.4の間で、空間を90°に分割したときの速度が、基準値に比べて小さくなっている。その他の分割角度での速度は基準と比べて違いはない。次に $U-Y$ の結果に注目する。 $X-V$ とは違い、分割角度が90°の時に速度境界層の境界付近の最大速度が基準と違っている。また、その分割角度で Y が0.5~0.8の時には基準値と離れている。

次に各分割角度の対流熱伝達率 h_c 、ふく射熱伝達率 h_r を比較する。表1、2、3はそれぞれ $\tau=1$ 、5、10での分割角度別の平均対流熱伝達率、平均ふく射熱伝達率、基準

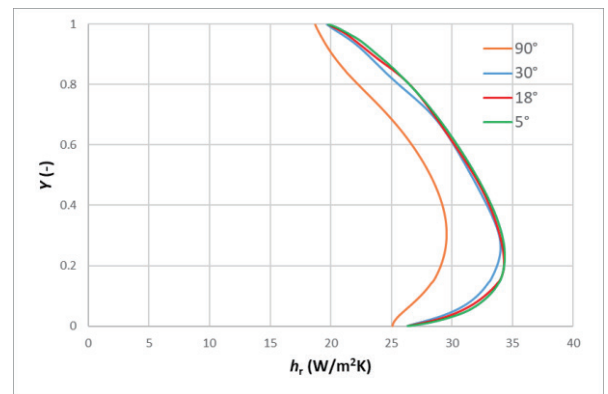
との差を示している。図4(a)、5(a)、6(a)は、それぞれ $\tau=1$ 、5、10での加熱壁からの対流熱伝達率を示している。図4(b)、5(b)、6(b)は、それぞれ $\tau=1$ 、5、10での加熱壁からのふく射熱伝達率を示している。

表1 分割角度別の加熱壁からの平均対流熱伝達率と平均ふく射熱伝達率 ($\tau=1$)

	90°	30°	18°	5°
$h_c(\text{W/m}^2\text{K})$	1.921	1.908	1.907	1.911
基準との差(%)	0.535	-0.155	-0.173	
$h_r(\text{W/m}^2\text{K})$	24.294	27.282	27.626	27.882
基準との差(%)	-12.867	-2.153	-0.919	



(a)

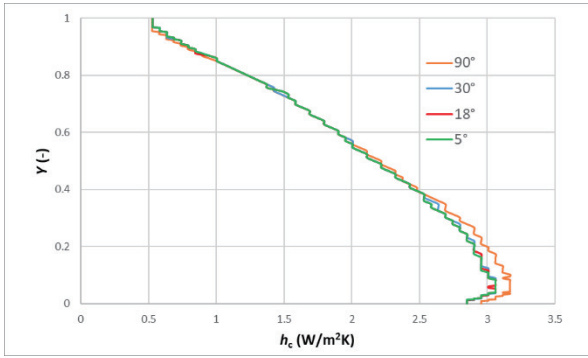


(b)

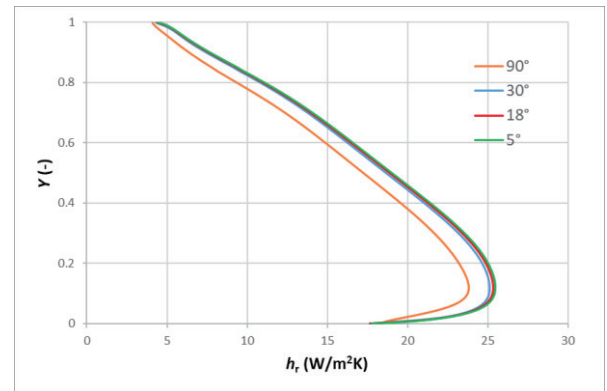
図4 対流熱伝達率(a)とふく射熱伝達率(b)の比較 ($\tau=1$)

表2 分割角度別の加熱壁からの平均対流熱伝達率と平均ふく射熱伝達率 ($\tau=5$)

	90°	30°	18°	5°
$h_c(\text{W/m}^2\text{K})$	1.967	1.924	1.920	1.920
基準との差(%)	2.439	0.223	0.017	
$h_r(\text{W/m}^2\text{K})$	18.514	19.553	19.734	19.857
基準との差(%)	-6.765	-1.528	-0.619	

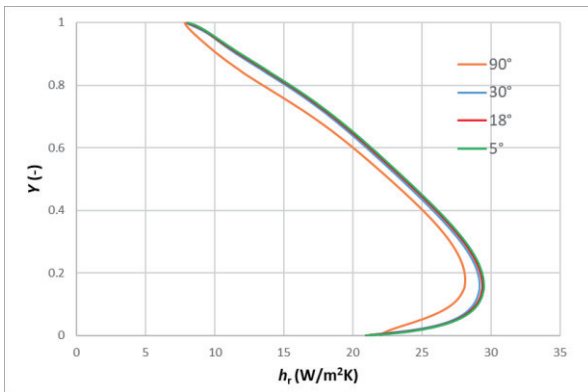


(a)



(b)

図6 対流熱伝達率(a)とふく射熱伝達率(b)の比較 (τ=10)

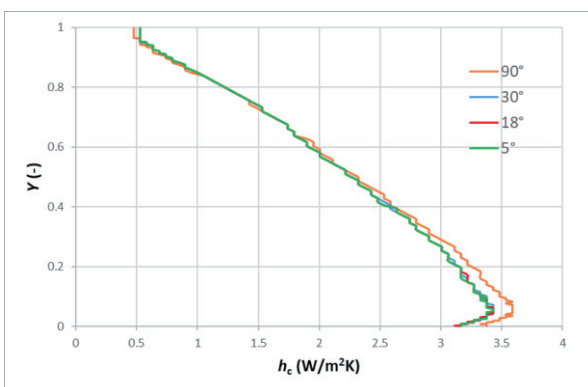


(b)

図5 対流熱伝達率(a)とふく射熱伝達率(b)の比較 (τ=5)

表3 分割角度別の加熱壁からの平均対流熱伝達率と平均ふく射熱伝達率 (τ=10)

	90°	30°	18°	5°
$h_c(W/m^2K)$	2.121	2.064	2.061	2.059
基準との差(%)	2.978	0.240	0.080	
$h_r(W/m^2K)$	14.451	15.662	15.842	15.951
基準との差(%)	-9.403	-1.812	-0.683	



(a)

グラフから、分割角度が 90°の時ではどちらの熱伝達率も基準から離れた部分が存在する。特にふく射熱伝達率は全ての位置で基準とは離れている。より正確な評価をするために、各光学厚さにおいて 2 つの熱伝達率の平均値を比較した。比較では分割角度を 5°を基準値とした。結果としてどの光学厚さにおいても分割角度を 18°とした時に、基準との誤差が 1%未満であることが分かった。

4. 結言

鉛直方向・水平方向の速度分布、熱伝達率の比較から、今後使用する、ふく射と自然対流の複合解析手法の妥当性を評価した。結果として、分割角度を 18°とした時に基準との誤差が 1%未満であることが分かった。これより、ふく射計算を含む複合解析手法を用いる際は分割角度を 18°未満にする必要がある。今後は、18°と 30°の間での差について調査する予定である。またふく射伝熱のメッシュ依存性についても調査したい。

参考文献

- 1) K. Lari et al. Combined heat transfer of radiation and natural convection in a square cavity containing participating gases. International Journal of Heat and Mass Transfer. 2011, vol. 54, pp. 5087-5099.
- 2) L. Soucasse et al. Transitional regimes of natural convection in a differentially heated cubical cavity under the effects of wall and molecular gas radiation. Physics of Fluid. 2014, vol. 26, No. 2, pp. 024105.
- 3) J. Salat et al. Experimental and numerical investigation natural convection in a large air-filled of turbulent cavity. International Journal of Heat and Fluid Flow. 2004, vol. 25, No. 5, pp. 824-832.
- 4) 一般社団法人,日本機械学会. 伝熱工学. 丸善出版. 2005.

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 (3)

— 炭素材料に関する分子シミュレーションとマテリアリゼーション —

松橋 信明*・高橋 蓮**・大橋 功一**・小田 和樹**・山田 一雅***

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

— Molecular Simulation and Materialization on Carbon Materials —

Nobuaki MATSUHASHI, Ren TAKAHASHI, Kouichi OHASHI, Kazuki ODA 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: 分子シミュレーション, マテリアリゼーション, グラフェン, グラファイト, ダイヤモンド, 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)~5)を上げることができた。

そして前稿6)において、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した。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、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した。

本稿では、身近な教材である炭素材料に着目し、その構造や物性を解明するべく、グラフェンの成長過程、グラファイト構造とダイヤモンド構造の混成軌道の違いによる導電特性の比較、ダイヤモンド構造の物性と3Dプリンタによる造形化について、分子軌道法や分子動力学法を用いた分子シミュレーションやマテリアリゼーションにより取り組み、それらの検討結果を紹介する。

2. グラフェン成長過程の検討

グラフェンとは炭素原子が蜂の巣格子状に互いに強固に結合した二次元結晶(ハニカム構造)である。その優れた導電特性・機械特性からエレクトロニクス分野での応用が期待されている。

本研究では、Cu薄膜上へ単層グラフェンを作製する際の実験環境を分子動力学シミュレーションにより再現し、グラフェンの成長過程を明らかにして、グラフェン作製の条件を見出すことを目的とする。

2.1 グラフェンの分子動力学計算

2.1.1 グラフェンについて

グラフェンとは、1原子の厚さのsp²結合炭素原子のシート状物質である。炭素原子とその結合からできた蜂

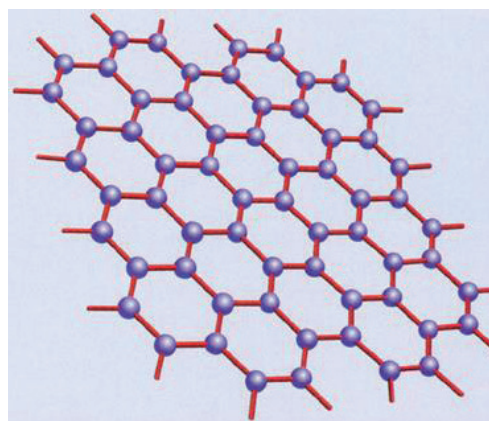


図1 グラフェンの基本構造

の巣のような六角形格子構造をとっている（ハニカム構造）。また炭素同素体（グラファイト、カーボンナノチューブ、フラーレンなど）の基本的な構造である。図1にグラフェンの基本構造を示す。

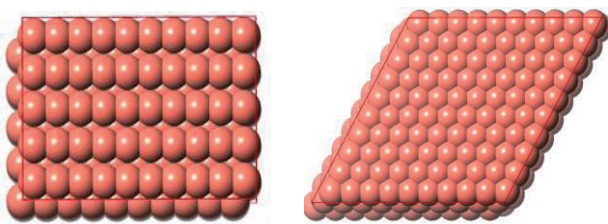
グラフェンは導電性や物理特性、さらにはスピン輸送特性にも優れているため半導体素子や透明導電膜などの用途はもちろんのこと、スピントロニクスの理想的な材料とされており、太陽帆のようにマイクロ波を照射することによって前進する宇宙船の開発も研究されている。

一般にグラフェンはCVD法を用いて金属触媒の上に成長させて作製させる。その際、単層で大面積のグラフェンはCu薄膜の上に作成することができる。

2.1.2 シミュレーションセルの準備

本研究では、富士通社製の分子動力学シミュレーションソフトSCIGRESSを用いる。実際は熱CVD法による金属触媒反応を利用してグラフェンを成長させるが、SCIGRESSでは化学反応のシミュレーションを行うことができないため、熱CVDの原料ガスであるアセチレンがCuの触媒反応によって炭素が取り出される過程を再現することができない。そこで、あらかじめアセチレンからある程度炭素原子が取り出されたものとし、シミュレーションを行う。

Cu薄膜上でのグラフェン成長の様子を再現するべく図2に示すCu(110)とCu(111)のCu薄膜セルを準備する。その上に、適当な量の炭素原子のランダムセルを結合させると、図3のシミュレーションセルが完成する。



(a) Cu(110) (b) Cu(111)

図2 Cu薄膜セル

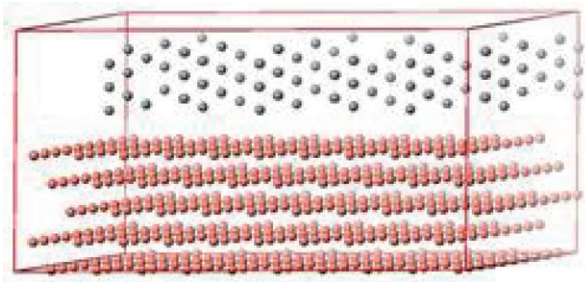


図3 シミュレーションセル

2.1.3 Cu(110)とCu(111)の比較

(1) シミュレーション条件

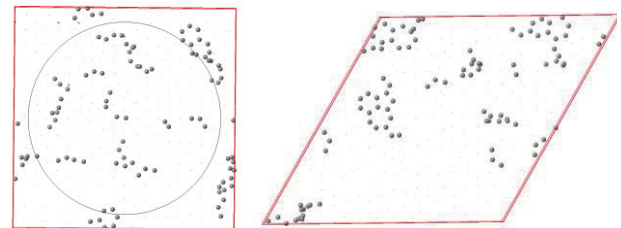
準備したCu(110)及びCu(111)セルを用いて、グラフェン成長の様子を比較する。分子動力学計算を実行するためのシミュレーション条件を表1に示す。

表1 シミュレーション条件

アンサンブル	NTP
総ステップ数	30000[steps]
時間刻み幅	0.5[fs]
温度	1~7000[step] : 300[K]
	10000~14000[step] : 1300[K]
	17000~30000[step] : 300[K]
圧力	1×10^{-6} [atm]
原子間ポテンシャル関数	Cu-Cu : GEAM
	Cu-C : UFF
	C-C : Tersoff

(2) シミュレーション結果

Cu(110)及びCu(111)のセルで成長させたグラフェンを図4に示す。結果として、どちらもグラフェンを成長させることができた。両者を比較すると、Cu(110)上よりCu(111)上の方がグラフェン特有のハニカム構造が多く見られた。



(a) Cu(110)

(b) Cu(111)

図4 シミュレーション結果

(3) 考察

Cu(111)上のグラフェンのハニカム構造がCu(110)より多くなった理由は、それぞれの面における原子の配向に起因していると考えられる。Cuは固溶度が極めて低いため、炭素原子がCuに溶けにくく多くの原子がCu表面で配向・結合すると考えられる。Cu(110)は原子が格子状に配向しているのに対してCu(111)は原子がハニカム構造に似た配向をしている。そのため、炭素原子がよりハニカム構造を形成しやすいと考えられる。

また、Cu(110)においてもグラフェン特有のハニカム構造が少数ではあったが確認することができた。したがって、Cu(110)基板を工夫することによって十分な面積のグラフェンを作製することが可能と考えられる。

2.1.4 温度依存性

(1) シミュレーション条件

温度がグラフェン成長に及ぼす影響を調べる。表 1 のシミュレーション条件において、10000~14000[step]の場合の温度を 300[K]・500[K]・900[K]・1300[K]と変化させ、グラフェン成長の様子を比較する。Cu 薄膜セルは Cu(111)を用いる。

(2) シミュレーション結果

図 5 にシミュレーション結果を示す。300[K]と 500[K]では炭素の結合が見られず、900[K]では 4 つの温度の中で一番単層に近いグラフェンが得られた。1300[K]ではハニカム構造は多く見られたが多層構造になってしまった。

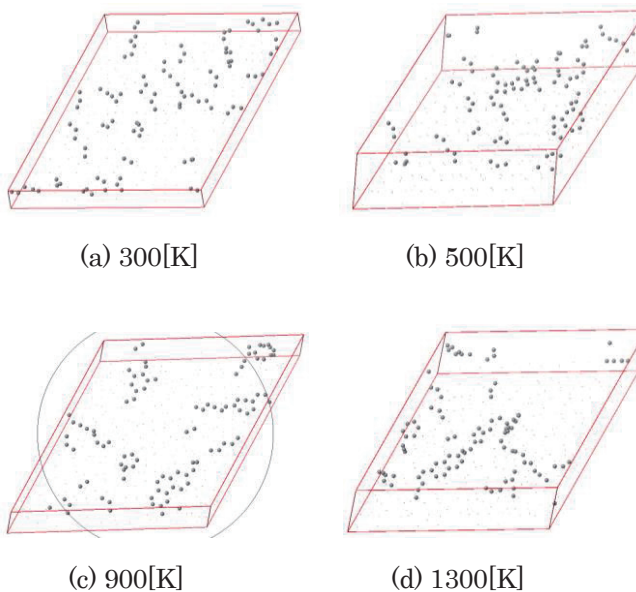


図 5 シミュレーション結果

(3) 考察

300[K]と 500[K]の場合は、グラフェン成長時の温度が低温であるため、グラフェンに結合するためのエネルギーが十分に得られずハニカム構造が極めて少なくなったと考えられる。

1300[K]の場合は、ハニカム構造が多く見られた一方で、多層グラフェンも多く見られた。これは高温になるほど炭素原子の運動量が多くなり、結合したグラフェンの運動が激しくなって 2 層以上の多層グラフェンができたと考えられる。必要以上に高温にしまうと各原子のエネルギーが非常に高くなり、結合が三次元的になりやすいと考えられる。

900[K]の場合は、二次元結晶に近い単層グラフェンが多く見られた。これまでの考察から、900[K]が単層グラフェンを成長させるための適切な温度と考えられる。

3. 混成軌道の違いによる導電特性の比較

炭素材料として有名なグラファイトやダイヤモンドは、どちらも炭素だけで作られているにも関わらず、sp² 混成軌道を有するグラファイトは導電性、sp³ 混成軌道を有するダイヤモンドは絶縁性を示す。なぜ同じ材料で作られているのに導電性に違いが生じるのか、分子シミュレーションソフト SCIGRESS を用いて分子軌道計算を行い、混成軌道の違いによる導電特性の比較を行う。

本研究は、導電特性を調べるため、分子中の電子の状態を量子力学的な計算によって求め、その分子構造や化学反応などに関する特性を理論的に調べる量子化学の手法である分子軌道法を採用する。グラファイトとダイヤモンドの構造モデルを作成し、次に分子軌道計算を行う。そして得られた結果からグラファイト構造とダイヤモンド構造の導電特性を比較する。

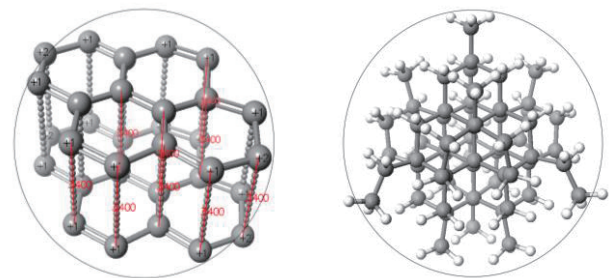
3.1 グラファイトとダイヤモンドの分子軌道計算

3.1.1 構造モデルの作成

グラファイトの結晶構造は、層が何枚も重なった層状構造である。その平面構造は炭素原子が六角形で蜂の巣上に結合した六方格子で、面内の炭素は強い共有結合で結ばれているが、層と層の間は弱いファンデルワールス力で結ばれている。電子軌道は sp² 混成軌道となる。

ダイヤモンドの結晶構造は、炭素原子が 3 次元的な規則正しい配列をしており、炭素原子同士がすべて共有結合で繋がった構造である。一つの炭素原子を中心とした正四面体の各頂点に 4 個の炭素原子が位置して 3 次元的に炭素原子の結合が広がっている。電子軌道は sp³ 混成軌道となる。

SCIGRESS で作成した構造最適化後の構造モデルを図 6 に示す。グラファイトは密度汎関数法を用い、六角形の一辺の長さは 1.42[Å]、層間の距離は 3.4[Å]となった。また、層間に働くファンデルワールス力は弱い結合とした。ダイヤモンドは分子力学計算 (MM3) を用い、原子間距離は 1.53[Å]となった。



(a) グラファイト構造 (b) ダイヤモンド構造

図 6 構造モデル

3.1.2 フロンティア軌道

分子軌道計算により得られる特定の分子軌道を用いると、反応を予測することができる。このような軌道はフロンティア軌道⁷⁾と呼ばれ、代表的なものが HOMO・LUMO である。HOMO とは最高被占軌道で、電子に占有されている最もエネルギーの高い分子軌道、LUMO とは最低空軌道で、電子に占有されていない最もエネルギーの低い分子軌道を意味する。これらをバンド構造で表した図を図 7 に示す。

価電子帯で最もエネルギーの高い軌道が HOMO、伝導帯で最もエネルギーの低い軌道が LUMO となる。これらのエネルギー差をバンドギャップといい、このバンドギャップが大きくなると禁制帯の幅が大きくなるため電気伝導性が悪く、逆にバンドギャップが小さくなると禁制帯の幅が小さくなるため電気伝導性が良い。

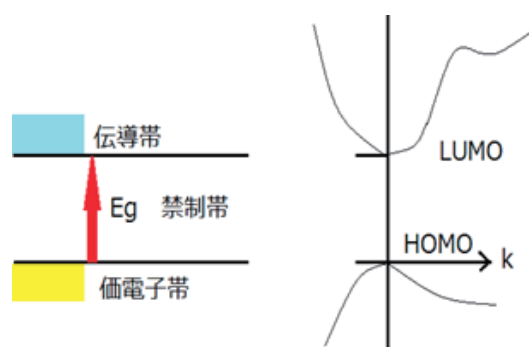


図 7 バンド構造

3.1.3 結果と考察

(1) バンドギャップ

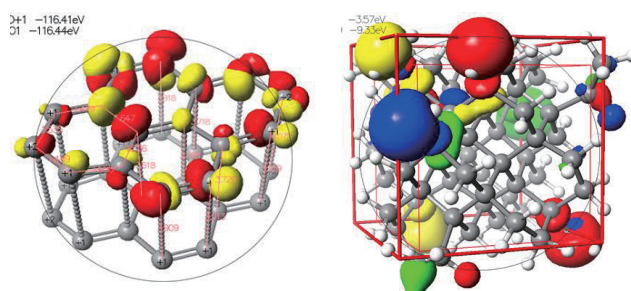
密度汎関数法によって構造最適化したグラファイトと分子力学計算 (MM3) によって構造最適化したダイヤモンドの構造モデルを用いて分子軌道計算した結果を表 2 に示す。なお、グラファイトは半金属であるため理想バンドギャップは 0[eV]、ダイヤモンドの理想バンドギャップは 5.3[eV]⁸⁾である。計算結果と比較すると、誤差はグラファイトが 0.03[eV]、ダイヤモンドが 0.46[eV]と多少

表 2 バンドギャップ計算結果

	グラファイト	ダイヤモンド
HOMO [eV]	-116.44	-9.33
LUMO [eV]	-116.41	-3.57
BandGap [eV]	0.03	5.76
理論値 [eV]	0	5.3
誤差 [eV]	0.03	0.46

の誤差を生じたが、ほぼ理論値に近い結果が得られた。これらのことからバンドギャップの小さいグラファイトは電気伝導性が良く、バンドギャップの大きいダイヤモンドは電気伝導性が悪いということがわかる。

図 8 にグラファイトとダイヤモンドの分子軌道を示す。青色と緑色で表示されているところが HOMO、赤色と黄色で表示されているところが LUMO を表している。分子軌道には結合性軌道、反結合性軌道⁹⁾があり、結合性軌道は分子同士を結合させるようにさせる軌道、反結合性軌道は分子同士の結合を開裂させるように働く軌道である。グラファイトの分子軌道を見ると分子軌道は分子面に対して垂直方向に分布している。この軌道は π 軌道といわれており、結合性軌道の中で最もエネルギーの高い HOMO を表している。ダイヤモンドの分子軌道も同じように分子面に対して垂直方向に分布している π 軌道が確認できた。また、これの他にも分子軌道が分子面に対して垂直に出ているものの、符号が上下左右で異なり、結合を作らせる方向に作用していない反結合性軌道が確認できた。



(a) グラファイト (b) ダイヤモンド

図 8 分子軌道

(2) UV-Vis スペクトル

UV-Vis スペクトルは対象物質の紫外線・可視光領域の吸収波長を測定することにより得られるスペクトルである。光吸収と物質には相互関係があり、例えば電子が自由に動ける空間が増えるほど HOMO と LUMO のエネルギー差であるバンドギャップが小さくなるため、励起に要するエネルギーは少なくなり、したがって、波長の長い光を吸収するようになる。バンドギャップに相当する波長は UV-Vis スペクトルの計算から得られる最長吸収波長である。そして、バンドギャップ E [eV] と最長吸収波長 λ [nm] は次式に示す関係式で表される¹⁰⁾。 h はプランク定数、 c は光速、 ν は振動数である。

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} = \frac{1240}{\lambda} \text{ [eV]}$$

上式によって得られたバンドギャップと最長吸収波長の関係を表 3 に示す。この UV-Vis スペクトルの計算で用いたハミルトニアンは PM3 と PM5 で、同じ炭素材料であってもハミルトニアンが変わると計算結果も異なった。最長吸収波長からグラファイトは赤外光、ダイヤモンドは紫外光を吸収していることがわかる。また、バンドギャップは理論値と比較するとグラファイトは約 0.7~0.9[eV]、ダイヤモンドは約 1~1.8[eV]の誤差を生じた。

表 3 UV-Vis スペクトルの計算結果

	最長吸収波長 [nm]	BandGap [eV]
グラファイト (PM3)	1322	0.93
グラファイト (PM5)	1798	0.68
ダイヤモンド (PM3)	172.64	7.18
ダイヤモンド (PM5)	197.62	6.27

(3) ハミルトニアンに関する考察

誤差が生じた原因として、ハミルトニアンの影響が考えられる。今回計算に使用したハミルトニアンは PM3 と PM5 といった半経験的分子軌道法である。半経験的分子軌道法は、実験値を再現するように決められた経験的なパラメータを用いることによって、計算コストをかけずに精度の高い計算を可能にする方法である。SCIGRESS は他に AM1・MNDO・MINDO/3 のハミルトニアンが搭載されている。AM1 を改良したものが PM3、さらに AM1・MNDO・MINDO/3 の欠点を改良したものが PM5 である。最新のハミルトニアンには、7000 種類以上の非経験的分子軌道法の結果を参照データとしてパラメータを作成し、低分子のみならず無機固体や生体高分子にも対応している PM6、9000 種類以上の化合物の実験値や非経験的分子軌道法のデータが利用され、Diffuse 関数により分子間力の推算精度が向上し、精度の高い生成熱および構造の予測が可能となっている PM7 がある。

使用するハミルトニアンによって、計算結果が左右されることから、計算の目的によって正しいハミルトニアンを選択することが重要である。使用した SCIGRESS は PM5 までしか搭載されていないため、最新の PM6 や PM7 を用いることによって、精度の向上が期待できる。

(4) 分子軌道計算に関する考察

分子軌道の具体的計算法は、電子反発エネルギーや電子スピンの向きなどの近似のレベルで、経験的パラメータを使用する経験的分子軌道法、MOPAC プログラムに使用する半経験的分子軌道法、Gaussian プログラムに使用する非経験的分子軌道法や密度汎関数法など

がある。

今回使用した計算方法は半経験的分子軌道法である。半経験的分子軌道法の特徴として計算コストがかからないという利点を持っているものの、使用するパラメータに大きく左右される上、計算を多く省いているため信頼性が低いという欠点を持っている。それに対して非経験的分子軌道法は計算に多大な時間がかかってしまうという欠点を持ちながらも、理論的に物性を検討するため半経験的分子軌道法に比べて結果の信頼性が高いという利点を持っている。どちらの方法にしても問題点は存在するので、今回は計算コストを優先して半経験的分子軌道法を用いて計算を行ったが、非経験的分子軌道法による計算結果と比較することにより、有意義な情報が得られると考えられる。

4. ダイヤモンド構造の物性とマテリアリゼーション

本研究は、工業系や装飾等で用いられているダイヤモンドの物性を研究し、さらに視覚的にわかりやすい教材開発を目指して 3D プリンタを用いてダイヤモンドの 3D モデルを作成することを目的とする。

ダイヤモンドの物性を研究するために、富士通社製の計算科学新統合プラットフォーム SCIGRESS を用いて分子動力学計算を行う。また、ダイヤモンドのマテリアリゼーションは、Windows10 に標準装備されている 3D モデリングソフトの 3D Builder を利用し、3D プリンタで造形する。

4.1 ダイヤモンドの分子動力学計算

4.1.1 ダイヤモンド構造

ダイヤモンド構造は 4 つの価電子全てを用いて他の炭素 4 個と共有結合している。そのため、正四面体構造がいくつも重なり合った結晶となり、非常に硬く、安定している。図 9 にダイヤモンド構造を示す。

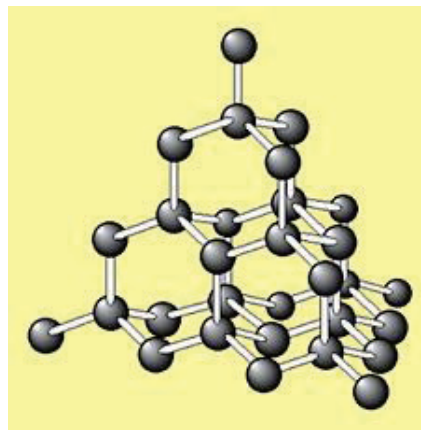


図 9 ダイヤモンド構造

共有結合は原子同士の結び付きが非常に強く、電子の移動が行なわれないため電氣的に絶縁体である¹¹⁾。

4.1.2 分子動力学シミュレーション

(1) シミュレーション条件

SCIGRESS の描画機能を利用して図 9 と同じ C30 の分子モデルを作成し、表 4 に示すシミュレーション条件で分子動力学計算を行う。

表 4 シミュレーション条件

総ステップ数	10000 [steps]
時間刻み幅	1 [fs]
出力間隔ステップ数	1[step]
出力ステップ数	10000[steps]
時間刻み幅	0.5[fs]
アンサンブル	NTV
温度	298→1500 [K]
ポテンシャル関数	LJ/Dreiding

(2) 結果と考察

図 2 に C30 のシミュレーション結果を示す。温度 T の上昇に伴い、ポテンシャルエネルギー PE 及び運動エネルギー KE は増加傾向を示している。運動エネルギーは温度に比例しているが、ポテンシャルエネルギーは値の上下を繰り返し、全体としてエネルギーが高くなっている。

ポテンシャルエネルギーは分子の中心を基準として膨張するエネルギーを正、収縮するエネルギーを負とするので分子の膨張と収縮を繰り返すことで値が変動する。また、原子数を多くするとポテンシャルエネルギーの値の上下の変化が小さくなる。これは構造によるもので、原子数が多くなるとより安定し、強固になる。そのため、圧縮や膨張が行なわれにくくなり、ポテンシャルエネルギーは安定して変化する。

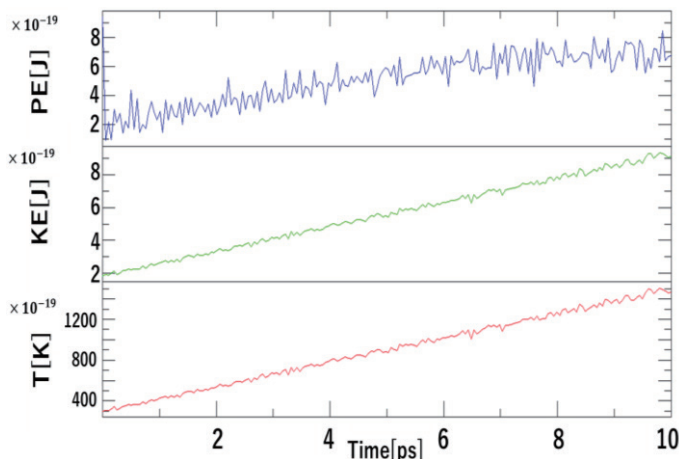


図 10 C30 のシミュレーション結果

4.1.3 クラスタ形成

(1) シミュレーション条件

実際のダイヤモンド構造は高温高圧の環境下で形成されるが、形成されるまでの過程を観察することはできない。そこで、ダイヤモンド構造の形成過程を再現するべく、炭素原子 300 個を配置して、表 4 のシミュレーション条件において温度を 298→2000[K] に上昇させた後に 2000→298[K] に下降させて、シミュレーションを行った。

(2) 結果と考察

図 11 にシミュレーション結果を示す。残念ながらダイヤモンド構造は形成されなかったが、きれいな六角形のグラファイト構造を観察することができた。

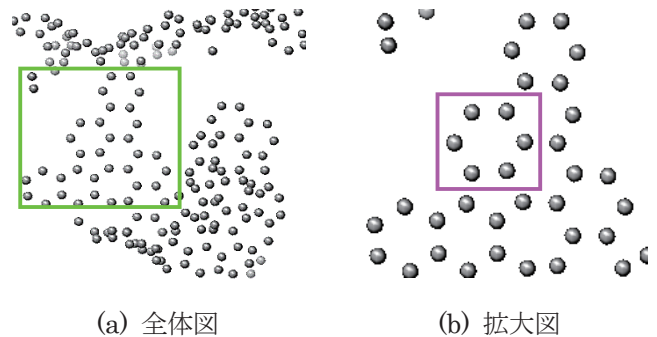


図 11 クラスタ形成

原因として、高圧状態にできなかったためと考えられる。今回のシミュレーションでは圧力が 10000[atm] 以下の状態で行われていたが、ダイヤモンド構造は 50000[atm] 以上の圧力が要求される。

そこで、温度と圧力の同時制御を検討し、50000[atm] の高圧の条件下でシミュレーションを行った。それでも残念ながらダイヤモンド構造のクラスタ形成には至らなかった。シミュレーション条件の改善や人工ダイヤモンドの作製方法を参考にすることにより、ダイヤモンド構造のクラスタ形成の実現を目指したい。

4.2 3D プリンタによるマテリアリゼーション

SCIGRESS で分子モデルを作成し、造形に必要な 3D データである STL ファイルを出力する。その STL ファイルをフリーソフトウェア Materialise MiniMagics 3.0 でエラーチェック後、Microsoft Windows 10 に装備されている 3D モデリングソフト 3D Builder にインポートして、原子の半径、分子間の円柱の半径を設定する。その 3D データをストラタシス社製の 3D プリンタ Objet Eden260V にインポートし、造形を行う。図 12 に造形したダイヤモンド構造を示す。



図 12 造形したダイヤモンド構造

5. おわりに

身近な教材である炭素材料に着目し、分子シミュレーションによりその構造や物性を検討した。また、ダイヤモンド構造を 3D プリンタにより造形した。

グラフェン成長過程の検討では、Cu 薄膜上でのグラフェン成長の様子を再現するべく、Cu(110)と Cu(111)の Cu 薄膜セルを準備し、分子動力学シミュレーションを行った。その結果、Cu(111)の方が Cu(110)よりハニカム構造が多くなることを確認できた。また、温度依存性を検討した結果、900[K]が適切な温度で、二次元結晶に近い単層のグラフェンができることがわかった。

混成軌道の違いによる導電特性の比較では、グラファイトとダイヤモンドの分子軌道シミュレーションを行い、フロンティア軌道からバンドギャップを計算した。その結果、ほぼ理論値に近い結果が得られ、両者の導電性の違いを定量的に評価することができた。また、分子軌道を美しいグラフィック表示することができた。さらに UV-Vis スペクトルを検討し、最長吸収波長とバンドギャップを計算した。そして、その際に使用するハミルトニアンについて、様々な考察を行った。

ダイヤモンド構造の物性とマテリアリゼーションでは、分子動力学シミュレーションにより、温度変化に関するエネルギー変化を検討した。また、クラスター形成を試みた結果、残念ながらダイヤモンド構造は形成されなかったが、きれいな六角形のグラファイト構造を観察することができた。さらに、3D プリンタを用いてダイヤモンドの構造モデルを作製することができた。

分子シミュレーションにより、様々な解析ができたとともに、視覚に訴える美しいグラフィック表示やアニメーション、3D モデルができ、非常にインパクトがあり、

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。ダイヤモンド構造は非常に有名ではあるが、その 3D モデルを実際に手に取って観察できる機会はほとんどなく、今回作製した 3D モデルによって、バランスの取れた美しさと共有結合の強靭さを実感できた。

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ともに、3D プリンタによるマテリアリ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, 佐藤紀史友, 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リゼーション (1), 八戸工業高等専門学校紀要, **52** (2018) pp.71-77.
- 6) 松橋信明, 豊岡怜菜, 四役崇明, 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リゼーション (2), 八戸工業高等専門学校紀要, **53** (2019) pp.35-42.
- 7) <https://omedstu.jimdo.com>
- 8) 日野太郎, 森川鋭一, 串田正人: 電気・電子材料, 森北出版 (2012) p.78.
- 9) 平山令明: 実践量子化学入門 分子軌道法で化学反応が見える, 講談社 (2002) p.80.
- 10) 染川賢一: 有機分子の分子軌道計算と活用, 九州大学出版会 (2013) pp94-95.
- 11) 浜口智尋: 電子物性入門, 丸善株式会社 (2001) p.21.

多チャンネル ANC の構成についての検討

工藤 憲昌*・釜谷 博行*・田所 嘉昭**

Improvement on performance of a multi-channel ANC using narrowband signals

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 : Filtered-x LMS algorithm and its relatives are the most popular control algorithms for ANC, because of their simplicity and practical performance. In these algorithms, the input signal to the algorithms is the signal filtered by the plant model. As well known, this causes two major problems, i.e., large computational burden and the delay of the signal path. We have proposed a new method without using the plant model to overcome the above problems for specific applications such as ventilation equipment and ANC inside cars. In this article, it is proposed that the order of notch filters is rearranged so that an intermediate gain is not influenced. It's also shown that proposed algorithm performs almost the same as MELMS (extended algorithm of filtered-x LMS for multichannel case) with much less computational load.

Key words : Active noise control, Narrow-band signals, Multi-channel ANC, Computational load reduction

1. はじめに

騒音低減手法の一つにアクティブノイズキャンセラ (Active noise canceller : ANC)がある。一般に多チャンネル(騒音源、制御箇所が複数箇所)ANCでは、制御アルゴリズムとして filtered-x LMS法を拡張した MELMS法や error-scanning 法などが用いられている。多チャンネル ANC の使用例(2ch)を図 1 に示す。

従来法では、多チャンネルに拡張した場合、演算量が増えることに加え、適応 FIR フィルタと誤差信号間の遅延、および、プラントモデルでフィルタリングされた信号の相関行列の条件数のために収束を遅くせざるを得ない等の問題がある¹⁾。また、スピーカ~マイク間のプラント特性を考慮する必要があるため、事前にプラントモデルの同定が必要である。

これまで、図 1 のような回転機系による騒音を複数の狭帯域信号の和の信号へと近似することで適応処理を簡易化し、適応フィルタの更新に伴う演算量を大きく削減したアルゴリズムを提案してきた^{2),3)}。本稿では、周波数推定の収束速度に関する問題点とその改善法について述べ、シミュレーションによる従来法との比較を行う。また、周波数推定部に用いるノッチフィルタの帯域幅の最適値と、適応フィルタの次数の確認について行う。

以下に本稿の構成を示す。2.では filtered-x LMS 法を多チャンネルへ拡張した MELMS 法について述べる。3.

では提案法について概説する。3.1 では狭帯域信号の中心周波数の推定、3.2 では適応フィルタ部について、3.3 では、周波数推定部の収束速度に関する問題点とその改善法について説明する。4.は数値例である。4.1 では 3.3 で述べた改善法を用いた周波数推定について、4.2 では周波数推定部のノッチフィルタ帯域幅の設定と適応フィルタの次数の確認について述べる。5.はまとめである。

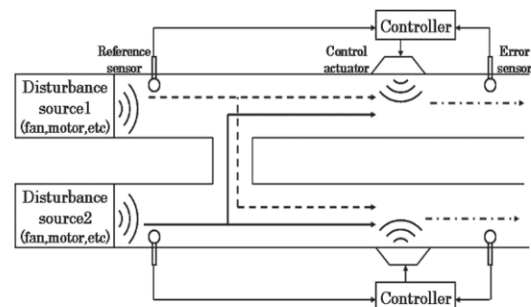


図 1 ダクトにおける騒音の制御(2ch)

2. filtered-x LMS 法¹⁾

filtered-x LMS 法を 2ch に拡張した場合の構成例を図 2 に示す。x(n)は観測雑音を含む参照信号、d(n)は騒音信号、e(n)は推定誤差である。W_m(Z)は(1)式に示す適応フィルタの伝達関数、H_{1m}(Z)は(2)式に示すスピーカ~マイク間のプラント特性である。ここで、W_m(i)は m 番目の 2 次音源に対する適応フィルタの i 番目の係数、C_{1m}(j)は 1

番目のスピーカ～m 番目のマイク間の j 番目の係数を表す。

$$W(z) = \sum_{i=0}^{L-1} W_m(i)z^{-i} \tag{1}$$

$$H_{lm}(z) = \sum_{j=0}^{J-1} C_{lm}(j)z^{-j} \tag{2}$$

(1)式より、時刻 n における m 番目の 2 次音源の出力 $y_m(n)$ は(3)式ようになる。(2)、(3)式より、1 番目のマイク(エラーセンサ)から得られる誤差信号 $e_1(n)$ は(4)式ようになる。

$$y_m(n) = \sum_{i=0}^{L-1} W_m(i)x(n-i) \tag{3}$$

$$e_l(n) = d_l(n) + \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{J-1} W_m(i)C_{lm}(j)x(n-i-j) \tag{4}$$

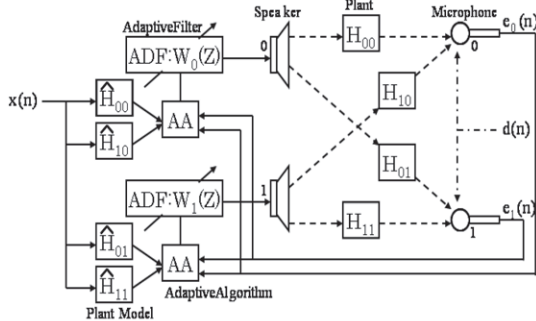


図2 filtered-x LMS の構成(2ch)

2.1 MELMS(Multiple Error LMS)法¹⁾

MELMS 法は適応フィルタの更新に、全てのエラーセンサからの入力を使用する手法である。

ANC の評価規範は $\sum_{i=0}^{L-1} e_i^2(n)$ の最小化であり、瞬時勾配の推定値 $W_m(i)$ を(5)式のように $W_{m,n}(i)$ と表現して更新式を求める。

$$\frac{\partial e_l(n)}{\partial W_{m,n}(i)} = \sum_{j=0}^{J-1} C_{lm}(j)x(n-i-j) \tag{5}$$

従って、更新式は(6)式ようになる。

$$W_{m,n+1}(i) = W_{m,n}(i) - \mu \sum_{l=0}^{L-1} e_l(n) \sum_{j=0}^{J-1} \hat{C}_{lm}(j)x(n-i-j) \tag{6}$$

MELMS 法では、プラント特性の係数 $C_{lm}(j)$ は未知であるので、事前に同定しておく必要があり、更新にはこの推定値を用いる。また、(6)式からわかるようにチャンネル数の増加に伴い、適応フィルタの更新は階乗的に増加する。

3. 提案法²⁾

前述したように MELMS 法では騒音の全帯域に対して

適応動作を行っているため、計算量が多くなる。一方、error-scanning 法では計算量は削減できるが単位時間当たりの更新回数が少なくなるために収束速度が遅くなるという欠点がある。

提案法は、騒音源が共振特性を持つ回転機系である場合に有効な方法であると考えられる。提案法は、騒音を周波数推定部(AFF)で狭帯域信号へと近似した後、それぞれの狭帯域信号について独立した 1 次の適応フィルタ(1ADF)による適応処理を行うことで、フィルタの更新に伴う演算量を大幅に削減できる^{2,3)}。図3に提案法を 2ch に拡張した場合の構成を例示する。

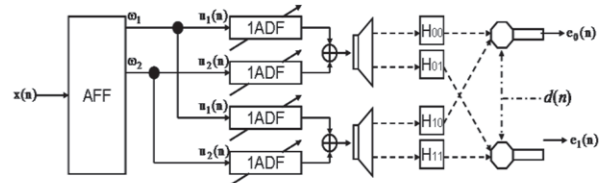


図3 提案法の構成(2ch)

3.1 周波数推定部(AFF)

1 周波を推定する際の AFF の構成を図4に示す⁴⁾。BPF と notch はそれぞれバンドパスフィルタとノッチフィルタを表している。x(n) は近似された狭帯域信号であり、e(n) はノッチフィルタの出力である。各フィルタの特性は極半径 γ と信号の周波数による係数ある α (真値は $2\cos(2\pi f/fs)$) で決定される。 α の更新式を(7)式に示す。ここで μ は更新に用いるステップサイズ、 β は信号の周波数変化を追従するための係数である ($0 \leq \beta < 1$)。ノッチフィルタによって除去される周波数が騒音信号の共振周波数部分に一致すると $e(n)$ がほぼ 0 となるため、 α の値が変化しなくなり、収束する。

$$\hat{\alpha}_{n+1} = (1 + \beta)\hat{\alpha}_n - \beta\hat{\alpha}_{n-1} - \mu e(n)s(n) \tag{7}$$

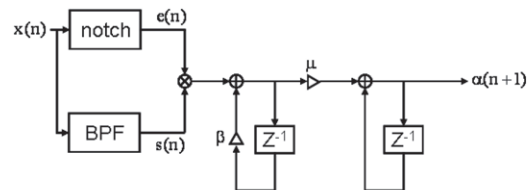


図4 AFF の構成

複数の周波数推定を行う場合でも、3.で述べるように各フィルタをトリー状に設置することにより多周波推定に容易に拡張できる。

3.2 適応フィルタ部(1ADF)

3.1 で述べた AFF により、入力信号は複数の狭帯域信号の和へと近似される。m チャンネルの場合の 1ADF の更新式について説明する。このとき、AFF は k 番目の周波数の推定を行うものとする。ある狭帯域信号を

(8)式のように近似した場合、 m 番目のスピーカへの入力 $y_m(n)$ は(9)式ようになる。

$$u_k(n) \approx a_k \cos \omega_k n + b_k \sin \omega_k n \quad (8)$$

$$y_m(n) = \sum_{k=0}^{K-1} \sum_{i=0}^{L-1} W_k(i) u_k(n-i) \quad (9)$$

ここで誤差信号 $e_l(n)$ の一部は(10)式のように表せる。

$$\sum_{m=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{L-1} C_{lm}(j) u_k(n-i-j) = \sum_{m=0}^{M-1} C_k \{ a_k \cos(\omega_k(n-i) + \phi_k) + b_k \sin(\omega_k(n-i) + \phi_k) \} \quad (10)$$

これにより、誤差信号 $e_l(n)$ は(11)式ようになる。

$$e_l(n) = d_l(n) + C_k \sum_{k=0}^{K-1} \sum_{i=0}^{L-1} W_k(i) u_k(n-i) \quad (11)$$

瞬時勾配の推定値は $W_k(i)$ を $W_{k,n}(i)$ と表現しなおして、以下のように求められる。

$$\nabla W_i = \frac{\partial}{\partial W_{k,n}(i)} \sum_{l=0}^{L-1} e_l^2(n) \quad (12)$$

$$\frac{\partial e_l(n)}{\partial W_{k,n}(i)} = C_k u_k(n-i) \quad (13)$$

したがって、更新式は(14)式ようになる。

$$W_{k,n+1} = W_{k,n} - \mu \sum_{l=0}^{L-1} e_l(n) u_k(n-i) \quad (14)$$

多チャネルの場合の更新式も、未知であるプラント特性 $\hat{c}_{lm}(j)$ を含まない形で表せる。

3.3 再配置法

2チャネル ANC のシミュレーションにおいて、狭帯域信号の中心周波数の変化した、つまり、回転数が変化した時、図 5 のノッチフィルタ(NF)の接続順序が適切でないとき場合、制御性能が劣化した (図 5 では、4つの共振特性がある場合を示している)。ノッチフィルタはノッチアウトする周波数では振幅がゼロで、それから離れた周波数領域では 1 以上の振幅を持つ。従って、同一の周波数領域に NF の零点が集中するとその領域の振幅は小さくなるが、他の周波数領域の振幅は大きくなる。

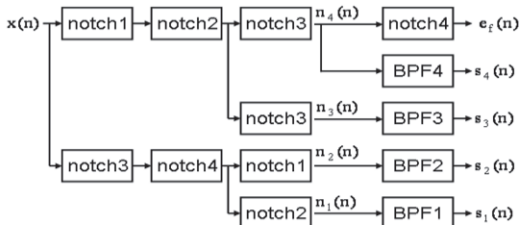
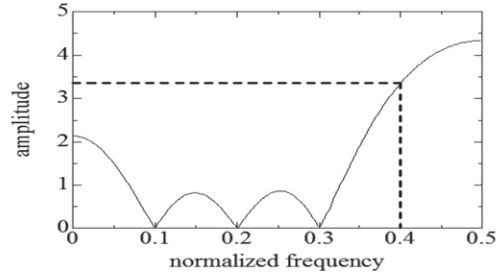


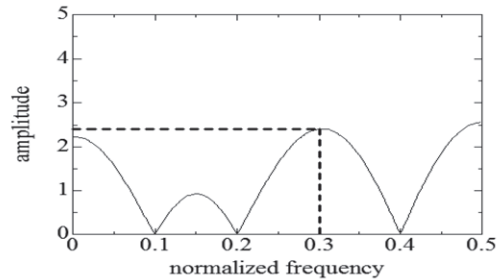
図 5 AFF の構成(2ch)

この問題を避けるためには、隣接する零点をできるだけ離すように縦続接続する必要がある。従って、共振周波数に変化した時に、必要なら NF の接続順序を変更することにした。図 6 に NF の接続順序の影響を示す。図 6(a)、

6(b)は最後の NF を除いた振幅特性を示す。図 6(a)は低い周波数 f_1 から高い周波数 f_4 と順に接続したものであり、最後に推定される f_4 [Hz]の振幅は約 3.5 である。図 6(b)は、NF の隣接する零点がなるべく離れるよう f_1, f_4, f_2, f_3 という順に接続した。この場合最後に推定される f_3 [Hz]の振幅は約 2.5 である。このように、両方のトータルの振幅特性は同一であるが、途中の振幅の増加が抑えられることが分かる。



(a)



(b)

図 6 NF の接続順序の影響

4. 数値例

数値例として、チャネル数 m を 2 とした場合のシミュレーション結果を示す。図 7 はその場合の提案法の構成を示したものである。 $d(n)$ は騒音信号、 $x(n)$ は観測雑音を含む参照信号、 $n_k(n)$ は AFF により近似された騒音信号、 $e_{ADF}(n)$ は騒音制御の誤差信号である。また、 $\text{noise}(0.05)$ は分散 0.05 の観測雑音である。

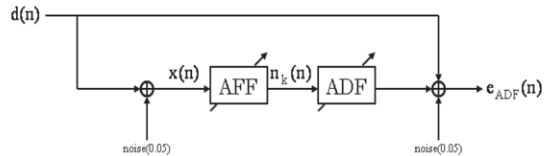


図 7 提案法のシミュレーション構成

シミュレーションではそれぞれの騒音源が 2 つの共振周波数を持っているとし、図 5 に示したように 4 周波に対する適応処理を行った。 $s_i(n)$ 、 $e_i(n)$ は各ノッチフィルタ、BPF の更新に使用する信号である。フィルタの更新に使用するステップサイズ $\mu = 0.003$ 、高速化パラメータ β

=0.7、ノッチフィルタの極半径 $\gamma_{\text{notch}}=0.7$ 、BPF の極半径 $\gamma_{\text{BPF}}=0.9$ とした。

1ADF については、4 帯域それぞれに独立したものを使用し、構成は図 8 に示したとおりである。なお、更新部分の構成は 1ADF1 のみ例示した。1ADF の更新に用いるステップサイズ μ_{ADF} は 0.001 とした。

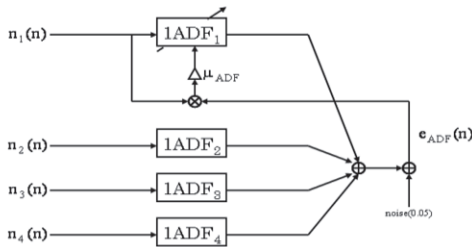


図 8 1ADF の構成(2ch)

また、従来法の適応フィルタの次数 I とプラントモデルの次数 J はともに 20 とし、従来法の適応フィルタのステップサイズは提案法と同じ 0.001 とした。

4.1 AFF の特性

シミュレーションは 20000 回のサンプルのうち、自動車のアクセル制御を想定して、8000 回から 12000 回にかけて騒音信号 $d(n)$ の周波数分布を図 9 から図 10 まで線形的に変化させて行った。

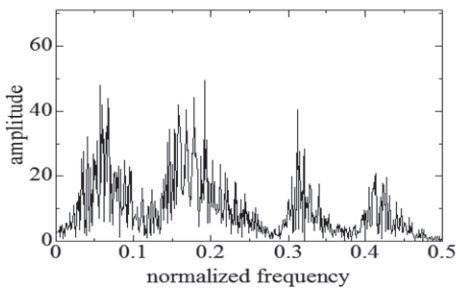


図 9 騒音信号(変化前)の特性

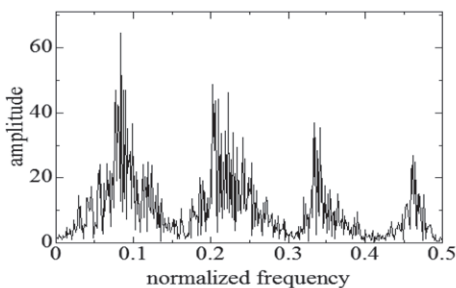


図 10 騒音信号(変化後)の特性

再配置を行わない場合と行った場合の AFF の中心周波数変化に対する追従特性を図 11、12 に示す。実線は推定値、破線は真値である。

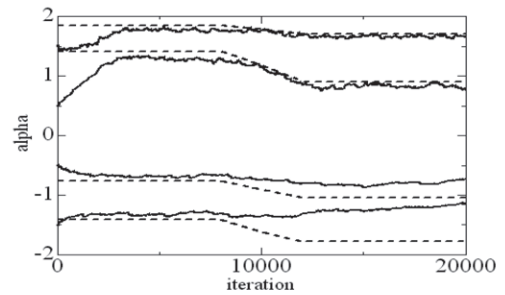


図 11 AFF の収束特性 (再配置なし)

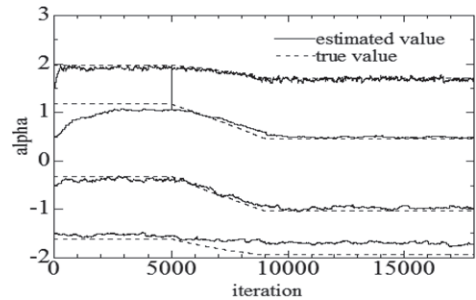


図 12 AFF の収束特性 (再配置あり)

図 11 からわかるように周波数変化前の 4 帯域と周波数変化後の 3 帯域については正常な収束特性が得られたが、周波数変動後の 1 帯域に対しては短時間では追従していない。しかし、再配置を行うことにより図 12 のように正しく推定されていることがわかる。

4.2 収束特性

MELMS 法、提案法の収束特性の比較を行う。特性の比較は評価量 ϵ_{NRM} ((15)式)とし、ダクト特性は 1 とした。

$$\epsilon_{\text{NRM}} = 10 \log_{10} \frac{\sum_{l=0}^{L-1} e_l^2(n)}{\sum_{l=0}^{L-1} d_l^2(n)} \quad (15)$$

その結果を図 13 に示す。収束初期の特性からは、従来法に比べ提案法は勾配が大きいことから、提案法は収束速度が優れていることが言える。また、周波数変化前ともの適応性能については、従来法、提案法とも約 -20 ~ -25 [dB] であるから、同等の性能であるといえる。

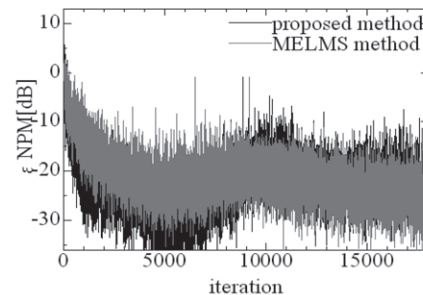


図 13 MELMS 法の収束特性

5. まとめ

本稿では、2 箇所の騒音源で異なる周波数変動あった場合の AFF の収束特性、従来法と提案法の適応フィルタの収束特性についての比較を行った。NF の接続順序を変更する再配置法を用いることで、提案法が従来法とほぼ同等の定常特性を持つことを確認した。

今後は、プロトタイプシステム全体の特性を確認していく予定である。

謝辞

本研究の一部分は JSPS 科研費 19K03043 の助成を受けたものです。

参考文献

- 1) M. Bouchard, S. Norcriss, "Computational load reduction of fast convergence algorithms for multichannel active noise control" SIGNAL PROCESSING vol.83 No.1, Jan., 2003
- 2) 渋谷, 工藤, 田所 "多チャンネル ANC の簡易化に関する検討" H20 年度電気関係学会東北支部連合大会, 2B17
- 3) N. Kudoh, T. Shibutani, Y. Tadokoro, "A study on a multichannel active noise canceller by using narrow-band signals", CD-ROM Proceedings of ICSP2010, 1-4, Beijing (2010 年 10 月)
- 4) J.F.Chicharo et al. "Gradient-based adaptive IIR notch..." IEEE Trans. ASSP vol. 38 No. 5, pp. 769-777, May 1990

(原稿受付 : 2019 年 11 月 14 日)

³¹P-NMR を利用した二酸化炭素固定反応の解析

齊藤 貴之*・福松嵩博*・佐藤久美子*

Analysis of the carbon dioxide fixation Reaction by ³¹P-NMR

Takayuki SAITO, Takahiro FUKUMATSU, Kumiko SATO

* 産業システム工学科マテリアル・バイオ工学コース

Abstract : Ribulose-1, 5-bisphosphate carboxylase/oxygenase (RuBisCO) is one of the enzymes that exist most abundantly on the earth. It catalyzes a carbon dioxide fixation reaction in photosynthesis. It is of importance to increase the activity of RuBisCO and to reduce carbon dioxide for solving lack of natural resources and recent environmental problems. The ³¹P-NMR analysis of the carbon dioxide fixation reactions catalyzed by RuBisCO have been investigated by using sub- or supercritical carbon dioxide as a substrate. The reaction proceeded very rapidly under these conditions as compared with normal conditions and the reaction rate was extremely improved up to 36 times.

Keywords : ³¹P-NMR , Carbon dioxide, RuBisCO

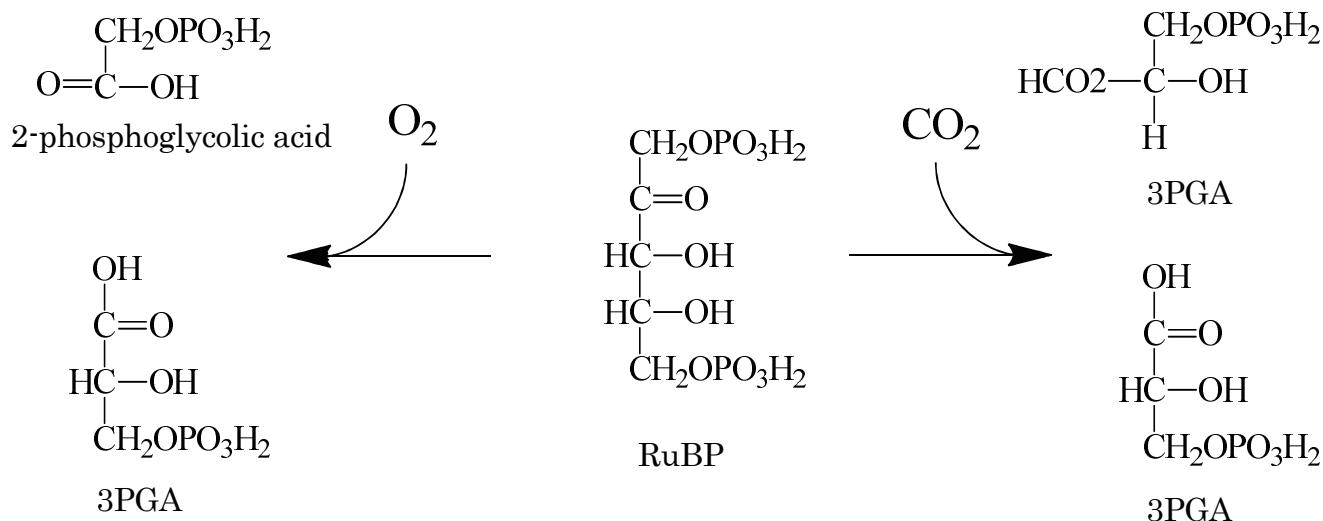
1. 緒言

光合成における二酸化炭素の糖（スクロースあるいはデンプン）への変換は、還元的ペントースリン酸回路（Calvin 回路）と呼ばれる代謝経路により行われる。

Ribulose-1,5-bisphosphate Carboxylase / Oxygenase (RuBisCO) は、Calvin 回路において、二酸化炭素を固定する最も重要な反応を触媒する酵素である。反応 1(左)は、RuBisCO によって触媒される二酸化炭素固定反応である。RuBisCO によって取り込まれた D-ribulose-1,5-bisphosphate (RuBP) は、二酸化炭素をカルボン酸とし

て取り込み、2 分子の 3-phospho-D-glycerate (3PGA) に変化する。3PGA の一部は、種々の過程を経て糖となり、残りは RuBP として再生され再び二酸化炭素を固定する。

しかしながら、RuBisCO は RuBP の酸化反応の触媒でもあるため、酸素が存在する場合、RuBP は酸素と反応し、2-phosphoglycolic acid と 3PGA がそれぞれ 1 分子ずつ生成する。そのため、酸素の存在する地球上では二酸化炭素固定反応は低効率となり、RuBisCO は地球上で最も大量に存在する酵素の一つといわれる。従って、



反応 1 RuBisCO による二酸化炭素固定反応（右）と酸化反応（左）

大量にある RuBisCO を効率化することは、環境問題と関わる二酸化炭素の削減に効果を発揮すると考えられる。

RuBisCO の反応解析には、RuBP や 3PGA の経時変化を調べる必要がある。これら有機化合物の定量には、NMR が有効である。一般的には、 ^1H -NMR や ^{13}C -NMR を用いるが、同位体が必要であったり、スペクトルが複雑になったりする欠点がある。一方、 ^{31}P -NMR は、リンの天然同位体存在比が 100% であり、核磁気モーメントも大きいことから、化合物にリンが存在していれば測定できる。RuBisCO の触媒する反応では、反応物・生成物ともリンを含むため、反応を ^{31}P -NMR で解析することが期待できる。

そこで、本稿では、 ^{31}P -NMR を利用した RuBisCO の反応解析について紹介する。

2. 実験方法

紅色イオウ光合成細菌 *Thermochromatium tepidum* (*T. tepidum*) を培養し、RuBisCO を単離した²⁾。

はじめに、 NaHCO_3 を二酸化炭素源として、単離した RuBisCO の二酸化炭素固定反応の活性を調べた。反応溶液は次の通り調製した。RuBP 3.0 mg, NaHCO_3 3.0 mg, D_2O 50 μL , MOPS buffer (pH 7.3) 550 μL , リン酸 10 μL を混合した溶液に、RuBisCO を加えた。MOPS buffer (pH 7.3) は、蒸留水に MOPS(3-(N-Morpholino)propanesulphonic acid) 10.46 g/L, $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 0.203 g/L, EDTA \cdot 2Na 0.037 g/L, Mercaptoethanol 71.4 μL を加え、NaOH で pH を 7.3 に調製した。リン酸は、85% リン酸を MOPS buffer (pH 7.3) で 2,000 倍に希釈して調製した。実験は RuBisCO 濃度 150 および 450 mg/L の 2 つの条件で行った。反応温度は 40°C とした。反応溶液は、NMR 管に入れ、NMR 装置 (日本電子 JEOL JNM-LA400) 内で反応を行い、一定時間ごとに ^{31}P -NMR を測定した。

次に、二酸化炭素源を二酸化炭素ガスとして、RuBisCO の二酸化炭素固定反応の活性を調べた。反応溶液は次の通り調製した。RuBP 3.0 mg, D_2O 50 μL , MOPS buffer (pH 7.3) 550 μL , リン酸 10 μL を混合した溶液に、RuBisCO を加えた。RuBisCO 濃度は、450 mg/L とした。超臨界抽出装置 (AKICO S-05-G) 内に、反応溶液を入れた NMR 管を入れ、種々の二酸化炭素圧力で反応を行った。二酸化炭素の温度は 40°C、圧力は 1.0 ~ 8.0 MPa で変化させた。反応後、 ^{31}P -NMR を測定した。

3. 結果と考察

図 1 は、RuBisCO 濃度 150 mg/L における RuBP と NaHCO_3 の反応の ^{31}P -NMR 経時変化である。

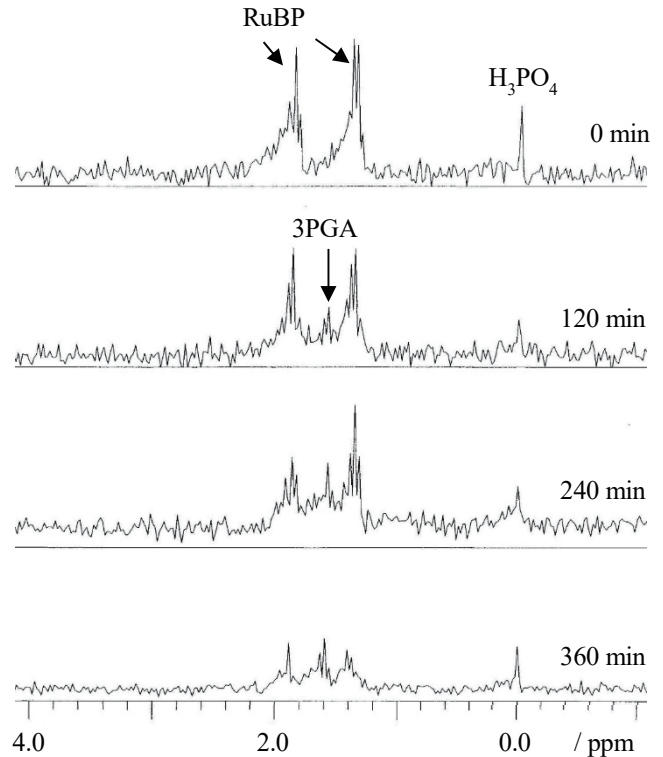


図 1 RuBisCO 濃度 150 mg/L における RuBP と NaHCO_3 の反応の ^{31}P -NMR 経時変化

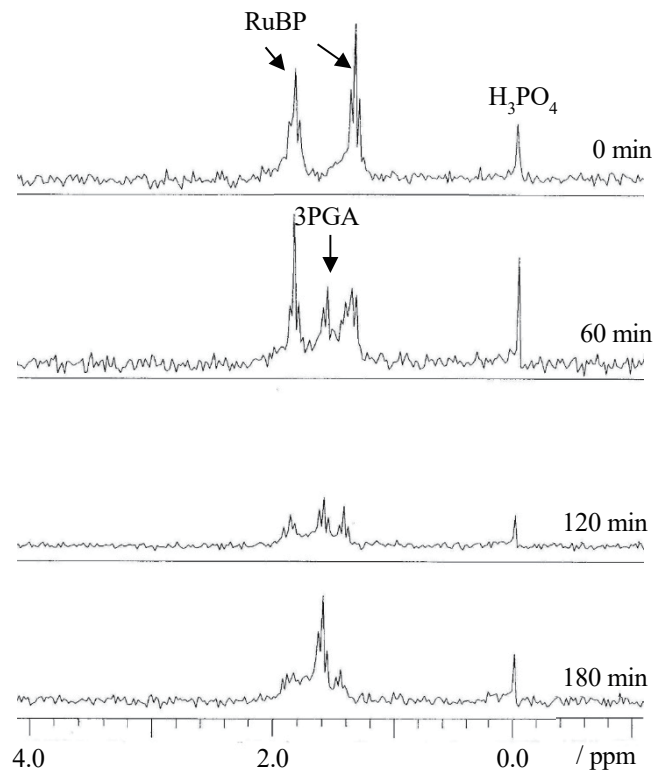


図 2 RuBisCO 濃度 450 mg/L における RuBP と NaHCO_3 の反応の ^{31}P -NMR 経時変化

基準物質である H_3PO_4 は 0.0 ppm にピークを持つ。事前に反応物である RuBP と生成物である 3PGA の ^{31}P -NMR を測定したところ、RuBP は 1.4、1.9 ppm、3PGA は 1.6 ppm にピークを持つことがわかった。0 min では、反応物である RuBP のピークのみであるが、時間経過と共に RuBP のピークは減少し、生成物である 3PGA のピークが増加した。また、360 min のスペクトルでは、RuBP のピークが残っているため、RuBisCO 濃度 150 mg/L では反応が完結していないことがわかった。各物質に帰属されるピークは重ならないことから、 ^{31}P -NMR による RuBisCO の二酸化炭素固定反応の解析は有効であることが確認できた。

図 2 は、RuBisCO 濃度 450 mg/L における RuBP と NaHCO_3 の反応の ^{31}P -NMR 経時変化である。図 1 の場合と同様に、時間経過と共に RuBP のピークは減少し、生成物である 3PGA のピークが増加した。180 min では、RuBP のピークがわずかに残っているものの、ほぼ 3PGA のピークのみとなった。よって、今回調製した RuBP は、RuBisCO 濃度 450 mg/L、180 min で、3PGA に変換されることがわかった。

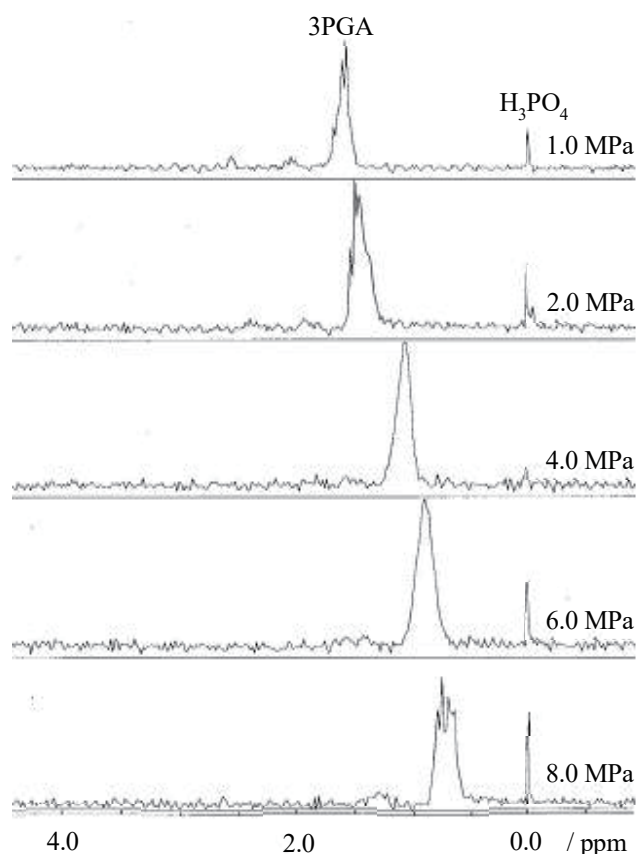


図 3 RuBisCO 濃度 450 mg/L、反応時間 5.0 min における RuBP と種々の圧力の二酸化炭素との反応の ^{31}P -NMR スペクトル

次に、二酸化炭素源を炭酸ガスに換え実験を行った。図 3 は、RuBisCO 濃度 450 mg/L、反応時間 5.0 min における RuBP と種々の圧力の二酸化炭素との反応の ^{31}P -NMR スペクトルである。図より二酸化炭素が高圧になるにしたがい、3PGA のピークが低周波数側にシフトするか、 H_3PO_4 のピークが高周波数側にシフトしたため、3PGA と H_3PO_4 の周波数差が減少した。高圧では溶液中に溶け込む二酸化炭素が増加し、溶液の pH が低下するため、ピークシフトが起こったと考えられる。pH の変化によりピークシフトが起こっているものの、どの圧力でも RuBP のピークは見られず、3PGA のピークのみとなった。よって、どの圧力でも 5.0 min で反応が完結したことがわかった。特に、6.0 MPa 以上では、昇圧と減圧に時間を要することから、実際の反応時間は更に短いと考えられる。RuBP と RuBisCO 濃度が同じで、二酸化炭素源が NaHCO_3 の場合と比べると、1.0 MPa の場合でも反応速度は 36 倍となっている。従って、高圧の二酸化炭素条件では、二酸化炭素固定反応は極めて迅速に進行することがわかった。

以上、 ^{31}P -NMR は、RuBisCO の二酸化炭素固定反応の解析に有効な手段であることを紹介した。別の反応でも反応物や生成物にリンが含まれる場合は、 ^{31}P -NMR による解析が有効な手段となりうるため、 ^{31}P -NMR は今後の発展が期待できる。

4. 結言

RuBisCO の二酸化炭素固定反応について、 ^{31}P -NMR による解析を試みた。反応物 RuBP および生成物 3PGA とも、 ^{31}P -NMR のピークが帰属され、各ピークが重ならないことから、ピーク変化により反応の進行度が確認できた。そのため、 ^{31}P -NMR による RuBisCO の二酸化炭素固定反応の解析は有効であることがわかった。リンを含む反応物や生成物の反応であれば、 ^{31}P -NMR による解析は有効な手段である。

参考文献

- 1) W. Kemp, NMR in chemistry, Macmillan Publishers, (1986)
- 2) Jose A. Torres-Ruiz, Bruce A. McFadden, *Archives of Biochemistry and Biophysics*, **261**, 196-204(1988)

(原稿受付：2019年11月7日)

ポリオキサゾリンとトリアジンチオールとの複合機能利用による各種材料への展開

佐藤 久美子*

Expansion into the Preparations of Various Materials
by Utilizing the Compound Functions of Polyoxazolines and Triazinethiols

Kumiko SATOH

* 産業システム工学科 マテリアルバイオ工学コース

Abstract : Poly(2-alkyl-2-oxazoline)s (PROZO) and triazinethiols have attracted many attentions because they have good and interesting properties. Thus the present author has synthesized the telechelics which are composed of PROZO and triazinethiols, then has worked on preparations and modifications of various materials. In this paper, the studies up to the present and the future plans are described.

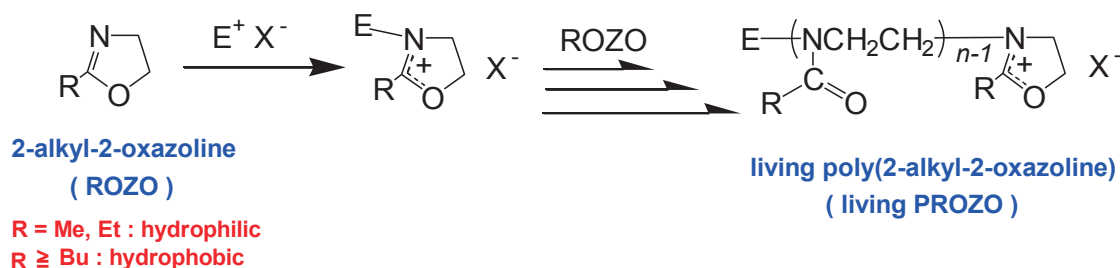
Keywords : Polyoxazoline, Triazinethiol, Telechelics, Graft copolymer

1. 緒言

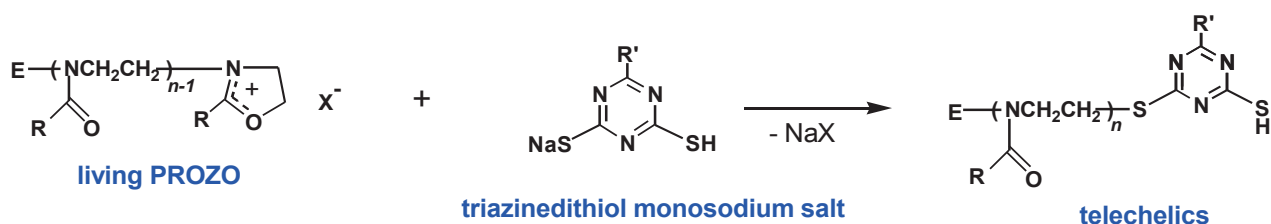
2-アルキル-2-オキサゾリン (ROZO) のカチオン開環溶液重合により、ポリマー末端に生長種 (2-オキサゾリニウム塩) をもつリビングポリ (2-アルキル-2-オキサゾリン) (PROZO) が得られる^{1),2)}。PROZO は、*N,N*-ジメチルアセトアミドのような極性非プロトン性溶媒の高分子同族体であり、アルキル基 R がメチルおよびエチル基の場合は親水性、ブチル基以上では疎水性となる (Scheme 1)。また、分子量、分子量分布、モノマー組成、ポリマー構造、および鎖末端機能化などを完全にコントロールできる、非常に優れたポリマーである^{3),4)}。このため、用途に合わせて自由自在に設計し合成することが可能である。さらに、水溶性であるメチルおよびエチルオキサゾリンは、長らく生体材料の改質に応用されてきたポリ (エチレングリコール) (PEG) とその誘導体とに似た特性をもつものの、それとは違いほぼ無毒性であるため、PEG に取って代わる材料として、最近 10 年間にますます研究されてきている^{5),9)}。

一方、低分子有機化合物であるトリアジンチオール類は、各種ポリマーと架橋反応し、特に軟質ポリ塩化ビニル (PVC) とトリアジンチオールとを反応させた架橋 PVC は機械的物性および耐熱性の向上が報告されている¹⁰⁾。トリアジンチオール類の特徴は、反応性の高いスルファニル基と多種多様な機能を付与できる置換基 R' をもっていることである (Scheme 2)。スルファニル基は、各種金属のみならず含ハロゲンポリマー、不飽和ゴム、ポリオレフィン、およびエポキシサイドなどを末端にもつゴムや樹脂などと反応する。さらに置換基 R' は、疎水性を有するアルキル基、重合反応を有するアリル基、極性を有するアミノ基のほかにも、様々な機能性を付与する置換基として分子設計することも可能である。また、大事な長所として、空気中で安定なため取り扱いやすく、環境に与える影響は一般のチオール化合物に比べ非常に低く、ポリアルキルオキサゾリン類と同様に無臭で低毒性の物質である^{1),11)}。

以上のことから、長年ポリオキサゾリンに関する研究を幅広く行ってきた筆者は、有用性が高く環境影響の極



Scheme 1. Synthesis of living PROZO.



Scheme 2. Synthesis of telechelics.

めて低いポリオキサゾリン類およびトリアジンチオール類を用いて、さらに研究を展開するために、ポリオキサゾリンとトリアジンチオールの複合機能が利用可能なテレケリックスの合成を考えた。Scheme 2 にテレケリックス合成の式を示す。検討の結果、各種トリアジンチオールを一ナトリウム塩にしてリビング PROZO と反応させることで、スムーズにテレケリックスを合成することができた。次いで、このテレケリックスを用いて、新規な機能をもつ高分子材料ならびに有機・無機複合材料の開発が行えるものと考えた。PROZO の特長であるアルキル基 R により親水性・疎水性を自由に変化できることを利用して、親水性のテレケリックスでは疎水性ポリマーの表面改質を、また、疎水性のテレケリックスでは金属表面の改質を試みたので、次に示す。

2. テレケリックスを利用した各種材料の改質

2.1 親水性テレケリックスによる PVC のグラフト化と生成物の表面特性

まず、合成した親水性テレケリックスを用いて既存材料である PVC の改質・機能化を行った¹⁾²⁾。疎水性・帯電性という欠点を持つ PVC 表面に親水性を付与することを目的に、アルキル基 R がメチルである親水性テレケリックスを PVC にグラフトした。グラフト化は PVC の塩素原子をテレケリックスで置換することにより行い、その結果、次の知見を得ることができた。

(1) グラフト鎖導入率は最高で 6.63% に、グラフト率 (グラフト鎖の重量 / 幹ポリマー-PVC の重量) は最高で 87.4 wt% に、と高い値を得ることができた。

(2) グラフト鎖であるテレケリックスの重合度を調節したり PVC に対する仕込み比を変えたりすることにより、グラフト鎖導入率およびグラフト率はある程度調節できることがわかった。つまり、本研究での成果により、PVC 表面の親水性の度合いを上下できるという知見が得られ、新規の優れた血液適合材料の開発につながるといえる。

(3) 得られたグラフト共重合体でフィルムを調製し、水に対する接触角と表面抵抗を測定した結果、親水性のテレケリックス鎖のグラフト率が高くなるにつれて、接

触角および表面抵抗が小さくなり、PVC 表面の疎水性・帯電性が改善されていくことがわかった。

2.2 疎水性テレケリックスによる銅表面の改質と表面特性

次いで、銅板表面の改質・機能化を行った¹⁾¹¹⁾。新規表面処理剤の開発を検討することにし、テレケリックスのスルファニル基により金属と化学吸着することを利用した。すなわち、被膜を金属表面に作ることににより、金属を防食化、疎水化でき、さらには金属とプラスチックやゴムなどとの接着性を高めることができるなど、多様な性質をもつ表面に改質することを考えた。金属の防食化や疎水化のためには、疎水性の PROZO を用いることが適当であるため、ここでは PROZO としてポリ(2-ブチル-2-オキサゾリン) (PBuOZO) を用いることにした。テレケリックスを合成し、銅板表面にその被膜を形成させる方法を各種検討した。また、生成銅板表面の特性は、水に対する接触角測定および X 線光電子分光 (XPS) 分析と原子間力顕微鏡 (AFM) 分析により評価した。さらに、ICP 発光分光分析により処理済み溶液中の銅量を測定した。その結果、次の知見を得ることができた。

(1) 銅板を生成テレケリックスの溶液に浸せきし、化学吸着により被膜を形成させた結果、処理銅板の被膜量は処理温度と処理時間の増大とともに増加することがわかった。また、未処理銅板に比べ接触角度が大きく増加し、表面が疎水化されたことが明らかとなった。

(2) XPS 分析と AFM 分析により処理銅板表面上の生成テレケリックス被膜の状態が明らかとなった。さらに、処理済み溶液中の銅量を ICP 分析することにより、テレケリックスは銅板上に化学吸着して被膜を形成すると同時に銅を溶解しているということがわかった。

2.3 両末端親水性テレケリックスによる三次元親水化 PVC の合成

高分子が架橋されて、三次元的な網目構造を形成したものを高分子ゲルという。その内部に溶媒を吸収し膨潤したもので、高分子ゲルはソフトでかつウェットな素材であり、イオン強度や温度、電場、磁場、光といった外部からの刺激に対してゲルは動的に応答し、膨張および

収縮することができるなど、ゲルは有用で注目すべき材料である。このような高分子ゲルを合成することを研究の目的として、PVCの親水化三次元樹脂の合成を検討することにした。両末端に反応性を有するテレケリックスをPVCに架橋させれば、三次元の網目構造となる。親水性をPVCに付与できれば、生体適合性材料などへの適応も可能となる。そこで、新たに親水性のテレケリックスであるトリアジンチオール両末端ポリ(2-アルキル-2-オキサゾリン)を合成し、PVCにグラフトさせた。テレケリックスは、二官能性の開始剤を用いて2-アルキル-2-オキサゾリンをカチオン開環重合させ、得られたリビングポリ(2-アルキル-2-オキサゾリン)にリビングの停止反応を利用して両末端に官能基を導入する方法で合成した。

片末端に反応性基を有するテレケリックスを幹ポリマーに架橋させると、枝セグメント長さの規制されたくし型構造のグラフト共重合体が得られるのに対し、両末端反応性のテレケリックスの場合は三次元の架橋網目構造の高分子が得られ、生成する網目の架橋間セグメントの長さを予め設計可能な高分子ゲルとすることができる。合成したテレケリックスおよび三次元化PVCは、¹H NMR測定によりその構造を分析した。また、ゲル浸透クロマトグラフィー(GPC)分析により、生成物の分子量を測定した。その結果、次の知見を得ることができた¹²⁾。

(1) 開始剤の種類によっては、重合度の値が仕込み比の値とは一致しない場合があることがわかり、両末端テレケリックスの合成には適切な開始剤を選択する必要があること、適切な開始剤の使用により、望むポリマー鎖長のテレケリックスを、仕込み比を変えることによって調製できること、がわかった。

(2) また、グラフト化反応をA法とB法の2つの方法で行ったが、A法では生成物の導入率G、グラフト率および分子量は反応時間に比例すること、また、B法はA法より高いグラフト率の共重合体が得られること、さらに、グラフト反応の速度、導入率G、グラフト率および分子量は、テレケリックPROZOのアルキル基の種類、仕込み比および反応温度を変えることで調節が可能であることがわかった。

2.4 地元未利用無機資源充填グラフト化PVCの合成と物性評価

親水化PVCグラフト共重合体へ同じく親水性を示す無機材料を充填した新規の有機無機複合体を調製することを考えた。相性の良い材料同士であれば、お互いの性能を高め合う相乗効果が得られるものと期待できるためである。PVCの欠点である疎水性を改善し、かつ、無機充填剤による新たな機能も付与できる。この充填剤として、地元の未利用資源であるホタテ貝殻に着目した。地元青

森県ではホタテの有数な産地であり大量の貝殻が廃棄されている現状がある。しかし、多くの貝殻は有効活用されておらず、廃棄についても問題が多い。ホタテ貝殻は、その主成分が炭酸カルシウムであるため親水性を示し、かつ、抗菌性を有しているが、ホタテ貝殻と高分子化合物とのマイクロレベル、ナノレベルでの複合体についての研究は少ない。そこで、徐放性の強力な抗菌シートなどの医療用材料への応用を目指し、親水性テレケリックスをPVCにグラフトさせた共重合体にホタテ貝殻粉末を充填させた新規複合材料を調製し、さらにその物性を水に対する接触角、表面抵抗測定、および抗菌性試験により評価した。その結果、次の知見を得ることができた¹³⁾。

(1) 接触角測定によって、親水性のホタテ貝殻粉末充填と親水性ポリメチルオキサゾリンテレケリックスとの相乗作用によりPVCフィルムの親水性が高まったことがわかった。また、表面抵抗率も接触角と同様の結果を示し、ホタテ貝殻粉末充填と親水性ポリメチルオキサゾリンテレケリックスとの相乗作用によりPVCフィルムの帯電性が抑えられた。

(2) 抗菌性試験では、生貝殻粉末を添加した場合、ある程度高い抗菌性を示した。また、PVC単体に比べ親水性テレケリックスをグラフトさせたフィルムの方が、抗菌性におよぼすフィラーの効果がより高まることがわかった。

3. 結言と今後の展開

ポリオキサゾリンおよびトリアジンチオール類は有用性が高いため、それぞれの特色を活用することにより、あるいは各種無機系充填剤と複合することにより、新規な機能をもつ高分子材料ならびに有機・無機複合材料の開発が可能であり、様々な検討を行った結果、上記のような様々な知見を得ることができた。

以上のことより、ポリオキサゾリンとトリアジンチオールの複合機能を利用できるトリアジンチオール末端PROZOというテレケリックスを用いて各種材料の改質を行い物性評価した結果、有用な材料改質剤となり得る可能性を見いだした。そのテレケリックスの構造とともに用途の可能性をFigure 1に示す。このテレケリックスの特長は、ポリオキサゾリンとトリアジンチオールの両方の機能を利用でき、また、構造をマイナーチェンジするだけで、図に示したような多方面の用途が可能となることである。

現在は、ホタテ貝殻粉末充填PVCフィルムについて、さらに親水性を向上させるグラフト共重合体の調製を検討しているところである。また、銅板表面と水とのぬれ

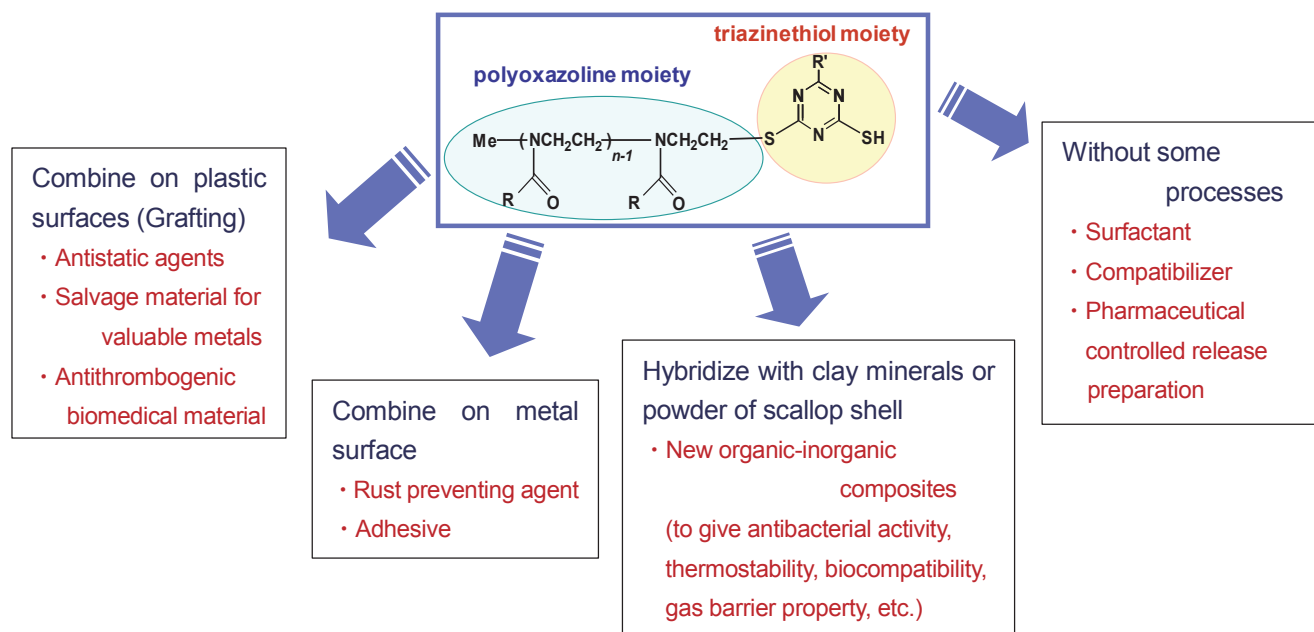


Figure 1. The structure and applications of the telechelics synthesized.

性向上によって電子機器のより小型の回路形成に貢献できるものと考え、銅板上への親水性テレケリックスの被膜形成を種々検討しているところである。

今後の展開としては、さらに、親水性テレケリックスの PROZO 部分でガラスと親和させ、末端のトリアジンチオール部分で金属と親和させることにより、新規の接着剤の開発を行うことを目指すつもりである。開発したポリオキサゾリンとトリアジンチオールの 2 つから合成できる種々のテレケリックスを用いた新しい利用法の開発を、今後ますます進めていこうと考えている。

謝 辞

本研究の一部は JSPS 科研費 JP18K11719 の助成を受けたものであり、ここに謝意を表す。

参 考 文 献

- 1) ポリオキサゾリンとトリアジンチオールの複合機能を利用する共重合材料および有機/無機複合材料の開発, 佐藤久美子, 岩手大学 (博士論文) (2009).
- 2) トリアジンチオール末端ポリ (2-メチル-2-オキサゾリン) によるポリ塩化ビニルのグラフト化と生成物の表面特性, 佐藤久美子, 嶋野安雄, 平原英俊, 成田榮一, 高分子論文集, **65**, 670-678 (2008).
- 3) M. Kang, S. Y. Lee, H. H. Shin, Y. C. Yu, and J. H. Youk, *Polymer*, **87**, 108-113 (2016).
- 4) G. Morgese and E. M. Benetti, *European Polymer*

Journal, **88**, 470-485 (2017).

- 5) R. Hoogenboom, *Angew. Chem. Int. Ed.*, **48** (43), 7978-7994 (2009).
- 6) K. Knop, R. Hoogenboom, D. Fischer and U. S. Schubert, *Angew. Chem. Int. Ed.*, **49** (36), 6288-6308 (2010).
- 7) T. X. Viegas, et al., *Bioconjug. Chem.*, **22** (5), 976-986 (2011).
- 8) N. Adams and U. S. Schubert, *Adv. Drug Deliv. Rev.*, **59** (15), 1504-1520 (2007).
- 9) L. Tauhardt, K. Kempe, M. Gottschaldt, and U. S. Schubert, *Chem. Soc. Rev.*, **42** (20), 7998-8011 (2013).
- 10) 架橋処理されたポリ塩化ビニル製品, 森邦夫, ヤンドー・トーマス, 日特公平 6-55837.
- 11) トリアジンチオール末端オリゴ (2-ブチル-2-オキサゾリン) による銅表面の改質, 佐藤久美子, 平原英俊, 川村優文, 會澤純雄, 成田榮一, 色材, **82**, 487-492 (2009).
- 12) ポリ (2-アルキル-2-オキサゾリン) による三次元親水化ポリ塩化ビニルの合成, 佐藤久美子, 八戸工業高等専門学校紀要, 第 47 号, 43-47 (2012).
- 13) 地元未利用無機資源充填グラフト化 PVC の合成と物性評価, 佐藤久美子, 山本歩, 菊地康昭, 八戸工業高等専門学校紀要, 第 52 号, 91-96 (2018).

(原稿受付: 2019年11月17日)

ニンニクの無農薬水耕栽培の可能性

東麗緒菜**・山本歩*

Study for pesticide-free hydroponic culture method of garlic

Reona HIGASHI, Ayumi YAMAMOTO

* 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専攻マテリアル・バイオ工学コース(現 北海道大学大学院環境科学院生物圏科学専攻)

Abstract : Garlic (*Allium sativum* L.) is widely used as a seasoning around the world. Aomori prefecture reached an approximately 70% share of the garlic production in Japan. Recently, agricultural industry is faced with big problem with human resource shortages and aging of the farmer. Additionally, the interest for food safety have been increasing with organic vegetables without use of any pesticides. In response to these issues, full control hydroponic cultivation systems are useful with less human resource and pesticide-free production under controlled cultivation environment. However, hydroponic culture for garlic cultivation is not established yet. In this study, we demonstrated hydroponic culture of garlic without use of any pesticides. As a result, hydroponic culture showed fast growing rate compared soil culture.

Keywords : ニンニク、水耕栽培、無農薬

1. 緒言

ヒガンバナ科ネギ属に属するニンニク(学名:*Allium sativum* L.)は多年草の植物で世界中に広く分布しており中国が世界的産地である。日本では寒地の北海道から亜熱帯の沖縄まで広く栽培されているが、全国生産量の約7割は青森県産である¹⁾。ニンニクは世界各地の料理で香味野菜として古くから食されているだけでなく、生薬などの薬用植物の一種としても利用されており人類と深い関わりがある植物である。ニンニクの健康効果として抗酸化作用、抗がん作用、抗炎症作用、抗菌作用や抗糖尿病作用など豊富な機能性を有することが多数報告されている。近年はこれらの機能性に寄与する活性成分も明らかになっており、allicin や diallyl sulfide (DAS)、S-allyl-cysteine (SAC)、S-allyl-cysteine sulfoxide (alliin) などが代表的な生理活性物質として同定されている²⁾。また1990年にアメリカ国立がん研究所(NCI)が中心となり疫学研究データをもとに取り組みられたデザイナーフーズ計画では、がん予防に効果的な食品および食品成分としてピックアップされた約40種類の中でニンニクが最も重要性が高いものとして位置づけられた³⁾。超高齢社会に突入した日本において食品の機能性に対する興味関心は高まっており、ニンニクについても年々供給量が増加傾向

にあり今後も更なる需要の増加が期待されている⁴⁾。

しかしながら国内の主要産地である青森県においては農業従事者の減少や高齢化などにより将来的なニンニク生産量の減少が危惧されている。また健康志向の高まりにともない食の安全・安心がより一層重視されてきており無農薬栽培による農作物が注目される中、ニンニク生産は基本的に露地栽培で行われ病害虫防除のために農薬が使用されており無農薬栽培は一般的ではない。ニンニクはさび病や葉枯病に罹ることが知られており、1990年にはチューリップサビダニによる被害が報告されている⁵⁾。このような高齢化や過疎化にともなう農業の担い手不足や健康志向に対応した栽培方法に関する課題はニンニク生産に限らず様々な農作物の生産で大きな課題となっており、この課題を解決するために注目されているのが完全制御型の植物工場である。植物工場は太陽光を利用した太陽光利用型と人工光を用いる完全制御型の2種類に大別でき、特に完全制御型植物工場は天候や設置面積・場所に左右されずクリーンな環境下で栽培することができるため完全無農薬栽培を実現できる。植物工場による完全無農薬栽培の中でも最も利用されているのは水耕栽培であり、これまでにハーブやリーフレタスなどの薬物野菜を中心に実用化されている⁶⁾。将来的な気候変動のリ

スクの懸念もあり植物工場の普及率は年々高まってきている一方、葉物野菜以外の植物に関する知見がまだまだ乏しいことや導入コストの高さから植物工場の普及が頭打ちになりつつある状況でもある⁷⁾。ニンニクについても水耕栽培が取り込まれつつあるが完全無農薬栽培方法は確立されていない。そこで本研究では上述の課題を解決するために、簡易な自作水耕栽培システムによるニンニク栽培の可能性について検討した。

2. 実験方法

2.1 ニンニクの殺菌処理

本研究では 2015 年に収穫された青森県産のニンニクを使用した。ニンニクの鱗片を中性洗剤で洗浄後、70% エタノールで殺菌処理し土耕栽培および水耕栽培に使用した。

2.2 土耕栽培

水耕栽培と比較するために土耕栽培を行った。土耕栽培はプランターに底石を敷き、赤玉土、ピートモス、バーク堆肥、燐炭、パーライト等から構成される球根の土（株式会社プロトリーフ）を充填し殺菌処理した鱗片を播種した。栽培温度 20℃、光条件は 14 W 白色蛍光灯で 12 時間の明期で 61 日間栽培した。栽培中は定期的に全体重量、草丈長、発根数を確認した。

2.3 水耕栽培

水耕栽培には自作の水耕栽培装置を作成し使用した（図 1）。水耕栽培の培養液としてハイポニカ液体肥料（協和株式会社）を 500 倍に希釈したものを使用した。栽培条件は土耕栽培と同様に栽培温度 20℃、光条件は 14 W 白色蛍光灯で 12 時間の明期で約 61 日間栽培した。栽培中は定期的に全体重量、草丈長、発根数を確認した。

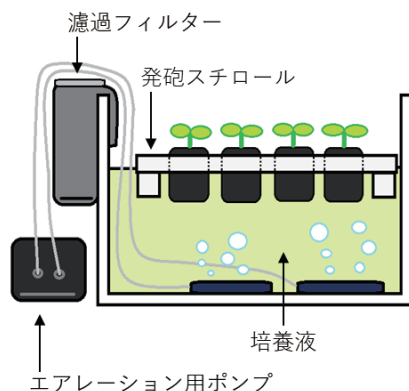


図1 自作した簡易水耕栽培システム

2.4 総ポリフェノール量分析

栽培方法の違いがニンニクに含まれる成分に影響を及ぼすか明らかにするために機能性成分の一つであるポリフェノール量について Folin-Ciocalteu 法により分析した。栽培したニンニクを茎葉、鱗片、根に分割し重量を測定した。各試料の 4 倍量の 80% エタノールを加えミキサーにて破碎し遠心分離にて上清を回収した。沈殿に再び 80% エタノールを加え遠心分離を行い上清を回収した。沈殿にはアセトンを加え混合後、遠心分離で上清を回収した。上記のエタノール抽出ならびにアセトン抽出により回収した上清をまとめ減圧濃縮し Folin-Ciocalteu 法により総ポリフェノール量分析に使用した。

総ポリフェノール量の分析は過去の報告を参考に Folin-Ciocalteu 法にて実施した⁸⁾。標準物質には (+)-カテキン (Sigma-Aldrich, Co., LLC, St. Louis, MO) を使用し検量線を作成した。125 μ L の試料溶液と 125 μ L の 50% フェノール試薬 (Kato Chemical, Inc., Tokyo, Japan) を混合したのち、0.4 M Na_2CO_3 溶液を 625 μ L 加えた。よく攪拌したのち 50℃ で 5 分間加熱処理し、その後室温で放冷したものを測定に用いた。測定には分光光度計を用い 765 nm の吸光度を測定した。

2.5 統計的解析

土耕栽培、水耕栽培ともに播種した 14 株の鱗片の全体重量、草丈長、発根数を確認し平均値、標準偏差をもとめ、*t* 検定にて両栽培方法間の有意差を確認した。

3. 結果

3.1 水耕栽培と土耕栽培におけるニンニクの成長比較

水耕栽培および土耕栽培におけるニンニクの全体重量、草丈長、発根数の経日変化の結果を図 2 に示す。土耕栽培ならびに水耕栽培の両栽培方法ともに栽培時間の経過とともに全体重量、草丈長、発根数の増加が確認された。両栽培方法の成長具合を比較すると、栽培 61 日後では全体重量は水耕栽培では約 30 g であったのに対し土耕栽培では約 14 g であった。草丈長は水耕栽培では約 60 mm に成長したが土耕栽培では約 23 mm であった。発根数は水耕栽培では約 60 本であるのに対し土耕栽培では約 20 本であった。このように水耕栽培における全ての項目の成長度合いが土耕栽培より有意に高かった。また播種した個々の鱗片の成長具合のばらつきは全ての項目において土耕栽培より水耕栽培のほうが小さかった。

3.1 総ポリフェノール量

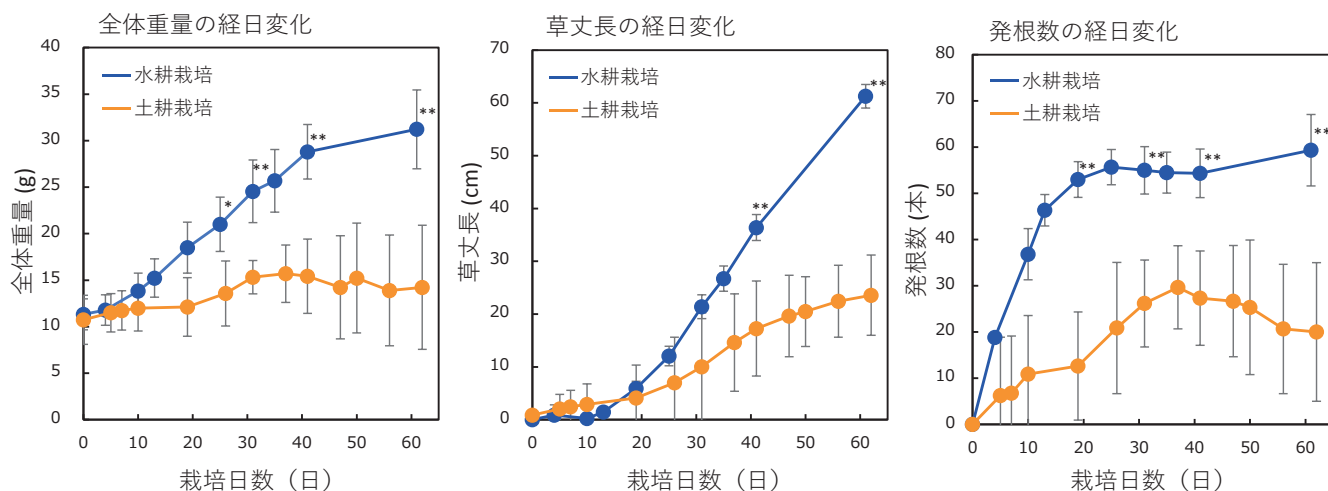


図2 水耕栽培および土耕栽培による成長具合の経日変化

61日間の水耕栽培および土耕栽培における全体重量、草丈長、発根数の経日変化の結果を示す (*; $p < 0.05$, **; $p < 0.01$)

61日間の水耕栽培および土耕栽培により得たニンニクの各部(茎葉、鱗片、根)に含まれる総ポリフェノール量をカテキン相当量としてもとめた(表1)。両栽培方法ともに総ポリフェノール量は鱗片が最も多く、次いで根、茎葉の順であった。茎葉部の総ポリフェノール量が水耕栽培が土耕栽培の約3倍多く含まれていた。100gあたりの全部位に含まれる総ポリフェノール量は水耕栽培では約3.50mg、土耕栽培では約2.97mgであり水耕栽培によるニンニクの方が多かった。

表1 栽培後の各部位の総ポリフェノール量

	総ポリフェノール量(カテキン相当量 mg/100g)			
	茎葉	鱗片	根	全体
水耕栽培	0.98	1.45	1.06	3.50
土耕栽培	0.30	1.46	1.21	2.97

4. 考察

本研究では、近年の健康志向の高まりによる無農薬野菜の需要増加への対応や農業従事者の減少や高齢化といった課題に対応すべく、青森県が全国生産量の約7割を占め更なる需要の増加が期待されるニンニクの新たな栽培方法として水耕栽培の可能性を検討した。完全制御型植物工場は近年普及率が増加してきているがコストの高さや薬物野菜への適用に関する知見が乏しいことから頭打ちとなりつつある。ニンニクの水耕栽培の取り組み事例はいくつか報告されているが、その方法は確立しておらず露地栽培と比較した際の有用性も明らかになっていない。そこで、本研究では簡易な水耕栽培装置を作製し人工光によるニンニクの無農薬栽培を試み、土耕栽培と

の成長比較を実施した。その結果、水耕栽培が土耕栽培と比較し成長速度が有意に速いことが確認された。また水耕栽培における個々の鱗片の生育は個体間のバラつきが少なく均一であったのに対し、土耕栽培ではバラつきが大きかった。このことから薬物野菜以外の植物においても水耕栽培は均一な品質で栽培することが可能であることが確認された。しかしながら温度および光条件を一定で行った今回の実験ではニンニクの分球を確認することができなかった。通常、ニンニクの露地栽培は9~10月に鱗片を播種した後、越冬後の5~6月に収穫される。そのため、水耕栽培によりニンニク分球を誘導するためには生育が進んだ時期に一度冬季を模した低温処理を行う必要があると考えられる。露地栽培と水耕栽培との成長速度の比較により低温処理時間を検討し今後実施したい。一方で近年行われているニンニクの水耕栽培では分球する前の状態の発芽後一週間程度ものを収穫しスプラウトニンニクとして商品として販売している事例もある⁹⁾。将来的にニンニクの完全無農薬栽培方法が確立されることで、現在はスプラウトニンニクに留まっている水耕栽培の適用が拡大し多様な形態で完全無農薬ニンニクを提供することができるようになると思われる。

本研究の水耕栽培では植物工場で最も利用されている蛍光灯を光源として用いたが、導入コストは高いものの消費電力が小さいLEDを光源として利用する植物工場は蛍光灯に次いで多い。近年、LEDの波長や光強度を制御することでポリフェノールなどの機能性成分の含有量を増加させることができることが明らかになっている¹⁰⁾。本研究では同一の光源を用いて水耕栽培と土耕栽培を実施した結果、成長速度が速い水耕栽培において総ポリフェノール量が多く含まれていたが、この結果が成長速度

の違いに起因するものなのか、栽培方法の違いによるものなのか今後明らかにしたい。また、ニンニク水耕栽培においても光源が生育や含有成分に及ぼす影響を解明することで、露地栽培のニンニクより高い機能性が期待でき食味が良いものを生産することが可能になることが期待できる。健康意識や食の安全・安心に対する関心の高まりや食を支える農業従事者の減少や高齢化など多くの課題に対し植物工場型農業は重要な技術である。青森県の主要農作物であるニンニクについても植物工場型農業への展開の可能性を検討することは重要であり、本研究で得られた知見をもとに更なる検討に取り組みたい。

参 考 文 献

- 1) 農林水産省 統計情報、平成 30 年産指定野菜（秋冬野菜等）及び指定野菜に準ずる野菜の作付面積、収穫量及び出荷量
- 2) Bioactive Compounds and Biological Functions of Garlic (*Allium sativum* L.), Shang A, Cao SY, Xu XY, Gan RY, Tang GY, Corke H, Mavumengwana V, Li HB, Foods, 5:8(7), 2019 年
- 3) がん予防と食品 -デザイナーフーズからファンクショナルフーズへ-, 大澤俊彦、日本食生活学会誌、20(1)、11-16、2009 年
- 4) 独立行政法人 農畜産業振興機構、野菜情報、2017 年 5 月号、24-29、2017 年
- 5) 青森県におけるニンニクのチューリップサビダニの発見と種子鱗片の薬液浸漬による防除、市田忠夫、藤村建彦、北日本病中研報、44、151-159、1993 年
- 6) 完全制御型 植物工場、高辻正基、オーム社、2007 年
- 7) 日本における植物工場の現状と今後の展望、藤本真狩、精密工学会誌、81 (9)、811-814、2015 年
- 8) Protective effects of raw and cooked blackcurrant extract on DNA damage induced by hydrogen peroxide in human lymphoblastoid cells, Yamamoto A, Nakashima K, Kawamorita S, Sugiyama A, Miura M, Kamitai Y, Kato Y, Pharm Biol, 52(6):782-8, 2014 年
- 9) 一般社団法人ジャパンハイドロポニックスホームページ、https://jhpj.jp/activity/g_sprout/
- 10) 植物工場における人工光利用技術、庄司和博、電気設備学会誌、36 (10)、732-735、2016 年

(原稿受付：2019 年 11 月 12 日)

チュラポーン王女サイエンスハイスクールにおける自主探究

杉山暦*・塚本直樹*・馬場秋雄*

Self-Directed Research at Princess Chulabhorn Science High School

SUGIYAMA Koyomi, TSUKAMOTO Naoki, BABA Akio

* 総合科学教育科

Abstract : Report on the Thailand International Self-Directed Research Program held from August 28 (Wednesday) to September 12 (Thursday), 2019 at Princess Chulabhorn Science High School, Chonburi (PCSHS, Chonburi).

Keywords : Self-Directed Research, Princess Chulabhorn Science High School

1. はじめに

本稿では、チュラポーン王女サイエンスハイスクール チョンブリ校 (Princess Chulabhorn Science High School Chonburi : PCSHS チョンブリ校) において、2019 年 8 月 28 日 (水) ~ 9 月 12 日 (木)、16 日間の日程で実施されたタイ国際自主探究について報告する。

本国際自主探究は本校の低学年生が PCSHS チョンブリ校の学生との異文化交流を通じて、両国の相互理解を深め、「自主探究活動」を通して、自ら課題を発見、解決し発信する力を養うことを目的に、今年度より始まった国際自主探究プログラムである。ご承知の通り、本校はこれまでも、モンゴル (平成 29 年度開始)、シンガポール (平成 30 年度開始) において、学術交流提携に基づく国際自主探究プログラムを行っている。タイ国際自主探究はこれらに続く、第 3 の国際自主探究プログラムとして、新たに開始されたものである。

本プログラムの協力校であるタイの PCSHS チョンブリ校とは昨年、学術交流協定 (AOA) を締結し、今年度の自主探究発表会には PCSHS チョンブリ校の教員、学生らが本校に視察に訪れる予定であるなど活発な交流が始まりつつある。さらに、平成 30 年度より高専機構が開始している、新たな国際交流事業である「PCSHS タイ人留学生 1 年次受け入れ事業」の展開もあいまって、本校と PCSHS との関係は、今後益々結びつきが強くなることが期待されている。



2018 年 11 月 20 日、チョンブリ校との AOA 締結

今年度、タイ国際自主探究には、2 年生女子学生 1 名、1 年生女子学生 2 名の計 3 名が参加した。筆者らは、タイ国際自主探究担当教員 (馬場、塚本)、引率教員 (馬場、杉山) として、上記 3 名の学生に対し、研究・生活指導を行った。

2. 募集から渡タイまでのプロセス

タイ国際自主探究プログラムの実施に向け、5 月にシンガポール研修・モンゴル国際自主探究、ベトナム国際自主探究との合同説明会を実施した。説明会への参加者は 50 名ほどとなり、大変盛況であった。しかし、大半の学生がシンガポール研修希望者であった。タイ国際自主探究では希望者の 3 名に面接を行い、最終的な参加者 3 名を決定した。6 月から 8 月まで、シンガポール、モンゴル国際自主探究と共に研究計画の進捗報告会や研究計画の発表練習を行い、英語セミナーでは英語での自己紹介と八戸紹介のプレゼンテーションの準備も行った。ま

た、教員からの研究指導として、渡タイ直前まで研究計画の助言をメール等で行った。参加学生が低学年であり研究経験に乏しいこと、また、現地での研究環境も実際に行ってみないとわからないという状況であったため、テーマ決めの段階から苦勞し、決定までに多くの時間を要した。

現地とのやり取りについては、PCSHS チョンブリ校のコンタクトパーソンである Duangporn Balee 氏（英語教員）と、本校引率教員（馬場、杉山）、自主探求コーディネーター（小笠原久美子氏）との間で、Eメールならびに LINE アプリを通して行った。

3. タイ滞在記

(1) PCSHS における授業

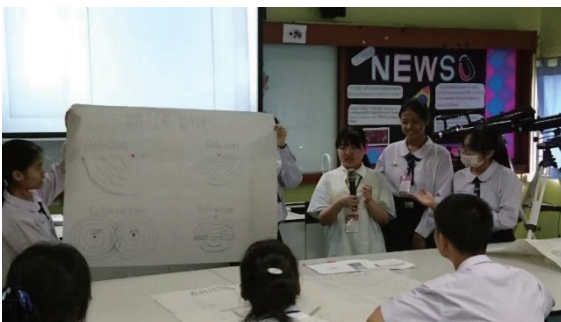
PCSHS はチュラポン王女の 36 歳の誕生日を記念して 1993 年に設置された中高一貫の学校である。

タイ国内 12 の地域に設置されている男女共学の全寮制の公立学校で、数学と科学分野で卓越した学生が入学し、全学生にタイ政府から授業料及び生活費等が支給されている。



PCSHS チョンブリ校における物理授業（1）

これらは物理の授業風景である。波の回折、屈折の実験を行っている。学生はあらかじめ実験の方法・手順を予習しており、授業時間中は実験に専念していた。



PCSHS チョンブリ校における物理授業（2）

授業の最後では、班ごとに英語で発表を行い、投票で順位を決めていた。生物の授業でも同様なことが行われていた。

その他の授業（英語など）においても教員・学生間で双方向な形式が見られ、実験や実習を重視していることがうかがわれた。本校学生のサポートをして頂いた Burapha 大学教員が仰っていたが、これらの授業は PCSHS の学生資質の高さに負うことが多いとのことである。また、国からの多額の予算も背景にある。



PCSHS チョンブリ校における日本語授業

PCSHS チョンブリ校では、第 2 外国語が選択必修科目として設定されており、日本語か中国語から選ぶようになっている。上述は日本語の授業風景である。写真中央（モニター前）の人物は PCSHS チョンブリ校の日本語教員 Pleng 氏である。Pleng 氏は本国際自主探究プログラムに対し積極的に協力してくれた。

(2) タイ国際自主探究：学生の一日

本節では、タイ国際自主探究における学生の一日を紹介する。以下はそれぞれ、9月5日(木)、6日(金)（9、10日目）のスケジュールである。

9月5日(木)

7:30	朝礼
8:00	研究活動 開始
	学生 A：調査のため外出・バディ ⁽¹⁾ と
	学生 B：質問のため教員室へ・バディと
	学生 C：研究活動室にて研究・バディと
12:00	ランチ（学食）
13:00	研究活動 再開

学生 A,B,C と研究活動室にて研究
(一部バディのみ、他のバディは授業へ)

17:00 研究活動 終了 (寮へ)



研究活動・バディとともに

この日は、「PCSHS タイ人留学生1年次受け入れ事業」において本校に在籍するタイ人留学生2年生2名が応援のため、PCSHS チョンブリ校にかけつけてくれた(2名は夏休みで帰国中であった)。



国際自主探究参加学生と本校のタイ人留学生

9月6日(金)

8:00 研究活動 開始

学生 A,C : 研究活動室にて研究
(バディ1名のみ、その他は授業へ)

学生 B : 情報収集・実験のため外出

- 自動車学校へ
- 地元警察署へ
- 路上実験

12:00 ランチ (学食)

13:00 それぞれホストファミリーのもとへ



警察署にて 学生がお礼を渡している

学生 B は日本とタイのグレーチング (溝などへの排水がスムーズな金属製の組み込み型の蓋) を自主探究の研究テーマとしている。上述の Duangporn Balee 氏の協力のもと、自動車学校、警察署にアポイントを取りタイ国内の道路事情について詳しい説明を受けた (どちらもタイ語での説明であったが、バディが英語で通訳してくれ理解することができた)。



路上で実験

この実験では、タイのグレーチングにおける滑りの度合いを調べている。本実験は、この前日にバディと共に質問に行った現地教員に受けたアドバイスをもとに行っている。バディとも打合せがよくできているのか、実験に着手し実際に行うプロセスが、スムーズで感心した。

研究活動だけでなくランチや休み時間など、全体を通じて、バディはよく面倒を見ていてくれるし、本校学生もそれに明るく応じており、非常に良い関係が構築できている様子が随所に垣間見られた。



談笑する本校学生とバディ



最終プレゼンを終えて

(3) 最終プレゼンテーション

最終日は PCSHS チョンブリ校の教員、学生、また本国際自主探究プログラムのために招聘された Burapha 大学の教員 2 名の前で、タイでの研究成果をまとめたプレゼンテーションを行った。

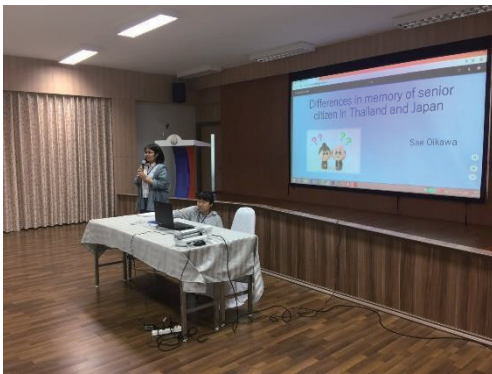
プレゼンテーションのマナーなどおぼつかない部分も多く、質疑応答も部分的に困難であったものの、みな最後まで発表をやり抜くことができた。また、発表後も再度、質問を確認しに行くなど積極的な態度も見られ、PCSHS チョンブリ校の教員もその積極性をたたえられていた。

写真にもみられるとおり、本校各学生に対してそれぞれ 3 名の補助学生、バディが決められており、彼らにもまた自主探究、生活全般（寮を含む）において、多大なる援助を受けた。この場をお借りして、改めてお礼を申し上げたい。

(4) 帰国後の研究状況

帰国後は、タイで行った研究をもとに本校での 11 月 19 日から実施される自主探究発表会に向けて、さらなる内容の整理、ポスター作製の準備を行う予定である。

以下写真は、10 月 30 日に行われた自主探究中間発表会の様子である。



最終プレゼンの様子

プレゼンテーション終了後には記念撮影が行われ、本校学生はバディや現地教員らとの別れを惜んでいた。現地でのあたたかい支援には、学生だけでなく教員である我々もまた感謝しかない。（以下写真の一番左の人物が Duangporn Balee 氏である）



自主探究中間発表会

また、12 月中に 1～3 学年の特別活動の時間において全学生の前でシンガポール、モンゴル国際自主探究と合わせて発表を行う予定である。

4. おわりに

今回は本校教員による、本校学生3名のタイ王国チュラポーン王女サイエンスハイスクールチョンブリ校への引率であった。タイでの初めての自主探究のため、実施計画段階から試行錯誤しながらのプロジェクトであったが、学生も全員無事に全ての日程を終えることが出来た。

今後は、この経験を生かし、今回発覚した問題点等を精査して来年度以降の自主探究に生かしていく予定である。

謝辞

本稿の最後にあたり、今回の引率業務および参加学生の募集、PCSHS チョンブリ校との日程調整等に対してのご支援・ご協力をいただいた、国際交流事務補佐員、小笠原様、川端様、総務係の皆様には深く感謝申し上げます。

また、本国際自主探究は国費高校生留学促進事業の助成を受けたものであり、ここに感謝を申し上げます。

注

(1) buddy (バディ) は外国人留学生に対する補助学生。

(原稿受付 : 2019年11月5日)

表1 タイ研修日程表

日 程		ス ケ ジ ュ ー ル
8/28	水	三沢空港集合、羽田空港へ移動、国際線へ乗り換え夜行便でバンコクへ
8/29	木	バンコク着、チュラポーンサイエンスハイスクールチョンブリ校へ移動、オープニングセレモニー、オリエンテーション
8/30	金	タイの文化と生活、日本(八戸)の紹介、授業参加(物理、英語)、ホームステイ先へ移動(午後)
8/31	土	休日(ホームステイ)
9/1	日	休日(ホームステイ) ※帰寮(午後)
9/2	月	授業参加(生物)、自主探究テーマのプレゼン、Burapha 大学教員による指導、グループワーク(自主探究)、寺院・市場見学、ウエルカムディナー
9/3	火	グループワーク(自主探究)、Field trip(Burapha 大学、病院)、Wang Chan Herb Garden 見学
9/4	水	グループワーク(自主探究)、Field trip(Burapha 大学、病院、Phanatnikhom High way)
9/5	木	グループワーク(自主探究)、Field trip(Chonburi High way)
9/6	金	グループワーク(自主探究)、Field trip(Banbung Police station)、ホームステイ先へ移動(午後)
9/7	土	休日(ホームステイ)
9/8	日	休日(ホームステイ) ※帰寮(午後)
9/9	月	グループワーク(自主探究)
9/10	火	プレゼン準備、フェアウェルパーティ
9/11	水	クロージングセレモニー、最終プレゼン(午前) パッキング、居室清掃、空港へ移動(午後)
9/12	木	バンコク発-羽田着、国内線に乗り換え、三沢着⇒解散

紀要編集委員会

委員長 工藤憲昌

委員 菊地康昭 村山和裕 熊谷雅美

齊藤貴之 藤原広和

幹事 矢口淳一

八戸工業高等専門学校 紀要 第54号

令和2年2月21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
