

# 八戸工業高等専門学校

## 紀 要

第 55 号

令 和 3 年

八戸工業高等専門学校

<教育論文>

専門コース教員とのコラボレーションによる高専英語導入法	横 菊 熊 佐 庭 井 今 古 福 水 山	田 池 谷 藤 瀬 関 野 川 松 野 俊 本	実 秋 雅 一 祐 大 琢 嵩 太	世 夫 美 健 仁 也 輔 磨 博 郎 歩	1
中国への海外研修について	郭 沢 武 阿	村 尾 部	福 利 文	会 洋 雄 恵	7
遠隔授業におけるコンピュータグラフィックス演習環境の試行	細	川	靖		13

化学の学校 ～初のオンライン開催にむけて～	福 新 松 長 齊 菊 佐 本 山 門 川 千 中 佐	松 井 本 谷 藤 地 久 本 磨 口 葉 村 々	嵩 宏 克 川 貴 康 美 哲 義 恵 憲 重 木	博 忠 才 章 之 昭 子 雄 步 浩 未 一 人 有	19
-----------------------	--	---	---	--	----

<研究論文>

跳躍テンポの変化がリバウンドジャンプに与える影響： リバウンドジャンプテストで測定したRJ-indexの上位群・中位群・下位群の 比較	川 相 戸 大	端 馬 塚 島	良 優 義	介 樹 学 晴	23
1880年ガリツィア巡幸とクラクフ市巡幸歓迎準備委員会の活動 —巡幸歓迎委員会による名誉市民衛兵の組織化—	佐	伯	彩		29
水アトマイズ法により製造された極微細金属粉末による焼結ハイスの開発	古	谷	一	幸	41
超音波振動援用がドリル加工部温度および出口側バリ形状におよぼす影響	田 吉 原 水	口 原 野	恭 信 圭 雅	輔 人 祐 裕	45
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 (4) — 炭素系機能材料及びタンングステン材料 —	松 中 神 中 佐 山	橋 村 林 村 藤 田	信 祐 つ 柊 大 一	明 太 み 介 地 雅	51



補聴器用ハウリングキャンセラに関する検討	……	工 釜 田	藤 谷 所	憲 博 嘉	昌 行 昭	……	59
八戸周辺河川における糞便汚染の解析	……	佐 佐 矢	々 木 藤 口	麗 静 淳	花 留 一	……	63
山形県沖を震源とする地震における地震動平均方向の検討	……	杉	田	尚	男	……	69
硬化を伴う一次元弾塑性バイリニアモデルを用いた非線形計算手法の確認と コンピュータプログラムへの実装	……	清	原	雄	康	……	77
<b>&lt;報告&gt;</b>							
是川縄文アートプロジェクト2020 ～アートプロジェクトを通じた地域活性化～	……	馬 佐 工	渡 貫 藤	大	龍 巧 地	……	85



**RESEARCH REPORTS**  
National Institute of Technology, Hachinohe College  
**No.55 2020**  
**Contents**

**<Education Theses>**

Introduction to KOSEN English in Collaboration with Engineering Course Teachers	Miyo YOKOTA Akio KIKUCHI Masami KUMAGAI Ken SATO Kazuhito NIWASE Yuya ISEKI Daisuke KONNO Takuma KOGAWA Takahiro FUKUMATSU Shuntaro MIZUNO Ayumi YAMAMOTO	..... 1
About the Overseas Training to China	Fuhui GUO Toshihiro SAWAMURA Fumio TAKEO Megumi ABE	..... 7
Trial on Computer Graphics Practice Environment for Remote Class	Yasushi HOSOKAWA	..... 13
“Kagaku no Gakkou” on the Web	Takahiro FUKUMATSU Hirotada ARAI Katsutoshi MATSUMOTO Akira HASEGAWA Takayuki SAITO Yasuaki KIKUCHI Kumiko SATO Tetsuo HONMA Ayumi YAMAMOTO Yoshihiro KADOMA Satomi KAWAGUCHI Kenichi CHIBA Shigeto NAKAMURA Yu SASAKI	..... 19

**<Research Theses>**

The effect of change in jump cycle on rebound jump: Comparison of upper, middle and lower RJ-index groups as measured by the rebound jump test	Ryosuke KAWABATA Yuki SOMA Manabu TOTSUKA Yoshiharu OHSHIMA	..... 23
The Role of the Reception Committee of Kraków and The Royal Trip to Galicia in 1880 : The Organization of Honorary Citizen’s Guard in Kraków	Aya SAEKI	..... 29
R & D’s of sintered HSS fabricated by using ultra-fine PM made of water atomizing method	Kazuyuki FURUYA	..... 41
Effect of ultrasonic vibration assisted drilling on cutting temperature and formed exit burrs	Kyosuke TAGUCHI Nobuhito YOSHIHARA Keisuke HARA Masahiro MIZUNO	..... 45
Materialization of Molecular Calculation by 3D Printer with the Aim of the Development of New Teaching Material and Teaching Method (4) — Carbon-based Functional Materials and Tungsten Compounds —	Nobuaki MATSUHASHI Yuta NAKAMURA Natsumi KANBAYASHI Syusuke NAKAMURA Daichi SATO Kazumasa YAMADA	..... 51



A study on howling canceller for hearing aids	<p>Norimasa KUDOH  ..... Hiroyuki KAMAYA  Yoshiaki TADOKORO</p>	..... 59
Source Tracking Analysis of Fecal Pollution in Four Rivers around Hachinohe	<p>Reika SASAKI  ..... Shizuru SATO  Junichi YAGUCHI</p>	..... 63
Examination of the average direction of the Pacific coast of Yamagata Earthquake	..... Hisao SUGITA	..... 69
Verification of nonlinear calculation method and computer programing for elasto-plastic bilinear hardening model	..... Yukoh KIYOHARA	..... 77
<b>&lt;Report&gt;</b>		
THE COMMUNITY REVITALIZATION THROUGH THE ART PRPJECT, KOREKAWA JOMON ART PROJECT 2020	<p>Toru MAWATARI  ..... Takumi SANUKI  Daichi KUDOH</p>	..... 85



## 専門コース教員とのコラボレーションによる高専英語導入法

横田実世<sup>a)</sup>、菊池秋夫<sup>a)</sup>、熊谷雅美<sup>b)</sup>、佐藤健<sup>b)</sup>、庭瀬一仁<sup>c)</sup>、井関祐也<sup>d)</sup>、  
今野大輔<sup>c)</sup>、古川琢磨<sup>a)</sup>、福松嵩博<sup>e)</sup>、水野俊太郎<sup>a)</sup>、山本歩<sup>e)</sup>

Introduction to KOSEN English in Collaboration with Engineering Course Teachers

Miyo YOKOTA<sup>a)</sup>, A. KIKUCHI<sup>a)</sup>, M. KUMAGAI<sup>b)</sup>, K. SATO<sup>b)</sup>, K. NIWASE<sup>c)</sup>, Y. ISEKI<sup>d)</sup>,  
D. KONNO<sup>c)</sup>, T. KOGAWA<sup>d)</sup>, T. FUKUMATSU<sup>e)</sup>, S. MIZUNO<sup>a)</sup>, and A. YAMAMOTO<sup>e)</sup>.

a) 総合科学教育学科 b) 電気情報工学コース、c) 環境都市・建築デザインコース、  
d) 機械システムデザインコース、e) マテリアル・バイオ工学コース

**Abstract** : An English course taught in collaboration with Engineering teachers were offered at Hachinohe-KOSEN. First, second, and third year students (n = 110) enrolled in the course took a survey to evaluate the course. Although they responded that the course was difficult, most students enjoyed it and felt there would be future benefits.

**Keywords** : Practical English learning, Science and Engineering, Active Learning, English as a Second Language, KOSEN English, Research Presentation in English

### 1. はじめに

工業高等専門学校（高専）は日本の産業発展と科学技術教育の充実を図るために5年間の高等教育（さらに2年間の専攻科）から成り立つ高等教育機関である。一般的な3年制による高等学校では大学受験を目指して英語の授業を重視するが、長年、大学受験が必要とされない高専では科学技術・工学の授業が重要視され、英語の授業時間数は普通高校のカリキュラムと比べ圧倒的に少なく、ないがしろにされる傾向にあった。その結果、高専生の英語力は一般の高校生と比べて低い傾向にあり、2018年の高専3年生のTOEICの平均点は990点満点中338点であり、この数値は一般の高校3年生と比べて90点も低いことが報告されている。また高専卒業生のTOEICの平均点は400点以下であり、これは英語初級者と同等のレベルとみなされる<sup>1)</sup>。

高専生の英語力の低迷にも関わらず、近年ではグローバル化によるインターネットビジネスおよび海外の顧客・クライアントなど多様化における対応の必要性が増し、日本の企業や研究機関でも採用において英語を重要視する会社が増えてきている。そういう状況にも関わらず、多くの高専生そして高専卒業生の英語力は相変わらず低く、企業・研究機関の必要とされている英語力に達していないのが現状である<sup>2,3)</sup>。また、多くの日本の企業で英語力を昇進の指標の一つとしていることも未来の高専出身エンジニアにとっては大きな壁となる<sup>4,5)</sup>。

こういう状況を踏まえて、八戸工業高等専門学校（八

戸高専）では専門コースの教員と英語教員が協働で集中英語演習という形で英語の授業を導入した。この協働を通して学生が英語を学習科目としてではなく、専門科目と同様に技術者としての仕事に直結したツールとして感じるよう導き、これによって英語に対して感じる障壁を取り除き、実践的に英語を使いこなせるようにすることを目指した。本研究ではこの新しい英語授業法に対する学生の反応をアンケート調査し、その結果を紹介するとともに、この試みについて考察を行う。

### 2. 方法

八戸高専の1年生から3年生は英語の成績、留学経験、英語検定資格（英検・TOEICなど）をもとに、能力別で5段階のレベル（1：一番下～5：一番上）に振り分けられた。その中で上位レベル（レベル4と5、計110名）に振り分けられた学生が専門コースと英語のコラボ授業を受講した。受講者の内訳は25.5%（28名）が1年生、32.7%（36名）が2年生、41.8%（46名）が3年生である。特に一番上のレベル5では1,2,3年生が学年を超えて英語を一緒に受講した。これは日本の教育システムでは未だ稀な形である。また、受講者の専門コースによる内訳は表1に示されている通りである。電気情報工学コースの学生が33.6%と一番多く、機械システムデザインコースからの受講者が15.5%と一番少なかった。

表 1. 専門コースによるクラス受講者の内訳

専門コース名	受講者数	受講者比率(%)
マテリアル・バイオ工学コース	29	26.4
電気情報工学コース	37	33.6
機械システムデザインコース	17	15.5
環境都市・建築デザインコース	27	24.5
合計	110	100

本研究での集中英語演習は 6 週間にわたる 16 回シリーズで、インプットとアウトプットの 2 部から構成される。インプットでは主に科学系の読み物およびワークブックを学習し<sup>6)</sup>、アウトプットでは自主探究に関連した 1 分間の英語によるプレゼンテーションを準備した上で、発表会を行った。自主探究とは八戸高専で 1 年生から 3 年生に必修とされている自由研究科目である。毎年、学生は興味のあるトピックを自分で選び、科学技術的視点から研究を進め、秋学期(本校は四学期制を採っている)に結果を発表し、冬学期にその成果をレポートにまとめ、校内・外の様々な人に評価をしてもらおうという年間を通して行うカリキュラムである。

今回の授業のアウトプットで、学生は過去や今回の自主探究のトピックを使って英語でプレゼンテーションができるように訓練した。その一環として各々の専門コースの教員が自身の海外経験を通しての英語の体験談(例:学会発表のやり方や工夫の仕方、海外との企業のビジネスのやり取り、留学経験、苦労体験など)を講義式でシェアしてもらった。学生は 1 分間の英語のプレゼンテーションの準備をし、受講者の全員と集中英語演習の担当教員(英語、専門コースを含む) 5 人の前で発表した。プレゼンテーションの評価は 4 部門(プレゼンテーションマナー、英語力、時間、科学技術的な内容)から構成し、評価の統制をとった。表 2 は集中英語演習の内容および評価方法のまとめである。

集中英語演習の終わりに授業に関して学生にアンケート調査を行った。主なアンケートの質問内容は、以下の通りである。1) 割り当てられた英語のレベルに同意したか、2) 英語の授業の難易度、3) 使われた教科書の嗜好度、4) 専門コースの教員による英語に関する講義の評価、5) プレゼンテーション課題は良かったか、6) この授業で学んだことは将来に役立つかどうか

また、オープンノート方式で学生がクラスに関して自由に意見やコメントを書き込める形を取り入れた。

表 2. 集中英語演習の内容および評価方法のまとめ

授業	内容	評価方法
インプット	*理工系の英語の教科書で英語を学ぶ *英語教員による解説	試験(70%)
アウトプット	*専門コース教員による英語に関する講義 *パワーポイントスライドによる英語のプレゼンテーション作成	1 分間英語プレゼンテーション(30%)

### 3. 結果

#### 3.1. アンケート調査

設問①: 今回のクラス分けは本校での過去の英語の成績および課外での英語の能力試験(例:英検取得、TOEIC スコアなど)をもとにしてクラスを作りました。あなたはこのレベルに適していたと思いますか?

図 1 は設問①に関する学生の回答のまとめである。

3 分の 2 以上の学生は割り当てられたレベルは妥当であると答え、13%の学生は割り当てられたクラスは自分の英語力にあっていないと回答した。

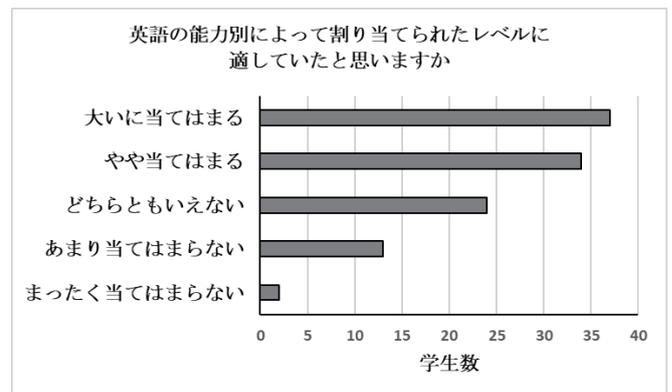


図 1. 英語の能力別によって割り当てられたクラスは適していたか(設問①)に関する学生の回答結果

設問②: 全体的にこの英語のクラスはどれくらい難しかったですか?

図 2 は設問②に関するまとめである。3 分の 1 以上の学生(38 名)は「授業は難しかった」と答え、約 23%の学生は「授業は簡単だった」と答えた。

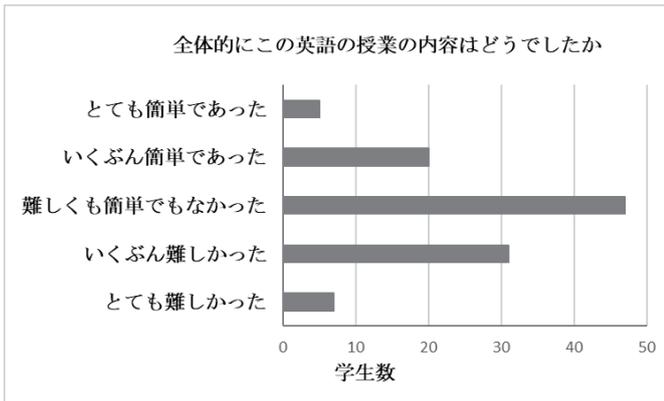


図2. 「全体的にこの英語の授業の内容はどうでしたか」に関する回答のまとめ

設問③：今回の授業ではZ会の「速読英単語（必修編）」を使い、理系関係のトピックで英語を学びました。通常春夏冬学期に使っている英語の検定教科書と比べてどう思いましたか？

この設問に対して43%の学生は好きでもなく嫌いでもないと答えた。約50%の学生は好きであった答え、嫌いだと答えた学生は約7%であった。図3は学生の反応のまとめである。

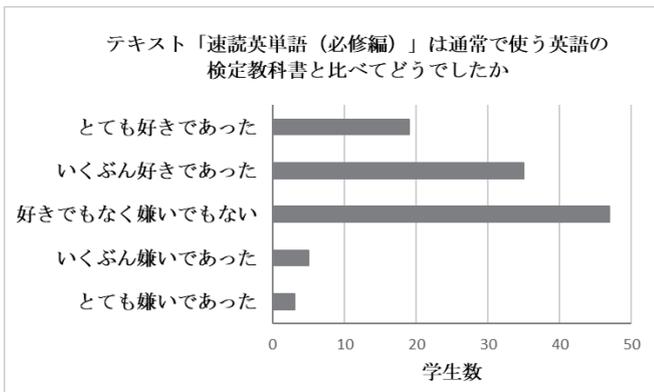


図3. 「テキスト」に関する回答のまとめ

設問④：今回の集中英語演習では英語教員のほかに専門コースの先生も入ってもらいプレゼンテーションの指導をしてもらいました。この形態についてどう思いましたか？

3分の1の学生はこの英語の授業はある意味難しいと答えたものの、約80%の学生は専門コースの教員による英語の授業（英語における体験談や苦労話）は楽しかったと答え、8%の学生は専門コースの教員が英語の授業に関わる形態は好まないと回答した。（図4参照）

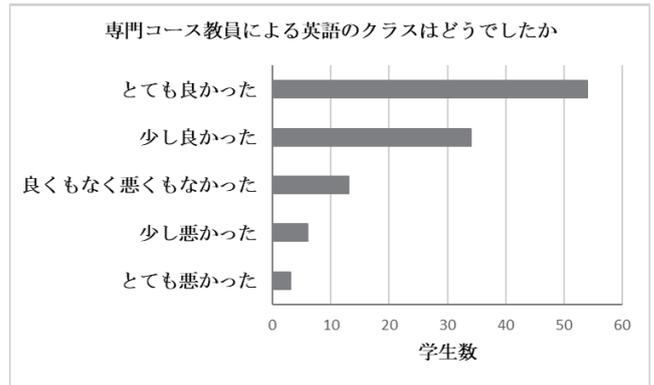


図4. 専門コースの教員による英語の授業についての回答のまとめ

設問⑤：今回の集中英語演習では自主探究の時のような1分プレゼンテーションを英語で作成し発表しました。この課題はどうでしたか？

図5は設問⑤における学生の回答のまとめである。50%以上の学生は英語によるプレゼンテーションはよかったと答えたが、22%の学生はこの課題は悪かったと答えた。

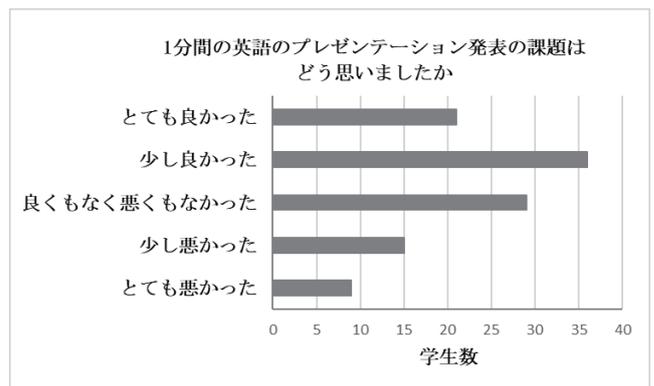


図5. 「この授業における1分間の英語でのプレゼンテーションの課題はどうだったか」に対する回答結果

設問⑥：今回の集中英語演習で学んだことはこれから（または将来に）役に立つと思いますか

この設問に関して80%以上の学生は役に立つと答えたが、4%の学生は役に立たないと答えた。（図6参照）

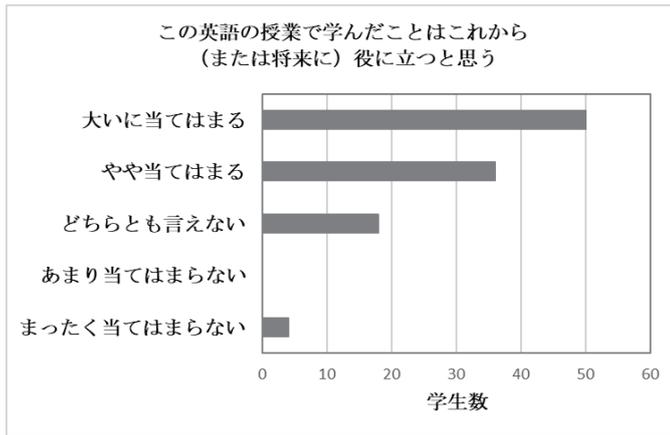


図6. 「この英語の授業で学んだことはこれからの将来に役に立つかどうか」に対する回答結果

### 3.2 成績結果

このコースを受講した学生は全員 60 点以上の成績で合格した。平均点は 88 点(100 点満点中)であり、標準偏差値は±7 点であった。インプットである到達度試験の平均は 86.8 点 (標準偏差: ±9.6 点) であり、アウトプットであるプレゼンテーションの平均スコアは 81.4 (標準偏差: ±7.4 点) であった。

## 4. 考察

長年、日本の大学や工業高等専門学校では英語の授業は専攻・専門授業と切り離して教えることが定番であり、今もその形を残している高等教育機関は多い。また、日本の英語教育の傾向として「完璧な英語」や「間違いが許されない英語」が暗黙の了解で定着し、そのため学生は間違いを回避するために英語を使わない、使わないので上達しない、その一方で英語の授業内容は難しくなり、ますます英語が不得意に・嫌いになるという悪循環が今も根強い状況である<sup>7,8)</sup>。さらに日本のグローバル化に向けて、英語の必要性、それに伴う教育理念や方法論は様々な観点から論じられているものの、実際の教育現場において英語の授業形態を大きく変えることは難しく、従来通りの方法をとっている学校が多い。そのため、現代社会において必要とされている英語力と現実の学生の英語力とはますます乖離が広がっているという状況にある<sup>9)</sup>。高専の学生は、即戦力として企業から期待されているが、残念ながら多くの学生は企業が求める英語レベルに達していないのが事実である。

また、高専のカリキュラムは一般の高校のカリキュラ

ムにある科目のほかに専門の理論および実験実習科目が多く導入されているため、限られた授業時間数で英語授業の時間数を増やすことも現状では難しい。この問題に対応するべく、今回集中英語演習のクラスに各専門コースの教員とコラボをする試みを行った。専門コースの教員に関しては諸外国での英語の論文発表、留学経験、また、グローバル企業経験などの海外経験豊富なエンジニアに参加してもらった。

多くの学生は英語の授業は難しかったが、新しい授業形式での英語の授業を楽しむことができ、将来に役立つものを学んだとアンケート調査で回答した。オープンノートでは、特に、コースを超えてさまざまなプロフェッショナルのエンジニア(専門コースの教員)から英語に関する講義が聞けたことは、貴重な体験であり、普段聞けない話や役に立つ情報であり、英語が苦手な先生の苦勞談や英語と向き合う姿勢を聞いて励みになったと回答した学生もいた。学生にとっては専門コースの教員たちの経験は将来の学生自身の姿であり、身近に感じたようである。また、一部の学生はこのクラスにより英語に対するスタンスが変わった—それは英語をツールとして身近にとらえるようになり、また英語の重要性を再確認し、もっとうまくになりたい・ならなければならないというモチベーションアップにもつながったとオープンノートで述べていた。

この集中英語演習に関する否定的な意見として、同時期に自主探究を進めなければならない、多くの学生にとっては授業と自主探究とのバランスをとるのが大変だったという回答が目立った。また一部の学生は「英語の授業にもっとアクティブな英会話をとり入れてほしいかった」、「もっと英語表現や idiom を学びたかった」、「英語でのプレゼンテーションを 1 分間ではなくもっと長いものにしてほしいかった」というリクエスト・コメントも寄せられた。

このコースを準備するにあたって専門コースの教員、英語教員、そして教務系の職員と多くの時間を費やして話し合い、何回も校正して、今回の形となった。専攻学部での英語の授業は通常、英語教員がエンジニア学部やコース(学部、学科の専門課程)に入って英語を教えることが多く<sup>10)</sup>、今回のようなエンジニアが英語の授業に参加することはまれである。そのため専門コースの教員にとっては当初自分たちが英語の授業に参加するということに違和感や「何を教えるのか」といふまどいを感じている教員も多かった。授業をコラボするにあたって英語教員にとっては専門コースの教員の意見や英語に対するスタンスを把握し寄り添うことが重要である。また、英語教員は新しい形の英語の授業を作り上げるにあたって柔

軟に、かつクリエイティブに考えることが必要である。さらにコースの目標、専門教員の役割、この講義における存在理由、インストラクションなどをなるべく具体化し、対話し、理解し合うことがコラボレーションをスムーズに進めていく鍵といえよう。

10) Astrid, R.V., Obrja-Alarcon, I., and Lopez-Vega, A (2018). Challenge of the English teacher in the engineering faculty. English language teaching: 11(2) 149-155.

(原稿受付：2020年11月2日)

## 謝辞

アンケート調査に協力してくれた1～3学年の学生に感謝する。

## 参考文献

- 1) The Institute of International Business Communication (IIBC) (2019) TOEIC program Data and Analysis. Tokyo: IIBC.  
[https://www.iibc-global.org/library/default/toEIC/official\\_data/pdf/DAA.pdf](https://www.iibc-global.org/library/default/toEIC/official_data/pdf/DAA.pdf).
- 2) Kameyama, T. (2010). The Situation and Perspective of English Language Education at College of Technology. J. of JSEE 58:28-31.
- 3) Matsumoto H, Keith, B. & Sampson, R. (2016). Investigating industry's needs for English. Retrieve  
<http://www.eeic.or.kr/files/report/3D08.pdf>
- 4) The Institute of International Business Communication (IIBC). (2013). 「上場企業における英語活用実態調査報告書」 Tokyo: IIBC.  
[https://www.iibcglobal.org/library/default/toEIC/official\\_data/Ir/katsuyo\\_2013/pdf/katsuyo\\_2013.pdf](https://www.iibcglobal.org/library/default/toEIC/official_data/Ir/katsuyo_2013/pdf/katsuyo_2013.pdf)
- 5) 岩田京子. (2010). 企業内英語教育と現状. Japan society for the study of vocational and technical education  
[https://www.jstage.jst.go.jp/article/jssvte/41/2/41\\_KJ00008920287/\\_pdf/-char/ja](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jssvte/41/2/41_KJ00008920287/_pdf/-char/ja)
- 6) 風早寛(2018). 速読英単語: Vocabulary Building X Rapid Reading. 改訂第7版 三島: Z-kai
- 7) JapanToday (2012) Why are Japanese so bad at English?  
<https://japantoday.com/category/features/opinions/why-are-japanese-so-bad-at-english>
- 8) Tsubota-Newell, I. (2017). Why do Japanese have trouble learning in English?  
<https://www.japantimes.co.jp/opinion/2017/10/29/commentary/japan-commentary/japanese-trouble-learning-english/#.Xnc3dIgzBIU>
- 9) 山本崇雄 (2019). 教えない授業の始め方. 東京: アルク出版.
- 10) Astrid, R.V., Obrja-Alarcon, I., and Lopez-Vega, A (2018). Challenge of the English teacher in the engineering faculty. English language teaching: 11(2) 149-155.



## 中国への海外研修について

郭 福会\*・沢村 利洋\*・武尾 文雄\*・阿部 恵\*\*

About the Overseas Training to China

Fuhui GUO, Toshihiro SAWAMURA, Fumio TAKEO, Megumi ABE

\* 産業システム工学科 機械システムデザインコース

\*\*産業システム工学科 総合科学教育科

**Keywords :** English communication, different cultures, overseas training, china

### 1. はじめに

産業・経済・技術の分野において、中国と日本は切り離すことができない重要なパートナーであり、特に若い世代は歴史や文化、教育、キャリアプランなどについて相互に理解を深める交流が必要である。また日本を始めとする企業の多くは製造部門の海外移住を進めてきており、進出先の中心となってきた中国の海外企業の現状を知ることは、学生のキャリアプラン形成に有益である。

そこで本校の機械システムデザインコースでは、中国の大連、蘭州、上海の大学や企業等との交流について模索しており、平成 25 年度には大連交通大学、大連理工大学、蘭州職業技術学院が本校を訪問し、交流に向けた話し合いを行った。特に大連交通大学および大連理工大学との間では、具体的な交流内容について情報交換するに至った。専攻科 1 年生を対象として、H26 年度 4 名、H27 年度 7 名、H28 年度 6 名、H29 年度 3 名、H30 年度 3 名、H31 年度 1 名、計 24 名を中国に研修させた。こちらの研修には 10 日間体験研修と 1 ヶ月課題研修の 2 つタイプがある。

本稿では、実施内容及び学生感想から中国研修について述べる。

### 2. 10 日間体験研修

#### 2.1 研修目的

(1) 中国の工学系大学生の現状(学校生活、将来の志向、日常生活、若者文化など)を聞き、また自分たちの現状を伝えることによって相互理解を深める。同時に英語によるコミュニケーション力を高める。

(2) 中国に進出した海外企業の現状を視察し、他の東南アジア諸国も含めた海外へ製造部門を移出する企業の状況を把握して自分のキャリアプラン形成に生かす。

(3) 中国の歴史と文化、および中国における大連の位置づけと大連の歴史、文化、産業などについて理解を深める。

#### 2.2 研修内容

研修を遂行するため、事前研修と事後学内海外研修報告会の発表を加えた。事前研修は海外研修の心構え・注意事項の説明、研修先に関する勉強会と日本での学校生活・日常生活・日本文化歴史に関する英語コミュニケーションの準備を行った。

研修時期は向う大学の授業スケジュールに合わせ、毎年 10 月中旬あたり 10 日間ぐらいで行った。具代的な内容は以下のとおりである。

##### (1) 大連交通大学研修

大連交通大学は 1956 年創立され、機械工程・材料科学工程・電子情報工程・土木工学など 51 専攻が設置され、学生 19000 人がいる総合大学である。研修するとき、交通大学の機械工程学院の英語クラスの 3 年生あるいは 4 年生と一緒に行動する。このクラスの学生には英語レベルが高く、授業がすべて英語で行っている。一日目は高専学生一人と交通大学の学生数人で 1 つグループに結成し、大連自然博物館・大連現代歴史博物館・ロシア風情町を見学する。二日目午前には、専門科目の授業を受講すると電工実験を行う。実験するとき高専学生と英語クラス学生とペアにする。午後には最初機械工程学院の施設を見学する。次は歓迎会と交流会を行う。大連交通大学の学生と一緒に行動したため、中国の大学生の学校生活と個人の考え方などの理解を深めた。また、英語で授業を受けたり、会話したりして、英語コミュニケーション力を高めた。特に、大連自然博物館・大連現代歴史博物館・ロシア風情町の見学を通して、昔から日本と大連の強いつながりがあったことの理解を深めた。



写真グループ1 大連交通大学研修

## (2) 大連理工大学研修

大連理工大学は1949年創立され、工学・理学・医学・農学・法学・教育学など12分野77専攻が設置され、学生34000人がいる高レベル総合大学である。見学先は機械工程学院の実験室と実習工場である。見学の後は大連理工大学の学生と交流会を行う。施設、研究分野の紹介を通して、高いレベル大学の特徴などの理解を深めた。



写真グループ2 大連理工大学研修

## (3) 大連帝国キャンドモータポンプ有限公司研修

該会社は1994年設立され、日本株式会社帝国電機製作所が運営する中国独資企業である。社員450人中、日本人3人しかいない。年間生産量2万台の世界最大のキャンドモータポンプ製造メーカーとして活躍している。研修は工場見学と懇談会を行う。日本海外企業の事情や、海外で仕事するときの生活、心構えなどの理解を深めた。



写真グループ3 大連帝国キャンドモータポンプ有限公司研修

## (4) 天津威猛機械製造有限公司研修

該会社2012年設立され、アメリカ威猛会社が運営する中国独資企業である。バイオマスグラインダー、木材破砕機、ロールペーラ、露天高山掘削機、水平ボーリングマシンなどの塗装、組立及び販売するメーカーである。研

修は工場見学と懇談会を行う。中国での外資企業には高い技術力と管理方法がないと成り立たないことを改めて認識した。



写真グループ4 天津威猛機械製造有限公司研修

## (5) 故宮・天壇・頤和園・万里の長城の見学

これらの中国の歴史、文化を代表する世界遺産を見学し、中国の歴史と文化の理解を深めた。



写真グループ5 故宮・天壇・頤和園・万里の長城

## 2.3 学生の研修感想

大学の学生の人たちとは、英語で会話することが出来たが、大学の先生や企業の方とは英語で会話することが出来なかったので、自分の英語力のなさが良くわかる研修であった。したがって、日本に帰った後からは、今まで以上に英語の勉強に力を入れていこうと思った。中国の文化については、歴史的なものに多く触れることが出来た。環境的な面で少し残念に感じたこともあったが、歴史があるものを多くみることが出来たことは自分にとって初めてであったのでとても新鮮に感じた。(学生A)

交通大学の学生は英語力がとても高く、私がわからない単語は違う単語に置き換えて話してくれるなどの気遣いをしていただいた。自分の英語力の低さを痛感する一日であった。(学生B)

大連現代博物館では大連及び旅順について、ロシアや日本の占領時代から発展期、そして現在までの歴史を学んだ。(学生C)

寝台列車で北京へ向かいました。列車の乗客の中に、日本語を勉強している女性がいました。彼女は日本で数か月働いていたようで、日本語を話せました。数か月しか滞在していなかったのに、会話にほとんど支障がないほど上手でした。彼女を見習って私も英語の勉強に励み

たいと思います。(学生 D)

今回の研修では、中国の企業・大学の状況、文化について学ぶことができた。日本との相違点や共通点を実感できたので、良いところを取り入れ、これからの活動に役立てていきたいと思います。中国滞在時は、英語で会話しなければならないことが多々あり、そのたびに苦戦を強いられました。会話の全てを理解することはできませんでしたが、なんとか意思の疎通を図ることができました。しかし、スムーズに会話することができなかったので、今まで以上に英語の勉強に励みたいと思います。

(学生 E)

責任者(大連帝国キャンドモータポンプ有限公司)の方は5年大連にいる予定で、中には5年にも満たないところで帰ってしまう人もいるらしく、それは言葉の壁や生活文化の違いなどいろいろある。だからこそ、外国語の勉強が今はとても必要であるとおっしゃっていた。使えるといろいろな場面で呼ばれるし自分の幅も広がるし、給与の面でも違う。企業の人からの言葉は非常に重く、まさかこの話をここ中国で聞けるとは思っていなかった。

(学生 F)

文化調査で天安門広場へ行った。一言で表すとすべてが大きい。圧倒されてばかりで、ただただ言葉を失っていた。少しではあるが、中国の歴史を感じることができたし、もっともっと中国を知りたいと思った。しかし、ここでも、ごみを平気に捨てる人、つばを吐く人がいてとても残念な気持ちになった。とても許せなかった。自分の意見としては、もっと建造物の大切さを自覚してほしいと思った。(学生 G)

この10日間は自分にとって、たくさんの刺激と、いかに自分の実力がないかを教えてもらった時間だった。何事も食欲に、満足せず、やり続けることが今の自分課題だと思い、これから精進してこうと思う。(学生 H)

### 3. 1ヶ月課題研修 (H31年度)

この研修は JASSO 奨学金の支援で10月から11月までの間の1ヶ月期間で行われたプロジェクトである。

#### 3.1 研修目的

(1) 英語による工学の専門知識習得と技術の向上を図ると共に、英語の実践的な運用能力とコミュニケーション能力の向上を目指す。

(2) 大学学寮で生活することにより、研究や学習を中国人学生とともにするだけでなく、寮生活や部活動など多様な活動により、中国人学生と日本人学生との交流が促進する。

#### 3.2 研修内容

##### (1) 大型ロボットの設計

1つのモータを使用して、座る動作と立ち上がる動作を実現するため、SolidWorksを用いて図1の犬型ロボットを設計した。

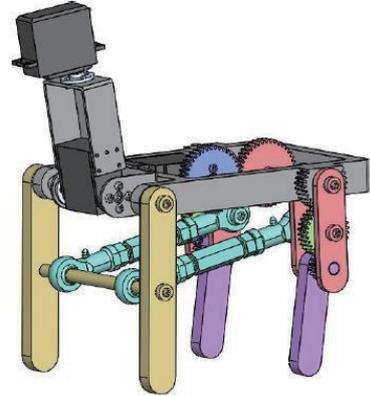


図1. 大型ロボット

##### (2) 応力解析

部品のサイズと強度を最適するため、Analysis Workbenchを用いて応力解析を行った。図2は本体部品の解析条件を示す。図3は解析結果を示す。

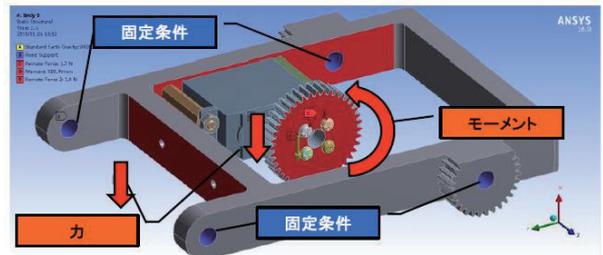


図2. 本体部品の解析条件

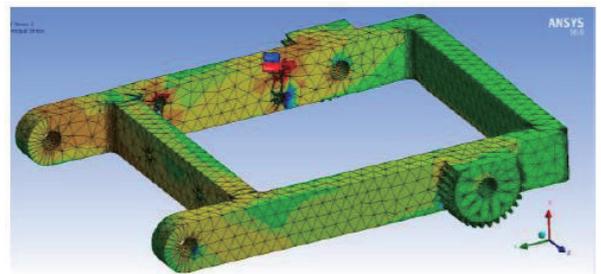


図3. 解析結果

応力解析の結果からモータを支えている孔に応力が集中していることが分かる。また、メッシュのサイズを変更した際の応力値の変化と変形量を図4と図5にした。引張応力は1.5(MPa)、圧縮応力は0.3(MPa)程度の結果が得られた。今回使用している材料の基準強さが41(MPa)で、安全率を4とすれば限界応力は10.25(MPa)となる。

従って、応力には余裕があると判断できる。また変形量の解析については、最大値0.007(mm)と小さい値となった。今回の解析結果から、材料は十分な強さと厚みを持っていることが分かった。

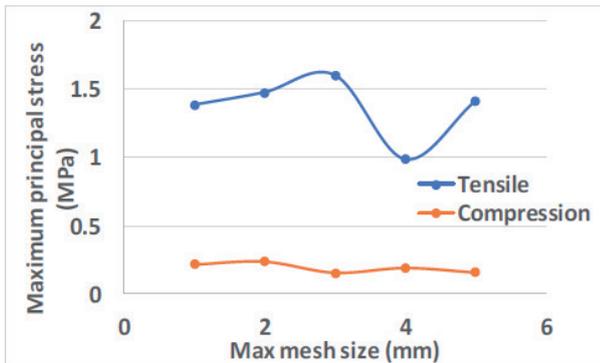


図4. 本体部品の最大主応力

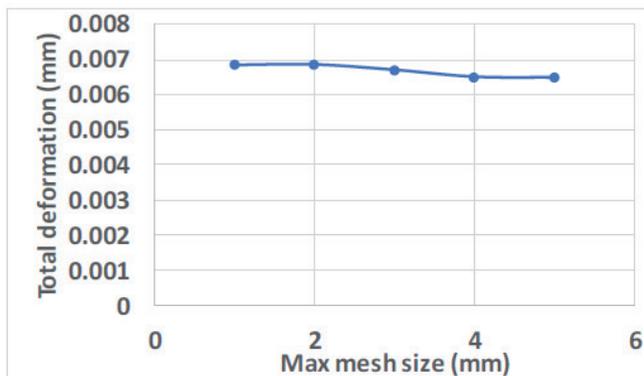


図5. 本体部品の変形量

### (3) UWBを用いた無線通信と距離測定

ロボットにUWBを2つ載せ、対象者にUWBを1つ持たせることで余弦定理により、ロボットに対する対象者の位置の測定を行った。図6はUWBを搭載したロボットを示す。図7はUWBによる距離測定の結果を示す。

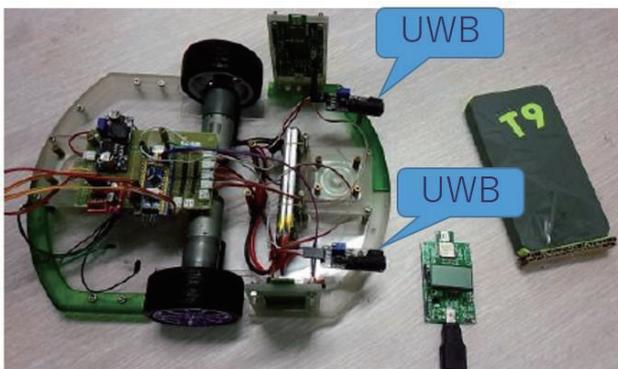


図6. UWBを搭載したロボット

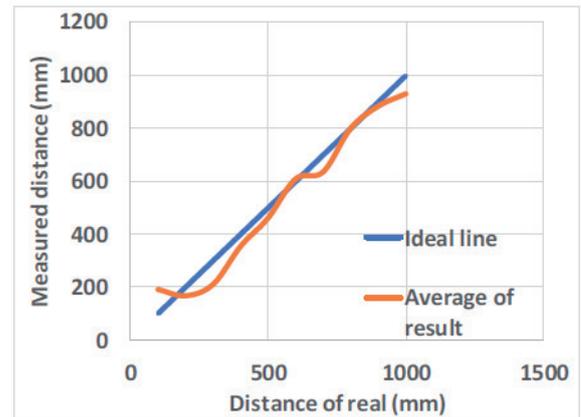


図7. UWBによる距離測定の結果

結果より、100mmから300mmの近距離においては誤差が大きいが、距離が長くなるにつれて誤差が小さくなっていることが分かる。これより、UWBでのロボットの位置制御には300mm以上の間隔をあげる必要があると言える。

### 3.3 学生の研修感想

#### (1) 研究について

応力解析とUWBの知識を得ることができた。応力解析は自分の研究室ではほとんど行わないため、慣れないことで苦勞したが、得られた知識は貴重なものだったと思う。UWBは私の聞いたことのない通信技術で、最近になって使用されはじめた技術であった。調べたところUWBに関する研究を多く行っているのは中国で、研究の進行が日本よりも進んでいるのだと感じた。

#### (2) 英語コミュニケーション能力について

やはり英語での会話になれていないと、相手が何を話しているのか聞き取れないことが何度も。私が英語に慣れてきたのは11月の後半(約20日後)となった。TOEICの勉強も大事であるが、英語での会話をする練習も必要だと思っている。

#### (3) 日常生活について

- ① 中国は日本よりキャッシュレスが普及している。
- ② 中国の飲食店の料理の量が多く、食べきるのが大変である。
- ③ 中国人だけでなく他国の方とも会話した。日本のことよく聞かれ、日本と外国のことをもって知りたい意識が変わった。

### 4. まとめ

こちらの研修の成果を参加した学生たちが学内で英語を用いて発表し、高い評価を得られた。この中国への研修は、日本と中国の学生に対して、お互いに文化、生活習

慣などの理解を深めた。特に日本の学生は肌で体験し、今まで、知らなかった中国の事情への理解を得られた。学生たちの人間的成長、語学学習意欲の向上、英語コミュニケーション能力向上、自国の文化理解力向上、中国にある海外企業の実態理解の向上、専門知識向上などにつながることを期待している。

### 謝辞

中国との交流は本校の校長はじめ、全校教職員のご支援とご協力のできたものである。大連交通大学の何院長、黄先生、譚先生、大連理工大学の騰先生、大連帝国キャンドモーターポンプ有限公司、天津威猛機械製造有限公司のご協力を頂いた。また、1 か月の課題研修にあたって、JASSO 奨学金を頂いた。深く感謝申し上げます。

(原稿受付：2020年11月16日)



# 遠隔授業におけるコンピュータグラフィックス演習環境の試行

細川 靖\*

Trial on Computer Graphics Practice Environment for Remote Class

Yasushi HOSOKAWA

\* 産業システム工学科 電気情報工学コース

**Keywords:** 遠隔授業, C 言語, GSX ライブラリ, Web ブラウザ, グラフィックス, 演習環境, Bit Arrow

## 1. はじめに

コンピュータグラフィックスは、非可視情報の可視化やプレゼンテーション、デザインなど、多くの分野で応用されている。特に、設計製図の観点からコンピュータグラフィックスを捉えるとその基本は、2次元図形、3次元図形の表現の仕方、投影法、隠線処理などに大別できる。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、コンピュータグラフィックスの基礎理論を学び、図1に示すようなC言語でグラフィックス演習を行う授業「コンピュータグラフィックス」を行っており、筆者が授業担当している。この科目は高専WEBシラバス<sup>1)</sup>において、春学期に開講される1単位の専門科目で「製図の観点からのコンピュータグラフィックスの基礎理論を学び、基礎理論をアルゴリズムに展開することを学ぶ。更に、このアルゴリズムをC言語を用い実装する技術について学ぶ。授業は、テーマごとに、理論とプログラミング演習を一体として展開する。」としている。評価方法は到達度試験(70%)、プログラミング演習課題(30%)に基づく。このように評価では演習課題が3割あるため、演習の比重が高い科目になっている。

新型コロナ感染対策のため、本校は令和2年度の春学期が遠隔授業となった。授業の実施は対面授業ではなく、オンラインのブラックボードやストリームを活用してオンデマンドで講義ビデオを視聴したり、講義プリントを郵送しての講義となった。コンピュータグラフィックスは前述の通り、C言語を用いたグラフィックス演習をパソコン室で行っているが、遠隔授業では学生は登校できなくなり、演習できなくなった。また、電気情報工学コースではパソコン室でのC言語演習はLinuxをベースとしたUbuntu上で行っており、学生のログインは校内のパソコン室と図書館のみに限定されていた。そこで、遠隔授業に対応したC言語でのコンピュータグラフィックス

演習環境の構築が急務となった。筆者は、利用可能なWebブラウザ上で動作するC言語プログラミング環境を選定した。また、令和2年度電気情報工学コース第3学年の「コンピュータグラフィックス」にて、これまでの授業で用いてきたグラフィックスライブラリ「GSX」と互換の環境を構築し、遠隔授業と演習を実施した。さらに、講義を受けた学生による演習環境の評価調査を行ったので報告する。

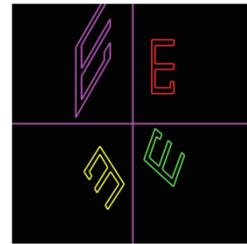


図1 コンピュータグラフィックス演習例

## 2. Web ブラウザで動作するC言語プログラミング環境調査

### 2.1 オンラインプログラミング環境の選定条件

遠隔授業下では学生は自身のPCやスマートフォンでインターネットに接続して授業の動画や資料を閲覧する。電気情報工学コースの第3学年では、大半の学生がインターネット接続されたPCで遠隔授業を受講していた。このため、C言語でプログラミングを行う「コンピュータグラフィックス」ではキーボードで入力するタイピングが多いが、殆どの学生がPCであれば十分演習可能と判断した。PC環境でない学生へは、手書きのプログラミングの写真を撮影して提出するなど可能とした。

遠隔授業下では学生の所有PC環境は様々となるので、ソフトウェアインストールでプログラミング環境を各自が構築するのは困難である。そこで筆者はオンライン

プログラミング環境を選定することとした。筆者が選定した条件は、学生が無償で利用でき、「コンピュータグラフィックス」の演習で活用できる、C 言語でグラフィックスが扱えるオンラインプログラミング環境である。

Web ブラウザ上で C 言語のプログラミングができるフリーのオンラインプログラミング環境はインターネット上に多数存在する。例えば「CodeChef」<sup>2)</sup> や「paiza.io」<sup>3)</sup> などが有名であるが、これらのサイトでは C 言語のプログラミングだけでなく、他の言語にも対応しており、文字ベースのプログラミングを実現する環境ではあるが、グラフィックスには対応していない。本来グラフィックスは OpenGL など外部のライブラリをインストールして実現するものであるため、一般的にオンラインプログラミング環境では対応していない。多数存在するオンラインプログラミング環境を調査し、大阪電気通信大学と東京農工大学と明星大学で共同開発されている「Bit Arrow」<sup>4)</sup> を選定した。

## 2.2 Bit Arrow

図 2 に示す Bit Arrow はもともと高校生向けの JavaScript 学習環境として開発されてきた<sup>5)</sup> もので、Web ブラウザから手軽にプログラミングできる学習環境で現在は、JavaScript/ドリトル/簡易 C/DNCL(どんぐり)/Python に対応している<sup>6)</sup>。サイトにアクセスしてゲストアカウントで手軽に利用できる。また、Bit Arrow は大学のプログラミング授業で利用されており、教員用のアカウントを登録すると、授業で使うクラスの登録、クラスの設定 (パスワード使用・ユーザ自身による登録の可否)、ユーザ登録、が可能となる。対応 OS は Windows, Mac, Linux, iOS (iPhone, iPad), Android で、対応する Web ブラウザは Google Chrome, Internet Explorer (11 以降), Firefox, Safari であるため、殆どの PC 環境やスマートフォンで動作可能である。Bit Arrow は JavaScript の実行が必須なため、学生のトラブルでは Internet Explorer で Web ブラウザに起因するものが多かったため、Google Chrome を推奨した。Bit Arrow で簡易 C 言語を選択すると基礎的な C 言語が利用できる。標準的な scanf や printf も利用可能であるが、getchar が使えないなど一部の C 言語には未対応となっている。「コンピュータグラフィックス」では、ポインタをあまり利用せず、関数や配列など基礎的な C プログラミングで十分演習可能であるため、getchar のみ scanf へ変更することでこれまでの演習課題が殆ど利用できることが分かった。また、簡易 C 言語では、C グラフィックスライブラリがあり、追加の関数を呼び出すことでグラフィックスウインドウに線や四角形、楕円などを描画できる。また、キーボードのキー判定も可能である。



図 2 Bit Arrow トップページ

## 3. Bit Arrow の授業利用

### 3.1 授業の内容

演習課題は c01 から c10 までの 10 個である。授業学習の範囲は、グラフィックスライブラリ基礎、2次元と3次元の図形変換、投影法である。その項目を以下に示す。

- ・コンピュータグラフィックス概論、2次元図形とデータ表現
- ・原点を基準とする図形の変換、変換行列、プログラミング演習
- ・任意点を基準とする図形の変換、変換行列、プログラミング演習
- ・3次元図形とデータ表現、変換行列、プログラミング演習
- ・ワイヤーフレームモデルとデータ表現
- ・平行投影、正投影、軸測投影、プログラミング演習
- ・立体の隠れ面の判定、プログラミング演習

### 3.2 Bit Arrow の学生利用

クラスの学生アカウントは筆者により作成済みで、例えば出席番号の1番のアカウント例は E3-01 である。現在はパスワード無し (Enter) でログインできるが、教員側からパスワード設定が可能である。以下の URL をブラウザに入力して、Bit Arrow にログインする。

<https://bitarrow.eplang.jp/bitarrow/?Login/form>

すると、図 3 に示すログイン画面になるので、クラス ID 名の HachinoheKosenR2E3CG を入力し、ユーザ名は E3-01 (01 のところは学生の出席番号) を入力し「OK」でログインする。すると、図 4 に示す個人ページ画面になるので、「新規プロジェクト」をクリックし「プロジェクト名」を入力する。例えば「e3work」とする、プログラミング言語は「C」とする。「OK」を押す。次に、メニューの「ファイル」→「新規」で

## Bit Arrow ログイン

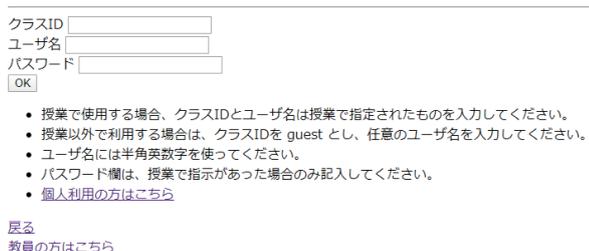


図3 Bit Arrow ログインページ



図4 Bit Arrow 個人ページ

ファイル名を付ける。たとえば課題 c01 だとすれば、「c01-01」と入力し「OK」を押す。すると、図5のエディタ画面が表示される。Bit Arrow メニューは「Bit Arrow」（ログイントップへ戻る）、「ファイル」（新規作成）、「実行」（コンパイルしないプログラム実行）、「保存」（ファイル保存）、「使用方法」（使い方の説明）である。

例として、次のサンプルプログラムをエディタ部分に入力し、「実行」を押すとプログラム実行され、新しく「実行画面ダイアログ」のウィンドウが開き、実行結果が表示される。scanf などキーボード入力の場合には入力欄が表示される。もしエラーの場合にはエラー画面が出るので、修正を行う。「閉じる」で「実行画面ダイアログ」が閉じる。

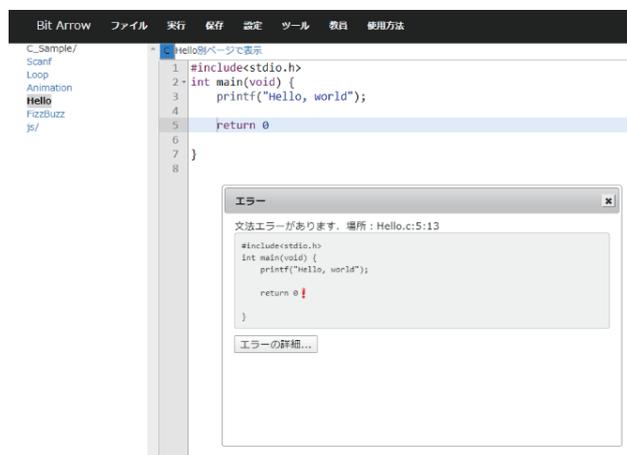


図5 Bit Arrow エディタページ

\* サンプルプログラム

```
#include<x.h>
int main () {
    int x,y;
    drawGrid();//グリッド線の描画
    setColor(255,0,0);//描画色の設定
    x=30; y=50;
    while (x<300) {
        clear();//画面消去
        fillRect(x,y , 50, 50);//四角形の描画
        x+=2;
        update();//待機
    }
}
```

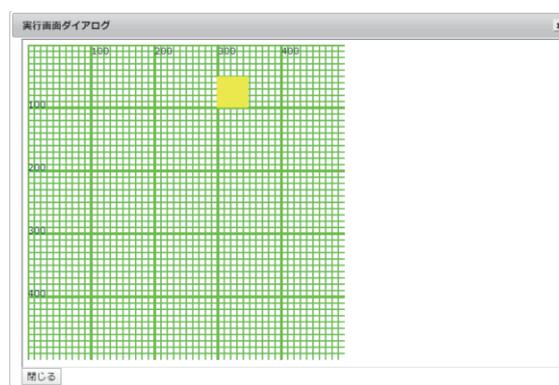


図6 Bit Arrow 実行画面ダイアログ例

### 3.3 Bit Arrow の教員側利用

Bit Arrow は学生が実行する度にログを記録している。このログの状況を表示することで、エラーに苦しんでいる学生や手が止まっている学生を発見することができる。教員用アカウントでログイン後に、クラス管理画面に移動し、「ユーザの状況一覧」というリンクを選択すると、図7に示す状況を確認するための画面が表示される。表示ログは、最近10分間、30分間、60分間、90分間から選択でき、それ以外にも任意の期間を設定できる。「自動再読み込みをする」をクリックしておくと、自動でリロードし、最新の状態を見ることができる。

図8に示すように画面下部には表があり、各ユーザ毎ID、実行数のうちにエラーの占める割合、最後に実行してから経過した時間、最後に実行したファイル名、実行結果の履歴を見ることができる。実行結果の履歴にはR、E、Sが表示され、Rは実行を、Eはエラーを、Sはセーブを意味する。RやEをクリックすると、その時のプログラム内容を確認できる。また、「実行してみる」というリンクをクリックすることで、教員アカウントでそのプログラムを実行して動作を確認することが可能となって

いる。これらの機能により、遠隔でも学生個人毎のプログラミング演習の支援が可能である。その例として、図 9 には、E3-04 の学生のエラープログラムを開いた例を、図 10 にはそのプログラムを実行した例を示す。エラーメッセージが出ていて、プログラムミスを確認できることがわかる。

[クラス管理に戻る](#)

## HachinoheKosenR2E3CG - ユーザー一覧



[タイムラインを別画面で見ると](#)

図 7 Bit Arrow 教員用ユーザの状況一覧ページ上段

ユーザID	エラー-実行	実行からの経過時間	今実行しているファイル	実行結果履歴
E3-01	0/3(0%)	01:51:47	C_Sample/Animabon.c	RRR
E3-02	0/7(0%)	01:38:08	C_Sample/Animabon.c	RRRRRRR
E3-03	0/1(0%)	01:43:29	C_Sample/Animabon.c	R
E3-04	6/59(10%)	01:46:24	C_Sample/Hello.c	SSSEERRRS
E3-05	0/0(-%)	---		
E3-06	0/5(0%)	01:35:29	C_Sample/Animabon.c	RRRRR

図 8 Bit Arrow 教員用ユーザの状況一覧ページ下段



図 9 E3-04 の学生のエラープログラムを開いた例



図 10 E3-04 の学生のエラープログラムを実行した例

## 4. Bit Arrow GSX の開発

### 4.1 GSX

岩手大学で開発された GSX とは Graphics Subroutines for X-Window の略で、Ubuntu の XWindow 上で動作する C 言語のグラフィックスライブラリである。「コンピュータグラフィックス」の演習では、この GSX の命令のうち、以下のみを組み合わせて実現する。

- GSXOpen( t, x, y); x,y ピクセルのウィンドウを開く
- GSXScale( x1, y1, x2, y2); 四すみの座標の定義
- GSXPset( x1, y1); カレントポジションの設定
- GSXColor( n ); カレントカラーの設定
- GSXFlush(); GSX の命令を画面に描く
- GSXClose( t ); ウィンドウを閉じる
- GSXDraw( x2, y2); 次の座標までの直線を描画
- GSXLine( x1, y1, x2, y2); 始点終点間を直線描画

以下のプログラムは、GSX でリサージュ図形を描く例である。

```

/* CG 資料 --- */
#include <stdio.h>
#include <math.h>
#include "gsx.h"

void main()
{
    float t, x, y;
    GSXOpen(0, 640, 400);
    GSXScale(-3.2, -2, 3.2, 2);
    GSXPset(1, 0);
    GSXColor(4);
    for(t=0; t<6.3; t+=0.001) {
        x = cos(7*t);
        y = sin(5*t);
        GSXDraw(x, y);
    }
    GSXFlush();
    getchar();
    GSXClose(0);
}

```

### 4.2 Bit Arrow GSX の開発

Bit Arrow の簡易 C ではグラフィックス機能があるが、GSX とは命令が異なっている。そのまま Bit Arrow でグラフィックス演習を行うと、命令を Bit Arrow 用に書き換える必要がある。遠隔授業が終了すれば対面授業となり、パソコン室での演習に戻れば GSX を利用することになる。これでは学生の演習が統一してできない問題がある。そこで、筆者は演習のプログラム c01~c10 は GSX を利用したままにして、Bit Arrow 上で GSX の命令が実行

可能な関数群を開発し、これを利用することで、Bit Arrow 上でも GSX にソースコード互換となる環境を検討した。その結果、4.1 の GSX 命令群はウィンドウサイズが 500 x 500 ピクセル固定となる以外は実現可能であることを確認した。また getchar については、Bit Arrow の簡易 C では対応していないので、scanf にて対応することとした。

Bit Arrow ではウィンドウ左上隅が座標(0,0)となり右下隅が(500,500)となる座標系である。これに対し GSX ではウィンドウ左下隅が(0,0)、ウィンドウ右上が(500,500)となる座標系である。このため座標系の変換を行う関数を作成した。以下に開発した Bit Arrow GSX の例としてその抜粋を示す。学生は筆者から提供する Bit Arrow GSX サンプルプログラムを基にして、サンプル部分を自身の GSX プログラムを書き換えて Bit Arrow 上でプログラミングすることで、Bit Arrow GSX を利用できる。

```
//==== GSX trans v3 by yas. =====
int GSXOpen( int t, int wx, int wy )
{
    setColor(0, 0, 0);//描画色の設定
    fillRect(0, 0, 500, 500);//四角形の描画 画面は 500 x
    500 ピクセル固定
    setColor(255, 0, 255);//描画色の設定 初期値 紫 追加
    setLineWidth( 1+0 );//線の太さを設定。初期値は1 強調
    は+3
    setPen(0,500);//カレントポジション (0,0) Add v3
    setTextSize( 8 );//テキストサイズ 8point Add v3
    return 0;
}
//====
int GSXPset( float gx1, float gy1 )
{
    //==scale trans -> gsx window
    gx1 = gx1 * 500.0 / ( gsx_s_x2 - gsx_s_x1 ) + ( -
    gsx_s_x1 ) * 500.0 / ( gsx_s_x2 - gsx_s_x1 );
    gy1 = gy1 * 500.0 / ( gsx_s_y2 - gsx_s_y1 ) + ( -
    gsx_s_y1 ) * 500.0 / ( gsx_s_y2 - gsx_s_y1 );
    //== gsx window trans -> bit arrow
    gsx_x = gx1;
    gsx_y = 500 - gy1;
    // current copy
    gsx_cx = gsx_x;
    gsx_cy = gsx_y;
    drawLine((int)gsx_x, (int)gsx_y, (int)gsx_x + 1 ,
    (int)gsx_y + 1 );
    return 0;
}
```

## 5. 演習例とアンケート結果

### 5.1 演習例

演習課題は c01 から c10 までの 10 個であるが、その

中で c04 の例を図 11 に示す。これは原図・平行移動・回転・X 軸対称・Y 軸対称・原点对称の図形をオリジナルの非対称図形で表示する課題である。この学生はギターの形状をモチーフとしているのが分かる。

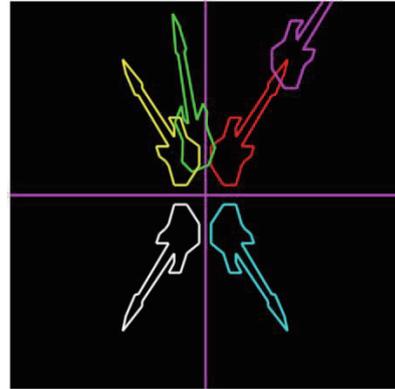


図 11 c04 学生演習例：ギター

### 5.2 アンケート調査結果

BitArrow について筆者が想定した演習環境であったか確認するため、利用のしやすさ、操作性、GSX との互換性など評価を行うため、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、以下にその調査項目を示す。図 12 にアンケート調査結果のグラフを示す。各問いの平均値を示しており、緑は 4.0 以上の高評価である。

- 1) BitArrow はプログラミングしやすかったか？
- 2) BitArrow は操作が簡単だったか？
- 3) BitArrow 演習をよく取り組んだか？
- 4) BitArrow は先生のアドバイスが多かったか？
- 5) 使い慣れた GSX が使えたのはよかったですか？
- 6) 遠隔授業になったら BitArrow を使いたいのか？
- 7) 通常の演習でも BitArrow を使いたいと思うか？
- 8) 問 1～問 7 の平均値

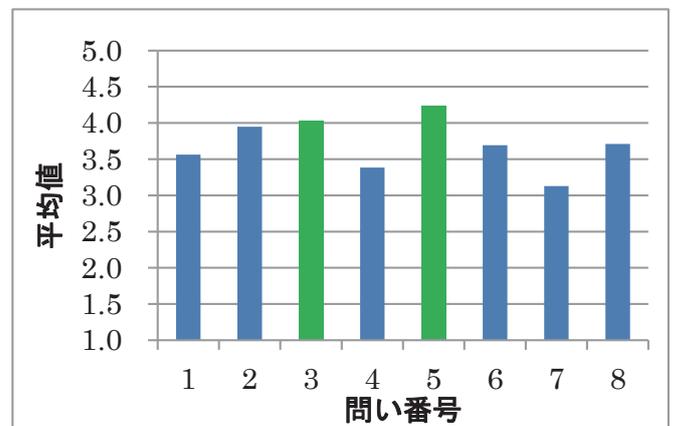


図 12 R2 電気 3 年 Bit Arrow アンケート調査結果

これらの結果を見ると、問い2の **BitArrow** 操作、問い3の演習をよく取り組んだがほぼ 4.0 と肯定的価であった。また問い5の **GSX** が使えたのはよかったか、は 4.2 で最も評価が高かった。これまで使ってきた **GSX** のプログラムを遠隔授業でもそのまま使えたことに学生が満足していることが分かった。問い1~7 質問項目全体平均も 3.7 と高い結果となった。

パソコン室 **Ubuntu** に比べ **Bit Arrow** の良いと思うところも調査したところ、演習がネット上なので家でできるのがいいことが 92.3%と最も高く、次いでパソコン室に行かなくていいことが 66%、インストールしなくていいことが 61%であった。これらのことが学生にとって **Bit Arrow** の利点であると考えられる。また自由記述では、「自分のパソコンでできるのがいい」や、「遠隔でやるなら非常に良い」、「過去のプログラムを参照しながら学習できたのがいい」など肯定的な意見感想が多かった。しかし、「エラーの表示をしっかりとしてほしい」や「**Ubuntu** でコンパイルできても **BitArrow** 上でできない処理があったり、エラー文が出ないのでわかりづらいうところが気になった」など、コンパイルエラー表示など、パソコン室に比べ不十分な点も明らかになった。

## 6. まとめ

本研究では、時間が不足し大変困難であったが、遠隔授業資料やコンテンツ作成をしながら、演習環境開発を行った。電気情報工学コースの「コンピュータグラフィックス」での遠隔授業演習環境として、**Bit Arrow** を採用し、**GSX** 互換となる関数群を作成することで、パソコン室での演習と同一のソースプログラムとなる演習環境を構築した。また、実際に遠隔授業となった、令和2年度の春学期電気情報工学コース第3学年のコンピュータグラフィックス演習課題 c01~c10 の演習環境として利用できた。学生に行ったアンケート調査では **Bit Arrow** は家でできるのが高評価で、使い慣れた **GSX** がそのまま利用できたのが良かったと答えており、**GSX** ソースコード互換としたことにより学生側の満足が高い結果となった。

今後は、簡単なゲームなど学生が興味を持つサンプルプログラムや対応する **GSX** 命令の追加を行いたい。また、プログラミング授業を行っている第1学年や第2学年へも **Bit Arrow** 演習を推進し、新型コロナウイルスの感染状況によって再度遠隔授業となった場合にも対応できるように、開発を続けたいと考えている。

## 謝 辞

**Bit Arrow** を開発してサーバを一般利用公開されている、東

京農工大学長嶋和平氏をはじめとする **Bit Arrow** 共同研究グループの皆様へ深く感謝致します。皆様の研究成果 **Bit Arrow** を利用することで、遠隔授業下でのグラフィックス演習が実現できました。コロナ禍の中サーバ運営されている先生方へは感謝しかありません。また、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へ感謝致します。

## 参 考 文 献

- 1) 1) 高専 WEB シラバス八戸工業高等専門学校, [https://syllabus.kosen-k.go.jp/Pages/PublicDepartments?school\\_id=05](https://syllabus.kosen-k.go.jp/Pages/PublicDepartments?school_id=05) (2020).
- 2) CodeChef 公式ウェブサイト, <https://www.codechef.com/ide> (2020).
- 3) paiza.io 公式ウェブサイト, <https://www.codechef.com/ide> (2020).
- 4) Bit Arrow 公式ウェブサイト, <https://bitarrow.eplang.jp/> (2020).
- 5) 長島 和平, 長 慎也, 間辺 広樹, 並木 美太郎, 兼宗 進:JSLesson - 高校生向け JavaScript 学習環境, 情報処理学会研究報告コンピュータと教育 (CE),2016-CE-134(16),pp.1-9 (2016).
- 6) 長 慎也, 長島 和平, 堀越 将之, 兼宗 進, 並木 美太郎:オンラインプログラミング環境 Bit Arrow を用いた C 言語プログラミングの授業実践, 情報教育シンポジウム論文集,2017(17),121-128 (2017).

(原稿受付: 2020年12月5日)

## 化学の学校 ～初のオンライン開催にむけて～

福松嵩博\*・新井宏忠\*・松本克才\*・長谷川章\*・齊藤貴之\*・菊地康昭\*\*・佐藤久美子\*・本間哲雄\*・山本歩\*・門磨義浩\*・川口恵未\*・千葉憲一\*\*\*・中村重人\*・佐々木有\*\*\*\*

“Kagaku no Gakkou” on the Web

Takahiro FUKUMATSU\*, Hirotsada ARAI\*, Katsutoshi MATSUMOTO\*, Akira HASEGAWA\*, Takayuki SAITO\*, Yasuaki KIKUCHI\*\*, Kumiko SATO\*, Tetsuo HONMA\*, Ayumi YAMAMOTO\*, Yoshihiro KADOMA\*, Satomi KAWAGUCHI\*, Kenichi CHIBA\*\*\*, Shigeto NAKAMURA\*, Yu SASAKI\*\*\*\*.

\*マテリアル・バイオ工学コース

\*\* 総合科学教育科

\*\*\* 教育研究支援センター

\*\*\*\*非常勤講師

**Abstract** : “Kagaku no Gakkou” is one of the open lectures held in National Institute of Technology, Hachinohe Collage. This year, “Kagaku no Gakkou” was held on the Web for the first time because of COVID-19. In this report, we introduce our efforts to hold this open lecture on the Web and the number of current views.

**Keyword** : 化学の学校、オンライン開催

### 1. はじめに

八戸工業高等専門学校では、平成 11 年から『化学の学校』という地域住民に向けた公開講座を行ってきた。これは「大学等地域開放特別事業(大学子ども開放プラン)」に採択されたのに始まり、今年で 22 年目の開催となる。平成 14 年に学校週 5 日制が導入されるのを見越し、完全休日となる土曜日に、地域の子供たちを受け入れる場所・機会を提供することが化学の学校の当初の目的であった。現在では中学生の理科離れへの対策、中学教員との交流、本校の増募対策など、当初の目的を超えたさまざまな役割を果たしている。

化学の学校は、10 以上あるテーマの中から事前に自分の受講したいテーマを選んでもらい、講師と共に実験をする体験学習型の公開講座である。自分で化学実験をすることで、化学を楽しく、そして身近に感じてもらうことができる場所であり、参加者に実施しているアンケートでは毎年高い満足度を示す結果となっている。また、平成 28 年以降、開催日数を 1 日から 2 日に変えたことで、参加する中学生数も大幅に増加した。

一方、本年度は COVID-19 の影響により、対面方式での化学の学校の開催が困難なものとなったため、Web 上での化学の学校の開催を試みた。また、令和 2 年度には、高等専門学校の設置基準が改正され、オンライン授業で取得できる単位は 60 単位となるため、中学生にはオンラ

イン授業に慣れてもらうことも目指した<sup>1)</sup>。本稿では、オンラインでの化学の学校の開催にかかる準備、および現段階での再生回数について報告する。

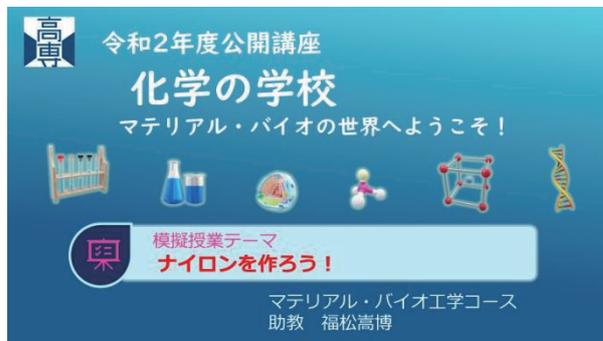


図 1. 公開した動画コンテンツの一例

### 2. 開催に向けた準備

化学の学校は高専にとって、化学実験を体験できる場所の提供であると同時に、中学生に高専をアピールする絶好の機会でもある。そのため、中学 3 年生の進路がまだ決まっていない時期での開催を目指し、コンテンツの作成に取り掛かった。一方、開催の告知に関しては、各中学校へのポスターの配布、一日体験入学や八戸高専 HP 上で行うなど、例年通りに行った。

Web 版の化学の学校では、各テーマの実験の様子を撮



図 2. 令和2年度の化学の学校のポスター

影し、オンライン上に公開する形となっている。各テーマ、実験の様子を撮影した部分と、その実験の説明部分からなっており、実験部分はビデオカメラを用いて撮影され、編集ソフトを用いてコンテンツの作成している。一方、実験説明の部分は主にパワーポイントを用いて作成されており、遠隔授業期間の授業コンテンツを作成する手法を活用した。先に説明スライドを作成し、後からスライドに音声を後から吹き込むことで動画コンテンツとした。実験動画部分に関しても同様に後から音声を吹き込むことができるため、実験をしながら説明をする必要はない。今回、9つのテーマについて20分前後のコンテンツを作成しYouTubeに公開した。また、学生実験の風景や遠隔授業時の授業コンテンツも併せて公開した。

### 3. 結果と現状について

8月下旬に最初のコンテンツを配信後、一週間ごとの配信を目安として、8月から10月の間に10個の動画コンテンツを配信した。化学の学校の開催決定が7月上旬であったため、急ピッチでの準備が求められたが、遠隔期間中の授業コンテンツの作成方法を応用できたため、

表 1. テーマ、公開日時、再生回数(R2/11/29 時点)

テーマ	公開日時	再生回数
酸化還元化学～鉛の錬金術～	8/19	151
模擬授業（化学V 有機化合物と人間生活）	8/22	175
色素を分離してみよう～ニンジンとホウレン草の色素～	8/31	104
実験風景（分析化学実験 第3 属陽イオンの分離確認）	9/2	214
金のしおりをつくってみよう！	9/4	49
ナイロンを作ろう	9/7	51
手作り鏡を作ろう	9/9	60
染色体を観察してみよう	9/23	39
分子模型で遊ぼう	9/25	50
液晶温度計を作ってみよう	10/8	69
野菜の抗酸化力を調べてみよう！	10/20	52

比較的スムーズに準備することができた。

オンライン上に公開してから2～3カ月経過した段階での動画再生回数を表1にまとめた。各テーマ、50回前後の再生回数を記録しており、再生回数が多いものでは150回以上を記録している。例年の化学の学校では、各テーマの受け入れ人数が10人弱であり、1日2テーマしか体験ができないことを考えると、多くの人にさまざまな化学実験に触れる機会を提供することができたと考えられる。無論、オンライン上では化学実験を実際に体験できないが、化学実験の楽しさを広めるという点では有効な方法であると考えられる。

また、実験動画に比べ、授業動画、学生実験の風景動画の再生回数が特に多いことが確認できる。この二つは、高専で実際に行われている授業、学生実験を見ることができるとなっている。このことから、中学生にとって化学実験に触れる機会だけでなく、高専そのものを知る機会として認識されていることが示唆された。動画コンテンツにアンケート機能を付けていないため、現時点での満足度の評価はできていないが、令和3年度の入学生に対し何らかの形でアンケートを行う予定である。

### 4. まとめ

今回、本校初となるオンラインでの化学の学校を開催した。20分前後の動画コンテンツを作成し、Web上で公開したところ、各動画50回前後の再生回数を記録し、特に授業風景を撮影した動画では200回以上再生されたものもあった。今回、急遽Webでの動画配信という形をと

ったが、十分に役割を果たしたと言える。今後も COVID-19 の影響によりオンライン上でのイベント数は増加すると思われるが、今回の結果が今後のオンラインイベントの参考になれば幸いである。

### 参 考 文 献

- 1) 文部科学省、高等専門学校を設置基準の一部を改正する省令（令和2年文部科学省令第40号）、令和2年11月17日 公布・施行

（原稿受付：2020年11月2日）



## 跳躍テンポの変化がリバウンドジャンプに与える影響：

### リバウンドジャンプテストで測定した RJ-index の上位群・中位群・下位群の比較

川端 良介<sup>1,2</sup>・相馬 優樹<sup>3</sup>・戸塚 学<sup>4</sup>・大島 義晴<sup>5</sup>

The effect of change in jump cycle on rebound jump:  
A comparison between different groups of rebound jump ability

Ryosuke KAWABATA, Yuki SOMA, Manabu TOTSUKA, Yoshiharu OHSHIMA

1. 総合科学教育科
2. 弘前大学大学院医学研究科社会医学講座
3. 岩手県立大学短期大学部
4. 弘前大学教育学部
5. 東北女子大学家政学部

**Keywords** : RJ-index, jump tempo, rebound jump test

#### 1. 序論

下肢筋群の伸張-短縮サイクル (stretch-shortening cycle : SSC) を利用した、なわとび運動や連続リバウンドジャンプ、ホッピングなどのジャンプトレーニングは、跳躍テンポを変化させることで、エネルギー消費量<sup>1-8)</sup>、運動強度<sup>9)</sup>、地面反力<sup>10)</sup>、SSC 運動<sup>11)</sup>、トレーニング効果<sup>12)</sup>などに違いがでることが報告されている。

また、跳躍テンポの変化が跳躍高を接地時間で除して算出した、連続ジャンプ運動から短時間で大きなパワーを発揮する能力を評価するリバウンドジャンプ指数<sup>13)</sup> (以下、RJ-index) にどのような影響があるかの検討も行われており、跳躍テンポが速くなるとともに RJ-index は増加し、一定の跳躍テンポで最大値を示し、その後、減少すると報告されている<sup>14-16)</sup>。しかし、これらの報告ではリバウンドジャンプ能力の違いが、接地時間・跳躍高・RJ-index の変化にどのような影響があるかは検討されていない。

近年、リバウンドジャンプ等のパフォーマンスが疾走能力と相関関係が認められる報告が多く<sup>17-20)</sup>、これを受けて疾走能力の改善を目的として下肢筋群の SSC を伴うジャンプトレーニングを体育の授業などの教育現場に取り入れるための様々なトレーニングプログラムが検討されている<sup>21-24)</sup>。

トレーニングプログラムを検討するうえで、向上させたい能力の高い被験者と低い被験者の体力・技術指標の

比較は非常に重要である。そのため、リバウンドジャンプ能力の違いが、跳躍テンポの変化に伴う接地時間・跳躍高・RJ-index の変化にどのような影響があるかを明らかにすることは、リバウンドジャンプ能力を向上させるためのトレーニングプログラムを検討するうえで、重要な知見となる可能性があると考えられる。

よって、本研究では被験者に跳躍テンポ及び接地時間ができるだけ短くなるように規定した 8 種類 (70 - 180 bpm) のリバウンドジャンプとリバウンドジャンプテスト<sup>25)</sup>を行わせた。その後、リバウンドジャンプテストで測定した RJ-index の上位群・中位群・下位群に分け、跳躍テンポを規定したリバウンドジャンプにおける接地時間・跳躍高・RJ-index の 3 群間の差及び、各群の特徴を明確にすることを目的とした。

#### 2. 実験方法

##### 2.1 被験者

本研究の被験者は、八戸工業高等専門学校に在籍する男子学生 39 名 (年齢 16.6±0.5 歳、身長 170.4±5.0cm、体重 65.0±13.2kg) である。また、八戸工業高等専門学校倫理審査委員会の承認を得た上で、規定に基づき事前に十分な説明を研究対象者に対して行い、書面にて参加の同意を得て実施した。

##### 2.2 実験の手順と撮影方法

### 2.2.1 実験方法

被験者には 8 種類の跳躍テンポに規定した連続リバウンドジャンプをそれぞれ 12 回、リバウンドジャンプテストは 2 回の予備動作の後、最大努力で 5 回のジャンプを 2 度行わせた。

本研究では、連続リバウンドジャンプを行うとき、被験者に腰に手を当て、腕の振り込み動作を用いないように指示した。また、リバウンドジャンプ中の接地時間はできるだけ短くなるように指示した。

実験場所は体育館を使用し、被験者のケガや疲労等を考慮し、十分なウォーミングアップの後、1 日に跳躍テンポが違う 2 種類のリバウンドジャンプを行わせた。

### 2.2.2 テンポの設定

実験ではメトロノーム (SEIKO 社製, SQ200) を使用した。なお、跳躍テンポは川端ら (2020) を参考とし、8 種類 (180, 137, 111, 101, 93, 86, 80, 70 spm) に設定した。

### 2.2.3 撮影方法

撮影条件は以下の通りである。跳躍テンポを規定したリバウンドジャンプの様子を被験者側方 15 m の地点からハイスピードカメラ (CASIO 社製, EX-FH25, 露出時間 1/320 秒, 撮影速度 240 fps) を設置し、被験者の足元を撮影した (図 1)。

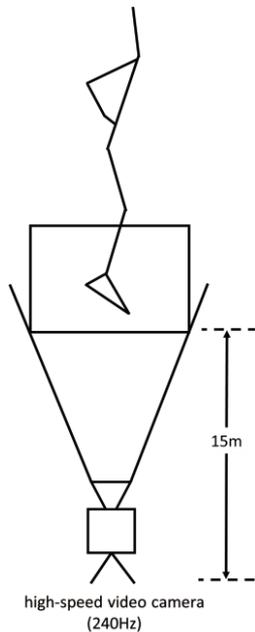


図 1. 実験機器の設定

### 2.3 解析の手順

撮影動画から接地及び離地の瞬間を読み取ることによって、接地時間と滞空時間を算出し、跳躍高, RJ-index,

及び、跳躍時間を算出した。また、跳躍高及び RJ-index, 跳躍テンポは以下の式から算出した。

$$\text{jump cycle} = \frac{60}{T_a + T_c}$$

$$L = \frac{gT_a^2}{8}$$

$$\text{RJ-index} = \frac{L}{T_c}$$

L: 跳躍高, g: 重力加速度,  $T_a$ : 滞空時間,  $T_c$ : 接地時間

また、本研究におけるリズムを規定したリバウンドジャンプの解析は最初の 2 回を除き、連続する 5 回のジャンプにおける跳躍時間の平均が設定したテンポに最も近いジャンプ、また、リバウンドジャンプテストは最初の 2 回を除く、5 回のジャンプを分析の対象とし、計 10 回の中から RJ-index が最大値を示した跳躍を各被験者の結果とした。

### 2.4 統計処理

各測定項目の値はそれぞれ平均値、標準偏差を算出した。また、リバウンドジャンプテストで測定した RJ-index から、上位群 ( $1.71 \leq \text{RJ-index}$ : N=13)・中位群 ( $1.26 \leq \text{RJ-index} < 1.71$ : N=13)・下位群 ( $\text{RJ-index} < 1.26$ : N=13) の 3 群に分け、各跳躍テンポにおける群間差を検討するため、1 要因の反復測定分散分析を行い、事後検定は Bonferroni の方法を用いた。なお、統計解析には SPSS version 25 を使用し、有意水準は危険率を 5%未満とした。

## 3. 結果

表 1 には全被験者の接地時間・跳躍高・RJ-index・実際に被験者が遂行した跳躍テンポの平均値を示した。接地時間は 70-93 spm ではテンポが速くなるとともに接地時間も長くなり、93-180 spm には大きな変化がみられなかった。また、跳躍高は 86 spm, RJ-index は 93 spm に最大値がみられ、両項目ともに最大値を示したテンポから遅くなる、もしくは速くなることで数値が小さくなる傾向がみられた。

表 2 には 8 種類の跳躍テンポ及びリバウンドジャンプテストにおける上位群・中位群・下位群の接地時間の平均値を示した。また、同様に表 3 には跳躍高の平均値、

表 1. 全被験者の接地時間・跳躍高・RJ-index・被験者が遂行した跳躍テンポの平均値

tempo	contact time (s)			height (m)			RJ-index (m/s)			jump cycle (spm)		
	Mean	±	S.D.	Mean	±	S.D.	Mean	±	S.D.	Mean	±	S.D.
70	0.42	±	0.05	0.23	±	0.06	0.59	±	0.23	70.4	±	0.8
80	0.31	±	0.06	0.24	±	0.06	0.84	±	0.39	80.4	±	0.9
86	0.25	±	0.05	0.25	±	0.05	1.10	±	0.42	86.2	±	1.1
93	0.21	±	0.03	0.23	±	0.04	1.13	±	0.34	92.9	±	1.5
101	0.20	±	0.03	0.19	±	0.03	0.97	±	0.28	101.0	±	1.1
111	0.20	±	0.03	0.14	±	0.03	0.75	±	0.23	111.2	±	1.1
137	0.21	±	0.03	0.07	±	0.02	0.34	±	0.14	137.6	±	1.7
180	0.20	±	0.02	0.02	±	0.01	0.13	±	0.06	180.4	±	3.7
RJ-test	0.19	±	0.03	0.29	±	0.05	1.53	±	0.45	88.8	±	5.1

表 2. 8種類のテンポにおける上位群・中年群・下位群の接地時間の平均値

tempo	contact time (s)											
	RJ-test 上位群 (N=13)				RJ-test 中位群 (N=13)				RJ-test 下位群 (N=13)			
70	0.38	±	0.06	c	0.42	±	0.03	0.46	±	0.04	a	
80	0.27	±	0.06	c	0.31	±	0.04	0.36	±	0.05	a	
86	0.21	±	0.03	b,c	0.24	±	0.02	a,c	0.29	±	0.04	a,b
93	0.18	±	0.02	b,c	0.21	±	0.02	a,c	0.25	±	0.02	a,b
101	0.18	±	0.02	b,c	0.20	±	0.02	a	0.23	±	0.03	a
111	0.18	±	0.02	b,c	0.20	±	0.02	a,c	0.22	±	0.03	a,b
137	0.18	±	0.03	c	0.21	±	0.02	0.23	±	0.03	a	
180	0.18	±	0.02	b,c	0.19	±	0.02	a	0.22	±	0.02	a

a: vs RJ-test 上位群, b: vs RJ-test 中位群, c: vs RJ-test 下位群

表 3. 8種類のテンポにおける上位群・中年群・下位群の跳躍高の平均値

tempo	height (m)											
	RJ-test 上位群 (N=13)				RJ-test 中位群 (N=13)				RJ-test 下位群 (N=13)			
70	0.27	±	0.06	c	0.24	±	0.03	0.19	±	0.04	a	
80	0.29	±	0.06	c	0.23	±	0.04	c	0.19	±	0.04	a,b
86	0.29	±	0.04	b,c	0.25	±	0.03	a,c	0.20	±	0.04	b,c
93	0.27	±	0.02	b,c	0.23	±	0.02	a,c	0.19	±	0.02	b,c
101	0.21	±	0.02	b,c	0.19	±	0.02	a	0.16	±	0.02	a
111	0.16	±	0.02	c	0.14	±	0.02	c	0.12	±	0.02	a,b
137	0.08	±	0.02	c	0.06	±	0.01	c	0.05	±	0.02	a,b
180	0.03	±	0.01	c	0.02	±	0.01	0.02	±	0.01	a	

a: vs RJ-test 上位群, b: vs RJ-test 中位群, c: vs RJ-test 下位群

表 4 には RJ-index の平均値を示した。接地時間・跳躍高・RJ-index の全てのテンポにおいて上位群と下位群に有意差がみられた。また、全ての群において、全被験者の

接地時間・跳躍高・RJ-index・被験者が遂行した跳躍テンポの平均値と同様に、接地時間は 70-93 spm ではテンポが速くなるとともに接地時間も長くなり、93-180 spm

表 4. 8 種類のテンポにおける上位群・中年群・下位群の RJ-index の平均値

tempo	RJ-index (m/s)											
	RJ-test 上位群 (N=13)				RJ-test 中位群 (N=13)				RJ-test 下位群 (N=13)			
70	0.76	±	0.27	c	0.58	±	0.12		0.43	±	0.13	a
80	1.17	±	0.46	c	0.77	±	0.21	c	0.56	±	0.17	a,b
86	1.48	±	0.40	b,c	1.08	±	0.20	a,c	0.74	±	0.24	a,b
93	1.49	±	0.21	b,c	1.09	±	0.19	a,c	0.79	±	0.16	a,b
101	1.20	±	0.25	b,c	1.00	±	0.19	a	0.72	±	0.17	a
111	0.95	±	0.20	c	0.71	±	0.15	c	0.57	±	0.17	a,b
137	0.45	±	0.15	c	0.32	±	0.09	c	0.24	±	0.10	a,b
180	0.16	±	0.07	c	0.13	±	0.06		0.09	±	0.04	a

a: vs RJ-test 上位群, b: vs RJ-test 中位群, c: vs RJ-test 下位群

は横ばいに推移する傾向がみられた。また、跳躍高は 86 spm, RJ-index は 93 spm に最大値がみられ、両項目ともに最大値を示したテンポから遅くなる、もしくは速くなることで数値が小さくなる傾向がみられた。

#### 4. 考察

本研究では、被験者に跳躍テンポ及び接地時間ができるだけ短くなるように規定した 8 種類 (70 – 180 spm) のリバウンドジャンプとリバウンドジャンプテストを行わせた。その後、リバウンドジャンプ能力の評価指標であるリバウンドジャンプテストで測定した RJ-index の上位群・中位群・下位群に分け、跳躍テンポを規定したリバウンドジャンプにおける接地時間・跳躍高・RJ-index の 3 群間の差及び、各群の特徴を検討した。

各跳躍テンポにおける全被験者の接地時間・跳躍高・RJ-index の平均値 (表 1) は 3 項目ともに、川端ら<sup>16)</sup>の報告と同様の結果が得られた。

8 種類の跳躍テンポにおける上位群・中年群・下位群の接地時間・跳躍高・RJ-index の平均値 (表 2-4) は全ての跳躍テンポにおいて上位群と下位群に有意差がみられた。また、上位群・中位群・下位群ともに 3 つの項目の傾向に大きな違いは見られなかった。通常の連続リバウンドジャンプでは接地時間と跳躍高は独立した要素であり<sup>26)</sup>、接地時間を短くしても跳躍高は高くないが、テンポを規定したジャンプでは接地時間を短くすれば、跳躍高を高くする必要がある。下位群のリバウンドジャンプテストの跳躍高は  $0.24 \pm 0.03$  m であり、上位群の 101 spm の跳躍高  $0.21 \pm 0.02$  m を上回っているため、下位群も 101 -180 spm において上位群と同水準の跳躍高でリバウンドジャンプを遂行できる可能性はあると考えられる。しかし、101-180 spm において上位群と下位群の接地時間に有意差が見られたこと踏まえると、下位群は上

位群より接地時間が長いことが跳躍高の低下に繋がっていると考えられる。

リバウンドジャンプ中に接地時間を短くすることは下肢筋群の伸張反射<sup>27)</sup>や腱の弾性エネルギー<sup>28)</sup>を効率よく利用することで、下肢筋群の発揮パワーを高めると考えられている。そのため、リバウンドジャンプ能力下位群は 111-180 spm の比較的速い跳躍テンポにおける接地時間の短縮がリバウンドジャンプ能力の向上に繋がる可能性が示唆された。

また、上位群・中位群・下位群の 70・80・86・93 spm 間の跳躍高に大きな差は見られないが、接地時間は跳躍テンポが速くなるとともに短くなる傾向がみられた。そのため、70-93 spm では跳躍高が高くなることで結果的に接地時間が減少すると考えられることから、リバウンドジャンプ能力下位群は比較的遅い跳躍テンポにおける跳躍高の向上がリバウンドジャンプ能力の向上に繋がる可能性が示唆された。

#### 5. 結論

本研究では、被験者に跳躍テンポ及び接地時間ができるだけ短くなるように規定した 8 種類のリバウンドジャンプとリバウンドジャンプテストを行わせた。その後、リバウンドジャンプ能力の評価指標であるリバウンドジャンプテストで測定した RJ-index の上位群・中位群・下位群に分け、跳躍テンポを規定したリバウンドジャンプにおける接地時間・跳躍高・RJ-index の 3 群間の差及び、各群の特徴を検討した。

8 種類の跳躍テンポ及びリバウンドジャンプテストにおける上位群・中位群・下位群の接地時間の平均値は全てのテンポにおいて上位群と下位群に有意差がみられた。また、上位群・中位群・下位群ともに 3 つの項目の傾向に大きな違いは見られなかった。

また、101-180 spm における接地時間の減少、及び 70-93 spm における跳躍高の向上がリバウンドジャンプ能力下位群のリバウンドジャンプ能力の向上に繋がる可能性が示唆された。

## 謝 辞

本研究を進めるにあたり、被験者を受諾していただいた八戸工業高等専門学校の学生の皆様に感謝いたします。

## 参 考 文 献

- 1) 榎木繁男, 渡部和彦, 山地啓司, 手塚政孝 (1973) なわとびの運動効果. 体育の科学, 23(6), 396-401.
- 2) Jette M, Mongeon J, Routhier R (1979) The energy cost of rope skipping. *Journal of Sports Medicine Physical Fitness*. 19, 33-37.
- 3) 黒田浩, 小原繁, 荒木秀夫, 石原昭彦, 松井敦典, 三浦武, 中村久子, 佐竹昌之 (1990) 連続跳躍運動 (その場跳躍) における跳躍頻度と酸素摂取量の関係 (その 2), *Journal of Health and Physical Education, University of Tokushima Vol. XXIII*, 1-9.
- 4) 丹羽正, 家治川豊, 和久田賢夫 (1960) 各種スポーツの部分的動作に要するエネルギー消費について. 体力科学, 9(2), 57-64.
- 5) 小川新吉, 古田善伯, 小原繁, 小原達朗, 大谷和寿, 徳山薫平, 古屋三郎 (1974) 縄跳び運動のエネルギー代謝について. 体力科学, 23, 89-95.
- 6) Quirk JE, Sinning WE (1982) Anaerobic and aerobic responses of males and females to rope skipping. *American College of Sports Medicine*, 14(1), 26-29.
- 7) Town GP, Sol N, Sinning WE (1980) The effect of rope skipping rate on energy expenditure of males and females, 12, 295-298.
- 8) 山本博男, 平下政美 (1978) 跳躍ペースからみた縄跳び運動. 北陸体育学会紀要, 18, 35-41.
- 9) Myles WS, Dick MR, Jantti R (1981) Heart Rate and Rope Skipping Intensity. *Research Quarterly for Exercise and Sports*. 52(1), 76-79.
- 10) 山口英峰, 山元健太, 宮川健, 宮地元彦, 小野寺昇 (2000) なわとびにおける跳躍周期の違いが床反力に及ぼす影響. 川崎医療福祉学会誌, 10(2), 329-333.
- 11) 山口英峰, 山元健太, 枝松千尋, 早田剛, 宮川健, 小野寺昇 (2002) なわとびにおける跳躍周期の差異がヒト下腿三頭筋の筋、腱-弾性系に及ぼす影響. 体力科学, 51, 185-192.
- 12) Jones DM, Squires C, Rodahl K (1962) Effect of rope skipping on physical work capacity. *Res. Quart*, 33(2), 66-73.
- 13) 関子浩二, 高松薫, 古藤高良 (1993) 各種スポーツ選手における下肢の筋力およびパワー発揮に関する特性. 体育学研究, 38, 265-278.
- 14) 新井彩, 坂本明日香, 坂本志穂, 中井聖 (2017) リズム統制した連続リバウンドジャンプを用いた SSC 運動能力の評価. 健康運動科学, 7(1), 1-7.
- 15) 川端良介, 相馬優樹, 大島義晴 (2019) 跳躍テンポの変化がリバウンドジャンプに与える影響: 連続ジャンプ運動における接地時間, 跳躍高, RJ-index の視点から. 東北体育, スポーツ学会誌, 1, 1-8.
- 16) 川端良介, 相馬優樹, 大島義晴 (2020) 跳躍テンポの変化が連続リバウンドジャンプの構成要素に及ぼす影響. 東北体育, スポーツ学会誌, 1, 1-9.
- 17) Bret C, Rahmani A, Dufour AB, Messonnier, L., Lacour, J. R. (2002) Leg strength and stiffness as ability factors in 100m sprint running. *J. Sports Med. Phys. Fitness*, 42, 274-281.
- 18) Chelly SM, Denis C (2001) Leg power and hopping stiffness: relationship with sprint running performance. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 33: 326-333.
- 19) 岩竹淳, 永澤健, 伊澤英紀, 中村夏実, 小田宏行, 鈴木朋美, 飯田晴子 (2001) 疾走直後の血中乳酸濃度によるコンディション評価. トレーニング科学, 13, 13-20.
- 20) 岩竹淳, 鈴木朋美, 中村夏実, 小田宏行, 永澤健, 岩壁達男 (2002) 陸上競技選手のリバウンドジャンプにおける発揮パワーとスプリントパフォーマンスとの関係. 体育学研究, 47, 253-261.
- 21) 岩竹淳, 北田耕司, 川原繁樹, 関子浩二 (2008) ジャンプトレーニングが思春期後期にある男子生徒の疾走能力に与える影響. 体育学研究, 53, 353-362.
- 22) 荻山靖, 遠藤俊典, 末松大喜, 尾縣貢 (2010) 短期間および短時間のジャンプトレーニングが小学生男子児童の疾走能力に及ぼす影響. 陸上競技研究, 2010(1), 35-43.
- 23) Kotzamanidis C (2006) Effect of plyometric training on running performance and vertical jumping in prepubertal boys. *J. Strength Cond. Res*, 20, 441-445.
- 24) 向井史昭 (2011) 小, 中および高校生におけるリバウンドジャンプのトレーニング効果. 愛知教育大学保健体育講座研究紀要, 36, 65-67.
- 25) 関子あまね, 荻山靖, 関子浩二 (2017) リバウンドジャンプテストを用いた跳躍選手の専門的な下肢筋力, パワーに関する評価. 体力科学, 66(1), 79-86.
- 26) 関子浩二, 高松薫 (1995) バリスティックな伸張-短縮サイクル運動の遂行能力を決定する要因-筋力および瞬発力に着目して-. 体力科学, 44, 147-154.
- 27) Aura O, Komi PV (1986) Effects of Prestretch Intensity on Mechanical Efficiency of Positive Work and on Elastic Behavior of Skeletal Muscle in Stretch-Shortening Cycle Exercise. *Int J Sports Med*, 7(3), 137-143.
- 28) Thys H, avagna GA, Margaria R (1975) The role played by elasticity in an exercise involving movements of small amplitude. *Pflügers Archiv*, 354, 281-286.

(原稿受付: 2020年11月2日)



## 1880 年ガリツィア巡幸とクラクフ市巡幸歓迎準備委員会の活動

### —巡幸歓迎準備委員会による名誉市民衛兵の組織化—

佐伯 彩

The Role of the Reception Committee of Kraków and The Royal Trip to Galicia in 1880  
The Organization of Honorary Citizen's Guards in Kraków.

Aya Saeki\*

#### Abstract:

The paper examines the organization of Honorary Citizen's Guard by the Kraków reception committee and its roles in Franz Joseph's trip to Galicia in 1880. In the latter half of 19th century, the Celebration Ceremonies for the Austria-Hungary Empire had been frequently held for Franz Joseph, who symbolized the unification of the whole empire. It took place also in Kraków, the second largest city in Galicia and the center of Polish identity for a long time. Most of Polish people had lived there and had undoubtedly shared the nostalgic images of the old Jagiellonian dynasty. However, the socio-economic decline of Kraków was caused by the increasing population and economical power of Lwów. Kraków city administration utilized the Celebration Ceremonies to solve this problem by combining its loyalty to Habsburg monarchy with the historical identity of Kraków. In 1880, on welcoming Franz Joseph in Krakow, the reception committee organized Honorary Citizen's Guard as the means to imply not only the city's loyalty but also its historical background by displaying the conventional images of 'Good Old Poland' to the eyes of the audience including Franz Joseph himself. This research concludes that their attempt successfully enabled Kraków administration to fulfill their political purpose.

**Keywords :** Kraków, Galicia, Austria, Habsburg Monarchy, Polish, Galician Sejm, Franz Joseph 1th.

#### 1. はじめに

19 世紀後半、ヨーロッパでは記念式典などの市民祝祭が各地で行われていた。こうした市民祝祭は、各地域におけるナショナル・アイデンティティの創出に大きく貢献した。例えば、ハプスブルク帝国では、国民統合のシンボルとしてフランツ・ヨーゼフ 1 世(以降、フランツ・ヨーゼフとする)のイメージを創出し、普及させ、受容させる手段の一環として各地で市民祝祭が行われた。そして、地方の政治グループ主催で市民祝祭が行われる一方、彼らによりそのイメージを利用するなどの動きがみられた(1)。ホブズボームによると、こうした祝祭や記念行事は、近代の市民社会を形成するにあたり、自身の社会の団結意識を強めることを目的として行われた、としている(2)。では、オーストリア領に属していたガリツィア第二の都市であったクラクフの場合、どうだったのだろうか。

アウスグライヒ体制転換後、ガリツィアでは、教育と一部の行政における自治が成立し、さらなる政治的な自治範囲の拡大を求めてポーランド人議員が活発な政治活動を展開していた(3)。この時期のポーランド人議員の政

治活動の促進とそれに伴うガリツィアの自治権の拡大は「小アウスグライヒ」とも呼ばれている(4)。当時、クラクフはヤギェウォ大学などの学術研究機関を要し、旧ポーランド王国の都としての威厳を維持していた。しかし、19 世紀後半、ガリツィアにおけるポーランド人以外の民族の政治参加が進んだ。また、総督府のあるルヴフが都市の規模、人口ともに突出し始めた(5)。そのため、クラクフは、ポーランド人の精神的中核としての独自性を再度示し、ガリツィアにおける都市の重要性を改めて示す必要性に迫られた。このような状況下において、皇帝フランツ・ヨーゼフによるガリツィアを巡幸計画が持ち上がったのである。

本稿では、ガリツィア巡幸の一環として行われたクラクフでの市内巡幸とクラクフ市当局内に設置された巡幸歓迎準備委員会、とりわけ、委員会によりクラクフ市民で構成された名誉市民衛兵の役割について検討する。

#### 1.1 先行研究と問題設定

ガリツィアを含む近代中東欧史研究は、「国民形成(Nation Building)」に力点が置かれてきた。なかでも、ガリツィア研究

では多様な民族が共存する領域における単一民族国家の形成に関する視点とユダヤ系住民などの国家なきマイノリティに関する視点の2つに大別できる(6)。そして、その視点は、主に被支配者やマイノリティに向けられており、政治的優位性を誇っていたポーランド人に向けられるようになったのは、ごく最近のことである。当時政治的優位性を誇っていたポーランド人の研究は、オーストリア帝国政府におけるガリツィア自治獲得に関する研究と、クラクフなどの大都市における都市化研究に重きが置かれている。例えば、市民社会の発展に関しては、J. プルフラがクラクフとルヴフの都市比較を中心とした近代市民社会形成史研究を行っている(7)。ガリツィアの市民社会の発展期におけるガリツィア巡幸について最初に考察したのがZ. フラスである。彼は19世紀後半から20世紀初頭にかけて行われた諸巡幸についての目的や様相を考察した(8)。また、J. ブシュコやD. シムチャクは、ポーランド人のオーストリア帝国議会を中心とする政治史の面から巡幸を分析した(9)。しかし、巡幸に対する見方はポーランド人議員のオーストリア帝国議会における政治的地位の向上に関する一事象という位置づけにとどまっている。最近では、M. オベルツが、ガリツィア巡幸に関する巡幸形式の分類化、政治的意義、住民の関心といったさまざま見地から分析し、1880年巡幸は、ポーランド人に政治的意義を強く認識させた巡幸であった、という見方を示している(10)。このように、ポーランド人研究者の間では、巡幸本体の機能や役割について考察したものが主流である。一方、巡幸とハプスブルク帝国における「国民形成」との関わりを指摘したのが、D. L. ウノフスキである。彼は、1880年巡幸をとおして、ガリツィアのポーランド人やルテニア人(ウクライナ人)のナショナル・アイデンティティの表出の場として両知識層が巡幸を利用した、としている(11)。とりわけ、ウノフスキは、1880年の巡幸の特徴として名誉市民衛兵(*Staży honorowej obywatelskiej*)の存在を指摘している(12)。ただし、その指摘は市民衛兵の特徴のみにとどめられている。そこで、本稿では、その名誉市民衛兵に注目し、彼らが巡幸において、どのような役割をクラクフ市当局から割り当てられたのか、について分析する。

次に、分析対象地のクラクフについて簡単に説明する。クラクフは、旧ポーランド王国の都であり、1795年の最後のポーランド分割を経て、オーストリアに併合された都市である。1880年当時のガリツィア人口は、R. A. マルクの分析によると、5,958,907人であった(13)。そして、このうちクラクフの人口は66,095人であった(14)。民族的には、ポーランド人、ユダヤ人、ルテニア人(ウクライナ人)などが居住していたものの、特に、クラクフが置かれている西ガリツィアにおいて、ポーランド人の比重が

圧倒的に多かった。プルフラは、1860年代に生じたガリツィアの行政地区再編の動きについて、次のように述べている。「ガリツィアは、1854年からルヴフに総督府がおかれていたにもかかわらず、2つの領邦官庁が存在した。東ガリツィアのルヴフと西ガリツィアのクラクフである。しかし、1860年に西ガリツィアの領邦官庁が廃止された。そして1860年12月31日にクラクフの領邦小議会においてウィーンに対しポーランド貴族の政治的要求を規定する覚書が提出された。そこで「ルテニア人とともにポーランド人は、歴史的・政治的な民族的特性を創造する。」とした。これに関連して、ガリツィアのために、民族性、慣習、教育、公共の財産、領邦の制度の問題に関する立法機関とともに1つの領邦議会を設置することを求めたのである。この請願が1861年2月勅令において実現した(15)」。彼によると、この行為こそが、クラクフの民族的な可能性がクラクフからルヴフに根本的に移ったのだ、としている(16)。すなわち、ガリツィアのポーランド人議員や知識層がオーストリアにおける政治的役割を向上させていたそのとき、彼らのアイデンティティの核と考えられていたクラクフは、衰退期にあったのである。しかし、それでも、クラクフは、ガリツィア第二の都市としての地位を失っていないし、多くのポーランド人が居住する都市であることに変わりはない。つまり、ガリツィアのポーランド人市民のオーストリアに対する政治的姿勢を理解する場所としては最適地なのである。

最後に、参照した史料を示しておく。本稿は、クラクフ国立文書館(Archiwum Państwowe w Krakowie、現 Archiwum Narodowe w Krakowie、以後APKrと省略する)所蔵の史料「クラクフ祝祭文書(Obchody i uroczystości krakowskie)」に収められている「クラクフでのフランツ・ヨーゼフ1世の滞在、クラクフへの皇帝陛下滞在時の祝祭一写真、照明など(Pobyty Franciszka Józefa I w Krakowie. Uroczystości podczas przybycia Najjaśniejszego Pana do Krakowa—przeżrocza, oświetlenie itp)」の「1880年のフランツ・ヨーゼフ1世の滞在(Pobyty Cesarza Franciszka Józefa I w Krakowie w r. 1880)」を主な史料として用いた。また、ガリツィア巡幸における領邦の巡幸準備に多大な影響を与えていたガリツィア領邦議会の議事録、ガリツィア巡幸を詳細に記述したアレクサンデル・ノヴォレツキの回想録も、ガリツィア巡幸の全体像の把握のために用いた。そのほか不足分に関しては、ガリツィアとウィーンにおける*Czas*、*Neue Freie Presse*などの定期刊行物を用いた。

ちなみに、本研究の対象地であるガリツィアは、オーストリアの支配領であるものの、ポーランド人が政治的実権を握っていた。そして、当時、行政面では主にポーランド語が使われていたことから、地名や委員会名についても

ポーランド語の表記や読み方を採用する。

## 2. ガリツィア巡幸の決定と計画の展開

### 2.1 巡幸計画の展開

19世紀後半のオーストリア政界では、ガリツィア選出のポーランド人議員という強力な支持基盤のもとでターフェ政権が成立した。1879年に内相に就任したターフェは、オーストリア帝国の政治を指揮していくうえで、一族に依存しない政権を構築しようと考えていた(17)。彼のこのような姿勢のもと、スラヴ人と教権派からなる「鉄の環」政権が誕生したのである。そして、彼はオーストリア帝国への忠誠を各民族に求めた。これに呼応したのが、ポーランド人議員であった。ポーランド人議員は、帝国議会においてオーストリアへの忠誠を表明した(18)。そして、この政権期において、ポーランド人議員の政治的影響力が増し、二名のポーランド人議員が入閣した(19)。まさに、ターフェ政権はオーストリア帝国議会においてポーランド人議員のサポートのもとにその独立性を保っていた(20)。言い換えれば、ターフェ政権にとって、ポーランド人はある程度気を遣わねばならない相手、という認識があったのである(21)。

このようにポーランド人の政治的影響力が増していくなかで、1880年2月11日にフランツ・ヨーゼフのガリツィア巡幸が決定した(22)。この巡幸は、1853年の軍事演習を主とした巡幸から四半世紀ぶりに行われた巡幸であった(23)。また、ガリツィア側にとっては、幻に終わった1868年の巡幸撤回の汚名返上の機会でもあった(24)。

最初にガリツィアへの巡幸が企画され始めたことが確認できるのは6月ごろのことである。議員らが、ウィーンの宮廷へと赴き、皇帝と皇后にガリツィアへの巡幸を打診した(25)。領邦議会では、巡幸を打診したことが連絡された。そして、巡幸にかかる祝祭費の予算として、8万グルデンを承認するように要求した(26)。次の日、ターフェは、巡幸について政府高官と交渉した。当時、ウィーンでは、財務大臣であったクレーグサウに代わってポーランド人議員のユリアン・ドゥナイェフスキの入閣が検討されていた(27)。こうしたオーストリア帝国政府内部の事情もあり、8月に行われるボヘミアの巡幸と異なってガリツィアへの巡幸にターフェ本人が同行することが難しい旨が告げられた(28)。ターフェ不在の巡幸となることが早々に決定しつつ、ガリツィア巡幸の随行者が決定されていった。随行者として皇太子のルドルフ、皇帝の弟カール・ルートヴィヒといとこでチェシン侯のアルプレヒト大公が同行することが決まった。さらに、カミエノオグルドとヤロスワフ間で軍事演習が行われることが決定した。また、オーストリアからガリツィア、そして、ガ

リツィア巡幸において必須の条件であった鉄道車両の整備についても陸軍省への通達が行われた(29)。そして、後日、総督から領邦議会の会期終了時に巡幸の実施が通達されたのである(30)。

次に行われたのがウィーン・ガリツィア間の鉄道路線の調整である。ガリツィアでは総督のアルフレート・ポトツキとオーストリア帝国政府のガリツィア担当無任所大臣であるフロリアン・ジェミャウコフスキを中心にオーストリアとガリツィア側の鉄道関連の調整が行われた(31)。とりわけ、カール・ルートヴィヒ鉄道の鉄道局局長であるレーヴルは、各都市の代表者や総督、ジェミャウコフスキと連絡を取り、ウィーンの芸術家を招聘してガリツィア各都市の鉄道駅舎との関係調整や巡幸準備の装飾などにあたった(32)。

ガリツィア領邦議会では、巡幸の支度金として2万6000グルデンが計上された(33)。当時フランツ・ヨーゼフ本人が自身の私的記念日のために国民が多大な犠牲を払うことを望まなかった(34)。特に、ガリツィアの場合は、巡幸前に飢饉が発生していたため、その復興救済が求められていた(35)。そのため、フランツ・ヨーゼフは、領邦議会に対して巡幸歓迎のための多大な浪費を行わないように通達したのである(36)。しかし、ガリツィア側としては、四半世紀ぶりに招致に成功した巡幸であることから、なんとしても巡幸を成功させたいと考えていた。それゆえに、この金額を提示し、領邦議会は提案者であるカジミエシュ・グロホルスキ以下65名の賛同のもと、この予算の使用権限を総督府に与えたのである(37)。

### 2.2 ガリツィアでの巡幸準備

9月に設定された巡幸二か月前のガリツィアでは、オーストリア帝国政府との協議で決定した巡幸についての詳細な巡幸経路、巡幸への市民の動員方法が検討された。まず、ガリツィア巡幸歓迎準備中央委員会が立ち上げられた。委員会のメンバーには、ダヴィド・アブラハモヴィチ、ヴワディスワフ・バデーニなどの議員を含めて、さまざまな地位、宗派、民族の代表者が参加していた(38)。7月21日にルヴフの総督府で、午後7時より巡幸準備に関する会議が開かれた(39)。この会議では、中央委員会が県議会および都市市議会の代表者に対して、クラクフとルヴフへの巡幸参加を通知した。また、巡幸歓迎準備中央委員会の下部組織が設置され、委員が選出された(40)。そして、7月25日に巡幸歓迎準備中央委員会の第三回例会が行われた。この例会にはアルフレート・ポトツキや領邦議会議長ルドヴィク・ヴォジツキなどガリツィアを代表する議員ら総勢13名が参加した。ここで、まず、4日間の長期滞在についてクラクフの皇帝歓迎に関する準

備プログラムが読み上げられた。その内容は、町中に飾られるイルミネーションの配置やそのほか観客席の配置や巡幸で訪問する学校、教育機関の場所の決定、都市の入場門で市長から皇帝に鍵が手渡されるプロセスの決定についてであった(41)。また、東ガリツィアへの鉄道移動において、クラクフからボフニャ、タルヌフ、ジェシュフ、プシェミシルに停車することが決定したのである(42)。

だが、巡幸が危ぶまれるような問題も起きた。フランツ・ヨーゼフ自身が度重なる公務に体調を崩し、ガリツィアにおける巡幸の微修正が求められたのである(43)。8月になり、ガリツィア巡幸に関するさらに詳細な巡幸経路が報じられ、この巡幸が、9月1日から3週間にわたって行われる大巡幸であり、その際に、軍事演習が各地で行われることがガリツィアの市民に示された(44)。また、ガリツィア巡幸後、ガリツィアの南部と国境を接しているハンガリーに巡幸の進路が向けられており、ハンガリーのツェグレードで行われる軍事演習が予定されることも同様に報じられたのである(45)。

2.3 クラクフへの巡幸の通達

1880年7月7日、ルヴフでのガリツィア領邦議会第十二回定例会議において、決議された巡幸支度金2万6000グルデンが承認された。また、会議では、クラクフ市長ニコワイ・ズィブリキエヴィチの緊急提案をうけて皇帝のクラクフ滞在時の邸宅としてヴァヴェル城を定めるように皇帝を説得する5名の使節が選出された(46)。そして、領邦議会側からの巡幸準備に関する布告が行われ、当時会議に出席していたクラクフ市長のズィブリキエヴィチが電報で市議会に連絡した(47)。7月23日、午後5時にズィブリキエヴィチは市庁舎で巡幸歓迎について内密の協議会を開催した。ここで、市議会主導でクラクフ巡幸歓迎準備委員会設置が決議された。同時に、その委員長としてズィブリキエヴィチを据えること、彼の不在時には第一助役のフェルディナント・ヴェイゲルが委員長代理を務めることが決議された(48)。そして、そのほかにクラクフに割り当てられた巡幸準備経費として指定された8000グルデン以外に必要な資金について話し合われたのである(49)。議員たちはクラクフの過去の栄光をヴァヴェル城に重ねており、彼らの過去の栄華を再び喚起しようと、フランツ・ヨーゼフに対してヴァヴェル城での滞在を打診しようと再び企画したのである(50)。さらに、その日の7時には巡幸歓迎準備委員会の第一回会議が行われ、そこで市長を中心とする中央委員会のもとで、5つの委員会が設置された。巡幸にかかわる準備は、この5つの委員会のもとで展開されていったのである。

3. クラクフ市巡幸準備委員会

3.1 巡幸歓迎準備委員会の設置

クラクフにおける市内巡幸計画が発表されたのは7月下旬のことであった。7月20日にクラクフ市議会において巡幸歓迎準備委員会の設置についての話し合いが行われた(表1)(51)。まず、指令役を担う中央委員会の代表者は、市長ズィブリキエヴィチ、第一助役ヴェイゲル、そのほか市議会の各委員会代表者全10名で構成された。巡幸歓迎準備委員会内に各委員会が構成され、個別に権限が付与された。委員会には、クラクフの貴族・学術関連の重要人物らが顧問として招聘された。それが、ヴワディスワフ・チャルトリスキ、ユゼフ・マイエル、マチェイ・モラチェフスキ、アルトゥル・ポトツキ、ユゼフ・シュイスキ、ミハウ・シュミットであった。チャルトリスキは、ポーランドでも有数の名門貴族であり、ユゼフ・マイエルとユゼフ・シュイスキは、それぞれクラクフ技術アカデミーの主宰とヤギェウォ大学の学長だった人物である。また、ミハウ・シュミットとマチェイ・モラチェフスキはクラクフ市議会の議員であった(52)。このような人物たちの協力を得て、運営されることになった巡幸歓迎準備委員会内の各委員会の費用の支弁については、市議会が市長に用立てることを決定した(53)。また、巡幸歓迎準備委員会内に設置されたのは、綱領作成委員会、夜会設営委員会、装飾設置委員会、住宅管理委員会、名誉市民衛兵委員会の5つの委員会であった。この5つの委員会が都市の巡幸歓迎に関する各種の準備についての指令役を担い、巡幸準備を円滑に進めていったのである。

クラクフ巡幸歓迎準備委員会メンバー			
委員会名	委員名		
クラクフ市巡幸歓迎準備委員会	ニコワイ・ズィブリキエヴィチ(市長)	アルベルト・メンデルスブルク	
	フェルディナント・ヴェイゲル(助役)	ステファン・ムチュコフスキ	
	レオン・ブルメンストク	ヴァレリ・ジェブスキ	
	レオン・ツィフローヴィチ	フェリクス・シュラフトフスキ	
	ユリアン・グラボフスキ	カロール・ザレンバ	
	ヤン・グワイアズドモルスキ	フレデリク・ゾル	
	ヴワディスワフ・チャルトリスキ	アルトゥル・ポトツキ	
	ユゼフ・マイエル	ユゼフ・シュイスキ	
	マチェイ・モラチェフスキ	ミハウ・シュミット	
委員会名	委員名	委員会名	委員名
市内巡幸綱領作成委員会	ステファン・ムチュコフスキ	夜会設営委員会	レオン・ツィフローヴィチ
	ヴァレリ・ジェブスキ		アルベルト・メンデルスブルク
	フェリクス・シュラフトフスキ		ステファン・ムチュコフスキ
	フェルディナント・ヴェイゲル		アルトゥル・ポトツキ
装飾設置委員会	ユリアン・グラボフスキ	住宅管理委員会	フェリクス・シュラフトフスキ
	マチェイ・モラチェフスキ		フレデリク・ゾル
	ヴァレリ・ジェブスキ		レオン・ブルメンストク
	カロール・ザレンバ		ヤン・グワイアズドモルスキ
※最終的な住宅管理はルドヴィク・ズヴィウォフスキと各地の歓迎委員に一任			
委員会名	委員名	委員会名	委員名
名誉市民衛兵委員会	テオドル・バラノフスキ(委員長)	フォルトゥナト・グラボフスキ	ユゼフ・ムラジェク
	ミハウ・シュミット(副委員長)	テオドル・ガイジェズ	アドルフ・シェドレツキ
	スタニスワフ・アルムウォヴィチ	カロール・コボフスキ	エルネスト・シュトクマル
	グスタフ・バルフ	ヴィツェンティ・コルネツキ	ユゼフ・トクラチンスキ
	ユゼフ・ピェラク	アダム・ミワシェフスキ	アンジェイ・ザジツキ
	ヴィツェンティ・エミノーヴィチ		

表1 巡幸歓迎準備委員会代表者  
APKr29/576/3. nr 155-167 より筆者作成。

これらの巡幸歓迎準備委員会の活動は8月上旬から下旬にかけて特に活発になった。とりわけ、夜会設営委員会と装飾設置委員会が積極的に活動した。この2つの委員会によって8月中旬から下旬にかけて、都市の本格的

な装飾や電灯の灯火が行われた。一方、市議会議員たちによって設置されたこれらの委員会と、召集の形式が明らかに異なっていたのが、名誉市民衛兵委員会である。名誉市民衛兵委員会以外の委員会は、市議会議員によって担われた。しかし、委員会のメンバーは市議会議員だけでなくクラクフ地域内の市民から集められた。まず、名誉市民衛兵委員会は、定例会議として木曜日の会議に参加することが義務付けられた(54)。もし、代表者が不参加である場合は、代理を派遣することが示された。ただし、根本的に、この委員会の管理も、他の委員会同様、クラクフ市議会議員が主要メンバーをなしており、あくまで巡幸歓迎準備委員会の下部組織に留められた。また、ほかの組織の中央委員会のメンバーは、市議会議員や学術団体の上層部、商工会議所職員など都市上位層を中心に構成されており、それ以外の市民の参加はなかった。しかし、この委員会の主要任務はクラクフ市内の巡幸経路の護衛ということもあり、大多数の市民の参加を要した。つまり、市内全域の警備であることから市議会のみでは護衛が行えないため、クラクフの市民に主体的に委員会に参加することが求められたのである。同時に、それは、市当局側が巡幸準備への市民の積極的な参加を求めるものであった。

名誉市民衛兵委員会の予算であるが、巡幸歓迎準備委員会により予算は配分されていなかった。そのため、準備に関する費用は、参加者個人によって賄われていた。また、布告された内容では、この委員会のメンバーになることを希望する場合、希望者自身が所属している所属機関や組合への届け出が義務となっていた(55)。このことから、この名誉市民衛兵が、識字能力を有しており、所属機関が明確で、かつ、税金を納め、歓迎準備にかかわる費用も工面できる社会的階層に限定されていたのである。それでも、これまでのガリツィア巡幸では、基本的に警察組織によって巡幸の護衛、先導が行われており、市民がその任務にあたることなどありえなかった(56)。つまり、この名誉市民衛兵委員会の設置は、クラクフの1880年巡幸でのオーストリアへの忠誠心を視覚化する装置として衛兵の活動を監督するために市当局が組織した委員会なのである。

### 3.2 名誉市民衛兵結成の布告と市民への通達

巡幸が、現実味を帯びてきた8月中旬、名誉市民衛兵を募集するにあたり、ズィブリキェヴィチは、次のような通達を市民全体に発した。

都市の代表によって提示された我々の都市での皇帝陛下の歓迎プログラムは、クラクフ市の住民による名

誉市民衛兵の結成も包括している。このために、今日結成者たちが集まり、彼らにより委員会の設立が決定された。委員会の課題となったのは、[会議において]言及された名誉市民衛兵の組織化である。この課題を果たしうるために、我々は委員会メンバー同様、当局首脳陣、団体代表、施設代表などを招くことを決定した。委員会への所属は、一連の名誉市民衛兵への入会資格を一切喪失しない。もし、当局、団体、施設の代表者たちが、委員会において自身の会議に助言をし、名誉市民衛兵に参加することについて、自身の周辺から委員になることを志望するものがあるならば、その望みを満たすべきだろう。

我々は、少なくとも1000人から構成されるべきであり、我ら名誉市民衛兵の課題となるのは、陛下がお通りになる歩道の見張りをを行うことである。それは、公衆、ギルド、組合、学童によって形成された人垣が位置づけられた場所の向こうに座しているためである。

(中略)

我々の都市における皇帝陛下歓迎のために、あらゆる緊張を強いられる都市の代表者たちは、最も豪華でありながら誠実さが求められる。すべての人々は、陛下の素晴らしい滞在日を演出し、このようなかたちで我々の都市の素晴らしさの真髄を示すとき、市当局を支援していく必要があるだろう(57)。(〔 〕は筆者による補足。以降、省略する。)

ズィブリキェヴィチは、市民全体に巡幸歓迎式典への積極的な参加を促した。また、市当局、団体、さまざまな施設代表者らの委員会への参加も認めた。布告では名誉市民衛兵構成人数の目標達成値を1000人としている。市議会側は1000人の衛兵を確保することができれば、ある程度皇帝の巡幸護衛が行ないうると踏んでいたし、忠誠心を視覚的に表すには十分な数だった。また、この布告は、市の巡幸歓迎準備委員会の委員が連名で市民に提示した。さらに、巡幸が行われる直前にも、市民衛兵委員会より、クラクフ市民に対して、名誉市民衛兵の活動に注目するよう、定期刊行物紙面上で報じられた(58)。このことから、この巡幸をクラクフ市当局が非常に重視し、さらに、市民にそれを徹底しようとしていたことは、明らかである。

### 3.3 「名誉市民衛兵規定」と衛兵応募者の傾向

1880年8月25日に「名誉市民衛兵規定 (Regulamin straży honorowej obywatelskiej)」が作成された。この規定は十一条からなり、名誉市民衛兵の活動に関して規定されたが、その内容の多くは、どのような仕事内容か

について、第七条から第十一条まで書かれているものであり、規則のようなものではなかったようだ。第一条でも衛兵の人数について「名誉市民衛兵の人数制限はしない(59)」と示されている。先述したように、名誉市民衛兵は、クラクフ市当局が設定した自立的な巡幸警備兵である。また、布告において、市当局は1000人ぐらい集まればよいと希望的観測を提示していたが、その上限にはさほど関心はなかった。次に、第三条で、名誉市民衛兵を名誉市民衛兵委員会で人員の振り分けを行うことが記載されており、第四条では、名誉市民衛兵が配置場所において、秩序を維持することが明記された(60)。興味深いのは、第五条である。第五条には、「名誉市民衛兵の衣服は、民族衣装、あるいは、タキシード、真新しい手袋、そして、白い蝶ネクタイを着用すること(61)。」とされている。このように、民族衣装、あるいは、タキシードを用意することが求められたのである。このことから市当局にとって、一族への限定は想定していない。このように、名誉市民衛兵が、ある程度の収入を有するクラクフとその周辺の市民層によって担われるべきことが、市当局から設定されたのである。

次に、名誉市民衛兵に応募してきた人々の傾向を確認する。先述した通り、布告で市当局が1000人程度を目標達成値として定めていた。しかし、8月9日に布告された募集に2001人が応募してきたのである。その内訳は、「名誉市民衛兵(Strazy honorowaj obywatelskiej)」という市が作成したパンフレットに住民の名前とともに応募者の名前が明記されている。個人による自己推薦が1171人、学術団体からは130人、消防団員が600人、年金受給者が100人となっている。このうち、衛兵としてグループ分けされ、確認できる市民がおおよそ1396人であった。そして、その1396人のうち、クラクフ市内に居住していることが確認できるのは、おおよそ871人であった(62)。全体の約6割である。その傾向を示したのが、以下の名誉市民衛兵登録者とその居住地区の表(表2)である。名誉市民衛兵は、大きく6つの班に分けて構成されていた。そして、これらの班に所属する班員の多くが、居住地や役職を名簿に記載されていた。表2では、その中でも主に居住地別に班員の人数を分けている。

表2のクラクフ市内居住者について、第六班以外の班で最も多く居住している地区が第一地区(シロドミエシチュ)である。第一地区は、クラクフの中心部にあり、貴族や大土地所有者など多額納税者が居住していた地区である。そして、二番目に多いのが第八地区のカジミエシュである。この地区は元ユダヤ人地区である。19世紀半ばにユダヤ人地区が解体されたが、その後も多くのシナゴークが残されていた。同時に、この地域は、貧困層のキリスト教徒らとともに混住している地区であった(63)。そ

して、圧倒的な人数で構成されているのが、第六班である。この第六班は、さまざまな都市の志願消防団員と年金受給者によって構成されている。第一班から第五班までは、役所、あるいは、居住地を示しているが、この班については、人数のみの記載となっている。

第一班から第五班までの職業で多いのは、大学教授であり、そのほか学校教員、郵便局員や印刷会社職員など、大学や学術関係者、公務員などが大多数を占めていた。これには、クラクフのヤギェウォ大学を中心とする学術都市としての側面が影響していることは、想像に難くない。

次に、各班のグループ構成である。名誉市民衛兵は、第一班から第六班まで、それぞれ100人隊、10人隊、リーダーグループに分けられていた。そして、グループ別に全員リボンの着用が義務付けられていた(「名誉市民衛兵」第六条)。このリボンは名誉市民衛兵の証であった(64)。衛兵メンバーは、基本的に青と白のリボンの着用が義務付けられているが、その中でも100人隊長は大きな赤と白のリボン、10人隊長は小さな赤と白のリボンをそれぞれ着用した。委員会メンバーは大きな青と白のリボンの着用が義務付けられ、その立場の違いをリボンで表した。

以下、本項における名誉市民衛兵の傾向について、簡潔にまとめる。名誉市民衛兵は、市民の中でも特に、教養市民層や消防団員、年金受給者などが積極的に巡幸準備に参加していた。また、第八地区の旧ユダヤ人地区からも衛兵が多く参加していたことから、宗教的に分け隔てなく参加できていたのである。

居住地/班	第一班	第二班	第三班	第四班	第五班	合計	第六班			
							Kraków	100	Kraków	120
第一地区 (Srodmieste)	36	32	40	46	44	198	Kraków	100	Kraków	120
第二地区 (Zamek)	0	0	0	0	0	0	Bochnia	25	Jaworzna	50
第三地区 (Nowy Swiat)	1	1	10	2	2	16	Dąbrowa	5	Biała	65
第四地区 (Piasek)	4	10	10	9	7	40	Kalwarja	11		
第五地区 (Kieparz)	5	8	11	6	9	39	Mysleniec	30		
第六地区 (Wesoła)	0	2	5	6	6	19	Nowy Sącz	14		
第七地区 (Stradom)	2	2	4	6	6	20	Świątnik	15		
第八地区 (Kazimierz)	7	4	26	7	6	50	Tarnowa	15		
ポドグシェ地区	4	4	6	5	3	22	Wadowice	20		
隣接地域	4	7	15	14	9	49	Wieliczka	30		
不明	46	55	65	109	95	370	Żywiec	25		
類似氏名	26	8	6	5	3	48				
合計	109	133	198	215	190	871		290		235

表2 名誉市民衛兵の居住地分け

APKr. OUKr29/576/3, nr9-59をもとに筆者作成。

### 3.4 名誉市民衛兵の配置

では、名誉市民衛兵はどこに配置されたのだろうか。名誉市民衛兵のパンフレットにおいて、その配置が細かく述べられている(65)。この項では、先述した班がどこに配置されたのかを簡潔にまとめる。

名誉市民衛兵は、総勢 2001 人とされているが、この 2001 人でクラクフのすべての街路において警備を行うのは、不可能である。そのため、クラクフの都市部のフランツ・ヨーゼフが巡幸する通りを中心に配置された(66)。

まず、フランツ・ヨーゼフが巡幸する初日は、全員が朝 8 時に出場し、第一班は、フランツ・ヨーゼフの滞在地ポトツキ邸(Pod baranami)から聖ヴォイチェフ教会まで、第二班は聖ヴォイチェフ教会からフロリアインスカ通りの角まで、第三班はフロリアインスカ通りの角から二つ目の交差点まで、第四班はフロリアインスカ通りの二番目の交差点から環状門(バルバカン)まで、第五班は、

環状門からルヴィチ通りとその通り沿いのモシンスキ伯邸まで、第六班はルヴィチ通りの角から鉄道駅舎の入り口までを護衛することになった。フランツ・ヨーゼフがポトツキ邸に到着後、12 時半から改めて警備を再開する。1 時に聖ヴォイチェフ教会からヴァヴェル城(第二地区)までを第四班が配置され、内部には第五、六班が配置された。そして、郊外の軍事演習場であるウォブズフには第三班が配置された。軍事演習地からの帰還後は、ポトツキ邸までの通りを第五班と第六班によって警備されることになった。そして、夜 7 時には、ポトツキ邸の近くには第一班が、第一地区の聖ヴォイチェフ教会と聖マリア教会までは、第六班が配置された。また、それ以外の通りを第二班や第四班、そして、第五班が配備された(67)。

2 日目、午前中は第一班と第六班を中心に配置された。時間については未定であったが、まず、ポトツキ邸からヴィシルナ通り、ヴォルスカ通りの角まで各班が配備された。そして、10 時から 12 時までは第六班がポトツキ邸から聖ヴォイチェフ教会まで人垣を作る。12 時から、第二班が持ち場につき、皇帝が訪問するヤギェウォ大学までを第三班が警備することになった。その後、午後 2 時から第四班が第三班に代わり、ポトツキ邸から整列した。その警備の人垣は、聖ヴォイチェフ教会、聖マリア教会、フロリアインスカ通りにそって、チャルトリスキ博物館まで配置された。もし、皇帝のみがフロリアインスカ通りによってくるのなら、ポトツキ邸に配置された第四班の一部が聖ヴォイチェフ教会の周りとフロリアインスカ通りまで、その後、スワフコフスカ通り、技術アカデミーまで整列することになった。2 時半に、第五班が技術アカデミーからヴィドク通りにそって、ワルシャワ通り、そして兵舎まで整列した。

午後 3 時に、クレパシュにある美術学校には第六班が配置された。そして、第四班は、女子学校のもとに整列した。その後、中央織物会館(スキェンニツァ)での舞踏会場には第六班が整列することが企画された(68)。

3 日目は、コシューシコ山など、クラクフ市の郊外での巡幸が企画されていた。まず、第一班がポトツキ邸の前に整列する。そして、その後、ヴィシルナ通りにそって、ズヴェジニツカ通りまで第二班が配置された。同時間には、ポトツキ邸から郵便局まで第三班が、郵便局からストラドムスキ橋までを第四班が、ストラドムスキ橋からポドグルスキ橋まで、第五、六班が配置された。さらに、この二つの班から、ポドグシェへ 50 名が赴くことになった。

その後、1 時にポトツキ邸に第一班が配置された。そして、第四、五班がカジミエシュまでの通りに配置された。そのほか、駐屯軍附属病院前には第二班が、午後 2 時半に消防団兵舎前には、第三班が配置された。そして、5 時にはポトツキ邸の前で第二、三班が配置された(69)。

最終日、午前 4 時にルヴィチ通り、バシウトヴァ通りを通過して駅舎にすべての班が集まることになった。そして、初日と同様の配置につくことが決められた(70)。

このように、クラクフでのフランツ・ヨーゼフの滞在時間、そのほとんどの警備について時間単位で動いている。また、フランツ・ヨーゼフの滞在先やその訪問先までの道行きにすべてに目が行き届くように配置されていることがわかる。さらに、彼らのこうした護衛配置は、ガリツィアで発行されている保守派系新聞「時代(Czas)」にて一面で事細かく報じられたのである(71)。そのため、彼らの働きをフランツ・ヨーゼフが認識したことは間違いないし、一方で、都市住民に対しても、フランツ・ヨーゼフを護衛する市民衛兵の存在は、強い印象を与えたのである(72)。

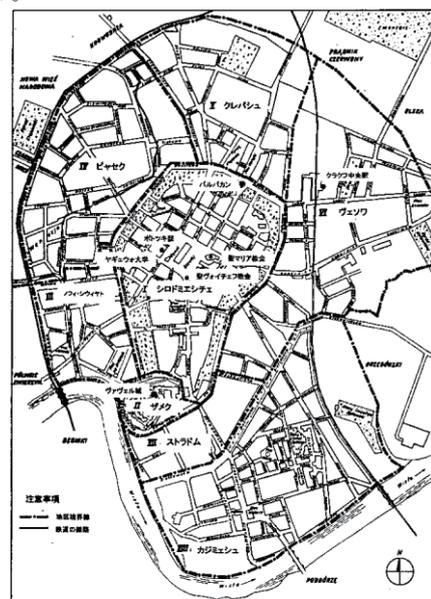


図 20 世紀前半のクラクフ都市部

#### 4. ポーランド王国との歴史的連続性と帝国への忠誠の視覚化

名誉市民衛兵委員会はほかの委員会よりも圧倒的に大所帯であった。巡幸歓迎準備委員会の中央委員会は、名誉市民衛兵にどのような役割を求めたのだろうか。巡幸歓迎準備委員会が、何よりも重要とみなしていたのは、クラクフのヤギェウォ王朝時代から現在に至るうえでの歴史的連続性があることを視覚的に示すことであった。クラクフという都市の歴史的背景を客観的にみれば、1772年以降の三度にわたるポーランド分割によってその王国としての連続性は喪失したと言っても過言ではない。しかしながら、クラクフ市当局は、ポーランド王国との歴史的連続性を声高に強調したのである。それは、8月9日に通知された巡幸歓迎準備委員会による名誉市民衛兵設立の通知によって、次のように表されている。

布告、王都クラクフの尊敬すべき住民に対して

今年9月1日午前8時に皇帝陛下が我々の庭[クラクフ]にやってくる。そして、9月4日朝5時までここに逗留される。君主の溢れんばかりの恩恵をうけた我々への好意について、[この巡幸は]我々の領邦や当局に対しての精いっぱいあらゆる努力を担うよう強く要請するものである。賓客への歓迎会は、こうした喜びと真心をもって催すものである。これに関して古き伝統を持つポーランド王国の歓待[の精神]を得られるとするならば、それは我々の全精力をもってしてのみなせることであろう。

都市代表は、我々の町における皇帝陛下の滞在について陛下がお喜びになるための努力を惜しまない。それゆえ、クラクフ住民たちが自ら名誉市民衛兵の設立やクラクフ全体の装飾により盛大な歓迎会を催すべきであろう。(中略)

名誉市民衛兵は、かなりの数で構成される。また、その組織は、長期間の活動を必要とする。そのため、市民諸君に対し、貴殿らが名誉市民衛兵として参加するよう要請したい。(中略)市民諸君への布告を行うのは、どのような圧力を受けるわけでもなく、ヤギェウォ王朝の庭[クラクフ]自身が快く陛下を、我らを治める真の君主としてお迎えし、ごあいさつ申し上げるためであることを貴殿らに約束する(73)。

市民への通達として興味深いのは「私たちの庭」や「ヤギェウォ王朝の庭」というようにクラクフという都市の名称を暗喩していることである。こうした暗喩とともに「王都クラクフ」「古きポーランド王国の歓待[の精神]」

などという言葉を用いてかつて王都であったクラクフの過去を強調しているのである。また、他国から流入した多くのポーランド人たちに対してもクラクフ市当局は、自身こそがポーランド王国の代表者であることを自認し、名誉市民衛兵を、その認識をクラクフ市民と共有するための装置としたのである。

それは、巡幸歓迎準備委員会の巡幸終了後の市長ズィブリキェヴィチからクラクフ市民に対しての通達にも表れている。

敬愛すべき責務のもと、秩序の維持に関して名誉市民衛兵に心から感謝申し上げる。また、同様にクラクフでの皇帝陛下の滞在期間中の都市の整備に関しても感謝申し上げる。貴殿らのたゆまぬ努力のおかげで、私たちの都市[の評価]は、私たちにとっての客人らと同様に陛下の発言においてものびやかに成長したのである。

とりわけ、[名誉市民]衛兵委員会は、都市にとっての組織化、臨機応変な指示に見事に対応した。私は、敬愛する貴殿ら同志の発言によって自身の自由を示したこと、過去のポーランド王国が自身の市民の特殊性を維持したことに対しても感謝の意を表する(74)。

ズィブリキェヴィチは、クラクフの整備への市民による尽力についても触れており、巡幸がクラクフの発展に大きな影響を果たした。巡幸中、クラクフには多くのクラクフ外からの見物客が押し寄せた。皇帝への忠誠心を示すということは、何もガリツィア内部の民衆に対してのみではなく、ガリツィア外の民衆に対しても広く皇帝への忠誠により得られる自由を示すことによって、クラクフの都市としての自由と帝国への忠誠を内外にアピールしていたのである。また、クラクフがポーランド王国の歴史的伝統を内包した社会であることを市民に示すことにより、クラクフがガリツィアという領邦の中で突出してポーランドの伝統を維持した社会であることを声高に強調したのである。

このように旧ポーランド王国の記憶とオーストリア支配との歴史的連続性を共有するための記憶装置としての役割を名誉市民衛兵は求められていた。そして、2001名からなる名誉市民衛兵たちは、民族衣装を身にまとい、皇帝を護衛することによって、そうした市当局の思惑を体現したのである。

#### 5. おわりに

1880年のガリツィア巡幸におけるクラクフ市巡幸歓迎準備委員会の活動、とりわけ、名誉市民衛兵の役割について考察してきた。1880年のガリツィア巡幸は、クラ

クフの市当局を中心とした巡幸歓迎準備委員会にとって稀にみる規模で計画された巡幸準備であった。そして、それは、旧ポーランド王国の伝統の継承者としてのクラクフを帝国内外にアピールする絶好の機会であった。こうした理由から、名誉市民衛兵委員会が設置された。衛兵たちは、帝国とクラクフの住民ら、そのほかの他国からやってきた巡幸見物人に対して、市当局の思い描くポーランド王国の記憶の維持や共有をしつつオーストリアへの忠誠心を視覚化する装置としての役割を求められていたのである。こうした働きかけは、ある意味成功していたと言える。オーストリアにおいても、ガリツィアにおける巡幸準備をとおして、ガリツィアの住民の大半が皇帝や国家への忠誠を高らかに誓っているという見方を示している(75)。皇帝も、クラクフでの市内巡幸終了時に、彼らの活動をおおむね評価した(76)。このように、ウィーンから離れた北辺の地で、オーストリアへの忠誠を名誉市民衛兵という形で視覚化した。では、ルヴフではどうだったのだろうか。ルヴフでも、クラクフ同様、名誉市民衛兵が組織されていた。こうした都市同士での同様の組織の相違があったのかなどについては、今後の課題としたい。

## 注

- (1) ダニエル・ウノフスキは、地方の政治グループによる皇帝イメージの利用、あるいは、拒絶に注目し、市民祝祭から政治参加が拡大した19世紀後半のハプスブルク帝国における民族と、超国家的なアイデンティティとの間での緊張関係について考察している。Daniel L. Unowsky, *The Pomp and Politics of Patriotism: Imperial Celebration in Habsburg Austria, 1848-1916*, West Lafayette, Indiana, 2005, pp. 2-3. 領邦の知識層と中央政府による国民形成をめぐる共犯関係の概要については、Tara Zahra, “Imagined Non-Communities: National Indifference as a Category of Analysis”, *Slavic Review*, vol. 69, 2010, pp. 93-119. 並びに、Pieter M. Judson and Tara Zahra, “Introduction”, *Austrian History Yearbook*, vol. 43, 2012, pp. 21-27 参照。
- (2) 市民祝祭や祝日の制定については、エリック・ホブズボーム、テレンス・レンジャー、前川啓治訳『創られた伝統』紀伊國屋書店、1992年参照。
- (3) József Galántai, *Der österreichisch-ungarische Dualismus 1867-1918*, Budapest, Wien, 1985, S. 98. ガリツィアの自治拡大とポーランド人のオーストリアへの忠誠心についてのアスタニスワフ・ピヤイが詳細に分析している。Stanisław Pijaj, *Między Polskim patriotyzmem a Habsburskim Lojalizmem: Polacy wobec przemian ustrojowych monarchii habsburskiej (1866-1871)*, Kraków, 2003 参照。
- (4) ガーランタイは、ガリツィアの「特殊な自治」を獲得していった行為を「小アウスグライヒ」と述べている。また、ビーバーシュタインにおいても、同様の表現を行っていることから、研究者の間で周知の事実となっている。Galántai, *Der österreichisch-ungarische Dualismus 1867-1918*, S. 98. 「小アウスグライヒ」の詳細については、Christopher Freiherr von Bieberstein, *Freiheit in der Unfreiheit. Die Autonomie der Polen in Galizien nach dem österreichisch-ungarischen Ausgleich von 1867, ein konservativer Aufbruch im mitteleuropäischen Vergleich*, Wiesbaden, 1993 参照。
- (5) Jacek Purchla, „Kraków i Lwów: zmienność relacji w XIX i XX wieku” Jacek Pruchla (red.), *Kraków i Lwów w cywilizacji europejskiej: materiały międzynarodowej zorganizowanej w dnach 15-16 listopada 2002, Kraków, 2005*, s. 85.
- (6) 加藤寿一「20世紀転換期におけるガリツィア農村の変容—労働移動と農村の「共同体」的側面を手がかりにして—」『クリオ』18号、2004年、37頁。
- (7) プルフラは、クラクフが19世紀後半にポーランド人のナショナル・アイデンティティ形成において重要な役割を果たしたとして、クラクフを「ポーランドの隠れ家(Matecznik Polski)」と称している。Jacek Purchla, *Matecznik Polski: pozaekonomiczne czynniki rozwoju Krakowa w okresie autonomii galicyjskiej*, Kraków, 1992 参照。19世紀後半の近代化の時期のガリツィアの各都市の状況に関する研究については、Jacek Purchla(red.), *Kraków i Lwów w cywilizacji europejskiej: materiały między konferencji zorganizowanej w dniach 15-16 listopada 2002*, Kraków, 2005. 並びに、Krzysztof Fiołek i Maria Stala(red.), *Kraków i Galicja wobec przemian cywilizacyjnych(1866-1914): Studia i szkice*, Kraków, 2011 参照。
- (8) フラスは、1851年から1903年までに行われたガリツィア巡幸を網羅しその特徴を明らかにした。詳細は Zbigniew Fras, „Podróże cesarza Franciszka Józefa I do Galicji”, Mark Czapliński, Rumuald Gelles, Krystyna Matwijowski (red.), *Z dziejów Galicji, Śląska, Polski i Niemiec. Prace ofiarowane profesorowi drowi Adamowi Galosaowi w siedemdziesiątą rocznicę urodzin*, Wrocław, 1994, s. 121-130 参照。
- (9) Józef Buszko, *Polacy w parlamencie wiedeńskim 1848-1913*, Warszawa, 1996, s. 112-113. Damian Szymczak, *Galicyska ambasada w Wiedniu: dzieje ministerstwa dla Galicji 1871-1918*, Poznań, 2013, s. 134.
- (10) Michał Oberc, *Wizyty cesarza Franciszka Józefa I w Galicji*, Rzeszów, 2016, s. 47-49.
- (11) Daniel L. Unowsky, „Celebrating Two Emperors and a

- Revolution: The Public Contest to Represent the Polish and Ruthenian Nation in 1880”, Lourence Cole and Daniel L. Unowsky ( ed. ) *The Limits of Loyalty: Imperial Symbolism, Popular Allgiances, and State Patriotism in the late Habsburg Monarchy*, New York, Oxford, 2007, p. 131. また、ウノフスキは、巡幸を含めたハプスブルク帝国の国家儀礼によるナショナル・アイデンティティの形成について詳細に分析している。Daniel L. Unowsky, *The Pomp and Politics of Patriotism: Imperial Celebrations in Habsburg Austria 1848-1916*, West Lafayette, Indiana, 2005 参照。また、彼の研究を活用し、ラリー・ウォルフはフランツ・ヨーゼフのガリツィアへの好印象に影響を与えたことを示している。Larry Wolff, *The Idea of Galicia: History and Fantasy in Habsburg Political Culture*, Stanford, California, 2012, pp. 259-261.
- (12) Unowsky, “ Celebration Two Emperors and a Revolutions ”, p. 116.
- (13) Rudolf A. Mark, *Galizien unter österreichischer Herrschaft: Verwaltung-Kirche-Bevölkerung*, Marburg, 1994, S. 70.
- (14) Mark, *Galizien unter österreichischer Herrschaft*, S. 100.
- (15) Purchla, „ Kraków i Lwów ”, s. 85.
- (16) Purchla, „ Kraków i Lwów ”, s. 85.
- (17) ターフエの政権運営について、ハンス・コーンは「すべての民族を適度にバランスの取れた不満状態におくこと」が自らの政策だ」と述べて」としている。これについて、川村は「ターフェは、これといった理念を持たない現実主義的な超然主義政治家だった。」としている。このことから、ターフェは帝国における諸民族の政治的要求に対して絶えず中立であろうとした、と言える。ハンス・コーン、稲野強、小沢弘明、柴宜弘、南塚信吾共訳『ハプスブルク帝国史入門』恒文社、1982年、112頁。川村清夫『ターフェとバデーニの言語令—ハプスブルク帝国とチェコ・ドイツ民族問題—』中央公論事業出版、2012年、50頁。
- (18) 1879年4月13日の衆議院の予算法案の報告において、セヴェリンスマジェフスキが、ポーランド・クラブの政治的姿勢について明らかにしている。「ガリツィアは、国家を支えていく。すなわち、ポーランド人たちは、帝国を支えてきたし、今後も支えていくのである。なぜなら、ここにいるポーランド人たちは恐るべき衰退の世紀によって、失われたものを救う機会を得、その民族性をはぐくみ、安全を維持する機会を得たからである。そして、今後も帝国を支えていく。古き祖国の一部においてもつばら、ポーランド人達には、長き不自由ののちに、その心にある沸き立つような感情を感じる機会が必要とされているし、その他の状況において、かの同胞に近寄りたがいがゆえに、私は王朝の感情を思うのだ。」このように、オーストリア帝国への普遍的支持を帝国議会の場で表明している。Buszko, *Polacy w parlamencie wiedeńskim 1848-1918*, s. 107. 原典は、Gustav Kolmer, *Parlament und Verfassung in Österreich: Bd. III 1879-1885*, Wien, Leipzig, 1905, S. 9.
- (19) ユリアン・ドゥナイェフスキの入閣について、ガリツィアでは7月頃から注目される出来事であったことは、ウィーンにも伝えられている。*Neue Freie Presse*, Nr. 5721 ( 1. VIII ) 1880, S. 3. 1880年に入閣したのは、ガリツィア担当無任所大臣であったフロリアン・ジェミャウコフスキと財務大臣のユリアン・ドゥナイェフスキである。ガリツィア担当の無任所大臣については、1871年にオーストリア帝国政府に設置された行政官庁であり、ガリツィアの地方行政と帝国政府との仲介役を期待されて設置された。しかし、このガリツィア担当の無任所大臣の政治的地位は曖昧なものであったため、政治業務の至る所で支障をきたしていた。ガリツィア担当無任所大臣の設置とその機能については、Damian Szymczak, *Galicyjska ambasada w Wiedniu: 1871-1918*, Wrocław, 2013 参照。
- (20) Daniel Unowsky, “ Our Gratitude Has no Limit ” : Polish Nationalism, Dynastic Patriotism and the 1880 Imperial Inspection Tour of Galicia ”, *Austrian Years Book*, 2003, p. 148.
- (21) ターフエ政権とポーランド人議員とのかかわりについては、拙稿「1880年ガリツィアへの皇帝巡幸—巡幸をめぐる中央と地方の関係」『寧楽史苑』第60号、2015年、37—51頁参照。
- (22) Aleksander Nowolecki, *Pamiętka podróży cesarza Franciszka Józefa I po Galicyi i dwudziestwo-dniowego pobytu Jego w tym kraju, Kraków*, 1881, s. 1.
- (23) Wolff, *The Idea of Galicia*, p. 255.
- (24) 1868年、巡幸撤回の経緯については、拙稿「1868年幻のガリツィア巡幸」『人間文化研究科年報』第31号、2016年、15-24頁参照。また、1868年巡幸の撤回によって、ポーランド人議員らはフランツ・ヨーゼフからの不興を買った。Unowsky, *The Pomp and Politics of Patriotism*, p. 50. この巡幸撤回により、当時ガリツィア総督ゴウホフスキが辞職に追い込まれた。Pijaj, *Między Polskim patriotyzmem a Habsburskim Lojalizmem*, s. 212-228.
- (25) *Neue Freie Presse*, Nr. 5662 ( 3. VI ) 1880, S. 8. *Gazeta Narodowa*, nr124 ( 2. VI ) 1880, s. 1.
- (26) *Neue Freie Presse*, Nr. 5662 ( 3. VI ) 1880, S. 8.
- (27) *Neue Freie Presse*, Nr. 5662 ( 3. VI ) 1880, S. 8. ちなみに、ドゥナイェフスキの入閣が報じられたのが6月28日である。*Neue Freie Presse*, Nr. 5687 ( 28. VI ) 1880, S. 1.
- (28) *Neue Freie Presse*, Nr. 5663 ( 4. VI ) 1880, S. 2.
- (29) *Neue Freie Presse*, Nr. 5664 ( 5. VI ) 1880, S. 3. しかし、報じた後にガリツィアでなんの反応もないため、戸惑った反応も後日、*Neue Freie Presse*において報じられている。*Neue Freie Presse*, Nr. 5668 ( 9. VI ) 1880, S. 7.
- (30) *Neue Freie Presse*, Nr. 5667 ( 8. VI ) 1880, S. 7. これについて、巡幸の発表が行われたのは7月7日の領邦議会においてであった。Nowolecki, *Pamiętka Podróży cesarza Fransiszka Józefa I po Galicyi i dwudziestwo-dniowego pobytu Jego w tym kraju*, s. 1.
- (31) 1880年6月ごろ、ガリツィアでは鉄道路線建設に関するオースト

- リア・ガリツィア間の交渉がおこなわれているさなかに、ヴィスワ川の氾濫がおこり、その損害調査を通じて、ヴィスワ川の堤防建設に関する問題が浮上していた。*Neue Freie Presse*, Nr. 5664 ( 5. VI ) 1880, S. 3.
- (32) *Czas*, nr156 ( 11. VII ) 1880, s. 2.
- (33) *Czas*, nr154 ( 9. VII ) 1880. Nowolecki, *Pamiętek Podróży cesarza Franciszka Józefa I po Galicyi i dwudziestwo-dniowego pobytu Jego w tym kraju*, s. 2. *Czas*, nr 163 ( 20. VII ) 1880, s. 2.
- (34) 山之内克子「19世紀ウィーンにおける市民祝祭—皇帝フランツ・ヨーゼフ銀婚式祝祭行列を中心に—」『千葉大学社会文化学研究』創刊号、1997年、33頁。
- (35) Nowolecki, *Pamiętek podróży cesarza Franciszka Józefa I po Galicyi i dwudziestwo-dniowego pobytu Jego w tym kraju*, s. 3. ガリツィアにおける飢饉については、さらにオーストリアの国庫から援助金が支給されている。*Neue Freie Presse*, Nr. 5568 ( 9. VI ) 1880, S. 7.
- (36) *Gazeta Narodowa*, nr175 ( 1. VIII ) 1880. S. 2.
- (37) Posiedzenia 15, ( 7. VII ), Protokoły z 3. Sesi IV. Peryodu Sejmu Krakowego Królestwa Galicyi i Lodomeryi z Wielkiem Księstwem Krakowskim w roku 1880, s. 3.
- (38) Nowolecki, *Pamiętek podróży cesarza Franciszka Józefa po Galicyi*, s. 3.
- (39) *Czas*, nr165 ( 22. VII ) 1880. S. 3.
- (40) Nowolecki, *Pamiętek podróży cesarza Franciszka Józefa po Galicyi*, s. 6.
- (41) *Neue Freie Presse*, Nr 5715 ( 26. VIII ) 1880, S. 5. クラクフでも、市民に同様の布告が行われている。APKr29/576/3, nr 61.
- (42) *Neue Freie Presse*, Nr. 5715 ( 26. VII ) 1880, S. 5.
- (43) *Czas*, nr169 ( 27. VII ) 1880, s. 3. *Czas*, nr172 ( 30. VII ) 1880, s. 3. *Gazeta Narodowa*, nr174 ( 31. VII ) 1880, s. 2.
- (44) この巡幸が軍事教練をメインとしていることが定期刊行物各紙で強調されている。*Czas*, nr174 ( 1. VIII ) s. 2. *Neue Freie Presse*, Nr. 5721 ( 1. VIII ) 1880, S. 2.
- (45) *Neue Freie Presse*, Nr. 5723 ( 3. VIII ) 1880, S. 2.
- (46) Posiedzenia 15, ( 7. VII ), Protokoły z 3. Sesi IV. Peryodu Sejmu Krakowego Królestwa Galicyi i Lodomeryi z Wielkiem Księstwem Krakowskim w roku 1880, s. 4.
- (47) Nowolecki, *Pamiętek Podróży cesarza Franciszka Józefa I po Galicyi i dwudziestwo-dniowego pobytu Jego w tym kraju*, s. 6.
- (48) Nowolecki, *Pamiętek Podróży cesarza Franciszka Józefa I po Galicyi i dwudziestwo-dniowego pobytu Jego w tym kraju*, s. 6.
- (49) *Czas*, nr167 ( 24. VII ) 1880, s. 2.
- (50) *Czas*, nr167 ( 24. VII ) 1880, s. 2. Nowolecki, *Pamiętek Podróży cesarza Franciszka Józefa I po Galicyi i dwudziestwo-dniowego pobytu Jego w tym kraju*, s. 6. APKr29/576/3, nr71.
- (51) APKr29/576/3. nr155. *Czas*, nr167 ( 24. VII ) 1880.
- (52) Janina Bienierzówna, Jan M. Małecki, *Dzieje Krakowa tom 3 : Kraków w latach 1796-1918*, Kraków, 1979, s. 258-289.
- (53) APKr29/576/3, nr155.
- (54) APKr29/576/3, nr137-143. Archiwum Uniwersytetu Jagiellońskiego(以後、AUJ とする), SII963, nr3.
- (55) APKr29/576/3, nr137-143. AUJ, SII963, nr3.
- (56) また、この市民衛兵の組織化は、クラクフだけでなくルヴフの巡幸歓迎準備委員会においても組織された。Unowsky, “ Our Gratitude Has No Limit ”, pp. 150-151.
- (57) APKr29/576/3, nr65. ABJ. SII963, nr3. *Czas*, nr189 ( 19. VIII ) 1880, s. 2.
- (58) 布告では、「明日、皇帝陛下がいらっしゃる。ゆえに、明日から名誉市民衛兵は、自身の責務を全うするのである。(中略) 古きヤギェウオ朝の庭の住民として、皆が、そして各々が賓客に対し見本をお見せよう。見本のようになれる力が私たちにはあるのだ。(省略)」としている。*Czas*, nr200 ( 1. IX ) 1880, s. 1.
- (59) APKr29/576/3, nr133.
- (60) APKr29/576/3, nr113.
- (61) APKr29/576/3, nr133.
- (62) APKr29/576/3, nr9-59 ( „Straż honorowa obywatelska” ) .
- (63) Anna Jakimyszyn, *Żydzi krakowscy w dobie Rzeczypospolitej Krakowskiej*, Kraków, Budzpeszt, 2008, s. 255-260.
- (64) APKr29/576/3, nr133.
- (65) 「名誉市民衛兵」のパンフレットには、A) で名誉市民衛兵参加者の名前が、B) には、割り振られた班の配置が示されている。特に、B) は 41 頁以降に配置の詳細が記述されている。APKr29/576/3, nr53-59.
- (66) APKr29/576/3, nr53.
- (67) APKr29/576/3, nr53-56, s. 41-44.
- (68) APKr29/576/3, nr56-57, s. 44-45.
- (69) APKr29/576 3, nr57-59, s. 45-47.
- (70) APKr29/576/3, nr59, s. 47.
- (71) *Czas*, nr199 ( 31. VIII ) 1880, s. 1.
- (72) 9月2日と3日の *Gazeta Lwowska* には、「コントゥーシュ (Kontusz)」と呼ばれるポーランド風の民族衣装を身にまとったポーランド人市民の活動について述べられている。*Gazeta Lwowska*, nr203 ( 3. IX ) 1880, s. 1. *Gazeta Lwowska*, ( 2. IX ) nr202, 1880, s. 1
- (73) APKr29/576/3, nr61.
- (74) APKr29/576/3, nr63.
- (75) *Neue Freie Presse*, Nr. 5754 ( 3. IX ) 1880, S. 1-2.
- (76) *Neue Freie Presse*によると、フランツ・ヨーゼフは、巡幸終了時、「クラクフでの世の滞在は、余の生涯の最も美しい記憶として、とどめられるだろう。」と述べている。*Neue Freie Presse*, Nr. 5756 ( 5. IX ) 1880, S. 6.

(原稿受付：2020年10月29日)



# 水アトマイズ法により製造された極微細金属粉末による焼結ハイスの開発

古谷 一幸\*

R & D's of sintered HSS fabricated by using ultra-fine PM made of water atomizing method

Kazuyuki FURUYA

\* 産業システム工学科 機械システムデザインコース

**Abstract :** High speed steel (hereafter, HSS) is a steel to which a large amount of alloying elements such as Cr, W, Mo, Co, and V are added. HSS suppresses the decrease in softening resistance of tool steels at high temperatures and enables cutting at higher speeds. The HSS are classified into molten HSS and sintered HSS. Sintered HSS has no lumps of carbide and no anisotropy. Due to the fine metal structure, sintered HSS has better mechanical properties such as strength and toughness than molten HSS. Therefore, this research aims to develop a high performance powdered HSS (composition of SKH 57) with excellent mechanical properties. SKH57 uses powder made by the water atomization method. In the water atomization method, very fine metal powder can be produced by injecting high pressure water into molten metal. The average particle size of the powder produced by this method is very fine, about 5 micrometers. After that, the metal powder was agglomerated into spherical particles of about 100 micrometers and pressed. After that, the sintering conditions were optimized. The microstructure observation, hardness test, bending test, and impact test of the test piece were investigated. As a result of the experiment, the hardness of the sintered HSS and that of the molten HSS are almost the same. However, sintered HSS has excellent mechanical properties such as bending strength, impact value and wear resistance.

**Keywords :** 焼結ハイス, 金属粉末, 水アトマイズ法

## 1. 緒言

高速度鋼(以下、ハイス)は、工具鋼における高温下での耐軟化性の低下を抑制し、より高速での切削を可能とするために、Cr, W, Mo, Vなどの合金元素を多量に添加した鋼である。ハイスには、溶かした金属を型に流し冷やし固めた後、成形及び圧延等を施し造られる溶製ハイスと、粉末金属をプレス成形した後に焼結処理を施し造られる焼結ハイスがあるが、焼結ハイスは析出物等が偏析しにくく、金属組織がより微細であり、また異方性もないことなどから、溶製ハイスに比べ強度やじん性などの機械的性質に優れている<sup>(1)~(4)</sup>。そこで、より微細な粉末金属を用いれば、市販材より機械的性質に優れた焼結ハイスを開発できるのではと考えた。先行研究では、金属組織の微細化を目指しながら、機械的特性を大幅に低下させる気孔の発生を抑制する製造条件についての検討が行われてきた。

本研究の目的は、先行研究<sup>(6)</sup>によって検討が成された製造条件を用いて試験片を製作し、これらの機械的特性を調べることである。その評価のために、各試験片に対して硬さ試験、抗折試験、衝撃試験、摩擦・摩耗試験および走査型電子顕微鏡による観察を行った。

## 2. 粉末金属の製造及び焼結試験片の作成

本研究では、SKH57組成の粉末を使用する。表1に使用したSKH57粉末とJISに規格されている組成を示す。粉末の製造手法として、水アトマイズ法を使用する。水アトマイズ法<sup>(6)</sup>とは、熔融した金属に高圧水を噴射し、霧化冷却することにより微細な金属粉末を製造する手法である。水アトマイズ法により製造された粉末は平均粒径5 $\mu\text{m}$ 程度となり、非常に微細である。この平均粒径5 $\mu\text{m}$ 程度のアトマイズ粉末を、造粒により平均粒径100 $\mu\text{m}$ 程度の大きさに仕上げた(造粒とは、微細金属粉末に接合材となるバインダー材を添加し攪拌することにより、球状の粒子に凝集する操作である)。造粒用バインダーにはポリビニールアルコール10%水溶液を用い、乾燥後のポリビニールアルコール含有量が0.75%になるように添加した。本研究にて製造したアトマイズ粉末の炭素量は、JISによるこれらの材料の規格値1.2%の下限値とほぼ同等である。さらに、酸素を0.24%以上含有している。このまま成形し焼結すると、焼結中に炭素と酸素が反応し一酸化炭素、または二酸化炭素ガスとなり炭素量が低下してしまう。これを防止するため、造粒粉末にグラファイト粉末を0.1%添加し、成形用潤滑剤としてアミドロ

ックスを 0.3%添加した後、Vミキサーで混合した。

表 1 製造した粉末金属 (SKH57 に準拠) の化学組成 (wt %)

C	Cr	Mo	W	V	Co	O
1.27	4.28	3.52	9.86	3.45	9.37	0.24

粉末の成形は、圧力 600MPa 一定として、55mm×10mm×11mm の衝撃試験片と 36.3mm×10mm×5.6mm の抗折試験片を作製した。そして、これら成形体は、横型真空脱脂焼成炉で焼結を行った。図 1 に本実験におけるシンターヒッププロセスを示す。成形体を 800℃まではN<sub>2</sub>ガス中で昇温することで脱脂、その後 10Pa の減圧中で連続的に昇温し、1190℃で 2 時間保持して焼結した。同時に 5.5MPa の圧力を加え、Ar ガスを炉内に導入してシンターヒップ処理を行った。さらに、各焼結体試験片を 860℃×3h の真空焼きならし処理後、1200℃×110 秒および 1200℃×120 秒ソルト中で加熱後油焼き入れし、大気中で 560℃×2h 加熱後空冷の条件で 3 回繰り返して焼き戻し処理を行った。焼入れ時間を 110 秒と 120 秒に分けているのは、抗折試験片と衝撃試験片の大きさが異なるからである。以上を経て特性評価用粉末ハイス試験片を作製した。また、粉末ハイス試験片の比較材として、市販されている溶製鋼の SKH57 を用意した。比較材は、検討材と同じ形状に加工し、ソルト中で焼き入れと、大気中で焼き戻し処理を行った。

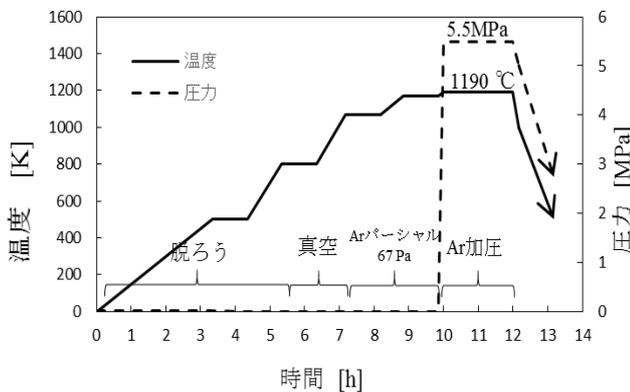


図 1 シンターヒッププロセス

### 3. 実験方法

機械的特性評価として、各試験片に対して硬さ試験、衝撃試験、抗折試験、摩擦・摩耗試験および走査型電子顕微鏡による観察を行った。硬さ試験は、マイクロビッカース硬さ試験機を用いて行った。衝撃試験は、300CR 型試験機を用いて、JIS Z 2242 金属材料のシャルピー衝撃試験方法に則り試験片にノッチを付加して行った。図 2 に付加したノッチの概略を示す。抗折試験は万能試験機を用い、支点間距離を

25.4mm とし、押し込み部は半径 5mm, 指示部は半径 2.5mm の治具を用いて、加圧速度 0.5mm/min で行った。図 3 に抗折試験の方法を示す。摩擦・摩耗試験では、抗折試験および衝撃試験で破壊した試験片の半片を加工し、これらに対してボール・オン・プレート往復動摩擦摩耗試験機を用いて特性を評価した。試験条件は、高純度アルミナボール(直径 10mm)を用い、試験荷重 118.11N, 潤滑状態を無潤滑, 試験時間 3 時間, 摩擦ストローク 5mm, 往復回数 39.1c.p.m, 最大滑り速度 10.23mm/s とした。図 4 に往復動摩擦摩耗試験機の概略図を示す。摩耗試験によって得られた摩耗痕に対しては、走査型電子顕微鏡による表面観察を行った。

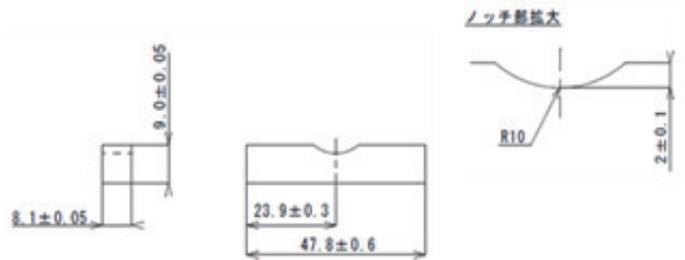


図 2 抗折試験片の形状及び寸法

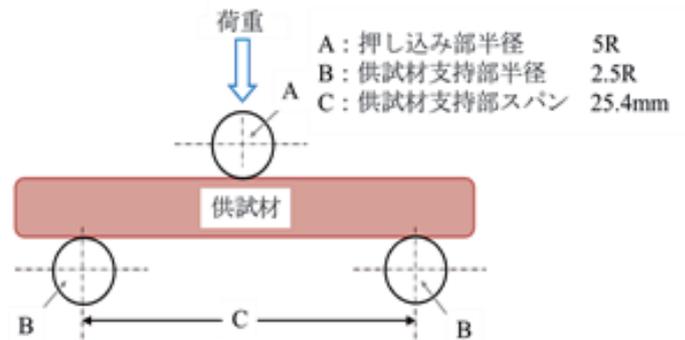


図 3 抗折試験条件

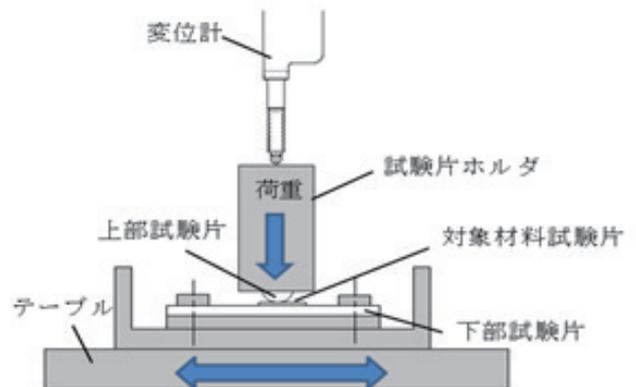


図 4 往復動摩擦摩耗試験機の概略図

#### 4. 実験結果および考察

抗折試験では、各試験片について5回ずつ測定を行った。抗折試験結果の平均値を図5に示す。水アトマイズ粉末から製造したSKH57(以下、粉末材)は3813MPa、比較材として用意した市販されている溶製鋼のSKH57(以下、溶製材)は2619MPaであった。粉末材は溶製材と比較すると、約1.45倍の抗折力を有することが確認できた。

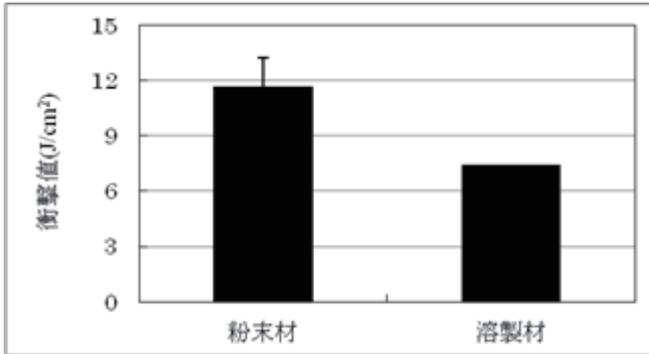


図6 焼結材と溶製材（市販材）のシャルピー衝撃値の比較

硬さ試験では、各試験片について5回ずつ測定を行った。硬さ試験結果の平均値を図7に示す。粉末材は998.6HV、溶製材は1002.3HVであった。粉末材の硬さは溶製材と比較すると、約0.996倍で、溶製材は若干硬いことが確認できたが、粉末材と溶製材の硬さに大きな違いはない。

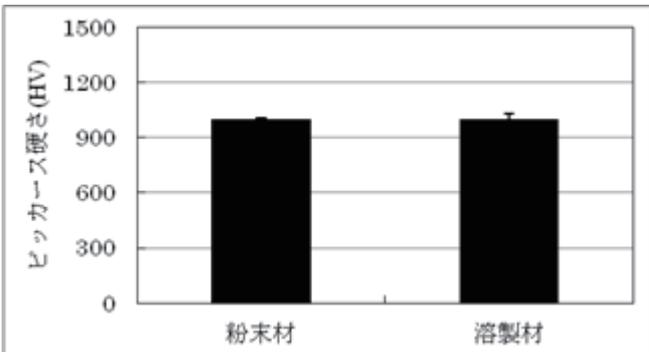


図7 焼結材と溶製材（市販材）のビッカース硬さの比較

摩擦・摩耗試験では各試験片について3回ずつ摩擦力をロードセルで測定し、一度ペンレコーダに記録する。ペンレコーダに記録された摩擦力の値を読み取り、摩擦係数 $\mu$ を算出した。図8に摩擦・摩耗試験における各試験片の時間と摩擦係数の関係の平均値を示す。粉末材、溶製材共に荷重負荷時(0min)の摩擦係数は0.52と同程度を示している。また、どちらの材料も摩擦係数の推移の仕方は、0.01~0.02程度の差があるがほぼ同様であり、40min~60minまでは急激に摩擦係数が上昇し、その後一定の値を示している。最終的

な摩擦係数でも粉末材が0.77、溶製材が0.74であり、粉末材の摩擦係数が高いが、ほぼ同程度であることを確認した。これらは、試験片の硬さや表面粗さが同等であったからだと考えられる。

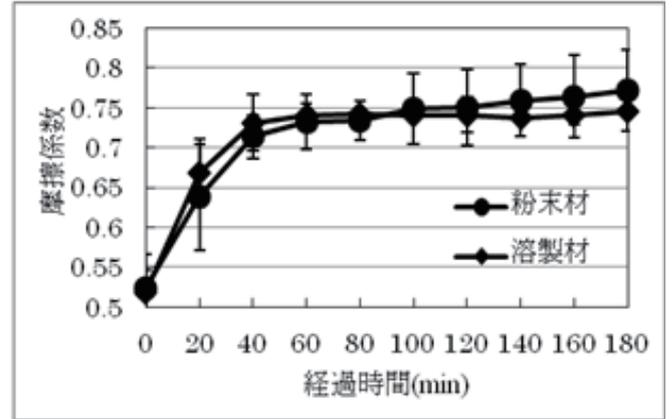


図8 焼結材と溶製材（市販材）の動摩擦係数の比較

試験によって得られた摩耗痕に対しては、接触式表面粗さ測定機により摩耗痕断面の形状を二次元的に測定し、断面積を算出した。摩耗痕断面積測定結果の平均値を図9に示す。粉末材は0.0038mm<sup>2</sup>、溶製材は0.0069mm<sup>2</sup>であった。溶製材は粉末材と比較すると、約1.80倍多く摩耗することが確認できた。耐摩耗性でも、粉末材が優れていることが分かる。

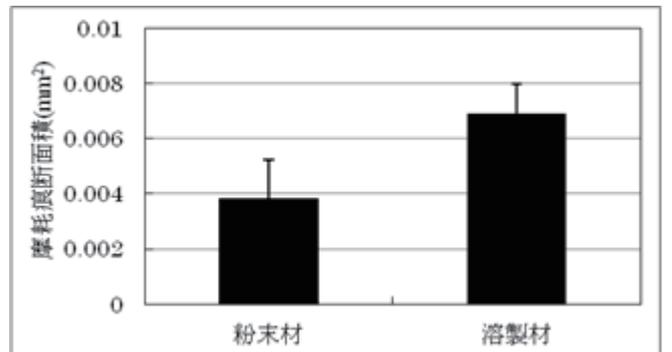


図9 焼結材と溶製材（市販材）の摩耗痕断面積の比較

焼結材及び溶製材の金属組織の光学顕微鏡写真を図10にそれぞれ示す。各試験片の表面を研磨し鏡面に仕上げた後、5%ナイトール腐食液によって腐食した。図10(a)が粉末材、図10(b)が溶製材である。小さい白い点は、析出炭化物であると考えられる。粉末材では、1 $\mu$ m~2 $\mu$ m程度の大きさを成す析出炭化物が均一に分布していることが確認できる。一方溶製材では、炭化物の大きさにばらつきがあり、1 $\mu$ m~20 $\mu$ m程度の大きさのものを確認できた。また、炭化物の方向が鍛造方向に流されるように分布し、炭化物の偏析が認

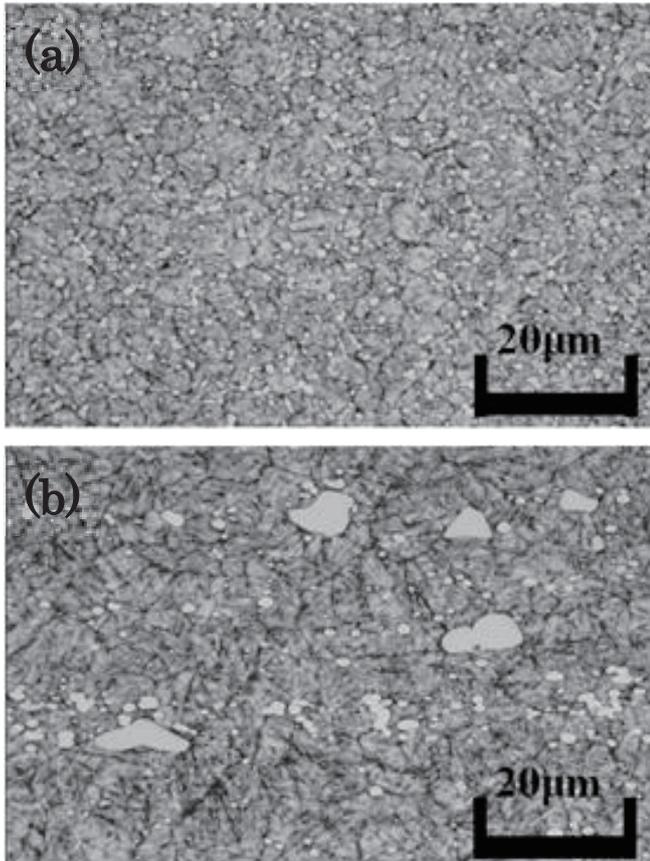


図 10 焼結材(a)と溶製材(b)の金属組織の光学顕微鏡写真

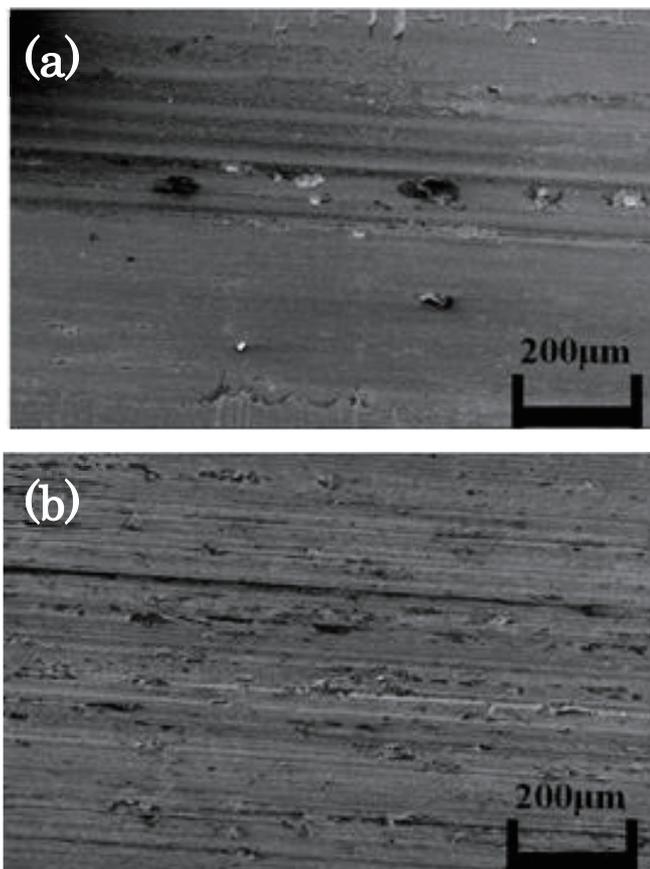


図 11 焼結材(a)と溶製材(b)の摩耗痕の SEM 画像

められた。

図 12 は、溶製材の摩耗痕における析出炭化物が確認できる箇所を拡大した SEM 観察結果である。図 10(b)で観察された  $10\mu\text{m}\sim 20\mu\text{m}$  程度の大きさの炭化物が割られ、脱落している様子がわかる。対して、 $1\mu\text{m}\sim 5\mu\text{m}$  程度の大きさを成している炭化物は、基地から脱落することなく残っているものが多い。このことから、溶製材がより多く摩耗した原因は、脱落した炭化物が基地を引っ掻いたからではないかと考えられる。

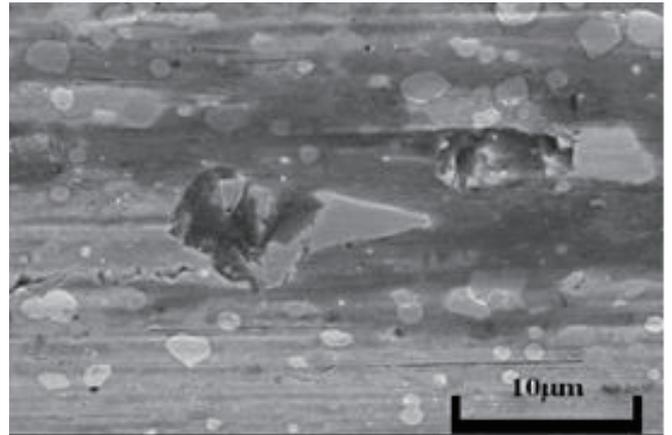


図 12 溶製材の摩耗痕における炭化物の SEM 画像

## 5. 結言

本研究では、粉末ハイスと溶製ハイスを比較・検討することを主な目的とし、各試験片を製作後、金属組織観察、硬さ試験、抗折試験、衝撃試験、摩擦・摩耗試験を行った。その結果、以下に示す知見が得られた。

- (1) 粉末ハイスと溶製ハイスは、硬さは同程度であるが、抗折力、衝撃値、耐摩耗性の機械的特性は、粉末ハイスが優れている。粉末材は溶製材と比較して、抗折力が約 1.45 倍、衝撃値が約 1.58 倍、耐摩耗性が約 1.8 倍向上している。
- (2) 溶製材の炭化物は、大きさにばらつきがあり、方向が鍛造方向に流されるように分布し、さらに偏析している。粉末材では、 $1\mu\text{m}\sim 2\mu\text{m}$  程度の大きさを成す析出炭化物が均一に分布している。

## 参考文献

- 1) M.T.Podob and L.K.Woods , Modern Developments in Powder Metallurgy Vol.13, pp71-92, 1981
- 2) 安藤寿・岡山昭・添野浩, 鉄と鋼 第 63 巻 第 6 号, pp1000-1007, 1977
- 3) 常陸美朝・松田幸紀, 電気製鋼 第 58 巻 4 号, pp251-259, 1987
- 4) 安藤寿・岡山昭・添野浩・竹内久祐, 鉄と鋼 第 64 巻 第 8 号, pp1219-1225, 1978
- 5) 高橋 亜門, 八戸工業高等専門学校卒業論文, 2016
- 6) 加藤欽之, 粉体および粉末冶金 第 61 巻 10 号, pp465-472, 2014

# 超音波振動援用がドリル加工部温度および出口側バリ形状におよぼす影響

田口恭輔\*・吉原信人\*\*・原圭祐\*\*\*・水野雅裕\*\*

Effect of ultrasonic vibration assisted drilling on cutting temperature and formed exit burrs

Kyosuke TAGUCHI, Nobuhito YOSHIHARA, Keisuke HARA, Masahiro MIZUNO

\* 八戸工業高等専門学校 機械システムデザインコース

\*\* 岩手大学

\*\*\* 一関工業高等専門学校

**Abstract :** In precision drilling process, burr generation is a serious problem. It is known that ultrasonic vibration (USV) can decrease cutting force and suppress formed burr height in drilling process. However, the effect of USV on burr mechanism in drilling process is not well understood. In this study, we focus on the effect of USV on cutting temperature and measured the cutting temperature in the drilling process for AISI 316 stainless steel plates with thermocouples. As a result, we found that the cutting temperature is decreased by the assist of USV.

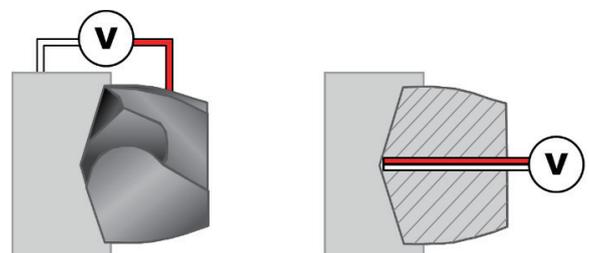
**Keywords :** 超音波振動援用加工、ドリル加工、バリ抑制メカニズム

## 1. 緒言

医療機器を始めとする精密機器の部品加工では、コンタミネーション対策が重要視されており、その中でも加工端部に生成されるバリの除去およびコントロール技術が求められている。ドリル加工においては、貫通穴加工を行う際に、穴出口側に大きなバリが生成されることが知られており、そのバリを除去するために様々なバリ取りツールの研究・開発が進められている<sup>1)</sup>。しかし近年、製品の微細化・高度化に伴い、難削材への交差穴・細穴加工・長穴加工などのバリ取りツールを使用できない事案が増えている。そのため、バリを除去するのではなく、バリの生成を抑制させる技術として、超音波振動援用加工が注目されている。

超音波振動援用加工は、工具に超音波振動を援用した状態で加工する方法で、旋削・研削・ミーリングなど様々な加工法で使用されている<sup>2)</sup>。ドリル加工においても超音波振動は援用されており、その効果として切りくずの微細化、切削抵抗の低下、バリ高さの抑制などの効果が知られている<sup>3)</sup>。その中でも、ドリル加工出口側に発生するバリの抑制メカニズムに関して不明な点が多い。そこで本研究では、超音波振動の援用によるバリ抑制メカニズムの解明として、超音波振動の援用が切削温度にどのような影響を与えるのか、その温度差がバリの生成についてどのような影響を与えるのかを明らかにすることを目的とする。

切削温度を測定するうえで問題となるのが、切削温度の測定方法である。加工時における切削温度を測定する方法として、図 1(a)に示すドリルと被削材のそれぞれに熱電対を設置し切削温度を測定する方法、図 1(b)に示す熱電対をドリルに埋め込み切削温度を測定する方法がある。しかし、超音波振動援用加工の場合、ツールホルダー工具間を超音波により共振させた状態で加工することから、工具側への追加工を要する方法での測定は難しい。そのため、材料側に温度測定子を取り付けつつ、切削部の温度をリアルタイムで測定することのできる方法を提案する必要がある。



(a) ドリル-被削材熱電対法 (b) 熱電対埋込法

図 1 ドリル加工における切削温度測定法

## 2. 実験装置

本実験で使用したドリル加工装置の概要を図 2 に示す。この装置は横型の単軸ドリル加工装置で、スピンドルス

ページ上に超音波スピンドル(岳将製、URT-V04)が搭載されている。ドリルはツールホルダを介して超音波スピンドルに取り付けられており、ドリル送り方向に超音波振動が与えられる。本超音波発振器により発振される超音波振動の周波数は 60kHz となり、その振動を与えた際の工具先端の超音波振動振幅は 2.0 $\mu\text{m}$ (p-p)となる。

切削工具として、超硬ドリル(OSG 製、WX-MS-GDS-2) を使用した。このドリルは、径が 2mm、先端角が 140°、先端ねじれ角が 30°、刃長が 14mm、刃数が 2 枚である。また、被削材として、板厚 4mm の SUS 316 平板を用いた。

切削温度の測定には、K 型・線径  $\phi$ 0.1 の熱電対を使用した。熱電対による測定は、冷接点補償付き高精度熱電対アンプ(ANALOG DEVICES 製 : AD8495)を使用し、その回路図を図 3 に示す。切削熱の測定は約 20 $\pm$ 1° C に温度管理された室温下で行われた。

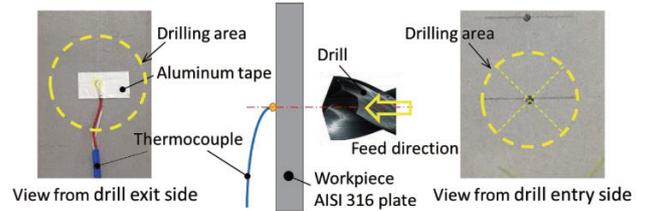


図 4 工作物表面の切削温度測定方法

### 3.2. 加工条件

工作物表面の切削温度を測定する際の加工条件を表 1 に示す。送り量は、1 刃当たりの送り量が超音波振動振幅よりも小さい量 1.0  $\mu\text{m}/\text{rev}$ 、1 刃当たりの送り量が超音波振動振幅と等しい 4.0  $\mu\text{m}/\text{rev}$ 、1 刃当たりの送り量が超音波振動振幅よりも大きい 8.0  $\mu\text{m}/\text{rev}$  とした。また、ステップなしの加工送りとし、切削油を用いないドライ加工とした。

表 1 加工条件 (工作物表面切削温度測定)

Feed rate [ $\mu\text{m}/\text{rev}$ ]	1	4	8
Feed speed [mm/min]	6	24	
Rotation number [ $\text{min}^{-1}$ ]	6000		4000
USV Frequency [kHz]	60 $\pm$ 0.5		
USV Amplitude [ $\mu\text{m}$ ]	2.0 (p-p)		
Step feed [mm]	None - step		
Workpieces	SUS 316 plate (thickness: 4mm)		
Lubricant	None (Dry processing)		

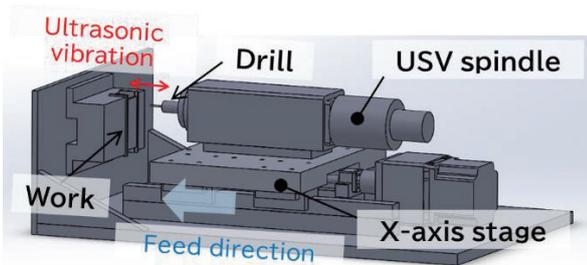


図 2 ドリル加工装置の概要

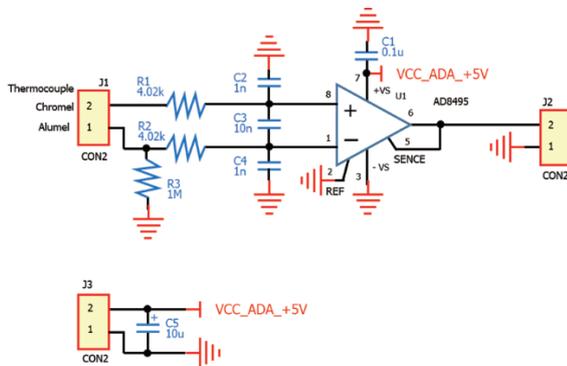


図 3 熱電対用測定回路

## 3. 工作物表面の温度測定

### 3.1. 測定方法の概要

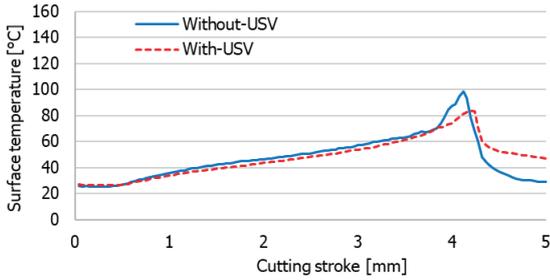
ドリル加工時の切削温度を測定するにあたり、ドリル貫通直前に切削温度が高くなることが考えられ、その領域がバリの発生に対しても影響を与えるものとする。

そのため、図 4 に示す方法により、ドリル抜け側表面の切削温度の測定を行った。その際、熱電対は 5mm $\times$ 10mm の Al テープにてドリル抜け側端面に固定した状態で加工を行った。

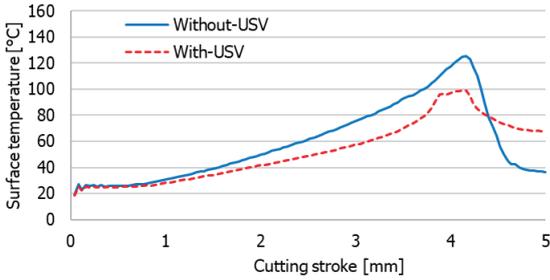
### 3.3. 表面温度測定結果

各送り量における材料表面の切削温度の測定結果を図 5 に示す。送り量 1.0  $\mu\text{m}/\text{rev}$  の場合において、超音波振動を援用することにより、最高温度で約 15 °C の切削温度の低下が確認された。また、送り量 4.0  $\mu\text{m}/\text{rev}$  および送り量 8.0  $\mu\text{m}/\text{rev}$  の場合においても、それぞれ約 30 °C の温度低下が確認された。この結果から、いずれの送り量においても超音波振動援用加工により切削熱の抑制効果が確認された。

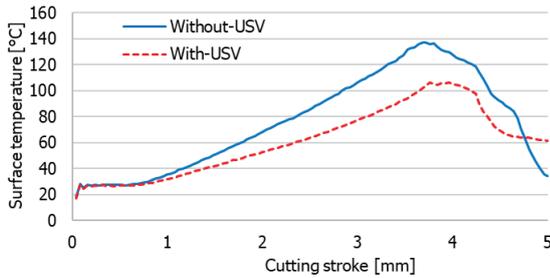
これにより超音波振動の援用による切削温度の低減が確認されたものの、今回測定した温度域は約 100~140 °C 程度と、一般的な切削温度より低い結果となった。これは、図 6 に示すように、熱電対を材料裏側表面に付けることで陣笠形状のバリ越しの切削温度測定となってしまうためと考えられる。したがって、加工部の切削温度を評価するにあたり、より直接的に切削部を測定する必要がある。



(a) 送り量 1.0 μm/rev



(b) 送り量 4.0 μm/rev



(c) 送り量 8.0 μm/rev

図5 表面温度測定結果

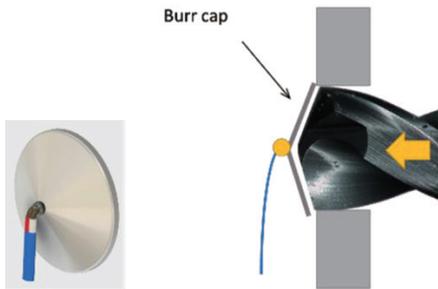


図6 陣笠形状バリ越しの測定イメージ

#### 4. 熱電対同時切削による切削温度の測定

##### 4.1. 測定方法の概要

前述のとおり、超音波振動の援用による切削温度への影響を測定するにあたり、工具側に温度測定子を取り付けることは難しく、前項のように、ドリル抜け側への熱電対の取り付けについても、加工部の直接温度測定には至らないことが確認された。そのため、材料側に温度測定子を取り付けた状態での測定が望まれる。

そこで今回提案するのが、図7に示すように温度測定子である熱電対を材料に挟み込み、材料と熱電対を同時に切削し、ドリルを介して熱電対を通電させることで加工部の温度を測定する“熱電対同時切削”である。

この方法で測定を行うにあたり、図8のような熱電対の各極をポリイミドテープで絶縁した、熱電対テープを製作した。そして、熱電対テープと材料を同時に切削した際の切削部の温度測定を行った。

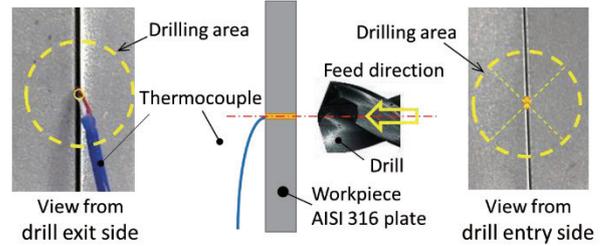


図7 熱電対同時切削測定方法イメージ

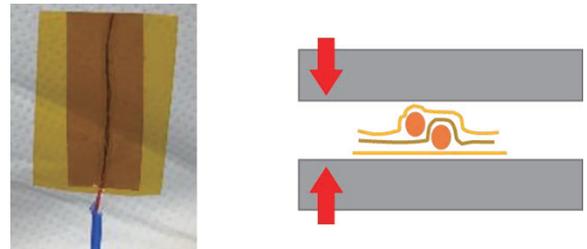


図8 熱電対テープ

##### 4.2. 熱電対同時切削法による切削温度測定

熱電対同時切削法による切削温度の測定結果を図9に示す。この結果から、加工開始時は絶縁状態にあり、その後加工が開始されると、切削温度の測定状態になり、ドリル貫通後に再度絶縁状態になっていることが分かる。この結果から、ドリルを介しての通電が可能で、切削加工部の温度が測定可能であることが確認できる。

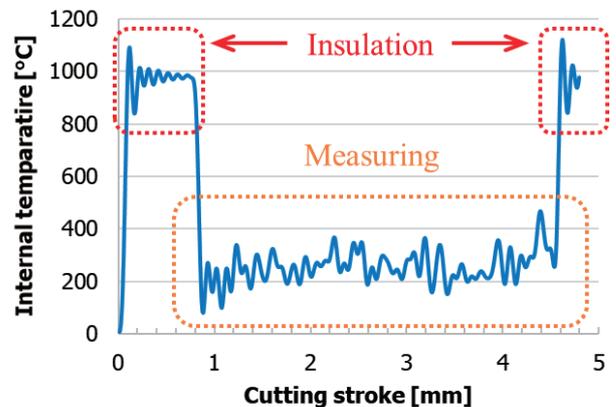


図9 熱電対同時切削法による切削温度測定結果

4.3. 熱電対同時切削法の再現性確認

熱電対同時切削法における再現性確認実験を行う。図 1.0 に繰り返し測定に使用した熱電対を示す。材料と一緒に熱電対を切削しながら温度を測定することで、加工後に熱電対部が除去される。そのため、除去された部分まで熱電対テープを切り取り、再度熱電対テープを材料に挟み込み、材料と同時に切削することで、繰り返し切削温度の測定を行う。今回、送り量  $4.0 \mu\text{m}/\text{rev}$  において 4 回この作業を繰り返した際の材料内部切削温度の測定結果を図 11 に示す。この結果より、測定結果に大きなばらつきが見られないことから、この測定方法において繰り返し測定を行っても再現性があるということが確認できる。また、この結果を評価するに当たり、加工距離  $3.5 \sim 4.5 \text{ mm}$  の領域における最高温度による比較を行う。その結果、最高温度の平均が  $446.0^\circ\text{C}$ 、標準偏差が  $30.7^\circ\text{C}$  となった。

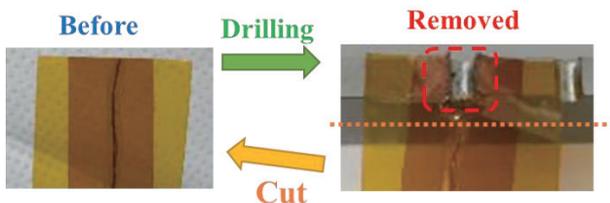


図 10 繰り返し測定時の熱電対テープ

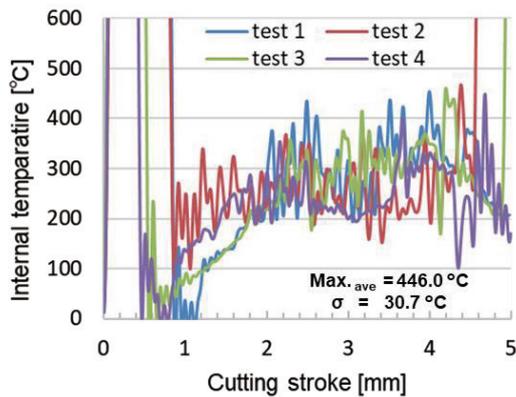
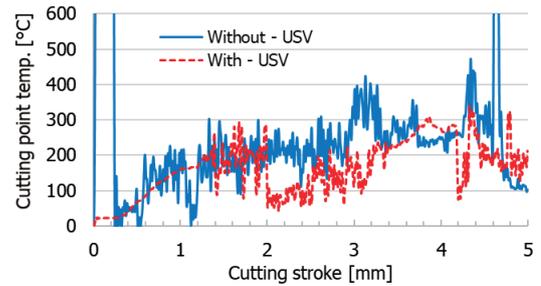


図 11 再現性確認実験測定結果

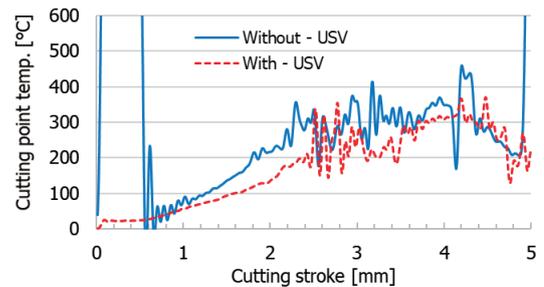
4.4. 超音波振動の援用が切削温度に及ぼす影響

熱電対同時切削法を用いて、加工中の材料内部の切削温度を測定した結果を図 12 に示す。尚、この実験を行うに当たり用いた加工条件は、表 1 として既に示したものに準ずる。図に示したものは、4 回測定を行い、その中央値と近い測定結果を用いた。この結果からいずれの送り量の場合においても慣用加工時に比べて、超音波振動援用加工時の場合に切削温度が低くなっていることが確認できる。

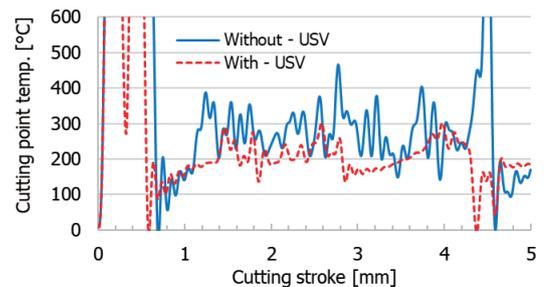
超音波振動の援用による切削温度の低減量を評価するにあたり、加工開始時および加工終了時の絶縁部を除いた加工距離  $4\text{mm}$  前後の領域における切削温度の最大値の平均および標準偏差を求め、その結果を図 13 に示す。この結果より、各加工条件の場合で切削温度の抑制効果が確認された。そのため、SUS316 に対して超音波振動援用加工による切削熱の抑制効果として、約  $100^\circ\text{C}$  の切削温度の低下が確認された。



(a) 送り量  $1.0 \mu\text{m}/\text{rev}$



(b) 送り量  $4.0 \mu\text{m}/\text{rev}$



(c) 送り量  $8.0 \mu\text{m}/\text{rev}$

図 12 内部切削温度測定結果

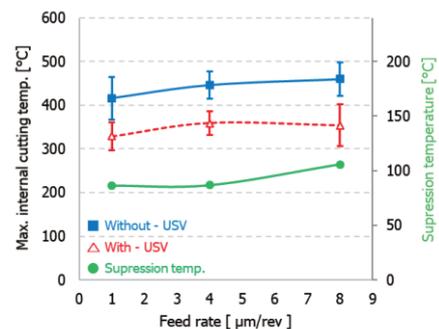


図 13 表面温度測定結果

4.5. 超音波振動の援用が切削温度に及ぼす影響

前節にて、材料内部における切削温度の低下として約 100 °C の抑制効果が確認された。そのため、切削温度の低下がバリの形成要因となる切り残し部の変形に対してどのような影響を与えるのか FEM 解析による検討を行う。

解析には Solidworks における静解析にて行う。解析に使用したモデルを図 14 に示す。解析モデルに関して、厚さ 4mm の SUS316 平板に対してドリル加工を行い、工具が貫通する手前 0.1mm で切り残し部がある状態のモデルを作成した。その切り残し部と工具との接触面（図内の桃色網掛け部）に対して加工方向に切削力（図内の青矢印）を与えると同時に、工具との接触面の材料温度を変化させた際の変位量の解析を行う。今回の解析における切削力は 4.0N（φ2 の工具で加工した際の想定荷重）で一定とした際に、材料の温度を 25 °C、300 °C、400 °C、500 °C と変化させた。また、荷重および材料温度の影響を与える領域は工具との接触面のみとした。また、解析に使用した SUS316 の材料特性を表 2 に示す。

変位量解析結果を図 15 に示す。この結果より熱負荷が 25 °C の場合における変位が 0.59 μm であるのに対して、300 °C になることで 2.56 μm、400 °C の際に 3.31 μm、500 °C の際に 4.06 μm と材料温度の上昇に伴って変位量も増加していることが確認できる。そのため、超音波振動援用加工時における約 100 °C の切削温度の抑制効果は、出口バリ高さの抑制に対して効果的であると考えられる。

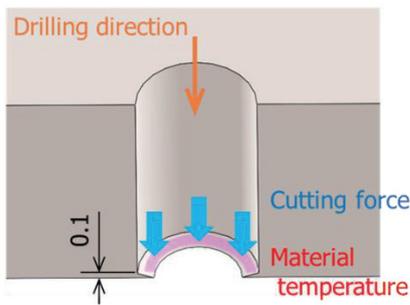


図 14 解析モデル

表 2 被削材材料特性 (SUS316)

Elastic modulus [ GPa ]	193
Poisson's ratio	0.27
Tensile strength [ MPa ]	580
Yield strength [ MPa ]	172
Thermal expansion c. [ /K ]	1.6
Mass density [ kg/m <sup>3</sup> ]	8000
Hardening coefficient	0.85

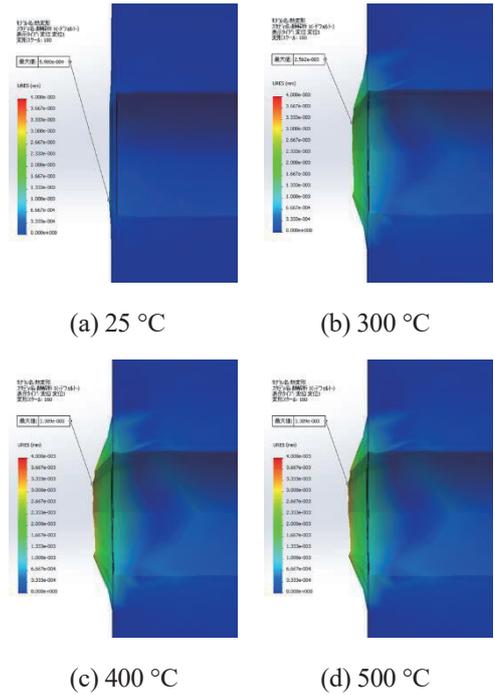


図 15 材料変位量解析結果

5. 結言

超音波振動の援用によるバリ抑制メカニズムの解明するにあたり、超音波振動の援用が切削温度にどのような影響を与えるのか、その温度差がバリの生成についてどのような影響を与えるのかを明らかにするため、材料表面および材料内部の切削温度を測定し、その温度における材料の変位量解析を行った結果、以下に示す結果が得られた：

- ① SUS316 に対しても超音波振動を援用することにより、材料表面および材料内部における切削熱が抑制されることを確認した
- ② 超音波振動の付加により、材料内部切削温度が 100 °C 程度抑制された
- ③ 100 °C の切削熱の抑制効果により材料の変形が抑制されることが示唆された

参考文献

- 1) K. U. Lee, S. L. Ko: Development of deburring tool for burrs at intersecting holes, Journal of materials processing technology, vol. 201 (2.0.08) pp.454-459
- 2) Xing et. Al.: Tribological properties of ultrasonic vibration assisted milling aluminum alloy surfaces, Procedia CIRP, vol.6 (2.013) pp.539-544
- 3) 田口ら.: SUS316 の超音波振動援用ドリル加工におけるバリ抑制効果, 砥粒加工学会誌, vol.63, No. 12 (2.019) pp.624-629



# 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 (4)

— 炭素系機能材料及びタングステン化合物 —

松橋 信明\*・中村 祐太\*\*・神林 なつみ\*\*・中村 柊介\*\*・佐藤 大地\*\*・山田 一雅\*\*\*

Materialization of Molecular Calculation by 3D Printer with the Aim of the Development of  
New Teaching Material and Teaching Method (4)

— Carbon-based Functional Materials and Tungsten Compounds —

Nobuaki MATSUHASHI, Yuta NAKAMURA, Natsumi KAMBAYASHI,  
Syusuke NAKAMURA, Daichi SATO and Kazumasa YAMADA

\* 産業システム工学科 電気情報工学コース

\*\* 電気情報工学コース 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, 炭素系機能材料, タングステン化合物, 3D プリンタ

## 1. はじめに

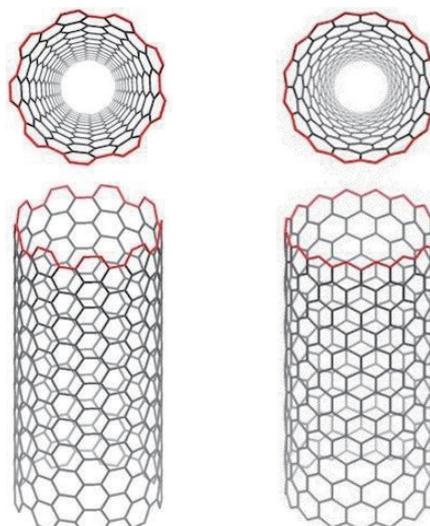
本研究は、「3Dプリンタによる分子計算のマテリアリゼーション —新教材・教育法の開発—」という研究テーマで、平成 28 年度から 32 年度の 5 年間、JSPS 科研費 16K00981 (基盤研究(C)) の助成を受けながら行う研究である。本研究に先駆けて、高専の電子系専門教育における有用な新しい教材と教育法の開発を目指し、平成 25 年度から平成 27 年度の 3 年間、JSPS 科研費 25560092 (挑戦的萌芽研究) の助成を受けながら、「分子軌道法と分子動力学法を活用した新たな教材と教育法の開発」という研究テーマに精力的に取り組んで来た結果、多くの研究成果 1)~7) を上げることができた。

これまでの研究成果をベースに、高専本科 5 年生の卒業研究や 4 年生の創成実験に分子シミュレーション (分子軌道法、分子動力学法) による物性解明や 3D プリンタによる分子モデルの造形化に関する研究テーマを継続的に組み込み、学生が授業で利用でき、視覚的にわかりやすい新教材の開発を一層進行している。

本稿では、炭素系機能材料に着目し、カーボンナノチューブの軸方向における熱伝導率特性、C120・C180 フラーレンのひずみの原因解明、ダイヤモンドライクカーボンの熱特性について、また、3種類の結晶構造を有するタングステン化合物について、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、有用な研究成果を得ることができたので、それらの検討結果を紹介する。

## 2. カーボンナノチューブの熱伝導特性

近年様々な分野でその多様性と実用性から大きく注目されている炭素系機能材料の一つであるカーボンナノチューブについて、分子動力学法を用い、温度変化時のパラメーター変化観察及び熱伝導率—ファンデルワールス力の反発特性による軸方向における熱伝導率特性を研究し、ジグザグ型とアームチェア型におけるエネルギーの増加効率や分子構造の安定性や熱伝導率の指向性について検討した。



(a) アームチェア型 (b) ジグザグ型  
図 1 カーボンナノチューブ

## 2.1 カーボンナノチューブについて

カーボンナノチューブとは炭素によって構成される 6 員環網(グラフェンシート)が丸まり同軸円筒状になることにより形成される材料で、機能性有機材料として脚光を浴びている。その 6 員環の配列パターンからアームチェア型、ジグザグ型、螺旋型等に分類されている。図 1 にアームチェア型とジグザグ型を示す。

## 2.2 ファンデルワールス力と熱伝導率の関係

一見中性に見える分子も電子の+に偏りが生じてしまう際に一瞬磁石のような力が働く。分子が存在するときにそのように偶発的に生じてしまう力をファンデルワールス力という。ファンデルワールス力には熱伝導率を妨げる特性がある。分子間引力が働いている垂直方向には低い熱伝導率、働きが弱い軸方向には高い熱伝導率を持っている<sup>8)</sup>。

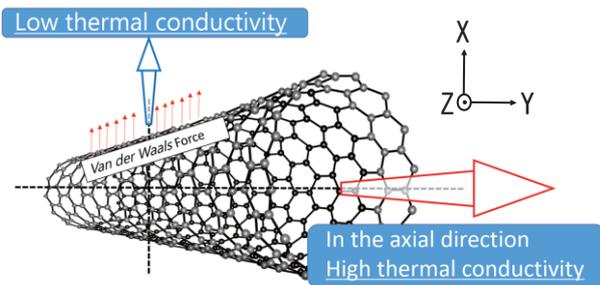


図 2 ファンデルワールス力熱伝導率特性

## 2.3 分子動力学シミュレーション

富士通社製分子シミュレーションソフト SCIGRESS を用いて分子動力学シミュレーションを行う。表 1 にシミュレーション条件を示す。

表 1 シミュレーション条件

アンサンブル	NTV
総ステップ数	10000 [steps]
時間刻み幅	0.1 [fs]
温度	250 → 5000 [K]
圧力	1 [atm]
ポテンシャル関数	LJ Dreiding

## 2.4 シミュレーション結果と考察

### 2.4.1 熱伝導率特性

ステップ数の増加に伴う温度とファンデルワールス力の変化を計算した。アームチェア型では X 軸方向、Z 軸方向においてほぼ同じ特性となったが、Y 軸方向は他の 2 軸とは異なり、波長と振動数に変化が見られた。波長は

長くやや一定の振幅を保ちながらも振動数は他軸よりも少なくなっている。ジグザグ型においてもほとんど同様の特性が得られたが、アームチェア型より振動数が少ない結果となった。

分子動力学シミュレーションの結果、カーボンナノチューブの軸 (Y 軸) 方向は波長が長く振動数が少ないことから、ファンデルワールス力の干渉性が少ないことがわかり、ファンデルワールス力の分布が指向性を有することがわかった。すなわち、軸 (Y 軸) 方向は多方向 (X 軸方向、Z 軸方向) よりも熱伝導率が高いことが明らかになった。

### 2.4.2 温度特性

周囲温度が低温 (250~1250[K])、中温 (1250~4000[K])、高温 (4000~5000[K]) の場合におけるステップ数の増加に伴う温度とエネルギーの変化を計算した。

低温時において、アームチェア型はジグザグ型より振動数が少なくエネルギーが上昇しにくい傾向にある。ジグザグ型はエネルギーの増減が頻繁に起きている。そうした増減を繰り返しながらもエネルギー変化量が高いという点からエネルギー増加効率の観点において低温時ではジグザグ型が優れていると考えられる。

中温時において、最高エネルギー量はアームチェア型がジグザグ型を上回っており、エネルギー増加効率はアームチェア型が優れていると考えられる。しかし、分子振動に伴う線形的な増加を示しているのはジグザグ型で、安定した特性変化を示している。

高温時において、アームチェア型は低温時と中温時に比べて緩やかなエネルギー増加を示し、最高エネルギー量はジグザグ型がアームチェア型を上回っており、エネルギー増加効率はジグザグ型が優れていると考えられる。これは、加熱中のジグザグ型の分子振動がアームチェア型よりも多く起こっているためである。一方、アームチェア型の場合は収縮が頻繁に行われず全体的に大きく膨張が起きなかったためにポテンシャルエネルギーが増加せず、エネルギー増加が停滞したものと考えられる<sup>9)</sup>。

上記温度特性をまとめると表 2 のようになる。

表 2 周囲温度帯域別の特性評価

周囲温度帯域	エネルギーの増加効率	分子構造の安定性
低温 (250~1250[K])	ジグザグ型	アームチェア型
中温 (1250~4000[K])	アームチェア型	ジグザグ型
高温 (4000~5000[K])	ジグザグ型	アームチェア型

### 3. C120・C180 フラーレンのひずみの原因説明

これまでの研究<sup>4)</sup>より、分子軌道法によるフラーレンの分子モデルは原子の数が 82 個までは作成されている。また、C60 を複数結合した形の C120・C180 の分子モデルが作成された。C120 では構造はゆがまなかったが、結合部にひずみが生じた。C180 では構造・結合部ともにひずみは見られなかった。そこで、SCIGRESS の分子軌道シミュレーションにより、様々な結合のパターンで C120・C180 を作成し、ひずみの原因・規則性を明らかにすることを目的とする。

#### 3.1 単結合の場合の分子軌道シミュレーション

一番シンプルな結合で、既存の C60 フラーレンの 6 員環の二重結合の部分、単結合で C120 の場合は 2 つ、C180 の場合は 3 つ結合する。なお C60 フラーレンは、分子数 60、5 員環数 12、6 員環数 20 で、孤立 5 員環則 (2 つ以上の 5 員環が隣り合わせになることはない) にした構造である。

図 3 にシミュレーション結果を示す。C120 の場合は結合部にゆがみを生じ、少しねじれて結合しているが、この構造が一番安定した構造と考えられる。C180 の場合は結合部にゆがみは見られない。

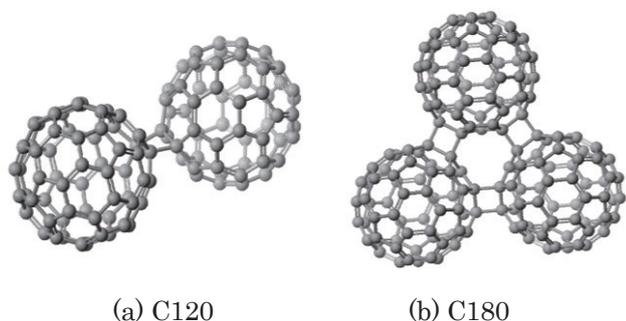


図 3 単結合したフラーレン

#### 3.2 バンド数を変えた場合の分子軌道シミュレーション

結合部のバンド数を変えて結合した結果を図 4 に示す。図 3(a) の場合は、接合部の 6 員環の二重結合の部分 1 つだけ単結合にして C60 同士の接合部のバンドにしていたため、接合部のバンドは 2 本であった。そこで、結合部の 6 員環の二重結合の部分すべてを単結合にし、6 員環のすべての分子を結合し、結合部のバンドを 6 本にした。その結果、結合部のひずみをなくすることができた。

C180 も同様に結合部のバンドを 6 本にすると、結合部ではなく構造全体に大きなゆがみを生じた。外形の三角形のような形を維持した状態で、個々のフラーレンが大きくゆがんだ構造になった。結果として図 3(b) のゆがみのない構造をゆがんだ構造に変形させることができた。

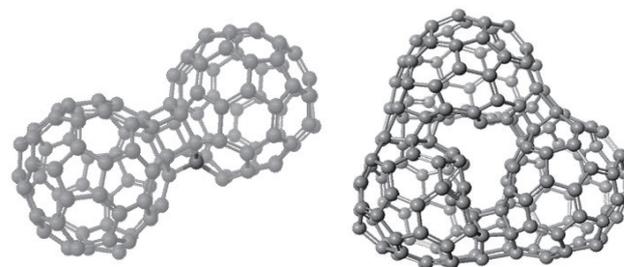


図 4 バンド数を変えて結合したフラーレン

#### 3.3 シミュレーション結果と考察

ひずみの原因を明らかにするべく、単結合と二重結合の数、sp<sup>2</sup> と sp<sup>3</sup> の数、結合次数に着目し、検討した。

表 3 に単結合と二重結合の数、表 4 に sp<sup>2</sup> と sp<sup>3</sup> の数を示す。これらのデータからは、ひずみの原因となり得る知見は得られなかった。ただし、C120・C180 両方ともひずみなしの場合 sp<sup>3</sup> 構造がどちらも 12 個となっており、この数がひずみをなくする要因の一つとなる可能性がある。

表 3 単結合と二重結合の数

結合	C120		C180	
	ひずみなし	ひずみあり	ひずみなし	ひずみあり
単結合	132	124	192	216
二重結合	54	58	84	72

表 4 sp<sup>2</sup> と sp<sup>3</sup> の数

構造	C120		C180	
	ひずみなし	ひずみあり	ひずみなし	ひずみあり
sp <sup>2</sup>	108	116	168	163
sp <sup>3</sup>	12	4	12	17

次に、結合強さの指数や原子価結合法などで使われる結合次数に着目した。結合次数 BO は次式で示される。

$$BO = (\text{結合性軌道中の電子数} - \text{反結合性軌道中の電子数}) / 2$$

表 5 に、ひずみの違いが顕著な C180 の場合について、結合次数を一部抜粋したデータを示す。表 5 からわかるように、結合次数の数値に大きく違いがみられた。ひずみなしの場合、表 5 の一部に限らず全体でも 1.114~

表 5 C180 の結合次数 (一部抜粋)

ひずみなし	ひずみあり
1.114	5.528
1.114	4.441
1.495	0.543
1.495	8.360
1.495	34.035
1.114	4.000
1.495	4.752

1.495 の小さな数値でばらつきがないのに対して、ひずみありの場合は全体で 0~125.5 のかなりばらついた数値となった。結合係数は安定状態になるために必要なものであり、ひずみを表していると考えられる。結合次数がすべての分子間で一定になると、構造や結合にひずみが生じない。分子軌道シミュレーションでは、対象となる分子構造を安定状態にするために分子構造の最適化を図り、その結果ひずみを生じ、それが結合次数としてデータに現れたと考えられる。

フラーレンの結合部分により多くのひずみの原因があると考えられるので、6 員環の部分以外の場所での結合を検討する必要がある。そして、基本構造であるベンゼン環についても検討が必要である。炭素同士の最適な結合角は  $109.5^\circ$  であるが、それを満たすために内部が大きくひずんでいる可能性がある。このように、結合場所やベンゼン環などを詳しく検討することにより、新たな知見が得られると考えられる。

#### 4. ダイヤモンドライクカーボン (DLC) 膜の熱特性

ダイヤモンドライクカーボン (DLC) 膜とは、 $sp^2$  結合と  $sp^3$  結合が混在した機能性有機材料で、結合の配向を変えることにより、様々な種類や特性を持つ。そこで、SCIGRESS により DLC 膜を成膜し、分子動力学法により熱特性のシミュレーションを行い、検討した。

##### 4.1 DLC 膜の構造と成膜方法

DLC 膜は、 $sp^2$  結合、 $sp^3$  結合、水素の結合の割合を変えることで特性の違いを見ることができる。DLC 膜の主な特徴としては、低摩擦係数、耐摩耗性、身体親和性、耐腐食性などがあげられる。また、熱伝導率は  $sp^2$  結合のグラファイト、 $sp^3$  結合はダイヤモンドに近い性質を持つ。図 5 に結合の割合を変えたときの DLC 膜の種類を示す<sup>10)</sup>。

DLC 膜は、固体カーボンもしくはメタン、アセチレン、ベンゼンなどの炭化水素系ガスから合成される。炭素供給の違いにより、固体カーボンを原料を使用して炭素を

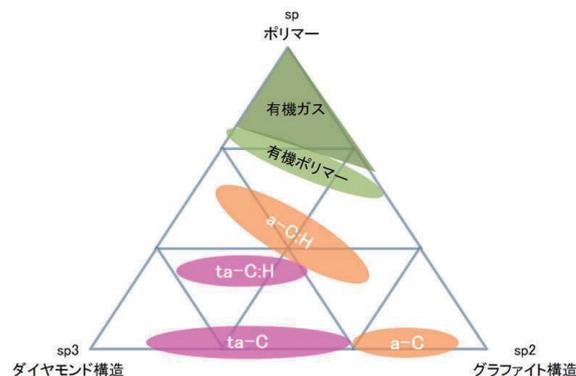


図 5 DLC 膜の種類

蒸発させて基板上に製膜する物理蒸着法 (PVD 法) とガスを原料としてチャンバー内でガスを分解させて基板上に製膜する化学蒸着法 (CVD 法) がある。PVD 法では固体カーボンを蒸発源に使用するため炭素のみからなる膜の合成が可能である。一方、CVD 法は炭素水素系ガスを使用するため必ず水素を含有する。本研究では、古典力学の法則に従う SCIGRESS の仕様を考慮し、プラズマを再現が不要な熱 CVD 法を採用する。

##### 4.2 熱 CVD 法による成膜方法とシミュレーションセル

熱 CVD 法による成膜方法の過程を以下に示す。

- ①  $H_2$  ガス中で触媒を加熱し表面上の不純物を除去する。
- ②  $CH_4$  を加えて加熱し、C-H 結合が切れ炭素を取り出す。
- ③ 取り出された炭素原子が触媒内へ固溶する。
- ④ 触媒の温度を低下させ、炭素を触媒表面に析出させる。
- ⑤ 炭素の析出が進行し、グラフェンが成長する。

なお、シミュレーションにおいて、触媒は Cu の原子モデルを用いた。図 6 に、構築したシミュレーションセルを示す。触媒である Cu 原子に  $CH_4$  (メタン) 分子を堆積している。

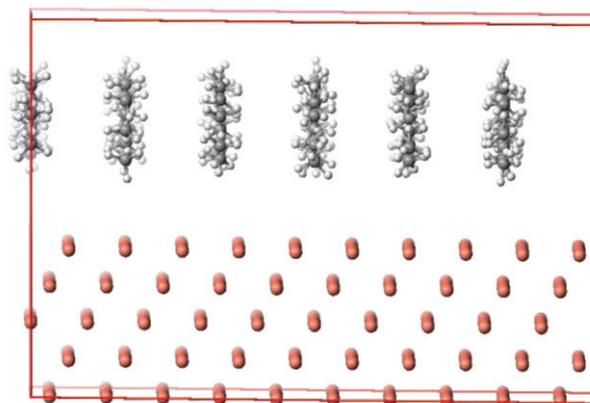


図 6 シミュレーションセル

### 4.3 シミュレーション結果と考察

#### 4.3.1 アンサンブルの選択

シミュレーションにおいて、圧力や温度などの熱力学的な量をコントロールするアンサンブルの選択が重要である。そこで、NEV (定エネルギー法)、NPH (定圧法)、NTV (定温法)、NTP (定温定圧法) の4つのアンサンブルを検討した結果、圧力制御による特性の変化は見られず、また計算時間短縮を考慮して、NTV アンサンブルが最適と考えられる。

#### 4.3.2 総ステップ数の影響

次に、総ステップ数を 1000 から 10000 まで 1000 ステップ刻みでシミュレーションを行った。その結果、総ステップ数を変化させても不具合を生じないことが確認できた。しかしながら、総ステップ数の増加に伴い、ポテンシャルエネルギーの変化が激しくなる傾向が見られた。これは、総ステップ数の増加に伴い、温度も上昇し、分子の結合が不安定になったためと考えられる。

#### 4.3.3 温度の影響

実際の熱 CVD 法を再現するべく、表 6 のように温度設定を行い、ポテンシャルエネルギーの変化を分子動力学シミュレーションした。その結果を図 7 に示す。

表 6 温度設定

Time [step]	温度 [K]
1000	300
2000	600
3000	600
4000	300
5000	300

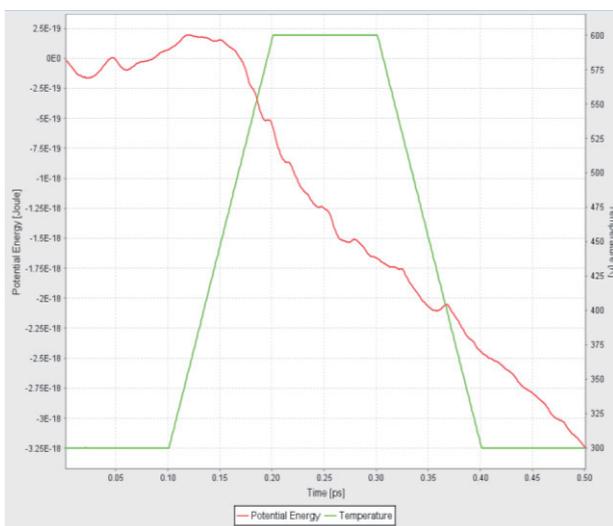


図 7 温度-ポテンシャルエネルギー特性

図 7 の緑の特性が温度変化で、赤の特性がポテンシャルエネルギー変化である。温度が 600[K]に達したところからポテンシャルエネルギーが下がり始めた。このことから 600[K]で何らかの反応があったと考えられる。ちなみにメタンガスが反応し始める温度が 600[K]であることから、整合性が取れていると考えられる。また、600[K]から 300[K]まで温度を下げても、ポテンシャルエネルギーは減少傾向を示している。これは、DLC 膜が堆積せず、メタンガスが反応し続けていると考えられる。一方、材料を用いた実験ではメタンガスが反応を終え、DLC 膜が堆積すると予想され、今回の分子動力学シミュレーションでは残念ながら DLC 膜の堆積を再現できなかった。しかしながら、実際と同じタイミングで反応を観察でき、この点については熱特性を再現できたと考えられる。

## 5. タングステン化合物のマテリアリゼーション

タングステンは身近な金属材料であるが、様々な化合物が存在する。そこで、タングステン化合物の構造や物性を理解し、さらにタングステン化合物のマテリアリゼーションを行うべく 3D プリンタを用いて造形することを目的とする。

### 5.1 タングステン化合物の種類

タングステンには多くの化合物が存在する。塩化タングステン (WCl<sub>2</sub>)、酸化タングステン (WO<sub>3</sub>)、臭化タングステン (WBr<sub>5</sub>)、炭化タングステン (WC)、フッ化タングステン (WF<sub>6</sub>)、硫化タングステン (WS<sub>2</sub>) 等が存在する。今回は、タングステンの他に将来性のある酸化タングステン (WO<sub>3</sub>) と炭化タングステン (WC) について調査した。

### 5.2 結晶構造とマテリアリゼーション

#### 5.2.1 結晶構造<sup>11)</sup>

##### (1) タングステン (W)

銀灰色の遷移金属である。モース硬度が 7.5 と非常に硬く、沸点が 5555[K]と高温に強い。体心立方格子構造を有し、立方体系の単位格子の各頂点と中心に原子が存在する。原子半径は 139[pm]、原子量は 183.85、配位数は 8 で、格子定数は  $4/\sqrt{3}r$  ( $r$ : 原子半径) である。

##### (2) 酸化タングステン (WO<sub>3</sub>)

黄色の粉末で配位構造は八面体である。立方晶構造を有し、安定な物質として物理的に興味を持たれており、強誘電体として注目されている。

タングステン原子は 6 個の酸素原子に囲まれ、頂点を共有した八面体構造を形成する。

**(3) 炭化タングステン (WC)**

灰色の微細な粉末で結晶構造は六方最密充填構造をとる。タングステンカーバイドとも呼ばれ、金属 3D プリンタの加工などにも使われている。

六方最密充填構造を有し、正六角柱の上面および底面の各角および中心と、六角柱の内部で高さ 1/2 のところに 3 つの原子が存在する。底面の中心に位置する原子は、底面の角の 6 原子および上下の各 3 原子(計 12 原子)と接している。また、単位格子は縦に 3 等分してできる菱形柱である。

**5.2.2 マテリアリゼーション**

SCIGRESS により、分子モデルをシミュレーションにより構築する。さらに SCIGRESS の STL ファイル出力を用いて 3D プリンタにより分子モデルを造形する。

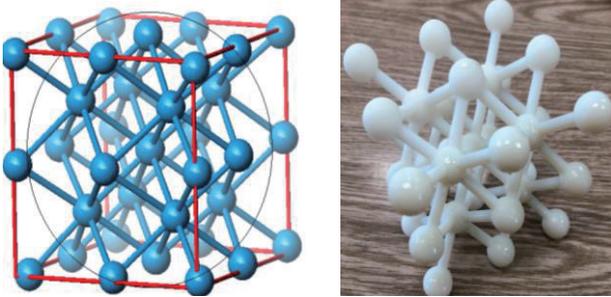


図 8 体心立方格子構造のタングステン

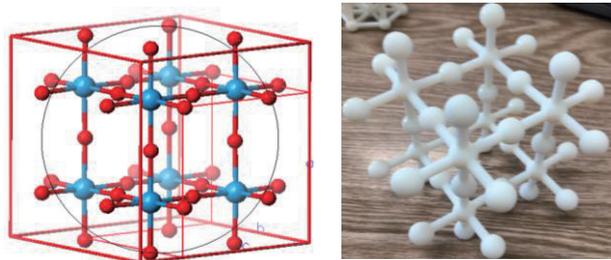


図 9 立方晶構造の酸化タングステン

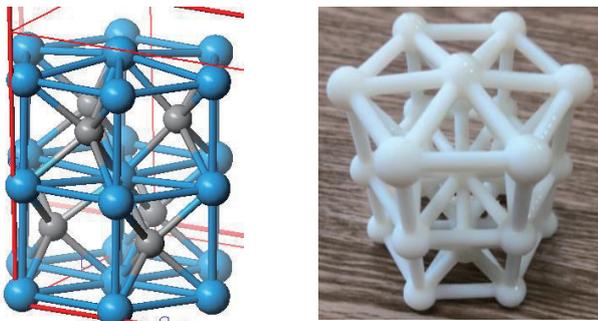


図 10 六方最密充填構造の炭化タングステン

マテリアリゼーションを行ったタングステン及びその化合物を図 8 から図 10 に示す。左がシミュレーションモデル、右が 3D プリンタで造形した分子モデルである。

**5.3 タングステンの温度特性**

**5.3.1 ポテンシャルエネルギー変化**

54 個の原子で構成された体心立方格子構造のタングステンを構築し、時間を 0~1[ps]の間に温度を 200~5200[K]まで変化させた場合の分子動力学シミュレーション結果を図 11 に示す。図 11 の緑の特性が温度変化で、赤の特性がポテンシャルエネルギー変化である。

温度の上昇に伴ってポテンシャルエネルギーが増減を繰り返しながら増加することがわかった。これは、熱エネルギーを受けたことにより、原子間の距離が伸縮していることが原因と考えられる。

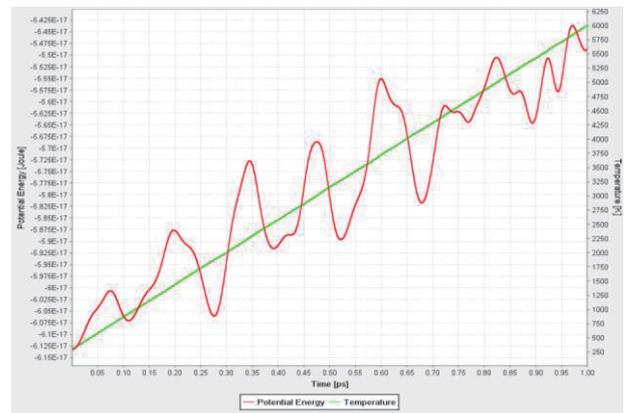
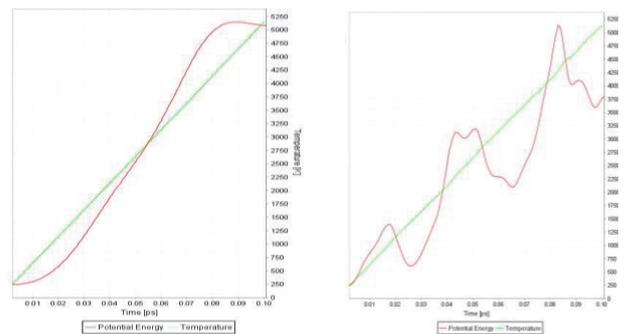


図 11 温度-ポテンシャルエネルギー特性



(a) タングステン (b) 炭素

図 12 熱的安定性の比較

**5.3.2 熱的安定性の検討**

温度変化による結合の安定性を検討するために、同じ構造と温度条件で、時間を 0~0.1[ps]に短縮し、その間のポテンシャルエネルギーの変化をタングステンと炭素と比較した場合の分子動力学シミュレーション結果を図

12 に示す。(a)がタングステンで(b)が炭素である。

0~0.1[ps]の短い時間では、タングステンの場合は温度上昇に伴ってポテンシャルエネルギーが単調に増加しているのに対し、炭素の場合は増減を繰り返しながら増加することがわかった。このことから、タングステン原子の動きが少なく、熱的に非常に安定した材料であると考えられる。

## 6. おわりに

カーボンナノチューブについて、分子動力学法を用い、温度変化時のパラメーター変化観察及び熱伝導率とファンデルワールス力の反発特性による軸方向における熱伝導率特性に関する研究を行った。ジグザグ型とアームチューブ型におけるエネルギーの増加効率や分子構造の安定性を評価できた。また、熱伝導率において指向性を持っていることを明らかにした。

分子軌道法を用いて C60 フラーレンを複数結合した C120・C180 フラーレンの分子モデル作成の際に生じるひずみの原因解明に関する研究を行った。ひずみがある場合とない場合の C120・C180 フラーレンの分子モデルの作成に成功し、それらについて単結合と二重結合の数、sp<sup>2</sup> と sp<sup>3</sup> の数、結合次数に着目して検討した結果、結合次数にひずみの影響が反映されていることがわかった。

ダイヤモンドライクカーボンの熱 CVD 法による成膜を再現するべく、触媒である Cu 原子に CH<sub>4</sub> 分子を堆積したシミュレーションセルを作成し、分子動力学法により温度変化に対するポテンシャルエネルギー変化を検討した。その結果、DLC 膜の堆積を再現することはできなかったが、実際と同じタイミングで反応の様子を観察でき、熱特性の一部の再現には成功した。

体心立方格子構造のタングステン、立方晶構造の酸化タングステン、六方最密充填構造の炭化タングステンの分子モデルをシミュレーションにより構築し、さらに 3D プリンタにより分子モデルの造形を行った。また、分子動力学法によりポテンシャルエネルギーの変化をタングステンと炭素と比較した結果、タングステンは炭素よりも熱的に非常に安定した材料であることがわかった。

カーボンナノチューブ・フルラーレン・ダイヤモンドライクカーボンはいずれも脚光を浴びている炭素系機能材料で、学生の興味を喚起する絶好の教材である。分子シミュレーションによる物性研究は容易で便利な解析手法であり、美しいグラフィック表示やアニメーションにより楽しく研究でき、とても教育的効果が高いことが確認できた。また、タングステン化合物のマテリアリゼーションを行い、インパクトのある視覚的にわかりやすいタングステン教材の開発に成功した。

今後、創造性や学際性を育成できる新教材・教育法の開発を目指し、シミュレーションだからこそできる実在しない分子やその集合体の安定性や物性の予測や自由な発想での新機能性電子材料の開発、そして 3D プリンタを用いて分子計算結果をマテリアリゼーションした新教材を電子系高専専門科目において有効活用するための多人数教育にも対応したオリジナルの新たな教育法の開発を推進したい。

## 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) 松橋 信明, 高橋 蓮, 大橋 功一, 小田 和樹, 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 (3), 八戸工業高等専門学校紀要, **54** (2020) pp.37-43.
- 8) 阿部正紀: はじめて学ぶ量子化学, 培風館 (2017) pp.122-125.
- 9) Shigeo Maruyama: Anisotropic Heat Transfer of Single-Walled Carbon Nanotubes, The Japan Society of Mechanical Engineers and The Heat Transfer Society of Japan (2006) pp.138-139.
- 10) <https://tohkenthermo.co.jp/technology/dlc/>
- 11) <http://sekatsu-kagaku.sub.jp/crystal.htm>

(原稿受付: 2020年10月2日)



# 補聴器用ハウリングキャンセラに関する検討

工藤 憲昌\*・釜谷 博行\*・田所 嘉昭\*\*

A study on howling canceller for hearing aids

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

**Key words :** Hearing aids、 Correlation method、 Adaptive filter、 Recursive LS algorithm

## 1. はじめに

補聴器を使用した際に、補聴器内のマイクに入力された音は増幅され、スピーカから出力される。補聴器では、スピーカとマイクの距離が非常に近い為、スピーカから出力された音の一部は外耳道を伝わり、再びマイクの入力となる。この繰り返しにより、補聴器内に音響フィードバックループが形成され発振することで、ハウリングが発生する。ハウリングは、補聴器の使用者にとって非常に耳障りな音になる。この影響を低減するため適応フィルタを用いることが提案されている<sup>1)</sup>。しかし、演算量が少なく実用的な性能を有する LMS (Least Mean Square) アルゴリズムを単純に適用すると、補聴器のように適応アルゴリズムの入力信号と観測雑音との間に強い相関がある場合、適応フィルタの係数の収束値にバイアスが生じる<sup>2)</sup>。この問題に対処するため、主に、2つの異なったアプローチがとられてきた。

1つ目のアプローチは相関 LMS 法<sup>3)</sup>と呼ばれるものであり、この方法を用いると、上述のように両信号間の相関が強い状況下でも、適応フィルタの更新を適切に行うことができる。しかし、収束速度が非常に遅く補聴器用ハウリングキャンセラには使用できないと考えられる。2つ目のアプローチは、適応アルゴリズムの入力信号の擬似白色化に基づくものである。

これまで我々は、2つ目のアプローチに基づいて、このハウリングの除去を学習によって自動的に行うことを目的とした適応ハウリングキャンセラを用い、補聴器の品質改善について検討してきた。文献 4)では、文献 1)で提案されている修正 LMS 法における FIR 型ノッチフィルタ (NF) に代えて IIR 型 NF を用いた方法を提案し、FIR 型 NF 使用時に発生する問題の低減を確認した。しかし、これまで検討してきた方法は、自己回帰過程 (AR 過程) に対して有効であるため、入力信号の性質に応じ

て制御方法を変える必要があった。これを解決するため、1つ目のアプローチである相関 LMS 法の収束速度を改善する方法を検討したので報告する。

以下に、本稿の構成を示す。2.では、これまで提案されたハウリング低減法、3.では相関法について概説する。4.では、シミュレーション結果等の数値例を示す。5.はまとめである。

## 2. これまでに提案されたハウリング低減法

ここでは、これまでに提案されたハウリング低減法、プレーン LMS 法、修正 LMS 法について概説する。

### 2.1 プレーン LMS 法<sup>1)</sup>

音響フィードバック経路をモデル化し、ハウリングを除去するために、補聴器内に適応フィルタを設ける。単に適応フィルタを設けた補聴器のブロック図を Fig. 1 に示す。

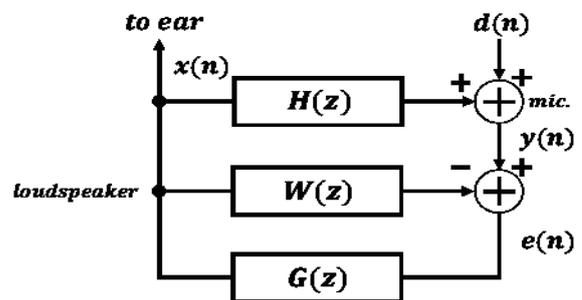


Fig.1 Hearing aids using a plain LMS

ここで  $d(n)$  は入力信号、 $H(z)$  および  $W(z)$  はそれぞれ音響フィードバック経路および適応フィルタの伝達関数である。 $H(z)$  は補聴器の使用者の外耳道(耳の穴から鼓膜までの構造によって異なるため、 $W(z)$  において LMS 法によって  $H(z)$  を同定する。また、 $H(z)$  および  $W(z)$  は FIR

フィルタである。 $G(z)$ は増幅部、 $x(n)$ は補聴器からの出力信号を表し、同時に $W(z)$ への入力信号にもなる。ここで出力信号の一部は $H(z)$ を通り入力に戻る。 $y(n)$ は音響フィードバックを含んだマイクからの信号となる。定常状態において $W(z)$ が $H(z)$ を完全に同定した場合、 $e(n)$ は入力信号 $d(n)$ と等価になり、ハウリングが完全に除去される。Fig. 1内の各信号は以下のように定義される。

$$x(n) = G(z)e(n), \quad (1)$$

$$y(n) = d(n) + H(z)x(n), \quad (2)$$

$$\begin{aligned} e(n) &= y(n) - W(z)x(n) \\ &= d(n) + (H(z) - W(z))G(z)e(n). \end{aligned} \quad (3)$$

$H(z)$ 、 $W(z)$ はそれぞれ、

$$H(z) = \sum_{l=0}^{L-1} h_l z^{-l}, \quad (4)$$

$$W(z) = \sum_{l=0}^{L-1} w_l z^{-l}, \quad (5)$$

で表され、適応フィルタ $W(z)$ の $l$ 番目の係数の更新式は、

$$w_l(n+1) = w_l(n) + \mu e(n)x(n-l), \quad (6)$$

となる。ここで、 $\mu$  ( $0 < \mu < 1$ )はステップサイズであり、この値で更新量が決まる。通常の学習システムの面から考えると、 $x(n)$ は学習の入力信号であり、 $d(n)$ は補聴器への入力信号であると同時に、学習の観測雑音としても作用する。よく知られているように、学習において入力信号と観測雑音に相関がある場合、 $W(z)$ の推定値にバイアスが発生する<sup>2)</sup>。Fig. 1において、 $d(n)$ と $x(n)$ とは明らかに相関があることがわかる。

## 2.2 修正 LMS 法<sup>1),4)</sup>

2.1 で述べたように、プレーン LMS 法では $d(n)$ と $x(n)$ との間に相関があるため場合、 $W(z)$ の推定値にバイアスが生じ、これにより $H(z)$ の同定が難しくなる。そのため $d(n)$ と $x(n)$ との相関を少なくすることで、推定値に生じるバイアスを低減させる方法が提案されており、これ以降、修正 LMS 法<sup>1)</sup>と呼ぶ。Fig. 2 に修正 LMS 法のブロック図を示す。

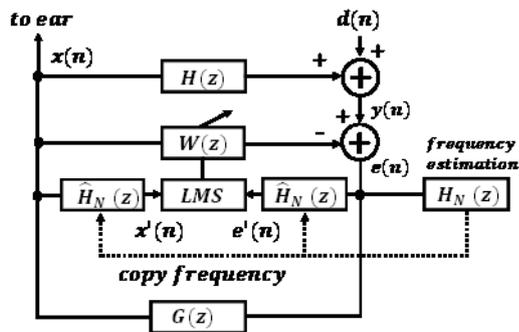


Fig. 2 The block diagram proposed in 1)

ここで、 $\hat{H}_N(z)$ は FIR 型 NF であり、正弦波と白色ガウス雑音との和のような AR 過程の信号としてモデル化された入力信号（具体的には、楽音信号を想定）に対して、正弦波を除去するために使用される。

適応フィルタ $W(z)$ の $l$ 番目の係数の更新式は、

$$w_l(n+1) = w_l(n) + \mu e'(n)x'(n-l), \quad (7)$$

で表され、 $x'(n)$ および $e'(n)$ はそれぞれ、

$$x'(n) = \hat{H}_N(z)x(n), \quad (8)$$

$$e'(n) = \hat{H}_N(z)e(n), \quad (9)$$

と定義される。 $\hat{H}_N(z)$ は入力信号から正弦波を除去するため、 $H_N(z)$ の出力信号 $\varepsilon(n)$ の電力が小さくなるように LMS 法を用いて更新される。

$H_N(z)$ の $l$ 番目の係数 $w_{pl}(n)$ の更新式は、

$$w_{pl}(n+1) = w_{pl}(n) - \mu_p e(n-l)\varepsilon(n), \quad (10)$$

となる。従って、 $H_N(z)$ の伝達関数は定常状態において、式(11)で示される 2 次の NF の縦続接続型と等価になる。

$$H_N(z) = \sum_{l=0}^{2K} w_{pl} z^{-l} = \prod_{i=0}^K (1 - 2 \cos \omega_i z^{-1} + z^{-2}) \quad (11)$$

ここで、 $K$ は入力信号に含まれる正弦波の数、 $\omega_i$ は角周波数を表す。 $H_N(z)$ において更新された係数は $\hat{H}_N(z)$ に代入され、 $x'(n)$ および $e'(n)$ を生成するために使用される。以上のように、修正 LMS 法は学習に擬似白色化した信号 $x'(n)$ および $e'(n)$ を使用する以外は、プレーン LMS 法と同様の動作を行う。

しかしながら FIR 型 NF は、正弦波が同じ周波数帯域に集中しているときに問題を引き起こすことが知られている。2 次の NF の周波数特性を見ると、ノッチ周波数において振幅は 0 となるが、ノッチ周波数から離れた領域では振幅は 1 より大きくなってしまふ。したがって、ノッチ周波数が同じ周波数帯域に集中している場合、その帯域での振幅はさらに小さくなり、離れた帯域での振幅はさらに大きくなってしまふ。その結果、学習において入力される信号と未知系 $H(z)$ に入力される信号が大きく異なってしまふ。さらに、本研究における最終目標は、人間の肉声を補聴器の入力信号とするものであるため、ノッチアウトする帯域幅を制御することができる、IIR 型 NF を使用する方法を提案した<sup>4)</sup>。

修正 LMS 法において、FIR 型 NF に代えて IIR 型 NF を使用することでハウリング除去性能が向上する。 $e(n)$ に含まれる正弦波の周波数を推定するために、文献 5),6) で提案されている周波数推定法を改良して使用する。

しかし、2.2 の方法は、楽音や母音のように自己回帰過程 (AR 過程) に近似できる場合には適切に動作するが、子音や AR 過程に近似できない場合は有効ではない。このため、入力信号の性質に依存して、動作モードを切り替えるなどの対策が必要になる。

### 3. 相関法

#### 3.1 相関 LMS(CLMS)法<sup>3)</sup>

この方法では、学習の入力信号として、入力信号ではなく入力の自己相関を用いる LMS アルゴリズムが検討されている。この概要を以下に示す。

信号  $x(n)$  の自己相関関数  $\Phi_{xx}(k)$  と  $x(n)$ 、 $y(n)$  の相関関数  $\Phi_{yx}(k)$  は以下のように表される。

$$\Phi_{xx}(n, k) = \sum_{j=0}^{L-1-k} x(j)x(j-k) \quad (12)$$

$$\Phi_{yx}(n, k) = \sum_{j=0}^{L-1-k} y(j)x(j-k) \quad (13)$$

信号  $y(n)$  は、補聴器への入力信号  $d(n)$  とハウリング信号  $H(z)x(n)$  の和であるため、式(13)に代入すると、式(14)のようになり、 $d(n)$  と  $H(z)x(n)$  の相関が十分小さいと仮定して式(15)のように近似している。

$$\begin{aligned} \Phi_{yx}(n, k) &= \Phi_{d, H(z)x(n)} + \sum_{j=0}^{L-1-k} y(j)H(z)x(j-k) \quad (14) \\ &\cong \sum_{j=0}^{L-1-k} h_j \Phi_{xx}(n, k) \quad (15) \end{aligned}$$

また、 $\Phi_{yx}(n, k)$  の推定値  $\hat{\Phi}_{yx}(n, k)$  は適応フィルタの係数  $w(j)$  を用いて、式(16)のように求められる。

$$\hat{\Phi}_{yx}(n, k) = \sum_{j=0}^{L-1-k} w_j(n) \Phi_{xx}(n, k) \quad (16)$$

両者の誤差  $e(n)$  は以下のように求められ、適応フィルタの係数  $w(j)$  は式(18)のように更新する。

$$e(n) = \Phi_{yx}(n, 0) - \hat{\Phi}_{yx}(n, 0) \quad (17)$$

$$w_l(n+1) = w_l(n) + \mu e(n) \Phi_{xx}(n, l) \quad (18)$$

#### 3.2 RLS アルゴリズムを用いた相関法

本稿では、入力信号が有色であっても収束速度が確保できる再帰最小二乗法 (RLS: Recursive Least Square) アルゴリズムを用いる。なお、式(18)の近似ができるだけ成立するよう、文献 7) にあるように、 $x(n)$  を  $D$  サンプル遅延させたものを  $x(n)$  として用いた。

表 1. アルゴリズム

アルゴリズムについて

[初期設定]

$\vec{P}(0) = c^{-1} \vec{I}$  ( $c$ : 小さな正の定数、 $\vec{I}$ :  $L \times L$  単位行列)

$\vec{w}(0) = \vec{0}$  ( $L \times 1$  ベクトル)

1.  $n=1$

2. ゲインベクトル  $\vec{K}(n)$  を計算する

$$\vec{K}(n) = \frac{\lambda^{-1} P(n-1) \vec{\Phi}_{xx}}{1 + \vec{\Phi}_{xx}^T \vec{P}(n-1) \vec{\Phi}_{xx}} \quad (\lambda: \text{忘却変数})$$

3. 推定誤差  $e(n)$  を計算する

$$e(n) = \Phi_{yx}(0) - \hat{\Phi}_{yx}(n, 0)$$

4. 係数  $\vec{w}(n)$  を更新する

$$\vec{w}(n+1) = \vec{w}(n) + \vec{K}(n)e(n)$$

5. 自己相関行列の逆行列  $\vec{P}(n)$  を更新する

$$\vec{P}(n) = \lambda^{-1} P(n-1) - \lambda^{-1} \vec{K}(n) \vec{\Phi}_{xx}^T \vec{P}(n-1)$$

6.  $n=n+1$  としてステップ 1 へ戻る

### 4. 数値例

#### 4.1 シミュレーション条件

入力信号  $d(n)$  として式(19)を用いた。

$$d(n) = \sum_{i=1}^4 A_i \sin\left(\frac{2\pi f_i}{f_s} n\right) + \Phi(n) \quad (19)$$

ここで、 $A_i$  は信号の振幅、 $f_i$  は入力周波数、 $f_s$  はサンプリング周波数、 $\Phi(n)$  は分散  $\sigma_\phi^2$  をもつ平均 0 の加法性白色ガウス雑音をそれぞれ表す。

結果は、独立な 10 回の試行の集合平均により求めた。シミュレーション条件は以下のように設定する：

(1)  $A_i = 1.0$ 、 $f_s = 8000$  [Hz];

(2)  $f_i$  ( $i = 1 \sim 4$ ) = 700、1000、1600、2000 [Hz];

(3)  $H(z) = -0.01745 + 0.2151z^{-1} + 0.2849z^{-2} + 0.2151z^{-3} - 0.01745z^{-4}$ ;

(4)  $G(z) = 2.0z^{-12}$ 、 $\sigma_\phi^2 = 0.5$ ;

(5)  $D=12$ ;

#### 4.2 シミュレーション結果

Fig. 3 に提案法における周波数特性、Fig. 4 に音響フィードバック経路のフィルタ係数推定結果を示す。

Fig. 3 において、破線は真値、実線は推定値による周波数特性である。

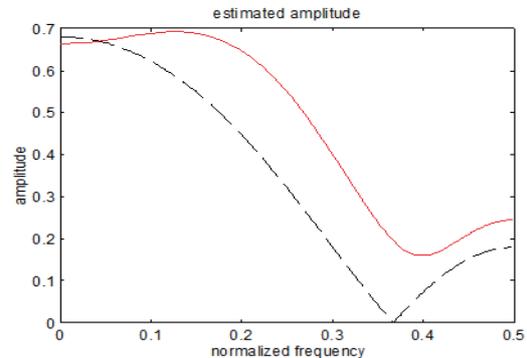


Fig. 3 Frequency estimation in the proposed method

Fig. 4 において、破線は音響フィードバック経路の各フィルタ係数の真値を表している。実線はその推定値を示している。文献 1) の方法よりも小さいものの、補聴器

への入力信号を楽音にモデル化した式(19)としたため、遅延を入れても、式(15)の近似が成立せず、推定値にバイアスが生じている。

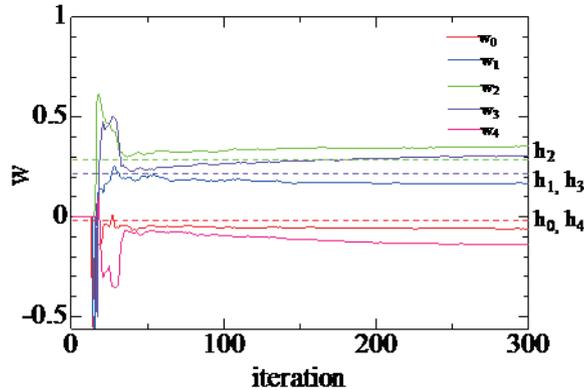


Fig. 4 Convergent curves of the proposed method

## 5. まとめ

本稿では、はじめに、プレーン LMS 法を用いた従来法と文献 1)で提案されている修正 LMS 法による補聴器のハウリングキャンセラ、そして二つの方法の問題点について示した。問題は以下の二つによるものである。

(1)学習における適応フィルタへの入力信号と観測雑音との間の相関

(2)入力信号に含まれる正弦波の周波数分布の偏り

これらの問題を解決するため、IIR 型 NF を用いたハウリングキャンセラの概要を述べた。この方法は、楽音や母音のように自己回帰過程 (AR 過程) に近似できる場合には適切に動作するが、子音や AR 過程に近似できない場合は有効ではない。このため、入力信号の性質を検査して、動作モードを切り替えるなどの対策が必要であることを述べた。

動作モードの切り替えが不要な相関法を用いることとし、その収束速度を改善するために、RLS アルゴリズムを用いた方法を提案し、楽音をモデル化した信号を用いたシミュレーションを行なった。今後の課題として、人間の肉声など実際の信号を適用すること、演算量の削減などが挙げられる。

## 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) H.Sakai, "Analysis of an adaptive algorithm for feedback cancellation in hearing aids for sinusoidal signals", IEICE Technical Report, SIP 2007-130, pp. 43-47, 2007
- 2) S.Haykin, "Adaptive filter theory", 2nd ed., Englewood,

NJ: Prentice-Hall, 1991

- 3) 林隆広、アシャリフ・モハマッド・レザー、"double-talk 状態でのエコーキャンセリングを行なう相関 LMS アルゴリズムの提案"、琉球大学工学部紀要、第 57 号、pp.137-142、1999
- 4) T.Fujimura, N.Kudoh, Y.Tadokoro, "A study on howling canceller using quasi-whitened input signal", Proceedings of IEEE TENCON 2016, singapore (Nov. 2016)
- 5) J.F. Chicharo, T.S.Ng, "Gradient-based adaptive IIR notch filtering for frequency estimation", IEEE Trans. on Acoust., Speech, Signal processing, 38(5), pp. 769-777, 1990
- 6) N.Kudoh and Y.Tadokoro, "Performance analysis of a new LMS-based Fourier Analyzer", CD-ROM Proceedings, IEEE TENCON '03, pp.1-4, Bangalore, India, Oct., 2003
- 7) 高橋拓也、田邊造、名取隆廣、古川利博、"観測信号の相関を用いた高速なハウリング抑圧法"、H28 年電気学会電子・情報・システム部門全国大会講演論文集、TC16-6、pp.515-519、Sep.、2016

(原稿受付：2020 年 11 月 14 日)

# 八戸周辺河川における糞便汚染の解析

佐々木麗花\*・佐藤静留\*\*・矢口淳一\*\*\*

Source Tracking Analysis of Fecal Pollution in Four Rivers around Hachinohe

Reika SASAKI, Shizuru SATO, Junichi Yaguchi

\* 産業システム工学科 環境都市・建築デザインコース(現 株式会社シミズ・ライフケア)

\*\* 産業システム工学科 環境都市・建築デザインコース(現 NTT インフラネット株式会社)

\*\*\* 産業システム工学科 環境都市・建築デザインコース

**Abstract :** Microbial source tracking of fecal pollution in four rivers around Hachinohe was performed using host-specific genetic markers and high-throughput sequencing techniques. The concentrations of *Bacteroidales*-specific marker representing total fecal pollution ranged from  $10^3$  to  $10^5$  copies/100mL. The human-specific maker was detected in two rivers, whereas the cow- and pig-specific markers were not detected. Bacterial community analysis based on 16S rRNA amplicon sequencing showed that 11 pathogenic bacteria were detected and their relative abundance were 0.0-0.87% (median 0.076%).

**Keywords :** 糞便汚染, 指標細菌, DNA, 遺伝子マーカー, 系統樹解析

## 1. はじめに

近年、下水道の普及に伴って古くから下水道の整備を実施してきた大都市では雨天時に合流式下水道越流水(CSO)による糞便汚染が放流水域で顕在化しており、地方都市では下水処理水の放流や野生動物の繁殖等によって従来汚染が認められなかった水域での糞便汚染が報告されている<sup>1)</sup>。このような糞便汚染の状況に対して、我が国では未だに微生物指標として大腸菌群が用いられており、糞便に由来しない自然由来の細菌を多量に検出してしまうと共に汚染源を特定できないという欠点があるため、汚染源を解明できず対策に繋がらない場合が多い。また大腸菌群数の環境基準超過率は非常に高く、河川 AA 類型では過去 10 年間 80% を超え、全く改善されない状況が続いている<sup>2)</sup>。現在微生物指標の見直しが検討されているが、水域の糞便汚染に関する真の姿は全く不明である。

そこで、本研究では嫌気性菌のため環境中で増殖しないことから近年注目されている腸内細菌である *Bacteroidales* 目の細菌群を使用して、汚染源別に特異的な遺伝子塩基配列を応用し汚染源を特定できる指標、遺伝子マーカーの研究開発を試みた。生活排水や畜産排水による汚染の可能性がある八戸市周辺の 4 河川で水質調査を実施し、ヒト、ウシ、ブタの糞便に特異的な遺伝子マーカーを適用して従来の大腸菌、大腸菌群指標と比較検証

しながら糞便汚染の実態調査と汚染源の解明を行った。さらに、サンプル中のすべての細菌の DNA を網羅的に解析できる次世代シーケンサーを用いてアンプリコンシーケンス解析を実施し、河川中のすべての病原性細菌を検出して従来の指標細菌、遺伝子マーカーとの関係を検討した。また腸内細菌の系統樹解析による汚染源の追跡も実施した。

## 2. 調査試料および方法

### 2.1 調査水域

水質調査及びサンプリングは、八戸市周辺の 4 河川、馬淵川(尻内橋)、新井田川(新井田橋)、五戸川(尻引橋付近)、奥入瀬川(下田サーモンパーク)で行った。採水日は、7 月 16 日と 10 月 28 日の二日間である。また五戸川に関してはさらに上流から下流にかけて 4 地点(St. 1: 親水公園, St. 2: 新郷村役場前, St. 3: 下新井田橋付近, St. 4: 尻引橋付近)で調査と採水を行った。採水日は 9 月 20 日と 11 月 18 日の 2 日間である。

### 2.2 調査概要

採水した河川サンプルの一般水質項目(pH, DO, 電気伝導度, 水温)の測定と、指標細菌(大腸菌群, 糞便性大腸菌群, 大腸菌)数を計測した。さらにサンプルから DNA を抽出してリアルタイム PCR を行い、4 種類の遺伝子マ

ーカー濃度を測定した。また次世代シーケンサーを使用してアンプリコンシーケンス解析を実施し、サンプル中の細菌叢解析を行った。

### 2.2.1 指標細菌の計数

大腸菌群、糞便性大腸菌群の計数は、それぞれ MF-Endo 培地(Difco) と M-FC 培地(Difco)によるメンブレンフィルタ法で行った。またクロモアガー培地 (CHROMager™ 関東化学㈱) を用いたメンブレンフィルタ法によって、大腸菌数を測定した。メンブレンフィルタにはセルロース混合エステルフィルタ (Advantec 製, 孔径 0.45 μm, 直径 47mm) を使用した。

### 2.2.2 DNA の抽出

河川のサンプル 100~250mL を Sterivex filter(Merck 社) でろ過濃縮後、Power Water Sterivex kit(Quiagen 社) を用いてプロトコールに従って DNA の抽出を行った。

### 2.2.3 遺伝子マーカーのリアルタイム PCR

抽出した DNA のリアルタイム PCR は、SsoAdvanced™ Universal Probes Supermix (Bio-rad 社) を使用して Mini-Opticon システム (Bio-rad 社) で行った。糞便汚染の指標となる遺伝子マーカーとして、腸内細菌目 *Bacteroidales* の 16S rRNA 遺伝子断片 4 種類を用いた。糞便汚染全体を表すマーカーとして Gen<sup>3)</sup>、ヒト糞便の遺伝子マーカーとして HF183<sup>4)</sup>、ブタ糞便には Pig-2-Bac<sup>5)</sup>、ウシ糞便に Rum-2-Bac<sup>6)</sup> をそれぞれ用いた。また、プライマーとプローブ濃度や PCR 反応の温度条件は、前報<sup>7)</sup> の通りである。

### 2.2.4 細菌叢解析

各サンプルから抽出された DNA の 16S rRNA 遺伝子の V3-V4 領域を対象に、(株) 生物技研に委託して次世代シーケンサー MiSeq (Illumina 社) を使用してアンプリコンシーケンス解析を行い、各サンプルの細菌叢解析を実施した。

抽出した DNA 溶液の濃度測定には Synergy H1 (Bio Tek 社) と QuantiFlour dsDNA System (Promega 社) を用いた。16S rRNA 遺伝子 V3-V4 領域に対し、プライマー 341f\_MIX/805r\_MIXR を用いて 2step tailed PCR 法を適用し、ライブラリーを作成した。DNA の精製には AMPureXP (Beckman Coulter 社) を使用した。

シーケンス解析は、Miseq を用いて 2x300 bp の条件で行い、Fastx toolkit を用いて配列の読み始めが使用プライマーと完全一致する配列のみを抽出した。プライマー配列を削除した後、Qiime2.0 パイプライン<sup>8)</sup> を用いてノイズ除去を行い、配列を取得し。取得した配列は、EzBioCloud16Sdatabase の OTU (Operational Taxonomic Unit; 操作的分類単位) を参照にして、相同性 97% 以上を対象として系統推定した。

## 3. 結果と考察

### 3.1 指標細菌の推移

八戸周辺の 4 河川における指標細菌の計数結果を図-1 に示した。大腸菌群数は 10<sup>2</sup>~10<sup>3</sup> 個/100mL 前後であり、いずれの採水地点も環境基準は 5,000 個/100mL なので、2 日間とも環境基準を満たしていた。大腸菌群数に対し、糞便性大腸菌群数は 1/10 程度、大腸菌数はほとんどが 1/10 以下となった。従って今回計測した大腸菌群のほとんどが大腸菌以外の細菌であり、実際には大腸菌による汚染は少ないことが分かる。また、4 つの河川とも 7 月に比べて 10 月の指標細菌数が増加している。これは、サンプリングの数日前の降雨により河川が汚濁したためだと考えられる。

図-2 には五戸川における各地点の各指標細菌の計数結果を示した。五戸川の環境基準は St.1 と St.2 は 1000 個/100mL なので、9 月の計数結果を見ると St.2 でのみ環境基準を超過していた。また 9 月のデータは St.3, St.4 でも大腸菌群数が環境基準値に近く、汚染の影響が危惧される。しかし多くの地点で大腸菌群数と糞便性大腸菌群数、大腸菌数には大きな差があり、実際の大腸菌による汚染の影響は小さい。11 月は 9 月と比較するとほぼすべての地点で指標細菌数が減少しており、すべての地点で大腸菌群数の環境基準を満足していた。大腸菌群数に対する大腸菌数の割合も 1/100 程度であるため、大腸菌による糞便汚染のリスクは小さかった。

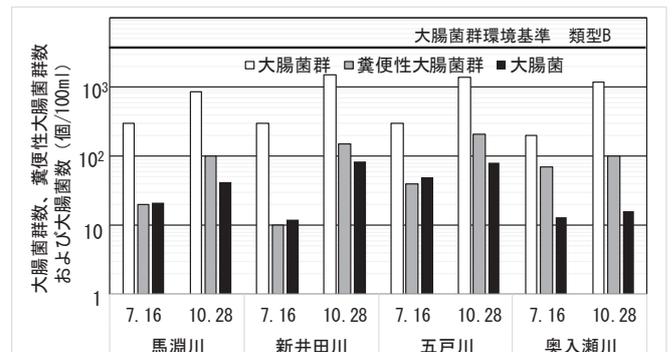


図-1 八戸市周辺 4 河川中の指標細菌数の推移

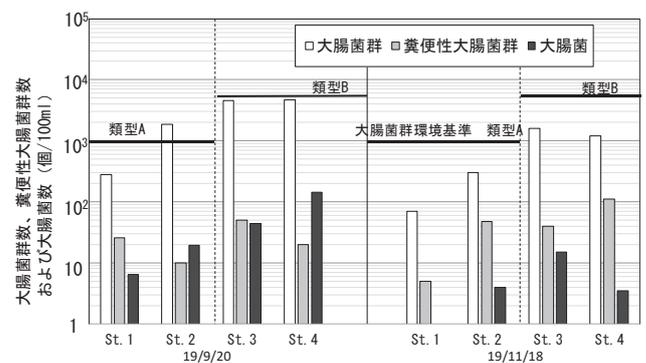


図-2 五戸川 4 地点における指標細菌数の推移

### 3.2 遺伝子マーカー濃度

4河川における遺伝子マーカー濃度を図-3に示した。糞便汚染全体を示すマーカーGenは、 $10^3 \sim 10^5$  copy数/100mL検出され、すべての河川で10月は7月より1オーダー以上増加した。これは図-1に示した指標細菌数とも一致しており、特に五戸川では大幅な増加となった。ヒト糞便の影響を表わすマーカーHF183は7月の五戸川と10月の奥入瀬川で $10^2$  copy数/100mL以上検出され、Genで表した糞便汚染の大部分を占めていた。しかし10月の五戸川や他の河川では、検出されなかった。ブタとウシ糞便の指標であるPig-2-BacとRum-2-Bacのマーカーはいずれの河川でも検出されなかった。図-4には、五戸川4地点の遺伝子マーカー濃度を示した。Genマーカーは $10^3 \sim 10^4$  copy/100mL検出されているが、11月のSt.1では検出されなかった。9月と11月のマーカー濃度はSt.1を除いてほとんど差がなく、図-2の指標細菌数とは異なる結果となった。また汚染源の指標となるマーカーは、11月のSt.3のみヒトの糞便汚染を表すHF183が $10^4$  copy数/100mL以上検出され、Genマーカーと同程度の濃度となった。しかし9月のSt.3や他の地点ではHF183は検出されず、Pig-2-BacとRum-2-Bacもすべての地点で検出されなかった。

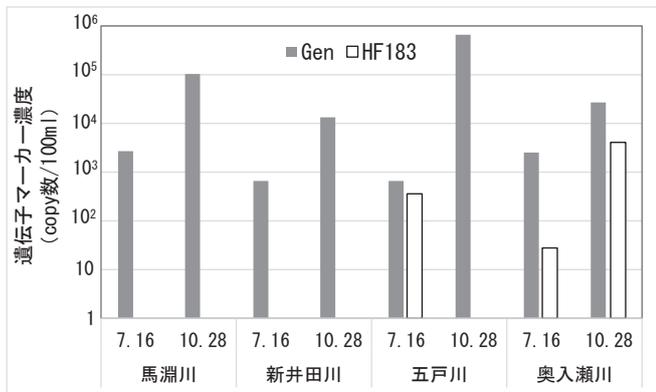


図-3 八戸市周辺4河川中の遺伝子マーカー濃度

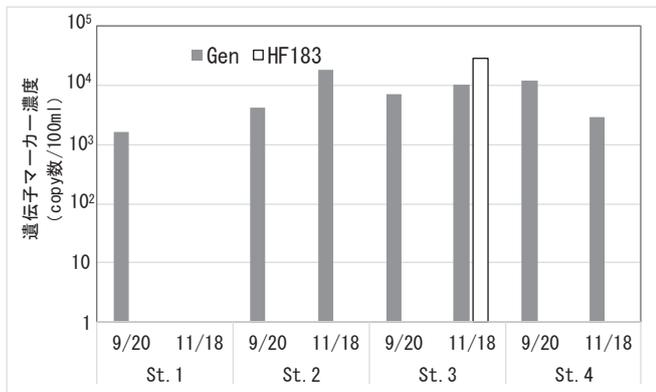


図-4 五戸川4地点の遺伝子マーカー濃度

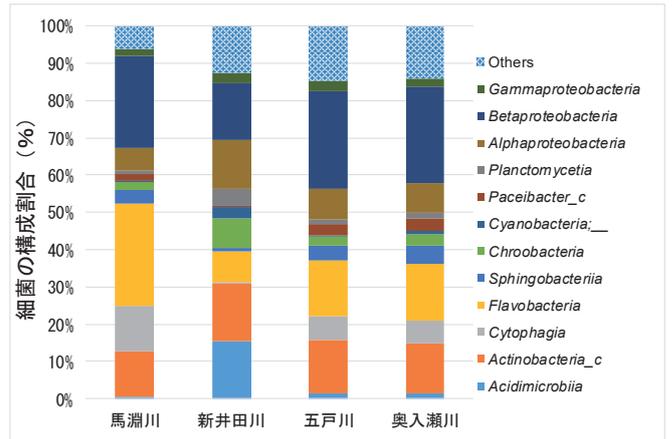


図-5 八戸市周辺4河川中の細菌叢解析結果 (7月16日)

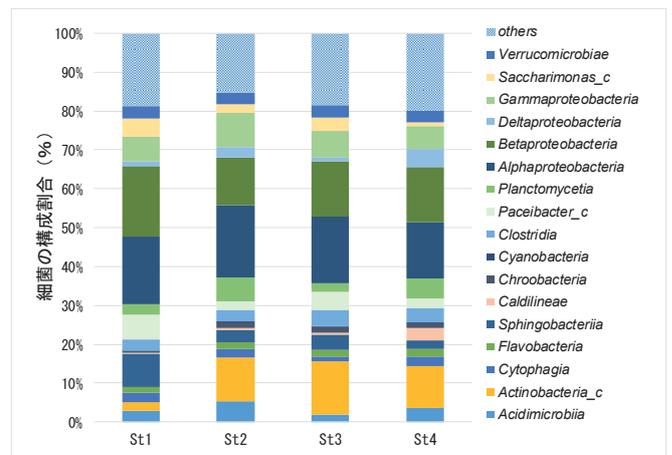


図-6 五戸川4地点の細菌叢解析結果 (9月20日)

### 3.3 河川中の細菌叢解析

次世代シーケンサーによる4河川の7月16日のサンプルにおける細菌叢解析結果を綱(class)レベルで構成割合が3%以上の細菌群のみ図-5に示した。4つの河川ともBetaproteobacteria綱、Actinobacteria門の細菌群がどちらも15%以上と多くの割合を占めていた。また新井田川は他の河川では少なかったAcidimicrobiia綱、Chroobacteria綱の細菌群が多く検出され、Actinobacteria門、Flavobacteria綱の割合は低いという結果となった。これは新井田川には海水が遡上し、他の河川と生息環境が異なるためだと考えられる。図-6には9月20日の五戸川4地点における細菌叢解析結果を綱(class)レベルで示した。構成割合が3%以下の細菌群はothersに分類されている。すべての地点でBetaproteobacteria綱、Alphaproteobacteria綱の細菌群が15%前後と多くの割合を占めていた。St.2~St.4の細菌叢はほぼ同じような構成をしていたが、St.1のみ細菌構成割合が異なっており、Sphingobacteria綱が多く検出され、Actinobacteria門の割合は低いという結果となった。10月28日に採水した4河川のサンプルと11月18日の五戸川のサンプルでも、それぞれ新井田川とSt.1は

他の採水地点と異なる細菌叢を示した。

### 3.4 河川中の病原性細菌

本研究で検出された病原性細菌を含む属は 56 属 (145 属) で、図-7 と図-8 に全細菌に対する構成割合が 0.2% 以上の属を示した。このうち、種レベルでは病原性細菌は 11 種 (538 種) しか検出同定されず、種レベルでの解析は十分にできなかった。すべてのサンプルで病原菌を含む属の占める割合は、0.8~11.3%の範囲だった。特に五戸川の St.3 は最も高く、2 日とも 8%以上となった。出現割合が高い属は、図-7 では *Acinetobacter*, *Clostridium*, *Legionella*, *Paenibacillus*, *Sphingomonas* 属、図-8 ではさらに *Arcobacter*, *Mycobacterium* 属も高くなった。五戸川の St.3 では、9 月 20 日には *Clostridium* と *Acinetobacter* 属の出現割合が高かったが、11 月 18 日には *Mycobacterium* 属が最も多くを占めた。図-7 と図-8 では、検出された病原菌を含む属をヒトや動物の腸内に由来するか、環境起源か分類して (赤字で示した属は腸内由来)、腸内由来の病原性細菌の構成割合も示した<sup>9)</sup>。腸内由来の病原菌の占める割合は、すべてのサンプルで

表-1 病原性細菌の検出頻度と構成割合

pathogens detected	Detection Frequency	Relative abundance(%)		
		Range		
<i>Acinetobacter radioresistens</i>	1/16	0	~	0.072
<i>Bacteroides thetaiotaomicron</i>	1/16	0	~	0.023
<i>Bacteroides uniformis</i>	1/16	0	~	0.053
<i>Clostridium butyricum</i>	2/16	0.046	~	0.12
<i>Clostridium botulinum</i>	1/16	0	~	0.075
<i>Coxiella burnetii</i>	1/16	0	~	0.0052
<i>Eubacterium tenue</i>	5/16	0.060	~	0.25
<i>Legionella feeleeii</i>	2/16	0.0099	~	0.047
<i>Moraxella osloensis</i>	4/16	0.015	~	0.87
<i>Rhodococcus erythropolis</i>	5/16	0.030	~	0.073
<i>Veillonella dispar</i>	1/16	0	~	0.012

0.011~2.47%の範囲だった。特に五戸川の St.3 と St.4 は、7 月 16 日を除いて 1%以上となった。

表-1 には、検出同定された 11 種の病原性細菌を示した。いずれの細菌も検出頻度は低く、半数は 1 サンプルのみの検出だった。病原性細菌の割合は 0.0~0.87% (median 0.076%)となり、9 月 20 日に採水した五戸川の St.4 では、*Moraxella osloensis* が 0.87%の構成割合を示した。これは、アンプリコン解析から得られた北京市内を流れる河川中の病原性細菌の割合<sup>9)</sup>の 1/10 程度だった。本研究の相同性解析では、細菌の 16S rRNA 遺伝子のデータベースとして EzBioCloud 16S database を使用したが、本研究で検出された病原菌を含む 56 属に分類され構成比が 0.2% 以上の代表配列 OTU (Operating Taxonomic Units: 操作上の分類単位)については BLAST 検索も試みた。99.5%以上的一致率で病原性細菌と特定できたのは約 2 割(12/58)の OTU のみだった。本研究のアンプリコン解析で得られた配列の長さは 420bp 前後で、種レベルの系統解析は難しいかもしれない。

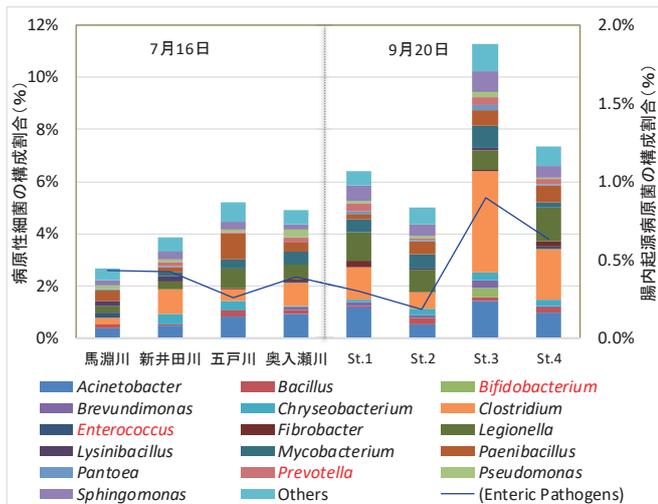


図-7 病原性細菌を含む属の河川中の分布 (1)

### 3.5 指標間の関係

本研究で得られた遺伝子マーカー濃度や病原性細菌の分布状況と従来から用いられている指標細菌濃度との関係を検討した。表-2 には、各指標間のピアソン相関係数を示した。指標細菌として大腸菌群と大腸菌濃度、遺伝子マーカーには糞便汚染全体を示しほとんどのサンプルから検出された Gen マーカー濃度、さらに病原性細菌を含む属と腸内起源の属の全細菌に対する構成比の関係

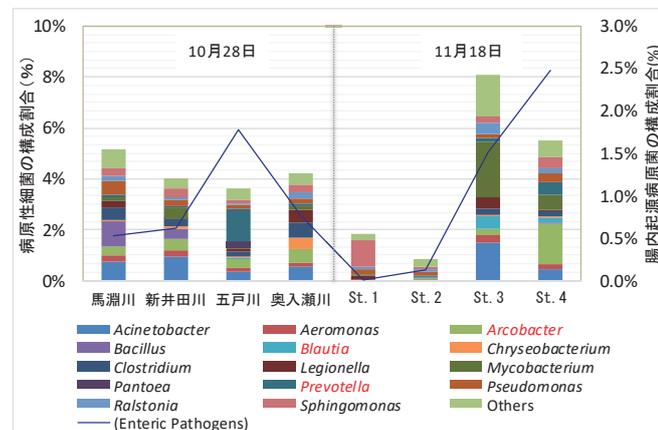


図-8 病原性細菌を含む属の河川中の分布 (2)

表-2 各指標間のピアソン相関係数

Correlation coefficients	Total Coliforms	<i>E.coli</i>	Gen maker	pathogen (genus)	enteric pathogens
Total Coliforms	—	0.673	(0.419)	0.611	0.703
<i>E.coli</i>	0.673	—	(0.385)	0.499	0.575
Gen maker	(0.419)	(0.385)	—	(0.149)	(0.371)
pathogen(genus)	0.611	0.499	(0.149)	—	(0.503)
enteric pathogens	0.703	0.575	(0.371)	(0.503)	—

( ) ; p値が0.05以上となり相関性が棄却された関係を示す。

を求めた。大腸菌群と大腸菌濃度は、Gen マーカーを除いて属レベルの病原菌と腸内由来病原菌との間に相関性が認められた。一方 Gen マーカー濃度は、すべての他の指標との間に相関性は認められないことが示された。表-2 の結果は、従来の指標細菌の方が Gen マーカーより指標性に優れていることを示しているが、サンプル数も少なく、病原性細菌の解像度も低く今後さらに検討していく必要がある。

### 3.6 腸内細菌の系統樹解析

前述のように、腸内細菌目 *Bacteroidales* の 16S rRNA 遺伝子断片を用いたヒト、ブタ、ウシ糞便の遺伝子マーカーは、HF183 が 4 サンプルで検出されたのみでブタとウシのマーカーはすべてのサンプルで検出されなかった。そこで糞便汚染の汚染源を特定するため、検出された腸内細菌の系統樹解析を試みた。*Bacteroides* と *Prevotella* の 2 つの属に分類された OTU について、MEGA software (Version 10.1.7) を使用して系統樹解析を実施した。対照に遺伝子マーカーの塩基配列、HF183 (AJ408993)、Pig-2-Bac(AF371872)、Rum-2-Bac (JX096090) と、ヒト糞便由来の 4 サンプル (EU573838, EU573839, EU573847, EU573852) 及びウシ糞便サンプル (EU551115) を用いた。図-9 には、10 月 28 日と 11 月 18 日の採水サンプルを近接結合法で解析した結果を示した。上位に位置するクラスターがヒト糞便に関連するもので、下位はブタの糞便に関連するクラスターとなっている。ウシ糞便は対照サンプルのみのクラスターで独立していた。ヒト糞便に関連するクラスターに属する OTU は、多くのサンプルから検出されているのに対し、ブタ糞便に関連する OTU は五戸川及び St.3 と St.4 から検出され、五戸川下流域におけるブタ糞便汚染の可能性が示唆された。

## 4. まとめ

本研究では、遺伝子マーカーと次世代シーケンサーを用いて地方都市周辺河川における糞便汚染について解析した。しかし遺伝子マーカーの検出感度が低いためか、ヒトに由来するマーカーは 2 河川で検出されたのに対し、ウシ、ブタのマーカーは全く検出されなかった。また糞便汚染全体を表す Gen マーカーも指標細菌数や病原性細菌の構成割合との間に関係性が見られなかった。4 河川から検出された病原性細菌は 11 種で、細菌中の構成割合は 0.0~0.87% (median 0.076%) であった。今後、遺伝子マーカー感度の改善や次世代シーケンサーの解像度の向上に取り組み、地方都市周辺における糞便汚染の実態解

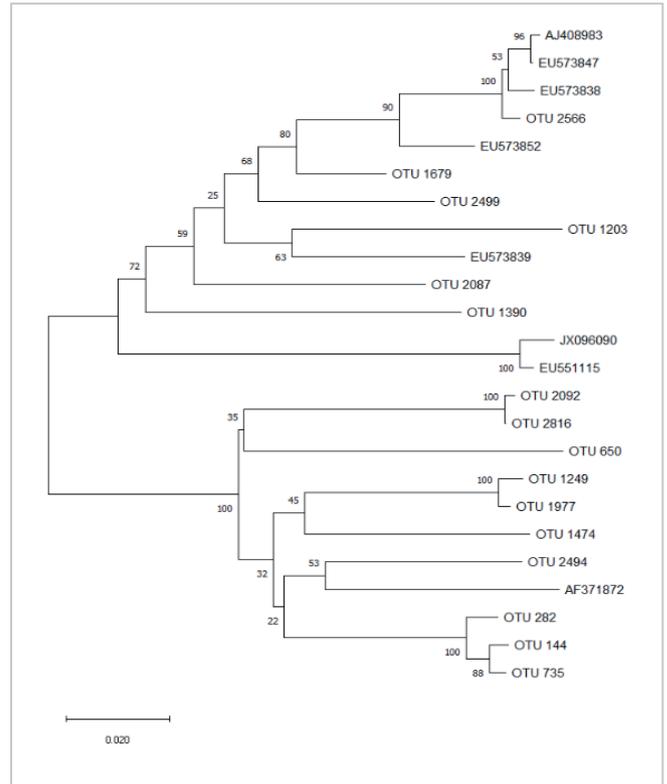


図-9 河川サンプルの系統樹解析

明に繋げていきたい。

## 謝 辞

本研究は、公益財団法人前田記念工学振興財団（令和元年度 土木分野）の支援を得て行われました。ここに記して深く感謝の意を表します。

## 参 考 文 献

- 1) 西村恵美, 鈴木祥広: 自然河川における薬剤耐性菌の存在実態, 水環境学会誌, 43, pp.92-94 (2020)
- 2) 岸田直裕: 水環境中の大腸菌等の指標微生物, 水環境学会誌, 36, pp.165-168 (2013)
- 3) Sieftring, S., Varma, M., Atikovic, E., Wymer, L., Haugland, R. A.: Improved real-time PCR assays for the detection of fecal indicator bacteria in surface waters with different instrument and reagent systems. J Water Health 6, pp.225-237 (2008)
- 4) Green, H. C., Haugland, R. A., Varma M., Millen, H. T. et al.: Improved HF183 quantitative real-time PCR assay for characterization of human fecal pollution in ambient surface water samples. Applied and Environmental Microbiology 80, pp.3086-3094 (2014)
- 5) Mieskin, S., Furet, J., Corthier, G., Gourmelon, M.: Estimation of pig fecal contamination in a river catchment by real-time PCR

- using two pig-specific *Bacteroidales* 16S rRNA genetic markers. *Applied and Environmental Microbiology* 75, pp.3045– 3054 (2009)
- 6) Mieszkin, S, Yala, J.F., Joubrel, R., Gourmelon, M.:Phylogenetic analysis of *Bacteroidales* 16S rRNA gene sequences from human and animal effluents and assessment of ruminant faecal pollution by real-time PCR. *Journal of Applied Microbiology* 108, pp.974-984 (2010)
- 7) 田中優希, 矢口淳一: 遺伝子マーカーによる蕪島海水浴場糞便汚染の解析, *水環境学会誌*, 41, pp. 92-94 (2018)
- 8) Bolyen, E., Rideout, J. R., Dillon, M. R. et al.: Reproducible, interactive, scalable and extensible microbiome data science using QIIME 2, *Nat. Biotechnol.*, 37, pp.852–857 (2019)  
<https://doi.org/10.1038/s41587-019-0209-9>
- 9) Cui, Q.,Huang, Y.,Wang H.,Fang, T.:Diversity and abundance of bacterial pathogens in urban rivers impacted by domestic sewage. *Environmental Pollution* 249, pp.24-35 (2019)

(原稿受付: 2020年11月2日)

# 山形県沖を震源とする地震における地震動平均方向の検討

杉田 尚男\*

Examination of the average direction of the Pacific coast of Yamagata Earthquake

Hisao SUGITA

\*産業システム工学科 環境都市・建築デザインコース

**Abstract :** Japan has had a long history of earthquakes and seismic activities. It is an area of high seismicity because of its location near three major tectonic plate boundaries, and is situated on the Pacific Ring of Fire. 20% of the most dangerous earthquakes of the World occurred there. The 11 March 2011 at 5:46 pm a big earthquake occurred with an 8.9 magnitude. It was the biggest earthquake recorded since 1923. In June 2019, a big Earthquake occurred also. My project is to study all the point of impact of the earthquake. Earthquake of magnitude 6.7 occurred on June 18. In this study, We have studied about the direction of earthquake motions.

**Keywords :** Directivity of the earthquake motion, Average direction, Average value of an acceleration response

## 1. はじめに

2019年(令和元年)6月18日22時22分頃、山形県沖を震源とした深さ14km、マグニチュード6.7の地震が発生した。この地震により新潟県村上市で震度6強、山形県鶴岡市で震度6弱を観測したほか、北海道から中部地方にかけて震度5強～1を観測した。この地震は地殻内で発生し、発生機構は西北西－東南東方向に圧力軸を持つ逆断層型である。気象庁はこの地震について命名を行っておらず、公的機関では「山形県沖を震源とする地震」と呼称されている<sup>1)</sup>。

8年前の2011年(平成23年)3月11日14時46分に発生した東北地方太平洋沖地震は、日本の観測史上最大のマグニチュード9.0を観測した。また、この地震の影響により発生した津波の影響も重なり、東北地方太平洋側を中心に構造物倒壊などの被害により多くの方が被災した。気象庁ではこの地震動を「平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震」と定め、これに伴う災害を東日本大震災と称している<sup>2)</sup>。

これまでの地震動の研究は主に周期特性について行われてきた。一般に構造物の固有周期と地震動の卓越周期が近づくと共振現象が起り、構造物への被害が拡大するとされているためである。しかし、過去には周期特性だけでなく、地震動の方向性が強いことによって被害が拡大した事例がある。1995年に発生した兵庫県南部地震では、複数の観測点で北北西－南南東の方向成分が卓越したという研究結果<sup>3)</sup>や地域ごとに全倒壊家屋の70%以上がある一定方向に倒壊するという調査結果<sup>4)</sup>が報告されている。このことから、地震動について被害推定を行う際、設計側の立場として考えた時に、方向性につい

ても検討を行う必要があると考える。また、構造物を設計する際、設計側の立場として考えた時に、より安全側に立ち、加速度応答が最大となる方向成分を用いる場合がある。しかし、一方向の地震動応答解析を行う場合、地震動のどの方向成分を用いるかによってその結果が大きく異なるため、地震動の被害推定を行う際に被害を過大・過少評価してしまう恐れがある。

本研究では、防災科学技術研究所によって運用されている全国の強震観測網のデータ<sup>5)</sup>をもとに、2019年6月18日に発生した山形県沖地震の平均方向について比較・検討した。地震動応答解析によって得られたデータから加速度応答を算出し、地震による被害を推定するために構造物応答が平均的なものとなるような地震動の『加速度応答平均値の平均方向』を定義した。また、東北地方太平洋沖地震の本震と余震についても平均方向の検討を行い、那須火山帯を中心とした太平洋側と日本海側の地震動の関連性について考察することを目的として研究を行った。

この加速度応答平均値の平均方向を構造物の設計に取り入れることで、被害推定の際の誤差を少なくし、より正確なものにすることで地震動による被害の低減に寄与できる。

## 2. 山形県沖地震概要

山形県沖地震は、2019年(令和元年)6月18日22時22分頃、山形県沖を震源とした深さ14km、マグニチュード6.7の地震が発生した。この地震により新潟県村上市で震度6強、山形県鶴岡市で震度6弱を観測したほか、北海道から中部地方にかけて震度5強～1を観測した。この地震は地殻内で発生し、

発生機構は西北西—東南東方向に圧力軸を持つ逆断層型である。この地震により、負傷者 41 人、住家半壊 33 棟、一部破損 755 棟の被害が生じた<sup>1)</sup>。気象庁はこの地震について命名を行っておらず、公的機関では「山形県沖を震源とする地震」と呼称されている。

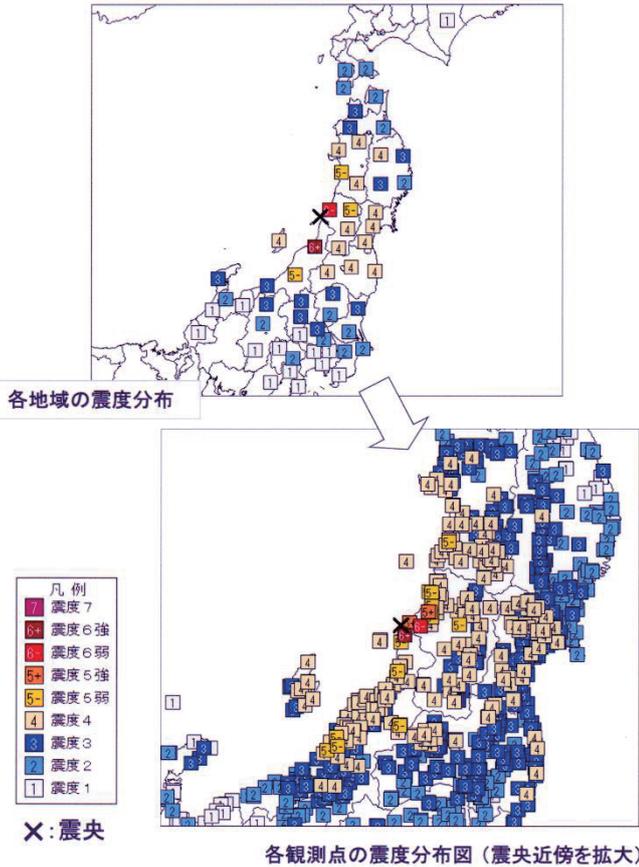


図 1 各観測点の震度分布図<sup>1)</sup>

### 3. 強震観測網の概要

本研究では、防災科学技術研究所により運用され公開されている全国の強震観測網(K-NET, KiK-net)のデータを用いて、山形県沖地震と東北地方太平洋沖地震の本震及び余震の地震動のデータをダウンロードし、それについて地震応答スペクトル解析し検討を行った。全国の強震観測網の観測点を図 2 に示す。

#### 3.1 K-NET 概要

K-NET (Kyoshin Net: 全国強震観測網)は独立行政法人防災科学技術研究所が運用している、全国に約 20km 間隔で設置された 1000 箇所以上の強震観測施設からなる強震観測網である。地震被害に直接結びつく地表の強震動を均質な観測条件で記録するため、各観測施設は一部の例外を除き統一した規格で建設され、自由地盤上(地表)に強震計が設置されている。強震観測センターでは、気象庁発表の速報震源を共振記

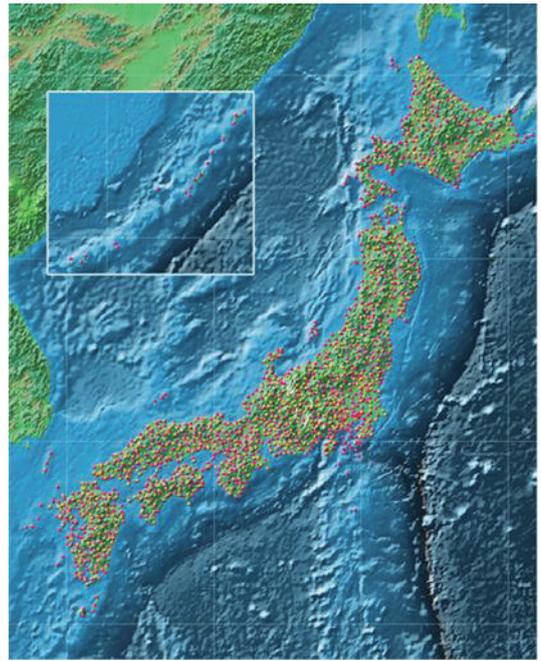


図 2 観測点地図<sup>5)</sup> 左上: 琉球諸島:

録のファイルに付加するとともに利用しやすいように 3 種類のデータ形式にして強震記録のデータベースを構築し、様々な研究や実務に対応できるようにする<sup>5)</sup>。

#### 3.2 KiK-net 概要

KiK-net (Kiban-Kyoshin Net: 基盤強震観測網)は、全国にわたる総合的な地震防災対策を推進するため、政府の地震調査研究推進本部が推進している「地震に関する基盤的調査観測計画」の一環として、防災科学技術研究所が高感度地震観測網(Hi-net)と共に整備した強震観測網である。KiK-net の観測施設は全国約 700 箇所配置され、各観測施設には観測用の井戸(観測井)が掘削されており地表と地中(井戸底)の双方に強震計が設置され、鉛直アレーを構成しているのが特徴である。観測施設で観測された強震記録は、直ちに防災科学研究所にある強震観測センターに送信され、当サイトより広く一般に公開される。蓄積される強震記録はデータベース化され、地震に関する様々な実務や研究に役立てることができる<sup>5)</sup>。

### 4. 方向性の強い地震

今までの地震動の研究は、構造物の固有周期を考慮した地震動の卓越周期の検討は行われてきたが、方向性についての検討はあまり行われてこなかった。

しかし、過去には方向性が強いことによって被害が拡大した事例がある。1995 年 1 月 17 日 5 時 46 分に発生した兵庫県南部地震では方向性が非常に強い地震動が観測されている。図

3 に示すのは神戸港工事事務所の強震計の記録である。強震計の記録から地震動の揺れが北北西-南南東方向に卓越した軌跡が得られた。同様の軌跡は神戸海洋气象台、ポートアイランド、JR 鷹取駅でも見られている。震災後に行われた現地の被害状況調査の結果からも法線が東西方向のケーソン式大型岸壁が南北方向のケーソン式大型岸壁より明らかに大きな被害を受けていたことや、地域ごとに全倒壊家屋の70%がある一定方向に倒れていたという調査結果も報告されている<sup>3)</sup>。

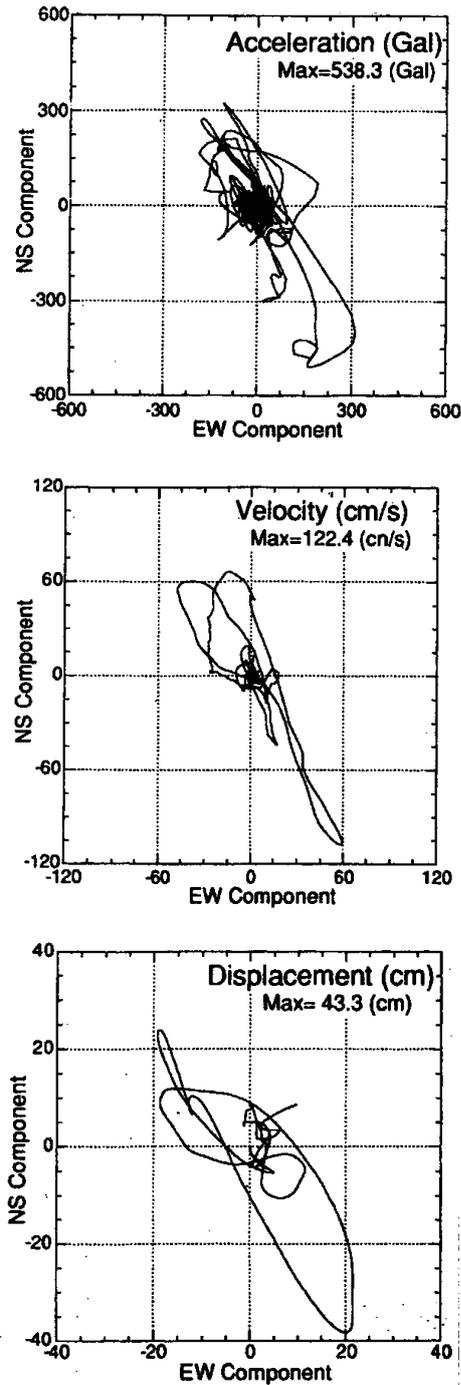


図 3 神戸港工事事務所で観測された地震動の水平面内の軌跡<sup>3)</sup>

## 5. 解析手順

### 5.1 応答スペクトル

応答スペクトルは、時刻歴上の複雑な挙動を設計上重要となる力学量の最大値のみを抽出したものである。応答スペクトルの形状は、地震動ごとに異なり、どのような周波数成分が卓越しているかを調べることができる。したがって、地震動そのものの周波数特性を表していると言える。一旦応答スペクトルが求まると、構造物の動的特性(固有周期と減衰定数)により、その地震動に対する最大応答値を知ることができ、設計示方書で多く用いられる。

地震荷重のようなランダムな入力加速度を付与すると、質点はそれに呼応して不規則な揺れ(時刻歴応答)を示す。耐震工学上は応答の最大値が重要となり、応答スペクトルは周波数領域上でこの最大応答値をプロットしたものである。応答スペクトルは、加速度、速度、変位の各応答量に対して与えられ、固有周期に依存した構造物の応答の様子を手早く観察することができる。特に加速度応答スペクトルは設計ツールとして多く用いられる。また、スペクトル特性は減衰定数が大きいほど応答値は減少する。このように、応答スペクトルは構造物の固有周期と減衰定数によって表示されたもので、地震動の周波数特性を端的に映し出す<sup>9)</sup>。

ただし、一方では継続時間を無視することになり、注意を要する。例えば、鉄筋コンクリート橋脚の耐震性は、応答の繰り返し回数に影響を受け、応答スペクトルのみでは振動中のせん断劣化を正しく評価することができない。このような応答形状は、粘性減衰の影響を受けることを述べたが、応答スペクトル表示の際には減衰定数として  $h=0, 2, 5, 10\%$  などが用いられる<sup>7)</sup>。

### 5.2 加速度応答スペクトル解析

地震応答スペクトル<sup>8)</sup>は構造物を様々な固有周期、減衰定数を持つ1質点・1自由度系と仮定し、ある地震波を入力したときの最大応答値を各周期で表したものである。応答値には、加速度、速度、変位があるが、本研究では、静的な釣り合いの関係に着目する立場から地震の地震力を見るため、加速度応答の値を用い検討する<sup>9)</sup>。

地震動のデータは全国の強震観測網(K-NET、KiK-net)から得たデータを用いる。解析する観測点は山形県沖地震と東北地方太平洋沖地震の本震及び余震の震源付近の地域を中心にそれぞれ70地点を選定した。

### 5.3 ベクトル合成

図4に示すようにNS方向のNの向きを $0^\circ$ として時計回りに $5^\circ$ ずつ、36方向にずらし、それぞれの軸を基準にベクトル合成し、時刻歴加速度波形の作成を行った。このベクトル合成結果を地震応答解析することによって、方向成分ごとの加速度

応答値の比較を行った。

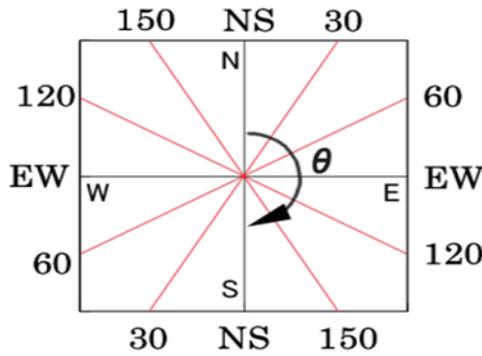


図4 ベクトル合成方法<sup>10)</sup>

5.4 解析範囲

解析する周期の範囲は、地震時の多くの構造物の塑性化を起こす周期をカバーできる 0~3 秒とする。減衰率は、道路橋や中低層構造物を含む多くの構造物で 5%を含んでおり構造物の影響に近いことから、本研究では 5%を用いる。

道路橋	0.02 ~ 0.05	電力施設用配管	0.002 ~ 0.18
吊り橋	0.002 ~ 0.08	蒸気発生器	0.007 ~ 0.05
綱構造タワー	0.002 ~ 0.03	球形タンク	0.03 ~ 0.05
中低層(1~10階)建物 (常時微動による)	0.005 ~ 0.12	パネル構造物	0.01 ~ 0.04
中低層(1~10階)建物 (地震動による)	0.02 ~ 0.05	原子力発電用 燃料集集体	0.1 ~ 0.15

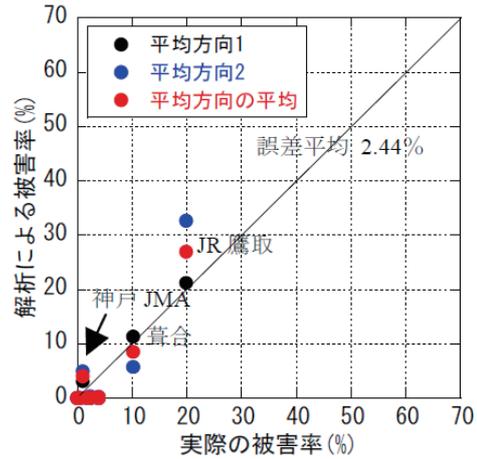
図5 構造物の減衰比<sup>7)</sup>

5.5 『加速度応答値の平均方向』の提案

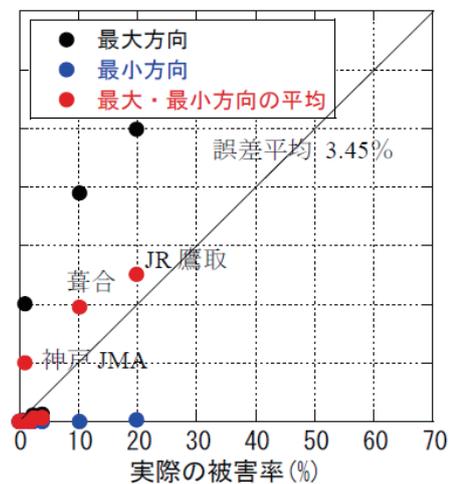
構造物を設計する際、設計側の立場で考えると安全側に立って加速度応答値が最大となる方向を用いる選択肢もあるが、例えば、1 自由度系からなる構造物群に 1 方向の地震動を入力しては、どの方向を選ぶかによってその結果が大きく異なる。また、被害推定を行う際に被害を過大評価してしまう。

本研究では、方向成分ごとに加速度応答スペクトルの平均値を算出し、横軸に方向成分、縦軸に加速度応答値を取りグラフ化した。さらに方向成分すべての平均方向の平均を算出し、算出した平均値との交点をその観測点の『加速度応答値の平均方向』と定義する。

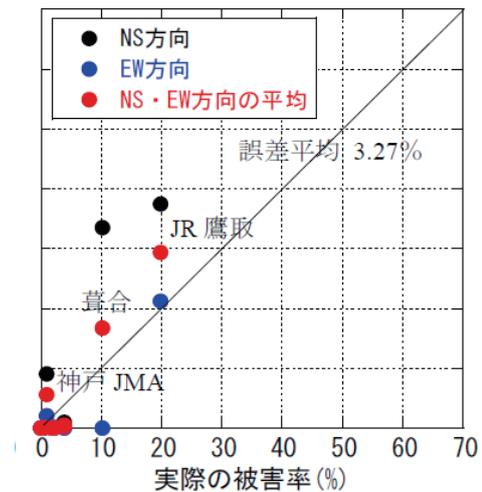
兵庫県南部地震について、実際の被害率と NS・EW 方向を入力した場合及び最大・最小加速度応答方向を比較した過去の研究結果を述べる。RC 造及び木造の構造物について、実際の構造物により近くなるように内構面・外構面に分け腰壁・垂壁及び耐震壁を考慮したモデルを用い、復元力特性はそれぞれ Takeda モデルと Takeda-slip モデルを用いた<sup>11)</sup>。比較した結果を図6に示す。



(a)平均方向



(b)最大・最小方向



(c)NS・EW 方向

図6 入力地震動の方向性による解析結果の相違<sup>11)</sup>

図 6 からわかるように、最大方向を用いた場合は被害率が実際の被害率の 2 倍から 4 倍近くを示し、最小方向を入力した場合は被害率がほぼ 0% を示した。また NS・EW 方向を入力した場合は実際の被害率と相違があることが分かった。それに対し平均方向を用いた場合は実際の被害率に非常に近い値を示した。これにより平均方向の有用性が確認された。図中の誤差平均とは実際の被害率と解析による被害率(2 つの平均方向、最大・最小、NS・EW 方向それぞれの被害率を平均したもの)の差の絶対値の平均で、小さいほど実際の被害率と解析による被害率が対応している。

### 5.6 固有周期の範囲

兵庫県南部地震等の過去に発生した巨大地震について方向成分ごとにベクトル合成を行い、固有周期によって平均方向がどのように変化するか比較した研究が過去に行われている。

地震動の方向性を評価する様々な固有周期の応答スペクトルについて、塑性化による固有周期の伸びも含めた多くの建物の固有周期を想定して 0~1 秒平均加速度応答、1~2 秒平均加速度応答、2~3 秒平均加速度応答、0~3 秒平均加速度応答の 5 つの指標を用いそれぞれの変動係数を求め比較した。変動係数はそれぞれの指標の方向成分ごとに取った平均応答値について標準偏差を求め、それを平均値で割り 100 倍したものである。図 7~10 より 0~3 秒の平均加速度応答が最も変動係数の誤差率が小さく、また安定して 2 方向で平均方向が得られる結果が得られた<sup>11)</sup>。

## 6. 解析結果

### 6.1 加速度応答値の平均方向の算出

方向成分ごとに算出した加速度応答値の平均値から、方向成分全体の平均を算出する。その値をグラフ化し、交点を導き、交点の座標から方向成分を求める。求めた交点の方向成分をその観測点の『加速度応答値の平均方向』と定める。平均値と交わる方向成分が 2 方向以上ある場合は、どの方向を平均方向にするかは判断が難しいが、地震被害推定の際の被害率などのアウトプットを平均するなどの対処法が考えられる。

以下の図 11~14 に算出した加速度応答値の平均方向の結果を示す。図は縦軸を加速度応答平均値(Gal)、横軸を方向成分(°)とした。青線で方向成分ごとの加速度応答値の平均値、赤線で全方向成分の平均値を示し、交点の方向を加速度応答値の平均方向と定義した。

図 11 は東成瀬の方向成分ごとの加速度応答を示す。平均方向は 18.80° と 101.28° の 2 方向得られた。

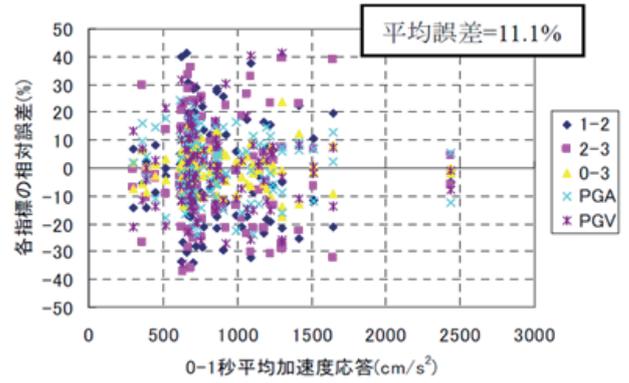


図 7 0~1 秒平均加速度応答の誤差率<sup>11)</sup>

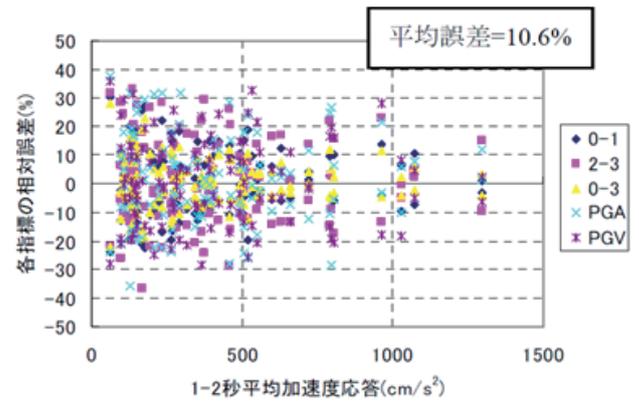


図 8 1~2 秒平均加速度応答の誤差率<sup>11)</sup>

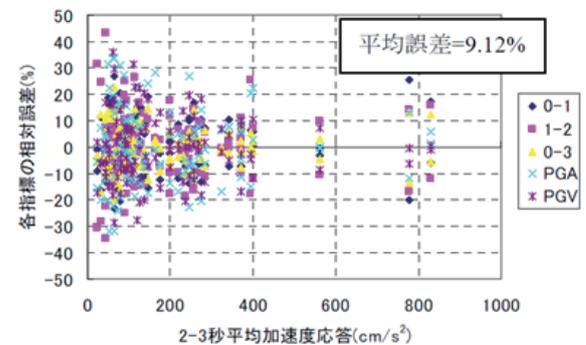


図 9 2~3 秒平均加速度応答の誤差率<sup>11)</sup>

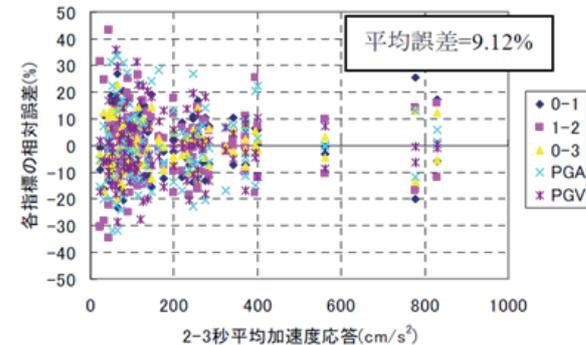


図 10 2~3 秒平均加速度応答の誤差率<sup>11)</sup>

図 12 に肘折の方向成分ごとの加速度応答を示す。平均方向は  $23.38^\circ$  と  $124.36^\circ$  を示し、東成瀬と同様に 2 方向で平均方向が得られた。

図 13、図 14 の観測点についても同様に 2 方向の平均方向が得られた。

解析結果から平均方向はおおよそ一定の方向を向くことが分かった。平均方向は観測点によって向きに多少のずれが見られるところがあった。これは観測点の地盤特性による違いだと考えられる。

向にするかは判断が難しいが、地震被害推定の際の被害率などのアウトプットを平均するなどの対処法が考えられる。

以下の図 11～14 に算出した加速度応答値の平均方向の結果を示す。図は縦軸を加速度応答平均値 (Gal)、横軸を方向成分 ( $^\circ$ ) とした。青線で方向成分ごとの加速度応答値の平均値、赤線で全方向成分の平均値を示し、交点の方向を加速度応答値の平均方向と定義した。

図 11 は東成瀬の方向成分ごとの加速度応答を示す。平均方向は  $18.80^\circ$  と  $101.28^\circ$  の 2 方向得られた。

図 12 に肘折の方向成分ごとの加速度応答を示す。平均方向は  $23.38^\circ$  と  $124.36^\circ$  を示し、東成瀬と同様に 2 方向で平均方向が得られた。

図 13、図 14 の観測点についても同様に 2 方向の平均方向が得られた。

解析結果から平均方向はおおよそ一定の方向を向くことが分かった。平均方向は観測点によって向きに多少のずれが見られるところがあった。これは観測点の地盤特性による違いだと考えられる。

## 6.2 加速度応答値の平均方向の図化

方向成分ごとの加速度応答図からわかるように、加速度応答値の平均方向はどの観測点においても複数存在する。加速度応答値の平均方向を確定させるには被害率のアウトプットが必要になるが、ここではその情報が得られていない。そこで、各観測点で得られた加速度応答値の平均方向の最小の方向成分及び最大の方向成分の値をピックアップし、白地図上に山形県沖地震と東北地方太平洋沖地震の本震及び余震の平均方向を図化した。最小方向成分を平均方向 1、最大方向成分を平均方向 2 として左図は平均方向 1、右図は平均方向 2 を示している。結果を図 15、図 16、図 17 に示す。

山形県沖地震と東北地方太平洋沖地震の本震及び余震の平均方向を比較したところ、いずれも北東－南西方向、南東－北西方向を示す結果が得られた。このことから、この震源域で発生する地震動の平均方向はおおよそこの方向を示すと考えられる。また、観測点によって異なる平均方向が得られ、同じ観測点でも異なる地震動によって平均方向が大きく異なる地点が複数見られた。

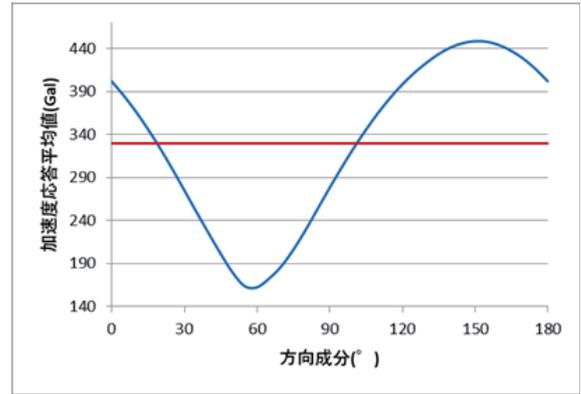


図 11 方向成分ごとの加速度応答 (東成瀬)

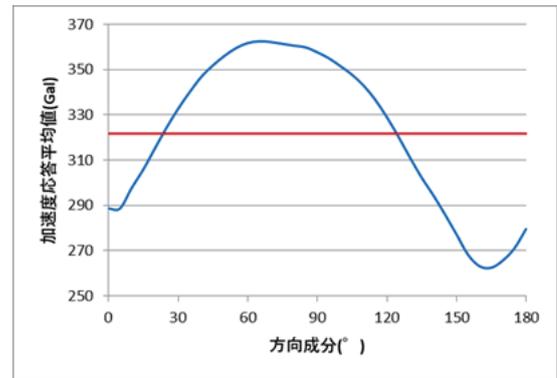


図 12 方向成分ごとの加速度応答 (肘折)

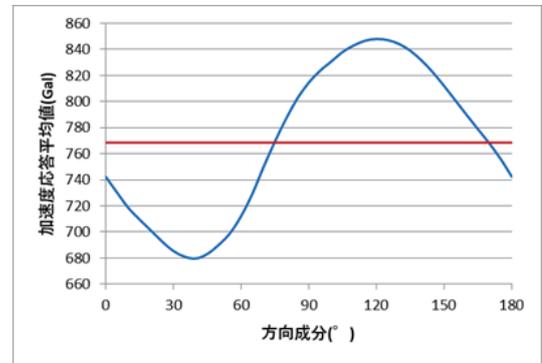


図 13 方向成分ごとの加速度応答 (温海)

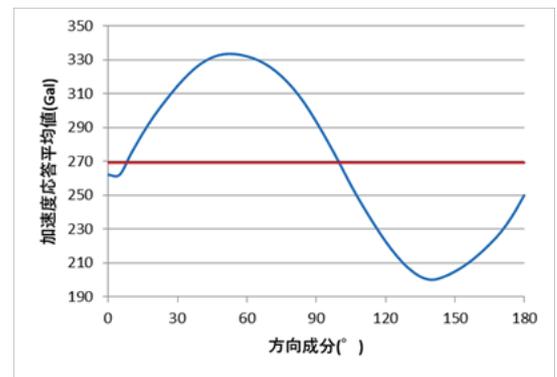


図 14 方向成分ごとの加速度応答 (朝日)

今後はサイト増幅特性についても解析を行い、各観測点の地盤特性の傾向をつかみ、構造物設計の際の被害率の推定に役立てたいと考えている。

## 7. まとめ

山形県沖地震と東北地方太平洋沖地震の本震及び余震について『加速度応答値の平均方向』を算出した結果、210 地点のうち 193 地点で 2 方向の平均方向が得られた。一方、17 地点では 3 方向以上の平均方向が得られた。平均方向が 2 方向得られたため、平均方向を大小 2 つに分類し、日本白地図上に示し比較した。その結果、山形県沖地震と東北地方太平洋沖地震の本震及び余震について同様の結果が得られ、北東-南西方向と南東-北西方向を示した。このことから、この震源域で発生する地震動の平均方向はおおよそこの方向を示すと考えられる。また、3 つの地震で同様の平均方向が得られたことから、加速度応答値の平均方向はプレート境界の位置に関係していると考えられる。

今後は、他の地震動やサイト増幅特性についても解析を行い、他の地震動との関連性をより明白にし、今後起こる地震動に対する構造物被害の低減に寄与したい。

2019/06/18-22:22:00.00



図 15 平均方向 (2019.6.18)

2011/03/11-14:46:00.00



図 16 平均方向 (2011.3.11)

2011/04/07-23:32:00.00



図 17 平均方向 (2011.4.7)

## 参考文献

- 1) 気象庁：令和元年 6 月 18 日 22 時 22 分頃の山形県沖の地震について，報道発表資料，2019.
- 2) 気象庁：平成 23 年 3 月 11 日 14 時 46 分頃の三陸沖の地震について（第 2 報），報道発表資料，平成 23 年 3 月 11 日 16 時 20 分.
- 3) 野津厚，井合進，Wilfred D. IWAN：震源近傍の方向性に関する研究とその応用，港湾技術研究所報告，第 40 巻，第 1 号，pp.107-167，2001.
- 4) 松田高明，竹村厚司：1995 年兵庫県南部地震における木造家屋の倒壊様式と東海方向，人と自然，No. 8，pp.159-174，1997.
- 5) 防災科学技術研究所 強震観測網(K-NET, KiK-net)，<http://www.kyoshi+n.bosai.go.jp/kyoshin/> (accessed January 2020).
- 6) 吉川弘道，北本廣平：構造物の動的弾性応答と応答スペクトル，武蔵工業大学 研究論文，2001.
- 7) 鈴木浩平：機械光学基礎コース 振動の工学，丸善出版，2004.
- 8) 大崎順彦：新・地震動のスペクトル解析入門，鹿島出版会，pp.38，2011.
- 9) 青井真：（最大）加速度・（最大）速度・計測震度について，防災科学技術研究所，<http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/topics/chuetsuoki20070716/pgav5v20070716.html> (accessed January 2020).
- 10) 酒匂教明，安達俊夫，「二方向入力を受ける飽和砂地盤の地震応答特性 その 3. 二方向入力と一方向入力の比較」，2002.
- 11) 境有紀，熊本匠：地震動の方向性の定量的な検討と地震被害推定のための平均方向の提案，日本地震工学論文集，第 10 巻，第 5 号，2010.

(原稿受付：2020 年 11 月 2 日)



# 硬化を伴う一次元弾塑性バイリニアモデルを用いた非線形計算手法の確認と コンピュータプログラムへの実装

清原 雄康\*

Verification of nonlinear calculation method and computer programming for elasto-plastic bilinear hardening model

Yukoh KIYOHARA

\* 産業システム工学科 環境都市・建築デザインコース

**Abstract :** Ground deformation behavior and stability prediction under static and dynamic loading conditions are of important topics in geotechnical engineering. The stress-strain relation is usually nonlinear and stiffness varies as stress increasing. In this paper, firstly introducing elasto-plastic stress-strain constitutive relation, then a elasto-plastic bilinear hardening model was verified to understand three types nonlinear calculation methods (explicit incremental method, explicit return mapping method and implicit return mapping method) under strain or stress controlled condition. Then the each algorithm was applied to computer program. The calculation results were agreed well with each other. The programming process also helped students to understand the nonlinear calculation method.

**Keywords :** 荷重増分法, リターンマッピング, 弾塑性体, 繰返し载荷試験, 硬化, 降伏関数

## 1. はじめに

緩い砂地盤や正規圧密土など、降伏応力を超えてさらに負荷を受けると、塑性流れを生じて塑性ひずみが顕著に発生する。塑性ひずみの増加に伴って、地盤が締め固まり、降伏応力そのものが拡大していく様子が観察される<sup>1)</sup>。この現象は硬化と呼ばれる。

そのような材料の圧縮試験の挙動をシミュレーションする際には、塑性ひずみの進行に伴う降伏面の拡大、それに伴う弾塑性マトリックスの変化を考慮する必要があり、応力-ひずみ関係は非線形なものになる。

その非線形問題を解くことは、一軸圧縮試験や三軸試験、中空ネジリ試験のシミュレーションや、材料パラメータキャリブレーションを行う際に必要になる。さらにその材料パラメータを基に、実規模地盤に荷重が載荷された場合の変形挙動<sup>2)</sup>や地震時の繰返し荷重作用時の地盤の挙動、液状化挙動<sup>3)</sup>、豪雨時の斜面安定性の把握、改良効果<sup>4)</sup>などを、有限要素法によりシミュレーションする際に必要になる。粒子の集まりに過ぎない地盤材料では、非線形計算を避けて通ることが出来ない。複雑な有限要素法プログラムの中で、その解法アルゴリズムのフローをすぐに理解するのは困難である。

本研究では、非線形な弾塑性関係の計算手法確認と、概念を詳細かつすぐに理解できるような教材開発を目的

に、弾性および弾塑性域での応力-ひずみ関係の定式化を確認した後、繰返しひずみ制御下、および繰返し応力制御下での、硬化を含めた一次元弾塑性バイリニア型モデル<sup>5)</sup>を用いて、陽解法(荷重増分法)、陽的リターンマッピング、陰的リターンマッピングの各計算手法<sup>6),7)</sup>の確認を行った。さらにコンピュータプログラムへの実装、応力-ひずみ関係の計算を実行した。

## 2. 一次元での弾塑性構成モデル定式化の確認

最初に一次元バイリニア型の弾塑性構成モデル定式化の流れを確認する。

### 2.1 硬化を伴う一次元バイリニアモデルの降伏関数

降伏関数 $\Phi$ として、等方硬化を含んだ一次元バイリニアモデルの式(1)を検討する。これは、図1に示すように、応力-ひずみ関係が弾性域と弾塑性域でそれぞれの剛性で直線的に表されるモデルである。降伏後は、材料が硬化し降伏面が拡大する式形となっている。

$$\Phi = |\sigma| - (\sigma^Y + K\alpha) \quad (1)$$

ここで、 $\Phi$  : 降伏関数,  $\sigma$  : 現応力,  $\sigma^Y$  : 降伏応力,  $K$  : 塑性硬化係数,  $\alpha$  : 内部硬化変数である。 $\alpha$ 増分は、塑性ひずみの増分の大きさに相当するとの発展則として式(2)のように考える。

$$d\alpha = |d\varepsilon^p| = d\bar{\varepsilon}^p \quad (2)$$

ここで、 $d\bar{\varepsilon}^p$  : 相当塑性ひずみ増分である。

与えた応力 $\sigma$ が、降伏応力 $\sigma^y$ と硬化特性値 $K\alpha$ を含めた降伏値を超えず $\Phi < 0$ となる場合は弾性負荷状態と呼ばれ、弾性挙動、弾性ひずみのみが生じると考える。

与えた応力 $\sigma$ が、降伏値を超え、 $\Phi \geq 0$ となる場合は塑性負荷と呼ばれる。その応力状態は、適合条件(塑性整合条件)から存在できない。つまり、材料の特性で降伏規準が定まっており、それを越えた応力状態は存在できないと考える。

## 2.2 弾性負荷の時

弾性負荷が生じる時は、弾性ひずみ増分と応力増分には式(3)のようなフックの法則の構成則関係があるものとする。

$$d\sigma = E d\varepsilon^e \quad (3)$$

ここで、 $d\sigma$  : 応力増分、 $E$  : ヤング率、 $d\varepsilon^e$  : 弾性ひずみ増分である。

## 2.3 塑性負荷の時

塑性負荷が生じる時、塑性ひずみ増分は、降伏関数と塑性ポテンシャル関数が同じと仮定した関連流れ則を考慮した式(4)により決定する。つまり、塑性ひずみ増分が、降伏関数の応力勾配に比例すると考える。

$$d\varepsilon^p = \Delta\gamma \frac{\partial \Phi}{\partial \sigma} \quad (4)$$

ここで、 $d\varepsilon^p$  : 塑性ひずみ増分、 $\Delta\gamma$  : 塑性乗数( $>0$ )である。

## 2.4 塑性負荷時の弾塑性構成則の導出<sup>5),7)</sup>

塑性負荷時の弾塑性構成式では、 $\Phi = 0$ を満たせるよう $d\Phi = 0$ なる適合条件と、弾性ひずみ増分と塑性ひずみ増分の加算性を満たすような弾塑性マトリックスの構築が必要になる。

$d\Phi = 0$ なる適合条件より式(5)が得られる。

$$d\Phi = \frac{\partial \Phi}{\partial \sigma} d\sigma + \frac{\partial \Phi}{\partial \alpha} d\alpha = 0 \quad (5)$$

ひずみの加算性より式(6)が得られる。

$$d\varepsilon = d\varepsilon^e + d\varepsilon^p \quad (6)$$

式(3)に式(6)、式(4)を代入すると式(7)が得られる。

$$d\sigma = E d\varepsilon^e = E(d\varepsilon - d\varepsilon^p) = E\left(d\varepsilon - \Delta\gamma \frac{\partial \Phi}{\partial \sigma}\right) \quad (7)$$

ここで、式(5)の偏微分項は式(1)を偏微分し、式(8)、式(9)のように求める。

$$\frac{\partial \Phi}{\partial \sigma} = \frac{\partial |\sigma|}{\partial \sigma} - \frac{\partial \sigma^y}{\partial \sigma} - \frac{\partial K\alpha}{\partial \sigma} = \text{sign}(\sigma) - 0 - 0 = \text{sign}(\sigma) \quad (8)$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial \alpha} = \frac{\partial |\sigma|}{\partial \alpha} - \frac{\partial \sigma^y}{\partial \alpha} - \frac{\partial K\alpha}{\partial \alpha} = 0 - 0 - K = -K \quad (9)$$

ここで、 $\text{sign}(\sigma) = \begin{cases} +1 & \sigma > 0 \\ -1 & \sigma < 0 \end{cases}$  である。

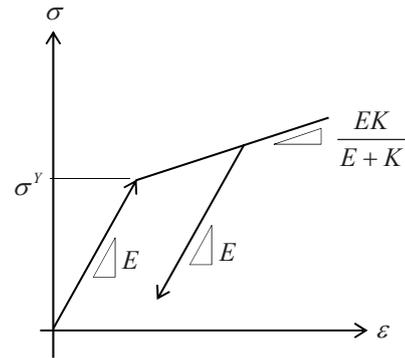


図1 バイリニアモデルの応力-ひずみ関係

また、式(8)、式(7)、式(9)、式(2)を、式(4)を考慮しつつ、その順番にそれぞれ式(5)に代入すると、塑性乗数は式(10)のようになる。

$$\frac{d\Phi}{d\sigma} E \left( d\varepsilon - \Delta\gamma \frac{\partial \Phi}{\partial \sigma} \right) - K \Delta\gamma \frac{\partial \Phi}{\partial \sigma} = 0 \quad \text{より、}$$

$$\Delta\gamma = \frac{E d\varepsilon}{E+K} \cdot \text{sign}(\sigma) \quad (10)$$

式(10)を式(7)に代入すると、式(11)の関係が得られる。

$$d\sigma = E \left( d\varepsilon - \frac{E}{E+K} d\varepsilon \cdot \text{sign}(\sigma) \right) = \frac{EK}{E+K} d\varepsilon \quad (11)$$

よって、弾性および弾塑性の構成式は式(12)のようにまとめられる。

$$D^{\text{ep}} = \begin{cases} E & \Phi < 0 \\ \frac{EK}{E+K} & \Phi \geq 0 \end{cases} \quad (12)$$

## 3. ひずみ制御下での応力-ひずみ関係の算出手順

強度試験でひずみ増分が与えられた時の応力増分を、コンピュータプログラムを用いて、ステップ・バイ・ステップで算出する方法について確認する。**2.**で示したモデルに基づき陽解法、リターンマッピング法(RM法と称す)の各方法について以下で確認する。

### 3.1 陽解法による応力算出方法

陽解法では増分ひずみ作用下での応力増分を逐次的に求め、前進差分法とも呼ばれる。図2にひずみ制御下(ひずみ増分ステップ内)での計算フロー図を示す。ひずみ増分を与えながら、**2.4**の弾塑性マトリックス(式(12))から増分応力を求めるために、①から⑤の手順を繰り返す。 $d\sigma^{\text{tr}}$ は現在弾性であると仮定した場合の試行値(trial value)である。 $\Phi < 0$ から $\Phi \geq 0$ へとまたがる場合は、前の段階での剛性を用いることとしている。シンプルであるが、応力決定後、塑性論的整合条件のチェックが入らず、ひずみ増分の取り方が粗いと、降伏面近傍での整合条件から外れるステップが生じる。

内部硬化変数は発展則の式(13)のように更新する。

```

①  $\varepsilon_{n+1} \leftarrow \varepsilon_n + d\varepsilon_{n+1}$ ;  $d\sigma_{n+1}^{\text{tr}} \leftarrow E d\varepsilon_{n+1}$ 
    $\sigma_{n+1}^{\text{tr}} \leftarrow \sigma_n + d\sigma_{n+1}^{\text{tr}}$ 
②  $\Phi_{n+1} = |\sigma_{n+1}^{\text{tr}}| - (\sigma^Y + K\alpha_n)$ 
③ if:  $\Phi_{n+1} < 0$  then  $d\sigma_{n+1} \leftarrow d\sigma_{n+1}^{\text{tr}}$ 
④ else:  $d\sigma_{n+1} \leftarrow EK/(E+K)d\varepsilon_{n+1}$ 
       if  $\Phi_n < 0$   $d\sigma_{n+1} \leftarrow E d\varepsilon_{n+1}$  (前ステップの応力での判定)
        $\Delta\gamma = E d\varepsilon_{n+1} / (E+K) \cdot \text{sign}(\sigma)$ 
        $\alpha_{n+1} \leftarrow \alpha_n + |\Delta\gamma|$ 
   endif
⑤  $\sigma_{n+1} \leftarrow \sigma_n + d\sigma_{n+1}$ 
    
```

図2 ひずみ制御下での陽解法による応力算出手順

$$\alpha_{n+1} = \alpha_n + \Delta\gamma \quad (13)$$

### 3.2 陽的リターンマッピングによる応力算出方法<sup>5),7)</sup>

リターンマッピングとは、 $\Phi \geq 0$ となる場合の応力状態を、降伏面での適合条件を満たすよう、応力状態を降伏曲面上に戻す操作のことである。その際に、 $\Delta\gamma$ が絡む単一方程式が、式(7)を参考に式(14)のように求まる。この式での $\Delta\gamma \cdot E \cdot \text{sign}(\sigma_{n+1})$ が引き戻し量となり、降伏面での整合条件を満たすことが出来るようになる<sup>5)</sup>。図3にこの概念図を示す。

$$\begin{aligned} \sigma_{n+1} &= E(\varepsilon_{n+1} - \varepsilon_{n+1}^p) \\ &= E(\varepsilon_{n+1} - \varepsilon_n^p) - E(\varepsilon_{n+1}^p - \varepsilon_n^p) \\ &= \sigma_{n+1}^{\text{tr}} - \Delta\gamma \cdot E \cdot \text{sign}(\sigma_{n+1}^{\text{tr}}) \end{aligned} \quad (14)$$

ここで、 $\sigma_{n+1}^{\text{tr}}$  : 求めるステップの試行応力である。

$\Delta\gamma$ について、式(10)はひずみ増分との関係であったが、リターンマッピングで必要となる試行段階での増加時における降伏関数 $\Phi$ との関係について、式(1)に式(14)、式(13)を代入し、式(15)を導く。

$$\begin{aligned} \Phi_{n+1} &= |\sigma_{n+1}| - (\sigma^Y + K\alpha_{n+1}) \\ &= |\sigma_{n+1}^{\text{tr}}| - \Delta\gamma E - (\sigma^Y + K\alpha_{n+1}) - K\alpha_n + K\alpha_n \\ &= |\sigma_{n+1}^{\text{tr}}| - (\sigma^Y + K\alpha_n) - \Delta\gamma E - K(\alpha_{n+1} - \alpha_n) \\ &= \Phi_{n+1}^{\text{tr}} - \Delta\gamma(E+K) \end{aligned} \quad (15)$$

整合条件 $\Phi_{n+1} = 0$ と $\Delta\gamma \geq 0$ を考慮すると式(16)が得られる。

$$\Delta\gamma = \frac{|\Phi_{n+1}^{\text{tr}}|}{E+K} \quad (16)$$

図4にひずみ制御下での陽的リターンマッピングによる応力算出のフローを示す。図中の手順①②③の試行弾性応力決定、その降伏判定と弾性と判定された場合( $\Phi < 0$ )の処理までは3.1と同じである。試行弾性応力を求めた後、試行弾性状態が塑性論的に許容されない場合、塑性修正ステップを経て解を求める。塑性判定の場合には、④として式(14)で示したリターンマッピング(RMル

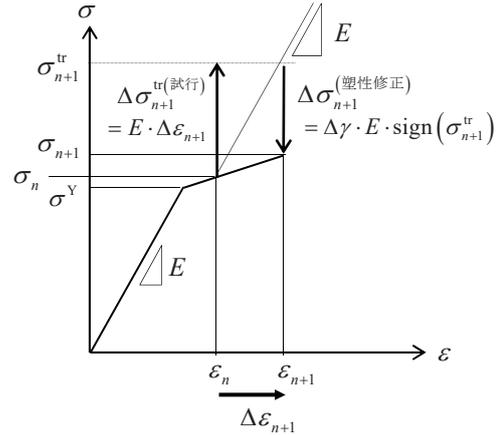


図3 ひずみ制御下での陽的リターンマッピングの概念

```

①  $\varepsilon_{n+1} \leftarrow \varepsilon_n + d\varepsilon_{n+1}$ ;  $d\sigma_{n+1}^{\text{tr}} \leftarrow E d\varepsilon_{n+1}$ 
    $\sigma_{n+1}^{\text{tr}} \leftarrow \sigma_n + d\sigma_{n+1}^{\text{tr}}$ 
②  $\Phi_{n+1} = |\sigma_{n+1}^{\text{tr}}| - (\sigma^Y + K\alpha_n)$ 
③ if:  $\Phi_{n+1} < 0$  then  $d\sigma_{n+1} \leftarrow d\sigma_{n+1}^{\text{tr}}$ ;  $\Delta\gamma = 0$ .
    $\sigma_{n+1} \leftarrow \sigma_n + d\sigma_{n+1}$ 
④ else:  $\alpha_{n+1} \leftarrow \alpha_n$ 
   RM ループ
    $\Phi_{n+1}^{\text{tr}} = |\sigma_{n+1}^{\text{tr}}| - (\sigma^Y + K\alpha_n)$ 
   if:  $\Phi_{n+1}^{\text{tr}} < \text{tol\_error}$   $\sigma_{n+1} \leftarrow \sigma_{n+1}^{\text{tr}}$  Exit
    $\Delta\gamma = |\Phi_{n+1}^{\text{tr}}| / (E+K)$ 
    $\sigma_{n+1}^{\text{tr}} \leftarrow \sigma_{n+1}^{\text{tr}} - \Delta\gamma \cdot E \cdot \text{sign}(\sigma_{n+1}^{\text{tr}})$ 
    $\alpha_{n+1} \leftarrow \alpha_{n+1} + \Delta\gamma$ 
   RM ループの最初に戻り再計算
   endif
    
```

図4 ひずみ制御下での陽的RM法による応力算出手順

ープ)により、試行応力値が降伏面に限りなく近くなり( $\Phi \approx 0$ )、塑性整合条件を満たせるまで陽的に繰返し計算を行う。

### 3.3 陰的リターンマッピングによる応力算出方法

3.2と同様に、試行弾性応力を求めた後、試行弾性状態が塑性論的に許容されない場合、塑性修正ステップを経て解を求める。非線形な残差ベクトル方程式(17)を線形化すると式(18)のようになり、その線形化方程式(19)の解 $\delta x$ を塑性修正子として、残差のノルムがゼロに近づくまでリターンマッピングを繰り返す方法が陰的リターンマッピングである。

$$r(x) = 0 \quad (17)$$

$$r(x^k) + \partial r(x^k) / \partial x \cdot \delta x = 0 \quad (18)$$

$$\partial r(x^k) / \partial x \cdot \delta x = -r(x^k) \quad (19)$$

ここで、 $r = \{r_1 \ r_2 \ r_3 \ r_4\}^T$ ,  $x = \{\sigma \ \varepsilon \ \alpha \ \Delta\gamma\}^T$ ,  $k$ : RMル

ープ内での繰返し回数である。

残差ベクトル  $r$  の成分は、陽的リターンマッピングでの式(14)、ひずみの加算性の式(6)、内部硬化変数の式(13)、降伏関数の整合条件式(1)を参考に導かれる。それぞれの成分は式(20a)から式(20d)のように近似して検討する。ひずみ制御では、ひずみ加算性に基づいた試行計算の式は必ずしも必要ないが、後述の応力制御の場合で必要になるため、一緒に含めている。

$$r_1 = \sigma_{n+1} - (\sigma_{n+1}^{tr} - \Delta\gamma E \cdot \text{sign}(\sigma)) \approx \Delta\gamma E \cdot \text{sign}(\sigma) \quad (20a)$$

$$r_2 = \varepsilon_{n+1} - (\varepsilon_{n+1}^{c, tr} + \Delta\gamma \cdot \text{sign}(\sigma)) \approx -\Delta\gamma \cdot \text{sign}(\sigma) \quad (20b)$$

$$r_3 = \alpha_{n+1}^{(k+1)} - (\alpha_{n+1}^{(k)} + \Delta\gamma) \approx -\Delta\gamma \quad (20c)$$

$$r_4 = |\sigma_{n+1}| - \sigma^Y - K\alpha \quad (20d)$$

線形化方程式は残差方程式を各変数で偏微分し、その変化勾配（一般化接線演算子）を用いて得られる。式(19)を具体的に書き下すと、式(21)となる。

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial r_1}{\partial \sigma} & \frac{\partial r_1}{\partial \varepsilon^c} & \frac{\partial r_1}{\partial \alpha} & \frac{\partial r_1}{\partial \Delta\gamma} \\ \frac{\partial r_2}{\partial \sigma} & \frac{\partial r_2}{\partial \varepsilon^c} & \frac{\partial r_2}{\partial \alpha} & \frac{\partial r_2}{\partial \Delta\gamma} \\ \frac{\partial r_3}{\partial \sigma} & \frac{\partial r_3}{\partial \varepsilon^c} & \frac{\partial r_3}{\partial \alpha} & \frac{\partial r_3}{\partial \Delta\gamma} \\ \frac{\partial r_4}{\partial \sigma} & \frac{\partial r_4}{\partial \varepsilon^c} & \frac{\partial r_4}{\partial \alpha} & \frac{\partial r_4}{\partial \Delta\gamma} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \delta\sigma \\ \delta\varepsilon^c \\ \delta\alpha \\ \delta\Delta\gamma \end{Bmatrix} = - \begin{Bmatrix} r_1^{(k)} \\ r_2^{(k)} \\ r_3^{(k)} \\ r_4^{(k)} \end{Bmatrix} \quad (21)$$

式(21)の接線演算子の詳細は、巻末の注(1)に記載した。この連立方程式を解いて塑性修正子を求め、式(22)のように各値を更新する。

$$\begin{aligned} \sigma &= \sigma^{(k)} + \delta\sigma \\ \varepsilon &= \varepsilon^{(k)} + \delta\varepsilon \\ \alpha &= \alpha^{(k)} + \delta\alpha \\ \Delta\gamma &= \Delta\gamma^{(k)} + \delta\Delta\gamma \end{aligned} \quad (22)$$

図5にひずみ制御下での陰的リターンマッピングによる応力算出のフロー図を示す。図中の手順①②③の試行弾性応力決定後、降伏判定と、弾性と判定された場合 ( $\Phi < 0$ ) の処理までは 3.1 と同じである。塑性修正ステップのRMループ内では、残差ベクトルを式(20)で計算し、そのノルムが限りなくゼロに近い値になるまで、式(21)を解いて解の更新、修正を繰り返す。式(21)の連立方程式の解を求める際にはガウスの消去法を使用する。

#### 4. ひずみ制御下での応力-ひずみ関係の計算プログラム検証

3.で示した各計算方法のアルゴリズムを、コンピュータプログラムに実装した。なおコンピュータプログラムコンパイラには、Intel Visual Fortran Composer 2016を用いた。計算に用いた材料パラメータを表1に示す。与えたひずみ履歴を図6に示す。片振幅ひずみ0.005の繰返し三角

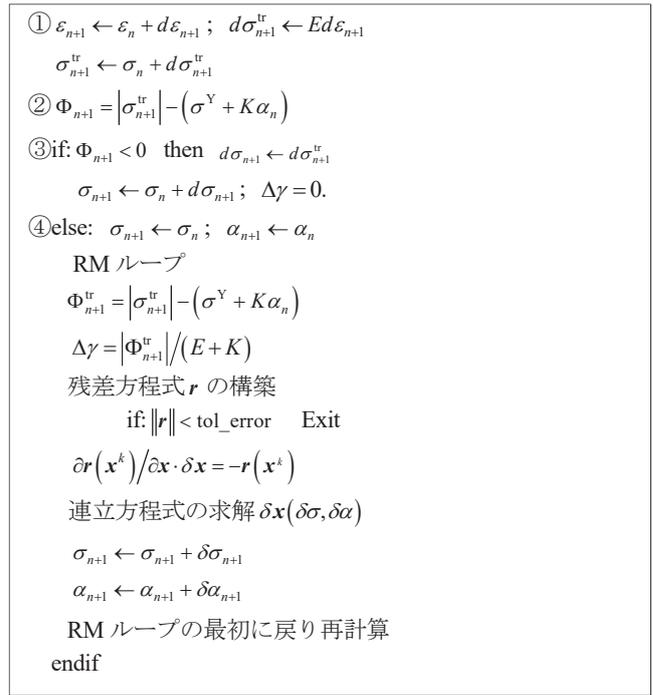


図5 ひずみ制御下での陰的RM法による応力算出手順

表1 解析に用いた定数

弾性係数 $E$ (kPa)	50000
塑性硬化係数 $K$	2000
初期降伏応力 $\sigma^Y$ (kPa)	50

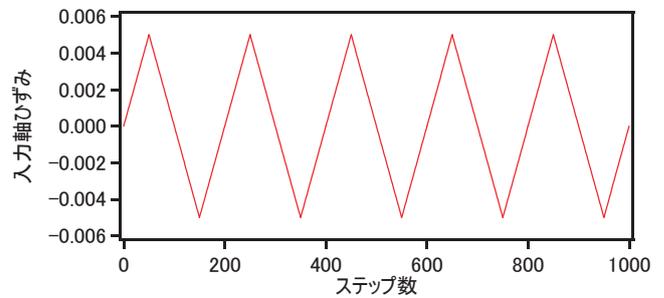


図6 入力した繰返しひずみ

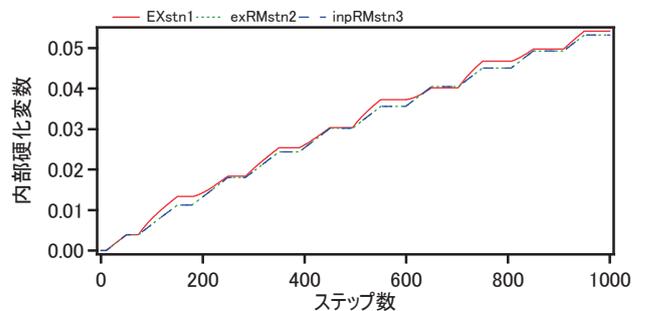


図7 ひずみ制御下の各解析手法での内部硬化変数の変化

波で与えた。1ステップあたりのひずみ増分は0.0001として、1000ステップ与えた。

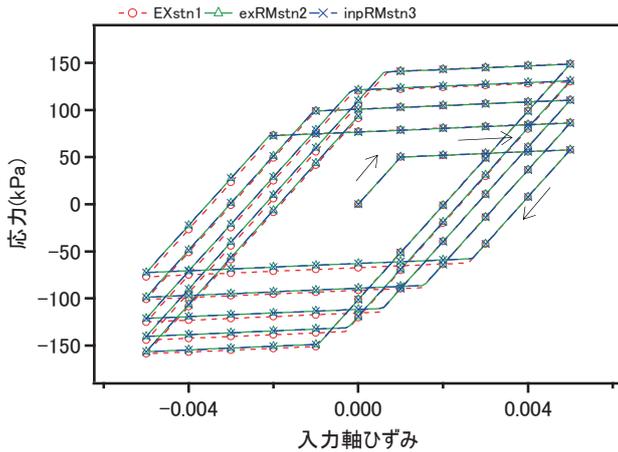


図8 ひずみ制御下の各解析手法での応力-ひずみ関係

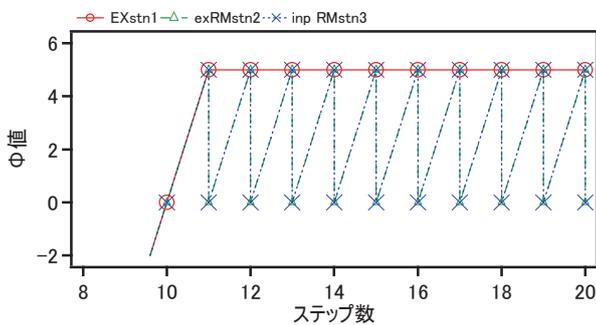


図9 ひずみ制御下の各解析手法での降伏関数値の処理状況

3.1, 3.2, 3.3の各方法での、計算ステップごとの内部硬化変数  $\alpha$ 、応力-ひずみ関係をそれぞれ図7, 図8に示す。凡例は陽解法を EXstn1, 陽的 RM 法を exRMstn2, 陰的 RM 法を inpRMstn3 としている。いずれのケースでも硬化により降伏面が拡大しながら応力値が増加していく様子が分かる。陽解法ではひずみ減少時の降伏曲面が  $\Phi < 0$  から  $\Phi \geq 0$  に移行するステップではやや大きめに計算される結果となった。陽的 RM 法および陰的 RM 法では、同じ計算結果となった。

図9に各手法での塑性域に入り始めの計算ステップ10から20までの降伏関数の値の変化を示す。陽解法では  $\Phi = 5\text{kPa}$  ( $> 0$ ) と、塑性整合条件を満たさないまま計算が進行するが、陽的 RM および陰的 RM 法ではいずれも、塑性整合条件に適合する  $\Phi = 0$  まで値が修正されている。適合条件を満たすまでの繰返し回数は、陽的 RM, 陰的 RM とも2回であった。

### 5. 応力制御下での応力-ひずみ関係の算出手順

強度試験で応力増分が与えられた時のひずみ増分を、コンピュータプログラムを用いて算出する方法について3.からの変更点を中心に確認する。

- ①  $f_{n+1}^{ex} \leftarrow f_n^{ex} + \Delta f^{ex}$   
 $\sigma_{n+1}^{r} \leftarrow f_{n+1}^{ex}; d\sigma_{n+1} \leftarrow f_{n+1}^{ex} - \sigma_n$
- ②  $\Phi_{n+1} = |\sigma_{n+1}^{r}| - (\sigma^Y + K\alpha_n)$
- ③ if:  $\Phi_{n+1} < 0$  then  $d\varepsilon_{n+1} = d\sigma_{n+1}/E$
- ④ else:  $d\varepsilon_{n+1} = \frac{E+K}{EK} d\sigma_{n+1}$   
 $\alpha_{n+1} = (|\sigma_{n+1}^{r}| - \sigma^Y)/K$  (整合条件式(1)に合った  $\alpha$  の計算)  
 endif
- ⑤  $\varepsilon_{n+1} \leftarrow \varepsilon_n + d\varepsilon_{n+1}$

図10 応力制御下での陽解法によるひずみ算出手順

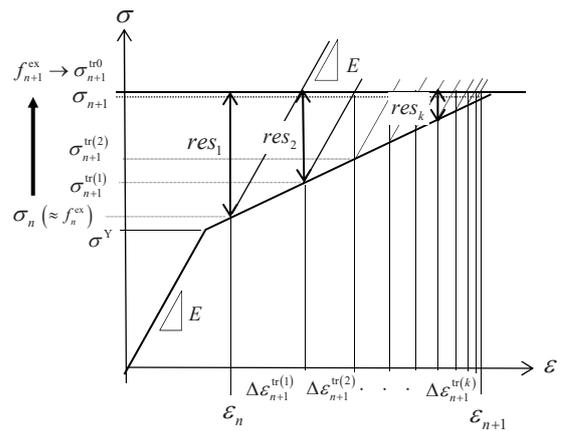


図11 応力制御下での陽的リターンマッピングの概念

### 5.1 陽解法によるひずみ算出方法

陽解法では、応力制御下(荷重増分ステップ内)でのひずみ増分を逐次的に求める。図10に手順図を示す。与えられた応力状態の降伏を判定し、各場合で増分を求める。内部硬化変数  $\alpha$  は、整合条件に合うよう決定した。

### 5.2 陽的リターンマッピングによるひずみ算出方法

与えた外力に対して試行応力値が塑性整合条件を満たすよう、修正 Newton Raphson 法をふまえたリターンマッピングを行う。図11に概念図を示す。外力と試行応力の差である残差力を初期勾配  $E$  で除し、試行ひずみを追加しながら残差力がゼロになるよう解を求める。応力制御下でのフローを図12に示す。

### 5.3 陰的リターンマッピングによるひずみ算出方法

与えた外力、増分応力を既知として線形化方程式を解いて、残差ベクトルのノルムがゼロに近い値に至るまで繰返し計算を行う。応力制御下でのフローを図13に示す。

## 6. 応力制御による応力-ひずみ関係の計算プログラム検証

5.で示した各計算方法のアルゴリズムを基に、コンピュ

```

①  $f_{n+1}^{ex} \leftarrow f_n^{ex} + \Delta f^{ex}$ 
    $\sigma_{n+1}^{tr} \leftarrow f_{n+1}^{ex}; res = f_{n+1}^{ex} - \sigma_n$ 
②  $\Phi_{n+1} = |\sigma_{n+1}^{tr}| - (\sigma^Y + K\alpha)$ 
③ if:  $\Phi_{n+1} < 0$  then  $d\varepsilon_{n+1}^{tr} = res/E$ 
    $d\varepsilon_{n+1} \leftarrow d\varepsilon_{n+1}^{tr}; \Delta\gamma = 0$  Exit
④ else:  $d\varepsilon_{n+1} = 0.; \alpha_{n+1} \leftarrow \alpha_n$ 

RM ループ
    $\Phi_{n+1}^{tr} = |\sigma_{n+1}^{tr}| - (\sigma^Y + K\alpha)$ 
    $\Delta\varepsilon_{n+1}^{tr} = res/E$ 
    $d\varepsilon_{n+1} \leftarrow d\varepsilon_{n+1} + \Delta\varepsilon_{n+1}^{tr}$ 
    $\Delta\gamma = |\Phi_{n+1}^{tr}| / (E + K)$ 
    $\sigma_{n+1}^{tr(k)} \leftarrow \sigma_{n+1}^{tr0} - \Delta\gamma \cdot E \cdot \text{sign}(\sigma)$ 
    $\alpha_{n+1} \leftarrow \alpha_{n+1} + \Delta\gamma$ 
    $res \leftarrow f_{n+1}^{ex} - \sigma_{n+1}^{tr(k)}$ 
   if:  $|res| < \text{tol\_error}$  Exit
    $\sigma_{n+1}^{tr0} \leftarrow f_{n+1}^{ex}$ 
   RM ループの最初に戻り再計算
endif
⑤  $\varepsilon_{n+1} \leftarrow \varepsilon_n + d\varepsilon_{n+1}$ 
    
```

図 12 応力制御下での陽的 RM 法によるひずみ算出手順

```

①  $f_{n+1}^{ex} \leftarrow f_n^{ex} + \Delta f^{ex}$ 
    $\sigma_{n+1}^{tr} \leftarrow f_{n+1}^{ex}; res = f_{n+1}^{ex} - \sigma_n$ 
②  $\Phi_{n+1} = |\sigma_{n+1}^{tr}| - (\sigma^Y + K\alpha)$ 
③ if:  $\Phi_{n+1} < 0$  then  $\Delta\varepsilon_{n+1}^{tr} = res/E$ 
    $d\varepsilon_{n+1} \leftarrow \Delta\varepsilon_{n+1}^{tr}; \Delta\gamma = 0$  Exit
④ else:  $d\varepsilon_{n+1} = 0.; \alpha_{n+1} \leftarrow \alpha_n$ 

RM ループ
    $\Phi_{n+1}^{tr} = |\sigma_{n+1}^{tr}| - (\sigma^Y + K\alpha)$ 
    $\Delta\gamma = |\Phi_{n+1}^{tr}| / (E + K)$ 
   残差方程式  $r$  の構築
   if:  $\|r\| < \text{tol\_error}$  Exit
    $\partial r(x^k) / \partial x \cdot \delta x = -r(x^k)$ 
   連立方程式の求解  $\delta x(\delta\varepsilon, \delta\alpha)$ 
    $d\varepsilon_{n+1} \leftarrow d\varepsilon_{n+1} + \delta\varepsilon_{n+1}$ 
    $\alpha_{n+1} \leftarrow \alpha_{n+1} + \delta\alpha_{n+1}$ 
    $\sigma_{n+1}^{tr} \leftarrow f_{n+1}^{ex}$ 
   RM ループの最初に戻り再計算
endif
⑤  $\varepsilon_{n+1} \leftarrow \varepsilon_n + d\varepsilon_{n+1}$ 
    
```

図 13 応力制御での陰的 RM 法によるひずみ算出手順

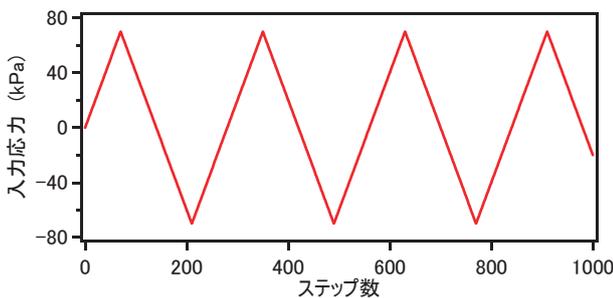


図 14 入力繰返し応力

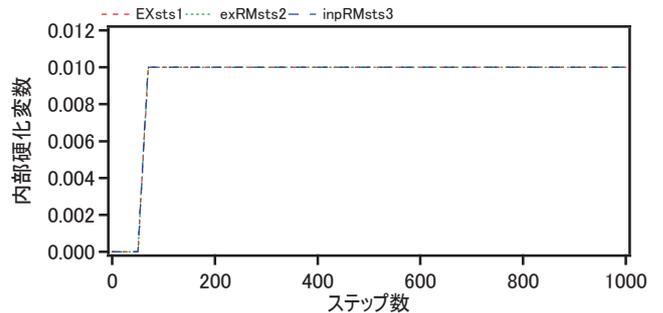


図 15 各解析手法での内部硬化係数の変化

ータプログラムに実装した。計算に用いた材料パラメータは表 1 と同じである。与えた応力履歴を図 14 に示す。片振幅応力 70kPa の増加と減少を伴う繰返し三角波で与えた。1 ステップあたりの応力増分は 5kPa とし、1000 ステップ与えた。

5.1, 5.2, 5.3 の各方法での計算ステップごとの内部硬化変数  $\alpha$ 、応力-ひずみ関係をそれぞれ図 15、図 16 に示す。凡例は陽解法を EXsts1、陽的 RM 法を exRMsts2、陰的 RM 法を inpRMsts3 としている。外力が 70kPa 作用するまで、ひずみが増加するとともに、硬化が進行し降伏面が降伏値 70kPa まで拡大し、応力が設定振幅の 70kPa に到達後は、繰返し载荷・除荷に対し弾性変形を繰り返す挙動となった。

図 17 に各手法での塑性域に入り始めの計算ステップ 50 から 60 まででの降伏関数の値の変化を示す。陽解法では

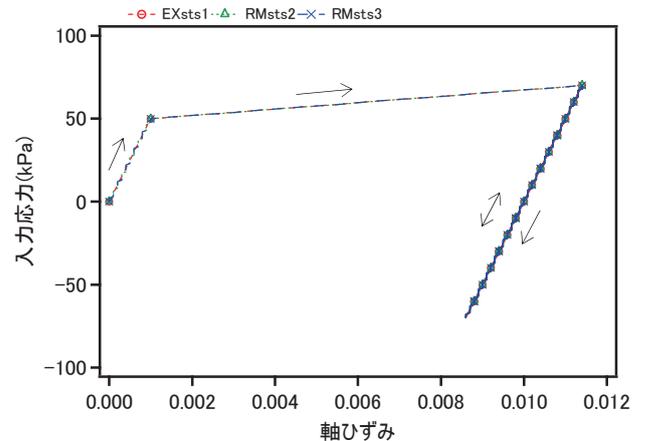


図 16 応力制御での各解析手法での応力-ひずみ関係

$\Phi = 1\text{kPa} (>0)$  と、塑性整合条件を満たさないまま計算が進行した。陽的 RM および陰的 RM ではないずれも、塑性整

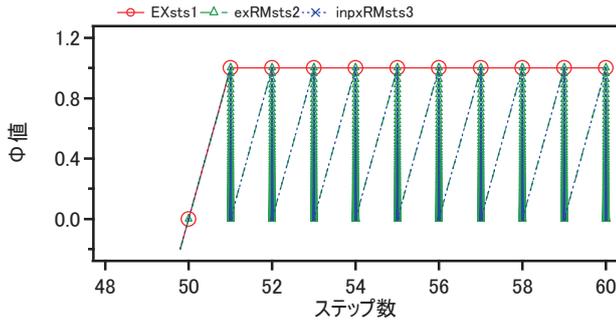


図 17 応力制御下の各解析手法での降伏関数値の処理状況

合条件に適合する  $\phi = 0$  まで値が修正されている。塑性域における载荷 1 ステップあたりの RM 繰返し回数は、陽的 RM で 235 回、および陰的 RM で 245 回を要した。

### 7. まとめ

地盤材料などの弾塑性構成式における非線形計算手法の理解を深めるために、硬化を伴う一次元バイリニアモデルを用いて、構成式導出手法の確認を行った。

その後、ひずみ制御下での応力増分を求めるために、陽解法(増分法)や単一方程式を利用しての陽的なリターンマッピング法、非線形方程式を線形化した方程式の勾配を利用した修正子を使用しての陰的なリターンマッピング法の 3 手法で、計算プロセスの確認とコンピュータプログラムへの実装を行った。

さらに、応力制御下でのひずみ増分を求めるために、適合条件を考慮しながらの陽解法、修正ニュートンラフソン法をふまえた陽的および陰的リターンマッピング手法の確認とコンピュータプログラムへの実装を行った。

各制御下での数値計算の結果、いずれも手法は異なるものの、手計算での結果とほぼ同じ解が得られることが確認された。陽解法では、塑性整合条件を満たせていないことが確認された。

今後、2次元、3次元での塑性整合条件を満たしつつ、剛性勾配変化や降伏面の移動硬化則などを考慮する場合に、リターンマッピング手法がより重要になってくるが、その計算プロセスの確認に役立った。

### 注

(1) 陰的リターンマッピングにおける残差ベクトル各成分の偏微分は式(A1)から式(A16)のように近似計算した。

$$\frac{\partial r_1}{\partial \sigma} = \frac{\partial}{\partial \sigma} \{ \Delta \gamma \cdot E \cdot \text{sign}(\sigma) \} = 0 \quad (A1)$$

$$\frac{\partial r_1}{\partial \varepsilon^e} = \frac{\partial}{\partial \varepsilon^e} \{ \Delta \gamma \cdot E \cdot \text{sign}(\sigma) \} = 0 \quad (A2)$$

$$\frac{\partial r_1}{\partial \alpha} = \frac{\partial}{\partial \alpha} \{ \Delta \gamma E \cdot \text{sign}(\sigma) \} = -\frac{EK \cdot \text{sign}(\sigma)}{E + K} \quad (A3)$$

ここで、 $\frac{\partial \Delta \gamma}{\partial \alpha} = \frac{\partial \left( \frac{\Phi^{\text{tr}}}{E + K} \right)}{\partial \alpha} = \frac{\partial \left( \frac{|\sigma^{\text{tr}}| - \sigma^y - \alpha K}{E + K} \right)}{\partial \alpha} = \frac{-K}{E + K}$  とする。

$$\frac{\partial r_1}{\partial \Delta \gamma} = \frac{\partial}{\partial \Delta \gamma} \{ \Delta \gamma E \cdot \text{sign}(\sigma) \} = E \cdot \text{sign}(\sigma) \quad (A4)$$

$$\frac{\partial r_2}{\partial \sigma} = \frac{\partial}{\partial \sigma} \{ -\Delta \gamma \cdot \text{sign}(\sigma) \} = 0 \quad (A5)$$

$$\frac{\partial r_2}{\partial \varepsilon^e} = \frac{\partial}{\partial \varepsilon^e} \{ -\Delta \gamma \cdot \text{sign}(\sigma) \} = 0 \quad (A6)$$

$$\frac{\partial r_2}{\partial \alpha} = \frac{\partial}{\partial \alpha} \{ -\Delta \gamma \cdot \text{sign}(\sigma) \} = \frac{K}{E + K} \cdot \text{sign}(\sigma) \quad (A7)$$

$$\frac{\partial r_3}{\partial \Delta \gamma} = \frac{\partial}{\partial \Delta \gamma} \{ -\Delta \gamma \cdot \text{sign}(\sigma) \} = -\text{sign}(\sigma) \quad (A8)$$

$$\frac{\partial r_3}{\partial \sigma} = -\frac{\partial \Delta \gamma}{\partial \sigma} = 0 \quad (A9)$$

$$\frac{\partial r_3}{\partial \varepsilon^e} = -\frac{\partial \Delta \gamma}{\partial \varepsilon^e} = 0 \quad (A10)$$

$$\frac{\partial r_3}{\partial \alpha} = -\frac{\partial \Delta \gamma}{\partial \alpha} = \frac{K}{E + K} \quad (A11)$$

$$\frac{\partial r_3}{\partial \Delta \gamma} = -\frac{\partial \Delta \gamma}{\partial \Delta \gamma} = -1 \quad (A12)$$

$$\frac{\partial r_4}{\partial \sigma} = \frac{\partial}{\partial \sigma} \{ |\sigma| - \sigma^y - K\alpha \} = \text{sign}(\sigma) \quad (A13)$$

$$\frac{\partial r_4}{\partial \varepsilon^e} = \frac{\partial}{\partial \varepsilon^e} \{ |\sigma| - \sigma^y - K\alpha \} = E \cdot \text{sign}(\sigma) \quad (A14)$$

$$\frac{\partial r_4}{\partial \alpha} = \frac{\partial}{\partial \alpha} \{ |\sigma| - \sigma^y - K\alpha \} = -K \quad (A15)$$

$$\frac{\partial r_4}{\partial \Delta \gamma} = \frac{\partial}{\partial \Delta \gamma} \{ |\sigma| - \sigma^y - K\alpha \} = E + K \quad (A16)$$

### 参考文献

- 1) (社)地盤工学会:土の弾塑性構成モデル, (社)地盤工学会, 2009.
- 2) 清原雄康, 坂本智美:土・水連成有限要素解析によるローム土宅地盤の圧密沈下予測, 八戸工業高等専門学校紀要, 第 51 号, pp.139-144, 2017.
- 3) Yukoh KIYOHARA, Motoki KAZAMA: Liquefaction of volcanic sandy soil (SHIRASU) – Mudflow-type slope failure on the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake –,7th Japan-Taiwan Workshop on Geotechnical Hazards from Large Earthquakes and Heavy Rainfall, PingTung, Taiwan, pp.89-90, 2016.
- 4) 清原雄康:セメント改良と突固めによる二戸しらすの液状化強度向上効果と土水連成コードによる挙動予測, 地盤工学ジャーナル Vol.12, No.2, pp.235-244, 2017.
- 5) J.C.Simo, T.J.R.Huges: Computational Inelasticity, Springer, 1998.
- 6) 渦岡良介, 宮田喜壽, 山川優樹:プログラミングで学ぶ有限要素法 4.弾塑性モデルによる応力-ひずみ関係の計算, 地盤工学会誌, 58-7, pp.54-62, 2010.
- 7) 寺田賢二郎訳:非線形有限要素法-弾塑性解析の理論と実践-, 森北出版, 2014.

(原稿受付: 2020 年 11 月 7 日)



# 是川縄文アートプロジェクト 2020 ～アートプロジェクトを通じた地域活性化～

馬渡 龍 \*・佐貫 巧 \*\*・工藤 大地 \*\*\*

THE COMMUNITY REVITALIZATION THROUGH THE KOREKAWA JOMON ART PROJECT 2020

Toru MAWATARI, Takumi SANUKI, Daichi KUDOH

\* 環境都市・建築デザインコース

\*\* 八戸学院大学短期大学部

\*\*\* 株式会社 ノゾワ

**Abstract :** This paper reports the outline of the KOREKAWA JOMON art project 2020 that we planned and ran, also verifies the outcome that it brought community revitalization. The art project utilized local resources such as KOREKAWA JOMON archaeological ruins that led to publicizing existence of KOREKAWA through the media and the SNS.

**Keywords :** Art Project, JOMON Archaeological Site of KOREKAWA, Community Revitalization

## 1. はじめに

是川団地は 1972 年（昭和 47 年）に整備された住宅地で、1978 年に人口 5,537 人とピークを迎えると 2018 年には 2,714 人と約半分にまで減少し 65 歳以上の割合も 46%と八戸市内でも高齢化率が極めて高い地域である。また、2019 年 6 月には団地内で唯一生鮮食料品を取扱うスーパー、地元銀行出張所の閉鎖が相次ぐ<sup>文 1</sup>。この状況を受け、2019 年 7 月 是川団地連合町内会と是川地区振興会は旧スーパーの駐車場を活用した「是川新鮮あおぞら市」を開き生鮮食料品の販売を開始した。2019 年 9 月からは、八戸市事業に採択された「是川〈地域の底力〉実践プロジェクト」会議を開催し、団地活性化を目的とす



図 1. オープニングセレモニーでの保育園児のアトラクション

る事業の検討を地域住民主体に展開してきた（表 1）。

「是川縄文アートプロジェクト 2020（アートプロジェクト）」は〈地域の底力〉会議で発案され、是川団地中央公園内にある経年劣化したコンクリート壁を再生し、壁面に新たに是川縄文をモチーフとした壁画を描くアートプロジェクトである。「是川縄文の日」と新たに制定<sup>注 1</sup>された 2020 年 11 月 3 日、壁画の完成を記念するオープニングセレモニーが開かれ、式典と地域の保育園などによるパフォーマンス、地元えんぶり組による振る舞いなどが行われた。セレモニーには約 250 名の参加者がつめかけ活気に沸いた（図 1）。

アートプロジェクトは 8 月中旬から地元の新聞・ラジオ・TV 等、把握している限りで掲載数は 10 回に及んだ（表 2）。およそ半世紀に及ぶ是川団地の歴史のなかで「是川団地」という地名がこれほどまで頻りにメディアに踊

表 1. プロジェクトスケジュール

2019	9月30日	是川〈地域の底力〉実践プロジェクト結集会議 (場所: 是川公民館)
	12月20日	是川〈地域の底力〉実践プロジェクト会議(1) (場所: 是川公民館)
2020	2月14日	是川〈地域の底力〉実践プロジェクト会議(2) (場所: 是川公民館)
	3月下旬	是川〈地域の底力〉実践プロジェクトの延期決定
	5月22日	是川縄文アートプロジェクト2020 発足会議 (場所: 是川中央集会所)
	6月30日	むつ小川原地域・産業振興財団 〈令和2年度プロジェクト支援助成事業〉応募
	7月下旬	むつ小川原地域・産業振興財団 〈令和2年度プロジェクト支援助成事業〉採択
	8月中旬	原画公募開始 (SNS告知、教育機関へのチラシ配布)
	9月18日	原画審査会 (場所: 是川縄文館)
	10月18日	壁画ペイントワークショップ (場所: 是川中央公園)
	11月3日	オープニングセレモニー (場所: 是川中央公園)

ったことはないだろう。本報告は「是川縄文アートプロジェクト 2020」の事業のこれかでの経緯を振り返るとともに、アートプロジェクトが地域に果たした意義や今後の展望を考察するものである。

表 2. メディア掲載一覧

日付	メディア	掲載内容
8月22日	デーリー東北朝刊	原画募集
8月26日	八戸経済新聞	原画募集
8月31日	Be FM	原画募集
9月1日		
10月10日	RABニュース	ペイントワークショップ
10月12日	東奥日報朝刊	ペイントワークショップ
10月16日	デーリー東北朝刊	ペイントワークショップ
11月3日	RABニュース	オープニングセレモニー
11月6日	デーリー東北朝刊	オープニングセレモニー
11月7日	デーリー東北朝刊:小中学生新聞	オープニングセレモニー

## 2. 事業経緯

アートプロジェクトは2019年から2020年にかけて開催された〈地域の底力〉会議(表1)において工藤と馬渡らのグループが発案したプロジェクトであり、是川団地中央公園内の全長37mのコンクリート壁に身近な地域資源である是川縄文遺跡をモチーフとした壁画を描くアートプロジェクトである。プロジェクトは令和2年度八戸市事業として実施予定だったが、新型コロナウイルス感染拡大を考慮し翌年度に延期された。

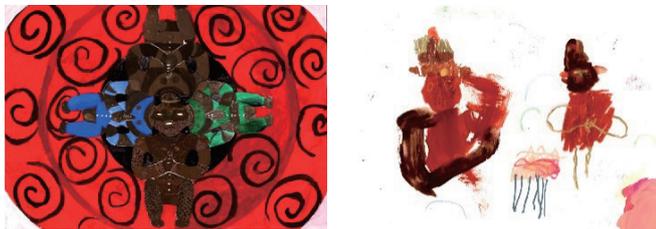


図 2. 公募作品：最優秀賞(左)と小学生以下優秀賞(右)

しかし、2020年は泉山兄弟による是川縄文遺跡の発掘が始まってから100年という節目を迎える年であること、プロジェクトは屋外で実施し感染対策を施せば実施可能であったこと、メンバー工藤の強い希望から「むつ小川原地域・産業振興財団令和2年度プロジェクト支援助成事業」助成を得て実施にこぎつけた。

プロジェクトはチラシを作成し全ての市内教育機関に配布したほか facebook 専用ページ<sup>2</sup>を開設して原画公募を告知した。結果、市内はもとより県内そして海外から56点の作品が集まった(表3)。是川団地連合町内会が主催するプロジェクトでありながら応募作品は極めて高いレベルで、公募の原画作品審査の結果、最優秀賞1点(図2)、部門別優秀賞各1点、縄文館長賞1点、入選各部門3から4作品を選出した。

壁画は受賞作品をもとに佐貫が製作した。図案は是川

縄文遺跡で発掘された円筒土器に見られる市松模様を背景に、受賞作品を参考にした縄文モチーフを点景として描いた。壁画のペイントワークショップには多くの住民が参加した。

表 3. 原画公募への応募者内訳

	応募 作品数	市内		県内	県外	海外
		是川	その他			
(1)小学生以下の部	24(2)	15	4	5	0	0
(2)中学生以上の部	11	9	1	1	0	0
(3)一般の部(高校生以上)	21	2	12	5	1	1
総数/割合(%)	56	46%	30%	20%	2%	2%

( )は小学生以下

オープニングセレモニーは2020年11月3日に開催され、式典では原画公募における受賞者の表彰、鏡割りなどを行い、終了後の記念イベントでは、地元保育園2園、パトチーム、是川音頭保存会によるパフォーマンス、妻ノ神えんぶり組による演舞が披露された。

## 3. 考察

プロジェクトの実践により得られた意義は、地域の貴重な地域である是川縄文遺跡を取上げたこと、公募・ワークショップ・セレモニーなどイベントのたびにメディア掲載されたこと、facebook 専用ページには494フォロワー(2020年11月7日段階)が登録され多いもので1投稿に対し千件を超えるアクセスを得るなどメディアやSNSを通じ是川団地の存在を広く発信することにつながった点にある。そして、子供たちが新しい壁画の前で元気に遊ぶ姿こそ、停滞ムードが漂う団地を活気づけ、住民に未来への希望を与えることになったのではないかと。そして、アートプロジェクトを通じた地域活性化<sup>注2</sup>は活動を継続してこそ意義がある。

### 注

- (1) 是川縄文館は是川の縄文遺跡の価値や縄文文化の多様な魅力を広めるため2020年より毎年11月3日を「是川縄文の日」と制定した。
- (2) プロジェクトの究極のねらいは、プロジェクトを通じて団地を知った新しい世代の人たちの定住と関係人口をつなげることである。

### 参考文献

- 1) 馬渡龍, 中村泰朗, 河村信治(2020): 人口動態にみる是川団地(青森県八戸市)の衰退要因, 日本建築学会第38回地域施設計画研究シンポジウム(38), 295-300.
- 2) <https://www.facebook.com/korekawa.jomon>. 2020

### 謝辞

〈是川縄文アートプロジェクト 2020〉はむつ小川原地域・産業振興財団(令和2年度プロジェクト支援助成事業)の助成を受けました。

(原稿受付: 2020年11月7日)

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55号

令和3年2月19日 発行

編集兼  
発行者 八戸工業高等専門学校  
〒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

---

---

