

小山工業高等専門学校研究紀要 第49号 (2016.12)

目 次

同一年齢を基準としてみた体力・運動能力についての 一考察 (Ⅲ)	三原 大介	1
国際交流事業が及ぼす英語学習へのモチベーションについて	岡田 晃	5
各 TOEIC-IP 総得点層におけるリスニングスコアと リーディングスコアの平均点の点数差に関する報告	有坂夏菜子	9
ホームルーム活動におけるアクティブラーニングの 基礎的スキルの向上に関する実践 - MASTの第一歩 -	関根 健雄・森下佳代子 田中 仁	15
SMC材穴あけ時のバリ発生に関する研究 - 圧縮成形時の素材シート枚数の影響 -	田中 好一・伊澤 悟 堀 三計	23
AEセンサーを利用した機械材料のヤング率評価	伊澤 悟	29
地面効果を利用する模型飛行機に関する研究 - 主翼の反りの影響 -	増淵 寿	33
金属製下肢装具用膝継手の試験について	那須 裕規	41
位相変調におけるホログラム記録再生メカニズムの解析	千田 正勝・金澤 大地 三浦 駿	47
高専ロボコンにおけるエンジニアリングデザイン教育の 活用事例	田中 昭雄・サム アン ラホック 加藤 康弘	53
2次元Voronoi分割法によるカオス時系列予測に関して	渡辺 達男	59
小山高専40kW太陽光発電システムの評価 - 長期稼動状況と経年変化 -	鹿野 文久	65

パラジウム触媒により発生させた有機スズ反応剤を経由する フェノール類のハロゲン化	亀山 雅之・成田 美咲 飯島 道弘・西井 圭	71
地域貢献を目的とした思川桜から分離した <i>Saccharomyces cerevisiae</i> OPJ-1 を用いた製パン検討	川久保利麗叶・荻野目あづさ 手島 悠太・上田 誠	81
温州みかんに含まれるヘスペリジンの毛包細胞増殖効果	笹沼いづみ・大塚 努	85
粉末X線回折法による固体有機化合物の分析	渥美 太郎・大毛 信吾 出川 強志	89
コーヒー豆滓の有効利用についての基礎検討 ー 六価クロム吸着能について ー	田中 孝国 田中(篠原)葵希子・出川 強志	93
安全データシートを活用した排水処理教育における PDCAサイクルの報告	出川 強志・田中 孝国	99
鉱石ラジオ実験用アンプ回路の製作	加藤 康弘	105
建物と植物・樹木に対する表面温度の関係性の評価	植木 忠司	109
目の粗いグリッド・ボードに正多角形を作図する 初歩的な数学を用いた技法について	玉木 正一	113
交通と攪乱 ー 文学教材としてのアニメーション映画『風立ちぬ』の可能性 ー	茂木謙之介	128
研究発表一覧		129

同一年齢を基準としてみた体力・ 運動能力についての一考察 (Ⅲ)

三原 大介^{*1}

A Study on Physical Fitness and Athletic Capabilities based on the Same Age(Ⅲ)

Daisuke MIHARA

This study was to examine physical fitness and athletic capabilities based on the same age. This study used the data of the Ministry of Education, Culture, Sports, Science & Technology from 1964 to 2015. The results of this study, a data of each exercise in each age except for the girl's long-distance running, has gradually decreased from around 1990.

KEYWORDS : physical fitness and athletic capabilities , the same age

1. まえがき

文部科学省が昭和 39 年 (1964 年) に体力・運動能力調査を実施し、昭和 40 年 (1965 年) から体力・運動能力調査報告書¹⁾として発表されている。そして、平成 11 年(1999 年)より年齢別の新体力テストが実施されている。測定項目は、握力、上体起こし、長座体前屈、反復横跳び、20m シャトルラン(持久走との選択)、50m 走、立ち幅跳び、ソフトボール投げ、ハンドボール投げなどである。これらの測定項目の中で、年齢別に比較した場合、毎年低下傾向にある項目と向上傾向にある項目とがある。

これまで、1964 年から 1996 年までの分析の結果、小学生・中学生年齢に該当する段階で背筋力、

伏臥上体そらし、立位体前屈、懸垂腕屈伸の各項目で漸減傾向がみられた²⁾。

さらに、前稿³⁾では走、跳、投の基礎的運動能力について同一年齢を基準として、50m 走、持久走(男子 1500m 女子 1000m)、立ち幅跳び、ソフトボール投げ、ハンドボール投げの各項目を新しく取り上げ、2007 年までの 42 年間ににおける漸減傾向の有無について分析した。

本研究は、さらに 2015 年までの 50 年間ににおける各測定項目の漸減傾向の有無について分析したものである。

2. 方法

1964 年から 2015 年までの 50 年間ににおける文部

^{*1} 一般科(Dept. of General Education), E-mail: mihara@oyama-ct.ac.jp

科学省スポーツ・青少年局の体力・運動能力調査報告書⁴⁾で公表されている数値を基に 50m 走、持久走(男子 1500m 女子 1000m)、立ち幅跳び、ソフトボール投げ、ハンドボール投げの各項目の漸減傾向の有無について比較・分析した。なお、対象とする年齢は男女ともに 7、9、16、19 歳とし、基準とする年度の値を 0 として、比較する各年度の増減値を求めた。各調査項目を表計算ソフトウェア(MICROSOFT Excel2010)を使用してデータ入力を行い整理した。

3. 「走」の運動能力

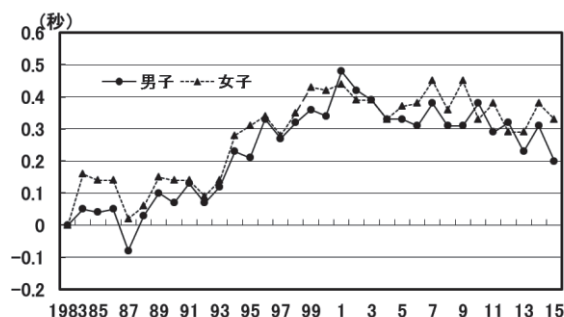


図1 50m 走の増減値(9 歳)

走る運動能力について 50m 走と持久走(男子 1500m、女子 1000m)を取り上げた。図 1 より 50m 走について 1983 年(男子 9 秒 36、女子 9 秒 60)を基準としてみると、9 歳の場合、男子は 87 年以外、年々低下傾向がみられた。94 年に 0.23 秒、96 年に 0.33 秒、01 年に 0.48 秒と 15 年まで約 0.2 秒～0.5 秒の低下傾向がみられる。

女子は男子と同様に低下傾向がみられる。94 年に 0.28 秒、99 年に 0.43 秒と 15 年まで 0.3～0.4 秒前後の低下傾向がみられる。94 年以降は男女共に顕著な低下傾向がみられる。

次に、図 2 から持久走についてみると、16 歳の場合、男子は、64 年(366.87 秒 316.58 秒)以降の向上傾向がみられる。68、75、77、78、80 年度は 10 秒以上の向上がみられた。しかし、89 年から低下傾向がみられ、さらに 94～07 年まで約 10～18 秒の低下傾向がみられる。女子は、64 年(316.58 秒)以降は向上傾向がみられ、70～91 年の間は約 20～30 秒の向上傾向がみられる。

次に、図 3 から 19 歳の場合についてみると、男子は 84 年までは基準値(364.66 秒)に対して、

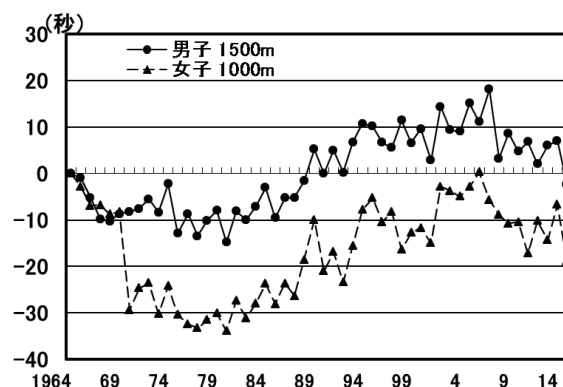


図2 持久走の増減値(16 歳)

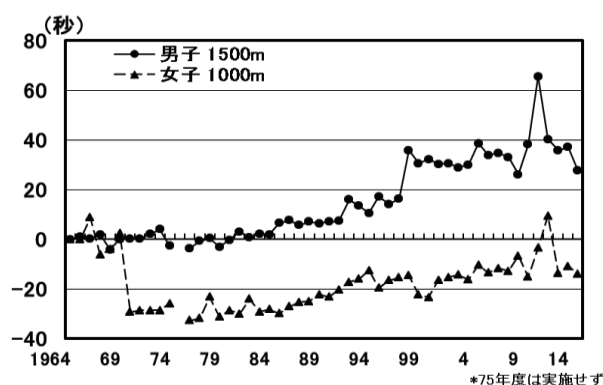


図3 持久走の増減値(19 歳)

4 秒前後の増減を繰り返していたが、85 年に 6.42 秒、92 年に 15.89 秒、98 年以降 30 秒を超える顕著な低下傾向がみられる。女子は、基準値(324.23 秒)に対して 70～91 年の間は 20 秒以上の向上傾向がみられる。

4. 「跳」の運動能力

跳ぶ運動能力について図 4 から、立ち幅跳びを 83 年(男子 138.75cm、女子 130.57cm)を基準としてみると、7 歳の場合、男子は、90 年の 4.82cm、94 年以降 6～13cm の低下傾向がみられる。女子は、90 年に 6.22cm、95 年に 9.17cm、96 年以降も 9～14cm の低下傾向がみられる。

続いて、図 5 から 9 歳の場合を 83 年(男子 160.60cm、女子 152.60cm)を基準にしてみると、男女ともに低下傾向がみられ、95 年以降の低下傾向が顕著である。

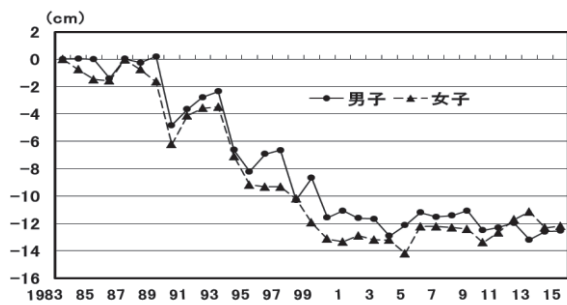


図4 立ち幅跳びの増減値（7歳）

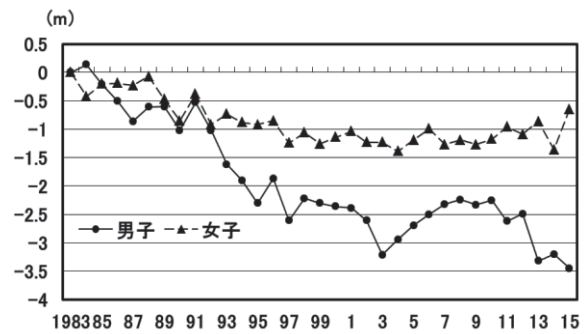


図6 ソフトボール投げの増減値(7歳)

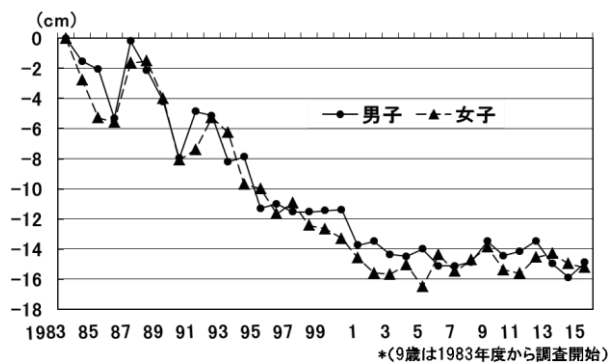


図5 立ち幅跳びの増減値（9歳）

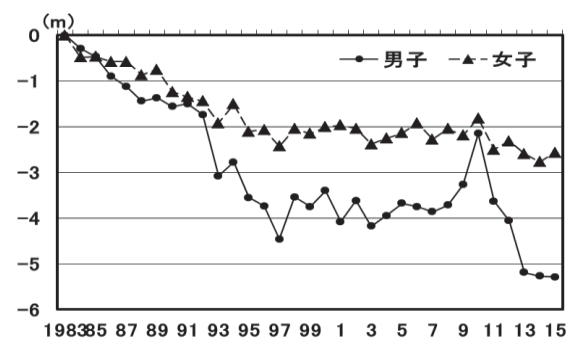


図7 ソフトボール投げの増減値(9歳)

5. 「投」の運動能力

これまで走る、跳ぶ運動能力をみてきたが、最後に投げる運動能力について考察していきたい。

図6からソフトボール投げについて83年(男子15.58m、女子9.00m)を基準にしてみると、7歳の場合、男子は、84年に0.14mの向上がみられたが、92年以降は低下傾向がみられる。97年に2.61mを記録してから、2m以上の低下傾向がみられる。女子は、90年以降、1m前後と男子に比べて緩やかな低下傾向がみられる。

次に、図7から83年(男子25.60m、女子14.69m)を基準にしてみると、9歳の男女ともに年々低下傾向がみられる。男子は、93年に3.08m、97年に4.46mと95年以降は3.5~4m前後、2013年以降は5m以上の低下傾向がみられる。女子は、95年以降、2m前後の低下傾向がみられる。

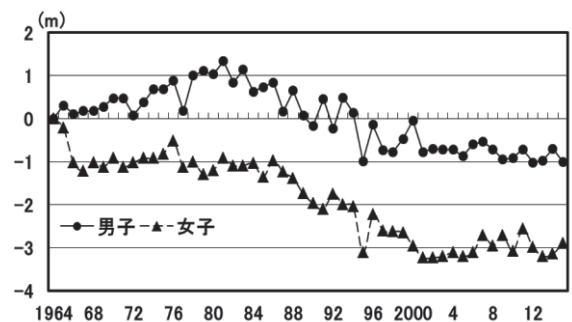


図8 ハンドボール投げの増減値(16歳)

さらに、図8より、ハンドボール投げについて64年(男子27.12m、女子17.72m)を基準にしてみると、16歳の場合、男子は、89年まで向上傾向がみられる。95年以降は、1m前後の低下傾向がみられる。女子は、65年以降、低下傾向が続いており、91年に2.11m、95年以降は3m前後の低下傾向がみられる。

研究紀要第 43 号、pp. 33-38(2010)

- 4) 文部科学省スポーツ・青少年局、平成 26 年度体力・運動能力調査報告書:<http://www.mext.go.jp/>

6. まとめ

昭和 39 年(1964 年)に文部科学省が体力・運動能力調査を実施し、昭和 40 年(1965 年)から体力・運動能力調査報告書として公表されてきた。当初は、青少年の体格の向上とともに体力・運動能力の向上がみられたが、90 年代には運動能力の低下も顕著になり、それ以降も低下が進む傾向がみられる。

本稿では「体力・運動能力調査報告書」の結果から、「50m 走」「持久走」「立ち幅跳び」「ソフトボール投げ」「ハンドボール投げ」の走、跳、投といった基礎的運動能力の各項目を取り上げ、とくに長期的な運動能力の漸減傾向がみられる同一年齢の記録について、開始年度を基準とした増減をみてきた。その結果、「走」の運動能力についてみると 50m 走は 9 歳の場合、94 年以降は男女共に顕著な低下傾向がみられた。持久走は、16 歳の場合、男子は、64~88 年の間は向上傾向がみられたが、89 年から低下傾向がみられた。女子は、64 年以降、向上傾向がみられた。更に、19 歳の場合、男子は、98 年以降、顕著な低下傾向がみられた。女子は、70 年以降、顕著な向上傾向がみられた。

次に、「跳」の運動能力についてみると立ち幅跳びは、90 年以降、男女ともに各年代とも低下傾向がみられた。

さらに、「投」の運動能力についてみるとソフトボール投げは、90 年以降、男女とも各年代で低下傾向がみられたが、特に女子の記録の低下傾向が顕著であった。最後にハンドボール投げについてみると、16 歳の場合、男子は、89 年まで向上傾向がみられたが、95 年以降は、低下傾向が続いている。女子は、65 年以降、低下傾向が続いている。

以上から、90 年頃を境に持久走の女子を除く各項目で低下傾向がみられた。

参考文献

- 1) 文部科学省スポーツ・青少年局、平成 19 年度体力・運動能力調査報告書:pp. 244-245(2008)
- 2) 三原大介:同一年齢を基準としてみた体力・運動能力の現状、小山工業高等専門学校研究紀要第 31 号、pp. 41-46(1999)
- 3) 三原大介、長田朋樹:同一年齢を基準としてみた体力・運動能力についての一考察(Ⅱ)、小山工業高等専門学校

【受理年月日 2016 年 9 月 23 日】

国際交流事業が及ぼす英語学習への モチベーションについて

岡田 晃^{*1}

English Study Motivation Cultivated by Exchange Programs

Akira OKADA

The purpose of this paper is to report various exchange programs which have been held in this college for the past several years and student's motivation for English through the programs. In addition, I will give some of my own views about what our students have to do before short-stay international students visit us or our students go abroad for English study program.

KEYWORDS : English study, study motivation, exchange programs, study abroad

1. 初めに

本稿は、小山高専で行われている数々の国際交流事業を紹介し、その事業における学生の英語学習、主にコミュニケーションに対するモチベーションに関する報告を行うことを目的としている。また、数多くの事業をより充実したものにしていくにはどうしたらよいか、という課題に対する独自の見解を示すことを目的としている。

昨今、本校では国際交流事業が活発化してきている。それに伴い、本校学生が海外からの来校留学生と交流を持つ機会が増えつつある。しかし、そのような状況であるにもかかわらず、英語におけるコミュニケーション能力向上に前向きに取り組もうとしている学生は決して多くはない。

このような状況を受け、海外からの留学生が来校する前に自己紹介や学校紹介プレゼンテーション等の事前学習の必要性和モチベーション維持について見解を示していきたい。

2. 本稿執筆の背景

昨今の国際交流事業の活発化に伴い、学生が海外からの留学生と英語で会話をする機会が増えている。しかし、普段の授業の中で学生と接していると、以下に示すように学生の英語学習に対するモチベーションが高いと感じられないのが現実である。

- 英語の必要性を感じている学生が少ない。
- 必要性を認識していても、英語を使う機会が少ない。
- 英語を使う機会があっても、恥ずかしくて（失敗を恐れて）英語を使えない。

これらはどの高専でも抱えている課題だと思われるが、我々教員が理想として考えられるものに以下のようなものがあるかと思われる。

- 将来を見据えて、英語学習に対する意欲を向

*1 一般科 (Dept. of General Education), E-mail: akira.ok@oyama-ct.ac.jp

上させる。

- 国際的な広い視野を持つ⇒日本中心的な考えをしないようにする。

これらの理想はほんの一部だと思われるが、理想と現実の差をどのように埋めていかななくてはならないか。この問題点を避けて英語学習に対するモチベーションを考えることはできない。では、学生に対し、実際にどんなことをやるべきなのか。3つほど挙げてみたい。

- ① 英語の必要性を実感させる。
- ② 英語が通じた時の嬉しさを知ってもらう。
- ③ 日本文化と海外文化の相違を認識させる。

海外学生と交流を行う前に、また自らが海外に行く前に事前準備をしっかりさせることが大切であり、そうすることで、英語でコミュニケーションをとる際の自信に繋がっていくであろう。

まずは、本校の国際交流事業を確認していきたい。

3. 国際交流事業について

近年の世界経済のグローバル化に伴い、日本のあらゆる場面においてもグローバル化が進んでおり、その人材育成が求められている時代となっている。高専機構でも実践的な技術者育成を目指す取り組みとして国際シンポジウムの実施、海外インターンシップ等を通じ、グローバルエンジニアの育成を重点課題としている。このような機構の考えの下、我々高専教員もグローバル人材育成に向けた取り組みを積極展開していかななくてはならない。

まずは、本校の取り組み状況を以下に示していく。

3. 1 香港 IVE 提携交流

香港 IVE との協定交流は今年で4年目を迎え、20名を超える香港学生が来校した。毎年行われている主な交流内容は、本校学生をサポート要員とした日光観光、東京観光、企業見学等、多岐に渡っている。最近では一層の学内交流発展を目指し、HR 交流、球技大会参加等も行われるようになった。本事業の興隆は、各教職員の連携が取れるようになってきたことに加え、全学生の意識が国際交流に少しでも向くようになってきたことが1つの要

因かもしれない。

また、本校からの香港訪問は3年目となり、今年は14名の学生が現地の施設を訪れ、研修を行ってきた。さらに、派遣時には後援会の援助に加え、昨年度採択された JASSO 奨学金も併用されるようになり、学生負担金が軽減されることとなった。

今年度新たに覚書を交わし、次年度以降も継続が決定したことを受けて、両校のますますの発展を目指し、改良点を見直していくことが求められるであろう。

3. 2 海外語学研修

当事業は、英語によるコミュニケーション能力の向上と異文化理解を目標に、平成10年3月に始まった海外英語研修プログラムである。毎年春休み期間を利用して2週間のホームステイをしながら約15名の学生が参加している。研修先は、当初はオーストラリア、続いてイギリスであったが、最近ではアメリカ西海岸のシアトルやバークレー・サンフランシスコを訪れ、世界的に有名な企業（シリコンバレーにおけるIT関連企業など）の見学を盛り込んだ内容となっており、参加学生からの評価も高いものとなっている。

先の香港 IVE との提携交流とは違い、実際に海外の語学学校内で世界各国から英語を学びに来ていた学生たちと一緒に語学学習をすることでコミュニケーション能力を向上させるとともに、様々な異文化交流を通じて日本人独自の見解だけではない、幅広い視野を得ることができる。ただし、開催時期や内容の選定を含めて、修正すべき課題もある。今後も続けていく取り組みなので、改善点を見出し、より良いものにしていく必要がある。

3. 3 フランス技術短期大学(IUT)、及びメキシコグアナファト大学との提携

フランス技術短期大学との提携事業は今年で2年目を迎えた。4月から約3か月間、インターンシップとして平成27年度は2名、平成28年度は3名の学生を受け入れた。本来の長期留学生とは違い、限られた期間内で研究室に配属され、指導教員の指導を受けながら得た研究成果を報告会で発表することになっている。期間内は同じ研究室内の学生とはもちろん、英語授業への参加、校内アクティビティ参加などを通じて、本校における他の学生とも交流機会があり、異文化交流の一端を担っている。派遣については、今年度より始ま

ろうとしている。

一方、メキシコグアナフアト大学との交流については、平成 27 年度に覚書を結んだばかりであり、実際の交流は平成 29 年度以降となる。どのような内容になるのか、時期がいつごろになるか、現時点では不明な点が多いが、新たな交流機会が増えるという点では推進していきたい事業である。

ただ、受け入れ時期や派遣時期、受け入れ時の配属先の選定など、抱える問題はまだ多い。

3. 4 その他

本校では毎年、長期留学性を三年時より受け入れられている。この取り組みが始まってから実に 30 年以上が経過している。これまでにおよそ 100 名以上の学生が長期留学生として来校し、卒業していった。出身国は東南アジアの国々が多く、卒業後は日本の大学に進学するのが通例となっている。学内での学習に加え、留学生交流会、ホームステイ経験などにできるだけ参加し、充実した留学生生活を送っている。

また、小山高専と言えばロボコンが有名であるが、本校のロボコンチームはそのロボットの技術力の高さに加え、英語による実演実績も持っている。先の香港 IVE 学生やフランス学生の来校時には必ず実演を行っている。学生訪問だけでなく、海外から本校を視察にきた来校者には必ずと言っていいほど英語実演を行っている。英語実演は校内に限ったことではない。平成 25 年アメリカニューヨーク・ボストン実演、平成 26 年インターナショナルスクール実演、同年 SLASH ASIA 参加が挙げられるが、特にアメリカでの実演は 2 週間で 4 つの大学を回る大掛かりな遠征だった。

以上が、主に本校で行われている国際交流事業であるが、現実的な学生の英語コミュニケーションに対するモチベーションとなるといくつか問題点が出てくる。その問題点を以降整理していきたい。

4. 学生のモチベーションについて

本校における国際交流事業は毎年その重要性を増しており、今後も継続して行われていくであろう。その背景にあるのが学生の英語のコミュニケーション能力の育成である。しかし、現実的に多くの学生には以下のような姿勢が見られる。

- 実際に交流を開始する前は意欲が見られる

が、交流後は意欲が低下してしまう。

- 実際に交流に関わらない学生は単なる 1 つのイベント事としてしか考えない。
- 切羽詰まった状況にならないと行動に移せない。

以上のような行動はどの高専学生にも少なからず見られるものではないであろうか。英語学習へのモチベーションを少しでも維持するためにはどのような取り組みが必要となってくるであろうか。

5. モチベーション維持のための取組

学生に限らず、一般的に、必要に迫られなければ行動を起こさないというのは大人にも当てはまる現象だが、それでも英語の必要性を感じている学生は多い。そこで、どうしても英語を使わなくてはならない状況を作り出すことが不可欠になってくる。海外に行けばそのような状況に身を置くことになるので、学習しなくてはならないという意識が生まれるであろう。しかし、誰もが海外に行けるというわけではない。学生の英語コミュニケーション能力を涵養することが求められている昨今では学内での取り組みを熟慮しなくてはならない。

先に述べたように、本校の国際交流は気運が高まりつつあり、海外からの短期滞在留学生が増えている。そればかりか、海外機関との提携事業も増えているので、学生自らが海外へ行く機会も増加傾向にある。さらに、学内企画のみならず、自ら長期休暇時期を利用して、短期で海外ホームステイを経験したり、海外渡航意識が高まっていることは否定できない。

このような状況を垣間見て、少しでも学生たちのモチベーションを高くするには、交流（渡航）前の事前準備を徹底して行うことが重要ではないだろうか。以下にその事前準備の一例を記す。

- 事前準備の一例

① スピーキングについて

自分に関わる様々な紹介文を書かせ、発表できるようにする

例：自己紹介、家族紹介、学校紹介、学科紹介、研究内容紹介など

② リスニングについて

課題用リスニング CD を配布し、書き取りをやらせる。

上に記したものは、どれも単純なものかもしれない。しかし、このような単純作業の繰り返しで少しでも気運が維持できるようサポート体制を続けていかなくてはならない。

また、今年度よりイングリッシュカフェを定常化させている。内容面でばらつきがあるものの、今後は外国人講師を招くなどして内容を充実したものにしていく必要がある。

6. 結論

これまで、本校の国際交流事業を説明し、学生の英語コミュニケーション力の維持について話をしてきた。以下に本稿における結論を記す。

① 英語の必要性について

⇒目的意識の明確化

「簡単な日常会話ができる程度の会話力」から「簡単な受け答えができるようになること」への発想の転換

② 英語を使う機会の増加

⇒学内イングリッシュカフェ実施、更なる交流イベントや留学の充実、市内交流イベントへの参加など。実際に体験してみないとわからない世界に入り込ませる。

③ 失敗を恐れない（積極的な姿勢の育成）

⇒先生自らの経験などを語る。

「失敗を恐れるな。そんなものはないのだから」、「学んでから挑戦するのではない。いきなり挑戦して、失敗から学ぶ」という考えのもと、積極的に取り組ませる姿勢を養うことが必要である。

つまり、「努力の継続性」、「無駄な努力などないという考え」を持たせたい。

何より、学生たちと直接関わっている私たち教員がこのような姿勢を見せることが必要であると考えている。

謝辞

本稿を作成するにあたり、国際交流関連事業に携わっていただいた本校の先生方に協力を戴きました。心より感謝致します。

【受理年月日 2016年 9月29日】

各 TOEIC-IP 総得点層におけるリスニングスコアとリーディングスコアの平均点の点数差に関する報告

有坂夏菜子^{*1}

A Report on the Score Differences according to the 3 Total-score Groups of TOEIC-IP
Tests between the Average Scores of the Listening Test and those of the Reading Test

Kanako ARISAKA

In this paper I first divide the group of total scores of TOEIC-IP tests that students at Oyama Kosen gained from 2011 to 2014 into three, that is, high score group, middle score group, and low score group. Then, in each score group I calculate a score difference between the average score of the Listening Test and that of the Reading Test. It is found that the score difference of the middle score group is always larger than those of the other two groups, which I claim suggests that students who are thought to belong to the middle score class show more and faster improvement in their listening skills than in their reading skills.

KEYWORDS: TOEIC, institutional program (IP), Listening Test, Reading Test, average scores, score difference

1. まえがき

本稿は、平成 26 年に小山高専英語科教員が作成した論文「GTEC 及び TOEIC-IP の結果に見る、過去 3 年間の小山高専生の平均点と受験者数の推移」に触発され、作成したものである¹⁾。

これまで TOEIC 指導を行ってきた、「TOEIC で高得点を取るためには Reading の点数を上げなくてはならない」ということや、「TOEIC の点数を上げるために学生が少し勉強すると、まず Listening の点数が上がる」ということには気づいていた。しかし、それはしっかりとした数値上の

裏付けがあるものではなかった。今回、小山高専で平成 23 年度から平成 26 年度までに実施された TOEIC の「団体特別受験制度（以下 IP テスト）」の試験成績データを使用し、年度ごとに Total スコアを「450 点以上」、「450 点未満から 300 点まで」、「300 点未満」の三層に分け、上記の経験上の認識が妥当であるかどうかを検証するために調査を行った。

ここで TOEIC について簡単に説明しておきたい。TOEIC とは Test of English for International Communication の略称で、英語によるコミュニケーション能力を幅広く評価する世界基準のテストであり、各自の英語能力のレベルを客観的に数

^{*1} 一般科 (Dept. of General Education), E-mail: yagishita@oyama-ct.ac.jp

字で表すものである。平成 26 年度の実績によれば、高専生は、「公開テスト」で 8,690 名（平成 25 年度は 7,674 名）が受験しているのに対し、IP テストでは 15,780 名（平成 25 年度は 16,364 名）が受験している^{2),3)}。

IP テストには、試験期日、試験場所が自由に決められ、申し込みは実施団体担当者がまとめて行い、受験料が安い一方、公式の認定書 (Official Score Certificate) は発行されず、受験者個人には「スコアレポート」で点数を知らされるという特徴がある。それに対し公開テストは、決まった会場で定期的の実施され、申し込みは個人で行うことになっている⁴⁾。

2. 結果予測と検証方法

「まえがき」でも述べたように、本稿を作成した動機は「TOEIC で高得点を取るためには、Reading の点数を上げなくてはならない」ということや、「TOEIC の点数を上げるために学生が少し勉強すると、まず Listening の点数が上がる」という、経験に基づいて得た知識の検証である。

その経験的知識に基づくと、今回の調査の結果として、以下の a, b 二点が予測される。

- (1) a. 英語基礎力がある、または IP テストに対する準備勉強を常に心がけていると著者が考える学生の Listening スコアと Reading スコアはどちらも伸びるため、そのスコア差は英語基礎力がそれほどない、または準備勉強をほとんどしていないと思われる学生の Listening と Reading スコアの差と同程度になりやすい。
- b. IP テストに対する準備勉強を少しはしている、または勉強をし始めたと考えられる学生の場合、Listening スコアから伸びる傾向がある。したがってそのような学生の Listening スコアと Reading スコアの差は、英語基礎力がある、または IP テストに対する準備勉強を常に心がけていると考えられる学生のスコア差より大きくなる。また同様に、英語基礎力がそれほどない、または準備勉強をほとんどしていないと思われる学生のスコア差より大きくなる。

(1)を検証するためのデータであるが、小山高専

で平成 23 年度から平成 26 年度までに実施された IP テストの試験成績データを使用した。そしてそのデータのうち Total スコアに着目し、年度ごとの Total スコアを、(i)高得点層「450 点以上」、(ii)中得点層「450 点未満から 300 点まで」、(iii)低得点層「300 点未満」に分類した。その上で次のように考えた：

- (i) 高得点層に入ると考えられるのは、英語基礎力がある、または IP テストに対する準備勉強を心がけていると考えられる学生が取る得点である。
- (ii) 中得点層に入ると考えられるのは、IP テストに対する準備勉強を少しはしている、または勉強をし始めたと考えられる学生が取る得点である。
- (iii) 低得点層に入ると考えられるのは、英語基礎力がそれほどない、または準備勉強をほとんどしていないと思われる学生が取る得点である。

そして得点層ごとに Listening スコアと Reading スコアの平均点を出してみた。

小山高専における平成 23 年度から平成 26 年度までの IP テストの実施実績は、以下の通りである。希望者対象の IP テストを年 2 回、それぞれ 6 月末か 7 月初旬と 12 月中旬に実施した。一方、成績評価の一環として、IP テストを前期定期試験中に「応用英語 1」受講生対象に 1 回と、後期定期試験中に「英語演習 II」と「応用英語 2」の受講生対象として 1 回で、計 2 回行った¹⁾。

次節で本校の IP テストの受験者人数として示す数字は、データを機械的にまとめたものである。例えば、ある一人の学生が本校で IP テストを三回受験した場合、三人が IP テストを受験したとして算出したものである。そして Listening スコアと Reading スコア、Total スコアの平均点として示す数字についても、上記と同様なやり方で機械的に算出した。

まず、(1)の予測が正しいかどうかを検証するために、本稿では前提として「英語力は全ての技能 (skill) がバランス良く成り立って構成されているはずであり、常にバランス良く向上していくはずである。したがって Listening 力を測定するテストのスコアと Reading 力を測定するテストのスコアのそれぞれが Total スコアに占める割合は、学生がどの程度の英語力を持っているか、または学生がどのくらい準備勉強をしたかにかかわらず、全ての得点層においてほぼ一定となるものである」というように考えた。

次節で示すが、Listening スコアと Reading スコ

アの平均点を比較した場合、個人的なばらつきはあるものの、基本的にはどの得点層においても Listening スコアの平均点の方が Reading スコアの平均点より必ず点数が高くなるという結果が出ている。

もし先の前提となる考え方が正しければ、上記三つのどの得点層においても、IP テストの Listening スコアの平均点と Reading スコアの平均点との点数差は、それほど変わらないはずである。したがって得点層によって Listening スコアと Reading スコアの平均点の差に違いがあれば、学生の英語基礎力の違いによるか、もしくは準備勉強の量の違いにより、Listening 力を測定するテストのスコアと Reading 力を測定するテストのスコアのそれぞれが Total スコアに占める割合が変わってくるということになる。このことは、前提となる考え方が正しくないということになろう。

そしてもし「450 点未満から 300 点まで」の中得点層に入る学生の Listening スコアの平均点と Reading スコアの平均点の点数差が、「450 点以上」の高得点層と「300 点未満」の低得点層にそれぞれ入る学生の点数差より大きいならば、(1)が正しいと判断できよう。

次節において、平成 23 年度から平成 26 年度までの IP テストの試験成績データを、前述のように年度ごとに三層に分け、それぞれの得点層において算出された Listening スコアの平均点と Reading スコアの平均点の差を求め、そこから読み取れる特徴をあげていくことにする。

3. 調査と検証

本節ではまず、平成 23 年度から平成 26 年度までの IP テスト受験者数の推移を、「450 点以上」の高得点層と「450 点未満から 300 点まで」の中得点層と「300 点未満」の低得点層の三層に分け、表 1 に示した。

表 1 各年度の得点層別受験者数の推移

	H23年度	H24年度	H25年度	H26年度
～450	40	43	46	39
449～300	238	182	115	149
299～	66	63	66	75
計	344	288	227	263

総受験者数は減少傾向にあるが、高得点層と低得点層の人数はほぼ変わらないといえよう。

ここで各年度における留学生並びにバイリンガル日本人学生受験者の総数（延べ人数）について触れておくことにする。平成 23 年度は 8 名、平成 24 年度は 6 名、平成 25 年度は 3 名、平成 26 年度は 6 名である。

次に、上記各年度 IP テストの得点層別の Listening スコアの平均点と Reading スコアの平均点、さらにそれぞれの平均点の点数差を一覧表にしたものを以下に示す。

表 2 平成 23 年度の各得点層の Listening、Reading の平均点と、その点数差

H23年度	Listening	Reading	L-R
～450	327.8	273.5	54.3
449～300	218	145.6	72.4
299～	160.8	98.5	62.3

表 3 平成 24 年度の各得点層の Listening、Reading の平均点と、その点数差

H24年度	Listening	Reading	L-R
～450	316.3	252	64.3
449～300	220.8	141.2	79.6
299～	158	103.1	54.9

表 4 平成 25 年度の各得点層の Listening、Reading の平均点と、その点数差

H25年度	Listening	Reading	L-R
～450	311.5	249.2	62.3
449～300	222.6	136.5	86.1
299～	157.4	103	54.4

表 5 平成 26 年度の各得点層の Listening、Reading の平均点と、その点数差

H26年度	Listening	Reading	L-R
～450	334.6	247.6	87
449～300	226.5	133.8	92.7
299～	160.6	101.5	59.1

そして最後に、得点層別の Listening スコアの平均点と Reading スコアの平均点の点数差を、年度

ごとにまとめたのが表6である。

表6 上記各年度の各得点層別 Listening、Reading
の平均点の点数差

	H23年度	H24年度	H25年度	H26年度
～450	54.3	64.3	62.3	87
449～300	72.4	79.6	86.1	92.7
299～	62.3	54.9	54.4	59.1

表6を見て分かるように、平成23年度から平成26年度までの全ての年度において、「450点未満から300点まで」の中得点層に入る学生のListeningスコアの平均点とReadingスコアの平均点の差が一番大きくなっている。一方で、高得点層と低得点層のListeningスコアの平均点とReadingスコアの平均点の差はほぼ変わらないといえるであろう。

したがって2節で述べた、本稿で前提としている考え方、つまり「英語力は全ての技能がバランス良く成り立って構成されているはずであり、常にバランス良く向上していくはずである。したがってListening力を測定するテストのスコアとReading力を測定するテストのスコアのそれぞれがTotalスコアに占める割合は、学生がどの程度の英語力を持っているか、または学生がどのくらい準備勉強をしたかにかかわらず、どの得点層でもほぼ一定となる」という考え方は正しくなく、(1)の予測が正しいことが示されたといえるだろう。

- (1) a. 英語基礎力がある、またはIPテストに対する準備勉強を常に心がけていると著者が考える学生のListeningスコアとReadingスコアはどちらも伸びるため、そのスコア差は英語基礎力がそれほどない、または準備勉強をほとんどしていないと思われる学生のListeningとReadingスコアの差と同程度になりやすい。
b. IPテストに対する準備勉強を少しはしている、または勉強をし始めたと考えられる学生の場合、Listeningスコアから伸びる傾向がある。したがってそのような学生のListeningスコアとReadingスコアの差は、英語基礎力がある、またはIPテストに対する準備勉強を常に心がけていると考えられる学生のスコア差より大きくなる。また同様に、英語基礎力がそれほどない、または準備勉強をほとんどしていないと思われる学生のスコア差より大きくなる。

4. 考察

では、なぜ(1)のようなことが起こるのであるのか。一番の理由は、学生たちの勉強法にあるのではないだろうか。「IPテストに対する準備勉強を少しはしている、または勉強をし始めたと考えられる学生」がまず行うことが英単語や成句の学習や暗記であることは容易に予想される。「とりあえず単語さえ覚えておけば」というのは、何から手をつけてよいのか分からない英語学習者がよく口にする言葉である。

英語を耳にしたとき、特に動詞と名詞に当たる単語が浮き上がって聞こえると感じる日本人が多いのではないと思われる。その理由の一つとして挙げられるのは、英語の文章を読むときには、音の高低をつけるだけでなく、文中の動詞と名詞に強勢を置いて読む必要があるからであろう。そして特別な場合を除いて、前置詞や冠詞は強く読まれない。

当然のことではあるが、市販の単語帳では動詞と名詞に多くの紙面が割かれている。したがって覚えた英単語や成句の量が増えれば、Listeningにおいては動詞と名詞が強く読まれるため、話されている内容を予想しやすくなる。つまり語順などを正しく把握していなくても、聞こえた単語、中でも特に動詞と名詞や成句の意味が分かれば、正確ではないかもしれないが、どのような内容なのかについては容易に想像がつく。

しかし、一般的に前置詞が強く読まれることはないため、会話文や長文のListeningの際、特に前置詞や接続詞が多く使われているときなどは、内容把握が難しくなる場合も出てくる。例えば‘I will introduce to you Mr. John Brown (「私はあなたに、ジョン ブラウンさんを紹介します」)’という文章と、‘I will introduce you to Mr. John Brown (「私はあなたを、ジョン ブラウンさんに紹介します」)’という文章では、前置詞toの位置によって内容が異なってくる。

そしてReading問題では、特に後半の問題において、前置詞を含め接続詞や関係詞、that、疑問詞などが多用された長文を読んで、内容を理解しているかを問う問題が出題されている。したがって動詞と名詞をある程度覚えてただけでは、文章全体の内容を把握するのが難しい場合が多くなることはいうまでもない。

また Reading 問題の前半では、単語の使い分けなどが問われることがある。例えば ‘Nancy sang ()’ の () 内に入る適切な語を、‘beauty / beautifully / beautify / beautiful (『美しさ／美しく／美しくする／美しい』)’ の選択肢から選ぶといった問題である。これは、自然な表現をするために、ある文脈で必要とされる適切な語句を選択できるかどうかを問う問題である。英語を母国語とする話者ならば難なく正答を選べるこのような問題に正解できることは、すなわち自然な表現ができることを示せることに繋がる。

「IPテストに対する準備勉強を少しはしている、または勉強を始めたと考えられる学生」の中で、このように「品詞」や「同じ日本語訳を持っている語句の意味や用法の違い」に注意を払う余裕のある者はそう多くないのではないだろうか。

これに対し「英語基礎力がある、または IP テストに対する準備勉強を心がけていると考えられる学生」は、勉強を進める中で、動詞と名詞だけでなく、他の品詞の単語に対しても意識的または無意識のうちに注意を払いながら理解を深めていると考えられる。

そしてその日本語訳を覚えるのはもちろんのこと、「品詞」や「同じ日本語訳を持つ語句の意味や用法の違い」などにも対応できるようになると考えられる。したがって Listening 問題だけでなく、Reading 問題でもある程度の点数を取れるようになるということは容易に想像できる。

5. おわりに

本稿では、小山高専で平成 23 年度から平成 26 年度までに実施された IP テストの試験成績データを使用し、年度ごとに Total スコアを「450 点以上」、「450 点未満から 300 点まで」、「300 点未満」の三層に分けた。

その上で、「450 点以上」の点数を取れると考えられる学生、つまり英語基礎力がある、または IP テストに対する準備勉強を常に心がけていると思われる学生の Listening スコアと Reading スコアの平均点の点数差は、「300 点未満」の点数を取ると予想される学生、つまり英語基礎力がそれほどない、または準備勉強をほとんどしていないと思われる学生の点数差と同じ程度となることが明らかになった。そして「450 点未満から 300 点まで」

の点数を取っている学生、つまり IP テストに対する準備勉強を少しはしている、またはテスト勉強を始めたと考えられる学生の場合の Listening スコアと Reading スコアの平均点の差は、「450 点以上」や「300 点未満」の得点を取っている学生たちの点数差より大きいことが明らかになった。

参考文献・参考資料

- 1) 有坂顕二、山西敏博、岡田晃、有坂夏菜子、杉山桂子、関根健雄 2014. 「GTEC 及び TOEIC-IP の結果に見る、過去 3 年間の小山高専生の平均点と受験者数の推移」 『小山工業高等専門学校研究紀要 第 47 号』, pp. 21-30.
- 2) 国際ビジネスコミュニケーション協会 2015. 『TOEIC プログラム DATA & ANALYSIS 2014』
- 3) 国際ビジネスコミュニケーション協会 2014. 『TOEIC プログラム DATA & ANALYSIS 2013』 Available at http://www.toEIC.or.jp/library/toEIC_data/toEIC/pdf/data/DAA2013.pdf
- 4) 有坂顕二、山西敏博、岡田晃、有坂夏菜子、杉山桂子、関根健雄 p.21-22.

【受理年月日 2016 年 9 月 29 日】

ホームルーム活動におけるアクティブラーニング の基礎的スキルの向上に関する実践 — MAST の第一歩 —

関根 健雄^{*1}, 森下佳代子^{*2}, 田中 仁^{*2}

Developing Fundamental Competencies For Active Learning Skill through Homeroom Activities — The First Step of MAST —

Takeo SEKINE, Kayoko MORISHITA, and Hitoshi TANAKA

This study aims to discuss the significance of establishing students' basic skills for Active Learning through homeroom activities, because the activities incorporate holistic aspect of non-curricular education. To enhance students' autonomy, we formulated an approach that would facilitate the competencies through homeroom activities. We called our strategy MAST, which stands for "Method for Active-learning Skill Training." This study employs three approaches: (1) analysis of self-assessment on Fundamental Competencies for Working Persons, (2) individual supports and understandings recorded in a datebook, (3) improvement of homeroom activities to enhance students' interpersonal skills. MAST does not promise immediate results in reinforcing teaching methods in particular subjects. It aims to help gradually promote students' intrinsic motivation to be independent learners. Consequently, our capital suggestion is to revitalize lectures aimed at Active Learning.

KEYWORDS : Active Learning, Fundamental Competencies for Working Persons, generic skill, Team Work, Homeroom Activities, cooperation, plan-do-check-action cycle

はじめに

アクティブ・ラーニング（以下、AL）の導入が求められて以降、授業ではグループワーク、ペア

*1 一般科(Dept. of General Education), E-mail: sekinetakeo@oyama-ct.ac.jp

*2 一般科(Dept. of General Education)

ワーク、ディスカッション等を取り入れてきたが、十分な成果が得られず、学生の十分な学習への動機づけにつながらないと感じることが多い。教員の授業スキルの向上は必要だが、学生にも AL の形態で学習するためのレディネス (readiness) が不足していると感じられることも多く、それは学級担任としてホームルーム (以下、HR) 運営をする際にも感じられる。AL に関して、溝上 (2014) は「一方的な知識伝達型講義を聴くという (受動的) 学習を乗り越える意味での、あらゆる能動的な学習のこと。能動的な学習には、書く・話す・発表するなどの活動への関与と、そこで生じる認知プロセスの外化を伴う」(P.7) と定義している。また、AL で求められる認知プロセスの外化の実施の際、学生たちがその思考や理解を伝達、議論、発表することが十分にできない背景には、学生にそれらのトレーニングがなされていないことがある (P.39) と指摘している (溝上、2014)。本研究の目的は、多くの AL に関する研究のように特定の授業・科目等における AL 型授業の手法の改善や構築ではなく、高専の低学年の HR 担任として、「認知の外化のトレーニング」を HR 活動の中で実施することで AL の基礎的スキルの伸長を図ることに焦点を絞ったものである。HR において学生たちは学校生活やキャリア形成に関する様々な課題に直面し、集団としてその状況に参加することで学習し、課題を解決していくのであり、そこで求められるスキルは AL においても有用なものであるため、我々はこの手法を MAST (Method for Active Learning Skill Training) と名付けた。本稿は 4 月から 7 月上旬までの小山工業高等専門学校 (以下、本校) 1 学年 1, 3, 4 組の 3 クラスで約 3 か月の試みをまとめ、今後の展望について考察したものである。

授業において AL への転換が円滑に進まない要素として、学生に主体性やリーダーシップの欠如、相互関係を構築する力が不十分であることが考えられる。これらの要因に関しては『アクティブラーニング失敗事例ハンドブック』(2014) に詳しい。これらの能力を育成することは重要ではあるが、授業時間中においてそれらの訓練を実施することは不可能である。学生の能力は授業中にのみ成長するわけではなく、日常生活や授業外の活動において成長するはずである。しかし、高等専門学校の低学年において HR 担任として学生と接していると、授業外の学校生活でも同様の問題点が存在し、HR に関わらず集団での活動が停滞することを目の当たりにする。

本校では、平成 28 年度より 4 学科の学生を混合し、5 クラスに編成する「混合学級」が実施された。これは専門学科の垣根を超えた人間関係の構築、将来の学際的研究を視野に入れた試みであり、学生には以前にも増して主体的に意見を発信し、人間関係を構築する力が求められることになった。これを機に、授業外の活動で担任教員が計画的に指導することのできる HR 活動に着目し、学生が主体的な学習者となるために必要な能力の伸長を促進させるための支援・手法を構築することで、授業を活性化するとともに、将来の主体的な学習者の育成へとつながると考える。MAST の具体的な方策として、(1) HR 担任から学生に対するサポートとしての『フォーサイトふり返り力向上手帳』の活用、(2) 「社会人基礎力」(経済産業省)・「学士力」(文部科学省) 等に基づいた HR 活動の充実によるクラス集団の対人関係能力の伸長、さらに (3) 教員同士の協働体制の構築を想定している。これらの方策の実現によって本校における教育の質の向上につながると考えている。本稿においては、上記の (1) と (2) の方策について、これまでの実践と結果を報告する。

1. 「社会人基礎力」からみた本校 1 年生の傾向

「社会人基礎力」とは、12 の能力要素からなる 3 つの能力から構成され、「職場や地域社会で多様な人々と仕事をしていくために必要な基礎的な力」として、経済産業省が 2006 年から提唱しているものである。企業や若者を取り巻く環境変化により、「基礎学力」「専門知識」に加え、それらをうまく活用していくために「社会人基礎力」を意識的に育成していくことが今まで以上に重要となってきたことがこの背景にある (図 1)。

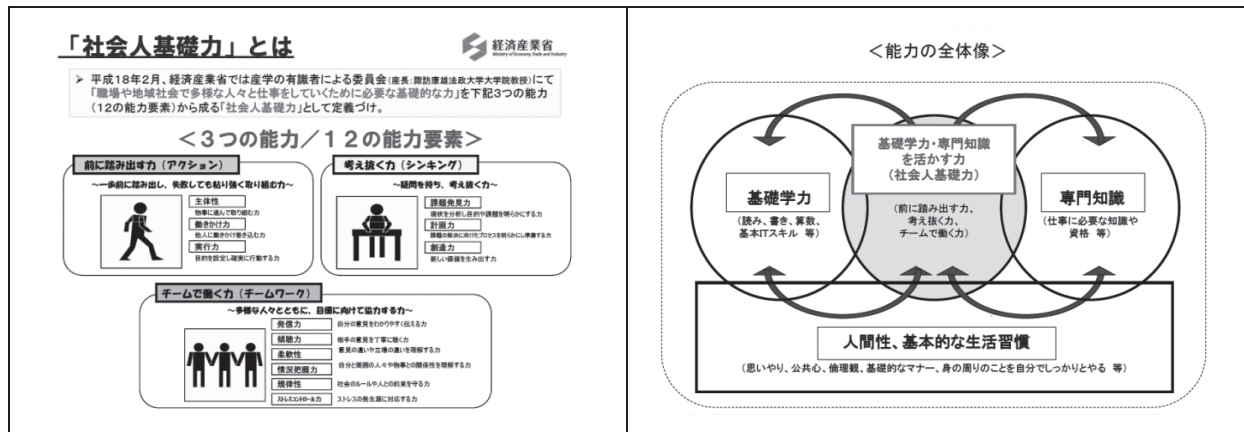


図1 「社会人基礎力」とは(経済産業省 HP より転載)

「社会人基礎力」で求められている技能・能力(態度)については、「学士力」や「ジェネリックスキル(generic skill)」、「コンピテンシー(competency)」等においても同様にその重要性が指摘されている。本校1年生3クラスにおいて、経済産業省で作成した「社会人基礎力チェック」を7月上旬に行った。これは36項目の質問事項を4段階で自己評価し、各該当項目の評価によって「3つの能力」と「12の能力要素」の状況や今後改善が必要な点を考察するものであり、その結果が表1である。また、126名の平均値をレーダーチャートで表したものが図2、図3である。また、特徴的な度数分布を示した6つの能力要素を抽出しグラフにしたものが図4である。各「12の能力要素」に関しては対応する質問が3つあり、それぞれの質問に対して、4「ほぼその通りである」、3「ややその通りである」、2「ややあてはまらない」、1「ほぼ当てはまらない」の4段階で回答した。

表1 「社会人基礎力チェック」の平均値と度数分布(126名)

3つの能力	12の能力要素		平均値	度数分布
前に踏み出す力	主体性	物事に進んで取り組む力	2.94	0.545
	働きかけ力	他人に働きかけ巻き込む力	2.99	0.624
	実行力	目的を設定し確実に行動する力	2.95	0.594
考え抜く力	課題発見力	現状を分析し目的や課題を明らかにする力	2.93	0.553
	計画力	課題の解決に向けたプロセスを明らかにし準備する力	2.82	0.581
	創造力	新しい価値を生み出す力	2.87	0.666
チームで働く力	発信力	自分の意見をわかりやすく伝える力	2.85	0.569
	傾聴力	相手の意見を丁寧に聴く力	3.18	0.561
	柔軟性	意見の違いや立場の違いを理解する力	3.16	0.595
	状況把握力	自分と周囲の人々や物事との関係性を理解する力	2.94	0.622
	規律性	社会のルールや人との約束を守る力	3.36	0.516
	ストレスコントロール力	ストレスの発生源に対応する力	2.94	0.756

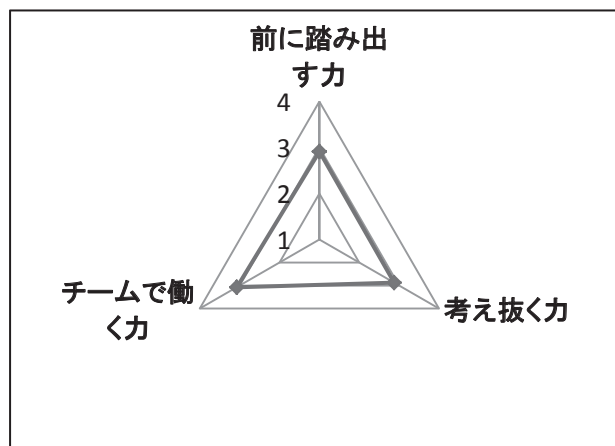


図2 「3つの能力」平均値

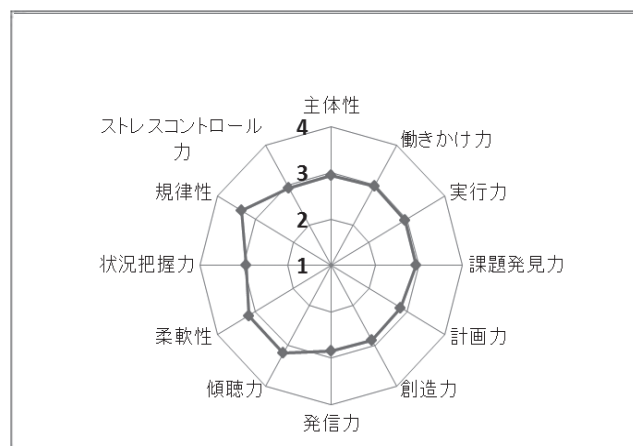


図3 「12の能力要素」平均値

平均値が高い項目は「規律性」「傾聴力」「柔軟性」、平均値の低い項目は「計画性」「発信力」「創造力」となっている。「規律性」「主体性」「課題発見力」は標準偏差が小さいが、「ストレスコントロール力」「創造力」「働きかけ力」は標準偏差が大きい。12の要素の各項目では、「規律性」「傾聴力」「柔軟性」で自己評価の高い学生の割合が多い。一方、「ストレスコントロール力」は個人差が著しく、相当する3つの質問において、すべての自己評価が「1」である学生が3%存在する。「働きかけ力」「状況把握力」「創造力」は二峰性・三峰性があり、著しく自己評価の低い学生が多い。個々の学生を見ると社会人基礎力の自己評価が低い学生は「実行力」「創造性」「傾聴力」「状況把握力」「ストレスコントロール力」が低い評価であり、「発信力」も低い評価であるため、教員からの働きかけが必要であると考えられる。図2や図3が各能力や能力要素での高い平均値を示しているものの、図4からはこれらの能力について苦手だと感じている学生が多数存在することが見えてくる。

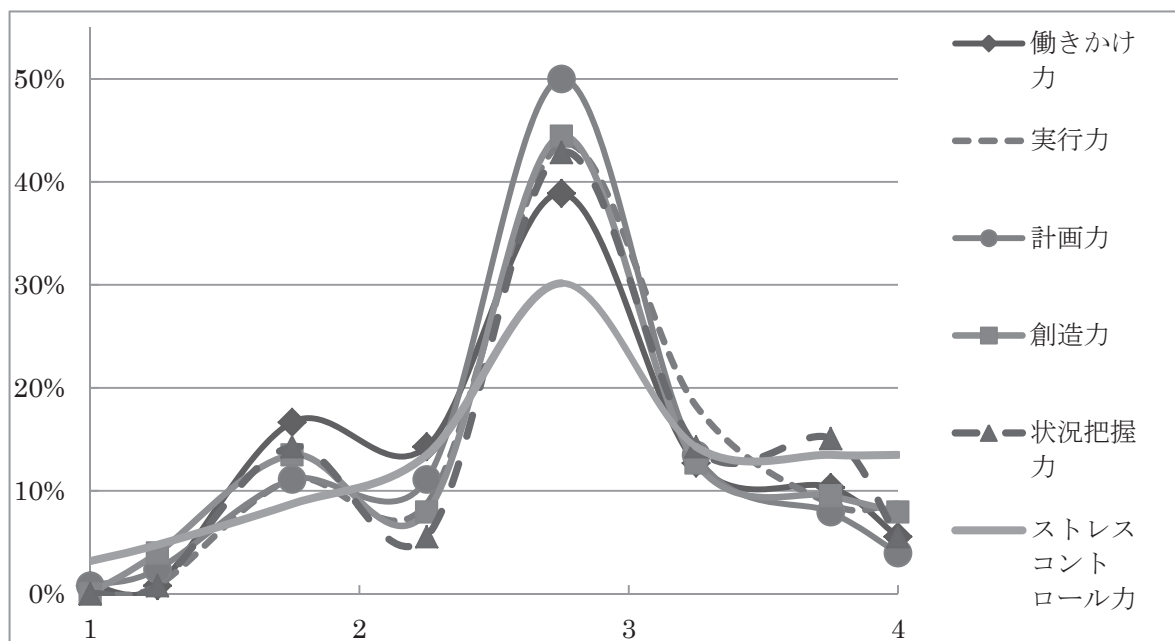


図4 抽出した6つの能力要素の度数分布

このアンケートはあくまで自己評価であり、6月に行われた前期中間試験の結果との相関性は低

く、学生の性格に大きく左右されていると思われる。そのため、今後は各教員の学生観察や理解、クレペリン精神分析検査などの結果との照合が必要であるものの、学生が自身の生活をどのように捉えているのか理解する資料の1つであり、HR 担任が学生の日常生活や学習習慣の確立のための支援を行う上での指標の一つになり得るだろう。

2. 『フォーサイトふり返し力向上手帳』による学習習慣確立への支援

主体的学習者には自己管理が不可欠である。「計画性」「実行力」、PDCA サイクルでの自己管理は高専の1年生で全てを獲得することは不可能であるが、その基礎を形作することは可能だろう。本校1年生ではStephen R. Coveyの*The 7 Habits of Highly Effective People*に基づいた『フォーサイトふり返し力向上手帳』を試験的に導入し、学生のALの基礎力の向上を図っている。平成27年8月の「教育課程企画特別部会」で指摘されたように、ALにおいて不可欠な「主体的な学び」にはキャリアとの関連付け、計画的な取組、自らの学習活動を振り返って次へとつなげることが重要であることから、7つの習慣に基づき毎日の生活、学習、を中長期的にふり返し、PDS/PCDA サイクルをスパイラルアップすることを目的としているこの手帳の活用はALの基礎的スキルを伸長する上で有効であると考えた。1年生5クラスでは4月に配布、クラスで運用を開始し、6月18日（水）には手帳を開発した出版社から講師を呼んで使い方についてのガイダンスを行った。週1回ほど提出させ、担任が内容を見てコメントする。学生たちはTo Do リストとして使用したり、学習の記録、生活の記録、学級担任との意見交換や連絡などを書いている。また、テストへ向けた学習計画の立案や反省にも活用が可能だ。

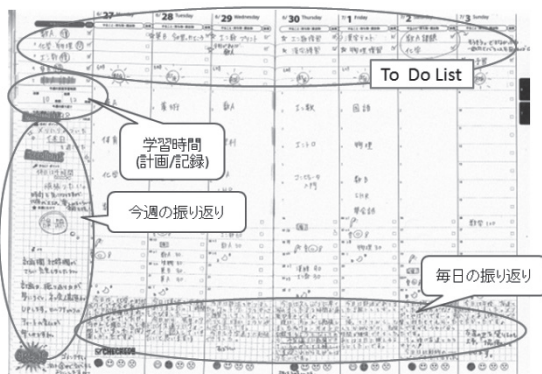


図5 『フォーサイトふり返し力向上手帳』
実践例1（週間、補足説明は筆者）

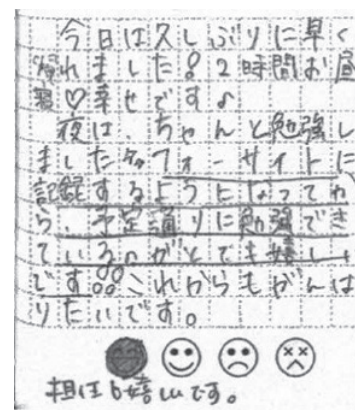


図6 『フォーサイトふり返し力向上手帳』
学生のコメント（図5の一部拡大）

図5は1週間の計画や実施状況、次週へ向けた改善について記入するページのある学生の実践例である。毎日の振り返りの欄の1日を拡大したものが図6であり、計画通りに学習が進むことで自主学习への動機づけが図られることの成果が表れている。また、学生によっては月間スケジュールのページを有効活用している者も見られる。こうした手帳の指導は、彼らが自らの日常生活をPDCA サイクルで振り返ることの意識づけに有効であることに加え、自らの担当学級の授業を担当しないHR 担任教員にとっては、学生との貴重なコミュニケーションの機会となっている。変化を感じ取ったり、質問やそれに対する回答などを書いたりすることもできる。加えて、6月に実施した前期中間試験では補助的なワークシートを用いて、テスト計画立案・反省をする活動を行ったが、将来的には1冊の手帳で各自がスケジュールを管理し、主体的な学習活動ができる力の育成を目指

上記のような学生の活動を円滑化するワークシートは様々な書籍で出版されている。「構成的グループエンカウンター (Structured Group Encounter/ SGE)」などの活動は教員が学生同士の活動を整理し促進させることができるため HR で利用は容易であり、グループ活動の型を参考に AL 型授業で使用できるものが多いが、筆者の経験から、それらの書籍のワークシートをそのまま使用することは難しい。特に一般的な高校を想定して作られたものでは、高専の学生に適した内容・文言への変換、教員の指示やサポートの仕方も異なってくる。それらをまとめ、高専生に適した活動に転換し、容易に活用できるコンテンツとして共有することが必要である。さらに、これらのワークシートは活発な議論を促せる一方、「社会人基礎力」における「発信力」や「働きかける力」の弱い学生は他の学生とかかわれずに孤立してしまう様子も学園祭に関する議論を扱った活動やグループ活動において実際に見られた。そのような学生を如何にサポートしていくかというのも今後の課題である。さらに、現在それぞれの能力の伸長のために注目しているのが認知機能の強化を目的とした「コグトレ(Neuro-Cognitive Enhancement Training: N-COGET)」である。「傾聴力」「状況把握力」「働きかけ力」が低く、チームワークに関するトレーニングが必要な学生には有効だろうと考えており、いくつか活動を実践してみたが、今後のさらなる活用を考えている。

1 クラスに専門の異なる学生が混在する現在の学級は、月水金が学級での授業であり、火曜日の午後と木曜日1日が専門の授業となる。時間が細切れになるため人間関係の形成に時間がかかるという意見も学生から出ている。ゆえに、HR 活動において、これらコミュニケーションの機会を設け、対人関係能力の低い学生のための方策と並行し、不足する能力を伸長するための高専での AL の実践に基づいた、高専・本校独自の HR 活動のコースデザインが求められていると言える。

まとめと今後の展望

本研究は、4月から始まったばかりである。今後、4月に実施したクレペリン精神検査の結果を分析し、社会人基礎力テストや定期試験の結果、教員による学生観察の関係性や学生へのサポートの方法を検討していこうと考え、学生支援室との連携も視野に入れている。本校において1,2年生は一般科目の教員がHR担任をするため、それぞれの専門学科とのアドバイザーや各学科に1名は存在する学生支援室員と連携し、学生の卒業までの育成の中で、低学年時にどのような能力を伸ばすことが必要なのか協議することが必要であり、それこそがMASTの具体的な3つの方策として提示した、教員各自の独自の実践を結びつけ実践コミュニティを育成することである。『アクティブラーニング失敗事例ハンドブック』にも、AL実施における教員の問題として学習や活動の目的・意義・効果の説明が不足していたり活動が停滞しているときの支援が不足・不適だったりすることが挙げられている。これらの問題に対しても、教材の共有・情報交換・新任教員への支援・学級担任間の協働を実現することによって、教育の質の向上に寄与することは間違いない。

今後は、MASTとして現在実施している日々の学生観察と学生個人への支援、HR活動の充実に加え、教員の連携・協働体制を構築し、ALの基礎力の伸長を行う手法をある程度確立することで、AL型授業の実施に際して学生も教員も取り組みやすい環境を作ることで、授業や学習を効果的にし、深い学びを実現し、高専を取り巻くステークホルダーが求める、将来において社会的実践を可能とする主体的な学習者の育成に力を入れていきたい。

参考文献

- 1) 有馬弘智, 他:『高専手帳』, メディア総研 (2013)
- 2) —:「スケジュール手帳の活用および開発を通じた自己管理教育への取り組み」Journal of JACT, Vol.19, No.3, pp.57-62 (2014)
- 3) 市坪誠, 他:『授業力アップ アクティブ・ラーニング』, 実教出版 (2016)
- 4) 梅澤秀監:『ホームルーム活動ワークシート』, 学事出版 (2010)

- 5) ウェンガー, エティエンヌ. 他, 野村恭彦監修, 他:『コミュニティ・オブ・プラクティス』翔泳社(2002) (Wenger, Etienne., et al., *Cultivating Communities of Practice*. Boston: Harvard Business School Press, 2002.)
- 6) 経済産業省「社会人基礎力とは」 Retrieved July 14, 2016. <http://www.meti.go.jp/policy/kisoryoku/>
- 7) 小林昭文:『7つの習慣×アクティブラーニング』, 産業能率大学出版部 (2016)
- 8) 中部地域大学グループ・東海 A チーム:『アクティブラーニング失敗事例ハンドブック』, 一粒書房 (2014)
- 9) 『フォーサイトふり返り力向上手帳』, FCE エデュケーション(2016)
- 10) 溝上慎一:『アクティブラーニングと教授学習パラダイムの転換』, 東信堂 (2014)
- 11) 宮口幸治:『コグトレ みる・きく・想像するための認知機能強化トレーニング』, 三輪書店 (2015)
- 12) 文部科学省「教育課程企画特別部会 論点整理 (案)」 Retrieved September 28, 2016.
http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo3/053/sonota/1361117.htm
- 13) レイヴ, ジーン, エティエンヌ・ウェンガー, 佐伯胖訳:『状況に埋め込まれた学習 正統的周辺参加』産業図書(1993) (Lave, Jean. and Etienne Wenger, *Situated Learning Legitimate Peripheral Participation*. Cambridge: Cambridge University Press, 1991.)

【受理年月日 2016年 9月30日】

SMC材穴あけ時のバリ発生に関する研究

— 圧縮成形時の素材シート枚数の影響 —

田中 好一^{*1}, 伊澤 悟^{*2}, 堀 三計^{*3}

Study on Burr Generated in Drilling of SMC Composites

— Effect of Number of Material Sheets in Compression Molding —

Koichi TANAKA, Satoru IZAWA and Sankei HORI

This paper considered about the burr that occurs with drilling of SMC products. SMC products are produced by compressing a material sheet using metal molds (heat it to 145°C). In the material sheet, the glass fiber (about 25 mm in length) and the unsaturated polyester that contained the filler material and the curing starting material (thermosetting type) were put between the polyester films. However, burr generated when SMC product is drilled in the production process often becomes a problem. This paper paid attention between the amount of the burr generation and the number of piled SMC material sheet. The number of piled SMC sheet is one of the conditions in compression molding. As the result, the relation between the amount of the burr generation and the number of piled SMC material sheet was shown experimentally.

KEYWORDS : SMC composite, burr, drilling, cutting condition, visualization

1. はじめに

SMC 材を用いた製品とは、ポリエステルフィルム間に充填材、硬化開始剤（熱硬化型）等を含んだ不飽和ポリエステルとガラス繊維（長さ約 25.4mm）を付着させた素材シートを用い、上下一対の金型（約 145°C に加熱）で圧縮・成形されたものをいう。その後、SMC 製品は二次加工としてボルト締結用の穴あけ加工が行われるが、その

とき、ドリルが SMC 製品を貫通するときバリが発生し、品位を低下させることが多い。従って、SMC 製品のバリ発生の低減化は品質管理上重要である。この種のバリ発生については、ある程度解明されつつあるが、バリの発生に対する対策は現場サイドに任されている場合が多い。本研究では、圧縮成形時の条件の一部である SMC 素材シートの重ね枚数に着目し、バリの発生量を調べることで両者の関係を明らかにしたので紹介する。

*1 機械工学科 (Dept. of Mechanical Engineering), E-mail: ktanaka@oyama-ct.ac.jp

*2 機械工学科 (Dept. of Mechanical Engineering)

*3 筑波大学 (University of Tsukuba)

2. SMC 製品とバリについて

2. 1 SMC 素材について

SMC 材の素材シートは、図 1 に示すように PE フィルム間に不飽和ポリエステル樹脂と 1 インチに切断されたガラス繊維をランダムに分散させ、ロール状に巻かれたものである。一般的に、このシート（厚さ約 2.7mm）を任意の形状に切断し、上下金型内に数枚設置して加熱しながら成形する。そのとき SMC 材の流動は、成形品の形状により異なり、複雑な挙動を示し、この流動状態で成形品の良し悪しが左右される。図 2 は成形品の一例として屋外用の水槽（パネルタンク）を示した。また、表 1 には SMC 素材の組成の一例を示した。

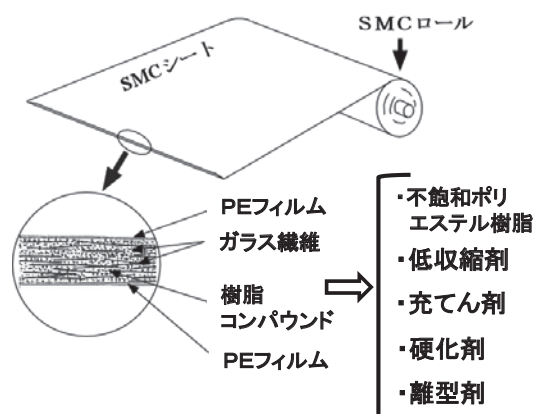


図 1 SMC 素材シートについて

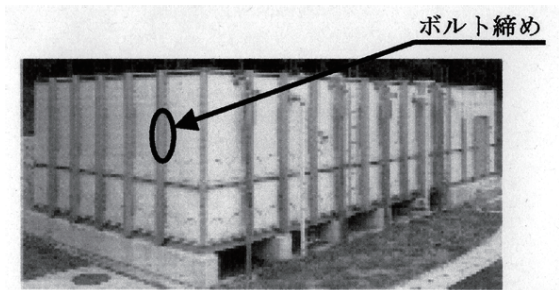


図 2 SMC 材を用いた製品例（貯水槽）

表 1 SMC 素材の組成

Item	wt (%)
1" Glass Fibers	28.0
Calcium Carbonate Filler	43.5
Resin	24.9
Low shrink Additive	1.2
Others	2.4

2. 2 SMC 製品とバリの発生原因について

SMC 材に限らず、複合材料の穴あけ時のバリ発生について考える。まず、ドリルで SMC 材を穴あけすると、穴の貫通側にガラス繊維などのバリが発生する場合と無い場合がある。このときバリ発生の有無は、図 3 に示すようにドリルで穴あけ時の切削条件が適切でない場合や SMC 材の成形条件がバリ発生に何らかの影響を及ぼし、その結果として発生する。また、ドリル刃先の摩耗が進行することにより切れ味が低下し、バリが発生する場合がある。

本研究者らは、以前の研究でドリルの切削条件とバリの発生状況や切削力、そして切削回数とバリ発生の関係について検討し報告^{1)~5)}してきた。

今回の報告では、SMC 素材を金型で圧縮成形するときの 1 つの条件である素材の重ね枚数に限定し、ガラス繊維の流動とバリの発生量を関連させ考察した。

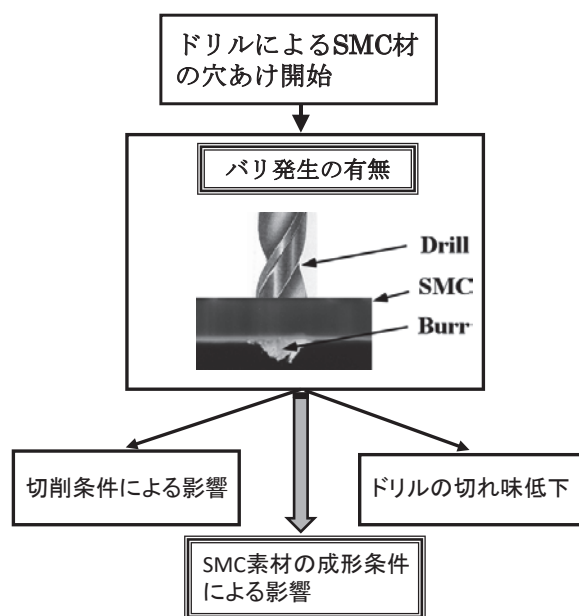


図 3 バリの発生原因について

3. 実験方法について

3. 1 SMC テストピースの成形条件について

一般的に、SMC 素材を金型内に設置する場合、製品の形状により圧縮時の SMC 素材の流動が異

なるため、流動が多い箇所には重ね枚数を多くするなどの工夫が必要となる。そこで、今回の SMC のテストピースを製作するにあたり、SMC テストピースの出来上がり寸法を固定し、重ね枚数を変化させ成形した。図 4 は、そのときの様子を表したもので、SMC 素材を金型内に設置し、加熱しながら $210 \times 210 \text{ mm}$ 、厚さ 7 mm のテストピースを成形した。なお、そのときの条件である SMC 素材の大きさと重ね枚数を表 2 に示した。

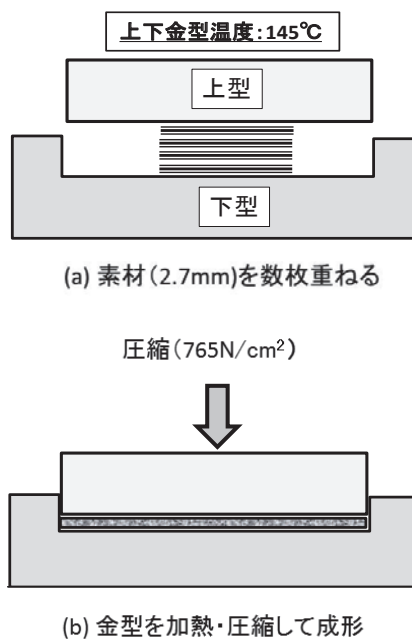


図 4 SMC テストピースの製作方法

表 2 SMC 素材の重ね枚数と大きさ

Size of SMC sheet(mm)	Number of sheet
190×190	4
155×155	6
135×135	8
120×120	10
110×110	12

3. 2 穴あけ方法およびバリ発生の定量化

穴あけの実験は、 $210 \times 210 \text{ mm}$ のテストピースを、NC 縦フライス盤のテーブル上に固定して、 $\phi 12 \text{ mm}$ の超硬ドリルで合計 48 個の穴あけを行った。その後、貫通側に発生したバリを全て除去し、その質量からバリ発生量の大小を定量化した。また、バリを除去すると貫通側にガラス繊維

の剥がれ（クラックと定義）が生じ、表面に傷を付けることになる。そこで、各 SMC 素材の重ね枚数ごとにバリを除去し、除去側の表面に発生するクラックを探傷塗料（赤）で可視化した。

3. 3 金型成形時の SMC シート表面における流動状態の可視化

バリの発生には、SMC シートを金型内で圧縮成形するとき、その流動状態と何らかの関係があるものと考えられる。そこで、金型表面に接するシートに青色、SMC 内側 2 枚目に赤色マジックでピッチ 15 mm の基盤の目を描き、成形時における SMC シートの表面と厚さ方向の流動状態を可視化することにした。

4. 実験結果および考察

図 5 は、SMC シートの重ね枚数 4 枚におけるバリ発生状況を示したものである。バリの発生を目視観察すると、シートの重ね枚数が多くなるとバリの無い穴が存在し、バリの発生量が全体的に少なくなることが外観上から判断できた。また、SMC 材の貫通側のバリは、ガラス繊維が主成分で強固な付着を有し、除去時に貫通側壁面を傷（本文ではクラックと定義する）つける場合のものと、触れる程度で簡単に取れるもの（樹脂が主成分と思われる）とがあり、シートの重ね枚数が少ない成形では前者のバリが多いようであった。

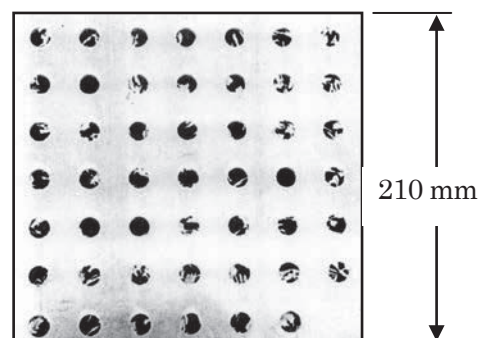


図 5 バリの発生状況（重ね枚数 4 枚）

図 6 は、シートの重ね枚数に対するバリ発生量の関係を示したものである。今回の実験では、SMC テストピースに 48 個の穴をあけ、各々の重ね枚数に対し 3 枚 (48×3) のバリを除去し、その質量を電子天秤で測定した。同図から分かるように、多少のバラツキがみられるものの、シー

トの重ね枚数が多くなるにしたがって、バリの発生が低下することが分かる。

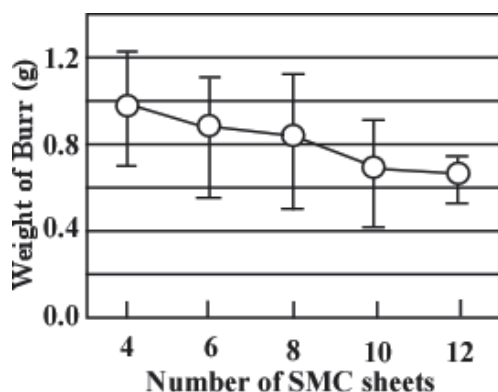


図6 SMC素材の重ね枚数とバリの重さ

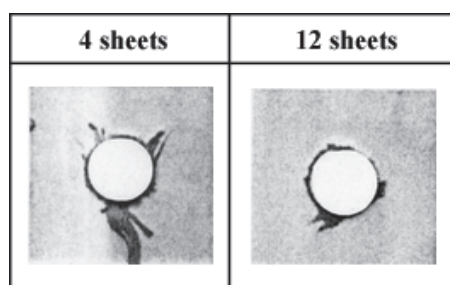


図7 バリ除去後の SMC 表面のクラック

図7は、素材の重ね枚数を変え成形した SMC テストピースで穴あけ後バリを除去し、SMC 表面に探傷塗料を塗布し、クラックの状態を示した例である。同図から分かるように、バリの発生量が多いことは、ガラス繊維が SMC 材内部にも入り込んでいるため、その除去に大きな力が必要となり、バリ除去後表面を傷付ける（クラックを付ける）ことになる。

次に、図8は金型表面に接するシートの流動状態を可視化した一例である。SMC シートの1枚目には15mm間隔で青色の基盤の目を描き、2枚目の表面に赤色マジックで描いて成形した。同図から分かることは、SMC 材の重ね枚数の違いにより、金型表面の流動に差が生じ、流動が大きいと青の基盤の目は原形を留めないようである。

また、成形された SMC 材表面に赤のマジックが見えることは、素材シートの流動が表面の広がりだけではなく、厚さ方向にも作用したことになる。今回の実験では、素材シートを約10枚の重ねると、赤色の基盤の目が SMC の表面で観察できていた。

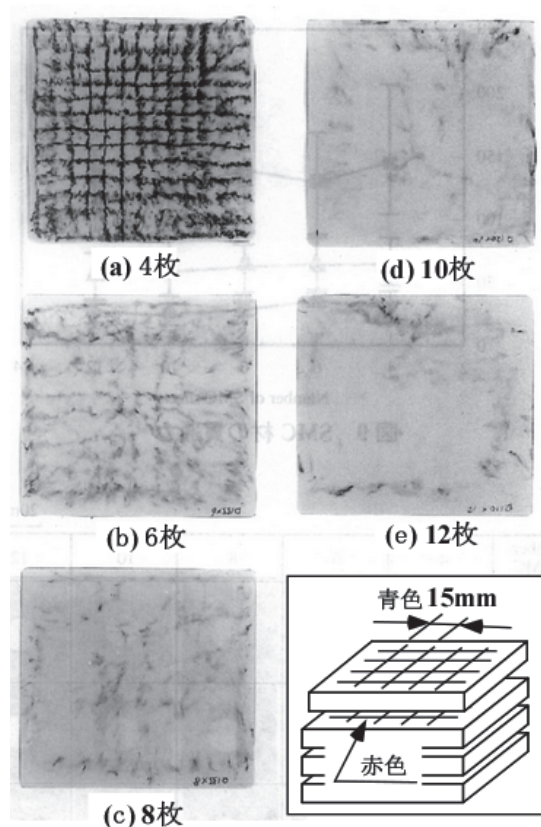


図8 SMC素材の金型成形時の流動可視化

ここで、シートの重ね枚数の増加に伴うバリ発生量の低下について考察する。SMC シートは、ガラス繊維を樹脂で挟んだサンドイッチ構造となっている。従って、重ね枚数の多い圧縮成形では SMC シートの移動量が多く、また、シート内部から金型表面へ押し出される作用も働くため、ガラス繊維が攪拌・分散され、SMC 表面層にはガラス繊維が少なくなったため、バリの発生に何らかの影響が現れたものと推定できる。

5. おわりに

本研究は、SMC 製品の成形条件である素材シートの重ね枚数を変化させ、ドリルで穴あけしたときのバリ発生量との関係を調べ、SMC 材内部のガラス繊維の分散状態との関係を調べた。

その結果、金型成形時の SMC 素材シートの重ね枚数が多くなると、材料の厚さ方向の流動が大きく攪拌が促進され、表面近傍のガラス繊維が少なくなるためバリの発生量も少なく、バリを除去するときに発生するドリル穴周囲のクラックも少なくなることが分かった。

今回の報告は、複合材料の一部である SMC 材を検討したが、バリ発生のメカニズムは、図 3 で示したように複雑に絡み合う。従って、複合材料の更なるバリの低減化に対しては、多方面からの検討が必要である。

謝辞

本研究では、SMC 素材のテストピース成形において (株) ハウステックの協力のもと行われた。これに対し、心より感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 田中好一, 伊澤 悟, 要 光男, 平川昌也 : SMC 材の穴あけに関する研究 (その 2) 小山高専研究紀要, Vol. 27, pp. 49-55 (1995)
- 2) 伊澤悟, 田中好一, 要 光男, 平川昌也 : SMC 材の穴あけに関する研究 (加工条件とバリ発生についての検討), 40th FRP CON-EX' 97 講演要旨集, pp. 31-33 (1997)
- 3) 田中好一, 伊澤 悟, 要 光男, 平川昌也 : バリ発生に及ぼす成形条件の影響, 成形加工, June, 6, 7, pp. 227-228 (2000)
- 4) 鈴木雄吾, 田中好一, 伊澤 悟, 要 光男, 平川昌也 : SMC 材の穴あけに関する研究 (その 2), 成形加工, June, 6-7, pp. 207-208 (2002)
- 5) 田中好一, 伊澤 悟, 平川昌也 : SMC 材の穴あけに関する研究, プラスチック成形加工学会 seikei-kakou, Vol.17 No.5 (2005)

【受理年月日 2016 年 9 月 29 日】

AE センサーを利用した機械材料のヤング率評価

伊澤 悟^{*1}

Evaluation of Young's Modulus in Mechanical Material using an AE-Sensor

Satoru IZAWA

The bending test is a method for measuring Young's modulus for a mechanical material. However, disadvantages of the bending test are that it is a major undertaking requiring an elaborate test device, and that it requires complicated calculations to determine Young's modulus. In this study, we use the AE-sensors used in the AE measurement, measures the speed of the longitudinal elastic stress wave to calculate the Young's modulus. Using an AE-sensor allows simple measurements of Young's modulus in any location. Since the size of specimens and the type of material they are composed of need not be specified, this method is suitable for field measurements. However, it is difficult to eliminate subtle sources of error that affect elastic waves in specimens, such as the sensor weight.

KEYWORDS : Young's Modulus, AE-Sensor Young's Modulus, Mechanical Material

1. 緒論

機械材料のヤング率の測定方法の例として曲げ試験がある。曲げ試験は、板状試験片に荷重を加え、はりのたわみからひずみゲージを用いてヤング率を求める方法である。しかし、曲げ試験を行うには実験装置などが大掛かりになることや、ヤング率を求めるまでの計算が複雑になるなどのデメリットがある。

本研究では、AE (Acoustic Emission) 法に用いられる AE センサーを使い、超音波パルス法と同じように試験片内部を伝播する弾性波の伝播速度を計測し、試験片のサイズの影響を受けない簡便なヤング率の測定方法について、実験力学的に検討を行った¹⁾。

2. 曲げ試験

曲げ試験によるヤング率の測定は、曲げ試験機による三点曲げ試験が主に用いられる。試験片は長い板状の試験片を用いる。試験片中央にひずみゲージを接着し中央に荷重をかけることによる試験片のたわみを計測する^{2), 3)}。

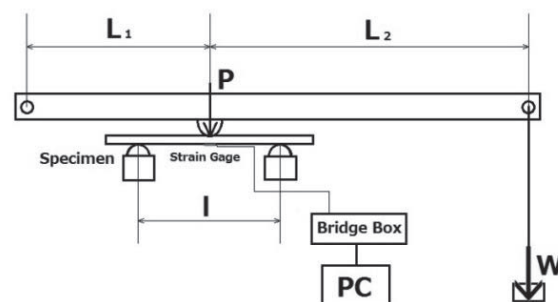


Fig.1 Schematic of Bend test.

*1 機械工学科(Dept. of Mechanical Engineering), E-mail: izawa@oyama-ct.ac.jp

簡易材料試験装置の概略図を Fig.1 に示す。L₁、L₂、荷重 W は、荷重 P を算出する際に用いる値であり、L₁、L₂ のレバー比から試験片に加わる荷重 P は次のようになる。

$$P = \frac{L_1 + L_2}{L_1} W$$

そして、三点曲げ試験のヤング率の式は次のようになる。

$$E = \frac{3Pl}{2bh^2}$$

E はヤング率[Pa]、P は荷重[N]、l は支点間距離[m]、b は板幅[m]、h は板厚[m]、ε はひずみ値である。

Fig.1 から分かるように、曲げ試験によるヤング率測定は大掛かりなものになる。

3. 調査結果

3. 1 AE センサーについて

AE とは、材料が変形あるいはき裂が発生する際に、材料に蓄えられていたひずみエネルギーを弾性波として放出する現象のことを呼び、AE センサーによって弾性波を検出し、評価する手法を AE 法と呼ぶ。

AE センサーは、弾性波が AE センサー内部の圧電素子に伝わり、電気信号に変換される圧電効果を利用している。原理自体は加速度センサーとほぼ同じで、決定的な違いは、圧電素子の上のおもりが無いことである。

3. 2 ヤング率の測定方法

細い棒中を伝播する弾性波の速度 C[m/s] は、

$$C^2 = \frac{E}{\rho}$$

で表される。

ここで、E はヤング率[Pa]、ρ は密度[kg/m³]である。密度は容易に測定できる物理量であるので、弾性波の速度が分かればヤング率を算出することができる。

本研究では試験片の大きさをノギス等で測定し体積を算出、質量を電子はかりで測定し、体積と

質量から密度を算出した。

3. 3 弾性波の発生方法

ヤング率を求めるためには弾性波の速度が必要である。ハンマーなどを使って試験片に弾性波発生させる方法などがあるが、人の手でハンマーを叩く強さを一定に保つのは難しい。

3. 4 弾性波の検出方法

固体内の弾性波を検出するセンサーとしては半導体ひずみゲージが最適である。半導体ひずみゲージはゲージファクターが 100 以上あるため、ブリッジ回路からの出力が大きく、アンプが必要とせず、出力を直接デジタルメモリーに取り込むことができるからである。しかし、半導体ひずみゲージは非常に繊細なセンサーであり、価格が高く、試験片に接着剤などで接着して使用するため、再利用ができないなどの問題がある。

これらの欠点を解消するために、AE センサーを半導体ひずみゲージの代わりに使い、弾性波を検出する。

AE センサーと試験片の接着はグリースをセンサーに塗布し試験片の中央に接着した。

鋼球により発生した弾性波を AE センサーにより検出し、アンプにより増幅されオシロスコープへと取り込まれる。取り込まれた弾性波の波形は USB メモリーに保存し、PC で解析した。

AE センサーによる弾性波の測定概念図を Fig.2 に示す。

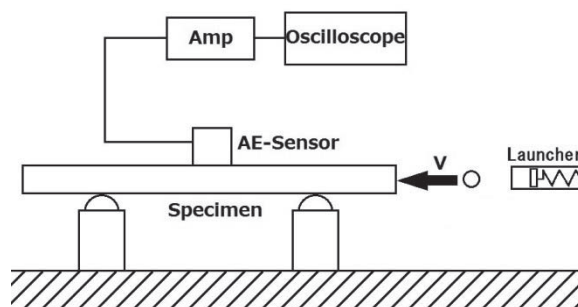


Fig.2 Schematic diagram of apparatus used in AE-Sensor method.

使用した AE センサーの仕様を Table1 に示す。

Table1 Specification table of the AE sensor.

Sensor name	Size (mm)	Resonant frequency	Measurement range
AE-901S	φ12×40	140kHz	500kHz
R6S	φ19×22	55kHz	100kHz

4. 実験結果

4. 1 弾性波の速度算出

試験片の断面形状と測定した密度を Table2 に示す。

Table2 Specification table of the specimen.

Material	Cross-sectional shape(mm)	Density (kg/m ³)
Steel	6×32	7861
Acrylic	10×10	1184
Al	5×25	2686
TPC	φ80	8912
Free-cutting brass	φ80	8450
Naval brass	φ80	8393
Nickel silver	φ60	8761

AE センサーにより検出した弾性波の波形の例を Fig.3 に示す。試験片はアルミニウムで長さは 50mm である。この図のピーク間の時間は弾性波が試験片を一往復した時間 $t[s]$ であり、試験片の長さを $L[m]$ とし、往復の回数（ピークの数）を $n[回]$ とすると、弾性波の速度 $C[m/s]$ は、

$$C = \frac{2nL}{t}$$

となる。この式を Fig.3 に当てはめると、回数 n が 36 回、時間 t が 728 μs 、試験片長さ 49.3mm なので弾性波の速度 C は 4877m/s となり、ヤング率 E は 64.2GPa となる。

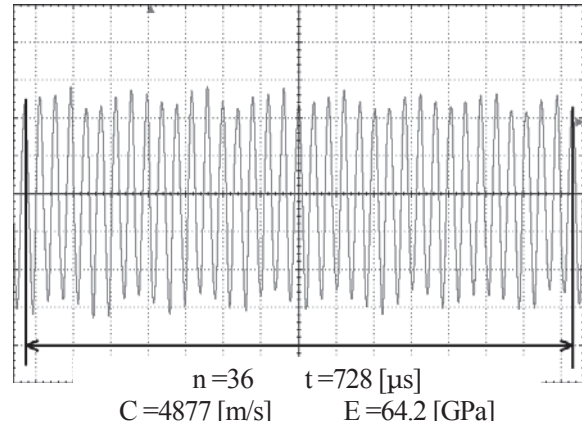


Fig.3 Example of the elastic stress wave detected in AE-Sensor.

4. 2 AE センサーによるヤング率測定結果

AE センサーにより得られた実験結果を Table3 に示す。標準偏差のデータ数は 10 データである。

2 種類のセンサーを使用した実験結果に大きな違いはなかった。R6S の大きさでは一部の試験片に取り付けが難しいため直径が小さい AE-901S を主に使用した。

丸棒の試験片については、AE センサーを鋼球を当てる反対側の端面に接着し測定した。

また、本実験での検出周波数はアクリルで約 10kHz、アルミニウムで約 10 から 50kHz、鋼、タフピッチ銅、快削黄銅、ネーバル黄銅、洋白は約 6kHz である。この検出周波数は試験片の長さによって変動する。

鋼の下段の数値は曲げ試験によって得られた結果である。

実験結果からおおよそ理論値に近い値を示した。しかし、材質によって、理論値に対する実験値の値が大きくなったり小さくなったりしている。同じ材質の場合、長さや質量の影響により誤差が出たと考えられる。

タフピッチ銅と洋白が大きい値になったのは、センサーを端面に接着したことと、試験片が大きく重いことによるセンサーの質量による影響が小さいためと考えられる。

アルミニウムとアクリルの波形例を Fig.4 に示す。どちらも試験片長さは 50mm で、横軸の一マスの大きさは 10ms である。アクリルなどのプラスチックは Fig.4 のように減衰がアルミニウムなどの金属と比べ早く、周波数も小さいため、弾性

波を検出しても、アルミニウムなどと比べ波数が多く取れず正確な測定がしづらく、バラツキが大きくなったものと考えられる。

Table3 Experimental results by AE-Sensor.

Material	Length of specimen (mm)	E (GPa)	Standard deviation (GPa)
Steel	400.1	204.2	4.27(2.09%)
		210.8	Bending test
Acrylic	100.20	3.21	0.128(3.97%)
	79.38	2.99	0.563(18.9%)
Al	149.56	66.3	0.154(0.232%)
	100.75	65.8	0.311(0.472%)
	49.30	64.2	0.190(0.296%)
TPC	302.0	120.6	0.219(0.182%)
Free-cutting brass	301.4	91.5	0.235(0.257%)
Naval brass	301.1	100.8	0.263(0.260%)
Nickel silver	301.2	136.0	0.991(0.729%)

5. 結論

- (1) AE センサーを利用することで簡便にヤング率を計測することが可能で、場所を選ばないでヤング率を計測することが出来る。
- (2) 試験片のサイズや材料の種類が特定されないために現場向きの計測方法といえるが、センサーの質量の影響など、細かい部分で試験体の弾性波への誤差要因を取り除くことは難しい。

参考文献

- 1) 伊澤 悟, 橋本 彰三, AE センサーの利用によるセラミックスのヤング率測定, 日本機械学会関東支部ブロック合同講演会講演論文集 2000, (2000), 223-224
- 2) 河本 実: 材料試験, 朝倉書店, 43-47
- 3) 高橋 賞, 河井正安: ひずみゲージによるひずみ測定入門, 大成社, 41-54

【受理年月日 2016年 9月29日】

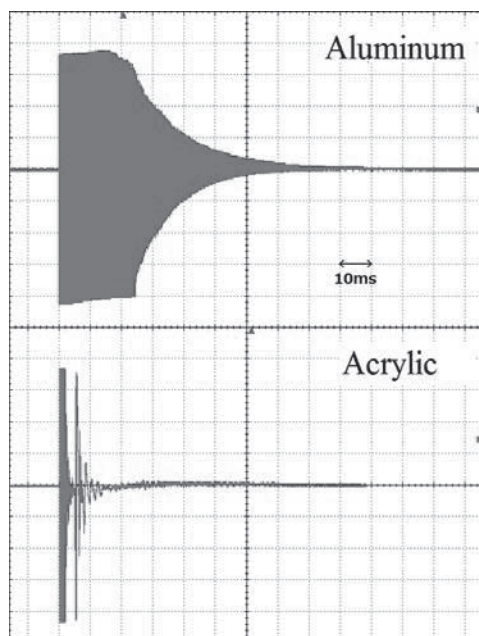


Fig.4 Waveform examples of the Aluminum and Acrylic

地面効果を利用する模型飛行機に関する研究

— 主翼の反りの影響 —

増 淵 寿^{*1}

Study on the Model Aircraft using Ground Effect — Effect of Camber of Airfoil on the Flight Characteristics —

Hisashi MASUBUCHI

To develop high-performance ground effect wing gliders, we focused on the effect of camber of airfoil and made two model airplanes. One has cambered airfoil and the other has flat-plate airfoil, and their flying distances were compared when they were launched horizontally on the floor at a same initial velocity. The experimental result showed that the flat-plate airplane could travel twice longer distance than cambered one until they stopped completely. Dynamic analysis of sliding airfoil on the floor suggests that cambered airplane can generate effective lift only within a narrow range of velocity, since its center of pressure moves widely with the attack angle. In contrast, symmetrical airfoil has fixed center of pressure. Therefore unless the plane velocity becomes lower than a certain value, the flat-plate airplane can generate and maintain the lift which holds most of the weight and reduces friction with the floor. It follows from these arguments that symmetrical airfoil is suited to this type of gliders.

KEYWORDS : Airplane, Ground Effect, Fluid Dynamics, Camber of airfoil

1. はじめに

翼の地面効果を利用した滑空機の模型実験を行っている。その目的は、① 工学教材¹⁾として独創性のある模型機を開発すること、② 動力を付加しドローンのように実用的な模型飛行機を開発すること、③ エアロトレイン²⁾や地面効果翼艇³⁾など人が乗れる地面効果翼機の開発の一助となることの3点である。

これまで、久保ら⁴⁾が Web 上に公開していた型紙を参考に、主翼が反りを有する機体を作製して実験を行ってきたが、もっと簡単な反りのない対称翼(平板翼)を使った科学教室⁵⁾において、我々の機体⁶⁾よりも何倍も長い飛距離を達成したとの報告があった。このタイプの模型機の飛距離は、射出速度、滑走する床面の材質、機体の大きさ等で大きく変化するため、単純な比較には意味がないが、飛距離の差がかなり大きいため、これ

が事実であるならば飛躍的な性能向上が期待できる。そこで本報では、反りの有無によって飛距離に有意な差が発生することを実験で検証し、差が生じた場合には、その理由を簡単な力学モデルを使って説明することを試みる。

なお、飛距離が大きいことは、自らが有する初速度(運動エネルギー)を、翼の地面効果を發揮して有効に活用する機体になるから、工学的に優れた飛行体の一種といえることができる。

2. おもな記号

U : 飛行速度(機体へ向かう一様流の相対速度)
 α : 翼の迎角 ($\alpha = \beta + \theta$)
 β : ピッチ角(機体底辺と一様流とがなす角)
 θ : 翼の取り付け角(翼弦と底辺とがなす角)
 ξ : 前縁を原点として翼弦に沿って定めた座標軸
 η : ξ 軸に直交する座標軸

^{*1} 機械工学科 (Dept. of Mechanical Engineering), E-mail: masubuti@oyama-ct.ac.jp

h : 後縁 (機体の後端) の地面からの高さ
 ξ_{CP} : 風圧中心の位置 (揚力作用点の ξ 座標)
 ξ_G : 機体重心 (重力作用点の ξ 座標)

ここで, $\xi-\eta$ 座標は機体に固定された座標系であり, 実際の長さを翼弦長 C で無次元化した数値で表わす.

3. 飛行実験のための装置と方法

3. 1 実験機

実験に使用する模型機を図 1 に, 機体の主な仕様を表 1 に示す. これまで⁶⁾は, 機体の材料にケント紙を使用していたが, 今回は, 軽量かつ強度と耐久性が高いスチレンペーパーに変更した. 比較のために, 厚さ 2.0mm の平板をそのまま主翼とした機体と, 前報⁷⁾と相似形の翼型を有し, 主翼に反りがある機体の 2 種類を製作した. これ以降, 平板の機体を「平板翼機」, 反りのある機体を「キャンバー翼機」と呼ぶ. 両機において, 翼面積 (翼幅, 翼弦長), 機体重量, 取り付け角, 完全接地時の前縁・後縁の高さが可能な限り同一になるように設計した. ただし, 飛距離が最大となる最適な重心の位置は, 反りの有無によって大きく異なる. そこで, 予備実験を行って, 飛距離ができる限り大きくなるよう機体毎に重心位置の調整を行う. その結果, 平板翼機では 15 g のおもりを付加し, 重心は $\xi_G \div 0.30$ (前縁から翼弦長の 30%) の位置になった. 一方, キャンバー翼機のおもりは 14g で, 重心は $\xi_G \div 0.49$ となっている.

表 1 実験機の主な仕様

主翼 形状	翼弦長 C	翼幅 B	質量 m	取り付け角 θ
平板翼	257mm	180mm	26.5g	1.5°
キャン バー翼	258mm	179mm	26.8g	2.7°

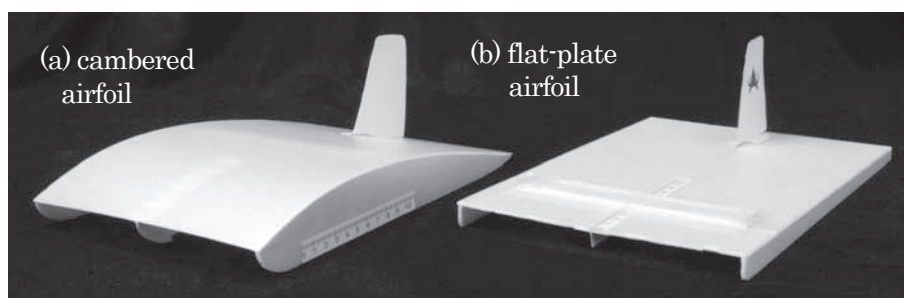


図 1 実験機 (a)キャンバー翼機, (b)平板翼機

3. 2 実験方法 (飛行状態と速度の観測法)

実験では, 自作したゴムカタパルト⁸⁾で図 1 の機体を, ほぼ床面と同じ高さから水平に射出し, 完全に静止するまでの距離を飛距離として計測する. また, 飛行途中の機体の状態 (地面からの距離と機体姿勢) を観察し, あわせて飛行速度の測定を試みた. 実験は小山高専の機械工学科棟廊下で実施した.

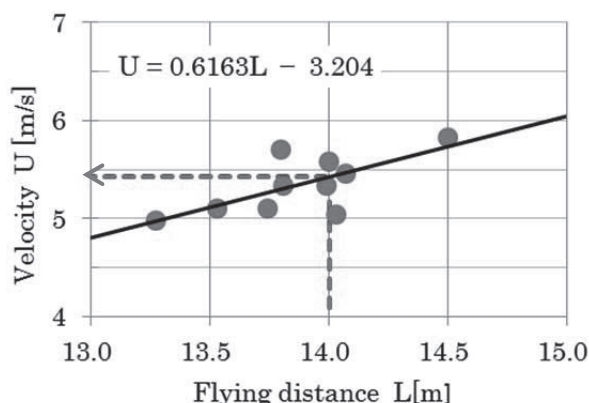
3. 2. 1 飛行状態の観察

カメラを床面上に設置し, 射出された機体を側方から撮影して, 飛行中の機体の姿勢と高度を観測する. 使用するデジタルカメラは CASIO 社製 EX-100PRO で, 高速動画撮影 (最大 1000fps, 画像サイズ 224×64pixels) と静止画の高速連続撮影 (60pfs, 画像サイズ 3840×2160pixels) が可能な, 高速現象の観察に特化した機種である. 今回の実験では, 画像の解像度を優先して静止画の高速撮影機能を主に利用した.

3. 2. 2 飛行速度

機体速度の計測には, 前出のデジカメによる撮影画像から算出する方法をとった. その手法は前報⁷⁾の高速カメラを用いた方法と同一のため, 詳細は省略する.

実験では, 射出地点よりおよそ 2.0m 毎の位置にデジカメを設置し, 飛行する機体を繰り返し撮影して飛行速度を測定した. ところが, 飛距離と速度の値には散らばりがあるため, 1ヶ所の観測点に対して 10 回の計測を行って, 図 2 のようなグラフに整理し, 速度 U と飛距離 L の関係を表す近似直線を求めた. 次に, この近似直線から飛距離が 14m のときの速度を算出し, この観測点における機体速度 U と定める.


 図2 飛行速度計測結果 ($x=4.0\text{m}$)

4. 飛行実験の結果

二種類の機体を使った飛行実験のうち、キャンバー翼機の結果については前報⁷⁾で報告済みであるから、ここでは主として平板翼機の結果について記述する。

4. 1 飛行距離

カタパルトから、初速度 $U_0 \approx 6.0\text{m/s}$ で射出された実験機の飛距離は、実験毎に多少の違いが生じるため、繰り返し測定を行って算術平均を求めた結果、平板翼機で約 14m 、キャンバー翼機で約 7m となった。このように、平板翼機の方が2倍も飛距離が大きいから、これは有意な差であって、主翼の反りはない方がこの形式の機体には適していると判断できる。

4. 2 飛行状態

図3(a)と(b)は、それぞれ射出点から 3m および

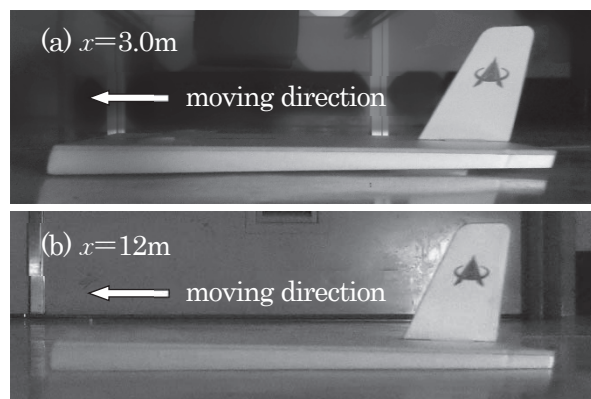


図3 滑走中の機体の状態

12m の地点における飛行中の機体を撮影したものである。まず、図3(a)では、主翼の平板はほぼ水平に近い角度をなし、側面板の後端は地面から離れて浮いている。一方、前端は接地しているように思われる。撮影された画像の中には、前・後端の両方が離陸しているものが存在しているが、この場合でも機体底辺と床面との間隔は極めて微小である。また、その前後を記録した画像では前端が接地しているものが多く、総合的に判断すると、床面のわずかな凹凸が影響して滑走中の機体が跳ね、一時的に離陸した瞬間を捉えた可能性が高い。さらに、射出点から 3m 以降の場所における機体の姿勢についても、しばらくの間は図3(a)と大きな違いはみられない。したがって、速度 U が大きいあいだは、前方の一点が接地し、ここを支点として機体後方をわずかにもち上げて滑走する姿勢が、準定常の状態であると考えられる。

次に、図3(a)に比べ速度 U がかなり低下したと予想される図3(b)では、機体の後方が落ちて機体の底辺全体（前端～後端まで）が床面に接触した状態で滑走している。

このような平板翼機の姿勢と滑走の状態は、前報⁷⁾で観察したキャンバー翼機と定性的には同一である。ただし、両者の姿勢と比較すると、平板翼機では、①翼後縁が前縁よりも高くなる、すなわち迎角 α が負となる状態は見られず、②観測地点、あるいは速度 U による機体姿勢 α の変化が極めて小さい、という点がキャンバー翼機とは異なっていた。

4. 3 飛行速度

図4は機体速度の測定結果で、平板翼機が射出点から離れるにしたがって、どのように減速していくかを表している。床面に接触しながら滑走する実験機には、減速要因となる外力として、床面からの摩擦抵抗（動摩擦力） F_f と空気抵抗（抗力） F_d が作用すると考えられる。そこで、一定の大きさの F_f だけが作用するときの速度変化と、機体速度 U の2乗に比例する F_d だけが作用するときの様子もそれぞれ図中に記入した。どちらの場合も、初速度は測定値と同一の 6m/s で、飛距離が約 14m になると仮定してパラメータ（動摩擦係数 μ や抗力係数 C_d ）を定め、質点の運動方程式を計算した結果である。図4を見ると、実験機の実線は、摩擦抵抗を仮定した実線に近く、床面からの動摩擦力が減速の主要因と推定される。

実験機は速度変化が、単純な摩擦・空気抵抗による減速と完全に一致しない要因としては、次の2つが挙げられる。① 機体に揚力が作用すれば、垂直抗力 N は機体重量よりも小さくなり、摩擦抵抗 $F_f (= \mu N)$ は一定でなくなる。② 滑走中に機体姿勢 α の変化があれば、これに伴って抗力係数が変わるため、抗力 $F_d (= C_d \times 1/2 \rho U^2 S)$ も U^2 だけに比例する単純変化ではなくなる。これらの空力的な要因が、機体の速度低下にどう影響しているかについては今後の研究課題としたい。

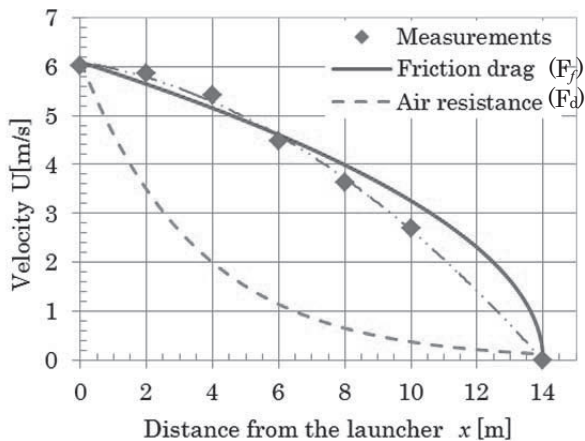


図4 実験機は速度変化

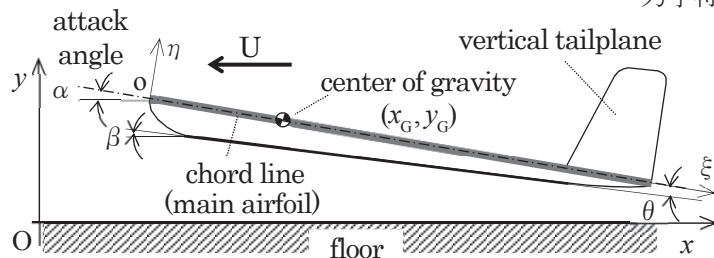


図5 座標系と角度の定義

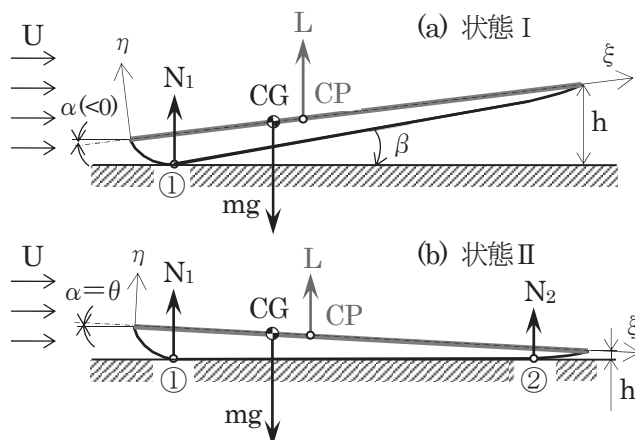


図6 観察結果に基づいた平板翼機の滑走モデル
(CG : Center of Gravity, CP : Center of Pressure)

5. 滑走状態の解析

前章の実験結果より、平板翼の優位性が明らかとなったが、その理由については未解明のままである。そこで原因解明のために、簡単な力学モデルを使い、これを解いて滑走時の機体に作用している力を推定する。キャンバー翼機の解析結果は報告済みであるから、ここでも主に平板翼機について説明する。

5.1 解析方法と滑走モデル

解析に使用する力学モデルは岸ら⁸⁾が作成したのと同じのもので、幅方向の運動を無視した二次元モデルである。一般的な剛体の平面運動は、重心の並進移動と重心まわりの回転運動とで表すことができるから、図5において x_G, y_G, α の3自由度の運動方程式を解けばよい。さらに、滑空機の運動では外力として翼に作用する流体力(揚力・抗力)が重要となるが、その大きさと作用点は機体の姿勢と床面からの距離によって変化する。したがって、運動方程式を解いて機体運動を予測するためには、これらの関係を記述した主翼の定常力学特性も必要となる。

ここで、実験機は床面から完全に離陸することがなく運動するために、図6の二種の滑走状態(状態I: 機体底辺の前端の点①のみが接地, 状態II: 機体底辺全体が接地)を設定する。さらに観察実験から、重心の鉛直方向の移動量と機体姿勢の時間変化は小さく $\dot{y}_G, \dot{\alpha} \ll 1$ であるから、運動方程式は「 y 方向の力のつり合い式」と、「重心まわりの力のモーメントのつり合い式」で近似できる。一方、 x 方向には床面からの動摩擦と空気抵抗とが作用して加速度が発生するため、運動方程式を解く必要がある。今回はこの運動方程式は扱わず、機体速度 U をパラメータとして設定し、それぞれの U の値に対して「力とモーメントのつり合い式」を解き、機体姿勢 α と機体に作用する y 方向の外力(揚力 L と床面からの垂直抗力 N_1, N_2)を計算する方法を選択した。その計算法と渦法による流れのシミュレーションの詳細については、前報⁷⁾や大阿久の報告⁹⁾を参照されたい。

5.2 地面効果を受ける実験機の翼特性

はじめに、機体運動の解析に必要となる地面近くを飛行する主翼の特性を求める。具体的には、揚力係数 C_L と風圧中心 ξ_{CP} とが、迎角 α と地面との距離 h によってどう変化するか、すなわち

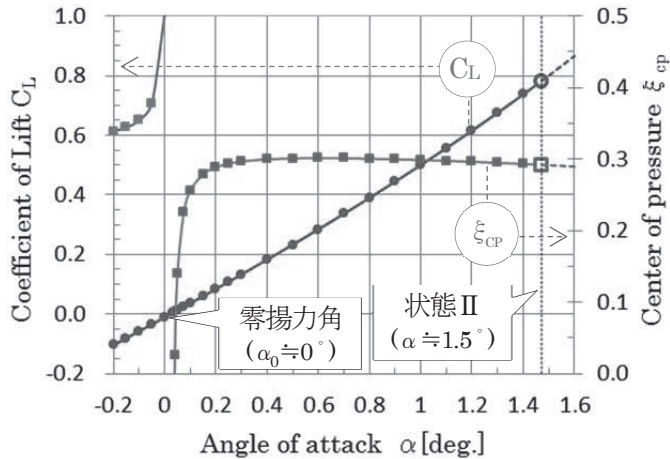


図7 平板翼の特性

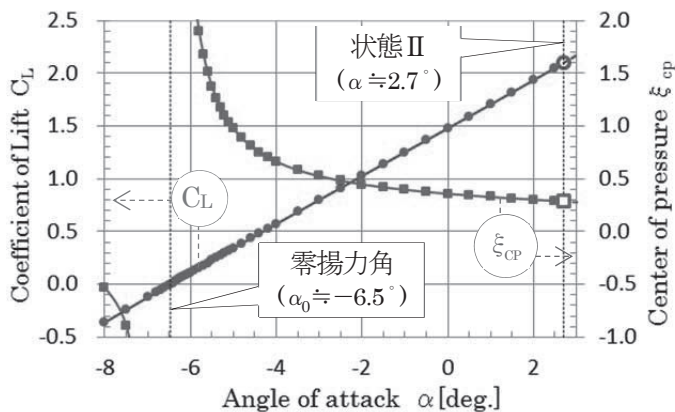


図8 キャンバー翼の特性

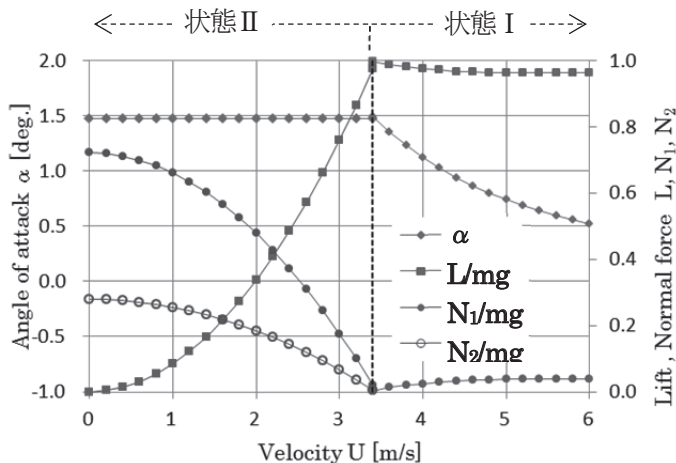


図9 平板翼機の迎角と作用する外力

$C_L(\alpha, h)$, $\xi_{CP}(\alpha, h)$ を式で表わせばよい。

ところが図6をみれば、離陸せずに滑走する実験機では翼の傾き α と後縁高さ h は独立ではないことがわかる。そこでパラメータを1つ減らし、 α を独立変数に選んで、翼周りの流れのシミュレーションを行う。平板翼機では、図6の①点が接地している状態Ⅰにおいて、迎角 α が増大して取り付け角である $\theta \approx 1.5^\circ$ に達すると、底辺全体が接地する状態Ⅱへと移行し、その後は①点が離陸しない限り α がこれを越えることはない。したがって、解析は $\alpha \leq 1.5^\circ$ の範囲で行う。こうして得られた翼特性を図7に示す。

揚力係数は迎角 $\alpha = 0^\circ$ のときに0で、迎角に比例して増加する。風圧中心は、迎角 $\alpha \geq 0.25^\circ$ では、迎角に影響を受けずほぼ同じ位置になっている。これらは、一般的な対称翼の特徴¹⁰と一致している。一方、地面がないときの平板翼の特性、すなわち揚力傾斜 $2\pi [\text{rad}^{-1}] = 0.11 \text{deg}^{-1}$ (ただし $\alpha \ll 1$ のとき)、風圧中心 $\xi_{CP} = 0.25$ と比較すると、地面効果のために、揚力傾斜は約4倍も大きく、風圧中心は $\xi_{CP} \approx 0.3$ とやや後縁側へと移動していることがわかる。

なお、 $\alpha \approx 0^\circ$ 付近では風圧中心の変化量が大きくなっている。これは、 ξ_{CP} を算出する次式

$$\xi_{CP} = M_0 / (L \cos \alpha - C) \dots \dots \dots (1)$$

(ただし、 M_0 : 前縁まわりのモーメント) において、分母の揚力 $L \approx 0$ が原因となって発生した計算誤差の可能性が高い。

次に、キャンバー翼機の主翼特性と比較する。前報⁷⁾にも掲載したシミュレーション結果の図8において、零揚力角は $\alpha_0 \approx -6.5^\circ$ と負の値で、風圧中心 ξ_{CP} は迎角によって大きく移動しているが、これらは反りがある翼の特徴¹⁰と一致している。一方、揚力傾斜は平板翼に比べ約1/2と小さくなっている。

5.3 滑走時の姿勢および機体に作用する外力の推定

前節で求めた翼特性の違いが、機体の滑走状態にどのような影響を及ぼすかを、力学モデルで確かめよう。まず、平板翼機の

モデル計算を行い、様々な速度 U に対する機体の姿勢と外力の大きさを整理したものが図 9 である。さらに図 10 は、このデータに風圧中心の値を加えて、代表的な速度 U で滑走するときの、主翼の位置、機体の姿勢と外力ベクトルを描画したのものになっている。

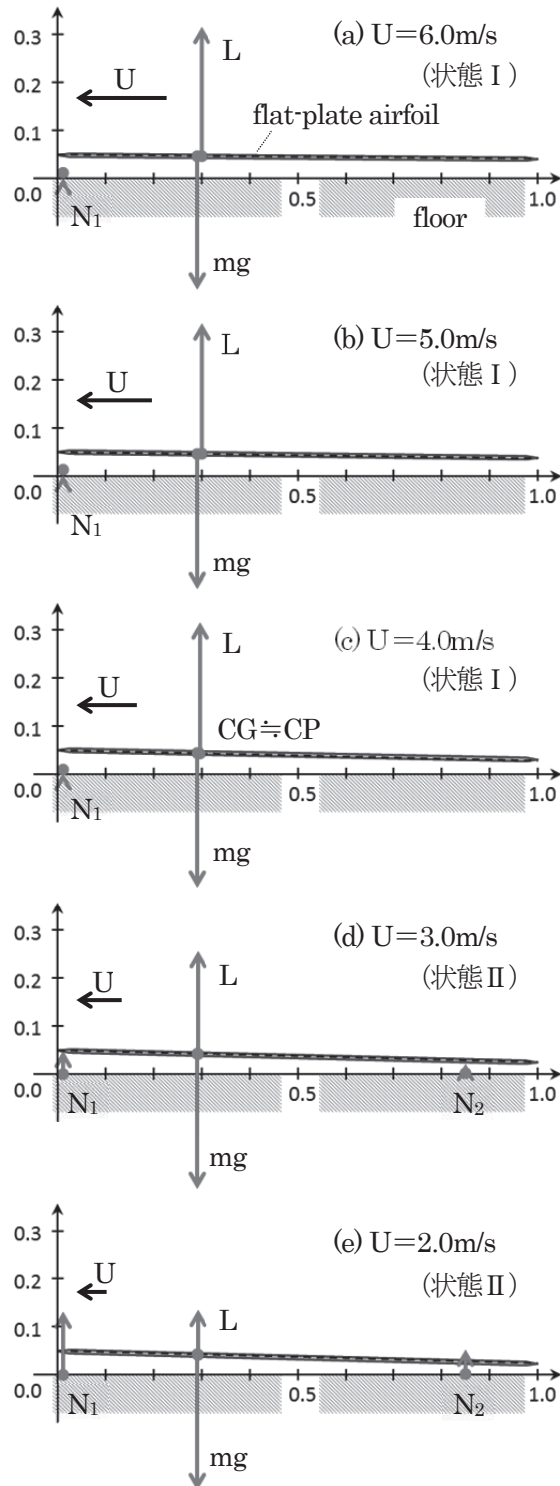


図 10 平板翼機の滑走姿勢と外力

5. 3. 1 機体の姿勢（迎角）

速度 U が大きい間は、状態 I の姿勢をとるが、 U の減少に伴って迎角 α が増加している。つまり、速度低下とともに機体後部が下がっていき、 $U=3.4\text{m/s}$ で後端が地面と接して $\alpha \doteq 1.5^\circ$ の状態 II に到達し、これ以下の速度では同じ滑走状態が続く。なお、このモデルから予想される迎角は、射出～停止に至る間で $0.5 \sim 1.5^\circ$ となり、変化量は約 1° とかなり小さい。このため、図 10 から推測できるように、今回のデジタルカメラを使った

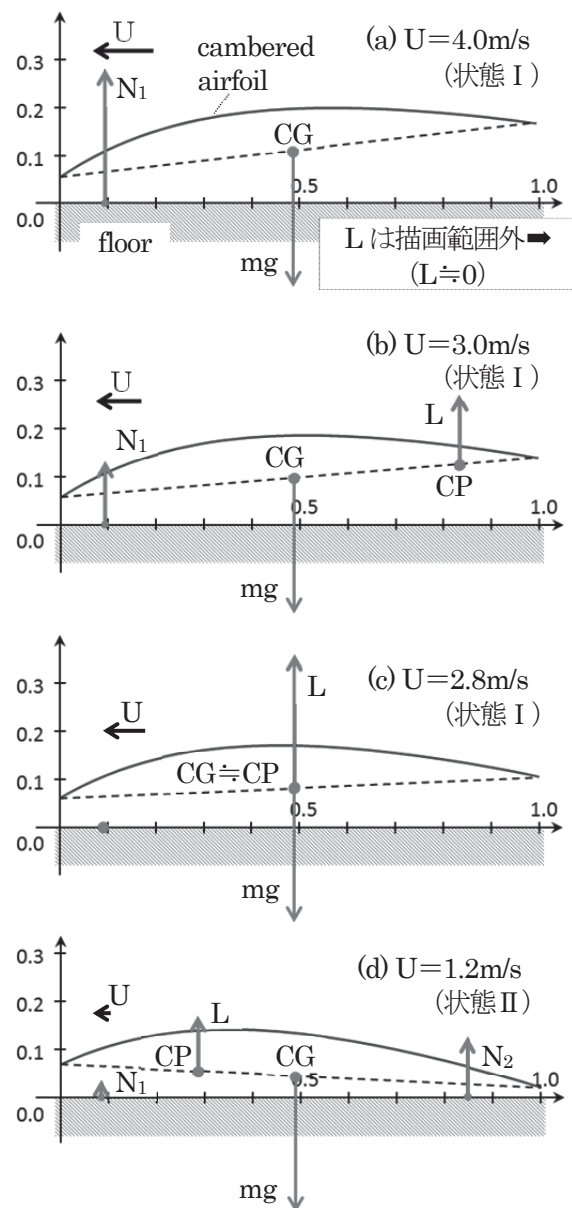


図 11 キャンバー翼機の滑走姿勢と外力

実験の精度では、この迎角変化を定量的に検出することは困難である。

5. 3. 2 外力（揚力と垂直抗力）

状態Ⅰにあるとき、揚力 L は垂直抗力 N_1 よりもずっと大きく、機体重量の大部分（96%以上）を揚力で支えている。この揚力の大きさは速度 U の影響をあまり受けていないが、これは、減速するにつれて α が大きくなり、揚力係数が増すためと説明できる。地面効果を受ける平板翼は大きな揚力傾斜を有するため、わずかな迎角の変化で揚力を変えられると推測できる。

減速して状態Ⅱに至ると、姿勢変化がなくなるために揚力係数 C_L は一定値となる。このため、減速すると揚力は U^2 に比例して小さくなり、その減少分を（ y 方向の力のつり合いを満足するように）地面からの垂直抗力 N_1 と N_2 が補っている。

最後に、風圧中心は、図7の翼特性からも予想できるように、速度にはほとんど影響を受けず $\xi_{CP} \doteq 0.30$ のままで移動しない。この力学モデルでは、実験機の仕様に基づいて機体重心を $\xi_G = 0.29$ として計算しているため、揚力は常に重心のわずかに後方で作用することになる。このことが、キャンバー翼機に比べて飛距離が大きくなる原因の一つと考えられる。

5. 3. 3 滑走状態の比較

比較のために、同じ手法でキャンバー翼機の滑走状態を解析した結果を図11に示す。速度 U が大きいあいだは状態Ⅰで、減速すると状態Ⅱへ移行する点は平板翼機と同じである。しかし、機体姿勢を表す α は、図11(a)において翼の零揚力角とほぼ等しい $\alpha \doteq -6.5^\circ$ で、図11(d)の状態Ⅱでは取り付け角の $\alpha = 2.7^\circ$ となり、その変化量は 9° を越え、平板翼機よりも遥かに大きい。これに伴って、風圧中心も速度 U に依存して前後に大きく移動していることがわかる。

次に、機体に作用する外力に注目する。図11(c)の $U = 2.8 \text{ m/s}$ のときは、重心と風圧中心とがほぼ一致し、揚力で機体重量のほとんどを支えている。一方、これよりも速度が大きくなると、揚力は急速に減少し、 $U \geq 3.2 \text{ m/s}$ では機体重量の10%以下の揚力しか発生していない。揚力の不足分は、垂直抗力で補うことになるため、図11(a)(b)では(c)

と比べて N_1 が急増していることがわかる。

このように、速度が大きくなるにも関わらず、揚力が減少してしまう理由を考える。図11(c)の状態から速度 U が少し大きくなったと仮定すると、 $L \propto U^2$ であるから、このままでは $L > mg$ となって機体は離陸してしまう。実際の機体は接地したままで進むため、機体姿勢の変化、すなわち α が小さくなって C_L が減少していると考えられる。このとき、図8の翼特性にしたがって風圧中心の移動も発生し、重心から離れて機体後方へと移ってしまう。さらに、機体の回転速度 $\dot{\alpha} \ll 1$ の仮定が妥当であるならば、 N_1 と L による重心まわりの合モーメントはほぼ零となるから、風圧中心が重心から離れるほど、 N_1 が増大し L の割合が減少することが理解できる。

これとは対照的に、平板翼機では機体姿勢は揚力係数だけを変化させ、風圧中心の移動を伴わない。したがって、重心が風圧中心の近くなるように調整しておけば、 L による重心まわりのモーメントは姿勢に関係なく小さい値となり、これとモーメントのつり合いをとる抗力 N_1 は、図10(a)～(c)に示す通り、いずれも小さい値に収まっている。

6. まとめ

地面効果を利用した平板翼機とキャンバー翼機の滑走実験および力学モデルを用いた解析を行い、主翼の反りが滑走状態や飛距離に及ぼす影響を調べた。その結果、明らかとなったことを以下にまとめる。

- (1) 反りと重心位置以外の条件を一致させると、飛距離は平板翼機の方が大きくなる。比較実験では、キャンバー翼機の飛距離の2倍にも達した。
- (2) 両機とも離陸せずに床面上を滑走し、途中の滑走状態に大きな違いはない。ただし、平板翼機の方が、キャンバー翼機に比べて飛行時の姿勢変化が少なく、これは、解析と観察実験の両方で確認できた。
- (3) 機体の滑走速度の変化を測定した結果、機体を減速させる要因としては、空気抵抗よりも床面からの摩擦抵抗の影響の方が大きいと推測された。
- (4) この実験機は無尾翼機であるため、揚力の作用点は主翼の風圧中心の1ヶ所だけである。したがって、揚力によって機体重量の多くを支持しようとすれば、風圧中心は機体重心の近傍に位置し

なければならない。ここで、主翼に反りがあるキャンバー翼機では、迎角による風圧中心の移動量が大きいために、揚力が機体重量に近い値となる速度の範囲が狭く、この速度域以外での揚力はかなり小さくなる。特に射出直後の速度が大きいときに、翼の効果をほとんど発揮できない。一方、反りがない平板翼機では、風圧中心がほとんど移動しないために、機体重心が風圧中心の近傍にあれば、射出後からある速度に至るまで、重量のほとんどを揚力で支え続けることができる。

- (5) (3)から、初速度 U_0 で射出された機体を、できるだけ遠くまで到達させるには動摩擦を減少させることが効果的で、その方法の1つとして垂直抗力を減らすことが挙げられる。つまり、地面効果翼機にできるだけ大きな揚力を発生させて機体重量を支え、床面に押し付ける力を減らせばよい。それには、(4)で説明した通り、機体重量に比して有意な揚力を発生できる速度範囲が広い平板翼機の方が、キャンバー翼機よりも適している。

さらに、この説明からは、飛距離増加のために効果的な翼は、反りがない一般的な対称翼であれば平板でなくともよいと類推できる。

最後に、本実験で使用した実験機では、機体重心の位置も飛距離に大きく影響する。例えば、図10において、重心を機体前方へと移動させると、モーメントのつり合いをとるために N_1 が増加して飛距離が短くなることが想像できよう。一方、重心を風圧中心よりも後方へと移動させると、揚力による機首上げモーメントが発生して機体は離陸し、あっという間に宙返りしてしまう。したがって、重心が風圧中心よりも少しだけ前縁側になるように調整したときに、飛距離は最大になると予想できる。実際に、平板翼機において飛距離が最大となる重心位置を実験で求めると $\xi_G \doteq 0.3$ となり、力学モデルで計算が発散せずに収束できる重心の最大値 $\xi_G = 0.29$ とほぼ一致していた。

参考文献

- 1) 新宿「宇宙の学校」第2回スクーリング、表面効果翼船「ラム」の製作、< <https://www.ku-ma.or.jp/spaceschool/tokyo/2013/shinjuku130825.php> > (参照日 2015年9月24日)
- 2) 小浜 泰昭ほか：実走行実験によるエアロトレイン空力特性の解明と浮上姿勢制御法の開発、日本機械学会論

文集B編, Vol.68, No.665 (2002), pp.102-107.

- 3) 安東 茂典：水面飛行機の開発、石田パンリサーチ出版局(1993)
- 4) 久保昇三：Paper Craft “RAM”, < <http://space.geocities.jp/ashix58/ram/ram.pdf> > (参照日 2014年9月26日)
- 5) 愛媛県総合科学博物館 友の会、科学クラブ例会活動報告、2012年10月号、地面を滑るように飛ぶ地面効果翼機を作って走行（飛行）距離を競争しよう、< <http://www.i-kahaku.jp/friend/kagaku/pdf/201210.pdf> > (参照日 2016年9月20日)
- 6) 増淵 寿：児童を対象とした科学教室用の教材開発、小山高専研究紀要, vol.47(2014), pp.55-63.
- 7) 増淵 寿、岸拓志：地面効果を利用する模型飛行機の飛行状態に関する研究、小山高専研究紀要, vol.48(2015), pp.51-59.
- 8) 岸拓志：地面近くを飛行する二次元翼まわりの流れのシミュレーション（地面効果翼機の解析）、小山高専 機械工学科 卒業研究概要集(2015), pp.59-60.
- 9) 大阿久 善仁：Excel を用いた簡易数値風洞の開発（パネル法を用いた地面効果の解析）、小山高専 機械工学科 卒業研究概要集(2014), pp.31-32.
- 10) 東昭：模型航空機と風の科学、電波実験社(1993), pp.10-28.

【受理年月日 2016年 9月30日】

金属製下肢装具用膝継手の試験について

那須 裕規^{*1}

Structural testing of metallic knee joints for lower extremity orthoses

Yuki NASU

Structural tests of metallic knee joints for lower extremity orthoses was examined based on the JIS T9216 standard. The static bending test and endurance test was performed according to the JIS standard, was manufactured jig. Experimental results, the static bending test was able to give a load of provisions. Endurance test loaded with repeated vertical compression force, it was possible to give the load of the provision.

KEYWORDS: metallic knee joints for lower extremity orthoses , Test and evaluation , Static bending test , endurance test

1. まえがき

義肢装具を安全に使用するためには、構成する個々の部品についての工学的試験評価や臨床評価が必要となる。工学的試験評価を実施するためには規格や基準に沿った試験装置が必要となり、JISやISOに示されている。また、義肢等補装具費支給制度に基づき使用するためには、同制度が定める基準に適合した「完成用部品」が必要となる。しかし、完成用部品の評価は実物をそのまま試験する事が多く、治具を開発して既存の試験機に取付けて使用したり、新しく試験機を開発する必要がある¹⁾。さらに、工学的評価試験を実施できる機関が少ないのが現状である。

そこで、本研究では金属製下肢装具用膝継手を対象に、JISに従った試験を実施できるよう治具を開発し、既存の試験装置を用いて工学的評価が可能なシステムを構築することを目的とする。本

稿では初期遊び量、静的曲げ試験、垂直圧縮力を実施したので報告する。

2. JISによる金属製下肢装具用膝継手

膝継手の評価は、金属製下肢装具用ひざ（膝）継手（JIS T9216-1991）²⁾に基づき評価を行う。以下に、膝継手の評価方法等について述べる。

2. 1 膝継手の種類と構造

膝継手には、図1に示す(a)リングロック式、(b)レバーロック式、(c)プランジャーロック式の三種類ある。本研究で使用する膝継手は、大たい支柱と下たい支柱が重なっている部分にリングをはめ、両者を完全に固定するリングロック式を用いた。このリングロック式は最も多く使用される機構である。試験試料を図2に示す。

^{*1} 機械工学科(Dept. of Mechanical Engineering), E-mail: ynasu@oyama-ct.ac.jp

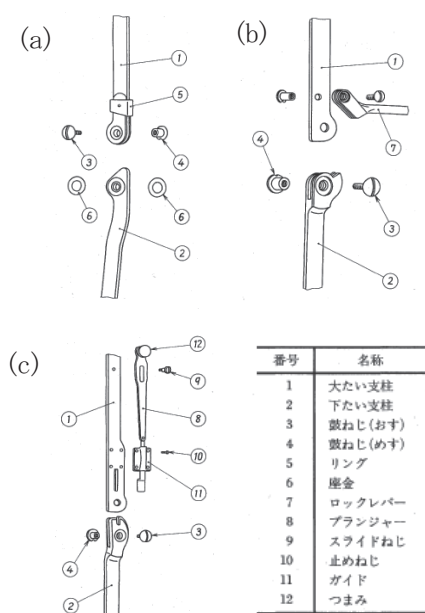


図1 膝継手の種類と構造

- (a) リングロック式
(b) レバーロック式
(c) プランジャーロック式

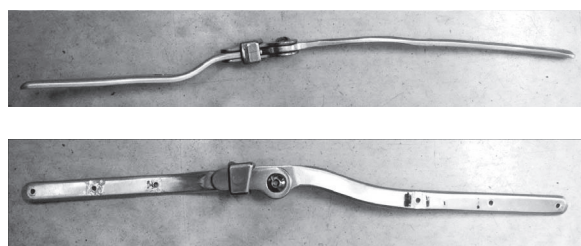


図2 リングロック式膝継手

2. 2 評価基準と項目

JIS T9216-1991 に基づき評価を実施するにあたり、継手部の性能評価の項目は次の通りである。

- ① 一般条件
- ② 継手部の初期遊び量
- ③ 静的曲げ強度
- ④ 耐久性（垂直圧縮力、ねじりモーメント、曲げモーメント）

上記項目のうち、①については「継手部のロックを外して膝継手を屈曲・伸展させた場合、滑らかに作動し、その間異常音を生じてはならない。また、完全伸展時にロック機構は滑らかに作動しなくてはならない。」と記載されている。そのため、

負荷試験を要する項目は②、③、④である。

本研究では、継手部の初期遊び量、静的曲げ強度、耐久試験（垂直圧縮力）を評価するための治具を製作し、試験評価が可能であることを確認する。試験場所は、温度状態 $20 \pm 10^\circ\text{C}$ 、湿度状態 $65 \pm 30\%$ の室内とする。

2. 3 試験と評価方法

2. 3. 1 継手部の初期遊び量

膝継手の大たい支柱を固定し、下たい支柱の矢状面内の屈曲・伸展方向に引張力を加え、変位量と引張力を検出できる装置で行なう。装置の一例を図3(a)に示し、(b)は測定の様子を示す。測定は継手部の中心から100mm離れた下たい支柱の一点に1N(100gf)の引張力をプッシュプルゲージにより屈曲・伸展方向に作用させ、継手部の中心から50mm離れた下たい支柱の一点の変位量をダイヤルゲージを用いて測定する。

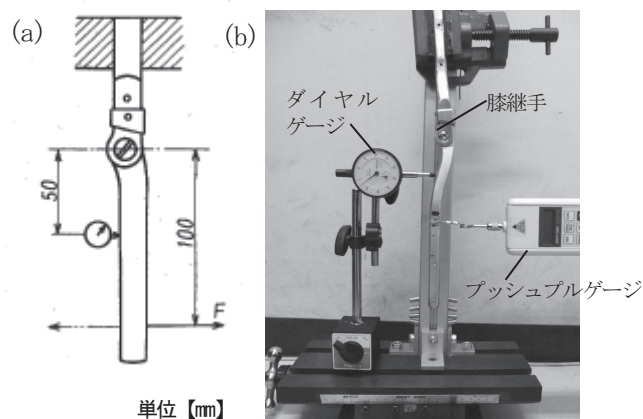


図3 遊び量の測定

【評価方法】

上記の方法により測定したとき、0.2mm 以下であることを確認する。

2. 3. 2 静的曲げ試験

膝継手の静的強度を調べるために、集中荷重を徐々に加えることのできる三点曲げ試験装置を用いて、矢状面と前額面について、図4に示すように試験試料を設置して試験を行なう。

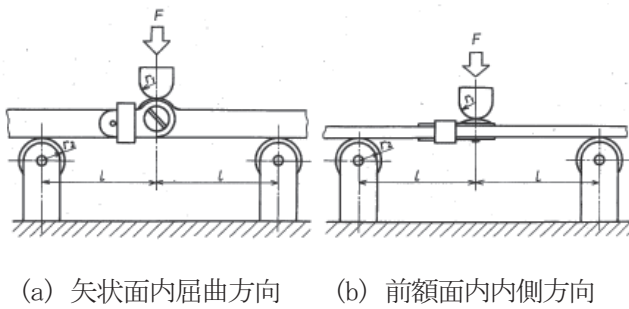


図4 負荷方向

試験条件は次のとおりである。

- (1) 膝継手を完全にロックする。
- (2) 負荷の方向と大きさは以下のとおりとする。
 - ・矢状面内屈曲方向 1000N・・・図4(a)
 - ・前額面内内側方向 250N・・・図4(b)
- (3) 支えから継手部の中心までの距離Lは100mmとする。(備考: 支えと押し金具の軸は互いに平行とする。)
- (4) 押し金具の先端部と支えは円筒面の形状とし、円筒面の半径(r_1 , r_2)は10mm以上、幅は支柱の幅より大きいものとする。
- (5) 負荷は所定の大きさまで徐々に加え、その後徐々に除荷する。

【評価方法】

上記試験により、大きな遊び(がた)、永久変形、破損などの著しい異常が無いことを確認する。

2. 3. 3 耐久性試験

継手部と支柱の耐久性を調べるため、立脚期のひざに加わる垂直圧縮力・曲げモーメント・ねじりモーメントと同等の負荷を与えることができる装置を用いて行なう。装置の一例を図5に示す。

本研究では、既存の万能試験機や疲労試験機を用いて、専用の取付け治具を製作して行なう。また、各試験の負荷条件は表1の通りである。

表1 負荷条件

垂直圧縮力	ねじりモーメント	曲げモーメント
400N	10Nm	50Nm

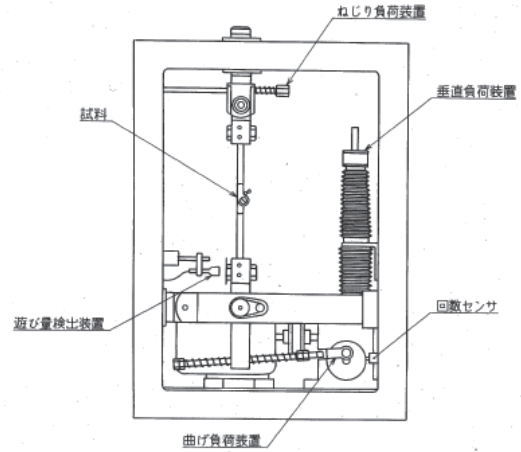


図5 試験装置の一例

試験条件は次の通りである。

- (a) 膝継手を完全にロックする。
- (b) 負荷は表1の通りとする。
- (c) 膝継手は、大たい支柱・下たい支柱ともに長さ150mmのところにチャックを取付ける。この時、継手軸と上下チャックの軸は平行であること。
- (d) 繰返し周波数は2.0~3.3 Hzとする。
- (e) 繰返し試験回数は10万回とする。

【評価方法】

耐久性試験において、次の規定を満足しなければならない。

- (a) 大きな遊び、永久変形、破損などの著しい異常があつてはならない。
- (b) 遊び量の差が0.2mm以下でなければならない。
- (c) 膝継手を屈伸させたとき、異常音を生じてはならない。

3. 試験用治具の製作

膝継手を試験するにあたり、様々な形状の膝継手に対応するためには専用の取付け治具が必要となる。そのため、試験を実施できるよう治具の製作を行なった。

3. 1 静的曲げ試験

図6は矢状面内屈曲方向試験用の治具を示している。2枚のL字部品の間に膝継手と同じ厚みの金属板を挟み、ボルトで締付けて固定する。図7

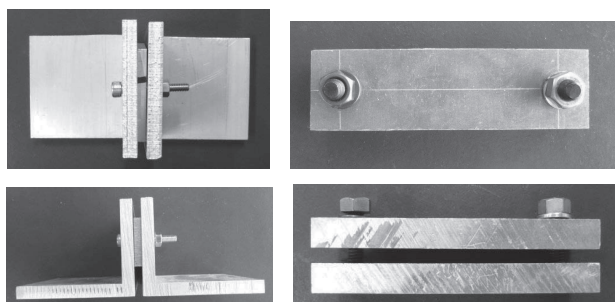


図 6 矢状面内屈曲方向試験用の治具 図 7 前額面内内側方向試験用の治具

は前額面内内側方向試験用の治具を示している。2枚のアルミニウム板に膝継手を挟み、ボルトで固定する。

3. 2 耐久試験

耐久試験用の治具を図8に示す。膝継手固定ブロックの側面にあるピンが、治具側面の壁内に設けた溝によって案内され、横方向にスライドする機構とした。また、治具の両側に4本のボルトを配置し、上下の締め付け具合により膝継手の形状に合わせてブロックを傾けられるようにし、膝継手の大たい部と下たい部が同一線上にないような複雑な形状の膝継手にも対応できるように設計した。試験を行うときは、取付け治具の下部にあるL字形状部を既存試験機のチャック部に固定し、膝継手を治具に固定して使用する。

4. 評価試験結果

4. 1 静的曲げ試験

本実験で用いた継手はリングロック式膝継手で、直線形状ではなく、複雑に曲がった形状のものを使用した。

製作した治具を用いて、2.3.2で述べた方法により静的曲げ試験を行った。実験には島津製作所製の万能試験機(UH-300KNI)を用いた。実験の様子を図9に示す。実験の結果、規定の荷重を負荷することができ、膝継手を取り出し、大きながた、永久ひずみ、破損などを目視と触感で確認したが異常はみられなかった。したがって、正常に評価できることがわかった。

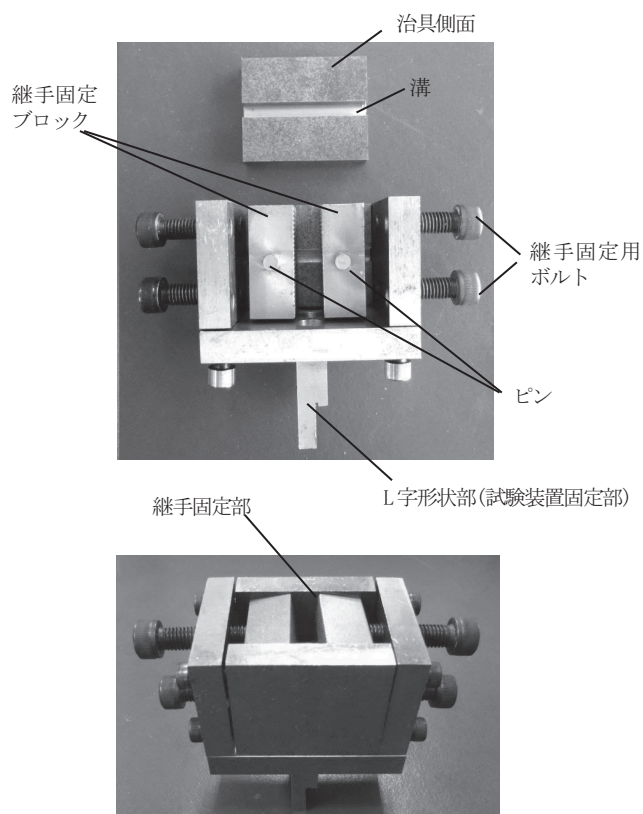
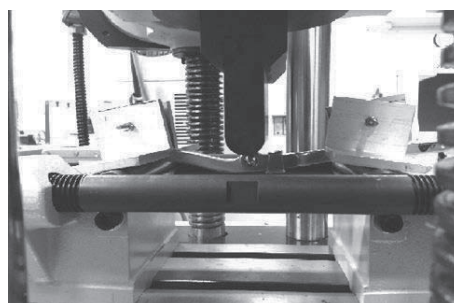
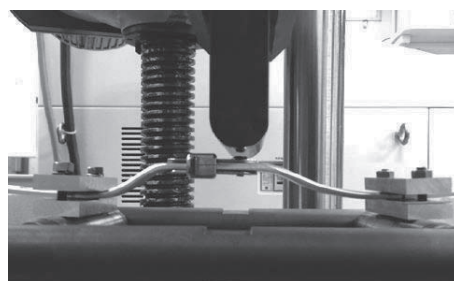


図 8 膝継手取付け治具



(1) 矢状面内屈曲方向



(2) 前額面内内側方向

図 9 負荷方向と試験の様子

4. 2 耐久試験

本実験で使用する膝継手は、図2で示したように直線的な形状ではなく、複雑に曲がった形状の膝継手であるため、図10に示すように、継手部のない直線的形状の簡易的な試験片(試験片A)と複雑な形状の試験片(試験片B)を用いて垂直圧縮力が同等に試験試料に負荷されるか、および、製作した治具の機能を確認する目的で垂直圧縮力試験のみの比較実験を行なった。

実験を行うにあたって使用した試験機は、リニアねじり卓上型疲労試験機(INSTRON 8874)である。疲労試験機に試験片Aを取り付けた治具を設置し、2.3.3で述べた方法により、表2に示した負荷を与える。実験手順は、初期に -220N の垂直圧縮力をかけ、そこを基準として振幅 180N で正弦波の繰返し負荷をかける。周波数に関しては規定の周波数より遅く設定し、充分ゆっくり負荷を与えて実験をなした。また、同様の実験を試験片Bに対しても行なう。実験の様子を図11に示す。

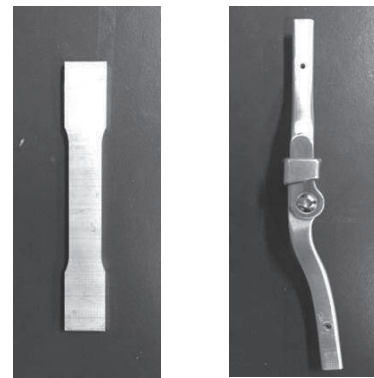
図12は試験片A、Bに繰返し負荷したときの時間に対する垂直圧縮力の変化を示している。試験片A、Bともに負荷は正弦波を表し、また最小圧縮力・最大圧縮力ともに所定の負荷がかかっていることがわかった。しかし、試験片Bに関しては、試験片Aよりも垂直圧縮力の最大・最小がともに約 $25\text{N}\sim 30\text{N}$ 大きく現れる結果となった。これは試験片の寸法や形状の違い、および継手部の遊びによるものと考えられるが、今後の検討課題である。

5. まとめ

本研究では、金属製下肢装具用膝継手に関して、JIS T9216-1991に沿って、遊び量の測定、静的曲げ試験および耐久試験を行うための専用治具を製作し、実験を行なった。その結果、静的曲げ試験は規定の負荷をかけることができ、評価できることがわかった。耐久試験では繰返し垂直圧縮力を負荷した結果、規定の負荷をかけることはできなかった。そのため、今後はその原因を調査すると共に、垂直圧縮力、ねじりモーメント、曲げモーメント等の各種耐久試験をJIS規格に従って実施し、評価する予定である。

表2 負荷条件

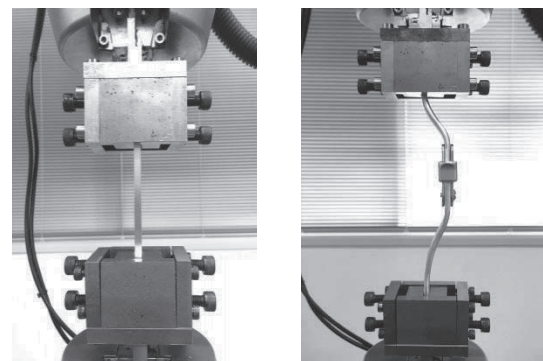
最小圧縮力	最大圧縮力	繰返し周波数
-400N	-40N	0.2Hz



試験片 A

試験片 B

図10 垂直圧縮力試験に用いた試験片



試験片 A

試験片 B

図11 垂直圧縮力試験

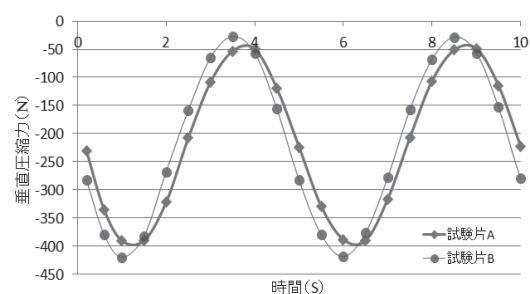


図12 垂直圧縮力と時間の関係

参考文献

- 1) 相川孝訓：日本義肢装具学会誌，28巻3号(2012/7)
- 2) JISハンドブック 38 高齢者・障害者等アクセシブルデザイン 2012，日本規格協会

位相変調におけるホログラム記録再生 メカニズムの解析

千田 正勝^{*1}, 金澤 大地^{*2}, 三浦 駿^{*2}

Analyses of Holography Reproduction Mechanism in Phase Modulation

Masakatsu SENDA, Daichi KANAZAWA, Shun MIURA

Intensities of holography reproduced images have freedom for phase components, and each calculated point on original image can be given any phase value in the computer-generated hologram. The reproduction mechanism when original images are phase-modulated was computationally analyzed in this work. The high-order sampling periodicity diffraction occurs faithfully according to the Raman-Nath condition, and this phenomenon does not depend on with or without phase modulation. So, ghost noise generation can be avoided by similar ways to the case without phase modulation. The phase periodicity, as well as the amplitude periodicity, plays an effective role as periodicity for holography diffraction, and phase modulation changes intensities and shapes of reproduced bright spots. The phase modulation can be a useful method for controlling reproduced images.

KEYWORDS : holography, computer-generated hologram, phase modulation

1. まえがき

ホログラフィは光の干渉・回折を応用した技術であり、媒体への情報記録に物体光と参照光を利用する記録型、および計算と微細加工(計算機ホログラム: computer-generated hologram(CGH))によって媒体を作製する読出し専用型がある。体積・多重記録、二次元一括処理の特長を活かし前者は大容量・高速次世代データストレージシステムへの適用が、また後者は小型大容量コンテンツ頒布用メモリ¹⁻⁴⁾および光通信・記録用光学素子への適用⁵⁾が検討されている。光波面は振幅成分と位相成分を有し、ホログラム再生像は光強度の二次元分

布として表現される。光強度は振幅²に等しいため、ホログラム再生において再生像は、位相情報の自由度を有することになる。特に CGH の場合には、基画像に対し容易に任意の位相変調が可能であるため、これによる再生像の制御、およびこれに伴う画質向上、メモリ応用時のビット誤り率向上等が期待される。一方で CGH では、基画像や各波面が標準化周期、符号周期を持つためその記録再生過程は複雑であり⁶⁾、これにさらに位相変調が加わった場合については不明な点が多い。本論では、位相変調による再生像制御法の確立を技術的背景とし、位相変調を伴った CGH におけるホログラム記録再生のメカニズム解析を計算実験により行った。

*1 電気電子創造工学科(Dept. of Innovative Electrical and Electronic Engineering), E-mail: senda@oyama-ct.ac.jp

*2 電気情報工学科平成 28 年 3 月卒業

2. 検討内容および実験方法

図1に本実験での計算モデルを示す。記録再生光学系には、ホログラフィに通常使用される (a) テレセントリック光学(T)系(記録型での $4f$ レンズ光学系に相当)、およびレンズの無いレンズレス光学(L)系を用いた。図中、 f はレンズの焦点距離、 θ_{NA} は記録再生時の開口数(NA)に対応する角度、また各面の全体が計算領域、その中央部がデータ領域、白抜き部が画像領域である。基画像面からのホログラム面生成(記録過程)、およびホログラム面からの再生像面構成(再生過程)は波動光学解析(回折積分計算)により行い、高速演算処理の過程で発生する巡回関数化雑音を除去するため zero-padding (ZP)処理^{2,7)}を施した。

基画像は種々の周期を持つ。図2にこれらを説明する。まず CGH では基画像、各波面は単位計算点の集まりで構成され、これらは物理的サイズを持つ。これが標準化周期(d_s)である。またメモリ応用にて用いる符号データの場合、明点の周期は画素ピッチ(p)の整数倍となり、これが符号周期(d_c)である。図3に4/9符号^{8,9)}および4/16符号¹⁰⁾を示す。4/9符号は 3×3 画素で1ブロックを成し左上 2×2 画素の明暗組合せにより、また4/16符号は 4×4 画素で1ブロックを成し左上 3×3 画素の明暗組合せにより、各々1ブロック当り (0000)~(1111)の4bitを表現する。これらの符号は1再生輝点の検出に撮像素子の複数画素を用いるオーバーサンプリング、およびテンプレートとの類似度比較を用いるテンプレートマッチ復号を特徴とし^{9,11)}、輝点位置ズレの対処、および高符号化率の実現を可能としている。本研究では、再生状態の観察を容易にするため、データを小規模とし(1111)パターンのみを配置した4/9疑似および4/16疑似符号データを用いた。4/9符号では $d_c=3p$ 、4/16符号では $d_c=2p$ である。本研究では $p=5d_s$ (5倍密計算)とした。一方自然画の場合には、基画像は何らかの光強度を持つ周期 d_s の計算点の集まりで表現される。本研究では自然画として振幅一定の"square"を用いた(図2(e)、(f))。 d_c は輝点の振幅に関する周期であるが、位相変調ではこれとは別に各輝点に個別の位相情報を持たせる。位相に周期性がある場合、これが位相周期(d_p)である。図2では $0/\pi$ 位相変調を例に示した。図中 $0, \pi$ は各輝点の位相を表す。変調無し状態では全輝点の位相は 0 radで揃っている。 $0/\pi$ 位相変調では数輝点毎に輝点

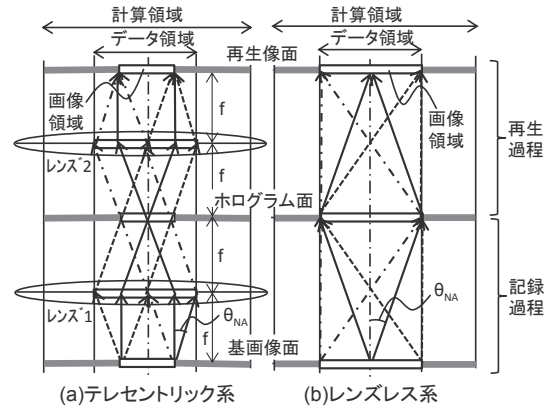


図1 記録再生光学系(計算モデル)

の位相を π rad に反転し周期 d_p を与える。4/9 疑似、4/16 疑似データに対し縦横交互に輝点の位相を $0/\pi$ と変調すると、各々 $d_p=3p$ (図2(b))、 $d_p=4p$ (図2(d))となる。また、"square"に対し10輝点毎に位相を π rad に反転すると $d_p=10d_s$ となる(図2(f))。基画像、各波面が上記のような周期を持つ場合、少なくとも d_s, d_c に関してはラマンナス回折条件を満たす場合 d_s 回折、 d_c 回折が発生する⁹⁾。ここでラマンナス回折は光波長(λ)に対し散乱因子サイズが $\ll \lambda$ である場合の回折現象であり、回折条件は、

$$d \sin \theta = n \lambda \quad (1)$$

となる。ここで d は周期、 θ は回折光の出射角度、 n は次数を表す整数、また本研究では $\lambda=0.66\mu\text{m}$ とした。図2で見る限り d_p は基画像に周期を与える

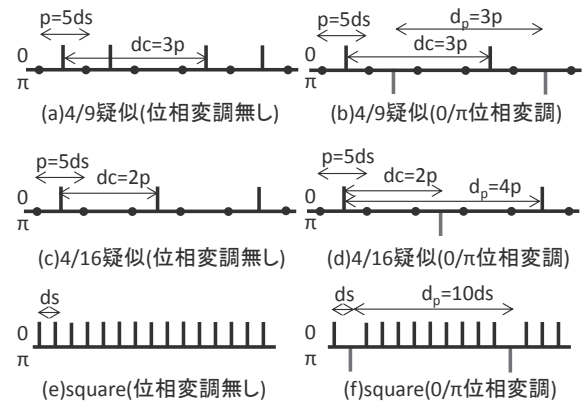


図2 基画像の周期

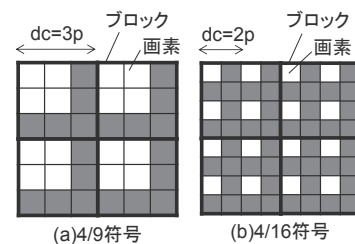


図3 4/9符号と4/16符号

が、このように基画像が周期的位相変調を施された場合の d_s 回折のメカニズム、基画像が周期的/非周期的位相変調を施された場合の d_s 回折およびこれに伴うゴーストノイズ⁹⁾発生メカニズム、および位相変調時における基画像が持つ空間周波数と記録再生メカニズムとの関係などについては不明な点が多く、また位相変調による再生像制御の可能性についても明らかでない。以下では、基画像に種々の位相変調を与え、波面追跡を行うことで上記各条件でのメカニズムの解析を試みる。

3. 検討結果と考察

3. 1 標本化周期(d_s)回折

本節では基画像が位相変調された場合の d_s 回折およびゴーストノイズについて解析する。サンプル基画像には振幅一定、周期 d_s の輝点で構成される”square”を用い、 $NA=0.2$ ($\theta_{NA}=11.5\text{deg}$)に固定し d_s を変化させて再生像(計算領域全体)を観察した。

先の検討⁹⁾により位相変調無しの場合には、 $d_s < \lambda$ 時には(1)式を満たす条件は存在せず回折は起きない(①)、 $d_s > \lambda$ 時には(1)式を満たす角度 θ_s 方向に回折光が出射し幾何学的に考えるとこれが画像領域外に出れば回折像の混入は無し(②)、画像領域内に入れば混入有り(③)となること、および図1中各面から直上に0次回折光(実像)、その周囲に高次 d_s 回折光が出射され、再生像面においてこれら高次回折光による像(高次回折像)が実像に混入・重畳するとゴーストとなることが解っている。ここで位相変調無しとは、基画像上全ての輝点の位相が0radであることを意味する。図1のモデルでは上記条件はT系では① $d_s < \lambda$ 、② $\theta_s > 3\theta_{NA}$ 、③ $\theta_s < 3\theta_{NA}$ 、L系では① $d_s < \lambda$ 、② $\theta_s > 2\theta_{NA}$ 、③ $\theta_s < 2\theta_{NA}$ に対応する。図4のT系位相変調無しでは、(a)①: $d_s (=0.5\mu\text{m}) < 0.66\mu\text{m}$ 、(b)②: $\theta_s (=41.3\text{deg}) > 3 \times 11.5\text{deg}$ 、(c)③: $\theta_s (=26.1\text{deg}) < 3 \times 11.5\text{deg}$ 、L系位相変調無しでは、(a)①: $d_s (=0.5\mu\text{m}) < 0.66\mu\text{m}$ 、(b)②: $\theta_s (=26.1\text{deg}) > 2 \times 11.5\text{deg}$ 、(c)③: $\theta_s (=15.3\text{deg}) < 2 \times 11.5\text{deg}$ であり、画像領域に注目すると、両光学系共に(a)、(b)ではゴースト無し、(c)では有りと上記に従うことが確認できる。一方図4のランダム位相変調は、基画像上の各輝点の位相値を $0 \sim 2\pi$ rad 間でランダムに設定した場合を示す。図4より本変調によりT系、L系共に再生像は霜降り状となるが、 d_s 回折像の発生のかたに関しては位

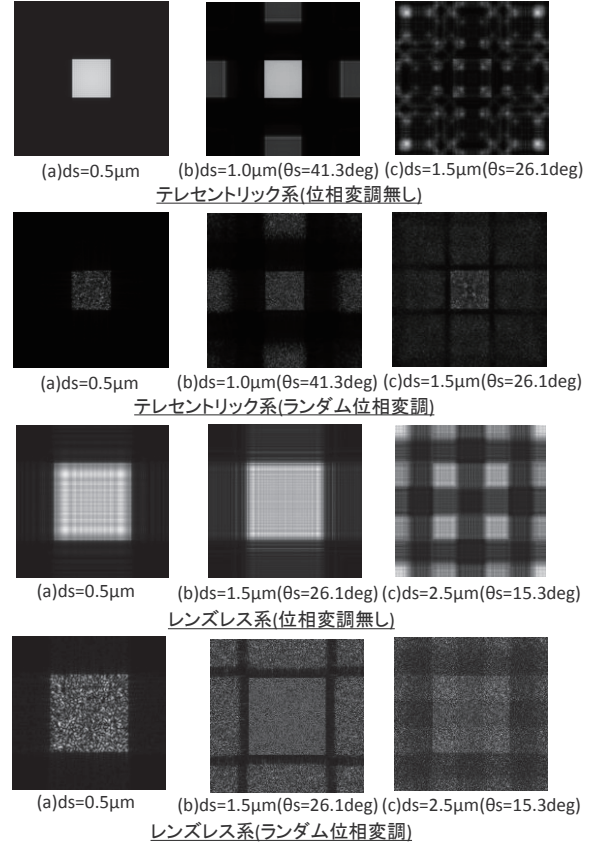


図4 再生像($NA=0.2$)

相変調無しの場合と同様であることが解る。なお、T系では位相変調無し(c)の場合を除き、データ領域端からに比較し画像領域端からの d_s 回折像がより強く現れる傾向にある。

次に0次光の出射角度を強制的に変化させるような位相変調(斜出射)を施し、同様に d_s 回折のかたを解析した。斜出射角度($\Delta\theta$)は、 d_s 周期で並ぶ輝点の位相を隣接位相差

$$\Delta\phi = 2\pi(d_s \sin[\Delta\theta]/\lambda) \quad (2)$$

とすることで実現する。図5にT系、L系各々の②状態に対し、図の上方に $\Delta\theta=5.0\text{deg}$ で斜出射するよう設定した基画像を、また図6にこれらに対する各位置の波面の振幅像を示す。ここで L_{1F} はレンズ1の直前、 u_h はホログラム面、 L_{2F} はレンズ2の直前、 u_r は再生像面での波面を表す。T系、L系共に基画像から出た0次像は上方に $\Delta\theta=5.0\text{deg}$ だけ移動し、その後最終的に $\Delta\theta=5.0\text{deg}$ だけ下方に移動し再生像面では基の位置に戻る、また高次像は0次像に追従して同様に上方、下方に移動する様子が観察される。このように、高次像は各面にて0次像全体が(1)式に従いまるごと縦横 $\pm\theta_s (= \sin^{-1}[n\lambda/d_s])$ だけシフトした位置に出現する。

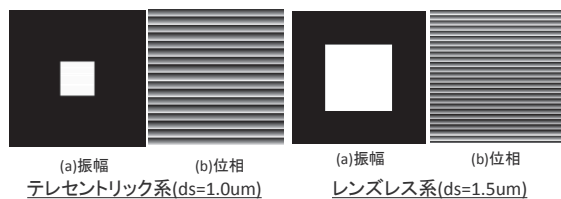


図5 基画像(斜出射 5.0deg)

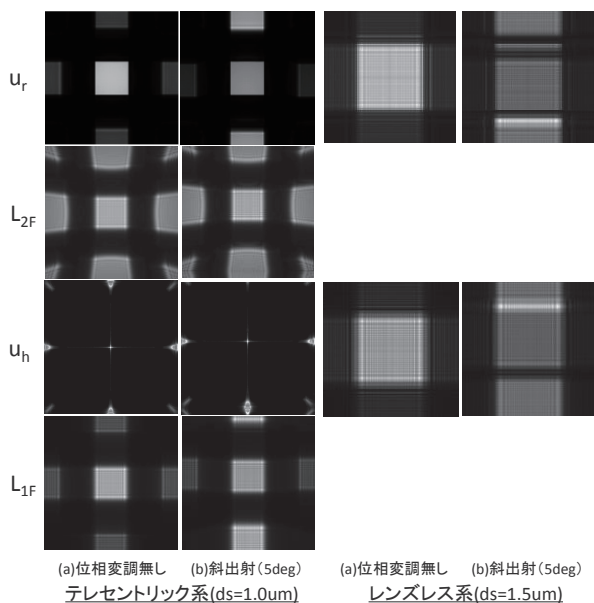


図6 各面の像(振幅, NA=0.2)

以上、L系、T系共に d_s 回折は、変調の有無に依らず、各面にて0次像全体を(1)式に従いまると縦横 $\pm\theta_s$ ($=\sin^{-1}(n\lambda/d_s)$)だけシフトさせる働きを持つことが解る。図4、6の結果は共にこの解釈により矛盾なく説明される。よって、位相変調時も、位相変調無し時⁹⁾と同様、①、②とすることでゴースト発生は回避される。

3. 2 符号周期(d_c)回折、位相周期(d_p)回折

本節ではまず、基画像が周期的位相変調を施された場合の d_p の回折現象に対する有効性について解析する。なお、 $NA=0.07$ ($\theta_{NA}=4.0\text{deg}$)、 0.14 ($\theta_{NA}=8.0\text{deg}$)、 $d_s=1.34\mu\text{m}$ ($\theta_s=29.5\text{deg}$)とし、T系($\theta_s>3\theta_{NA}=3\times 4.0\text{deg}$)、L系($\theta_s>2\theta_{NA}=2\times 4.0\text{deg}$)共に d_s 回折光を画像領域外とし考慮不要としている。

図7は”square”をベースに4/16疑似符号の輝点箇所のみ位相を πrad とする変調を施した基画像に対するホログラム(振幅像)と再生像である。各画像の外縁が θ_{NA} に相当する。またこの場合 $d_p=2p=10d_s$ であり、図2(f)に対応する。周期 d_p に

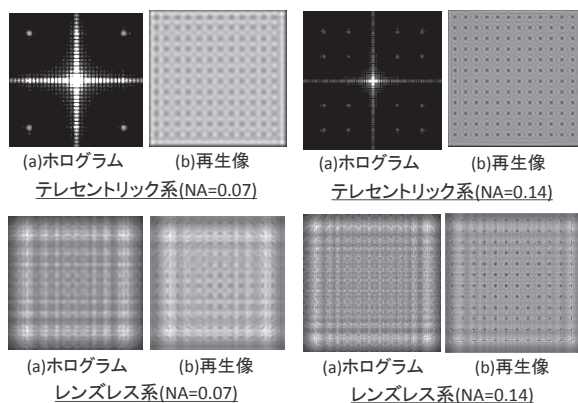
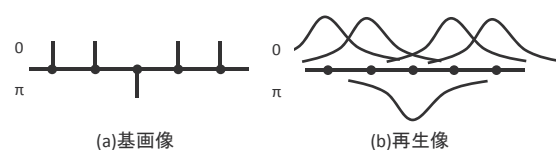


図7 ホログラム(振幅)と再生像

図8 基画像と再生像($0/\pi$ 位相変調)

対する回折光は(1)式により、 $\theta_{p1}=2.8\text{deg}$ (1次光)、 $\theta_{p2}=5.6\text{deg}$ (2次光)、 $\theta_{p3}=8.5\text{deg}$ (3次光)となる。T系では(a)ホログラムは基画像のフーリエ変換(FT)像に相当し、中央に”square”の0次像である十字状パターンと d_p 回折の0次像が、またその周囲に $NA=0.07$ では $\theta_{NA}(=4.0\text{deg})$ 以内である1次までの、 $NA=0.14$ では $\theta_{NA}(=8.0\text{deg})$ 以内である2次までの高次 d_p 回折像が出現している。L系ホログラムでも同様に回折像が重畳し、干渉縞模様を形成している。上記では基画像に”square”を用いたため基画像上の各輝点の振幅は一定であり、振幅に関しては d_s およびsquareパターン全体のサイズ以外の特別な周期は持たない。上記の結果は、位相のみが周期を持つ場合にもこれが d_c と同様の回折現象に対する有効な周期として機能することを示している。次に(b)再生像を見ると、両光学系共4/16疑似符号の輝点箇所において強度($=\text{振幅}^2$)が減少していることが解る。これはこれら再生輝点において位相が周辺と πrad だけ反転することで振幅のキャンセリングが起きるためと考えられる。この様子を図8に説明する。(a)基画像では位相 πrad の輝点があってもsquareパターン上で強度は一定であるが、(b)再生像においては各再生輝点は光の回折限界により広がり($\sim\lambda/NA$)を持つため、隣接輝点間で振幅の重なり部にキャンセリングが生じ強度が変化する。このように d_p は回折現象において d_c と同等の振る舞いを示し、また再生像上の輝点強度を変化させる機能を有することが解る。

次に振幅が d_c 周期を持つ 4/9 疑似、4/16 疑似符号データに図 2(b)、(d)に示す $0/\pi$ 位相変調を施した場合について、回折状態が明確な T 系を例に解析する。図 9 にホログラム(T 系、振幅)像を示す。いずれも画像の外縁が $NA=0.14$ での $\theta_{NA}(=8.0\text{deg})$ 、画像内の四角枠が $NA=0.07$ での $\theta_{NA}(=4.0\text{deg})$ に相当する。(a)位相変調無しでは、4/9 疑似では(1)式および $d_c=3p=15d_s$ に対応した $\theta_{c1}=1.9\text{deg}$ (1 次光)、 $\theta_{c2}=3.8\text{deg}$ (2 次光)、 $\theta_{c3}=5.7\text{deg}$ (3 次光)、 $\theta_{c4}=7.6\text{deg}$ (4 次光)まで、また 4/16 疑似では同様に $d_c=2p=10d_s$ に対応した $\theta_{c1}=2.8\text{deg}$ (1 次光)、 $\theta_{c2}=5.6\text{deg}$ (2 次光)までが出現している。これに対し(b) $0/\pi$ 位相変調では、4/9 疑似では(a)から縦横に 0、3 次回折点が消失した像が、また 4/16 疑似では(a)の回折点は全て消失し、それらの中間位置に新たに回折点が出現している。以下これらの現象を図 2(b)、(d)を用いて考察する。4/9 疑似では図 2(b)のように d_c だけでなく d_p も周期 $3p$ を持つ。 d_c 回折と d_p 回折は共に各々 $\sin\theta=(n\lambda/(3p))$ にて強め合い、またこれらは通常は互いに弱め合わない。但し周期 p では逆位相となるため d_c 回折と d_p 回折とは弱め合いを起こす。すなわち $\sin\theta=(n\lambda/p)=((3n\lambda)/(3p))$ により、 $0(n=0)$ 、 $3(n=1)$ 次にて回折点の消失が起きることになり、これは図 9 の結果と整合する。なお、位相変調無しの場合、逆に周期 p で同位相による強め合いが起きるため(a)では 0、3 次にて強度が強くなると解釈される。次に 4/16 疑似では図 2(d)より、 $d_c=2p$ 、 $d_p=4p$ である。この図より周期 $4p$ では強め合いが、一方周期 $2p$ では弱め合いが生じることが予想される。これらは回折条件式では各々 $\sin\theta=(n\lambda/(4p))$ 、 $\sin\theta=(n\lambda/(2p))=((2n\lambda)/(4p))$ となり、これは周期 $4p$ に対応した回折光($\theta_n=1.4n\text{ deg}$ 、 n 次光)が出射されるが、このうち偶数次数($2n=0, 2, 4, \dots$)の高次光では回折点の消失が起きることを意味する。これも図 9 の結果を矛盾なく説明する。図 10 に 4/9 疑似、 $NA=0.07$ での再生像(T 系)を示す。図 8 に示したように再生像では、隣接輝点境界にて同位相では振幅の強め合いが、一方逆位相ではキャンセリングが起きる。図 10 では(a)に比較し(b)にて再生輝点サイズは小さく整形され、振幅キャンセリングの様子が確認できる。以上、基画像が d_c 、 d_p を持つ場合、両者が混在した周期性により回折が起きること、位相変調により再生輝点の強度および形状が変化することが解る。

最後に、位相変調時における基画像が持つ空間周波数と記録再生メカニズムとの関係について解

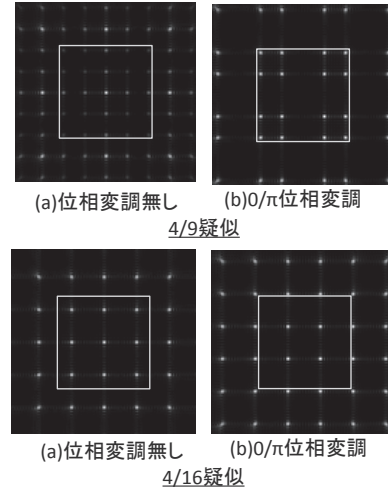


図 9 ホログラム(振幅)

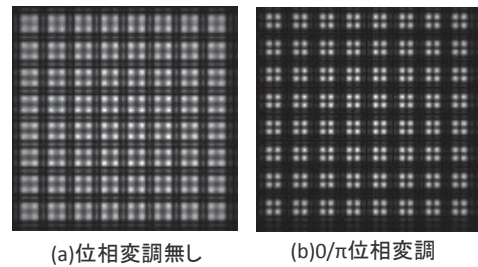


図 10 再生像(4/9 疑似, $NA=0.07$)

析する。T 系にてホログラムは基画像に対する FT 像に相当することから解るように、L 系も含めホログラムの記録再生系は基画像に対する低域通過フィルタ(LPF)として働く。ここでの周波数は空間周波数であり、この場合 LPF のカットオフ周波数に当るのが θ_{NA} である。位相変調無しの場合には基画像(=強度分布=振幅² 分布)の周波数特性がそのまま LPF を通って再生像を構成することになるが、位相変調を伴う場合この関係が成立しなくなる。以下では基画像が位相変調された場合の上記関係、特にランダム位相変調時について考察する。図 11 に(a)位相変調無し($u_{0,p}$: この図のみ 0 rad を白点表記)、(b) $0/\pi$ 位相変調、(c)ランダム位相変調での各面の像(T 系)を示す。4/16 疑似データを用い $NA=0.07$ とした。 $u_{0,p}$ は基画像位相、 $u_{h,a}$ はホログラム振幅、 $u_{r,a}$ は再生像振幅、 $u_{r,p}$ は再生像位相を表す。(a)、(b)に関しては $u_{h,a}$ に見るように、位相間の強め合い弱め合いがあるものの、振幅、位相に関する周波数特性が純粋に反映されて LPF を通り再生像が構成されと考えられる。 $u_{r,p}$ では各再生輝点の位相が $u_{0,p}$ と対応している様子が確認できる。一方(c) $u_{h,a}$ は、基画像の周波数特性を

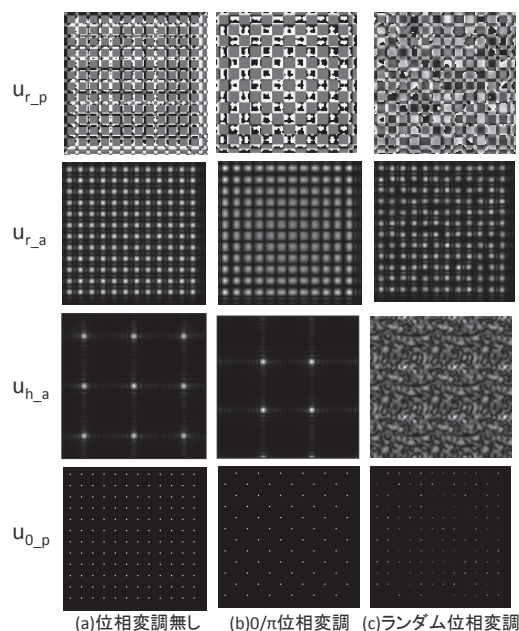


図 1.1 各面の像(4/16 疑似, NA=0.07)

反映したものとはかけ離れた画像全体にランダム分布したものとなる。但し $u_{r,p}$ 上の位相と $u_{0,p}$ の位相とは(a)、(b)と同様、対応関係にある。このことから(c)では、基画像からは周波数特性とは無関係に全方位に様に光が出射し(そのため $u_{h,a}$ では全面にほぼ均一に分布)、このうち $\pm\theta_{NA}$ 内に入ったものが記録再生系を通過し(よってこの場合記録再生系は LPF の機能を果たさない)、再生像はランダムな周波数特性($u_{r,a}$ は種々の周波数成分=画像分解能の情報を持った光により $u_{0,a}$ に従った輝点配列で構成)と位相情報($u_{r,p}$ 上と $u_{0,p}$ 上の位相は対応)を持って構成されると解釈される。

4. まとめ

再生像制御を目的に、基画像に位相変調を施した場合のホログラム記録再生メカニズムについて解析し、以下を明らかにした。

- (1) 高次 d_s 回折像は、0 次像(実像)の周囲に 0 次像全体がラマンナス回折条件に従って縦横一定角度シフトしたかたちで出現し、これは位相変調の有無に依らない。よって位相変調時も、位相変調無しの場合と同様の手法・条件によりゴーストを回避可能である。
- (2) d_p 周期は他の周期と同様、回折現象に対する有効な周期として機能する。また位相変調により再生像の改質(再生輝点の強度、形状の変

化)が起きる。

- (3) 位相変調時には基画像の空間周波数とは必ずしも関係無く、 $\pm\theta_{NA}$ 内に射出した回折光によって再生輝点、再生像は構成される。

これらについては T 系、L 系同様である。今後より詳細な検討を要するが、位相変調は再生像制御のための有力な 1 手法と考えられる。

参考文献

- 1) S. Yagi, T. Imai, A. Tate, M. Hikita, S. Tomaru, S. Imamura, T. Tamamura, Y. Kurokawa and M. Yamamoto : Multilayered Waveguide Holographic Memory Card, presented at the Joint International Symposium on Optical Memory and Optical Data Storage '99, Koloa, Kauai, Hawaii, pp. 11-15 July (1999)
- 2) M. Ueno, Y. Kurokawa, T. Tanabe and M. Yamamoto : Fast Method of Computing Fresnel Diffraction Patterns, Proc. SPIE, Vol. 4225, pp. 96-101 (2001)
- 3) T. Mitasaki and M. Senda : Write-once Recording for Multilayered Optical Waveguide-type Holographic Cards, J. Opt. Soc. Am. A, Vol. 23, No. 3, pp. 659-663 (2006)
- 4) M. Senda and Y. Aoki : Identification Data Reproduction in Multilayered Optical Waveguide-type Holographic Memory Cards, Appl. Opt. Vol. 47, No. 21, pp. 3973-3979 (2008)
- 5) 辻内順平 : ホログラフィ, pp. 295-368, 裳華房 (1997)
- 6) 千田正勝, 黒澤知之, 水島宏紀 : 計算機ホログラムのメモリ応用におけるゴーストノイズとビット誤り率解析, 小山高専研究紀要, Vol. 48, pp. 69-75 (2015)
- 7) 千田正勝, 福田純希, 海原洋介 : 計算機ホログラムにおける巡回関数化雑音とサブサンプリングの検討, 小山高専研究紀要, Vol. 45, pp. 85-90 (2012)
- 8) M. Endo, M. Ueno and T. Tanabe : Data Decoding Method and Data Decoding Apparatus, Japan laid-open disclosure public patent bulletin No. JP 2004-348378A (2004)
- 9) M. Senda : Tolerance for Translation Disturbances of Template-matching Two-dimensional Modulation Code for Holographic Memories, Opt. Eng. Vol. 49, No. 8, 0858031-08580311 (2010)
- 10) M. Senda : Defocusing Characteristics of Template Matching Recording Codes for Multilayered Waveguide Holographic Read-only Memory, Optik, Vol. 126, pp. 4098-4104 (2015)
- 11) 千田正勝, 染谷尚紀, 工藤聡 : 二次元記録符号におけるエラーブロック分析とデコード法の検討, 小山高専研究紀要, Vol. 47, pp. 71-76 (2014)

【受理年月日 2016年 6月10日】

千田正勝教授におかれましては、本年 9 月 15 日に急逝されました。謹んでご冥福をお祈りいたします。

高専ロボコンにおける エンジニアリングデザイン教育の活用事例

田中 昭雄^{*1}, サム アン ラホック^{*2}, 加藤 康弘^{*3}

Examples of Utilization of Engineering Design Education in the College of Technology Robot Contest

Akio TANAKA, Sam ann RAHOK and Yasuhiro KATO

The college of technology robot contest has been used as an opportunity for the engineering design education. Students must create an idea sheet before making a robot. The idea sheet is a document to explain the appearance and the movement of the robot. It is important that many technical data and robots that were created in the past are available as reference materials for the students to make the contents of the idea sheet better.

In this paper, we show that the process of creating an idea sheet is one of the most effective techniques in educating engineering design by giving three examples of the robot that were made in the past.

KEYWORDS : Engineering Design Education, Robot Contest, College of Technology

1. はじめに

高専の実験授業やロボコン活動等においてエンジニアリングデザイン教育が実践され、デザイン能力の向上に効果を上げている^{1~4)}。本稿では、小山高専ロボコン活動をエンジニアリングデザイン教育実践の場として捉え、短期間に要求課題を達成させるための効果的な資料について述べる。さらに、それらの資料の有効性を示すため、過去のロボット製作例より、アイデアシートの完成度と独創的なアイデアの創出や実機の完成度の関係について紹介する。アイデアシートとは、ロボット製作前段階で、学生がロボットのアイデアについてまとめた提案書のことである。その内容は、

開発コンセプト、設計図、競技戦略などが詳細に記述されている。特に、初めてロボット製作を経験する低学年の学生にとって、アイデアシート作成には、ロボット製作に関する資料は必要である。

2. アイデアシート作成における情報・技術の提示

高専ロボコンの競技課題は4月末に発表され、実行委員会事務局へのアイデア提出締切りは6月末である。各校2チームの参加数制限があるため、本校では6月中旬に学内審査を実施している。したがって、参加学生は40日程度でアイデアシートを作成しなければならない。図1はアイデアシート完成までの流れを示している。アイデアシー

*1 電気電子創造工学科(Dept. of Innovative Electrical and Electronic Engineering), E-mail: atanaka@oyama-ct.ac.jp

*2 電気電子創造工学科(Dept. of Innovative Electrical and Electronic Engineering)

*3 技術室(Technical Office)

トの作成時間を短縮し、その質を高めるためには「情報」や「技術」等の資料が必要である。それらの資料として本校では以下のものを活用している。

「情報」

- (1) 過去の学内審査で落選したアイデア (図2)
- (2) 動態保存された出場ロボット (図3)
- (3) 過去の高専ロボコン映像
テレビ放送VTR, テスト走行VTR
- (4) 試作機による検証実験

「技術」

- (5) 機械加工技術
旋盤加工, フライス盤加工, ワイヤカット加工, 3Dプリンタ加工
- (6) コンピュータ制御技術
AKI-80, PICマイコン, Raspberry Pi
- (7) プログラミング技術
アセンブリ言語, C言語

学生は、これらの資料をもとにロボットのアイデアを考案し、その要素技術として過去に製作したロボットの技術と新規技術の難易度を考慮し、アイデア実現の可能性について十分に検討する。最終的には、学内審査直前までアイデアの分析と修正を繰り返すことによって完成度の高いものに仕上げる。

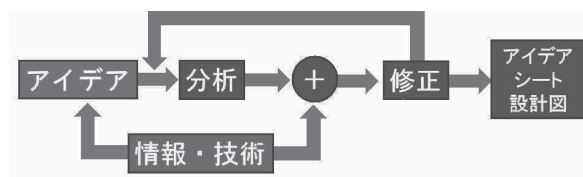


図1 アイデアシート作成の流れ

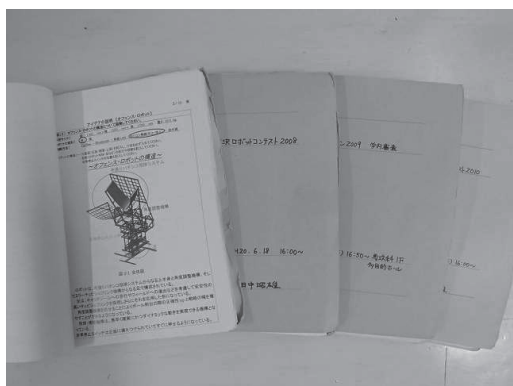


図2 過去のアイデアシート



図3 動態保存された大会出場ロボット

3. アイデアシートと実機との関係

アイデアシートの内容と実機の関係を示すため、以下に3つの事例を紹介する。

3.1 ボイド管立てロボット(ロボコン2001)

アイデアシート作成と実機の製作が、上手くいかなかったケースとして、ロボコン2001年製作のボイド管立てロボットの例を示す。ボイド管とは、直径100mm、厚さ3mm、長さ1mの紙製のパイプである。競技は、ロボットは制限時間3分以内に、このボイド管を指定の場所により多く立てたチームが勝ちとなる。図4は、当時2年生が作成したアイデアシートである。シートは手書きで作成されており、初めてロボット製作を経験する学生が多かったことや、シート作成段階で

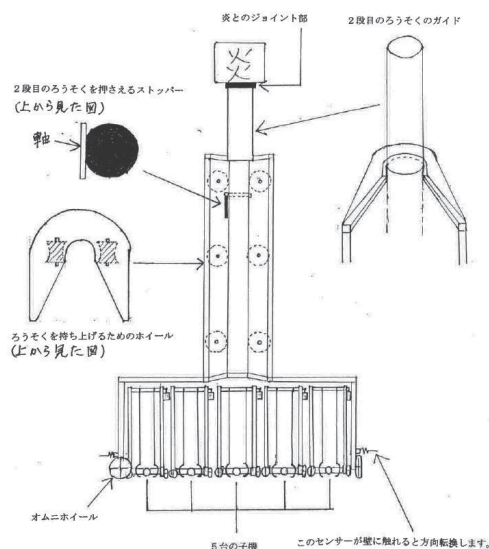


図4 アイデアシート(2001)

は機械部品のカatalogや見本となる実物資料が少なかったことから、想像で描かれている部分も多い。図5は完成した実機である。製作段階では、3回程設計変更となり大会直前まで改良作業が行われることになった。

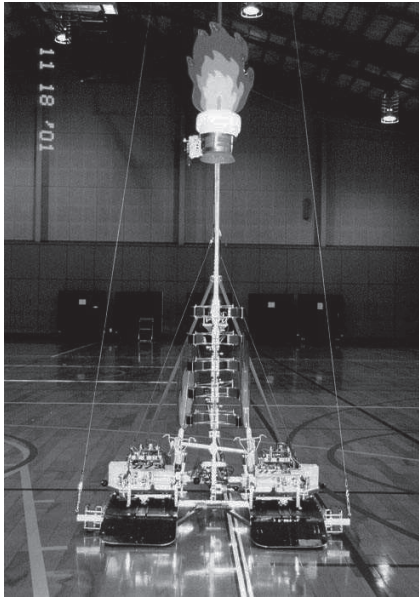


図5 ボイド管立てロボット（2001）

3.2 障害物競走ロボット（ロボコン2005）

次にアイデアシートの内容が、適切に実機へ反映されたケースとして、ロボコン2005年製作の障害物競走ロボットの例を示す。障害物は、はしご、平均台、ハードルである。競技は3つの障害物を越え、ゴールするまでの時間を競う。図6は当時の3年生が作成したアイデアシートである。この2次元CADソフトを用いて作成されており、ロボット全体の形状が明確に描かれている。アイデアのポイントは、1/4円弧のレ

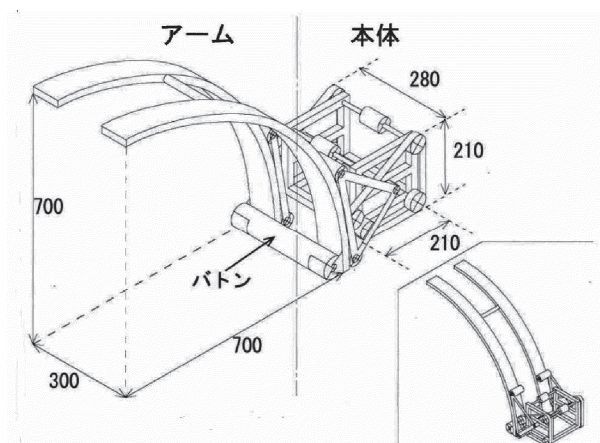


図6 アイデアシート（2005）

ール上を本体部分が動き、重心移動によって各障害物を越える点である。図7は実機を示している。その形状はアイデアシートとほぼ同じで、動作もイメージ通りのものとなった。このロボットの場合、アイデアシート作成から過去に用いた技術を積極的に取り入れ、製作前段階においてロボットの動作イメージが正確に把握されていた。結果的に、実機の完成までにアイデアシートから設計変更が少なく、製作時間の短縮により十分なテスト走行を重ね安定した動作を実現した。



図7 障害物競走ロボット（2005）

3.3 ジェスチャー操作式玉入れロボット（ロボコン2012）

最後に過去の技術を集約し、独創的なアイデアを実現したケースとして、ロボコン2012年製作したジェスチャー操作式玉入れロボットのアイデアシートを図8に示す。このロボットにおける

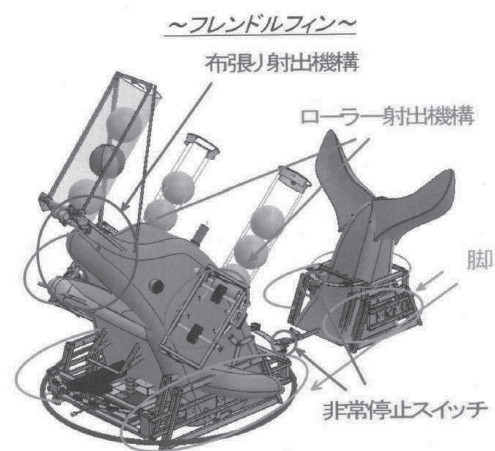


図 2.12 ロボット全体図

図8 アイデアシート（2012）

アイデアのポイントは、画像認識によるジェスチャー操作を取り入れ、その操作方法の様子が自然とマッチングする題材としてイルカショーに着目した点である。図9はロボットの主要な機能を示す。2000年代前半頃のロボットに比べ多機能なものとなっているが、ほとんど既存技術を活用し、新規技術としてジェスチャー操作の開発のみとして製作期間の短縮を図っている。

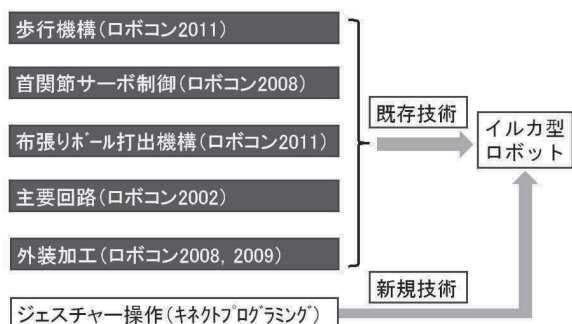


図9 ロボットの主要な機能

図10は完成したイルカ型玉入れロボットである。アイデアシートから変更点は、重量オーバーのため尾ヒレ部分を削除し、ボールストッカーの形状を筒型からリング型に形状変更したことである。その他の部分についてはアイデアシートのデザインを忠実に再現している。首関節や歩行機構等の主要な機構は、既存技術を改良して利用したことから、大会1ヶ月前にはロボット全体の組立が完了した。



図10 イルカ型玉入れロボット

4. 過去のアイデア提出状況とロボットの評価

表1は過去13年間のアイデアシートの提出数および大会成績を示す。毎年、提出数は約10件である。2000年以降、アイデアシート作成用のツールを整備したことによって、学生は「手書き」から「2次元CAD・3次元CAD・動画編集」等が利用できるようになった。また、保管・継承された過去のアイデアシートや出場ロボットを見本にすることで、アイデアシートの表現力は飛躍的に向上している。先に述べたとおり、本校では大会に参加する2チームを選出するため学内審査を行っている。審査は、アイデアシートの内容、および5分間のプレゼンテーションである。現在のアイデアシートは、3次元CADを用いて作成されたものが多く、それらはロボットの細部に至るまで正確に描かれており、審査員にとってロボットの動作を直感的に理解しやすいものになっているものと思われる。学内審査では、アイデアの独創性、それを実現するための技術的な裏付

表1 アイデアシート提出件数および大会成績

開催年	提出数	全国大会成績
2015	3	2回戦, <u>アイデア賞</u>
2014	4	3回戦
2013	5	2回戦
2012	11	1回戦, <u>ワイルドカード・ベスト8</u> <u>ベスト・ペット賞</u> , <u>ロボコン大賞</u>
2011	10	2回戦, <u>アイデア賞</u>
2010	8	—
2009	7	<u>ファーストステージ</u>
2008	10	招待試合
2007	11	1回戦
2006	8	1回戦, <u>特別賞</u>
2005	9	2回戦, <u>アイデア賞</u>
2004	7	3回戦
2003	11	2回戦, <u>デザイン賞</u>

けをどの程度まで確認しているかが評価のポイントである。

【受理年月日 2016年 9月30日】

全国大会の成績は、1, 2回戦までは勝ち上がるが、3回戦以降は高速動作に特化した競技重視型ロボットに敗戦することが多い。その一方でアイデア賞、技術賞等にも多数入賞している。これらのロボットは競技性よりもアイデアの独創性を重視したものが多く、出場ロボット中では唯一のアイデアとして評価を受けたものである。

5. おわりに

ロボコンにおけるアイデアシートの作成は、エンジニアリングデザイン教育実践の場として、今後も有効に活用したい。デザインに不慣れな学生にとって、アイデアシートの作成は相当な労力を要する。そのような学生達にデザイン作業のノウハウを伝えるには、教員からの技術的なアドバイスに加え、過去のアイデアシートやロボット製作映像等を示すことが、指導において大変効果的である。年々、ロボコンの競技課題は難しくなり、毎年のように学生達はアイデア出しに苦労している。過去の技術にも目を向け、もしかすると新しいアイデアのヒントが発見できるかも知れない。それらを有効活用し、独創的なアイデアの提案につながることを期待したい。

参考文献

- 1) 渡邊聡, 織田豊, 大島真樹, 斉藤純, 杉島一男: エンジニアリングとデザインの連携による高専ロボコンのロボット製作製作 ―エンジニアリングとデザインを連携させたロボット開発の実例報告―: 平成 25 年度 工学教育研究講演会講演論文集, pp. 234-235
- 2) 別府俊幸, 齋藤正美, 矢壁正樹, 玉井孝幸, 片山優, 青代敏行: エンジニアリング・デザイン教育としての NHK 高専ロボコン, 工学教育(J. of JSEE) 62-5(2014)
- 3) 齊藤陽平, 別府俊幸, 本間寛己, 片山優, 衣笠保智: 高専ロボコンによるエンジニアリングデザイン教育 ―エンジニアリングデザインプロセスを体験できるコンテスト―, 平成 20 年度 工学・工業教育研究講演会講演論文集, pp. 728-729
- 4) 森田孝, 木村彰, 石井良博, 三島裕樹, 山田一雅, 柳谷俊一: 函館高専電気電子工学科におけるエンジニアリング・デザイン教育, 平成 20 年度 日本工学教育研究講演会講演論文集, pp. 348-349

2次元 Voronoi 分割法によるカオス時系列予測 に関して

渡辺 達男^{*1}

About Chaos Time Series predicting
by Two-Dimensional Voronoi Tessellation Method.

Tatsuo WATANABE

The result of chaos time series prediction using Voronoi Tessellation Method of Two Dimensions will be reported in this paper. It'll be reported that the very good precision can be predicted by the number of a little data. The number of landing to Japan of a typhoon is predicted as an example of time series of the actual natural world. It's indicated to be also able to predict it by the very good precision by the number of a little data. When complication on the program can settle Voronoi Tessellation Method, it's a very effective time series prediction method.

KEYWORDS : chaos time series, prediction, voronoi tessellation method, voronoi tessellation.

1. はじめに

毎年、地球各地で様々な災害のニュースが流れている。大きな地震、台風、津波など、甚大な被害が各地で出ている。

日本でも地震や集中豪雨(最近ではゲリラ豪雨)の被害が後を絶たない。東日本大震災をはじめとして、最近では熊本地震が記憶に新しい。

このような自然の災害を未然に予測する方法は様々な方法が考えられている。

筆者は簡単な数学モデルを用いて、自然界の特に気象の予測ができないかと考え、幾つもの方法を提示し、検証してきた¹⁻¹⁰⁾。

自然界の現象は、ほぼカオス時系列と考えて良いことが多く、カオス時系列予測を精密に行うこ

とは自然や気象予測に役立つと考えられる。

カオス時系列予測の方法は、自然の予測だけではなく、経済、工学等にも大いに役立つと思われる。

経済においては、様々な金融危機を未然に防ぐこともできる。また情報工学でも、失われた情報を時系列予測に基づいて再現すれば、より正確な情報を伝達することなどが考えられる。

1次元の時系列予測では Lorenz の類推法が有名である¹⁰⁻¹¹⁾。もともと気象の予測に用いるために考えられた。繰り返しパターンの多い気象現象の予測は、比較的予測しやすい。しかし方法が単純すぎるため、それだけでは精度は良くなかった。

筆者は Lorenz の類推法を改良することにより、予測精度があがることを示してきた¹⁻¹⁰⁾。Lorenz の類推法は単純な過去の繰り返しパターンを用い

*1 電気電子創造工学科(Dept. of Innovative Electrical and Electronic Engineering), E-mail: watanabe@oyama-ct.ac.jp

て、将来を予測する。しかし、過去のパターンの選択方法が単純であり、実際の予測では、あまり予測が良くない。そこで、予測の元データとなる、時系列データの埋め込みに関する埋め込み次元数を変えることにより、ある次元で（予測する系に依存する）良い予測ができることを明らかにした。また近傍点を用いた重み付けの方法でさらに精度が上がることを示した。

その後、“予測誤差時系列を用いた補正法”を提案した⁷⁾。これは誤差の中にある系統的パターンを利用したもので、このパターンを予測することで、予測の精度を上げることができた。すなわち、予測の1次補正法である。

RBFN法の予測では予測の元となるデータが非常に少なく予測できる。これはニューラルネットワークの変形法である。センターベクトルをうまく選ぶことにより、予測精度が良くなることを示した。

さらには、予測方法を複数組み合わせることで予測することによりさらに予測精度があがることも示してきた。

Voronoi 分割法 (Voronoi tessellation)¹²⁾はロシアの数学者 G.Voronoi により 1907 年に提案されたもので、空間分布データの解析に多く用いられている。Voronoi 図と呼ばれる空間分割の図は、携帯電話のアンテナの配置、空港の配置など、空間配置に関する多くの分野で使用されている。

Voronoi 分割は時系列データを再構成されたアトラクタ上の各点に対して三角分割を行う。各三角形の頂点の二等分線をつなぐ事により、各頂点を中心とした小領域に分ける。この分割を Voronoi 分割と言う。予測は現在の点が次の点に移るのに対して、現在の点が回りの Voronoi 領域をどれだけ切り取るかの面積比で加重予測を行う。Lorenz の類推法に比較して、加重が優れており、少ないデータ数で、良い予測をできると思われる。

昨年度の論文¹⁰⁾では、2次元平面での Voronoi 分割を行い、時系列予測の際の若干の性質と問題点を指摘した。

この論文では、カオス時系列の2次元 Voronoi 分割を行い、面積比から重み付けを行い、時系列予測を実際に行った。結果を Lorenz の類推法の予測と比較して非常に精度が良いことがわかった。また、実際の自然界の予測として、日本本土への台風の上陸数の予測を行い、非常に少ないデータ数で、良い予測ができたことがわかった。

Voronoi 分割は自動計算のプログラミングが難しく、今回は一部手計算で予測計算を行った。

2次元 Voronoi 分割は、境界の有限性、無限性、分割の精度などにより、難しい問題が発生する。今回は、それらについては規格化及び人為的に境界条件を設けてその問題を避けた。

2章は Voronoi 分割についての説明を行う。3章では2次元 Voronoi 分割を用いた、カオス時系列予測と自然界の予測を報告する。4章は考察に、5章はまとめに当てられる。

2. Voronoi 分割について

ロシアの数学者 G.Voronoi は 1907 年に Voronoi 分割法 (Voronoi tessellation)¹²⁾を提案した。Voronoi 分割法による時系列予測は、測定された時系列データを再構成されたアトラクタ上の各点に対して、三角分割を行う。さらに各辺の近接点に対して垂直二等分線を描き、各頂点を中心とした小領域 T_i に分割する。すなわち、タイル張りにする。領域内の点を $\mathbf{v}(i)$ として、次元 m とすると、

$$T_i = \{\mathbf{v} \in \mathbf{R}^m : |\mathbf{v} - \mathbf{v}(i)| < |\mathbf{v} - \mathbf{v}(j)|, \\ j = 1, \dots, N, j \neq i\} \quad (1)$$

今、写像 Φ 、

$$\mathbf{v}(t+1) = \Phi(\mathbf{v}(t)) \quad (2)$$

の存在を仮定する。 Φ の形として、

$$\mathbf{v}(T+1) = \Phi(\mathbf{v}(T)) = \\ \sum_{i \in N(\mathbf{v}(T))} \lambda_i(\mathbf{v}(T)) \mathbf{v}(i+1) \quad (3)$$

とする。ここで λ_i は新しい点を作る Voronoi 分割が、既にある Voronoi 分割から切り取る面積を表す。すなわち、

$$\lambda_i(\mathbf{v}(T)) = \frac{\mu_m(T_i(\mathbf{v}(T)))}{\sum_{i \in N(\mathbf{v}(T))} \mu_m(T_j(\mathbf{v}(T)))} \quad (4)$$

但し、 $\mu_m: \mathbf{R}_m$ 上のルベーグ測度、 $T_i(\mathbf{v}(T)): \mathbf{v}(T)$ を中心とする新しい Voronoi 集合とそれ以前の i 番目のタイルとの共通部分、 $N(\mathbf{v}(T)): \mathbf{v}(T)$ を中心とする新しい Voronoi 領域と重なるタイルの添字集合である。

データ $\mathbf{r}(t)$ は Voronoi 分割された領域の母点(generator)と呼ばれる。

この関数 Φ を用いて、予測を行う。

Voronoi 分割は1次元では容易である。1次元数直線上で中点を求めることは容易なので、計算は簡単である。

2次元の Voronoi 分割は困難さを伴う。計算の複雑さもさることながら、さらには境界条件の問題が出てくる。多くの境界は無限遠点になり、定義ができないという困難さがある。今回は人為的に境界を設けて困難さを避けた。

3次元以上の Voronoi 分割は一部研究があるが、あまり手を手をつけられていない。さらには3次元以上の Voronoi 分割を用いた予測はほとんど行われていない。

ここでは2次元 Voronoi 分割による予測方法の説明と実際の予測を行う。

3. 2次元 Voronoi 分割による予測

2次元での Voronoi 分割予測では、まず予測の元となる過去のデータを2次元平面にプロットする。そして、埋め込まれた各点どうしを結ぶ線分の2等分線を描く。2等分線は必ず3本が交わり、交点となる。分割に必要な無くなった領域内に残されている2等分線を消去する。

今回予測した時系列は Logistic Map すなわち、

$$x_{n+1} = ax_n(1-x_n) \quad (5)$$

なる1次元時系列に対する予測を行った。

LogisticMap は生物の個体数の変動を表す式として提案された。なお、 $a=3.8$, $x_0=0.8$ とした。

図1に例として Logistic Map を2次元埋め込み空間にプロットして、その Voronoi 分割を行ったものを示す。図中の点は埋め込み空間にプロットした点、直線は分割した領域を示す。なお、Voronoi 分割には Mathematica のパッケージ関数を用いた。また、Voronoi 分割では境界が定まらないので、定義域を $[0, 1]$ と人為的に定めて計算した。

図2に、図1からさらに先の1点を追加した Voronoi 分割図を示す

右上に示される2点が、1点Aが追加され、3点に増加している。そしてこの点Aにより、その両側の点が持っていた領域面積が切り取られてしまっていることがわかる。

Voronoi 分割による予測では、この切り取られた面積に応じた重み付けをして予測をする。

実際にさらに次の点を予測した結果は $x_{n+1}=0.759673$ であった。真値は 0.758531 であるので、その絶対誤差は 0.001141 であった。相対誤差は 0.150541% であり、非常に正確に予測できていることがわかる。

Lorenz 類推法での、同じ点の重み付けを行った予測で、予測値は $x_{n+1}=0.677286$ であるので、相対誤差は 10.7108% である。Voronoi 分割の重み付けが非常に効果的であることがわかる。また、元となるデータ数もわずか10点で非常に少ない。

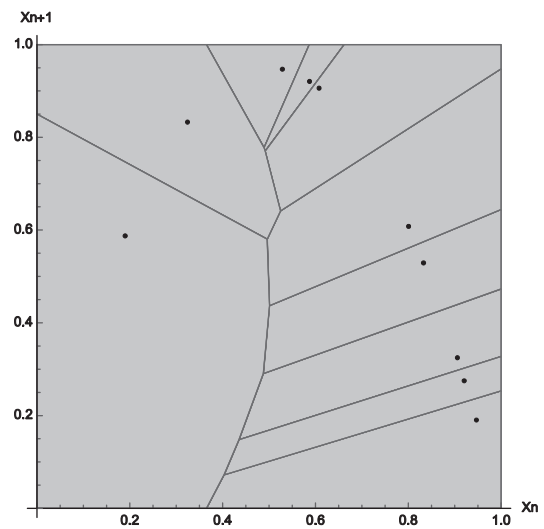


図1 Voronoi 分割の例

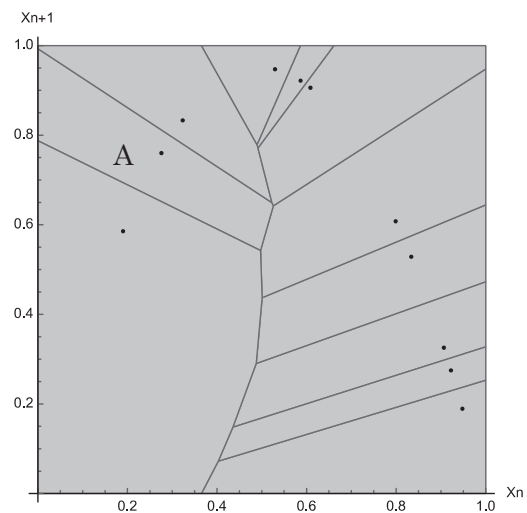


図2 1点追加した Voronoi 分割

Voronoi 分割は非常に有効な予測の重み付け方法であることがわかったので、実際の自然界の予測を行ってみた。2005年から2012年までの日本

本土に上陸した台風の個数¹⁴⁾を用い、2013 年の台風の上陸数を予測してみた。

まず、上陸数を $[0, 1]$ で規格化した。その上で、2 次元埋め込み空間にプロットして、Voronoi 分割を行った図を図 3 に示す。

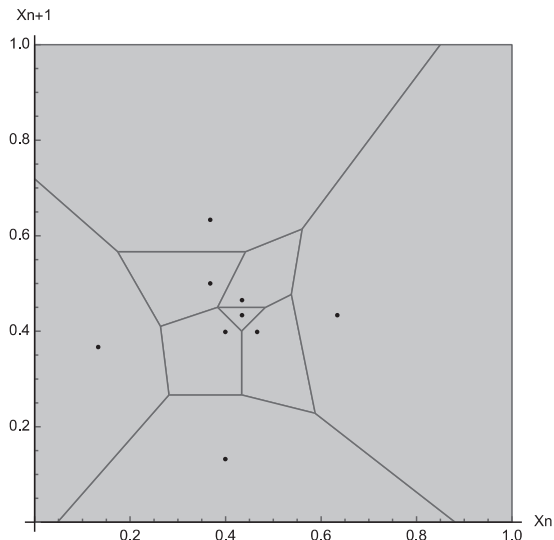


図 3 台風の上陸数の Voronoi 分割

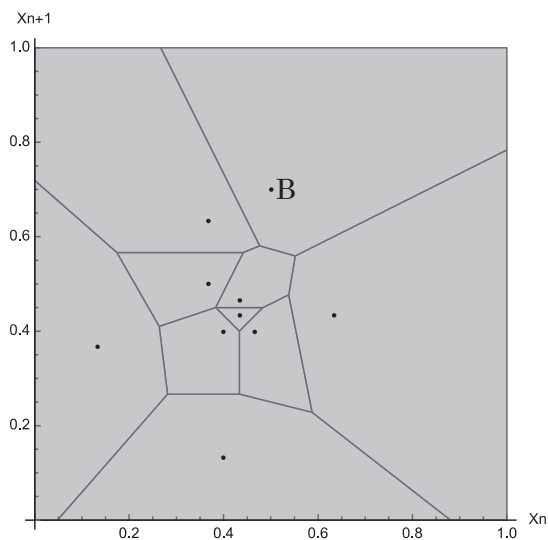


図 4 1 点追加した台風の上陸数の Voronoi 分割

右上に一点 B が追加されて、その周辺の面積が切り取られていることがわかる。

実際にこの図を元に切り取られた面積で、重み付けに用いて予測した値は $X_{n+1} = 26.5954$ であった。2013 年の上陸数は 25 であることから、相対誤差は 6.38171% であり、元となるデータが少ないにもかかわらず、かなりの精度で予測することができた。

今回、予測には各領域の面積を計算し、切り取られた面積を求め、それらを重み付けに用いて予

測値を求めた。それらには手計算を持ちた。

予測精度を上げるには、多くのデータを用いれば良いが、例えば 1951 年から 2014 年のデータを用いるだけで、図 5 の様な比較的複雑な Voronoi 分割になる。

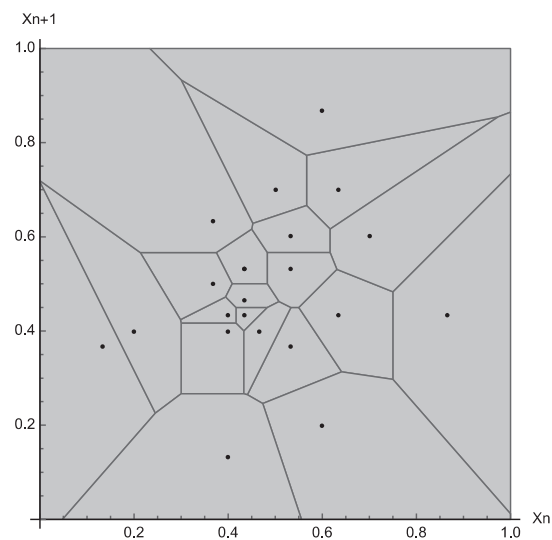


図 5 台風の上陸数の Voronoi 分割
(1951 年から 2014 年)

実際の計算には追加した点の近辺の複数の面積の切り取り分をすべて計算することになるので、複雑になり手計算では難しくなる。

4. 考察

Voronoi 分割は時系列予測に非常に有用な方法であることが示された。しかし、自動化には少々複雑なプログラミングが必要である。

今回手計算で予測を行ったが、1 つ先までの予測はわかるが、複数先までは計算ができなかった。計算の自動化が是非とも必要と思われる。

2 次元の Voronoi 分割による面積の切り取りではなく、3 次元の体積切り取り、4 次元の超体積切り取りを重み付けにすることが考えられる。しかし、これらは筆者の技術不足からまだ手をつけていない。次元を上げることにより多くの点の情報を取り入れることができることから、さらなる予測精度の向上が見込まれるのではないと思われる。

今回、境界条件は人為的に決めた。境界に近い点はこの人為的決定に影響される可能性が大きいと思われる。しかし、境界から離れた点は周りを点で囲まれているため、境界の影響は少ないと思

われる。埋め込まれる点の数が多ければ、上記効果は大きく現れるので、埋め込まれる点を多くすることにより、さらに予測精度が上がる事が予想される。

5. まとめ

カオス時系列予測における、2次元 Voronoi 分割の重み付けによる予測を行った。

その結果、Voronoi 分割を用いると、少ないデータ数で非常に良い予測を行うことができた。また自然界の時系列予測においても非常に良い予測ができた。

境界条件は、今回の予測では大きな問題は生じなかった。また、データ数を増やすことにより、この問題を減らすことできるのではないかと予想される。

今回自動計算ができなかったが、是非とも自動計算が必要である。

また、3次元以上の多次元では、ほとんど研究の例がないため、多次元での性質もさらに詳細に調べていくつもりである。

参考文献

- 1) 渡辺他: 小山高専紀要, Vol38, pp. 101-106 (2006).
- 2) 渡辺: 小山高専紀要, Vol39, pp. 107-112 (2007).
- 3) 渡辺: 小山高専紀要, Vol40, pp. 91-94 (2008).
- 4) 渡辺: 小山高専紀要, Vol41, pp. 117-122 (2009).
- 5) 渡辺: 小山高専紀要, Vol42, pp. 103-108 (2010).
- 6) 渡辺: 小山高専紀要, Vol43, pp. 105-110 (2011).
- 7) 渡辺: 小山高専紀要, Vol44, pp. 115-120 (2011).
- 8) 渡辺: 小山高専紀要, Vol46, pp. 111-116 (2013).
- 9) 渡辺: 小山高専紀要, Vol47, pp. 87-92 (2014).
- 10) 渡辺: 小山高専紀要, Vol48, pp. 81-84 (2015).
- 11) 合原一幸編: カオス時系列の基礎と応用, 産業図書 (2000).
- 12) E. N. Lorenz: *Jornal of the atomospheric science*, Vol. 20, p. 130 (1963).
- 13) Voronoi G.: "Nouvelles applications des paramètres continus à la théorie des formes quadratiques." *J. reine angew. Math.* Vol133, pp. 97-178 (1907).
- 14) 気象庁、台風の発生数の 1951-2014 までのデータ:
<http://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/typhoon/statistics/generation/generation.html>.

【受理年月日 2016年 9月30日】

小山高専 40kW 太陽光発電システムの評価

— 長期稼動状況と経年変化 —

鹿野 文久^{*1}

Performance Evaluation of the 40kW Photovoltaic System in NIT, Oyama College

— Long-term Circumstances and Failure Situation —

Fumihisa KANO

40kW photovoltaic system in NIT, Oyama College generated a total power of 498MWh from July 1999. For the reduction of power generation, power conditioners (PCS) and the photovoltaic module was either repair or replacement during the 16 years. In the management of photovoltaic power generation has been a failure detected easily in PCS, the failure of the photovoltaic it is difficult to detect only by monitoring the amount of power generation. By comparing the theoretical power generation amount of power generation of the photovoltaic, photovoltaic after 7 years in the failure was increased.

KEYWORDS : Photovoltaic, Solar Power Generation, Failure Situation

1. まえがき

地球温暖化防止施策から注目を集めた太陽光をエネルギーとした発電は、2011 年東北地方太平洋沖地震以降、再生可能エネルギー利用へのエネルギー政策への転換となり、特に太陽電池を用いた発電システムは国や地方自治体からの補助金の給付や平成24年7月に施行した再生可能エネルギーの固定価格買取制度から、図 1 に示す太陽電池国内出荷量に示すように急速に普及拡大した。

この太陽電池の寿命は一般的には 20 年から 30 年と言われ、現在 1990 年代に導入された太陽電池

が寿命を迎え、今後 2030 年以降は急速に普及した膨大な量の太陽電池が寿命を迎えることとなる。

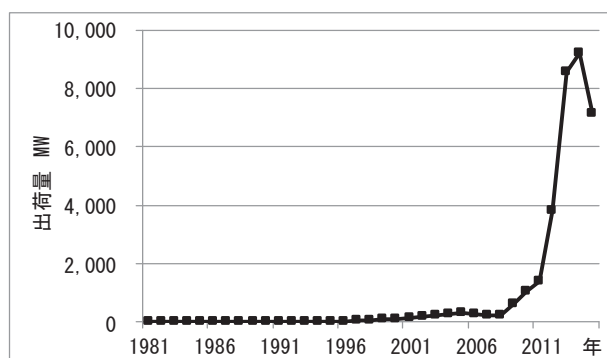


図 1 日本国内向け太陽電池出荷量の推移
一般社団法人 太陽光発電協会 HP¹⁾より引用

^{*1} 電気電子創造工学科 (Dept. of Innovative Electrical and Electronic Engineering), E-mail: kano@oyama-ct.ac.jp

急速普及に伴い太陽光発電システムについて維持管理のための故障診断や遠隔監視といった研究が進められているが、大規模太陽光発電システムの故障や発電量推移といった現況の報告は少ない。小山工業高等専門学校では太陽光発電システム普及初期の1999年に、総発電量40kWの太陽光発電システムとして栃木県内でも早期に稼働、この16年間電力供給するとともに、発電状況に関する稼働データを蓄積してきた。

そこで本論文では、小山高専40kW太陽光発電システムの1999年7月からの発電データをもとに、システムの発電状況の推移と故障や修理交換状況、さらに太陽電池の故障診断について発電量減衰からの検知を目的とした、太陽光発電システムの評価解析をおこなった。

2. 小山高専40kW太陽光発電システム

図2に太陽光発電システム概略図を示す³⁾。太陽電池で発電した直流電力は、パワーコンディショナーを介し三相交流200Vに系統連携され学内へ供給される。太陽光発電システムはこのほかに太陽電池の電圧・電流・温度の測定装置、日射量計や気温計からなる気象観測装置、そしてこれらのデータをコンピュータに記録するデータ解析システムから構成される。測定データはコンピュータにより6秒ごとに測定し積算・または平均値として5分間隔で自動保存した。

太陽電池はシャープ(株)製多結晶太陽電池(形名NE51FLR、最大出力120W、最大出力動作電圧25.7V、最大出力動作電流4.67A、モジュール変換効率12.5%)1モジュールを基本単位として用いた。このモジュールを電気情報・物質工学科棟屋上に6直列42並列・252モジュール約30kW出力と機械工学科棟屋上に6直列14並列・84モジュール約10kW出力の合計336モジュールとし、開放電圧308.4V、最適動作電圧154.2V、最適動作電流130.76A、最大出力40.3kWの太陽電池アレイとして構成した。太陽電池アレイの設置角と方位は、傾斜角20度、方位角90度(真東を0として南に90度)である。図3に校舎屋上に設置した30kW太陽電池アレイを示す。

パワーコンディショナー(PCS)は古河電気工業株式会社の10kWユニット単位のインバータを4ユニットで構成し、太陽電池アレイ出力に応じてユニットの運転台数を制御する。各々のインバ

ータは直流動作電圧を1秒間に5Vずつ微増・微減させ、その前後の発電電力を監視し、常に太陽電池出力電力が最大になるよう直流動作電圧を制御する、最大電力点追従制御による電流制御形PWMインバータ制御の機能をもつ。

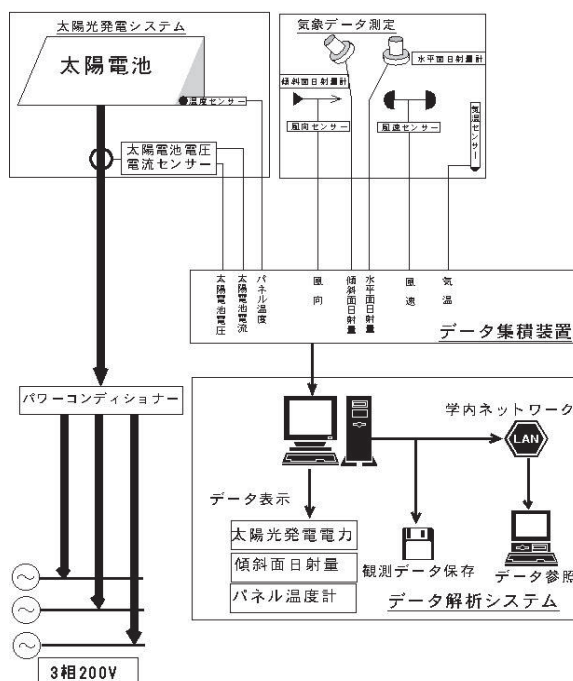


図2 小山高専太陽光発電システム概略図



図3 校舎屋上設置の30kW太陽電池アレイ

3. 太陽光発電量の経年推移

1999年7月から2015年7月までの太陽光発電電力について、図4に月毎に積算した発電電力量の推移を、図5に月毎積算積算電力量を毎年同じ月とした経年推移を示す。

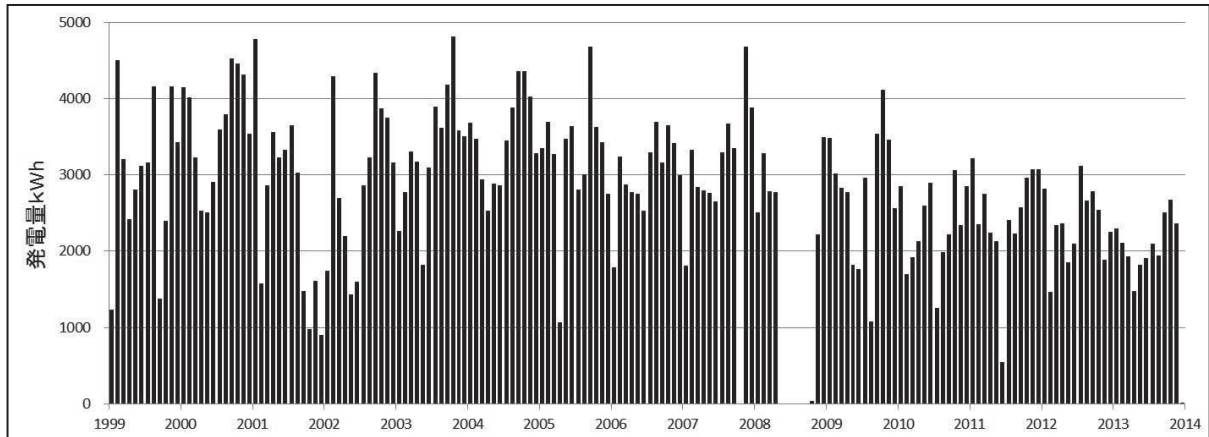


図4 1999年7月～2014年7月までの太陽光発電電力推移(月積算)

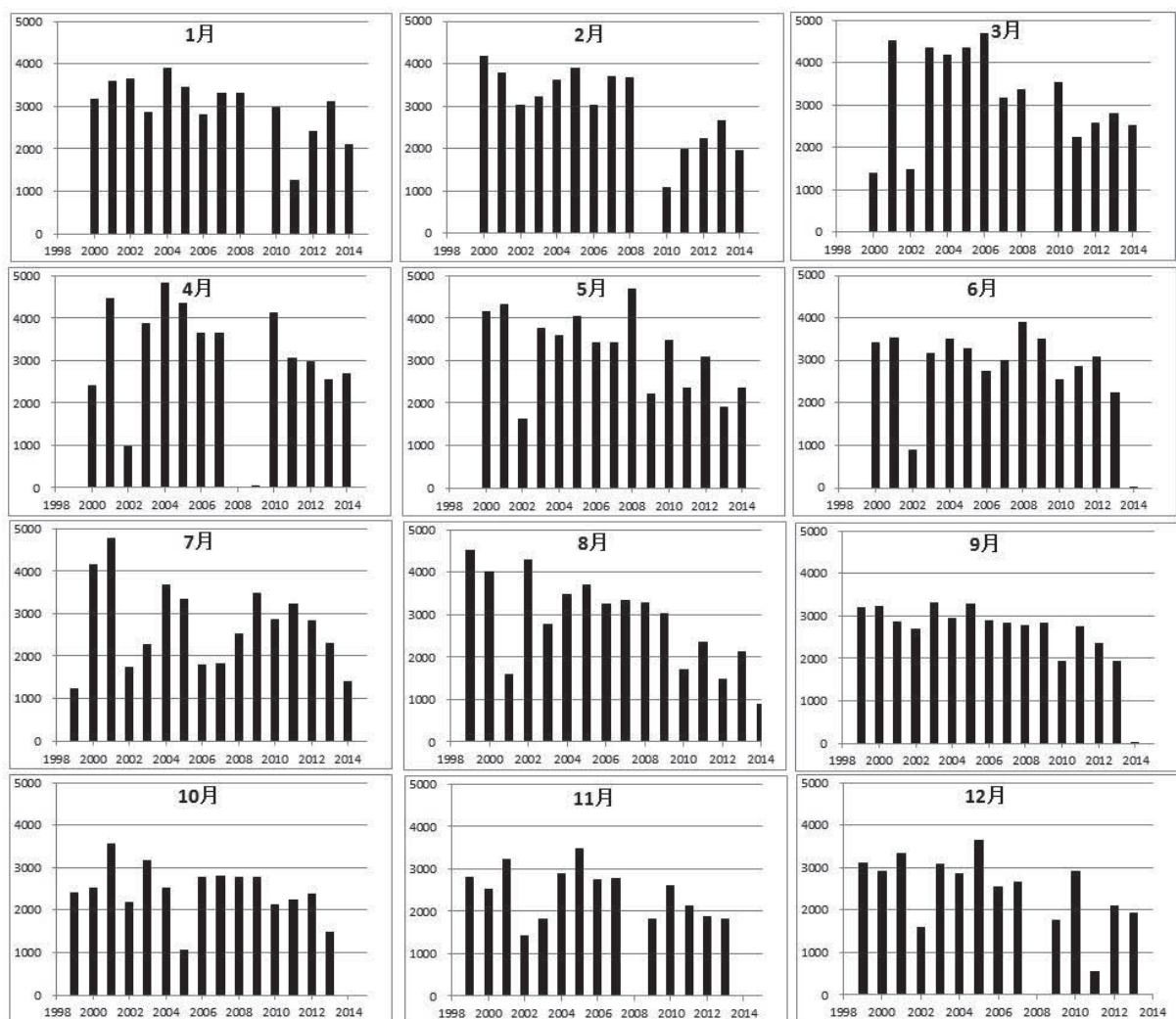


図5 毎年同月とした積算太陽光発電電力の年推移 (単位 kWh)

1999年7月から2015年7月までに小山高専太陽光発電システムが発電した総積算発電電力量は498,227kWhであり、月毎積算の最大発電電力は2004年3月に4,814kWhを記録した。この期間PCS

の不調や故障による発電量の差が含まれるが、2008年までの設置初期の結果においては、小山において3月～5月における発電電力量が高く、発電に適した天候状況が多いことが理解できる。

4. 太陽光発電システムの故障状況

4. 1 太陽光発電システムの故障と修理状況

表1に、太陽光発電システムの故障と修理状況を示す。小山高専の発電システムにおいて、PCSによる発電不調や停止から修理を3回実施した。

PCSの不調や発電停止といった故障発生時には、機器からの故障表示や図6に示すように太陽光発電システムの発電データに明確な症状が発生することから、容易に故障確認ができた。主な故障要因は電子機器であるPCSの回路基板によるもので、回路板交換により対処している。

小山高専において太陽電池故障によるモジュ

表1 太陽光発電システムの故障修理状況

故障日 (経過年月)	故障機器	修理内容
2003/03/05 (3年7ヶ月)	パワーコンディショナ(PCS)	プリント回路板交換
2008/08/15 (9年1ヶ月)	パワーコンディショナ(PCS)	A/D交換器、 トランスデューサ交換
	太陽電池	太陽電池1枚交換
2008/12/22 (9年5ヶ月)	パワーコンディショナ(PCS)	プリント回路板交換 ヒューズ交換
2010/04/26 (10年9ヶ月)	太陽電池	太陽電池29枚交換 (7月15日)

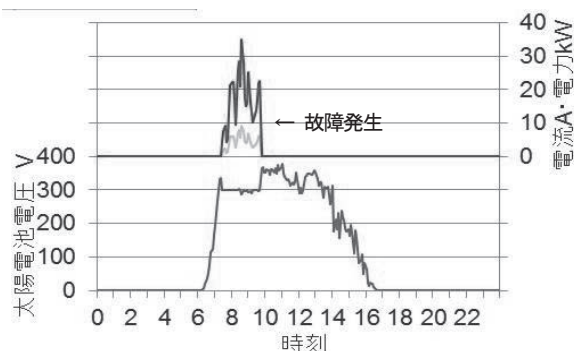


図6 PCS故障発生時の発電データ

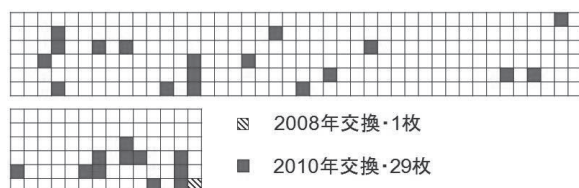


図7 太陽電池モジュールの交換修理箇所

ール交換は、表1に示した2008年と2010年の2回実施している。故障の特定方法はモジュールの赤外線カメラによる異常発熱検知²⁾と目視による故障確認である。図7に交換した30枚のモジュール配置を示す。336モジュール有する太陽電池の故障特定については、太陽電池の故障による発電量が急激に発電停止することは少なく、徐々に発電量が減少する場合が多い。発電データから太陽電池の故障特定は、太陽運動や気象変動といった日射量変動による発電量変動の方が大きい困難となる。実際、図8に示す年間発電量においてPCS故障による発電量低下以外、2008年以降徐々に発電量低下の傾向は確認できるが、太陽電池の発電不良による影響と判断するには困難がある。

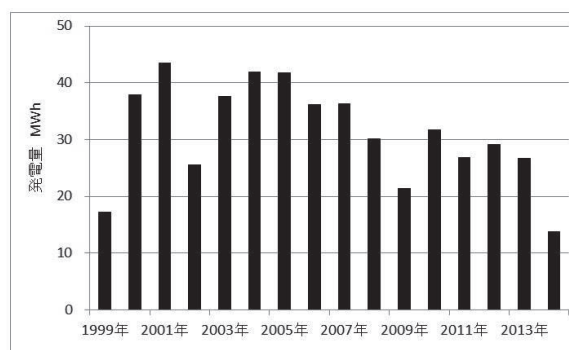


図8 太陽光発電システムの年間発電量推移

4. 2 太陽電池交換による電力回復効果

2010年7月15日に太陽電池モジュール29枚の交換修理に着目し、発電データを比較する。天候状況の相違が少ない日として、交換前の7月8日と交換後28日の発電特性を図9と図10に示す。

交換前8日の11時55分における傾斜面日射強度 $1.07\text{kw}/\text{m}^2$ ・太陽電池温度 56.0°C において、発電電圧・電流 $247\text{V} \cdot 99.1\text{A}$ で発電電力 22.26kW であったのに対し、交換後28日11時50分傾斜面日射強度 $1.09\text{kw}/\text{m}^2$ ・太陽電池温度 65°C において発電電圧・電流 $237\text{V} \cdot 103\text{A}$ の発電電力 23.52kW であった。太陽電池発電は、日射強度と太陽電池温度により変わるため、比較のため太陽電池の温度補正 $(-0.5\%/^\circ\text{C})$ を考慮しても、交換後の28日における発電電力増加は8日の10%程度しか増加していない。本来 40kW 出力太陽電池が、傾斜面日射強度 $1\text{kw}/\text{m}^2$ 時に太陽電池温度 65°C において予想される最大発電発電量が 32kW であることから、28日の発電電力は本来の74%程度しか得られておら

ず、太陽電池交換においても発電電力の回復には至らなかった。

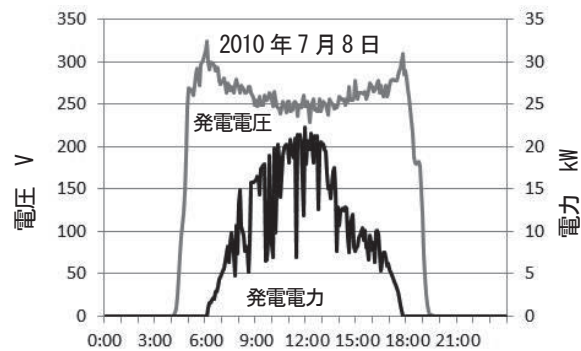


図9 モジュール交換前発電状況

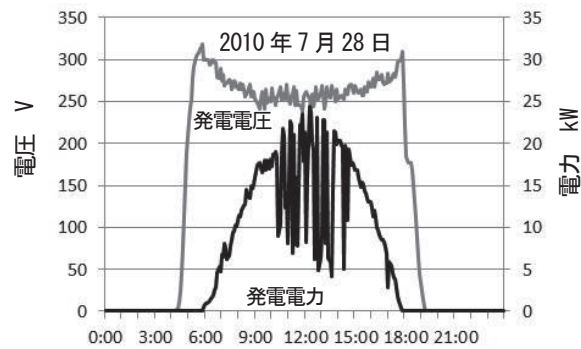


図10 モジュール交換後発電状況

4. 3 赤外カメラによる故障診断

機械工学科棟屋上に設置した 84 枚モジュールについて赤外カメラ (Fluke 製 Ti29) を用い故障診断を実施した。太陽電池の異常発熱にはホットスポットと呼ばれる太陽電池部位からの発熱と、太陽電池モジュールが発電不良時において直列につながった他の太陽電池からの電流を流すバイパスダイオード通電による発熱が発生する⁵⁾。

測定の結果図 11 に示すように、84 枚中 25 モジュールにおいて異常発熱を持つ部位を確認した。

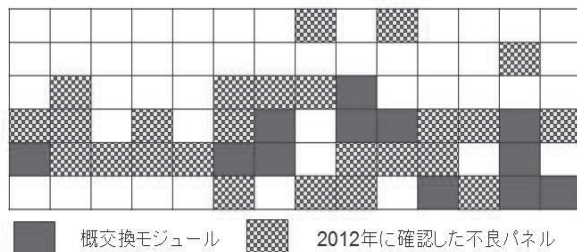


図11 赤外カメラによる故障診断結果

この数は既に交換したモジュールと合わせ 36 モジュールとなり、1999 年設置以来の故障割合としては 42.86%と高い故障率となる。

5. 発電電力量の評価

5. 1 理論発電電力量の算出

発電データからモジュール故障推移を評価するために、気象観測した日射状況から太陽電池の理論的な発電電力を求め、これと実際の発電量を比較し評価をおこなうこととした。

理論発電電力は、モジュールに到達する法線方向の日射強度、太陽光入射角、太陽電池の温度特性から理論的に算出が可能となる。

5. 2 太陽光入射角

太陽光入射角を求めるには任意時間における時角 τ (南中を 0 度とし 1 時間を 15 度刻みで表す角度) を (1) 式より求める。この式で求めた時角及び、栃木県小山市の緯度 α 、計算日の赤緯 γ から (2) 式で太陽高度 λ を求め、太陽高度から太陽方位角 ϕ を (3) 式、そして太陽入射角 Ψ を (4) で求める。

$$\tau = (t - 12) \times (\beta - \omega) + Eq \times 15 \quad [\text{deg}] \quad (1)$$

$$\lambda = \sin^{-1}(\cos \alpha \times \cos \gamma \times \cos \tau \pm \sin \alpha \times \sin \gamma) \quad [\text{deg}] \quad (2)$$

$$\phi = \cos^{-1}((\cos \gamma \times \sin \tau) / \cos \lambda) \quad [\text{deg}] \quad (3)$$

$$\Psi = \cos^{-1}\{\cos \lambda \times \sin(\delta + \theta) \cos(\phi - \sigma) + \sin \lambda \times \cos(\delta + \theta)\} \quad [\text{deg}] \quad (4)$$

τ : 時角[deg]、 t : 任意時間[h]、 α : 緯度[deg]、 β : 経度[deg]、 γ : 赤緯[deg]、 ω : 標準時経度[deg]、 Eq : 均時差[h]、 λ : 太陽高度[deg]、 ϕ : 太陽方位角[deg]、 Ψ : 太陽入射角[deg]、 θ : 勾配[deg]、 δ : 太陽電池の水平面傾斜角[deg] (水平に対する傾き)、 σ : 太陽電池の傾斜方位角[deg] (真南傾斜時を 0) 直達日射に対する各角度を図 12 に示す。

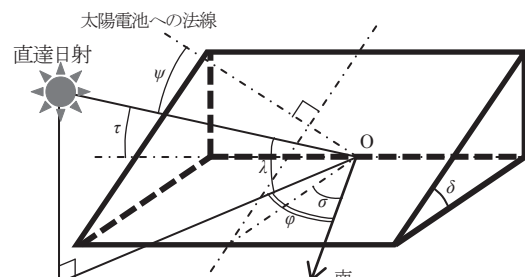


図12 太陽光日射角モデル

5. 3 太陽電池の温度依存特性

太陽電池の変換効率は温度によって変化する
ことから、太陽電池電力変換効率を(5)式で求める。

$$\eta_{SP} = \eta \times (100 - (T - T_0) \times \eta_T) [\%] \quad (5)$$

η_{SP} : 太陽電池電力変換効率[%], η : 25℃時の変換効率[%], T : 太陽電池温度[℃], T_0 : 基準温度=25[℃], η_T : 温度係数[%/℃]

5. 4 太陽電池の発電電力算出

太陽光入射角 φ より(6)式にて傾斜面日射強度
を求め、傾斜面日射強度と太陽電池変換効率 η_{SP}
から(7)式を用いて太陽電池発電電力が求まる。

$$RS_{DP} = RS_{MX} \times \cos \phi \quad [\text{deg}] \quad (6)$$

$$PW = RS_{DP} \times S \times \xi_{FW} \times \eta_{SP} \quad [\text{deg}] \quad (7)$$

RS_{DP} : 傾斜面日射量[W/m²], RS_{MX} : 最大到達放射強度=1[kW/m²],

PW : 太陽電池の発電電力[W], S : 太陽電池の貼付面積[m²],

ξ_{FW} : 晴天率=100[%]

天候を考慮した理論発電電力量は、(7)式の傾
斜面日射量 RS_{DP} に、モジュールの設置傾斜角と等
しく設置した日射量計にて実測した日射量値を代
入することで求まる。

5. 5 理論発電量による発電電力評価

図13に実測の発電電力と比較のため、雲のない
快晴日のみ(晴天率=100%)として温度補正を加え
算出した理論積算発電電力量と、傾斜面日射量計
の計測値をもとに温度補正をおこない天候を考慮
した発電電力量について、2000年から2010年ま
での期間について積算発電電力量と合わせて、年
推移として示す。

理論積算発電電力量は年間約63MWhであるが、
天候を考慮した場合は気象によって発電電力量が

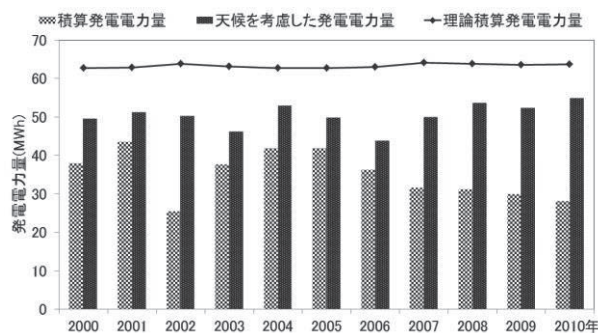


図13 通算の理論・実測年積算発電電力推移

変動するため、2006年の最小43MWhから2010
年の最大55MWhと変動する。2002年はPCS故
障による影響であるため除外すれば、天候を考慮
した発電量と実発電電力量の差は2006年までは
平均8.5MWh程度と大きな差はないが、2007
年以降差が増大し、2007年18MWh、2010年27
MWhと大きく実発電量の減少が生じた。

2007年以降徐々に発電量減少が進行した原因
の一つに太陽電池接続部位に何らかの抵抗増加が
発生し、ホットスポット発生による損失が増加し
ているものと理解できる。実際2008年から2年間
で29枚のモジュール交換、その後赤外線カメラ
による評価で84枚中25枚異常発熱した太陽電
池モジュールを確認している。太陽電池モジュ
ール故障は発電量モニターからは検知が困難であり、
赤外線カメラによる診断と併用で確実に検知が可
能となる。

6. まとめ

小山高専の太陽光発電システムでは、15年間で
498MWhの発電電力を得た。PCS故障は容易に
検知できたが、太陽電池の故障については発電電
力のモニター監視のみでは困難であった。天候を
考慮した理論発電電力との比較することにより、
設置後7年目からの発電電力減少を確認し、太陽
電池モジュール故障による影響であることを確認
した。今後、故障検知が困難な太陽電池モジュ
ールの故障に対して、確実な検知方法が重要となる。

参考文献

- 1) 太陽電池の出荷統計: 一般社団法人 太陽光発電協会HP,
<http://www.jppea.gr.jp/document/figure/index.html>
- 2) 加藤和彦: 太陽光発電システムの不具合事例ファイル,
日刊工業新聞社 (2010)
- 3) 鹿野文久, 小澤祐二, 田中昭雄: 小山高専40kW太陽光
発電システムの評価, 小山工業高等専門学校研究紀要
(33), 105-111, 2001-03
- 4) 岡田康史 他: 太陽電池モジュールにおけるホットスポ
ットの調査, 太陽/風力エネルギー講演論文集 2010,
535-538, 2010
- 5) 羽倉瑞季 他: バイパスダイオードの発熱状況による
太陽光発電システム不具合評価, 太陽/風力エネルギー講
演論文集, 2008, 273-276, 2008-11

【受理年月日 2016年 9月26日】

パラジウム触媒により発生させた有機スズ反応剤 を経由するフェノール類のハロゲン化

亀山 雅之^{*1}, 成田 美咲^{*2}, 飯島 道弘^{*3}, 西井 圭^{*3}

Halogenation Reaction of Phenols via Organotin Reagents Generated by a Palladium Catalyst

Masayuki KAMEYAMA, Misaki NARITA, Michihiro IIJIMA, and Kei NISHII

The organic fluorochemicals have an important position in the field of pharmaceutical products and pesticides. The synthesis of fluoroarene by the reaction of phenols with electrophilic fluorination reagents in the presence of palladium complex and stannous chloride (II) was studied. The synthesis of bromoarene by the similar reaction system was investigated. The reactions of tin intermediates with ethyl Grignard reagent were examined. The desired haloarenes in these reactions were not observed in GCMS analysis.

KEYWORDS : Organotin Reagents, Palladium Catalyst, Halogenation, Phenols

1. 緒言

フッ素原子は水素原子に次いで原子半径が小さいため、生体はフッ素原子を識別できない。また、フッ素原子は電気陰性度が最大であり、炭素-フッ素結合は非常に強固で切断され難いため、置換反応や還元反応等の結合の切断は容易に起こらない。これらの特徴により、薬理効果の発現および作用選択性の向上などが期待されている¹⁾。

フッ素原子を含む市販の医薬品は約 150 種類存在し、医薬品全体の 20% を占めている²⁾。

Fludiazepam はベンゼン環にフッ素原子が導入されており、脳内の神経受容体に結合することによって抗不安作用や鎮静作用などを示す。Nadifloxacin が窒素含有の芳香環にフッ素原子を有しており、細菌の DNA 複製を妨害し、それを死滅させる抗菌剤として使用されていることは、その代表例である(Figure 1)³⁾。このように、有機フッ素化合物は医薬品や農薬の分野において、非常に重要な位置を占めている。しかし、芳香環にフッ素原子を導入する汎用性の高い反応は少なく、優れた C-F 結合生成反応の開発が望まれている。

*1 物質工学科 (Department of Materials Chemistry and Bioengineering), E-mail: kameyama@oyama-ct.ac.jp

*2 平成 25 年度専攻科複合工学専攻修了、現大日精化工業株式会社 (Dainichiseika Color & Chemicals Manufacturing Co., Ltd)

*3 物質工学科 (Department of Materials Chemistry and Bioengineering)

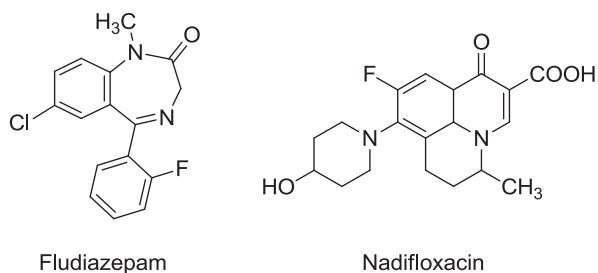


Figure 1 フッ素原子を含む医薬品

一方、有機 EL 材料には多くのアリール基が連結した化合物が用いられている。Rubrene は、消費電力が少なく、大画面にすることが可能で柔軟性のある有用な材料として携帯電話やテレビのディスプレイへの利用が進んでいる (Figure 2)⁴⁾。

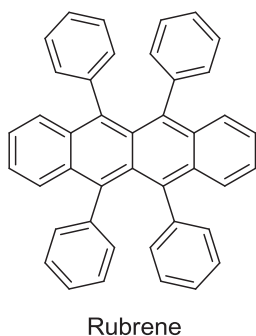
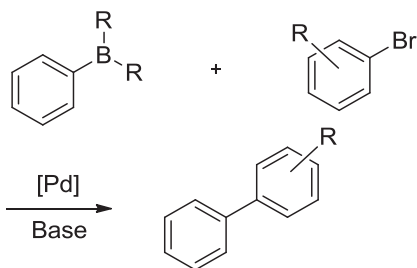


Figure 2 有機 EL 材料

一般にこの種の有機 EL は、ブromoアレーンを原料として鈴木-宮浦カップリングを用いてアリール基を連結することにより合成される。このカップリング反応は、パラジウム触媒下、有機ホウ素化合物と有機ハロゲン化合物との反応により、新しい炭素-炭素結合を形成する反応である⁵⁾。従って、ブromoアレーンの簡便な合成法の開発は、有機材料の分野において非常に重要である。



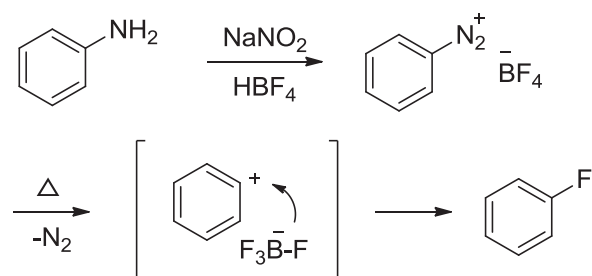
これまでに、我々はパラジウム錯体存在下、有機スズ化合物によるアルケンのカルボスタニル化の研究において、トリクロロスズ化学種が脱離基

として働くことを見出した⁶⁾。この反応は従来のパラジウム触媒による有機スズ化合物とハロアレーンとのカップリング反応とは異なる、新しい有機スズ化合物の反応への展開を期待させるものである。

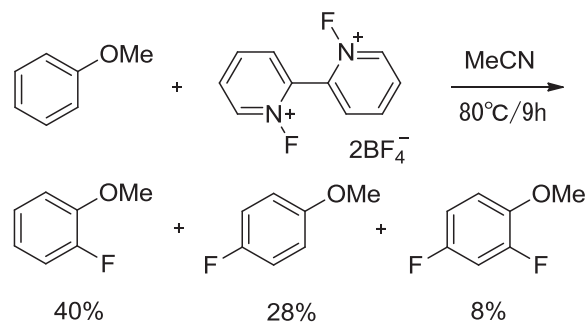
本論文では、我々のグループが開発したパラジウム触媒によるカルボスタニル化の化学を用いた、フェノール類へのハロゲン原子の導入の検討結果について述べる。

2. フッ素化反応

電子不足な芳香環に対するフッ素原子の導入は、古典的な方法として Balz-Schiemann 反応が知られている。この反応はアニリンのジアゾ化により芳香族ジアゾニウムテトラフルオロボレートを得た後、熱分解により対応するフルオロアレーンを与える反応である⁷⁾。

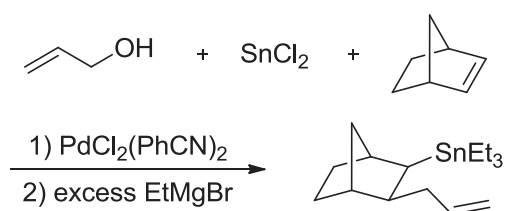


一方、電子豊富な芳香族化合物は求電子的フッ素化剤と反応してフルオロアレーンに変換できる。梅本らは、アニソールを求電子的フッ素化剤 N,N'-ジフルオロビピリジニウムビステトラフルオロボレート (MEC-31) で処理するとフルオロアニソールが生成することを報告している。

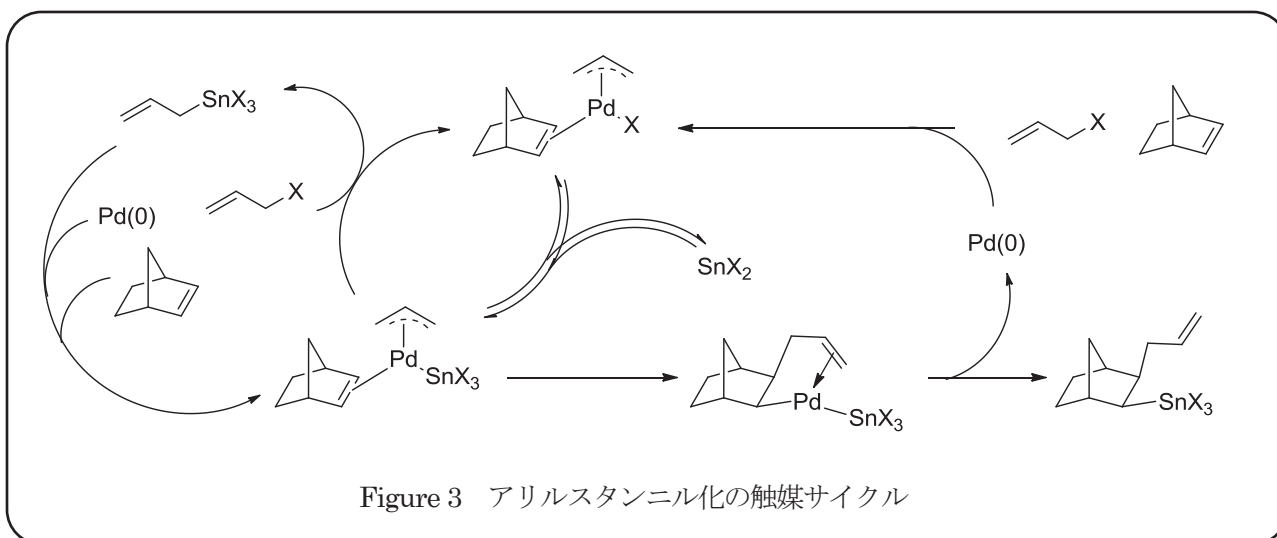


しかし、この反応は三種類の位置異性体の混合物が生成し、その位置選択性が低いことが欠点となっている⁸⁾。

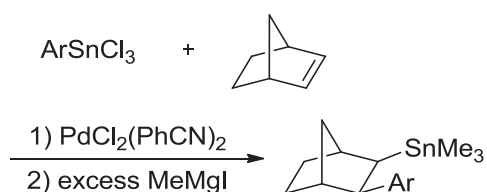
普神と我々のグループは、パラジウム触媒存在下アリアルアルコールと塩化スズ(II)、ノルボルネンを反応させた後、過剰の Grignard 試薬で処理すると、アリル基とトリクロロスタンニル基が付加したノルボルナン誘導体が生成することを見つけている⁶⁾。



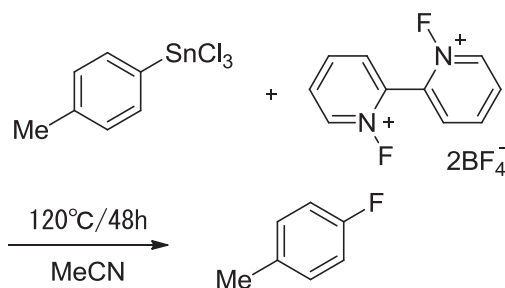
このアリルスタンニル化は、 π -アリル錯体を経由し、以下のようなサイクルで反応が進行すると説明される(Figure 3)。



同様に、パラジウム触媒存在下アリアルトリクロロスズをノルボルネンと反応させると、アリアルスタンニル化が起こる⁶⁾。

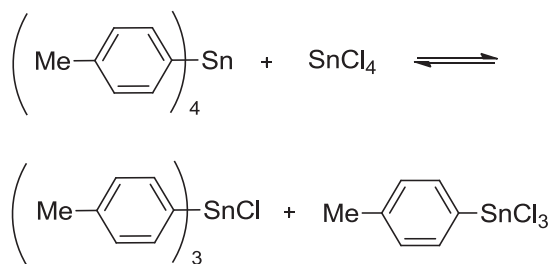


更に我々は *p*-トリルトリクロロスズと MEC-31 と反応させると、低収率であるが *p*-フルオロトルエンが得られることも見つけている⁹⁾。

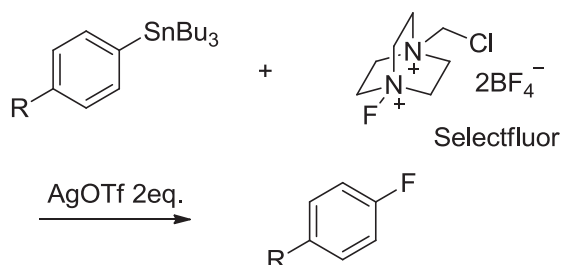


これら結果はパラジウム触媒によりトリクロロスズ基がよい脱離基として働くことを示唆する。

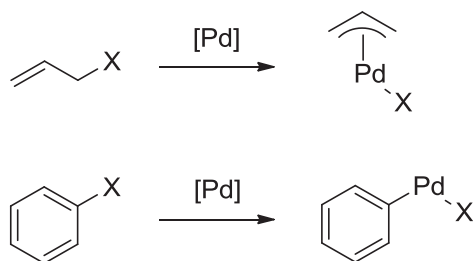
しかしながら、この反応の原料となる *p*-トリルトリクロロスズは、テトラトリルスズと四塩化スズの再分配で合成し、減圧蒸留により精製する必要があるという欠点を持つ。



近年、Ritter らは二等量の銀トリフラートと N-フルオロ-N'-(クロロメチル)トリエチレンジアミンビステトラフルオロボレート(Selectfluor)により、アリールトリブチルスズのフッ素化が可能であると報告している¹⁰⁾。

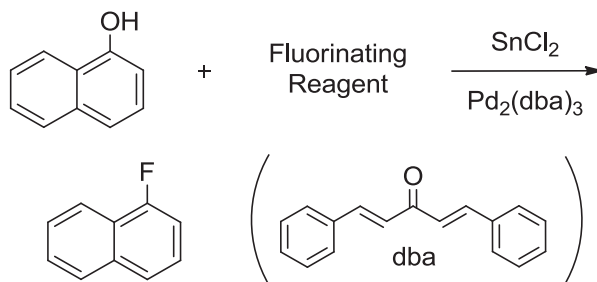


この反応は温和な条件で進行し、置換基の性質に影響無く、よい収率でフルオロアレーンを与える。しかし、有機スズ化合物は一般に炭素基が数多く置換するほど毒性が増加する。即ち、この反応では毒性の高いアリールトリブチルスズが必要である。また、高価な銀塩を二等量必要としているため、芳香環にフッ素原子を導入する方法として実用的ではない。



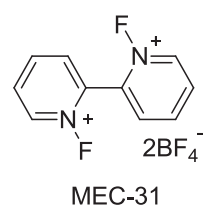
一般に、パラジウム触媒はハロゲン化アリールとの反応により Pd π-アリール錯体を与える。また、ハロゲン化アリールも同様に Pd アリール錯体を与える。

そこで我々は、普神らのアリールアルコール、パラジウム錯体、塩化スズ(II)の反応系を、フェノール類に応用する新しい芳香族求電子置換反応の開発を期待し、パラジウム錯体および塩化スズ(II)を用いるフェノール類と求電子的フッ素化剤との反応によるフルオロアレーンの生成を検討した。

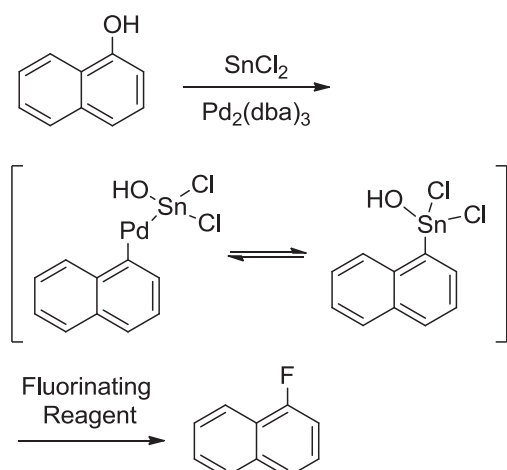


この反応では毒性のあるテトラオルガノスズを使わないこと、さらに反応後は無害な無機スズ化合物しか生成しないことから、前述のアリールトリブチルスズを用いる反応に比べ、グリーンな反応といえる。

この反応ではフェノール誘導体をトリス(ジベンジリデンアセトン)ジパラジウム(0) (Pd₂(dba)₃)と塩化スズ(II)と反応させ、アリールスズ中間体を発生させる。次に、このアリールスズを求電子的フッ素化剤により処理し、目的のフルオロアレーンが生成すると考えた。



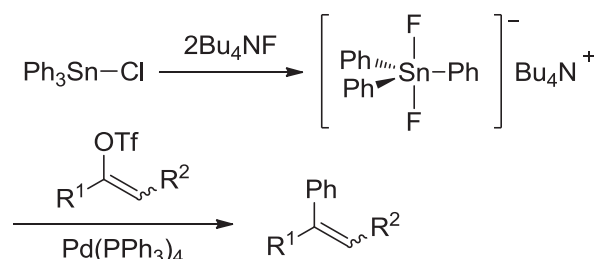
フェノール誘導体には、生成物の確認が容易な α-ナフトールを用いた。フッ素化剤として、MEC-31 と Selectfluor の 2 種を検討した。これらは室温で安定であり、取り扱いが容易な求電子的フッ素化剤である。MEC-31 は単位重量あたりの有効フッ素含量が高いことが特長であり¹¹⁾、Selectfluor は熱に強いフッ素化剤であることを特長としている¹²⁾。



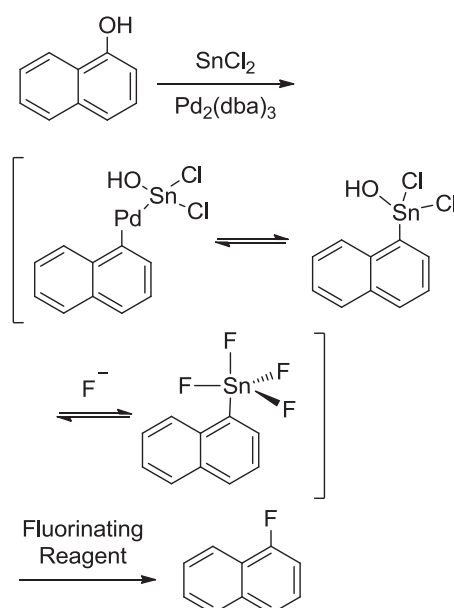
反応は、求電子的フッ素化剤を所定の溶媒中の α -ナフトール、塩化スズ(II)、 $\text{Pd}_2(\text{dba})_3$ に加え、室温で行った。溶媒には、フッ素化反応で一般に使用されるアセトニトリル、非プロトン性極性溶媒のジメチルホルムアミド(DMF)、沸点の高いエーテル系溶媒であるジメトキシエタン(DME)を検討した。しかし、生成物をガスクロマトグラフ質量分析計(GCMS)で分析した結果、目的のフルオロナフタレンは確認できなかった。

目的物が得られなかった原因として、想定している中間体が生成する前にフッ素化剤が分解している可能性を考えた。そこで、 α -ナフトール、塩化スズ(II)、 $\text{Pd}_2(\text{dba})_3$ の混合物を室温で数時間攪拌した後、フッ素化剤を加え、反応を行ったが、目的物は確認できなかった。一般に、パラジウム錯体とプロモアレーンとの反応により酸化的付加体を形成するには、 80°C 程度の熱が必要と言われている。そのため、 α -ナフトールに塩化スズ(II)、パラジウム触媒を加えスズ化学種を生成する際、適度な加熱が必要である。

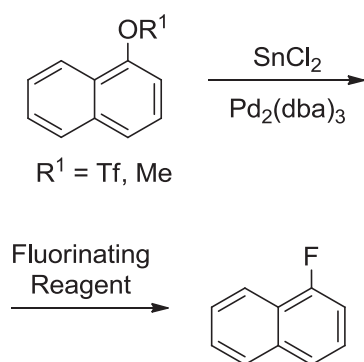
ケイ素化合物やスズ化合物は電気陰性度の大きいフッ素原子や酸素原子などにより金属が高配位化すると、アピカル位の有機基と金属の結合が長くなることが知られている。ハロゲン化有機スズは、フッ化物イオンの添加によって、容易に高配位スズ種に変換できる。Martinez らは、塩化トリフェニルスズにフッ化テトラブチルアンモニウム(TBAF)を 2 等量作用させテトラブチルアンモニウムジフルオロトリフェニルスタナートを調製し、この反応剤が交差カップリング反応に高い反応性を示すことを見つけている¹³⁾。



そこで、我々が想定している中間体のスズ化学種も、種々のフッ化物イオン源で高配位化すると脱離しやすくなるのではないかと考え、フッ化カリウムと TBAF をそれぞれ 4 等量加えて同様の反応を行った。反応混合物を GCMS で分析したところ、生成物中に目的物は確認できなかった。同様の反応を 80°C で行ったが、目的物は確認できなかった。今回、フッ化物イオン源は化学量論量である 4 等量使用した。5 配位のスズ化学種は弱い平衡ながら、6 配位の配座をとることが分かっている。そのため、4 等量以上のフッ化物イオン源を使用することで、反応が円滑に進行すると推測される。溶媒は DMF を使用したがフッ化カリウムは溶解せず、攪拌終了後も粉末状の固体としてフラスコ内に沈殿していた。この結果はフッ化カリウムをよく溶かす極性溶媒の検討が必要であることを示している。



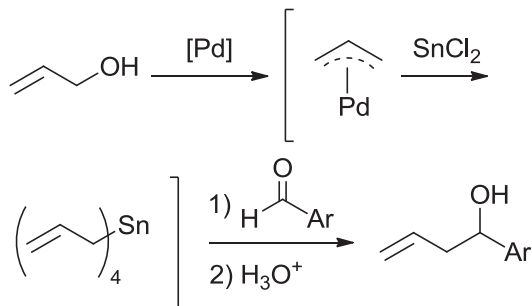
次に、ヒドロキシ基より良い脱離基を持つ基質を検討した。一般的により脱離基と言われている *p*-トルエンスルホニル基(トシル基)、メトキシ基を持つ基質を使用した。まず、ナフチルトシレート(II)を塩化スズ(II)、 $\text{Pd}_2(\text{dba})_3$ 、フッ素化剤と反応させた。GCMS で分析したところ、生成物中に目的物は確認できず、原料が確認された。ナフチルトシレートを用いた反応の生成物中には痕跡量の α -ナフトールが確認できた。これは、ナフチルトシレートの合成段階での未反応の α -ナフトールだと考えられる。



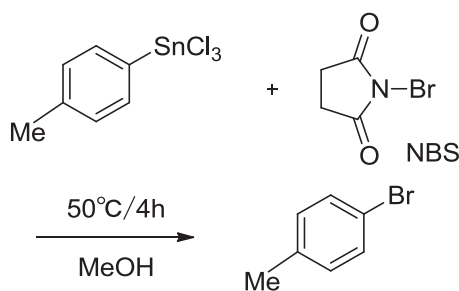
次に、メトキシナフタレンを塩化スズ(II)、 $\text{Pd}_2(\text{dba})_3$ 、フッ素化剤と反応させた。GCMS で分析したところ、生成物中に目的物は確認できず、原料が確認された。

3. 臭素化反応

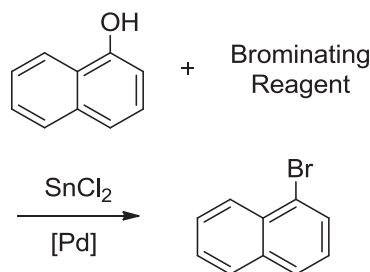
増山らは、パラジウム触媒存在下アリルアルコールと塩化スズ(II)を反応させ、パラジウムの π -アリル錯体を経て発生させたアリルスズ化学種とアルデヒドの反応によるカルボニルアリル化を報告している¹⁴⁾。これはアリルアルコールに対しアルデヒドが求電子的に反応することを示している。



一方、我々のグループでは、*p*-トリルトリクロロスズがメタノール中で NBS と反応し臭素化物を与えることを見つけている。このことはパラジウム錯体による活性化無しにトリクロロスタニル基が脱離基として働くことを示している。この反応は温和な条件で進行し、高収率で臭素化物を与える反応であるが、*p*-トリルトリクロロスズは毒性の高いテトラトリルスズから合成する必要があり、ブロモアレーンの合成法として実用的ではない。



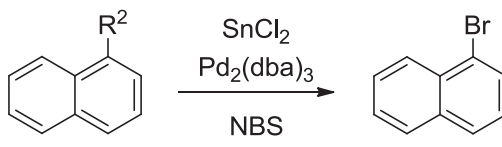
そこで我々が検討しているフッ素化反応と同様の反応系に対して求電子的臭素化剤を用いてブロモアレーンの生成を検討した。



まず、塩化スズ(II)、 $\text{Pd}_2(\text{dba})_3$ を用いずに、 α -ナフトールと臭素化剤 NBS を反応させた。生成物を GCMS で分析した結果、目的物は確認できず、原料の他にナフチル環に臭素が置換した化合物が確認された(**Table 1**)。これは NBS から発生した Br^+ がナフチル環に求核攻撃してできた生成物だと考えられる。ナフタレンはベンゼンよりも求電子置換反応が起こりやすく、また水酸基は芳香族に対する求電子置換反応においてオルト・パラ配向性を示す。このためナフチル環の 2 位と 4 位に臭素原子が導入されたと推測される。塩化

スズ(II)とパラジウム触媒を加えない場合、水酸基は脱離基として働かず、ナフチル環の水素原子が置換反応を起こすことが分かった。

Table 1 NBS による臭素化反応

		
R ²	temp.(°C)	time(h)
OH	-	-
OH	80	1
OTs	80	1
OMe	80	1
OCOMe	80	1

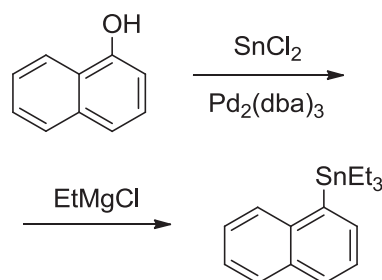
次に、 α -ナフトールと塩化スズ(II)、 $\text{Pd}_2(\text{dba})_3$ を加え 80°Cまで加熱した後、NBSを加え反応を行った。生成物中には、臭素が導入されたナフトールが確認された。ナフチル環の水素原子に対する置換反応よりも、脱離基の脱離と臭素の置換反応を速く進めるため、良い脱離基を持つ基質を検討した。原料にナフチルトシラートを使用し、塩化スズ(II)、 $\text{Pd}_2(\text{dba})_3$ 、NBSと反応させた。GCMSにより生成物を分析した結果、ナフタレンの臭素置換体が確認された。このとき、 α 位はトシル基ではなく、水酸基に変化していた。この α -ナフトールは原料中に含まれていた未反応の α -ナフトールまたは臭素化反応中にわずかに混入した水によって加水分解された α -ナフトールだと考えられる。同様の目的でメトキシナフタレンを用いて反応を行ったところ、生成物にはナフタレン環に臭素が置換した化合物が確認された。酢酸1-ナフチルとの反応では、原料の他に α -ナフトール、ナフタレン環に臭素が置換した化合物が確認された。この反応でも α 位は水酸基に変化していた。

4. 発生させたスズ化学種のアシル化

反応

想定している中間体が反応溶液中で生成しているかを確認するために、スズ化学種のアシル化を行った。塩化スズ(II)、 $\text{Pd}_2(\text{dba})_3$ 、 α -ナフトールの混合物に 2mol/L 塩化エチルマグネシウムの THF 溶液を反応させた。

生成物を、ヘキサン:酢酸エチル=9:1の展開溶媒を用いるシリカゲル薄層クロマトグラフィー(TLC)で分離した。紫外線照射により極性の低いスポットが観察された。生成物と目的物の標品の $^1\text{H-NMR}$ を比較したところ、生成物中には水酸基のピークが大きく観察された。生成物中に、1.0~2.0ppm 付近にみられるエチル基由来のピークは確認できなかった。GCMSで分析したが、目的物は確認されなかった。



同様の反応を、ブロモナフタレンを用いて 80°Cで行い、生成物を GCMS で分析したところ、テトラエチルスズと原料の回収が確認された。この反応の条件検討は今後の検討課題である。

5. 結論

塩化スズ(II)、 $\text{Pd}_2(\text{dba})_3$ を用いて α -ナフトールなどのフッ素化反応を検討した。種々の反応条件での反応を行ったが、目的のフッ素化物は得られなかった。同様の反応を臭素化反応に適用しても目的物は得られず、ナフタレンの臭素置換体が確認された。これは、NBSがナフタレン環に対する求電子置換反応により生成したと考えられる。目的のフッ素化物や臭素化物が得られなかった原因

を調べた。塩化スズ(II)、 $\text{Pd}_2(\text{dba})_3$ 、 α -ナフトールを反応させた後、反応溶液に Grignard 試薬を加えてアルキル化を行った。目的物は得られず、テトラエチルスズが確認された。これは、パラジウムの還元的脱離が起らず、想定しているスズ中間体が生成していないことを示唆する。

今回想定した反応系ではハロゲン化が進行しないことが分かった。一方、芳香環に対するトリフルオロメチル化は、銅を用いて活性な“ $\text{Cu}-\text{CF}_3$ ”を発生させることにより成功している。そこで、芳香環に対するフッ素化にも、銅化合物の添加による活性種“ $\text{Cu}-\text{F}$ ”を発生させる経路を検討することにより目的の反応が成功すると期待される。

6. 実験方法

6. 1 α -ナフトールのフッ素化反応

三方コック、ラバーセプタムを備えた 20mL の二つ口ナスフラスコに撹拌子、 $\text{SnCl}_2(\text{II})$ (0.1907g, 1.0mmol)、 $\text{Pd}_2(\text{dba})_3$ (0.0203g, 0.025mmol)、DMF(1mL)を入れた。 α -ナフトール(0.1441g, 1.0mmol)を DMF(2mL)に溶解しシリンジで加えた。次に、MEC-31(0.1939g, 0.5mmol)を DMF(2mL)に溶解しシリンジで加えた。室温で一晩反応させた。

6. 2 添加剤を加えた α -ナフトールのフッ素化反応

三方コック、ラバーセプタムを備えた 20mL の二つ口ナスフラスコに撹拌子、 $\text{SnCl}_2(\text{II})$ (0.1907g, 1.0mmol)、 $\text{Pd}_2(\text{dba})_3$ (0.0203g, 0.025mmol)、DMF(1mL)を入れた。 α -ナフトール(0.1441g, 1.0mmol)を DMF(2mL)に溶解しシリンジで加え、さらに Ar ガスを強く出しながら、KF(粉末)(0.2324g, 4.0mmol)を加え、室温で半日反応させた。その後、MEC-31(0.1939g, 0.5mmol)を DMF(2mL)に溶解しシリンジで加え、室温で半日撹拌した。

6. 3 ナフチルトシレートの合成

三方コック、キャップを備えた 20mL の二つ口ナスフラスコに、氷冷下で塩化トシル

(1.6075g, 9.335mmol)、 Et_3N (7mL)、 α -ナフトール(0.7131g, 4.947mmol)を加え、一晩反応させた。反応溶液を氷水、次いでエーテルで洗浄した。有機層をさらに 1.0mol/L HCl 水溶液、次いで 5% NaHCO_3 水溶液で洗浄した後、氷水で洗浄すると白桃色の結晶が得られた。結晶は少量のエーテルで再結晶した。

6. 4 α -ナフトールの臭素化反応

NBS(0.1780g, 1.0mmol)の MeCN 溶液を用いて、 α -ナフトールのフッ素化と同様な方法で反応させた。

6. 5 α -ナフトールのアルキル化反応

三方コック、ラバーセプタムを備えた 20mL の二つ口ナスフラスコに撹拌子、 $\text{SnCl}_2(\text{II})$ (0.1907g, 1.0mmol)、 $\text{Pd}_2(\text{dba})_3$ (0.0203g, 0.025mmol)、DMF(1mL)を入れた。 α -ナフトール(0.1441g, 1.0mmol)を DMF(2mL)に溶解しシリンジで加え、室温で一晩反応させた。反応溶液に 2mol/L EtMgCl THF 溶液(5mL)を氷冷下でゆっくり滴下後、さらに室温で一晩撹拌した。

参考文献

- 1) 日本学術振興会編, 「フッ素化学入門 2010」, 三共出版, 2010
- 2) K. Müller, C. Fach, F. Diederich, *Science*, 2007, 317, 1881.
- 3) 小林輝明監修, 「薬の事典 2000 年版」, 成美堂出版, 1999
- 4) 時任静雄, 安達千波矢, 村田英幸共著, 「有機 EL ディスプレイ」, オーム社, 2005
- 5) 辻二郎著, 「有機合成のための遷移金属触媒反応」, 東京化学同人, 2008
- 6 (a) K. Fugami, T. Enokido, K. Kawata, M. Kameyama, M. Kosugi, *Main Group Met. Chem.*, 1999, 22, 511; (b) K. Fugami, K. Kawata, T. Enokido, Y. Mishida, S. Higashiyama, D. Koyama, M. Kameyama, M. Kosugi, *J. Organomet. Chem.*, 2000, 611, 433; (c) 普神敬悟, 亀山雅之, 小杉正紀, 有機合成化学協会誌, 2003, 769
- 7) 酒井温良著, 「有機フッ素化学(I)」, 技報堂, 1970
- 8) T. Umemoto, M. Nagayoshi, K. Adachi, G. Tomizawa, *J. Org. Chem.* 1998, 63, 3379
- 9) (a) 諏訪智紀, 小山工業高等専門学校平成 13 年度卒業研究, (b) 両角秀勝, 小山工業高等専門学校平成 14 年度

卒業研究

- 10) T. Furuya, A. E. Strom, T. Ritter, *J. Am. Chem. Soc.* 2009, 131, 1662
- 11) “ファインケミカル”, ダイキン工業株式会社,
<http://www.daikin.co.jp/chm/products/fine/fine01.html>, (2013-9-3)
- 12) “Oxidizing Agents”, Organic Chemistry Portal,
<http://www.organic-chemistry.org/chemicals/oxidations/selectfluor.shtm>, (2013-9-3)
- 13) A. G. Martinez, J. O. Barcina, A. de Fresno Cerezo, L. Subramanian, R. *Synlett.* 1994, 1047
- 14) Y. Masuyama, J. P. Takahara, Y. Kurusu, *J. Am. Chem. Soc.* 1988, 110, 4473

【受理年月日 2016年 9月30日】

地域貢献を目的とした思川桜から分離した *Saccharomyces cerevisiae* OPJ-1 を 用いた製パン検討

川久保 利麗叶^{*1}, 荻野目 あづさ^{*2}, 手島 悠太^{*3}, 上田 誠^{*4}

Investigation of bread making using *S. cerevisiae* OPJ-1 isolated from
Omoigawa-zakura as baker's yeast for regional activation

Ririka KAWAKUBO, Adusa OGINOME, Yuta TESHIMA, Makoto UEDA

The budding yeast, *Saccharomyces cerevisiae* has been used to make bread and sake. We isolated *S. cerevisiae* OPJ-1 from Omoigawa-zakura at 2014; the strain was suitable for sake production. An objective of this study was application of this strain for breadmaking. We found that a culture method using rice and koji, sakadane, was effective seed culture for breadmaking by this fermentative yeast.

KEYWORDS: *Saccharomyces cerevisiae*, Omoigawa-zakura

1. はじめに

パンや酒などの発酵食品には、出芽酵母の *Saccharomyces cerevisiae* が主に用いられており、天然界には *S. cerevisiae* を含め多くの酵母が存在している。近年、地域性や独自性を求め、酵母を花や果実から新たに探索し利用する試みがなされ

ており、製パンについても、市販製パン用酵母の代わりに自然から得た酵母を利用する製パン店や家庭が増えている¹⁻⁴⁾。

本研究室では 2014 年に小山市の市花である思川桜から酒造用酵母を分離し、日本酒の販売に至った。本研究はさらなる展開として同酵母を用いたパン製品を開発し、地域活性化に貢献することを目的とした。小山市の社会福祉法人つむぎと協

*1 専攻科(Advanced Course of Material Chemistry and Bioengineering)

*2 持田製薬工場株式会社 (Mochida Pharmaceutical Plant Co., Ltd., 2014 年度小山高専専攻科卒業)

*3 旭化成 (Asahi Kasei Corporation, 2015 年度小山高専卒業)

*4 物質工学科(Dept. of Material Chemistry and Bioengineering), E-mail: mueda@oyama-ct.ac.jp

働し、2014 年 4 月よりオリジナルなパン製品の開発を開始した。研究にあたり、最大の課題となったのは、菓子パン製造に用いる酵母の供給であった。この課題を解決すべく、本検討では、本菌株が酒造用酵母である特質を利用した製パン法の検討を行った。

2. 方法

2. 1 市販製パン用酵母との比較

YPD 液体培地（酵母エキス 1%、ポリペプトン 2%、グルコース 2%）100mL が入った三角フラスコに市販製パン用酵母であるベーカーズイーストおよびホシノ天然酵母、思川桜酵母 *S. cerevisiae* OPJ-1 を植菌し、振とう培養（30℃、160rpm）を行った。1 日後、培養液を遠心分離（13,000rpm、4min）し、生理食塩水（NaCl 0.9%）による洗浄を計 2 回行い、湿潤菌体を取得した。湿潤菌体 1.4g を用い、ホームベーカリー（Panasonic 製 SD-BMS105）にて各々パンを作成した。パンの作成法としては、パン・ド・ミ（練り 20 分、ねかし 60 分、練り 10 分、発酵 170 分、焼き 30 分、計 4 時間 50 分）を用いた。

2. 2 酒種法の開発と評価

2. 2. 1 酒種の作成

YPD 液体培地 50mL が入った三角フラスコに *S. cerevisiae* OPJ-1 を植菌し、振とう培養（30℃、160rpm）を行った。1 日後、 α 米（徳島製麹 AA-60）54g、水道水 240mL を 900mL 容マヨネーズ瓶に測りとり放置した。30 分後、乾燥麹（徳島製麹 1-60）36g、培養液 2.4mL を入れ、静置培養（30℃）を行い酒種とした。

2. 2. 2 酒種中の菌数測定

培養中の酒種を 5mL 採取し、市販水切り用不織布を用いてろ過した。ろ過液を段階希釈法により希釈し、 10^6 希釈液を YPD 寒天培地（酵母エキス 1%、ポリペプトン 2%、グルコース 2%、寒天 2%）に 0.1mL 塗布し、培養 2 日後に出現したコロニー数から菌数を測定した。

2. 2. 3 酒種を用いたパンの作成

酒種 80mL を用い、ホームベーカリーにてパンを作成した。パンの作成法は、パン・ド・ミを用い、作成したパンの高さを測定した。これを酒種培養の 3 日目まで行った。

2. 3 液体培養との比較

標準的な液体培養として YPD 液体培地 100mL を用いた静置培養（30℃）と、振とう培養（30℃、160rpm）を用いた。植菌後、経時的にサンプリングし、2. 2. 2 と同様に段階希釈法を用い、生菌数を測定した。

2. 4 凍結保存剤の検討

YPD 液体培地 100mL に *S. cerevisiae* OPJ-1 を植菌し、振とう培養（30℃、160rpm）した。培養 1 日後、2mL 容エッペンに培養液 0.5mL と各保存剤 0.5mL を分注し、-20℃にて凍結保存した。1 週間後に解凍し、2. 2. 2 と同様の方法により生菌数を測定した。

2. 5 凍結保存菌体を用いた酒種の作成

凍結保存菌体を用いて、2. 2 と同様に酒種の作成、菌数測定、パン作成を行った。保存菌体は、スキムミルク 16%水溶液を凍結保存剤としており、保存期間が 1 ヶ月、1 ヶ月半の凍結保存菌体と、非凍結の菌体の比較を行った。

3. 結果および考察

3. 1 市販製パン用酵母との比較

異なる酵母を用い同一条件で作成したパンの高さを表 1 に示し、焼き上げ後のパンの画像を図 1 に示した。これより、*S. cerevisiae* OPJ-1 は市販製パン用酵母と比べ、高さが劣ることが分かる。しかし、パンのキメが細かく、味としては甘味を有することなど、本菌株の特徴もうかがうことができた。

表 1 各種酵母を用いたパンの高さの比較

酵母	1 日目の高さ	2 日目の高さ
OPJ-1	11.9	11.2
ペーカーズイースト	12.3	11.6
ホシノ天然酵母	12.4	12.1

数値は平均値[cm] (OPJ-1 は N=4、その他は N=2)



図 1 各酵母を用いて作成したパン
(左がホシノ天然酵母、右が *S. cerevisiae* OPJ-1)

3. 2 酒種法の適応

3. 2. 1 酒種中の菌数測定

酒種とは、米と麴と水からつくられる発酵種であり、栄養源として米を用いる。小麦粉を使用する生種と比べ、作成したパンの風味が優れているとされる⁵⁻⁶⁾。本検討では、*S. cerevisiae* OPJ-1 が酒造用酵母であることを活かし、米や麴を用いた培養法のへ適応を生菌数、製パンにより検討した。

酒種中の生菌数の経時変化を図 2 に示した。これより、酒種において、生菌の数が最も多くなるのは、酒種培養開始から 24 時間後と考えられる。

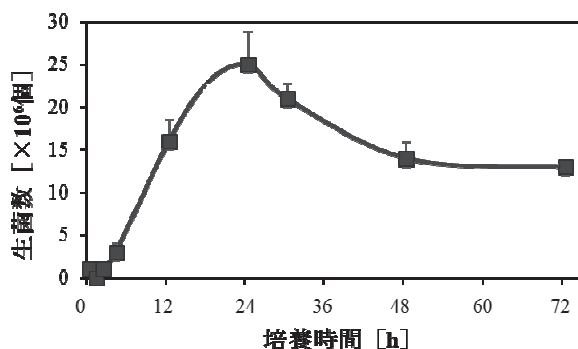


図 2 酒種中の生菌数の経時変化 (N=4)

3. 2. 2 酒種を用いたパンの作成

酒種培養 1 日目と 2 日目において、作成したパンの高さはそれぞれ 16.0cm、14.5cm (N=2) であった。これより、酒種培養について、培養 24 時間がパンを作成するために最適な培養時間であると考えられる。これは、生菌数の面から最適培養時間を評価した 3. 2. 1 の結果と一致する。

3. 3 液体培養との比較

酒種での酵母の増殖性を評価するために、液体培養との比較を行った。各培養法による生菌数の経時変化を図 3 に示した。酒種法は、振とう培養には劣るが、攪拌作業の無いという条件で同じ静置培養と比較して酵母の増殖が良好であった。従って、簡易な設備のよる菌体供給が必要となる本件において、酒種法は、有用な培養法である。

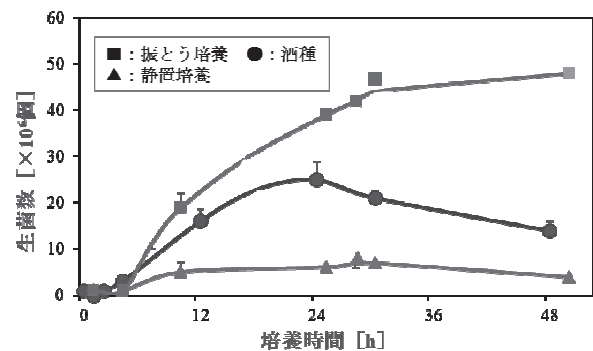


図 3 培養法による生菌数の比較
(酒種は N=4、その他は N=2)

3. 4 冷凍保存剤の検討

これまでの検討により、製パンに必要な酵母を高価な培養装置を使わずに生産できる手法を確立することが出来た。そこで更に酒種培養の植菌に用いる種酵母の凍結保存剤の探索を行った。微生物の凍結保存ではグリセロールの使用が一般的であるが⁷⁾、食品用途であることから食品素材の中から凍結保存剤を検討した。

各凍結保存剤を用いて 1 週間保存したときの生菌数を測定し、各生存率を表 2 に示した。生存率は、凍結前の生菌数を 100% とした。この結果より、スキムミルクは凍結保存剤として優れていると考える。また、スキムミルクは家庭での料理等にも用いられるため、本条件にも適している。

表2 凍結保存での生存率

条件	生存率 [%]
保存剤なし	2.1
20%グリセロール	56.0
スキムミルク 16%水溶液	42.4
16%砂糖水	15.9
トレハロース 16%水溶液	16.4
スキムミルク 4%水溶液	14.1

数値は平均値 (N=2)

3. 5 凍結保存菌体を用いた酒種の作成

凍結保存菌体を用いた酒種の菌数の経時変化、作成したパンの高さを図4に示した。凍結保存菌体を用いた場合においても、最適培養時間は、菌数、パンの高さから考え、24時間であると思われる。また、凍結菌体と非凍結菌体は、作成したパンの高さに大きな差がないため、1ヶ月半まではスキムミルクでの冷凍保存の活用可能性がある。しかし、生菌数に大幅な差がある場合でもパンの高さに大差がないことなど、生菌数とパンの膨らみとの関連性について不明な点があった。従って、更なる検討が必要と考える。

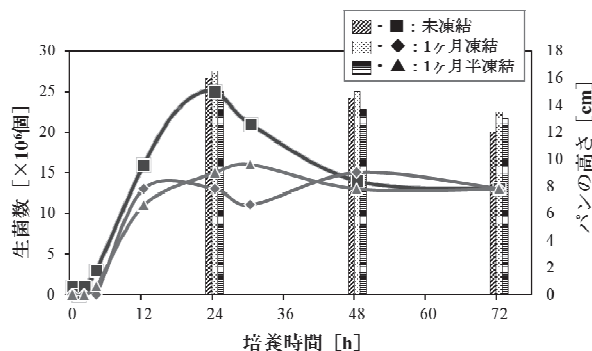


図4 凍結保存菌体を用いた菌数の経時変化 (散布図: 菌数、棒グラフ: パンの高さ)

4. まとめ

本検討において、小山市市花の思川桜より分離した *S. cerevisiae* OPJ-1 の製パンへの適用の可能性を評価することができた。本菌株を用いたパンの高さは市販製パン用酵母には劣る結果を得た。しかし、酒造用酵母としての性質を活かした培養法

により、膨らみの小ささの改善を行うことができ、更に旨味が増したことにより味覚の面での個性を与えることが出来た。この研究結果をもとに、本研究室は社会福祉法人つむぎと協力し、2015年、2016年に、*S. cerevisiae* OPJ-1を用いたパン「桜の思い」(図5)を春限定で販売し、好評を得ることができた。

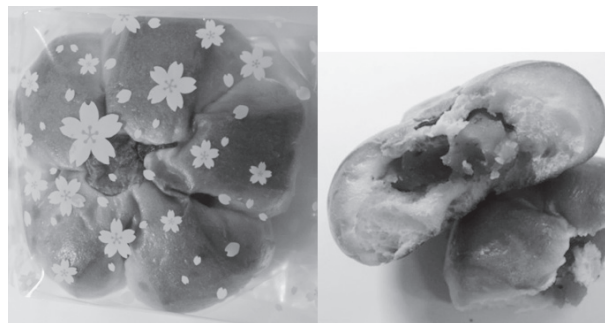


図5 桜の思い

参考文献

- 1) 鎌倉未貴, 眞山眞理: スダチ花卉から分離した野生酵母 *Hanseniaspora meyeri* の製パンへの応用, Bull. Shikoku Univ, 34, pp.37-46, (2012)
- 2) 木下富雄, 田中麻有: パン用野生酵母の花・果実からの分離, 兵庫大学論集, 12, pp.71-82, (2007)
- 3) 木下富雄, 井上裕子: パン用野生酵母の花・果実からの分離 (2), 兵庫大学論集, 13, pp.69-81, (2008)
- 4) 山下浩一, 田坂美奈: 新規酒造用酵母の開発, 奈良県工業技術センター研究報告, 30, pp.17-21, (2004)
- 5) 赤石(喜多)記子, 五月女まりえ, 小林愛美, 山下美恵, 長尾慶子: スペルト小麦パンの物性・機能性・嗜好性に及ぼす各種発酵液添加の影響, 日本調理科学会誌, 44, pp.153-162, (2011)
- 6) 吉野精一: パン「こつ」の科学, 柴田書店, pp.31-32
- 7) 鈴木基文: 酵母の保存技術について(1)酵母の保存法, 日本微生物資源学会誌, 25, pp.89-91, (2009)

【受理年月日 2018年 9月27日】

温州みかんに含まれるヘスペリジンの 毛包細胞増殖効果

笹沼いづみ^{*1}, 大塚 努^{*2}

A hesperidin in satsuma mandarin stimulates the cell proliferation of hair follicle cells

Izumi SASANUMA and Tsutomu OHTSUKA

The satsuma mandarin belongs to citrus genus in plant taxonomy. Citrus fruits contain compounds for health promoting properties. In this study we examined the effect of citrus components on the proliferation of ES and hair follicle cells, and identified the components involved in the cell proliferation. In the cell culture based in vitro assay, we found the extracts from satsuma, yuzu, and orange stimulate the cell proliferations. Especially, the proliferation of hair follicle cell was stimulated by the hesperidin in the peel of satsuma mandarin.

KEYWORDS: Citrus, Hair Follicle Cell, Flavonoids.

1. 緒言

温州みかんが分類される柑橘類には 500 種類以上の有効成分が検出されている。柑橘類に含まれる代表的な成分は、カロテノイド類、フラボノイド類、リモノイド類、クマリン、多糖類などがあり、これらの成分は、動物細胞の増殖に影響を与えるという報告がある¹⁾。即ち、カロテノイド類とリモノイド類では発がん抑制効果、フラボノイド類では、骨芽細胞の活性化が報告されており、柑橘類の成分は、動物細胞の増殖を調節する因子として作用することが知られている¹⁾。そのため、これらの成分は、漢方薬、スキンケア、育毛剤などに利用されてきた¹⁾が、その作用機構については未だ不明な点が多い。

細胞の増殖を促進する因子は、外因性の物質と内因性の物質がある。これらは受容体に結合し、シグナル伝達を開始させることで細胞を増殖させる。柑橘類に含まれる成分は、外因性の物質と同様の作用で動物細胞に働きかけると考えられ、外

因性の物質による増殖調節は、細胞膜に受容体がない場合は、細胞膜の透過性に依存する。よって、動物実験を用いた場合では、明確な結果を得ることはできないと考えられる。しかし、細胞培養の技術の発展により、細胞に働きかける因子とその影響について検討することが可能になってきた。

本研究では、柑橘類に含まれる細胞増殖調節因子を同定するために、柑橘類から成分を抽出・分画し、これらの動物細胞増殖に与える影響を細胞レベルで検討した。

2. 材料及び方法

供試細胞：マウス ES 細胞 (RCB1517)、毛包細胞 (RCB0736)。供試植物：オレンジ (*Citrus sinensis*)、レモン (*Citrus limon*)、ユズ (*Citrus junos*)、ウンシュウミカン (*Satsuma orange*)、グレープフルーツ (*Citrus X paradisi*)。

柑橘類抽出物：蒸留水 (水抽出)、100%エタノール (エタノール抽出物)、または 60%飽和の硫酸

*1 物質工学科(Dept. of Materials Chemistry and Bioengineering), E-mail: sasaki@oyama-ct.ac.jp

*2 森永乳業株式会社(Morinaga Milk Industry co., Ltd.)

アンモニウム（タンパク質画分）で抽出した。
抽出物の分析：分光光度計による吸収スペクトル測定と TLC を行った。タンパク質の分析：タンパク質量はローリー法、分子量は SDS-PAGE で測定した。細胞数の測定：MTT 法で行い、増殖率を算出した。増殖率＝〔細胞数/前回の細胞数〕

3. 結果

3. 1 ES 細胞と毛包細胞の増殖における柑橘類果皮抽出物の影響

ES 細胞は $5.2 \mu\text{g/ml}$ 濃度のオレンジ-タンパク質で増殖が促進された（図 1）。また、 $20.8 \mu\text{g/ml}$ 濃度のユズ-エタノール抽出物で増殖が促進された（図 2）。これら以外の抽出物では ES 細胞の増殖はコントロールの培養より低いことが明らかになった。

一方、毛包細胞はミカンとユズ水抽出物で増殖が促進された（図 3）。また、エタノール抽出物とタンパク質では、全ての柑橘果皮抽出画分が毛包細胞の増殖を促進することが認められた。この中で最も増殖効果を示したものは、 $0.2 \mu\text{g/ml}$ 濃度のミカン-エタノール抽出物と $0.13 \mu\text{g/ml}$ 濃度のユズ-タンパク質であった（図 4）。

ユズのエタノール抽出物は ES 細胞と毛包細胞の両方で増殖を起こすことが明らかになったが、ユズのエタノール抽出物は $0.2 \mu\text{g/ml}$ で細胞の増殖率が低下するため、これ以降はミカンのエタノール抽出物に着目し、検討を行った。

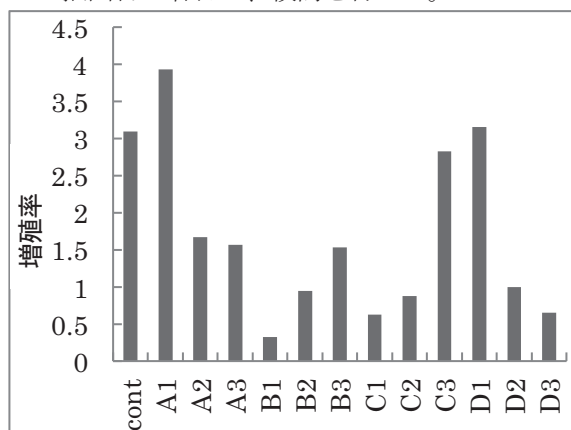


図 1 柑橘類果皮から得たタンパク質画分が ES 細胞の増殖に及ぼす影響。添加物は A オレンジ、B グレープフルーツ、C レモン、D ユズで、それらの濃度は 1 が $5.2 \mu\text{g/ml}$ 、2 が $10.4 \mu\text{g/ml}$ 、3 が $20.8 \mu\text{g/ml}$ 。の条培養日数は 18 日間である。

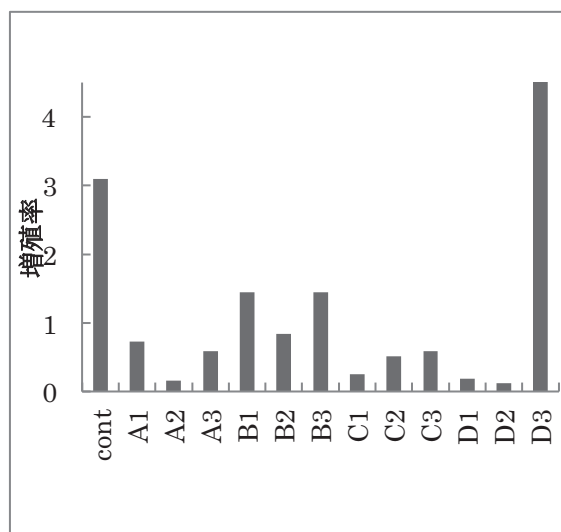


図 2 柑橘類果皮から得たエタノール抽出物が、ES 細胞の増殖に及ぼす影響。添加物は A オレンジ、B グレープフルーツ、C レモン、D ユズで、それらの濃度は 1 が $5.2 \mu\text{g/ml}$ 、2 が $10.4 \mu\text{g/ml}$ 、3 が $20.8 \mu\text{g/ml}$ 。の条培養日数は 18 日間である。

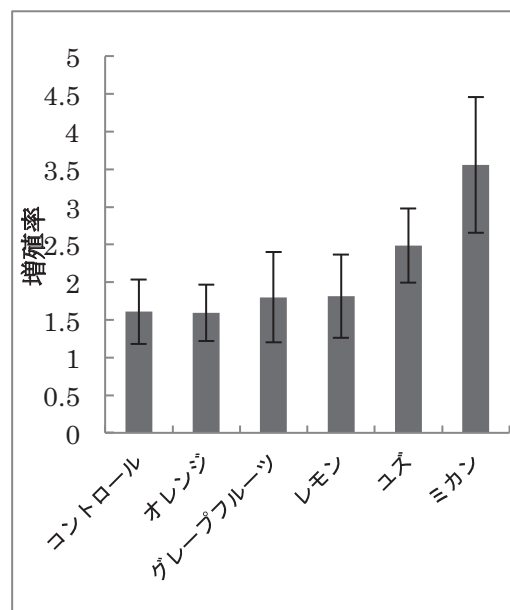


図 3 柑橘類果皮から得た水抽出物が毛包細胞の増殖に及ぼす影響。添加物濃度は $0.2 \mu\text{g/ml}$ で培養日数は、4 日間である。

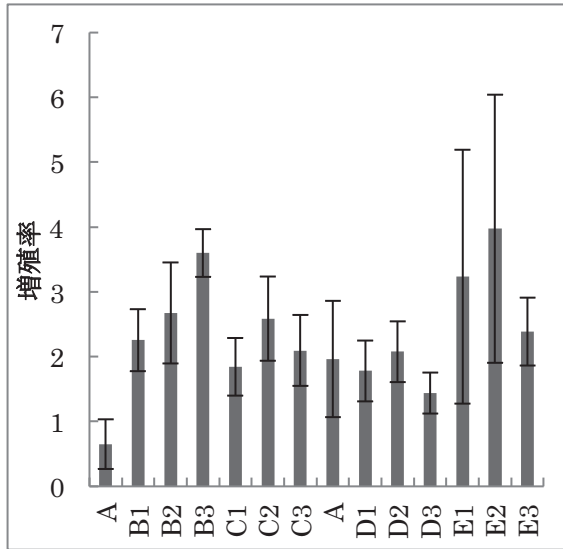


図4 柑橘類果皮から得たエタノール抽出物とタンパク質画分が毛包細胞の増殖に及ぼす影響。A: コントロール、B: ミカンエタノール抽出物、C: ユズ-エタノール抽出物、D: ミカン-タンパク質画分、E: ユズ-タンパク質画分。1は添加濃度 $0.1 \mu\text{g/ml}$ 、2は添加濃度 $0.13 \mu\text{g/ml}$ 、3は添加濃度 $0.2 \mu\text{g/ml}$ の条件で培養した。培養は4日間行った。

3. 2 ミカンのエタノール抽出物とヘスペリジンの吸収スペクトル

吸収スペクトルを測定したところ、ミカンで 294nm と 331nm の吸収が認められた。ヘスペリジンのピーク 290nm と 329nm とミカン抽出物のピークはヘスペリジンを内部標準として用いた（ミカン抽出物に標準物質としてのヘスペリジンを混合し測定した）場合に一致した。（表1）。

表1 ミカンのエタノール抽出物とヘスペリジンの吸収スペクトル

	吸収波長 [nm]	OD
ミカンのエタノール抽出物	294	1.85
	331	1.47
ヘスペリジン	290	1.03
	329	0.52

3. 3 女性ホルモンが毛包細胞の増殖に及ぼす影響

ヘスペリジンをはじめとするフラボノイドは、細胞内の受容体であるステロイド受容体、特に女性ホルモンの受容体に結合し作用することが知られているので、今回用いた細胞の女性ホルモンに対する増殖率を測定し、ミカン抽出物のそれと比較した。女性ホルモンを毛包細胞に添加したところ、コントロールに対して約5倍の増殖が認められた(図5)。

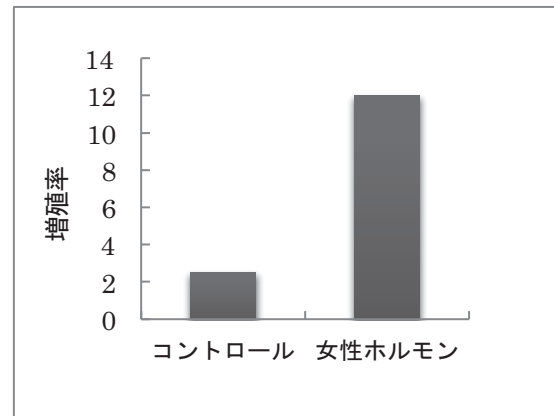


図5 女性ホルモンが毛包細胞の増殖に与える影響。

3. 4 ヘスペリジンが毛包細胞の増殖に及ぼす影響

ヘスペリジンを毛包細胞に添加したところ、コントロールと比較して約1.3倍の増殖が認められた(図6)。

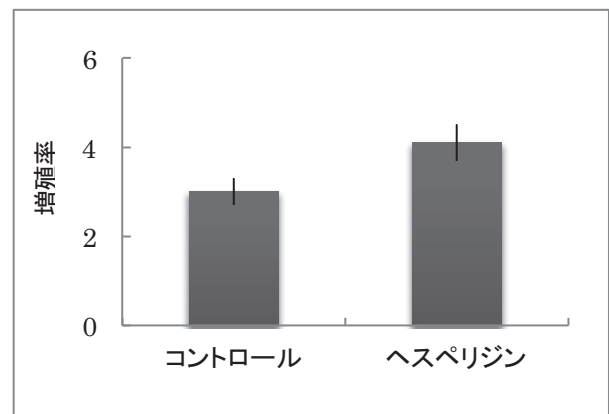


図6 ヘスペリジンの毛包細胞に与える影響。

3. 5 ミカン-エタノール抽出物の同定

ヘスペリジンとミカンのエタノール抽出物を TLC で分析したところ、ミカンでは Rf 0.97, 0.89, 0.82 の3つの蛍光スポットが検出された。Rf 0.82 のスポットは内部標準にヘスペリジンを用いた（ミカン抽出物に標準物質としてのヘスペリジンを混合し測定した）ときにスポットの位置が一致した。3つのスポットは同一色の蛍光を示したが、ミカンのエタノール抽出物には、分離に用いた溶媒に対する溶解度が異なる3種類の物質が含まれることが明らかになった(表2)。

表2 ミカンのエタノール抽出物とヘスペリジンの Rf 値

	ミカン	ヘスペリジン
Rf 値	0.97	0.82
	0.89	
	0.82	

4. 考察

ユズとミカンの抽出物は毛包細胞を増殖させることが明らかになった。これらの抽出物には 295nm 付近で吸収を示す物質が共通に含まれていた。ミカンに含まれる色素成分はβ-クリプトキサンチン、β-カロチンなどのカロチノイド、クマリン、リモノイド、タンゲレチン、さらにノビレチン、ヘスペリジンなどフラボノイドがある^{1, 2)}。ミカンに含まれるフラボノイドは、ヘスペリジン、ノビレチン、タンゲレチンがあげられる^{1, 2)}。

毛包細胞の増殖に関係していると推察されたものは290nm付近の吸収を持つ化合物であり、構造と吸収波長の関係から考察するとミカン、ユズに含まれるフラボノイドが毛包細胞の増殖を促進したと考えられる。ヘスペリジンは吸収波長285nmの物質で、ミカンに豊富に含まれ、レモン、ユズにも含まれるが、グレープフルーツに含まれない^{1, 2)}。よって、ミカンとユズの果実皮に含まれる共通成分とその組成比からヘスペリジンが毛包細胞の増殖を促進した可能性があると推察した。

フラボノイドは皮膚繊維芽細胞の増殖を促進するほか、様々な細胞に対して増殖効果が検討され

ている。また、毛包の増殖はフラボノイドにより促進されるという報告がある³⁾。よって、ミカン、ユズに含まれるフラボノイドであるヘスペリジンが毛包細胞を増殖させたと考えられた。

ヘスペリジンとミカンのエタノール抽出物を比較したところ、ミカンの抽出物はヘスペリジンと同一の吸収スペクトルを持つことから、アグリコンの部分は同一であると考えられた。このフラボノイドは糖部分の構造により、ジグリコシドのヘスペリジン、モノグルコシドのヘスペレチン7-グルコシド、アグリコンのヘスペレチンとして存在する¹⁾。TLC では、ヘスペリジンの他に Rf 値の高いスポットが2つ検出された。これらは、ヘスペレチン7-グルコシドとヘスペレチンと考えられた。

ミカンの抽出物はコントロールと比較した増殖率がヘスペリジンより高いことから、毛包細胞を増殖させることに、ヘスペレチン7-グルコシドとヘスペレチンもまた関与する可能性がある。女性ホルモンはコントロールに対して約5倍、ミカン抽出物は約7倍の増殖率を示したことから、ミカン抽出物は女性ホルモンより強い細胞増殖効果が期待できる。ヘスペリジンの毛包増殖効果は炎症抑制効果や血管増殖因子の誘導によるという報告はあるが^{1), 3)}、ヘスペレチン7-グルコシドまたはヘスペレチンが毛包細胞を直接増殖させるという報告はこれまでにない。

ヘスペレチンの骨格から、細胞内の女性ホルモン受容体もしくは、細胞膜上の TGF-β 受容体に作用し、増殖作用を示すと考えられたが、女性ホルモンより高い増殖効果を示すことから、これとは異なる受容体または複数の受容体を同時に刺激したために強い増殖効果を示したものと考えられた。

以上のことから、ミカンの抽出物に含まれる毛包細胞増殖因子は、ヘスペレチンとその配糖体であり、これらは複数の受容体を刺激することにより、毛包細胞の増殖を促進することが推察された。

参考文献

- 1) E.Grotewold: The Science of Flavonoids, Springer Science+Business Media, LLC, USA, pp.213-257 (2008)
- 2) 野方洋一：近畿中国四国農業研究センター研究報告 第5号, pp. 19-84 (2005)
- 3) Bassino E, Antoniotti S, Gasparri F, Munaron L: Effects of flavonoid derivatives on human microvascular endothelial cells. Nat. Prod. Res., 2, 1-4 (2016)

【受理年月日 2016年 9月23日】

粉末 X 線回折法による固体有機化合物の分析

渥美 太郎^{*1}, 大毛 信吾^{*2}, 出川 強志^{*2}

Analysis of Solid-State Organic Compounds by Powder X-Ray Diffractometry

Taro ATSUMI, Shingo OHKE and Tsuyoshi DEGAWA

Powder X-ray diffraction with laboratory equipment is commonly method for the investigation of inorganic materials as ceramics and metals. In this paper we report the analysis of organic compounds by the powder X-ray diffraction. The partially oriented X-ray diffraction patterns are obtained from powder samples of glucose, galactose, glycine and acetylsalicylic acid reagent. On the other hand, no oriented patterns are obtained from the samples which are hand-ground using an agate motor. All samples are identified by the ICDD PDF database.

KEYWORDS : Powder X-ray diffraction, Organic compound, Qualitative analysis

1. はじめに

粉末 X 線回折法は、主に金属、セラミックス等の無機材料に関する研究分野において、結晶性の粉末サンプルの同定や定性分析に広く用いられている¹⁾。最近では実験室レベルの粉末 X 線回折装置でも半導体アレイ検出器等の開発により、従来は困難であった測定が可能となった。さらに、コンピュータの高性能化、解析ソフトウェアの開発により、粉末 X 線のデータから未知の結晶構造を解析することも可能になった²⁾。

有機化学や生物化学の分野では、有機化合物の分子構造や結晶構造を明らかにするために、単結晶 X 線回折法が用いられてきた³⁾。しかし、この方法を用いて結晶構造解析を行うことができるサンプルは、良質の単結晶が得られるものに限られる。単結晶が得られない有機化合物に関しては、

高輝度放射光を用いた粉末 X 線回折法により、未知の結晶構造を解析することが可能である⁴⁾。

実験室系の粉末 X 線回折装置を用いた固体サンプルの分析は、無機、材料系の研究者以外にはあまり知られていないものと思われる。本研究では実験室系粉末 X 線回折装置の有機化学や生物化学への応用例を示すために、単糖の中からグルコースとガラクトース、アミノ酸の中からグリシン、アスピリンとして知られる非ステロイド性抗炎症薬であるアセチルサリチル酸の分析を行った。

2. 方法

試薬は D-グルコース、ガラクトース、グリシン、アセチルサリチル酸 (全て 和光純薬, 特級) を用いた。試薬は全て粉末状である。粉碎なしのサンプルと、メノウ乳鉢で所定の時間磨砕したサ

*1 物質工学科(Dept. of Materials Chemistry and Bioengineering), E-mail: atsumi@oyama-ct.ac.jp

*2 技術室(Technical Office)

ンプルの粉末X線回折測定を行った。アセチルサリチル酸との比較として、アセチルサリチル酸を含む市販の鎮痛剤を乳鉢で粉砕したものをを用いた。測定にはPANalytical製X線回折装置Empyreanを用いた。入射X線としてCu K α 線を用い、Cu K β 線をNiフィルターにより除去した。Cu管球の加速電圧は45 kV、電流は40 mAとし、集中光学系、半導体1次元検出器を使用した。グルコース、ガラクトース、グリシンは 2θ が $5\sim 90^\circ$ の範囲でスキャンし、スキャンステップ時間を33.4 sとした。アセチルサリチル酸および市販鎮痛剤の測定は 2θ が $5\sim 70^\circ$ 、スキャンステップ時間33.4 sの条件で行った。

3. 結果および考察

3. 1 グルコース、ガラクトース

図1にD-グルコースの粉末X線回折パターンを示す。試薬をそのままの状態測定したパターンが(a)、メノウ乳鉢で5分間粉砕したサンプルのパターンが(b)である。試薬は α -D-グルコースと β -D-グルコースの混合物となっていたが、全てのピークを α -D-グルコース(PDF 00-024-1964)で帰属することができた。どちらのX線回折パターンもメインピークは(1 1 1)であるが、粉砕していないサンプルは粉砕したものに比べて、(1 1 0)、(1 2 0)、(2 0 0)、(2 2 0)、(3 2 0)等のピーク相対強度が大きい。理由の一つとして、D-グルコースの試薬はサブミリメートルの角張った結晶状粉末なので、サ

ンプルホルダーへの充填の際に特定の面が配向したことが考えられる。

粉末X線回折測定の場合、サンプル粒径がピーク強度に影響する。また粗大結晶は再現性に影響する。再現性の良いピーク強度を得るためには、粒径は $0.5\sim$ 数 μm が良いとされている。ほとんどの無機化合物の場合、乳鉢を用いて粉砕することにより微粉末サンプルを調製することが可能であるが、有機化合物の場合、アモルファス化などの粉砕による機械的な影響が懸念される。D-グルコースをメノウ乳鉢で5分間粉砕した場合、特定の面の配向は見られなくなった。PDFカードにしたがって斜方晶系、空間群 $P2_12_12_1$ で指数付けし、格子定数を計算したところ、粉砕なしのサンプルが $a=1.036\text{ nm}$, $b=1.482\text{ nm}$, $c=0.499\text{ nm}$ 、粉砕したサンプルが $a=1.037\text{ nm}$, $b=1.485\text{ nm}$, $c=0.498\text{ nm}$ と値に変化は見られなかった。シェラー法により結晶子サイズを求めたところ、粉砕なしのサンプルが119 nm (標準偏差 47 nm)、粉砕したサンプルが92 nm (標準偏差 26 nm)と大きな変化は見られなかった。これらのことから、D-グルコースの場合、この程度の試料粉砕が結晶構造に与える影響はほとんどないと考えられる。詳細な結晶構造解析を行うためには正確なピーク位置と強度のデータが必要である。粉砕後のサンプルを篩で分級して粒径を均一にすることで、定性分析以外の定量分析や結晶構造解析への応用が期待できる。図2にガラクトースの(a)粉砕なし、(b)メノウ乳鉢で5分間粉砕したサンプルの粉末X線回折パターンを示す。両パターンともに、全てのピークを α -D-ガラクトース(PDF 00-029-1719)で帰属するこ

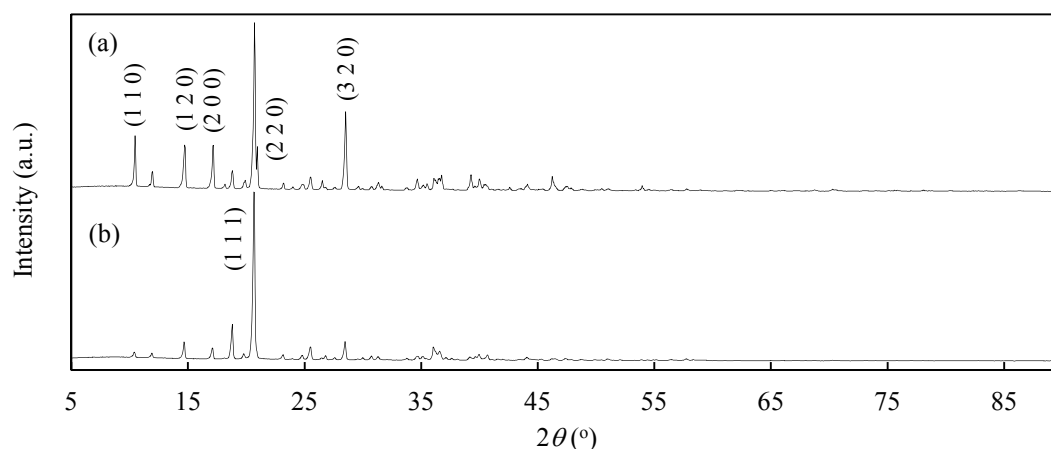


図1 D-グルコースの粉末X線回折パターン (a) 粉砕前、(b) 粉砕後。

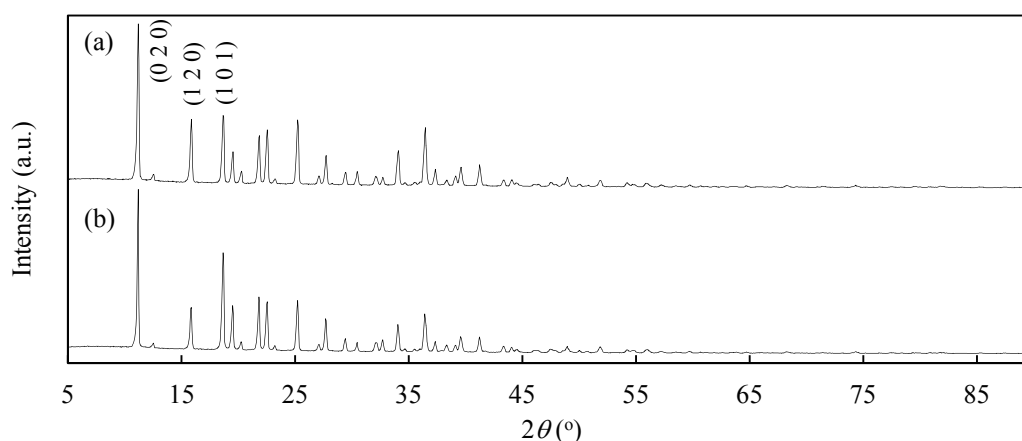


図2 ガラクトースの粉末X線回折パターン (a) 粉碎前, (b) 粉碎後.

とができた. PDF カードでは 2θ が 18.5° 付近の (1 0 1) のピークがメインピークになっている. 粉碎した (b) のパターンは粉碎なしの (a) と比較して, (1 0 1) のピークの相対強度がやや大きくなっているもののセカンドピークのままである. したがって, ガラクトースの場合, この粉碎条件は不十分であったと考えられる. PDF カードにしたがって斜方晶系, 空間群 $P2_12_12_1$ で指数付けし, 格子定数を計算した結果, 粉碎なしのサンプルが $a = 0.790 \text{ nm}$, $b = 1.575 \text{ nm}$, $c = 0.594 \text{ nm}$, 粉碎したサンプルが $a = 0.790 \text{ nm}$, $b = 1.576 \text{ nm}$, $c = 0.594 \text{ nm}$ と変化は見られなかった. シェラー法により求めた結晶子サイズも変化はほとんど見られなかった. ガラクトースの場合, 結晶構造解析を行うためには試料の粉碎条件をさらに検討する必要がある.

3. 2 グリシン

グリシンの場合も図3に示すように, (a) 粉碎なしと (b) メノウ乳鉢で 5 分間粉碎したサンプルの粉末X線回折パターンとのピーク相対強度比に大きな違いがみられる. ピーク角度は両パターンともに PDF カードの α -グリシン (00-032-1702) と一致した. グリシンの試薬もグルコース同様, 角張った結晶状の粒子であるため, サンプルホルダーへ充填する際に (1 1 0), (0 3 1), (0 4 0), (1 1 1), (2 0 0) などの特定の面が配向しているものと考えられる. 単斜晶系, 空間群 $P2_1/c$ で指数付けし, 格子定数を計算した結果, 粉碎なしのサンプルが $a = 0.546 \text{ nm}$, $b = 1.199 \text{ nm}$, $c = 0.511 \text{ nm}$, $\beta = 111.8^\circ$, 粉碎したサンプルが $a = 0.547 \text{ nm}$, $b = 1.199 \text{ nm}$, $c = 0.510 \text{ nm}$,

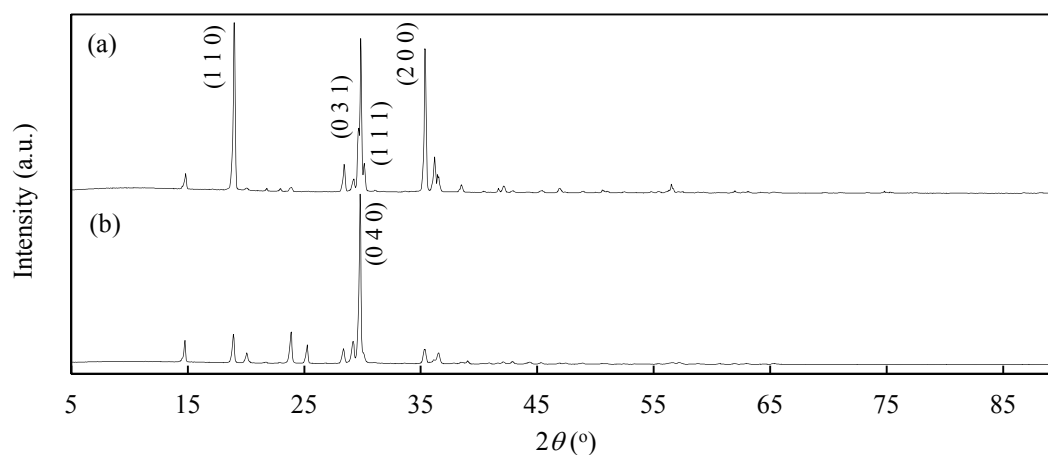


図3 グリシンの粉末X線回折パターン (a) 粉碎前, (b) 粉碎後.

$\beta = 111.8^\circ$ と変化は見られなかった。シェラー法により求めた結晶子サイズも同程度であった。したがって、グリシンの場合も均一な粒径のサンプル調製ができれば、定量分析や結晶構造解析への応用が可能と思われる。

3. 3 アセチルサリチル酸

図4(a)に粉砕なし、(b)にメノウ乳鉢で5分間粉砕したアセチルサリチル酸の粉末X線回折パターンを示す。ピークはアスピリン(PDF 00-055-1657)で同定することができた。アセチルサリチル酸の試薬も角張った結晶状の粉末であり、(a)のパターンに見られるように(1 0 0)配向している。単斜晶系、空間群 $P2_1/c$ で計算した格子定数は、粉砕なしのサンプルが $a = 1.145 \text{ nm}$, $b = 0.665 \text{ nm}$, $c = 1.141 \text{ nm}$, $\beta = 95.7^\circ$, 粉砕したサンプルが $a = 1.148 \text{ nm}$, $b = 0.659 \text{ nm}$, $c = 1.140 \text{ nm}$, $\beta = 95.7^\circ$ と同程度の値である。シェラー法により求めた結晶子サイズも同程度の値であった。したがって、均一な粒径のサンプル調製することで結晶構造解析が可能となるであろう。

図4(c)に市販の鎮痛剤の粉末X線回折パターンを示す。サンプルは錠剤をメノウ乳鉢で10分間粉砕した粉末である。(b)と(c)のパターンを比較して明らかなように、粉末X線回折法を用いることで薬に含まれるアセチルサリチル酸の

定性分析が可能である。単斜晶系、空間群 $P2_1/c$ で計算した市販鎮痛剤中のアセチルサリチル酸の格子定数は、 $a = 1.148 \text{ nm}$, $b = 0.659 \text{ nm}$, $c = 1.143 \text{ nm}$, $\beta = 95.5^\circ$ となった。

4. 結論

実験室レベルの粉末X線回折装置を用いて、固体有機化合物の分析例を示した。本分析方法は固体有機化合物の相の同定や定性分析を容易に行うことができる。粒径のばらつきが少ない微細粉末サンプルを調製することで、結晶構造解析や定量分析へ応用することも可能であろう。

参考文献

- 1) B. D. Cullity : 新版 カリティ X線回折要覧, アグネ(1980)
- 2) 中井 泉, 泉 富士夫 編 : 粉末X線解析の実際 第2版, 朝倉書店 (2009)
- 3) 平山 令明 : 化学・薬学のためのX線解析入門, 丸善株式会社 (2006)
- 4) 津江 広人, 堀口 雅弘, 田村 類, 藤井 孝太郎, 植草秀祐: 粉末X線回折データを用いる有機化合物の結晶構造解析, 有機合成化学協会誌, Vol. 65, pp. 1203-1212 (2007)

【受理年月日 2016年 9月30日】

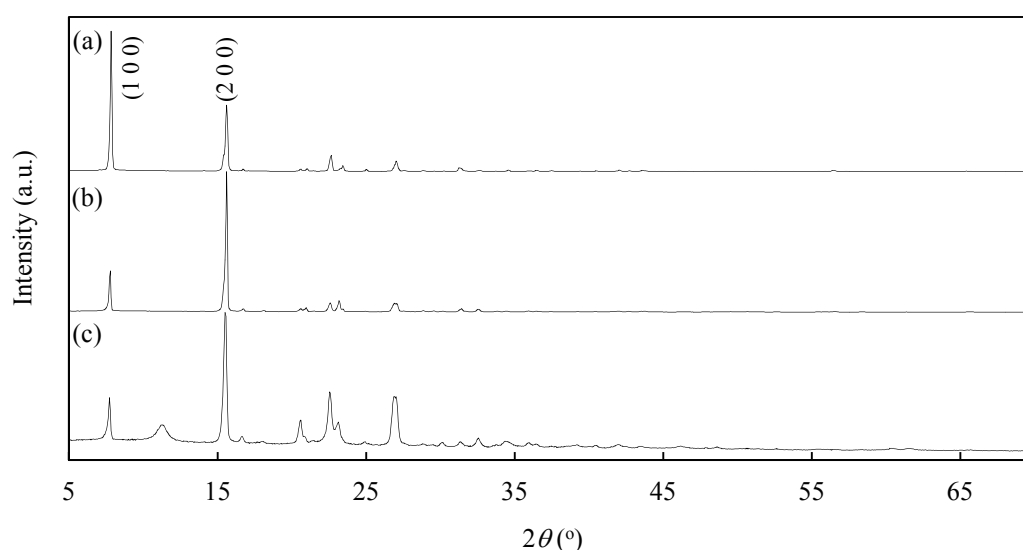


図4 アセチルサリチル酸の粉末X線回折パターン
(a) 粉砕前, (b) 粉砕後, (c) 市販鎮痛薬。

コーヒー豆滓の有効利用についての基礎検討

— 六価クロム吸着能について —

田中 孝国^{*1}, 田中(篠原) 葵希子^{*2}, 出川 強志^{*3}

Basic study of coffee grounds availability

— Adsorption ability of hexavalent chromium ion —

Takakuni TANAKA, Akiko TANAKA (SHINOHARA) and Tsuyoshi DEGAWA

Coffee grounds is used for biomass such as solid fuel or the manure, however most residue material is disposed of as waste. In this paper, we evaluated an ability for metal ion (hexavalent chromium ion) adsorption of coffee grounds. This ion is emitted by a chromate treated metal product, and it shows cytotoxic substances. As a result of experiments, the coloration ingredient from coffee grounds makes analysis difficult and grounds needed bleaching and re-boiling treatment before adsorption test. Decolored grounds adsorbed hexavalent chromium ion strongly and treated water was able to achieve a discharge standard.

KEYWORDS : coffee ground, adsorption, hexavalent chromium

1. まえがき

近年コーヒーの消費量は急増している。その消費形態は、手軽に飲用可能な既製品であるリキッドコーヒーやインスタントコーヒーのみならず、さらなる品質を求めて、抽出直前にコーヒー豆を挽き淹れる機会も増加している。そのためコーヒー挽き豆の抽出後残渣 (以下、コーヒー豆滓と記述する) は工場でまとまって大量に排出される他にも、コンビニエンスストアやファミリーレストラン、家庭など少量の単位でも排出されるよう

になっている。コンビニエンスストアやファミリーレストランにおいて排出されるコーヒー豆滓の量は1店舗1日辺り数 kg と言われており、全店舗にすると膨大な量が日々排出されていることになる。その他、日本学術会議土壌・肥料・植物栄養学研究連絡委員会によれば、年間 60 万 t を超える豆滓発生量があるとされている¹⁾。

その一方で、コーヒー豆滓は定期的に安定して得られる食品廃棄物の一つであることから、環境問題への貢献のためバイオマス等として再利用できることが望ましく、平成 20 年の食品リサイクル法の改正により有用な再利用法が検討され始めて

^{*1} 物質工学科 (Dept. of Materials Chemistry and Bioengineering), E-mail: Tanakatakuni@oyama-ct.ac.jp

^{*2} 専攻科 複合工学専攻 (Advanced Course of Materials Chemistry and Bioengineering) 平成 27 年 3 月 修了

^{*3} 技術室 (Technical Office)

いる。既存の研究において、コーヒー豆滓の再利用法は大きく分けて4種類ある。1つ目は、豆滓の持つ細孔径を利用した脱臭技術である。これは個人使用レベルにおいても部屋やトイレの消臭剤などに一般的に利用されている²⁾。実利用面においては、河原らが病院における排泄臭軽減に用いており、トイレに約11 [g]、病院の個室に約100 [g]それぞれ置くことで臭気低減につながると報告している³⁾。加藤らは、ゼオライトや活性炭と同様にHenryの吸着平衡式に従うこと、アンモニアの濃度が1,000 [mg/L]であっても約24時間で吸着除去することを実験データとして得ている⁴⁾。

2つ目は活性炭化して利用する手法である。中川らの活性炭作製法によれば、窒素雰囲気下650[°C]の熱処理および水蒸気賦活処理で市販の活性炭と同等以上の比表面積を持つ活性炭原料が得られたとしている⁵⁾。春田らは、活性炭化したコーヒー粕を電極(水系の電解液下)に用い、過電圧に対する長期耐久性に問題はあるものの、通常電圧下の長期充放電による劣化は生じなかったと報告している⁶⁾。このようにコーヒー豆滓は、活性炭化した場合にも他の植物と遜色のない性能が示されることが判明している。

3つ目は肥料としての利用である。竹本らは、おがくずに代わる培地として豆滓を採用したところ、ほとんどの菌種でコーヒー豆滓による栽培が可能であったと報告している⁷⁾。問題としては、菌糸定着(栽培)の時間短縮や肥料としてどの内容成分が貢献しているか不明な点がある、などを上げている。また森川は、豆滓には殺菌作用があり、植物の根圏の病原菌防除に効果があることを報告しており⁸⁾、農業分野における有用性が示唆されている。

4つ目はバイオマスとしての再資源化である。豆滓は他の資材と同様に主に発酵処理(嫌気性処理)による有用ガス回収法が検討されている。例えば渡辺らは、豆滓をKOHで可溶化し、高温メタン発酵処理を実施した⁹⁾。また、豆滓そのままをボイラーの原料とした櫻川らの報告もある。彼らによれば、含水率10%程度の豆滓を茶殻やオカラなどと混ぜてペレット化したのち(油脂分が多いため、豆滓単体ではペレット化出来ない)、固形燃料として用いた。その結果、重油コストおよび二酸化炭素排出の削減につながる結果が得られたと報告している¹⁰⁾。

これらの報告の中で我々は、豆滓の細孔径²⁾の

吸着性に着目した。緒方らは、豆滓の構造に着目し、豆滓の乾燥および焼成を行い、イオンの吸着実験を行った。その結果、吸着能には比表面積や細孔径が重要であること、FreundlichおよびLangmuir式に適合したイオン吸着機構を示すことを報告している¹¹⁾。更に清原らは、豆滓を煮沸および乾燥処理した後に、粒径を揃え、水銀の吸着実験を行った。その結果、活性炭とほぼ同等の吸着能があったこと、吸着様式はFreundlich式に合致したことを報告している¹²⁾。一方で野地らは、抽出前のミル粉碎直後のコーヒー粉末を用い、種々の金属を含んだ水溶液と接触させて金属吸着除去実験を行い、竹炭粉末より吸着能が優れていること、理由として(おそらく実験中に粉末から滲出した)クロロゲン酸やその他の含有成分による吸着と細孔径による吸着を報告している¹³⁾。

以上の報告から、ミル破碎を経たコーヒー豆は、広い表面積と大きな細孔径容積を持ち、様々な水溶液中の物質を吸着する能力があることが示唆されている。

今回、コーヒー豆滓の吸着能を調査する際のモデル物質として、六価クロム(Cr^{6+})に着目した。六価クロムは電子部品や自動車に使用されるクロメート処理されたボルト・ナットなどの金属製品から普遍的に環境中に放出されている金属であり、有毒性が高い物質である。特に水環境への放出による有害性が指摘されている。本報では、六価クロムを含む排水の浄化にコーヒー豆滓が利用可能か基礎検討を実施したので報告する。

2. 実験手法

2.1 コーヒー豆滓の準備

吸着実験用のコーヒー豆滓は、市販されている焙煎済みの豆を業務用のミル機を用いて破碎し、80 [°C]の熱水により(ペーパードリッパ形式で)1度抽出した後の状態のもの(以後、一次抽出)である。ミル破碎時の豆滓の粒径は揃っておらず、数 [mm] 以下の範囲であった(図1)。

本実験では、一次抽出後の豆滓をそのまま使用した。

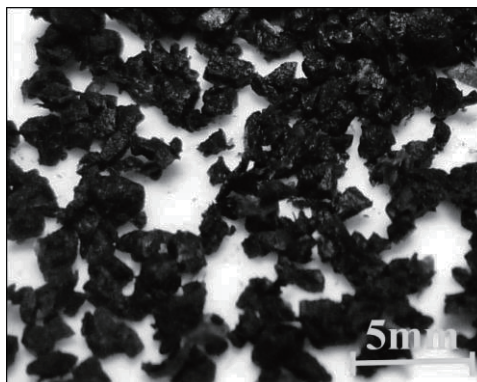


図1 一次抽出後のコーヒー豆滓

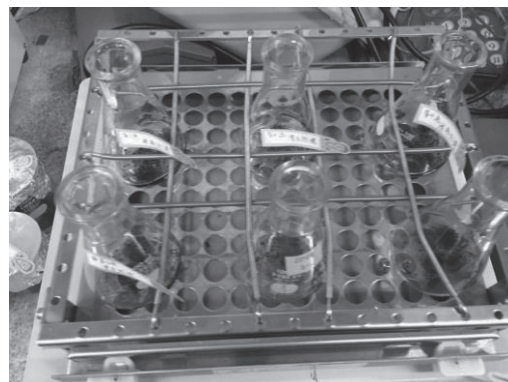


図2 コーヒー豆滓へのクロム吸着実験の様子

2. 2 コーヒー豆滓の脱色実験

コーヒー豆滓は数回の抽出操作を実施しても、茶～黒色の抽出液を示す。また、金属イオン等の定量分析実験は、呈色反応を利用した操作が多い。そのため、定量的な測定のために、豆滓の脱色が必要であると我々は考えた。具体的には、90-100 [°C]の 100 [mL]の湯に一次抽出後の豆滓 0.5g を入れて 90 [min]の煮沸処理を行ったもの、市販の漂白剤(キッチンブリーチ、次亜塩素酸等の薬品を含有、アルカリ性)を 10 [wt%] 濃度で、室温 (約 25[°C])にて 90 [min] 浸漬させたもの、2 例についてその脱色効果を確認した。

2. 3 クロム廃液について

学生実験における酸化還元滴定実験から排出されたクロム廃液を 1 [mg/L] の濃度に調整後に使用した。クロムの分析法は、ジフェニルカルバジド比色法で簡易キットであるパックテスト(共立理化学研究所, WAK-Cr⁶⁺, JIS K 0102 65.2.1)によって実施した。

2. 4 吸着実験

未処理の豆滓、煮沸処理豆滓、漂白処理豆滓の3種類を各々 2 [g] 用意し、クロム廃液 50 [mL] に浸漬し、30 [min] の振とう吸着実験を実施した(図2)。吸着実験後のクロム廃液の分析法もパックテストによって実施した。

3. 結果

3. 1 コーヒー豆滓の脱色の判断

まず、コーヒー豆の脱色状況を把握する簡便な分析計として ATAGO 社のポケットコーヒー濃度計 PAL-COFFEE (BX/TDS)¹⁴⁾ を用いた把握も試みた。尚、本装置は Brix (糖度, ショ糖 1 g を溶質として含む水溶液 100 [g] を測定した時の Brix 値が 1%とされる)と TDS (総溶解固形分, 無機物)を屈折率などにより測定する機器であり、コーヒーの抽出程度などを定量的に把握可能であるとされている(豆の種類や焙煎の度合いを比較する時に採用されているようである)。今回の脱色後の溶液について、本装置を使用した結果を図3,4に示した。両データとも同じ傾向、ほぼ同じ値を示し、約 20 [min] 後に最大値を示すことが判明した。その一方、見た目上では、溶液の濃さが上昇していたにも関わらず、両方の値とも(理由は不明であるが)積算値を示さなかった (今後、測定手法について再検討予定である)。従って、今回の脱色性を判断する測定には、分光光度計による手法を用いた。

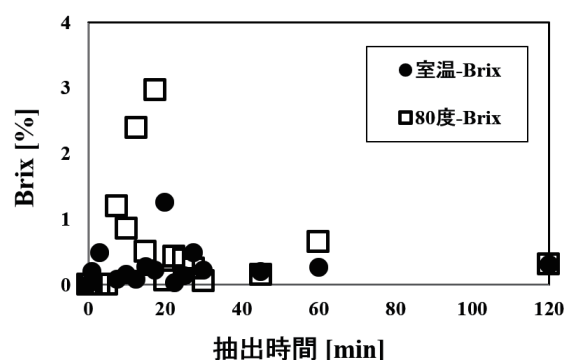


図3 コーヒー豆滓からの溶出(Brix)

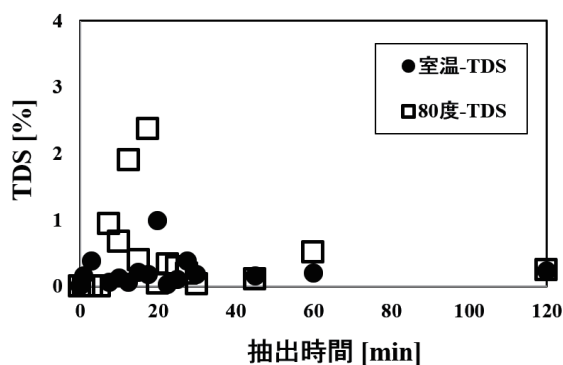


図4 コーヒー豆滓からの溶出(TDS)

コーヒー豆滓の抽出液の分光特性について検討を実施した。文献によれば、抽出液の着色成分は主にカフェイン、カフェイン酸、クロロゲン酸と言われている。それぞれ吸収波長があり、カフェインは270 [nm]、残り2つは325 [nm] とされている¹⁵⁾。我々は、改めてピーク測定を分光光度計により実施した。図5は、豆滓を煮沸した液についての実施結果である。装置の能力上測定不可であった190 [nm] 以下に高いピークが見られ、その後、約350 [nm]付近までなだらかなピークが見られることが判明した。ピーク自体の高さは低くなったものの、漂白処理においても同様のカーブが得られた。これらの結果から、本実験ではおおよそその中間の値であり、またカフェインのピーク値でもある270 [nm]の吸光度を脱色の目安とすることとした。その他のピーク値として、325 [nm] 付近のカフェイン酸やクロロゲン酸もあるが、今回は採用していない。

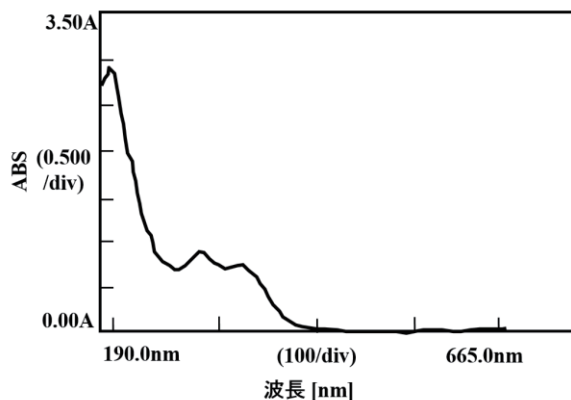
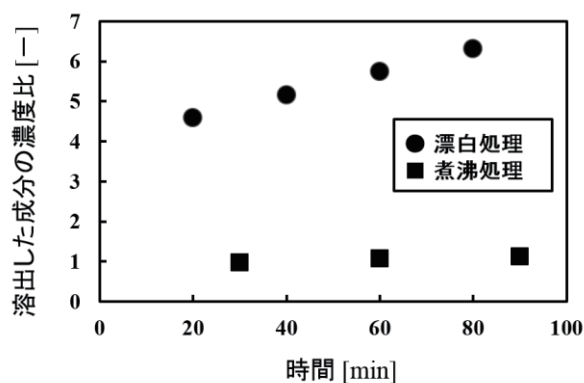


図5 コーヒー豆滓抽出液の分光特性

続いて図6は、煮沸および漂白処理を実施した際に、豆滓から懸濁させた水へ溶出した成分を

270 [nm] の吸光度で比較したグラフである。煮沸処理では、90 [min] 後も変化は見られなかったが、漂白処理は実験開始後から終了時まで反応することが判明した。今後、漂白の反応時間を長く取る、漂白剤の濃度や温度などの条件の再検討などにより漂白効果が上昇すると考えられた。煮沸処理に変化が見られなかった理由として、270 [nm]で測定された成分は既に実験前の時点で全て抽出されていたため、改めて抽出されなかったことが考えられた。

図6 成分濃度溶出の変化(270 [nm] による)
(開始時の濃度を1とした時の
変化の比率を示した)

3. 2 コーヒー豆滓のクロム吸着能について

表1は処理/未処理のコーヒー豆滓へのクロム吸着能である。表より、一次抽出のみの豆滓はクロムの吸着が見られなかったが、煮沸処理では50%の吸着、漂白処理では70%の吸着があることが判明した。煮沸・漂白処理の両方において、豆滓の細孔径や表面から成分が脱離し、その部分にクロムが吸着したことが考えられた。図6における煮沸処理において成分比に変化が見られなかったが、クロムの吸着能が見られることがわかった。従って、煮沸・漂白処理において豆滓中の成分が脱離し、その部分にクロムが吸着したと仮定するならば、270 [nm] 以外の吸収波長を持つ成分についても測定を行う必要があると考えられた。

また、煮沸処理よりも漂白処理の方が優れていた理由は、漂白剤中に含まれている次亜塩素酸の作用による酸化作用であると考えられる。市販されている生豆以外のコーヒー豆は、焙煎過程を経ているため、糖およびアミノ酸等がアミノカルボ

ニル反応を起こし、豆全体を焦がされた状態である。このコゲ成分のほとんどはおそらくメラノイジン（独特の風味を持つ褐色成分）である。豆滓の表面に多く存在するこの成分を漂白剤中の次亜塩素酸が酸化分解している可能性が考えられた。

表 1 各処理における 50 [mL] クロム廃液中のクロム濃度の変化について (豆滓 2 [g])

	吸着時間 [min]		
	0	15	30
未処理 1	1mg/L	変化なし	
未処理 2		変化なし	
未処理 3		変化なし	
煮沸処理 1		0.5 mg/L	0.5 mg/L
煮沸処理 2		0.5 mg/L	0.5 mg/L
漂白処理 1		0.3 mg/L	0.3 mg/L
漂白処理 2		0.3 mg/L	0.3 mg/L

4. あとがき

食品廃棄物として処分に困っているコーヒー豆滓の有効利用法の基礎検討を実施した。その結果、煮沸・漂白などの脱色作用を行えば、クロムの吸着能を示すことが判明した。今後、実利用を考えた場合、脱色手法や条件の再検討(例えば、脱色ならオゾンなど)や、脱色・吸着過程に関する反応工学的な解析を検討していく必要があると考えられた。

謝辞

基礎検討を手伝って頂いた、H28 年度 物質工学科 5 年生の井岡美結さん、岩永健太郎君、寺内一星君、藤崎智行君に感謝いたします。

参考文献

- 1) 藤原俊六郎：食品廃棄物・生ごみ堆肥化システムについて、食品廃棄物の再利用はどうしたらよいのか シンポジウム資料 p.11 (2001.11)
- 2) 様々な HP が存在するが、例えば UCC 上島珈琲サイト：
<http://www.ucc.co.jp/company/research/residue/01.html>
- 3) 河原菜央 他：排泄臭に対するコーヒー豆粕を用いた消臭効果, KKR 札幌医療センター医学雑誌, Vol.11, No.1,

pp. 47-50 (2014)

- 4) KATO Daisuke 他：コーヒー豆残滓炭化物のアンモニア吸着性, Journal of advanced science, Vol.13, No.1, pp. 19-20 (2001)
- 5) 中川究也 他：コーヒー抽出残渣の活性炭化, 日本食品工学会誌, Vol.2, No.4, pp.141-146 (2001)
- 6) 春田篤二 他：コーヒー粕を活性炭電極に応用した電気二重層キャパシタの長期信頼性に関する検討, 宮崎大学工学部紀要, No.43, pp. 63-68 (2014)
- 7) 竹本稔 他：コーヒー粕のキノコ栽培培地としての利用と廃培地の農業利用, 神奈川県農業総合研究所研究報告, No.139, pp.13-19 (1999)
- 8) 森川クラウジオ健治：茶殻・コーヒー粕を原料とした低コスト殺菌技術, 農耕と園芸, Vol.69, No.4, pp.46-49 (2014)
- 9) 渡辺航介 他：コーヒー滓の超高温可溶化および高温メタン発酵に及ぼすアルカリ剤および破砕処理の影響に関する研究, 環境衛生工学研究, Vol.26, No.3, pp.77-80 (2012)
- 10) 櫻川智史 他：コーヒーカスバイオマスボイラーシステム, 産業機械, No.770, pp. 32-35 (2014)
- 11) 緒方文彦 他：コーヒー豆かす由来イオン交換能賦与炭素材料による硝酸イオンおよび亜硝酸イオンの除去, 表面科学, Vol.32, No.7, pp.461-466 (2011)
- 12) 清原拓二 他：緑茶殻及びコーヒー豆殻への水銀吸着能, 分析化学, Vol.52, No.10, pp.887-890 (2003)
- 13) 野地美樹 他：コーヒー粉末による金属吸着, 日本健康医学会雑誌, Vol.15, No.3, pp. 32-33 (2006)
- 14) http://www.atago.net/product/?l=ja&f=pop_pal-coffee.html
- 15) 渡辺昭敬 他：コーヒーを化学する, 神戸高専研究紀要, No.49, pp.61-65 (2011)

【受理年月日 2016年 9月15日】

安全データシートを活用した排水処理教育における PDCA サイクルの報告

出川強志^{*1}, 田中孝国^{*2}

A Report of PDCA cycle for education of waste liquid utilized for Safety Date Sheet

Tsuyoshi DEGAWA, Takakuni TANAKA

The students do not understand the treatment method of waste water of the chemical experiments. And then, they do not understand the treatment method of factory waste liquid, safety of the worker. Therefore we performed a study session that a student planned drainage processing and carried out with chemical experiment waste water as factory waste liquid. They have utilized Safety Data Sheet (SDS), made a work process in consideration of safety measures. And they examined each process using PDCA cycle and tried improvement such as a safe increase in the drainage processing or the reduction of the cost.

KEYWORDS : waste water of chemical experiments , factory waste liquid, Safety Data Sheet (SDS) , PDCA cycle

1. はじめに

高専は、実験・実習を重視した専門教育課程を有し、卒業生の多くは研究開発ができる実践型技術者として、新規開発や製品製造現場の第一線において高い評価を受けている。現在の産業界は、環境負荷に配慮したモノづくりは必須である。また様々な専門領域を越えた技術開発は当たり前であり、狭い専門領域だけを習得する従来の高専の教育課程ではこれをカバーできない。したがって次世代の技術者を育成する高専において、環境に

配慮しながら専門領域を超えて問題解決ができる技術者育成が求められている。

これまで、共著者の環境に関する通常の講義科目と同時に、著者が指導している物質工学科2年生の分析化学実験において、学生実験における廃液教育の試み¹⁾(平成25年度奨励研究採択 課題番号 25910030)を導入し、学生実験時の廃液中の有害物質の測定を行った。また学科を問わず募集した学生を対象とした工業製品中の有害物質測定の試み²⁾(平成26年度奨励研究採択 課題番号 26910028)を行い、工業製品中の有害物質の測定を通してこれらの試みは環境意識の高い自立し

*1 技術室 (Technical Office) E-mail: degawa@oyama-ct.ac.jp

*2 物質工学科(Dept.of Materials Chemistry and Bioengineering)

た技術者の育成に関与し、環境負荷を考える人材の育成を目指してきた。

物質工学科の化学実験では有害な実験廃液が排出されるが、学生は自分の排出する有害廃液の処理方法を理解していない。また実際の工場等生産現場における排水中の有害物質の処理方法、処理コストや環境負荷、処理作業者の安全について深い理解を得る機会がなかった。

そこで、学生が排出した実験廃液を工場の模擬排水として、学生自身による排水処理工程の計画立案およびその実行を着想した。この過程において、学生は廃水処理のコスト、作業上の安全衛生、環境負荷等に考えを及ぼし作業工程を作成することになるが、その際は試薬の安全データシート(以下、SDS)を参考に、含まれる有害物質の危険性や、その安全対策を考慮して具体的な作業工程を作成する。同廃液で複数回の処理実験を行い、PDCAサイクルを用いて各工程の情報を整理・検討することにより、排水処理における安全性の増進やコストの低減などの改善(正のスパイラル)を目指す。これらの過程で、学生は有害物質の処理のコスト、作業環境の安全衛生、環境負荷などの理解と、作業工程の改善作業を通じて問題解決能力の向上をはかることができる。

今回の取り組みの目的は実験廃液を工場から排出された排水に見立てて、その排水処理を計画立案することにより、高専が目指す将来のゼロエミッション社会の技術者教育の実践に好適であり、学生に有害物質の処理方法、環境負荷などの理解と、PDCAサイクルを用いた問題解決能力の醸成を図り、産業界において環境負荷を念頭に入れた、技術開発および製造を行える人材育成を目指すものである。

2. 実施内容

勉強会は2014年10月から2015年1月に8回にわたり行った。今回の試みは、化学工学を基礎に置き、分析化学や無機化学の知識を活用した排水処理工程の実践でもあり、水処理を専門とする田中孝国教員に協力を得て、同研究室に配属された物質工学科4年生4名が勉強会に参加した。勉強会は地域連携共同開発センターを中心に展開した。勉強会は2人1組のチームで行い、各回2時間～3時間の時間内において、各回のテーマに基づき講義においてまず問題呈示を行い、この呈示された問題

について学生同士の班内ディスカッションを行う。そのうち検証実験を行う事により、理解を深めるといったアクティブラーニング的手法を用い、排水処理の勉強会を行った。表1に4年生に行った勉強会のスケジュールを記す。

表1 4年生グループのスケジュール

	日	内容
1	10/16	環境を考えたモノづくり、PDCAサイクル、Cr(VI)排水処理工程を考える。
2	10/23	PDCAサイクルの構築(PLAN策定)、Cr(VI)排水処理の予備実験。
3	10/29	PDCAサイクルの構築(PLAN策定)
4	11/13	排水の処理作業を行いCHECKデータを得る。
5	12/11	CHECKデータを用いてACTION(改善)を行い次回のPLAN策定およびDOを行う。
6	12/18	CHECKデータを用いてACTION(改善)を行い次回のPLAN策定およびDOを行う。 知りえた知見を整理検討し、発表の方針を決める。
7	1/8	勉強会で学び得た事を中心に口頭発表をする。 排水処理実験(鉄塩(II)還元法)。
8	1/22	工業製品(クロメート製品)と、クロメート製品中の六価クロムの機器分析(UV, ICP, FE-SEM, XPS)

模擬排水(以下、排水)には物質工学科2年生が行った分析化学実験において排出された、六価クロムを含む実際の実験廃液を希釈して使用した。

六価クロム含有排水処理は一般的に広く行われている薬品還元法(水酸化物法)^{3), 4), 5)}を用いた。本法は、溶解度が大きく毒性の強い六価クロムを溶解度が小さく、毒性が非常に低い三価クロムに還元して排水よりろ過、沈殿させ取り除く方法である。一般的に亜硫酸還元法と鉄塩(II)還元法がある。両者は六価クロム排水の条件より選択される。その中で特に広く行われている亜硫酸塩還元法を選択した。これは六価クロム含有排水を、酸性化で亜硫酸水素ナトリウムを加えて三価クロムに還元し、その後アルカリを加えて水酸化クロムとして沈殿するものである。

処理水中の六価クロムの検査は、その操作の簡便さによる時間短縮が期待できるジフェニルカルバジド法を準用した市販パックテストキットを用

いた。六価クロム排水の処理方法は、試薬の SDS 等を参考にして、汚泥量、溶液濃度、pH、共存物質の有無などの条件を精査させ、その中で特に広く行われている亜硫酸塩還元法^{3), 4), 5)}を選択した。これは六価クロム含有排水を、酸性化で亜硫酸水素ナトリウムを加えて三価クロムに還元し、その後アルカリを加えて水酸化クロムとして沈殿するものである。処理法を選択し、必要な器具、試薬、安全器具等を検討選択して、予備実験を行い、排水処理工程作成の基本的データを取得した。このデータを基に作業工程計画と、処理水中の六価クロム含有率、作業時間、汚泥量、処理水量等の設置した項目において目指すべき目標値を作成させた (PLAN)。次に計画に従い排水処理作業を行った (DO)。終了後、結果が目標値に達しているか確認させた (CHECK)。その後作業中の安全面も含め、実際の作業において目標値に沿わなかった点や、より高い目標値を決めて、達成のための改善点をチーム内で検討整理し (ACTION)、その改善点を基に処理工程の手直しを行い、2 回目の排水処理をおこなった。2 回目終了後結果から改善点の検討および、処理工程の手直しを行った。以上の過程をチーム内でまとめ、理解発見した事を中心に各自でテーマを決定して、公開発表会で口頭発表会による成果発表を行い、討議を経て理解を深める。また勉強会全体で理解発見した知見についてレポートにて報告させた。口頭発表終了後捕捉の実験として行わなかった薬品還元法(水酸化物法)のもう一つの方法である鉄塩(Ⅱ)還元法の模擬実験を行った。また実際の工業製品(クロメート製品)の説明および、これらクロメート製品中に含有する六価クロムを地域連携共同開発センターにある分析機器 (UV, ICP, FE-SEM, XPS) で機器分析を行った。最終的にアンケート調査とあわせて最終的に評価した。PDCA サイクルの概念図を図 1 に、勉強会の様子を図 2~7 に記す。

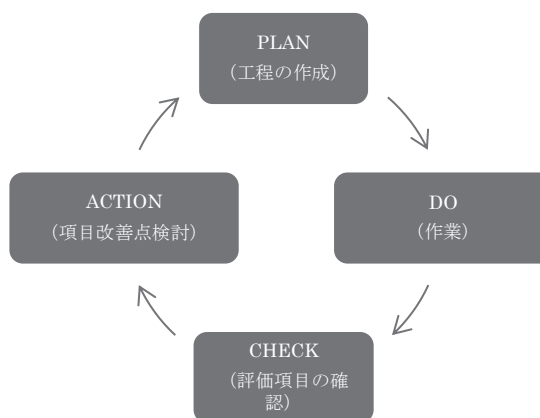


図1 PDCA サイクル



図2 班内ディスカッション



図3 参考資料



図4 実験操作

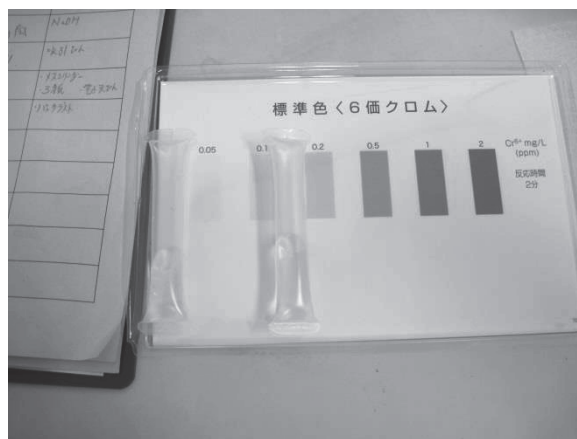


図7 排水中の六価クロムの測定



図5 実験装置

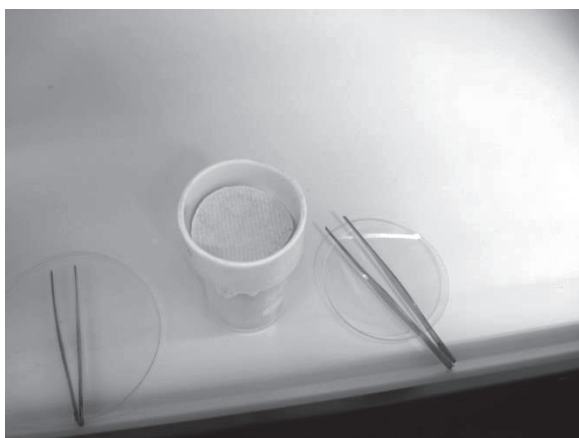


図6 濾過作業

3. 結果

参加学生は排水処理工程におけるPDCAサイクルを構築して、そのサイクルを2回まわした。実習前に設定した目標に対して、1回目に実習後目標値に達しなかった項目について、2回目の作業において改善をめざし、自分達が考えた作業工程の改善を織り込み、2回目のPDCAサイクルを遂行した。表2に排水処理作業における目標設定とPDCAサイクル1回目、及び2回目のチェック項目の結果を表2に記す。

表2 排水処理作業の目標とチェック項目

	目標	1回目の チェック	2回目の チェック
Cr(VI) 濃度 (mg/L)	0.5	≤ 0.05	≤ 0.05
Cr(全濃度 (mg/L)	2.0	7.24	0.238
放流水の pH	5.8~8.6	7.9	8.3
汚泥量乾燥 重量 (g)	0.1300	0.0546	0.8641
処理水量 (mL)	≤ 300	248	288.8
作業時間	2 時間 30 分	<u>2 時間</u> <u>50 分</u>	<u>2 時間</u> <u>20 分</u>
排水総量 (mL)	200	200	200

全クロムの含有率測定は、地域連携共同開発センター内分析機器 ICP-OES を用いた。

設定された目標とチェック項目について、PDCA サイクルを回すことにより、改善が認められた例があった。

表2の作業時間において1回目のチェック項目では2時間50分となり、目標としていた2時間30分を20分超過した。そこで学生は改善項目として目標時間を超過した作業時間を選択した。作業時間短縮の為に汚泥分離に使用する吸引ロートを大型にするなどの作業工程の改善を施したところ、30分の時間短縮が図られ、作業状況が改善された。これら作業工程におけるPDCAサイクル導入による改善作業を通じて問題解決能力の向上が進んだ。また事前の知識と事後の内容理解を調査するため勉強会の前後においてアンケートを実施した。その一部を図8、9及び表3、4に記す。

(2015年10月16日及び2016年1月8, 22日4名中4名回答)

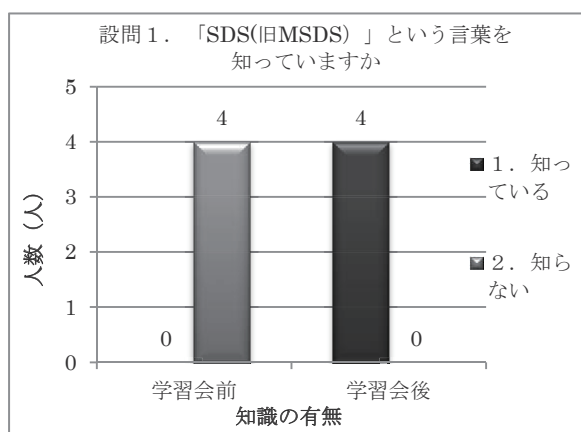


図8 アンケート結果

表3 アンケート結果

設問2. (設問1で1を選んだ人)「SDS」について何でもいので思いつく事を述べて下さい。

学習会前	
学習会後	安全データシート、薬品の詳細、危険性等
	薬品の危険性などについて書かれている
	工場からの排水に含まれている有害物質についてまとめた物
	会社等で出された排水などについての危険性や排水情報についてまとめたもの

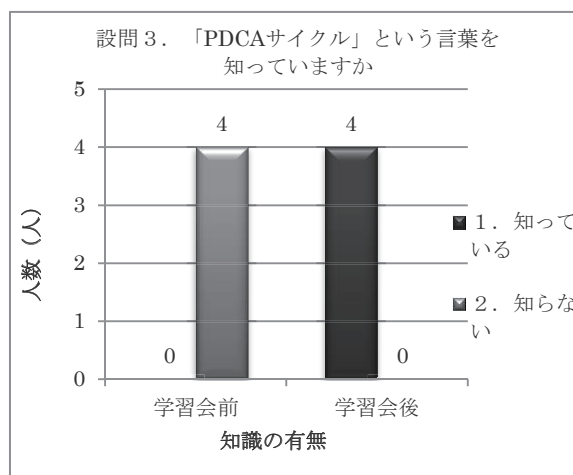


図9 アンケート結果

表4 アンケート結果

設問4. (設問3で「1. 知っている」を選んだ人)「SDS」について何でもいので思いつく事を述べて下さい。

学習会前	
学習会後	計画→実行→評価→改善を繰り返す
	Plan→Do→Check→Actionと進めていく
	Plan, Do, Check, Actionを通して改善点を洗い出して積み重ねていく
	Plan, Do, Check, Actionを繰り返していつて物事を確実に改善させていく過程

これらの結果は、参加学生のSDSやPDCAサイクルに関する知識習得を示している。設問1、2についての回答では、勉強会前は、SDSについてまったく知識がない状態が 学習会後は、「安全データシート」「排水に含まれる有害物質」など勉強会で知ることが出来たSDSについて具体的なキーワードが並んでいる。また設問3、4についての回答では、同様にPDCAサイクルについてまったく知識がない状態が 学習会後は、「PLAN→DO→CHECK→ACTION」「計画→実行→評価→改善」など勉強会で知ることが出来たPDCAサイクルを簡潔に表現している。これら自らの頭で考え実際の作業を通じての学習が有益であることを示している。今後この勉強会を継続した際、さらに詳細なアンケート調査を行い、勉強会の効果を確かめたい。

勉強会終了後、4人の学習者は勉強会において学んだことを指導者との相談しながら自分達でテ

ーマを決めて10分の口頭による全体発表会を行った。表5に講演題目と要旨、図10に全体発表会の様子を記す。

表5 講演題目と要旨

講演題目	要旨
六価クロム排水処理における時間短縮	今回の排水処理過程において PDCA サイクルを用い時間短縮を図った。結果時間短縮が図られたが、さらなる時間短縮の方法を考察した。
処理排水中の三価クロムの低減	排水処理実験の結果、処理排水の六価クロム含有量は基準値未満への低減ができたが、三価クロム含有量が2回の実験で共に基準値を超える値を示した。その原因を考察する。
六価クロムが環境及び人体に与える影響と対策	六価クロムは人体や環境に多大な悪影響を与えるため、基準値以下の濃度にして排出しなければならない。実験の結果を通して、適切な安全対策と処理方法を報告する。
クロムの工業的利用とクロム含有排水の処理	クロムは様々な工業製品に利用され、それらの工場排水には六価クロムが含まれる場合が多い。六価クロム含有排水の処理実験とその検討を行った結果を報告する。



図10 全体発表会

この題目と要旨は六価クロム排水を主軸において処理工程の改善に PDCA サイクルを用いての時間短縮や、排水基準値への達成過程や、六価クロムの人体への影響、クロムの工業的利用法など、参加学生の興味が様々な方面にわたっていることを示している。

以上の結果より化学工学を専門に勉強しようとする学生が、クロム排水処理工程の計画と実践という普段の授業で行わないが、非常に重要な産業における化学技術の活用的一端を知ることが出来た。またその計画・実践の過程において SDS を中心とした文献調査を自らの手で行い様々な分野の知識を包括的に捉えた、これを基に組み上げた排水処理計画を PDCA サイクルで改善することにより、学生は、開発・製造で具体的に化学の知識がどう活用されているかを知り、また開発・製造の現場では従来の基礎的な化学知識を越えた多方面な知識と問題解決能力が必要であることを体感することが出来た。

2015年度に行った勉強会は、参加人数が計4名と少なかった。今後は、例えば HR においてデモ実験による紹介の実施などにより、多くの学生が参加してもらえるように工夫していきたい。

4. 謝辞

本研究は平成 27 年度奨励研究（課題番号 15H00234）に採択されています。本研究で小山高専内の関係される先生方には多くの御支援を頂きました。深謝いたします。

参考文献

- 1) 出川強志, 高屋朋彰, 加島敬太, 糸井康彦, 上田誠, 田中孝国 「学生実験における廃液教育の試み」, 小山高専研究紀要第 47 号 pp. 105-110 (2014)
- 2) 出川強志, 渥美太郎, 田中孝国 「RoHS/ELV 指令に基づく有害物質教育の試み」, 小山高専研究紀要第 48 号 pp. 123-128 (2015)
- 3) 吉村二三隆 著:『これでわかる水処理技術』, 技術評論社, pp. 73-77, 138-139 (2011)
- 4) 藤田賢二 著:『水処理薬品ハンドブック』, 技報道出版, pp. 28-29 (2003)
- 5) 公害防止の技術と法規 編集委員会編:『新・公害防止の技術と法規 2009 II』, (社) 産業環境管理協会, pp. 212-217 (2008)

【受理年月日 2016年 9月29日】

鉱石ラジオ実験用アンプ回路の製作

加藤 康弘^{*1}

A design of audio amplifier circuit board for experiment of crystal radio

Yasuhiro KATO

This paper reports a design of audio amplifier circuit board for experiment of crystal radio, and evaluates an effect of the ease of experiments when it used. Typical crystal radio (germanium radio) does not amplify the signal. Thus, that output sound is faint. Meanwhile, our building has repaired in recent years. However in that time, my experiment class was too noisy to hear crystal radio. Hence, my students could not experiment smoothly. Therefore, I designed an audio amplifier circuit board that can add to legacy crystal radio experiment equipment. Then uses the amplifier, students are able to experiment smoothly even in noisy classroom. Moreover, the amplifier improved success rate of demodulation in the case of using a natural ore. The successful experiences that listen to the radio with a natural ore gives a good effect to beginner engineer's learning motivation.

KEYWORDS : Experiment equipment, Audio amplifier, Crystal radio, Op-Amp

1. はじめに

電気電子創造工学科 2 学年の実験テーマ「鉱石ラジオ」は、自分たちで組み立てた AM ラジオで放送を受信することを通して、電波通信の仕組みを理解すると共に、共振回路に関する計算手法を習得することを課題としている。この実験で組み立てるラジオにはアンプ回路(増幅回路)が無く、聞こえる放送の音量はとても小さい。一方で、ここ数年は改修工事による騒音が増え、スムーズな実験進行に支障をきたしていた。そこで、既存のラジオに後付けで追加できるアンプ回路を設計・製作した。本稿ではこのアンプ回路の詳細と、アンプ回路を追加したことによる検波成功率の改善について報告する。

2. アンプ回路の製作

2.1 性能要件と設計思想

現在、鉱石ラジオ実験装置は学研 大人の科学シリーズの「磁界探知式鉱石ラジオ」を、コンデンサ部分を変更して使用している。(図 1)

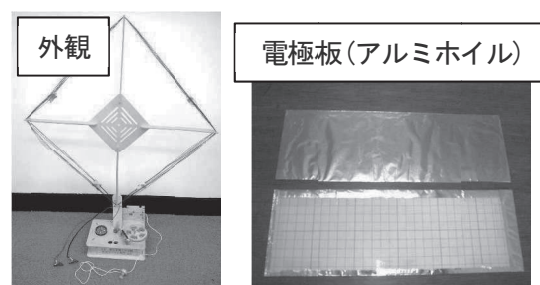


図 1 鉱石ラジオ実験装置

^{*1} 技術室(Technical Office), E-mail: kato@oyama-ct.ac.jp

このラジオの回路図を図2に示す。アルミホイルと厚紙からなる電極板をクリアホルダ（誘電体）に入れて製作する可変コンデンサと、コイルを兼ねたアンテナからなる同調回路の出力信号を、鉱石又はゲルマニウムダイオードとコンデンサで検波し、セラミックイヤホンで音に変換している。そのため、今回製作したアンプ回路は検波回路とセラミックイヤホンの間に挿入し、信号の増幅をすることになる。

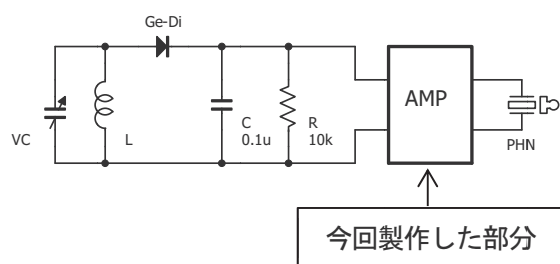


図2 鉱石ラジオ実験装置回路図

この場合の性能要件は大まかに次の通りになる。

- セラミックイヤホンと同等以上の高入力インピーダンス
- イヤホンが高インピーダンスのため、出力電流はあまり流れない
- 音声周波数帯域はAMラジオに準ずる
- 電圧増幅度は、イヤホンの効率が不明なことから、受信環境によって振幅が変化するため、調整して決定する

その後の調べによると、セラミックイヤホンのインピーダンスは $1k\Omega \sim 10k\Omega$ 程度である事¹⁾、AMラジオの音声周波数帯域は $100Hz \sim 7.5kHz$ である事²⁾が分かったため、これを考慮した。回路設計においては安価でシンプルな構成を心掛けた。これは限られた予算の中で4個の回路を製作しなければならない事と、運用中の故障を減らし、故障時には原因を特定しやすくするためである。

2.2 設計したアンプ回路

前述の性能要件と設計思想から、単三電池で駆動するオペアンプ回路を考えた。オペアンプを用いた回路は高入力インピーダンスと安定動作が容易に実現できるが、出力電流は小さい。スピーカを駆動する場合はパワートランジスタ等で出力電流を強化するが、セラミックイヤホンはインピー

ダンスが高いため直接駆動できる。そのため、シンプルに構成できると考えた。

設計した回路図を図3に、部品配置図を図4に示す。鉱石ラジオからの入力信号をボリュームで減衰させ、2回路入りオペアンプの1回路目でバッファを形成し、2回路目で増幅する。電源は単三電池を2本直列接続し、中点を仮想グラウンドとすることで、シンプルな±電源を実現し、電源由来のノイズが殆ど無いためバイパスコンデンサを省略している。またラジオ本体、アンプ回路共にアースから完全に浮いた状態であるため、直流分をカットするカップリングコンデンサは不要になる。

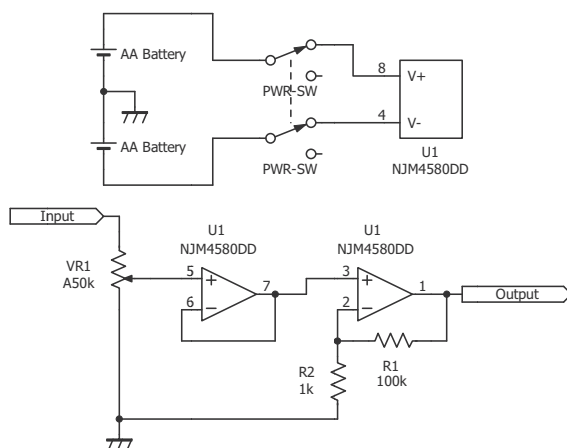


図3 アンプ回路図

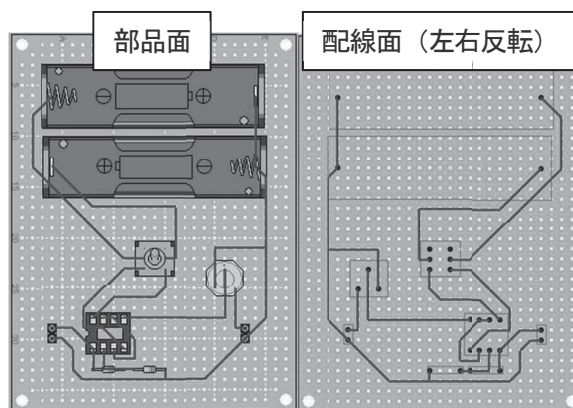


図4 部品配置図

この回路は、使用するオペアンプの選定に注意が必要である。電源は単三電池を用いているため電圧は公称 $\pm 1.5V$ となるが、この電圧で動作保障のあるオペアンプは超低電圧版となり、高価であることが多い。今回用いたオペアンプは安価な

JRC NJM4580DD であるが、動作保障は $\pm 2V$ 以上であるため定格外で動作させている。オペアンプの選定はデータシートに記載されている等価回路を見比べて、電源間に直列に入るトランジスタが少ない物を選択した。定格外ではあるが、実際の動作において聴感上の音の歪みは感じられない。なお、ボリューム最大時の音量を聞きながら調整した電圧増幅度は20dB（100 倍）となった。

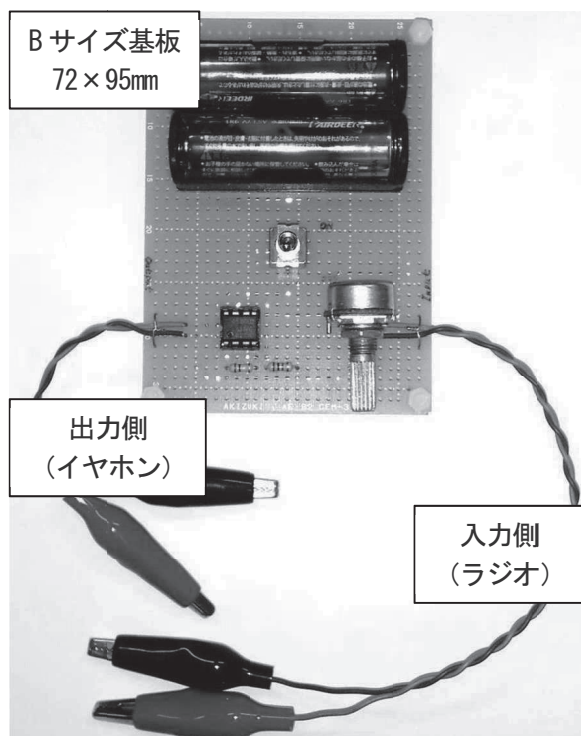


図5 アンプ回路の外観

表1 アンプ回路のパーツリスト

名称	個数	価格[円]
オペアンプ NJM4580DD	1	36
カーボン抵抗 (1k Ω , 100k Ω)	2	2
小型ボリューム A50k Ω	1	40
電池ボックス 単3×1 本用	2	60
6P トグルスイッチ	1	90
ユニバーサル基板	1	100
みの虫クリップ (赤黒)	4	80
プラスペーサ、ナット	4	50
配線 (AWG24)	若干	-
合計		458

※秋月電子通商 通販 HP H27 年 7 月時の価格

表1 に使用したパーツのリストと価格を示す。価格は 500 円以内と非常に安価に構成できた。実際に使用する際は、消耗品として単三電池が 2 本必要となるため、これよりは若干費用がかかる。

3. 実験での使用と成功率の改善

製作したアンプ回路を、平成 27 年度後期の実験から使用した。この時も改修工事の騒音はあったが、実験は滞りなく行える様になった。また使用開始に際して、アンプ回路の有無で実験の進めやすさに明確な差が生ずるかを確認するため、本実験中最も難易度が高い「鉱石での検波」にて検波が成功するかどうかのデータを取得した。

3.1 データの取得方法

「鉱石での検波」では、ゲルマニウムダイオードを天然鉱石に置き換え、天然鉱石の表面に電極を当てて整流できる位置を探し、放送を受信するという内容である。受信できた場合は鉱石表面への電極の当たり方をスケッチして報告する。天然鉱石はダイオードより整流効率が落ちるため音量はさらに小さくなり、聞こえる位置を探す際は運の要素も大きいため、以前は検波できないまま実験が終了してしまう事も多かった。

この実験項目において、27 年度の電気電子創造工学科 2 年生 (79 名 40 班) を対象に、前期実施分はアンプ回路なし、後期実施分はアンプ回路ありとして、鉱石での検波が成功するかどうかのデータを取得した。なお「検波成功」についてはイヤホンで放送が聞こえたかどうかで判断しているが、学生からの申告後に筆者も確認し、両者が聴感で感じ取れた場合のみ「検波成功」としている。

3.2 実験成功率の改善

表2 に示すとおり、検波成功率はどの鉱石でも 40%～75%上昇した。さらに、少なくとも 1 つの鉱石で受信成功した班は、前期の 25%に対し後期は 100%となり、後期は全ての班が鉱石での検波に成功したことになる。

鉱石で検波したラジオ放送を実際に聞くと、アンプ回路を通してまお音が小さいことが多い。このことから、今までは鉱石で検波できていたとしても聴感で確認できなかったケースが、アンプ

回路により確認できるようになったことが、検波成功率の上昇に貢献していると推察できる。

3) 鈴木, 田中, 今成, 石原 : 学習意欲の向上を目指した電気情報工学実験の改変, 論文集「高専教育」, 第 30 号 pp305-310 (2007).

表2 「鉱石での検波」受信成功率

鉱石の種類	前期 (アンプなし)	後期 (アンプあり)
黄鉄鉱	0/20 班 (0%)	15/20 班 (75%)
黄銅鉱	2/20 班 (10%)	10/20 班 (50%)
磁鉄鉱	1/20 班 (5%)	9/20 班 (45%)
方鉛鉱	2/20 班 (10%)	13/20 班 (65%)
少なくとも1つ	5/20 班 (25%)	20/20 班 (100%)

【受理年月日 2016年 9月29日】

4. おわりに

今回製作したアンプ回路は、安価でシンプルな回路構成にすることができ、実験に使用したところ、騒音下においても十分に実験を進めることが可能になった。また、今まで成功することが困難であった「鉱石での検波」の成功率を大幅に改善できた。

実の所、本実験において鉱石での検波は必ずしも成功する必要はない。本実験の一番の目的は共振回路に関する計算手法を習得する事である。鉱石での検波は応用実験であり、受信できなかった場合は、鉱石のどの様な部位が検波に向いていると考えて実験を行ったか、各自の考えを考察・報告させている。しかし学生達が、天然鉱石でもラジオ放送が受信できる不思議に興味を抱き、実際に受信できた成功体験を得ることは、本実験が平成 18 年度に導入された時のねらい³⁾である「学生の興味を惹く実験テーマ」であることの大切な要素であると考えられる。電気電子創造工学科は 3 年以降に電子回路や半導体物性の科目が開設されているが、この体験がこれらの教科の学習意欲向上に繋がってくれることを期待している。

参考文献

- 1) ゲルマラジオの試作工房：セラミックイヤホンの特性, URL:<http://www.crystal-set.com/report/s100.htm>
- 2) 鈴木陽一：AM放送とFM放送, 総務省 放送ネットワークの強靱化に関する検討会(第 2 回会合)参考資料 3, URL:http://www.soumu.go.jp/main_content/000216453.pdf, p6 (2013).

建物と植物・樹木に対する表面温度の関係性の評価

植木 忠司^{*1}

Study of the Thermal Relationship between Buildings and Plants

Tadashi UEKI

When we think of the laboratory as a workplace, the environment should be controlled respectively for the humans and the devices. In this study, we measure the temperature of various things, for example, the surface temperature of jigs on material testing machine, and the temperature changes on the surface of plants in the surrounding environment. Some basic data of temperature and humidity fluctuations, each indoor and outdoor, have been taken.

KEYWORDS : experiment environment, material testing machine, temperature and humidity, thermo-hygrometer, jig, surrounding environment

1. まえがき

地域連携共同開発センターには材料試験機が 3 台設置されている。内 1 台 (5 トン試験機 島津製作所製) は約 40 年前に設置され、数年前にコントロール装置が PC 制御となった。残りの 2 台は現在より 5 年以内に導入され、当初より PC 制御である。したがって機器制御は以前より容易になっている。

筆者はこれら材料試験機の管理、測定業務に携わっている。職場として実験室を考えた場合、コントロールされるべき環境には人間の作業上、快適とされる、温度・湿度¹⁾と、機器運行上、必要とされる温度・湿度がある。

実験室は、外部と遮断されており、エアコン等により温度・湿度が管理されているが、外部(屋外)の影響は無視できない。特に冬季や夏季などの自然環境が厳しい時期には、屋外環境の変動が室内環境に影響を及ぼし、ひいては機器のコンデ

ィションや人間の操作などに影響を及ぼす可能性がある。また自然の事物(草、地表)などと人工で作られた事物(建物、コンクリート、機器等)の気温の変動における関連性も興味がある。

そこで今回、実験室内の温度・湿度、及び材料試験機に取り付けられている治具の表面温度と、室外の様々な事物の温度を測定し、周辺環境の気温・湿度変動における、屋内外の事物の気温・湿度変動の基礎的データを採取した。

2. 実施概要

2. 1 測定場所

測定場所は、屋内外の様々な場所での温度・湿度及び材料試験機の治具の表面温度、併せて 19 ヶ所を測定した。下記に測定した場所を記す。

^{*1} 技術室(Technical Office), E-Mail: sp-boss@oyama-ct.ac.jp

(1) 周辺環境 (屋外)

- ・ 屋外の温度, 湿度 (1F, 2F)
- ・ 地表面
- ・ ハルジオン²⁾ (青葉)
- ・ 笹 (青葉)
- ・ ユキノシタ (青葉)
- ・ 椿 (常緑樹の堅い葉)
- ・ 落ち葉 (コナラ, シデノキ等の葉の混在物)

(2) 人工物 (地域連携共同開発センター内)

- ・ 材料試験機の治具の上下 (1F)
- ・ 材料試験室内の温度, 湿度 (1F)
- ・ NMR 室の温度, 湿度 (2F)
- ・ コンクリート (1 階地表との接続部分)

2. 2 機器の適正環境

材料試験機の治具について, 治具の直径及び機器の概要および操作に適正とされる室温, 湿度を下記に記す。

(1) 5 トン材料試験機: 島津製作所製

治具: 直径 100 mm 程度 (図 1 内の○印)

機器概要: 周波数の可変による動的, 静的な引っ張り, 圧縮の試験

室温: 10 ~ 35℃

湿度: 75%以下

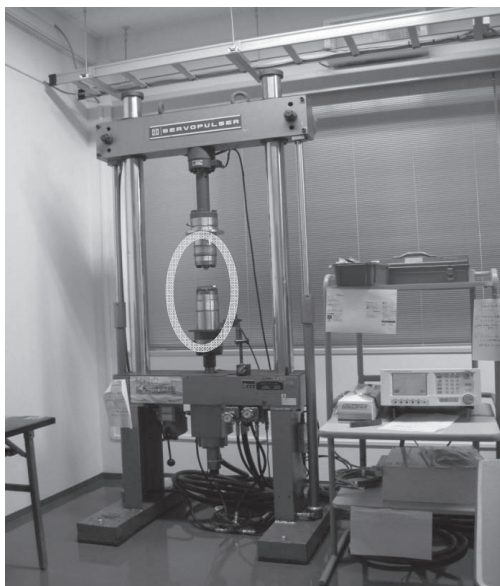


図 1 5 トン材料試験機

(2) 2.5 トン材料試験機: イストロン・ジャパン製

治具: 直径 110 mm 程度 (図 2 内の○印)

機器概要: 周波数の可変による動的, 静的な引っ張り, 圧縮, ねじりの試験

室温: 10 ~ 38℃

湿度: 90%以下

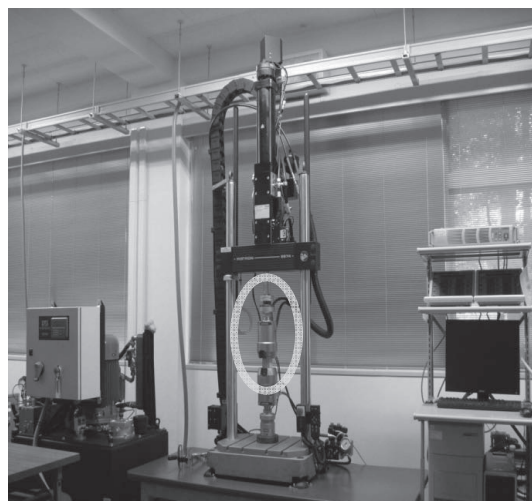


図 2 2.5 トン材料試験機

(3) 1 トン材料試験機: 島津製作所製

治具: 直径 60 mm 程度 (図 3 内の○印)

機器概要: 周波数の可変による動的, 静的な引っ張り, 圧縮の試験

室温: 5 ~ 40℃

湿度: 70%以下

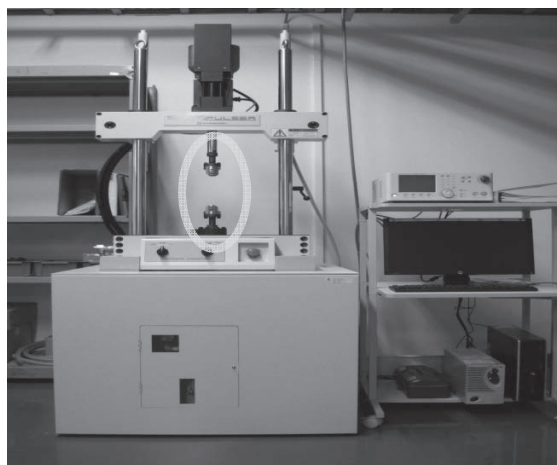


図 3 1 トン材料試験機

2. 3 測定機器（温度，湿度）

各場所の温度，湿度の測定は，棒状温度計（バイメタル式湿度計付），バイメタル式温湿度計（EMPEX TM-5601），デジタル式赤外線温度センサーを使用した．以下にデジタル式赤外線温度センサーの概略を記す．

表示方式： 室温・物体表面温度，
測定範囲： $-22 \sim 80^{\circ}\text{C}$
測定精度： $\pm 4\%$ または $\pm 2^{\circ}\text{C}$ のどちらか
大きい値
メーカー： custom 社製

2. 4 測定方法

測定期間は 1 月 22 日から 2 月 22 日の平日の昼間に行い，測定日数は 21 日であった．1 回の測定に付き 3 回測定し，その平均値を出しその場所の測定値とした．1 日あたりのサンプリングは 3 回（10 時頃，13 時頃，16 時頃）行った．

測定において物体の表面からの距離はすべて約 1 cm の所を測定した．建物における室内および屋外の温湿度はすべて床から高さ 1.5 m 付近で，屋外は棒状温度計（バイメタル式湿度計付），室内はバイメタル式温湿度計（EMPEX TM-5601）で測定した．それ以外の各物体の表面温度はデジタル赤外線温度センサーを用いて測定した．

なお室内の空調温度は，エアコンで 1F の材料実験室は常時 24°C 暖房，2F の NMR 室は 24°C 冷房に設定してある．

3. 結果

温度・湿度のデータは，1 日あたり 3 回測定した値の平均値で表した．測定日の 21 日間における最大値，最小値，その差を表 1 に記した．

表 1 温度，湿度および温度差の平均値の一覧表
（上段：温度 $^{\circ}\text{C}$ ，下段：湿度 $\%$ ）

	測定場所	MAX 温度 湿度	MIN 温度 湿度	温度差 湿度差
1	1F 治具	22	17.8	4.2
2	2.5F 治具	21.9	19.2	2.7
3	5F 治具	22	19.4	2.6
4	室内温度 1F	22.6	18.1	4.5
5	室内温度 2F	21.3	18	3.3
6	室内湿度 1F %	46 雨	23.7	22.3
7	室内湿度 2F %	40.6	9.7	30.9
8	屋外温度 1F	13.3	4.6 雨	8.7
9	屋外温度 2F	20.3	6.1 雨	14.2
10	屋外湿度 1F %	82.3 雨	26.6	55.7
11	屋外湿度 2F %	86	14.3	71.7
12	地表	12	2.6	9.4
13	コンクリート	16.7	6	10.7
14	落葉 (北側)	17	1.8	15.3
15	落葉 (南側)	18.5	4.7 雨	13.8
16	柔らかい葉， 草 (ハルジオン)	17.2	2.7	14.5
17	堅い葉 (椿の葉)	17.4	3.8 雨	13.6
18	笹 (青葉)	14.1	3.1	11
19	エキノキ (青葉)	13.8	6.8	7

4. まとめ

冬季（21 日間）における各場所の温湿度の、およその傾向を下記に記す。

- ・ 1F の治具表面の温度は機種による差は少なく、17.8～22℃の範囲であった。
- ・ 1F の材料実験室の室内温度は 18.1～22.6℃であった。
- ・ 2F の室内温度は 18.0～21.3℃であった。
- ・ 屋外は 4.6～20.3℃であった。雨の日は 2 回位あり、ほかは曇りが少しで、ほぼ晴れの日が続いた。
- ・ 湿度は 1F 室内が 23.7～46.0%，1F 室外が 26.6～82.3%，2F 室外が 14.3～86.0%であった。
- ・ 地表の温度は 2.6～12.0℃，コンクリートの温度は 6.0～16.7℃であった。
- ・ 落葉、野草類は 1.8～18.5℃の付近であった。

5. 今後の展開

今回の測定は、一か所に付き、1 日で 3 回の計測だけであった。今後は、今回の結果を基に、現在の評価方法や、計測方法の改善の検討を行い、周辺環境の温度、湿度の変化が人間と人工物等に、どのような影響があるのかを分析したいと計画・検討しています。

6. 謝辞

文章作成において、いろいろな方からアドバイスをいただき完成いたしました。深謝いたします。

参考文献

- 1) 温度のはなし：三井清人 他，日本規格協会(1986)
- 2) 新・校庭の雑草：岩瀬 徹，川名 興，中村俊彦，全国農村教育教会(1998)

【受理年月日 2016年 9月29日】

目の粗いグリッド・ボードに正多角形を作図する 初歩的な数学を用いた技法について

玉木 正一^{*1}

About on the techniques that used basic mathematics to draw
a regular polygons with simple ruler on large-scale Grid board

Masakazu TAMAKI

We have drawn the special n square shapes(regular n^{th} polygons) by Euclidean geometry methods. But possible n is restricted as the multiple of power of 2, special prime numbers, 3, 5, 17, 257, 65537, ... but they are square-free. If n tends to large, an accumulation error from methods of Euclid, also grows big. Like in a problem of drafting, one draw regular 64^{th} polygon, but that is an unrealistic demand even if it is for the train courteousness and patience feeling. In case regular n^{th} polygon in an unit circle, we can draw them by diagonal line which join first top z_0 and $r^{\text{th}} z_r$ or one side, accompanied accumulated error specially which of the needle of compasses. In contrast, we can get x -coordinate of z_r with necessary precision by a trigonometric function directly numerical value, but it becomes difficult to realize on the coordinated plane. We can improve it by use the method of continued fractions. Finally we adds roughly explanations for the case of regular 17 polygon (heptadecagon), regular 257^{th} polygon (diacosipenta-contaheptagon) drawn by Euclid method, and the table of primitive root modulo p (prime).

KEYWORDS : regular polygon, continued-fraction, problems of drafting, primitive root
Rular and compass, Frobenius permutation, heptadecagon

1 始めに

定規とコンパスを用いた正多角形は、
4, 8, 16 の様な 2 の累乗角形、それに 3 の
倍数の入った 3, 6, 12, 24 角形、17, 257 等の
特殊な素数角形が作図可能である。製図等で、
忍耐力、丁寧さを養成する為の、64 角形であつても、
用具の誤差等の累積誤差で望ましい図形を書くことが出来ない。
本稿では、連分数近似により無理数の近似を用

いて作図し、更に、三角関数、1 の原始根等を用いた作図法を提示してみる。その際に、エクセル等の表計算ソフト(数式処理ソフトも)を用いることにより、これらと幾何学の連携を深めていく。

2. 作図法の成り立ち

平面幾何学は、ナイル川の氾濫により耕地の境界が消滅した事から始まると言われている。

*1 小山高専名誉教授 (honorary professor), E-mail: tamaki@oyama-ct.ac.jp

境界の復元のために、縄を張って測量をした。辺の比が3:4:5の3角形が直角3角形であることがすでに知られていた。この手法から、定規とコンパスを用いたユークリッド幾何学が始まったと言われている。

以前は、建築、機械等の製図を学ぶ者は、半径10cmの円内に正32角形、正64角形の作図課題を与えられていた。正方形(正4角形)の

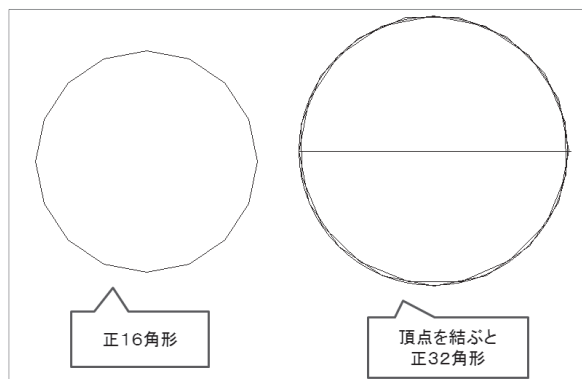


図1 正16角形と正32角形の作図

3. よく知られている正多角形

2の累乗以外の正 n 多角形では、 n と素な位置にある頂点を求めて、その辺(又は対角線)を円周上に次々にとって行けば良い。例えば、正6角形では、1辺の長さが半径と同じであるので、次々ととっていけば正6角形を得る。

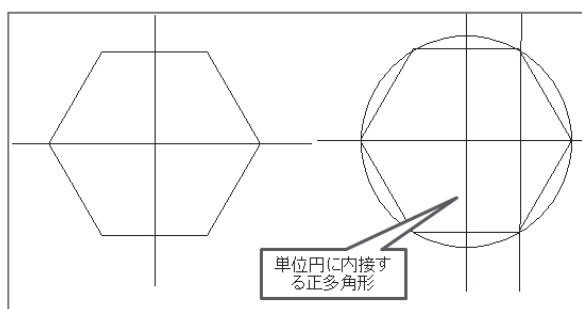


図2 単位円内に正6角形を描く

4. 誤差

定規とコンパスを用いる方法では、線の中、円の中心点の直径などが誤差の主因となっている。元々、エジプト時代の測量法にも誤差が含まれて

各角を2等分すると、正8角形が出来る。更に2等分をしていくと、16角形、32角形と進む。この様に単純な方法であるが、32角形あたりになるとコンパスの針で中心、頂点に大きな穴が空き、綺麗な正多角形が描けなくなる。実際、この針の穴が製図の誤差のメインタームになっている。

いた。縄伸びという現象である。現在でも、公図と実測で土地の面積が違う。売買するときには出来るだけ多めに、納税するときには出来るだけ少な目に申告する。その際の言い訳に測量の際に縄が伸びたので、誤差が生じたという。縄での計測の子孫である、

定規とコンパスによる製図は、どんなに技術を尽くしても、0.1mm.半径10cmの円で、1/1000程度の誤差が各作業毎に積算されてしまう。加えて、地面は平面でないので、非ユークリッド幾何学的な補正が必要になる。

縄の張力だけで、十分な精度を持った、直線、平面、直角を作成するのは事実上不可能である。

5 工業的な低誤差の実現

工業的には、ささげと言う手段をとり、超精度の平面、直線、直角を作成する。

例として、3面揃りという方法で、平面のゲージを作成する 図を考えてみよう。

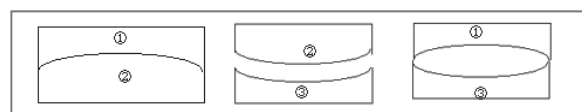


図3 平面ゲージの作成法

誤差10ミクロン程度を求める事が出来る。

この様にして超精度の、平面、直線、直角、更に、格子点が作成できる。

6. 正7角形の作図

正7角形を描いてみよう。Cos、又は、sinの値は、エクセルを利用して容易に求めることが出来る。

表1 正7角形の頂点のx座標

k	pie	3.14159265	cos	sin
1	2k pie/7	0.8975979	0.623489802	0.781831482
2	2k pie/7	1.7951958	-0.222520934	0.974927912
3	2k pie/7	2.6927937	-0.900968868	0.433883739
4	2k pie/7	3.5903916	-0.900968868	-0.433883739
5	2k pie/7	4.48798951	-0.222520934	-0.974927912
6	2k pie/7	5.38558741	0.623489802	-0.781831482
7	2k pie/8	6.28318531	1	-6.46228E-15

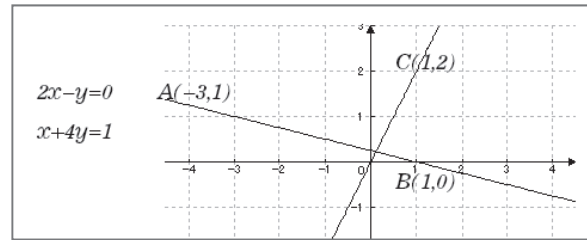


図4 A,B,C,O を結ぶ交点のy座標が $\frac{2}{9}$ になる

コンピュータ画面上に描くならこれでよいのであるが、人間がグリッド平面上に描くには、 $1/1000$ 以上の精度で描くのにには 1000 目盛り、 10000 目盛りの巨大な平面と定規が必要になる。

$$\cos(2\pi/7)=0.623489801858734 \quad \cos(8\pi/7)=-0.900968867902419$$

$$\cos(4\pi/7)=-0.222520933956314 \quad \cos(10\pi/7)=-0.222520933956315$$

$$\cos(6\pi/7)=-0.900968867902419 \quad \cos(12\pi/7)=0.623489801858733$$

cos の性質上、右半分は左と同じで、最初の3個が簡単な分数になれば作図可能である。

ここで3番目の頂点のx座標を格子点上に求めてみよう。連分数を用いて、規約分数表示すると

$$\cos(4\pi/7)=-0.222520933956314,$$

$$\cos(4\pi/7)=-0.222520933956314$$

$$\frac{-1}{-0.222520933956314}=4.49395920743494$$

$$\frac{1}{4.49395920743494-4}=2.02445866976113$$

$$\frac{1}{4+\frac{1}{2}}=\frac{2}{9} \quad \cos(4\pi/7)+\frac{2}{9} \square$$

$$=-0.000298711734092118 \quad \square$$

$\frac{2}{9}$ はかなりの精度の近似である。□

これをグリッド上に近似するには

$$\left| \begin{pmatrix} 2 & 0 \\ 1 & 1 \end{pmatrix} \right| = 2 \quad \left| \begin{pmatrix} 2 & -1 \\ 1 & 4 \end{pmatrix} \right| = 9 \quad \begin{matrix} 2x-y=0 \\ x+4y=1 \end{matrix}$$

なる連立1次方程式を作図すればよい。

連分数以外でも、ニュートン法を用いて既約分数表示が出来る。

7. ニュートン法での近似

$$z^7-1=0$$

$$z^7-1=(z-1)(z^6+z^5+z^4+z^3+z^2+z+1)=0$$

$$z=\cos(2\pi/7)+i \sin(2\pi/7)$$

$$z^2=\cos(4\pi/7)+i \sin(4\pi/7)$$

$$z^3=\cos(6\pi/7)+i \sin(6\pi/7)$$

$$z^4=\cos(8\pi/7)+i \sin(8\pi/7)$$

$$z^5=\cos(10\pi/7)+i \sin(10\pi/7)$$

$$z^6=\cos(12\pi/7)+i \sin(12\pi/7)$$

作図上は

$$z+z^6=2\cos(2\pi/7)$$

$$z^2+z^5=2\cos(4\pi/7)$$

$$z^3+z^4=2\cos(6\pi/7)$$

の近似を求めればよい。

方程式は

$$\frac{z^6+z^5+z^4+z^3+z^2+z+1}{z^3}=$$

$$z^3+z^2+z+1+\frac{1}{z}+\frac{1}{z^2}+\frac{1}{z^3}=0$$

と変形できて、

$$x = z + \frac{1}{z} \quad \text{と置くと}$$

$$x^3 - 3x + x^2 - 2 + x + 1 = 0$$

と同値になり、その解が

$$2\cos\left(\frac{2k\pi}{7}\right) \quad k=1,2,3$$

である。

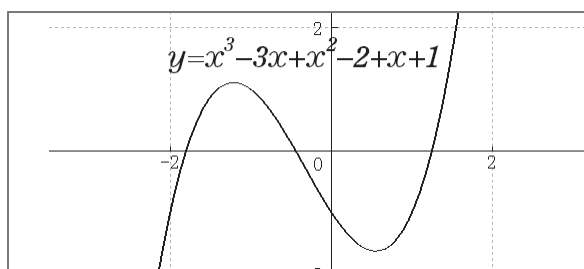


図5 $y = x^3 - 3x + x^2 - 2 + x + 1$ のグラフ

$x = -2$ から始めると既約分数 $-\frac{2}{9}$ を得る。

この場合連分数と同様に近似されるのは、2番目の解の近くで曲がりが0に近いからである。ニュートン法なら関数機能の無い電卓でも求める事が出来る。

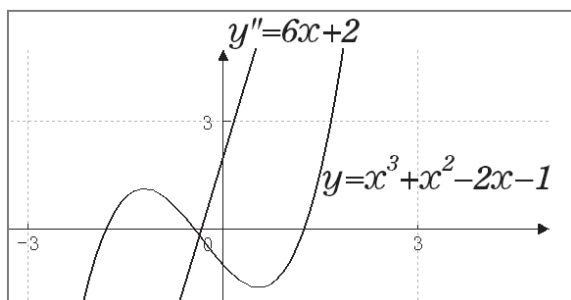


図6 2階微分、曲がりを込めたグラフの表示

8 幾つかの実例

全ての正素数角形について、ニュートン法と連分数による近似が一致するかと言うと、2階微分（曲率）が解の近くで0に近くないとうまく成り立たない。11角形、13角形などでは連分数が

望まれる。

$$\cos(2\pi/11) = 0.841253532831181$$

$$\frac{1}{0.841253532831181} = 1.18870228887428$$

$$\frac{1}{1.18870228887428-1} = 5.29935278456656$$

$$\frac{1}{5.29935278456656-5} = 3.34054016383353$$

$$\frac{1}{3.34054016383353-3} = 2.93651118488579$$

$$0 + \frac{1}{1 + \frac{1}{5 + \frac{1}{3 + \frac{1}{3}}}} = \frac{53}{63}$$

$$\cos(2\pi/11) - \frac{53}{63} = -0.0000163084386600598$$

$$\begin{pmatrix} 3 & -3 \\ 10 & 11 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 3 & -2 \\ 10 & 11 \end{pmatrix} \begin{matrix} 3x-3y=-2 \\ 10x+11y=11 \end{matrix} \quad y = 0.841269841269841$$

で 1/100000 の誤差にとどめることが出来る。

9 半径2の円に内接する正多角形

実際の作図は、半径2の円を用いた方が誤差が少ない、そのためには、ニュートン法と同

じく、 $x = 2\cos\left(\frac{2k\pi}{n}\right)$ を用いる。

$$2\cos\left(\frac{4\pi}{13}\right) = 1.13612949346231$$

$$\frac{1}{1.13612949346231-1} = 7.34594667596312$$

$$\frac{1}{7.34594667596312-7} = 2.89061890019896$$

$$\frac{1}{2.89061890019896-2} = 1.12281470758885$$

$$1 + \frac{1}{7 + \frac{1}{2 + \frac{1}{1}}} = \frac{25}{22}$$

$$2\cos\left(\frac{4\pi}{13}\right) - \frac{25}{22} = -0.000234142901324744$$

19歳のガウスが、夢の中で発見したと言われる正17角形も、

$$2\cos(8\pi/17) = 0.184536718926604$$

$$\frac{1}{0.184536718926604} = 5.41897572372971$$

$$\frac{1}{5.41897572372971 - 5} = 2.38677313114476$$

$$\frac{1}{2.38677313114476 - 2} = 2.58549500850855$$

$$\frac{1}{2.58549500850855 - 2} = 1.70795649060669$$

$$\frac{1}{1.70795649060669 - 1} = 1.41251618322341$$

$$\frac{1}{5 + \frac{1}{2 + \frac{1}{2 + \frac{1}{1 + \frac{1}{1}}}}} = \frac{12}{65}$$

$$2\cos(8\pi/17) - \frac{12}{65} = -0.0000786656887805834$$

$$\left| \begin{pmatrix} 5 & 6 \\ -5 & 7 \end{pmatrix} \right| = 65 \quad \left| \begin{pmatrix} 0 & 6 \\ -2 & 7 \end{pmatrix} \right| = 12 \quad \begin{matrix} 5x+6y=0 \\ -5x+7y=-2 \end{matrix}$$

の作図で求めることが出来る。

10 17角形の定規とコンパスによる

作図

単位円内に描かれた正17角形の頂点は方程式

$$z^{17} - 1 = (z - 1)(z^{16} + z^{15} + z^{14} + \dots + z^2 + z + 1) = 0$$

の解になる。

$$z^{16} + z^{15} + z^{14} + \dots + z^2 + z + 1 = 0$$

は2次拡大を4回繰り返して解く（作図すること

になる。）

よく知られているが、平方根の長さの作図を行ってみよう。

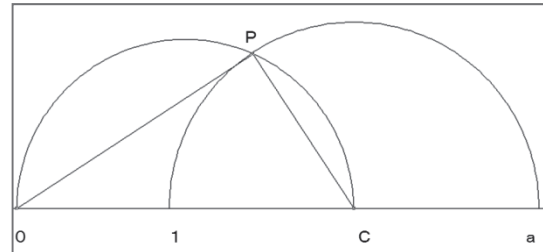


図7 方冪(べき)の定理より $\overline{OP} = \sqrt{a}$ となる。

$$\text{ガロワ置換} \quad \zeta = \cos \frac{2\pi}{17} + i \sin \frac{2\pi}{17} \rightarrow \sigma \zeta$$

を利用して、2次拡大を巧み重ねていく。

表2 $a^n \text{ mod } (17)$ の表

	原始根				
乗数	3	4	5	7	8
	1	1	1	1	1
1	3	4	5	7	8
2	9	16	8	15	13
3	10	13	6	3	2
4	13	1	13	4	16
5	5	4	14	11	9
6	15	16	2	9	4
7	11	13	10	12	15
8	16	1	16	16	1
9	14	4	12	10	8
10	8	16	9	2	13
11	7	13	11	14	2
12	4	1	4	13	16
13	12	4	3	6	9
14	2	16	15	8	4
15	6	13	7	5	15
16	1	1	1	1	1

表のように、3は mod(17)で原始根であるから、

$$\begin{aligned} & 1 + \sigma^2(1 + \sigma^2(1 + \sigma^2(1 + \sigma^2)))\zeta \\ &= \zeta + \zeta^9 + \zeta^{13} + \zeta^{15} + \zeta^{16} + \zeta^8 + \zeta^4 + \zeta^2 = x_0 \\ & \sigma(1 + \sigma^2(1 + \sigma^2(1 + \sigma^2(1 + \sigma^2))))\zeta \\ &= \zeta^3 + \zeta^{10} + \zeta^5 + \zeta^{11} + \zeta^{14} + \zeta^7 + \zeta^{12} + \zeta^6 = x_1 \end{aligned}$$

の2つに分ける。

$$x_0 + x_1 = \zeta + \zeta^2 + \zeta^3 + \zeta^4 + \zeta^5 + \dots + \zeta^{16} = -1$$

$$x_0 \times x_1 = 4(\zeta + \zeta^2 + \zeta^3 + \zeta^4 + \zeta^5 + \dots + \zeta^{16}) = -4$$

であるから、

$$x_0, x_1 \text{ は方程式、 } t^2 + t - 4 = 0 \text{ の解になり、}$$

$$t = -\frac{1}{2} \pm \frac{1}{2} \sqrt{17} \quad \text{となり作図可能。}$$

$$\begin{aligned} \zeta^3 + \zeta^5 + \zeta^{14} + \zeta^{12} &= x_4 & x_4 + x_5 &= x_1 \\ \zeta^{10} + \zeta^{11} + \zeta^7 + \zeta^6 &= x_5 & x_4 \times x_5 &= -1 \end{aligned} \quad \text{とおく}$$

$$\begin{aligned} (1 + \sigma^4)(1 + \sigma^4) \zeta &= \zeta + \zeta^{13} + \zeta^{16} + \zeta^4 = x_2 \\ \sigma^2(1 + \sigma^4)(1 + \sigma^4) \zeta &= \zeta^9 + \zeta^{15} + \zeta^8 + \zeta^2 = x_3 \end{aligned} \quad \text{とおく}$$

$$\begin{aligned} x_2 + x_3 &= x_0 \\ x_2 x_3 &= (\zeta + \zeta^2 + \zeta^3 + \zeta^4 + \zeta^5 + \dots + \zeta^{16}) = -1 \end{aligned}$$

$$x_2, x_3 \text{ は方程式、 } t^2 - x_0 t - 1 = 0 \text{ の解になり、}$$

$$t = \frac{1}{2} x_0 \pm \frac{1}{2} \sqrt{x_0^2 + 4} \quad \text{作図可能。}$$

$$\begin{aligned} \zeta^3 + \zeta^5 + \zeta^{14} + \zeta^{12} &= x_4 & x_4 + x_5 &= x_1 \\ \zeta^{10} + \zeta^{11} + \zeta^7 + \zeta^6 &= x_5 & x_4 x_5 &= -1 \end{aligned} \quad \text{とおく}$$

$$t = \frac{1}{2} x_1 \pm \frac{1}{2} \sqrt{x_1^2 + 4} \quad \text{作図可能。}$$

$$\begin{aligned} (1 + \sigma^8) \zeta &= \zeta + \zeta^{16} = \zeta + \zeta^{-1} = x_6 \\ \sigma^4(1 + \sigma^8) \zeta &= \zeta^{-4} + \zeta^4 = x_7 \end{aligned} \quad \text{とおく}$$

$$x_6 + x_7 = x_2 \quad x_6 x_7 = x_4$$

$$\text{よって、 } t^2 - x_2 t + x_4 = 0 \text{ の解になる}$$

$$t = \frac{1}{2} x_2 \pm \frac{1}{2} \sqrt{x_2^2 - 4x_4} \quad \text{は作図可能}$$

$$\zeta = x_8 \quad \zeta^{16} = \zeta^{-1} = x_9 \quad \text{とする}$$

$$x_8 + x_9 = x_6 \quad x_8 \times x_9 = 1$$

$$\text{よって、 } t^2 - x_6 t + 1 = 0 \text{ の解になる}$$

$$t = \frac{1}{2} x_6 \pm \frac{1}{2} \sqrt{x_6^2 - 4} \quad \text{作図可}$$

以上が、正 17 角形の書き方であるが、方冪の定理とうで、激しくコンパスを使うことになり、正 64 角形の作図より、精度は低くなる事が想像できる。

1.1 正 257 角形

上のやり方で行けば、257 角形、65537 角形も定規とコンパスで作図可能であるが、実行は不可能であろう。ここに、エクセルで計算した

$$z^{257} - 1 = 0 \quad \text{のフロベニウス置換の表を掲げる。}$$

表 3 $3^n \bmod(257)$ の表

乗数	原始根	乗数	原始根	乗数	原始根	乗数	原始根
1	3	41	155	81	127	121	51
2	9	42	208	82	124	122	153
3	27	43	110	83	115	123	202
4	81	44	73	84	88	124	92
5	243	45	219	85	7	125	19
6	215	46	143	86	21	126	57
7	131	47	172	87	63	127	171
8	136	48	2	88	189	128	256
9	151	49	6	89	53	129	254
10	196	50	18	90	159	130	248
11	74	51	54	91	220	131	230
12	222	52	162	92	146	132	176
13	152	53	229	93	181	133	14
14	199	54	173	94	29	134	42
15	83	55	5	95	87	135	126
16	249	56	15	96	4	136	121
17	233	57	45	97	12	137	106
18	185	58	135	98	36	138	61
19	41	59	148	99	108	139	183
20	123	60	187	100	67	140	35
21	112	61	47	101	201	141	105
22	79	62	141	102	89	142	58
23	237	63	166	103	10	143	174
24	197	64	241	104	30	144	8
25	77	65	209	105	90	145	24
26	231	66	113	106	13	146	72
27	179	67	82	107	39	147	216
28	23	68	246	108	117	148	134
29	69	69	224	109	94	149	145
30	207	70	158	110	25	150	178
31	107	71	217	111	75	151	20
32	64	72	137	112	225	152	60
33	192	73	154	113	161	153	180
34	62	74	205	114	226	154	26
35	186	75	101	115	164	155	78
36	44	76	46	116	235	156	234
37	132	77	138	117	191	157	188
38	139	78	157	118	59	158	50
39	160	79	214	119	177	159	150
40	223	80	128	120	17	160	193

乗数	原始根	乗数	原始根	乗数	原始根	乗数	原始根
161	65	185	212	209	130	233	167
162	195	186	122	210	133	234	244
163	71	187	109	211	142	235	218
164	213	188	70	212	169	236	140
165	125	189	210	213	250	237	163
166	118	190	116	214	236	238	232
167	97	191	91	215	194	239	182
168	34	192	16	216	68	240	32
169	102	193	48	217	204	241	96
170	49	194	144	218	98	242	31
171	147	195	175	219	37	243	93
172	184	196	11	220	111	244	22
173	38	197	33	221	76	245	66
174	114	198	99	222	228	246	198
175	85	199	40	223	170	247	80
176	255	200	120	224	253	248	240
177	251	201	103	225	245	249	206
178	239	202	52	226	221	250	104
179	203	203	156	227	149	251	55
180	95	204	211	228	190	252	165
181	28	205	119	229	56	253	238
182	84	206	100	230	168	254	200
183	252	207	43	231	247	255	86
184	242	208	129	232	227	256	1

$$1 + \dots + \sigma^2(1 + \sigma^2(1 + \sigma^2(1 + \sigma^2)))\zeta = x_0$$

$$\sigma(1 + \dots + \sigma^2(1 + \sigma^2(1 + \sigma^2(1 + \sigma^2))))\zeta = x_1$$

と置き、17角形と同じ作業を繰り返すと、作図可能である。

12 追加、正9角形

角の3等分は定規とコンパスでは出来ない。
従って、正9角形もコンパスを用いて作成することは出来ない。

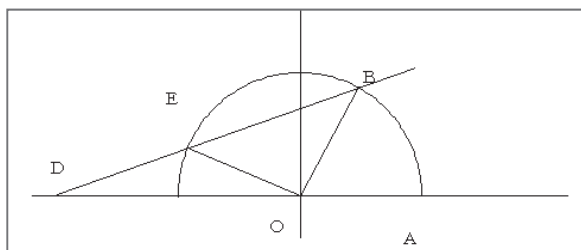


図8 $\angle AOB$ を3等分する

円周上に $DE=r=OA$ になるように E をとる。

$$\begin{aligned} \angle ODE &= \angle EOB & \angle OEB &= 2\angle ODE = \angle OBE \\ \angle AOB &= \angle OBE + \angle ODE = 3\angle ODE \end{aligned} \quad \text{の様に}$$

して、3角形を更に3等分して行く事で
正9角形は描けるが、この方法は定規とコンパス
の正しい使い方と認められていない。

連分数近似では

$$\cos(2\pi/9) = 0.76604443118978$$

$$\frac{1}{0.76604443118978} = 1.30540728933228$$

$$\frac{1}{1.30540728933228 - 1} = 3.2743160852065$$

$$\frac{1}{3.2743160852065 - 3} = 3.645429684691$$

$$\frac{1}{3.645429684691 - 3} = 1.54935545066966$$

$$\frac{1}{1.54935545066966 - 1} = 1.82031505973229$$

$$0 + \frac{1}{1 + \frac{1}{3 + \frac{1}{3 + \frac{1}{1 + \frac{1}{2}}}}} = \frac{36}{47}$$

$$\cos(2\pi/9) - \frac{36}{47} = 0.0000869963104673717$$

$$\left| \begin{pmatrix} 3 & -5 \\ 4 & 9 \end{pmatrix} \right| = 47 \quad \left| \begin{pmatrix} 4 & -5 \\ 0 & 9 \end{pmatrix} \right| = 36$$

$$3x - 5y = 4 \quad 4x + 9y = 0$$

となる。

13 最後に

簡単な様に見えて、正多角形を描くのは意外と
難しい。特に正17角形の技法は、高速フーリエ
変換の技法に似ている点が、面白い。
この点についてのご存知の方には、お教え頂きた
い。

【受理年月日 2016年 9月30日】

参考文献

- 1) 木村智哉「慰撫から懐疑へ『風立ちぬ』による」『まぐま』第一九号、二〇一四
- 2) 佐々木隆「アニメ『風立ちぬ』について」『人間学紀要』第四四号、二〇一四
- 3) 高橋秀太郎、岸本洋輔、河内聡子、茂木謙之介「大学・高専における日本語表現系講義の実践報告」『東北工業大学紀要』第三六号、二〇一六
- 4) 戸塚学「堀辰雄『風立ちぬ』論——「死のかげの谷」におけるリルケ翻訳」『文学』第一四卷五号、二〇一三
- 5) 竹内清己「堀辰雄における「死／生」の位相——『風立ちぬ』を主軸に巡る」『文学』第一四卷五号、二〇一三
- 6) 堀辰雄「風立ちぬ」『堀辰雄全集』第一巻、新潮社、一九五四
- 7) 堀前掲一九五四
- 8) DVD『風立ちぬ』スタジオジブリ、二〇一三、一時間三四分三六秒。以下タイトルと時間のみ記す。
- 9) DVD『風立ちぬ』一時間四二分五六秒
- 10) DVD『風立ちぬ』一時間四九分四七秒
- 11) 竹内前掲二〇一三
- 12) 今村純子「夢見る権利 宮崎駿監督映画『風立ちぬ』をめぐる」『人文・自然研究』第一〇号、二〇一六
- 13) DVD『風立ちぬ』一二分〇六秒
- 14) DVD『風立ちぬ』一分五一秒
- 15) DVD『風立ちぬ』一時間二二分一〇秒
- 16) DVD『風立ちぬ』三〇分四二秒
- 17) DVD『風立ちぬ』三一分五七秒
- 18) DVD『風立ちぬ』四二分三九秒
- 19) DVD『風立ちぬ』四四分一八秒
- 20) 戸塚前掲二〇一三
- 21) DVD『風立ちぬ』二時間〇〇分一二秒
- 22) DVD『風立ちぬ』二時間〇一分四七秒

- 23) 杉田俊介「始まりの宮崎駿『風立ちぬ』再考」『新潮』第一一三巻九号、二〇一六
- 24) DVD『風立ちぬ』二時間〇二分二九秒
- 25) DVD『風立ちぬ』一時間二九分四八秒
- 26) DVD『風立ちぬ』一時間三〇分五〇秒
- 27) 岡田斗司夫『『風立ちぬ』を語る 宮崎駿とスタジオジブリ、その軌跡と未来』光文社新書、二〇一三
- 28) 千田洋幸『テキストと教育』溪水社、二〇〇八
- 29) 米村みゆき「『文芸アニメ』にとつて〈原作〉とは何か」中村三春編『映画と文学 交響する想像力』森話社、二〇一六

「受理年月日 二〇*年*月*日」*印刷所で記入

はそのような表層的な効果だけに留まるものではないように思われる。ラストシーンで菜穂子の「あなた、生きて 生きて」という発言と、空に溶けて行った彼女を見送ったカプローニが「行ってしまったな 美しい風のような人だ」と発言したのに対し、「ありがとう ありがとう」と涙する二郎の姿は一見感動的に演出されていることは既述の通りである。そこで為される庵野の演技は、絞り出すような哀切な声であり、決して感情のこもっていない無機質な声とは言えない。だが、それゆえ庵野の声と物語内容との齟齬は大きくなるように思われる。いわばキャラクターと同一化することのない「生の」人間の声が入り込んでしまうことによつて、映画のキャラクターと声との間の距離感を一挙に浮上させてしまうのだ。

同様のことは映画の中に展開する効果音についても言える。同映画の効果音は飛行機のプロペラ音や蒸気機関車の蒸気、車のエンジンの音や関東大震災の地響きの音などすべてが人の肉声で表現されている。特に無機物の音を表現する際にもっとも際立つが、かかる肉声による効果音は、庵野の棒読みの演技とともに、映画の映像と音声との間にずれを惹起するものとなる。われわれが日常的に映画を観るに際して、つい自明のものとしてしまっている効果音とは異質なものが物語に入り込んでいることを気付かせてしまうのだ。

これらの表記、視点人物の演技、効果音といった物語言説が生む異化効果は、すべて既述のように構築された虚構としての映画の位相を提示するものとなる。即ち物語で提示される内容が、明示的な意味のまま受け止めて良いものなのか、という点について十分な留保が要請されているのであり、テキストを戦争賛美や戦争嫌悪といった受け止めやすい物語として語ることの困難さが用意されているのだ。

つまり構築された虚構としての、歴史的な〈事実〉を描いたものではないという仕掛けが為された映画『風立ちぬ』は、エリートたちのホモソーシャルな饗宴を描くという小説『風立ちぬ』とも通底する明示的な構造を提示しつつ、それを自ら裏切る可能性を内在させたテキストなのである。いわばその遂行的な批評性を、構築された虚構としてのサインをテキストの内部に導入することによって保持している、極めて戦略的

な試みであるということができるのでないだろうか。

5. あとがき

以上、映画『風立ちぬ』における解釈可能性を探ってきた。

端的にまとめるならば、映画『風立ちぬ』はエリートたちの仕事をめぐるホモソーシャルな物語として、小説『風立ちぬ』を読み替えた様相を有しており、その物語内容そのものだけでは肯定的な評価を下すことは困難な側面を持つが、一方で物語言説に目を向けたとき、その評価を反転させる可能性を秘めたテキストといえる。

千田洋幸は二〇〇八年の段階で、宮崎駿の映画を飛ばないものと飛べるものの対立構造として捉え、それらを止揚する『風の谷のナウシカ』（一九八四）のナウシカを積極的に評価していたが、一方でそこに出来しうる犠牲の問題を如何に取り扱うべきかを課題として提示していた²⁸⁾。本稿の検討に照らすならば、その課題を遂行的に解決するものとして『風立ちぬ』はあると言えるのかもしれない。

かかるテキストは、物語の構造を探索するという点において、また文学テキストのアダプテーションを考察するという点において、そして細部の表現からテキストの再検討を要するという点において、論争の発火点となり得るものであり、解釈の多様性もった文学教材として極めて効果的なものといえるのではないだろうか。

米村みゆきは、宮崎駿の文芸テキストを原作とした諸映画に関して、教育とは切り離された文脈でアニメーションを制作する環境づくりを推進してきたと指摘しているが²⁹⁾、その一方で、提示されたテキストとその解釈可能性が持ち得てしまった教育的な側面もまた否みがたいといえるだろう。特に技術者の倫理をめぐる問題系への接続を可能としている側面からは、高等専門学校を中心とした理科系の学生への喚起力も持ち得ており、今後さらなる教材としての価値が認められるであろうことが期待される。

ることなく、ホモソーシャルな関係性の中で相互を承認していくという、極めて限定的なユートピアを描いている。これは同時に「それ以外」の者たちにとつてのディストピアを肯定するものともなり得るだろう。

かかる描写は原テクストとしての小説『風立ちぬ』の最終章における「私」から死者への呼びかけを肯定的に捉える側面をなぞることによって、遂行的にその問題性を明かにしているとも言い得る。しかし、その反面でこの聊か感動的に描き出された結末は、むしろその構造を強化しているとも解釈可能となるだろう。すると、この映画を肯定的に捉えることは極めて困難となる。だが、映画『風立ちぬ』はそれにとどまらない要素をもまた描きこんでおり、次章ではその構造を攪乱する可能性を探索してみたい。

4. 攪乱——異化の積極性

同映画の批評性を問うにあたって、まず押さえておきたいのは、映画『風立ちぬ』の物語内の時間である。冒頭で大学生の二郎が一九二三年の関東大震災を体験する描写があり、第二次世界大戦の敗戦以降にカプローニと再会を果たしているところからは、一九四五年八月以降に物語の結部が設定されていることがわかる。即ち、大正から昭和の戦後近辺を映画内の時間として考えることが可能である。物語内では日本軍や特高といった同時代の表象が描きこまれ、それを圍繞する背景も一種の歴史物語としてのリアリティを押し上げるべく造形されていることについて異論はないだろう。

そのような近代日本を細やかに描いた同映画において、極めて不自然な描写が一カ所認められる。それは、特高に疑いを掛けられ、黒川の自宅に匿われた二郎が、菜穂子に宛てて手紙を書くシーンである²⁵⁾。避暑地で出会った謎のドイツ人・カストルプと関わったことが原因として示唆されるが、二郎が便箋に万年筆で「あのカストルプ氏がなぜ追われているのでしょう。」という文言をケシコミで書きつけたところで場面は

回想の避暑地に移る。

注目すべきは二郎の書いた文の表記である。場面の切り替わる寸前、二郎の欠いた文章は「でしよう」と結ばれる。周知の通り、一九四六年九月の国語審議会答申までは所謂歴史的仮名遣いが一般的であり、もしこの手紙が同時代をそのまま示すもののだとしたら、「でせう」という結び方になるであろうことが予測される。しかし、ここでは敢えて現代仮名遣いが選び取られているのだ。

これを端的なテクストのノイズとして処理してしまうことはできない。なぜなら、その直後に黒川から電話口で、菜穂子の咯血を知らせる電報を読み上げられるシーンで、その旧仮名遣いの問題が出来るからだ。

その文面は「ナホコカツケツチチ」²⁶⁾というものだった。黒川はそれを「なほ こかつけつ ちち」と表記通り読み、その後「ナホコ咯血 父」と文意を含めて読みなおし、なおも菜穂子の名前を読み違えたまま二郎に決定的な事実を伝える。即ちここでは旧仮名遣いの促音が太文字で示されるとともに、「ホ」を「オ」と読む文化的な背景が存在していることが明示されているのだ。

それにもかかわらず、二郎は現代仮名遣いで手紙を書いていることをどう考えればよいのだろうか。もし、同映画でリアリティのある歴史物語の生成が狙われているならば、見逃すことのできない瑕疵となるが、それは直後のシーンから否定される。これらを統合的に説明することが可能なのは、このシーンを含めて当該映画が、「歴史そのままを再現した物語ではない」ということを明示するものという解釈ではないだろうか。換言するならば構築された虚構としてこの映画があることを暗示するメタ的なメッセージなのである。

すると、この映画の物語言説には他にも同様の仕掛けが為されていることに気づかされる。

ひとつは、成人した視点人物・堀越二郎の声が映画監督の庵野秀明だということである。岡田斗司夫は声優としては未経験者である庵野の棒読みに近い演技に関して、観客に戦闘機・零戦の開発者としての堀越二郎を聞いているような気持ちにさせること、また人情味の薄い造形をされた彼の在り様が際立つことを指摘しているが²⁷⁾、庵野の声のもつ効果

が逆照しているということが出来るだろうし、それは前掲の黒川との会話において明らかとなった二郎の非人間性と通底するものを持っていると言えるだろう。

ここで小説『風立ちぬ』の視点人物「私」のエリート性についても考えておきたい。戸塚が指摘するように、「私」はリルケの翻訳をするような極めて高い教養を有した存在であり²⁰⁾、避暑地で良家の子女と出会い、恋愛することを可能にするようなエリートとしてある。そして自らの為す「仕事」が、病による死という先の見えない生活を描くものであるために、その病を抱える節子に「助力」を求めている。かかる描写は読者に哀切さと呼び起こすものである一方で、死を目前とした存在に対して協力を強いる暴力的な様相をも孕むものであり、それは文章を編むことを「仕事」とするエリートとしての「私」の一種非人間的な在り様を示すものでもある。

かかる様相を踏まえたとき、映画におけるアダプテーションは、原テクストにあり得た、エリートにおける無意識的な非人間性を抉り出すものとも言えるだろう。

だが映画における、本庄というエリートの存在によって明確化した二郎の非人間性は結果的に物語内での二郎の内省や変化につながることはない。物語の後半に「エリート以外の存在」は登場することはなく、代わりに菜穂子という良家の子女をめぐる物語へとシフトしていくのである。

ラストシーンでは、物語冒頭のカプローニとの対面を思わせる草原の丘の上で、再びカプローニと二郎は会話を交わす。

カプローニ 我々の夢の王国だ

二郎 地獄かと思いました

カプローニ ちよつと違うが同じようなものかな……君の10年はどうだったかね 力を尽くしたかね

二郎 はい おわりはズタズタでした

カプローニ 国を滅ぼしたんだからな あれだね君のゼロは 美しいな いい仕事だ

二郎 一機も戻ってきませんでした
カプローニ 征きて帰りしものなし 飛行機は美しくも呪われた夢

だ²¹⁾

「国を滅ぼす」こと、即ち大量死を認知しつつ、カプローニは二郎の「仕事」を「美しい」と評価する。まさに選ばれてあるエリートの特権性を是認し、そこに生まれうる犠牲を不可視化する言説を提示しているのだ。

そして、それを更に承認するのが、その死後の世界とも思しき草原をパラソルとともに歩いてくる菜穂子である。そこで彼女は二郎に「あなた生きて生きて」と呼びかけ、二郎の涙ながらの頷きに応えるように空に解けていく²²⁾。杉田俊介はこの菜穂子からのメッセージを「赦し」と捉えているが²³⁾、その観点から考えれば先行研究で戸塚が言及していた小説『風立ちぬ』における最終章「死のかげの谷」において「私」から死者に対して乞われていた「赦し」を達成するものとしてあるとも言えるかもしれない。

だが、前章において既に確認したように、そもそも菜穂子は仕事をす二郎を承認する存在であり、戦争兵器をつくり、人びとを死に追いやうった技術者としての二郎とは共犯関係を結ぶ存在なのである。そのような菜穂子からの「赦し」があつたとしても、それはエリートとしての他者の犠牲を容認することにはならないだろう。

その様に考えるとこのラストシーンを締めくくるものは象徴的である。カプローニは菜穂子が空に溶けてゆくのを二郎が涙ながらに「ありがとう ありがとう」と送るのを見届けつつ、「君は生きねばならん。その前にちよつと寄つてかないか? いいワインがあるんだ」²⁴⁾と呼びかける。そして二人は前後して丘を下りて行く。

このエンドロールが流れる直前のシーンは、極めて示唆的である。即ち、エリートの「仕事」の犠牲となった人物のうち、それに理解のある存在としての菜穂子が彼らに「赦し」を与え、残された男性エリートたちは「いいワイン」で饗宴をひらくのである。即ち、飛行機という「美しい夢」を持ったエリートたちは、その過程で払われた犠牲に目を向け

引きうけなければならぬものと位置づけているが¹²⁾、ではその文化生成のために払われる犠牲をどのように考えればよいのだろうか。

3. 交通二——エリートと夢

その問題を考えるために考察を要すると思われるのは、「仕事」をする諸主体に共通している「エリート」という要素である。

ここで映画におけるエリートの一人として、二郎の夢に登場するイタリア人飛行機設計家・カプローニ伯爵の言動を見ていきたい。カプローニは少年期の二郎の夢に登場し、飛行機の設計をしたいという二郎に対し「飛行機は美しい夢だ。設計家は夢に形を与えるのだ」と述べて励ます¹³⁾。ここで同時に重要なのは、カプローニが設計家と操縦者を切り分ける発言をするところにある。近眼を理由に飛行機の操縦ができないことをコンプレックスとして語る二郎に対してカプローニは「パイロットに向いている人間は他に沢山いる。私は飛行機をつくる人間だ」¹⁴⁾と述べ、夢をかなえる存在としての設計者の特権性を語る。それに対して少年の二郎は「はいっ」と大声で応答する。即ち二郎の（夜見る）夢に現れ、二郎の（美しい飛行機をつくるという）夢を導くカプローニは、技術エリートとして彼の前に立ち現れ、そのエリートの特権性を語る存在なのである。

その思考は成長した二郎に営々と引き継がれている。二郎は東京帝国大学を卒業後、三菱に入社し、休暇になると軽井沢と思しき避暑地に遊ぶような金銭的余裕が生まれ、それは良家の子女である菜穂子と結婚するという展開にも結びつく。

なかでも注目を要するのは、高等教育を受けたエリートとして外国語を操る側面である。ドイツのユンカース社を視察に訪れた際、二郎は現地の人の守衛とドイツ語でやり取りをする。それは単に「日本語をなぜか話す」外国語話者との会話というアニメーション作品でしばしば見かけられる表現にとどまるものではなく、二郎のドイツ語の発話に日本語が被せ

られる表現や、ドイツ人の発言がドイツ語と日本語が入り混じる表現となっているのである。即ち、二郎という存在が自在に外国語を操る能力を有する人物であることを映画内の表現は明示しているのだ。それは、特に避暑地における謎のドイツ人カストルプとの関わりでより明確化する。二郎が菜穂子とその父と出会った避暑地で、同じく親しくなったカストルプのピアノに合わせて二郎とカストルプ、菜穂子の父が、酒杯を傾けつつ三人で「会議は踊る」をドイツ語歌詞で斉唱するシーンは、その三者に共通する教養の存在を暗示する¹⁵⁾。二郎と菜穂子の父、そしてカストルプは、同じ言語で親密な関係性、換言するならばエリートたちの饗宴を可能とする前提を共有しているのだ。

かかるエリートたちの在り様を確認した時、映画には同時に「それ以外」の人びとをも描いていることに気づかされる。

一つは、二郎が大学を卒業し、名古屋の三菱に就職するために夜行列車に乗った際、線路を歩く人びとを追い抜くシーンである。二郎は不思議そうに窓外を眺め、見上げる人びとと視線を交錯させるが¹⁶⁾、コミュニケーションをとることはない。名古屋にやって来た二郎を迎えた大学同期の本庄は、その人びとが失業者であることを告げるが「不景気」の一言で片づけ¹⁷⁾、それ以上踏み込むことはない。

いま一つ、エリート以外の人びとをめぐめるものとしては、退勤中の二郎が貧しい子たちにシベリアを渡そうとするシーンである。二郎は親の帰りを待つ子どもたちに「君たちひもじくない？」¹⁸⁾と話しかけ、シベリアを渡そうとするが、子どもたちから拒絶される。そのことについて、事情を聞いた本庄は「偽善だ」と批判する。本庄は軍需産業としての自らの仕事で発生するコストを子どもたちに振り分ければ貧困が解決することを知悉した上で、「それでも俺は与えられたチャンスを無駄にはしないつもりだ」¹⁹⁾と述べる。

つまり本庄は、自らのエリートとしての在り様と、そこに発生しうる犠牲について理解し、それでもなおエリートとして引きうけることを主体的に選択しているということができるが、一方で二郎はそこには極めて無自覚な存在として造形されているのである。換言するならば、無自覚なエリートの暴力性が二郎には内在しており、それを本庄という存在

私は認めた。／「さうしていただけたら、一番いいのだが、――しかしあなたにはえらう濟まん……」⁷⁾

ここからは節子の父からも、「仕事」よりも節子に付き添うことを優先するという判断を喜ばれる「私」の姿が看取されるだろう。

この「仕事」と愛する女性との関係性について、映画『風立ちぬ』ではどのように表現されているのだろうか。軽井沢で菜穂子と婚約した後、父親から菜穂子の咯血が知らされ、東京に急行した二郎は、菜穂子の父から病状を聞かされ、以下のような会話をを行う。

二郎 そんなに……僕が付き添えばいいのですが

菜穂子の父 君には仕事がある 男は仕事をしてこそものだ さつ、いきたまえ⁸⁾

二郎の付き添いの意思是菜穂子の父によって否定されているかのように見えるが、そもそもここで二郎は「付き添えばいいのですが」と逆接表現でせりふを閉じている。つまり彼にはそもそも仕事をやめて病身の菜穂子に付き添うという選択はないのだ。それについて菜穂子の父の言明が正当性を与えているとも言いうるだろう。即ちここでは二郎も菜穂子の父も菜穂子の病状よりも二郎の仕事を優先することを肯定しているということが出来る。

かかる仕事をめぐる認識は二郎個人の見解としても披瀝される。高原の療養所を抜け出した菜穂子が二郎の許を訪問し、二郎が二人で暮らすことを提案した後、二郎が間借りしている上司の黒川に同居の許可と仲人を依頼した折の会話をみてみよう。

黒川 彼女の体を思うならできるだけはやく山に戻さなければなら
ないぞ

二郎 私が飛行機をやめて付き添わなければなりません それはで
きません

黒川 君のは愛情ではなくエゴイズムじゃないのか

二郎 私たちには時間がありません 覚悟しています
黒川 そうか……わかった盛大に祝おう⁹⁾

二郎にとって、菜穂子の死はすでに確定的なものであり、それを踏まえた上でその死を迎える瞬間を延長することを望むのではなく「仕事」の遂行を優先するのである。それは黒川をはじめ、会社の人びとも承認するものでもある。また、菜穂子本人も「お仕事をしている時の二郎さんの顔を見ての好きなの」¹⁰⁾と述べるなど、「仕事」をする人間としての二郎を肯定的に評価している。

だが、この「仕事」の遂行は菜穂子の死を前提としているものであるとともに、そもそも戦闘機という戦争兵器の設計をするという目的を持つものであり、二つの意味から他者の死を要請するものとして考えるならば、決して肯定的評価のみに留まるものではなくなるだろう。

竹内は小説『風立ちぬ』において「物語が節子の〈死〉を作為することへの「恐怖と羞恥」は、節子を〈死〉の支配への殉教者として描く「私」の「才能の行使の位相」であって、「狡知」と「暗いエゴの匂い」ばかりでなく、さらには同時代の大きな支配、国家的な戦争下の支配に対する「恐怖と羞恥」をも読者に暗示する」¹¹⁾と指摘するが、それは映画では暗示のレベルではなく、より明快に提示されているといえる。つまり、映画は小説テキストにおける「仕事」の主体としての「私」が持つ「「狡知」と「暗いエゴの匂い」」という問題性を取り出し、戦闘機という戦争兵器の開発によってより直截的に人の大量死に関わる主体として二郎を設定しているということが出来るだろう。

映画において、二郎が仕事と恋愛を同時進行することを図った結果、それまで墜落を繰り返していた戦闘機が遂に飛んだとき、菜穂子は山に帰り、おそらくそこで死ぬことが暗示される。先の引用で提示したように、そのような状況を是とする二郎の在り様は黒川によって「愛情ではなくエゴイズムじゃないのか」と指摘されるような性質のものである。畢竟「美しい飛行機をつくりたい」とのぞむ二郎にとって、人命は取るに足らないものに過ぎない。

今村純子は映画『風立ちぬ』における様々の矛盾を、文化生成の為に

ついでプレゼンテーションを求めている。そこでは年間通しての最後のプレゼンテーション課題のテキストとして堀辰雄「麦藁帽子」（一九三二年）を設定しており、そのプレゼンテーションのあとに、映画『風立ちぬ』を学生に見せつつ、同テキストの解釈可能性について論じている。つまりかかる映画は学生による近代文学に関するプレゼンテーションのフォローアップを行うにふさわしい映像テキストなのであり、それを鑑賞することで一年間に亘る授業の最後の段階として、テキストが交通し、映像と文字テキストとが交錯する状況を目のあたりにし、文学を読む方法のもつ可能性に気づくことが期待されるのである。

2. 交通——仕事と恋愛

映画と小説の連関を検討するに先立ち、小説『風立ちぬ』の梗概を示しておきたい。

秋近い夏、出会ったばかりの「私」と「お前」（節子）は、白樺の木蔭で休んでいた。そのとき不意に風が立った。「風立ちぬ、いざ生きめやも」。ふと「私」の口を衝いて出たそんな詩句を口の裡で繰り返していた。約二年後の三月、私は婚約したばかりの節子の家を訪ねた。節子の結核は重くなっている。彼女の父親が「私」に、彼女をFのサナトリウムへ転地療養する相談をし、私が付き添って行くことになる。節子は入院し、「私」は付添人用の側室に泊まり共同生活をするようになる。彼女は、憧れていた二人だけの生活に満足しているというが、やがて冬になり節子は「えゝ、なんだか帰りたくなつちやつたわ」と小さなかすれ声で言った。節子の死後、「私」はかつて彼女と出会った村に向かい、雪の降りしきる谷で、死者の存在を身近に感じ、死者にむかって呼びかける。

「はじめに」でも述べた通り、映画『風立ちぬ』は小説原典との間に、舞台となった場所と主人公と結核を患うヒロイン、ヒロインの父という人物関係を共通させているが、他に共通することばとして「仕事」が挙げられる。

小説『風立ちぬ』における「仕事」については、既に先行論でも論及が為されている。

戸塚学は最終章「死のかげの谷」において、引用されているリルケの詩「さうしてもしお前に我慢できたら、死者の間に死んでお出。死者にもたんと仕事はある」について、呼びかけ表現の部分の翻訳に言及しつつ、死者に「仕事」の助力を請うていること、そしてそれが「私」から節子への赦しを乞う構造を内在させていることを指摘している⁴⁾。また竹内清己は同じ「死のかげの谷」の章に関して「私」による節子の鎮魂と、「私」の死者からの助力と救済の可能性が描かれる」と指摘する⁵⁾。いわば「仕事」を通して死者と生者の交感を希求する「私」の在り様が指摘されているということができる。

そこで述べられる「仕事」とは何か。それは、小説家としての「私」が執筆をすることであると同時に、テキスト後半においては節子との生活を小説に描くことを指すものであり、それには節子の助力が必要なこととが語られるものでもある。このことから明快なように、小説における「私」の「仕事」は節子と密接であるとともに、節子の存在より優位に置かれる性質のものではない。

例えば、Fの療養所において節子への付き添いにかまけていた「私」は「さうだ、おれは随分長いことおれの仕事を打棄らかしてゐたなあ。なんとかして今のうちに仕事もし出さなければいけない」⁶⁾と独白し、節子の療養生活の中で相対的に自らの「仕事」をないがしろにしていることを語る。

それは「私」のみならず、その周囲についても同様である。Fの療養所に節子を転地療養させるべきかどうか、節子の父から相談を受けたとき、一人さみしい療養所へと節子を送り出すことを心配する父に対して、「私」は以下のように述べる。

「なんでしたら僕も一緒に行つてもいいんです。いま、しかけてある仕事の方も、丁度それまでには片がつきさうですから……」／私
はさう言ひながら、やつと手の中に入れたばかりの苔のついた枝を
再びそつと手離した。それと同時に父の顔が急に明るくなつたのを

映画と引き比べつつ、その批評性を問う考察が為されている。例えば木村智哉¹⁾は同テキストに宮崎の自伝的側面を読むとともに、主人公の技術者・堀越二郎の純粋性に「自覚されない非人間性」を看取する。主人公の「非人間性」に関しては、追って本稿でも分析の俎上に載せたいが、一方で木村の論に限らず先行論にある程度共通する点として、宮崎駿という作家性を前景化させていることを確認しておきたい。即ち一九八〇年代から日本のアニメーション映画を牽引していた宮崎の「引退作品」としての在り様に注目がなされており、それゆえテキスト内在的な考察というよりも、広範に宮崎映画の在り様と結び付けて語られているといえるのである。

本稿では、これらの映画をめぐる議論を適宜参照しつつ、同作を文学テキストを下敷きとした映画として扱い、そのアダプテーションとしての側面に目を向け、主に工業高等専門学校を念頭に置いた高等教育における文学教育の教材としての可能性を探ってみたい。

ここで、あらかじめ映画『風立ちぬ』のあらすじを提示しておきたい。近視の少年、堀越二郎は自作の飛行機で空を飛ぶことを夢見ていた。

ある日の夢で彼はイタリアの著名な飛行機設計家カプローニと出会い、「美しい飛行機」の設計を志す。時は経ち、東京帝大の学生となって飛行機の研究に没頭する二郎は関東大震災に遭遇し、そこで女性二人を助ける。名を名乗ることもなく彼女らと別れた二郎はその二年後、名古屋の三菱飛行機に就職し、戦闘機の作成に従事する。ドイツ留学を経るなどし、ついには設計チーフを任されるなど出世を続ける二郎だが、設計した飛行機は飛ばず、打ちひしがれる。実験の失敗をいやす休暇で避暑地に赴いた二郎は、そこで震災の時に助けた女性・菜穂子と出会う。彼女との関わりで回復した二郎は菜穂子と婚約するが、彼女はそこで重度の結核に冒されていることを告白する。名古屋に戻った二郎は海軍の新たな戦闘機の開発を任される。一方、二郎と生きることを夢見る菜穂子は、人里離れた高原の療養所に行くが、二郎への会いたさに名古屋へとやってくる。その菜穂子と結婚した二郎は病床の菜穂子が死にゆくことを覚悟しつつ飛行機を開発する。開発した戦闘機が飛んだ時、二郎は菜穂子の死を感じ取る。戦後、夢とも現ともわからない草原でカプローニ

と再会した二郎は、そこで待っていたという菜穂子に「生きて」といわれ、頷く。

同作と堀辰雄の小説『風立ちぬ』（一九三八年）「死のかげの谷」を除いた単行本初刊は一九三七年の「堀辰雄と堀越二郎に敬意を込めて」という表記によって明示されているほか、小説『風立ちぬ』における語り手「私」、結核を患う節子、その節子の父という人物的な配置は、映画『風立ちぬ』の主人公・二郎、結核を患うヒロイン・菜穂子、そして菜穂子の父という人物の配置と類似している。また舞台としておそらく軽井沢と思われる避暑地と、高原のサナトリウムが設定されるなど、モデルとなった場所の一致も確認できる。

先行論でも、佐々木隆²⁾がラストシーンを、堀辰雄『風立ちぬ』の最終章「死のかげの谷」における生者から死者への祈りを映像化したものとの言及を為している。佐々木の指摘の正当性も検証しつつ、本稿では映画テキストの仕事と恋愛、エリートと夢という問題に注目し、その解釈可能性を考察したい。

なお、本稿において高専の授業教材として映画『風立ちぬ』を選定した理由は二点ある。

まず、同映画が技術者を主人公として描く映画である、という点である。前述のようにすでに指摘のある通り、同映画における主人公・堀越二郎は極めて非人間的な人物として解釈可能な様相を持っており、それは同人物が戦争兵器としての飛行機を開発することに情熱を傾けることと密接不可分なものである。一元的な「正しさ」のみでは処理することが困難で、かつ技術と深くかわる人物を主人公とする虚構テキストを提示することで、技術者となる可能性のある高専生に、技術の革新、進歩に内在しうる諸問題を考察させる契機となることが期待される。

第二に、筆者が高専で実施した文学の授業の性格と関わる点である。既に拙論³⁾でその授業概要に関しては報告を行っているため、詳述は避けるが、筆者は小山高専四年生を対象とした文学の授業において、学生に小説テキストを振り分け、作者、テキストのあらすじ、独自の解釈に

交通と攪乱

—文学教材としてのアニメーション映画『風立ちぬ』の可能性—

茂木 謙之介^{*1}

Transportation and Disturbance

—Study on “Kazetachinu” —

Ken'nosuke MOTEGI

The purpose of this paper is to criticize the animation movie “*Kazetachinu*”(2013) as adaptation of the novel “*Kazetachinu*” which was written by Tatsuo HORI in 1938. We will find following two features: firstly, the movie expressed violence by the elite which is included in the source text; and it criticized those violence by the viewpoint of metafiction..

KEYWORDS : adaptation, Tatsuo HORI, Hayao MIYAZAKI, animation movie, literature, technology, ethics

1. はじめに

アニメーション映画『風立ちぬ』（宮崎駿監督、スタジオジブリ制作、

二〇一三）をめぐっては、これまで映画批評の文脈を中心として様々な議論が積み重ねられてきた。

発表直後、戦争に関わった技術者を描く映画として賛否両論を巻き起こした同作に関しては、二〇一四年前後から監督・宮崎駿のこれまでの

*1 一般科非常勤講師 (Part-time Lecturer in Department of General Education) motegi.ken.nosuke@gmail.com

研究発表一覧

2015.4.1～2016.3.31

田中 仁

【著書】

田中 仁, “貞徳俳諧と狂歌の思想—狂歌集の序文をめぐって—”, 『形成される教養—十七世紀日本の〈知〉—』, 勉誠出版, 377-394 (2015.11)

【口頭発表】

田中 仁, “森鷗外と小出繁—明治四十年代の鷗外日記を読む—”, 日本文学, 64(9), 76-80 (2015.9)

上野 哲

【口頭発表】

上野 哲, “日本における研究者倫理教育の展望”, 倫理学研究, 23, 1-12 (2015.9)

佐藤 巖

【著書】

(1) Takehiro Hasegawa, Seiken. Saito, Iwao Sato, “A generalization of a graph theory Mertens' theorem: abelian covering case”, Quarterly Journal of Mathematics, 66, 809–836 (2015.9)

(2) Yushuke Higuchi, Iwao Sato, “A Balanced Signed Digraph”, Graphs and Combinatorics, 31, 2215–2230 (2015.11)

【国際会議】

(1) Yusuke Higuchi, Norio Konno, Iwao Sato, Etsuo Segawa, “A remark on zeta functions of finite graphs via quantum walks”, Workshop of Quantum Simulation and Quantum Walks 2015 November 16th - 18th, 2015(Yokohama National University), (2015.11)

(2) Iwao Sato, Hideo Mitsuhashi, Hideaki Morita, “A new determinant expression for the weighted Bartholdi zeta function of a digraph”, Japan-Sino Symposium (Tokyo University of Science) (2015.11)

【口頭発表】

(1) 佐藤 巖, 三橋秀生, 森田英章, “A new determinant expression for the weighted Bartholdi zeta function of a digraph”, 離散数学とその応用研究集会 2015 (2015.8)

(2) 三橋秀生, 今野紀雄, 佐藤 巖, “有限グラフ上の離散時間四元数量子ウォーク”, 日本数学会応用数学分科会 (2015.9)

(3) 佐藤 巖, 三橋秀生, 森田英章, “A new

determinant expression for the weighted Bartholdi zeta function of a digraph”, 日本数学会応用数学分科会 (2015.9)

(4) 佐藤 巖, “量子ウォークとグラフのゼータ関数”, 近畿大学数学講演会 (2015.10)

(5) 佐藤 巖, “Zeta function of a graph and its applications”, スペクトラルグラフ理論および周辺領域 第4回研究集会 (2015.11)

(6) 佐藤 巖, 瀬川悦生, 松江 要, “2次元単体的複体のゼータ関数”, 第27回位相幾何学的グラフ理論研究集会 (2015.11)

(7) 今野紀雄, 三橋秀生, 佐藤 巖, “有限グラフ上の離散時間四元数量子ウォークと第2種重み付きゼータ関数”, 応用数学合同研究集会 (2015.12)

(8) 佐藤 巖, 瀬川悦生, 松江 要, “単体的複体のゼータ関数”, 応用数学合同研究集会 (2015.12)

(9) 佐藤 巖, “modified zeta function trace formula”, 横浜国立大学今野研究室セミナー (2016.2)

(10) 佐藤 巖, 瀬川悦生, 松江 要, “単体的複体のゼータ関数”, 日本数学会応用数学分科会 (2016.3)

(11) 佐藤 巖, 瀬川悦生, 松江 要, “単体的複体のゼータ関数”, 研究会「直観幾何学」 (2016.3)

岡田 崇

【口頭発表】

岡田 崇, “BCOV rings on elliptic curves and Dedekind eta function via the meromorphic ambiguity”, 野田代数幾何シンポジウム 2016 (2016.3)

三柴 善範

【研究論文】

(1) Yoshinori Mishiba, “Algebraic independence of the Carlitz period and the positive characteristic multizeta values at n and (n, n) ”, Proc. Amer. Math. Soc, 143 (9), 3753-3763 (2015.9)

(2) Yoshinori Mishiba, “ p -th power relations and Euler-Carlitz relations among multizeta values”, RIMS Kokyuroku Bessatsu, B53, 13-29 (2015.9)

【口頭発表】

三柴善範, “On multiple polylogarithms in characteristic p ”, 九大代数学セミナー (2015.12)

加藤 清考

【研究論文】

- (1) Seikou Kato, Kei-Ichi Kondo, Akihiro Shibata, “Gauge-independent "Abelian" and magnetic-monopole dominance, and the dual Meissner effect in lattice SU(2) Yang-Mills theory”, Physical Review D91, 034506, 1-14 (2015.2)
- (2) Kei-Ichi Kondo, Seikou Kato, Akihiro Shibata, Toru Shinohara, “Quark confinement: dual superconductor picture based on a non-Abelian Stokes theorem and reformulations of Yang-Mills theory”, Physics Reports, 579, 1-226 (2015.3)

森下 佳代子

【研究論文】

- Suparin Chaiklangmuang, Keisuke Kurosawa, Liuyun Li, Kayoko Morishita, Takayuki Takarada, “Thermal degradation behavior of coffee residue in comparison with biomass and its product yields from gasification”, Journal of the Energy Institute, 88(3), 323-331 (2015.8)

岡田 晃

【研究論文】

- 岡田 晃, “Negative Prefix Words in English -In/-un-prefixation to Latinate words-”, 言語研究学会 言語の世界, 33(1), 55-63 (2015.6)

関根 健雄

【口頭発表】

- (1) 君塚淳一, 関根健雄, 山城雅江, “ "Nomadic" であるということ *The Absolutely True Diary of a Part-Time Indian* を通して見る固定した価値観を揺さぶることの重要性”, シンポジウム『自伝、日記、体験記—記録された体験を「現在」に接続する』, 第24回多民族研究学会(MESA)全国大会 (2015.7)
- (2) 関根健雄, “ "Nomadic" であるということ *The Absolutely True Diary of a Part-Time Indian* を通して見る固定した価値観を揺さぶることの重要性”, 多民族研究, 9, 17-36 (2016.3)

田中 好一

【研究論文】

- (1) Takehito Kato, Naoki Hagiwara, Eiji Suzuki, Yuki Nasu, Satoru Izawa, Kouichi Tanaka, Ariyuki Kato, “Highly Efficient Organic-Inorganic

Bulk-Heterojunction Solar Cells Based on Metal Alkoxide”, Proceedings of The 6th TSME International Conference on Mechanical Engineering (2015.12)

- (2) Takehito Kato, Naoki Hagiwara, Eiji Suzuki, Yuki Nasu, Satoru Izawa, Kouichi Tanaka, Ariyuki Kato, “Morphology Control for Highly Efficient Organic-Inorganic Bulk-Heterojunction Solar Cell based on Ti-Alkoxide”, Thin Solid Films ~ International Journal on the Science and Technology of Condensed Matter~, 600(1), 98-102 (2016.2)

- (3) 伊澤 悟, 田中好一, 松原雅昭, “等分布荷重を受ける短繊維強化SMC材の損傷特性”, 日本実験力学学会 実験力学, 16(1), 36-40 (2016.3)

【口頭発表】

- (1) 田中好一, 平田克己, 伊澤 悟, 柴田洋一, 生井智展, 原田隆介, 堀 三計, “自作ハンドベルに関する研究(第1報)”, 日本音響学会 2015 年 秋季研究発表会講演論文集, 749-750 (2015.9)
- (2) 中山峻志, 平田克己, 田中好一, 實坂友希菜, “ハンドベルの材質による音響特性の比較”, 日本音響学会 2016 年 春季研究発表会講演論文集, 945-946 (2016.3)
- (3) 實坂友希菜, 平田克己, 田中好一, 中山峻志, “ハンドベルの自作に向けた音響放射特性の解析”, 日本音響学会 2016 年 春季研究発表会講演論文集, 947-948 (2016.3)

朱 勤

【研究論文】

- Zhiyong Yang, Shan Liang, Qin Zhu, Yongsheng Sun, Shanbing Zhan, “Chaotic Vibration and Comfort Analysis of Nonlinear Half-Vehicle Mode Excited by Consecutive Speed-Control Humps”, Journal of Robotics and Mechatronics, 27(5), 513-519 (2015.10)

【口頭発表】

- (1) 朱 勤, 那須 裕規, “カオスインデックスを用いたカオス振動判定の試み”, 日本機械学会 2015 年度年次大会講演論文集, G1000302 (2015.9)
- (2) 朱 勤, 佐藤 智一, 野本 悠介, “三角形ハンプによる非線形車両モデルのカオス振動”, 第21回高専シンポジウム in 香川講演要旨, Pa-104 (2016.1)

鈴木 栄二

【研究論文】

- (1) Eiji Suzuki, Takehito Kato, “Effect of Baffle Height on Sloshing in a Rectangular Tank”, International Journal Sensing, Computing & Control, 5, 17-25 (2015.6)
- (2) Takehito Kato, Naoki Hagiwara, Eiji Suzuki, Yuki Nasu, Satoru Izawa, Kouichi Tanaka, Ariyuki Kato “Morphology Control by the Centrifugation Method for Bulk Heterojunction Solar Cells”, International Journal of Chemical Engineering and Applications, 7(5), 309-313 (2016.2)
- (3) Takehito Kato, Naoki Hagiwara, Eiji Suzuki, Yuki Nasu, Satoru Izawa, Kouichi Tanaka, Ariyuki Kato, “Morphology Control for Highly Efficient Organic-Inorganic Bulk-Heterojunction Solar Cell based on Ti-Alkoxide Thin Solid Films”, International Journal on the Science and Technology of Condensed Matter, 600(1), 98-102 (2016.2)

【口頭発表】

- (1) 江口弘樹, 鈴木栄二, “振動による液滴操作に関する研究”, 日本機械学会関東支部栃木ブロック研究交流会 (2015.10)
- (2) 赤田雅貴, 鈴木栄二, “バッフル板によるスロッシング抑制に関する研究”, 日本機械学会関東支部栃木ブロック研究交流会 (2015.10)

伊澤 悟

【研究論文】

- (1) Takehito Kato, Naoki Hagiwara, Eiji Suzuki, Yuki Nasu, Satoru Izawa, Kouichi Tanaka, Ariyuki Kato “Morphology Control by the Centrifugation Method for Bulk Heterojunction Solar Cells”, International Journal of Chemical Engineering and Applications, 7(5), 309-313 (2016.2)
- (2) Takehito Kato, Naoki Hagiwara, Eiji Suzuki, Yuki Nasu, Satoru Izawa, Kouichi Tanaka, Ariyuki Kato, “Morphology Control for Highly Efficient Organic-Inorganic Bulk-Heterojunction Solar Cell based on Ti-Alkoxide Thin Solid Films”, International Journal on the Science and Technology of Condensed Matter, 600(1), 98-102 (2016.2)
- (3) 伊澤 悟, 田中好一, 松原雅昭, “等分布荷重を受ける短繊維強化 SMC 材の損傷特性”, 実験力学, 16(1), 36-40 (2016.3)

【国際会議】

Satoru Izawa, “Effect of Zr Shot Peening on Fatigue Crack Growth and Crack Opening in SUS316 SENB Specimens”, The International Conference on Advanced Technology in Experimental Mechanics 2015 (ATEM'15) DVD-ROM (2015.10)

【口頭発表】

- (1) 田中好一, 平田克己, 伊澤 悟, 柴田洋一, 生井智展, 原田隆介, 堀 三計, “自作ハンドベルに関する研究 (第 1 報)”, 日本音響学会 2015 年秋季研究発表会 (2015.9)
- (2) 倉田 勉, 矢内宏二, 小黒賢二, 伊澤 悟, 笹原潤, 高尾昌人, “足アーチ柔軟性の定量的評価 -直接的圧縮負荷による足アーチ変形解析の試み-”, 第 40 回日本足の外科学会学術集会, 1-2-22, (2015.10)
- (3) 伊澤 悟, “材料力学カリキュラムの日米独比較調査”, 日本機械学会技術と社会部門講演会 DVD-ROM, 121 (2015.11)
- (4) 山下健介, 伊澤 悟, “AE センサーを利用した機械材料のヤング率の測定”, 日本機械学会関東支部栃木ブロック研究交流会 (2015.11)
- (5) 伊澤 悟, “日米独における材料力学教示方法の相違について”, 第 20 回高専シンポジウム in 香川 (2016.1)

山下 進

【口頭発表】

- (1) 岡田雄樹, 山下 進, “ACV の運動特性に関する研究”, 大学コンソーシアムとちぎ主催・第 12 回「学生&企業研究発表会」予稿集, 96-97 (2015.11)
- (2) 山根秀樹, 山下 進, “シルバーカーの安全性に関する研究”, 大学コンソーシアムとちぎ主催・第 12 回「学生&企業研究発表会」予稿集, 112-113 (2015.11)
- (3) 宇賀神直人, 生澤 将, 櫻田雄大, 山下 進, “完成用部品に対する安全性評価用試験装置の設計と製作”, 大学コンソーシアムとちぎ主催・第 12 回「学生&企業研究発表会」予稿集, 148-149 (2015.11)
- (4) 神谷直紀, 山下 進, “ジェットホバー MT の改良”, 大学コンソーシアムとちぎ主催・第 12 回「学生&企業研究発表会」予稿集, 150-151 (2015.11)
- (5) 櫻田雄大, 宇賀神直人, 生澤 将, 山下 進, “車いすに対する衝撃試験装置の設計と製作”, 大学

コンソーシアムとちぎ主催・第12回「学生&企業研究発表会」予稿集, 152-153 (2015.11)

(6) 山根秀樹, 山下 進, “シルバーカーの安全性に関する研究”, 日本機械学会関東学生会第55回学生員卒業研究発表講演会講演論文集 (CD No.160-1) (2016.3)

(7) 宇賀神直人, 櫻田雄大, 生澤 将, 山下 進, “完成用部品の安全性評価用試験装置の設計と製作”, 日本機械学会関東学生会第55回学生員卒業研究発表講演会講演論文集 (CD No.160-1) (2016.3)

(8) 櫻田雄大, 宇賀神直人, 生澤 将, 山下 進, “車いすに対する衝撃試験装置の設計と製作”, 日本機械学会関東学生会第55回学生員卒業研究発表講演会講演論文集 (CD No.160-1) (2016.3)

(9) 神谷直紀, 山下 進, “ジェットホバーMTの改良”, 日本機械学会関東学生会第55回学生員卒業研究発表講演会講演論文集 (CD No.160-1) (2016.3)

加藤 岳仁

【研究論文】

Takehito Kato, Naoki Hagiwara, Eiji Suzuki, Yuki Nasu, Satoru Izawa, Kouichi Tanaka, Ariyuki Kato, “Morphology Control for Highly Efficient Organic-Inorganic Bulk-Heterojunction Solar Cell based on Ti-Alkoxide”, Thin Solid Films ~ International Journal on the Science and Technology of Condensed Matter~, 600, 98-102 (2016.2)

【国際会議】

(1) Yohei Tokiwa, Kohei Yamagami, Ariyuki Kato, Takehito Kato, “Synthesis of K₂SiF₆:Eu Phosphor by Polyol Method for Oxidation-Reduction Reaction Probe”, Proceedings of The 4th International GIGAKU Conference in Nagaoka (2015.6)

(2) Hiroki Komagata, Takehito Kato, Ariyuki Kato, “Preparation of Multilayer Inorganic EL Device by Electrophoretic Deposition Method Using Perovskite-type Oxide Phosphor”, Proceedings of The 5th International Symposium on Organic and Inorganic Electronic Materials and Related Nanotechnologies (2015.6)

(3) Takehito Kato, Naoki Hagiwara, Eiji Suzuki, Yuki Nasu, Satoru Izawa, Kouichi Tanaka, Ariyuki Kato, “Highly Efficient organic-inorganic Solar Cells”, Proceedings of The 6th TSME International Conference on Mechanical Engineering (2015.12)

【口頭発表】

(1) 加藤岳仁, “産学官による「産業副産物による有機無機ハイブリッドスピンゼーベック熱電変換素子」の開発”, 平成27年度全国高専フォーラム「高専の産学共同研究プロジェクト成果～事例発表～」(2015.8)

(2) 生沼千広, 加藤岳仁, 萩原直樹, “有機-無機ハイブリッド太陽電池の高効率化”, 平成27年度日本機械学会栃木ブロック講演会予稿集, 12 (2015.10)

(3) 磯 大和, 加藤岳仁, “スピンゼーベック効果型熱電変換素子における温度分布と発電特性への影響”, 平成27年度日本機械学会栃木ブロック講演会予稿集, 13 (2015.10)

(4) 大塚宗親, 加藤岳仁, “ペロブスカイト太陽電池の作製と高効率化”, 平成27年度日本機械学会栃木ブロック講演会予稿集, 14 (2015.10)

(5) 尾上寛尚, 加藤岳仁, “天然材料を用いた色素増感型太陽電池に関する研究”, 平成27年度日本機械学会栃木ブロック講演会予稿集, 15 (2015.10)

(6) 関口尚幸, 加藤岳仁, “スピンゼーベック効果型熱電変換素子に関する研究”, 平成27年度日本機械学会栃木ブロック講演会予稿集, 16 (2015.10)

(7) 平野 仁, 加藤岳仁, “全塗布型色素増感型太陽電池の製作～陽極材料の探索～”, 平成27年度日本機械学会栃木ブロック講演会予稿集, 17 (2015.10)

(8) 生沼千広, 加藤岳仁, 萩原直樹, “有機無機ハイブリッド太陽電池の高効率化”, 平成27年応用物理学会「多元系化合物・太陽電池研究会」講演予稿集 (2015.12)

(9) 尾上寛尚, 加藤岳仁, “天然材料を用いた色素増感型太陽電池に関する研究”, 平成27年応用物理学会「多元系化合物・太陽電池研究会」講演予稿集 (2015.12)

(10) 大塚宗親, 加藤岳仁, “ペロブスカイト太陽電池の作製と高効率化”, 平成27年応用物理学会「多元系化合物・太陽電池研究会」講演予稿集 (2015.12)

(11) 磯 大和, 加藤岳仁, 川村壮司, 山下 進, 萩原直樹, “フレキシブル太陽電池との融合を目指した熱電変換シートの開発～スピンゼーベック効果型熱電変換素子における温度分布と発電特性への影響～”, 平成27年応用物理学会「多元系化合物・

太陽電池研究会」講演予稿集 (2015.12)

(12) 関口尚幸, 加藤岳仁, 川村壮司, 山下 進, 萩原直樹, “フレキシブル太陽電池との融合を目指した熱電変換シートの開発～スピンゼーベック効果型熱電変換素子に関する研究”, 平成 27 年応用物理学学会「多元系化合物・太陽電池研究会」講演予稿集 (2015.12)

(13) 加藤岳仁, “有機系太陽電池の高効率化とその展開～Development and Prospect of organic-inorganic hybrid Solar Cells～”, 平成 27 年応用物理学学会「多元系化合物・太陽電池研究会」講演予稿集 (2015.12)

(14) 生沼千広, 加藤岳仁, 萩原直樹, 有機無機ハイブリッド太陽電池の高効率化”, 第 5 回高専-TUT 太陽電池合同シンポジウム講演予稿集 (2015.12)

(15) 尾上寛尚, 加藤岳仁, “天然材料を用いた色素増感型太陽電池に関する研究”, 第 5 回高専-TUT 太陽電池合同シンポジウム講演予稿集 (2015.12)

(16) 大塚宗親, 加藤岳仁, “ペロブスカイト太陽電池の作製と高効率化”, 第 5 回高専-TUT 太陽電池合同シンポジウム講演予稿集 (2015.12)

(17) 礒 大和, 加藤岳仁, 川村壮司, 山下 進, 萩原直樹, “フレキシブル太陽電池との融合を目指した熱電変換シートの開発～スピンゼーベック効果型熱電変換素子における温度分布と発電特性への影響～”, 第 5 回高専-TUT 太陽電池合同シンポジウム講演予稿集 (2015.12)

(18) 関口尚幸, 加藤岳仁, 川村壮司, 山下 進, 萩原直樹, “フレキシブル太陽電池との融合を目指した熱電変換シートの開発～スピンゼーベック効果型熱電変換素子に関する研究”, 第 5 回高専-TUT 太陽電池合同シンポジウム講演予稿集 (2015.12)

(19) 加藤岳仁, “有機系太陽電池の高効率化とその展開～Development and Prospect of organic-inorganic hybrid Solar Cells～”, 第 5 回高専-TUT 太陽電池合同シンポジウム講演予稿集 (2015.12)

(20) 加藤岳仁, 生沼千広, 伊澤 悟, 田中好一, 萩原直樹, 加藤有行, “ナノ粒子高分散金属アルコキシドを用いた有機無機薄膜太陽電池”, 第 63 回応用物理学学会春季学術講演会講演予稿集 CD-ROM, 19a-P5-15 (2016.3)

川村 壮司

【口頭発表】

(1) 川村壮司, 生井智展, 原田隆介, “はめあい公差を感覚的に理解できる教材の製作”, 日本機械学会 第 25 回 設計工学・システム部門講演会 (2015.9)

(2) 関口尚幸, 加藤岳仁, 川村壮司, 山下 進, 萩原直樹, “フレキシブル太陽電池との融合を目指した熱電変換シートの開発～スピンゼーベック効果型熱電変換素子に関する研究～”, 第 5 回高専-TUT 太陽電池合同シンポジウム講演予稿集 (2015.12)

(3) 礒 大和, 加藤岳仁, 川村壮司, 山下 進, 萩原直樹, “フレキシブル太陽電池との融合を目指した熱電変換シートの開発～スピンゼーベック効果型熱電変換素子における温度分布と発電特性への影響～”, 第 5 回高専-TUT 太陽電池合同シンポジウム講演予稿集 (2015.12)

(4) 関口尚幸, 加藤岳仁, 川村壮司, 山下 進, 萩原直樹, “フレキシブル太陽電池との融合を目指した熱電変換シートの開発～スピンゼーベック効果型熱電変換素子に関する研究～”, 平成 27 年応用物理学学会「多元系化合物・太陽電池研究会」講演予稿集 (2015.12)

(5) 礒 大和, 加藤岳仁, 川村壮司, 山下 進, 萩原直樹, “フレキシブル太陽電池との融合を目指した熱電変換シートの開発～スピンゼーベック効果型熱電変換素子における温度分布と発電特性への影響～”, 平成 27 年応用物理学学会「多元系化合物・太陽電池研究会」講演予稿集 (2015.12)

那須 裕規

【国際会議】

Takehito Kato, Naoki Hagiwara, Eiji Suzuki, Yuki Nasu, Satoru Izawa, Kouichi Tanaka, Ariyuki Kato, “Highly Efficient Organic-Inorganic Bulk-Heterojunction Solar Cells Based on Metal Alkoxide”, Proceedings of The 6th TSME International Conference on Mechanical Engineering (2015.12)

【口頭発表】

朱 勤, 那須裕規, “カオスインデックスを用いたカオス振動判定の試み”, 日本機械学会 2015 年度年次大会講演論文集, G1000302 (2015.9)

飯塚 俊明

【国際会議】

(1) Asato Wada, Toshiaki Iizuka, Takahiro Shindo, Shunsuke Kawabata, Hiroshi Maeda, Hiroki Watanabe,

Haruki Takegahara, “Effect of Geometric Swirl Number of Discharge Plasma Catalyzer on Green Monopropellant Reaction Characteristics”, 30th International Symposium on Space Technology and Science (ISTS), Kobe, Hyogo, JAPAN (2015.7)

(2) Shuka Takeda, Toshiaki Iizuka, Asato Wada, Takahiro Shindo, Hiroki Watanabe, Haruki Takegahara, “Spectroscopic Evaluation on Induction of Chemical Reaction in Green Propellant RCS with Discharge Plasma Catalyze”, 30th International Symposium on Space Technology and Science (ISTS), Kobe, Hyogo, JAPAN (2015.7)

(3) Takahiro Shindo, Asato Wada, Shunsuke Kawabata, Hiroshi Maeda, Toshiaki Iizuka, Hiroki Watanabe, Haruki Takegahara, “Fundamental Study on In-Liquid Plasma of HAN based Propellant”, 30th International Symposium on Space Technology and Science (ISTS), Kobe, Hyogo, JAPAN (2015.7)

【口頭発表】

武田柊花, 飯塚俊明, 和田明哲, 進藤崇央, 河端駿典, 渡邊裕樹, 竹ヶ原春貴, “プラズマ化学推進機の化学反応誘起のための放電プラズマ分光評価”, 日本航空宇宙学会 (2015.4)

土田 英一

【口頭発表】

(1) 北島魁人, 土田英一, “フェムト秒レーザ制御パラメータのガラス内加工精度に及ぼす影響”, 第 63 回応用物理学会春季学術講演会講演予稿集, 21a-W321-3 (2016.3)

(2) 北島魁人, 土田英一, “フェムト秒レーザ制御パラメータのガラス内加工精度に及ぼす影響”, 第 10 回日本光学会情報フォトンクス研究会 関東学生研究論文講演会講演予稿集 (2016.3)

小林 幸夫

【口頭発表】

(1) Yousuke Iijima, Yukio Kobayashi, Kazumitsu Kobayashi, “Evaluation of new Creative Education Program with Triz”, Transactions of ISATE 2015 (The 9th International Symposium on Advances in Technology Education), 454-458 (2015.9)

(2) 鈴木真ノ介, 小林康浩, 石原 学, 小林幸夫, “理解力向上を目指したアクティブ・ノートテイクによる電磁気学授業の提案”, 2016 年電子情報通信学会総合大会, D-15-4, 183 (2016.3)

(3) 五十畑 遼, 小林幸夫, 鈴木真ノ介, “時間縮小錯覚が連続聴効果に与える影響”, 第 6 回電気学会東京支部群馬・栃木支所合同発表会, ETT-16-4 (2016.3)

(4) 大関脩也, 石崎玉介, 小林幸夫, 鈴木真ノ介, “モーショナルフィードバック技術を用いたスピーカの音響特性改善”, 第 6 回電気学会東京支部群馬・栃木支所合同発表会, ETT-16-5 (2016.3)

(5) 石塚建伍, 小林幸夫, 鈴木真ノ介, “聴覚における時間変動知覚に関する研究”, 第 6 回電気学会東京支部群馬・栃木支所合同発表会, ETT-16-6 (2016.3)

(6) 大木駿一, 小林幸夫, 福田裕貴, 飯島洋祐, “PHP を用いた電力使用状況可視化 Web ページの自動生成”, 第 6 回電気学会東京支部群馬・栃木支所合同発表会, ETT-16-7 (2016.3)

(7) 福田裕貴, 大木駿一, 小林幸夫, 飯島洋祐, “学内環境データおよび電力の見える化に関する研究”, 第 6 回電気学会東京支部群馬・栃木支所合同発表会, ETT-16-13 (2016.3)

石原 学

【研究論文】

(1) Manabu Ishihara, Masashi Yoshida, Jun Shirataki, “Characteristics of unevenness sensation by a tactile display”, International Journal of Sensing, Computing and Control, 5(1), 44-50 (2015.6)

(2) Ono Yuichi, Ishihara Manabu, Yamashiro Mitsuo, “Blended Instruction Utilizing Mobile Tools in English Teaching at Colleges of Technology”, ELECTRICAL ENGINEERING IN JAPAN, John Wiley & Sons .Inc, 192(2), 1-11 (2015.7)

(3) Ono Yuichi, Ishihara Manabu, Yamashiro Mitsuo, “Construction and Evaluation of Digital Material Distribution Systems in Foreign Language Teaching”, ELECTRONICS AND COMMUNICATIONS IN JAPAN, John Wiley & Sons. Inc, 98(8), 32-40 (2015.8)

(4) Manabu Ishihara, “Haptic Device using a Soldering Test System”, Communications in Computer and Information Science, 27, CCIS_528, 190-195 (2015.8)

(5) Yuichi Ono, Akio Onishi, Manabu Ishihara, Mitsuo Yamashiro, “Voice-based computer mediated communication for individual practice to increase speaking proficiency: construction and pilot study”, Lecture Notes in Computer Science (LNCS), 24,

LNCS_9192, 115-123 (2015.8)

【口頭発表】

- (1) 原田祐樹, 石原 学, “力覚装置による表面粗さの提示”, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2015 in Kyoto (2015.5)
- (2) 石原 学, “触覚の刺激形状と感覚の関係”, 2015 年日本機械学会年次大会 (2015.9)
- (3) 鈴木真ノ介, 小林康浩, 石原 学, 小林幸夫, “理解力向上を目指したアクティブ・ノートテイクによる電磁気学授業の提案”, 2016 年電子情報通信学会講演論文集 (2016.3)
- (4) 石原 学, 小森崇史, 鈴木真ノ介, 久芳頼正, “仮想現実下での教材操作の視聴覚特性について”, 2016 年電子情報通信学会講演論文集 (2016.3)

千田 正勝

【研究論文】

Masakatsu Senda, “Defocusing characteristics of template matching recording codes for multilayered waveguide holographic read-only memory”, *Optik*, **126**, 4098-4104 (2015.8)

【口頭発表】

- (1) 三浦 駿, 千田正勝, “ホログラム再生における位相変調効果の解析”, 平成 28 年電気学会東京支部群馬栃木支所合同研究発表会資料, ETT/ETG-16-2 (2016.3)
- (2) 金澤大地, 千田正勝, “ホログラム位相変調化の再生輝点間干渉とビット誤り率への効果”, 平成 28 年電気学会東京支部群馬栃木支所合同研究発表会資料, ETT/ETG-16-3 (2016.3)
- (3) 林 知幸, 千田正勝, “無線 LAN 電磁波によるヒト検知への時間遅延ダイバシティ法の適用検討”, 平成 28 年電気学会東京支部群馬栃木支所合同研究発表会資料, ETT/ETG-16-25 (2016.3)
- (4) 伊澤侑馬, 千田正勝, “二次元位置検出精度の記録再生光学系による影響”, 平成 28 年電気学会東京支部群馬栃木支所合同研究発表会資料, ETT/ETG-16-26 (2016.3)

田中 昭雄

【口頭発表】

- (1) 川本祥太郎, サムアン ラホック, 田中昭雄, 石原 学, “レーザー測域センサを利用した移動ロボットの走行可能領域の検出”, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2015 の論文集, 2A1-U01 (2015.6)

(2) Syuto Kawabata, Rahok Sam Ann, Akio Tanaka, “A Study on an Autonomous Navigation Method

Using a DGPS”, 4th International Symposium on Technology for Sustainability, PaperID.40 (2015.8)

- (3) 田中昭雄, “高専ロボコンにおけるエンジニアリング・デザイン教育の活用例”, 日本工学教育協会第 10 回ワークショップ「エンジニアリング・デザイン教育」 (2016.3)

北野 達也

【口頭発表】

- (1) 近澤将貴, 北野達也, “DCAF 機能を備えた Multi-DC Tap 方式電力平準化装置に関する研究”, 電気学会東京支部栃木支所研究発表会, ETT-16-14, 38-39 (2016.3)
- (2) 大橋 稜, 北野達也, “Multi-DC Tap 方式電力変換器の有用な回路構成の検討”, 電気学会東京支部栃木支所研究発表会, ETT-16-15, 40-41 (2016.3)
- (3) 柿沼啓太, 北野達也, “太陽光パネル一枚に内蔵する電力変換器に関する研究”, 電気学会東京支部栃木支所研究発表会, ETT-16-43, 120-121 (2016.3)
- (4) 辻本省悟, 北野達也, “太陽光発電システムのセンサレス制御に関する研究”, 電気学会東京支部栃木支所研究発表会, ETT-16-44, 122-123 (2016.3)

鈴木 真ノ介

【研究論文】

(1) Takahiro Yonamine, Yoshihiro Takeichi, Kuniaki Yajima, Katsuhide Misono, Shin-nosuke Suzuki, Yuki Mitsukuri, Jun Sato, “Proposal of a Method for Visualization of Skills at Experiments and Practical Training”, 9th International Symposium on Advances in Technology Education, 2015, 176-179 (2015.9)

- (2) Yoshihiro Takeichi, Kuniaki Yajima, Shota Matsubashi, Katsuhide Misono, Shin-nosuke Suzuki, Jun Sato, Yasushi Kato, “Development of a method for visualization of skills at experiments and practical training”, *Procedia Computer Science*, **60**, 1240 – 1246 (2015) Systems (2015.9)

【口頭発表】

- (1) 石原 学, 小森崇史, 鈴木真ノ介, 久芳頼正, “仮想現実下での教材操作の視聴覚特性について”, 2016 年電子情報通信学会総合大会, D-15-4, 183

(2016.3)

(2) 鈴木真ノ介, 小林康浩, 石原 学, 小林幸夫, “理解力向上を目指したアクティブ・ノートテイクによる電磁気学授業の提案”, 2016 年電子情報通信学会総合大会, D-15-18, 197 (2016.3)

(3) 五十畑遼, 小林幸夫, 鈴木真ノ介, “時間縮小錯覚が連続聴効果に与える影響”, 第 6 回電気学会東京支部群馬・栃木支所合同発表会, ETT-16-4 (2016.3)

(4) 大関脩也, 石崎玉介, 小林幸夫, 鈴木真ノ介, “モーショナルフィードバック技術を用いたスピーカの音響特性改善”, 第 6 回電気学会東京支部群馬・栃木支所合同発表会, ETT-16-5 (2016.3)

(5) 石塚建伍, 小林幸夫, 鈴木真ノ介, “聴覚における時間変動知覚に関する研究”, 第 6 回電気学会東京支部群馬・栃木支所合同発表会, ETT-16-6 (2016.3)

小林 康浩

【国際会議】

Yasuhiro Kobayashi, Masanori Hariyama, Mitsugi Shimoda, Keiichi Kubota, “Accurate Liver Extraction Using a Local-Thickness-Based Graph-Cut Approach”, Proc. International Conference on Image Processing, Computer Vision, & Pattern Recognition (ICCV) (2015.7)

【口頭発表】

(1) 張山昌論, 下田 貢, 小林康浩, “局所厚み特徴に基づくグラフカット領域分割を用いた高精度肝臓抽出”, 計測自動制御学会 東北支部 第 295 回研究集会, 295-1 (2015.6)

(2) 本田真嵩, 小林康浩, 張山昌論, “自己組織化マップを用いた 3 次元ユーザーインタフェースのジェスチャー認識”, 第 25 回インテリジェントシステムシンポジウム, B501 (2015.9)

(3) 武井駿太, 小林康浩, “自己組織化マップを用いた顔画像からの目の特徴点位置推定”, 第 12 回学生&企業研究発表会, P-7 (2015.11)

(4) 田中孝国, 小林 稜, 小林康浩, 高屋朋彰, 加島敬太, 川越大輔, “栃木県産バイオマス (干瓢) を用いた製品の開発”, 化学工業会 第 81 年会, D217 (2016.3)

(5) 鈴木真ノ介, 小林康浩, 石原 学, 小林幸夫, “理解力向上を目指したアクティブ・ノートテイクによる電磁気学授業の提案”, 2016 年電子情報通信学会総合大会, D-15-4, 183 (2016.3)

サム アン ラホック

【国際会議】

Syuto Kawabata, Rahok Sam Ann, Akio Tanaka, “A Study on an Autonomous Navigation Method Using a DGPS”, 5th International Symposium on Technology for Sustainability, PaperID.40 (2015.8)

【口頭発表】

(1) 川本祥太郎, サムアン ラホック, 田中昭雄, 石原 学, “レーザ測域センサを利用した移動ロボットの走行可能領域の検出”, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2015 の論文集, 2A1-U01 (2015.6)

(2) 原田祐樹, サムアン ラホック, 鈴木真ノ介, 石原 学, “力覚装置による表面粗さの提示”, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2015 の論文集, 2A2-X04 (2015.6)

(3) 椿 賢一, 中山 太智, サムアン ラホック, 大根田浩久, “つくばチャレンジ 2015 への取り組みについて”, つくばチャレンジ 2015 参加レポート集, 66-67 (2016.1)

秋元 祐太朗

【研究論文】

Yutaro Akimoto, Keiichi Okajima, Yohji Uchiyama, “Evaluation of current distribution in a PEMFC using a magnetic sensor probe”, Energy Procedia, 75, 2015-2020 (2015.8)

【国際会議】

(1) Yutaro Akimoto, Keiichi Okajima, “Non-destructive Approach for Current Distribution in PEMFC by means of Experimental Measurement and 3DFEM Simulation”, Proceedings of the International Conference on Electrical Engineering (ICEE2015), ICEE15A-348, 1-5 (2015.7)

(2) Yuki Koyama, Yutaro Akimoto, Keiichi Okajima, “Evaluation of PEMFC stack performance considering start-up conditions”, Proceedings of the International Conference on Electrical Engineering (ICEE2015), ICEE15A-356, 1-5 (2015.7)

(3) Hiroshi Yoshino, Yutaro Akimoto, Naohiko Kinoshita, Ryota Sato, Sunyong Eom, Yu Matsubara, Yasunori Endo, “On the quality assurance of academic degrees by an achievement evaluation based on a self-assessment”, the 111th Meeting on Higher Education for the Next Generation (2015.11)

【口頭発表】

Yutaro Akimoto, Keiichi Okajima, “Non-destructive Approach for Current Distribution in PEMFC by means of Experimental Measurement and 3DFEM Simulation”, The International Conference on Electrical Engineering (ICEE2015) (2015.7)

甲斐 隆章

【著書】

甲斐隆章, “徹底解説図解系統連系”, オーム社, 202 頁 (2015.4)

久保 和良

【研究論文】

久保和良, “技術者教育と文学”, 国文学 (近世・論文), 1025, 166 (2015.11)

【国際会議】

Miho Arai, Isao Shimizu, Haruo Kobayashi, Keita Kurihara, Shu Sasaki, Shohei Shibuya, Kiichi Niitsu,, Kazuyoshi Kubo, “Finite Aperture Time Effects in Sampling Circuit”, The IEEE 11th International Conference on ASIC, C2-4 0366 (2015.11)

平田 克己

【口頭発表】

- (1) 田中好一, 平田克己, 伊澤 悟, 柴田洋一, 生井智展, 堀 三計, “自作ハンドベルに関する研究 (第 1 報)”, 日本音響学会 2015 年秋季研究発表会講演論文集, 2-7-5 (2015.9)
- (2) 中山峻志, 平田克己, 田中好一, 實坂友希菜, “ハンドベルの材質による音響特性の比較”, 日本音響学会 2016 年春季研究発表会講演論文集, 3-10-1 (2016.3)
- (3) 實坂友希菜, 平田克己, 田中好一, 中山峻志, “ハンドベルの自作に向けた音響放射特性の解析”, 日本音響学会 2016 年春季研究発表会講演論文集, 3-10-2 (2016.3)

大島 心平

【研究論文】

大島心平, 加保貴奈, 山口 陽, 中川匡夫, “積層インダクタ及びキャパシタを活用した LTCC 基板内蔵小型広帯域ダイプレクサ及びトリプレクサに関する一検討”, 電子情報通信学会論文誌 C, J99-C(2), 26-36 (2016.2)

【国際会議】

(1) Takana Kaho, Yo Yamaguchi, Tadao Nakagawa, Shinpei Oshima, “Quad-band Receiver Front-end Module using SiGe BiCMOS MMICs and LTCC Triplexer”, 2015 IEEE International Symposium on Radio-Frequency Integration Technology, 37 – 39 (2015.8)

(2) Shinpei Oshima, Takana Kaho, Yo Yamaguchi, Tadao Nakagawa, “A Multilayer Triplexer with Wideband Passbands for Compact Wireless LTCC Modules”, 2015 Asia-Pacific Microwave Conference (2015.12)

【口頭発表】

(1) 大島心平, 加保貴奈, 山口 陽, 中川匡夫, “広帯域積層ダイプレクサ及びトリプレクサの一検討”, 電子情報通信学会技術研究報告 IEICE technical report, 115(115), MW2015-40, 13-18 (2015.6)

(2) 大島心平, 大島知哲, 和田光司, “SAW フィルタを用いた分波回路における整合回路の構成法に関する一検討”, 超高速・高周波エレクトロニクス実装研究会平成 27 年度第 3 回公開研究会論文集, 15(3), 11-12 (2015.11)

(3) 日向野尚也, 大島心平, 蓮實祥久, “LNA 共有型フロントエンドモジュールにおけるマイクロストリップラインを用いた整合回路に関する基礎検討”, 第 6 回電気学会東京支部群馬・栃木支所合同研究発表会, 248-249 (2016.3)

(4) 蓮實祥久, 大島心平, 日向野尚也, “HPF 型移相器を用いた LNA 共有型 RF フロントエンドモジュールに関する基礎検討”, 第 30 回エレクトロニクス実装学会 春季講演大会, 22P1-2, 149-150 (2016.3)

飯島 洋祐

【著書】

飯島洋祐, “LED 可視光通信を用いた太陽電池発電システムの『見える化』技術の開発”, 『電気評論』平成 27 年 4 月号, 100(4), 71-74 (2015.4)

【口頭発表】

(1) Yasushi Yuminaka, Yosuke Iijima, “Experimental Measurements of Multiple-Valued Signaling with Tomlinson-Harashima Precoding for High-Speed Serial Links”, 24nd International Workshop on Post-Binary ULSI Systems (2015.5)

(2) Yosuke Iijima, Yukio Kobayashi, Kazumitsu Kobayashi, “Evaluation of a new creative education program with triz”, Transactions of ISATE 2015

(The 9th International Symposium on Advances in Technology Education), 454-458 (2015.9)

(3) 飯島洋祐, 弓仲康史, “多値伝送における送信イコライザの実装後係数調整の検討”, 2016 年電子情報通信学会総合大会講演論文集, 353 (2016.3)

(4) 大木駿一, 小林幸夫, 福田裕貴, 飯島洋祐, “PHP を用いた電力使用状況可視化 Web ページの自動生成”, 電気学会 東京支部 群馬支所・栃木支所, 2016 年電気学会研究発表会資料, 15-17 (2016.3)

(5) 福田裕貴, 大木駿一, 小林幸夫, 飯島洋祐, “学内環境データおよび電力の見える化に関する研究”, 電気学会 東京支部 群馬支所・栃木支所, 2016 年電気学会研究発表会資料, 36-37 (2016.3)

(6) 島田悠太, 飯島洋祐, “FPGA を用いた高速デジタル通信回路の実装検討”, 電気学会 東京支部 群馬支所・栃木支所, 2016 年電気学会研究発表会資料, 44-45 (2016.3)

(7) 寺田圭佑, 飯島洋祐, “画像処理を用いた太陽電池パネルの故障検出プログラムの開発”, 電気学会 東京支部 群馬支所・栃木支所, 2016 年電気学会研究発表会資料, 107-109 (2016.3)

(8) 高橋優太, 飯島洋祐, “画像処理を用いた太陽電池の故障検出システムの検討”, 電気学会 東京支部 群馬支所・栃木支所, 2016 年電気学会研究発表会資料, 110-113 (2016.3)

小堀 康功

【著書】

Jun-ichi Matsuda, Haruo Kobayashi, Takashi Nabeshima, Terukazu Sato, Yuya Tamai, Yoshiyuki Ishihara, Masashi Horiguchi, Yasunori Kobori, Nobukazu Takai, Zachary NoskerKiichi Niitsu, Norihiko Ui, Daiki Oki, Biswas Sumit Kumar, Keith Wilkinson, “Handbook of Power Management Circuits”, 『Pan Stanford Publishing』 (2016.2)

【口頭発表】

(1) Yasunori Kobori, Syunsuke Tanaka, Nobukazu Tsukiji, Nobukazu Takai, Haruo Kobayashi, “High Speed Response Single-Inductor Dual-Output DC-DC Converter with Hysteretic Control”, ICPEIE (International Conference on Power Electronic and Information Engineerings) (2015.4)

(2) Yasunori Kobori, Nobukazu Tsukiji, Nobukazu Takai, Haruo Kobayashi, “EMI Reduction by Extended

Spread Spectrum in Switching Converter”, EMCJ (Electro-Magnetic Compatibility Japan) at Bangkok (2015.6)

(3) Yasunori Kobori, Nobukazu Tsukiji, Nobukazu Takai, Haruo Kobayashi, “High Efficiency Dual Output ZVS-PWM Converter with EMI Reduction Method”, ICCDS (International Conference on Communication, Devices and Systems) (2015.8)

(4) Yasunori Kobori, Taifeng Wang, Takuya Arafune, Nobukazu Tsukiji, Nobukazu Takai, Haruo Kobayashi, “EMI Reduction by Analog Noise Spread Spectrum In Ripple Controlled Switching Converter”, The 11th International Conference on ASIC (IEEE ASICON 2015) (2015.11)

(5) Yoshiki Sunaga, Naoya Shiraishi, Koyo Asaishi, Nobukazu Tsukiji, Yasunori Kobori, Nobukazu Takai, Haruo Kobayashi, “High Efficiency Single-Inductor Dual-Output DC-DC Converter with ZVS-PWM Control”, The 11th International Conference on ASIC (IEEE ASICON 2015) (2015.11)

(6) 荒船拓也, 須永祥希, 白石尚也, 小堀康功, 築地伸和, 高井伸和, 小林春夫, “パルスコーディングを用いたスイッチング電源における選択的ノッチ周波数発生方式”, 電子情報通信学会 環境電磁工学研究会, EMCJ2015-88 (2015.11)

(7) 白石尚也, 落合政司, 築地伸和, 轟俊一郎, 小堀康功, 小林春夫, 高井伸和, “電流共振形コンバータの効率におけるリーケージインダクタの最適値”, 電子情報通信学会 電子通信エネルギー技術研究会, EE2015-30 (2016.2)

(8) 須永祥希, 白石尚也, 浅石恒洋, 築地伸和, 小堀康功, 高井伸和, 小林春夫, “ZVS-PWM 制御を用いた単一インダクタ 2 出力昇圧型コンバータの実装と評価結果”, 電子情報通信学会 電子通信エネルギー技術研究会, EE2015-31 (2016.2)

(9) 浅石恒洋, 白石尚也, 須永祥希, 築地伸和, 小堀康功, 高井伸和, 小林春夫, “ヒステリシス制御 DC-DC コンバータの EMI 低減化についての検討”, 電気学会東京支部 群馬栃木支所研究発表会, ETG-16-54 (2016.3)

(10) 小堀康功, 深谷太詞, 荒船拓也, 須永祥希, 白石尚也, 築地伸和, 高井伸和, 小林春夫, “スイッチング電源におけるノッチ特性を有するスペクトラム拡散”, 電気学会東京支部 群馬栃木支所研究発表会, ETG-16-68 (2016.3)

(11) 須永祥希, 白石尚也, 浅石恒洋, 築地伸和,

小堀康功, 小林春夫, 高井伸和, “ZVS-PWM 制御昇圧型単電源回路のスペクトラム拡散によるノイズ低減手法”, 電気学会東京支部 群馬栃木支所研究発表会, ETG-16-69 (2016.3)

(12) 白石尚也, 築地伸和, 須永祥希, 浅石恒洋, 小堀康功, 高井伸和, 小林春夫, “制御時間比率が変化する SIDO 電源の検討”, 電気学会東京支部 群馬栃木支所研究発表会, ETT-15-32 (2016.3)

亀山 雅之

【口頭発表】

藤倉大介, 亀山雅之, “ノルエフェドリン誘導体を用いる meso-2,4-ジメチルグルタルアルデヒドの anti-選択的不斉アルドール反応”, 長岡技術科学大学・有機化学コロキウム (2016.3)

上田 誠

【研究論文】

Yasushi Tani, Koichiro Omatsu, Shigeki Saito, Ryoma Miyake, Hiroshi Kawabata, Makoto Ueda, Hisaski Mihara, “Heterologous expression of L-lysine α -oxidase from *Scomber Japonicus* in *Pichia pastoris* and functional characterization of the recombinant enzyme”, *J. Biochem.*, 157(4), 201-210 (2015.4)

【口頭発表】

(1) 川久保利麗叶, 手島悠太, 荻野目あづさ, 上田 誠, “思川桜から分離した *S. cerevisiae* OPJ-1 による地域ブランドのパン製品の開発”, 第1回北関東磐越地区化学技術フォーラム, pp-01 (2015.12)

(2) 高屋朋彰, 布川玲奈, 松井 徹, 上田 誠, “生乳由来プロピオン酸菌と乳酸菌の混合培養による産業廃棄物からの有機酸生産”, 2016 年度日本農芸化学会大会, 3A033 (2016.3)

(3) 松本里佳, 佐藤浩志, 上田 誠, “ショウガ活性成分 6-ジングロールの微生物反応による配糖体合成に関する研究”, 2016 年度日本農芸化学会大会, 4F170 (2016.3)

武 成祥

【口頭発表】

加藤雅隆, 浅見智也, 相原勇登, 伊澤 悟, 渥美太郎, “亜鉛含有ハイドロキシアパタイトプラズマ溶射生体適合コーティングの作製と性能評価”, 日本金属学会 2016 春期大会講演概要集 CD, 220-0367 (2016.3)

笹沼 いづみ

【研究論文】

Izumi Sasanuma, “Effect of calcium on cell-wall degrading enzymes of *Botrytis cinerea*”, *Biosci Biotechnol Biochem.*, 80(9), 1730-1736 (2016.3)

【口頭発表】

Izumi Sasanuma, “Effect of calcium on cell-wall degrading enzymes of *Botrytis cinerea*”, 26th Congress of The Scandinavian Plant Physiology Society, 139 (2015.8)

酒井 洋

【研究論文】

田中孝国, 松澤篤央, 磯谷晋一郎, 渡邊一樹, 河田麻衣子, 酒井 洋, “チタンアパタイトを含有した高分子素材の示す脱色能および殺菌能の評価”, 工業用水, 633, 68-72 (2015.11)

【口頭発表】

(1) Hiroshi Sakai, Yuuki Fujita, Takeshi Kawai, “Effect of the Concentration of Organic Salt on Dodecyltrimethylammonium Bromide in Gibbs Monolayer”, *IACIS 2015*, PIII-70 (2015.5)

(2) 酒井 洋, 松澤篤央, 河合武司, “金ナノ粒子とポリイオンコンプレックス Langmuir 膜との相互作用”, 第 66 回コロイドおよび界面化学討論会, P045 (2015.9)

(3) 酒井 洋, 松澤篤央, 河合武司, “金ナノ粒子と Langmuir 膜との相互作用”, 第 1 回北関東磐越地区化学技術フォーラム, PP-26 (2015.12)

飯島 道弘

【研究論文】

飯島道弘, “ポリエチレングリコール (PEG) 鎖を有する多成分系高分子化合物の有用性”, *ニュー・フード・インダストリー*, 57(4), 28-38 (2015.4)

【口頭発表】

(1) 石川昇平, 松隈大輔, 飯島道弘, 大塚英典, “Chitosan と PEG-PLA-PEG 共重合体からなる生分解性ハイドロゲルの合成”, 第2回トランスレーショナルリサーチセンター公開セミナー (2015.8)

(2) 石川昇平, 松隈大輔, 飯島道弘, 大塚英典, “自己組織化ペプチドとキトサンから構成される生分解性 IPN 型インジェクタブルゲルの創製と細胞機能応答”, 第 64 回高分子学会討論会 (2015.9)

(3) 松本享典, 左久間隼矢, 西井 圭, Scholz

- Carmen, 飯島道弘, “PEG とポリアミノ酸と ABC 型トリブロック共重合体の精密合成と機能性評価”, 第 64 回高分子学会討論会 (2015.9)
- (4) 石川昇平, 松隈大輔, 飯島道弘, 大塚英典, “生分解性 IPN 型インジェクタブルゲルの新規創製と足場分解に伴う細胞機能変化の観察”, 第 5 回 CSJ 化学フェスタ (2015.10)
- (5) 左久間隼矢, 飯島優生, 松本享典, 橋本広志, 飯島道弘, “複数のポリアミノ酸鎖を有するペンタブロックポリマーの精密合成と機能性ソフトマテリアルへの展開”, 第 12 回学生&企業研究発表会 (2015.11)
- (6) 石川昇平, 松隈大輔, 飯島道弘, 大塚英典, “生分解性インジェクタブル型 IPN ゲルの新規作製と細胞機能変化”, バイオテクノロジー&エレクトロニクス研究討論会 (2015.12)
- (7) 石川昇平, 松隈大輔, 飯島道弘, 大塚英典, “生分解性インジェクタブル型 IPN ゲルの作製と細胞機能評価”, 東京理科大学・日本医科大学 第 2 回合同シンポジウム (2015.12)
- (8) 松本享典, 左久間隼矢, 西井 圭, Scholz Carmen, 飯島道弘, “PEG とポリアミノ酸を有する高機能化トリブロック共重合体の精密合成”, 第 1 回北関東磐越地区化学技術フォーラム (2015.12)
- (9) 佐藤里紗, 飯島道弘, “複数のセグメントを有する感温性高分子の合成と機能性材料への展開”, 第 1 回北関東磐越地区化学技術フォーラム (2015.12)
- (10) 石川昇平, 松隈大輔, 飯島道弘, 大塚英典, “生分解性インジェクタブル型 IPN ゲルの作製と細胞分化応答”, 第 3 回トランスレーショナルリサーチセンター公開セミナー (2016.1)
- (11) 石川昇平, 松隈大輔, 飯島道弘, 大塚英典, “IPN 構造を有する生分解性インジェクタブルゲルの新規創製と細胞機能評価”, 日本化学会 第 96 回春季年会 (2016.3)

田中 孝国

【研究論文】

- (1) 田中孝国, 加藤滉平, 中村百花, “曝気量を調節した気泡塔型排水処理装置の排水処理能の評価”, 工業用水, 630, 75-79 (2015.5)
- (2) 田中孝国, 江口智之, 阪下広海, 加島敬太, 高屋朋彰, 川越大輔, “カビ対策として防腐剤を添加したかんぴょう錠剤の性能評価”, 電気化学会 技術・教育研究論文誌, 22(1), 17-21 (2015.6)

(3) 田中孝国, 松澤篤央, 磯谷晋一郎, 渡邊一樹, 河田麻衣子, 酒井 洋, “チタンアパタイトを含有した高分子素材の示す脱色能および殺菌能の評価”工業用水, 633, 68-72 (2015.11)

(4) 田中孝国, 江口智之, 阪下広海, 加島敬太, 高屋朋彰, 川越大輔, “異なる粒子径で作製したかんぴょう錠剤の性能評価”, 電気化学会 技術・教育研究論文誌, 22(2), 23-28 (2015.12)

【口頭発表】

- (1) Momoka Nakamura, Kohei Kato, Daisuke Kawagoe, Takakuni Tanaka, “Performance for wastewater treatment of the bubble column aerator under regulating air volume”, Abstracts of The 4th International GIGAKU, 122 (2015.6)
- (2) Ryo Kobayashi, Hiromi Sakashita, Tomoyuki Eguchi, Daisuke Kawagoe, Keita Kashima, Tomoaki Kouya, Hiroshi Sakai, Takakuni Tanaka, “Evaluation of Desiccating Tablet using Dried Gourd (Kanpyo) with preservative”, Abstracts of The 4th International GIGAKU, 123 (2015.6)
- (3) 田中孝国, 加藤滉平, 中村百花, “気泡塔型曝気装置を用いた搾乳排水処理能の評価”, 環境バイオテクノロジー学会 2015 年度大会講演要旨集, 57 (2015.6)
- (4) 中村百花, 加藤滉平, 田中孝国, “ポリウレタン製ろ材を導入した気泡塔型曝気装置の脱室能について”, 第 1 回 北関東磐越地区化学技術フォーラム講演要旨集, 15, OP-01 (2015.12)
- (5) 吉村なつき, 小林康浩, 田中孝国, “活性汚泥フロック分散状態の簡易把握手法について”, 第 1 回 北関東磐越地区化学技術フォーラム講演要旨集, 36, PP-39 (2015.12)
- (6) 林 海都, 加島敬太, 田中孝国, “アルギン酸膜バイオリクターによる排水処理に関する研究”, 第 1 回北関東磐越地区化学技術フォーラム講演要旨集, 36, PP-40 (2015.12)
- (7) 相馬敬太, 渡邊一樹, 河田麻衣子, 田中孝国, “チタンアパタイト含有高分子素材を充填させた反応器の評価”, 第 1 回北関東磐越地区化学技術フォーラム講演要旨集, 37, PP-41 (2015.12)
- (8) 加藤滉平, 中村百花, 田中孝国, “気泡塔型反応装置を用いた牛乳排水の処理”, 第 1 回北関東磐越地区化学技術フォーラム講演要旨集, 37, PP-42 (2015.12)
- (9) 小林 稜, 高屋朋彰, 加島敬太, 川越大輔, 田中孝国, “かんぴょう錠剤の各湿度条件下における

性能評価”, 第1回北関東磐越地区化学技術フォーラム講演要旨集, 38, PP-43 (2015.12)

(10) 出川強志, 渥美太郎, 田中孝国, “RoHS/ELV指令による有害物教育の展開”, 第1回北関東磐越地区化学技術フォーラム講演要旨集, 39, PP-46 (2015.12)

(11) 田中孝国, 伊澤 悟, “女子学生のための進路支援の試み—メイクアップセミナーを通して—”, 第1回北関東磐越地区化学技術フォーラム講演要旨集, 40, PP-47 (2015.12)

(12) 出川強志, 渥美太郎, 田中孝国, “有害物教育における高専学生の自発的な学習過程の報告”, 第6回福島地区CEセミナー要旨集, P-3 (2015.12)

(13) 田中孝国, 伊澤 悟, “小山高専で実施した女子学生のためのメイクアップセミナーの紹介”, 第6回福島地区CEセミナー要旨集, P-4 (2015.12)

(14) 相馬敬太, 渡邊一樹, 河田麻衣子, 田中孝国, “チタンアパタイト含有高分子素材を用いた着色排水処理装置の開発”, 第6回福島地区CEセミナー要旨集, P-5 (2015.12)

(15) 林 海都, 加島敬太, 田中孝国, “アルギン酸膜を用いた膜分離活性汚泥法の評価”, 第6回福島地区CEセミナー要旨集, P-6 (2015.12)

(16) 中村百花, 加藤滉平, 田中孝国, “気泡塔型曝気装置に導入した多孔質担体の実用性”, 第6回福島地区CEセミナー要旨集, P-7 (2015.12)

(17) 出川強志, 田中孝国, “安全データシート(SDS)を活用した排水処理教育におけるPDCAサイクルの構築”, 第21回高専シンポジウム講演要旨集, F-28 (2016.1)

(18) 田中孝国, 中村百花, 加藤滉平, “気泡塔型排水処理装置による搾乳排水処理能について”, 日本工業用水協会第50回研究発表会講演要旨集, 70-71 (2016.2)

(19) 田中孝国, 相馬敬太, 河田麻衣子, 渡邊一樹, “チタンアパタイト含有高分子素材を充填した反応装置の性能評価”, 日本工業用水協会第50回研究発表会講演要旨集, 72-73 (2016.2)

(20) 田中孝国, 相馬敬太, 河田麻衣子, 渡邊一樹, “チタンアパタイト含有高分子による着色排水の脱色効果”, 化学工学会第81年会講演要旨集, C208 (2016.3)

(21) 田中孝国, 小林 稜, 小林康浩, 高屋朋彰, 加島敬太, 川越大輔, “栃木県産バイオマス(干瓢)

を用いた製品の開発”, 化学工学会第81年会講演要旨集, C217 (2016.3)

川越 大輔

【口頭発表】

(1) Koji Ioku, Daisuke Kawagoe, Hirota Fujimori, Masanobu Kamitakahara, Tohru Ikeda, “Functional hydroxyapatite ceramics prepared by hydrothermal processing”, *Biomaterials International* (2015.6)

(2) 川越大輔, 坪井勇真, “細胞観察に適したリン酸カルシウム透明体の作製”, 日本セラミックス協会 (2015.9)

(3) Daisuke Kawagoe, Yuma Tsuboi, Takakuni Tanaka, Shuntaro Yamaguchi, “Preparation of hydroxyapatite nano ceramics by spark plasma sinteting”, *ISPlasma2016* (2016.3)

西井 圭

【口頭発表】

(1) 松本享典, 左久間隼矢, 西井 圭, Scholz Carmen, 飯島道弘, “PEG とポリアミノ酸とABC型トリブロック共重合体の精密合成と機能性評価”, 第64回高分子学会討論会 (2015.9)

(2) 西井 圭, 山本 敦, 西浦正芳, 侯召民, “ハーフサンドイッチ型希土類金属触媒による(E)-1,3-ペンタジエンの trans-1,4 選択的重合”, 第64回高分子学会討論会 (2015.9)

(3) 西井 圭, 山本 敦, 西浦正芳, 侯召民, “Isospecific-trans-1,4-Polymerization of (E)-1,3-Pentadiene by Half-Sandwich Rare-Earth Metal Catalysts”, *Asian Polyolefin Workshop 2015* (2015.11)

(4) 松本享典, 左久間隼矢, 西井 圭, Scholz Carmen, 飯島道弘, “PEG とポリアミノ酸を有する高機能化トリブロック共重合体の精密合成”, 第1回北関東磐越地区化学技術フォーラム (2015.12)

高屋 朋彰

【研究論文】

田中孝国, 江口智之, 阪下広海, 加島敬太, 高屋朋彰, 川越大輔, “カビ対策として防腐剤を添加したかんぴょう錠剤の性能評価”, *J. Technology and Education*, 22(1), 17-21 (2015.6)

【国際会議】

(1) Yuya Negoro, Tomoaki Kouya, “Isolation, identification, and characterization of lactic acid

bacteria from raw milk and traditional food”, The 4th International GIGAKU Conference in Nagaoka (2015.6)

(2) Tomoaki Kouya, Yuya Negoro, “Isolation, identification, and characterization of lactic acid bacteria from raw milk and traditional food used for fermented dairy products”, The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies 2015 (Pacifichem 2015), BIOL 813 (2015.12)

【口頭発表】

(1) 高屋朋彰, 布川玲奈, “生乳由来の微生物を用いた産業廃棄物の微生物変換”, 第1回北関東磐越地区科学技術フォーラム, OP-04, 16 (2015.12)

(2) 田中雅幸, 高屋朋彰, “蒟蒻飛粉の加水分解物が乳酸菌の増殖に及ぼす影響”, 第1回北関東磐越地区科学技術フォーラム, PP-03, 18 (2015.12)

(3) 根来雄哉, 高屋朋彰, “伝統食品および生乳由来乳酸菌の単離・同定と機能性評価”, 第1回北関東磐越地区科学技術フォーラム, PP-04, 18 (2015.12)

(4) 高屋朋彰, “地域特産品由来の微生物(乳酸菌・酵母)の分離法と乳製品の開発について”, 栃木県フードバレーとちぎ推進協議会 第1回乳製品需要拡大研究分科会 (2015.12)

(5) 高屋朋彰, 布川玲奈, 松井 徹, 上田 誠, “生乳由来プロピオン酸菌と乳酸菌の混合培養による産業廃棄物からの有機酸生産”, 日本農芸化学会 2016 年度大会, 3A033 (2016.3)

(6) 根来雄哉, 高屋朋彰, “生乳・漬物・赤ワイン滓由来の乳製品用乳酸菌の単離・同定・機能性評価”, 日本農芸化学会 2016 年度大会, 4F141 (2016.3)

(7) 高屋朋彰, “地域特産品由来乳酸菌の特性評価と乳製品の開発について”, 栃木県フードバレーとちぎ推進協議会 第2回乳製品需要拡大研究分科会 (2016.3)

加島 敬太

【著書】

Keita Kashima, Ryuhei Nomoto, Masanao Imai, “A Novel Application of Oceanic Biopolymers — Strategic Regulation of Polymer Characteristics for Membrane Technology in Separation Engineering”, 『Recent Advances in Biopolymers』, InTech Pub. (Croatia), 189-220 (2016.3)

【研究論文】

(1) 田中孝国, 江口智之, 阪下広海, 加島敬太, 高

屋朋彰, 川越大輔, “カビ対策として防腐剤を添加したかんぴょう錠剤の性能評価”, 電気化学会 技術・教育研究論文誌, 22(1), 17-21 (2015.6)

(2) 田中孝国, 江口智之, 阪下広海, 加島敬太, 高屋朋彰, 川越大輔, “異なる粒子径で作製したかんぴょう錠剤の性能評価”, 電気化学会 技術・教育研究論文誌, 22(2), 23-28 (2015.12)

【国際会議】

Keita Kashima, Tatsuro Inage, Masanao Imai, “Sensitive control of molecular size recognition ability on biopolymer alginate nanofiltration membrane using low-molecular-weight polyethylene glycol”, The 9th Conference of Aseanian Membrane Society (AMS9) PA1-47, Taipei (Taiwan) (2015.7)

【口頭発表】

(1) 加島敬太, 稲毛達郎, 今井正直, “アルギン酸ナノ濾過膜の PEG 処理による透過流束の向上と分子サイズ認識機能の制御”, 分離技術会年会 2015 技術・研究発表講演要旨集, 112 (2015.5)

(2) 加島敬太, 今井正直, “種々の金属イオンによる緻密な架橋構造の形成機構に着目したアルギン酸膜の透過特性”, 化学工学会群馬大会 C219 (2015.11)

(3) 加島敬太, 稲毛達郎, 今井正直, “低分子量ポリエチレングリコールを用いたアルギン酸ナノろ過膜の緻密構造制御”, 第1回北関東磐越地区化学技術フォーラム講演要旨集, 19 (2015.12)

(4) 神尾優太郎, 加島敬太, 今井正直, “グルコアミラーゼを固定化したアルギン酸-キトサン複合膜の調製”, 第1回北関東磐越地区化学技術フォーラム講演要旨集, 19 (2015.12)

(5) 江面有章, 加島敬太, 上田 誠, “思川桜から単離した *S. cerevisiae* の冷凍耐性と焼成パンのテクスチャー評価”, 第1回北関東磐越地区化学技術フォーラム講演要旨集, 20 (2015.12)

(6) 佐川千尋, 薄葉なつみ, 加島敬太, 羽切正英, “アルギン酸カルシウムヒドロゲルへの低分子量ポリエチレングリコールの導入”, 第1回北関東磐越地区化学技術フォーラム講演要旨集, 19 (2015.12)

(7) 薄葉なつみ, 佐川千尋, 加島敬太, 羽切正英, “活性炭含有アルギン酸カルシウムヒドロゲルの調製とアニオン性色素の吸着速度”, 第1回北関東磐越地区化学技術フォーラム講演要旨集, 19 (2015.12)

(8) 林 海都, 加島敬太, 田中孝国, “アルギン酸膜

バイオリアクターによる排水処理に関する研究”, 第1回北関東磐越地区化学技術フォーラム講演要旨集, 19 (2015.12)

(9) 加島敬太, 今井正直, “架橋金属イオン種に着目したアルギン酸自立膜の調製と分子ふるい機能の評価”, 第6回福島地区CEセミナー講演要旨集, P-1 (2015.12)

(10) 江面有章, 加島敬太, 上田 誠, “思川桜から単離した *S. cerevisiae* の冷凍耐性と発酵速度の評価”, 第6回福島地区CEセミナー講演要旨集, P-2 (2015.12)

(11) 林 海都, 加島敬太, 田中孝国, “アルギン酸膜を用いた膜分離活性汚泥法の評価”, 第6回福島地区CEセミナー講演要旨集, P-6 (2015.12)

(12) 薄葉なつみ, 佐川千尋, 加島敬太, 羽切正英, “活性炭含有アルギン酸カルシウムヒドロゲルのアニオン性色素吸着能”, 第21回高専シンポジウム in 香川, Pa-047 (2016.1)

(13) 佐川千尋, 薄葉なつみ, 佐藤 潤, 加島敬太, 羽切正英, “低分子量ポリエチレングリコールの導入がアルギン酸カルシウムヒドロゲルの銅 (II) イオン交換速度に及ぼす影響”, 第21回高専シンポジウム in 香川, Pa-048 (2016.1)

(14) 大澤健人, 羽切正英, 加島敬太, 今井正直, “プルシアンブルーを安定に包埋したアルギン酸カルシウム膜の調製と透過性能の評価”, 第18回化学工学会学生発表会(浜松大会)講演要旨集, A107 (2016.3)

(15) 加島敬太, 大澤健人, 羽切正英, 今井正直, “活性炭を包埋したアルギン酸ゲル膜によるメチレンブルー吸着能の評価”, 化学工学会第81年会講演要旨集, G216 (2016.3)

橋本 彼路子

【口頭発表】

(1) 佐久間亮裕, 橋本彼路子, 池淵欽斗, 牛木彩子, 野村 歡, “精神障がい者グループホームの実態調査 その3 関東圏内10施設のヒアリング調査及び実測調査”, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 建築計画, 67-68 (2015.9)

(2) 池淵欽斗, 橋本彼路子, 牛木彩子, 佐久間亮裕, 野村 歡, “精神障がい者グループホームの実態調査 その4 入居者の生活内容と支援に関連した部屋の使われ方”, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 建築計画, 69-70 (2015.9)

佐藤 篤史

【口頭発表】

(1) 池田俊哉, 佐藤篤史, 石塚佳孝, 古味隆一, “非冷暖房期の住宅熱環境と居住者の体温調節に関する研究: 青年男性の皮膚温の実測調査”, 日本建築学会学術講演梗概集 (2015.9)

(2) 関口 晋, 杉沼智美, 吉川梨奈, 菊地美希, 矢吹 瞳, 渡辺紫帆, 佐藤篤史, “ハーブの香気成分が情報処理等作業において及ぼす生理・心理作用について”, 室内環境学会総会講演集, 72-73 (2015.12)

(3) 石塚佳孝, 佐藤篤史, 池田俊哉, 古味龍一, “非冷暖房期の住宅熱環境と居住者の体温調節に関する研究”, 室内環境学会総会講演集, 126-127 (2015.12)

大島 隆一

【口頭発表】

大島隆一, “小山高専サテライト・キャンパスの設置・運営活動”, 第9回宇都宮大学企業交流会 ポスターセッション (2015.9)

本多 良政

【研究論文】

本多良政, 坂上正裕, 樋熊利亘, 加藤大介, “開口を有するRC造袖壁付き柱のせん断強度の評価法”, 日本コンクリート工学年次論文集, 37(2), 25-30 (2015.7)

【口頭発表】

(1) 本多良政, 加藤大介, “RC造有開口袖壁付き柱の曲げ終局強度に関する考察”, 日本建築学会学術講演梗概集, C-2, 119-120 (2015.9)

(2) 坂上正裕, 本多良政, 加藤大介, “RC造有開口袖壁付き柱のせん断強度式の提案”, 日本建築学会学術講演梗概集, C-2, 327-328 (2015.9)

横内 基

【著書】

横内 基(監修) 他, 『歴史的町並みを護り、ヒトもマチも輝き続けるための、地域デザイン雑記帳』(オンライン), 伝統的建造物群保存地区における総合防災事業の開発プロジェクト (2016.3)

【研究論文】

横内 基, “Proposal and Practice of Comprehensive Disaster Mitigation Depending on Communities in Preservation Districts for Traditional Buildings”,

Journal of Disaster Research, 10(5), 857-873

(2015.10)

【国際会議】

Hideki Sato1, Yuji Hasemi, Hajime Yokouchi, Kotohumi Kato, Noboru Yasui, “Development of the Planning Method of Self-defence against Fires Using Portable Fire Pumps : Case Study on a Historical Urban District”, Journal of Asian Urban Environment, Annual 2015, 357-362 (2015.10)

【口頭発表】

(1) 佐藤秀樹, 池田成介, 長谷見雄二, 加藤詞史, 横内 基, 安井 昇, “可搬式消防ポンプを活用した市街地火災対策計画法に関する研究～所要時間概算式の提示と歴史的市街地におけるケーススタディ～”, 日本建築学会大会学術講演梗概集(選抜梗概), 防火, 279-282 (2015.9)

(2) 池田成介, 横内 基, 長谷見雄二, 田村佳英, “歴史的木造建築物の総合防災対策に関する研究 (その2 全国重要伝統的建造物群保存地区対象アンケート調査による災害事例の把握と課題の抽出)”, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 防火, 375-376 (2015.9)

(3) 関口佳織, 前田寿朗, 後藤隆洋, 高橋 蓮, 横内 基, 長谷見雄二, 新谷真人, 江尻憲泰, 安井 昇, “地震後防耐火性能を有する関東土壁の構造性能に関する研究”, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造Ⅲ, 323-324 (2015.9)

(4) 横内 基, 國分直輝, 野村佳亮, 山之内隆志, 大橋好光, “歴史的町並みの地震防災対策に関する研究 (その5 土蔵造耐力壁の構造性能)”, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造Ⅲ, 491-492 (2015.9)

(5) 青木玲子, 國分直輝, 野村佳亮, 山之内隆志, 横内 基, 大橋好光, “歴史的町並みの地震防災対策に関する研究 (その6 土蔵造耐力壁の面材補強効果とエネルギー吸収性能)”, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造Ⅲ, 493-494 (2015.9)

(6) 國分直輝, 野村佳亮, 山之内隆志, 横内 基, 大橋好光, “歴史的町並みの地震防災対策に関する研究 (その7 土蔵造耐力壁の補修方法とその効果)”, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造Ⅲ, 495-496 (2015.9)

(7) 山之内隆志, 國分直輝, 野村佳亮, 横内 基, 大橋好光, “歴史的町並みの地震防災対策に関する研究 (その8 大変形を受けた土塗壁の補修効果に関する実験的検証)”, 日本建築学会大会学術講

演梗概集, 構造Ⅲ, 497-498 (2015.9)

(8) 木村 巧, 野村佳亮, 國分直輝, 山之内隆志, 横内 基, 大橋好光, “歴史的町並みの地震防災対策に関する研究 (その9 面材張り真壁を応用した歴史的建造物の耐震補強工法の提案)”, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造Ⅲ, 499-500 (2015.9)

(9) 田中庸史, 松園立樹, 野村佳亮, 國分直輝, 山之内隆志, 横内 基, 大橋好光, “歴史的町並みの地震防災対策に関する研究 (その10 面材張り真壁を応用した耐震補強工法の構造性能)”, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造Ⅲ, 501-502 (2015.9)

(10) 松園立樹, 野村佳亮, 國分直輝, 山之内隆志, 横内 基, 大橋好光, “歴史的町並みの地震防災対策に関する研究 (その11 面材張り真壁を応用した耐震補強工法の仕上げ材の影響)”, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造Ⅲ, 503-504 (2015.9)

(11) 高麗夏実, 樋口美早紀, 横内 基, 大橋好光, “歴史的町並みの地震防災対策に関する研究 (その14 関東型町屋の耐震性能評価手法)”, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造Ⅲ, 505-506 (2015.9)

(12) 樋口美早紀, 高麗夏実, 横内 基, 大橋好光, “歴史的町並みの地震防災対策に関する研究 (その15 関東型町屋の耐震性能ケーススタディー)”, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造Ⅲ, 507-508 (2015.9)

(13) 石川 達, 野村佳亮, 横内 基, 大橋好光, “歴史的町並みの地震防災対策に関する研究 (その16 連坦する建造物の振動性状)”, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造Ⅲ, 509-510 (2015.9)

(14) 野村佳亮, 横内 基, 大橋好光, “歴史的町並みの地震防災対策に関する研究 (その17 地震観測による見世蔵の振動性状の評価)”, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造Ⅲ, 511-512 (2015.9)

豊川 斎赫

【著書】

豊川斎赫, 『磯崎新建築論集 第8巻』, 岩波書店 (2015.7)

【研究論文】

川副早央里, 豊川斎赫, 今井文子, 浦野正樹, “Challenges for Safe and Secure Community Development in Traditional Architectures Preservation

Districts – A Case Study on Tochigi District”, Journal of Disaster Research, 10(5), 874-886 (2015.10)

証”, 日本建築学会環境系論文集, 80(717), 1029-1036 (2015.11)

永峰 麻衣子

【口頭発表】

- (1) 棚岡紗英, 永峰麻衣子, “宇都宮市における洋館付き住宅の現状調査－他都市の洋館付き住宅との意匠に関する比較調査－”, 日本建築学会大会梗概集 (2015.9)
- (2) 長井菊野, 永峰麻衣子, “地域猫活動における地域の居場所に関する研究”, 日本建築学会大会梗概集 (2015.9)

山崎 晋

【口頭発表】

- (1) 山崎 晋, 水村容子, “住宅内における高齢者の転倒事故の発生およびヒヤリ・ハットの実態－秩父市における高齢者の家庭内事故に関する研究 その1－”, 日本福祉のまちづくり学会第18回全国大会梗概集(CD-ROM) (2015.8)
- (2) 水村容子, 山崎 晋, “住宅内における高齢者の転倒事故の原因と対策－秩父市における高齢者の家庭内事故に関する研究 その2－”, 日本福祉のまちづくり学会第18回全国大会梗概集(CD-ROM) (2015.8)
- (3) 山崎 晋, 水村容子, “セーフ・コミュニティ活動における住民の参加実態と支えあいに対する意向～秩父市におけるセーフ・コミュニティ認証前の市民アンケート調査結果 その1～”, 日本建築学会 2010 年度大会学術講演梗概集, E-1 分冊, 943-944 (2015.9)
- (4) 水村容子, 山崎 晋, “セーフ・コミュニティ活動における住民の不安感・心配事と支えあいに対する意向～秩父市におけるセーフ・コミュニティ認証前の市民アンケート調査結果 その2～”, 日本建築学会 2010 年度大会学術講演梗概集 E-1 分冊, 945-946 (2015.9)

中山 昌尚

【研究論文】

- (1) 増田圭司, 中山昌尚, 小河利行, “人の歩行時の床振動への信頼性設計法の適用例”, 日本建築学会環境大会学術講演梗概集, D-1, 361-362 (2015.9)
- (2) 増田圭司, 中山昌尚, 小河利行, “人の歩行による床振動に関する値応答スペクトルの提案と検

