

# 東北職業能力開発大学校

## 紀 要

### 第 31 号

---

#### 巻頭言

---

#### 【研究論文】

- 喬橋 憲司 専門意識の醸成における自己効力感…………… 1
- 狩野 隆志 二次電池の取扱い作業に関する安全テキストの開発と1年後の訓練効果 …… 7
- 松岡 亘, 渡邊 翔真, 高橋 康太, 千葉 春香, 畑中 愛香, 松田 雄介, 結城 明香里  
接合金物を用いない木質フレームに設置した木質パネルが面内せん断強度  
性能に及ぼす影響…………… 11
- 佐竹 重則 乾燥材齢182日までのコンクリートの乾燥収縮率の測定  
—加熱改質フライアッシュを使用したコンクリートの有効性について— …… 15
- 林 昇吾, 松岡 亘, 千葉 春香, 山田 春  
竹活性炭を活用した建築材料の開発  
—その1 竹活性炭における化学物質の吸着性に関する効果— …… 19
- #### 【研究速報】
- 浅倉 卓也, 小林 健, 平 和基  
木造建築継手・仕口加工実習用動画教材の制作 …… 23
- #### 【報告】
- 喬橋 憲司, 大石 賢, 内山 元, 先崎 康裕, 平田 武誉, 本郷 秀明, 七種 健一, 伊藤 隆志  
製麺試験用米麺押出機の開発  
—スクルー搬送による高アミロース米の押し出し製麺— …… 27
- 村上 光秋 B級オーディオアンプの製作…………… 31
- 平井 真登 火力発電機モデルの設計と製作 —コアレス発電機の製作— …… 35
- 山川 晃 職業能力開発大学校における工学倫理の実施について…………… 39
- 星野 政博 くりはら遺産認定委員会参加報告  
—宮城県栗原市商工観光部田園観光課との協働— …… 47
- #### 【総説等】
- 川又 政征, 成田 龍彦, 昆野 恭介, 伊藤 圭吾  
与えられた相関係数を有する信号の生成について…………… 55
- 橋本 真寿 アカデミックスキル —大学での“学び”について— …… 63
- 田山 英臣 デジタルファブリケーション —ほしいものをどうやって手に入れる— …… 67
- 伊藤 隆志 単気筒空気エンジンの構造と設計…………… 71
- 遠藤 裕之, 鳥潟 幸男  
ニホンザリガニ稚ザリ用飼育ボックスの設計・製作…………… 81
- 

2021年6月

東北職業能力開発大学校

## 巻 頭 言

東北職業能力開発大学校紀要は、前身の宮城職業訓練短期大学校にて発刊されて以来、号をかさね、今回第31号を発行するはこびとなりました。本号は、東北能開大および二校の附属校の各科の教員が行った教育訓練、研究、人材育成、共同研究等の成果に関する投稿を査読の上採択し、とりまとめたものであり、全16編の記事（論文5編、報告5編、速報1編、総説等5編）が掲載されております。投稿ならびに査読いただいた方々にこころより感謝いたします。

本号の編集にあたっては、紀要執筆要領や紀要テンプレートを作成し、投稿原稿としてWORD ファイルおよびPDF を用いてネット経由で投稿・査読・連絡を効率的に行うよう編集体制を整備しました。また、論文投稿の意義や執筆法のセミナーを開催し、投稿を呼びかけました。これらの活動にたずさわっていただいた今年度紀要編集委員の皆様にご感謝いたします。

さて、本紀要は、東北能開大および二校の附属校の日々の活動の成果を記録するとともに、その成果を全国の産業界、ならびに他の職業訓練機関等に広報する役目を担っておりますが、それにくわえて、そのときどきの教育訓練体制や関連する社会状況について記録していくことも必要だと感じています。最近の話題でいえば、終息が見とおせぬコロナ禍のもとの教育訓練、生産ロボットシステムコースの新設、オンライン訓練の開始などについてもかならず記録しておくべきものと思います。今後の投稿が期待されます。

また、本紀要を多くの方々に手にとっていただき、読んでいただくためには、「固い」内容の記事だけではなく、「柔らかい」内容の記事も必要ではないでしょうか？外部の著者による最近の科学技術に関する招待解説論文、科学技術関連の書籍の紹介、日々の教育訓練にかかわる随想、学生の活動（就活、日常生活）の記事などが思いうかびます。

教育訓練の向上・発展のために、東北能開大紀要に関して関係各位からの忌憚のないご意見と建設的な提案をいただければ幸いです。

2021年6月

東北職業能力開発大学校  
校長 川又 政征



## 【投稿区分】

### 区分1：研究論文

未発表のオリジナルな著述であり、独創性、有用性、新規性があり、完成度の高いもの。

### 区分2：研究速報

「研究論文」に準ずる内容であり、速報性のあるもの。

次号以降に「研究論文」になる可能性があるもの。

### 区分3：報告（卒業制作／共同研究等報告）

専門課程（1,2年次）の卒業制作（総合制作実習）、応用課程（3,4年次）の卒業制作（開発課題実習）および企業・団体等との共同研究等で取り組んだ内容に関してまとめたもの。

### 区分4：総説等（総説／解説／資料等）

専門的な内容を、非専門家にも理解できるように幅広く著述したもの、またはその資料等。

# 専門意識の醸成における自己効力感

喬橋 憲司\*1

## Self-efficacy in the fostering professionalism

TAKAHASHI Kenji\*1

**要約** 専門意識の醸成における、自己効力感と自己調整を一般性セルフイフィカシー尺度と自己調整学習方略尺度で測った。専門意識の醸成は6つの課題実習でカリキュラムを構成している。一般性セルフイフィカシー尺度の下位因子「行動の積極性」「失敗の不安」「能力の自信」をそれぞれ持つとする者の学習方略の活用と、課題実習への取組について統計的な手法を用いて客観的に検討した。セルフイフィカシー尺度の下位因子と学習方略、課題実習の取組には特徴的な傾向があること。キャリア・プランシートは醸成された専門意識が源となり自己効力感が現れる。

### 1. はじめに

教育訓練の場において、学生など受講する者が自らの目的あるいは目標を定めて、それに向かって実習や座学での知識の習得など教育訓練を能動的かつ持続的に進めていくことで、多くの成果が生まれてくる。

小学、中学、高校においてキャリア教育が盛んに取り組まれるようになったことで、多くの学生は高校時代の進路選択時点において、社会の中で果たしていこうとする自らの役割や立場、自らが将来活躍したいと考える業種や職種を定める。

我々指導陣はカリキュラムや校全体で、目標や目的の達成に向けて支援を行う。この時、学生自身がその目標に向かって努力と学力のコントロールを自ら活性化していくことで、教育訓練の効果も高まる。そしてその結果、技能や技術の習得と就職やその後の活躍など目標が達成される。

本研究では、この教育訓練における自己効力と自己調整学習により専門意識の醸成を意図した課題実習との関係性について考察した。

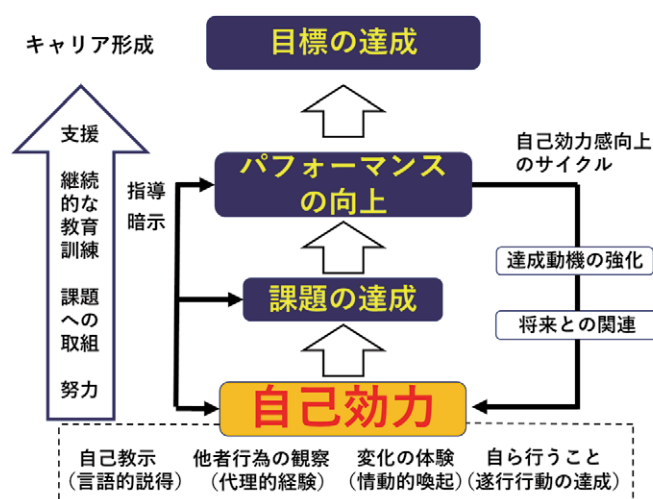


図1 自己効力向上のサイクル

\*1 東北職業能力開発大学校 生産機械システム技術科  
Tohoku Polytechnic College  
Department of Production Mechanical Systems Technology

## 2. 自己効力感

### 2.1 自己効力

人は行動を起こすとき目標を設定して、その結果や可能性を予想し、目標を実現するための過程を計画する。このとき自ら能動的に活動することで、成果を上げる。自らの能動的な活動の源が自己効力である。従って、その活用範囲は教育の場だけではなく、医療における認知行動療法、喫煙行動のセルフコントロール、ウェイト・コントロール、職業カウンセリングなど様々の分野になり、それら分野において自己効力の効果が研究されている。

自己効力は社会的学習理論の中で自らが遂行したい目標に対して、必要な行動をどの程度できるかという「自己遂行可能感」<sup>1)</sup>である。

この自己効力感<sup>2)</sup>について東條、板野は次のように言っている。人は目標を達成するため行動を起こすが、このとき「効力の予期」と「結果の予期」を行い遂行の可能性を判断して行動に移る。その可能性を高めるものが「自己効力感」である。この「自己効力感」は人格の一部として現れてるが、自然発生的に生じてくるものではなく、①自ら行うこと（遂行行動の達成）②他人の行為を観察すること（代理的経験）③自己教示や他者からの説得的な暗示（言語的説得）④生理的な反応の変化を体験すること（情動的喚起）、により個人自らが作り出すものである。

Bandura<sup>2)</sup>は、自己効力感のレベルと高さを変えたときの行動の変化の理論について研究した。その中で、認知された自己効力感は様々な状況の中での克服努力と持続性を高める働きがあること。また、それが認知されたときに積極的な努力と課題への取組み、最終的な成功に期待する度合いが高くなる行動特性を持つことを明らかにした。この自己効力による継続的な努力によりパフォーマンスが高まることを明らかにしている。

この自己効力感には、能力の向上とキャリア形成に影響を及ぼす。李は自己効力感と学習方略の関係について調べ、その差があることを示している<sup>3)</sup>。また、その結果創造性にも影響することを示した。宮嶋は自己効力感と将来展望について研究した。その中で、自己効力感が達成動機を強め未来を信頼し

つつ構想し、積極的に行動を起こす傾向があると、キャリア形成力との関係について示した<sup>4)</sup>。

このように自己効力感は自己調整の源であり、学習期間においては、課題の達成などによりまたさらにそれを高める。この好循環によって自己効力感はさらに高まる。先行研究を参考に、支援、指導でキャリア形成に関わり、学生の自己効力を向上させるためのサイクルを図に示した。(図1)

### 2.2 専門意識の醸成

自己効力感を教育訓練の場面で考えた場合、自己効力は多くの実習や授業中、就職活動など幅広い場面での発揮が期待される。学生はカリキュラムの中で培っていく技能や技術、科学的、技術的な知識を獲得する教育訓練を受ける。そしてその先の目標である「就職」や「開かれた将来展望」を考えるための自己効力感を高める。その結果もたらされるものは「専門意識の醸成」である<sup>5)</sup>。

この醸成された専門意識はキャリア・プランシート（学卒者用ジョブカード）の記述内容に現れる。学生は、このキャリア・プランシートの作成を通じ「仕事理解」「自分理解」「方策の検討」を考えて記述する。学生はこれまでの経験、習得した技能、技術、自らの価値観、自らの強みや弱み、今後の行動など、個人がこれまで醸成してきた意識を記述する。

## 3. 自己調整の尺度

### 3.1 自己調整課題実習

表1に応用課程1年次に行う「職業能力開発体系論」の授業で実施した課題実習及び実習形態を示す。醸成された専門意識を源にキャリア・プランシートの記述など6つの課題を実習する。

キャリア・プランシートの第1面、第2面は得意科目など技能・技術のテクニカルな面が中心となるアンカーの記述である。キャリア・プランシート第3面は価値観から将来の働き方など職業生活に関わるアンカーの記述である。この内容と課題実習に関連性を持たせた。「職業能力開発体系図を使った仕事理解課題実習」は第3面の記述項目全てに関連する。「価値観、職業観レポート」は第3面の「価値観、興味、関心事項等」と関連する。「会社情報調査

レポート作成課題実習」は「将来取り組みたい仕事や働き方等」と関連する。「自己理解課題実習」は「強み等」と関連する。表の順序で課題実習を実施し、キャリアについて考える6つの課題実習について効果的な順に1位から6位まで順位付ける。このアンケートは、授業の最終日に生産機械システム技術科1年生に実施した。

### 3.2 自己効力感尺度

表2に一般性セルフイフィカシー尺度を示す。

自己効力は自己効力感尺度で測る。この自己効力感尺度は、様々な状況における個人の行動に影響する一般性セルフイフィカシー尺度<sup>6)</sup>と、特定の場面において発揮される特性的自己効力感尺度<sup>7)</sup>がある。

今回の研究はキャリア・プランシートの作成を最終課題とした授業科目「職業能力開発体系論」と関連付けて行った。その中で「自分理解」「仕事理解」の記述、交流分析による自分理解、体系図を使った演習など6つの実習、演習を経たのちに「専門意識醸成」を記述することから、様々な状況下において発揮する一般性セルフイフィカシー尺度を使用した。

一般性セルフイフィカシー尺度は板野・坂野が作成した尺度で、下位尺度は「行動の積極性」「失敗に対する不安」「能力の社会的位置づけ」で、合計16項目の質問からなる。この尺度の信頼性係数は0.84と高い値を示している。

### 3.3 自己調整学習尺度

自己調整学習は「動機づけ」と「目標設定」を行い、「認知的方略」「プランニング方略」「モニタリング方略」により継続的に学習を進める一連の活動である。自己効力はそれが認知されたときに積極的な努力と課題への取組がなされることから<sup>2)</sup>、認知の側面に焦点をあてて作成された自己調整学習方略尺度<sup>8)</sup>を用いた。表3に自己調整方略尺度を示す。

この尺度は畑野・及川・半澤が作成した尺度で、下位尺度は「動機づけ調整方略」「認知調整方略」「行動調整方略」「情緒調整方略」で合計20項目の質問からなる。4つの下位尺度の信頼性係数は0.740~0.836と高い値を示している。

表1 課題実習及び実習形態

課題実習	実習形態
職業能力開発体系図による仕事理解課題実習	グループ・個人
価値観、職業観レポート作成課題実習	個人
会社情報調査レポート作成課題実習	個人
自己理解課題実習Ⅰ(OKグラム)	個人・グループ
自己理解課題実習Ⅱ(エゴグラム)	個人
醸成された専門意識の記述(キャリアプランシート作成)	個人

表2 一般性セルフイフィカシー尺度

質 問
<b>行動の積極性</b>
1 何か仕事をするとき、自信を持ってやるほうである。
5 人と比べて心配性なほうである。
6 何かを決めるとき、迷わず決定するほうである。
8 引っ込み思案なほうだと思う
10 結果の見通しが見つからない仕事でも積極的にとりくんでゆくほうだと思う。
13 どんなことでも積極的にこなすほうである
15 積極的に活動するのは、苦手なほうである。
<b>失敗に対する不安</b>
2 過去に犯した失敗やいやな経験を思い出して、暗い気持ちになることがよくある
4 仕事を終えた後、失敗したと感じることの方が多い
7 何かをするとき、うまくゆかないのではないかと不安になることが多い。
11 どうやったらよいか決心がつかずに仕事にとりかかれなことがよくある。
14 小さな失敗でも人よりずっと気にするほうである
<b>能力の社会的位置づけ</b>
3 友人よりすぐれた能力がある
9 人より記憶力がよいほうである
12 友人よりも特にすぐれた知識を持っている分野がある
16 世の中に貢献できる力があると思う。

表3 自己調整学習方略尺度

質 問
<b>動機づけ調整方略</b>
12 授業中に退屈したとき、頑張って集中する
14 授業課題に興味が無くなった時、集中するように努力する
15 授業中に思考がぼんやりし始めた時、集中するように努力する
20 授業内容に興味が無くても、内容を理解するように努力する
<b>認知調整方略</b>
3 授業中にこれまでの理解内容を確認する
4 授業で理解すべき内容を考える
18 授業課題によって取り組み方を考え直す
1 授業中に内容を十分に理解できなかった時、後で理解しなおす
6 授業を受ける前に以前の内容を覚えているか確かめる
9 授業で新しい内容を学ぶ前に、事前にその内容について大まかな理解しておく
10 授業内容に合わせて、学習方法を考え直す
13 授業を受ける前にこれから学ぶ内容を考える
<b>行動調整方略</b>
2 一週間の学習の予定を立てて行動する
7 試験の前には計画をたてて取り組む
11 学習するとき学習時間を決めて取り組む
16 自分のできる範囲を計画して学習する
19 時間を決めて学習課題に取り組む
<b>情緒調整方略</b>
5 物事がうまくいかどうか不安に感じた時、大丈夫だと自分自身に言う。
8 事態の悪化を考えすぎないようにする
17 自分が考えていたより物事が悪くなりそうでも、心配しすぎないようにする

表4 自己調整学習方略と一般性セルフイフィカシー尺度の関係

		一般性セルフイフィカシー尺度			
		行動の積極性 相関係数(P値)	失敗の不安 相関係数(P値)	能力の自信 相関係数(P値)	
自己調整学習方略尺度	下位因子	動機づけ方略	0.045 (0.874)	-0.297 (0.282)	0.099 (0.723)
		認知調整方略	0.501 (0.057)	-0.458 (0.086)	-0.054 (0.848)
		行動調整方略	0.062 (0.826)	0.032 (0.909)	0.222 (0.427)
		情緒調整方略	-0.174 (0.174)	0.329 (0.231)	-0.379 (0.164)

## 4. 自己調整の相互関係

### 4.1 倫理的配慮

データ採取およびキャリア・プランシート第3面の提供にあたっては、被験者となる学生に対して研究においてのみの使用とし、他の目的で使用しないこと、個人が特定されない形でデータとすることを明記した承諾書を作成しで承諾を得た。また、それをアンケート用紙にも明記し、口頭の説明も行い、データを採取した。

### 4.2 ロジスティックデータ化の方法

統計計算に使うデータ化の方法について述べる。

「一般性セルフイフィカシー尺度」「自己調整学習方略尺度」は「はい」「いいえ」の2択のアンケートに回答させ、下位尺度別に各個人の「はい」と回答した個数をデータとした。「課題実習の順位」は1位から6位までの順位付けたアンケートを採取した。4位までを主観的に有効と学生が考えた課題実習であるとし、1位から4位を「1」、5位、6位を「0」の0/1のロジスティックデータとした。分布に傾向がみられなかった価値観職業観レポート作成課題実習は3位までを「1」とした。

### 4.3 自己調整学習と一般性セルフイフィカシー尺度の関係

表4に自己調整学習と一般性セルフイフィカシー尺度の相関関係を示す。

自己調整学習方略の下位尺度について Shapiro-Wilk 検定を行った。「動機づけ方略」(P=0.003)「認知調整方略」(P=0.014)「情緒調整方略」(P=0.008)について正規性が認められなかったため、Spearman 順位相関係数で相関関係を算出した。

「認知調整方略」と「行動の積極性」の相関係数は  $\rho=0.501$ 、「情緒調整方略」と「失敗の不安」の相関係数は  $\rho=0.329$  であり、弱いから中低度の正の相関がみられた。「行動調整方略」と「能力の自信」の相関係数は  $\rho=0.222$  であり、弱い正の相関がみられた。「認知調整方略」と「失敗の不安」の相関係数は  $\rho=-0.458$ 、「情緒調整方略」と「能力の自信」の相関係数は  $\rho=-0.379$  と弱いから中程度の相関関係がみられた。これらを除く自己調整学習方略尺度と、一般性セルフイフィカシー尺度の下位尺度の間には相関関係は見られなかった。

### 4.4 課題実習と一般性セルフイフィカシー尺度の関係

表5に課題実習と一般性セルフイフィカシー尺度の関係を示す。

目的変数(課題実習)と因子(一般性セルフイフィカシー尺度の下位因子)の間の確率(P値)はロジスティック回帰分析で算出した。

「行動の積極性」と「自己理解課題実習Ⅱ」(P=0.77)、「醸成された専門意識の記述」(P=0.717)は中程度の確率の関係性を示した。

「失敗の不安」と「職業能力開発体系図による仕事課題実習」(P=0.971)は高い関係性の確率を示した。「失敗の不安」と「価値観、職業観レポート作成課題実習」(P=0.749)で中程度の確率の関係性を示した。「失敗の不安」と「自己理解課題実習Ⅰ」(P=0.587)で低い確率で関係性が示された。

「能力の自信」と「価値観、職業観レポート作成課題実習」(P=0.562)で低い確率で関係性が示された。「能力の自信」と「醸成された専門意識の記述」(P=0.521)で低い確率で関係性が示された。



表5 課題実習と一般性セルフイフィカシー尺度の関係性確率一覧

	一般性セルフイフィカシー尺度		
	行動の積極性	失敗の不安	能力の自信
	P値	P値	P値
職業能力開発体系図による仕事理解課題実習	0.415	0.971	0.221
価値観、職業観レポート作成課題実習	0.243*	0.749*	0.562*
会社情報調査レポート作成課題実習	0.149	0.185	0.224
自己理解課題実習 I	0.060	0.587	0.144
自己理解課題実習 II	0.770	0.138	0.276
醸成された専門意識の記述	0.717	0.434	0.521

\*のデータは3位までを「1」としてデータで算出した結果

表6 課題実習と自己調整学習方略の関係性確率一覧

	自己調整方略学習尺度			
	動機づけ調整方略	認知調整方略	行動調整方略	情緒調整方略
	P値	P値	P値	P値
職業能力開発体系図による仕事理解課題実習	0.850	0.245	0.237	0.937
価値観、職業観レポート作成課題実習	0.253*	0.708*	0.344*	0.852*
会社情報調査レポート作成課題実習	0.381	0.225	0.261	0.912
自己理解課題実習 I	0.295	0.053	0.869	0.409
自己理解課題実習 II	0.486	0.115	0.750	0.487
醸成された専門意識の記述	0.191	0.450	0.381	0.685

\*のデータは3位までを「1」としてデータで算出した結果

#### 4.5 課題実習と自己調整学習方略の関係

表6に課題実習と自己調整学習方略の関係を示す。

「動機づけ調整方略」と「職業能力開発体系図による仕事理解課題実習」(P=0.85)は高い関係性の確率を示した。

「認知調整方略」と「価値観、職業観レポート作成課題実習」(P=0.708)は中程度関係性の確立を示した。

「行動調整方略」と「自己理解課題実習 I」(P=0.869)は高い確率で関係性が示された。「行動調整方略」と「自己理解課題実習 II」(P=0.75)は中程度の確率の関係性を示した。

「情緒調整方略」と「職業能力開発体系図による仕事理解課題実習」(P=0.937)、「価値観、職業観レポート作成課題実習」(P=0.852)、「会社情報調査レポート作成課題実習」(P=0.912)は高い関係性の確立を示した。「情緒調整方略」と「醸成された専門意

識の記述」(P=0.685)は中程度の確率の関係性を示した。

#### 5. 考察

一般性セルフイフィカシー尺度と自己調整方略学習尺度、課題実習について考察する。

「行動の積極性」がある者は「認知調整方略」を課題実習において活用している。「情緒調整方略」を活用することは少ない。課題実習では「価値観、職業観レポート作成課題実習」「醸成された専門意識の記述」(キャリア・プランシート作成)の個人の価値観や仕事観を積極的に記述する課題と将来展望などキャリアを記述する形式の課題実習を効果的と考えている。従って、「行動の積極性」がある者は、専門意識の醸成が進んでいる。しかし「行動調整方略」の活用は低い。これは教材や進め方を統一していた為、その場面が少なかったと考えられる。グル

ープ課題でリーダー性を発揮することで今後高められると考えられる。

「失敗の不安」があるものは課題実習において「情緒調整方略」を活用し、「動機づけ方略」「認知調整方略」を活用することは少ない。

自らの不安の要因を除去するために情緒の調整を行う。6つの課題の中で「職業能力開発体系図による仕事理解」と「会社情報調査レポート作成課題実習」の順位の関係性確率が高い。これは業務や職務に対する理解不足が大きな要因で認知調整が効果的に実行できないことを示している。また、専門意識の醸成において、職務や業務など「仕事理解」が「自分理解」の課題を優先している。しかし「自分理解」を行う課題実習が他の因子と比較して際立って低いわけではない。専門意識の醸成において、「仕事理解」の場面で積極的に介入することが専門意識の醸成に効果的であることを示している。

「能力の自信」がある者は実習において「情緒調整方略」を活用することは少なく「行動調整方略」を活用する。課題実習の中では「醸成された専門意識の記述」「価値観、職業観レポート作成課題実習」の順位が高い。仕事に対する理解が進んでおり、専門意識を醸成している。「行動調整方略」と「自己理解課題実習」の間で高い確率の関係性がある。従って、専門意識の醸成では自己理解と関係する「自分の強み」に客観性をもたせることが効果的であると考えられる。

「能力の自信」がある者と「失敗の不安」がある者は「認知調整方略」と「情緒調整方略」の使用に対称性がある。「能力の自信」がある者は積極的に認知の調整を行うのに対し、「失敗の不安」がある者は情緒の醸成を行う。将来の記述はこれまで培ってきた専門意識が自己効力感として現れる。そして何れの者ともに仕事をする目的と自分が大事にしたい価値観、職業能力と仕事や働き方との関係について考える時間が有効であったと考えている。

## 6. まとめ

自己効力感を一般性セルフフィカシー尺度で測り、自己調整学習と専門意識を醸成する過程について検討した結果、次の結論を得た。

- ① 「行動の積極性」がある者は、専門意識の醸成が進んでいる。グループ課題でリーダー性の発揮が効果的である。
- ② 「失敗の不安」がある者は「仕事理解」に不足感がある。職業能力開発体系図を活用した課題実習で積極的に介入することが効果的である。
- ③ 「能力の自信」がある者は、仕事に対する理解が進んでいる。「自分の強み」に客観性をもたせる課題実習が効果的である。
- ④ 一般性セルフフィカシー尺度の観点から観察することで専門意識の醸成を効果的に進められる。
- ⑤ 将来の記述はこれまで培ってきた専門意識を源とした自己効力感が現れる。
- ⑥ 価値観、職業観を考える時間は重要である。今後は自己効力の源である専門意識について職業観などの面から検討したい。

### 【参考文献】

- 1) 栗原一郎ほか：心理アセスメントハンドブック、西村書店、新潟、pp.425-434,1993
- 2) Bandura, A., Adams, N. E., & Beyer, J: Cognitive processes mediating behavioral change, *Journal of Personality and Social Psychology*, 35 ,125-139,1977
- 3) 李栄晩：自己効力感と学習様式及び創造性との関係, *教育心理学年報*、第 41 巻, pp22-26,2002 年
- 4) 宮嶋いずみ,榎本博明:自己効力感の形成要因と将来展望との関係, *日本パーソナリティ心理学発表論文集*、第 15 巻,2006 年
- 5) 喬橋憲司:匠の思考から型組構想を学ぶアクティブラーニングプロジェクト,令和元年度高度養成課程研究論文発表予稿集、pp3-4,2019 年 3 月
- 6) 坂野雄二,東條光彦:一般性セルフフィカシー尺度作成の試み, *行動療法研究*、第 12 巻 第 1 号, pp73-82 ,1986 年
- 7) 成田健一,下仲順子,中里克治,河合千恵子,佐藤眞一,長田由紀子:特性的自己効力感尺度の検討, *教育心理学研究*、第 43 巻 第 3 号, pp306-314, 1995 年
- 8) 畑野快, 及川恵, 半澤礼之:大学生を対象とした自己調整学習方略尺度作成の試み, *日本教育心理学会総会発表論文集*、第 53 回総会発表論文集, pp325,2011 年

# 二次電池の取扱い作業に関する 安全テキストの開発と1年後の訓練効果

狩野 隆志\*1

## Development of Material for Safety Education on Handling Rechargeable Batteries and Effect after One Year Training

KANO Takashi\*1

**要約** 充電と放電をすることが出来る二次電池は、自動車、スマートフォン、ロボットなどに用いられている。近年の利用拡大に伴い、事故も増加傾向にある。職業能力開発大学校においても二次電池を取り扱う機会が増えており、ヒヤリ・ハットの事例が見られた。一方で、市販されている安全テキストおよび電池の専門書では取り扱い方に詳述しているものは見当たらなかった。そこで、災害防止および減災に寄与するために、二次電池の火災および爆発のインパクトある映像も収めた実践的な安全テキストを開発した。本安全テキストの有用性は、安全教育の好評価ならびに1年間の製作課題である開発課題の製作過程に反映されたことから明らかにしている。

### 1. はじめに

二次電池とは、充電と放電が出来る電池のことであり、自動車、スマートフォン、ロボットなど様々な製品の電源として使われている。近年の利用拡大に伴い、事故が増加傾向にあり、注意喚起がされている。

図1に示すように、職業能力開発大学校の実習においても、二次電池をよく利用しており、最近の傾向では、エネルギー密度の高いリチウムイオン蓄電池を取り扱う機会が増えている。

実習では、制作物を作る経験を通じて技術・技能を身に付けていくが、その過程において、どうしても失敗が起きてしまう。近年の二次電池はエネルギーを高密度に有するために、失敗の先に、火災による火傷、電解質（強アルカリ、強酸）による怪我と

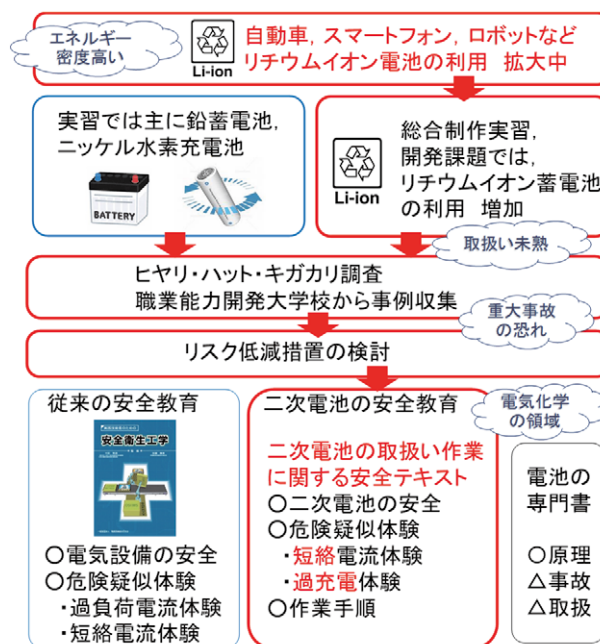


図1 本開発の背景および内容

\*1 東北職業能力開発大学校 生産電気システム技術科  
Tohoku Polytechnic College  
Department of Production Electrical Systems Technology

いう重大事故に繋がりがかねない。そこで、①ヒヤリ・ハット・キガカリ調査、②調査結果を解析、事例を抽出、③調査結果を活かした安全テキストの作成、④受講者へのフィードバック を考えた。作成するテキストでは、二次電池の特性、リスク低減措置の検討、準備する教材（保護回路、保護具、事故後の処理など）、および作業手順を明確にした。

本テキストの有用性は、安全教育における受講前後の確認テストの結果、および授業評価アンケートによる評価、ならびに、1年間の製作課題である開発課題の製作過程における訓練効果から明らかにしている。

## 2. 職業能力開発大学校における二次電池のヒヤリ・ハット・キガカリ調査

職業能力開発大学校の指導員の協力をもとに、二次電池を取り扱った際のヒヤリ・ハット・キガカリ案件をまとめた。その抜粋を表1に示す。ヒヤリ・ハットとは、重大な事故に至らない事例を言い、キガカリとは、危険であると考えられる事例である。事例では、ショート（短絡）が11件、過充電が3件、配線の過熱2件、その他4件の順に多かった。授業科目では総合制作および開発課題の事例が15件、標準課題3件、サークル1件、イベント1件の順であった。幸いにもこれまでに大きな事故は発生していないが、ハインリッヒの法則<sup>2)</sup>を考えれば、リスクを除去または低減しなければ、重大事故発生の恐れがある。

表1 ヒヤリ・ハット・キガカリ調査(抜粋)

項目	No.	種別	実施場	事例
十 分 ハ	1	総合制作	実習場	ロボットの基板の製作に失敗して、基板がショートした。ヒューズを入れていなかったため、7.2Vニカドバッテリーのビニルパックが燃えて、部屋に煙が充満した。
	7	開発課題	実習場	ロボット用のリチウムポリマー蓄電池を使うのに、使い方が分からず、テスターでバランスのコンタクトを調べていたところ、ショートし、バンッと言う爆発音とともに、1セルが使えなくなった。
	9	標準課題	実習場	12V鉛蓄電池を2つ直列にして電動車両の電源にしている。充電のために1つの鉛蓄電池を外す際、配線が端子あたっていて、ショートした。被覆が溶けた。
	10	サークル	実習場	自立型ロボットのリチウムポリマー電池の端子を交換中に、+の配線をペンチで切ってショートさせた。ペンチが溶けた。
脚 注 2)	1	総合制作	ホテル	エコラン前夜、鉛蓄電池に充電しながら、学生が寝ていた。ガス流出、膨張しグツグツ沸騰していた。安定化電源でタイムを計って充電していた。設定ミスが原因かもしれない。
	2	総合制作	学生寮	ニッケル水素単3充電機パックに通常の充電から、エコラン大会のために、さらに追い充電をかけた。追い充電の電流値が高すぎて、電池が破裂し液が漏れた。充電中は留守にしていた。
	3	開発課題	展示場	鉛蓄電池の充電中に破裂(爆発)し煙が出た。安定化電源でタイムを計って充電していた。設定ミスが原因かもしれない。

## 3. リスクの見積りおよびリスク低減措置

バッテリー交換作業のある自動車整備業のリスクアセスメント<sup>3)</sup>を参考に、リスクの見積りを行った。抜粋したものを表2に示す。ショートおよび過電流のケースが、もっとも高いリスクポイント(合計点数)になった。全ての事例がリスクIV「直ちに改善」となり、二次電池を取り扱う作業には、リスクが潜んでいることが示された。

このため、全ての事例に対してリスクを低減する措置を、表2の①～④の順に検討した。

表2 リスクの見積り(抜粋)

事例 No.	危険性又は有害性により発生のおそれのある災害	リスク見積り(対策前)			リスク	リスクの低減措置			リスク見積り(対策後)			
		頻度	可能性	重篤度		①危険性の除去・低減	②工学的対策	③管理的対策	④個人用保護具の使用	頻度	可能性	重篤度
ショート No.1~11	・爆発して怪我をする ・燃えて火傷をする ・火花が目に入って失明をする ・火花で火傷をする	4	6	10	20	IV	①コネクタ接続 ②保護回路の設置(ブレーカ、ヒューズなど) ③端子を絶縁(絶縁テープ、絶縁キャップ) ④工具類を絶縁(ドライバー、テスタなど) ⑤通電の確認(検電器、テスタ) ⑥消火器の準備 ⑦希硫酸の中和剤の準備(鉛蓄電池) ⑧保護具の装着(手袋、保護メガネ、作業服)	1	4	3	8	II
過充電 No.1~3	・就寝時に火災が発生し死亡事故になる ・爆発して怪我をする	4	6	10	20	IV	②専用の充電器を使用 ③充電機の設定値を2人で確認 ④蓄電池の温度確認 ⑤不在時、就寝中の充電の禁止 ⑥保護防止の措置 ⑦消火器の準備 ⑧希硫酸の中和剤の準備(鉛蓄電池)	1	4	3	8	II

リスク見積り「頻度」、「可能性」、「重篤度」による「加算方式」

リスク	合計点数	優先度
IV	12~20	直ちに改善
III	9~11	速やかに改善
II	6~8	計画的に改善
I	5以下	必要に応じて改善

## 4. 安全テキストの作成

テキストの項目と時間配分を表3に示す。本テキストの最も特徴的な項目は、「2. 二次電池の危険疑似体験」である(図2)。ショートおよび過充電時における制御弁式鉛蓄電池、ニッケル水素蓄電池、リチウムポリマー蓄電池の壊れ方を示し、危険性や対策が異なることを強く意識出来るようにした。危険疑似体験の時間60分では、最もインパクトのあるリチウムポリマー蓄電池のショートおよび過充電の体験を想定した。実施方法は参考文献4)に詳述しているので、映像と同じ実体験は再現できる。

表3の項目5および6の保護では、失敗がないように、市販の保護装置を接続するシンプルな回路構成をまずは示した(図3)。項目7では、夜間や外出中の充電禁止という作業規則の徹底とともに、充電や放電時の適正な電流値を把握できるように、Cレート(Itレート)の計算例を示した(図4)。項目13の準備品では、学生が「リスク低減措置は知ってい

るが制作費がないから、注意して作業すれば大丈夫だろう」という思いに至らないように、予算確保の観点から、安全の教材と価格を示した。

表 3 本テキストの項目と時間配分

項目	時間
1. はじめに	5分
2. 二次電池の危険疑似体験	60分
3. リチウムイオン電池の事故	15分
4. 二次電池のヒヤリ・ハット・キガカリ調査	15分
5. 二次電池の過電流保護	10分
6. 二次電池の発熱保護	10分
7. 二次電池の充電方法	5分
8. 実験の進め方	5分
9. 回路の電圧、電流、抵抗測定	5分
10. 端子、工具の絶縁	5分
11. 二次電池の適切な保管	5分
12. 事故後の処理	5分
13. 二次電池の安全に付随する準備品チェックリスト	5分

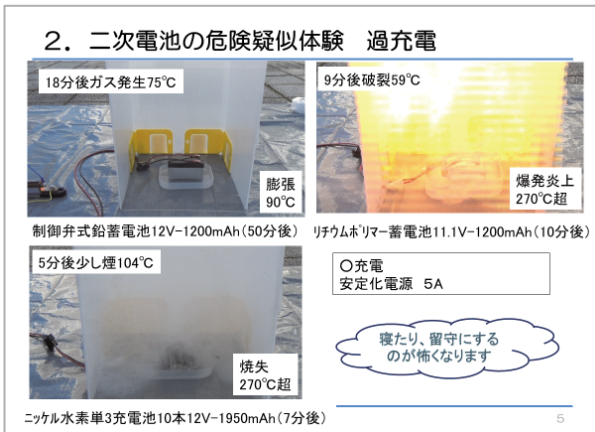


図 2 二次電池の危険疑似体験(テキスト抜粋)

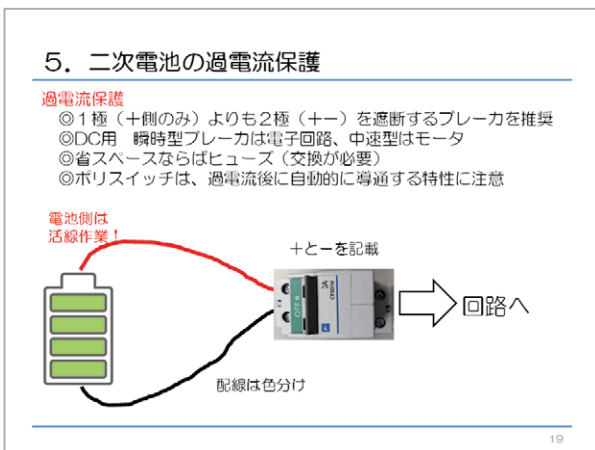


図 3 二次電池の過電流保護(テキスト抜粋)

## 7. 二次電池の充電方法 電池の放電容量とCレート (Itレート) について

電池の放電容量とは、電流×時間のことです。

例えば、2Aで2時間(h)使った場合、 $2 \times 2 = 4$  [Ah] となります。

Cレート (Itレート) とは、理論的な放電容量を1時間で完全に放電 (または充電) させる電流の大きさを1C (1It) と定義しています。

例えば、電池の容量が2000mAhだとしたら、1Cは2000mAとなります。1/10Cは、200mAh

急速充電の電流1C以下で、充電時間の目安は1時間となります。電池を劣化させる恐れがあるので、一般には普通充電1/10Cで、10数時間かけて充電します。

24

図 4 二次電池の充電方法(テキスト抜粋)

## 5. 安全教育の実施および評価

2019年12月4日3、4時限目を用いて、本安全テキストを用いた安全教育を、東北職業能力開発大学 応用課程 生産電気システム技術科1年生22名に行った。

表4に習得度の測定結果を示す。受講前の習得度における「はい、どちらかと言えばはい」の割合では、「発熱からの保護」が27.3%、「事故後の処理」が36.4%と低かったが、受講後には100%となった。

表5に確認テストの結果を示す。受講前の確認テストの正答率では、Cレート (Itレート) のアンペア換算4.5%、電線の許容電流13.6%と低かったが、受講後には上昇した。

授業評価アンケートも好評価であったことから、安全教育における本テキストの有用性が示された。

表 4 習得度の測定結果

	はい、どちらかと言えばはいの割合[%]	
	受講前	受講後
1. 二次電池を過電流から保護する方法が分かる	50.0	100
2. 二次電池を発熱から保護する方法が分かる	27.3	100
3. 二次電池の充電方法が分かる	40.9	100
4. 回路の電圧、電流、抵抗を測定する方法が分かる	81.8	100
5. 安定化電源を用いた安全な実験手順が分かる	59.1	100
6. 端子、工具を絶縁する方法が分かる	63.6	100
7. 感電、火花から身を守る保護具が分かる	59.1	100
8. 二次電池を適切に保管する方法が分かる	40.9	100
9. 事故後の処理が分かる	36.4	100
10. 実習場の消火器および水道の場所が分かる	40.9	95.5

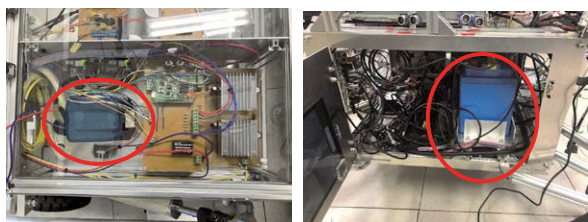
表 5 確認テストの結果

出題項目	正答率[%]	
	受講前	受講後
1 過電流保護	81.8	77.3
2 電池の容量 (電流×時間)	68.2	95.5
3 充電電流 (Cレート)	4.5	77.3
4 電線の許容電流	13.6	95.5
5 難燃性素材	63.6	77.3

## 6. 1年後の訓練効果

本安全テキストによる安全教育を行った学生が2年生となり開発課題に取り組んだ。開発課題には6テーマあり、その中の2テーマA-2「買い物アシスト付き電動歩行器の製作」、B-3「ソーラーパネル異常発見ロボットの開発」が二次電池を用いた。

図5にそれぞれが用いた二次電池を示す。選定した二次電池は、表6に示す仕様となり、どちらのテーマも、電圧・容量、サイズ、重さからエネルギー密度の高いリチウムイオン蓄電池を選定した。



(a)テーマA-2

(b)テーマB-3

図5 開発課題における二次電池

表6 二次電池の仕様

	テーマA-2	テーマB-3
種類	リチウムイオン	リン酸鉄リチウムイオン
メーカー・型番	マキタ(日本) BL1860B	O'Cell(中国) IFM24-200E2
電圧・容量	18V、6Ah	25.6V、20Ah
サイズ	208 × 79 × 149 mm	195 × 129 × 182mm
重量	0.66kg	約5.5kg
保護回路	内蔵	内蔵
価格	約2万円	約6万円

2021年3月5日に2つのテーマの学生から二次電池の取扱い作業に関する安全対策について聞き取り調査を実施し、表7にまとめた。どちらのテーマも設計および作業において安全対策がなされており、とくにテーマB-3では過電流検出、データロガーに

よる電圧・電流・速度の記録、電池の残量検出まで行っていた。これらのことから、本テキストによる安全教育の効果が持続していることが示された。しかし、通電の実験において手袋をしなかったとの回答には、今後の周知徹底が求められる。

表7 二次電池の取扱い作業に関する安全対策

	テーマA-2	テーマB-3
過電流保護	・過電流遮断器 ・モータドライバ内蔵	・電流センサによる過電流検出 ・過電流遮断器 ・モータドライバ内蔵
発熱保護	・モータドライバ内蔵	・モータドライバ内蔵
充電方法	・専用の充電器 ・実習中に充電	・専用の充電器 ・実習中に充電
測定方法	・クランプ電流計 ・テスタ	・電流センサからマイコンに取り込み ・データロガーからディスプレイに表示
実験手順	・実験成功まで安定化電源を使用 ・動力系は電気料のみ配線	・実験成功まで安定化電源を使用 ・動力系は電気料のみ配線
端子、工具の絶縁	・端子は絶縁テープ またはキャップで絶縁	・端子は絶縁テープ またはキャップで絶縁
保護具	・通電の実験で手袋を未着用	・通電の実験で手袋を未着用
二次電池の保管	・内蔵の残量表示を元に充電 ・端子の絶縁	・製作した残量表示を元に充電 ・端子の絶縁

## 7. おわりに

本論文では、二次電池の取扱い作業に関する実践的な安全テキストを開発し、安全教育を実施および1年後の訓練効果から、本テキストの有用性を示した。

本テキストは、二次電池の危険疑似体験によるインパクトある「映像」や「実体験」、ならびに安全対策がまとめられている。安全意識の持続と、安全対策の確認によって、事故なく開発課題が進められたのは最大の成果である。

### 【参考文献】

- (独)製品評価技術基盤機構(NITE)：5年で2倍以上に！リチウムイオンバッテリー搭載製品の事故、News Release、2019
- 半田有通、後藤康孝：実践技術者のための安全衛生工学、(一社)職業訓練教材研究会、2017
- 自動車整備業におけるリスクアセスメントマニュアル作成委員会：自動車整備業におけるリスクアセスメントマニュアル、厚生労働省・中央労働災害防止協会、2009
- 狩野隆志：二次電池の取扱い作業に関する安全テキストの開発、職業能力開発総合大学校高度養成課程令和元年度研究論文、2020

# 接合金物を用いない木質フレームに設置した 木質パネルが面内せん断強度性能に及ぼす影響

松岡 亘\*<sup>1</sup>, 渡邊 翔真\*<sup>1</sup>, 高橋 康太\*<sup>1</sup>, 千葉 春香\*<sup>1</sup>  
畑中 愛香\*<sup>1</sup>, 松田 雄介\*<sup>1</sup>, 結城 明香里\*<sup>1</sup>

## Effect of Wood Panel installed on a Wood Frame without Joining Hardware of Shear Strength Performance

MATSUOKA Takashi\*<sup>1</sup>, WATANABE Shoma\*<sup>1</sup>, TAKAHASHI Kota\*<sup>1</sup>  
CHIBA Haruka\*<sup>1</sup>, HATANAKA Aika\*<sup>1</sup>, MATSUDA Yusuke\*<sup>1</sup>, YUKI Akari\*<sup>1</sup>

**要約** 建築分野においても、SDGs 達成に向けた取り組みとして、森林資源の活用を促進するため、公共建築物の木造化の推進や、国土強靱化計画を念頭に置いた取り組みが行われている。公共建築物の木造化においては、接合金物の併用が主流で、建物の重量が重くなる傾向にある。そこで、接合部に金物を用いない木質フレームの面内せん断強度性能ならびにそのフレーム内に木質パネルを設置したことによる面内せん断強度性能に及ぼす影響を明らかにした。その結果、木質フレーム内に木質パネルを設置することで、一般的に用いられる鉛直構面耐力要素の降伏耐力の 2.31 倍となり、ばらつきの小さい安定した強度性能を有することが明らかとなった。

### 1. 緒言

2015 年 9 月に開催された国連サミットにおいて、「誰一人取り残さない」持続可能で多様性と包摂性のある社会の実現のため、2030 年を年限とする 17 の国際目標を持続可能な開発目標 (SDGs) として全会一致で採択した。この 17 の国際目標の中には、陸の豊かさを守る内容も含まれている。このことは、陸上にある森林資源をこれまで以上に活用し、「植える・育てる・伐採する」の循環を構築することを意味していると考えられる。

また、我が国において、「SDGs アクションプラン 2020」として、改定された SDGs 実施指針の下、今後の 10 年を 2030 年の目標達成に向けた「行動の 10 年」とすべく、2020 年に実施する政府の具体的

な取組を盛り込んだ。この中で、日本の SDGs モデルとして、「SDGs を原動力とした地方創生、強靱かつ環境に優しい魅力的なまちづくり」「ビジネスとイノベーション」を含む 3 本柱を中心に展開を加速していくとしている<sup>1)</sup>。

このような中、建築分野においても、SDGs 達成に向けた取り組みとして、森林資源の活用を促進するため、公共建築物の木造化の推進や、国土強靱化計画を念頭に置いた取り組みが行われている。特に、公共建築物の木造化においては、大空間が必要となる場合が多く、高い強度と強度性能の安定した木質材料や接合部が必要となる。そのため、木質材料として、集成材や直交集成板などが用いられ、接合部には金物が併用される仕様となることが多い。しかしながら、接合部に金物を併用することにより、建物の重量が重くなる傾向にあり、また、物理的性質

\*1 東北職業能力開発大学校 建築施工システム技術科  
Tohoku Polytechnic College  
Department of Architectural Systems Engineering

が異なる材料を用いていることから、最適な組み合わせであるとは考えにくい。このことから、これまでに筆者らは、金物に依存しない接合部の開発<sup>2)</sup>を行い、最適な接合部を見出すことができた。しかしながら、その接合部を用いて構成した木質フレームの強度性能の把握は行われていない。

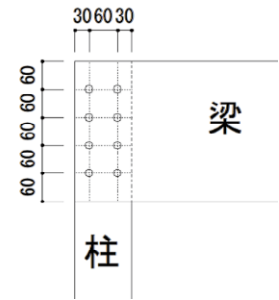
そこで、本稿では、接合部に金物を用いない木質フレームの面内せん断強度性能ならびにそのフレーム内に木質パネルを設置したことによる面内せん断強度性能に及ぼす影響を明らかにしたので報告する。

## 2. 材料と方法

木質フレームにおいて、柱材は、強度性能が明確であり、品質の安定している構造用集成材とした。断面寸法は、120mm×120mm とし、最外層にベイマツ (*Pseudotsuga menziesii* Franco)、中間層ならびに内層にスギ (*Cryptomeria japonica* D. Don) で構成した異樹種異等級構成集成材、強度等級は、E120-F330 とした。梁材は、断面寸法 120mm×300mm とし、柱材と同様の異樹種異等級構成集成材ならびに強度等級とした。

柱梁接合部は、既往研究<sup>2)</sup>を参考に、図1(a)に示すようにアラレ組みの構成とした。その後<sup>3)</sup>にφ15のドリル刃を電気ドリルに装着し、図1(b)に示す位置に込み栓用の孔をあけた。込み栓は、樹種をカシとし、φ15、長さ150mmのものを用い、込み栓用の孔に打ち込んだ。

木質パネルは、断面寸法や長さ寸法の自由度が高く、近年注目されている直交集成板に採用されている構成で作製した。木質パネルは、断面寸法15mm×90mmのスギ材を繊維方向が互いにほぼ直交するように7層で構成し接着した。接着には、水性高分子イソシアネート系木材接着剤(オーシカ TP-111)に架橋剤(オーシカ H-3M)を配合比100:15の割合で加えたものを用いた。接着剤塗布後、プレス機にて1週間程度加圧養生を行った。作製した木質パネルは、既往研究<sup>3)</sup>から図2に示すように木質フレーム内に袖壁ならびに垂壁となるように設置することとしたが、プレス機の性能上、一度に所定の長さを確保できないため、所定の長さになるよう



(a) 柱梁接合部

(b) 込み栓打ち込み位置

図1 柱梁接合部

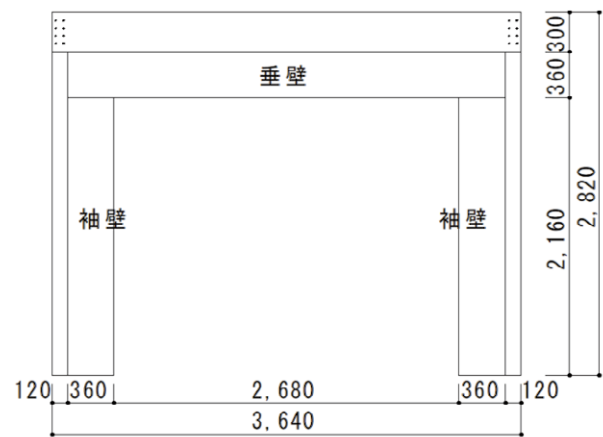
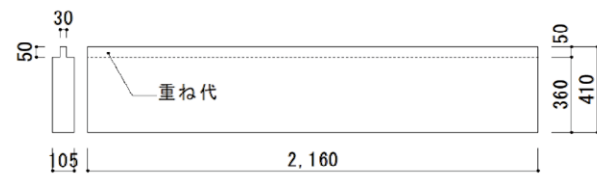
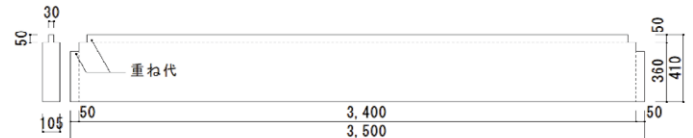


図2 木質フレーム内に設置した木質パネル



(a) 袖壁



(b) 垂壁

図3 木質パネル

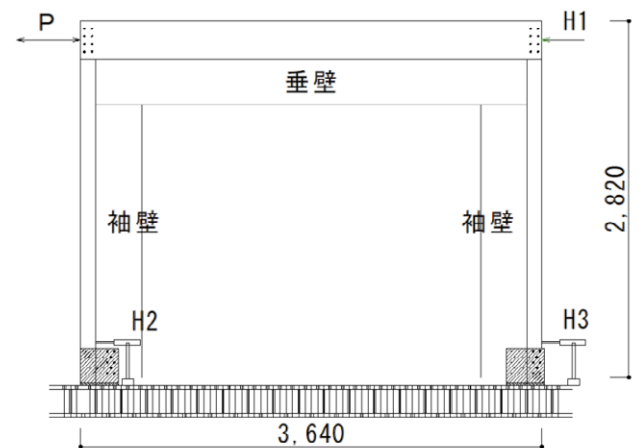


図4 面内せん断強度性能試験概要



木質パネル同士を接合することとした。接合箇所は、1か所とし、その接合方法は、幅 50mm、高さ 30mm の凹凸を設け、接着剤を塗布後、嵌め合いし、プレス機にて1週間程度加圧養生を行った。その後、所定の寸法になるよう携帯用丸ノコを用いて成型することとした。成型する袖壁ならびに垂壁の寸法は、2020年に松岡らが袖壁に薄物CTLを併用した金物を用いない木質ラーメン架構の挙動と応力性状を明らかにするために、3種類の幅の袖壁を設置し、面内せん断試験を行った。その結果、袖壁を設置することは、有効であるが、その幅を大きくしても、構造特性係数等が向上することは認められないことや幅 360mm の袖壁を設置した試験体が構造性能に優れているなどと報告<sup>9)</sup>している。このことから、柱材ならびに梁材に挿入するための突出部分 50mm を含め幅 410mm、袖壁の長さを図 3 (a) に示すように 2,160mm、垂れ壁の長さを図 3 (b) に示すように 3,500mm となるよう携帯用丸ノコと用いて成型した。

柱材と袖壁ならびに梁材と垂壁の接合は、柱芯ならびに梁芯に幅 30mm、深さ 50mm のスリットを設け、そのスリットに袖壁または垂壁の突出部を挿入、230mm 間隔に込み栓で固定した。なお、袖壁と垂壁については、接合しないものとした。

木質フレームならびに木質パネルを設置した木質フレームの面内せん断強度性能は、公共建築物等での適用も考慮して、「木造ラーメンの評価方法・構造設計の手引き 2016年版」<sup>4)</sup>に準拠し、図 4 に示すように、最小スパン無載荷の門型ラーメン面内せん断試験で確認することとした。試験体数は、各 3 体とし、その後、面内せん断試験で得られた結果をもとに、各試験体の面内せん断強度性能を評価することとした。

### 3. 結果と考察

面内せん断試験から得られた代表的な荷重変形角曲線を図 5 に示す。図 5 より木質フレームは、変形角が増大しても、著しい荷重の低下がみられないまま変形角が約 1/12 rad. で荷重が低下し、終局を迎えた。また、破壊性状においては、著しい破壊は生じておらず、柱梁接合部においても同様の性状を示した。次に、試験により得られた荷重変形角曲線より包絡線を作成し、特徴点抽出自動化ツール<sup>5)</sup>を用いて評価した代表的な面内せん断強度性能を表 1 に示す。表 1 より、降伏耐力は、平均で 3.242kN、終局耐力は、平均で 4.486kN、構造特性係数は、平均で 0.823 と算出された。降伏耐力においては、木質フレーム内に木質フレームを拘束するものが存在していないことや主たる構造要素が柱梁接合部のみであることから、このような低い値になったと示唆される。また、終局耐力においては、降伏耐力の 1.38 倍であることから、木質フレームが降伏後、約 3 割程度の余力をもって終局を迎えていると判断できる。さらに、構造特性係数においては、一般的な鉛直構面耐力要素の値と比較して、高い値となっていることから、余力をもって終局を迎えていると判断できたが、総合的には靱性の低い木質フレームであることが認められた。

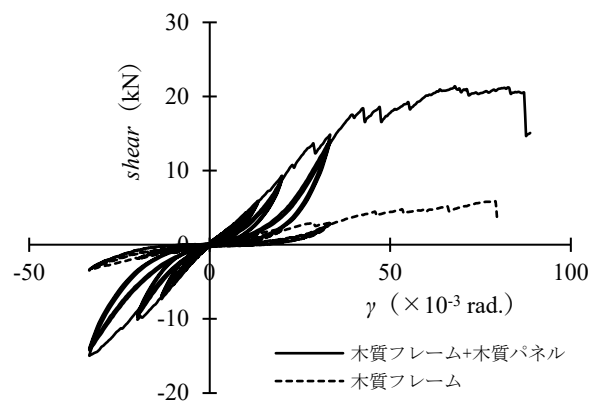


図5 代表的な荷重変形角曲線

表1 木質フレームの代表的な面内せん断強度性能

No.	$P_{max}$ (kN)	$P_y$ (kN)	$K$ (kN/rad.)	$E$ (J)	$P_u$ (kN)	$D_s$
1	3.536	2.002	0.067	109.325	3.669	0.957
2	5.877	4.675	0.090	269.619	5.671	0.816
3	4.741	3.050	0.113	154.770	4.117	0.697
Avg.	4.718	3.242	0.090	177.905	4.486	0.823
SD	1.171	1.347	0.023	82.613	1.051	0.130
CV	0.248	0.415	0.253	0.464	0.234	0.158

注)  $P_{max}$ : 最大耐力,  $P_y$ : 降伏耐力,  $K$ : 初期剛性,  $E$ : エネルギー,  $P_u$ : 終局耐力,  $D_s$ : 構造特性係数, Avg.: 算術平均, SD: 標準偏差, CV: 変動係数を示す。

次に、図5より木質パネルを設置した木質フレームは、木質フレームと同様に変形角が増大しても、著しい荷重の低下がみられないまま変形角が約1/12 rad.で荷重が低下し、終局を迎えた。また、破壊性状においては、袖壁ならびに垂壁ともに著しい破壊は生じておらず、柱梁接合部においても同様の性状を示した。次に、試験により得られた荷重変形角曲線より包絡線を作成し、特徴点抽出自動化ツール<sup>5)</sup>を用いて評価した代表的な面内せん断強度性能を表2に示す。表2より降伏耐力は、平均で16.510kN、終局耐力は、平均で18.941kN、構造特性係数は、平均で0.622と算出された。降伏耐力においては、一般的な木造建築物に用いられる鉛直構面耐力要素である耐力壁が1.96kN/mであることから、その2.31倍の値となった。このことから、木質フレーム内全面に木質パネルを設置しなくても、最低限の耐力は確保できると考える。したがって、袖壁と垂壁を設置し、居室空間を担保できる耐力要素であることが示唆される。また、終局耐力においては、降伏耐力の1.15倍であることから、降伏後、約1割程度の余力しかない状況で終局を迎えていると判断できる。さらに、構造特性係数においては、一般的な鉛直構面耐力要素の値と比較して、同程度となっていることから、余力がない状況で終局を迎えていると判断できたが、木質パネルを設置することにより、総合的には、ある程度靱性を有することが認められた。

また、表1と表2を比較すると、木質パネルを木質フレーム内に設置することにより、すべての面内せん断強度性能が向上していた。さらに、木質パネルを木質フレーム内に設置することで、面内せん断強度性能の変動係数が、3割から6割の改善が認められたことから、ばらつきが小さく安定した強度性能を有することが示唆された。

#### 4. 結論

接合部に金物を用いない木質フレームの面内せん断強度性能ならびにそのフレーム内に木質パネルを設置したことによる面内せん断強度性能に及ぼす影響について明らかにした結果、今回の試験において、以下の3点が明らかとなった。

- (1) 木質フレームのみでは、靱性の低い木質フレームであることが認められた。
- (2) 木質フレーム内に木質パネルを設置することで、一般的に用いられる鉛直構面耐力要素の降伏耐力の2.31倍の値となった。
- (3) 木質フレーム内に木質パネルを設置することで、ばらつきの小さい安定した面内せん断強度性能を有する。

#### [参考文献]

- 1) 外務省：JAPAN SDGs Action Platform、  
[https://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/oda/sdgs/pdf/sdgs\\_gaiyou\\_202009.pdf](https://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/oda/sdgs/pdf/sdgs_gaiyou_202009.pdf)、2021年2月22日確認
- 2) 松岡 亘ほか：木質構造建築物における圧縮木材を利用したモーメント抵抗接合部の開発、第16回東北ポリテックビジョン予稿集、pp.130-131、2018年2月
- 3) 松岡 亘ほか：接合金物を用いない木質ラーメン架構を耐震要素とした木造住宅への適用に関する実験的研究、東北職業能力開発大学校紀要第30号、pp.25-28、2020年5月
- 4) 日本住宅・木材技術センター：木造ラーメンの評価方法・構造設計の手引き、pp.第2章-7-第2章-13、2016年3月
- 5) 国立研究開発法人 森林研究・整備機構：特徴点抽出自動化ツール、  
<https://www.ffpri.affrc.go.jp/labs/etj/karube/PickPoint/Pre/>、2020年12月18日確認

表2 木質パネルを設置した木質フレームの代表的な面内せん断強度性能

No.	$P_{max}$ (kN)	$P_y$ (kN)	$K$ (kN/rad.)	$E$ (J)	$P_u$ (kN)	$D_s$
1	21.377	16.735	0.441	1287.390	19.968	0.592
2	19.480	16.435	0.503	709.661	16.396	0.614
3	27.167	16.359	0.408	929.278	20.458	0.659
Avg.	22.675	16.510	0.451	975.443	18.941	0.622
SD	4.004	0.199	0.048	291.618	2.218	0.034
CV	0.177	0.012	0.106	0.299	0.117	0.055

注)  $P_{max}$ : 最大耐力,  $P_y$ : 降伏耐力,  $K$ : 初期剛性,  $E$ : エネルギー,  $P_u$ : 終局耐力,  $D_s$ : 構造特性係数, Avg.: 算術平均, SD: 標準偏差, CV: 変動係数を示す。

# 乾燥材齢 182 日までのコンクリートの乾燥収縮率の測定

## —加熱改質フライアッシュを使用したコンクリートの有効性について—

佐竹 重則\*1

Measurement for Drying Shrinkage of Concrete up to 182 days of Drying Age  
- Effectiveness of Concrete using Carbon-free Fly Ash -

SATAKE Shigenori\*1

**要約** 令和元年度から石巻市にある生コンクリート工場と各年度 4 種類の配合で乾燥材齢 182 日までのコンクリートの乾燥収縮率の測定をメインとした試験を行っている。この工場では環境に配慮した調合設計に取り組んでおり、高炉スラグや加熱改質フライアッシュを活用している。今回の研究で乾燥収縮率は、同じセメントを使用した場合の比較では、混和材として加熱改質フライアッシュ (CfFA) を使用した設計の方が小さくなり、材齢 182 日の圧縮強度と静弾性係数では、高炉セメント B 種を用いたコンクリートと混和材として CfFA を使用したコンクリートが大きくなる傾向が分かった。

## 1. はじめに

平成 22 年度から平成 30 年度までは、近隣地域の生コン工場と乾燥材齢 182 日におけるコンクリートの乾燥収縮率についての共同研究を行い、6 工場が同一配合におけるコンクリートを製造して、乾燥収縮率のデータを蓄積してきた。

各工場ではコンクリートの乾燥収縮率を小さくし、経済的に製造できるように改善を重ね、ユーザーに対して乾燥材齢 182 日後の乾燥収縮率の目安値を示すことができるデータを蓄積してきた<sup>1)</sup>。

令和元年度からは、石巻市にある株式会社平成生コンクリートと各年度 4 種類の配合で乾燥材齢 182 日までのコンクリートの乾燥収縮率の測定をメインとした研究を行っている。令和 2 年度は乾燥収縮

率の測定と材齢 7 日、28 日、182 日における静弾性係数試験を行った。この実験による成果は、生コン工場がユーザーに対し、自社製品の乾燥材齢 182 日の乾燥収縮率や硬化コンクリートの強度性状について目安となる数値を提示することができ、乾燥材齢 182 日のコンクリートの乾燥収縮について事前に協議することができる等、自社製品の品質管理でメリットとなる。本稿では、これまで 2 年間の研究の成果について報告する。

## 2. 試験方法

### 2.1 試験概要

今回の供試体に使用された材料を表 1 に示す。

令和元年度は、①標準配合として、普通ポルトランドセメント (以下、普通セメント) を使用した 24-12-20N (配合名 : 24-12-20N)、②標準配合に混和

\*1 東北職業能力開発大学校 建築施工システム技術科  
Tohoku Polytechnic College  
Department of Architectural Systems Engineering

材として加熱改質フライアッシュ（以下、CfFA）を使用した配合（配合名：24-12-20N FA）、③標準配合に混和材としてコンクリート膨張剤（以下、EX）を使用した配合（配合名：24-12-20N EX）、④早強ポルトランドセメント（以下、早強セメント）と粗骨材に石灰石を使用した配合 40-15-20H（配合名：40-15-20H）で供試体を製造し（表 2）、セメント及びコンクリートの長さの変化測定方法—第 2 部：コンタクトゲージ方法（JIS A 1129-2）に基づき 182 日までの乾燥収縮率の測定と材齢 28 日でのコンクリートの静弾性係数試験（JIS A 1149）を実施した。

また、令和 2 年度は、①標準配合として、普通セメントを使用した 24-15-20N（配合名：24-15-20N）、②高炉セメント B 種（以下、高炉セメント）を使用した配合 24-15-20BB（配合名：24-15-20BB）、③早強セメントを使用した 24-15-20H（配合名：24-15-20H）、④高炉セメントに混和材として CfFA を使用した 24-15-20BB（配合名：24-15-20BB FA）で供試体を製造し（表 3）、182 日までの乾燥収縮率の測定と材齢 28 日でのコンクリートの静弾性係数試験（JIS A 1149）に材齢 7 日、材齢 182 日を追加して実施した。

## 2.2 乾燥収縮率の測定

乾燥収縮率の測定は JIS A 1129-2 に準拠し、採取日から 7 日目に測定用のゲージプラグを取り付け、恒温恒湿庫（温度：20±2℃、相対湿度：60±5%）で養生を行う。8 日目にそれぞれの供試体の基長（0 日）を測定し、乾燥材齢 182 日間までコンクリートの乾燥収縮量を測定する。コンクリートの乾燥収縮

率は特記がない場合、「計画供用期間の級が長期および超長期のコンクリートでは 800μ以下」と定められており、この値を超える場合には、工事監理者の承認を受ける必要がある<sup>2)</sup>。

## 2.3 静弾性係数の測定

本研究では、乾燥収縮率の他に硬化したコンクリートの試験として、圧縮強度および静弾性係数を確認した。圧縮強度および静弾性係数の試験は、それぞれ、JIS A 1108、JIS A 1149 に準拠し、標準水中養生を所定の材齢までおこなった円柱供試体（φ100×200mm）の値とする。

表 1 使用材料

使用材料		
材料	記号	仕様
セメント	C1	普通ポルトランドセメント、密度 3.16g/cm <sup>3</sup>
	C2	早強ポルトランドセメント、密度 3.14g/cm <sup>3</sup>
	C3	高炉セメントB種、密度 3.04g/cm <sup>3</sup>
混和材	CfFA	加熱改質フライアッシュ、密度 2.15g/cm <sup>3</sup>
	EX	コンクリート用膨張材、密度 3.16g/cm <sup>3</sup>
細骨材	S1	山砂、表乾密度 2.57g/cm <sup>3</sup> 、F.M 2.65
	S2	陸砂、表乾密度 2.59g/cm <sup>3</sup> 、F.M 2.50
	S3	砕砂、表乾密度 2.66g/cm <sup>3</sup> 、F.M 3.00
粗骨材	G1	砕石1505、表乾密度 2.70g/cm <sup>3</sup>
	G2	砕石2010、表乾密度 2.70g/cm <sup>3</sup>
	G3	砕石2005（石灰石砕石）、表乾密度 2.70g/cm <sup>3</sup>
混和剤 (令和元年度)	AD1	AE減水剤 標準形 I 種 有機酸系誘導体と芳香族高分子化合物
	AD2	AE減水剤 標準形 I 種 変性リグニンスルホン酸化合物とポリカルボン酸系化合物の複合体
	AD3	高性能AE減水剤 標準形 I 種 ポリカルボン酸コポリマー
混和剤 (令和2年度)	AD4	AE減水剤 標準形 I 種 リグニンスルホン酸塩とオキシカルボン酸塩
	AD5	AE減水剤 標準形 I 種 リグニンスルホン酸塩とポリカルボン酸系化合物

表 2 令和元年度 コンクリートの配合

配合名	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )															
			W	C1	C2	C3	CfFA	EX	S1	S2	S3	G1	G2	G3	AD 1	AD 2	AD 3	
24-12-20N	54.5	44.2	166	305	—	—	—	—	—	394	239	163	524	522	—	3.05	—	—
24-12-20N FA	49.0	41.6	163	300	—	—	33、33	—	—	208	210	288	540	538	—	—	3.33	—
24-12-20N EX	54.5	44.2	166	285	—	—	—	20	—	394	239	163	524	522	—	3.05	—	—
40-15-20H	40.0	42.2	165	—	413	—	—	—	—	502	215	—	—	927	103	—	—	4.13

※24-12-20N FA配合のW/CはW/Bとし、CfFAの単位量は内割り、外割りとする

表 3 令和 2 年度 コンクリートの配合

配合名	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )														
			W	C1	C2	C3	CfFA	EX	S1	S2	S3	G1	G2	G3	AD4	AD5	
24-15-20N	54.5	45.0	173	318	—	—	—	—	—	633	—	163	508	505	—	3.18	—
24-15-20BB	52.0	43.6	171	—	—	329	—	—	—	607	—	157	513	516	—	3.29	—
24-15-20H	52.0	44.0	177	341	—	—	—	—	—	607	—	157	508	505	—	3.41	—
24-15-20BB FA	47.0	41.3	166	—	—	319	35、35	—	—	402	—	276	530	532	—	—	3.54

※24-15-20BB FA配合のW/CはW/Bとし、CfFAの単位量は内割り、外割りとする

### 3. 試験結果および考察

#### 3.1 乾燥収縮率の測定結果

令和元年度の乾燥収縮率を表 4、図 1、令和 2 年度の乾燥収縮率を表 5、図 2 に示す。

令和元年度の乾燥収縮率は設計強度が最も大きく、粗骨材に石灰石を使用した 40-15-20H が  $368\mu$  で最も小さい値であった。他の 3 つの配合では混和材に CfFA を使用した 24-12-20N FA が  $563\mu$ 、混和材で EX を使用した 24-12-20N EX が  $589\mu$  と大差のない値であった。標準配合とした普通セメントを使用した 24-12-20N は最も大きく  $625\mu$  であった。

令和 2 年度は早強セメントを使用した 24-15-20H が  $606\mu$  と最も小さい値であったが、普通セメントを使用した 24-15-20N も  $610\mu$ 、高炉セメントに混和材で CfFA を使用した 24-15-20BB FA が  $612\mu$  とほとんど差がなかった。高炉セメントを使用した 24-15-20BB も  $636\mu$  で 4 つの配合の差は 5%以内であった。

表 4 令和元年度 乾燥収縮率の結果

配合名	0日	1日	7日	14日	28日	56日	91日	182日
24-12-20N	0	-44	-156	-242	-376	-498	-557	-625
24-12-20N FA	0	-29	-124	-206	-335	-458	-496	-563
24-12-20N EX	0	-29	-94	-204	-328	-440	-508	-589
40-15-20H	0	-3	-74	-144	-229	-267	-304	-368

表 5 令和2年度 乾燥収縮率の結果

配合名	0日	1日	7日	14日	28日	56日	91日	182日
24-15-20N	0	-30	-138	-217	-363	-501	-566	-610
24-15-20BB	0	-30	-152	-213	-349	-477	-543	-636
24-15-20H	0	-8	-144	-205	-313	-439	-530	-606
24-15-20BB FA	0	-12	-159	-219	-338	-455	-531	-612

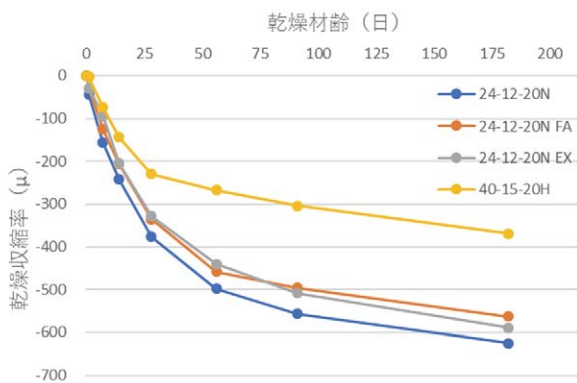


図 1 令和元年度 乾燥収縮率の結果

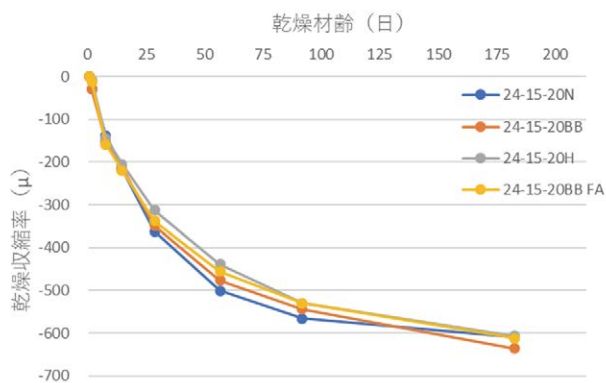


図 2 令和2年度 乾燥収縮率の結果

#### 3.2 圧縮強度と静弾性係数の測定結果

令和元年度の圧縮強度と静弾性係数を表 6、令和 2 年度の圧縮強度と静弾性係数を表 7、図 3 に示す。

##### 3.2.1 圧縮強度

令和元年度は材齢 28 日に試験を行なった。最大値は設計強度が最も大きい 40-15-20H が  $52.6\text{ N/mm}^2$  で、24-12-20N は  $35.1\text{ N/mm}^2$ 、24-12-20N FA は  $36.6\text{ N/mm}^2$  と差が小さかった。24-12-20N EX は  $31.6\text{ N/mm}^2$  で標準配合である 24-12-20N に比べ約 10%低下した値となった。

令和 2 年度は材齢 7 日、28 日、182 日に試験を行ない、材齢 7 日の強度は早強セメントを使用した 24-15-20H が  $31.9\text{ N/mm}^2$  で最大となり、高炉セメント B 種を使用した 24-15-20BB と 24-15-20BB FA が設計強度に約 5~16%満たない値であった。材齢 28 日では 24-15-20H と 24-15-20BB FA が  $36.0\text{ N/mm}^2$ 、 $36.2\text{ N/mm}^2$  とほぼ同じ値となった。材齢 182 日では 24-15-20BB FA が  $51.5\text{ N/mm}^2$  で最も大きく、24-15-20BB が  $43.9\text{ N/mm}^2$  となり、高炉セメントと CfFA の特長である長期にわたる強度増進が要因と考える。

##### 3.2.2 静弾性係数

令和元年度は材齢 28 日のみの計測だったが、設計強度が大きい早強セメントを使用した 40-15-20H が  $39.3\text{ kN/mm}^2$  で最も大きい値だった。24-12-20N は  $31.6\text{ kN/mm}^2$ 、24-12-20N EX が  $32.6\text{ kN/mm}^2$  と大差がなく、混和材に CfFA を使用した 24-12-20N FA が  $27.1\text{ kN/mm}^2$  と最も小さい値となった。いずれの値も JASS5 のヤング係数の算定

式 2) で計算される値の 80%以上の範囲内であることを確認した。

令和 2 年度は材齢 7 日、28 日、182 日に試験を行ない、早強セメントを使用した 40-15-20H が材齢 7 日目で 29.2kN/mm<sup>2</sup>となり、他の配合よりも短期間で大きい値となった。混和材に CfFA を使用した 24-15-20BB FA は 7 日目で 25.0 kN/mm<sup>2</sup>、28 日目は 30.4 kN/mm<sup>2</sup>、182 日目は 37.6 kN/mm<sup>2</sup> となり、圧縮試験結果と同様に高炉セメントを用いた 24-15-20BB よりも長期で増進している。

普通セメントを用いた 24-15-20N と高炉セメントを用いた 24-15-20BB の比較では、7 日目が 27.8 kN/mm<sup>2</sup> と 23.7 kN/mm<sup>2</sup>、28 日目で 30.6 kN/mm<sup>2</sup> と 27.6 kN/mm<sup>2</sup>、182 日目で 31.8 kN/mm<sup>2</sup> と 33.9 kN/mm<sup>2</sup> となり、182 日目の測定結果から高炉セメントを使用した配合では長期で増進するという特長を確認することができた。

表 6 令和元年度 圧縮強度、静弾性係数試験の結果

配合名	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )			静弾性係数 (kN/mm <sup>2</sup> )		
	7日	28日	182日	7日	28日	182日
24-12-20N		35.1			31.6	
24-12-20N FA		36.6			27.1	
24-12-20N EX		31.6			32.6	
40-15-20H		52.6			39.3	

表 7 令和2年度 圧縮強度、静弾性係数試験の結果

配合名	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )			静弾性係数 (kN/mm <sup>2</sup> )		
	7日	28日	182日	7日	28日	182日
24-15-20N	24.0	30.1	35.8	27.8	30.6	31.8
24-15-20BB	20.2	32.3	43.9	23.7	27.6	33.9
24-15-20H	31.9	36.0	40.3	29.2	31.1	32.2
24-15-20BB FA	22.8	36.2	51.5	25.0	30.4	37.6

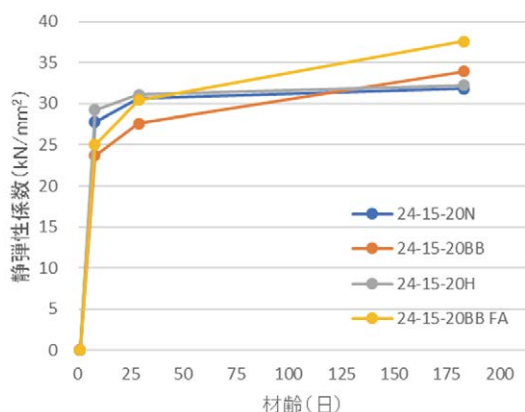


図 3 令和2年度 静弾性係数試験の結果

## 4. 結論

乾燥材齢 182 日までのコンクリートの乾燥収縮と材齢 182 日までの圧縮強度と静弾性係数について、令和元年、令和 2 年の研究結果から以下のことが得られた。

- (1) 普通セメントを使用した場合の乾燥収縮率は、混和材として CfFA を使用した設計の方が小さくなった。
- (2) 乾燥収縮率は、普通セメントと高炉セメント B 種と早強セメントを用いた配合を比較すると、高炉セメント B 種を用いた配合の方が大きくなった。
- (3) 材齢 182 日での圧縮強度と静弾性係数は、高炉セメント B 種を用いたコンクリートと混和材として CfFA を使用したコンクリートが大きくなった。

## 5. おわりに

生コン工場が自社の代表的な配合についての乾燥収縮率のデータを把握しておくことで品質管理の向上に繋がり、施工者からの問い合わせ等に応じることができるため、こうした試験データの収集は有益であると考えます。

今回、乾燥材齢 182 日までの乾燥収縮率の測定と圧縮試験と静弾性係数試験を合わせて実施することで、混和材として CfFA を使用したコンクリートの長期強度の増進が確認できた。高炉セメントの使用と合わせて CO<sub>2</sub> 排出量の削減にも繋がり、環境に配慮した取組みと考える。今後、別の性能試験も合わせて研究を進めていきたい。

## [参考文献]

- 1) 佐竹重則ほか：乾燥材齢 28 日～182 日におけるコンクリートの乾燥収縮量推定－平成 23 年度～27 年度－、東北職業能力開発大学校紀要、第 27 号、pp.28-35、2017 年 2 月
- 2) 建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事 2018、日本建築学会、pp.191-194、2018 年 7 月

# 竹活性炭を活用した建築材料の開発

## —その 1 竹活性炭における化学物質の吸着性に関する効果—

林 昇吾\*1, 松岡 亘\*2, 千葉 春香\*2, 山田 春\*1

Development of Architectural Materials using Bamboo Activated Carbon  
- Chemical Substance Adsorption Effect of Bamboo Activated Carbon -

HAYASHI Shogo\*1, MATSUOKA Takashi\*2, CHIBA Haruka\*2, YAMADA Shun\*1

**要約** 建築材料から発散される化学物質によって室内空気が汚染され、その空気を人間が体内に吸い込むことによって健康障害を引き起こす。法規制によって化学物質の使用制限や換気回数の規定などを定めたが健康被害はなくなる。そこで、株式会社バンブーファクトリーとの共同研究において、竹活性炭を活用し、化学物質に対する吸着性能を有した建築材料の開発に取り組んでいる。本稿では、竹活性炭を湿式工法の材料として使用できるよう漆喰と配合させ、アンモニア、ホルムアルデヒド、 $\alpha$ -ピネンの化学物質に対して吸着試験を行い、空気汚染物質を除去・低減する可能性について検討した。その結果、アンモニアおよびホルムアルデヒドに対して十分な吸着性能を有しており、竹活性炭を湿式工法として室内に使用することで、空気汚染物質を除去・低減する可能性が示唆された。

### 1. はじめに

日本では、1990 年代に、建築物の省エネルギー化に伴い、気密性が向上したことから、室内において化学物質の濃度が高まり、一時的に健康障害を起こし、「シックハウス症候群」が全国的に大きな社会問題となった。シックハウス症候群の原因は、ホルムアルデヒドや揮発性有機化合物（以下、VOC と略す）などによる化学物質と言われている。これらの物質は、塗料や接着剤等が使用されている建築材料や家具等から発散されることにより室内空気を汚染していく。このような中、シックハウス対策に

係る関係公示として 2002 年 12 月に国土交通省告示第 1112 号等が公示された。これにより、防蟻材として使用されていたクロロピリホスが使用禁止となった。また、ホルムアルデヒドでは、居室の種類、居室の換気条件および内装材からのホルムアルデヒド発散速度に応じて使用方法について規定が設けられた。さらに、ホルムアルデヒドの発散による衛生上の支障がないようにするため必要な換気量を確保することを義務化するなど様々な対策が講じられた。その結果、公益財団法人住宅リフォーム・紛争処理センターに寄せられた過去 20 年間のシックハウスに関する相談件数は、2003 年度の 446 件をピークに減少していき、2013 年度には 39 件と約 1/10 以下となり、特に、新築住宅における相談

\*1 東北職業能力開発大学校 住居環境科  
Tohoku Polytechnic College  
Department of Housing Environment

\*2 東北職業能力開発大学校 建築施工システム技術科  
Tohoku Polytechnic College  
Department of Architectural Systems Engineering

が減少した。しかし、その後は上昇傾向であり、2019年度では73件と未だに健康被害は報告されている<sup>1)</sup>。そこで、化学物質の発散が少ないことはもちろんのこと、化学物質を吸着・除去する性能を有している建築材料であればシックハウス対策に効果的であると考え、株式会社バンブーフクトリーとの共同研究において、竹活性炭を活用し、化学物質に対する吸着性能を有した建築材料の開発に取り組んでいる。竹材は、海外からの竹材輸入量の増加やプラスチック製品などの代替品の増加などにより、国内生産量が衰退している現状である。しかし、竹材は消臭効果など多くの性能を有している。また、竹活性炭を活用した建築材料は非常に少ないため、利用価値が高いと考える。なお、本研究では、専門知識を有していない方でも手軽に施工できるように漆喰と配合させ、湿式工法の材料として開発を進めている。

本稿では、竹活性炭を漆喰と配合し、化学物質に対して吸着試験を行い、空気汚染物質を除去・低減する可能性について報告する。

## 2. 竹活性炭について

今回使用した竹活性炭は、株式会社バンブーフクトリーで製造しているものである。竹活性炭は孔と呼ばれるミクロの穴が無数に空いた多孔質構造となっており、表面積が非常に大きい。図1は、走査型電子顕微鏡を用いて1300倍に拡大した竹活性炭の表面である。

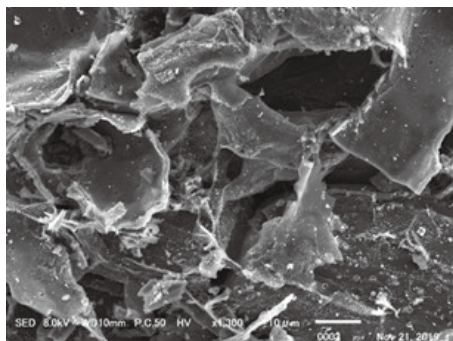


図1 1300倍に拡大した竹活性炭

通常の活性炭の表面積が800m<sup>2</sup>に対し、竹活性炭は1215m<sup>2</sup>と非常に大きい。また既往研究による

と、木・竹炭がVOCなどの化学物質や悪臭物質を吸着する性能を有することが報告されている<sup>2)</sup>。このことから、空气中に放出されたホルムアルデヒドやVOCなどの化学物質が竹活性炭の孔に入ることにより、空気汚染物質を除去すると考えられる。

## 3. 試験の概要

### 3.1 使用材料

本試験で使用した材料は、株式会社バンブーフクトリーから提供された竹活性炭と市販されている既調合漆喰（以下、漆喰と略す）を使用する。漆喰を選んだ理由は、自然素材であり化学物質の発散が非常に少ないこと、湿式工法の材料として広く使用されていること、そして漆喰が竹活性炭と同じく多孔質構造であることから漆喰を選んだ。漆喰は多孔質構造によって調湿する性能を有していることが分かっている。このことから、漆喰に竹活性炭を配合し、性能を共有することができれば、化学物質の吸着に期待ができると考えた。

### 3.2 試験体の作製

試験において、吸着性能を評価するものとして、漆喰単体を1種類、竹活性炭単体を1種類、竹活性炭と漆喰を混合させたもの（以下、竹炭漆喰と略す）を3種類の計5種類とした。竹炭漆喰の配合割合は、質量比の百分率で行い、漆喰：竹活性炭の配合割合を100:10、100:5および100:1で配合し、それぞれの材料を石膏ボードに塗布したものを試験体とした。図2に竹炭漆喰を100:5で配合した試験体を示す。



図2 竹炭漆喰の試験体



試験体の大きさは、後述する小型チャンバーの内法寸法に合わせ、500×250×9.5mmとした。所定の大きさに切断した石膏ボードに、漆喰を薄く塗り付け、1～2時間後に上記5種類を塗り付けた。また、化学物質の吸着に影響を及ぼさないように、各材料の塗布面以外をアルミホイルで覆うように仕上げた。試験体は、1つの化学物質に対しそれぞれ3体作製し、試験結果を平均したものを分析する。

### 3.3 試験方法

試験は、JIS A 1906:2015 に準拠して行う。小型チャンバーは、アクリル板を使用し、内法寸法が250×400×500mmになるように作製した。また、試験中は、ガス検知管を差し込む為の孔をゴム栓とパテで塞ぐことで気密性を確保した。小型チャンバー内は、図3に示すように試薬を設置し、試験体は、塗布面をチャンバー内側に向けて設置した。試験時は、恒温恒湿庫に小型チャンバーを設置し、温度28.0±1.0°C、相対湿度50±5%となるように設定した。

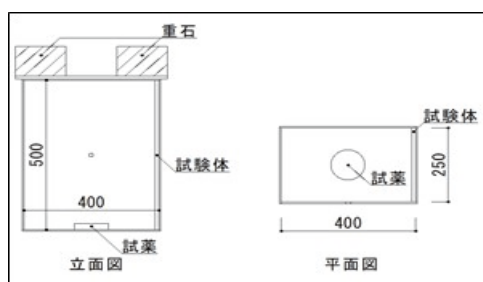


図3 試験体と試薬の設置概要

本試験に使用する化学物質は、アンモニア、ホルムアルデヒド、 $\alpha$ -ピネンを選定した。アンモニアやホルムアルデヒドは、悪臭やシックハウスの原因と考えられており、作成した試験体が吸着性能を得られるのか確認する。また、 $\alpha$ -ピネンは柔軟剤等の香料に含まれており、定期的を使用することによって化学物質が発生し、除去することが難しい物質である。そのため、今回の試験で吸着性能が確認されれば、シックハウス症候群の症状が軽減できる可能性があると考えた。また、上記の化学物質の試薬量は、表1の通りである。試薬量は、ガス検知管の測定範囲の濃度をチャンバーの容積に合わせて求めたものである。試薬量の誤差は±1.0mgとし、化学物質

濃度は、ガス検知管と真空法ガス採取器を用いて計測した。計測時間は、試験開始時、1時間後、4時間後、24時間後の計4回とした。

表1 化学物質の試薬使用量

化学物質	最大濃度(ppm)	試薬(mg)
アンモニア	250	64.0
ホルムアルデヒド	1000	81.7
$\alpha$ -ピネン	570	157.0

## 4. 結果と考察

### 4.1 アンモニアについて

アンモニアに対する各試験体の吸着率の変化を図4に示す。

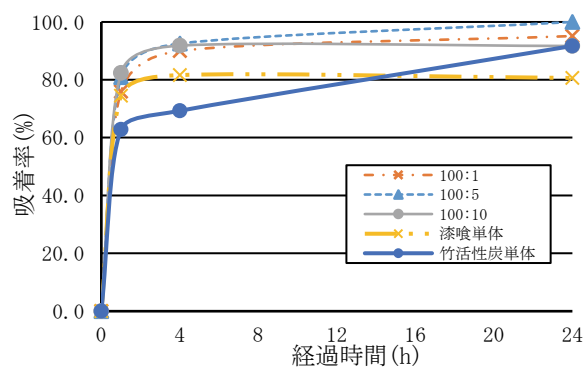


図4 アンモニアの吸着率

まず、漆喰について他の試験体と比較すると、試験開始1時間後で約80%吸着したが、その後は吸着効果を示さず24時間後では約2割残存した結果となった。一方、竹活性炭単体では、アンモニアの吸着に時間を要する結果となった。このことから、短時間での吸着効果は困難であることが推測される。しかし、竹炭漆喰は、試験開始1時間後には約80%、24時間後には90%を超える結果となった。このことから、漆喰と竹活性炭を配合しても、互いの性能を共有し、かつ竹活性炭の配合量が少なくても吸着できることが示唆された。

### 4.2 ホルムアルデヒドについて

ホルムアルデヒドに対する各試験体の吸着率の変化を図5に示す。

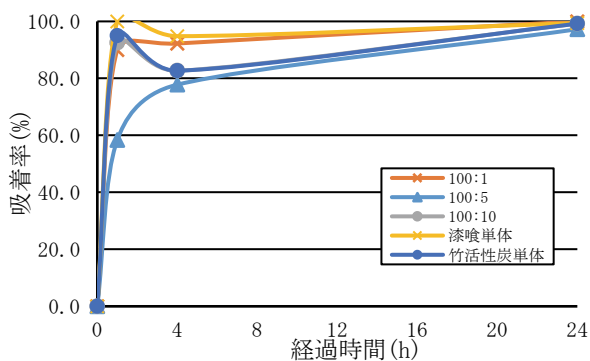


図5 ホルムアルデヒドの吸着率

まず、竹炭漆喰について配合割合が 100:5 以外の試験体において、試験開始 1 時間後及び 4 時間後の吸着率が、配合割合に比例しない結果となった。これは、ホルムアルデヒドが試験開始約 4 時間時点まで試薬の揮発が続く傾向であり、計測時にホルムアルデヒドの濃度が上昇したことが原因と考えられる。しかし、全ての試験体において 24 時間後の吸着率は約 100% に収束したため、ホルムアルデヒドに対して有効であることが示唆された。

### 4.3 $\alpha$ -ピネンについて

$\alpha$ -ピネンに対する各試験体の吸着率の変化を図 6 に示す。

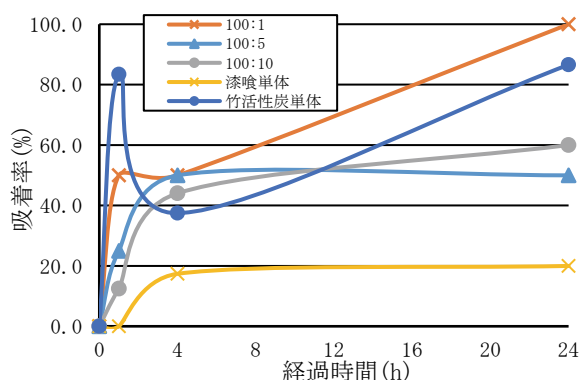


図6  $\alpha$ -ピネンの吸着率

まず、 $\alpha$ -ピネンの吸着率は漆喰のみでは 20% 程度に留まった。これは、孔の大きさが関係していると考えられる。漆喰は竹活性炭より遥かに孔が小さく、また、 $\alpha$ -ピネンの寸法は、既往研究により最大幅 0.9nm であると報告されている<sup>3)</sup>。そのため、漆喰の孔では吸着が困難だと推測する。一方、竹炭漆

喰では配合割合 100:1 の試験体は、経過時間 1 時間後と 24 時間後の吸着率が上昇し、竹活性炭単体においても、経過時間 1 時間後と 24 時間後の吸着率が上昇している結果となっている。しかし、竹炭漆喰の中で、配合割合 100:1 の吸着性能が一番良く、竹活性炭を多く配合しても吸着率が向上する結果にならなかった。これに関しては現時点で説明ができていないため、 $\alpha$ -ピネンに対して更なる調査が必要である。

## 5. 結論

竹活性炭を漆喰と配合させ、アンモニア、ホルムアルデヒド、 $\alpha$ -ピネンの化学物質に対して吸着試験を行い、空気汚染物質を除去・低減する可能性について検討した結果、以下の点が明らかになった。

- (1) 漆喰は、アンモニア及び  $\alpha$ -ピネンに対して吸着効果は少ないが、ホルムアルデヒドに対して吸着効果が高い。
- (2) 竹活性炭は、アンモニア及びホルムアルデヒドに対して、十分な吸着性能を有している。
- (3) 竹炭漆喰は、漆喰と竹活性炭の吸着性能が共有されている。

$\alpha$ -ピネンや他の化学物質に対する吸着性について調査するとともに、竹炭漆喰の施工性の向上などを追究していきたい。

## 謝辞

本研究を実施するにあたり、技術協力及び材料提供をして頂いた株式会社バンブーファクトリー平塚宣治氏、生産機械システム技術科内山元氏、並びにご協力頂いた全ての方々に深く感謝の意を表す。

## [参考文献]

- 1) 公益財団法人住宅リフォーム・紛争処理センター：住宅相談統計年報 2020 資料編、2020 年 9 月
- 2) 小幡透ほか：炭の VOC 吸着性能に関する研究、鹿児島工業技術センター研究報告、第 17 号、pp.33-37、2003 年度
- 3) 山下里恵ほか：木炭の分子ふるい挙動を活用した空気質の改善、におい・かおり環境学会誌、42 巻 1 号、pp.17-26、2011 年

# 木造建築継手・仕口加工実習用動画教材の制作

浅倉 卓也\*1, 小林 健\*1, 平和基\*1

## Production of Wood Construction Video Materials

ASAKURA Takuya\*1, KOBAYASHI Ken\*1, TAIRA Kazuki\*1

**要約** 専門課程における建築施工実習 I の補助教材として木造建築継手・仕口加工実習用動画教材を制作した。本動画教材は木造軸組み部分に使用される 7 種類の継手・仕口等について墨付け、加工、組立作業に分割した計 29 本の動画で構成される。

### 1. はじめに

東北職業能力開発大学校秋田校では専門課程 1 年目の前期に建築施工実習 I の実習科目のなかで木造建築および大工作业について学んでいる。大工作业の実習では、学生は教員の加工手順の説明と実演を見たのちにテキスト等を見ながら大工作业に取り組んでいるが、実習授業のスタイルに慣れるまではなかなか一度には作業のポイントを理解するのは難しく、教員側も学生の加工実習作業途中にタイミングよく加工方法等についてアドバイスするのが難しい場面も多い。そこで筆者ら 3 名は学生が実習のなかで加工手順の説明と教員の实演を見たのちに、加工方法があいまいだったり加工してみたらうまくいかなかった点について学生自身でも確認できるようポイント解説付きの補助教材を制作することとし、秋田校の実習で使用される継手・仕口について解説を加えた動画教材を制作した。そしてまとめたものを令和 2 年度職業訓練教材コンクールに応募した。

本稿は制作した木造建築継手・仕口加工実習用動画教材についてその概要について紹介し、制作について考察を行うものである。

### 2. 教材の概要

#### 2.1 動画教材の構成

表 1 に本教材の収録映像リストを示す。本教材は 29 本の動画からなり、秋田校専門課程住居環境科の建築施工実習 I で行う木造大工作业実習のなかで取り上げる継手・仕口のうち、模擬家屋製作実習の軸組部分に使用している継手・仕口等を 7 種類に分けて取り上げている。リストの番号では継手・仕口等にあわせて 7 つに分け、枝番によって奇数番号で墨付け、偶数番号で加工あるいは組立としている。

継手・仕口の仕様については各施設での指導方法により若干の差がみられるため、ここで取り上げた秋田校での継手・仕口の仕様について説明する。平ほぞとほぞ穴ではほぞ穴は貫通する仕様としている。腰掛け鎌継ぎの男木、女木は目違いなしの仕様とし、女木加工の際には角のみ機を使用せず図 1 の動画画面にみられるようにノミで加工している。大入れ蟻掛けの男木、女木では女木部

\*1 東北職業能力開発大学校秋田校 住居環境科  
Tohoku Polytechnic College, Akita  
Department of Housing Environment

表 1 木造建築継手・仕口加工実習用動画教材 収録映像リスト

No.	継手・仕口名称	作業内容	時間	仕様部分
1-1	平ほぞ	墨付け	3分08秒	柱－土台・桁梁
1-2	平ほぞ	加工	6分52秒	〃
2-1	ほぞ穴	墨付け	1分44秒	〃
2-2	ほぞ穴	加工	8分42秒	〃
3-1	腰掛け鎌継ぎ 男木	墨付け	2分32秒	土台
3-2	腰掛け鎌継ぎ 男木	加工	10分56秒	〃
3-3	腰掛け鎌継ぎ 女木	墨付け	2分10秒	〃
3-4	腰掛け鎌継ぎ 女木	加工	16分14秒	〃
3-6	腰掛け鎌継ぎ	組立て	55秒	〃
4-1	大入れ蟻掛け 男木	墨付け	2分13秒	土台、桁梁
4-2	大入れ蟻掛け 男木	加工	4分10秒	〃
4-3	大入れ蟻掛け 女木	墨付け	3分15秒	〃
4-4	大入れ蟻掛け 女木	加工	6分37秒	〃
4-6	大入れ蟻掛け(ほぞ穴無し)	加工	8分39秒	〃
5-1	大入れ小根ほぞ差し 男木	墨付け	2分51秒	土台出隅
5-2	大入れ小根ほぞ差し 男木	加工	8分37秒	〃
5-3	大入れ小根ほぞ差し 女木	墨付け	3分57秒	〃
5-4	大入れ小根ほぞ差し 女木	加工	6分59秒	〃
5-5	扇ほぞ	墨付け	4分05秒	柱－土台出隅
5-6	扇ほぞ	加工	3分44秒	〃
5-8	大入れ小根ほぞ差し+扇ほぞ差し	組立	1分03秒	〃
6-1	追掛け大栓継ぎ 上木	墨付け	3分27秒	桁
6-2	追掛け大栓継ぎ 上木	加工	13分33秒	〃
6-3	追掛け大栓継ぎ 下木	墨付け	3分45秒	〃
6-4	追掛け大栓継ぎ 下木	加工	14分01秒	〃
6-6	追掛け大栓継ぎ	組立	2分40秒	〃
7-1	火打ち土台(大入れ)	墨付け	7分11秒	火打ち土台－土台
7-2	火打ち土台(大入れ)	加工	5分42秒	〃
7-4	火打ち土台	組立	43秒	〃

分にはほぞ穴を加工する場合とほぞ穴が無い場合を分けて制作している。土台出隅部分に使用する大入れ小根ほぞ差しはクサビ締め加工はしていない。土台出隅部分は大入れ小根ほぞ差しと柱脚部の扇ほぞを組み合わせている。追掛け大栓継ぎの栓を打

ち込む穴については、実習では栓の代わりに電気ドリルで穴開けを行いボルト締めとしているため、動画のなかでは栓を打つための穴の墨付け、加工をしていない。火打ち土台についてはいくつか加工方法があるが秋田校の実習では土台に大入れで納める



図1 3-4 腰掛け鎌継ぎ女木加工

方法を採用しているため、動画もその仕様となっている。

そして動画はそれぞれ継手・仕口の男木、女木あるいは上木、下木といった部分ごとに墨付け、加工、組立の3つの作業内容に分けた構成としている。動画の時間については火打ち土台組立の43秒から腰掛け鎌継ぎ女木加工の16分14秒までばらつきがあるが、これは撮影時間の編集をしていないからで、動画時間がそのまま作業時間となっている。

## 2.2 動画教材制作手順

動画教材制作の担当としては加工実演を浅倉卓也が、動画撮影を平和基が、動画編集と解説作成を小林健が行った。撮影方法については普段の実習実演と同様の作業内容を動画撮影することとし、動画撮影、映像検討、解説編集作業と進めた。動画での加工時間はあえて短縮したりせず、加工時間の感覚をつかんでもらえるよう途中編集をせず使用することとした。撮影前にアングルやズーム位置などの打ち合わせを行い、実演者は普段の実習での作業ペースと同様に作業を行い、実演中の説明等も普段学生に説明するのと同様に行うこととした。音声も実際の撮影状況のまま入っているが、これは実演中の説明と同時にノミをげんのうで叩く音やノコギリを挽く音によって力の加減や一度に削る木材の厚さ、加工の速度等についても伝わると判断したためである。また、撮影アングルとしては作業者全体を撮影するのではなく手元を中心に撮影することとした。ノコギリが墨線のどこをねらって挽いているのか、ノミで加工しているときの刃の向きはどうなっているのかなど全体の説明では見えづらい手元

の動作が伝わるよう工夫した。動画の解説文についてはなるべくポイントをしぼった簡潔なものとし、特に墨を払う、墨中を挽く、墨を残すといった墨線に対してどう加工しているのかについて説明を加えた。図2は大入れ蟻掛け女木の蟻部分のノコ挽きの場面で墨線に対するノコ挽きについて説明している部分である。



図2 4-4 大入れ蟻掛け女木加工

## 3. 動画教材の使用

動画教材の撮影を7月に集中的に実施したため、今年度の建築施工実習Iにおいて本教材のすべてを提供することはできなかったが、図3追掛け大栓継ぎと図4火打ち土台については実習で動画があることを紹介し使用した。建築施工実習Iの実習のなかで追掛け大栓継ぎの加工途中に動画を視聴した学生からは、実演で見逃した加工手順が確認でき役立ったという感想を得ることができ、また火打ち土台の墨付けでさしがねの裏目を使用する箇所については動画視聴により組立てイメージがはっきりして理解がしやすかったといった感想を得ることができた。



図3 6-2 追掛け大栓継ぎ上木加工



図4 7-1 火打ち土台墨付

#### 4. 考察

動画教材制作の過程で検討した内容についていくつか述べる。まず、撮影に入る前に最初に行ったことは、継手・仕口の仕様や加工方法の統一であった。大作業の加工方法等については、手加工のため職人によって微妙に違っていることも多く、最終的には寸法通りの加工ができれば問題にはならないが、指導するうえではなるべく標準的な方法が採用されるべきであろう。筆者ら3名のこれまでの他施設での経験を持ち寄ってみると、例えば火打ち土台は大入れではなく傾ぎ大入れを採用している、とか平ほぞの木口には墨を引くように指導するなど、微妙な違いがあることが分かった。改めてシステムユニットテキスト<sup>1)</sup>で説明している墨付け、加工方法についても確認し、そのため動画制作を通して秋田校における指導方法の統一について検討することができた。図5は平ほぞのノコ挽きであるが検討の結果、木口には墨付けをしない方法を採用している。



図5 1-2 平ほぞ加工

次に撮影アングルについてである。当初は定点撮影や加工者目線での撮影も検討したが、全体説明から動画教材画面での説明に入りやすくすること、伝えたい部分を全体説明や実演では見えにくい手元に限定し、墨差しの角度やノミの刃先といった部分を分かりやすく伝えるため撮影者が移動しながら撮影するアングルを選択した。今回の撮影では撮影者が説明したいと思う個所に移動し、撮影することでポイントとなる部分が見やすい画面とすることができた。

また、本動画教材制作で一番のポイントとしたところはシンプルな制作方法を採用することであった。動画教材としてうまく編集され短時間で理解がはかれる教材はこれまでさまざまなものがつくられている。しかし、前述の撮影アングルとあわせ、補助教材として伝えたい項目を限定し、撮影後の動画編集等をいかに最小限にして制作するかということは、限られた時間で教材作成をしていくうえで非常に重要だと思われる。

#### 5. おわりに

本教材制作によって本校での建築施工実習Ⅰの木造継手・仕口加工について指導方法の統一をはかることができ、動画教材としてまとめることができた。動画を墨付け、加工、組立てと分割したことにより知りたい部分を参照しやすい教材となったと思われる。

今後は実際に実習最初から補助教材として使用し、学生の理解度等についての検証をすすめていく。また、今回は軸組部分の継手・仕口を取り上げたが、今回のシンプルな動画制作方法をいかして今後は小屋組等についても制作していきたい。

#### [参考文献]

- 1) 独立行政法人高齢・障害・求職者雇用支援機構 職業能力開発総合大学校 基盤整備センター開発部 編：システムユニットテキスト「HU105-1020-2 軸組み墨付け・加工」一般財団法人職業訓練教材研究会 発行

# 製麺試験用米麺押出機の開発

## —スクリー搬送による高アミロース米の押し製麺—

喬橋 憲司\*1, 大石 賢\*1, 内山 元\*1, 先崎 康裕\*2, 平田 武誉\*2,  
本郷 秀明\*3, 七種 健一\*3, 伊藤 隆志\*1

Development of Rice Noodle Extruder for Test Noodle Making

- The Result of Making Noodles of Rice "Sachi Mirai" from Miyagi Prefecture -

TAKAHASHI Kenji\*1, OISHI Masaru\*1, UCHIYAMA Gen\*1, SENZAKI Yasuhiro\*2  
HIRATA Takeyo\*2, HONGO Hideaki\*3, SAIKUSA Kenichi\*3, ITO Takashi\*1

**要約** 共同研究で栗原市の食品製造メーカーと地元産米を原料とする米麺を製造する試験機を開発した。本校応用課程の開発課題で学生プロジェクトを組み開発を行った。製麺は加熱温度、加熱時間を制御し、圧力、温度のプロセスパラメータを計測可能な製麺試験用米麺押出機を開発した。加熱シリンダ内の 2 条ネジ式スクリーによる搬送と  $\alpha$  化、および麺状の押しを確認した。米麺の製麺試験が可能である。

### 1. はじめに

米は主食として我が国の食生活を支えている。

全国的に米の作付け面積が大きい都道府県（新潟県第 1 位、宮城県第 5 位）は新たな主食用米の品種改良のほか、米の用途研究<sup>1)</sup>に取り組んでいる。新潟県は、米粉の研究<sup>2)</sup>を盛んに行っており、本校が所在する宮城県は、加工米飯、病態食、米粉にした後の製麺が期待される「さち未来」<sup>3)</sup>を開発している。この「さち未来」はグルテンを含まず、国内の米消費量が減少する中、海外で拡大するノングルテン市場<sup>4)</sup>の取り込みが期待される。

栗原市の食品製造会社との共同研究で実施した「製麺試験用米麺押出機」の開発とその試験製麺結果について報告する。

### 2. 製麺機能

製麺方法および製麺装置について述べる。

#### 2.1 製麺方法

麺は粉状にした原料に加水・攪拌を行った後、圧延もしくは押し出しによる方法で製麺する。

麺は「うどん」「パスタ」など小麦粉を主な原料としたものが多い。本開発テーマでは米粉を原料とし、米が冷却時に固化する性質を利用して製麺する機械を開発する。

米はアミロースの含有量によって性質が異なり、製麺用米にはアミロースを多く含む高アミロース米が適している。

図 1 に製麺工程を示す。高アミロース米を粉碎機により粉碎する。このとき、食感の向上を狙っ

\*1 東北職業能力開発大学校 生産機械システム技術科  
Tohoku Polytechnic College  
Department of Production Mechanical Systems Technology

\*2 東北職業能力開発大学校 生産電気システム技術科  
Tohoku Polytechnic College  
Department of Production Electrical Systems Technology

\*3 東北職業能力開発大学校 生産電子情報システム技術科  
Tohoku Polytechnic College  
Department of Production Electronic Information Systems  
Technology

て米の粉碎粒が残存する程度に粉碎する。  
水分を調整(一般に 30%~45%)しながら混練する。  
その後 0.1Mpa の内圧を保ちつつ加熱する。加熱後  
は押し出しダイスを通過させて製麺する。

## 2.2 装置機能

製麺装置の機能について述べる。

### 2.2.1 製麺機構

製麺装置は、本体上部に取り付けた投入口に粉碎した米を入れたのち、一軸式スクリュウの回転によって前方に米を搬送する。スクリュウはプーリ、ベルトを介したモータで回転させる。スクリュウ搬送中の米をバンドヒータで加熱し、溶融状態にする。溶融した米は、スクリュウの回転による米の連続的な前進によって最前部の押出口から押し出される。このとき、押し出された麺は半凝固状態でその後の空冷によって固化し米製麺となる。押出圧力を均一化するため、スクリュウのネジは2条にしている。

同様の一軸スクリュウ構造に、はるさめ用押出機<sup>5)</sup>、冷麺用押出機<sup>5)</sup>がある。連続的に製麺する機能は同じである。冷麺の場合、製麺前にスクリュウヘッドをバーナーで予備加熱する。また、はるさめの場合、バンドヒータの加熱位置が本機と異なる。本機はバンドヒータを2か所備えており、ヒータ温度を設定できること、一軸スクリュウを用いていることから、複数の麺の製造試験に対応可能である。

### 2.2.2 コントロール機能

米の $\alpha$ 化の性質とその後の冷却固化の性質を利用して製麺する。炊飯は98℃以上の温度で20分以上加熱させる必要がある。加熱時間の長短は米の炊飯に影響し、また、製麺後の外観への影響があるためコントロールする。温度の計測はK型熱電対を使用する。起電力は微弱なためK型熱電対アンプモジュールを使用して増幅する。制御は目標温度からのオーバーシュートを防止するため「下限出力を設定したP型制御」方式で行った。現在温度と目標温度の差を求め、その差が縮小につれて出力を絞る方式である。

加熱温度と加熱時間をコントロールするためスクリュウは断続運転が可能なプログラムとした。

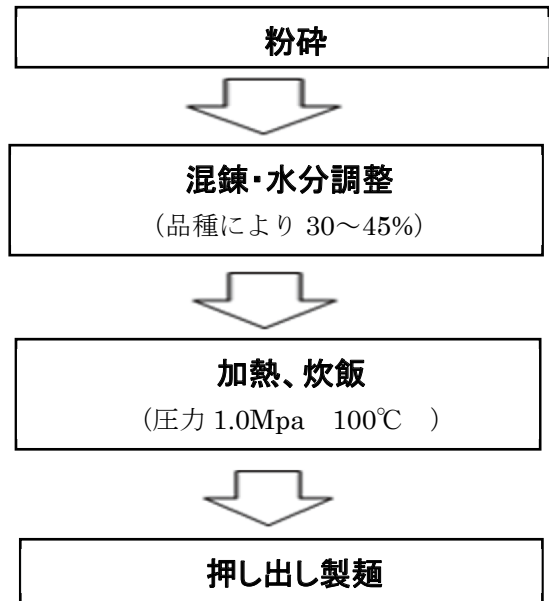


図1 製麺工程

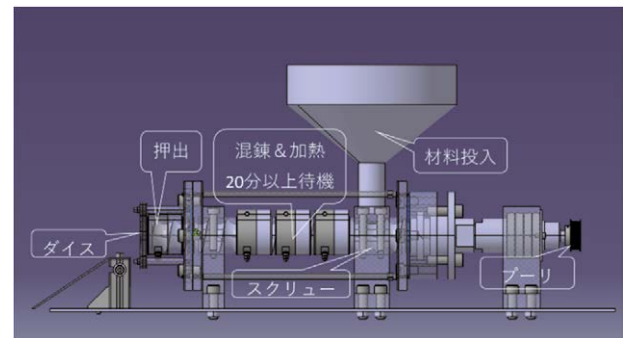


図2 製麺機構構造図

### 2.2.3 システム構成

図3にシステム構成を示す。

ユーザーからの指示、ユーザーへの測定結果の出力およびデータベースの機能はLinux OSを搭載しているRaspberry Piで処理する。製麺装置に取り付けたモータ、ヒータへの出力指令および温度センサ、圧力センサから取得したプロセスパラメータはArduinoで処理する。温度センサはADコンバータでデジタル信号とした後、Arduinoに送信する。水分量のデータはテンキーで入力し、Raspberryに送られる。Raspberry PiとArduino間はTCP/IP通信で行う。



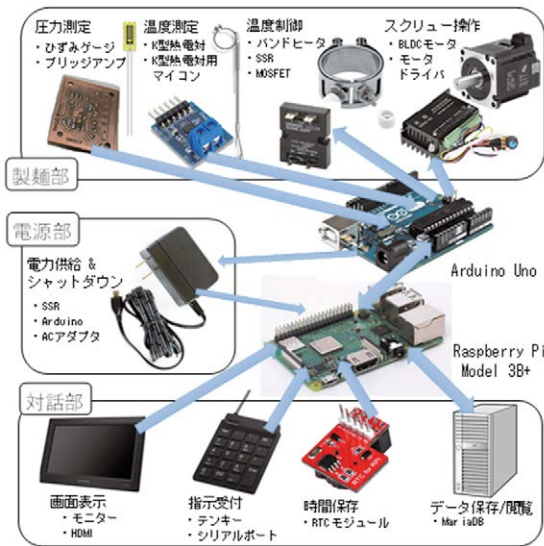


図3 システム構成図



図4 製麺機

### 2.3 仕様

表1に装置の仕様を示す。

リスク低減措置等を規定する「機械の包括的な安全基準に関する指針(包括指針)」に則った。安全な食品機械を提供する必要があるため、「食品機械の衛生設計対応に関する調査研究報告書」<sup>6)</sup>にある国際安全規格に則って詳細設計を行った。

### 2.4 本体

図4に開発した試験用米麺押出機を示す。

食品衛生上ステンレス材を主体とし、前方に製麺機能部、後方に制御システム部を配置している。両機能部間は熱の断熱材で熱を遮断している。アクリル製の保護カバーを取り付け、放熱用のファンを2台取り付けている。

表1 装置仕様

構成・方法	方式
装置外形寸法	800×800×500 以内
装置重量	50kg 以下
電源	100V
モータ	ブラシレス DC モータ
内部搬送機構	2条ネジ式スクリュー
加熱方式	バンドヒータ
圧力計測	ひずみゲージ
温度計測	K型熱電対
制御マイコン	Arduino Uno
データベース	Raspberry Pi3 Model B+
関連法規	食品安全衛生法準拠
関連法規	国際安全規格 <sup>*6</sup>

## 3. 実験結果

製麺機による実験結果について述べる。

### 3.1 ヒーティング制御校正及び確認実験

図5に加熱実験結果を示す。

制御プログラムの確認とセンサの校正を目的とし、水を入れたシリンダをヒータで加熱した時の水温を計測した。ヒータを 100℃(図中●)の温度にコントロールし、水温 100℃(図中▲: 水銀温度計で水温測定)、熱電対 (図中△: 本体ステンレス製シリンダに取付け) で測定した。100℃での安定した指示と制御プログラムを確認した。

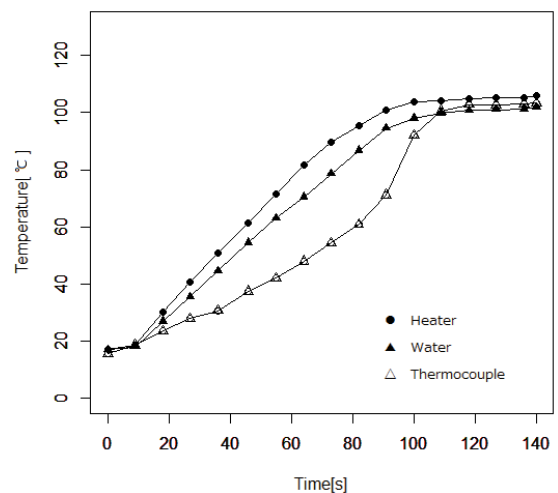


図5 加熱実験結果

## 3.2 製麺実験結果

### 3.2.1 実験結果

原料米は水分調整した後に製麺する。

図 6 に炊飯した米を投入した後のダイス先端部の写真を示す。スクリー搬送によって麺は連続的にダイスから押し出された。

### 3.2.2 $\alpha$ 化

図 7 にスクリー上の  $\alpha$  化米を示す。水分 40%、50% で調整した原料米で確認試験を行った。原料米は  $\alpha$  化した。製品が可能と思われる透明な  $\alpha$  化米は先端部の上層に限られた。



図 6 押し製麺

## 4. まとめ

共同研究で開発課題のプロジェクトチームを作り押し式製麺機を開発した。押し、 $\alpha$ 化は確認できた。シリンダ内部圧力が不足しているため、麺の十分な硬度は得られていない。今後に向けては、内部圧力を高めるための機能の検討、温度コントロール、スクリー形状の適性化が必要である。

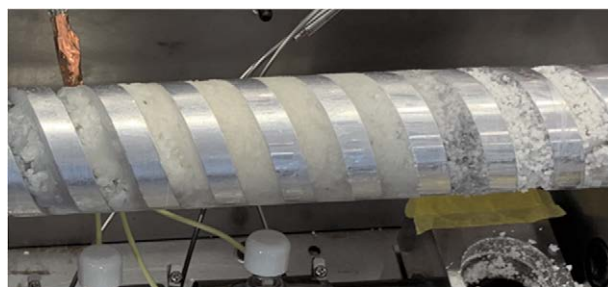


図 7 スクリュー上の  $\alpha$  化米

## 5. おわりに

本報告書は、応用課程開発課題の一環で行ったものを加筆し、取り纏めたものである。本開発において、二上社長様(株式会社二上)より原料米の提供、粉砕、水分計測、製麺技術指導のご協力を頂きました。このご協力に感謝申し上げます。令和 2 年度の開発課題プロジェクトメンバー、並びに製作中の問題解決に加わって頂きました本校教員伊藤隆志氏、狩野隆志氏に感謝申し上げます。

【令和 2 年度開発課題 B カテゴリー 1 班メンバー】熊谷光起、小川諒、清水舜己、鈴木正真、伊藤和紀、佐藤大晴、佐藤主浩、松岡修歩、菅野親、高杉颯太

### 【参考文献】

1) 米粉食品の物性調整に利用できる糊化度を調整した米粉の製造方法、新潟県ホームページ、<https://www.pref.niigata.lg.jp/uploaded/attachment/230756.pdf>、2020 年 12 月 24 日確認

- 2) 吉井洋一ほか：新潟県における米粉・米粉麺への取り組み、日本食品化学工業会会誌、Vol.58, No.5, pp.187-195、2011 年
- 3) 永野邦明ほか：宮城県古川農業試験場研究報告、No11、pp.1-16、2013 年
- 4) 米粉の輸出拡大に向けた欧米グルテンフリー市場調査、農林水産省委託事業、2019 年
- 5) 遠山良ほか：冷麺用押し機の機械特性、日本食品科学工学会誌、Vol43, No12, pp.1256-1263、1996 年
- 6) 食品機械の衛生設計対応に関する調査研究報告書、社団法人日本機械工業連合会 日本食品機械工業会、2008 年
- 7) 中浦ほか：高アミロース米「雪の穂」の胚乳澱粉の性質と米飯物性、応用糖質学会、No1, vol 1、pp86-94、2011 年
- 8) 品種詳細 ふくのこ：農研機構ホームページ <https://www.naro.affrc.go.jp/collab/breed/0100/0107/073693.html>、2021 年 1 月 7 日確認

## B 級オーディオアンプの製作

村上 光秋\*1

### Production of B-class Audio Amplifier

MURAKAMI Mitsuaki\*1

**要約** 令和 2 年度の総合制作の課題である『B 級オーディオアンプの製作』の内容につき報告する。B 級オーディオアンプの製作を通じて、アナログ回路の設計、製作、組立、調整技術等の総合的な実践力を身に付けることを目標として実施した。具体的には、信号の増幅回路、パワーアンプ回路、フィルタ回路等のアナログ回路技術を習得、B 級オーディオアンプを設計、製作し、入力のオーディオ信号を増幅させ、スピーカから音を出力させることを目標として実施し、完成させた。

### 1. はじめに

CDプレイヤーなどの再生装置から出力される小さな信号を増幅し、人が聞くことのできる大きさの音量をスピーカから引き出す役割を果たすオーディオアンプは、今日まで多くのメーカーの製品が作られている。

普及しているアンプの基本回路や使用用途に応じた様々な技術を学び、実際に自分たちで作成することで電子回路における知識や技術のスキルアップを目指し、本テーマを設定した。製作するのは、B 級オーディオアンプである。

B 級オーディオアンプの製作を通じて、アナログ回路の設計、製作、組立、調整技術等の総合的な実践力を身に着けることを目標として実施した。

具体的には、信号の増幅回路、パワーアンプ回路、フィルタ回路等のアナログ回路技術を習得、B 級オーディオアンプを設計、製作、筐体の実装し、入力のオーディオ信号を増幅させ、スピーカから音を出力させることを目標に実施した。

### 2. 製作内容

実施する内容は、主に以下の 2 点である。

- ① 信号の増幅回路、パワーアンプ回路、フィルタ回路、ボリューム回路を組み込んだ、B 級オーディオアンプ回路基板を設計、製作する。
- ② 作成した基板を収める筐体を設計、加工する。更にスピーカ等の周辺機器も別筐体の実装する。

アンプには A 級、B 級、C 級、D 級などがある。A 級、B 級、C 級、D 級とは、それぞれの増幅の動作方式の違いである。

B 級増幅回路は、交流負荷線の一番下側に動作点を設定し、正または負の入力波形を増幅する増幅回路です。入力波形のすべてを増幅するためには、正負それぞれ別の B 級増幅回路を使って増幅し、これを合成して出力とする。

このような回路を B 級プッシュプルエミッタフォロア回路という。

\*1 東北職業能力開発大学校 電気エネルギー制御科  
Tohoku Polytechnic College,  
Department of Electrical Systems and Energy  
Control Technology

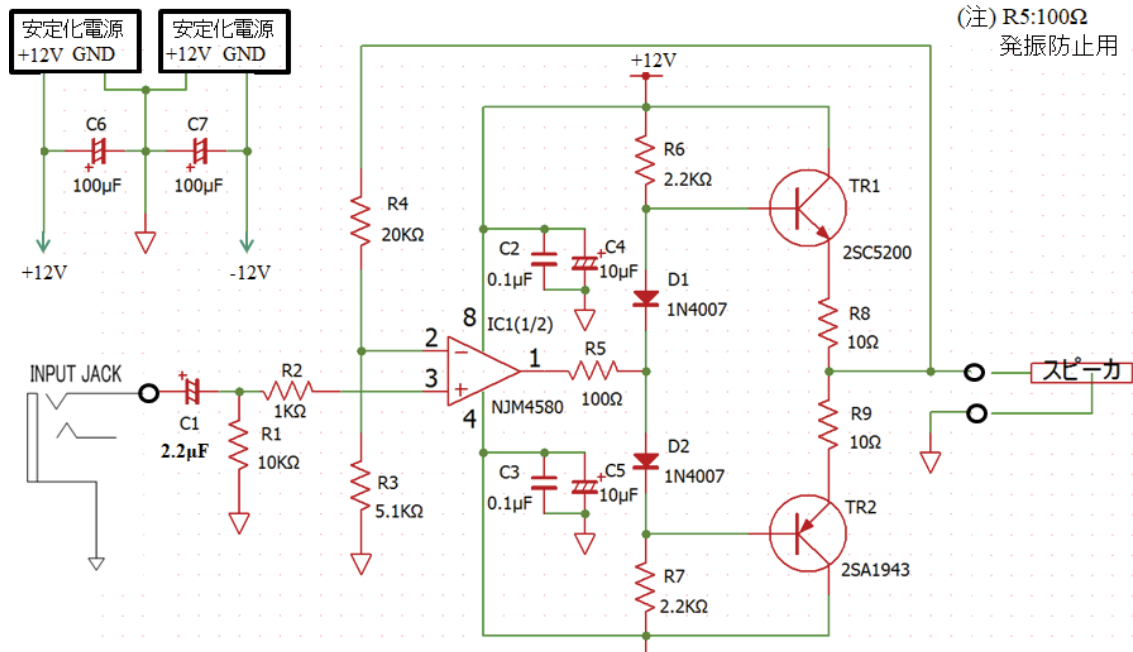


図1 今回作成した回路

特徴として、A級増幅回路は、1つのトランジスタで、入力波形のすべてを増幅するので、増幅能力を最大限使っても、それほど大きな信号を扱えない。これに対し、B級プッシュプルエミッタフォロア回路は、入力信号の正負の半サイクルを、それぞれ個別のトランジスタにより最大限に増幅することができる。

また、動作点は、交流負荷線の一番下に設定してるので、信号が入力されていない状態では電流は、ほとんど流れない。従って、発熱が少ない、電源効率がよい<sup>1),2)</sup>、ことも特徴として挙げられる。B級プッシュプルエミッタフォロア回路の動作点は、 $I_c=0[mA]$ の部分、言い換えると  $I_B=0[mA]$ のところである。従って、 $V_{BE}=0[V]$ となり、トランジスタは動作していないため、波形の正負の切り替わり部分 ( $V_{BE}=-0.6\sim 0.6[V]$ の範囲)では、波形に歪みができる。これをクロスオーバー歪み、と言う。この改善策として、2本のダイオードをトランジスタのベース側に設置した。(ダイオードの順方向電圧で、この歪みを相殺する。)

### 3. 機器構成

図1の回路が今回製作した回路である。

### 3.1 試作回路

図2にブレッドボードで作成した試作品の写真を示す。



図2 試作回路

試作品の主な使用機器、装置を示す。

- ・電源 (2台) サンハヤト製 DK-910
- ・ブレッドボード (2台)
- ・ステレオの R、L 対応で2セットの回路
- ・スピーカー 8Ω8W (2個)

### 3.2 回路図

図 1 に、今回製作した回路図を示す。使用した主な部品を、表 1 に示す。

表 1 主な部品一覧

品名	記号	定数	個数
無極性電界コンデンサ	C1	2.2uF	1
セラミックコンデンサ	C2,C3	0.1uF	2
アルミ電界コンデンサ	C4,C5	10uF	2
OPアンプ(NJM4580)	IC1		1
トランジスタ(2SC5200)	TR1	NPN	1
トランジスタ(2SA1943)	TR2	PNP	1
ダイオード(1N4007)	D1,D2	1A	2

### 4. 回路詳細

作成した図 1 の回路を、図 3 のように機能別に分ける。

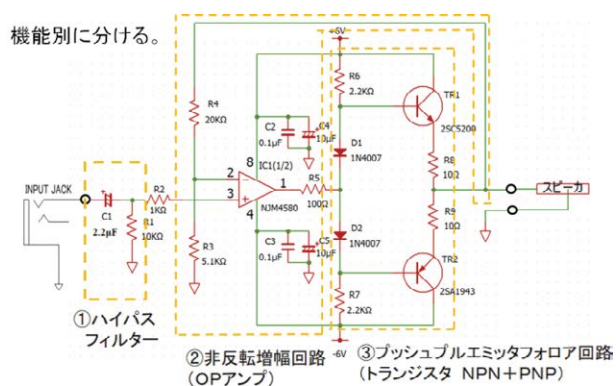


図 3 機能別に分けた回路図

図 3 に示す機能別に分けた 3 つの各回路の詳細を示す。

- ① ハイパスフィルタ
- ② 非反転増幅回路 (OPアンプ回路)
- ③ プッシュプルエミッタフォロア回路

#### 4.1 ハイパスフィルタ

ハイパスフィルタとは、フィルタの一種で、なんらかの信号のうち、遮断周波数より高い周波数の成分はほとんど減衰させず、遮断周波数より低い周波数の成分を通減させるフィルタである。

ローカットフィルタと呼ぶ場合もある。電気回路・電子回路では、フィルタ回路の一種であり「高

域通過濾波器」とも言われる。図 3-①の構成で遮断周波数は、 $1/(2 \times \pi \times R1 \times C1) = 7.2[\text{Hz}]$  となる。

#### 4.2 非反転増幅回路

非反転増幅回路は入力信号と出力信号の極性が同じ極性になる増幅回路である。交流を入力した場合は入力信号と出力信号の位相は同位相になる。

非反転増幅回路のゲインは 1 以上にしか設定できない。つまり反転増幅回路と違い入力信号を減衰させることは出来ない。非反転増幅回路の入力インピーダンスは非常に高くほぼオペアンプ自体の入力インピーダンスとなる。

増幅率の理論式は、 $V_{out}/V_{in} = 1 + R4/R3$

( $V_{out}$ :出力電圧、 $V_{in}$ :入力電圧)となる。

図 2 の②の回路では、増幅率は、約 5 倍となる。

#### 4.3 プッシュプルエミッタフォロア回路

NPN 型のトランジスタと PNP 型のトランジスタを組み合わせた回路で構成される。

入力信号が+の時は上側のトランジスタが増幅し、-の時は下側のトランジスタが増幅するように動く。この場合、入力電圧が  $-0.6[\text{V}] \sim +0.6[\text{V}]$  の範囲では、どちらのトランジスタも動作しないため、0[V]付近で波形が歪むという現象が起き、これをクロスオーバー歪みと呼ぶ。

これを防ぐためにダイオードを挿入する。

### 5. 本体製作

本体の作成基板を図 4 に示す。

また、実装写真を図 5 に示す。

実装する場合は、図 4 の基板を 2 台(R と L 用)使用する。

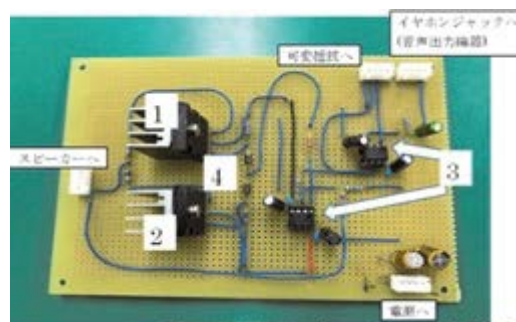


図 4 本体基板写真

図4の1~4の素子の型番を、示す。

1. トランジスタ(NPN) 型番:2SC5200
2. トランジスタ(PNP) 型番:2SA1943
3. OPアンプ 型番:NJM4580DD
4. ダイオード 型番:1N4007

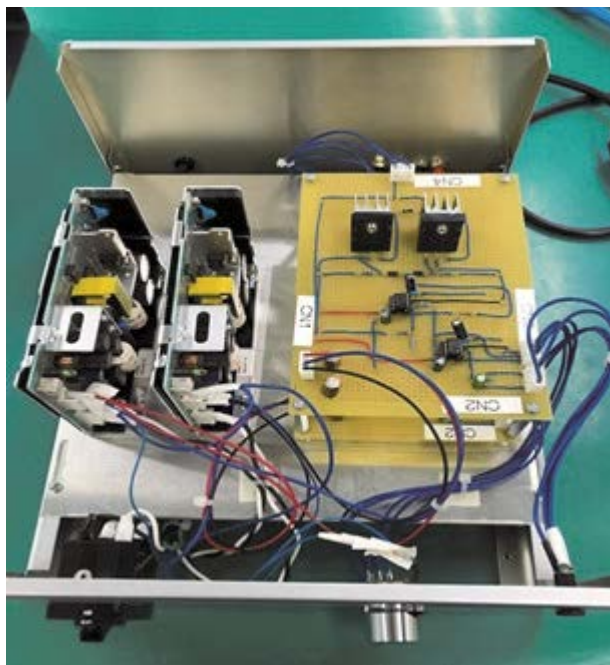


図5 本体実装写真

本体の電源は、2台使用し、 $\pm 12V$ とした。

図6は、完成品の正面図、図7は、完成品の背面図を示す。

スピーカ部については、下記製品を採用し、組み上げた。

- ・スピーカ  
FOSTEX 8cm スピーカユニット P800K
- ・スピーカボックス  
FOSTEX スピーカボックス P800-E



図6 完成品の正面図



図7 完成品の背面図

## 6. おわりに

B級オーディオアンプ製作を通して、当初の目的である、アナログ回路の設計、製作、組立、調整技術等の総合的な実践力を身に付けることを目標として実施したが、概ね達成できたと考える。

学生が自主的に、必要な回路を調べ、自分たちで設計、試作、製作を行っていく中で、まだまだ未熟な部分は多々あるが、基板製作・実装、機器加工の技術等の向上が計れたと考える。また、回路作成時、思った動作が得られず、オシロスコープ、発振器等の解析ツールで実施した不具合解析の方法等、今後、会社においても、将来役に立つ技術と考える。

また、一連の作業を通じて、ものづくりの基本となる設計、試作、製作、評価、改良、スケジュール管理等の基本を体験できたと考える。

更に、B級オーディオアンプを含めたオーディオアンプの技術を調べながら、学生の電子回路への更なる興味関心を抱かせることができた。

但し、今後の課題として、今回の製作を通して、学生のスケジュール管理の重要性を実感した。学生各自が、製作予定を線表などに起こして、その日にやることを確認しつつ、進めていくことが効果的だと考える。

### 【参考文献】

- 1)大熊康弘:改訂新版 図解でわかるはじめての電子回路、技術評論社、pp148-155 pp187-195、2018
- 2)高橋寛[監修]、飯高成男、田口英雄[共著]:絵ときでわかるトランジスタ回路、オーム社、pp80-94、2013

# 火力発電機モデルの設計と製作

## — コアレス発電機の製作 —

平井 真登\*<sup>1</sup>

### Design and Manufacture of Thermal Power Generation Machine Models - Production of Coreless Generators -

HIRAI Masato\*<sup>1</sup>

**要約** 発電機の構造を学習するために、“火力発電機モデルの設計と製作”をテーマとして総合制作実習を行った。近年の学生は、“ものづくり”の経験が乏しく、目的のものをどのようにしたら形になるのかを想像するのが難しいと感じる。そこでこの製作では、学生達に製作スケジュールの作成、全体の設計、部品の選定、製作、製作物の評価、問題点の改善を実習形式で行い、製品製造の一連のプロセスを体験してもらった。本製作では、火力発電機の発電機部分のコアレス発電機の設計から行っている。現在は試作段階であるため、その途中経過を報告する。

## 1. はじめに

青森職業能力開発短期大学校において、オープンキャンパスでは各科の説明を行い、施設見学と体験授業などを行っている。その中で、説明を聞いた生徒や入学してきた学生などに、電気エネルギー制御科という科名と説明から内容がイメージできるかを聞いたところ、具体的にイメージしにくいという意見が多かった。さらに電気は目に見えないものであるため、言葉ではわかってもイメージしづらいと感じている。そこで本製作では、視覚的にわかりやすく科の PR を行うことができる展示物の製作を目的としている。

製作物としては、学生からの要望もあり日本を支える発電方法のひとつである火力発電の原理を使った実験機の製作を行うこととした。また、製作を

通し、専門課程のエネルギー分野や電力分野の内容を学び、資格試験に必要な知識を深めることを目標としている。

## 2. 発電原理

火力発電には汽力発電、コンバインドサイクル発電、内燃力発電等がある。今回は構造が最も簡単であり火力発電所の多くで採用されている汽力発電方式を採用した。原理としては、圧力鍋で水を高圧の蒸気に変え、火力発電と同じくその圧力を利用してタービンを回転させる。タービンは発電部に繋いでおり、これで発電し送電を行う。原理を図 1 に示す。

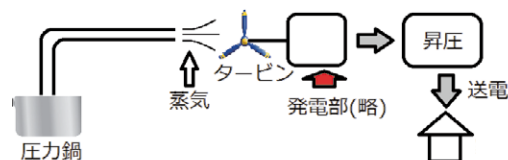


図 1 発電の原理

\*1 東北職業能力開発大学校青森校 電気エネルギー制御科  
Tohoku Polytechnic College, Aomori  
Department of Electrical Systems and Energy Control  
Technology

### 3. 発電機的设计・製作

#### 3.1 设计

発電機的设计にあたり、コイルと磁束の鎖交率向上のため、磁性体をコイル周辺に配置して磁束を誘導する有鉄心型と、磁性体を使用しない無鉄心型がある。有鉄心型は、磁性体と磁石間に働く吸引力が存在し、始動時に制動力となる。それに対し無鉄心型は吸引力がなく、制動力は働かない。そこで、圧力鍋からの蒸気で回転できるようにするため、始動時に制動力の働かない無鉄心型のコアレス発電機的设计を行う。设计した構造について図 2 に示す。

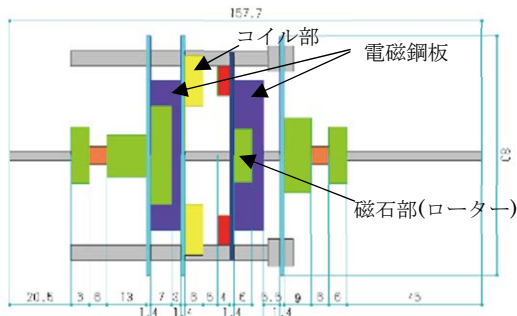


図 2 设计図

#### 3.2 コアレス発電機

今回採用したコアレス発電機は構造的にアキシャルギャップ型とラジアルギャップ型に大別される。アキシャルギャップ型は、巻線と磁石の隙間が軸に垂直な平面であり、ラジアルギャップ型は軸に平行な曲面である。それぞれ図 3 に示す。また、今回の製作では比較的構造が簡単で、ラジアル型と比べて小型化がしやすいアキシャル型を製作する。

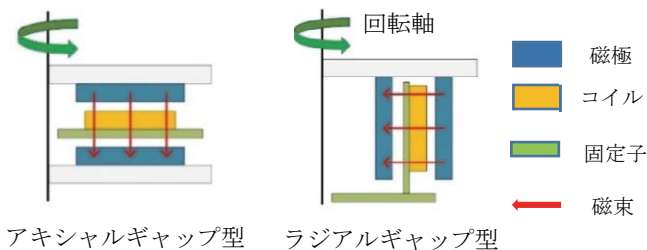


図 3 コアレス発電機の種別

#### 3.3 電磁鋼板

コアレス発電機は、コアが無いいため磁気回路がうまく形成されない。そのため、磁石とコイル部に電磁鋼板（オリエントコア）を取付けることで、磁気回路を形成している。磁気回路の想定は図 4 に示す。



図 4 磁気回路

#### 3.4 試験機 1 の设计・製作

製作した試験機 1 は、コイルに使用する銅線を丸のエナメル線を使用し、効率の良い三相で発電するために Y 結線としている。製作したコイルは図 5、結線図を図 6 に示す。

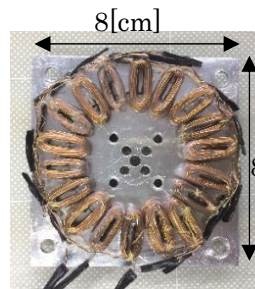


図 5 製作したコイル

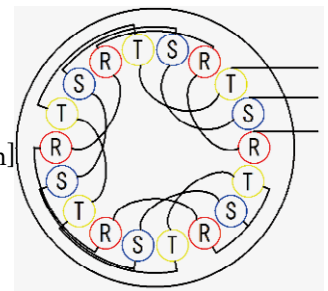


図 6 結線図

試験機 1 は始動トルクの低減と小型化を目指し、低速で発電させるため、コイル 18 個、磁石 12 個の多極にしている。また、磁石はネオジウム磁石を使用し、アルミ板への接着にはエポキシ接着剤を使用した。製作したローターを図 7、試験機の全体像を図 8 に示す。

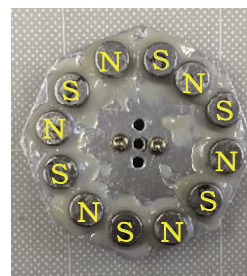


図 7 ローター

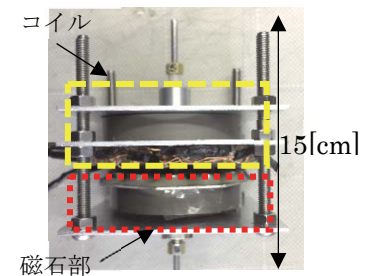


図 8 試験機 1

#### 3.5 試験機 2 の设计・製作

発電部の試験機 1 では、縦横 8[cm]、奥行 15[cm]であったが、試験機 2 では縦横 15[cm]、奥行 20[cm]と大きくしている。コイルに使用する銅線、結線方法は試験機 1 と同様にし、コイルの巻き数を試験機 1 の 62 巻から 160 巻に増やし、製作したコイルを図 9 に示す。ローターの磁石は、試作機 1 同様ネオジウム磁石を使用し、直径 1[cm]から直径 1.5[cm]、



厚さ 4[mm]から 8[mm]のものに変更した。製作したローターを図 10 に示す。

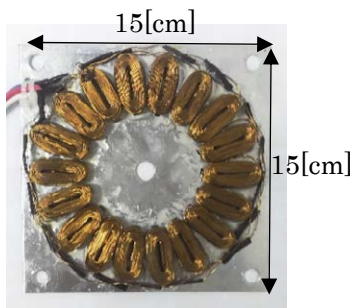


図 9 製作したコイル



図 10 製作したローター

#### 4. タービンの製作

試験機 1 のタービンは、蒸気タービンの形状を参考にし、アルミ板を加工し折り曲げ、羽の角度を調整しタービンを製作した。直径 10[cm]、羽の枚数が 24 枚のタービンを 2 枚重ねて使用した。製作したタービンを図 11 に示す。

試験機 2 では、より大きな力を得るために直径 15[cm]、羽の枚数が 36 枚のもの 2 つ製作した。製作したタービンを図 12 に示す。

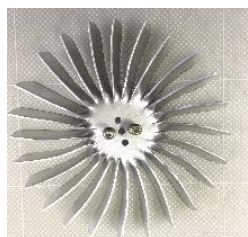


図 11 試験機 1 タービン



図 12 試験機 2 タービン

#### 5. 出力の測定比較

試験機 1 と試験機 2 の出力を比較するため、セメント抵抗 10[Ω]を Y 結線、コイルと磁石のギャップを 2[mm]としオシロスコープで測定した。測定時は直流モータを試験機に取付け回転させている。測定した出力結果を図 13 に示す。出力波形を図 14 に示す。

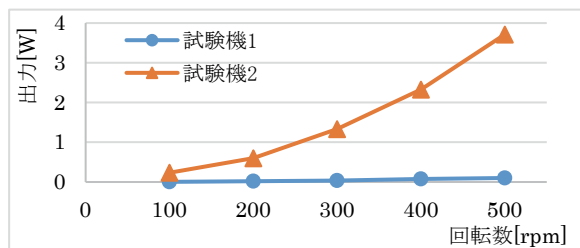


図 13 試験機 1 と試験機 2 の出力比較

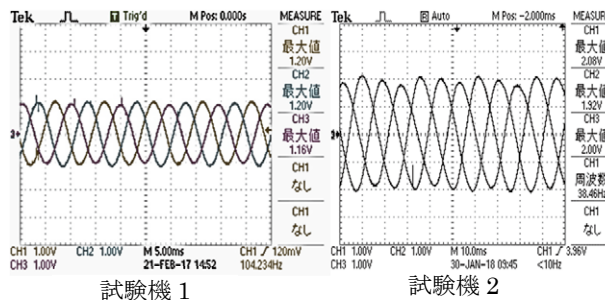


図 14 出力波形の比較

測定の結果、図 13 より回転数に比例し出力が上昇しているのがわかる。また、試験機 2 は試験機 1 の約 26.5 倍の出力を得ることができた。よって、コイルの巻数と磁石の磁力に比例し、発電出力が上昇することが確認できる。しかし、試験機 2 を実際に圧力鍋による高圧の蒸気で回転させたところ、十分な回転が得られず、LED を点灯させるほどの出力を得ることができなかった。これは、ローターが大きくなったことにより、重量が増したことが原因と判断した。

また図 14 の出力波形を分析すると、どちらも三相交流で出力していることが確認できた。しかし、試験機 2 では、R 相の電圧が他相よりも低くなってしまった。各相の抵抗値を測定すると、R 相のコイル抵抗が他よりも僅かに低いことから、巻数が他よりも少ないこと、ローターの磁石の固定位置もわずかにずれていることが原因であると判断した。

#### 6. 試験機 2-1 の設計・製作

試験機 2 と同じ設計で、前述の問題点の改善を行うため、試験機 2-1 の製作に取り組んだ。コイル部は試験機 2 と同じものを使用し、ローター部は磁石の厚さを 8[mm]から 6[mm]のものに変更し軽量化を図った。また、磁石の固定は、専用のガイドを CNC レーザー加工機で加工することで、磁石を均等に配置することができた。製作したガイド、ローターを図 15 に示す。



図 15 製作したローター

外板や磁石を固定する板、ガイドなどは試験機 2 と同様のアルミ板を使用し、外板とローターの板は

1.5[mm]から2.0[mm]、ガイドは重量を増やさないようにするため1.0[mm]のアルミ板を使用し、CNCレーザー加工機で加工し、精度の向上を図った。また、アルミ板を厚くすることで強度が上がり、ベアリングを固定する際の位置ずれも改善し、発電時の振動の軽減につながった。完成した試験機2-1を図16に示す。

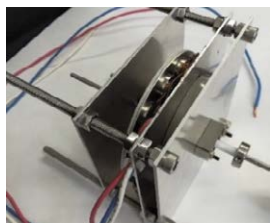


図16 試験機2-1

## 7. 出力の測定比較

試験機2と試験機2-1の出力を比較するため、セメント抵抗10[Ω]をY結線、コイルと磁石のギャップを2[mm]としオシロスコープで測定した。測定時は直流モータを試験機に取付け回転させている。測定した出力結果を図17に示す。出力波形を図18に示す。

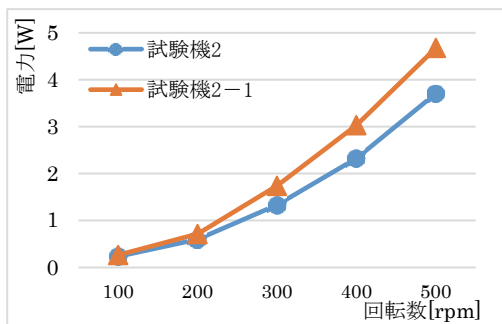


図17 試験機2と試験機2-1の出力比較

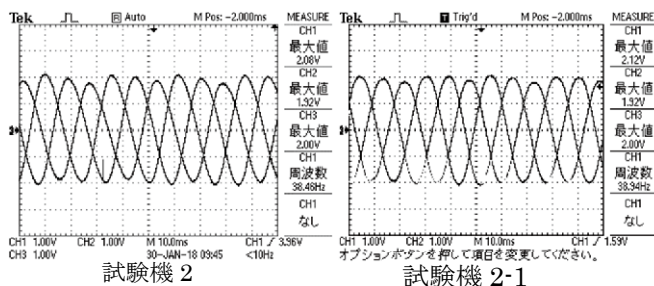


図18 試験機2と試験機2-1の出力波形比較

測定の結果、図17より試験機2より試験機2-1の方が多くの出力を得ることができた。ローター部の軽量化のため磁石の厚さを薄くしたことで、その

分磁束が減り出力も減少すると思われたが、磁石を設計図通りの正確な位置に配置したことで、磁石がコイルの中心を通り試験機2より多くの出力を得ることができたと考えられる。

## 8. 整流回路について

次にこの試験機2-1を前述5と同様にモータで回転させ、その出力からLEDを点灯させるために、三相整流回路を製作しその出力を測定した。三相整流回路を図19に示す。開放電圧を測定し、得られた波形を図20に示す。

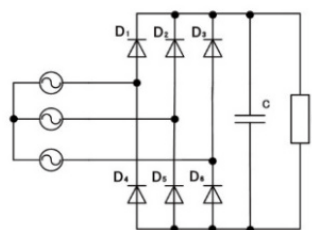


図19 三相整流回路

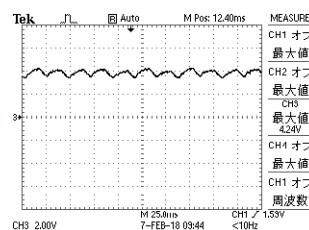


図20 三相整流波形

測定結果として、開放電圧で4.24[V]となった。波形は交流波形が乱れていることもあり、図21のように整流しても乱れてはいるが、回路により整流されていることを確認できた。

## 9. おわりに

試験機2-1ではローター部とコイル部の電磁鋼板を取り外すことで、圧力鍋による高圧の蒸気でLEDを点灯させることができたが、電圧がまだ十分に高いとはいえない。今後も昇圧を行うために三相倍電圧整流回路を使い、出力向上に取り組みたい。また、試験機2では今回用意した蒸気では必要な回転を得られなかったため、試験機2-1をベースに、改良を加えた発電機を製作していく予定である。そして、科のPRができる展示物の製作に向けて発電、昇圧、送電、電気の利用という流れが目で見えて理解できるように、発電以外の部分も今後検討を行っていく。

## 【参考文献】

- 1)久保大次郎：マイクロ風力発電機の設計と製作、CQ出版社、pp.48-79、2012

# 職業能力開発大学校における工学倫理の実施について

山川 晃\*1

## Report on Engineering Ethics for Polytechnic College Students

YAMAKAWA Akira\*1

**要約** 我が国では、西暦 2000 年前後より、科学技術関連分野での高等教育にも倫理教育が組み込まれるようになってきた。以来、およそ 20 年が経過しているが、職業能力開発大学校・短期大学校において、倫理教育をカリキュラムに取り入れる動きがこれまでほとんどなかった。本稿では、高等教育と比較しながら職業能力開発における倫理教育の必要性を論じたあと、筆者がこれまで職業能力開発大学校で実施してきた倫理教育について報告するものである。

### 1. はじめに

本稿で扱う倫理は応用倫理学の一分野である。一般に、道徳哲学や倫理学が、良識やコモンセンス (common sense) について探求するのに対し、応用倫理学は、倫理学をもとに他分野の諸問題を扱う。とくに、技術者の場合、専門性の高い営みにおいて、高度な科学技術に関する知識を用いた判断が行われる場合がある。このような場面では、技術的特異性を踏まえた判断が伴うため、一般人とは区別される、技術者に特有の倫理が要請される<sup>1)</sup>。このような、技術的専門性を伴う道徳・倫理は、技術、または、技術者、そのどちらに注目すべきなのかという議論もあるが、いずれにしても、一般に、“engineering ethics” と呼ばれる<sup>2),3)</sup>。

一方で、世界的潮流として、環境問題をはじめ、地球的視点・多角的視点をもった理解と行動が、一般の人々にも求められている時代ともなっている。

そのなかで、技術者は、科学技術によって人々をより幸せに、そして暮らしを豊かにしてほしいと期待されている。このような社会的要請を背景に、世界で認められる、あるべき自立 (自律) した技術者像を形作る要素の一つとして、優れた倫理観を技術者にもとめている<sup>4)</sup>。

このような社会情勢を踏まえ、本稿では、倫理教育の背景や位置づけを整理したあと、「高度技能者育成」を行う職業能力開発大学校において、筆者が設けた倫理系科目についての実施経過を報告する。

### 2. 道徳・倫理教育の社会的要請とその背景

#### 2.1 日本における高等教育との関係

もともと、“engineering ethics” は、1970 年代に米国で形成され始め、1990 年代半ば以降、米国から日本に導入された<sup>5),6)</sup>。ほぼ同時期、日本では、高等教育機関が行う技術者を育成する専門教育プログラムの認定を行う非営利団体として、日本技術者教育認定機構<sup>7)</sup> (JABEE: Japan Accreditation Board for Engineering Education) が 1999 年に発足し、その認定基準の中で、「技術者倫理<sup>8)</sup>」が謳わ

\*1 東北職業能力開発大学校 生産電子情報システム技術科  
Tohoku Polytechnic College  
Department of Production Electronic Information Systems  
Technology

\*2 “engineering ethics” の日本語訳として、現在、工学倫理、技術倫理、技術者倫理と定まっていない。本稿では、特に断らない限り “engineering ethics” の日本語訳として、「工学倫理」を用いる。

れたことが、日本の高等教育における倫理教育が普及するきっかけとなった。2021年現在の認定基準では、「自立した技術者像(認定基準 1.1)」を具体化した項目の中で、「技術者が社会に対する貢献と責任に関する理解<sup>8),9)</sup>」として明記されている。

一方で、1990年代は、オウム真理教による地下鉄サリン事件や高速増殖原型炉もんじゅでのナトリウム漏洩火災事故など、高度な科学技術に由来する大きな事件や事故が起きた。このような出来事をきっかけとして、大学などの高等教育でも、道徳や倫理の教育をすべきではないかという声が専門分野内のみならず、一般的にも大きくなってきた<sup>10)</sup>。また、地球温暖化や環境汚染問題、家電や自動車の安全性問題なども関心が向けられるようになり、さまざまな問題を考えるための基盤として、道徳や倫理の素養を身につけることの重要性が再認識され始めた。

## 2.2 技術者と倫理の関係

### 2.2.1 技術の性質と倫理

まず、技術者と倫理の関係性について、技術の性質という側面から整理する。

一般に、工業製品は、製品の開発、設計、生産、販売、利用、回収のサイクルがあり、このプロセスにおいて設計は重要視されている。これは、人工物である製品は、機能という側面では、設計者の意図が反映されたものとして存在し続け、その後、製品は劣化し、設計当初の機能を維持できなくなっていくが、この工業製品の一連のプロセスでは、開発・設計者の意図を忠実に生産・販売・利用の場面で受け継いでいかなければ、消費者との契約上、製品は製品として存在すべきではないと考えられているからである。そのため、製品生産のプロセス上で最も重要な技術的活動は設計と捉えられている。また、機能の構成は、知的財産権や安全上の問題として、利用者が機能を改変できないようブラックボックス化され、さらに、高度で精密・精緻な技術により、簡単には模倣できない技術レベルのものも多くある。

このようなことから、技術設計に携わる技術者には、「製品が設計どおりの機能で働く」ことに関し、

高度な技術活動を通して得られる技術的機能の産物(大きな人的・社会的リスクを生み出すことが可能な装置)に対する責任が求められている(ただし、設計者から離れた製品が勝手に動くことに対し、設計者の責任となるかどうかは、未解決の倫理学上の問題が残っている)。また、一方で、消費者は、他者が作り上げた「機械装置」を利用するとき、当然、使用目的をもって、その「機械装置」を使用する。この使用目的は、製造者と消費者との間で成立する契約として、使用上の注意や説明書・保証書などで明示され、信頼の根拠となる<sup>11)</sup>。しかし、「機械装置」の機能を保障するものは、安全性試験や動作試験によるものであるが、高度な技術が伴う機械装置に消費者の目利きは有効ではなくなりつつあり、結果として、経験的な「製造者への信頼」で簡便化(ヒューリスティクス)、または、企業名や広告で印象付けられた「慣れとしての安心」として評価される<sup>12)</sup>。しかしながら、どのような形であっても消費者による製造者への信頼は存在し、この信頼は、突き詰めれば、企業組織の技術と技術者への信頼である。

このように技術的活動で生じる「機械的機能」を産み出し・実行させる者としての責任や信頼が、一般的な道徳や倫理とは性質の異なる、専門性が伴う倫理(専門職倫理)の根拠である。

### 2.2.2 技術者の属性と倫理

次に、工業製品を生産する組織と従業員である技術者の関係から整理する。

一般に、技術者は企業という組織に属し生産活動を行っている。これら多くの組織では、生産活動を複数の人々によって担い、まとめ引き継ぐことに、それぞれの従業員としての職務上の責任が発生する。また、生産活動の金額や活動規模、リスクの大きさによって、職務上の責任が変化し、これに応じて報酬や役職も変化する。ここで、注意しなければならないのが、生産活動のリスク対象が、企業なのか消費者なのか社会なのかという点である。前で示した技術の性質という側面では、設計が、製品が出来上がるまでの重要な行為の一つとして認識されていることを示したが、生産活動では、原料の調達から工場の設置・運営まで、企業と社会という接点

においてはさまざまな立場や人々がかかわる。また、人材の活用という側面では、配置転換などの異動もあり、専門家・非専門家という立場も、そして、役職もさまざまに変遷することが多く、変わらないのは、(同一企業とは限らない) 企業・組織に属する人という立場だけである。

このような面から、技術者は企業倫理の範疇でもある。

### 3. 職業能力開発と倫理教育

#### 3.1 技術職と技能職の倫理

職業訓練や職業能力開発と言ったとき、そこでは、技能を身につけることが目標となる。そのため、職業能力開発と技術が結びついたとき、その職業上の分類は、技能職という位置づけになる。

一方で、専門家倫理の対象とする職業を専門職と考えたとき、代表的な職業に医師や弁護士があげられる。専門職には、一般的に定められた定義はないとされるが、おおよそ、古くは、体系的な知識に基づく高度な専門性により、社会的特権や権威のもと、社会にとって重要なサービスを担う職業とされる。

では、技術者や技能者はどのような職業に就く者と認識されているのだろうか。

科学技術は、社会に対して大きな影響力をもつようになってきており、とりわけ、近年は、技術要素のモジュール化と相まって、情報通信の発達と、技術的活動のパーソナル化とグローバル化が進み、職業というより、専門知を備えたものの所業が、他への大きな影響力を発揮しているといつてよい。また、職務が分業化・細分化されていることも含め、技術者と技能者を明確に分けることは、技術的活動という側面からあまり意味がないと考える。

以上から、ここで注目する倫理とは、専門職の倫理に関する研究上の議論<sup>13)</sup>は他所に譲るとして、やや厳密さに欠けるが、大きな人的・社会的リスクを生み出すこと・認識することが可能な職業に就くもの、もしくは、それらの知識をもつものが備えるべき倫理としておく。

#### 3.2 倫理教育の実施計画

##### 3.2.1 倫理系科目設置の準備

理想的には、世の中のすべての人々が関係してくるので、より多くの教育機会で道徳や倫理を学ぶ機会があればよいのだが、ここでの論点は、技術・技能と倫理教育とのかかわりであるので、そこに注目して、教育内容を整理する。

前提として、倫理教育においては行為の根源となる考え方に注目するので、なにかを学んだあとすぐに、「～できる」という評価はなじまないとされる。しかし、カリキュラムのなかで倫理要素と技能要素をうまく編み込んだ実習成果の評価の可能性はある。この倫理教育と技能訓練の融合可能性は今後の研究課題として他に譲ることとし、ここでは、職業能力開発大学校において、専門性に共通する素養を備えるための倫理系科目を開講する際の問題点について、筆者がこれまで行ってきた講義科目に関する考え方とともに述べていく。

まず、そもそも倫理がもためられる背景は、「技術とはすべての人にとって、安全で暮らしを豊かにするものであってほしい」という要請からはじまる。そのため、倫理学で取り扱う範囲は、人がかかわるすべての領域であり、政治・経済・心理・環境・生物・民族・文化から人間・宇宙、人工知能など、多岐にわたる。そのため、どのような内容でも倫理と関係させた内容（または、人との関係に注目した内容）であれば、授業内容としてはひとまず問題ないとも言える。しかし、だからと言って、倫理系の授業の体をなすように、教育上のストーリー（シラバス）を構成する必要がある。多くの場合、シラバスを作成するときに参考とするのは、先行する実施報告や研究結果であるが、定型化されていない教育分野では、先行実施例は少なく、研究結果を積み上げていくことになる。

今日、人や社会と科学技術の影響について研究する分野は、大きく分けて、社会的なアプローチによる科学技術社会論(STS: Science, technology and society)と、倫理的アプローチによる応用倫理学である(もちろん、各科学技術分野それぞれの研究テーマレベルで、人や社会と関連した研究は行われている)。そのため、多くの科学技術系の教育課程における倫理教育は、科学技術社会論や応用倫理学の内容に関する構成(教科書)で倫理教育が行われて

いる（科目名は社会学、哲学、倫理学、工学倫理、技術者倫理、環境倫理など、科・コースによってばらつきがある）。

次に、一般に、教育体制を整えるときに生じるであろう大きな問題点を示しておく。

問題点 1 担当教員の確保と専門性

問題点 2 講義内容（単位数・時間数）

問題点 3 開講時期

問題点 1 は、そもそもここで取り扱う学問分野の軸は応用倫理学である。倫理学を専門としていない場合、日本の大学で応用倫理学に関する科目を履修できるようになってきたのは、おおよそ 2000 年以降である。そのため、応用倫理学の教育が高等教育で一般的になる以前は、科学技術系教員のうち、倫理教育を担当できるものはほとんどいなかった。実は、専門分野とも思える哲学系の教員も、応用倫理学が科学技術系の高等教育に普及する以前は、科学技術に関する知識と経験が少ないかったため、倫理学理論を教えることができても、応用倫理学に関する教育にすぐに対応できないという問題があった。そのため、いわゆる理系・文系教員にかかわらず、授業担当となる場合には、別領域の知識を新たに得なければならないという難しい問題を抱えていた。それでも、授業の担当に決まった教員は、自己学習と新たな研究活動によって得た新しい知識で、授業に対応していた<sup>14)</sup>。

次の問題点 2 と 3 については、倫理系科目に限ったことではないが、大学や学部・学科の教育方針をもとに、担当教員のみならず、実施科全体で、念入りに検討し決定する必要がある。

### 3.2.2 カリキュラム案の作成

ここでは、前節で取り上げた問題点とともに、筆者の倫理系科目のカリキュラムの考え方を述べていく。

問題点 1 については、問題点 2 と合わせて担当者を決めることになるが、適任者がいれば問題ないが、先述した通り、応用倫理学を学ぶ機会がなかったものにとっては、準備時間が必要である。また、技術

士試験<sup>15)</sup>などの専門的な資格試験では、倫理に関する内容が試験項目に含まれているので、そのような有資格者に講義や講義の一部を依頼することも可能であろう。

問題点 2 については、必須受講科目である「標準カリキュラム」には倫理関係の科目が設けられていないため、職業能力開発大学の専門課程、および、応用課程の標準外科目で、独自に設けることとなる。

開講当時、先行して実施していた大学がいくつかあり<sup>16)</sup>、その状況を参考に、履修単位数を 2 単位と設定した。

ここで、参考までに、現在の高等専門学校を例に示しておく。2021 年 3 月 1 日現在のシラバス<sup>17)</sup>では、全国の高等専門学校本科の 4・5 年生（大学 1・2 年生相当）において、倫理系の科目が全く設けられていない学校は 51 校中 13 校ある。また、同様に、専攻科（大学 3・4 年生相当）のある 50 校中 3 校が倫理関係の科目が設けられていないが、3 校のうち 1 校は本科で倫理系科目が必修となっている。なお、本科・専攻科の 6 年を通して全く倫理系科目が開講されていない高等専門学校は 50 校中 2 校で、この 2 校はともに商船高等専門学校であり、内訳は、商船学科、流通情報工学科、電子機械工学科、および、海事システム工学専攻、海上輸送システム工学専攻、産業システム工学専攻、生産システム工学専攻である。なお、倫理系科目が設けられているいずれの高等専門学校でも、倫理系科目の単位数は本科で 1～2 単位、専攻科では 2 単位が最も多い。

教育目標については、技術者の倫理教育が行われるようになった背景を踏まえ、筆者は、「自身の専門的志向をもとに、倫理的分析を加えた思考と行動ができること」とした。この教育目標をもとに、カリキュラム内容は、

- 1 倫理が求められる背景（事故・事件、世相）
  - 2 倫理学的思想と倫理学理論の概要
  - 3 社会と倫理と科学技術との関係
  - 4 事例分析
- （1～4 までを自分のことばで説明できる）

の 4 つの項目を軸として構成した。

### 3.3 職業能力開発大学校での倫理教育の実施について

#### 3.3.1 職業能力開発大学校での実施経過

ここでは、北海道職業能力開発大学校と東北職業能力開発大学校で実施した倫理系科目について報告する。

筆者がはじめて倫理系科目を実施したのが、北海道職業能力開発大学校の専門課程 電子情報技術科 2年生を対象とした講義科目である。カリキュラムについては、2009年度に専門課程の電子情報技術科が設けられたと同時に、科学技術社会論(STS: science, technology and society)に関連する科目として、標準カリキュラムに「環境エネルギー概論(2単位:標準カリキュラム)」が設けられた。そのため科目間の関連性を持たせるため、科学技術社会論の概要を学んでから、倫理学を学習した方が、学生にとって理解がしやすいだろうという筆者の考えがあった。この考えのもと、この講義科目に関連させた橋渡し科目として標準外カリキュラムに「科学技術と社会(1単位)」を設け、その後、「技術者倫理(1単位)」を設けた(なお、1年次に、情報倫理も別途1コマ実施した)。このカリキュラムで、2010年度～2013年度までの4年間実施した(他科目との関係を図1に示す)。その後、2014年度から実施するカリキュラムを、2013年度に見直しを行った。

改編の理由は、実施初年度である2010年度の授業評価アンケートやレポートの内容から、とくに「科学技術と社会」について、社会や組織についての幅広い周辺分野の知識が含まれるため、講義内容が多岐にわたり、講義内容が難しいという意見が見られたためである(このとき取り上げた内容は、産業の歴史、公害問題、知的財産権、プライバシー問題)。そこで、講義科目の変更の前の2011年度と2012年度に講義内容を少し改め、身近な環境倫理や専門性と関連する情報倫理に重点を置いたところ、講義内容が難しいという意見がなくなった。この結果を受け、2013年度にカリキュラムを見直し、内容の大幅な変更を行ったことから、講義内容の見直しとともに科目名も「社会と倫理」へ変更した。そして、2014年度以降からは、「社会と倫理(2単位)」に改編し、専門課程2年生を対象に実施した

(他科目との関係を図2に示す)。なお、筆者の異動により、2014年度～2017年度は、2013年度に改編したカリキュラムで、応用科学哲学・応用倫理学を専門とする外部講師へ依頼し実施した。

次に、異動先である東北職業能力開発大学校における倫理系科目の実施について報告する。

東北職業能力開発大学校で、筆者は、応用課程担当となったために、大学3・4年生に相当する学生に対して倫理系科目を設けることにした。異動当初は、担当する生産電子情報システム技術科のカリキュラムには、標準外カリキュラムが設けられていなかったが、2017年度より標準外カリキュラム4単位が新たに設けられたので、このうちの2単位を倫理系科目として新設することにした。なお、倫理系科目を設けるきっかけは、外部構成員による「独立行政法人高齢・障害・求職者雇用支援機構運営協議会 東北職業能力開発大学校部会」において、構成委員の一人から、倫理教育の実施を促す意見が複数回出たためでもある。

ここでは、専門課程を修了した応用課程学生を対象とする授業科目であるため、ある程度専門的知識を備えた学生が対象であること、マネジメント系科目である創造的開発技法や経営管理が並行して開講されていることを踏まえ(他科目との関係を図3に示す)、3.2.2節に示した4つの項目を軸にして、技術者と倫理の関係に重点を置いたカリキュラムの内容(安全工学や技術設計思想、社会や組織の特徴、専門家の責任、技術に絡む事件・事故の事例)とした。そのため、科目名も専門性を意識した「工学倫理(2単位)」とした。

ここで、応用課程 生産電子情報システム技術科1年生を対象とした講義は、2017年度から2020年度まで実施しているが、そのなかで、アンケート等から、講義で取り上げた内容に関して、難しいという意見は全くみられなかった。

#### 3.3.2 倫理系科目の成績評価について

知識の習得状況の把握は、測ることができる。では、人を対象とする哲学、つまり、人の考え方から行為、そして、生き様に至るまでをその学問の対象

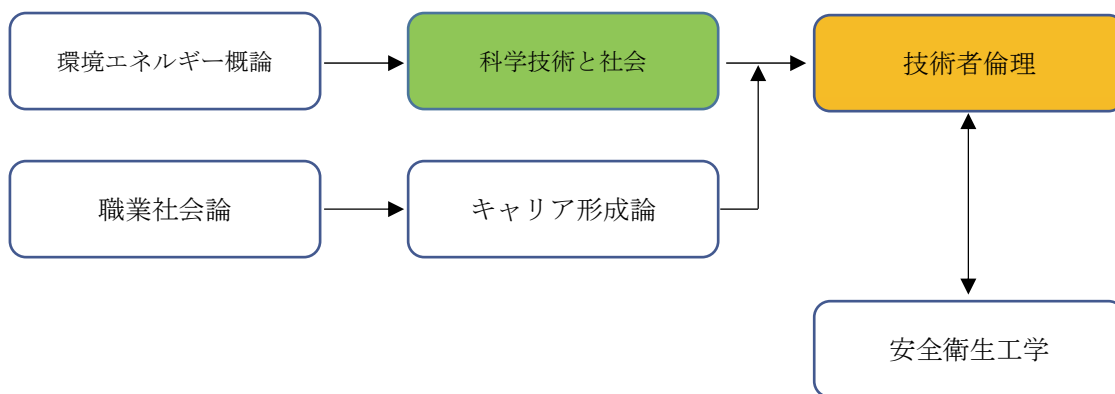


図1 電子情報技術科のカリキュラムのうち倫理系科目の位置づけ(2009年度に設置)

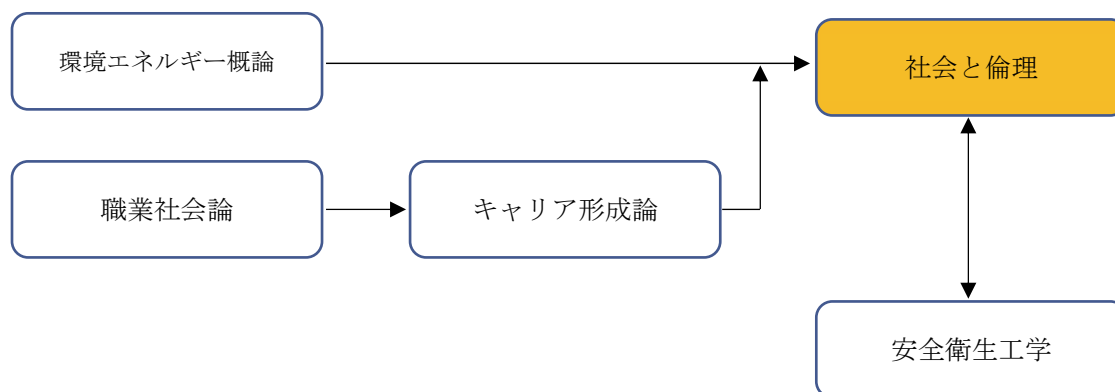


図2 電子情報技術科のカリキュラムのうち倫理系科目の位置づけ(2013年度改編)

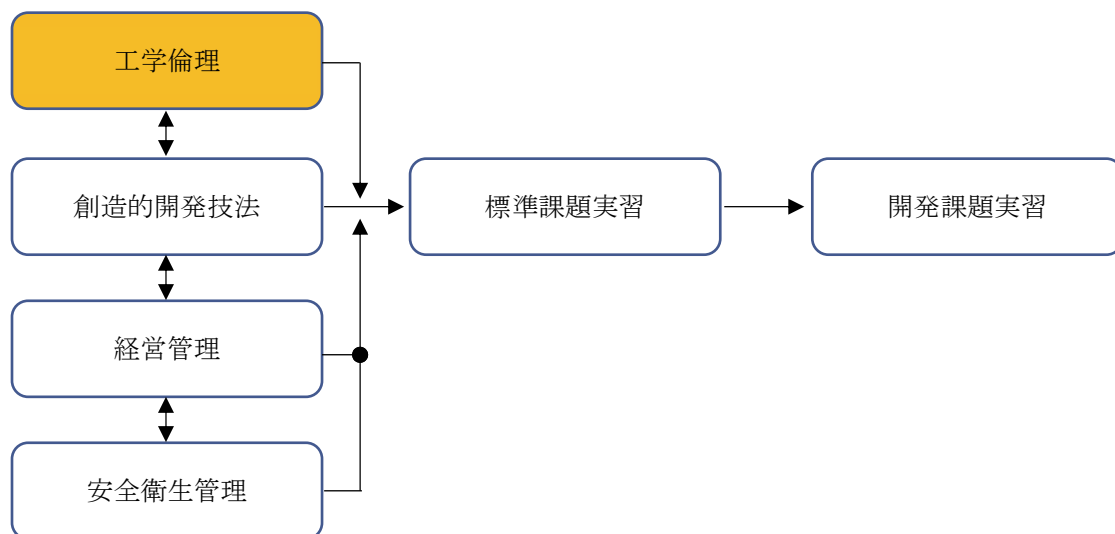


図3 生産電子情報システム技術科のカリキュラムのうち倫理系科目の位置づけ(2017年度に設置)



とし、人の存在の在り方の根本となる思想を、論理的に分析・測定することが果たしてできるのだろうか？具体的には、人の一生を、なんらかの科学的データとして分析・評価することは、多様な価値観の検討とともに主観的価値観を軸にその都度主観的評価をしつづけることに加え、思想と行為の結果として、その都度、客観的行動データと結び付けて評価しなければならない。これは、実験による理論の検証や自動機械のプログラムに対する応答動作の評価と同様のプロセスで評価したい場合、実験科学的手法と同様の作業を人に対して逐次行い、その対象者の一生分（ある限られた期間でもよいかもしれないが）の時間で測定を行う必要がある。そのような煩雑な作業から得られた複雑で膨大な測定データの評価に替えて、先人達は、理論的概念の抽象化や一般化とともに、論理性と合理性、納得性や社会的受容性など、一つ一つのデータを細かく検討する過程を昇華させた形で評価することで成してきた。また、近年の学校教育における道徳科目の評価については、道徳性は人格的特性であり、その評価によって人格に働きかけることは、道徳性を養うことを目的とする場面では妥当ではないと捉えられている<sup>18)</sup>。しかし、多様な価値観を想定して諸問題を倫理的に分析すること自体は可能であると考えられる。ただ、一つの問題に対してもさまざまなアプローチが想定される中で、「用意された解答」と答え合わせすることは倫理教育の目的ではない。そのような意味で、筆者は、成績評価作業が大変な側面はあるが、ある程度、可能であると考えている。ただし、注意しなければならないのは、教員側の一方的な偏った視点での評価とならないために、倫理学理論との整合性や論理性をきちんと踏まえた評価でなければならないことである。そうでなければ、思想の押し付けや洗脳という誹りは免れないだろう。

このような考えのもと、筆者が担当した科目の成績は、学生のアウトプットを、倫理学理論との整合性、学生の意見や考えの論理性を中心に、集めた情報の正確性とともに評価することとした。これらの評価材料は、以下の1、2に示す活動を通して得ている。

- 1 課題レポート、グループ討議とレポート
- 2 提出されたレポート内容について、更なる質疑・応答とそれに対するレポート

さらに、調査内容や分析内容、議論に対する姿勢、まとめ方も補足的に評価項目とした。また、提出されたレポートに対する教員からの質問に対して、場合によっては、課題テーマとしてさらに授業の中で取り上げ、他の学生から出てきた意見に対して、新たなレポートとしてまとめ提出してもらうこともある。

このような評価作業を繰り返すことで、こちらで用意した解答との正誤評価ではなく、課題への取り組みから得られる倫理的問題点に気づき、その気づきから得られた分析結果によって、自分自身の考えの精緻性や論理性を高めることができる。そして、問題点のさらなる抽出を行うことで、学生の考え方や意見の一般的評価ができるようになる。つまり、この方法であれば、理想的には、成績の評価は教員が一方的に行うというより、学生自身でも行えるようになるはずである。しかし、実際は、この繰り返しレポート内容を吟味する作業は現実として難しく（時間と労力がかかりすぎることや、学生も飽きてくるなど）、これこそ、学生ごとの質的な内容に差が出る結果となる。この同じテーマに時間を費やし、学生が飽きてしまう部分に関しては、授業の展開手法として問題が残っている。それでも、このような、一連の作業から得られた評価結果を、3.2.2 節で掲げた、教育目標に対する学生の「一応の成績」とした。

#### 4. おわりに

講義を受けている期間や直後のアンケート、レポートから、倫理に関する科目を履修することで、大人としての自覚とともに、技術に携わる者の責任を自覚したという学生が非常に多かった。

新たな視点によって見え・気づくことが、自覚と責任を促し、人の自律へとつながる。そういった意味で、倫理教育を行う意義は大きいと考える。しかしながら、1年後に行った追跡アンケートでは、せっかく得られた倫理的視点を、学生の多くは見失っ

ていた。道具は使わないと錆びてしまうが、気づきを与えてくれる感性は生ものである。新しい知識とともに活性化しておかなければ何も得られない。道徳・倫理教育に関しては、昔から、継続した教育が必要であると異口同音に言われている。これは、記憶として忘れてしまうからではなく、感性が腐らないように、古くて新しいエネルギーを注入しつづければ、生命活動と同様に感性も維持できなくなり、不幸な歴史を繰り返すからではないだろうか。このような意味でも、様々な機会において、気づきのきっかけとしての倫理教育が広く普及すべきと切に願う。

#### 謝辞

学生のみなさんには日常会話やアンケート、グループ討議など、様々な場面を通じ、講義内容を見つめ直すきっかけを与えていただきました。ここに感謝申し上げます。

#### 【参考文献】

- 1) 大谷卓史：電子情報通信学会知識ベース『知識の森』4章 技術者と倫理、電子情報通信学会、2012
- 2) Michael Davis、池田誠（訳）：技術者と持続可能性：三種の倫理学（マクロ倫理、ミクロ倫理、メソ倫理）の微妙な区別について、北海道大学大学院文学研究科応用倫理研究教育センター、応用倫理(5)、25-40、2011-11
- 3) 札野 順：技術者倫理教育，その必要性，目的，方法，現状，課題、工学教育、54-1、2006
- 4) 一般社団法人 日本技術者教育認定機構 JABEE 設立の経緯、<https://jabee.org/doc/13624.pdf>
- 5) 金光秀和：技術者倫理の展望—その歴史的背景と今後—、情報知識学会誌 Vol.16, No.3、2006 年 16 卷 3 号 pp. 3\_24-3\_38
- 6) 比屋根均：日本の技術者制度変革の停滞と混乱：その問題分析と解決策の提示」、名古屋大学博士論文、2015 年 3 月 15 日
- 7) 一般社団法人 日本技術者教育認定機構 定款、2021 年 3 月 26 日閲覧
- 8) 日本技術者教育認定基準(2019 年度～) 認定基準の解説 (エンジニアリング系学士課程 2019 年度以降～)、2020 年 12 月 23 日
- 9) 日本技術者教育認定基準(2019 年度～) 認定基準の解説 (情報専門系学士課程 2019 年度以降～)、2020 年 12 月 23 日
- 10) 札野順：倫理は技術者にとって周辺領域か、社団法人 日本機械学会 技術と社会部門ニュースレターNo.13 巻頭言、2003 年 2 月 20 日
- 11) Caroline Whitbeck、札野順・飯野弘之（訳）：技術倫理、みすず書房、2004 年 3 月 30 日
- 12) 山岸俊男、信頼の構造～こころと社会の進化ゲーム～、東京大学出版会、1998
- 13) 新田孝彦：世界市民としての専門職業人：専門職倫理の綱領的理念、北海道大学大学院文学研究科応用倫理研究教育センター、応用倫理 (1)、1-14、2009-03
- 14) 前野隆司：倫理教育とは何か？—不正、捏造、賄賂、談合、隠蔽から、哲学、人生観、世界観まで—、日本機械学会技術倫理委員会 コラム『技術倫理あれこれ』、No4、2007 年 12 月
- 15) 文部科学省 科学技術・学術審議会 技術士分科会 試験部会（第 28 回）配布資料 参考 7 試験科目別 確認 項目 2021 年 3 月 26 日 閲覧 [https://www.mext.go.jp/b\\_menu/shingi/gijyutu/gijyutu7/002/siryo/1411044.htm](https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu7/002/siryo/1411044.htm)
- 16) 鈴木好夫：特色 GP「オムニバス形式による技術者倫理教育の実践、電子情報通信学会技術研究報告. SITE、技術と社会・倫理 106(401)、25-30、2006-12-01
- 17) 高 専 Web シラバス、<https://syllabus.kosen-k.go.jp/Pages/PublicSchools?lang=ja>
- 18) 文部科学省 道徳教育に係る評価等の在り方に関する専門家会議 「特別の教科 道徳」の指導方法・評価等について（報告）p.9、平成 28 年 7 月 22 日

# くりはら遺産認定委員会参加報告

## —宮城県栗原市商工観光部田園観光課との協働—

星野 政博\*1

### Kurihara Heritage Recognition Committee Participation Report

— Collaboration with the Country Tourism Division, Commerce and Industry  
Tourism Department, Kurihara City, Miyagi Prefecture —

HOSHINO Masahiro\*1

**要約** 宮城県栗原市では、2019年3月より「くりはら遺産認定制度」を発足させ、認定委員会に参加することとなった。地域に長く保存され、継承されてきた地域の歴史や文化・自然環境など、これまで所有者や地域の方々によって守られてきた、有形無形の資産の保全活用を図りながら後世に伝えていくとともに、「くりはら遺産」として認定することで、住民の地域に対する誇りや愛着を醸成しようとするものである。建築物や考古資料、民族芸能・風俗習慣・音楽・美術・舞踏・工芸品・工芸技術・自然景観など、これまで地域住民に親しまれ、愛着を持ち、後世に継承すべき価値が高い資産を対象とするものである。本報告では、ワークショップを含めた2年間の活動についての報告を行う。

## 1. はじめに

宮城県栗原市では、2019年3月より「くりはら遺産認定制度」を発足させ、認定委員会に参加することとなった。地域に長く保存され、継承されてきた地域の歴史や文化・自然環境など、これまで所有者や地域の方々によって守られてきた、有形無形の資産の保全活用を図りながら後世に伝えていくとともに、「くりはら遺産」として認定することで、住民の地域に対する誇りや愛着を醸成しようとするものである。

栗原市内にあるそれぞれの地域で継承されてきた歴史や文化、自然環境などに係る資産のうち、文化財保護法や宮城県文化財保護条例、栗原市文化財保護条例などで規定されている指定文化財以外の

ものを対象としている。

建築物や考古資料、民族芸能・風俗習慣・音楽・美術・舞踏・工芸品・工芸技術・自然景観など、これまで地域住民に親しまれ、愛着を持ち、後世に継承すべき価値が高い資産を対象とするものである。本報告では、ワークショップを含めた2年間の活動とくりはら遺産認定までの経緯についての報告を行う。

## 2. 活動内容

### 2.1 第1回委員会活動内容

2019年3月13日(水)、午前10時から11時30分まで、栗原市役所3階306室において、栗原市長千葉健司氏より「合併後15年経過した。栗原の原石を発掘する。風景などの資産は観光資源になる」とのごあいさつの後、各委員の自己紹介・事務局紹介がな

\*1 東北職業能力開発大学校 住居環境科  
Tohoku Polytechnic College  
Department of Housing Environment

された。議事内容として、以下の意見交換および検討がなされた。(図1)

1) くりはら遺産認定制度の概要などについて  
事務局より資料説明後、質疑応答。

(M委員)自然や景観は変化するもの。大崎市のイグネは、維持管理が大変である。旧10市町村の社会科学副読本がある。参考資料としてほしい。

(S委員)建物単体や点で認定するだけでなく、地域・面・ゾーンでの認定を検討してほしい。観光マップを作成して、ツアー企画につなげてはどうか。地名も対象となるのでは。

2) くりはら遺産の活用について

事務局より資料説明後、質疑応答。配布資料「下田まち遺産手帖」

(T委員)認定制度の活用については、市民への広報が大切。認定後は観光マップに掲載すると良い。

(K委員)個人からの申請だけではなく、この委員会委員からの推薦も必要ではないか。

(K委員)申請者少ない時は委員が動くこと必要。

(T委員)認定対象物のイメージ例があると良い。有形・無形・食文化などのとらえ方は、地域・人ごとに違う。

(M委員)多くの市民が認定制度を知るために、広報の方法検討。旧地名や風景は、誰が申請する。

(I委員)広報活動の場となる。副読本等の過去資料を見たい。市内の顔となるものを認定する。

(I委員)市内の<sup>まじり</sup>店の事例あり。地名・方言も対照となるのでは。

(S委員)認定後への意見を付して認定すること必要。FBなどでの広報。

(M委員)募集に先行してPRが必要。点と面の募集。わかりやすい認定基準作り必要。具体的に。

(H委員)認定された場合は、認定書のほかに市内観光マップに掲載されるとか、プレートを作成して掲示されるとか。

3) 今後のスケジュールについて

事務局より資料説明後、質疑応答。

4、5月で各委員からの具体的提案などを集約して認定委員会を開催する。8、9月から広報・申請募集開始予定。「くりはら遺産の認定に関する要綱」は確認された。



図1 第1回くりはら遺産検討委員会の様子

4) まとめ

1) , 2) , 3) の議事につき検討・協議した。

第2回委員会では、具体的なスケジュールおよび提案事項について検討することとした。

## 2.2 第2回委員会活動内容

1) 2019年6月18日(火)

事前打ち合わせ・事務局来校・東北能力開発大学校5号館2階CAD室1。栗原市としての提案をした。

①最終的には、観光資源として活用する。

②モデルエリアの設定

③有形物、昔から元々ある看板

④マップ、限定エリア

⑤第2回は7月上旬予定とする。

2) 2019年7月10日(水)午後1時30分～3時30分  
栗原市役所3階307室において開催された。

座長あいさつ、第1条目的の確認後、新事務局体制の紹介がなされた。

議事内容として「くりはら遺産認定制度の概要などについて」の意見交換および検討がなされた。

事務局提案(1)配布資料「地区限定」

事務局提案(2)配布資料「地区限定なし」、昭和以前の看板など

各委員よりの意見として、

(M委員)遺産とは何か、文化遺産とは(定義資料)、有形の場合、地区の絞り込み賛成、文化遺産と観光資源の関係、食文化・習俗は含めないのか、集約できないか。

(T委員)看板認定だけではなく、ストーリーを作るべき、例えば、奥州街道の活用を通じた観光の戦略作りが必要、建造物指定は賛成。

(M委員)那須高原ツーリングには、ファンがいる。

くりはらファンをつくる。

(K委員)若柳には、看板が少ない。

(S委員)看板懐かしい。商店なら良い。集めて展示。ウォークラリー。

(S委員)認定の期限は、2年後に再申請する。具現化必要。

(S委員)花山移住1年、昭和レトロ、新幹線駅前、旧街道、地域の歴史にストーリーをかぶせられる。栗原市内の奥の細道の足跡をたどる。

(S委員)スピーディー、売り込み、フレキシブル。

(T委員)走りながら考える。大阪の太陽の塔の事例。看板を集約して商店街ストリートに集める。

(I委員)田園観光課なのだから観光資源としての活用、(栗原は人柄だよと言われる)、ばらばらでなく、金成歴史資料館に展示してはどうか。

(S委員)歴史・自然などに分科会を設定して、早く進めることが大切。

(H委員)独自の視点からのパンフレット作成。

(M委員)市内には石碑が多い。点に終わらないマップが必要。具体的な提案必要。マスコミの活用。FBシェア。横のつながり必要。

(S委員)メディアへの戦略方針を検討すること必要。地域割りで分科会設定してはどうか。昔は栗原を東西南北に分けた。

(I委員)中山道妻後、昔の看板・電化製品の展示あり、岩ヶ崎風土館、金成資料館での展示、ハリストス正教会へのつながり、奥の細道(一関から鳴子まで1日で歩いた、忍者だったか)。

(事務局)歴史・自然などのグループ分けも考慮しながら、戦略的に進める。

① マップを作成して周遊していただく。

② くりはら遺産認定の申請方法が、具体的に示されていない現状。事例を示す必要あり。

③ 看板を集約して、マップを作成。

(M委員)エリアを限定する。くりはらオリジナルを大切に。「くりはら遺産」という名称にふさわしいものを認定。

(S委員)細倉鉦山、栗電、つるまる城、.....

(M委員)石碑の写真がなぜないのか。街道文化ストーリーがある。社会科副読本の解説、旧10カ町村のもの、観光、有形、建築物、町並みの分科会を設

定してはどうか。遺産とは、次世代に伝えるもの。町並み見学として、共通体験的ワークショップを通じて、共通の認定基準に関する視点を見出す。

3) まとめ

1), 2) の議事につき検討・協議した。各委員から提案された意見に基づき、第3回委員会では、調査見学会を開催することとされた。

## 2.3 第3回委員会活動内容

1) 2019年9月13日(金) 調査見学会を開催した。調査見学した建築物は、図2、3、4、5、6、7である。



図2 栗駒町六日町ストリート景観



図3 昭和の景観の写真展示の様子



図4 スープカフェ前での委員集合写真



図5 金成尋常高等小学校外観



図6 金成正ハリストス教会外観



図7 金成地区「なべや」外観

## 2) まとめ

栗駒六日町商店街と金成地区の調査見学を実施した。参加各委員には、「見学情報記入シート」を提出していただくようにした。シートに基づき、第4回委員会では、ワークショップ方式で認定事項について協議することとした。

## 2.4 第4回委員会活動内容

### 1) 2019年10月17日（金）

事前打ち合わせ・事務局来校・東北能力開発大学校5号館2階CAD室1。くりはら遺産の選出に際して、4つの分野・ゾーンに分けて考えることとした。

- ① 地域・市内全体・景観を含む、② ゾーン・範

囲限定、③ 個別・単体、④ 目に見えないもの。

事例としては、①くりこま商店街(昭和遺産として)、② なべや(商業建築・店舗遺産として)、③ 農家型長屋門(地域遺産として)等が挙げられた。

### 2) 2019年11月8日（金）午後1時

栗原市市民活動支援センター、多目的室において開催された。協議事項としては、以下の項目について、ワークショップ方式で協議検討した。

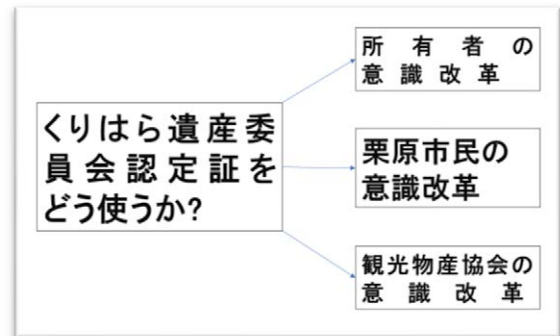


図8 戦略の関係図

- ① 町並み調査の振り返りと今後の進め方
- ② グループワーク実施（図8、9）
- ③ グループワークでの意見のまとめ方



図9 ワークショップでの検討の様子

## 3) まとめ

「見学情報記入シート」に基づき検討協議した。2グループに分かれて、各委員からさらに提案された意見も踏まえて、調査見学会を振り返った。また、戦略としての全体を俯瞰する意見も出された。

## 2.5 第5回委員会活動内容

- 1) 2020年1月22日（水）午前10～11時、東北職業能力開発大学校3号館2階CAD室IIにおいて、

委員長と事務局員とで、第5回くりはら遺産委員会打ち合わせを行った。協議事項と進め方について以下の通り検討された。

- ① 開催予定は、3月9日(月)から15日(日)の間の午後7時から午後9時予定(3/11を除く)。場所は、栗原市民センター2階とする。
- ② 最終的なまとめをどのようにするか。協議方法と進め方、くりはら遺産の定義などについて。第1回は、規約の確認、各委員からの自由な意見集約など。第2回は、六日町商店街・金成町なべやなどの見学。交流会意見交換。第3回は、2グループに別れてのグループディスカッションと、くりはら遺産候補の提案。ワークショップとしてまとめた。具体的事例・農家型長屋門(文字地区マップあり・長屋門群として認定候補、景観、食材など.....)
- ③ 協議方法と進め方に関しては、推薦書として提示するための認定基準・申請方法.....。年度内での認定は難しい。次年度も継続して委員会を進める。委員については、単年度の委嘱なので変更あり。第3回での2グループの提案項目を一つにまとめて、参加者で協議する。各委員より候補となるものを選定して、申請書の作成を依頼する。
- ④ 次年度第5回委員会・5月予定までの各委員からの申請書提出を依頼する。
- ⑤ 次年度第6回委員会・7月予定で、モデルケース第1号として認定試行する。その後広報などにより、広く一般市民から候補を募る。広報・応募・選定の手順で進める。

## 2) その後の経過と対応

2020年1月に第5回くりはら遺産委員会の事前打ち合わせを行った。その項目としては、

(ア) 委員会の目標

(イ) 観光コースのルート提案(ルートマップ・ロードマップなど)

(ウ) 認定遺産候補の絞り込み

などが挙げられた。しかし、2020年2月から5月にかけては、新型コロナウイルス感染への対応として、委員会は活動停止となった。コロナ禍が継続する中、2020年6月26日(金)事務局との打ち合わせを行った。2年目の活動開始に向けて少しずつ動き始め

た。「with corona」の生活様式に基づき注意深く見守りながら再開していく方針で進めることとした。そして、2020年7月3日(金)に第5回委員会を開催することができた。協議検討項目としては、①委員会の目標、②観光コースのルート提案(ルートマップ・ロードマップなど)、③認定遺産候補の絞り込み、を挙げた。

## 2.6 第6回委員会活動内容

1) 2020年11月20日(金)第6回認定委員会打ち合わせを行った。

① 岩松剛家原稿配布の件---了解された。

② くりはら遺産認定後の対応について

イベント開催---例えば、岩松剛家長屋門・母屋見学会(昼食会)企画・・・星空・自然景観と四季・鳥の声が言っても聞こえる---癒し

伊豆沼・白鳥・マガン・ハス---観光資源

お米・野菜・・・食材で人を呼ぶ

③ 認定委員会登録ネットワークの構築----認定の促進・メリット、認定委員会からの支援---行政の対応、認定証の交付だけとなるのか。

第6回くりはら遺産認定委員会内容

日時 2020年11月25日(水) 午後6時～

会場 栗原市役所 2階講堂

参加者 認定委員会委員、事務局

事務局の取りまとめにより、以下の5件の申請書が提出された。いずれも栗原市内に現存する農家型長屋門\*2である。そのうちの1件「岩松剛家の農家型長屋門」については、これまで実測調査や母屋のH23東北太平洋沖地震(東日本大震災)での復興支援漆喰壁修復実習で学生とともに支援してきた建築物であった。

① 菅原セツ氏宅農家型長屋門(ちぎり絵ギャラリー)

② 菅原大治氏宅農家型長屋門(ちぎり絵ギャラリー)

③ 佐藤寛次郎氏宅農家型長屋門(愛宕産土農場、事務所兼加工場)

④ 岩松剛氏宅農家型長屋門(農作業場兼倉庫)

⑤ (一社)くりはらツーリズムネットワーク長屋門(民泊施設としてリノベーション)

協議事項として、事務局より、添付資料5件①-

⑤の長屋門に関して、申請書の説明がなされた。

①菅原セツ氏宅長屋門(91歳、維持管理大変、活用OK)

②菅原大治氏宅長屋門(ご夫婦70代、大崎タイムズ記事掲載有、ちぎり絵ギャラリーとして活用、①宅と隣同士、活用OK)

③佐藤覚次郎氏宅長屋門(元町長さん、活用OK)

④岩松剛氏宅長屋門(母屋と併せて活用OK)

⑤(一社)くりはらツーリズムネットワーク長屋門(民泊施設としてリノベーション中、活用OK)

各委員からの質疑応答により協議を進めた。以下のようなご意見・要望をいただいた。

①5件の申請長屋門の建設時期につき再確認する。可能な限り建築年を明確にしてほしい。②くりはら遺産の事業継承については、例えば長屋門見学ツアー等のイベントを企画する。認定遺産モニターツアーを企画する。その後事業者企画による「観光ツアー」として継続させていく。別途、予算についても、確保していく。そのためツアーに見合った料金を設定して、見学施設への謝礼金(施設利用料)を支払えるようにする。③栗駒門司地区の長屋門3件を今後の候補としたい。長屋門をめぐるつあへ企画につなげたい。④参加委員全員のご承認をいただいた。千葉市長への申請が確認された。⑤栗原市「広報くりはら」だけでなく、新聞・TV・SNS等のメディアを活用して広報していく。⑥今後は、豊職人さんや宮大工等の技術を持った人々も含めて候補として検討していく。

その他として、①事務局から今後の予定につき説明があった。②2021年12月下旬までに、くりはら遺産認定書交付式を開催する。③2021年1月号、栗原市「広報くりはら」に掲載予定とする。④認定委員による「長屋門をめぐるツアー」を企画する。

### 3) まとめ

1)および2)の経過に基づき、「栗原遺産認定式」の進め方や、次年度の開催計画につき協議された。

## 2.7 くりはら遺産認定証伝達式

2020年11月29日(金)に岩松剛家を訪問して、認定申請承認の確認、今後の活動等についてお話しした。2020年12月23日(金)には、岩松剛家にて「くりはら遺産認定証伝達式」が実施された。



図10 くりはら遺産認定証



図11 くりはら遺産認定証伝達式

## 3. おわりに

これまで全国各地の行政による都市計画やまちづくりの分野においては、プロジェクトや委員会が組織され、コンサルタント会社に委託される等の形式が多く採られてきた。しかし、議会の承認が得られて予算付けがなされない限り、提案や提言はなかなか実現されないことが多く、「絵にかいた餅」と揶揄されることが多い。

今回の「くりはら遺産認定委員会」では、市内10町からの地域住民代表者による提言を作る仕組みが企画提案され、千葉健司市長(2021年3月当時)自らの認定により進めることができた。このような企画提案で進めていく姿が、行政に求められている。

今後さらに新たな「くりはら遺産認定」が展開され、「地域の歴史的背景を含めた新たなストーリーづくり」につなげていければと考える。

地域に残る建築物などの有景物や伝統技術は、地域の財産となり、まちづくりや地域活性化の一助となる。また、地域のシンボルや景観として活用



することで、地域住民の意識を高めていくことができると思う。

#### 【参考文献】

- 1) 宮城県栗原市：商工観光部田園観光課HP、  
<https://www.kuriharacity.jp/soshiki/gaiyo/20180607144018.html>、2021年3月確認
- 2) 農家型長屋門とは、近世諸大名の武家屋敷として発生し、江戸時代に陣屋の正門として多く建造され、門の両袖が長屋のように仕切られ、門番や仲間部屋として、家臣・使用人の居場所などに利用されていたために長屋門と呼ばれている。その後、大名だけでなく、有力武士の武家住宅の表門として利用され、明治以降は、

富農の家屋敷にも作られるようになった。長屋はその家に仕えた者が住む部屋や農具を収納する物置、作業所として用いられた。栗原市内の長屋門は、田畑・山林の経営面積の多い豊かな農家に多くみられ、農業の作業場であり、家の作男（農業専従者）の住居でもあった。また、長屋門を持つ農家の主人の多くは肝入り（村長）、三役、校長等その地域の要職に従事していた場合も多く、作男を年棒で雇い入れ耕作地の経営にあっていた。一迫川、二迫川水系は今もお多くの長屋門が残っているが、三迫川水系である栗駒地域は「栗駒根神社中門より立派な門は作ってはならぬ。」となっていたため、唯一この地域に長屋門はみあたらない。（斎藤章氏・高橋篤氏提供資料による）



# 与えられた相関係数を有する信号の生成について

川又 政征\*<sup>1</sup>, 成田 龍彦\*<sup>2</sup>, 昆野 恭介\*<sup>2</sup>, 伊藤 圭吾\*<sup>2</sup>

## Generation of Signals Satisfying Prescribed Correlation Coefficients

KAWAMATA Masayuki\*<sup>1</sup>, NARITA Tatsuhiko\*<sup>2</sup>, KONNO Kyousuke\*<sup>2</sup>, ITO Keigo\*<sup>2</sup>

**要約** 本論文では、与えられた相関係数行列を有する信号を生成する線形代数的な二つの方法を考察している。一つは正規直交信号の線形結合による方法であり、他の一つは相関係数行列の分解にもとづく方法である。

### 1. はじめに

デジタル信号処理において相関係数は信号間の類似性を評価する指標であり、信号処理における最も基礎的な計算手法である。相関係数は信号の計測、検出、認識等に用いられる<sup>1)</sup>。

通常、相関係数に関する議論は、与えられた信号に対して相関係数を計算し、信号の類似性を考察するという手順で行われる。本論文ではその逆の問題として、相関係数が与えられたとき、これを有する信号を生成する問題を考える。

本稿では、まず信号をベクトルとして表現し、信号の内積として相関係数を定義する。次に、相関係数が与えられたとき、これを有する信号を生成する二つの線形代数的手法を考察する。一つは正規直交信号の線形結合による方法であり、他の一つは相関係数行列の分解による方法である。

### 2. 信号のベクトル表現と内積

#### 2.1 信号のベクトル表現

本論文では実数値の離散時間信号に限定する。一般に信号は  $x_n, n = -\infty \sim \infty$  のように数列として

表されるが、本論文では有限長 (サイズ  $N$ ) の信号を考え、以下のように一まとめにして  $N$  次元ベクトル  $\vec{x}$  として表記する。

$$\vec{x} = [x(1), x(2), x(3), \dots, x(N)] \quad \dots (1)$$

実際の信号処理では信号のサイズ  $N$  として大きな値 (例えば 1024, 2048, 4096 など) をあつかうことが多い。このような高次元のベクトルを幾何学的に想像するのは容易ではないので、2次元あるいは3次元のベクトルを想像すると幾何学的に理解が容易となるだろう。以後、サイズ  $N$  の信号と  $N$  次元ベクトルを同一視する。

#### 2.2 信号の内積

信号  $\vec{x}$  に対して以下のようにノルムが定義される。

$$\|\vec{x}\| = \sqrt{\sum_{n=1}^N x^2(n)} \quad \dots (2)$$

ノルムは信号の長さを表す (ノルムの 2 乗は信号のエネルギーに相当する)。信号  $\vec{x}$  の各要素をそのノルム  $\|\vec{x}\|$  で割って得られる新たな信号  $\vec{x}/\|\vec{x}\|$  を考えると、単位のノルム (ノルム 1) の信号が得

\*1 東北職業能力開発大学校

Tohoku Polytechnic College

\*2 東北大学工学部電気情報理工学科

Tohoku University

Department of Electrical, Information and Physics Engineering

られる。単位ノルムの信号は正規化されているという。

2つの信号  $\vec{x} = [x(1), x(2), x(3), \dots, x(N)]$  と  $\vec{y} = [y(1), y(2), y(3), \dots, y(N)]$  を比較して、似ているかどうかを数値的に調べることを考えよう。比較のために2つの信号の差をとって、差が小さければ似ていると考え、差が大きければ似ていないと考えることは自然である。当然、差が零であれば、2つの信号は同一である。以下のように2つの信号の差  $\vec{y} - \vec{x}$  をとり、差の大きさを見るためにそのノルムの2乗を考える。

$$\begin{aligned} \|\vec{y} - \vec{x}\|^2 &= \sum_{n=1}^N [y(n) - x(n)]^2 \\ &= \sum_{n=1}^N [y^2(n) + x^2(n) - 2y(n)x(n)] \\ &= \|\vec{y}\|^2 + \|\vec{x}\|^2 - 2\vec{y} \cdot \vec{x} \quad \dots (3) \end{aligned}$$

ここで

$$\vec{y} \cdot \vec{x} = \sum_{n=1}^N y(n)x(n) \quad \dots (4)$$

とおいた。 $\vec{y} \cdot \vec{x}$  は信号  $\vec{y}$  と  $\vec{x}$  の内積とよばれる。

ノルムの異なる2つの信号を直接に比較するのは妥当ではないので、信号は正規化されているものとする。正規化されている信号  $\vec{x}$  と  $\vec{y}$  を対象とすると、 $\|\vec{x}\|^2 = \|\vec{y}\|^2 = 1$  であるので、式(3)は以下のように書き換えられる。

$$\|\vec{y} - \vec{x}\|^2 = 2(1 - \vec{y} \cdot \vec{x}) \quad \dots (5)$$

上式からわかるように、 $\vec{x}$  と  $\vec{y}$  の差  $\|\vec{y} - \vec{x}\|^2$  は内積  $\vec{y} \cdot \vec{x}$  が大きければ小さい。逆に  $\vec{x}$  と  $\vec{y}$  の差  $\|\vec{y} - \vec{x}\|^2$  は内積  $\vec{y} \cdot \vec{x}$  が小さければ大きい。言い換えれば、 $\vec{x}$  と  $\vec{y}$  は、その内積が大きければ類似しており、その内積が小さければ類似していないといえる。したがって、2つの信号の内積は信号の類似性の尺度である。

内積について以下の性質があることが知られている。

$$\cos \theta = \frac{\vec{y} \cdot \vec{x}}{\|\vec{x}\| \|\vec{y}\|} \quad \dots (6)$$

図1に示すように、 $\theta$  は二つの信号の間の角度であり、 $0 \leq \theta \leq \pi$  とする。正規化されている信号においては  $\|\vec{x}\|^2 = \|\vec{y}\|^2 = 1$  であるので、

$$\cos \theta = \vec{y} \cdot \vec{x} \quad \dots (7)$$

である。図1からわかるように、角度  $\theta$  が小さければ2つの信号は類似して、大きければ類似していないと考えることができる。

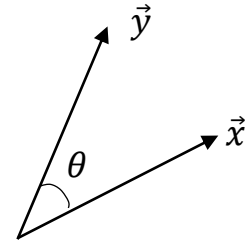


図1 2つ信号の間の角度

### 3. 相関係数行列

#### 3.1 相関係数

信号処理では式(4)あるいは(7)の信号  $\vec{x}$  と  $\vec{y}$  の内積は相関係数とよばれる。信号  $\vec{x}$  と  $\vec{y}$  の相関係数を  $c_{xy}$  とおけば、

$$c_{xy} = c_{yx} = \cos \theta \quad \dots (8)$$

である。正規化されている信号については

$$c_{xx} = \|\vec{x}\|^2 = 1 \quad \dots (9)$$

$$-1 \leq c_{xy} \leq 1 \quad \dots (10)$$

であることが容易にわかる。

#### 3.2 相関係数の代表的な値

相関係数のいくつかの特定の値は信号間の関係を特徴づける。 $c_{xy} = +1$  すなわち  $\theta = 0$  のとき、 $\vec{y} = \vec{x}$  であり、2つの信号は等しい。 $c_{xy} = -1$  すなわち  $\theta = \pi$  のとき  $\vec{y} = -\vec{x}$  であり、信号  $\vec{y}$  は信号  $\vec{x}$  の符号を反転したものである。 $\|\vec{x}\|^2, \|\vec{y}\|^2 \neq 0$  のとき  $c_{xy} = 0$  ならば、 $\theta = \pi/2$  であるので信号  $\vec{x}$  と  $\vec{y}$  は直交している。

### 3.3 相関係数行列

本論文では、3つの信号  $\vec{x}_1, \vec{x}_2, \vec{x}_3$  が与えられたとき、以下のような相関係数を要素とする行列  $C$  を相関係数行列とよぶ。

$$C = \begin{pmatrix} \vec{x}_1 \cdot \vec{x}_1 & \vec{x}_1 \cdot \vec{x}_2 & \vec{x}_1 \cdot \vec{x}_3 \\ \vec{x}_2 \cdot \vec{x}_1 & \vec{x}_2 \cdot \vec{x}_2 & \vec{x}_2 \cdot \vec{x}_3 \\ \vec{x}_3 \cdot \vec{x}_1 & \vec{x}_3 \cdot \vec{x}_2 & \vec{x}_3 \cdot \vec{x}_3 \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} \vec{x}_1 \\ \vec{x}_2 \\ \vec{x}_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \vec{x}_1 \\ \vec{x}_2 \\ \vec{x}_3 \end{pmatrix}^t$$

$$= \begin{pmatrix} 1 & c_{12} & c_{13} \\ c_{21} & 1 & c_{23} \\ c_{31} & c_{32} & 1 \end{pmatrix} \dots\dots (11)$$

ここで  $c_{ij} = \vec{x}_i \cdot \vec{x}_j$  とおいた。

### 3.4 相関係数行列の性質

式(8)–(10)から、相関係数行列  $C$  の各要素には以下の性質があることがわかる。

$$c_{ij} = c_{ji} \dots\dots (12)$$

$$-1 \leq c_{ij} \leq 1 \dots\dots (13)$$

$$c_{ii} = 1 \dots\dots (14)$$

したがって相関係数行列は対称行列であり、その要素の絶対値は1以下である。

相関係数行列は上の3条件を満たすが、この逆は成り立たない。対称行列  $C$  が相関係数行列であるためには、行列  $C$  が半正定であることが必要である<sup>2)</sup>。シルベスターの判定法により、以下のように行列  $C$  のすべての主座小行列式  $P_k, k = 1, 2, 3$  がすべて非負であるときに限って行列  $C$  は半正定であることが知られている。

$$P_1 = \det(c_{11}) \geq 0 \dots\dots (15)$$

$$P_2 = \det \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} \\ c_{21} & c_{22} \end{pmatrix} = 1 - c_{12}^2 \geq 0 \dots\dots (16)$$

$$P_3 = \det \begin{pmatrix} 1 & c_{12} & c_{13} \\ c_{21} & 1 & c_{23} \\ c_{31} & c_{32} & 1 \end{pmatrix}$$

$$= 1 + 2c_{12}c_{23}c_{13} - (c_{12}^2 + c_{23}^2 + c_{13}^2) \geq 0 \dots\dots (17)$$

一方、これと同等であるが、対称行列  $C$  は、そのすべての固有値が非負であるときに限って半正定であることが知られている。

### 3.5 計算例

次の対称行列  $C$  を考える。

$$C = \begin{pmatrix} 1 & 0.8 & -0.7 \\ 0.8 & 1 & -0.6 \\ -0.7 & -0.6 & 1 \end{pmatrix} \dots\dots (18)$$

以下のようにすべての主座小行列式  $P_k$  はすべて非負であるので、この行列  $C$  は相関係数行列である。

$$P_1 = \det(1) \geq 0 \dots\dots (19)$$

$$P_2 = \det \begin{pmatrix} 1 & 0.8 \\ 0.8 & 1 \end{pmatrix} = 0.36 \geq 0 \dots\dots (20)$$

$$P_3 = \det \begin{pmatrix} 1 & 0.8 & -0.7 \\ 0.8 & 1 & -0.6 \\ -0.7 & -0.6 & 1 \end{pmatrix} = 0.182 \geq 0 \dots\dots (21)$$

一方、行列  $C$  の固有値は 0.1830, 0.4138, 2.4032 であり、これらはすべて非負であるので、この行列  $C$  は相関係数行列であることが固有値の大きさからもわかる。

### 3.6 本論文で検討する課題

図2(a)に示されるように、従来の相関係数に関する議論は与えられた信号に対して相関係数を求めるものである。ここでは逆問題として、図2(b)に示されるように、相関係数行列  $C$  が与えられたときに、この相関係数行列を有する信号  $\vec{x}_1, \vec{x}_2, \vec{x}_3$  を生成することを考える。

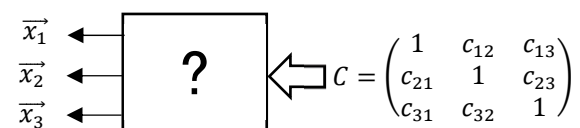
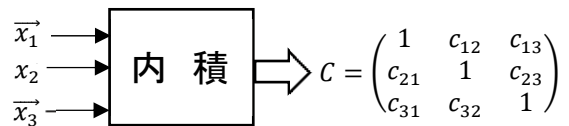


図2 信号と相関係数行列

信号  $\vec{x}_1, \vec{x}_2, \vec{x}_3$  を生成する際に二つの場合が考えられる。一つは、ある既定の信号  $\vec{x}_1$  (たとえば音声や画像など) が与えられているものとして、相関係数行列  $C$  を有する  $\vec{x}_2, \vec{x}_3$  を求めたい場合である。このとき、既定の信号  $\vec{x}_1$  を注目信号とよぶことにする。他の一つは、信号  $\vec{x}_1, \vec{x}_2, \vec{x}_3$  になんら制約はなく、相関係数行列  $C$  を有する信号  $\vec{x}_1, \vec{x}_2, \vec{x}_3$  を生成する場合である。

本論文では信号の表現としてベクトルを用いているので、ある正規直交信号  $\vec{v}_1, \vec{v}_2, \vec{v}_3$  の線形結合により、相関係数行列  $C$  を有する信号  $\vec{x}_1, \vec{x}_2, \vec{x}_3$  を以下のように生成することを目標とする。

$$\begin{pmatrix} \vec{x}_1 \\ \vec{x}_2 \\ \vec{x}_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} g_{11} & g_{12} & g_{13} \\ g_{21} & g_{22} & g_{23} \\ g_{31} & g_{32} & g_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \vec{v}_1 \\ \vec{v}_2 \\ \vec{v}_3 \end{pmatrix} \\ = G \begin{pmatrix} \vec{v}_1 \\ \vec{v}_2 \\ \vec{v}_3 \end{pmatrix} \cdots (22)$$

本論文では上記のような行列  $G$  を生成行列とよぶこととする。

## 4. 与えられた相関係数行列を有する信号の生成法

### 4.1 直交信号の線形結合による方法

相関係数行列  $C$  が与えられたときに、この相関係数行列を有する 3 つの信号  $\vec{x}_1, \vec{x}_2, \vec{x}_3$  を生成することを考える。

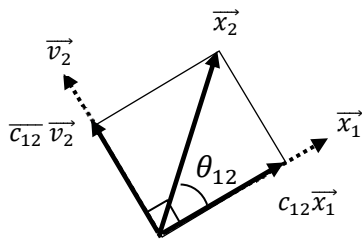


図 3 直交信号の線形結合

- ステップ 1

後の定式化に都合がよいので形式上であるが、 $\vec{x}_1$  を生成するために正規信号  $\vec{v}_1$  を用いて以下のように表しておく。

$$\vec{x}_1 = \vec{v}_1 \cdots (23)$$

次に、信号  $\vec{x}_1$  に対して相関係数  $c_{12} = \cos \theta_{12}$  を有する信号  $\vec{x}_2$  を生成することを考えよう。図 3 からわかるように、信号  $\vec{x}_1$  に対して角度  $\theta_{12}$  すなわち相関係数  $c_{12} = \cos \theta_{12}$  を持つ信号  $\vec{x}_2$  は、 $\vec{x}_1 = \vec{v}_1$  と直交する正規信号  $\vec{v}_2$  の線形結合により以下のように生成できる。

$$\vec{x}_2 = c_{12}\vec{x}_1 + \overline{c_{12}}\vec{v}_2 \cdots (24)$$

ここで、記号バーは  $\overline{c} = \sqrt{1-c^2}$  として使っており、 $c^2 + \overline{c}^2 = 1$  である。上式を三角関数  $\cos \theta_{12}$  と  $\sin \theta_{12}$  を用いて表現すれば

$$\vec{x}_2 = \cos \theta_{12} \vec{x}_1 + \sin \theta_{12} \vec{v}_2 \cdots (25)$$

となる。

式(24)の  $\vec{x}_1$  と  $\vec{x}_2$  が相関係数  $c_{12}$  を有することは  $\vec{x}_1 \cdot \vec{x}_2$  を求めればわかる。また同様に、 $\|\vec{x}_2\| = 1$  であることもわかる。

同様に、信号  $\vec{x}_1$  に対して相関係数  $c_{13}$  を有する信号  $\vec{x}_3$  は、 $\vec{x}_1 = \vec{v}_1$  とこれに直交する正規信号  $\vec{v}_3$  の線形結合により以下のように生成できる。

$$\vec{x}_3 = c_{13}\vec{x}_1 + \overline{c_{13}}\vec{v}_3 \cdots (26)$$

式(23), (24), (26)を行列で表現すれば

$$\begin{pmatrix} \vec{x}_1 \\ \vec{x}_2 \\ \vec{x}_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ c_{12} & \overline{c_{12}} & 0 \\ c_{13} & 0 & \overline{c_{13}} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \vec{v}_1 \\ \vec{v}_2 \\ \vec{v}_3 \end{pmatrix} \\ = G_1 \begin{pmatrix} \vec{v}_1 \\ \vec{v}_2 \\ \vec{v}_3 \end{pmatrix} \cdots (27)$$

この段階では、 $\vec{x}_2$  と  $\vec{x}_3$  が相関係数  $c_{23}$  を持つわけではないので、次のステップによりこれを実現する。

- ステップ 2

次に式(24), (26)から  $c_{23} = \vec{x}_2 \cdot \vec{x}_3$  を求めると

$$c_{23} = \vec{x}_2 \cdot \vec{x}_3 = c_{12}c_{13} + \overline{c_{12}}\overline{c_{13}}\vec{v}_2 \cdot \vec{v}_3 \cdots (28)$$

よって  $\vec{v}_2$  と  $\vec{v}'_3$  は以下の条件を満たす必要がある。

$$\vec{v}_2 \cdot \vec{v}'_3 = \frac{c_{23} - c_{12}c_{13}}{c_{12}c_{13}} \dots\dots (29)$$

上式は  $\vec{v}_2$  と  $\vec{v}'_3$  の相関係数が右辺であることを示している。したがって  $\vec{v}_2$  とこれに直交する正規信号  $\vec{v}_3$  の線形結合により、 $\vec{v}'_3$  は以下のように生成できる。

$$\vec{v}'_3 = \frac{c_{23} - c_{12}c_{13}}{c_{12}c_{13}}\vec{v}_2 + \left(\frac{c_{23} - c_{12}c_{13}}{c_{12}c_{13}}\right)\vec{v}_3 \dots\dots (30)$$

したがって次式が得られる。

$$\begin{aligned} \begin{pmatrix} \vec{v}_1 \\ \vec{v}_2 \\ \vec{v}'_3 \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & \frac{c_{23} - c_{12}c_{13}}{c_{12}c_{13}} & \left(\frac{c_{23} - c_{12}c_{13}}{c_{12}c_{13}}\right) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \vec{v}_1 \\ \vec{v}_2 \\ \vec{v}_3 \end{pmatrix} \\ &= G_2 \begin{pmatrix} \vec{v}_1 \\ \vec{v}_2 \\ \vec{v}_3 \end{pmatrix} \dots\dots (31) \end{aligned}$$

● ステップ3

式(31)を式(27)に代入すると次式が得られる。

$$\begin{pmatrix} \vec{x}_1 \\ \vec{x}_2 \\ \vec{x}_3 \end{pmatrix} = G_1 G_2 \begin{pmatrix} \vec{v}_1 \\ \vec{v}_2 \\ \vec{v}_3 \end{pmatrix} = G \begin{pmatrix} \vec{v}_1 \\ \vec{v}_2 \\ \vec{v}_3 \end{pmatrix} \dots\dots (32)$$

ここで、これまでの議論の過程から  $\vec{v}_1, \vec{v}_2, \vec{v}_3$  は正規直交信号であるかぎり任意である。

以上の議論をまとめると、正規直交信号  $\vec{v}_1, \vec{v}_2, \vec{v}_3$  を用意し、これに生成行列

$$G = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ c_{12} & c_{12} & 0 \\ c_{13} & 0 & c_{13} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & \frac{c_{23} - c_{12}c_{13}}{c_{12}c_{13}} & \left(\frac{c_{23} - c_{12}c_{13}}{c_{12}c_{13}}\right) \end{pmatrix} \dots\dots (33)$$

を乗ずることにより、相関係数行列  $C$  を有する信号  $\vec{x}_1, \vec{x}_2, \vec{x}_3$  を得ることができる。

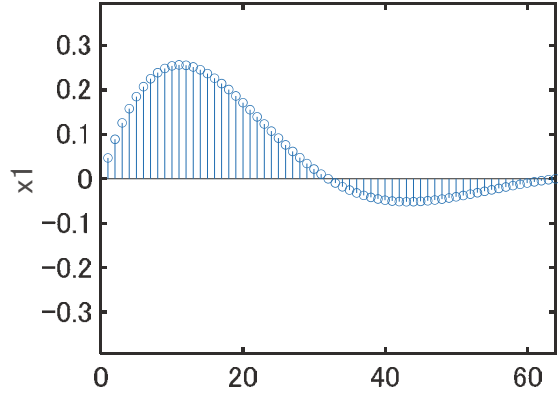
4.2 信号の生成の例

式(18)の相関係数行列  $C$  から得られる生成行列は以下ようになる。

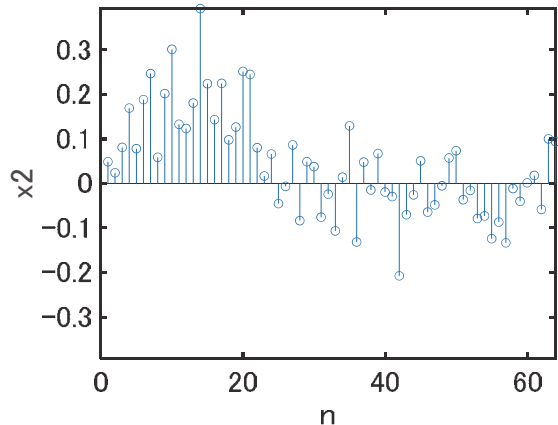
$$G_1 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0.8 & 0.6 & 0 \\ -0.7 & 0 & 0.7141 \end{pmatrix} \dots\dots (34)$$

$$G_2 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & -0.0934 & 0.9956 \end{pmatrix} \dots\dots (35)$$

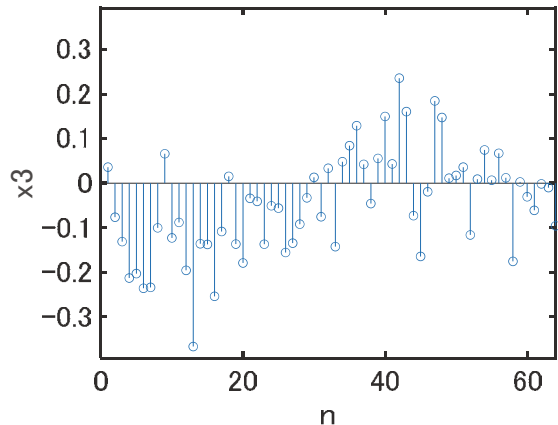
$$G = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0.8 & 0.6 & 0 \\ -0.7 & -0.0667 & 0.7110 \end{pmatrix} \dots\dots (36)$$



(a) 注目信号  $\vec{x}_1$



(b) 生成された信号  $\vec{x}_2$



(c) 生成された信号  $\vec{x}_3$

図 4 信号の生成の例

式(18)の相関係数行列を有する信号を生成するために、正規直交信号  $\vec{v}_1, \vec{v}_2, \vec{v}_3$  が必要である。これらをグラム・シュミットの直交化法により生成するために線形独立な3つの信号が“タネ”として必要である。まず、1つの信号として

$\exp(-0.05n)\sin(2\pi n/64), n = 1 \sim 64$  を正規化した信号  $\vec{x}_1$  を注目信号として採用し、他に白色ガウス雑音を要素とする2つの信号を生成し、これら3つの信号を用いてグラム・シュミットの直交化法により正規直交信号  $\vec{v}_1, \vec{v}_2, \vec{v}_3$  を生成した。ただし、 $\vec{v}_1 = \vec{x}_1$  である。これらの正規直交信号  $\vec{v}_1, \vec{v}_2, \vec{v}_3$  に式(36)の生成行列  $G$  を乗ずることによって、信号  $\vec{x}_1, \vec{x}_2, \vec{x}_3$  を生成した。その結果が図4(a), (b), (c)である。図4の3つの信号は期待どおりの相関係数を有するが、 $\vec{v}_2$  と  $\vec{v}_3$  を生成する“タネ”の信号として白色ガウス雑音を要素とする2つの信号を用いたため、結果として図4の信号  $\vec{x}_2$  と  $\vec{x}_3$  に雑音的な傾向がみられる。

### 4.3 相関係数行列の分解による方法

#### 4.3.1 相関係数行列の分解

まず、正規直交信号  $\vec{v}_1, \vec{v}_2, \vec{v}_3$  の相関係数行列は以下のように単位行列であることに着目する。

$$\begin{pmatrix} \vec{v}_1 \\ \vec{v}_2 \\ \vec{v}_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \vec{v}_1 \\ \vec{v}_2 \\ \vec{v}_3 \end{pmatrix}^t = \begin{pmatrix} \vec{v}_1 \cdot \vec{v}_1 & \vec{v}_1 \cdot \vec{v}_2 & \vec{v}_1 \cdot \vec{v}_3 \\ \vec{v}_2 \cdot \vec{v}_1 & \vec{v}_2 \cdot \vec{v}_2 & \vec{v}_2 \cdot \vec{v}_3 \\ \vec{v}_3 \cdot \vec{v}_1 & \vec{v}_3 \cdot \vec{v}_2 & \vec{v}_3 \cdot \vec{v}_3 \end{pmatrix} = I \quad \dots (37)$$

いま、与えられた相関係数行列  $C$  の対称性に着目して、これが以下のようななんらかの行列  $F$  と  $F^t$  の積の形式に分解されているとする。

$$\begin{pmatrix} \vec{x}_1 \\ \vec{x}_2 \\ \vec{x}_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \vec{x}_1 \\ \vec{x}_2 \\ \vec{x}_3 \end{pmatrix}^t = C = FF^t \quad \dots (38)$$

式(37)の単位行列  $I$  を用いれば以下の式が得られる。

$$\begin{aligned} \begin{pmatrix} \vec{x}_1 \\ \vec{x}_2 \\ \vec{x}_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \vec{x}_1 \\ \vec{x}_2 \\ \vec{x}_3 \end{pmatrix}^t &= C = FF^t = FIF^t \\ &= F \begin{pmatrix} \vec{v}_1 \\ \vec{v}_2 \\ \vec{v}_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \vec{v}_1 \\ \vec{v}_2 \\ \vec{v}_3 \end{pmatrix}^t F^t \\ &= F \begin{pmatrix} \vec{v}_1 \\ \vec{v}_2 \\ \vec{v}_3 \end{pmatrix} \left[ F \begin{pmatrix} \vec{v}_1 \\ \vec{v}_2 \\ \vec{v}_3 \end{pmatrix} \right]^t \quad \dots (39) \end{aligned}$$

したがって、上式から、以下のようにして正規直交信号  $\vec{v}_1, \vec{v}_2, \vec{v}_3$  から相関係数行列  $C$  を有する信号  $\vec{x}_1, \vec{x}_2, \vec{x}_3$  を生成できることがわかる。

$$\begin{pmatrix} \vec{x}_1 \\ \vec{x}_2 \\ \vec{x}_3 \end{pmatrix} = F \begin{pmatrix} \vec{v}_1 \\ \vec{v}_2 \\ \vec{v}_3 \end{pmatrix} \quad \dots (40)$$

#### 4.3.2 コレスキー分解による方法

相関係数行列の分解  $C = FF^t$  を具体的に見てみよう。相関係数行列  $C$  は対称行列であるから、コレスキー分解によって以下のように下三角行列（あるいは上三角行列）に分解できることが知られている<sup>3)</sup>。

$$C = LL^t \quad \dots (41)$$

ここで、 $L$  は次のような下三角行列である。

$$L = \begin{pmatrix} l_{11} & 0 & 0 \\ l_{21} & l_{22} & 0 \\ l_{31} & l_{32} & l_{33} \end{pmatrix} \quad \dots (42)$$

相関係数行列  $C$  において  $c_{11} = 1$  であるので、 $l_{11} = 1$  となることに留意する。よって、上式から、以下のようにして正規直交信号  $\vec{v}_1, \vec{v}_2, \vec{v}_3$  から、相関係数行列  $C$  を有する信号  $\vec{x}_1, \vec{x}_2, \vec{x}_3$  を生成できることがわかる。

$$\begin{pmatrix} \vec{x}_1 \\ \vec{x}_2 \\ \vec{x}_3 \end{pmatrix} = L \begin{pmatrix} \vec{v}_1 \\ \vec{v}_2 \\ \vec{v}_3 \end{pmatrix} \quad \dots (43)$$



### 4.3.3 信号の生成の例

式(18)の相関係数行列  $C$  をコレスキー分解すると

$$L = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0.8 & 0.6 & 0 \\ -0.7 & -0.0667 & 0.7110 \end{pmatrix} \dots (44)$$

である。正規直交信号  $\vec{v}_1, \vec{v}_2, \vec{v}_3$  が必要であり、これらをグラム・シュミットの直交化法により生成するために線形独立な3つの信号が“タネ”として必要である。まず、1つの信号として  $\exp(-0.05n)\sin(2\pi n/64), n = 1 \sim 64$  を正規化した信号  $\vec{x}_1$  を注目信号として採用し、これを1単位時刻および2単位時刻遅延させて得られる2つの信号を採用し、これら3つの信号からグラム・シュミットの直交化法により正規直交信号  $\vec{v}_1, \vec{v}_2, \vec{v}_3$  を生成する。ただし、 $\vec{v}_1 = \vec{x}_1$  である。これらの正規直交信号  $\vec{v}_1, \vec{v}_2, \vec{v}_3$  に式(44)の生成行列を乗ずることによって、信号  $\vec{x}_1, \vec{x}_2, \vec{x}_3$  が生成できる。その結果が図5(a), (b), (c)である。

図5の3つの信号は期待どおりの相関係数を有するが、グラム・シュミットの直交化法により  $\vec{v}_2$  と  $\vec{v}_3$  を生成するための“タネ”の信号として注目信号  $\vec{x}_1$  を遅延させた信号を用いたため、図5(b), (c)の信号  $\vec{x}_2$  と  $\vec{x}_3$  に信号  $\vec{x}_1$  の持っているなめらかな増減の傾向がみられる。

### 4.3.4 固有値分解による方法

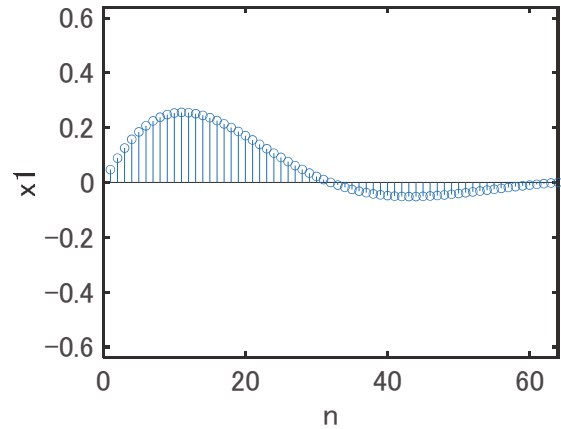
相関係数行列  $C$  は対称行列であるので、以下のように固有値分解されることが知られている<sup>3)</sup>。

$$C = UDU^t \dots (45)$$

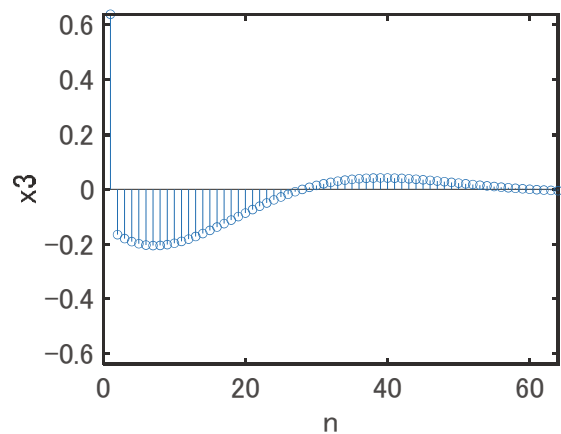
ここで、 $U$  は直交行列である。すなわち  $UU^t = I$  が成り立つ。 $D = \text{diag}(d_1, d_2, d_3, \dots, d_N)$  は対角行列である。したがって、

$D^{1/2} = \text{diag}(d_1^{1/2}, d_2^{1/2}, d_3^{1/2}, \dots, d_N^{1/2})$  とおけば

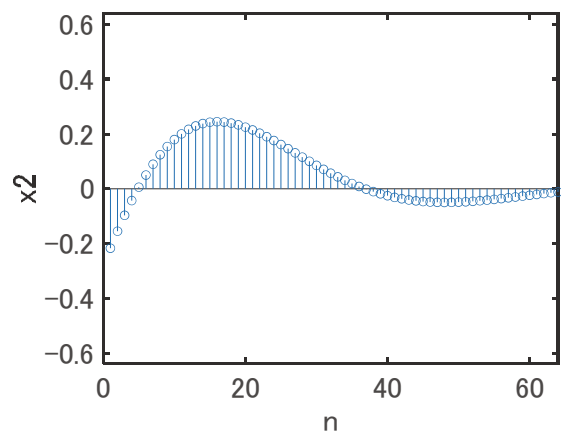
$$\begin{aligned} C &= UD^{\frac{1}{2}} \left( D^{\frac{1}{2}} \right)^t U^t \\ &= UD^{1/2} (UD^{1/2})^t \dots (46) \end{aligned}$$



(a) 注目信号  $\vec{x}_1$



(b) 生成された信号  $\vec{x}_2$



(c) 生成された信号  $\vec{x}_3$

図5 信号生成の例

上式から、以下のようにして単位直交信号  $\vec{v}_1, \vec{v}_2, \vec{v}_3$  から相関係数行列  $C$  を有する信号  $\vec{x}_1, \vec{x}_2, \vec{x}_3$  を生成できる。

$$\begin{pmatrix} \vec{x}_1 \\ \vec{x}_2 \\ \vec{x}_3 \end{pmatrix} = UD^{1/2} \begin{pmatrix} \vec{v}_1 \\ \vec{v}_2 \\ \vec{v}_3 \end{pmatrix} \dots (47)$$

#### 4.3.5 計算例

式(18)の相関係数行列に対して

$$U = \begin{pmatrix} 0.7746 & 0.1888 & -0.6036 \\ -0.5885 & 0.5646 & -0.5787 \\ 0.2315 & 0.8034 & 0.5485 \end{pmatrix} \dots (48)$$

$$D = \text{diag}(0.1830 \quad 0.4138 \quad 2.4032) \dots$$

(49)

よって

$$UD^{1/2} = \begin{pmatrix} 0.3314 & 0.1215 & -0.9356 \\ -0.2518 & 0.3632 & -0.8970 \\ 0.0990 & 0.5168 & 0.8503 \end{pmatrix} \dots$$

(50)

である。信号の生成例は省略する。

## 5. まとめ

本論文では、相関係数行列が与えられたとき、これを有する信号を生成する手法を考察した。ここでは、信号本数として3本、すなわち相関係数行列として  $3 \times 3$  行列を対象としたが、ここで得られた手法は相関係数行列がより大きい場合に容易に拡張できる。とくに相関係数行列の分解に基づく方法は拡張が容易である。

また、図4と図5において生成された信号の比較からも分かるように、グラム・シュミット正規直交化法に用いる“タネ”の信号として用いる信号の性質や形状が最終的に生成される信号に反映される。すなわち、ランダムなタネ信号を用いると、生成される信号にランダム性が残り、なめらかなタネの信号を用いると生成される信号も指数関数的となる。

具体的には、図4(a)および図5(a)の注目信号  $\vec{x}_1$  に対して図4(b)の  $\vec{x}_2$  と図5(b)の  $\vec{x}_2$  はともに相関係数 0.9 を有するので、類似性として図4(b)も図5(b)も同等である。しかし、注目信号  $\vec{x}_1$  に対しては、図5(b)の方がより似ていると感じるのではない

だろうか。図4(b)には雑音状の変動がある一方で、図5(b)は信号  $\vec{x}_1$  のなめらかさを保っていることから、図5(b)の信号が相対的には望ましいように見える。したがって、与えられた相関係数行列のみに着目して信号を生成するのではなく、信号の形状、周波数スペクトル、統計的性質などを考慮した信号の生成手法が将来の興味深い検討課題となる。

本論文では時間領域の信号を対象とした。信号の時間領域表現と周波数領域表現は双対であるから、本論文の信号の生成手法はいくらかの変更を加えることで周波数領域における生成手法となる。

相関係数の興味深い性質については川上彰二郎博士（東北大学名誉教授）のエッセイ<sup>4)</sup>から教えられることが多く、これが本考察の契機となった。川上博士に深く感謝する次第である。

なお、本論文は著者の成田、昆野、伊藤の東北大学工学部における卒業研究論文<sup>5)7)</sup>を総合するとともに相関係数行列の分解に関する方法を加えたものである。

#### 【参考文献】

- 1) M.J. Roberts: Signals and Systems --- Analysis Using Transform Methods and MATLAB, Chapter 8, McGraw-Hill, International Edition, 2003
- 2) A. Papoulis: Probability, Random Variables, and Stochastic Processes, McGraw-Hill, 1984
- 3) R. ツルミュール: マトリクスの理論と応用、ブレイン図書出版、1972
- 4) 川上彰二郎: 友達の友達ほどの程度友達か、現代数学、pp.21-23、現代数学社、2016年11月
- 5) 成田龍彦: 所望の相関を持つ信号の設計に関する研究、東北大学工学部情報知能システム総合学科、2018年3月
- 6) 昆野恭介: 所望の相関を持つ任意の数の信号セットの生成アルゴリズムに関する研究、東北大学工学部電気情報物理工学科、2018年3月
- 7) 伊藤圭吾: 所望の相関を持つ信号の周波数領域での生成に関する研究、東北大学工学部電気情報物理工学科、2020年3月

# アカデミックスキル

## —大学での“学び”について—

橋本 真寿\*1

### Academic Skill - Learning for College Students -

HASHIMOTO Masatoshi\*1

**要約** アカデミックスキルとは、大学に入学した学生がより高い学修成果を挙げるための取組方法についてまとめたものである。学生生活を送るための基礎となる「大学での学び方」を明確化し、学生に伝えていく内容を検討した。中学・高校の時の「生徒」という意識を「学生」という次の段階に切り替えるには、最初の教育が必要不可欠である。我々教員も、「生徒」から「学生」に変わっていく手助けを行い、学生の意識を変えられるように働きかけると共に、自らも変化していくことが求められている。

### 1. はじめに

文部科学省が 2020 年 12 月 25 日に公表した 2020 年度（令和 2 年度）学校基本調査より、大学・短大への進学率は過去最多の 58.6%であると明らかになった。

進学率は年々上昇傾向にあるといわれている。数値だけ見れば、学生が多いことは高等学校・大学・短大それぞれにメリットがあると判断される。高等学校であれば進学率が上がったと公表することが可能であり、大学・短大であれば入学者が多い（＝人気のある大学である）とアピールすることができる。

大学全入時代と言われて久しいが、これには様々な弊害があり、「入学したい大学」ではなく、「入れる大学」に進学している学生も多い。目的意識を持って入学した学生は、学生生活への取組方法がある程度は調査している。しかし、「入れる

大学」に進学してしまった学生は、高校の延長線上という感覚から抜け出せず、環境の違いに戸惑う様子が見受けられる。

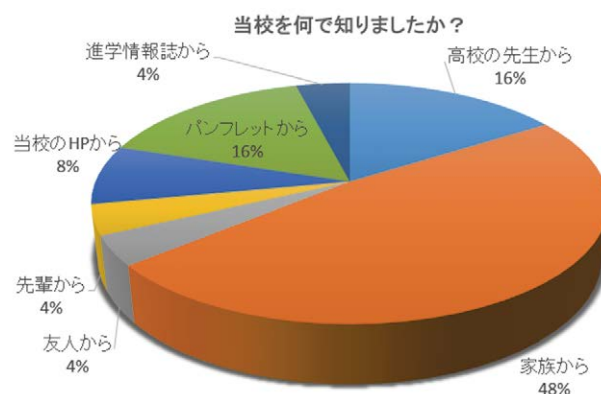


図 1 アンケート調査結果

能開大・短大のオープンキャンパスや進学者のアンケート調査結果を確認すると、「学校の先生・家族から勧められた」という割合が多い。これ

\*1 東北職業能力開発大学校青森校 生産技術科  
Tohoku Polytechnic College, Aomori  
Department of Production Technology

は、自ら進んで「入学したい」という意識を持っている学生が少ないと判断する要因の一つである。(図1)

## 2. 「生徒」と「学生」の違い

大学では講義に出席さえしていればよいというわけではない。参考文献等を読み、自分なりの考えをもって臨むことが求められる。

高校までの勉強は、教えてもらったことを覚えることが中心である為、受身の態度でも問題は無かった。それが大学では自ら問題を設定し、自ら調べ、自らの答えを出すことが求められる。つまり、「教わる存在」から「自ら学ぶ存在」への変化が求められる。

この変化を認識出来ていない学生は、「大学に行くこと」が目的になっており、「大学で学ぶこと」が目的になっていない。この学生は、目的意識のある学生や教員との勉学に対するスタンスに違いが出る。学生は勉強に取り組む姿勢が変わる為、勉強の仕方も変化することが求められる。

## 3. 学生の「生徒化」

1980年代の大学生を指して「大学のレジャーランド化」という言葉が用いられてきた。しかし、90年代以降は、学生達の様々な状況が変わって行く中で、「生徒化」という言葉が台頭してきた。

大学は近代化していく中で、これまで進学を考えていなかった層も受け入れていくことになる。その層の学生達に対応していくために、綿密なカリキュラムやサポート体制が構築されてきた。

それにより保護者や学生にとって「社会に出ていく為に必要な知識や技能を獲得できる場」というポジションを大学は獲得してきた。

その為、学生にとって必要なことは主体的に行動することではなく、大学が敷いたレールの上に乗る、その大学のやり方に上手く適応していくことが求められるようになった。

年配の先生方や企業の採用担当者に学生の話をつくと、「自ら進んで行く主体性が感じられない」と言う。これは従来の学生像というものに対し、世代によってギャップが生じている為である。こ

れまでの学校生活で学生に求められてきた学生像と、社会が求める学生像に差が生じていることを表していると考えられる。

## 4. 大学の「学校化」

学生の傾向の変化とともに、大学にも変化が起こっている。大学の「学校化」である。

私も学生時代大学の「学校化」の恩恵を受けてきた。大学側からきめ細かいケアを受け、勉強面でも就職面でも手厚いサポートを受けた側の人間である。

大学からのきめ細かいケアと手厚いサポートを、学生は「受けること」が当たり前になっている。これを「学校化」と呼ぶ。

ここに意識の差が生じていると考える。大学側は「学校化」を売りに、「生徒化」する学生を受け入れてきた。しかし、これまでの人生経験・社会経験を持つ学生よりも年配の世代には、「学校化」も「生徒化」もあまり受け入れられていない。

学校化してきている大学内部の職員でさえ、年齢層によっては「学校化」・「生徒化」は受け入れられていない。まして企業では更に受け入れられていない。しかし「受けること」が当たり前の年代には「学校化」と「生徒化」が求められているというジレンマを抱えた状態となっているのが現状である。

## 5. 学生に大学での学び方を教える

近年、各能開大・短大の教員の年齢層が低い傾向にある。早ければ2施設目の20代から短大の教員として人事異動がある。

年配の教員と学生との間に、「学校化」・「生徒化」を起源とした意識のずれ違いが生じやすくなっており、これがトラブルの原因とされている。

その橋渡し役として、年齢の若い指導員が教員として専門課程に赴任する機会が増えている。しかし、これまで離職者訓練や在職者訓練を中心に業務を行っていた初任層の職員が、中堅層に挙げられた直後に短大業務を任された際の負担は大きい。

指導員がこれまで対応を行っていた社会人経験者の受講生と違い、これから社会人となる学生とでは常識がそもそも違う。

- ① メモを取る方法
- ② 論理的な思考方法
- ③ 資料の検索・収集方法
- ④ 文章の読み方
- ⑤ プレゼンテーション方法
- ⑥ 発表の聴き方・質問の仕方
- ⑦ レポートのまとめ方

定められているカリキュラムをこなすには、最低限、上記7つの項目を指導する必要がある。

これらは、学生が社会人になった際にも必要とされる技能であるのは当然であり、そもそもの学生生活を送る上での必須技能である。そして、我々教員が勘違いをしている点でもある。

まだ、学生は必須技能であるということを知らない。その為「講義内でノートを取らずに、居るだけの学生がいる」等という声が教員から出るのだ。まだ学生は7つの項目が出来なければならない事を知らない所以对応しようがない。それなのに、教員からは怒られる・叱られるというのでトラブルが起こる。

我々教員側の人間は忘れがちだが、相手はまだ「知らないことを知らない学生」である。知らないことを「知らないとわかっている学生」になるようにしていくのが、我々に求められている役割である。

## 6. 許可の必要性

これまで対応してきた学生に共通していることが、「許可の必要がある」ということである。

講義前、真っ暗な教室内で、各自の決められた座席に座り待機している。机の上には教科書や筆記用具すら載っていない。じっと待っている。

我々からすれば「何故、そのような状態でまっているのか？」という疑問が先に来るが、学生からすれば、許可が下りていない状態なので動きようがないのだ。

その為、初めに学生に伝えることとして、

- ① 教室に入ったら、部屋の電気を付けてよい。

- ② 机上には、講義で使用する教科書・ノート・筆記用具を載せてもよい。
- ③ 講義開始の時間までは、周囲の学生と会話してもよい。スマホを触ってもよい。ただし講義中は静かにすること。

上記の3つ程度の内容を、初めに伝えておく必要がある。また、これは一回限りの許可ではなく、継続的な意味を持つ許可であるとも伝えておく。

次は講義前に出す許可として、

- ① 教科書やノートは開いてよい。ノートに書いてよい。
- ② 筆記用具はシャーペンでもボールペンでもよい。
- ③ 細かく確認を入れるので、質問してよい。

上記の3つ程度の内容を、講義が始まったら許可を出す必要がある。

講義中にノートやメモを取らない学生達に対し、「何故、ノートに書かずにじっとしているのか」を訊いてみた。

その結果、「書いてもいいのですか！」と驚かれた。「人の話を聴くときに、手を動かすのは失礼なことだと教えられた」という学生達が多数おり、許可を出すということを行うことにした。

ただし、許可を出す上で注意すべき点は、許可の理由を伝えることである。ただ許可を出したのであれば、「先生が言ったから」という理由にしかならず、主体性のある学生には育たない。

「何故、その許可を出したのか」という理由も併せて伝えなければ、学生はただ言われたことに従うだけの状態であり続け、これまでと変わらない結果となる。

許可の理由を教えられる機会が少ない、もしくは機会が無い為、理由がわかれば気付きを得て自発的に行動出来るようになってくる。まずは行動のきっかけを作り、それからノートの取り方等を指導していくと導入がスムーズに行うことが出来る。

以下に、講義をスムーズに進める為に、特に早期に身に着けてほしいと考えている技能に関して記載する。

## 7. ノート(メモ)の取り方

理由と手段が明確であれば、学生のやる気を引き出しやすく、また、行動にもつながりやすい。やるべき理由とその手段は、初めは教員が準備しておく必要がある。

初めに学生に習得させておくことは、ノート(メモ)の取り方である。生徒化している学生は教員の板書を待ち続け、尚且つ書いてよいという許可を与える必要がある。

しかし、講義というものはきれいな板書を行うものではない。話す・提示する内容のキーワードになるものを書くことが多い。「書く・写す」から「話す・聞く・キーワードを抽出する」という行為に変わる。

これまで、言われるままに板書する行為を行ってきた学生は、板書をきれいに早く写すのが目的となっている。講義の内容は二の次になっていることも多い。その為、

- ① あえて板書はしない。
- ② この講義の目的は何か。
- ③ 講義内容のキーワードは何か。
- ④ 内容に関して疑問に思ったことは何か。
- ⑤ ノートに書いた内容で、今の講義内容の要約・再現は可能か。

上記項目を伝えて、繰り返し練習をさせることで、ノート(メモ)を取ることが少しずつ出来るようになってくる。

継続していくことで、物事を整理する能力も養われる。学び方の項目で上げた7項目の中でも、「学ぶ」という最初の足掛かりになる項目であり、他の6項目の基礎となりえる。

「話を聞きながら、キーワードを書き、情報の取捨選択をする」という必須スキルを身に着ける機会」だとすれば、取り組む理由にもなる。

ただし、教員は伝えた情報が正しく伝わっているか、情報量が多すぎないか等、学生に対し細かく確認を取る必要がある。

正しく情報が伝わっていない・誤った解釈の仕方をしているときは注意を行い、学生の頭の中の情報整理の手伝いを行えばよい。

## 8. おわりに

本を読む機会が少ない学生が増加している。学生に聞き取り調査を行って見たところ、小説を読んだことがない学生が過半数を占めた。漫画も所持していない学生もおり、家にある本といえば

「学校で買った教科書しかない」という学生も存在する。もちろん家で教科書を開くことは無い。

とにかく文字に触れる機会が少ないのだ。そんな学生達の情報収集方法が動画やインターネット検索である。

学生はインターネットで得た情報を疑わない。情報の正誤判断が苦手・情報の取捨選択が苦手な学生も多い。これは身の回りの情報が多すぎて、自分にとって都合の良い情報しか受け取らないという状況に陥っている。都合の良い情報=正しい情報となっていることも危うい。

我々の常識と学生の常識には、大きな隔たりがある。これは年代ごとに必ずあるもので、何が正しい・悪いという問題ではない。

年代ごとに様々な影響があり、影響を受けたことで今の自分が出来上がっている。相手の価値観と、こちらの価値観が同じだと思込んでいるから、何か違うことがあったときにトラブルになる。

我々も「学校化」に適応が求められ、学生は「生徒化」が求められる。しかし、社会に出た時のことを考えれば、ノートの取り方等の必須技能を学生の自己責任とせず、我々は教えていくことを当たり前とした方がよい。

我々教員は、優秀な学生を待つのではなく、優秀な学生になるようにコーディネートする方向に働きかけていく必要があると考える。

### [参考文献]

- 1) アカデミック・スキル入門：伊藤奈賀子、富原一哉  
(有斐閣ブックス)
- 2) アカデミック・スキルズ：佐藤望、湯川武、横山千晶、近藤明彦(慶應義塾大学出版会)
- 3) 知のツールボックス：専修大学出版企画委員会  
(専修大学出版局)

# デジタルファブリケーション

## —ほしいものをどうやって手に入れる—

田山 英臣\*1

### Digital Fabrication

- How do you get what you want? -

TAYAMA Hideomi\*1

**要約** 米国のジャーナリスト、クリス・アンダーソンが執筆した『Makers』には、ネットを介した人と人同士のやり取りを通じて、小規模でパーソナルなものづくりが社会に波及していく未来が語られている。デジタルファブリケーションでは、自分自身の頭に浮かんだアイデアや発想をすぐに具体的な形にすることが可能である。従来は職人のような鍛錬が必要だった加工技術を、熟練技を持たない個人でも手にすることが可能になる。設計と製造を直結するデジタルファブリケーションの仕組みが、新たな製造業のビジネスモデルを作りそれを通じ、私たちがほしいものをどのように手に入れるか、現在は 21 世紀の産業革命の始まりともいえる。

## 1. はじめに

人間は欲しいものを手に入れるため様々な工夫をしてきた。18 世紀から 19 世紀にかけてヨーロッパ各国で技術の革新による工業と社会の大きな変化「産業革命」が起き、産業と社会が大きく変化したことから近代の幕開けとされている。現代は、ドイツ政府が推進し、アメリカなど欧米各国で急速に人材育成が進む製造業に関する技術革新プロジェクトであるインダストリー4.0 が進行している。これは、第 4 次産業革命ともよばれ、「IoT による製造業の革新」を意味する。インダストリー4.0 で目指す姿の一つにマスカスタマイゼーションの実現があり、その実現ため、3D プリンタを含むデジタルファブリケーション技術が必要とされている。

## 2. デジタルファブリケーションとは

デジタルファブリケーションとは、物質を情報化したり、情報を物質化したりする技術の総称であり、デジタル化一辺倒ではなく「ものから情報へ」「情報からものへ」、どちらの方向へも自由に行き来するための技術を意味し、デジタル通信の進化形でもある（図 1）。

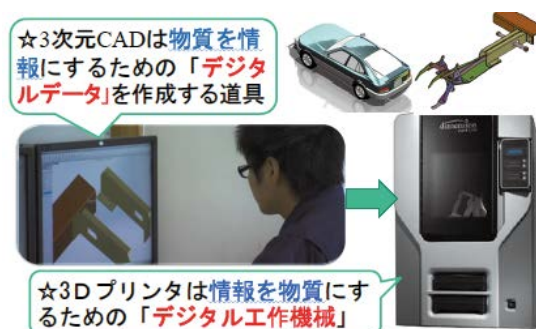


図 1 物質の情報化と情報の物質化

\*1 東北職業能力開発大学校秋田校 生産技術科  
Tohoku Polytechnic College, Akita Department of  
Production Technology

これまで ICT(Information and Communication Technology・情報通信技術)というキーワードがよく使われてきたが、今後はこれにファブリケーション(Fabrication)を加えた FICT の時代になると考えられる。

### 3. ファブラボとは

ファブラボは令和元年5月時点で、世界90カ国1600カ所以上に広がっている。FabLab(ファブラボ)の「FAB」とはFabrication(製造・ものづくり)とFabulous(素晴らしい・楽しい・愉快的)という2つの意味をもつ造語である。ファブラボの活動は、米国マサチューセッツ工科大学(MIT)のニール・ガーシェンフェルド教授の研究から始まり、デジタル制御された工作機械の普及が進み、個人レベルのものづくりによって構築される新たな社会の可能性を追求するものである。「ほぼあらゆるもの(almost anything)」をつくることを目標とし、3Dプリンタやカッティングマシンなどのデジタル工作機械を取りそろえ、地域と世界が直接つながり、ノウハウやアイデアを共有しあう次世代型の工房とそのネットワークを意味し、市民が自由に利用できる事が特徴である(図2)。



図2 ファブラボとは

「日本にもファブラボを作りたい」という思いを持った有志が集い生まれたのが「ファブラボジャパン」である。任意組織で世界のファブラボを知り、日本におけるファブラボの在り方を考える組織で2010年、「Maker Faire Tokyo」でファブラボの紹介や、デザインイベントでのお披露目が最初の大きなプロジェクトでした。デザインイベントでは、会場に工作機械を持ち込み、1週間の会期

中に「来場者と共にカフェを作る」という企画を打ち出し、大きな反響を呼びました。2011年5月、「ファブラボ鎌倉」(神奈川)と「ファブラボつくば」(茨城)の2拠点が誕生、その後「ファブラボ渋谷」(東京)、「ファブラボ北加賀屋」(大阪)、「ファブラボ仙台」(宮城)と広がり、現在18カ所のファブラボが運営を行っている<sup>2)</sup>。各ラボの運営母体は個人、行政、法人等と異なる。ファブラボが単体のラボではなくネットワークがゆるやかにつながりながら活動をしていることが特徴である(図3)。



図3 ファブラボジャパン

### 4. ファブラボに必要な4つの要素

ファブラボに必要な4つの要素を以下に示す。

(1)一般市民に開かれている

各ファブラボにより様々だが、一般市民が気軽に工作機械を利用できる場として、「市民が自分たちでつくることができる社会」の実現を目指し、無料もしくは金銭に代わる交換条件のもと、週に1回以上は一般公開されていることが求められる。

(2)ファブラボ憲章の理念に基づき運営されている

ファブラボと名乗る施設は、ファブラボ憲章をWebサイト<sup>3)</sup>と施設内の目に触れる場所に掲示し、利用者に周知させることが求められている。

(3)共通の推奨機材を備えていること

すべてのファブラボがものづくりのノウハウや設計データを共有し、製造・改良していけるように機材を共通化している。推奨機材を組み合わせることで、ほぼあらゆるもの(人を傷つけるものは除く)を作り出せる環境を目指している。

(4)世界規模のネットワークに参加する

現在は2012年に議論されたものを継続して使用しているが、必要であれば修正案を提案し、議論のうえ改善することもできる。



## 5. ほしいものを手に入れるイノベーション

「2000年の世界」-「En L'An 2000」は19世紀の人々が思い描いていた未来予想図<sup>4)</sup>である。日本で言えば明治時代の始め。1900年に開催されたパリ万国博覧会のために作られたが、資金不足で流通がうまくいかず1986年になりSF作家アイザック・アシモフ氏に使用されるまで、ほとんど知られていなかった。ドバイでは火災の対応にジェット噴射で飛ぶ「ジェットパック<sup>5)</sup>」の使用が採用された。1800年代の人々は“羽ばたく技術”が進化するとイメージしていた(図4)。



図4 未来予想図と現在

“とりあえずやってみろ”は、シリコンバレーを代表するスタートアップ向けアクセレレーター<sup>6)</sup>の500 Startupsで日本・アジア戦略担当を務めるGeorge Kellermanが日本のビジネスリーダーに向け、次世代を切り開くイノベーションを創出する方法について語った言葉である<sup>6)</sup>。図5の民衆の姿で2005年には誰もモバイルを利用していないが2013年にはほぼ全ての人々がスマートフォンやタブレットで写真を撮っている。8年間でモバイルが普及した事実を端的に表わしている。



図5 ローマ法王の謁見の際に集まった民衆の姿

タッチパネルが発明されたのは1965年で航空管制レーダー用に作られた。Appleもタッチパネルを実装した製品をリリースしたが鳴かず飛ばずであった。しかし、自分たちの信じるビジョンの実現のため諦める事はしなかった。試行錯誤を繰り返し、インターネットやモバイル環境が整った時代

にもう一度iPhoneやiPadを世に送り出し人々の生活にイノベーションを起こした。

ドバイで2020年10月に万国博覧会の開催が予定されていた。ムハンマド・ドバイ首長は「未来は可能性や数字の上に作られるのではない。ビジョンの明確さ、計画、行動、そして実行の上に作られるのだ」と語っている。万国博覧会テーマは、「心を繋いで、未来を創る」、国際社会が一堂に集い「持続可能性」、「機動性」、「機会」という国際展開の重要な要素である3つの副題について創造的で先駆的な解決策を探求するとしている(図6)。



図6 ドバイが目指すもの

## 6. 各分野における3Dプリンタの活用

建築分野では、これまでにない家が簡単にできる。3Dプリンタハウス「GAIA」では、3Dプリンタが得意とする曲線を描いた家を、巨大なクレーンを現地に設置し、素材を積み上げてつくられる。現地で手配できる土やわらなどの天然資源を原料とすることで、材料費はたった900ユーロ(約10万円)、断熱材として米のみも殻を使用し、狭い土地でもデザインや機能を考え、丸みを帯びた家をつくりあげることが可能になった(図7)。



図7 3Dプリンタハウス「GAIA」<sup>7)</sup>

航空機エンジン部品で内部構造が非常に複雑な燃料ノズル製作に3Dプリンタが使用されている。ノズルの先端部は溶接やロウ付けが必要な部品が20点以上もあり設計通りに製造を試みたがことごとく失敗。コンピュータ上の3Dデータもとに複雑

な部品を3Dプリンタで造形した。レーザーを使って髪の毛ほどの厚さの金属粉末層を溶接して積層する。20部品すべてが一体化されただけでなく、これまでの燃料ノズルに比べ25%の軽量化と4~5倍の耐久性を実現している（図8）。



図8 3Dプリンタで航空機エンジン部品製作<sup>8)</sup>

製造業において3Dプリンタの存在意義は高く積層技術の進化によって製造業の流れさえ変わってきている。なんでも受発注OKオンライン経由での3Dプリンタによる製品の受発注は世界中で広まっており、ドイツでは受注した翌日に製品を届けるサービスを実施している。フランスの大手ソフトウェア企業は、メーカーと3Dプリンタ事業者の橋渡し事業を開始した。メーカーが欲しい製品や部品の設計情報をオンライン経由で発注することで、材料やコストなどの条件に合う3Dプリンティング企業と結びつけている。

## 7. データライブラリとCCライセンス

世の中には、多彩なオンラインプラットフォームやデータライブラリが存在し、世界の愛好家たちが作った3Dデータが集約されている。これらを活用するには、「データの用途は、非営利の個人利用に限定する」といった条件が付けられている。「モノづくりの民主化」という社会変化の一つの象徴として、個人レベルでもアクセスできる、3Dデータを取り巻く世界の発展が挙げられる。低価格でありながら、プロユースと変わらない設計作業が可能な3D CADソフトウェアの登場、そして3Dデータを介したオンラインコミュニティがそれを支えている。もう1つ、「クリエイティブ・コモンズ」という新しい著作権ルールがそれを加速させている。これはインターネット時代のための新しい著作権ルールで、作品を公開する制作者が「この条件を守れば私の作品を自由に使って構いません」という意思表示をするためのツールである。

オンラインプラットフォームやデータライブラリのほとんどが、このルールを採用し運用されている。CCライセンスを利用することで、作者は著作権を保持したまま作品を自由に流通させることができ、受け手はライセンス条件の範囲内で再配布やリミックスなどを行うことができる（図9）。



図9 CCライセンス<sup>9)</sup>

## 8. おわりに

デジタルファブリケーションによるメリットは複数ある。第1にはこれまでの製造技術では作製困難なものが作製できる。第2に個人レベルでの新しいものづくりが可能となる。第3にこれまでものをつくる行為に携わっていない人々がものづくりへ参画できる。第4に「Fab Lab(ファブラボ)」と呼ばれるデジタルファブリケーション機器が設置された施設を使うことで、組織に属さずとも高度な工作機器を使用した自由なものづくりが可能となり、新しいイノベーション、新しい経済、新しい働き方が生まれると期待される。

### 【参考文献】

- 1) 総務省：平成28年版情報通信白書 第4章 ICTの進化と未来の仕事、pp.229
- 2) デジタルファブリケーション拠点の地域展開：科学技術動向2015年3・4月号(149号)
- 3) FabLab Japan HP：<http://fablabjapan.org/>
- 4) 19世紀の人々が思い描いていた未来予想図「2000年の世界」：<https://tabi-labo.com/214172/19-future>
- 5) ビル火災に駆けつける「空飛ぶ消防士」：<https://tabi-labo.com/211590/jetpackfordbuairfirefighte>
- 6) シリコンバレーのキーパーソン3人が語る次世代イノベーションとは：<https://blog.btrax.com/jp/soytrip/>
- 7) 3Dプリンタで家をつくる時代に！日本での導入は？：<https://suumo.jp/journal/2019/09/09/166958/>
- 8) GEの「製造革命」はどのように実現したのか、<https://newswitch.jp/p/8923>
- 9) クリエイティブ・コモンズ・ジャパン：<https://creativecommons.jp/>

# 単気筒空気エンジンの構造と設計

伊藤 隆志\*<sup>1</sup>

## The Structure and Design of the Single Cylinder Air Engine

ITO Takashi\*<sup>1</sup>

**要約** 「空気エンジンの設計製作」は、熱流体工学の応用について実践的に学習できるテーマであると捉え、平成 24 年から職業能力開発大学校の精密機器製作課題実習のテーマとして取り組んだ。この取り組みによる成果物は、今後、熱流体工学を応用した機械装置設計学習用教材として活用できることから、それを期待し、この成果物である単気筒空気エンジンの構造と設計について解説することにした。

### 1. はじめに

空気エンジンとは、圧縮空気をエネルギーとし、この流れを機械的な仕事に変換する装置である。空気モーターとも称する。また、エアエンジンとか、エアモータとも称することもある。以下、本稿では、空気エンジンと表記する。

空気エンジンのメカニズムには、レシプロ式やタービン式などがあり、2 世紀以上前から各種用途に活用されてきた。大きさは、小型から大型まで、出力は、1W 以下から 100kW 以上と広範囲である。

筆者は、空気エンジンの設計製作が、熱流体工学の活用を実践的に学習できる教材と捉え、平成 24 年から、空気エンジンの設計製作を職業能力開発大学校の課題製作実習に取り入れた。具体的には、平成 24 年から平成 25 年までの 2 年間に、「空気エンジンの設計製作」をテーマとし、東北職業能力開発大学校生産機械システム技術科 1 年生の授業である精密機器製作課題実習 (10 単位) (以下、標準課題実習と記す) で取り組んだ。また、平成 26 年から平成 29 年までの 4 年間に、「空気

エンジンの設計製作」をテーマとし、北海道職業能力開発大学校生産機械システム技術科 1 年生の標準課題実習で取り組んだ。

以上の通り、空気エンジンの設計製作をテーマとする標準課題実習は、トータルで 6 年間取り組んだ。この取り組みの成果物は、今後の熱流体工学を応用した機械装置の設計を学習するための教材として活用できることから、この成果物の単気筒空気エンジンの構造と設計について解説する。

### 2. 空気エンジンの概要

空気エンジンの駆動源は、圧縮空気であり、空気圧縮機等で圧縮した空気を空気タンクに貯蔵する。空気タンクは、配管で空気エンジンと接続する。また、空気エンジンの出力を制御するため、中間にコントローラを設ける。コントローラは、空気圧力設定のためのレギュレータと空気流量制御のための絞りからなる。なお、空気エンジンの出力軸に機械的負荷を接続することにより、圧縮空気が、仕事をする。図 1 が、空気エンジンの駆動システム例である。次に、このシステムの長所と短所を記す。

\*1 東北職業能力開発大学校生産機械システム技術科  
Tohoku Polytechnic College  
Department of Production Mechanical Systems Technology

(長所)

- ① 空気エンジンは、比較的簡単な構造で製作することができる。
- ② 動作流体である空気は、いたる所に存在するので、空気圧縮機があれば、どこでも圧縮空気を作ることができる。
- ③ 排気が空気だけであるので環境を汚さない。
- ④ 火気厳禁の場所でも使用することができる。

(短所)

- ① エンジンの作動音が騒音となることがある。
- ② 高圧ポンペが破壊した場合、爆弾のように爆発する可能性があり、危険である。
- ③ 日本の場合 1MPa 以上の圧縮空気は高圧ガス保安法により高圧ガスとして扱われ、空気を充填する作業が高圧ガス製造とみなされる。資格が必要である。
- ④ 現状では、エネルギー効率が特別に良いわけではない。

空気エンジンには、「ロータリーベーン式」、「スクロール式」、「レシプロ式」等、何種類かのタイプがあるが、本稿では、職業能力開発大学校生産機械システム技術科の標準課題実習テーマとして実績のある単気筒レシプロ式空気エンジン(以下、単気筒空気エンジンと記す)の構造と設計について、その概要を解説する。

レシプロ式空気エンジンは、製作が容易で安価であるが、トルク変動が大きく、振動、騒音が発生しやすい。この問題は星型多気筒化により改善される。

### 3. 単気筒空気エンジンの構造

#### 3.1 単気筒空気エンジンの種類

単気筒空気エンジンの行程は、ガスが燃焼(爆発)する行程がなく、圧縮空気がシリンダ内に入り込む給気行程と、シリンダ内の空気を外に排出する排気行程のみである。給気口と排気口の開閉タイミングにより、行程の切り替わりの部分で、給排気が行われずにシリンダ内に空気が滞留する場合があるが、逆に給気口と排気口の両方が開いている場合がある。どちらのタイプになるのかは、エンジンの構造による。

単気筒空気エンジンは、その見方により、いろ

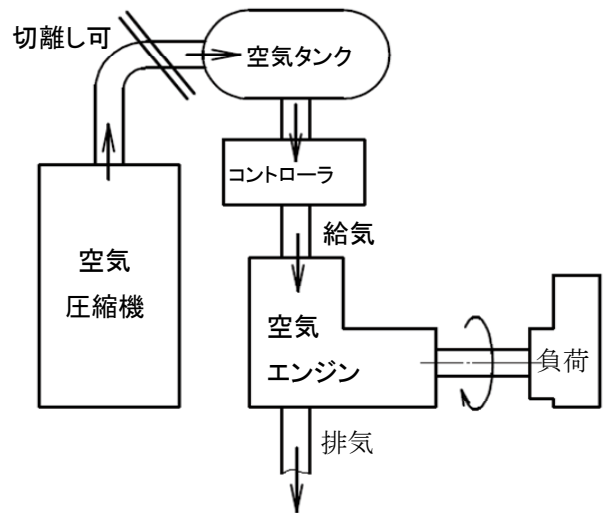


図1 空気エンジン駆動システム例

いろな種類分けができるが、本稿では、動弁機構の有無で種類分けする。ちなみに、動弁機構とは、給排気バルブを適切なタイミングで開閉するカムやプッシュロッド等から成る機構である。

#### (1) 動弁機構がないレシプロ式空気エンジン

##### ① ピストンバルブ式

シリンダ内壁またはシリンダヘッドに設けた給排気口をピストンまたは、それに付随する突起等で直接開閉するものである。

ピストンが上死点付近で給気口が開き圧縮空気がシリンダ内に流入する。ピストンは、押し下げられ、給気口は閉じる。ピストンが下死点付近に達したところで排気口が開きシリンダ内の空気を排気する。シリンダ内に空気が残留したままピストンは上昇に転じ排気口が閉じる。ピストンが上死点付近に達したところで給気口が開き、以下、同じ動作を繰り返す。

##### ② 出力軸バルブ式

空気エンジン出力軸のジャーナル部を支えるブッシュに給排気口を設け、ジャーナルで給排気口を開閉するものである。ジャーナル部には空気流路溝を設けている。図2が、出力軸バルブ式の単気筒空気エンジンである。

出力軸は、クランク軸と一体であり、よって、ピストンの変位と同期する。ピストンが上死点付近に達すると、出力軸ジャーナルの空気流路が給気口付近に達する。よって、給気口が開き、シリンダ内に圧縮空気が流入する。ピストンは押し下

げられ、出力軸が回転する。給気口が閉じながらもピストンおよび回転軸は動作し、ピストンが下死点付近に達したところで排気口が開き、シリンダ内の空気を排気する。この、バルブの開閉タイミングを図3に示す。

## (2) 動弁機構がある単気筒空気エンジン

図4が動弁機構を備えた単気筒空気エンジンである。このタイプのエンジンは、給排気口開閉のための歯車やカムおよびプッシュロッド等のメカニズムを別途設けている。動弁機構がないタイプの空気エンジンと比べて、給排気口の位置やバルブの開閉面積などにおいて設計上の自由度が増す。

本稿では、単気筒空気エンジンの構造と設計について解説するが、動弁機構を備えたタイプの構造が複雑であり、解説の必要性が高いことから、以下、動弁機構を備えた単気筒空気エンジンについて解説する。

## 3.2 主要構成要素とその機能

図5が単気筒空気エンジンのモデルである。エンジンの基本メカニズムは、ピストンクランク機構である。よって、シリンダ、ピストン、コンロッド、クランクアーム、クランク軸の構成となる。クランク軸は出力軸と一体であり、負荷を駆動する。また、空気エンジンを円滑に運転するため、クランク軸にはバランスウェイトとフライホイールを設けている。なお、ピストンとコンロッドはピストンピンで、コンロッドとクランクアームは、クランクピンで接続している。その他の重要な要素として、先に記載した、給気バルブと排気バルブがある。給気バルブは、圧縮空気のシリンダ内への供給を、排気バルブは、シリンダ内充満空気の外部への排気をそれぞれ制御する機能を担う。なお、給排気バルブの開閉タイミングは、極めて重要であり、カム機構等を用いてクランク角変位と同期している。図6に、単気筒空気エンジンの動作サイクルを示す。

## 4. 単気筒空気エンジンの設計

### 4.1 設計手順

本稿で解説している単気筒空気エンジンの構造要件は、ピストンクランク機構が一つだけの構成



図2 出力軸バルブ式単気筒空気エンジン

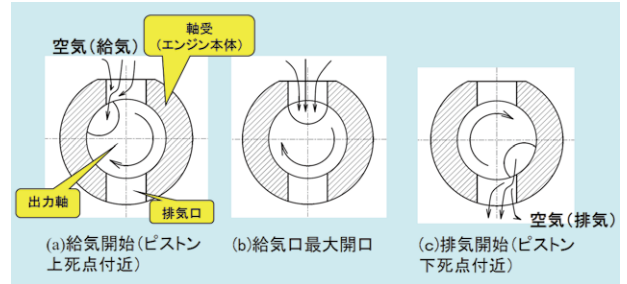


図3 バルブの開閉タイミング



図4 動弁機構を備えた単気筒空気エンジン

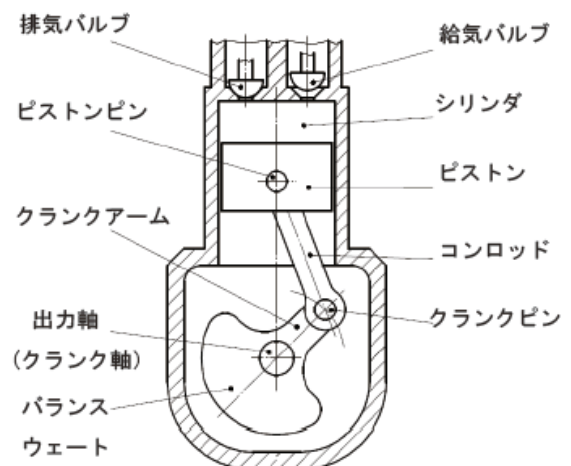


図5 単気筒空気エンジンのモデル

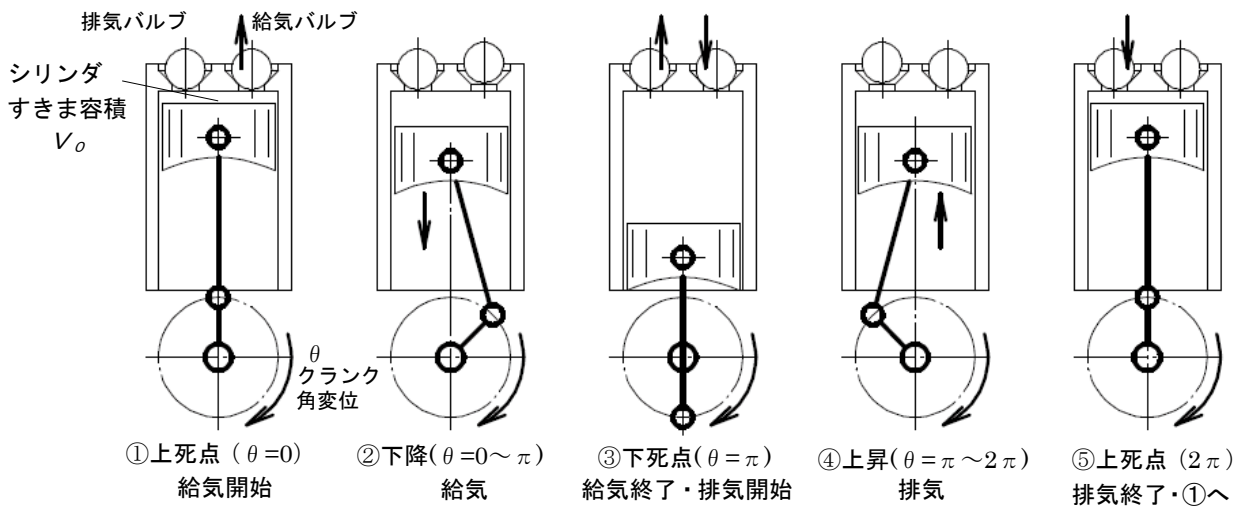


図6 空気エンジンの動作サイクル

であることと、動弁機構を備えていることである。単気筒空気エンジンを製作するためには、さらに詳細な構造検討と、サイズや出力等のスペックを決める必要がある。空気エンジンのメーカーは、市場におけるニーズ調査や顧客との協議から、これらの項目や値を決定する。製作すべき空気エンジンの機能、スペック、サイズをまとめたものが設計仕様であり、この段階は、空気エンジンの基本構造までを決める段階である。なお、より詳細な設計に当たっては、設計仕様書に記載されているすべての要求を満足するように設計しなければならない。

図7に、単気筒空気エンジンの設計手順を示す。ニーズ調査や顧客との協議から必要とする単気筒空気エンジンを定義するが、この作業を要件定義という。要件定義を基に設計仕様や単気筒空気エンジンの基本構造を決定する作業を基本設計という。この段階の単気筒空気エンジンは、まだ、全体像であり、概要である。これを具体的に製作できる、すなわち機械図面の作成まで行う設計作業が詳細設計である。以上のことから、要件定義を満足する空気エンジンの製作を実現するためには、基本設計が極めて重要と言える。

基本設計で決定した単気筒空気エンジンのスペックを実現するため、詳細設計では、シリンダ内径(ピストン外径)、クランク半径、コンロッド長、バルブ開口面積等の最適値を求めることになる。しかしながら、これらの数値は、例えば、設計仕

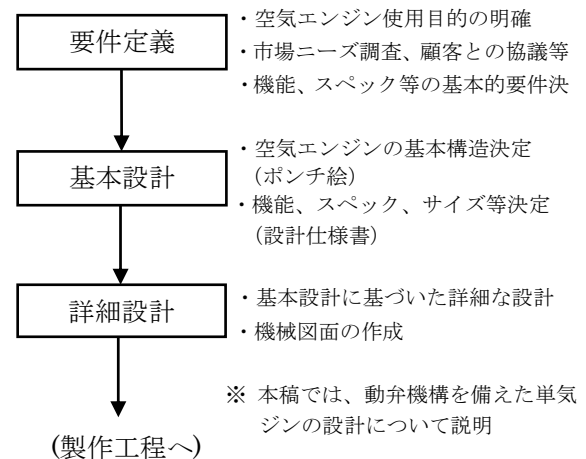


図7 単気筒空気エンジンの設計手順

様の数値を設計用公式に代入し、一つの正解として求められるものではなく、シリンダ内径等の一連の数値(以下、仮設計値と記す)を仮決定した上で所定の計算を行い、設計仕様を満足するか否かを評価するものである。設計仕様を満足する仮設計値が、正式な設計値として採用することができる。ただし、仮設計値は、その内訳から、何パターンかの提案をすることができることから、正式な設計値の候補が複数個存在する可能性がある。

筆者は、過年度の標準課題実習の取り組みの中で、単気筒空気エンジンの仮設計値を評価するためのツールを開発した。このツールは、パーソナルコンピュータの表計算ソフトウェア、Excelを使用したツールであり、仮設計値であるシリンダ内径、クランク半径、コンロッド長等の数値をシ

ートの所定の場所に入力することにより、単気筒空気エンジンの回転速度と動力すなわち出力のシミュレーションができるものである。

詳細設計においては、設計仕様が要求する出力が満足できるようなシリンダ内径(ピストン外径)、クランク半径、コンロッド長等の数値を決定するが、その他、バルブ機構の詳細設計とクランク軸バランスーの設計、フライホイールの設計等を行う。次に、単気筒空気エンジンの詳細設計について説明する。

## 4.2 単気筒空気エンジンの詳細設計

### 4.2.1 単気筒空気エンジンの出力シミュレーション

筆者は、開発したツールにより、単気筒空気エンジンの出力シミュレーションを行った。単気筒空気エンジンの空気エンジン出力  $P$  (W) は、空気エンジン出力軸の角速度を  $\omega$  (rad/s)、出力軸に作用する外部負荷トルクを  $T_l$  (Nm) とすれば、

$$P = \omega T_l \quad (1)$$

である。よって、 $\omega$  と  $T_l$  の二つの値を与えることにより、空気エンジンの出力がシミュレーションできる。ここで、 $T_l$  は値が一定の設計条件であり、 $\omega$  は時間と共に変化することから、 $\omega$  の時間変化を計算しながら、 $P$  の時間変化を計算した。計算に当たり、刻み時間を  $10 \mu\text{s}$  等適宜決めるが、これが近似的瞬間となる。ここで、空気エンジン起動時の出力軸角速度を  $\omega_0$ 、起動してから  $k$  回時間を刻んだ時点 ( $k$  は自然数) の角速度  $\omega$  を  $\omega_k$  とすると、

$$\omega_k = \omega_{k-1} + \alpha_{k-1} \cdot \Delta t \quad (2)$$

となる。ここで、 $\alpha$  (rad/s<sup>2</sup>) を空気エンジン出力軸の角加速度とし、 $(k-1)$  回だけ時間を刻んだ時点の角加速度を  $\alpha_{k-1}$  と表現した。なお、 $\Delta t$  は刻み時間である。この式を用いて  $\omega$  の時間変化を計算するためには、 $\alpha$  の時間変化を知る必要がある。ここで、空気エンジン出力軸に作用する慣性モーメントを  $I$  (kg/m<sup>2</sup>)、出力軸トルクを  $T_e$  (Nm) とすれば、

$$\alpha = \frac{T_e - T_l}{I} \quad (3)$$

となり、この式から、 $\alpha$  の時間変化を求めることにした。なお、 $(T_e - T_l)$  は、慣性モーメント  $I$ 、すなわち、空気エンジン出力軸を加速するトルクとなる。よって  $\alpha$  の時間変化を求めるためには、出力軸トルク  $T_e$  を求めなければならない。

$T_e$  の源泉になるのは、ピストンを押す力であり、それは、シリンダ内の空気圧力  $p_L$  と大気圧  $p_o$  の関係から決まる。なお、シリンダ内の空気圧力  $p_L$  は、ピストンの位置、空気供給源の圧力  $p_H$  および環境温度に依存する。また、シリンダ内空気圧力は、シリンダ内に流入(給気)する空気流量  $Q_{in}$  とシリンダ内から流出(排気)する空気流量  $Q_o$  から計算できる。計算に当たり、空気流入時には給気バルブの開度  $S_{in}$  が、空気流出時には排気バルブの開度  $S_o$  の値が必要となる。クランク角変位と給排気バルブ開度の関係は、メカニズムの幾何学的関係から決定するものであり、次項で説明する。

シリンダ内空気圧力は、給気工程と排気行程に分けて計算する必要がある。その理由は、給気と排気でバルブが切り替わることと、空気の流れの方向が変わるからである。

単気筒空気エンジンの出力シミュレーションは、標準課題実習においては、表計算ソフト Excel を使用したが、Excel 起動後、出力計算に必要な因子を正確に入力する必要がある。このため、計算手順が明確に確認できるようフローチャートを作成した。図 8 がこのフローチャートである。

次に、このフローチャートに記載している記号に対応する各計算因子について説明する。 $P$ 、 $\omega$ 、 $T_e$ 、 $T_l$ 、 $\alpha$ 、 $p_o$ 、 $p_L$ 、 $p_H$ 、 $\Delta t$ 、 $I$ 、添え字の  $\kappa$  については、先の説明の通りである。 $\theta$  は、クランク角変位であり、 $\theta = 0$  が上死点である。よって、 $\theta = \pi$  は下死点である。次に  $x$  は、ピストンの変位であり、下死点に移動するに連れ  $x$  は増加する。 $x$  の最大値は、クランク半径値の 2 倍となる。次に  $v_p$  は、ピストンの速度である。次に  $V$  は、ピストンが  $x$  の位置におけるシリンダ容積である。また、ピストンクランク機構の幾何学的性質から、 $\theta$  と  $x$  と  $V$ 、および  $\omega$  と  $v_p$  は、それぞれ連動して変化する因子であることがわかる。次に  $N_e$  は、シリンダ内の給排気量 (mol/s) である。また、 $n$  は、シリンダ内の空気分子数 (mol)、 $D$  は、ピストン

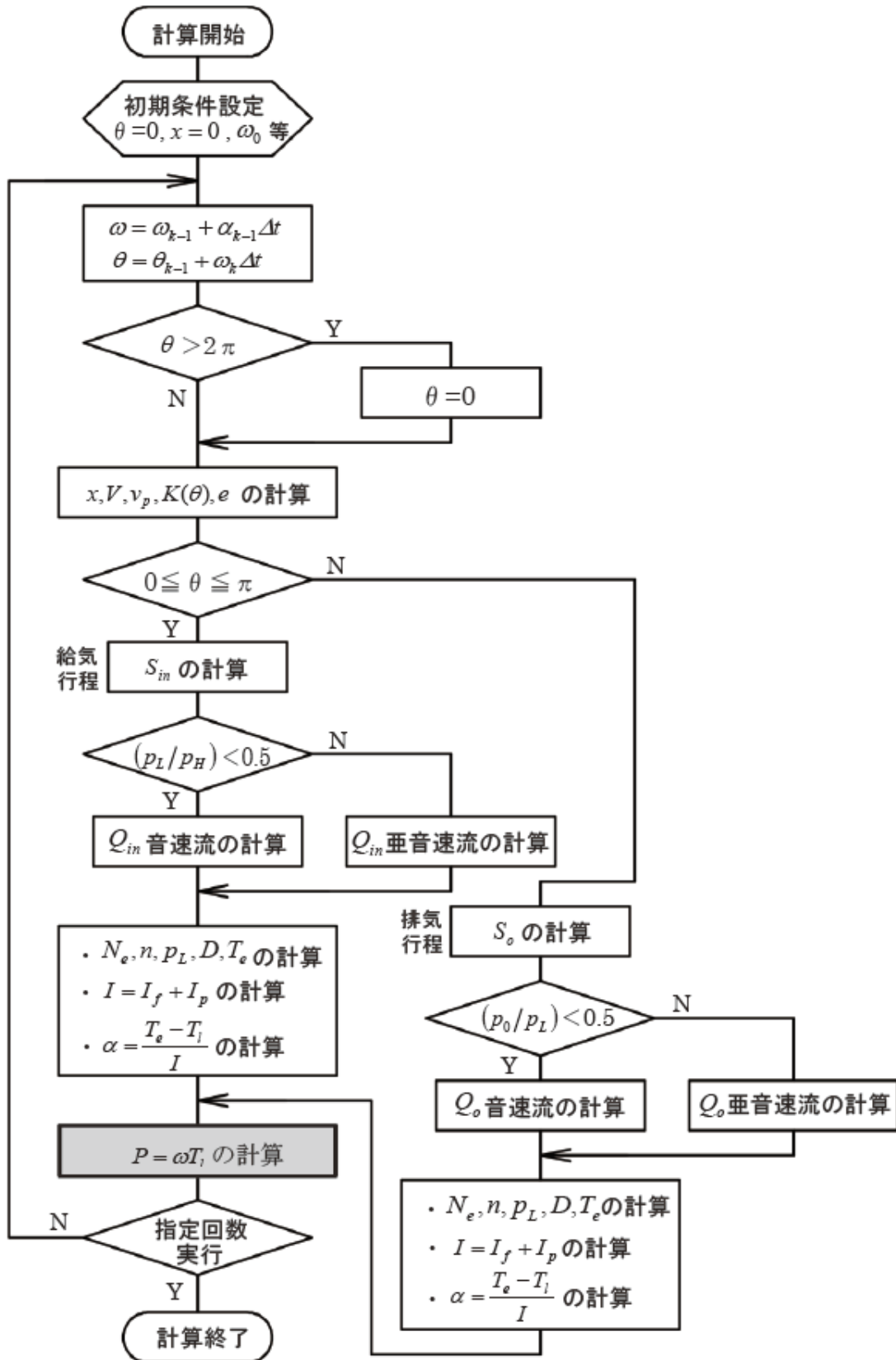


図 8 単気筒空気エンジン出力シミュレーションのフローチャート



が移動するときの空気抵抗である。次に  $I$  は、単気筒空気エンジンの出力軸に作用する慣性モーメントであるが、その内訳は、フライホイールの慣性モーメント  $I_f$  とピストンおよびピストンピン  
の相当慣性モーメント  $I_p$  とした。

## 4.2.2 プッシュロッド型バルブ機構の設計

### (1) クランク角変位とバルブ開口面積の関係

図 9 に、平成 29 年度標準課題実習で製作した単気筒空気エンジンのプッシュロッド型バルブ機構とカムの輪郭を示す。この機構は、クランク軸と一体となって回転するカムが、プッシュロッドを駆動し、プッシュロッド軸端のバルブ球を制御するものである。プッシュロッドを引いた状態がバルブ閉、プッシュロッドがボールをプッシュした状態がバルブ開である。バルブの開口面積は、プッシュロッド変位すなわちクランク角変位に同期して変化する。クランク角変位が、 $0 \sim \pi$  (rad) すなわちピストンが上死点から下死点まで移動する位相は、給気バルブが、閉じた状態から開き始め、ピストン変位がストロークの中央付近でバルブ開度が最大となる。その後閉じていき、下死点では完全に閉じる。クランク角変位が  $\pi \sim 2\pi$

(rad) すなわちピストンが下死点から上死点の位相は、給気バルブが閉じ続け、逆に排気バルブが開いて閉じる。排気バルブ開閉の位相は、給気バルブと  $\pi$  (rad) ずれている。図 10 にクランク軸角変位とバルブ開口面積の関係を示す。

### (2) 空気漏れ対策

動弁機構で重要なことは、構造部やメカニズムの摺動部で空気漏れを起さないことである。空気漏れは、単気筒空気エンジンの出力低下や効率低下を招き、最悪の場合は運転不能に陥ってしまう。シリンダヘッドとシリンダブロック等の合わせ面は、液状ガスケットを塗布するなどして、空気漏れ対策を行う必要がある。また、プッシュロッドからの空気漏れ対策として、ロッド摺動部に V パッキンを組み込む方法等がある。

## 4.2.3 クランク軸バランサーの設計

### (1) クランク軸バランサーの概要

レシプロ式エンジンは、クランクシャフトが回転

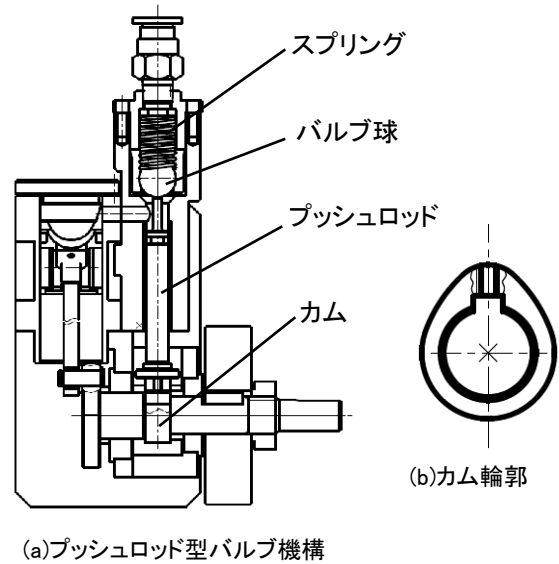
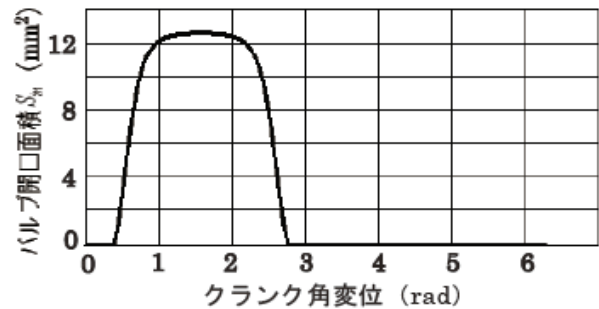
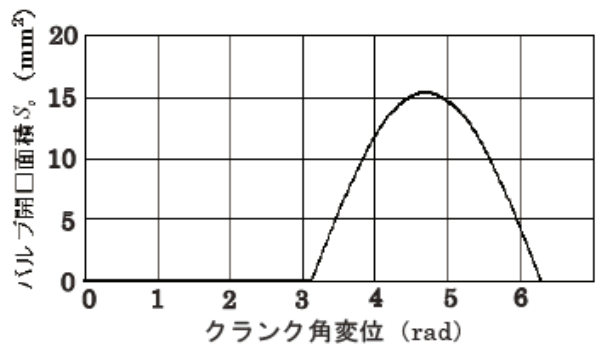


図 9 単気筒空気エンジンのプッシュロッド型バルブ機構



(a) 給気バルブの開口面積変化



(b) 排気バルブの開口面積変化

図 10 クランク角変位とバルブ開口面積の関係

するとき、回転運動部分のアンバランスのために振動が発生する。また、ピストンやピストンピンおよびコンロッドの往復運動方向のアンバランスのために振動が発生する。この振動を軽減するために、クランク軸のクランクアーム反対側にバランサーウェイトを適宜設ける必要がある。回転方向のアンバランスについては、このバランサーウェイトにより、完全にアンバランスが解消できる。しかしながら、これだけでは往復運動方向のアンバ

ランスが解消できず、さらにバランスウェイトを追加する必要がある。

ピストンが上死点に達した時に釣り合う分のバランスウェイトを追加した状態がオーバーバランス率 100%である。この状態では往復運動方向の振動（縦振動）は打ち消される。ところがクランクシャフトが上死点から 90° 回転した時にオーバーバランスとなり、縦振動が横振動に変換された状態となる。いずれにしても、このバランスウェイト方式では、振動を完全に解消することはできない。標準課題実習における設計では、クランク軸にバランスウェイトを設ける方法を採用し縦方向のオーバーバランス率 100%前後を目安にバランスウェイトの質量を決定した。理由として人間の感覚として一般的に横振動は許容することができるが、縦振動は許容することができないからである。

単気筒空気エンジンのバルンサーの設計では、ピストンクランク機構の駆動部を「回転運動部分」と「往復運動部分」に分けて考える。このとき、コンロッドは、小端部(ピストンピン側)は往復運動しているが、大端部(クランクピン側)は回転運動をしているので、厳密に設計するには少々厄介である。そこで簡易的な方法として、コンロッドの小端部側 1/3 は、往復運動を大端部側 2/3 は、回転運動をしているものとし計算することにした。

## (2)回転運動部分のバランス

クランク軸を軸方向から見て、軸中心点を境に、クランクアーム側のモーメントとバランスウェイト側のモーメントが釣り合うようにバランスウェイトの形状および寸法を決定する必要がある。それぞれの要素について、質量と出力軸までの距離（重心から回転中心までの距離）を表 1 に示す。また回転運動部分のバランスのイメージを図 11 に示す。回転運動部分が完全に釣り合っているとき、次式が成り立つ。

$$m_1 r_1 + m_2 r_2 + m_3 r_3 = m_4 r_4 \quad (4)$$

よってバルンサーの質量 $m_4$ は、

$$m_4 = \frac{m_1 r_1 + m_2 r_2 + m_3 r_3}{r_4} \quad (5)$$

表 1 回転運動部分各要素の質量と回転運動

クランクアーム側			バランスウェイト側		
要素	質量	回転半径	要素	質量	回転半径
クランクピン	$m_1$	$r_1$	バルンサー	$m_4$	$r_4$
クランクアーム	$m_2$	$r_2$	\		
コンロッド大端部	$m_3$	$r_3$			

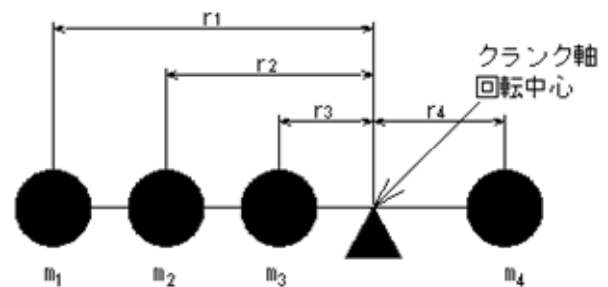


図 11 回転運動部分のイメージ

となる。ここで、バルンサーの回転半径 $r_4$ について説明を行う。出力軸の中心から、バルンサー重心 G までの距離が $r_4$ である。バルンサーの設計では、その質量 $m_4$ が重心 G に集中しているとして軸方向に投影されるバルンサーの形状が半径 R の半円の場合の $r_4$ は、

$$r_4 = \frac{4R}{3\pi} \quad (6)$$

となる。ここで、バルンサーの厚さを $t$ 、材料の密度を $\rho$ 、質量を $m_4$ とすると、

$$m_4 = \frac{\pi R^2 t \rho}{2} \quad (7)$$

となるので、質量 $m_4$ 、半径 R のバルンサーの厚さ $t$ は、(4)式から

$$t = \frac{2m_4}{\pi R^2 \rho} \quad (8)$$

となる。

## (3)往復運動部分のバランス

表 2 に往復運動部分のバランスに関する各要素の質量および回転半径を示す。往復運動部分のバランスは図 12 に示すように、ピストン部質量 $m_p$ 、

往復運動時の慣性力を打ち消すようにバルンサー遠心力のy軸方向成分  $G_y$  を作り出せばよいとされる。出力軸(クランク軸)の角速度  $\omega$ 、コンロッド長  $l$  とクランク半径  $r$  との比(連桿比)を  $\lambda$  とするときのクランク角変位  $\theta$  とピストン加速度  $\alpha$  の関係は以下の通りである。

$$\alpha = \left( \cos \theta + \frac{\lambda^2 \cos 2\theta + \sin^4 \theta}{(\lambda^2 - \sin^2 \theta)^{3/2}} \right) r \omega^2 \quad (9)$$

ただし、このままでは、計算が困難であるため、(6)式が、周期関数であるから、フーリエ級数展開することにより、

$$\alpha = r \omega^2 \left( \cos \theta + \frac{1}{\lambda} \cos 2\theta + \dots \right) \quad (10)$$

となり、(7)式を利用することにより、バルンサーの設計を行う。(7)式から、ピストン部分の往復慣性力  $F$  は、

$$F = -m_p \alpha = -m_p r \omega^2 \cos \theta - m_p r \omega^2 \times \frac{1}{\lambda} \cos 2\theta + \dots$$

(垂直1次成分) (垂直2次成分) (11)

となるが、垂直2次成分以上の高次の成分は、値が小さいので、ここでは、無視できるものとする。よって、ピストン部分の往復慣性力  $F$  は、

$$F = -m_p r \omega^2 \cos \theta \quad (12)$$

となる。ここで、右辺に負符号が付くのは、ピストン部分の慣性力(ピストン部分がエンジンにおよぼす力)は、その加速方向とは反対方向に作用するためである。

一方、質量  $m_5$  のバルンサーの遠心力  $G$  は、クランク軸回転中心からバルンサー重心まで、距離をクランク半径と同じ  $r$  とすれば、

$$G = m_5 r \omega^2 \quad (13)$$

$$G_x = m_5 r \omega^2 \sin \theta \quad (14)$$

$$G_y = m_5 r \omega^2 \cos \theta \quad (15)$$

表2 往復運動部分のバランスに関する各要素の質量と回転半径

ピストン部質量 $m_p$			バルンサー質量 $m_5$		
要素	質量	クランク半径	要素	質量	回転半径
ピストン	$m_{p1}$	$r$	バルンサー	$m_5$	$r$
ピストンピン	$m_{p2}$				
他					
コンロッド小端部	$m_{p3}$				

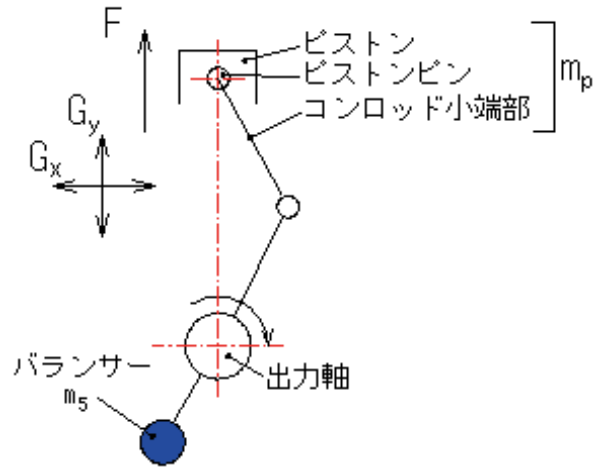


図12 往復運動部分のバランス

であり、その垂直成分  $G_y$  および水平成分  $G_x$  はとなるので、ピストン部分の質量  $m_p$  とバルンサーの質量  $m_p$  とバルンサーの質量  $m_5$  を同じ大きさ、すなわち  $m_p = m_5$  として設計すれば、(12)、(14)式から

$$F + G_y = -m_p r \omega^2 \cos \theta + m_p r \omega^2 \cos \theta = 0 \quad (16)$$

となり、ピストン部分の質量とバルンサーの質量は、垂直方向において、お互いの力を打ち消すことができる。ところが、(15)の通り、バルンサー質量による水平方向成分  $G_x$  が発生してしまうので、エンジンの縦振動を抑制しつつも、横振動を消し去ることができないが、標準課題実習の中では、横振動を許容することとした。ちなみに、横

振動を解消する方法として、エンジンを偶数気筒化し、水平方向にする方法がある。また単気筒のまま、バランスを取る方法として、バランスシャフトを設ける方法がある。

#### 4.2.4 フライホイールの設計

図 13 が、フライホイール使用のイメージである。単気筒空気エンジンは、回転中のトルク変動により角速度が変動し、回転が円滑ではない。この角速度の変動を緩和し、回転を円滑化するのがフライホイールの役割である。この設計のため、設計仕様には、許容角速度変動率が必要である。

標準課題実習の中では、フライホイールの形状を円筒形状とした。フライホイールの設計は、単気筒空気エンジンの円滑運転に必要な慣性モーメントが得られるように、フライホイールの材質と寸法を求めるものである。図 14 に単気筒空気エンジンの出力軸トルクとそのクランク角変位を示す。時刻  $t_1$  から  $t_2$  まだが、角速度増加区間である。角速度の増加は、設計仕様の角速度増加の許容値で決まり、それを  $\Delta\omega$ 、フライホイールの慣性モーメントを  $I$  とすれば、次式が成り立つ。

$$I = \frac{\int_{t_1}^{t_2} (T_r - T_l) dt}{\Delta\omega} \quad (17)$$

ただし、 $T_r$  は出力軸トルク、 $T_l$  は平均トルクとする。また、円板の円の中心まわりの慣性モーメント  $I$  は、円板の半径を  $R$ 、質量を  $M$  とすれば、次式で表現できる。

$$I = \frac{1}{2} MR^2 \quad (18)$$

### 5. おわりに

「空気エンジンの設計製作」をテーマ（以下、本テーマと記す）とした標準課題実習において、課題学習方式、ワーキンググループ方式という標準課題実習のあり方を活かしながら、実際に、空気エンジンの設計製作に当たった。本稿は、標準課題実習の実践報告や、空気エンジンの製作作業の纏めとしての視点ではなく、空気エンジンの構造と設計手順および主要な設計項目について解説したものである。解説については、概要までであ

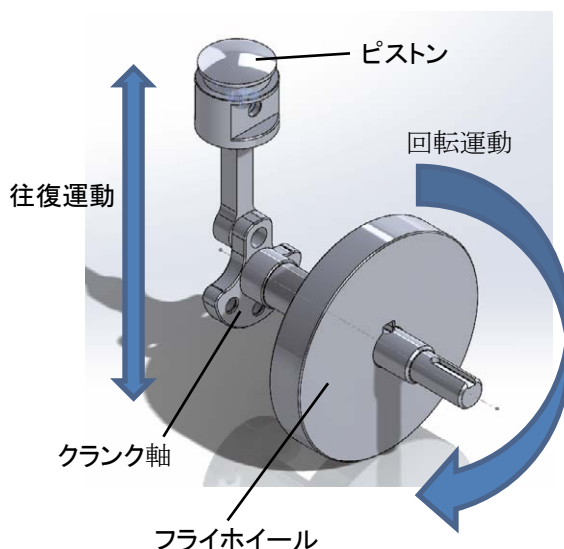


図 13 フライホイール使用イメージ

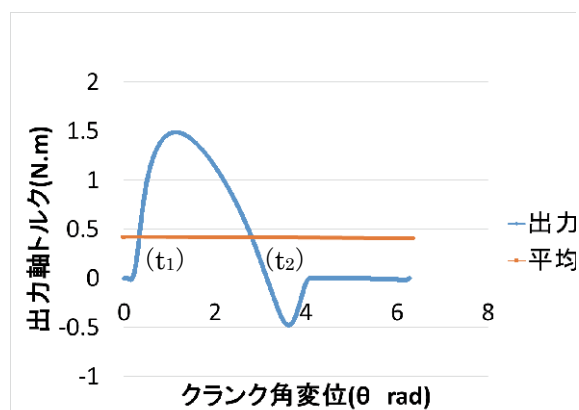


図 14 クランク角変位と出力軸トルクの関係

るが、それぞれの項目の詳細については、次号以降の紀要に順次掲載していきたい。

本テーマで学習できる熱流体工学の内容は、「給排気バルブを通過する空気量の計算」、「シリンダに流入する空気量の計算」等である。シリンダに流入する空気量から、シリンダ内圧力を計算する方法として、「理想気体の状態方程式」を使用した。これが、熱流体工学学習の主な内容である。この内容は、本稿で解説した空気エンジン出力計算の要である。また、「バルブ機構」、「バルンサー」、「フライホイール」の設計を学習することにより、熱流体工学応用機械開発のセンスが身に付くことが期待できる。

#### 【参考文献】

- 1) 伊藤隆志：北海道職業能力開発大学校紀要、第 34 号、pp.47-56、2019 年 2 月

# ニホンザリガニ稚ザリ用飼育ボックスの設計・製作

遠藤 裕之\*1, 鳥潟 幸男\*2

## Design and Manufacture of Young *Cambaroides Japonicus* Breeding Boxes

ENDO Hiroyuki\*1, TORIGATA Yukio \*2

**要約** 国内最南端のニホンザリガニの生息地は大館市であり、その一部区域が天然記念物に指定されている。その天然記念物指定水系のニホンザリガニは絶滅に瀕している。大館市ではニホンザリガニ保全のため人工繁殖等に取り組んでいる。当校においては地域貢献の観点から、大館郷土博物館とニホンザリガニに対する共同研究を始めた。ニホンザリガニの人工繁殖を実施するに当たり、「共食い」行動が問題となる。成体の場合は、仕切り板にて水槽内を分ける等の対策もできるが、ニホンザリガニ稚ザリ（以後、稚ザリ）は仕切り板と水槽の隙間を通ることができ、水槽内の分割は適さない。従って、稚ザリ同士の共食いを避ける飼育ボックスが必須となる。飼育ボックスは市販品として熱帯魚稚魚用の飼育ボックスは販売されているが、稚ザリは壁をよじ登ることができるため、稚ザリ用の飼育ボックスとしては適さない。本設計・製作では、大館郷土博物館と共に稚ザリ専用の飼育ボックスを設計・製作した。

### 1. はじめに

天然記念物である大館市のニホンザリガニの生息数は、生息域が狭小となり絶滅に瀕している。大館市では絶滅を回避するため人工繁殖に取り組んでいる。人工繁殖を実現するに当たり、ニホンザリガニの「共食い」行動が問題となる。ニホンザリガニはサイズの違うニホンザリガニ同士を同一の水槽に入れた場合、小さいサイズのニホンザリガニは大きいサイズのニホンザリガニに捕食される確率がかなり高い。一方、同サイズ同士であれば、どちらかに捕食される確率は低いようであるが、脱皮した後は体が柔らかいため身を守ることができず、捕

食される確率が上がる。このような理由から、ニホンザリガニの人工繁殖の実現には、個別飼育を基本とし、繁殖時期のみペアで飼育することが一般的である。

交接が成功し卵から稚ザリが孵化した場合、その飼育は当然のごとく個別飼育となる。雌の抱卵は数十個以上であり、その中の何個が孵化するかわからないが、安全に飼育するためには孵化した分の個室を用意する必要がある。あまり環境依存がないアメリカザリガニなどであればその分の水槽を用意する手法も可能であるが、ニホンザリガニではそのような手法をとることができない。ニホンザリガニの飼育環境は、夏でも水温が 20℃以下(冬は 5℃前後)で、水質が良いことが要求される。この環境を保つ水槽を稚ザリ分用意することは設置費用もさることながら維持費も多額になり現実的ではない。現実的な解決策は水槽内に複数個入れることができる

\*1 東北職業能力開発大学校秋田校 電子情報技術科  
Tohoku Polytechnic College, Akita Department of  
Electronic Information Technology

\*2 大館郷土博物館  
Odate City Museum

飼育ボックスを用意することである。飼育ボックスは熱帯魚などの魚用は市販されている。しかしながら、市販品は魚用であり、稚ザリを飼育する用途には向かない物ばかりである。従って、稚ザリを飼育するための飼育ボックスは専用の物が必要であるため、大館市郷土博物館と共同でニホンザリガニ稚ザリ用飼育ボックスを製作することとなった。

## 2. 飼育ボックス

ニホンザリガニ稚ザリ用飼育ボックスを製作するに当たり、問題となるのは材質である。稚ザリに壊されなく、よじ登ることができない工夫ができ、また、加工・製作ができる材質でなければならない。この条件からアクリル板を飼育ボックスの材料とした。2mm 厚程度のアクリル板の加工は基板加工機でも可能なため意図した加工ができ、また、接着もアクリル用接着剤にてアクリルを溶かして接着することもでき、強度もある程度得られる適切な材料である。

飼育ボックスの開発手順は、当校には稚ザリが存在しないため、飼育ボックスを当校にて試作後、郷土博物館にて使用・評価してもらい、改良していくこととした。

飼育ボックスのサイズは、基板加工機で製作可能な幅 100mm×奥行 200mm×高さ 160mm（内寸）とした。このサイズはどの試作飼育ボックスでも同一とした。

### 2.1 飼育ボックスの製作方法

飼育ボックスは図 1 に示す底板、側板 1、側板 2、及び仕切り板の 4 種類の板で構成した。これらのパーツは基板加工機にて加工し、加工したパーツを用い飼育ボックスを製作した。パーツ同士の接着は、水中に有害物質を出す可能性のある接着剤を用いることはできないため、特定のアクリル専用接着剤にて接着する必要がある。アクリル専用接着剤は液体であり、通常の接着剤のように接着面に塗布してからパーツ同士を合わせるようなことはできないため、最初にパーツ同士を貼り合わせ、その貼り合わせ箇所にあクリル専用接着剤を注射器の針にて流し込んで行く必要がある。従って、接着する前に飼育ボックスを形作る必要があるが、接着剤を流し

込む都合上、仮止めとして用いるマスキングテープ止めは内側か外側のどちらかにのみ貼らなければならない。今回は、図 2 に示すようにマスキングテープを飼育ボックスの外側にのみ貼ることでボックスを形作った。その後、注射器にて接着剤を内側より流し込んで接着した。

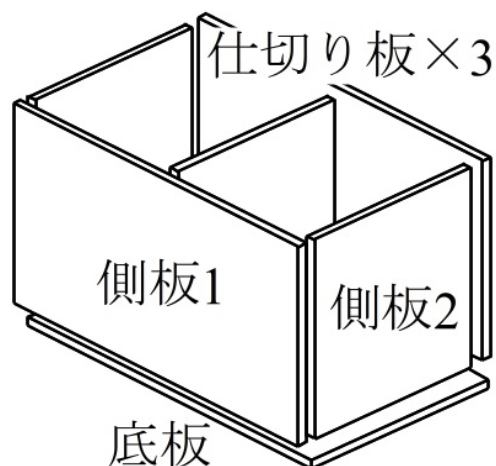


図 1 飼育ボックス構成板

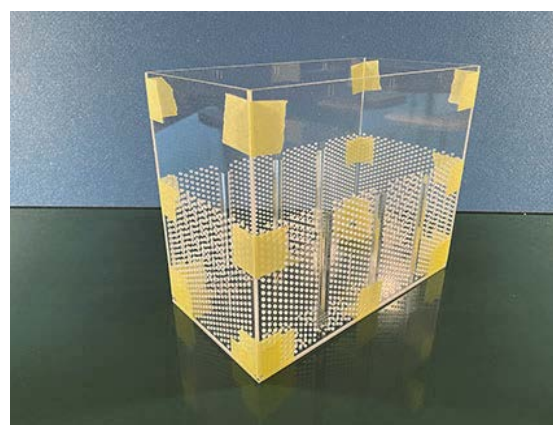


図 2 マスキングテープ位置

### 2.2 試作 1 号

飼育ボックスの開発には、郷土博物館での使用・評価が必要なため、たたき台として以下の条件にて試作 1 号を製作した。①水槽内の水流が飼育ボックス内にも作用すること。②稚ザリがよじ登れないこと。③仕切り板にて複数の部屋に分けられること。④持ち上げたときに水が溜まらないこと。水が溜まらないようにすることは、アクリル板の接着はアク

リルを溶かして行っているが、強度的に心配があるため条件に入れた。

試作ボックスを製作するに当たり、ニホンザリガニを飼育している水槽内の水位を仮定する必要がある。ニホンザリガニはえら呼吸のため水位は低くても高くても大丈夫であるが、水温を低く設定する都合上、低い水位で飼育している環境が多い。よって、水位は100mm程度と仮定した。試作1号の側板1、側板2及び仕切り板に設ける水流用の孔は、稚ザリガニが板をよじ登れないように、上部を除く底面板から18・94mm間に2mmの孔を開けているが(側板1のスリット部分には接着の関係から孔を開けていない)、それ以外の部分には孔を開けないこととした。参考として側板2での孔位置を図3に示す。また、試作1号での孔間隔を図4に示す。近接する孔同士はずらして配置しており、この間隔は全ての板で同一とした。

飼育ボックスは仕切り板にて最大で均等に4分割できるようにしている。従って、側板1には、図5に示すように50mm間隔で仕切り版を挿入するためのスリットを設けている。このスリットは三角棒を用い、稚ザリガニのよじ登りを考慮して、孔の空いた範囲のみに配置した。

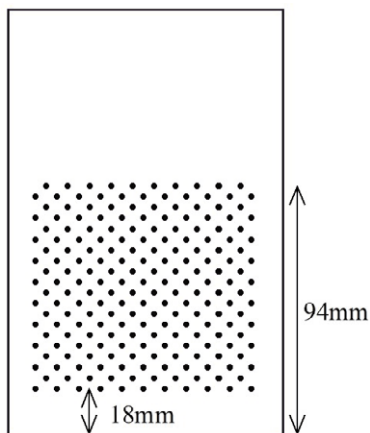


図3 側板2の孔位置

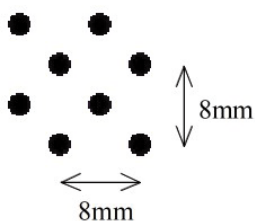


図4 試作1号での孔間隔

底板は、メンテナンス等で持ち上げた時に水が底に残らない程度を考慮して、側板と仕切り版の付近のみに1区画当たり10個の穴を配置した。底板の孔配置を図6に示す。

試作1号の郷土博物館からのアドバイスは、水流の関係から孔の間隔をもっと狭くし、縁の方まで孔が欲しいことと、掃除の関係から底板にも孔を側板並みに欲しいとのことであった。それら以外の部分は概ね良好とのことであった。

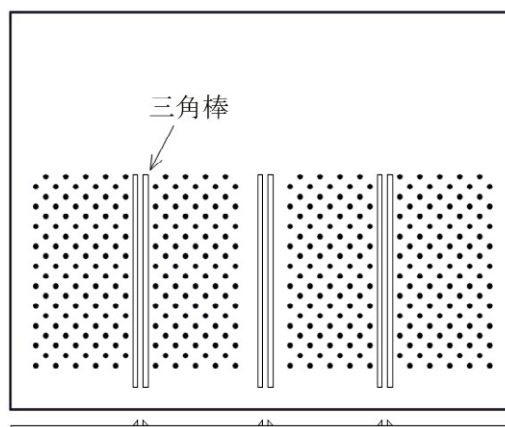


図5 側板1のスリット

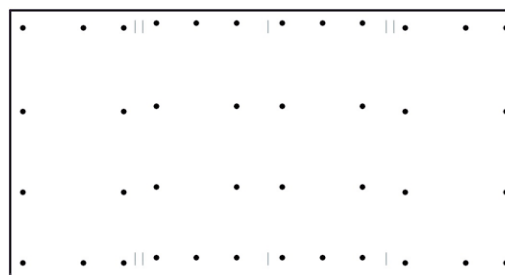


図6 底板

### 2.3 試作2号

試作2号は、試作1号のアドバイスを踏まえて、図7に示すように縦方向の孔間隔を半分にした。また、図8、9に示すように、よじ登り対策箇所除く孔の位置は亚克力版の縁から4~5mmまでにした。これらのことにより、各板の孔数は倍以上となり水流は以前より良くなった。

試作2号では水流の問題は無くなったが、底板に問題が生じた。ニホンザリガニは雑食であり枯れ葉等の植物性由来の餌を主食としているが、動物性由来の餌も与える必要がある。水生生物を捕獲、または購入して与えることは現実的でないため、市販さ

れている人工飼料を与えることが一般的である。この人工飼料は数ミリサイズであるため、実際に人工飼料を与えると孔を通して低床に到達し、水質汚染の原因となることが判明した。

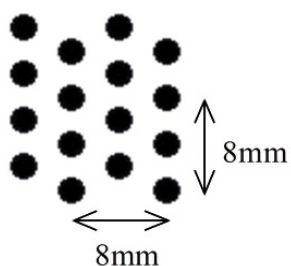


図7 試作2号での孔間隔

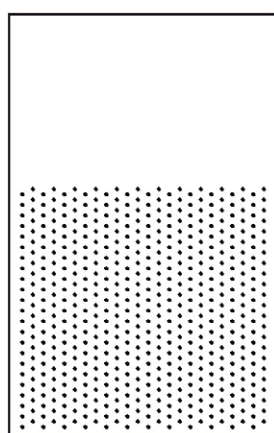


図8 側板2の孔位置

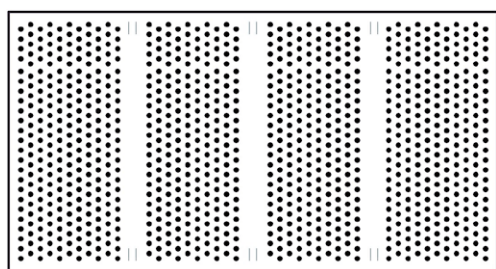


図9 底板

## 2.4 試作3号

試作2号の底板での人工飼料問題を解決する必要がある試作3号は、底板の孔数をある程度確保しつつ孔の空いていない平らな部分を設けることとした。したがって、底板は孔と平らな部分を半々にした図10の孔配置とした。これにより、人工飼料の孔への落下を防止でき、掃除も両サイドのできるため、この孔配置を底板の完成版とした。完成版とした稚ザリ飼育ボックスを図11に示す。

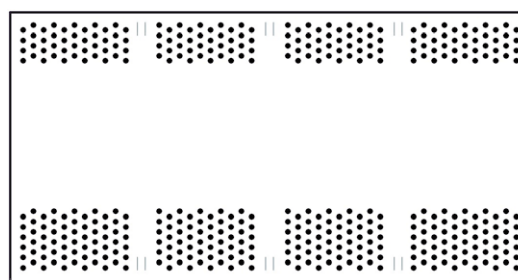


図10 底板



図11 完成版

## 3. おわりに

本設計・製作により、天然記念物ニホンザリガニ稚ザリを飼育するボックスを完成させることができた。今までは稚ザリが誕生した場合、専用の飼育ボックスが存在せず、ピーカーなどの代用品での飼育となっていたが、次回からは稚ザリ専用飼育ボックスでの飼育となる。

稚ザリ専用飼育ボックスが完成したことから、今後のニホンザリガニの研究は稚ザリの成長、個体数を増やすことへの研究とする予定である。ニホンザリガニの抱卵は1年で1回であり、その数も数十個程度とあまり多くはない。また、交配も成功するとは限らないため、抱卵しても無精卵の可能性もある。したがって、抱卵の回数を増やすことで個体数を増やす予定である。照明と水温を管理し、1年間の季節変動を短縮することで、ニホンザリガニの季節感を勘違いさせ、1年で1回の抱卵回数を増やす予定としている。

### [参考文献]

- 1) 西村士郎・砂川光朗・井川唯史：北海道に分布するザリガニ類の採集と飼育方法、札幌市豊平川さけ科学館、館報14号、p.22、2002年3月





東北職業能力開発大学校 紀要第 31 号 編集委員会構成

委員長：佐藤重悦

委員：浅倉卓也 狩野隆志 小林 崇 菖蒲大樹 瀧田大亮 山川 晃

アドバイザー：川又政征

事務局：島影真悟

査読委員：伊藤隆志 狩野隆志 小林 崇 佐藤重悦 柴田清孝 菖蒲大樹

先崎康裕 平 和基 中村俊也 渡邊正純 星野政博 本多正治

松岡 亘 山川 晃

---

## 東北職業能力開発大学校紀要

### 第 31 号

2021 年（令和 3 年）6 月発行

編集・発行

独立行政法人

高齢・障害・求職者雇用支援機構宮城支部

東北職業能力開発大学校 紀要編集委員会

〒987-2223

宮城県栗原市築館字萩沢土橋 2 6 番地

26 Dobashi, Tsukidate-hagisawa, Kurihara-shi, Miyagi 987-2223, Japan

電話 0228-22-6614 学務課

<http://www3.jeed.go.jp/miyagi/college/>

---

印刷 株式会社ホクトコーポレーション

**BULLETIN OF**  
**TOHOKU POLYTECHNIC COLLEGE**  
**No.31 CONTENTS**

---

**PREFACE**

**BULLETIN**

TAKAHASHI Kenji	Self-efficacy in the Fostering Professionalism .....	1
KANO Takashi	Development of Material for Safety Education on Handling	
	Rechargeable Batteries and Effect after One Year Training .....	7
MATSUOKA Takashi, WATANABE Shoma, TAKAHASHI Kota, CHIBA Haruka, HATANAKA Aika, MATSUDA Yusuke, YUKI Akari	Effect of Wood Panel installed on a Wood Frame without Joining Hardware of Shear Strength Performance .....	11
SATAKE Shigenori	Measurement for Drying Shrinkage of Concrete up to 182 days of Drying Age	
	- Effectiveness of Concrete using Carbon-free Fly Ash - .....	15
HAYASHI Shogo, MATSUOKA Takashi, CHIBA Haruka, YAMADA Shun	Development of Architectural Materials using Bamboo Activated Carbon	
	- Chemical Substance Adsorption Effect of Bamboo Activated Carbon - .....	19

**RESEARCH BULLETIN**

ASAKURA Takuya, KOBAYASHI Ken, TAIRA Kazuki	Production of Wood Construction Video Materials .....	23
---	---	----

**PRACTICE REPORT**

TAKAHASHI Kenji, OISHI Masaru, UCHIYAMA Gen, SENZAKI Yasuhiro, HIRATA Takeyo, HONGO Hideaki, SAIKUSA Kenichi, ITO Takashi	Development of Rice Noodle Extruder for Test Noodle Making - The Result of Making Noodles of Rice “Sachi Mirai” from Miyagi Prefecture - .....	27
MURAKAMI Mitsuaki	Production of B-class Audio Amplifier .....	31
	Design and Manufacture of Thermal Power Generation Machine Models -Production of Coreless Generators - .....	35
YAMAKAWA Akira	Report on Engineering Ethics for Polytechnic College Students .....	39
HOSHINO Masahiro	Kurihara Heritage Recognition Committee Participation Report	
	-Collaboration with the Country Tourism Division, Commerce and Industry Tourism Department, Kurihara City, Miyagi Prefecture - .....	47

**REVIEW**

KAWAMATA Masayuki, NARITA Tatsuhiko, KONNO Kyousuke, ITO Keigo	Generation of Signals Satisfying Prescribed Correlation Coefficients .....	55
HASHIMOTO Masatoshi	Academic Skill - Learning for College Students - .....	63
TAYAMA Hideomi	Digital Fabrication -How do you get what you want?- .....	67
ITO Takashi	The Structure and Design of the Single Cylinder Air Engine .....	71
ENDO Hiroyuki, TORIGATA Yukio	Design and Manufacture of Young Cambaroides Japonicus Breeding Boxes .....	81

---

June 2021

**TOHOKU POLYTECHNIC COLLEGE**