

福井工業高等専門学校

研 究 紀 要

自然科学・工学

第 51 号

RESEARCH REPORTS OF NATIONAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY,
FUKUI COLLEGE
NATURAL SCIENCE AND ENGINEERING NO.51

DECEMBER 2017

目 次

分解組立実習による機械技術教育の報告.....	<u>五味伸之</u> 加藤寛敬 千徳英介 北川浩和 藤田祐介 山田健太郎 北野公崇 木村操 藤沢秀雄	1
企業との共同研究を通じた学生研究活動の活性化.....	<u>西仁司</u> 金田直人 堀川隼世 藤田祐介 片野智仁 坂谷航平	7
高専の数学教育における STACK の活用の可能性	<u>相場大佑</u> 山田哲也 藤田卓郎 宮本友紀 内藤岳史	15
福井平野区における地震観測Ⅱ ー河合小学校観測点の増設ー.....	<u>岡本拓夫</u>	23
リチウムアルミノシリケート系ガラス結晶化ダイナミクスの観察.....	<u>長谷川智晴</u>	29

* 下線は投稿者

CONTENTS

Introduction of Mechanical Technology Training with Decomposing and Assembling	<u>Nobuyuki GOMI</u> Hirotaka KATO Eisuke SENTOKU Hirokazu KITAGAWA Yusuke FUJITA Kentarō YAMADA Kimitaka KITANO Misao KIMURA Hideo FUJISAWA.....	1
Advancement of Student Research through Collaborative Research with Company	<u>Hitoshi NISHI</u> Naoto KANEDA Junsei HORIKAWA Yusuke FUJITA Tomohito KATANNO Kohei SAKATANI	7
Possibilities for using STACK in mathematics education at the National Institute of Technology	<u>Daisuke AIBA</u> Tetsuya YAMADA Takuro FUJITA Yuki MIYAMOTO Takefumi NAITO.....	15
Observation of Seismic Waves at the Fukui Plain II - Kawai Elementary School Station -	<u>Takuo OKAMOTO</u>	23
Observation of Crystallization Dynamics in Lithium - Almino-Silicate Glass	<u>Tomoharu HASEGAWA</u>	29

* The name of an underline means a contributor.

分解組立実習による機械技術教育の報告

五味 伸之* 加藤 寛敬* 千徳 英介* 北川 浩和**
藤田 祐介** 山田 健太郎** 北野 公崇** 木村 操** 藤沢 秀雄**

Introduction of Mechanical Technology Training with Decomposing and Assembling

Nobuyuki GOMI, Hirotaka KATO, Eisuke SENTOKU, Hirokazu KITAGAWA,
Yusuke FUJITA, Kentaro YAMADA, Kimitaka KITANO, Misao KIMURA and Hideo FUJISAWA

Mechanical technology training is one of the most important subjects in department of mechanical engineering. In this paper, we report a new decomposing and assembling program which has been started in 2016. In a new program, students will learn continuously and systematically for three years. This program provides students with a more efficient understanding. Questionnaires from students indicated that this program able to accomplish the purpose. As a result, this program will give to students the ability to link the knowledge of mechanical technology and product.

Key Words : Mechanical Engineering, Mechanical Technology Training, Decomposing and Assembling, Active Learning

1. 緒言

機械工学科における工作実習系科目は、機械技術者に必須となる様々な工作機械や工作法の知識と技能を体験的に学ぶ重要な科目である。機械工学科では、創造性を高め、高度な技術を活用した体験型教育を実践することを目指して、ものづくり教育を充実させる中で、実習系科目が十分な効果を上げていないことが指摘され、平成 26 年から工作実習系科目のカリキュラムの充実を図ってきている。その方策の 1 つとして、より実践的なエンジニアリング教育となるように図面から製作までの一貫したものづくりを経験させる「総合実習」を 3 年次の機械工作実習Ⅱに導入し、その成果についてはすでに千徳らによって報告されている¹⁾。

その一方で、ものづくりだけが実習の目的ではなく、これから機械工学の専門知識を習得しようとするための興味を与えること、ならびに、専門科目で得た知識と実際の

機械の橋渡しの目的から、「実物を見て触る」という体験を得られる「分解・組立」を中心とした実習教育もまた重要であると思われる。この「分解・組立」を中心とした実習は、すでに様々な大学において実習に取り入れられており、その内容についても発表されている²⁾。ただし、各大学における「分解・組立」を中心とした実習は重要視されているものの、導入教育ということから入学後すぐに行われることがほとんどである。

しかし、本校においては中学を卒業したばかりの学生に機械工学の導入を行うという、大学とは異なった背景を持つことから、学年進行に伴い、単純なものから少しずつ複雑な構造の機械部品を扱うことで内容を高度化していくことにより効率的な実習を行うことを提案している。

本稿では、平成 28 年度から導入した「分解・組立」実習の概要および内容と、学生のアンケート結果を取りまとめた結果を報告する。

2. 「分解・組立」実習の概要

2.1 工作実習系科目のカリキュラム

機械工学科における工作実習系科目のカリキュラムを表1に示す。機械工学科では、平成28年度から、専門基礎Ⅱを工作実習系科目として1年次に追加して拡充し、表に示したように導入・基礎・応用と、高学年になるにしたがい、より高度な内容を学習するようになっている。

表1 工作実習系科目カリキュラム

学 年	単 位 数	科 目 名	内 容
1 年	後期1単位	専門基礎Ⅱ	導入的内容
2 年	通年4単位	機械工作実習Ⅰ	基礎的内容
3 年	通年3単位	機械工作実習Ⅱ	応用的内容

2.2 「分解・組立」実習方針

実習カリキュラムにおける「分解・組立」実習では以下の二つが目的として考えられる。

- ① 工具の使い方を学び、機械の分解組立作業を行えるようになる。
- ② 実際に分解することによって、機械への興味を持たせる。また、機械部品の仕組みを知り、専門科目授業の理解を深める。

これらの目的を達成するために、以下の方針が提案された。

- ・導入（1年）においては、工具を触ったことのない学生のために基礎的な工具の名前と使用方法を学べるようにする。
- ・基礎（2年）においては、教員・技術職員の助けを受けながら専用工具を使用できるようにする。また、分解した機械部品の構成や働きを学ぶ。
- ・応用（3年）においては、自分たちだけで手順書を作りながら「分解・組立」が出来るようにする。
- ・導入→基礎→応用になるに従い、分解する→機能を教わる→自分で機能を調べる、のように段階的に、機械工学に関する興味と理解力を高める。

この方針に従って、表2に示すように、1年次の導入段階では自転車分解とそれに付随する工具説明、2年次の基礎的内容ではコンプレッサー分解、3年次の応用的内容で

はエンジン分解を行うというカリキュラムを提案している。このうち、2年次及び3年次における分解組立実習はこれまでに行われてきており、平成28年度からはこれに1年次の導入的内容を付け加える形となっている。

表2 「分解・組立」実習カリキュラム

学 年	科 目 名	内 容
1 年	専門基礎Ⅱ	工具説明・自転車分解組立
2 年	機械工作実習Ⅰ	コンプレッサー分解組立
3 年	機械工作実習Ⅱ	エンジン分解組立

3. 「分解・組立」実習の内容

3.1 導入実習（1年、工具説明・自転車分解）

導入実習は、1学年全体を6班に分け（1班当たり7人程度）2週にわたり行っている。導入実習の目的としては、今後機械工学科で使用することが多い工具を使えるようになること、機械に興味を持たせることである。よって、実習に用いる機械としては、学生の身近に存在するものであること、動力が存在せず安全であること、機構が単純であり手順書等がなくても感覚的に分解・組立が可能であること、特に、1年生は工具を触ったこと、機械に触れたことがない学生も多いため、直感的に扱うことができることを重要視し、自転車（一般的なシティサイクル）と定めた。

1週当たりの時間は1コマ90分と短いため集中して行う必要がある。その主な内容と時間配分は以下のとおりである。

1週目 工具説明（80分）

分解物（自転車）説明（10分）

2週目 自転車分解（35分）

組立（55分）

1週目はそれまで工具を触ったことがない学生が大半であることを考慮して、一般的な自動車等分解用工具箱を使用し（図1・表3）、そこに入っている工具について工具名称及び使用法について説明を行う。

図1及び表3に示すように、本実習で用いた分解用工具箱は一般的自動車用分解用として過不足ない内容となっており、1年次にこれらについて学んでおけば、高専の機械工学における一般的な作業で使用する工具を網羅でき



図1 分解用工具箱



図2 自転車分解・組立実習の様子

表3 分解用工具箱内容

製 品 名	
ソケット (6 角)	コンビネーションプライヤ
ソケット (12 角)	強力ニッパ
ラチェットハンドル	プライヤ
エクステンションバー	貫通ドライバー
スパナセット	コンビネーションハンマー
メガネレンチ	ロング六角棒
モンキレンチ	L 型レンチセット
ペンチ	



図3 自転車分解後の様子

るようになっている。

2週目は、工具の使用法を学ぶこと、興味を持ってもらうことを優先し、部品の働きや分解順番については詳しく説明せず、教員の指導の下ではあるが、ある程度学生の自由意志の下で自転車の分解・組立を行う(図2)。分解内容としては、班員全員が作業を行えるような作業量を確保すること、分解するのに専用工具が必要なく分解しやすいこと、1週目に説明した工具を一通り使用しないと分解できないこと、などの理由から前輪後輪をそれぞれ外すまでを目標として行っている(図3)。学生にもよるが、およそ30～40分程度で前輪後輪ともに外すことができ、その後50～60分程度で元の形に組立を行うというスケジュールとなっている。

実習を行う際の注意として、学生の手で組立時に元に戻せるように、分解後のパーツ配列についてはある程度指示を行っているが、時間が短いということもあり、時間内に組立てられなかった・もしくは完成品が元の姿に戻らなかった場合は、授業後に教員の方で組みなおす必要がある。

3.2 基礎実習(2年, コンプレッサー分解)

基礎実習は1学年全体を10班に分け(1班当たり4人程度)2週にわたり行っている。一週当たりの時間は2コマ連続で180分と長く、コンプレッサーを対象に分解組立実習を行っている。コンプレッサーは圧縮空気を作り出すための機械で様々な種類があるが、本実習ではクランク軸と連接棒によって動かされるピストンによって気体を吸い込み圧縮し送り出す構造の最も代表的なレシプロコンプレッサーを分解することで、基本的な機械の構造を体験させている。

また、この実習では、工具使用法や分解組立だけではなく、機械部品の構成、材料、表面性状、はめあい、機能等について講義を行うという特徴がある。すなわち、実物を通して(1)機械はどんな部品で構成されているか、(2)それぞれの部品にはどんな材料が使用されているか、(3)機械部品の表面はどのような状態で仕上げられているか、(4)部品同士のはまり具合はどのようなになっているか、(5)各部品にはどのような働きがあるか、といった機械の

しくみを理解することが、この実習の大きな目的の一つとなっている。その主な内容と時間配分は以下のとおりである。

- 1 週目 講義（コンプレッサーの機能）（40 分）
コンプレッサー分解（50 分）
講義（材料・表面粗さ）（90 分）
- 2 週目 講義（はめあい・部品の機能）（90 分）
コンプレッサー組立（50 分）
運転と性能確認（40 分）



図4 コンプレッサー分解用工具



図5 コンプレッサー分解組立の様子



図6 コンプレッサーを分解した部品

本実習では、学生の理解を助けるため実習の最初に手順の書かれたプリント配布を行っており、そのプリントに従った形で行われる。1 週目はコンプレッサーの機能説明を行ったのち、使用する工具（図4）の説明と分解を行う（図5）。図3にあるように、1 年次の実習と比べ専門工具が増えている。分解した部品（図6）の講義においては、特に製図や機械工作法などの専門授業との連携を図るため、授業で学んだ知識と実際の機械との関係について実感させることを重要視して行っている。例えば、各部品にその材料が使用されているのはなぜか、また部品の表面が精密に仕上げられているのはなぜかについて部品の機能と関連づけて考えさせるとともに、製図で学ぶ表面粗さやはめあいの実際についても体感させている。

2 週目は、1 週目の講義の続きを行った後、組立を行い、組立後には早く組みあがった班のコンプレッサーを使用して運転と性能試験を行う。性能試験を行うことによって、同じ機械でも組立精度によって、圧縮空気量・振動・騒音などの性能が変わることを実際に体験させることができる。

3.3 応用実習（3 年，エンジン分解）

応用実習は1 学年全体を6 班に分け（1 班当たり7 人程度）3 週にわたり行っている。一週当たりの時間は1.5 コマ135 分であり、基礎実習と比較しても時間の自由度は高い。これを受けて応用実習用としては、代表的な熱機関であるエンジンを選定し、その中でも身近であり分解しやすい原動機付自転車（原付）用の50cc のものを用いることとした。近年では50cc の小型エンジンはそれに求められる性能から電子化を含めた高性能化が進められており、技術を理解するには最適であると考えられたからである。また、3 年次は機械工学科において専門科目が本格的に始まる年であり、その中で熱機関を分解・組立し、内部の機構を把握することによって、機構学、熱力学だけではなく、材料工学、センサ工学など多岐にわたる分野への橋渡しが可能であることも重要な理由である。

さらに、応用実習ということで、アクティブラーニングの要素を一部取り入れることを意図して内容を検討した。ただ教員から知識を伝えられるのではなく自らで問題を発見し解決するという能力の基礎教育としては、自分で

分解し、分解した部品をスケッチし、その機能について自分で調べることが有効であると考えられる。そのため、実習内において機械部品の機能等について自分たちで調べて発表を行うといったような、自主的に実習に取り組む形をとれるという特徴を持たせている。その主な内容と時間配分は以下のとおりである。

1 週目 エンジン分解 (90 分)

スケッチ (機能を調べる) (45 分)

宿題として 2 週目までに機能を調べる

2 週目 発表 (135 分)

3 週目 エンジン組立 (135 分)

1 週目はエンジン分解を行い、自分たちで分解したパーツをスケッチする (図 7)。2 週目までに機能などについて調べ、それを元に発表を行う (図 8)。また、分解時に手順書を自分たちで作成し、それを見ながら組立を行うこととし、教員はなるべく手助けしないようにし、自分で考えて作業させるようにしている。



図 7 エンジン分解組立の様子



図 8 機能説明発表の様子

4. アンケートによる調査

H28 年度入学の学生に対する、2 年次コンプレッサー分解組立実習後のアンケート結果の一部を図 9 に示す。図に示されているように、多くの学生にとって分解組立実習の 2 つの目的 (工具使用法、機械への興味) に対してほぼ満足できる結果になっていると考えられる。工具使用法に関しては、アンケートの中で「昨年失敗したので今年は成功した」等の記述もあり、機械である自転車に対する分解に実際に工具を使用することによって 2 年次の実習がスムーズになったと考えられ、導入用実習として自転車分解組立を行うことには、ある程度の意義があることが証明されたと思われる。

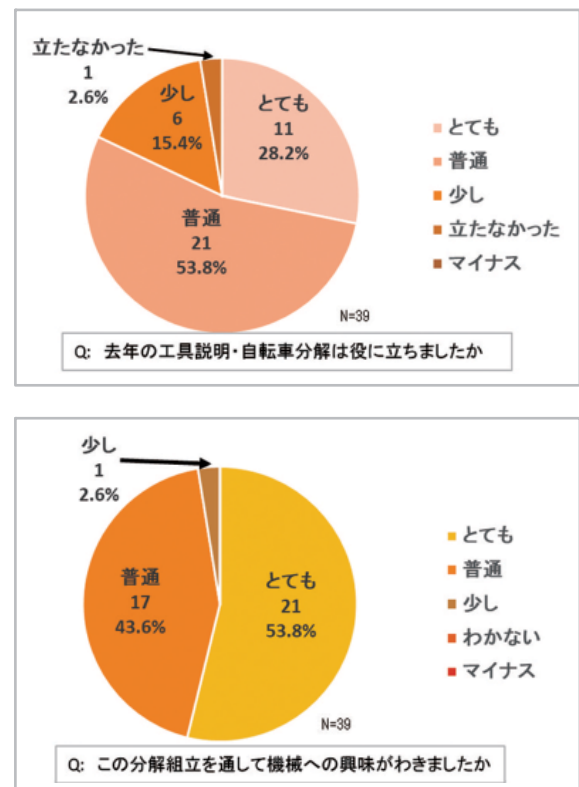


図 9 2 年生に対するアンケート結果

現在は新カリキュラムになって 2 年目であるため 2 年生のアンケートしか取れなかったが、来年度以降は 3 年生にもアンケートしていくことで、継続的な実習効果について確認していく必要がある。

5. 結言

機械工学科の工作実習科目に導入した、「分解・組立」実習の目的と内容を報告した。以下にその結果をまとめる。

- ・導入→基礎→応用となるように、内容を徐々に複雑化・高度化させていくカリキュラムとして、自転車→コンプレッサー→エンジンという順番で「分解・組立」実習を行うことを提案した。
- ・1年次に実習を受けた学生に対して、2年次の実習が終わった段階でアンケートを取ったところ、実習に求められた2つの目的に対してある程度満足できる結果を得ることができた。
- ・来年度以降も継続的にアンケートを取っていくことで、実習効果について検討していく必要がある。

参考文献

- 1) 千徳英介他, 「機械工作実習における総合実習の導入」, 福井工業高等専門学校研究紀要 自然科学・工学, 50, (2016)
- 2) 畝田道雄他, 「金沢工業大学機械系で新入生に実施するガソリン機関の分解・組立を通じた導入実習教育」, 工学教育研究, 10, (2005)

企業との共同研究を通じた学生研究活動の活性化

西 仁司* 金田 直人** 堀川 隼世*** 藤田 祐介****
片野 智仁***** 坂谷 航平*****

Advancement of Student Research through Collaborative Research with Company

Hitoshi NISHI, Naoto KANEDA, Junsei HORIKAWA, Yusuke FUJITA,
Tomohito KATANO and Kohei SAKATANI

Collaborative researches are important for National Institute of Technology in view of regional contributions, promotion of research activities, acquisition of external funds, and so on. In this paper, we introduce a case to activate graduation researches by collaborative research with private enterprise. We set research themes for students of department of mechanical engineering a mechanisms design, and for student of department of electronics and information engineering and a development of image processing system, respectively. In both cases, we confirmed their positive attitude for their researches because they could get some research results in short term.

Key Words : Collaborative research, Mechanical design, Image processing, Engineering education, Implementation

1. 緒言

福井工業高等専門学校は、平成3年度に「先進技術教育研究センター（後の地域連携テクノセンター）」を設置し、地域企業との共同研究および技術相談の促進を行っている。ここでは、地域に根ざした人材の育成と技術支援を目指し様々な取り組みを行っている。また、科学技術の高度化・専門化が日々急速に進展する現在において、独創的な技術の開発を目的とした組織的な産学官金の連携の強化が強く求められている。そのため、福井工業高等専門学校には、民間企業などからの技術相談、共同研究の依頼が多くある。ここで共同研究は、企業側の研究者・設計開発者と学校の教職員とが共通の課題について対等な立場で研究を実施するもので、これまでも企業の現場における難問や疑問を解決することで、地域貢献さらには社会貢献を実践している。福井工業高等専門学校では、過去

5年間において、70件（H24年度12件、H25年度17件、H26年度12件、H27年度15件、平成28年度14件）の共同研究を実施している¹⁾。

筆者らはH25年度ならびにH28年度において、東工シャッター(株)（福井県鯖江市熊田町1-100）と共同研究を行った。同研究では、「住宅用門扉の開閉機構の開発」および「生産技術の向上に関する研究」のテーマに取り組んだ。また、研究を実施するにあたり企業と教員とのやりとりだけではなく、企業のご理解とご協力のもと、本科5年生における卒業研究とあわせることで学生研究活動の活性化を目的とした学生教育に取り組んだ。本報では、これらの研究内容ならびに教育効果について報告する。

2. 住宅用門扉の開閉機構の開発（H25年度）

本テーマは、機械工学科での卒業研究とあわせて実施し

*電子情報工学科 **機械工学科 ***電気電子工学科 ****教育研究支援センター *****長岡技術科学大学 *****福井大学

た。そのため、企業のご協力のもと、門扉の構想から設計、部品加工、組み付け、評価に至るまで企業とのやりとりを学生と一緒にを行い、企業におけるものづくりを実体験させることで、学生に考え方や工程について学習してもらうこととした。

2.1 研究目的

建設物の車庫や玄関等に用いられている門扉は、主に防火および防犯が目的で設置されており、何重にも重なった折れ戸を開閉させる機構のスライディングゲート等が商品化されている。同扉は、折れ戸部分が可視化できるため、施設内の雰囲気や損なうことがないとして、商業施設内でシャッターに代わって採用が進んでいる。また、近年では門扉の電動化も進んでおり、デザイン性を損なわない駆動部の省スペースに対応した設計が必要と言える。そこで、本研究では門扉の開閉部における新たな機構を検討する。また、門扉の開閉における確実性、施工性、整備性を考慮した電動開閉機構を提案し、試作機の製作および取り付け、動作確認を行う。そして、試作機の評価を行うことで、新たな開閉機構の設計、開発資料を得ることを目的とした。

2.2 研究内容

2.2.1 門扉の仕様

門扉の開閉機構における基本仕様を以下に示す。図1に横型開閉電動門扉の概略図を示す。

- 扉の基本操作は、三点式押釦スイッチ（左、右、停止）を備え付けたリモコンにて行う。
- 扉の動作は、いかなる場合においても停止スイッチを押した際、開閉動作中に扉とフレーム間に物体が遮ると、扉は「即停止」する。
- 再動作は、リモコンの左右スイッチで行う。
- 停電時は、手動での開閉を可能とする。
- 門扉の移動動作には、100V モータ1基とタイミングベルトを用いる。
- 門扉動作とタイミングベルト動作の同期、解除機構において、電磁弁との直動動作を利用する。

2.2.2 研究計画

前節で示した門扉を実現するために、図2に示すスケ

ジュールで共同研究、ならびに卒業研究を実施した。開閉機構について、計画に沿って企業側（A案）と高専側（B案）で案を考え、それぞれの機構を検証し、良いほうを採用することとした。

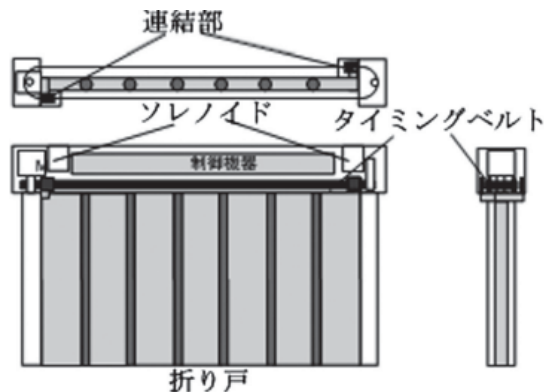


図1 横型開閉電動門扉

年	平成 25 年									平成 26 年		
月	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
内 容	仕様決定			構 想 設計	詳 細 設計	打 ち 合 わせ			加工・組立	評価	卒 研 発表	

図2 研究計画

2.2.3 福井高専が構想した開閉機構

福井高専では、図3に示すように、タイミングベルトと扉端に取り付けた部品同士を連結ピンにて接続する機構を検討した。機構動作は以下の通りである。

1. 連結ピンはプル型の電磁弁を使用し、連結解除時に同弁をONにする。
2. 連結ピンを持ち上げ、タイミングベルトとの接続を解除するとともに扉端の固定も行う。

なお、これらの部品については高専側でも加工を行い、製作した部品を持ち込んで、開閉機構として組み付けを行う。図4に実習工場における部品加工の様子を示す。また、加工した部品は学生自らが図面を描き、その部品を加工することで加工工程や精度などの重要性を学んでいる。

2.3 製作した開閉機構の評価

福井高専で製作したB案の開閉機構を実機に組み付け

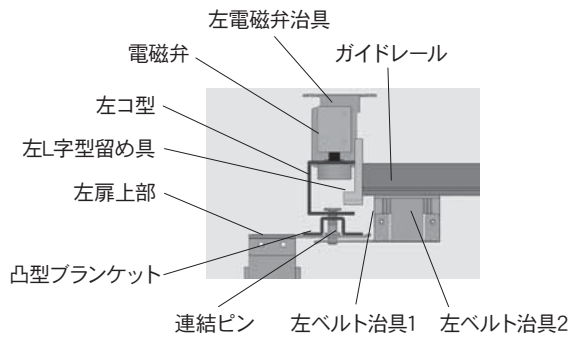


図3 門扉の開閉機構（正面図）

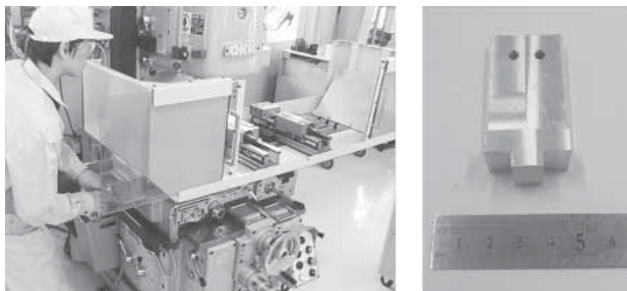


図4 実習工場における部品加工

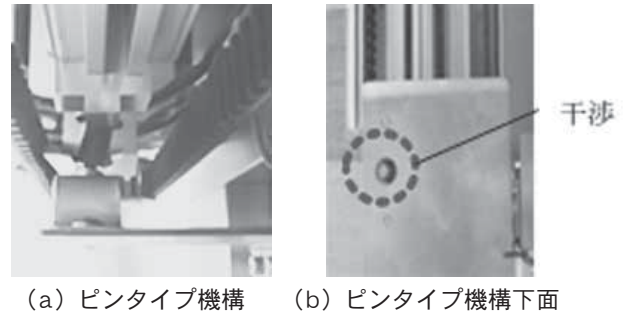


図5 ピンタイプの取り付け結果

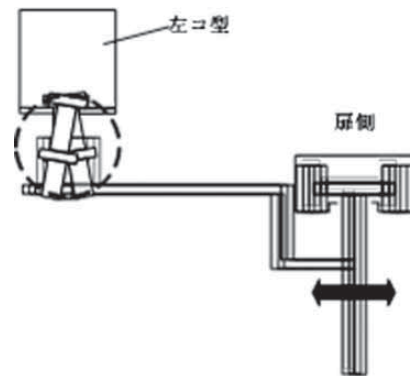


図6 ピンタイプ機構動作不良の原因（右側面図）

た。動作確認を行った結果、図5 (a)、(b) に示すように、扉端部品の穴と連結ピンの中心軸が大きくずれたことで連結ピンが傾いてしまい、確実な開閉動作は困難な状況であった。動作不良の原因として、図6 に示す通り、ガイドローラーとガイドレールの隙間による位置変化が原因であった。学生は図面上ではうまくいくと予想していたものが、現場における組み付けおよび評価を体験することで、設計通りいかないことを痛感し、ものづくりの難しさを学んだ。なお、企業側が検討したA案については確実な動作を実現し、A案を開閉機構として採用することになった。A案の詳細については、特許に関係するため省略する。また、この共同研究にて開発された開閉機構を用いた門扉は製品化され、図7 に示す通り 2014 年にグッドデザイン賞を受賞（受賞番号 14G060517）した。

2.4 共同研究を通じた教育効果について

本研究テーマでは、上記のように学生自身に企業が考えるレベルでのものづくりを実体験させることで、将来のキャリア構成を考えてもらうきっかけとして卒業研究にとりこんでもらった。その結果、学生からは「学校では決

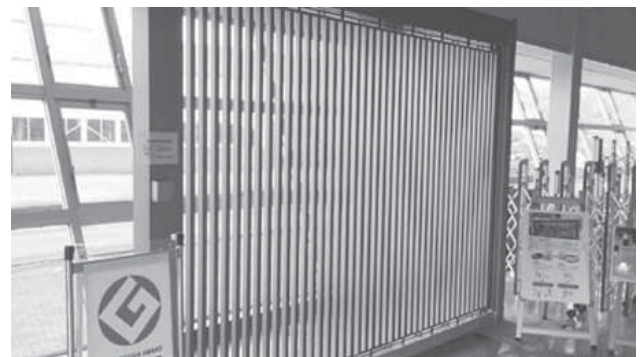


図7 製品化された車庫前用門扉

して学ぶことの出来ない経験をすることができた。特にものづくりに対して、あらゆる可能性を最後まで考えるプロ意識の高さ、さらにはそれらを実現する確実な技術力を目の当たりにすることができた。」という意見があった。これは、福井高専で実施している校外実習やインターンシップのような短期間ではなく、1年間という長期間で、企業と数多くの打ち合わせや、失敗を経験することによって導き出された意見だといえる。

実際に、卒業研究とあわせて共同研究を実施した結果、

企業側とのスケジュール調整の難しさはあったものの、大きな失敗を許されないけれども、学生の成長を促進させるような「小さな失敗を体験」を学生にしてみようことが出来た。筆者自身も、ものづくりについて見方や考え方を改めることができ、この経験を授業へ反映させたいと考えている。

3. 生産技術の向上に関する研究 (H28 年度)

本テーマは、電子情報工学科での卒業研究で取り組ませた。実際の生産現場で利用可能なシステム開発を通して、画像処理手法に対する学生の理解を深めさせることを目指した。また、ユーザが掲げる要求精度の中で、トレードオフの関係にある様々なパラメータをすり合わせながら、自分のアイディアを社会実装することの難しさを体験させることも教育的なねらいのひとつとした。

3.1 研究目的

工場の生産技術の発展は、生産性向上に必要不可欠である。生産ライン上で人間が主体的に作業しながらものづくりを行う現場では、人為的なミスが製品の歩留まりを大きく左右することがあり、これをいかにして減らすかが生産技術の大きな問題となっている。

一方、以前は高価であったカメラデバイスや各種センサ、信号解析に必要なコンピュータは近年低価格化しており、画像処理などの信号処理が安価に実現できるようになった。そこで本研究では、人間が作業している工場の生産技術向上をめざし、ライン上の製品が正しく組み上がっているかどうかを判別することが出来るシステム開発を行うことを目的とした。

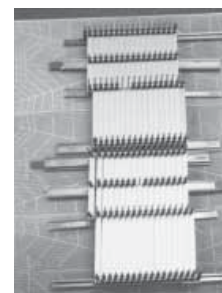
3.2 研究内容

3.2.1 システム要件

本研究対象とする実際の作業工程の様子とテーブル上のワークの様子を図8に示す。テーブルの高さは作業者の腰ほどであり、作業者がこの上にアルミ材を並べ、各種工具を使いながら、ピンやスリーブを挿入していく工程を本研究対象とした。現在は作業者の手と目視によって、樹脂でできた大きさ数 cm のスリーブが金属のピンに適切に挿



(a) 生産ラインの状況



(b) ワーク

図8 対象となる工程

入されているか確認しているが、これを自動で判別するシステム開発を行った。

このシステムには、以下の要件が求められる。

- 作業に支障がない部分にセンサを設置すること
- 現在の人間による検査時間を考慮し、一回の処理にかかる時間は遅くとも数秒程度に収めること
- 現在の目視と触診による確認に加えたシステムにすること

以上である。

3.2.2 研究計画

研究当初から、カメラ画像を利用した画像認識によってスリーブ検出が可能であると推測された。そのため、研究を行う学生には、画像認識アルゴリズムに関する検討とその実装をメインに担当させた。図9に研究計画を示す。なお、図中の*印は、教職員側の実施内容を示している。この図からわかるように、プログラム開発の準備、学内での実験を主に学生が担当した。学内実験環境は、機械系教職員が設計、製作した。また、実地試験には時間的な問題から学生は参加せず、教職員が行うことにした。

3.2.3 システム概要設計と実験環境

まずは、検出方式の検討を行った。タッチセンサを利用した物理的な検出方法なども検討されたが、手軽さなどの観点から、カメラ画像を使った画像認識方式を採用した。このシステム概要を図10に示す。作業台の周辺には工具や各種材料が置いてあるため、そこへのセンサの設置は困難である。しかし、作業台の上方は比較的スペースがあり、2 m程度離せばセンサの設置が可能であったため、ここからカメラにてワーク(対象物)を撮影し、コンピュータ

年	平成 28 年										平成 29 年		
月	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	
内 容	検出方法の検討 ＊				学内実験設備 設計・製作＊		学内での実験				実地評価 ＊	卒研発表	
	開発環境整備				検出アルゴリズムの検討 プログラム開発								

図 9 研究計画

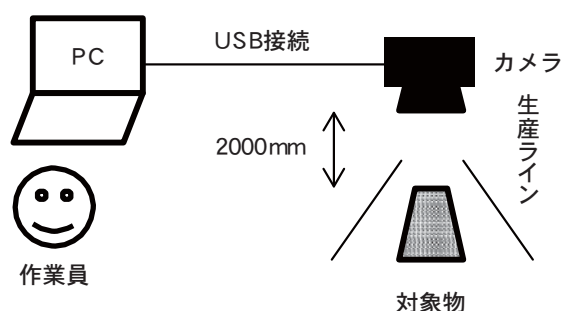


図 10 検出システムの概要

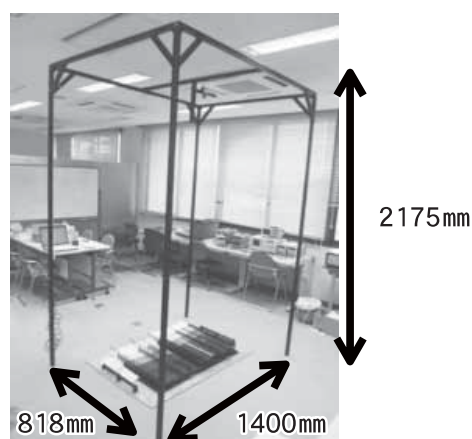


図 11 学内実験環境

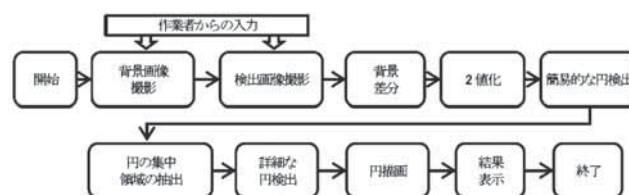


図 12 システムの処理概要

(PC) による画像処理によってスリーブの有無を判別するシステムである。作業員は、スリーブの挿入が終わった時にPCで挿入状況を確認し、未挿入と判断された部分にスリーブを挿入する。

当初は、カメラで得られる画像の明るさを調整するための照度センサを別に用意することを検討した。しかし、カメラによってある程度の明るさは補正できること、新たなセンサの導入によってシステムが複雑化することから、センサとしてはカメラだけを使用することとした。

福井高専においてシステム開発を円滑に進めるため、工場での作業環境とカメラの設置状況を模擬できる実験設備を構築した。図 11 にその設備を示す。818mm × 1400mm × 2175mm の大きさのフレームを構築し、上部中央に USB カメラを取り付けた。また、実際に生産されている 6 色のアルミ材とスリーブを組み合わせたサンプル品を企業に提供いただいた。なお、当初は製品すべての色での検出を目指したが、研究期間を考慮し、スリーブを検出しやすく、比較的生産量も多い 2 色に絞って研究を行った。

3.2.4 認識アルゴリズムの実装

本研究で開発した検出ソフトの処理の概要を図 12 に示す。カメラの撮影は作業員の入力によって行うものとした。これを処理開始の合図とし、画像処理、スリーブの検出を行って、結果を作業員にディスプレイを通じて通知する。なお、このソフトウェアの開発には、他工程への応用が容易になるよう汎用性を考慮し、Microsoft 社の VisualStudio2013 for Express を利用した。また、画像処理部の開発には多くの処理を簡単に組み込むことが出来ることから OpenCV ライブラリを活用した。

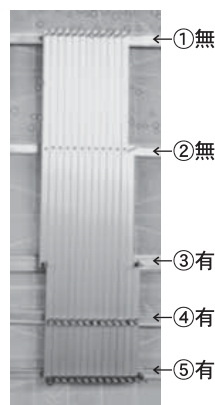
図 12 に示した主な処理について説明する。最終的な処理は「円検出」である。これは、スリーブが円筒状であり、上方から撮影した画像では「円」に見えるため、半径などを制限した円検出によってスリーブが検出できると考えたからである。これ以外の処理は、この円検出処理の高速化と精度向上のための処理である。次の 2 値化処理は円検出をするために不可欠な処理であり、しきい値を用いてカラー画像を白黒の 2 値の画像に変換する処理である。本研究では、輪郭抽出が鮮明に行える Sauvola の手法によ



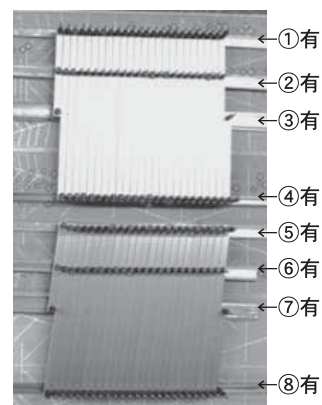
図 13 Sauvola の手法の
実行結果



図 14 スリーブの並びに
着目した領域の絞り込み



(a) 製品 A の場合



(b) 製品 B の場合

図 15 実環境での検出結果

て 2 値化する手法を採用した²⁾。この結果を図 13 に示す。

この 2 値化した画像に対して円検出を行うが、スリーブは図 14 に示すように一つの方向に並んでおり、その列間には存在しないという特徴的な並びをしている。この性質を利用し、円検出領域をさらに絞り込むことで検出精度向上を目指した。最後に詳細な円検出を行うが、本研究では Hough (ハフ) 変換を用いた³⁾。

3.3 システムの評価

開発した検出システムを工場内の対象工程に実際に設置し、動作検証を行った。当初予定通り、作業機の直上約 2000mm のところにカメラを設置した。その後行った実地試験結果を図 15 に示す。図 15 (a) に示した結果では、②と④の領域でスリーブの有無を比較的正確に検出できていることがわかる。しかしこれ以外の領域では、正確に検出できていない。また、図 15 (b) に示した結果では、いずれの領域においても正確に検出できていない。この原因について考えられる原因を考察する。

● スリーブの数が少ないことによる誤判定

(a) の③や (b) の⑦の領域は、スリーブがそれぞれ 2 個しか存在しない領域である。図 14 で示したように、円検出を行う際には、その列にスリーブがある程度まとまっていることを前提として検出領域を絞り込んでいる。そのため、これらの領域ではスリーブが検出できなかったと考える。

● 撮影角度による影響

高専での実験では、対象物のほぼ真上からの撮影によ

て動作検証を行っていた。しかし、(b) の検証結果から、実際の作業台は広く、ある程度角度のある状態で撮影が行われることが判明した。角度のある状態で撮影すると、隣通しのスリーブが重なった画像が得られるため、円検出が困難になると予測される。撮影されたピンの方向から、(a) の⑤の領域や、(b) 全体で検出精度が悪くなった原因はこれであると考えられる。

● 背景による影響

図 15 の (a) (b) 両方で見られる現象として、対象物の背景に写るメッシュ状の作業台（低摩擦材）上に円検出してしまっている。これは、メッシュを組み合わせた輪郭がスリーブの大きさに近い円形と判断されていることが原因である。

3.4 共同研究を通じた教育効果について

本テーマでは、工場の生産ラインで使用できる画像認識システムの構築が最終的な学生の研究内容となった。プログラミングや画像処理といった個別技術は学校の授業や実験で取り組んでいる内容であるが、それを撮影環境が変化する状況の中で、要求された精度と時間を満たすものに仕上げるという点が、学校の授業と大きく異なる点であった。

研究を行った学生に感想を聞いたところ、自分の実力を知ることができたこと、新たな分野やツールに触れることができたことを本研究の良かった点として挙げた。この感想から、企業という学外の機関との共同研究に参加することで、それまでに学んできたことがどのように社会で役立つか、それを実用させるためにはどのようなノウハウやさ

らなる学習が必要かを、より現実味をもって学生に体験させることができたと考える。通常の卒業研究に比べて、このような面で教育効果は高かったと考える。一方で企業の方と会えなかったことが残念で、開発するシステムの具体像を描きにくかったという感想を持っていた。研究スケジュールの関係で、企業側との打ち合わせに学生は参加できなかったが、本研究では工場で使ってもらうことを前提としたシステム開発をテーマとしたため、ユーザのニーズを知るためにも学生と企業関係者との意見交換は必要であったと考える。

4. 結言

本報では、企業と教職員との間で実施される共同研究を本科5年生における卒業研究と合わせて実施した2つの事例紹介と、これによる教育効果を述べた。機械工学科学生が行った研究では、企業技術者とともに学生が機構の設計から評価までを行ったことで、知識習得の面だけでなく、キャリア形成の面でも効果があったことが分かった。電子情報工学科の学生が行った研究では、企業で使用するためのシステムを開発したことで、専門技術の学習に対する意識付けだけでなく、他分野を学習することの重要性を認識させる意味でも効果があることが分かった。

今後は、今回得られた教育効果を取りまとめて体系化し、今後の学生研究にも展開したいと考える。はじめにも挙げたように本校では多数の共同研究が実施されており、他でもこのような実施形態を展開している研究があると考えられる。それらの効果も体系化できれば、多くの共同研究を学生の研究のテーマとして取り上げることができると考える。

参考文献

- 1) 独立行政法人国立高等専門学校機構 福井工業高等専門学校 地域連携テクノセンター,「地域連携テクノセンター活動紹介誌 JOINT2017」(2017)
- 2) 坂田恵太・山名早人,「広範囲文字認識のため動画像を用いた2値画像生成手法」(早稲田大学基幹理工研究 科情報専攻修士論文),

<https://dspace.wul.waseda.ac.jp/dspace/bitstream/2065/31670/2/Honbun-t5108b052.pdf>, (2016年9月アクセス)

- 3) 画像特徴(点, 直線, 領域)の検出と識別- 3 Hough 変換投票と多数決原理に基づく幾何学対象の検出と識別,
<http://www.wakayama-u.ac.jp/~wuhy/CV/CV2011/CV06.pdf> (2016年9月アクセス)

高専の数学教育における STACK の活用の可能性

相場 大佑* 山田 哲也* 藤田 卓郎** 宮本 友紀** 内藤 岳史***

Possibilities for using STACK in mathematics education at the National Institute of Technology

Daisuke AIBA, Tetsuya YAMADA, Takuro FUJITA, Yuki MIYAMOTO and Takefumi NAITO

This paper discusses possibilities for using STACK, a System for Teaching Assessment using a Computer algebra Kernel, at the National Institute of Technology (NIT). Reviewing the present situation of mathematics classes at NIT, Fukui College, the authors have found that some students need to acquire fundamental mathematical skills and knowledge, such as those regarding literal expressions, linear and quadratic equations, and factorization. Such students trigger considerations of using STACK.

After providing such a background, we briefly explain STACK. Then advantages of using STACK are discussed with sample questions, examples and cases. Moreover, possible situations in which STACK can be used at NIT, Fukui College, are discussed. These include constructing a remedial course, mock examinations, review questions for everyday classes, and assignments for summer and spring vacations.

Key Words : STACK, blended learning, e-learning system

1. はじめに

工業高等専門学校（以下、高専）の数学では、高等学校から大学にわたる幅広い内容を学ぶことができる。学生の多くは、大学受験のための受験勉強に取り組む必要がないため、教員側も受験を意識することなく専門的な内容に焦点を当てて指導することが可能である。また、大学とは異なり、高専ではクラス制を採用していることから、個々の学生に対応しながら、高度な内容を丁寧に指導する教育が実践されている。福井工業高等専門学校（以下、本校）でも、1年次で高等学校と同様に文字式の扱い・2次関数・指数対数・三角関数などの基礎的な内容からはじまり、2年次で1変数の微分積分学・線形代数、3年次で2変数の微分積分学・確率統計、4年次でベクトル解析・複素解析・

ラプラス解析・フーリエ解析を一通り終えることができるようにカリキュラムが組まれており、各専門分野へ応用できる幅広い知識が身に付けられる。

これらの幅広い内容を高専で効率よく学ぶためには、小学校や中学校の学習内容を正しく理解していることが重要である。しかしながら、授業や低学年に対する補習教育を通して本校の学生を見ていると、小学校や中学校での基礎的な内容で躓いている学生がしばしば見られる。例えば、分数の四則計算・文字式の計算・1次方程式・因数分解・2次方程式などの計算であやふやな部分が見られ、そのことが高専での学習内容の理解と定着に大きな影響を与えているように思われる。このような基礎的な学力の重要性については、これまでも十分に認識はされてきたが、高専入学以前に学習した内容に遡って体系的に学習する時間

*一般科目教室（自然科学系）

**一般科目教室（人文社会科学系）

***教育研究支援センター

を確保するのは容易ではない状況である。

もちろん本校での授業においても、学生の理解や定着を重視した指導を日々実践している。その際に、小テストや課題プリントで家庭学習を促すことが多々ある。しかしながら、学生の課題プリントへの取り組みを見ていると、明らかに誤りであると判断できる解答も含めて、それに至るまでの計算式や説明が全く同じものが少なくない。残念ながら、友人の解答を丸写しして、自分の力で考えることなく課題の提出をする学生が一定数見られるのが現状である。そのため、個々の学生が真に学習に取り組む必要がある学習環境を構築したいと考えていた。

これらの点に対処するための方法として、ブレンド型学習に着目した。ブレンド型学習¹とは、「対面授業とウェブ・ベースの学習を組み合わせた指導法」を指し、数学に限らず、語学学習や大学の専門の授業など幅広い分野でその実践が共有されている⁽¹⁾。本校の数学科でも、授業の補助教材として、問題解説動画を活用している事例が見られる。

本論文では、上記で述べたいいくつかの問題点を改善し、より個々の学生に合った学習プログラムを提供するために、高専におけるSTACK (System for Teaching and Assessment using a Computer algebra Kernel) を活用したブレンド型学習について検討する。これまでもSTACKを活用したブレンド型学習に関する研究⁽²⁻¹⁰⁾が報告されているが、STACK自体のシステムの説明や技術的な側面に焦点をあてたものが多く、STACKをどのように活用するかについては、今後も継続的に検討する必要があると考えている。このため、高専におけるSTACK活用の事例について検討することは、他高専や高等学校で同様の悩みをもつ教員に対して、指導のアイデアを提供できるという点で多少なりとも有用であるだろうと考える。

本論文の構成は以下の通りである。まず第2節では、STACKの開発の歴史を概観し、実際に筆者らが作成した事例に基づいてSTACKでできることとその利点について述べる。第3節では、前節をふまえて高専におけるSTACK活用の可能性を考察する。第4節では、本論文のまとめと本校での今後の実践計画について述べる。

2. STACK

本節ではまず、STACKの開発の歴史を簡単に振り返り、STACKの活用のメリットを述べる。また、筆者達がSTACKを使用して、いくつか気づいた点を踏まえて、実際に問題を作成した例を紹介する。

2.1 STACKとは何か

STACKは、2005年頃からバーミンガム大学のChristopher Sangwin氏(現 エディンバラ大学)によって開発された、数学のオンラインテストシステムである⁽⁵⁾。通常、オンラインテストシステムで出題される代表的な問題は、多肢選択問題あるいは数値入力問題であるが、STACKでは、それに加えて数式を入力させる問題を出題することができる。入力された数式の正誤評価は、数式処理システム(CAS)の1つであるMaxima⁽¹¹⁾が行い、予め用意した解答の数式と、入力された数式が代数的に等しければ正解となる。テストの成績は、Moodle⁽¹²⁾などのLMS (Learning Management System) と連携がなされていなかったため、STACKのシステム内で管理されていた。その後、2007年にSangwin氏とバーミンガム大学のJonathan Hart氏がSTACKの改良を行い、Moodleとの連携を実現した。両氏が改良したオンラインテストシステムの特徴は、ユーザー管理をMoodleがすべて担うところであり、STACKはMoodleの小テストモジュールから問題を提供すること、受験結果に関するレポート作成のみ行う。このようなオンラインテストシステムの日本語化は、2009年に中村泰之・中原敬広・秋山實の3氏⁽⁴⁾によって行われた。

2.2 STACKの実例

本節では、筆者達が実際にSTACKを用いて作成した例を挙げながら、STACKでできることとその利点について概観する。作成にあたっては、本校の実験用のサーバー(CentOS, Linux, release 7.4.1708)にSTACK 3.60 for Moodle 2.7+ とMaxima 5.38.0をインストールして行われた。また、本校では学習管理システムとしてMoodle 3.17がインストールされており、以下の実践はこのような環境で行われた。

¹ブレンド型学習という用語が指す定義には幅があり、「対面授業とテクノロジーの適切な利用の組み合わせ」という幅広いものから、「対面授業とウェブ・ベースの学習の組み合わせ」という狭義のものも見られる⁽¹³⁾。近年の状況を鑑み、本稿での定義は後者とした。

まず、STACK を用いて作成された問題例を示す。図 1 は、関数 $y=ax^n$ の導関数を計算させる問題である。

図 1：STACK を使用した問

この問題では、パラメータとして係数 a と指数 n が指定しており、 $a=2$ 、 $n=3$ が選択されている。解答欄に、Maxima のコマンドで “6*x^2” と入力すると、打ち込んだコマンドが数式として反映され、解答欄の下にすぐ表示される。これにより、学生は、自分の打ち込んだコマンドが正しく認識されているかどうかを知ることができるため、誤入力を防ぐことができる。

図 2 は、図 1 にあるチェックボタンを押して、入力した解答の採点を行なったものである。問題の解答が正しく入力されているため、「正解です！次の問題も頑張りましょう！」というコメントが表示されている。このコメントは筆者らが作成したもので、自由に変更することができる。また、前述のように、入力された数式の評価は、本校の実験用のサーバーにインストールされた数式処理システムである Maxima によって自動的に行われている。

図 2：入力された解答の正誤確認画面

図 3 では、図 1 と同じ問題に再度アクセスした時の問題画面が表示されている。先ほどの $2x^3$ を微分する問題とは異なり、係数と指数が異なった、 $3x^4$ を微分する問題に変化している。このように、問題にアクセスする毎に数値がランダムに変更される。そのため、同じ形式の問題にアクセスすれば数値の異なった問題に何度でも取り組むことが可能になる。このことはまた、個々の学生に異なった問題を提示することが可能になることを示している。つまり、学生は自分自身で考えて問題に取り組む必要性に迫られる。これによって、課題プリントを課した時に教員の頭を悩ませていた、解答の丸写しを防ぐことができる可能性がある。

図 3：問題の変化と誤入力の指摘

STACK では、解答の入力のために簡単なコマンドを覚える必要がある。このことが STACK を活用する際に学生の負担になる可能性が考えられる。しかしながら、全て完璧に覚えなければならないわけではなく、STACK がコマンドのミスを指摘してくれる場合もある。図 3 の解答欄をみると、Maxima の積のコマンド “*” を忘れて “12x^3” と入力しているが、このような簡単なコマンドの入力ミスであれば、正しいと思われるコマンドを指摘してくれる。

また、作成した問題の数値がランダムに変化するために、一見簡単そうな問題が提示されていても、問題を解いてみると、複雑な形式の解答が導き出されるといったことも起きる可能性が考えられる。例えば、図 4 は、2 次式の因数分解の問題であるが、このような問題では、単に p 、 q をパラメータとして、 x^2+px+q を因数分解する問題を作成してしまうと、 p 、 q の値によっては複素数の範囲の

因数分解の問題が提示されてしまう可能性がある。解答の複雑さから学生の学習意欲を妨げてしまう可能性があるため、整数の範囲で因数分解できる問題を作成する必要がある。

このような場合は、まず、整数のある範囲でランダムに変化するパラメータとして p, q を設定する。次に、この p, q を用いて解答である $(x+p)(x+q)$ を予め用意する。最後に、展開した $x^2+(p+q)x+pq$ を因数分解させるように、問題を作成すればよい。このように、多少の工夫をすれば、学生の解きやすさに配慮した問題パターンを作成することも可能である。

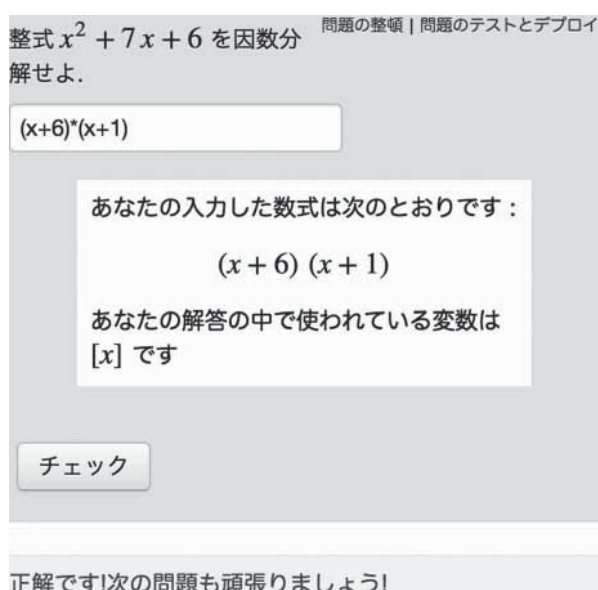


図4：因数分解の問題例

また、STACK では、代数的に等価な解答を正解と判定させることも可能である。上の図4の問題では、 $(x+6) \cdot (x+1)$ だけではなく、 $(x+1) \cdot (x+6)$ も正しい解答である。STACK では、「教員の解答と学生の解答の差が0であれば正解とする」という正誤評価を設定しておけば、 $(x+1) \cdot (x+6)$ も正解と判断されるため、改めて解答を準備する必要がなくなる（図5参照）。

STACK では、単に正誤の判定を行うだけでなく、解答が部分的に正しい場合には、ポテンシャル・レスポンス・ツリーという機能を利用して、部分点を付けることも可能である。例えば、図6は、不定積分を求める問題であるが、このような問題は、積分定数も含めて解答しなければいけない。学生が積分定数を忘れて解答したときには、単に不

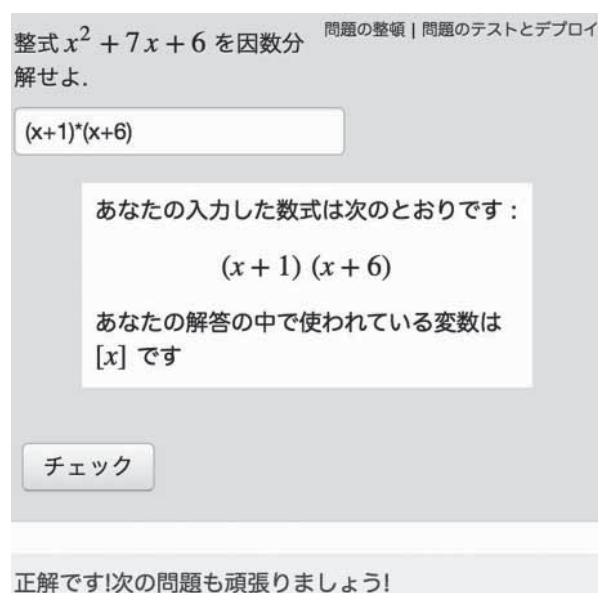


図5：別解答での正答判定画面

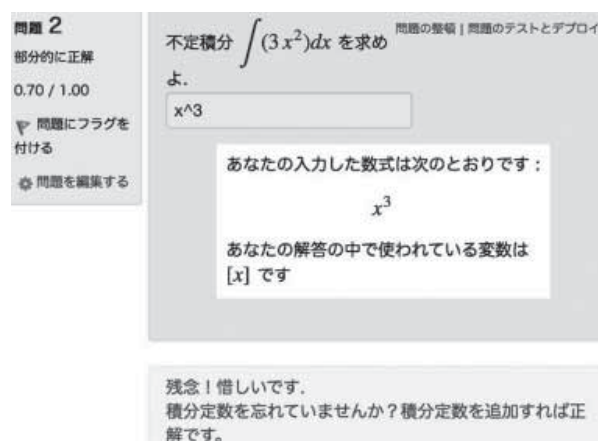


図6：部分点の表示

正解とするのではなく、部分点や解答に応じたフィードバックを与えることができる。図6は1点満点の問題である。この問題に対して、積分定数を忘れて解答した場合には、0.3点の減点をするように設定してあるため、0.7点の部分点が与えられている。また、積分定数を忘れて解答したことに対するフィードバックとして、「残念！惜しいです。積分定数を忘れていませんか？積分定数を追加すれば正解です」というコメントが付けられる。

以上、STACK の実例と考えられる利点について述べたが、STACK を活用するもう1つの利点に、問題作成の費用対効果の高さが挙げられる。従来の課題プリントでは、同じ種類の問題を個々の学生に対して課すのは、解答作成を含めて非常に手間がかかり、現実的には全ての学生に対

して同一の問題になってしまう。また、Moodle でのオンライン学習では、個々の学生に対して異なる問題をランダムに出題することが可能であるが、出題する類似の問題を個々に作成する必要がある。例えば、40 題の類似した問題からランダムに出題したい場合、Moodle の問題バンクに 40 題の問題を作成して格納しなければならず、教員側の手間と負担が大きくなってしまう。これに対して、STACK の場合は、CAS の 1 つである Maxima を利用しているため、問題を作成する際、係数などの数値を適当なパラメータとして設定すると、問題で扱う数値を自動で変換することができる。したがって、1 つの問題を作成すれば問題にアクセスする毎に数値がランダムに変更され、さらに問題に連動して解答も自動で変化する。そのため、問題作成の時間が大幅に削減され、類似の問題を豊富に生成することができる。

3. 高専での STACK の活用の可能性

前節の実例を作成する中で、今後、STACK が高専でどのように活用できるかについての可能性を、本校の学生を想定しながら筆者達で議論した。本節では、議論の内容を簡潔にまとめて報告する。

3.1 リメディアル教材としての活用

1 点目として、STACK を活用してリメディアル教材を作成することが考えられる。図 7 は、筆者らが実験的に作成した「小学校・中学校 復習コース」である。

前述のように、本校の学生を見ていると、高専での学習内容を積み上げる以前に、分数の四則計算、文字式の計算、1 次方程式、2 次方程式など、小学校や中学校で学習してきた内容で躓いている学生がしばしば見受けられる。高専での数学は、小学校や中学校で積み上げてきた知識を基に、より高度な内容を速い進捗で学習する。これらの知識の定着が不十分なままであると、授業についていくことが困難になり、学習意欲の低下につながる恐れもあるため、低学年の早期の段階で何らかの対策を行う必要がある。

しかしながら、普段の授業時間では、これらの復習に当てる時間を確保することは難しいため、STACK を活用して「小学校・中学校 復習コース」を作成することにより、自

宅で基礎的な訓練を、繰り返し取り組ませることができる。

3.2 到達度試験、総合試験の模擬問題としての活用

2 点目は、STACK を用いて模擬問題を作成することが考えられる。高専では、3 年次の学生に対して数学と物理の二科目で学習到達度試験を実施している。さらに、本校では数学総合試験を実施しており、この試験に合格することが専攻科修了条件の一つになっている。これまでは、学生が到達度試験、総合試験の試験勉強をする際には、過去問題を解くことでしか試験対策ができなかった。

STACK を用いて模擬問題を作成することで、ランダムに数値が変化した問題で繰り返し取り組むことが可能となる。学生は、問題にアクセスする毎に数値が異なった類題に触れることができる。そのため、苦手な問題に焦点を絞って十分な練習を積むといった使い方をすることが可能である。しかも、教員側で問題を作成するのは 1 度きりであり、模擬試験の類似問題をいくつも準備する時間や手間を考えると、高い費用対効果が見込まれる。

小・中数学復習コース

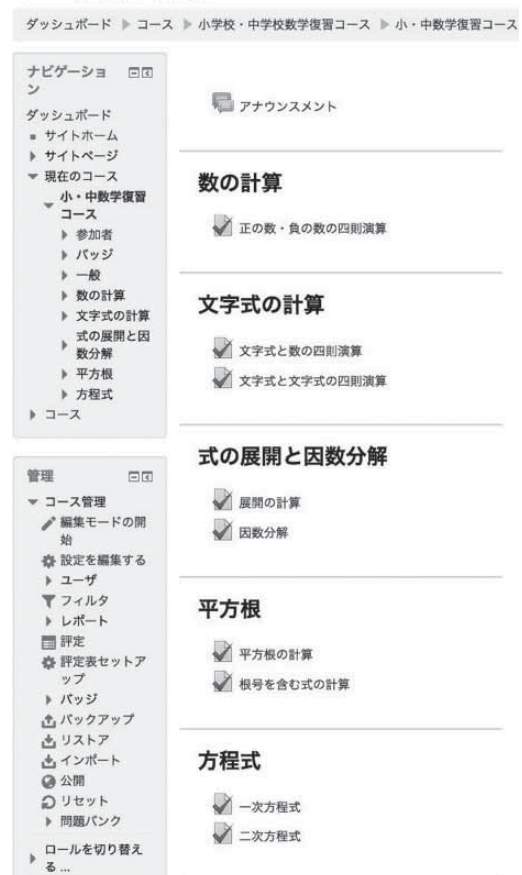


図 7：リメディアルコースの作成例

3.3 授業の補助教材としての活用

3点目として、授業外の学習教材として活用することが可能である。授業で学習した内容を定着させるために、課題として取り組ませたり、授業で扱った問題と類似した問題を作成し、それを課題として学生に取り組ませたりすることができる。

また、普通の授業内で小テストとして活用することも可能である。ランダムに数値が変化するため、小テストや欠席者に対して行う再テストにおいて、同様の形式で数値が異なった問題を出題することができる。また、小テストで基準点を設けて、基準点を下回った場合、再テストを行うことも可能である。その際にも、数値が毎回ランダムに変化する STACK を用いれば、同様の形式で数値を変えた問題を再度受験させることが可能である。

3.4 春休み・夏休み課題としての活用

本校では、毎年一年生全クラスの学生に対して、共通の春休み課題・夏休み課題を課している。グラフを描く問題や証明問題などの記述式以外の簡単な計算問題であれば、STACK を用いた問題を作成することができ、各学生はそれぞれ数値が異なった問題に取り組める。そのため、解答の丸写しを防ぐことができ、個々の学生がそれぞれ真剣に考えて問題に取り組むよう仕向けることが可能である。また、上記のように、毎回の授業で扱った問題が蓄積されていけば、それらを組み合わせて課題を作成することが可能である。そのため、例えば、数学を苦手とする学生に合わせたコースやテストの成績があまりよくなかった単元を重視したコースを設定するなど、個々のクラスや学生の事情を考慮しながら柔軟に課題を設定することが可能である。このようなことは、課題プリントを配布するタイプの課題では難しい面であり、STACK の特性を活用できる事例であると考えられる。

3.5 他教科での活用

これまで数学での活用事例について検討したが、他教科への応用も可能である。STACK は数式による解答の正誤判定が可能のため、例えば、物体の質量、速さ、重力などを文字で置いて計算させる力学の問題でも活用することが可能である⁽⁵⁾。したがって、数式（文字式）を入力す

る問題であれば、数学以外の分野での活用も期待される。

4. おわりに

本論文では、個々の学生の深い理解や基礎の定着を目指した学習環境を構築する手立てとして、対面授業と STACK を組み合わせたブレンド型学習について着目し、高専における STACK 活用の可能性について検討した。STACK は Sangwin 氏によって開発された、多肢選択や数値代入だけではなく、数式を入力し予め用意した解答を基に Maxima が正解かどうかを判定する数学オンラインテストシステムであることを述べた。その後、筆者らが作成した事例を挙げながら、STACK 活用の利点について述べ、個々の学生が同じ種類の問題にアクセスしても、異なった問題が表示されるため、学生 1 人 1 人が考えて問題を解かせることができることや、ポテンシャル・レスポンス・ツリーを利用して、解答の入力と同時に適切なフィードバックを与えられること、問題作成の高い費用対効果が見込まれることを指摘した。そして、STACK の活用の利点をふまえて、高専での STACK 活用の事例について考察した。具体的には、これまでもあった自宅学習や小テストとしての活用だけではなく、小学校や中学校で学習した内容の復習用教材、高専 3 年生対象の到達度試験や本校独自の総合試験に関する対策用教材などを提案した。

本校での低学年の学力差は益々広がり、学生の理解度に応じた指導も必要性が出てきている状況である。したがって、今後は STACK を利用して、本校で開講されている基礎解析 A と基礎解析 B の内容（整式の展開と因数分解、数の計算、繁分数の処理、方程式と不等式、三角関数、指数関数）に関する教材と小学校や中学校で学習した内容の復習用教材を開発し、低学年の学生に利用させたい。その後は、教材を利用した学生にアンケート調査の実施および分析を行った後、その分析に基づき、微分積分の教材や総合試験などの試験対策用教材を開発する予定である。

謝辞

本研究は JSPS 科研費（17K04831）の助成を受けて行われた。

引用文献

- (1) 向後千春, 富永敦子, 石川奈保子, 大学におけるeラーニングとグループワークを組み合わせたブレンド型授業の設計と実践, 日本教育工学会論文誌, 36 (2012) 281-290.
- (2) 市川裕子, eラーニング利用による数学教育の効果と課題-確実に問題を解かせることを目指して-日本数学教育学会誌 臨時増刊 第99回大会特集号 99 (2017)
- (3) Ja STACK.org (日本語版), <http://ja-stack.org/>
- (4) 中村泰之, 中原敬広, 秋山實, STACK と Moodle で実践する数学eラーニング, 2009PC Conference 論文集, (2009) 19-22.
- (5) 中村泰之, 数学eラーニング-数式解答評価システム STACK と Moodle による理工系教育-東京電機大学出版局 2010.
- (6) 中村泰之, 中原敬広, 秋山實, STACK と Moodle で実践する数学eラーニング, 数理解析研究所講究録 1674 (2010) 40-46.
- (7) 中村泰之, 中原敬広, 秋山實, STACK と Moodle による数学eラーニング, 数理解析研究所講究録 1735 (2011) 9-16.
- (8) STACK (英語版), <https://stack2.math.ed.ac.uk/demo/>
- (9) 谷口哲也, 根本洋明, 五十嵐正夫, 数学教育における Moodle と STACK の利用, 数理解析研究所講究録 1865 (2013) 121-129.
- (10) 谷口哲也, 宇田川誠一, 中村泰之, 中原敬広, Moodle と STACK による微分方程式, ガンマ関数, ベータ関数の問題, 数理解析研究所講究録 1978 (2015) 79-86.
- (11) Maxima, <http://maxima.sourceforge.net/>
- (12) Moodle.org, <https://moodle.org/>
- (13) P. Sharma, Blended learning, ELT Journal 64 (2010) 456-458.

福井平野区における地震観測Ⅱ —河合小学校観測点の増設—

岡本 拓夫*

Observation of Seismic Waves at the Fukui Plain II — Kawai Elementary School Station —

Takuo OKAMOTO

A large earthquake, named the Fukui Earthquake with M7.1, occurred on June 28 in 1948. The earthquake fault was buried under the thick accumulation of the Fukui Plain. The position of the earthquake fault was not so clear because of the thick accumulation. The relation between the main fault and the earthquake fault in the eastern margin of the Fukui Plain was not investigated in detail. We will study the structure around the earthquake fault by use of the wave-form recorded temporal station of the high school and new station of the elementary school.

Key Words : Seismicity, Edge effect, Earthquake fault, Fukui Earthquake

1. はじめに

福井平野における地震観測の必要性和観測点の紹介を、以前、報告書¹⁾(岡本他, 2013)で詳細に行った。その後、藤島高校のSSHのプログラムで解析が継続的になされ、結果が日本地球惑星科学連合の連合大会高校部門で発表されてきた。特に注視される結果としては、福井平野内において福井平野東縁断層(以下東縁断層と表記)帯内の観測波形が、アジムサルに変化するS波コーダの特有なフェーズを描くことである²⁾。彼らは、東縁断層帯が大きな断層破碎帯構造でトラップされた波だ、と考え説明している(詳細に議論していく必要はあるが)。さらに、西縁部にも強震帯の存在が指摘されている³⁾(岡本, 2016)。これらは、西縁部にも断層構造が存在し、南部に存在する鯖江断層と関連する可能性も考えられることを示している。1948年の福井地震(M7.1)の時には、震源断層は厚い堆積層に覆われ、堆積層による地震動の増幅が発生し、被害が大きくなったと考えられた。また、強烈な地震動に伴う液状化も認められ、特に震央より離れた福井平野の西

縁部でも南北に帯状に現れ(例えば、藤島高校SSH研究発表)⁴⁾、その成因を西縁断層のエッジ効果ではないかと考えて、西縁部直上での地震観測の必要性を認識していた。本小論は、西縁部における帯状強震域直上の観測点として河合小学校を選定し、観測点としての紹介をすることを第一の目的としている。河合小学校は、耐震化工事が終了しており、従来より地震観測が困難であった日野川と九頭竜川の合流部の平野部に位置するが、連続収録可能なシステム(EDR-X7000)を改修された基礎がしっかりした校舎に置くことで、高感度地震観測を開始することが可能であると結論した。また、小学生以下における理科教育においても、貢献できると(幼稚園が隣接)考えている。以下、詳細について報告する。

2. 最新の震源と観測点の位置関係

最新の気象庁による震源を、Fig.1に示す。中央下部に認められる低地震活動域(空白域)が、鯖江市付近になる。京大北陸観の震央図(少し以前)の上に各観測点の位置を

*一般科目教室(自然科学系)

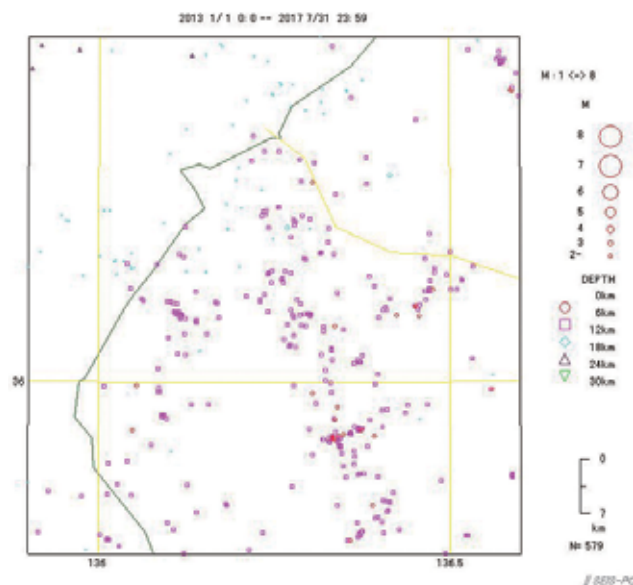


Fig.1 Hypocenter map at Reihoku area by SEIS PC.



Fig.3 Observation system view at Kawai elementary school.

3. 観測システム

福井平野は厚い堆積層に覆われ、人口も多く、工場等も隣接している。本来なら、地震観測に適さない地域である。ただ、直下に存在する活断層の構造解明を目指す限りにおいては、地震観測は避けて通れないテーマである。おりしも、南部陽一郎先生のノーベル賞受賞と福井県の高校生の理科教育の重要性の認識が重なり、地震学との関連より SSH において地震研究が一つのテーマになり、京大グループの開発した満点システムが学校の校舎での地震観測を可能にし、学校の校舎を使用すれば、福井地震断層を囲むように配置できることに気がついた。さらに、鯖江の低地震活動域（空白域）の内部でも地震観測ができ（西山動物園）、現在、河合小学校も加え7観測点で行っている。長期連続観測が可能な満点システムは、地震計が3成分一体型である（持ち運びやすい）、消費電力が小さくカーバッテリーで長時間の記録が取れること（250Hzの連続データ）、GPS 時計（時刻の精度の保証）、CF の交換によるデータ収集（現場での作業の簡便さ）等の利点が挙げられる（飯尾、2008）⁵⁾。現在、3ヶ月に一度の割合で、各地点を保守や交換に廻っている。特に金津高校・坂井高校は、福井平野東縁断層帯の中に位置し、観測波形に断層構造に起因する地震波形の特徴を得ることができた。最新に設置した河合小学校は、特に西縁部の断層の存在を明らかにする決め手であると考えている。

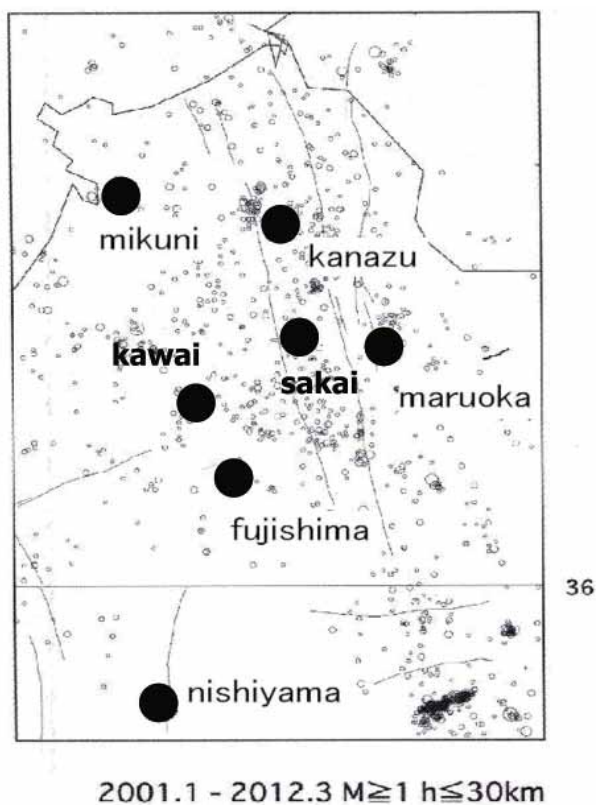


Fig.2 Distribution of temporal station in Fukui Plain.

示したものが、Fig.2である。福井平野東縁断層帯（福井地震の原因となった福井地震断層も含む）、西縁部、鯖江断層を意識した配置になっている。特に、金津高校・坂井高校・丸岡高校は福井平野東縁断層帯を、河合小学校（Fig.3）は西縁を、西山動物園は鯖江断層を意識して配置された。

4. 解析

観測点の維持は、藤島高校（SSH）、金津高校（サイエンスクラブ）、丸岡高校（放送部・物理部）、三国高校（校長先生）、坂井高校（教頭先生）、河合小学校（教頭先生）西山動物園（福井高専地球物理学研究会、卒業研究）で行われており、著者が3ヶ月に一度のペースで交換（CF・バッテリー）に廻っている。福井平野部について波形のチェックと読み取りは、藤島高校のSSHの授業時間で生徒たちがHi-net（防災科学技術研究所）の永平寺観測点の連続波形を参考に、専用のソフト（Viewer）を利用して行っている（P波、S波、S-P time、S波のsplitting等）。震源決定は、藤島高校に構築されたWSに、Win-system（東京大学地震研究所による）をインストールし、臨時観測点を独自の観測網として扱い、対応している。得られた結果は、気象庁や防災科学研究所と比較して精度を確認した上、さらに、WSの変換ソフトを用いてtxt formatのデータセットを作成し、splittingの解析を行っている。

5. 結果

これまでに得られた結果について述べる。西山動物園の波形については、福井高専の地球物理学研究会や電子情報工学科の卒業研究として解析され、結果として、鯖江断層の活動度の高さが報告されている。藤島高校、金津高校、丸岡高校、三国高校、坂井高校、河合小学校については、Hi-netの永平寺観測点の波形と比較し、地震と判断できる波形をWin systemにup loadし、震源決定が行われている。また、波形解析による結果の一例として、2016年度の地球惑星科学関連大会の高校生のセッションで、「福井地震断層の探究Ⅳ」（福井県立藤島高校）として発表されたものを示す（Fig.4）。特徴としては、福井平野東縁断層帯内にあると考えられる金津高校・坂井高校において、水平動2成分のS波の到着時間差が一定近く（同じ振動方向）になる現象を捉えることができた。振動方向によって波の特に横波の伝播速度が異なる現象は偏向異方性と言われ、極性を持つ媒質を伝わる時に認められる現象である。金津高校・坂井高校において特に顕著に認められたのは、金津高校・坂井高校の直下にS波速度の極性の

大きい構造が存在している事を示し、福井地震断層の断層構造に起因する現象である可能性を指摘している。福井平野東縁断層帯、特に福井地震断層（西側断層）の繰り返しの活動を示す結果であると考えられ、東縁断層帯全体が断層破碎帯の可能性もあることが分かった。また、河合小学校の観測波形について、S波のコーダ部に大きな揺れを示す波形が得られたことが、2017年度の地球惑星科学関連大会の高校生のセッションで、「福井地震断層の探究Ⅴ」（福井県立藤島高校）として発表された（Fig.5）。断層のエッジ効果である可能性について、将来、波形例を増やして詳細に議論していく予定である。

6. 結論

第一には、鯖江断層が活動的な断層であることが明らかになった。次に、福井平野東縁断層帯が、金津高校・坂井高校の観測波形より、繰り返し活動している可能性を指摘する事ができた。このことは、東縁断層帯全体が断層破碎帯である可能性を示していると考えられる。更に、余震活動の詳細な把握により、福井平野東縁断層帯内の主部と西側断層の関係を明らかにできることが分かった。西縁部については、河合小学校の波形より、断層の存在の可能性を表すエッジ効果に伴うS波や典型的なSコーダ波形が得られた。研究テーマ全体について、これからの解析に期待される。

7. 謝辞

本研究を進めるにあたり、福井地方气象台、防災科研の石川有三博士及び京大防災研北陸観測所より、震源情報を頂きました。地震観測では、京大防災研の飯尾能久地震予知研究センター教授、鯖江市西山動物園（金田飼育員）、藤島高校（前田先生）、金津高校（坂東先生）、丸岡高校（鈴木先生）、三国高校（齊川校長先生）、坂井高校（高橋教頭先生）、河合小学校（前川教頭先生）にご対応を頂きました。解析では、藤島高校SSHプログラムの生徒諸君、谷口先生（武生高校）、岩堀博士（京大防災研）、電子情報の野村先生と卒研生（田邊君、河野君、三澤君、宮本君）、福井高専地球物理学研究会の諸氏に協力を頂いています。以

上の方々に記して感謝致します。なお、費用の一部はJSTのSSHプログラムを使用しています。

参考文献

- 1) 岡本拓夫・斉川清一・谷口溪・平野憲雄・岩堀卓弥, 福井平野区における地震観測, 福井工業高等専門学校研究紀要, 自然科学・工学, 第47号, pp.31-34, (2013).
- 2) 藤島高校 SSH 研究発表, 福井地震断層の探求V, (2017).
- 3) 岡本拓夫, 福井平野西縁部と鯖江断層, 福井工業高等専門学校研究紀要, 自然科学・工学, 第50, pp.59-62, (2016).
- 4) 藤島高校 SSH 研究発表, 福井平野での液状化, (2011).
- 5) 飯尾能久, 陸域での臨時地震観測, 地球惑星科学関連学会2008年合同大会, S144-002, 幕張, (2008).

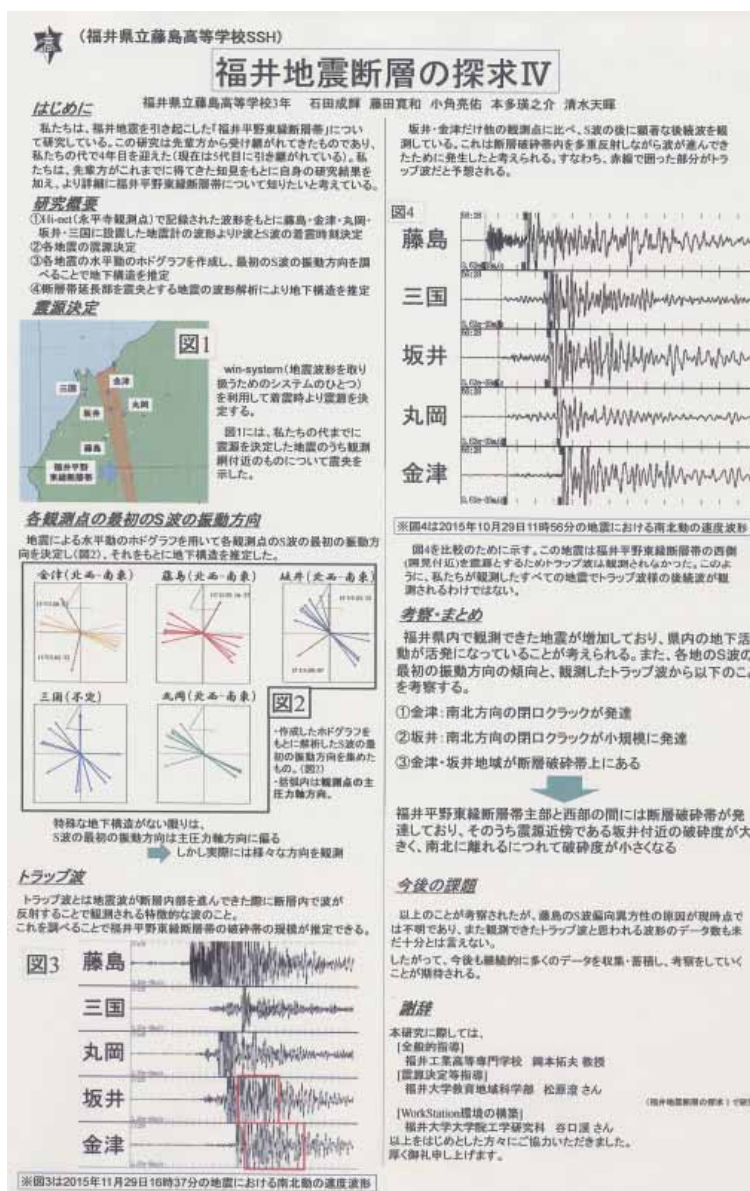


Fig.4 Presentation of Fujishima High School at Geoscience Union in 2016 Makuhari.

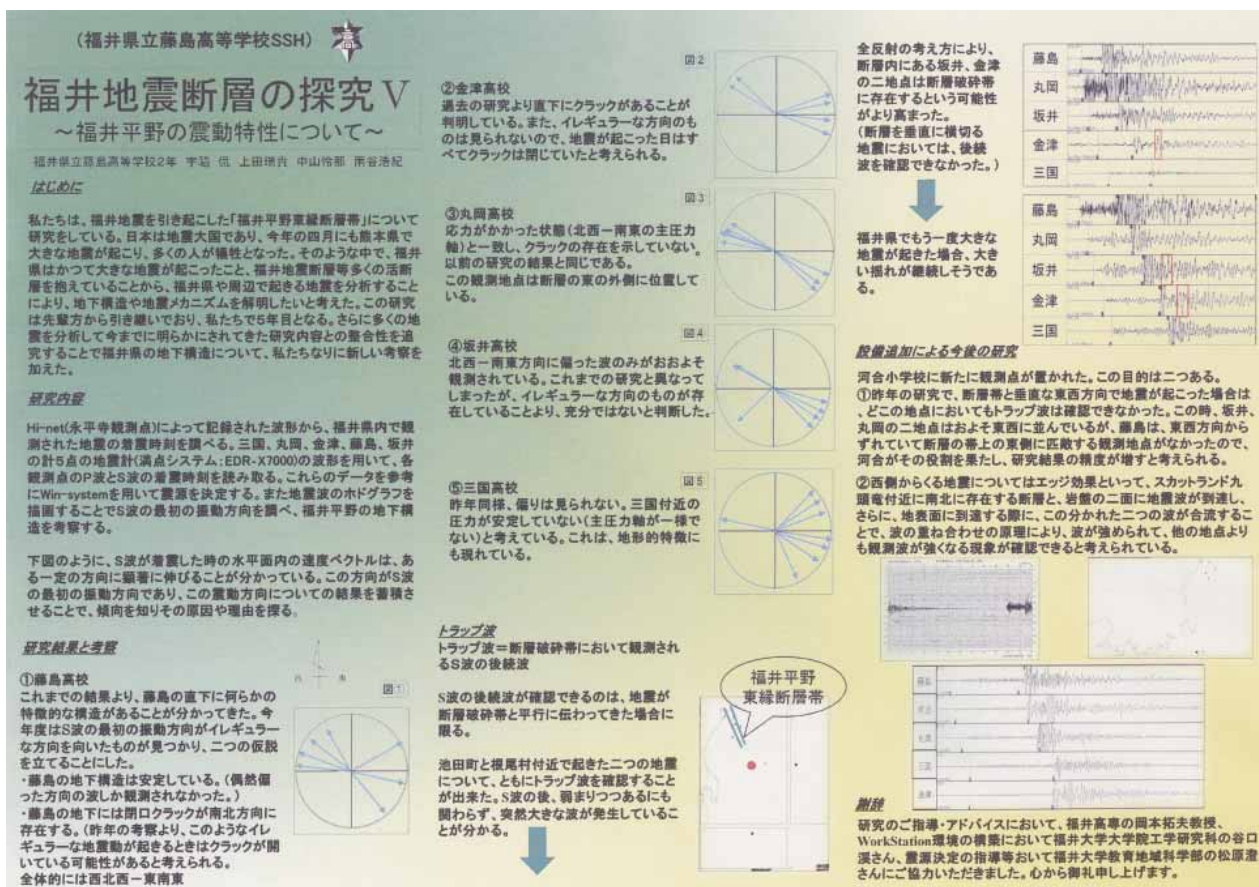


Fig.5 Presentation of Fujishima High School at Geoscience Union in 2017 Makuhari.

リチウムアルミノシリケート系ガラス結晶化ダイナミクスの観察

長谷川 智晴*

Observation of Crystallization Dynamics in Lithium-Almino-Silicate Glass

Tomoharu HASEGAWA

The crystallization of the almino-silicate glass was investigated by optical transmittance measurement, X-ray diffraction and scanning electron microscope. The glass maintained its transparency after the heat treatment at 900°C, while it significantly devitrified at 1200°C. As reported in the previous works, the crystal phases were determined to be β -quartz and spodumene in 900°C and 1200°C heat treatment respectively. All the measurements had been carried in FNCT, showing that the fundamental evaluation on the crystallization of glass can be made in FNCT.

Key Words : Lithium-almino-silicate glass, Crystallization, Heat-treatment

1. はじめに

ガラスを適当な温度と時間で熱処理すると、白濁して透明性を失うことがある。これは、ガラス中に微細な結晶が析出し、それにより透過光が散乱されることによる現象で、雲や煙が白く見える現象と類似したものである。ガラスの結晶化は透明性を損なうため、ガラス産業では「失透」と呼ばれ、産業応用上好まれないことが多い。一方、ガラスの結晶化を積極的に活用する例も多くみられる。負の熱膨張係数を有する結晶を析出させた低熱膨張係数結晶化ガラスや、二次の光学非線形性を有する結晶化ガラスが実現されている。このように失透の防止や、物性の向上を目的としてガラスの結晶化は古くから研究されてきた。

ガラス結晶化の研究では、その目的上、組成・熱処理条件と結晶化の有無に注目が集まる場合がほとんどである。結晶化過程の観察や、結晶化直前の状態を評価するなどの例は少ない。際立った特性のガラスには顕著な結晶化傾向を示すものが多く、結晶化を自由にコントロールすれば、従来の物性を超えるガラスを作製できる可能性がある。

たとえば、高屈折率光学ガラスには結晶化傾向の高いもの

が多い。一部の光学ガラスでは、結晶に近い微細構造を有している可能性が示唆されるものもある [1]。結晶化しやすい場合、ガラス相と結晶相を隔てるエネルギー障壁が低くなり結晶化が容易になると考えられ、ガラス相の微細構造が結晶に近いことが推察される。また、光散乱が極めて小さいシリカガラスは、結晶に近い構造を有することが示唆されている [2]。このように、結晶に類似した微細構造を有するガラスでは、屈折率や光透過率の向上が期待できる。

現在、筆者は多成分系酸化物ガラスの結晶化プロセスにおいて、結晶化直前・直後の微細構造や物性値の変化を評価する準備を進めている。本稿では、福井高専内の現有設備でガラス結晶化の評価が可能かどうか検討した結果について報告する。

表1 アルミノシリケート系ガラスの組成。
重量%

	重量%
SiO ₂	65.5
Al ₂ O ₃	22.0
Li ₂ O	4.5
TiO ₂	2.0
ZrO ₂	2.5
P ₂ O ₅	1.0

*一般科目教室（自然系）

2. 実験

結晶化について知見のあるリチウムアルミノシリケートガラス（日本電気硝子製ネオセラム）をサンプルとして用いた。サンプルの組成を表1に示す[3]。このガラスは、核形成剤として TiO_2 、 ZrO_2 を含んでおり、このためバルク内での均一核生成が起こる¹。本ガラスは、850–950℃の熱処理で β -石英固溶体（ $\text{Li}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-n\text{SiO}_2$, $n \geq 2$ ）結晶が成長し、1100–1200℃で熱処理すると β -スポジュメン固溶体（ $\text{Li}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-n\text{SiO}_2$, $n \geq 4$ ）結晶が析出することが知られている。850–950℃熱処理で析出する β -石英固溶体結晶のサイズは50nm程度であり、光散乱が抑制されるため透明性が維持される。

図1に未処理、900℃–10時間および1300℃–1時間で熱処理したサンプルの外観を比較した写真を示す。サンプルの厚さは3mmである。900℃熱処理では透明性を失っていないが、1200℃では1時間の熱処理で白濁して失透していることが分かる。

図2に900℃熱処理の時間による可視光透過率の変化を示す。1時間熱処理品は熱処理無しの場合と変化が見られなかったため図では除外している。図1の写真では透明



図1 熱処理したサンプルの比較写真。左から、未処理、900℃–10時間、1200℃–1時間（写真の1300℃は誤記）。

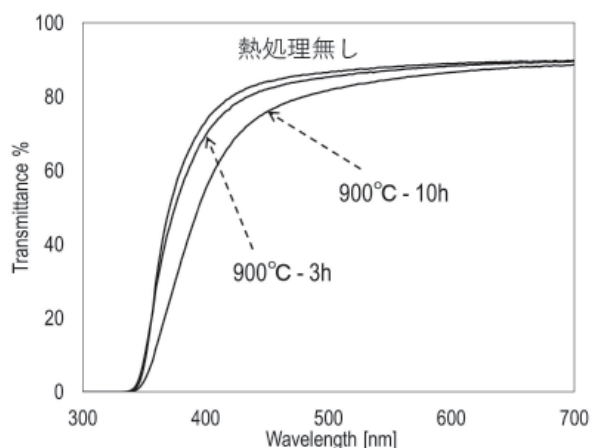


図2 900℃熱処理サンプルの可視光透過率。

性を維持していたが、紫外側の透過率が低下しており、何らかの変化があることが分かる。また、熱処理の時間が長いほど透過率の低下が著しく、結晶粒の成長を反映している可能性がある。

図3に900℃–10時間、1200℃–1時間熱処理品のX線回折（XRD）測定結果を示す。900℃熱処理品は透明な外観であるが明瞭に β -石英が検出された。光透過率に影響しない程度の微小な結晶であっても、XRDによって検出可能であることが分かる。1200℃熱処理品では、 β -スポジュメン（リチウムアルミノシリケートの結晶）が検出された。

図4に1200℃–1時間熱処理品のSEM観察像を示す。ガラス表面に微細な結晶が多数析出していることが確認された。結晶のサイズが数十nm程度と小さく、文献値（1 μm ）にくらべてかなり小さいがこの理由は不明である²。

3. まとめ

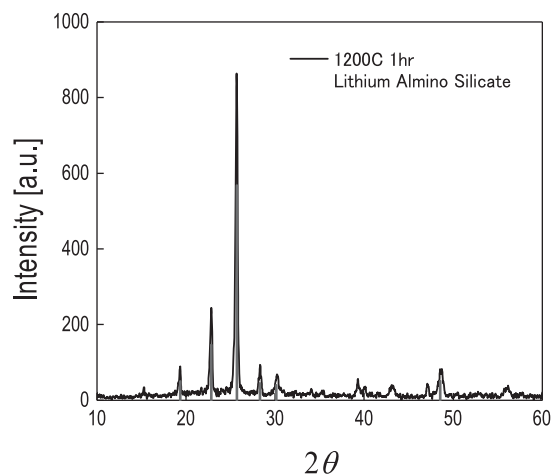
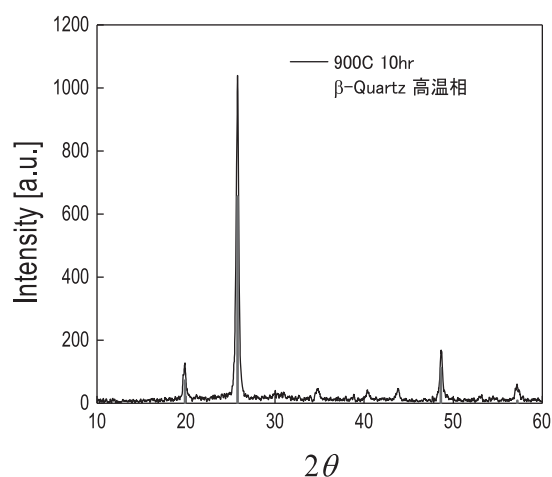


図3 XRD測定結果。900℃–10時間（上）、1200℃–1時間（下）。

¹ 結晶核生成には、組成揺らぎにより一様に発生する均一核生成と、表面や界面などで発生する不均一核生成がある。ガラスの微細構造と結晶化の関係を調査する場合は均一核生成が望ましい。

² 表面の凹凸のみを観察している可能性がある。その場合エッチングや切断等の処理が必要。

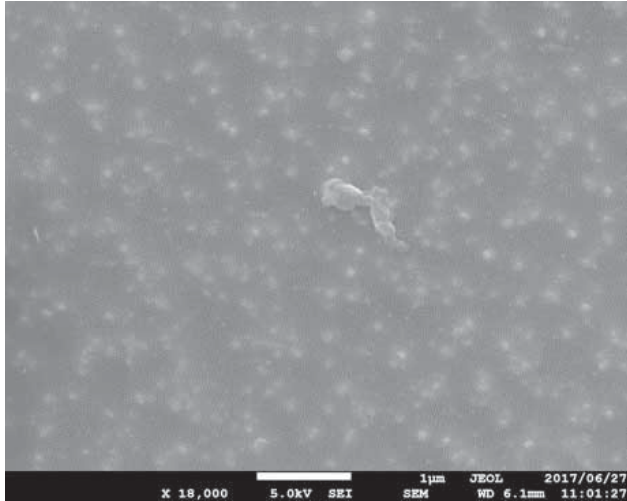


図4 1200℃－1時間熱処理品の表面 SEM 像.

参考文献

- [1] T. Hasegawa, Journal of Non-Crystalline Solids 357 (2011) 2857-2862
- [2] K. Saito and A. J. Ikushima, Physical Review B 62 (2000) 8584-8587
- [3] 二宮, 和田 New Glass 10 (1995) 45-51

リチウムアルミノシリケート系ガラスの結晶化を2水準の温度で評価した。900℃熱処理では長時間熱処理により紫外側透過率の低下がみられたが、透明性は維持された。XRDにより β -石英結晶の析出が認められ、光散乱に影響ない程度の微小結晶でも検出が可能であることがわかった。1200℃熱処理では β -スポジュメン結晶が成長し、サンプルは著しく失透した。また、表面SEM観察でも結晶の析出に伴う性状の変化がみられた。これらの結果は、従来の知見通りと言える。

以上の検討から、福井高専内でガラスの熱処理による結晶化と、その観察が可能であることが分かった。また、本稿では触れなかったが、多成分系ガラスは組成により、ガラス転移点、結晶化開始温度、ガラス相の熱的安定性が大きく異なるため、示差熱分析(DSC)による評価は必須である。DSCも福井高専内で評価が可能である。これらの手段を組み合わせ、結晶化ガラスの基礎評価は可能であると考えられる。

今後は、新しい組成系のガラスを作製し、結晶化プロセスの調査を行う。たとえば、ガラスの熱処理時間と、温度をパラメータとして、ガラス相、結晶化ガラス相の相境界を決めるTime-Temperature-Transform曲線(TTT-curve)を描き、その直前での物性値変化を観察する。現在、溶解用の電気炉を導入したところであり、候補組成の探索を始めている。

研究推進委員会

委員長 常 光 幸 美 (物 質 工 学 科)
委 員 加 藤 寛 敬 (機 械 工 学 科)
山 本 幸 男 (電 気 電 子 工 学 科)
野 村 保 之 (電 子 情 報 工 学 科)
坂 元 知 里 (物 質 工 学 科)
辻 野 和 彦 (環 境 都 市 工 学 科)
柳 原 祐 治 (一般科目教室(自然科学系))
藤 田 卓 郎 (一般科目教室(人文社会科学系))

福井工業高等専門学校 研究紀要 自然科学・工学 第 51 号

平成 29 年 12 月 25 日 印 刷

平成 29 年 12 月 25 日 発 行

編 集 兼
発 行 者

福 井 工 業 高 等 専 門 学 校

福 井 県 鯖 江 市 下 司 町
T E L (0778) 62-1111 (代)
F A X (0778) 62-2597

印 刷 所

(有)ワープロセンターHOPE

福井県越前市東千福町 21-4
T E L (0778) 24-1146
F A X (0778) 24-2339
