

BULLETIN OF HUMAN RESOURCES DEVELOPMENT

職業能力開発報文誌 第34巻第1号 2022 (通巻53号)

〈実践報告・資料〉

専門性を活かした地域活動への取り組み ー江津市におけるワークショップ活動事例ー	鳥根職業能力開発短期大学校	竹口 浩司
トラス模型を用いた載荷試験による教育訓練の 事例報告	関東職業能力開発大学校	古山 辰志
溶接されたボルトのスパッタ自動判別装置の開発	関東職業能力開発大学校	菅野 金一*
レーザーレベラの受光器および操作装置の製作	関東職業能力開発大学校	山下 泰弘*
加工時間計測システムが搭載可能な自動材料 切断装置の開発	関東職業能力開発大学校	水尾 準*
汎用インバータを用いたPID制御のゲイン チューニングに関する実習教材の開発	千葉職業能力開発短期大学校	五十嵐 智彦*

*代表者氏名

〈投稿のしおり〉

職業能力開発報文誌 第34巻第1号 2022 (通巻53号)

目 次

〈実践報告・資料〉

- | | | |
|--|---------------|----------------------------|
| 専門性を活かした地域活動への取り組み
ー江津市におけるワークショップ活動事例ー | 島根職業能力開発短期大学校 | 竹口 浩司
(受付日 R4. 3. 15) |
| トラス模型を用いた載荷試験による教育訓練の
事例報告 | 関東職業能力開発大学校 | 古山 辰志
(受付日 R4. 5. 24) |
| 溶接されたボルトのスパッタ自動判別装置の開発 | 関東職業能力開発大学校 | 菅野 金一*
(受付日 R4. 6. 1) |
| レーザーレベラの受光器および操作装置の製作 | 関東職業能力開発大学校 | 山下 泰弘*
(受付日 R4. 6. 6) |
| 加工時間計測システムが搭載可能な自動材料
切断装置の開発 | 関東職業能力開発大学校 | 水尾 準*
(受付日 R4. 6. 6) |
| 汎用インバータを用いたPID制御のゲイン
チューニングに関する実習教材の開発 | 千葉職業能力開発短期大学校 | 五十嵐 智彦*
(受付日 R4. 6. 21) |

* 代表者氏名

〈投稿のしおり〉

専門性を活かした地域活動への取り組み

— 江津市におけるワークショップ活動事例 —

島根職業能力開発短期大学校 竹口 浩司

Initiatives for local activities that utilize expertise -"Workshop" activity example in Gotsu City-
TAKEGUCHI Koji

要約 島根県江津市にある島根職業能力開発短期大学校の住居環境科指導員として赴任してからの8年間に参加した様々な地域活動の中から専門性を活かしたワークショップの活動事例を報告するとともに活動内容について考察する。

I はじめに

2013年に島根職業能力開発短期大学校（以下、当校という）専門課程の住居環境科指導員として、江津市に赴任した。その頃、東日本大震災の影響もあり、都市部から地方へとU・Iターンの若者が増える傾向にあった。また、地方では過疎化が進むなか、地元志向も高くなり地方創生や地域活性化という言葉も聞くことが多くなっていた頃である。

当校が在する人口2万3千人程の島根県江津市でも地域活性化や過疎化を防ぐためU・Iターン者を中心として地域課題に対して様々な活動に目が向けられるようになっていた。その活動の中でも空き家や空き店舗の改修、イベント設営等において木工や建築分野の専門性から多方面から相談を受け、様々な活動に参加する機会を得るようになった。

本稿では、参加した地域活動の中でも課題に対し、ワークショップという手法を実践した事例を取り上げる。また、地域課題として竹林整備や生涯学習に関する専門性を活かしたワークショップも含めて8年間の地域活動から15の事例を報告する。

II ワークショップについて

ワークショップという言葉は、ビジネスや教育、問題解決手法として広く使われる言葉であり、様々な定義も存在する。本来の意味としては、作業場という意味であり、活動においては、複数で何かを行うことをワークショップと認識されている。

本稿では、複数で何かを行う活動をワークショップとする。特に当校の学生や一団体のみで行うものではなく、地域と共同し、学校や地域団体、ボランティアやイベント参加者等多くの者が参加したワークショップの中から、専門である建築分野の知識と技術を活かしたものづくりを主とする活動を取り上げる。様々な活動が、能力開発の機会であり、地域と学校、学生が繋がるきっかけにもなっている。

III 活動事例

1 竹灯籠

2013年江津市に赴任してから初の地域活動が江津駅前商店街の「手つなぎ夜市」イベントである。商店街の通りに竹で製作した灯籠を飾りイベントを盛り上げるのが目的である。

ワークショップとしては、ボランティアを募り、学生と商店会との共同で竹の伐採から加工、設置を行った。また、このワークショップで製作した竹灯籠は評判となり、様々なイベントでも使用されるようになった。これを機に江津市や商店会等、地域に認識され始めることになる。



図1 竹灯籠製作と設置後の様子

2 旧銭湯を活用したイベント

2013 年度総合制作実習として江津駅前商店街にある旧銭湯をリノベーションする取り組みを行った。その空間を利用し、様々なイベントを実施し、ワークショップも多数行うことになる。

2014 年夏から秋にかけて商店会と学生、地域ボランティアの方と協力し、銭湯のライトアップや、間仕切りの解体ワークショップ等を行った。

商店会や地域ボランティアと駅前の空き地を利用したイベントでは、竹テント等も製作した。総合制作実習から様々なワークショップやイベントを通じて地域内外との繋がりが生まれる場となる。



図2 竹テントと解体作業

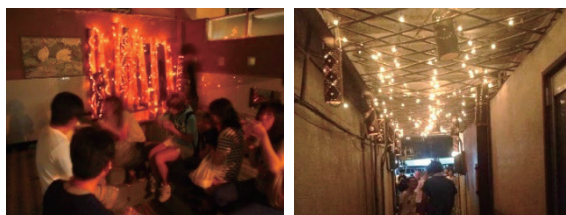


図3 竹灯笼のライトアップ

3 モザイクタイル

2014 年 12 月 6、13 日、約 13500 個のモザイクタイルを使用した銭湯の看板製作ワークショップを実施した。ワークショップ参加者は、タイルの設計図を見ながら決められた色のタイルを貼る実際のタイル施工と技術的には同じであり、専門性を活かし、タイルのデザインから施工指導を行った。

2 日間で 50 名程が集い、予定した時間で作業を終えることができた。看板を設置することで活動の認知度を広め、皆で一つのを完成させることにより今後関わってもらえる関係性を作れた事例である。



図4 ワークショップの様子

4 リノベーションキャンプ

2015 年 5 月 2 日～9 日ゴールデンウィークを利用した 8 日間のワークショップであり、携わったなかでは最大のものになる。東京からの 1 ターン者がカフェとパン屋を開くため、江津市やデザイン会社が協力し、地域内外に広く参加者を募り、作業だけでなく食や旅も含めたイベント型のワークショップツアーを開催した事例である。

参加者は、中国地方以外からも集まり東京や大阪等延べ 150 名を超えた。相乗効果としてワークショップ自体が評判となり全国版の雑誌にも掲載された。

作業としては、手間は掛かるが素人でも上手にできるものを検討し計画した。解体作業から木工作業、塗装作業、左官作業、壁紙作業、照明から家具まで一連の作業が盛り込まれており、各分野の職人に指導を仰ぎながら参加者で分担し作業を進めた。また、仕上げには焼き物や土、流木、和紙等、地産材を活用していることも特徴である。

参加者の中には、東京から 1 ターンする者も現れ、江津の地域活動を代表する取り組み事例として知られるようになった。

2015 年 6 月 21 日には庭師の指導のもとハーブガーデンづくりのワークショップを開催し、7 月にはパン屋が併設するカフェ「蔵庭」⁽¹⁾がオープンした。

表1 スケジュール

月 日	午前の部	午後の部
5月2日	軽作業	軽作業
5月3日	床タイル貼り	床タイル貼り
5月4日	土壁塗り	土壁塗り
5月5日	壁塗り	壁塗り
5月6日	壁塗り	壁塗り
5月7日	照明制作	照明制作
5月8日	タイル貼り	タイル貼り
5月9日	クリーニング	クリーニング



図5 リノベーションの様子

5 リノベーションキャンプ 2016

2015年のリノベーションキャンプの参加を機に江津市にIターンし、ゲストハウス「アサリハウス」⁽²⁾のオーナーとなった方が2016年リノベーションキャンプの主催者となり実施された。

築100年を超える古民家をリノベーションするため解体作業から、床下地施工、タイル仕上げ、藍染のクッション製作や障子の貼替え等5月3日～5日と6月11、12日の2回に分けて行われた。

ゴールデンウィークだけで延べ100人、6月も50人以上の参加者が集まった。特に6月は、当校の学生自治会がオリエンタリングを計画し、ワークショップに参加することで、他の参加者と交流会を行うなどのコラボレーションも実施された。



図6 リノベーションの様子

6 つのみやっこ広場

2016年8月と11月に二宮町放課後子供教室と島根県西部県民センターとの共同で児童教室の子供と空き地の活用を行った。

8月19日、児童教室の子供54名と学生ボランティアにより、空き地の木々に鳥小屋を設置。11月26日には、加工した木材を組み合わせて製作するジャングルジムを考案し、児童教室やサッカークラブ、地域住民により組み立てた。製作物は色や形など自由度を持たせるようにし、学生ボランティアが児童をサポートすることで教える立場を経験させる機会を作れた事例である。



図7 鳥小屋製作とジャングルジム製作の様子

7 竹の座禅堂

2016年11月4日、島根県浜田市金城町で樹冠ネット

ワーク⁽³⁾と地域住民が参加し、竹林整備を兼ね竹で座禅堂の製作を行った。樹冠ネットワークは、江津市内を中心に里山に残る昔の知恵や食、伝統を伝える活動や竹林整備を行っている団体である。

当校では授業の一環として建築の知識と技術を活かした竹の利用に取り組んでおり、毎年樹冠ネットワークと共同で活動している。座禅堂は、竹の引張力を活かしたドーム構造であり、樹冠ネットワークの方から指導を受け、竹の伐採から加工、組み立てを行った。

この経験から総合制作実習で竹をテーマとした課題も設定されている。



図8 座禅堂製作の様子

8 粋の市会場設営

2017年5月5、6日に行われる「粋の市」イベント開催に合わせて5月4日に主催者と地域の方、学生ボランティアによる会場設営ワークショップを開催した。「粋の市」⁽⁴⁾とは、木工場と古民家を会場として地域の食やモノを集めたマーケットイベントである。

旧瓦工場や古民家にあった古い棚や机、建具をリペアして会場を作り上げるイベント設営をイベント化したワークショップである。ものづくりの技術を活かし、学生時代の学園祭前日を思い返され、他のイベントでもお勧めしたい事例である。



図9 会場設営の様子

9 竹のHPシェル構造

2017年11月24日、学生と樹冠ネットワークによる竹の活用ワークショップである。専門分野である建築構造の技術を応用し、HPシェル構造を活用した竹のオブジェの製作を行った。

作業時間はおよそ5時間と決められており、その時

間に完成させるため、工程を考えデザインしたオブジェである。里山の竹害問題や昔からの竹の活用法、シュロ紐の結び方等を教わりながら、世代の枠を超えたワークショップである。



図 10 製作の様子

10 空き店舗のリノベーション

2018年から始まった江津市本町にある空き店舗、旧印刷店「ときわ印刷」を地域拠点としてワークスペースにリノベーションする活動である。

主に江津工業高校の卒業課題として高校3年生が作業を行うが、作業によっては本町まちづくり推進協議会やまちづくり会社イワミノチカラ等と共同し、参加者を募ってワークショップを開催している。

2018年4月21日高校生と当校学生、地域ボランティアが参加し解体ワークショップ、6月23日には、仕上げ作業のワークショップを行った。その後も地域ボランティアや高校生により作業は進められた。「いわみん」⁽⁵⁾によるweb募集や全国で旅とお手伝いを融合させた「おてつたび」⁽⁶⁾でも参加者を募集し、様々な媒体を活用しながらワークショップを実施している。

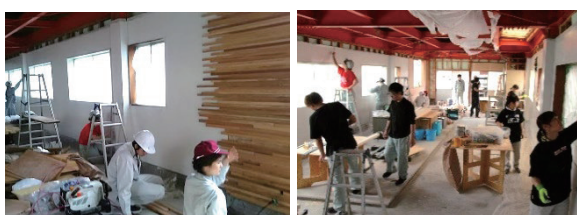


図 11 解体作業と仕上げ作業の様子

11 ダッピーねぶた

2018年に開校60年を迎える江津高校と共同し、江津高校のマスコットキャラクターの「ダッピー」ねぶたを製作するワークショップである。ねぶた製作の指導者を迎え、夏休みのおよそ1カ月をかけ、高さ3mのねぶたの製作を行った。

参加者は、当校学生と江津高校生、江津市の共同で作業を行い、主に骨組みを当校学生、紙貼りを江津高校が担当した。参加者は限定されるが地元高校生との

共同作業の好事例として取り上げる。



図 12 ダッピーねぶた作業風景と成果物

12 INAKA イルミ

2018年11月7日、樹冠ネットワークとの竹活用ワークショップである。旧 JR 三江線の宇都井駅で毎年開催されている「INAKA イルミ」⁽⁷⁾に向けて竹のイルミネーション製作を行った。

参加者は当校学生と樹冠ネットワーク、島根県立中央高校や INAKA イルミ実行委員会との共同作業である。11月23、24日に開催された INAKA イルミでは約50基の竹イルミにキャンドルを灯し、イベントに貢献することができた。

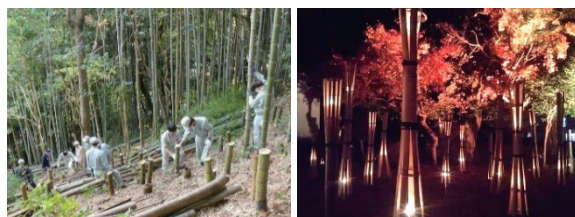


図 13 竹イルミ作業風景と成果物

13 都野津駅のリノベーション

2020年10月30、31日、JR 都野津駅創設100周年を記念し、都野津まちづくり協議会、江津高校、江津工業高校のコンソーシアム事業として駅舎のリノベーションを実施した。

作業は内壁の塗装であり、1日目に下地処理、2日目は高校生に塗装を指導し、高校生が参加者をサポートしながら作業を行うワークショップを開催した。参加者とは間接的に関わる形でしたが、高校生が主体となって作業を進めることができた良い事例である。



図 14 都野津駅イベントの様子

14 幼稚園の遊具製作

2020年11月1日、江津市跡市町里山子ども園わたぼうしの遊具製作を行った。参加者は、いわみんの体験プログラムで参加者を募り20名程が集まった。主に幼稚園から小学生とその保護者である。

子供の遊びともものづくりを兼ねつつ、親がサポートしながら製作を進めた。作業は、建材の運搬に使用されるパレットを利用し、のこぎりとビスで簡単に組み立てられる構造でありながら自由度と今後の発展性を持たせた遊具である。

2021年1月31日には、わたぼうしと地域で生涯学習に取り組む「わくわくらボ」の体験プログラムとして実施され、参加者は30名程、小学生から大人まで各自が自主的に作業を行い完成させた。中でも子供が自ら考えブランコや手摺りまでを作ってしまったことには驚かされた。

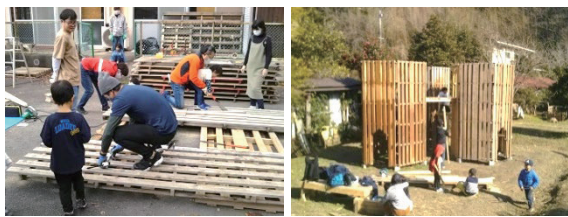


図15 パレット遊具製作の様子

15 有福温泉の竹オブジェ

2020年11月5日、樹冠ネットワークと江津工業高校、有福温泉まちづくり協議会と共同し、温泉街に竹

のオブジェとベンチの製作を行った。

江津工業高校とは、都野津駅リノベーションや林業体験等も一緒に取り組んでいる。地域活動を通じて高校生に当校を知ってもらい良い機会であり、実際に入学に結び付いた高校生もいる。

製作後はライトアップもされ、専門性を活かして景観形成に貢献した事例であり、毎年恒例となる。



図16 竹オブジェ製作の様子

IV 考察

前章に挙げた15の事例について専門性や活動内容、広報媒体等を整理し表にまとめる。(表2)

1 専門性について

専門性では、竹工作を除けば木工作業が多い事がわかる。ものづくり教室でのこぎりや釘を使った作業は、参加者も内容がわかりやすく多くの場所で行われており、ワークショップでも取り入れやすい。

モザイクタイルや都野津駅のリノベーションのようにタイル作業や塗装作業もものづくり体験教室でも色

表2 ワークショップ事例一覧

No.	名称	専門性	活動内容				広報媒体			実施日			主催者		参加者		
			イベント 設置	企画	課題解決	竹の 活用	SNS web等	回覧板 会員等	ポスター チラシ	募集 サイト	年	月 日	期間	団体名	運営者	主な参加者	人数
1	竹灯笼	竹工作	○			○					2013年	7月26日	1日	商店会	商店会員	ボランティア	20
2	銭湯イベント	解体作業 リノベーション	○		○		○	○			2014年	通年	1年	銭湯プロジェクト	実行委員	一般	20
3	モザイクタイル	タイル作業		○			○	○	○		2014年	12月6,13日	2日	銭湯プロジェクト	実行委員	一般	50
4	リノベーション キャンプ	解体作業 リノベーション			○		○	○	○		2015年	5月2~9日	8日	蔵庭	実行委員	一般	150
5	リノベーション キャンプ2016	解体作業 リノベーション			○		○	○	○		2016年	5月3~5日 6月11,12日	5日	アサリハウス	実行委員	一般	150
6	つのみやっこ広場	木工作業			○				○		2016年	8月19日 11月26日	2日	二宮町放課後子供教室 島根県西部県民センター	ボランティア	小学生	60
7	竹の座禅堂	竹工作 ドーム構造				○			○		2016年	11月4日	1日	樹冠ネットワーク 金田町住民	会員	地域住民 ◎カレッジ生	30
8	粋の市	木工作業	○								2017年	5月5,6日	2日	粋の市	実行委員	ボランティア	20
9	竹のHPシエル構造	竹工作 建築構造			○	○			○		2017年	11月24日	1日	樹冠ネットワーク ポリテクカレッジ	会員	◎カレッジ生	30
10	旧印刷店の リノベーション	解体作業 リノベーション			○				○		2018年	4月28日 6月23日	2日	本町まちづくり協議会 島根県立江津工業高校	実行委員	高校生	30
11	ダッビーねぶた	木工作業			○						2018年	7~8月	1ヶ月	島根県立江津工業高校 ポリテクカレッジ	実行委員	高校生 ◎カレッジ生	不明
12	INAKAイルミ	竹工作	○		○	○			○		2018年	11月7日	1日	樹冠ネットワーク、ポリテクカレッジ INAKAイルミ、島根県立中央高校	実行委員	会員、高校生 ◎カレッジ生	30
13	都野津駅の リノベーション	塗装作業	○	○	○		○	○	○		2020年	10月30,31日	2日	江津工業高校、江津工業高校 都野津まちづくり協議会	実行委員	一般	100
14	幼稚園の遊具製作	大工作業		○	○	○	○	○	○		2020年 2021年	11月1日 1月31日	2日	幼稚園わたぼうし わくわくらボ、いわみん	実行委員	一般	50
15	有福温泉 竹オブジェ	竹工作			○	○			○		2020年	11月5日	1日	有福温泉まちづくり協議会、樹冠ネットワーク 江津工業高校、ポリテクカレッジ	実行委員	地域住民、高校生 ◎カレッジ生	50

◎カレッジ生については授業の一環として行ったものに限る。学生が自主的に関わったものはボランティアや一般に含む。

※人数はおよその延べ人数

の選択や塗り方などを工夫すると子供から大人まで年齢や技術を問わず楽しく作業が行われる。しかし、持ち帰り等を想定すると乾燥時間等が難しく課題もある。

事例のようにみんなで一つのものを作るワークショップでは、様々な活動の醸成も一つの目的である。看板製作やリノベーションキャンプ、都野津駅、ダッピートーねぶた等製作以上の成果を生み出すことができた事例もある。しかし、参加者は未経験者であり、一つのものを作り上げるには、デザイン力と工程計画、指導力が必要である。そこで指導員としての経験が様々なワークショップにおいて実践されている。

2 活動内容について

活動の初期は、U・Iターンの若者が中心となり、地域活性化を掲げるワークショップが多い傾向にある。事例としては、銭湯プロジェクトやリノベーションキャンプになる。このような取り組みは交流も生れ、ワークショップが広報にもつながり、地域活性化の一役を担う活動である。

また、近年では地域課題と教育がつながってきており、都野津駅やわたぼうし、有福温泉のワークショップがある。主に高校と地域が連携し、地域課題の解決を模索したワークショップが開催されている。交流人口や地方創生の動きもあり、学校を飛び出し地域を舞台とする教育が増えつつある。小学生には創造性や自主性を育てることを目的とし、大人は生涯教育として学びを取り上げている活動が多い。当校学生にとっては、多くが江津市以外の出身であり、地域を知るきっかけとして必要な活動になっている。

3 広報媒体について

SNS は必須である。特に江津市では facebook の活用が多い。全国的にも地域活動等の広報媒体として活用頻度は高い傾向にある。イベント内での企画開催以外は主催者側のコミュニティが大きく寄与する傾向にある。また、江津市の特徴として地域の回覧板の効果はかなり高いこと、学校への投げ込みも効果が高いと実感している。

以上のことから、広報についても地域性がとても強い印象がある。

4 能力開発について

様々な事例において、機構で培った離職者訓練や専門課程の実習と類似するところが多い。殆どの参加者

が未経験者であり、複数の参加者を見ながら道具の使い方、安全性、スケジュール管理等、普段の訓練業務の新たな展開としてとても有意義な活動である。

また、作業においては専門性の拡大にもつながる。特に、総合制作実習課題において竹をテーマとした課題やリノベーション等にも取り組み、ワークショップを通じて体験できたことが活かされている。

学生にとっても地域で活動する経験は能力開発や人材育成に大きく寄与する。技術を活かし、製作物への責任を負う機会であり、学内だけで完結するものづくりとは安全面や完成度に対する心構えが違って見える。

V おわりに

ワークショップでの経験を整理することで社会ニーズやデザインが変化していることも実感できる。地域活動を通じて新たな能力開発の分野、課題授業、総合制作実習の課題設定として参考になれば幸いである。

15 の事例の他にも当校が実践している空き店舗のリノベーションや社の改修等もあるが、ものづくりの専門性が企業のみでなく、地域活動においても必要とされるカレッジの在り方を模索し、山陰地域にある当校の魅力として広めたいと思う。

最後に多くのワークショップの機会を与えて頂いた関係者の皆様、多くのフィールドが存在する江津市に感謝申し上げます。

【参考文献】

- (1) 蔵庭 (URL 参照 2022-03-18)
<https://kuraniwa.jp/>.
- (2) アサリハウス (URL 参照 2022-03-18)
<http://52-ghs.com/>.
- (3) 樹冠ネットワーク (URL 参照 2022-03-18)
<https://www.mori-sanin-net.jp/sanka/jyukan.html>.
- (4) 粋の市 (URL 参照 2022-03-18)
<https://ikinoichi.themedia.jp/>.
- (5) いわみん (URL 参照 2022-03-18)
https://www.all-iwami.com/event/detail_1764.html.
- (6) おてつたび (URL 参照 2022-03-18)
<https://otetsutabi.com/>.
- (7) INAKA イルミ (URL 参照 2022-03-18)
<https://illumizikkouuzui.wixsite.com/website>.
- (8) 竹口浩司、専門性を活かした地域活動への取り組み、島根職業能力開発短期大学校紀要、第5号、2021年、pp.50-57。

トラス模型を用いた載荷試験による 教育訓練の事例報告

関東職業能力開発大学校 古山 辰志

Case Report on Education and Training by Loading Tests Using Truss Models

KOYAMA Tatsushi

要約 構造分野への興味関心を抱かせるために多方面で様々な工夫がなされている。筆者が所属する建築科では、一定の条件を与えて班毎に異なる形状のトラス模型を製作させ、定めた荷重条件に対して応力計算をさせた上で載荷試験を実施する授業展開を数年に渡って試みてきた。載荷試験では、所定の部材にひずみゲージを貼り付け、部材の応力を実験データとして可視化することで、構造力学の学科だけでは実感しづらい応力等について学生の理解を促進し、構造物の強度に対する興味を喚起させるように工夫を施した。本報では、当科で実施する実習を題材に取り上げ、初学者が構造分野に興味関心を示した教育訓練の事例について報告する。

I はじめに

自分が作ったものが強いのか、弱いのか。建築に限らず、ものづくりに関わる者ならば関心を示すべき事項の一つに挙げても良いだろう。他方で、外力に対して構造物に生じる力は目に見えないため、初学者にとっては実感しづらく、構造分野に関する科目を苦手とする学生は他の分野に比べて多いのが実情だろうと捉えている。そこで、筆者が所属する建築科では、一定の条件を与えて構造物を製作させ、定めた荷重条件に対して応力計算をさせた上で、載荷試験を実施する授業展開を数年に渡って試みてきた。こうした取り組みは他の教育機関でも広く実施されており、それぞれの創意工夫がインターネット上でも確認することができる。パスタブリッジ^①を用いて用・強・美を競い合うコンテストを授業カリキュラムに取り入れている事例はその最たるものの一つであろう。その他、紙模型梁強度コンテスト^②などいくつかの事例を目にするが、いずれの事例も構造物の強度に対する興味を喚起させており、参加者から高評価を得ているようである。本事例では、これらの事例をさらに発展させ、部材に生じる力（以下、応力という）を実験データとして可視化し、構造力学の学科だけでは実感しづらい応力等について学生の理解を促進するように工夫を施した。そ

の結果、学生からは次のような声が集まった。

- ・学科と実習のつながりを実感できた。
- ・自分で作ったものの強度が知れて楽しく学べた。
- ・似たような構造でも強度や壊れ方が違うことを知ることができ興味が沸いた。
- ・トラスへの関心が高まった。
- ・もっと良い結果を出したい。
- ・実際にやってみることで座学では得られないものを学べた。
- ・計算と試験結果の比較により力学への関心が高まった。
- ・この先何をどう学ぶかについて考えるきっかけになった。

こうした声に直に触れられることは授業担当者冥利に尽きるが、カリキュラム一辺倒の授業実施だけではこれらの声を集めることは難しかったであろうと感じている。

本報では、上記の声が集まった当科の実習の一つを取り上げ、これに現状の課題及び今後の展望を踏まえた考察を加えて、初学者が構造分野に興味関心を示した教育訓練の事例について報告する。

II 実習概要

本事例は、基礎工学実験（4単位）の2単位分を集中実習で実施したものである。

実習では、班単位（4班制）でトラス模型を1体製作し、載荷試験により各部材に生じる応力の種類を確認する。試験前には部材に生じる応力を計算で求めておき、試験結果との比較を行う。これらを通じて構造力学で学ぶ計算に関する理解を深めること、載荷試験に必要な各種機器の扱い方に慣れさせることを主なねらいとする。

III 課題提示

図1は株式会社トーセン（栃木県矢板市山田67番地）の敷地内にある木造トラス構造による製材場である。木材を製材するための機器を配備する関係上、建屋内を無柱空間にしなければならないことから、木造トラス構造が採用されている。トラスは小断面かつ少ない部材数で大スパン空間を形成できる利点があるが、実例の提示は初学者に限らず説得力を有する教材となり得る。授業では、これを力学モデル（図2）で表し、部材に軸力のみが作用するように荷重条件を与え、応力計算の手順から説明する。ここでいう軸力とは引張力と圧縮力を指すが、引張力を+（プラス）、圧縮力を-（マイナス）で扱うように説明することで、後に出てくるひずみゲージの取り扱いと関連付けている。

以上の手順を踏んだ後、学生には次のように課題を提示する。

- ① トラスの部材に生じる応力の種類（引張、圧縮）を明らかにすること。
- ② 応力計算したトラスの模型を製作すること。
- ③ 製作した模型を用いて載荷試験を行い、①の結果と比較すること。



図1 木造トラス構造による建屋

IV 事前計算（トラスの応力計算）

実習では、図1の実例を力学モデル（図2）に置換し、部材A、B、Cに生じる応力の種類（引張、圧縮）と大きさを明らかにするための計算方法を説明する。

トラスの応力計算は節点法、切断法、図式解法（クレモナ法）の3つが知られているが、ここでは節点法を用いて説明し、三角関数の理解を確認しながら取り組む。模型自体の自重は無視するものとし、部材に軸力のみが作用するようにh点に集中荷重を作用させる。表1はトラス部材に作用する応力を整理したものである。なお、本モデルは左右対称であることから左半分のみを計算表示とする。

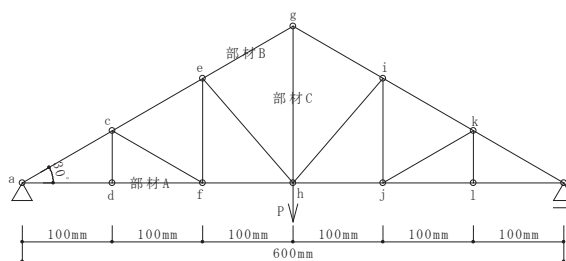


図2 トラスの力学モデル

表1 部材に作用する応力の一覧

部材名	応力	
	値	種類
ac	-P	圧縮
ad	$+\sqrt{3}P/2$	引張
df (A)	$+\sqrt{3}P/2$	引張
cd	0	
cf	0	
ce	-P	圧縮
ef	0	
fh	$+\sqrt{3}P/2$	引張
eg (B)	-P	圧縮
eh	0	
gh (C)	+P	引張

V トラスの模型製作

1 トラスの形状決定

トラスの形状は構造力学で使用する教科書^④から選定し、班毎に割り振る（図3～図6）。

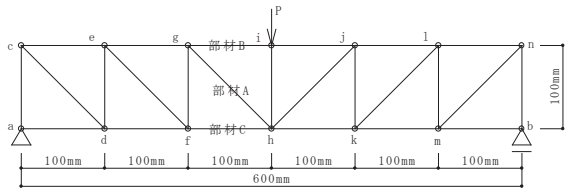


図3 平行弦トラス(1班)

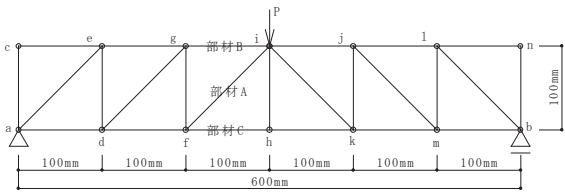


図4 平行弦トラス(2班)

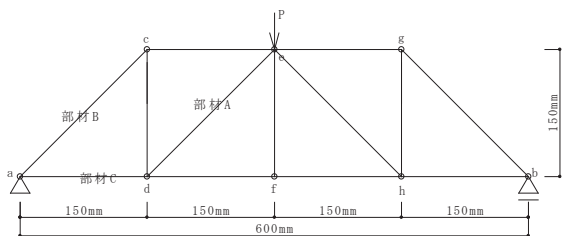


図5 台形トラス(3班)

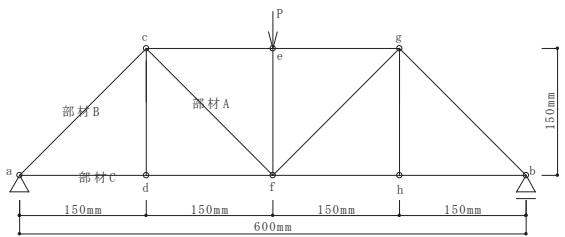


図6 台形トラス(4班)

2 使用材料と工具

模型製作に使用する材料、工具類を表2に示す。

表2 模型製作に使用する材料と工具

No.	品名	用途
①	スチレンボード厚 3 mm	トラス部材
②	スチレンボード厚 5 mm	トラス部材
③	ケント紙	接合部の補強
④	発泡素材用接着剤	部材の接着
⑤	定規	部材加工
⑥	カッター	①、②の切断
⑦	カッター用マット	作業台の保護
⑧	ドラフティングテープ	接着時の固定

3 製作条件

与条件は次の4つとする。

- ① トラスの計画図(図3~図6)を基に班で一体を製作すること。
- ② 部材は全て幅 30 mm×成 10 mm の矩形断面とすること(図7)。
- ③ 接着は発泡素材用接着剤を使用すること。
- ④ 製作した模型は自立すること。

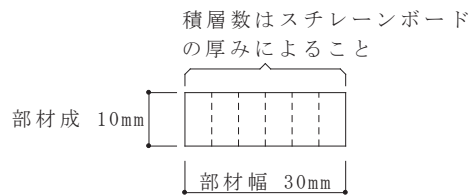


図7 部材断面の製作例

4 製作方法

トラスは部材同士が角度をもって取りつくため、組立時に精度が得られにくい。本事例では、図3~6に示すトラスに部材成を入れた原寸図を作成し、図面上に部材を置いて模型を製作する。

VI 载荷試験

1 使用機器と構成

载荷試験は表3の機器を組み合わせて実施する。図8に機器の構成を示す。

表3 载荷試験で使用する機器一覧

No	機器名	備考欄
1	自動载荷装置	株式会社マルイ ミハエリス曲げ試験機
2	鉛玉	φ 2mm
3	データロガー	株式会社東京測器研究所 TDS-540
4	ロードセル	株式会社東京測器研究所 TCLZ-500NA
5	変位計	株式会社東京測器研究所 CDP-100
6	ひずみゲージ	株式会社東京測器研究所 FLAB-3-11-5LJCT-F
7	パソコン	荷重値と変位の計測記録
8	静的計測ソフトウェア	株式会社東京測器研究所 TDS-7130 Visual Log
9	はかり	AND HV-60KGL

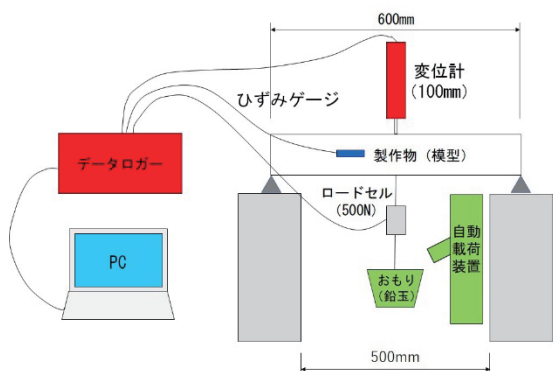


図8 載荷試験に用いる機器の構成

2 試験方法

トラス模型の支点間距離は 600 mm とし、中央部にロードセルと容器を設置する。この容器に自動載荷装置 (図9) を用いて一定の速度 (50±10 N/s) でφ2mm の鉛玉を投入し、これを荷重値としてロードセルで計測する。自動載荷装置は、底部にストップレバーがあり、容器がこれに触れると載荷が自動的に止まる仕組みである。

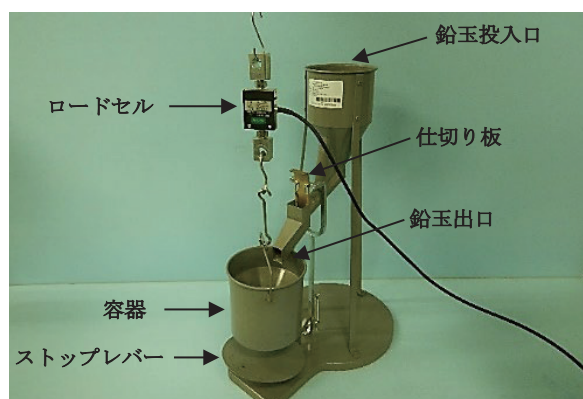


図9 ミハエリス曲げ試験機に付属する自動載荷装置

変位は模型上部に設置する変位計で計測する。荷重と変位の関係 (以下、荷重変位曲線という) をパソコン上で表せば、載荷試験をしながら模型の状態変化を確認することができる。

その他、部材 A、B、C の中央部にはひずみゲージを貼り付ける。貼り付ける面は部材成とする。ひずみゲージは引張が作用した場合は+ (プラス)、圧縮が作用した場合は- (マイナス) を計測表示することができるため、この特性を用いて計算結果を手元に置きながら載荷試験による実現象を確認することができる。

3 試験結果

本事例では、4 班分の模型を載荷試験した。図 10 に荷重変位曲線を示す。

荷重と変位に囲まれた面積の大きさより、2 班の平行弦トラス (図4) が最も粘り強いことが分かる。次に3 班の台形トラス (図5) が続く。トラスの形状は違うが、いずれも斜材部がハの字の形状であることが分かる。1 班の平行弦トラス (図3) と4 班の台形トラス (図6) はいずれも斜材部が逆ハの字の形状で、2 班と3 班に比べると強度が半分にも満たない結果となった。斜材部が逆ハの字の部材には引張力が作用するため、接合部の強度が重要になってくるが、本事例では載荷中に接合部が破損する様子が確認されており、これが要因の一つとして考えられる。

表4は、事前計算と試験結果を比較したものであるが、いずれの班も応力の種類が合致する結果となった。

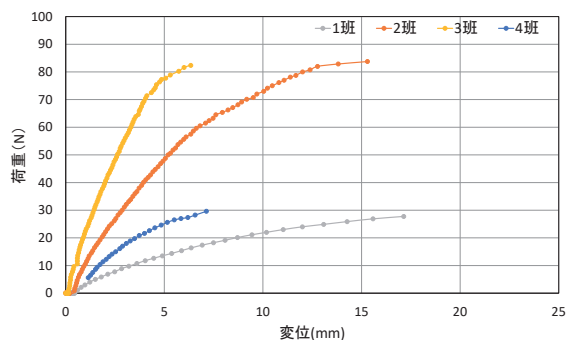


図10 荷重変位曲線

表4 事前計算と試験結果

班区分	最大荷重 (N)	応力の種類 (上段：計算／下段：試験)		
		部材 A	部材 B	部材 C
1 班	34.3	引張	圧縮	引張
		引張	圧縮	引張
2 班	83.7	圧縮	圧縮	引張
		圧縮	圧縮	引張
3 班	82.3	圧縮	圧縮	引張
		圧縮	圧縮	引張
4 班	29.6	引張	圧縮	引張
		引張	圧縮	引張

VII 考察

これまで当科の実施事例を紹介してきたが、教育訓練効果の観点から次の項目について現状の課題や今後の展望を踏まえて考察する。

1 実施方法について

本事例ではIV章で記したとおりトラスの応力計算を扱っており、実習内で講義を実施しているが、履修科目とのつながりに重きを置く場合は、実施時期の調整が重要となるだろう。しかしながら既存のカリキュラム体系を調整することは容易ではないと察する。

そこで、選択科目による実施の可能性にも注目しておきたい。ここでは選択科目を「教育訓練効果の観点から必要に応じて設定できる科目」と定義しておくが、関連科目を一通り履修させた後に、選択科目で本事例のような実習を用意しておくことで、他施設での展開も期待できると考える。

2 使用材料について

模型に使用する材料は、建築模型等で使われているスチレンボードを採用している。スチレンボードの接着には専用ノリを用いるが、この扱いには注意が必要である。面同士の接着は比較的時間を要さないが、部材の継ぎ足しや、角度を持って接合させる場合にはある程度の時間を要する。また、使用量も接着時間に影響を及ぼすようである。したがって、模型形状によっては接着が不十分な場合も発生するため、使用材料の特性を十分に理解しておく必要がある。多めに使用すれば接着強度が得られるという考えだけで製作していると、乾燥時間を読み誤り、載荷試験時に接合部から壊れてしまう事態になりかねない。これはこれで接合部の先行破壊の不具合を知る機会になるが、本来の目的ではない点から考えると具合が悪い。

他方で、十分に接着した模型で載荷試験をすれば圧縮が作用する部材は弓なりにたわむ。図 11 は 3 班の載荷試験後の状態であるが、事前計算の結果のとおり部材 A に圧縮が作用し、座屈現象を確認することができた事例である。

式(1)は構造力学で学ぶオイラーの座屈式であるが、部材が長いほど座屈しやすいことを意味する。その他、材料固有の係数も含まれているため、この式を用いて座屈を説明したい場合は、別途手順を踏むようにした方が良好だろう。スチレンボードを用いた載荷試験は、現象の可視化がしやすいため、前提知識を要さず学習できる

点で、初学者には有効な教材だと考える。しかしながら、接着時間の確保には工夫を要する点に注意したい。

$$N_k = \frac{\pi^2 EI}{\ell_k^2} \quad \dots (1)$$

N_k : 座屈荷重(N)

E : 弾性係数(N/mm²)

I : 断面二次モーメント(mm⁴)

ℓ_k : 座屈長さ(mm)

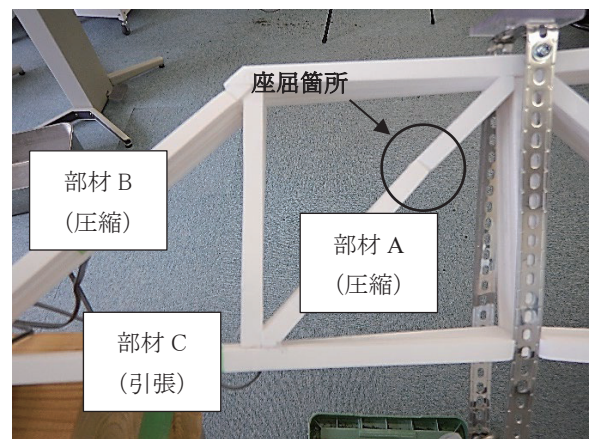


図 11 圧縮による座屈事例(台形トラス(3 班))

3 試験方法について

載荷試験中に荷重変位曲線(図 10)を表示するためには、模型と容器の間にロードセルを設置する必要がある。ここで使用している機器の自重は 1231.9 g (12.1 N) あるため、設置するだけで模型に載荷することになる。模型の接着が不十分な場合はこの時点で変形が進行することもあり得るだろう。本事例の場合は、模型上部に変位計も設置するため、この影響も見逃せない。手作りの試験装置故に不便な部分を有するが、試験準備は模型に加力していることを実感する瞬間でもある。模型にロードセルと容器を吊るすことは自らの手で集中荷重を作用させる瞬間であり、つり合い状態が成立する場面を目の当たりにする瞬間でもある。模型を無事に試験装置に設置しただけで起きる歓声は少々大袈裟にも感じるが、力のつり合いに対する理解の表れなら嬉しい限りである。

載荷終了後は、容器に溜まった鉛玉の重量を計測してみるのも良いだろう。計測時の単位はグラムのため、ニュートンに換算させ、パソコン上に表示されている最大荷重値と比較すれば、単位換算の確認ができる。こういう何気ない作業の中に座学で得た知識を散りばめてお

くことも、実学融合を感じる一歩として有効だろう。

4 試験結果について

載荷試験では、荷重値、変位、ひずみの結果を得るが、これを次のように取り扱うことができる。

- ① 荷重値、変位 → 荷重変位曲線 (図 10)
- ② ひずみ → 部材に作用する応力の種類 (引張、圧縮) の判別

①は、荷重と変位による仕事量 (=力×移動距離) を扱うことができる。構造設計では粘り強さの指標として扱うが、グラフの面積と関連付けるだけで専門科目とのつながりを示せる。面積の算定に積分を関連付ければ数学への展開も簡単である。②は計測値に表れる符号から応力の種類を確認し、事前計算で得た応力の種類と比較することができる。比較した内容が合致している場合は力学をより身近に感じることだろう。本事例に示す結果が冒頭に挙げた声に繋がっていることは疑う余地もない。このうち、学生が最も関心を示すのが①に含む最大荷重値であると捉えている。これを評価する判定式はいくつか考案されているが、以下にその一例を挙げる。

$$\text{判定式}^4) = 0.2 \times \text{AE} + 0.2 \times \text{SS} + 0.6 \times \text{LW} \quad \dots (2)$$

AE: 美的評価 (最もデザイン性が優れているものを参加者による投票数で評価する。AE = 得票数 / 最大得票数)

SS: 構造上の評価 (構造上の印象や概念に対して参加者による投票数で評価する。SS = 得票数 / 最大得票数)

LW: 耐荷力の重量効率 A の評価 (A 値 / 最大 A 値)

$$\text{重量効率 A} = \text{耐荷力} / \text{重量}^{1.5}$$

なお、載荷試験前には、班毎に製作模型に対して次の内容を発表させ、これを元に AE と SS を評価すると良い。

- ・ 模型形状を選んだ理由
- ・ 破壊する部分
- ・ 製作模型のアピール

当科でも式 (2) を用いて実施したが、学生からは大変好評であった。他方で、担当教員の立場から見れば、判定式にある SS について、根拠の提示がない、あるいはできない班が多いと感じる機会でもあった。その中であって、教科書にある基本的なトラスを製作し、自分達

で応力計算したものを根拠に SS を説明した班があった。載荷試験では説明通りの壊れ方となり、式 (2) による評価でも 1 位を得た。本事例がこの一件を参考にしたものであることを最後に申し添えておく。

余談ではあるが、重量効率 A について学年別対抗戦を実施した場合には、どのような結果が待ち受けているのだろうか。実習の枠を超えた取り組みが期待される。

VIII おわりに

図 1 の木造トラスは、2019 年度に学生を連れて株式会社トーセンを見学させていただいた際に撮影したものである。木造トラスの図面と実物を前に、構造設計の担当者から大スパン構造物の実現に向けた説明を聞いて、学生はようやくその凄さに気付いたと感想で述べている。この後に実施したトラスの載荷試験で見せた学生達のやる気は、冒頭に記した声から察していただければ幸いである。

昨今、法律改正、技術の進歩、環境問題等の背景から中大規模木造建築物が推奨されてきている。これに伴い、大スパンを実現するトラス構造への理解はこれから益々求められてくることだろう。構造分野への関心を持つきっかけは様々だと思うが、本事例もその一つとして貢献できれば幸いである。

IX 謝辞

株式会社トーセンの見学では、東泉社長をはじめ社員の方々から懇切丁寧な説明をいただきました。この場を借りて厚くお礼申し上げます。

【参考文献】

- (1) 少年写真新聞社発行、理科教育ニュース、2008 年 No.729。
- (2) 技報堂出版株式会社発行、社団法人鋼材倶楽部鋼構造教材作成小委員会、紙模型でわかる鋼構造の基礎、2006 年、pp.30-32。
- (3) 土方勝一郎、隅澤文俊、山健二、岸田慎司、小澤雄樹、よくわかる建築構造力学 I、森北出版株式会社、2020 年、pp.111-127。
- (4) 松田浩、崎山毅ほか、構造設計製図でのブリッジコンテストの試み、長崎大学工学部研究報告、第 27 巻第 49 号、1997 年、pp.253-259。

溶接されたボルトのスパッタ自動判別装置の開発

関東職業能力開発大学校 菅野 金一

関東職業能力開発大学校 矢野 牧人

関東職業能力開発大学校 中村 聡

関東職業能力開発大学校 神足 昭男

清国産業株式会社 大鷲 浩司

Development of a device that automatically discriminates spatter on welded bolts

KANNO Kinichi, YANO Makihito, NAKAMURA Satoru,

KOUTARI Akio, OWASHI Kouji

要約 本内容は、企業依頼により当校において開発課題実習のテーマとして取組んだ、その成果に対する実践報告である。近年、自動車のEV化および軽量化のため高張力鋼材が多用されているが、その加工性は従来鋼材より低い。特に溶接性は製品へのスパッタ付着量の増加などの溶接欠陥により低下する。本装置は、高張力鋼板にM8ボルトが2カ所抵抗溶接された接合部のスパッタ付着の自動検査装置である。現行、検査は人手により1個のワークにつき検査時間30秒で処理している。夜間の人員確保や、コスト高が問題となり、自動でスパッタの有無を検査する装置が必要とされた。装置の主な仕様は以下である。(1)ワークの投入と取り出しは手動で行う。(2)画像処理部で大きなスパッタの有無を判定する。(3)検査用ナット着脱検査で、ボルトへ強固に付着したスパッタおよびボルト底部へ付着した0.5mm以上の大きさのスパッタの有無を検査する。(4)良品と不良品をピッキング装置により仕分ける。本報告で製作された装置はほとんどの要求仕様を満たした。しかしながら、実用機として使用するために以下の課題が明らかとなった。(1)「やけ」のあるスパッタは画像処理で判定できるが、「やけ」のないスパッタは誤判定となった。(2)ナット締め機構のコラム部が片持構造であるため、時間の経過とともにナットとボルト間に位置ずれが生じた。(3)ナット締め機構の位置調整に調整者の技量による必要時間のばらつきが生じた。

I はじめに

1 背景

環境問題の中で地球温暖化対策が最重要課題となっている。特にCO₂削減が大きな課題である。欧州連合(EU)全体では温暖化ガスの排出量を55%削減することが目標とされ、自動車分野では、欧州委員会(EC)が自動車の走行中に関する二酸化炭素(CO₂)排出量規制の強化にのりだした。電気自動車(EV)の普及を押し進めるため35年までにCO₂を100%削減し、事実上、エンジン車の販売を禁止する方針であるとみられる。自動車メーカーはEV化の加速が更に迫られている。

また、自動車は地球環境に配慮し、軽量化も推し進められており、マルチマテリアル化が進展する見通しである。自動車構造材は、これまで鉄鋼材料が主体であった。しかし、軽量化により非鉄金属であるアルミニウム合金やマグネシウム合金、チタン合金が多用されることとなり、非金属としては、CFRP(炭素繊維強化プラスチック)などの複合材も軽量化素材として採用されている。

鉄鋼材料では従来使用していた冷間圧延鋼板(SPC材)から高張力鋼板(ハイテン材)が多用され始めている。その加工性は一般に従来の鋼材より低くなる。接合加工においても同様で自動車業界で多用される抵

抗溶接の溶接性も低下し、溶接欠陥が発生し大きな問題となっている。

スパッタの対策として、抵抗溶接の電流、通電時間、加圧力などの溶接条件の検討や治工具の改善が図られている。しかし、不良発生ゼロにはならないのが現状であり、その検査装置の開発が望まれている。

2 依頼内容

今回、取りあげられた自動車部品（ワーク）は、高張力鋼板に M8 ボルトが抵抗溶接された 2 種類である。現在、ワークの検査工程については、人手により全数確認を昼夜で行っており、夜間の人員確保が難しくコスト高になることが問題となっている。また、当ワークは今後増産が見込まれている。ワークと検査用治具を図 1 に、作業風景を図 2 に示す。

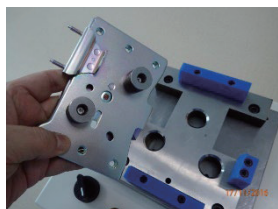


図 1 ワークと検査用治具

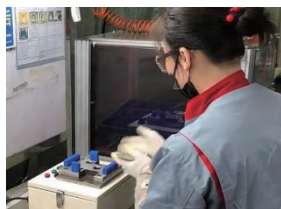
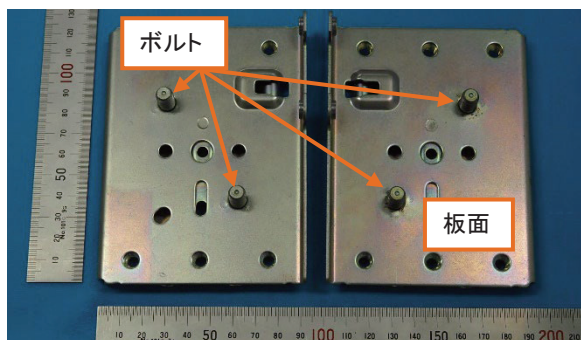


図 2 作業風景

ワーク検査の目的は付着したスパッタの確認である。その工程では、人手により検査用ナットを手締めした後、検査用治具に押し当て、2 カ所のナットと板面の合計 3 カ所のリミットスイッチが押された場合、良品とし、それ以外を不良品と判定している。1 個のワークにつき検査時間は 30 秒で処理している。ワークは図 3 に示される 2 種類である。



(a) ワーク A (b) ワーク B

図 3 ワーク 2 種

また、図 4 にスパッタの画像を示す。

以上の様に、本報告の依頼内容と目的は 2 種類のワークのボルトおよびその接合部周辺に付着したスパッタ検査の自動化とその装置の開発である。



図 4 スパッタ

II 全体概要および仕様

1 全体概要

製作した装置の全体構成を図 5 に示す。製作する装置の主な機能は画像処理機能、ナット締め検査機能および仕分け機能である。ワークの装置への投入および検査後の取り出しについては手動で行う。投入されたワークは、画像処理部で大きなスパッタの有無を判定される。ここで、スパッタが検出された場合には以降の検査工程を省略することも可能な装置とした。

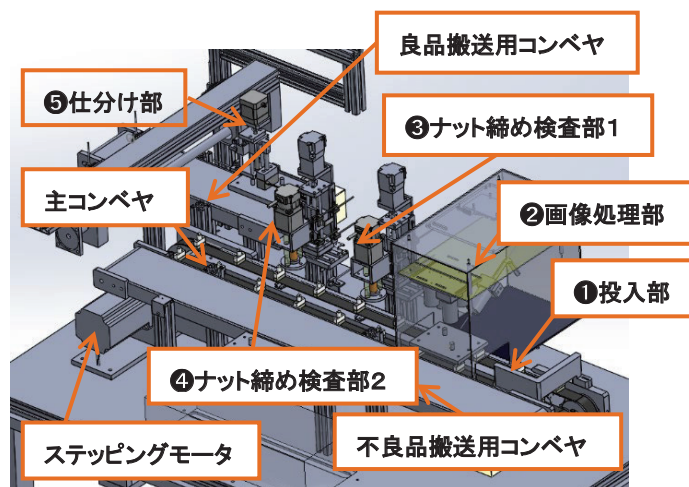


図 5 装置の全体構成

次工程はナット締め検査部(図 5 の③および④)で、自動で検査用ナットを M8 ボルトへ挿入および取出しを行い、ボルトへ強固に付着したスパッタおよびボルト底部へ付着した 0.5 mm 以上の大きさのスパッタの有無を検査する。最終工程は仕分け部(図 5 の⑤)となり、良品と不良品をピッキング装置により選別し良品用と不良品用のコンベヤへ搬送する。1 個のワークについては検査時間を 15 秒以内とした。以上の①投入部から⑤仕分け部までのワーク搬送は主コンベヤ⁽¹⁾(ステッピングモータ駆動)で行う。

2 装置仕様

装置の主な仕様を表1に示す。タクトタイムについては15秒/個に設定した。理由を以下に示す。依頼企業では現在人手により昼夜含めて2000個のワークを検査している。しかし、夜間に人が集まらず、昼(8時間)のみで同数を処理できる装置が必要との要望があったためである。装置サイズは設置する場所の周辺装置との兼ね合いより決定した。

表1 開発仕様

項目	開発仕様
装置サイズ	W1500 mm×D900 mm×H1200 mm
ワークの種類	指定のワーク2種が検査可能
画像処理	全ワークの画像(エビデンス)保存
	1 mmを超えるスパッタの検出
ナット締め検査	0.5 mm以上のスパッタを判別
	締め付けトルク 0.1~0.3 N・m
タクトタイム	15秒/個
成功率	100%

検査用ナットのボルトへの締め付けトルクの設定は、当初依頼企業より0.49~1.47 N・mであった。この値は製品としてM8ボルトにナットを締結する場合の値であり、検査のため一時的にナットを締結する場合とは異なる。予備実験を行った結果、0.1~0.3 N・mで十分であることが検証された。全ワークのエビデンス保存が必要なことから撮影したワークの画像は1カ月間全て保存する仕様とした。

また、スパッタ検出に関する企業の要求仕様は、ナット締め検査により、ボルトへ強固に付着したスパッタおよびボルト底部へ付着した0.5 mm以上のスパッタの有無を検出することである。それに対して開発仕様では、画像処理によるスパッタ検出の可能性を探る目的で、1 mmを超えるスパッタ検出を画像処理の仕

様として追加した。将来的にスパッタ検出の方法として画像処理が企業から認められた際には、ナット締め検査の前工程で1 mmを超える大きなスパッタを画像処理で検出し、ナット締め検査の工程を省いて不良品と判定することも可能な装置とした。

ワークの投入および排出は人手で行い装置内でのワークは自動搬送し、2種類のワーク(図3)に対応した検査装置の仕様とした。

III 画像処理機能

1 概要

画像処理部は、画像処理によるスパッタ有無の検査機能および検査対象である全てのワークの撮影・保存機能を有する。検査対象となるワークは、図3に示すようにボルト2本が対称的に配置された2種である。そこで、画像処理を使った検査のため、ワークの種類ごとに2台1組、合計4台のカメラをボルトの真上に配置し、ボルトの画像を撮影する。

画像処理部の構成を図6に示す。シングルボードコンピュータ(Raspberry Pi 3 B+)をメインコントローラとし、画像処理用FPGAボード(PINQ Z2)および周辺装置で構成する。シングルボードコンピュータの専用カメラ接続用ポートが1個のみであるため、専用の拡張ボードを使用し、4台のカメラを切替えて接続する。ワーク記録用撮影には、USB接続のカメラを使用する。また、画像や検査データの保存のため、USBメモリを接続する。さらに、オンラインストレージサービスにも短期間保存し、外部からデータの閲覧やダウンロードが可能である。

検査装置本体の制御に使用するPLCとの通信は専用のデータリンク機能⁽²⁾を使用する。ワークの種類、画像処理による合否データや検査用ナットによる合否データの受け渡しを行う。

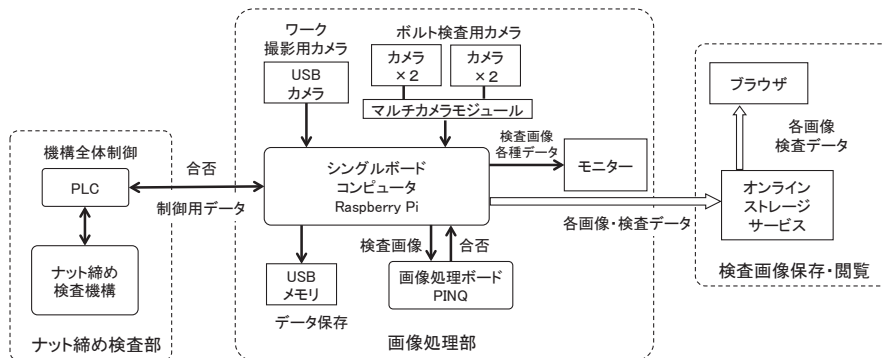


図6 画像処理部構成図

2 画像撮影

検査用カメラとして、シングルボードコンピュータ用インタフェースをもつ Arducam 8MP Sony IMX219 カメラモジュールを 4 台使用した。レンズは、焦点距離 25 mm である。シングルボードコンピュータとの接続には、専用のマルチカメラモジュールを使用した。

ワーク全体の撮影用カメラには、シングルボードコンピュータの USB ポートに接続可能な産業用カメラ DFK22BUC03 (The Imaging Source 社製) を使用した。ワークの対面に鏡を設置し、図 7 に示すようにワークのボルト周辺を 1 枚の画像に収めることができるようにした。

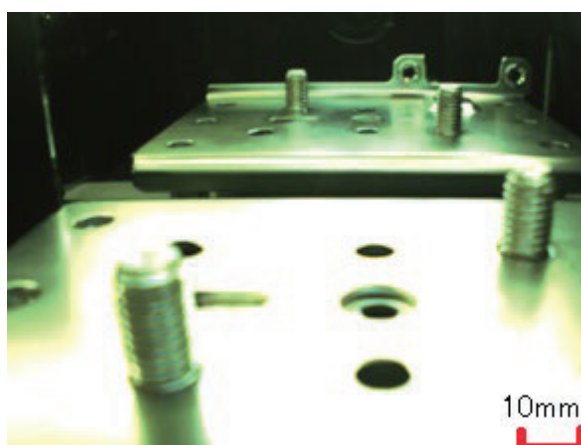


図 7 ワーク画像

暗箱内の照明は、バー型 LED を四方に配置し、ワーク全体に光が当たるようにした。また、乱反射を低減するために内面に黒色のラシヤ紙を貼り付けた。

3 画像処理による合否判定方法

スパッタが発生した際に、スパッタ近傍で「やけ」と呼ばれる黒い変色が生じる (図 4)。そこで、画像処理によりボルト周辺の黒い「やけ」を検出することでスパッタの有無を判定する方法を採用した。

ボルト周辺に黒いインクを付け、模擬的に「やけ」を発生させたワークの撮影画像を図 8 に示す。画像の中からボルト周辺の黒色を検出することで、図 9 のように「やけ」の部分を検出することができた。1 本のボルトでの検査時間は約 3 秒であり、要求されるタクトタイム以内で検査可能である。また、30 個の検査を行い、すべて正しく合否を判定できた。しかし、この方法では、「やけ」の無いスパッタは誤判定となる課題を残した。

本方法の他に、良品画像と検査品画像の差分をとる

ことでスパッタを検出する方法を検討した。この方法では、ワークの位置ずれの補正、光の反射やスパッタ以外の傷の影響を取り除くための処理が必要である。ボルト 1 本あたりの総処理時間が約 8 秒となり、本装置の画像処理ボードの処理能力では要求されるタクトタイム内に画像処理を完了することができない。また、機械学習による判定方法も検討したが、処理時間が約 40 秒、検出精度が約 70%であった。そのため、これらの方法は本装置には不適切と判断した。

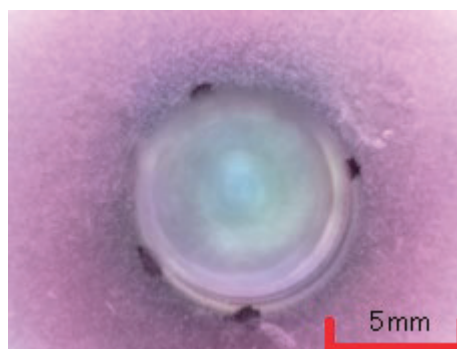


図 8 模擬的なやけ

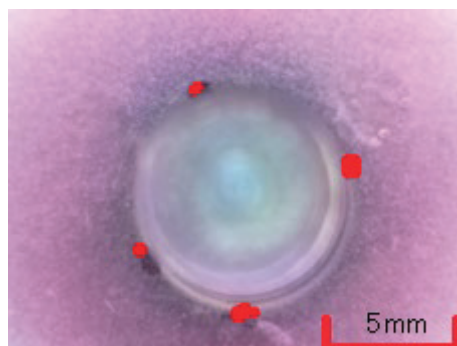


図 9 やけの検出結果

4 操作画面

検査プログラム起動画面を図 10 に示す。図 3 に示



図 10 検査プログラム起動画面

すように検査対象となるワークは2種類である。動作するワークAとワークBは混在することはない。ナット締め検査部と画像処理検査部は、検査開始時の設定に合わせて動作する。

図11に検査中のモニター画面表示例を示す。操作ボタンを左端と上端に配置する。ワークの撮影画像を中心に表示し、右側上下に2本のボルトの画像検査結果を表示する。また、検査総数、良品および不良品数を表示する。さらに、画面の切替えにより、検査履歴として過去1カ月間の良品、不良品数などをグラフ表示できる。

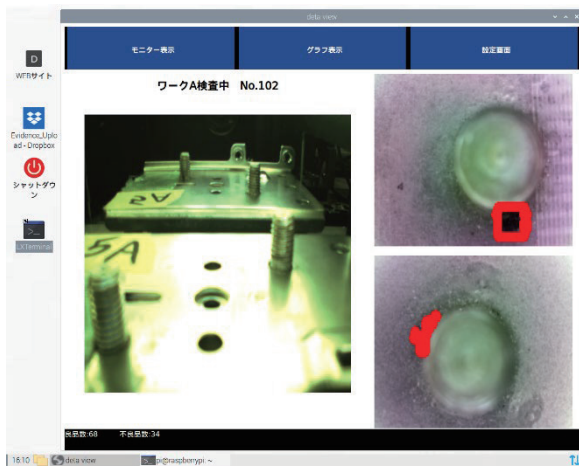


図11 モニター画面

5 ワーク画像保存

適切に検査を行ったエビデンスとしてすべてのワークの画像を以下のように保存する。

- ① ワークのボルト周りをすべて撮影する。
- ② ローカルストレージへ1カ月間分の画像を保存する。
- ③ ネットワークストレージへの画像の保存とダウンロードができる。

ローカルストレージとして、容量256GBのUSBメモリに1カ月間分の画像を保存する。1カ月が過ぎたデータは消去し、新しいデータを上書きする。また、ネットワークストレージサービスとしてDropboxを使用した。Dropboxの画像保存期間は3日間である。Dropboxからの画像ダウンロードのためにビジネスチャットツールSlackの機能を利用し、自動的にダウンロードする。

IV ナット締め検査機能

1 概要

ナット締め検査部では、2カ所のM8ボルトに検査用ナットを自動で締めることにより、ワークの良否を判定する。開発した装置では、新たな検査法を探る目的で画像処理によるスパッタの検出を試みているが、現状ではナット締めによる全数検査が依頼企業からの要求仕様とされている検査方法のため、本機能が必要となる。

仕様のタクトタイム15秒/個を達成するため、ナット締め検査部はボルト1本ごとに2つの工程に分けた(図5)。図12はボルト1本分のナット締め検査部である。図3に示したように、ワークAとワークBはボルトの位置が異なるが、依頼企業の検査方法では2種類のワークは混在しない。そこで、ワークの切り替え時に、ナット締め検査部全体を図12のリニアガイドに沿って移動した後、専用治具で固定することにより、2種類のワークに対応した。専用治具は検査用ナットとワークのボルト位置が合うように設計・製作した。

2 機構

検査用ナットはワークのボルトを傷つけないよう真鍮製とし、ナット回転用にブラシレスDCモータ(BLDCモータ)、ナット送り用にACサーボモータをそれぞれ用いた。これらのモータはPLCで制御している。

予備実験の結果、ナット回転用モータの軸と検査用ナットを剛体で接続した場合、ナットとボルト間のわ

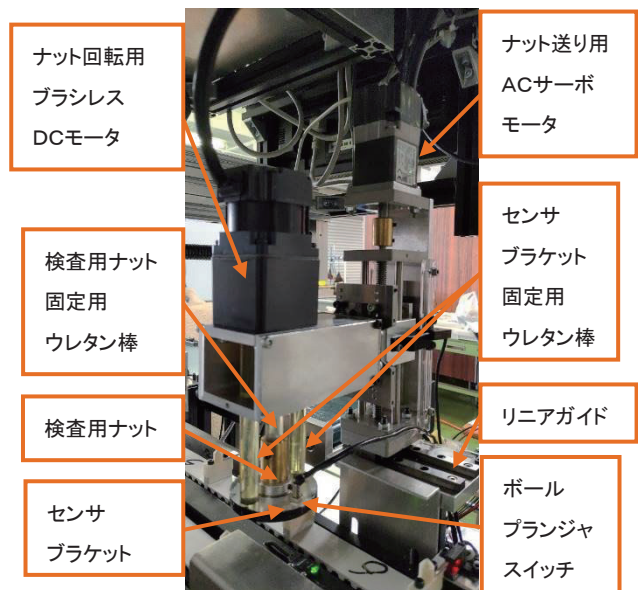


図12 ナット締め検査部

ずかな位置ずれや傾きによりナットが正常に締まらないことがわかった。そこで、ナット回転用モータ軸と検査用ナットの接続部にウレタン材を利用したところ、ウレタン棒の柔軟な変形により、上記の位置ずれや傾きがあってもナットを着脱できる機構となった。

しかし、図 13 にみられるようにナット締め機構を支えるコラム部が片持構造のため、ナット締め検査を繰り返すと時間の経過とともにナット回転用モータの自重によりリニアガイドが傾く。その結果、検査用ナットとボルト間の位置ずれが大きくなり、ナットが正常に締まらなくなった。それを修正するためのリニアガイドの微妙な位置調整やウレタン棒の角度調整などはカン・コツで行っており、調整者はその技量を習得する必要がある。それ故、調整者によりメンテナンスの時間にバラツキが生じる問題を残した。

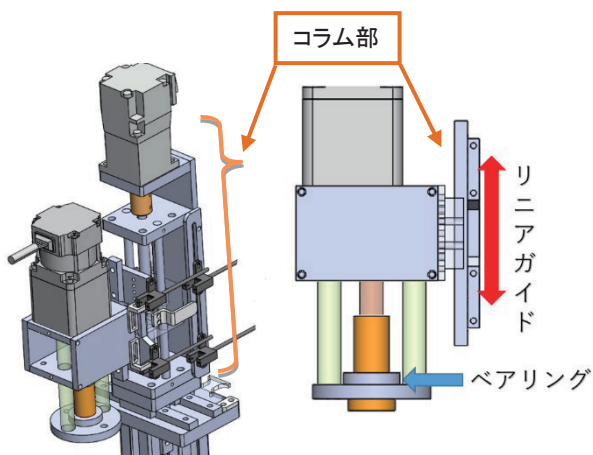


図 13 ナット締め機構 コラム部

図 14 のボールプランジャスイッチは、検査用ナットの底面とワーク板面の隙間 0.5 mm をしきい値として ON/OFF するように位置を調整した。

検査用ナットは回転可能な構造とするため、検査用ナットとセンサブラケットの間に軸受を設けた。一方、ボールプランジャスイッチは、回転しないが検査用ナットとともにボルトの位置に応じて柔軟に曲がる構造

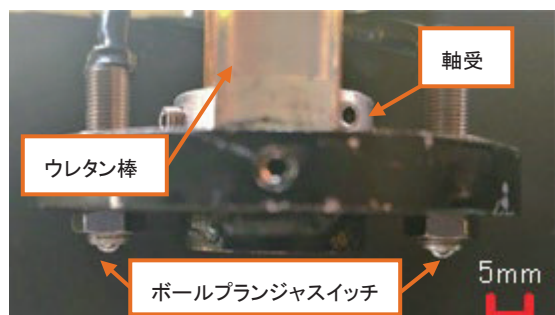


図 14 ボールプランジャスイッチ

とするため、センサブラケットを上部からウレタン棒で吊り下げた (図 12、図 14)。

3 検査手順

ナット締め検査のフローを図 15 に示す。ナット締め動作では、ナット 1 回転ごとに M8 ボルトのリード分だけナットを送る必要がある。開発した装置では、ナット送り用モータのパルス出力からナット回転用モータの回転数を算出している。

ナット回転用の BLDC モータとナット送り用の AC サーボモータはそれぞれトルク制限値を設定している。2 つのモータともにトルク制限値に達していない場合は、ナット締め動作を継続する。少なくともどちらか一方のモータがトルク制限値に達した場合は、下記のいずれかが考えられるため、ナット締め動作を停止し良否判定に移行する。

- ① 正常にナット締めが完了
- ② ナット締めの途中でスパッタ等の異物に接触または他の原因により正常にナットが締まらない。

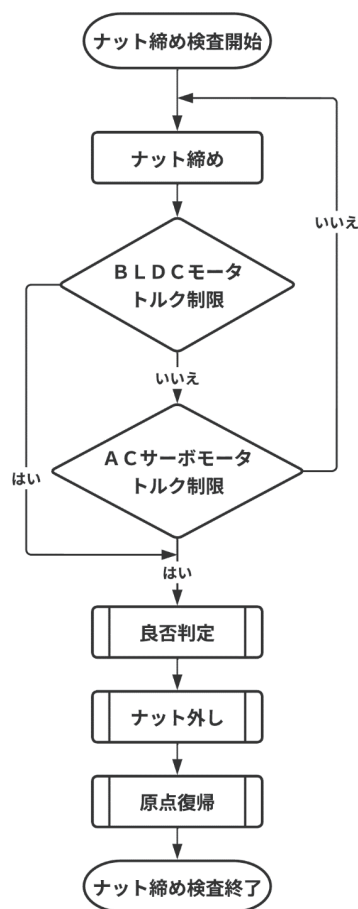


図 15 ナット締め検査のフロー

良否判定では、2つのボールプランジャスイッチがともにONの場合に良品と判定する。1つだけONの場合は、スパッタによりナットが傾いて停止した可能性があるため不良品と判定する。2つともOFFの場合は、上記②に該当するため不良品と判定する。良否判定後は、ナットを外し原点に復帰する。

V 仕分け機能

ナット締め検査部で検査されたワークを判定結果により仕分けるため、メインベルトコンベヤからワークを電磁石でピックアップし、良品と不良品のいずれかのコンベヤにプレースし選別する機能である。

仕分け機能は、ピックアップ部と選別部で構成されそれぞれについて詳細を説明する。

1 ピッキング部

ピックアップ部を図16に示す。メインベルトコンベヤ上のワークは電磁石で吸着され、ステッピングモータにより所定位置までリフトアップされる。

次に、リバーシブルモータ駆動で軸移動を行い、单相誘導モータで駆動する良品または不良品のベルトコンベヤ上までワークを移動する。この時、スムーズに軸移動させるためリニアガイドで支持する構造とした。その後、再びステッピングモータにより良品または不良品用のベルトコンベヤ上の所定の高さまでリフトダウンし、最終的に電磁石から脱着しワークをベルトコンベヤ上に置く。

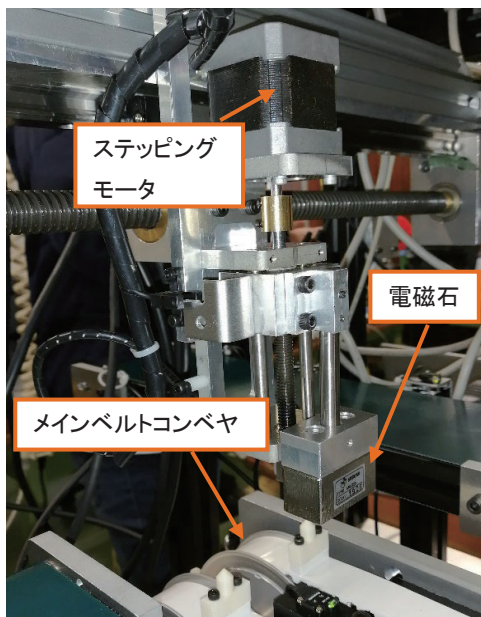


図16 ピッキング部

2 選別部

良品用および不良品用のベルトコンベヤを図17に示す。ワークはカウントされており、良品は3個、不良品は6個ベルトコンベヤ上に溜まった場合、装置の全動作は停止する。ワークのベルトコンベヤ上からの逸脱やワークの交差によるワークの傷等を防ぐためである。

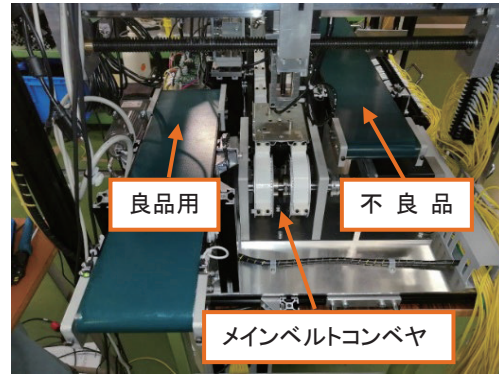


図17 良品・不良品用ベルトコンベヤ

VI 性能評価

製作した装置の開発仕様とその性能評価を表2に示す。表中の評価に示すように、装置サイズや2種類ワークへの対応など概ね仕様を満たした。

特に、依頼企業より要望の強かったボルトとワーク板面に付着した0.5mm以上のスパッタの検出とタクトタイム15秒以内を14.3秒に収めることで装置仕様を満たすことができた。

画像処理については、全ワークのエビデンス保存が可能となった。しかし、学生自ら課題設定した1mm以上のスパッタ検出については、スパッタを黒色の「やけ」として画像処理するため、「やけ」のないスパッタ検出については不可能であり今後の課題となった。

表2 性能評価

項目	開発仕様	評価
装置サイズ	W1500 mm×D900 mm×H1200 mm	○
ワークの種類	指定のワーク2種が検査可能	○
画像処理	全ワークの画像(エビデンス)保存	○
	1mmを超えるスパッタの検出	△
ナット締め検査	0.5mm以上のスパッタを判別	○
	締め付けトルク 0.1~0.3 N・m	○
タクトタイム	15秒/個	14.3
成功率	100%	98%

成功率は98%であった。その検査方法では、企業が1日に行っている検査数と同様にワーク A 1000 個、ワーク B 1000 個の計 2000 個の検査を行った。以下の3条件が満たされた時に成功と判定した。

- ① ナット締め検査が正常に作動する。
- ② 画像処理により異物を検知し不良とする。
- ③ 判定結果通りにワークを良品用、不良品用のコンベヤへピッキングする。

その判定により成功率を算出した。検査結果を表3に示す。誤判定の原因としては、①ナット締め検査で良品を不良品と判定したことである。これは、良品のナット締め検査中まれに、ナット回転用モータやナット送り用モータのトルク制限値に達し、不良品と判定されることがあったためである。逆に、不良品を良品と判定したことは2000個の検査中1度もなく、最も重要な企業の要求を満たした。

今後は上記3つの課題点を解決する装置を開発すると共に、依頼企業において実用機として使用して頂くことを切望する。

日本企業は、生産性向上を目指し自動機器の開発が必至となっている。この装置開発もその一端を担うことを願う。

【参考文献】

- (1) 倉西正嗣 監修、景山克三・菅野宗和・黒瀬元雄・勝田基嗣 著、大学課程 機械要素設計(第2版)、オーム社、1984年、pp.163-171。
- (2) 三菱電機、FXシリーズマイクロシーケンサ ユーザーズマニュアル通信制御編、2019年5月、pp.D1-D99。

表3 検査結果

検査数	ワーク A 成功率[%]	ワーク B 成功率[%]
1~100	98	100
101~200	98	97
201~300	97	99
301~400	99	99
401~500	95	100
501~600	98	100
601~700	98	98
701~800	98	94
801~900	98	99
901~1000	100	96
全体	98	98

VII おわりに

開発した装置は企業の要求を概ね満たした。しかし、実用化に至るにはまだ課題が残る。その主な課題として以下3点が挙げられる。

- (1) 画像処理検査において、スパッタの判断を「やけ」として処理し、「やけ」のないスパッタは誤判定となった。
- (2) ナット締め機構のコラム部が片持構造であり、たわみによるナットとボルトの位置に変動が生じた。
- (3) ナット締め機構の位置調整に個々人の技量による必要時間のばらつきが生じた。

レーザーレベラの受光器および操作装置の製作

関東職業能力開発大学校 山下 泰弘

関東職業能力開発大学校 谷田部 良久

Production of a receiver and operating device using a laser leveler

YAMASHITA Yasuhiro, YATABE Yoshihisa

要約 レーザーレベラは、農地を平らにする為にトラクタに取り付ける装置である。予め農地の隅にレーザー発光器を置き、高さの基準を作っておく。レーザーレベラは、発光器のレーザーを受光することでトラクタの垂直位置を検出し、農地を均すブレードを上下させる。レーザーレベラを使えば、熟練の操作技術がなくとも農地を均平にすることができる。ただし、購入するとすると400万円程もする⁽¹⁾。令和2年5月に、栃木県小山市の農家の方から当校へ、レーザーレベラを共同製作する依頼があった。依頼者は、自身が所有するトラクタや建設現場用のレーザー発光器を利用することで、費用を抑えた自作を考えていた。そこで、筆者らは令和3年度から教員研究として取り組んだ⁽²⁾。教員研究は、レーザーレベラの受光器、および操作装置の製作をすることで、依頼者への情報提供、および今後の訓練に活かす為の要素技術の獲得を目的とした。令和3年度の取組みとして、受光器は、フォトダイオードアレイで発光器のレーザーを受け、レーザーの位置を検出する実験回路を作成した。フォトダイオードはレーザー以外の光にも反応する為、天気の変動に対応した仕組みが求められる。操作装置はレベラを手動操作で上下させる試作品を作成した。

I はじめに

令和2年5月に、栃木県小山市の農家の方から当校へ、レーザーレベラを共同製作する依頼があった。レーザーレベラは、農地を平らにする為にトラクタに取り付ける装置である。もし購入するとすると、400万円程もする。リースでは1日2万5千円程である。依頼者は、農業以外にトラクタなどの修理業にも従事しており、自作や修理について経験と意欲を持っている。

そこで、令和2年度の電気エネルギー制御科の総合制作実習において、テーマの一つとして学生3名で取り組んだ。初期の打ち合わせでは、受光器は既製品を利用する予定であったが、受光器も製作することとなった^(注1)。残念ながら、屋外でレーザーを検出させることに手間取ったことや、基板パターン設計ミスによる手戻りの繰り返しによる時間超過で、動作させるまでには至らなかった。一方、依頼者が担当するレーザーレベラの機械的な部分の製作については、令和2

年度末で骨組み用鋼材の準備など初期段階であった。

令和3年度は総合制作実習で引き継ぎを希望する学生がいなかった為、筆者らの教員研究のテーマとして取り上げることにした。

本稿では、主に教員研究で取り組んだ内容を示す。教員研究では、依頼者への情報提供、および今後の訓練に活かす為の要素技術の獲得を目的とした。

II レーザーレベラと製作物

1 レーザーレベラ

図1にレーザーレベラの構成を示す。レベラはトラクタの後方に取り付けて使用する。油圧シリンダでブレードを上下させることで、農地を均平にする。レーザーレベラは、レベラにレーザー装置を組み込んだものである。

レーザー発光器は、水平面にレーザーを放出しながら回転し、基準の高さを作り出す。レーザー受光器

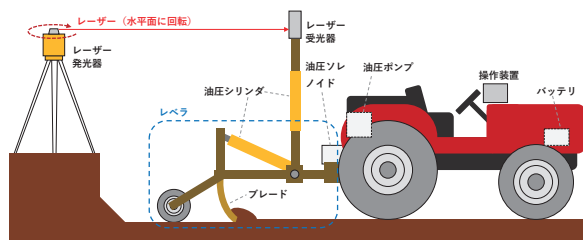


図1 レーザーレベラ

は、レーザーを受光することで基準に対する受光器（相対的にトラクタ）の垂直位置を検出できる。垂直位置に応じた自動的なブレードの上下により、熟練の操作技術がなくとも農地を均平にすることができる。

農地が均平であれば、作物の育成がバラつかず、水張りの調整が楽にでき、除草剤が均等に行き渡るといった利点がある³⁾。

2 依頼者の要望

総合制作実習で取り組んだ時期を含めると、令和 2 年 6 月から令和 3 年 10 月の間に、対面での打合せは 7 回行った。依頼者の主な要望を示す。

- ・可能な範囲で自作する。
- ・安く仕上げる。(なるべく中古品を購入)
- ・高さ 200mm 程度の範囲で凹凸を検出し均平する。
- ・仕上がりは高さ±10mm 以内の平面が理想。
(現状の農地は±150mm 程度の凹凸で作付け)
- ・均平作業は、田植え前で雨が降っておらず、農地がぬかるんでいない時に行う。
- ・所有している田圃、100 m×50 m×7 枚に使用する。
- ・レベラは、レーザーを基準に自動で上下する“自動”モードと、運転者が自由に動かせる“手動”モードを備える。
- ・“手動”モードを先行して製作する。

3 製作物と分担

表 1 に、依頼者の所有機器と主な仕様を示す。トラクタ、レーザー発光器、レーザー受光器、および油圧ソレノイドは、依頼者が中古品を購入したものである。

レーザーレベラの製作は、依頼者と筆者らで分担した。依頼者は、油圧で動作するレベラ、および受光器の高さを調整するポールの製作を担当した。筆者らは、レーザー受光器、および操作装置の製作を担当した。依頼者の製作対象について、令和 3 年 10 月時点の状態を図 2 に示す。組立て途中の状況である。トラクタに搭載されている油圧システムから、油圧ソレノイ

表1 依頼者の所有機器と仕様

項目	製品	仕様等
トラクタ	LG LT380D	油圧ポンプ搭載
レーザー発光器	TOPCON RL-20	ローティングレザー (建設現場用) サイズ：156 mm×156 mm×237 mm 波長：不明 (700 nm 程度) 到達距離：半径 150 m
レーザー受光器	TOPCON LS-10	RL-20 用のセット品 2 個 (内 1 台は故障品) サイズ：78 mm×27 mm×166 mm
油圧ソレノイド	KANZAKI DG2-02-2 KANZAKI DG2-03-3	各 2 つのセット ダブルソレノイド

ド経由で 2 本の油圧シリンダにつないでいる。電気的な指示を油圧ソレノイドに送ることにより油圧シリンダが動作することは確認した。レベラの部分は、農地を均平にする為のブレードの溶接は完了しているが、タイヤやシリンダの溶接は未完である。

図 3 に、筆者らの製作対象のイメージを示す。製作対象は、レーザー受光器と、操作装置である。レーザー受光器は、レーザー発光器が作り出す水平面を検出する。操作装置は、レベラを制御する。

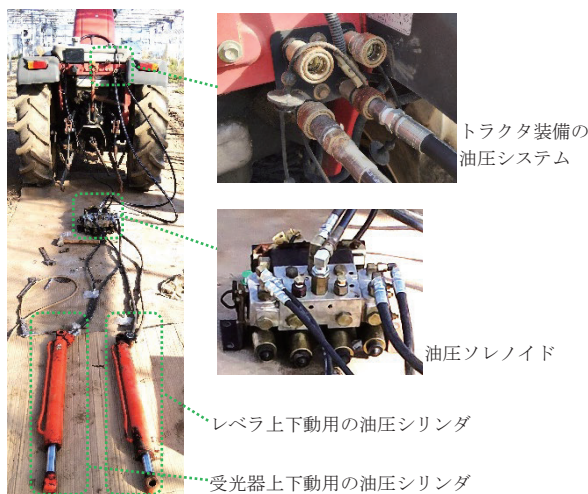


図2 依頼者の製作対象

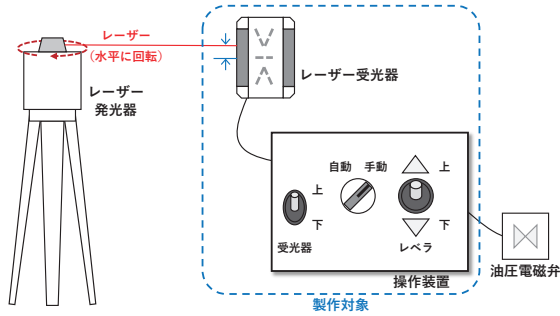
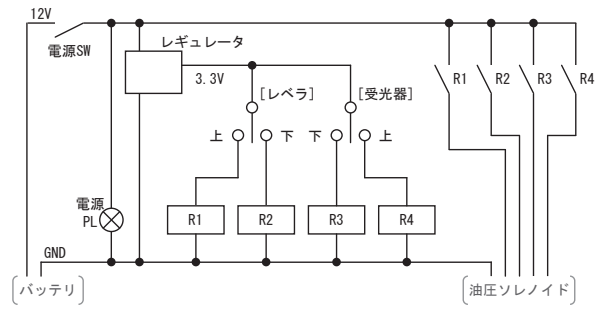


図3 筆者らの製作対象

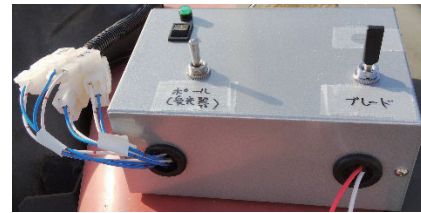


(a) 回路図 (主要部のみ抜粋)

III 受光器および操作装置の製作

受光器および操作装置の全体構成を図4に示す。受光器がレーザーを受光し、高さの位置情報を操作装置に伝える。操作装置は、レベラや受光器の高さを制御する。操作装置は、自動モードの場合、受光器からの情報を基に、レベラの油圧シリンダを上下させる。手動モードの場合は、上下スイッチの操作でレベラを上下させる。受光器を支えるボールは、モードに関わらず、スイッチで上下できるようにする。尚、電源はトラクタのバッテリー (12V) とする。

事前の打合せの通り、まずは手動で動作する操作装置を試作した。



(b) 外観

図5 手動用操作装置の試作品

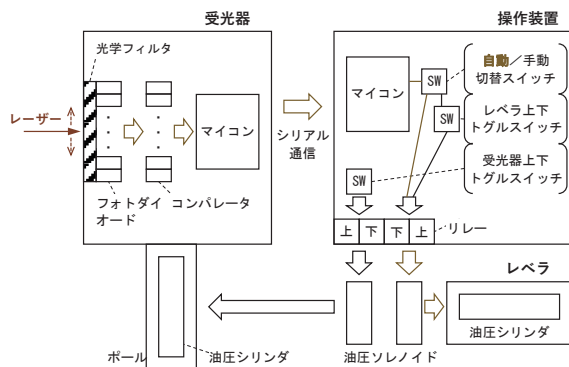


図4 受光器および操作装置の全体構成

1 手動用操作装置

図5に、手動用操作装置の試作品を示す。スイッチ操作でレベラのブレードを上下させる“手動”モードに絞った操作装置である為、シンプルな構成となる。後に“自動”モードと共存させる予定である。

令和3年10月末に、“手動”モードに限定した操作装置の試作機をトラクタと接続し、2本の油圧シリンダが駆動することを確認した。

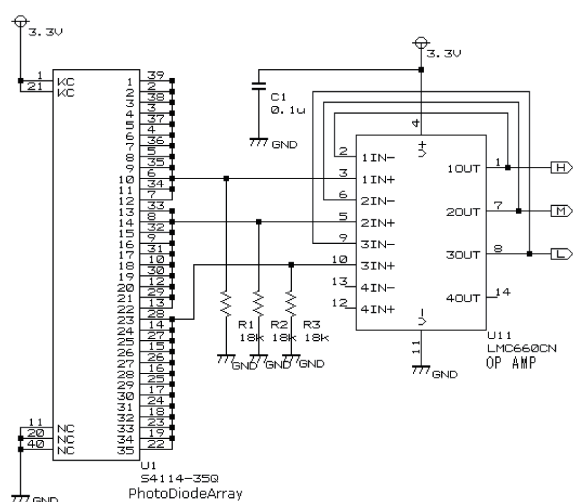
2 レーザー発光器

使用するレーザー発光器のレーザーは、赤色 (700nm程度) である。光源を覗けば赤く光っていることを確認できるが、壁などに当ててもその場所を視認することはできない。正確な波長を知る為、メーカーに問い合わせたが「古い機種の為、不明」との回答であった。また、栃木県産業技術センターに発光器を持ち込み、光スペクトラムアナライザーで測定を試みた。測定器の入力にレーザーを導くことができなかった為、測定は失敗した。よって、光源の正確な波長は不明である。

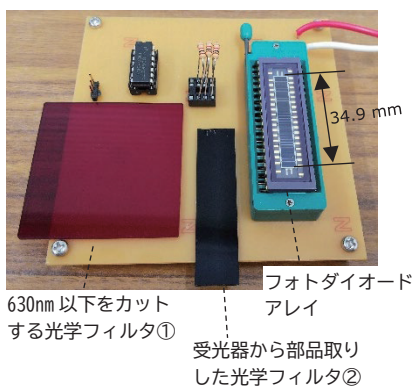
3 フォトダイオードアレイを用いた受光回路

レーザー検出用に、フォトダイオードアレイを購入し、これを使用した実験回路を製作した。図6に、フォトダイオードアレイで受光する回路を示す。受光したレーザーの高さを3段階に分け、ボルテージフォロワを通して出力する。また、フォトダイオードアレイは、受光面に34.9mmの高さを持ち、35個の素子からなるものである。図6(b)の光学フィルタは、実験をする際にフォトダイオードアレイに被せて使用した。

図7に、室内でレーザーを距離30cmから受光した場合の出力波形を示す。室内では、電位差2.5V、周期220ms (発光器の回転周期) でレーザーの受光を検出することができた。



(a) 回路図



(b) 外観

図6 フォトダイオードアレイで受光する回路

ただし、このまま屋外に持っていくと、太陽光のみで、常に電源の 3.3 V を出力してしまい、レーザーを検出することができない。フォトダイオードアレイを光学フィルタで覆う、プルダウン抵抗の調整が必要となる。

図 8 に、調整をした後の出力波形を、室内と室外に分けて示す。室外は、晴天時（日射量は、受光面が向く水平方向が 310 W/m²、太陽垂直方向が 1,012 W/m²）であった。この実験では、プルダウン抵抗を 1kΩ にした。光学フィルタには、受光器から部品取りした光学フィルタ②を使用した。このフィルタの仕様は不明だが、レーザー発光器の光や、700 nm のレーザー光は通過するが、635 nm のレーザー光は通過しないことを目視で確認した。他に、波長 630 nm 以下をカットする光学フィルタ①を使用した実験も行い、図 8 と同様の結果を得た。

レーザーを受光していない状況のバイアス電圧は、屋内で 20 mV、屋外で 410 mV、となった。バイアス電

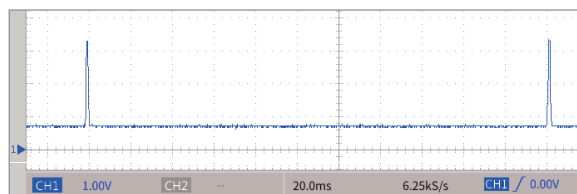
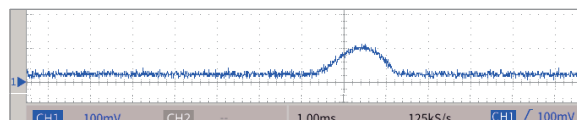
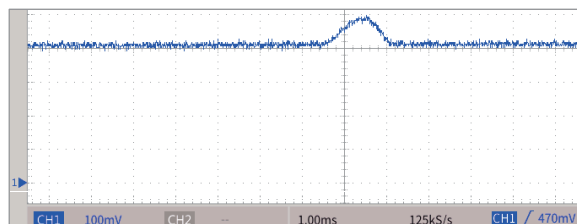


図7 フォトダイオードの出力波形



(a) 屋内



(b) 屋外（水平方向の日射量：310 W/m²）

図8 フォトダイオードの出力波形(調整後)

圧に差はあるが、レーザーを受光すると、屋内で 80 mV、屋外でも 80 mV 程の増分を確認できた。

ただし上述の設定では、晴天時の太陽に受光面を向けて（日射量 500 W/m² 以上）いくと、太陽光のみで出力が最大になり、レーザーを検出できなくなる。プルダウン抵抗をより小さくする、光学フィルタを調整する、または出力の大きいレーザーを使う、といったことが解決策として考えられる。

4 コンパレータを用いた受光回路

フォトダイオードの出力は、天気によって変動する。したがって、天候の変動を考慮した閾値電圧との比較をすることにより、レーザーを検出できる回路を作成した。図 9 に、閾値電圧との比較をコンパレータで行う回路図を示す。閾値電圧は、最上位と最下位に配置したフォトダイオードの出力に、それぞれ約 50 mV 加算したもの（図 9 の BASE_H と BASE_L）を使っている。フォトダイオードの上半分は BASE_L と比較し、下半分は BASE_H と比較する。

図 10 に、図 9 の回路の実験で得た波形を示す。室内でレーザーを距離 30 cm から、フォトダイオードアレイの中位で受光した場合である。CH1 がフォトダイオードの出力 M、CH2 が閾値電圧 BASE_H、CH3 がコンパレータの出力 OUT_M である。閾値電圧を超えた時に、High となることを確認できた。

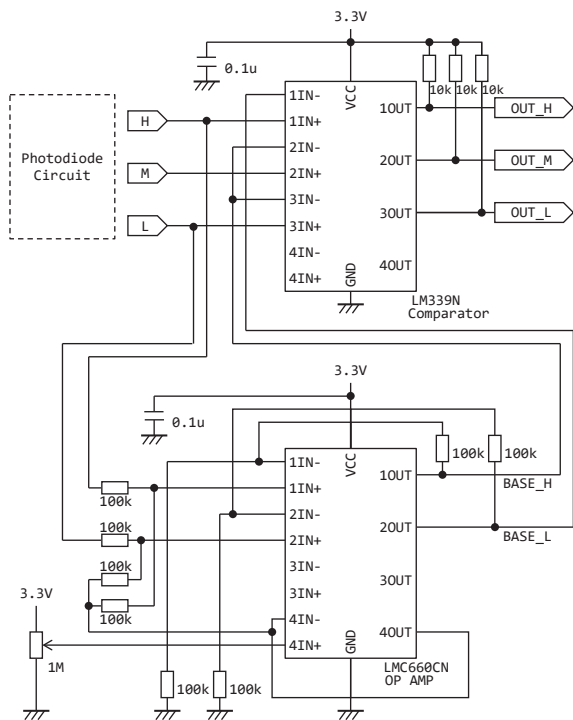


図9 コンパレータを使用するレーザー検出回路

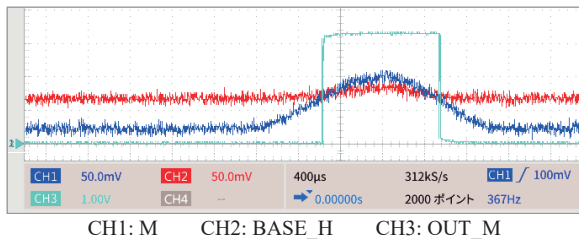


図10 コンパレータ使用回路の出力波形

5 受光回路の信号取得

ここまでの実験回路では、レーザーを受ける高さは3段階であった。実際は受光面の高さ 200 mm の受光器を実現する為、フォトダイオードアレイを 6 個並べ、10 mm 毎の受光面とすると 20 段階となる。反応のあった段の情報を、受光器内に組み込んだマイコンから、操作装置のマイコンまでシリアル通信 (CAN) で伝える。

IV 進捗と課題

“手動”モードに限定した操作装置の試作品を依頼者のトラクタと接続し、油圧シリンダを駆動することは確認できた。レーザー受光器は、実験基板でレーザーを検出することができた。

強い日差しを受けた状態での動作や、トラクタの向

きに関わらず、レーザーを検出できるようにすることが課題である。使用しているレーザー発光器は、レーザーが当たる場所を目視確認できない為、実験の難しさを増大させている。別のレーザー発光器の入手について、依頼者と相談中である。また、屋外の過酷な環境で安定した動作をさせることは未知な世界であり、今後の課題となる。

V おわりに

令和3年度の教員研究として、レーザーレベラの受光器および操作装置の製作に取り組んだ。依頼者への情報提供、および今後の訓練に活かす為の要素技術の獲得を目的としたが、道半ばである。依頼者へは、実験や試作の段階で実現できたことを伝えた。依頼者は、令和4年度も製作を継続する予定である。訓練に活用する要素技術としては、特にセンサー周りの電子回路設計について、筆者にとって未習熟であった技術を知る機会となった。

受光器は、提供されたレーザー発光器のレーザーに反応する実験基板を製作した。操作装置は、手動操作用の試作品を依頼者のトラクタで動作させた。特にレーザー受光器製作に要する技術力や費用^[注2]の高さが課題となった。水平面360度のどこからでも受光可能にする手法も難解だ。今後は、実現しやすい構成を見つけ、動作するものを製作する予定である。

[注]

(注1) 依頼者から提供された受光器は、分解して有効な信号を取り出すことに失敗し、かつ依頼者が要望する受光範囲の上下 200 mm に届かないことから、受光器も製作することとなった。

(注2) 特定の波長のみを通す光学フィルタの見積を2社に依頼したところ、40 mm 角で 20~30 万円以上であった。

[参考文献]

- (1) スガノ農機、2022 総合カタログ「レーザーレベラ」、令和3年12月15日、pp.90-102。
- (2) 関東職業能力開発大学校、紀要第14号「レーザーレベラの受光器および操作装置の製作」、2022年3月、pp.8-11。
- (3) 西尾道徳、西尾敏彦、図解雑学農業「水管理」、平成17年6月6日、pp.84-85。

加工時間計測システムが搭載可能な 自動材料切断装置の開発

関東職業能力開発大学校 水尾 準
 関東職業能力開発大学校 中村 正美
 港湾職業能力開発短期大学校横浜校 小野 泰二
 佐賀職業能力開発促進センター 猪野 照高

Development of the automatic materials cutting device that can be equipped with a machining time measurement system

MIZUO Jun, NAKAMURA Masami, ONO Yasuji, INO Terutaka

要約 開発課題実習のテーマを提供した企業は、地元の小山市内にある従業員 100 人程度の中小企業 2 社である。A 社では、鋼材をノコ盤で切断後にフライス盤で仕上げ加工を行っているが、加工工程が多く、時間や人件費がかかるため、切断のみで切断面粗さをフライス加工と同程度に仕上げる装置を開発したいと考えている。B 社では、作業者が加工しながら部品加工時間の測定を行っており、負担となっていることと、正確な時間計測が人手により難しくヒューマンエラーが発生しやすい状況で困っているため、センサを使用しモニタリングと計測を自動で行うシステムの開発を行いたい考えがある。本テーマを 2 社と共同で開発課題として取り組んだ結果を報告する。

I はじめに

職業能力開発大学校の応用課程 2 年生では、1 年の期間をかけて「開発課題実習」として、主に自動化装置の設計開発に取り組む。この開発課題実習は、生産システム技術系 3 科（生産機械システム技術科、生産電気システム技術科、生産電子情報システム技術科）の各科 5～6 名の学生が、合計で約 15 名のグループワークで取り組む。

開発する課題のテーマは、地元の地域企業との日頃からの相談援助や共同研究などにより、候補を挙げて選定している。関東能開大では地域企業からの相談窓口として地域協力室⁽¹⁾があり、共同研究や受託研究を積極的に進めている。産官学との間で連携を取りながら、つながりを作っており企業に支援や協力をしている。

企業で抱えている問題や試作したい案件について相談や提案をいただいた内容から、企業との相談援助の中で共同研究や受託研究、開発課題などへの展開を検討しながら能力開発セミナーとして社員教育も検討し

ていく。このように企業と連携を図ることで、企業と学校側と一緒に検討して、その内容を学生の教育において生きた教材として活用しており、双方により相乗効果を合わせ持っている。本報告は、その一例である。

II 開発テーマの概要

今回の開発課題実習のテーマを提供した企業は、地元の小山市内にある従業員 100 人程度の中小企業 2 社であり、精密機械部品を中心に製造している。

A 社では、鋼材をノコ盤で切断後にフライス盤で仕上げ加工を行っているが、加工工程が多く、時間や人件費がかかるために切断のみでフライス加工と同程度に仕上げる装置を開発したいと考えている。

B 社では、製品加工時間の計測を作業者が加工しながら人の手で行っており負担となっていることと、正確な時間計測が人手により難しくヒューマンエラーが発生しやすい状況で困っているため、加工機の稼働時

間や段取り時間、測定や手工具による加工などの作業工程を分析して IoT によるセンシングでモニタリングを自動で計測を行う装置システムの開発を行いたい考えがある。

これら 2 社の要望を叶えるために、材料を切断のみでフライス仕上げ加工と同程度の切断装置に、様々な工作機械に搭載可能な加工時間計測システムを搭載した装置を開発することを目的とする。本報告では、主に 2 年目の 2020 年度の取り組み事例について述べる。学生の体制は生産機械システム技術科 6 名、生産電気システム技術科 4 名、生産電子情報システム技術科 5 名の計 15 名である。

Ⅲ 自動材料切断装置

1 自動材料切断装置の概要

開発する自動材料切断装置の仕様を表 1 に示す。対象の被削材は鋼材 (SS, SC 材) とし、切断する工具は、超硬チップを 60 枚搭載した回転刃 (工具直径 285 mm) とした。評価として、現在の生産におけるフライス加工と同等以上の寸法精度と仕上げ面粗さを得ることとした。

図 1 に作業工程について動作フローを示す。始めに材料の現品票をバーコードリーダーで読み込みデータベースの情報から材料サイズを抽出してワークフィーダにより指定寸法で材料を供給する。

その後、自動パイスにてクランプして材料を固定する。次に回転刃を自動送りにより材料を切断加工し排出する。

図 2 に開発した自動材料切断装置の全体像を示す。図 3 に装置のシステム構成について示す。自動化装置の動作の制御には PLC (Programmable Logic Controller) を用いている。材料データベースとの通信や現品票のバーコード読み取り、加工時間計測部については、コンピュータによる制御としており、PLC とコンピュータ間のシリアル通信でデータの入出力をしている。

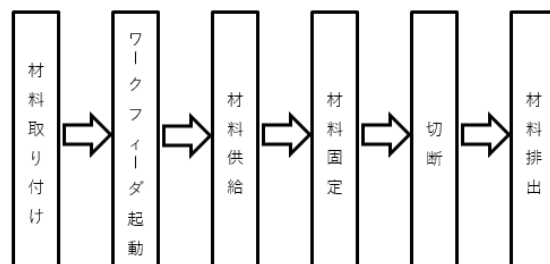


図 1 作業工程の動作フロー

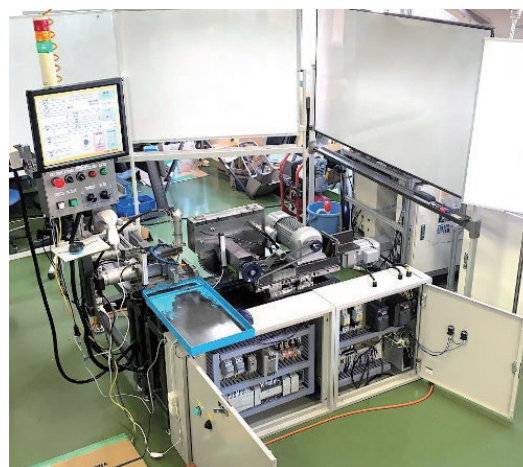


図 2 自動材料切断装置の全体外観

表 1 自動材料切断装置の要求仕様と開発仕様

仕様項目	要求仕様	開発仕様
装置寸法 [mm] [幅×奥行×高さ]	指定なし	1800×1800×1900
対応材種	鋼材	鋼材
材料寸法 [mm] [幅×厚み×長さ]	200×30×4000	30~60×15×1000
製品の長さ [mm]	30~1600	30~500
長さ精度 [mm]	±0.02	要求仕様と同様
面粗さ [μm]	Ra6.3	要求仕様と同様
加工データの見える化	寸法精度、表面粗さ、加工時間、履歴、加工履歴、刃物変更履歴、加工後の寸法	加工時間、加工履歴、刃物変更履歴に加え、刃物の送り速度、刃物の回転数、累計加工回数

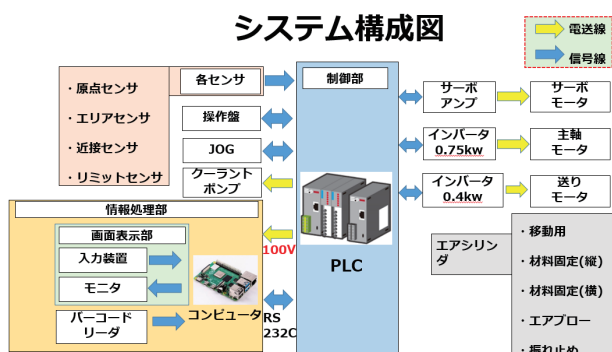


図 3 自動化装置のシステム構成

2 自動材料切断装置の詳細

図4に材料供給と切断部の部分拡大図を示す。自動材料切断装置は、6つのユニット(1.材料供給ユニット 2.材料固定ユニット 3.切断ユニット 4.切削油ユニット 5.本体ユニット 6.自動制御ユニット)から構成されている。

2-1 材料供給ユニット

切断する材料を投入して自動バイスへと送るためのユニットである。エアシリンダで材料をクランプして、現品票に記載の製品指示寸法をバーコードで読み取り、サーボモータにより指定位置まで自動で移動させる。

2-2 材料固定ユニット

切断加工時に材料が動かないように固定するためのユニットである。バイスに設けたスリットを刃が通過することにより材料を刃の両側から固定している。固定にはエアシリンダを用いており、側面と上面からの2方向で固定することで振動を抑制している。

2-3 切断ユニット

鋸刃回転部と鋸刃送り部とから構成されており、鋸刃の回転は、三相誘導電動機(出力750[W])の動力をプーリによりベルトで伝達させている。鋸刃の送りには、三相モータをインバータ制御により送り速度を可変できるように制御している。切断する材料の面の平面度を向上させるために鋸刃の振れを抑制する必要がある。そのため様々な案を検討した結果、独自のアイデアとして、図5に示すような振れ止め機構を新たに開発した。この振れ止めは、図6に示すように、回転刃の両側からフッ素樹脂(PTFE)パッドのシリンダを配置して刃を挟んでいる状態である。エア注入口からエア圧によりシリンダを刃に押し付けながら鋸刃を回転させることで振れを抑制することができる構造となっている。刃振れが最も抑えられるエア圧は、実験を重ねた結果、0.2[MPa]が最適値であることを確認した。

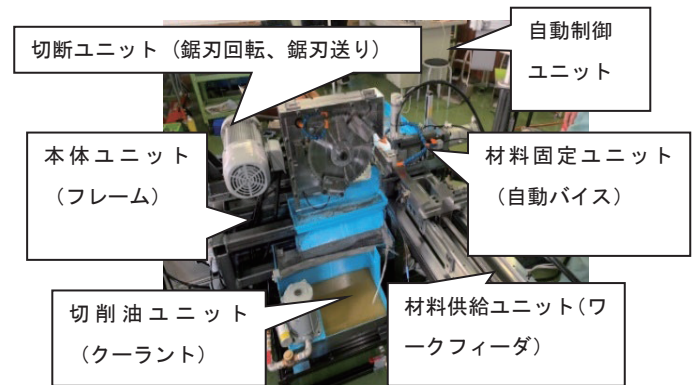


図4 材料供給部と切断部の周辺拡大

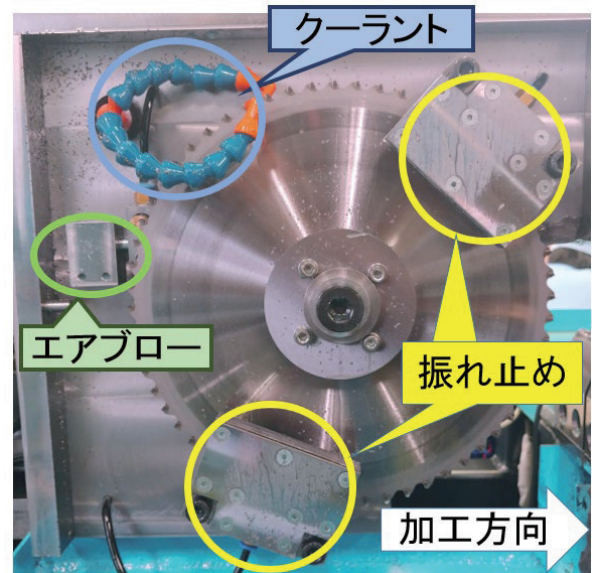


図5 切断ユニット鋸刃振れ止め機構

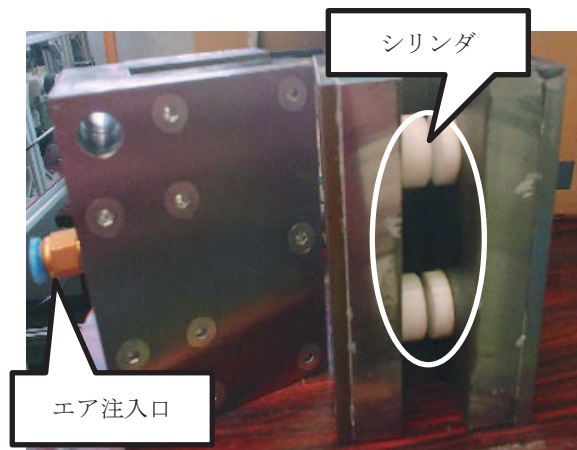


図6 鋸刃振れ止め機構詳細

2-4 切削油ユニット

切断加工時には、切削油を用いて加工を行う。切削油には水溶性切削油を使用している。図5に示すように切削油は刃の回転上部からクーラントとして装置下部に配置したオイルパンから、ポンプにより供給される。目的としては、刃の冷却と潤滑もあるが、一番大事なものは切削した切りくずの除去である。切りくずが切断面に付着すると表面にキズを付けることになるため切削後の刃に付着した切りくずを完全に除去することが必要となるため、クーラントを用いている。また、併用してエアブローによるエアの噴射で刃に付着した切りくずを除去している。

2-5 本体ユニット

装置本体は、強度剛性を必要とすることから、角パイプ(□40 mm×t 4.5 mm)を溶接により接合してフレーム構造を構築することで強度剛性を確保した。

2-6 自動制御ユニット

自動制御ユニットは、制御盤内に配置された PLC を中心とする構成と、データベースからバーコードリーダーで読み込むコンピュータによる情報処理部の構成となっている。PLC とコンピュータとの通信には、RS-232C によるシリアル通信を用いて寸法データの送信や加工状況をモニタリングして作業者に開示している。

ユーザが操作するオペレーションパネルの画面表示部の一部を図7に示す。画面は作業者が使いやすいように大きく見やすくして、操作性の良さからタッチパネル方式を採用している。加工状況がリアルタイムにモニタリングできるようになっており、次の加工情報のデータを最大4つまで保持できるようにした。

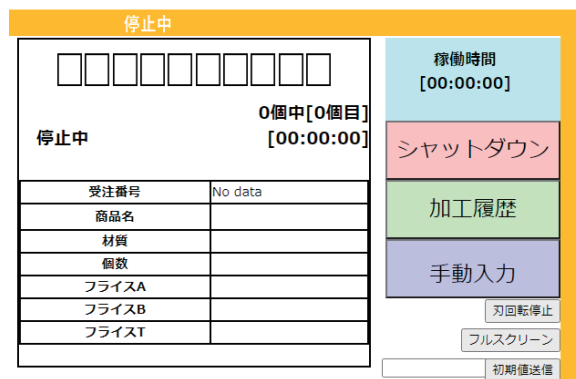


図7 操作画面表示部

IV 加工時間計測システム

1 加工時間計測システムの概要

B 社では、業務における作業工程管理のために鋼材加工における加工時間(段取り時間、待機時間、加工時間等)などの計測開始/終了のスイッチを作業者自身の手で押す事が負担になっている。そのためヒューマンエラーが発生しており正確な時間計測は人手では難しく、作業状況をリアルタイムでモニタリングして自動計測することによりデータ収集と管理をしたいと考えている。開発する加工時間計測システムの仕様を表2に示す。加工時間計測システムは、B 社内のフライス盤に取り付けて実証実験ができるように製作するが、B 社内にある様々な加工機に取り付けて使用したいとの要望から、実証実験を行うフライス盤専用システムでなく、様々な加工機に取り付けられる汎用システムとして製作する。

加工時間計測システムの開発は、①スイッチを用いる事で汎用性を優先した手動での計測(以下、手動化)、②加工する現品票枚数を1枚に限定した計測を自動化する自動(単発)での計測(以下、自動(単発)化)、③同時に加工する現品票を6枚まで自動計測が可能な自動(連続)の3段階の開発ステップがあり、自動(単発)化までを製作予定であったが、さらに開発を進め、同時に加工する現品票を4枚まで自動計測が可能な自動(連続)の一部の機能まで完成した。

図8に作業工程の内容と計測するユニットの構成について示す。作業分析としてどのような作業がありどのようにセンシングして計測するかについて検討し、図に示す内容をセンサでセンシングすることとした。

図9に計測システムの構成について示す。フライス加工では、材料をフライス盤で加工後に作業台でマイクロメータによる寸法測定や、ディスクグラインダによるバリ取りの作業があり、フライス盤では加工の他に材料

表2 加工時間計測システムの要求仕様と開発仕様

仕様項目	要求仕様	開発使用
装置寸法 [mm] [幅 × 奥行 × 高さ]	指定なし	450 × 100 × 80
計測項目	段取り時間、機械加工時間、チップ交換時間	段取り時間、機械加工時間、特殊作業時間
加工データの出力形式	指定なし	Excel
1作業に対する計測誤差	1分以内	要求仕様と同様
対応する機械	フライス盤	汎用的

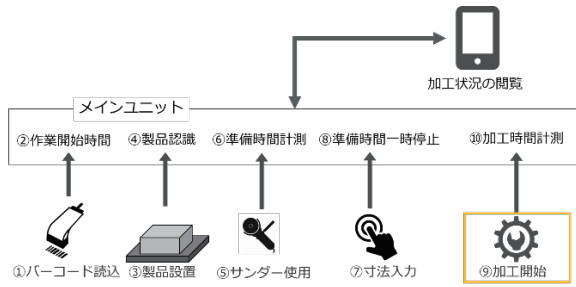


図 8 作業工程におけるセンシング内容

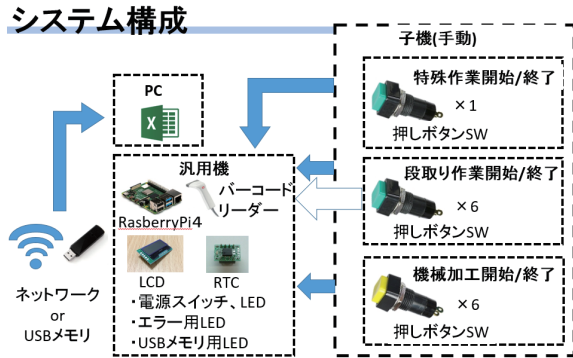


図 9 計測システムの構成

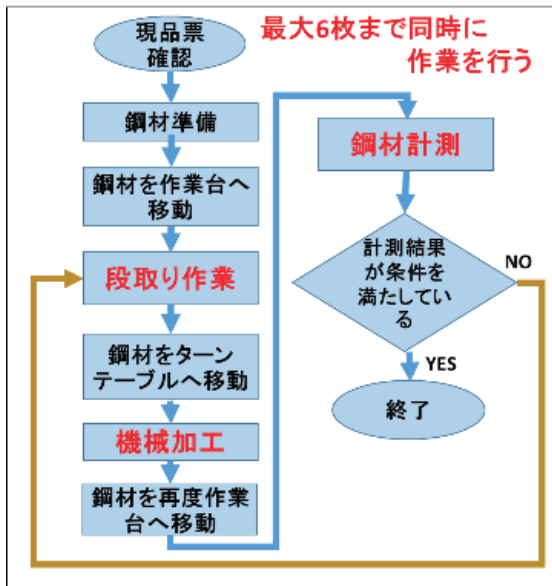


図 10 作業工程フロー

を固定する段取り作業がある。

作業工程フローを図 10 に示す。まず、材料の現品票をバーコードリーダーで読み込んで材料を準備し、測定台に配置したロードセルにより作業台へ移動させる。次に材料をテーブルに固定する段取り作業。機械加工を行う。その後、バリ取りを行ない、最後に寸法を計測する。更にフライス加工工程の間には定期的に工具のチップ交換が行われる。これらの行程を作業分析して加工時間や段取り時間、待機時間について自動化や自動(単発)化、自動(連続)の検討をする。また、作業員は図 10 の作業工程フロー図どおりの作業を行う事を前提とし、例外処理は考慮せず、システムの開発を行う。

2 加工時間計測システムの詳細

計測システムの開発は、段階的に検討することとし、自動化、自動(単発)、自動(連続)での計測へと適用される作業の行程と内容を考慮した。自動化については、作業者がスイッチを押すことで計測ができる段階である。計測における作業者の負担があるが、汎用性を持たせた形で様々な工作機械での加工に応用できる。手動計測ユニットの構成について図 11 に、現品票のバーコード読み取り装置を図 12 に示す。このユニットを加工機の制御装置に取り付けて作業者が各工程毎にスイッチを押すことで計測を行う。作業内容には、機械加工や工具交換作業、手作業による段取り作業とマイクロメータによる測定作業、待ちの待機時間、チップ交換作業(以下、特殊作業)がある。

自動(単発)化は作業員がスイッチを押す代わりに各種センサでセンシングすることにより計測を行うことである。

図 13 に機械加工のセンシングについて示す。機械加工ではフライス盤の動作のうち、軸の移動について原点復帰動作を超音波センサによりセンシングすることで機械加工のモニタリングを行う。また、工具のチップ交換作業は、交換工具の使用を工具台に配置したマイクロスイッチで感知することで特殊作業時間の計測を行う。

図 14 に段取りや測定作業におけるセンシングについて示す。段取り作業は、機械加工後のエッジのバリ取り作業がある。バリ取りにはディスクグラインダを用いる。ディスクグラインダを使用する事で電流値が変化するため、その電流値の変化を電流センサで読み取る事でグラインダ使用中であることがわかる。

測定作業は、機械加工後の板厚や長さ寸法測定をマイクロメータで実施しており、マイクロメータの使用を検出して測定に要する時間計測を自動的に行う。計測したデータはPC内に格納される。PCからUSBメモリにデータを転送することにより、外部に取り出すことができる。データ表示は、表計算ソフト(Excel)のマクロを用いることでデータを見やすく加工する。現品票ごとの計測時間に加えて機械のトータルの稼働時間も表示させることができる。

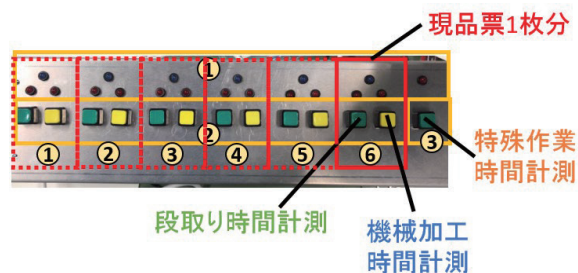


図 11 手動計測ユニットの構成

番号	名称	備考
①	エラーLED (黄)	バーコードの過剰入力を知らせる
②	USB用LED (緑)	USBメモリにデータを保存する際に点灯
③	電源用LED (赤)	動作中に点灯
④	LCD	現在の年月日と時間もしくはIPアドレスを表示
⑤	電源用SW	長押しでシャットダウン/短く押すとLCD表示切替
⑥	バーコードリーダー	バーコード読み取り

図 12 手動計測ユニットの現品票読み取り装置

番号	名称	備考
①	機械加工計測ユニット	超音波センサを使用し機械加工開始/終了を汎用機に送信。閾値設定で最大4mまで認識する。
②	LEDインジケータ	機械加工開始終了の有無をLEDに出力 加工中 - 点灯 加工していない - 消灯
③	超音波センサ	機械の移動を検知する。
④	特殊作業用計測センサ	マイクロスイッチを使用し、六角ナットの使用の有無を判断する。汎用機と直接接続。

図 13 機械加工におけるセンシング

番号	名称	備考
①	段取り計測ユニット	ロードセル、電流センサを内蔵。マイクロメータの重量を測り工具の使用の有無を汎用機に送信する。閾値設定で最大10kgまでの工具が使用可能。
②	電流センサ	サンダーを使用した際の電流を測定し、使用の有無を汎用機に送信する。

図 14 段取り、測定作業におけるセンシング

V 開発目標の達成状況

開発した装置の開発目標に対する達成状況について表3に示す。表3に示す全ての開発目標を達成した。表4に開発した自動材料切断装置で加工した製品の評価について示す。また、図15に切断面の様子を比較して示す。材料長さの寸法精度は、 ± 0.02 mmで、平面度や直角度も ± 0.02 mm以下を得ることができ、現在、企業A社で導入している切断機と同等以上の寸法精度を得ることができた。製品表面粗さは、算術平均粗さ Ra で $0.5 \mu\text{m}$ となり、同様にフライス加工面以上の値を得ることができた。

表 3 開発目標の達成状況

自動材料切断装置	
開発目標	性能
材料供給と排出の自動化	自動供給・自動排出可能
切り粉除去性能の向上	切断面粗さ：Ra $0.5 \mu\text{m}$ 以下
軽量化と振動の軽減	加工に影響を及ぼす振動なし
刃物の直角精度の向上	直角精度 $\pm 0.02\text{mm}$ 以下
前年度以上の加工精度	長さ精度 $\pm 0.02\text{mm}$ 以下
加工時間計測システム	
材料ごとに作業開始/終了の時間計測	時間計測可能
作業時間を段取り時間と機械加工時間、特殊作業時間に分割	作業ごとに分割計測可能
データをExcel形式で出力	Excel出力可能
チップ交換時間の自動計測	自動計測可能

表 4 自動材料切断装置の性能評価

精度項目	要求	開発装置
長さ精度 [mm]	± 0.02	± 0.02
面粗さ [μm]	Ra 6.3	Ra 0.5
平面度 [mm]		0.02
直角精度 [mm]		0.02



図 15 自動材料切断装置の切断加工面の比較

VI おわりに

応用課程 2 年生の開発課題実習として、地域の中小企業 2 社とともに加工時間自動計測システムを搭載した自動材料切断装置の開発に取り組み、装置を完成させて、要求仕様を満たすことができた。

開発した装置は、部品加工において、通常はフライス加工で仕上げる工程を、一度の切断加工のみで製品を得ることができる装置を新たに開発することができた。また、鋸刃の振れ止め機構に新たなアイデアを取り入れることができた。

更にセンサを用いて加工時間を自動計測してモニタリングする機能を搭載することができた。面取り加工を自動化する装置は数少なく、地域企業からも多くの需要が期待できて、地域社会に貢献できるものと思われる。また、開発した加工時間計測システムは企業にて検証していただき、今後は実用化に向けて検討していくと思われる。

この開発課題テーマの取り組みについて、令和 2 年度の全国の職業能力開発大学の応用課程開発課題実習における成果物の特別賞を受賞することができた。卒業式後の表彰式での受賞の様子を図 16 に示す。

本開発課題の取り組みにあたり、ご指導や助言をいただき、ご協力をいただきました企業の皆様や客員教授をはじめとする先生方に感謝いたします。また、課題の開発に取り組み、装置を完成させた学生に感謝いたします。



図 16 成果物表彰「特別賞」の受賞

【参考文献】

- (1) 関東職業能力開発大学校 HP
<https://www3.jeed.go.jp/tochigi/college/business/partner.html>。
- (2) 関東職業能力開発大学校 紀要 第14号、2022年3月、pp.38-43。

汎用インバータを用いたPID制御の ゲインチューニングに関する実習教材の開発

千葉職業能力開発短期大学校 五十嵐 智彦

千葉職業能力開発短期大学校 栗秋 亮太

Development of Practical Training Materials on Gain Tuning
of PID Control Using A General-Purpose Inverter

IGARASHI Tomohiko, KURIAKI Ryota

要約 制御工学は、大学・高専を含め電気工学系の学校において幅広く教授されている。しかし、一般的な制御工学の授業は抽象的な議論に落ちいりやすく、また、実際の生産現場において必要とされる、PID ゲインのチューニングに関する技術が実習までを含めて教授されることは少ない。そこで筆者らは、職業訓練校・高専・大学の学生、および企業の新入社員等をはじめとする制御工学の初学者を対象とした制御工学に関する導入教材について検討した。本教材は、PID 制御の大意を感覚的に理解可能で、かつ PID ゲインの選定がシステムに与える影響を実践的・体感的に学習できるものである。本稿では、汎用インバータを使用した風速制御系を構成し、限界感度法、ステップ応答法などの実験的なゲイン選定法を採用した場合に、一般的なフィードバック制御の挙動を実習装置により容易に再現できたことから報告する。

I はじめに

第4次産業革命の進展に伴い、多くの設備のオートメーション化が急速に発展しており、制御工学に関する教育の重要性が増している。一般的な制御工学の講義は、伝達関数や状態方程式等の数学や物理をベースとした抽象的な議論に偏りやすく、学生からは不人気科目として認知されることが多い。また、制御工学の授業においては、授業の時限数の関係から、実際の生産現場等で必要とされるPIDゲインのチューニング技術について、十分に教授されないまま終わってしまう例も多い。特に、ポリテクカレッジをはじめとする技能・技術を重視する学校においては、PIDゲインのチューニング技術を授業に取り入れることは非常に重要なことであると考えられる。一方、生産現場では、PIDゲインの決定は、経験をベースに試行錯誤的になされることが多く、理論立ててPID制御を学習できる教材が求められている。しかし、モデルベースでゲイ

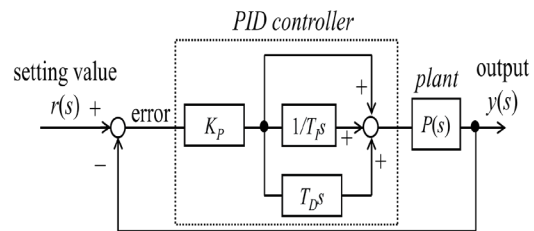


図1 標準的なPID制御系のブロック図

ンを設計する教材は数多く存在するものの⁽¹⁾、チューニングによるPIDゲインの決定に関する教材は、一般に多くはない。

そこで筆者らは、ファンと汎用インバータを用いて風速制御系を構成することで、訓練等で容易に実践可能なPID制御のゲインチューニング技術に関する教材について検討している。本稿では、筆者らが検討している実習装置にジグラーのステップ応答法、並びに限界感度法を適用した際に一般的なフィードバック制御の挙動を実習装置により再現可能かどうかの検討を行ったので報告する。

II ステップ応答法と限界感度法

図 1 に標準的な PID 制御系のブロック線図を示す。図のような制御系の実装にあたり、その PID 制御器のゲイン設計法として、大きく次の 2 つの方法が知られている。1 つは、極指定法やループ整形法、参照モデル法をはじめとするモデルベースで設計する方法であり、もう 1 つは、ステップ応答法や限界感度法などの制御対象の応答をもとに実験的にチューニングを行って決定していく方法である。本教材は、後者のチューニングによる決定の方法の習得について、対象としている。本教材で対象とするステップ応答法、並びに限界感度法についてその概略を示す。

1 ステップ応答法

はじめに、ステップ応答法の概略を示す。ステップ応答法は、制御対象が 1 次遅れ系であり、比例帯を狭くしても応答が振動的にならない場合に適用できる方法である。図 2 にむだ時間を含む正規化された一次遅れ系のステップ応答を示す。図中、 D はむだ時間、 T は系の時定数を表す。いま、制御対象 $P(s)$ が 1 次遅れ系で、そのステップ応答が図 2 に示すような形になった時、そのコントローラにおける PID ゲインは表 1 のように定めることができることが知られている。ここで、 K_P は比例ゲイン、 T_I は積分時間 [s] (ステップ状の偏差入力にて、積分要素のみで比例制御と同等の操作量を得るまでの時間)、 T_D は微分時間 [s] (ランプ状の偏差入力にて、微分要素のみで比例制御と同等の操作量を得るまでの時間) である。

上記方法によって、PID ゲインの大まかな目安を決めることができる。しかし、これらのやり方は、一般にゲインが大きめに算出されることが多く、実装後に微調整することが必要となることが多い。

2 限界感度法

次に限界感度法について示す。限界感度法とは、PID 制御をヒューリスティックにチューニングしていく方法である。このとき、限界感度法は、以下の手順で PID ゲインを決定していく。

① コントローラの積分ゲイン K_I と微分ゲイン K_D を 0 とし、比例要素のみが効くようにする。ただし、 K_I と K_D は以下の式で表される。

$$K_I = \frac{K_P}{T_I} \quad \dots \dots \text{式 (1)}$$

$$K_D = K_P T_D \quad \dots \dots \text{式 (2)}$$

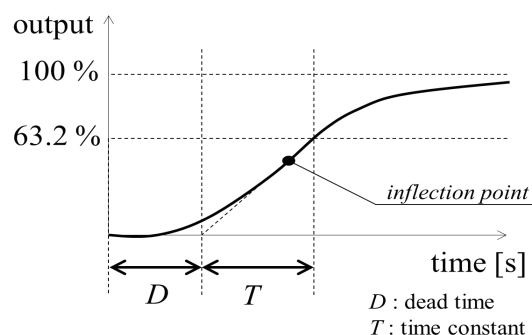


図2 1次系の標準的なステップ応答

表1 ステップ応答法による PID ゲイン選定⁽²⁾⁽³⁾

control	K_P	T_I	T_D
P	T/D	—	—
PI	$0.9 T/D$	$3.3 D$	—
PID	$1.2 T/D$	$2.0 D$	$0.5D$

表2 限界感度法による PID ゲイン選定⁽²⁾⁽³⁾

control	K_P	T_I	T_D
P	$0.5 k_{PC}$	—	—
PI	$0.45 k_{PC}$	$0.83 T_C$	—
PID	$0.6 k_{PC}$	$0.5 T_C$	$0.125 T_C$

② 比例ゲイン K_P を小さい方から大きい方に少しずつ変化させていき、出力が持続振動になる際の比例ゲイン k_{PC} を求める。また、振動周期 T_C を求める。

③ 表 2 の値から、最適な K_P 、 T_I 、 T_D を求める。なお、比例帯 PB は、次式から求められる。

$$PB = \frac{1}{K_P} \times 100 [\%] \quad \dots \dots \text{式 (3)}$$

④ ③の値をコントローラに設定し、微調整を行う。

この手法は、P 制御において、比例帯を狭くした時 (すなわち、比例ゲインを大きくした時) に永続的に振動しなければならないため、制御対象自体が 2 次遅れ系以上でなければ適用することができない特徴がある。

III 制御系の構成

本教材では、汎用インバータによりファンを駆動し、出力された風速をフィードバックすることによって、風速を一定に制御する制御系を構成した。その概略図を図 3 に、ブロック線図を図 4 に示す。また、実

際の教材を図5に、汎用インバータと周辺機器の接続図を図6に示す。本装置は、三菱電機製汎用インバータ FR-D720-0.4K (200 V、0.4 kW、以下、汎用インバータという)、昭和電機製直動式送風機 SB-100 (以下、ファンという)、発電機付きの模型風車 (以下、風車という) から構成される。風速目標値 (指令値) は、インバータの制御端子に可変抵抗を設け、電圧値で汎用インバータに入力する。当該汎用インバータの場合は、10番端子と5番端子間に予めDC5 V電圧が用意されており、この端子間に可変抵抗を接続し、可変抵抗によって生成される任意の電圧を2番端子に入力することで、インバータに目標値を設定できる。本システムにおける出力は風速であるが、風速を直接フィードバックすることは困難であるため、発電機付きの風車を設け、この出力電圧をフィードバック量として当該インバータの4番端子と5番端子間に与えている。偏差信号は、インバータ内部で演算され、PID演算を経て、出力周波数、電圧が決定される。当該インバータは、設定によりPID制御とすることができるので、汎用インバータをコントローラとして用いる。制御対象は電動機付きファンとする。汎用インバータの運転方法は、 V/f 制御とする。 V/f 制御では、電動機内の磁束の飽和を防ぐために出力電圧と出力周波数を一定に保つように制御している。したがって、出力周波数によって出力電圧は一意に決まるため、この制御系は1入力系と考えて差し支えない。また、汎用インバータにおいては、始動電流が過大となることを防ぐために、適切な加速時間 (および減速時間) を設定する必要がある。すなわち、指令値をステップ状に入力したとしても、その操作量は、設定した加速時間で変化することになる。これは、むだ時間と解釈することができる。むだ時間系はラプラス変換をすると無限級数に展開できることが知られているため、むだ時間を含む系は高次遅れ系であると考えられることができる。したがって、本教材で対象とする風速制御系には、限界感度法を適用することが可能である。一方、制御対象であるファンは、1次遅れ系に近似することができるので、ステップ応答法を適用することも可能である。

設定するパラメータの一覧を表3に示す。Pr.1は操作量である出力周波数の上限値であり、運転するファンの上限周波数 (60 Hz 若しくは 50 Hz) を設定する。Pr.128は、逆動作ないし正動作等の動作条件を決めるパラメータであり、本装置は正の偏差に対して正の操作量とするため、「逆動作」となるよう設定する。

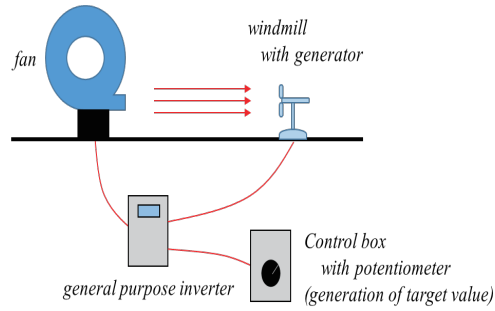


図3 汎用インバータによる風速制御系の構成

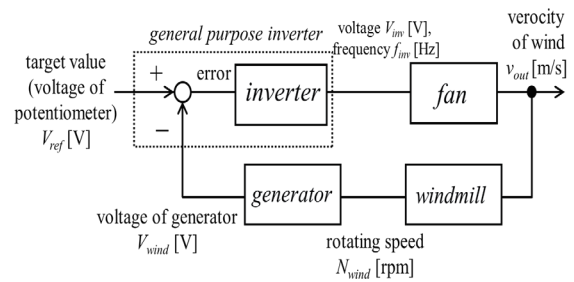


図4 風速制御系のブロック線図

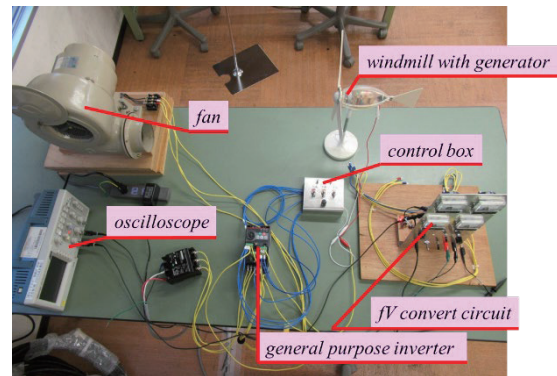


図5 教材の全体像

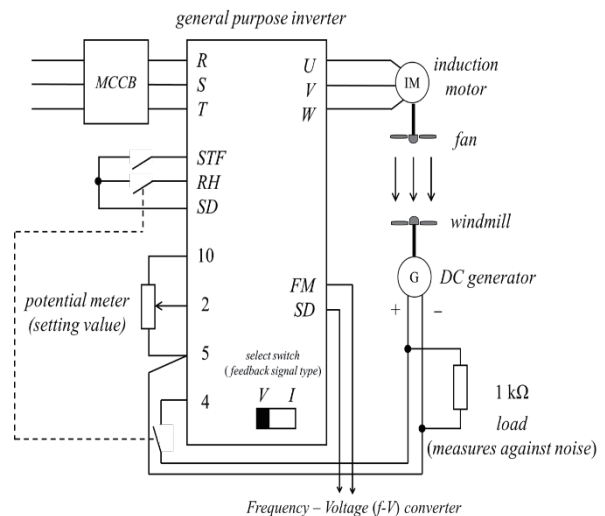


図6 インバータへの接続図

表3 インバータの設定パラメーター一覧

parameter	setting range	name (description)
Pr.1	60	maximum frequency (set maximum frequency of fan)
Pr.128	20	PID action selection (PID reverse action)
Pr.182	14	RH terminal function selection (RH terminal used as PID control valid terminal)
Pr.267	1	selection of voltage / current input (terminal 4 input 0 to 5V)

Pr.182 は、RH（高速運転指令）の端子の機能を変更するパラメータであり、これを 14 と設定することで RH 端子を PID 制御有効端子へ変更することができる。Pr.267 は、端子 4 への入力信号の種類を選択するもので、本装置では DC 0-5 V の電圧信号をフィードバック量として読み取ることから 1 を設定する。

風速の指令値は、2・5・10 番端子に接続された可変抵抗によって生成する。風速のフィードバックは、風車に取り付けられた DC 発電機によって電圧変換し、4・5 番端子に入力する。このとき、汎用インバータの VI 切替用 DIP スイッチを V 側に切り換え 0-5 V の電圧入力ができるようにする必要がある（I 側は 4-20 mA の電流入力となる）。RH 端子は、表 3 に示すパラメータの設定により PID 制御有効端子としているため、切替スイッチを接続し、スイッチが ON 時に PID 制御が有効になるようにしている。

IV ステップ応答法

汎用インバータを用いて、前節に示した風速制御系を構成した。ファンを起動したときの風車発電機の出力電圧を図 7 に示す。ただし、ファンの起動は、時刻 0.0 s（以下、全てのグラフについて同様）である。図 7 では、PID ゲインパラメータは初期設定値（比例帯：100%、積分時間：1.0 sec、微分時間：無効）を用いている。この場合、大きなオーバーシュートが発生しており、また定値に至るまでの変化も緩やかであることから、PID ゲインを適切に設定することによりオーバーシュートを抑え、素早く定値に至ることが可能であると考えられる。そこで、ステップ応答法を用いて、ゲイン設計をおこなっていく。

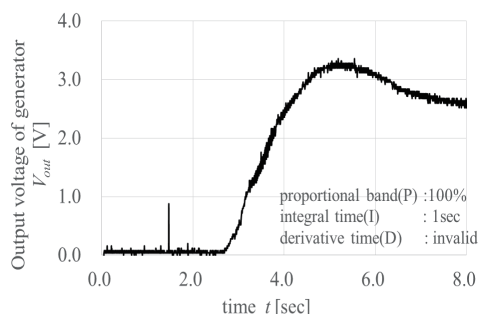


図7 PID 制御(初期設定値)

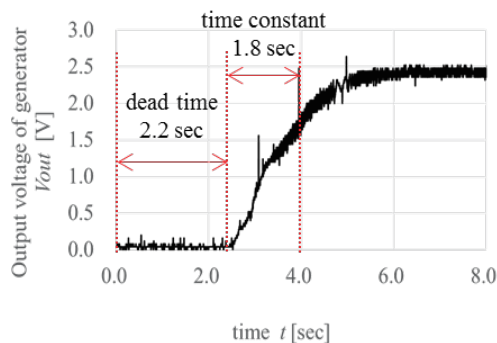


図8 風車出力のステップ応答

表4 ステップ応答法によるPID ゲイン選定

control	PB*	T_I	T_D
P	122 %	—	—
PI	136 %	7.3 sec	—
PID	102 %	4.4 sec	1.1 sec

*PB : Proportional Band

はじめに、ステップ応答を測定するため、フィードバック制御をかけずにファンを起動した際の発電機出力を確認する。図 8 にその様子を示す。図 8 より、むだ時間は 2.2 sec、時定数は 1.8 sec であると求められる。したがって、PID ゲインのパラメータを求めるため、表 1 の各値を計算すると表 4 のようになる。

表 4 の値を用い、P 制御、PI 制御、PID 制御のそれぞれについて、どのように制御特性が変わったかを確認する。図 9 には、P 制御の場合の風車発電機の出力を示す。比例帯の幅は表 4 にしたがって、122%とした。図 8 のステップ応答と比較すると、立ち上がりが急峻になり、目標値まで短時間で到達していることがわかる。また、PI 制御（パラメータは初期設定値）としたものと比較すると、オーバーシュートがなくなり、時定数も小さくなっていることがわかる。したがって、制御性は向上していることが確認できる。図 10 には PI 制御の場合の特性を示す。図 10 は同じ PI 制御で

ある図7と比較すると、オーバシュートがなくなっていることが確認できる。一方、時刻4.0s以降に、わずかではあるが右肩上がりに出力電圧が上昇している様子が確認できる。これは、積分操作によって定常偏差を打ち消しているためであると思われる。この特徴から、積分時間については徐々に短くしていくことで、適正な積分時間に行うことができると考えられる。最後に、図11のPID制御の場合を見てみる。図10に示したPI制御の場合と同様、4.0s以降に出力の上昇が見られることから積分時間の短縮が必要である。

これらのことから、ステップ応答法を適用ことによって、最適なPIDパラメータをチューニングする目安と方針を確立することができることが確認できた。

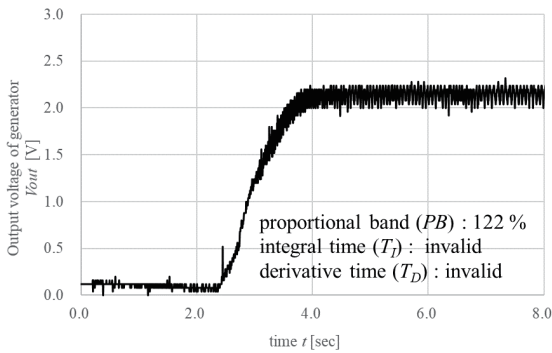


図9 P制御(ステップ応答法)

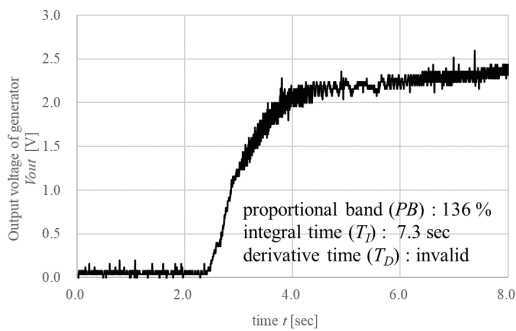


図10 PI制御(ステップ応答法)

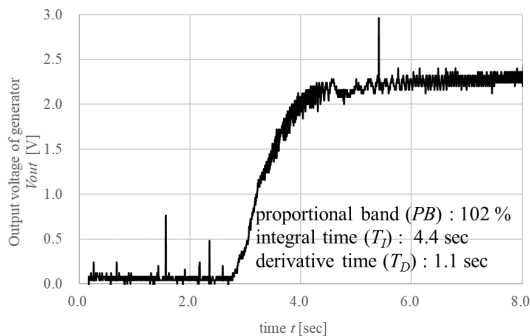


図11 PID制御(ステップ応答法)

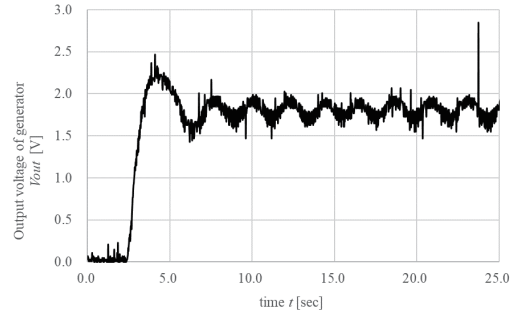


図12 P制御における持続振動(PB = 2.5%)

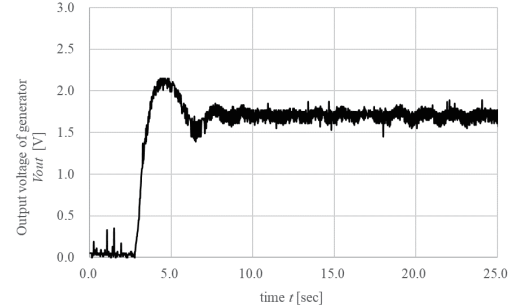


図13 P制御における持続振動の臨界値(PB = 10%)

V 限界感度法

次に、限界感度法によるゲインチューニングについて示す。

限界感度法を適用する際には、比例ゲインを大きくしたときにシステムが臨界的な振動（ハンチング）を発生する必要がある。よって、比例ゲインを大きく（すなわち、比例帯を狭く）した際に、システムが振動的になるかをはじめに確認する。本教材では、目標値が大きいときには振動的な応答が出にくくなる傾向があることから、ステップ応答法の場合と比較してやや小さめに設定した。図12に、積分制御と微分制御を無効とし、比例制御のみとしたときの風車の応答の例を挙げる。この図は、比例帯PBを2.5%として、運転したものである。このとき、オーバシュート以降、風車の風速が連続的に加減速を繰り返す、持続振動の状態になっていることが確認できる。よって、本システムは限界感度法が適用可能であることがわかる。

次に、比例帯を少しずつ広くしていきながら、持続振動が発生しなくなる臨界の比例帯値を決定する。本システムにおいては、比例帯PBを10%とした場合が、臨界的な振動が生じる限界値であった。この様子を図13に示す。また、同図より、振動周期 T_c は、おおむね1.0s、であることも確認できる。したがって、表2に示した k_{pc} を10.0、振動周期 T_c を1.0sとして限界感度法を適用し

表5 限界感度法によるPID ゲイン選定

control	$K_p(PB)$	T_I	T_D
P	5.0 (20%)	—	—
PI	4.5 (22%)	0.83 s	—
PID	6.0 (17%)	0.5 s	0.125 s

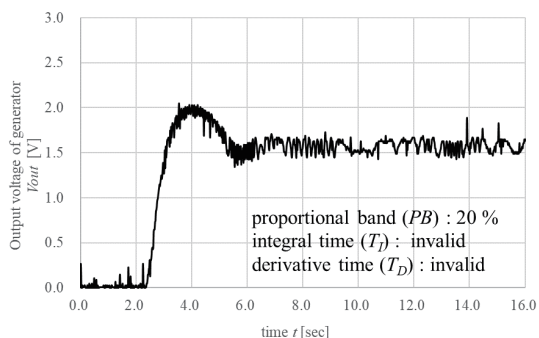


図14 限界感度法で決定したゲインによる制御(P 制御)

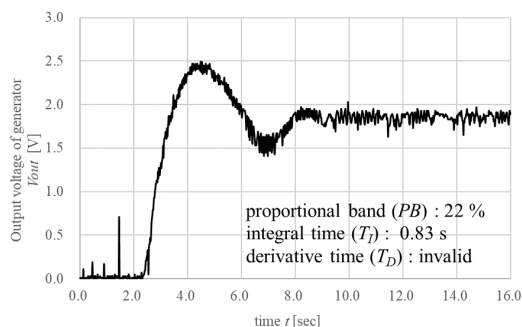


図15 限界感度法で決定したゲインによる制御 (PI 制御)

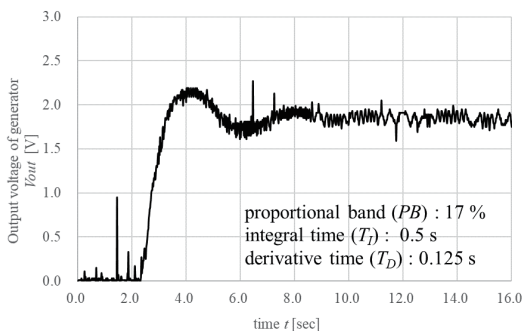


図16 限界感度法で決定したゲインによる制御 (PID 制御)

ていく。

表 2 をもとに、比例帯 PB 、積分時間 T_I 、微分時間 T_D を計算すると、表 5 のように求められる。この表の値を適用し、P 制御、PI 制御、PID 制御のそれぞれについて、どのように制御特性が変わったかを確認する。図 14 には、P 制御の場合の風車発電機の出力電圧

を示す。同図より、風車の出力電圧は一度オーバシュートが発生しているものの、速やかに一定値に収束している様子が確認できる。一般的に、限界感度法では、最大行き過ぎ量が 25% となるように設定されており、比例ゲインが大きめに求まることが知られている⁽²⁾。したがって、おおむね理論通りの応答が確認できたといえる。また、図 15 には PI 制御の場合を、図 16 には PID 制御の場合の風車の出力電圧をそれぞれ示す。P 制御の場合と同様にオーバシュートが発生しているが、PI 制御では積分要素が入りシステムの次数が上がったため、より振動的となっている様子が確認できる。PID 制御では、急激な変動に対応することが可能な微分要素が入ることから、オーバシュートが抑えられ、より短時間に一定値に収束している様子が確認できる。

実験結果から、おおむね理論通りの応答を実験装置により再現可能であり、さらに試行錯誤的なチューニングによって最適なゲイン調整に関する実習を本装置により行うことが可能であることが確認できた。

VI おわりに

本稿では、汎用インバータとファンを用いた、ステップ応答法と限界感度法による PID ゲイン設計に関する教材について検討した。実験結果から、一般的なフィードバック制御の挙動を実習装置により再現ができ、PID ゲインの設計手順を理論通りに適用することによって、システムの応答を自由に变化させられることが確認できた。したがって、PID ゲインチューニングに関する教材として活用できることが確認できた。今後は、システムのモデル化をとおし、理論的な PID ゲインの設計に関する授業への展開ができるよう、検討していく。

VII 謝辞

本稿の執筆にあたっては、本校電気エネルギー制御科 2 年生の大坪慧君、岡田昇也君、関根立実君にご協力いただきました。ここに礼申し上げます。

【参考文献】

- (1) 平田光男、Arduino と MATLAB で制御系設計をはじめよう！、Tech Share、2012。
- (2) 堀洋一、大西公平、制御工学の基礎、丸善、1997。
- (3) 須田信英、PID 制御、朝倉図書、1992。

職業能力開発報文誌

投稿のしおり

職業能力開発報文誌編集委員会

編集委員会事務局（原稿送付先）

〒187－0035 東京都小平市小川西町2－32－1

職業能力開発総合大学校 基盤整備センター 企画調整課

職業能力開発報文誌編集委員会事務局 宛

TEL 042－348－5074 FAX 042－348－5098

E-mail fukyu@uitec.ac.jp

「職業能力開発報文誌」募集要綱

制定 2011年10月

改定 2012年4月

- 1 本誌は、出向者を含む独立行政法人高齢・障害・求職者雇用支援機構職員（以下「機構職員」という。）による研究開発活動の充実に資することを目的とし、研究成果を収録公表するための研究機関誌である。収録公表される投稿原稿の内容上の範囲は、職業能力開発研究の学際的性格から、技術・工学及び教育・心理・経済・社会等人文・社会科学系の領域をカバーするが、いずれも職業能力開発との関わりを持つものでなければならない。
- 2 本誌に掲載される投稿原稿は、機構職員によって執筆された、職業能力開発に関する実践・実証的研究を中心とした未刊行の原稿を原則とする。
- 3 本誌の編集は、「職業能力開発報文誌」編集幹事会・編集委員会設置運営規則」（以下「設置運営規則」という。）に基づき設置される編集幹事会及び編集委員会の責任のもとに行われる。
- 4 編集幹事会及び編集委員会の運営等は、「設置運営規則」にしたがって行われる。
- 5 本誌の発行は年1回以上とする。
- 6 投稿された原稿は、編集委員会で別に定める「職業能力開発報文誌」編集要領」にしたがって審査し、掲載の可否を決定する。
なお、掲載を決定した原稿については、より一層の内容の充実を図るための補筆、修正を原稿投稿者に要請することがある。
- 7 投稿に当たっては、「報文」、「研究ノート」及び「実践報告・資料」の3分類で投稿するものとする。
なお、掲載に当たっては、編集委員会の審査により投稿分類の変更を投稿者に要請することがある。
- 8 投稿される内容は、「報文」「研究ノート」「実践報告・資料」別に職業能力開発に関して次の条件を満たすことが必要である。
 - (1) 「報文」について
報文は、以下の内容を満たすことが必要である。
 - ① 報文として職業能力開発上価値があること（有用性）。または、内容に発展性があること（発展性）。
 - ② 内容に新規なものがあること（新規性）。

③報文として完結した内容を有していること（完結性）。

なお、完結性とは、問題設定、方法、結果、考察、結論等の諸要素を備えた内容であることをさす。

④内容に基本的な誤りがないこと（信頼性）。

(2)「研究ノート」について

研究ノートは、内容水準、完結性、において未だ不十分ではあるが、職業能力開発上一定の価値があり、研究としての発展性を有すると共に、内容に基本的な誤りがないものであることとする。

(3)「実践報告・資料」について

実践報告・資料は、論文の完結性を必要としないが、情報として、職業能力開発上広く価値を有するものとする。

9 本誌への投稿は随時受け付ける。

10 原稿の執筆は、別に定める「職業能力開発報文誌」執筆要領によるものとする。

11 投稿者は「原稿連絡票」に必要事項を記入の上、本文原稿に通しページを付け、和文要約、英文表題及び図表（写真を含む）一式を添えて、編集委員会事務局に原稿を提出する。

なお、参考文献等で校閲及び査読上重要と考えられるものは、複写または原本を添付する。

12 上記 11 の本文原稿、要約、英文表題、原稿連絡票及び図表一式の提出部数は、複写 2 部（普通に判読できるものとする。特に写真の場合は、理解に差し支えないように配慮する）とする。原本は著者が保管し、校閲及び査読終了（掲載可）後、作成した最終原稿を事務局に 1 部（写真、図表等の原本一式を添付）提出する。

13 本誌掲載報文等の執筆者には抜刷を贈呈する。

14 本誌に掲載された報文等の原稿は、原則として返還しない。

15 本誌掲載報文等の一部または全部を、学術研究または教育訓練以外の目的で、複製または転載する場合には、当編集委員会の許可を必要とする。

16 「職業能力開発報文誌」編集委員会事務局を職業能力開発総合大学校基盤整備センターに置く。

「職業能力開発報文誌」執筆要領

制定 2011年10月

改正 2012年4月

改正 2017年4月

1 原稿全体の体裁・原稿のページ数について

原稿はワープロソフトで作成し、A4判用紙を縦にして用い、2段組、1行24文字×45行横書きとする。1ページの文字数は2160字とする。余白については上30mm、下25mm、左25mm、右25mmとする。原稿の1ページ目の15行までを表題等の記入に充て、次に要約、本文の順に記述する。2ページ目以降については本文のみとし、最終ページに注記、参考文献を記載する。

(1) 仕上がりページ数 (原則)

- ① 「報文」の場合 - 8ページ
- ② 「研究ノート」の場合 - 4ページ
- ③ 「実践報告・資料」の場合 - 6ページ

(2) 図表、写真等は本文に貼り付け、全体で(1)のページ数を満足すること。

2 表題等

原稿の1ページ目にカテゴリ分類 (**Pゴシック14P太字**)、日本語表題 (**Pゴシック22P太字**)、日本語副題 (**Pゴシック16P太字**)、所属施設名および著者名・共著者名 (明朝10P)、英語表題 (Times New Roman 11P)、著者名・共著者名 (ローマ字名 Times New Roman 11P) の順に記述すること。

なお、表題は簡潔にかつ内容が明確にわかるように心がけること。

3 要約

要約の二文字は「**Pゴシック11P太字**」、要約本文は「明朝9P」を用いる。43字×14行、600字以内、日本語を用いること。

4 本文

(1) 本文の節タイトルおよび小節タイトル

節番号は「**ローマ数字 (I、II、III、・・・) Pゴシック11P全角太字**」を、節タイトルは「**Pゴシック11P太字**」を用い、「**II OOOO・・・**」のように記述する。その前後を1行空ける。

小節番号は「**算用数字 (1, 2, 3, ...) Pゴシック11P全角太字**」を、小節タイトルは「**Pゴシック11P太字**」を用い、「**1 OOOO・・・**」のように記述する。1行に納め、その前を1行空ける。

さらに細目が必要な場合は、「**Pゴシック11P全角太字**」を用いて、「**1-1 OO OO・・・**」「**1-1-1 OOOO・・・**」のように記述する。細目番号は「**算用数字 Pゴシック11P全角太字**」を用いる。

<記述例>

1 行空ける
II ○○○○○○……………
……………。
1 行空ける
1 ○○○○○○……………
……………。
1-1 ○○○○○○……………
……………。
1-1-1 ○○○○○○……………
……………。

(2) 「はじめに」と「おわりに」について

本文の初節に「**I** **はじめに**」を、終節に「**O** **おわりに**」を記述する。

(3) 図（写真を含む）について

- ①図は原稿内に作成すること。大きさは原稿用紙の収まる範囲内であれば執筆者の任意とする。
- ②図中の文字や数字は明瞭に判読できること。
- ③写真は JPEG 形式（1MB 程度）で貼り付けること。
- ④写真をデジタルデータ化できない場合は、原稿に貼り付ける際のサイズを明記し、場所を空けておくこと。写真は原稿と同時に提出すること。
- ⑤図（写真を含む）の番号は「**算用数字 P ゴシック 9P 半角 太字**」を、タイトルは「**P ゴシック 9P 太字**」を用いて、図あるいは写真の下に横書きで、「**図1 …**」のように番号を記した後にタイトルを記入する。図と写真は通し番号とする。
- ⑥写真の印刷仕上がりはカラーである。

(4) 表について

表は原稿内に作成すること。サイズは、原稿用紙に収まる範囲内であれば執筆者の任意とする。表番号は「**算用数字 P ゴシック 9P 半角 太字**」を用いて、タイトルは「**P ゴシック 9P 太字**」を用いて、表の上に横書きで、「**表1 …**」のように番号を記した後に表名を記入する。表中の文字や数字は明瞭に判読できること。

(5) 図および表について

図表は本文との間に空行を 1 行入れる。ページの間には配置せず、上か下に置くことを推奨する。また、必要により段組みを一部解除し、1 頁の左右にまたがる配置としてもよい。

図表にはメモリを表記し、本文中で説明する。

(6) 引用資料について

本文中に入れる資料等の引用文章を、文字のポイント数を落として記述したい場合は、その部分に赤線でアンダーラインを引き、注記する。

なお、引用資料及び参考文献等で入手が困難な場合は、投稿時に、その原本または複写したものを添付する（校閲及び査読終了後返却）。

5 注記について（記述例参照）

本文中にハイフンで挟んで入れる注以外の注記は、一括して本文の最後に次の要領で書くこと。タイトル [注] の文字は「P ゴシック 9P 太字」を用い、「注」の文字の左右を「[]」で括る。（注1）以下は「明朝 9P」を用い、「注〇」の文字の左右を括弧でくくる。注記番号は「算用数字 Times New Roman 9P」を用いる。

<記述例>

[注] (注1) …………… (注2) …………… : : :
--

なお、本文中においては、注記番号は注記をつける言葉または文の右肩に、「〇〇^(注1)」のように、左右を括弧でくくり、上付で書く。

6 参考文献について（記述例参照）

参考文献は一括して本文の最後に、次の要領で書く。タイトル [参考文献] の文字は「P ゴシック 9P 太字」を用い、「参考文献」の文字の左右を「[]」で括る。（1）以下は「明朝 9P」を用いる。文献番号は「算用数字 Times New Roman 9P」を用いる。また、本、雑誌、複数のページの場合など、記述例を詳細に示すこと。

本文中においては、文献番号は参考文献をつける言葉または文の右肩に、「〇〇⁽¹⁾」のように、左右を括弧でくくり、上付で書く。ページは「p. 〇〇」、複数の場合は「pp. 〇〇-△△」のように書く。URLは、括弧なしで記述。著者名の姓名の間にはスペースを入れない。参考文献の最後は「。」を用いる。

<記述例>

[参考文献] (1) □□職業能力開発審議会△△、「……」、平成…年、p. 〇。 (2) 職業能力開発総合大学校基盤整備センター 調査研究 報告書「……」、平成…年、pp. 〇〇-△△…。 : : :
--

7 文中の文字について

- (1) 本文は、日本語を用いること（他言語不可）。
- (2) 本文は、「である調」とする。
- (3) 句読点は「、」「。」を用いる。
- (4) できるだけ常用漢字、現代かな使いを用いる。
- (5) 日本語のフォントは「明朝 9P」とする。
- (6) 英文、英略字（ME、CAI等）は「Times New Roman」を用いる。

[例] ME、CAI、

Summary of the Results of the “Study on the Development…………”

- (7) 数字は「算用数字 Times New Roman」を用い、3桁毎にコンマを入れる（但し、西暦

年代にはコンマは不要)。また、漢字と結合して使用する場合は漢数字を用いる。

[例] 1,050 円、15.4%、3,213,000 人、2009 年 2 月 14 日

一つの、一例を挙げると

- (8) 小数点以下の桁数は、比率をパーセントは小数点以下の 1 桁、相関係数、因子負荷量等は小数点以下の 3 桁が、一般的な有効桁数である。

8 単位・記号・数値等について

- (1) 単位は原則として国際単位系 (SI) を用いる。数字は「算用数字 Times New Roman」を用い、単位記号は「Times New Roman」を用いる。

[例] 5MPa、9.8N

- (2) 量を表す数字は「算用数字 Times New Roman」を、量を表す記号は「Times New Roman」の斜字体を用いる。

[例] 量を表す数字 20、15.4、3,213,000

量を表す記号 $a, b, c, d, \dots, u, v, z, y, z$

9 数式について

- (1) 数式は「Times New Roman」の斜字体を用い、大文字・小文字・上付・下付などがはっきりわかるように記述する。

- (2) 式中での括弧の順序は原則として { [()] } とする。

- (3) 式が途中で切れる場合は、改行のはじめに $\times / \cdot + \cdot -$ 等をつける。

- (4) 数式は各式の右端に ……(1)、……(2) のように通し番号をつける。本文中では式 (1)、式 (2) のように記述する。式番号は「算用数字 Times New Roman 9P」を用いる。

- (5) 分数については、式中では $\frac{a+b}{c+d}$ 、文中では $(a+b)/(c+d)$ のように入力する。

<数式の記述例>

$$S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{dQ}{T} \quad \dots\dots(1)$$

$$\dot{m} = P_c A_t \sqrt{\frac{\gamma}{RT_c} \left(\frac{2}{2+\gamma} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma+1}}} \quad \dots\dots(2)$$

なお、日本語ワープロの「数式エディタ」などを活用すると、容易に数式を書くことができる。

10 記述例

執筆は次項以降の「文字の大きさ及びフォント等」及び「記述例」を参照のこと。

11 原稿（報文誌）テンプレートについて

ページ設定を参照のこと。(文字数は24文字、字送りは9 P、行数は45行、行送りは15.2 P)

文字の大きさ及びフォント等

カテゴリ分類	Pゴシック	14P	全角	太字	左詰め
日本語表題	Pゴシック	22P	全角	太字	中央揃え
副題	Pゴシック	16P	全角	太字	中央揃え
所属施設名、部署名、 著者名、共著者名	明朝	10P	全角		右詰め
英語表題、副題、著 者名、共著者名	Times New Roman	11P	半角		
要約タイトル	Pゴシック	11P	全角	太字	左詰め
要約本文	明朝	9P	全角		左詰め
本文	明朝	9P	全角		
本文 節番号	Pゴシック (ローマ字)	11P	全角	太字	左詰め
本文 節タイトル	Pゴシック	11P	全角	太字	左詰め
本文 小節番号	Pゴシック (算用数字)	11P	全角	太字	左詰め
本文 小節タイトル	Pゴシック	11P	全角	太字	左詰め
英文・英略字	Times New Roman	9P	半角		
数字	Times New Roman (算用数字)	9P	半角		
数式	Times New Roman 斜字体 (=イタリック)		半角		
図・写真 番号	Pゴシック (算用数字)	9P	半角	太字	図・写真の下中央
図・写真 タイトル	Pゴシック	9P	全角	太字	
表 番号	Pゴシック (算用数字)	9P	半角	太字	表の上中央
表 タイトル	Pゴシック	9P	全角	太字	
注 番号	Times New Roman	9P	半角		左詰め
注 タイトル	Pゴシック	9P	全角	太字	左詰め
注 記述部分	明朝	9P	全角		左詰め
参考文献 番号	Times New Roman	9P	半角		左詰め
参考文献 タイトル	Pゴシック	9P	全角	太字	左詰め
参考文献 記述部分	明朝	9P	全角		左詰め

<実践報告・資料>

カテゴリ分類：
Pゴシック 14P 太字 左詰め

日本語表題：
Pゴシック 22P 太字
中央揃え

職業能力開発報文誌投稿原稿執筆要領

英語表題・副題及び著者名・共著者名（ローマ字名）：
Times New Roman 11P
表題の上下に罫線を引く
英語表題・副題は左詰め
著者名・共著者名は右詰め

一記述例一

日本語副題： Pゴシック 16P 太字
左右に「-」を付ける、中央揃え

所属施設名、部署名、
著者名、共著者名：
明朝 10P、右詰め

◎◎職業能力開発促進センター 職大 太郎
△△職業能力開発大学校 能開 花子

Guidance for Writing Papers of BULLETIN OF HUMAN RESOURCES DEVELOPMENT - Example -
SHOKUDAI Taro, NOUKAI Hanako

要約

◎◎職業能力開発促進センター、△△職業能力開発大学校では、

要約タイトル：
Pゴシック 11P
太字、左詰め

要旨本文：明朝 9P、
43文字×14行、
600字以内、左詰め、
横位置は用紙の中央に配置

I はじめに

III ○○○○○○○○○○

1 ○○○○○○○○○○

本文節：
節番号はローマ数字 Pゴシック 11P 全角 太字
タイトルは Pゴシック 11P 太字
左詰め、前後を1行空ける。

本文小節：
小節番号は 算用数字 Pゴシック 11P 全角 太字
タイトルは Pゴシック 11P 太字
左詰めで1行に納める。前を1行空ける。

2 ○○○○○○○○

本文：2段組、明朝 9P、
24文字×15～20行程度（行数は、
要旨の文字数等により変わる）
英文・英略字は Times New Roman、
数字は 算用数字 Times New Roman
を用いる。

II ○○○○○○○○○○

$$S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{dQ}{T} \dots\dots(1)$$

$$\dot{m} = P_c A_t \sqrt{\frac{\gamma}{RT_c} \left[\frac{2}{2+\gamma} \right]^{\frac{\gamma-1}{\gamma+1}}} \dots\dots(2)$$

数式は Times New Roman の斜字体を用い、大文字、小文字、上付、下付などがはっきりわかるように区別する。
式番号は Times New Roman を用いる。

論文受付日 R1. 4. 1

論文受付日：事務局で記入

V ○○○○○○○○○○

1 ○○○○○○

本文：2段組、明朝 9P、
24 文字× 45 行、1 ページ 2160 文字
英文・英略字は Times New Roman、
数字は 算用数字 Times New Roman を用いる。

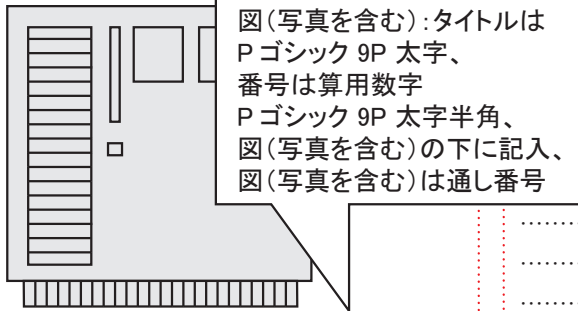


図5 △△△△△△△△△△△△

図(写真を含む)：タイトルは
Pゴシック 9P 太字、
番号は算用数字
Pゴシック 9P 太字半角、
図(写真を含む)の下に記入、
図(写真を含む)は通し番号

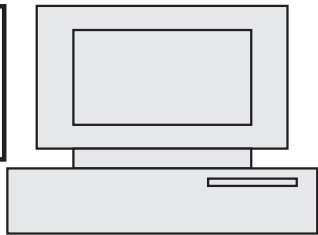


図6 △△△△△△△△△△△△

図表は本文との間に空行1をとる。ページの
中間には配置せず、上か下に置くことを推奨
する。また、必要により段組みを一部解除し、
1 頁の左右にまたがる配置としてもよい
(例：通巻 48 号の 36 頁)

VI おわりに

注：タイトルは
Pゴシック 9P 太字

注：明朝 9P
注釈番号は Times New Roman 9P

[注]

- (注1) A 社における開発部は、製品の企業開
- (注2) A 社の製品製造事業部は…

参考文献：タイトルは
Pゴシック 9P 太字

[参考文献]

- (1) ○○県企業庁発行、○○県中小企業支援事業計画、
20××年□月、pp.△△-○○…。
- (2) 職業能力開発総合大学校基盤整備センター調査研
究報告書第△△号「職業能力開発に関する相談援
助、情報提供の実態調査」、平成○年×月、pp.□
□-△△…。
- (3) ○○省、平成××年度○○基本調査、
<http://www.○○.html> 参照：20××年□月。
- (4) 著者名、論文名、誌名、号数、**年、p.△△。
- (5) 著者名、書名、出版社名、○○年、pp.◇◇-
□□。

参考文献：明朝 9P
文献番号は Times New Roman 9P

2 ○○○○○○

表：タイトルは
Pゴシック 9P 太字、
表番号は 算用数字
Pゴシック 9P 太字 半角、
表の上に記入

- 資料等の場合
- 報告書等の場合
- ホームページの場合
- 論文誌等の場合
- 書籍等の場合

表3 △△△△△△△△△△△△

人数	1995年		1998年		2000年		2004年		2006年		2008年	
	男	女	男	女	男	女	男	女	男	女	男	女
正規社員												
非正規社員	契約社員											
	パート											
	アルバイト											

原稿（報文誌）テンプレートのページ設定
文字数は 24 文字、字送りは 9 P、行数は 45 行、
行送りは 15.2 P

編集委員会だより

- 当誌への投稿は、(独) 高齢・障害・求職者雇用支援機構職員であればどなたでも可能です。
- 巻末に掲載した「投稿のしおり」に基づき執筆をお願いします。
- 投稿は随時受け付けています。
- 投稿された論文は審査終了後、最寄りの号に掲載されます。
- 当誌の内容は、基盤整備センターホームページ「報文誌・年報・その他の刊行物」から閲覧、ダウンロードできます。
URL : <https://www.tetras.uitec.jeed.go.jp/>
- 投稿に関する問い合わせは、事務局（職業能力開発総合大学校 基盤整備センター 企画調整部 企画調整課）までお願いします。

職業能力開発報文誌 第34巻第1号(通巻53号)

発行 2023年2月
編集・発行 職業能力開発総合大学校基盤整備センター
〒187-0035 東京都小平市小川西町 2-32-1
TEL 042-348-5074 (企画調整課)
印刷 社会福祉法人 東京コロニー コロニー東村山印刷所
〒189-0001 東京都東村山市秋津町 2-22-9

BULLETIN OF HUMAN RESOURCES DEVELOPMENT

Vol.34 No.1 (53) (2022)

<REPORT>

Initiatives for local activities that utilize expertise
~"Workshop" activity example in Gotsu City~

TAKEGUCHI Koji

Case Report on Education and Training by Loading Tests Using Truss
Models

KOYAMA Tatsushi

Development of a device that automatically discriminates spatter on
welded bolts

KANNO Kinichi *

Production of a receiver and operating device using a laser leveler

YAMASHITA Yasuhiro *

Development of the automatic materials cutting device that can be
equipped with a machining time measurement system

MIZUNO Jun *

Development of Practical Training Materials on Gain Tuning of PID
Control Using A General-Purpose Inverter

IGARASHI Tomohiko *

*representative

<The rules for contributors>