

近畿能開大ジャーナル

Journal of Kinki Polytechnic College
No.33 2025

実践報告

2024年度 専門課程総合制作実習概要

2024年度 応用課程開発課題実習概要

2024年度 における表彰



近畿職業能力開発大学校

<https://www3.jeed.go.jp/osaka/college/>

目次

【巻頭言】

- 近畿能開大ジャーナル No. 33 の発刊に際して 北條 正樹 2
学びの視点を変えるー「ものづくりの考え方」を創造的に学ぶ

【実践報告】

- フロントアクスルカバー製造における寸法, 形状, 表面欠陥の
自動検査システムの開発 3
佐藤 桂 清水 隆之 武川 肇
矢口 博道
- 構造用集成材における材質および断面構成の違いが
柱梁接合部せん断性能に及ぼす影響 8
松岡 亘
- ロボット農機の開発 13
久保 幸夫 田中 倫之 上間 豊久
藤井 昌之
- シリンダヘッドカバー製造支援システムの開発 17
天野 隆 石田 真一 小南 嘉史
- 伝統構法木造建築物に用いられる竿車知継手を有する柱ー梁接合部の
曲げ性能評価に関する研究 22
宇都宮 直樹 福井 陽人 宮本 慎宏
中尾 方人
- 開発課題実習「部品整列供給装置の開発」における指導の考え方 25
大山 有利 吉崎 元二 中島 英一
- 3Dスキャナーを用いたバンブーアートのデジタルヘリテージ 29
竹口 浩司 村岡 寛
- 東大寺鐘楼（鎌倉期建造物）建造時の背景と模型制作 33
田島 幹夫
- 圧電素子を用いた発電システムの開発 41
堀 真吾
- 空気エンジンの制作 43
姉崎 晶久
- 若年者ものづくり競技大会に向けた取組み 45
モンゴメリー 露伊 エリクス 小出 久美子

【実習テーマ・表彰】

- 2024（令和6）年度専門課程総合制作実習概要 48
2024（令和6）年度応用課程開発課題実習概要 60
2024（令和6）年度における表彰等 64

近畿能開大ジャーナル No. 33 の発刊に際して 学びの視点を変えるー「ものづくりの考え方」を創造的に学ぶ

工科系の分野は、数学や各種自然科学を基礎とするだけでなく、社会や人間とも深くかかわって、公共の経済活動、安全、健康、福祉のために有用な事物や快適な環境を構築することを目的としている。最先端の理論と実際の社会で使われる「もの」を通じた実践の双方の視点および、これらを両立させるための俯瞰的な考え方が重要となる。また、すべての点で完璧な「もの」を作ることは不可能で、実現可能な技術や境界条件に合わせ、いかに適切に妥協するかは視点も大切である。言い換えると、広くかつ深く勉強する総合力も大切な分野と考えられる。

この分野の人材育成においては、座学だけでなく、実際にもものづくりを体験しながら実践的に学ぶことが極めて大切である。実験や実習を通じて常に実際の「もの」に触れ、その仕組みについて理論と実践の観点からバランスよく理解することにより、はじめて、知識と技、発想力を併せた「ものづくりの考え方」を身に付けることができる。

我が国の中等教育までの学習においては、どちらかという、予め決められた問題に対して答えを最短で求める方法を重点的に学習してきたと思われる。ただし、この「解法のパターン」を覚える手法では、既成の問題にしか対応できない。一方、社会とのつながりを考えて製品を企画、設計し、実際に製作し運用するという過程で重要になるのは、答えがわからない問題、答えのない問題への取り組みである。すなわち、基本的な学びの視点を変えることが必要である。

製品を設計するためには、多くの経験が大切といわれる。言い換えると、「創造的な設計には多くの試行錯誤や失敗を経験すること」が大切である。また、人は試行錯誤や失敗をすることにより、体系的な知識の必要性を体感、実感し、より深く考えるようになると言われている。この試行錯誤を含めた体験が、どんな場面にも応用できる真の体系化された知識とその理解につながるだけでなく、試行錯誤にこそその発展の種が潜んでいて、未知の知識の発見と成長につながると思われる。

能開大の人材育成の特徴は、専門課程2年次の総合制作実習、応用課程1年次の標準課題実習、2年次の開発課題実習と、多くのプロジェクト型の実習が組み込まれていることにある。これらの課題実習においては、知識と技、発想力を基として、具体的な製品開発の企画、設計、製作、運用を、数多くの試行錯誤を体験しながら学習する。また、学科の垣根を越えた学習や、市場も考えた総合的な判断に触れることが、貴重な機会となっている。

もう一つの重要な視点として、ものづくりにおいては、課題に広くかつ深く取り組むために、異なる分野を専門とするメンバーからなる混成チームでの活動が欠かせない。互いに意思疎通を活発に行うとともに、相手を尊重し、各自の優れたところを伸ばすことが大切である。能開大における上記のプロジェクト型実習においては、グループ学習を基本とし、開発課題実習においては、機械、電気、電子情報の分野では、3分野合同のチームを形成して課題に取り組むなど、コミュニケーション力、チームワーク力、リーダーシップ力を育てる工夫がなされている。これにより、「ものづくりの考え方」に加えて「ものづくりに必要な人間力」を体得できる、工科系人材の理想的な育成システムになっている。

本ジャーナルは、近畿職業能力開発大学校、滋賀職業能力開発短期大学校、京都職業能力開発短期大学校において、上記のプロジェクト型の実習を中心に、教員の成果およびR6年度の専門課程、応用課程の学生の成果をまとめたものである。今後の教育訓練に資するとともに、ご忌憚のないご意見を頂戴できれば幸いである。

近畿職業能力開発大学校
校長 北條 正樹

フロントアクスルカバー製造における 寸法，形状，表面欠陥の自動検査システムの開発

Development of Automated Inspection System for Geometrical Accuracy and Surface Defects in Front Axle Cover

佐藤 桂^{*1}，清水 隆之^{*2}，武川 肇^{*3}，矢口 博道^{*4}

本プロジェクトは，株式会社エナテックから依頼を受け，農業機械部品であるフロントアクスルカバー（前輪車軸カバー）の製造プロセスにおける幾何形状（真円度）の不良問題の解決を目指して進められた。出荷された製品が取引先で不良判定となる事象が頻繁に発生しており，その原因究明と対策が重要な課題とされている。現在の寸法検査は，作業者による2カ所測定（90度）の測定に依存しており，全周にわたる寸法の正確性に欠ける。また，測定時における人為的誤差が生じる可能性がある。本プロジェクトでは測定時の人為的誤差を排除し，かつ測定対象部における正確な直径測定と真円度の算出，合わせて表面欠陥検査までを自動化する装置の開発を行った。

Keywords：形状可視化，精度，キャリブレーション，表面欠陥検査，最小二乗法，真円度。

1. 緒言

本プロジェクトは，株式会社エナテック（以下，エナテック）からの開発依頼を受け，同社が主要事業とする農業機械部品，特にフロントアクスルカバーの製造プロセスにおける幾何形状の不良問題を解決すべく，学生主体の開発課題として実施されたものである。エナテックでは，高い寸法精度が要求される製品の検査を現在，人の手による直径値二点測定（90度角度変更）で実施しており，この検査体制下で出荷された製品が取引先で不良判定となる事象が頻発している。この課題に対し，測定時の人為的誤差を排除し，正確な直径測定及び真円度の算出を可能とする装置の開発が喫緊の課題として挙げられた。

本プロジェクトは3年間の継続的な取り組みとして位置づけられ，過去2年間で着実に成果を積み上げてきた。

開発1年目では，外径寸法の自動測定機能および温度補正機能を実装し，測定の自動化と寸法検査における精度向上を図った。続く2年目では，製品の形状不良を数値化し，不良原因究明に資する真円度の自動算出機能を実装した。そして本年度は，エナテックの製造ラインへの本格導入を見据え，装置での連続検査および自動鑄巣外観検査の実現，さらには工場内環境での軸ずれ校正の容易化と校正状態の維持という，より実践的な課題解決を目指し，装置開発を進めた。

この取り組みは，学生が実社会の具体的な課題に直面し，複数分野の専門知識を結集して解決策を模索する，実践的な課題解決能力を養う貴重な機会となった。

2. 目的・目標

前述の背景を踏まえ，本年度の開発では，製品の連続検査を可能にする装置の実現を最終目的と定めた。

この目的を達成するために，以下の3つの具体的な目標を設定し，学生たちはその達成に向けて取り組んだ。

【目標1】製品の連続検査のため，軸ずれ校正とその後の状態を維持可能な装置の実現。

【目標2】自動鑄巣検査を行うにあたり，製品の全数検査への対応が要求される。よって1製品あたりの加工時間より，サイクルタイム3min以内の実現。

【目標3】製造ライン内設置に向け，工場内環境においても校正が可能な装置。

3. 装置概要と構成

3.1 装置概要 主に以下の測定方法と関連システムにより構成される。

- ① 測定手法：比較測定にて半径値および直径値を算出するため，変位センサを用い，マスターゲージと製品の変位量差を取得し，半径値および直径値の算出を行う。※一昨年実装[1]
- ② 測定値への自動温度補正機能：製品及び変位センサ測定子温度を温度センサで取得する。取得した温度から温度補正係数を生成し，算出した半径値へ補正を行う。この補正により正確な製品の寸法検査を可能にする。※一昨年実装[1]
- ③ 真円度自動算出機能：半径値から真円度を算出する。これにより形状寸法を数値化し，不良事象の原因究明を図る。※昨年度実装[2]
- ④ 対象面における自動外観検査機能：イメージセンサを使用し，検査対象面における鑄巣の有無を画

*1 近畿職業能力開発大学校生産機械システム技術科

*2 近畿職業能力開発大学校生産電気システム技術科

*3 近畿職業能力開発大学校生産電子情報システム技術科

*4 近職業能力開発大学校生産電気システム技術科

（現 東海職業能力開発大学校生産電気システム技術科）

像測定する。この機能により、鋳造欠陥の発生傾向分析を図る。

3.2 構成 開発された装置においては、装置全体を 5 つのユニットに分け、それぞれの専門分野で設計・実装を担当するグループを形成し、総体として高精度な寸法・形状・外観検査を自動で行うシステムとして完成した。測定対象物の製品仕様を表 1 に、比較測定に用いるマスターゲージの仕様を表 2 に、それぞれの外観を図 1 に示す。

表 1 製品仕様

項目	内容
重量	6.9kgf
最大寸法	Φ291mm
測定対象寸法	Φ262mm
サイズ公差	-0.040mm ~ -0.005mm
最大高さ	80.5mm
材質	FC250(ねずみ鋳鉄)

表 2 マスターゲージ仕様

項目	内容
重量	8.5kgf
基準寸法	Φ261.9825mm
サイズ公差	+0.005mm ~ -0.005mm
最大高さ	80.5mm
材質	S45C



a.製品 b.マスターゲージ
図 1 製品及びマスターゲージ外観

本装置は使用者の身長を 1650mm ~ 1750mm として設計した。また、全周を 1 度ずつ測定し 1 周 360 点の測定点とした。これらの数値はエナテックより指定された。扉による、はさまれ・落下への安全措置として、定荷重ばねを扉に取り付け、作業中における扉の自重降下を防止した。加えてライトカーテンを設け、扉の降下動作中に手や腕が筐体内に侵入した際、強制的にエアにて自動で上方向に扉を開く設計とし、はさまれに対する安全対策を行った。

本装置は主に操作盤とフットスイッチで操作され、押しボタンやタッチパネルも利用される。起動ボタンを押すと、サーボモータと電動スライダに電源が供給され、装置は運転準備状態となる。

操作盤と筐体正面下部に設置された非常停止ボタンは、モータドライバ回路を完全に停止させ、エラー画面を表示する。フットスイッチは、扉の開閉や製品の把持動作に使用され、操作盤では運転モードの選択や

エラーの表示も可能である。

本装置の仕様を表 3 に、外観を図 2 示す。

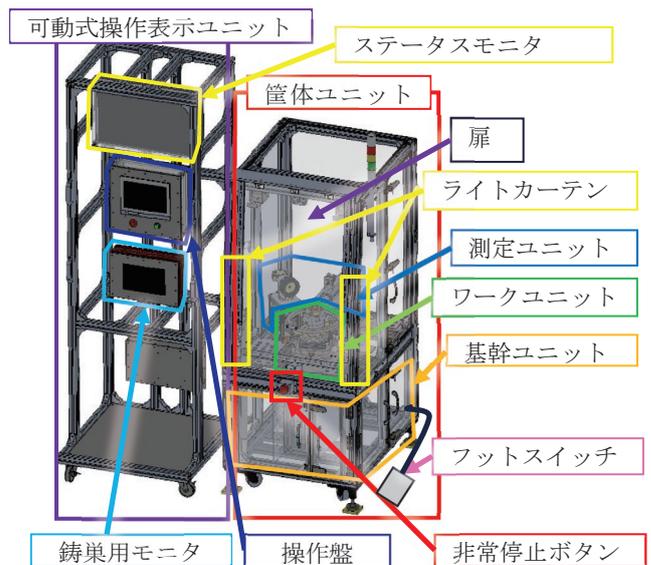


図 2 装置外観

表 3 装置仕様

項目	内容	
幅	1100mm ~ 1400mm 以内	
奥行	830mm ~ 1500mm 以内	
高さ	2000mm 以内	
作業部高さ	950mm	
動作周囲温度	5°C ~ 45°C	
周囲相対湿度	40% ~ 80%	
最小表示単位(外形寸法)	0.001mm	
正確さ(外形寸法)	±0.004mm	
操作方法	押しボタン, フットスイッチ, タッチパネル	
安全装置	非常停止ボタン, 防護板, インターロック, 安全扉	
データ記録数	217000 件	
防塵防水保護等級	IP42	
対象身長者	1650mm ~ 1750mm	
電源	単相 100V, 三相 200V, 60Hz	
駆動方式	測定部	電動方式
	回転部	電動方式
	扉	エア方式
空圧源	コンプレッサー	
制御機器	PLC, FPGA	
データベース	PC	
サイクルタイム	3min 以内	
製品脱着工程	3 工程以内	

3.2.1 筐体ユニット アルミフレームとアクリル板で構成される。製造現場で散見されるオイルミストを考慮し、本ユニットは IP42 の規格を満たす必要がある。したがって、アルミフレーム・アクリル板間に防水パッキンを用いた。配線においては、筐体外に出る電線

の隙間からの侵入を防ぐため、ゴムブッシュを用いている。筐体ユニット組立後、200mmの高さから15°の範囲に3～5mm/minの水滴を10分間かけ、IP42の規格を満たしていることを確認した。

3.2.2 可動式操作表示ユニット 表示用モニタ類及び操作盤を、作業者が任意位置で移動・固定が可能にするため設けたユニットである。アルミフレーム及びキャスターで構成されており、最大・最小直径値、真円度及び各種パラメータを表示するステータスモニタ、操作盤及び鑄巣位置、面積を表示する鑄巢用モニタを搭載する。

操作盤は人間工学を基に対象者身長に適した設置高さ(1412mm)とした。ステータスモニタ及び鑄巢用モニタは、モニタアームによって、任意の画面角度へ変更が可能である。これは人間の最適視認範囲が内眼角距離の水平から30度±15度であり、作業者の身長に合わせた目線とするためである。

各搭載機器の用途及び機能について表4に示す。また、ロック付きキャスターにより任意の位置への移動・固定を実現した。

表4 搭載機器及び機能

搭載機器	機能
ステータスモニタ	測定直径値の表示 測定形状の表示 XY軸ズレ量表示 直径値・真円度合否判定 測定時の温度表示
操作盤	電源投入 非常停止 運転モード選択 エラー表示
鑄巢用モニタ	鑄巣位置・面積表示 検査幅変更 鑄巣検査合否判定 総合合否判定

3.2.3 基幹ユニット 制御機器、配線を筐体内に内包する役割をもつユニットである。制御盤を3つに区切り、頻繁に使用されるブレーカやサーキットプロテクタを正面に、制御回路の配線を両側面に設置した。

3.2.4 ワークユニット 固定ユニット、回転ユニット、モータユニットで構成される。これらは製品の把持及び回転の役割を持つ。ワークユニット概要を図3に示す。

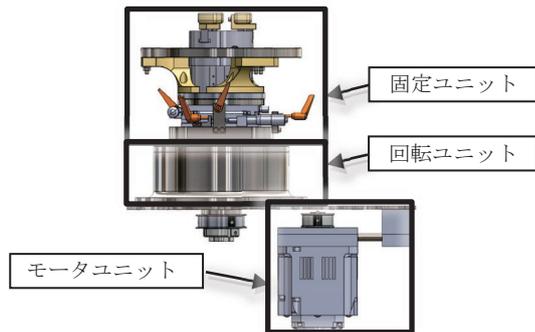


図3 ワークユニット概要図

固定ユニットは、【目標1】で示したように、校正後の状態維持の実現及び、製品測定時のサーボモータ回転軸と製品回転軸の軸ずれ校正の役割がある。

固定ユニットを図4に示す。軸ずれ校正は、XYテーブル及び水平リングで行う。水平リングはフィラージにより調整を行い、測定室ベースとの平行状態を実現している。また、XYテーブルのクランプ機能により校正後の状態を維持する。

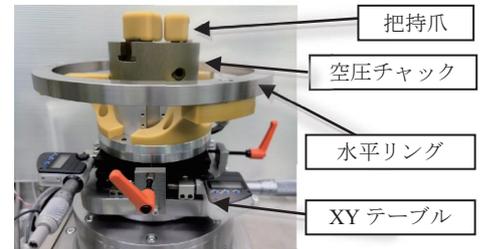


図4 固定ユニット

回転ユニットは製品測定時において製品を回転させる役割をもつ。製品設置時に起き得る荷重に対する耐性が求められた。アキシャル荷重は固定ユニットが17.5kgf、回転ユニットが29kgf、製品6.5kgfで合計が53kgf未満となるように考慮した。また、ラジアル荷重については製品を運ぶ加速度が作業者によって変化するため、重力加速度と同じ9.8m/s²を採用した。その結果、ラジアル・アキシャル両方向の荷重に耐性を持つクロスローラベアリングを採用した。

正確な変位量を取得する為、測定に影響のない安定した回転精度が求められる。回転精度を安定させるため、ロータリーエンコーダが内蔵されたモータを選出し、電子ギアにより1回転あたり指令入力パルス数を3600とし、1回転あたり0.1度の精度でフィードバック制御を行い、回転精度の安定に務めた。また、サーボモータ動作開始から測定開始間に加速時間を設けた。これにより再現性と信頼性のある変位量の取得を可能とした。

モータユニットはサーボモータの動力伝達に用いるベルトのテンション調整の役割を持つユニットである。サーボモータ及びテンション調整部品で構成される。

3.2.5 測定ユニット 寸法測定ユニット、鑄巣検査ユニットの2つから構成される。

寸法測定ユニットは、製品の測定対象部分における直径値の測定を可能にする役割を持ち、変位センサ及び電動スライダで構成される。半径測定時、変位センサを測定対象部に接触させ、変位量を取得する。変位センサの移動は電動スライダを使用し、スライダに搭載されている電磁ブレーキにより、位置を保持する。

鑄巣検査ユニットは、測定対象面における鑄巣の有無を検査が可能な状態を保持することを目的としたユニットである。イメージセンサ(赤外線対応)・赤外線照明・赤外線透過フィルタから構成される。防護版が透明アクリルで構成される為、外部光(可視光)を遮断する必要がある。そこで赤外線透過フィルタにより外部光を遮断し、撮影する。

3.3 システム構成 システム構成を図5に示す。

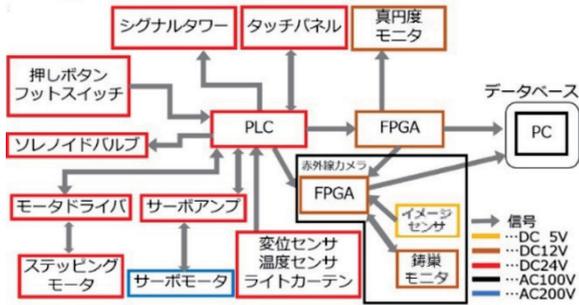


図5 システム構成

4. 検査機能

4.1 概要

本装置は、寸法算出、真円度算出、鑄巣検査、温度補正係数校正、データ解析、データ管理の6つの機能を持っている。

4.2 寸法算出

この機能は【目標2】で示したように、サイクルタイム3min以内の実現及び製品直径の正確な自動検査を実装するための機能である。測定には変位センサ、算出の処理にはPLC (FX5UC-64MT/D) 及びステータスマニタ用FPGA (SK-KV260-G, コアプロセッサ SM-K26-XCL2GC) を用いる。

算出プロセスは、寸法測定ユニットに搭載される変位センサにて基準器と製品の変位量360点分を測定する。変位量は基幹ユニットに搭載されるPLCに入力され、半径値が算出される。その後、FPGAにて直径値の算出及び温度補正を行い、ステータスマニタへ表示する。また、PLCとステータスマニタ用FPGAの通信に逐次通信を採用し、測定と算出を並行して行うことでサイクルタイム3min以内を実現した。

4.3 真円度算出

算出した半径値を基に製品形状の真円からの狂いの大きさを表す真円度を算出する機能である。この機能により製品外径(261.960mm~261.995mm)の範囲であっても不良判定になり得る製品の発見が可能である。

真円度は、最小二乗法により中心補正を行った後に、半径の最大から最小を減算して算出する[3]。また、この機能には、製品形状の可視化機能を搭載しており、これにより製品加工工程における不良原因の特定を図ることも可能である。

4.4 鑄巣検査

製品のオイルシール取り付け面における鑄巣有無の自動検査を行う。検査対象部を図6に、鑄巣仕様を表5に示す。



図6 鑄巣検査対象部

表5 検査対象鑄巣仕様

項目	内容
鑄巣種類	ピンホール
最小検出サイズ	0.8mm
最大検出サイズ	10mm
スキャン速度	11.2mm/s
鑄巣面積単位	mm ²

検査において赤外線照明を用いて鑄巣の位置・面積を陰影により明確化する。イメージセンサから取得した画像の縦1pxを高速で切り取り、縦100px横500pxのトリミング画像を250pxずつ生成する。このトリミング画像に対してフィルタ処理をかけ、二値化処理を施す。処理後の画像に作成した検知プログラムを実施することで、鑄巣検査を可能とした。

イメージセンサより取得した画像データの処理方法を図7に、二値化処理による取得画像の違いを図8に示す。

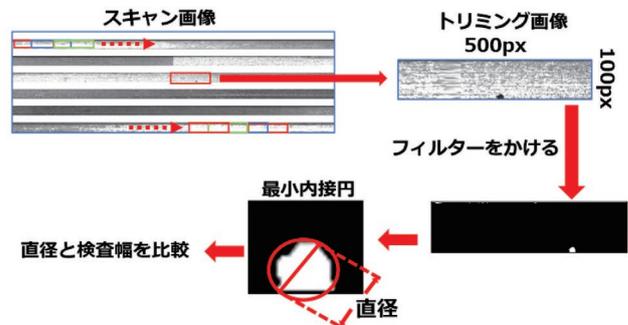


図7 画像データ処理方法

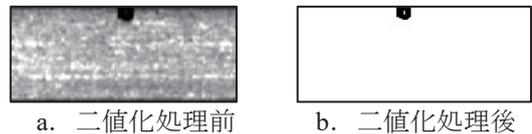


図8 二値化処理実施画像

4.5 温度補正係数校正

この機能により【目標3】で示したように、工場内での校正を可能にする。

現状、エナテックでの製品測定では、温度変化による材料の熱膨張が考慮されていない。一般的に測定時、直径値へ対して20℃の状態へ温度補正を行うが、製品は鑄物であるため、理論的な線膨張係数による補正では目視で確認できない内部鑄巣の有無、その大きさ、ねじやブラケットといった他の部品の材質による線膨張係数の違いなどパラメータが数多く存在し、複雑になりすぎて十分に目的の精度が得られない可能性がある。そこで、異なる温度帯における基準器の温度補正前最大直径値と温度データを基に、温度による測定値のズレを最小二乗法にてキャリブレーションカーブを算出した。これにより、正確な直径値を計算するための温度補正量を導出した。

温度補正機能の校正をシステム内でできることにより、工場内において校正が可能な装置を実現した。

4.6 データ解析

データ解析機能は、フィルタのカットオフ値、真円度算出用基準円、表示倍率、温度補正

前データ可視化の有無を4つの条件で設定し、画像を再描画し、真円度を解析する。

真円度は「円形形体の幾何学的に正しい円からの狂いの大きさ」とJISで規定されている。真円度は形状偏差のグループに属するためデータムを必要としないが、データムの代わりに基準円（真円度曲線に当てはめた円）を利用する。

基準円と真円度曲線（実際に測定した円）の最大値（外側）および最小値（内側）に接し、間隔が最小になる二つの同心円間を測定する。図9に真円度曲線と最小領域基準円の偏差を示す【4】。

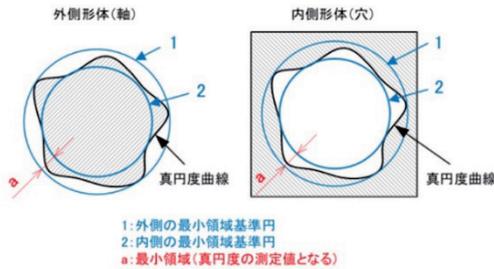


図9 真円度曲線と最小領域基準円の偏差

カットオフ値は1周円における頂点の数（製品の周長に対する山数という）を変更し、山数が少なくなると滑らかな図形になる。本機能では、山数を3, 15, 50, 150に設定できる。基準円は最小二乗法もしくは最小領域法で求めたものから選択できる。

表示倍率を変更し詳細な製品形状を表示することで、不良の特徴などの分析に役立てることができ、1000, 2000, 5000倍から選択できる。

フィルタのカットオフ値、真円度算出用基準円、表示倍率変更機能は、真円度測定機にも実装されている重要な機能である。温度補正前データの可視化は、温度による影響を見比べられる。温度補正により、寸法だけでなく、真円度にも変化が起こる。

4.7 データ管理 検査結果の保存、管理、閲覧機能を持つ機能である。この機能は製品に不良が発生した場合、不良原因の特定に用いる。また、備考欄を設け不良品のデータに不良原因として推察される事項の記録を行うことで不良傾向の分析に用いる。管理機能には1日分のデータ表示機能があり、保管されるデータ件数が膨大な場合についても、指定データの容易な表示を可能としている。

5. 検証・評価

本装置は、以下の5項目に対して検証・評価が行われた。

- ① 連続検査（8時間）における軸ずれ校正の維持: エナテック工場内にてマスターゲージを160回測定し、軸ずれ校正後の状態を維持して正常に判定できることが確認された。
- ② 寸法測定精度: 300回測定した結果、最大直径値の標準偏差(2σ)は0.00486mm（目標0.006mm）、最小直径値の標準偏差(2σ)は0.00432mm（目標0.006mm）であり、目標値を達成している。
- ③ 真円度算出と形状可視化: 真円度の算出および形

状の可視化機能が正常に動作することが確認された。図10に動作画面を示す。



図10 ステータスマニタ動作画面

- ④ 鑄巣検出: 最大幅1mm以上の鑄巣を検知可能である事を確認した。図11に鑄巣検査モニタの動作画面を示す。



図11 鑄巣検査モニタの動作画面

- ⑤ サイクルタイム: 300回測定した結果、1製品あたりのサイクルタイムは143secであり、目標の3min(180sec)以内を達成した。

6. 結言

本開発により、フロントアクスルカバーの幾何形状不良問題に対応する高精度な自動測定装置が実現された。特に、人為的誤差の排除、温度補正による正確な寸法測定、真円度の詳細な解析、および鑄巣の自動外観検査といった機能が統合され、製造ラインにおける連続検査の要求を満たすことが検証された。今後、本装置は株式会社エナテック内にて実証実験後、ライン内に投入される。

7. 謝辞

本装置の開発は、株式会社エナテック様からの開発依頼と多大なご支援により実現いたしました。農業機械部品の品質課題解決に向けた貴社の長期的なご協力に、深く感謝申し上げます。

また、回転ユニットの設計におきましては、坂口昇三講師に深い知見に基づく貴重なアドバイスをいただきました。ここに厚く御礼申し上げます。

文献

- [1] 吉澤慶司・ほか12名: 令和4年度総合製作実習・開発課題実習報告書, 近畿職業能力開発大学校, pp.86-89, 2022.
- [2] 谷口元太・ほか12名: 令和5年度総合製作実習・開発課題実習報告書, 近畿職業能力開発大学校, pp.92-95, 2023.
- [3] 大森義幸: はじめての真円度測定, 精密工学会誌, vol82, No.9, 2016.
- [4] meviy, https://jp.meviy.misumi-ec.com/info/ja/blog/yamada_2/47866/ 参照: 2025.2.6.

(2025年10月30日提出)

構造用集成材における材質および断面構成の違いが 柱梁接合部せん断性能に及ぼす影響

Effects of Wood Quality and Composition of Lamina or Elements of Laminated Lumber on Shear Strength Performance of Column-Beam Joint

松岡 亘^{*1}

構造用集成材における材質および断面構成の違いが柱梁接合部せん断性能に及ぼす影響を把握する目的で、柱梁接合部試験体を作製し、静的加力せん断試験を行い、その柱梁接合部せん断性能を明らかにした。その結果、梁材の材質特性の違いが柱梁接合部せん断性能に及ぼす影響は、梁材の密度の違いによる影響を受けるとともに、動的ヤング率の違いの影響も受ける可能性のあることが認められた。また、断面構成の違いによる柱梁接合部せん断性能に及ぼす影響は、今回のような梁受け金物を使用する場合においては、梁材全体の断面構成の影響を受けない可能性のあることが認められた。

Keywords: 構造用集成材, 断面構成, 梁受け金物, せん断性能.

1. 緒言

2012年10月1日に施行された「公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律」により、低層公共建築物は、原則的に、全て木造としなければならないという方針が示された[1]。林野庁によると、この法律の趣旨は「木材の利用の確保を通じた林業の持続的かつ健全な発展を図り、森林の適正な整備および木材の自給率の向上に寄与するため、農林水産大臣および国土交通大臣が策定する公共建築物における国内で生産された木材その他の木材の利用の促進に関する基本方針について定めるとともに、公共建築物の建築に用いる木材を円滑に供給するための体制を整備する等の措置を講ずる。」である[1]。この趣旨に基づき、木材利用の促進のための措置を整備する必要があり、特に、木造技術基準の設計図書整備に関しては、急務であると考えられる。

公共建築物は、木造住宅と異なり、比較的大きな断面寸法の柱材や梁材が必要であり、構造用集成材を用いることが必要不可欠である。また、一定規模以上の空間を確保するためには、これまでの鉛直構面を耐力要素とした構造ではなく、ラーメン構造にする必要性も検討しなければならない。しかしながら、これまでに、2000年以降の法律に準拠した木質ラーメン構造の設計図書はない[2]。そのため、木質ラーメン構造の柱梁接合部に関する研究が進められてきている[3][4]。合わせて、構造強度確保のために、耐力要素として柱梁材に構造用集成材を用い、接合部に金物を用いた金物構法が、構法の合理化と共に調査・開発されてきている[5][6]。代表的な接合方法として、柱梁接合部には、長期荷重を負担する梁受け金物が使用されており、その多くは、せん断力を伝達するものである。この梁受け金物を用いて様々な研究がなされているが[7][8]、異等級構造用集成材にこの金物を用いた研究はほとんど見られない[9]。構造材として近年では同一樹種で構

成した集成材のみならず、外層に、内層のラミナよりヤング係数が高い樹種のラミナを配置した、異樹種構成集成材の研究が行われている[10][11]。異樹種構成集成材では、スギのような曲げ動的ヤング率の低い材を内層に、ヒノキやベイマツのような動的ヤング率の高い材を外層に配置して、集成化することによって曲げ性能、特に動的ヤング率を向上させる。一方、大野らは、異樹種異等厚構成積層材の曲げ性能の調査において、積層材の曲げ弾性率 MOE が同等であっても、断面構成が異なると MOE 以外の曲げ性能は異なることを指摘している[11]。このため、断面構成が異なる異樹種異等厚構成積層材を用いた場合に、柱梁接合部のせん断性能に違いが生じることが考えられる。

そこで、本稿では、3種類の構造用集成材、異樹種構成集成材および異樹種異等厚構成積層材の5種類に注目し、材質特性や断面構成の違いが、柱梁接合部のせん断性能に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。

2. 材料と方法

2.1 供試材

2.1.1 柱材 柱材(105×105×3,000 mm)として、JAS規格のスギおよびホワイトスプルース(*Picea sp.*)集成材を使用した。スギ集成柱材は、4プライの同一等級構成小断面集成材の強度等級 E65-F255であった。一方、ホワイトスプルース集成柱材は、5プライの同一等級構成小断面集成材の強度等級 E95-F315であった。いずれも27本ずつ、合計54本購入した。購入した集成柱材の気乾密度および動的ヤング率を表1に示す。

2.1.2 梁材 梁材として、集成加工を施さない製材品であるスギ平角材、スギ対称異等級構成中断面集成材、オウシュウアカマツ(*Pinus sp.*)対称異等級構成中断面集成材、内層にスギ、外層にヒノキを使用した異樹種異等級構成集成材および異樹種異等厚構成積層材を使

*1 近畿職業能力開発大学校建築施工システム技術科

用した。スギ平角材については8本用意し、その他については、各9本、合計44本用意した。作製した梁材の気乾密度および動的ヤング率を表1に示す。

スギ平角材は、栃木県内で製材、高温乾燥後モルダ加工し、寸法を幅105mm×高さ180mm×長さ4,080mmとした。

スギ対称異等級構成中断面集成材は、6プライでJAS規格における強度等級E75-F240となるように作製した。同様に、オウシュウアカマツ対称異等級構成中断面集成材についても、6プライでJAS規格における強度等級E105-F300となるように作製した。ともに寸法は、幅105mm×高さ180mm×長さ3,000mmとした。

異樹種異等級構成集成材は、8プライで、上下の外層2層ずつにヒノキ、内層の4層にスギを配置した。内層材に用いたスギ材は、製材および人工乾燥後、モルダ加工し、寸法を幅112mm×高さ27mm×長さ3,020mmとした。外層材に用いたヒノキ材は、製材および人工乾燥後、モルダ加工し、寸法を幅112mm×高さ27mm×長さ3,050mmとした。スギ材およびヒノキ材は、動的ヤング率を測定し、等級区分したラミナを用いて対称異等級構成集成材のJAS規格におけるE105-F300を想定して等価断面法により断面構成を設定し異樹種構成集成材を作製した。接着は、水性高分子イソシアネート系に架橋剤を加え塗布して行った。試験体は、加圧および接着乾燥後、寸法を幅105mm×高さ180mm×長さ2,850mmとした。

異樹種異等厚構成積層材は、5プライで構成され、異樹種構成集成材を作製するのに使用したヒノキラミナを上下の外側に2層ずつ配置し、内層にスギ平角材を配置し、JAS規格の強度等級区分E105-F300に相当するように等価断面法により断面構成を設定し作製した。内層に用いたスギ材は、製材および人工乾燥後、モルダ加工し、寸法を幅112mm×高さ95mm×長さ3,020mmとした。外層に用いたヒノキラミナは、前述した方法と同様の方法で作製した。接着は、水性高分子イソシアネート系に架橋剤を加え塗布して行った。試験体は、加圧および接着乾燥後、寸法を幅105mm×高さ180mm×長さ2,850mmとした。各試験体に用いた材料特性を表2に示し、各集成材ならびに積層材の構成を図1に示す。

2.2 柱梁接合部試験体の作製 柱梁接合部試験体は、梁材として異樹種構成集成材、異樹種異等厚構成積層材（共に105mm×180mm×2,850mm）、オウシュウアカマツ集成材およびスギ集成材（共に105mm×180mm×3,000mm）各9本から梁部材（695mm）を採取し、スギ平角材（105mm×180mm×4,080mm）8本から梁部材（695mm）を採取した。柱材としてホワイトスプルース集成材およびスギ集成材（共に105mm×105mm×3,000mm）各27本から柱部材（700mm）を採取し、図2（a）に示すように柱部材と梁部材を梁受け金物を介して接合し、組み立てた。接合金物は、一般的に用いられている梁受け金物とし、梁受け金物には、アゴ掛け金物（タツミ TH-18）を用い、今回のせん断試験においては、1個の梁受け金物では加力バランスが悪いために、梁受け金物を2個取り付けた試験体とした。なお、区分ごとに8体以上、合計95体の柱梁接

合部試験体を作製した。

表1 集成材及び積層材の材料特性

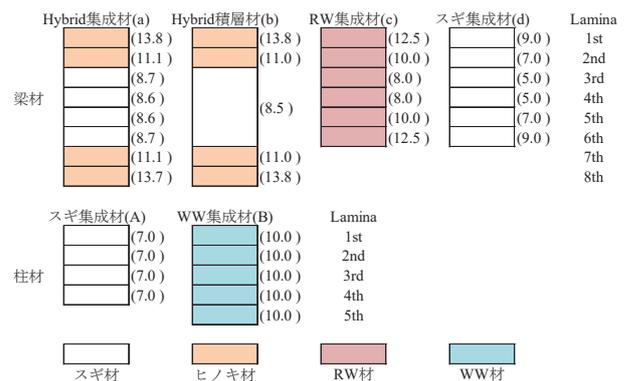
部位	樹種	n	ρ(g/cm ³)		Efr(GPa)	
			Avg.	SD	Avg.	SD
柱	スギ集成材(A)	27	0.40	0.01	8.42	0.72
	WW集成材(B)	27	0.45	0.03	12.16	1.17
	Hybrid集成材(a)	9	0.42	0.01	10.73	0.64
梁	Hybrid積層材(b)	9	0.45	0.02	10.18	0.55
	RW集成材(c)	9	0.50	0.03	11.17	0.96
	スギ集成材(d)	9	0.43	0.01	7.60	0.49
	スギ平角材(e)	8	0.41	0.03	8.01	0.73

注)n:試験体数, ρ:密度, Efr:動的ヤング係数, WW集成材:ホワイトスプルース集成材, Hybrid集成材:異樹種異等級構成集成材, Hybrid積層材:異樹種異等厚構成積層材, RW集成材:オウシュウアカマツ対称異等級構成中断面集成材を示す。

表2 試験体における材料特性

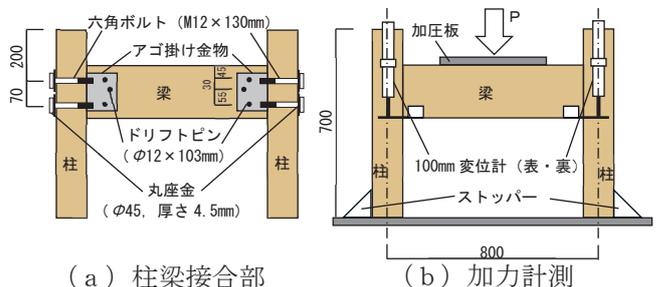
柱	梁	n	柱		梁	
			ρ(g/cm ³)	Efr(GPa)	ρ(g/cm ³)	Efr(GPa)
スギ集成材(A)	RW集成材(c)	Avg.	0.40	8.48	0.50	11.24
		SD	0.02	0.57	0.03	0.88
	スギ集成材(d)	Avg.	0.40	8.45	0.43	7.71
		SD	0.01	0.53	0.01	0.39
WW集成材(B)	RW集成材(c)	Avg.	0.45	12.18	0.50	11.24
		SD	0.02	0.92	0.03	0.88
	スギ集成材(d)	Avg.	0.45	11.99	0.43	7.65
		SD	0.03	0.90	0.01	0.37
スギ集成材(A)	Hybrid集成材(a)	Avg.	0.40	8.52	0.42	10.84
		SD	0.01	0.60	0.01	0.54
	Hybrid積層材(b)	Avg.	0.40	8.31	0.44	10.09
		SD	0.01	0.36	0.03	0.39
WW集成材(B)	Hybrid集成材(a)	Avg.	0.41	8.56	0.42	8.18
		SD	0.01	0.65	0.03	0.60
	Hybrid積層材(b)	Avg.	0.46	12.17	0.42	10.80
		SD	0.03	0.88	0.01	0.56
スギ平角材(e)	Hybrid積層材(b)	Avg.	0.46	12.09	0.45	10.22
		SD	0.03	0.84	0.02	0.51
	スギ平角材(e)	Avg.	0.45	12.04	0.42	8.10
		SD	0.02	0.87	0.03	0.57

注)n:試験体数, ρ:密度, Efr:動的ヤング係数, Avg.:平均, SD:標準偏差, WW集成材:ホワイトスプルース集成材, Hybrid集成材:異樹種異等級構成集成材, Hybrid積層材:異樹種異等厚構成積層材, RW集成材:オウシュウアカマツ対称異等級構成中断面集成材を示す。



注) () 内は、動的ヤング係数を示す。

図1 集成材及び積層材の構成



(a) 柱梁接合部 (b) 加力計測

図2 試験体概要

2.3 静的加力試験 静的加力試験は、油圧式万能試験機（島津製作所 UH-500kNI：容量 500 kN）を用いて加圧板を介して加力を行い、試験体は、図 2（b）に示すように、両側の柱を支持し、梁の中央部が加力点となるように設置し、さらに柱の支持部にズレや回転が生じないように柱の脚部を治具で拘束するように設置した。変位の測定は、高感度変位計（容量 100 mm）を用いて柱の軸芯で柱と梁の相対変位を前後 2 ヶ所の計 4 ヶ所で測定した。加力計測の概要を図 2（b）に示す。また、変位には、試験による材料の割れ、めり込みによる変位等も含んだものとした。加力方法は、まず各区分 1 体について、クロスヘッド変位速度 2.0 mm/min の単調せん断加力とし、得られた荷重変位曲線より鉛直構面の面内せん断試験用の評価方法[12]に準じて完全弾塑性モデルを作成し、降伏変位 δ_y を算出した。次に、残りの試験体については、単調せん断加力より得られた降伏変位 δ_y の 0.5 倍、1.0 倍、4.0 倍、6.0 倍、8.0 倍、12.0 倍に達したところで 1 回の片側繰り返しせん断加力を行い、最大耐力に達した後、最大耐力の 80% に耐力が低下するまで加力した。その後、最終的に破壊した部位において荷重変位曲線および包絡線を作成し、面内せん断試験用の評価方法[12]において定義されている各評価値（最大耐力 P_{max} 、降伏耐力 P_y 、降伏変位 δ_y 、初期剛性 K 、エネルギー E 、終局耐力 P_u 、塑性率 μ 、構造特性係数 D_s ）を算出した。

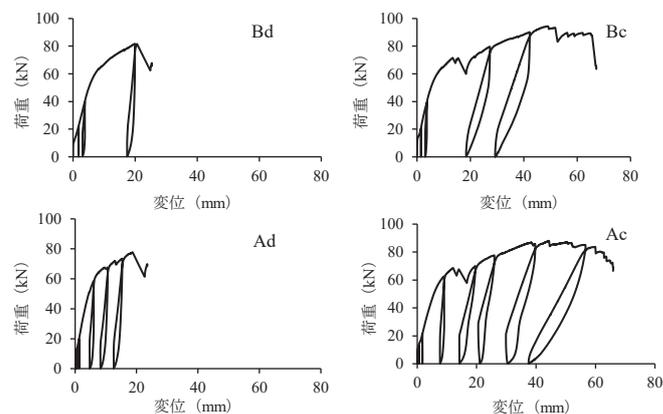


図 3 代表的な荷重変形曲線



注) 矢頭は破壊位置を示す。

図 4 代表的な破壊形態 (Ac)



注) 矢頭は破壊位置を示す。

図 5 六角ボルトの位置での割裂による破壊 (Ac)

3. 結果と考察

3.1 梁材の材質の違いが柱梁接合部せん断性能に及ぼす影響 柱材にスギ集成材およびホワイトスプルース集成材を使用し、梁材にスギ集成材およびオウシュウアカマツ集成材を用いて作製した試験体より得られた代表的な荷重変位曲線を図 3 に示す。また、代表的な破壊形態を図 4 に示す。

柱材にホワイトスプルース集成材を用いた場合、接合部全体の挙動は、梁材にスギ集成材を使用した場合に比べてオウシュウアカマツ集成材を使用した場合のほうが、大きな耐力を負担し、最大耐力時の変位も 2.0 倍以上大きくなる傾向が認められた。表 1 に示したように、梁材に用いたスギ集成材に比べてオウシュウアカマツ集成材のほうが密度、動的ヤング率ともに大きいことから、梁材の密度や動的ヤング率の違いが、柱材にホワイトスプルース集成材を使用した場合の柱梁接合部せん断性能に影響したものと考えられる。また、梁材にオウシュウアカマツ集成材を用いた場合、接合部の耐力が約 70 kN に到達した際に梁材に割裂破壊が生じ、一時的に耐力が低下する現象が認められた。このことより、柱梁接合部の弾性限界耐力は、約 70 kN であることが推測され、これ以降に脆性的に破壊する可能性があると考えられる。

柱材にスギ集成材を用いた場合の接合部全体の挙動は、柱材にホワイトスプルース集成材を用いた場合とほぼ同様の傾向が認められた。このことから、接合部全体の挙動は、柱材の材質特性の違いによらず、梁材の材質特性の影響を受ける可能性が示唆された。また、破壊性状は、柱材の材質特性の違いによらず、ほとんどの場合において梁材に挿入された下段のドリフトピ

表 3 柱梁接合部せん断性能

柱	スギ集成材(A)				WW集成材(B)				
	RW集成材(c)		スギ集成材(d)		RW集成材(c)		スギ集成材(d)		
梁	9		8		9		8		
n	Avg.	SD	Avg.	SD	Avg.	SD	Avg.	SD	
柱	ρ (g/cm ³)	0.40	0.02	0.40	0.01	0.45	0.02	0.45	0.03
	Efr (GPa)	8.48	0.57	8.45	0.53	12.18	0.92	11.99	0.90
梁	ρ (g/cm ³)	0.50	0.03	0.43	0.01	0.50	0.03	0.43	0.01
	Efr (GPa)	11.24	0.88	7.71	0.39	11.24	0.88	7.65	0.37
P_{max} (kN)	41.76	4.26	37.56	3.20	43.48	5.34	36.68	4.12	
P_y (kN)	26.88	4.00	24.61	3.80	28.96	4.31	29.60	15.83	
δ_y (mm)	6.29	1.53	5.04	1.37	6.57	1.75	5.16	1.44	
K (kN/mm)	4.42	0.81	5.03	0.64	4.66	1.18	4.99	0.72	
Energy (J)	1960	1312	734	628	1506	1038	457	366	
P_u (kN)	38.08	3.76	34.93	2.31	39.90	4.45	34.74	3.94	
μ	5.75	3.04	3.19	1.89	4.26	1.96	2.28	1.21	
D_s	0.36	0.13	0.49	0.14	0.41	0.13	0.58	0.12	

注) n : 試験体数, ρ : 密度, Efr : 動的ヤング係数, P_{max} : 最大荷重, P_y : 降伏耐力, δ_y : 降伏変位, K : 初期剛性, P_u : 終局耐力, μ : 塑性率, D_s : 構造特性係数, Avg. : 平均, SD : 標準偏差 を示す。

ンの位置で割裂が生じる傾向が認められた。しかしながら、梁材にオウシュウアカマツ集成材を用いた場合、2体の試験体において梁材に挿入された下段のドリフトピンの位置での割裂に加えて、図5に示すように梁材に割裂破壊が生じた側の柱材に挿入されている六角ボルトの位置での割裂による破壊が認められた。これは、梁材の動的ヤング率に比べて柱材の動的ヤング率が小さいことが影響していると考えられ、特に、柱材の動的ヤング率が梁材の動的ヤング率に比べて極端に小さくなると、柱材に割裂破壊が生じると考えられる。

次に、得られた荷重変位曲線から荷重を1/2倍にして包絡線を作成し、面内せん断試験用の評価方法で評価した柱梁接合部せん断性能を表3に示す。柱材の材質特性に関わらず初期剛性および構造特性係数を除いて柱梁接合部せん断性能は、密度および動的ヤング率の大きいオウシュウアカマツ集成材を梁材に用いたほうが増加し、特に、Energyにおいては2.67倍～3.29倍の増加が認められた。大黒屋ら[13]は、スギおよびカラマツ集成材を用いた鋼板挿入集成材梁のせん断性能を調査するために、逆対称4点曲げ試験により破壊試験を行い、それぞれの樹種を用いた場合のせん断破壊性能やじん性の違いなどを考察した結果、スギ材を用いた鋼板挿入集成材梁では、鋼板挿入によるじん性の改善はあまり認められず、曲げ強度の高いカラマツ材は、鋼板を挿入することによって、更にじん性が改善されることを報告している。本研究においても同様に、柱梁接合部せん断性能においても、曲げ強度が低いスギ集成材に比べて曲げ強度が高いオウシュウアカマツ集成材の方が梁受け金物を挿入することで、じん性の評価項目であるEnergyが大きくなったものと考えられる。

3.2 梁材の断面構成の違いが柱梁接合部せん断性能に及ぼす影響 柱材にスギ集成材およびホワイトスプルース集成材を使用し、梁材にスギ平角材、異樹種構成集成材および異樹種異等厚構成積層材を用いて作製した試験体より得られた代表的な荷重変位曲線を図6に示し、代表的な破壊形態を図7に示す。

柱材にホワイトスプルース集成材を用いた場合の接合部全体の挙動は、梁材の断面構成の違いに関わらず、最大耐力を迎えた後、耐力を保持したまま変形が進む傾向が認められた。また、最大耐力および最大耐力時の変位については、梁材の断面構成の違いによる差異は認められなかった。このことは、図7に示したように、梁材に挿入されたドリフトピンが耐力を負担しており、そのドリフトピンが挿入されている位置の断面構成が異樹種構成集成材、異樹種異等厚構成積層材およびスギ平角材ともにスギ材であることが要因であると考えられる。

柱材にスギ集成材を用いた場合の接合部全体の挙動は、梁材の断面構成の違いに関わらず、最終的に破壊した接合部の変位が10mm前後に到達した際に梁材に大きな割裂破壊が生じ、一時的に荷重が低下する現象が認められた。このことから、柱梁接合部の弾性変形は、約10mmであることが推測され、これ以降は塑性変形する可能性があると考えられる。また、梁材に異樹種構成集成材を用いた場合、7体の試験体において

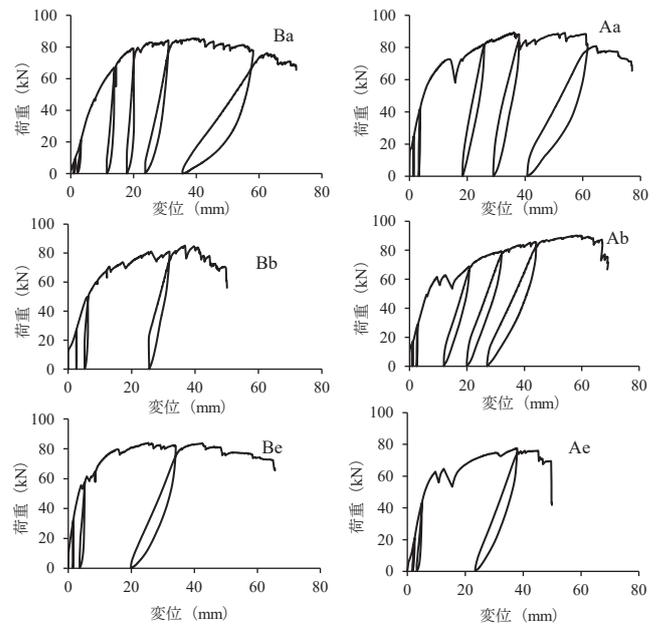


図6 代表的な荷重変形曲線



注) 矢頭は破壊位置を示す。

図7 代表的な破壊形態 (Ae)

表4 柱梁接合部せん断性能

梁	スギ集成材(A)						WW集成材(B)					
	Hybrid集成材(a)		Hybrid積層材(b)		スギ平角材(c)		Hybrid集成材(a)		Hybrid積層材(b)		スギ平角材(c)	
n	9	8	8	8	8	8	9	9	8	8	8	8
	Avg.	SD	Avg.	SD	Avg.	SD	Avg.	SD	Avg.	SD	Avg.	SD
柱 ρ (g/cm ³)	0.40	0.01	0.40	0.01	0.41	0.01	0.46	0.03	0.46	0.03	0.45	0.02
Efr (GPa)	8.52	0.60	8.31	0.36	8.56	0.65	12.17	0.88	12.09	0.84	12.04	0.87
梁 ρ (g/cm ³)	0.42	0.01	0.44	0.03	0.42	0.03	0.42	0.01	0.45	0.02	0.42	0.03
Efr (GPa)	10.84	0.54	10.09	0.39	8.18	0.60	10.80	0.56	10.22	0.51	8.10	0.57
P _{max} (kN)	44.11	3.70	36.07	5.08	37.56	4.97	41.33	7.85	43.50	6.37	39.00	4.63
P _y (kN)	29.12	3.18	22.27	5.51	23.80	9.65	25.29	5.69	29.84	3.08	25.68	2.90
δ_y (mm)	6.52	1.46	4.19	2.17	5.47	2.06	5.72	2.08	7.07	1.96	5.49	1.36
K (kN/mm)	4.59	0.66	6.02	1.82	4.89	1.07	4.80	1.29	4.45	1.04	4.90	1.19
Energy (J)	2379	1125	607	811	1152	943	1949	1651	1650	1271	1379	865
P _u (kN)	39.84	2.99	33.50	3.99	35.01	3.42	38.20	6.35	40.36	3.90	35.33	4.27
μ	6.91	2.65	2.74	1.46	4.34	2.77	5.14	3.26	4.23	2.25	5.46	3.47
Ds	0.31	0.11	0.53	0.14	0.46	0.22	0.42	0.20	0.44	0.19	0.39	0.17

注) n: 試験体数, ρ : 密度, Efr: 動的ヤング係数, P_{max}: 最大荷重, P_y: 降伏耐力, δ_y : 降伏変位, K: 初期剛性, P_u: 終局耐力, μ : 塑性率, Ds: 構造特性係数, Avg.: 平均, SD: 標準偏差 を示す。

柱材の割裂による破壊が認められた。このことは、前節で述べたように、梁材の動的ヤング率に比べて柱材の動的ヤング率が小さいことから、柱材に割裂破壊が生じると考えられる。

次に、得られた荷重変位曲線から荷重を1/2倍にし

て包絡線を作成し、面内せん断試験用の評価方法で評価した柱梁接合部せん断性能を表4に示す。柱材にホワイトスプルース集成材を用いた場合、梁材がJAS規格に基づく一般的な断面構成である異樹種構成集成材の場合に比べて、断面構成の異なる異樹種異等厚構成積層材やスギ平角材を用いた場合、Energyにおいて、15.3%~29.2%の柱梁接合部せん断性能の低下が認められた。これは、主としてせん断耐力を負担するドリフトピンの挿入位置とその挿入位置の断面構成がEnergyに大きく影響を受けることを示唆しており、従って、梁材全体の断面構成の影響はほとんどないことが推測される。また、柱材にスギ集成材を用いた場合、梁材がJAS規格に基づく一般的な断面構成である異樹種構成集成材の場合に比べて、断面構成の異なる異樹種異等厚構成積層材やスギ平角材を用いた場合、初期剛性と構造特性係数を除く、柱梁接合部せん断強度指標において、12.1%~74.5%の柱梁接合部せん断性能の低下が認められた。このことは、柱材にホワイトスプルース集成材を用いた場合と同様に主としてせん断耐力を負担するドリフトピンの挿入位置とその挿入位置の断面構成の影響を受け、梁材全体の断面構成の影響は受けないことを意味しており、曲げ強度が低い木材では、鋼板挿入によるじん性の改善はあまり認められないとする既往研究[13]の結果と一致する。

以上のことから、断面構成の違いによる柱梁接合部せん断性能に及ぼす影響は、今回行った梁受け金物を使用する場合においては、梁材全体の断面構成の影響を受けないが、ドリフトピンの挿入位置に配置された材の材質に大きく影響させる可能性が示唆された。

4. 結言

本稿では、構造用集成材における材質および断面構成の違いが柱梁接合部せん断性能に及ぼす影響を把握する目的で、柱梁接合部試験体を作製し、静的加力せん断試験を行い、その柱梁接合部せん断性能を明らかにした。得られた結果は、以下の通りである。

(1) 梁材の材質特性の違いが柱梁接合部せん断性能に及ぼす影響は、梁材の密度の違いによる影響を受けるとともに、動的ヤング率の違いの影響も受ける可能性のあることが認められた。

(2) 断面構成の違いによる柱梁接合部せん断性能に及ぼす影響は、今回のような梁受け金物を使用する場合においては、梁材全体の断面構成の影響を受けない可能性のあることが認められた。

以上のことから、柱梁接合部せん断性能の設計において、異等級構成集成材を用いて梁受け金物を使用する場合、密度を考慮し、さらには動的ヤング率も考慮することで、効率よく柱梁接合部設計が可能であると考えられる。しかしながら、柱材と梁材の動的ヤング率の差が多大にならないようにすることが重要であると考えられる。また、断面構成の違いによる影響は、梁材全体の断面構成より主たる耐力を負担する接合金物の挿入位置の断面構成および材質が重要であると考えられる。

謝辞

本研究を実施するにあたり、ご協力いただきました、栃木県林業センターの皆様、またご協力いただきましたすべての方々に深く感謝いたします。

文献

- [1] 林野庁：公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律（2012年10月1日施行），https://laws.e-gov.go.jp/law/422AC0000000036/20101001_000000000000000 参照: 2025.4.10, 2025.
- [2] 大橋好光（2011）官庁営繕での木材利用に向けた取り組みの概要．木材工業 66：pp.115-116
- [3] 大野義昭，榎島裕二，荘所直哉，乃込寛之，藤谷義信，大橋好光（2003）ドリフトピンを用いた木質ラーメン構造の柱-梁接合部に関する研究．日本建築学会構造系論文集 567：pp.85-92
- [4] 野口弘行，本岡淳一，岩崎誠司，浦上瑞穂（2004）大径ボルトを用いたモーメント抵抗接合の木質大断面部材への適用性に関する実験的研究．日本建築学会技術報告集 20：pp.99-104
- [5] 鎌田輝男（2009）剛接仕口金物を用いた木造住宅の仕口構法の開発．日本建築学会大会学術講演梗概集（C-1），東北，165-166
- [6] 山田壘史，穂積秀雄（2009）金物工法木造住宅用金具（梁受け金物）の各種性能に関する研究．日本建築学会北陸支部研究報告集 52：pp.103-106
- [7] 軽部正彦，原田真樹（2007）梁受け金物せん断加力試験における試験体形状と加力方法の比較検討．日本建築学会大会学術講演梗概集（C-1），九州，pp.127-128
- [8] 中嶋 康，東野 正，谷内博規，澤口敬志（2009）クリ材を用いた梁受け金物接合部のせん断試験．木材工業 64：pp.624-628
- [9] 鈴木 圭，藤原拓哉，飯島敏夫，戸田正彦，鈴木慎一，野康康信（2006）梁受け金物のZマーク表示金物としての規格化（第2報）許容耐力と規格化．日本建築学会大会学術講演梗概集（C-1），関東，pp.33-34
- [10] 森田秀樹，松元明弘，荒武志朗，藤元嘉安，吉田利生，野辺寛成，柏崎健治（2009）スギおよびヒノキを用いた異樹種構造用集成材の開発．木材工業 64：pp.411-415
- [11] 大野英克，亀山雄掙，鈴木寿幸，吉田佳右，松本かほる，石栗 太，横田信三，飯塚和也，吉澤伸夫（2010）ラミナ特性や断面構成が同等の曲げヤング係数を有する異樹種異等級構成集成材の曲げ性能に及ぼす影響．木材学会誌 56：pp.172-181
- [12] 日本住宅・木材技術センター（編）（2008）木造軸組工法住宅の許容応力度設計．日本住宅・木材技術センター，東京．p.658
- [13] 大黒屋信英，後藤文彦，佐々木貴信，長谷部 薫（2009）鋼板挿入集成材梁のせん断性能．構造工学論文集 A 55：pp.925-931

（2025年9月12日提出）

ロボット農機の開発

Development of a Solar-Assisted Autonomous Tilling Robot System

久保 幸夫*1, 田中 倫之*2, 上間 豊久*3, 藤井 昌之*4

現在、日本では少子高齢化による農業従事者の高齢化が進んでおり、労働力不足が深刻化している。このような状況に対処するため、農林水産省は「スマート農業」による省力化の考え方を推奨している。本テーマは株式会社 EIWAT（以下、E社とする）と共同開発で行うものであり、2年計画で取り組んだ。2年目にあたる今年度は、昨年度個別に動作していた走行、耕運、監視システムの統合を目指し、農地を自動耕運するロボット農機と監視システムの開発を行った。また、CO₂排出量の削減についても農業分野では重要な課題であるため、システムの運用の一部に太陽光発電を利用した。

Keywords : スマート農業, ロボット農機, 監視システム, 自動走行, CO₂排出量削減

1. 緒言

現在、日本では少子高齢化による農業従事者の高齢化や新規参入者の減少により、人手不足が深刻な問題となっている。農林水産省の「農業労働力に関する統計」によると、農業従事者全体における65歳以上の割合は、平成27年時点では64.9%であるのに対し、令和6年では71.7%まで増加している[1]。農林水産省では、農業従事者の作業負担を軽減する目的で「スマート農業」の考え方を推進しており、ロボット農機とそれに伴う監視システムの開発が注目されている[2]。この背景から、E社と共同でロボット農機の開発を行った。E社の要望に基づき、山間部にある小さな畑でも使用できる小型のロボット農機の開発を目指した。本テーマは2年計画であり、昨年度に開発された自動走行ユニット、耕運ユニット、農場ステーションの3つの改善、結合を行った。

ロボット農機は自動走行制御によって指定範囲内の農地を自動で耕運する。農地のような悪路での効果的な走行を可能にするためクローラーを使用した。

農地には監視用のセンサーとカメラ、発電用のソーラーパネルを設置した。センサーとカメラは農地の状態を測定、監視した。ソーラーパネルには発電量を計測するための電力測定モジュールを取り付け、測定データを情報端末へ送信した。情報端末は他にも、ロボット農機の走行位置やセンサーで取得したデータの記録、閲覧ができる。

2. システム構成

本システムは、図1に示すように、自動耕運を行うロボット農機、充電および通信中継を担う農場ステーション、農地状態を計測するセンサーユニット、農地全体を広域的に監視する農場監視カメラ、取得データを蓄積するクラウドサーバー、および操作・閲覧を行う情報端末で構成される。

センサーユニットは農地に設置され、作物の成長状

況や健康状態、土壌水分量等を取得し、クラウドサーバーに送信する。また、監視カメラによる映像情報も同様にクラウドに保存される。情報端末を介して、利用者はクラウドに保存されたデータの閲覧に加え、ロボット農機の走行制御、作業指示、非常停止を遠隔で実行可能である。これにより、農業従事者は、現場に依存せず効率的に農作業を管理でき、作業の安全性および生産性の向上が期待できる。

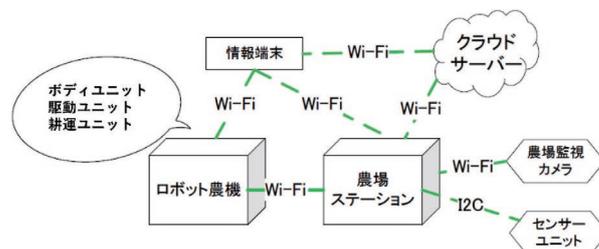


図1 システム全体の構成図

3. 装置及び機器

3.1 ロボット農機 アクチュエーターや制御基板などを搭載するボディユニット、走行機能を持った駆動ユニット、耕運機能を持った耕運ユニットで構成される。本機は自動走行制御により指定範囲内の農地を自動耕運する。

自動耕運作業開始前に必ず教示を行う必要がある。教示は、情報端末内の自作アプリケーションにおいて教示開始操作を行うことで開始される。開始後、操作者がロボット農機を手動で農地の外周に沿って走行させ、その経路上において一定間隔で位置座標を取得する。取得された一連の座標群から耕運範囲が自動的に設定され、処理完了後、ロボット農機は待機状態に移行する。その後、開始指令が与えられると、設定範囲に基づき自動耕運が実行される。仕様を表1に、ロボット農機の外観を図2に示す。

*1 近畿職業能力開発大学校生産機械システム技術科

*2 近畿職業能力開発大学校生産電気システム技術科

*3 近畿職業能力開発大学校生産電子情報システム技術科

*4 近畿職業能力開発大学校生産電子情報システム技術科（令和6年度）

表1 ロボット農機の仕様

本体寸法 W×H×D(mm)	932×793(546)×940(1025)
本体質量(kg)	110
バッテリー(V×Ah)	36×13.3
走行速度(km/h)	1.5
耕運幅(mm)	400

※ () 内の寸法は耕運時の数値

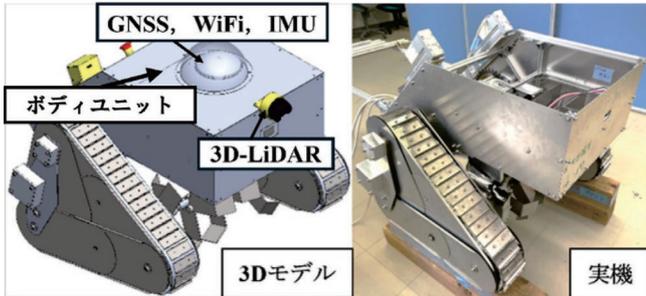


図2 ロボット農機の外観

3.1.1 ボディユニット ロボット農機の中核を構成する要素であり、各ユニットを接続する役割を担うとともに、走行制御に必要な各種センサー類およびアクチュエーター、ならびにそれらを制御する基板を収容している。さらに、バッテリーを複数搭載し、筐体側面の扉から交換可能な構造を有するなど、運用性を考慮した設計となっている。

電源は2基のバッテリーによって構成され、各種アクチュエーターおよびセンサー類に電力を供給する。また、安全性の確保を目的として、ボディユニット後方には非常停止ボタンが設置されており、押下時には電源供給が遮断され、システムを強制的に停止させることが可能である。これにより、万一の異常発生時においても迅速かつ確実にロボット農機を停止させることができる。

本ユニットには、位置情報を受信するGNSSアンテナ、通信用のWi-Fiアンテナ、障害物検知のための3D-LiDARセンサー、機体姿勢を計測するIMU (Inertial Measurement Unit) センサー、位置補正を行うRTK (Real Time Kinematic) モジュール、さらに周辺環境を認識するためのUSBカメラ2基が搭載されている。これらのセンサー群は、精密な位置推定および自律走行の実現に不可欠な情報を取得する役割を担っている。

加えて、本ユニットにはリレー制御基板および電源用基板が組み込まれている。電源用基板は、36Vバッテリーの電力を24V、12V、5Vに変換し、各機器に供給する機能を有する。また、リレー制御基板と連携してFETリレーを制御し、電源供給の管理を行うとともに、電力測定モジュールにより各モーターの電圧・電流を計測する。一方、リレー制御基板は、CAN FD (Control Area Network with Flexible Data Rate) 通信により駆動用モーターおよび耕運用モーターの電圧・電流データをメインコントローラーであるJetson Orin Nanoへ送信する。さらに、過電流検知時や非常停止時には停止信号を発生し、ロボット農機の安全停止を実現

するほか、電源用基板の自己保持回路を制御し、システム全体を安全に停止させる機能を担っている。

3.1.2 駆動ユニット 走行する農地は、地面の硬さが一定でなく凹凸の多い悪路である。このため、走破性および旋回性に優れたクローラーを採用した。左右のクローラーを逆回転させることで、その場での旋回(超信地旋回)が可能である。旋回時には耕運刃を地面から離し、不要な荷重が加わるのを回避する必要がある。さらに、耕運時には接地面積を拡大して安定性を確保し、旋回時には摩擦抵抗を低減して旋回性を高めるため、接地長を調整可能な構造とした。これらの機能を実現するため、クローラー内部にリンクを用いた変形機構を組み込み、ネジ式電動シリンダーによって駆動する。これにより、ボディユニットを持ち上げるために必要な高トルクと、変形角度の精密な制御を同時に満たすことができる。クローラーの変形機構を図3、図4に示し、単体の仕様を表2に示す。

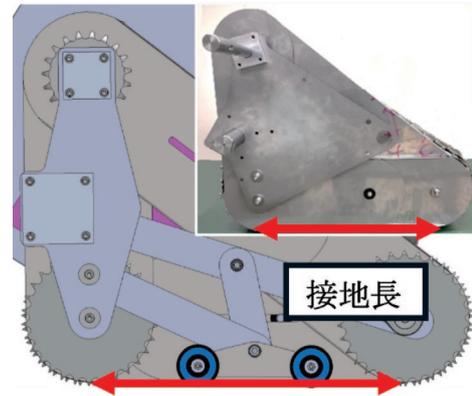


図3 クローラーの変形機構 (走行時)

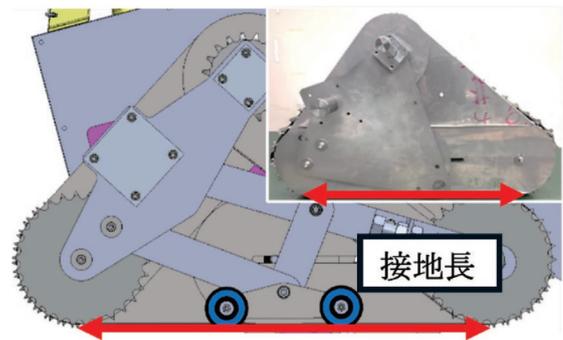


図4 クローラーの変形機構 (耕運時)

表2 クローラー単体の仕様

寸法 W×H×D(mm)	219×552(465)×786(776)
質量(kg)	30
シリンダー最大推力(N)	130
走行速度(km/h)	1.5

※ () 内の寸法は耕運時の数値

駆動ユニットは走行用基板と昇降用基板によって制御される。走行用基板にはArduino Megaをサブコントローラーとして搭載し、メインコントローラーからのCAN FD通信に基づき左右のクローラーを制御する。

速度制御はアナログ電圧 (0~5V) で行われ、供給電圧および電流データは CANFD を介してリレー制御基板に送信され、過電流検知やバッテリー消費量の監視に利用される。非常停止時にはリレー制御基板からの信号により電源基板のリレーが遮断され、モーターが停止する仕組みとなっている。一方、昇降用基板はリンク機構を介して本体を上下させる直動シリンダーを制御する。制御にはマイコンを用い、5V の制御信号をレベル変換回路により 24V 系アクチュエーターへ適合させて出力する。

3.1.3 耕運ユニット 本ユニットの耕運刃は、昨年度からの引継ぎ要求である「耕運深さ 150mm」を満たすため、刃先半径を 175mm と設定した。この設計により、刃が土壤に十分に浸入し、要求仕様に沿った耕運深さを確保できる。均等に土壤を耕すため、刃先には角度を付与し交互に配置している。

また、「畝幅 400mm を耕運する」という要求仕様に従い、耕運刃の幅は 400mm とした。なお、幅については要求仕様通りとしつつ、深さについては設計上余裕を持たせた。

刃の位置決めにはフランジを採用し、組立および分解作業の容易性を確保している。耕運ユニットの外観を図 5 に、耕運ユニットの仕様を表 3 に示す。

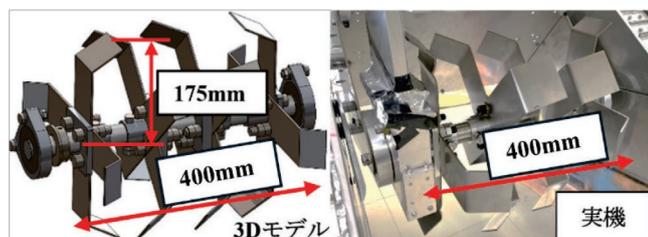


図 5 耕運ユニットの外観

表 3 耕運ユニットの仕様

本体寸法 W×D(mm)	517×350
本体質量(kg)	15
最大耕深(mm)	150
耕運モーター定格出力(W)	480
耕運幅(mm)	400

耕運ユニットは耕運用基板により制御される。耕運用基板のハードウェア構成は、モーター以外の部分については駆動ユニットの走行用基板と同等である。

モーターの必要トルクは、市販耕運機 (株式会社ナカトミ製 ERC-15D, 消費電力 1.05 kW, 回転数 320 min⁻¹, 耕運刃直径 200 mm) の仕様を参考に、刃先に作用する力が同じになるように算出した[3]。本ユニットの耕運刃長は 175 mm であるため、必要トルクは 28.0 N・m, 回転数は 150 min⁻¹ と設定し耕運用基板で制御する。

3.1.4 自動走行制御 ロボット制御ソフトウェアは、マップ生成、自己位置推定や走行経路計画などの高度な機能がオープンソースとして公開されているという理由で、ROS 2 Galactic を用いた。駆動用モーターの回転数を制御するマイコンとロボット農機のメインコントローラーは、CANFD で接続し、データの送受信を行う。

耕運ユニットのロータリーエンコーダーから、ロボット農機本体のメインコンピューターにモーターの回転数が送られる。これにより、ホイールオドメトリを算出し、ロボット農機の姿勢制御を行う。

また、ロボット農機の正確な位置を把握するために、みちびき衛星からの位置情報をアンテナで受信し、CLAS (Centimeter Level Augmentation Service) を利用してセンチメートル単位まで位置を補正した。ROS 2 Galactic で自律移動を行うためのパッケージである Navigation 2 では、マップ生成、センサー出力、自己位置推定などの情報を活用して自動走行を行う。

まず、GNSS 受信モジュールでロボット農機の位置情報を取得し、IMU センサーでピッチ角、ロール角、ヨー角、加速度データを収集して姿勢制御に利用する。次に、IMU と GNSS 受信モジュールのデータを統合し、EKF (Extended Kalman Filter) で位置推定の精度を向上させる。これらの統合データを基に、ロボット農機の現在位置を地図上に更新し、目的地までの経路を計画する。

ロボット農機はあらかじめ登録されたマップに従って自動走行を行うが、マップ作成時に存在しなかった物体が農地内に置かれていたり、人が他の作業をするために侵入したりする可能性があり、これらの障害物を検知し、状況に応じて停止する必要がある。

そこで、ロボット農機に搭載された 3D-LiDAR を用いて障害物検知を行う。3D-LiDAR はレーザーを利用するため、夜間や光源の位置に関わらず周囲の環境を認識できる。

取得した 3 次元点群データのうち、ロボット農機の高さの範囲の点群を 2 次元に落とし込み、経路計画で使用するマップに反映することで、自動走行において障害物を回避する。

3.2 農場ステーション 本ステーションは電源部と制御部から構成される。電源部では、ソーラーパネルによって発電された電力を MPPT (Maximum Power Point Tracking) コントローラーで最大効率化し、本ステーションのバッテリーに蓄電する。

制御部には、Wi-Fi 機能を搭載した小型マイコンを取り付けた基板を設置し、電力測定モジュールからの測定結果の取得や、メインコントローラーおよび Wi-Fi ルーターへの電力供給を行う。

また、後述するセンサーユニットからの信号と制御基板のマイコンによる電力測定結果を、軽量通信プロトコルである MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) を用いてメインコントローラーへ送信し、情報端末において閲覧可能とする。

さらに、監視用カメラ (CMS-V70BK) を備えており、農場の状態を遠隔で監視できるほか、映像の送信および情報端末との通信にも対応している。

3.3 センサーユニット 本ユニットは、大気の高湿度、土壌水分量、照度、および撮影画像の 4 種類の情報を用いて農場を観測する。

センサーユニットには魚眼レンズカメラモジュール (ESP32CAM-PSRAM) を搭載しており、作物の生育状態を撮影することが可能である。各センサーの計測データおよび撮影画像は、農場ステーション内のマイコ

ンによって1時間に1回処理され、クラウドサーバーに保存される。保存されたデータは、情報端末上の自作アプリケーションを介して確認できる。

3.4 情報端末 情報端末は、自作アプリケーションを介してロボット農機、農場ステーション、クラウドサーバーと通信を行う機能を有するものである。

具体的には、ロボット農機に関してモーターの動作状態やバッテリー残量の取得・閲覧、遠隔操作による非常停止、および自動耕運に必要な教示作業の実行が可能であり、農場全体を監視するカメラ映像を参照できる機能も備えている。

加えて、センサーユニットからは温湿度、土壌水分量、照度のデータを1時間に1回受信し、情報端末上で確認できる。

さらに、アプリケーションにはティーチング機能として走行経路や作業範囲の教示操作を行う機能、手動耕運モードとして操作者が直接操作して作業条件や速度を調整できる機能、および利用者認証のためのIDおよびパスワード設定機能が用意されている。

耕運中は手動、自動を問わず、ロボット農機本体の前後に取り付けられたUSBカメラにより周囲の状態を遠隔で監視できる。アプリケーション画面の例を図6に示す。



図6 アプリケーション画面の例

4. 検証・評価

装置の動作検証は、学校内にある農地を想定した実験場で行った。その結果に基づいて装置の評価を行った。ロボット農機の調整に時間がかかり、農地での実機を用いた検証ができていないため、評価項目の多数が未達成となっている。

農地の状態のデータの記録に関しては、センサーユニットから取得した農場の温湿度、土壌水分量、照度、カメラの画像データを1時間ごとに更新し、AWSに保存できることが確認できたため達成とした。また、取得したデータを閲覧できるという項目についても、センサーが取得した上記のデータを情報端末上のアプリケーションで閲覧できたため、達成とした。

要求仕様書に基づいた評価項目を表4に示す。

表4 評価項目表

ロボット農機を一度のバッテリー運用で2時間稼働できる。	×
農場ステーションを24時間稼働できる。	○
農地を1.5km/hで自動走行できる。	×
農地を一日1000m ² 自動耕運できる。	×
高齢者がロボット農機を情報端末で操作・移動ができる。	×
農地の状態のデータを1時間ごとに記録できる。	○
取得したデータを閲覧できる。	○
ロボット農機を非常停止できる。	○

○：達成 ×：未達成

5. 結言

本プロジェクトは、深刻化する日本の農業における労働力不足と高齢化問題に対応するため、「スマート農業」の推進という農林水産省の方針に基づき、E社との共同で進められた2年計画の2年目にあたる。自動走行、耕運、監視システムの統合を目指し、農地を自動耕運するロボット農機および監視システムの開発に取り組んだ。ユニット単体での動作確認は順調に行うことができ、各装置の基本機能の検証は完了した。

また、2年目の取り組み目標であった「各ユニットおよびシステムの統合」は一部未達成であり、システム全体としての自動走行や連動動作の確認には至らなかったが、学生は設計・調整・検証作業を通じて、実機操作や制御システムの統合に関する理解を深めることができた。

太陽光発電を用いたCO₂排出量の削減は現状でシステムの一部に運用を限定した。将来的には規模を拡大することや、水車による水力発電を併用するなどの方策によって、バッテリー充電や各システムへの電力供給を再生可能エネルギーで賄い、CO₂排出量のさらなる削減を図ることも可能である。

本年度の作業を通じて得られた知見や技術的経験は、今後の開発や改善に活かすことが可能である。特に、ロボット農機の調整に時間を要した経験は、実機を用いた検証の重要性や課題解決のプロセスを学ぶ貴重な機会となった。

文献

- [1] 農林水産省: 農業労働力に関する統計, <https://www.maff.go.jp/j/tokei/sihyo/data/08.html>
- [2] 農林水産省: 政策情報 > スマート農業, <https://www.maff.go.jp/j/kanbo/smart/#kankei>
- [3] 株式会社ナカトミ: ERC-15D 取扱説明書, <https://nakatomi-sangyo.com/manual/erc-15d.pdf> (2025年9月12日提出)

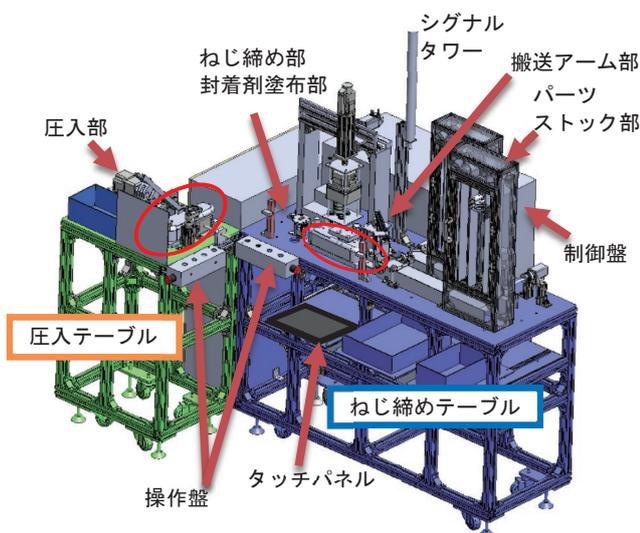


図3 装置全体

表1 装置仕様

寸法	1970×1370×1900mm
組立時間	39s/個
電源	100V
消費電力	1470W
空気圧	0.6MPa
機能要件	2種の部品をワーク上に設置できる
	ねじ締めができる (既定トルク 2.8~4.0Nm)
	封着剤を塗布できる
	鉄パイプを既定位置まで圧入できる
	取りつけたねじの本数を検査できる
	鉄パイプの圧入深さを検査できる

3.2 操作部・筐体部 図4に操作盤を示す。左右端にある動作開始ボタンを同時に押しと動作を開始する。赤ボタンは機械動作不良時に動作の一時停止ができ、復帰は緑ボタン同時押しで行う。また、側面には非常停止スイッチがある。タッチパネルは各動作部の原点復帰をする際に用いる。さらに、検査等で不良や異常が検出されると、タッチパネルにエラー内容が表示される。シグナルタワーは動作状態により、緑は通常動作時、赤は停止時、赤点滅は非常停止時、黄色は動作異常時を表す。

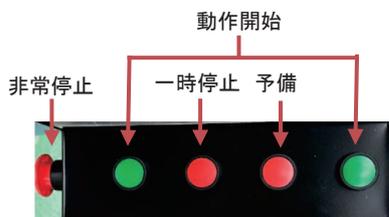


図4 操作盤

3.3 パーツストック部 部品1, 2をストックし、ベルトコンベア上に位置決めする。図5にパーツストック部の外観を示す。ストック内には搬送用ベルトが2対配置されており、ベルトに装着された樹脂プレート上に25個の部品をそれぞれに設置することができる。事

前に作業者がストック前面の扉を開き、手作業で樹脂プレート上に各部品を置く。対向した搬送用ベルトが下向きに一定角度回転することにより、部品が一つずつベルトコンベア上に落下する。落下した各部品がベルトコンベアで搬送され、パーツ位置決めガイドによりパーツの位置が定められる。

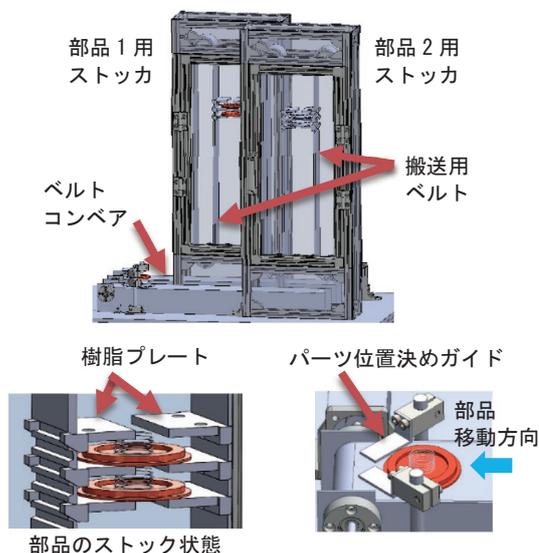


図5 パーツストック部

3.4 搬送アーム部 ベルトコンベアから流れてくる部品1, 2を、ワークに設置する。図6に搬送アームの外観を示す。部品の保持には電磁石を使用し、部品1はばね部を、部品2はカバー表面を吸着する。部品1, 2ともに吸着後、エアシリンダで上昇、アームを旋回し、エアシリンダで下降しワークに設置させる。搬送アームの初期位置の調整を行うためにXYテーブル（移動量：両軸とも±8mm）を設けた。

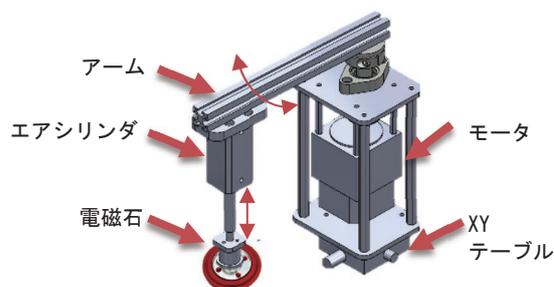


図6 搬送アーム

3.5 ねじ締め部 ワークに設置された部品2にねじ締めを行う。図7にねじ締め部の外観を示す。ねじ締め部は主にねじ供給機、回転テーブル、ドライバー部および移動機構で構成される。ドライバー部のX方向の移動はモータとラック&ピニオン、Z方向の移動は電動アクチュエータを用いた。ねじ締め動作は、①~③の手順で行うこととした。

- ①ねじ供給機から排出されたねじを、ドライバービット (+) の磁力で吸着する。
- ②ワークのねじ穴にドライバービット先端を位置決め後、ドライバービットが回転・下降し、ねじ締めを行う。
- ③ねじ締め後、カメラでねじの有無を確認する。

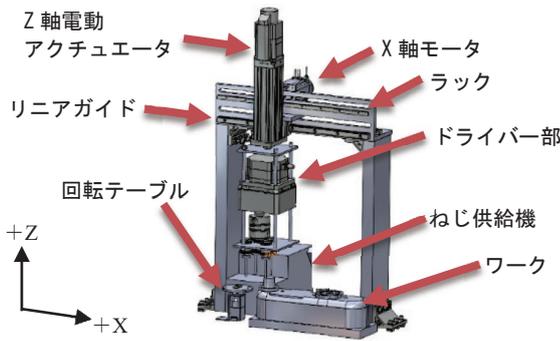


図7 ねじ締め部

図8にドライバー部を示す。ねじ締め作業時間を短縮するため、4本同時にねじ締めを行う機構とした。ねじ締め用モータの回転数をギアを介して、4本のドライバービットの回転を同期させた。ねじ保持後のねじの姿勢は、ドライバービット先端に付いた磁石で、ビットに対してその先端の延長線上に保持される。

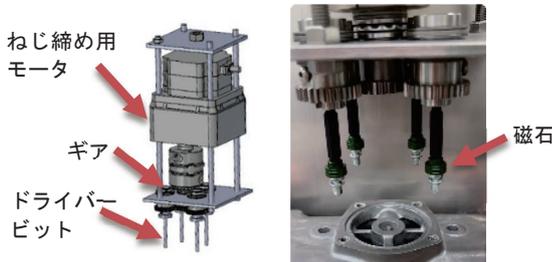


図8 ドライバー部

ねじ供給機と回転テーブルを図9に示す。ねじの供給から締め付けの動作は、まずねじ供給機から1本ずつねじを排出し、回転テーブルの4つの溝に順番にねじを載せる。4つの溝は、ワークのねじ穴位置と同じ配置になっている。回転テーブルの角度位置決めは、ステッピングモータで制御した。ねじが溝に搭載されたかどうかは検査用カメラで確認する。次に4本のねじが供給されると、ドライバー部を回転テーブル上に移動させ、ねじを吸着する。ねじ頭の十字穴にドライバーを差し込むために、ドライバービットを回転させながら下降させる。最後にドライバー部をワークのねじ穴上に移動させ、ねじ締めを行う。ねじ締め時には、ねじのピッチに合わせて、ドライバーの回転数と送り速度を同期させながら-Z方向に移動する。トルク管理はモータドライバで行っており、規定の電流値を超えるとドライバービットが回転停止する。

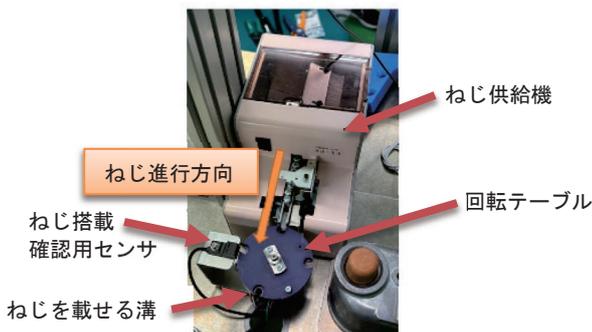


図9 ねじ供給機と回転テーブル

3.6 封着剤塗布部 鉄パイプ圧入用穴に封着剤（空気が遮断されると硬化する接着剤）を塗布する。図10に封着剤塗布部の外観、図11に塗布動作を示す。まず、リザーバーから封着剤を流し込み、スポンジに封着剤を充填させる。スポンジ内部でエアピッカー(内圧で膨らむゴム製部品)を膨らませ、エアピッカー表面に封着剤を塗布する。エアピッカーを収縮させた後、エアシリンダで押し、鉄パイプ圧入用穴へ挿入する。再度エアピッカーを膨張させ、封着剤を穴の円筒面に塗布する。

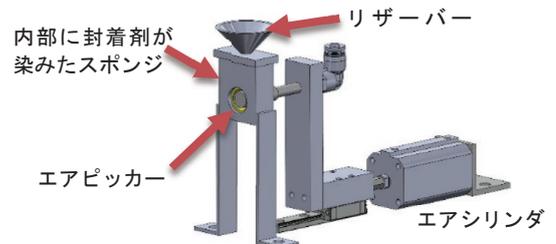


図10 封着剤塗布部

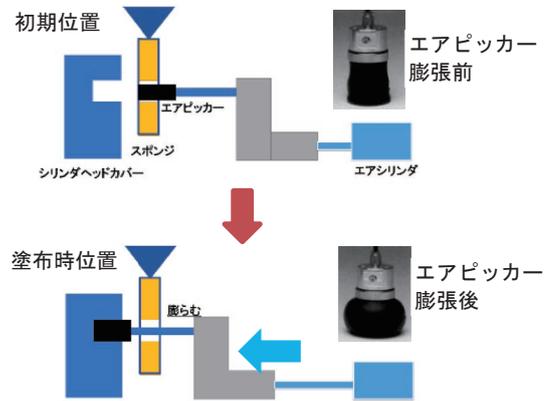


図11 封着剤塗布動作

3.7 パイプ圧入部 パイプストックに設置した鉄パイプを1本ずつフィーダ上に供給し、ワークに圧入する。図12に鉄パイプ圧入部の外観を示す。圧入に必要な力は実験より、3000Nとした。圧入機構には送りねじを採用し、送りねじの先端で鉄パイプを押すことにより圧入を行った。なお、圧入時にワークの浮き上がりを防止するために、2つのクランプシリンダを用いてワークを固定した。

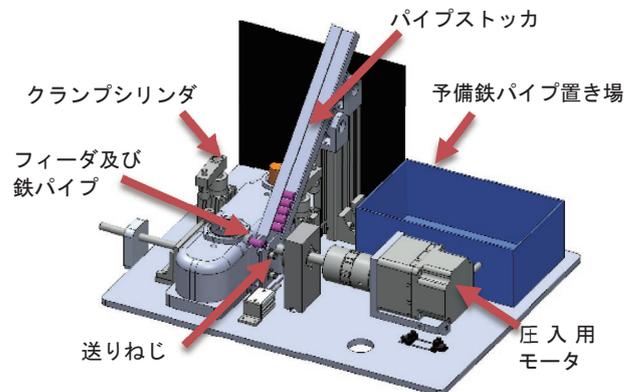


図12 鉄パイプ圧入部

3.8 検査部 図 13 に検査用カメラの設置位置を示す。カメラ位置は搬送アーム横と圧入テーブル側面でありそれぞれカメラ 1, 2 とする。カメラ 1 では、部品 1, 2 のコンベア上の停止位置確認, ワークへの設置位置確認, ねじ締め後のねじの有無の確認を行った。カメラ 2 では、鉄パイプの圧入位置, 作業者の手の誤侵入検知を行った。撮影画像をマイコンで歪み補正し, トリミング, エッジ検出等の画像処理を行い, 各部品的位置検査および有無確認, 安全確認を行った。位置検査結果が不可もしくは手の侵入を検知した際には, 装置を停止させる。停止時にはタッチパネルに停止理由とエラー解除方法が表示される。動作を再開する際には, まず各部品を取り除きエラー解除をした後に, 操作盤で動作開始ボタンを押す。

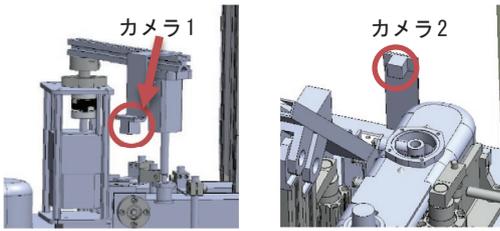


図 13 検査用カメラ

3.8.1 部品 1, 部品 2 の位置確認(カメラ 1) ベルトコンベア上での部品の停止位置を検査する。また, 部品を搬送アームでワーク上に設置した後に, その位置を図 14 に示すようにテンプレートマッチングで検査する。テンプレート画像と検査画像を比較し, その類似度が閾値を超えると位置決めが適切と判断する。

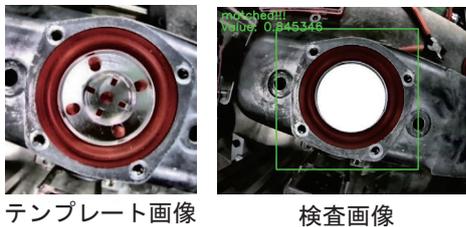


図 14 テンプレートマッチングの例

3.8.2 ねじの有無確認(カメラ 1) ねじ締め後に, ワーク上のねじ 4 本の有無を検査する。ねじの外形を検出するために円検出を用いた。

3.8.3 鉄パイプ圧入検査(カメラ 2) 鉄パイプがフィード上にあるか, また鉄パイプ圧入後, 鉄パイプが既定の位置まで圧入されているかを検査する。フィード上の鉄パイプの有無は, テンプレートマッチングを用いて確認する。圧入後は, ワークからの鉄パイプの出代が規定値 $25 \pm 0.5\text{mm}$ 内にあるかを図 15 のように検査する。画像から鉄パイプ領域をトリミングした後, フィルタ処理, 輪郭を二値化処理し輪郭ピクセル数を求め, パイプの出代から良否の判断を行った。

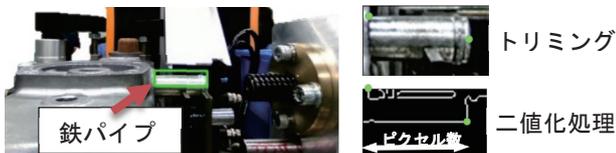


図 15 パイプの出代の検査

3.9 安全装置 ねじ締めテーブルでは, 手の誤侵入に対する安全対策として, テーブル前面に透過型光電センサを用いた安全装置(図 16)を設置した。またパーツストック部では, ドアの開閉状態を検知できるよう, ドアに近接センサを設置した。検出範囲内に手が侵入する, あるいはドアが開状態である際には, 機械の動作を停止する。

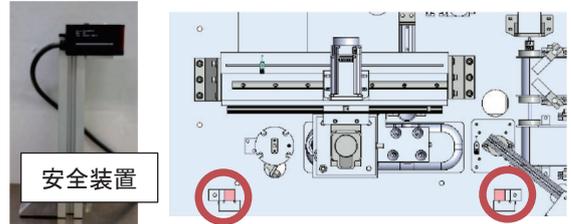


図 16 手の誤侵入に対する安全装置

圧入テーブルでは, 鉄パイプ圧入時に人の手が誤って侵入した場合, カメラ 2 で検知する。画像処理は HSV (Hue Saturation Value) 値を用いた異物検知を行った。HSV 値とは, 色の色相, 彩度, 明度の 3 要素であり, 人の肌の色に近い侵入物のみを検知する(図 17)。人が手袋をつける際は手袋の色をあらかじめ登録する。素手あるいは手袋装着時に手が侵入した際に, 装置が停止することを確認した。



図 17 人の手の検出

4. 制御構成

4.1 制御盤の仕様 制御盤には漏電遮断器をはじめとした電源供給部, 装置の制御信号の送受信を行う PLC, 動作制御基板, 画像処理用マイコン(Raspberry Pi)を設置している。

4.2 電源部 システムブロックを図 18 に示す。電源は単相 100V を PLC やマイコン用コンセント, インバータ等に供給する。またモータや基板, センサには直流安定化電源により DC24V, 5V の電源供給を行う。

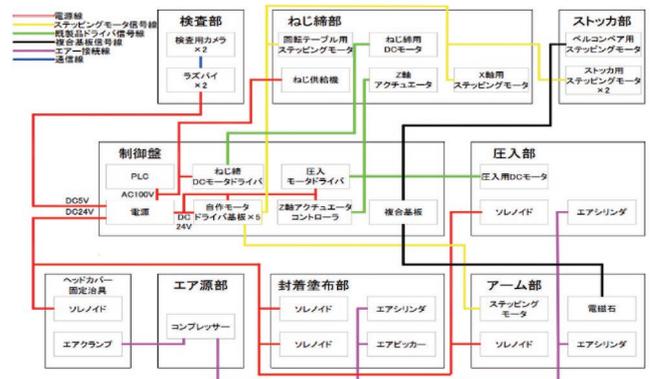


図 18 システムブロック

4.3 PLC とマイコン間の通信 検査用マイコンは各テーブルに1台ずつ使用した。PLC とマイコン間通信では、信頼性を重視しソケット通信を行った。PLC から各検査のタイミングでマイコンに検査コマンドを送信し、検査結果はマイコンから PLC へ送信した。マイコン間の通信には、実装が容易な UART 通信を用いて、検査コマンドと検査結果の送受信を行った。通信のイメージを図 19 に示す。

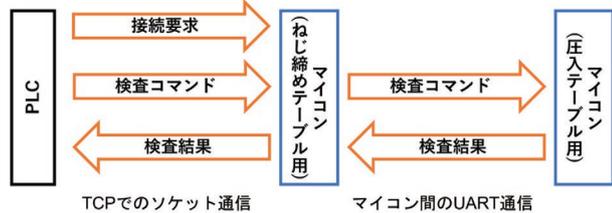


図 19 PLC-マイコン間の通信

5. 評価及び考察

装置仕様に基づき装置の評価を行った。評価結果を表 2 に示す。部品 1, 2 の設置とねじ締め作業、また封着剤の塗布および鉄パイプの圧入作業について、装置による一連の組み立て作業の動作確認ができた。しかし、1 ワーク当たりの組み立てに要した時間が 100s となり、目標とした組み立て時間を達成することは出来なかった。内訳は部品 1, 2 の搬送時間が 40s, ねじ供給からねじ締め完了および封着剤塗布に要する時間が 35s, 鉄パイプの圧入時間が 20s, 作業によるワークの移動時間が 5s となった。各部の動作速度を上げて、時間短縮を図る必要がある。

表 2 装置評価

評価内容	合否
1 個当たりの組立時間が 39s 以内である。	×
封着剤を鉄パイプ挿入用穴の円筒面に全周塗布できる。	○
バルブコンプレッサと金属カバーをシリンダヘッドカバー上の既定の位置に設置でき、その検査が行える。	○
4 本のねじ締めが既定トルク(2.8~4Nm)で行われ、また 4 本のねじが取りついているかを検査できる。	×
鉄パイプが既定の位置まで圧入でき、その検査が行える。	△
安全装置(透過型光電センサ、圧入テーブルでの手の誤侵入検知、パーツストック部でのドア開閉センサ)が適切に動作する。	○

5.1 搬送アーム 動作は安定しており、2 種類の部品の搬送ができた。しかし、部品 1 はばねを磁石で吸着したため、搬送中に振動が発生した。振動が収まるのを待ってからワークに設置したため、搬送時間がかかる原因となった。

5.2 パーツストック部 動作は確認できたが、ストック部に補充した部品 1, 2 の前後位置によって、部品がベルトコンベア上に落下後、パーツ位置決めガイドに当たらず隙間が出来ることがあった。

5.3 ねじ締め部 回転テーブルから 4 つのねじを取得し、ワークに対して全てのねじを同時に締めることができた。26 回実験を行い、全て 4 本同時にねじを締め

付けることができた。しかし、ねじを取得する際に、全てのねじを取得できない場合があった(26 回中 16 回失敗)。ドライバービット先端の触れ回りが確認されたので、ベアリングのはめあい精度や軸穴の傾きが原因と考えられる。

5.4 封着剤塗布部 動作は確認できたが、エアピッカーの耐久性が懸念される。

5.5 鉄パイプ圧入部 動作は確認できたが、ワークのモデリングミスにより既定の圧入深さ 10mm まで届かず、最大圧入深さ 7mm となった。

5.6 検査部 動作は確認できた。日光や室内の照明の影響で、検査結果にばらつきが生じたが、規定値の範囲内での測定結果を得ることができた。

5.7 筐体・安全装置 動作は確認できたが、可動部が露出している部分が多いため、これらに覆いを設けることで安全性を高める必要がある。

6. 今後の課題

本装置は鉄パイプの圧入工程のみ別テーブルで行っているため、作業者がワークを途中で移動させる必要がある。テーブルを 1 つに統合した後にレール等によるワークの移動機構を設けることにより、人によるワークの途中移動がなくなると考えられる。

パーツストック部は各 부품のストック数が 25 個であるため、人手によって頻繁に部品を供給する必要がある。よって別にストックへの部品供給用フィードを追加することやパーツフィードを用いた部品移動機構への変更が考えられる。

搬送アームやねじ締め部は、搬送スピードを向上させるため、産業用ロボットの活用が考えられる。部品 1 の把持方法は、鋼板部分もしくは中心部をバキュームで吸着、あるいはばね部の内径を三爪チャック等で把持し、搬送中に振動が起きないように把持する必要がある。

ねじの締め付けトルクは、ねじ締め用モータの電流値で管理した。4 本合計の締め付けトルクであるので、個々のねじのトルク管理は行えていない。個別に管理するには、各ドライバービットにクラッチやトルクリミッタ等を設ける必要がある。

安全装置は、誤侵入を広く検知するため、ライトカーテンを装置前面に設けることが考えられる。

7. 結言

ワークの組み立て工程を自動化できる装置の開発を行った。本装置は人による操作の必要性があるが、装置を同時に複数台使用することや、別工程を行いながら本装置を使用することで生産性の向上につながると考える。今後は装置の生産能力の向上や作業者の介入が一切不要な完全自動化を目標としたい。

最後に、テーマおよびサンプルワークを提供していただいた株式会社イケ様、熱心に開発課題実習に取り組んだ担当学生に感謝申し上げます。

(2025 年 9 月 12 日提出)

伝統構法木造建築物に用いられる竿車知継手を有する柱-梁接合部の曲げ性能評価に関する研究

Study on Bending Performance Evaluation of Column-to-Beam Connection with Sao-Shachi Joint for Traditional Wooden Buildings

宇都宮 直樹*1, 福井 陽人*2, 宮本 慎宏*3, 中尾 方人*4

伝統構法を用いた木造建築物には、板壁や土塗壁等の耐力壁や継手・仕口等の多様な構造要素があり、それらの耐震要素を組み合わせた構造が複雑とされている。このことから、設計時の構造計算に用いる体系的な評価手法が確立されていない耐震要素も未だに存在する。中でも竿車知継手は部材断面が大きい柱-梁接合部などに用いられるため、比較的耐力が大きく、建物全体の耐力に及ぼす影響が大きい。竿車知継手を有する垂壁付き木造軸組架構に荷重が作用した場合、柱-梁接合部が柱の曲げ変形に対して回転の抵抗をする。同時に、垂壁に圧縮ストラットが生じ、柱間を開く引張力が男木と女木に作用するが、車知栓を介することで応力が伝達され、竿車知継手がこの引張力に対して抵抗する。しかしながら、場合によっては車知の回転によって接合部の脆性的な破壊をもたらすことが知られている。以上より、伝統構法を用いた木造建築物の設計をするためには、竿車知継手を有する柱-梁接合部の耐震性能評価法が重要である。

本研究では、竿車知継手を有する柱-梁接合部において、部材の長さを実状に合わせた十字試験体を用いて静的載荷実験を行い、曲げ性能及び破壊性状の評価を行った。その結果、梁成が大きくなるに伴って、回転剛性と最大モーメントは大きくなることが明らかとなった。

Keywords : 伝統構法, 竿車知継手, 静的載荷実験, 柱梁接合部, 曲げ性能, 破壊性状.

1. 緒言

既報^[1]では、竿車知継手の実大静的加力実験から、梁成の変化に伴う曲げ性能の違いについて把握を行った。しかし、試験体数の不足によるデータのばらつきと実際の木造建築物に比べ、梁材の長さが短かったことで横架材女木の根元の割裂が生じた。本研究では、梁材の長さを実状に合わせた竿車知継手を有する柱-梁接合部の十字試験体を用いて静的載荷実験を行い、曲げ性能及び破壊性状を把握することを目的とする。

2. 静的載荷実験の概要

竿車知継手を有する柱-梁接合部の十字試験体概要を図1、載荷装置を図2に示す。試験体の樹種は柱および梁が天然乾燥のスギ材(平均含水率20.2%)、車知栓は年輪方向無作為のシラカシ無欠点材を用いた。試験体寸法を表1に示す。試験パラメータは梁成 H を変化させ、180mm, 240mm, 300mmの3種類とした。試験体数は各6体とした。竿成 h は梁成 H の1/2とし、柱断面 W_c 、梁目違いの幅 f および深さ d 、車知栓の幅 s 、厚さ e および長さ h 、竿長さ l および竿幅 D は既報^[1]と同じとした。車知栓

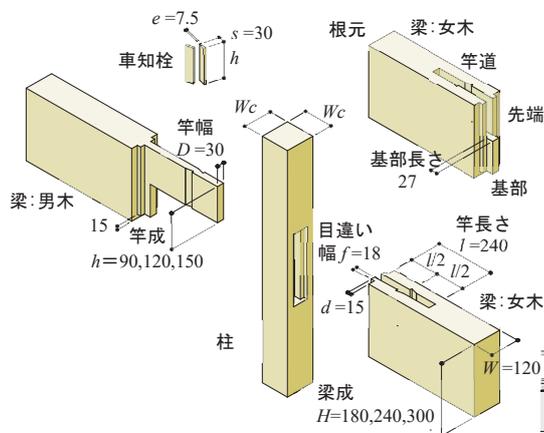


図1 試験体概要

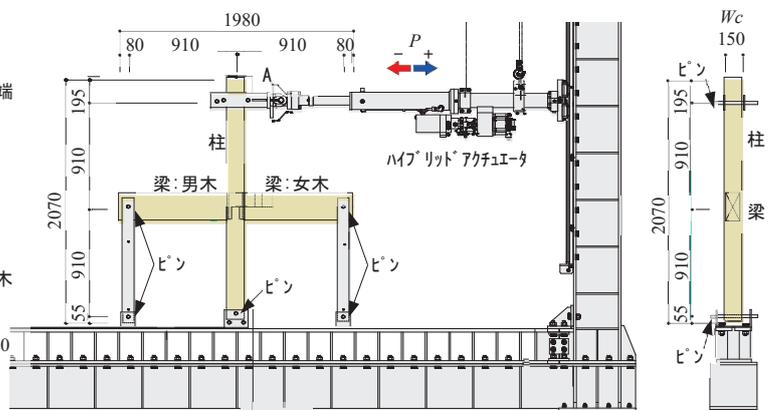


図2 載荷装置

A-A 側面

*1 近畿職業能力開発大学校 建築施工システム技術科 職業能力開発教授 博士(工学)

*2 香川大学大学院 創発科学研究科 大学院生

*3 香川大学創造工学部創造工学科建築・都市環境コース 教授 博士(工学)

*4 横浜国立大学大学院都市イノベーション研究院 特別研究教員 博士(工学)

は台形状の勾配を設け、奥まで軽く打ち込んだ状態で男木の車知先端と女木の竿道根元には 1~2mm 程度の隙間ができるように加工した。柱-梁の部材芯からピン支持治具および載荷位置までの距離は、図 2 に示すように各 910mm とした。載荷履歴は柱の見かけのせん断変形角が 0.005(1/200), 0.01(1/100), 0.013(1/75), 0.02(1/50), 0.033(1/30), 0.05(1/20), 0.067(1/15), 0.10(1/10), 0.143(1/7)rad とし、各ステップで 1 回の正負交番繰返し載荷とした。載荷方向は女木側への載荷を正方向、男木側への載荷を負方向とした。

3. 実験結果

特性値の平均値を表 2、接合部全体に生じるモーメントと柱の見かけのせん断変形角の関係と主な破壊性状を図 3 に示す。特性値の評価は既往の文献 [4] に基づいて、モーメント-柱のせん断変形角曲線から完全弾塑性モデルを作成して算定した。載荷ステップ間の急激な荷重の低下によって完全弾塑性置換が行えなかった梁成 S180(梁成 180mm)-5, 6 の負方向, S240-6 の正方向, S240(梁成 240mm)-1, 5, 6 の負方向は除外して平均値を求めた。回転剛性 K , 最大モーメント M_{max} は、S180(梁成 180mm)に比べ S240(梁成 240mm)が 1.35~1.57 倍、S240(梁成

240mm)に比べ S300(梁成 300mm)が 1.40~1.63 倍であり、梁成が大きくなるに伴って回転剛性 K と最大モーメント M_{max} も大きくなる事が確認できた。0.067rad に至るまでに竿の節周りで曲げ破壊が生じていた S240(梁成 240mm)-4 と S300(梁成 300mm)-5 を除いた試験体で、正側の最大モーメント M_{max} は負側の最大モーメントの 1.13~1.64 倍であった。載荷は正側から行ったため、竿の曲げ破壊が先行することが要因と考えられる。すべての試験体で ±0.033rad まで車知栓の変形は顕著ではなく、初期弾塑性域からの降伏は、男木及び女木木口が柱にめり込み降伏することで生じたと考えられる。

4. 破壊過程

写真 1 に破壊性状・荷重低下の因子を示す。

S180 試験体(梁成 180mm)は、すべての試験体で ±0.033rad 以降に写真 1(a)に示す梁のめり込みによる柱表面の割れが確認された。±0.05rad 以降に写真 1(b)に示す車知栓の全面横圧縮降伏または座屈が確認された。その後、No.5 を除き、車知栓の回転により女木竿道部分が面外方向に変形し、写真 1(c)に示す女木根元の割裂が確認された。No.3, 4, 6 は +0.10rad 以降で写真 1(d)に示す女木の面圧降伏が確認された。No.5 は+0.08rad で写真 1(e)に示す竿の曲

表 1 試験体寸法一覧

試験体名	柱 幅 $W_c \times W_c$ (mm)	梁 幅 $B \times 成 H$ (mm)	竿 長さ $l \times 幅 D \times 成 h$ (mm)	目違い 幅 $f \times 深さ d$ (mm)	車知栓 厚 $e \times 幅 s$ (mm)
S180 (梁成 180mm)	150×150	120×180	240×30×90	18×15	7.5×30
S240 (梁成 240mm)		120×240	240×30×120		
S300 (梁成 300mm)		120×300	240×30×150		

表 2 特性値一覧

試験体名	載荷方向	M_y (kNm)	M_u (kNm)	M_{max} (kNm)	θ_v (rad)	θ_u (rad)	K (kNm/rad)
S180 (梁成 180mm)	+	3.46	4.68	5.61	0.068	0.131	70
	-	3.12	3.86	4.25	0.058	0.143	64
S240 (梁成 240mm)	+	4.68	6.39	7.55	0.059	0.112	104
	-	4.50	5.47	6.19	0.048	0.093	100
S300 (梁成 300mm)	+	7.43	11.13	11.72	0.064	0.121	170
	-	9.22	9.55	9.18	0.067	0.110	141

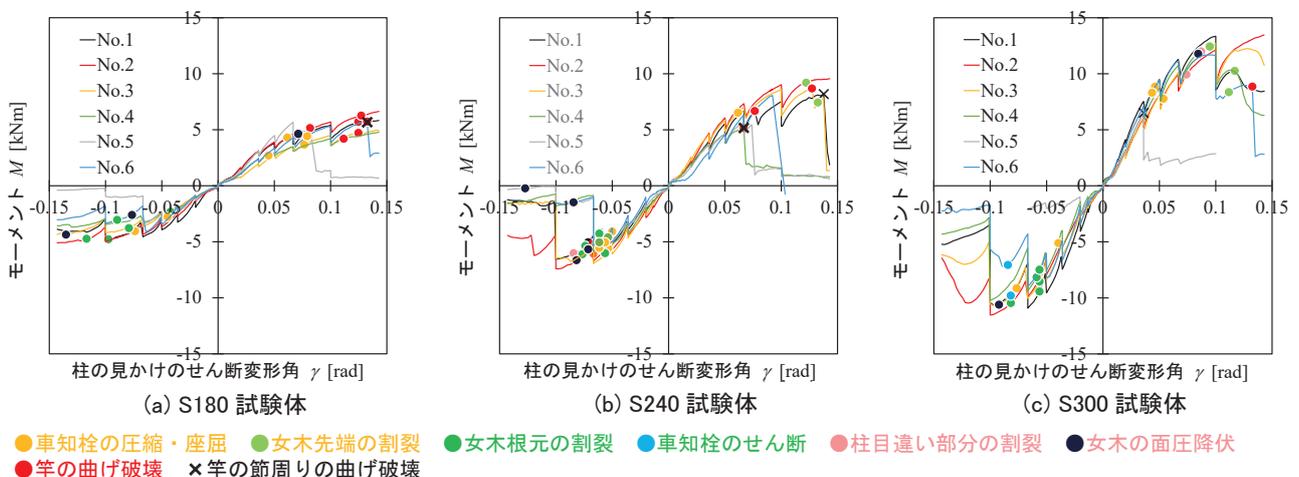


図 3 モーメント-変形角関係、主な破壊性状

げ破壊が生じ、荷重が低下した。

S240(梁成 240mm)試験体は、すべての試験体で±0.033rad以降にめり込みによる柱表面の割れが確認された。+0.067rad以降で車知栓の全面横圧縮降伏または座屈、女木根元の割裂が確認された。No.6を除き、-0.10rad以降で女木の面圧降伏が確認された。No.1は-0.10radで写真1(f)に示す柱目違い部分の割裂が確認された。No.4は+0.067rad, No.5, 6は-0.067rad, No.1, 3は+0.14rad近傍で竿の曲げ破壊が生じ、荷重が低下した。No.3は-0.10rad, No.2は-0.11radで写真1(g)に示す女木竿道部分の面外方向への破壊が生じ、荷重が低下した。

S300(梁成 300mm)試験体は、すべての試験体で±0.033rad以降にめり込みによる柱表面の割れが確認された。+0.05rad以降で車知栓の全面横圧縮降伏または座屈、女木根元の割裂が確認された。No.3, 4は+0.10radで写真1(h)に示す女木先端の割裂や+0.10rad以降で女木の面圧降伏が確認された。No.1は+0.10rad, No.4は+0.12rad, No.6は-0.084radにおいて、写真1(i)に示す車知栓のせん断が生じ、写真1(j)に示す竿の引き抜けにより荷重が低下した。No.6は、+0.13radで竿の曲げ破壊, No.2は-0.12rad, No.3は-0.10rad, No.6は-0.084radで女木竿道部分の面外方向への破壊が生じ、荷重が低下した。

荷重低下はS180(梁成 180mm), S240(梁成 240mm)は竿の曲げ破壊, S300(梁成 300mm)は車知栓のせん断に伴う、竿の引き抜けや竿の曲げ破壊など複合的な破壊が生じたことが要因と考えられる。

5. まとめ

竿車知継手を有する柱-梁接合部の静的載荷実験から、梁成の変化に伴う曲げ性能と破壊性状を把握した。得られた知見を次に示す。

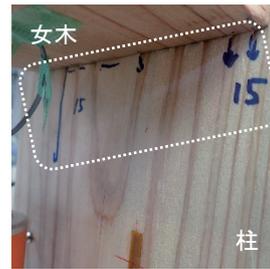
- (1) 梁成が大きくなるに伴って、回転剛性と最大モーメントは大きくなる。
- (2) 本試験の範囲における荷重低下の要因は、梁成 180mm と 240mm は竿の曲げ破壊、梁成 300mm は複合的な破壊が作用して生じた。

謝辞

本実験は、公益財団法人松井角平記念財団の補助を受けて実施した。ここに記して感謝の意を表す。

参考文献

- [1] 浦久保幹也 他:伝統構法木造建築物に用いられる竿



(a)柱表面の割れ



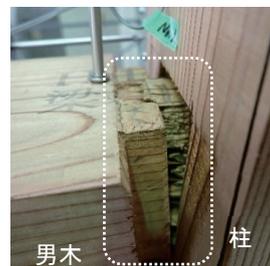
(b)車知栓の圧縮・座屈



(c)女木根元部分の割裂



(d)車知栓の面圧降伏



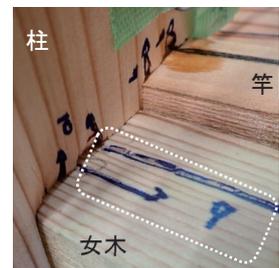
(e)竿曲げ破壊



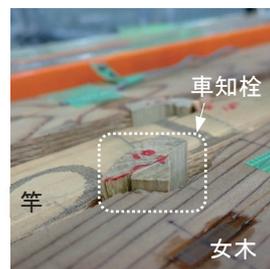
(f)柱目違い部分の割裂



(g)面外方向への破壊



(h)女木先端の割裂



(i)車知栓のせん断



(j)竿の引き抜け

写真1 破壊性状・荷重低下の因子

竿車知継手を有する柱-梁接合部の曲げ性能に関する研究 その1 実大静的加力実験,日本建築学会大会四国支部研究報告集,pp.3-4,2024.3

- [2] 公益財団法人 日本住宅・木材技術センター：木造軸組工法住宅の許容応力度設計(2017年版),pp.300-301 (2025年9月12日提出)

開発課題実習「部品整列供給装置の開発」における指導の考え方 A Philosophy of Practical Education in the "Development of Parts Alignment and Feeding System"

吉崎 元二^{*1}, 中島 英一^{*2}, 大山 有利^{*3}

本報告は、職業能力開発大学校の実習科目「開発課題実習」における「部品整列供給装置の開発」の指導内容についてまとめたものである。2024年度の実習では、混在状態で存在する複数種の部品を適切に分別して整列し、次工程に供給できる装置の開発を目指した。供給対象部品は六角穴付きボルトに限定されているが、混合投入されたボルトを呼び長さと呼び径に基づいて分別・整列し、生産ラインの次工程に供給する装置を開発できた。課題設定の背景や装置の設計・開発、さらには実習における諸問題について指導側の観点から報告する。

Keywords: 装置開発, 指導の考え方, 部品供給, 分別, 整列.

1. はじめに

職業能力開発大学校の応用課程生産システム技術系に課されている実習科目「開発課題実習」は、企業における設計、ハードウェア製作、ソフトウェア実装、テストなどの製品開発業務を、学校で学びながら経験する、という稀な機会を提供する職業訓練である。

本報告では、近畿職業能力開発大学校の2024年度開発課題実習における課題の一つであった「部品整列供給装置の開発」(以下「本課題」という)を取上げる。以下では、本課題における課題設定の背景と装置の設計・開発ならびに製作の内容について記し、実習に際して生じた諸問題について指導の観点から述べる。

2. 課題の設定について

はじめに、本課題の概要とその設定について説明する。

2.1 本課題の概要 近畿職業能力開発大学校においては開発課題実習の課題を企業から提供いただいている。本課題も、工場内生産設備を主力製品とする企業から、製品組立ての全自動化に有効な部品供給システムの実現要望を受けて装置の開発を行った。本課題で開発する装置は、複数種の部品を混在した状態のまま投入でき、それらを適切に分別して整列し、次工程へ供給できる機能を有する。

2.2 課題設定の背景 生産工程で使用される部品は、通常、部品ごとに梱包されて納入されるため、生産ラインへの投入時に混在状態となることはほぼない。このため、本装置は実社会においては例を見ないものである。開梱後に何らかのトラブルで異なる部品が若干混入することが絶対ないとは言いきれないが、極めて稀であり、そのためだけに専用装置を導入するのはあまりに過剰な投資である。にもかかわらず、このような装置の開発をあえて課題として採択したのは以下の想定による。

まず、近年はSDGs(Sustainable Development Goals, 持続可能な開発目標)への意識の高まりによって、製品のリユースやリサイクルの需要が増加している。企

業においては、リファービッシュ(再生)やリマニュファクチャリング(再製造)への取組みも積極的に進められている。製品を構成する個々の部品については、従来、品質保証の観点から再使用が避けられてきたが、将来的には、品質に問題がないことを確認した上で再使用するケースが増加することは想像に難くない。しかしながら、製品分解の際にリユースやリサイクルの対象となる部品だけを、再使用しやすい状態で適切に分別回収することは、現時点では著しく困難である。よって、製品を分解した後で、混在状態で回収された異なる部品を分別し、それを整列供給する技術の開発は、その解決への第一歩となる。

また、これらの技術が発展し、部品に限らず、さまざまなモノの自動分別や自動整列が可能になれば、SDGsを支える技術は飛躍的に向上する。例えば、現在は多くの部分を人手に頼っている資源ゴミの分別利用にも寄与できる可能性がある。

以上のように、本課題は、現時点では利用価値が小さくみえるが、将来的ニーズに応える重要技術であることから開発課題実習の課題として採択された。

2.3 課題理解と共有についての職業訓練上の問題 本節では、前例のない装置の開発という課題設定における職業訓練上の問題について述べる。

前述のような将来的ニーズに基づく装置の開発に対して、学生の戸惑いがしばしば見受けられた。一般に職業訓練における学生の学びは既存の技術や技能の習得が中心であり、現存しないモノの必要性やあり方を想像あるいは創造することには慣れていないともいえる。新しい装置の発明行為が困難を伴うことは周知のことと思われるが、本課題においては、そもそも「なぜこのような装置を開発する必要があるのか」の理解に加え、他者への説明と共有にも困難があった。学生が自己の視野をより広げて世界を俯瞰する視点に欠けている可能性が考えられる。また、現存しない装置の説明について、他者が理解できる言葉にするという表現力の不足以前に、他者の予備知識を推測あるいは想像して、必要な情報を過不足なく共有しようとする意

*1 近畿職業能力開発大学校生産機械システム技術科

*2 近畿職業能力開発大学校生産電気システム技術科

*3 近畿職業能力開発大学校生産電子情報システム技術科

識が不十分であると感じられた。これらの職業訓練上の問題点はさらに検証が必要な仮説であり、ここでは問題を提起しておくに留める。

2.4 初期の課題設定と目標 新規開発においては「最初にいかなる課題を設定するか」がその後の成否に大きく影響する。企業の要望に対してそのエッセンスを汲みつつ、所定の訓練期間内に完成できる課題となるよう調整する必要がある。本課題においては、2.3節で述べた問題を踏まえ、どこから手を付けてよいかさえ分からない状況が想定された。よって、対象部品を幾らか具体的に限定することで、全く未知の装置ではなく、現存する小規模装置の集合に落とし込むことが望ましいと考えられた。

以上により、指導員と課題提供企業の事前協議により対象部品をボルトに絞った課題を、学生に対して提示した。対象部品は、その後、学生チームの企業に対する聞き取り調査、需要や実現可能性の検討などを経て、さらに限定された。最終的には、呼び径 M5 及び M6、呼び長さ 8~16mm の六角穴付きボルト(JIS B1176)を対象部品として次工程に整列供給できることを目指した。

3. 開発した製品システムの概要

本課題において学生チームが開発した製品システム(以下「本製品」という)の概要について説明する。製品についての詳細説明は学生チームの報告書[1]に譲り、本報告では概要と設計プロセスを重点的に記す。

3.1 対象部品 前章で述べた課題設定の背景から、本機の対象部品は可能な限り多種多様であることが望ましい。しかしながら、単独の移送機構を用いて多種多様な形状の部品を取り扱うシステムの開発は極めて挑戦的で高難度の課題である。形状だけでなく、大きさの違いも部品のハンドリングを困難にする。

本課題の開発では、前章に述べた課題設定の過程で対象部品が絞り込まれた後も、異種部品のハンドリング方法の解決が最大の課題となった。2024年度開発課題実習では、この難題を解決する手始めとして、同一形状でユーザーが選択した3種のサイズのねじ部品を対象部品として取り扱うシステムの開発を試みることにした。

3.2 システム構成 本製品の全体構成を図1に示す。図中の矢印は部品の流れを表している。部品を混合投入できる投入部(図中①)、部品の呼び径と呼び長さを判別して種類ごとに異なるレールに分別移送する分別部(図中②)、分別後の対象部品を次工程に供給する整列部(図中③)、必要に応じて部品の一部を分別部から



図1 本製品の全体構成

投入部に戻す返却部(図中④)から構成される。分別部で対象外と判別された部品については排出ボックスへ

と排出する。以下、各部の概要を簡単に述べる。

3.3 投入部の概要 投入部の外観を図2に示す。投入部の機能は、第一に作業者が投入した部品をストックできることである。設計に際しては部品投入作業が過度に頻繁とならないように、少なくとも300個の対象部品を大小にかかわらずストック可能な容量とした。また、作業終了時に投入ストッカー内に部品が残りにくいことを求めたため、幾分複雑な形状となっている。その一方で、応用課程2年生レベルの板金加工スキルではSUS薄板溶接などが難しく、ねじ締結等を多用することとなった。結果として理想的とは言い難い構造になったものの、概ね求める機能が得られた。

第二の機能は、投入ストッカー内の部品を判別しやすい状態で取り出せることである。複数種の部品が混在したままでは判別が難しくなり、判別失敗の増加が予想される。このため、部品を1個ずつに分離しやすいように、部品の向きを揃えて1列に並べる機能を持たせた。学生チームが採用した機構は、扇型レールの上下運動で部品を掻き上げるものであった。レール上面に六角穴付きボルトの頭部を乗せるために、ねじ部を落とし込む溝を設けている。M6六角穴付きボルトのねじ部を落とし込むには6.0mmを超える溝幅が必要である。かつ、図3に示すように、M5六角穴付きボルトがレールの片側に寄ってもボルトが傾斜しない溝幅は6.75mm未満となる。レール端面には面取りも必要であるため溝幅は6.2mmと決定された。対象部品をM5とM6の六角穴付きボルト2種だけに絞っても、このようになりやすい寸法が求められる機構であり、多様な部品に対応することは不可能であった。また、掻き上げる際にボルトのねじ部が適切に溝に落ち込む保証はなく、特に部品が少量になったときの成功率低下が危惧された。なお、初期段階の設計では、部品掻き上げに用いる扇型レールのカウンターウエイトがなく、必要以上に大きな動力源を用いていた。動力源を小型化するため、重りの追加を指導したが、学生が重

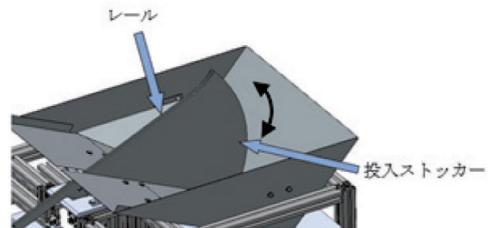


図2 投入部の外観

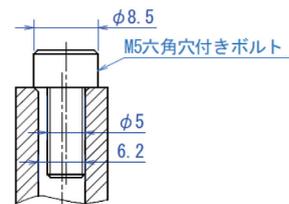


図3 投入部レール上面の溝幅

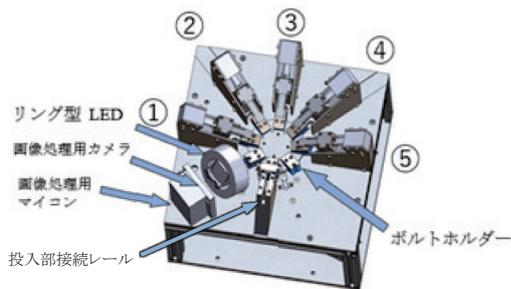


図4 分別部の外観

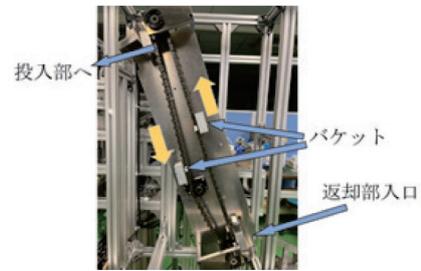


図6 返却部

りを直方体で設計した理由は不明である。おそらく分布質量のモーメントを考慮していないとみられる。

3.4 分別部の概要 分別部の外観を図4に示す。分別部は、投入部から送られてくる部品の種類を判別し、あらかじめ登録された3種類の対象部品に分別移送する機能を持つ。部品は投入部接続レールから滑り落ち、回転式のボルトホルダーで保持される。投入部で向きを揃えた部品は、ここで1個ずつに分離、保持され、判別しやすい状態となる。ただし、部品がボルトホルダーに衝突して跳ね、保持に失敗するケースがある。これは衝突時の反発力が充分考慮されていなかったとみられる。

判別方法としては光電センサーなど複数の手法が検討されたが、最終的にカメラ画像による処理が採用された。ボルトホルダーに保持された部品は、ボルトホルダーの回転によって画像処理用カメラの前に移動し、画像処理によって種類が判別される。その後、ボルトホルダーがさらに回転し、円形に配置されたソレノイド②～④のうち、判別結果に応じた位置へ部品を移送する。各ソレノイド先端の爪が部品の頭部を引っ掛け、分別先の部品移送レールへ引き落とす。なお、ソレノイド①は対象外の部品を排出ストッカーへ、ソレノイド⑤は後述する一部の部品を返却部へ移送する役割を持つ。

3.5 整列部の概要 整列部の外観を図5に示す。整列部の部品移送レールは2本のフラットバーを平行に配置して構成されている。これらは対象部品のストッカーを兼ねたストッカーレールに接続されており、分別部で分別された対象部品を種類ごとに3列のストッカーレール上に頭を上にした状態で整列待機させる。各ストッカーレール先端には、スライドシャッターを用いたエスケープユニット(部品を1つずつ分離・排出する機構)があり、対象部品を次工程のロボット等がピックアップしやすい位置にセットする。また、各ストッカーレールにはストック量検知センサーがあり、

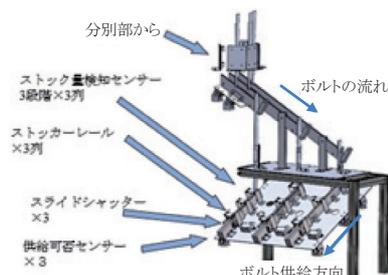


図5 整列部の外観



図7 制御システム構成

部品残量を検知できる。なお、整列部においても、移送中の部品が宙に浮く箇所があり、衝突で部品が跳ねてしまうケースが見られる。

3.6 返却部の概要 返却部の外観を図6に示す。返却部は、一部の部品を投入部へ返却する機能を持つ小型のバケットコンベアである。分別部のボルトホルダーに入った部品は、ボルトホルダーが一回転するまでに必ず取り出す必要がある。しかし、対象部品はその種類ごとにストック増減のペースが異なるので、相対的にストックの減少が少ない種類の対象部品ではストッカーレールがオーバーフローしてしまう可能性がある。そこで、余剰の対象部品はストッカーレールに移送せず、返却部によって投入部へ返送することでオーバーフローを防いだ。また、分別部の画像処理で判別に失敗した場合も、部品を投入部へ返却することで再判別することができる。

3.7 制御システムの概要 3.2節～3.5節で述べた各部の制御回路は、図7に示すように通信ネットワークで接続され、分散制御される。装置内部の通信には、I2C (Inter Integrated Circuit)と UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter)の2つの通信方式を用いており、表示や画像処理関連の通信を各部間の通信と分離することで通信がボトルネックにならないように工夫されている。また、制御システムの表示部には、作業者が本装置の状態確認や操作を行えるタッチパネルインタフェースを備えている。分別部で対象部品と判別する3種の部品も、ここで選択することができる。

4. 開発を終えた製品に関する考察

図8に本製品全体の外観を示す。装置の正面には部品投入口があり、右側面から対象部品を次工程へ供給できる。以下に、開発を終えた本製品について考察を述べる。

4.1 残された技術的課題について 指導者の立場から見ると、設計段階で懸念される問題点は少なからず存在していた。しかし、学生の提案に対しては必ずしも修正を指示せず、可能な限り助言にとどめた。開発課題実習は、すべてが成功することだけを目指すもので

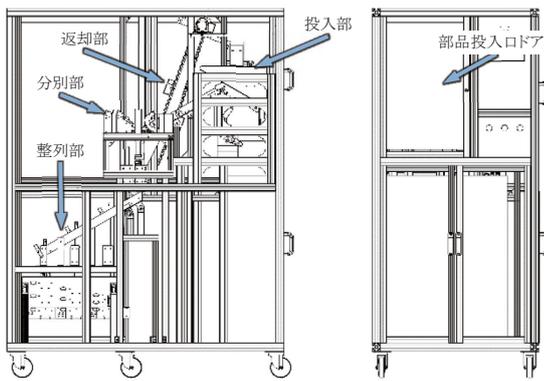


図 8 製品全体の外観

はない。「こう作ったらうまくいった」「こう作ったら失敗した」という両方の経験が学生のスキル向上には欠かせない。さらに、指導者の指示ではなく、自ら方針を決めて進める開発は、多くの学生にとって未知の領域への挑戦でもある。なお、提案通り開発を進めた結果、いくつかの問題点は予想されたトラブルにつながり、いくつかは懸念されたほどの状態には至らなかった。開発完了時の本製品には複数の問題点が残っており、仕様達成度としては残念ながら高評価とはならなかった。しかし、このような問題点の存在は一定程度許容されるべきであろう。また、本製品の外形寸法は設計開始前の想定よりもかなり大きくなった。通常ならば1本の部品移送経路が3本に増えたことや、移送に自然落下を多用したことなどが主な要因と考えられる。

4.2 製品の安全性 本製品は、機械的進入対策としてアクリル樹脂製防護カバーで全体を覆うことで対人安全性を確保している。メンテナンスの際は、内部アクセス用ドアを開けることで安全スイッチが働く。これは、近年の開発課題製品で度々採用されているタイプの安全対策である。このような対策は、包括的な安全確保の方法として有効である。しかし、実際の製品開発途中や維持管理の際は、ある程度装置を動かしながらの作業を必要とする場合がある。そのような場合、本製品のように広い範囲で装置を隔離していると、安全スイッチを一時無効化して装置を動かして作業することが想定される。当然、これでは作業中に安全対策が有効に機能しない。安全確保のための防護カバー設置は危険度の大小に応じて局所的に行われるべきであり、安易に「全体を覆えば大丈夫」という発想にならないよう注意すべきである。

4.3 開発課題実習としての学び 多くの場合、学生チームは求められた機能の実現には敏感であり、何とか要求を満たそうと努力する設計が見られた。所望の動作を実現する機構についてさまざまな方法を検討し、新しいアイデアの提案も多数あった。一方で、設計時の力学的な視点には欠ける傾向がみられた。特に回転系のモーメントや物体の衝突時に働く力の相互作用などについての配慮に欠けていた。しかし、学生は、設計時の指導、完成後の指摘、あるいは学生チームによる実際の装置テストにより、問題点に気づき、対策について学ぶ機会を得た。

また、学生チームによる設計は、部品の加工や組立方法、電線の取り回しや電圧降下、ソフトウェアの実装、工数、コストなどについての配慮が不足しやすい。製作途中で問題点に気付いて手戻りが発生することも多いが、このような場合の気付きは記憶にも残りやすく、職業訓練としての意義は大きい。

5. おわりに

2024年度の開発課題実習では、SDGsの理念を背景として、将来的な技術ニーズに対応する装置の開発に取り組んだ。本報告では、その実習の際に生じた諸問題について、指導の観点から考察した。

実習の課題としては、混在状態で存在する複数種の部品を適切に分別及び整列して生産ラインの次工程に供給する装置を採択した。その結果、対象部品は3種選択と少ないながらも、混合投入された六角穴付きボルトの姿勢を整え、それを1本ずつ呼び長さと呼び径で分別、整列して次工程に供給する装置が開発できた。

現在の対象部品は極めて限定的であり、分別対象範囲の拡大は将来への課題として残されている。その困難さの主因はハンドリングにある。本課題の最大の課題であった異種部品のハンドリング方法については抜本的な解決方法を見出すには至らなかったが、本製品の開発を通してハンドリングの難しさと重要性についての知見を得ることができた。加えて、学生は高難度のプロトタイプ開発を経験する機会を得た。今後、ロボット等の進化によってハンドリングの柔軟性は高まると期待され、その適用範囲は徐々に拡大しているが、実用までには多くの課題が残されている。

なお、本課題は2024年度に新規開発を開始したものであり、次年度以降に、部品の対応範囲拡大という高難度の開発を継続することも検討された。しかし、単年度で一定の成果を求められる開発課題実習においては、過度に高難度の課題設定は避けるべきである。このため、2025年度は、対象部品を限定し、2024年度に得た知見を活かして、より効率的な整列供給を目指した部品整列供給装置の開発に着手している。

謝辞

本課題のテーマ提供ならびにご助言をいただいたムネカタインダストリアルマシナリー株式会社の皆様、また、製品開発に真摯に取り組んでくれた学生チームの皆さんに謝意を表す。

文献

- [1] 上村, 國金, 城代, 中井, 藤原, 泉本, 伊藤, 犬伏, 米田, 田嶋, 中橋, 松田, 御前, 山崎, 山本: 部品整列供給装置の開発, 近畿職業能力開発大学校令和6年度総合制作実習・開発課題実習報告書, pp.70-73, 2025.

(2025年11月19日提出)

3Dスキャナーを用いたバンブーアートのデジタルヘリテージ Preserving Bamboo Art as Digital Heritage Through 3D Scanning Technology

竹口 浩司*1, 村岡 寛*2

DX時代の教育として、3Dスキャナーを用いた岸和田市のバンブーアートのデジタルヘリテージを実施した。この課題を通じて、屋外における3Dスキャナーでの計測方法、天候によるデータ欠損、複雑な形状への対応、そしてデータ処理ソフトウェアの選定と操作方法など、多くの課題が明らかとなった。これらの経験と知見は、2025年度から新設される「建築生産情報機器活用実習」のカリキュラム構築に不可欠なものとなった。この実践研究は、DX技術を取り入れた新しい授業の基盤となり、今後の人材育成に貢献するものである。

Keywords: バンブーアート, 3Dスキャナー, デジタルヘリテージ, アドベンチャーワールド.

1. 緒言

建設業界において3Dスキャナーは、施工管理や品質管理、維持管理などさまざまな分野で活用されており、今後はさらに活用の場が広がることが考えられる。近畿職業能力開発大学校建築施工システム技術科（以下、近能大）においても3Dスキャナーが導入され、DX時代における学卒者訓練でDX機器を取り入れた授業を展開する時期にきている。

2024年に当校が所在する岸和田市と和歌山県にあるテーマパークによるバンブーアートの取り組みが行われることになった。そこで、2024年度の応用課程2年生による応用課題として、3Dスキャナーを用いたバンブーアートのデジタルヘリテージを行うことにした。実施においては、3Dスキャナーの使用法、得たデータの処理など試行錯誤を要する課題であった。

バンブーアートのデジタルヘリテージを行いながら、3Dスキャナーの操作方を習得、データ処理に関するソフトの選定や操作方を確立し、2025年度から当校の授業展開を行うまでに至る。本稿では、2024年の実践研究を報告する。

2. 概要

2.1 作業 3Dスキャナーの作業においては、3Dスキャナーによる計測と計測したデータ処理に分かれる。3Dスキャナーによる計測では、機器の操作方法や様々な環境下での設定やターゲットの使用法があり、データ処理においては、ノイズ除去、CADやBIMで活用するためのデータ変換がある。本研究では、校内における実践を行い、その後バンブーアートの計測を2度実施した（図1）。

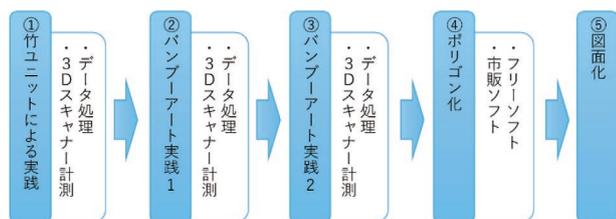


図1 作業フロー

2.2 3Dスキャナー 当校に導入された機器は、Topcon製のGLS2200^[1]である。測量機器メーカーならではの技術と様々な現場に対応できる汎用性を兼ね備えた機器であり、トータルステーションで一般的な「機械点・後視点法」や「後方交会法」といった測量方式を採用している。スキャン密度では、10m先の対象物に対して、3mm、6mm、12mmを選択することができる。ターゲットスキャンでは、最大計測範囲は200mと広く広大な現場でもターゲット回数を減らすことが可能である。

2.3 バンブーアート バンブーアート^[2]は、和歌山県白浜町のアドベンチャーワールドが主導するアートプロジェクトである。また、岸和田市はアドベンチャーワールドのジャイアントパンダの食料として竹を提供していた関係がある。台湾出身の竹アーティストであるワン・ウェンチーと竹あかりプロデュース集団「CHIKAKEN」との協同によるアート作品である。また、このプロジェクトは、竹の廃棄物削減に留まらず、アート作品の制作過程に多くのボランティアやクラウドファンディングを活用しており、地域社会の協働を促進する効果も有している。プロジェクトの理念を広く伝え、多くの人々を巻き込んだプロジェクトである。

完成したバンブーアートは、日本最大級の竹の構造物として建築的にも価値がある。しかし、竹の経年劣化を考慮し、約1年で解体されることから3Dスキャナーを用いてデジタルヘリテージを行い、データとして保存する価値のある作品であるといえる。（図2）



図2 バンブーアート

*1 近畿職業能力開発大学校建築施工システム技術科

*2 近畿職業能力開発大学校住居環境科

3. 竹ユニットによる実践

3.1 3D スキャナー計測 バンブーアートの3D スキャナーを実施する前に機器の使用方法を習得するため、2024年度の開発課題のひとつである竹ユニットの3D スキャナーを行った。

3D スキャナーの設定としては、全周スキャンで計測を行い、ターゲットはピンプリズム5型を使用した。設置位置は、計測を行う際に、2点のターゲットを計測できる位置として、計測物を中心に正三角形に近い配置とした。尚、スキャン密度はすべて3mm/10mで計測を行った(図3)



図3 竹ユニットによる実践の様子

3.2 データ処理 3D スキャナーにより計測したデータは点群データとなる。データ処理には、フリーソフトから数百万円する優良ソフトまで複数存在し、操作性や処理能力に大きな差がある。本実践では、学生用CADシステムに含まれているAutodesk社のReCapPro^[3]によりデータ処理を行った(図4)。

編集では、各方向から計測した対象物のデータを結合する必要がある。全周スキャンで計測したことにより、自動結合で問題なく結合することができた。課題としては、テントの幕が風により計測時の位置が変わってしまい2重の幕ができてしまったことがあげられる。また、バンブーアートと同じ素材である竹については、光沢による反射も懸念していた。しかし、問題なく計測できることが判明した。このことから、授業展開において、同様の計測対象であれば、すでに当校にあるソフトにより授業が可能であることが分かった。



図4 竹ユニットの点群データ

4. バンブーアートによる実践1

4.1 3D スキャナー計測 2024年12月3日にバンブーアートの計測を実施した(図5)。応用課題として取り組んでいた学生が中心となり、対象物周辺の木々や建物の状況に合わせて測定位置を定め、外観を中心に計測を行った。

計測は、時間が限られており、計測時間短縮のため計測範囲をバンブーアートに合わせて計測することにした。ターゲットは、竹ユニットによる実践同様にピンプリズム5型を使用した。しかし、後のデータ処理において、測定ミスによりターゲットによるデータの結合が出来なかった。さらに、当日は天候が良く日差しが強くバンブーアートの竹の隙間から逆行が差し込み、色が白色で計測されてしまった。

本実践で、3D スキャナーの計測において、天候が良く照度が高い日中においては、逆光や影の撮影が困難であること、ターゲットは、計測ミスを減らすために設置位置など計画や打合せが必要であることなど課題を明確にすることができた。



図5 学生による計測の様子

4.2 データ処理 バンブーアートのデータ結合においてもReCapProによるデータ結合を行った。まずは、竹ユニットの実践同様に自動結合を試みた。しかし、本計測においては、範囲計測であったため、自動結合では、重複する点群データが不足したため、自動結合ができないデータが複数発生してしまった。また、バンブーアートがドーム型であることや周りの柱が同じ形状をしていることも要因として考えられる。

4.3 データ処理2 ReCapProによる自動結合ができなかったため、手動による3点結合を行った。3点結合は、各データで認識しやすいポイントを3点指定することにより立体の点群データを結合する方法である。

各データを3点結合により結合することでバンブーアート全体の点群データを1つのデータとして構築することができた。しかし、細部の誤差を確認すると、100mm程度誤差が生じていることも判明した(図6)。

竹が円柱上であり、一般的な建物のように角が明確でないことからポイントの指示に誤差が生じてしまったことが考えられる。

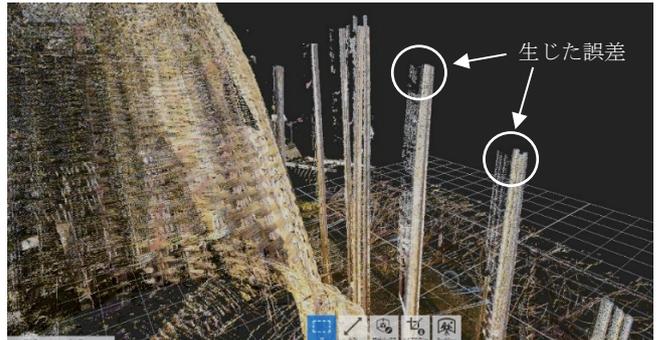


図6 手動による結合誤差

5. バンブーアートによる実践 2

5.1 3D スキャナー計測 1回の計測では、ターゲットの設置ミスにより手動による結合が限界であったことや、逆光によるデータ欠乏もあり、再度計測を行うことにした。2度目の計測は、2025年1月22日、時間は10時から15時までに行い、その間に13か所の計測を遂行した。本計測では、ターゲットを使用した後方交会法による計測を行った。ターゲットには、ピンプリズム5型を周り3か所に基準となるターゲットを設置、さらに必要に応じてターゲットを増設して各計測点から最低2か所が計測できるよう現地で場所を選定して計測を続行した。

5.2 データ処理 ターゲットによる座標結合にはMAGNETCollage^[4]を使用した(図7)。測量で使用される後方交会法によるスキャンポジションの座標データをもとに結合した結果、誤差範囲が数十mmとなり、精度の高い結果が得られた(図8)。これは、本研究で使用した3D スキャナーが測量機器として活用されることを得意としており、建築物よりも土木に採用されることが多く、座標結合が確実であることが認識された。

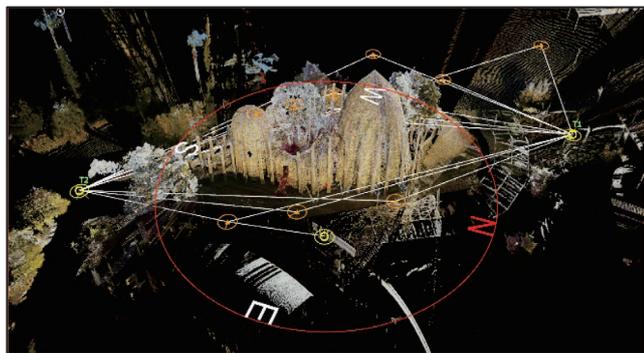


図7 MAGNETCollageの画面

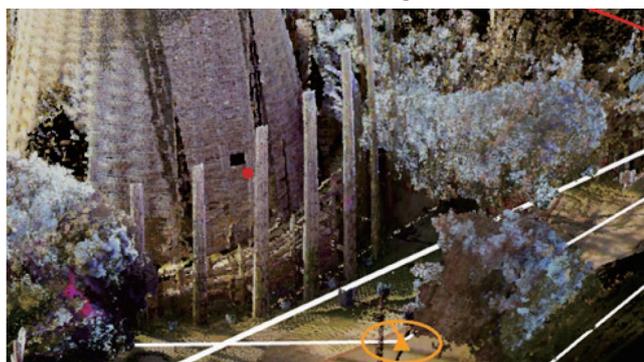


図8 座標データによる結合

6. ポリゴン化

6.1 フリーソフト 結合した点群データからポリゴン化への前処理として不要なノイズを除去する必要がある。その後、データをCADやBIMで活用するためにはデータ形式を変換するためのソフトが必要になる。

点群データは、計測した点の位置と配色によるデータである。編集ソフトやビューアーにより距離を測る程度であれば活用は可能である。しかし、図面化や3Dの立体データ(ポリゴン化、メッシュ化)としては活用できない。

本実践で編集ソフトとして、CloudCompare^[5]を使用した。本ソフトは、フリーでダウンロードができるため、当校の授業展開においてに使用することが可能である利点がある。結合したデータをCloudCompareで読み込み、不要なノイズを除去し、ポリゴン化を試みた。結果として、バンブーアートのように複雑な形状では、予期せぬ点がつながり、空洞部分が面として生成されるなど現物と同じ立体の仕上がりにならなかった(図9, 10)。そのため、ポリゴン化を試しながら、点群データを削除するなど試行錯誤が必要であった。

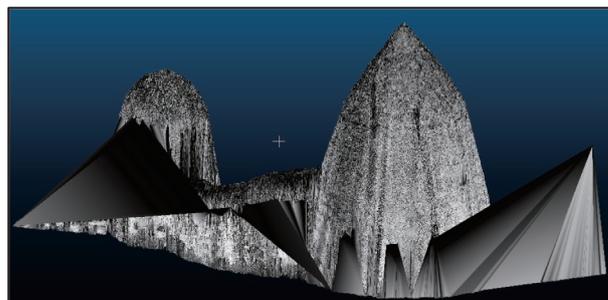


図9 ポリゴン化したデータ

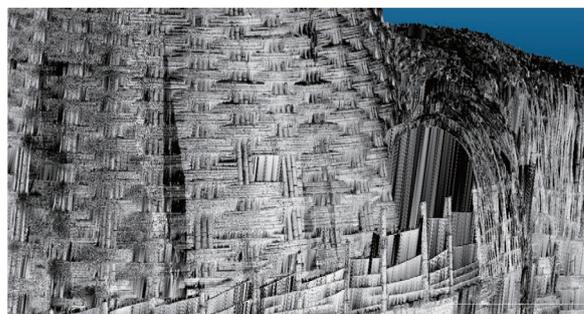


図10 ポリゴン化したデータの拡大表示

6.2 市販ソフトによるポリゴン化 市販のソフトは、高額であり、授業に導入するには現実的ではない。しかし、市販のソフトとフリーソフトの処理能力の違いを検証するため、ソフト開発会社の協力のもとInfiPoints^[6]を用いたポリゴン化を行った(図11)。

InfiPointsは、自動ノイズ除去、点群データから平面やパイプなどの円柱を抽出し、自動モデリングする機能を有している。InfiPointsによるポリゴン化は、ボタン一つで自動生成が可能である。生成されたデータにおいて、竹の編み込みまでは生成できなかった。しかし、フリーソフトであるCloudCompareに比べて、ノイズも綺麗に処理されており、現物に近い形の面が生成されることが確認できた。

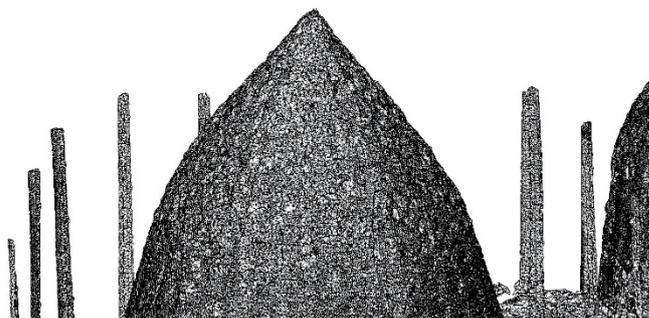


図11 InfiPointsによるポリゴン化

7. 図面化

データ変換したものを BIM にインポートし、建築的な図面を作成した。データから寸法を読み取り、平面図と立面図、一部断面図の作成を行った (図 12)。

本実践では、内部まで計測ができず、平面図は外形のみで断面図は一部のみの作成となった。立面図においては、一応の完成を得られた。しかし、ノイズ除去では、周りの柱を削除しないとポリゴン化ができず、作品全体を図面化するには至らなかった。さらなる図面化を行うには、ターゲットによる精密な計測と計測点を増やす必要がある。また、屋外における天候や周辺環境を考慮した計画が必要である。

8. 結言

2023 年に 3D スキャナーが導入され、対外的な実践として初の試みであった。計測方法の検証、日照や日陰などの自然環境に対する計測の課題、そして、データ変換などに使用するソフトの選定など多くの課題と向き合った。検証を重ね、バンブーアートのデジタルヘリテージを終えることができた。しかし、2 度にわたる計測においても一部逆光が入ってしまい、色が白くなってしまった部分、形状による計測不可能な部分、周りの木々による死角部分など完全に成功したとは言えない。だが、これらを課題として認識できたことは、バンブーアートのヘリテージを行った意義がある。今後、このような工作物において、後に伝えるためにもデータ化や図面化が必要となるためデジタルヘリテージの技術の進歩が必要とされる。

最後に本実践研究は、2025 年から建築生産情報機器活用実習の授業を立ち上げるための基盤となった。この実践を活かし DX 技術を取り入れた授業の構築を進める所存である。

9. 謝辞

本実践研究を遂行するにあたり、多大なるご協力を賜りました関係各位に心より感謝申し上げます。バンブーアートの制作にご尽力された岸和田市職員の皆様、ワン・ウェンチャーならびに CHIKAKEN の皆様には、深く感謝申し上げます。皆様のご支援がなければ、本研究の成果は得られませんでした。また、アドベンチャーワールドの皆様には、貴重な機会とご協力を賜りましたことをここに厚く御礼申し上げます。

文献

[1] TOPCON:

https://www.topcon.co.jp/positioning/wp-content/uploads/topcon/products/pdf/GLS-2200_J.pdf
参照: 2025.8.1.

[2] Panda Bamboo Art Project :

<https://www.aws-s.com/pandabamboo-art>
参照: 2025.8.1.

[3]Autodesk ReCapPro :

<https://www.autodesk.com/jp/products/recap/overview>
参照: 2025.8.1

[4] MAGNET Collage :

<https://www.topcon.co.jp/topics/4697/>
参照: 2025.8.1

[5]CloudCompare :

<https://www.cloudcompare.org/>
参照: 2025.8.1

[6]InfiPoints :

<https://infipoints.elysium-global.com/>
参照: 2025.8.1

[7] 山田竜大: 令和 6 年度応用課題 3D スキャナーを用いた竹構造物の図面化における作業検証

(2025 年 8 月 31 日提出)

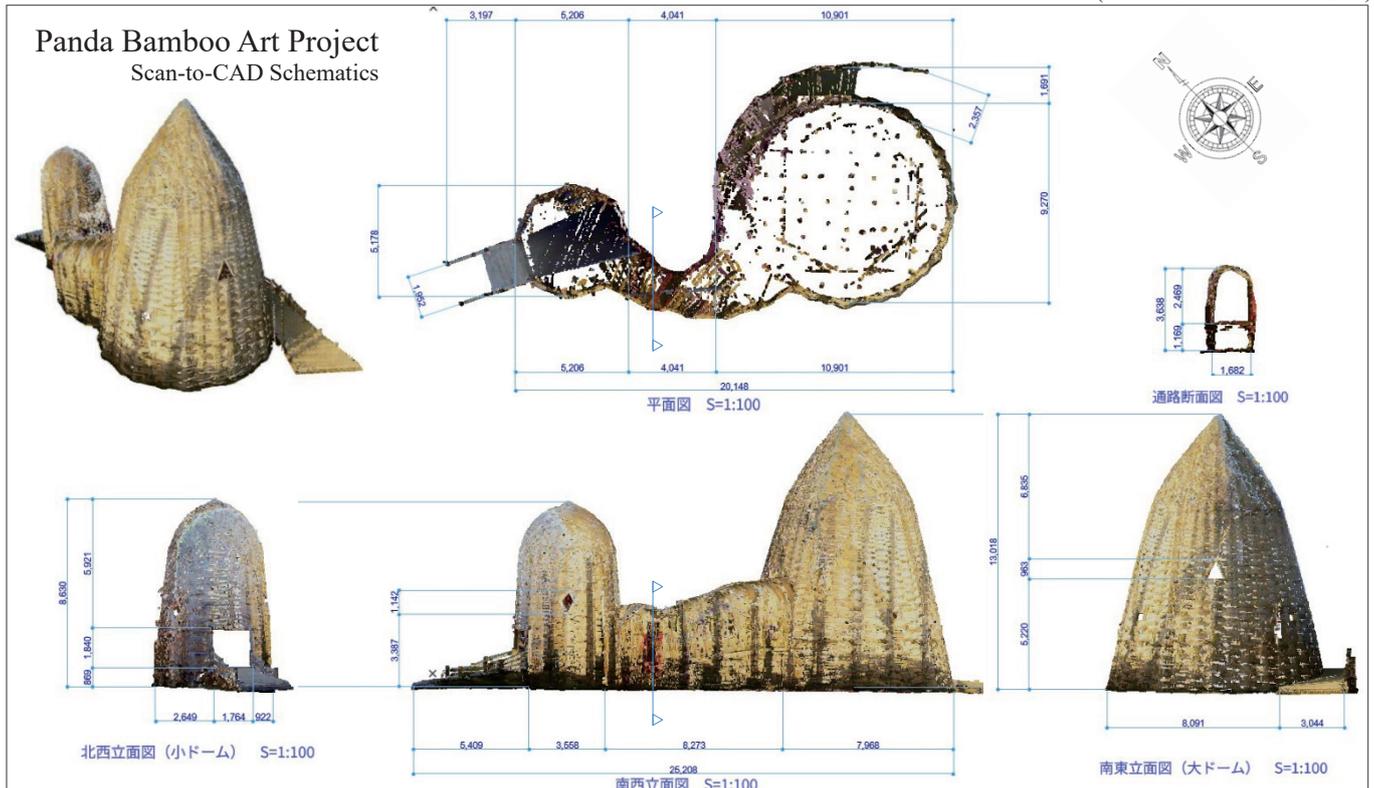


図 12 バンブーアート図面

東大寺鐘楼（鎌倉期建造物）建造時の背景と模型制作 The Architectural Background and Model Construction of the Tōdai-ji Bell Tower (Kamakura-Period)

田島 幹夫*¹

令和6年度の総合制作実習において「東大寺鐘楼（中世鎌倉期建造物）模型の制作」を行った。美しくバランスの取れた建造物であることが、制作への思いにつながった。本報告では、東大寺鐘楼がどのようにして造られていったのかを探るとともに模型の制作過程を紹介するものである。

探るプロセスで行基、重源という建築界のスーパースターと近畿能開大の位置する泉州地域とのかかわりも浮き彫りになってきた。以上を出来事と人物に焦点を当て、当時の背景および日本建築への新様式導入の経緯を探るものである。

Keywords: 東大寺、鐘楼、行基、重源、栄西、和様、大仏様、禅宗様

1. はじめに

本報告は、東大寺鐘楼を中心として、それに関連する出来事、人物に焦点を当て、鎌倉期に大仏様、禅宗様という建築様式がどのように導入されてきたのかを探るものである。東大寺鐘楼は、中世日本建築史における転換点でもある興味深い建造物であり、研究レベルでも不明な点もあるが推論も交え考察する。

なお、東大寺鐘楼は中村順平著「建築という芸術」の中で構造と意匠が見事に調和した日本の名建築の一つであることが紹介されており、筆者も実物を見て実感した。

後半には、令和6年度の総合制作実習において「東大寺鐘楼（中世鎌倉期建造物）模型の制作」を行った実践を報告する。本課題は、日本建築の三つの様式である和様、大仏様、禅宗様を併せ持つ課題で、難易度は高いが有効な課題である。



図1 東大寺鐘楼（1207-1211）

2. 東大寺建立

東大寺は、誰もが知る「奈良の大仏」として奈良時代に建立され、現在の奈良市にある華嚴宗の寺院である。

奈良時代、聖武天皇の勅願により、仏教によって国

の安定と繁栄を祈願する「鎮護国家」の思想にもとづいて、天災（地震・飢饉）、疫病（天然痘）、政情不安などから仏教の加護により鎮めようとする目的で建立された。

また、国分寺制度の総本山（総国分寺）として全国の国分寺・国分尼寺を統括する役割を担い、木造建築技術の粋を集め国家事業として位置づけられていた。

特に、創建に当たって功績のあった人物4人は「四聖（ししょう）」と言われている。以下、追って説明する。

① 聖武天皇（701-756）

東大寺（大仏）を建立する。血統としては、天武天皇と持統天皇（天武天皇の妻で、天武天皇の後を継いだ天皇）の曾孫（ひまご）にあたる。

天武天皇は、壬申の乱で勝利し、後を継いだ持統天皇とともに律令国家の礎を築き、初の条坊制（碁盤の目のように区画）の都である藤原京を造営する。一方、伊勢神宮の20年に一度の遷宮を構想、実施した天皇でもあり日本の歴史において重要な役割を果たした二人である。

② 行基（668-749）

全国に仏教を布教して歩くとともに、苦しむ民衆を救う土木事業（貯水池、橋など）を行い、人々から慕われる存在となる。朝廷より勸進（寄付など資金調達、労働力の動員）を命じられる。詳細は後述する。

③ 良弁（689-773）

初代別当であり、唐招提寺を開いた鑑真の弟子とも言われ、行基からも影響を受ける。

出身は近江国（現在の滋賀県大津市）、若狭国（現在の福井県小浜市）、相模国（現在の神奈川県）の諸説あり、二月堂前の良弁杉には、鷲（わ

*¹ 近畿職業能力開発大学校 住居環境科

し)にさらわれ天から授けられた特別な人物であるという伝説が残っている。

④ インド僧・菩提僊那(ぼだいせんな)(704-760)

中国の唐で仏教を学び、鑑真とも接触があり、仏教布教のため736年、遣唐使船に乗り来日。朝廷から庇護(ひご)を受け文殊菩薩の化身として特別に遇され752年、大仏の魂入れ儀式を司る。

以上4名のうち、行基に焦点をあて説明する。

3. 行基について

行基といえば、社会科の教科書にも登場し、誰もが聞いたことのある人物ではないだろうか。日本全国各地にゆかりの寺院(約550寺院)が存在するほどに、この時代に影響力のあった高僧である。

行基は、現在の大阪府堺市西区に存在する家原寺(図2)で生まれ、現在は学問などの合格祈願に多くの参拝のある寺院である。筆者の住む学区内でもあり、大変興味深い。また、近鉄奈良駅の地上には行基の像が設置されている(図3)。



図2 行基誕生の地 家原寺(堺市)



図3 行基の像(近鉄奈良駅)

行基は、西遊記で知られる玄奘三蔵の弟子である道昭より飛鳥で唯識学を学び、南都六宗の一つ法相宗(総本山:興福寺)の学僧としてスタートした。玄奘三蔵の孫弟子である。法相宗の中心思想は「心がすべての現象をつくる」というものだ。行基は、近畿を中心に全国の村落・農村に出向き、民衆にわかる言葉で仏教を説き仏教を社会的な実践へと広げた人物である。

当初は、民衆相手に勝手に布教したとして朝廷より弾圧を受けていたが、聖武天皇は当時、疫病や天災に悩まされ、宗教的支えとしての国家事業で東大寺大仏の造営を行うことを決断する。そこで民衆に支持のあった行基は、弾圧から解放され大仏の勧進(資金集め、人集め)の命を受け、全国を巡ることとなる。

743年、行基76歳の時である。高齢でありながらの行動力、組織力(労働)には脱帽する限りである。

特に組織力では、行基集団とも呼ばれる労働、信仰の集団によって事業が行われ、のちの「結(ゆい)」の制度と結びついていったと言われている。

また東大寺造営以外に、さまざまな土木事業を行っているが、泉州地域では、現在も残る狭山池や久米田池などのため池が有名である。特に狭山池は、最古のダム式ため池として、池より北は天王寺付近までの灌漑を行っていたことは驚きである(図4)。

詳細は、狭山池博物館(安藤忠雄設計)に模型とともに展示されている。



図4 狭山池(大阪府狭山市提供)

4. 東大寺再建(鎌倉期)

1180年、東大寺は平清盛の命を受けた平家軍(大将:平重衡)の放った火により興福寺とともに焼失してしまう。翌1181年、後白河法皇の勅命により、東大寺の再建が始動し、復興事業長官として藤原行隆を任じ、勧進には、61歳の重源に任が下され後、大勧進となる。

5. 重源(1121-1206)について

以下、重源について時系列的にまとめてみる。

生まれは伊勢国(三重県)という説があるがはっきりしたことはわかっていない。13歳で出家し醍醐寺(真言宗)に入り、17歳より四国、大峯熊野、吉野、葛城山、白山、立山などで修行し研鑽を積んだと言われる(図5)。

その後重源は、生涯で三度、渡航(南宋)しているようである。自称ではあるが1176年、重源が勧進し高野山の延寿院に納めた銅梵鐘に「勧進入唐三度聖人重源」なる文字の記載が確認できる。梵鐘は現在、和歌山県の泉福寺に県内最古梵鐘として存在する(図6)



図5 重源座像



図6 梵鐘 (和歌山県泉福寺)



図7 南大門 (1199) 全景

何度目の渡航なのか定かではないが、1168年頃（48歳）、宋文化・建築技術の視察および宗教文化を確認する目的で南宋入りしているようである。同時期の僧である栄西側の記録に南宋の天台山や阿育王山阿育王寺に共に参拝したとする記録が残っている。

「大仏様」の構法の原点となった寺院としては、明確に記載されたものは残されていないが、南宋エリア（現在の福建省付近）にある阿育王寺、霊隠寺、開宝寺などが参考となったのではないかとの見方もある。

共に参拝した時は、重源48歳、栄西28歳であった。この約35年後、栄西は、重源の後を継ぎ、東大寺の大勧進となるが、両者の浅からぬ関係が推察される。

1180年の東大寺焼失、重源は翌1181年、勧進の命を受け、東大寺再建のための資金・資材の確保、工匠の手配などに着手した。

この再建事業には、宋から渡来した陳和卿（ちんなけい）の協力も得られたとされ、大仏鑄造や建築技術において重要な役割を果たしたとされる。

重源は宗教者であると同時に実務的建築プロデューサーの役割を担っていた。既存の技術では成しえない大プロジェクトを新技術導入とともに成し遂げた。

東大寺の再建を通じて導入された様式、大仏様は、日本建築史における構造合理性と美を併せ持ち、その思想的・建築的实践は後世に深い影響を及ぼしている。南大門にその特徴が表れている（図7～図9）。

1190年、兵庫県小野市にて大仏様として最も古い浄土寺浄土堂が、大仏様を試すがごとく造られている。

1195年東大寺大仏殿（再建）落慶供養が行われる。重源75歳の頃で、勧進の命を受け14年の年月が経っている。1199年に南大門が上棟し、この頃から東大寺鐘楼の構想も始められたと考えても良いのではないかと推察される。その約7年後、1206年勧進活動などに尽力しつつ、病没となる。享年86歳であった。

61歳で勧進を引き受けた要因は、行基の活動を強く意識し、崇敬していたことが大きいとされている。



図8 南大門挿肘木, 通し肘木, 六手先



図9 柱と貫による疑似ラーメン構造

重源が一代の作善（造寺、造仏などの善作）を綴った『南無阿弥陀仏作善集』（鎌倉時代1203年）にその思いが表れていると言われている。

また重源の勧進は、のち江戸期の歌舞伎「勧進帳」にて、安宅の関所で弁慶が義経を守るために白紙の勧進帳を読み上げる場面のモチーフとなっている。

6. 栄西 (1141-1215) について

重源と同じく時系列的にまとめる。

1141年、備中国（岡山県）に生まれる。14歳で出家して比叡山延暦寺にて天台宗を学ぶ。

1168年、20代で天台教学の再確認と宋の仏教の現状を把握する目的で初の入宋を行う。その折、重源と出会っている。前述の天台山、阿育王山阿育王寺の参拝である。

1187年、40代で2回目の入宋を実施。禅宗への傾倒が明確になった時期で福建省の開元寺、天童山景德寺などで4年ほど修行を行う。

1191年帰国後、禅宗である臨済宗を広める。また、宋から茶を持ち帰り、のちの「禅と茶」なる日本文化の礎を築いたことでも知られている。

1195年東大寺大仏殿（再建）落慶供養以降、1202年、61歳時、京都にて建仁寺を創建する。同時に建築様式として宋の禅宗寺院に学び、詰組など細部構成に影響を強く反映させた。

まさにこの時期に南大門（1199）、鐘楼（1207～1211）が造られている。鐘楼は、重源没後、3～4年して完成している。重源の後を継いで大勧進になった頃（66歳）である。1215年、建仁寺にて没する。享年75歳であった。

7. 東大寺鐘楼について

現在の東大寺鐘楼は、鎌倉期に大勧進として活躍した重源の後を継いだ栄西により1207年から1210年の約3年をかけて再建されたものとされている。

梵鐘は、重さ26.3トンあり奈良時代に製作されたものである。

様式としては和様、大仏様、禅宗様を併せ持つものとなっている。梵鐘をつるす剛健な下層部の構造は大仏様、軒裏部の細やかな詰組みなどは禅宗様で構成されている。



図10 隅部の組物と平行垂木と屋根反り



図11 梵鐘を釣り下げている内部空間



図12 三つの様式が存在する軒下見上げ

また反りのある軽やかな屋根は平行垂木で構成され、和様の流れをくみ、重厚感ある下層部とバランスがとられ、美しさを形成している。

大仏様が、大仏殿再建にあたりどのように中国の建築様式を手本にしたのかについては、中央公論美術出版「中国建築と日本」の著者、田中淡氏によれば、大仏様にみられる貫、挿肘木、隅扇垂木などは中国福建省あたりの宋時代の木造建築に類似例がみられるが、大仏様の特徴を全て備えた遺構は、中国では確認できていないとされている。

このことは、大仏様は中国で確立した様式をそのまま移植したものではなく、個別の技法を輸入し、東大寺再建にあたった技術者たちの工夫の上に成立した様式であり、施工は宋からの建築技術者や重源らの指導のもと、伝統的な和様の技術を持つ南都の工匠たちにより新たな技術習得とともに進められていったものと考えてもおかしくはない。

東大寺鐘楼は、上記のように一般的には、重源の後を継いだ栄西によって再建されたと言われるが、構想時期は、大仏落慶供養、南大門上棟後の1200年前後と考えるのが自然であり、重源は宋から導入した構法・構造設計・施工指導を宋人技術者や重源自身が担ったという見解も考えられる。

では、栄西はどのように携わったのだろうか。栄西は、宋から帰国し禅宗様建築の思想的導入をしたが、建築技術者として直接関与した記録は確認されていない。

具体的には、鐘楼に求められる空間的な厳粛さ、合理性、簡素な美学など思想的基盤の提供や、鐘楼の文化的・仏教的意義など精神的な支援、相談役として関わったものと推察される。

東大寺鐘楼が単なる建造物ではなく宋の精神性を宿した空間となりえたのは、まさに栄西の存在があったからとも言われている。

すなわち、東大寺鐘楼は、建築的な基本構想を重源が行い、鐘楼を支える下部部分を大仏様をもとにつくり、軒裏の詰組は、禅宗を伝えた栄西の思いを込めるとともに、屋根は、禅宗様などの扇垂木の手法が確立されていない状況下、和様の技術をもつ南都の工匠らにより造られていったのではないかという推論が成り立つものと考察される。

このように東大寺鐘楼は、三様式の接点となり得る稀有な建築であり、思想的・技術的な面と用・強・美を併せ持つ大変貴重な建造物であることがわかる（図10～図12）。

8. 時代・出来事・人物関係

表1では、仏教伝来から始まり、天武天皇、持統天皇、聖武天皇、そして行基、重源、栄西など鎌倉期にかけてさまざまな宗教の開祖たる人物および時代、主な出来事を時系列で並べてみた。これにより誰と誰がどの時代に生き、年齢がどれほど違うのかも見えてくる。それらによる人物の力学なども関連してくるものと考えられる。

なお、宗派においては、南都六宗はじめ、現在のようないくつかの信仰団体ではなく学派的なものであったようで、一つの寺院に複数の宗派が併存しても不思議ではなかったようだ。

例えば東大寺は華嚴宗であるが、行基の法相宗、重源の真言宗を併せ持つ総合仏教の拠点として鎌倉期に再生された。

また行基、重源の生きざまについては現代の高齢化社会において、いつまでも挑戦する気持ちこそが大切であることを強く感じざるを得ない。

重源が約350年の時を経て、崇敬している行基を意識しての狭山池改修は、82歳（1202年）の時に行っている。

現代、その博物館を設計した建築家、安藤忠雄の作品にも挑戦し続ける精神が受け継がれているように感じられる。

その象徴として最近の作品には「青りんご」のオブジェが造られている。

今回、東大寺鐘楼を発端にそれを構築した人物に光を当てて探っていくという報告となったが、最後にそれらを踏まえ、昨年総合制作課題でスケール1/20の模型を制作した。

住居環境科10期生、田岡つぎね、杉原萌奈未、澤口琉依、以上3名の力作である。プロセスを紹介して結びとしたい。

表1 年・出来事・人物・相関表

年	出来事	人物	生年	没年	生涯	備考					
538年飛鳥時代	仏教伝来										
		推古天皇（初女帝）	554	628	75	在位 592-628	欽明天皇と蘇我氏の娘として生まれる	蘇我馬子大臣としてささえる。			
		聖徳太子（摂政）	574	622	49						
		玄奘三蔵	602	664	63		インドへ17年にわたる大旅行（西遊記のモデル）	唯識思想の大成（法相宗の祖）			
607年	法隆寺→670年焼失										
645年	大化の改新										
		天智天皇	626	672	47						
672年	壬申の乱										
		道昭	629（推定）	700	72		遣唐使で入唐し玄奘三蔵の弟子となる。				
		天武天皇（天智天皇の弟）	631（推定）	686	56		680年皇后の病気が治るように元薬師寺を発願。698年完成				
690年	伊勢神宮遷宮開始						天武・持統天皇により藤原京（律令国家の礎）				
694年	藤原京										
		持統天皇（女帝）天武天皇と夫婦	645	703	59						
710年奈良時代	平城京（元明天皇）						元明天皇により平城京（唐の長安をモデル 律令国家の中心）				
		聖武天皇	701	756	56		45代天皇				
752年	大仏開眼	良弁（東大寺初代別当）（華嚴宗）	689	774	86		東大寺 初代別当				
		行基 東大寺743年 勸進（76歳）	668	749	82		76歳時、東大寺大仏、勸進	青年時代、道昭より唯識思想（法相宗）を学ぶ。			
794年平安時代	平安京（桓武天皇）										
		最澄（天台宗）	767	822	56						
		空海（真言宗）	774	835	62						
		平清盛	1118	1181	64						
		平重衡 南都焼討	1158	1185	28						
		源頼朝	1147	1199	53						
		藤原行隆	1130	1187	58						
		重源 東大寺1181年 勸進（61歳）	1121	1206	86		61歳で東大寺、大勸進（真言ベース）	南宋留学	南宋：阿育王寺にて栄西と会っている		
1192年鎌倉時代	鎌倉（源頼朝）										
		法然（浄土宗）	1133	1212	80		天台宗ベース	南無阿弥陀仏			
1195年	再建大仏殿落慶供養										
		栄西（臨済宗）東大寺1206年勸進（66歳）	1141	1215	75		天台宗ベース	建仁寺開山	南宋留学	茶の種持ち帰り	1206東大寺大勸進
		道元（曹洞宗）	1200	1253	54		栄西を尊敬	天台、建仁寺で学ぶ			
		親鸞（浄土真宗）	1173	1263	91		法然を師と仰ぐ				
		日蓮（日蓮宗）	1222	1282	61						

9. 令和6年度 総合制作課題

日本で最も美しい伝統的建造物の一つとされている東大寺の鐘樓の模型制作に挑戦した。詰組み部分は難所であり、総パーツ数は約500を超える。しかし、制作したいと思える美しさを感じられることが、一番のモチベーションとなった。

スケールを1/20とし、外形寸法は約850（幅）×850（奥行）×700（高さ）mmである。材料はヒノキ材。部材の加工に関しては、ノミ、カンナ、彫刻刀、レーザー加工機などを使用した。

特にレーザー加工機ではデジタルデータが必要であり、手加工で困難な形状はCADデータ化を行った。また図面から全体のイメージ、空間的な把握のため立体化を行っている。使用したアプリケーションはJW_CAD,AutoCAD,SketchUPである。

10. 制作手順

以下、学生の取り組んだ模型制作手順を①から⑧に示すとともに画像を交え説明する。

- ①模型制作に必要な図面の入手（図13）
 - ②日本建築史（主に中世鎌倉期の建築と様式）・規矩術の基本について学ぶ。
 - ③現地調査（東大寺鐘樓）（図14）
 - ④必要部分の図面デジタル化、3次元化（図15-16）
 - ⑤主要構造体（柱貫材等）加工図作成・加工・組立て-主に手加工による。（図18,21-23）
 - ⑥軒裏の詰組み 加工図作成・加工・組立て-手加工・機械加工・レーザー加工機を駆使。制作途中、修理工事報告書を入力し参考とする。（図17,19,20,24-26,32,34）
 - ⑦屋根部 加工図作成・加工・組立て-規矩術も体系化されていない時期でもあり屋根図面をもとに模型原寸図合わせで加工。（図27,29-30,33）
 - ⑧全体調整 完成（図28,31,35）
- ※なおレーザー加工では、切断面が焼けて茶色となるため塗料で調色し補修している。

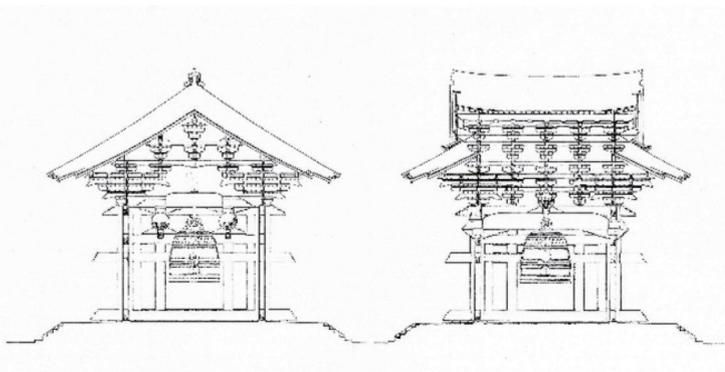


図13 東大寺鐘樓断面図（入手先 文化庁）

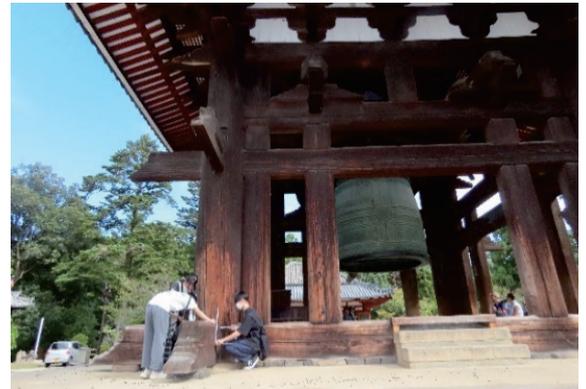


図14 現地調査（東大寺）



図15 CADによる立体化

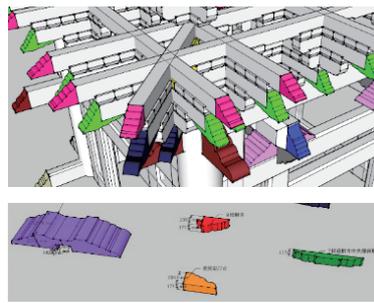


図16 部品の立体化

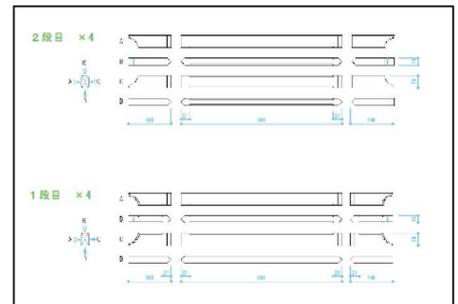


図17 加工図面



図18 八角形から丸柱へ加工

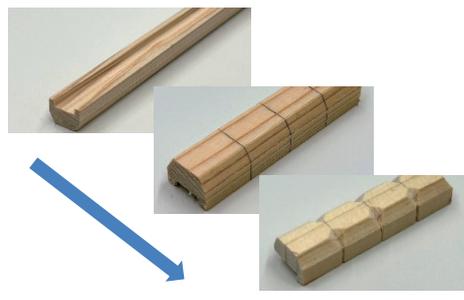


図19 斗（ます）加工プロセス



図20 レーザ加工機

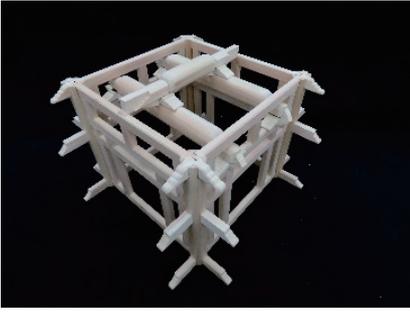


図21 主要構造部 骨組み

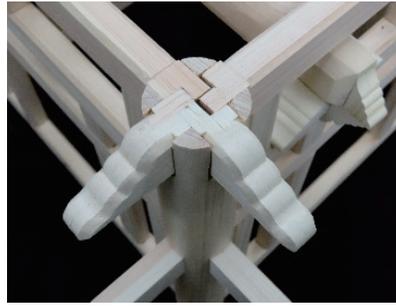


図22 柱上部の納まり



図23 梁端部のデザイン



図 24 軒裏 斗栱 4段



図 25 詰組みと屋根反り下地

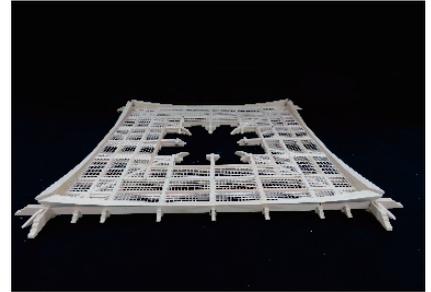


図 26 天井格子取付け

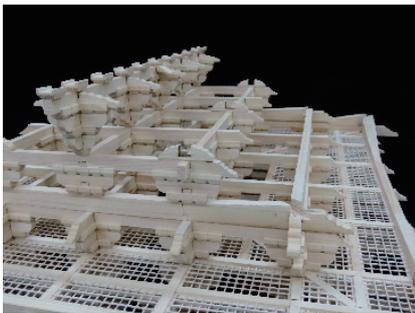


図 27 14段までの細部



図 28 詰組み見上げの状況



図 29 棟上げ後の垂木調整



図 30 屋根組



図 31 見上げ状況細部



図 32 製作の過程 治具使用

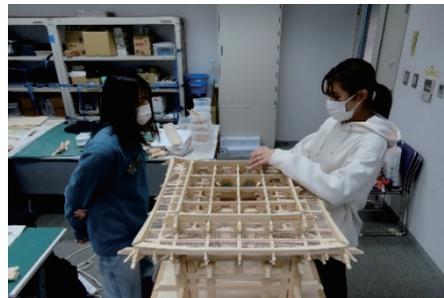


図 33 製作過程 組み立て調整



図 34 斗(ます)製作過程

11. 総合制作課題を通じて

東大寺を訪れる人の大半が大仏を見て帰ると言われ、法華堂や二月堂を訪れる人でも大きな鐘を見て、通り過ぎてしまうかもしれない東大寺鐘楼である。

しかし今回の模型制作の取組みは、制作してみないとわからない強いインパクトを感じ取ることができたと学生らは報告している。

鐘を釣るため重厚な構造とするなかにもデザインされたくり物など、本来は手間のかかる作業となるが、あえて大仏様の特徴的な意匠が施されている。

また軒裏から屋根にかけては、禅宗様初期の頃の詰組みや本来の扇垂木ではなく和様の屋根にしているところも当時の制作事情があったものと推察される。

しかし、見事にバランスのとれた美しい建造物となっている。現在のような道具があるわけではなく、規矩術等も完全に確立されていない。どのようにして造られていったのかとても興味深い。当時の施工過程を直接確認できない点は、残念ではあるが今後の研究課題である。

重源、栄西をはじめとする設計者の知見、精神性の高さ、工人たちの技に崇敬せざるをえない。そんな思いを感じさせられた総合制作課題であった。まさにすべてに感謝である。

謝辞

最後に東大寺鐘楼のすばらしさを教えていただいた宮大工山口文温棟梁（福井県小浜市）。模型制作

にあたっては、株式会社鳥羽瀬社寺建築の鳥羽瀬公二氏に、中国の建築様式においては奈良女子大学の李暉氏に貴重なご助言をいただきました。ここに感謝の意を表します。

文献

- [1] 西田雅嗣ほか8名, 「建築の歴史」, pp. 72-77, 88-93, 学芸出版社 2018
- [2] 文化庁, 「国宝・重要文化財(建造物)実測図 奈良県 東大寺鐘楼 図面一式 24 枚」
- [3] 奈良県文化財保存事務所, 「国宝東大寺鐘楼修理 工事報告書」, pp. 1-67. 1967
- [4] 奈良国立博物館, 「大勸進 重源」(御遠忌800年 記念特別展図録), pp7-80, 2006
- [5] 行基菩薩ゆかり寺院, 『行基菩薩』(1250年御遠忌年記念誌), pp49-70, 1998
- [6] 中村順平「建築という芸術」下巻 pp148-159, 相模書房, 1978
- [7] 大阪狭山市立郷土資料館「重源と東大寺」pp10-19, pp42-46, 大阪狭山市教育委員会, 2014
- [8] 大阪狭山市立郷土資料館「行基伝承」pp60-61, 大阪狭山市教育委員会, 2017
- [9] 大阪狭山市公式サイト (2025 閲覧) <https://www.city.osakasayama.osaka.jp/>
- [10] 田中淡「中国建築と日本」pp245-265, 中央公論美術出版, 2024
- [11] 澤口, 杉原, 田岡「令和6年度総合制作課題報告書」近畿職業能力開発大学校住居環境科, 2025

(2025年9月12日提出)



図 35 東大寺鐘楼模型 (S=1:20) 完成

圧電素子を用いた発電システムの開発

Development of a Power Generation System Using Piezoelectric Elements

堀 真吾*¹

総合制作実習の課題として圧電素子を用いて、歩行動作により得られる圧力エネルギーを電気エネルギーに変換し回収・活用する発電システムの開発に取り組んだ。本テーマに取り組むことで、近年注目されているエネルギー問題に着目した技術者の育成及び電気計測技術の習得や電気回路設計技術者として必要な能力の習得をすることを目的としている。本課題では、これらの能力習得課題として有効である評価をすることができたため、その取り組み内容及び製作物について報告する。

Keywords : 圧電素子, 全波整流回路, 計測技術

1. 緒言

私たちの身の回りには熱、光、振動、電波などの様々なエネルギーが存在している。これらの環境エネルギーから微小な電気エネルギーに変換し、集める技術をエネルギーハーベスティング技術と呼ばれている。再生可能エネルギーほどの大きな電力を得ることはできないが無線センサや小型の電子機器向けの電源技術として注目されている。その中で本課題では圧電素子を利用した発電システムに着目し総合制作実習に取り組んだ。

これらの圧電素子から得られる電圧の向きは一定ではなく、また電圧の大きさも変化する。そのためブリッジ整流回路を用いてコンデンサを充電する回路を製作した。そしてこのシステムで LED を点灯させることを目的とした。システムのイメージ図を図 1 に示す。

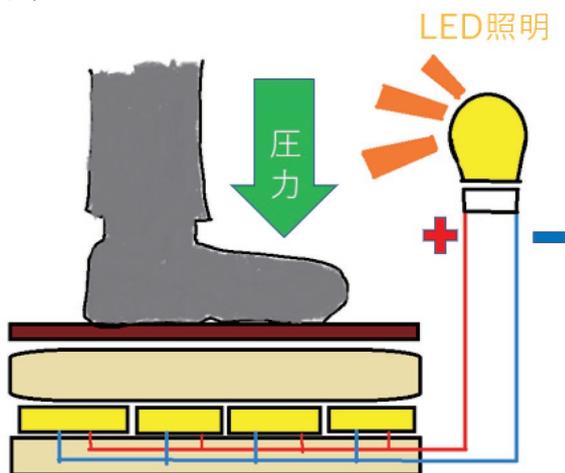


図 1 発電イメージ図

2. 圧電素子発電の概要

2.1 圧電素子とは 外部からの力や圧力を加えることによって電圧が発生する現象を「圧電効果」と呼ぶ^[1]。この効果を利用したものとしてコンロやライターの着火装置などがある。圧電素子の模式図を図 2 に示す。

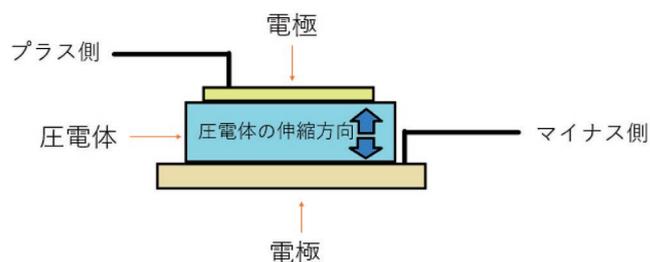


図 2 圧電素子の模式

2.2 圧電素子の発電原理 特定のセラミックスやポリマーが外力を受けると、その内部で電荷の偏りが生じて電圧が発生する。具体的には、圧電素子に圧力をかけると、圧電素子内部の正負の電荷が移動し、電極に電位差が生じる。この微小電力を取り出すことで、電気エネルギーを得ることができる。

3. 回路説明

全波整流回路とは交流を直流に変換する回路の中で最も一般的で、4つのダイオードを使って構成されている。この回路では、交流の波形の両方向（正半周期と負半周期）を整流することができ、出力電圧は常に一定の方向を向いている。今回、製作した整流回路図を図 3.a に示す。なお、この整流回路で得られる出力電圧の波形は図 3.b の通りである。

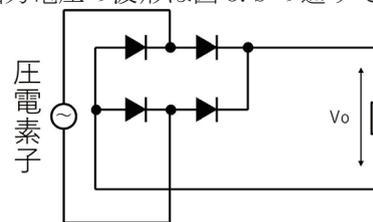


図 3.a 全波整流回路

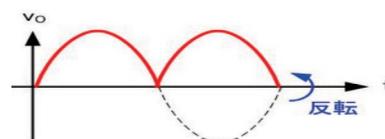


図 3.b 出力波形

*¹ 近畿職業能力開発大学校電気エネルギー制御科

4. 実験

4.1 実験 1 圧電素子を用いた整流回路に負荷として LED を 1 つ繋げ 3cm の高さから 200g のおもりを落とし、圧電素子を歪ませたときの電圧をオシロスコープにより測定し、負荷にかかる電圧を測定した。使用機器は次の通りである。

圧電素子 K7520BS3
オシロスコープ LCRY2106C00303
LED OSB5DA5A33A-1MA

実験結果 瞬間最大電圧としては 30V 程度の電圧を測定できたが 2ms 程で、それ以降は 5V 以下に下がり LED は 300ms 程度とごくわずかな時間だけ点灯するのを確認できた。その時の観測波形を図 4 に示す。



図 4 実験 1 観測波形

4.2 実験 2 圧電素子に LED と全波整流回路を繋げ 3cm の高さから 200g のおもりを落とし、圧電素子を歪ませたときの電圧を測定し、LED がどのような光り方をするのか調べた。使用機器は次の通りである。

圧電素子 K7520BS3
オシロスコープ LCRY2106C00303
LED OSB5DA5A33A-1MA
ダイオード 1S1588

実験結果 瞬間的な電圧は出なかったが、2V まで上がりそこから 700ms 程かけて落ちていくことが確認できた。その時の観測波形を図 5 に示す。



図 5 実験 2 観測波形

4.3 実験 3 圧電素子に LED と全波整流回路、コンデンサを繋げ 3cm・30cm の高さから 200g のおもりを落とし何 V 出るか測定・比較し、LED を発光させるために必要な 2V までに何回その動作があるのかを調べた。使用機器は次の通りである。

圧電素子 K7520BS3
オシロスコープ LCRY2106C00303
LED OSB5DA5A33A-1MA
ダイオード 1S1588
コンデンサ UVK1V331MPD

実験結果 3cm の時は 44mV 発電でき LED を発光させるために必要な 2V までに約 5 回必要なことが事実として得られた。30cm の時は 65mV 発電でき LED を発光させるために必要な 2V までに 3 回必要なことが確認できた。

高さを増すことで圧電素子の歪み量が増え、それに比例して発電電圧も増えることが確認できた。その時の観測波形を図 6 に示す。

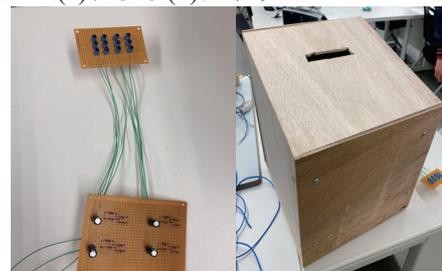


(a)おもり高さ 3cm (b)おもり高さ 30cm

図 6 実験 3 観測波形

5. 製作物

実験で使用した回路を基板に製作し、LED の発光状態をより見やすくするため筐体を製作した。それぞれ図 7 の (a)および(b)に示す。



(a)製作基盤 (b)製作筐体

図 7 製作物

6. 評価

今回の実験では 1mA 発光の LED を用いたため発行にはおよそ 2mW 程度の電力を消費することになる。実験 3 の結果などから測定で使用した圧電素子が一回の歪みで発生している電力はおよそ 0.5mW 程度とわかる。また、より大きな歪みによって発生している電圧は大きくなっていることからより、大きな連続した歪みを与えることで微小な電力を得られた。

7. 謝辞

総合制作取り組みにあたりご協力いただきました先生方に心より感謝申し上げます。

文献

- [1] TECH-MAG 身の周りにおける圧電効果, <https://techmag-pkdhi9b8kbnf2.tdk.com/ja/techmag/knowledge/089>
- [2] 赤澤星太, 千葉昇栄, 山口和志: 近畿職業能力開発大学校電気エネルギー制御科報告書, 2025 (2025年9月10日提出)

空気エンジンの制作 Development of a Pneumatic Engine

姉崎 晶久*¹

蒸気エンジンをモデルとして、空気圧で動く空気エンジンの制作を総合制作の課題とした。本制作では、専門課程で習得した CAD (Computer Aided Design)、機械加工、精密測定 of 技術を活用し、既存モデルの寸法測定に基づいて三次元モデルと図面を作成した。また、施設の加工制約を考慮し、機械加工に適した形状へと部品の再設計および加工を行い、組み立て調整を実施した。本稿では、制作物の仕様と動作の評価結果を報告する。

Keywords : 三次元 CAD, 空気エンジン, 汎用工作機械, 機械加工。

1. 緒言

一般的に、エンジンの製作には高い加工精度と組立て精度が必要である。部品の作製における加工法を選択、組立て調整に係る知識と技術の習得および工作機械操作のレベルの向上が必要とされる。また、エンジンには様々な機械要素が取り入れられており、機構に関する理解が進むと考える。さらに、ものづくりへの興味を喚起できる。以上の理由により、空気エンジンを課題として選択した。

以前に、課題として製作されていた蒸気エンジン(以後、モデル(図3に示す))を基にして、空気エンジンの制作を行った。制作の目標は、以下2点の比較による評価とした。

1. モデルを空気で動作させた際の最低動作圧力と、制作した空気エンジンの最低動作圧力の比較。
2. 同一圧力で回転させたときの回転数の比較。

制作には二次元 CAD, 三次元 CAD, 精密測定, 汎用旋盤, 汎用フライス盤, マシニングセンタ, ワイヤカット放電加工機, CAM, 機械組立て等の技能・技術が必要である。施設内の機器等の活用と、これまで培った技能・技術を発揮することに加え、チームワークによって作業を並行して進めること、進捗管理などのマネジメントが求められる。また、組立て調整においては、その場で初めて明らかになる現象も多く、判断力・分析力・解決力が求められる。これらの観点から、本制作の指導を行った。

2. 空気エンジンの構造

全体の構造、各部品の名称を図1に示す。

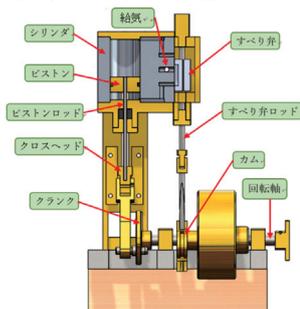


図1 部品名称

図2に動作原理を示す。図2(a)は、すべり弁が上部にある状態を示す。給気口からの空気はシリンダの上部につながる配管を通り、ピストンを押し下げる。ピストンが下降することでクランクが回転し、回転軸とつながるカムが作動して、すべり弁が下降する。図2(b)の状態になると給気が遮断され、ピストンは慣性によりさらに下降する。すべり弁が完全に降下しきると図2(c)の状態となり、シリンダの下部につながる配管に接続され、給気された空気がピストンを押し上げる。ピストンが上昇しクランクが回転し、回転軸でつながっているカムが動いて図2(d)の状態となる。回転が続くとピストンがさらに上昇し、すべり弁が完全に上昇しきると図2(a)の状態に戻る。空気を送り続けることで、(a)→(b)→(c)→(d)の順に運動を繰り返すようになっている。

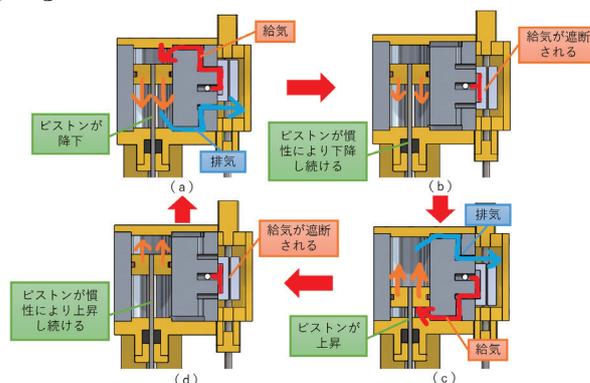


図2 空気エンジンの動作原理

3. 空気エンジンの設計

実際に動作するモデルを利用したことにより、学生はピストン、クランク、カム、切り替え弁等の機構の動きや役割について理解を深め、メカニズムへの興味を持つに至った。早期から三次元 CAD を活用することで、軸の長さ、干渉、すべり弁のタイミング等の検証、部品形状の検討、加工工程の検討、図面作成を円滑に行うことが可能となった。モデルである蒸気エンジンのシリンダや軸受け等には鋳造部品が使用されていたが、本校には鋳鉄や真鍮の鋳造を行う設備が存在しない。この制約を踏まえ、機能を維持しつつ、当

*¹ 近畿職業能力開発大学校生産技術科

該部品を専門課程の実習で経験のある機器による切削加工や曲げ加工に適した形状へと変更して設計を行った。材質についても加工方法を考慮して検討し、はずみ車は鋳鉄から真鍮へ、シリンダは真鍮からアルミ(アルミニウム)へ変更するなど、適宜調整を加えた。表1にモデルと完成品の基本仕様を示す。

表1 基本仕様

	蒸気エンジン (モデル)		空気エンジン (完成品)	
	寸法 (mm)	材質	寸法 (mm)	材質
全体の大きさ (W×D×H)	110×130 ×210		140 ×145 ×240	
はずみ車の径	φ 75.0	鋳鉄	φ 80.0	真鍮
シリンダ内径	φ 25.0	真鍮	φ 24.0	アルミ
ピストン径	φ 24.8	真鍮	φ 23.8	真鍮
ピストンの移動距離	33.0		30.0	
動作圧力	0.1~0.8 MPa		0.2~0.8 MPa	

4. 加工・組立て調整

4.1 加工 加工部品の一例を図3に示す。

シリンダを支持する部品は曲げ加工により作製した(図3(a))。シリンダ部品は切削加工に変更し、フライス盤およびマシニングセンタを用いて作製した(図3(b))。また、すべり弁は従来2部品で構成されていたが、1部品に統合した(図3(c))。モデルのシリンダ上蓋には密閉性を高めるためのボスが設けられていたが、空気圧エンジンではガスケットシートを用いることで空気漏れを防止する方式を採用し、ボスを省略した(図3(d))。

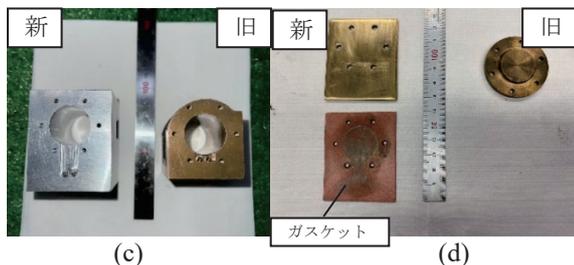
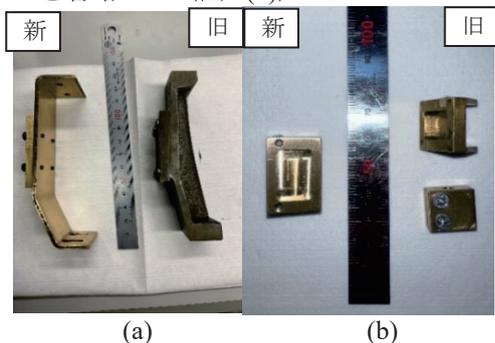


図3 形状と材料変更を行って製作した部品

4.2 組立て調整 組み付け不良、動作不良、動作の滑らかさの欠如など、様々な問題が発生する可能性がある。学生が組立て調整に苦労することが予想されるため、スケジュール作成の段階でこれを考慮し、できるだけ早期に製作を開始し、組立て調整に十分な時間を確保するよう配慮した。

実際に、加工ミスで穴位置がズレ組立てが困難となった部分について、追加工や部品の再製作を行った。完

成したエンジンを図4に示す。

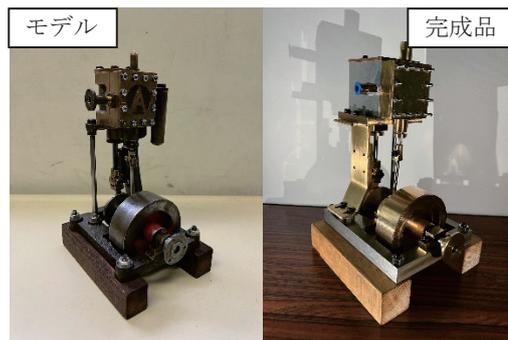


図4 空気エンジンの完成品(右)とモデル(左)

5. 結果と考察

5.1 結果 完成した製品の性能を評価するために、モデルと完成品の動作状況の比較を行った。比較項目は、最低動作圧力、および両者で同じ圧力(0.3MPa)にて動作させた際のクランク軸の回転数である。測定結果を表2に示す。

表2 測定結果

	蒸気エンジン (モデル)	空気エンジン (完成品)
最低動作圧力	0.1 MPa	0.2 MPa
回転数 (0.3MPaの時)	840 min ⁻¹	500 min ⁻¹

5.2 考察 表2より空気エンジンの回転数低下および最低動作圧力の上昇が、生じた要因として、以下の点が考えられる。まず、シリンダ内径が小さくなったことにより、シリンダの出力が減少し、十分なトルクが得られなくなった。また、はずみ車を真鍮で作製したことで、モデルに比べて質量が増加し、慣性が大きくなったため、回転を開始するためにより大きな力が必要となり、結果として最低動作圧力の上昇につながったと考えられる。

6. 結言

本課題は、生産技術科で学ぶメカニズム、機械製図、機械加工等の専門技術を多く含んでいる。加工においては、旋盤、フライス盤を主とし、マシニングセンタなど、実習で習得するほとんどの工作機械を使用することができた。また、エンジンの性質上、高い加工精度および組立て精度が要求され、不十分である場合には組立てが困難となる、あるいは滑らかに回転しないといった問題が発生し、その原因や対策を自ら考察することが求められる課題であった。以上のことから、本課題は総合制作の課題として適切であったと考えられる。

文献

- [1] 細川武志：蒸気機関車メカニズム図鑑，p.167，株式会社グランプリ出版，2019。
- [2] 令和5年度総合制作実習・開発課題実習報告書，p.4，近畿職業能力開発大学校，2023

(2025年9月12日提出)

若年者ものづくり競技大会に向けた取組み Effort to Youth Skills Competition

モンゴメリー 露伊 エリクス^{*1*2}, 小出 久美子^{*1*3}

中央職業能力開発協会主催の若年者ものづくり競技大会は2005年に厚生労働省が第1回大会の開催を発表し、2025年度の開催により第20回大会を迎える。近畿職業能力開発大学校の電子情報技術科からは「電子回路組立て」と「ロボットソフト組込み」の2職種について出場した。本稿では、若年者ものづくり競技大会に出場するまでに実施した取組について、また大会に出場した所感と反省点について述べる。

Keywords: 第20回若年者ものづくり競技大会, 電子回路組立て, ロボットソフト組込み

1. はじめに

若年者ものづくり競技大会は、厚生労働省と中央職業能力開発協会が主催する若年者の技能レベルを競う競技会である。参加者は、職業能力開発施設や工業高等学校等で技能を習得中の原則20歳以下の者である。

近畿職業能力開発大学校の電子情報技術科は2015年度から「電子回路組立て」に出場している^[1]。また、昨年度から別職種である「ロボットソフト組込み」に出場している。現在、当校から出場している職種は以上の2職種である。

本稿では、若年者ものづくり競技大会で出場している「電子回路組立て」と「ロボットソフト組込み」について、各職種の競技内容の概要、大会に向けた取組、大会中の様子、大会終了後における所感と反省点について述べていく。

2. 第20回若年者ものづくり競技大会について

若年者ものづくり競技大会は、一部の職種を除き、複数の職種を同じ会場で一斉に実施する。大会スケジュールは、職種ごとに多少違うものの、概ね2日間で実施される場所は同じである。今年の「電子回路組立て」と「ロボットソフト組込み」は同じ会場であり、8月3日(日)と8月4日(月)の2日間で実施された。以下に「電子回路組立て」と「ロボットソフト組込み」職種の概要について説明する。

2.1 電子回路組立て職種 「電子回路組立て」職種は、はんだ付けを含めた組立て基板製作と制御プログラム制作を4時間で行う競技である。競技で使用するハードウェアは、組立て基板と制御ボードの2枚の電子回路基板で構成されている。組立て基板は昨年度まで同じ課題が出題されていたが、今年度組立て基板が変更された。大会約1ヶ月前に公表される組立て基板とサンプルプログラムの内容を大会前によく理解しておく必要がある。大会当日に公表される仕様に従い、第1課題から5課題の合計5つのプログラムを制作する。基板製作でハードウェアの技能と制御プログラム制作でソフトウェアの技能の両方を競う。

2.2 ロボットソフト組込み職種 「ロボットソフト組込み」職種は2人1チームで自走ロボット本体と自走ロボット向けのプログラムを制作して課題に取り組む職種である。大会で出題される課題は事前公表されるが、本番当日の課題は、事前公表された課題を一部変更した課題が出題される。そのため、課題の変更を想定した柔軟な自走ロボットのプログラムを制作する必要がある。また、自走ロボットが安全に動作すること、製品として綺麗に完成していること、毎回確実な動作を行えることも競技上では重要視されており、評価対象でもある。

3. 大会に向けた取組み

今年度は電子情報技術科2年生の学生が出場しているが、出場する学生は授業の一環として参加する形としている。4月頃に各先生から総合制作実習課題のテーマを提示するが、テーマの中に競技職種があり、大会に出場する希望者を募っている。4月から8月初めの大会にかけて、総合制作実習の授業時間を活用し、また必要に応じて放課後の時間を活用して取り組んでいる。

職種ごとで課題内容が違うため、練習内容を含めた取組についても職種ごとに違う。この章では職種ごとに今年度の大会に向けた取組について紹介する。

3.1 電子回路組立ての取組 今年度は筆者が初めて若年者ものづくり競技大会の指導に当たることもあり、前任者から引き継いだデータや過去の記録を読むところから始めた^[2]。まずは、大会参加に向けて目標を立てることとした。参加する学生の希望もあり、「はんだ付け技術を向上させ、ハードウェアの高得点を目指す」ことを目標とした。参加する学生は表面実装部品のはんだ付けが苦手なこともあり、基本的なはんだ付け練習から始めた。事前に公表されている基板を手に行えるのは、1ヶ月前なので、今までの大会の基板ではんだ付け練習を行った。表1に練習の結果を示す。入賞した先輩は約1時間で仕上げていたが、参加する学生が遠方から通学しているため、連続で練習できる時間

*1 近畿職業能力開発大学校電子情報技術科

*2 ロボットソフト組込み指導担当

*3 電子機器組み立て指導担当

が確保できず、そこまで及ばなかったが、目標設定から無理に時間短縮するよりは、高得点を目指すこととした。

表 1 練習の結果

枚数	製作時間
1 枚目	1 時間 55 分
2 枚目	1 時間 58 分
3 枚目	1 時間 30 分

大会 1 ヶ月前、事前公表及び今年度から変更になった組立て基板が支給されるので、基板上の部品の配置をよく理解しておく必要がある。フルカラーLED バーや GLCD(Graphic Liquid Crystal Display module)、スイッチ付きロータリエンコーダ、光センサなどは昨年と同等であるが、表面実装の LED が 3 箇所とタクトスイッチが追加された。表面実装部品が増えたため、はんだ付けの難易度が上がった課題である。制御プログラムの練習は、今回から変更された組立て基板に実装された部品から想定した予想問題を作成し、対策をとることとした。予想問題は過去問から第 1 課題から第 2 課題は基板上の部品のみの問題であると予測し、新たに追加された部品を使用した問題を 5 問作成したものを、参加する学生に解いてもらい対策をした。

3.2 ロボットソフト組込みの取組み 図 1 に「ロボットソフト組込み」職種で使用した自走ロボットを示す。自走ロボットは、部品を組み合わせて制作した独自の自走ロボットとである。

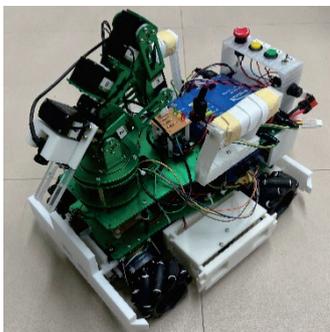


図 1 大会で使用した自走ロボット

図 1 の自走ロボットを動かすためには自走ロボットに合わせた制御プログラムが必要である。そのため、学生はロボットに使われている部品を理解したうえで、制御用のプログラムを制作する必要がある。さらに、競技会で公表される課題に対して達成可能なプログラムも制作する必要がある。そのうえで、5 月初旬から 7 月末の限られた期間で学生は上記の内容をこなせるように技能習得を行う必要がある。しかし、3 ヶ月の短時間で全てを習得するのは難しいため、習得の必要箇所をしぼる工夫を凝らした。今回は最も効果があったと思われる 2 つの工夫について紹介する。

1 つ目の工夫として、「特定の箇所のみプログラムの書き換えをする」ようにしたこと。今回使用した自走ロボットのメインプログラムが JAVA 言語であり、学生は C を授業で扱っているが、JAVA 言語については

授業では扱わない。しかし、C 言語と JAVA 言語はプログラムの書き方が似ており、特定の部分のみ記述するようにすれば C 言語とほぼ同じ扱い方ができる。そのため、学生には特定の部分でのみプログラムの書き換えを行うようにしてもらい、C 言語と同様の形でプログラムの制作が行えるようにした。

2 つ目の工夫として、「ある程度動作は事前に関数化し、関数の組み合わせでプログラムができる」ようにしたこと。自走ロボットについて、確実な動作を理解するためには最初から動作に関するプログラムを制作することが理解につながりやすい。しかし、JAVA 言語であることや、大会までの期間が数か月しかないことを考えると、実際に最初からプログラムを作るのは難しい。そこで、動作の仕組みについては座学で行い、動作に関するプログラムはあらかじめ関数にしておき、学生達には関数を組み合わせることによりプログラムを制作できるようにした。また、学生が関数を正しく組み合わせるためには、関数について知らなければならない。学生に関数について理解してもらうために、今回は関数のマニュアルを作成して、そのマニュアルを用いてプログラムの作成をさせた。

4. 若年者ものづくり競技大会当日の様子

4.1 電子回路組立ての様子 大会 1 日目午後から受付があり、座席の抽選後、持ってきた工具を机の上に設置する。各校工具の配置など様々な工夫がされている中、当校は基板のはんだ付けの際に基板の向きをスムーズに変更できるよう、図 2 のような基板支持台にベアリングをつけたものをレーザ加工機で作成し用意するなど対策を実施した。

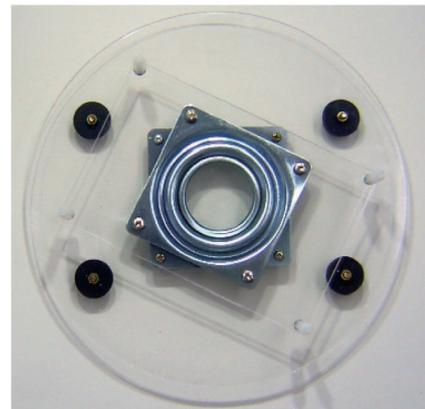


図 2 作製した基板支持台

競技は 2 日目の朝から開始となり、制御プログラムの仕様が公表された。競技開始後、参加した学生は練習時に出来ていた、はんだ付け作業の初めに行う作業内容を飛ばしてしまうなど、極度に緊張していた。基板組立て作業の終盤、部品の方向を間違え、修復に時間がかかり、2 時間 30 分ほどで作業を終えた。競技のルールである 10 分の休憩をはさんだ後、残りの時間で制御プログラム制作に取り組んだため、制御プログラムの完成度は低い結果で終了した。

4.2 ロボットソフト組込みの様子 「ロボットソフト組込み」では 1 日目午前中に荷物類の整頓と準備を行

う。机の上には既に競技で使用する機材があり、ロボットとノートパソコンを置くと残りの机上スペースはほぼなくなる。他の道具は机の上に置けなくなるので、よく使用する道具は机の横に置き、比較的すぐに使えるような配置を指示した。

また、本番と同様の環境で練習しており、練習時の設定値、自走ロボットや設置物の位置などについて学生にメモを取らせていた。練習時のメモを用いることで本番の会場での実機動作確認をスムーズに行えていたことが確認できた。

競技会の最中、机の上から自走ロボットが落下してハンド部分のパーツが破損するトラブルが発生した。予備パーツを製作していなかった為、今回は瞬間接着剤を用いて修復した。なお、接着したパーツはその後壊れることはなく、アームを使用した動作も正常に動作していた。

5. 大会終了後における所感・反省点

今年の若年者ものづくり競技大会は終了したが、次年度も出場を検討しており、今回の反省点を踏まえつつ学生達にはより良い結果を出せるように取組について改善していきたいと考えている。今回の大会の所感・反省点をまとめた。

5.1 電子回路組立ての所感・反省点 大会終了後に返却された組立てた基板の点検を学生と一緒にを行い、今年度の反省点をまとめた。表2に不良チェックされた箇所をまとめる。部品の向きを間違え、修復したため練習では数えられていない部品の傾きやはんだボール、部品のキズなどが見受けられた。当初の目標を達成することはできなかった。

表2 不良チェックされた箇所

チェックされた箇所	個数
はんだ上がり不良	2
不要はんだ	2
部品傾き	4
はんだボール	1
部品のキズ	2
いもはんだ	4

大会後の反省として、学生と一緒に以下の4点をまとめた。

- ① 練習時できていたことを当日忘れてしまっていた
- ② 十分な練習時間が確保できなかった
- ③ 予想問題が不十分であった
- ④ メンタル面が弱かった

反省点を指導側の立場から掘り下げた。点検で発見できたのは練習ではできていたはんだ付けができていない。今年度から組立て基板が変更になり、指導する側が対策をどのようにすれば良いか手間取る部分があり、特に制御プログラムの練習開始に時間を要した。その結果、本番直前は制御プログラム課題ばかりになり、組立て基板の練習に時間を使えなかった。次年度は練習時間の配分に気を付けたい。また、予想問題とは異なり、第1課題から外部機器の入力があり、はるかに難易度が高い課題が出題された。これについては

次年度の大会に向け、参加した学生と一緒に予想問題を検討していく予定である。大会当日は会場の雰囲気と想定していた予想問題と違ったこともあり、学生が極度に緊張してしまった。練習の時から、本番の雰囲気を学生にイメージトレーニングできるようにメンタル面でのサポートをしていく必要がある。また、各校工夫していた工具の配置なども参考にし、次年度参加する学生に伝達していきたい。

5.2 ロボットソフト組込みの所感・反省点 今年度から本番に近い形で練習できるような環境となり、本番時も大きな動作トラブルもなく自走ロボットを動かすことができていた。また、練習時に用いたメモも自走ロボットが正常に動作するための一役を買っていたのではと考えられる。個人的には正常に動作することは学生達において自然と自信につながり、良い成果につながりやすくなるのではないかと考えている。指導側としては学生のサポートしかできない為、今後も他に有効なサポート手段がないかを模索していきたいと考えている。なお、反省点としては可能であれば予備パーツを準備しておくことである。修理用の道具等は複数種類を持たせていたが、実際に修理が必要になるほどの破損があると学生は動揺している様子が見られた。もしも予備パーツがあり、それを使えば問題がないのならば学生が動揺しなかったのではと考えると、学生のメンタル面、すなわち自信を無くすことにつながる要素は除去しておくべきだったと反省している。

6. おわりに

若年者ものづくり競技大会は年に一度の競技会であり、出場する学生においては学生生活における貴重な経験の1つとなるものである。その貴重な経験の中で、学生達自身が「自分で出来ること」をやり遂げる。それが学生達にとって自信につながる行為であり、今回の「ロボットソフト組込み」では昨年度より良い結果を残せたことに繋がるのではないかと考えている。また、「電子回路組立て」では練習通りに力を発揮できてはいないが、はんだ付け技術を向上することができた。今後参加する学生には、先輩達の良い結果も反省点も含め糧にしてもらいたい。

文献

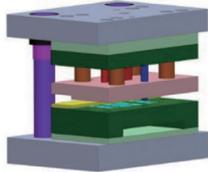
- [1] 庄林雅了, 東 正登: 近畿能開大ジャーナル 第24巻 P76「若年者ものづくり競技大会(電子回路組立て職種)入賞までの取組み」2016年.
- [2] 東正登: 紀要第33号「若年者ものづくり競技大会入賞までの取組み」, 四国職業能力開発大学校, 2022年.

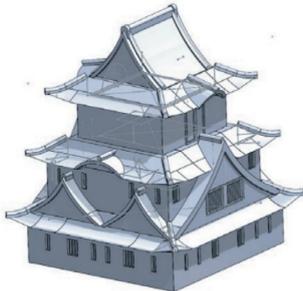
(2025年10月28日提出)

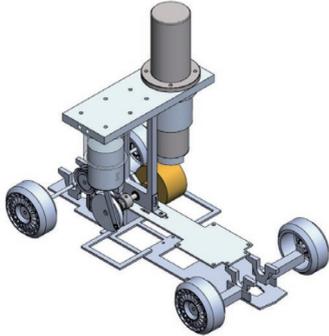
2024(令和6)年度専門課程総合制作実習概要

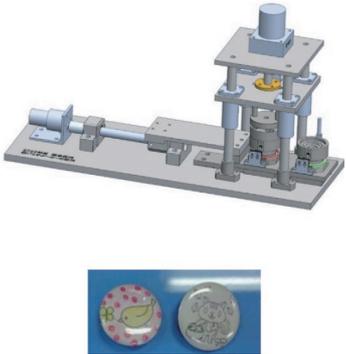
※「学生」欄で附属校の記載があるところは附属校所属の学生である。
それ以外は近畿職業能力開発大学校所属の学生である。

<生産技術科>

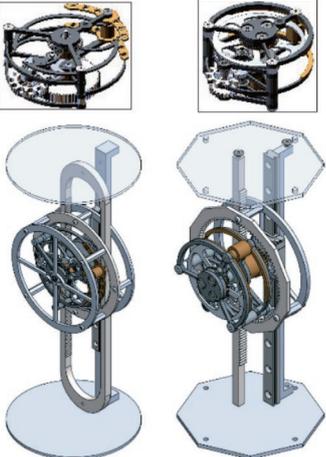
テーマ名	プレス金型の制作		
学生	吉田 典瑛, 久保田 愛希, 桑室 光, 松谷 有真	指導教員	伊東 仁一
概要	<p>大量生産のために、プレス金型は広く用いられている。そこで、プレス金型の構造、機能を理解するため、図1に示すプレス金型の設計及び、製作を行った。図2はその金型で製作するクリップ形のしおりである。制作したプレス金型は、クリップの加工を3工程で考えたときの1工程目のもので単発プレスの金型である。単発加工であることから、作業者が1工程ごとに次の工程の金型で加工する必要がある。その材料の取り付け、取り外しなどの作業性の観点から2ポストを採用した。</p>		 <p>図1 金型の3D-CADモデル</p>  <p>図2 製作するクリップ</p>

テーマ名	メタル岸和田城の制作		
学生	川本 晃生, 内藤 柚香, 中地 弘文, 林 秀登	指導教員	松下 圭
概要	<p>この近畿職業能力開発大学校は、「世界に一番近い城下町」である岸和田市に位置している。本テーマではこの岸和田市のシンボルである【岸和田城】の天守閣を木製ではなく金属で制作を行うこととした。設計では、トップダウン方式を用い、天守閣全体像から設計し、各階層及び部品へと順次設計を行う。その際、ねじ部品等の締結要素の使用を極力抑える設計とした。各部品の加工においては部品同士の直角や平行等の形状を正確に加工しなければ組立不可能になってしまう。その為、部品を加工後は隣接部品を組付けた状態で三次元測定機にて形状精度の確認をしながら製作を行った。</p>		

テーマ名	スターリングエンジンカーの制作		
学生	山田 颯太, 松村 拓歩	指導教員	姉崎 晶久
概要	<p>スターリングエンジンカーの競技会スターリングテクノラリーのRCクラスコースを27秒で完走することを目標にエンジンを設計した。スターリングエンジンカーには、様々な機械要素が含まれており、メカズムについての理解の向上につながると考え、今までに習得した機械製図や機械要素、メカニズムなどの基礎知識を活用し、施設にある機械に合わせた部品の設計、加工工程の検討し加工を行った。スターリングエンジンカーを走行させ計測したタイムや、走行中の様子などから評価する。</p>		

テーマ名	缶バッチメーカーの制作		
学生	石山 航大, 平野 一, 花岡 采岳	指導教員	高橋 麗
概要	<p>缶バッチを作成するツールである缶バッチメーカーは缶バッチの上部パーツを持ち上げる工程と下部のパーツをはめ込む工程の2つがある。この2工程を、シーケンス制御によって自動化できないかと考え、その製作に取り組むこととした。</p> <p>缶バッチは、①各工程の下部のかしめ部品を上部かしめ部の下に移動させ、②上部かしめ部分を下げることで完成する。グループで相談し、①下部かしめ部品を変更する部分と②上部かしめ部品を下げる部分に送りねじ機構を採用し、モータをシーケンスプログラムで制御することとした。</p> <p>この製作を通して、メカニズムや3DCADによる部品設計と図面作成、汎用機を用いた機械加工、シーケンス制御への理解を深めることができた。</p>		

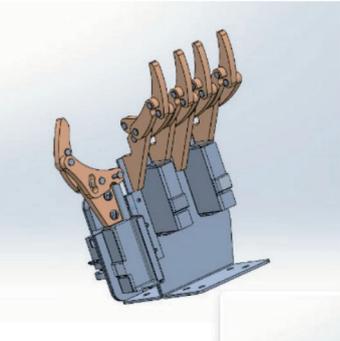
テーマ名	ジグを活用したコマ製作		
学生	京都職業能力開発短期大学校 生産機械技術科 児玉 遵, 坂根 祐希登, 上原 響輝	指導教員	深町 朋弘
概要	<p>今回の総合制作では、複雑な製作物の量産に対応できるような機械の取り扱い技術を習得したいと考え、NC旋盤を選択した。一方、コマは円錐や円弧の形状になることが多く、直接固定することが難しい。加工を行うためには治具が必要不可欠であるため、治具の製作を行った。また、コマは円錐や円弧の形状を取り入れる製作物の中では身近かつ量産が比較的容易なため、治具を活用したコマ製作を選択し、高精度の加工を目指した。</p> <p>コマの設計に関しては、試作段階で再設計のリスクを軽減するために、3次元CADでのモデル作成や回るコマであるかを確認するための機構解析を取り入れた。それにより下流の加工工程の手戻りの軽減を図った。</p>		

展示 No.	機械式計時機的设计・製作		
学生	滋賀職業能力開発短期大学校 生産機械技術科 大野 楓人, 山口 大河	指導教員	尾花 賢一郎
概要	<p>動作不良となったダイヤルゲージの部品を再利用し、機械式時計における脱進機の機構を用いた小型タイマー（計時機）の設計・製作を行った。試行錯誤を繰り返しながらも、世界三大複雑機構の一つである「トゥールビヨン脱進機」の開発に挑戦し、自分たちの様々なアイデアを具現化し、各種工作機械での部品製作に取組み、「モノづくり」の面白さや厳しさ、創意工夫することを目標とした。また、期限までに成果物を完成させることでスケジュール管理の重要性も認識する。</p>		

<電気エネルギー制御科>

テーマ名	電子回路基礎実験テキストの制作		
学生	章本 耀, 鈴木 悠斗, 藤本 彩里, 山中 一樹	指導教員	岡田 卓也
概要	<p>電気エネルギー制御科 1 年時の授業科目である電子回路基礎実験において、技能検定「電子機器組立作業」の課題に取り組んでいる。例年、組立後の動作試験をした際に不具合が多発しており、その修正に時間を費やしている。本テキストを用いることで、学生自身が独学で不具合個所の発見・修正することができることを目標としている。</p>		<p>電子回路基礎実験 (電子機器組立作業)</p> 

テーマ名	鉄球落下ゲームの制作		
学生	末吉 伶, 二澤 泰吾	指導教員	岡田 卓也
概要	<p>一般のゲームセンターに設置されているクレーンゲームは景品をアームでつかみ指定の位置までもっていく仕様が主流である。アームの強さや、景品の置き方、操作技術が景品獲得に大きく影響する。本作品はそういった技術介入はなく、シンプルに電気力で遊べる仕様になっている。具体的にはアームの代わりに円筒形の電磁石を取り付け、対象物（パチンコ玉）を吸い上げ、狙いの穴に落下させる。その後、通過した箇所により当たりかはずれの判定を行う仕様となっている。また、今年度は新機能として当たり後の演出機能を搭載している。</p>		

テーマ名	ロボットハンドの制作		
学生	紺谷 直輝, 西岡 来知, 吉田 翔大	指導教員	北 尊仁
概要	<p>本制作物では、当校で学んだ「プログラミング」「電子回路」「図面作成」等の知識を活用し、ロボットハンドの制作に取り組んだ。プログラムには Arduino を使用し、直動サーボモータを制御している。筐体の図面は 3DCAD (SOLIDWORKS) を用いて作成し、3D プリンタを使用して指などの各パーツを出力し、組み立てを行っている。筐体に直動サーボモータと電子基板を取り付け、直動サーボモータの動きに合わせて、ロボットハンドの指が開閉する仕組みとなっている。電子基板は Kicad を使用し、基板加工機を用いて制作予定である。配膳ロボットとしての使用を想定し、瓶やトレイ等を把持するロボットハンドの制作を目標とした。</p>		

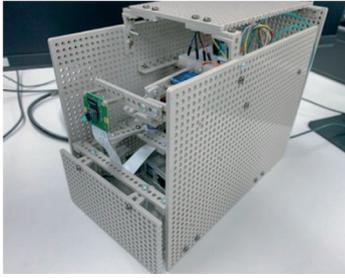
テーマ名	ストラックアウトの改良		
学生	石丸 光暁, 城野 純, 松本 勤太郎	指導教員	北 尊仁
概要	<p>前年度から引き継ぐ形で、当校で学んだ「シーケンス制御」「電子回路」「図面作成」等の知識を活用し、ストラックアウトの制作を行った。筐体は木材からアルミフレームに変更し強度を改善した。筐体に光電センサを取り付け、PLC(三菱 FXU-32M)にて制御を行った。プログラムはラダーと ST 言語を組み合わせ制作した。PLC と GOT(三菱 GT2710-STBA)を連携し、パネルの状態・点数・球の残球を GOT 上に表示し、タッチパネル操作で操作できる仕様となっている。またゲームモードを2種類追加し、演出面ではラズベリーパイを使用し音楽が流れる様にした。今後の目標は ZigBee を使用した無線化で配線の削減を目指す。</p>		

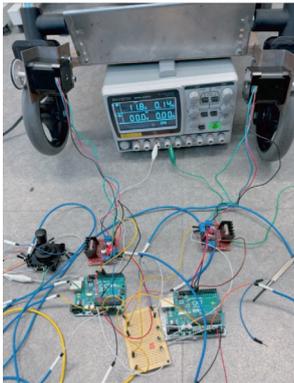
テーマ名	スマートホームの制作		
学生	杉浦 泰太, アシユール, イブラヒム	指導教員	中川 章人
概要	<p>近年、スマートホーム技術の進化により、居住空間の自動化がますます普及している。しかし、高度なシステムを導入するには高額な初期投資が必要となる。そこで、Arduino を活用することでコストを大幅に抑え、より手軽で経済的なスマートハウスの実現を目指した。本プロジェクトでは、Arduino に温度センサと光電センサを組み合わせることで、居住空間の環境をリアルタイムで調整するシステムを開発した。室温が基準値を超えるとファンが作動し、光度が低下すると証明が点灯することで、常に快適な環境を維持することが可能になった。</p>		

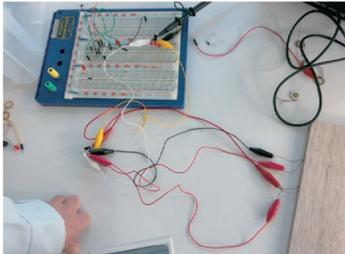
テーマ名	自立型ロボット制作に関する教材制作		
学生	井ノ本 主樹, 岡村 陽寿, 増田 真幸	指導教員	中川 章人
概要	<p>本作品では、これまで電気エネルギー制御科で学んだ Arduino のプログラムや各種電気配線技術やモータ制御の知識を用いて、自立型ロボット制作に関する教材制作を行った。ロボットを実際に組み立て、プログラミングを行いながら動作確認を行う。この制作で得た知識を資料、教材としてまとめた。</p>		

テーマ名	ドローン自律飛行システムの制作		
学生	辻 勇介	指導教員	瀧本 雄一
概要	<p>日本では、少子高齢化が進んでおり、電気保安人材の高齢化や電気保安分野への入職者も減少している。また台風や豪雨などの自然災害で太陽電池発電や風力発電の事故が増加している。このことから、ドローン等の自動化が求められている。そこで、人が入れないような場所を自立飛行できるドローンの制作をしたいと考えた。私たちが制作したのは、複数台のドローンを連動して動作させ編隊飛行するドローン群制御システムである。</p>		

テーマ名	配膳ロボットの制作		
学生	生見 悠間	指導教員	瀧本 雄一
概要	<p>近年、産業ロボットや生活支援ロボットなどを含む幅広いロボットが開発されており、配膳ロボットはその代表的な例で、多くのレストランで導入が進んでいる。私たちが制作したのは、制御システム構築を目標とする試作機の制作である。テーブルまでの案内はあらかじめ決まったコースを正確にライントレースし、カメラによる画像処理センサでテーブル位置を確認し、所定の場所に配膳する仕組みである。</p>		

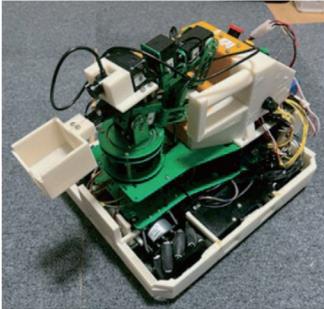
テーマ名	自動エサやり装置の制作		
学生	下田 真彰	指導教員	瀧本 雄一
概要	<p>近年のペットブームとIoTの発達により、自宅にいるペットを外出先で様子を見ることができるWebシステムや、タイマで自動的にエサや水を与えることができる装置などが出回っている。私たちが制作したのは、Webでのカメラの遠隔監視システムと自動エサやりシステムを組み合わせた装置である。自動エサやり装置は、焦電センサを用いてペットが近づくと感知し自動でふたを開ける機能があり、Webカメラは遠隔操作でペットの映像をとらえることができる。</p>		

テーマ名	電動車いすの制作		
学生	中嶋 清矢, 藤田 成, 木村 脩雅	指導教員	堀 真吾
概要	<p>本制作物では、当校で学んだ「Arduino」「電子回路」等を活用し、電動車いすのユニット制作に取り組んだ。市販の電動車いすを買おうとすると高額になってしまうので、比較的安価で抑えられる、Arduino と、ステッピングモータを使って、電動車いすのユニット制作に取り組んだ。タイヤの部分にステッピングモータをとりつけそのモータを モータドライバーと Arduino を使って制御する。Arduino とジョイスティックを繋ぎ、ジョイスティックでモータの回転方向を制御する。お年寄りでも誰でも簡単に使える電動車いすの制作を目指した。</p>		

テーマ名	歩行動作発電システムの開発		
学生	赤澤 星太, 千葉 昇栄, 山口 和志	指導教員	堀 真吾
概要	<p>本制作物では、当校で学んだ「電子回路」を活用し、圧電素子を使った無電源装置の制作に取り組んだ。圧電素子を利用した無電源発電装置は、環境エネルギーを効率的に活用するための有力な技術である。例えば、歩行発電：歩行者が歩くことで生じる足元の振動を圧電素子で電気に変換する装置である。これを利用した時計やセンサーが登場しており、クリーンエネルギーの注目度は増す一方である。振動や圧力といった日常的な力をエネルギー源として、電力を生成するこの技術は、持続可能な社会に向けた重要なステップとなり得ると思ったのでこの総合制作では無電源装置での発電回路制作に取り組んだ。</p>		

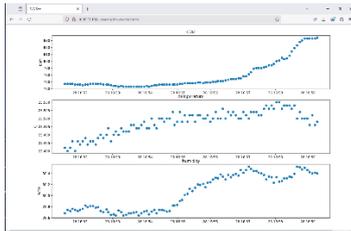
<電子情報技術科>

テーマ名	サッカーロボットの制作		
学生	青井 宏樹, 阪口 詞音, 西口 太陽, 林 悠叶, 廣 悠介, 中山 泰志	指導教員	大久保 欣哉
概要	<p>サッカーロボットの製作を行った。この課題は、ロボカップジュニアのサッカー競技として実施されているレギュレーションを参考にし、自立型及び遠隔制御型にしたものである。このロボットは、一度授業にて指示通りに電子回路基板、ボティ製作をして、組み上げて競技を行ったものをもう一度見直して、アクチュエータ、センサなど選択し、新規設計をして製作されたものである6名の学生が、それぞれ車輪走行型、2足方向型に分かれてロボットを製作している。また、授業で製作したものと今回製作したものと合わせて展示を行う。</p>		

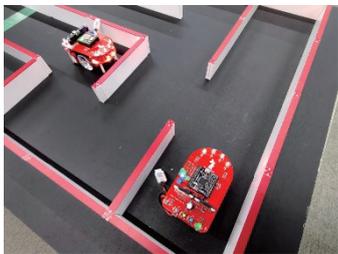
テーマ名	若年者ものづくり競技大会に向けた自走ロボットの製作		
学生	石川 隼人, 川島 隆太, 平島 寛士, 毛利 太軌	指導教員	モンゴメリー 露伊エリクス
概要	<p>今回新たに、若年者ものづくり競技大会で「ロボットソフト組込み」職種に参加することとなった。それに伴って、新たな自走ロボットを製作した。主要となるマイコンは Studica 社が出している VMX と呼ばれる Raspberry Pi ベースの物を使用している。VMX を用いることによりメカナムホイールによる移動、センサによる測距、アーム動作、カメラによる画像認識などによる様々な 10 インターフェースによる処理が可能である。展示物については、実際に大会で使用した自走ロボットに学生たちが改良を加えたものを展示する。</p>		

テーマ名	シングルボードコンピュータのL3スイッチ化		
学生	宗野 拓人	指導教員	奥田 佳史
概要	<p>安価なシングルボードコンピュータの代表である Raspberry Pi4 には4つのUSBポートと一つのEthernet物理ネットワークインターフェースを持つ。これら全部を使用し4ポートをもつL3スイッチをLinuxベースで構築するのが本課題である。Linuxには現行サポートOSであるCentOS Stream 9を採用し、OSI参照モデルの第2層の機能であるL2スイッチをVLANパッケージインストールにより実現し、その後ルーティング操作によってOSI参照モデルの第3層のL3スイッチ機能を実現した。これにより市販の高価なL3スイッチの代用品として安価に機能する。このシングルボードコンピュータL3スイッチを市販のヤマハL3スイッチSWX3100-10Gとの混在環境で動作を検証した。</p>		<p>tr</p> 

テーマ名	Stable Diffusion を利用した画像生成 AI 実験環境の構築			
学生	小玉 伊織, 坂本 飛翔	指導教員	奥田 佳史	
概要	<p>Stable Diffusion は、2022 年 8 月に公開されその性能の凄まじさから世界に大きな衝撃を与えたモデルであり 10 億個のパラメータ数を持ち、インターネット上にある 20 億個の画像とテキストのペアを学習済みのモデルを使用している。入力するテキストを工夫することで、複雑な画像をいとも簡単に生成することが可能となった。このシステムはオープンソースであり自由にソースコード利用できる唯一のシステムであることから本課題では最小の動作環境を用いてパラメータ変化による対話的インタフェース実験環境を構築した。主なパラメータは①生成シード、②サンプラー・スケジューラ、③モデル、④ガイダンス・スケールである。</p>			
				Stable Diffusion ver0.30.3
				Pytorch ver2.2.1
				CUDA ver11.8
				Nvidia-driver ver535
				Ubuntu ver22.4
GPU RTX-3060 12GB				
システム構成				

テーマ名	環境センサを用いた管理モニタリング・制御システムの構築		
学生	平井 陽大, 吉武 万奈, 鹿庭 颯人, 川端 康暉	指導教員	新山 亘
概要	<p>昨今世界は異常気象や急激な気候変動など顕著な環境変化に直面している。この変化に対し、環境監視と制御機器操作の機能を有するシステムを開発してきた。今年度は外部サービスを使わず Web サーバ・CGI・DB のみを用いた基本システムに再構成した。ユーザのホームディレクトリのみで稼働するローカルなシステムとして構築したが、必要に応じて大規模システムに容易に拡張可能なシステム構成である。現在多種多様なセンサへの拡張や、大規模 DB への拡張、BLE や LoRa を介したセンシングへの拡張を実施中である。</p>		
			

テーマ名	光と音を奏でるスロットゲームの製作		
学生	京都職業能力開発短期大学校 電子情報技術科 窪 彪唯, 池端 飛和, 川北 暉	指導教員	安達 正人
概要	<p>7 セグメント LED を使用してスロットゲームを製作した。スタートボタン 1 個と数字の確定のためのボタン 3 個を装備して、ゲーム性を出した。「777」が揃えば当たりとしてブザーによる音を奏で、更に盛り上げるために LED テープを使って光の演出も併せて装備した。当たりを引いた後に更にゲーム性を持たせるために、確率を用いて抽選しゲームは続行して更なる当たりを出すようにし、音の種類も複数パターンを用意した。音と光を用いた、よりゲーム性の高いスロットゲームとなっている。</p>		
			

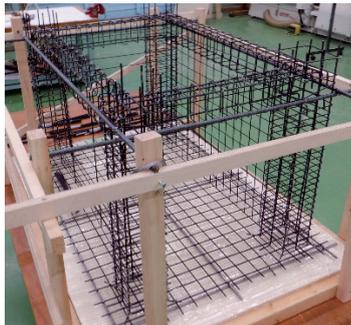
テーマ名	競技用マイクロマウスの製作		
学生	滋賀職業能力開発短期大学校 電子情報技術科 大橋 蒼馬, 大西 蒼汰, 木村 仁星, 山中 俊輝, 若林 朋和	指導教員	新貝 章太
概要	<p>本総合制作実習では、マイクロマウスと呼ばれる自立型迷路探索ロボットを製作し、毎年国内で開催される地区大会での入賞を目指す。マイクロマウスとは、自立型ロボットが未知の迷路を探索・走破し、ゴールへ到達するまでの時間を競う大会およびロボットの名称である。</p> <p>今年度は、迷路探索・走行プログラムの作成に加え、CPUユニットにRXマイコンとESP32を搭載したマイクロマウスを各一台製作し、愛知県で開催される中部地区大会へ出場する。展示発表では、実装した迷路探索・走行方法の実演と中部地区大会の結果について報告する。</p>		

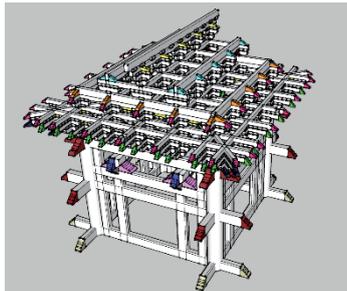
<住居環境科>

テーマ名	足場教材の制作		
学生	松本 友也	指導教員	坂下 哲也
概要	<p>教材としての使用を目的として、足場の縮尺モデルを 3D プリンタで制作した。図や写真では伝わりにくい足場の仕組みについて、部品ごとにパーツを制作し、実際の足場と同様に組み立てることで、理解促進に役立てるものを目指した。3D プリンタ用のデータは 3DCAD ソフトの操作方法を習得し制作した。模型完成後、学生を対象に教材の使用前と使用後の理解度の違いを調査し、教材としての有効性について評価を行った。</p>		

テーマ名	大学校モニュメントの制作		
学生	藪内 美波, 中川 歩羽	指導教員	坂下 哲也
概要	<p>大学校をアピールすることを目的として、大学校の名称とマークをあしらったモニュメントを制作した。皆から愛されフォトスポットとなるようなモニュメントを目指した。モニュメントは自由な形を造形できることと、屋外での設置に耐えることから鉄筋コンクリートで制作した。基礎工学実験で学んだ骨材に関する知識や建築施工実習で学んだ型枠工事及び鉄筋工事に関する知識を実践し、設計は新たに 3DCAD の操作方法を習得し行った。</p>		

テーマ名	学生向けコンペティション参加による卒業設計		
学生	岡谷 翔真, 的場 浩祐, 南出 琥次郎	指導教員	前田 由佳
概要	<p>これまで学んできた建築設計実習や建築計画の知識を活用し、総合制作実習では、学生向けコンペティションに取り組んだ。課題は「あすなる夢建築大阪府公共建築設計コンクール」で集会所の設計である。コンペティションでは、テーマや設計条件が与えられ、それに対して計画敷地の調査から、アイデアの発想、コンセプトの立案、デザイン、設計、模型製作、プレゼンボード作成までを行う。これらを通し、建築設計作業の一連の流れを学ぶことを目的とする。</p>		

テーマ名	鉄筋コンクリート構造の配筋模型		
学生	角林 隼斗, 中森 幸太郎, 渡邊 椋太	指導教員	石井 真紀子
概要	<p>配筋とは建物の安全性に関わる構造部材のひとつで、鉄筋コンクリート構造において鉄筋を適切な位置や量で配置することによって安全性や耐久性が確保される。工事に際して仕様書、配筋指針、施工手順、納まりの検討より、施工図、鉄筋加工図の作成、鉄筋加工、配筋、検査等が計画的に行われている。今後の若手施工管理者の育成に繋げるため詳細部分、階段の配筋において3次元化、配筋模型を制作し可視化することによって DX での修正、チェックなどに対応できる能力を習得することとした。</p>		

テーマ名	東大寺鐘楼（中世鎌倉期建造物）模型の作成		
学生	杉原 萌奈美, 田岡 つぎね, 澤口 琉依	指導教員	田島 幹夫
概要	<p>中世鎌倉期に建造された東大寺鐘楼は、日本で最も美しい伝統的建造物の一つとされ、国宝にも指定されている。平安期より培われた和の様式（和様）から発展し、東大寺再建時に中国より導入され、質実剛健な手法で知られる大仏様、少し遅れて栄西により禅宗が伝えられ、同時に細やかな詰組を特徴とする禅宗様の様式が伝えられる。以上を併せもつ建造物は、大変珍しく貴重である。</p> <p>本課題は、先人の知恵の結晶でもある洗練された木質構造と美しさを兼ね備えた東大寺鐘楼を 1/20 のスケールで製作することで、文献・図面調査、現地調査、図面をデジタル化する能力、木材を伝統的手法やDX技術を用い加工、製作するレベルまで行い、日本の伝統的な建築文化、技術に少しでも近づこうとするものである。</p>		

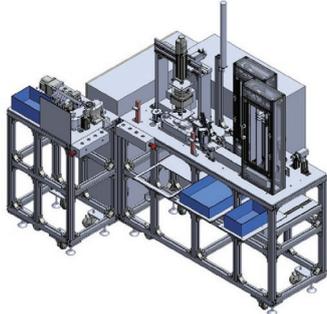
テーマ名	合板を活用した木製家具の制作		
学生	北脇 凜乃, 瀧口 寛人, 田中 帆香	指導教員	大石 拓海
概要	<p>合板は木材を原料として製造される木質材料の一種であり、建築物の下地材や住宅内装、家具の材料として用いられる。近年、建築分野では、自然環境への配慮から木質材料の活用が活発化しており、合板についても今後さらに需要が高まると考えられる。そこで今回は、合板を用いた「ローテーブル」「キッズチェア」「靴箱」の制作を行った。各作品は、合板のもつ特性（強度、安定性、加工性、軽量など）を活かした設計とした。また、精度よく加工するため、治具を作成するなど工夫を凝らした。</p>		

テーマ名	ヨシを活用した照明の設計施工		
学生	滋賀職業能力開発短期大学校 住居環境科 上野 ユウジ, 河村 豪人, 羽阪 浩斗	指導教員	高橋 尚吾
概要	<p>本テーマは、滋賀県近江八幡市の水郷地帯に位置するヨシ原で伐採されたヨシを活用して照明の設計・施工を行う。近江八幡市の西の湖に自生するヨシは、一年に一回「ヨシ刈り」を行うことで植生管理される。しかしながら、近年ではヨシ産業の衰退や生産者の高齢化などによって、ヨシ群落の管理は衰退傾向にある。また、古来よりヨシは茅葺や葦簀（すだれ）などで建築利用されているが、照明としての利活用はほとんど行われていない。そのため、本テーマではヨシの新たな活用方法の考案に向けて、イベントなどで使用可能な仮設照明の設計・施工を行い、ヨシの加工方法や接合方法などの技術開発に取り組む。</p>		

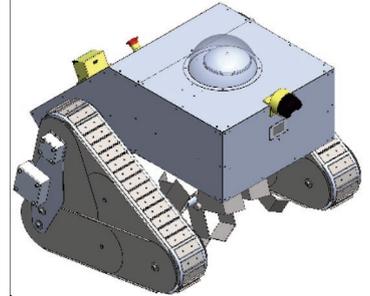
2024(令和6)年度応用課程開発課題実習概要

<生産システム技術系>

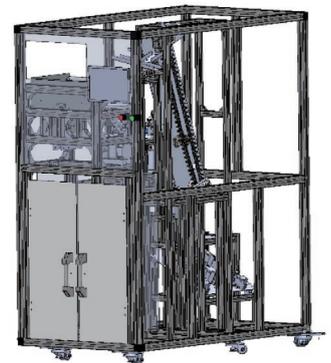
テーマ名	真円度形状寸法測定機の開発		
学生	姥 実貴雄, 小倉 滉貴, 川畑 茜, 多賀 優希, 長岡 大徳, 沈 陽皓, 角 晃太郎, 田中 和也, 日根野谷 陸斗, 福富 琢仁, 伊丹 滉, 笠中 滉矢, 嶋 慶士, 多田 龍冴, 田中 琳大, 西平 尚希, 松本 晃大	指導教員	佐藤 桂 清水 隆之 武川 肇
概要	<p>本装置は、エナテック様が長年取引のある前輪車軸カバー（鋳造製品）における対象部分の直径、真円度及び鑄巣の有無を検査する。完成後エナテックの製品製造ライン内において、製品の連続検査が可能である。主な機能として前述した検査項目に加え、装置本体の防塵防水保護等級 IP42、軸ずれ補正機能、直径値測定時の温度補正機能、外部光（可視光）の影響を受けない鑄巣検査システム及び、検査結果の解析・閲覧機能を搭載している。また、安全装置として非常停止ボタン（2箇所）に加え、正面扉にライトカーテンを装備している。</p>		

テーマ名	シリンダヘッドカバー製造支援システムの開発		
学生	小名川 車希, 中村 康樹, 西原 柊, 原口 直樹, 山田 将稀, 大木 貴徳, 蔵谷 紘大, 田川 幹太, 辻野 登悟, 森田 昌也, 岩城 智哉, 小野 航平, 小田 楓, 上西 朔矢, 辻野 友彦, 福永 一翔, 山口 陽豊	指導教員	天野 隆 石田 真一 小南 嘉史
概要	<p>本作品は農耕機用エンジンに用いるシリンダヘッドカバーへの部品組付けを自動化する装置である。組み立ての工程は、2種類の部品の設置、ねじ締め、封着剤の塗布、鉄パイプの圧入である。パーツの設置は電磁石が取り付けいたアームを用いて行う。ねじ締めはモータを用いた機構で4本のねじを同時に締める。封着剤塗布は空気圧を用いた機器で行う。鉄パイプの圧入はモータと送りねじを組み合わせた機構で行う。装置は2つのテーブルに分かれており、鉄パイプの圧入のみ他工程が終わった後に、作業者がワークをテーブル間で移動させる。また、組み立て中には画像処理による検査を複数個所で行い、組み立て不良の検出を行う。装置の操作は操作盤またタッチパネルを用いて行う。</p>		

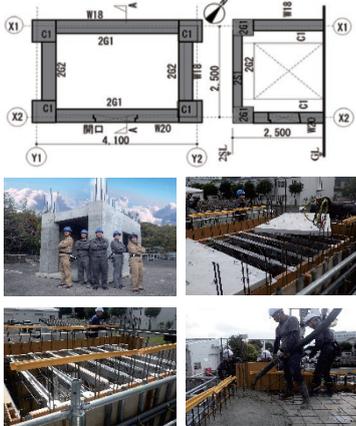
テーマ名	ロボット農機の開発		
学生	北川 琳太郎, 谷上 優誠, 森 優心, 山内 穰, 山岡 周平 岡村 直哉, 島内 悠人, 仲 聖, 永田 伊吹 泉 夏月, 大川 誠陽, 大北 遥斗, 谷中 宏輔, 辻坂 翔輝, 西川 優翔 廣瀬 亮, 福西 将仁, 持留 颯太, 山田 碧	指導教員	久保 幸夫 田中 倫之 上間 豊久
概要	<p>現在, 日本において少子高齢化による農業従事者の高齢化が進んでおり, 働力不足が深刻な問題である. また, CO2 排出量削減のため農業機械分野においても電動化は重要な課題である. このような状況に対処するため, 「スマート農業」という考え方を基盤とし, 再生可能エネルギーである太陽光発電を利用した耕運を自動で行うロボット農機や, 農場の監視システムの開発を行う. 本テーマでは, 株式会社EIWAT様と共同で開発を行うものであり, 2年計画で取り組んでいる. 今年度は2年目であり, 昨年度の情報を基に耕運システム, 自動走行システム, 監視システムの開発を行う.</p>		



テーマ名	部品整列供給装置の開発		
学生	上村 洋志, 國金 魁人, 城代 兼嗣, 中井 陸, 藤原 芳樹 泉本 達也, 伊藤 優希, 犬伏 真悟, 米田 侑加 田嶋 晴明, 中橋 幹貴, 松田 空也, 御前 政喜, 山崎 孔生 山本 聖留	指導教員	吉崎 元二 中島 英一 今園 浩之 大山 有利
概要	<p>本開発課題は混在するねじ部品を種類毎に分別し整列して次工程に供給する装置を開発した. 対象としたねじ部品は, 工場などでよく使用される呼び径 M5/M6, 長さ 8~16mm の六角穴付きボルトである. 本装置は, ①投入部, ②種類判別部, ③整列部, ④返却部の4つからなる. 混在状態のボルトが投入部に投入されると, 1本ずつ種類判別部に搬送し, 種類判別部で画像処理によりボルトの呼び径と長さを判別する. その後, 判別されたボルトを整列部で最大3種類に分離し, 頭部を上にした状態で整列させる. また, 判別できなかったボルト等は返却部のコンベアによって投入部に戻す.</p>		

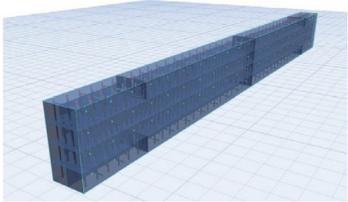


<建築施工システム技術科>

テーマ名	鉄筋コンクリート構造躯体工事における生産性向上について ースラブ部材にハーフ PCa を用いた現場管理業務ー		
学生	馬越 琴音, 島袋 裕真, 下村 勇太, 田村 隆汰, 橋本 奈美	指導教員	松岡 亘
概要	<p>一般社団法人日本建設業連合会では、生産性向上推進要綱を作成し、建築分野の主要課題として、生産工程における生産性向上の取り組みを行うこととしている。その推進方策の一つにプレキャスト化等の工場生産による現場作業の削減を掲げている。</p> <p>そこで、本総合施工・施工管理課題実習では、昨年度との作業の効率化・省力化等の比較を目的としていることから、躯体の形状・寸法は大幅な変更は行わず、RC躯体のスラブ部材に、ハーフ PCa ならびに支保梁を用い、現場管理業務の実践を行った。その結果、昨年度の総合施工・施工管理課題実習と比較し、支保梁の採用したことで約40%の時間的削減、ハーフ PCa を用いた施工したことで約30%の人的削減が図れた。</p>		
			

テーマ名	CLT を用いた建築物の施工管理手法習得のためのカリキュラム提案		
学生	山東 勇輝, 高倉 慎, 田中 隼, 畠山 陸, 三輪 晟一郎	指導教員	宇都宮 直樹
概要	<p>本開発課題は、近年竣工件数が増加する直行集成材 CLT (Cross Laminated Timber) を用いた建築物の施工・施工管理手法を習得するためのカリキュラムを提案するものである。そのために、提案するカリキュラムに沿った製作物の設計から施工までを行い、CLT の施工知識や施工管理手法を習得する。施工・施工管理課題実習(木造・鉄骨造・鉄筋コンクリート造)で学んだ施工管理の知識を活かしつつ、CLT を用いた建築物の施工管理ではどのようなことに注意し、学ぶ必要があるかを考察する。CLT 造の特徴は鉄骨造の特徴である工場製作・現場施工と類似することから、現行のカリキュラムである鋼構造施工・施工管理課題実習を参考に、カリキュラム提案に則した制作物を計画・作成をしている。</p>		
			

テーマ名	鋼構造施工管理課題実習における部材スキャニングとデータ活用の実践		
学生	一色 果乃, 上原 侑子, 神崎 颯太, 齊藤 あいる	指導教員	村岡 寛
概要	<p>現在の建設業界は、少子高齢化に伴う職人不足による作業量の減少が懸念されている。政府は、企業に向けて ICT 機器などのデジタルツールを活用し、人口減少社会の中でも、現状維持以上の生産性を高めるよう促進している。我々においても、訓練におけるデジタルツールの活用を促進し、学生の理解度向上を図るとともに、デジタル人材養成が必要であると考え。そこで今回は、標準課題実習で実施する鋼構造施工管理実習を題材に、鉄骨工事における鉄骨製作工場の製品検査(社内検査)、施工者による受入検査、建方精度等に3D スキャナーを活用し、施工管理業務の効率化や品質管理を向上させることができるようになることを目標とする。</p>		
			

テーマ名	木造需要増加に伴う NLT 工法を用いた梁材の検討		
学生	井上 竣, 川原 明稀, 仲宗根 有輝, 丹羽 優希, 南野 党我 村上 輝	指導教員	足立 和也
概要	<p>現在木質構造建築の需要の高まりにより、代表的な工法である CLT 工法や大断面集成材を用いた木質造建築物の施工が増えている。しかし、CLT や大断面材集成材は生産工場が非常に少なく材料の輸送やコストが高いほか、生産設備を整えるためには莫大な設備投資が必要であるなどの問題がある。そこで CLT や大断面集成材と違い特別な設備投資が必要のない NLT 工法に着目し、一般的な規格材を、木質構造用ねじ（ビス）で接合した梁材を検討することにより、CLT 等の生産ラインが確立するまでの移行期に主要な工法となりうるかを検討する。</p>		

テーマ名	竹ユニットの製作		
学生	山田 竜大, 岩本 和磨, 田中 創雲, 橋部 寿大, 松下 大貴	指導教員	竹口 浩司
概要	<p>近畿職業能力開発大学校がある岸和田市では、竹害が問題になっている。私たちの開発課題では、それらの問題を解決するために竹ユニットの工作物の考案を行った。考案した工作物は組み立て手順を統一するため、正二十面体を採用した。このことで、手順が明確になり、支柱部長さの均一化が可能になった。接合部は様々な竹の径に対応できるような仕様にし、利便性や運搬性を考え、支柱部の長さは 2m に設定した。正多面体かつトラス構造を有する中で、イベントや休憩所等の用途としての使用を考えている。</p>		

2024(令和6)年度における表彰等

第62回「技能五輪全国大会」参加

参加職種 電子機器組立て 電子情報システム技術科 清水 達貴

第18回「若年者ものづくり競技大会」参加

参加職種 電子回路組立て 電子情報技術科 平島 寛士 敢闘賞及び大阪府知事賞 授与

参加職種 ロボットソフト組込み 電子情報技術科 石川 隼人 川島 隆太

第7回「実践教育訓練学会 建築設計競技」参加

建築施工システム技術科 一色 果乃 2等 受賞

「日本建築積算協会関西支部設立50周年事業設計積算コンペ」参加

建築施工システム技術科 一色 果乃 最優秀賞 受賞

「日本建築積算協会関西支部 50周年記念ロゴマークデザイン競技」参加

建築施工システム技術科 一色 果乃 審査員特別賞 受賞

「マウス全日本大会」参加

電子情報技術科 片岡 廣二 福岡 幸奈

「マウス関西地区大会」Pico杯クラシック部門 参加

電子情報技術科 片岡 廣二 優勝

「マウス中部地区大会」Pico杯クラシック部門 参加

電子情報技術科 AZZA AHMED ASHOUR ISMAIL MOHAMED 優勝

近畿ポリテクビジョン2025年における表彰

①発表の部

最優秀賞

応用課程 生産システム技術系「真円度形状寸法測定機の開発」

姥 実貴雄, 小倉 滉貴, 川畑 茜, 多賀 優希, 長岡 大徳, 沈 陽皓, 角 晃太郎
田中 和也, 日根野谷 陸斗, 福富 琢仁, 伊丹 滉, 笠中 滉矢, 嶋 慶士
多田 龍冴, 田中 琳大, 西平 尚希, 松本 晃大

建築施工システム技術科「GLTを用いた建築物の施工管理手法習得のためのカリキュラム提案」

田中 隼, 山東 勇輝, 高倉 慎, 畠山 陸, 三輪 晟一郎

専門課程 滋賀職業能力開発短期大学校 電子情報技術科「競技用マウスの製作」

大西 蒼汰, 大橋 蒼馬, 木村 仁星, 山中 俊輝, 若林 朋和

優秀賞

応用課程 生産システム技術系「ロボット農機の開発」

北川 琳太郎, 谷上 優誠, 森 優心, 山内 穰, 山岡 周平, 岡村 直哉, 島内 悠人
仲 聖, 永田 伊吹, 泉 夏月, 大川 誠陽, 大北 遥斗, 谷中 宏輔, 辻坂 翔輝
西川 優翔, 廣瀬 亮, 福西 将仁, 持留 颯太, 山田 碧

生産システム技術系「シリンダヘッドカバー製造支援システムの開発」

小名川 車希, 中村 康樹, 西原 柊, 原口 直輝, 山田 将稀, 大木 貴徳

蔵谷 紘大, 田川 幹太, 辻野 登悟, 森田 昌也, 岩城 智哉, 小野 航平, 小田 楓

上西 朔矢, 辻野 友彦, 福永 一翔, 山口 陽豊
 建築施工システム技術科「木造需要増加に伴う NLT 工法を用いた梁材の検討」
 井上 竣, 川原 明稀, 仲宗根 有輝, 丹羽 優希, 南野 党我, 村上 輝
 専門課程 電気エネルギー制御科「ストラックアウトの改良」
 石丸 光暁, 城野 純, 松本 勘太郎
 生産技術科「メタル岸和田城の制作」
 中地 弘文, 川本 晃生, 内藤 柚香, 林 秀登
 滋賀職業能力開発短期大学校 生産技術科「機械式計時機的设计・製作」
 大野 楓人, 山口 大河
 住居環境科「大学校モニユメントの制作」
 中川 歩羽, 藪内 美波
 京都職業能力開発短期大学校 電子情報技術科「光と音を奏でるスロットゲームの製作」
 窪 彪唯, 池端 飛和, 川北 暉

②展示の部

最優秀賞

応用課程 生産システム技術系「真円度形状寸法測定機の開発」
 制作者 : 姥 実貴雄, 小倉 滉貴, 川畑 茜, 多賀 優希, 長岡 大徳, 沈 陽皓
 角 晃太郎, 田中 和也, 日根野谷 陸斗, 福富 琢仁, 伊丹 滉
 笠中 滉矢, 嶋 慶士, 多田 龍牙, 田中 琳大, 西平 尚希, 松本 晃大
 指導教員: 佐藤 桂, 清水 隆之, 武川 肇
 建築施工システム技術科「鉄筋コンクリート構造躯体工事における生産性向上について—スラブ部材にハーフPCaを用いた現場管理業務—」
 制作者 : 馬越 琴音, 島袋 裕真, 下村 勇太, 田村 隆汰, 橋本 奈美
 指導教員: 松岡 亘
 専門課程 生産技術科「メタル岸和田城の制作」
 制作者 : 川本 晃生, 内藤 柚香, 中地 弘文, 林 秀登
 指導教員: 松下 圭

優秀賞

応用課程 生産システム技術系「ロボット農機の開発」
 制作者 : 北川 琳太郎, 谷上 優誠, 森 優心, 山内 穰, 山岡 周平, 岡村 直哉
 島内 悠人, 仲 聖, 永田 伊吹, 泉 夏月, 大川 誠陽, 大北 遥斗
 谷中 宏輔, 辻坂 翔輝, 西川 優翔, 廣瀬 亮, 福西 将仁, 持留 颯太
 山田 碧
 指導教員: 久保 幸夫, 田中 倫之, 上間豊久
 生産システム技術系「シリンダヘッドカバー製造支援システムの開発」
 制作者 : 小名川 車希, 中村 康樹, 西原 柊, 原口 直輝, 山田 将稀, 大木 貴徳
 蔵谷 紘大, 田川 幹太, 辻野 登悟, 森田 昌也, 岩城 智哉, 小野 航平
 小田 楓, 上西 朔矢, 辻野 友彦, 福永 一翔, 山口 陽豊
 指導教員: 天野 隆, 石田 真一, 小南 嘉史

建築施工システム技術科「鋼構造施工管理課題実習における部材スキャンニングとデータ活用の実践」

制作者：一色 果乃, 上原 侑子, 神崎 颯太, 齊藤 あいる

指導教員：村岡 寛

専門課程 電子情報技術科「Stable Diffusion を利用した画像生成 AI 実験環境の構築」

制作者：小玉 伊織, 坂本 飛翔

指導教員：奥田 佳史

電気エネルギー制御科「ストラックアウトの改良」

制作者：石丸 光暁, 城野 純, 松本 勸太郎

指導教員：北 尊仁

住居環境科「鉄筋コンクリート構造の配筋模型」

制作者：角林 隼斗, 中森 幸太郎, 渡邊 椋太

指導教員：石井 真紀子

滋賀職業能力開発短期大学校 生産技術科「機械式計時機的设计・製作」

制作者：大野 楓人, 山口 大河

指導教員：尾花 賢一郎

特別賞

専門課程 京都職業能力開発短期大学校 電子情報技術科「光と音を奏でるスロットゲームの製作」

制作者：窪 彪唯, 池端 飛和, 川北 暉

指導教員：安達 正人

住居環境科「東大寺鐘楼（中世鎌倉期建造物）模型の制作」

制作者：杉原 萌奈未, 田岡 つぎね, 澤口 琉依

指導教員：田島 幹夫

修了式における表彰

①大学校賞	専門課程	電気エネルギー制御科	城野 純
		電子情報技術科	平島 寛士
	応用課程	生産機械システム技術科	姥 実貴雄
		生産電気システム技術科	角 晃太郎
		生産電子情報システム技術科	嶋 慶士
	建築施工システム技術科	一色 果乃	
②優秀賞	専門課程	生産技術科	久保田 愛希
		電気エネルギー制御科	杉浦 泰太
		電子情報技術科	平井 陽大
		住居環境科	田岡 つぎね
	応用課程	生産機械システム技術科	小名川 車希
		生産電気システム技術科	米田 侑加
		生産電子情報システム技術科	伊丹 滉
建築施工システム技術科		田中 隼	

近畿職業能力開発大学校ジャーナル編集委員会

委員長 北條 正樹（校長）
高橋 昭吾（副校長）
後藤 拓真（能力開発統括部長）
椎葉 彰（学務課長）
佐藤 桂（機械系）
今園 浩之（電気系）
椿 博敏（電子情報系）
田島 幹夫（建築系）
山口 雅史（援助計画課）
福永 卓己（学務課）

近畿能開大ジャーナル 第33号

発行 2026年2月
発行者 近畿職業能力開発大学校
〒596-0817
大阪府岸和田市岸の丘町3-1-1
電話 072-489-2112
FAX 072-479-1751



 **NOKAIDAI**
近畿職業能力開発大学校