

背幅3.4mm

ISSN 1880 - 764X

# 近畿能開大ジャーナル

Journal of Kinki Polytechnic College  
No.29 2021

(グラビア)  
建築物床下探査ロボット「Gle-gle」[住居環境科]

研究報告  
教材開発  
実践報告

2020年度専門課程総合制作実習概要  
2020年度応用課程開発課題実習概要  
2020年度における表彰



 **NOKAIDAI**  
近畿職業能力開発大学校

近畿職業能力開発大学校

<http://www3.jeed.or.jp/osaka/college/>

近畿能開大ジャーナル

第29号 (2021年)

近畿職業能力開発大学校

## 目 次

### 【グラビア】

建築物床下探査ロボット「Gle-gle」	藤井昌之, 村岡 寛	1
----------------------	------------	---

### 【研究報告】

接合部の引張性能を考慮した開口部を有する土塗壁の荷重変形関係の推定	宇都宮直樹	6
木造戸建て住宅基礎用補強工法の開発	西山正憲	11
構造モニタリング機器の開発とその施工	新垣忠志	15

### 【教材開発】

5軸制御マシニングセンタの設計・製作（第5期）	野田充大	19
メカナムホイールを利用した全方向移動装置の製作	來住 裕	25
Grid-EYE を用いた体温測定システムの製作	片岡将樹	29
薄膜フィルタ添付装置の開発	矢口博道, 佐藤 桂 大山有利	33
鋳物良否画像撮影装置の製作	望月隆生, 中村恵司 田中倫之	37
リベッティングマシンの開発	宮武正勝, 今園浩之 武川 肇	41
溶融亜鉛めっきの工程省力化装置の開発	岩城勇生, 勝田 勉 清水隆之, 井上 隆	45
スマートアグリシステムの開発	秋間紳樹, 久保幸夫 庄林雅了	49

### 【実践報告】

ゼロハンカーレースへの挑戦	神川 謙一, 山本 衡	53
---------------	-------------	----

### 【データ集】

2020（令和2）年度専門課程総合制作実習概要	57
2020（令和2）年度応用課程開発課題実習概要	69
2020（令和2）年度における表彰	74







## 建築物床下探査ロボット「Gle-gle」

令和2年度総合制作実習作品

制作：寺井栞，西成穂，堀内勇輝範，立石偉巨

岸川拓未，内藤亜紀子，和田歩

指導：藤井昌之，村岡寛

住居等の建築物の床下や屋根裏等の狭小空間での検査作業の大半は人の手により行われている。当該作業は狭小空間で行われるため、作業の困難性ととも汚れや苦痛、危険を伴うことも多い。

本建築物床下探査ロボット「開発コード名：Gle-gle(グルーグル)」は総合制作の課題として、そのような建築物の狭小空間での作業を人に代わって行い、居住性能の維持に必要な検査を行うことを主要な目的とするものである。

Gle-gleはマニュアル操作を行うロボットであるが、床下等の動作環境においては操作者がロボットの動作状況を目視可能であることは稀である。そのため、ロボット前方の動画をリアルタイムで伝達する機能に加え、検査空間の地図生成(マッピング)および地図上での自己位置推定機能を備えることで、リモートでの操作性を向上させている。

## 建築物床下探査ロボット「Gle-gle」の製作

藤井昌之<sup>\*1</sup>, 村岡寛<sup>\*2</sup>, 寺井栞<sup>\*3</sup>, 西成穂<sup>\*3</sup>, 堀内勇輝範<sup>\*3</sup>,  
立石偉巨<sup>\*4</sup>, 岸川拓末<sup>\*4</sup>, 内藤亜紀子<sup>\*4</sup>, 和田歩<sup>\*4</sup>

住居等の建築物の床下や屋根裏等の狭小空間での検査作業の大半は、現状では人の手により行われている。当該作業は狭小空間で行われるため、作業の困難性ととも作業に汚れや苦痛をとまなうことも多い。本製作では、そのような建築物の床下等における作業を人に代わって行い、住居性能の維持に必要な検査を行うことを主要な目的とするロボットの開発に取り組んだ。本ロボットは手動で操作を行うが、床下等の動作環境においては操作者がロボットを目視可能であることは稀であるため、検査空間の地図生成（マッピング）および地図上での自己位置推定機能を備えることとした。また、本制作は動作検証用床下モデルの構築を住居環境科と共同で行った。本ロボットは「Gle-gle」と命名した。

**Keywords** : ロボット, マッピング, 自己位置推定, 狭小空間検査.

### 1. 緒言

築年数を経た建築物は、壁・床等の構造に経年劣化が現れ、その度合いによって補修が必要である。外回りは目視が簡単に行えるため、専門家による補修の必要性が比較的容易に判断できる。しかしながら床下や屋根裏等の狭小空間は人も入りづらく、目視による検査も容易ではない。

そこで我々は、総合制作実習のテーマとして、床下等の狭小空間で活動可能な探査ロボット「Gle-gle（グルーグル）」の開発に取り組むこととした。

なお本テーマは主としてロボットの開発制作を電子情報技術科が行い、動作検証用床下モデルの開発制作や機能およびユーザインタフェースに関するアドバイスを住居環境科が行った。

### 2. 機能概要

以下、本ロボットが備えた主要機能について概要を述べる。

#### 2.1 地図生成・自己位置推定

本機は Lidar (Laser Imaging Detection and Ranging) による SLAM

(Simultaneous Localization and Mapping) 機能を搭載し、ロボットが移動した周辺の障害物を含む平面地図を生成する。また、生成した地図を用いて自己位置の推定が可能である。Lidar (図1) によって、地図が生成される様子 (図2) を示す。本機能については詳細を後述する。



図1 Lidar(SLAMTECH社製 RPLIDAR A)

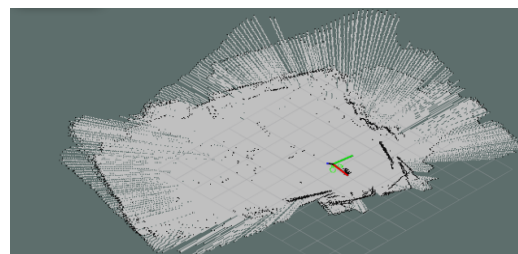


図2 SLAMによる地図生成の様子

#### 2.2 温湿度計測

温度、湿度、気圧の3つの情報を測定し、地図情報とともにログを生成する。センサには BOSCH 社の複合センサである BME280 (図3) を使用している。本センサのインタフェースは I<sup>2</sup>C で、取得データは記録するとともに別ウィンドウに表示し、リアルタイムで更新している。



図3 BME280 モジュール

\*1 電子情報技術科

\*2 住居環境科

\*3 電子情報技術科2年生 (令和2年度)

\*4 住居環境科2年生 (令和2年度)

**2.3 ライブ画像表示・静止画撮影** 本ロボットは Intel 社製のデプスカメラ D435i (図 4) を備えており、リアルタイムでロボット前方の様子をホスト PC 画面に表示する。

また、操作者の任意のタイミングにより、前方画像を静止画のファイルとして保存を行う。



図 4 Intel 社製 D435i

**2.4 クラック幅計測機能** コンクリート基礎等に生じるクラック(ひび割れ)に対する目視検査は、市販のクラックスケール(図 5)を用い、検査箇所上添わせることでクラックの幅を計測する。本ロボットではクラックの幅や長さを静止画像上にオーバーレイとして描画したクラックスケールと照らし合わせることでクラック幅を判断する。本システムでは、0.5mm および 1.0mm のクラックスケールをリアルタイム画像に重ねて表示している(図 6)。表示位置はノートパソコンのマウス操作により自由に移動可能である。なお、CCD カメラは固定焦点であり、撮影位置と被写体の距離により画像上のクラックの幅は変化する。本ロボットは Lidar により被写体までの距離が測定可能であるため、距離による補正を考慮している。



図 5 市販のクラックスケール

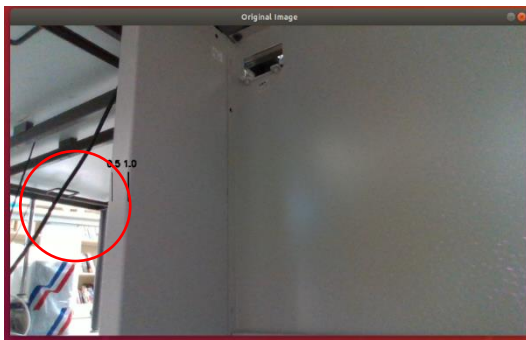


図 6 クラックスケールのオーバーレイ表示

**2.5 床下マッピング** 床の構造を構成する根太は、床構造の修復に際してその寸法や本数等の情報が必要である。本ロボットでは上方に向けて配置した固定型の Lidar を用いて、この機能を実装している。これについても、詳細は後述する。

### 3. システム構成

本機は図 7 に示すシステム上で動作する。ロボットには RaspberryPi4 を搭載し、Lidar を始めとする各種センサの処理を行い ROS (Robot Operating System) のトピックとして publish (発行) する。携帯性を考慮しホスト PC にはノートパソコンを用いた。ホスト PC 上でも ROS が動作しており、後述する SLAM 等の CPU 負荷の高い処理や画面表示、制御等のユーザー I/F を受け持っている。ロボットは床下や屋根裏等の目視不可能な場所を移動することも多いと予想される。ロボットの操作者はホスト PC で表示される地図上の自己位置とリアルタイムなロボットの前方画像を見ながらロボットの操縦を行うのである。

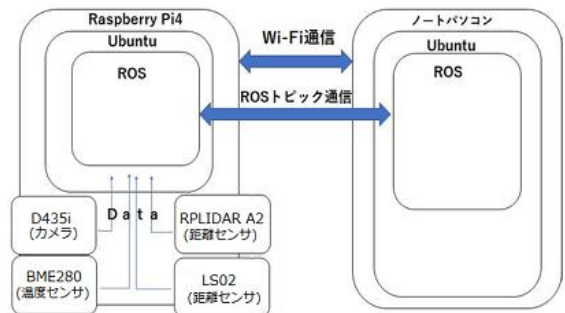


図 7 システム構成図

### 4. 地図生成・自己位置推定機能

ロボットが移動するための地図生成と自己位置推定には、SLAM アルゴリズムを使用している。これは、ロボットが距離センサや加速度・ジャイロ等のセンサ並びにオドメトリ情報を用い、移動しながら移動距離・方向と障害物までの距離を演算することにより、移動した周囲の地図を生成するものである。SLAM は様々な手法が考案されており、大きく分類すると 3D 地図と 2D 地図を生成するものがある。本制作では Hector SLAM[1]を実装した。Hector SLAM はドイツのダルムシュタット工科大学のロボット研究チーム「Hector」が開発したオープンソースのソフトウェアであり、オドメトリ情報に頼らず 6 自由度の姿勢推定を行えるという特徴を持つ。

Hector SLAM は、スキャンマッチングでロボットの自己位置推定と地図生成を行う。スキャンマッチングとは、Lidar から得る障害物までの距離情報を逐次マッチングさせ、それにより生じる測距データの移動量からロボットの移動量を推定する手法である。

本ロボットでは距離センサとして、SLAMTECH 社製 RPLIDAR A2[2] (図 1) を用いた。この Lidar は赤外レーザを回転させることにより水平面上を 0.9°の分解能で 360°スキャンを行い、0.2m から 12m の障害物までの距離を検出可能であり、測距精度は 1-2%である。赤外レーザのスキャナは、太陽光のもとでの動作は困難だが、本ロボットは床下や天井裏など太陽光の影響を受けない場所で動作するため、仕様通りの性能を発揮した。

Hector SLAM のデータとして、Lidar 以外に 6 自由度の加速度・ジャイロセンサ利用している。このセンサ



は Intel 社製のデプスカメラ D435i (図 4) に搭載されているものである。

実際の地図生成の様子は図 2 を参照されたい。生成された地図はファイルとして保存され再利用が可能である。

また、本制作の期間では生成した地図の精度について詳しく検討することはできなかったが、Hector SLAM の実行はかなり負荷が高く、Intel 社製 Corei5 プロセッサを搭載したホスト PC であってもなお移動速度を 0.1m/s 程度に抑えないと、地図生成や位置推定に破綻を生じた。

### 5. 床下マッピング

木造家屋の床下の典型的な構造を図 8 に示す。床下の検査においては経年劣化等による木材の腐食をみとめた場合、修繕に必要な材料の見積りを行う。そのためには、腐食している部分の根太の太さや間隔の情報が必要である。

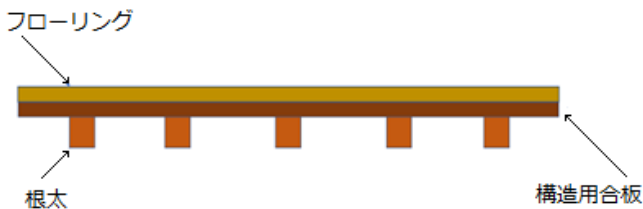


図 8 床下の構造例

本ロボットでは、Lidar として固定型の LeiShen 社製 LS02[3] (図 9) を使い、ロボットより見上げる方向にスキャンを行うことで、床裏までの距離を取得し、根太の間隔や太さを表示する。LS02 は RPLIDAR A2 と異なり回転機構を持たず、水平方向に 86° のスキャンが可能であり、分解能は 1° で、0.1m-4m の測距データを得ることができる。RPLIDAR A2 に比べると測距範囲や精度で劣るが、回転しないため自由な方向に配置することが可能である。



図 9 固定型 Lidar LeiShen 社製 LS02

本機能による計測はホスト PC 上に表示 (図 10) し、データとして保存する。計測した位置座標は SLAM で生成した地図の自己位置として保存される。

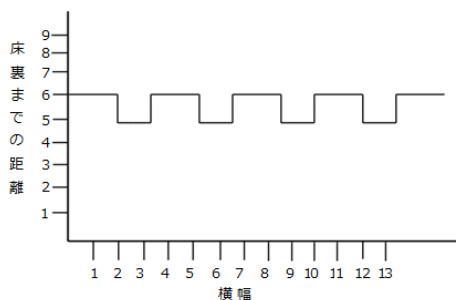


図 10 床裏の計測画面

### 6. ホスト PC

本システムではホスト PC として、HP 社製 HP ProBook450G5 を用いた。CPU は Intel 社製 Corei5-7200U、メインメモリは 8GB である。OS は Ubuntu18 上に ROS の melodic バージョンという構成である。

ホスト PC に実装した機能として、すでに述べた内容もあるが以下に記述する。

**6.1 ユーザインタフェース** ユーザからのコマンドは簡単な GUI(Graphical User Interface) (図 11) として集約した。上から順に、1)ロボットとの通信開始、2)クラックスケールのオーバーレイ表示、3)クラックスケールを非表示にする、4)表示中の前方画像のファイル保存、5)温湿度の表示、6)温湿度の非表示、7)ロボットとの通信終了、である。

GUI の構成にはフレームワークとして Qt[4]を用いた。Qt は Ubuntu 等の Linux 上でも Windows 上でも同様の GUI が比較的容易に作成可能であるという特徴を持つ。

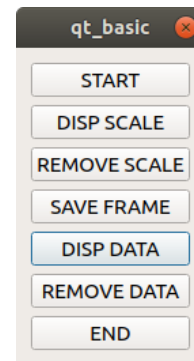


図 11 ホスト PC の GUI

**6.2 ウィンドウ構成** ホスト PC の GUI メニューにある「START」ボタンが押されると、ロボット側の ROS との通信を開始し、図 12 に示すように 4 種類のウィンドウを表示する。図 12 の右から 1)SLAM による地図、2)前方のリアルタイム画像、3)GUI、4)温湿度情報、である。現時点で 5. で述べた床下マップは表示できていない。

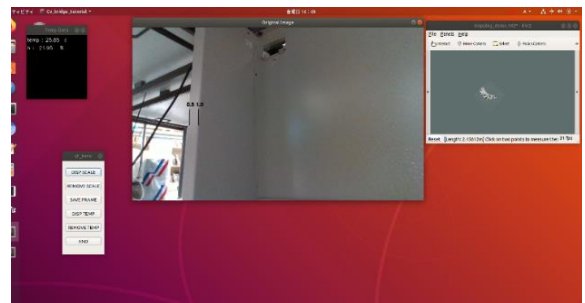


図 12 メインウィンドウ



## 7. 筐体とプロモーション

7.1 筐体 3Dプリンタによる樹脂製の筐体制作を予定していたが、生産技術科の提案によりFRP(Fiber Reinforced Plastics)を用いて外装を製作した。FRPではまず筐体の模型を発泡スチロール等で型取りし、その上にガラス繊維を貼り、樹脂により塗り固める(図13)。硬化後塗装を行う。型の形状は自由なので丁寧に作成すれば軽量で強靱な曲面をもつ外装が綺麗に作成できる。



図 13 FRPによる外装制作の様子

7.2 命名とロゴ 本ロボットの主たる稼働場所は床下を想定している。地面の下ではないが地盤面すなわちGround Lineあたりをぐるぐると稼働するロボットとしてGle-gleと命名しプロモート用に制作したロゴを掲載したポスター(図14)を作成した。

## 8. 動作試験

2021年2月に開催されたポリテックビジョンにおいて、住居環境科の制作した実寸に近い床下モデル(図15)を用いて、本ロボットの動作試験ならびにデモを行った(図16)。

主要機能である地図生成・自己位置推定についてはほぼ期待通りの性能を示した。また、ライブ画像表示や温湿度の表示・ファイル保存についても問題なく行えた。

## 9. 結言

本制作では当初予定した主要機能について、ほぼ目的通りの機能・性能が検証できた。ただし、実際に家屋の床下で動作検証する案もあったが、時間の関係で未実施である。

また、クラックスケールの表示については、撮影距離に対する修正アルゴリズムが未搭載であり、床下のマッピング機能も距離は測定できたが、マップ作成には至らなかった。



図 14 プロモート用ポスター



図 15 実寸床下モデル



図 16 動作試験中の Gle-gle

## 文献

- [1] <https://www.teamhector.de/resources/32-hector-slam2>
- [2] <https://www.slamtec.com/en/Lidar/A2>
- [3] <http://www.lslidar.com/product/LS02A/index.html>
- [4] <https://www.qt.io/ja-jp/>

(2021年7月9日提出)

# 接合部の引張性能を考慮した開口部を有する土塗壁の荷重変形関係の推定

宇都宮直樹<sup>\*1</sup>, 佐藤宙<sup>\*2</sup>, 宮本慎宏<sup>\*3</sup>

本研究は、開口部を有する土塗壁の荷重変形関係を推定することを目的に、水平材の補強効果、塗厚の影響の実大実験を行った。平面解析モデルを構築し、荷重変形関係を推定し、実大実験結果との比較から妥当性を検証した。その結果、水平材の引抜けが壁土のせん断破壊よりも先行する場合において、柱-水平材接合部の引張性能を考慮した軸バネを設置することで開口部を有する土塗壁の荷重変形関係を概ね推定可能である。

**Keywords** : 開口部, 土塗壁, 開口部, 接合部, 静的増分解析。

## 1. 緒言

伝統的木造建築における開口部を有する土塗壁は、垂壁や腰壁の小壁の上下に取り付く鴨居等の差しもの(以下、水平材とする)が引抜け、耐震性能に影響を及ぼす[1]。本研究では、開口部を有する土塗壁の荷重変形関係を推定することを目的とする。開口部を有する土塗壁の実大実験を行い、水平材の補強効果、塗厚の影響を検討する。水平材の引張性能を考慮した平面解析モデルを構築して、開口部を有する土塗壁の荷重変形関係を推定し、実大実験結果との比較から妥当性を検証する。

## 2. 土塗壁の静的水平加力実験

**2.1 実大試験体概要** 試験体概要図を図1、試験体仕様を表1に示す。試験体は長さ1820mm、高さ2767.5mmであり、垂壁および腰壁の高さは試験体の内法高さに対し1/3である。柱1と柱2はそれぞれ図1中のハイブリッドアクチュエーター側と変位計H1側である。水平材の補強効果を確認するために、図2に示すM仕様は75mmのコーススレッド2本を水平材より柱に向けて斜めに接合する。H仕様は75mmのコーススレッド2本留めに加えて短期許容耐力3.6kNの補強金物で接合する。塗厚の影響を確認するために垂壁仕様は、仕上がり厚さを67mmと86mmまたは88mmとする。土塗壁は図3に示す構成で両面中塗りとする。各試験体を実測して得られた各層の壁土の塗厚および非破壊方式の強度測定器による柱のヤング係数を表1に示す。横貫と柱の仕口は大入れとし、楔(ヒノキ)で留める。水平材(スギ)は105×50mmである。仕口は、接合部のモーメント抵抗を除去し、できるだけ壁土の影響のみを把握するため、図4に示すように抵抗方向に5mmの隙間を設け、直径15mmの込み栓(カシ)で接合する。下地は端部の直径が12mm程度の丸竹、小舞に幅21mm程度の割竹を使用する。荒壁、貫伏せおよび裏返し用の壁土は奈良県産で壁土製造業者によって稲藁を混合したものである。中塗りおよび大直し用の壁土は兵庫県産で市販されているおろし土を使用し、左官職人がおろし土20kgに対してすき2kg、砂30L、水25Lを調合している。試験体数は各1体である。

**2.2 載荷及び計測方法** 載荷装置の概要を図1に示す。載荷方法はタイロッド式とし、加力サイクルは、真のせん断変形角 $\gamma_0$ が1/600~1/50radで繰り返す。履歴の同一変形段階で3回の正負交番繰り返し加力とする。終局は1/10radまでの片引きとする。ひずみゲージを貼り付け、部材に生じたひずみと水平材高さにおける柱の水平変位を計測する。

**2.3 壁土の要素実験** 壁土の一軸圧縮試験[2]を行い、壁土の粘着力 $c_i$ 、せん断抵抗角 $\phi$ および弾性係数 $E_{i50}$ を算定する。実験結果を表2に示す。試験体数は各5体であるが、試験結果における圧縮強度の最大値と最小値を除いた3体の平均値とする。大直しは他の壁土の圧縮強度と比べ1.3~1.5倍であった。壁土の圧縮強度の基準値[3]は荒壁土で0.30N/mm<sup>2</sup>以上、中塗り土で0.55N/mm<sup>2</sup>以上であり、本実験に使用した壁土は基準を満たしている。

**2.4 実験結果** 荷重変形角関係と破壊性状を図5、中塗り表側の実験終了時のひび割れを図6に示す。青色は+方向載荷時、赤色は-方向載荷時に生じたひび割れである。垂壁腰壁仕様の試験体は1/150rad時に隅角部に圧壊によるひび割れが生じる。TK-H-66は、1/23.1rad時に最大荷重となり、1/20rad時に垂壁と腰壁にせん断ひび割れが生じる。その後、ひび割れの進展とともに緩やかに荷重は低下する。TK-M-66は1/109.1rad時に水平材が引抜け、応力伝達機構の一部が失われるため、荷重は一旦低下する。1/30rad以降に荷重が増加するが、1/13.9rad時に柱2のほぞの折損が生じ、著しく荷重が低下する。1/12rad時に垂壁にせん断ひび割れが生じる。垂壁仕様の試験体は1/75~1/50rad時に隅角部に圧壊によるひび割れが生じる。T-H-67は1/15rad時に垂壁にせん断ひび割れが生じる。1/13.6rad時に水平材接合部が破断し、著しく荷重が低下する。1/10.2rad時に柱1が折損する。T-M-67は1/53.6rad時に水平材の引抜けが生じる。荷重は一旦低下するが、回復し1/10.2rad時に最大荷重となる。1/10rad時に垂壁にせん断ひび割れが生じる。T-H-88は1/17.7rad時に水平材接合部が破断し、著しく荷重が低下する。その後、回復し1/10.3rad時に最大荷重となる。T-M-86は1/50rad時に水平材の引抜けが生じる。1/18.4rad時に水平材接合部が破断し、

<sup>\*1</sup> 建築施工システム技術科 職業能力開発教授 博士(工学)

<sup>\*2</sup> 香川大学大学院 工学研究科 安全システム建設工学専攻 大学院生

<sup>\*3</sup> 香川大学創造工学部 准教授 博士(工学)

表 1 試験体測定結果

試験体名	ヤング係数 $E$ (Gpa)		壁土厚さ $t_w$ (mm)						
	柱1	柱2	荒壁+裏返し	貫伏せ	大直し(表側)	大直し(裏側)	中塗り(表側)	中塗り(裏側)	塗り厚合計
TK-H-66	10.6	9.3	41.0	10.3	3.5	3.1	4.5	3.4	65.8
TK-M-66	9.0	7.6	38.4	10.6	4.9	4.0	4.6	3.2	65.7
T-H-67	6.5	8.2	41.4	10.0	3.7	3.8	4.0	4.4	67.3
T-M-67	9.7	8.8	35.6	14.8	4.6	3.9	4.4	4.0	67.3
T-H-88	7.6	9.0	49.3	18.3	9.1	4.3	2.0	5.3	88.3
T-M-86	8.4	8.0	46.6	14.6	8.7	2.9	6.6	7.0	86.4

凡例: TK-H-66 → 塗り厚合計  
 ↳ 水平材接合方法: M(コースレット), H(コースレット+補強金物)  
 ↳ 試験体仕様: T(垂壁), K(腰壁)

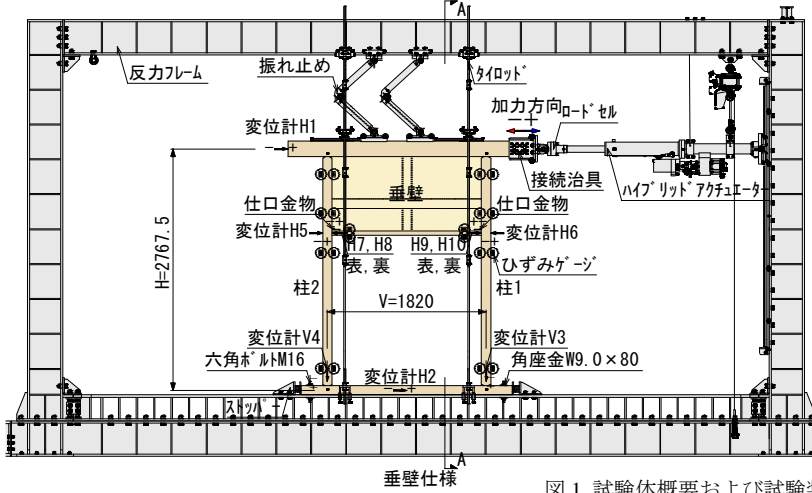
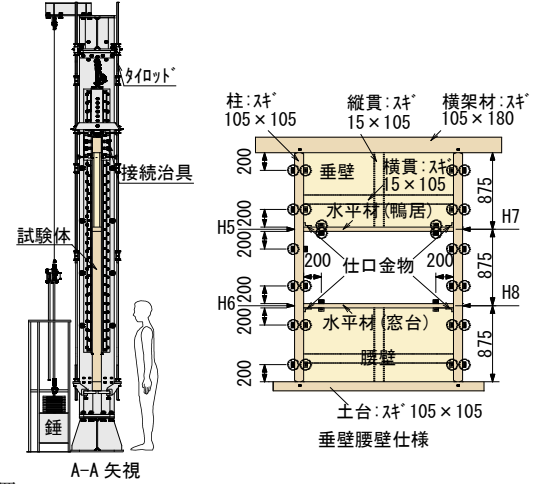


図 1 試験体概要および試験装置



A-A 矢視

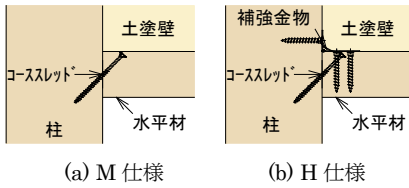


図 2 水平材 接合方法

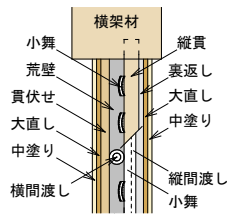


図 3 断面詳細図

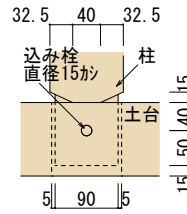
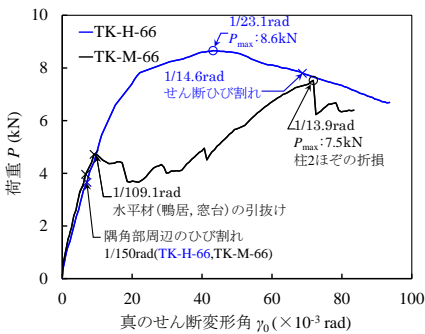


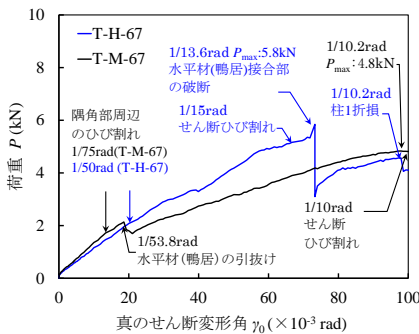
図 4 仕口詳細図

表 2 壁土要素実験結果

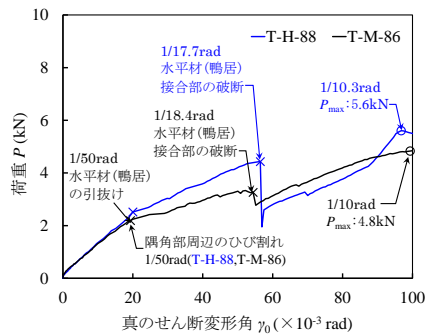
壁土種類	圧縮強度 $\sigma_{ai}$ (N/mm <sup>2</sup> )	弾性係数 $E_{i50}$ (N/mm <sup>2</sup> )	粘着力 $c_i$ (N/mm <sup>2</sup> )	せん断抵抗角 $\phi$ (°)	繊維材混合量 (kg/100%)
荒壁	0.78	138.0	0.28	19	0.9
裏返し貫伏せ	0.70	142.8	0.27	14	0.7
大直し	1.03	171.3	0.32	26	2.0
中塗り	0.71	151.4	0.21	29	3.7



(a) 垂壁腰壁仕様



(b) 垂壁 塗厚 67mm 仕様



(c) 垂壁 塗厚 86,88mm 仕様

図 5 荷重変形角関係と破壊性状

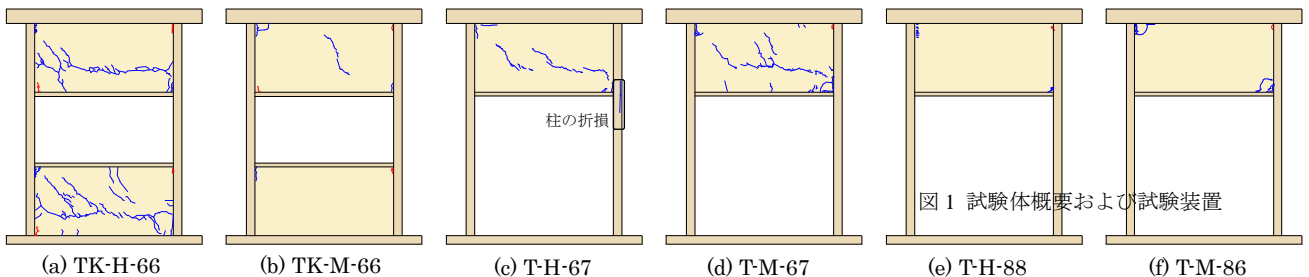


図 1 試験体概要および試験装置

図 6 ひび割れ図(試験終了時)

荷重は一旦低下するが、回復し 1/10rad 時に最大荷重となる。以上より、水平材の補強により 1/15rad において補強金物なしと比較し、垂壁腰壁仕様で 1.4~2.0 倍、垂壁仕様で 1.1~1.3 倍の荷重を保持している。塗厚の影響は、水平材に補強金物を取り付けた場合、水平材が引抜けるまで荷重は 2 割程度増加し、荷重は塗厚に概ね比例している。補強金物を取り付けない場合は荷重の増加は見られない。

柱の水平せん断力負担割合の一例を図 7 に示す。柱

のせん断力  $Q_i$  は式(1)を用いて開口部の曲げモーメント  $M_{ui}$ ,  $M_{di}$  を求め、式(2)を用いて算出している。

$$M_{ui}, M_{di} = \frac{(\varepsilon_{ai} - \varepsilon_{bi})}{2} \cdot E \cdot Z \quad (1)$$

$$Q_i = \frac{M_{ui} + M_{di}}{L_M} \quad (2)$$

柱のひずみゲージ値を  $\varepsilon_{ai}$ ,  $\varepsilon_{bi}$ , 柱のヤング係数を  $E$ , 柱の断面係数を  $Z$ , ひずみゲージ間の距離を  $L_M$  とする。TK-H-66 は、1/100rad 以降に柱 2 の負担割合が増加している。腰壁にせん断ひび割れが生じており、腰壁が圧縮ストラットとして柱 2 に作用したためと考えられる。TK-M-66 は 1/109.1rad 時に水平材の引抜けが生じるが負担割合の差は見られない。

柱の水平材位置に取付けた変位計による各部位の変形角と見かけのせん断変形角の関係の一例を図 8 に示す。TK-H-60 はばらつきがあるが各部位ともに同程度変形している。TK-M-60 は 1/109rad 時に水平材が引抜け、以降、引抜けた側(○印 柱 1  $\gamma_1$ , 柱 2  $\gamma_3$ )の変形角が大きくなる。一方、反対側(□印 柱 1  $\gamma_3$ , 柱 2  $\gamma_1$ )の変形角は小さい。

### 3. 平面解析モデル

荷重変形関係の推定は汎用構造解析ソフト SNAP Ver.8 を用いた非線形増分解析により行った。横架材位置の変位を 0.1mm 刻みで目標変形角 1/10rad まで増分させた。柱と横架材・土台接合部はモーメント抵抗を除去するため抵抗方向に隙間を設けた長ほぞ込栓仕様のためピン、部材のヤング係数は実験結果を用いた。柱-水平材接合部には図 9 に示す軸バネを設けた。軸バネの引張抵抗は既往の実験値[4], 圧縮抵抗は文献[5]より求めためり込み剛性と降伏荷重を用い、それぞれ 2 次剛性が 0 のバイリニア型とする。土塗壁は圧縮力が

作用する方向のみに水平バネを配置し、壁土強度の差異を考慮するため、藁スサを練り混ぜた壁土の一軸圧縮試験結果を用いて各土塗壁要素の荷重変形角関係を推定[6]する。図 10 に示す既往研究[7]を参考に各折れ点を  $0.64P_{max}$ , 2 次剛性 ( $0.38K_0$ ) と推定結果の交点, 最大荷重時, 終局荷重時を結んだ 4 折れ線モデルに置換する。

### 4. 荷重変形関係の比較

推定対象の試験体は実大試験体 6 体とする。図 11 に実験結果と解析結果の荷重変形角関係の比較を示す。TK-M-66 は 1/110rad, 垂壁仕様の試験体ではおよそ 1/50rad を超えると解析結果が過大評価となる。これは、実験では上述の変形角付近で水平材の引抜けが生じて引張抵抗力が低下するが、解析モデルでは柱-水平材接合部の軸バネはバイリニアモデルであり、降伏後は接合部変位が増加しても引張抵抗力は低下しないためである。水平材が引抜けなかった TK-H-66 は 1/20rad 付近で壁土にせん断ひび割れが生じたため、他の試験体と比べ推定結果と実験結果の乖離が最も大きい。さらに、T-H-67 と T-H-88 ではおよそ 1/50rad 超え、水平材に引抜けが生じて、柱-水平材接合部が破断するまでは解析結果と実験結果は概ね同じ傾向である。これは、既往の接合部実験[4]において最大荷重後も柱-水平材接合部が破断するまでは荷重低下が緩やかで、実験と解析で荷重変形関係が酷似しているためである。

### 5. 柱-水平材接合部の変位の比較

柱-水平材接合部の変位と試験体の変形角の関係について、実験値と解析値を比較して図 12 に示す。比較対象は柱-水平材接合部両側のうち変形が大きい柱 2-水平材(鴨居)接合部と柱 1-水平材(窓台)接合部と

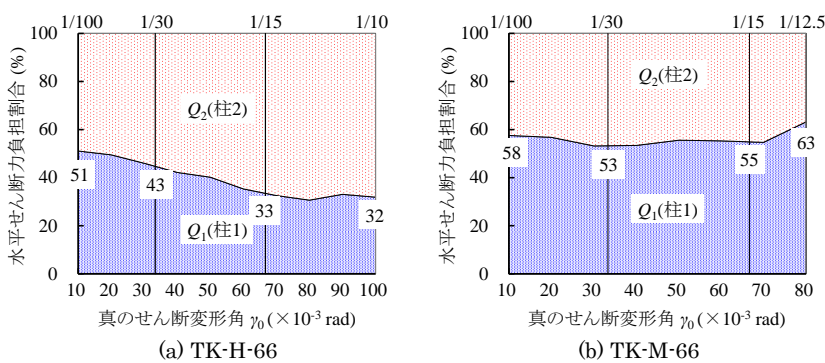


図 7 柱の水平負担力の割合

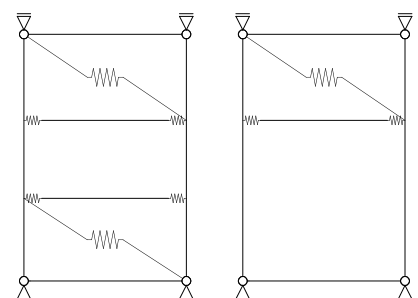


図 9 解析モデル

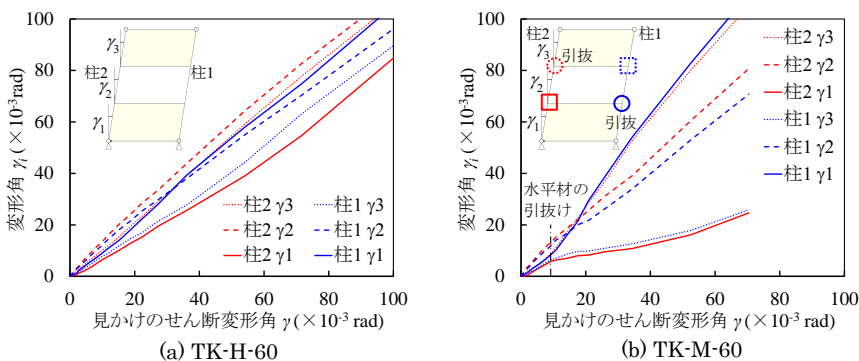


図 8 柱の変形

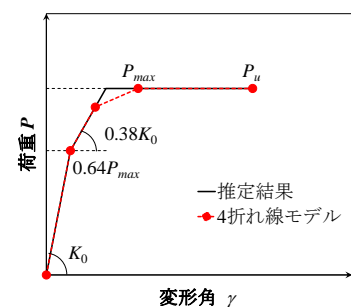


図 10 土塗壁要素の荷重変形角関係の推定



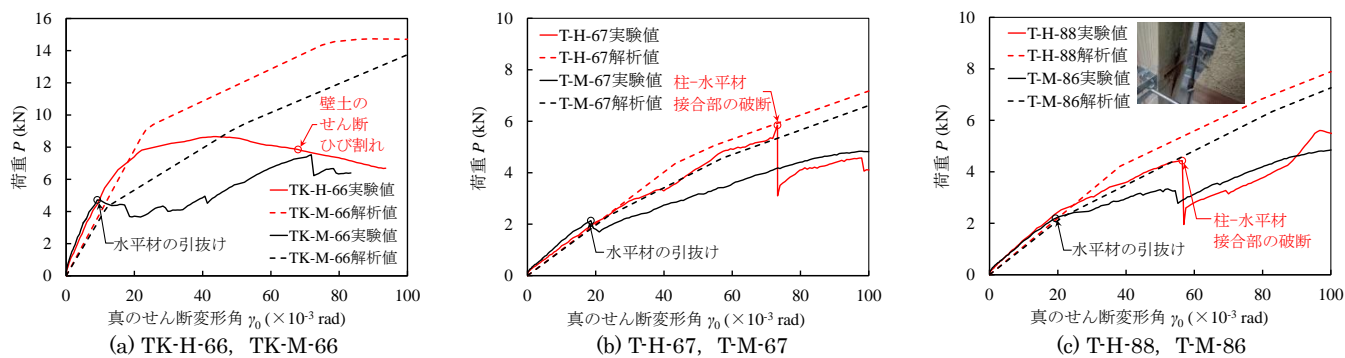


図 11 荷重変形角の比較

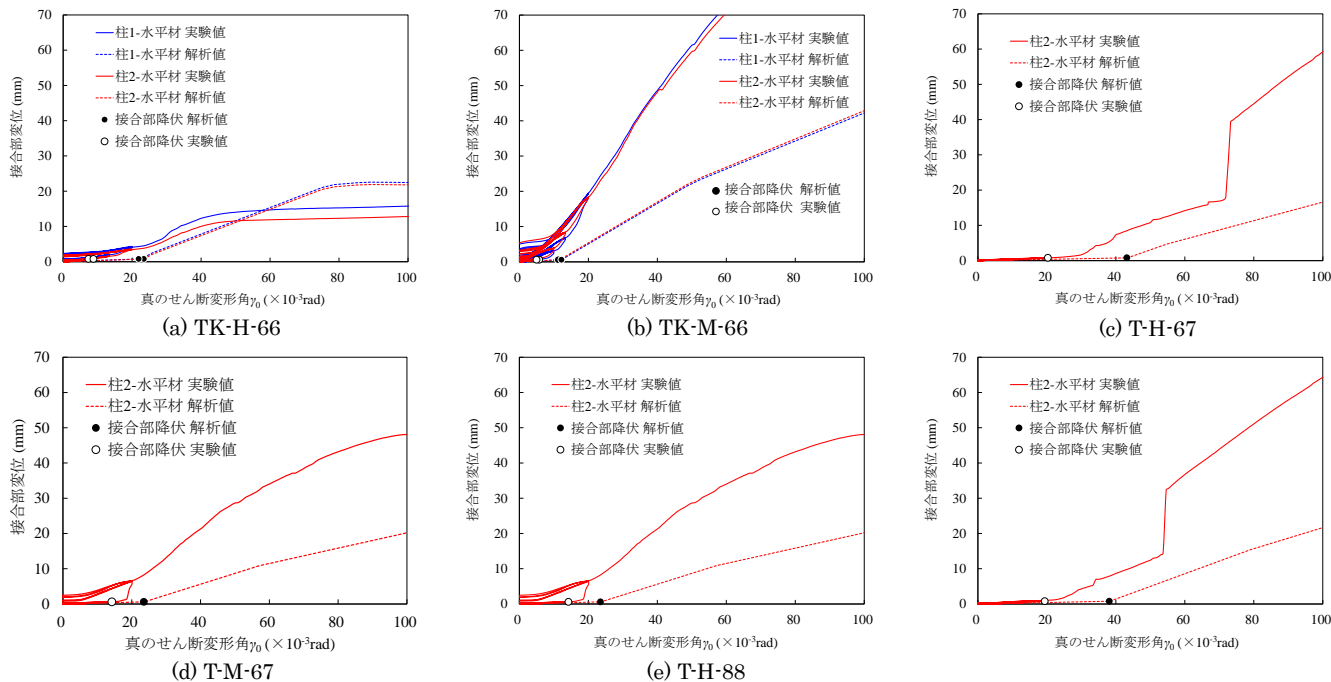


図 12 荷重・水平材接合部変位の比較

する。また、実験値は接合部変位が接合部実験[4]で得られた降伏変位 (M 仕様: 0.60mm, H 仕様: 0.78mm) に達した時点の試験体の変形角とし、解析値は柱-水平材接合部の軸バネが降伏した試験体の変形角とする。

M 仕様の試験体の接合部変位は H 仕様の試験体に比べ、実験値と解析値が大きく異なる。これは、M 仕様はビスの引張性能に依存し、最大耐力後に急激に荷重が低下するためである[4]。接合部の降伏変位は実験値と解析値が概ね一致している。しかし、すべての試験体で解析値に比べ実験値の方が接合部降伏時の試験体の変形角は小さい。これは、実験では壁土の下地材も水平材と柱の間で力を伝達する役割を担うことで、片側の柱-水平材接合部に大きな引張力が生じるが、解析モデルではそれが考慮されておらず、両側の柱-水平材接合部で均等に引張力を負担しているためと考えられる。さらに、ほとんどの試験体における柱-水平材接合部の変位は実験値が解析値よりも大きい。TK-H-66 は 1/20rad 以降で実験値に比べ解析値の方が大きい。これは、実験において柱-水平材接合部の破断よりも壁土のせん断破壊が先行し、柱-水平材接合部に作用する引張力が低下したためである。

## 6. 結言

本研究では開口部を有する土塗壁の実大実験を行い、荷重変形関係を推定可能な平面解析モデルを構築し、実験結果と比較した。その結果、以下のことが分かった。

- ・ 水平材接合部の補強による水平材の引抜けから 1/15rad までの耐力増加と、塗厚の増加による耐力増加を確認した。
- ・ 水平材の引抜けが壁土のせん断破壊よりも先行する場合において、H 仕様では水平材接合部が破断まで、M 仕様では水平材の引抜けが生じるまでは、柱-水平材接合部の引張性能を考慮した軸バネを設置することで開口部を有する土塗壁の荷重変形関係を概ね推定可能であること示した。

## 謝辞

本研究は、令和 2 年度香川大学研究推進事業シーズ開発経費、科学研究費補助金若手研究(18K13912, 代表宮本慎宏)ならびに公益財団法人旭硝子財団の助成金による補助を受けて実施した。実験には香川大学の学生の協力を得た。ここに記して感謝の意を表す。



## 文献

- [1] 宮本慎宏, 宮田涼平, 越智隆行, 宇都宮直樹, 松島学: 土質力学に基づく土塗壁の耐力変形推定式の提案-開口部を有する土塗壁の場合-, 日本建築学会構造系論文集, Vol.83, No.751, pp.1273-1283, 2018.9.
- [2] 宇都宮直樹, 松島学, 山中稔: 藁スサを混合した壁土の新しい供試体の提案, 日本建築学会構造系論文集, 第76巻, 第664号, pp.1119-1124, 2011.6.
- [3] 財団法人 日本住宅・木材技術センター: 土塗壁・面格子壁・落とし込み板壁の壁倍率に係る技術解説書, pp.25.
- [4] 佐藤宙, 宮本慎宏, 宇都宮直樹: 接合部の引張性能を考慮した開口部を有する土塗壁の荷重変形関係の推定, 日本建築学会四国支部研究報告集, 2021.5.
- [5] 日本建築学会: 木質構造接合部設計マニュアル(2009), pp.275-276, 2010.9.
- [6] 宮本慎宏, 宇都宮直樹, 高橋繁二, 山中稔, 松島学: 各層土壁の材料特性を考慮した土塗壁の耐力変形関係の推定, 日本建築学会技術報告集, Vol.20, No.46, pp.939-943, 2014.10.
- [7] 宇都宮直樹, 宮本慎宏, 山中稔, 松島学: 土質力学に基づく土塗壁の耐力変形推定式の提案 -壁土のせん断破壊が卓越する場合-, 日本建築学会構造系論文集, Vol.78, No.684, pp.363-368, 2013.2.

(2021年7月31日提出)

# 木造戸建て住宅基礎用補強工法の開発

西山 正憲\*

2000年の建築基準法改正により、住宅用基礎の仕様が規定され、以降の住宅用基礎では鉄筋コンクリート造基礎梁が法制化される。しかし、鉄筋やコンクリートの施工不良や劣化等により、基礎にひび割れが発生する住宅は従前どおり存在し、その対策が必要となっている。そこで、本研究では共同研究先で用いられているパワーアラストとアラミド繊維シートを使用した補強工法の強度特性、補強効果を検証する。

**Keywords**：基礎補強工法，パワーアラスト，アラミド繊維シート，補強効果。

## 1. 緒言

共同研究先では、コンクリートの劣化や施工不良の戸建て基礎の補強方法に、アラミド繊維シート補強を行っている。エポキシ系接着剤兼、劣化防止剤としてパワーアラストを用いて、アラミド繊維シートとコンクリートに含浸接着している。これまでの研究では、パワーアラスト、アラミド繊維シートの個々の性能試験、戸建て基礎の縮小モデル版曲げ試験等は行われている状況である。本試験は、実寸大の戸建て基礎の試験体を作成し、基礎梁曲げ試験により、アラミド繊維シートの貼付け位置及び基礎高等の仕様を変えて行い、補強なし戸建て基礎と比較を行った際に、どのような補強効果が得られるか検証する。

## 2. 試験概要

戸建て基礎の補強に用いる基礎梁試験体は、梁幅150mm、梁成600mm、長さ2400mmの無補強試験体を標準試験体とし、梁成や補強方法の仕様を変えて試験を行う。試験体は基礎梁のみで、フーチングなしとする。通常の住宅基礎梁は上部構造からの荷重を受け、地反力として基礎梁下部から等分布荷重がかかることになる。しかし、試験では基礎梁下部から載加することは困難なため、基礎梁上部からの集中荷重載加にて補強効果の確認を行う。フーチングなし基礎梁の補強効果を確認するため、基礎梁の載加方法が上下で反対になるが、補強効果は確認できる。また、実際の基礎梁補強が施工される基礎梁は、施工不良やひび割れで耐力が低下しているが、試験では、標準的な配筋、打設が施された基礎梁にて行い、補強工法により、断面剛性や靱性に変化があることを確認、検証することにする。

## 3. 試験体概要

本試験で使用するA・B・C・Dの4種類の試験体9体の概要を表1に示す。アラミド繊維シートは幅100mm使用し補強をしている。コントロールはアラミド繊維シートの補強なし、上は基礎梁上部位置の補強を表し、下は基礎梁下部位置の補強を表している。また、開口有は基礎中央上部に400×100mmの開口部を設けている。

表1 試験体概要

試験体名	梁成 (mm)	試験区間長 (mm)	アラミド繊維 補強効果
A コントロール	600	2100	—
A 上	600	2100	圧縮
A 下	600	2100	引張
B・C コントロール	900	2100	—
B 上	900	2100	圧縮
B 下	900	2100	引張
C 上	900	2100	圧縮・引張
C 下	900	2100	圧縮・引張
D(開口有)	600	1700	圧縮

**3.1 配筋方法** 上端主筋と下端主筋にはSD295A-D13を、せん断補強筋と腹筋にはSD295A-D10を使用する。上端主筋は梁上端から79mmの位置に下端主筋は梁底から87mmの位置になるよう結束を行い、かぶり厚は60mmとする(図1, 図2)。

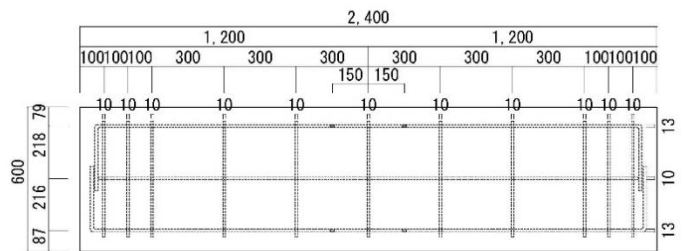


図1 試験体A配筋図

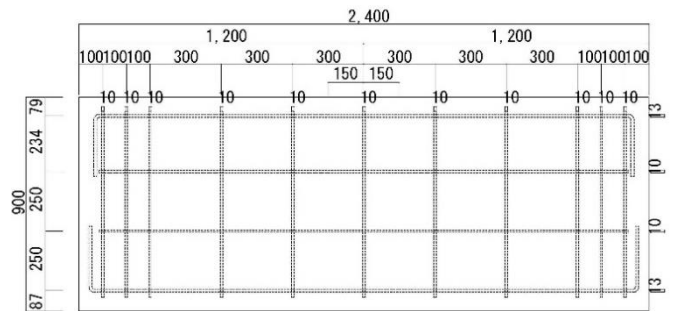


図2 試験体B,C配筋図

\* 建築施工システム技術科

3.2 鉄筋引張試験 基礎梁試験にさきがけ、鉄筋引張試験を行い、鉄筋の降伏点耐力及び、引張強さが規格の基準を満たしていることを確認する。SD295Aの基準値は、降伏強度が295N/mm<sup>2</sup>、引張強さが440～600N/mm<sup>2</sup>である。公称断面積は、D10が71mm<sup>2</sup>、D13が127mm<sup>2</sup>である。試験結果を表2に記す。

表2 鉄筋引張試験結果

鉄筋種類	降伏点(N)	最大値(N)	降伏強度(N/mm <sup>2</sup> )	引張強さ(N/mm <sup>2</sup> )
D10	23965.33	33472.00	338	471
D13	42716.00	60147.33	336	474

D10, D13ともに所定の基準を満たしていることが確認できる。

3.3 コンクリート圧縮試験 試験体を作成するにあたり、2本のテストピース作成を行う。本試験の設計基準強度はF<sub>c</sub>=18N/mm<sup>2</sup>であり、コンクリート打設後にテストピースを材齢28日まで気中養生し、試験体の圧縮試験を行い、コンクリートが所定の強度を満たしていることを確認する。試験結果を表3に記す。

表3 コンクリート圧縮試験結果と強度

圧縮強度(N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数(kN/mm <sup>2</sup> )	最大荷重(N)	
		1回目	2回目
20.76	24.377	159.4613	166.4785

#### 4. 補強方法

アラミド繊維シートなどの連続繊維補強材を用いる補強工法は連続繊維と含侵接着樹脂の組合せになり、アラミド繊維/エポキシ樹脂工法になる。補強方法は側面貼り付けの補強方法とする。エポキシ樹脂はパワーアラスト（共同研究先の指定接着剤兼劣化防止剤）とアラミド繊維シートを用いる。以下にそれぞれの材料強度及び施工方法を記す。

4.1 パワーアラスト材料強度 パワーアラストはコンクリートに4.4N/mm<sup>2</sup>の接着力をもって浸透密着し、それ以上の引張力が加わると、塗布面から剥がれるのではなく、コンクリートの基材部分から破壊されることから、強力な接着力をもつことが確認できる。

4.2 アラミド繊維シート材料強度 アラミド繊維シート単体の引張強度は2060N/mm<sup>2</sup>以上である。パワーアラストとアラミド繊維シートの貼付けを行った場合の引張強度は285N/mm<sup>2</sup>であり、コンクリートの57倍程の引張強度を持っている。また、パワーアラスト単体の5.8倍の引張強度を持つ塗膜体であることが確認されている。本実験のアラミド繊維シートは、前田工織株式会社のAW40を用いる。引張強度が2,060N/mm<sup>2</sup>、設計厚さが0.193mm、シート幅が100mmである。

4.3 補強工法の仕様 パワーアラストは下地調整とシート貼付けの下塗り材、及び上塗り材を兼ねたエポキシ樹脂である。補強材貼付け位置の墨出しを行い、養生を行う（図3）。接着樹脂になるパワーアラストを最初に下塗りし、アラミド繊維シート貼付け後に、再度パワーアラストの上塗りを行う。繊維方向に脱泡ローラー掛け脱泡する（図4）。脱泡することにより下塗り

樹脂と上塗り樹脂を一体化させる。そのため、シート内部の空気(気泡)を抜くために脱泡ローラーでシート面を軽く押さえる。エポキシ樹脂の反応が進むと増粘して気泡が抜けにくくなるので、脱皮作業は速やかに行われなければならない。



図3 養生の様子



図4 アラミド貼付

#### 5. 試験体強度の算定

試験体強度の算定は、梁降伏強度とアラミド繊維引張強度を加算することにより求める。実験により、梁降伏強度に達した後にアラミド繊維シートの補強効果が出ることが確認できている。なお、梁降伏強度には腹筋の引張強度を含んでいる。アラミド繊維引張強度の算定式及び算定後の各試験体強度を表4に記す。

##### ○600mm 試験体

$$T = a_l \times \sigma = 100 \times 0.19 \times 2,060 = 39,758$$

$$M = T \times j = 39,758 \times 481.25 = 19,133,538$$

$$P = 4M/L = 4 \times 19,133,538 / 2,100 = 36,445$$

##### ○900mm 試験体

$$T = a_l \times \sigma = 100 \times 0.19 \times 2,060 = 39,758$$

$$M = T \times j = 39,758 \times 743.75 = 29,570,013$$

$$P = 4M/L = 4 \times 29,570,013 / 2,100 = 56,324$$

T(N):引張力, a<sub>l</sub>(mm<sup>2</sup>):断面積, σ(N/mm<sup>2</sup>):引張強度, M(N・mm):曲げモーメント, j(mm):応力中心間距離, P(N):強度, L(mm):試験区間長である。

表4 各試験体解析値強度

試験体名	梁降伏強度(kN)	アラミド繊維強度(kN)	試験体強度(kN)
A コントロール	88.15	—	88.15
A 上	88.15	—	88.15
A 下	88.15	36.45	124.60
B・C コントロール	173.72	—	173.72
B 上	173.72	—	173.72
B 下	173.72	56.32	230.05
C 上	173.72	56.32	230.05
C 下	173.72	56.32	230.05

#### 6. 試験方法

鉄筋コンクリート布基礎試験体(長さ2400mm×梁幅150mm×梁成600mm及び900mm)を作成し、試験体は単調加力の単純梁方式で行う。支持点は両端から150mmの位置とし、載荷点は材の中心とする。試験体は曲げモーメントとせん断力を同時に受ける応力状態となる。試験機はSHIMAZU:UH-F1000kNXを使用し、載荷速度は4mm/minで行う。

## 7. 実験結果

試験体 A・B・C それぞれのコントロール・上部補強・下部補強及び試験体 D の降伏点及び最大荷重をまとめて表 5～8, 荷重変位図を図 5～図 8 に記す。

### 7.1 試験体 A

表 5 試験体 A 実験結果

	A コントロール	A 上	A 下
降伏点(kN)	97.44	77.99	80.48
最大荷重(kN)	108.40	106.64	132.79

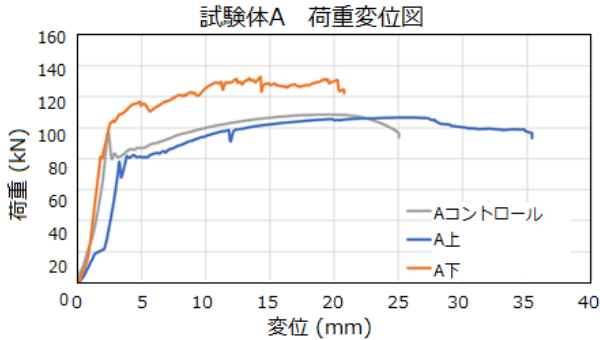


図 5 試験体 A 荷重変位図

### 7.2 試験体 B

表 6 試験体 B 実験結果

	BC コントロール	B 上	B 下
降伏点(kN)	146.60	160.10	163.68
最大荷重(kN)	200.09	219.98	252.78

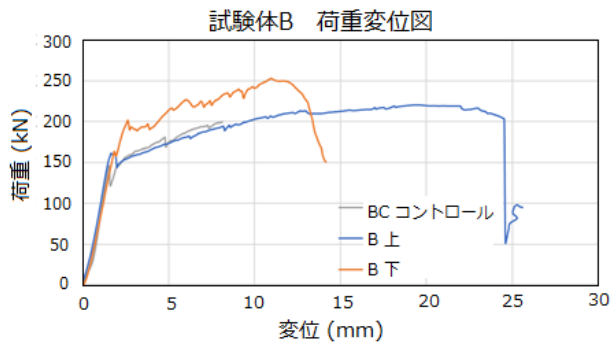


図 6 試験体 B 荷重変位図

### 7.3 試験体 C

表 7 試験体 C 実験結果

	BC コントロール	C 上	C 下
降伏点(kN)	146.60	140.08	127.00
最大荷重(kN)	200.09	242.88	241.74

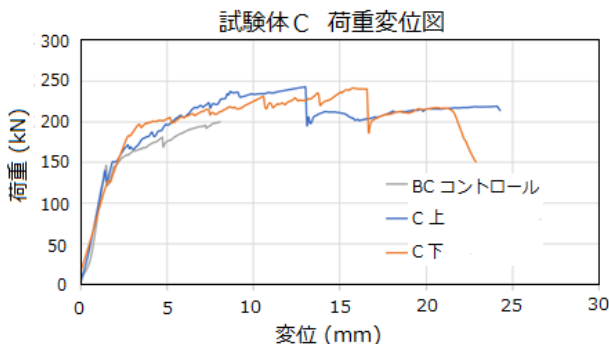


図 7 試験体 C 荷重変位図

### 7.4 試験体 D

表 8 試験体 D 実験結果

	D
降伏点(kN)	65.14
最大荷重(kN)	105.38

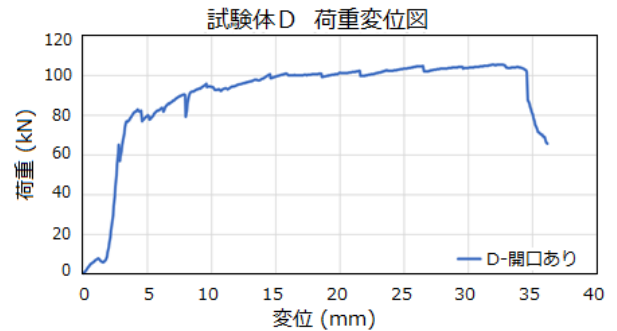


図 8 試験体 D 荷重変位図

## 8. 考察

試験体 A・B・C それぞれのコントロール・上部補強・下部補強及び試験体 D の試験結果における考察を以下に記す。

**8.1 補強材の補強効果 I (試験体 A)** 試験体 A の解析値 (表 1) では降伏点が 88.15kN, アラミド繊維シートが負担する荷重が 36.45kN となる。

A 上は, A コントロールと A 下に比べて降伏後の変位の値が伸びていることが図 5 から見てとれる。これはアラミド繊維シートを上部に貼ることで, コンクリートの圧壊を抑制し, ひび割れが試験体を縦断することを防いだためだと考えられる (図 9)。上部補強は部材の靱性を高め, 終局ではひび割れが進展し, 引張力を負担することにより強度を保っている。

A 下は, コントロールと A 上に比べて, 最大荷重の値が伸びていることが図 5 より確認できる。A 下の最大荷重が 132.79kN となり, コントロールとの差は 24.39kN となる。この荷重分を, アラミド繊維シートが負担することで引張力に対する補強効果を発揮したと考えられる。このことより, 下部補強は試験体の剛性を高めることが確認できる。また, アラミド繊維シートは徐々に剥がれることで破壊し (図 10), 実験では剥がれつつ耐力を発揮していることが図 5 の荷重変位図から確認できる。



図 9 A 上破壊状況



図 10 A 下破壊状況

**8.2 補強材の補強効果 II (試験体 B)** 試験体 B の解析値 (表 1) では降伏点が 173.72kN, アラミド繊維シートが負担する荷重が 56.32kN となる。

B 上は, 圧縮側に補強を行ったため, コントロールと同様に大きなひび割れと鉄筋の破断が発生している (図 11)。



B 下は他の 2 体と比べてひび割れも小さく、分裂したひび割れが確認でき(図 12)、力が分散したと考えられる。このことより、アラミド繊維シートは引張力に抵抗すると同時に、荷重を分散させることが確認できる。B コントロールは試験機の制御ミスのため 200kN までしか測定ができていないが、A の実験値より、B 上と同等の値だと考えられる。B 下の最大荷重は 252.78kN となり、B 上との差は 32.80kN となる。この荷重分をアラミド繊維シートが負担したと考えられる。



図 11 B 上ひび割れ 図 12 B 下ひび割れ

**8.3 梁成の違いによる補強効果(試験体 A・B)** 試験体 A・B とも降伏点に達した後にアラミド繊維シートの補強効果が出ることが確認できる。A 上・B 上とも圧縮側に補強を行ったことにより、靱性が高くなっている。A 下・B 下とも引張側に補強を行ったことにより、剛性が高くなっている。また、A コントロールと A 下、B 上と B 下の最大荷重を比較すると、試験体 A は 24.39kN、試験体 B は 32.80kN と、最大荷重が高くなっている(図 13)。アラミド繊維引張強度解析値より負担する荷重が低い結果となっている。

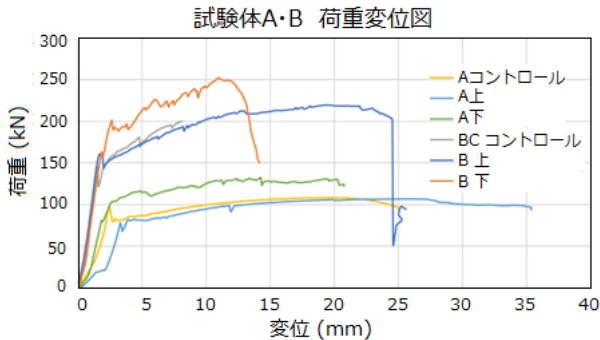


図 13 試験体 A・B 荷重変位図

**8.4 補強方法の違いによる補強効果(試験体 B・C)** 試験体 C は C 上・C 下の 2 種類であり、アラミド繊維シート補強方法による補強効果の違いは少ないため、C として効果を確認する。破壊状況から、C 上・C 下ともに引張側のアラミド繊維シートの剥がれが見られ、圧縮側のアラミド繊維シートはひび割れが試験体を縦断することを防いでいることが見られる(図 14,15)。また、A・B の試験体でも見られるように、試験体 C でも引張側補強はひび割れの分散が見られる(図 15)。図 16 より、C は B 上と B 下の補強効果を兼ね備えた効果が確認できる。基礎梁上部を補強することにより、靱性を確保し、下部を補強することにより、剛性が確保できる。また、梁成が高くなると剛性が高くなり、変位が少なく、靱性が低くなる。そのため、梁成が高いほど、剛性と靱性の補強効果を高めるためには、基礎梁の上下部を補強することで効果が現れる。

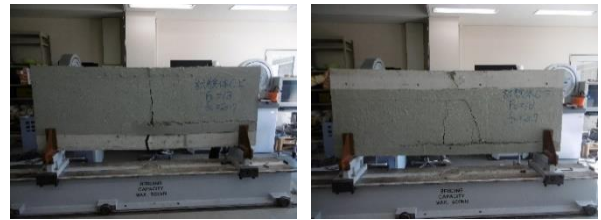


図 14 C 上破壊状況 図 15 C 下破壊状況

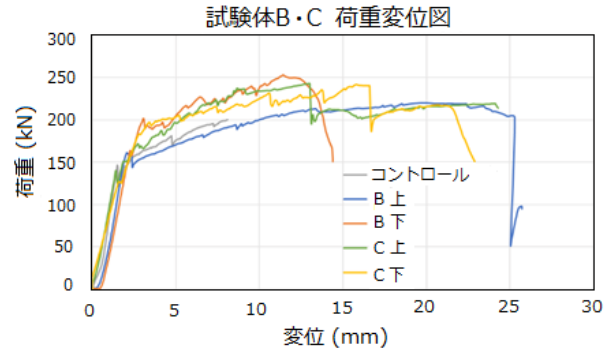


図 16 試験体 B・C 荷重変位図

**8.5 開口部が有る場合の補強効果(試験体 A・D)** D と同サイズの A コントロールを比較すると、開口部の影響を受け全体的に劣っている。D は圧縮側にアラミド繊維シートの貼付けを行っているため、部材の靱性を高め、変位が A コントロールより伸びたと考えられる。また、D と条件に近い A 上を比較すると、A 上は最大荷重時にアラミド繊維シートの剥がれが生じたのに対し、D は 79.28kN でアラミド繊維シートの剥がれが生じている。D は開口部に沿ってアラミド繊維シートの貼付けを行うため、接合部分にひび割れが重なり、早期に剥がれが生じたと考えられる。D 裏面は荷重点に近い開口部の一部分が破壊されているが、アラミド繊維シートの貼付けが施されている正面はアラミド繊維シートの剥がれとひび割れ以外の破壊が見られない。これは開口部にかかった負荷をアラミド繊維シートが負担したためと考えられる。以上のことから、開口部が有る場合のアラミド繊維シートによる補強効果は、開口部が無い場合と同等近くまで見込める。

**9. 結言**

本研究ではアラミド繊維シートの補強効果を梁成・補強位置の違いによりどのように変化するか試験を通し比較検証を行った。その結果次のことが確認できた。

- ① 基礎梁にひび割れが入り、基礎下端主筋が降伏した後に、補強効果が現れる。
- ② 基礎梁の成に関わりなく、アラミド繊維シート引張強度が期待できる。
- ③ アラミド繊維シートとコンクリートの接着接合部の破壊状況は、コンクリートの材料破壊もしくは、界面破壊である。
- ④ アラミド繊維シートを基礎梁の下部に施工すると、引張力を負担することにより剛性が高くなる。上部に施工すると、圧縮力を負担することにより靱性が高くなる。

(2021 年 6 月 30 日提出)



## 構造モニタリング機器の開発とその施工

井上聡志\*1, 河村 優\*1, 武田 望\*1, 仲里晃輝\*1  
 姫田剛志\*1, 皆川航希\*1, 吉本康佑\*1, 新垣忠志\*2

本開発課題では低コストでできる構造モニタリング機器の開発を行い、災害時に加わる建築物内部の状態を可視化し、健全性評価や耐震化工事の判断材料に活用することを目的とする。また、災害時だけでなく平常時にも計測・収集することで建築物の経年劣化についても推定可能である。構造モニタリングは、課題として高額な費用がかかることが挙げられるため、安価で開発した機器と従来のネットワークを構成することで低コスト化を目指した。今年度は機器の動作確認と現場施工を目標に、新築現場の設置計画・施工訓練を行うことで目標達成できた。

**Keywords** : 構造モニタリング, ひずみユニット, 加速度ユニット, 現場施工.

### 1. 緒言

建設された構造体についての耐震性能, 台風性能等  
 を評価することは容易ではないと考えられる。近年の  
 情報通信技術の進歩は著しく進化している。このよ  
 うな状況下で建設された建築構造物の性能を調査する  
 技術が確立しつつある。その一つが構造ヘルスマニタ  
 リング(本報では構造モニタリング)である。

本報では構造モニタリング機材の開発(機器の動作  
 確認, 初期設定)と現実の建築物への施工を行った状  
 況について報告する。

### 2. 構造モニタリングの概要

**2.1 建築構造物の性能評価方法の比較** 構造物劣化の  
 推定には「定期点検」, 「非破壊検査」があり, 建物の  
 特定部位についての劣化状態を調査している(表1)。

「定期点検」は建築物を目視で点検するもので, 「非破  
 壊検査」は超音波探傷検査などによる目視できない構  
 造物内部の損傷・劣化を計測機器で検査するものであ  
 る。これらの課題として, 検査が定期的で判定のばら  
 つきがあり, 特定箇所に限られることが挙げられる。  
 これに対応し, 構造モニタリングでは, 建築物内部に  
 機器を設置し, 災害時及び平常時の建築物に加わる振  
 動をネットワーク技術の活用により, リアルタイムで  
 データを計測解析し, 構造物全体の損傷・劣化を把握,  
 建物の健全性の評価や耐震化工事の判断材料に活用で  
 きる。

**2.2 加速度計測の目的** 建築構造物の加速度を計測す  
 ることにより, 建物全体の構造体の劣化状況や, 外装  
 材などの2次部材等の劣化を推定することが可能とな  
 る。具体的には建築構造物の質量(m)と剛性(k)から構  
 造体の固有周期(T)は(1)式から求められる。

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \quad (1)$$

加速度を計測し, 周波数分析(FFT等)することによ  
 り平常時の構造体全体の固有周期, 2次部材等の局  
 所的な部材の固有周期を計測することができる。一般  
 に地震動による損傷により建物の剛性(k)が低下する

と考えられている。加速度計測により得られた波形の  
 周波数分析より, 損傷の程度を推定することが可能と  
 なる。また, 大きな地震が発生した際にはその加速度  
 記録を基に構造体の劣化のみならず, 2次部材の損傷  
 の具合を推定することが可能となる。外装材に計測器  
 を取り付けることにより, 台風などの風圧力による劣  
 化はもとより, 腐食などによる経年劣化についても推  
 定することが可能となるであろう。

**2.3 ひずみ計測の目的** 構造体のひずみ計測は構造部  
 材の挙動を直接把握することを可能にするものである。  
 構造体の主要な部材にひずみゲージを取り付けること  
 により, その部分(断面)に生じている応力(曲げモー  
 メント)と塑性化の状況を計測することが可能となる。  
 主要な部材の曲げモーメントのデータを計測するこ  
 とにより, 地震によるその部材の損傷を推定するこ  
 とができるだけでなく, 構造計算書で求めたデータ  
 と比較することで, その他の部材についても弾性範囲  
 内であれば精度よく推定することが可能となる。さら  
 に, ひずみのデータを周波数分析することにより, 加  
 速度計測から得られたデータと比較して構造物の性能  
 を評価することができる。

### 3. 計測装置の概要

**3.1 ひずみユニットについて(写真1)** ひずみユニ  
 ャットは, ひずみ基盤とRaspberry Pi(マイクロコンピ  
 ュータ)以下マイコンで構成されている。本マイコンはひ  
 ずみ基盤に電源を供給し, ひずみ基盤で計測されたひ  
 ずみのデータを収集する。収集されたデータは無線あ  
 るいは有線LANを介してデータを送信することが可  
 能である。ひずみ基盤は1基あたり4チャンネルで構  
 成され, 1断面当たりH形断面では両フランジの内側  
 4点, 角形鋼管では4面を計測することが可能である。

**3.2 加速度ユニットについて(写真2)** 加速度ユニ  
 ャットもひずみユニットと同様に加速度基盤とその制御  
 を担うマイコンで構成されている。加速度計測に用いる  
 チップはMEMS技術よるものを採用している。

\*1 建築施工システム技術科2年生(令和2年度)

\*2 建築施工システム技術科

表1 建築構造物の評価方法の比較[1]

	定期点検	非破壊検査	ヘルスマモニタリング
目的	部材や特定箇所の 損傷・劣化把握 (ローカルモニタリング)	部材や特定箇所の 損傷・劣化把握 (ローカルモニタリング)	構造物全体や層レベルの 損傷・劣化把握 (グローバルモニタリング) (ややローカルへの展開も可能)
測定方法	人による近接目視 現象に基づく評価	計測機器による 静的・動的計測	センサによる動的計測
測定頻度	定期的 次回点検まで打ち切り	定期的 次回点検まで打ち切り	リアルタイム 継続的・連続的
測定費用	点検要領の作成 技術者の配置・養成	計測機器購入費用 計測要員の配置	システム初期投資 センサ等維持費用
課題	点検頻度の最適化 判定のばらつきの抑制 建物内部の状況把握困難 人手の確保, 効率化	点検頻度の最適化 設備の停止・再稼働効率化	費用対効果 膨大なデータの蓄積管理 実構造物による検証



写真1 ひずみユニット



写真2 加速度ユニット



写真3 Raspberry Pi 4

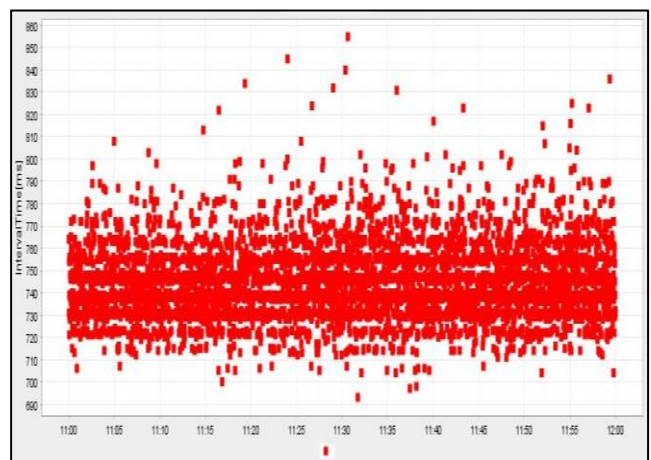
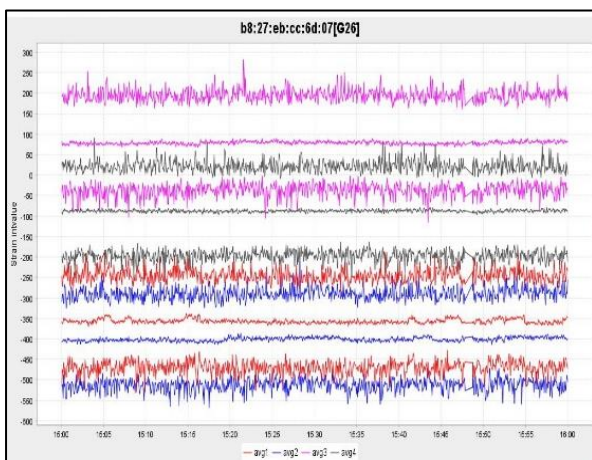


図1・2 ひずみユニット稼働テスト

3.3 サーバについて 加速度，ひずみの各ユニットから送信されるデータを集積する役割と，リモート接続の中心を担う装置がサーバである．本システムにおいてはLinux系のOSが動作する機材であればサーバの役割を担うことが可能であるので，一般的なPC等でも可能である．今回，サーバについてはできるだけコンパクトな装置であることが望ましいとの判断からRaspberry Pi 4(写真3)を選定した．

## 4. 建物計測の概要

4.1 主体骨組の計測について 主体骨組の計測箇所については建物の構造計算書を基にひずみ計測の設置箇所について検討を行った．その結果，設計地震力に対して，応力が最大となる部位の選定を行った．選定した部材の概要を図2・3に示す．選定した柱部材は角形鋼管(BCR)柱，梁部材は圧延H形鋼材である．柱部材の計測断面は大きな応力(曲げモーメント)が生じると考えられる柱梁接合部に近い断面にひずみゲージ貼り付け，梁部材についても同様に応力の大きい接合部に近い断面にひずみゲージを貼り付けている．さらに，柱の最上部，中段のデッキスラブ下，柱脚付近の床スラブの3箇所に加速度ユニットを設置した．

4.2 免震層の計測について 本建物には本格的な床免震構造が採用されているエリアがある．免震層の挙動を把握するため，免震化された床スラブ下のH形梁と免震層を支える床スラブに，それぞれ加速度ユニットを設置している．免震と非免震の2点の計測を2箇所，合計4点に加速度ユニットを設置することにより，計測の信頼性向上と免震層のねじれ振動についても計測が可能となる．

4.3 2次部材の計測について 本建物は海岸に近いエリアに建設されている．そのため，台風やその他の季節風に対しても計測対象とした．2次部材や外装材は風圧力を直に受ける部材である．2次部材等の計測は風圧力が大きく作用するであろうと考えられる箇所に集中的に加速度ユニットを設置した．その概要を図4に示す．まず，壁面については外装材であるALC板と，このALC板を風圧力対して支える耐風梁(H形鋼材)に設置している．さらに屋根材である折半とこの屋根を支える梁部材(H形鋼材)にも加速度ユニットを設置している．先に示したように，設置した加速度ユニットから得られたデータを周波数解析することで，常時の2次部材や外装材の状態を把握し，台風やその他の季節風に建物が遭遇した際のデータや損傷の具合を推定することが可能となるであろう．

## 5. 現場施工について

5.1 現場を想定した施工計画 現場施工は本テーマを実行する上で最も重要な要素の1つである．現場施工で我々が担当するのは，柱に取り付ける計測盤にひずみユニットを設置することである．

- ・ひずみユニット(10台)の設置
- ・ひずみゲージのリード線(40本)の結線
- ・無線ユニット，有線HUBの設置等

である．現場施工にあたって必須の事項は，「現場の安全注意事項を遵守すること」「現場は仕上げ工事が進行

中であり，引渡前の部材を絶対に傷つけないこと」「現場はプロの職人達が作業中のため，その妨げとならないこと」等である．このため，少ない情報を有効活用し，現場施工を想定した訓練を当校の実習場を活用して繰り返し実施した．

5.2 施工訓練の実施 電子機器の取り付けや配線作業については普段の授業や訓練では全く未経験であったため，慎重に検討を進めた．まず，ひずみユニットを収納する計測盤の図面を入手し，機器の配置計画を行った．配置についてはメンバーで繰り返し検討を行い，いくつかの案を作成した．さらに，現場を想定して計測盤のモデルを作成し，ローリングタワーにモデルを設置して訓練を繰り返し実施した(写真4・5)．脚立上での慣れない作業は，メンバーにとって苦しい訓練となった．当初は明確な役割分担を決めていたわけではなかったが，訓練を繰り返している間に各々の得手不得手により明確な役割分担が構成され，メンバー間の思いやりが苦痛な連続作業を乗り越える糧となったと考えている．

5.3 実際の施工状況 工事現場には安全朝礼に参加できるように現場に到着した．安全朝礼に参加後，「現場新規入場者教育」として施工会社から現場作業時の安全注意事項，現場の状況説明，立ち入り禁止箇所等の説明を受けた．本現場は着工時から無事故・無災害を達成しており，くれぐれも事故の無いよう安全施工に努めるよう指導を受けた．現場では安全対策のため，脚立の使用が禁止されていたので作業台を提供していただいた．施工箇所の壁面は仕上げ工事が終了していたので，壁面をプラスチックシートで保護する作業を手伝っていただいた．通常の訓練で，建築生産の現場についての知識を身に付けていたため，ヘルメットや安全靴と装着した基本の動作については違和感なく実施することができた(写真6)．

6. 結言 本報では構造モニタリング機器として，低コストな加速ユニットとひずみユニットに関する動作確認等及び現場施工を実施した．今後収集されるデータ分析については次年度以後に行われる予定である．以上により構造モニタリング機器の開発とその施工についての報告とする．

## 謝辞

本テーマ遂行するに当たり，(株)フジ設計には絶大なるご理解とご協力いただきました．(株)フジ設計は今回のテーマのような先進的な取組にご理解をいただき，建築主，工事施工者に本テーマの趣旨についてご説明とご協力を依頼していただきました．ここに感謝の意を表します．

## 文献

- [1] 国交省国土技術政策総合研究所：構造ヘルスマニタリング技術に関する解説資料，p7，令和2年7月21日  
<http://www.nilim.go.jp/lab/ieg/tasedai/seika/shmguideline.pdf>

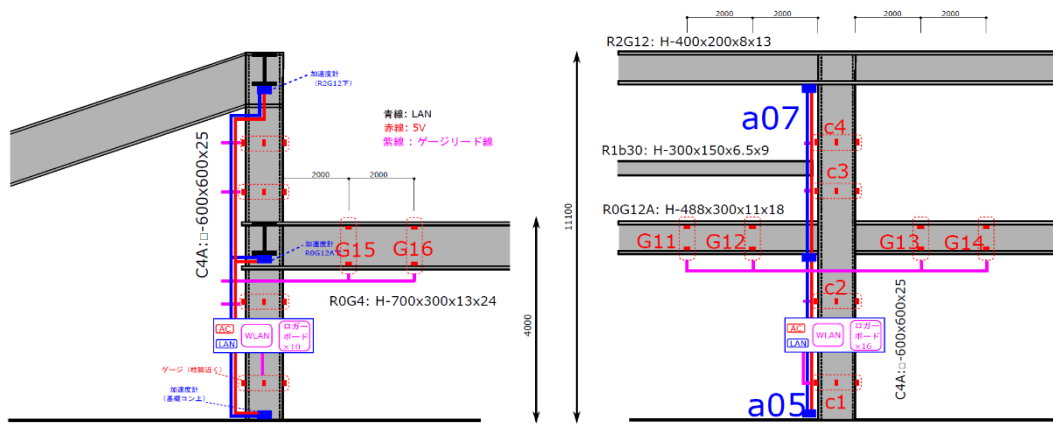


図 2・3 選定部材計測図

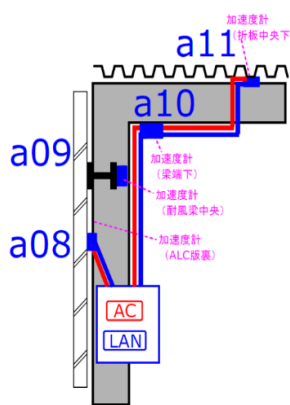


図 4 2次部材（外装材）計測図



写真 4・5 現場想定訓練状況



写真 6 現場施工状況



写真 7・8 ひずみユニット施工状況

(2021年7月31日提出)



## 5軸制御マシニングセンタの設計・製作(第5期)

坂口昇三\*1, 佐藤弘明\*2, 野田充大\*3

近畿能開大生産技術科ではNC工作機械の設計・製作に取り組んできた。2014年度にはミールリング加工も可能なターニングセンタを製作し、金属の複合加工が行えることを確認した。2016年度より、より複雑な形状の加工を行えるように、5軸制御のマシニングセンタの設計・製作を開始した。2016年度からの5年をかけて、このマシニングセンタを製作するとともに、NCプログラムに従い5軸制御が可能で、テーブルを利用した旋削作業が可能であること、及び自動で工具交換が可能であることを確認した。本稿では製作したマシニングセンタの概要を紹介する。

**Keywords** : マシニングセンタ, 工作機械, 設計・製作, 複合加工, 5軸制御, PLC.

### 1. 緒言

生産技術科では、2016年度から、自動工具交換装置(ATC)を備え、ワークを傾斜・回転させ、ミールリング加工と旋削加工が行える、5軸制御マシニングセンタの設計・製作をテーマに総合制作実習を実施してきた。

2016年度には、基本構成となる3軸(X・Y・Z軸)および主軸の機構部、制御系の製作を終え、2017年度にはワークの傾斜(B軸),回転(C軸)が行えるテーブル部と、5軸制御が行える制御系を設計・製作した。2018年度には、切削工具を収納できる工具マガジン及びその制御系を設計・製作し、C軸を利用した旋削機能を実装した。2019年度には、工具マガジン用工具交換アーム部及びその制御系を設計・製作した。2020年度には、工具交換アーム部の改造、アーム用自動ドア、自動工具交換装置と本機を覆う全体カバー等を設計・製作した。

本報告では、製作したマシニングセンタの機構部および制御系について説明するとともに、加工能力を評価した結果を述べる。なお、3軸ユニットとテーブルの機構部、本機の制御系については既に報告済みのため[1], 変更部分のみとする。

### 2. マシニングセンタの構成

**2.1 機構部の構成** 図1に示すように、ベッド上部に3軸ユニットを配置、ベッド前部にB・C軸を有するテーブルを配置、ベッド左側にATCを配置する構造とした。この中で主軸頭部の質量が250kg以上とかなり重くなるためエア式カウンタバランスを用いた構造へ変更した(図1)。また、主軸、B・C軸には加工時に各軸を固定するために必要なディスクブレーキも追加した。

ATCは製作及び調整が容易な自立型水平割出マガジンに、ステッピングモータによる位置決め制御が行える工具交換用アームが取り付けられた構造とした。

**2.2 制御システムの構成** 制御システムは図2に示すように、操作パネル・制御盤・機構部からなる。機構部と並行して制御系の製作を進められるように、制御盤と操作パネルを機構部から分離した。また、操作パネルは自立型とし、操作性を重視して、本機・ATC操作盤

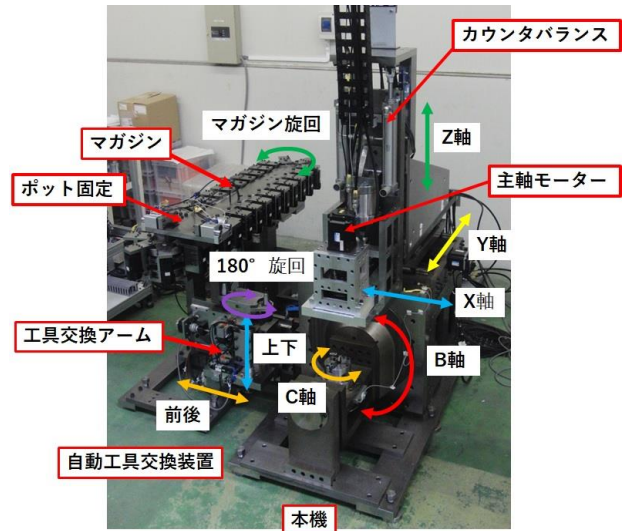


図1 機構部の構成

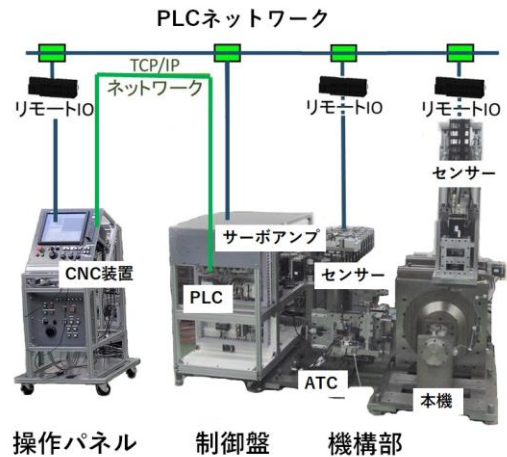


図2 制御システムの構成

を一つにまとめ、工作機械前扉右側に配置した(図25)。各部は多くの信号をやりとりする必要があるため、ネットワーク機能を利用し、省線化を図ることにした。

**2.3 機械仕様** 設計に当たり、主軸は使用できる切削工具の種類を増やすとともに、市販のプルスタッドコレット及びマガジン用ポットの購入が可能なBT-30番

\*1 生産技術科 (現 生産技術科部外講師)

\*2 生産技術科 (現 浜松職業能力開発短期大学校)

\*3 生産技術科



とした。ATCは、旋削・ミーリング加工を同時に行う複合加工では切削工具を多数使うため、本数を30本にした。また、工具交換アームの前後移動(Xa軸)、上下移動(Za軸)、旋回移動(Ca軸)、マガジン割出(Ta軸)には、ステッピングモータを使い、割出位置の調整が容易な構造とした。設定した機械仕様を表1に示す。

表 1. 機械仕様

<b>各軸移動量</b>	
X/Y/Z軸 = 300/200/200 mm	
<b>テーブル</b>	
旋回範囲: B軸 = -10° ~ +110°, C軸 = 360°	
寸法	: φ150
回転速度	: 1500 min <sup>-1</sup>
出力	: 2.2kW
<b>主軸</b>	
回転速度	: S = 6000 min <sup>-1</sup>
テーパ	: BT-30
出力	: 1000 W
<b>ATC</b>	
工具収納	: 30本 (チェーン式)
シャンク	: BT-30
プルスタッド	: MAS 2
工具選択	: 番地固定

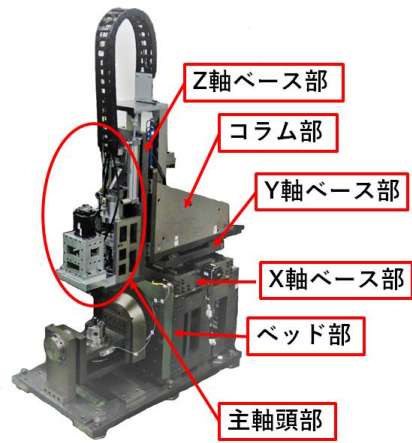


図3 基本3軸の構成

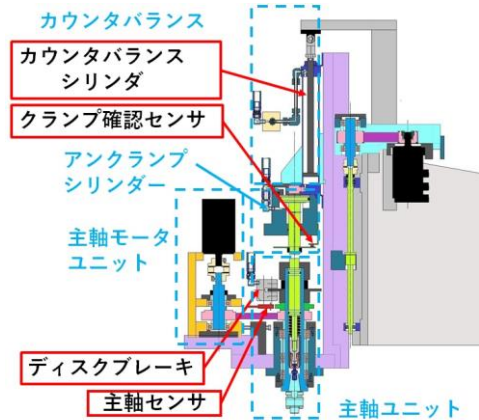


図4 主軸頭部の構造

### 3. 機構部について

**3.1 基本3軸の構成** マシニングセンタの基本構成はコラム移動方式とした。主要な構成部品を図3に示す。

主軸頭部は、主軸ユニット・主軸モータユニット・アンクランプシリンダ・カウンタバランスからなり、Z軸ベース上に配置した(図4)。主軸は図4に示すように、旋削加工時、切削工具の剛性及び振動の発生を防ぐために、ディスクブレーキにて固定する構造とした。また、主軸頭は、約250kgの重さとなるため、Z軸サーボモータ及びZ軸ボールネジ受けベアリングの負荷を考慮して負荷軽減のために、カウンタバランスを追加することにした(図4,5)。カウンタバランスはエア式とし、リリーフ弁付レギュレータ(減圧弁)を使い、主軸頭上昇時シリンダへ、圧縮空気を供給、上昇時の負荷を軽減する。下降時はシリンダ内の不要な圧縮空気を外部へ排出することで下降時の負荷を軽減する構造とした(図5)。

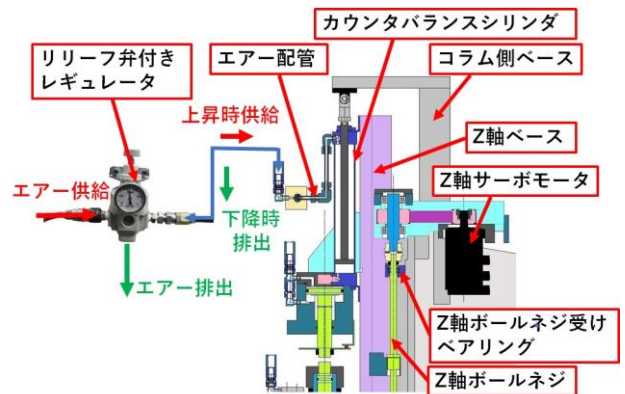


図5 カウンタバランスの構造

**3.2 テーブル部の構成** テーブル部は、テーブル支持部、テーブル部、テーブル傾転駆動部(B軸)、テーブル旋回駆動部(C軸)で構成した(図6)。

テーブルの剛性を上げるため、テーブル前部に支持部を設け、クロスローラーリングを支持部及び傾転駆動軸部に採用した(図7)。またテーブルセンタ軸には、旋削・ミーリング加工に対応でき、剛性も維持できるテーパローラーベアリングを採用した(図7)。更にB・C軸へのディスクブレーキの追加により旋削・ミーリング加工時の切削抵抗により発生する振動を抑えることができるようになった(図7)。

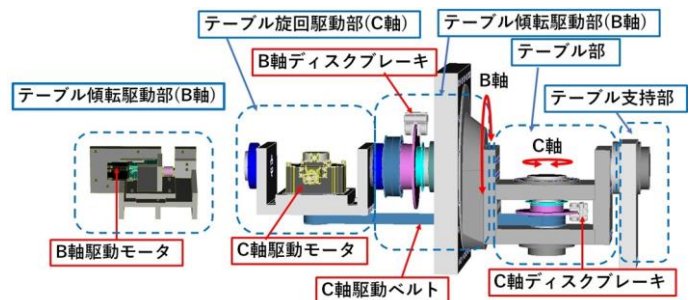


図6 テーブル部の構造

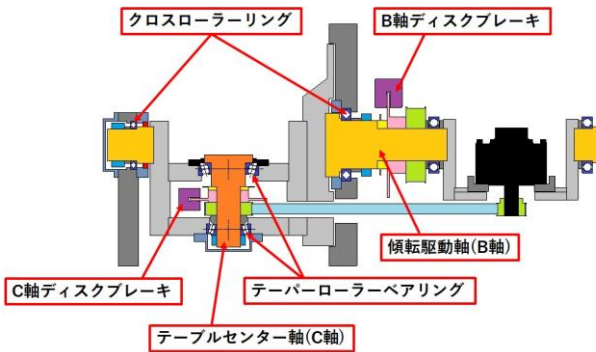


図7 テーブル旋回・傾転駆動部の構造

3.3 自動工具交換装置(ATC)の構成 ATC は切削工具を収納するためのマガジン部とマガジンポットの工具を抜き、主軸の工具と交換するアーム部で構成されている(図8). 更に本装置は本機の左側に配置し、本機に取り付けるのが難しいため自立型とした.

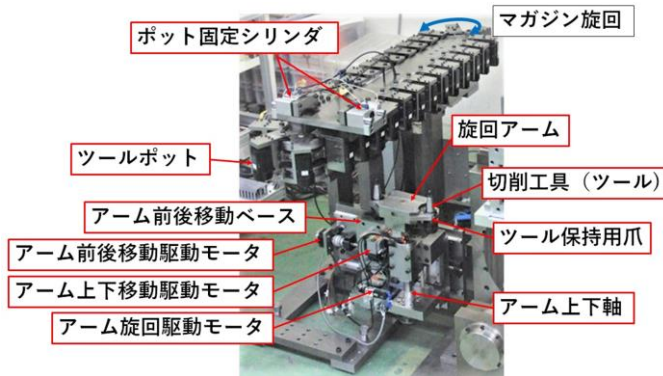


図8 ATCの構造

(1)アーム部 アーム部はツールの落下防止のためロック機構を設け、ツールを掴みに行く時と、ツールを放す時以外はロックピンにて爪を固定し、開閉できない様になっている(図9,10,11). ロックピンによる固定と固定解除の状態はロックピンの上下動作によって行っている(図11). このロックピンの上下動作はエアシリンダにて制御されており、ロックピンとエアシリンダは連結軸にて繋がれている(図11).

(2)アームユニット部 アームは前後移動(Xa 軸), 上下移動(Za 軸), 旋回移動(Ca 軸)の動作を行って工具交換を行う. 各軸の駆動はステッピングモータとボールネジにて行い、摺動部にはリニアガイドを使った. これは工具交換動作位置の微調整を容易にするためである(図12).

(3)マガジン部 マガジンの駆動には、ステッピングモータとチェーン、スプロケットを使い、ツールポットは、市販品の BT-30 番仕様を選定した(図13,14). 駆動部の構造は、スプロケット軸にタイミングプーリを取付け、ステッピングモータにて駆動し、ポットの割出をステッピングモータで行うことで位置の調整を容易にした(図13,14). 製作に当たってはベース等の大物部品の加工に時間が掛かったのと、ポットが30個あるため、ポット用の部品を30個ずつ加工しなければならず、時間を要した.



図9 アームロック機構

図10 ロックピン駆動部

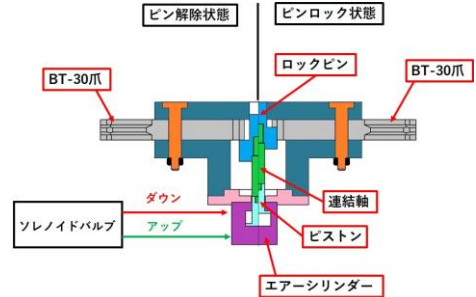


図11 ロックピンの状態

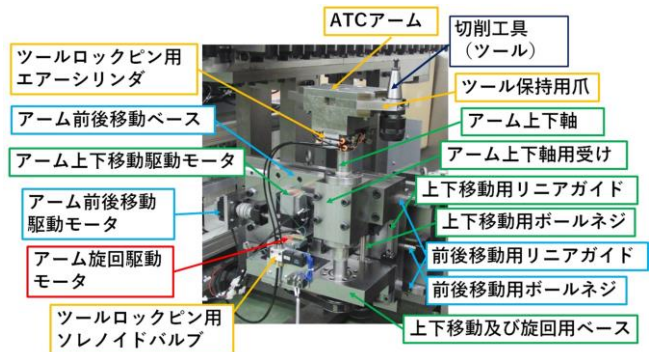


図12 工具交換アームユニット構造

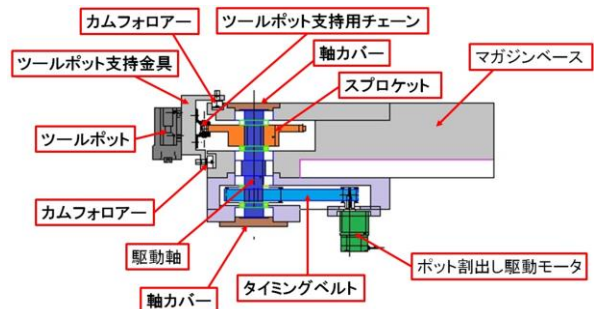


図13 マガジン駆動機構



図14 マガジン機構部

## 4. ATCの制御システム

4.1 制御システムの構成 制御システムの構成を図15に示す. ATCの制御装置にはPLCを用いた. このPLCには5軸加工機の機械制御も行わせた. ATC操作パネルは、ATCのメンテナンスや工具交換アームの移動先の割出しに利用し、NC装置は加工プログラムから自



動工具交換の指示を出させる。PLC と ATC 操作パネルやセンサ、ATC シャッターなどの周辺機器との接続には PLC ネットワーク(CC Link)を用い、NC 装置との信号のやり取りには MOD Bus/TCP を利用した。

工具交換アームの横、上下、旋回の移動用にステッピングモータを 3 基、ツールマガジンのポット割出し用に同モータを 1 基用いた。アーム及びポットの位置決めには PLC の位置決め機能を利用し、PLC からアームが移動する軌跡を指示できるようにするとともに、アームやポットの位置を柔軟に変更できるようにした。また、ツールポットの固定や、ATC シャッターの開閉などには空圧シリンダを用いることにした。

**4.2 ATC の動作** 自動工具交換時に ATC が行う動作の概略を図 16 に示す。工具交換は、ツールの割出しや工具交換アームの移動に時間がかかるため、工具の取出し(ツールプリロード: 図 16 a, b)と工具交換(図 16 c, .., f)の 2 工程に分けて行わせ、工具交換の待ち時間を少なくできるようにした。

加工プログラム中で T コードが指示されると、ツールプリロードが起動する。ATC は T コードで指示された工具が格納されたポットを工具交換ステーションへ呼び出し(図 16a), 割出し終了後にポットから工具を引き抜いておく(図 16 b)。この工程では ATC 内だけの動作になるため加工は中断されない。

次に加工プログラム中で工具交換(M6)が指示されると加工を中断し、ATC は使用中の工具を格納するポットの割出しを開始し、並行して ATC シャッターを開き、主軸から工具を引き抜きプリロード中に取り出しておいた工具を主軸に取り付ける(図 16 c,d)。使用済みの工具をつかみ ATC 内にアームを戻し、シャッターを閉じる。この時点で ATC と工作機は遮断されるため加工を再開する(図 16 e)。使用済み工具を格納するポットの割出しが完了したら工具をポットに収め、アームを待機位置へ戻し工具交換が終了する(図 16 e, f)。

以上で述べたように、工具交換時には工具交換アームの移動のみならず、ツールマガジンの操作や移動に合わせてポットの固定/解放、シャッターの開閉、工具の主軸への固定/解放、ツールロックピンの固定/解除を行う必要があり、アームの移動制御にこれらの操作を組み込める機能が要求されることになる。

## 5. PLC のプログラム

**5.1 プログラムの構成** ATC を制御する PLC プログラムの構成を図 17 に示す。ここでは、ATC の制御プログラムについて説明するが、5 軸加工機の機械制御プログラムも PLC 上で並行して実行されている。ATC 制御プログラムは機能ごとにモジュール化し、機能を利用しやすくするとともにプログラムの誤りを発見しやすくした。

各モジュールの機能は、NC 装置との信号のやり取りに PLC の MOD Bus スレーブ機能を利用し、リモート IO からの入出力には CC Link Read/Write モジュールを用いる。各入出力信号は IO Rename モジュールでデバイスの論理を整理するとともに、複数の信号をまとめて意味を持たせるなどの整理し、取り扱いを容易にした。ATC Panel は ATC 操作パネルからの指示に対応

し、ATC Control は NC 装置からの指示に対応して ATC の各機能を動作させる役割を持つ。また、原点復帰

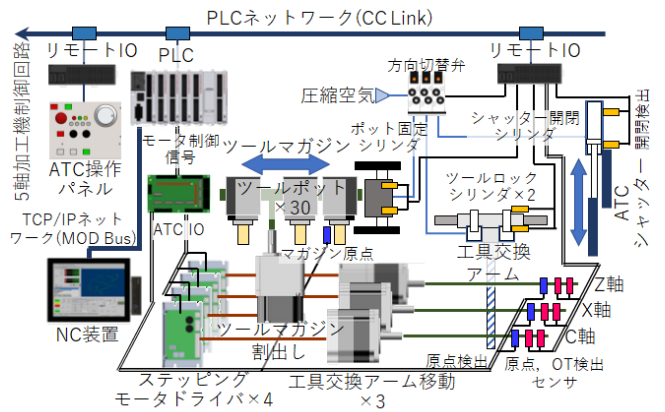


図 15 ATC 制御システムの構成

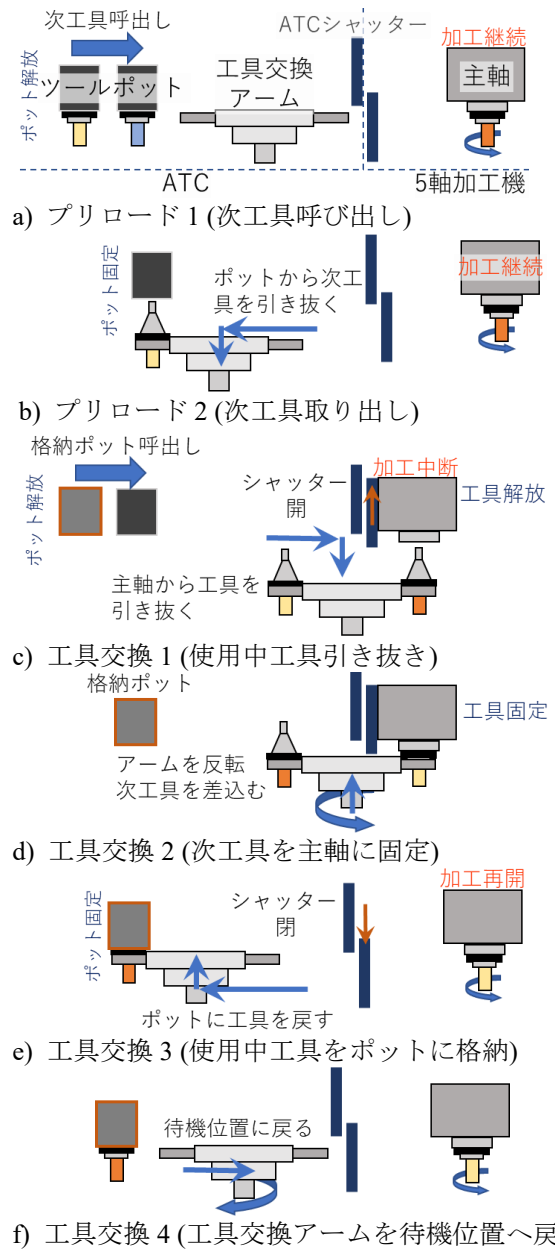


図 16 工具交換時の ATC の動作 (Homing Module), ハンドル操作(MPG Module), ツールマガジンの割出し(Tool Magazine Indexer)やアームの軌

跡制御(Playback Module)を行うモジュールなどを作成した。また、起動・終了などの電源管理、アラーム発生時の処理を行う(ATC Main)モジュールがある。

これらの多くはラダー言語で作成したが、処理が複雑な Tool Magazine Indexer や Playback Module などには ST 言語(Structured Text)を用い、周辺機器の操作はファンクションブロック(FB)化し機能を追加しやすくした。

**5.2 工具交換アームの軌跡制御** 工具交換時は 4.2 に述べたように、アームの移動とそれに合わせて周辺機器を操作する必要がある。使用した三菱電機製 PLC FX5UC はテーブル運転と呼ばれる連続移動機能を持つが、PLC の知識を持たない者でも簡単にアームの軌跡を指定でき、周辺機器の操作を柔軟に軌跡データの中に組み込めるように、簡易な軌跡制御プログラム機能を PLC に組み込むことにした。

アームの軌跡は移動経路の通過点の 1 点へ向かう動作の指定を基本に、連続する通過点を配列に記憶させ、軌跡の再生機能(Playback Module)で順次通過点をたどらせることにより、アームに作業させることにした。軌跡中の 1 点へ移動を指定するデータの構造を表 2 に、それを用いてアームの移動と周辺機器の操作を行う例を図 18 に示す。図 18 では工具交換後にアームを ATC 内に戻す動作を指示している。アームを指定座標(0mm, -40mm, 90.2°)まで速度 100%で移動(acMOVEA)させた後 100ms の待ち時間をおく。その後、ATC シャッターを閉じ(ocACLOSE)、NC 装置の待機を解除し(ocSETFLG)、ツールマガジンの割り出し終了を待つ(ocWAITM)。

このようにアームの移動と周辺機器の操作を記述することができ、工具交換時に必要な動作を順次データに収めることにより、ATC の作業をプログラムできるようにした。

**5.3 ATC プログラムの動作** ATC は加工プログラムや PLC のモジュールが連携して動作する。図 19 に示すツールプリロード時のプログラムの動作を例に各プログラムの関連を説明する。加工プログラムで T コード

エプログラムの待ちを解除し、次の工程に進めるようにする。ATC Control では、Tool Magazine Indexer に次工具割出しを指示し、完了後に工具を取出す動作を Playback Module に指示し、アームに次工具をつかませる。軌跡制御の終了によりプリロードが終了する。

表 2 軌跡データの構造

タグ名	機能	説明
act	動作コード	このブロックの動作を指定する。工具交換アームの移動、補助作業のみ実行、動作終了を指定できる。
px	Xa座標	移動先の座標。Xa, Za軸[μm単位] Ca軸 [mdeg単位]
pz	Za座標	
pc	Ca座標	
speed	速度	移動速度を指定[1-100%]
dwell	待ち時間	移動後の待ち時間[1ms単位]
postOP[0]	補助作業0	移動終了後に行う作業を指定する。 シャッターの開閉、ツールポットの固定/ 開放、主轴工具の開放/固定などの作業を 指示できる。
:	:	
postOP[3]	補助作業3	

```
//アームをATC内に戻す (Trace[n]は軌跡を格納する配列)
Trace[n].act := acMOVEA; // 指定位置へ移動
Trace[n].px := 0; // 待機位置のXa座標[um]
Trace[n].pz := -40000; // Za座標[um]
Trace[n].pc := 90200; // Ca座標[mdeg]
Trace[n].speed := 100; // 速度[%]
Trace[n].dwell := 100; // 停止後待ち時間[ms]
Trace[n].postOp[0] := ocACLOSE; // シャッターを閉じる
Trace[n].postOp[1] := ocSETFLG; // CNCの待機を解除
Trace[n].postOp[2] := ocWAITM; // マガジンの割出しを待つ
Trace[n].postOp[3] := ocEND; // 補助作業終了
```

図 18 アームを ATC 内に格納する軌跡データ

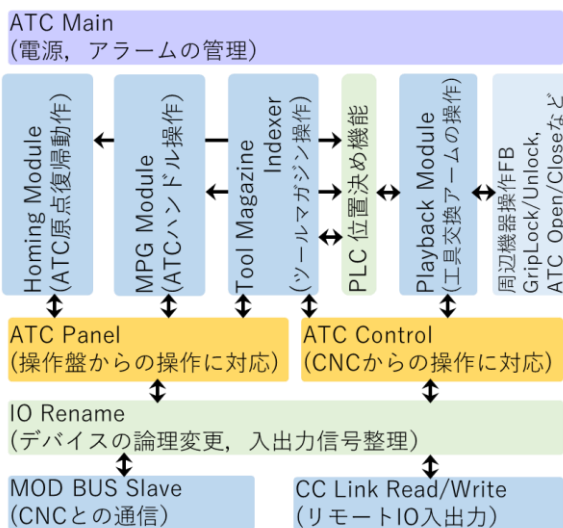


図 17 制御プログラムの構成

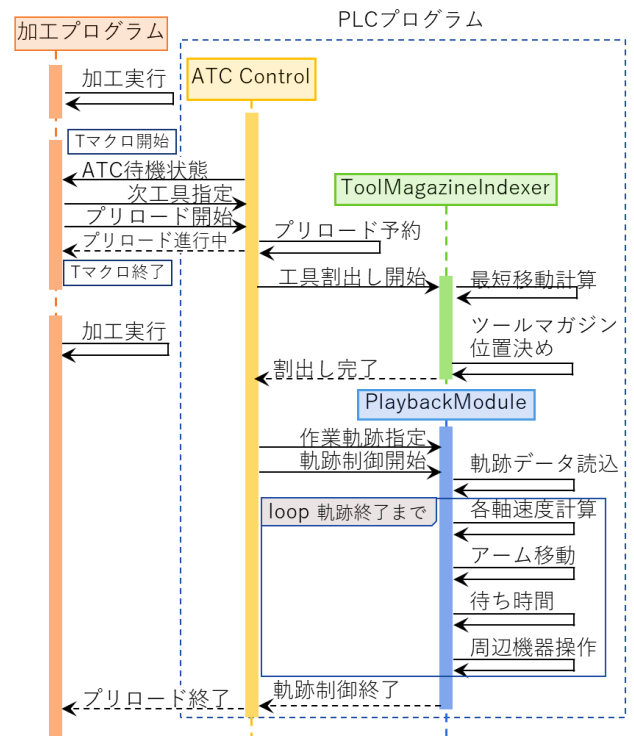


図 19 ツールプリロード時のプログラムの流れ

が呼び出されると、ATC Control にプリロード開始が指示される。ATC Control はプリロード実行を記憶し、加



## 6. 加工能力の評価

6.1 基本設計 基本設計では旋削加工能力，ミーリング加工能力を以下の様に設定していた。

旋削加工能力

素材：S45C 切込み(半径値)：2mm

送り：0.2mm/rev

ミーリング加工能力

素材：S45C 使用工具：φ12 2枚刃エンドミル

送り：0.05mm/刃 切込み深さ：12mm

## 6.2 テスト結果

旋削加工能力

素材：S45C 切込み(半径値)：2mm

送り：0.2mm/rev

ミーリング加工能力

素材：S45C 使用工具：φ12 2枚刃エンドミル

送り：0.03mm/刃 切込み深さ：5mm

6.3 考察 旋削加工は，基本設計通りの結果が得られた(図 20)．ミーリング加工では，切込み深さ 5mm と 10mm で加工を行った．その結果，上記の加工条件以上になると本機 3 軸ユニットに振動が発生し工具破損の可能性が出てきた(図 21)．テーブルの剛性は十分あると考えられるが，3 軸ユニットの摺動部にはリニアガイドを使用しているため 3 軸ユニットの剛性が十分ではない．

6.4 対策 3 軸ユニットの摺動部を摺動面(ボックスウェイ)に変更すれば振動は改善されると考えられる．

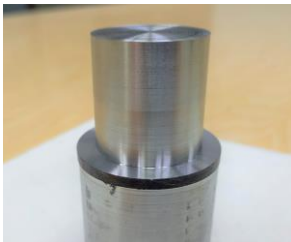


図 20 旋削加工



図 21 ミーリング加工

## 7. デモ加工

六角堂をモデルにした加工物を制作した．図 22 に旋削加工，図 23 に B・C 軸を使ったミーリング加工の様子を示す．これらの加工を行った結果，図 24 の様な加工物



図 22 旋削加工



図 23 ミーリング加工



図 24 完成した加工物

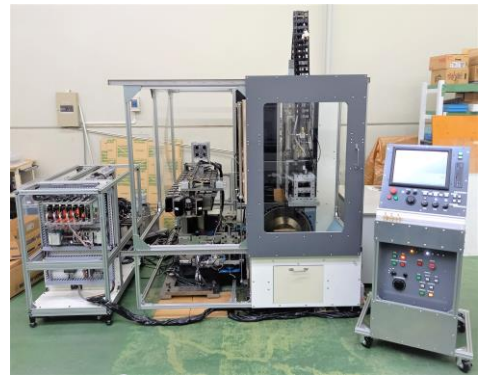


図 25 完成したマシニングセンタ

工物が完成した。

## 8. 結言

2016 年度より，5 軸制御のマシニングセンタの設計・製作を開始し，2017 年度には 5 軸制御が行える状態となった．2018 年度には工具マガジンの設計・製作を行い．2019 年度には工具交換用アームの設計・製作を行い，工具の自動交換ができるようになった．しかし，工具交換にあまりに時間がかかりすぎるため，2020 年度に工具交換用アームの改造とアーム用自動ドアの設計・製作，そして全体カバーの製作を行った．その後動作制御の再調整を行った後，加工能力の評価を行い，完成に至った．(図 25)．

製作に携わった学生たちは毎年代替わりをし，延べ人数は 28 人になる．彼らは授業で得た知識・技術・技能だけでなく，授業では経験したことがない作業に取り組み，完成を目指した．製作には 5 年間という多大な時間を費やすことになった．授業時間だけでは足りず，夜遅くまで熱心に作業に取り組んだ．その甲斐もあり，製作したマシニングセンタは毎年ポリテックビジョンで高い評価を得ることができた．彼らの労苦は報われたとともに，今後ものづくりに携わるうえでの原動力になると思われる．

## 参考文献

- [1] 坂口，佐藤：5 軸制御マシニングセンタの設計・製作，pp36-39 近畿能開大ジャーナル第 26 巻 2018 年 11 月

(2021 年 08 月 19 日提出)

## メカナムホイールを利用した全方向移動装置の製作 —遠隔作業用カメラ搭載タイプとハンド搭載タイプ—

來住 裕\*

狭小空間で利用する全方向移動装置をメカナムホイールを利用して作成した。この全方向移動装置は、本体が視認できない場所でも遠隔操作で操作ができるように、無線 LAN を利用し、撮影した画像を高速転送できるカメラを搭載したものと作業用のハンドを搭載したものを各 1 台製作した。さらに全方向移動装置には FRP を利用した内部保護用カバーを製作した。これらの製作と動作の確認をすることにより必要となる技術と問題を明確化した。

**Keyword:** メカナムホイール, 遠隔操作, ハンド, カメラ, FRP.

### 1. はじめに

コンピュータのネットワーク化やデータ通信量の増加により、オフィスにはネットワーク機材が多数導入されるようになってきた。ネットワーク機材の配線や通信機材の多くが床下に設置されている。同時に日々の通信速度の高速化のため、通信機器の追加や配線の追加がなされることも多くなっている。一方、配線・機器の配置が正確に把握されていないことが多く、配線・機器の故障、新規設備の導入時には、フリーアクセスの床をすべて撤去し修繕・改修を行う必要があり、業務が止まるなど不具合が発生している。そこでこのような不具合を改善するためフリーアクセスの床下で作業ができる全方向移動装置の製作を目指した。本年度は必要な技術を明確にするために特定の機能しか持たない全方向移動装置を製作した。この全方向移動装置は、狭小空間で自由に移動し作業ができ、本体が視認できない場合でも、遠隔操作することができるものと、作業用のハンドを持つものである。

### 2. 製作した全方向移動装置の本体構造と動作

全方向移動装置は、カメラと作業用ハンドを搭載したものを製作した。全方向移動装置に同時に搭載することが望ましいが、制御方法の単純化と搭載した機能的確な評価を行うために 2 台を製作した。

**2.1 本体仕様** 図 1 に製作したカメラ搭載型全方向移動装置の全体を示す。カメラ搭載型全方向移動装置の外形は、全長 450mm、幅 320mm、高さ 320mm、メカナムホイール直径 100mm、各メカナムホイールは 7.2V 直流モータで 4 輪独立駆動である。カメラは、図 1 に示されるように本体の中央部分に取り付けてあり、7.2V サーボモータ 2 つで上下左右に回転できるようになっている。直流モータとサーボモータは、本体前後に取り付けた 7.2V のニッケル水素電池を電源としている。カメラ本体は内蔵された電池を電源としている。図 2 には、ハンド搭載型全方向移動装置に FRP の保護カバーを取り付けた全体像を示す。図 3 には、FRP 保護カバーを取り外し内部構造がわかるようにした図を示す。外形はハンドを含んで全長 850mm、幅 410mm、高さ 215mm、メカナムホイールは直径 127mm、12V

直流モータの 4 輪独立駆動としている。ハンド開閉用に 12V サーボモータを 2 つ搭載している。これらの電源は 7.2V のニッケル水素電池を直列につないで行っている。全方向移動装置のメカナムホイールは、回転半径を最小化するため、メカナムホイール間の取り付け距離を縦方向と横方向は同じにしている。

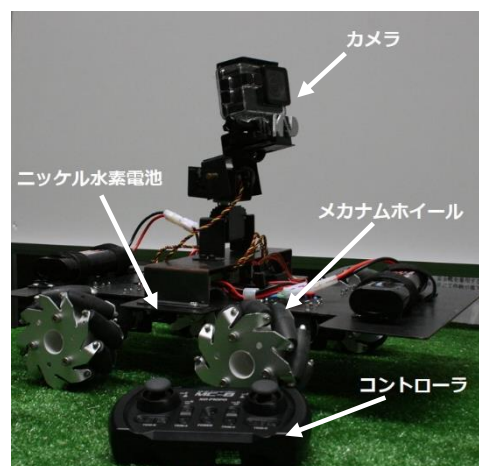


図 1 カメラ搭載全方向移動装置の全体図



図 2 ハンド搭載型全方向移動装置

\* 生産技術科



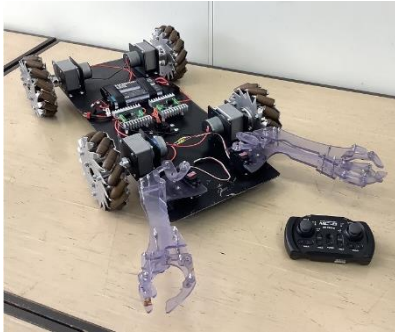


図3 ハンド搭載型全方向移動装置の内部構造

**2.2 本体の移動** 図4にメカナムホイールを示す。メカナムホイールは、本体車輪に45度に傾けられた小型のローラが取り付けられている。(図4右)全方向移動装置に取り付けた4個のメカナムホイールの回転方向を組み合わせることにより全方向に移動することができる。図5にメカナムホイールの車輪の回転方向と全方向移動装置本体の移動方向を示す。車輪の回転方向を赤色で囲んだ矢印で全方向移動装置の移動方向を赤色の矢印で示している。①に示すように4輪を正転方向に回転させた場合は、本体は前に進み、4輪を逆転方向に回転させると後方に進む。②に示すように左前輪、右後輪を正転方向に右前輪と左後輪を逆転方向に回転させると右方向真横に移動する。前述した回転を反対にすると左方向真横に移動する。③のように左前輪、右後輪を正転させ右前輪、左後輪を停止させると右斜め前方方向に移動する。同様に右前輪、左後輪を正転させ左前輪、右後輪を停止させると左斜め前方方向に移動する。この組み合わせを変えると右斜め後方左斜め後方に進むことができる。④の右側の車輪を正転し左側を停止させると後輪の中心位置を回転軸として本体が右に回転する。左側の車輪を正転させ右側の車輪を停止させると前述と反対方向に回転する。これらの組み合わせを逆転方向で行うと前輪の中心を回転軸にして回転を行うことができる。⑤には左側を正転させ右側を逆転させると本体の中心を回転軸として本体を右回りに回転する。回転方向を反対にすると左回りに回転する。⑥のように前輪の二つを右側を逆転させ左側を正転させると本体後端中央を回転軸として本体は右回りに回転し、車輪を逆方向に回転させると左回りに回転する。同様に後輪で同様のことを行うと本体前端中央部を回転軸として回転する。

これらの移動は車輪の独立した回転により発生する力の組み合わせと回転時、周方向の力を他の回転する車輪により打ち消し、車輪に取り付けた45度のローラにより力を分解し、力を45度方向に発生させることで多方向に移動することができる。同時に最小の移動量で本体を各方向に向けることができる[1]。

**2.3 モータの制御システム** 2台の全方向移動装置は電圧が異なるが、同じ回路になっている。図6にその回路を示す。制御信号は、外部の送信機より送信され、本体に取り付けた受信機で、信号電圧5V、60HZの矩形波のデューティ比を35%~65%に変化させ出力している。この出力信号をモータ用のドライバーである電気速度制御(ESC)回路に出力し、モータの回転制御を

行っている。本制作では、受信機から出力される矩形波のデューティ比が50%の時、モータが停止し50%から35%にデューティ比が変化するとモータは逆転し回転数上がる。デューティ比の変化が50%から65%に増加すると正転し回転数上げる回路になっている。このESCは、6Vから24Vの入力電圧を制御することができる。ESCはバッテリーからの電圧を5Vに変え受信機に電力を供給できる回路にしている。受信機からは、ESC以外にもサーボモータに位置信号が供給されている。カメラ搭載型は7.2V仕様のサーボモータを使用しているので、直接電池から供給している。同様にハンド動作のサーボモータは12V仕様であるため電源は別回路でサーボモータに供給している。



図4 メカナムホイール

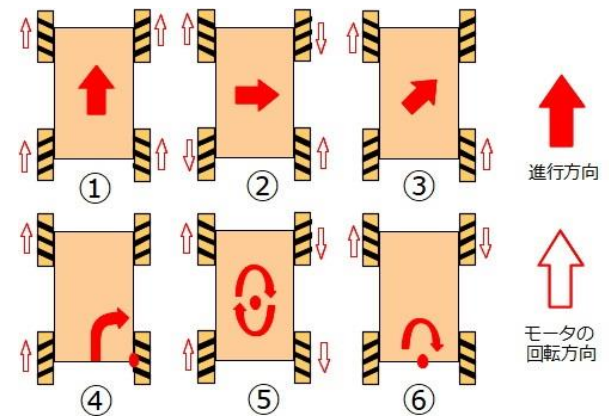


図5 メカナムホイールによる移動原理

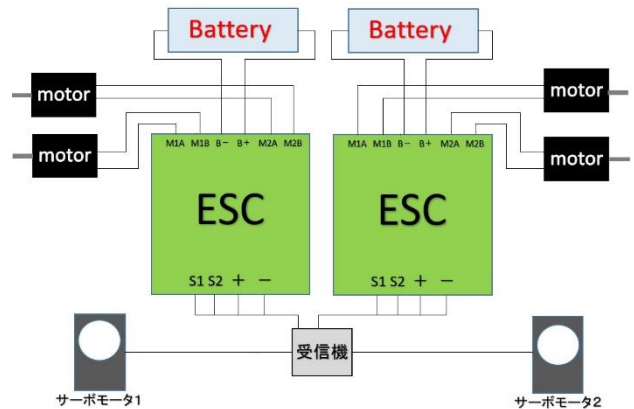


図6 配線図

**2.4 搭載されたカメラの動作** 全方向移動装置に搭載したカメラは、独立した電源により撮影されるようになっている。このカメラには手振れ補正機能が搭載されている。不整地でもぶれることなく撮影することができる。図7に、全方向移動装置に搭載したカメラで図7中央の被写体を撮影した図(無線LANを利用しスマートフォンに映し出した画像)を示す。撮影された画像は、高速の転送速度でスマートフォンに転送される。この画像により、全方向移動装置が視認できなくても遠隔操作が可能である。スマートフォン上におかれた専用ソフトでカメラ本体に内蔵したメモリーに録画することも、写真撮影をすることもできる。カメラのレンズの撮影角度は85度程度である。これを改善するためカメラを上下左右に回転出来るようにカメラ本体は、サーボモータを組み合わせたカメラ台の上に取り付けられている。図8にカメラを回転している図が示されている。上下には45度程度、左右には60度程度回転できるようになっている。これにより前方の視野が左右200度程度上下30度程度の範囲で確保できている。このカメラを回転させることは全方向移動装置の移動中にも行うことができる。

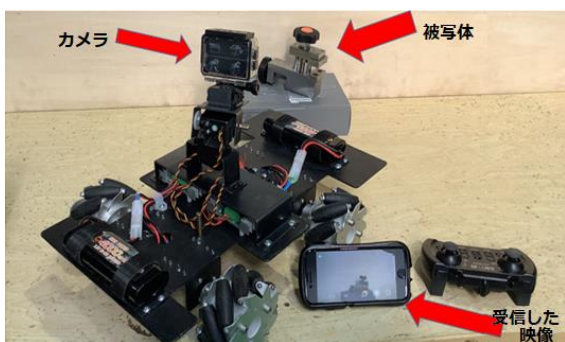


図7 搭載したカメラから被写体撮影とスマートフォンへの転送

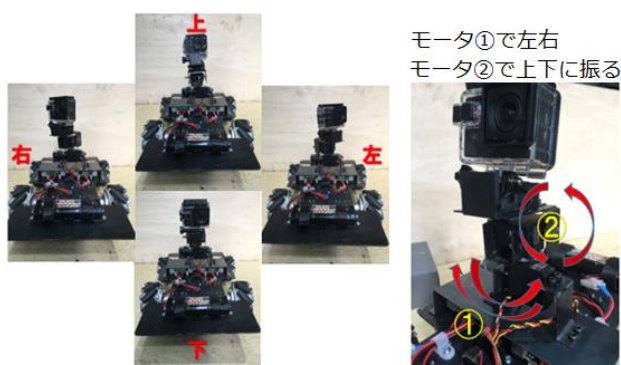


図8 カメラの動作範囲

**2.5 操作方法** 遠隔操作は、ゲーム機のコントローラのような装置で遠隔操作を行っている。装置の外観は図9に示すようなもので左右のスティック、スティックを押し込むことによるスイッチ、装置上部についたボタンスイッチで構成されている。左右のスティックは、前後左右に動かすことができ、この信号は直流モータの制御を行っている。同時にスティックを押し込むこ

とでサーボモータを動かすことができる。このコントローラで操作できるチャンネル数は8つである。図9の左側に操作装置のスティックの動作による全方向移動装置の動作とカメラの回転操作の割り付けが記載されている。この操作装置とスマートフォンの画像を見ることにより全方向移動装置を視認することなく操作できることになる。ハンドを搭載した全方向移動装置は、カメラの回転操作の代わりにハンド指先の左右の開閉操作が割り付けられている。



図9 コントローラの操作設定

**2.6 ハンドの動作** 全方向移動装置には、作業用の可動式ハンドを搭載した。このハンドの外観を図10に示す。ハンドは、アクリルの5mm板をレーザー加工機で加工し、組み立てたものである。ハンド部分の指の開閉は、図10に示すようにハンドの基部にサーボモータが取り付けられ、サーボモータ①が回転することでハンド中央部に位置する棒の部分②が押し出されることで指の先端部分③に力が伝わり指を開閉する。図10の左側に、ハンドが開いた場合の動きを赤色の矢印で示し、右側には閉じる場合の動きを赤色の矢印で示している。

このハンド開閉はリンク機構を利用している[2].

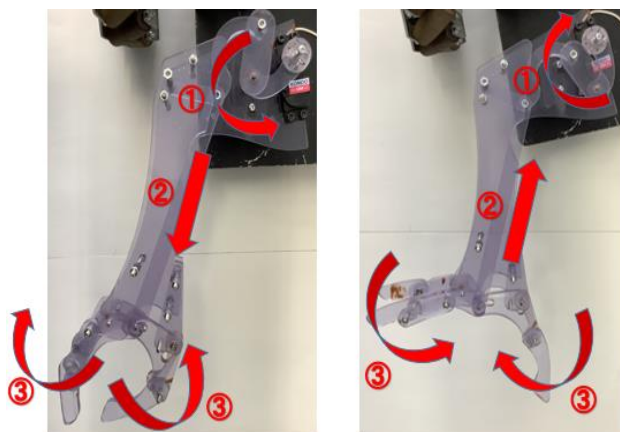


図10 ハンドの開閉



2.7 FRP を使用したカバー 狭小での移動は、接触により内部配線の損傷や全方向移動装置本体の突起部が障害物に接触し走行不能に陥ることが想定される。障害物に接触しても内部損傷や走行ができなくなることを防ぐため頑丈で引っ掛かりの少ない曲線を組み合わせたカバーを製作した。このカバーはFRPで作成した。ハンド搭載型のFRPのカバーを図11に示す[3]。カバーの長さ660mm、幅265mm、高さ165mm、重量は1kg程度である。図12にカメラ搭載型のFRPカバーを示す。カバーの長さ530mm、幅200mm、高さは300mm、重量は2kg程度である。操作する全方向移動装置を全速で壁面に衝突させても充分の強度があり内部部品に損傷はみられなかった。FRP成型時にパテの使用量が多く予定していた重量より、どちらのFRPカバーも200~300g程度計画より重くなった。



図11 ハンド搭載型全方向装置のFRPカバー

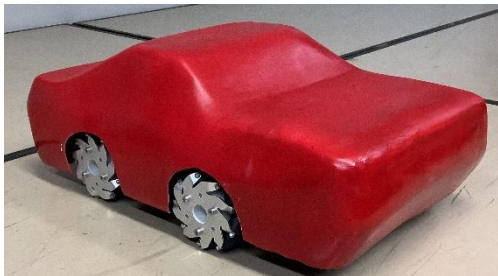


図12 カメラ搭載型FRPカバー

### 3. 走行実験の結果

走行実験を行った結果、整地された床面では全方向に問題なく移動することができた。全方向移動装置にカメラを搭載したもので、周辺の撮影データをもとに遠隔操作をすることもできた。ただし、不整地の段差があるような場所においてはメカナムホイールのローラが接触面と安定した接触ができなため移動を正確に操作することができないことがあった。40mm程度の段差は、乗り越えることができなかった。

ハンドではペットボトルと200g程度の直径80mm程度の球体をつかむことができた。一方、ハンドはコードなどの柔らかいものや指の位置の関係から細い棒状のもの、小型の球状のものがつかめなかった。

遠隔操作を行う場合、ハンド、カメラの操作をしながら全方向に移動させる際、現行の操作装置ではメカナムホイールの操作とあと一つ程度の動作をさせることしかできなかった。現行の操作装置ではハンドとカ

メラの2機能を搭載した全方向移動装置を障害なく動作させることが困難であることが分かった。また、カメラの撮影角の関係からハンドの動作を正確に撮影できない可能性があることが分かった。画像データの転送速度は実際の状況とスマートフォン上の映像に差があったが、全方向移動装置の移動速度が高速ではないので、操作には充分であり通信速度には問題はなかった。

遠隔操作は障害物がない場合は数百mまで制御できることがわかった。ただこの状態で全方向移動装置を高速で動かした場合、遠隔操作装置をカメラの画像で操作するには、カメラの視野角が小さく、カメラ画像が少し遅れるため操作になれる必要があることが分かった。

ハンド搭載型、カメラ搭載型の全方向移動装置は床下を移動するには、今回設計した物は大型でありメカナムホイールでの床下移動には適していないことが分かった。

### 4. 今後の課題

床下で全体の様子を視認することなく遠隔操作を行い、かつハンドなどの操作を行うためには現在利用している操作装置では操作がしにくい、これを改善するためには遠隔操作装置に必要となる項目を整理しこれに適した操作装置と制御システムを開発する必要がある。

ハンドの指の配置や、指を動かすリンク構造を改善することで、柔らかいコード、細長い棒状物、小径の球体などを捕まえることができるように改善する必要がある。

今回は評価用に全方向移動装置を大型なものとしたが小型化の必要がある。

### 5. おわりに

全方向への移動とその他の付属機構を含めた全方向移動型ロボットを製作することができた。またFRPでのカバー作成も行うことができた。この制作により必要となる技術の分析をすることができた。

### 6. 謝辞

全方向移動装置の製作に尽力してくれた生産技術科の小島貴之、佐々木賢琉、辻 理人、戸田龍樹の4氏には厚く感謝し謝辞をここに述べるものである。

### 文献

- [1] オムニホイールとメカナムホイール  
<https://notesuzakugiken.jp/omni-mecanum-wheel-difference-ref-a/>
- [2] 南博・ほか3名：千葉職業能力開発短期大学校紀要、第17号、2011
- [3] FRP製品の作り方、FRP\_mesu.pdf (huckleborn.nc.jp)

(2021年7月9日提出)

# Grid-EYE を用いた体温測定システムの製作

片岡 将樹\*

コロナ禍の影響から体温を測定する機会が増加している。一般向けの体温測定機能のみの製品は既に存在しているが、企業など個々のニーズに対応した付加機能を有するシステムは一般的に流通されていない。このような需要は今後高まると考え、令和2年度総合制作実習にて、体温測定に加えて測定結果の記録や体温異常時の警告等の機能を搭載したシステムを製作した。また体温測定には、画像処理ライブラリ Open CV、2次元エリア温度検知が可能であるサーモセンサ Grid-EYE を使用した。

**Keywords** : Raspberry pi, Python, サーモセンサ, Grid-EYE, 3Dプリンタ, 顔認識, OpenCV.

## 1. 緒言

コロナ禍の影響から、建物内への入室時の体温測定が増加している。会社などの組織によっては体温測定に加えて結果を記録する場合がある。そこで、体温測定だけではなく、企業など個々のニーズに対応した付加機能を有するシステムに需要が高まると考え、測定データの管理や測定時の警告等の機能を有する体温測定システムの製作を令和2年度総合制作実習にて行った。

本稿では本総合制作実習の取り組みについて述べる。

## 2. 体温測定システムの概要

**2.1 システム構成** 図1に示すように、本システムは制御部・操作部・検出部・駆動部から構成されている。制御部となるマイコンは Raspberry Pi 4B を使用し、1つのプログラムでセンサなどのハードウェアの制御やディスプレイへの GUI 処理を行う。

**2.2 サーモセンサ** 体温測定機能で使用したサーモセンサ Grid-EYE は、非接触での温度分布検知が可能で、家電・産業に幅広く使用されているセンサである。8×8画素で赤外線を捉えることによりエリアの温度分布を検知する。エリアの温度分布から、対象の人の動きや存在を検知することができる[1]。Grid-EYE の外観および構造を図2に、動作概略図を図3に示す。

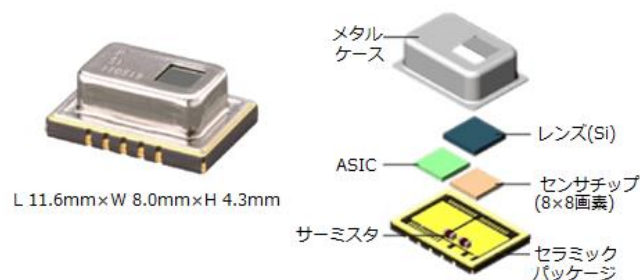


図2 Grid-EYE の外観および構造

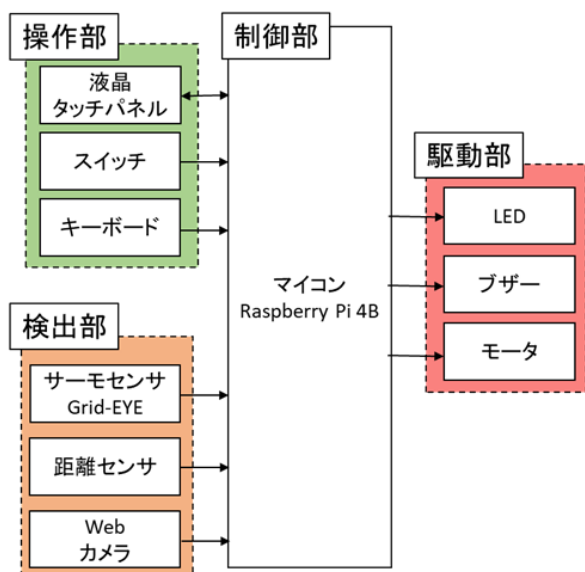


図1 体温測定システムブロック図

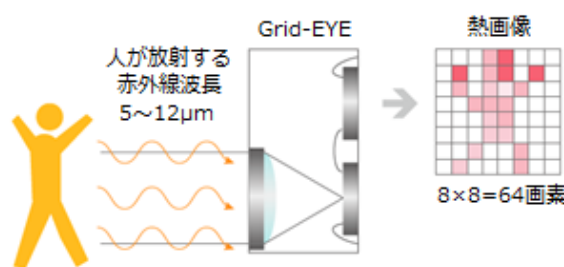


図3 Grid-EYE の動作概略図

## 3. 体温測定システムの設計

**3.1 体温測定システムの仕様** カメラ映像内で人物を認識し、かつ適正距離に近づいたときのみ体温を表示しLEDを点灯させる。測定中、対象者の名前と体温をカメラ映像内に表示する。対象者が登録されていない場合は「???'と表示する。

測定結果が異常とみなす体温の場合は、警告音に見立てたブザーを鳴らし、入場を規制するゲートに見立てたサーボモータを動作させる。

測定中にスイッチを押すと、測定した体温・日付・名前が保存される。対象者が登録されていない場合は

\* 京都職業能力開発短期大学校 電子情報技術科

名前を入力する必要がある。

対象者とシステムとの距離が適正の場合の測定画面を図 4, 対象者との距離が近いときの測定画面を図 5, 対象者との距離が遠いときの測定画面を図 6 に示す。



図 4 システムとの距離が適正の場合の測定画面

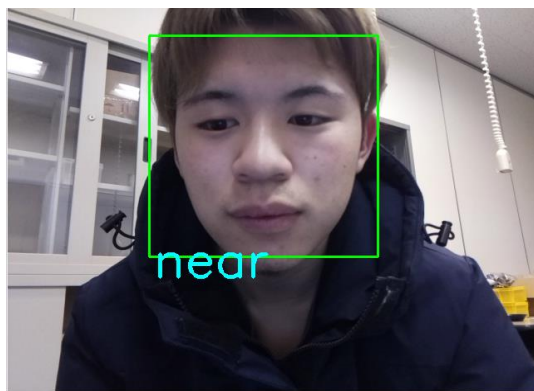


図 5 システムとの距離が近い場合の測定画面



図 6 システムとの距離が遠い場合の測定画面

3.2 ハードウェア 使用機器を表 1 に示す。

3.3 ソフトウェア 本システムのソフトウェアは Python 言語で作成し, 基本ライブラリに加えてインターネット上に公開されているライブラリを利用した。主な使用ライブラリを表 2 に示す。

サーボモータ等の IO 制御について当初 WiringPi を使用する予定だったが, 数年更新されておらず動作に不具合が生じたため, 代わりに pigpio を利用した。

予め登録者の顔情報を設定しておくための機械学習

プログラムや描画処理などの画像処理プログラムには OpenCV を利用した。

サーモセンサ Grid-EYE から温度データを取得するプログラムには Adafruit\_AMG88xx を利用した。

プログラム中での配列演算などの複雑な計算は NumPy を利用することでプログラムの演算効率を向上させた。

表 1 体温測定システム使用機器

マイコン	Raspberry Pi 4 Model B
液晶タッチパネル	UCTRONICS (UC-595)
キーボード	モノタロウ USB キーボード
サーモセンサ	Grid-EYE(AMG8833)
Web カメラ	Raspberry Pi camera v2
距離センサ	シャープ製 GP2Y0A21YK
モータ	マイクロサーボ 9g SG90
ブザー	電子ブザー UDB-05LFPN
LED	赤色 LED OSDR5113A
スイッチ	タクトスイッチ
AD コンバータ	MCP3002-I/P

表 2 主な使用ライブラリ

ライブラリ名	内容
Pigpio	GPIO 制御ライブラリ
cv2(Open CV)	画像処理ライブラリ
Adafruit_AMG88xx	Grid-EYE 制御用ライブラリ
NumPy	配列演算ライブラリ

#### 4. 製作

4.1 学生指導とグループ実習の取組み 本テーマは電子情報技術科 2 年生 3 名のグループで取り組み, 指導を行った。まず年度当初に年間スケジュールを作成した。中間発表会やポリテックビジョンなどのイベントや予稿提出締切日を定期的な目標とし, 学生同士でスケジュールを意識した進捗管理を行うように指導を行った。作成したスケジュールを図 7 に示す。

8 月までは主にプログラミング等の基礎学習を行った。Python 言語プログラミングは授業で扱っていないため, 構想発表会后には Python 言語の基本文法の学習を行い, その後 Raspberry Pi を使用した組み込みプログラミング学習を行った。

9 月から, システムで使用するサーモセンサ等を制御するプログラミングを行った後, 11 月末の中間発表会を目標に試作品の製作に取り組んだ。

プログラミング学習は 3 人とも同じ実習内容で進めたが, 試作品の製作以降は 3 人の希望や得意分野に合わせて, ソフトウェア設計, 電子回路設計, 3D モデリング等に役割分担を行い, 各自効率的に作業を行った。中間発表会で指摘された内容を参考に, 距離センサの追加やプログラムの修正を行った。計画に従って装置の製作は 1 月末までに完了し, 2 月に入ってからはポリテックビジョンの発表準備を行った。



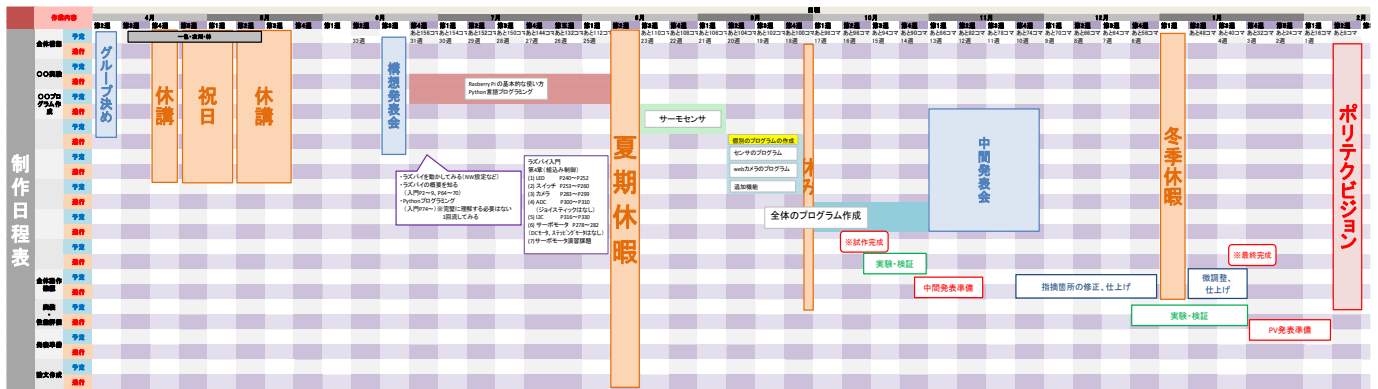


図7 総合制作実習スケジュール

4.2 ハードウェア 本システムの正面からの外観を図8に、側面からの外観を図9に示す。ディスプレイ上部に、及びサーモセンサ等の入出力機器を搭載した。入出力機器とのインターフェースとなる回路基板は、CADソフトCR-8000で設計し、プリント基板加工機で製作を行った。



図8 体温測定システム外観（正面）

4.3 3D プリンタによる筐体の製作 LED, ブザー, web カメラ, サーモセンサ, 距離センサのディスプレイへの取り付けおよびディスプレイを支える筐体をDesignSparkにて設計し、3Dプリンタで製作した。筐体の3Dモデルを図10に示す。

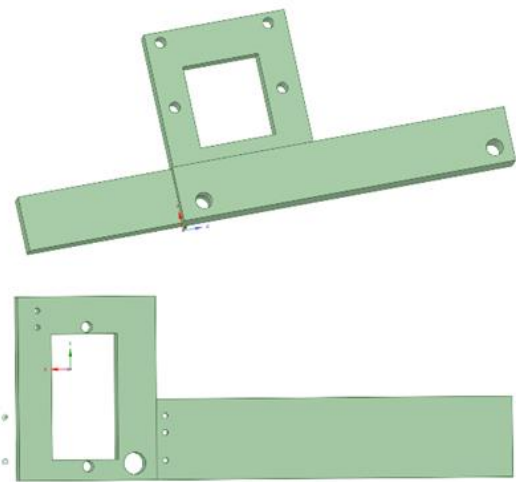


図10 筐体の3Dモデル

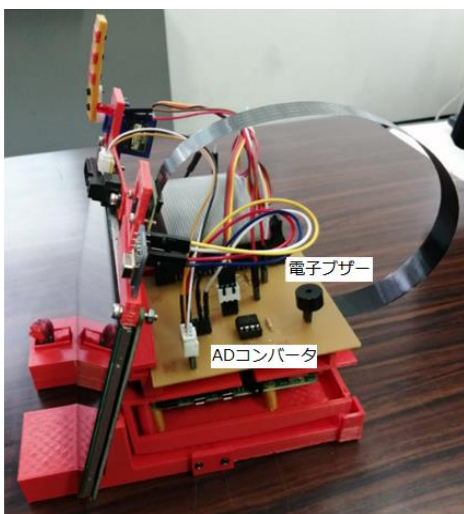


図9 体温測定システム外観（側面）

4.4 ソフトウェア 作成した制御プログラムにおけるメイン処理の流れを図11のフローチャートに示す。装置の前に人物がいる場合のみ測定処理を行うようにするため、まず画像処理プログラムによりカメラ映像内の人物判定を行う。人物がいた場合、その人物が登録されているか予め顔情報を記憶した機械学習データと比較して判定を行う。判定結果に従い名前表示を行った後、測定距離の判定を行う。適正距離の場合、測定温度を調整した体温結果を表示し、結果が設定温度以上の場合は警告処理を行う。そのとき、タクトスイッチを押すことにより測定結果を csv ファイルで記録することができる。



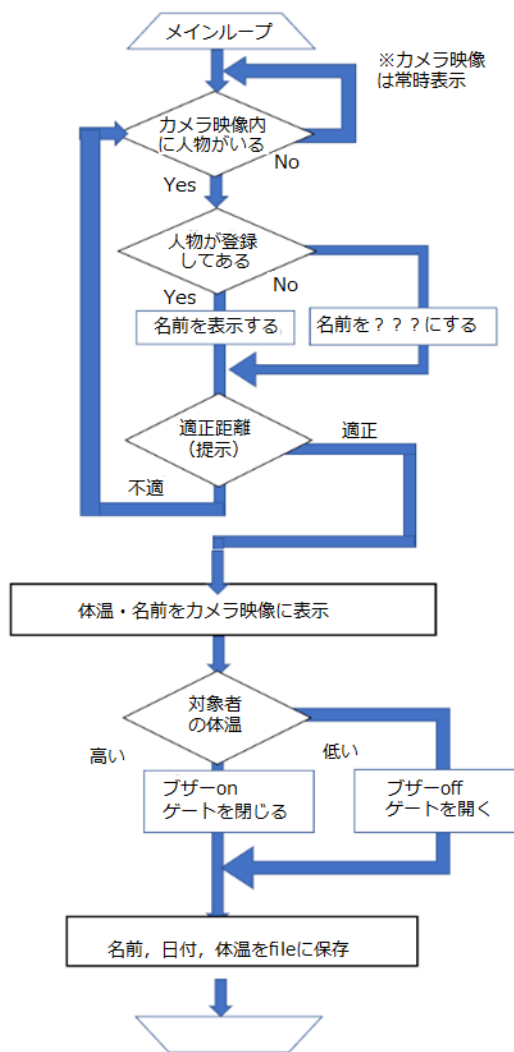


図 11 メイン処理のフローチャート

## 5. 検証と考察

5.1 検証 本システムの体温測定の正確性を評価するために、市販の非接触体温計と本システムにて測定した対象者3名の体温を表3に示す。なお数値は適正距離での測定値の平均とする。

表3 測定温度と正しい温度の比較

	市販品測定値 [°C]	本システム測定 値[°C]	誤差 [°C]
A	36.8	36.9	0.1
B	36.6	35.2	-0.8
C	36.7	36.4	0.3

5.2 考察 1°C近く誤差がある場合は測定の正確性に疑問がある。ただし異常体温を検知する目的の使用に限れば許容範囲内といえる。

また本システムによる測定は、市販の体温計による測定に比べて短時間かつ記録表等の道具を必要としないので、作業効率が優れているといえる。

## 6. 現状の問題点および改善点

6.1 正確性 サーモセンサの近くに温度の高いものを接近させると、その物の赤外線も読み取ってしまうため測定温度が高くなる。

6.2 利便性 カメラ映像とプログラム画面(入力画面)の共有が出来ない。その為に GUI(Graphical User Interface)を用いてカメラ映像を用いながら名前入力ができるようにする必要がある。

## 7. 令和3年度総合制作実習での取り組み

令和3年度総合制作実習において、本テーマの引継ぎとして、「AIを活用した体温測定システムの開発」というテーマで実習を行っている。

7.1 改善案 測定精度を向上させるため、サーモセンサの選定や温度データの調整プログラムの作成を行う。また装置の設置方法について、使用する場所の選択肢を広げるために床置きが可能なスタンドと組み合わせるように設計を行う。

7.2 追加機能案 測定記録を事務室等から確認できるように、ネットワーク通信機能にて測定データの送受信を行う。また「非接触」の観点から、音声認識で名前の登録等を行うことができるようにする。

## 8. 結言

本実習を進める上で、学生たちにはまず「スケジュールの進捗管理」を徹底させ、各個人が自分の作業の計画と進捗を常に確認することを習慣とさせた。結果としてグループ全体の進捗も確認しやすくなり、ポリテクビジョンの発表会までスムーズに作業を進めることができた。またポリテクビジョン内の総合制作作品コンテストの結果、本テーマは優秀賞を受賞した。また本テーマについて取材頂いた京都新聞の記事を図12に示す。

今後については、上記の改善案や追加機能案について学生とともに新たに目標やスケジュールを作成し、有意義なグループ実習の提供および指導を行いたい。



図 12 本テーマについての京都新聞の記事

## 文献

[1] Panasonic: Grid-EYE 温冷感 センシングソリューション, <https://industrial.panasonic.com/jp/ds/pr/grid-eye>

(2021年7月13日提出)

## 薄膜フィルタ貼付装置の開発

矢口 博道\*1, 佐藤 桂\*2, 大山 有利\*3

開発はムネカタインダストリアルマシナリー株式会社よりテーマを頂き取り組んだ課題であり、ロールシートにより供給されるフィルタを対象物の指定個所に配置し、溶着機により貼り付ける工程の自動化を目的としたものである。本課題においては溶着の工程を省略し、フィルタの代わりにシールを使用し、対象物の水平位置2か所にシールを搬送・貼付し、品質の良否判定を行う装置の開発を目的とした。

**Keywords:** 薄膜フィルタ, 位置決め制御, 画像処理, 良否判定, PLC, RaspberryPi.

### 1. 緒言

近年、第四次産業革命における企業内のIoT(Internet of Things)化が現場においても加速的に進んでいる。また、すべての製品においてトレーサビリティが求められ、各製品の製造工程における検査データなどの管理が求められる。本課題では、一連の動作及び検査結果をIoT化することにより情報を数値化し、トレーサビリティに対応することができる。また、少子高齢化による人員不足に対する対策として一部の工程を機械化し、作業を自動化することにより、作業の省力化にも対応することができる。

### 2. 装置概要

本装置はロールシートにより供給されるシールを取得し、ワークの指定された箇所に搬送し、60Nの力で押付できることを目指す。図1に本装置で使用するヘッドライトユニットを模した疑似ワーク（以下、ワーク）の外観を、表1に仕様を示す。

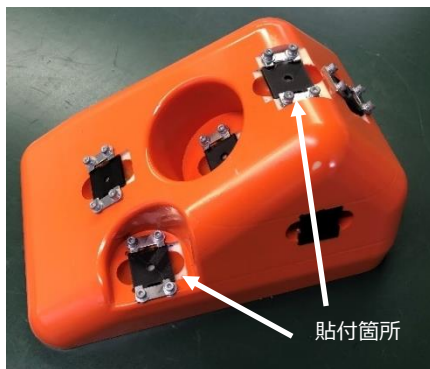


図1 ワーク外観

表1 ワーク仕様

項目	内容
大きさ(mm)	W200×D300×H145
重量(kgf)	3
貼付箇所	6

本年度目標は以下4項目とした。

\*1 生産電気システム技術科

\*2 生産機械システム技術科

\*3 生産電子情報システム技術科

- ① シール貼付箇所全6ヶ所中、図1で示す線で囲った水平面2ヶ所においてシール供給、搬送、貼付動作を行う
- ② シール吸着、貼付位置への搬送作業においては、目的位置±0.1mmの誤差内で搬送を行う
- ③ シール押付けは、60±5Nの力で行う  
貼付されたシールにおいて、シールのずれ、汚れ、めくれの状態について確認を行う
- ④ 押付力について記録し、判定結果の保存・閲覧を可能にする

2.1 ハードウェア構成 本装置は表2に示す8つのユニットで構成されている。

表2 各部の名称

名称	役割
搬送部	吸着部、押付部を指定位置に搬送
供給部	ロールシートよりシールを供給
吸着部	シールを吸着、指定位置に仮置き
押付部	シールを60Nで押付
判定部	貼付したシールの良否判定
ワーク固定部	ワークを装置に固定
制御部	装置の動作を制御
操作・表示部	ユーザ操作の受付、状態表示

図2に装置上面図、図3に装置正面図を示す。

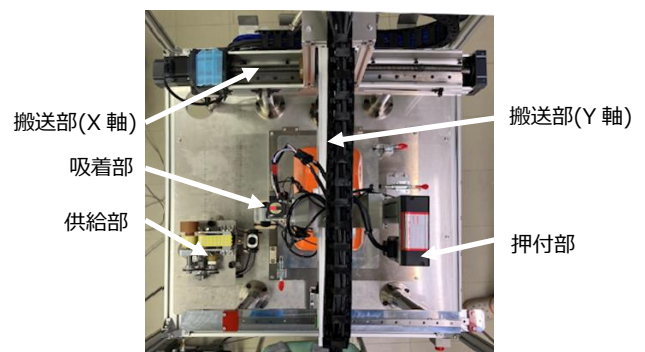


図2 装置上面図

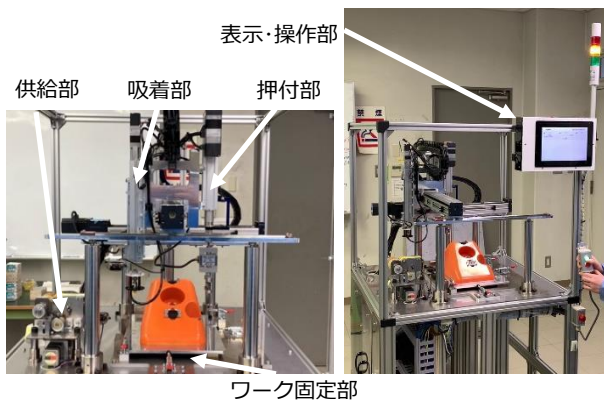


図3 装置正面図

装置のシステム構成を図4に示す。システム全体の制御を制御部が行う。押付部、吸着部は搬送部 Y 軸に実装されている。

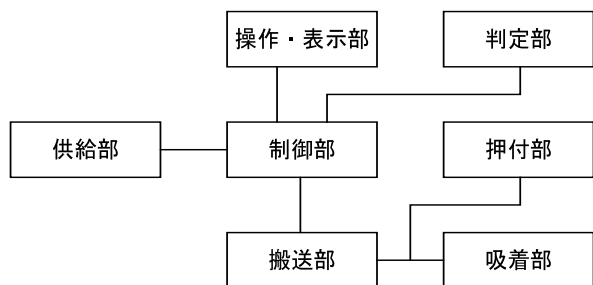


図4 システム構成

システムブロック図を図5に示す。搬送部・吸着部・押付部のアクチュエータ、表示灯、物理スイッチの制御をPLCが行い、USBカメラを用いた画像処理(ずれ検出・良否判定)、ロードセルを用いた押付け強度測定、タッチパネルによるUI制御をマイコン(図中MC1,MC2)にて行う。

PLCは三菱電機Qシリーズを用い、SFCにて構築し、マイコンにはRaspberry Pi 4 Model Bを用い、Qtを用いてC++にて構築した。

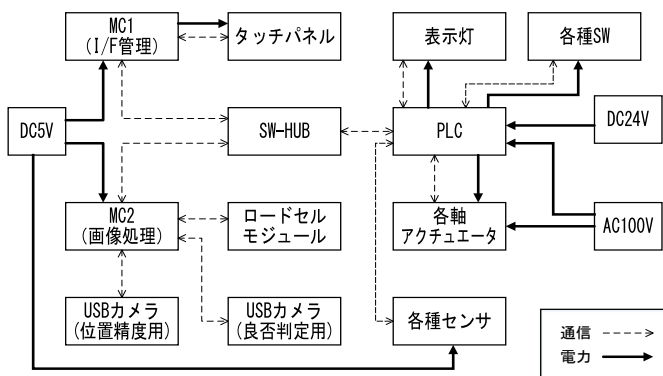


図5 システムブロック図

2.2 仕様 表3に本装置の仕様を示す。ワーク上の指定個所に操作できるように、各軸のストローク、速度を設定した。

表3 装置仕様

項目	内容
装置全体寸法(mm)	900(W)×900(D)×1700(H)
全体重量(kgf)	約 120
ストローク X,Y(mm)	400
ストローク Z <sub>2</sub> 吸着(mm)	150
ストローク Z <sub>1</sub> 押付(mm)	460
送り速度 X, Y(mm/s)	2500
送り速度 Z <sub>1</sub> , Z <sub>2</sub> (mm/s)	500
押付強度(N)	60±5
シール送り速度(mm/s)	2
シール直径(mm)	8
シール列	3
位置決め精度 X,Y(mm)	0.1

2.3 動作概要 システムの動作概要を図6に示す。動作前には原点復帰を必要とし、動作中は非常停止 SWにより即座に動作が停止する。本装置では水平面の2か所への貼付を目的としており、1サイクルで2か所の貼付を行う。

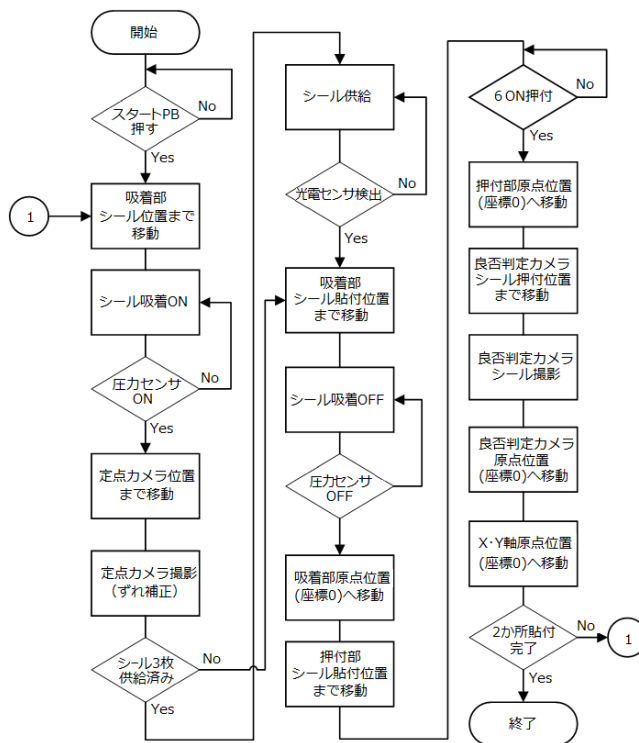


図6 動作フロー

### 3. 各部の詳細

3.1 搬送部 (X,Y 軸) X, Y 軸にはステッピングモータを用いたアクチュエータを採用し、制御にはPLC及び位置決めユニットを用いた。動作速度は共振及び脱調させないため 2500mm/min とした。

搬送部調整機構拡大図を図7に示す。X, Y 軸の水平及び平行の調整を行うため、セットカラー、片端ネジ付きシャフトを用いた。水平及び平行調整を行う際は、X 軸, Y 軸ガイド下のセットカラーを上下させ、ダイヤルゲージを用いて調整する機構を採用した。



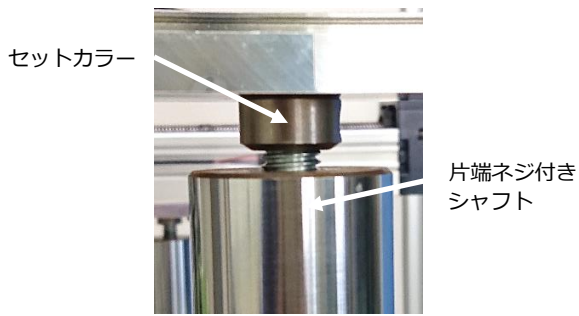


図7 搬送部調整機構拡大図

**3.2 供給部** ロールシートからシールを吸着する位置までシールを移動させ、吸着部( $Z_2$ 軸)の吸着パッドで吸着させやすいようにシールを台紙から半分剥離(以下ベロ出し)する装置である。

シール吸着位置の下部に光電センサを取り付け、シールがベロ出しされたことを検知し、モータの回転を停止させる。シール台紙を送るモータには保持トルク、及び停止精度が高いシンクロナスマータを使用した。センサ位置とベロ出しの状況について図8に示す。

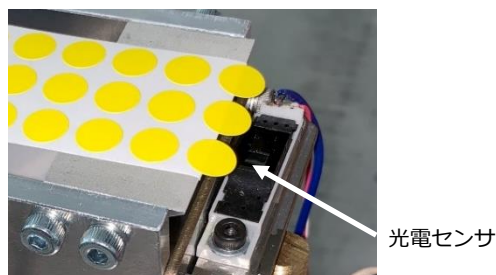


図8 センサ位置とベロ出し状況

供給部平面図を図9に示す。脚部3本を三角形形状に設置し、それぞれのシャフトの高さ調整を行うことで水平の調整を行い、また、シールと吸着パッドに対して平行の調整を行えるようにした。

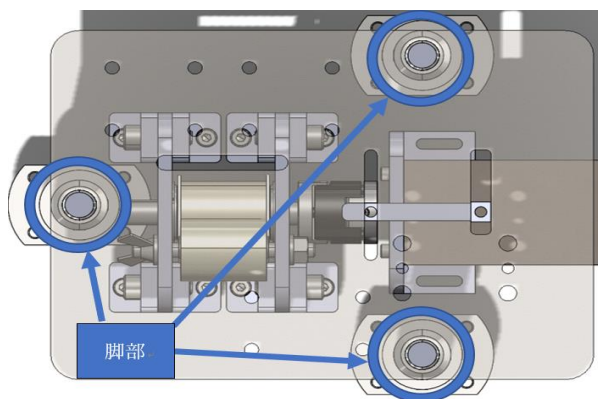


図9 供給部平面図

**3.3 吸着部 ( $Z_2$  軸)** ロールシートからシールを吸着及び指定の位置に仮置き作業を行う。また、シールの貼付作業が完了した後、吸着部に取り付けてある良否判定カメラでシールの剥がれ、位置ずれの測定を行う。

空気圧制御の吸着パッドは、薄く、柔らかいシールを吸着するためにソフトベローズタイプとした。シール直径が8mmのため、吸着パッドの直径を6mmとし、シールと吸着部の色判別を行いやすくするため黒色とした。吸着力はシールにシワが入らないようにするため、0.4MPaとした。

供給部に隣接する定点カメラで下から撮影した吸着部を図10に示す。撮影した画像から、吸着したシールの位置と吸着パッド中心の誤差を算出し、シール吸着時に生じたずれを貼付時に補正する。吸着パッドに隣接してマーカを設置し、マーカのサイズと位置関係を用いて誤差を算出する。画像処理にはOpenCVを用いており、画像データから得られたピクセル値を長さ(単位:  $\mu\text{m}$ )に換算して座標を求めた。求めた座標をPLCに送り、貼付け位置を補正する。

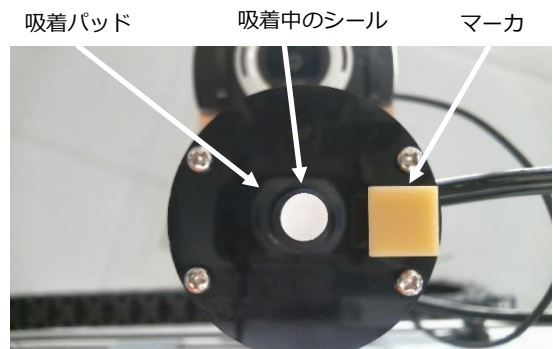


図10 定点カメラで撮影した吸着部

**3.4 押付部 ( $Z_1$  軸)** 上下運動ができるよう配置したシリンダで、押付動作をおこなう。60 $\pm$ 5Nの荷重が直接ロードセル及び、モータに加わることによる破損防止のため、また60 $\pm$ 5Nの荷重を安定した状態で続けられるように30Nの圧縮コイルばねを平行に2つ設置した。

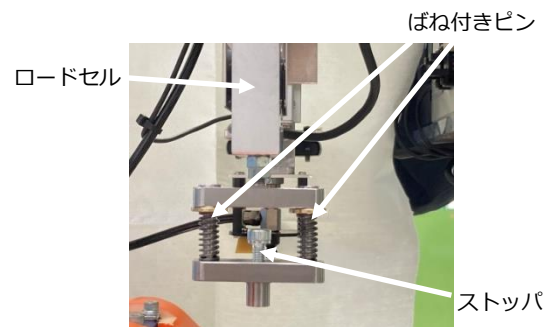


図11 押付部( $Z_1$ )全体図

押付部の先端は、ばね付きピンの上がりすぎによるロードセル破損防止のため、図11に示すように、ストッパとしてボルトを使用した。

押付は電流制限を用いて、60 $\pm$ 5Nで行う。また、押付強度の測定にロードセルアンプを用いて行う、50 $\mu\text{sec}$  間隔でサンプリングを行い、A/D変換された押付強度の測定データをI2C通信で取得する。

**3.5 判定部** シール貼付を行った後、吸着部に取り付けられたカメラを用いて、貼付箇所を撮影する。撮影



結果より所定の貼付位置からのずれ，シールの汚れ，めくれの有無を確認する良否判定を行う。撮影した貼付位置の中心と貼付後のシールの中心を比較し，位置ずれを算出する。汚れとめくれの検知は貼付後のシール部分画像の特定色データのピクセル数をカウントしてシールの欠損面積を求めることで実現した。また，汚れとめくれの判別は，シールが外周部分画像の特定色データの欠損状態を数値化した。

**3.6 ワーク固定部** ワークの容易な取り外し，固定，位置決めを実現するために，ワークガイド台座タイプ，下面押さえ・横型ハンドクランプ，横押しハンドクランプを使用した。本来，ワークガイド側の隅に隙間を作って面を位置決めさせるが，購入品の直角度を保つため追加工せず，図 12 に示すように，ワーク側で面取り加工をし，位置決めを可能にした。

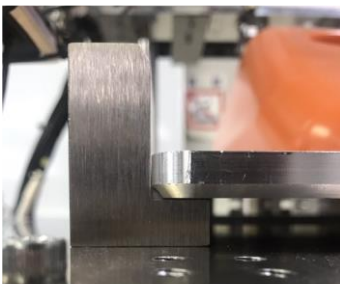


図 12 ワーク面取り拡大図

図 13 に示すように，二種類のハンドクランプを X 側，Y 側に設置しワークの固定を行う。

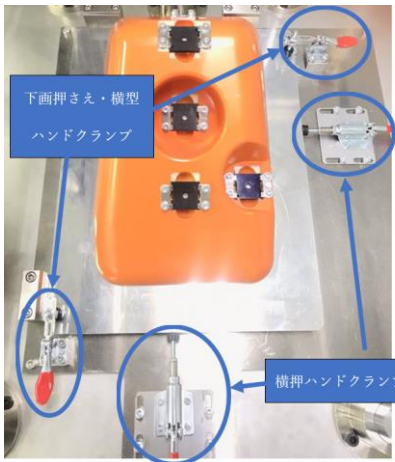


図 13 固定部全体図

**3.7 操作部** 図 14 に装置側面図を示す。操作部は操作 SW，非常停止 SW，タッチパネル，表示灯で構成されており，「始動」「リセット」及び「非常停止」については物理ボタンを用い，「座標の設定」，「原点復帰」，「判定結果閲覧」，「機能単独運転」の機能はタッチパネルで行う。また，装置の動作状況は表示灯によりランプの点滅とブザーにより通知される。

タッチパネル画面例を図 15 に示す。タッチパネルでは，自動動作時の貼付座標の入力，シールの搬送，吸着，貼付，押付の単独運転，押付強度と良否判定結果の閲覧ができる。

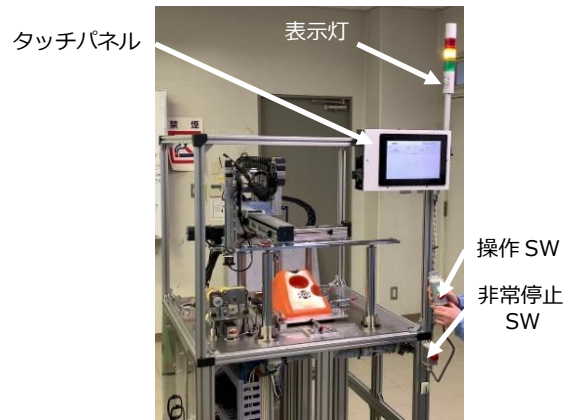


図 14 装置側面図



図 15 Qt で作成した GUI (ホーム画面)

#### 4. 動作の検証

作成した装置について，動作検証を行った。

- ① 1 サイクルの運転で，ロールシートからシールを供給し，指定された 2 ヶ所へのシール搬送・貼付ができることを確認した。
- ② 貼付結果について位置ずれの検証を行った結果，目的位置 $\pm 0.1\text{mm}$  の範囲に収まっていることを確認した。
- ③ 押付強度をロードセルにて測定を行い， $60\pm 5\text{N}$  の範囲内であったことを確認した。また，シールのずれ・汚れ・めくれの状態を検知し，良否判定できたことを確認した。
- ④ 押付強度について，ロードセルの測定結果及び判定結果を保存し，閲覧できることを確認した。

#### 5. 結言

シールを取得・搬送し指定場所へ貼付する装置の設計・製作を行った。その結果，目標の 2 ヶ所への貼付を実現できた。搬送精度については誤差範囲内に，押付についても誤差範囲内の力で行え，良否判定についてもずれ・汚れ・めくれの検出を行う事ができた。

#### 6. 謝辞

本開発を進めるにあたり，テーマを提供元であるムネカティンダストリアルマシナリー株式会社に工場見学の受け入れやアドバイス等協力を頂いた。ここに記して謝意を表す。

(2021 年 6 月 30 日提出)

## 鋳物良否画像撮影装置の製作

望月隆生<sup>\*1</sup>, 中村恵司<sup>\*2</sup>, 田中倫之<sup>\*3</sup>, 白石大将<sup>\*4</sup>, 高橋航洋<sup>\*4</sup>, 西岡和史<sup>\*4</sup>,  
山口鈴平<sup>\*4</sup>, 森本寛千<sup>\*4</sup>, 田中 敦<sup>\*5</sup>, 服部真輝<sup>\*5</sup>, 榎 啓太<sup>\*5</sup>, 久保 輝楼<sup>\*5</sup>,  
石川雅隆<sup>\*6</sup>, 岩永虎太郎<sup>\*6</sup>, 占部蒼馬<sup>\*6</sup>, 澤田浩史<sup>\*6</sup>, 徳満宗遵<sup>\*6</sup>

自動車などに使用される高品質な鋳物部品の生産では、目視による外観検査が行われている。そのため検査工程に多大な人手を必要としていることから、自動化を求める高いニーズが存在している。そこで外観検査を自動化する鋳物良否判別装置の開発を、開発課題実習のテーマとして取り組む事とした。今年度はその基礎として、データ収集を行う撮影装置を製作した。製作した装置は、撮影対象である鋳物部品をセットすると、撮影位置と撮影距離、赤外線照明の照度と方向を制御し、一定の条件下で鋳肌の色や模様の影響を抑えた画像を撮影することが可能である。さらに撮影した画像をファイルとして保存すると共に、画像に写る不良個所の位置を登録することが可能である。

**Keywords** : 鋳物部品, 外観検査, 赤外線撮影, 良否判別, AI.

### 1. 緒言

鋳物で製造される部品の表面は、砂型による凹凸や熱処理によるスケール(熱処理による酸化物)などによって個体差が大きい。そのため画像処理などによる外観検査の自動化が難しく、目視に頼らざるを得ない。特に高品質な鋳物部品の生産では全数検査が求められるため、多大な人手が必要となり、自動化を求める強いニーズが存在している。

そこで我々は、開発課題実習のテーマとして鋳物の良否画像撮影装置の開発に取り組むこととした。初年度である令和2年度は良否判別の検査方法を確立するために必要なデータを効率よく集めることができるように「鋳物良否画像撮影装置」の製作を行った。

なお本テーマは株式会社センシュアより提供を頂いた課題である。

### 2. 要件と基本機能

**2.1 要件** 本装置で撮影対象とする鋳物製の部品(以下、ワークと略す)はゴム製クローラの芯金である。ワークの外観を図1に示す。寸法と重量は表1の通りである。

画像から良否判別をする手法の開発において、良否画像の蓄積は必須である。さらに良否画像のみならず画像のどの部分が不良個所であるかという位置情報も重要であるため、画像と不良個所の位置情報が紐づけされたデータを蓄積できるものとした。

画像による良否判別において、スケールによる鋳物表面の色むらや模様はノイズとなるため、スケールを排除した画像が望ましい。近畿職業能力開発大学校と株式会社センシュアの共同研究で、図2に示したように赤外線(940nm)で撮影することでスケールの影響を低く抑えた画像が得られることが分かったため、本開

発でも赤外線撮影を行うこととした。また共同研究では、不良個所を明瞭に撮影するためにワークの撮影対象面に対して斜め方向から赤外線を投光することが有効との所見が得られていたことから、本開発では照明位置を切り替えながら斜め方向から投光できるもの



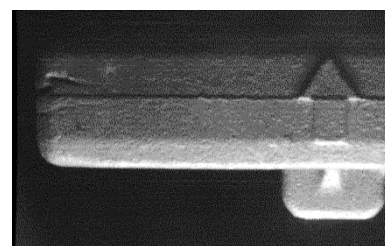
図1 ワーク外観

表1 ワークの寸法と重量

項目	仕様
幅 [mm]	240~350
奥行 [mm]	60~83
高さ [mm]	50~59
重量 [kgf]	0.9~2.0



(a) 可視光撮影



(b) 赤外線撮影

図2 波長による撮影画像の比較

\*1 生産電子情報システム技術科

\*2 生産機械システム技術科 (令和2年度)

\*3 生産電気システム技術科

\*4 生産機械システム技術科2年生 (令和2年度)

\*5 生産電気システム技術科2年生 (令和2年度)

\*6 生産電子情報システム技術科2年生 (令和2年度)

とした。赤外線カメラについては、十分に高解像なものが高価で入手性が悪いため、ワークを2分割撮影することで分解能を補うこととした。

**2.2 基本機能** 前節の要件を踏まえて本装置の基本機能を以下に示す3つとした。

- ・赤外線カメラでワークを2分割で撮影できる
- ・赤外線照明は照射方向を切り替えることができる
- ・撮影画像と画像上の不良個所の位置を紐づけて保存できる

これらの基本機能を実現するために基本仕様と構成をそれぞれ表2、図3とした。

### 3. 機構部

**3.1 機構部の構成** 機構部は撮影時にワークを置く保持治具、ワークを撮影位置に移動させるワーク移動ユニット、ワークの大きさに合わせてカメラの高さを調整するカメラ移動ユニット、赤外線を投光する赤外線照明で構成されている。製作した機構部を図4に示す。

表2 基本仕様

項目	仕様
装置全体寸法 W×H×D [mm]	1800×1600 ×1200
ワーク移動 ストローク [mm]	540
ユニット 最大移動速度 [mm/s]	115
カメラ移動 ストローク [mm]	114
ユニット 最大移動速度 [mm/s]	67
赤外線照明波長 [nm]	940

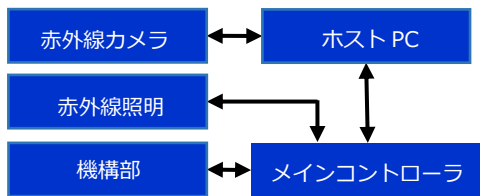


図3 システム構成

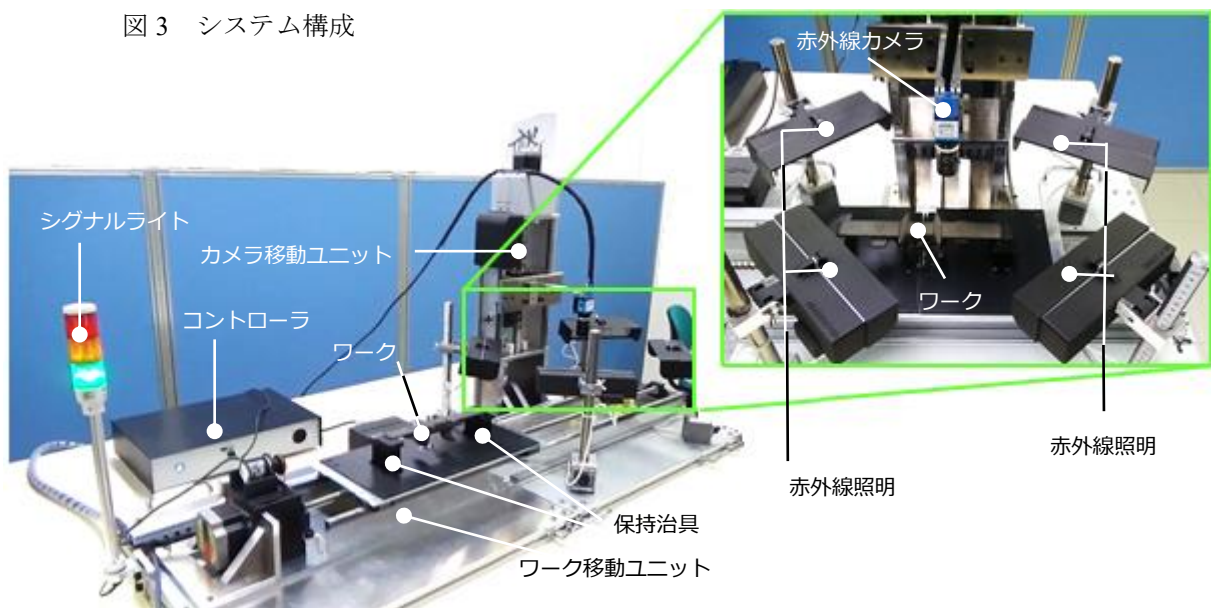


図4 製作した機構部

### 3.2 保持治具

#### (1) 形状

治具が撮影対象のワークの上面を遮蔽しないように、ワークの両端をV溝に乗せて保持する治具を設計、製作した。治具によるワークの保持を図5に示す。

#### (2) 検証

事前に3Dプリンタを用いて樹脂製の保持治具を作成し、マシニング装置の早送り機能を用いて検証を行った。実験の様子を図6に示す。マシニング装置の早送り機能を用いて最大150mm/sで300mmの移動を行い、移動後の位置ずれを測定した結果、位置ずれは1mm以内に収まっていることが確認できた。さらに装置の完成後にワークを保持治具に乗せて、ワーク移動ユニットをくりかえし動作(50回以上)を行ったが、位置ずれの発生は確認されなかった。

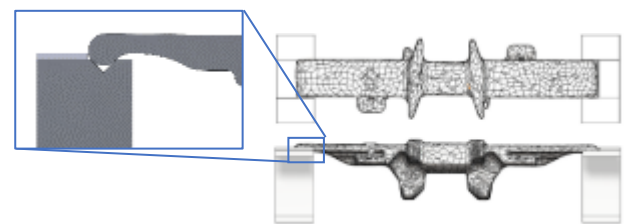


図5 治具によるワークの保持

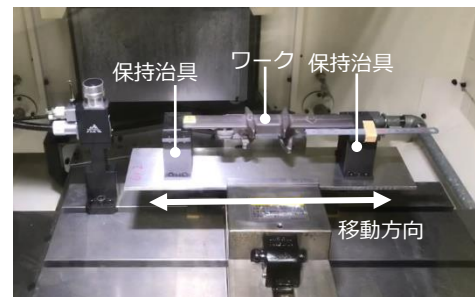


図6 治具の検証実験





図7 長尺部品の加工

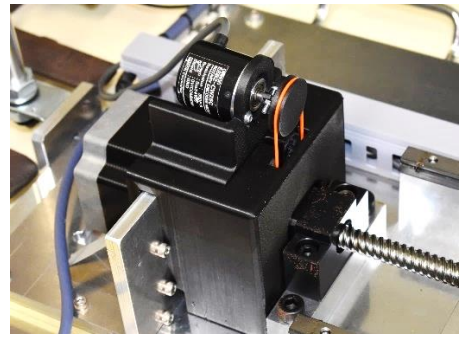


図9 検証用のロータリーエンコーダ

### 3.3 ワーク移動ユニット

#### (1) 構成

ワーク移動ユニットは直動機構とし、ボールねじと2本のリニアガイドによる構成とした。ボールねじの駆動にはステッピングモータを採用した。

ボールねじのリードを 20mm, ステッピングモータのステップ角を 1.8°とすることで位置決め分解能を 0.1mm とした。

#### (2) ワークユニット製作時の特殊加工

リニアガイドの取り付け部は高い精度が求められる一方で全長が 1500mm と長尺であるため、近畿能開大が所有する半自動フライス盤では1回での加工ができない。そこでリーマ穴とダイヤルゲージを用いて加工位置変更後の原点出しを行うことで、分割加工による製作とした。加工の様子を図7に示す。

**3.4 カメラ移動ユニット** ワーク移動ユニットと同様に直動機構とし、ボールねじと2本のリニアガイドによる構成とした。ボールねじ(リード:20mm)の駆動にはステッピングモータ(ステップ角:1.8°)を採用した。

**3.5 赤外線照明** 赤外線照明は4台とし、2台ごとにペアとしてワークを挟むように配置した。赤外線照明を支持する台は照射の高さと照射角度を調整できるように設計した。今回、マグネットチャックを使用することで赤外線照明の配置も調整が可能となるようにした。

## 4. コントローラ

**4.1 機能** イーサネットで接続されたホスト PC と TCP/IP 通信を行い、受信した命令に応じて、ワーク移動ユニットとカメラ移動ユニットのステッピングモータ



図8 コントローラ内部

タの制御と、赤外線照明の制御を行う。メインコントローラの内部を図8に示す。

**4.2 制御プログラムの流れ** 主電源投入後にメインコントローラ前面の電源スイッチを押下することでプログラムが起動する。起動後は、はじめに変数定義、入出力ポートの定義、モータドライバの初期化及びパラメータの書き込みなどの初期設定を行う。初期設定完了後は運転準備完了のサインとしてシグナルライトの緑色を点灯させ、ホスト PC からの命令を待つスタンバイ状態に入る。ホスト PC から命令を受け取ると命令に応じた制御をモータや赤外線照明に対して行い、制御完了後には終了を知らせるコマンドをホスト PC に送信し、再びスタンバイ状態に戻る。

**4.3 モータの位置決め制御** 現在位置から目標位置までの移動に必要な数のパルスが発生させることで位置決め制御を行っているが、ステッピングモータは急峻な速度変化を行うと脱調が発生するため、台形加速を用いた速度制御も併せて行っている。なおステッピングモータの台形加減速には市販のモータドライブ基板を使用した。

ステッピングモータの制御はオープンループ制御であるため一般に速度センサや位置センサは不要であるが、速度変化を検証するために図9に示したようにモータにロータリーエンコーダを取り付けた。検証の結果、設計通りに駆動できていることが確認できた。

## 5. 赤外線照明

赤外線照明は波長 940nm の赤外線 LED(Light Emitting Diode)を光源として使用し、各赤外線照明には 28 個の赤外線 LED を一列に配置している。28 個の赤外線 LED は 7 直列 4 並列で接続し、一定の光量かつ赤外線カメラのフリッカー現象を防止するため定電流回路で駆動した。定電流回路には I<sup>2</sup>C(Inter-Integrated Circuit)接続の D/A コンバータを使用し、コントローラからの通信により 4095 段階で光量を制御することができる。

4 台の赤外線照明には、合計で 16 回路の赤外線 LED 回路を使用している。それぞれ赤外線 LED 回路ごとに光量のばらつきがないか確認するために分光センサによる測定を行った。結果は表3に示したように、ほぼ

表3 赤外線 LED 回路の光量

平均 [ $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ]	標準偏差 [ $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ]
8420	100

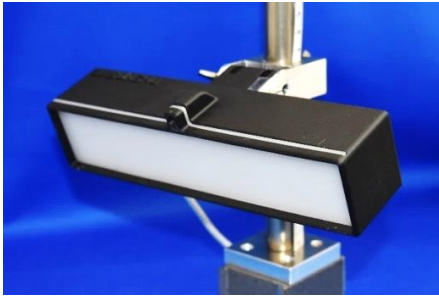


図 10 赤外線照明

一定の光量が得られていることが確認できた。

製作した赤外線照明の外観を図 10 に示す。筐体は 3D プリンタを用いて造形し、素材はカーボンコンポジット樹脂を使用。また、赤外線 LED の前には LED の取付け向きのばらつきによる光量のむらを低減させるために、厚さ 2mm の乳白色の亚克力板を配置した。

## 6. ホスト PC

**6.1 機能** ホスト PC(Personal Computer)は装置の操作画面の提供、赤外線カメラからの画像取得、機構部を制御するためのコントローラへのコマンド送信などを行うソフトウェアが実装されている。ソフトウェアは GUI(Graphical User Interface)を有し、画面を見ながらマウスで操作することができる。

**6.2 諸設定** メイン画面から各設定画面に移ることで、ワーク寸法の設定、赤外線照明の光量、カメラの露出などの諸設定を行うことができる。メイン画面とワーク設定画面を図 11 と図 12 にそれぞれ示す。

**6.3 撮影動作** 装置にワークをセットし、メイン画面のスタートボタンをクリックすると撮影動作が始まる。ホスト PC からのコマンドに従ってコントローラは機構部を制御し、これに同期してホスト PC は赤外線カメラから画像を取得する。撮影が終了するとワークは元の位置に戻り、取り外すことができる。以上の動作によりホスト PC には、赤外線照明を切り替えながら分割撮影された 4 枚の画像が取り込まれる。



図 11 メイン画面

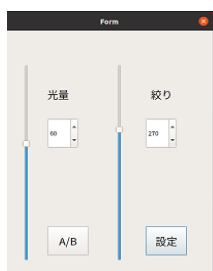


図 12 赤外線光量と露出の設定画面

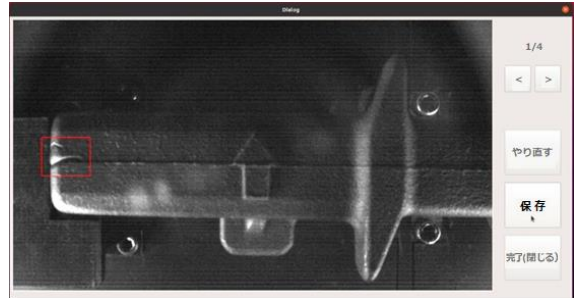


図 13 不良箇所登録画面

**6.4 不良箇所登録** 撮影動作が終了すると不良箇所登録画面が表示される。この画面には、直前に撮影されたワークの画像が表示されており、画像に写る不良箇所をマウス操作で矩形に囲むことで不良箇所の指定を行うことができる。操作中の不良箇所登録画面を図 13 に示す。

保存ボタンをクリックすると、指定された不良箇所の座標データはアノテーションファイルとして撮影画像に紐づけされ、機械学習等に利用できる形式で保存されている。

また指定された不良箇所をリセットして始めからやり直す機能や、全ての画像を作業者が確認するまで保存ボタンをクリックできない機能など、操作ミスに対する修正や防止のための機能も実装した。

## 7. 良否判別 AI の試作

**7.1 開発環境** 撮影画像を方眼状に細分化し矩形領域ごとに良否判別する AI(Artificial Intelligence)を試作した。フレームワークは TensorFlow と keras, プログラミング言語は python を使用した。

**7.2 トレーニング用データ** 96 枚の赤外線画像と、ワークの不良箇所の座標を登録したアノテーションファイルを元データとし、背景をトリミングしながら画像の切り出しと水増しを行い、良否に分類された画像をトレーニング用のデータセットとした。

**7.3 トレーニング結果** 元データの不足によりトレーニング用から独立したテスト用データによる精度評価はできなかったが、トレーニングの段階では 95% の精度が示された。最終的な判断は十分なデータによるトレーニングとテストの結果を待たなければならないが、画像に写る鋳物部品の良否を AI が学習できることは確認することができた。

## 8. 結言

製作した鋳物良否画像撮影装置は、ワークを装置にセットすると、撮影位置と撮影距離、赤外線照明の照度と方向を制御し、一定の条件下で鋳肌の色や模様の影響を抑えた画像を撮影し、保存することに成功した。さらに画像に写る不良箇所の位置をアノテーションファイルとして撮影画像に紐づけし、機械学習等に利用できる形式で保存することができた。

(2021 年 6 月 30 日提出)

# リベッティングマシンの開発

宮武 正勝\*1, 今園 浩之\*2, 武川 肇\*3

本テーマは、株式会社イケからの要望としてテーマを頂き、課題に取り組んだものである。今年度は引継ぎテーマになっており、今年で2年目になる。本装置は1つのワークにつき8か所ついているリベットの位置まで移動させ、先端に取り付けたリベット用工具を回転させ、押し込むことで板とワークの固定を自動化させる。こうした組み立て作業の1つであるリベット加工の作業を手作業から自動化へ改善することにより、作業者の人的負担になっている打ち付け時の振動と衝撃音による大きな騒音の低減などを目的としている。

**Keywords** : リベット加工, リベット, Raspberry pi, 自動化.

## 1. 緒言

株式会社イケは産業機エンジンの部品を中心に、機械加工及び組立作業を行っている会社である。その組み立てを行う際にリベットをかしめなければならないが、現在はリベッティングハンマーを用いてかしめている。振動による作業者の負担と打ち付け時の衝撃音による騒音が問題となっており、株式会社イケでは機械によるリベット加工の自動化が望まれている[1]。前年度は各軸の製作と簡易的な動作の確認を行うことができた。そこで今年度は安全面に配慮した土台及びフレームの製作と自動運転のシステムを開発した。

## 2. リベット加工について

リベット加工とは、図1のようにリベット(部品)を穴のあいた母材に差し込み、その上にもう1枚の穴の空いた母材を重ねる。その後、リベットの頭を押し潰し、塑性変形させ固定する加工方法のことである。

方法としては、大きく分けてスピン式とプレス式があり、今回スピン式を採用することにした。スピン式を採用した理由として、衝撃音が少なく加工時の騒音はプレス式に比べて小さい。また、推力はリベットの頭を面で潰すプレス式に対し、面ではなく点で少しずつ塑性変形させるため、1/5 から 1/7 の小さい推力でかじめることができる[1]。

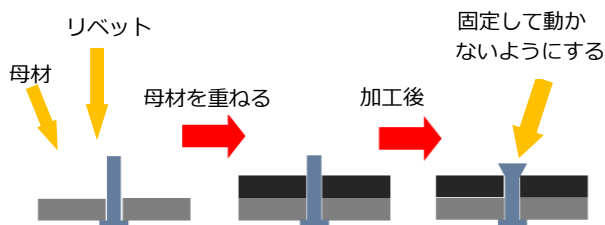


図1 リベット加工の過程

## 3. 仕様

本装置は3軸制御による位置決めとスピン式によるリベット機構で構成されている。

装置の操作は、操作盤に取り付けられた液晶タッチパネルと物理スイッチで行う。自動加工スタートスイッチと非常停止スイッチは物理スイッチで行う。ユニットの動作テストやリベットの座標の保存の操作は液晶タッチパネルで行う。なお、安全装置として加工時に作業者の手等が加工スペースに侵入した場合、エリアセンサが侵入物を検出し非常停止を行う。本装置の仕様を表1に示す。

表1 装置の仕様

全体寸法	横幅:1401mm, 奥行:1244mm, 高さ:2135mm
制御盤寸法	横幅:800mm, 奥行:352mm, 高さ:1650mm
重量	730kgf
可動域	X軸:820mm, Y軸:370mm, Z軸:250mm
スピンドル回転数	1800min <sup>-1</sup>
最高早送り速度	20000mm/min
最高加工送り速度	300mm/min
加圧力	2.5kN
エリアセンサ範囲	縦幅:440mm, 横幅:850mm
電源	三相200V, 単相100V, 24kW

## 4. 装置本体の概要

図2に今回製作した本装置の全体図を示す。装置本体を支える土台と加工時の安全面を考慮したフレーム、エリアセンサ、非常停止スイッチの製作を中心に設計・製作を行った。さらに、昨年度はZ軸ユニットが上下に駆動する仕組みになっており、駆動部の動きが重く、モータに直接かかる負荷が大きくなっていた。そのため、Z軸ユニットの改善を行った。改善内容として、ヘッドユニットのみを上下に駆動させることで、駆動部の動きを軽くし、モータにかかる負荷を軽減する構造に改善を行った。

\*1 生産機械システム技術科

\*2 生産電気システム技術科

(現 四国職業能力開発大学校生産電気システム技術科)

\*3 生産電子情報システム技術科



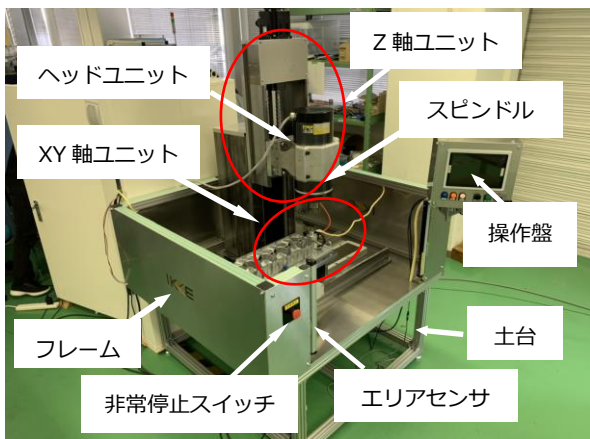


図2 リベッティングマシン完成図

### 5. サイクル動作

ワークは8箇所のリベット箇所があり、順番に自動でリベットを塑性変形させる。加工サイクルタイムは2分以内とした。サイクル動作はワークをテーブルに置き、加工を開始させ加工終了後、ワークをテーブルから取り外すまでを1サイクルとする。また、1サイクルが終了する度にカウントを行い後述する「自動操作画面」にあるカウントをカウントアップし表示する。サイクル動作フローチャートを図3に示す。

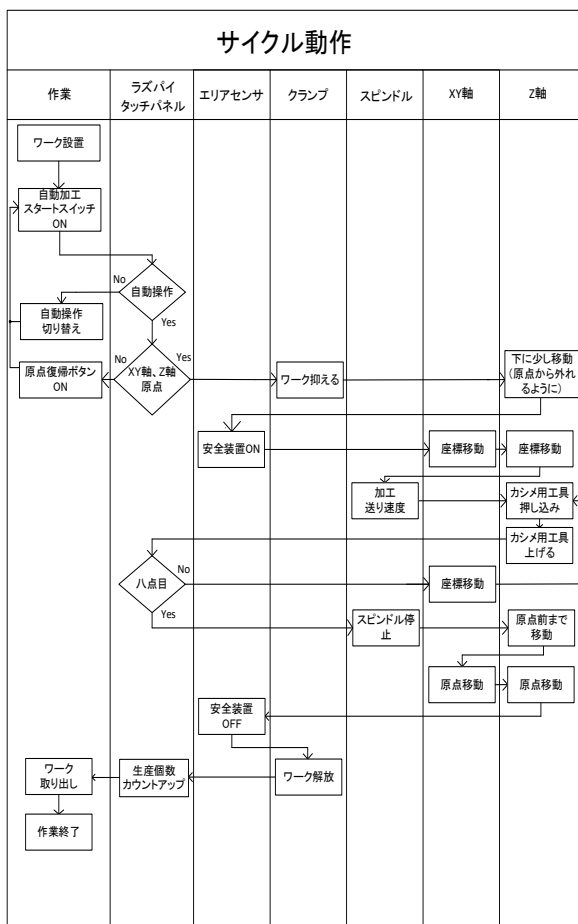


図3 サイクル動作フローチャート

### 6. システム構成

システムブロック図を図4に示す。このシステムは「駆動部」、「制御部」、「操作部」、「検出部」で構成される。操作部では人的操作を行い、検出部でセンサの信号の取得を行う。制御部ではセンサの信号の処理や各種コントローラの制御を行い、駆動部では各種ユニットを動作させる。

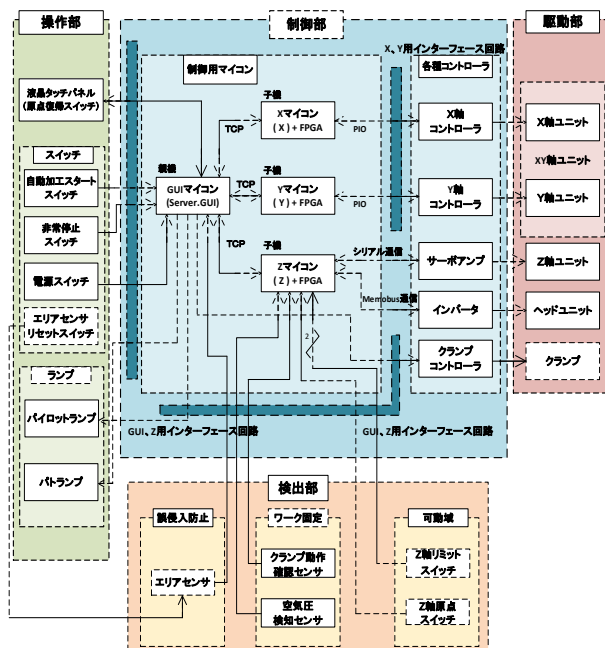


図4 システムブロック図

### 7. 駆動部

**7.1 XY 軸ユニット** リベットの位置に移動する機構として、X軸方向に動作するX軸ユニットとY軸方向に動作するY軸ユニットで構成されている。リベット箇所の精度が求められているため、速度制御と位置制御ができるステッピングモータ(XY軸コントローラ P CON-CFB-56SP-WAI-NP-2-0-DN : IAI社製)を使用しているロボシリンダを選定した。

**7.2 Z 軸ユニット** XY軸ユニット同様に座標移動が必要であり、高負荷がかかる軸であるため速度制御と位置制御ができ、高トルクであるサーボモータを使用し、これを制御するサーボアンプ(VR-J4-100A : 三菱電機社製)を使用した。

**7.3 ヘッドユニット** ヘッドユニットはスピンドルを回転させることにより、先端についているリベット用工具を回転させ、リベット加工を行う。回転数を低下させないような速度制御と高トルクが必要となる。そこで三相誘導電動機をスピンドル用インバータ(CIMR-JA2A0020 : 安川電機社製)で運転させるようにした。

**7.4 クランプ** 今回加工を行うワーク及びリベット箇所及びワークを固定するための治具をそれぞれ図5、図6に示す。ワークを固定するためのクランプを動作させるためにソレノイドで弁の開閉を行い空気圧で制御を行った。

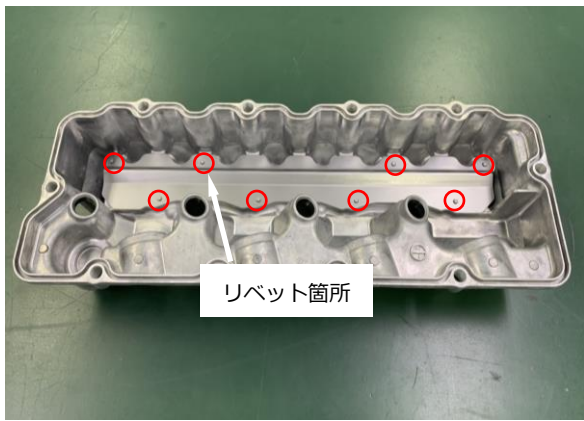


図5 リベット箇所とワーク

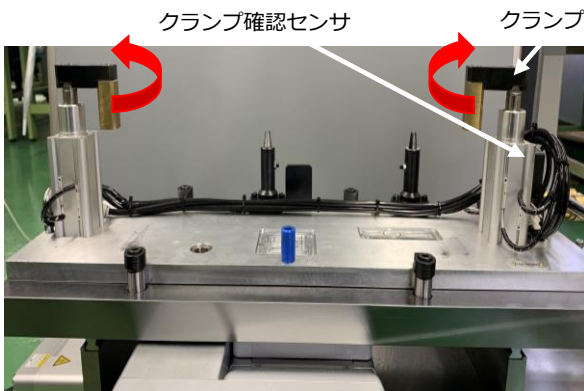


図6 ワーク固定用治具

## 8. 制御部

今年度は操作部の液晶タッチパネルの変更，主電源の追加等に伴い電源部の追加変更及び，Z軸ユニット，ヘッドユニット等の制御を実装した．前年度は制御用マイコンを用いて XY 軸ユニットの制御を行った[2]．しかし，制御用マイコンを用いた Z 軸ユニットの制御が未実装だったため，企業からの要望である自動加工ができていなかった．今年度製作した制御盤内部を図7に示す．

**8.1 電源部** 各種コントローラ，センサ及び制御用マイコンを動作させるために電源回路を製作した．これらを収納した制御盤における電源には，制御用電源として三相 200V，信号用電源として単相 100V を用いた．制御用電源はサーボアンプ，インバータに使用し，スコットトランスで単相 100V に降圧させ，さらに DC24V に変換し，これを XY 軸コントローラ，液晶タッチパネル，リレーの電源に使用している．信号用電源は DC24V，DC5V に変換し，各ランプ，スイッチ，センサと制御用マイコンの電源に使用している．さらに DC5V を DC-DC コンバータで DC3.3V に降圧し，制御用マイコンの信号に使用した．

**8.2 制御用マイコン** 制御部は駆動部を動作させるための各種コントローラとそのコントローラと通信するための制御用マイコンがある．制御用マイコンは GUI マイコン，X マイコン，Y マイコン，Z マイコンの4つで構成されている．これらのマイコンは Raspberry Pi を

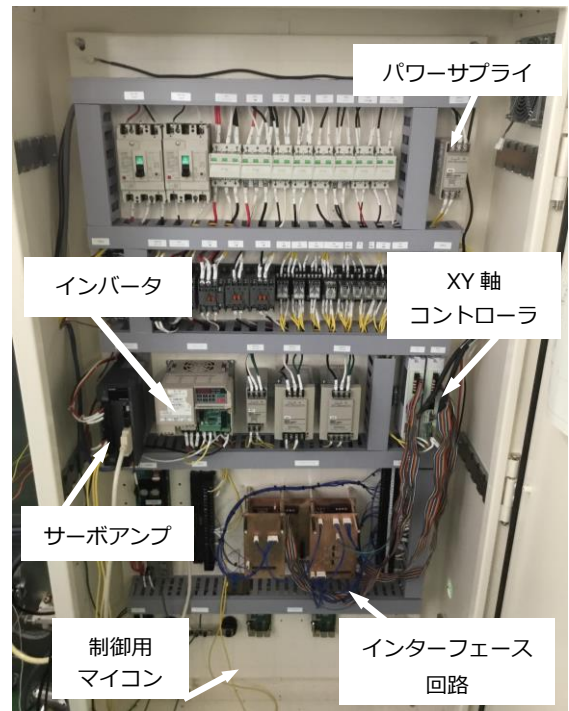


図7 制御盤内部

用いている．スイッチングハブ(LAN-SW05PSBE)を用いて制御用マイコン同士のソケット通信を行っている．

GUI マイコンは液晶タッチパネルの表示と各制御用マイコンをソケット通信するサーバの役割があり，操作部の物理スイッチ，ランプ，エリアセンサ，クランプと GUI 用インターフェース回路を介して制御を行う．

液晶タッチパネルや物理ボタンの入力に合わせて液晶タッチパネルの表示やランプ，クランプの制御，X マイコン，Y マイコン，Z マイコンへ指示を送る．

各マイコンと物理スイッチ，コントローラ等には電位差があり，マイコンが故障する恐れがある．そのためインターフェース回路ではフォトカプラを用いて，各マイコンの保護を行っている．

X マイコン，Y マイコンは X，Y 用インターフェース回路を介して X 軸コントローラ，Y 軸コントローラに信号を送り，駆動部の XY 軸ユニットの制御を行う．これらを GUI マイコンの指示に従い XY 軸ユニットの制御を行う．

Z マイコンは主に 3 つの役割がある．1 つ目の役割はサーボアンプに RS-422 コンバータケーブルを介してシリアル通信し，Z 軸ユニットの制御を行う．

2 つ目の役割はインバータに RS-422/485 インターフェースユニット，RS485 コンバータを介して MEMOBUS 通信を用いてヘッドユニットの制御を行う．

3 つ目の役割は検出部の空気圧検知センサ，Z 軸原点スイッチ，Z 軸リミットスイッチ，クランプ動作確認センサがあり，Z 用インターフェース回路を介し FPGA(CmodA7)が信号を受け取る．そしてシリアル通信を用いて Z マイコンが信号を受け取る．これらを GUI マイコンからの指示に従い制御を行う．

X マイコン，Y マイコン，Z マイコンにはそれぞれ FPGA を搭載しており，各マイコンの補助を目的とし

ている。X マイコン, Y マイコンは I/O 制御を行うため Raspberry Pi の GPIO ピンを用いる。I/O 制御に必要な信号を補うために FPGA が一部の信号を受け取る。USB ケーブルを介して X マイコン, Y マイコンにシリアル通信で信号情報を送信する。Z マイコンは検出部の信号を FPGA が受け取りまとめた情報を Z マイコンへ送信する。

## 9. 操作部

前年度では液晶タッチパネルに文字やボタンを表示する GUI(Graphical User Interface)機能が未完成だったため、今年度は仕様を満たすために GUI の再製作を目標とした。図 8 に示すように操作部は液晶タッチパネル、物理スイッチ、パイロットランプ、パトランプで構成されている。操作部では物理スイッチを用いて自動加工のサイクル運転を行う。また自動加工以外の操作や情報の閲覧等は液晶タッチパネルを用いて行う。

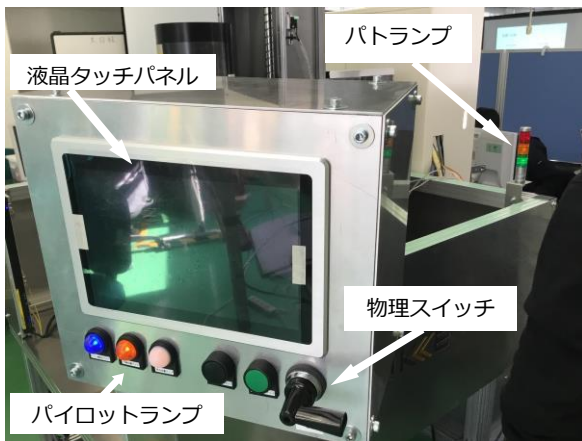


図 8 操作盤

**9.1 スイッチ・ランプ** 物理スイッチは非常停止スイッチ、自動加工スタートスイッチ、エリアセンサリセットスイッチ、電源スイッチの 4 つで構成されている。非常停止スイッチは駆動部の動作停止を行う。電氣的に各ユニットを停止させ、液晶タッチパネルに非常停止情報を表示させる。自動加工スタートスイッチはリベット加工を自動で行う際に用いる。エリアセンサリセットスイッチはエリアセンサによる非常停止が行われた時、非常停止の解除を行う際に用いる。電源スイッチは駆動部の電源を電氣的に切る際に用いる。

パトランプは赤色、黄色、緑色の 3 色あり、それぞれエラー、動作確認、電源の情報を示す。パイロットランプは青色、橙色、白色の三色あり、それぞれサイクル運転完了、手動運転中、原点位置の情報を示す。

**9.2 画面構成** 液晶タッチパネルは GUI を用いてリベット加工マシンの情報の表示や操作を行う。液晶タッチパネルに表示する GUI は自動加工画面、手動操作画面、動作設定画面の 3 つに分かれる。GUI のデザインには Python 言語の tkinter ライブラリを用いて行った。それぞれの画面は画面上部の各ボタンをタッチすることで画面が遷移する。非常停止が行われた場合、GUI で非常停止画面を表示する。

「自動加工画面」はリベット用工具の X, Y, Z 軸の

座標の値、ワークの加工が完了した数、行うサイクル動作の条件を表示する。また、この画面時にスタートスイッチを押すことによってサイクル動作を行う。1 日の動作を終了する際には、自動操作画面の「終了ボタン」をタッチし、シャットダウンを行う。

「手動操作画面」は駆動部にある各ユニットを手動操作で動かすことができる。X, Y, Z の矢印ボタンをタッチすることで押した方向へ移動する。また、長押しすることにより連続で移動を行う。

「動作設定画面」は自動運転でリベット用工具が移動する X 軸, Y 軸, Z 軸の座標値を変更しリベット位置の変更ができる。入力の際には画面上のテンキーで入力を行う。「保存ボタン」をタッチすることにより現在の入力座標を保存する。「元に戻すボタン」をタッチすることにより保存した座標に入力座標を変更する。

「初期化ボタン」をタッチすることにより入力座標を全て削除し、入力できる状態にする。また、入力した座標へ移動したい場合は、「移動ボタン」をタッチすることでその座標に移動する。

## 10. 結果

今回製作したリベット加工マシンの結果として、リベット加工については、図 9(b)のように加工ができた。また、騒音についてもリベット加工ハンマの騒音(90dB 程度)に対して 65dB 以下の音にまで下げることができた。しかし、検出部の取付けやプログラムおよびユーザーインターフェース等の製作が間に合わず、自動でのリベット加工以外については未完成となった。また、サイクルタイムについても 2 分以内にすることができなかった。



(a) 加工前

(b) 加工後

図 9 リベット加工マシンによるリベット加工

## 文献

- [1] 「吉川鐵工株式会社」,  
<http://www.riveting-mcn.co.jp/index.html>
- [2] 宮武正勝, 今園浩之, 石部剛史: リベット加工マシンの開発, 近畿能開大ジャーナル, 28 巻, pp.11-14, 2020.

(2021 年 7 月 1 日提出)



## 溶融亜鉛めっきの工程省力化装置の開発

岩城勇生\*1, 勝田勉\*2, 清水隆之\*3, 井上 隆\*4

本開発課題は、前年度からの継続テーマであり、丸昌工業株式会社からの依頼案件である。本開発の目的は、溶融亜鉛めっきの作業の人的負担の軽減を図る装置の開発である。今年度は、めっき炉上で部品の入ったカゴの余分な亜鉛を切り（以下亜鉛切と略記）遠心分離機の方を向くまでの工程を再現する装置を開発した。亜鉛切は、直動板カムを用いてカゴを上下に揺動させる機構にすることにより実現した。この直動板カムは空気圧シリンダで駆動し、PLCで駆動制御を行っている。亜鉛切りの完了は、めっき製品から垂れる溶融亜鉛に見立てた水の雫を Web カメラで撮影し、その画像を用いて Raspberry Pi で動体検知することにより判定している。

**Keywords** : 亜鉛切, 人的負担の軽減, 直動板カム, 動体検知。

### 1. 緒言

本開発課題は前年度からの継続テーマである。丸昌工業株式会社は、めっき製品の中でも比較的小型な製品において、亜鉛めっき加工を手作業で行っている。その作業は、かごに入れた重量が重い鉄製品のめっき作業を高温な環境である、約 400°Cの溶融亜鉛が入っためっき炉付近で行うため人的負担の軽減が望まれている。そこで前年度は、作業の中で最も負担が大きい亜鉛切工程の省力化を目指して、学生が主体となって装置を製作した。今年度の学生は、前年度の装置の改良点を丸昌工業株式会社の担当者から聞き取り、その改良点を具体化した装置を製作した。製作に際し、定めた目標は、以下の通りである。

- ・遠心分離機に運搬するための回転機構を追加する。
- ・装置に対して衝撃が少ない亜鉛切り機構にする。
- ・かごの取り付け行程を簡略化する。
- ・かごのクランプが外れた時に緊急停止させる。
- ・限られたスペースに設置可能な装置とする。

### 2. 装置概要

本装置は、めっき炉での攪拌作業が終了した後の作業となるため、作業のライン上に設置する。作業員は、めっきをする鉄製品が入ったカゴの持ち手部分を装置にクランプにて固定し、スイッチを押すと動作が開始する。カゴを上下に揺動させることによって余分な溶融亜鉛を落とした後、その後の作業工程に速やかに移行できるよう、本装置に回転機構を設けた。Web カメラで撮影した画像を Raspberry Pi で動体検知し、亜鉛の切れ具合を確認する。その確認結果に応じて動作完了、もしくは再試行の判断を行う。

### 3. 仕様

本装置は、亜鉛切作業を再現するための「機構部」、亜鉛が切れているかの判定を行う「センサ部」、空気圧シリンダの制御と「センサ部」との通信を行う「制御

部」で構成される。また、モデル開発のためカゴを新たに作り本装置に搭載するようにしている。各部の仕様を表 1,2,3 に示す。

表 1 機構部仕様

寸法[mm]	W1004.2×H1034.7×D1109.2
重量[kgf]	120
動作温度[°C]	-15~40
揺動距離[mm]	75
カゴの寸法[mm]	W900×H63×D125
カゴの容積[ml]	579.5
回転角度[°]	90

表 2 制御部仕様

定格電圧[V]	AC100
定格消費電力[W]	53
空気圧[MPa]	0.5~0.6
コントローラ	FX3G-24MR/DS
通信インターフェース	FX3U-ENET-ADP
直動シリンダ押し出し推力[N]	0.6MPa 時 1178
直動シリンダ引込み推力[N]	0.6MPa 時 1025
ロータリシリンダ	0.6MPa 時 47
トルク[N・m]	

表 3 センサ部仕様

Web カメラ	C922N PRO STREAM WEBCAM
カメラ有効画素数[pixel]	フル HD1080
マイコン	Raspberry Pi 4 Model B
Raspberry Pi 4 ModelB 過熱警告最大温度[°C]	85°C以上

**3.1 システムブロック** 本装置のシステムブロックを図 1 に示す。本装置は AC100V で動作させる装置であり、電気的な制御を PLC で行っている。この PLC により、スイッチ、センサ及び Raspberry Pi から受け取った信号により、駆動部の動作を変化させている。駆動部では直動板カムや回転テーブルを直動エアシリ

\*1 生産機械システム技術科

\*2 生産電気システム技術科(令和 2 年度)

\*3 生産電気システム技術科

\*4 生産電子情報システム技術科

(現 東海職業能力開発大学校 生産電子情報システム技術科)

ンダやロータリエアシリンダで動作させているため、すべてを空気圧で制御している。この空気圧を制御する電磁弁を PLC で制御している。本装置の駆動圧力は 0.6MPa であり、空気漏れなどで一定時間 0.5MPa 未満になると圧カススイッチにより動作を停止するようになっている。亜鉛切は Web カメラを用いて撮影を行い、その画像をもとに Raspberry Pi が再度亜鉛切をしなおすかの判断を行っている。判断された結果は PLC へと送られ、次の動作へ移行することができる。制御部の PLC と Raspberry Pi 間の通信は、LAN ケーブルを用いており、MC プロトコルでの通信を行っている。

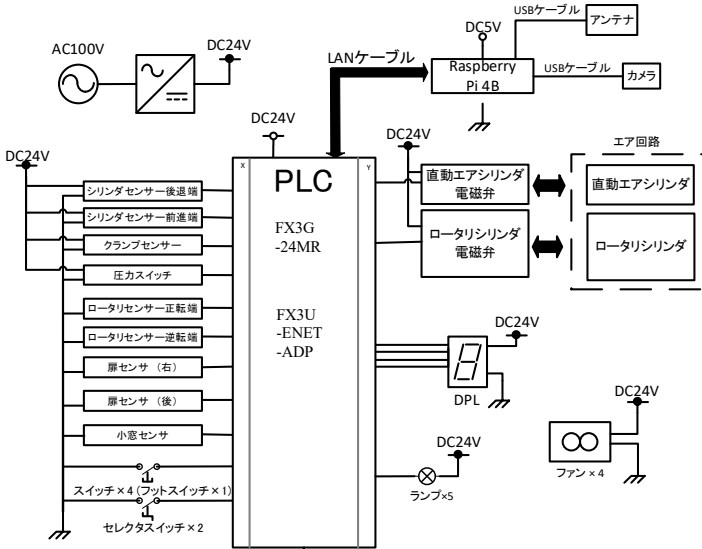


図1 システムブロック

#### 4. 機構部

装置全体の正面図、側面図を図 2,3 に示す。機構部を設計するにあたって、昨年度の装置の問題を確認し、今年度の装置の仕様を定めた。

1 つ目は亜鉛を切る際、装置に発生する衝撃力を低減させること (4.1)。2 つ目は、次行程で使用する遠心分離機の付近まで、カゴを移動させる回転機構を追加すること (4.2)。3 つ目は、カゴの着脱を手早く行えるようにすることである (4.3)。

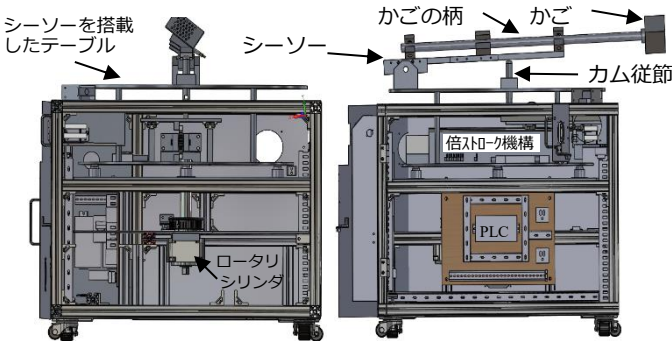


図2 全体正面図

図3 全体側面図

**4.1 揺動機構** 図4にかごを揺らすためのシーソー機構、図5に倍ストローク機構を示す。カゴを一定の速度で滑らかに揺動させるために、左右の往復運動を上下運動に変える機構を採用した。直動エアシリンダを

用いて、板カムを水平方向に往復運動させる。カム従節が板カム上を伝うことで、上下運動に変える。カム従節がカゴを把持しているシーソーを揺らすことで、装置に衝撃力が少ない「振揺」動作の実現をしている。

また、ラック&ピニオンを用いてエアシリンダのストロークを 200mm から 400mm に伸ばす、倍ストローク機構を採用した。

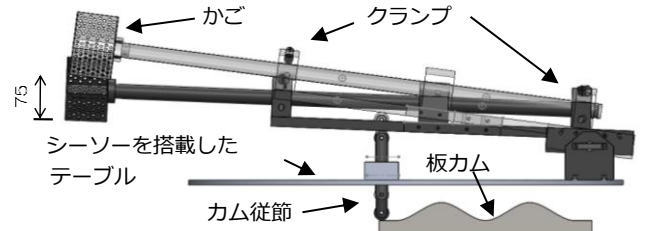


図4 シーソー機構

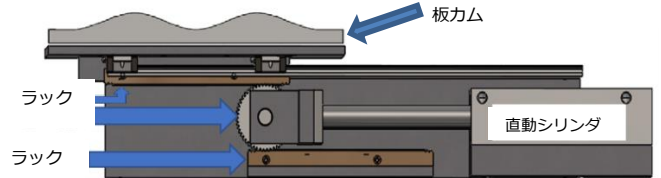


図5 倍ストローク機構

**4.2 回転機構** 図6に回転機構を示す。倍ストローク機構を搭載したテーブルとシーソーを搭載したテーブルを一体化し、それぞれのテーブルをボールローラ4点で支持している。倍ストローク機構を搭載したテーブルはロータリシリンダで回転軸を 90°に回転させる。ロータリシリンダの回転角は 180°であり、1:2 のギア比のプーリーで、ロータリシリンダの出力トルクを2倍にしている[1]。動作時、回転軸の軸受け部にガタつきがあったため、耐摩耗性に優れている黄銅のカップリングを圧入した。

倍ストローク機構  
を搭載した  
テーブル

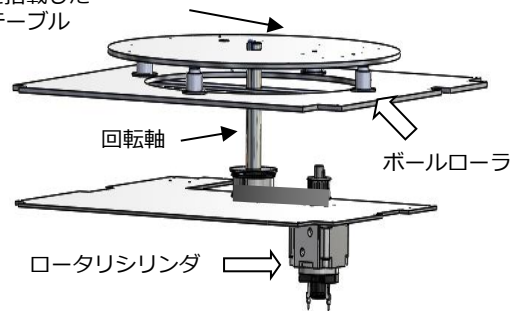


図6 回転機構の拡大画像

**4.3 かごの柄のクランピング** 図7にかごの柄をクランピングするためのスプリングプランジャを示す。昨年度は2か所手締めのカランプ方式であり、素早く着脱という丸昌工業株式会社の要望を達成していなかった。そこで2か所スプリングプランジャを導入し、ばねの弾性力によるワンタッチクランプを実現した。

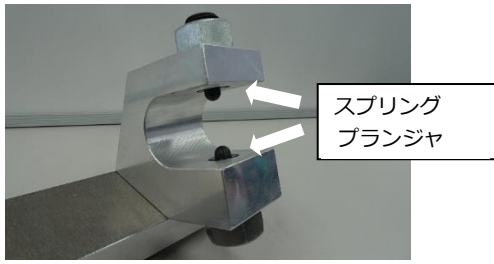


図7 スプリングブラランジャ

## 5. 制御部

本装置はPLCを使用し、カゴの上下運動や回転動作、ランプの点滅などの制御を行っている。

5.1 装置の動作 図8に溶融亜鉛めっき加工工程省力化装置の一連の動作フローを記す。

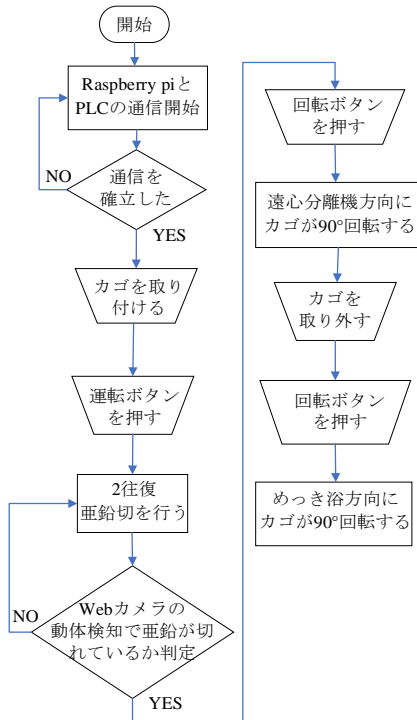


図8 動作フロー

操作者に分かりやすいように、次の動作に移るために押すべきスイッチに内蔵されたランプが点灯するようにしている。

はじめに Raspberry Pi と PLC の通信を開始し、その後通信が確立したかどうか確認を行う。確立できていれば、かごの取り付けを行う。

運転ボタンを押すと、かごを振って亜鉛切を行い、Webカメラでの撮影画像から亜鉛が切れているかどうか確認を行う。亜鉛がしっかりと切れていれば、遠心分離機方向に回転できるようになる。一連の動作が終われば、かごの取り付けに戻り、亜鉛切を再度行なえるようになる。

5.2 安全対策 本装置には、安全対策として、フットスイッチと扉センサ、クランプセンサを備え付けている。

運転の誤作動を防ぐため、フットスイッチを踏みながらボタンを押さなければ動作しない。装置内部のメンテナンス等で扉が開いている間は、磁気近接セ

ンサがOFFになり、装置が動かないようになっている。また、動作中本装置からカゴが外れた場合、クランプ部分に取り付けられた磁気センサがOFFになり、動作を停止する。高熱の製品が入ったかごが装置から外れた場合の重大事故を防ぐようになっている。

5.3 エラー表示 エラーが発生した際には、表4に記載しているエラー番号を数字表示器に表示するとともに、装置の動作を停止するようにしている。

表4 エラー表示番号と内容

表示1	カゴが動作中に外れた場合
表示2	通常運転中に扉が閉まっていない場合
表示3	Raspberry Pi が通信できていない場合
表示4	PLC もしくは Raspberry Pi の LAN ケーブルが外れた場合
表示5	全体の空気圧が 0.5MPa 未満だった場合
表示6	ロータリシリンダが CW 端, CCW 端のセンサが検知できなかった場合
表示7	直動シリンダが前進端, 後退端のセンサが検知できなかった場合

5.4 熱対策 装置の設置場所の気温は40°Cを超え、制御部の機器から発熱も加わり装置内の温度が高温となる。その場合 Raspberry Pi などの機器が正常に動作しない恐れがある為、装置の4箇所に冷却ファンを設けた。

Webカメラはアクリル板に耐熱フィルムを貼り付けたカバーで保護している。

## 6. センサ部

センサ部は Webカメラと Raspberry Pi で構成される。PLC と通信を行い亜鉛切動作が完了した後、Webカメラにて十分に亜鉛が切れているかの判定を行う。判定基準は Webカメラで3秒間画像を撮影し、画像内に写っている水滴の量を閾値と比較し、亜鉛が切れているかどうか判定を行っている。亜鉛切り未完了判定になった場合は滴の量に応じて3段階の切り直し動作を行う。判定結果は PLC に送信され、撮影した動画は全てログとして Raspberry Pi に保存される。

## 7. 評価

「機構」、「亜鉛切」及び「亜鉛切り完了判定」に分けて評価を行った。丸昌工業株式会社で行われているめっき加工工程を見学した学生が、めっき加工の亜鉛切を模した作業を行う。本開発はモデル開発であり実際に亜鉛を使用することはできないため、溶融亜鉛の代替品として水道水を使用した。今回実験で使用するめっき対象の部品は、M6の六角ナットとし、かごの総重量は2[kgf]である。

7.1 「機構」かごの先端が75mm以上の上下をしているか、回転機構が90±2°で動作しているか、さらに、各種ボルト類に緩みがないか確認した。スケールでの測定、増し締めにより、いずれも条件を満たしていた。

7.2 「亜鉛切」亜鉛切動作の品質を検査するため、



衝撃や振揺による加速度を測定する装置を製作した。PCのシリアル通信を使用し、Arduinoを介して加速度センサADXL335で計測した。サンプリング周波数は100Hzで、加速度センサから出力されたアナログ電圧をプログラム上で加速度に変換し、その数値をPCに出力した。

図9は、直動シリンダの前進時、後退時にそれぞれカゴを2回降られた時のカゴ内での加速度を示す。加速度は、平均で+2.0Gが計測された。連続運転によりエアタンク内の空気が減った場合は、+1.0G程度に減少するが亜鉛切できる加速度には到達している。また、昨年度と今年度の装置を比較した結果、今年度の装置のほうが平均で0.7G加速度が高かった。

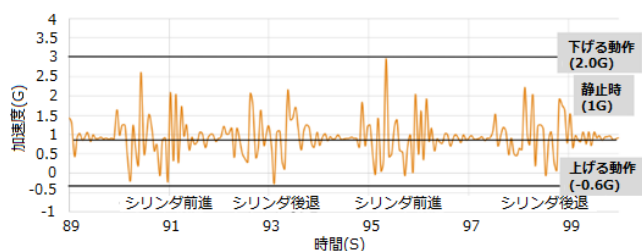


図9 加速度の変化

7.3 「亜鉛切り完了判定」 Webカメラにてカゴの下に垂れている水滴を撮影し、フレーム間差分法を用い、動体検知を行った。この動体が画像の全セルに対して占める割合を水滴量とする。図10は水滴量を時間とともに加算した値を示す。

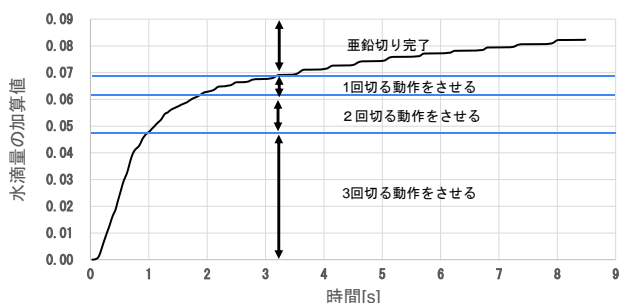


図10 水滴量の加算値の変化

亜鉛切の判定基準は、丸昌工業株式会社の担当者から「亜鉛の垂れ方が連続垂れに代わり、間欠の間隔が長くなった時が終了の目安」というお話をいただいている。その終了の目安を実験により観測し、測定時間と亜鉛切の目安となる閾値を設けた。閾値の値と比較を行った結果、水滴がまだ残っていると判定されれば、再度亜鉛切を行う回数をPLCへ送信する。亜鉛切未完了の判定であった場合の画像を図11に、亜鉛切完了の判定であった場合の画像を図12に示す。図11の検知箇所は、わかりやすいように緑色で表示している。このような方法で動体検知を行った結果、亜鉛切の程度によって装置の動作を変化させることができた。

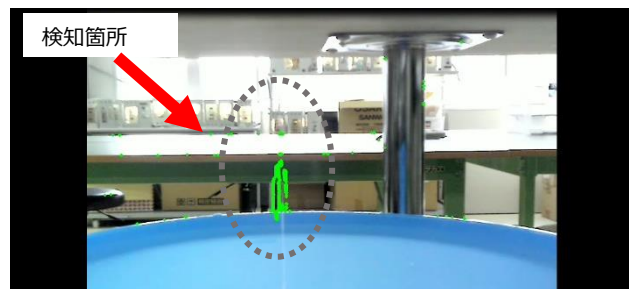


図11 亜鉛切り未完了判定画像



図12 亜鉛切り完了判定画像

## 8. 結言

本開発では、昨年度のモデル装置よりも亜鉛切の加速度を上げることができると同時に、振動による機械的衝撃を軽減できた。また、遠心分離機方向への回転機構を実装したことにより、亜鉛切工程作業の一部を新たに自動化するモデル装置を開発することができた。

完成した本装置は丸昌工業株式会社の担当者に評価していただいた。その評価は、1つ目は亜鉛切の精度を向上しながら昨年度よりも機械的衝撃が軽減できていること。2つ目はスプリングプランジヤの導入によりカゴの着脱がスムーズに行えるようになっていること。3つ目は遠心分離機方向へかごを回転できるようになっていること。これらの3点を評価していただいた。さらなる改良が必要であるご指摘いただいた点は、防塵対策である。現場では粉塵が多く舞っているため防塵対策が必要となることをご指摘いただいた。また、回転後の遠心分離機への製品投入とかごの傾きの調整が行える機能が欲しいとの要望であった。

## 9. 謝辞

最後に本装置の開発の機会を与えて頂いた丸昌工業株式会社に深く感謝いたします。

## 文献

- [1] バンドー化学株式会社:「バンドー電動ベルト総合設計マニュアル」

(2021年6月30日提出)

## スマートアグリシステムの開発

秋間紳樹<sup>\*1</sup>, 久保幸夫<sup>\*2</sup>, 庄林雅了<sup>\*3</sup>

米農家の高齢化と労働人口が減少していることから、稲作における労働生産性の改善が求められている。本開発では、水田の水管理における拘束時間の削減と用水路の流量の管理を遠隔で可能とすることを目的とし、取水装置、水位水温測定器、用水路流量測定器、太陽光パネルによる電源装置を製作した。製作した装置を模擬水田で動作検証した結果、情報端末から各装置のシステムの状況確認と遠隔操作による水位調節を行うことができた。

**Keywords** : 水管理, 水位センサ, ゲートウェイ, Web ページ, 情報端末.

### 1. 緒言

近年、米農家の稲作労働時間は、圃場整備や農業機械の大型化により労働時間が大幅に削減したが、管理労働時間（畦畔除草および水管理作業）は依然として膨大な時間と労力を使っている[1]。管理労働時間のうち畦畔除草作業は草刈り機の性能が向上していることを踏まえると、水管理作業の減少が課題であることが示唆される[2]。本テーマは自然エネルギー事業を行っている株式会社エイワットとの共同開発の3年目のテーマであり、農家が直接水田に出向くことなく、手元で水田の状況が把握でき、遠隔操作で水位調節を行うことができるシステムの開発に取り組んできた。しかし、昨年度は取水装置の水漏れがあることや、模擬水田で水位調節の自動化の検証ができなかった。また、取水量の調節に伴い取水されなかった用水路の水は無効放流となる問題点があるため、解決策として無効放流を把握するために、用水路の流量を測定する必要がある。

そこで、開発における目標は以下の6項目とした。

- ・遠隔操作で取水装置の制御を行う。
- ・模擬水田内の状況を把握するために、水温・水位・カメラ画像を収集する。
- ・水漏れのない取水装置を製作する。
- ・用水路の流量の測定を行う機器を製作する。
- ・装置を自然エネルギーである太陽光発電で動作させる。
- ・水位調節の検証が行える模擬水田を製作し、評価を行う。

### 2. 装置概要

図1にシステム概略図、表1に装置仕様を示す。装置は以下の要素で構成されている。

- ① 用水路から取水する取水装置
- ② 水位と水温を計測する水位水温測定器
- ③ 水田の状況が把握でき、遠隔操作できる情報端末
- ④ 通信の中継を行うゲートウェイ
- ⑤ 用水路の流量測定用の用水路流量測定器
- ⑥ 電力を供給するバッテリーや太陽光パネル
- ⑦ 水田や取水門の状況を撮影するカメラ
- ⑧ 用水路の水を溜める用水路板

これらの装置を用いて模擬水田の水位調節を行う。

### 3. システム構成

図2にシステムブロック図を示す。本システムでは、情報端末で水田の状況を確認することができ、また、情報端末から制御命令を送信し、取水装置を開閉することができる。水位水温測定器で取得したデータは、ゲートウェイに送信し情報端末に表示する。電力は太陽光パネルとバッテリーにより取水装置や用水路流量測定器、ゲートウェイ、取水装置側の水位水温測定器に供給する。水田内の水位水温測定器の電力は太陽光パネルとバッテリーにより供給する。

**3.1 取水装置** 図3に取水装置の外観、図4に取水原理を示す。サニーホースの端を満水時の水位である280mmより下部に移動すると水田側に取水し、280mmより上部に移動すると止水となる。サニーホースはモータとボールねじの機構で上下させる。ホースの上下の操作は、装置上部に設置している操作ボタンで手動での操作ができ、情報端末からの遠隔操作による水位調節も可能である。また、制御BOX内に設置しているリミットスイッチにより開口幅に上限を設けている。水位調節の自動化（遠隔自動モード）では、Web ページで水田の水位を指定すると、開口か閉口かを自動で判断し、水田水位が指定水位になるまで取水または止水する。指定水位に達すると、動作状態表示LEDの黄色と緑色のLEDを同時に点灯する。

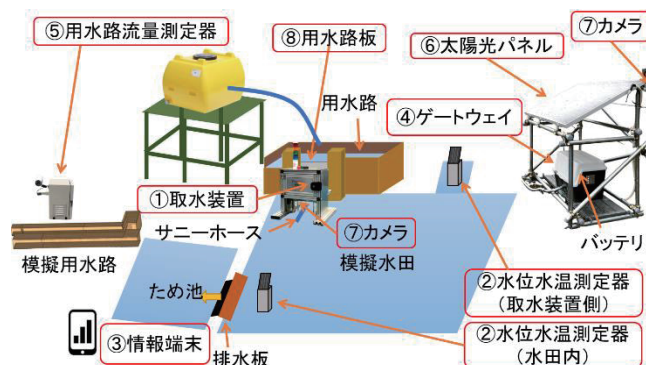


図1 システム概略図

\*1 生産電気システム技術科

\*2 生産機械システム技術科

\*3 生産電子情報システム技術科

表 1 装置の仕様

項目	内容	
取水装置	装置寸法[mm]	700(W)×700(D)×850(H)
	重量[kgf]	21
	ホース内径[mm]	25
	最大流量[L/min]	40.6
	止水門寸法[mm]	435(W)×45(D)×500(H)
	上下可動域[mm]	110
	水位調整範囲[mm]	50~140
水位水温測定器	全体寸法[mm]	280(W)×280(D)×950(H)
	水位測定範囲[mm]	20~200
	水温センサ測定範囲[°C]	-10~+85
	使用バッテリー	リチウムイオンバッテリー 3.6V 3000mAh
	重量[kgf]	7.8
電源装置	太陽光パネル	単結晶 370W
	使用バッテリー	ディープサイクル用鉛蓄電池 12V 115Ah
	装置寸法[mm]	2000(W)×850(D)×1500(H)
	重量[kgf]	150
用水路流量測定器	装置全体寸法[mm]	250(W)×320(D)×300(H)
	重量[kgf]	4.5

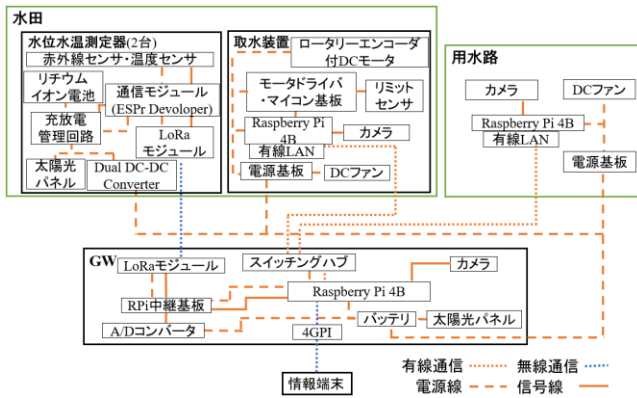


図 2 システムブロック図

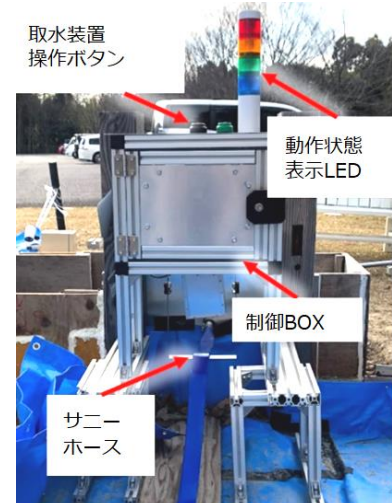


図 3 取水装置

### 3.2 水位水温測定器

図 5 に水位水温測定器の外観を示す。塩ビ管の取水口から水が入ると内部のフロートが浮く機構になっており、赤外線センサからフロートの反射板までの距離を計測し、水位を算出する。水位の測定可能な範囲は、20mm~200mm である。本装置には温度センサを取り付けており、水温が計測できる。取水装置側の水位水温測定器は 30 秒ごと、水田内の水位水温測定器は 5 分ごとに計測したデータを、省電力の無線通信規格の一種である LoRa による通信によりゲートウェイに送信する。取水口にはフィルタを取り付け、泥やゴミが塩ビ管の内部に入りにくいようにしている。また、制御 BOX 内にリチウムイオン電池を設置しており、そこから電力を供給している。リチウムイオン電池の容量は 3000mAh、一日の消費電力量が 576mWh であるため、無日照時の持続時間は 225h である。したがって、約 9 日間の連続稼働が可能である。

**3.3 電源装置** 電源には太陽光パネルを用い、バッテリーに充電している。発電電力が消費電力よりも大きくなるように太陽光パネルとバッテリーの選定を行った。バッテリーからは取水装置やゲートウェイ、取水装置側

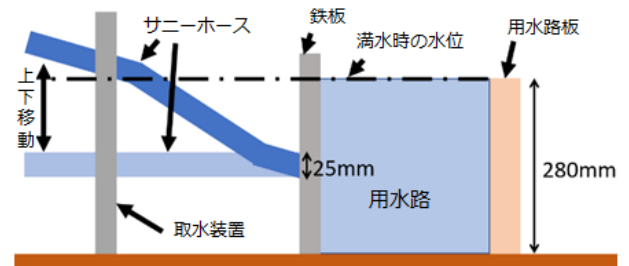


図 4 取水原理

の水位水温測定器、用水路流量測定器に電力を供給している。バッテリー容量は 230Ah であり、一日の消費電力量は 320Wh であるため、無日照時の持続時間は 207h である。したがって、無日照日が 8 日程度続いても装置の連続稼働が可能である。図 6 は電源装置と格納 BOX 内のゲートウェイである。単管パイプを用いて架台を製作し、太陽光パネルを設置した。



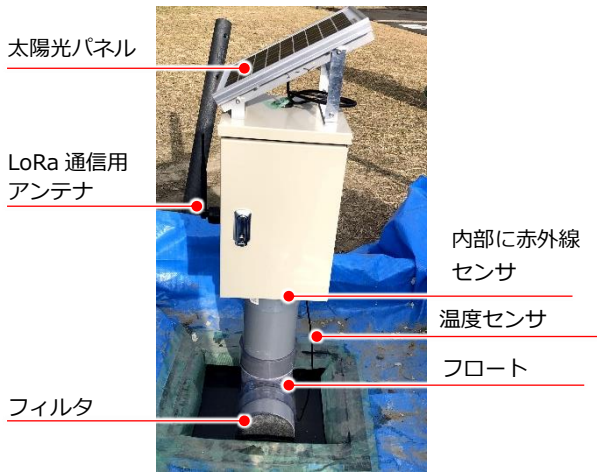


図5 水位水温測定器

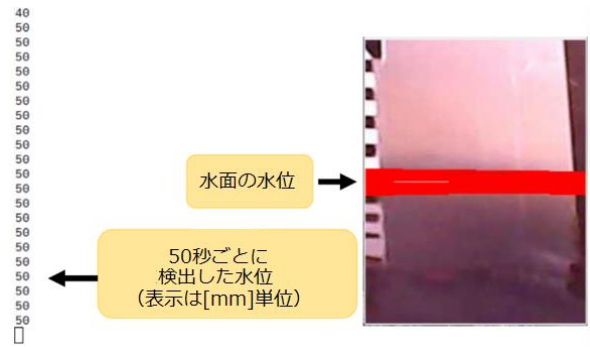


図7 画像処理による水位取得

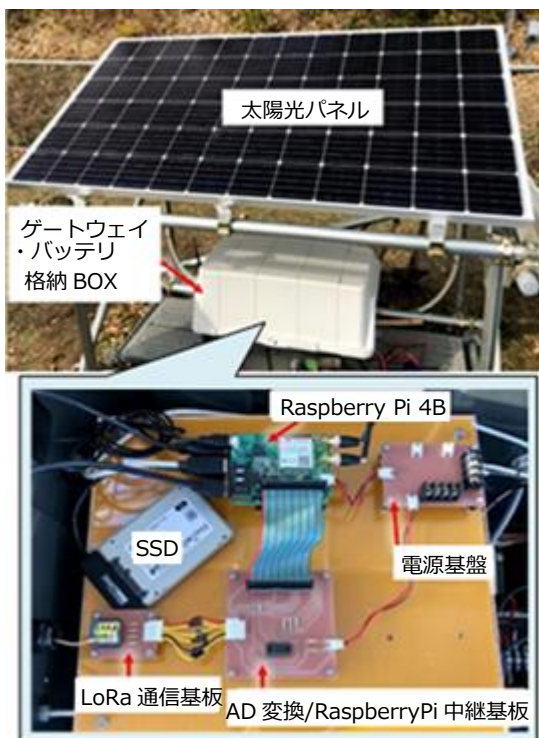


図6 電源装置およびゲートウェイ

**3.4 通信・ゲートウェイ** ゲートウェイは制御マイコンである Raspberry Pi 4B を使用しており、ネットワークにおけるルータの役割を担う。さらに、Web アプリケーションサーバやデータベースサーバとしての機能を有するとともに水田内の撮影を行う。取水装置や水路流量測定器とのデータ送受信は有線 LAN、情報端末との通信は 4G Pi (Raspberry Pi 対応 4G LTE 通信モジュール)、水位水温測定器との通信は LoRa を用いた。A/D 変換を行い、バッテリー電圧の計測ができる。また、Raspberry Pi 4B には SSD を取り付けており、各カメラ (模擬用水路、取水装置、ゲートウェイ) で撮影したカメラ画像の保存先となっている。

**3.5 用水路流量測定器** 用水路の水を USB カメラで撮影し Raspberry Pi 4B で画像処理を行い、水位を測定する。測定結果から流量を出力する用水路流量測定器を製作した。用水路流量測定器の画像処理により、水位を



図8 管理者用のホーム画面

取得している画面を図7に示す。水位測定は 50 秒ごとに行う。赤いラインが水位と判断した部分であり、複数のラインが引かれた場合は、最頻値を用いる。測定の単位は 10mm ごとであり、1 の位は切り捨てる。

測定した水位と、実測した流速から体積流量を算出する。体積流量  $Q[\text{m}^3/\text{min}]$  は水位  $h[\text{m}]$  と水路幅  $w[\text{m}]$ 、流速  $v[\text{m/s}]$  を用いて、

$$Q = h w v \quad (1)$$

と表すことができる。ここで、測定に用いた模擬用水路の幅  $w$  は 0.112m であり、図7で測定した水位  $h$  は 0.05m である。水位が 0.05m の時の流速の実測値は 8.0m/min である。これらを式 (1) に代入することにより、体積流量  $Q$  は 44.6L/min となる。得られた流量と撮影した用水路画像は、情報端末上で確認できるようにゲートウェイに送信する。

なお、模擬用水路における水位はせきによって 0.02m ~ 0.1m に変更でき、各水位の流速測定結果を基に体積流量を得ることができる。

**3.6 Web データベース・情報端末** 情報端末と各装置間でデータのやり取りは、データベースを使用して行っており、情報端末から各データの閲覧および取水装置の遠隔操作ができる。Web ページは、農家が容易に使えるシンプルなデザインの一般ユーザ用のページと、様々な情報が確認できる管理者用のページがある。また、一般ユーザと管理者ユーザのそれぞれのページにログインするためのログインページがあり、ユーザ認証が成功するとそれぞれのページに遷移することができる。このとき、ログインできるユーザは一つだけであ

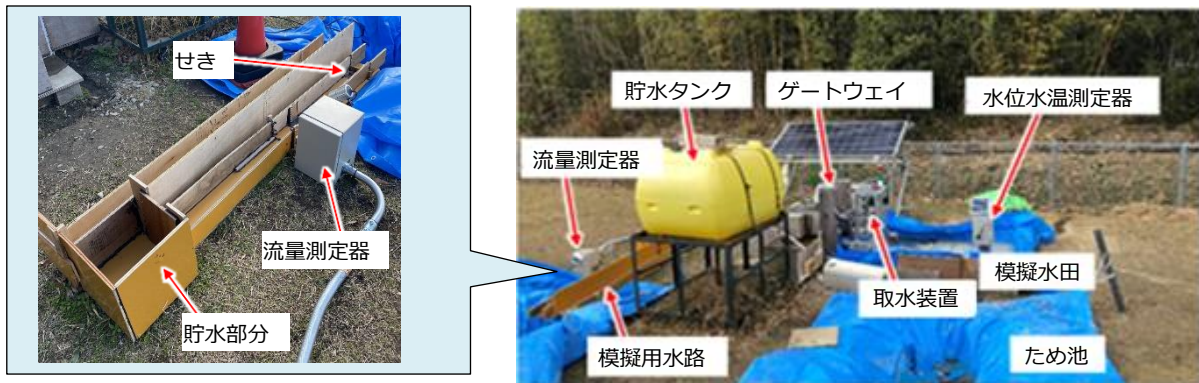


図9 模擬水田および模擬用水路

り、片方のユーザが取水装置を操作している間はもう片方のユーザが操作できないように設計した。一般ユーザ用のページは、水田と取水装置の画像の確認や、取水装置の遠隔操作、日記の記録ができる。また、図8は管理者用のホーム画面である。管理者用のページは、一般ユーザ用のページの機能の機能に加えて用水路流量測定器による画像や、用水路流量データ、水位・水温・バッテリー電圧のグラフ、全装置におけるエラーなどの情報が確認できるようになっている。

取水装置の操作は、開閉・停止を指定する「遠隔手動モード」と、指定した水位に自動的に調節する「遠隔自動モード」がある。遠隔自動モードでは、30秒ごとに水位水温測定器から受信した水位と情報端末から指定した水田の水位を比較し、取水装置に開閉の指示を送信する。水田の水位が指定水位に達すると、遠隔自動モードが終了しモータの動作が停止する。

**3.7 模擬水田装置および模擬用水路** 装置の検証用として、図9に示すように校内に模擬水田と模擬用水路を製作した。排水後の水をため池に貯め、吸水ポンプで水をタンクに戻し、再び取水門へ供給することにより水が循環できる構造にした。主に木材を使用し、水漏れが発生する恐れのある場所にコーキング材を用いて補強を行った。用水路は、せきの高さを変えることによって用水路に流れる水位を調節することができる。

#### 4. 動作の検証

模擬水田にて、製作した各装置を用いて緒言で述べた6項目について動作検証を行い、以下の項目について確認した。

- 取水装置の遠隔操作
- 取水装置にと電源装置に取り付けたカメラにより、装置の動作状態、水田全体の画像の取得と水位水温測定器による水位と水温のデータの取得
- 取水装置閉口時の止水
- カメラを用いた画像処理により用水路の水位測定す

ることから流量を取得

- 太陽光パネルによる発電電力から全システムを駆動
- 指定水位に達すると取水動作の停止

#### 5. 結言

昨年度に製作した模擬水田の改良および模擬用水路の製作を行った。さらに、そこに設置可能な装置（取水装置、水位水温測定器、ゲートウェイ、用水路流量測定器）を製作し、模擬水田での取水装置の遠隔操作や、水位・水温のデータ収集、ゲートウェイから各装置への電源供給、模擬用水路の流量測定などの動作検証を行った。各装置の動作状況が確認できるWebページを作成した。情報端末から模擬水田の水位の調節、模擬用水路の流量計測、模擬水田のシステムの状況把握（水位、水温、カメラ画像、バッテリー電圧、各装置のエラー）ができた。一方、模擬水田からの水漏れにより遠隔自動モードの実験はできなかったが、取水流量と排水流量の実験により、機能は実装しているため、模擬水田の水漏れをなくすことで水位調節の自動化は可能である。

#### 6. 謝辞

本開発を進めるにあたり、共同開発社である株式会社エイワットおよび水田の所有者である出原氏に協力を頂いた。ここに記して謝意を表す。

#### 文献

- [1] 農業の「働き方改革」 取品目ごとの課題と経営者の取組  
<https://www.maff.go.jp/j/study/work/attach/pdf/index-15.pdf> 参照：2021.01.06.
- [2] 次世代型水管理システム導入ガイド  
[https://www.naro.affrc.go.jp/publicity\\_report/publication/files/jisedai\\_mizu\\_kanrisystem.pdf](https://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/publication/files/jisedai_mizu_kanrisystem.pdf) 参照：2021.01.07.

(2021年6月28日提出)



## ゼロハンカーレースへの挑戦

神川謙一\*, 山本 衡\*

近畿職業能力開発大学校京都校（以下京都校）では、「全日本EV&ゼロハンカーレース大会 in 府中（以下ゼロハンカーレース）」[1]に出場することを目標に、手作りゼロハンカーを製作した。ゼロハンカーとは、50ccのエンジンを搭載したカートである。総合制作実習の課題として、デザイン・設計・機械加工・溶接・組立て・調整を行い完成させた。第12回ゼロハンカーレースへの出場を果たし、京都校や生産技術科のPRにもつなげることができた。

**Keywords** : ゼロハンカー

### 1. 緒言

専門課程生産技術科では、2年次に総合制作実習に取り組む。総合制作実習のテーマを決めるにあたり、所属している学生や入学を希望する高校生に対して、魅力となるような物を製作したいと考えていた。そこで、身近なものである、自動車のようなものが製作できないかと思い調べたとき、自動車の簡易版であるゼロハンカーの存在を知り、毎年2月にゼロハンカーレースが開催していることを知った。そこで、総合制作実習のテーマとしてゼロハンカーを製作し、レースに出場したいと考えた。ゼロハンカー製作を通して、設計・機械加工・溶接・組立て・調整のそれぞれの重要性を学ぶことができるだけでなく、入学を希望する高校生に対しても、京都校でゼロハンカーのような魅力あるものが製作できることを理解してもらい、京都校のPRにもつなげると考えた。

ゼロハンカー製作は、令和元年度より取り組み、2年目となる令和2年度にゼロハンカーレースに出場することができた。本稿では総合制作で取り組んだゼロハンカーレースへの挑戦について報告する。

### 2. ゼロハンカーレース

**2.1 大会の概要** 「全日本EV&ゼロハンカーレース in 府中」は広島県府中市で開催され、令和3年に第12回を迎えた[1]。高校や大学で工業を学ぶ学生や、社会人が自作のカートで競い合う大会である。モノづくりの機会を広く提供することによってモノづくりの楽しさ素晴らしさを体験し、産業の発展・振興に資する人材を育成していくことを目的としている。

**2.2 大会各種部門** 大会のなかでは、4サイクルエンジン、2サイクルエンジン、手作りエンジン、電気エンジンのEVカーとわかれているが、京都校の製作したゼロハンカーは、4サイクルエンジン部門に出場した。

大会規定では、フレームは手作りとし安全性に関しても十分な対応がされていることが求められる。大会当日には、車検があり、車両サイズの確認やブレーキテストが行われる。

京都校のゼロハンカーは、エンジン、サスペンション等の要素部品以外はすべて手作りで製作を行った。4サイクルエンジンの大会車両サイズ規定および京都

校のゼロハンカーの車両サイズを表1に示す。

表1 大会規定および京都校のゼロハンカー

	大会車両サイズ規定	京都校
全長	2500mm以下	2000mm
全幅	1300mm以下	1240mm
全高	2000mm以下	1170mm

### 3. ゼロハンカー製作の取組

令和元年度では、4人の学生を募り、設計・機械加工・溶接・組立て・調整の担当を決め、お互いにサポートを行い、制作を進めた。

令和2年度では、5人の学生を募り、全体の指揮および指導員との連携をするリーダー1人、設計・組立て2人、機械加工・溶接2人という班構成で行った。班分けに関しては、各学生が志望する就職先の職種や仕事にあった作業を選択させた。

各年度とも女子学生がゼロハンカー製作への参加を希望し、両学生ともフレーム製作の担当となり、溶接作業を中心的行った。1年次より製作のミーティングに参加するなど引継ぎも行き、改善点や加工技術の共有を行い、スムーズに製作が行えるようにした。

大会出場に向けたビデオメッセージで意気込みを語るメンバーを図1に示す。



図1 大会の意気込みを語るメンバー  
YouTubeに動画を掲載

URL: <https://youtu.be/2R3Z3vGTX0k>

\* 京都職業能力開発短期大学校 生産技術科



## 4. デザイン

ゼロハンカーを製作するにあたり、福山職業能力開発短期大学校（以下福山校）が第8回大会より出場していることがわかり、福山校を訪問した。福山校のゼロハンカーは鉄パイプのフレームで、曲げ加工を施した形状としていた。

京都校のゼロハンカーは、軽量化や単純なデザインをコンセプトに、アルミニウムの角パイプを用いて製作した。車両のデザインを図2に示す。



図2 車両のデザイン

## 5. 構造

四輪の車体前部にアクセルペダルとブレーキペダル、車体中央部に座席とハンドル、エンジンスイッチ、車体後部にエンジンをそれぞれ搭載した。図3に車両外観を示す。

エンジンは、エンジンスイッチを操作することで作動する。アクセルペダルを踏み込むことにより、後輪駆動で加速し、ブレーキペダルを踏み込むことで減速する。走行中にハンドルを操作することで、コーナーを曲ることができる。



図3 車両外観

## 6. 製作

**6.1 フレーム** ドライバーの姿勢、エンジンの大きさや取り付け位置を基準に、車両の大きさが規定の範囲内になるように全体の寸法を決定した。安全のためのロールバーやサイドガード、各部品を取り付けるための骨組みを追加した。

アルミニウム(A6063)の角パイプ(□30)とA5052の丸パイプ(φ30)を組み合わせ、Tig溶接で接合した。

**6.2 前輪** サスペンションにはダブルウィッシュボーンと呼ばれる構造を採用した。図4に前輪外観を示す。

タイヤにかかる3方向の加重のうち、上下4本のリ

ンクが横方向と前後方向の加重を受け持つ。上下方向の荷重はサスペンションにかかる。

軸は引張りや縮み、せん断には強いが、曲げやねじりには弱く壊れやすい。ダブルウィッシュボーンではタイヤにかかる荷重をすべて引張り加重と圧縮加重に変換するため剛性が高くなる。これにより、アームの構成部品の軽量化が可能となる。

ハブは旋盤・フライス盤加工によりタイヤホイールに合うように製作し、ベアリングを組み込み回転するようにした。

ブロックタイヤを装着することでダートコースでも滑ることなく走行することを可能とした。

**6.3 ハンドル** ハンドルの操作を軽くするためには、加えた力を分散させずにロッカーアームへ伝えることが必要である。そこで、タイロッドがロッカーアームの円運動の接線方向になるように製作した。タイロッドはねじを切ることにより長さを調節し、左右のバランスをとれるようにした。図5にハンドル部の外観図を示す。

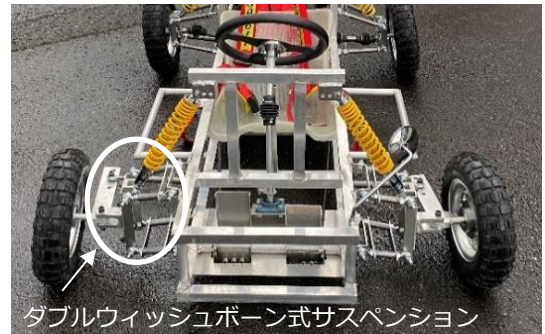


図4 前輪外観

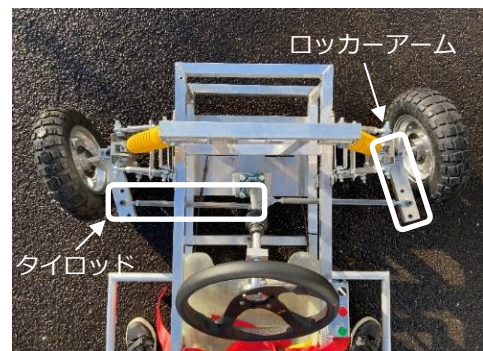


図5 ハンドル部の外観

**6.4 後輪** 図6に動力部と後輪外観を示す。エンジンの動力伝達にチェーンとスプロケットを用いた。力強い走行を可能にするために、スプロケットは後輪軸側の歯数を多くし、馬力を増幅させた。

サスペンションの上下移動に対応するため、車軸にユニバーサルジョイントを用い、動力をタイヤに伝えている。

車軸にスプロケットとブレーキディスクを取り付けるためのキー溝と、ジョイント部にピンを挿入する穴をフライス盤で加工した。

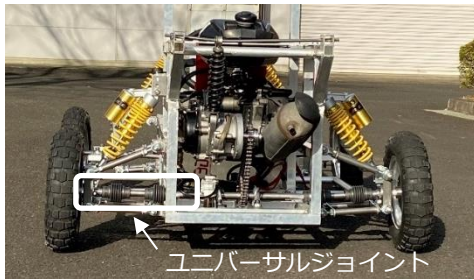


図 6 動力部と後輪外

**6.5 エンジン** エンジン市販されているスクーターの 50CC のエンジンを使用した。車両には二本の鋼製棒を貫通させ、吊り下げる形で取り付けた。鋼製棒は両端にねじを切り、エンジンの位置を決めてから締め付けることで調節ができるようにした。

エンジンの ON-OFF を運転席で操作できるように、座席付近にスイッチを設けた。エンジンからの配線は座席後ろにスペースを確保し収納した。

ガソリタンクは固定板をレーザ加工機により製作しエンジン上部に設置した。図 7 にエンジンを取り付けた車体後部を示す。



図 7 車体後

**6.6 アクセル・ブレーキ** それぞれのペダルには引張コイルばねを取り付け、ばねの個数を変えることで踏み込み時の抵抗力を設定した。ペダルはステンレス製の板をレーザ加工機で切断し、プレスブレーキで曲げて製作した。

アクセルは右足で操作する位置にある。アクセルワイヤによりエンジンスロットルと繋がっている。

ブレーキは左足で操作する位置にある。ブレーキワイヤによりペダルとリンクが接続されており、踏み込むことで油圧ブレーキが作動する。

**6.7 座席・シートベルト** 座席とシートベルトは、ドライバーが座席に着いた状態で位置を決定し、安全を考慮し確実に体を車体と固定できるようにした。また、座席の底面と背面に補強のフレームを入れることで、強度を増した。

## 7. 試走

校内中庭および市内のグラウンドを借用して試走を行った。校内中庭ではペダル操作による加速と減速が正常に動作していることを確認した。また、ハンドル操作によりスムーズなコーナーの旋回ができ、サスペンションが衝撃を吸収することで、終始安定した安全

な走行を行うことができた。

グラウンドの試走では、大会当日と同じ土のコースを走行しゼロハンカーの性能を確認することとした。3 日間の練習をした結果、問題点として、前輪部のロッカーアームを支えている部品が曲がっていることが分かった。そこで、材質をアルミニウムから鋼材に変更し、アーク溶接で固定し、強度を増すこととした。

校内中庭とグラウンドの試走の様子を図 8 と図 9 に示す。



図 8 校内中庭での試走



図 9 グラウンドでの試走

## 8. 大会の報告

令和 3 年 2 月 27 日 (土) 28 日 (日) に広島県府中市で開催された第 12 回ゼロハンカーレースに出場した。チーム名、車両名は、京都校のある舞鶴市の名産「舞鶴かまぼこ」より「かまぼこ」とし京都府舞鶴市からの出場を PR できるようにした。参加チームは、出場した 4 サイクルエンジンの学生部門では 15 チームであった。また、一般の部も含めると、31 チームの参加となった。

一日目は、50 メートルの直線を走るドラッグレースが行われた。ドラッグレースの出場は任意参加となり、参加チームは 20 チームであった。結果は 8 秒 85 というタイムで 16 位となった。

二日目は、コースを周回するゼロハンカーレースの本番となる。予選は、各チーム 1 台ずつ、2 周走行し 2 周目のタイムを測定することとなり、43 秒 84 というタイムだった。結果は全体の 27 位、同じ部門では 14 位という結果となった。予選を完走したため、決勝トーナメントに進出した。6 台が一斉にスタートし、5 周走行し順位を決め、上位 2 チームが決勝へと進む。

決勝トーナメントでは、他のチームがリタイアするなか、ファイナルラップへと入ったが直線コースにて、左後輪のタイヤが外れ、リタイアという結果となってしまった。大会結果を表 2 に示す。大会での走行を図



10 に示す。レースはリタイアという結果となったが、京都校のゼロハンカーは、デザイン賞を受賞することができた。授賞式の様子を図 11 に示す。

表 2 大会のタイムおよび順位結果

	タイム	順位
ドラッグレース (50m)	8 秒 85	16/20
予選 (コース周回)	43 秒 84	14/15
決勝 (コース周回)	記録なし	リタイア



図 10 大会での走行



図 11 デザイン賞受賞

ースでは轍が大きくタイヤがとられ、ハンドルの操作性が悪くなった点、また、振動によるねじのゆるみ防止など多くの課題に取り組み改善に繋げていく。



図 12 京都新聞(2月27日)に掲載された記事



図 13 「ちょきまる」を貼った車両「かまぼこ」

## 9. 広報への発展

京都校生産技術科の PR のため京都新聞および舞鶴市民新聞へのプレスリリースを行い 2 社の取材を受けることとなった。掲載された記事を図 12 に示す。

舞鶴市の協力もあり、舞鶴市のゆるキャラ「ちょきまる」の画像を車両に貼り付け走行した。「ちょきまる」を貼った車両「かまぼこ」を図 13 に示す。

大会に出場した車両や表彰状、盾、大会記念帽子、応援メッセージボードは学校に展示し、オープンキャンパスの参加者や来校者に見ていただけるようにした。賞状等の展示を図 14 に示す。

## 10. 今後の予定

令和元年度より、総合制作実習のテーマとして取り組み、令和 2 年度に第 12 回ゼロハンカーレースに出場することができた。令和 3 年度も継続して取り組む予定であり、改善を重ねて行きたいと考えている。このような取組みを毎年行うことで、京都校生産技術科のものづくりを PR できると考える。

ゼロハンカーの性能としては、他のチームに比べて、劣るが、デザイン賞を受賞し車両の設計、加工については満足いく結果を残すことができた。

今後の課題として、軽量化のためにアルミニウムを使用した、強度不足のために補強を重ねた結果、車両全体が重くなり、速度が上がらなかった点や、本レ



図 14 賞状等の展示

## 11. 結言

今回の総合制作実習を通して、学生は身近なものを製作することにより、ものづくりの興味深さを理解するとともに、難しさも理解できたと考える。チームとして役割を分担し問題解決を行いながら、大会出場という目標を達成できた成果は大きいと考える。

令和元年度より取り組んできた活動を引継ぎ、令和 3 年度も大会に出場する。毎年出場を続けることにより、京都校生産技術科と言えば「ゼロハンカー」となることを期待している。

## 文献

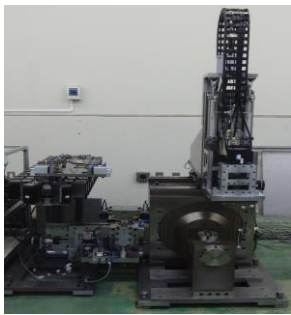
[1]非営利活動法人いこる deBINGO (大会ホームページ)  
<https://npo-ikoru1.jimdo.com/town/ev/>

(2021 年 6 月 30 日提出)

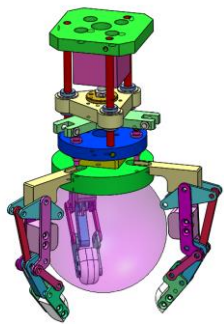


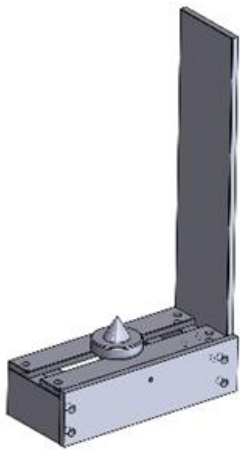
## 2020（令和2）年度専門課程総合制作実習概要

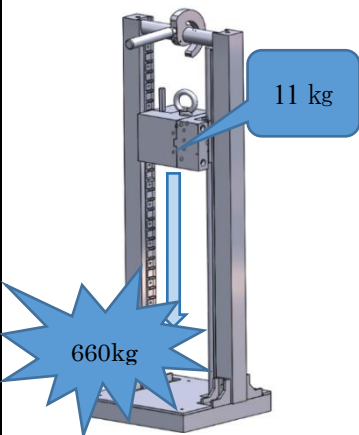
### 生産技術科

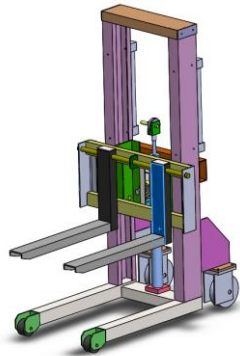
テーマ名	5軸制御マシニングセンタの設計・製作（第5期）		
学生	片桐太一，木寺琉人，木村昌伸，近藤晶裕，更家拓海	指導教員	坂口昇三 野田充大
概要	<p>本テーマでは、昨年度までのマシニングセンタの設計・製作の完成を目指し、その工程において生産技術の向上を目的とする。完成させるマシニングセンタは複数工具によるミーリング加工が行えるとともに旋削加工も可能な5軸加工機である。今年度は、B軸・C軸のディスクブレーキの取り付け，加工時に自動工具交換装置(以下ATC)側に切屑が飛び散らないよう仕切るためのATCシャッター，本機外装の設計・製作及び各部機能の改良を行った。</p>		


テーマ名	全方向移動型装置の制作		
学生	小島貴之，佐々木賢琉，辻 理人，戸田龍樹	指導教員	來住 裕
概要	<p>狭小空間となっているところで，旋回できるメカナムホイールを利用したロボットを制作した。図1に狭小空間で，遠隔撮影のできる首振り機能を取り付けた制作したロボットが示されている。図2には，障害物除去用のハンドを取り付けた，遠隔操作可能なロボットが示されている。</p>		 <p>図1 カメラ搭載型ロボット</p>  <p>図2 ハンド付きロボット</p>

テーマ名	メカニカルハンドの設計・製作		
学生	井上 航, 一ノ瀬寛規, 松下陽太, 山元慶一郎	指導教員	古賀寛光
概要	<p>生産現場でメカニカルハンドを使用することで、生産品の衛生面の向上と生産者の労力軽減に貢献することができる。今回製作したメカニカルハンドは、生産現場で使用することを想定した3関節把持型三つ爪ハンドであり、使用する材料は主にアルミ合金と樹脂とした。製品の設計には三次元 CAD, 二次元 CAD を主に用い、加工には旋盤, フライス盤, ボール盤, マシニングセンタ, ワイヤ放電加工機, レーザー加工機, 3D プリンターを使用した。設計では, CAE 解析で部品の強度を計算し, 可能な限りハンドの小型化・軽量化に取り組んだ。</p>		


テーマ名	リップハイトチェッカーの製作		
学生	吉田唯透, 北野和人, 原田悠一郎, 豊岡昴光	指導教員	江口藤良 藤根和晃
概要	<p>工具を研削することは、工具が破損した場合又は工具としての切削性能が劣化した場合に工具性能を復活させる有効な手段である。しかし、最近では刃先交換工具を使う機会が多くなり、“カン”と“コツ”が必要な工具研削は、習得する機会が少ない技能と言える。工具研削の代表例として、ドリル研削が考えられる。超硬、サーメット等の高硬度材料を用いた製品もあるが、高速度工具鋼で作られたドリルは現在でもよく使用されている。これらは切削性能が劣化すれば再研削する必要があり、研削の良否は従来目視で判断していた。特にリップハイトと言われる、刃先高さの差は経験的に取り扱われてきた。そこで、このリップハイトを定量的に確認できる治具を製作するとともにドリル研削の技術・技能について学ぶことにした。</p>		

テーマ名	安全に危険を体験できる装置の製作		
学生	西田 匠, 坂井裕哉, 鈴木唯人, 枝倉大樹	指導教員	藤根和晃
概要	<p>シューズやサンダル等で加工を行うと、足に工作物などが落下した時にケガをする恐れがある。そのため実習時には、安全靴を着用する事が義務付けられている。安全靴を着用していない時、足に加工物が落下するとどれ程危険なのかを安全に体験できるようにするために前年度を参考に問題点等を改善し本装置を製作した。本装置は手で重りを持ち上げ、上部の輪にフックを通す。重りを持ち上げる際、落下する危険を防ぐためラチェット機構を取り付けた。上部の輪をフックにかけた後、ラチェットを解除し落下させる。重りが着地した時、ピンが押し上げられ、ラチェットが再度作動する仕組みになっている。</p>		


テーマ名	手動パワーリフターの製作		
学生	森永海意, 前川豊樹, 松本 舜, 吉松 迅, 谷口風悟	指導教員	榎並克則
概要	<p>重量物を運搬する際に、人の力だけでは腰を痛めたり、落としてけがをするなどの安全面に問題がある。そのため手動パワーリフターを使用し、油圧の力や滑車を利用して、より簡単に使い勝手の良い小型のリフターを制作することを目的とした。例えば、フライス盤などにバイスを載せる作業などに使用でき、現場でも活躍できる。また、溶接作業を通じてグループでものづくりをすることによるコミュニケーション力を身につけることも目的とした。</p>		

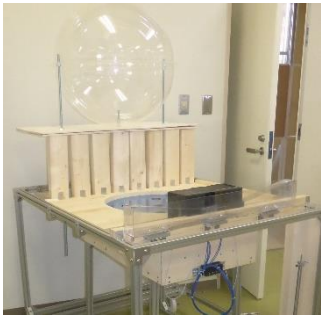
テーマ名	低融点金属による鋳造品の製作		
学生	池田浩樹, 村崎瑚大, 山田竜也, 山根佑介	指導教員	梅田良範
概要	<p>当校の生産技術科のカリキュラムでは学ばない、日本の伝統技術である鋳造技術を、総合制作実習のテーマとして取り上げるにより、ものづくり技術者としての知識を深めることを目的とした。今回製作する鋳造品はチェス駒であり、使用する材料は、低融点の純錫とし、鋳造型は樹脂型とした。製品設計には三次元 CAD 及び 3D プリンターを用い、鋳造法案の検討には、湯流れ・凝固解析システムを活用して、鋳造欠陥の発生予測を行うことで、鋳造欠陥のない鋳物製品の製作に取り組んだ。</p>		


## 電気エネルギー技術科

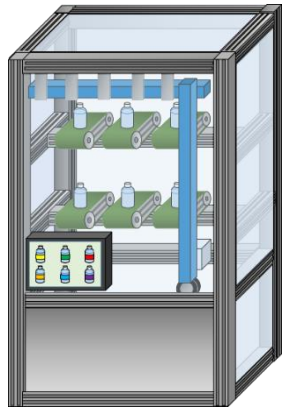
テーマ名	FA システムの構築		
学生	総田海斗, 北垣貴健, 玉城まどか, 森口凜汰朗	指導教員	中川章人
概要	<p>今年度の FA システムはワークへのキャップ取り付け加工を主軸に構築し、搬入・検査・加工・格納で分けられる。使用ワークは色・材質の異なる 6 種類で、回転台付近に設置されている金属センサ、色判別センサ、光電距離センサで色・金属・非金属を判定する。加工プロセスは前処理として画像センサによるワーク角度計測を行い、アームロボットで位置補正後に蓋付け作業へ入る。加工後ワークはアクチュエータで三段棚に赤・黒・銀の色を分けて収納する。制御機器となる PLC は三菱 Q03UDE を使用し、PLC 間ネットワークとして CC-Link を構築する。よって、省配線や各ステーション間のデータ通信を可能にしている。</p>		




テーマ名	セグウェイの製作		
学生	津田大地, 川村将生, 松村辰紀, 向井達哉, 奥村彩花	指導教員	中川章人
概要	<p>セグウェイの制作の理由は目新しい物で電気を使って動くものを作りたかったからである。Arduino UNO マイコン使用し、二つのモータにより前方向のみに動かすことができる。体重の傾斜配分により動作させる前に、レバースイッチを使用して、ON にすることでマイコンにモータを作動させる命令を送る。モータを動かすにあたって Arduino では直接モータ電源を供給できないので、別電源 24v をモータドライバーに供給する。安定性を配慮した結果ハンドルを付け、またモータ出力 250w のものを使用している。</p>		


テーマ名	アミューズメントマシンの製作		
学生	石川太一, 池田玲亜, 泉本博孝, 増田大貴, 松川公政	指導教員	石川大樹
概要	<p>空気圧や PLC(Programmable Logic Controller)などの制御により動作するアミューズメントマシンを製作した。利用者が楽しくプレイできることを念頭に置き、ゲーム性を持たせるためにモータや空気圧等を用いて三段階の異なるステージを設けた。また、実在するマシンの構造を参考にし、C 言語やマイコンボード(Raspberry Pi)を用いるなどして演出している。本装置の主軸を担うランダム要素のプログラミングは GX Works3 を用いて行い、三菱電機製の PLC を介して実行している。</p>		


テーマ名	非接触消毒・検温装置の製作		
学生	松本公希, 青木優樹, 石黒孝喜, 右近望武野, 田中高彬	指導教員	岡田卓也 石川大樹 富澤偉紹
概要	<p>アルコール消毒液は建物の入り口などで、手を消毒するために設置されている。しかし、プッシュ式のものが多く、完全に接触せずに消毒を行うことができないため、たくさんの人が触れたところに触りたくない人にとっては使いにくい仕様となっている。</p> <p>この総合制作では、センサで手の接近を検知して、アルコールを噴射する非接触消毒に、近年普及してきている非接触検温計の機能を合わせた装置を製作する。手をかざしている間に体温を測定することにより、列を作らずスムーズに通過できるシステムを目指す。</p>		

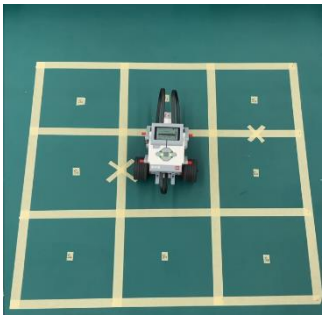
テーマ名	タッチパネルを活用した自動販売機の製作		
学生	仲井大和, 檜村元気, 川崎陽登, 源埜央人, 古川幸生	指導教員	富澤偉紹
概要	<p>本作品は銭湯等でよく目にする牛乳瓶用の自動販売機を参考に電動スライダによって再現し、タッチパネルを用いて注文することのできる自動販売機である。タッチパネルにより購入したい商品を選択し、購入ボタンを押すことでシーケンサに信号が送られ、動作が開始する。商品回収部がX軸・Y軸スライダによって対象の商品のもとへ移動すると、対象商品のベルトコンベアが動き、商品回収部に商品に乗せる。その後排出部へ移動すると商品回収部が回転し、商品を排出部へ落とし、購入者のもとへ届けられるというのが動作の流れである。</p>		


テーマ名	電動三輪車の製作		
学生	神近勇樹, 野田弦輝, 橋本尚弥, 濱口裕也, 宮内友也	指導教員	岡田卓也
概要	<p>本テーマは、昨年に引き続き電動三輪車の製作である。市販の三輪自転車にリチウムイオンバッテリーとブラシモーターを接続し、ペダルを漕がずにスロットルの操作による電気の力だけで走行する電動三輪車の製作を行う。昨年度は走行スピードの不足や、乗り心地の悪さが挙げられた。今年は去年の反省を活かし、グレードアップしたものを製作する。また、製作を通して部品選定、発注、組立、検証といった、ものづくりの工程を知ると共に、チーム作業における情報共有・意思疎通・計画性の大切さを学ぶ。製作目標としては、電動三輪車の最高時速として成人男性 80kg が乗った場合に、時速 25 km/h (原付の最高速度)で走行できることを目標とした。</p>		

## 電子情報技術科


テーマ名	電動工具チェック管理システムの製作		
学生	小山慎之介, 長田聖樹	指導教員	小出久美子
概要	<p>電動工作機器の使用は危険を伴う。一歩間違えれば大事故に繋がりがねないため、必ず使用前に機器の状態を確認しなければならない。現在、確認を行うためのチェック項目は紙に書かれており、それに自筆で記入するものとなっている。</p> <p>本制作では確認項目をデジタル化し、チェックを終えないと電動工作機器の電源が入らない装置の開発を目標とした。</p> <p>なお、PIC と Arduino の二つを制作した。</p>		


テーマ名	忘れ物防止タグの製作		
学生	山本悠喜	指導教員	小出久美子
概要	<p>忘れ物をすることで困難な状況に陥るということは、誰しも経験したことがあることだ。そこで、少しでもその状況を回避できるようにと Android 端末と双方向で通信することのできる忘れ物防止タグ、アプリを作成することにした。</p>		

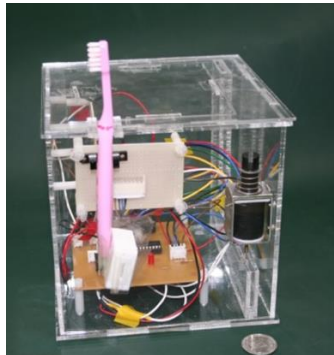
テーマ名	レゴを利用した強化学習教材の開発		
学生	川崎 凌, 澤 巧	指導教員	奥田佳史
概要	<p>行動をする機械としてレゴ (Ev3) を使用する。障害壁を設けた正方形のコース、3×3 の場合は 0 から 8 の番号を付ける。どのようなルートに進むと最短でスタートからゴールへ行くことができるか、測定データ (エピソード) を基に見つけていく。サーバーで予め行動の制約 (ポリシー) を決め、その制約の範囲内で Ev3 が行動する。Ev3 及びサーバーのソースコードは Python を使用している。実際に機械を動かすところに重点を置き、エピソードをもとにサーバーで最短経路を導き出す。最短経路がどのように求められていくのかを視覚的に表すことによって理解しやすくする。状態 (State) と次の行動 (Action) の保存、<math>\pi_{\theta}</math> の変化を表示するプログラム、及びアニメーションを作るプログラムの作成を行った。</p>		


テーマ名	DX ライブラリを用いたリズムゲームの作成		
学生	横田健誠	指導教員	新山 亘
概要	<p>DX ライブラリを用いたリズムゲームの開発を行った。リズムゲームとは、決められたタイミングに対し、どれだけ近いタイミングでユーザーが反応できたかを判定し評価するゲームのことである。DX ライブラリは、windows 上でゲームや動画等のマルチメディアコンテンツを処理するための API やその他 windows 関連の API を使いやすく関数化したライブラリである。この DX ライブラリと C 言語を用いて、タイトル・曲選択・ゲームプレイの結果の、ゲームの根幹となる 4 つのプロセスを作成し、それぞれを組み合わせることでゲームシステムを構築した。</p>		




テーマ名	データ増加に対応した車載 LAN システムの構築		
学生	古谷幸輝	指導教員	新山 亘
概要	<p>CAN コントローラ+CAN ドライバの CAN インタフェースを製作し、インホイールモーターの速度データを OBD2 に出力した。今後 CAN 規格を拡張した CANFD が普及すると予想されるが、今回製作したインタフェースボードのコントローラ IC をピン互換の CANFD 対応 IC に変更するだけで対応可能である。</p>		

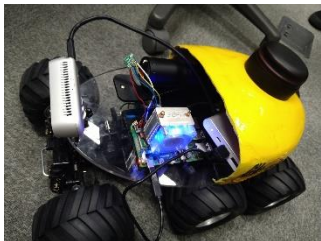
テーマ名	adHoc 型ネットワークを用いた自律分散システムの構築		
学生	佐々木優海	指導教員	新山 亘
概要	<p>adHoc 型ネットワークを無線通信規格 802.15.4「ZigBee」を物理層・MAC 層に持つ Digi 社の「XBee」で構成した。adHoc 型ネットワークとは、「端末のみで端末相互の通信を行う技術」である。XBee は ZigBee ネットワークを構築する。ZigBee ネットワークとは ZigBee コーディネータと Zig ルータで構成される。ZigBee コーディネータが PAN を構築し、ZigBee ルータが PAN に参加する。adHoc 型ネットワーク（ZigBee ネットワーク）を可視化できるように確認用基板を作成した。</p>		

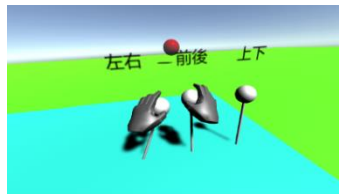
テーマ名	スマート歯磨きシステムの製作		
学生	木下晴斗, 山本 魁	指導教員	小出久美子
概要	<p>大人になると何気なくしている歯磨きだが、子供のころは慣れるのに時間がかかり苦勞する親も多い。そこで歯磨きをする習慣付けの大事な時期である就学前の 4~6 歳を対象とした歯磨き習慣を支援するスマート歯磨きシステムを製作した。加速度センサを取り付けた子機の歯ブラシと親機の歯ブラシ立てと通信をする。歯ブラシから得られるデータを元に歯磨きを誘導する音声アナウンスやご褒美を提供することで子供の歯磨きに対する意欲の向上を図る。</p>		

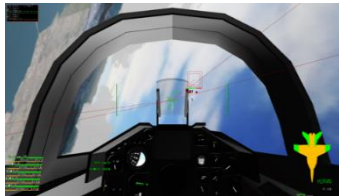
テーマ名	移動型遠隔監視システムの製作		
学生	十川流也, 松井孝佑, 山崎佑太	指指導教	大久保欣哉
概要	<p>この総合製作実習の目標地点は、地球温暖化などの影響で引き起こされる異常気象や地震等の自然災害現場で、上空からの人命救助の補助、人の立ち入りにくい危険な現場での保守点検を行えるシステムを作ることである。そこで我々は、移動型遠隔システムとしてカメラを搭載したドローンを製作した。また、音声でも制御可能なオプションを考え、小型ドローンを用いた音声による制御を行った。</p>		

テーマ名	小型バギー(車いす)の音声制御システムの制作		
学生	奥田雄大, 松村歩佳	指導教員	大久保欣哉
概要	<p>我々は、障害を持った幼児を対象にした、車輪を電動化した小型バギー(車いす)の音声制御システムを制作した。ベースとなるバギーには市販車を使用し、これを電動化する。方法として電動スケートボード用の DC ブラシレスモータを使った制御装置をバギーに装着し、加速度センサを用いて無線コントローラによる動作確認を行った。いろいろな障害を持った方を想定しているためコントローラの操作方法として、ジョイスティックによる操作も検討している。</p>		

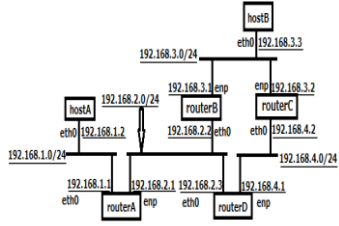
テーマ名	C 言語仕様サブセットに基づいた学習用コンパイラの開発		
学生	鏡宮夕維	指導教員	奥田佳史
概要	<p>C 言語実習で使用した C コンパイラ GCC の仕組みを理解するために、C 言語のサブセットに対応する学習用コンパイラを開発した。サブセットとして構文解析、四則演算、for 文、配列、ポインタ、return 文、を実装した。サンプル課題で動作検証した。</p>		<pre> 配列の宣言 int array[5]; ... array[0] array[1] array[2] array[3] array[4] -rsp </pre> <p>プロローグ</p> <pre> .intel_syntax noprefix .globl main main:     push rbp     mov rbp, rsp     sub rsp, 20 </pre> <p>配列の領域確保</p>


テーマ名	建築物床下探査ロボット「Gle-gle」の開発		
学生	寺井 栞, 西 成穂, 堀内勇輝範	指導教員	藤井昌之 村岡 寛
概要	<p>我々は、人間が入り込んで検査を行うことが困難な建築物の床下等の検査を、人に代わって行うことを主要な目的とするロボットの開発に取り組んだ。本ロボットの主たる機能は以下のとおりである。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. SLAM による地図生成, 自己位置推定</li> <li>2. 画像表示, 静止画保存</li> <li>3. クラック幅計測</li> <li>4. 床裏マッピング</li> <li>5. 温湿度計測</li> <li>6. GUI</li> </ol>		

テーマ名	VR 空間における仮想コントローラの開発		
学生	明瀬碧斗	指導教員	奥田佳史
概要	<p>Leapmotion は近年注目されている技術である。VR はゲームなどにしばしば使用されるがそれだけが利用方法ではない。リスクの伴う訓練に利用することでリスクの軽減及びコストカットが可能である。それに伴う仮想コントローラの開発はハードウェアの導入コストを軽減し、導入を簡単にするというメリットがある。そこで、VR 内のみで活用ができる、現実では実体のないコントローラに焦点を置き、VR レバー、VR ボタン、VR スライダーの三つの仮想コントローラを制作しその使い勝手を比較した。</p>		


テーマ名	VR 酔い対策の検討		
学生	藪下真基	指導教員	奥田佳史
概要	<p>VR をより長時間使用するためには VR 酔いへの対策が必要である。今制作においてはソフトウェア面での対策を目的とした対照実験を行う。実験に際し目線の基準となる表示が重要だと仮説を立て、その有無・大小による差を比較した結果、目線の基準となる表示を小さく表示することで、VR を使用する際の気持ち悪さを軽減するという傾向を発見できた。また、左右像のズレの補正や肘膝の推定を行うノウハウを得られた。</p>		





テーマ名	ルーティングプロトコル実験環境の構築		
学生	松下加奈	指導教員	奥田佳史
概要	<p>本テーマ「ルーティングプロトコル実験環境の構築」は、quagga を構成するデーモンプロトコルの一つである OSPF (Open Shortest Path First) を用いたルーティングの実験環境の構築である。開発環境として OS は CentOS7 を、ルーティングソフトウェアは quagga を利用した。また Raspberry Pi 4 を用いてルータを 4 台に増やすことにより、ルータの起動させる順番の違い、ルータの 1 つが通信不能になった場合の OSPF によるルーティングテーブル作成についての実験を行い、Wireshark を用いてリンクステート確立手順を解析した。</p>		 <p>ダイナミックルーティング構築環境</p>

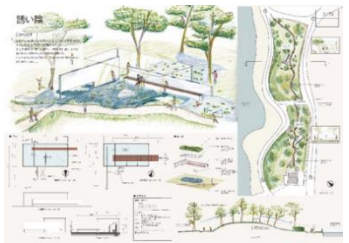
テーマ名	ソレノイドバルブによる水時計の製作		
学生	横山英幸, 青木隆真, 女良畑慎吾	指導教員	藤井昌之
概要	<p>本課題は大阪駅や京都駅に設置されている水時計を参考にして、マイコンを用いたソレノイドバルブの制御により、その簡易版として再現したものである。水の制御にはソレノイドバルブを用い、高速なスイッチングを可能とするため MOS-FET を採用した。本簡易版の水時計は「時:分」の 24 時間表示を行う。また、横方向の解像度は 60 本であり、その水流制御のための回路基板の設計制作を行った。スイッチング回路を制御するソフトウェアは C 言語を使用した。</p>		

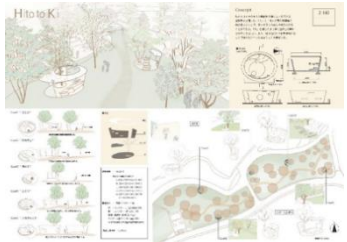
## 住居環境科

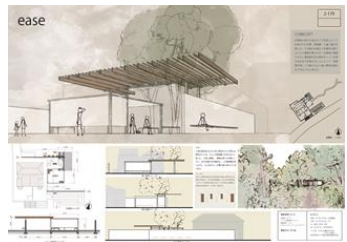
テーマ名	2 級建築士試験課題の軸組模型		
学生	藤川 丈	指導教員	武種亮宜
概要	<p>この総合制作実習で制作しているのは平成 25 年 2 級建築士試験の設計製図課題「レストラン併用住宅(木造 2 階建)」の軸組模型である。この課題を選んだ理由は、店舗を併用する住宅に興味があったのと、2 級建築士試験の設計製図課題を軸組模型に起こしてみたかったからである。決められた設計条件を守りながら、如何に自分がしたい設計を構造上可能な範囲で設計していくかがこの制作のポイントである。この総合制作実習を通して 2 級建築士の製図課題の練習と、建築構造への理解を深めることを目的とする。</p>		


テーマ名	ジオテックドームの制作		
学生	池田翔栄, 和田剛毅, 西田竜樹, 植田 空, 山添光磯, 野坂柗揮	指導教員	中川詠子 前田由佳
概要	<p>ジオテックドームは、球に近い正多面体である正二十面体を、さらに対称性をできるだけ持たせながら正三角形に近い三角形で細分割し、球面をその測地線（ジオデシック）ないし測地線を近似する線分の集まりで構成したドームである。微細なずれでも全体の組み立てが合わなくなってしまうため高度な精密性と集中力が必要である。本実習の目的は、設計や測量、木材の加工、建て方等の加工技術を習得し、全員で協力して一つの構造物を作ることで、チームワーク性を高めることである。</p>		

テーマ名	一階にジムを併設する住宅の軸組模型		
学生	川村 翔	指導教員	武種亮宜
概要	<p>この総合制作実習では第一種中高層住居専用地域に建てる二階建ての木造住宅をイメージした軸組模型を制作する実習である。私自身が住んでいる実家を建て替える計画のもと、趣味であるトレーニングを取り入れ、一階部分にトレーニングジムを経営できるように広い空間を作った。そのため二階部分にこの家族の生活空間を設ける計画とし、テーマを「一階にジムを併設する住宅」とした。この軸組模型の制作を通して木造住宅の構造や図面の描き方、構造上の耐力について理解を深めることを目的とする。</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 (01)		
学生	立石偉巨	指導教員	村岡 寛
概要	<p>学生向けコンペティションである大阪府主催の第30回「あすなる夢建築」（大阪府公共建築設計コンクール）に参加した。課題は「大阪府営服部緑地内に立地する休憩所」、テーマは「緑陰で憩う」である。園路からでは計画敷地内の既存の木々との距離があるので緑陰を楽しむまでにはいかない。今回の提案では、計画敷地内の小径を活用し、園路とは違う風景と緑陰を楽しめるよう小径沿いに休憩所を計画した。休憩所では、より風を感じることができるよう工夫し、日常の散歩に変化を与えた。</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 (02)		
学生	和田 歩, 内藤亜紀子	指導教員	村岡 寛
概要	<p>学生向けコンペティションである大阪府主催の第30回「あすなろ夢建築」(大阪府公共建築設計コンクール)に参加した。課題は「大阪府営服部緑地内に立地する休憩所」, テーマは「緑陰で憩う」である。園路を歩く人と木々の間(境界)に距離感を感じた。人と木の関係性をより深いものになるような休憩所にしたいと考え、計画地にある小径を活用し、既存の木を包み込むように小さな休憩所を複数計画した。そこでは土や風, 草や花, 虫や動物といった人の成長を促す多様な刺激を与えることができ、木に愛着を持ってもらえるようにした。</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 (03)		
学生	岸川拓未	指導教員	村岡 寛
概要	<p>学生向けコンペティションである大阪府主催の第30回「あすなろ夢建築」(大阪府公共建築設計コンクール)に参加した。課題は「大阪府営服部緑地内に立地する休憩所」, テーマは「緑陰で憩う」である。計画地近隣に少し周辺環境と調和の取れていないパステル色の外壁が目立つトイレが存在している。木々豊かな風景に相応しい休憩所をトイレの外壁を囲うように計画した。また新しい休憩所の建設によって取り壊される利用頻度が高かったパーゴラを再度休憩所に取り組んだ。</p>		


テーマ名	集合住宅の計画		
学生	加藤来夢, 斉藤大貴, 濱野恵太	指導教員	廣澤幸清
概要	<p>本制作では、在来軸組工法による集合住宅のモデルプランの制作に取り組んだ。今年度に徳島県土木整備部住宅課のプロジェクトとして実際に募集されていた県営住宅の建替え事業「awa もくよんプロジェクト」における計画条件をもとに、地域の住宅施策・設計趣旨を理解し、木造住宅の構造・施工手順等をより深く学習することを目的として制作した。制作したモデルは、各個人が考えた住戸をもとに制作した、4階建て総住戸数27戸の木造集合住宅の1/20軸組模型である。</p>		

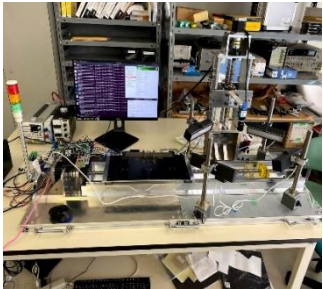



テーマ名	木造二階建て住宅の軸組模型		
学生	住江拓哉	指導教員	武種亮宜
概要	<p>この総合制作実習で制作しているのは準工業地域に建てる二階建ての木造住宅の軸組模型である。シンプルな形で敷地や家の中を最大限に広く使うことや奥行きを見せることを計画し、テーマは「奥行きがあり家の中の空間を活かした家」とした。これは奥行きのある家だが外見上は狭いためその分を補うために家の中の空間を広くした事に特徴がある。狭い家の中で個々の空間やLDKと言った空間を構造上可能な範囲で広く設計することが制作のポイントとなった。この模型制作を通して軸組構造の理解を深めることを目的とする。</p>		


## 2020（令和2）年度応用課程総合制作実習概要


### 生産システム系3科

テーマ名	薄膜フィルタ貼付装置の開発		
学生	<p>生産機械システム技術科： 佐藤一汰，西村 潮，畠山 彬 浜田祥汰，村田泰明</p> <p>生産電気システム技術科： 小菌颯生，杉本圭亮，高橋由伸 浜田健汰，八木淳司</p> <p>生産電子情報システム技術科：佐野雄基，檜崎謙汰 比嘉盛斗，松本詩乃，山内晶太</p>	指導教員	<p>矢口博道 佐藤 桂 大山有利</p>
概要	<p>本制作は、ムネカタインダストリアルマシナリー株式会社から提供されたテーマである。薄膜フィルタは、自動車のヘッドライトユニットにある通気口などに使用されている。装置目的は、フィルタをユニットに溶着する工程の自動化である。動作としては、ロールシートからフィルタの供給，溶着位置へのフィルタ搬送，溶着時の押し付け強度 60N の測定，溶着の良否判定を目指している。今年度においては，溶着は行わず，フィルタの代わりにシールを用いる事とし，貼り付け場所も水平面のみとした。全体の動作制御を PLC，品質の良否判定およびログの保存にマイコンを用いて制作した。</p>		

テーマ名	鋳物画像撮影装置の製作		
学生	生産機械システム技術科： 白石大将, 高橋航洋, 西岡和史 山口鈴平, 森本寛千  生産電気システム技術科： 田中 敦, 服部真輝, 榎 啓太 久保輝楼  生産電子情報システム技術科： 石川雅隆, 岩永虎太郎 占部蒼馬, 澤田浩史, 徳満宗遵	指導教員	望月隆生 中村恵司 田中倫之
概要	今回のテーマは株式会社センシューから提供された、初年度の開発テーマである。鋳物部品(以下ワーク)の外観検査による人的負担を減らすために自動化を図る装置のモデルを開発している。今年度は鋳肌傷の撮影を行い、画像をファイルとして保存することができる装置の開発である。初めにワーク移動ユニットに設置された治具にワークを設置し、ワークをカメラの撮影位置まで運ぶ。その後、カメラ移動ユニットでカメラの高さを調整し、運ばれてきたワークを撮影する。撮影された画像は GUI によってファイルとして保存すると共に、画像に写る不良個所の位置を登録することができる。		

テーマ名	リベッティングマシンの開発		
学生	生産機械システム技術科： 緒方康之, 最相洋亮, 広島拓実 田中慎矢, 増田篤俊  生産電気システム技術科： 青木直世, 奥島 季, 関 和豊 永田康稀, 八田愛花  生産電子情報システム技術科： 木本隼人, 永柄雅貴, 永濱優喜 藤田和礼, 藤村春人	指導教員	宮武正勝 今園浩之 武川 肇
概要	本テーマは、株式会社イケからの要望としてテーマを頂き、今年度で二年目となる継続テーマである。ワークをテーブルの上に設置し加工開始ボタンを押すことにより、工具を回転させ、押し込むことで、8箇所のリベットを自動でカシメ加工を行う装置である。企業での組み立て作業の1つであるカシメ加工の作業を手作業から自動化へ改善することにより、作業者の人的負担になっている打ち付け時の振動と衝撃音による大きな騒音の低減などを目的としている。		

テーマ名	溶融亜鉛めっきの工程省力化装置の開発		
学生	生産機械システム技術科： 海原誠之助，栢分一真 小南翔太，原田純樹，藤川光賢  生産電気システム技術科： 青木良樹，佐々木 誠，佐藤輝城 橋本修次，的場亮介  生産電子情報システム技術科：秋田一男，長友利憲，横田将史 山河岳流	指導教員	岩城勇生 勝田 勉 清水隆之 井上 隆
概要	<p>本テーマは丸昌工業株式会社から提供され、今年度で二年目となる継続テーマである。溶融亜鉛めっきの工程省力化を図る装置のモデル開発を目的としている。今年度の製作物は、めっき釜上で亜鉛を切る工程から遠心分離機方向への90°回転するまでの工程を自動化できる装置である。亜鉛切りの動作は、板カムと従節を用いてシーソーを上下運動させることにより行っている。その動作後、Webカメラで撮影した画像からRaspberry Pi4で動体検知を行い、亜鉛切りの完了判定を行っている。亜鉛切り完了後、ロータリシリンダを用いた回転機構でターンテーブルを回すことにより、めっき製品を遠心分離機へ投入しやすくしている。</p>		

テーマ名	スマートアグリシステムの開発		
学生	生産機械システム技術科： 岸本光貴，酒井智弘，坪佐佳浩 西川将弘，藤田駿平  生産電気システム技術科： 家村克磨，大田真千 川之上雄大，佐賀勇斗  生産電子情報システム技術科： 滝本良輔，中田陽仁，松下拓磨 松本祐太，桃菌雄介	指導教員	久保幸夫 秋間紳樹 庄林雅了
概要	<p>水田において水管理の負担は機械化・省力化が発展途上である。そこで、株式会社エイワットより、水田の水管理に関するテーマをいただいた。本装置は取水装置・水位水温測定器・用水路流量測定器・ゲートウェイ・情報端末で構成されており、遠隔で水位の調整が可能である。また、太陽光パネルとバッテリーを設置し、各装置への電源供給を行っている。さらに情報端末で監視・データの閲覧ができる。大学校校内に模擬水田・模擬用水路を製作し、本装置の実験・評価を行った。</p>		



## 建築施工システム技術科

テーマ名	木造建築用火打金物の開発		
学生	安部尚祥, 小森海月, 佐々木康徳, 仲里レイナ, 則久燎矢 柗木恒輝, 矢野文太	指導教員	宇都宮直樹
概要	<p>火打金物は、木製火打材の代用として、地震や台風時などに発生する水平方向の変形を防止する。床構面の剛性を保つことで荷重を耐力壁へ適切に伝え、床構面の隅角部に作用する圧縮・引張に抵抗する。本開発課題実習は、公益財団法人日本住宅・木材技術センターのDマーク認定取得を目標に火打金物の開発を行った。開発方針は意匠性のある火打金物をコンセプトとして開発を進めた。成果品は、金物を露出させた場合においても、従来の金物と比べ、形状がシンプルであり、デザイン性が高い金物である。</p>		




テーマ名	木造戸建て住宅基礎用補強工法の開発		
学生	小谷 翼, 潮平 武, 谷川 舞, 辻本すみれ, 新井優花, 村尾拓海	指導教員	西山正憲
概要	<p>アラミド繊維とは、米国デュポン社によって開発されたポリアミド繊維である。アラミド繊維シートは宇宙船、航空機の部材、防弾チョッキ、消防服火服、橋脚の耐震補強、トンネル等の壁面耐震補強などに幅広く使用されており、引張強度は鉄の約7倍もあり高強度、高弾性に優れている。パワーアラストとは、アラミド繊維をエポキシ樹脂に特殊配合したコンクリート複合補強繊維樹脂のことで、エコマーク認定商品である。接着力が強く、硬化しても収縮がほとんどないため、基礎部分の強度維持に有用とされている。撥水性も高く乾燥状態を維持する。本研究では、これらの補強材の強度の検証を破壊試験にて行った。写真は、実験で使用したアラミド繊維シートである。</p>		



テーマ名	木造耐震構法（TIP 構法）の研究		
学生	伊藝優輝, 岡村恭平, 後藤未夢, 小濱和貴, 宮里萌加 與座直也	指導教員	片平 聡
概要	<p>本研究は、日本 TIP 建築協会が考案した TIP 構法について共同で研究したものである。TIP 構法とは、斜めに張ったすぎ板と合板にガルバニウム鋼板を接着したガセットプレートを使用するのが特徴であり、すぎ板で縦横揺れに抵抗し、ガセットプレートによってピンをラーメン構造化することができる。本年度の試験では、躯体・ガセットプレート・すぎ板・筋かい、それぞれの荷重負担割合を求める。また、前年度の試験から柱に曲げが発生していることが確認できたため、ひずみゲージを用い、曲げ応力度の測定も行う。</p>		



テーマ名	構造モニタリング機器の開発とその施工		
学生	井上聡志, 河村 優, 武田 望, 仲里晃輝, 姫田剛志 皆川航希, 吉本康佑	指導教員	新垣忠志
概要	<p>建設された構造体についての耐震性能, 台風性能等を評価することは容易ではないと考えられる. 近年の情報通信技術の進歩は著しく進化している. このような状況下で建設された建築構造物の性能を調査する技術が確立しつつある. その一つが構造ヘルスマニタリング (本報では構造モニタリング) であろう.</p> <p>本報では構造モニタリング機材の開発 (機器の動作確認, 初期設定) と現実の建築物への施工を行った状況について報告する.</p>		

## 2020（令和2）年度における表彰

### 近畿ポリテクビジョン 2021 における表彰

- ① 応用課程 最優秀発表賞：生産電子情報システム技術科 松本佑太
- ② 応用課程 優秀発表賞：生産電子情報システム技術科 横田将史
- ③ 応用課程 最優秀作品賞：薄膜フィルタ添付装置の開発  
製作者：佐藤一汰，西村潮，畠山彬，浜田祥汰，村田泰明，小菌颯生，杉本圭亮  
高橋由伸，浜田健太，八木淳司，佐野雄基，檜崎謙汰，比嘉盛斗，松本詩乃，山内晶太  
指導教員：矢口博道，佐藤桂，大山有利
- ④ 応用課程 優秀作品賞：構造モニタリング機器の開発とその施工  
製作者：井上聡志，河村優，武田望，仲里晃輝，姫田剛志，皆川航希，吉本康祐  
指導教員：新垣忠志
- ⑤ 専門課程 最優秀発表賞：住居環境科 池田翔栄
- ⑥ 専門課程 優秀発表賞：電子情報技術科 寺井栞
- ⑦ 専門課程 最優秀作品賞：生産技術科 5軸マシニングセンタの設計・製作(第5期)  
製作者：片桐太一，木寺琉人，木村昌伸，近藤晶裕，更家拓海  
指導教員：坂口昇三，野田充大
- ⑧ 専門課程 最優秀作品賞：電子情報技術科 建築物床下探査ロボット「Gle-gle」の開発  
製作者：寺井栞，西成穂，堀内勇輝範  
指導教員：藤井昌之，村岡寛
- ⑨ 専門課程 優秀作品賞：電気エネルギー制御科 アミューズメントマシンの製作  
製作者：池田玲亜，石川太一，泉本博孝，増田大貴，松川公政  
指導教員：石川大樹
- ⑩ 専門課程 優秀作品賞：電子情報技術科 移動型遠隔監視システムの製作  
製作者：十川流也，松井孝祐，山崎佑太  
指導教員：大久保欣哉

### 卒業式における表彰

- ① 大学校賞

専門課程：生産技術科	小島貴之
電子情報技術科	寺井 栞
応用課程：生産機械システム技術科	栢分一真
生産電気システム技術科	大田真千
建築施工システム技術科	仲里晃輝
- ② 優秀賞

専門課程：生産技術科	池田浩樹
電気エネルギー制御科	北垣貴健
電子情報技術科	澤 巧
住居環境科	内藤亜紀子
応用課程：生産機械システム技術科	森本寛千
生産電気システム技術科	服部真輝
生産電子情報システム技術科	占部蒼馬
建築施工システム技術科	後藤未夢



2021年編集委員

委員長 高橋大弐 (校長)  
多井作和朗 (副校長)  
塚本文彦 (能力開発統括部長)  
鈴木啓生 (学務課長)  
久保幸夫 (機械系)  
矢口博道 (電気系)  
庄林雅了 (電子情報系)  
村岡 寛 (建築系)  
山口雅史 (援助計画課)  
後藤義洋 (学務課)

---

近畿能開大ジャーナル 第29号

発行 2021年10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

---

