

東北職業能力開発大学校

紀 要

第 33 号

巻頭言

【研究論文】

三浦 誠, 宮澤 彩水, 石戸谷 百百子, 小林 龍生, 林 昇吾, 石戸谷 裕二	
木造住宅における可変透湿シートの透湿抵抗の経年変化に関する研究 ……	1
【報告】	
久保 祐太	共同研究における総合制作への落とし込みについて …… 7
畑 伸明	空気圧装置を用いたアミューズメント機器の製作 …… 11
平田 武誉, 太田 徹児, 先崎 康裕, 狩野 隆志, 檜原 康弘	
生産電気システム技術科における 生産ロボットシステムコースの取り組み報告 ……	15
尾形 智和	PLC制御を用いた吊り下げ式エレベータモデルの製作 …… 19
中矢 翔, 千葉 丈一朗, 佐藤 英馬, 堀川 佳大, 本間 凜太郎	
広報に活用するイベント展示用アミューズメント機器の製作 ……	23
永野 秀浩	令和4年度開発課題「エアコン用コンプレッサー分解・分別支援システムの開発」の実習報告 …… 27
星野 政博, 佐藤 優太	
建築空間の認識 ……	31
平 和基	導入教育での試み …… 37
雨森 瑞宜, 猪股 歩武, 岩見 太陽, 佐藤 朋樹	
壁-1 グランプリ2022への取り組み ……	41
【総説等】	
喬橋 憲司	切削抵抗と工具経路の解析 …… 47
伊藤 隆志	ゼネバ機構とスライダクランク機構を組み合わせたメカニズムの実例 …… 53
下畑 守央	総合制作実習の進行に係る取り組み …… 61
細井 遼太郎	マイクロコンピュータ工学向け新規教材開発 …… 65
川又 政征	やさしい標本化定理 …… 67

2023年6月

東北職業能力開発大学校

巻頭言

最近話題の ChatGPT を使ってみた。使い方や原理も調べずに、巻頭言の案を書いてもらった。その結果は以下のとおりである。

送信メッセージ： 私は東北職業能力開発大学の校長の川又政征です。このたび、東北職業能力開発大学の第33号紀要を発行するにあたり、その巻頭言を執筆したいので、巻頭言の案を400文字以内で書いていただけますか？

回答： 未来への力強い一歩を踏み出す

私、川又校長は、東北職業能力開発大学の第33号紀要をお届けいたします。この紀要は、私たちの学校の取り組みや成果、そして学生たちの輝く姿を広くご紹介する重要な場となります。

私たちの学校は、学生たちが持つ可能性を最大限に引き出し、職業能力を向上させるための教育を追求しています。本紀要では、学生たちのプロジェクトや実践的な活動、地域との連携など、さまざまな事例を取り上げ、学校の魅力をお伝えしています。

私たちは、変化の激しい現代社会において、学生たちが主体的に学び、成長できる環境を整えることを大切にしています。また、倫理的な価値観や社会貢献の意識を醸成し、未来のリーダーとなる人材を育てることも重要な使命と考えています。

本紀要を通じて、私たちの学校の魅力や取り組みを広く社会に伝え、さらなる連携と協力を築いていきたいと思っています。皆さまのご支援とご協力に心から感謝申し上げます。私たちと共に、未来への力強い一歩を踏み出しましょう。

ここからは私の感想である。まず、ChatGPT の回答のできにとってもおどろいた。回答文は、日本語の文章として適切性も十分である。内容としても極めて汎用性が高く、没個性的ではあるものの東北職業能力開発大学の特徴や使命、社会的位置づけを理解し、紀要の編集方針もよく理解しているようにもみえる。どんな角度からみても非の打ちどころがなく、まったくもってそつがない巻頭言といわざるを得ない。私の個人的な採点では75点をあげてもよいと思う。

しかし、このような没個性的で、そつがないことから逆に面白みに欠けるように思う。ChatGPT の回答は、多数の紀要の巻頭言の例から、いわば巻頭言の平均値を作り出しているように感じられる。したがって、ChatGPT の回答は、高得点はねえなくても、そつがなく、ツッコミどころがなく、常に合格点はとれる回答になるのだろう。政治家や官僚、官公庁が ChatGPT に大いに興味を持っているのは ChatGPT の回答のこのような特徴に注目しているからかもしれない（もちろん ChatGPT 中のパラメータの調整により個性的な回答をだすこともできるだろう）。

さて、私たちの東北職業能力開発大学の紀要はどのようなものであるべきだろうか？従来型の論文、報告、解説等に加えて、読んで面白い記事を集めて掲載することが必要ではないかと個人的には感じている。読んでみると、「なるほど。目からうろこのようなものが落ちた」、「本当だろうか」、「それは違うよね」など、読後に様々な反応があり、次の段階の議論につながる記事があるとよい。とにかく原稿を書くと、ものごとがすべてうまく行ったように書いてしまうのが常であるが、失敗の記録や未完成のものごとについての報告も重要である。人間は成功よりも失敗の事例から学ぶことが多いことは誰でも知っている。平均的で普遍的な内容ではなく、ガウス分布でいえば 2σ や 3σ あたりの、平均からはずれた記事も大いに歓迎すべきではないだろうか。

今回、ChatGPT を初めて使ってみて、その能力に驚嘆しながら、私自身のこれまでの巻頭言執筆の取り組み方を反省し、ちょっと変わった巻頭言を書いた次第である。

2023年6月

東北職業能力開発大学校

校長 川又政征

【投稿区分】

区分1：研究論文

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

区分2：研究速報

「研究論文」に準ずる内容であり、速報性のあるもの。

次号以降に「研究論文」になる可能性があるもの。

区分3：報告（卒業制作／共同研究等報告）

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

区分4：総説等（総説／解説／資料等）

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

木造住宅における可変透湿シートの透湿抵抗の経年変化 に関する研究

三浦 誠*¹, 宮澤 彩水*¹, 石戸谷 百百子*², 小林 龍生*³, 林 昇吾*¹,
石戸谷 裕二*²

A Study on Changes in Moisture Permeability Resistance of Variable Moisture-Proof Sheets in Wooden Houses

MIURA Makoto*¹, MIYAZAWA Ayami*¹, ISHIDOYA Momoko*²,
KOBAYASHI Ryusei*³, HAYASHI Shogo*¹, ISHIDOYA Yuji*²

要約 高断熱高気密住宅では、夏季の高温多湿の空気が外壁の通気層を通して壁体内に浸透し、冷房で冷やされた外壁内の防湿層で結露する夏型結露(逆転結露)が課題となっている。これらを解決する手段として可変透湿シートが製品化されているものの、経年劣化や季節による周期的な透湿・防湿の繰り返しによる可変抵抗性能変化に関する研究は進んでいない。そこで本研究では、宮城県富谷市の実験住宅で 15 年間使用されていた可変透湿シートを取り外し、未使用の可変透湿シートの透湿抵抗と比較して性能劣化の有無を評価した。15 年間使用した可変透湿シートは、使用前の透湿抵抗値の文献値と一致し、可変透湿性能の経年劣化は見られず性能が維持された。

1. はじめに

近年、地球温暖化やエネルギー問題が深刻化している中で、住宅の省エネルギー基準も改定が進められ、断熱性能に優れた高性能住宅が普及している。一方で、東北地方においても夏季の最高気温が 35℃を超える猛暑日が増えており、高温多湿の空気が外壁の通気層を通して壁体内に浸透し、冷房で冷やされた外壁内の防湿層で結露する夏型結露(逆転結露)が問題視されるようになってきた。これらを解決する手段として、環境湿度に応じて透湿抵抗

が変化する可変透湿抵抗型の防湿気密シート(以下、可変透湿シート)が製品化されている。既往の研究では、田坂ら¹⁾により、JISA1324「建築材料の透湿性測定法」(以下、カップ法)に準拠し、可変透湿シートの平均相対湿度に対する透湿抵抗が評価された。また、吉永²⁾により、三種の可変透湿シートの透湿性能の測定および測定方法に関する課題整理が行われている。また、小泉ら³⁾は、小型の実験モジュールにより、実際の外界気象下における外壁内温湿度状態の比較実験を行っている。土橋ら⁴⁾は実大実験棟の壁体を対象とした夏型結露の可視化実験を行い、夏型結露の発生性状を詳しく観察し、可変透湿シートを使用した場合の夏型結露の抑制効果を報告している。

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

*2 室内気候研究所
Institute of Indoor Climate

*3 株式会社北洲ハウジング事業部
Hokushu Co.,Ltd. Housing Division

一方で、可変透湿シートの経年劣化や季節による周期的な透湿・防湿の繰り返しによる可変抵抗性能変化に関する研究は進んでいないようである。そこで、本研究では宮城県富谷市(建築物省エネルギー基準における地域区分IV地域(以下、IV地域))に立地する実験住宅で15年間使用されていた可変透湿シートを取り外し、未使用の可変透湿シートの透湿抵抗値と比較して性能劣化の有無を評価した。また、非定常結露計算を行った結果を報告する。

2. 定常結露計算

宮城県富谷市(IV地域)におけるHEAT20⁵⁾のG2基準の断熱性能($U_A = 0.34 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$)を満たす壁体モデル(図1)において、防湿気密シートの有無を条件とする定常結露計算を行った結果を表1に示す。

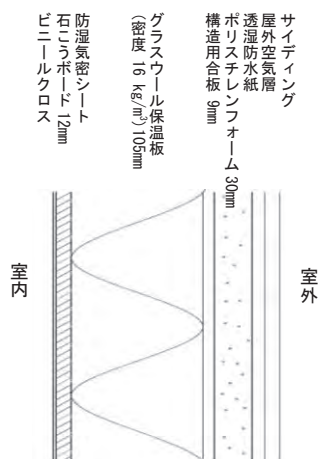


図1 壁体モデル

表1 定常結露計算の結果

CASE	季節	条件	シート種類	内部結露判定
CASE1	夏	外気温:35℃ 室外湿度:80% 室温:23℃ 室内湿度:65%	防湿気密シート	NG
CASE2	冬	外気温:0℃ 室外湿度:50% 室温:23℃ 室内湿度:65%	防湿気密シート	OK
CASE3	夏	外気温:35℃ 室外湿度:80% 室温:23℃ 室内湿度:65%	なし	OK
CASE4	冬	外気温:0℃ 室外湿度:50% 室温:23℃ 室内湿度:65%	なし	NG
CASE5	夏	外気温:35℃ 室外湿度:80% 室温:23℃ 室内湿度:65%	可変透湿シートA	OK
CASE6	冬	外気温:0℃ 室外湿度:50% 室温:23℃ 室内湿度:65%	可変透湿シートA	OK
CASE7	夏	外気温:35℃ 室外湿度:80% 室温:23℃ 室内湿度:65%	可変透湿シートB	OK
CASE8	冬	外気温:0℃ 室外湿度:50% 室温:23℃ 室内湿度:65%	可変透湿シートB	OK

CASE1~4では、防湿気密シートの有無により内部結露判定が夏季と冬季で相反する結果となった。CASE5~8では防湿気密シートから2種類の可変透湿シート(3.1参照)への置換を条件として評価を行い、夏季と冬季どちらも内部結露は発生しない結果が得られた。

3. 可変透湿シートの性能評価

3.1 性能評価の概要

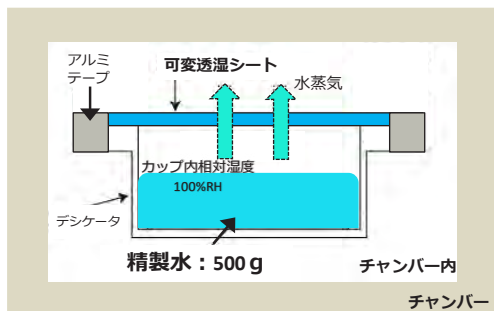
可変透湿シートは、透湿抵抗の可変性を付与するために、ポリビニルアルコールや親水化ポリエチレン、セルロース系高分子を使用しており、極性を持つ官能基と周囲環境の水分子が収着することで、シートの高分子鎖が広がり、水蒸気の透過性が増加する(湿抵抗が下がる)仕組みになっている²⁾。したがって、経年劣化を想定した場合、水分子の収着性の低下が懸念され、夏季の高湿度時に透湿抵抗が下がり難くなることが推測できる。

これらの透湿抵抗の劣化を検証するために、カップ法を応用し、宮城県富谷市の実験住宅で15年間使用されていた可変透湿シートを取り外し、未使用の可変透湿シートの透湿抵抗と比較して性能劣化の有無を評価した。実験住宅が立地している宮城県富谷市は建築物省エネルギー基準における地域区分(全国を寒冷地域I~温暖地域VIIの8区分)はIV地域に該当し、日射を考慮した年間日射地域区分はA2区分(年間日射量が少ない地域)、暖房期日射地域区分はH2区分(日射量が少ない地域)に該当する。実験住宅は人が常住してはいないが、試験体とした可変透湿シートAは、15年間、2階子供部屋(7.9帖)の南壁内で使用されていたものであり、内壁を解体し採取した。可変透湿シートAは現在製造されていないため、田坂ら¹⁾の文献値と性能を比較した。また、未使用品で比較した可変透湿シートBは、可変透湿シートAの後継製品である。

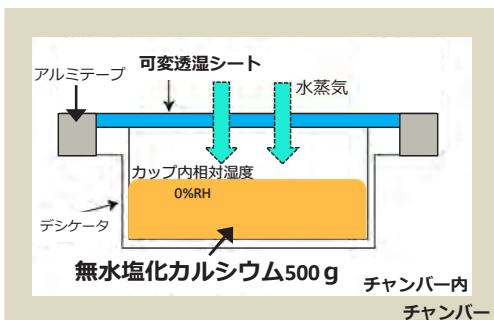
3.2 透湿抵抗の測定結果

夏季の壁体内から室内への水蒸気透過を想定した実験では、デシケーターのフタに通気孔を設けた容器(図3)(以下、カップ)内に精製水500gを入れ、可変透湿シートで密閉し、カップ内相対湿度を

100%RHに維持した(図2(a))。雰囲気(チャンパー内)の相対湿度を24時間ごとに変化させ、可変透湿シートの透湿に伴う精製水の重量減少を測定した。測定間隔は10分とし、透湿量の経時変化の傾きから透湿抵抗を算出した。図5に夏季を想定した例として、15年使用した可変透湿シートAにおけるcase21の測定結果を示し、測定条件と透湿抵抗値を表2に示す。同様に、未使用の可変透湿シートBにおけるcase3の測定結果を図6に示し、測定条件と透湿抵抗値を表3に示す。



(a) 夏季想



(b) 冬季想定

図2 透湿抵抗測定法の模式図



図3 カップ



図4 チャンパー内部

また、冬季の室内から壁体内部への水蒸気透過を想定した実験では(図2(b)、図3)、カップ内に無水塩化カルシウム 500g を入れ、カップ内相対湿度を

0%RHに維持し、雰囲気(チャンパー内)の相対湿度を72時間ごとに変化させて透湿抵抗を求めた(図4)。冬季想定の実験では、夏季想定の場合に比べ測定重量の変化が少ないため、測定時間を24間から72時間に変更した。図7に冬季を想定した例として、15年使用した可変透湿シートAにおけるcase12の測定結果を示し、測定条件と透湿抵抗値を表4に示す。同様に、未使用の可変透湿シートBにおけるcase9の測定結果を図8に示し、測定条件と透湿抵抗値を表5に示す。

さらに、中間期を想定した実験では、カップ内に硝酸マグネシウム飽和塩を入れ、カップ内の相対湿度を53%RHに維持し、透湿抵抗を求めた。図9に中間期を想定した例として、15年使用した可変透湿シートAにおけるcase15の測定結果を示し、測定条件と透湿抵抗値を表6に示す。同様に、未使用の可変透湿シートBにおけるcase18の測定結果を図10に示し、測定条件と透湿抵抗値を表7に示す。

15年使用の可変透湿シートA(case11~16、20~23)および未使用の可変透湿シートB(case1~10、17~19)の実験結果を整理して表8に示す。

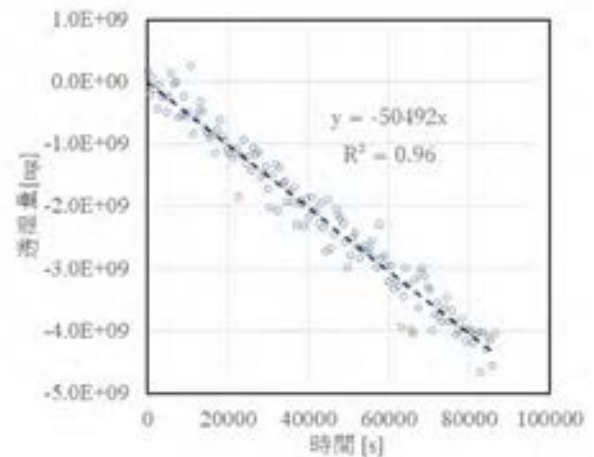


図5 1 可変透湿シートAの夏季想定(case21)の透湿量

表2 夏季想定 (case21) の条件と測定結果

case21	23°C、カップ内湿度: 100%rh、雰囲気湿度: 46.2%rh	平均相対湿度: 73.1%rh	
透湿面積	0.0499 m ²	カップ内相対湿度 100 %rh	カップ内水蒸気圧 2670.9 Pa
透湿量	-50492 ng/s	チャンパー相対湿度 46.2 %rh	チャンパー水蒸気圧 1233.5 Pa
透湿抵抗	0.001420 m ² Pa/ng	温度 22.2 °C	内外水蒸気圧差 -1437.4 Pa

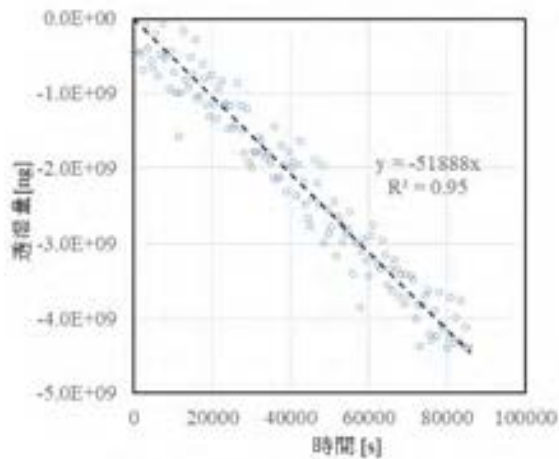


図 6 可変透湿シート B の夏季想定 (case3) の透湿量

表 3 夏季想定 (case3) の条件と測定結果

case3	23°C、カップ内湿度：100%rh、雰囲気湿度：45.6%rh 平均相対湿度：72.8%rh							
透湿面積	0.0499	m ²	カップ内相対湿度	100	%rh	カップ内水蒸気圧	2718.2	Pa
透湿量	-51963	ng/s	チャンバー相対湿度	45.6	%rh	チャンバー水蒸気圧	1239.1	Pa
透湿抵抗	0.001420	m ² sPa/ng	温度	22.5	°C	内外水蒸気圧差	-1479.2	Pa

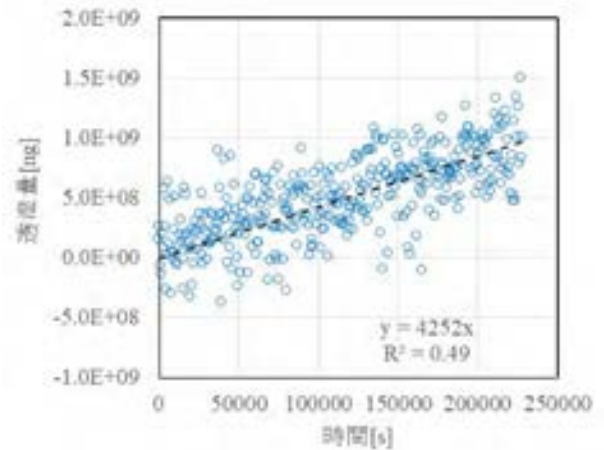


図 8 可変透湿シート B の冬季想定 (case9) 透湿量

表 5 冬季想定 (case9) の条件と測定結果

case9	23°C、カップ内湿度：0%rh、雰囲気湿度：74.6%rh 平均相対湿度：37.3%rh							
透湿面積	0.0499	m ²	カップ内相対湿度	0	%rh	カップ内水蒸気圧	0.0	Pa
透湿量	4252	ng/s	チャンバー相対湿度	74.6	%rh	チャンバー水蒸気圧	2013.1	Pa
透湿抵抗	0.023614	m ² sPa/ng	温度	22.4	°C	内外水蒸気圧差	2013.1	Pa

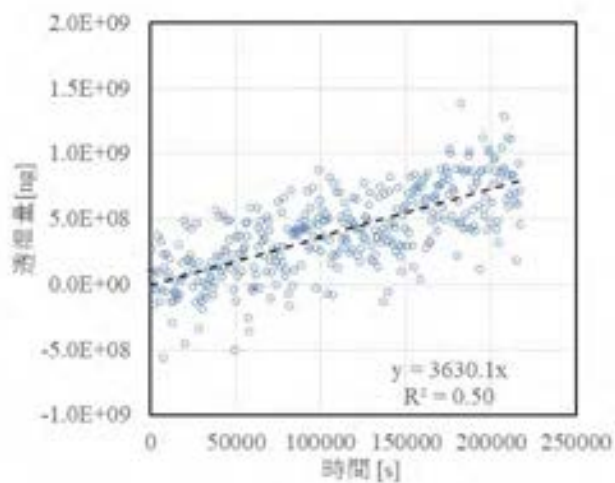


図 7 可変透湿シート A の冬季想定 (case12) 透湿量

表 4 冬季想定 (case12) の条件と測定結果

case12	23°C、カップ内湿度：0%rh、雰囲気湿度：75.3%rh 平均相対湿度：37.6%rh							
透湿面積	0.0499	m ²	カップ内相対湿度	0	%rh	カップ内水蒸気圧	0.0	Pa
透湿量	3630.1	ng/s	チャンバー相対湿度	75.3	%rh	チャンバー水蒸気圧	2022.6	Pa
透湿抵抗	0.027789	m ² sPa/ng	温度	22.3	°C	内外水蒸気圧差	2022.6	Pa

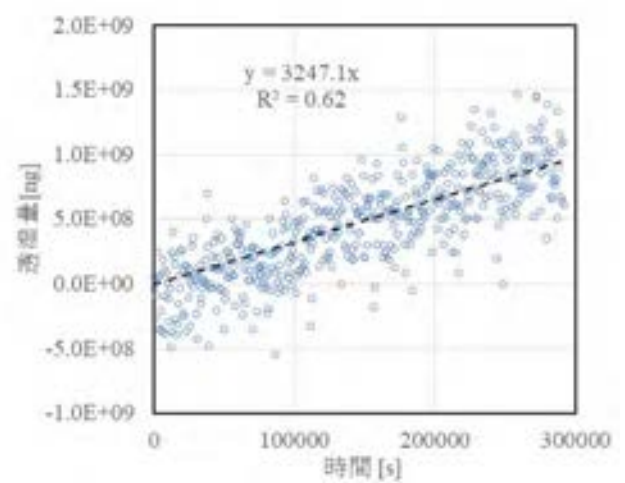


図 9 可変透湿シート A の中間期想定 (case15) 透湿量

表 6 中間期想定 (case15) の条件と測定結果

case15	23°C、カップ内湿度：53%rh、雰囲気湿度：75.4%rh 平均相対湿度：64.2%rh							
透湿面積	0.0499	m ²	カップ内相対湿度	53	%rh	カップ内水蒸気圧	1412.0	Pa
透湿量	3247.1	ng/s	チャンバー相対湿度	75.4	%rh	チャンバー水蒸気圧	2009.4	Pa
透湿抵抗	0.009176	m ² sPa/ng	温度	22.2	°C	内外水蒸気圧差	597.4	Pa

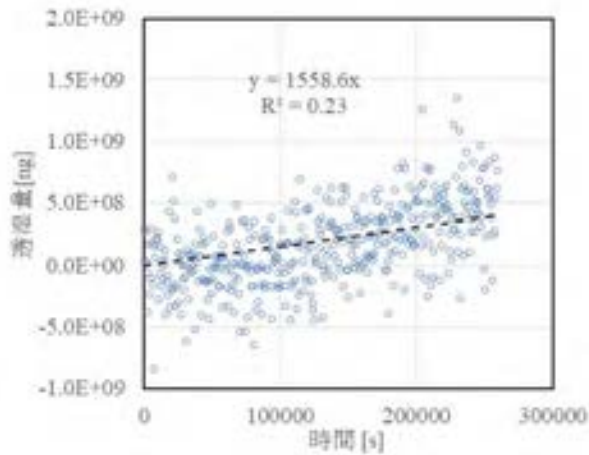


図 10 可変透湿シート B の中間期想定 (case18) 透湿量

表 7 中間期想定 (case18) の条件と測定結果

case18	23°C、カップ内湿度：53%rh、雰囲気湿度：77.1%rh	平均相対湿度：65.0%rh	
透湿面積	0.0499 m ²	カップ内相対湿度 53 %rh	カップ内水蒸気圧 1410.7 Pa
透湿量	1558.6 ng/s	チャンパー相対湿度 77.1 %rh	チャンパー水蒸気圧 2052.1 Pa
透湿抵抗	0.020525 m ² sPa/ng	温度 22.2 °C	内外水蒸気圧差 641.4 Pa

表 8 可変透湿シートの透湿抵抗まとめ

条件番号	季節	状態	試験条件		透湿量 [ng/s]	透湿抵抗 [m ² ・s・Pa/ng]
			平均温度 [°C]	平均相対湿度 [%]		
case1	夏	シート B 未使用	22.8	96.6	-61520	0.00015
case2			22.7	86.8	-62494	0.00058
case3			22.5	72.8	-51963	0.00142
case4			22.3	61.9	-50678	0.00202
case5			34.6	96.8	-92591	0.00019
case6			34.6	86.8	-121689	0.00059
case7			29.4	73.4	-90753	0.00120
case8	冬	シート B 未使用	22.3	22.8	1470.3	0.04142
case9			22.4	37.3	4252	0.02361
case10			22.5	47.6	5487.3	0.02351
case11		シート A 15年経過	22.1	23.1	94.1	0.65020
case12			22.3	37.6	3630.1	0.02778
case13			22.4	48.2	20774	0.00626
case14	中間	シート A 15年経過	21.9	40.9	-427.8	0.07370
case15			22.2	64.2	3247.1	0.00918
case16			22.3	74.7	18602	0.00312
case17	中間	シート B 未使用	21.8	40.9	-2836.3	0.01108
case18			22.2	65.0	1558.6	0.02053
case19			22.3	75.6	15546	0.00389
case20	夏	シート A 15年経過	21.8	57.8	-46319	0.00237
case21			22.2	73.1	-50492	0.00142
case22			22.2	88.1	-52551	0.00061
case23			22.3	99.1	-36653	0.00007

透湿抵抗と平均相対湿度の関係を図 11 に示す。ここで平均相対湿度とは、カップ内相対湿度と雰囲気相対湿度の平均値を意味する。15年間使用した可

変透湿シート A(図 11 青実線)と、未使用品で評価した田坂らの測定値²⁾(図 11 黒破線)との比較では、相関係数は 0.62 となるものの、両者の指数近似線は、良く一致している。これらの結果より、可変透湿性能の経年劣化は見られず、性能が維持された。懸念していた夏季想定(冬季想定)の透湿抵抗が下がり難くなることもなかった。一方で、未使用の可変透湿シート B については、低湿度域(冬季想定)の透湿抵抗値が可変透湿シート A と比較して低い結果となった。本実験の測定誤差等も考慮して、さらに検証が必要である。

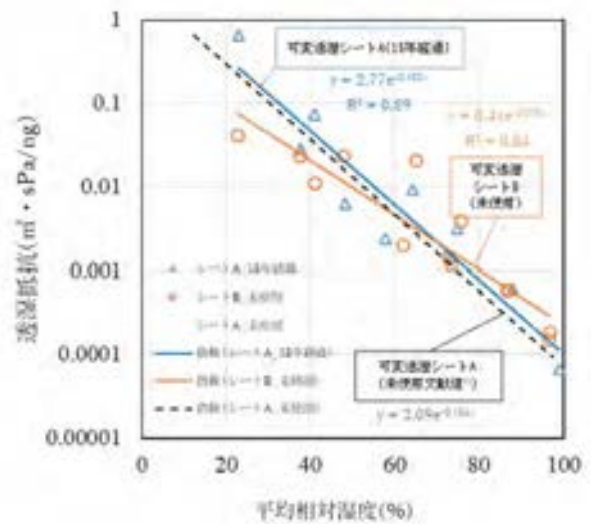


図 11 透湿抵抗と平均相対湿度の関係

4. 実験結果による非定常結露計算

可変透湿シートの透湿抵抗測定値を用い表 9 の条件で、非定常熱湿気同時移動解析プログラム WUFI (©Fraunhofer Institute for Building Physics IBP) により⁶⁾、非定常結露計算を行った。

図 1 に示す壁体モデル(防湿気密シートを使用)では、定常計算の結果と同様に石膏ボードの裏側で、夏季の相対湿度が 100%rh に達する日もあり、夏型結露が発生することが確認できた(図 12)。また、防湿気密シートを未使用の可変透湿シート B に変更した計算では、定常計算の結果と異なり、冬季にガラスウール外気側と合板室内側で相対湿度が 100%rh に達し、結露が発生する結果となった(図 13)。冬季の可変透湿シートの透湿抵抗が低い場合には結露リ

スクが高まる可能性が示唆され、今後さらなる検証が必要である。

表 9 非定常結露計算の計算条件

			冬季		中間期		夏季		備考
			11月~4月	5月	10月	6月~9月			
室内	温度	[°C]	23	25	23	23			
	相対湿度	[RH%]	65	60	65				
外気	温度	[°C]	宮城県仙台市宮城野区(V地域) 気象データを余弦曲線で与える				夏季 28°C		
	相対湿度	[RH%]	70				夏季 80%		

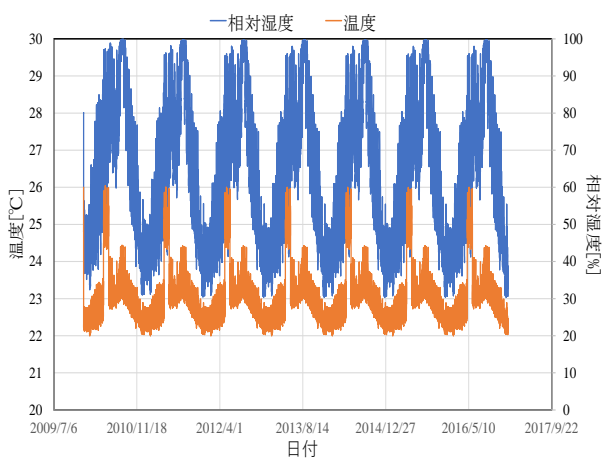


図 12 GW—石膏ボード間の温度・湿度の計算結果

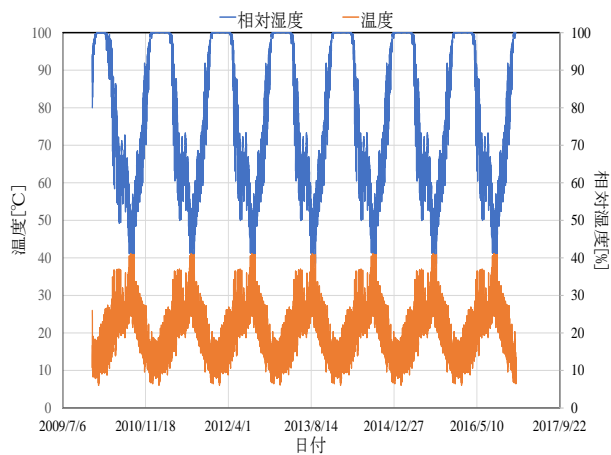


図 13 合板—GW間の温度・湿度の計算結果

5. まとめ

付加断熱(高断熱)住宅における夏型結露を防止するための可変透湿シートの経年劣化の可変抵抗性能変化を実測した。検討した可変透湿シート A は 15 年間使用しても経年劣化が見られず、性能が維持された。懸念していた夏季想定時に透湿抵抗が下がり難くなることもなかった。

一方、非定常結露計算では、冬季の可変透湿シートの透湿抵抗が低い場合には、冬型の結露リスクが高まる可能性が示唆され、今後さらなる検証が必要である。また、季節による周期的な透湿・防湿の繰り返しによる可変抵抗性能変化について評価するための促進試験法を確立したいと考えている。

謝辞

本報は室内気候研究所、株式会社北洲による共同研究の成果です。ここに記して謝意を表します。

【参考文献】

- 1) 田坂太一ほか:木造外壁の結露防止工法に関する実験的研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、41208、2003年9月
- 2) 吉永美香:三種の可変透湿シートの透湿性能の測定および測定方法に関する課題整理、日本建築学会技術報告集、第25巻、第59号、pp.235-238、2019年2月
- 3) 小泉寿明ほか:木造建築の外壁内における温湿度状態に関する実験的研究、空気調和・衛生工学会大会技術講演論文集、E-11、pp.41-44、2020年9月
- 4) 土屋喬雄ほか:見える化による夏型結露の徹底検証、木材保存、Vol.147-4、pp.162-171、2021年
- 5) (一社)20年先を見据えた日本の高断熱住宅研究会:HEAT20、<http://www.heat20.jp/grade/>、2023年3月24日確認
- 6) Hartwing M. Kunzel 他:WUFIを使った建築部位における非定常熱湿気同時移動のシミュレーション、建築仕上技術、Vol.30、No.355、pp.49-60、2005年2月

共同研究における総合制作への落とし込みについて

—中型立佞武多の昇降機制作を通して—

久保 祐太*1

Incorporation into Comprehensive Production in Joint Research
- Through The Production of Elevators for Medium-Sized TACHINEPUTA -

KUBO Yuta*1

要約 共同研究は、企業などが感じている課題などを知ることが出来る。また、総合制作においても学生にとって授業の集大成となるものでありどちらも重要である。現在、共同研究をテーマに中型立佞武多の昇降機制作を行っておりそれによって学生の取り組む姿勢やコミュニケーション能力に関する気づきやテーマ設定に関する注意点があつた。

1. はじめに

青森職業能力開発短期大学校(以下、青森校と略す)では、業務目標として共同・受託研究(以下、研究と略す)を単年度において2件以上実施することとなっている。

また、研究を企業や団体と実施することにより当校の広報になるとともに実際の企業の抱える問題点を知ることが出来る重要なものである。

生産技術科では、中型立佞武多の昇降機制作を五所川原市とともに研究として取り組んでいるが、それらは総合制作実習(以下、総合制作と略す)のテーマとして学生とともに行っている。取り組む中で研究を総合制作実習に取り入れることに対して自分なりの気づきと考えがあるので現在の進捗状況と合わせて述べたいと思う。

2. 総合制作実習及び共同研究

2.1 共同・受託研究とは

研究の目的としては、「大学の主体性を確保しつつ、民間機関等との活発な交流を通して、社会的協力・連携をより深め、多様なニーズに対応した研究を実施することにより、一層の産学連携の推進を図り、大学の職業能力開発事業の発展に資すること」となっており研究を行うことで学校だけでなく民間機関とともに発展を目指すものである。

共同研究と受託研究の違いとしては、民間機関等から委託を受けて行う研究で、必要な経費を民間機関等に負担してもらうのか、民間機関等と連携して行う研究で機構が技術援助及び人的な能力開発に係る経費を民間機関等が、研究遂行のため必要となる直接的な経費を負担するものの違いがある。

青森校では、様々なテーマで研究を実施している。その中でもリンゴの褐変判別システムの開発やにんにく加工機の設計・製作など青森県の特産

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

物に関するものも多数おこなわれていて、これらを見ることで企業が問題としていることを知ることが出来る(表1)。

表1 研究テーマの一例

年度	研究テーマ	研究者
平成26年	リンゴの検疫判別システムの研究開発(その2)	高井 秀悦
平成26年	葉の皮むき機の改良	井口 謙一
平成26年	もみ殻圧縮燃料を用いた温室ハウス用ボイラー開発(その3)	伊藤 祐規
平成27年	リンゴの検疫判別システムの研究開発(その3)	高井 秀悦
平成27年	もみ殻圧縮燃料を用いた温室ハウス用ボイラー開発(その4)	伊藤 祐規
平成27年	にんにく加工機の設計・製作	斉藤 功朗
平成28年	上空撮影システムの研究開発(その2)	小関 英明
平成28年	にんにく加工機の設計・製作(その2)	斉藤 功朗

2.2 総合制作とは

科目は、目標が総合的な要素を含む課題を計画し、設計から製作までの一連のプロセスを通して、ものづくりの総合的な技術を習得するようになっており専門課程において今までのことを応用して行う授業の集大成となるものである。

生産技術科においては2年次の5期から8期に行っており1年間かけて実施している。

令和4年度に関して当校では、各科で16テーマ行っている。各テーマ名については表の通りとなっている(表2)。

表2 令和4年度実施テーマ一覧

No	実施テーマ名	科
1	射出成型用金型設計とその製作(仮)	生産技術科
2	ロボットアームの製作	
3	中型立俵武多の昇降機制作	
4	圧電素子を利用した、脚力計測器の開発	電気エネルギー制御科
5	ワイヤレス給電デバイスの製作	
6	マイコン制御機器の製作	
7	雪氷熱を利用した空調設備の製作	
8	空気圧制御を用いたアームの製作	
9	ネットワーク対応積層信号灯の製作	電子情報技術科
10	IoTを用いた室内環境制御システムの製作	
11	融雪マット自動制御システムの製作	
12	抵抗器カラーコード読み取り装置の製作	
13	寮内における浴槽の入室管理システムの製作	
14	蓄電補助用ロボットカーの製作	
15	洗濯機稼働監視システムの製作	
16	締め忘れ防止用引き戸遠隔開閉システムの製作	

3. 中型立俵武多の昇降機制作

3.1 概要

五所川原市には立俵武多と言われる全長23mほどの俵武多があるが、それを全国PRするために6mほどの中型立俵武多を作成し各地で展示を行っている。

展示の方法としては、組立てスペースと展示スペースがあり、組立てたあと展示スペースまで運搬を行っている。ただ、俵武多の文化のない地域では、運搬ルート上に電線などがあり、展示スペースに運搬する途中でそれらが障害物となっている。そのため、高さが自慢である立俵武多の大きさに制限がかかっており不満がある。

そこで、それらの障害物を気にせず運搬できるように展示スペースまでは、格納状態で全長6mにしたまま移動が出来、展示スペースで展開し全長11mにできる機構を持った昇降機をとともに考えてほしいとの依頼があり研究として行っている¹⁾(図1、図2、図3)。

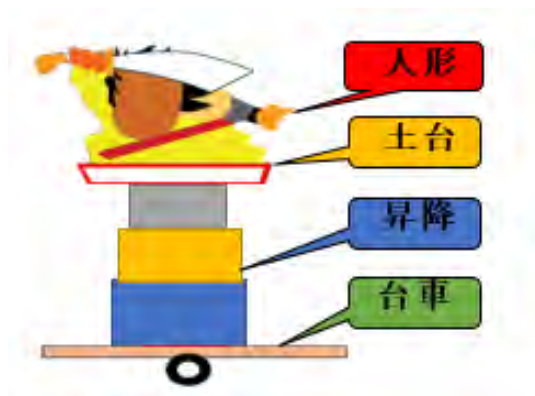


図1 中型立俵武多の概念図

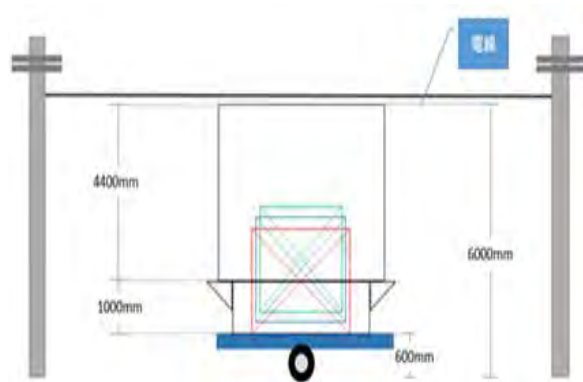


図2 概要図(格納時)

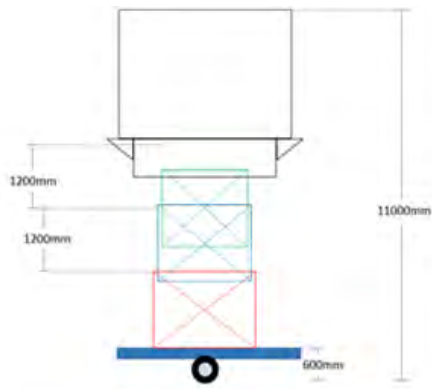


図3 概要図(展開時)

3.2 昇降機の仕様

主な障害物は、市街地の電線(地上高6m)となる。よって障害物の最高地上高を6mと定義した。中型立佞武多は全高11mを想定しており、本体を縮め6m以下で障害物を通過できる仕組みとする。

研究であるため佞武多師を訪問し昇降サイズ以外の仕様について聞き取りを行い昇降時間や昇降方法、人形や台座についての重量について決定した。主な仕様を表に示す(表3)。

表3 昇降機仕様

昇降装置仕様	
高さ	中型立佞武多 全高8~10m
昇降量	6m以下→8~10m 6m以下の障害物を通過できること
全体展開	1~2時間以内
質量	人形部 約200kg 台座部 約30kg
安全装置	ラチェット式ウインチで固定

3.3 昇降機の機構

構造としては図に示す構造とした(図4)。

段数は3段とし各段にワイヤーを通しウインチ1台で昇降動作が行えるようにしている。ウインチに関してもラチェット式を選定し昇降中に逆転が発生して落下しないようにしている。

各段のサイズに関しては、仕様にあるように全高を6mに抑える必要から人形部の高さは5mとなるようにする必要があったため、中型立佞武多の大きさは台座部を1m以内に格納できるようにしている。

昇降機については、2段を稼働できるようにそれぞれ1.2m可動させることによって仕様を満たした。

また、中型立佞武多を乗せる土台に関しても3段目の上に固定することでウインチ1台のみ昇降できる仕組みとしている。なお、上昇後は完全固定し、格納された台座部を展開して完了する。

内部構造に関しては、内部に入って作業することがあり簡素にすることが求められたため基礎フレームと補強用フレーム、ワイヤーの配置に注意を払い作業スペースが確保できるようにしている。

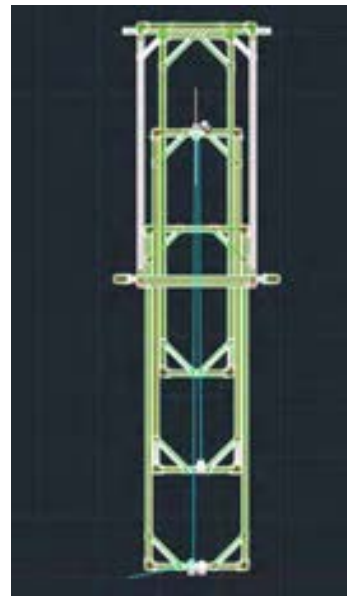


図4 昇降機構造図

3.4 現在までの進捗状況

各年度の実施内容については表のとおりである(表4)。

令和4年度までで縮小モデルを使用した荷重実験まで終了している。

荷重実験を実施したことで組立てただけでは、分からなかった問題点が判明した。来年度は、その問題点を改善し実際のサイズでの昇降実験を実施する予定である。安全に関しては、ウインチのラチェット機構だけでは振動などで誤作動する可能性があったため昇降後に追加の柱を入れるなどの対策を実施する予定としている。最終的には、実際の中型立佞武多を乗せ昇降できるところを目指している。

表4 各年度の実施状況

年度	内容
令和元年度	構想設計
令和2年度	試作機設計 仮組
令和3年度	試作機本組 昇降実験
令和4年度	縮小モデル製作 荷重実験

4. 総合制作を通しての気づき

青森校に赴任してきて担当してきた総合制作の中で1年目は、研究を含まないテーマで行った。それ以降は、現在の中型立佞武多昇降機をテーマに担当をしている。その違いの中で2点ほど気づきがあったので述べたい。まず、1つ目は「総合制作の取り組む姿勢」であり、2つ目は「コミュニケーション能力」である。

総合制作において自身は、テーマ設定は学生が見つけた課題をもとに、設定することが大事であり、それが学生にとって総合制作をやっていくモチベーションになると考えている。だが、学生にとってそもそも問題がどこにあるのか、それをどのように解決していくかなどを、考えていくことが苦手な傾向がある。そのため、自身が考えたテーマをもとに、総合制作に取り組んでいくが、それでは学生側が受け身となってしまう、モチベーションが上がらず総合制作の成果が出にくかった。一方、研究を総合制作で行うことで、課題は相手よりもたらされるので、学生にとって課題が明確で、取り組む姿勢として研究を取り込んだ方が高かった。

また、研究と言うことで、相手を感じている課題や要望などの事柄を、相手との話し合いで聞き取る必要や相手への報告する必要がある。それが学生にとって良いコミュニケーションの場となつて自分の意見や聞きたいことを伝える能力の向上があった。

これらの2点の気づきにより筆者自身は、研究を総合制作に取り込んで実施することは、必要であり重要ではないかと考えている。

5. 総合制作の落とし込み方について

研究を総合制作で行うことは、重要であると考えているが、テーマへの落とし込み方には、注意が必要ではないかと考えている。

一番注意することは、研究期間が長期に及び担当者が変更となる場合である。担当者が変更となった場合でも、前任者と後任者との引き継ぎがしっかりと実施されていれば、問題となることは少ないが、引き継ぎがうまくいっていない場合には、依頼内容が変わることがあり最悪の場合今までの成果がすべて無意味になってしまうリスクがある。

実際に本研究の相手の担当者は、変わっておりそのたびに、依頼内容が少し変わっているが研究の大枠が変わることがないため、研究内容の修正もほとんどすることなく取組めている。そのようなことがあるため、研究を総合制作のテーマとして取り組む場合には、基本は1年ごとで終わるものか、もし長期間にわたりそうな場合には設計、試作、制作という風に区切りを設けて行い、相手への報告を細分化することで、研究の流れを理解しやすくし、引き継ぎ等が行いやすいように工夫することが必要となる。そうすることで先ほどのリスクを減らすことが出来るのではないかと考えている。

6. おわりに

総合制作を担当しているが、自身は運よく研究を絡めたテーマを担当出来ている。そのことで自身なりに気づきなどがあつた。それをを用いて現在担当しているテーマを、今後も学生や五所川原市役所とともに取組んでいき、五所川原市及び当校のPRに繋がるようなものになるようにしていきたいと考えている。

【参考文献】

- 1) 伊澤渚ほか：中型立佞武多の昇降機製作、青森職業能力開発短期大学校生産技術科予稿集、pp.2・3、2023年2月

空気圧装置を用いたアミューズメント機器の製作

畑 伸明*¹

Production of Amusement Machines Using Pneumatic Devices

HATA Nobuaki*¹

要約 本稿では、学生の総合制作実習課題として共に取り組んだ活動記録としての報告をする。目で見て楽しむだけでなく、動かして楽しむことができる製品、アミューズメント機器の製作を通して、企画や設計などモノづくりのプロセスを学び、機械加工やシーケンス制御等の技術、技能の向上、納期の重要性や、利用者の事を考えながらものづくりをする難しさを学ばせることができた。

1. はじめに

本稿では、総合制作実習課題として学生と共に取り組んだ活動記録の報告をする。

現在、秋田職能短大に展示されている総合制作実習の製品は、目で見て楽しむ物が多く、動くものが少ない。そこで、目で見て楽しむだけでなく、動かして楽しむことができる製品を製作しようと考えた。秋田職能短大に来ていただいた方々に楽しんでもらえるものとして、アミューズメント機器の製作を行う事にした。

本製作を通して、企画や設計などを行い、モノづくりのプロセスを学び、機械加工やシーケンス制御等の技術、技能の向上を図ることとした。

2. 設計

まず、どのようなアミューズメント機器を製作していくかの話し合いを進め、発射台を上下左右に移動させ、狙った場所に弾を発射し、楽しむことができる射的ゲームを製作していく事にした。そこで、装置全体をポンチ絵にまとめ、装置に必要なものと

大まかなサイズを決定した。図 1 は実際に作成したポンチ絵である。

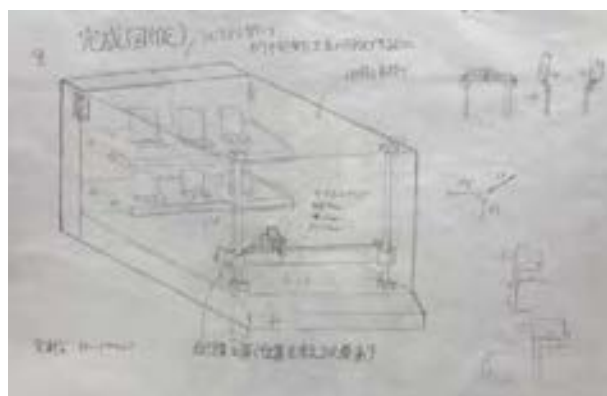


図 1 アミューズメント機器のポンチ絵

その後、学校にあったクレーンゲームの空気圧装置を再利用する為、発射台を上下左右に動かせるようにする為に必要な部品と制御回路の作動状態を調べた後、解体し必要な部品とそれ以外の部品に仕分けを行った。

次にピッチングマシンを参考にして発射台を設計し 3次元 CAD でモデリングを行った。

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

仕組みとしては、発射台に取り付けた二つのモーターを回転させてその間に弾を挟み込み、発射させる形となっている。また、弾を発射するためにモーターの間まで弾を送り込む押し出し棒を設計し、その押し出し棒をモーターに巻き込まないようにする為のガイドを発射台に追加した。

次に設計した後それぞれの質量を計算した。そして、空気圧装置の型番から、許容負荷質量を調べた。実際に想定される発射台の重量である 700g ~ 850g の重りを空気圧装置に取り付けて重量に耐えながら動くかを検証し、問題なく動作する事を確認した(図 2)。そのあと、今回のアミューズメント機器に使用する弾をどうするかを話し合った。いくつか候補があがったが、直径 19 mm 厚さ 10 mm の円筒状の木材とした。その木材の弾を発射するためのモーターの選定を行った。そして、使用する予定のモーター二つを使って弾を発射したときの飛距離と速度を計算した。

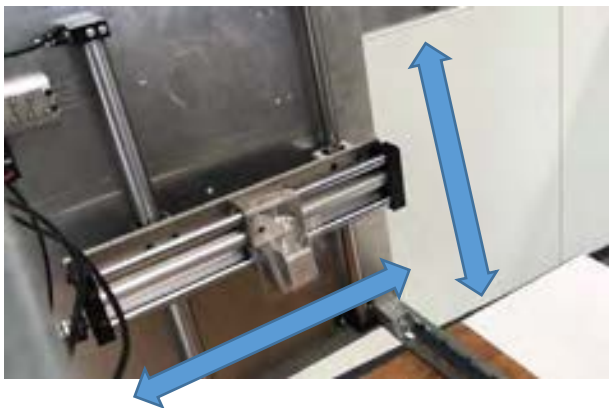


図 2 空気圧装置の動作確認

3. 製作

3.1 発射台と押し出し棒の製作

フライス盤を用いて六面体を製作してから、部品加工を行った。穴あけはボール盤を用いて行った。また、穴あけ位置を正確にする必要がある箇所は、小型マシニングセンタを用いて穴あけを行った。

厚さ 3 mm のアルミ板は、ワイヤカット放電加工機でアルミ板を切り出した後、ボール盤で穴あけを行った。

そして実際に組み立て、用意した弾を発射し、

弾の飛距離を確かめた。発射台が一番高い位置にあると想定した位置、空気圧装置を一番上にあげた状態に発射台を固定し、モーターを動かして実験を行った。実験の結果、発射された弾が 1.8m 飛んだ。この飛距離と空気圧装置の大きさを元にして、筐体のサイズを決定し、3次元 CAD で製作する射的ゲーム全体のモデリングを行って(図 3)、外装に使用する板の大きさやアルミフレームの長さなどを決定した。

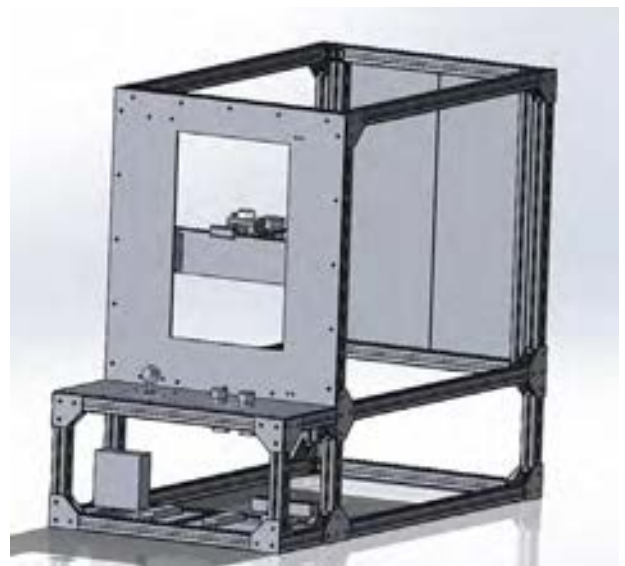


図 3 全体のモデリング

3.2 アルミ板の加工

アルミフレームを必要な長さに加工作るためにフライス盤を用いた。その作業と並行して空気圧装置を設置する為の取り付け板と空気圧装置を上下左右に動かすレバー等を設置する制御盤の製作を行った。空気圧装置を取り付ける板は、最初にマシニングセンタを用いてねじを通す穴と、ワイヤカット放電加工機のワイヤを通すための穴をあけた。その後、ねじを通す穴に近づきすぎないように注意しながら、ワイヤカット放電加工機で加工した。ただ、一度で切り抜くにはサイズが大きすぎるため、複数回に分けてカットした。切り抜いた部分は利用者の視界を確保するための窓とした(図 4)。

レバーなどを取り付ける制御盤のアルミ板は最初にワイヤカット放電加工機で切り出した。空気

圧装置を上下左右に動かすレバーの穴とボタンの穴の穴あけは、その位置精度が厳しいことからフライス盤を用いて加工を行い、フレームに取り付けるねじの通し穴はボール盤で加工した。



図4 窓を製作している様子

3.3 回路の製作

空気圧装置を上下左右に動かすレバーを操作して発射台を動かし、モーターで弾を発射できるようにする為、クレーンゲームに使用されていた回路に発射台の二つのモーターを追加した後、正常に動くか動作の確認を行った(図5)。

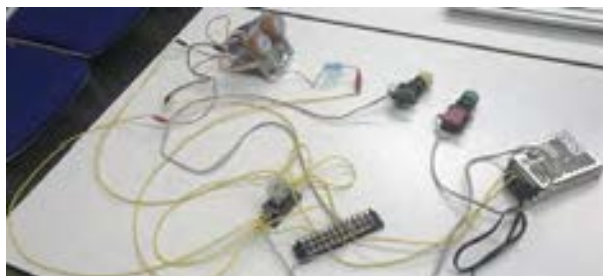


図5 組付けた際の回路

3.4 外装の製作

外装は周りから見えるように透明のポリカーボネートを用いることにした。また、全体を金属で覆うと持ち運び等が大変になるため軽量化を図るために木材の板を使用することにした。3次元CADを用いて板の大きさと形状を決定した後、住居環境科の先生に協力していただき、パネルソーやのこぎり等を用いて材料の切り出しを行った。扉に使う木板にはインパクトドライバーを用いて穴あけを行った(図6)。

外装に取り付けるポリカーボネートを固定するために、角をアルミ板で押さえることにした。取り付け位置に応じて2種類の形状のアルミ板を用意することにした。形状を3次元CADで設計した後、ワイヤカット放電加工機を用いて切り抜いた後、穴あけを行った。(以下アルミプレートと呼ぶ。)アルミプレートは図7のように使用する。



図6 木材を使用したドア板



図7 取り付けしたアルミプレート

また、24V電源やマニホールドを取り付ける為に製作したアルミ板等をアルミフレームに固定するために、別のアルミ板を加工し、図7にある木板のように取り付けた。

4. 組立

完成した各部品を、アルミフレーム、制御用のシーケンス回路、空気圧装置の順番で組み立てを行った。始めにアルミフレームを用いて全体の枠組みを作った。全体の締め付けの際に歪みが発生

しないように組み立て、枠組みができた後に他の部品を実際に置いて部品の大きさに間違いが無いを確認をした。次に、制御用のシーケンス回路の部品を設置した後、回路に使用するそれぞれの導線の長さを適切な長さに調整し、スパイラルチューブを用いて配線した（図8）。一通り組み立てが終わった後、コンプレッサーを使用して、試運転を行い使用できるかを確認した。



図8 線の長さを調整した配線

その後、空気圧装置を動かした際に導線を巻き込まないようにした。また、導線とモーターにはんだづけを行った。最後にポリカーボネートを取り付け、アルミプレートを用いて固定し、完成した（図9）。

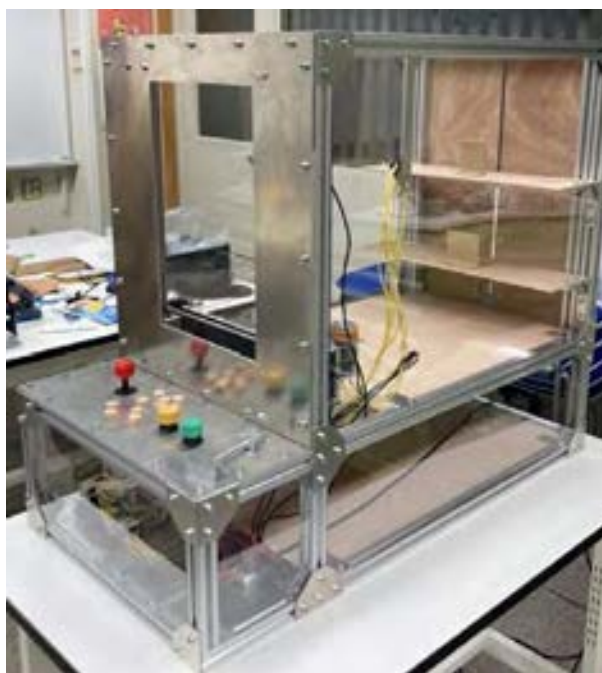


図9 完成したアミューズメント機器

5. 制作物の評価

今回のアミューズメント機器の製作を通して、空気圧装置の大きさにより窓の大きさが制限され、利用者の視界がせまいことや、エアホースやモーターの導線が空気圧装置に巻き込み、更に利用者の視界に入ってしまう事など様々な問題が発生した。

安全の面からすると、発射台のモーターが回転している状態でも、弾の装填が可能であるということだ。巻き込まれも想定されるので、巻き込まれ防止のために全面にもポリカーボネートをはり、弾の装填位置などを固定するなど工夫が必要であることが分かった。

6. おわりに

今回のアミューズメント機器の製作では、今まで使用しなかったワイヤカット放電加工機などに触れる機会があった。

本製作を通して、アミューズメント機器を製作するという企画から本校にある空気圧装置を用いての設計などを行い、モノづくりのプロセス（企画、仕様の決定、設計）を学び、授業では使用していなかったワイヤカット放電加工機を用いての機械加工や授業以外でのシーケンス制御回路に関する内容や配線等の技術、技能の向上を図ることができた。

また、部品の製作にあたり、汎用工作機械とNC工作機械のどちらを使用するかを検討し、製作の段取りを考え、失敗を考慮して計画を立て、製作発表会までに本製品を完成させる納期の重要性や、アルミ板での窓の加工など、利用者の事を考えながらものづくりをする難しさ等多くの事を学ばせることができた。

生産電気システム技術科における 生産ロボットシステムコースの取り組み報告

平田 武誉*¹, 太田 徹児*¹,
先崎 康裕*¹, 狩野 隆志*¹, 檜原 康弘*¹

Report on the Activities of the Production Robot System Course
in the Department of Production Electrical Systems Technology

HIRATA Takeyo*¹, OTA Tetsuji*¹,
SENZAKI Yasuhiro*¹, KANO Takashi*¹, NARAHARA Yasuhiro*¹

要約 応用課程では、生産ロボットを活用した生産システムの構築、運用管理、保守、および改善ができる「生産技術・生産管理部門のリーダー」を育成することを目的に令和 3 年度より「生産ロボットシステムコース」が新設された。生産電気システム技術科では「ロボット工学」「ロボット工学実習」を全員に対して実施後、生産ロボットシステムコースを希望する 5 名程度に対し、標準課題として「ロボット機器製作課題実習」「ロボット機器運用課題実習」を実施する。訓練の展開にあたっては、ワーキンググループ学習方式によりグループの各人がそれぞれの役割を認識し、相互に協力・研鑽することにより“ものづくり”に必要なチームワーク力、コミュニケーション力、リーダーシップ力、また、課題を製作する中で問題等を見つけ出し、解決することにより課題発見力・分析能力などの能力を養成する。

1. はじめに

応用課程においては、即戦力となるような学生の育成を目的に、多くの実践的教育訓練が行われている。1 年次においては、この実践的教育訓練の柱となる実習課題の一つとして、標準課題の製作課題実習が設定されている。

この標準課題は、実際の製品に近い実習課題とし、“ものづくり”の一連の工程を実施させることによって技能・技術の活用能力をより効果的に習得できるよう設定された科目である¹⁾。標準課題実習では、課題の様子が明確であり、製品の各工程において必要な技能・技術を習得させるとともに、その活用能力も習得させる。

に、その活用能力も習得させる。

令和 3 年度より生産システム系の 3 科（機械・電気・電子情報）に「生産ロボットシステムコース」がそれぞれ設定された。

生産電気システム技術科では、学生全員に対して「ロボット工学」「ロボット工学実習」を実施し、産業ロボットに関する基礎知識と、産業用ロボットの運転や安全に関する技能を習得させ、その後、標準課題として、生産システムロボットコースを希望する学生 5 名程度に対し、「ロボット機器製作課題実習」「ロボット機器運用課題実習」を実施したので、本報告では実施した内容について具体的に報告する。

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

2. 標準課題の実施時期と関連科目

図1に令和4年度生産電気システム技術科（1年生）において実施した、標準課題の実施時期と関連する科目について示す。

1期に実施する「ロボット工学」では主にロボットの基本知識と安全に関する知識を習得し、2期に実施する「ロボット工学実習」では、ロボットの基本操作からプログラムまでの技術を身に着ける。なお、この2科目終了時には産業ロボットに関する特別教育である「教示・検査」を取得することができる。また、2期に実施する「ロボット工学実習」が終了するころに学生からロボットコースを選択するかの希望調査を行い、配属を決定する。3期からは標準課題実習が始まり、最初に実施する「ロボット設備設計製作実習」では、ロボットシステムを構築するために必要となる知識と技術を習得させ、「ロボット機器製作課題実習」からは既存で整備されている、基板組立製造ライン(図2参照)をもとに同等以上の機能を持つ装置の設計をし、4期の「ロボット制御システム設計製作実習」と「ロボット機器運用課題実習」では、装置の製品化と評価を行った。



図1 ロボットコースの実施時期と関連科目



図2 基板組立製造ライン実習装置

3. 産業ロボットに係る特別教育

3.1 ロボット工学

「ロボット工学」ではロボットを操作するうえで必要となる安全や産業ロボットに関する知識を習得するとともに、特別教育の教示と検査の取得に必要となる学科目(表1参照)を実施した。

表1 特別教育の教示に必要な学科目

科目	範囲	時間
産業用ロボットに関する知識	産業用ロボットの種類 各部の機能及び取扱いの方法	2時間
産業用ロボットの教示等の作業に関する知識	教示等の作業の方法 教示等の作業の危険性 関連する機械等との連動方法	4時間
関係法令	法、令および安衛則中の関係条項	1時間

3.2 ロボット工学実習

「ロボット工学実習」では特別教育の取得に必要な実技科目(表2)を図3に示す実習用ロボットを用いて実施後、シミュレーションや外部信号などに関する技術を習得する内容として実施した。

表2 特別教育の教示に必要な実技科目

科目	時間
産業ロボットの操作の方法	1時間
産業ロボットの教示等の作業の方法	2時間



図3 教示・検査用実習装置

4. 標準課題の実施内容

令和4年度は6名がロボットコースを選択したため、2グループに分け実施することとした。

標準課題前段としての「ロボット設備設計製作実習」では、「ロボット工学実習」の応用として、以下に示す内容を実施した。

- ・産業ロボットの外部入力信号の取扱い方法
- ・CC-Linkによる産業ロボットの制御方法
- ・タッチパネル、PLCによるロボットの統合制御
- ・安全回路の構成方法
- ・RFIDによるデータの取扱い方法

その後「ロボット機器製作課題実習」、「ロボット制御設計製作実習」、「ロボット機器課題実習」の科目を統合し、標準課題として実施した。

標準課題の具体的な進め方については、図4に示す流れに従って実施し、期間については、仕様の検討2週間、設計・部品選定については2~3週間、製作・評価については2~3カ月を予定として実施することとし、仕様の検討後はグループによるレビューと設計、製作の後にはそれぞれ発表会を設定した。

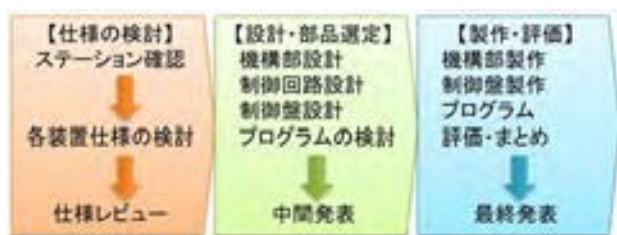


図4 標準課題の流れ

4.1 仕様の検討

仕様の検討では既存の基板組立製造ラインの基板検査ステーション(図5参照)と基板組立仕分けステーション(図6参照)の構成・プログラム・回路についての把握から始め、既存ステーションの動作及び機器についての改善点を抽出し、それら



図5 基板検査ステーション



図6 基板組立仕分けステーション

の問題を解決する新たな機能及び動作についてグループワーク(図7参照)により検討し、装置の仕様を決定した。

学生が検討した主な改善点としては、基板検査ステーションから基板組立仕分けステーションの間に不良品を排出する機能と基板を収納するためのケースと蓋を自動投入する機能を設けるという案が決定された。



図7 グループワークの様子

4.2 設計・部品選定

設計・部品選定からは、各グループ内で各自が責任を持って作業を進めるように以下の役割を持たせるとともに、進捗管理とグループ内での情報共有を図るため日報作成を必須として実施した。

- ・グループリーダー(進捗管理、イベント毎交代)
- ・機構部担当(装置本体、制御盤)
- ・電気回路担当(電源回路、安全回路、制御回路)
- ・プログラム担当(ロボット、PLC、タッチパネル)

また、設計開始時には、装置を配置するためのベース(図8参照)、産業ロボット、コンベア、PLC関連機器のみを学生に対してあらかじめ配布し、それ以外に不足する機構部品、制御盤、制御機器については予算を提示しその範囲内で製作するという条件とした。



図8 装置のベース

4.3 製作・評価

機構部の製作では、3Dプリンタによるハンド・ガイド・センサ取付け台などの部品製作、ロボット・コンベア、センサ・シリンダなどの各種制御機器の取付け(図9参照)などを行い、約2か月程度で完成することができた。



図9 機構部の製作

制御盤については、電源供給用1個、各ステーションにそれぞれPLC・安全回路用1個、リモートIO用1個を製作し、完成後は計測器を用いて短絡、絶縁抵抗などの検査を行い問題がなければ、電源を投入して動作確認を行った。

プログラムについては、ロボットの教示、タッチパネルの画面作成、PLCのプログラムなどをステーション毎に行い、仕様で決定した動作に近づくように繰り返し調整がされた。

実際に製作が進められると、取付け位置のずれ、異音の発生、プログラムの設定ミスなど様々なトラブルが発生したが、その都度グループ内で対応策の検討を行い問題解決をした。なお、この時の指導については、原則学生が主体となって解決策を考えるようにしたが、あまり時間がかかり過ぎる場合は必要に応じてアドバイスをして学生達自身で解決できるようにした。



図10 基板検査装置



図11 基板組立仕分け装置

各ステーション完成(図10、図11参照)後は、安全対策として安全柵を設け装置全体が完成した。評価については、仕様で決めた機能がどれだけ実現できたかの検証と進捗管理についてまとめ、最終発表会(図12参照)にて報告を行った。

最後に学生の主な反省点としては以下のような点が挙げられた。

- ・機構部の部品加工と組立に時間を要したため、プログラムの時間が足りなかった。
- ・進捗管理がうまくできず、全体の予定がずれた。



図12 最終発表デモ会の様子

5. まとめ

令和3年度より2年間ロボットコースを実施したところである。1年目は初めての取り組みということもあり装置1台の製作のみであったが、令和4年度は、機器などもある程度揃えられ、2ステーションをそれぞれ完成させ連動して動作させるところまで実施することができた。

令和5年度以降も令和4年度の実施方法をベースとし、標準課題の進め方や教材の改善を図り、ロボットコースの効果の検証を行いたいと考える。

【参考文献】

- 1) 雇用能力開発機構：「応用課程の考え方」、大学校部、(2009)

PLC 制御を用いた吊り下げ式エレベータモデルの製作

尾形 智和*1

Fabrication of the Suspended Elevator Model Using PLC

Ogata Tomokazu *1

要約 PLC はプログラマブル・ロジック・コントローラの略称であり、産業分野で広く用いられる制御装置である。本製作では、PLC を用いてエレベータをミニチュアモデルとして再現し、自動ドアの開閉機構、サーボモータを用いたかごの上昇下降移動、タッチパネルの導入による操作及び表示の改善、新型コロナウイルス対策も視野に入れた非接触式の操作方法の導入を行った。

1. はじめに

東北職業能力開発大学校青森校の電気エネルギー制御科では、電気工事の施工法等について学ぶ電気技術、回路設計により様々なアクチュエータの操作を実践する制御技術、発電の仕組みや省エネルギーについて学ぶエネルギー技術を主なカリキュラムとして 2 年間訓練を行っている専門課程である。

総合制作実習は 2 年次においてこれまで学んできた知識や技術を用いて、一年間課題に取り組む実習である。

本製作は、一般的に用いられているエレベータの構造を参考とし、シーケンス制御を用いて可能な限り動作の再現及び、機能拡張を施したミニチュアモデルの設計製作を担当する学生 3 名への課題とした。

本稿は、製作の過程及び学生への指導法について述べるものとする。

2. 製作スケジュール

本製作のスケジュールを表 1 に示す。

表 1 製作スケジュール

4 月	製作に必要な基礎知識及び技能の習得	
5 月		
6 月	製作物の仕様の検討	
7 月	設計及び材料の選定	
8 月	ラダープログラム作成	
9 月	本体組み立て及び	タッチパネル画面 のデザイン
10 月	動作確認	
11 月		
12 月	中間発表	
1 月	本体組み立て及び動作確認	
2 月	最終発表	

以下、各段階の概要について述べる。

4 月、総合制作の開始時点では具体的なテーマは未定ながら、PLC を主体としたシーケンス制御を用いた課題に取り組みたいという学生の希望ではあったが、1 年次に履修した技能についてまだ理解しきれていないという部分が多かった。

そのため、PLC ラダープログラミングの基礎の復習及び、授業では行っていない応用技術の習得をそれぞれの課題とした。使用した教材は、ノート PC、

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

PLC 本体、技能検定用実習装置であり、参考テキストは授業で用いられているものではなく、練習用課題を中心としたものを独自に用意した。

6月、学生の技能が基礎、応用共に向上し、自信がついてきた傾向があったため、製作課題の具体的なテーマを決める段階に入った。過去の総合制作実習では既に2回エレベータをテーマとしてきたため、過去の製作を参考としつつ、時代に合わせた機能を導入した新たな製作物に挑戦したいという学生の希望のため、本課題のテーマ決定に至った。

また、検討事項として操作性の向上を目的として、タッチパネル操作の導入、新型コロナウイルスにおける接触防止に観点を置いたセンサを用いた非接触式操作スイッチの導入を行うこととした。接触するタッチパネルと非接触式操作スイッチはそれぞれ目的が相反する機能ではあるが、一つの製作テーマで両方の観点を同時に検証するため、エレベータのかご内部からの操作はタッチパネル、エレベータを外から呼び出す操作に非接触式操作スイッチを導入することとした。

その後、設計段階へ移行し、CADを用いて全体図の作成、使用する材料の選定を行った。材料選定については、必要な材料を協議してリストアップし、カタログに明示されている仕様の見方を指導することで学生中心の作業となるよう取り組んだ。

8月、発注した材料が納品されるまでの間に、PLCに書き込むラダープログラムの作成を行った。エレベータの動作と同等の入出力が可能なセンサ及びベルトコンベア等の実習装置を組み合わせ、図1のような模擬的な装置を用意して学生それぞれがプログラム作成に取り組み、進行状況によってお互いのプログラムを比較、情報交換を行いながら、最終的に一つのプログラムにまとめた形で採用することとした。



図1 プログラム作成用模擬装置

9月、エレベータ本体を組み立てる材料が納品されたため、材料の加工及び装置を組み立て、配線を担当する学生2名とタッチパネル画面のデザインを担当する学生1名に役割を分担し、作業に取り組んだ。エレベータのかごの上下移動が可能な状態となった頃に、前段階で作成したプログラムを書き込み、基本的な動作が行えていることを確認した。

12月、総合制作の中間発表会に向けた資料の準備と発表練習に取り組み、発表会において質問のあった事項などを元に製作物完成へ向けた作業に移行した。

1月、製作物の組み立て作業の進行により非接触スイッチの取り付けや、タッチパネル画面と組み合わせ、トライ&エラーにより動作確認を繰り返しながら全体的な調整を行った。

2月、製作物に予定していた機能を全て導入できた状態で完成したため、最終発表及びポリテックビジョン発表に向けた資料作成と発表練習に取り組み、作業に使用した資料や図面、プログラムなどのデータをまとめ、1年間の総合制作実習は終了した。

3.仕様

図2に完成した製作物の外形を示す。全長は高さ1200mm、横660mm、奥行き510mmとなるようにアルミフレームとアルミ板により構成している。上部は機械室とし、PLC、サーボモータ、サーボアンプ、リレー、配線用遮断器を取り付け、電気回路の配線を行っている。

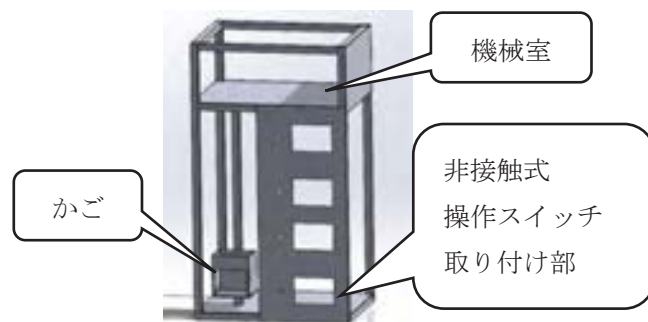


図2 製作物外形図

図2の正面より左側はエレベータのかごを上下移動させるためのレールが縦に取り付けられており、かごはそのレールに沿って移動を行う。

表 2 主な部品一覧

材料	型番	仕様
PLC	三菱 Q00UJCPU QD75P2	入力 16 点 出力 16 点
タッチパネル	三菱 GT2510-VTBA	10.4 型 カラー液晶
サーボモータ	オリエンタルモーター NX620M	定格出力 200W ¹⁾
サーボアンプ	オリエンタルモーター NXD20-A	最大入力パルス 500kHz ¹⁾
低回転型モータ	TAMIYA No.75028	回転速度 7100r/min
光電センサ	ミスミ MZ-T	透過型 検出距離 10000 超
フォトマイクロセンサ	オムロン EE-SX772A	溝型 検出距離 5mm

かごは上部の機械室に配置されているサーボモータによるワイヤの巻き上げ及び巻き下げで、上昇下降を行う。

また、レール上にはフォトマイクロセンサを取り付け、かごが各階に到着したことを検知できるようにする。

右側は各階の呼び出しスイッチを模した操作盤となっている。本製作では 3 階建てのエレベータとし、中階である 2 階には上行き用と下行き用の 2 種類の呼び出しスイッチを取り付ける。スイッチは通常の接触式のボタンスイッチとセンサを用いた非接触式のスイッチ両方を用意する。非接触式スイッチは図 3 に示すような高さ 110mm、横 150mm の隙間を設け、内部には光電センサを設置し、投光器から受光器へ常に光が送られている。利用者が手を挿入することによって光が遮られるとセンサが反応し、かごをその階へ呼び出すことができる。廃案には、近接センサを用いて、隙間を設けず手をかざすだけでかごを呼び出す案もあったが、誤操作の可能性を考慮し、利用者の意思を確実にセンサへ伝えるため現在の仕組みとなった。

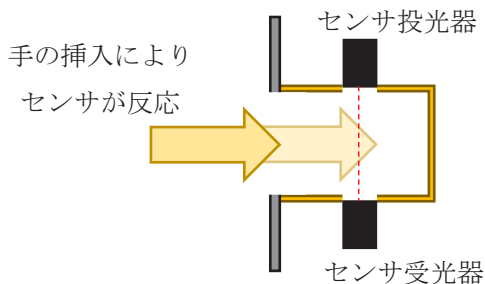


図 3 非接触式操作スイッチ部

タッチパネルはかご内部での操作を想定しているが、ミニチュアモデルであるため、直接かご内部への取り付けは行わず、製作物の外側から操作できるように取り付ける。

かごには、低速回転型ギアモータを用いたミニチュアの自動ドアを取り付け、各階への到着時などに合わせてドアが開閉できるようにする。

本製作で使用した主な使用材料を表 2 に示す。PLC は三菱の Q シリーズを使用し、位置決めユニットによりサーボモータの加減速制御を可能としている。

4. 完成品

図 4 に製作物の完成品外形を示す。非接触式センサ用の隙間には木製の箱を挿入している。各階には現在のかごの到達階の表示用に 7 セグメント LED を取り付けている。



図 4 製作物完成品外形

図5にタッチパネル画面を示す。操作部は各階指定用のボタン、自動ドアの開閉ボタン、緊急時における非常停止ボタンで構成される。また、画面のデザイン性能を活かし、実際のかごの上昇下降に合わせて画面上のかごが移動するアニメーションを設けている。



図5 製作物完成品外形

5. 動作確認

プログラムは、実際の3階建てのエレベータと同等の上下移動を再現するように、ラダープログラムで構築した。図6、図7に動作の一例を示す。

図6は、1階から3階へ上昇する間に2階で上行きのスイッチが押された場合に途中の2階で一度停止する動作である。



図6 動作例1

図7は、1階から3階へ上昇する間に2階で下行きのスイッチが押された場合に先に3階に到達した後に、下降して2階で停止する動作である。

図6、図7で示した動作例以外でも実際の3階建てエレベータを再現した動作をとるようにプログラムを構成している。

操作においては、接触式のボタンスイッチ、非接触式のスイッチ、タッチパネル、いずれからの操作も問題なく行うことが確認できた。

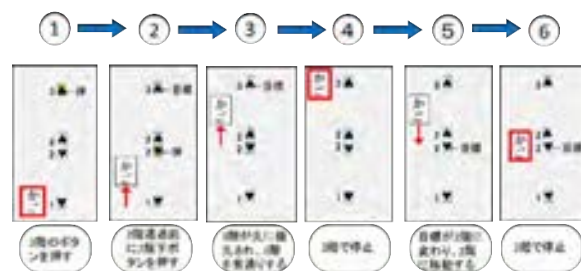


図7 動作例2

6. おわりに

本製作物は計画段階で予定していた仕様をほぼ予定通り達成することができた。

全体的な製作の進行において、なるべく学生に達成感を得てもらえるように、学生の案は否定せずに、その案のメリットとデメリットを考察し、採用するかどうか協議しながら進めていった。

学生の技能も製作開始時と比べると向上し、材料の探し方、工具の使い方など一度実際にやり方を見せて、学生の技能として継承させるようにした。プログラムについては、不具合が発生してもほぼ自分達で追加修正を考えることができるようになった。

後に学生が就職活動を行った際には、面接時に企業より、本製作について興味を持って多くの質問をいただいたという話を受けた。

今後の指導においても、学生が意欲をもって取り組めるように適切な課題設定を行うことを意識し、研鑽に努めて参りたい。

7. 謝辞

本製作にあたり、当時の電気エネルギー制御科の上村晃大君、三上拳毅君、水上隼輔君の3名は作業、発表、ともに意欲が高く、製作の完遂まで、一年間取り組んでくださり、ここに感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) オリエンタルモーター(株): チューリングレス AC サーボモーターユニット NX シリーズ ユーザーマニュアル、pp.90-100、2017年4月

広報に活用するイベント展示用アミューズメント機器の製作

中矢 翔^{*1}, 千葉 丈一郎^{*1}, 佐藤 英馬^{*1}, 堀川 佳大^{*1}, 本間 凜太郎^{*1}

Production of Amusement Machines

NAKAYA Sho^{*1}, CHIBA Joichiro^{*1}, SATO Ema^{*1}, HORIKAWA Kaito^{*1}
HONMA Rintaro^{*1}

要約 近年、電気工事業界から電気技術者の不足について声が上がリ、電気技術者の供給源の一つである能力開発施設においても電気分野の応募率は低迷している。応募率の低さを打開するため、東北職業能力開発大学校が主催及び参加している対外的なイベント等で展示を行い、小・中学生を対象として“電気”に興味を持ってもらう為のアミューズメント機器の製作を目的とした総合制作実習を行った。本年は、2種類のアミューズメント機器の製作を通して、学生たちに設計から製造までのものづくりの過程を理解してもらい必要な知識・技能を習得してもらった。現在作製及び改良の途中となっているため、現時点での経過について報告する。

1. はじめに

経済産業省が 2018 年 3 月 15 日に提示した「電気保安人材の中長期的な確保に向けた課題と対応の方向性について」の資料では、電気技術者の就職については電気関係職種に関係する親族等の身近な人の紹介に大きく依存しており、認知度が低いことや電気技術者の有力な供給源である工業高校や養育施設からの入職率が 15%程度と少なくなっていること、電気工事士に関しては勤務体系や現場環境を理由として、他産業に比べ離職率が高いこと等が挙げられており、電気技術者の不足に繋がっていると考えられる。また、文部科学省によると、1970 年度に全高校生に占める工業高校生の割合が約 13%から 2021 年には約 7%になっていることが示されており、工業高校へ進学しようと考えている小中学生が減っていることが分かる。

今回は、東北職業能力開発大学校で行っているポリテックビジョンや参加しているサイエンスプラス等のイベントで展示を行い、参加する小中学生に実際に触って楽しんでもらうことで電気分野に興味を持ってもらうことを目的として、アミューズメント機器の製作を行う。今年、「クレーンマシン」と「センサを用いたイライラ棒」の 2 種類のアミューズメント機器の製作を行う。学生には、製作を通して設計から製造までのものづくりの過程を体験することで理解を深め、製作に必要な知識・技能を習得してもらうことを目標に総合制作実習を実施した。

2. 製作内容

先に述べたように、今回は「クレーンマシン」と「センサを用いたイライラ棒」の 2 種類のアミューズメント機器を製作する。

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

2.1 「クレーンマシーン」の製作

2.1.1 仕様

一昨年度に製作を行ったものの機能の改良及び追加を行う。一昨年度の製作物の仕様として、アームの前後左右及び上下動作、アームの開閉を DC モータで動作させる。前後左右の端検知は、リミットスイッチを用いる。上下端については、タイマを用いて行う。筐体にはジョイスティックを1つ、押しボタンスイッチを1つ備え付けている。

一昨年度の制御仕様は以下のとおりである。

- ① アームの位置が初期位置（操作者から見て左手前）にない時は、原点復帰を行う。アームが原点にある場合次の制御に進む。
- ② 筐体に備え付けてあるジョイスティックを動かすことでアームの前後左右の動作を行うことができる。
- ③ 筐体に備え付けてある押しボタンスイッチを押し続けるか一定時間が経過するとアームが下降する。下降しきったところでアームが閉じ、上昇する。
- ④ アームが上昇した後、ジョイスティックを使いアームを中心の景品獲得穴へ誘導し、ボタンを離すとアームが開き、その後原点復帰を行う。制限時間後の動作では、アームが下降してから原点復帰するまで自動で動作する。

今回製作で使用した機器について表 1 に示す。

表 1 クレーンマシンの使用機器

名称	規格	個数
PLC	三菱電機 FX2N-32MR	2 台
直流安定化電源	サンハヤト DK-801	1 台
パワーサプライ	オムロン S82J-5224	1 台
ミニパワーリレー	オムロン MY4N	12 個
7 セグメント LED	キングブライト SC23-11SYKWA	2 個
モータ	ツカサ電工 05-LG-300HA	2 個

モータ	ツカサ電工 TG-05L-LG	2 個
光電センサ	オムロン E3Z-R61 2M	4 個
アーム	P Prettyia 定格 24V	1 個
押しボタンスイッチ	エスコ EA940D-98	1 個
非常停止用スイッチ	エスコ EA940DA-42	1 個
LED 入押しボタンスイッチ	Walfront 定格 12V	1 個
ジョイスティック	Acogedor	1 個

2.1.2 改良及び追加点

今回製作を進めていくにあたって、一昨年度に製作したものから改良・追加する機能について学生からの案を取り入れ作業を進めていった。その結果、改良する点として以下のものが挙げられた。

- ・ 一昨年度の筐体では、前後左右端の検知をリミットスイッチで行っており、動作時のブレによってリミットスイッチを押すことができない問題があったため、センサを用いて検出することとした。
- ・ 前後左右の動作時には、モータでプーリーベルトを回転させアームを駆動していたが、プーリーベルトがアーム駆動の端に取り付けられており、もう一端との間にブレが生じてしまいモータへの負荷となって故障に繋がっていた為、前後左右動作の駆動方式の見直しを行った。改良を行った後の写真を図 1 に示す。
- ・ 一昨年度の製作物では、制限時間はカウントされていても、目視することができなかった為、操作部付近に 7 セグメント LED を配置し制限時間の表示を行った。取付を行った後の写真を図 2 に示す。
- ・ 制御仕様を見直し、狙いを定め景品獲得用の押しボタンスイッチを押した後は、自動で原点まで復帰し、原点で景品を落とし獲得できる制御仕様とした。

- ・ アームについて、一昨年度はマジックハンドを使い作製したものを使用していたが、つかむ際に安定しなかった為、今回は既製品を用いることで動作を安定させることとした。



図 1 改良した動作部



図 2 セグメント LED を配置した操作部

2.2 「センサを用いたイライラ棒」の製作

2.2.1 仕様

「センサを用いたイライラ棒」の製作では、昨年度に筐体部分は組みあがっていた為、動作部及び制御部の製作を行う。動作部には、送りねじを用い、ステッピングモータで駆動させる方式を採用した。縦軸・横軸のアルミ棒を送りねじで駆動させ交点に 3D プリンタで作製したセンサ取付部品を用いて接続を行う。作製した接続部を図 3 に示す。

図 3 に示した接続部に色の識別を行えるカラーセンサを取り付け移動させることで、真下にあるコースの色を識別しコースから外れた場合に動作を停止し、その後原点復帰を行うことで再度動作を始められるような制御仕様としている。

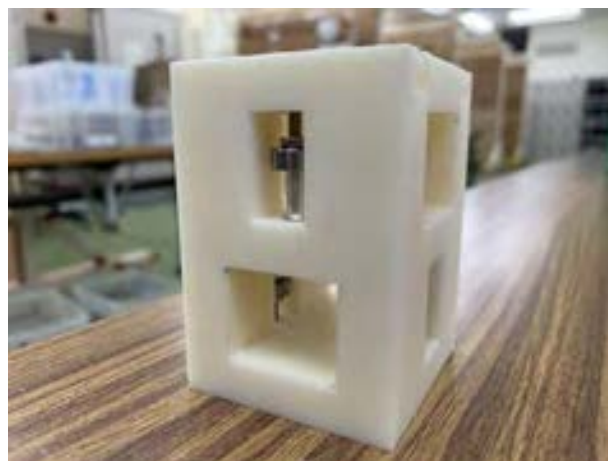


図 3 3D プリンタで作製した接続部

製作するにあたって使用した機器について表 2 に示す。

表 2 センサを用いたイライラ棒の使用機器

名称	規格	個数
PLC	三菱電機 Q シリーズ	1 台
コントローラ	三菱電機 QD75	2 台
カラーセンサ	キーエンス LR-W500	1 個
ステッピングモータ	Leadshine 42CME06	2 個
ドライバ	Leacshine CL42	2 個
ジョイスティック	三和電子 JLM-AP-T	1 個
送りねじ	黒田精工 PY1210GPR-0800	2 個

2.2.2 動作部及び制御部の製作

昨年度に筐体部の製作は終わっていた為、今年度は、動作部及び制御部の製作を行った。

まず、動作部については先に記述した 3D プリンタで作製した接続部と送りねじ、ステッピングモータを組み合わせ製作した。組みあがった動作部の写真を図 4 に示す。ステッピングモータと送りねじは、カップリングを用いて接続している。

次に、GX Works2 の位置決めテスト機能を使用し、ステッピングモータの正逆運転及び JOG 動作を用いた速度制御のテストを行った。その後、PLC とドライバ間及びステッピングモータとドライバ

間の配線を行い、制御部を製作した。作製した制御部の写真を図 5 に示す。



図 4 動作部



図 5 制御部

3. 現在の進捗

現在の進捗として、「クレーンマシン」については、令和 5 年 2 月初旬におおよその完成とした。完成写真を図 6 に示す。



図 6 クレーンマシン完成図

完成した筐体は令和 5 年 2 月 17 日、18 日に開催された東北ポリテックビジョンにて展示を行い参加された小中学生に遊んでもらった。結果として、2 組遊んでもらったところでセンサ検出部分に不具合が生じ、モータが停止せずモータ内部のギアが破損してしまっ。回帰反射型の反射板での検知がうまくいかず故障してしまった為、次年度にて改良を行いより頑強で故障しづらいものとして考えている。

「センサを用いたイライラ棒」の進捗としては、筐体と動作部、制御部を組みあげ実際に動作させたところ、動作部の駆動部の反対側に取り付けた車体の高さが合わず、ステッピングモータに負荷がかかり脱調してしまっ。次年度では、きちんと測定を行い、高さをあわせ車体部の製作を行い、完成を目指そうと考えている。

4. おわりに

今回は、イベント等で展示を行い小中学生に実際に触って楽しんでもらうことで電気分野に興味を持ってもらう目的で広報用のイベント展示製作物として 2 種類のアミューズメント機器の製作を行った。当初の予定であった、令和 4 年 12 月に開催されたサイエンスプラスまでに 2 種類とも完成させることができなかつたが、令和 5 年 2 月に開催された第 21 回ポリテックビジョンでは、短い時間ではあつたものの展示を行い来場された小中学生に触れてもらうことができた為、一部目的を達成できたと思える。

しかし、どちらも完全な完成とまでは漕ぎ着けることができなかつた為、今後検討を行い広報用の展示物としてより良いものを製作していく。

[参考文献]

- 1) 経済産業省：電気保安人材の中長期的な確保に向けた課題と対応の方向性について、2018 年 3 月
- 2) 三菱電機：三菱シーケンサスクールテキスト：Q 位置決め(GX Works2 用)、2013 年 3 月

令和 4 年度開発課題「エアコン用コンプレッサー分解・分別支援システムの開発」の実習報告

永野 秀浩*1

Report on development of disassembly and sorting support system for air conditioner compressors

NAGANO Hidehiro*

要約 令和 4 年度の開発課題において、栗原市の東日本リサイクルシステムズ株式会社からエアコン用コンプレッサーを分解・分別するための 2 つのテーマを頂いた。テーマは「切断情報などの検索システム」と「非破壊検査による内部モータを適切に取出す切断位置の検査システム」であった。学生たちは「とうろっち」の愛称で型番入力や絞り検索機能および USB カメラでの OCR を可能としたシステムをタブレット端末で制作した。また、「みえるちゃん」の愛称でコンプレッサー側面をセンサで走査する非破壊検査システムを製作した。このシステムでは直流駆動 (DC モータ) のコンプレッサーに対しては「地磁気センサ」を用い、正弦波駆動 (AC モータ) のかご形誘導のコンプレッサーに対しては「静電容量センサ」を用いた。各センサの測定はさらなる検証が必要であるが、今後の興味深いテーマである。

1. はじめに

リサイクル業では、高品位(質、純度)に分別することで価値を得る。エアコン用コンプレッサー(以下、コンプレッサと記す)では、鉄製の容器内にモータを収容し、モータは巻線に銅やアルミを使用している。図 1 にコンプレッサ内部構造と内部モータの分別例を示す。



図 1 コンプレッサ内部構造と内部モータ分別例

コンプレッサの内部モータは、直流駆動(DC モータ)で永久磁石を有するタイプ、もう一種は正弦波駆動(AC モータ)でかご形誘導に大別される。図 2 にコンプレッサ内部のモータ分類¹⁾を示す。今回借用したコンプレッサもこの 2 種であった。

つまり、モータを上手く取り出せる位置でコンプレッサを切断できれば、高品位の分別に貢献する。

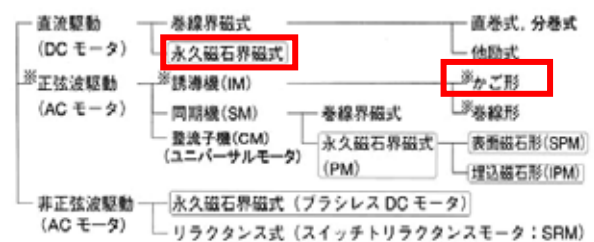


図 2 モータ分類

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

依頼先の企業では、同業者からの情報交換や実際に分割機で切断し、コンプレッサの型番と切断情報(切断位置や治具の情報)を一覧表にまとめ、作業者に掲示している。予めコンプレッサの種類ごとにまとめた形で行うため、頻繁に切断位置などの設定値を変更するわけではないが、一覧表から読み取る際のヒューマンエラーは回避できない。また、これまで扱ったことのないコンプレッサは適切な情報がないため実際に切断して確認し、掲示する一覧表の保守を行う必要がある。

図3に既に扱ったことのある切断情報一覧表、図4に切断機の設定画面と治具、切断例を示す。

(※図3、図4は企業情報のためぼかしている)



図3 切断情報一覧表



図4 切断機の設定画面と治具、切断例

これらから、以下の2つをテーマとした。

- コンプレッサ切断情報の閲覧システム
「とうろっち」の開発
- 非破壊検査による切断位置の検査システム
「みえるちゃん」の開発

2. システム構成と開発

2.1 システム構成

図5に「とうろっち」と「みえるちゃん」の全体構成のシステム図を示す。Wi-Fi ネットワークでBox PCのデータベースと連携し、検索端末はタブレット、制御コントローラはBox PCとArduino

Mega で構成する。

図6にBox PCを示す。Odyssey Blueは制御用、LarkBox Proはデータベースサーバ用であり、共にOSはWindowsを搭載可能である。

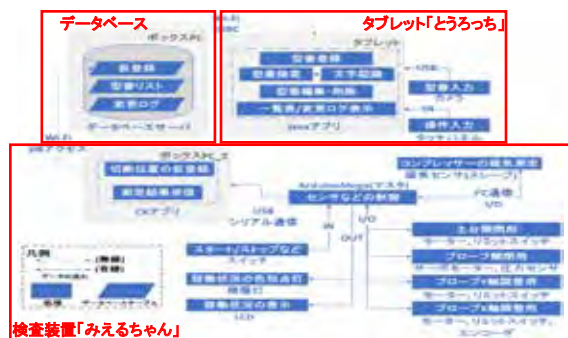


図5 システムの全体構成図



図6 Box PC

2.2 「とうろっち」(コンプレッサ切断情報の閲覧システム)の開発

図7に「とうろっち」の外観を示す。また、図8はUSBカメラの画像から型番範囲を指定する例であるが、先頭文字の部分一致での検索を可能とした。Java言語で開発し、画像処理はOpenCV、デー



図7 「とうろっち」の外観



図8 「とうろっち」の検索例

データベース連携は JDBC(MariaDB 用)、OCR は Tesseract(テッセラクト)を利用してフリーソフトのみで構築した。

2.3 「みえるちゃん」(非破壊検査による切断位置の検査システム)の開発

図 9 に「みえるちゃん」の外観を示す。



図 9 「みえるちゃん」の外観

コンプレッサの直流駆動(DC モータ)で永久磁石を有するタイプは微量の漏れ磁束を検出できる可能性があり、9 軸センサ(加速度、ジャイロ、地磁気)の「BNO055」を用いて、基礎実験を行った(図 10)。

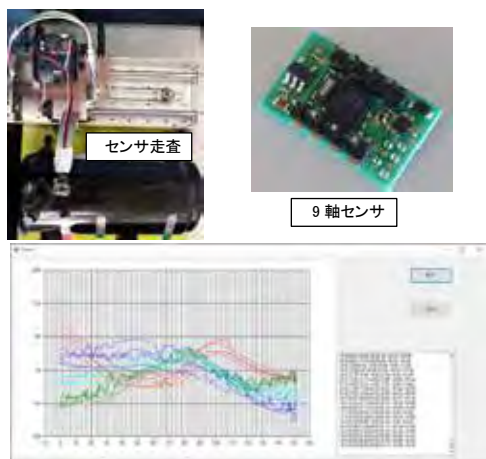


図 10 地磁気センサ「BNO055」の基礎実験

自然界に近いレベル変化ではあるが傾向があるように見える。また、コンプレッサ側面を走査する際に測定値がばらつくため、平均化を行う必要がある。また、地磁気センサのキャリブレーションは方位を計測する目的ではないので考慮していない。

次に、コンプレッサの正弦波駆動(AC モータ)でかご形誘導の場合、永久磁石はなく漏れ磁束は望め

ないため静電容量の変化に注目した。図 11 に静電容量の測定に使用した SANWA LCR700 を示す。

計測値を取得する USB シリアルインタフェースのドライバは Windows OS 用のみのサポートであるため、制御用の OS は Windows とした。また、地磁気センサ同様にキャリブレーションは考慮せず、銅箔を絶縁して計測を試みたが、実験結果はピコレベルの値変化で明確な評価は断定できなかった。また、長間隔平行平板空気コンデンサ²⁾を参考にプローブの検討を行いプローブ試作した(図 12)。



図 11 LCR メータ「LCR700」の基礎実験



図 12 試作プローブ



図 13 センサ部

図 13 に 2 つのセンサ実験から製作を行ったセンサ部を示す。また、センサ走査時のコンプレッサ高さを均等に保つため、左右ねじでガイドレールを平行移動させる左右開閉機構を製作した(図 14)。

全体としては、コンプレッサ固定用の左右開閉機構、センサ部をコンプレッサ側面に上下する縦軸機構およびコンプレッサ表面を走査する横軸機構を製作し、各モータ制御、リミット・ボタン検出および表示用の積層灯の制御には Arduino Mega を利用した。Box PC は制御部の計測値を受信、動作指令、データベース登録と LCR700 のデータ受信で

ある。図 15 に全体外観の正面写真と図 16 に背面写真を示す。

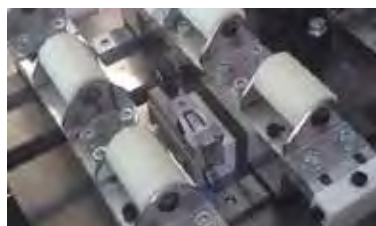


図 14 左右開閉機構部



図 15 全体外観(前面)



図 16 全体外観(前面)

3. システムの評価

「とうろっち」(コンプレッサ切断情報の閲覧システム)の開発においては、コンプレッサ切断情報などをデータベース化し、型番検索やデータ保守機能を備え、依頼された企業からのアンケート評価も良いものであった。USB カメラでの文字認識率は、作業現場の環境で更に低下が想定される。フリーソフトであるがパラメータ調整と環境での実験を行う必要がある。また、データベースサーバは学習用として設計したため 1 台の Box PC で代用できる。

「みえるちゃん」(非破壊検査による切断位置の検査システム)の開発においては、十分な計測実験が

行えず、傾向は見えるがセンサ値の平均化やオフセットの補正を再検討すべきと結論付けた。

コロナ禍で制御部品の納品が遅れたこともあるが、Arduino でのプログラミングはモジュールの利用は容易である。しかし、モータドライバ、割込みおよび通信制御を同時に行う場合には、Arduino の開発方法とクラス設計をある程度理解できないと難しくなると感じた。また、機構部は十分な精度・性能で動作するが、依頼された企業からは分解する作業場なので壊れないかとの指摘を受けた。

4. 考察

地磁気および寄生容量の計測は、ほぼ自然界に近い変化量の検出になりかねないため、実証実験の繰り返しが必要となる。また、検査方法に対しても測定対象を走査することで、計測値にばらつきを生む。複数のセンサを一定間隔に配置して測定すれば、安定した値を得られるとも考えられる。

今回は生産系の開発課題として、敢えてセンサを走査する動きをテーマに取り入れた。

5. おわりに

生産機械システム技術科の村上大陸君、富樫巧真君、高橋優友君、伊藤真吾君、生産電気システム技術科の阿部堅介君、齊藤歩夢君、工藤樹生君、生産電子情報システム技術科の小寺諒平君、穂積咲妃君、斎藤瑠維君、原田倭幸君、小野寺佑真君に無理な要求にも耐えて本当に感謝します。

生産系教員の大石先生をはじめ、内山先生、須永先生、太田先生、平田先生、檜原先生、山川先生に学生に対するサポートを感謝します。

最後にテーマを提供いただいた東日本リサイクルシステムズ株式会社に深く感謝申し上げます。

[参考文献]

- 1) ネオマグ株式会社 モータの基礎と永久磁石シリーズ(9)
<https://www.neomag.jp/mailmagazines/topics/letter201011.html> ,
2022 年 6 月 6 日確認
- 2) 相知 政ほか：長間隔平行平板空気コンデンサの静電容量に対するシールドとダミー電極の効果について、電気学会論文誌、A 114 (3), 223-235, 1994

建築空間の認識

—ファンズワース邸を対象とした建築模型製作と分析—

星野 政博*¹ 佐藤 優太*¹

Recognition of Architectural Space

— A Study of Architectural Model Production and Analysis for "Farnsworth House" —

HOSHINO Masahiro*¹ SATO Yuta*¹

要約 本稿では、学生の総合制作課題として共に取り組んだ活動記録としての報告をする。この課題に必要とされる能力は、大きく分けて、参考資料の収集・図面の解読（寸法読み取り等）・模型製作・スケジュール調整の能力である。建築空間認識の能力向上を目的として「ファンズワース邸の建築模型製作」に取り組み、この建築物の平面計画や構造について学び、建築物の空間把握や模型製作技術の向上を図ることとした。総合制作実習の活動では、学生と共に文献調査やデータ分析、模型製作実習を通じて、学生と共に学ぶことで、文献調査やデータ分析や模型製作実習を通じて、新たな知見を得ることができた。

1. はじめに

本稿では、学生の総合制作課題として共に取り組んだ活動記録としての報告をする。この課題に必要とされる能力は、大きく分けて、参考資料の収集・図面の解読（寸法読み取り等）・模型製作・スケジュール調整の能力である。建築空間認識の能力向上を目的として「ファンズワース邸の建築模型製作」に取り組み、この建築物の平面計画や構造について学び、建築物の空間把握や模型製作技術の向上を図ることとした。総合制作実習の活動では、学生と共に文献調査やデータ分析、模型製作実習を通じて、学生と共に学ぶことで、文献調査やデータ分析や模型製作実習を通じて、新たな知見を得ることができた。

これまで住居環境科にはフランク・ロイド・ライトの落水荘、ル・コルビュジエのサヴォア邸の総合制作実習による建築模型があり、近代建築三巨匠のミース・ファン・デル・ローエの建築模型が作られていない。そこで、建築家ミース・ファン・デル・ローエの「ファンズワース邸」模型製作を通して、教材作成とともにその建築空間の認識を深めるため検証することとした。

2. 建築家ミース・ファン・デル・ローエ および作品概要

2.1 ミース・ファン・デル・ローエ (1886-1969)

20世紀を代表するドイツ出身の建築家である。建築思想および設計姿勢を現わす言葉として、

- ・「Less is more」 「少ないことは豊かなこと」
- ・「God is in the detail」 「神は細部に宿る」

*¹ 東北職業能力開発第学校 住居環境科

など、建築を学ぶ者は、一度は聞いたことがある言葉を残し、近代建築のコンセプトを構築したと言われている¹⁾。

Miesの建築物の特徴として「ユニヴァーサル・スペース」という概念がある。これはモダニズム建築の理念である内部空間を限定せず、自由に使用できるようにすることを意味する。柱と梁で構成されるラーメン構造を多用したMiesの建築物は、その時代の斬新な提案であった。

代表作としては、バルセロナ・パビリオン（ドイツ、1929年）、トゥーゲントハット邸（チェコ、1930年）、レイクショア・ドライブ・アパートメント（アメリカ、1951年、シーグラム・ビルディング（アメリカ、1958年）、ベルリン美術館（ドイツ-1968年）の5つが挙げられる。

2.2 ファンズワース邸(アメリカ-1951年)の特徴

アメリカ、イリノイ州シカゴにあるファンズワース邸は、地上から約1.5m床スラブを持ち上げた高床式の建築物である。床を持ち上げた理由としては、近くにフォックス川があり、まれに大雨により氾濫することがあり、その対策としての高床式であった。

また、建物の中心に移動が難しいバスルーム、キッチン、設備室を設備コアとして集中させることで、そのまわりを仕切りのないワンルーム空間とした。これは、住み手が家具を移動し、生活空間を自由に換えられることを可能とする提案であり、その後の建築・インテリア業界に大きな影響を与えた。

敷地全体の面積は、当初3万6千㎡であったが、その後の持ち主の変化と公的財団ナショナルトラストの買い取りにより、25万㎡にまで拡大した。

3. 建築模型制作の概要

3.1 模型製作手順

①文献調査による資料収集と調査分析

参考資料をインターネットや図書館などを利用して収集し、製作する模型の縮尺に合わせた図面を再製作した。

②CAD 図面製作¹⁾

収集した図面を基に、2次元 CAD システムにより 1/100 の CAD 図面を製作した。図 1 に 1/100 平面図、図 2 に 1/100 南北立面図、図 3 に 1/100 東西立面図を示す。試作模型を作ったこととおおよそのスケール感をつかむことができた(図 4)。

CAD 図面制作にあたっては、元図面の寸法単位をインチからミリに変換して図面入力した。

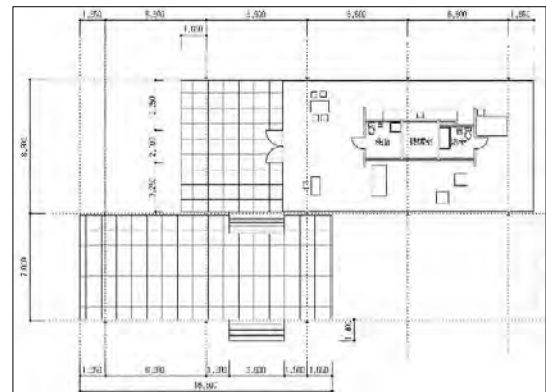


図1 平面図(S=1/100)

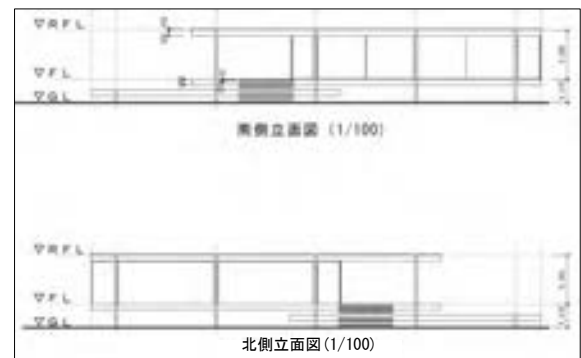


図2 南北立面図(S=1/100)

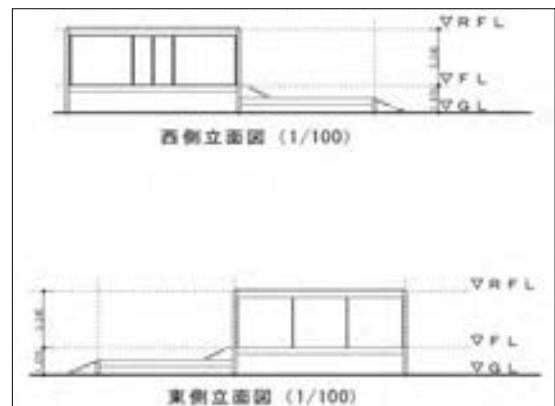


図3 東西立面図(S=1/100)



図4 ダンボール試作模型 (S=1/100)

③試作模型製作¹⁾

試作模型を作ったことで、おおよそのスケール感をつかむことができた。そのことから、1/100は教材として利用するには小さいことが分かった。

模型サイズにつき再検討して、製作図面を基に、ダンボールを用いて1/50模型を試作した(図5)。



図5 ダンボール試作模型 (S=1/50)

④スチレンボード模型(建築物)の製作

スチレンボードを用いた建築模型を製作した。建築空間を認識できるように、建築物外観を作るのではなく、図面通りに内部構造も再現した。設備コア部分を図6に示す。

エントランス部分は2つの非対称な水平ポーチからなる。居住スペースにつながるポーチは、16.8m×6.7mの矩形であり、エントランスのポーチは、23.5m×8.5mである(図7)。



図6 設備コア部分模型



図7 エントランス部分模型

⑤スチレンボード模型(建築物周辺環境)の製作

スチレンボードを用いた建築物周辺環境模型を製作した。広大な敷地であるため、敷地一部分の製作とした。

近くのフォックス川が流れている特徴をとらえ、川を模型一部に取り込む敷地模型とした(図8)。



図8 敷地周辺・川部分模型

⑥完成模型

完成模型の俯瞰と正面部分エントランスを示す(図9・図10)。



図9 完成模型・俯瞰



図10 完成模型・正面部分エントランス

3.2 模型製作材料費用

表1に今後の参考資料として、今回の模型材料の実習費用を示した。

表1 模型材料の実習費用

品目	規格	数量	単価 (円)	金額(円)	備考
スチレンボード	7mm(A2)	3	605	1815	
スチのり	200cc	1	979	979	
プラストラク型鋼材 H型鋼	HFS-5	24	671	16,104	
アクリルサンダー板 透明M版	2mm(550× 650)	10	3,003	30,030	
オルファPカッターS型	-	1	594	594	
合計				49,522	税込

4. 建築空間の認識

4.1 平面図からの検証

①機械室につながる扉がどの文献資料を探しても見いだせなかった。室内動線の可能性としては、コア部分左側の洗面スペースからのつながりが考えられる(図11)。



図11 平面図機械室扉位置

②温熱環境については、暖炉が目に見える限りだと確認できたが、文献調査を進めるうちに床暖房が施工されていることが分かった。外側に近くなるにつれて配線間隔が狭まり、寒さをシャットアウトする断熱効果の工夫が見られた(図12)。



図12 床暖房配線図

4.2 他の建築物との類似点の比較検証

①フィリップ・ジョンソン(1906-2005年)

「ガラスハウス(アメリカ-1949年)

外観・内観とも似通っているが、それはフィリップがミースの展覧会で見たファンズワース邸のスケッチに影響を受けたからと言われている。しかし、構造に着目すると、高床かそうでないかの違いがある。また、素材について、どちらも鉄とガラスでできた建築だが、コア部分が、ガラスハウスはレンガ、ファンズワース邸は木材でできている。それは単調に見えてしまいがちなモダニズム建築に対する個性が表れていると考えられる。²⁾

②丹下健三(1913-2005年)「自邸(日本-1953年)」

1階がピロティ、2階が畳敷きで間仕切りを開ければ一つの空間として使える。これはユニヴァーサルスペースの概念を体現しているが、自邸ができた時期とファンズワース邸のできた時期は同時期であり、丹下健三がミースの影響を受けたとは考えにくい。外観はル・コルビュジエのサヴォア邸の影響を受けていると言われている。1950年代の建築家の思想は空間を限定せず、建築をより自由に可変的にしようとしたのだと考えられる。²⁾

5. まとめ

5.1 総合制作実習年間スケジュール

表2に1年間の総合制作実習における活動をまとめた。

表2 年間スケジュール表

月	課題	結果	期間
3~5	株式会社POLUSコンペ	-	3カ月
4~6	実践研コンペ	上位22作品入賞	3カ月
6~11	みやぎ建築未来賞	東北地方整備局長賞	6カ月
11~2	ファンズワース邸模型作成	-	4カ月

5.2 総合製作実習の成果物

一年間を通して、以下の7点を成果物とした。

- ①POLUSコンペ提出パネル(A1×1枚)
- ②実践研究会設計競技会提出パネル(A1×1枚)
- ③みやぎ建築未来賞提出パネル(A1×2枚)
- ④みやぎ建築未来賞模型(1/100)
- ⑤ファンズワース邸図面(1/100)
- ⑥ファンズワース邸敷地および建築物模型(1/50)
- ⑦ファンズワース邸展示用パネル(A1×2枚)

(図13・図14)

5.3 考察

本稿はMies設計のファンズワース邸に関する文献調査、模型製作、他の建築物との比較検証を実施することで、建築空間の認識を図るものであった。これまでも数多くの論考が提出されているが、明確な答えがあるものではないことが分かった。

しかし、1年を通して課題を設定し、考察と模型製作を通して建築空間の認識に取り組むことができた。ものづくりの技術習得に関して大きな達成感を得ることができた。

以下に得た知見を示す。

- ① 一年間の課題を通して設計・プレゼンテーション能力を向上させることができた。Miesの設計する建築物には「ユニヴァーサルスペース」という概念が含まれており、1950年代の高層ビルの居住スペースへと展開されていくことが分かった。
- ② ファンズワース邸が今日まで世界的に評価されている理由は、周辺環境との調和を精神的な影響まで考慮して設計がなされているからだとなった。現在の環境アセスメントやSDGsのに繋がる考えだと知った。
- ③ 建築家は、自らの設計思想や設計哲学を実践する場として、自邸を設計することも多い。クライアントであるエディス・ファンズワース氏は、生涯独身を貫いた女性医師である。Miesへの思いを自邸に住み続けることで実証したのかもしれない。
- ④ 建築費用にかかわる訴訟問題も引き起こしたことも知られている。そのため1972年に所有者がイギリス人事業家になり、2003年以降は公的財団ナショナルトラストの所有となり、現在は一般公開されている。
- ⑤ 総合制作実習の活動を通じて、学生と共に学ぶことで、文献調査やデータ分析や模型製作実習を通じて、新たな知見を得ることができた。
- ⑥ これからの時代の「ものづくり」として、3次元CAD・3次元プリンター・VR(バーチャルリアリティ)・BIM・ドローン・AIなどの活用が大きく展開している現代に、これまで実践されてきた手書き製図・スケッチパース・手書き着彩・手作り模型製作などのアナログ時代の「ものづくり」手法からも得られる知見もまだ多く存在する。今後も技能・技術・知恵を大切にしていきたいと考えている。



図 13 ファンズワース邸 展示用パネル①

図 14 ファンズワース邸 展示用パネル②

【参考文献】

- 1) 建築知識1998年1月号 模型制作マニュアル：
株式会社建築
知識(現在は株エクスナレッジ)
- 2) ミース・ファン・デル・ローエ
https://en.wikipedia.org/wiki/Ludwig_Mies_van_der_Rohe
(2022. 6. 5 アクセス)

導入教育での試み

—割り箸ブリッジコンテスト—

平 和基

The Trial in Introductory Education - Chopsticks Bridge Contest -

TAIRA Kazuki *1

要約 秋田職業能力開発短期大学校住居環境科では、新入生が入校した際に導入教育を実施している。導入教育は入校ガイダンスの一環として行われ、学生間の親睦を深める事、今後の学習におけるモチベーションを高める事等を図る為に実施している。ここでは住居環境科で実施している導入教育に焦点をあて、内容の検証と実施方法の試験的な見直しについて報告する。

1. はじめに

令和 4 年度における当校の新入生は、生産技術科 17 名、電子情報技術科 23 名、住居環境科 22 名となっており、計 62 名の学生を迎えた。彼らはこれから始まる新生活に夢と希望を抱きながら当校で勉学に励み、各専門分野における実践技術者を目指すことになる。

新入生は入校後、校則や履修規定について理解を深め、各科ごとに行われるオリエンテーションに参加し、当校の学生として意識を高めていく。住居環境科では、入校ガイダンスの一環として導入教育を実施しており、今年度は表 1 に示すスケジュールに従い 3 日間実施された。

本稿では、令和 2 年度住居環境科で実施した導入教育の内容である「割り箸ブリッジコンテスト」に焦点をあて、従来の実施内容について検証及び比較すると共に、今年度の内容も含め、実施方法の試験的な見直しおよびその結果について報告する。

表1 令和 4 年度導入教育のスケジュール

	午前	午後
4 月 6 日 (1 日目)	・ 科内説明会 ・ 自己紹介 等	・ 課題説明 ・ グループ作業
4 月 8 日 (2 日目)	・ グループ作業	・ グループ作業
4 月 11 日 (3 日目)	・ グループ作業	・ 発表 ・ 総 評 等

2. 概要

2.1 これまでの課題と令和 2 年度からの課題

導入教育で行う実施内容は、専門分野に関係し、1 年生と 2 年生が交流できる内容であれば原則自由に計画することができる。住居環境科では令和元年度まで、主に木造建築物の施工と組立に特化した課題を実施してきた。課題の規模に関しては、最も大きいものであれば、平成 27 年度の導入教育で平面寸法 3640mm×8190mm、最高高さ約 3500mm の木造軸組みを制作した。

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

その実習課題は大工用工具を使用した作業となるため、各種工具の使用方法及び安全面に関する指導に留意する必要がある。また、毎年異なる実習課題を設計する我々指導員の負担も大きい。しかし、1年生と2年生が協力して継手や仕口の加工・組立を行うことで得ることができる成果物のメリットは極めて大きいと言える。そこで、これらを考慮し、令和2年度から実施方法の試験的な見直しに取り組んだ。

従来は「原寸大の構造物をつくる」ことに特化し、実習課題を設定していたが、成果物が得られ、且つ安全面に配慮した課題設定とし、ミニチュアの橋を作成することとした。材料には割り箸を採用し、実習課題名を「割り箸ブリッジコンテスト」と題することとした。

2.2 割り箸ブリッジコンテスト

使用する工具類は高等学校までの技術等の授業で使用する工具とし、加工作業も机上で可能である。そのため、作業服やヘルメットを持参しなくても、1年生が安全に作業できる課題となった。

「割り箸ブリッジコンテスト」は1・2年生合同により編成された計9グループが「割り箸でできた橋」を作り、いかに重い荷重に耐えられるかを競うコンテストである。600mmの支点間に割り箸と養生テープのみを材料とした橋を架け、荷重を掛けていき、破壊もしくは転倒した時の荷重を記録とする。

使用する養生テープの長さには制限はあるが、割り箸の使用本数には制限はないものとした。しかし、条件がこれのみであれば、材料を多く使用し、強度の高い橋を作ろうとする。そこで、本実習課題には「質量係数」の要素を取り入れることとした。【 $1 \div$ 橋の質量の1.5乗】により計算した数値で、記録荷重と質量係数の積を獲得ポイントとして勝敗が決まる。質量の1.5乗とした理由は、100gの橋（割り箸約20膳分）が荷重1000gを記録した場合の獲得ポイントがちょうど1.000ポイントとなり、基準値として利便性が高いと判断したためである。質量係数の導入により、橋の質量を軽量化したチームが有利となり、同じ記録荷重でも橋を軽量化したグループが多くポイントを得る仕組みを採用した。

コンテストは予選と決勝トーナメントを2日間通して行う。2日目の決勝トーナメントにより最終的な順位を決めるが、組合せは初日に行われる予選の結果で決定する。

3. コンテスト結果

3.1 予選結果

予選当日、我々指導員からルール説明を受けた学生は、2日間のプランを立てた後、作業を始め、2年生は構造力学等で得た知識を発揮し、トラスやアーチ等の構造をいかに軽く、強く作るか、各グループ検討していた。また、レオナルド・ダ・ヴィンチが考えた橋（図1）を作成しているグループもあった。



図1 レオナルドの橋

なお、このコンテストは多くの教育現場で採用され、詳細は異なるが、インターネットで検索すると多くの事例を見つけることができる。本導入教育では、書籍やインターネットを活用した情報収集は許可しているため、事例と似た構造がいくつか出てくることは想定している。

予選の結果を表2に示す。順位に関しては、Dグループ2.189ポイント、Fグループ1.859ポイント、Eグループ1.485ポイントと続く。ここで、各グループの質量と記録荷重に着目すると、予選において最大荷重3572.0gを記録したEグループは、荷重2788.0gを記録したDグループには及ばず3位という結果となった。その要因は、他ならぬ「質量係数」にある。DグループはEグループの記録した荷重の80%に満たない荷重で破壊した。しかし、橋の質量

は E グループの 60%である。本コンテストの規定で仮定すると、仮に D グループの荷重が E グループの荷重の 60% (53%) であっても、D グループは勝利することとなる。

表2 予選結果

チーム名	A	B	C	D	E	F	G	H	I
橋の質量 [g]	80.5	107.7	231.8	117.5	179.5	134.0	107.1	156.9	117.1
質量順位	1	3	9	5	8	6	2	7	4
質量係数	0.00138	0.00089	0.00028	0.00079	0.00042	0.00064	0.00090	0.00051	0.00079
荷重 [g]	808.0	271.0	1799.0	2788.0	3572.0	2883.0	945.0	869.0	0.0
荷重順位	7	8	4	3	1	2	5	6	9
獲得ポイント [荷重×質量係数]	1.119	0.242	0.510	2.189	1.485	1.859	0.853	0.442	0.000
総合順位	4	8	6	1	2	2	5	7	9

3.2 決勝トーナメント結果

予選の結果を踏まえて、決勝トーナメントに向けて各グループ準備を始める。予選で採用した構造に自信のあるグループは更に磨きを掛け、不安のあるグループは全面的な見直しや改良に取り掛かる。各グループ別々の課題解決に向けて取り組むこととなるが、どのグループも限られた時間の中で作業を効率的に進めるための作戦を立てることが重要となる。

その状況の中で、いつの間にか1年生と2年生が

表3 決勝トーナメントの結果

1回戦	チーム名	①		②		③	
	チーム名	I	B	H	C	G	A
	橋の質量 [g]	112.6	144.1	133.2	136.9	100.9	117.9
	荷重 [g]	1919.0	3349.0	443.0	2639.0	4366.0	2485.0
獲得ポイント [荷重×質量係数]	1.606	1.936	0.288	1.648	4.308	1.941	
準決勝	チーム名	①		②		③	
	チーム名	D	B	F	C	E	G
	橋の質量 [g]	150.7	127	132.8	130.2	167.9	93.7
	荷重 [g]	7479.0	3216.0	4648.0	4886.0	5042.0	4005.0
獲得ポイント [荷重×質量係数]	4.043	2.247	3.037	3.289	2.318	4.416	
決勝	チーム名	D		C		G	
	橋の質量 [g]	136.2		113.7		89.8	
	荷重 [g]	3760.0		5005.0		3479.0	
	獲得ポイント [荷重×質量係数]	2.365		4.128		4.088	

コンテスト優勝という共通の目標に向けて協力し合い、作業に没頭する光景があった。決勝トーナメントの結果を表3、図2に示す。

決勝トーナメントでは予選1位通過の D グループが勝ち上がり、予選5位通過の C グループと予選6位通過の G グループが予選での欠点を修正し勝ち上がった。結果は、橋の質量 113.7g、荷重 5005g を記録し、4.128 ポイントを獲得した C グループが優勝した。この記録は、我々指導員が想像していた数値をはるかに超えるものであった。

なお、G グループは決勝トーナメントで常に高いポイントを獲得しており、準決勝では本コンテストの最高ポイントとなる、橋の質量は 93.7g、荷重は 4005g を記録し、4.416 ポイントという結果を残している。完成した各グループの制作物を図3に示す。

4. ワーキンググループ方式の採用

導入教育をこの実施方法に切り替えてから今年度で3年目となる。この実施方法の特徴は、提示された課題に対して前年度に先輩の指導を受けた2年生が1年生の指導を行うことにある。また、指導員側から学生に伝えたいことは事前に全体に提示しており、作業の進め方や問題に対する対処は、原則として各グループ内で解決することになっている。

学生からの突発的な質問や、変更等に関する連絡に対しても、基本的に班長を通して行うこととし、“班長を中心とした現場管理体制の構築”も狙いとした。また、安全行動に関する指摘については、班長(2年生)もしくは副班長(1年生)に伝え、指導員が当該学生に直接指示しないこととした。

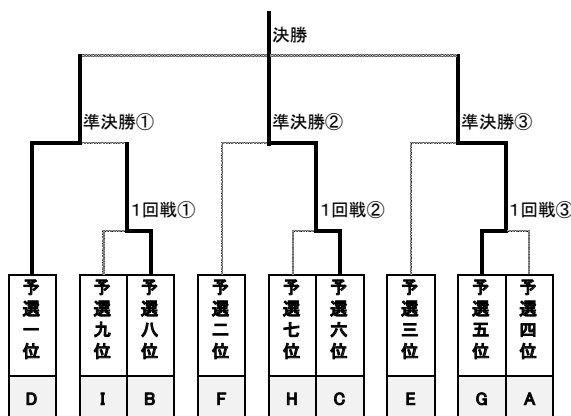


図2 決勝トーナメントの結果

5. 実施後の検証

令和2年度から3年間、この実施方法で導入教育を実施して、1年生からは次のような意見を聞くことができた。

- ・入校してすぐに2年生と交流ができて、少し安心することができた。
 - ・1年しか変わらないのに、2年生がとても頼もしく感じた。
 - ・構造力学は難しそうだが、少しだけイメージができるようになった。
 - ・これから悩んだことがあった時に、先輩に聞きやすくなった。
- など、前向きな意見を聞くことができた。学生間の

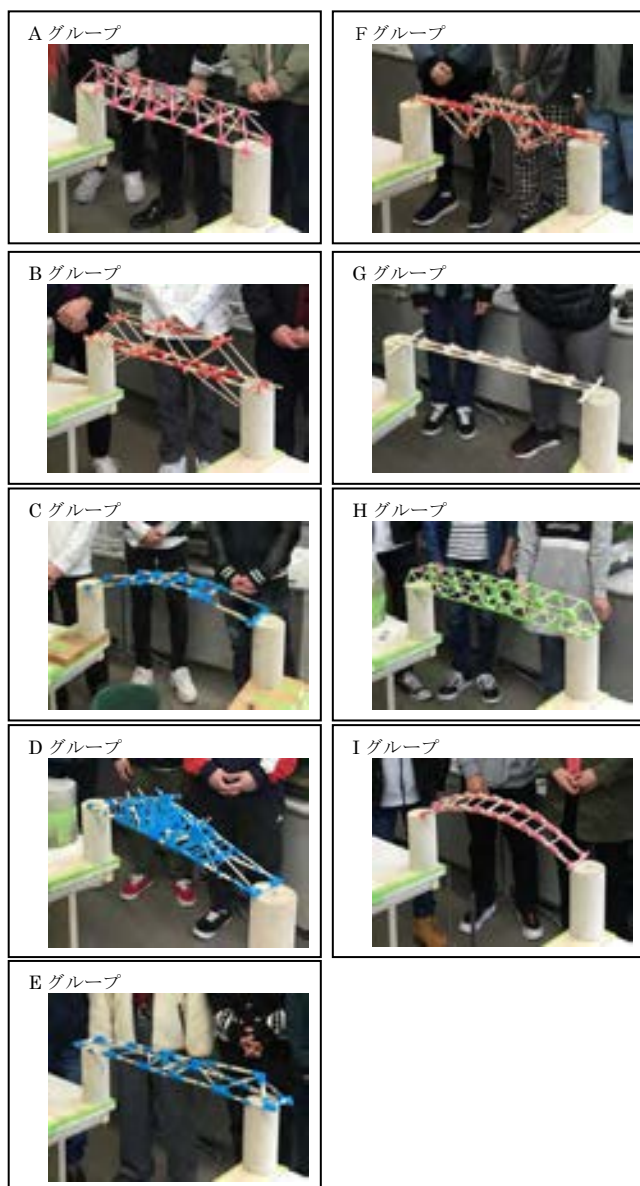


図3 決勝トーナメントの各グループの制作物

親睦の向上、これから2年間をかけて取り組んでいくことになる、各授業のイメージ等も伝えることができ、新入生のモチベーションの向上を図ることができたと考える。

しかし、各グループ内でコミュニケーションを密にとることができる反面、他のグループのメンバーとは交流がしにくくなるといった意見もあり、まだまだ改善が必要ではある。

6. おわりに

この2年間の試験的な見直しと取り組みを経て現在に至る。次年度はこれまでに記述した点を考慮しながらさらにブラッシュアップを図り、実施していくつもりである。

この導入教育を通し我々指導員が伝えなかったことは、学生が先輩・後輩の交流を通じ、構造力学的な思考や視野を身に着けることであった。しかし学生は、こちらの想定以上に実習課題に目標を持って取り組んでくれた。またグループとして協力し、同じ目標に向かって取り組むという姿勢、予選で可視化された改善点への対応、グループメンバーへ思いやる気持ちを持ってくれたこと等、反対に多くのことを気付かされる有意義な3日間であった。

本コンテストは、試験的に実施した内容であり、改善点は幾つか顕在化された。これから次年度の導入教育の実施内容を検討することとなるが、趣旨の遵守と質の向上を目指し、PDCAを確実に実施し取り組んでいこうと考える。

また一方で、全国的な居住系指導員の減少により、各施設では指導員を確保できない状況のまま日々訓練を実施している。質の高い訓練を実施するためには、まず安全な訓練を実施する体制を整えることが重要である。当校の住居環境科指導員も同様、次年度の体制は正規職員3名、パートナー職員1名で訓練をはじめ、あらゆる仕事についてPDCAを確実に実施し、効率化を図ることで、顧客満足度の向上を図ることが大切であると考えている。

壁－1グランプリ2022への取り組み

雨森 瑞宜*1, 猪股 歩武*1, 岩見 太陽*1, 佐藤 朋樹*1

Initiatives to “Kabe-1 Grand Prix 2022”

AMENOMORI Mizuki*1, INOMATA Ayumu*1, IWAMI Taiyo*1, SATO Tomoki*1

要約 壁－1グランプリは、参加チームが設計、制作した実物大の木造耐力壁の強さなどを競い合う、いわば木造技術者にとってのロボットコンテストのような大会である。2018年に第1回大会が開催され、今年で5回目を迎える。当校住居環境科は、専門課程2年間における教育訓練の集大成である「総合制作実習」の一環として、2018年の第1回大会より毎年参加している。本大会は、木造耐力壁を強さのみならず、様々な要素を総合的に評価して競い合う大会であり、2年間の専門課程で習得した知識、技術・技能を最大限に活かすことのできる大会である。5回目の挑戦において、これまで掲げてきた目標を達成できたこと、また、「総合優勝」に輝いたことから、壁－1グランプリ 2022 へ向けた一連の取り組みについて報告する。

1. はじめに

壁－1グランプリ（以下、壁－1）とは、1998年から2017年まで20年間続いてきた「木造耐力壁ジャパンカップ」を前身とする大会であり、今年で5回目を迎える。この壁－1は、参加チームが設計、制作した実物大の木造耐力壁の強さなどを競い合う、いわば木造技術者にとってのロボットコンテストのような大会である。また、大会を通じて、木造建築の最新技術の発信および木材に関わる人材の育成と技術の発展を目指している。¹⁾

当校は、専門課程の総合制作の一環として、第1回大会から毎年参加しており、今年で5回目の参加となる。

壁－1は、木造耐力壁の強さのみならず、耐震性、デザイン性、施工性、環境性など様々な要素を総合的に評価して競い合う大会である。そのため、材料の性質、構造の理解、加工技術など幅広い知識、技

術・技能を必要とし、2年間の専門課程で習得した知識、技術・技能を最大限に生かすことのできる大会である。また、設計・制作・実験・評価を繰り返すことで、ものづくりのプロセスを理解し、問題解決能力を高めることのできる大会でもある。

本稿では、10月22日（土）、23日（日）に開催された大会までの取り組みについて報告する。

2. 壁－1グランプリの概要

2.1 壁－1グランプリの詳細

壁－1は、通常16チームで予選を行い、予選を通過した上位8チームで決勝トーナメントを行う。予選は、各チームの耐力壁を見かけのせん断変形角1/60 radまで単体で加力し、その最大荷重で争う。決勝トーナメントは、予選を通過した耐力壁を2体ずつ一方の耐力壁が破壊するまで、桁を互いに引き合わせて対戦する。

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

今大会はコロナ禍の影響もあり、規模を縮小して10チームでの開催となった。

耐力壁の基本仕様は、土台下端から桁上端までの高さを2,900 mm、柱の芯々を910 mmとし、2Pで一体の耐力壁とする。使用材料は、特に決まりはないが、軸材（柱、土台、桁）については、一般的な住宅と同様に針葉樹を用いなければならない。²⁾

日程は例年9月の3連休で開催されるが、規模が縮小されたため10月22日（土）、23日（日）の2日間で行われた。また、開催場所は、ものづくり大学（埼玉県行田市）である。

2.2 大会手順および評価方法

大会当日の8時から材料の検査が行われ、材料費と加工費が算出される。検査が終了したチームから組立てを行い、この組立て時間と人数から施工費が算出される。その後、各チームプレゼンテーションが行われ、加力を行う。加力の際に計測している荷重と変位の関係から、最大耐力点と耐震評点が算出される。最後に解体を行い、解体時間と人数から解体費が算出され、金物使用の有無や材料の種類および重さなどと合わせて環境負荷費が算出される。

壁-1で決められたルールに則り、①最大耐力点、②耐震評点、③デザイン評点、④材料費、⑤加工費、⑥施工費、⑦環境負荷費を算出し、 $(①+②+③)/④+⑤+⑥+⑦$ により総合評点を決定する。

この総合評点の最も高いチームが総合優勝となる。また、総合優勝とは別に、トーナメント優勝、耐震部門、デザイン部門、加工・施工部門、環境部門と各部門で最も評価が高かったチームに部門賞が授与される。

2.3 今大会からの変更点

今大会から変更された内容は、①トーナメントシートが抽選化、②組立て前の環境負荷費20,000円以下、③番付等の位置だしを施工費から除外、④総合評点に最大耐力点を追加の4点である。特に④最大耐力点の追加は、これまでの大会と比較しても大きな変更点であり、耐力壁の設計に大きく影響すると考えられる。

3. 試作耐力壁の設計・制作

3.1 制作における方針

大会ルールの変更に伴い、昨年までの変形を重視した耐力壁では、予選を勝ち上がることが難しいことから荷重重視の耐力壁を設計することとした。耐力壁の制作にあたっては、昨年までと同様に金物やビスは使用せず国産の無垢材だけで制作し、総合評点20.00点以上を目標に取り組むこととした。

3.2 試作耐力壁の設計

図1に耐力壁の試作案を示す。試作案は、学生3人がそれぞれ考えた耐力壁をもとに話し合いを重ね決定した。今大会からのルール変更に伴い、筋かいを多く用いることで荷重の向上を狙っている。

想定としては、まず、変形の小さい初期の段階では、筋かいがメインで抵抗し荷重を急激に向上させるように設計している。次に変形が大きくなるにつれて筋かいかから貫がメインで抵抗し、粘りながら耐える耐力壁となるように設計している。また、筋かいに縦貫、横貫を干渉させることで、力を分散させるとともに筋かいが座屈しないように工夫している。

材料については、軸材（桁、土台、柱）にはアカマツ、縦貫、横貫および雇いにはケヤキを使用し、接合部については、カシの込栓で固定することとした。

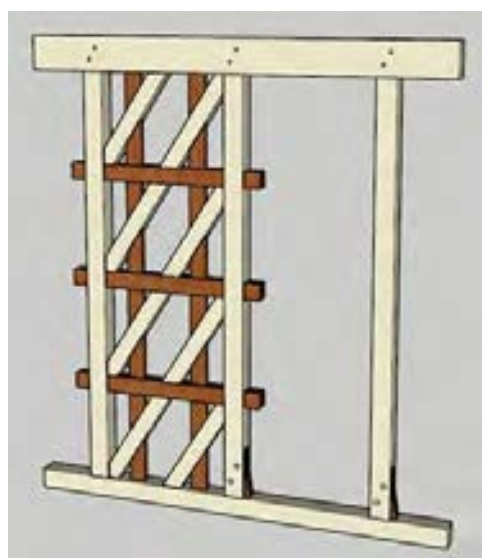


図1 耐力壁試作案

4. 耐力壁の試験

4.1 試験方法

通常、壁倍率を評価するための面内せん断試験は、試験装置（図2）に耐力壁の柱脚部をアンカーボルトなどで固定し、上部の梁または桁をジャッキにより、正負交番の繰り返し加力を加える試験である。しかし、壁-1については、壁倍率評価のための繰り返し加力ではなく、一方向に破壊するまで加力するため、大会に準じる形式での試験とした。



図2 面内せん断試験装置

4.2 試験結果

図3に試作耐力壁の荷重変位曲線を示す。試作した耐力壁は、最大荷重が38.8 kN、最大変位が150.2 mmという結果となった。

試作耐力壁は、コストの関係で軸材、筋かいにアカマツより強度の劣るスギを使用していたが、最大荷重については、想定した以上の結果となった。しかし、最大変位については、あまり伸びず変形性能の低い耐力壁となった。

4.3 結果の検討

昨年までの耐力壁は、引張側柱脚部が引抜力に耐え切れず破壊するケースが大半であったが、試作耐力壁は、中柱が桁を突き上げ、中柱柱頭部の桁が折れる形で破壊に至った。要因としては、筋かいを多く設けたことにより、剛性が向上し、引張側柱より中柱に働く引抜力が大きくなったためだと考えら

れる。今回の試験結果から、壁-1で決められたルールに則り総合評点を算出すると、目標としている総合評点20.00点を超えられる可能性は高いが、改善の余地がいくつか見つかったことから、改良を行うこととした。

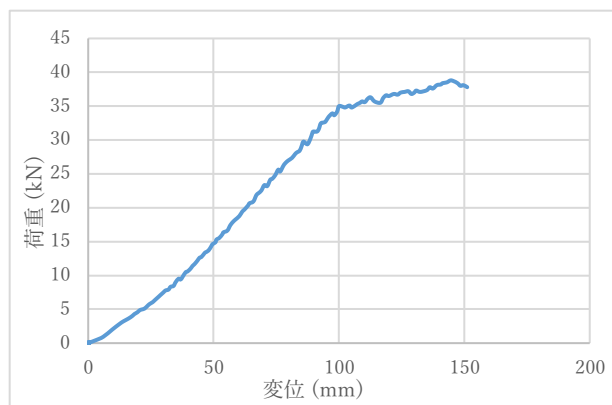


図3 荷重変位曲線

5. 大会用耐力壁の設計・制作

5.1 大会用耐力壁の設計

図4に改良後の大会用耐力壁を示す。試作耐力壁の試験結果から、中柱柱頭部の桁の断面欠損を少なくするため、ほぞ穴の深さを210 mmから105 mmに変更し、込栓も打たないこととした。また、中柱と引張側柱に働く引抜力のバランスを考慮し、筋かいを3本に減らした。筋かいを減らすことで、剛性および最大荷重が低下するおそれがあるため、筋かいの断面を75×100 mmから90×90 mm、横貫、縦貫の断面を25×100 mmから30×90 mmに変更した。縦貫、横貫の断面を30×90 mmに変更することで、加工数を1割程度減少させることもできた。

材種については当初の計画通り、軸材、筋かいはアカマツを使用し、縦貫、横貫、雇いにはケヤキを使用した。

5.2 施工および解体練習

耐力壁の評価は、先述したように強さのみならず、材料費や加工費、組立て・解体の手際による施工費や解体費、デザイン性など様々な要素をもとに評価する。そのため、目標の総合評点20.00点を達成できるように、組立ておよび解体練習を幾度とな

く行った。

組立ておよび解体については、人数×時間が人件費として評価される。3人で施工を行うと、1人が手持ち無沙汰になり、無駄な時間が増えてしまうため、2人で行うこととした。

作成した手順をもとに、試作した耐力壁で組立ておよび解体ならびに時間計測を行い、何度も手順を改善しながら時間短縮に努めた。

最後に、本番用耐力壁を使用して2回ほど時間計測を行い、組立ては15分、解体は5分程度で行うことができるようになった。

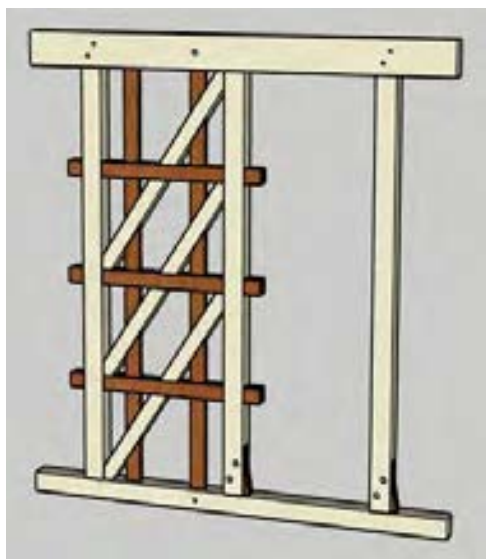


図4 大会用耐力壁

6. 壁-1グランプリ大会当日

6.1 大会参加報告

図5にトーナメント表および参加チーム一覧を示す。今大会は、全10チーム中6チームが大学および専門学校、4チームが企業および企業との合同チームであった。また、半数以上のチームがビスや金物を使用していた。

1日目は耐力壁の組立てと予選が行われた。当チームは、抽選の結果1回戦からの参戦となったため、初日は組立てて終了となった。耐力壁の組立てでは、声を掛け合い大きなミスもなく終了することができた。

2日目のトーナメント1回戦では、毎年高耐力の耐力壁を制作しており、第1～3回大会を総合優勝したアキュラ・チーム匠との対戦となり、敗退して

しまった。対戦したアキュラ・チーム匠は、そのまま勝ち進みトーナメント優勝を果たした。最大荷重は、64.4 kNであった。

当校は敗退したため、解体を行った。解体は、加力後変形した状態の耐力壁に苦戦し、思い通りにはいかなかった。

シード順	参加校名	予選	1回戦	準決勝	決勝
1	ものつくり大学(小野研究室)				優勝
10	川原組				
2	前田建設工業～ヤッパリこっちが建築科～				
9	(株)橋本組(日本建築専門学校)				
4	大正工業(東京都立大学)				
8	西宮工業大学				
3	東京大学木質材料研究室・新中木材株式会社				
7	沖城工業大学				
6	アキュラ・チーム匠(東京大学山教員・藤原教授)				
5	東北産業大				

図5 トーナメント表および参加チーム一覧

6.2 大会結果および考察

6.2.1 加工・施工部門

図6に組立ての様子を示す。当チームの組立てに要した時間は、2人で11分51秒であった。本番直前まで、何度も組立てる手順や動きを確認し、15分以内に組立てることを目標にしていたが、本番では目標より早く組立てることができた。その結果、加工・施工部門では「1位」を獲得することができた。しかし、加工費を除いた組立て時間(施工費)だけを考えると全体で3番目の早さであった。これは、設計段階から組立てについても考慮していたが、縦貫を採用したことで、組立てるのに時間がかかってしまったためである。



図6 大会時組立ての様子

6.2.2 耐震部門

図 7 に試作耐力壁および大会用耐力壁の荷重変位曲線を示す。耐震評点は、加力時に荷重および変位を計測し、その荷重変位曲線の面積で評価される。当チームの耐力壁は、最大荷重が 43.0 kN、最大変位が 212.2 mm であり、耐震評点としては、106.0 点であった。最大荷重は全体で 3 番目に高かったが、耐震評点は「5 位」という結果であった。これは、予想していたよりも耐力壁の剛性が低く、最大荷重に達するまでに変位が大きくなってしまったことと、変位自体があまり伸びなかったためである。

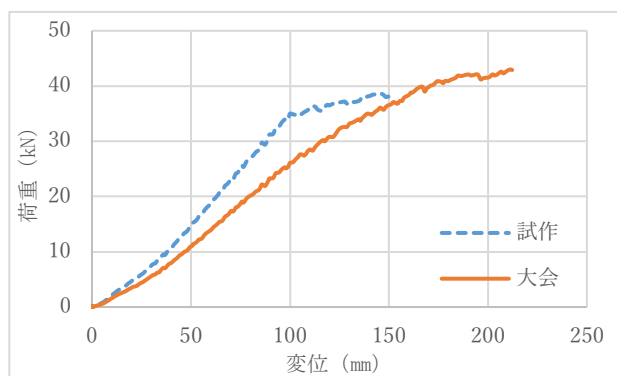


図 7 荷重変位曲線

6.2.3 環境部門

図 8 に解体の様子を示す。当チームの解体に要した時間は、7 分 51 秒であった。解体についても練習を行っていたが、目標より 3 分程遅くなってしまった。これは、加力を受けた耐力壁の引張側柱頭部の込栓が中で破断してしまい、柱と桁が練習通りに抜けなかったためである。耐力壁が加力後変形して解体が難しくなることは想定しており、作戦は考えていたが、作戦通りに解体することができなかった。しかし、それでも全体で 2 番目の早さであり、環境費も含めた環境部門では「1 位」を獲得することができた。

6.2.4 デザイン部門

図 9 にプレゼンテーションの様子を示す。デザイン部門は、審査員 3 名がそれぞれ 30 点の計 90 点満点で評価されるが、あくまで審査員の主観で決まるため、結果を予想することが非常に難しい。しかし、これまでの大会の傾向から考えると、単純にデザイ

ンのみを評価しているわけではなく、工夫や構造的な要素も考慮して評価されていると推測される。そのため、プレゼンテーションの内容も事前に考え、審査員にアピールできるように努めた。その結果もあり、デザイン部門では「1 位」を獲得することができた。



図 8 大会時解体の様子



図 9 大会時プレゼンテーションの様子

6.2.5 過去大会との比較

表 1 に今大会を含む過去 5 大会の結果を示す。今大会は、上位 3 チームとも総合評点が 20 点を超える結果となった。その理由として、過去の大会では 1 つの要素に特化した耐力壁が多かったのに対し、今大会は、バランスの良い耐力壁を制作し、総合優勝を狙っているチームが多かったことが考えられる。

当チームは、総合評点 31.97 点であり、今大会から追加された最大耐力点を除いた場合でも、26.04 点という結果となった。これは、過去の大会を含めて 2 番目に良い結果であり、木材のみを使用した耐力壁としては、最も良い結果となった。

表1 過去5大会上位3チームの総合評点

		2018 第1回	2019 第2回	2020 第3回	2021 第4回	2022 第5回
総合 評点	1位	28.73	23.86	18.53	17.08	26.04 ^{※1} (31.97)
	2位	18.56	15.60	14.90	16.86	21.43 ^{※2} (26.77)
	3位	11.59	11.92 ^{※1}	12.57	16.36 ^{※1}	21.28 ^{※2} (25.31)

※1：当校住居環境科のチーム

※2：第5回大会から追加された最大耐力点を除いた総合評点

6.2.6 大会結果まとめ

試作耐力壁をもとに改良した大会用耐力壁は、試作耐力壁とは異なり、桁が壊れずに中柱柱脚部の土台と引張側柱頭部の接合部が引抜力に耐えきれず破壊した（図10）。改良を行ったことで、桁が破壊せずに試作耐力壁よりも変位が伸びたものの、筋かいを減らしたことで剛性が低下し、最大荷重に達するまでに、変位が大きくなってしまった。結果としては、改良したことで、目標である総合評点 20.00 点を大幅に超えることができた。しかし、組立ておよび解体、耐震評点については、改善の余地が見込まれることが確認できた。



図10 中柱柱脚部の土台破壊状況

7. おわりに

今年度は、ルール変更に伴い昨年までから大きく方向性を変更し、筋かいをメインとした耐力壁を制作したが、大会結果からもわかるように非常にバランスの良い耐力壁となった。その結果、目標としていた総合評点 20.00 点を達成することができた。さ

らに、5回目の挑戦で「総合優勝」ならびに「加工・施工部門賞」、「環境部門賞」、「デザイン部門賞」および「審査員賞」を獲得することができた。

図11に大会後の記念写真を示す。

本制作を通して、自身の発想で耐力壁をデザインし、実際に木材加工を行うことで発想を形にする貴重な経験ができたのではないだろうか。また、ものづくりの一連の流れを体験することで、ものづくりの楽しさや難しさを知る良い機会となったのではないだろうか。

競技会への参加は、教員にとっても、学生にとっても敷居が高く、参加の一步がなかなか踏み出せない。しかし、目標が明確であり、総合制作実習に対するモチベーションを高めるテーマとしては、非常に良いテーマであると考えている。そのため、今後も競技会への参加を通して、学生の挑戦を支援していきたい。

最後に、この1年間の制作で何度も試行錯誤しながら取組んだ経験が、学生の今後の社会生活に活かされることを切に願っている。



図11 大会後記念写真

[参考文献]

- 1) NPO 木の建築フォーラム・研究部会：木造耐力壁ジャパンカップ 20年の記録、NPO 木の建築フォーラム、pp158-169、2022年5月
- 2) 壁-1 グランプリ公式ホームページ：R4 募集要項、<http://kabe-one.main.jp/>
2022年6月17日確認（2022年6月1日更新）

切削抵抗と工具経路の解析

喬橋 憲司*1

Analysis of Cutting Force and Toolpath Based on Machining Simulation

TAKAHASHI Kenji*1

要約 シミュレーションを活用して加工経路を評価した事例について報告する。ベーシックな NC プログラム習得課題の工具経路をシミュレーションした。加工プログラムの最適化による加工時間を短縮する直接的な効果と数値化による間接的な効果が得られる。カーボンニュートラルの実現に向けて切削シミュレーションが普及することの効果は大きい。

1. はじめに

加工シミュレーションは加工中の現象をコンピュータ上で可視化し、最適な工程を計画する目的で活用している。切削加工分野では 2 種類のシミュレーションを活用している。一つ目は有限要素法で材料と刃先を表現し、応力の分布や切りくずの分離状況から最適な切削条件を導き出すシミュレーションである。主に工具設計で活用されている。もう一つは、自らプログラムした工具軌跡をコンピュータ上に出だし、グラフィック上にリアルに表現された製品が削り出される様子から切削プログラミングの妥当性を検証するシミュレーションである。工程計画段階で活用されている。教育訓練分野においてもプログラムの検証を目的に、衝突回避や削り残しの検証など自ら作成したプログラムをシミュレーションして受講生自身が作成と検証のサイクルを繰り返すことで理解度向上を図ってきた。

最近、刃先の負荷をシミュレーションできる商用ソフトウェアが開発された。これまで教育訓練で活用してきたシミュレーションソフトは、工具軌跡を

検証するソフトウェアで、工具回転数や切削送り速度などの切削条件の適切さは判断できない。プログラムの誤りを検証することが主な機能であり切削条件の判断は困難であった。

切削条件の判断において負荷は重要な指標である。切削負荷から折損、工具寿命、粗さ、切削動力などが事前に推測できる。生産現場のプロセス情報をインラインで収集する IOT 化が進行しており、Industry4.0 のデジタルツインの中核としてシミュレーションは重要なツールになる。そのような技術革新の中で切削加工技術者に求められる能力も変化する。

本報告では教育訓練における切削シミュレーションを活用した事例について報告する。

2. 加工シミュレーション

切削加工のシミュレーションは切削定数法、エネルギー解析法、有限要素法の 3 手法が代表的な手法である^①。工具刃先近傍のミクロの領域で、切削力、切削温度、切屑形状の詳細な切削現象の解析が可能で、工具の開発、難削材加工の研究で

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

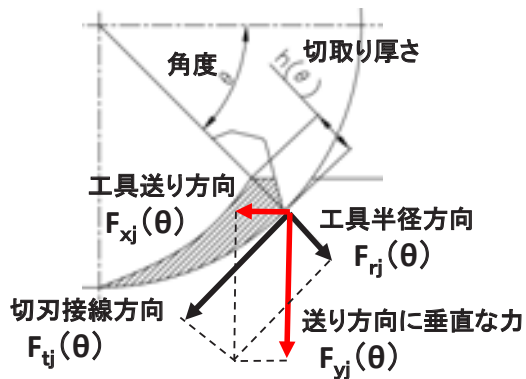


図1 刃先先端の切削抵抗

使用されている。今回使用した汎用ソフトは工具全体のマクロ領域で加工負荷、切削温度の解析が可能で、NCプログラミング後の負荷平準化の用途として使用されている。この汎用ソフトを使用した研究が行われている。

複雑形状創成における切削抵抗の事前予測による過大な切削抵抗の検出と加工時間の最適化は、プログラミング段階で切削抵抗を抑制する工具経路生成・最適化を実用化する期待がある⁽²⁾。そして加工技術者に依存したナレッジの定量化が進むことで加工条件の最適化が進み、個々の加工機械を最大限発揮する工程計画実現の期待を述べている。

本ソフトを用いた研究では、5軸マシニングセンタのCAMプログラミングにおける工具姿勢制御の複雑化により加工条件とNCプログラムの最適化と切削負荷予測精度についての報告がある⁽³⁾。この報告の中で汎用ソフトが供給する材料データベースでは十分な予測精度が得られない場合が多く、独自の評価技術によるデータベース化について述べている。

航空機用ジェットエンジンなどの複雑形状加工における小径ボールエンドミルを使用した加工の最適化による加工時間短縮について報告している⁽⁴⁾。この報告の中で軸方向接触量の急減による過大な切削負荷の上昇による刃先欠損の防止と、送り方向が反転する瞬間における軸方向接触力の急増について述べている。

表1 計算諸元 (工具推奨条件)

条件要素名	単位	条件値
被削材 材質		A5052
工具直径	[mm]	20
刃数	[tooth]	4
主軸回転数	[1/min]	890
送り速度	[mm/min]	230
軸方向切込み	[mm]	35
径方向切込み	[mm]	10

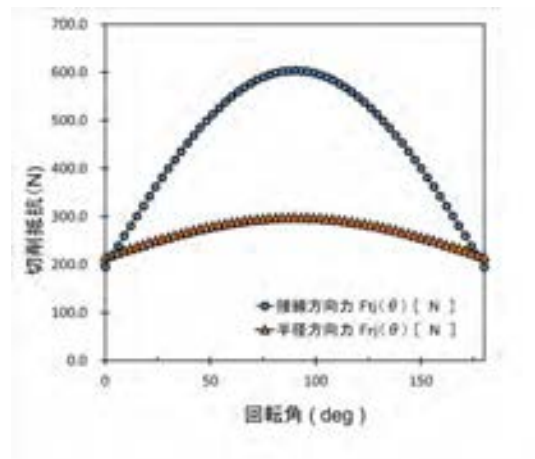


図2 切削抵抗

これら先行研究ではプログラミング段階で切削抵抗を予測することによる加工時間短縮、工具折損回避の効果を報告している。

3. 切削負荷の事前予測

表計算と切削加工シミュレーションを活用した切削負荷の予測について述べる。

3.1 表計算による切削負荷の予測

微小切削モデルによる切削抵抗の計算⁽⁵⁾について述べる。

図1に刃先先端に作用する力を示す。j番目の工具半径方向と接線方向の力、 $F_{tj}(\theta)$ 、 $F_{rj}(\theta)$ は次式で計算する。

$$F_{tj}(\theta) = K_{tc} \cdot z \cdot h(\theta) + K_{te} \cdot z \dots \dots (1)$$

$$F_{rj}(\theta) = K_{rc} \cdot z \cdot h(\theta) + K_{re} \cdot z \dots \dots (2)$$

zは切込み量である。K_{tc}、K_{te}、K_{rc}、K_{re}は切削係数で、主分力と背分力の切込み-切削抵抗の関係から求める。(1)(2)式の切込み量zを離散化させることでねじれ角を考慮した計算も可能である。

表 2 標準の加工条件

条件要素名	単位	条件値
被削材 材質		A5052
工具直径	[mm]	20
刃数	[tooth]	4
主軸回転数	[1/min]	1000
送り速度	[mm/min]	200
軸方向切込み	[mm]	10
径方向切込み	[mm]	20

表 3 ねじれ角の影響

ねじれ角 (deg)	接線方向力 (N)	半径方向力 (N)	軸方向力 (N)	切削トルク (N・m)	切削動力主軸成分 (W)
30	114.9	41.5	53.7	2.3	240.5
45	69.0	24.0	32.0	1.4	144.4
60	58.0	21.0	27.1	1.2	121.4

工具送り方向と送り方向に垂直な力 $F_{xj}(\theta)$ と $F_{yj}(\theta)$ は次式で計算する。

$$F_{xj}(\theta) = -F_{tj}(\theta)\cos\theta - F_{rj}(\theta)\sin\theta \dots\dots (3)$$

$$F_{yj}(\theta) = +F_{tj}(\theta)\sin\theta - F_{rj}(\theta)\cos\theta \dots\dots (4)$$

表 1 に計算諸元を示す。図 2 に切削抵抗の結果を示す。表 1 は工具メーカーの工具推奨切削条件である。工具メーカーがカタログに示している。接線力 600N の計算結果となった。

3.2 切削抵抗のシミュレーション

切削抵抗のシミュレーションと加工プログラム最適化の過程について述べる。

3.2.1 工具推奨加工条件の切削抵抗

汎用シミュレーションソフトには被削材データベースを装備しているが、最適化に用いる切削抵抗の閾値(加工機の剛性、材料クランプ法で左右される実際の限界)はユーザで決定しなければならない。シミュレーションの設定上では接線力、単位長さあたりの力の 2 種類が選択できる。今回は主に接線力を用いた。切削工具カタログに掲載している工具の標準加工条件で計算した結果を許容切削抵抗と考え、その結果を限界値(推奨条件として保障できる許容限界的な値)とし加工プログラムを最適化する。

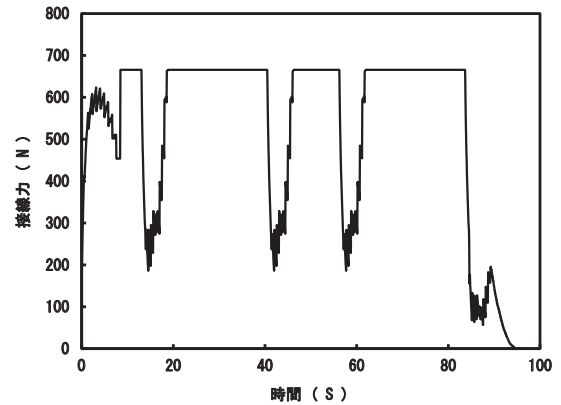


図 3 工具推奨条件の切削抵抗

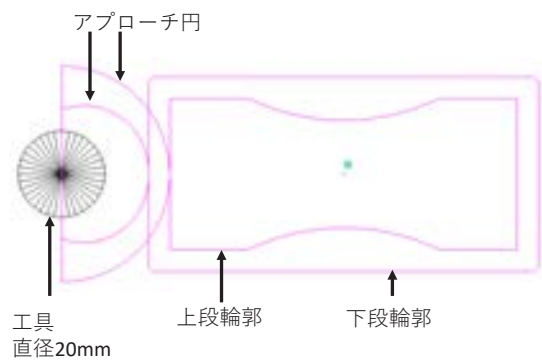


図 4 切削加工パス例

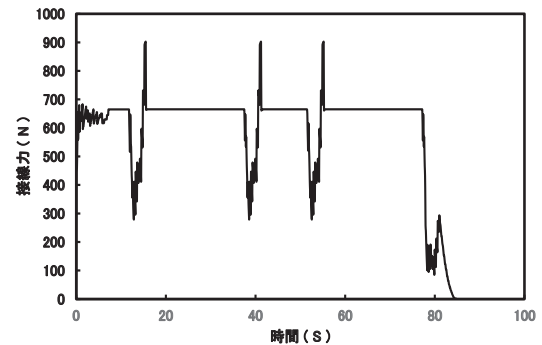


図 5 離散化長さの影響

図 3 に工具推奨切削条件の接線方向の切削抵抗値を示す。表 1 の工具推奨条件で計算した。四角形の各辺を切削した時の切削抵抗は一定になるため 665N で水平になる箇所が 4 か所認められる。また、各辺の象限が変わる頂点を削る箇所で切削抵抗が変化する。直角の場合、瞬間的に切削抵抗は 0N になるが、C0.5 でチャンファリングしているため 0N にはならない。切込み時の切削量は一定ではない。

表 4 加工時間短縮の効果

加工時間		最大接線力	
最適化前	最適化後	最適化前	最適化後
(S)	(S)	(N)	(N)
347.47	246.13	262.9	144.5

また溝切削になるため送り速度を変えている。加工開始当初の切削抵抗は極値 600N の凸型になる。

3.2.2 ねじれ角の影響

表 2 に標準の加工条件を示す。標準加工条件とは音と振動から判断して決める普段の加工で設定する加工条件である。この条件でねじれ角が及ぼす影響についてシミュレーションした。

表 3 に工具刃先ねじれ角の影響を示す。ねじれ角が大きくなるに従い接線方向の力は小さくなり、切削トルクは減少する。そして切削動力の主軸成分も減少する。

3.2.3 象限変化部

図 4 に最適化する輪郭形状を示す。図 5 に離散化長さの影響を示す。離散化長さとは最適化する時、ユーザが設定する最小ブロック長さである。設定する離散化長さにより、切削抵抗が工具動作の象限変化部で閾値を超える現象となって影響が現れる。離散化長さとして切削サイクル短縮時間は関係があり、離散化長さを短く設定するほど時間短縮できる。NC 工作機械の追従性を考慮に入れた設定が必要になる。

出力した切削送り速度と切削抵抗を比較検査しながらプログラムを変更して適性化を図る。チャンファリングする 4 か所に影響が現れており、その近傍の送り速度をマニュアル変更することで過大な切削抵抗が回避できる。

他の部位について、直線切削部は切削量に変化が無い為最適化の効果はないが、円弧切削で輪郭形状にアプローチする箇所などが主に最適化される。円弧切削によるアプローチの最適化で 10% のサイクル短縮の効果が見られる。

3.2.4 工具アプローチ円の最適化

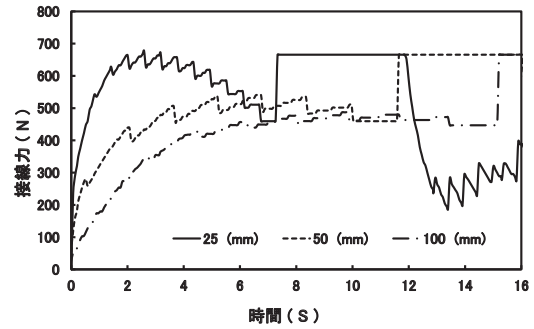


図 6 アプローチ円半径の影響

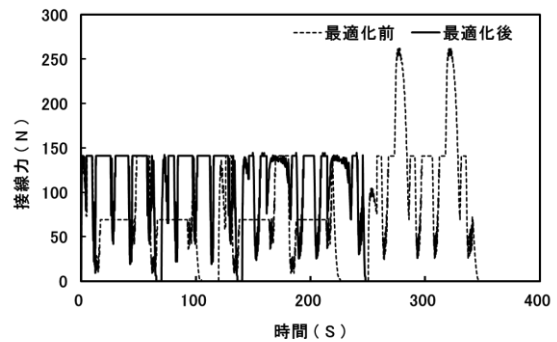


図 7 最適化前後の比較

アプローチ円半径が切削抵抗に及ぼす影響について述べる。

図 6 に最適化前のアプローチ円半径と接線力の関係を示す。

アプローチ円半径を 25mm、50mm、100mm に設定したときの切込み時の切削抵抗と最適化前後の切込み時間を計算した。切込み時間は空走時間を除き、工具が材料に接触した直後から同一の座標点まで円弧切削した時間である。切削条件は表 2 の標準切削条件で、工作機械剛性や材料クランプなどを考慮に入れた実用の切削条件である。

アプローチ円半径が小さい 25mm は工具が材料の接触角が大きくなり切削抵抗は 678N と大きくなる。急激に材料に食い込み、切削抵抗が下がった後に再び輪郭形状の切削間隙で切削抵抗が上昇する曲線になる。50mm に設定した場合は接触角が 25mm より小さくなるため切削抵抗も 487N に下がる。そして輪郭形状切削前に切削抵抗の低下が見られるが、その差は少なくなる。100mm に設定するとアプローチによる一時的な切削抵抗の上昇は見られず、アプローチから輪郭形状切削にスムーズに移行する。円弧の内角を統一しているため円弧長

の長さから切込み時間は長くなる。分割長さ 5mm、接線力 665N を閾値に設定し最適化した。アプローチ円が大きくなると切削時間の差が縮小し、時間短縮効果が大きく現れる。

3.2.5 加エプログラムの最適化効果

表 4 に加工時間短縮の効果、図 7 に最適化前後の接線力を比較した図を示す。

最適化により 30%の時間短縮と 46%の最大接線力の低減効果が得られた。

4. 結果

能力開発セミナーのベーシックな課題を最適化ソフトでシミュレーションした。

接線力について切削理論式の計算結果 600N と最適化ソフトの計算結果 665N の差は 10%であった。表計算では刃先先端の逃げ角等の刃先形状、ねじれ角は考慮していない。これら角度の差の考慮により差は縮小すると考えられる。

刃先ねじれ角を条件とし接線力、切削動力をシミュレートした。切削抵抗を下げる手段としてねじれ角の操作は有効である。そして切削動力との関係がある。切削抵抗を下げることで、切削動力の低減に効果がある。

シミュレーションで加工プログラムを最適化する時に設定する離散化長さは加工時間の計算結果に影響する。接線力への影響は見られない。最適化ではこの離散化長さの設定には注意を払う必要がある。

実際の輪郭形状の切削では溝切削と側面切削の 2 つの切削様式で削る。側面切削が主体の輪郭形状の削り出し加工においても最初の切込みは溝切削になる。この時の接線力と輪郭形状を切削する時の接線力がシミュレートできる。

今回の輪郭形状プログラムでは一定の送り速度とせず、アプローチ円と輪郭部で送り速度を調整している。切削抵抗のシミュレーションで、切削条件の探索ができる。

アプローチ円半径を変えてシミュレートした。切削抵抗の低減にはより大きなアプローチ円半径の設定が効果的である。切込み段階において、大きな

切削抵抗が生じるが、アプローチ円半径を調整することで切削抵抗と加工時間を低減できる。アプローチ円 25mm と 100mm では 29%の時間削減効果があった。アプローチ円の半径で長くなる工具経路も最適化により時間短縮される。アプローチ点と輪郭とのクリアランス設定を変更することで更に時間短縮効果が期待できる。

工具推奨切削条件をシミュレートすることで製品加工の標準切削条件の余裕度を知ることができ。今回のシミュレーション結果では工具推奨切削条件の最大接線力 665N に対し、課題実習の標準切削条件は曲線部 262.9N、直線部 144.5N であった。最大の接線力が作用する部分で 60%の余裕がある。シミュレーションにより折損に対する安全性が評価できる。そして最適化によって 30%の時間短縮効果が得られた。また、最大接線力で 55%の切削抵抗の低減効果が得られた。

5. 考察

教育訓練の中で切削シミュレーションを活用した事例について述べた。

切削加工シミュレーションは加工時間短縮を狙って計算した切削抵抗からプログラムを最適化する機能を持つ。これまでプログラミング時に工具に作用する負荷の把握は困難であった。切削抵抗のシミュレーションが可能になったことで工程計画段階の検討に客観性がでる。

切削抵抗を知ることによって品質の事前予測が可能になる。断続切削となるエンドミル加工は切削抵抗の変化が製品精度に影響する。また切削中の工具負荷は一定ではなく変化する。コーナーの切削や X 軸移動から Y 軸移動に変わる象限変化がある場所で切削抵抗は変化する。負荷の増減は工具倒れとして製品表面に影響が及ぶ。接線力の出力によりアプローチ段階での切削抵抗の変化、コーナー部での変動、刃先における切削状況の変化の事前予測が可能になる。また、切削動力の変動を捉えることができ環境面の活動推進が期待できる。

コスト面においては最適化によるプログラムの時間短縮の直接的な効果をもたらす。また、切削抵抗の変動は精度と工具寿命に影響を及ぼす。この変

動を事前に知ることによって工具寿命の予測精度が向上する。工具の長寿命化に効果的である。

時間短縮は最適化による直接的な効果のほか、テストカットの時間短縮に効果がある。事前の切削抵抗適性化により、切削条件の調整箇所が減る。シミュレーション結果の活用により修正時間も減る。

今回限界値として工具メーカーの推奨条件をシミュレートした。ユーザの使用条件とメーカーのテスト条件は、使用工作機械や材料セット状態に違いがあり、同じ条件で加工できる訳ではない。シミュレーションを利用することで経験的に設定してきた条件の差を数値として把握できる。推奨条件と標準条件の差を数値化することで余裕度がわかる。

工具の余裕度を把握することで安全性向上の効果が期待できる。特にフルカバーによる安全対策が困難な加工機に有効である。学生など初学者は切削条件の決定に戸惑う場面が多い。工具負荷を知ることによって折損の危険性が認識できる。また、事前の数値化により仮説を立てることが出来、テストカットで確認する現象の理解が促進される。力学的な計算や解析による結果の活用によって教育訓練の効果は高まる。

能力開発セミナー（対象者は経験のある在職者）でシミュレーションを実践したところ、受講者は「新しい気づきにつながった」「切削条件に根拠ができた」との感想を述べた。これまで工具経路を表示するシミュレーションを活用した自己調整で訓練効果を高めてきた。製造業のDX取組事例では生産効率の最大化やノウハウの蓄積・伝授の事例⁶⁾が多く報告されている。今後、加工シミュレーションを活用して教育訓練効果を高めていくことはDX化、Industry4.0が進む技術革新の中で必要と思われる。

またGX化の中、カーボンニュートラルの実現に向けた取組みは避けて通ることはできない。加工時間短縮はCO₂排出削減の主要な取組み⁷⁾となっている。プログラムの最適化技術は加工時間短縮の直接的な効果をもたらす。また、切削動力の理論値は消費電力を考える時の基準値になる。加工シミュレーション技術が普及することのCO₂削減効果は計り知れない。

5. おわりに

切削シミュレーションの教育訓練で活用した事例について報告した。加工は機械や材料、工具など様々な要因が絡んでくる。要因の影響を明らかにする過程では理論値との差の検出が必要であり、今後差の検出方法を検討したい。

[参考文献]

- 1) 松村隆：切削シミュレーションの現状と課題、精密工学会誌、vol80,No9,pp.803-806,2014
- 2) 金子順一：エンドミル加工における切削抵抗予測、精密工学会誌、vol83,No3,pp.199-203,2017
- 3) 八田武士ほか：切削負荷シミュレーションによる切削加工の高能率化、電気製鋼、第87巻1号,pp.45-49,2016
- 4) 佐々木渉ほか：機械加工シミュレーション技術による高能率加工、IHI 技法、Vol.52,No.3, pp.85-88, 2012
- 5) 中本圭一ほか：EXELL で学ぶ生産加工ソフトウェアの基礎、日刊工業新聞社(2011)
- 6) 経済産業省：製造業DX取組事例集、経済産業省ホームページ、
https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2019FY/000312.pdf、2023年3月7日確認
- 7) 江崎浩：「将来あるべき姿」を見据えたデジタル化でカーボンニュートラルを成長のチャンスに、型技術、Vol38,No.4,pp34-37,2023

ゼネバ機構とスライダクランク機構を組み合わせた メカニズムの実例

伊藤 隆志*1

Example of a mechanism that combines a Geneva mechanism
and a slider-crank mechanism

ITO Takashi*1

要約 ゼネバ機構とスライダクランク機構は、シンプルな機構であり、それぞれ、入力軸の回転変位に同期した出力軸の回転変位やスライダの直線変位を得るものである。いずれの機構も単体で有益な仕事ができるが、それぞれを組み合わせることにより、より複雑な動作を作り出すことができる。本稿では、今までに取り組んできた教材開発の中から、その実例を紹介する。

1. はじめに

私たちの生活は、自動車や鉄道車両をはじめ各種機械装置に支えられている。また、工事現場では、油圧ショベル等の建設機械が、生産工場では、加工機械や組立機械等の生産機械が稼働している。よって、身の回りの工業製品は、これら機械の産物と言っても過言ではない。

さて、機械の本質は、各種機械装置が、車軸であったり、アームであったりと言った出力部位を備えた上で、それらが、有意義に仕事(動作)をすることであり、機械装置の設計においては、出力部位の形態およびその動作を明確に定義する必要がある。

次に、上記の定義に基づき、出力部位の必要動作実現のための機械構造の検討、すなわちメカニズム構成の検討を行うが、この作業は、機械設計の根幹をなす極めて重要なステップである。メカニズム構成は、機械装置の製作のし易さ、耐久性、保守性、製作コスト等、多岐に亘る項目を評価しながら検討するが、一般的には、できるだけ簡単な構成が望ま

しい。なお、メカニズムには、先人が築き上げてきた有用で優れたものが沢山あるので、メカニズム構成の決定に当たっては、そこからの採用を検討すべきである。

さて、古典的なメカニズムである、ゼネバ機構とスライダクランク機構は、シンプルな機構であり、それぞれ、入力軸の回転変位に同期した出力軸の回転変位やスライダの直線変位を得るものである。いずれの機構も単体で有益な仕事ができるが、それぞれを組み合わせることにより、より複雑な動作を作り出すことができる。本稿では、今までに取り組んできた教材開発の中から、その実例を紹介する。

2. ゼネバ機構

2.1 ゼネバ機構の概要

ゼネバ機構は、入力軸の連続回転運動を出力軸における間欠回転運動に変換するメカニズムである。もともとは、機械式時計のゼンマイ巻き過ぎ防止の巻き止のために開発されたメカニズムであり、17世紀頃に、機械式時計の生産が盛んであったジュネーブ(スイス)の時計職人が発明したと言われている。

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

それゆえ、ジュネーブは、ゼネバ機構の名称の由来となった。現在、ゼネバ機構は、各種の機械装置で採用されており、出力軸 1 回転当たりの分割数は、機能に合わせて、任意の分割数のものが製作される。

図 1 に、4 分割ゼネバ機構の立体図を示す。ゼネバ機構は、入力軸と原動ホイールが、そして、出力軸と被動ホイールが、それぞれ一体になっている。なお、原動ホイールには、固定ヒールとピンが固定されており、被動ホイールには、スロット溝と凹 R が施されている。ここで、入力軸が、連続で等速回転運動することを前提に、4 分割ゼネバ機構の動作を述べる。この場合は、原動ホイールも等速回転運動することになるが、被動ホイールは、原動ホイールのピンがスロット溝に噛み込んでいるときだけピンの動きに合わせて回転する。さらに回転し、このピンがスロット溝から外れて出てきた瞬間、被動ホイールの回転運動が停止すると同時に、原動ホイールの固定ヒール凸 R 面と被動ホイールの凹 R 面が密着し、被動ホイールはロック状態になる。仮に、被動ホイールに外力が作用しても、ロック状態は維持される。このように、原動ホイールが連続で等速回転運動するとき、被動ホイールは、それに同期し、回転運動と停止（ロック状態）を繰り返す。ちなみに、原動ホイール 1 回転当たり、被動ホイールは、 90° 回転する。4 分割ゼネバ機構のこの機能から、仕様上、出力軸を正確に 90° 毎に割り出したい場合等には、採用を検討したいメカニズムである。

2.2 入力軸角変位と出力軸角変位の関係

次に、入力軸の角変位 θ と出力軸の角変位 ϕ の関係を説明する。ピンが、被動ホイールのスロット溝に最も深く入り込んだ状態（ピンが出力軸に最も近づいた状態）のとき、 $\theta = 0^\circ$ とする。図 2 は、入力軸角変位 θ における原動ホイールと被動ホイールの姿勢を示す。また、図 3 に、ピンがスロット溝から外れる瞬間を示す。このときの入力軸角変位は、 $\theta = 45^\circ$ になる。ピンは、回転移動する過程で、 $\theta = -45^\circ$ でスロット溝に噛み込み、被動ホイールを回転させながら、 $\theta = 45^\circ$ でスロット溝から外れる。ここで、ピンの回転半径を r とするとき、図 3 の $\triangle ABC$ が、 $\angle ACB$ を直角とする直角二等辺三角

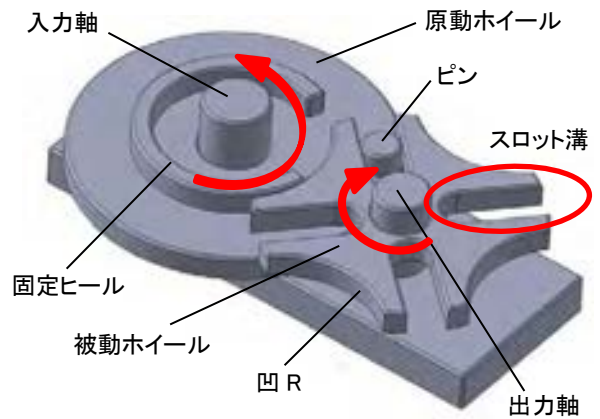


図 1 4 分割ゼネバ機構立体図

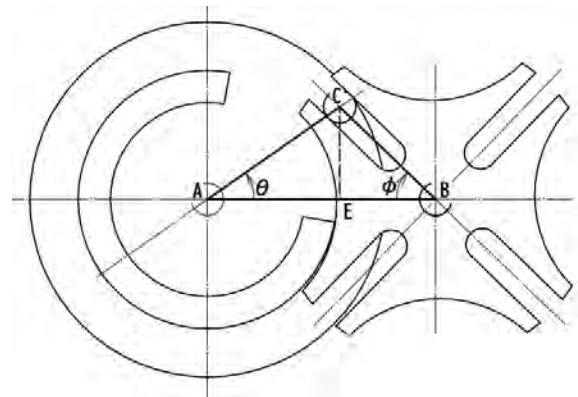


図 2 入力軸角変位 θ における原動ホイールと被動ホイールの姿勢

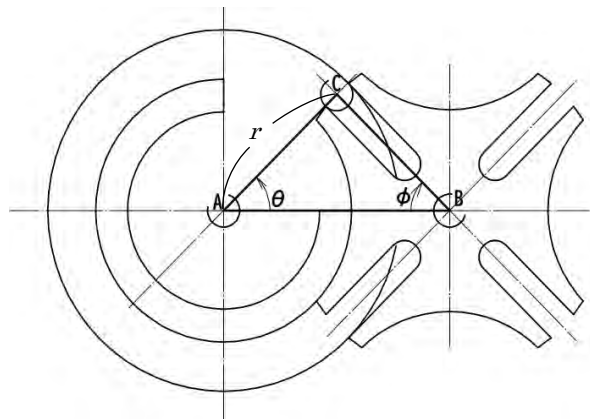


図 3 ピンが被動ホイールのスロット溝から外れる瞬間

形になることから $\overline{AC} = r, \overline{AB} = \sqrt{2} r$ すなわち入力軸と出力軸の軸間距離が、 $\sqrt{2} r$ であることがわかる。

次に、図 2 の $\triangle ABC$ から、入力軸角変位 θ と出力軸角変位 ϕ の関係が求まり、

$$\phi = \tan^{-1} \frac{\sin \theta}{\sqrt{2} - \cos \theta} \quad \dots \dots \dots (1)$$

である。(1)式の数値計算は、PC表計算ソフト Excel を用いて行った。図 4 に、入力軸角変位 θ と出力軸角変位 ϕ の関係をグラフで示す。また、これ以降に記述する計算式の数値計算、および、それに基づくグラフの作成も、Excel を用いて行った。

2.3 入力軸角変位と出力軸角速度の関係

次に、先に求めた入力軸の角変位 θ と出力軸の角変位 ϕ の関係から、入力軸角変位 θ と出力軸角速度 ϕ' の関係を求める。入力軸は、等速回転運動をする前提であり、その角速度 ω は一定である。

ここで、時間を t とすると、 ϕ' は、以下の手順で求めることができる。 ω は、入力軸角変位 θ を時間 t で微分したものであるから、

$$\omega = \frac{d\theta}{dt} \quad (\text{一定}) \quad \dots \dots \dots (2)$$

である。また、 ϕ' は、 ϕ を時間で微分したものであるから、

$$\phi' = \frac{d\phi}{dt} = \frac{d\phi}{d\theta} \cdot \frac{d\theta}{dt} = \frac{d\phi}{d\theta} \cdot \omega \quad \dots \dots \dots (3)$$

となる。よって、(1)式の ϕ を θ で微分したものに ω を乗ずることにより、 ϕ' が求まる。途中の計算過程を省略するが、

$$\frac{d\phi}{d\theta} = \frac{\sqrt{2} \cos \theta - 1}{3 - 2\sqrt{2} \cos \theta} \quad \dots \dots \dots (4)$$

となり、

$$\phi' = \frac{\sqrt{2} \cos \theta - 1}{3 - 2\sqrt{2} \cos \theta} \omega \quad \dots \dots \dots (5)$$

となる。一方、(2)式から、

$$\theta = \omega t + \theta_0 \quad \dots \dots \dots (6)$$

となり、 θ_0 は $t=0$ の時の初期変位であり、これを 0 とすると、

$$\theta = \omega t \quad \dots \dots \dots (7)$$

となり、(2)、(5)、(7)式から、入力軸角変位 θ と出力軸角速度 ϕ' の関係を求めることができる。なお、この時の関係式は(5)式と同じである。図 5 に、入力軸角変位 θ と出力軸角速度 ϕ' の関係をグラフで示す。なお、 ϕ' をもう一度時間 t で微分することにより、入力軸角変位 θ と出力軸角加速度 ϕ'' の関係を

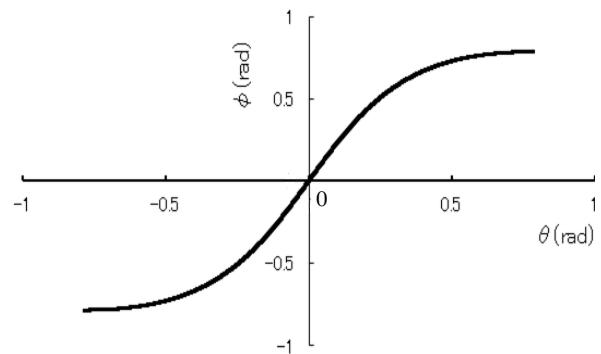


図 4 入力軸角変位 θ と出力軸角変位 ϕ の関係

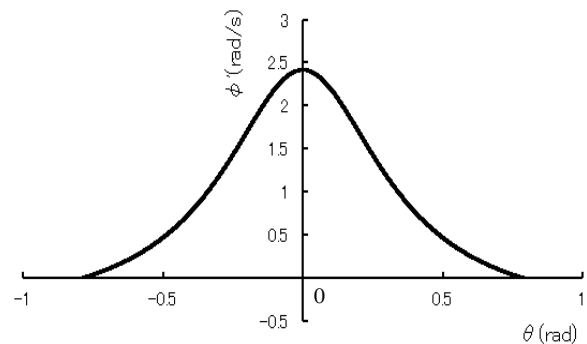


図 5 入力軸角変位 θ と出力軸角速度 ϕ' の関係

求めることができる。

3. スライダクランク機構

3.1 スライダクランク機構の概要

クランクとは、回転軸および、それとは離れた別の中心を結ぶリンクから成る機械要素である。要求される動作仕様により、各種のクランク機構が考案されている。中でも、図 6 に示すスライダクランク機構は、入力側クランク軸（クランクシャフトとも言う）の回転運動をスライダの直線運動に変換したり、それとは逆に、入力側スライダの直線運動をクランク軸の回転運動に変換したりすることができることから、各種の機械装置に幅広く採用されている。図 6 に示すクランク軸やコネクティングロッドを備えたスライダクランク機構は、13 世紀初頭、アラビアの発明家アル・ジャザリが発明したと言われ

ている²⁾。さて、自動車等のレシプロエンジンは、その主要構造がスライダクランク機構であり、ピストン（スライダに相当）の往復直線運動をクランク軸の回転運動に変換することにより、動作を得るものである。一方、レシプロ式空気圧縮機は、電気モータ等の動力によるクランク軸の回転運動をピストンの往復直線運動に変換することにより、シリンダ内の空気を圧縮するものである。また、各種生産工場等の製造機械では、ワークを移動する際などに、入力軸の回転運動からアームやロッドの直線運動を生み出す必要が多いことから、スライダ側を出力とするタイプのスライダクランク機構が多く採用されている。よって、これ以降のスライダクランク機構の動作については、クランク軸が入力、スライダが出力として説明する。

まず、スライダクランク機構は、図6に示す通り入力軸と一体のクランク軸、コネクティングロッドおよびスライダから成り、クランク軸とコネクティングロッドはクランクピンで、コネクティングロッドとスライダはスライダピンでそれぞれ連結されている。また、スライダの運動は、ガイドにより制限され、直線運動するものである。また、入力軸とクランクピンを結ぶリンクをクランクアームと呼び、入力軸とクランクピンの中心間距離をクランク半径と言う。なお、コネクティングロッド長 l とクランク半径 r の比 λ を連桿比と言う。

すなわち、

$$\lambda = \frac{l}{r} \dots \dots \dots (8)$$

である。次に、スライダの運動について説明する。

スライダは、入力軸の角変位に同期して直線運動するが、クランクアームとコネクティングロッドが一直線上に伸びた状態のとき、スライダは、入力軸から最も遠ざかる。この位置を上死点と言う。一方、クランクアームとコネクティングロッドが完全に重なった状態のとき、スライダは、入力軸に最も近づく。この位置を下死点と言う。それゆえ、スライダは、上死点と下死点の間を往復直線運動するものであり、この長さ s をストロークと言う。スライダクランク機構の幾何学的性質から、

$$s = 2r \dots \dots \dots (9)$$

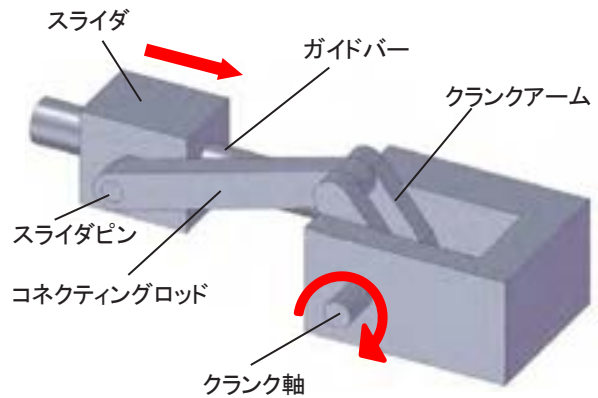


図6 スライダクランク機構立体図

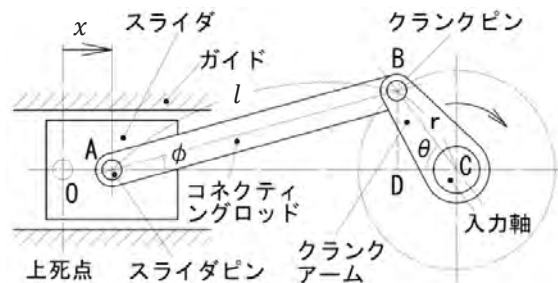


図7 クランク軸角変位 θ スライダ位置 x の関係

であることがわかる。

3.2 クランク軸角変位とスライダ変位の関係

次に、クランク軸角変位 θ とスライダ変位 x の関係を説明する。スライダの移動開始位置を上死点、すなわち $x = 0$ とする。図7は、任意のクランク軸角変位 θ におけるスライダ位置を示す。導きの詳細は割愛するが、この図の幾何学的関係から、

$$x = (l+r) - \sqrt{l^2 - r^2 \sin^2 \theta} - r \cdot \cos \theta \quad (10)$$

である。ここで、クランク半径が 30mm、コネクティングロッド長が 120mm のときのクランク軸角変位 θ とスライダ変位 x の関係を図8にグラフで示す。

3.3 クランク軸角変位とスライダ速度の関係

次に、先に求めたクランク軸の角変位 θ とスライ

ダ変位 x の関係から、クランク軸角変位 θ とスライダ速度 v の関係を求める。クランク軸は、等速回転運動をする前提であり、その角速度 ω は一定である。ここで、時間を t とすると、 v は、以下の手順で求めることができる。 ω は、クランク軸角変位 θ を時間 t で微分したものであるから、

$$\omega = \frac{d\theta}{dt} \quad (\text{一定}) \quad \dots \dots \dots (11)$$

である。また、 v は、 x を時間で微分したものであるから、

$$v = \frac{dx}{dt} = \frac{dx}{d\theta} \cdot \frac{d\theta}{dt} = \frac{dx}{d\theta} \cdot \omega \quad \dots \dots \dots (12)$$

となる。よって、(10)式の x を θ で微分したものに ω を乗ずることにより v が求まる。途中の計算過程を省略するが、

$$\frac{dx}{d\theta} = r \sin \theta + \frac{r^2 \sin 2\theta}{2\sqrt{l^2 - r^2 \sin^2 \theta}} \quad \dots \dots (13)$$

となり、

$$v = \left(r \sin \theta + \frac{r^2 \sin 2\theta}{2\sqrt{l^2 - r^2 \sin^2 \theta}} \right) \omega \quad \dots \dots (14)$$

となる。一方、(11)式から、

$$\theta = \omega t + \theta_0 \quad \dots \dots \dots (15)$$

となり、 θ_0 は $t=0$ の時の初期変位であり、これを0とすると、

$$\theta = \omega t \quad \dots \dots \dots (16)$$

となり、(11)、(14)、(16)式から、クランク軸角変位 θ とスライダ速度 v の関係を求めることができる。なお、このときの関係式は(14)式と同じである。図9に、クランク半径が30mm、コネクティングロッド長が120mm、クランク軸回転速度が100rpmの時のクランク軸角変位 θ とスライダ速度 v の関係をグラフで示す。なお、 v をもう一度時間 t で微分することにより、クランク軸角変位 θ とスライダ加速度 a の関係を求めることができる。

4. 組み合わせメカニズムの応用例

平成23年に、先に説明したゼネバ機構とスライダクランク機構の組み合わせメカニズムを応用し、教材用ピック&プレースユニット（以下、本ユニットと記す）を開発した。その写真を図10に示す。

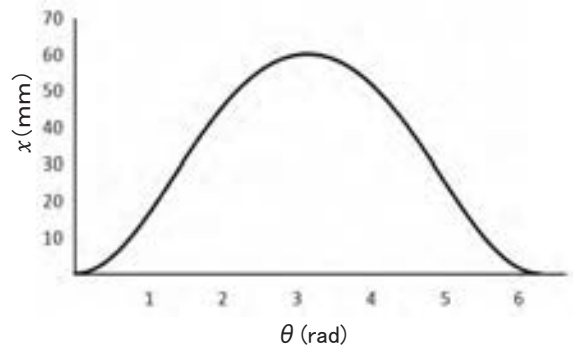


図8 クランク軸角変位 θ とスライダ変位 x の関係

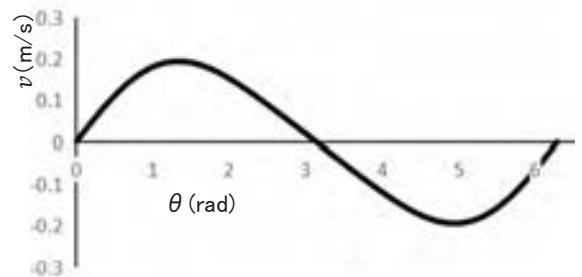


図9 クランク軸角変位 θ とスライダ速度 v の関係

また、本ユニットで移送するワークを図11に示す。

4.1 本ユニットの動作概要

本ユニットはワークを、移送する円テーブルとワークを把持または開放するフィンガーとフィンガーを上下動させるスライダが主な構成要素である。また、円テーブルには、ワークを定位置に設置するための穴が、テーブルと同心かつ等ピッチに4個設けている。本ユニットは、動作開始前に2個のワークを円テーブルに一つ間隔を空けて設置する。その後、入力軸を回転させることにより動作が開始する。本ユニットの上部にあるフィンガーがスライダとともに降下し、円テーブルに設置しているワークに被さっていく、と同時にワークを把持する。フィンガーは、降下し切ったところから上昇に転じ、ワークを最上部まで持ち上げる。この際、ワークが円テーブルより上に持ち上がった時点から円テーブルが回転開始し、90°回転したところで停止する。ワ

ークを把持した状態のフィンガーは、再び降下に転じ、円テーブルの穴にワークを挿入する。フィンガーが最下点に到達したところで、ワークを開放する。その後、フィンガーは何も把持しないまま上昇に転じ、所定のタイミングで円テーブルが回転開始、90°回転したところで停止する。円テーブル穴の位置にはワークが設置されているので、この説明の最初の状態と同じになる。よって、入力軸が回転する限り、これらの動作を繰り返すことになる。

4.2 本ユニットのメカニズム構成

本ユニットのメカニズム構成は、「ゼネバ機構」、「スライダクランク機構」、「ねじ歯車機構」、「プッシュラッチ機構」の四つである。この構成を図12に示す。丸テーブルは、被動ホイール上に固定することにより、その回転作動は、ゼネバ機構で制御するものである。また、フィンガーは、スライダに固定することにより、その上下動作は、スライダクランク機構で制御するものである。なお、この二つの動作は、完全に同期する必要があることから、それぞれの機構の入力軸をねじ歯車機構で連結している。このように、本ユニットの入力は、ねじ歯車機構により、ゼネバ機構の入力とスライダクランク機構の入力に分岐するが、完全に同期し、それぞれの速度比は1である。次にフィンガーの機能について説明する。開放状態のフィンガーの爪側からワークをプッシュするとワークはフィンガーに把持される。一方、フィンガーに把持された状態のワークをさらにフィンガー側にプッシュすると、フィンガーはそのワークを開放する。このように、フィンガーは、ワークで爪側奥をプッシュする毎に把持と開放を交互に繰り返すメカニズムを採用しており、これを「プッシュラッチ機構」と呼んでいる。今回採用したプッシュラッチ機構の機能は、特殊なカムの働きで実現している。図13に、本ユニットに組み込んだプッシュラッチ機構式フィンガーを示す。

4.3 動作メカニズムのタイミングチャート

本ユニットは、先に記した通り、メカニズム構成が四つの機構からなるが、本ユニットが作動する際は、それらが調和的に作動する必要がある。特に、

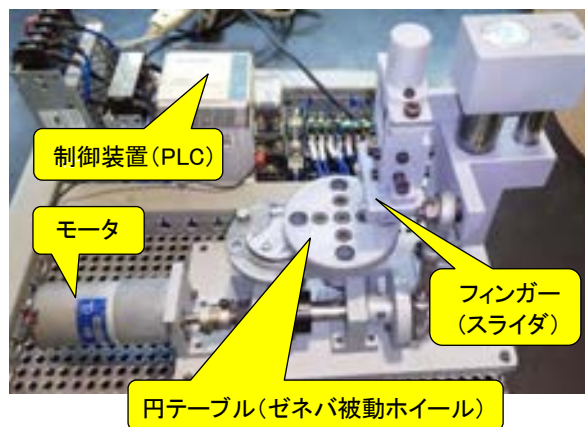


図10 教材用ピック&プレースユニット

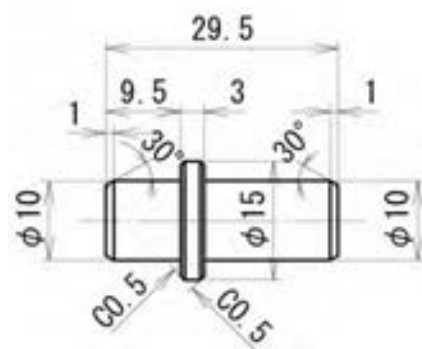


図11 ワークの形状

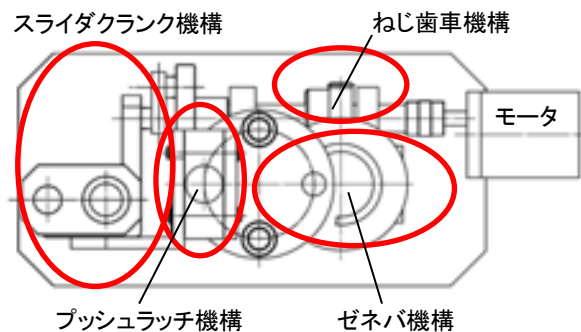


図12 教材用ピック&プレースユニットのメカニズム構成

ゼネバ機構とスライダクランク機構の動作タイミングに不具合があると、円テーブルが所定の位置に停止しないうちにワークがテーブルに衝突したり、フィンガーがワークを解放し切らないうちにテーブルが回転を開始してしまうことが有り得るので、本ユニットが破損してしまう恐れがある。それゆえ、スライダクランク機構のストロークや連桿比をよく吟味し、ゼネバ機構との動作タイミングを最適に

決めることは、本ユニットのメカニズム設計の要である。ゼネバ機構とスライダクランク機構の動作タイミングは、タイミングチャートを用いて検討した。

動作タイミングの検討に先立ち、設計仕様として、本ユニット運転時における円テーブル上のワーク配置遷移を決定した。これを図 14 に示す。ワークは、二つ使用することとし、図 14 の①が運転開始状態、その後、円テーブルの回転とフィンガーの上下動およびワークの把持と開放のそれぞれの動作が調和し、②→③→④とワーク配置が遷移し、①の状態に戻ることにした。各状態における円テーブルの停止位置は、ポット（ワーク設置用穴）がフィンガー直下に来た時である。

次に円テーブル回転時のフィンガー必要高さ（丸テーブル上面からフィンガー爪端までの距離）を決定した。但し、この高さは、ワーク把持状態とワーク開放状態とは異なる。なぜなら、ワーク把持状態では、ワークと丸テーブルが干渉する恐れがあり、ワーク開放状態では、ワークとフィンガーが干渉する恐れがあるからである。本ユニットにおける設計仕様上のフィンガー必要高さは、ワーク把持状態では 18mm、ワーク開放状態では 21mm とした。よって、フィンガー爪端が円テーブル上面から 21mm 以上の高さであれば、円テーブルが他所と干渉することがないので、回転しても安全である。フィンガー必要高さの 21mm を円テーブル回転時の満足すべき条件とし、CAD によるシミュレーションを行いながら、スライダクランク機構のクランクアーム半径とコネクティングロッド長およびスライダに対するフィンガー取り付け位置等の詳細を決定した。

本ユニットにおけるスライダクランク機構のクランク半径を 13.5mm、コネクティングロッド長を 100mm とした。よって、スライダのストロークは 27mm、連桿比は 7.4 である。フィンガーの上下動ストロークはスライダのストロークと同じであるが、フィンガーの最上点（スライダクランク機構の上死点）は、円テーブル上面から 30.9mm、最下点は、3.9mm（スライダクランク機構の下死点）である。次に本ユニットの入力軸変位とフィンガー変位の関係を図 15 に示す。フィンガーが最上点にあるとき、入力軸角変位を 0 とした。なお、図 15

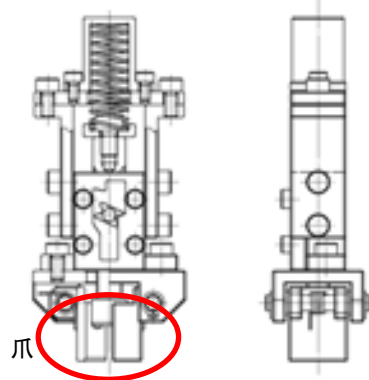


図 13 プッシュラッチ機構式フィンガー

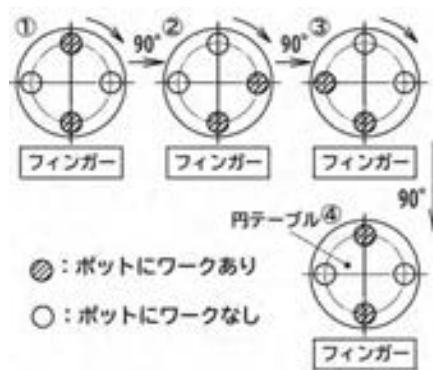


図 14 円テーブル上のワーク配置遷移

は、入力軸 2π (rad) 分のチャートである。

次に、ゼネバ機構の原動ホイール角変位（ゼネバ機構の入力軸角変位と同じ）と円テーブル角変位の関係を図 16 に示す。円テーブルは、ゼネバ機構の被動ホイール上に固定するが、この際、ワーク設置穴は被動ホイールのスロット溝に合わせる。なお、原動ホイールのピンが、被動ホイールのスロット溝に最も深く入り込んだ状態を原動ホイール角変位 0 とした。なお、図 16 は原動ホイール角変位 2π (rad) 分のチャートである。

最後に、図 14 に示すワーク配置遷移を実現するため、本ユニットのゼネバ機構とスライダクランク機構の動作タイミングをタイミングチャートで確認しながら決定した。スライダクランク機構の動作は図 15 から、ゼネバ機構の動作は図 16 から確認できる。これと併せて、円テーブルの回転が、フィンガー爪端が円テーブル上面から 21mm 以上のときのみ起こり得ることを確認した。以上から、本ユニットにおけるゼネバ機構とスライダクランク

機構のタイミングチャート（確定版）を図 17 に示す。なお、本ユニットは、ゼネバ機構とスライダクランク機構を、ねじ歯車で接続する構造であることから、図 17 に示すタイミングでそれぞれのメカニズムを動作させるべく、正確に位相合わせをしながら、ねじ歯車を噛み合わせて接続した。漫然と接続したのでは、正確な動作が期待できないのである。

5. おわりに

本ユニットは、平成 23 年度の精密機器製作課題実習（生産機械システム技術科の標準課題実習）の製作課題である。だいぶ以前の課題ではあり、本ユニットの教材としての「ねらい」については、課題概要としての報告実績はあるものの、広く詳細に報告したことがなかったため、今後、本ユニットが、教材として製作課題実習等で、採用されることの期待を込めて本稿で紹介した。

さて、実際の生産工場では、各種の機械装置が稼働しており、それらの中に組み込まれているメカニズムは多種多様である。また、一種類のメカニズムだけで稼働している機械装置もあるが、複数のメカニズムが組み込まれ、それらが連動して稼働している機械装置の方が圧倒的に多い。それゆえ、機械装置を開発する機械技術者は、各種メカニズムの知識を習得しつつ、複数のメカニズムを連動、特に同期させる場合のメカニズム同士の接続の仕方について習得する必要がある。

機械技術者が、多種多様なメカニズムのすべてを暗記するように学習することには無理であり、応用力を身につけるといった観点からも好ましい学習方法とは言えない。機械技術者が、多くのメカニズム事例に触れながらも、目の前の事案に対しては、自ら考えてメカニズムを構築していくことが大切であり、その経験を積み重ねていくことが、メカニズム設計を習熟する唯一の方法だと考えている。機械装置の構造を的確に構築していくためには、優れたメカニズム設計の知見が必要であり、本ユニットは、それを身につけるための一助となり得る教材開発を目指したものである。今後は、本ユニットをベースに、メカニズム同士の接続でミスを犯した場合のトラブル等の確認までできる発展型の教材開発に取

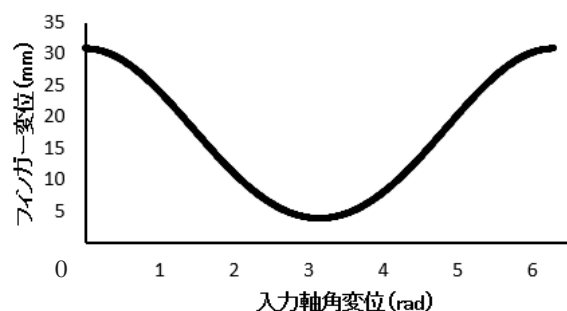


図 15 入力軸角変位とフィンガー変位の関係

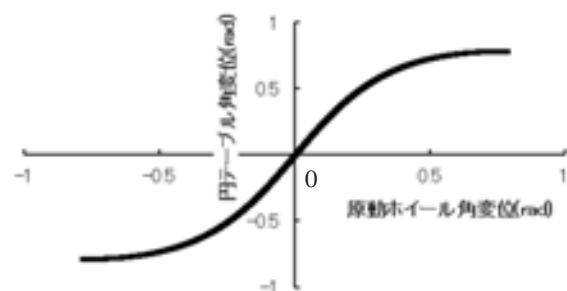


図 16 原動ホイール角変位と円テーブル角変位の関係

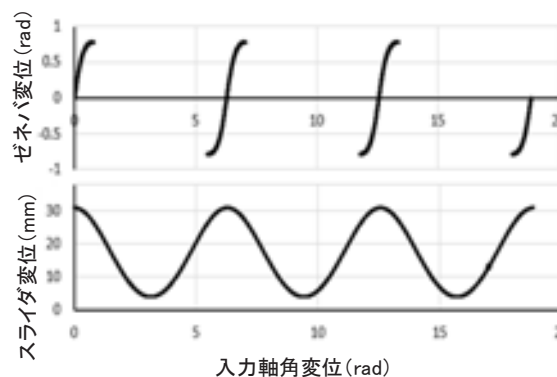


図 17 ゼネバ機構とスライダクランク機構のタイミングチャート

り組む考えである。

【参考文献】

- 1) ゼネバ機構-くのへスタジオ、<https://kunohe.tech/electriccraft/1393/> 2023 年 3 月確認
- 2) クランクにまつわるはなし/アトム CS タワー、<https://www.atomlt.com/cstower/atomnews/sumai/p3237/> 2023 年 3 月確認

総合制作実習の進行に係る取り組み

— 学生が主体的に行動するための一考 —

下畑 守央*1

Efforts to How to Proceed with Graduation Products - A Consideration for Students to Act Proactively -

SHIMOHATA Morio*1

要約 近年、学生は受動的な取り組み姿勢の傾向が高く、教員への依存度が大きくなっている。学生が自ら目的、目標をもって製作物の企画提案を行い、教員からの指示がなくても主体的に総合制作実習に取り組めるようになるために、総合制作実習にて実施した取り組み事例とその際の製作物概要について報告する。

1. はじめに

専門課程では、専門分野に関する知識、技術、技能を 2 年間かけて習得し、総合制作実習にてこれら習得した知識、技術、技能を活用し、一つの製作物を約 1 年間かけて企画・設計、製作していく。しかし、近年の総合制作実習において、学生自ら企画提案することができず、教員からテーマが与えられ、教員から作業指示をもらい、教員の指示通りの作業を行って製作物を完成させることが少なくない。総合制作実習に限らないことだが、創造力が乏しく、自発性、主体性が低く、自ら問題を設定し、考え、調べ、解決へと導くことが苦手な「生徒化」した学生¹⁾が多くなったといえる。その結果、総合制作実習への取り組みも受動的になり、教員からの指示がなければ作業が進まず、単に課題製作物を作る実習になってしまう。そこで、学生自ら課題、目的・目標を設定し、完成に向かって主体性に行動を起こし、持続的に総合制作実習に取り組めるよう、いくつかの取り組みを行った。

本稿は、その取り組み事例と、その際の製作物である令和 3 年度総合制作実習課題「校内における感染予防対策システム」(以下、本製作物)の概要について合わせて報告する。

2. 総合制作実習の取り組み

2.1 総合制作実習のテーマ決め(動機付け)

まず初めに研究室に配属された学生に対し、総合制作実習のテーマを決めるため話し合いを行わせた。テーマ決めをするにあたって、以下の 3 点を考慮してもらった。

- ①これまで本校電子情報技術科(以下、本科)の授業・実習で学んだ『電子技術』、『情報技術』、『通信ネットワーク』を含む製作物にすること
- ②これまで授業・実習で学んでいない要素を 1 つ以上含む製作物にすること
- ③まだ世の中には出回っていない、あれば便利な製作物にすること

しかし、当初なかなか学生からテーマ案は出てこなかった。近年の若者は自分の興味がある情報のみ

*1 東北職業能力開発大学校青森校 電子情報技術科
Tohoku Polytechnic College, Aomori
Department of Electronic Information Technology

を SNS 等インターネットから取得しているため情報に偏りがあり、他の物事への関心が小さいためあまり不便を感じていない傾向にあると感じた。また、研究室に配属されたばかりで、授業とは異なった慣れない環境・形式で、普段あまり話したことのない研究室の教員、学生との話し合いは緊張もあると考えた。そこで、堅苦しい会議形式はやめ、茶会形式にして雑談をしつつ学生自身が身近なところで不便を感じていることはないか話をした。学生が研究室の仲間と気楽になんでも話せる環境にし、話題の範囲を身の回りのことに限定することにより少しずつ意見が出てくるようになった。

その話し合いの中から挙げた一つが、健康観察表であった。当校において、新型コロナウイルス感染症対策の一環として健康観察表を配布し、日々の体温、健康状態を記録させ、定期的に提出をさせている。学生は日々の検温、記録を失念してしまったり、面倒で怠ったりしてしまいがちである。また、健康記録表を提出しなかったり、提出するために記録をでっち上げたりして、健康観察表による健康状態把握は信頼性が高いとは言い難い。DX や SDGs 等、環境保護、コスト削減、効率化が謳われているこの世の中で、健康観察表は紙媒体であり、印刷数は少ないとは言い難く、なにより、教職員はリアルタイムに学生の健康状態を把握できていない。これらのことから、健康観察表をペーパーレス化できないものかという意見が学生から挙げた。そこで、これらの問題を解決できる本製作物をテーマにすることとなった。

学生自らが考え、意見を出し合い、気づき、テーマ決めをすることで、総合制作実習の動機付けとなり、意欲と責任感に繋がる。学生の想像力、思考力に合わせ、教員は助言を与えることは必要である。

2.2 出来上がり像の確立(概要説明書)

テーマが決まっても学生はまだ具体的な製作物完成イメージが固まっていない。漠然としたイメージがあるものの、そのイメージしているものを伝えることが苦手な学生もいる。漠然としたイメージを明確にするために、学生には概要説明書の作成をさせた。概要説明書は「製作物名」、「目的・設定背景」、

「機能・特徴」、「概要説明・概略図」のみの項目をまずは思いのままに手書きで自由に記述してもらおう。とたく、パソコンで企画書を作成させると作図等に時間がかかり、インターネット情報をそのまま転記し、深い考えなしに作成してしまいがちである。手書きで自由記述にすることにより、学生は少しずつ自分の考えを自分の手でしたため、学生同士でブレインストーミングを実施し、内容を追記しビルドアップしていくことで、より完成イメージを深めていくことができる。図1は学生が書いた概要説明書である。はじめは単に健康観察表のペーパーレス化だけが目的であったが、話し合いするに従い、出席も管理できるようにしてはどうか、操作する前にアルコール消毒もできたらいいのでは、等の意見が出て、本製作物の概略を作り上げていった。

自らテーマをイメージし書き起こすことにより、目的、機能、外観等完成イメージがより明確になり、この後の設計にも自主的に取り組める。

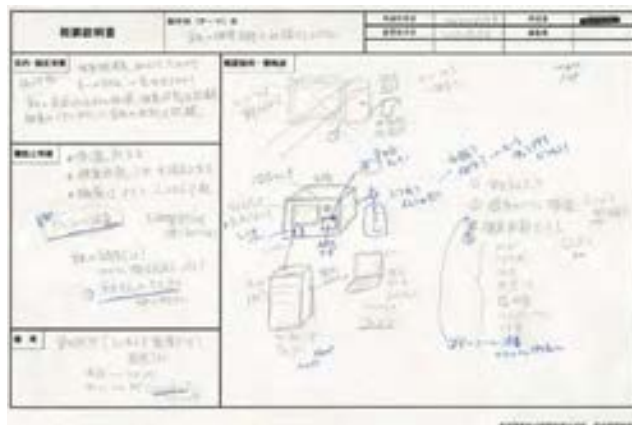


図1 概要説明書

2.3 技術要素の洗出し(習得技術の棚卸し)

概要説明書作成時に学生の考えた本製作物の動作シナリオは以下の通りである。

- ① 学生は通学した際に端末にて a~d を実施
 - a. 学生識別 (学生証)
 - b. 検温
 - c. アルコール消毒
 - d. 健康状態回答
- ② 体温、健康状態情報はサーバに蓄積
- ③ 職員は端末から健康状態閲覧が可能

このシナリオを達成するために、フィジビリティスタディも含めそれぞれに必要な技術要素の洗出しを行わせた。その際、これまで学んでき

た知識、技術とその授業名を列挙させ、活用できる内容について話し合いを行った。

本製作では、『電子技術』要素として、センサ、モータの利用、非接触スイッチ設計・製作、および、各種基板設計・製作等が必要であり、『情報技術』要素として、ICタグ読み取り、センサデータ取得、Python 言語を用いた制御アプリケーション開発、DB、Web 等サーバ構築等が必要だと挙げた。また、『通信ネットワーク』および『これまで学んでいない要素』としては、本科令和3年度総合制作実習の共通技術テーマとして『MQTT 活用』があり、本科カリキュラムに Web アプリケーション開発の項目がないため、PHP を導入して MQTT を利用した DB 連携 Web アプリケーション製作をすることとした。

これまで学んできたことの棚卸しをすることで、技術要素の洗出しが行え、何をえば実現可能か、何が不足している知識・技術なのか、それらは限りある時間の中で習得することができるのかを判断させることができる。

2.4 知識・技術の共有(研究室内勉強会)

PHP 等の授業で学んでいない技術要素であったり、データベース正規化や仮想表等不足していたり記憶から抜けていたりする知識・技術については他のテーマでも必要であったため、学生に講師担当を割り当て、研究室内勉強会(図2)を実施した。ある程度の資料や参考図書は用意し、学生は事前調査、自学をし、勉強会にて他の学生に対し講義を実施する。これにより、学生自ら考え、調べ、伝えることを経験し、学生自身の理解度向上、自信にも繋がる。また、質問しやすい環境が構築され、研究室内でのコミュニケーションにも繋がる。



図2 研究室内勉強会の様子

2.5 報連相の徹底(日報・週報)

総合制作実習を進める上で、学生には日報と週報を必須とした。日報はその日に行った作業内容を簡潔に、週報にはその週の成果と問題点、次週のやるべきこと、解決すべき課題を纏めさせ、翌週最初に各自に発表させ、進捗状況確認と学生がその週に達成しなければいけないことについて話し合った。常に小さな目標を意識づけることにより、やるべきことが明確になり、学生のモチベーション維持につながる。また、日報・週報は最後の卒業論文の種になること等も含め、日報・週報の必要性を学生に伝えることにより、継続して取り組めるようになる。

また、筆者は出張等で学生の対応ができない期間があったため、学生の同意を得た上で、チームコミュニケーションツール Slack を活用し、日報、週報をアップさせた。チームコミュニケーションツールを使用することにより、学生の進捗状況をリアルタイムで把握することが可能であり、学生が解決できずに進められない状況であったとしても遅滞なく助言や提言をすることができ、学生も無駄に時間を費やさず自主的に作業を続けることができる。

3. 製作物の概要

以上の取り組みを行い、本製作物の設計、製作に取り掛かり、本製作物を完成させた。学生の卒業論文を一部抜粋し、本製作物概要を説明する。

3.1 設計・製作

3.1.1 システム構成

本製作物は、教室入口付近に設置する感染予防端末(以下、端末)とサーバで構成される。図3にシステム概要図を示す。端末にはシングルボードコンピュータを使用し、NFCリーダ、非接触温度センサ、モータ等の制御を行い、検温、および、アンケ

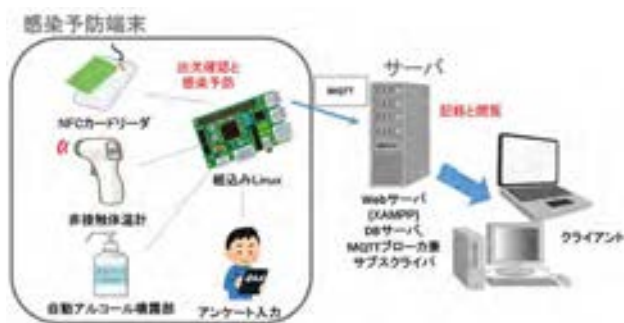


図3 システム概要図

マイクロコンピュータ工学向け新規教材開発

細井 遼太郎*1

Development of New Teaching Materials for Microcomputer Engineering

HOSOI Ryotaro*1

要約 マイクロコンピュータ (マイコン) を用いた機器制御は、電子情報技術科の中核に位置するカリキュラムである。中でも主要な項目であるプログラム開発で 사용되는ツールは、日々進化しており、開発の生産性を高めている反面、ブラックボックス化も進んでおり、訓練を行う上での扱いづらさがあった。本稿では、利便性の高いツールを扱いながらも、マイコンに対する理解を深められる新規教材の開発について紹介する。

1. はじめに

マイクロコンピュータ (マイコン) は、小型のコンピュータであり、主として機器に組み込むことで機器内の各種装置を制御する目的で利用される。現在では、家電や車等、様々なモノにマイコンが組み込まれており、マイコン自体が高機能化することで、IoT (Internet of Things:モノのインターネット) を実現するなど、これからのものづくりの中核を担う技術要素の一つとなっている。

電子情報技術科では、主要なカリキュラムの一つとして、マイコン向けプログラム開発による機器制御を行っている。開発を容易にするツールである開発環境は日々進化しており、従来はマイコンのデータシートを読み込まなければ行えなかった動作設定を、クリック操作だけで簡単に行える機能等、生産性を向上させる機能が多数実装されてきている。2021 年度に IPA により行われた調査¹⁾では、組み込み/IoT 関連メーカーの 8 割超の企業が組み込み/IoT 技術者の人材不足の問題を抱えているという結果が

出ており、生産性向上に資する新機能の重要性は今後増していくと考えられるが、扱っている書籍は選択肢が少なく、訓練内容に対し過不足ないテキストが無いのが現状である。そこで、今年度、「マイクロコンピュータ工学」向け新規テキストを開発したため、本稿で紹介する。

2. 機器、ソフトウェア構成

秋田校でこれまで使用してきたマイコンは microchip 社製の PIC 及び Renesas 社製の H8 であったが、特に H8 は生産が打ち切られており、後継品への移行の時期となっている。テキストは後継品である RL78 向けのものとして制作し、開発環境は CS+を使用することとした。CS+ではマイコン動作の各種設定に関するコード生成機能が充実しているため、以降はこの機能を中心に話を進める。

3. コード生成機能

コード生成機能は、プログラマが記述すべきソースコードを、何らかの設定作業を通じて自動的に生成する機能である。

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

例として、入出力の設定の違いを図1から図2に示す。従来は、「入出力設定用のレジスタ(記憶領域)の名称をデータシートから探して設定方法を確認し、コードを作成して入出力を設定する」という手順が必要なところを、「画面上で入力もしくは出力にチェックを入れ、コード生成ボタンを押す」という操作だけで設定が完結する。

PMmn	Pmn端子の入出力モードの選択
0	出力モード
1	入力モード

図1 従来の手法での入出力モード設定



図2 コード生成機能によるモード設定

コード生成機能は、単にコードを記述する手間を削減するだけでなく、コードの内容がブラックボックス化され、意識する必要がないという特徴がある。これにはメリットとデメリットの両面が存在する。

メリットとしては、初学者でもすぐに動くものが作れるという点があげられる。マイコン制御の面白さをダイレクトに感じるのは自分の作ったプログラムが目前で動いた瞬間であるが、動かすまでの過程が長く、マイコンは難しい、という印象を与えがちである。その点、中身がわからなくてもとりあえず動かせるというのはモチベーションの維持には有効である。また、設定に関わるコードと動作に関わるコードが分離されるため、動作不良時に注目すべきコードがわかりやすく、修正が行いやすいというメリットも得られる。

デメリットとしては、マイコンの内部の仕組みを理解するには至らないため、コード生成機能なしでは開発できない、コードによる設定変更を活用したプログラムが作れない等、理解面での不足が残ってしまうことがあげられる。仕事では、指定された環境下での開発も多いため、この点は解消する必要がある。

4. テキストの構成

今回制作したテキストは、各訓練項目に対して図3から図5に示す構成を基本としている。



図3 作成するプログラム動作の概要

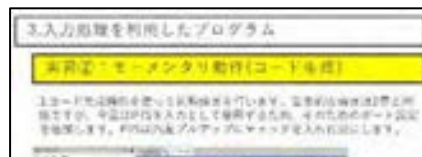


図4 コード生成機能を用いたプログラム開発

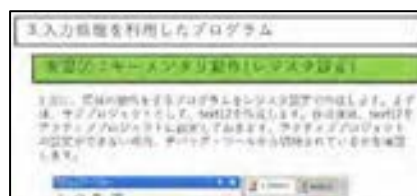


図5 従来のレジスタ設定によるプログラム開発

このような構成とすることで、マイコンの各種機能に対し、コード生成機能を使った設定の仕方を理解しつつ、機能と実際のコードを結びつけることができ、完全なブラックボックス化を防いでいる。

テキストの最後には、本格的なマイコン開発で利用されるリアルタイムOSを用いてのプログラム開発の手法も紹介しており、このテキストでマイコン開発の全体像が見えるような作りとしている。

5. おわりに

今回のテキストの制作期間は、企画、機器選定含め約半年、150ページほどのテキストが完成した。今後は長期の利用に耐え、学生のレベルアップに資するテキストとなるよう、訓練で使用する中でブラッシュアップしていきたいと考える。

【参考文献】

- 1) 情報処理推進機構：「組込み/IoT に関する動向調査」
調査結果 p260

<https://www.ipa.go.jp/files/000098351.pdf>

やさしい標本化定理

— 一般化標本化定理の紹介 —

川又 政征^{*1}

A Simple and Easy Sampling Theorem - Introduction to the Generalized Sampling Theory -

KAWAMATA Masayuki^{*1}

要約 通信工学や信号処理において重要な定理である「標本化定理」はフーリエ変換、三角関数、複素指数関数などの数学的な準備が必要なために難しい印象があり、重要ではあるが敬遠されがちである。本解説では、高校生の数学レベルで理解できる標本化定理として「一般化標本化定理」を紹介する。この定理を基礎として最も有名な標本化定理である「シャノンの標本化定理」が容易に導かれることを示し、多くの学習者に標本定理に親しんでもらうことを目的とする。

1. はじめに

私たちの身の回りには、様々な情報があふれている。この情報は音、声、画像、映像、電圧、電流、電磁波などの信号によって表現され、送受信され、保存される。ここで「信号」とは時間的に変化する量であり、数学的には関数 $x(t)$ (ここで t は時間) あるいは数列 $x(n)$ (ここで n は時間に相当するインデックス) のように表される。本解説では前者の $x(t)$ のような関数をアナログ信号と呼び、後者の数列 $x(n)$ をデジタル信号と呼ぶ。

現代では TV、PC、携帯電話、オーディオなどでは、デジタルシステムあるいはデジタル計算機により信号 (音、声、画像、映像など) を取り扱うことがほとんどであるが、その元の信号はアナログ信号である。アナログ信号をデジタルシステムで扱うためにはアナログ信号をデジタル信号に変

換して、その後さらに 2 進数で表しておく必要がある。アナログ信号をデジタル信号に変換する操作を標本化と言い、デジタル信号をアナログ信号に戻す操作を復元と言う。標本化と復元は一对の操作であり、アナログ信号の世界とデジタル信号の世界をつなぐ重要な操作となっている。^{1)①}

標本化定理は標本化と復元の方法を教えてくれる数学的な定理である。標本化はどのように行えばよいのか、復元するためにはどのような方法をとればよいのかなどの疑問に標本化定理は答えてくれる。

これまでに数えきれない数の標本化定理が提案されている。その中で最も有名で重要な定理はシャノン^{*2}の名前を冠する標本化定理である。^{1),2)} 標本化定理の理解のためには多くの場合、積分、フーリ

^{*1} 東北職業能力開発大学校
Tohoku Polytechnic College

^{*2} クロード・シャノン(Claude Shannon, 1916-2001)は米国の電気工学者、情報科学者、数学者。

エ変換、三角関数、複素指数関数などの数学的準備が必要である。このため敬遠されがちとなり、標本化定理の原理を理解せずに結果だけを使おうとする傾向がある。

そこで本解説では標本化と復元の方法、それらの間の関係を単純明快に説明する「一般化標本化定理」⁶⁾を紹介する。また一般化標本化定理からシャノンの標本化定理が容易に導けることを示す。

一般化標本化定理は難しい数学的な知識を必要とせず、簡単な数式により標本化と復元の方法を教えてくれる定理であるため通信工学や信号処理において重要な標本化定理の原理の理解のための入門として最もよいものであると著者は考えている。

2. 準備事項

2.1 標本化

一定の時間間隔 T でアナログ信号 $x(t)$ の値を周期的に得て、以下のようなデジタル信号を作り出す操作を標本化という。

$$\dots, x(-2T), x(-T), x(0), x(T), x(2T), \dots \quad \dots\dots(1)$$

得られたデジタル信号 $x(nT)$ をアナログ信号 $x(t)$ の標本値という。

例 1 : 以下のような信号 $x(t)$ を考える。

$$x(t) = \begin{cases} \sin\left(\frac{2\pi}{8}t\right), & 0 \leq t < 8 \\ 0, & \text{その他} \end{cases} \quad \dots\dots\dots(2)$$

標本化周期 $T = 1$ の場合の信号 $x(t)$ とその標本値 $x(nT)$ をそれぞれ図 1(a)と(b)に示す。

2.2 復元

標本値 $x(nT)$ から元のアナログ信号 $x(t)$ を得ようとする操作を復元と言う。復元は、補間、内挿とも呼ばれる。このときうまく行けば元のアナログ信号が完全に復元できる場合もあるが、近似的に復元できる場合もある。

標本値からの復元方法は、直感的には難しいことではない。標本値のグラフの点を区間 T で時間軸方向に伸ばすことが分かりやすい復元手法の一つであり、0次ホールドと呼ばれる。ほんの少しだけ数学的に手の込んだ手法として隣同士の標本値の点の間を直線定規で結んでもよく、これは1次ホールドあるいは直線補間と呼ばれる方法である。さらに

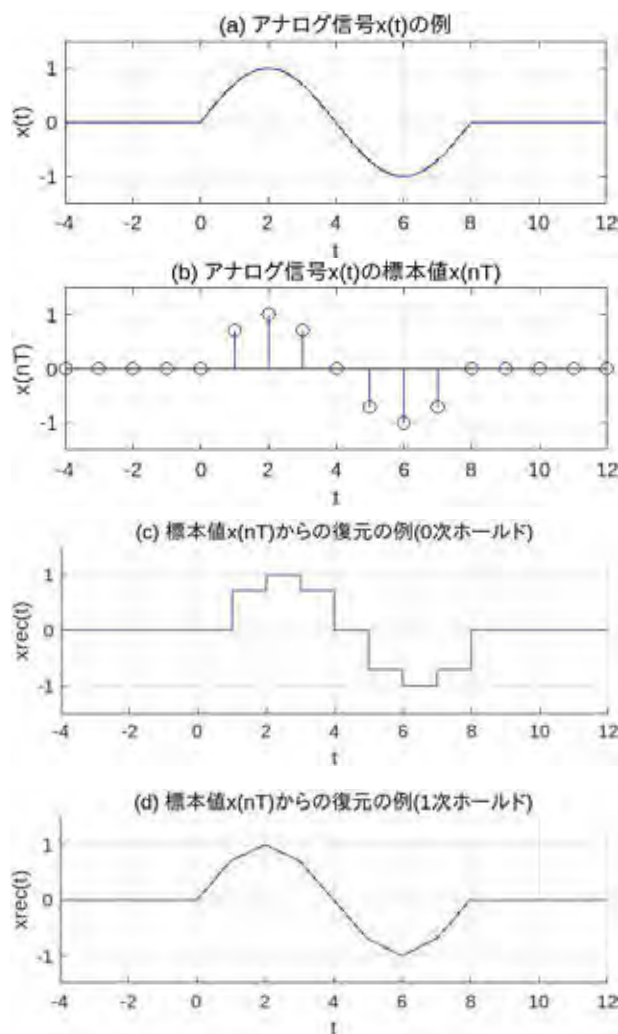


図1 アナログ信号の標本化と復元の例

少し手の込んだ復元方法として2次関数、3次関数、スプライン関数などを用いることで標本値から元のアナログ信号 $x(t)$ により近い復元信号を得ることができる。

一般的に言えば完全に復元できることが望まれることは言うまでもない。応用によってはある程度の復元の誤差が許容され、また実際には完全に復元できることはまれである。

例 2 : 図 1 (b)の標本値から0次ホールドと1次ホールド(直線補間)により復元された信号をそれぞれ図 1(c)および(d)に示す。

2.3 ナイキスト関数

一般化標本化定理に進むためにまずナイキスト^{*3}関数を理解することが必要である。この関数は数学でよく用いられる多項式、三角関数や指数関数などに比べればとても理解が容易である。

ナイキスト関数 $\varphi(t)$ は図 2(a)の点を必ずとおリ、その他のところでは任意の値をとってよい関数である。ナイキスト関数は数式で表せば以下のように定義される。

$$\varphi(t) = \begin{cases} 1, & t = 0 \\ 0, & t = nT, \text{ 整数 } n \neq 0 \dots\dots (3) \\ \text{任意}, & \text{その他のとき} \end{cases}$$

ここで T は時間定数である。

通信工学では $t = 0$ を除いて等間隔で零交差する条件はナイキスト第 1 基準として知られており、効率的なデジタル通信のために信号が満たすべき重要な条件として知られている。⁷⁾そこで本解説ではナイキスト第 1 基準を満たし、等間隔零交差周期が T であるような関数をナイキスト(T)形関数と呼ぶ。

例 3: ナイキスト関数は図 2(a)のような点を通る関数であるので無数にある。次にナイキスト(T)形関数の簡単な例を挙げる。

(a) 三角形状の関数

図 2(a)の点の隣同士の点を直線でつないだ関数(図 2(b))はナイキスト(T)形関数の一つであり、次のような式で表される。

$$f(t) = \begin{cases} 1 - |t|, & |t| \leq T \\ 0, & \text{その他} \end{cases} \dots\dots (4)$$

(b) 半波コサイン関数

区間 $|t| \leq T$ で半波コサイン状になる次の関数もナイキスト(T)形関数の一つである。

$$g(t) = \begin{cases} \cos\left(\frac{\pi}{2T}t\right), & |t| \leq T \\ 0, & \text{その他} \end{cases} \dots\dots (5)$$

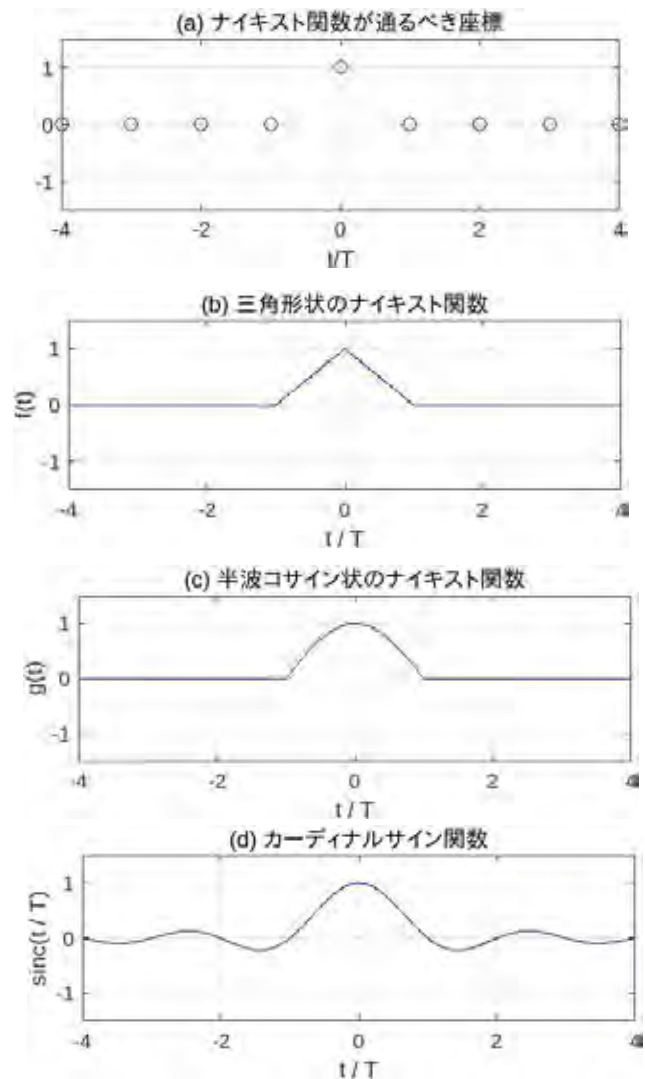


図2 ナイキスト関数の例

(c) カーディナルサイン関数(sinc 関数)

先に例としてあげた三角形状の関数と半波コサイン関数はナイキスト(T)形関数として分かりやすい例であるが、少し不自然な関数である。より自然で滑らかなナイキスト関数としてカーディナルサイン関数(sinc 関数ともよばれる)がある。カーディナルサイン関数は関数名 sinc として以下のように定義される。

$$\text{sinc}(t) = \frac{\sin(\pi t)}{\pi t} \dots\dots (6)$$

^{*3} ハリー・ナイキスト(Harry Nyquist, 1889-1976)は米国の通信・情報・制御工学者。

sinc 関数は以下の性質を満たすことから、周期 1 のナイキスト(T)形関数であることがわかる。

$$\begin{cases} \text{sinc}(0) = 1 \\ \text{sinc}(n) = 0, & \text{整数 } n \neq 0 \end{cases} \dots\dots\dots(7)$$

sinc(t)の変数 t を t/T で置き換えて時間変数のスケールリングをすれば以下のようなナイキスト(T)形関数が得られる。

$$\text{sinc}(t/T) = \frac{\sin(\pi t/T)}{\pi t/T} \dots\dots\dots(8)$$

図 2(d)に sinc(t/T)の形状を示す。これは縦軸に関して対称性があり、 $-\infty$ から $+\infty$ にわたって滑らかに増減しながら振動していて自然に変化する関数である。カーディナルサイン関数は通信工学、信号処理、制御理論などにおいてしばしば用いられる重要な関数である。

3. 一般化標本化定理

多くの標本化定理は数学的に複雑そうに見えるため、敬遠されがちである。ここでは標本化と復元の数学的な本質を簡潔に説明している一般化標本化定理^{*4}を紹介する。本節では文献 6)の II. Nonbandlimited Signals の内容を本解説の趣旨に沿うように修正し、図版や例題等を加筆したものである。

3.1 信号生成・標本化・復元モデル

以下に説明する信号生成、標本化、復元のモデル全体を付図 A に示す。

3.1.1 信号生成モデル

標本化の対象となるアナログ信号 $x(t)$ はナイキスト(T)形関数 $\varphi(t)$ と系列 $c(kT)$ (k は整数)を用いて以下のように生成されるものとする。

$$x(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} c(kT) \varphi(t - kT) \dots\dots\dots(9)$$

ここでナイキスト(T)形関数 $\varphi(t)$ は既知であるとする。一方、系列 $c(kT)$ は未知であるが、次の $x(t)$ の標本化によりその値を得るものとする。

(9)式右辺は、信号処理や通信工学において、た

たみこみとして知られている重要な式である。そこで、本解説では、(9)式は、単位インパルス応答 $\varphi(t)$ を持つアナログフィルタに系列 $c(kT)$ を入力し、その出力として信号 $x(t)$ が生成されていると考えることができる。

(9)式の具体的な動作と意味を考えよう。例として

$$T = 1$$

$$c(-1) = -0.5, c(0) = 1, c(1) = 0.5$$

$$(\text{その他の } c(kT) \text{ はすべて } 0) \dots\dots\dots(10)$$

の場合を考える。このとき(10)式は以下のようになる。

$$x(t) = -0.5\varphi(t + 1) + 1\varphi(t) + 0.5\varphi(t - 1) \dots\dots(11)$$

ここで $\varphi(t + 1), \varphi(t), \varphi(t - 1)$ はナイキスト(1)形関数 $\varphi(t)$ を t 軸上でそれぞれ $-1, 0, 1$ だけ右にシフトした関数である。これらの三つの関数にそれぞれ係数をかけた関数が $-0.5\varphi(t + 1), 1\varphi(t), 0.5\varphi(t - 1)$ である。最後にこれらの三つの関数を足し合わせた関数として信号 $x(t) = -0.5\varphi(t + 1) + 1\varphi(t) + 0.5\varphi(t - 1)$ が生成される。

3.1.2 標本化

アナログ信号 $x(t)$ を周期 T で標本化すると ($t = nT, n$ は整数 を(9)式に代入すると) と標本値は以下のように得られる。

$$\begin{aligned} x(nT) &= x(t)|_{t=nT} \\ &= \sum_{k=-\infty}^{\infty} c(kT) \varphi(nT - kT) \dots\dots\dots(11) \end{aligned}$$

ここで $\varphi(t)$ がナイキスト(T)形関数であることを考慮すると、上式は以下のように簡単になる。

$$x(nT) = c(nT) \dots\dots\dots(12)$$

上式の標本化により、信号生成モデルにおいて未知であった係数 $c(kT)$ が標本値として得られることになる。これを可能とするのは $\varphi(t)$ がナイキスト

^{*4} シャノンの標本化定理から派生した様々な定理に「一般化標本化定理」という名称が使われている。ここで言う「一般化標本化定理」は文献 6)の定理を指す。

(T) 形関数であること、すなわちナイキスト第1基準を満たすことによる。

3.1.3 復元

標本化により標本値 $x(nT)$ が得られたので、この標本値を用いて以下の式により復元信号 $x_{rect}(t)$ を得ることを考える。

$$x_{rect}(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(nT) s(t - nT) \dots\dots\dots (13)$$

ここで標本値は $x(nT) = c(nT)$ であること、および(13)と(9)式の比較から $s(t) = \varphi(t)$ とすると、自明なことではあるが標本値 $x(nT)$ から得られる復元信号 $x_{rect}(t)$ は元のアナログ信号 $x(t)$ に完全に等しくなる。

$$\begin{aligned} x_{rect}(t) &= \sum_{n=-\infty}^{\infty} c(nT) \varphi(t - nT) \\ &= x(t) \dots\dots\dots (14) \end{aligned}$$

3.2 信号の生成、標本化、復元の例

以上の信号生成、標本化、復元のモデルを計算例を用いて確認する。以下の計算例では標本化周期および信号生成のための系列として(10)式の値を採用する。

3.2.1 三角形形状のナイキスト関数を用いた場合

図3(a)に生成された信号 $x(t)$ を示す。図3(b)に、標本値 $x(nT)$ を示す。図3(c)に復元された信号を示す。図3(c)から標本値 $x(kT)$ と三角形形状のナイキスト関数 $f(t)$ から元の信号 $x(t)$ が完全に復元されていることがわかる。

3.2.2 半波コサイン状のナイキスト関数を用いた場合

図4(a)に、生成された信号 $x(t)$ を示す。図4(b)に、標本値 $x(kT)$ を示す。図4(c)に、復元された信号を示す。図4(c)から標本値 $x(kT)$ と半波コサイン状のナイキスト関数 $g(t)$ から元の信号 $x(t)$ が完全に復元されていることがわかる。

以上の例によりきわめて簡単なナイキスト関数から生成されたアナログ信号の標本値から元の信号が完全に復元されることを確認できた。

3.3 一般化標本化定理のまとめ

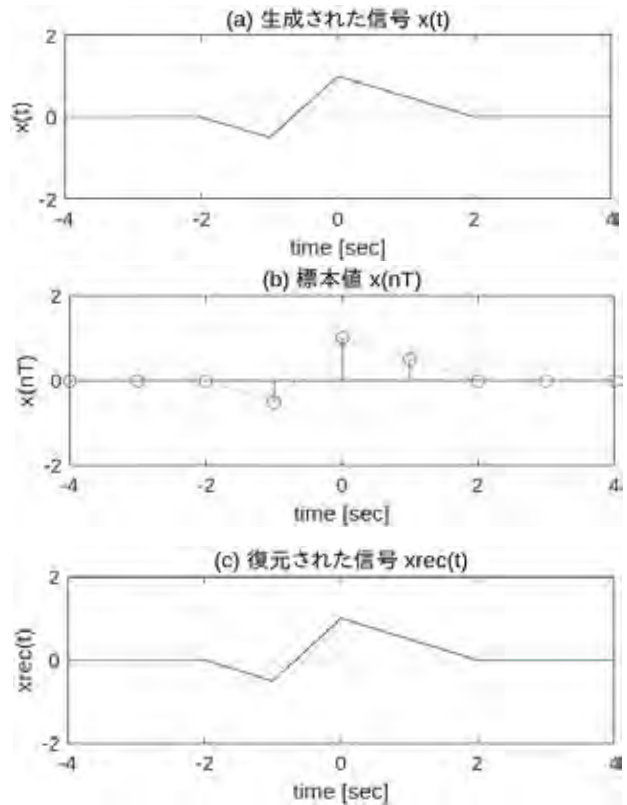


図3 三角形形状のナイキスト関数を用いた信号の生成、標本化、復元

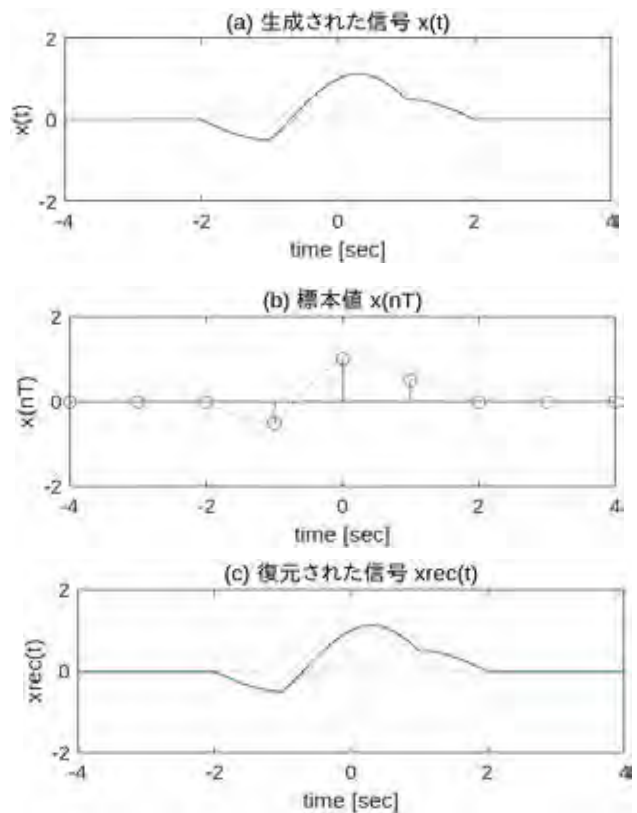


図4 半波コサイン関数を用いた信号の生成、標本化、復元

以上の議論を定理風にまとめれば以下のようになる。

一般化標本化定理:

信号 $x(t)$ は、既知のナイキスト(T)形関数 $\varphi(t)$ を単位インパルス応答とする信号生成モデルから生成されたものであるならば、周期 T の標本値 $x(nT)$ から原信号 $x(t)$ を完全に復元できる。

すなわち

$$x(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x(nT) \varphi(t - nT) \cdots (15)$$

以上の一般化標本化定理および信号生成モデルと復元について以下のことが注目に値する。

- 一般化標本化定理は周波数領域（フーリエ変換の領域）を経ることなく時間領域において信号生成、標本化、復元をきわめて簡潔に説明している。
- 一般化標本化定理では信号 $x(t)$ の帯域制限は仮定されていない。その代わりに単位インパルス応答 $\varphi(t)$ がナイキスト(T)形関数であり、かつ既知であるとの条件が仮定されている。

4. 一般化標本化定理からシャノンの標本化定理へ

一般化標本化定理は特別なものではなく、普遍性が極めて高く、シャノンの標本化定理も含む。ここでは数学的に少し強引になるかもしれないが、一般化標本化定理の特別な場合としてシャノンの標本化定理を導出してみよう。

4.1 一般化標本化定理の条件の修正

一般化標本化定理において用いられている「既知のナイキスト(T)形関数 $\varphi(t)$ 」という一般的な表現を特別な場合としてのカーディナルサイン関数 $\text{sinc}(2f_{max}t)$ に置き換えることを考える。ここで f_{max} は定数であり、この意味は後に説明する。 $\text{sinc}(2f_{max}t)$ をナイキスト(T)形関数とみなすためには $T = 1/(2f_{max})$ でなければならない。これらの

ことを考慮すると、一般化標本化定理は以下のように書き換えられる。

ナイキスト (T) 形関数として $\text{sinc}(2f_{max}t)$ を用いた場合の標本化定理:

信号 $x(t)$ は、 $\text{sinc}(2f_{max}t)$ を単位インパルス応答とする信号生成モデルから生成されたものであるならば、周期 $T = 1/(2f_{max})$ の標本値 $x(nT)$ から原信号 $x(t)$ を完全に復元することができる。

すなわち

$$x(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x(kT) \text{sinc}(2f_{max}(t - kT)) \cdots (16)$$

上記の標本化定理において、「信号 $x(t)$ が、 $\text{sinc}(2f_{max}t)$ を単位インパルス応答とする信号生成モデルから生成されたものである」の部分が長くして少し分かりにくい。この部分をもう少し理解しやすい表現に変えることを考える。信号処理や通信工学の分野では、 $\text{sinc}(2f_{max}t)$ を単位インパルス応答とするシステムは、帯域幅 f_{max} の理想低域通過フィルタであることが知られている。このフィルタに系列 $x(kT)$ が入力として入り、その出力が $x(t)$ であるから、 $x(t)$ もまた帯域幅 f_{max} に帯域制限されていることになる。そこで「信号 $x(t)$ が、 $\text{sinc}(2f_{max}t)$ を単位インパルス応答とする信号生成モデルから生成されたものである」を「信号 $x(t)$ が f_{max} に帯域制限されている」と短く置き換えることにする。この置き換えを行うと、「ナイキスト (T) 形関数として $\text{sinc}(2f_{max}t)$ を用いた場合の標本化定理」は次のように表現され、これがシャノンの標本化定理に相当する。

シャノンの標本化定理:

信号 $x(t)$ が f_{max} に帯域制限されているならば、周期 $T = 1/(2f_{max})$ の標本値 $x(nT)$ から原信号 $x(t)$ を完全に復元することができる。

すなわち

$$x(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x(kT) \text{sinc}(2f_{max}(t - kT)) \cdots (16)$$

以上のようにして一般化標本化定理において「既知のナイキスト(T)形関数 $\varphi(t)$ 」の特別な場合として $\text{sinc}(2f_{\max}t)$ を用いることにより、シャノンの標本化定理が導出された。

シャノンの標本化定理の考え方を付図 B に示す。付図 B では、付図 A における信号生成部分

$$x(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(nT) \varphi(t - kt) \cdots \cdots (17)$$

をおおいかくし、これに代わり「信号 $x(t)$ は f_{\max} で帯域制限されている」との分かりやすい仮定を入れたものである。

このように時間領域で記述されていて単純明快な一般化標本化定理を通してシャノンの標本化定理を導出する意外に分かりやすいのではないか。この導出のためにはフーリエ変換に基づく帯域制限やフーリエ変換による証明、周波数領域での考え方は不要である。

4.2 カーディナルサイン関数を用いた場合の信号の生成、標本化、復元の例

3.2.1 および 3.2.2 と同様に(10)式の標本化周期 T と系列 $c(kT)$ の場合を考える。ここでは、ナイキスト(T)形関数として $\text{sinc}(2f_{\max}t)$ を用いるため、 $T = 1/(2f_{\max})$ 、すなわち $f_{\max} = 1/(2T)$ である。

図 5(a)に標本化対象信号 $x(t)$ を示す。

$\text{sinc}(2f_{\max}t)$ が滑らかな自然な関数であるために、この対象信号 $x(t)$ も滑らかに変化する。図 5(b)に標本値を示す。図 5(c)は標本値から完全に復元された信号であり、当然、図 5(a)に一致する。

5. おわりに

本解説では一般化標本化定理を紹介し、この特別な場合としてシャノンの標本化定理が得られることを説明した。一般化標本化定理が数学的にも極めて単純となっている理由はナイキスト関数を用いていることにある。通信工学や信号処理の初めに段階においてナイキスト関数を通じて一般化標本化定理を理解し、その後にシャノンの標本化定理を学習することで、初学者の苦手意識が少なくなるのではないかと本著者は考えている。

また一般化標本化定理の中のナイキスト関数を様々な形に変形することで、その他の標本化定理、

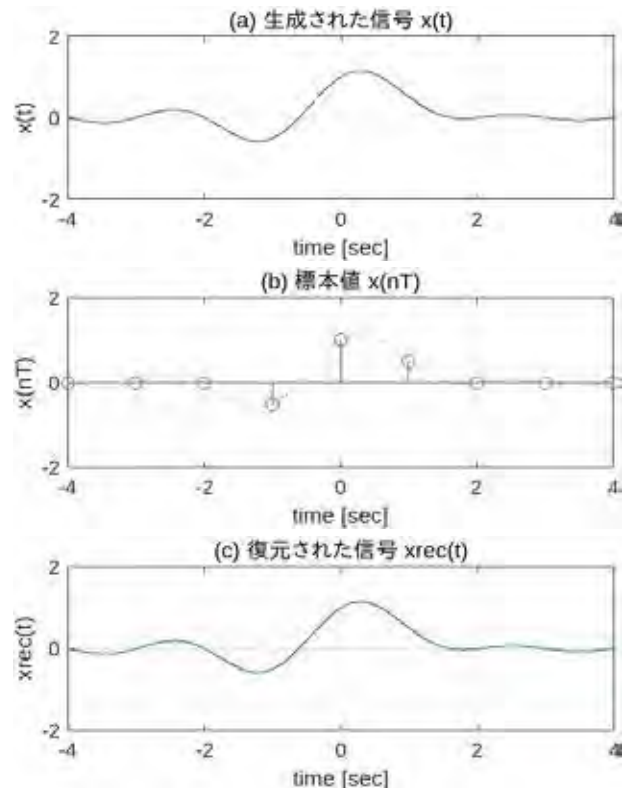
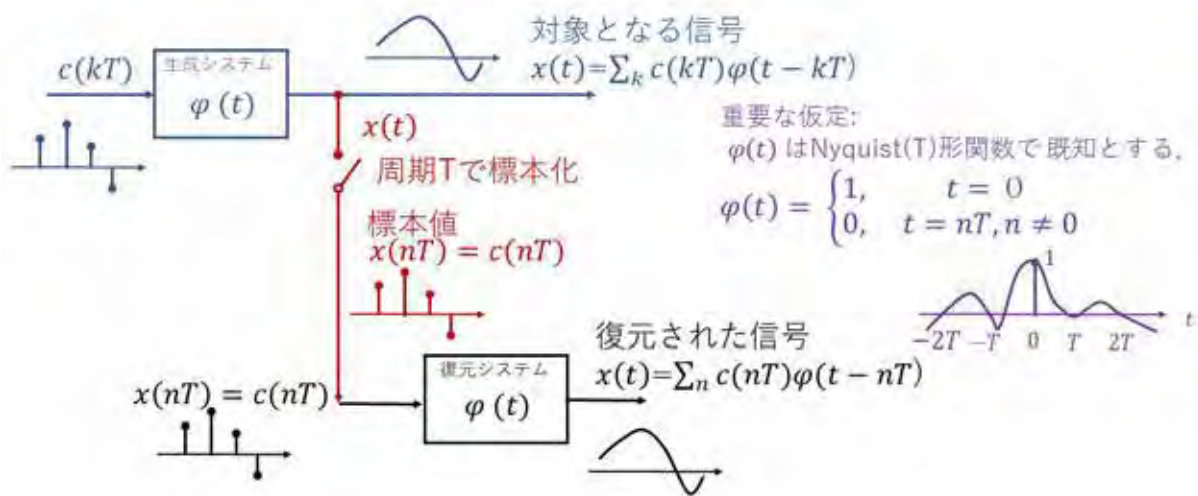


図 5 カーディナルサイン関数を用いた信号の生成、標本化、復元

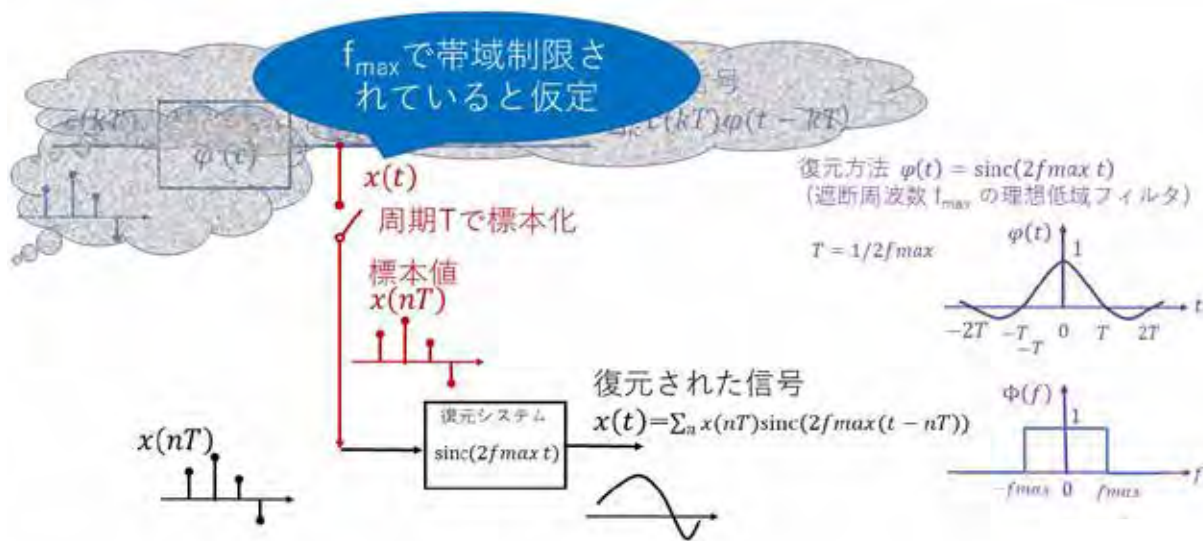
たとえば帯域通過標本化定理（アンダーサンプリング）なども容易に導出できると考えられるので、今後、検討して行く予定である。

[参考文献]

- 1) C. E. Shannon, A Mathematical Theory of Communication, Bell Syst. Tech. J, vol. 27, pp. 379-423, July, 1948; Vol. 27, pp. 623-656, Oct. 1948.
- 2) C. E. Shannon, Communication in the Presence of Noise, Proceedings of the IRE (Volume: 37, Issue: 1, pp. 10 – 21, January 1949.
- 3) 川又, 阿部, 八巻(樋口監修)MATLAB 対応デジタル信号処理, 森北出版, 2021.
- 4) 阿部, 八巻, 川又(樋口監修)Python 対応デジタル信号処理, 森北出版, 2021.
- 5) D. G. Dimitris and V. K. Ingle, Applied Digital Signal Processing: Theory and Practice, Cambridge University, Press, 2011.
- 6) P. P. Vaidyanathan, Generalizations of the Sampling Theorem: Seven Decades After Nyquist, IEEE Trans. CAS-I: Fundamental Theory and Applications, Vol. 48, No. 9. pp. 1094-1109, Sept. 2001.
- 7) 安達, 通信システム工学, 朝倉書店, 2007.



付図 A 一般化標本化定理の信号生成・標本化・復元モデル



付図 B シャノンの標本化定理の信号生成・標本化・復元モデル

(シャノンの標本化定理では一般化標本化定理の信号 $x(t)$ の生成モデルをおおいかくし、それに代わって f_{max} で帯域制限されていると仮定することを出発点としている)

付表1 2022年度 共同研究一覧

研究テーマ	概要	担当教員	所属
中型立佞武多昇降装置の開発	高さ 11 メートルの中型立佞武多を昇降させ障害物を避ける仕組みや構造について五所川原市として構想しているものについて、設計や試作機を用いた実験を行いその妥当性を検証した。現状の中型立佞武多から構造が大幅に変化することから、市で製作予定の中型佞武多の構造への提案をおこなった。	久保 祐太 阪井 博史	青森校
溶接工程における生産状況の見える化に関する研究	既存の生産設備に改造を加えず、増設した端末機器により生産設備の稼働状況をモニタリング、データ収集を行い、生産状況を把握できるようにする。また、収集したデータを集約し、リアルタイムの稼働状況を見える化できるようにする。"	下畑 守央 池原 寿紀 横山 雅紀 久保 祐太	青森校
大館市ゼロカーボンシティ実現に向けた秋田杉を活用する「大館版小規模木造倉庫」の開発	秋田県大館市は令和3年2月に「ゼロカーボンシティ宣言」を発表し、2050年までに二酸化炭素実質排出ゼロを目標に掲げている。その取組の1つとして木材の有効利用を進めることとし、秋田杉を用いた倉庫を開発することとなった。"	小林 健	秋田校
二歯式ポンプ米粉搬送装置及び高速攪拌機能を有する試験機の試作	高粘度の米粉をポンプ搬送で連続搬送し、また高速攪拌によって製麺する方式の装置を検討、製作してテスト製麺まで行った。増粘剤を加えて弾性を得ることで攪拌と押出しの機能を持つ装置として一体化させ、従来にない方式で製麺可能な試験製麺装置を製作した。"	喬橋 憲司	本校
エアコン用コンプレッサー分解・分別支援システムの開発	作業者が一覧表から目的の型番のコンプレッサーの切断情報を読み取り、シェル分割機への入力設定を行う際の作業支援システムを構築し、ヒューマンエラーの防止を行うとともに新規タイプのコンプレッサー切断位置の自動判別に関する研究を行った。	永野 秀浩 大石 賢 内山 元 須永 浩一 太田 徹児 平田 武誉 檜原 康弘 山川 晃	本校

研究テーマ	概要	担当教員	所属
潜熱蓄熱材 (PCM) と調湿材を適用した内装材による結露防止に関する研究	住宅における壁体内結露を防止するための断面構成を検討することを目的とした。さらに可変透湿抵抗型の防湿気密シートを施工することなく、新たに開発する潜熱蓄熱 (PCM) 調湿壁紙を適用することで、夏型、冬型ともに内部結露が防止できる構法を確立することを目的とした。	三浦 誠 林 昇吾	青森校
惣菜加工工程における煮玉子投入装置の開発	惣菜加工工程の食材投入作業や外観検査を自動化することで工数削減による生産性改善や品質改善を行うことを目的とする。実際人が行っている作業を実現するように細かく分析した各機構の設計を行い工数 1 人と前準備工程の削減を行った。	本多 正治 伊藤 隆志	青森校
ドローンと小型 UGV を搭載した災害対応支援ロボットの開発	災害時の半壊した家屋などで要救助者を探査するロボットで最新技術による迅速な発見と二次災害の防止を目的としている。小型ドローンの搭載装置（固定装置）を再設計再製作することと Wi-Fi 中継機としての小型 UGV ロボットの再設計再制作およびその発進・回収装置の再設計再制作を行った。	小林 崇 太田 徹児	秋田校

付表2 2022年度 応用課程 開発課題実習一覧(本校)

表3 2022年度 応用課程 開発課題実習一覧(本校)

系	テーマ	サブテーマ	指導教員 (主)	指導教員 (副)
生産	食品工場の工程改善～自動煮玉子投入装置の開発～		本多 正治	伊藤 隆
	デジタルゲームを取り入れた健康遊具の開発	～公園の利用者増加に向けて～	七種 健一	先崎 康裕
	部品・工具運搬用 AMR の開発		清水 達也	喬橋 憲司 狩野 隆
	エアコン用コンプレッサー分解・分別支援システムの開発		永野 秀浩	大石 賢
	大学校 PR 用アミューズメント機器の開発		山川 晃	平田 武誉
	自動走行車両の開発		檜原 康弘	内山 元
建築	鉄筋コンクリート構造躯体工事における施工管理業務の実践		佐竹 重則	
	産業副産物を利用したコンクリートの環境影響および耐久性に関する検討		佐藤 重悦	
	空き家を利用した多世代共生型コミュニティ住宅の開発		西野 晃司	
	東北地方の気候を考慮した結露防止型パッシブ・ウェルネス住宅の開発		三浦 誠	
	木質材料及びセメント系材料を用いた混構造の開発		越智 隆行	

付表3 2022年度 専門課程 総合制作実習 一覧 (青森校)

系	テーマ	サブテーマ	指導教員
機械系	射出成形用金型設計とその製作		池田 明 横山 雅紀
	ロボットアームの製作		橋本 真寿
	中型立佞武多の昇降機制作		久保 祐太 阪井 博史
電気・電子系	圧電素子を利用した脚力測定器の開発		小関 英明
	ワイヤレス給電デバイスの製作		島川 勝広
	オムニホイールを用いた全方向自律型移動ロボットの製作		小野 貴広
	雪氷熱エネルギーを利用した設備の製作		渡邊 晃広
	空気圧制御を用いたアームの製作		尾形 智和
電子・情報・ 制御系	ネットワーク対応積層信号灯の製作		櫻木 伸英
	IoTを用いた室内環境制御システムの製作		池原 寿紀
	融雪マット自動制御システムの製作		
	抵抗器カラーコード読み取り装置の製作	抵抗値読み取り 方法の検証	
	在室人数確認システムの製作		下畑 守央
	警備補助用ロボットカーの製作		
	洗濯機稼働監視システムの製作		市川 拓実
	引き戸遠隔施錠システムの検討・製作		

付表4 2022年度 専門課程 総合制作実習一覧(秋田校)

系	テーマ	指導教員
機械系	ロボット競技会用ロボットハンドの制作	畑 伸明
	CAD/CAM システムを使用した自由曲面作品の製作	菖蒲 大樹
	環境改善を目的とした溶接構造物製作	村上 佑太
	設備診断装置の製作	
	回転機能付きバイスの制作	野村 佑輔
	「タグチメソッド」に基づいた機械設計について	田山 英臣
	機械設計用解析ツールの活用と評価	
電子・情報系	Python によるデータサイエンス学習システムの構築	浅野 英樹
	音声信号処理システムの制作 II	
	ロボット教室用ロボットの設計・製作	遠藤 裕之
	Web による求人情報閲覧システムの構築	細井遼太郎
	競技会向けロボットの走行の安定化と運搬機能の実装	
	人工知能を活用した周辺状況対応型デジタルサイネージシステムの製作	中村 俊也
	若年者ものづくり競技会を意識した競技会ロボットの製作	
建築系	大館市における「まち育て」について～景観の提案	小笠原吉張
	大館市における「まち育て」について～市営住宅の提案	
	R C 造 2 階建て併用住宅の構造及び配筋モデルの製作	大根律 久
	バリアフリー社会の形成に関する条例に基づく大館市の公共施設調査及び提案	
	避難所における住環境の提案	小林 健
	大館市におけるゼロカーボンシティ実現に向けた木造倉庫の開発	
	B I M ・ 3 D プリンタの活用～秋田職業能力開発短期大学校における建築模型製作	平 和基
	東北ポリテックビジョン～ニアピン部門、フレッシュモルタル部門に向けて	

付表5 2022年度 専門課程 総合制作実習一覧(本校)

系	テーマ	サブテーマ	指導教員
機械	オルゴール製作	ゼロハンカーへの搭載を目指して	佐藤 研一
	産業用ロボットモデルの製作		早川 明德
	ゼロハンカーの設計・製作		小山竜太郎 浅沼 幸彦
	ドローンを搭載した災害対応支援ロボットの開発Ⅲ		小林 崇
	ロータリーエンジンモデルの設計・製作		浅沼 幸彦
電気	配線施工技術の向上		中矢 翔
	アミューズメント機器の製作		
	イベント展示用制作物の改良		
	入退室管理システムの製作		廣田 昌彦
	遠隔制御運搬装置の製作		
	PV ロボット競技会用自律型移動体の製作		渡邊 正純
	電気の学習に興味を持たせる教材開発		
	Ene-1 MOTEGI GP KV-Moto 車両の製作		新垣 喬之
	空気圧制御実習装置の製作		
電子情報	ロボット競技会に向けた自律型ロボットの製作		小森谷悠貴 古内 宏和
	遠隔制御で動くカメラ付きロボットの制作		斉藤 晃一
	サーモグラフィを用いた温度計製作		
	音声認識を搭載したリモコンの製作		
	MP3 プレイヤーの製作		本間 文孝
	燃料電池を用いた発電システムの制作		
	IoT を活用した小型アクアポニックスシステムの構築		渡邊 清彦
	多機能 3D プリンターの製作		

系	テーマ	サブテーマ	指導教員
建築	木材加工技術向上に関する教材作成		松下 貴博
	住宅建築施工技術向上に関する教材作成		
	リフォーム設計 ～床の段差利用について～	床の段差利用について	会津 宏孝
	大工技術の技能伝承・人材育成を目指して～入隅と出隅にお加工～	入隅と出隅の加工	
	限られた空間の利用 ～収納の技術向上～	収納の技術向上	
	空間に調和する家具の制作～最小限の家具の制作～	最小限の家具の制作	
	仕上げのリフォーム ～塗装技術の向上～	塗装技術の向上	
	施工管理能力習得に向けた取り組み		林 昇吾
	省エネルギー基準に基づいた断熱計画・実証実験		
	住宅における採光計画		
	住宅模型を用いた温度差換気の分析		
	演色性の異なる照明による物体の見え方		
	壁ー1 グランプリ 2022 への取り組み		雨森 瑞宜
	BIM に関する技能・技術向上への取り組み		
	5号館実習場シャッター前改修工事		
	震災復旧・古民家漆喰壁の修復技術の習得と試行		星野 政博
	建築設計競技会への参加と図面制作技術の習得		
	建築史教材の作成		
	建築空間の分析		

東北職業能力開発大学校 紀要第 33 号 編集委員会構成

委員長：佐藤重悦

委員：遠藤裕之 小野貴広 狩野隆志 小林 崇 七種健一 山川 晃

アドバイザー：川又政征

事務局：宮崎知佳

査読委員：伊藤隆志 遠藤裕之 狩野隆志 小林 崇 櫻木伸英
佐藤重悦 島川勝広 清水達也 先崎康裕 平 和基
畑 伸明 星野政博 本多正治 三浦 誠 横山雅紀
渡邊正純

東北職業能力開発大学校紀要

第 33 号

2023 年（令和 5 年）6 月発行

編集・発行

独立行政法人

高齢・障害・求職者雇用支援機構宮城支部
東北職業能力開発大学校 紀要編集委員会

〒987-2223

宮城県栗原市築館字萩沢土橋 2 6 番地

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

電話 0228-22-6614 学務課

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

印刷 株式会社東誠社

BULLETIN OF TOHOKU POLYTECHNIC COLLEGE**No.33 CONTENTS****PREFACE****BULLETIN**

MIURA Makoto, MIYAZAWA Ayami, ISHIDOYA Momoko, KOBAYASHI Ryusei, HAYASHI Shogo, ISHIDOYA Yuji		A Study on Changes in Moisture Permeability Resistance of Variable Moisture-Proof Sheets in Wooden Houses	1
PRACTICE REPORT			
KUBO Yuta	Incorporation into Comprehensive Production in Joint Research		7
HATA Nobuaki	Production of Amusement Machines Using Pneumatic Devices		11
HIRATA Takeyo, OTA Tetsuji, SENZAKI Yasuhiro, KANO Takashi, NARAHARA Yasuhiro		Report on The Activities of The Production Robot System Course in The Department of Production Electrical Systems Technology	15
OGATA Tomokazu	Fabrication of Suspended Elevator Model Using PLC		19
NAKAYA Sho, CHIBA Joichiro, SATO Ema, HORIKAWA Kaito, HONMA Rintaro		Production of Amusement Machines	23
NAGANO Hidehiro	Report on Development of Disassembly and Sorting Support System for Air Conditioner Compressors		27
HOSHINO Masahiro, SATO Yuta		Recognition of Architectural Space	31
TAIRA Kazuki	The Trial in Introductory Education		37
AMENOMORI Mizuki, INOMATA Ayumu, IWAMI Taiyo, SATO Tomoki		Initiatives to “Kabe-1 Grand Prix 2022”	41
REVIEW			
TAKAHASHI Kenji	Analysis of Cutting Force and Toolpath Based on Machining Simulation		47
ITO Takashi	Example of A Mechanism That Combines A Geneva Mechanism and A Slider-Crank Mechanism		53
SHIMOHATA Morio	Efforts to How to Proceed with Graduation Products		61
HOSOI Ryotaro	Development of New Teaching Materials for Microcomputer Engineering		65
KAWAMATA Masayuki	A Simple and Easy Sampling Theorem		67

June 2023