

MEMOIRS OF HOKKAIDO POLYTECHNIC COLLEGE

No. 41

February, 2026

CONTENTS

Original Articles

1. Effect of Stacking Sequence and Orientation on Vibration Characteristics of Quasi-Isotropic CFRP Laminates
..... Michio INNAMI 1
2. Work Improvement in Frame Scaffold Assembly Operations
..... Manami ONODERA 7

Technical Note for Education & Training

1. Validation of Student Training Applying Skills Data Using Statistical Analysis of Vocational Training Instructor
—Case of Second-Class Electrical Installation Skills Test—
..... Daisuke SUGITA 11

Practical Reports & Technical Material Development

1. Development of Compact Fully Automatic Beverage Filling Machines
—From the Development of Filling, Capping, and Bottle Washing Functions to the Integration of a Robotic Arm—
..... Makoto EMORI, Kenichi EBINA, Michio INNAMI, Masahiro TANIOKA
and Hiroshi CHAWANYA 19
2. About an Approach to Development Challenge Exercise with the Theme of Vehicles in the Practical Training on Development Task
..... Masaki YOKOYAMA, Chikayuki MATSUYA and Hideaki HONGO 27

Published by

HOKKAIDO POLYTECHNIC COLLEGE

Zenibako 3-190, Otaru, 047-0292 Japan

北海道職業能力開発大学校 紀 要

第 41 号

令和 8 年 2 月

目 次

研究論文

1. 擬似等方性CFRP積層板の積層順序と向きが振動特性に及ぼす影響
..... 印南 信男 1
2. 動作分析による枠組み足場組立て作業の改善
..... 小野寺 愛美 7

教育訓練

1. 職業訓練指導員の統計的スキル分析とスキルデータを活用した学生指導の検証
—電気工事士実技試験を事例として—
..... 杉田 大輔 11

実践報告・教材開発

1. 小型全自動飲料充填機の開発
—充填・打栓及びボトル洗浄機能の開発からロボットアームの組み込みまで—
..... 江守 真・蝦名 健一・印南 信男・谷岡 政宏・茶碗谷 広志 19
2. 乗り物をテーマとした応用課程開発課題への取り組みについて
..... 横山 真樹・松家 央征・本郷 秀明 27

擬似等方性 CFRP 積層板の積層順序と向きが振動特性に及ぼす影響

印 南 信 男*¹
(令和7年11月7日受理)

Effect of Stacking Sequence and Orientation on Vibration Characteristics of Quasi-Isotropic CFRP Laminates

Michio INNAMI*¹

(Received November 7, 2025 ; Accepted for Publication February 1 , 2026)

CFRP(Carbon Fiber Reinforced Plastic) is widely used in various fields, owing to properties such as light-weight and high stiffness. This material exhibits strong anisotropy due to the carbon fibers. This means it is weaker in the direction perpendicular to the fibers. Therefore in most cases, it is composed of multiple thin plies with different fiber angles. The one composed of plies of which fiber angles are uniformly distributed in all directions shows nearly isotropic property, called quasi-isotropic. This paper treats the analysis of vibration characteristics of quasi-isotropic rectangular CFRP laminates. It focuses on symmetric laminates consisting of eight plies, of which the fiber angles are multiples of 45°. The influences of stacking sequence and orientation of plates on the natural frequencies are examined. The numerical analysis showed that the stacking sequence and the orientation significantly affected the values of natural frequencies. It was revealed that especially in case of the boundary conditions with weaker support considered in this study, e.g. SSFF, the values of the maximum and the minimum differed by more than 75%.

1. 緒言

ロケット、航空機などの輸送機械をはじめとする産業機械からスポーツ用品に至るまでさまざまな製品に対して高耐久化・省エネルギー化が求められる中、用いられる材料にも軽量化・高剛性化がいつそう

要求されるようになった。そのため CFRP(Carbon Fiber Reinforced Plastic) などが広く用いられるようになってきた。CFRP は母材となるエポキシ樹脂などのプラスチックに繊維状の炭素が埋め込まれており、軽量である上に繊維方向に対する高い強度を

*1 生産電子情報システム技術科 (Department of Production Electronics and Information System Technology)

有する。そのうえ疲労強度、耐薬品性、耐衝撃性、高剛性などについても、従来から用いられている金属材料と比較して優れた性質を示す。ただし繊維が特定の方向に配置されているため強い異方性を示し、繊維と直角方向の強度は十分とはいえない。そのため一般には炭素繊維がそれぞれ異なる方向に配置された複数の薄い板(ラミナ)を積層することにより、この欠点を補う形で用いられる。さらに構成するラミナの繊維配向角を全周に等間隔に分布するようにそれぞれ異なる値で配置させることにより、面内に対して擬似等方性と呼ばれる等方性に近い性質を持たせることができる。しかしながら完全な等方性材料とはまったく同じ性質を有するわけではなく、たとえば曲げに対しては異なる挙動を示す¹⁾。

本研究では擬似等方性を有するCFRP積層板の固有振動数について検証を行う。固有振動数の値を調整することができれば、外部から与えられる強制振動に対して共振を回避させるための有効な対応が可能となる。矩形積層平板の4辺の拘束に関するいくつかの境界条件に対して、平板の積層順序や配置する向きによって固有振動数にどのような影響が生じるのかを調べる。

2. CFRP 積層平板

2.1 Ritz 法による振動解析

図1に示すような長さ a 、幅 b 、厚さ h の P 層からなる対称積層長方形板を考える。第 k 層の繊維方向に平行な L 軸とその直角方向の T 軸に関する応力-ひずみ関係式は、

$$\begin{Bmatrix} \sigma_L \\ \sigma_T \\ \tau_{LT} \end{Bmatrix}^{(k)} = \begin{bmatrix} Q_{11} & Q_{12} & 0 \\ Q_{12} & Q_{22} & 0 \\ 0 & 0 & Q_{66} \end{bmatrix}^{(k)} \begin{Bmatrix} \varepsilon_L \\ \varepsilon_T \\ \gamma_{LT} \end{Bmatrix} \quad (1)$$

となる。ここで、 $Q_{ij}^{(k)}$ ($i, j = 1, 2, 6$) は剛性係数であり以下の式によって得られる。

$$\begin{aligned} Q_{11}^{(k)} &= \frac{E_L}{1 - \nu_{LT}\nu_{TL}}, & Q_{22}^{(k)} &= \frac{E_T}{1 - \nu_{LT}\nu_{TL}} \\ Q_{12}^{(k)} &= \nu_{TL}Q_{11}^{(k)} = \nu_{LT}Q_{22}^{(k)}, & Q_{66}^{(k)} &= G_{LT} \end{aligned} \quad (2)$$

E_L, E_T はそれぞれ繊維方向とその直角方向の縦弾性係数、 ν_{LT}, ν_{TL} はそれぞれの方向におけるポアソン比、 G_{LT} はせん断弾性係数である。

第 k 層において L 軸が x 軸と θ_k の角度をなすとき、 xy 座標に関する応力-ひずみ関係は次式で表される。

$$\begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix}^{(k)} = \begin{bmatrix} \bar{Q}_{11} & \bar{Q}_{12} & \bar{Q}_{16} \\ \bar{Q}_{12} & \bar{Q}_{22} & \bar{Q}_{26} \\ \bar{Q}_{16} & \bar{Q}_{26} & \bar{Q}_{66} \end{bmatrix}^{(k)} \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} \quad (3)$$

ここで、 $\bar{Q}_{ij}^{(k)}$ ($i, j = 1, 2, 6$) は剛性係数 $Q_{ij}^{(k)}$ を xy 平面に垂直な z 軸のまわりに角度 θ_k だけ回転したときに相当する値であり、以下の式から求められる。

$$\begin{aligned} \bar{Q}_{11}^{(k)} &= Q_{11}l^4 + 2(Q_{12} + 2Q_{66})l^2m^2 + Q_{22}m^4 \\ \bar{Q}_{12}^{(k)} &= Q_{12}(l^4 + m^4) \\ &\quad + (Q_{11} + Q_{22} - 4Q_{66})l^2m^2 \\ \bar{Q}_{22}^{(k)} &= Q_{11}m^4 + 2(Q_{12} + 2Q_{66})l^2m^2 + Q_{22}l^4 \\ \bar{Q}_{16}^{(k)} &= (Q_{11} - Q_{12} - 2Q_{66})l^3m \\ &\quad + (Q_{12} - Q_{22} + 2Q_{66})lm^3 \\ \bar{Q}_{26}^{(k)} &= (Q_{11} - Q_{12} - 2Q_{66})lm^3 \\ &\quad + (Q_{12} - Q_{22} + 2Q_{66})l^3m \\ \bar{Q}_{66}^{(k)} &= (Q_{11} + Q_{22} - 2Q_{12} - 2Q_{66})l^2m^2 \\ &\quad + Q_{66}(l^4 + m^4) \end{aligned} \quad (4)$$

ただし $l = \cos \theta_k$, $m = \sin \theta_k$ である。

ひずみエネルギーと運動エネルギーはそれぞれ式(5)、(6)で与えられる。

$$U = \frac{1}{2} \iint_A \{\kappa\}^T [D] \{\kappa\} dA \quad (5)$$

$$T = \frac{1}{2} \rho h \iint_A \left(\frac{\partial W}{\partial t} \right)^2 dA \quad (6)$$

ここで W, A は、それぞれたわみ関数、断面積である。 ρ は平均密度であり、層全体で同一の材料を使

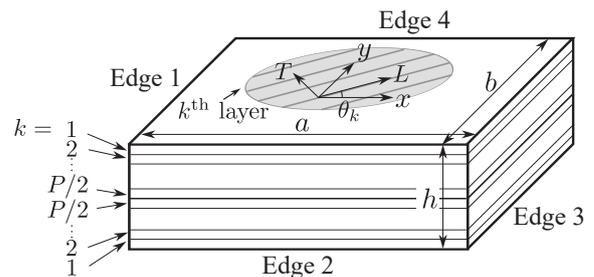


図1 CFRP 対称積層板

用しているものとする。曲率ベクトル $\{\kappa\}$ は以下のように定義される。

$$\{\kappa\} = \left\{ -\frac{\partial^2 W}{\partial x^2} \quad -\frac{\partial^2 W}{\partial y^2} \quad -2\frac{\partial^2 W}{\partial x \partial y} \right\}^T \quad (7)$$

$[D]$ は曲げ剛性マトリクスで、以下の式で表される。

$$D_{ij} = \frac{1}{3} \sum_{k=1}^P \bar{Q}_{ij}^{(k)} (z_k^3 - z_{k-1}^3) \quad (i, j = 1, 2, 6) \quad (8)$$

ここで z_{k-1} , z_k はそれぞれ中立面を基準とした第 k 層の下面, 上面の z 軸座標である。解析を簡単にするため以下の無次元量を導入する。

$$\xi = \frac{2x}{a}, \quad \eta = \frac{2y}{b}, \quad \Omega = \omega a^2 \sqrt{\frac{\rho h}{D_0}} \quad (9)$$

ξ, η は無次元化された座標, Ω は無次元振動数, ω は角振動数, D_0 は次式で定義される基準板剛性である。

$$D_0 = \frac{E_T h^3}{12(1 - \nu_{LT}\nu_{TL})} \quad (10)$$

たわみは以下の式で与えられる。

$$W(\xi, \eta, t) = \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} A_{mn} X_m(\xi) Y_n(\eta) \sin \omega t \quad (11)$$

ただし,

$$\begin{aligned} X_m(\xi) &= \xi^m (\xi + 1)^{bc_1} (\xi - 1)^{bc_3} \\ Y_n(\eta) &= \eta^n (\eta + 1)^{bc_2} (\eta - 1)^{bc_4} \end{aligned} \quad (12)$$

式 (11) において A_{mn} は未定係数であり, $X_m(\xi)$, $Y_n(\eta)$ は境界条件を幾何学的に満たす関数である。 bc_i ($i = 1, 2, 3, 4$) は境界条件インデックス²⁾であり, 以下の値をとる。

$$bc_i = \begin{cases} 0 & \text{(Free)} \\ 1 & \text{(Simply supported)} \\ 2 & \text{(Clamped)} \end{cases} \quad (13)$$

bc_i は図 1 における Edge i ($i = 1, 2, 3, 4$) の拘束条件に応じて設定する。

Ω に関する振動数方程式は以下の式から求められる。

$$\frac{\partial}{\partial A_{mn}} (T_{\max} - U_{\max}) = 0 \quad (14)$$

$$(m = 0, 1, \dots, M-1; n = 0, 1, \dots, N-1)$$

式 (14) から次式が導かれる。

$$|[K] - \Omega^2[M]| = 0 \quad (15)$$

ここで, $[K]$ と $[M]$ はそれぞれ全体剛性マトリクス, 全体質量マトリクスである。

2.2 擬似等方性積層板

それぞれの繊維配向角が互いに等間隔となるように配分された複数のラミナを組合わせた積層板は, 面内では等方性の性質を示す。このとき各ラミナの厚さは等しく, 積層は対称である。たとえば 45° おきに繊維角が設定されたラミナが

$$[0^\circ/45^\circ/90^\circ/-45^\circ]_S$$

のように積層された板は擬似等方性を有する。上式は最外層より順に各層の繊維配向角を表している。末尾の“S”は対称積層であることを示しているため, この場合は 8 層から構成されている。 60° 間隔で積層する場合は

$$[0^\circ/60^\circ/-60^\circ]_S$$

のように設定できる。

3. 問題の設定

本研究では繊維配向角が 45° ずつ異なる 8 層のラミナを対称に積層した擬似等方性の性質を有する矩形板をとりあげる。4 辺に拘束条件が設定された積層板について配置する向きを変化させ, それぞれの場合について固有振動数を求める。ここでは無次元基本固有振動数 Ω_1 に注目し, 最小値・最大値をとるときの各ラミナの繊維配向角 θ_k ($k = 1, 2, 3, 4$) を求める。各層は繊維方向が単一である UD 材とし, 積層順序は図 2 に示すとおり以下の 3 種類とする。便宜上それぞれタイプ A, B, C と呼ぶこととする。

$$\text{タイプ A} \quad [0^\circ/45^\circ/90^\circ/-45^\circ]_S$$

$$\text{タイプ B} \quad [0^\circ/45^\circ/-45^\circ/90^\circ]_S$$

$$\text{タイプ C} \quad [0^\circ/90^\circ/45^\circ/-45^\circ]_S$$

タイプ A では第 1 層から第 4 層までの隣接するラミナの繊維角はいずれも互いに 45° をなす。タイプ B では第 2 層と第 3 層の繊維角が 90° をなす。タイプ C では第 1 層と第 2 層, 第 3 層と第 4 層で互いに繊維角がそれぞれ 90° 異なる。

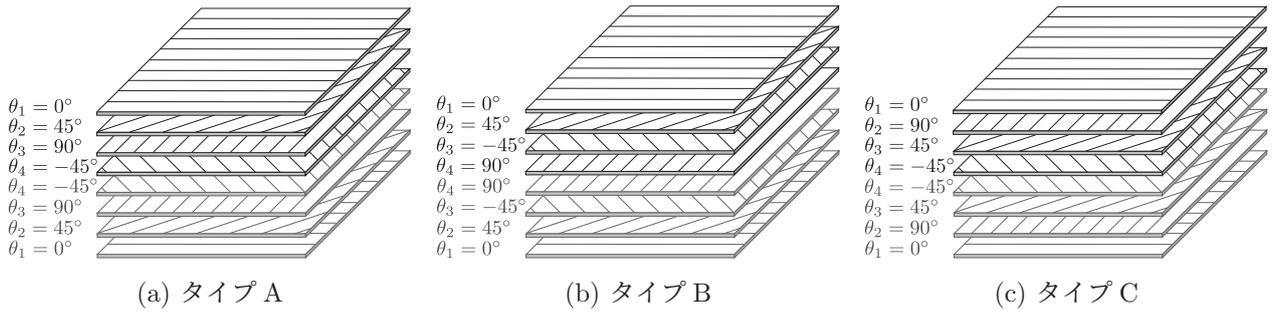


図 2 擬似等方板の積層順序

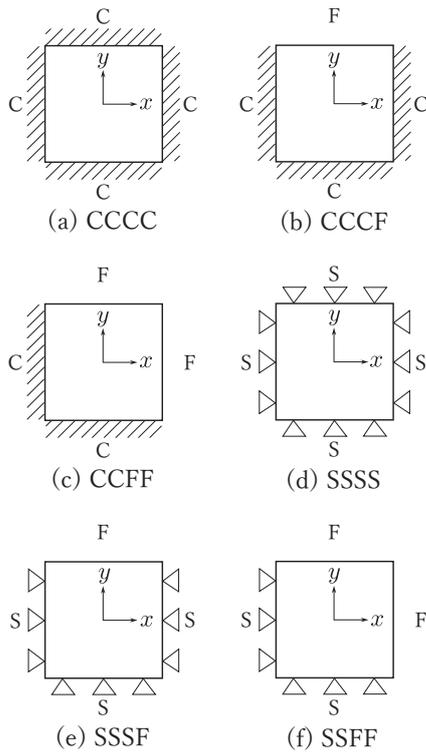


図 3 境界条件

4 辺の境界条件は、CCCC, CCCF, CCFF, SSSS, SSSF, SSFF の 6 種類とする。これらの 4 文字のアルファベットは順に図 1 の Edge 1, 2, 3, 4 に適用させる拘束の種類を F(Free), S(Simply supported), C(Clamped) のいずれかで表記している。たとえば CCCF は Edge 1, 2, 3 を Clamped で拘束し、Edge 4 は拘束しないことを意味する。図 3 に各境界条件を模式的に示した。

なお 8 層からなる擬似等方性積層板としては、

$$\begin{aligned} & [0^\circ / -45^\circ / 90^\circ / 45^\circ]_S \\ & [0^\circ / -45^\circ / 45^\circ / 90^\circ]_S \\ & [0^\circ / 90^\circ / -45^\circ / 45^\circ]_S \end{aligned}$$

も考えられるが、上記の境界条件の場合には対称性によりそれぞれタイプ A, B, C と同じ構造とみなすことができる。

以上の積層板について全層の繊維配向角を 15° ずつ回転させ、それぞれについて Ω_1 を求める。たとえばタイプ A については、

$$\begin{aligned} & [-75^\circ / -30^\circ / 15^\circ / 60^\circ]_S \\ & [-60^\circ / -15^\circ / 30^\circ / 75^\circ]_S \\ & \vdots \\ & [0^\circ / 45^\circ / 90^\circ / -45^\circ]_S \\ & \vdots \\ & [90^\circ / -45^\circ / 0^\circ / 45^\circ]_S \end{aligned}$$

の場合について解析を行う。

材料定数として以下の値を採用する³⁾。

$$\begin{aligned} E_L &= 150 \text{ GPa}, E_T = 10 \text{ GPa} \\ G_{LT} &= 5 \text{ GPa}, \nu_{LT} = 0.3 \end{aligned} \quad (16)$$

式(11)の M, N はいずれも 8 とした。この設定値のときは、解析結果が有限要素法によって得られた値とよく一致することが確かめられている⁴⁾。

4. 計算結果と考察

第 1 層の繊維配向角 θ_1 に対して各境界条件において得られた無次元基本固有振動数 Ω_1 を図 4 に示す。また Ω_1 がこの中で最小・最大となったときの各層の繊維配向角と 4 次までの無次元固有振動数 Ω_i ($i = 1, 2, 3, 4$) を表 1 に示す。表中の“diff.” は Ω_1 の最小値に対して最大値の差異の割合を表している。

これらの結果から、擬似等方性であっても積層順序と平板を配置する向きによって多くの場合で固有振動数が大きく異なっていることがわかる。すなわち積層板の配置方法によっては共振の影響を受けることが明らかとなった。CCCF を除いて、境界にお

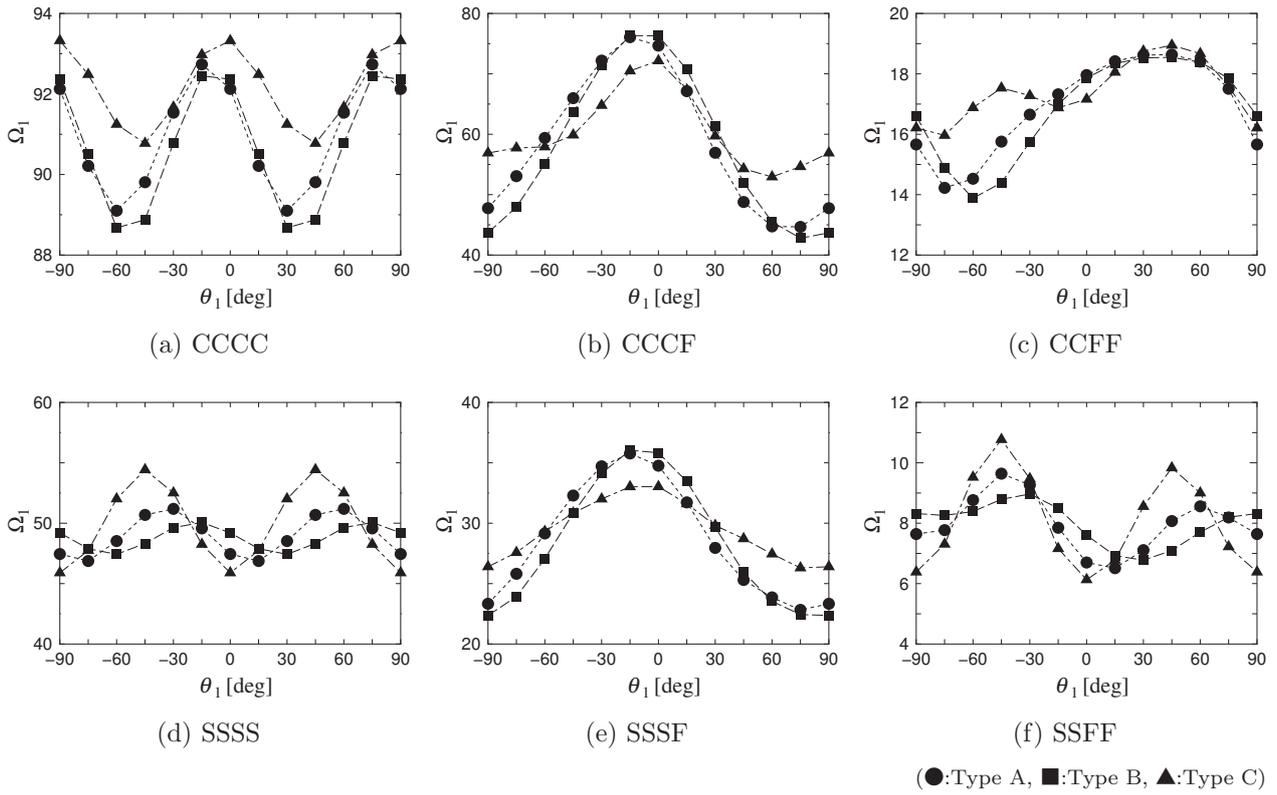


図 4 積層板の向きと Ω_1 の関係

表 1 Ω_1 の最小値・最大値と積層順序

B.C.	Type	θ_1	θ_2	θ_3	θ_4	Ω_1	Ω_2	Ω_3	Ω_4	diff. (%)	
CCCC	min	B	-60	-15	75	30	88.68	163.86	197.25	245.02	
	max	C	0	90	45	-45	93.32	173.66	208.97	267.46	5.2
CCCF	min	B	75	-60	30	-15	42.79	101.47	106.51	169.95	
	max	B	-15	30	-60	75	76.33	102.00	158.29	206.20	78.4
CCFE	min	B	-60	-15	75	30	13.88	53.24	60.05	103.89	
	max	C	45	-45	90	0	18.95	56.44	70.98	126.05	36.5
SSSS	min	C	0	90	45	-45	45.89	110.75	135.15	183.11	
	max	C	-45	45	0	90	54.43	121.87	135.32	210.89	18.6
SSSF	min	B	90	-45	45	0	22.37	68.34	77.07	125.63	
	max	B	-15	30	-60	75	36.04	65.59	122.18	133.65	61.1
SSFF	min	C	0	90	45	-45	6.13	41.23	52.67	83.62	
	max	C	-45	45	0	90	10.77	44.31	47.98	106.99	75.7

Angles are denoted by degrees.

ける拘束が弱いものほど最大値と最小値の差の割合が大きくなる傾向があることが示された。CCCC のような Ω_1 の値があまり変わらない境界条件の場合には、共振を抑えるためには他の要因を検討する必要も考えられる。一方、CCCF, SSFF など大きく Ω_1

の値が変化するような場合には、これらの設定を調整することで共振の対策が十分である可能性を示している。図 4 から多くの場合、各境界条件に対して最小値・最大値をとる θ_1 がいずれの積層順序でも同じ値のときとなっていることがわかる。これは最

外層の繊維配向角の値が振動特性において支配的であることを示している⁵⁾。また6種類の境界条件のうち四つにおいてタイプCの積層板で Ω_1 の値が最大となっている。タイプCは隣接するラミナ間の繊維角の差が 90° となる箇所が他のタイプより多いことが影響している可能性が考えられる。

5. 結言

本稿では矩形の擬似等方性CFRP積層平板の積層順序と配置の向きが固有振動数に及ぼす影響を調べた。擬似等方性の場合には、静力学的には基本的に積層順序と向きは平面方向に対して影響を及ぼさないとされるが、固有振動数についてはこれらの設定によって特に弱い拘束条件のもとでは大きく異なる値をとることが数値解析によって確かめられた。今後はさらに多くの境界条件についても検証を行うとともに、配置の向きもより細かい設定を行いその影響を説明していきたい。

<参考文献>

- 1) Hudisteanu, I. and Taranu, N. : “The Influence of the Stacking Sequence on Stress and Strain Distributions for Quasi-Isotropic Laminates.”, Bulletin of the Polytechnic Institute of Jassy, Constructions. Architecture Section, Vol. LXI (LXV), 2, pp. 97–110, 2015.
- 2) Narita, Y. : “Series and Ritz-type Buckling Analyses” in: Turvey, G. J. and Marshall, I. H. (Eds): “Buckling and Postbuckling of Composite Plates”, Chapman & Hall, pp. 33–57, 1995.
- 3) Narita, Y., Innami, M and Narita, D : “The Effect of Using Different Elastic Moduli on Vibration of Laminated CFRP Rectangular Plates”, EPI International Journal of Engineering, Vol. 2, No. 1, pp. 19–27, 2019.
- 4) 印南信男, 成田吉弘, 本田真也, 佐々木克彦 : Blended-layerを持つ積層長方形板の面内振動, 日本機械学会北海道支部講演会講演概要集, 2020.57, pp. 49–50, 2020.
- 5) 成田吉弘 : FEMと結合した積層板の層別最適化(LO)法の提案, 日本複合材料学会誌, Vol. 31 No. 1, pp. 38–44, 2005.

動作分析による枠組み足場組立て作業の改善

小野寺 愛 美^{*1}
(令和7年11月7日受理)

Work Improvement in Frame Scaffold Assembly Operations

Manami ONODERA^{*1}
(Received November 7, 2025 ; Accepted for Publication February 1 , 2026)

To address the labor shortage in the construction industry, a study was conducted on improving the productivity of frame scaffold assembly work using Industrial Engineering (IE) methods. The research identified that "wasteful movements" were caused by unclear role assignments and a lack of awareness of subsequent processes among workers. In response, an improvement program was proposed and an experiment was conducted. The results showed that work times were shortened for many of the target groups, confirming the program's effectiveness in reducing wasteful movements and improving productivity. In conclusion, it was determined that proactive guidance for workers and clarifying role assignments are effective for enhancing productivity.

1. はじめに

近年、日本における人手不足は、少子高齢化や労働市場の変化により深刻な社会問題となっている。中でも、我が国の建設業における就業者数の推移は、1997年に685万人とピークに達したのち、2022年では479万人まで減少¹⁾しており、技能労働者不足が顕著に進行している。

図1に、品質と作業時間、労働力および生産性の関係を示す。各軸の値によるボリュームを建築物の品質とすると、X軸およびY軸に示す時間および労働力が減少する中、品質を確保するためには、Z軸の生産性を向上させる必要がある。建設工事は、一品受注生産や現地屋外生産などの特徴を有することから、製造業で行われてきた生産性向上の取り組みの一つである生産プロセスの自動化やロボット化の導入がしづらく、現在も多くの作業が技能労働者による手作業に依存している。そのため、建設工事では、作業自体の効率化を図ることで工事の生産性を向上させることが可能であると考えられる。

本研究では、作業の生産性を向上させる手法の一つであるインダストリアルエンジニアリング（以下IE）の手法²⁾を用いて、対象とする枠組み足場組立て作業に潜在するムダな動作を明確にし、作業改善により生産性を向上させることを目的とした。研究の対象に枠組み足場組立て作業の動作を選定した理由は、複数人単位で作業を行うこと、特殊な道具や工具を必要とせず足場部材の組立てができるうえ、工業製品である足場部材の組立てには技能要素の影響が小さいと考えられるためである。

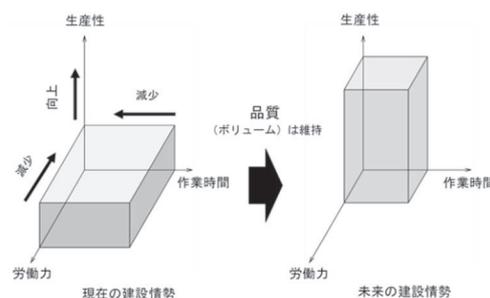


図1 品質と時間、労働力および生産性の関係

* 1 建築施工システム技術科 (Department of Advanced Architectural Technology)

2. 作業の動作分析による改善方法の検討

本研究では、複数人での足場組立て作業を対象に、IE手法を用いて足場組立て作業に潜在するムダ・ムラ・ムリな動作を見える化し作業の改善策を講じることで、生産性を向上させることを目的とする。取り組み手順は、以下に示す三つの段階を経て、動作分析による作業改善を試みる。第一段階は、IEの手法を用いたムダ・ムラ・ムリな動作を抽出する。ここでは、作業の効率化を図るうえで重要な課題や問題点を実験から抽出する。次に第二段階では、枠組み足場組立て作業の生産性向上に向けた改善提案をおこなう。第一段階で抽出したムダ等な動作を減らすための作業改善プログラムの提案をおこない、作業の効率化を試みる。最後に、第三段階では、枠組み足場組立て作業の改善提案の検証をおこなう。第二段階で提案した作業改善プログラムの適用効果を実験から検証し、生産性に与える影響を検証する。

3. 実験概要

3.1 足場課題の概要

図2に、本研究で対象とした枠組み足場の外観と構成部材および使用工具を示す。本研究では、床付き布枠に上がるための昇降設備は計画していないため、幅木は設置していない。また、表1に、足場組立ての動作分析の対象とした被験者情報を示す。各学年の被験者グループは、1グループ3人で構成し、グループの数は各学年3グループで計12グループ作成した。グループ作業では、実際の建設工事と同様に組立てる作業者の他、作業を指揮する作業者も必要である。そこで、グループごとにリーダーを1名選任し、組立て作業だけでなく作業の指揮もおこなうようにした。 敲

3.2 実験方法

被験者は、組立て作業を行う前に、足場組立てに関する安全作業動画を視聴した。また、被験者によって実験に対する説明が異なることがないように、足場組立てに関する作業要領書を配布し、作業要領書の条件に従い、作業手順書を作成するよう被験者へ依頼した。

足場組立て作業の動作分析には、デジタルビデオカメラで撮影後、その作業を5つの要素に区分

し、被験者の動きから作業を遅らせる原因となるムダな動作を記録した。また、各動作に要した時間も計測した。図3に、枠組み足場組立て作業における5つの作業要素を示す。

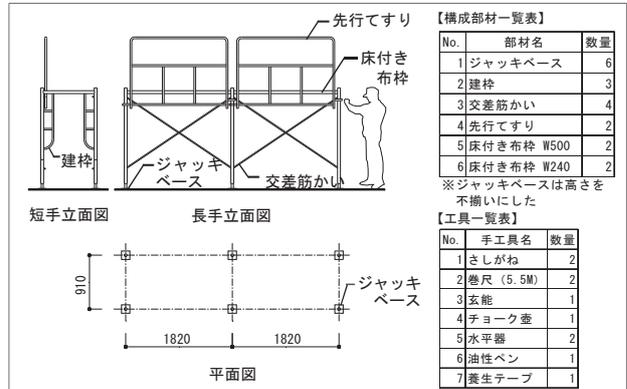


図2 枠組み足場の外観と構成部材および使用工具

表1 枠組み足場組立て作業に関する被験者情報

被験者の属性	記号	学習の機会
専門課程1年	S1-*	1度足場の組立てを経験
専門課程2年	S2-*	1度足場の組立て・解体を経験
応用課程1年	O1-*	3度足場の組立て・解体を経験
応用課程2年	O2-*	4度足場の組立て・解体を経験

※1 被験者は、足場組立てに関する特別教育を修了した者。

※2 *には各学年の作業グループ番号 (1~3) が入る。



図3 枠組み足場組立て作業の5つの作業要素

3.3 ムダ等な動作の回数と施工時間

表2に、足場組立て作業において、作業を遅らせる原因となるムダな動作の一覧を示す。あわせて図4に、学年全体で確認されたムダ等な動作から、ムダ等の種類ごとに、ムダの回数を算出したグラフを示す。

ムダな動作の種類ごとに、内容を確認すると、ムダ②は手戻りムダで、ベース位置、高さの修正が多くみられた。ベースの高さ修正については、後工程に入ってから修正を行うケースもあり、建枠・筋かいの施工に時間の影響を与えた。ムダ③は動作のムダで安定した部材を2人で支えるムダ動作や空歩行²⁾、手順忘れ、理由なく1部材を運搬し、何度も往復する運搬ムダがみられた。確認されたムダ③の動作回数は、42回確認され、ムダの種類では一番

多い動作ムダであった。特に、手順忘れによる先行手すりの取付けには、多くの時間を要した。ムダ④は人任せのムダで、布枠取付けの際に、前の人を待っている状況が多くみられた。ムダ⑥は重なり動作のムダで、全体で14回あり、うち9回は、専門課程1年生（記号：S1）が占めた。空歩行とは、手ぶらで無駄に歩き回る動作を指し、建枠運搬の際に多くみられた。

表2 作業を遅らせる原因となるムダな動作一覧

番号と種類	備考
ムダ① 施工・検査	unnecessary 施工, 検査はないか
ムダ② 手戻り	確認を怠り, 手戻りはないか
ムダ③ 動作	微細なムダ, 空歩行はないか 手順忘れ, あせりによる動作停止はないか
ムダ④ 人任せ	工具, 前の人を待っている動作はないか
ムダ⑤ 指示待ち	指示を受けるまで止まっていないか
ムダ⑥ 重なり動作	動作かぶりによる空歩行はないか

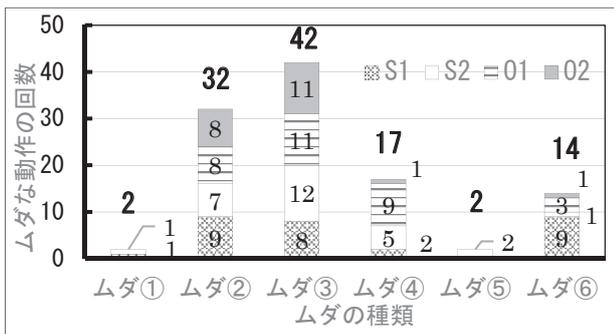


図4 学年全体で確認されたムダの種類と回数

4. 枠組み足場組立て作業の生産性向上に向けた改善提案

4.1 ムダ動作が発生する要因の検討

3.3で確認されたムダ動作の発生要因として考えられる理由は、作業グループ内で、役割を決めていない、もしくは、後工程作業を全員が把握できていないことが考えられる。事前に作業手順書を作成させたが、大まかな手順が並べられているだけで、個々の作業者の役割や段取りを想定した手順書になっていないことに着目した。また、作業手順書を作成する様子を確認したところ、特定の作業者が一方的に作業手順を書いて終わったグループがあったため、打合せの仕方も改善し、作業者全員が積極的に作業前の打合せに参加するような工夫も必要と考えた。さらに、本研究は、3人1グループで作業を行っている。このため、作業の指示を出すリーダーの

存在が重要と考えられる。リーダーが指導力を発揮するためには、役割分担を明確にし、どの場面でのような指示を出すかを作業手順書の作成を通じて整理する必要がある。また、各被験者グループではらつきの大きかった精度確認については、再度、精度確認手法を指導し、作業手順書に盛り込むよう改善を図る必要があると考えた。

4.2 作業改善プログラムの検討

表3に、前述の3.3の結果を踏まえ、生産性が向上するように検討した作業改善プログラムを示す。

表3に示す作業改善項目の「作業者を記入した作業手順書の作成」では、複数人で作業する際の作業シーンをイメージし、個々の役割を検討するような作業前ミーティングにする為に、作業手順書に作業者を記入させることにした。図5に、作業シーンをイメージした理想図を示す。図の中には必ず3名の作業者を記入させ、作業者が判別できる様、A,B,Cもしくは名前を記入させる。図の中に役割が無い作業者が居たことで「何かできることはないか?」を考えさせるきっかけになると考えた。また、作業者を記入することで、作業手順書に自分の役割が次々に見える形に変化し、人ごととは思えない状況が生まれ、作業前ミーティングへの参加意識の変化を期待した。また、手順書の様式を定め、作業手順（図3に示す作業要素）は、あらかじめ記入し、足場組立て手順を標準化した。

表3 作業改善プログラムの内容

作業改善項目	概要
・作業者を記入した作業手順書の作成	作業手順書に作業者を記入させ、複数人で作業する際の役割を明確にし、作業内容を具体化する。
・先行手すり取り付け手順の再指導	手すり販売メーカーが作成した作業要領を配布する。
・精度検査実習の実施	足場の離れや通りの確認、水準器の使い方、足場の水平の出し方を指導する。

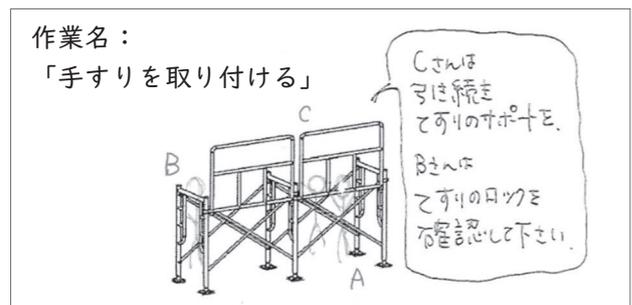


図5 役割が見える手順書の描き方

5. 作業改善プログラムの適用効果の検証

表4に、改善プログラム適用前（1回目）と適用後（2回目）のS1-2およびO2-3のムダな動作と施工時間の関係を示す。対象としたグループの選定は、学習の機会に差がある学年で、ムダの回数が多く確認されたグループを選定した。なお、被験者情報は、表1の記号に基づき表記する。S1-2は、1回目と比較すると、ジャッキベースの配置の際の手戻りによるムダ動作がなくなった。また、重なり動作によるムダ動作（ムダ⑥）が減少することで、並行作業が確認できた。これは、作業のやり方や役割が明確になったことで改善されたと考えられる。

次に、1回目の作業において精度確認を実施していないグループが4グループあったことから、精度確認を除いたデータで比較をおこなう。表6に、作業改善プログラムの実施後における施工時間の増減を示す。S1-2の施工時間は、1回目と比較すると、192秒減少した。一方、O2-3では、精度確認を除く全ての作業においてムダ動作の回数が減少したが、2回目のジャッキベースの配置では、1回目と比較してムダ動作が減少したのに施工時間が55秒増加した。これは、足場の精度を高めるために、ベース位置の墨出し等の作業が加わった影響によるものである。全体では、12グループ中10グループで精度確認を除いた作業時間の合計が短縮できた。また、図4に示すように、改善プログラム適用前（1回目）と後（2回目）を比較すると、ムダの回数の合計値は、おおよそ半減した。

表4 ムダな動作と施工時間の関係

要素名	1回目				2回目			
	ムダな動作回数	種類	回数	施工時間(秒)	ムダな動作回数	種類	回数	施工時間(秒)
S1-2	ジャッキベースの配置	ムダ②	3	246	0	-	0	54
	建柱・交差筋か	ムダ③	1	148	1	ムダ③	1	156
		ムダ⑥	4					
	精度確認	-	-	0	2	ムダ③	1	317
	先手すりの取り付け	ムダ③	2	122	0	-	0	55
ムダ④		1						
布枠の施工	1	ムダ⑥	1	134	3	ムダ② ムダ④	1 2	193
O2-3	ジャッキベースの配置	ムダ③	2	85	0	-	0	140
		ムダ⑥	1					
		ムラ①	1					
	建柱・交差筋か	ムダ②	1	211	1	ムダ③	1	161
		ムダ③	2					
精度確認	1	ムダ①	1	319	1	ムダ②	1	328
先手すりの取り付け	1	ムダ②	1	116	0	-	0	75
布枠の施工	4	ムダ②	1	160	0	-	0	126
		ムダ③	1					
		ムダ④	1					

表6 作業改善後における施工時間の増減（秒）

属性	職別	ジャッキベースの配置	建柱・筋交いの施工	先手すりの取り付け	布枠の施工	精度確認を除いた合計タイム
専門課程1年生	s1-1	+85	-13	+31	+54	+157
	s1-2	-191	+8	-68	+59	-192
	s1-3	+45	+62	-144	-14	-51
専門課程2年生	s2-1	-13	-59	-1	+88	+14
	s2-2	+97	-190	+21	+64	-8
	s2-3	+31	-14	-19	-23	-24
応用課程1年生	o1-1	-252	-102	-64	-76	-495
	o1-2	+64	-410	-142	-77	-565
	o1-3	-2	-88	-292	-29	-411
応用課程2年生	o2-1	+27	+4	-136	+19	-87
	o2-2	-6	-50	-18	-15	-89
	o2-3	+55	-49	-41	-33	-69
平均値	-5	-75	-73	+1	-152	

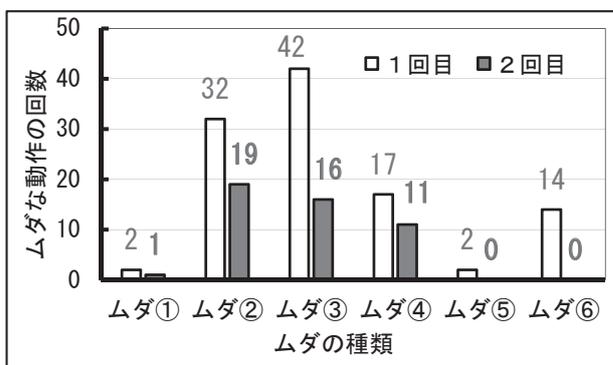


図4 学年全体で確認されたムダの種類と回数

6. まとめ

枠組み足場組立て作業においてムダな動作を抽出し、作業改善が生産性の向上に及ぼす影響を検証した結果、以下の知見を得た。

① 改善すべき動作を指摘することや、作業者が能動的に作業を進める指導をおこなうことで、作業動作は改善し、ムダな動作回数をおおむね半減することができた。また、ムダな動作を減らすことは、作業動作にかかる時間の短縮につながった。

② 複数人でおこなう作業の改善は、作業工程全体を見渡し、リーダーを中心とした役割が見える手順書を作成することで、前後の作業を意識することができ、並行作業がみられるようになった。

<参考文献>

- 1) 総務省統計局：労働力調査 基本集計第II-2-5表 産業 職業別就業者数
- 2) 和田雅宏, PTU 技能科学研究会：インダストリアルエンジニアリングの最前線-最新テクノロジーを活用した生産効率の向上, 日科技連出版社, 2020. 3

職業訓練指導員の統計的スキル分析とスキルデータを活用した 学生指導の検証

—電気工事士実技試験を事例として—

杉田大輔^{*1}

（令和7年11月7日受理）

Validation of Student Training Applying Skills Data Using Statistical Analysis of Vocational Training Instructor

—Case of Second-Class Electrical Installation Skills Test—

Daisuke SUGITA^{*1}

(Received November 7, 2025 ; Accepted for Publication February 1, 2026)

In this theme, we examined whether the training methods of previous studies can be used in vocational training. Using the sum of the distance traveled between the parts of a vocational training instructor's work as an explanatory variable, we estimate the parts of the work that affect the work time by regression analysis. In addition, the data obtained by motion capture is visualized by scatter plots to verify the content of the instruction.

1. はじめに

今日の日本は、少子高齢化により人口の約 1/3 が 65 歳以上の高齢者であり、国内の労働力人口の減少が止まらない状態が続いている。また、近年の労働市場の傾向として、事務職などのホワイトワーカーの有効求人倍率は低く、建設・専門技術職・輸送・機械運転といった、いわゆる「エッセンシャルワーカー」の有効求人倍率が高い傾向にある。

このような労働市場の二極化が進んでいる現在、我が科に関連する電気保安業界をはじめとしたインフラ業界においても、全体の労働人口の減少や高齢による退職などに起因する人材不足が喫緊の課題となっている。経済産業省の調査では、2045 年には第

二種電気工事士の人材が 2,500 人程度不足すると予想されており¹⁾、新規入職者に対する教育は今後更に重要である事項といえる（図 1）。



図 1 第二種電気工事士の需給バランス¹⁾

* 1 電気エネルギー制御科 (Department of Electrical Energy Control)

しかし、専門的な技能・技術においては、これまで熟練技能者が新規入職者に対して口頭または、実演により技能を伝え、見真似や研鑽を重ねることにより技能継承が行われている²⁾。特に専門的な技能・技術は指導者の主観（カン、コツ）によるものが大きく、見真似や研鑽は多くの時間が必要となることに加え、高齢化に伴う指導者不足の問題³⁾も相まって、熟練技能の効率的な継承は急務の課題である。

この課題に対して、筆者らは技能訓練において科学的トレーニングを取り入れることで熟練技能を短期間で継承できることを明らかにしている⁴⁾。これまでも熟練技能の暗黙知を形式知化し継承しようとする研究⁵⁾⁶⁾は行われ、その指導手法の提案としてMDM（Motion Density Map：動作密度マップ）を用いた科学的トレーニング法について考察している⁷⁾。これらの研究では、主に技能五輪出場選手の技能訓練を対象としていたため、職業訓練の受講生を対象にした研究はほとんど行われていない。

そこで本研究では、職業訓練の場において指導する立場にある職業訓練指導員（筆者）をモデル技能者として、第二種電気工事士実技試験（以下、本作業、とする）の作業動作をモーションキャプチャソフトウェア（Motion Capture Software：以下、MCS、とする。）により、「鼻」、「首」、「胸」、「肩（左右）」、「肘（左右）」、「手首（左右）」、「手（左右）」の計11か所の部位の座標データを取得し、座標データから、各部位の総移動距離を技能データとして回帰分析を行い、作業時間に影響を与える部位を特定する。同時に座標情報から各部位の移動動作傾向を可視化するための手法であるMDMを用いて、学生に対して指導を行い、効果を測定する。そして、そこから見えてくる問題点や課題について考察する。

なお、本研究で用いるMCSはVISION POSE[®]を使用する。これは、図2に示すVISION POSE プリインストール済みのVISION POSE nano[®]の導入コストが16万円程度と他の製品と比較して安価であること、ビデオカメラで撮影した映像を機械学習による推論、解析ができるため、特別なスーツマーカが不要であることから採用した。



図2 VISION POSE nano

2. 第二種電気工事士実技試験

第二種電気工事士とは、電気工事士法で定められている国家資格であり、同法において、一般用電気工作物（低圧で受電する一般家庭、商店等の屋内配線設備、小規模な発電設備等）の設置又は変更に係る電気工事作業は第二種電気工事士の資格を有する者が従事することを義務付けており、電気工事業界を志す者が取得する最初の資格ともいえる。

第二種電気工事士の試験は筆記および実技試験の2つの試験を合格する必要がある。そのうち実技試験は、現在13種類の候補問題（図3はその一例）から1題が当日出題され、示された配線図、施工条件を基に支給された材料で、作業時間40分以内に完成させる必要がある。また、完成した課題に対して欠陥の有無を判定し、欠陥が無いものが合格となるため、課題の要求に適合する一定の品質も同時に求められる内容となっている。なお、本作業の一般的な手順を図4に示す。

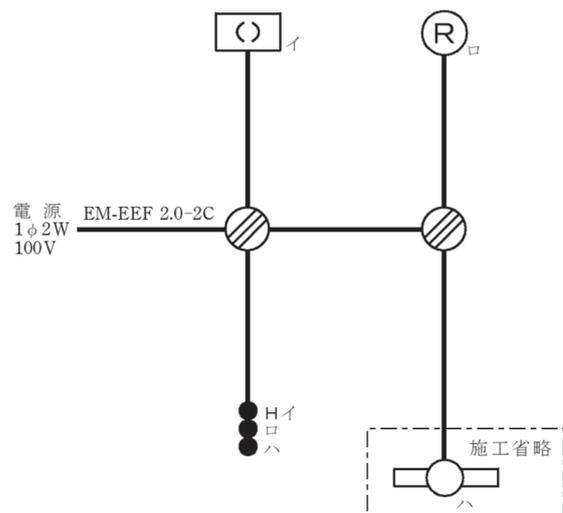


図3 本作業の課題例

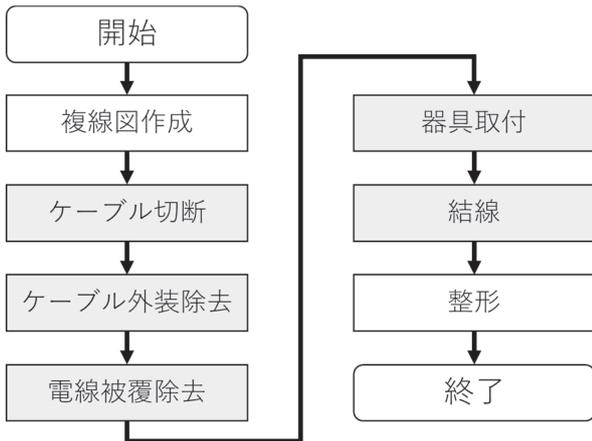


図4 本作業の作業手順

3. 研究手法

本研究で実施した内容を以下に述べる。

3.1 モデル技能者の技能データの取得

本研究では、職業訓練指導員をモデル技能者として作業を行い、図5の位置からビデオカメラで撮影する。撮影した映像から、「鼻」、「首」、「胸」、「左-右肩」、「左-右肘」、「左-右手首」、「左-右手」の計11か所のX-Y軸2次元座標データ（以下、座標データ、とする。）をMCSにより取得する。

次に、取得した座標データから、技能データとして各部位の総移動距離を、表計算ソフトを用いて算出する。

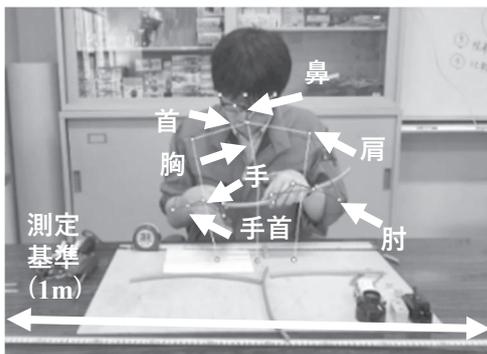


図5 分析対象部位

3.2 統計的分析による作業のポイントの推定

本作業の作業時間に影響を与える部位を推定するため、モデル技能者の各部位の技能データについて相関や回帰式による回帰分析を行う。なお、回帰分析は統計分析ソフトHAD⁹⁾を用いる。

3.3 学生座標データの取得とMDMの作成

モデル技能者と同様に本作業を行う学生の各部位

の座標データを本作業の映像からMCSにより取得する。次に3.1で取得したモデル技能者と学生の座標データからMDMを作成する。

3.4 指導の効果の確認と課題・問題点の考察

3.2で推定した本作業の作業時間に影響を与える部位を中心に、3.3で作成したMDMの提示と指導を従来の指導に追加して実施する。

本研究で適用する指導に効果があるか、従来の指導方法と比較する。なお、本研究では、従来の指導方法で作業した学生と3.3の指導を適用した学生2名の作業時間を比較対象とする。次に、指導を実施するにあたり、職業訓練での適用可否や可能性について考察する。

4. モデル技能者の統計的分析と考察

本研究では13課題分の動作について技能データを取得し、統計的分析を行った。対象となるモデル技能者は当機構入構後、電気系指導員として13年の経験を有し、第二種電気工事士および第一種電気工事士の試験に合格している。

統計的分析では、作業時間を目的変数 t 、各部位の技能データを説明変数 d として回帰分析を行った。その結果を表1、(1)式および図6に示す。各部位のうち、左手の技能データが最も作業時間と相関がある部位と推定された。

表1 左手の回帰分析の結果

変数名	係数	p 値	AIC
切片	754.16	.001	164.145
左手	0.004	.044	

$$t = 0.004d + 754.16 \quad (1)$$

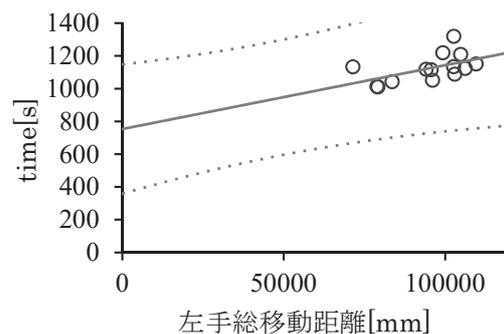


図6 予測曲線と近似予測区間

すなわち、「左手」が本作業全体において特に作業時間に影響を及ぼす部位と推定された。

なお、モデル技能者は右利きであるため、左手は「非利き手」となる。本作業は、図4の塗りつぶされた作業工程において、作業に応じた工具を使用する必要がある。そのため、工具を使用する時間が作業時間の大半を占める。本作業において、モデル技能者は各工程での作業中、右手は工具を使用する必要がなくなるまで工具を持ち続け、非利き手である左手で使用する材料を掴み、速やかに加工できるようにしている。

すなわち、右手は工具を持ち、左手は材料を持ち作業を行う、「左右非対称動作」を有効に行うことが作業時間に影響を与えていると推察される(表2)。

表2 工具持替回数(課題 No.1)

モデル技能者	学生
23回	33回

5. 指導への適用と効果の検証

本研究では13課題のうち、5課題を実施し、指導を行った。モデル技能者と作業者の作業時間の結果を表3に示す。

表3 モデル技能者と学生の作業時間

課題 No.	モデル技能者	学生	Gap
1	18 m 54 s	32 m 14 s	13 m 20 s
2	16 m 53 s	28 m 00 s	11 m 07 s
3	16 m 50 s	28 m 03 s	11 m 13 s
4	18 m 53 s	33 m 00 s	14 m 07 s
5	20 m 19 s	30 m 49 s	10 m 30 s

5.1 MDMの比較

初回(No.1)の作業で取得した座標データ(左手, 右手)のMDMを図7に示す。図7(a), (b)はモデル技能者, 図7(c), (d)は学生のMDMである。本来, MDMはヒートマップにより各部位の移動動作傾向(どの位置を中心に部位が移動しているのか)を可視化する手法であるが, 本研究では, ヒートマップを作成するソフトウェアが無いため, 表計算ソ

フトの散布図を用いた。濃淡については, プロットの透明度を99%で設定することで表現している。

また, 3.により作業のポイントが左手であると推定されたことから, 左右の手の動作を比較する。

なお, 本研究で取得したMDMのうち, 薄いプロットは, 一時的な動作, 落とし物を拾う, テキストをめくるといった動作である。

本検証においては密集かつ, 濃いプロットの部分である特に作業時間の多くを占める部位の位置に着目して検証することとする。

図7(c)の学生の左手はX軸方向に約500mm, Y軸方向に約250mmの幅を中心に動作をしている。

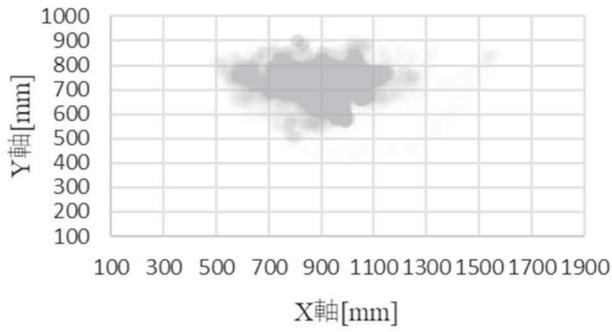
次に図7(d)の右手はX軸方向に約500mm, Y軸方向に約200mmの幅を中心に動作をしているので, 左右ともに同量の動作をしている。

図7(a)のモデル技能者の左手の動作はX軸方向に約600mm, Y軸方向に約300mmの幅を中心に動作しており, 図7(b)の右手はX軸方向に約550mm, Y軸方向に約300mmの幅を中心に動作していることから, モデル技能者の左手のX軸(横方向)が右手より広く動いている動作傾向であることが分かる。

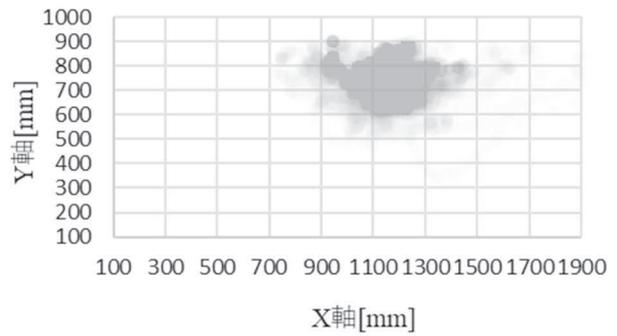
それに対して, 学生の動作はX軸の動作が左右ともに近い大きさであり, 左手を効果的に使うことができていることがMDMにより推定される。また, 両手の動作もモデル技能者の動作に対して小さいことが, MDMによりわかった。

そこで, 指導対象の学生に対して, 指導時にMDMを提示し, 左手を横方向に積極的に動かすこと, また, 左右の手を更に大きく動かすことの2点について, 従来の指導に加えて指摘した。

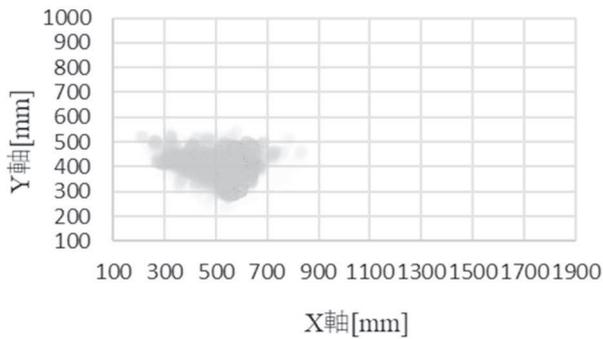
図8は複数回の指導を重ね, 5回目の作業時に作成したMDMである。初回の動作と比較して, 学生のX軸(横方向)の動作がモデル技能者の動作幅に近づいている。また, 表3からも初回(No.1)と比べて5回目(No.5)の作業時間がモデル技能者の作業時間に近づいていることが確認できる。すなわち, 学生の動作をモデル技能者の動作幅に近づけることが作業時間短縮につながると推察される。No.5は右手Y軸(縦方向)の動作がモデル技能者と比べ, 約100mm小さく動作しているため, 右手を縦方向に積極的に動作するように指導することで更に作業時間がさらに短縮する可能性がある。



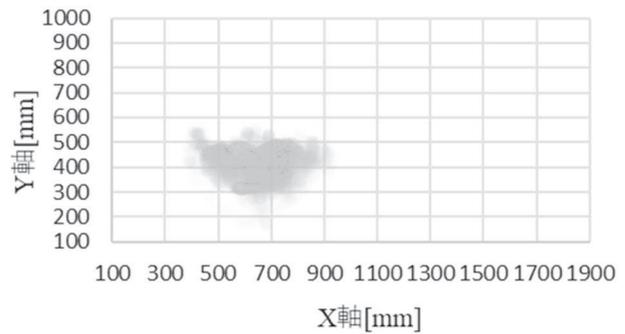
(a) モデル技能者 左手



(b) モデル技能者 右手

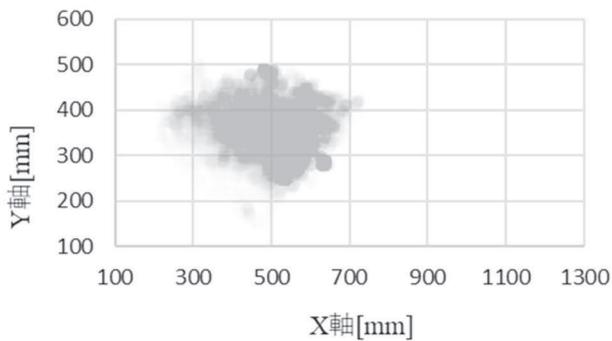


(c) 学生 左手

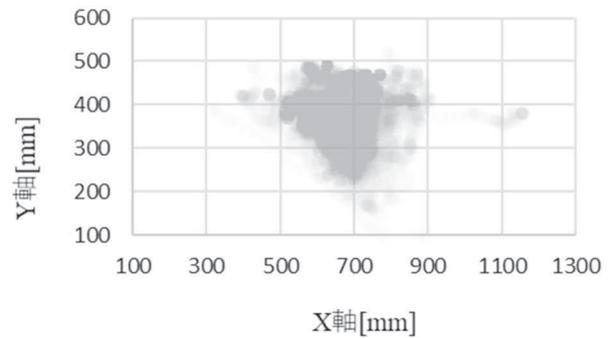


(d) 学生 右手

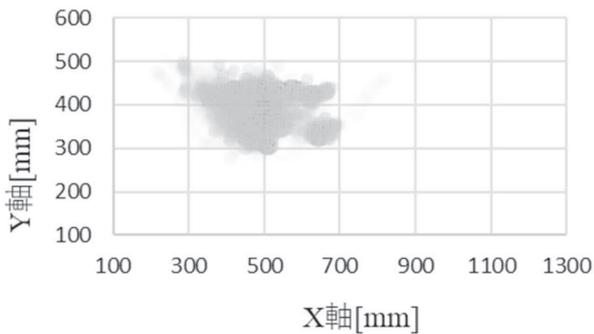
図7 初回の作業における手の移動距離 (X-Y プロット)



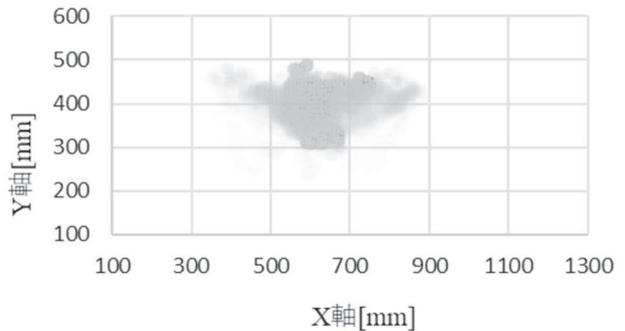
(a) モデル技能者 左手



(b) モデル技能者 右手



(c) 学生 左手



(d) 学生 右手

図8 5回目の作業における手の移動距離 (X-Y プロット)

5.2 移動距離と移動速度による比較

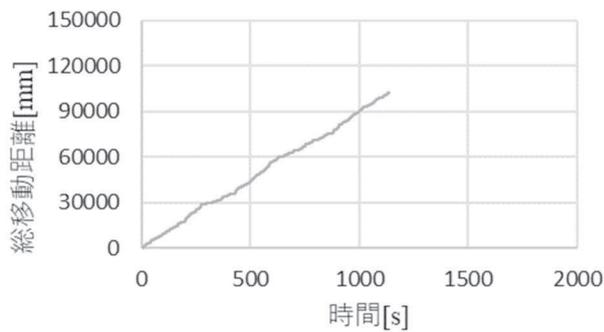
技能データから、モデル技能者と学生の手(左右)の総移動距離を Y 軸、作業時間を X 軸にした作業時の移動速度を表したグラフを図 9 及び 10 に示す。

図 9 は図 7 に対応する作業時の部位の移動速度を示している。また、図 10 は図 8 に対応する作業時の部位の移動速度を示している。このグラフの傾きが大きい場合、部位の移動速度が速く、傾きが小さい場合は部位の移動速度が遅いことを意味する。

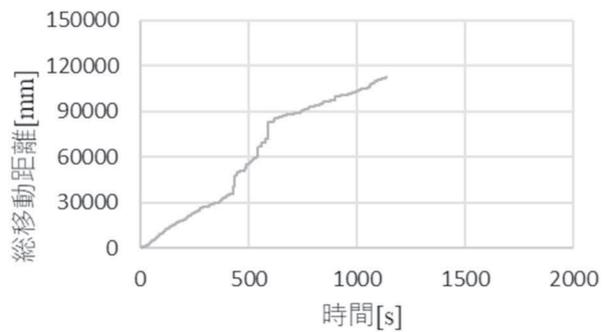
モデル技能者と学生を比較すると、特に左手の移動速度がモデル技能者の方が早いことが分かる。そ

れに対して、右手の動作は No.1 の場合、モデル技能者の方が移動速度が速く、No.5 では、学生の移動速度が早い。すなわち、利き手である右手の動作の移動速度よりも非利き手である左手の移動速度が速いことが作業時間に影響を与えており、統計的分析で示唆された作業時間に影響を与える部位と一致しているといえる。

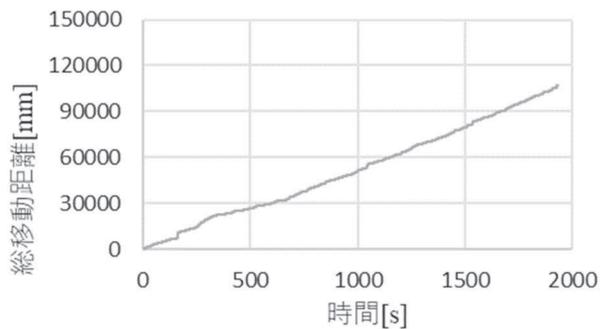
また、総移動距離では学生の方が多い傾向にあり、いわゆる余計な動作を行っている可能性が示唆される。そのため、5.1 の MDM に加えて本データを提示し、指導を実施した。



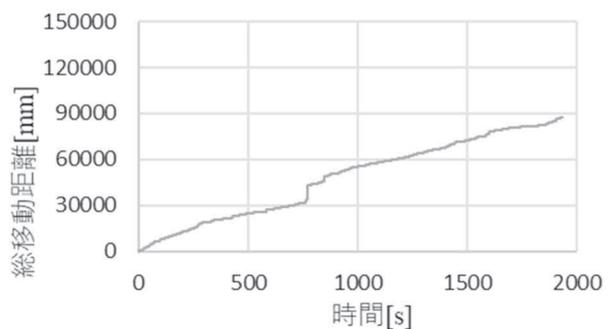
(a) モデル技能者 左手



(b) モデル技能者右手

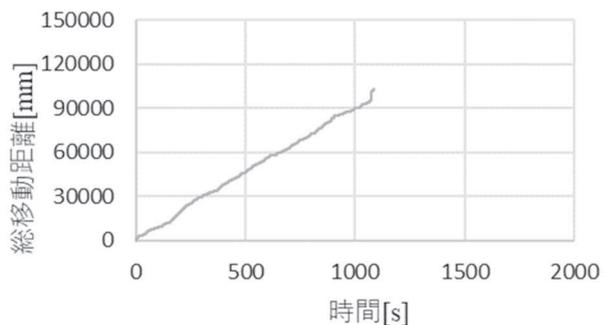


(c) 学生 左手

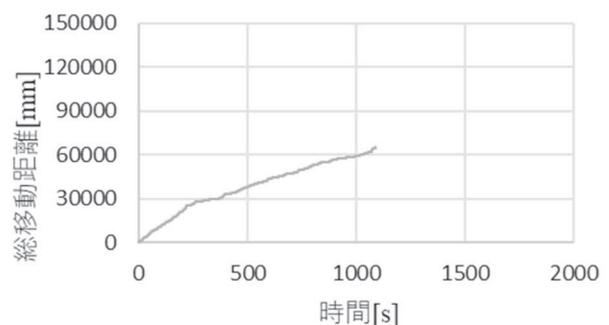


(d) 学生 右手

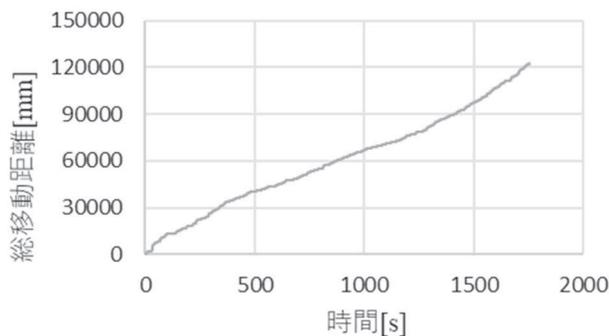
図 9 初回の作業における手の総移動距離と時間



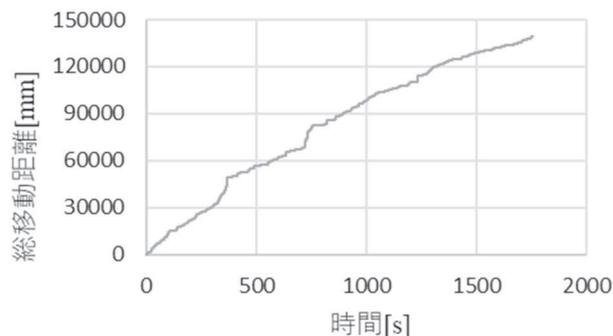
(a) モデル技能者 左手



(b) モデル技能者右手



(c) 学生 左手



(d) 学生 右手

図 10 5 回目の作業における手の総移動距離と時間

5.3 学生間による作業時間の比較

本研究において、従来どおり指導員の主観による指導を実施した学生と、技能データを活用した指導を実施した学生の作業時間の結果を表 4 に示す。はじめに No.1 の課題を実施した際に両者の作業完了時間は、7 分 54 秒の差があったが、2 回目以降は課題内容により作業完了時間にばらつきがあるが、両者の作業完了時間の比較においては大幅に作業時間が短縮されているため、一定の効果があったと推定される。

表 4 学生の作業時間

課題 No.	A	B
1	24m20s	32m14s
2	27m57s	28m00s
3	26m54s	28m03s
4	33m38s	33m00s
5	29m48s	30m49s

(A:従来の指導法・B:技能データを活用した指導法)

6. 本指導方法の課題点とその考察

6.1 指導適用に要する時間

本研究で使用した MCS では、ビデオカメラで撮影したデータを技能データに変換する際に、30 分程度の動画の場合、2 時間程度の時間を要した。

別途 Web カメラを使用することでリアルタイムに CSV データを生成する機能があるが、録画できない仕様であること、かつ手の技能データを取得できないため、別途ビデオカメラで撮影する必要がある。

また、30 分程度の作業を分析する際に 30fps の映

像の場合、約 54,000 行の座標 CSV データを取得することになる。表計算ソフト等により可視化させる作業において、パソコンに負荷がかかり時間を要する。そのため、2 回目以降の指導ではビデオカメラで撮影しつつ、Web カメラによるデータ取得に切り替え、作業完了から可視化データ作成まで 30 分程度の時間を要した。30 分程度の時間の中で課題の撤去作業を行うことで空白の時間を無くすようにした。

6.2 可視化手法

可視化については、図 11 に示す動画を編集して 1 つの画面で見比べることができるように行った。

また、図 7 及び図 8 については、エクセルの機能が限られているため、MDM のようなヒートマップを作成することができなかつたため、散布図の透明度を高めることにより傾向が分かるように表現した。BI ツールなど分析ツールを活用することで、データ処理の負担の軽減、効果的な視覚表現ができるため、より効率的な指導が行うことができると考える。



図 11 学生との比較 (MCS)

6.3 複数人への適用

本研究では、1 名に対する指導であったため、技能データの取得と分析、指導がある程度容易に実施できたが、複数名の技能データの取得については、座標データは 1 つの CSV データとして出力するこ

とから、1人ずつ分析を実施する場合、かなりの時間を要することが想定される。

そこで、RPAなどの自動化ツールの適用といった省力化の検討、処理に対応できるソフトウェアの導入といった対策が必要であると考えられる。原則として、職業訓練を実施する環境は複数名の訓練生がいることが前提条件と捉える必要があるため、実施方法を含めた指導の検証を今後の課題の一つとした。

6.4 評価方法の検討

本研究では、作業全体のMDM、移動距離、移動速度及び作業時間を用いて評価を実施したが、現状の評価方法では、作業手順の各工程単位での評価が困難である。

そのため、ある作業は十分できているが、他の作業では習熟がより必要であると判断ができるように作業工程毎のレベル設定等分析を実施し、評価を行うことでより効果的な指導ができると思われる。

7. おわりに

本研究では、第二種電気工事士実技試験の作業に関する指導法について、モデル技能者の作業に対して回帰分析を行い、作業時間に特に影響を与える部位と動作について推定した。そして、MDM、移動距離、移動速度を利用した指導法について述べ、検証の結果および検証を通して浮かび上がった課題について述べた。

本指導は従来の指導法に対して、指導者の技能データを活用することで視覚的、客観的に受講者に伝えることができ、次の作業に向けた効果的なフィードバックができていると考える。また、対象の学生も技能データを比較することで改善すべき点を視覚的に確認できたことにより、時間短縮に効果があったと述べていることから、従来の指導法には無い効果が示唆された。

今後は、複数名を対象にした指導への適用をはじめ、科学的トレーニングを活用した指導の適正化に向けた取り組みについて検討していきたい。

謝辞

本稿を作成するにあたり、総合製作実習で本テーマに取り組んでいただいた、生産電気システム技術科 鈴木真白氏、永峯遙氏、野中喜智氏に心から感謝申し上げます。

<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，p. 2, 2018.
- 2) 柳沼寿：地域社会における技能習得と教育の職業的意義，経営志林，44巻第1号，pp. 17-36, 2012
- 3) 厚生労働省：能力開発基本調査：結果の概要，p. 19, 2024.
- 4) 菊池拓男，杉田大輔，山下龍生，羽田野健：スキルテックと熟練技能者の育成，PTUフォーラム2021，職業能力開発研究発表講演会 講演論文集，p. 29, 2021.
- 5) 藤田紀勝，林敏浩，山崎敏範：溶接技能パラメータに基づく溶接訓練学習システム，信学論(D)，J90-D-9，pp. 2522-2529, 2007.
- 6) 松木則夫：製造現場における熟練技能の抽出に関する研究—技能の可視化および代替に関する研究—，Synthesiology，vol3 no. 1，pp. 47-55, 2007.
- 7) 杉田大輔，山下龍生，羽田野健，菊池拓男：熟練技能の統計的分析と動作密度マップによる科学的トレーニング法への展開—光融着接続作業を事例として—，一般社団法人 電子情報通信学会，OFT2020-6，vol120 no. 141，pp. 19-24, 2020.
- 8) 株式会社ネクストシステム，Vision Pose Nano，NEXT-SYSTEM 公式 サイト，<https://www.next-system.com/visionpose-nano/>，2025. 10. 1.
- 9) 清水裕士：フリーの統計分析ソフト HAD：機能の紹介と統計学習・教育，研究実践における利用方法の提案，メディア・情報・コミュニケーション研究，1巻，pp. 59-73, 2016.

小型全自動飲料充填機の開発

－充填・打栓及びボトル洗浄機能の開発からロボットアームの組み込みまで－

江 守 真^{*1}・蝦 名 健 一^{*2}・印 南 信 男^{*3}・谷 岡 政 宏^{*4}・茶碗谷 広 志^{*5}
(令和7年11月7日受理)

Development of Compact Fully Automatic Beverage Filling Machines － From the Development of Filling, Capping, and Bottle Washing Functions to the Integration of a Robotic Arm －

Makoto EMORI^{*1}, Kenichi EBINA^{*2}, Michio INNAMI^{*3},
Masahiro TANIOKA^{*4} and Hiroshi CHAWANYA^{*5}

(Received November 7, 2025 ; Accepted for Publication February 1, 2026)

Small, fully automated beverage filling machines suitable for small- and medium-sized beverage manufacturers was developed. In the first year of development, a machine equipped with beverage filling and bottle capping functions was completed. In the second year, a machine specialized in bottle cleaning, which is the process preceding filling, was developed. In the third year, a machine integrating a robotic arm and camera-based sensing for filling and capping operations was developed. When multiple units of these machines are operated in parallel, the total production capacity can rival that of large-scale machines, while also eliminating the problem of complete production stoppage due to partial failures, which is common in large systems.

1. はじめに

飲料業界では、大手メーカーによる同一種類の飲料を大量生産する方式が主流であるが、近年、地域の特産品などを使用したクラフト飲料などの小型マーケットをターゲットとする飲料の生産量も伸びている。また、燃料費の高騰による輸送費の問題やドライバー不足の問題、大量生産による工場周辺の濁水の問題の懸念から、地域の小規模工場で少量生産し、供給する方式も検討されている。

一方で、飲料生産に不可欠な飲料充填機は、主に大型で大量生産が行える全自動機と小型で少量生産を行

う半自動機がほとんどで、中小規模生産に適した低価格の小型全自動飲料充填機の需要が高くなっている。

小型全自動型の飲料充填機のメリットは、新規飲料事業をはじめる際に、初期投資を抑えかつ、飲料生産にかかる人的負担を軽減させることができること、地域の小規模工場で地産地消の手作り飲料を生産するのにも適していることが挙げられる。

また、生産規模に合わせ、小型全自動充填機を複数台、並列で運転することができれば、大型全自動充填機の生産能力を確保できると考えられる。加えて、故障発生時にはその充填機が停止するだけで、他の充填

-
- * 1 生産機械システム技術科 (Department of Production Mechanic System Technology)
 - * 2 生産電気システム技術科 (Department of Production Electric System Technology)
 - * 3, 4 生産電子情報システム技術科 (Department of Production Electronic and Information System Technology)
 - * 5 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 Electric System Technology)

機は継続して稼働できるので、全面停止という事態を回避できるという大きなメリットが考えられる。

このように可用性と拡張性を持った充填機の開発は、道内の主要産業である農業における食品加工分野に大きく貢献すると同時に、充填機のほとんどが道外から購入されている現状で、道内での生産・販売が可能となれば、道内機械製造業の活性化を促すと考えられる。

本報告では、2022年度～2024年度の3年間、有限会社ソウアイ様から相談を受け、連携して取り組んだ「小型全自動飲料充填機の開発」の成果を報告する。

2. 開発のターゲットと各年度の目標

一般に飲料充填機は、飲料充填工程のうち、ボトルリンサ（洗浄）、ボトルフィラ（充填）、ボトルキャップ（キャップ供給・打栓）の3工程を1台で行うことができる機械のことである。飲料充填機の3工程を図1に示す。

開発1年目は、充填及び打栓機能を備えた小型全自動飲料充填機の開発（開発品の愛称：Little Bottle Filler（以下「LBF」））を目標として開発を行った。

開発2年目は、ボトルリンサ工程を全自動化した小型機械（開発品の愛称：Little Bottle Rinser（以下「LBR」））の開発を行い、LBFとの接続を目標とした。

開発3年目は、相談企業様の要望もあり、ロボットアームを利用し、カメラを中心としたセンシング機能を組み込んだ小型全自動飲料充填機の開発（開発品の愛称：Bottle Auto Charge System（以下「BACS」））を行った。

開発した機械の共通仕様は、小型で全自動であるということで、一般的な作業台（幅×奥行×高さ：1800×900×900）上に設置可能な大きさと、人が持ち運びできる質量を目標とした。また、ペットボトルは相談企業様から支給された500mL、300mLの丸型形状のものを対象とし、飲料は取り扱いのしやすさから、水を対象とした。

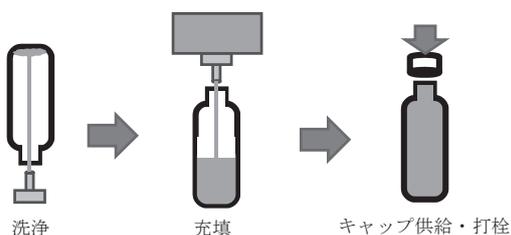


図1 飲料充填機の充填工程

3. 充填量計測方法の検討（共同研究）

3.1 充填中計測方法の検討のための実験

本開発のコア技術は飲料充填方法であり、液体充填量の充填中の計測方法が非常に重要である。

飲料を充填する方法には、主に飲料と充填ノズルが接触する方式として、グラビティ方式（液体の重力による充填で、ノズルの空気取り込み口までを充填量とする計測方式）が、非接触方式として、①質量計測方式、②流量計測方式、③画像計測方式による方式があるが、飲料メーカーが採用している方式は様々である。衛生面を考慮するならば、非接触方式が望ましいため、本検討では2023年度に共同研究として、非接触方式3方式を比較し、開発する充填機に搭載すべき計測方式を検討した。具体的には、充填中に①～③の計測方式における「充填高さ」「充填量」のばらつきを比較実験した。本実験の実験条件と目標値を図2に、実験用充填装置の本体を図3に、仕様を表1示す。

「充填高さ」とは、入味線高さのことで、もし、同一飲料の充填高さにばらつきがあると、充填量の誤差よりも、消費者にとって、目につきやすい事項となる。

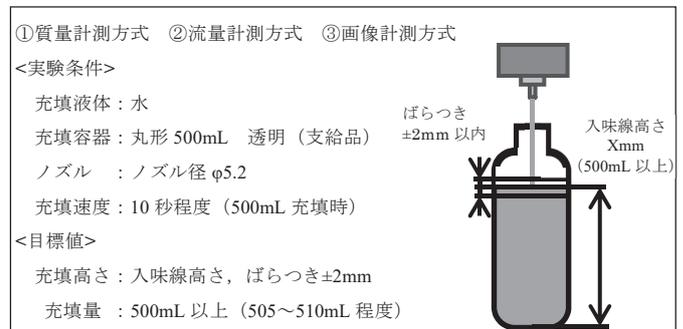


図2 実験条件と目標値

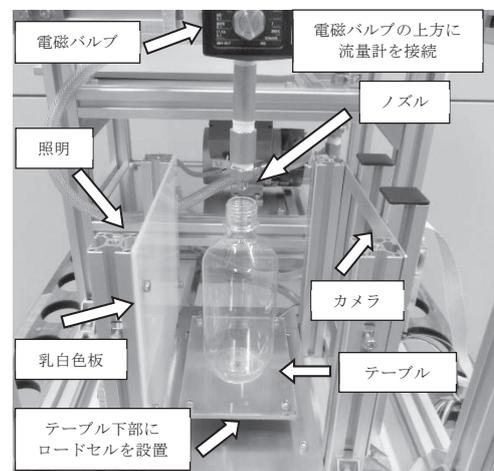


図3 実験用充填装置本体

－充填・打栓及びボトル洗浄機能の開発からロボットアームの組み込みまで－

表 1 実験用充填装置仕様

対象飲料	水
対象ペットボトル	500mL 透明・丸形
質量計測方式	ロードセル (ビーム型) 2kg SC133-2kg (Sensor and Control Company Limited.) ロードセル用 AD コンバータモジュール基板 AE-HX711-SIP (秋月電子) 出力データレート: 10sps, 分解能: 24 ビット
流量計測方式	フロースイッチ PF3W504S-03-1-Z (SMC) カルマン渦式 定格流量 0.5~4L/min アナログ出力応答時間 1s (ステップ入力値に対する 90%の値に到達する時間)
画像計測方式	カメラ UC-350 (800 万画素 Arducam) 照明 (乳白色板使用) LEDE120-W (102 lx / 0.5 m)
電磁弁	AB41-03-7-M3A-DC24V (CKD) 直動式 2 ポート弁
ポンプ	マグネットポンプ PMD-121B6J1 (三相電機) 最大吐出量 14.0[L/min] (50Hz)
タンク容量	10L
制御コントローラ	Arduino® Uno, RaspberryPi®2 Model B

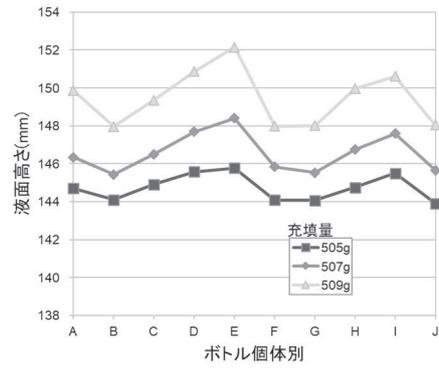


図 6 ボトル個体別の充填量

表 2 計測方式の比較

	質量計測	流量計測	画像計測
充填高さ一定 (液面ばらつき±2mm)	○	△	◎
充填量一定 (505~510mL 程度)	◎	△	○
充填速度 (500mL/10 秒)	対応可	対応可	対応可
不透明ボトル	◎	◎	×
コスト (今回の概算額比較: マイコン・センサ等)	◎ (5,000 円 程度)	○ (25,000 円 程度)	○ (25,000 円 程度)

3.2 実験結果及び計測方法の検討まとめ

「充填高さ」, 「充填量」の 3 方式による比較実験の結果を図 4, 図 5 に, ボトル個体別の充填量と液面高さの比較を図 6 に示す。

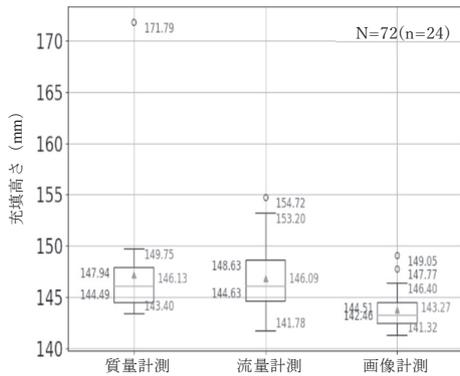


図 4 充填高さの比較

図の箱ひげ図は, 中央値 (箱内の線), 第 1・第 3 四分位数 (箱の境界), および四分位範囲の 1.5 倍以内のデータの範囲 (ひげ) を示す. ひげの外側の点は外れ値を表す.

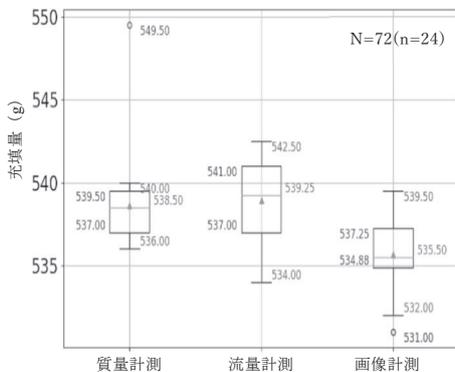


図 5 充填量の比較

図の箱ひげ図は, 中央値 (箱内の線), 第 1・第 3 四分位数 (箱の境界), および四分位範囲の 1.5 倍以内のデータの範囲 (ひげ) を示す. ひげの外側の点は外れ値を表す.

実験装置による実験結果から, カメラを使用した画像計測方式が, 液面高さのばらつき幅が一番小さく, 「充填高さ (mm)」を一定にするのに適した計測方式と言える. 同様に質量計測方式が, 「充填量 (g)」を一定にするのに適した方式と言える.

また, ボトルの個体差から「充填量 (g)」が一定であっても「充填高さ (mm)」は一定とは限らず, 充填量が多くなるほど, ばらつきが大きくなる傾向にあると分かった. その他の比較項目を含めた計測方式の比較を表 2 に示す.

以上より, 相談企業様の要望である充填高さを一定にする方式としては, 透明ボトルを使用した場合, 画像計測による方式が最もばらつきを小さくできる可能性があると思われた.

4. 各年度の開発 (2022 年度~2024 年度)

4.1 LBF の開発 (2022 年度) ²⁾

4.1.1 LBF の主な仕様

LBF は, 充填とキャップの打栓を自動化した小型全自動飲料充填機である. LBF の仕様を表 3 に, 本体外觀図を図 7 に, システム構成図を図 8 に示す.

機械サイズは, 一般的な作業台に設置可能なサイズとなった. 連続生産時の生産能力は, 供給, 排出, 充

填, キャップ供給, 打栓を同時に行うことにより, 1本当たり 10 秒 (60 本/分) で生産することができた. また, 最大 16 台まで並列稼働させることができる管理システムも開発した.

表 3 LBF の仕様

項目	仕様
充填飲料	水又は粘度の低い液体
対象ペットボトル	丸形 500[mL] (φ70×185), 透明
対象キャップ	NC フラップ(φ28mm)
生産速度	60[本/分]
内部タンク容量	10[L]
充填料ポンプ	マグネットポンプ 最大吐出量 14.0[L/min] (50Hz)
電磁バルブ	直動式 2ポート弁
充填量制御方式	画像認識 (未完成)・タイマ方式
ペットボトル搬入・搬出方式	ベルトコンベヤ方式
充填・打栓工程間の搬送方式	ロータリテーブル方式
打栓機構	スライダクランク機構
本体制御コントローラ	PLC : FX5U-32MR/DS マイコン : BeagleBone® Black ミニ PC : CHUWI LarkBox Pro
管理システムコントローラ	PC (プログラム言語 : Python®)
本体サイズ・質量	W1020×D604×H950 [mm]・71[kg]
制御ボックスサイズ・質量	W600×D400×H130[mm]・11[kg]
使用電源	AC100[V]
消費電力	最大 150[W]

4.1.2 LBF の各部の概要と構成

LBF は, LBF 本体・制御ボックス, 外部の管理システムから構成され, 複数台の管理ができる.

LBF 本体には, ペットボトルを搬入・搬出するベルトコンベヤが搭載されており, 前工程や後工程の接続を可能にしている. 充填工程とキャップ供給・打栓工程間のペットボトルの搬送は, ロータリテーブル方式とし, 分離・位置決めと搬送のタイミングの同期を取っている. LBF の動作概要を表 4 に, 搬送部の機構を図 9 に, 充填部の機構を図 10 に, 打栓部の機構を図 11 に, 動作管理画面を図 12 に示す.

キャップの裏側には返しがあり, 安定して打栓するために, キャップをペットボトルの上に置いた後に, 返しははまり込むまで上から押し込んだ. その後, 打栓機構にて巻締めした. キャップの取り付け例を図 13 に, キャップ取り付け説明図を図 14 に示す.

表 4 LBF の動作概要

工程	説明
①搬入	・ベルトコンベヤでペットボトルを搬入する
②飲料充填	・ノズルより飲料が注がれる ・充填量は画像 (未完成) 及びタイマで計測する
③キャップ供給	・ストックからキャップを供給する ・供給されたキャップを取り付ける
④打栓	・取り付けられたキャップを巻締める ・キャップ取り付け・巻締りを画像 (未完成) で検査する
⑤搬出	・ベルトコンベヤでペットボトルを搬出する

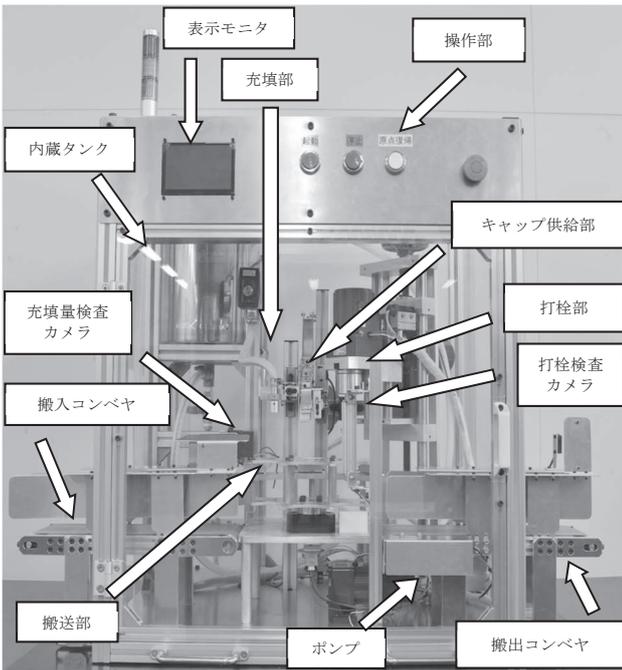


図 7 LBF 本体外観図

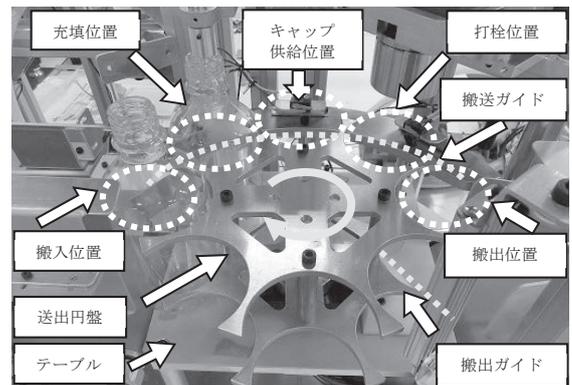


図 9 搬送部の機構

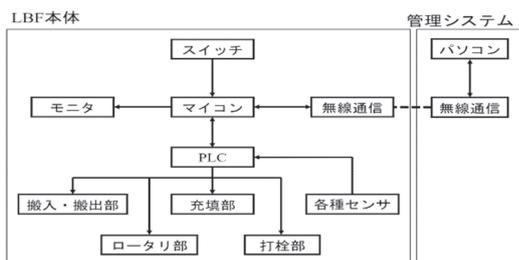


図 8 LBF のシステム構成図



図 10 充填部の機構



図 11 打栓部機構



図 12 動作管理画面



図 13 キャップ取り付け例

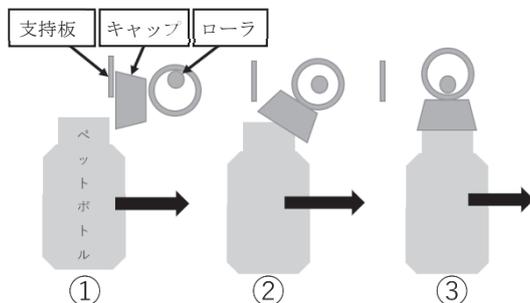


図 14 キャップ取り付け説明図

4.1.3 LBF の開発成果と評価

2022 年度は、「小型全自動飲料充填機」として、ペットボトルの搬入から充填・キャップ供給・打栓、そして排出まで 1 台で行える全自動機を開発できた。目標としていた充填量を画像で検査することはできなかったが、生産時間、機械サイズ、全自動化など、ほとんどが目標通りできた。特に、キャップ取り付けをするキャップ載置機構と小型充填機を複数台並列で使用できる一連のシステムは、特許を出願するほど相談企業様の評価は高かった。しかし、制御部の配線が複雑化したことや防水対策、メンテナンス性が十分でないこと、様々なペットボトルや飲料に十分対応できていないことなど、課題は残った。

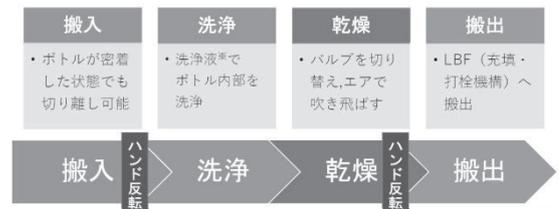
4.2 LBR の開発 (2023 年度)³⁾

4.2.1 LBR の主な仕様

LBR は、ペットボトルのリンサ（洗浄）機能を備えた機械である。全自動でペットボトルの搬入、洗浄・乾燥、ペットボトルの搬出を行う機能を有する。LBR の仕様を表 5 に、動作フローを図 15 に、本体外観図を図 16 に示す。

表 5 LBR の仕様

項目	仕様
洗浄液	水またはオゾン水
対象ペットボトル	丸形 500[mL] (φ70×185)、透明
洗浄速度	1[本/分]
外部タンク容量	30[L]
洗浄液ポンプ	マグネットポンプ 最大吐出量 14.0[L/min] (50Hz)
電磁バルブ	直動形三方弁 AC100[V]
エア圧力	0.5[MPa]
搬送機構	ベルトコンベヤ方式
ピック&プレイス	エアハンド (0.5MPa 時) 理論把持モーメント 45[N・cm]
上昇・下降機構	エアシリンダ方式 内径 φ16、ストローク 200[mm]
制御コントローラ	Arduino [®] Mega 2560 RaspberryPi [®] 4 Model B
管理システムコントローラ	PC (プログラム言語: Python [®])
本体サイズ・質量	W890×D760×H950[mm] ・ 50[kg]
制御ボックスサイズ・質量	W663×D565×H201.5[mm] ・ 7[Kg]
使用電源	AC100[V]
消費電力	最大 150[W]



※一般的に洗浄液には、オゾン水等が用いられる

図 15 LBR 動作フロー

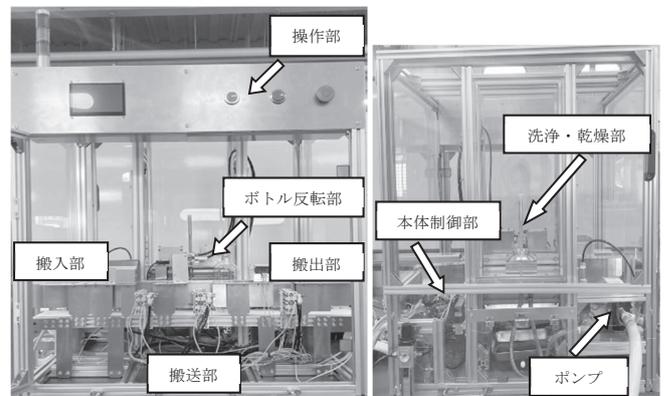


図 16 LBR 装置外観図 (左図: 正面, 右図: 背面)

4.2.2 LBR の各部の概要と構成

LBR は、LBR 本体・制御ボックス、外部の管理システムから構成される。LBF と並べて使用すれば、洗浄したペットボトルをコンベヤで送り、充填・打栓まで完了できる。LBR と LBF 接続した様子を図 17 に示す。

搬送は、ベルトコンベヤを使用し、洗浄・乾燥時はエアハンド、エアシリンダ及びモータにより、ペットボトルを反転させる。搬送部の構成図を図 18 に、反転部の外観図を図 19 に示す。

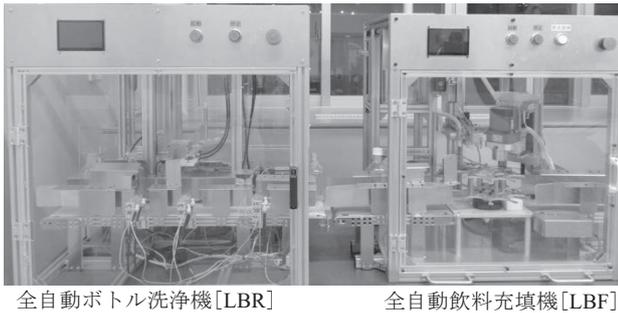


図 17 LBR と LBF 接続した様子

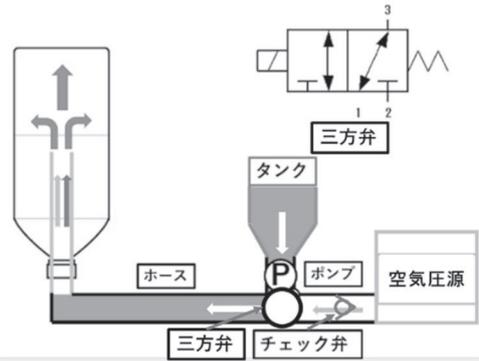


図 20 洗浄・乾燥機構の単一ユニット構成図

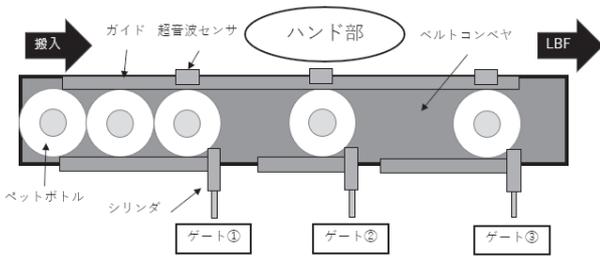


図 18 搬送部の構成図

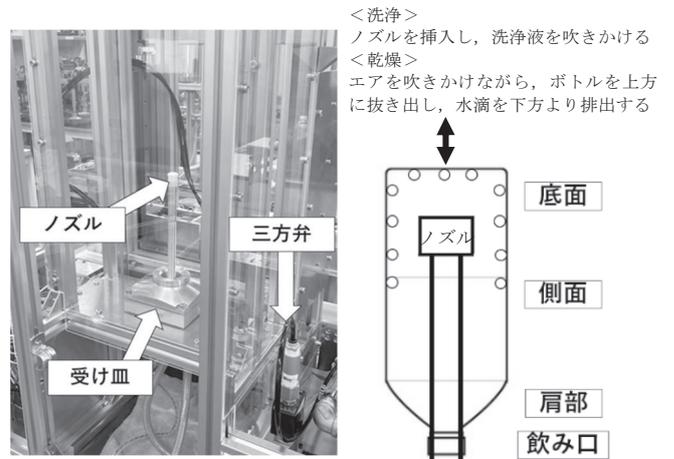


図 21 洗浄・乾燥部の外観図

図 22 洗浄・乾燥部の動作説明図

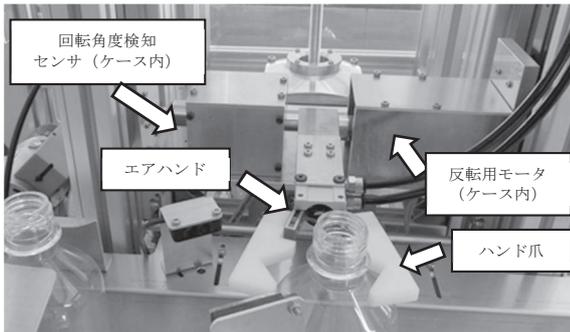


図 19 反転部の外観図

今回の開発において、洗浄は、ペットボトル内部の隅々まで洗浄液を行き渡らせ、乾燥は、洗浄後にボトル内に残留する洗浄液をエアで吹き飛ばして排出することを目標にし、洗浄・乾燥の両方に対応できる単一ユニットを開発した。洗浄・乾燥機構の単一ユニット構成図を図 20 に、洗浄・乾燥部の外観図を図 21 に、洗浄・乾燥工程の動作説明図を図 22 に示す。

洗浄工程では、ポンプにより、洗浄液をノズルから上向きに噴出させても、短時間では洗浄が不十分であったため、配管内に洗浄水が満たされた状態でバルブを切り替えて圧縮エアを投入し、洗浄液と圧縮エアを混合して噴出することにより、短時間でボトル内部隅々まで洗浄液を行き渡らせることを可能にした。

4.2.3 洗浄・乾燥ノズルの検討

単一ユニット化したことの最大の課題が、ノズルの開発であり、洗浄水を隅々まで行き渡らせることがで

き、乾燥エアでボトル内に残留する洗浄液を吹き飛ばして排出できる、両方の機能を持つノズル形状が必要になった。

特に困難だったのは、ボトル内に残る水滴を飲み口から効率よく排出することであった。ペットボトル内部に付着した水滴はある一定以上の風速で空気を当てないと排出できない。そこで、水滴の付着力と水滴に与えられる空気抵抗から内部の水滴を排出するのに必要な風速を算出した。そして設計したノズルを流体解析にかけ、ペットボトル壁面を通過する風速が算出値以上か確認したうえで、可能性のあるノズルを試作し、実験した。乾燥比較実験の様子を図 23 に、流体解析結果例を図 24 に、試作したノズルを図 25 に示す。

その結果、側面放射型ノズルを使用した場合、流体解析では、ボトル壁面に水滴を吹き飛ばして排出できる最大 72m/s の強い下向きの空気の流れが得られることが分かった。実験では、実際にボトル内の水滴のほとんどを排出できることを目視確認し、残留水滴量が 1g 未満となることも確認できた。

－充填・打栓及びボトル洗浄機能の開発からロボットアームの組み込みまで－

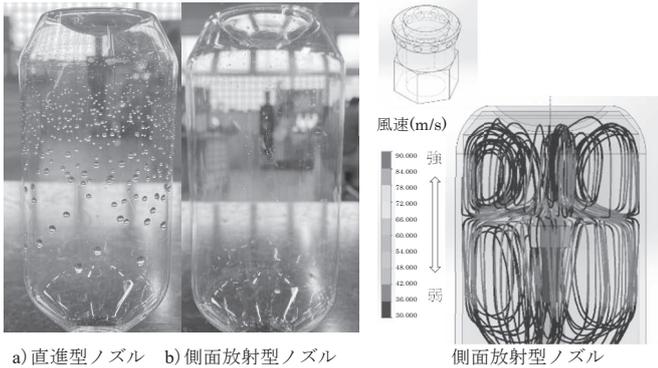


図 23 乾燥比較実験の様子 図 24 流体解析の結果例

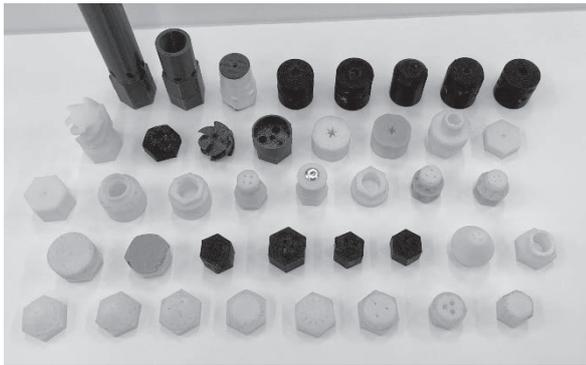


図 25 試作したノズル

4.2.4 LBR の開発成果と評価

2023 年度は、「小型全自動飲料充填機～ボトル洗浄機能の開発～」として、ペットボトルの搬入から洗浄・乾燥、そして排出まで 1 台で行える全自動機を開発できた。特に、洗浄・乾燥を単一ユニット化した例は市販品ではほとんど見当たらず、装置の小型化を図ることができた。しかし、当初、目標としていた LBF の処理能力と同等の 60[本/分]の達成と、LBF と LBR を連携させる複数台管理システムの実装はできなかった。また、制御部の配線が複雑化したこと、防水対策、メンテナンス性が十分でないこと、様々な形状のペットボトルに十分対応できていないことなど、課題点は多く残った。

4.3 BACS の開発 (2024 年度) ⁴⁾

4.3.1 BACS の主な仕様

BACS は、充填とキャップの打栓が可能な小型全自動飲料充填機である。

特徴は、ロボットアームによるペットボトルの搬送・位置決めと、カメラによるセンシングである。これは、相談企業様の要望であり、半自動機使用時の作業者の動きをロボットに置き換え、様々なセンサをカメラに集約することを意図していた。

また、制御コントローラも要望を受けてマイコンやシングルポートコンピュータを使用し、無線接続するなど、これまでの実績のある安定した技術だけでなく、成長著しい技術を積極的に採用することを目標にした。

BACS の仕様を表 6 に、動作フローを図 26 に、本体外観図を図 27 に、システム構成図を図 28 に示す。

表 6 BACS の仕様

項目	仕様
充填飲料	水又は粘度の低い液体
対象ペットボトル	丸形 500[mL] (φ70×185)、透明 丸形 300[mL] (φ65×144)、透明
対象キャップ	NC フラップ(φ28mm)
生産速度	40[本/時]
内部タンク容量	7[L]
充填用ポンプ	マグネットポンプ 最大吐出量 14.0[L/min] (50Hz)
電磁バルブ	直動式 2 ポート弁
充填量制御方式	画像認識方式
ペットボトル搬入・搬出及び 充填・打栓工程間の搬送方式	ロボットによる搬送 協働ロボット: REBEL-6DOF-02
カメラ	USB カメラ: ELP 8MP
本体制御コントローラ	マイコン: Arduino® Mega 2560 スティック PC: M1K+
管理システムコントローラ	PC (プログラム言語: Python®)
本体サイズ・質量	W1000×D900×H1155 [mm]・71[kg]
使用電源	AC100[V]

動作フローと各所の機能

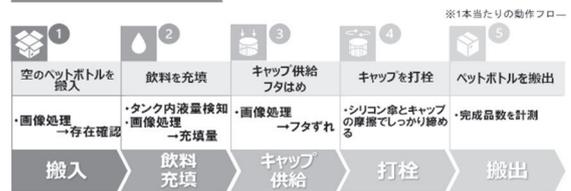


図 26 BACS の動作フロー

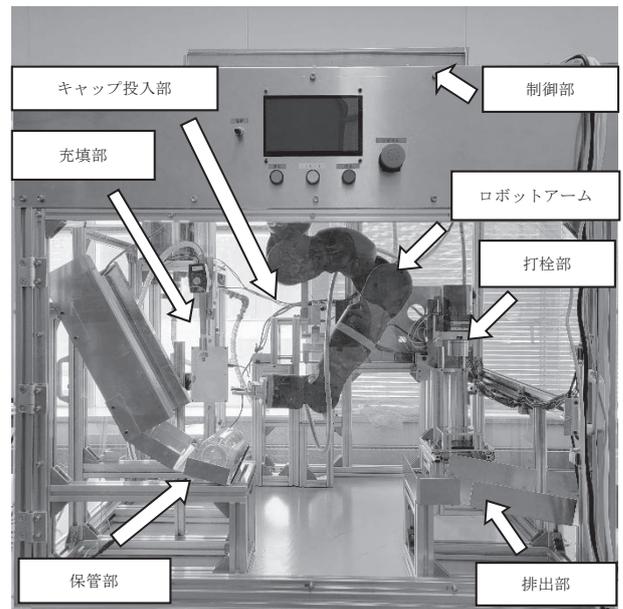


図 27 BACS 本体外観図

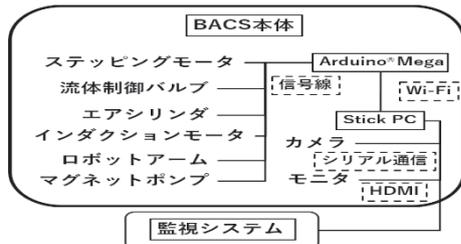


図 28 BACS のシステム構成図

4.3.2 BACS の各部の概要と構成

BACS は、BACS 本体と本体上部に取り付けられた制御ボックス、外部の管理システムから構成される。本体は、保管部、充填部、キャップ投入部、打栓部、排出部、制御部から構成され、ペットボトルの搬送・位置決めは、装置上部に取り付けられた協働ロボットにより行われ、主に保管部、充填部、キャップ投入部の3カ所に設置されたカメラでセンシングする。

保管部では、カメラでペットボトルの有無と種類(300mL ボトルと 500mL ボトル)を検知できる。

充填部においても、カメラで充填量を 300mL と 500mL に分けて計測できる。なお、充填は人が充填するように、ロボットハンドがペットボトルを持ったまま行われる。

キャップ投入部および打栓部では、ペットボトルを台に置いて、キャップの取り付けおよび打栓が行われる。打栓前のキャップのはめ込みは、上部からエアシリンダで圧力をかけて行い、打栓はスライダクランク機構を利用し、キャップを巻締めする。

装置内でのペットボトルの移動・位置決めは全てロボットにより行われる。

4.3.3 BACS の開発成果と評価

2024 年度は、「ロボットアームを用いたセンサレス小型全自動飲料充填機の開発」として、ペットボトルの搬入から充填・打栓、そして排出までをロボットアームを用いて、センサレス(センサをカメラに集約)で行える全自動機を開発できた。これまで機械装置を製作し、ペットボトルを搬送・位置決めしていたところを、ロボットアームに置換えることで容易に動作を変更できるようになった。しかし、位置決め精度をロボットに依存することになったため、ロボットの姿勢や動作速度、外力によっては、位置決め位置のズレが生じ、治具による補正が必要になった。また、カメラによるセンシングにおいても、検出・判定処理速度の問題が残る、目標としていた60[本/分]よりも大きくオ

ーバーする結果となった。しかしながら、相談企業様からはロボットの使用とカメラのセンシングにおいて今後の可能性を見出せたとの評価をいただいた。

5. まとめ

今回の開発では、中小規模生産に適した小型全自動飲料充填機の開発を目標に、複数台を並べて使用することで大型機と同等の生産量能力を確保でき、生産量が少ない時や機械のトラブル時には台数を減らしたり、機械を取り換えたりして生産ができるシステムの開発を進めてきた。1年目から充填・打栓、複数台運転管理の仕組みを考案し、2年目はボトルリンサ機能、3年目はロボットの活用と、3年間で進化させてきた。しかし、複数台の連携運転やカメラによるセンシングには十分な検証ができず、課題を残したままの結果となった。それでも、それぞれの年度において、学生チームが創意工夫してそれを具現化していく姿を見ると、教育効果は大いに得られたと考えている。

最後に様々なアドバイスをいただいた有限会社ユウアイの米堂社長様をはじめ、社員の皆様、ご指導いただいた客員教授の先生をはじめ先生方およびサポートいただいた関係者の皆様、3年間、それぞれの年度で目標に向かって、チーム一丸でひたむきに取り組んだ学生の皆様に感謝の意を表します。

<参考文献>

- 1) 江守他：小型全自動飲料充填機の開発，北海道職業能力開発大学校紀要，第39号，pp.23-28，2024.3
- 2) 田岡他：小型全自動飲料充填機の開発，応用課程開発課題実習梗概集，No.22，pp.41-50，2023.3
- 3) 大谷他：小型全自動飲料充填機の開発～ボトル洗浄機能の開発～，応用課程 開発課題実習梗概集，No.23，pp.41-50，2024.3
- 4) ハニフ他：ロボットアームを用いたセンサレス小型全自動飲料充填機の開発，応用課程開発課題実習梗概集，No.24，pp.57-66，2025.3

<登録商標>

BeagleBone は BeagleBoard.org Foundation の登録商標
Python は Python Software Foundation の登録商標
Arduino は ARDUINO SA(Société anonyme) の登録商標
Raspberry Pi は Raspberry Pi Ltd の登録商標

乗り物をテーマとした応用課程開発課題への取り組みについて

横山 真樹^{*1}・松家 央征^{*2}・本郷 秀明^{*3}
(令和7年11月7日受理)

About an Approach to Development Challenge Exercise with the Theme of Vehicles in the Practical Training on Development Task

Masaki YOKOYAMA^{*1}, Chikayuki MATSUYA^{*2} and Hideaki HONGO^{*3}
(Received November 7, 2025 ; Accepted for Publication February 1, 2026)

Hokkaido polytechnic college trains future leaders in production technology and management through the practical training on development task. The development challenge exercise, which incorporate joint development with companies, focus on practical content and provide education tailored to the needs of the local industry. As a result of this education, the employment rate is nearly 100% every year. In these development challenge exercise, students engage in group exercises under the guidance of instructors, collaborating with peers from different fields to create products. The cooperation with company is very important to select the theme attracting the interest of students. In this report, we examine the outcomes of the development challenge exercise centered on the theme of "vehicles" during two years.

1. はじめに

北海道職業能力開発大学校（以降、北海道能開大と略す）では、応用課程の2年間で課題実習やワーキング・グループ学習を通して将来の生産技術・生産管理部門のリーダーを育成している。特に4年次に実施する開発課題のカリキュラムは、企業からの依頼や共同開発で得たノウハウや技術要素を取り入れており、応用課程の集大成として生産現場での実務に即した実践的な内容となっている¹⁾。そして、

開発課題は地域産業界との連携に重点を置き、人材ニーズに対応した教育訓練の内容となっていることから、例年ほぼ100%の就職実績に多大な影響を及ぼす結果となっている。

開発課題の履修単位数は54単位となっており、教員の指導のもとで、企業の設計・製造部門を模擬して編成されたグループ単位の実習を行う。学生は表1に示すようなスケジュールでほぼ1年間、他の異なる系の学生とグループ内で分業し、製品の企画・

*1 生産機械システム技術科(Department of Production Mechanical System Technology)

*2 生産電気システム技術科(Department of Production Electrical System Technology)

*3 生産情報システム技術科(Department of Production Information System Technology)

構想から製作まで行うため、学生が興味を持ってモチベーションを持続するために課題テーマの選定は吟味して行うことが必要となっている。

そのため、教員が中心となって進める開発課題初期段階のテーマ設定については企業にも協力してもらいながら、いかに「学生に興味を持ってもらうか」について主眼を置くことが重要となる。

そこで、北海道能開大において学生が興味を持って取り組むことができた「乗り物」をテーマにした2年間の開発課題について、その成果等について報告する。

表1 生産機械システム技術系開発課題
(年間スケジュール)

月	実施計画(発表会等)	作業内容	開発の流れ
4	開発課題テーマ説明会	希望調査	企画・構想
5	開発課題スタート	要求整理 目的・目標整理 市場・法令調査 シナリオ作成 WBS作成	
6	レビュー1(企画)	技術課題抽出	
7	企画発表会	【基本設計】 ・「原理・機構」の検討 ・類似品等調査 ・「要素試作・実験」計画 ・モックアップ作成 ・総組立図作成	設計
	要素試作・実験計画報告		
8		【詳細設計】 ・「図面・回路図」の作成 ・システム構成図の作成 ・「部品・材料」の発注	
9			
10	レビュー2(設計)		
	中間発表会	【加工】 ・機械加工 ・基盤加工(電気・電子回路) ・プログラム作成 ・購入品の確認	製作
11			
12		【組立】 ・組立・試験 ・機能確認試験 ・調整	検証
1	内覧会		
2	展示会	・製品完成 ・技術データ記録 ・仕様満足度確認 ・開発記録の整理	まとめ
	最終発表会		
	ポリテックビジョン(展示・発表)		
3	修了式		

2. 「乗り物」をテーマとした開発課題について

筆者が担当した2022年度から2023年度の2年間で「乗り物」をテーマとした開発課題を表2に示す。

2022年度は、スノートレーサーを開発している株式会社六書堂及び株式会社Will-Eより、ATWS出展に向けスノートレーサーを開発するというテーマをいただいた。また、会社訪問や報告会という形で何度も学校に来てアドバイスをいただきながら開発を進

めた。「ATWS(アドベンチャー・トラベル・ワールド・サミット)」とは国土交通省観光庁が誘致、開催支援を行っているAT(アドベンチャートラベル)に関する世界的な商談会のイベントである。このATWSを日本では国土交通省観光庁が誘致、開催支援を行っており、2023年に北海道で開催されることになったイベントへの出展を目標として開発を進めたが、最終的には出展まで至らなかった。

2022年度に開発したスノートレーサーの概要図を図1に示す。また、スノートレーサーの走行状態を図2、システム構成図を図3に示す。

表2 「乗り物」をテーマとした開発課題

年度	開発課題テーマ	内容
2022	ATWS出展に向けたスノートレーサーの開発	ATWS(アドベンチャートラベル・ワールドサミット)への出展に向けた「乗り物(スノートレーサー)」の開発
2023	障がい者のためのクローラ型雪上車の開発	2022年度に取り組んだATWSを想定し、障がい者向けの安全に配慮した雪上でのアクティビティが体験できる「乗り物(雪上車)」の開発

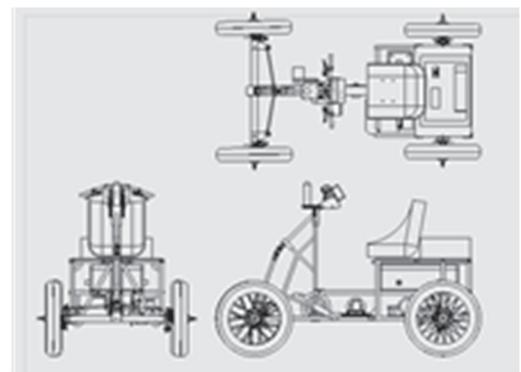


図1 スノートレーサー(概略図)



図2 スノートレーサー(走行状態)

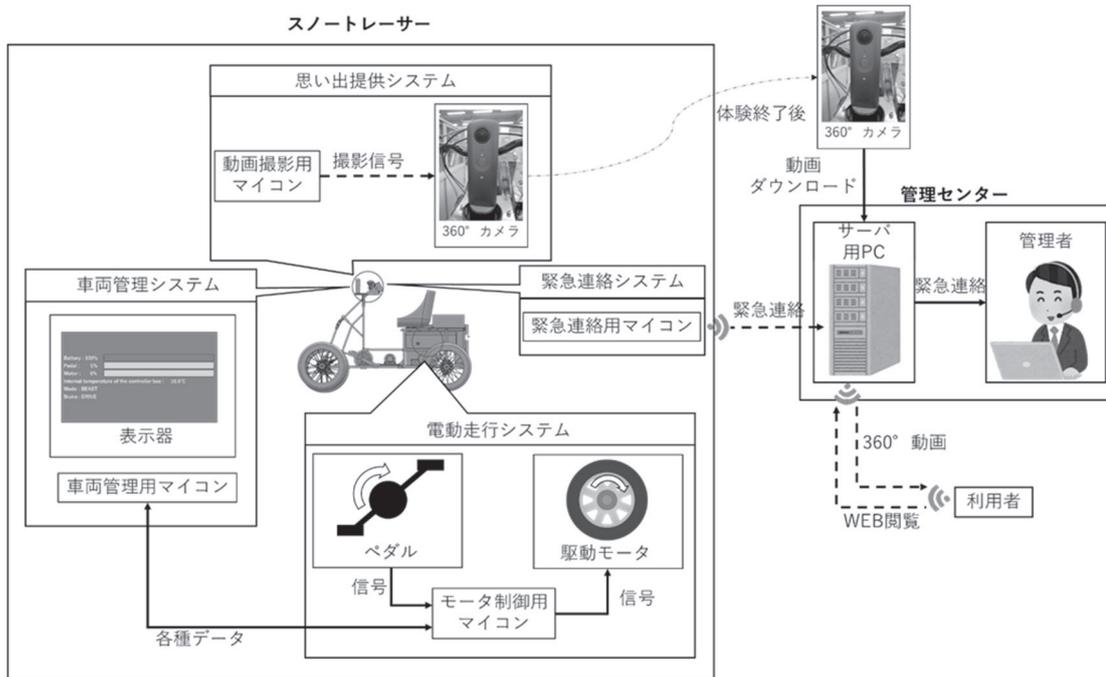


図3 スノートレーサー（システム構成図）

2022年度に取り組んだスノートレーサーは健常者向けであったことを受け、2023年度はATWSを想定し、障がい者向けの安全に配慮した雪上でのアクティビティが体験できるクローラ型雪上車について、障がいのある人たちの外出を支援する「一般社団法人スポットウォーキングさっぽろ（以降、スポットウォーキングさっぽろと略す）」との共同開発を開発課題テーマとして取り組んだ。具体的には冬シーズンでのイベントである札幌雪まつり等において障がいの方が安心して利用できるクローラ型雪上車（以降、雪上車1号と略す）の開発を行なった。北海道能開大の「ものづくり力」をアピールすることも含め、本開発では走行実績のある油圧装置を活用し、移乗装置（油圧シリンダを利用した昇降装置）と、傾斜時での危険角度を運転者へ知らせることができ、雪上車の走行を遠隔で監視できるシステム開発を目標とした。

スポットウォーキングさっぽろによる雪上車の最終評価では、「足台の位置」「搭乗者にもバッテリー残量表示がわかるようにする」「急制動抑制機構の更なる改善」「搭乗者自身での機体の管理ができる」等の課題や問題点等についてご指摘をいただいた。また、Web上で機体の管理ができることについては高評価をいただいたが、搭乗者本人にも簡単にそのデ



図4 雪上車1号

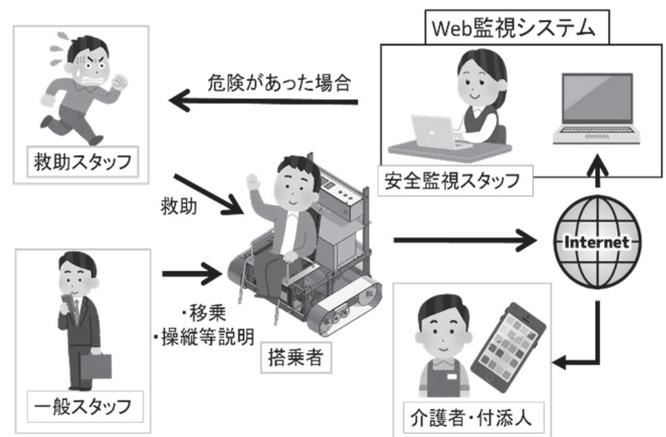


図5 雪上車1号の運用イメージ（2023年度）



図6 障がいのある方が雪上車1号に搭乗した状態
(左図：移乗している状態，右図：走行状態)

ータを閲覧できるようなシステム開発の更なる発展に期待されることとなった。図4に雪上車1号，図5に雪上車1号の運用イメージを示す。また，下半身に障がいのある方が雪上車に搭乗した状態を図6に示す。図6の左図が移乗の様子，右図が実際に雪上車を操作し走行している状態を示す。この2年間で取り組んだテーマは，北海道らしい冬のシーズンに楽しめる乗り物ということもあり，学生に興味を持ってもらうようなテーマを設定できた。

3. 開発課題の進め方

開発課題の進め方のポイントは以下の通りである。

1. 指導員から学生に対し指示するのは，基本的にテーマ名と目標の一部だけである。しかし，学生が提案した仕様が要求項目に満たさない場合は指導員による適切なアドバイスを行う。
2. 開発課題では，どのような製品を製作するかは学生自らが考える。また，企業等の外部アドバイザーの意見や指摘を参考にして，製品の機能や仕様に反映させる。
3. 開発課題には正解はないため学生が指導員に答えを求めても解は出てこない。これを「教えてくれない」と学生が勘違いしてしまう場合もあるが，指導員は製品の完成に向かって進むべき道筋は示すこととする。

4. 開発課題は，能開大での学びの集大成である。学生が主体的にチャレンジ精神を持って取り組むことが重要となる。そのため，簡単なものは完成させても評価が低く，難しいものは完成させられなくてもその過程や途中までの完成度が評価される。

以上のようなポイントを考慮して，毎年1年間という短い期間で製品開発を進めていく。

開発課題は，仕上がりも重要ではあるが，上記4の学生の主体性をどのように導き出すかが指導側の立場としても重要な位置づけとなっている。また，開発課題の取り組み完了時に学生の感想を確認し，開発課題等の成果や課題・問題点について評価することも重要となる。なお，本報告では，開発課題の取り組み事例，開発課題の成果，開発課題の課題・問題点について述べる。

4. 開発課題の取り組み事例

4.1 2022年度開発課題（スノートレーサー）について

前述の開発課題に協力していただいた協力企業では，2022年度において企業独自のスノートレーサーを既に6台試作を重ねており，ATWSにおいては企業側の製作物と当校での製作物を並べて出展することを目標とした。従って同じ設計コンセプトでの開発ではなく，企業側試作機とは異なった学生らしい自由な発想を主体として製作を進めることとした。開発グループは，機械系，電気系，電子情報系の各系の学生により構成され，創造的開発技法を活用した企画段階から始まり，設計，製作，試験，評価まで行った。また，各系の学生は表3に示した達成目標を掲げ，進捗状況を常に把握しながら，実際の会社で仕事に携わっているような環境で作業を進めていく。ここで一番重要となるのは，乗り物をテーマとしているため，安全性確保のための入念な強度計算や，各機械部品の選定など十分留意しておかなくてはいけない。また，機械加工等の作業においては学生が作業する様子を指導員が常に確認できるための配慮が必要となる。

4.1.1 スノートレーサーの装置概要

スノートレーサーの開発目的は、自然を楽しみに来日する外国人観光客の方などを対象に、「自然体験」

表3 スノートレーサーの各系の開発目標

系	開発目標
機械	1. 後輪部の駆動にデファレンシャルギヤを搭載 デファレンシャルギヤは市販されていないため、目的に応じて自作する必要があるが、本テーマにおいて設計・製作を機械系で行う。 2. プレーキ機能の製作 安全な乗り物として、「走る、止まる」は重要なことから雪上等においてもブレーキ効果が高いディスクブレーキを4輪に配置し、前輪側2つの車輪と後輪側の2つの車輪をそれぞれ独立して手動で制御できる構造とする。 3. 旋回機能の製作 ハンドルを使用して前輪を方向転換する機構を設計・製作する。 4. 電気系との連携により同期モータと駆動モータの設置から制御までを行う。 5. 車両の組み立て 車両のメインフレームの組み立ては主として溶接となる。
電気	1. 車両が一定の速度で走行するために要する条件の抽出、及びそれを満たすために要する動力供給量の把握、及びその供給・伝達手法に関する設計及び制御 2. 「可能な限りの安全を意識したアシスト機能に対する考察」と「ATWSへの参加という使用目的」を両立させたペダル運動による車両速度可変に関する設計及び製作 3. 使用環境（マイナス15℃）を考慮した制御システムの製作 4. 上記の装置を稼働させるために必要となる電力供給装置の選定
電子情報	1. 普通の開発課題テーマでは軽視されがちな保守性について、本製品のコア部分となる駆動部に関する動作チェッカーのような仕組み、および安全に関する予防措置の観点からの部品等の交換時期のアラート対応を検討中である。 2. 海外の観光客をターゲットとし、2名以上～家族連れ、また帰国後の思い出として思い出サポート機能を有すること。3D写真・動画の取り扱いや、これらのデータを活用して、本製品に搭載したような仮想体験・追体験を検討する。

と「身体的体験」ができるという条件を意識し、『自然の中で誰もが楽しめる乗り物』を製作することにした。そして、その目的実現のために、「誰もが」、「楽しめる」、「乗り物」の三つの観点から、以下の『目標』を掲げることにした。

1. 初めて雪に触れる人や外国人観光客が対象
2. 技術を必要とせず自然を体感できて楽しめる
3. 安定して走行できる車体であること

スノートレーサーは、これらの条件を満たすことができる乗り物として雪上を走行可能な自転車を参考に組み組んだ。また、二輪ではバランスを崩してしまう可能性を考慮し、四輪にすることで安定性を高めることにした。これらの目標から類似品を参考に具体的な目標を決め、それを満たすことのできる乗り物を製作するという方向で設計に着手した。

装置の概要を図7に示す。スノートレーサーには、ペダル運動で足によって動力供給を行う機構が組み込まれており、後輪の動力の伝達にはデファレンシャルギヤを設けて旋回時の左右の車輪の回転差を機械的に吸収し滑らかな走行を可能とした。また、段差走行への対応として前輪部に振り子機能を搭載した。付加機能としては、電動走行システムの状態を

管理・監視・表示する「システム車両管理システム」、走行中の360°動画を撮影し、その動画をPCに保存するためのウェブアプリケーションとなる「思い出提供システム」、緊急時にスノートレーサーの異常な状態をM5StickCからWi-Fiを介してPCサーバ側が受信する「緊急連絡システム」を搭載した。

4.1.2 スノートレーサーのシステム開発とその指導内容

スノートレーサーの開発は、生産機械システム技術科4名、生産電気システム技術科4名、生産電子情報システム技術科4名の計12名で行い、概ね次のような段階を経て完成に至った。

1. 構想段階
2. 仕様詳細化段階
3. 設計・製作段階
4. 評価段階
5. 発表段階

以下、各段階での学生に対する指導内容について述べる。

4.1.3 構想段階（スノートレーサー）

開発当初の2、3ヶ月は、「1.はじめに」の表1に示す、レビュー1及び企画発表会の場で株式会社六書堂及び株式会社Wi11-Eからアドバイス等をいただきながら構想を練ることとなった。

スノートレーサーは、「AT（アドベンチャートラベル）」の成立条件となっている「自然体験」と「身体的体験」をどのように満たすかについて表4に示すような既存の乗り物と比較し、学生が中心となって検討を行った。その結果、「自然体験」に関しては、北海道の景観を楽しめる乗り物という観点から、使用者の方々が普段の生活での歩行速度や自転車による走行速度に近い速度で自然を体感できる乗り物にする方向で検討を行うことにした。また、「身体的体験」に関しては、自転車など一般的に普及しているペダル運動を提供することが適切と考え、スノートレーサーの諸条件は、電動アシスト自転車を参考に整える方向で検討を行った。

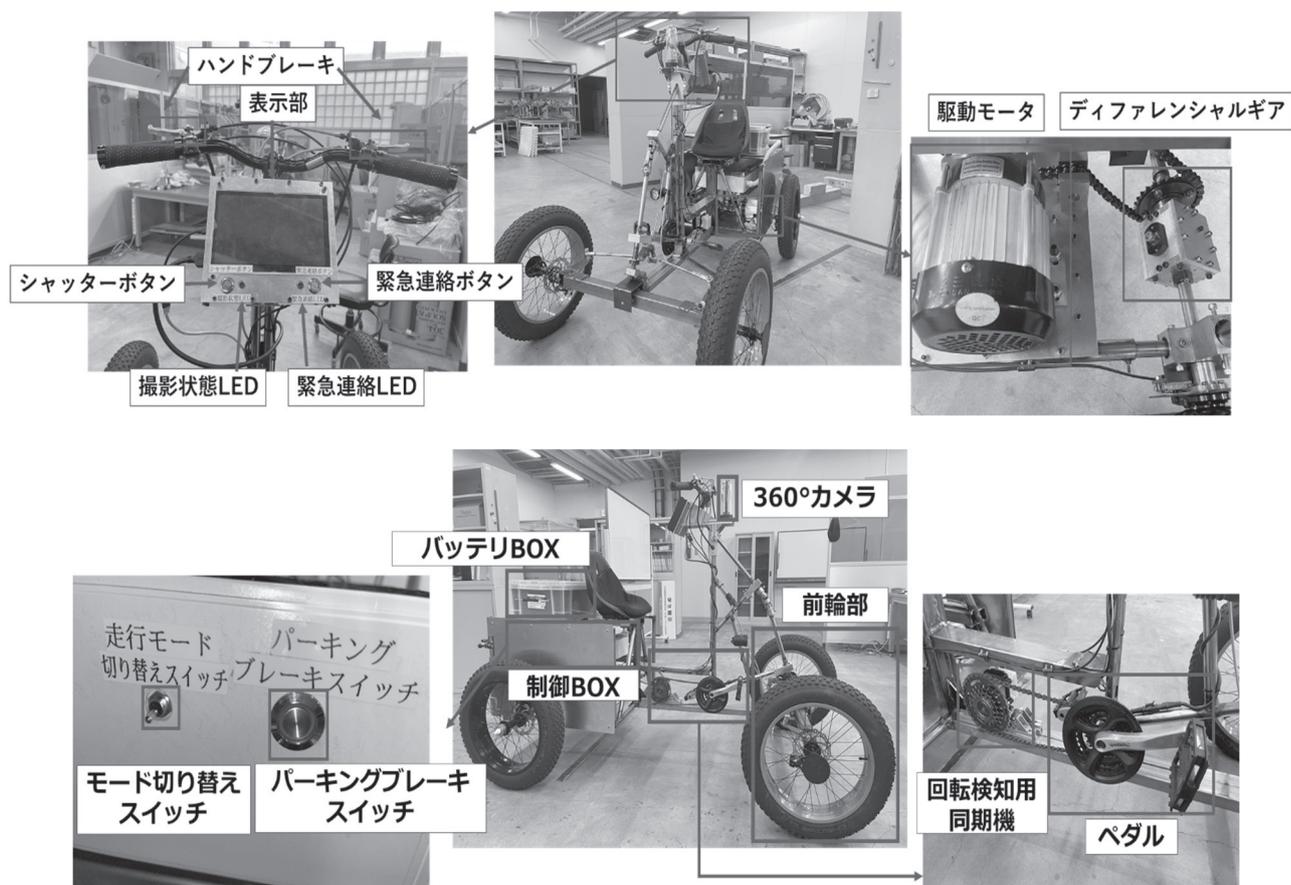


図7 スノートレーサーの装置概要

表4 既存の乗り物との比較

	AT体験	景色	速度	乗車難易度
新規	スノートレーサー	◎	△	低
既存	スノートレーサー	○	△	低
既存	スキー	△	○	高
既存	スノーボード	△	○	高
既存	スノーモービル	△	◎	高
既存	スノーバイク	×	◎	高

4.1.4 仕様詳細化段階（スノートレーサー）

共同開発者等のアドバイスをいただきながら、構想が固まれば仕様を詰め詳細化していくこととなる。スノートレーサーの仕様書を表5に示す。

開発課題は、機械、電気、電子情報系の3系が取り組む課題となるため、それぞれの系で学生自ら目標に向かって取り組める仕様の決定に工夫が必要となる。1年間の開発期間の中で実現不可能な仕様は避けるべきで、詳細が決まる前に各系の担当指導員からの的確なアドバイスが重要となる。

4.1.5 設計・製作段階（スノートレーサー）

この段階では詳細化した仕様を満たすように、表1のレビュー2に向けて、主要となる要素の設計・試作を行う。その後中間発表会までに、ある程度設計内容を確定し、製品の製作を進める。スノートレーサーは人が乗車するため、筐体設計を中心にここでは述べる。スノートレーサーの筐体は機械構造用炭素鋼管を適用し、メインとなるフレームはCAEによる応力解析を行った。図8に車体フレームの応力解析結果を示す。解析の際に段差等の乗り越え時

に上下動が加わったときに瞬間的に搭乗者の2倍の荷重がメインフレームに加わると仮定し、200kgでの計算を行った。機体フレームにかかる最大応力は使用材料の許容応力の1/2の範囲となった。また、同条件による変形量は最大でも3mm程度の変形となり、全体寸法と比べて微小な変形であったため、乗り物として支障なく走ることができると判断した。

表5 スノートレーサーの仕様

製品名:	スノートレーサー (愛称: エスカル号)
製品仕様	
車種	バギーカー
車体形状	四輪車いす
乗車定員 (名)	1
モータ (W)	800
使用バッテリー	電動自動車用バッテリー (48V, 17.5Ah)
駆動	2WD
車体仕様	
用途	雪道 (圧雪) を走行し、景色を楽しみながら観光するための車両
全体寸法 (mm)	2040×1210×1330
機体質量 (kg)	96.8
タイヤ	自転車用ファットタイヤ (20×4.0)
車体性能	
ブレーキ	物理: 自転車用ディスクブレーキ 信号: タクトスイッチにて、マイコンを介しモータへの電力の遮断
最高速度 (km/h)	10
最小旋回半径 (m)	3
二輪走行防止	振り子機構
旋回容易性	アッカーマン機構 ディファレンシャルギヤ機構
乗車優位性	座席変更機構
稼働時間 (分)	180
凹凸走行性 (mm)	90
撮影機能	体験中360度カメラで走行中の景色を任意のタイミングと自動で5分毎に30秒間撮影することができる。
モニタ機能	機体のバッテリー残量や外気温、ペダルの回転量などを液晶に表示することができる。
緊急連絡機能	異常状態によって走行が不可能になった場合に、管理者へ緊急連絡ができる。
メンテナンス機能	制御ボックス内温度、回転検知用同期機等の自動チェック・手動チェックができる。
防水機能	表示器, 360°カメラ, 制御BOX, バッテリーBOXは防水機能を有する。

また、スノートレーサーの後輪にはデファレンシャルギヤ (以降、DF ギヤと略す) を採用した。DF ギヤは、旋回半径が左右で異なったとき、左右の車輪で進む距離の差を吸収して旋回を滑らかにする目的がある。図9にDF ギヤの構造を示す。

4.1.6 評価段階 (スノートレーサー)

雪が積もる前に行ったスノートレーサーの動作実験では、DF ギヤのフレームの構造の問題や車軸のスラスト方向の遊びの調整、ねじのゆるみ発生等の問題により歯車同士がかみ合わなくなるなどのトラブルが発生した。これらの原因は、DF ギヤボックスの構造が回転に対して垂直方向からのねじ締結のみであり、大歯車に生じるスラスト方向の力に支持することができなかつたためと考えられた。実際、歯車が振動によって歯車から離れる方向、外側にずれていくという状況が確認された。そこで、DF ギヤに車軸のスラスト方向の締結の追加とともに、フレームの大幅な設計変更を行い、フレームにゆがみが発生しない構造とした。DF ギヤボックスの設計変更を図10に示す。このように、学生は失敗を繰り返すことにより、ものづくりの難しさを体験することができた。

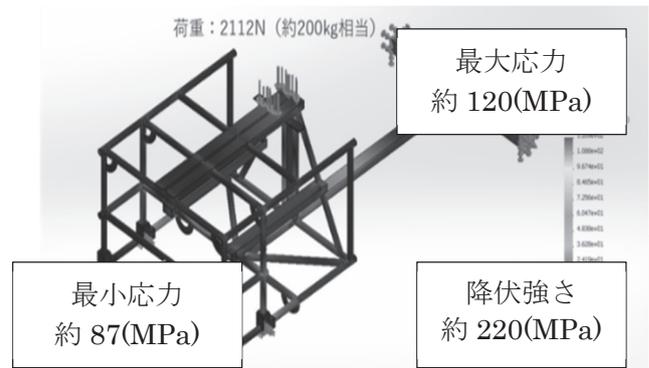


図8 応力解析結果 (CAE)

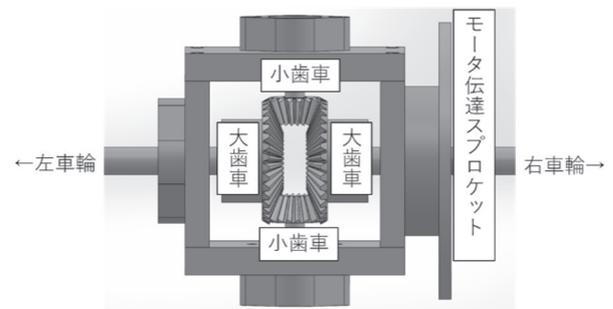


図9 デファレンシャルギヤ

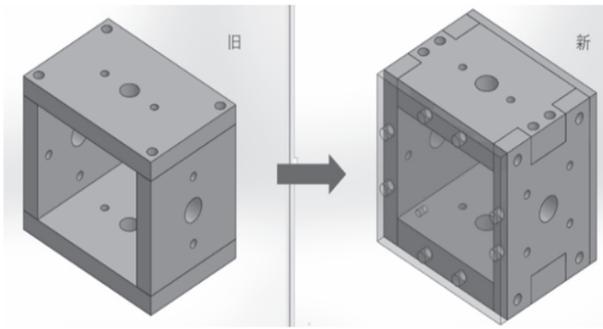


図 10 デファレンシャルギヤボックスの
設計変更

4.1.7 2022 年度ポリテックビジョンでの実演

2022 年度に北海道能開大で開催されたポリテックビジョンにて、スノートレーサーの試乗会を兼ねて展示を行った。当日は実際に雪の上を走行し、学生や教員を中心に試乗していただいたが大きなトラブルは無く体験コースを走行できた。

4.2 2023 年度開発課題（雪上車 1 号）について

雪上車 1 号を学生が中心となって開発する過程において、障がい者の方に油圧駆動の雪上車を利用する際に想定される問題点を提起していただく必要があった。そのため、スポットウォーキングさっぽろ様に来校していただき、2015 年に筆者が製作した「障がい者のためのクローラ型雪上車」²⁾に試乗していただいた。その結果、得られた意見や助言から今回の開発においては、移乗の困難さ³⁾、運転時の障がい者の方自身の振動耐性に対する不安の解消を重要視することになった。このことから、雪上車 1 号の開発についても、前述のスノートレーサーの開発と同様に創造的開発技法を活用し、設計、製作、試験、評価まで取り組んだ。また、雪上車 1 号の要素として、安全、能動的な活動、アクティビティを取り上げ、雪上車の開発の目的を「冬の自然を体感でき、障がい者が安全に楽しめる活動的な乗り物を作る」と定めることとなった。表 6 に雪上車 1 号の各系の開発目標を示す。雪上車 1 号は障がい者用の乗り物を想定しているため、スノートレーサー同様、メインフレーム

の強度計算や、各機械部品の選定など十分留意しておかなくてはならない。

表 6 雪上車 1 号の各系の開発目標

系	開発目標
機械	雪上車の筐体設計、走行部（油圧モータによる駆動）の開発、移乗のための昇降装置（油圧シリンダによる駆動）の開発。
電気	雪上車の走行部の電気制御部の開発、移乗のための昇降装置の電気制御部の開発。
電子情報	雪上車の傾斜感知システムの開発、雪上車の走行監視システムの開発。

4.2.1 雪上車 1 号の装置概要

雪上車 1 号の装置概要については、本製品を利用できる身体障がいの程度は以下の 4 点とし、表 7 に示す性能目標を設定した。

1. 一人で操縦できる（乗車時は介助を必要とする）
2. 右手でレバーの操作ができる
3. 胸部より上を動かすことができる
4. 首が据わっている

表 7 雪上車 1 号の性能目標

速度 (km/h)	2.5
稼働時間 (分)	75
質量 (kg)	150
全体寸法 (mm)	1100×920×1000

4.2.2 雪上車 1 号のシステム開発とその指導内容

本開発は、生産機械システム技術科 3 名、生産電気システム技術科 3 名、生産電子情報システム技術科 4 名の計 10 名で行い、前述の「4.1.2 スノートレーサーのシステム開発とその指導内容」と同様に概ね次のような段階を経て完成に至った。

1. 構想段階
2. 仕様詳細化段階
3. 設計・製作段階
4. 評価段階

5. 発表段階

以下、各段階での学生に対する指導内容について述べる。

4.2.3 構想段階（雪上車 1 号）

雪上車 1 号は障がい者の方が能動的かつ安全に楽しむことができるクローラ型の雪上車である。形状は車いすを参考にしており、操縦方法は電動車いすの操作用ジョイスティックと同じように前進後退が行える。旋回に関しては後述するスピントーンで行う。走行部にはクローラを使用しており圧雪および最大新雪 5 cm でも走行することが可能とする。

図 11 に雪上車 1 号の構想段階を示す。左図は学生が初期段階で構想したスケッチ、右図はスケッチから樹形図を基に主要な部品配置等を 3 次元 CAD

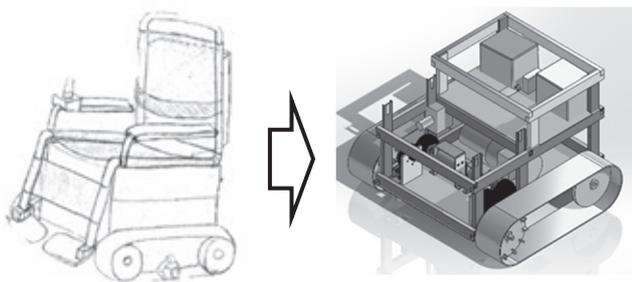


図 11 雪上車 1 号の構想段階

により検討したものを示す。雪上車 1 号が走行できるレベルまで学生自らが部品の選定を行うには 2 カ月～3 ヶ月の期間が必要となる。

4.2.4 仕様詳細化段階（雪上車 1 号）

雪上車 1 号の仕様を表 8 に示す。雪上車 1 号は、クローラや油圧システムがある「駆動部」と、制御ボックスおよび操作盤から成る「駆動制御部」、機体の安全の制御や Web システムとの通信を行う「制御管理部」、安全を確保するため Web 監視システムがある「安全管理部」の四つの主要部品から構成される。また、雪上車 1 号の愛称は、学生の発想から「白雪花楽舞夷（しらゆきかぐらまいまい）」と名付けた。

4.2.5 設計・製作段階（雪上車 1 号）

雪上車 1 号においても、前述のスノートレーサー同様、人を乗せる乗り物であるため、機械系の学生が主に担当することとなったフレームの設計について説明する。

雪上車 1 号は、雪上を走るということや、油圧機器や電装機器を車体内に搭載することを考慮し、車体内部の空間を広くとるため、「ラダーフレーム」という構造を採用した。ラダーフレームは構造上、重量が増えてしまう欠点があるが、高い耐久性、構造の簡素化が可能である。また、人が座椅子に座った際に、フレームに掛かる荷重について CAE による応力解析を行った。荷重条件として、段差等乗り越えた時

表 8 雪上車 1 号の仕様

製品仕様書	
製品名	白雪花楽舞夷（しらゆきかぐらまいまい）
車種・形状	車いす
搭乗定員（人）	1
駆動	前輪駆動
速度（km/h）	2.5
稼働時間（分）	75
車体仕様	
全体寸法（mm）	1100×920×1000
質量（kg）	150
材質	鉄、アルミ、アクリル、木、真鍮、ゴム
操縦方法	アナログスティック
走行部	クローラ
動力仕様	
油圧ポンプ	DPF1.7 S417 BMHF727Q
油圧モータ	OMM50
油圧シリンダー	35Z-1R1CA32N100-AH2-Y
使用バッテリー	リン酸リチウムイオンバッテリー（24V,50Ah）
油圧モータ回転数（min）	63.19
油圧モータ発生トルク（N/m）	97.8（総重量250kgの場合）
油圧モータ出力（W）	1360（総重量200kgの場合）
制御仕様	
マイコン（駆動制御用）	FX3UC-64MT/DSS
マイコン（管理用）	Raspberry Pi 4

の上下動により瞬間的に搭乗者の 2 倍の荷重がラダーフレームに加わると想定し、人の体重 100kg の 2 倍の 200kg として解析することとした。CAE 解析による応力結果を図 12 に示す。ラダーフレームにかかる最大応力（約 71MPa）は使用材料の許容応力（282MPa）を下回っていることが確認できた。

また、CAE 解析によるたわみを図 13 に示す。たわみは最大でも約 0.3 mm の変形で乗り物として支障なく走ることができると判断した。

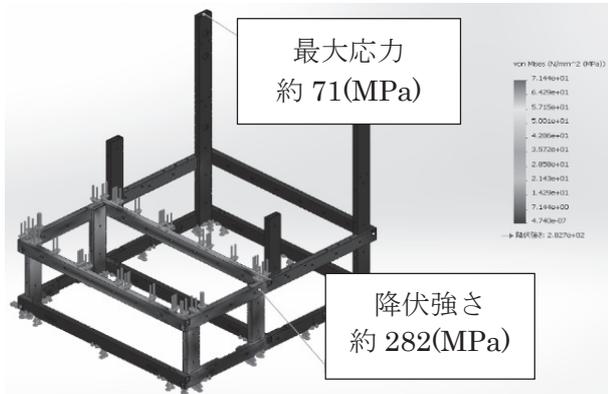


図 12 CAE 解析・応力



図 13 CAE 解析・たわみ

4.2.6 評価段階（雪上車 1 号）

雪上車 1 号の座椅子の昇降機能及び走行については、「2. 「乗り物」をテーマとした開発課題について」で述べた通り、実際に障がいのある方に試乗していただき、その際評価もしていただいた。最適な急制動抑制機能の実現には至らなかったが、概ね乗り心地等について「障がい者が楽しめるアクティビティ」の実現ができているのではないかと評価をいただいた。

4.2.7 2023 年度ポリテックビジョンでの実演

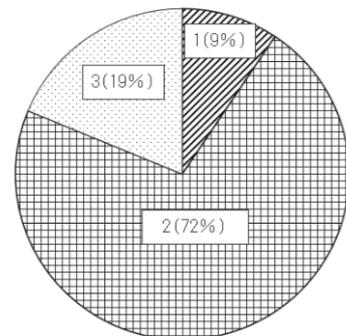
2023 年度では 2022 年度のスノートレーサーと同様に北海道能開大で開催されたポリテックビジョンにおいて、雪上車 1 号の試乗会を兼ねて展示を行っ

た。展示会では、学生や教員、一般の方にも試乗していただき、アンケートの回答もいただいた。試乗した方のアンケート結果を表 9 に示す。乗り心地、振動、操作性、楽しさについて数値化し「1 = ◎ : とても良かった」「2 = ○ : よかった」「3 = △ : あんまり」「4 = × : だめ」として集計した（図 14, 図 15, 図 16, 図 17 の円グラフ参照）。

健常者によるアンケート結果ではあるが、「楽しさ」の評価の割合は 1 の評価が全体の 58% となり（図 18 円グラフ参照）、概ねアクティビティとしての乗り物として高評価であることを確認した。

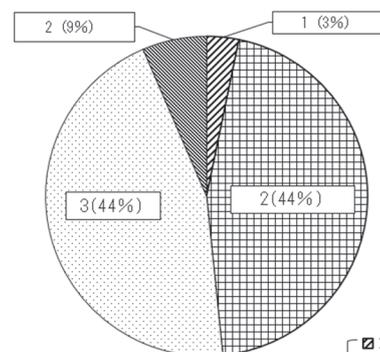
5. 本開発課題の課題・問題点

乗り物をテーマとした開発課題に取り組む場合、人を乗せる装置となるため強度や安全性の検討も必要となり、機械系の学生の負担がどうしても大きく



乗り心地評価
 1 1 (9%)
 2 2 (72%)
 3 3 (19%)
 ◎ 1 とても良かった
 ○ 2 良かった
 △ 3 あんまり

図 14 雪上車 1 号「乗り心地」の評価



振動評価
 1 1 (3%)
 2 2 (44%)
 3 3 (44%)
 4 4 (9%)
 ◎ 1 とても良かった
 ○ 2 良かった
 △ 3 あんまり良くなかった
 × 4 良くなかった

図 15 雪上車 1 号「振動」の評価

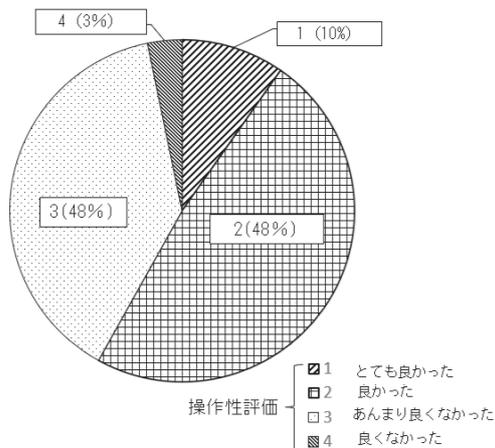


図 16 雪上車 1号「操作性」の評価

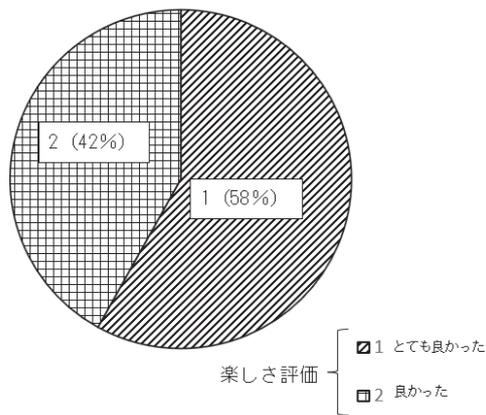


図 17 雪上車 1号「楽しさ」の評価

なる。また、1年間という開発期間でユーザー（企業）からの要望全て実現することは不可能なことも多いため、学生が実現できそうな課題の設定が必要となる。そして、2023年度に取り組んだ雪上車の開発は大学のカリキュラムの内容ではほとんど触れていない油圧システムを導入したため、機械系の学生は戸惑う一面もあった。しかし、油圧分野は機械装置製造業では必須の技術であり、乗り物の要素として利用したため、学生は最後まで興味を持って課題に取り組むことができた。

6. 本開発課題終了後の学生の感想

2022年度と2023年度の開発課題では、各系の学生に1年を振り返り、自己の反省点や課題に対する意見を自由に記述してもらった。主な意見を以下に

表 9 雪上車 1号の試乗アンケート結果

人数	身長(cm)	体重(kg)	乗り心地	振動	操作性	楽しさ
1	180	65	3			
2	166	82	3	3	2	2
3	163	62	3	4	3	1
4	153		2	4	3	1
5	145		2	3	3	1
6	165	78	2	2	2	2
7	167	67	2	3	3	1
8	160		3	3	3	1
9	161		2	3	2	1
10	181	85	2	3	2	1
11	172	78	2	3	3	1
12	191	80	2	3	3	1
13	167	65	3	3	3	1
14	174	60	2	2	3	2
15	160	62	3	2	2	1
16			2	3	3	2
17			2	3	3	2
18			2	3	2	2
19	163		2	2	2	1
20	149		2	2	3	1
21	171	60	2	3	2	2
22	180	80	2	2	2	2
23	152		1	2	1	1
24	170	63	1	1	1	1
25	149	48	2	2	2	2
26	174	65	2	3	2	1
27	164	47	2	2	2	1
28	155	58	2	2	2	2
29	171	70	1	2	1	1
30	173	70	2	2	2	2
31	170	102	2	2	4	2
32	165	58	2	2	2	2

示す。

2022年度のテーマ（スノートレーサー）では、

1. 「初めて大規模な乗り物をテーマとした課題に取り組めたことは大変役に立った.」、「顧客を意識した製品開発について学べた.」、「設計の難しさを体感できた」等、プロジェクトの目的、技術的挑戦度、課題への動機に関する感想が多く見受けられた。
2. 「チーム内での情報伝達の重要性」、「異なる専門分野の知識の共有」等、コミュニケーションとチームワークの重要性についての意見が多かった。

2023年度のテーマ（雪上車 1号）では、

1. 「人を乗せるアクティブな乗り物を作りたい」、「生活の手助けをしたい」、「自由度の高い製作物を求める」、「製品を自分でも楽しめる」、「雪をテーマとしたところに魅力を感じる」等雪上

車という乗り物をテーマとしたことにより、学生の好奇心を湧き立たせる開発課題テーマであったことが明らかになった。

2. 2022 年度同様、「他系の学生とのコミュニケーションの重要性」、「チーム内の雰囲気作り」や「事前のトラブル予測と計画の重要性」等、学生の主体性や進捗管理の難しさについて多くのことを学んだとの意見が多く見受けられた。

7. おわりに

乗り物をテーマとして、2022 年度及び 2023 年度の開発課題に取り組んだ。スノートレーサーの開発では、1 年間の開発期間の中で学生が主体的に取り組むことができた成果もあり、2022 年度北海道能開大ポリテクビジョンでは、「応用課程技術賞 2022」及び「学生賞 2022」を受賞した。また、雪上車 1 号の開発においても、2023 年度北海道能開大ポリテクビジョンにおいて、「特別賞 2023」を受賞した。このような結果から、乗り物を開発課題のテーマとして設定することで開発課題の目的となる「学生の主体性を導き出す」ことが十分できたことを確認できた。

最後に、開発にあたり、スノートレーサーでは株式会社六書堂及び株式会社 Will-E 様、また、雪上車ではスポットウオーキングさっぽろ様に、学生からのいろいろな提案に耳を傾けご指導いただいた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 後野 隆：職業能力開発大学校の開発課題実習に対する学習環境デザインの必要性，職業能力開発研究誌 33 巻 1 号，pp. 111-112，2017
- 2) 横山真樹，稲木謙嗣，磯 史樹：障がい者のためのクローラ型雪上車の開発，北海道職業能力開発大学校 紀要 第 31 号，pp. 9-10，2016
- 3) 下池まゆみ，井上悦男，吉田志保，武川真弓：車いす乗車時の殿部痛軽減に対する姿勢改善の効果，理学療法－臨床・研究・教育，pp. 54-57，2012

(学内校閲)

北海道職業能力開発大学校校長（北見工業大学名誉教授） 柴 野 純 一

北海道職業能力開発大学校 長 井 崇

北海道職業能力開発大学校 茂 木 望

北海道職業能力開発大学校 広 瀬 直 俊

北海道職業能力開発大学校 安 井 雄 祐

北海道職業能力開発大学校紀要 第 41 号

令和 8 年 2 月 18 日印刷

令和 8 年 2 月 27 日発行

編集・発行者 北海道職業能力開発大学校

〒047-0292

小樽市銭函 3 丁目 190 番地

Tel. (0134) 62-3553

印刷所 株式会社 豊文社

〒060-0041

札幌市中央区大通東 7 丁目12番地

Tel. (011) 231-6688 Fax. (011) 231-3052
