

BULLETIN
OF
NIPPON BUNRI UNIVERSITY

VOL. 53 NO. 1 MARCH 2025

日本文理大学紀要

第 53 卷 第 1 号

令和 7 年 3 月

日 本 文 理 大 学

大分市大字一本

日本文理大学紀要

第 53 卷 第 1 号

令和 7 年 3 月

目 次

〔論 文〕

工 学 部

適切な画像特徴量配置と剛体運動モデルに基づく超小型飛翔体（MAV）姿勢運動計測	藤 田 浩 輝	1
	永 井 弘 人	
	長 崎 秀 司	
	金 城 寛	

経営経済学部

主権者教育を推進する熟議にもとづく総合的な探究の時間の意義と可能性 — ESD を通じた市民および地球市民の育成という点に着目して —	齊 藤 雄 次	9
A Semantic and Pragmatic Analysis of Japanese EFL Learners' Use of Let-Causatives	Martin TESHOME	19

〔研究ノート〕

機電融合プロジェクト「電気自動車（カート）製作」進捗報告 — 第四報（CQEV ミニカート・レース九州大会2024並びに3年度及び4年度活動内容） —	若 林 大 輔	27
	田 中 佑 典	
	高 木 怜	
	清 水 良	
ワイヤローブ破断時に最初に破断する素線の斜め破断	中 山 周 一	37
工学部学生の文章産出困難感の改善を目指す SSU 学習授業実践	坂 井 美 穂	41
	東 寺 祐 亮	
	瀧 上 千 香 子	
周期信号のパラメータを求める	福 島 学	47
	徳 富 響	
	宮 田 叶 斗	
幼児のことばにおけるクライの用法の使用傾向	東 寺 祐 亮	55

〔事例報告〕

ワイヤロープ引張試験治具の開発.....	石 渡 萌乃佳 61
	中 山 周 一
保健医療学部1年次におけるブラッシュアップ講座	
― 午前中の空きコマを利用した自学自習支援 ―.....	岩 崎 香 子 67
	野 村 達 八
	長 吉 美弥子
	土 肥 裕 司
	甲 斐 倫 明

〔論 文〕

適切な画像特徴量配置と剛体運動モデルに基づく 超小型飛翔体（MAV）姿勢運動計測

藤田 浩輝*, 永井 弘人*², 長崎 秀司*³, 金城 寛*⁴

*日本文理大学工学部航空宇宙工学科

*²長崎大学大学院総合生産科学域（工学系）

*³九州大学大学院工学研究院航空宇宙工学部門

*⁴九州大学工学部

A Micro Aerial Vehicle's Attitude Motion Estimation Using Properly Configured Image Characteristics and a Rigid-Body Model

Koki FUJITA*, Hiroto NAGAI*², Shuji NAGASAKI*³, Yutaka KINJYO*⁴

*Department of Aerospace Engineering, School of Engineering, Nippon Bunri University

*²Institute of Integrated Science and Technology (Engineering),
Nagasaki University

*³Department of Aeronautics and Astronautics, Faculty of Engineering,
Kyushu University

*⁴School of Engineering, Kyushu University

Abstract

This paper proposes a method to estimate attitude motions of a micro aerial vehicle (MAV) during a specific flight phase such as a hovering or a reciprocating motion. Instead of a six-axis motion sensor (with a three-axis gyroscope and a three-axis accelerometer), a few high-speed cameras in certain positions and some properly configured markers in image sequences capturing a target vehicle are utilized to estimate the attitude angles and their rates during the vehicle's motion. This study finally verifies that the vehicle's motion can be efficiently estimated by selecting appropriate locations of the markers set on the vehicle's body surface.

キーワード：超小型飛翔体（MAV），運動推定，画像特徴量，剛体モデル

Keywords : micro aerial vehicle (MAV), attitudes and motion estimation,
image characteristics, rigid-body model

1. 研究背景および目的

大規模災害の現場における状況把握や地球外惑星における無人探査等、小型の無人飛翔体（特に超小型飛翔体＝Micro Aerial Vehicle; MAV）の有用性は非常に高いと考えられ、回転翼型ドローンを始め様々な形態の小型ドローンの開発や関連する研究が進められている^{1)–3)}。

昆虫や鳥のように羽ばたき翼を有する、いわゆる羽ばたき翼型のドローンは、人間を含めた一般的な動物の生活環境における親和性や安全性が高く、回転翼型ドローンに比べて様々な利点があり、現在も安定した飛行を実現するための研究開発が鋭意続けられている。

そのようなドローンを開発するに当たり、試験飛行中の機体の運動を解析するために、特に小さなサイズの機体では搭載が困難な INS（慣性航法システム）を用いずに、複数台の高速度カメラにより遠隔で運動状況を把握できるような計測システムを構築することは意義が大きい。また、そのような画像計測システムを適用する上で、機体上に取り付けられる画像特徴マーカーについて、効率性の高い数や配置方法を検討し、実際の飛行試験による実証ができれば、今後の試験機開発に大きく役立つことが期待される。

過去に発表を行った論文⁴⁾では、極力少ない数の画像特徴マーカーを適当に配置することで、クアッドローター型の小型ドローンのホバリング中の姿勢やその時間変化を2台の高速度カメラから推定できることを実験結果から示した。しかしながら、回転翼型に限らず一般的な機体形状を想定したマーカー配置や、それに基づく機体姿勢（角度・角速度）の推定方法について十分検討できていなかった。

そこで、改めて、汎用性が高い機体の3次元的な剛体モデルを想定したマーカーの数や配置の仮定と、そのような剛体モデルに基づく姿勢運動推定方法の導出を行い、実機および複数台の高速度カメラを用いた飛行試験による実証を行った。

特に、過去の研究と同じ機体に対して、異なる画像特徴量マーカーの数や配置を設定し、飛行試験や画像キャリブレーション手法の見直しとともに、3台の高速度カメラを用いることで、実験結果の信頼性を向上させた。

2. 限られた画像特徴量と剛体モデルに基づく小型飛翔体姿勢・運動推定手法

2-1 画像特徴量および剛体モデルの仮定

本研究では、図1に示されるような2種類の座標系（慣性座標系および機体固定座標系）の定義に基づき、機体固定座標系において数と配置が決められた画像特徴マーカーを仮定し、機体の実装されたそれらのマーカーの複数台カメラによる動画像上の位置から、機体の3次元的な姿勢やその時間変化の推定を行う。

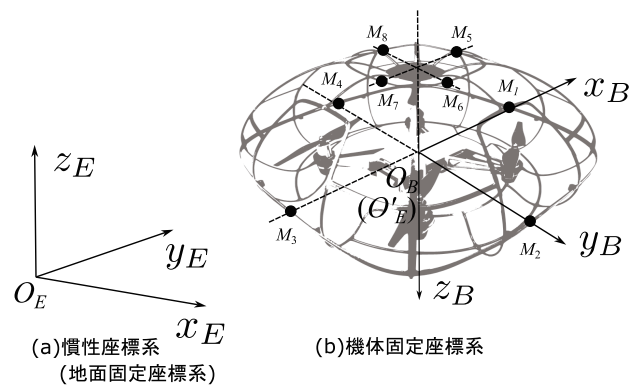


図1. 座標系の定義

ここで、剛体と仮定できる飛翔体上に8個（ $M_1, M_2, \dots, M_8$ ）のマーカーを配置する。ただし、機体固定座標系（ O_B - $x_B y_B z_B$ ）における位置が明確になるように、機体固定座標系原点（機体重心に近い O_B ）から見て等方的かつマーカーからこの原点位置が明確に推定できるように配置する。たとえば、本稿で示される実験では、8点中4点を x_B - y_B 平面に平行な面内に、残り4個を x_B - y_B 平面と平行な別の平面内に、さらに4点のマーカーの重心（図心）位置が O_B もしくは O_B を通り平面に垂直な軸上にあるよう設けている。なお図1には、ドローン機体を囲むような形状の樹脂製の緩衝フレーム上のマーカー位置を示している（図2参照）。

また、マーカーの慣性座標系位置から直接機体の姿勢が計算可能なように機体固定座標系原点に並進移動した慣性座標系原点位置（ O'_E ）を図中に示している。

2-2 画像解析および剛体モデルに基づく姿勢角（オイラー角）・姿勢角速度推定方法

画像解析による3次元の剛体運動（位置および姿勢とその時間変化）推定では、理論上、動画像の各フレーム上の複数の特徴点（マーカー）位置と、（1台もしくは複数台の）カメラ撮像系に関する各種パラメータ（内部・

外部パラメータ) から、特徴点位置によって構成される剛体モデルを経由して、撮影対象となる剛体の位置および姿勢 (さらにその時間変化) を推定することが可能^{5) 6)} であるが、本研究では、画像上の異なる複数のマーカーの慣性座標系 (地面固定座標系) 位置が正確に計測できることを前提として、マーカー配置の工夫により、直接機体の3次元運動を計測できるような手法を導く。

まず、ある画像フレーム上1つのマーカーの慣性座標系 ($O_E - x_E y_E z_E$) の位置 $[x_E, y_E, z_E]^T$ が得られた場合に、慣性座標系原点を機体固定座標系 ($O_B - x_B y_B z_B$) 原点に並進移動した ($O'_E - x'_E y'_E z'_E$ とする) 後の、それぞれの座標系での位置 $[x'_E, y'_E, z'_E]^T$, $[x_B, y_B, z_B]^T$ の間には、次の関係式が成り立つ^{5) 7)}。

$$\begin{bmatrix} x_B \\ y_B \\ z_B \end{bmatrix} = \mathbf{R}(\Phi, \theta, \Psi) \begin{bmatrix} x'_E \\ y'_E \\ z'_E \end{bmatrix} \quad (1)$$

ただし、 $\mathbf{R}(\Phi, \theta, \Psi)$ は、2つの座標系の座標軸を一致させるために必要なオイラー角 (Φ, θ, Ψ) に関する回転行列であり、いわゆる Z-Y-X オイラー角を採用する場合、(2)式のように表すことができる。

マーカーが N 個 ($N \geq 3$) 存在する場合、各マーカーの位置座標を行列形式で

$$\mathbf{X}_E = \begin{bmatrix} x'_{E1} & \cdots & x'_{EN} \\ y'_{E1} & \cdots & y'_{EN} \\ z'_{E1} & \cdots & z'_{EN} \end{bmatrix}, \mathbf{X}_B = \begin{bmatrix} x_{B1} & \cdots & x_{BN} \\ y_{B1} & \cdots & y_{BN} \\ z_{B1} & \cdots & z_{BN} \end{bmatrix} \quad (3)$$

のように表すと、(1)式より、

$$\mathbf{X}_B = \mathbf{R}(\Phi, \theta, \Psi) \mathbf{X}_E \quad (4)$$

$$\mathbf{R}(\Phi, \theta, \Psi) = \mathbf{X}_B \mathbf{X}_E^+ \quad (5)$$

ただし、 $\mathbf{X}_E^+$ は $\mathbf{X}_E$ の疑似逆行列である。 $\mathbf{X}_E$ の特異値分解によって、

$$\mathbf{X}_E = \mathbf{U} \mathbf{\Sigma} \mathbf{V}^* \quad (6)$$

($\mathbf{\Sigma}$: $\mathbf{X}_E$ の特異値を対角要素に持つ $3 \times N$ 行列, $\mathbf{U}$, $\mathbf{V}^*$: それぞれ 3×3 , $N \times N$ のユニタリ行列) が成立すれば、この疑似逆行列は次式のように求められる⁸⁾。

$$\mathbf{X}_E^+ = \mathbf{V} \mathbf{\Sigma}^+ \mathbf{U}^* \quad (7)$$

($\mathbf{\Sigma}^+$: $\mathbf{X}_E$ の特異値の逆数を対角要素に持つ $N \times 3$ 行列)

したがって、(5)式より回転行列 $\mathbf{R}(\Phi, \theta, \Psi)$ が得

られれば、マーカーの取り付けられた機体の姿勢角として、(Φ, θ, Ψ) がそれぞれ以下のように計算できる。

まず、(5)式で推定された回転行列の各要素を次のように表す。

$$\mathbf{R}(\Phi, \theta, \Psi) = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} \quad (8)$$

このとき、

$$\theta = \sin^{-1} r_{13} \quad (9)$$

また、 $\cos \theta \neq 0$ のとき、

$$\Phi = \tan^{-1} \left(-\frac{r_{23}}{r_{33}} \right) \quad (10)$$

さらに、

$$\Psi = \tan^{-1} \left(-\frac{r_{12}}{r_{11}} \right) \quad (11)$$

なお、(1)式のようなオイラー角を用いた回転行列に基づいて姿勢角を計算する際、両座標系の z 軸の方向を踏まえて、(1)式右辺の $[x'_E, y'_E, z'_E]^T$ もしくは(4)式右辺の $\mathbf{X}_E$ に回転行列 $\mathbf{R}(\pi, 0, 0)$ を左からかけた上で、機体固定座標系の初期位置に対する姿勢角を求めなければならないことと、 $\cos \theta = 0$ に等しくなる条件 (例えば、ピッチ角 $\theta = \pi/2$ [rad]) では、いわゆる「ジンバルロック」の状態となり、正しい姿勢角を計算できないことに注意されたい。

また、姿勢角速度 ($\dot{\Phi}, \dot{\theta}, \dot{\Psi}$) については、画像フレームから得られるフレーム毎の姿勢角の変化量 ($\Delta\Phi, \Delta\theta, \Delta\Psi$) とフレーム間の時間差 Δt に基づき、近似的に

$$\dot{\Phi} \cong \Delta\Phi/\Delta t, \dot{\theta} \cong \Delta\theta/\Delta t, \dot{\Psi} \cong \Delta\Psi/\Delta t \quad (12)$$

のように求めることができる。

ここで、 N 個のマーカー慣性座標位置 $\mathbf{X}_E$ が、実空間上 (地面) に固定された3軸直交座標系に基づいて、画像フレーム毎に正確に得られたとする。前節に述べた仮定により、この座標系における機体固定座標系原点位置 (O_B) が計算で容易に求められれば、その位置を並進移動後の慣性座標系原点 (O'_E) として各マーカーの (並進移動後の) 慣性座標位置 $[x'_E, y'_E, z'_E]^T$ を得ることができ、さらに、機体固定座標系上での位置が明確なマーカーの仮定により $[x_B, y_B, z_B]^T$ も得られるため、最終的に(5)式や(9)–(12)式を用いた姿勢角・姿勢角速度推定が行える。

$$\begin{aligned} & \mathbf{R}(\Phi, \theta, \Psi) \\ &= \begin{bmatrix} \cos \theta \cos \Psi & -\cos \theta \sin \Psi & \sin \theta \\ \sin \Phi \sin \theta \sin \Psi + \cos \Phi \sin \Psi & -\sin \Phi \sin \theta \sin \Psi + \cos \Phi \cos \Psi & -\sin \Phi \cos \theta \\ -\cos \Phi \sin \theta \cos \Psi + \sin \Phi \sin \Psi & \cos \Phi \sin \theta \sin \Psi + \sin \Phi \cos \Psi & \cos \Phi \cos \theta \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (2)$$

ところで、(5)式の疑似逆行列による求解は、いわゆる最小二乗法による最適化計算⁸⁾を行うことに他ならず、マーカーの数は3個以上でかつ極力多い方が、推定誤差の少ない最適解が得られることになる。実際にマーカーの数によって推定結果がどのように変わるかについては、後ほど考察する。

3. 小型トイドローンと高速度カメラを用いた実験

本研究では、図2および表1に示されるようなトイドローンと、トイドローンを覆う緩衝フレーム上に配置されたマーカーを用いて、前節に述べた姿勢運動計測の有用性を実証する。図2において実際のドローン上のマーカーの位置を示す。ただし、今回の研究では実際に使用していないマーカーも示されていることに注意されたい。

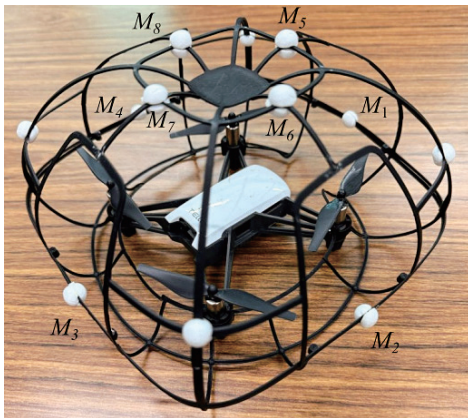


図2. RyzeTech 社製 Tello およびマーカー配置

表1. 小型飛翔体 (Tello) の仕様

重量	91.5g (バッテリーおよび緩衝フレーム含)
本体サイズ	92.5mm×98mm×41mm
ローター(4基)サイズ	直径 76mm
緩衝フレームサイズ	180mm×180mm×110mm

続いて、実験に使用した機材および実験条件について述べる。

まず、ドローン飛行中の動画像取得のために、Photron 製高速度カメラ FASTCAM Mini UX50 3台を使用した。また、動画像計測結果の妥当性や精度を判断するために、ドローン (Tello) に WitMotion 製運動セ

ンサ WT901BLECL を搭載し、ドローン機体固定座標系3軸 (x_B, y_B, z_B) 周りの角度および角速度を同時に計測した。表2に、これら高速度カメラおよび運動センサの仕様を示す。

続いて、図3に高速度カメラの配置条件とドローンの飛行条件(各シナリオにおける離陸位置および飛行方向)を示す。ここで2台の高速度カメラは、光軸が互いに平行に近い向きで設置し、残り1台に関しては、他の2台の光軸方向に対してほぼ90deg 傾けた光軸方向になるように配置し、飛行中のドローンのマーカーに対して極力死角が生じないように、床面に垂直な高さ方向を含めて設置を行った。

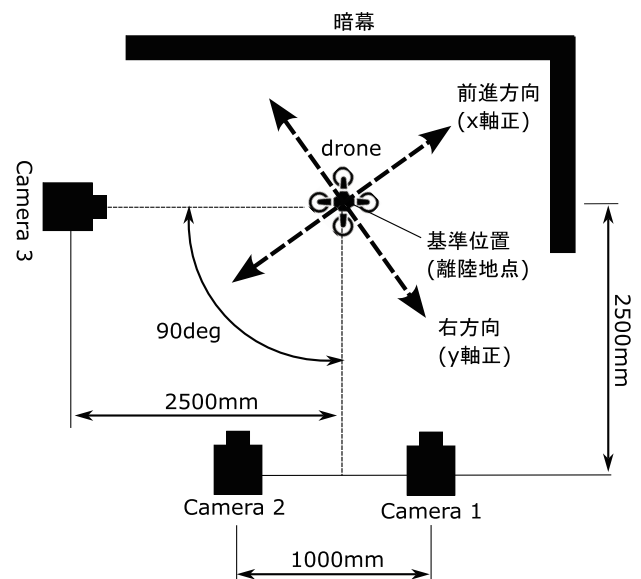


図3. 高速度カメラ3台の配置およびドローン飛行条件

表2. 高速度カメラ, 運動センサの仕様

高速度カメラ: Photron FASTCAM Mini UX50, 3台	
画像解像度 [pixels]	1080×1024
フレームレート [fps]	500
運動センサ: WitMotion WT901BLECL	
計測精度(角度) [deg]	0.05 (X, Y 軸), 1 (Z 軸)
計測精度(角速度) [deg/s]	0.05 (X, Y, Z 軸)
計測精度(加速度) [G]	0.01 (X, Y, Z 軸)

ドローンの飛行条件に関しては、図3に示す基準位置から垂直に離陸し、その後、表3に示す3種類の運動シナリオを実現するよう飛行させた。

表3. ドローン飛行条件（シナリオ）

Scenario 1	特定高度におけるホバリング (空中静止)
Scenario 2	周期的ピッチングによる 前後方向並進飛行
Scenario 3	周期的ローリングによる 左右方向並進飛行

なお、この3つの運動シナリオにおいて、それぞれの運動（ホバリング、および、前後方向もしくは左右方向の周期的並進運動）を実現するために、このドローン専用のプログラミングツール（MATLAB Support Package for Ryze Tello Drones）を用い、Wi-Fiによる無線通信可能なPCにインストールされた科学計算ソフトウェアMATLABによって、約8.0s（Scenario 2, 3については周期的運動のちょうど1周期分）の自動飛行を行った。これにより、人間の手動操縦による不均一性が極力生じないような運動を実現させた。

また、高速度カメラ3台を同期させた各シナリオでの運動撮影中、ドローン本体下部に固定した運動センサ（WT901BLECL）による計測を同時に実行した。

カメラで得られた動画画像からマーカー位置の3次元座標値を推定するために、DITECT社製3次元画像解析ソフトDIPP-Motion V/3Dを使用した。ここで、ドローンの飛行撮影に先立ち、アクリル製の立方体を利用したカメラキャリブレーション（DLT法）を実施し、地面固定座標系（図1(a)の慣性座標系）を定義するとともに、各シナリオにおける8個のマーカーの画像フレーム毎の3次元位置座標算出を行った（図4参照）。

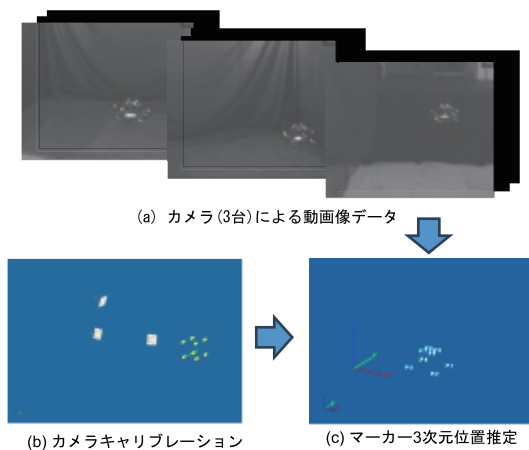


図4. 3次元動画画像解析

4. 実験結果および考察

まず、前節で述べた実験で得られた、3台のカメラからの動画画像を用いて計測された8つのマーカーの3次元座標値の結果の例を図5に示す。8種類の図それぞれに慣性座標系（図1(a)の地面固定座標系）での x , y , z 成分それぞれの時系列変化が示されており、運動シナリオ（図5のScenario 2の場合、前後の周期的並進運動により、 x , y 成分が周期的に変動する）から見て妥当な結果が得られていることがわかる。

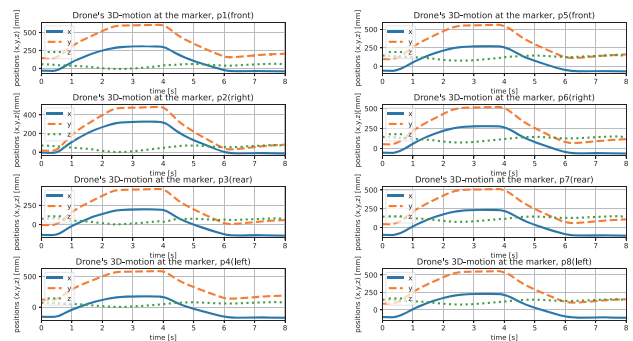


図5. マーカー8点の慣性座標値の画像計測結果（Scenario 2の実験結果の例）

続いて、各シナリオに対するドローン姿勢角および姿勢角速度の推定結果を図6～図8に示す。ここで、上から3段ある各図は、それぞれ、オリジナルの姿勢角推定結果（上）、各姿勢角推定値の時間平均（バイアス）を除去した姿勢角推定結果（中）、姿勢角速度推定結果（下）が示されている。

また、姿勢角の推定結果に関しては、マーカーの取付位置（特に下側 $M_1 \cdots M_4$ ）に起因すると思われるピッチ角（ θ ）およびロール角（ ϕ ）の時間平均誤差が見られたことや、ヨー角（ ψ ）に関しては機体固定座標系の x_B 軸を慣性座標系 x'_E 軸に一致させるような事前の調整が難しいことから、敢えて中段に示すような3軸それぞれの姿勢角度についての時間平均除去後の結果を表示している。また、姿勢角速度に関しては、(12)式で示した近似値に対して、さらに前後の離散時間100点を利用した移動平均値を計算し、グラフにプロットしている。

これらの結果から、ホバリングのシナリオ（Scenario 1）の結果については、ほぼ理想どおりの結果が得られており、一方で、他のシナリオ（Scenario 2, 3）については、各シナリオで変化すべき姿勢角（ピッチ角およびロール角）が予想どおり得られていることが分かる。ただし、Scenario 2, 3ともに、目的とする並進運動と

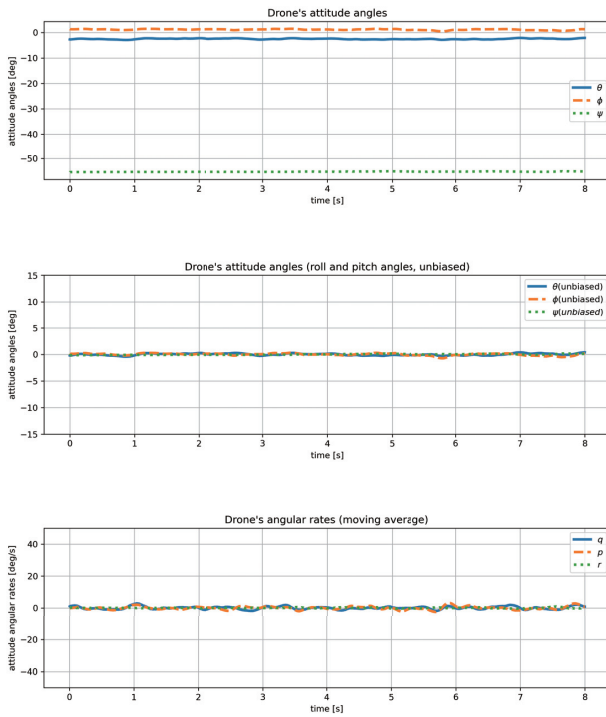


図6. 姿勢角および姿勢角速度推定結果：Scenario 1
(上：姿勢角ーオリジナル，
中：姿勢角ーバイアス除去，下：姿勢角速度)

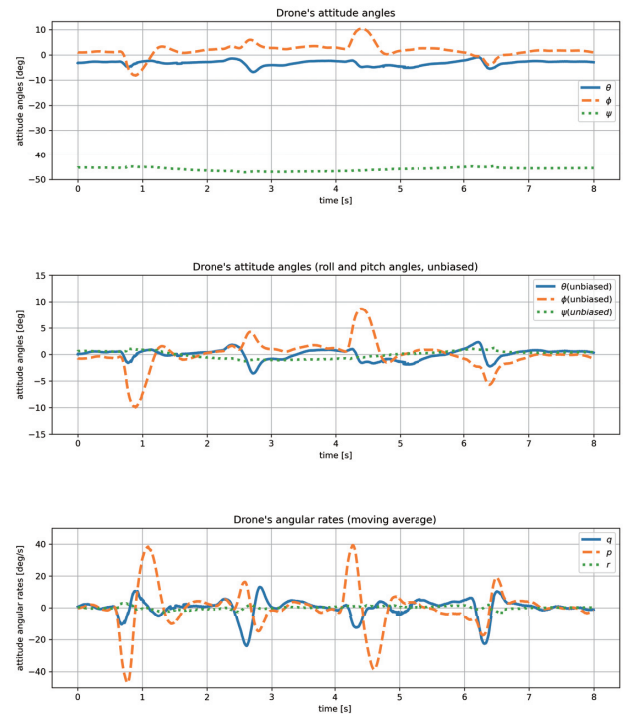


図8. 姿勢角および姿勢角速度推定結果：Scenario 3
(上：姿勢角ーオリジナル，
中：姿勢角ーバイアス除去，下：姿勢角速度)

は無関係で変化がないはずの姿勢角（Scenario 2におけるロール角や，Scenario 3におけるピッチ角）にも微小な変動が見られる。

これらについては，他の姿勢角と連動した周期性が見られることや，後述の姿勢センサの計測結果にも同様の傾向が見られることから，カメラキャリブレーションや運動センサの取付方向に起因する誤差，もしくは，ドローンが製品的な仕様として有する姿勢安定化制御系の介入の影響などが考えられる。

続いて，飛行実験の際に同時に行った運動センサによる計測結果の例を図9に示す。この図は，Scenario 3の左右方向の並進運動の測定結果で，動画画像解析結果と同様，上段にオリジナルの姿勢角測定結果を，中段に各測定値の時間平均除去処理を行った結果を示している。また，下段には運動センサ（角速度ジャイロセンサ）で直接測定された姿勢角速度を示している。いずれも動画画像解析よりも信頼性の高い測定結果が得られていることが期待されるが，サンプリング時間が約0.1sで高速度カメラのフレーム処理時間0.002sに比べて時間解像度が低いため，姿勢角および姿勢角速度の時間変化の特徴は必ずしも明確ではない。

しかしながら，ロール角(ϕ)およびロール角速度($\dot{\phi}$)の変化の周期やピーク値の特徴は，ほぼ同じように表れ

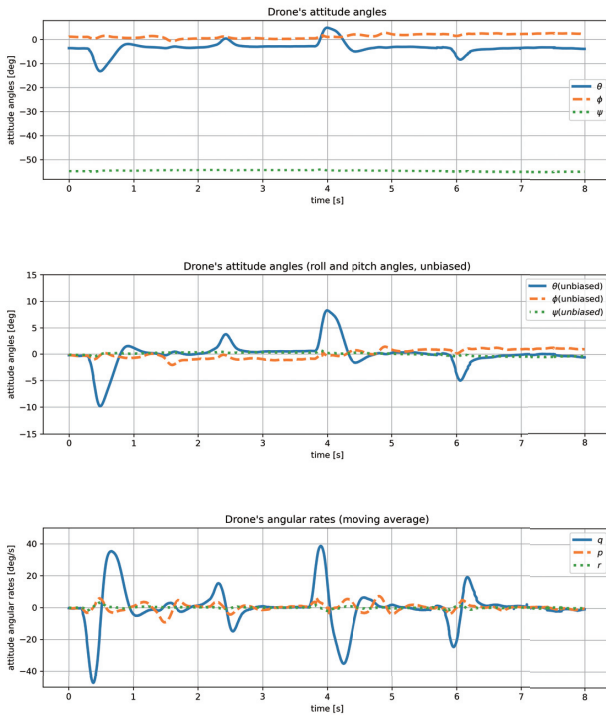


図7. 姿勢角および姿勢角速度推定結果：Scenario 2
(上：姿勢角度ーオリジナル，
中：姿勢角度ーバイアス除去，下：姿勢角速度)

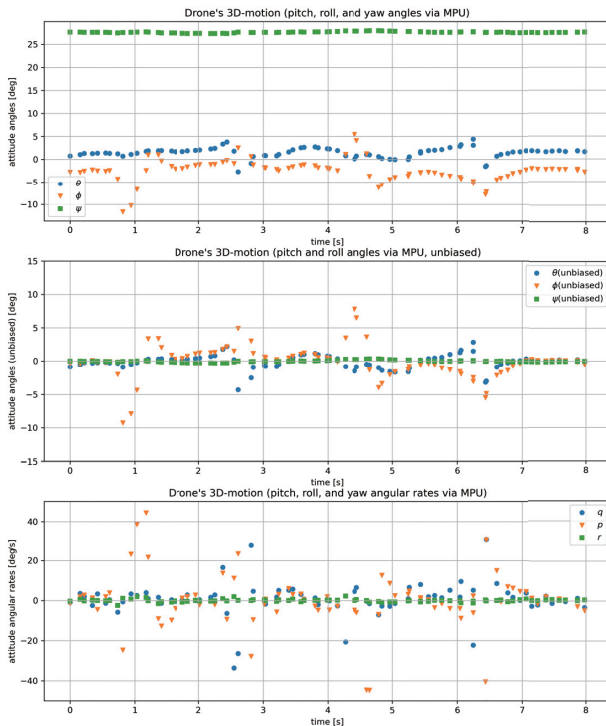


図9. 姿勢角および姿勢角速度運動センサ計測結果：Scenario 3
(上：角度一元結果，中：角度バイアス除去，下：角速度)

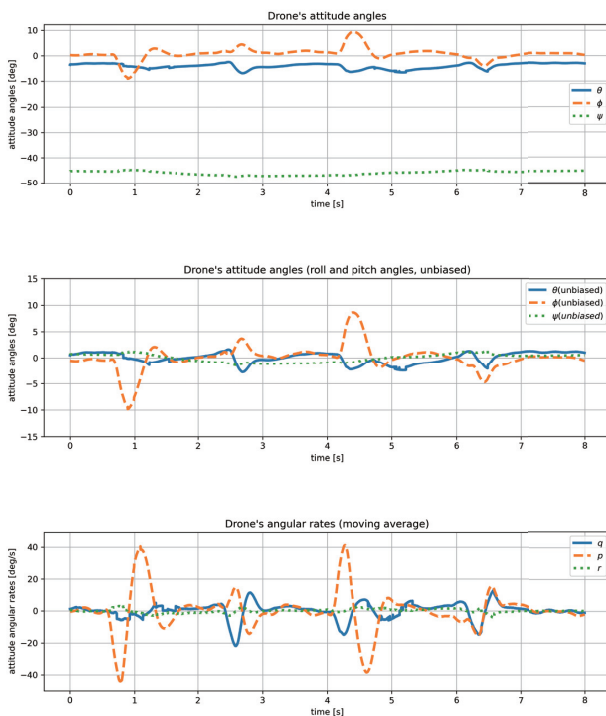


図10. 姿勢角および姿勢角速度推定結果（マーカー数4点のみ）：Scenario 3
(上：角度一元結果，中：角度バイアス除去，下：角速度)

ていることが分かる。

最後に、マーカーの数を8点から4点（ $M_1 \cdots M_4$ ）に減らして推定を行った結果の例（Scenario 3）を図10に示す。図8と比較して大きな違いはないものの、たとえばピッチ角（ θ ）およびピッチ角速度（ $\dot{\theta}$ ）の結果について、1.0s前後や5.2s付近に図8には見られない不連続な変動が表れている。これは、この4つのマーカーのみを用いた場合の画像追尾誤差の影響が考えられる。この結果から、マーカーの数を増やすことで推定結果の時間的不連続性や推定値そのものの最適性が改善することが示されている。

5. 結論と今後の課題

本研究では、剛体とみなせる小型飛翔体上に設けられた画像特徴点（マーカー）位置を適切に配置することで、容易かつ正確に、動画データからその姿勢角度および姿勢角速度の時間変化を推定可能であることをトイドローンを用いた飛行実験、および、複数台のカメラを用いた撮影実験の結果から示した。

姿勢角度および角速度の推定値そのものの精度に関しては、より時間解像度や計測精度の高い運動センサを用いた計測値との比較によりさらなる議論が可能と思われる。また、推定精度が十分高いことが確認できれば、飛翔体運動の時間特性を踏まえた上で、より廉価な（また、可能な限り多数の）カメラを用いた画像計測手法として応用できると考えられる。

参考文献

- 1) Hiroto Nagai, Kazutaka Nakamura, Koki Fujita, Issei Tanaka, Shuji Nagasaki, Yutaka Kinjo, Shintaro Kuwazono, and Masahiko Murozono, "Development of Tailless Two-winged Flapping Drone with Gravity Center Position Control", Sensors and Materials, Vo. 33, No. 3, pp. 859-872, 2021.
- 2) 永井弘人, 中村和敬, 藤田浩輝, 長崎秀司, 金城寛, "生物を規範とした羽ばたき型ドローンの開発", 昆虫と自然56 (14), pp. 41-44, 2021.
- 3) 桑園慎太郎, 永井弘人, 藤田浩輝, 長崎秀司, 有蘭仁, "羽ばたき翼型ドローンのホバリング時の固有安定性に関する研究", 第59回飛行機シンポジウム講演集, JSASS-2019-5017, 2021.
- 4) 藤田浩輝, 衛藤蒼, 永井弘人, 長崎秀司, 金城寛, "限られた画像特徴量に基づくMAV姿勢運動計測",

- 日本文理大学紀要, 50 (2), pp. 37-42, 2022.
- 5) Yi Ma, Stefano Soatto, Jana Kosecka, S. Shankar Sastry, "An Invitation to 3-D Vision: From Images to Geometric Models", Corr. 2nd Edition, Springer, 2004.
- 6) 佐藤敦, "コンピュータビジョン-視覚の幾何学-", コロナ社, 1999.
- 7) 加藤寛一郎, 大屋昭男, 柄沢研治, "航空機力学入門", 東京大学出版会, 1982.
- 8) 辻弘行, 金谷健一, "3次元回転行列の最良推定とその応用", 電子情報通信学会技術研究報告, 91, pp. 101-108, 1992.

(2024年10月9日受理)

〔論 文〕

主権者教育を推進する熟議にもとづく 総合的な探究の時間の意義と可能性 — ESD を通じた市民および地球市民の育成という点に着目して —

斉 藤 雄 次*

*日本文理大学経営経済学部経営経済学科

Significance and Potential of Deliberation-Based “Period for Inquiry-Based Cross-Disciplinary Study” for Promoting Citizenship Education — Focusing on the Development of Citizens and Global Citizens through ESD —

Yuji SAITO*

*Department of Business and Economics, School of Business and Economics,
Nippon Bunri University

Abstract

This study discusses the role of a “Period for Inquiry-Based Cross-Disciplinary Study” in high schools and the role of “Period for Inquiry-Based Cross-Disciplinary Study” based on the challenges of citizenship education to enhance the citizenship education provided in Japan since the lowering of the right to vote to 18 years of age. The reality also exists that few schools provide citizenship education, especially regarding the “Period for Inquiry-Based Cross-Disciplinary Study”. In addition, the Curriculum Guidelines changed in 2018, and the realization of “proactive, interactive, and authentic learning” is also required in high schools. Therefore, this study examined the significance of structuring the learning during the “Period for Inquiry-Based Cross-Disciplinary Study” to include realizing deliberation and developing citizens through it, education for sustainable development (ESD), and developing global citizens in the scope of the project. Therefore, this study found that a “Period for Inquiry-Based Cross-Disciplinary Study”, including opportunities for deliberation, to foster ESD and global citizenship, is being implemented in existing practices, and that expanding such practices may improve the reality that few schools are providing citizenship education during “Period for Inquiry-Based Cross-Disciplinary Study”.

キーワード：熟議，主権者教育，総合的な探究の時間，ESD，市民，地球市民

Keywords : deliberation, citizenship education, period for inquiry-based disciplinary study, ESD, citizen, global citizen

1. はじめに

2017年、2018年に学習指導要領が改訂され、小中学校および高校で、「主体的・対話的で深い学び」を実現することが重要とされるようになった⁽¹⁾。そしてこの対象には、各教科における学習だけでなく、従来より子ども主体の学習活動が展開され、「変化の激しい社会に対応して、探究的な見方・考え方を働かせ、横断的・総合的な学習を行うことを通して、よりよく課題を解決し、自己の生き方を考えていくための資質・能力を育成する」^(註1)ことを目的とする「総合的な学習の時間」、また今改訂を機に高校では名称も変更された「総合的な探究の時間」も含まれることとなった。今改訂の趣旨が、グローバル化や情報化など、知識を有するだけではその複雑な課題に対応できない社会状況を生き抜くために、「子供たちが様々な変化に積極的に向き合い、他者と協働して課題を解決していくことや、様々な情報を見極め、知識の概念的な理解を実現し、情報を再構成するなどして新たな価値につなげていくこと、複雑な状況変化の中で目的を再構築することができるようにすることが求められている」(文部科学省2018: 1)であったことも鑑みるならば、この総合的な学習(探究)の時間の充実は重要な課題となる⁽²⁾。

特に高校にあっては、2015年に選挙権年齢の引き下げが決まって以降に始まった「主権者教育」との関連でも、総合的な探究の時間には意義が見出される。近年は複数の学校において、総合的な探究の時間を活用して、地元自治体が抱える課題に向き合い、解決策を提案する活動が行われる傾向にあるためである^(註2)。こうした活動は、子どもの問題関心に応じて追究するテーマが変わり、なぜそのような問題が起こるのか、どうすれば解決できるのかという「探究」を行いやすいため、「主体的・対話的で深い学び」の実現にもつながっていく。そして、追究を通じて子どもの中に、地域の問題を他人任せにせず、自分も関わっていく必要があると感じるようになるという「自分事」化が進み、社会の問題に関心を持ち、積極的に行動を起こしていこうとする「市民(主権者)」を生み出すことにもつながっていくと考えられる。

ただし、総合的な探究の時間を、主権者教育を実現するものとして位置づけている学校は、文部科学省が定期的に行っている「主権者教育の実施状況に関する調査」の結果を見る限り、まだまだ少ない。また、総合的な探究の時間を通じて育成すべき市民、主権者が、自分の住む地域のことだけを考える者であってよいのか、という

点も検討が必要であるように思われる。例えば総務省と文部科学省が作成し、全国の高等学校に配布した主権者教育副教材「私たちが拓く日本の未来」の2015年発行版においては、国家・社会の形成者に求められる力の中に、「大きな社会変化を迎える中で、日本人としての自覚をもって国際社会で主体的に生きる」態度や、「持続可能な社会の実現を目指す」(総務省・文部科学省2015: 30)態度が含まれている⁽³⁾。国際社会で主体的に生きるためには、国を越えて協力し合うことのできる市民、すなわち地球市民となることも重要であろうし、それはひいては、持続可能な世界のあり方を探ることにもつながるであろう。これは、まさに持続可能な社会のあり方を探る教育(ESD)とも結びつけて考えることができるものである。だが、こうした側面から総合的な探究の時間の学習のあり方について探る研究は、管見の限り見られない。

さらに、総合的な探究の時間を使って子ども同士が議論しながら解を探っていくことは、他者の意見を尊重する態度の涵養につながり、民主的な社会に生きる市民、主権者を生み出すことにもつながっていくであろう。その意味では、政治学の議論において提唱された、「熟慮し、議論する」営みとしての熟議、また熟議を通じてより民主的な社会を実現する熟議民主主義の実現にも、総合的な探究の時間は寄与する可能性がある。だが、熟議とESD、市民の育成と教育の関係について迫る研究は、大学教育を念頭に置いた新田(2012)のみとなっている⁽⁴⁾。

以上の問題意識にもとづき、本稿では、学校に熟議の契機と主権者教育の機会をもたらすものとしての総合的な探究の時間の意義について考察する。合わせて、ESDの実現、地球市民も含めた市民の育成とも関連づけ、持続可能な社会の実現に寄与するものとしての総合的な探究の時間の可能性についても検討する。

2. 先行調査から示される主権者教育の現状と課題

2-1 主権者＝市民の育成とその射程

日本で2015年から始まった主権者教育は、イギリスで選挙権年齢が引き下げられて以降にその開始が模索され、実際に2002年から公教育に導入された「シティズンシップ教育」と関連がある。例えば小玉重夫は、イギリスのシティズンシップ教育において、自らが社会の一員であることや行動には責任が伴うことを自覚する「社会的・道徳的責任」、ボランティアに積極的に関わる「コミュニティへの奉仕」、政治には意見の対立が付きもの

であることを理解し、様々な角度から問題を批判的に読み解き、自ら行動を起こしていこうとする「政治的リテラシー」の育成が重要となっていること、日本の主権者教育の副教材には、論争的な課題を様々な角度から捉え、よりよい社会を築くために自ら考え、行動していくことのできる、政治的リテラシーを持った市民＝主権者を育成しようとしている箇所があると述べている⁽⁵⁾。

また、日本における主権者教育の目的は、「単に政治の仕組みについて必要な知識を習得させるにとどまらず、社会を生き抜く力や地域の課題解決を社会の構成員の一人として主体的に担うことができる力を身に付けさせる」^(註3)ことであるとされているが、この表現に注目することによっても、日本の主権者教育が政治や社会に対して積極的に関わろうとする市民＝主権者の育成を目指すものであることをうかがい知ることができる。知識の習得のみならず、行動を起こすことができるようになることまでが、射程に含まれているためである。

さらに、主権者教育の副教材に示される、主権者教育を通じて育成されるべき「国家・社会の形成者に求められる力」に関しても、子どもがよりよい社会の実現に向けて考え、行動していけるようになることを念頭においている。例えば選挙権年齢が引き下げられた2015年から新学習指導要領にもとづく学びが始まる2021年までの主

権者教育副教材である総務省・文部科学省（2015）においては、「国家・社会の形成者に求められる力」が表1のように整理されており、そこで掲げられた、「現実社会の諸課題について多面的・多角的に考察し、公正に判断する力」の中には、社会には様々な争点があることを理解し、その上で公正に判断する力という、イギリスのシティズンシップ教育における政治的リテラシーとの関連を見出すことができる表現や、「公共的な事柄に自ら参画しようとする意欲や態度」のように、行動を積極的に起こせるようになることに言及する表現が見られる。またこの内容は、新学習指導要領にもとづく学びが始まったことに伴い、内容が見直された2022年以降の主権者教育の副教材においても「思考力・判断力・表現力等」、「学びに向かう力・人間性等」のところで表2のようにそれぞれ残されており、政治的リテラシーを兼ね備えた市民の育成が、日本においても企図されていることを読み取ることができる^(註4)。

ほかにも、2015年版の表現で示されている、「日本人としての自覚をもって国際社会で主体的に生きる」という記述からは、日本のことだけでなく他国のことも考える「地球市民」を育成することについても、考慮されていると見ることができる。このように、日本においては学校教育を通じて市民や地球市民を育成することが、重

表1 2015年版主権者教育副教材における「国家・社会の形成者に求められる力」

能力	具体的説明
論理的思考力 (とりわけ根拠をもって主張し他者を説得する力)	自分の意見を述べる際には根拠をもって説明することが重要であることを理解するとともに、異なる立場の意見がどのような根拠に基づいて主張されているかを検討し、議論を交わす力
現実社会の諸課題について多面的・多角的に考察し、公正に判断する力	現実の社会においては様々な立場やいろいろな考え方が存在することについて理解し、それらの争点を知った上で現実社会の諸課題について公正に判断する力
現実社会の諸課題を見出し、協働的に追究し解決(合意形成・意思決定)する力	お互いに自分の考えや意見を出し合い、他者の考えや価値観を受け入れたり意見を交換したりしながら、問題の解決に協働して取り組む力
公共的な事柄に自ら参画しようとする意欲や態度	大きな社会変化を迎える中で、日本人としての自覚をもって国際社会で主体的に生きること、持続可能な社会の実現を目指すなど、公共的な事柄に自ら参画していこうとする力

出所：総務省・文部科学省（2015）より筆者作成

表2 2022年版主権者教育副教材における「国家・社会の形成者に求められる力」

資質・能力	具体的説明
知識及び技能	・ 現実社会の諸課題（政治、経済、法など）に関する現状や制度及び概念についての理解 ・ 調査や諸資料から情報を効果的に調べまとめる技能
思考力、判断力、表現力等	・ 現実社会の諸課題について、事実を基に多面的・多角的に考察し、公正に判断する力 ・ 現実社会の諸課題の解決に向けて、協働的に追究し根拠をもって主張するなどして合意を形成する力
学びに向かう力・人間性等	・ 自立した主体として、よりよい社会の実現を視野に国家・社会の形成に主体的に参画しようとする力

出所：総務省ホームページ（https://www.soumu.go.jp/main_content/000815495.pdf）より筆者作成

要な課題であると文部科学省等によって認識されてきたといえる。

2-2 主権者教育と総合的な探究の時間の関係

ところで、主権者教育は、政治や経済を学習の対象として扱う公民科だけで行われるべきものではない。例えば文部科学省は、2021年に主権者教育をめぐる課題と今後の推進方策を振り返った際に、初等中等教育段階における取り組みの充実として、「社会科や公民科のみならず家庭科、特別の教科 道徳、特別活動や総合的な学習（探究）の時間等を中心に新学習指導要領に示す既存の内容のうち主権者教育に関わる内容相互の関連を図るなど、児童生徒の学習負担にも配慮しつつ教育課程全体を通じた指導の充実を図ることも合わせて重要である」（主権者教育推進会議2021：9）と総括している⁽⁶⁾。特に、総合的な探究の時間に関しては、以下に示すように、新学習指導要領下の学びで主権者教育を進めることにもつながるものであるとの言及もなされている。

選挙権年齢及び成年年齢が満18歳に引き下げられ、高等学校段階の生徒にとって政治や社会が一層身近なものとなっている。高等学校の新学習指導要領では、生徒一人一人に社会で求められる資質・能力を育み生涯にわたって探究を深める未来の創り手として送り出していくことが、これまで以上に重要となっていることに鑑み、共通必修科目としての「公共」の新設や、「総合的な探究の時間」を設けるなど教育課程上の改善を図るとともに、「主体的・対話的で深い学び」の視点からの授業改善を図ることとしており、一層の指導の充実が求められる。（主権者教育推進会議2021：9）

こうした点に着目するならば、総合的な探究の時間の指導方法を様々に工夫し、子どもを主権者、市民へと育成していくための機会と位置づけることは、あらためて重要であるということになる。

しかしながら、こうした理念と学校現場の実態は、やや乖離している。例えば、文部科学省が定期的に調査を行っている主権者教育の実施状況には、主権者教育を実施したと回答した調査対象校が、どの教科等で主権者教育を実施したかを確認する調査項目があるが、過去3回の調査結果を確認しても、総合的な学習（探究）の時間に主権者教育を実施した、と認識している学校は少ないのが現状である（表3）。特に、新課程のもとでの学びが始まり、公民科で科目「公共」が1年次もしくは2年次の必修科目となった、また高校で総合的な探究の時間が始まった2022年度においても、総合的な探究の時間で主権者教育を実施したと回答する学校の割合が、過去2回の調査時と比べて伸びておらず、むしろ低下している。これは、主権者教育が総合的な探究の時間において行われていない、もしくは行っていると学校に認識されていない現状があることを示しているように思われる。

もちろん、2022年度に実施された主権者教育実施状況調査においては、当該年度に第2学年以上や第3学年以上であった生徒に対する調査が行われていないため、主権者教育と関連づける形で総合的な探究の時間の学習プログラムを設計している学校が少なくと断言することはできない。一方で、2016年度調査、2019年度調査と過去2回の調査を比較して、総合的な学習（探究）の時間に主権者教育を実施したと回答する学校の割合が減少していることを踏まえるならば、2022年度調査において、総合的な探究の時間に主権者教育を実施している学校が大幅に増えているとも考えにくい。いずれにせよ、総合的

表3 これまでの主権者教育実施状況調査で示された各教科等における主権者教育の実施状況

単位：％

	調査時点で第1学年以上の生徒			調査時点で第2学年以上の生徒			調査時点で第3学年以上の生徒		
	2016年度	2019年度	2022年度	2016年度	2019年度	2022年度	2016年度	2019年度	2022年度
特別活動	56.7	40.1	45.6	63.0	47.6	－	62.0	42.0	－
公民科	56.5	63.0	67.0	40.9	45.6	－	59.5	59.9	－
総合的な学習（探究）の時間	18.7	14.0	13.1	21.7	18.0	－	19.2	15.3	－
その他の時間	13.4	8.1	7.5	16.7	12.7	－	13.1	11.5	－

出所：文部科学省ホームページ（https://www.mext.go.jp/content/20210105-mxt_kyoiku02-100002874_1.pdf）（https://www.mext.go.jp/content/20210105-mxt_kyoiku02-000011959_1.pdf）（https://www.mext.go.jp/content/20230519-mxt_kyoiku02-000029662_01.pdf）より筆者作成

な探究の時間が主権者教育を実施する機会ともなりうる
との認識を学校現場に広め、推進していくことは今後の
重要な課題となってくるのではないだろうか。

実際に、2022年度の主権者教育状況調査においては、
主権者教育の課題に対応した具体的な取り組みとして、
総合的な探究の時間の先進校の実践も、以下のように示
されている⁽⁷⁾。

総合的な探究の時間を活用し、地域課題の解決に向
けた取組を行った。その際、地域の企業や諸団体と
連携し、活動に協力をしてもらった。生徒は、地域
の大人と話したり一緒に活動したりしながら、地域
にある実際の問題について考える経験を積んでいっ
た。取組を通じて、生徒には、①自己肯定感が高
まった、②社会課題が自分事になった、③自己の在
り方・生き方を考えた、④社会参画の意識が高まっ
たという成果があった。(文部科学省2023：5)

あらためて、主権者教育は総合的な探究の時間におい
ても、その効果的な指導のあり方が模索されていく必要
がある。

3. 総合的な探究の時間を熟議の視点から捉えることの 意義

3-1 熟議を通じた市民の育成

ここまで、主権者教育の観点から見た際の総合的な探
究の時間の意義や課題について確認してきたが、総合
的な探究の時間を通じて主権者＝市民を育成することが、
学校現場における主権者教育の推進にもつながるもの
であることを示すためには、別の角度から総合的な探究
の時間に意義づけを行うことも一つの方法となろう。例
えば、「主体的・対話的で深い学び」のうち「対話的な学
び」を実現する方法として、熟慮して討議を行う熟議を
位置づけ、熟議の契機を総合的な探究の時間に組み込
むことで、他者の意見を尊重しようとする民主的な社会
に生きる主権者＝市民を育成する、という見方である。

熟議とは、政治学的には、「人々の間の理性的な熟慮
と討議、すなわち熟議を通じて合意を形成することによ
って、集合的な問題解決を行おうとする民主主義の考
え方」(田村2008：2)とも定義される熟議民主主義を
支える重要な概念となっている⁽⁸⁾。一方で、熟議は教
育政策の文脈でもこれまで時折注目されてきた。例
えば、民主党が政権を握った2009年から2012年にかけて
は、当時文部科学副大臣であった鈴木寛によって、子ど

もが話し合うことの意義が、以下のように「子ども熟議」
として示されるとともに、そこに果たす総合的な学習の
時間の意義も強調されることとなった。

また、知識や考え方を一斉に指導するような授業だ
けでなく、一人一人の子どもの能力や特性に応じた学
びや、子ども同士が教え学び合う協働的な学びに
つながる授業を積極的に取り入れることも重要で
す。その際、子どもたちが身近な課題と解決方策に
ついて「熟考」と「話し合い」を重ね、他者と協同し
て主体的に問題を解決する「子ども熟議」の考えに
沿った指導を進めることも期待されます。さらに、
総合的な学習の時間における学習活動を、実社会・
実生活との関わりや体験活動を重視して探究的な学
習活動とし、他者と協同して課題を解決しようとし
る学習活動や、言語により分析し、まとめ・表現す
る学習活動等を充実していくことも求められま
す^(註5)。

また、鈴木寛はその著書において、熟議の構成要素と
しての熟慮と議論のうちの熟慮について、自分と対話す
ることであり、その意義として、「自分の思いつきに、
もう一人の自分が疑問や反論を投げかけ、心の中で対話
しながら、意見を温め他者との議論の場に臨むから、熟
議になる」(鈴木2010：64)としている⁽⁹⁾。

そしてこの自己内対話とは、新学習指導要領で求めら
れる対話的な学びとの関連を見出だすことができるもの
でもある。例えば、新学習指導要領においては対話的な
学びとは、「子ども同士の協働、教職員や地域の人々との
対話、先哲の考え方を手掛かりに考えること等を通じ、
自己の考えを広げ深める学び」(中央教育審議会
2016：50)と定義され、その中に直接、自己内対話は出
てこない。しかし、福島県が作成した対話的な学びに関
する資料によれば、対話とは他者との直接の話し合いに
限らず、「他者と自分の考えをすり合わせる」過程で起
こる自己内対話も含むものであるとされている^(註6)。ま
た同様の解釈は、福井県が作成した対話的な学びに関す
る資料でも、「自分の知識や経験、疑問、気付き等を関
連づけたり整理したりしながら思考を再構築していく
『自分の内面』における対話」^(註7)が対話的な学びの中
に含められている。

このように、自分自身の中で熟慮し他者と議論する熟
議の機会が総合的な探究の時間に設けられることは、
「対話的な学び」の充実につながり、さらに、文部科学
省によって主権者教育の課題に対応した取り組みとして

も紹介された地域の課題を他者と議論しながら解決する活動にも、熟議の契機は含まれているため、こうした活動を各学校が推進することによっても、主権者教育を総合的な探究の時間に実施していると考えられる学校の数を、増やしていくことができるであろう。

3-2 熟議を通じた ESD の実現と地球市民の育成

また、総合的な探究の時間を主権者教育の場とみなして多様な学習活動を展開する上では、2022年版の主権者教育副教材で消されたものの、2015年版の主権者教育副教材においては示されていた、「持続可能な社会の実現を目指す」人間を育成するという視点、すなわち持続可能な開発のための教育（ESD）を通じて、持続可能な社会の担い手を育成する、総合的な探究の時間の学習プログラムを考えていくことも重要となる。

新田（2012）によれば、ESD の鍵概念である持続可能な開発とは、国連によって当初、経済開発と環境保護を両立できるような開発とされたが、のちにそこに人間の生活保障も加わり、経済、環境、社会に配慮した開発を進めることが重要であると認識されるようになった。そしてそうした配慮を、教育を通じて子どもに身につけさせることも重要であるとの認識のもと、2002年に日本により ESD が提唱され、現在は世界中でその意義が認められている。この ESD に関しては、高等教育の文脈、また東日本大震災が起こった後の、問題を当事者として考えようとする市民を育成するという文脈ではあるが、熟議をベースに据えることで市民を育成する市民性教育が実現すること、それは ESD にとっても重要であることが指摘されている⁽⁹⁾。

また関口知子らも、「価値観の異なる人、多様な背景をもつ人とコンフリクトを恐れることなく、双方の考えをすり合わせながら、一緒に協働するための対話力」（関口ほか2010：170-171）が重要であり、自分の考えを相手に分かるようにはっきり伝えるアサーティブ・コミュニケーションが ESD に役立つと述べている⁽¹⁰⁾。さらに、熟議に関しては他者の主張の根拠に耳を傾けることによって、相互尊重の態度を子どもに身につけさせることができるという主張も、エイミー・ガットマンとデニス・トンプソンによってなされている⁽¹¹⁾。そのため、ESD は熟議や主権者教育との関連で理解することのできるものであり、熟議の場面を設定し ESD を実現する総合的な探究の時間のプログラムを各学校で充実させていくことも、今後検討に値しよう。

さらに、2022年版の主権者教育副教材で消されたものの、2015年版の主権者教育副教材においては示されてい

たもう一つの視点である、「日本人としての自覚をもって国際社会で主体的に生きる」人間を育成するということも、熟議の契機が含まれる総合的な探究の時間を介して行うことが可能であり、今後積極的に検討されていくべきであろう。例えば福井県立若狭高等学校の国際探究科では、「地域課題から国際課題まで自分の興味・関心に応じた問いを立て、探究する」^(註8)時間として、「国際・社会探究Ⅰ・Ⅱ」が設けられており、2022年の5月には、提携校であるフィリピンのデ・ラサール・リパ高校の生徒と当該高校の生徒が、同性婚という論争の課題の是非について意見交流する実践が行われたことがある。そしてこの実践の結果、「国際交流によって、社会問題に対する視点が広がり、より多面的・多角的に思考できるようになった」り、「日本の社会問題に対する関心が高まった」りした生徒がいたことも報告されている⁽¹²⁾。

こうした取り組みの効果は、2015年版の主権者教育副教材に示された「現実社会の諸課題について多面的・多角的に考察し、公正に判断する力」や「公共的な事柄に自ら参画しようとする意欲や態度」、2022年版の主権者教育副教材に示された「思考力、判断力、表現力等」や「学びに向かう力・人間性等」との関連も見出だすことができる。また、フィリピンの高校生にとっても日本の高校生にとっても、自分とは住んでいる場所も価値観も異なる生徒との交流を通して、自己内対話が行われ、自らの考えや価値観が見直された生徒もいたかもしれない。このように考えるならば、当該実践には熟議の契機もまた含まれていた可能性があり、主権者教育の実現に加え、ESD の実現、地球市民意識の醸成も、探究の過程において図られていた可能性がある。

特に、国を越えた主権者＝市民の育成に関しては、次代の主権者を育成するための今後の課題として、以下のように言及されてもいる⁽¹³⁾。

現実の多くの課題が海外の国々との関係の中で生じていることを踏まえると、子供たちには、他国の人々とも対等に対話を重ねながら粘り強く相互に理解していくための資質・能力を育んでいく必要がある。その際には、他国の人々の考え方や生活習慣を理解していることが重要であって、子供たちが学習を進めるに当たっては、そこに暮らす人々の価値観や生活習慣に大きな影響を与える様々な考え方等について学び、多面的・多角的な考察を通じて自らの考えを深めることが大切である。（文部科学省 2022：4）

若狭高校の事例は、日本のことだけを考えるのではない、地球市民の育成という視点でも意義を見出すことができる取り組みであるとともに、こうした取り組みが日本の学校に広まっていくことによっても、総合的な探究の時間がESDや熟議を実現する、主権者教育の場であるという認識を、増やしていくことができるであろう。

なお、ESDや地球市民の育成を志向する主権者教育のあり方を考える上では、同じく持続可能な社会のあり方を考えるSDGsも、学習テーマとして扱うことも有効であろう。SDGsは国連によって普及が目指され、多くの国でその重要性が認識されているために、SDGsの実現に貢献できる子どもを育成することは、一国のことだけを考えるのではない地球市民を育成することにも、つながるものと考えためである。こうしたテーマを扱う総合的な探究の時間の実践も、検討に値するものとなろう。

4. ESDを軸とした総合的な探究の時間の事例と効果

ところで、ESDの実現を中心に据えて総合的な探究の時間を進めている学校は既に存在する。本章では、そうした学校としての大分県立大分雄城台高等学校の事例に注目し、それが子どもによる熟議の実現や、地球市民の育成につながる可能性について検討する。

まず、大分雄城台高校の実践の概要であるが、大分雄城台高校は2020年度から2021年度にかけてESD教育課程研究指定校となり、研究指定が終了して以降も、「「誠

実・自主・創造」の校訓のもと、社会において逞しく生き抜き、積極的に社会貢献できる生徒の育成」を学校教育目標に設定し、現在まで「ESDの推進を通じて持続可能な社会の構築に必要な6つの資質・能力を育成」（大分県立大分雄城台高校2023：12）する教育活動を、授業や総合的な探究の時間、特別活動など学校のあらゆる場面で展開している⁽¹⁴⁾。そして、6つの資質・能力として設定されているのは、情報整理力、協働、課題解決力、自他の尊重、発信力、チャレンジ精神である^(註9)。

筆者を含む所属大学の教職課程担当教職員は、高校現場における探究学習の現状を知るために、2024年2月に大分雄城台高校を訪問し、そこで大分雄城台高校の取り組みの詳細がまとめられた独自資料も入手することができたのであるが、その資料によれば、6つの資質・能力のうち、協働の内容は「価値観の多様な他者と協働して、様々な課題を解決しようとしている」、課題解決力の内容は、「様々な場面で課題を発見し、最適解により近い解決方法を見つけることができる」、自他の尊重の内容は、「個人的・社会的責任を重んじ、価値観の多様な他者を尊重するとともに、自己肯定感を高めようとしている」であった。さらに、それぞれの目標は、5段階の到達目標を示したルーブリックに整理され、生徒の活動を教員等が評価する際や、生徒が自分自身の現在地を確認する際に活用されている（表4）。協働、課題解決力、自他の尊重の各ルーブリックの中に「対話」や「地域や国際社会の改善・解決すべき課題を見つけ」、「多様な価値

表4 大分県立雄城台高校で使用されているESDに関するルーブリックの一部（筆者作成）

	協働	課題解決力	自他の尊重
5	課題解決に向けて、新しい提案や別の考えを示し、集団のやる気を高めている。集団がより高いレベルで課題を解決するよう取り組み、社会貢献に努めている。	地域や国際社会で見つけた課題の原因を追究し、実行可能性や解決のメリットも含め様々な視点から改善策を提案し、かつ課題解決のために他者を巻き込んで行動している。	個人的・社会的責任を重んじ、自己肯定感を高めている。多様な価値観がある中、他者を尊重し、知識・経験・考えを持ち寄って社会に貢献するよう共に行動している。
4	課題解決に向けて、計画を示したり、他者の考えを肯定的に受け入れたりしている。対話を通して新しい考えを蓄積し広げている。	地域や国際社会の改善・解決すべき課題を見つけ、解決案を提案し、かつ解決に向けて行動している。	地域や社会の一員としての責任を重んじ、他者を尊重するとともに、自己肯定感を高めている。
3	課題解決に向けて、仲間に自分のやる気を示したり、他者の考えを認めたりしている。	地域や国際社会について自ら解決したい課題を自ら調査・探究している。	地域や社会の一員としての責任を重んじ、他者を尊重している。
2	個の責任を果たすとともに、全員が目標達成するために、互いに助け合っている。	自己の生活や社会などについて、改善したい（追究したい）ことがある。	他者に迷惑をかけないようルールやマナーを守って行動している。
1	他者と一緒に活動している。相手の話をきちんと聴く姿勢がある。	自己の生活や社会などについて考えたことがある。	自分のことは考えている（尊重できる）。

出所：大分雄城台高校の独自資料をもとに筆者作成

値観がある中、他者を尊重」といった記述があることを踏まえるならば、大分雄城台高校においては、学校の教育活動全体を通じて、熟議の機会や地球市民の育成を視野に入れた活動の機会が、保障されている可能性がある。

また、総合的な探究の時間に関しても、大分雄城台高校においては、1年次は情報整理力と協働の醸成に重きを置いた、グループ単位で主に大分市内の課題解決のあり方を探っていく活動が、2年次は課題解決力と自他の尊重の醸成に重きを置いた、個人単位で自らの関心のある地域レベル、国家レベル、国際レベルの課題を探究する活動が、いずれもSDGsとの関係を念頭に置いた上で行われている。ここでも、グループ単位の活動で問題の解決策を探る過程で、国を越えた市民が持つべき共通認識や態度が醸成されるであろうことに注目するならば、熟議の実現や地球市民の育成が行われている可能性がある。

実際に、2020年7月、2021年3月、2021年7月の3回にわたって生徒に行われた、総合的な探究の時間に関するアンケートでは、協働について「身に付いている」と回答した生徒の割合は、それぞれ全体の31%、30%、35%、「どちらかといえば身に付いている」と回答した生徒の割合は、それぞれ全体の49%、53%、49%というように推移していたし、双方の回答を足した肯定的な回答の割合は、時間が経つごとに伸びが見られた。また、課題解決力と自他の尊重については、「身に付いている」と「どちらかといえば身に付いている」を合わせた肯定的な回答の割合は、時間が経つごとに伸びているわけではないものの、その割合は83~95%で推移しており、多くの生徒に身に付いていたことが判明している^(註10)。高校側はコロナの影響により校内外の活動の中止や縮小が相次いだため、協働やチャレンジ精神を育成する機会が十分に得られなかったと総括しているが、そうした状況がなくなった現在においては、総合的な探究の時間を通じて、上記の資質・能力がさらに高まっていると考えられる。

さらに、大分雄城台高校がESDの資質・能力の一つとしている協働や課題解決力、自他の尊重とはまさに、主権者教育副教材が国家・社会の形成者に求められる力としている資質・能力そのものでもある。大分雄城台高校が総合的な探究の時間において地域課題や自ら関心のある社会課題の解決策を考えさせる活動を展開している点にも注目するならば、大分雄城台高校は総合的な探究の時間を通じて主権者教育をも実現していると見ることができる。そのため、大分雄城台高校の事例は、今後の総合的な探究の時間のあり方を考える上でも、大いに示

唆に富むものとなろう。

5. おわりに

本稿では、総合的な探究の時間を通じた主権者教育が日本において十分に展開されていないことに注目し、その充実を図る方策について、熟議やESD、地球市民の育成の観点から検討した。既に、そうした要素を取り入れた実践が日本の各地の学校で展開されていることから、その手法を他の学校にも広めていくことで、総合的な探究の時間を通じた主権者教育が、市民のみならず地球市民を育成する形で行われる余地は十分に存在するといえる。そうした点を明らかにすることができたのは、本研究の成果といえよう^(註11)。

一方、本稿では総合的な探究の時間の学習活動の結果、一人ひとりの生徒の認識がどのように変化していったかといった側面については、そもそも変化するのかもしれないと追えていない。若狭高校や大分雄城台高校に対して、独自にアンケート調査を行うなどし、そうした点についても今後明らかにしていく必要がある。

註

- (1) 文部科学省ホームページ (https://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/sougou/main14_a2.htm。2024年11月10日最終閲覧)。
- (2) 例えば福井県立大野高等学校は、第1学年の生徒が総合的な探究の時間を利用して、地域の課題を知り解決策を探る活動を行っている。また、いくつかの代表グループは大野市が主催する「私が未来の市長プロジェクト」に別途参加し、自治体に対し練り上げた解決策を提案している(福井県立大野高等学校ホームページ (<https://www.daiko.ed.jp/d-kompas/>。2024年11月10日最終閲覧))。
- (3) 文部科学省ホームページ (https://www.mext.go.jp/a_menu/sports/ikusei/1372381.htm。2024年11月10日最終閲覧)。
- (4) 総務省ホームページ (https://www.soumu.go.jp/main_content/000815495.pdf。2024年11月10日最終閲覧)。
- (5) 文部科学省ホームページ (https://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/senseioun/1304743.htm。2024年11月10日最終閲覧)。
- (6) 福島県ホームページ (<https://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/621926.pdf>。2024年

- 11月10日最終閲覧)。
- (7) 福井県ホームページ (http://info.pref.fukui.jp/gakukyo/reinan/index/file/kenkyu/H29_STEPkenkyuingou.pdf。2024年11月10日最終閲覧)。
- (8) 福井県立若狭高等学校ホームページ (<https://www.wakasa-h.ed.jp/info/course/inquiry/internationalcourse/>。2024年11月10日最終閲覧)。
- (9) 大分県立大分雄城台高等学校ホームページ (<http://kou.oita-ed.jp/oitaoginodai/school/2472/>。2024年11月10日最終閲覧)。
- (10) 国立教育政策研究所ホームページ (https://www.nier.go.jp/kaihatsu/kyougikai_r03/pdf/20220202AM-oginodai-h.pdf。2024年11月10日最終閲覧)。
- (11) なお主権者教育状況調査においては、現実社会の政治的事象について考察を深める話し合い(や意見交換、議論)が行われる学校の割合も、約3割にとどまっている。総合的な探究の時間を熟議、ESD等を意識したものにするには、こうした状況の改善にもつながる可能性がある。
- ### 参考文献
- (1) 中央教育審議会(2016)「幼稚園、小学校、中学校、高等学校及び特別支援学校の学習指導要領等の改善及び必要な方策等について(答申)」。
- (2) 文部科学省(2018)『高等学校学習指導要領(平成30年告示)解説 総合的な探究の時間編』学校図書。
- (3) 総務省、文部科学省(2015)「私たちが拓く日本の未来—有権者として求められる力を身に付けるために—」。
- (4) 新田和宏(2012)「東日本大震災がESD(持続可能な開発のための教育)に問いかけるもの—熟議による市民性教育—」近畿大学生物理工学部『Memoirs of the Faculty of Biology-Oriented Science and Technology of Kinki University』第29号, pp. 17-31。
- (5) 小玉重夫(2016)『教育政治学を拓く—18歳選挙権の時代を見すえて—』勁草書房。
- (6) 主権者教育推進会議(2021)「今後の主権者教育の推進に向けて(最終報告)」。
- (7) 文部科学省(2023)「高等学校等における主権者教育の課題に対応した具体的な取組例」。
- (8) 田村哲樹(2008)『熟議の理由—民主主義の政治理論—』勁草書房。
- (9) 鈴木寛(2010)『「熟議」で日本の教育を変える—現役文部科学副大臣の学校改革私論—』小学館。
- (10) 関口知子、町恵理子、榎本智子(2010)「多文化社会の異文化間コミュニケーション」五島敦子、関口智子(編)『未来をつくる教育ESD—持続可能な多文化社会をめざして—』明石書店, pp. 147-180。
- (11) Gutmann, Amy and Dennis Thompson(1996) *Democracy and Disagreement*, Belknap Press of Harvard University Press.
- (12) 兼松かおり、松村一太郎(2023)「国際論争問題交流会を通じて生徒は何を学んだのか—国際探究科における新しい国際交流の挑戦から見えた可能性—」福井県立若狭高等学校『研究雑誌』第53号, pp. 2-11。
- (13) 文部科学省(2022)「次代の主権者育成に求められる政治的・経済的教養の教育に関するタスクフォース取りまとめ」。
- (14) 大分県立大分雄城台高等学校(2023)「令和5年度学校要覧」。

(2024年11月11日受理)

〔論 文〕

A Semantic and Pragmatic Analysis of Japanese EFL Learners' Use of Let-Causatives

Martin TESHOME*

*Department of Business and Economics, School of Business and Economics, Nippon Bunri University

This research was previously presented at the 34th JACET Kyushu-Okinawa Chapter Conference on September 28th, 2024.

Abstract

This study presents a qualitative contrastive analysis of let-causatives produced by native English speakers and Japanese EFL learners using the International Corpus Network of Asian Learners of English (ICNALE) to identify signs of first-language (L1) interference. It classifies the constructions into nine semantic and pragmatic categories. The study found that native speakers use this construction more frequently than learners. The results suggest that while let-causatives describing permission and the construction “let’s do Z” as an invitation are acquired readily by learners, it is more challenging for them to acquire constructions that express tolerance and idiomatic expressions (e.g., “let live”). Learners also prefer to use “let” as a means to sequence written language (e.g., “let me start”), are reluctant to use let-causatives as hesitation markers (e.g., “let me see”), and appear to internalise some of these constructions as parallel with the Japanese *(s) ase* morpheme and the hortative. Several instances of the pragmatic category of *assertion* (e.g., “let’s be honest”) were found in the native-speaker corpus but none in the learner corpus. The study suggests future research on hesitation markers in Japanese EFL English and English expressions of assertion produced by L1 speakers of other languages.

キーワード：意味論，語用論，使役構文，日本人学習者，コーパス言語学

Keywords : Semantics, Pragmatics, causatives, Japanese learners, Corpus Linguistics

Introduction

Constructions such as causatives can be influenced by the learner’s first language (L1) during new language acquisition. Differences in the use of make-causatives observed in previous research (Teshome, 2024) have prompted research on let-causatives. This current study compares Japanese EFL learners’ use of these constructions with that of native speakers using

the International Corpus Network of Asian Learners of English (ICNALE) to identify any signs of L1 interference. It mainly uses the semantic categories defined by Wierzbicka (2006) and compares the frequency and context of each category in the Japanese learner (JPN) and English native speaker (ENS) corpora of the ICNALE. It also discusses possible similarities and underlying semantic restrictions of parallel Japanese constructions with similar meanings, such as the *(s) ase* morpheme and hortative.

The paper will first introduce the semantic and pragmatic framework and previous research. It will then present the data and method, followed by an overview of the results while discussing their possible interpretations. It will finish with concluding remarks. First, I would like to present the framework used in this current study.

Theoretical framework and previous research

A framework for the let-causative categorisation has been developed by Wierzbicka (2006). Wierzbicka argues that the English “let” has a wide range of meaning due to its grammaticalisation as a means of avoiding giving orders (Wierzbicka, 2006, p. 174). She points to the cultural significance of the construction’s function to express “the ideas of ‘refraining from doing something.’” She ties this idea to modern values in the English-speaking world of “noninterference,” “nonimposition,” and “negative freedom” (Berlin, 1969; Wierzbicka, 1997, chapter 3; Wierzbicka, 2006, pp. 186–7).

Wierzbicka divides the common function of all let-causative subconstructions (i.e., categories) as follows:

X let Y do Z. =

a. X knew that if X didn’t do (say) something to Y
Y would do Z

b. at the same time X knew that if X did (said) something to Y
Y would not do Z

c. X didn’t do (say) anything to Y

(Wierzbicka, 2006, pp. 183–4)

She then divides let-causatives into the following categories (Wierzbicka, 2006, pp. 187–98):

a) Let of *permission*

This subconstruction is used with verbs that describe an intentional act, such as, “Let him go to the party.”

b) Let of *tolerance*

This category can be used with “frozen expressions” such as “let her be” and “let her live” and is typically used in the imperative. It differs from

category a) in that it implies some possible disapproval or disagreement by the listener.

c) Let of *shared information*

This subconstruction includes phrases such as “let me know.”

d) *Let me do Z for you* (offering to perform a service)

e) *Let’s do Z*

This is the only category involving the form “let’s,” as laid out by Wierzbicka, who describes it as a reflection of “an ethos valuing voluntary cooperation of free and equal individuals” (Wierzbicka, 2006, p. 195).

f) Let of *cooperative dialogue*

Examples such as “let me explain” or “let me start with” demonstrate that it is usually used with a verb of speech or sequence.

g) Let of *cooperative interaction*

This subconstruction expresses the intention of talking to a third party of concern to both the speaker and the listener, such as in “let me talk to him.”

h) Let of *cooperative thinking*

Constructions such as “let me see” can be used to interrupt an interaction and pause for a moment.

Examining the data, I have found that constructions such as “let’s be honest” and “let’s not forget” would fall into the “let’s do Z” category within this framework. However, they do not seem to have that function as they do not represent an invitation involving the listener. A possible solution can be found in a pragmatic framework. Washino (2023, p. 205) points to the “assertive function” of “let,” resembling that of a sentential adverb. She gives the following example from the Corpus of Contemporary American English (COCA):

- (1) Let’s be frank, Lindsey Graham is one of the top five or 10 senators.

(SPOK: NBC Meet the Press 2014)

Referring to De Clerck (2004), Washino describes the “assertive function” of “let’s” with expressions such as “let’s be real” as a way to comment on the listener’s previous utterance and aim at modifying it (Washino,

2023, p. 206).

This current study, therefore, adds the following category to its analysis:

i) Let of *assertion*

Washino also argues that “let’s face it” and “let’s be honest” differ from “let’s say” due to the function of the last expression as a hesitation marker (Washino, 2023, p. 206). This function of “let’s say” makes it fit the (h) category.

Ikegami (1981, p. 189) describes let-causatives as a negative causative relation W NOT CAUSE [NOT S]. He gives a Japanese example with the (s) *ase* morpheme, which can also express a make-causative. In (2), the construction means “not do it so that they cannot play”:

(2) *Asob-ase-te-oku*

Play-CAUSE-GER-OKU.NPST

“Let (someone) play.”

Kuroda (1979) and Shibatani (1976, 1973) distinguish between two types of causatives, Shibatani labelling them as “regular” and “permissive.” They can be distinguished by the use of the *o*-particle and *ni*-particle, respectively, as shown in (3):

(3)

(a) *Tarō-ga Jirō-wo ik-ase-ta.*

Taro-NOM Jiro-ACC go-CAUSE-PST

“Taro caused Jiro to go.”

(b) *Tarō-ga Jirō-ni ik-ase-ta.*

Taro-NOM Jiro-DAT go-CAUSE-PST

“Taro caused Jiro to go.”

Both examples are translated into English as “caused to.” Shigemori Bučar (2015, p. 194) sheds some light on the possible ambiguity of the “permissive” construction in (3 b) with the example in (4):

(4) *Haha-ga Tarō-ni ringo-wo tabe-sase-ta.*

mother-NOM Taro-DAT apple-ACC eat-CAUSE-PST

“Mother made Taro eat an apple. (= Mother fed Taro with an apple.)/Mother let Taro eat an apple.”

This implies that the Japanese (s) *ase* morpheme operates on a spectrum which can be expressed by both make-causatives (i.e., “regular”) and let-causatives (i.e., “permissive”) in English. If any signs of language interference are found in the data, such ambiguity may account for an overlap between these two construction types in Japanese EFL learner English production.

A different feature of Japanese, semantically similar to the English “let’s do Z” constructions, is the hortative, formed with the *-ō* suffix and shown in the following example given by Irwin and Zisk (2019, p. 59):

(5) *tai-ni ik-ō*

Thailand-DIR go-HOR

“Let’s go to Thailand.”

Previous research has shown differences in passivisation and causativisation between L1 English speakers and Japanese EFL learners (Teshome, 2023, 2024). The research indicated that Japanese EFL learners use the passive causative “made” in a broader range of contexts, possibly due to structures in their L1 and a different conceptualisation of causativity (Teshome, 2023). It was also suggested that the make-causative overall may be conceptualised as having a wider range of uses (Teshome, 2023, 2024). This study examines the range of let-causatives used by learners and compares it with that of native speakers, posing the following research question:

What are the indications that differences in the use of let-causatives by Japanese EFL learners from native speakers are due to L1 interference?

Data and Method

This current study uses the JPN and ENS corpora from the ICNALE developed by Ishikawa (2023). The corpora are made from texts and speeches on the topics, “It is important for college students to have a part-time job” and “Smoking should be completely banned at all the restaurants in the country.” They also contain spoken dialogues. The ENS and JPN corpora contain 230,082 and 368,590 tokens and 7,739 and 7,097 types, respectively, meaning token-type ratios of 0.0336 and 0.0196. The size of the corpora led to a relatively small

number of occurrences of let-causatives, calling for a qualitative rather than quantitative examination.

The data was examined using the AntConc application developed by Anthony (2022). All occurrences of all forms of let-causatives in each corpus were separated into their respective semantic/pragmatic categories and examined in context using the “File view” function.

Results

There were 91 occurrences of “let” in the ENS corpus and 33 in the JPN corpus. There was one occurrence of the form “lets” and none in JPN. The form “letting” appeared six times in ENS and twice in JPN. The higher number in the smaller ENS corpus indicates an overall preference for the form by native speakers.

The occurrences of all forms of “let” in the ENS and JPN corpora are shown in Tables 1 a and 1 b, and their distribution is visually represented in Figures 1 a and 1 b, respectively. There were no instances of “let me do Z for you” in either corpus, presumably due to this construction’s practical application, to which written texts and spoken monologues were not conducive and for which none of the role-play situations created the need.

Therefore, this category is not shown in the tables and graphs.

Furthermore, idiomatic expressions with a function different from the let-causative were found in both corpora. There were four occurrences of the phrase “let alone” in the ENS corpus and one in the JPN corpus. There was also a total of four occurrences of the idiomatic expressions “let go of,” “let out,” “let off”, and the phrase “let the jobs to people” found in the ENS corpus. These expressions were excluded from the analysis.

Turning to each category of let-causatives, let of permission constituted 46.88% of let-causatives in the JPN and 39.53% in the ENS corpus. One example from each corpus is shown in (6)a and (6)b. After each example, file information will be given. The meanings of the abbreviations will be explained when relevant.

Table 1 a

“Let” Occurrences in ENS

Permission	30
Tolerance	3
Shared information	3
Let’s do Z	11
Cooperative dialogue	9
Cooperative interaction	1
Cooperative thinking	27
Assertion	4

Table 1 b

“Let” Occurrences in JPN

Permission	11
Tolerance	0
Shared information	3
Let’s do Z	6
Cooperative dialogue	6
Cooperative interaction	0
Cooperative thinking	2
Assertion	0

(6)

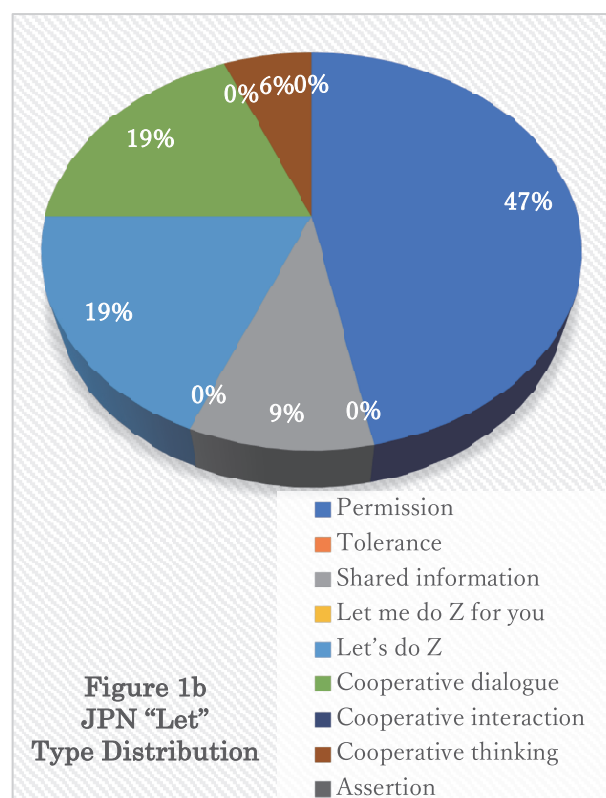
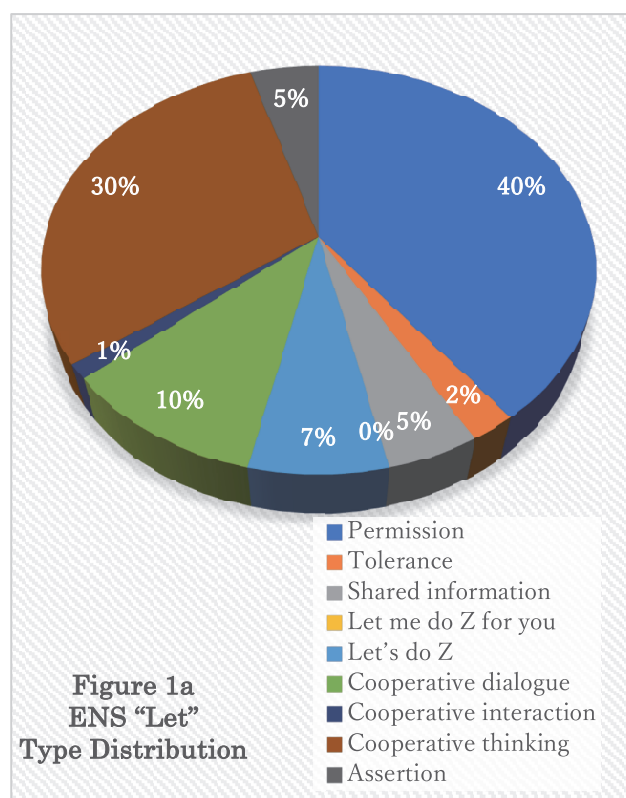
- (a) Let both smokers and non smokers enjoy their meals.

(W_ENS_SMK_XX1.txt)

- (b) So if restaurants surely think so, they must ban smoking to let customers enjoy its delicious food.

(W_JPN_SMK_B2_0.txt)

These two examples resemble due to the common topic of smoking in restaurants (hence the “SMK” in the file name). Both speaker groups used the construction similarly in other situations, too, indicating little or no L1 interference when using it. Nevertheless, one noticeable occurrence was a self-correction by a learner shown in (7):



- (7) I think uh when we - - - we became worker, we have to make a PowerPoint and we have use Excel and Words to make some sentence, so we - - - we have to be used to using a computer. Uh. Uh. For example uh making uh letting uh students to uh make some reports more often and more longer report.
(A20_JPN_PTJ_PD_QA_merge.txt)

The self-correction in this example may indicate that the speaker wanted to use a make-causative but, to avoid repetition chose a let-causative instead. This may reflect on a wider range of make-causatives used by Japanese L1 EFL learners observed in previous research (Teshome, 2024). In other words, the speaker may not have been sure which expression to use and, at first, opted for the conceptually more readily accessible make-causative before becoming aware of the repetitiveness of “making students make” and switching to the let-causative. While neither construction is necessarily unnatural, this self-correction and possible interchangeability of these two constructions evoke the Japanese *(s) ase* morpheme’s ambiguity.

There were two occurrences of let of tolerance in

the ENS corpus and none in the JPN corpus. One example in the ENS corpus was the frozen expression “let live.” The other one is also an imperative: “Let that sort itself out.” While two examples are too few to draw any conclusions, the fact that no learners used the expression may be a sign of a different perception of phrases such as “let live” consistent with Wierzbicka’s observations on its typical social use in anglophone societies to avoid the semblance of imposition. However, it may also be a sign that learners simply have not acquired these idiomatic expressions at that stage to use them as readily as native speakers.

As for let of shared information, the ENS corpus contained the combinations “let them understand,” “let the bureau know,” “lets students know,” and “letting both employees and customers know.” The JPN corpus contained the phrase “let us know” twice and “let students know” once. All these utterances were made by students at B1 level or higher, suggesting that this category may be somewhat challenging to internalise but still approachable as a means of expression. However, a closer look reveals an unnatural use of the phrase, as seen in (8):

- (8) For example, greeting, keeping on time and having good manners are necessary for all jobs. Part time jobs let students know these things.

(W_JPN_PTJ_B1_1.txt)

In this example, the phrase does not describe sharing information but attaining skills and habits, which is a shift from its typical use. Furthermore, the two instances of “let us know” are reiterations of the phrase during spoken dialogue. These findings imply that learners are more reluctant to use this construction than native speakers.

The subconstruction “let’s do Z” was used eight times in the ENS corpus (9.3%) and six times in the JPN corpus (18.75%). Of the three instances of “let’s go” in the ENS corpus, two were means to continue the conversation rather than an invitation to move. They are, therefore, included in the cooperative dialogue category. Other examples included calls to collective action such as “let’s have equality,” “let’s make the world a safer place,” and “let us make them available.” Another example is the idiomatic “let’s go,” meaning “let’s do an internship.” Only in one example does the speaker invite the listener to do something in the real world: “Let’s get naked and go skinny dipping.”

This contrasts with how learners used “let’s do Z.” One phrase used with a speech act, “let’s discuss,” is in a closing sentence and does not have the discourse function that would make it fit the description of cooperative dialogue. All the expressions are used in the typical way, suggesting an invitation similar to the Japanese hortative, such as “let’s enjoy” or “let’s try.” This use suits Wierzbicka’s description of this group better than its common use in the ENS corpus. Perhaps rather than interference, this may be a sign of an ease of acquiring this structure in its typical way, possibly due to its similarity to the Japanese hortative.

In the ENS corpus, nine occurrences (10.34%) of “let” fall into the cooperative dialogue category. There are six occurrences (18.75%) in the JPN corpus. Five of the instances in JPN occur in the written section of the corpus, and one in a role-play, where the speaker was about to describe their studies abroad. This indicates that learners use this construction to sequence longer stretches of text and disprefer using it in spontaneous

dialogue.

All of the occurrences in JPN were used with the singular “me.” Conversely, the ENS corpus contained six instances with the contracted “us” and three with “me.” As described above, I laid out my rationale for including some “let’s” constructions in this category, and I would like to elaborate with a few examples:

(9)

- (a) Let’s ask ourselves, what is the ultimate purpose: To make money?

(W_ENS_PTJ_XX2.txt)

- (b) Uhm – let’s refer back to this – this photo here.

(XX0_ENS_SMK_PD_QA_merge.txt)

The example in (9)b is from a spoken dialogue, PD in the file name meaning “picture description.”

Conversely to JPN, only two occurrences in ENS were found in the written section, indicating that native speakers may use these expressions in a wider range of situations. It can introduce rhetorical questions, such as in (9)a. The utterance in (9)b is an example of expressing the speaker’s intention to talk about something or move on to a different topic. The construction has a similar function but is less direct than saying, “I will talk about.” The speaker is avoiding overtly imposing their will on the listener.

The only example of the cooperative interaction category in ENS is shown in (10). No examples were found in JPN.

- (10) Well that – I guess that could be an option too.

Let me go see the counselor about that too.

(XX0_ENS_PTJ_RP_Main_merge.txt)

The utterance was made during a role-play (RP). Corpora, which consists largely of monologues and written essays, may have a limited number of examples of this subconstruction because it is typically used in real-world interactions with potential third parties involved. The only opportunities to mimic these would arise in role-plays.

There were 26 occurrences (32.23%) of cooperative thinking use in the ENS corpus and two (6.25%) in the

JPN corpus. Both occurrences in JPN are from spoken dialogue sections and are “let’s see” used as hesitation markers. At eight and 12 occurrences, respectively, “let’s see” and “let me see” are the most common wordings in the ENS corpus. The five occurrences of “let’s say” are used as hesitation markers, and one of “let me figure this out.” The last one is used as a way for the speaker in a picture description dialogue to organise their thoughts, as seen in (11):

- (11) A young man, okay. Well, let me figure this out.
A few weeks ago, a man was surfing and he lost his wallet of money, so he – he went to look for a job and he saw a sign which says, staff wanted.
(XX O _ENS_PTJ_PD_Main_merge.txt)

This example may shed light on why learners use this category less frequently. The phrasal verb “figure out” needs mental processing to retrieve from the learner’s mental lexicon than other hesitation markers. Its very use implies that the speaker is in the middle of a mental process. For a learner, the additional strain of coming up with vocabulary while organising their thoughts can pose an obstacle they prefer to avoid, opting either for simpler lexical items, such as “so” or “well,” or non-lexical hesitation markers, such as “um” or “uh.” Hesitation markers may be another helpful area for more detailed research.

The final category, let of assertion, only occurred in the ENS corpus. While sentential adverbs may be too complex for learners at this stage, it is also worth considering whether the function of modifying the listener’s previous utterance, as suggested by Washino (2023, p. 206), or, more generally, presenting a counter-argument in this “assertive” way is a reflection of a cultural or cognitive difference. Phrases such as “let’s be honest” and “let’s not forget” found in ENS are used to present either a counter-argument or criticism. It may be useful to compare these constructions across ICNALE corpora other than ENS and JPN to examine whether their use by L1 speakers of other languages differs from native-speaker use in ways similar to that of Japanese learners. For instance, its infrequent use by L1 speakers of other languages would indicate it is

a characteristic feature of English, rather than L1 interference, that makes its acquisition difficult. Conversely, if its use is more similar to that of native speakers in corpora other than JPN and ENS, this may suggest that there are semantic, cognitive, or cultural features of Japanese that influence their lack of production by Japanese EFL learners.

Conclusion

This paper examined let-causatives in a native English speaker and Japanese EFL learner corpus. Overall, it appears that possible overlap with the (s) *ase* morpheme or hortative may make it easier for Japanese EFL learners to acquire some types of let-causatives more easily than other ones. Let of permission, “let’s do Z,” and let of cooperative dialogue represent such constructions. Conversely, learners use expressions of cooperative thinking less, possibly opting for less complex hesitation markers, and appear more reluctant to use expressions of tolerance and assertion, which conceptually stray further from these constructions in their L1. However, it is also worth considering the influence of cultural factors in the Anglosphere such as the avoidance of imposition, possibly also reflected by the more frequent use by native speakers than by learners (as opposed to make-causatives). This can be done by examining English produced by L1 speakers of other languages.

Abbreviation list

ABL	–	ablative
ACC	–	accusative
CAUSE	–	causative
DAT	–	dative
DIR	–	direction particle
GER	–	gerund
HOR	–	hortative
NOM	–	nominative
NPST	–	non-past
OKU	–	<i>oku</i> auxiliary verb
PST	–	past

References

- Antony, L. (2022). AntConc (version 4. 2. 0) [Computer software]. AntLab Solutions.
- Berlin, I. (1969). *Four essays on liberty*. Oxford: Clarendon.
- Davies, M. (2008). The Corpus of Contemporary American English (COCA). Available online at <https://www.english-corpora.org/coca/>
- De Clerck, Bernard. (2004). "On the pragmatic functions of let's utterances." *Language and Computers*, 49, 213–223. https://doi.org/10.1163/9789004333710_013
- Ikegami, Y. (1981). "Suru" to "naru" nogengogaku [The linguistics of "doing" and "becoming"]. Taishukan Shoten.
- Irwin, M. & Zisk, M. (2019) *Japanese Linguistics*. Asakura Publishing.
- Ishikawa, S. (2023). *The ICNALE Guide. An Introduction to a Learner Corpus Study on Asian Learners' L2 English*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781003252528>
- Kuroda, S. Y. (1979). *Generative Grammatical Studies in the Japanese Language*. [Doctoral thesis, MIT]. Garland Publishing.
- Shibatani, M. (1973). Semantics of Japanese causativization. *Foundations of Language*, 9, 327–373.
- Shibatani, M. (1976). 'Causativization' Shibatani, Masayoshi (ed.) *Syntax and Semantics*. Vol. 5. New York: Academic Press. pp. 239–294.
- Shigemori Bučar, C. (2006). Causative constructions in Japanese and Slovene. *Linguistica*, 46(1), 191–202. <https://doi.org/10.4312/linguistica.46.1.191-202>
- Teshome, M. (2023, September 15–18). Passive use in Japanese EFL learner English: A corpus-based study [Conference session]. JALT CUE 2023 Conference. <https://cue2023.edzila/session/3928>
- Teshome, M. (2024). Make-causatives in Japanese EFL Learner English: A Corpus-based Study. *Learner Corpus Studies in Asia and the World*. 6, 59–80.
- Wierzbicka, A. (1997). *Understanding cultures through their key words: English, Russian, Polish, German, and Japanese*. New York: Oxford University Press.
- Wierzbicka, A. (2006). *English: Meaning and Culture*. New York: Oxford University Press.

(2024年10月25日受理)

〔研究ノート〕

機電融合プロジェクト「電気自動車（カート）製作」進捗報告 — 第四報（CQEV ミニカート・レース九州大会2024並びに 3年度及び4年度活動内容） —

若林 大輔*, 田中 佑典*, 高木 怜*, 清水 良*

*日本文理大学工学部機械電気工学科

Progress Report on Mechanical and Electrical Fusion Project “Electric Vehicle (Kart) Production” — Fourth Report (CQEV Mini Kart Race Kyusyu Tournament 2024 and Activities in the Third and Fourth Year) —

Daisuke WAKABAYASHI*, Yusuke TANAKA*, Rei TAKAKI*, Ryo SHIMIZU*

*Department of Mechanical and Electrical Engineering, School of Engineering, Nippon Bunri University

1. はじめに

2020年4月より世界的に感染拡大した新型コロナウイルス感染症 COVID-19により、大学ではオンラインによる講義が行われた一方で、対面による活動は行えない状況が続いた。そのような状況が1年続いた中、機械電気工学科において2021年度より学科内プロジェクトとして「電気自動車（カート）製作プロジェクト」を発足させた。講義外の時間を使用し、電気自動車製作を一つの目標とし、講義で得られた知識を実際の物を使用して更に深め実践する。何より学生間及び学生と教員が共に活動する場の提供が当時としては重要な状況であったと考える。

2021年度の活動初年度は、1年生から3年生の有志学生7名と教職員2名の計9名で活動を開始した。市販の電気自動車（一号機と呼称）の組立、構造理解及び寸法計測、3DCADによる設計、モータ・インバータの組立、走行試験等を行い、またグループ内での意思疎通により学生の知識・技能・コミュニケーション力を養い、活動の定着化を図った。この間に、学生による資金獲得プレゼンテーション（NBUものづくりコンテストチャ

レンジ2021、2021年7月1日、日本文理大学内）やオープンキャンパス等のイベントに参加し、技術力だけでなく外部へ発信する力も身に付けようとする学生の態度も見られた。

2022年度の活動2年度は、新1年生及び教員の参加もあり計13名で活動を行った。一号機の知見から同様な車体（二号機）を設計し、学内の設備（切断機や旋盤、ボール盤、溶接等）を用いて学生らの手で二号機を製作した。

2023年度の活動3年度は、新1年生及び2年生の参加もあり計13名で活動を行った。人数も増えたことや興味関心の分野がそれぞれで異なったこともあり、大きく二つのグループで活動を行った。一つは、機械加工や構造に興味のあるグループで、電動キックボードの設計製作を行うことを目標とした。他方は、モータに興味のあるグループで、モータ巻線やモータ鉄心の検討を踏まえ、レース大会出場を目標とした。これらの活動進捗については既に報告済である⁽¹⁾。

また、これまでの活動は学科ブログ（<https://mechanical-electrical.nbu.ac.jp/>）や日本文理大学紀要^(2,3)で公開しており、学内のFD研修会（教育・研究改革推進事業）でも報告した。

本研究ノートでは、①3年度の活動の総括、②4年度

の活動報告を記し報告する。特に、3年度では、これまで活動を継続してきた成果としてCQ出版社が主催するCQEV ミニカート・レース九州大会に出場した。図1に大会参加者を示す。初出場であり、ここで得られた経験や知見が今後の活動にも良い刺激となった。

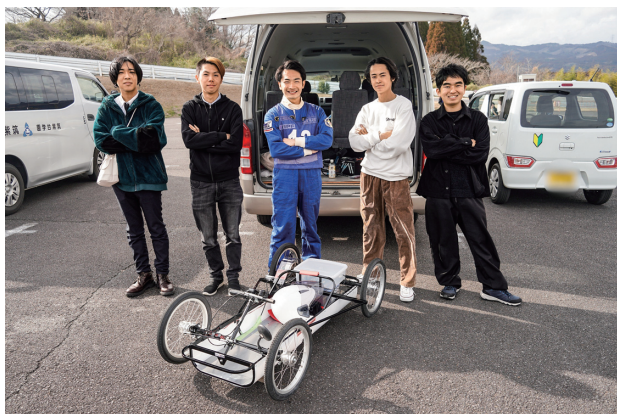


図1. CQEV ミニカート・レース九州大会参加者

2. 3年度（2023年度）活動実績

3年度では二つのグループに分かれ、それぞれ電動キックボード製作、CQEV ミニカート・レース九州大会出場を目標に活動を行った。それぞれの成果はオープンキャンパス等で大学の魅力発信の一助となった。更に、レース大会出場を目指す過程や大会において、様々な検討データの取得や比較、実際の走行、他大学の比較を学生らは行い、その成果を電気学会主催のU-21学生研究発表会で発表を行う等、活動の幅が広がっている。

2-1. 電動キックボード製作完成

機械加工や構造に興味のあるグループは、電動キックボードの設計製作を行うことを目標とし、3DCADソフトInventor2024を活用し、設計と応力解析を実施した⁽¹⁾。これをもとに学生自らがスチール角パイプ等を切断、溶接しフレームを製作した。インホイールモータの動作確認を行った後に、バッテリーと共に取付け、電動キックボードは完成した。図2に3Dモデルと学内で試走の様子を示す。成人男性一人を乗せ約30km/hの速度が出ることを確認した。今後の課題として、乗り心地や加減速のしやすさ、緊急時の停止を行える要素を加えることである。将来的には公道でも走行できることを目指して、引き続き電動キックボードの改良を行う予定である。

2-2. CQEV ミニカート・レース九州大会

モータに興味のあるグループはCQ出版社が主催するCQEV ミニカート・レース九州大会出場を目指し、本プロジェクトで活用してきたCQEV ミニカートにおいてモータの巻き数や鉄心材料の検討を重ねてきた⁽¹⁾。本大会は2024年2月15日、大分県竹田市にあるサーキット場SPA直入で開催された⁽⁴⁾。図3にSPA直入のコース概要を示す。大会では競技時間30分での周回数を競う。第一に、30分間の走行が可能かが不安材料であったため、図4に示す学内において満充電からの耐久走行試験を行った。この検討から、大会でのカート条件を決定し当日に挑んだ。



図2. 設計及び製作した電動キックボード

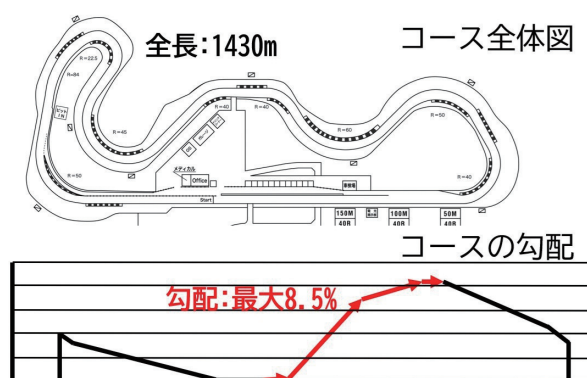


図3. SPA 直入のコース概要



図4. 学内の直線コース



図5. 学内での走行試験の様子

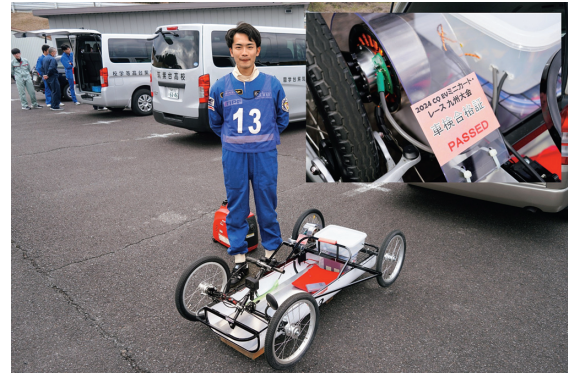


図6. 大会レーサと車両（車検合格）

大会当日は晴天に恵まれ、5校13チームが出場した。大会事務局での車検（車体状態、ドライバーの軽量）を受けた後（図6）、テスト走行を行った。初めてコースを試走するため、コースの路面状態や走行場所を確認しつつ、勾配のある個所を登れるかが鬼門であったが、その点は問題なかった。

レース本番を迎え、13チームの車体が一斉に走り出した（図7）。一旦走り出したら、途中で走行を止めることができない。各チームはトランシーバ等でドライバーとスタッフがレース状況を伝えあっており、この点は初出場であったため次回で活かしたい点であった。

図8はコースの坂道部分を示し、最も速度が出る箇所であった。モータ駆動をせずとも約35km/hの速度がでており、コースの約半分はモータ駆動が不要な状態であった。図9はその後の坂道部分を示す。約8km/hの速度で登れるが、この部分で各チームの勝敗が分かっている状況であった。

30分走行し試合が終わり、その結果を表1に示す⁽⁴⁾。1位のチームは9周、本プロジェクトチームは7周で8位であった。各団体で複数チーム出場しているのが特徴で、1位の団体でも最下位となるチームがあるため、実際のレース環境にも影響を受けている可能性がある。一方で、複数のチームがあることから、チーム間の競争が生まれ高めあえるのではないかと思う。図10に大会参加者全員の写真を示す。大会終了後は、各団体の学生間でコミュニケーションが生まれ特に上位チームの車体情報を調査しようとする態度が見て取れた。これをもとに次回大会に向けた活動が再スタートする。

2023年度においてはNBUものづくりコンテストチャレンジ2023に申請し、その結果、活動資金を受けた。大会後、報告会を実施した。その時の発表資料を図12に示す。学生視点で大会を総括しており、大会で得られた情報を整理し、来年度の活動に繋げた資料となっている。



図7. レース開始



図8. 下坂（最高速度時）



図9. 登坂（モータ高出力時）



図10. 大会参加者全員



(a) スライド1 (表紙)



図11. NBU ものづくりコンテスト2023報告会

目次

1. 大会概要
2. レース概要
3. 大会までのスケジュール
4. 大会結果
5. 上位入賞者のカートとの相違点
6. 次回の戦略
7. 購入部品
8. まとめ

(b) スライド2 (目次)

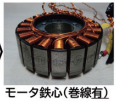
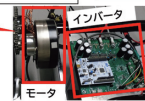
表1. 大会結果

順位	チーム名	周回数
1	久留米工業大学 KITE V01	9
2	福岡工業大学 チーム D	8
3	日本工業大学 上野研 2	8
4	福岡工業大学 チーム B	8
5	筑紫台高校 R30-1	8
6	福岡工業大学 チーム Z	7
7	久留米工業大学 KITE V03	7
8	日本文理大学 電気自動車プロジェクト	7
9	福岡工業大学 チーム C	7
10	筑紫台高校 R30	6
11	日本工業大学 上野研 1	6
12	福岡工業大学 チーム A	6
13	久留米工業大学 KITE V02	4

1. 大会概要

主催・協力	CQ出版社(株)・福岡工業大学等
開催日	2024年2月15日(木)
参加費	ドライバ 学生参加 10,000円
入場料	無料
参加車両	・CQ EV ミニカート ・CQ プラシレスモータ ただし、インバータ改造可、 車体の改造不可、 カウル装着不可
電力源	12V出力、鉛蓄電池2個、 1個あたり3000gまで
参加資格	15歳以上

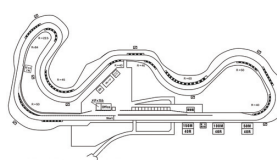
参加車両の制約		可否
車体 カート	本体	×
	タイヤ	○
	キャンパー角(前輪)	○
	トー(前輪)	○
	キャスト角(前輪)	○
プラシ レス モータ	鉄心の大きさ	×
	鉄心の板厚(板一枚当たり)	○
	コイル巻数	○
	コイル太さ	○
	コイル巻き方	○
基板	インバータ改造	○



(c) スライド3 (大会概要)

2. レース概要

大会会場: SPA直入(大分県竹田市直入町)

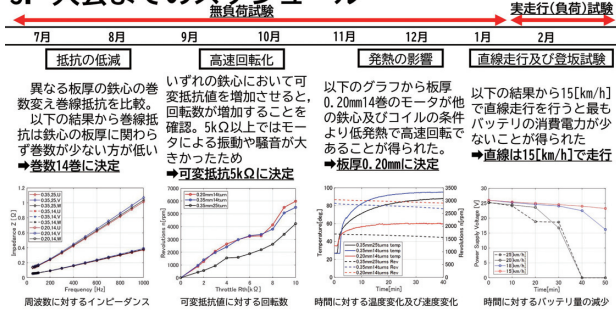
URL: <https://autopolis.jp/csa/facility/course-maz/>URL: <https://www.youtube.com/watch?v=8t1c0M1N>

全長距離	1,430m(反時計回り)	幅員	10~11m
高低差	21.2m	勾配	最大8.5%
コーナー数	9		

URL: <https://interface.com.co.jp/240215sp/>

(d) スライド4 (レース概要)

3. 大会までのスケジュール



(e) スライド5 (大会までのスケジュール)

5. 上位入賞者のカートとの相違点

	2位のカート	NBUカート
モータ	鉄心板厚	0.2mm
	コイル巻数	20
	コイル直径	1mm
	巻き方	3直2並
インバータ	ギア比	キット2
	ギア比	5.38
	可変抵抗 (Duty比)	最大50%

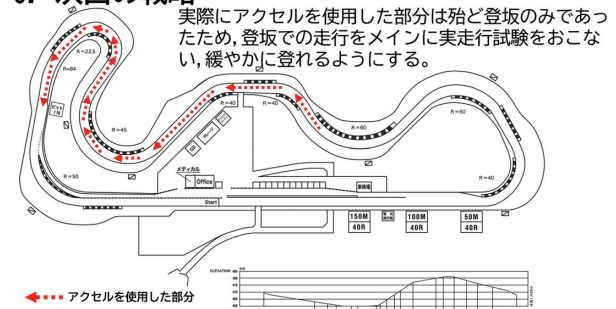
(i) スライド8 (上位入賞者のカートとの相違点)



(f) スライド6 (レース中の様子)



6. 次回の戦略



(j) スライド9 (次回の戦略)



(g) スライド6(レース中の様子)



7. 購入部品

予算内				予算：57000円 予算外			
商品名	個数	値段	合計	商品名	個数	値段	合計
参加費	-	¥10,000	¥10,000	タイヤ・チューブセット	4	¥2,990	¥11,960
鉛蓄電池	4	¥3,990	¥15,960	スプロケット 14T	1	¥4,800	¥4,800
鉛蓄電池	4	¥3,048	¥12,192	スプロケット 13T	1	¥5,000	¥5,000
タイヤ・チューブ二本セット	4	¥1,690	¥6,760	スプロケット 70T	1	¥4,300	¥4,300
マイコン	3	¥1,670	¥5,010	チェーン 76コマ	1	¥1,900	¥1,900
空気入れ	1	¥2,980	¥2,980	配送料		¥709	¥709
自転車ホーン	1	¥2,418	¥2,418	総計			¥28,669
総計			¥55,320				

※通常走行時に使用した消耗品

※コースの坂道を登るため
使用 (想定外)

(k) スライド10 (購入部品)

4. 大会結果

順位	チーム名	勝敗を分ける点
1	久留米工業大学 KITE Vo1	①30分間走行できるか(電力をうまく使えるか) 無負荷・実走行試験繰り返し行ったことで大会にて30分間走行できたためOK (3チームが完走できなかった)
2	福岡工業大学 チームD	
3	日本工業大学 上野研究室2	
4	福岡工業大学 チームB	
5	筑紫台高校 R30-1	②坂をどれだけ速く(緩やかに)登れるか 1位のカートは11km/hで登っていたのに 対してNBUカートは7~8km/hで登った。 ⇒これからの課題！ より速く登坂を登るため高トルク且つ、 高速回転化
6	福岡工業大学 チームZ	
7	久留米工業大学 KITE Vo3	
8	日本文理大学 電気自動車プロジェクト	
9	福岡工業大学 チームC	
10	筑紫台高校 R30	
11	日本工業大学 上野研究室1	
12	福岡工業大学 チームA	
13	久留米工業大学 KITE Vo2	

(h) スライド7 (大会結果)

8. まとめ

目標①	目標②
・30分完走すること	・優勝すること
・登坂を登りきること	⇒結果は8位.....
⇒果たすことができた！	更に検討を重ね来年必ず優勝
主な検討内容	
●Arduinoにてバッテリーの電圧及び電流の計測ができるロガーを作成し、電力量を予測できるようにする。	
●坂道を速く緩やかに登れるよう高トルク・高速回転化を図る。	
例：可変抵抗にてduty比を可変。スプロケットの選択。	
●前輪のホイールアライメントの最適化を行う。	
多くの方々の応援を頂き活動を行うことができました。 今後とも応援宜しくお願い致します。	

(i) スライド11 (まとめ)

2-3. 電気学会 U-21学生研究発表会

CQEV ミニカート・レース九州大会2024に出場したチームは、大会出場に向けた検討及び大会結果を踏まえ、電気学会が主催する U-21学生研究発表会にもチャレンジを行った。U-21学生研究発表会とは21歳以下の中学生から大学生が正課若しくは正課外の取組において得られた電気分野に関する成果をまとめ発表する会である⁽⁵⁾。卒業研究は認められていないが、研究室の設備を使った実験も成果物として認められている。令和5年度は2024年3月9日にオンラインで実施され、73件の発表、180名の参加があった。口頭ライブの部とオリジナル動画発表の部を選択でき、前者を選択した。いずれも発表時間7分、討論6分である。審査項目は①発表（説明の仕方・声量・態度・熱意・主体性）、②質疑（質疑応答の様子）、③発表資料（アピール力）、④発表内容（根拠を持って論理的に説明できているか）、⑤意欲・挑戦的な研究（社会に好影響を与えられるか）である。

発表当日は、大学内の研究室でオンラインにて発表、聴講を行った（図13）。学会での研究発表とは違い、電気分野の身近な疑問や調査した結果等、学生・生徒視点の自由な発想の発表が多くあった。講義での取組を発信する場として今後も積極的に活用したいと感じた。

発表の結果、教員による審査と聴講学生らのレビューがフィードバックされる。表2にレビューコメントを記す。モータの基本特性の測定から、車体走行での試験、レース大会出場と、理論、実験、実践と1年以上かけてきた内容の総まとめの発表であったため、その点を踏まえたコメントが多く見られた。また、審査において評価されると、佳作（後述の受賞以外の発表者全員）、奨励賞（14件）、探究賞（3件）、優秀賞（9件）、最優秀賞（1件）に選ばれる。審査の結果、初出場した当グループは「優秀賞」に選ばれた（図14）。

図15に発表資料を示す。学生研究会用に実験主体のス

ライドに再構築し、モータ評価とレース大会出場に向けた繋がりのある資料となっている。

表2. レビューコメント

実際に鉄心作ってモータを動かし、レースに出ているところがいいと思った。
今後の展望や起きたことの理由の模索をしているのがよかったです。実際の2位のものを参考にするというのがかいにも観察、実験、強化といった感じがしました。スライドの情報量が多かったですが、説明で理解できました。
順位の高いチームのカートとの比較が面白かった
それぞれのデータをネット上から拾って検討するのではなく、しっかりデータをとって検討しているところがよかった。
私の研究内容の発展形のように素晴らしいものでした
かなり手の込んで面白いなと思った。
電気自動車が注目されている中でモーターの低損失化は大変重要なトピックになっていると感じます。コイルの巻き数や伸の厚みなどは一番安定しているのが良いということがわかり、原動機でも同じようなことが言えると思うため大変興味深くて良かったと思います。
難しい内容だったが、画像や文、口頭での説明でわかりやすく行っていたので、良かったと感じました。
スライド資料のクオリティが高く、とても見やすかった。
テーマの規模の大きさと完成度の高さに驚いた。
スライドの内容に補足する形で説明が分かりやすかった。



図13. 電気学会 U-21学生研究発表会の様子



図14. 電気学会 U-21学生研究発表会で優秀賞受賞

(h) スライド8 (大会結果と考察)

5. まとめと今後の展望

以下の3つの検討によりBLDCモータの低損失・高速回転化に向けた鉄心の板厚及びコイルの巻数のチューニングを行った。

- ・検討①：コイルの巻数20巻に決定
- ・検討②：板厚0.20mmの鉄心に決定
- ・検討③：走行速度を15km/hに決定

3つの検討は平面路での長時間走行に適する

レース会場は坂道が多く平面が少なくあまり適しない
坂道試験をメインに検討すべき

今後の展望

坂道試験を通して可変抵抗器・コイルの巻数の再検討

NBU 日本文理大学 4-4-2 BLDC モータの低損失・高速回転化に向けた・・・ 飯川晋作 米良弘樹 (7/7)

(i) スライド9 (まとめ)

図15. 電気学会 U-21学生研究発表会の発表資料

3. 4年度(2024年度)活動進捗状況

本プロジェクトの立ち上げから4年目にあたる2024年度では、新たに1年生と2年生を迎え、4年生2名、3年生1名、2年生4名、1年生1名、教員4名の計12名で活動を行っている。図16は1～3年生の参加メンバを示す。今年度は電動キックボードの改良を行いつつ、主眼としてCQEVミニカート・レース九州大会優勝を目標に設定した。九州大会出場を果たしたため、次の目標は九州大会優勝、その次は筑波大会出場とステップを意識した目標設定を行っている。

昨年度の経験から、坂道での速度向上が課題であり、学内の坂道にて試験走行を繰り返し行い、次回大会に向けた活動を進めている(図17)。優勝を目指すため、更なる車体整備、モータ・インバータ(モータ駆動回路)の見直しが必要であるため、活動資金獲得のためNBUものづくりコンテストチャレンジに今年も挑戦した。更に日々の活動実績をオープンキャンパスや子供イベントを通じて発信する機会を得た。

3-1. NBU ものづくりコンテストチャレンジ2024

図18にNBUものづくりコンテストチャレンジ2024審査会の様子を示す。2024年6月18日に本学で開催され、計8の課外活動団体が応募しプレゼンテーションを行った。参加の意義/目標は明確か、構想や計画は挑戦的か、スケジュールは妥当か、経費予測は妥当か、プレゼンテーション能力、説明資料の品質の各評価項目に従い審査される。当グループは、昨年度の活動実績をもとに明確な目標設定、課題設定、スケジュール、必要予算等をプレゼンし、その結果、応募チームの中で最も高評価を得て、希望する助成金を満額獲得することができた。

3-2. オープンキャンパス活動

本プロジェクトの成果を広く知ってもらう場として、オープンキャンパスは重要である。機械電気工学科では学生による活動紹介を積極的に行っており、図19に示すように、本プロジェクトの学生メンバによるプレゼンテーション(意義や活動実績の紹介)や実際に走行するデモンストレーションを行っている。オープンキャンパスに参加する高校生らは説明する学生の話真剣に聞く様子が大変印象に残っている。

3-3. お仕事発見ランド(電気のお仕事)

本プロジェクトの地域貢献の一場面を紹介する。

2024年8月17日、大分県別府市にある別府市社会福祉会館にて「別府市制100周年記念事業-小学生のお仕事発見ランドin別府」が開催され、若林研究室を主体とするメンバで「電気のお仕事」と題し、小学生と共にモータの製作を行った。この中で、モータがどのように活用されているのかを分かりやすく小学生に伝えるため、本プロジェクトのメンバも参加し、車体を活用した説明とデモンストレーションでイベントを盛り上げた(図20)。また2024年10月19日と20日の両日で行われた日本文理大学学祭(第57回一木祭)でも「NBU まるごと体感スタジアム-お仕事発見ランド」内で「電気のお仕事~電気モータを作って、乗り物のしくみを知ろう!~」でも同様な内容を実施した(図21)。

以上のように、学生主体の本プロジェクトでは、学生らが目標を立て活動し、その資金を自ら獲得する活動に成長している。更に、学生自身のための活動に留まらず、オープンキャンパスへの貢献、地域の子供たちに対して理科教育発展や興味関心を抱いてもらう活動への貢献も加わり、価値のあるプロジェクトへ変貌しようとしている。



図16. 活動メンバ (2025年3月7日撮影)



図17. 坂道走行試験の様子



図21. お仕事発見ランド（第57回一木祭）

図18. NBU ものづくりコンテストチャレンジ
2024審査会の様子

図19. オープンキャンパスの様子



図20. お仕事発見ランド（別府市制100周年）

4. おわりに

4年目を終えようとしている本プロジェクトにおいて、初年度から参加してくれた1年生が今では4年生となり主な活動からは引退したが、その次の学生がプロジェクトリーダーとしてグループをまとめている。CQEV ミニカート・レース九州大会の出場を契機に本プロジェクトの活動において様々な成果が目に見える形として表れつつあり、何をしたら良いか分からないが何か真剣に取り組みたいと思う学生が声をかけてくれ、2年生でも参加する学生が増えている。

次号では、2025年3月頃に開催予定のCQEV ミニカート・レース九州大会2025に向けた具体的な検討内容及び大会結果について報告する予定である。

謝辞

本プロジェクトに参加し推進してくれた機械電気工学科の飯川晋作君、伊藤海君、米良弘樹君、出田龍世君、蝦名慶大君、大口恭生君、渡邊良太君、Huang KAIZHE 君に感謝の意を表します。

図12と図15の資料を提供してくれた機械電気工学科の飯川晋作君と米良弘樹君に感謝の意を表します。

図20のお仕事発見ランド（別府市制100周年）に貢献してくれた機械電気工学科の飯川晋作君、金敏佑君、高司洸希君、庄山颯音君、米良弘樹君に感謝の意を表します。

図21のお仕事発見ランド（第57回一木祭）に貢献してくれた機械電気工学科若林研究室の飯川晋作君、金敏佑君、佐藤真嘉君、庄山颯音君、米良弘樹君、Yang JIAXING 君に感謝の意を表します。

また本プロジェクトの一部は令和5年度日本文理大学「教育・研究改革推進事業（教育研究改革予算）」の支

援により実施された。

また本プロジェクトの一部はNBU ものづくりコンテストチャレンジ2023及び2024の支援により実施された。

本プロジェクトを推進するにあたり支援して頂いた全ての関係者に感謝申し上げます。

参考文献

- (1) 飯川晋作, 米良弘樹, 伊藤海, 山崎壱織, 渡邊良太, 清水良, 高木怜, 田中佑典, 若林大輔, 機電融合プロジェクト「電気自動車(カート)製作」進捗報告～第三報(3年度活動内容)～, 日本文理大学紀要, Vol. 52, No. 1, pp. 43-48, 2024
- (2) 若林大輔, 田中佑典, 機電融合プロジェクト「電

気自動車(カート)製作」進捗報告～第一報(初年度活動内容)～, 日本文理大学紀要, Vol. 50, No. 1, pp. 53-59, 2022

- (3) 飯川晋作, 田村優汰, 原田恒迪, 豊東侑樹他, 機電融合プロジェクト「電気自動車(カート)製作」進捗報告～第二報(2年度活動内容)～, 日本文理大学紀要, Vol. 51, No. 1, pp. 63-71, 2023
- (4) EV ミニカート・レース九州大会2024結果報告, URL: <https://interface.cqpub.co.jp/ev2024k/>, 最終閲覧日: 2024年11月11日
- (5) 電気学会 U-21学生研究発表会, URL: <https://www.iee.jp/u-21-2024/>, 最終閲覧日: 2024年11月11日

(2024年11月11日受理)

〔研究ノート〕

ワイヤロープ破断時に最初に破断する素線の斜め破断

中山 周一*

*日本文理大学工学部航空宇宙工学科

Inclined Fracture of Wire in Wire Rope

Shuichi NAKAYAMA*

*Department of Aerospace Engineering, School of Engineering, Nippon Bunri University

1. はじめに

2024年度に採択にされた科研費「ワイヤロープ破断の起点となる斜め波面を伴う延性破壊のメカニズム解明」（以下、本科研）は2023年（年度は2022年度）日本機械学会九州支部第76期総会講演会での学会発表⁽¹⁾（以下、学会発表）をベースとしている。学会発表の予稿集では「ワイヤロープ供試体を引張強度に近い荷重を負荷するがロープ破断前に除荷するという試験を行った。試験後供試体ロープを分解したところ素線1本の破断が確認された」（以下、引用部）とした上で、その破断面が素線を引張破断させた場合の一般的なカップ&コーン破断とは異なる斜め破断であることを示している。

この学会発表の成果はワイヤロープの引張強度はロープを構成する素線の引張強度の総和に比べて小さくなる「より効率⁽²⁾」のメカニズムを明らかにする起点になりえる。ロープ破断の起点となる素線破断は、素線の引張強度を決めている素線破断、すなわちカップ&コーン破断と異なるのだから、より効率が100%にならないのは当然といえ、本科研はより効率のメカニズム解明を目指している。より効率のメカニズムを明らかにした研究事例はなく、学会発表の連名となっている神鋼鋼線も同じ見解であった。

学会発表の時点で、斜め破面の生成理由について次のような仮説の蓋然性を確認している。ワイヤロープが

引っ張られる際にロープの内部では素線同士の接触により圧縮荷重が作用する。ロープ全体が引っ張られていることによる素線に対する引張荷重に前述の圧縮荷重が重畳されると斜め破面が形成される。

本科研の準備状況として引用部の成果が重要となること、引用部の実験ではロープ端部処理にワイヤクリップを使っていた。ワイヤクリップはロープに圧縮を作用させるので、前述の斜め破面生成の想定メカニズムと同様な作用を持つことが懸念される。実際に、ワイヤクリップを使ったロープの引張試験を対象とした2022～2023の卒業研究では、ワイヤクリップ部からのロープ破断が多発している。2023年はクリップの締め付けトルクを調整することでロープの端部破断を回避できる条件を探索したが良い結果を得ることができなかった。

以上の経緯から、当然の疑問として、引用部の実験で見つかった素線破断は端部処理の影響を受けていた可能性が浮かび上がる。学会発表では引用部実験の詳細について説明しておらず引用部の説明に留まっている。本研究ノートでは、学会発表では明らかにされていなかった引用部の実験結果の詳細、特に端部の影響を受けていたか否かを明らかにする。

2. 実験結果

図1にロープ構成の断面図を示す MIL-W-83140に基づく直径3/6インチ（4.8mm）のワイヤロープを使用

した。

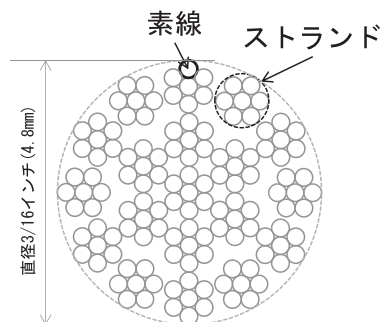


図1 供試ワイヤロープ

ワイヤクリップ（スリーエッチ製）2個による端止めしたワイヤロープに金属の丸棒を通し、万能試験機のチャックで固定する方法で引張試験を行った。

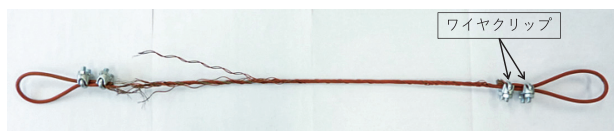


図2 ロープ供試体（破断後）

図2に示されるように予備試験としてロープを破断させ、その時の荷重目安（万能試験機には荷重計測値のアナログ出力等はないため、計器表示の目視による）を得た。同時に、ロープ破断に至る過程で素線破断によるものと思われるピン音が数回聞こえることを確認した。

次に本番試験として、同じ方法で作成したロープ供試体を引っ張る際に荷重計の表示値を見つつ、ピン音が発生したところで試験を中断させた。この供試体について、図3に示すようにクリップ部のマーカを施し、マーカ部でワイヤカッタにより切断した。切り出したワイヤロープをストランド単位に分解し、素線切れを探したところ素線破断を見つけた状況を図4に示す。図4から分るようにストランドのらせんピッチは約30mmであり、図4よりも広範囲が映っている図5から、素線破断か所は少なくともクリップ部から50mm以上の離れていることがわかる。

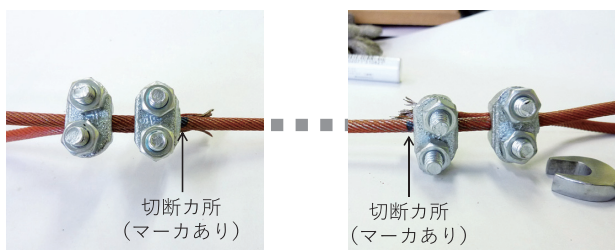


図3 切断箇所

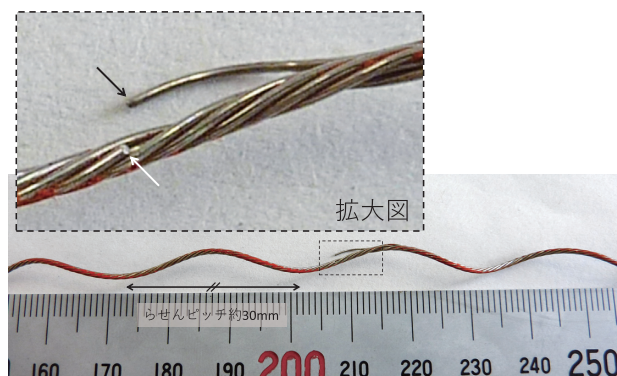


図4 素線破断部位

以上から、引用部の実験で得られた素線破断か所はクリップ部の影響を受けていないと考えられる。

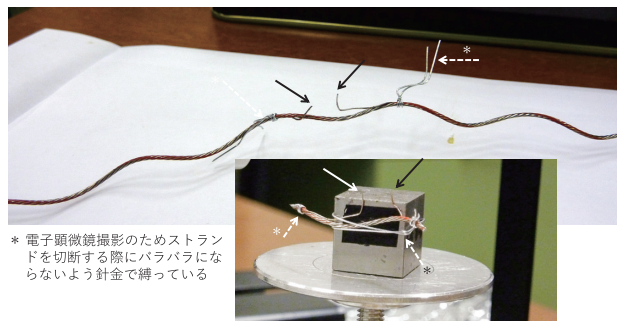


図5 素線破断部位（その2）

図5は電子顕微鏡撮影のため、破断素線を引っ張り出し、ストランドを切断した状況である。図6～8に示すように電子顕微鏡観察の結果、引用部の実験で得られた破断面は、カップ&コーン破面とは異なるが、ディンプルが認められる延性破壊であった。

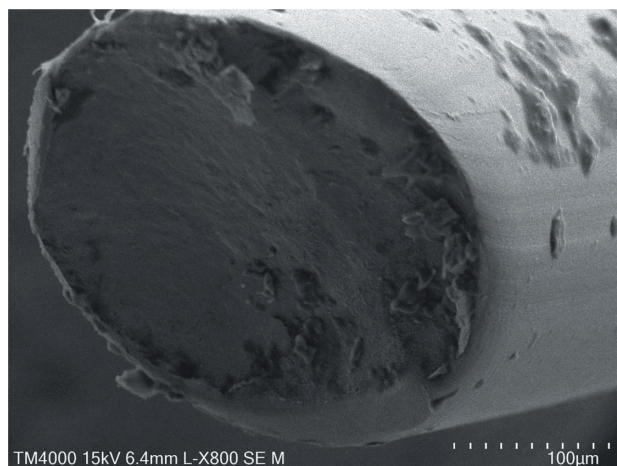


図6 電子顕微鏡観察（その1）

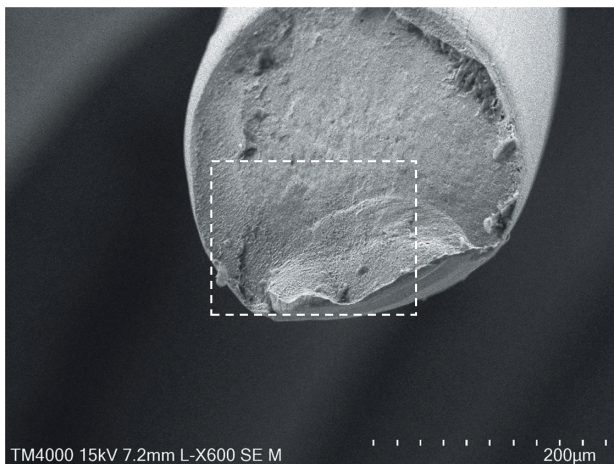


図7 電子顕微鏡観察（その2）

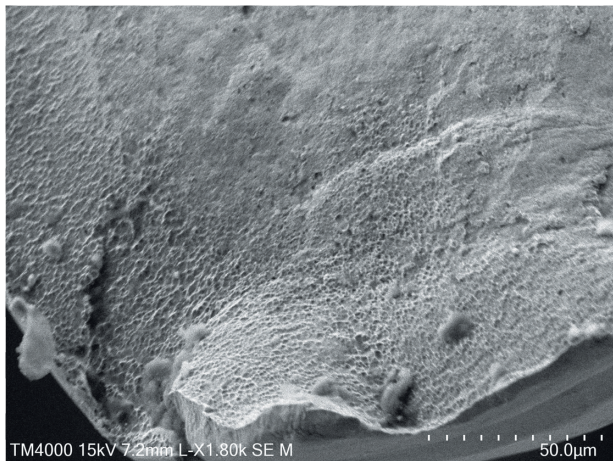


図8 電子顕微鏡観察（その3）

3. 終わりに

2022～2023卒業研究では、本実験と同じ実験を何回も取り組んだが成功例はゼロであった。素線破断が見つかる

るがクリップ部であったり、逆にクリップの締め付けを緩くするとクリップが滑って素線破断を得られなかった等である。これらの失敗実績を踏まえれば、本実験は運に恵まれていただけなのだろうか。

JIS等では、固定端一カ所当たり4個以上のクリップを使うよう指示されているが、図2や図3にあるように引用部の実験ではクリップ2個しか使っていない。実際にクリップ数を増やして試みた学生も居た。ただし、力学的に考えるとクリップの数に比例して締結力が増えることはありえず、不静定問題として捉えると実質的に効いているクリップは1個かもしれない。エジソンの言葉に代表されるように、うまく行かない（と思われる）状況においても諦めないことが研究やエンジニアリングにおいて不可欠であることに間違いない。ただし諦めないといっても単に同じことを繰り返すのではなく、考え抜くことが前提だろう。果たして学生はどうであったろうか。

一方、確率論に頼るような実験方法が良いとはいえない。本科研では、ロープ固定端の影響を排すことができる固定治具を開発し、ロープ引張実験を進めている⁽³⁾ことを補足しておく。

参考文献

- (1) 中山周一, 伊賀本響, 羽木克昌, ワイヤロープの延性破壊, 日本機械学会九州支部第76期総会講演会 2023年, D16
- (2) ワイヤロープハンドブック編集委員会編, ワイヤロープハンドブック, 日刊工業新聞社, 1995/3/1
- (3) 石渡萌乃佳, 中山周一, ワイヤロープ引張試験治具の開発, 日本文理大学紀要第53巻第1号(2025)

(2024年11月11日受理)

〔研究ノート〕

工学部学生の文章産出困難感の改善を目指す SSU 学習授業実践

坂井 美穂*, 東寺 祐亮*², 測上 千香子*²

*日本文理大学工学部情報メディア学科

*²日本文理大学工学部

SSU Learning Classroom Practices to Improve Engineering Students' Sense of Difficulty in Producing Writing

Miho SAKAI*, Yusuke TOJI*², Chikako FUCHIGAMI*²

*Department of Media Technologies, School of Engineering, Nippon Bunri University

*²School of Engineering, Nippon Bunri University

Abstract

本研究は、スモールステップ・ユニット学習（SSU 学習）を用いた工学部学生に対する日本語ライティング授業の実践について、学生の文章産出への困難感を改善するための有効性を検証するものである。具体的には、岸ら（2012）の「文章産出困難感尺度」を援用し、SSU 学習が文章産出困難感の改善に有効か検討することを目的とする。対象は2020年度から2022年度までの3年間の授業実践による学生アンケート結果である。分析の結果、「文章産出困難感尺度」の「全体構成」「表現選択」「読み手意識」に改善が見られ、SSU 学習は工学部学生の文章産出困難感の改善に有効な手法であると判断した。

キーワード：スモールステップ・ユニット学習、文章産出困難感、日本語ライティング授業、教材のデジタル化

1. はじめに

大学入学後、学生はレポートなどによって自身の考えを文章で表現する機会が増加する。この文章作成にあたって、困難感を持つ学生もいる。岸ら（2012）は「文章産出困難感尺度」を提示しており、日本語ライティングの学習者は、「大学・短期大学・専門学校の段階であらためて難しさ・技術のレベルの低さなどを実感するよ

うである」と述べている。この困難感の軽減は日本文理大学（以下、本学）工学部においても大きな課題である。

本学で開講されている文章表現基礎講座は、1年後期に配置されている基礎教養科目の1つである。この科目は必修科目で、日本語ライティングに困難感を持っている学生も受講が必須である。そのため、いかに学生の困難感を解消し、成長実感を付加するかが課題となっている。本学ではその課題解決にスモールステップ・ユニット学習（以下、SSU 学習）が有効と考え、実践してきた。

SSU 学習とは、文章を作成する機会を小さなステップに分ける方法と、作成した文章を推敲して提出するプロセスをユニット化する進め方を組み合わせた学習法である。本実践では、文章作成の機会を、事前学習・授業・事後学習というステップに分割している。また、テーマ1つあたりの文章提出プロセスを大きく文章作成・自己点検・書き直し・提出に分割し7~8回程度の授業でユニット化している（図1）。

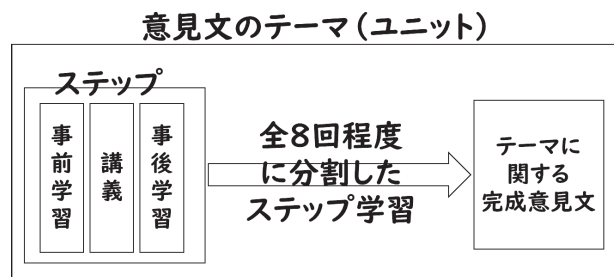


図1 SSU 学習

成田ら（2014）は、文章作成の授業において、自由に書く（1週目）、相互推敲（2週目）、点検ポイント導入（3週目）、書き直し・提出（4週目）を一つのユニットとして3ユニットで12週の授業設計を提案している（p. 145）。そして、その効果として最初のユニットでつまづいても次のユニットで挽回するチャンスがあり、リスクが小さいことを挙げている（成田ら2014：p. 146）。

その点で、文章作成の授業において、小さいユニットに分けること、そして、文章機会においても複数回のステップを作ることは、挽回できる機会が増加し、学生の日本語ライティングに対する困難感が軽減される可能性がある。成田ら（2014）において文章作成の授業でユニット化した実践が報告されているものの、スモールステップ化やユニット化による文章作成の困難感を調査した実践は管見の限りない。そこで、本稿では、本学3年間に渡る日本語ライティング教育の実践において文章産出困難感の改善にSSU 学習が有効であるかどうかを、岸ら（2012）の「文章産出困難感尺度」と学習効果実感等のアンケート調査を用いて検討することを目的とする。

2. 本学の授業実践内容

2-1 ID（インストラクショナル・デザイン）に基づいたSSU 学習

添削中心となり学生自身が考える機会が減じた学習方法の反省として、本学ではIDに基づくSSU 学習を行っている。IDとは、求められる学習とパフォーマンスの成果を確実に実現するための「インストラクション」を

システムの的にデザインするプロセスに関する学問領域のことである（マッケニー2021：p. 73）。すなわち、指導者中心の教育ではなく、学習者中心の教育理論のことである。本実践では「教えずぎず」「教え込まない」ことで学習者中心の教育を行うことを主眼として、表1を取り入れた。教員と学習者の達成目標の共有を目指し、学習者へどのような学習を行えばよいかを具体的に示した（表1）。

表1 ID 理論に基づくSSU 学習内容

要件	提案	今回行った具体例
現実世界との関係性を明確にする	自己体験課題 現実の事例活用	自己体験が含まれる意見文の作成
計画スキルを発達させる	進捗ベースを調整可能にする 練習の機会を提供する	ガイド付きの自己学習・個人作業 1週単位、テーマ単位の計画を立てる スタディースキルに取り組むための事前・講義・事後学習
学習者間の関係性を育てる	交流を促進する	SAや同級生同士のピアレビュー・教えあいを推奨
個人的な成長を明確にする	フィードバック	指導教員・短尺動画等による指導やレビュー

そのためにツールについても工夫し、ICT化を行い、Excelを用いたワークシートの改変・改良を、学生の声をヒアリングしながら継続的に行った。またMoodle等を導入し、短尺動画の参照が常時可能になるようにした。さらに評価方法も、教員個人評価からループリック評価へ変更し、学生と同一の評価ができるループリックの固定化を進めてきた。

2-2 アンケート調査の方法および結果

前節の内容を受講した2020年度入学生から2022年度入学生に受講時の事前、事後アンケート調査を行った。アンケート調査項目は「文章産出困難感尺度」（岸ら，2012）を援用した。岸ら（2012）の「文章産出困難感尺度」から追加尺度として「足りない情報や説明がないか注意して読み返す」、「同じことばを何回も使わないようにする」の2項目を選択し、さらに、独自追加項目として、高校までの文章表現学習の有無、返却された評価シート（ループリック評価）の確認の有無（個表のフィードバック）、文章作成が得意か、本講義が他の講義でも役立てられそうか、本講義を通じて最も身に付いたと考

える力は何か、成長に関する自己評価(評価項目の個数)を追加した。分析手法としては、受講の有無と役立ち度に関するクロス集計を行い、 χ^2 乗検定(独立検定)を行った。なお、受講生は再履修生をのぞき、2020年度(完全遠隔授業)はN=283, 2021年度(遠隔と対面授業のハイブリッド授業)はN=229, 2022年度(完全対面授業)はN=217である。このうち、同意があり、分析に利用した有効回答数は、2020年度がn=220, 2021年度がn=172, 2022年度がn=166であった。

また、「文章産出困難感尺度」はリッカート尺度の4件法で点数化した。岸ら(2012)では7件法を用いていたが本実践では4件法に変更した。この理由として、回答者の認知負荷の軽減、極端な意見の強制、データの一貫性と比較の容易さ、分析のシンプル化、一貫した回答の確保ができると考えたからである。選択肢に用いたのは、「得意」「やや得意」「やや苦手」「苦手」、もしくは、「あてはまる」「ややあてはまる」「ややあてはまらない」「あてはまらない」である。それぞれ順に4~1の得点を付し、それぞれ平均点を取った(図2)。図2文章困難感尺度の各回答平均点の事前・事後を各年度で示している。

各質問項目は表2に示した。Q6とQ13は岸ら(2012)のオリジナル尺度に岸ら(2012)の予備検討時に使用した尺度を追加したものである。この2つの項目を追加した理由は、図表や資料等の内容を読み取れているかどうかと、「～と読み取れる」のような同じ言葉の使用を制限し、そこに注意を向けたかを確認するための尺度が必要であったためである。分析にあたっては、各年度の文

章産出困難感尺度全体と、下位尺度ごとにt検定を行った。

尺度全体の各年度の平均値に関し、事前と事後についてt検定を行った。その結果、全学年とも有意差があった($p=.0001<.01$)。

下位尺度においては、「全体構成」「表現選択」「読み手意識」についてすべての学年で有意差があった(図3)。SSU 学習により、1回の授業でも複数のステップを踏んだこと、複数のユニットに分けることでリスクを抱える不安感なく取り組めたことなどで、意見文の型や構成を意識する能力・表現選択能力が身に付き、事後の平均値が事前より上昇したのではないかと考える。一方、「アイデア」と「推敲」の尺度では有意差がある年度(2020年入学生と2021年入学生)と有意差がない年度(2022年入学生)があった。統計的有意性についてはほとんどの側面でも統計的に有意な結果($p<.05$)が認められるが、2022年についてはアイデアと推敲に関し、改善が必要ことが示唆された。

	2020年		2021年		2022年	
	t 値	P 値	t 値	P 値	t 値	P 値
全体構成	17.2031	0.0004	14.1400	0.0008	24.5880	0.0001
表現選択	9.7078	0.0002	4.9432	0.0043	6.5671	0.0012
読み手意識	32.7091	0.0001	9.4790	0.0025	7.1040	0.0057
アイデア	7.7480	0.0045	5.4068	0.0124	2.9655	0.0593
推敲	7.3216	0.0053	3.8084	0.0318	2.1729	0.1181

図3 下位尺度の事前アンケート(pre)と事後アンケート(post)の各入学生のt値・P値の結果

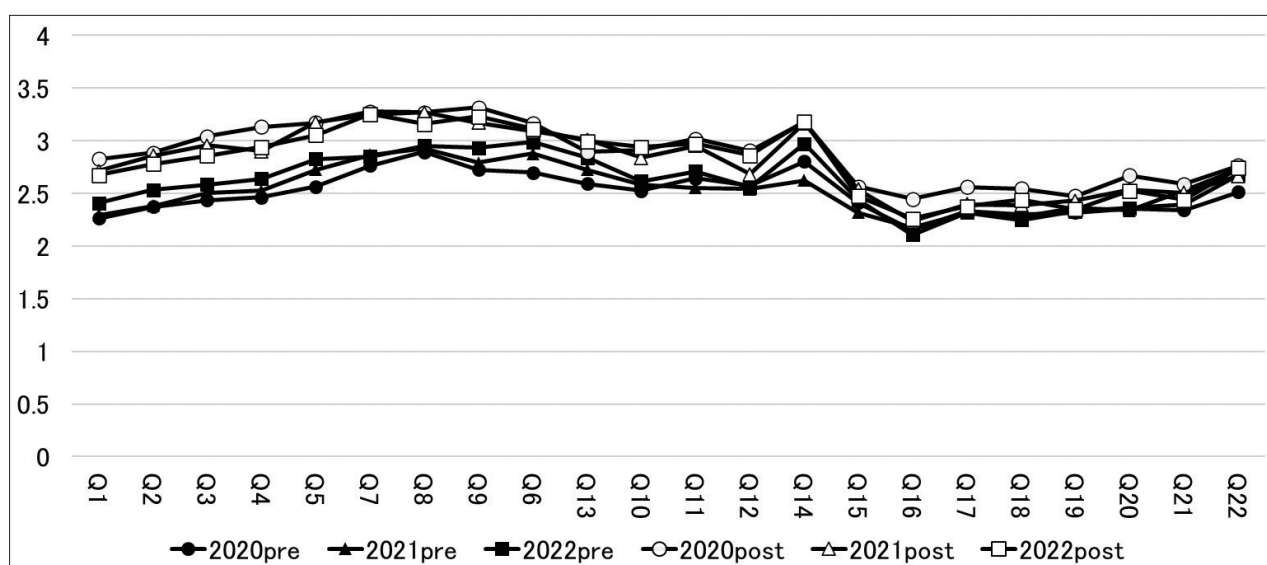


図2 「文章産出困難感尺度」 pre-post の平均値

表2 文章産出困難感尺度（岸ら，2012援用）

	番号	項目
全 体 構 成	Q1	論点を明確にして文章を書く
	Q2	文章全体をまとまりのあるものにする
	Q3	読み手に対して内容を正しく伝える
	Q4	始めから終わりまで、話の一貫性を保つ
表 現 選 択	Q5	必要のない箇所や語句を選び削除する
	Q7	主語と述語のつながりに気をつけながら書く
	Q8	誤字・脱字を見つける
	Q9	文章表現が統一されているか、注意して読み返す
	Q6	足りない情報や説明がないか注意して読み返す
	Q13	同じことばを何回も使わないようにする
読 み 手 意 識	Q10	難しいことをやさしく伝える
	Q11	内容をイメージしやすいように書く
	Q12	読み手が内容に興味を持ってくれるように書く
	Q14	わかりやすいことばを使って表現する
ア イ デ ア	Q15	自分の考えを表すことばをすぐに思いつく
	Q16	文章の書き出しをすぐに思いつく
	Q17	次か次へと書くことを思いつく
	Q18	書く内容が少ない時も、ふくらませることが出来る
推 敲	Q19	書きたかったことが適切なことばで表現されているかどうか分かる
	Q20	どこで文章を分ければよいか（段落）、わかる
	Q21	読み返したとき、書いた文章のどの部分をなおせばよいか分かる
	Q22	読み返したとき、自分が書きたかったことが書けているかどうか分かる

本実践では、テーマを教師が決めており、学生がアイデアを練る機会を得づらかったこと、ワークシートにおける推敲の指示が不足していたことが関連していると考えられる。

また、3年間の調査の結果、SSU 学習では高校での日

本語ライティング授業の学習の有無にかかわらず、96～98%の学生が学習効果を実感していることが示された。また、成長実感がない学生でも本学習により自らに身に付いた具体的能力があると考えており、文章作成力が身に付いたと考えている学生は全体の70%を超えていた。複数回答で学生が選択した成長項目数は2020年入学生、2021年入学生は3項目が多く、2022年入学生は2項目であった。2020年度入学生は全面遠隔授業、2021年度入学生は一部対面授業、2022年度入学生は完全対面授業であり、対面授業の方で平均値が低いのは、自己認識と教員評価との違いを具体的に認識したためではないか。ただし、講義形態との関連については、今後詳細に検討する必要がある。本稿では対面や遠隔などの講義形態ではなく、SSU 学習自体の有効性に着目しているが、実践期間にはコロナ禍による遠隔授業期間も含まれる。対面授業と遠隔授業の差異の検討については今後の課題である。

3. まとめ

本実践では3年間の日本語ライティング授業においてSSUを導入し、「文章産出困難感尺度」（岸ら，2012）を用いて困難感が改善するかを調査した。その結果、全ての年度において、SSU 学習による日本語ライティング授業の事前、事後で「全体構成」「表現選択」「読み手意識」の平均値の増加が認められた。これはSSU 学習を導入した実践により、意見文の型や構成を意識する能力・表現選択能力が身に付いたことで、困難感が改善されたためであると考えられる。また、講義形態の変動があった3年間に於いて学生の70%以上が文章作成力の向上を、96～98%が学習の効果を実感していたこともアンケート調査の結果より示された。

以上よりSSU 学習は、「文章作成（表現）力」の成長実感に寄与し、「全体構成」「表現選択」「読み手意識」の困難感を軽減するために、有効な手法である。一方で、困難感の「アイデア」や「推敲」の軽減については課題が残る。講義形態やテーマなどに検討の余地があるだろう。

なお、本稿は、坂井・瀬上・東寺・赤星・今西(2024)で発表した成果を発展させまとめたものである。

参考文献

- (1) 岸学, 梶井芳明, 飯島里美 (2012) 文章産出困難

- 感尺度の作成とその妥当性の検討。東京学芸大学紀要, 63 : 159-169
- (2) マッケニー・スーザン, トーマス・C・リープス (2021) 教育デザインの研究の理論と実践。鈴木克明 (監訳)。北大路書房
- (3) 成田秀夫, 大島弥生, 中村博幸 (2014) 大学生の日本語リテラシーをいかに高めるか。ひつじ書房
- (4) 坂井美穂, 瀧上千香子, 東寺祐亮 (2023) 工学部文章表現基礎講座における学習教材について。日本文理大学紀要, 51 (1) : 87-89
- (5) 坂井美穂, 瀧上千香子, 東寺祐亮, 赤星哲也, 今西衛 (2024) スモールステップ・ユニット学習を用いた工学部学生に対する日本語ライティング授業の実践。日本教育工学会第44回全国大会講演論文集, 95-96

(2024年11月11日受理)

〔研究ノート〕

周期信号のパラメータを求める

福島 学*, 徳富 響*², 宮田 叶斗*²

*日本文理大学工学部情報メディア学科

*²日本文理大学大学院工学研究科環境情報学専攻

Analysis Method for Periodical Time Waveforms

Manabu FUKUSHIMA*, Hibiki TOKUTOMI*², Kanato MIYATA*²

*Department of Media Technologies, School of Engineering, Nippon Bunri University

*²Department of Environmental Engineering and Applied Information Science,
Graduate School of Engineering, Nippon Bunri University

キーワード：時間波形, 周期, 推定, スペクトル

Keywords : time waveform, period, estimation, spectrum

1. はじめに

物理現象の多くは周期で繰り返す周期性を持つものがある。この周期を求めることが現象のモデル化の一歩であり、数式記述することで、対象の1次性質記述となる。このモデル化により、対象を制御するためのデジタルツインを可能とする。デジタルツインは機械系だけでなく、モデルが複雑ではあるが人の感性を対象と捉げることでメタバースにおけるサービスやデジタルヒューマンへの展開につながっている。

時間経過に伴う現象をセンサ等により数値化する行為をサンプリングといい、観測値で形成される数列を離散時間波形という。この離散数列から連続関数を推定することで現象の原因分析や予測分析を行うという外挿や、サンプル間隔の内挿補完を行うことができる。これは、理学における現象の解明だけでなく、工学における工業製品やサービスまたはCyber世界にPhysical世界を投影するうえで重要である。

本稿では、周期関数の代表として正弦波の性質から、周期解析としてフーリエ変換について実際にグラフを描

くプログラムにある数式を変更しながら考える。

2. 正弦波の性質

正弦波 ($\sin x$) は、図1実線で示す通り x (π rad) が0から2に変化する時、 $\sin x$ の計算結果 (以下、振幅と呼ぶ) が0から1そして0になり-1へと変化し再び0に戻る。図には x が0から2の範囲しか示していないが、 x がいかに変化しても常にそれを繰り返すため周期信号と呼ばれる。 x を時刻とみれば数学的に x は $-\infty$ から $+\infty$ まで変化させることができるため、これが何らかの物理現象のモデルであるならば数学的には過去も未来も計算することができることを表している。

ここで $\sin(x - y)$ として、 $y = 0, 1/8, 2/8, 3/8$ とすると、図1に示すように時間波形が変化する。 y の値が増えることにより正弦波の+1が現れる x の値が変化している。これは、 $\sin x$ で振幅が1となる時 $x = 1/2$ (π rad) であるが、 $y = 1/8$ では $x - y = 1/2$ でなければならない。この条件を満たすには $x = 1/2 + 1/8 = 4/8 + 1/8 = 5/8$ となり、横軸に示す x が $5/8$ (π rad) すなわち、 $x - y = 5/8 - 1/8 = 4/8 = 1/2$ となり振幅が1となる。こ

これは y だけ x が大きな数値にならないかなければならないことを意味する。言い換えると、 x を時間と捉えたと $x - y$ は x だけに比べて y だけ時間波形が出てくるのに時間がかかっているすなわち「遅れた」とみることができる。 x が距離であれば y だけ先に進んだことになる。これらのことから、 x にどんな意味を持たせるかでその意味が変わることを意味する。数学的には $\sin \theta$ における θ が変化し直角三角形の形を意味する。

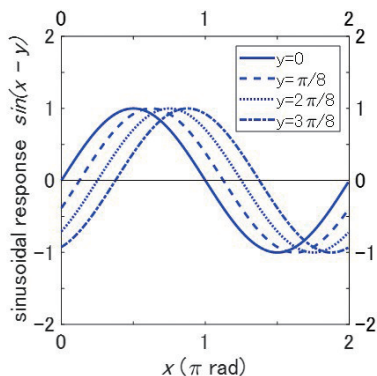


図1 正弦波 $\sin(x-y)$ の y による図形の違い

図1を描画するための、Google Colaboratory で動作するように作成した Python プログラムを付録に記載する。これから出てくる図面を実際に自分で描画し、パラメータを変えながら「計算」が「手順」ではなく「意味」が書かれていることを確認するとともに「意味」を理解することを目的として値を変化させることで「数字が持つ意味」を理解するためのステップが踏めると考えている。同様の目的でいくつかの図を描画するプログラムを付録に記載する。

正弦波 $\sin x$ と余弦波 $\cos x$ の関係を考えると、 $\sin(x(\pi \text{ rad}) - 1/2(\pi \text{ rad})) = \cos(x)$ であるが、 $\sin x$ の微分が $\cos x$ となる。それを図2に示す。これは、正弦波を微分するという計算が $y = 1/2(\pi \text{ rad})$ の変化を意味している。すなわち、余弦波を積分すると正弦波となり、両者が微分・積分においても対をなすことがわかる。

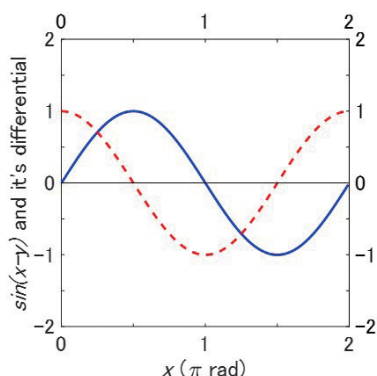


図2 正弦波 $\sin x$ とその微分波形

ここで、正弦波を縦軸、余弦波を横軸に取り、 x を 0 から $2(\pi \text{ rad})$ に変化させると、その軌跡は図3に示す様に真円となる。これは図2から、正弦波が0の時に余弦波が1または-1となり、正弦波が1または-1の時に余弦波が0となっており、これらが図3の円の四方と対応し、図2の横軸 $x=0$ が横軸の1となり、 x が大きくなるにつれて点が反時計回りに進むことが想像できる。これを確認するために、図3を3次元プロットしたものが図4である。図4において、 x の軸が奥行方向になるようにプロットしたのが図3であり、横軸を x とし残りの軸のグラフを重ねたものが図2となる。

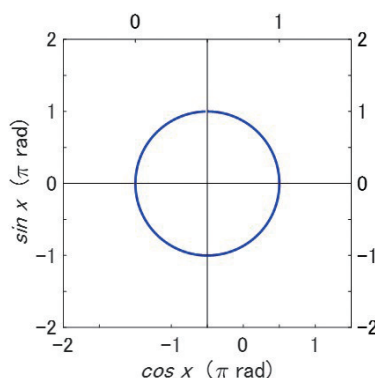


図3 縦軸を $\sin x$ とし横軸を $\sin'(x) = \sin(x+1/2) = \cos x$ とし $x=0$ から $2(\pi \text{ rad})$ に変化させた図 ($\sin'$ は $\sin$ の微分)

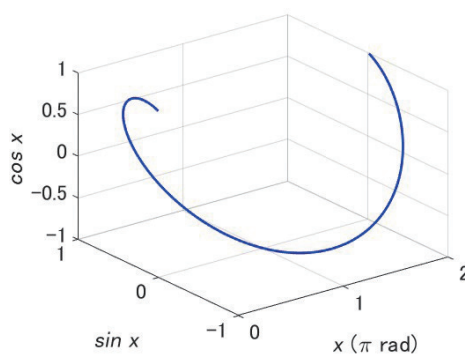


図4 図3において x とプロット点の対応

ここで、図3に示した真円を考えると、原点から円周の1点までに矢印（ベクトル）を描くと、 x が0から2まで変化したときのベクトルの和が原点すなわち、横軸方向および縦軸方向の和が0となることを示している。これは、正弦波 $\sin x$ において、 $x=0$ から $2(\pi \text{ rad})$ を積分するとその結果が0となり、さらに $\sin(x-y)$ でもその性質すなわち $x-y=0$ から2を積分するとその結果が0となることを示している。

ここで特に重要な点は $x = 0$ から $2(\pi \text{ rad})$ の変化すなわち、図4において「1回転」であることが必須条件であり、図3において円に「重なり」がある場合、積分した結果が0とならないことを意味している。

次に周期を考えるため、時間波形 $f(x) = \sin(x - y)$ としたときを考える。 $x = 0$ から2に対して、 $f(x) = \sin(2x - y)$ となると、図4において回転が2回となる。すなわち、 x が0から2となる時間が1秒とすると、1回転で1 (cycle/second) = 1 (Hz) であり、 $\sin(2x - y)$ は同じ x の変化で2回転すなわち、2 (cycle/second) = 2 (Hz) となる。

この条件であっても原点を起点とする円周までのベクトルの和は変化がないことから積分した結果が0となることがわかる。

ここで、振幅 A で x に同一係数 f が積算された一般式を考えるとそれは

$$f(x) = A \sin(fx - y) \quad (1)$$

となり、

$$\int f(x) dx = 0, \text{ where } x = 0 \text{ to } 2(\pi \text{ rad}) \quad (2)$$

となる。

すなわち周期信号 $f(x)$ は、振幅 A 、周波数 f 、位相 y 、の3種類で記述できることとなる。逆に、周期信号の分析とは、この3つのパラメータを求めることとなる。

3. 周期信号分析

まず初めに、振幅 A を求める方法を考える。計算機は限りなく0にすることや無限を扱うことが難しい。このため、必要なデータだけが得られるように「計算を工夫」する。ここでは、周期信号に対してどのような計算をすれば欲しいデータである振幅 A が求められるかを考える。

三角関数で使える「計算の工夫」として、ここでオイラーの公式を考える。この公式は

$$\exp(-ix) = \cos(x) - i \sin(x) \quad (3)$$

であり、これを使うと

$$\begin{aligned} \exp(-i(\alpha + \beta)) &= \cos(\alpha + \beta) - i \sin(\alpha + \beta) \\ &= \exp(-i\alpha) \exp(-i\beta) \\ &= \{\cos(\alpha) - i \sin(\alpha)\} \\ &\quad \{\cos(\beta) - i \sin(\beta)\} \\ &= \{\cos(\alpha)\cos(\beta) - \sin(\alpha)\sin(\beta)\} \\ &\quad -i\{\sin(\alpha)\cos(\beta) + \cos(\alpha)\sin(\beta)\} \end{aligned}$$

より、加法定理が出ていることがわかる。すなわち、三

角関数同士の積算がわかり、その結果に2つの周期の和と差が出てくることがわかる。すなわち、 $\cos(\alpha - \beta)$ があれば、 $\alpha = \beta$ の時、 $\cos(\alpha - \beta) = \cos(0) = 1$ となり、三角関数以外に変えることができる。例えば

$$\begin{aligned} \sin(x)\sin(x) &= \{\cos(x - x) - \cos(x + x)\}/2 \\ &= \{1 - \cos(2x)\}/2 \\ &= 0.5 - 0.5 \cos(2x) \end{aligned} \quad (4)$$

となり、式(4)右辺第2項は $x = 0$ から2の積分で0となり、第1項が $-0.5 \cdot 2 = -1$ となる。すなわち係数 A は

$$A = 2 \int \sin(x) \exp(-ix) dx = -i \quad (5)$$

となり、式(1)の A が求められる。ここで

$$\begin{aligned} \cos(\alpha)\cos(\beta) &= \{\cos(\alpha + \beta) + \cos(\alpha - \beta)\}/2 \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \sin(\alpha)\sin(\beta) &= \{\cos(\alpha - \beta) - \cos(\alpha + \beta)\}/2 \end{aligned} \quad (7)$$

となり、式(4)に示す定数 (x で変化しない値) が存在しない。すなわち、 $A = 0 - i0$ となる。

これを一般化すると

$$\begin{aligned} A_f &= 2 \int f(x) g_f(x) dx \\ &\quad , \text{ where } x = 0 \text{ to } 2(\pi \text{ rad}), \\ g_f(x) &= \exp(-i(fx)), \end{aligned} \quad (8)$$

で求められる。これをフーリエ変換という。式(8)からわかるように、予め用意した $g_f(x)$ から係数 A_f を求めている。また式(8)からわかるように、積分区間が0から2 ($\pi \text{ rad}$) であることが前提の式である。

まずは式(8)を確かめるために、

$$\begin{aligned} f(x) &= \sin(2x - y) \\ &\quad , \text{ where } y = 0(\pi \text{ rad}) \end{aligned} \quad (9)$$

を図5左列1段目に示す。図5は、2段目に1周期、3段目に2周期、4段目に3周期の、左列に $\cos$ 、右列に $\sin$ を左列1段目に示した波形との積算結果を点線で示している。なお、積算する波形は破線で示している。

図5から、左列1段目の波形と積算した波形が一致している右列下から2段目が $\text{sum} = 1$ となっており、それ以外が0となっていることから式(8)で係数 A が求められることが分かった。また周期分析は「予め用意した周期」すなわち「周期の記述には限界がある」ことを意味している。これを周期分解能または周波数分解能という。必要な周波数の係数 A を求めるには、その周期に応じた波形が必要、すなわち低い周波数を分析するには

長い周期を用意しなければならないことがわかる。これは、時間的な変化を見る上でどれだけ短時間の変化を知りたいかに関する時間分解能を下げることを意味している。このように、時間分解能と周波数分解能はトレードオフの関係である。

次に、図6に $y=1/4(\pi \text{ rad})$ の結果を示す。図5と比較すると、左列1段目に示す波形が変わっていることがわかる。

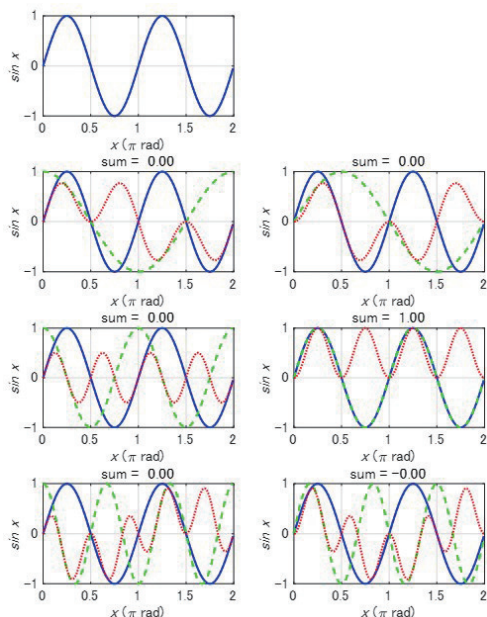


図5 $\sin(2x)$ (左列1段目) に余弦波 (左列) と正弦波 (右列) に1周期 (2段目) 2周期 (3段目) 3周期 (4段目) を積算した時の面積 (図の上に「sum=」に続けて表示) を求めた結果

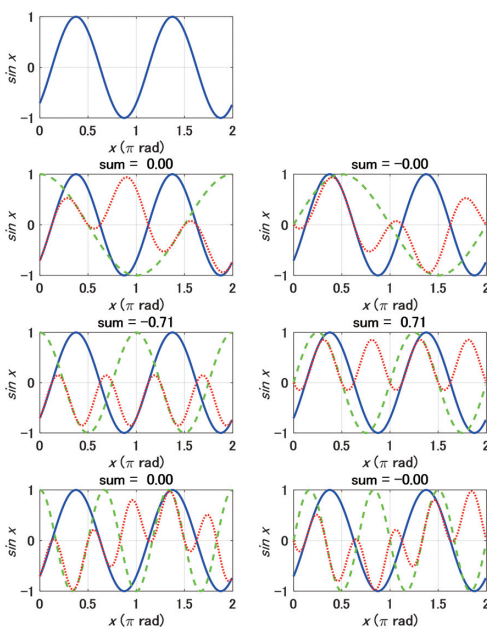


図6 $\sin(x-y)$ において $y=1/4(\pi \text{ rad})$ とした時

図5は右列下から2段目に1と出ており、振幅 $A=0-i1$ であることがわかる。図6は下から2段目の左右に同じ数値が出ており、これは $1/\sqrt{2}$ である。図3でこの値を考えると、図7に示す破線を斜辺とする2等辺三角形すなわち、 $\theta=1/4(\pi \text{ rad})$ である。すなわち、図6の係数 $A=1/\sqrt{2}-i(1/\sqrt{2})$ から θ を求めることで位相 y が求められる。

以上により、周期信号 $f(x)$ の性質、振幅 A 、周波数 f 、位相 y が求まることがわかった。

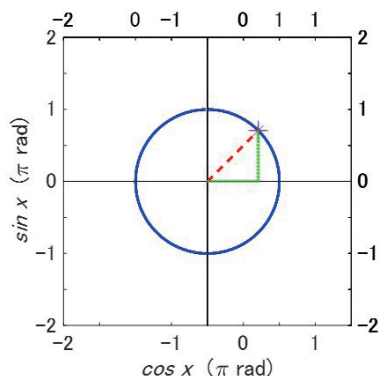


図7 $\sin(x-y)$, where $y=-1/4(\pi \text{ rad})$ の位置 (+印) とその時の $\cos x$ および $\sin x$ の関係

4. おわりに

本稿では、1) 周期信号が 振幅 A 周波数 f 位相 y によって記述されること、2.1) 予め用意した周期信号を積算し和を求めることで振幅 A が求まる、2.2) どこで A が求まるかから周波数 f が求まる、2.3) A の実数と虚数から位相 y が求まる、ことをグラフに基づいて確認した。

主要な図面のプログラムにおいてパラメータを変えることで数式や考えた各プロセスが持つ意味を理解することができたと考える。

【図1のプログラム・Python】

```

import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

# パラメータの設定
N = 2**8
x = np.linspace(0, 2, N, endpoint=False)

# 描画準備
plt.figure()
line_styles = ['-', '--', ':', '-.']
count = 0

#  $\sin((x * \pi) - y * \pi)$  のプロット
for y in np.arange(0, 1/8 * 4, 1/8):
    fy = np.sin(x * np.pi - y * np.pi)
    plt.plot(x, fy, 'b' + line_styles[count], linewidth=2)
    count += 1

# x 軸に  $y=0$  を示す線をプロット
plt.plot([0, 2], [0, 0], 'k')

# 凡例を追加
plt.legend(['y=0', 'y= $\pi/8$ ', 'y= $2\pi/8$ ', 'y= $3\pi/8$ '], loc='best')

# 軸の設定
plt.xlim([0, 2])
plt.ylim([-2, 2])
plt.gca().set_aspect('equal', adjustable='box')

# ラベルの設定
plt.xlabel(r'$\pi x / 8$ (rad)', fontsize=18)
plt.ylabel(r'sinusoidal response $\sin(\pi x / 8)$', fontsize=18)

# x 軸の目盛り設定
plt.xticks([0, 1/2, 1, 3/2, 2], ['0', '1', '2'], fontsize=18)

```

```

# y 軸の目盛り設定
plt.yticks(np.arange(-2, 2.5, 0.5), ['-2', '-1', '0', '1', '2'],
           fontsize=18)

# 2 つ目の軸を追加 (右 y 軸と上 x 軸)
ax2 = plt.gca().twinx() # 右側の y 軸
ax2.spines['right'].set_position(('outward', 0)) # 右側に配置
ax2.set_ylim([-2, 2])
ax2.set_yticks(np.arange(-2, 2.5, 0.5))
ax2.set_yticklabels(['-2', '-1', '0', '1', '2'], fontsize=18)

ax3 = plt.gca().twinx() # 上側の x 軸
ax3.spines['top'].set_position(('outward', 0)) # 上側に配置
ax3.set_xlim([0, 2])
ax3.set_xticks([0, 1/2, 1, 3/2, 2])
ax3.set_xticklabels(['0', '1', '2'], fontsize=18)

# 軸の縦横比を正方形に設定
plt.gca().set_aspect('equal', adjustable='box')
ax2.set_aspect('equal', adjustable='box')
ax3.set_aspect('equal', adjustable='box')

# グラフを表示
plt.show()

```

【図4のプログラム・Python】

```

import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from mpl_toolkits.mplot3d import Axes3D

# パラメータ設定
N = 2**8
x = np.linspace(0, 2 - (2 / N), N) # x の範囲を生成
LineStylePat = ['-', '--', ':', '-.']

```


$y=0$ の場合の sin 曲線

$y1 = 0$

$fys = \text{np.sin}(x * \text{np.pi}) - (y1 * \text{np.pi})$

$y=-1/2$ の場合の sin 曲線

$y2 = -0.5$

$fyc = \text{np.sin}(x * \text{np.pi}) - (y2 * \text{np.pi})$

プロット設定

$\text{fig} = \text{plt.figure}()$

$\text{ax} = \text{fig.add_subplot}(111, \text{projection}='3d')$

3D プロット

$\text{ax.plot}(x, \text{fys}, \text{fyc}, \text{LineStylePat}[0], \text{color}='b', \text{linewidth}=2)$

グリッドとラベルの設定

$\text{ax.grid}(\text{True})$

$\text{ax.set_xlabel}(r'\$¥itx¥rm¥ (\$¥pi¥ \text{rad})\$'$, $\text{fontsize}=18)$

$\text{ax.set_ylabel}(r'\$¥it¥sin(x)¥rm\$'$, $\text{fontsize}=18)$

$\text{ax.set_zlabel}(r'\$¥it¥cos(x)¥rm\$'$, $\text{fontsize}=18)$

フォントサイズの設定

$\text{ax.tick_params}(\text{axis}='both', \text{which}='major', \text{labelsize}=18)$

グラフの表示

$\text{plt.show}()$

【図5のプログラム・Python】

$\text{import numpy as np}$

$\text{import matplotlib.pyplot as plt}$

パラメータ設定

$N = 2**8$

$x = \text{np.linspace}(0, 2 - (2 / N), N)$ # x の範囲を生成

$\text{LineStylePat} = ['-', '--', ':', '-.']$

$y = 0$ # y の設定

$k = 2$

$y=0$ で $k=2$ のときの sin 波

$\text{fys} = \text{np.sin}(k * (x * \text{np.pi}) - (y * \text{np.pi}))$

プロット設定

$\text{fig}, \text{axs} = \text{plt.subplots}(4, 2, \text{figsize}=(8, 12))$ # サブプロットを 4×2 で作成

$\text{fig.subplots_adjust}(\text{hspace}=0.5, \text{wspace}=0.3)$ # サブプロット間のスペース調整

最初のプロット (subplot 1,1)

$\text{axs}[0, 0].\text{plot}(x, \text{fys}, \text{LineStylePat}[0], \text{color}='b', \text{linewidth}=2)$

$\text{axs}[0, 0].\text{grid}(\text{True})$

$\text{axs}[0, 0].\text{set_xlabel}(r'\$¥itx¥rm¥ (\$¥pi¥ \text{rad})\$'$, $\text{fontsize}=14)$

$\text{axs}[0, 0].\text{set_ylabel}(r'\$¥it¥sin(x)¥rm\$'$, $\text{fontsize}=14)$

$\text{axs}[0, 0].\text{tick_params}(\text{axis}='both', \text{which}='major', \text{labelsize}=14)$

ループでサブプロットを作成

for loop in range(1, 4):

cos と sin の波形を計算

$\text{fc} = \text{np.cos}(\text{loop} * (x * \text{np.pi}))$

$\text{fs} = \text{np.sin}(\text{loop} * (x * \text{np.pi}))$

cos 波との演算 (subplot 2,1, 3,1, 4,1)

$\text{axs}[\text{loop}, 0].\text{plot}(x, \text{fys}, \text{LineStylePat}[0], \text{color}='b',$

$\text{linewidth}=2, \text{label}='sin(x)')$

$\text{axs}[\text{loop}, 0].\text{plot}(x, \text{fc}, \text{LineStylePat}[1], \text{color}='g',$

$\text{linewidth}=2, \text{label}='cos(x)')$

$\text{axs}[\text{loop}, 0].\text{plot}(x, \text{fc} * \text{fys}, \text{LineStylePat}[2], \text{color}='r',$

$\text{linewidth}=2, \text{label}='cos(x)*sin(x)')$

$\text{axs}[\text{loop}, 0].\text{grid}(\text{True})$

$\text{axs}[\text{loop}, 0].\text{set_xlabel}(r'\$¥itx¥rm¥ (\$¥pi¥ \text{rad})\$'$, $\text{fontsize}=14)$

$\text{axs}[\text{loop}, 0].\text{set_ylabel}(r'\$¥it¥sin(x)¥rm\$'$, $\text{fontsize}=14)$

$\text{axs}[\text{loop}, 0].\text{set_ylabel}(r'\$¥it¥sin(x)¥rm\$'$, $\text{fontsize}=14)$

$\text{axs}[\text{loop}, 0].\text{tick_params}(\text{axis}='both', \text{which}='major',$

$\text{labelsize}=14)$

$\text{axs}[\text{loop}, 0].\text{set_title}(f\text{sum} = \{\text{np.sum}(\text{fc} * \text{fys}) / (N /$

```

2):.2f}')
    axs[loop, 0].legend()

    # sin 波との演算 (subplot 2,2, 3,2, 4,2)
    axs[loop, 1].plot(x, fys, LineStylePat[0], color='b',
linewidth=2, label='sin(x)')
    axs[loop, 1].plot(x, fs, LineStylePat[1], color='g',
linewidth=2, label='sin(x)')
    axs[loop, 1].plot(x, fs * fys, LineStylePat[2], color='r',
linewidth=2, label='sin(x)*sin(x)')
    axs[loop, 1].grid(True)
    axs[loop, 1].set_xlabel(r'$\pi x / m \pi$ ($\pi$ rad)$',
fontsize=14)
    axs[loop, 1].set_ylabel(r'$\sin(x)$', fontsize=14)
    axs[loop, 1].tick_params(axis='both', which='major',
labels=14)
    axs[loop, 1].set_title(f'sum = {np.sum(fs * fys) / (N /
2):.2f}')
    axs[loop, 1].legend()

# グラフの表示
plt.show()

```

【図 7 のプログラム・Python】

```

import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

# パラメータ設定
N = 2**8
x = np.linspace(0, 2 - (2 / N), N) # x の範囲を生成
LineStylePat = ['- ', '-.-', '!', '-.']

# sin 波の計算
y = 0
fys = np.sin((x * np.pi) - (y * np.pi))
y = -1 / 2

```

```

fyc = np.sin((x * np.pi) - (y * np.pi))

# プロットの設定
plt.figure(figsize=(8, 8))
plt.plot(fys, fyc, LineStylePat[0], color='b', linewidth=2,
label='sin(x) vs sin(x -  $\pi/2$ )')

# 基準線の描画
plt.plot([-2, 2], [0, 0], 'k') # x 軸
plt.plot([0, 0], [-2, 2], 'k') # y 軸

# 特徴点と補助線の描画
sqrt_half = 1 / np.sqrt(2)
plt.plot(sqrt_half, sqrt_half, '+', markersize=16, color='black')
plt.plot([0, sqrt_half], [0, sqrt_half], 'r--', linewidth=2)
plt.plot([sqrt_half, sqrt_half], [0, sqrt_half], 'g-', linewidth=2)
plt.plot([0, sqrt_half], [0, 0], 'g-', linewidth=2)

# 軸の設定
plt.axis([-2, 2, -2, 2])
plt.gca().set_aspect('equal', adjustable='box')
plt.xlabel(r'$\pi \cos(x) / m \pi$ ($\pi$ rad)$', fontsize=18)
plt.ylabel(r'$\sin(x) / m \pi$ ($\pi$ rad)$', fontsize=18)

```

```

# x 軸と y 軸の目盛り
plt.xticks(ticks=np.arange(-2, 2.5, 0.5), labels=['-2', '-', '1', '0', '1', '2'])
plt.yticks(ticks=np.arange(-2, 2.5, 0.5), labels=['-2', '-', '1', '0', '1', '2'])

# フォントサイズ設定
plt.tick_params(axis='both', which='major', labels=18)

# 右側と上側の補助軸を追加
ax2 = plt.gca().twinx()
ax2.set_yticks(np.arange(-2, 2.5, 0.5))
ax2.set_yticklabels(['-2', '-', '1', '0', '1', '2'])

```

```
ax2.tick_params(axis='y', labelsize=18)

ax3 = plt.gca().twinx()
ax3.set_xticks(np.arange(-2, 2.5, 0.5))
ax3.set_xticklabels(['-2', '-', '-1', '0', '1', '2'])
ax3.tick_params(axis='x', labelsize=18)

# グラフの表示
plt.grid(True)
plt.show()
```

(2024年11月11日 受理)

〔研究ノート〕

幼児のことばにおけるクライの用法の使用傾向

東 寺 祐 亮*

*日本文理大学工学部

Usage Trends of *Kurai* in Young Children

Yusuke TOJI*

*School of Engineering, Nippon Bunri University

1. はじめに

クライは名詞や動詞等に接続して、概数、程度、取り立て・評価を表す。たとえば、(1a)では「学生の数がおおよそ30人」であることを表している。また、(1b)は「疲れていた」の度合いが「1歩もあるけない」程度であることを表している。(1c)においては、話し手が「ゆで卵が作れる」ことは最低限だと考えているということを表している。

- (1) a. 概数用法:
 体育館には、学生が30人くらいいた。
 (cf. 日本語記述文法研究会 2009:136)
- b. 程度用法:
1歩もあるけないくらい疲れていた。
 (cf. 日本語記述文法研究会 2008:246)
- c. 取り立て・評価用法:
 料理が苦手だと言っても、ゆで卵くらい作れる
 よね? (cf. 日本語記述文法研究会 2009:128)

幼児におけるクライの使用については、先行研究が2:05-2:08 (2:05は2歳5ヵ月のこと。以降、「年:月」で表す。)ごろにクライが使用され始めることを指摘している。たとえば、永野(1959)は、クライについて幼児が2:08-2:09ごろに(2)の例を使用したと述べている。

- (2) a. コノクライナラ、ダイジョウブ? (2:08)
 b. コレモ ハヤイノ、マスミチャングライニ。
 (2:09) (永野 1959:393)

また、大久保(1967)は幼児が2:05ごろに(3a)の例を、4:02ごろに(3b)の例を使用したと述べている。

- (3) a. 四ツカグライ。(2:05)
 b. コノグライ コノグライダカラ イイデショ。
 (4:02) (大久保 1967:96)

しかし、先行研究が挙げているクライの例は、程度用法、概数用法に関して挙げられているものの、取り立て・評価用法については例が見られない。クライの用法によって使用時期に差があるのだろうか。

先行研究において、幼児のクライの用法の使用時期に着目した調査は管見の限りない。永野(1959)は幼児のさまざまな助詞について記述しており、クライに関して(2)の例を示している。また、大久保(1976)は、語彙、助詞、活用語など網羅的に記述しており、クライに関して(3)の例を示して4歳までに3例見られたことを報告している。しかし、いずれの研究もクライの用法の使用時期については詳しい記述が見られない。

そこで、本研究では、CHILDESデータベース(MacWhinney 2000)に収録されている幼児の発話データからクライの例を収集し、クライの用法の使用時期に

差があるのかを調査した。本稿では、調査の結果、クライの用法について幼児の使用時期に差が見られることを報告する。

2. 調査方法

2-1 データ

本研究では、CHILDES データベース (MacWhinney 2000) に収録されている Ogawa コーパス (Ogawa 2016) と Noji コーパス (Noji 1973-77) の2人の幼児 (Ogawa コーパス: Ayumi, Noji コーパス: Sumihare) を対象として、幼児のクライの使用における用法を調査した。調査データは CLAN プログラムを使用して、Ayumi (Ogawa 2016) と Sumihare (Noji 1973-77) の全ファイル (Ayumi 00900-60100, Sumihare 00000-61100) を対象に、クライの発話頻度と発話行を検索した。

2-2 用法の分類

クライの意味について、奥津 (1986:66) は概数 ((4a)), 程度 ((4b)), 取り立て ((4c)) があることを指摘している。概数は数量をおよその数量として表すものを指し、程度は何らかの語の程度を表すものを指す。取り立てについて奥津 (1986) は沼田 (1986) に説明を任せており、その沼田 (1986:209-211) はクライの取り立てが最低限という意味を表すことを指摘している。

- (4) a. 1ヵ月100万ぐらいは楽に稼ぐ。
(cf. 奥津 1986:66, (2)1)
b. 軽工業はお話にならないくらい貧弱だ。
(cf. 奥津 1986:66, (3)5)
c. ウイスキーはわからないが、ビールくらい飲むさ。
(cf. 沼田 1986:210, (5))

また、日本語記述文法研究会 (2008, 2009) は、クライの意味について概数 ((1a)), 程度 ((1b)), 評価 ((1c)) の3つに分類している。日本語記述文法研究会 (2009:128) は、評価について、クライが評価を表す取り立て助詞であり、ある事柄に関して最低限のもの、当然のもの、最も当てはまりやすいものと話し手が考えるものを取り立てるのに用いられると述べている。

- (1) a. 概数用法:
体育館には、学生が30人くらいいた。
(cf. 日本語記述文法研究会 2009:136)

- b. 程度用法:
1歩もあるけないくらい疲れていた。
(cf. 日本語記述文法研究会 2008:246)
c. 取り立て・評価用法:
料理が苦手だと言っても、ゆで卵くらい作れるよね? (cf. 日本語記述文法研究会 2009:128)

これらを踏まえ、本研究では得られたデータを概数用法、程度用法、取り立て・評価用法の3つに分類した。沼田 (1986) が指摘する取り立てと日本語記述文法研究会 (2009) が指摘する評価の取り立ては共通しているため、取り立て・評価用法としてまとめた。

2-3 分類の手続き

CHILDES データベースの検索結果に対して手作業でクライの使用例を抽出し、歌の一部や親の発話の繰り返し、同音異義語を除外した。1度の発話で同じ語句を繰り返し発話している場合はその文全体で頻度1として加算した。なお、クライには同じ意味を表し交換できる形式としてグライがある (日本語記述文法研究会 2009:128)。そのため、グライはクライの異形態として扱って集計している。

用法の分類にあたっては、調査者がそれぞれの例を確認して各例の用法を判断した。主な判断基準は次のとおりである。「約／およそ」と言い換えられるものは概数用法とした。「ほど／程度」と言い換えられるものは程度用法とした (日本語記述文法研究会 2009:135)。「最低限／少なくとも」と言い換えられるものは取り立て・評価用法とした。言い換えで判断できないものは文の前後関係から用法を特定した。しかし、沼田 (1986:213) が「店を持つことは確かに難しい。しかし少し頑張れば2軒くらいは持てるようになる。」について、概数を表すとも取り立てを表すとも解釈できると指摘しているように、例のみで判断できない場合がある。その場合、CHILDES データベースに含まれる前後の文脈を踏まえて判断した。

3. 調査結果

3-1 各用法の使用開始時期

調査の結果、Ayumi においては概数用法が他の用法に先行していた。たとえば、(5a) の「十分くらい」、(5b) の「五千円くらい」といった概数用法は3;01から例が観察された。一方、(6a) の「中くらい」、(6b) の「これくらい」といった程度用法は3;03から例が観察された。

Ayumi の各用法の使用開始時期は図1に示す。

- (5) a. あと十分くらいかかるの。
(Ayumi, 3:01. 00)
b. 五千円くらいですよ。 (Ayumi, 3:01. 00)
- (6) a. 中くらいの花が咲きました。
(Ayumi, 3:03. 00)
b. 歩美ちゃんもう十四キロあるから、これくらい
大きくなった。 (Ayumi, 3:08. 00)

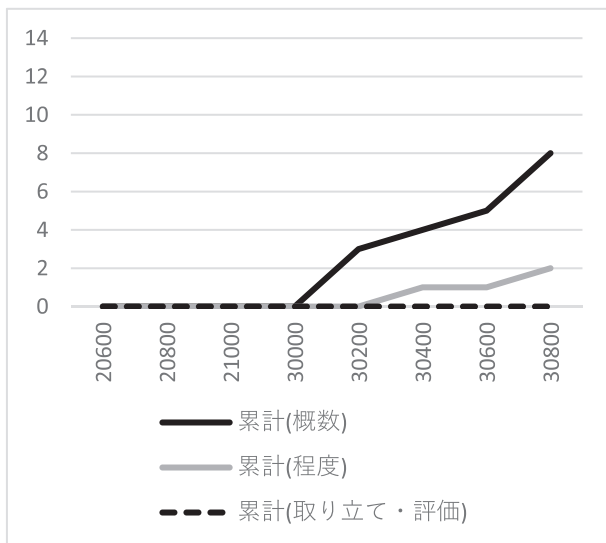


図1 クライの各用法の使用開始時期 (Ayumi)

Sumihare においても概数用法が他の用法に先行していた。たとえば、(7a) の「三つくらい」、(7b) の「三べんぐらい」といった概数用法は2:07から例が観察された。一方、(8a) の「少ーしぐらい」、(8b) の「どれぐらい」といった程度用法は2:08から例が観察された。ただし、概数用法の用例数が8例のみで少数であること、概数用法が先行したのは1例のみでその1例目と2例目に期間が空いていることから、Sumihare において程度用法よりも先に概数用法が習得されたかははっきりとしない。Sumihare の各用法の使用開始時期は図2に示す。

- (7) a. 僕三つくらい食べる。
(Sumihare, 2:07. 21)
b. 三べんぐらい。 (Sumihare, 3:02. 00)
- (8) a. 少ーしぐらいちようだい。
(Sumihare, 2:08. 00)

- b. お母ちゃん、アメリカのジープどれぐらい大きい？
(Sumihare, 2:10. 00)

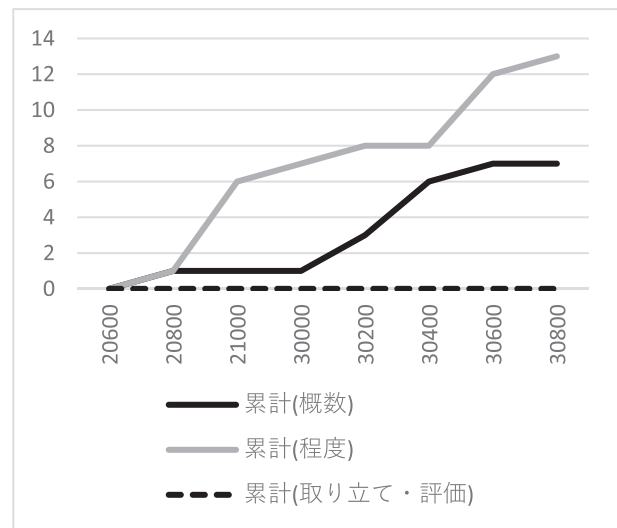


図2 クライの各用法の使用開始時期 (Sumihare)

概数用法と程度用法に対して、取り立て・評価用法は遅れて観察される。たとえば、Ayumi において(9)の「そのくらい」といった取り立て・評価用法は5:04から観察され、全データのうち1例しか観察されなかった。また、Sumihare においては取り立て・評価用法が1例も観察されなかった。

- (9) えー、そのくらいいいでしょ。
(Ayumi, 5:04. 00)

以上より、幼児のクライの使用において、概数用法は他の用法に対して概ね先行する傾向が見られる。また、取り立て・評価用法は概数用法と程度用法に対して遅れて使用され始める傾向が見られる。

3-2 程度用法の使用頻度

Ayumi においても Sumihare においても程度用法は概数用法よりも後に観察されるが、程度用法が最も多く観察された。図3と表1に示すように Ayumi において4:00は概数用法の累計数が13例、程度用法の累計数が9例であるが、4:02から概数用法の累計数が17例、程度用法の累計数が24例であり、4:02から程度用法の累計数が概数用法の累計数を超えて、以降、程度用法の累計数が最も多くなっている。Sumihare においては概数用法が2:07に1例、程度用法が2:08に1例、2:10で程度用法が6例となる。以降、図4と表2が示すように程度用法の累計数が最も多くなっている。

4. 結論と展望

本研究では、CHILDES データベースに収録されている Ayumi と Sumihare の発話を対象として、幼児のクライの使用における用法を調査した。その結果、概数用法が他の用法に対して概ね先行して使用され始めること、取り立て・評価用法は他の用法から遅れて使用され始めること、程度用法の使用が次第に増加して最も使用頻度が高いことが明らかになった。

成人の文法においてはクライの概数用法、程度用法、取り立て・評価用法のいずれも観察することができるが、幼児の文法においては概数用法から観察され、次に程度用法が観察され、最後に取り立て・評価用法が観察されるという順序が見られる。このような現象を観察・分析することは、幼児のことばの意味・用法がどのように拡張されていくのかを明らかにする手掛かりになりうる。本稿では、幼児のクライの用法に関するデータを報告したが、データの提示にとどまっている。どのような要因によって順序が発生し、どのように幼児のことばの意味・用法が拡張されていくのかについては今後の課題である。

参考文献

- (1) MacWhinney, Brian. 2000 *The CHILDES Project: Tools for analyzing talk*. Third Edition. Mahwah, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates.
- (2) 永野賢 1959 「幼児の言語発達について:主として助詞の習得過程を中心に」『ことばの研究1』, pp. 383-396. (国立国語研究所論集 <http://doi.org/10.15084/00001725>)
- (3) Noji, Junya. 1973-77 *Yooji no gengo seikatsuno jittai I-IV*. Bunka Hyoron Shuppan.
- (4) 日本語記述文法研究会 2008 『現代日本語文法6』, くろしお出版.
- (5) 日本語記述文法研究会 2009 『現代日本語文法5』, くろしお出版.
- (6) 沼田善子 1986 「形式副詞」奥津敬一郎・沼田善子・杉本武 『いわゆる日本語助詞の研究』, pp. 105-225, 凡人社.
- (7) 奥津敬一郎 1986 「形式副詞」奥津敬一郎・沼田善子・杉本武 『いわゆる日本語助詞の研究』, pp. 29-104, 凡人社.
- (8) 大久保愛 1967 『幼児言語の発達』, 東京堂出版.
- (9) Ogawa, Yoshiki. 2016 *Ogawa Corpus*. Pittsburgh, PA: TalkBank. doi:10.21415/T5H314

(2024年11月9日受理)

〔事例報告〕

ワイヤロープ引張試験治具の開発

石渡 萌乃佳*, 中山 周一*

*日本文理大学工学部航空宇宙工学科

Development of Wire Rope Grip for Tension Testing

Honoka ISHIWATARI*, Shuichi NAKAYAMA*

*Department of Aerospace Engineering, School of Engineering, Nippon Bunri University

1. はじめに

2024年度に採択にされた科研「ワイヤロープ破断の起点となる斜め波面を伴う延性破壊のメカニズム解明」（以下、本科研）で実施するワイヤロープ引張実験のために開発したワイヤロープ固定治具について報告する。

ロープを構成する素線（ワイヤロープを構成する鋼線の最小単位、通常、100本程度の素線からロープは構成される）の引張強度の総和に比べロープの引張強度が小さくなることは「より効率⁽¹⁾」として知られているが、その理由は明らかにされていない。これまでに本学では引張によるロープ破断の過程で最初の素線が破断した状態で試験を止めることに成功し、その素線破断面はロープが破断する際に多く認められるカップ&コーン破断とは異なっていることを学会発表している⁽²⁾。斜め破面はロープが引張荷重を受ける際、ロープ内部での素線同士の接触による圧縮が重畳されることで斜め破面が形成されたと考えられた⁽²⁾。この学会発表成果をベースとした本科研では、引張試験時の高精度荷重計測により素線破断を捉えることを計画しており、本治具が必要となる。

ワイヤロープ・ハンドブックによるとワイヤロープの端部処理は、合金止め（鋳込み）、圧縮止め（スリーブ）、アイスプライス（編み込み）、クリップ止め、くさび止め、樹脂止め、ワイヤグリップがあり⁽¹⁾、東京大学によるストランド引張試験では合金止め⁽³⁾、東京都立

産業技術研究センターの試験事例ではスリーブを用いた圧縮止め⁽³⁾が使われている。同書は、合金止めについて「標準通りの作業を行えば100%の締結効率を示し」とする一方、圧縮止めについては「締結効率が高く」としており⁽¹⁾、圧縮止めではワイヤロープの引張強度を若干下回る強度となる模様である。本学では前述の学会発表も含め、コストの観点を鑑み安価なワイヤクリップを使ってきたが、ワイヤクリップはロープに対して圧縮を与えるため、ロープの破断が固定端部を起点とすることが多いという問題がこれまでに判っている。締結効率100%の合金止めだが専門業者に依頼する必要がある利便性は劣る。対し、ワイヤクリップの締結効率は劣るが、自分たちで端止め加工が可能であり利便性は高い。

以上を踏まえ、科研でのロープ引張試験のための治具を以下の4つを目標に開発を行った。

要求①：治具間でロープを破断させること（治具部でロープが破断しないこと）

要求②：荷重計測値から素線切れを検知できること（治具にガタやすべりが無いこと）

要求③：ワイヤクリップと同等の利便性を有すること（自分たちでロープ交換が可能なこと）

要求④：安価であること（目標10万円未満）

2. 設計・製造

固定端のロープに圧縮を与えずにロープを固定する方法として円柱状の物体に巻き付ける方法が考えられる。

関連する事項に「捨て巻き」がある。捨て巻きとは、引張荷重が作用するワイヤロープをドラムに固定する際に必ず3巻き程度の捨て巻きを残して運用することを指す。ロープに加わった引張荷重は、捨て巻き部のワイヤロープとドラム間の摩擦力により減じられ、ドラムへのロープ固定部にはワイヤロープ引張荷重より小さな荷重しか作用しないようになる。2021年度卒業生の清水は、捨て巻きの理論を導出の上、同理論が正しいことを実験により検証した⁽⁴⁾。この成果によると円筒とロープの接触面の摩擦係数が0.1程度の場合、端部の引張荷重は巻き付け2周で約30%、3周では約15%まで低減することが期待される⁽⁴⁾。ある程度引張荷重が小さくなれば、クリップのようなもので圧縮を加えてロープを固定しても破断に影響を与えることはなくなると期待され、かつ、必要な圧縮も小さくなる筈である。以上から、ロープを円柱状の物体に巻き付けて固定する方式を採用した。

図1に示すような円筒をL型アンゲル材で挟んだ上で円筒にロープを巻き付け、L型アンゲル材を上下方向に貫通するボルトを試験機のチャックで挟む構想とした。チャックに挟むボルトとL型アンゲル固定部にモーメントが作用しないよう、ボルトの延長線が円筒に接する位置にボルトを置いた。円筒の位置決めは、L型アンゲル材にボルト固定された円盤を円筒に内接させることで実現する。円筒の廻り止めとしてキー等が考えられるが、要求②実現のため治具内にガタ要素を持ち込み

たくないので両アンゲルをボルトで締め上げ円筒との間の接触力を大きくし摩擦力で廻り止めとする。

円筒の直径は直径が大きいほうがワイヤロープの引張強度が小さくなる⁽⁵⁾という観点から大きい方がよいが、要求④からL型アンゲルは既製品を使いたい。入手可能な最大巾のL型アンゲルは100mmであった。円筒の断面全周をL型アンゲルに接触させようとする、円筒の直径がおおよそ80mm以下に制限されるため、L型アンゲルと円筒の接触は全周ではなく半周より大きい程度とし、円筒に内接させる円盤も、切り落とした形として円筒外径を約90mmとした。

以下、円筒、L型アンゲル材、ボルトの順番に各部件の説明する。円筒は、MISUMIのS45C相当 シームレスパイプ（外径89.1mm、内径69.1mm、長さ50mm）を使用し、外径はそのまま使うが内径は仕上げ加工を行うこととした。円盤と円筒の内接面にガタがあると要求②に対して悪影響を与える恐れがあるため、この接触面のはめ合い精度を高くする。円盤はMISUMIで穴あけ位置、円盤から切り落とす箇所を指定した加工を行った上で、円筒の内径は現物合わせで仕上げ加工を行うこととした。

L型アンゲル材は、既製品で入手可能なものから、横山テクノの幅100mm×高さ100mm×厚さ10mmの長さ140mm（S S400）を使用した。円筒を両端から押さえつけられるように円筒の直径よりL型アンゲル材の長さを140mmとした。高さは、ワイヤロープが巻きつけやすいように円筒以外の部品との隙間を確保する寸法になっている。L型アンゲル材の幅100mmだが、円筒の長さが50mmと短いので必要十分な幅にまで切り落としている。ボルトの穴をボール盤加工で行った。

引張試験機側のチャックと結合する丸棒には、M16×130mmで強度区分8.8、ネジ長さ44mmのボルトとS45Cのナットを使用している。ボルト頭近くまでネジを切った上でボルト頭を使ってL型アンゲル材2枚をナットで固定するか、ねじ切りされてる側をL型アンゲル材側に持っていく、ナット2つでL型アンゲル材の固定する方法の2通りが考えられるが、後者を採用した。このためボルト頭を旋盤加工で落とした。

円盤をL型アンゲル材に固定するボルトは、M12×20、強度区分8.8のボルトを円盤1枚につき2個使用した。強度区分8.8を使用したのは、引張試験機でかけられる荷重に耐えるためである。

円筒とL型アンゲル材の圧縮を高めるためにL型アンゲル材を押さえつけるボルトは当初、M6×70のボルトにして角4か所にとっていたが、試作段階で学内の万

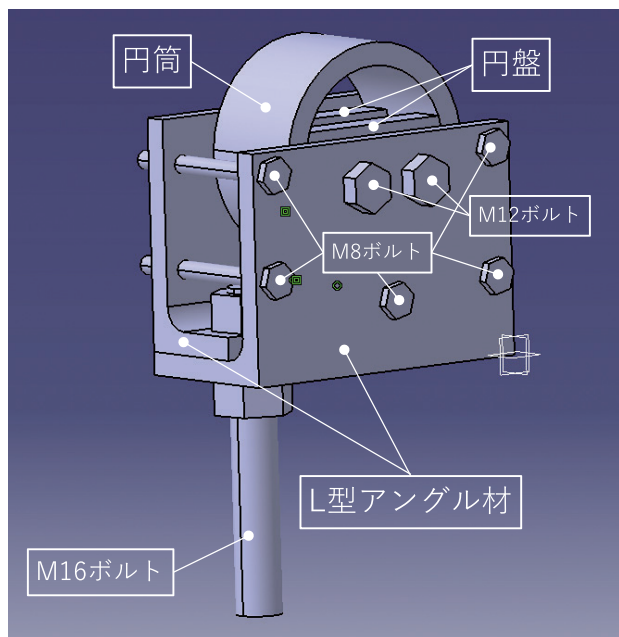


図1 ワイヤロープ固定治具

能試験機で引っ張った予備確認の段階でロープ引張荷重により円筒が回転した。円筒とL型アングルとの間の摩擦力を高める必要があると考え、M6をM8にサイズアップの上、本数も1本追加して5本とした。M6ボルトと異なり、M8ボルトでは締め上げる力によりアングルが面外変形してしまう場合があるので、トルクレンチを使用して締め上げている。

上記、設計及び製造の結果、ワイヤクリップと同様なボルト締めにより固定可能であるので、要求③を満足している。コストを表1にまとめる。製作費は約5万円であり、要求④を満足している。

表1 製作費（単位：円）

	数量	単価	合計	
円筒	2	4,283	8,566	既製品
L型アングル	4	1,340	5,360	既製品
円盤	4	7,610	30,440	特注品
ボルト(M20)	2	509	1018	既製品
ボルト(M8)	二式(6)	409	818	既製品
ボルト(M12)	二式(8)	409	818	既製品
ナット(M20)	一式(10)	609	609	既製品
ナット(M8)	一式(13)	429	429	既製品
合計(税抜)			48,058	

3. 結果

要求③の素線切れを検知するためには引張荷重を高精度で計測する必要があるが、本学所有の万能試験機ではできない。科研での引張試験は大分県産業科学技術センター（以下、センター）が所有する精密万能試験機（島津 AG-250kNXplus）を利用する。ただし、センターでの試験の前に本学が所有する万能試験機（株式会社東京衡機製造所の50TON 万能材料試験機）で事前確認を行った。

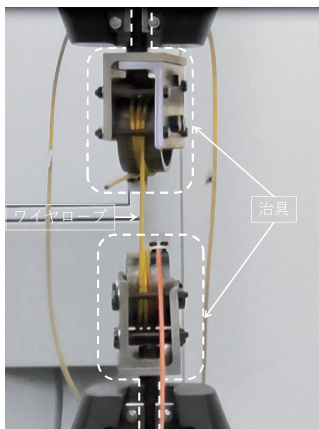


図2 引張試験の様子

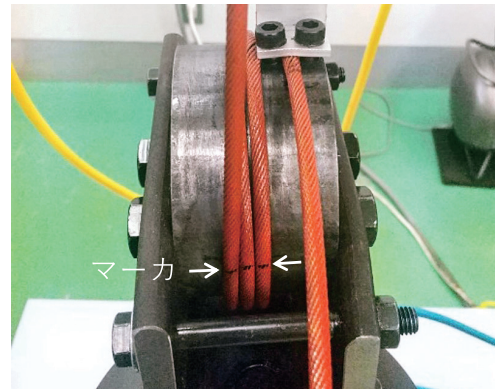


図3 試験治具の拡大図

事前確認でロープを引張破断させた結果、図7に示すように破断か所は治具間となった。巻き付け固定時に円筒を離れる場所にマーカを施しており、同マーカ位置から引張試験時の位置を特定している（実際には、引張によりさらにマーカ位置は広がっている）。

事前確認後、センターでの本番試験を実施した。図4上図は、ワイヤロープを引張試験して荷重が一時的に減少した時に試験を中止した時のグラフであり、図4下図は、図4上図の荷重が下がり素線破断が起こったと思われる場所を見やすいように拡大したグラフである。このグラフを見ると13500N～13600Nの間で荷重が一時的に減少している。素線1本が破断した可能性があると判断し、ここで引張試験を終了した。

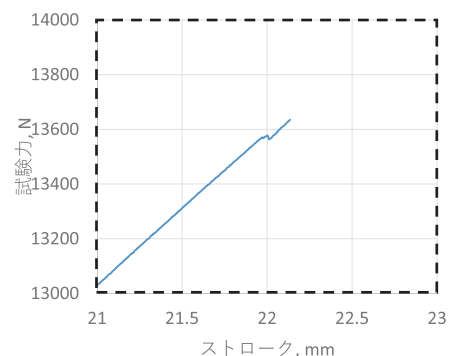
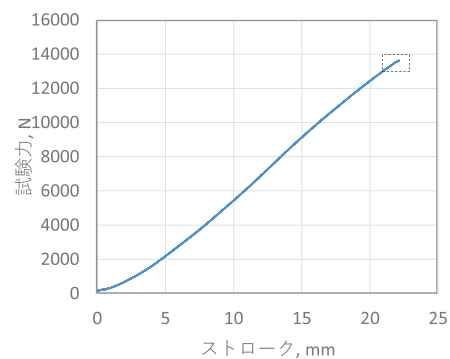


図4 ワイヤロープの引張試験の荷重変位グラフ

この供試ロープを X 線 CT に掛けたところ、治具間の部位で素線破断 1 か所が確認された (図 5)。治具間のロープは約 50cm あり、X 線 CT は一回当たり 4 cm しか取れないので治具間のロープをすべて見るには約 13 回の計測が必要となる。素線破断箇所は 3 / 13 回目で見つかったので素線破断箇所は治具の間にある。図 5 の四角で表されるところを拡大し並べたものを図 6 に示す。

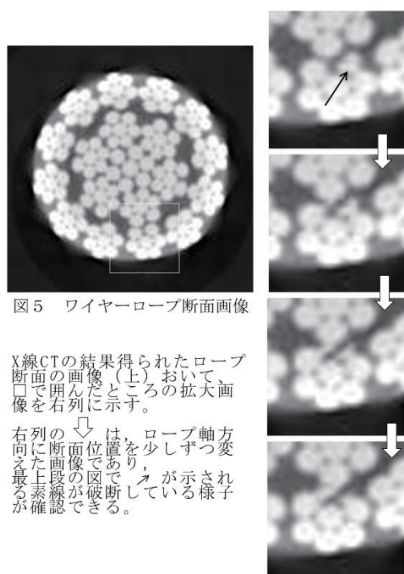


図 5 ワイヤロープ断面画像

X線CTの結果得られたロープ断面の画像(上)において、四角の箇所を拡大画像を右列に示す。
右列の断面画像は、ロープ軸方向を向いて撮影したもので、素線破断箇所が確認できる。

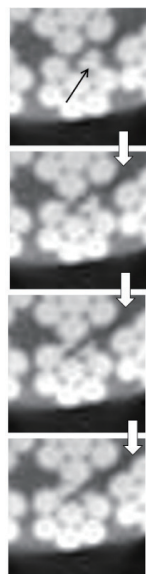


図 6 素線破断箇所一覧

以上、要求②と③を満足していることが確認された。

参考文献

- (1) ワイヤロープハンドブック編集委員会編 1995 「ワイヤロープハンドブック」日刊工業新聞社
- (2) 中山周一, 伊賀本響, 羽木克昌 2023「ワイヤロープの延性破壊」日本機械学会九州支部第76期総会講演会, D16
- (3) 東京都立産業技術研究センター <http://WWW.iritokyo.jp/uploaded/attachment/13660.pdf> (参照日 2024年11月11日)
- (4) 清水健太, 中山周一 2023「ウィンチドラムの捨て巻きの検証」日本文理大学紀要 51巻 1号
- (5) R. Budynas and K. Nisbett, Shigley's Mechanical Engineering Design 10th Edition (2014)

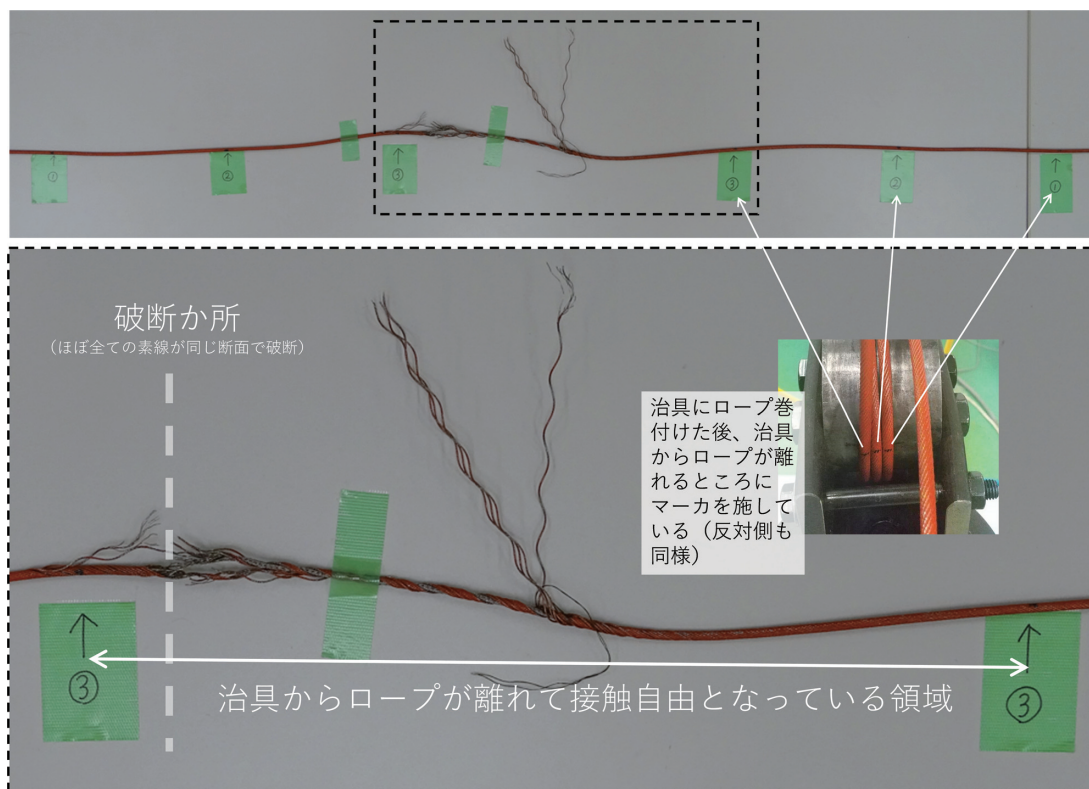


図 7 ワイヤロープ破断箇所拡大写真

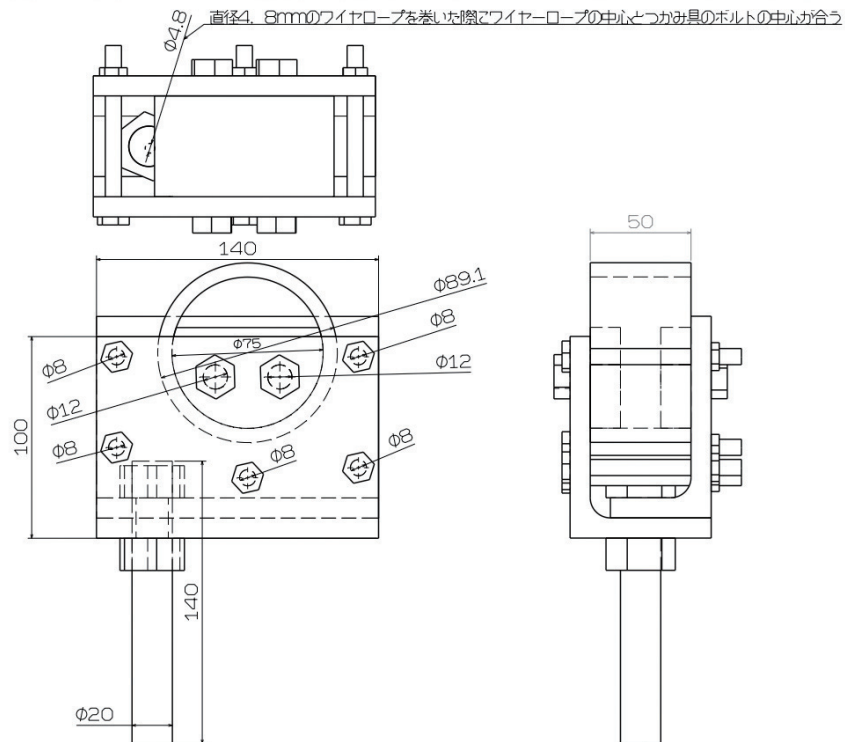


図8 実験治具 三面図
(※ワイヤロープ端止め部品は図3を参照。本図には記載されていない)

(2024年11月11日受理)

〔事例報告〕

保健医療学部1年次におけるブラッシュアップ講座 — 午前中の空きコマを利用した自学自習支援 —

岩崎 香子*, 野村 達八*, 長吉 美弥子*, 土肥 裕司*, 甲斐 倫明*

*日本文理大学保健医療学部保健医療学科

Brush-up Course for First-Year Students at the School of Health Sciences — Self-Learning Support Conducted during Free Periods in the Morning —

Yoshiko IWASAKI*, Tatsuya NOMURA*, Miyako NAGAYOSHI*,
Hiroshi DOHI*, Michiaki KAI*

*Department of Health Sciences, School of Health Sciences, Nippon Bunri University

1. はじめに

保健医療学部は2023年度に開設された新規の学部で、1学科に診療放射線学コース（放射）、臨床検査学コース（検査）、臨床医工学コース（医工）の3コースをもつ。4年間の教育課程で国家試験の合格を目指すため、各学年の学習内容が上位学年の土台となる積み上げ型の学修体系となっている。この過程で学生には専門領域を含めた膨大な医療関連の知識、十分な対人スキル、多角的な視野をもって活躍できる能力など、多くのことが求められる。しかしながら、学生の中には学習に関する課題を抱えているものも少なくない。入学当初は学習に対する意欲があるものの継続が難しい事例や、高校での学習意欲や学習スタイルをそのまま持ち込む事例など、結果として単位取得が困難となる学生が発生する。

また、「1年次前期」という時期は生活環境がこれまでと大きく変化することから、戸惑いや不安のある学生が多い。高校までと異なり科目選択によって登学時間が一定でないことやアルバイトなどの学外活動の時間が深夜に延長するなど、規則的な生活リズムを保つことが難しい場合も散見される。

2. ブラッシュアップ講座（BUC）実施に至った経緯

2023年度末に1期生（2023年度入学生）37名（30.1%）の学生が2024年度に1年次必修科目を再履修しなければならない状況が判明した。中には通年で7科目の再履修が必要な学生もいた。本学部では2年次に放射に35科目、検査に39科目、医工に30科目の専門必修科目が配当されており、これに1年次再履修科目が加わると学修の負担が大変大きくなる。また、2年次から3年次への進級要件やCAP制による履修登録数の制限を勘案すると、できるだけ配当された学年で単位を取得することが求められる。

一方、大学の時間割は科目選択によって空きコマを含む場合が多い。2024年度前期の時間割では専門必修科目を1限帯に配置するなどの配慮がとられたものの、午前中の時間がすべて埋まっている状況ではなかった。

2期生（2024年度入学生）を迎えるにあたり、学部長からの指示のもと学習支援委員会（学部独自の委員会）が対応について検討を開始した。基礎学力の補強については、既存の工学部、経営経済学部と同様に入学時のブレースメントテストの結果をもとに該当者が「基礎学力講座」を受講するが、2023年度の単位取得状況を鑑みる

と学部独自の対策が求められた。2期生ができるだけ配当年度に単位取得ができるように「早期に学習習慣を身に付けること」、「基礎学力の向上を図ること」、「規則的な大学生活のリズム獲得を促すこと」の3点を目標に援助策の検討を行った。163大学の新入生19,332人を対象とした調査では、高校時代の学力が低い層ほど授業外での学習時間が短いことが報告されていたことから⁽¹⁾、学内滞在時間の有効活用の一つとして、午前中の空きコマを利用した学習サポート講座（ブラッシュアップ講座：BUC）を計画した。

3. 結果および考察

3-1. 実施回数と参加状況

BUCは4月12日から7月24日までの計68回開催した。68回のうち、参加可能な日数は学生の科目履修によって異なる。BUC実施期間中の平均参加率（参加可能日数に対する参加日数の割合）は71.2%で、すべて参加した学生は10名、すべて不参加だった学生は1名だった。曜日ごとの参加率をみると、月曜・金曜と火曜・水曜・木曜の2パターンが示された。このパターンの違いは時間割の影響と考えられた。火曜・水曜は1限に専門必修科目（解剖学・生理学）が、木曜はBUC前後に教養必修科目（英語1）が入っており、この3曜日は学生がまとまって移動し、参加する様子がみられた。一方、月曜1限はメディア授業、金曜1限は選択科目であったことから、参加率が二峰性を示したと考えられた。

3-2. 課題提出状況

BUCでは委員会が準備した課題を提供した。参加率と課題提出率との関係を見ると、参加したほとんどの学生が課題提出を行っていた。BUCの課題配信と提出はGoogle Formで行ったためBUCの教室に居なくても取り組むことができたため、課題提出状況を加味した参加状況を表す指標（参加指標）を下記の式で算出した。参加指標の平均値は68.0%であり、平均参加率71.2%よりも低かった。課題提出率が低い傾向を示唆した。

参加指標 = $0.5 \times (\text{参加日数} + \text{課題提出回数}) / \text{参加可能日数}$

3-3. 成績との関連

3-3-1. BUC参加率と不合格科目数との関連

BUC参加率を3分位で分け、必修科目の不合格科目をもつ学生の割合を比較した（図1）。Group3（BUC参加率67%未満）では不合格科目をもつ学生の割合が

42.2%と、他の2つのグループよりも多いことが示された。



図1. BUC参加率別の不合格科目の有無
グラフ中の数字は人数。緑：不合格科目なし、赤：不合格科目あり。Group1：BUC参加率85%以上、Group2：BUC参加率67%以上～85%未満、Group3：BUC参加率67%未満。

BUC参加率で3群に分けた場合、Group3に不合格科目をもつ学生の割合が高かったことからグループ間で基礎学力に違いがあるかを検証した。基礎学力講座の受講対象となるプレースメントテスト結果の点数（国語：550点、数学：552点）で分けると、国語ではGroupによる差はなかったが、数学ではGroup1に基礎学力が低い学生の割合が多かった。しかしながらGroup3に不合格科目をもつ学生が多かったという要因に基礎学力が関係するという証拠は得られなかった。不合格科目数別に参加率を見た場合も不合格科目をもつ学生はBUC参加率が低く、2科目以上になるとその傾向が強いことが確認された。

BUC参加率と前期GPA値との関連、必修科目の出席状況とBUC参加率との関連についてもデータを整理したが、BUC参加率の低い学生はGPAが低く、必修科目の欠席数も多い傾向にあることが確認できた。

これらの結果から前期科目の単位取得には入学時の基礎学力は影響せず、継続的に学習を行う習慣を獲得することが成果（不合格科目なし、高GPA値）に繋がると考えられた。

3-3-2. 2023年度と2024年度の不合格割合の比較

ユニバーサルパスポートから1期生および2期生の前期不合格科目名と数を抽出・集計し、BUCの効果を検討した。表1に示すように不合格科目をもつ学生の割合は4.7ポイント（率にして20%）減少した。

表1. 不合格科目をもつ人数(割合)

	1期生 (2023年度入学)	2期生 (2024年度入学)
不合格者数(割合)	29名(23.0%)	25名(18.3%)
不合格科目2科目以上の学生数(割合)	17名(13.5%)	15名(11.0%)
最大不合格科目数	8科目	9科目

科目別に不合格者割合を算出して年度比較を行った。専門必修科目では生理学の不合格者割合が9.6ポイント(率にして45%)減少した。解剖学は3.3ポイント(率にして17%)、医学概論は0.1ポイントの減少であった(図2-1)。教養必修科目のうち、情報リテラシー1で9.5ポイントの減少がみられた。それ以外の教養必修科目では0.1~0.3ポイントの減少であった(図2-2)。基礎学力講座(国語)では7.4ポイント、基礎学力講座(数学)でも6.6ポイントの減少がみられた(図2-3)。選択科目についても調べたが、力学リテラシーで15ポイント、生物リテラシーで0.7ポイントの増加であった(図2-4)。

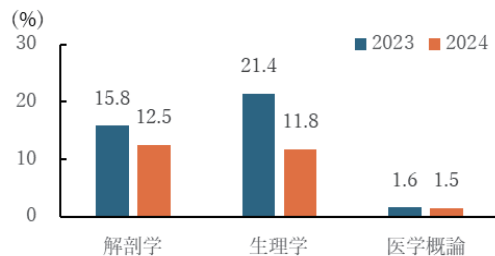


図2-1. 年度別・科目別の不合格者割合(専門必修科目)

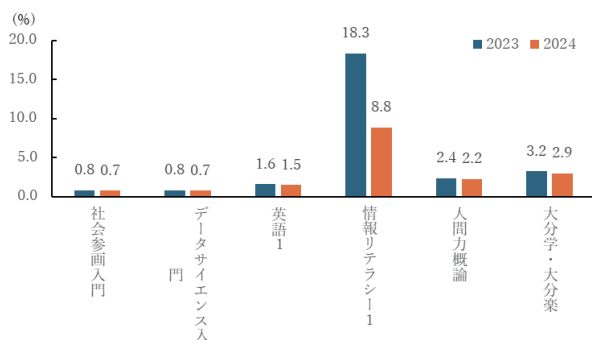


図2-2. 年度別・科目別の不合格者割合(教養必修科目)

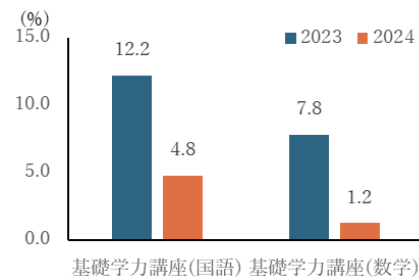


図2-3. 年度別・科目別の不合格者割合(基礎学力講座)履修該当者数に対する割合で表示。

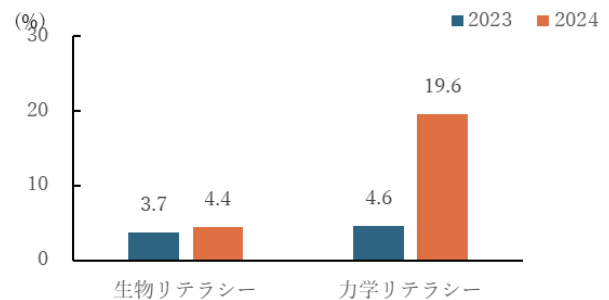


図2-4. 年度別・科目別の不合格者割合(選択科目)

「解剖学・生理学」の単位取得に対するBUCの効果の違い

BUC参加率が高いと成績が高い傾向が示されている。この傾向を前提に考えると、解剖学と生理学のそれぞれのBUC参加率に違いがあることが予想されるが、両者の不合格者の参加率の分布に有意な違いは認められなかった。 $(p=0.2, \text{Fisher 正確確率検定})$ 。プレースメントテストの結果を用いて基礎学力が両科目の合格率に影響しているかについても検証したが、いずれも影響していないことが確認された。解剖学と生理学の不合格率の違いがBUC参加率の違いや基礎学力の違いによるものでないとすれば、生理学の「機序の理解に重点を置く」という科目の特徴に対して、BUCでの学習が効を奏した可能性が考えられた。加えて、基礎学力講座(数学)の受講者は曜日設定の都合でBUCに参加できない期間が存在した。BUCで扱った解剖学領域の回数は13回で、1Qに基礎学力講座(数学)を受講すると7回参加できない。解剖学不合格者のうち41.1%が基礎学力講座(数学)の履修者だったことを考えるとBUCで扱った解剖学の学習機会そのものが少なかったことが影響している可能性も考えられる。

「情報リテラシー1」,「基礎学力講座」不合格者割合の減少

BUCでは「情報リテラシー1」や「基礎学力講座」に直接かかわる内容は扱っていないが、課題提出後の残りの時間（30～60分）にこれらの科目の自己学習をしている学生が多く見受けられた。教室に滞在した委員会メンバーがこれらの科目に関する質問を受けることも多かったことから、個別支援の効果かもしれない。

「力学リテラシー」不合格者割合の増加

「力学リテラシー」の受講者割合を見ると2023年度50.0%, 2024年度75.0%と、2024年度は多くの学生が履修していた。各年度の受講者の数学の基礎学力の分布を整理すると（図2-5）、数学の基礎学力が低い学生（Group3・4）の割合が23.8%から56.9%と33.1ポイント増加していた。また、2024年度の不合格者のうち、6名は欠席が規定回数を超えたため受験資格を失っていた。2024年度履修者の中で数学が不得手な学生が履修したことが不合格者割合増加の一因かもしれない。「力学リテラシー」では数学以外に物理の知識も求められることから、物理の基礎学力や困難感なども影響している可能性がある。

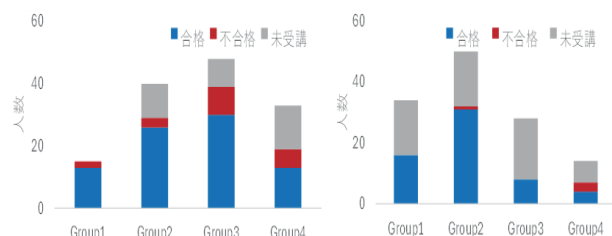


図2-5. 「力学リテラシー」の受講内訳
ブレースメントテスト(数学)の点数で4グループに分類。
青：合格，赤：不合格，灰色：未受講（受講対象外）。
Group1：数学600点以上，Group2：数学552点以上，
Group3：数学510点以上，Group4：数学510点未満。
Group3およびGroup4は基礎学力講座（数学）の受講対象。

3-4. 学生アンケートの結果

BUC終了前に行ったアンケートでは、参加対象者136名中132名の回答が得られた。BUCの満足度を5件法で尋ねたところ、「満足」と答えた学生は全体の94.7%, うち60.6%が「高満足」と答えた。曜日別にみると火曜・水曜が高値であった。満足度の回答理由を17の選択肢から複数回答可として選んでもらったところ、「時間の使い方」,「コミュニケーションの場」,「単位取得との関係」の3カテゴリーでBUCを好意的に捉えていた学生で満足度が高いことが示された。

3-5. 学生とのかかわり

BUC教室に滞在した委員会メンバーは、質問の対応や参加学生への声掛けを行った。声掛けは、一人で参加している学生、質問しづらそうな学生、数人で話しながら課題に取り組んでいるが問題が解けない様子の学生を対象とした。「生理学」や「数物の基礎」に関する質問が多かったが、正解に導くような問いや説明を与えると、問題が解けたときの喜びの表情や反応の声が大きかった。教員からの声掛けで様々な反応がみられたが、友達同士で意見を出し合う、質問するなどといった学習行動がさらに促進された。

4. 2024年度の総括

BUCは単位化された講座でなく不参加の場合も履修科目のような対応(注意・呼び出し等)はしなかったが、学生の多くが本講座の目的を理解し、積極的に参加した。学生は「友達と一緒に課題を解決する」,「教員にコンタクトすることを躊躇わない」といった経験を踏まえながら能動的な学習を繰り返すことで単位取得へのモチベーションを維持することができた。また、BUCで扱う内容は単位に直結する領域であると学生が認識しやすく、参加率、満足度ともに高いことが確認できた。結果としてBUC参加率と単位取得に関連がみられたことから、学習機会の提供や学習習慣を身に付けるための援助はできたと考える。

一方、科目履修の状況により全員が同じ回数を参加できる条件ではなかった。委員会が準備する課題の量や難易度に関して検証できなかった点とともに、BUC実施の時間帯や学習領域の曜日配置、参加率の低い学生への対応などは今後の検討課題である。

また、BUCの運営は学習支援委員会の5名で行ったが、課題の準備や教室での学生対応に多くのマンパワーを必要とした。今回の結果をもとに、マンパワーの効率化をすすめることとともに、BUC実施に対する学部教員の理解や援助が得られる環境を作ることも必要である。

5. 実施内容

5-1. 対象者

BUCの参加対象者は2限帯に履修科目のない2期生（2024年度入学生）とした。木曜2限帯は放射と医工の学生が教養必修科目（英語1）を履修するため、この2コースの学生は木曜1限帯をBUCの時間とした。

5-2. 実施方法と内容

BUCの企画・運営は学習支援委員会が行った。4月に委員会主催のオリエンテーションを行い、対象者にBUCの目的や実施内容を説明した。併せて個人パソコンのツール設定(Gmail, Classroom登録)やG-mailの送受信体験, Classroomからの資料入手や課題提出などを体験させた。

BUCは曜日ごとに学習内容を設定して課題を準備した(表2)。学習領域や課題は1年前期の必修科目や選択科目と関連の深い領域とした。BUCを行う教室を確保して時間割に記載してもらうことで、学生が場所の確認ができるようにした。学生は指定された教室で課題に取り組み、課題提出後は個々の自己学習を行った。

委員会はユニバーサルパスポートの履修科目登録情報から曜日ごとに参加可能者の名簿を作成し、BUC時間内に対面で参加状況を確認した。課題の提出状況は曜日ごとに設定したBUCのClassroomで確認した。

5-3. 解析に用いたデータ

BUCの参加日数、課題提出数に加え、学生個々の前期の不合格科目名、科目数、科目別欠席数、前期GPA値をユニバーサルパスポートから収集した。BUC実施効果を検討するために1期生(2023年度入学者)の1年前期の不合格科目名、科目数の情報も収集した。両年とも入学後に行われたブレースメントテストの結果を基礎学力として扱った。

BUC終了前に対象者に対して「BUCに対する満足度」に関するアンケート調査を行った。満足度(全体ならびに曜日別)、満足度の理由を質問した。

参考文献

- (1) 山田礼子. 2012. 大学の機能分化と初年次教育－新入生像をてがかりに. 日本労働研究雑誌, 629: , 31-43

表2. 曜日別の学習領域と課題

曜日	学習領域	課題
月	数学・物理の基礎	「力学リテラシー」の教科書の練習問題と委員会が準備した類似問題
火	解剖学	1限(解剖学)で学習した内容の練習問題
水	生理学	1限(生理学)で学習した内容の練習問題
木	医学概論の学習と関連する内容	医学史、解剖学、生理学の内容を含む一般書「すばらしい人体」(ダイヤモンド社)の各章を読んで内容を要約する
金	生理学に関連する生物学	委員会が準備した課題に対して文章で説明する

日本文理大学紀要

第 53 卷 第 1 号

令和 7 年 3 月 28 日 発 行

編 集 日本文理大学紀要編集委員会

発 行 日 本 文 理 大 学

大分市大字一本 1727-162

TEL (097) 524-2711(図書館)

FAX (097) 593-5166

印 刷 株式会社 佐伯コミュニケーションズ

大分市広瀬町 2 丁目 3 番 21 号

TEL (097) 543-1211(代表)

[Study Notes]

Progress Report on Mechanical and Electrical Fusion Project “Electric Vehicle (Kart) Production”

— Fourth Report (CQEV Mini Kart Race Kyusyu Tournament 2024

and Activities in the Third and Fourth Year) —

Daisuke WAKABAYASHI, Yusuke TANAKA, Rei TAKAKI, Ryo SHIMIZU..... 27

Inclined Fracture of Wire in Wire Rope

Shuichi NAKAYAMA 37

SSU Learning Classroom Practices to Improve Engineering Students’ Sense of Difficulty in Producing Writing

Miho SAKAI, Yusuke TOJI, Chikako FUCHIGAMI 41

Analysis Method for Periodical Time Waveforms

Manabu FUKUSHIMA, Hibiki TOKUTOMI, Kanato MIYATA 47

Usage Trends of *Kurai* in Young Children

Yusuke TOJI 55

[Case Reports]

Development of Wire Rope Grip for Tension Testing

Honoka ISHIWATARI, Shuichi NAKAYAMA 61

Brush-up Course for First-Year Students at the School of Health Sciences

— Self-Learning Support Conducted during Free Periods in the Morning —

Yoshiko IWASAKI, Tatsuya NOMURA, Miyako NAGAYOSHI, Hiroshi DOHI, Michiaki KAI 67

CONTENTS

[Papers]

School of Engineering

A Micro Aerial Vehicle's Attitude Motion Estimation

Using Properly Configured Image Characteristics and a Rigid-Body Model

Koki FUJITA, Hiroto NAGAI, Shuji NAGASAKI, Yutaka KINJYO 1

School of Business and Economics

Significance and Potential of Deliberation-Based “Period for Inquiry-Based Cross-

Disciplinary Study” for Promoting Citizenship Education

— Focusing on the Development of Citizens and Global Citizens through ESD —

Yuji SAITO..... 9

A Semantic and Pragmatic Analysis of Japanese EFL Learners' Use of Let-Causatives

Martin TESHOME 19