

*Research Reports of
National Institute of Technology, Tokyo College
No. 53, Mar. 2022*

東京工業高等専門学校
研 究 報 告 書



第 53 号

2022. 3

目 次

有向グラフにおける隣接行列の余因子展開に対応するグラフの操作	南出 大樹, 柏原 藍	1
数学相談室・補講等フォローアップの実施報告と今後の展望 安富 義泰, 井口 雄紀, 小中澤 聖二, 佐々木 優, 波止元 仁, 南出 大樹, 市川 裕子		8
遠隔授業と対面授業との関連 ー アンケートから見える遠隔方式の長所と短所 ー	波止元 仁	18
東京高専ウェルネスセンター(学生相談室)のソーシャルワーカー活用実践報告 ー コーディネーターとの連携から、学生支援及び支援チームの組み立てを考える ー	船戸 美智子, 前嶋 深雪	25
y-x グラフの可視化へ向けた単振動の実験器の製作 ー 正弦波的な信号源の制御・開発と駆動装置の模索 ー	藤井 俊介	35
Manifestation of Alignment on a Japanese Online Discussion Forum	Sakurako HIROIKE	49
数学総合演習への学生のニーズと今後に向けた改善	小中澤 聖二, 安富 義泰	58
COVID-19 流行時の高専におけるストレスマネジメント教育の試み ー 計量テキスト分析によるプログラム評価 ー	八田 直紀, 黒田 一寿	68
東京高専における遠隔授業の取り組み ー 文系科目(英語, 社会, 国語)を例として(2) ー	鈴木 慎也, 小林 礼実, 青野 順也	76
遠隔授業におけるオンライン形式ワークショップの導入と評価 ー 対面形式ワークショップとの比較による検討 ー	黒田 一寿	86
透析治療用止血バンドのずれ防止具の開発	齊藤 浩一, 森 悠人	95
教育用塑性加工シミュレータの開発	小泉 隆行	101
情報共有モバイルマルチホップネットワーク 田中 晶, 中村 悠哉, 内田 恭矢, 河村 碧生, 栗原 秀弥, 坂本 蒼樹, 寺川 優汰, 本間 玄太, 三國 蒼介		108
八王子、多摩地域の湧水や地下水の化学分析とバイオマス生産への影響調査 庄司 良, 栗原 佳奈		117
コロナ禍における『はざまる工房』の公開講座への積極活用 中村 源一郎, 熊澤 匠真, 向川 拓臣, 永吉 真知子, 松岡 敏, 羽鳥 広範, 新田 武父, 庄司 良, 玉田 耕治		125

CONTENTS

Operations on Digraphs Corresponding to the Cofactor Expansion Hiroki MINAMIDE, Ai KASHIHARA	1
Report on Implementations of Counselling Services and Supplementary Lessons in Math and their Future Prospects Yoshiyasu YASUTOMI, Yuki IGUCHI, Seiji KONAKAZAWA, Yuuki SASAKI, Jin HATOMOTO, Hiroki MINAMIDE, Yuko ICHIKAWA	8
The Relation Between Remote and Face-to-Face Classes — Merits and Demerits of Remote Teaching Methods from Questionnaires — Jin HATOMOTO	18
A Report on the Effective Use of a School Social Worker in the Wellness Center at the National Institute of Technology, Tokyo College — Cooperation with the Coordinator about Student Support and the Assembling of the Support Team — Michiko FUNATO, Miyuki MAESHIMA	25
Realizing Harmonic Oscillation (H.O.) Instruments for Education — Development of Wave Sources and H.O. Driving Instruments — Shunsuke FUJII	35
Manifestation of Alignment on a Japanese Online Discussion Forum Sakurako HIROIKE	49
Needs of Students for the Comprehensive Exercises in Math and Improvements for the Future Seiji KONAKAZAWA, Yoshiyasu YASUTOMI	58
Stress Management Education in a KOSEN during the COVID-19 Epidemic — Program Evaluation by Quantitative Text Analysis — Naoki HATTA, Kazutoshi KURODA	68
Practice, Advantages, and Problems of Online Classes at the National Institute of Technology, Tokyo College; English, Social studies, Japanese : Part II Shinya SUZUKI, Remi KOBAYASHI, Junya AONO	76
Introduction and Evaluation of Online Workshops in Remote Classes — Through Comparison with Face-to-Face Workshops — Kazutoshi KURODA	86
Development of a Slip Preventer for a Dialysis Hemostatic Band Hirokazu SAITO, Yuto MORI	95
Development of Metal Forming Simulation Software for Educational Use Takayuki KOIZUMI	101
Effective Information Sharing Mobile Multihop Networks Akira TANAKA, Yuya NAKAMURA, Kyouya UCHIDA, Aoi KAWAMURA, Shuya KURIHARA, Aoki SAKAMOTO, Yuta TERAOKA, Genta HONMA, Sousuke MIKUNI	108
Chemical Analysis of Spring Water and Groundwater in the Hachioji and Tama Areas and Investigation of their Effects on Biomass Production Ryo SHOJI, Kana KURIHARA	117
Active Use of “Hazamaru Kobo” for Open Lecture During COVID-19 Gen-ichirou NAKAMURA, Takuma KUMAZAWA, Takumi MUKOUGAWA, Machiko NAGAYOSHI, Satoshi MATSUOKA, Hironori HATORI, Takenori NITTA, Ryo SHOJI, Koji TAMADA	125

有向グラフにおける隣接行列の余因子展開に対応するグラフの操作

南出大樹*, 柏原藍**

グラフの固有値を求める過程において, 隣接行列の固有多項式を求める必要がある。しかし, グラフが複雑になるほど, その計算は困難となる。そこで, 余因子展開に対応するグラフの変化を考察し, 視覚的な理解を試みた。本稿では, これを操作として用いることで, 隣接行列の余因子展開という代数的演算を経由せずに幾何学的な操作のみで固有多項式が求まることを示す。

(キーワード: 有向グラフ, 隣接行列, 余因子展開, 固有値, グラフ操作)

Operations on Digraphs Corresponding to the Cofactor Expansion

Hiroki MINAMIDE*, Ai KASHIHARA**

In the process of finding the eigenvalues of a graph, it is necessary to find the characteristic polynomial of the adjacency matrix. However, the more complex the graph is, the more difficult it becomes to calculate. To solve this problem, we considered the change of the graph corresponding to the cofactor expansion. In this note, we introduce that the characteristic polynomial can be obtained by only geometric operations.

(Keywords: Directed Graph, Digraph, Adjacency Matrix, Cofactor Expansion, Eigenvalues, Operation)

1 序論 -各種定義-

1.1 グラフとは

数学のグラフ理論とよばれる分野では, 対象の相互関係を表した図形を扱う。ここで対象とは, 頂点と呼ばれる抽象物であり, 互いに関係のある頂点の対は辺と呼ばれる。点または丸で表した頂点の集合に線または矢印で辺を描き加えた図形をグラフという。

辺には無向辺と有向辺の 2 種類が存在する。例えば, 頂点を人だとして, 知り合い同士に辺を結ぶと, 無向グラフが生成される。また, Twitter のアカウントを頂点として, フォローしているアカウントに向かって有向辺を結ぶと有向グラフが生成される。

抽象的に, グラフ G は順序対 $G = (V, E)$ で表現される。ここで V は頂点を要素とする集合である。また, E は頂点の対から成る集合とし, その要素を辺と呼ぶ。 $x \neq y$ に対して $(x, y) = (y, x)$ とする時は無向グラフ, (x, y) と (y, x) を区別する時は有向グラフとなる。これより, 頂点 i から頂点 j の向きの辺を辺 $i \rightarrow j$ と表す。また, 辺 $i \rightarrow i$ のように, 同じ頂点から辺が出入りしていることをループと呼ぶ。辺は頂点 x と y を結び, x や y に「接続する」と言い表す。

1.2 隣接行列

隣接行列は, 有限のグラフを表すために使われる正方行列である。この行列の要素は, 頂点の対が隣接しているか否かを示す。グラフとその隣接行列の固有値および固有ベクトルとの間の関係はスペクトラルグラフ理論において研究される。本稿では, 表現の簡略化のため, 隣接行列に関して一般的に用いられない次のような定義を採用する。

定義 1.1. 頂点の集合を $V = V_0 \cup V_1$, $V_0 \cap V_1 = \emptyset$ とし, $v_0 \in V_0$ に対してのみループ $v_0 \rightarrow v_0$ を認める。グラフ (V, E) に対応する隣接行列 A とは, その成分 a_{ij} を次で定める $\#V$ 次正方行列である。

$$a_{ij} = \begin{cases} 0 & i = j, i \in V_0, i \rightarrow i \notin E \\ 1 & i = j, i \in V_0, i \rightarrow i \in E \\ -\lambda & i = j, i \in V_1 \\ 0 & i \neq j, i \rightarrow j \notin E \\ 1 & i \neq j, i \rightarrow j \in E \end{cases}$$

本稿では視覚的に, V_0 の要素を $\circ$, V_1 の要素を $\bullet$ と表す。また, $V_0 = \emptyset$ である時には, この隣接行列の行列式は, 通常の意味での固有多項式と一致することに注意しておく。

例 1.2. 図 1 に示すグラフの固有多項式は,

$$\det(A) = \lambda^4 - 1$$

となる。

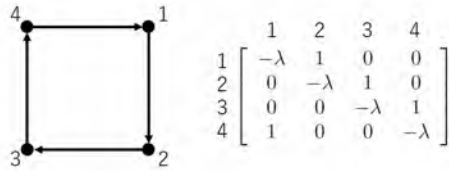


図 1 4 角形での例

1.3 頂点の除去

頂点 $v \in V_1$ を除去するとは, v を V_0 に移す操作である。($v \in V_0$ であった場合は, 何もしない。)

1.4 辺の縮約

辺 $i \rightarrow j$ の縮約とは, 辺 $i \rightarrow j$ を消して, 頂点 i と頂点 j を同一視する操作のことを指す。図 2 に, 赤色の辺を縮約した様子を示す。後に説明するグラフ操作では, 両端が V_0 の要素であるような辺の縮約しか扱わない。

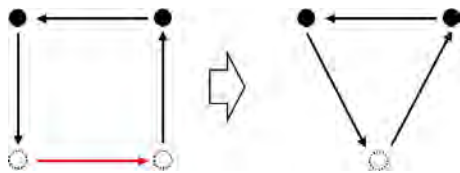


図 2 辺の縮約

ここで, 辺 $i \rightarrow j$ 縮約後の頂点 i, j のラベルは $\min(i, j)$ とするよう約束しておく。

1.5 本稿で扱うグラフの条件

先の定義に従うと, 2 頂点間に存在する同じ向きの辺は高々 1 本である。また, V_1 に含まれる頂点に関するループも定義から外れる。そのため, 図 3 に示すようなグラフは扱わない。



図 3 本稿では扱わないグラフの例

また, 図 4 左のグラフのように 4 辺が 1 頂点を共有していてもどの 2 頂点間にも同じ向きの辺が高々 1 本であったり, 右のグラフのように V_0 に含まれる頂点に関するループを持つグラフは条件を満たす。



図 4 本稿で扱うグラフの例

これより述べるグラフ操作は, 3 つの手順により構成される。初めに, 余因子展開を行う行や列に対応するように, 橙色で示す着目点や着目辺を決定する。次に, 着目点の除去や着目辺の縮約を行うと同時に展開によって消える成分に相当する頂点や辺をグラフ上から除去する。最後に着目点の除去や着目辺の縮約回数から固有多項式を求めるという流れである。着目点や着目辺を決定する際に, グラフがいくつか複製される場合があるが, それぞれのグラフの行列式を求めた後に, 適切な係数をかけたものを足し合わせることで, 元のグラフの固有多項式を求めることができる。

2 余因子展開とグラフの変化

ここでは例として, 図 5 に示す有向グラフの固有多項式を余因子展開により計算し, それに伴うグラフの変化を考察する。初めに, 第 6 行に関する展開を行う。

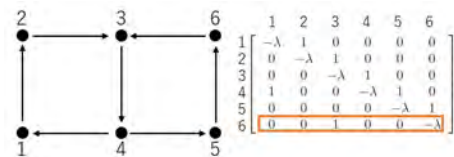


図 5 4 角形を 2 つ連結させた有向グラフ

図 6 では, 第 6 行の 0 でない成分に対応する 2 つのグラフを複製し, それぞれの成分に対応する点や辺を橙色で示した。これらは余因子展開の際に係数となる成分であり, 着目点および着目辺と呼ぶ。また, 水色で示した成分は小行列を作る際に消される成分である。

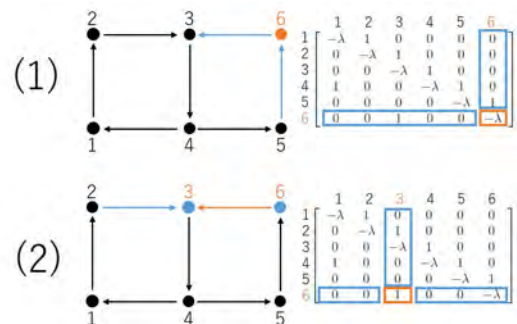


図 6 ステップ 1

以上で得た分岐に従って, それぞれの行列式を計算していく。

2.1 分岐 (1)

2.1.1

図 6(1) の項は, 次のように計算される。

$$(-1)^{6+6}(-\lambda) \begin{vmatrix} -\lambda & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\lambda & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\lambda & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & -\lambda & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -\lambda \end{vmatrix}$$

この行列式は, 図 6(1) の頂点 6 (橙色の着目点) と頂点 1 に接続する辺 (水色) を消したグラフの隣接行列の行列式に $(-1)^{6+6}(-\lambda) = -\lambda$ を掛けたものと完全に一致している。

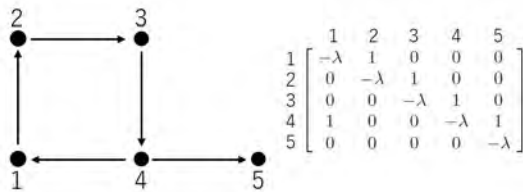


図 7 ステップ 2

2.1.2

その後, 図 7 における行列に対して, 第 5 行に関する余因子展開を行うと次の行列になる。

$$(-1)^{5+5}(-\lambda) \begin{vmatrix} -\lambda & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -\lambda & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -\lambda & 1 \\ 1 & 0 & 0 & -\lambda \end{vmatrix}$$

この行列式は, 先程と同様に, 図 8 の頂点 5 (橙色の着目点) と頂点 5 に接続する辺 (水色) を消したグラフの隣接行列に $(-1)^{5+5}(-\lambda) = -\lambda$ を掛けたものと完全に一致している。一連の操作後, 頂点 1, 2, 3, 4 を用いた 4 角形 (例 1.2) が残ったことが分かる。

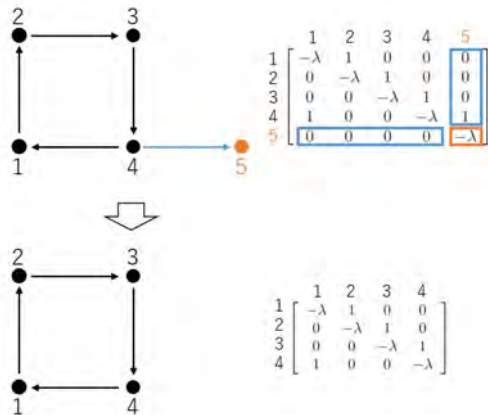


図 8 ステップ 3

2.2 分岐 (2)

2.2.1

図 6(2) の項は, 次のように計算される。

$$(-1)^{6+3} \begin{vmatrix} -\lambda & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\lambda & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & -\lambda & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\lambda & 1 \end{vmatrix}$$

この小行列は, 図 6(2) のグラフに対して, 頂点 3, 6 と辺 $2 \rightarrow 3$ (水色) を除去し, 辺 $6 \rightarrow 3$ (橙色の着目辺) を縮約して作られた図 9 のグラフの隣接行列に, 列の基本変形を 2 回行うことで一致する。この基本変形によって, $(-1)^2$ が掛けられるため, それぞれの行列式は等しい。よって, 余因子展開で現れる項は, 図 9 に示した隣接行列の行列式に $(-1)^2(-1)^{6+3} = -1$ を掛けたものと一致している。

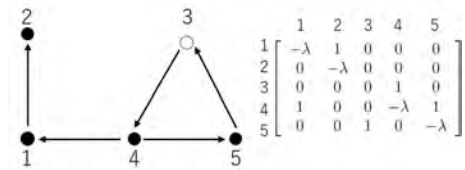


図 9 ステップ 4

2.2.2

続いて, 図 9 のグラフの隣接行列を第 3 列に関する余因子展開を行うと, 次の項を得る。

$$(-1)^{5+3} \begin{vmatrix} -\lambda & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -\lambda & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & -\lambda & 1 \end{vmatrix}$$

この小行列は, 図 10 において, 頂点 5 (水色) を除去し, 辺 $5 \rightarrow 3$ (橙色の着目辺) を縮約してできたグラフの隣接行列に, 列の基本変形 1 回行行行ったものに等しい。そのため, 先に述べた項は, 図 10 に示した隣接行列の行列式に $(-1)^1(-1)^{5+3} = -1$ を掛けたものと一致している。

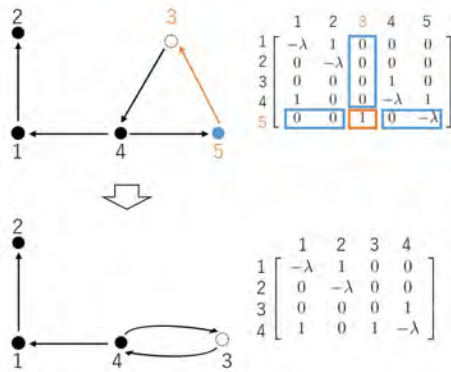


図 10 ステップ 5

2.2.3

さらに、図 10 下のグラフの隣接行列に対して第 3 列に関する余因子展開を行うと、次の項を得る。

$$(-1)^{4+3} \begin{vmatrix} -\lambda & 1 & 0 \\ 0 & -\lambda & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

この行列式は、先程と同様に、図 11 において、頂点 4 と辺 $4 \rightarrow 1$ (水色) を除去した上で、辺 $4 \rightarrow 3$ (橙色の着目辺) を縮約して得られるグラフの隣接行列の行列式に、 $(-1)^{4+3} = -1$ を掛けたものと一致している。

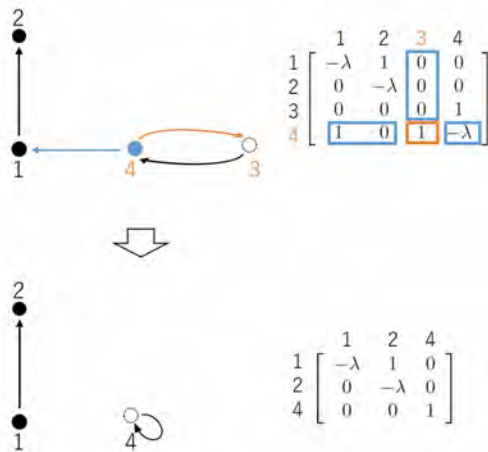


図 11 ステップ 6

2.2.4

図 11 の下に示すグラフの隣接行列を第 1 列に関する余因子展開を行うと、次のようになる。

$$(-1)^{1+1}(-\lambda) \begin{vmatrix} -\lambda & 0 \\ 0 & 1 \end{vmatrix}$$

この行列式は、図 12 において、頂点 1 (橙色の着目点) と辺 $1 \rightarrow 2$ (水色) を除去したグラフの隣接行

列の行列式に $(-1)^{1+1}(-\lambda) = -\lambda$ を掛けたものと一致している。

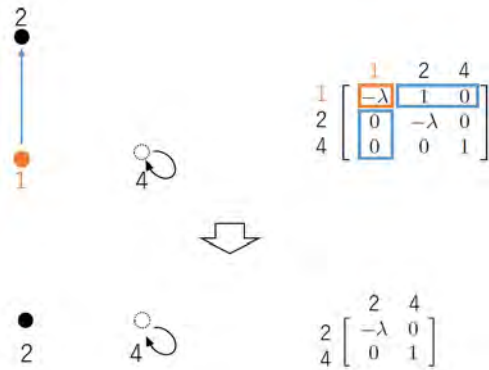


図 12 ステップ 7

2.2.5

最後に得られた隣接行列の行列式は $-\lambda$ であるが、これは、図 13 に示すように頂点 2 を除去したグラフの隣接行列の行列式に $(-1)^{1+1}(-\lambda) = -\lambda$ を掛けると一致すると考えることが出来る。

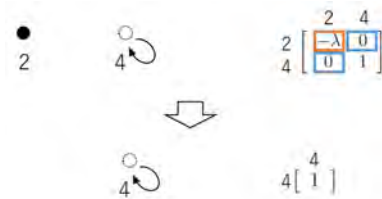


図 13 ステップ 8

2.3 固有多項式の算出

2.1 節より、図 6(1) のグラフに対し、着目点の除去操作を 2 回行った後、頂点 1, 2, 3, 4 を用いた 4 角形が残った。このグラフの固有多項式は例 1.2 より $\lambda^4 - 1$ である。よって、図 6(1) のグラフの固有多項式は

$$(-\lambda)^2 \times (\lambda^4 - 1) = \lambda^6 - \lambda^2$$

であると分かった。また、2.2 節では図 6(2) のグラフに対し、着目辺の縮約を 3 回、着目点の除去操作を 2 回行うことで最終形となった。これより、図 6(2) のグラフの固有多項式は、

$$(-\lambda)^2 \times (-1)^3 \times 1 = -\lambda^2$$

と求まる。以上より、図 5 に示す 4 角形を 2 つ連結させたグラフの固有多項式は、余因子展開によって

$$(\lambda^6 - \lambda^2) + (-\lambda^2) = \lambda^6 - 2\lambda^2$$

と算出された。次章で、これらの計算が幾何学的な操作のみで得られることを示す。

3 グラフ操作

本章では、グラフの変化を一般的にグラフの操作として定義し、それらの操作を繰り返すことで固有多項式が求まることを説明する。2章で見た通り、頂点や辺を余因子展開に基づく法則で除去することで、グラフの簡易化を目指す流れを念頭に置いて読みたい。

3.1 手順 1: 着目点/着目辺の決定

ある頂点 $v \in V$ を選択し, A, B のいずれかを行う。

A

- (1) $v \in V_1$ の時, v と全ての辺 $v \rightarrow t$ のそれぞれが, 着目点/着目辺となるようなグラフを複製する。
- (2) $v \in V_0$ の場合, $t \neq v$ であるような辺 $v \rightarrow t$ 全てをそれぞれの着目辺とするようなグラフを複製する。

例 3.1. 図 14 は, 頂点 1 が含まれる 1 行目で余因子展開した例である。0 でない成分に対応する 4 つのグラフが複製され, 頂点 1 が着目点に, 頂点 1 から出ていく辺が着目辺となっている。

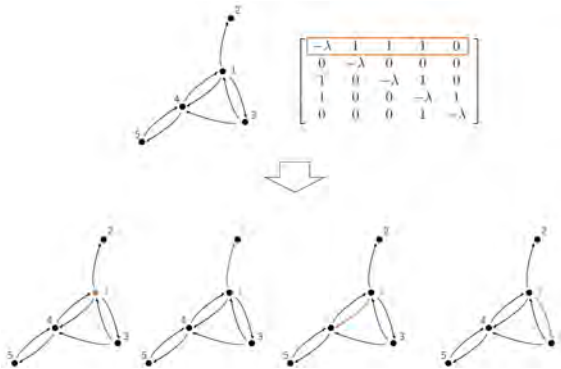


図 14 ある頂点を含む行の成分

B

- (1) $v \in V_1$ の時, v と全ての辺 $t \rightarrow v$ のそれぞれが, 着目点/着目辺となるようなグラフを複製する。
- (2) $v \in V_0$ の場合, $t \neq v$ であるような辺 $t \rightarrow v$ 全てをそれぞれの着目辺とするようなグラフを複製する。

例 3.2. また, 図 15 に示す例に, 頂点 1 が含まれる 1 列目を余因子展開した場合を示す。この場合も同様に 3 つグラフが複製され, 頂点 1 が着目点, 頂点 1 に入る向きの辺が着目辺となっている。

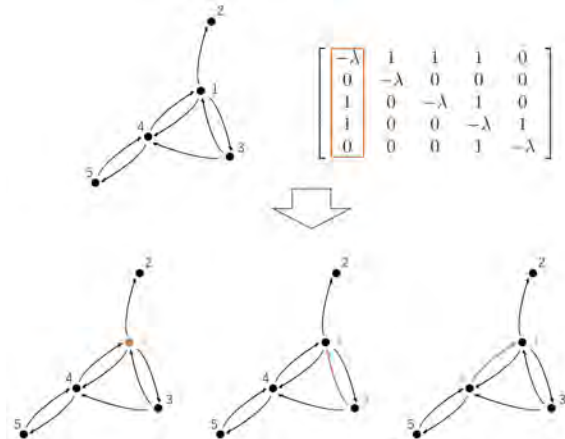


図 15 ある頂点を含む列の成分

3.2 手順 2: 着目点/着目辺に対する操作

3.1 節で決定した着目点の除去や着目辺の縮約を行う。

3.2.1 着目点に対する操作

着目点を v とする。

v に接続している全ての辺を除去する。

例 3.3. 次の図 16 は, 頂点 1 を着目点とする余因子展開によって, 隣接行列における 1 行目と 1 列目が消える様子を表す。グラフ上では, 頂点 1 に接続する 6 本全ての辺が除去されることに対応する。

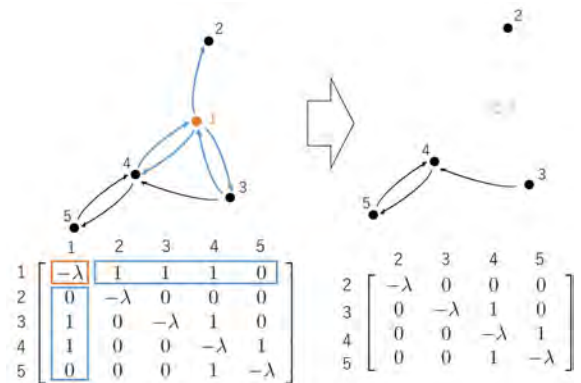


図 16 頂点の除去

3.2.2 着目辺に対する操作

着目辺を $i \rightarrow j$ とする。

両端の頂点 i, j と, $r \neq j, s \neq i$ を満たす辺 $i \rightarrow r, s \rightarrow j$ を除去し, 辺 $i \rightarrow j$ を縮約する。

例 3.4. 図 17 は, 行列における (4, 1) に着目した展開によって, 隣接行列における 4 行目と 1 列目が消える様子を表す。これは, 着目辺 $4 \rightarrow 1$ に接続している頂点 4, 1 および, 頂点 4 から出ていく辺と頂点 1 に入ってくる辺が全て除去される操作に対応する。

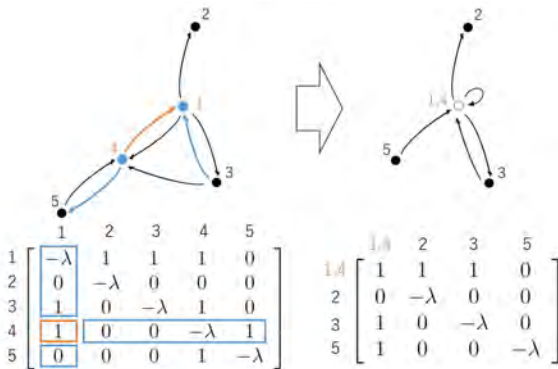


図 17 辺の縮約

3.3 固有多項式の算出

図 18(1)(2)(3) のいずれかのグラフ, もしくは固有多項式が既に知られているグラフ (4) に変形されるまで頂点の除去や辺の縮約を繰り返す。

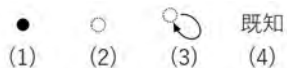


図 18 操作後のグラフ

命題. 各連結成分が図 18(1) – (4) だけで構成されるまで操作を行う。その操作内で, 着目点を除去した回数を a , 着目辺を縮約した回数を b とする。分岐後に得られる固有多項式の対応項は以下のように計算される。ただし, (4) の固有多項式を P であるとする。

$$(-\lambda)^a (-1)^b \times \prod_{i: \text{連結成分}} C_i, \quad C_i = \begin{cases} (1) & -\lambda \\ (2) & 0 \\ (3) & 1 \\ (4) & P \end{cases}$$

証明. 次章で行う。

最後に, 全ての分岐によって得られた固有多項式の対応項を全て足し合わせることで, 元のグラフの固有多項式を求めることが出来る。以上の行

程は全て, 幾何学的な操作のみで構成されていることに注意しておく。

4 命題の証明

4.1 着目点の操作に関して

頂点の除去操作については, 頂点に対応する対角成分において余因子展開した際に出現する係数が $-\lambda$ であり, それに伴い消去される行番号と列番号が一致していることから, 計算と完全に一致する。

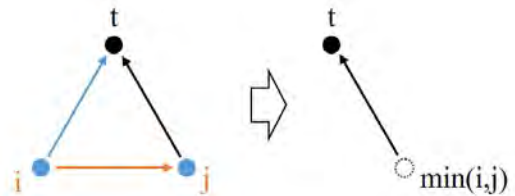
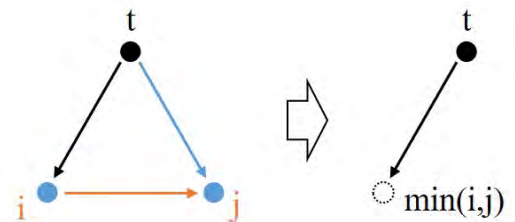
4.2 着目辺の操作に関して

命題を示すためには, 着目辺の縮約によって出来た隣接行列の行列式と, 対応する余因子展開の項を比較する必要がある。ここでは, 余因子展開により行と列が消去された小行列と, 着目辺の縮約により得られた行列が基本変形により移り合うことと, その回数を確かめることで証明とする。

4.2.1 小行列と隣接行列

辺の縮約後の頂点のラベルは $\min(i, j)$ とする。

辺 $i \rightarrow j$ を縮約すると, 頂点 i , 頂点 j , 辺 $i \rightarrow t$, 辺 $t \rightarrow j$, 辺 $i \rightarrow j$ が消え, 辺 $j \rightarrow t$, 辺 $t \rightarrow i$, 辺 $j \rightarrow i$ であったものが残る。

図 19 縮約後に辺 $j \rightarrow t$ が残る例図 20 縮約後に辺 $t \rightarrow i$ が残る例図 21 縮約後に辺 $j \rightarrow i$ が残る例

そのため, $\min(i, j)$ 行の成分は (j, t) , $\min(i, j)$ 列

の成分は (t, i) , $(\min(i, j), \min(i, j))$ は (j, i) となる。
よって, $i > j$ の場合は行の基本変形を, $j < i$ の場合は
列の基本変形をすることで, 縮約後の行列が余因子
展開をした小行列に一致することが分かる。

4.2.2 小行列式と隣接行列の行列式

4.1 節で述べた基本変形回数は, $|i - j| - 1$ 回の
列または行の入れ替えとなる。従って, 余因子展開に
現れる小行列式と着目辺の縮約によって得られる隣
接行列の行列式には, $(-1)^{i-j-1}$ のずれがある。そ
のため, 余因子展開の順列も考慮すると, 着目辺の縮
約によって出来た隣接行列の行列式と対応する余因
子展開の項は

$$(-1)^{(i-j-1)+(i+j)} = (-1)^{2i-1} = -1$$

を掛けることで一致する。

4.3 連結成分が複数の場合

連結成分が複数出た場合, 次のようなブロック行列

$$\begin{bmatrix} A & O \\ O & B \end{bmatrix}$$

になるため, 行列式は,

$$\det(A) \det(B)$$

となるから命題が成立する。

5 応用例

ほとんどの場合, 行列の固有多項式は余因子展開
を用いることで早く求められる。しかし, 命題にお
ける (4) を応用すると, 行列同士の関係を視覚的に捉
え, 証明することが容易になる。例を次に示す。

例 5.1. 図 22 で示すような 4 角形が n 環連結した
グラフの隣接行列の行列式 P_n は, 次の漸化式を満
たす。

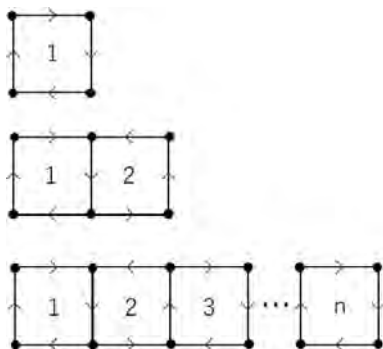


図 22 4 角形が n 環連結したグラフ

$$P_1 = \lambda^4 - 1$$

$$P_2 = \lambda^6 - 2\lambda^2$$

$$P_n = \lambda^2 P_{n-1} - P_{n-2}$$

これを求める際, 余因子展開で求めると複雑な行列
の計算をしなければならないが, グラフ操作を用い
ると, 2 つのグラフに分岐した後に 1 環減ったグラフ
と 2 環減ったグラフに変形されることで, 漸化式の
関係を捉えやすい上に, 証明も簡単に記述できる。

謝辞

東京工業高等専門学校一般教育科の井口准教授に
は, 草稿の段階から議論を行うと共に建設的な意見
を多く頂戴しました。ここに, 感謝の意を表します。

(2021年12月24日 受理)

数学相談室・補講等フォローアップの実施報告と今後の展望

安富義泰*, 井口雄紀*, 小中澤聖二*, 佐々木優*,
波止元仁*, 南出大樹*, 市川裕子**

東京高専数学科では、定期試験前に「数学相談室」を開室している。前回の定期試験で力を発揮できなかった学生や課題の提出状況の芳しくない学生に定期試験前に集ってもらい、通常の授業で理解の追いつかなかった点について質問を受けたり、未提出課題に取り組む時間と場所を提供するなどの学習指導を行っている。近年では、学校全体の取り組みとして、定期試験後に成績不振学生向けに「補講等フォローアップ」も始まった。本稿では、学生に実施した数学相談室と補講等フォローアップに関するアンケートを通じて、それらへの学生からの評価を得ると共に、今後の展望について議論する。

(キーワード: 数学相談室, 補講等フォローアップ, 今後の展望)

Report on Implementations of Counselling Services and Supplementary Lessons in Math and their Future Prospects

Yoshiyasu YASUTOMI*, Yuki IGUCHI*, Seiji KONAKAZAWA*,
Yuuki SASAKI*, Jin HATOMOTO*, Hiroki MINAMIDE*,
Yuko ICHIKAWA**,

The Department of Mathematics of Tokyo KOSSEN has given students counselling services in Math before regular examinations. We call students who had bad records in the previous examination and haven't submitted their homework before regular examinations, answer questions about contents which they couldn't understand in Math classes, and provide the time and space to do their homework. In recent years, we also have supplementary lessons as scholastic activities. In this paper, we get evaluations about them through a student questionnaire, and discuss future prospects for their implementations.

(Keywords: counselling services in Math, supplementary lessons in Math, future prospects)

1. はじめに

東京高専数学科では、平成 22 年度重点配分経費「低学年数学学習法指導プログラム」により「数学相談室」を開室して、主に低学年学生（1 年から 3 年）に対して数学学習法指導を行っている¹⁾。

これは、概ね定期試験の 2 週間前から直前までの期間のうちの約 1 週間に開室し、前回の定期試験の数学科目で力を発揮できなかった学生や課題の提出状況の芳しくない学生に集ってもらい、授業中に理解できなかった内容についての質問を

受けたり、未提出課題に取り組む時間と場所を提供するなどの学習指導を行うものである。

また、近年では、学校全体の取り組みとして、「補講等フォローアップ」という名称で定期試験における成績不振学生向けの補習を行っている。

これは、数学科目のみならず、一般教育科や専門学科の幅広い科目で実施されている。開講時期は、概ね定期試験の 2 週間後から 4 週間後までの期間のうちの約 2 週間で、1 科目およそ 2 回の補習が割り当てられている。ただし、限られた期間内で実施されるため、より優先度の高い科目に絞

* 東京高専一般教育科 ** 東京高専一般教育科・KOSSEN-KMUTT 併任

られた上で実施される。

本稿では、学生に対して実施したアンケートを通じて、定期試験前に開室される「数学相談室」と定期試験後に開講される「補講等フォローアップ(数学科目)」についての学生からの評価を得ると共に、今後の実施に向けた展望について議論する。

2. 学生アンケートの実施

2021 年度において、1 年生は独自のスケジュールで補習を行っていたため、数学相談室は 2 年生および 3 年生を対象に開室した。したがって、2 学年 405 名に対し、数学相談室および補講等フォローアップについての学生アンケートを実施したところ、397 名から回答があった。以下、前期中間試験前の数学相談室、前期中間試験後の補講等フォローアップ、前期末試験前の数学相談室について、学生アンケートの結果を記す。

2.1. 前期中間試験前の数学相談室について

先述の通り、数学相談室は、前回の定期試験で力を発揮できなかった学生や課題の提出状況の芳しくない学生に定期試験前に集まってもらい開室しているため、学生全員が参加するというわけではない。

したがって、まずは「前期中間試験前の数学相談室に参加していたかどうか」を聞いてみた。学生からの回答は以下の通りである(表 1, 図 1)。

2 年・3 年ともに、およそ 1 割の学生が前期中間試験前の数学相談室に参加した。対象学生を絞り

表 1 数学相談室の参加状況(中間試験前)

前期中間試験前の数学相談室に参加しましたか。			
	2 年	3 年	合計
参加した	18	25	43
参加していない	183	171	354

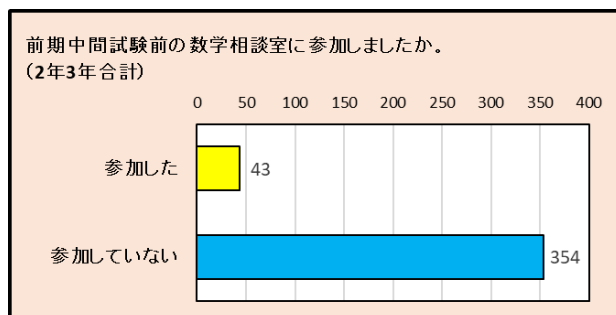


図 1 数学相談室の参加状況(中間試験前)

込むにあたっては、春休み明け試験の結果と課題の提出状況を参考にした。

次に「中間試験前の数学相談室はある方がよいのか」を聞いてみた。学生からの回答は以下の通りである(表 2, 図 2, 表 3, 図 3)。

表 2 中間試験前の数学相談室開室(参加学生)

中間試験前の数学相談室はある方がいいですか。 (参加学生)			
	2 年	3 年	合計
絶対あった方がいい	5	5	10
あってもいい	12	19	31
なくてもいい	1	1	2
なくした方がいい	0	0	0

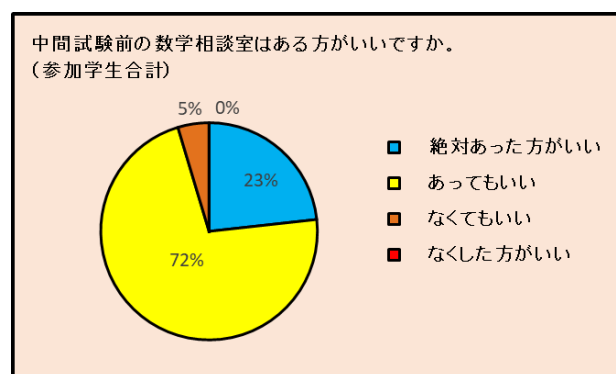


図 2 中間試験前の数学相談室開室(参加学生)

表 3 中間試験前の数学相談室開室(不参加学生)

中間試験前の数学相談室はある方がいいですか。 (不参加学生)			
	2 年	3 年	合計
絶対あった方がいい	51	36	87
あってもいい	119	120	239
なくてもいい	13	14	27
なくした方がいい	0	1	1

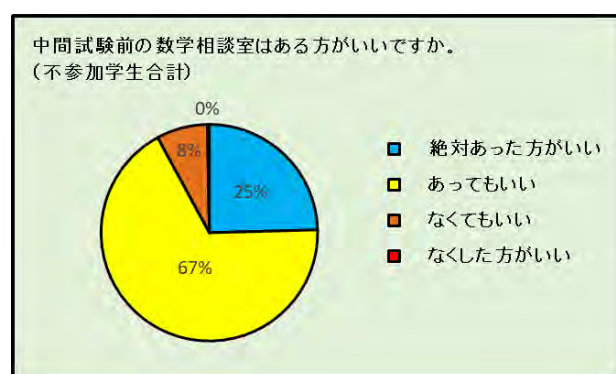


図 3 中間試験前の数学相談室開室(不参加学生)

前期中間試験前の数学相談室に参加した学生の 95%が「数学相談室は絶対あった方がいい」「数学相談室はあってもいい」と回答しており、数学相談室の開室を好意的に捉えている事が分かった。

安富，井口，小中澤，佐々木，波止元，南出，市川：
数学相談室・補講等フォローアップの実施報告と今後の展望

また，前期中間試験前の数学相談室に参加していない学生の 92%も「数学相談室は絶対あった方がいい」「数学相談室はあってもいい」と回答しており，自身が参加していないとしても，教育システムとしての数学相談室の開室を希望している事が分かった。

その理由についての回答が以下の通りである。

表 4 前期中間試験前の数学相談室への評価の理由
(参加学生)

その理由を教えてください。 (参加学生)	合計
授業で分からなかった所が分かったから	22
授業の時よりも質問しやすかったから	22
宿題に取り組む時間が増えたから	22
春試験より中間試験の成績が上がったから	3
勉強する意欲が湧いたから	5
自学自習の習慣が身についたから	2
放課後に呼び出されたから	8
特に中間試験の成績が上がらなかったから	3
その他	2
参加していないので分からない	3

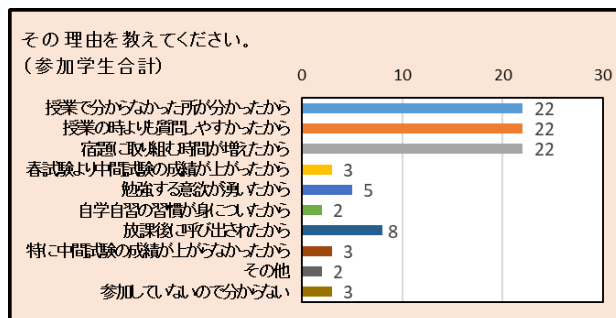


図 4 前期中間試験前の数学相談室への評価の理由
(参加学生)

前期中間試験前の数学相談室に参加した学生の約 5 割が「授業で分からなかった所が分かったから」(51%)，「授業の時よりも質問しやすかったから」(51%)，「宿題に取り組む時間が増えたから」(51%)と回答しており，概ね数学相談室開室の主旨は学生に伝わっていると思われる。一方，「春休み明け試験よりも前期中間試験の成績が上がったから」と回答した学生は 7%しかおらず，成績不振学生の成績アップという点においては，数学相談室開室の目的が十分に達しているとは言えない。今後はいかにして参加学生の成績アップに繋げるかの改善が必要である。

また，19%の学生が「放課後に呼び出されるから(なくてもいい)」と回答しており，一部の学生

にとっては数学相談室への参加が負担となっている事が分かった(表 4，図 4)。

表 5 前期中間試験前の数学相談室への評価の理由
(不参加学生)

その理由を教えてください。 (不参加学生)	合計
授業で分からなかった所が分かったから	114
授業の時よりも質問しやすいから	111
宿題に取り組む時間が増えるから	53
春試験より中間試験の成績上がるから	8
勉強する意欲が湧くから	27
自学自習の習慣が身につくから	21
放課後に呼び出されるから	11
特に中間試験の成績が上がらないから	6
その他	12
参加していないので分からない	167

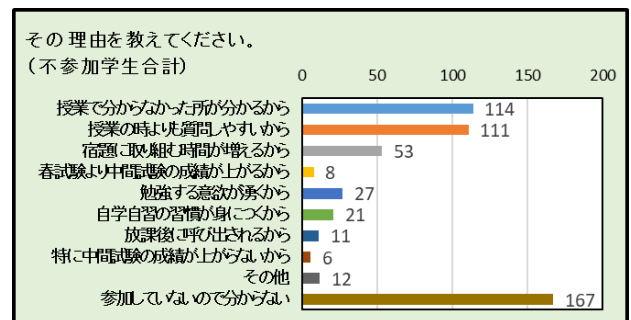


図 5 前期中間試験前の数学相談室への評価の理由
(不参加学生)

前期中間試験前の数学相談室に参加していない学生の回答は「参加していないので分からない」が 47%と最も多くなっているものの，約 3 割が「授業で分からなかった所が分かったから」(32%)，「授業の時よりも質問しやすいから」(31%)と回答しており，ここでも教育システムとしての数学相談室の必要性を感じている事が分かる(表 5，図 5)。

最後に「前期中間試験前の数学相談室の適切な開室時期と開室期間」を聞いてみた。学生からの回答は以下の通りである。

前期中間試験前の数学相談室に参加した学生の 91%が「数学相談室開室は現在と同じ試験 1 週間前から直前がいい」「数学相談室開室は試験 2 週間前から直前がいい」と回答し，また，前期中間試験前の数学相談室に参加していない学生の 84%が「数学相談室開室は現在と同じ試験 1 週間前から直前がいい」「数学相談室開室は試験 2 週間前から直前がいい」と回答しており，開室期間

に違いはあるものの、現在と同じく試験直前の数学相談室の開室を希望している事が分かった (表 6, 図 6, 表 7, 図 7)。

表 6 中間試験前の数学相談室の適切な時期と期間 (参加学生)

中間試験前の数学相談室の適切な時期と期間を教えてください。 (参加学生)	2年	3年	合計
試験1週間前から直前	5	20	25
試験2週間前から直前	9	5	14
試験2週間前から1週間前	3	0	3
試験3週間前から1週間前	1	0	1
その他	0	0	0

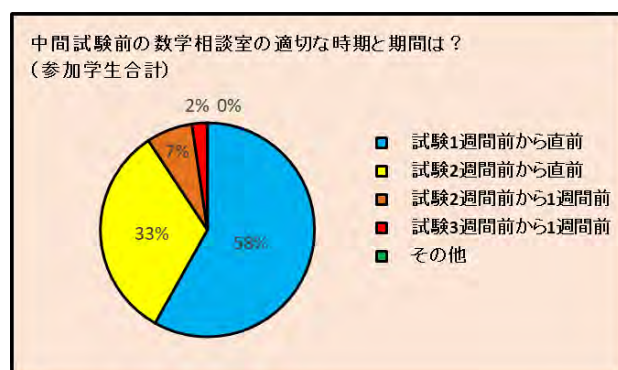


図 6 中間試験前の数学相談室の適切な時期と期間 (参加学生)

表 7 中間試験前の数学相談室の適切な時期と期間 (不参加学生)

中間試験前の数学相談室の適切な時期と期間を教えてください。 (不参加学生)	2年	3年	合計
試験1週間前から直前	95	93	188
試験2週間前から直前	55	55	110
試験2週間前から1週間前	25	18	43
試験3週間前から1週間前	5	3	8
その他	3	2	5

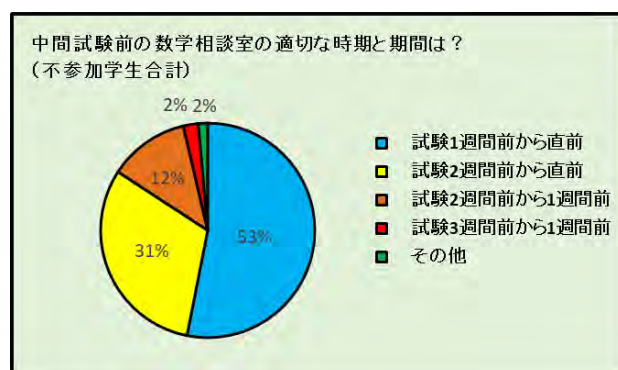


図 7 中間試験前の数学相談室の適切な時期と期間 (不参加学生)

また、前期中間試験前の数学相談室に参加した2年生のみが「数学相談室開室は試験2週間前から直前がいい」と回答した割合が1番高くなっており、開室時期は試験直前としながらも、より長い期間の開室を希望している事が分かった。

2.2. 前期中間試験後の補講等フォローアップについて

先述の通り、近年では、学校全体の取り組みとして、「補講等フォローアップ」という名称で定期試験における成績不振学生向けの補習を行っている。したがって、こちらも学生全員が参加するというわけではない。また、概ね定期試験の2週間後から4週間後までの限られた期間で開講されるため、全ての科目で実施されるというものでもない。

先程と同様に、まずは「前期中間試験後の補講等フォローアップに参加していたかどうか」を聞いてみた。学生からの回答は以下の通りである (表 8, 図 8)。こちらも、2年生・3年生のおよそ1割の学生が前期中間試験後の補講等フォローアップに参加した。

表 8 補講等フォローアップの参加状況

中間試験後の補講等フォローアップに参加しましたか。	2年	3年	合計
参加した	10	29	39
参加していない	191	167	358

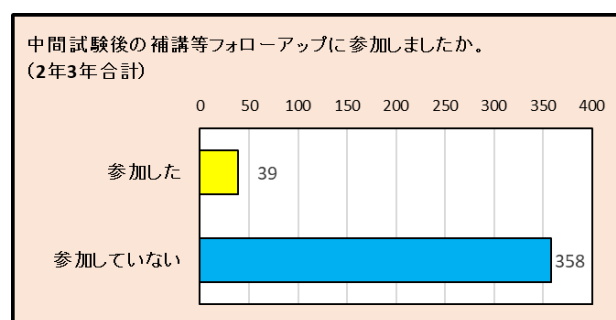


図 8 補講等フォローアップの参加状況

次に「中間試験後の補講等フォローアップはある方がよい」を聞いてみた。学生からの回答は以下の通りである。

前期中間試験後の補講等フォローアップに参加した学生の98%が「補講等フォローアップは絶対あった方がいい」「補講等フォローアップはあってもいい」と回答しており、補講等フォローアップ

安富，井口，小中澤，佐々木，波止元，南出，市川：
数学相談室・補講等フォローアップの実施報告と今後の展望

の開講に対する高い学生のニーズがある事が分かった。また，前期中間試験後の補講等フォローアップに参加していない学生の90%も「補講等フォローアップは絶対あった方がいい」「補講等フォローアップはあってもいい」と回答しており，自身が参加していないとしても，学校の取り組みとしての補講等フォローアップの開講を希望している事が分かった（表9，図9，表10，図10）。

表9 補講等フォローアップ開講（参加学生）

中間試験後の補講等フォローアップはある方がいいですか。 (参加学生)	2年	3年	合計
絶対あった方がいい	5	12	17
あってもいい	5	16	21
なくてもいい	0	1	1
なくした方がいい	0	0	0

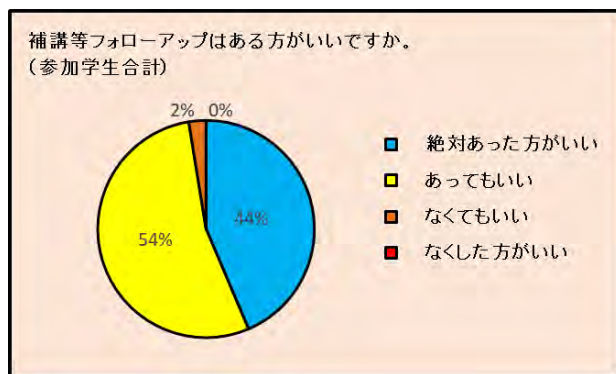


図9 補講等フォローアップ開講（参加学生）

表10 補講等フォローアップ開講（不参加学生）

中間試験後の補講等フォローアップはある方がいいですか。 (不参加学生)	2年	3年	合計
絶対あった方がいい	57	47	104
あってもいい	115	102	217
なくてもいい	19	16	35
なくした方がいい	0	2	2

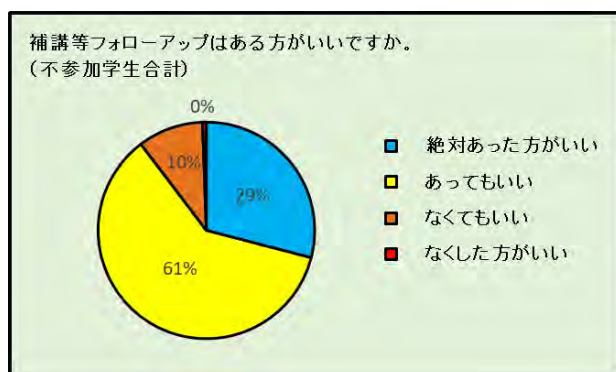


図10 補講等フォローアップ開講（不参加学生）

その理由についての回答が以下の通りである。

前期中間試験後の補講等フォローアップに参加した学生の5割強が「中間試験でできなかった所が分かったから」(56%)，「宿題に取り組む時間が増えたから」(59%)と回答しており，概ね補講等フォローアップの目的は達していると言える。一方，「中間試験より期末試験の成績が上がったから」と回答した学生は26%しかおらず，成績不振学生の成績アップという点においては，補講等フォローアップの機能を十分に果たしているとは言えない。今後はいかにして参加学生の成績アップに繋げるかの改善が必要である。

また，26%の学生が「放課後に呼び出されるから（なくてもいい）」と回答しており，一部の学生にとっては補講等フォローアップへの参加が負担となっている事が分かった（表11，図11）。

表11 中間試験後の補講等フォローアップへの評価の理由（参加学生）

その理由を教えてください。 (参加学生)	合計
中間試験でできなかった所が分かったから	22
授業の時よりも質問しやすかったから	17
宿題に取り組む時間が増えたから	23
中間より期末試験の成績が上がったから	10
勉強する意欲が湧いたから	8
自学自習の習慣が身についたから	3
放課後に呼び出されたから	10
特に期末試験の成績が上がらなかったから	0
その他	2
参加していないので分からない	0

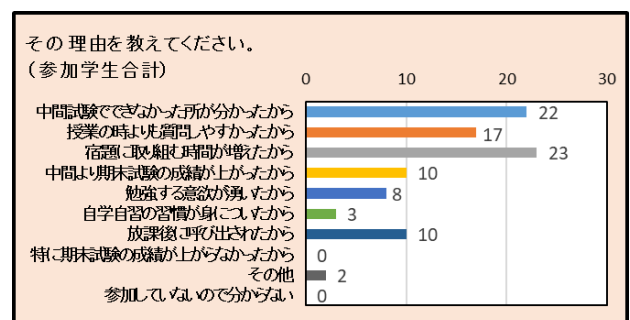


図11 中間試験後の補講等フォローアップへの評価の理由（参加学生）

前期中間試験後の補講等フォローアップに参加していない学生の回答は「参加していないので分からない」が51%と最も多くなっているものの，3割強が「中間試験でできなかった所が分かるから」(35%)と回答しており，ここでも学校の取り組みとしての補講等フォローアップの必要性を感じ

じている事が分かる (表 12, 図 12)。

表 12 中間試験後の補講等フォローアップへの評価の理由 (不参加学生)

その理由を教えてください。 (不参加学生)	合計
中間試験でできなかった所が分かるから	125
授業の時よりも質問しやすいから	75
宿題に取り組む時間が増えるから	30
中間より期末試験の成績が上がるから	20
勉強する意欲が湧くから	24
自学自習の習慣が身につくから	21
放課後に呼び出されるから	6
特に期末試験の成績が上がらないから	4
その他	10
参加していないので分からない	183

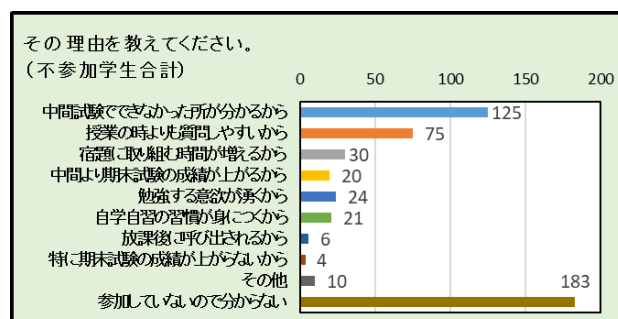


図 12 中間試験後の補講等フォローアップへの評価の理由 (不参加学生)

最後に「中間試験後の補講等フォローアップの適切な開講時期と開講期間」を聞いてみた。学生からの回答は以下の通りである。

前期中間試験後の補講等フォローアップに参加した学生の 82%が「補講等フォローアップ開講は現在と同じ試験返却 2 週間後から 4 週間後がいい」「補講等フォローアップ開講は試験返却 1 週間後から 3 週間後がいい」と回答し、また、前期中間試験後の補講等フォローアップに参加していない学生の 89%が「補講等フォローアップ開講は現在と同じ試験返却 2 週間後から 4 週間後がいい」「補講等フォローアップ開講は試験返却 1 週間後から 3 週間後がいい」と回答しており、開講時期に違いはあるものの、2 週間程度の補講等フォローアップの開講期間があった方がよいと考えている事が分かった (表 13, 図 13, 表 14, 図 14)。

また、「いつでも/常に開講した方がよい」という回答も 3 件あり、補講等フォローアップの主旨を超えたニーズも見られた。

表 13 補講等フォローアップの適切な時期と期間 (参加学生)

中間試験後の補講等フォローアップの適切な時期と期間を教えてください。 (参加学生)	2年	3年	合計
試験返却2週間後から4週間後	6	17	23
試験返却2週間後から3週間後	2	2	4
試験返却1週間後から3週間後	1	8	9
試験返却1週間後から4週間後	0	2	2
その他	1	0	1

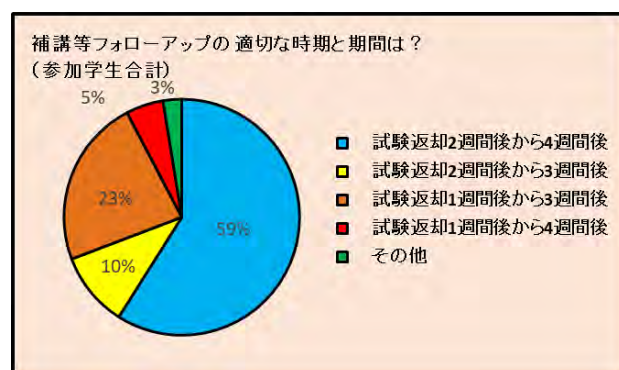


図 13 補講等フォローアップの適切な時期と期間 (参加学生)

表 14 補講等フォローアップの適切な時期と期間 (不参加学生)

中間試験後の補講等フォローアップの適切な時期と期間を教えてください。 (不参加学生)	2年	3年	合計
試験返却2週間後から4週間後	108	106	214
試験返却2週間後から3週間後	16	8	24
試験返却1週間後から3週間後	57	47	104
試験返却1週間後から4週間後	9	4	13
その他	1	2	3

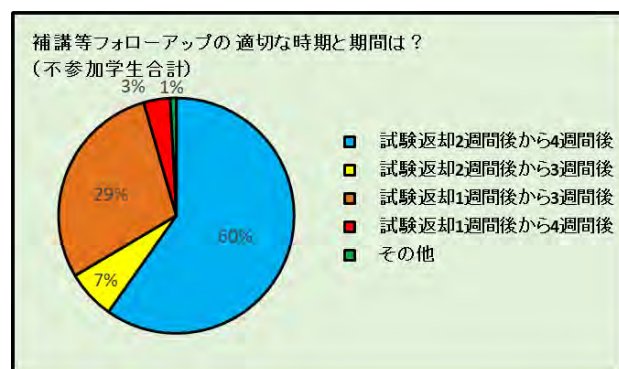


図 14 補講等フォローアップの適切な時期と期間 (不参加学生)

2.3. 前期末試験前の数学相談室について

前期末試験前においても、数学相談室を開室した。したがって、先程と同様に、まずは「前期末試験前の数学相談室に参加していたかどうか」を

安富，井口，小中澤，佐々木，波止元，南出，市川：
数学相談室・補講等フォローアップの実施報告と今後の展望

聞いてみた。学生からの回答は以下の通りである（表 15，図 15）。こちらも，2 年生・3 年生のおよそ 1 割の学生が前期末試験前の数学相談室に参加した。

表 15 数学相談室の参加状況（期末試験前）

前期末試験前の数学相談室に参加しましたか。			
	2年	3年	合計
参加した	10	30	40
参加していない	191	166	357

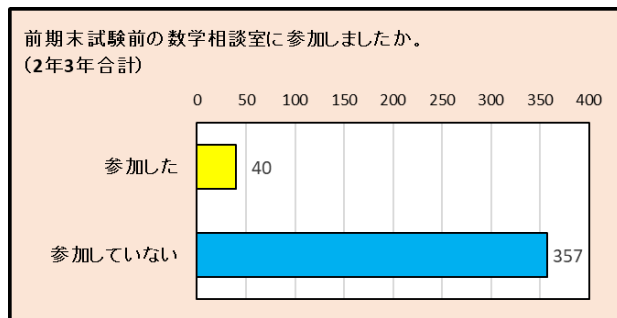


図 15 数学相談室の参加状況（期末試験前）

次に「期末試験前の数学相談室はある方がよいか」を聞いてみた。学生からの回答は以下の通りである。

前期末試験前の数学相談室に参加した学生の 97%が「数学相談室は絶対あった方がいい」「数学相談室はあってもいい」と回答しており，中間試験前の数学相談室にも増して期末試験前の数学相談室の開室に対する高い学生のニーズがある事が

表 16 期末試験前の数学相談室開室（参加学生）

期末試験前の数学相談室はある方がいいですか。（参加学生）			
	2年	3年	合計
絶対あった方がいい	6	10	16
あってもいい	3	20	23
なくてもいい	1	0	1
なくした方がいい	0	0	0

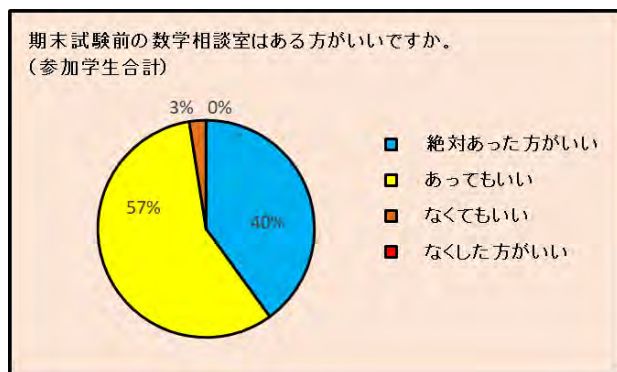


図 16 期末試験前の数学相談室開室（参加学生）

分かった。また，2 年生の方が 3 年生よりも，より期末試験前の数学相談室の必要性を感じている事が分かった（表 16，図 16）。

前期中間試験前の数学相談室に参加していない学生の 91%も「数学相談室は絶対あった方がいい」「数学相談室はあってもいい」と回答しており，自身が参加していないとしても，中間試験前の数学相談室と同様に期末試験前の数学相談室の必要性を感じている事が分かった（表 17，図 17）。

表 17 期末試験前の数学相談室開室（不参加学生）

期末試験前の数学相談室はある方がいいですか。（不参加学生）			
	2年	3年	合計
絶対あった方がいい	49	27	76
あってもいい	129	121	250
なくてもいい	13	16	29
なくした方がいい	0	2	2

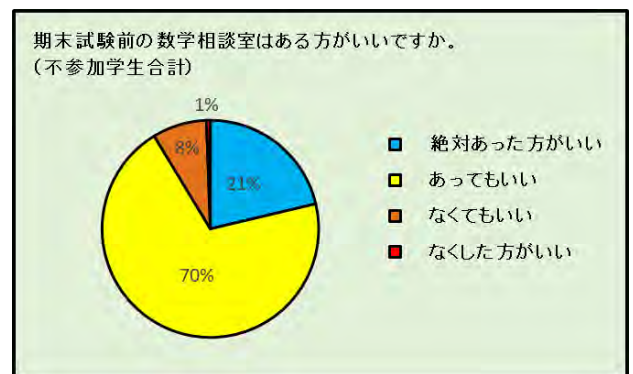


図 17 期末試験前の数学相談室開室（不参加学生）

その理由についての回答が以下の通りである。

前期末試験前の数学相談室に参加した学生の 5 割が「授業で分からなかった所が分かったから」と回答した他，前期末試験前の数学相談室に参加した学生の 4 割強が「授業の時よりも質問しやすかったから」（43%），「宿題に取り組む時間が増えたから」（43%）と回答しており，概ね数学相談室開室の主旨は学生に伝わっていると思われる。一方，「中間試験より期末試験の成績が上がったから」と回答した学生は 15%しかおらず，成績不振学生の成績アップという点においては，期末試験前の数学相談室は中間試験後の補講等フォローアップよりも効果が低かったとも言える。今後はいかにして参加学生の成績アップに繋げるかの改善が必要である。

また，18%の学生が「放課後に呼び出されるから（なくてもいい）」と回答しており，一部の学生にとっては数学相談室への参加が負担となってい

る事が分かった (表 18, 図 18)。

前期末試験前の数学相談室に参加していない学生の回答は「参加していないので分からない」が 49%と最も多くなっているものの、約 3 割が「授業で分からなかった所が分かるから」(32%),「授業の時よりも質問しやすいから」(30%)と回答しており、ここでも教育システムとしての数学相談室の機能について十分に理解している事が分かる (表 19, 図 19)。

表 18 期末試験前の数学相談室への評価の理由
(参加学生)

その理由を教えてください。 (参加学生)	合計
授業で分からなかった所が分かったから	20
授業の時よりも質問しやすかったから	17
宿題に取り組む時間が増えたから	17
中間より期末試験の成績が上がったから	6
勉強する意欲が湧いたから	8
自学自習の習慣が身についたから	3
放課後に呼び出されたから	7
特に期末試験の成績が上がらなかったから	0
その他	4
参加していないので分からない	0

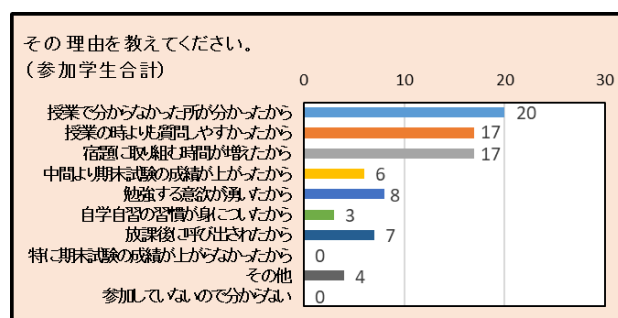


図 18 期末試験前の数学相談室への評価の理由
(参加学生)

表 19 期末試験前の数学相談室への評価の理由
(不参加学生)

その理由を教えてください。 (不参加学生)	合計
授業で分からなかった所が分かるから	114
授業の時よりも質問しやすいから	106
宿題に取り組む時間が増えるから	41
中間より期末試験の成績が上がるから	11
勉強する意欲が湧くから	25
自学自習の習慣が身につくから	20
放課後に呼び出されるから	5
特に期末試験の成績が上がらないから	8
その他	9
参加していないので分からない	176

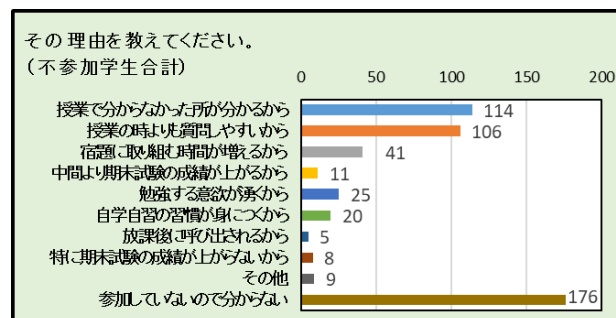


図 19 期末試験前の数学相談室への評価の理由
(不参加学生)

最後に「期末試験前の数学相談室の適切な開室時期と開室期間」を聞いてみた。学生からの回答は以下の通りである。

前期末試験前の数学相談室に参加した学生の 95%が「数学相談室開室は現在と同じ試験 1 週間前から直前がいい」「数学相談室開室は試験 2 週間前から直前がいい」と回答しており、中間試験前の数学相談室と同様に、期末試験直前の数学相談室の開室を希望している事が分かった (表 20, 図 20)。

表 20 期末試験前の数学相談室の適切な時期と期間 (参加学生)

期末試験前の数学相談室の適切な時期と期間を教えてください。 (参加学生)	2年	3年	合計
試験1週間前から直前	6	21	27
試験2週間前から直前	3	8	11
試験2週間前から1週間前	1	1	2
試験3週間前から1週間前	0	0	0
その他	0	0	0

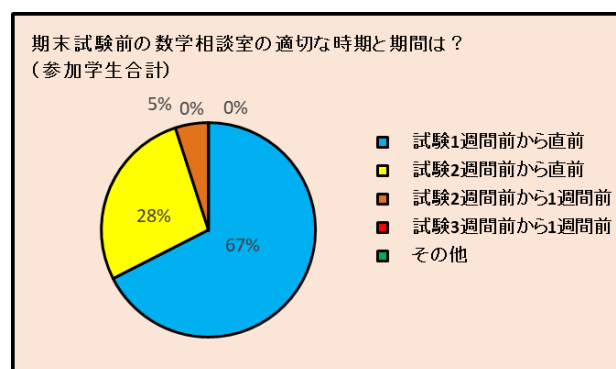


図 20 期末試験前の数学相談室の適切な時期と期間 (参加学生)

また、前期末試験前の数学相談室に参加していない学生の 87%も「数学相談室開室は現在と同じ試験 1 週間前から直前がいい」「数学相談室開室

安富，井口，小中澤，佐々木，波止元，南出，市川：
数学相談室・補講等フォローアップの実施報告と今後の展望

は試験 2 週間前から直前がいい」と回答しており、中間試験前の数学相談室と同様に、期末試験直前に数学相談室はあった方がよいと考えている事が分かった（表 21、図 21）。

表 21 期末試験前の数学相談室の適切な時期と期間（不参加学生）

期末試験前の数学相談室の適切な時期と期間を教えてください。 (不参加学生)			
	2年	3年	合計
試験1週間前から直前	103	101	204
試験2週間前から直前	61	47	108
試験2週間前から1週間前	21	15	36
試験3週間前から1週間前	3	2	5
その他	3	1	4



図 21 期末試験前の数学相談室の適切な時期と期間（不参加学生）

3. 今後の実施に向けた改善と展望

今回の学生アンケートから、数学相談室は「授業で分からなかった所の理解を深める」、「宿題に取り組む」ために必要な取り組みであり、補講等フォローアップも「中間試験でできなかった所が分かる」ようになるために必要な取り組みであると認識されており、両者ともに開室・開講に対する学生のニーズが高い事が分かった。

また、その開催時期や期間についても、現在と同じ数学相談室の「試験 1 週間前から直前」の開室や、補講等フォローアップの「試験返却 2 週間後から 4 週間後」の開講が概ね適切であるという事も分かった。

ただ、数学相談室における「試験 2 週間前から直前」の様に期間を 2 倍長くして欲しいという希望や、補講等フォローアップにおける「試験返却 1 週間後から 3 週間後」の様に期間はそのままに時期を前倒しにして欲しいという希望がある事も分かった。

そこで、最後に「数学相談室・補講等フォロー

アップが成績向上・自学自習の習慣づけに役立つためにはどうしたらよいか」を聞いてみた。具体的な記述のあった学生の回答 65 件（参加学生 7 件，不参加学生 58 件）のうち，複数名から挙げた意見をここに記す。

- ・「今のままでよい (17 件)」(参加学生 3 件，不参加学生 14 件)
- ・「授業とは異なる問題や定期試験に関する情報を与える (12 件)」(不参加学生 12 件)
- ・「日常的に開催し，また成績不振学生以外の参加を促してピアサポートの場とする (8 件)」(不参加学生 8 件)
- ・「成績だけでなく課題提出状況を加味して強制参加とする (8 件)」(参加学生 1 件，不参加学生 7 件)
- ・「開催期間や 1 日の開催時間を長くする (6 件)」(参加学生 1 件，不参加学生 5 件)
- ・「授業で行った公式の導出や証明をもっと詳しく説明する (3 件)」(参加学生 1 件，不参加学生 2 件)
- ・「授業では扱わない様なトピックを紹介する場とする (2 件)」(参加学生 1 件，不参加学生 1 件)

一方，

- ・「強制参加にして欲しくない (2 件)」(不参加学生 2 件)

という回答もあった。

これらの回答からも，やはり現状でも十分数学相談室・補講等フォローアップの意義や必要性は理解されていると思われるが，「授業とは異なる問題を用意する」「成績不振学生以外の参加を促してピアサポートの場とする」「開催期間を長くする」などは，今後の数学相談室・補講等フォローアップ実施に向けての改善点の一部となろう。

一方，「定期試験に関する情報を与える」「公式の導出や証明を詳しくする」「授業では扱えないが関連するトピックを話題として盛り込む」などは，数学相談室・補講等フォローアップではなく，通常の授業の改善点として活かす方がよいのではないだろうか。また，「日常的に開催する」「開催時間を長くする」などは，数学相談室・補講等フォローアップの存在意義が薄れ，教員・学生双方の負担の面からも実施は難しいと思われる。

したがって，今後，まずは「開催期間を長く」し，「成績不振学生以外の参加を促し」て，常に数学相談室・補講等フォローアップの効果を高める

べく、改善を図っていきたいと思う。

謝辞

本調査を実施するにあたり、学生アンケートにご協力いただいた東京高専 2 年生・3 年生のみなさんに感謝いたします。

また、数学相談室・補講等フォローアップの運営にご協力いただいた総合教育支援センター、特に技術職員の長井佳海さんと T A の皆さんに感謝いたします。

参考文献

- 1) 波止元仁，齋藤四郎，原井敬子，藤川卓也：
低学年数学学習法指導プログラム，東京工業
高等専門学校研究報告書第 43(2)号，pp. 45-
49，2012 年 3 月

(2022 年 1 月 13 日 受理)

遠隔授業と対面授業との関連 — アンケートから見える遠隔方式の長所と短所 —

波止元仁*

本稿では著者が担当した遠隔授業で実施したアンケートから見える遠隔方式授業の長所と短所を紹介し、それらを基に遠隔授業と対面授業との対比を行い、相互の関連を調べる。

(キーワード: 遠隔授業, 遠隔方式)

The Relation Between Remote and Face-to-Face Classes — Merits and Demerits of Remote Teaching Methods from Questionnaires —

Jin Hatomoto*

In this report, we introduce the merits and demerits from the point of view of the results of questionnaires for remote teaching methods in remote classes. Under these results, we compare the merits and demerits of remote classes with those of Face-to-Face classes, and investigate the relation between them.

(Keywords: remote class, remote teaching method)

1. 概要

2019 年度末に世界的に流行の始まった新型コロナウイルスの影響により東京高専(以下, 本校)においても 2020 年度から遠隔授業が本格的に実施されてきた。年度当初の数か月は完全遠隔授業であったが, その後は遠隔授業と対面授業が組み合わせられた形で授業が実施されている。遠隔授業が進むにつれ, 対面授業とは異なった可能性を見出すようになってきた。

本稿の目的は, 著者が担当した遠隔授業において実施したアンケート結果から見える遠隔授業の長所と短所を調べて, 対面授業との対比を行い, 相互授業の関連を調べることである。

本稿の構成は次の通りである: 次の第 2 節では実施したアンケート質問項目を紹介し, 第 3, 4 節でアンケート結果を紹介する。第 5 節ではそれらから見える著者に限定した遠隔授業の長所と短所を調べ, 対面授業との対比・関連を調べる。まとめは第 6 節にて行う。

2. アンケート

アンケートは 2021 年度に著者が本校にて担当した第 3 学年学生の複数のクラスを対象として,

2020 年度から 2021 年度前期までの遠隔授業の長所と短所を訪ねる質問項目を中心としたアンケートを実施した。クラス名等の詳細は省略するが, 複数クラスにて実施し回答率は 9 割程度であった。第 3 学年学生に限定した理由は, 本学年生は 2019 年度に本校へ入学し第 1 学年次に遠隔授業開始前の全面的な対面授業を経験してきているため, 対面授業と遠隔授業との対比が行いやすいと考えたからである。

実施したアンケート質問項目は次の通りである:

1. 遠隔授業で良いと思った点 (自由記述),
2. 遠隔授業で悪いと思った点 (自由記述),
3. どの授業形態が良いと思うか (選択式):
 - 3-1 授業ノートなしの、板書が基本の対面授業,
 - 3-2 授業ノートありの、スライドが基本の対面授業,
 - 3-3 演習室での遠隔方式での対面授業,
 - 3-4 遠隔授業,

*一般教育科

4. 質問項目 3. において何故そのように考えるのか (自由記述)。

遠隔授業手法として、オンデマンド型のものや対面授業のようにオンタイム型で画面上に板書をしていくものと、画面上に板書をして解説する型のものから、アクティブラーニングや反転授業等の様々な組み合わせが挙げられる。上の項目 3-3 の遠隔方式とは次のものをさす：

遠隔方式

・マイクロソフト 365 チームズを用いたオンタイム型の方式により、対面授業での板書内容に相当する「授業ノート」を事前にアップロードして、これを解説し録画をする。授業ノート解説後は演習や質疑応答含めた課題学習とする。

本校では定期試験後の一週間は遠隔授業を対面授業で行う決まりのため、著者の遠隔授業クラスについてはその間の対面授業はコンピュータ演習室にて遠隔方式授業を実施した。複数科目担当のクラスにおいては、項目 3-2 と 3-3 の授業を実施した。項目 3-3 の授業しか実施していないクラスについては、過去に受けたことのある項目 3-2 の授業を想定して回答してもらった。項目 3-4 での遠隔授業とは、遠隔授業日に遠隔方式により実施する授業のことをさす。尚、項目 3-1 での対面授業の第 3 学年学生に対する著者の担当クラスでは実施してはいないため、現在までに受けた対面授業を想定して回答をしてもらった。

3. 遠隔授業について

第 2 節でのアンケート回答で多く見られた遠隔授業の長所として、授業ノートと録画などの記録機能を評価する意見が多かった。また、授業ノートの事前配付や記録機能のお陰で授業中は安心して解説を聞いたこと、分からないところを自分のペースや理解度で何度も見返して理解を深めることができたとする点も高評価であった。

遠隔授業の短所としては、学生自身の集中力を保つことが難しい、学生同士でコミュニケーションが取れない、という意見が多かった。

遠隔授業の長所と短所

ここではアンケート項目 1, 2 について、回答の割合が多かったものを挙げる。尚、学生の記述

については回答割合に準じて紹介し、内容に誤記等があっても修正はせずにそのまま記載する。

3.1. 遠隔授業の長所

アンケート回答の中で割合が多かったものは次の 3 項目であった：

- I. 授業ノートや録画機能が良い。何回も見返せるので復習がしやすい。自分のペースで学習することが出来る。(73%)
- II. 落ち着いた環境で勉強ができる。(17%)
- III. 通学・帰宅時間を有効活用できる。(9%)

学生の記述内容

・授業ノートが分かりやすいので後日自分のノートを見返した時に復習がとてもやりやすいと感じました。

・板書の課題ができたことで問までしっかり解くようになった

・例題をノートにまとめることは、最初は要らないと思っていたが解き方が理解しやすくなってとても良かった。初見で解くのが難しい問題だけでもいいから続けてほしいです。

・授業ノートがとにかくわかりやすいです。手間はかかると思いますが、これからもぜひ行っていただきたいです。

・別タブで授業ノートを見ながら進められるので理解しやすい。

・ノートを再確認できることと授業ノートと先生のスライドを 2 画面で見られること

・後でゆっくり考え直せる

・ファイルにノートがあるので書き漏らしたところも見れる

・授業スライド、動画が残るので 1 度聞いただけでは理解できない部分を復習することができる。自宅で受講できるので疲れない。

- ・ファイル形式で見ることができるため、進んでいってしまってもノートが取れる。
- ・資料が見やすい、見返せること。プリントと違い紛失する心配はない。
- ・毎回ノート提出という形式での課題が出る点。
- ・授業スライド、動画が残るので1度聞いただけでは理解できない部分を復習することができる。自宅で受講できるので疲れない。
- ・説明が丁寧で、課題の量が適度であるところ
- ・波戸元先生のノート pdf は非常にわかりやすく理解ができるため、これからもおいていただけると助かります！
- ・授業ノートが分かりやすく見やすいため理解するのにとても助かっています。
- ・ノートをじっくり書けるので気持ちに余裕を持ちながら授業を受けられました。(対面に比べ)
- ・板書の課題ができたことで問までしっかり解くようになった
- ・録画を見返せるので授業用内容が理解しやすかった点。整理されたノートを pdf として見れるので、対面時よりもノートのノートとしての役割が増えた。
- ・後から授業を見直せる。自分のペースで勉強できる。
- ・自分が一番集中できる環境で学習ができる
- ・通学時間がないためほかのことに充てられる。自宅で受けるため、気持ちに余裕がある。休み時間でできることの幅が広い
- ・たまに数学の深いところまで踏み込んで教えてもらえたのが興味深かったです

3.2. 遠隔授業の短所

アンケート回答の上位の割合を占めたものは次の5項目である：

IV. 怠けがち、やる気が起きない、授業に集中しづらいことがある。(28%)

V. 教員と学生、学生間でのコミュニケーションが取りづらい。友達に会えない。(25%)

VI. 特にない (24%)

VII. 通信トラブルへの不安。(11%)

回答IV. は自宅で受ける遠隔授業は周りに誘惑するものが多く集中できない、対面授業での雰囲気がないために学習意欲が湧かないとする理由が多かった。回答V. についても対面授業での雰囲気や級友と共に学ぶことが学習意欲にもつながっていることを表す結果となった。

学生の記述内容

- ・家だとあまり集中できない
- ・授業のスイッチがなかなか入らないことがある。
- ・やはり対面より緊張感がないので集中力がもたない時がある
- ・周りに人がいないので気が引き締まらないところ
- ・周りに自分しかいないのでいろいろなものに気が散ってしまう。
- ・生活リズムが乱れる
- ・自分で自分自身をコントロールしなければならない。感情の起伏がない
- ・先生に直接質問できない。友達と相談できない。画面ばかり見て疲れる(線形に関しては1限目なのでそんなに影響はないが遠隔授業全体を通して)。
- ・先生側と生徒側での意思疎通がとりづらい

- ・友達に相談することが難しい(ちょっとしたことなら LINE などでは聞くことはできる)
- ・友達に会えない
- ・特に悪いところや不便な点は感じませんでした。
- ・通信障害が起きると授業を受けられない
- ・電波が悪いと、モチベーションが下がる。
- ・ちゃんと出席 form を送れているか不安
- ・接続が不安定だと何もできなくなる

4. 希望する授業形態とその理由

質問項目 3 のアンケート結果は次のようになった：

- 3-1 授業ノートなしの、板書が基本の対面授業 (8%)
- 3-2 授業ノートありの、スライドが基本の対面授業 (9%),
- 3-3 演習室での遠隔方式での対面授業 (10%),
- 3-4 遠隔授業 (72%),

遠隔授業を希望する学生が 7 割程度いた一方で、対面授業を希望した学生は 3 割程度いた。対面授業を希望すると回答した学生の 2/3 は授業ノートを映し出して対面授業をして欲しい、という結果であったので、全体の 7 割以上が遠隔方式の授業を希望し、9 割以上が授業ノートを活用した授業をして欲しい、との結果であった。

上の 4 つの項目を選んだ理由について、学生の記述内容は次の通りである：

項目 3-1 に対する学生の記述内容

- ・すぐにわからないところを質問でき、4 つの選択肢の中で最も自分が集中して授業を受けられると思ったため。

・登校して実際に質問できるので対面なら何でもいい。

・対面授業の方が集中できるということと、スライドだと目が疲れるため個人的には板書の方が好ましいから。

・実際に書きながら説明してもらえのほうが遠隔よりも怠けることがなくなる

項目 3-2 に対する学生の記述内容

・対面授業で陥りがちなノートをとることだけに集中せず、理解のために時間をさけるから。

・授業ノートがあれば復習に使えるし、対面授業のほうが集中できるから。

・遠隔でも対面でも構わないけれど、自分が板書をとるスピードが遅いためスライドや先生の作成したノートなどを up してくださるととてもありがたいです。

・板書で手一杯になることがなく、先生の話に集中して聞いて授業ノートが見直せる環境が好ましいかなと思いました。

項目 3-3 に対する学生の記述内容

・授業を見直すことができる上に、友達との議論もしやすいから。

・録画が残るし、分からなければその場で先生に聞けるから

・遠隔方式であればどちらもよい→自宅：登校しなくてよい, 落ち着く、対面：生活が整う, 集中しやすい

・授業ノートがある対面授業 授業ノートがあったほうが学習しやすいのと、パソコンが手元にあると単純に授業ノートが見やすい、あとちょっとした計算が楽だったり単語の検索とかも気軽にできるから

項目 3-4 に対する学生の記述内容

- ・自分のペースで学習できる。
- ・授業ノートや録画が残る。
- ・授業資料がみやすいから。
- ・何度も動画を見直すことができるためです。私は授業ノートをとった上で、自分でもう一度見直して理解する必要があるためです。自分でしっかりと解釈するためには、ノートを取りながらの1度のみの対面授業では、ついていくので精一杯です。
- ・授業録（授業録画：著者訳）があり、かつ、通学時間を節約できる遠隔授業は授業形態として最高だから。
- ・この2年間の家庭での遠隔授業で困ることが無かったから。自分のペースで板書ができるから。
- ・静かに自分で受けることができる、板書する時間を確保しやすい、分からないところは解ける友達に聞くことができる
- ・自分のペースでできて、わからないところがあったときに聞くことができるから。
- ・前期と後期前半を遠隔授業で受けて、とても良い授業形態だと思ったから
- ・自分が一番慣れた環境が勉強に集中しやすいから
- ・登下校の時間が無くなるため、課題や復習の時間を簡単にとれるから。
- ・対面授業での板書は遅いのがよくないと思いました。演習室でやるよりは自宅のほうが電池の心配がないと思いました。授業ノートありの、スライドが基本の対面授業は遠隔授業と同じぐらいいいのではないかと思います

・視力に配慮する必要がある教室での授業よりは、各自 PC を使って授業を受けるほうが共に楽だと思う。また演習室の PC は使いにくい。よって家で受けたい。

・1～2年で受けたような授業形式よりも、3年次に受けた遠隔授業の方がやりやすいと感じたから。

・今までの遠隔授業にととても満足しているから

5. 考察

アンケート結果から見える著者に限定した遠隔授業の長所は遠隔方式における授業ノートや授業録画、課題提出・返却状況等のすべての記録がとられていることである。この記録機能により学生は実際の授業を資料と共に自分の都合でいつでも授業を受けられる状態となる。自律・自立の成熟した学生にとっては学習意欲に正の作用を働かせる良い教育方法の一つとして捉えることが出来る。実際に第3, 4節でのアンケート回答からは、授業ノートと録画を見返すことで理解が深まった、との意見から、数学研究^{1,2)}やその身近な応用例の一端に触れた話は興味深かった、との意見まで様々なものが見られた。

尚、数学研究やその身近な応用例に関する話をする理由は、学生が「数学はそのようなところに現れるのか」と驚くとともに、「それではどうしてそのようなことがいえるのか」、「その系として他にどんなことが成立するのか」と数学の面白さの一部を垣間見て興味を示しているように感じられるからである。著者の場合は、自分の研究に因み、実数の特徴づけ（連分数展開とガウス写像）やパイコネ変換（何故パン屋さんはあのようなこね方をするのか）などの身近にありつつも、実は深い解析が必要とされる話を微分積分で扱う極限・微分・積分から確率統計で扱うポアソン分布（極限近似）⁴⁾・混合性^{1,2)}・中心極限定理³⁾などに関連させてハイライトを簡素に紹介した。板書が中心となる対面授業では板書（授業ノート）解説後の残り時間を演習時間として割り当てることで精一杯となり、上で挙げたような研究に因んだ応用例の話は殆どできなかった。遠隔方式での授業ノートの活用により著者が行う板書時間が省かれたため、普段の演習に加えてこのような話ができる自由度と時間も十分に確保できた。これも遠隔方式

の利点の一つであったと思う。つまりは、学生にとっては板書時間が省かれて板書されたもの（授業ノート）がベースに解説が始まり、特にその全ての記録が残る（遠隔方式の録画機能）ことにより、安心して演習に取り組むことができ、その上でいろいろな話が聞ける・いろいろなことができる自由度が、良い意味で確定的に増したわけである。学生が解説を集中して聞けてその後すぐに演習に取り掛かれることも遠隔方式の利点の一つとして捉えられる。演習課題については、著者は対面授業に近い内容が良いと考えて、授業ノートのまとめを課題として課していたが、そもそも配付されている授業ノートが十分に纏まっているので学生個人によるノートまとめは不要ではないか、との学生談もあり、ノートまとめ課題を含む遠隔授業における課題については現在検討中の課題である。

一方でアンケートから見える遠隔授業の短所は対面授業での授業空間がない（授業の空気感が感じられない、対人コミュニケーションが取りづらい）ことである。これらは自律・自立の未成熟な学生や、友人と学び合い、教え合いながら理解をしてきた学生にとっては学習意欲の低下や学習の孤立化を生み出しやすい側面をもつ。実際に、アンケート回答はそのような学生に対する学習の孤立化傾向を浮き彫りにした。対人コミュニケーション不足によりその傾向はさらに強くなっていく。このような学生に対しては遠隔や対面での個人指導により対応をしたが、このようなことを教員側が肌で感じにくいことが、遠隔授業の基本的で根本的な問題の一つとして挙げられると思う。

他方において遠隔授業の短所から見える対面授業の長所は、何よりもその授業空間であり、その中に含まれる対人コミュニケーションである。逆に遠隔授業の長所から見える対面授業の短所は、解説や板書の記録が残らないことである。その結果として、解説を聞き逃すと他人に聞くしかなくなる、板書に精一杯で解説を十分に聞けない、といったことへの対応が必要となる（これらは別の見方をすれば対面授業の長所であるともいえる）。

以上のことを踏まえて著者に限定した遠隔授業と対面授業の比較をするとき、学生たちにとっては対面授業での授業空間が授業機能としての大きな役割を果たしていることが分かる。即ち、授業で感じられる雰囲気や教員・学生間でのコミュニケーションやその空気感が学生の学習意欲や学習

活動に正の方向に大きく作用している。

他方で、意外にも学生からの評価が高かった授業が遠隔方式の対面授業である。その理由として、この授業は対面授業と遠隔授業の長所を取り入れ、二つの授業の短所を取り去った授業として捉えられたからではないか、と考えられる。この授業では、対面授業での授業空間の中で遠隔方式による記録機能が活用出来る。そこで多く見られた光景は、学生たちは教員解説の共有画面上での授業ノートとは別に学生個々に閲覧用の授業ノートを開き、これを教員の解説と併用して活用しながら、多くの学生同士で教えあっていたことが挙げられる。これを対面授業で例えるならば、教員によりリアルタイムに書かれた板書と、教員により既に消し去られた板書を2枚同時に見比べつつ学生同士で即時に議論ができる状態である。学生個々のパソコン画面上で教員の解説が行われていき、解説時間とその後の演習時間がはっきりと分かれているので、板書が中心となる対面授業と比べて学生は教員の説明箇所を見失いにくく、教員の発声を聞き取りやすい。これらのことは、板書が中心となる対面授業における種々の問題への一つの解決法としても理解できる。

6. 纏め

アンケート結果から見える著者に限定した遠隔授業の長所と短所は次のとおりである（決して一般的な事を述べているわけではない）。何よりの長所は遠隔方式による授業ノート・授業録画が活用できることである。授業ノートの活用により板書時間が省かれ、授業の自由度が増したことも長所の一つである。これらにより、学生は一層自学自習がしやすい環境となる。短所は対面授業の授業空間がない（雰囲気や空気感を感じられない、対人コミュニケーションが取れない）ことである。遠隔授業を実施する上では、この欠損による学生の学習意欲の維持は課題の一つである。また、リラックスした環境で授業が受けられることは遠隔授業の長所であるが、同時に集中力が途切れやすい環境ともなるため遠隔授業の短所でもある。

アンケートから見える対面授業の長所と短所は、それぞれ上で述べた遠隔授業の短所と長所の双対的な内容が相当する。特に対面授業がもつ授業空間（雰囲気や空気感を感じられる、対人コミュニケーションが取れる）の存在は学生の学習意欲に正の作用を働かせる。

一方でアンケート結果から見える遠隔授業と対面授業の長所と短所の比較をするとき、それぞれの授業の長所を活かせる授業の一つとして挙げられるものが、遠隔方式の対面授業である。本授業では、対面授業での授業空間の中で遠隔方式授業の種々の長所を活かすことができる。このことは第3,4節でのアンケート結果からも肯定的に理解できる。コロナ終息後の対面授業では本授業形態を実施して更なる検討を行っていききたい。

遠隔授業は、実施せざるを得なかった当初の大変な状況から一変して、その短所の克服を課題としつつ長所を活かした新しい授業運営や科目教育の可能性を与えていることは皆が認識しているところである。これらについても、放課後の個人指導や数学相談室⁵⁾等との関連を含め、今後の検討課題としていきたい。

謝辞

遠隔授業を実施するにあたって多くのご理解とご協力をいただいた数学科の皆様にお礼を申し上げます。

参考文献

- 1) J.Hatomoto, Mixing properties for invertible maps with weak hyperbolic product structure, Far East J. Math. Sci 29(2), 257-310 (2008)
- 2) J.Hatomoto, Central limit theorem for invertible maps with weak hyperbolic product structure, Far East J.Math.Sci 29(3) (2008), 729-752.
- 3) Jin Hatamoto, Decay of correlations for some partially hyperbolic diffeomorphisms.Hokkaido Math. J. 38(1) (2009), 39-65.
- 4) J.Hatomoto, Poisson limit distribution for diffeomorphisms with weak hyperbolic product structure, preprints.
- 5) 波止元仁, 齋藤四郎, 原井敬子, 藤川卓也, 「低学年数学学習法指導プログラム」東京工業高等専門学校研究報告書, 第 43(2) 号 (2012), 45-50.

(2022年1月13日 受理)

東京高専ウェルネスセンター（学生相談室）のソーシャルワーカー活用実践報告

—コーディネーターとの連携から、学生支援及び支援チームの組み立てを考える—

船戸美智子*, 前嶋深雪**

スクールソーシャルワーカー（SSW）については、学校で活用できる人的資源としての導入がスクールカウンセラー（SC）より大幅に遅く、その役割の共有が進んでいないという現状がある。学生支援に関して、SCのみならず、SSW と協働する必要があることは指摘されているが、SSW 活用の促進のためには、SSW の専門性の理解と実際の現場で行った SSW とのチーム支援の体験が必要である。本研究では、SSW 活用ケースを紹介しつつ、実際のコーディネーターと SSW の連携について、チーム支援の視点で分析及び報告を行う。

（キーワード：コーディネーター，SSW，チーム支援，合理的配慮）

A Report on the Effective Use of a School Social Worker in the Wellness Center at the National Institute of Technology, Tokyo College

— Cooperation with the Coordinator about Student Support and the Assembling of the Support Team —

Michiko FUNATO* , Miyuki MAESHIMA**

School social workers (SSW) have been introduced much later than school counselors (SC) as a human resource that can be utilized in schools, and their roles have not yet been shared. In order to promote the use of SSWs, it is necessary to understand the expertise of SSWs and to experience team support with SSWs. In this study, while introducing cases of SSW utilization, the actual collaboration between coordinators and SSWs was analyzed and reported from the perspective of team support.

(Keywords: Special Needs Education Coordinator, School Social Worker (SSW), Team Support, Reasonable Accommodation)

1. はじめに

令和 2 年 5 月に総務省行政評価局から「学校における専門スタッフ等の活用に関する調査結果報告書」が出され、文部科学省への勧告が行われている。総務省による本報告書は文部科学省が目指している「チームとしての学校」における人的資源——特に、スクールカウンセラー（SC）やスクールソーシャルワーカー（SSW）に関して（以下「SC」「SSW」と表記）——の活用状況について調査し、課題を明らかにした上で、今後の活用のあり方に

についての提言が含まれている。現在、SC 及び SSW の活用に関しては 3 分の 1 の国庫補助を受けていることから、教育活動の充実と教員の負担軽減及び関係行政の改善に資する活用が求められてし

かるべきである。本報告書から引用した次の【所見】^{*1}は、SC・SSW の活用調査を踏まえ、総務省から文部科学省への勧告として提示された内容である。これは、現段階での SSW 活用における現状と課題を明確に示しているものであり、高等専門学校（以下「高専」

* 一般教育科 ** ウェルネスセンター

^{*1} 総務省行政評価局（2020）pp. 36 「文部科学省における国費負担の SC 及び SSW に係る教委等の取組の把握状況」のあとに、「所見」として記述されている。

と表記)のSSW活用もこの観点を踏まえつつ、今後のSSW運用を構築していかななくてはならないことを導く。

【所見】

したがって、文部科学省は、国費負担のSC及びSSWの更なる効果的な活用を促進する観点から、教育現場の負担にも配慮しつつ、次の措置を講ずる必要がある。

- ① SC及びSSWの専門的職務及び具体的な役割について、理解を促進する取組事例及び個別の活用事例を把握し、教委及び学校との共有を図ること。
- ② ①に当たっては、SC及びSSWの配置形態が分かるように整理すること。
- ③ ①に当たっては、SSWの個別の活用事例について、ケース会議の開催など児童生徒への支援に関する一連の取組内容とともに、当該取組ごとのSSWが担った具体的な役割及び連携調整を図った関係機関が分かるように整理し、共有すること。
- ④ 情報共有を目的として各教委に報告を求めてきたSC及びSSWの活用に当たっての課題について、必要に応じて、原因を把握し、解決策を検討し、教委及び学校と共有すること。(下線部筆者)

③は特にSSWに特化して言及した内容となっており、SSWの活用事例が集積されつつはあるが、その取り組みがまだ広くは知られていないことを伝えている。東京高専ウェルネスセンターでは、SSW活用が始まって今年度で6年目を迎え、SSWが支援にかかわった具体的事例を実践報告としてまとめることの本稿の意義にもつながってくる。

2. 東京高専校内支援体制

東京高専では、「障害者差別解消法」が平成28(2016)年に施行されたことに合わせ、高専機構からの援助を受け、学内の支援体制が強化された。それまでは、SC2名で週4日のカウンセリングを中心に運営を行っていたが、本校が国立の機関であることから「障害者差別解消法」の合理的配慮が義務化され、その対応が急務となった。そこで翌年からSCは3人体制となり、毎日カウンセリングが受けられるようになった。さらにSSWが新たに1名加わった。インテークは保健室の看護師

が従来からその役を担ってきたため、そのまま継続し、精神科医も新たに校医として加わり、都度助言を求めた。また、コーディネーターは学内に精通している者のほうが都合がよいと考え、専任教員が担当した。さらに2017年には高専機構から「障害者差別解消法に基づく対応要領」が示され、それに基づいて障害者支援が本格的に実施されていくことになった。

その春からは、身体障害による車いすユーザーの学生が入学し、入寮希望もあったため、寮室の一部改修や動線のバリアフリー化も急遽行われた。

本校のような実験実習を軸にしている工学系の学校にとって、それまでは安全面から考えても障害者の受け入れは不可能だと考えられていた。法律の施行前にも精神障害が疑われる学生が在籍していたことがあったが、その学生の保護者からは支援の要請もなかったため、在籍中はその学生が有する能力を最大限に尊重しつつ、教員間でできる支援を手探りで行ったというのが実情であった。いわば教員の資質や経験に頼ってきたところが大きい。

現在では、ウェルネスセンターとして従来の学生相談室と保健室を含む体制で専門家のスタッフ8名を擁し、専任教員2名がコーディネーターとして専門家と学生・教職員をつなぎながら、心身の健康面を総合的に支えている。専門家が増員されただけではなく、SCの他、SSWが新たにスタッフとして加わることにより、学生の体調不良や成績不振の原因をさぐる眼も広がった。それまで「さぼっている」「やる気がない」と捉えられていた学生たちが想像以上に困難な状況を抱えていることがわかった事例も少なくない。

ここでは、SSWと協働しながら教員がコーディネーターとしての役目を担うことの利点と問題点について提示していく。

2.1. 教員がコーディネーターとして存在することの意味

本校では精神科医・SC・SSWと専門家は揃ってはいるが、残念ながら非常勤職員である。勤務する時間数が限られているため、学校の仕組みや本校の動向をはじめ、学科や科目の状況、学生のふだんの様子に至るまでを把握するには限界がある。

そこで、学生と専門家とをつなぐコーディネー

ター役を専任教員が担うことになった。新体制発足当初は、コーディネーターも外部の専門家に依頼することを検討したが、つなぎの役目を全うするためには、内部事情に詳しい教員のほうが適していた。

本校でのコーディネーターとしての主な役目は次の通りである。

- ① SSW と学生との面談に同席し、学生の困り感を共有する。
- ② 特別支援の必要性があるかどうか等、今後の支援のあり方を協議する。
- ③ SC、精神科医、保護者、担任、学科長等との共有が必要な場合は、つなぎ役となり情報を伝える。また必要に応じて、チーム会を開催する。
- ④ SSW の面談者予約の調整を行う。
- ⑤ 特別支援を希望する学生に対しては、保護者とともに SSW との面談をセッティングし、支援の方向を話し合う。また、それを基に支援計画を作成。学生・保護者に了解を得た上で、科目担当の教員に対して、配慮依頼を作成・配付し説明を行う。

教員がコーディネーターを担う上で利点になるのは、学校の仕組みを理解していることが大きい。具体的に学内で誰にどのような支援を依頼するかを即時に判断することができる。また SSW の見立てにより学生に課される努力目標についても、学内で声かけしながら見守ることができる。また教員としても被支援者の学生を授業の中で観察することにより、困り感の具体的な度合いも計ることが可能である。また、その学生に関わる教員からの情報も得やすく、担任との調整も図りやすい。このように、通常学内で学生や教員と関わっている教員が、コーディネーターとして学生・保護者と支援の担い手である SC・SSW・教員、または外部支援担当者をつなぐことには大きな意義があるのである。

問題点としては、教師としての仕事をこなしながら全学年に渡って支援を調整していくには、時間が足りないことである。学内全体の人員削減の動きも進んでおり、現在はセンター長を兼ねてコーディネーターの仕事も行っている。ウェルネスセンターに関わる教員の確保も課題である。

2.2. 学生理解の方法

SSW を迎えてこれまでの学生相談室の体制と大きく変わったと感じるのは、やはり学生への見方である。学業不振の学生に対しては、なぜできな

いのかを深く考えるようになった。

学生を支援していくにあたり大事なことは、学生をいかに把握できるかということにある。本校では、特に中学卒業後の学生が5年もの長きにわたり在籍し、その間に大きく成長する。学生が高専に入学してからどんな特性が見えたか、学習活動はスムーズに進んだか、コミュニケーションはとれているか、提出物は滞っていないか等、どこに困難を抱えているかは多くの教員の眼で観察されている。教員は支援の専門家ではないものの、学生理解は経年で観察していくことによってある程度は深まっていく。

特に一般教育科では、一学年5学科(5クラス)の授業を1人の教員が担当したり、1年次から3年次までの間で複数年同じ学生を担当したりすることも多く、学業不振が目立つ学生やクラス内で気になる学生を経年で把握することができる。

問題は、それをどのように教員間で共有するかということだ。特に3年次までの把握と4年・5年次での把握に差が生まれている。

1年次は専門学科が決まっていない混合学級である。担任は一般教育科の教員が担当し、専門科目はほとんどないため、専門学科の教員には1年次で特性のある学生情報は伝わりづらい。4年次で初めて専門学科の学生の授業を持つ教員も少なくないため、そこから学生との信頼関係を形成することが困難になっている。「社会実装」や「卒業研究」、進路相談の時点になって、学生の特性を理解できないまま指導に迷う教員が多いのも、それまでの学生への把握が不足していることによるものと考えられる。

それを解決するためには、やはり専門学科の教員にも1年次からの学生と深く関わりを持ち、困難を抱えている学生についての情報を共有することが大切である。例えば、従来のように専門学科の教員が担任として加わることも一案であろう。

2.3. 高専教員の立ち位置の特殊性

「障害者差別解消法」施行後は、困難を抱える学生の支援が年々増加している傾向にある。本校では、学業や学校生活の上で支援を必要とする場合は「特別支援」の願いを申請することにより、合理的配慮を受けることができる。以下の【表1】は、その特別支援が申請された件数を示している。

【表 1】 本校における特別支援申請者数

年度	2017	2018	2019	2020	2021
人数	3	8	10	11	14

(2021 年 12 月現在)

特に発達障害に関わる学生が増えていることは、教員の間でも認識されているところであろう。近年では学業不振が続く学生に関しては、教務主事主導の下、教員全体の成績会議で共有しているところであるが、その場では個々の学生の特性や具体的な支援の提案までを共有するところまでには至っていないのが現状である。

教員における学生理解の困難さの背景には、高専特有のものも垣間見える。対象とする学生は、16 歳から 20 歳である。専門的には児童年齢（18 歳まで）の指導と未成年 20 歳以下の人間形成に資する生徒指導領域とに分かれる学生を抱えている。それでも高専は高等教育機関に属するため、それらを同等に、自律した行動が取れる「学生」として扱っている。そのため、学生には熱心に指導すれば、最終的には力を発揮してくれるだろうと信じてきた。

しかし、学生の中にはなかなか提出物を出すことができない者もいる。それは努力が足りないだけなのだろうか。単にさぼっているだけだろうか。まずは、なぜこの学生は提出できないのかを多面的に捉えることが必要である。

コーディネーターとして SSW と共に面談する中で見てきたのは、その「なぜ」の部分である。書くことを頭の中でまとめられない学生がいる。途中まで書けていても、それを出すことが自分で許せない学生もいる。「努力って何をすればいいですか」と質問してきた学生もいた。学生自身が自分で抱えている困難さを自覚できておらず、なぜ自分ができないのかを理解できない場合も多い。提出できない理由は、学生それぞれに原因があるため、どんな努力が必要なのかも実際は多様である。努力すること自体が能力的に難しい場合もある。教員がそのような学生の特性を理解しないまま熱心に導いても、実力を発揮できずに前に進めないまま、身体に不調が表れてしまう学生も少なくない。一方、教員自身も指導が報われず、疲弊

するばかりである。

そのように指導がどうしてもうまくいかない場合は、ウェルネスセンターの SC・SSW につなげ、専門家の見立てを尋ねることも有効である。その上で支援や指導を行うほうが学生にとっても救いになることが多い。

また近年は学びも多様化し、リカジョ育成の強化に伴い女子の入学者も増加傾向にある。学生全体の 2 割を超える年もあり、各学科で女子学生の割合も増え、女子トイレや更衣室等の施設の整備も進んだ。それでも 4・5 年次の専門の学びが進むと、学びにくさを抱える女子学生も出てくる。男女の区別なく学べるのが高専の良さなのだが、指導する立場の教員の女性率は全教員の 1 割にも届かず、男性教員の女子学生への対応が追いついていない可能性もある。

また LGBTQ に関心を持つ学生も少なからず在籍していることは、以前から高専共通の課題となっている。相談も寄せられるが、学校の対応は進んでいない。多様性の尊重が叫ばれる時代に入り、高専という組織の中でもはや人ごとではなくなってきた。マイノリティであっても尊重し支援できる意識を、学校をはじめ教員一人一人が持つことが、居心地の良い学びの場を提供することにつながるはずである。

教員の力では対処できない家庭の事情を抱えた学生の場合も、安易に休学を勧める前に SSW を活用してほしい。SSW が介入することで公的な支援が受けられ、学業が安定したという事例もある。教員には関われない分野での支えの仕組みもあり、それにつなげてくれるのが SSW なのである。

3. 東京高専 SSW 活用と役割

ソーシャルワークは生活の中でスムーズではない部分（ニーズ）を明らかにして、心地よさを目指した支援や配慮を当事者とともに考えていく役割を持つ——この前提を持つゆえに、多様性の尊重及び当事者主体の支援という機能を有する^{*2}。SSW は「ソーシャルワーカー」であるものの「スクール」の名を頭に持つ以上、その対象となる「生活」とは「学校生活」を中心に据えた支援となり、学校生活であるゆえに支援ニーズの感知に関して

を前提とする。

^{*2} 日本は 2014 年 1 月に「障害者の権利に関する条約」を批准しており、「当事者主体」であることの考え方を基盤に持つ。当事者主体である以上個々のニーズが異なること

は、①登校がスムーズではない、②かかわりがスムーズでない、③学びがスムーズではない、という3点に集約されることとなる。

しかしながら、これら3点の要因としては、「世帯状況（虐待・経済・世帯メンバーの心身不調など暮らしの中に生じる）」「本人の心身の不調」「発達の困り感（人間関係・書字困難などの学び中に生じる）」が輻輳し、現実としての「スムーズではない状態」が出現するため、SSW が担う支援は学校という場所を越えた生活の範囲も含んでいく。

ここでは、東京高専のSSW 活用の現状及び現状を踏まえて今後の活用の可能性を指摘する。

3.1. ウェルネスセンターの人的資源と体制

インテーカーとコーディネーターは日常的に学生と教員に最も近い位置におり、SC は学生や教員からの要請に応じて、いつでも対応できる準備がされている。SSW はコーディネーターからの要請に応じて協働する体制となっており、SSW がケースにかかわる動きが生じた時点で、すでにコーディネーターとSSW によるチーム支援が始まっているという前提を持つ。

また、学生への合理的配慮（特別支援）提供の判断から提供内容の合意形成にあたっては、コーディネーターを主にSSW とともにチームとなり、必要な人的資源をチームに加えつつ、合理的配慮提供を組み立てている。もちろん、インテーカー及びSC から直接SSW へ協働を求められるケースもあるが、SSW が関与するケースはコーディネーターに共有していく体制があるため、やはりチーム支援につながっていく。SSW に比べて、SC はケースをチームではなく、個別に対応する傾向を有するが、それは職能の違いから生じる当然の現象でもある——カウンセリング時の守秘義務もこの傾向に加担するために、SC の抱えるケースを慎重に判断する機能がコーディネーターに求められる理由となる^{*3}——。

SC とSSW の支援の動きと職能についての理解は、学生の支援を組み立てるための「調整（コーディネート）機能」を持つ役割として、ウェルネ

スセンターのコーディネーターが存在していることの重要性につながっていく。加えて、ウェルネスセンターの専門職同士が有機的に連携するためには、スタッフの間でたがいの理解を深める必要がある。「コーディネーター・保健室看護師・インテーカー・カウンセラー・ソーシャルワーカー」が互いの職能について、「語り合う・分かり合う」という有機的につながる機会を持つことはまさに「調整（コーディネート）機能」によって可能になる。ウェルネスセンターのコーディネーターはその名のとおり、支援とスタッフのコーディネート機能を担っている。

3.2. ソーシャルワーカーの積極的な活用

ソーシャルワークは本人の生活という環境を支援の対象とするため、本人を中心としてつながる人的資源や社会資源が複数になるのは当然であり、これはそのままチーム支援へとつながっていく。SSW は、学生本人や保護者との面談等により直接支援も行うが、「困っていること」の状況把握と支援の計画策定、チーム全体の調整や役割分担、またどのような資源が必要になるのか、どの機関とつながるのが適切かという社会資源の選択を行うこととなる。

東京高専SSW の支援のスタートは、コーディネーターの要請から始まる。コーディネーターへのケースコンサルテーション、またはコーディネーターとSSW が同席し、学生や保護者との面談を通して、アセスメント及び支援の組み立てを行っていく^{*4}。教育や研究の専門を持つコーディネーターと福祉の専門を持つSSW が協働することによって、どのようなことが可能になるのか、学校に不足しているものは何か、SSW は支援のどの部分を補っているか等、ケースを分析することで明らかになっていく。同時に、この作業はコーディネーターとSSW がどのように関連し合っているのかを見いだすことでもある。

これは、先に掲げた総務省の【所見】③「SSW の個別の活用事例について、ケース会議の開催など児童生徒への支援に関する一連の取組内容ととも

^{*3} SC に直接に相談があったが、SC のみの対応では難しく、SC からコーディネーターへのチーム支援の要請がなかったために、支援が遅れたケースがあった。コーディネーターはケースを把握することができるため、必要に応じてチーム支援の動きをつくる「コーディネート機能」が必要となる。

^{*4} アセスメントは「情報収集・見立て」、コンサルテーションは「専門家による指導・助言を含めた検討」を指す。支援に関する文言の意味や詳細は、文部科学省(2017) pp. 11～15「SSW の職務内容等」を参照。

に、当該取組ごとの SSW が担った具体的な役割及び連携調整を図った関係機関が分かるように整理し、共有すること。」に述べられていることと一致する。この③に示された「ケース会議の開催」を例に挙げれば、ケース会議のための学校内及び学校外のメンバーの選定からはじまり、SSW が行う「連絡調整」や「関係機関」は福祉の職能であるゆえに、教育の専門を持つコーディネーターとともに「整理し、共有すること」が求められていることがわかる。

そして、コーディネーターは、SSW 活用の促進を含めた支援スタッフの有機的なつなげ役も職能として求められている。東京高専では、現在、コーディネーターと SSW が協働するという体制を有している。これは現在の仕組みであり、コーディネーターの知識と経験の充実、その後の SSW 活用のバリエーションにつながり、よりよい仕組みづくりを生んでいく可能性を内包するであろう。

次のケース実践紹介と検証は、コーディネーターが SSW を、コンサルテーションで活用・ケースのアセスメントと支援組み立てに活用・ケースの伴走支援で活用など、ケースによって活用の采配ができるように、学びと体験の循環が必要であることを示している。

4. ケース実践紹介と検証

チーム支援では「チームメンバーのゆらぎ」が確認されている^{*5}。東京高専ウェルネスセンター SSW の場合は、コーディネーターと SSW でのチームメンバーからスタートし、最終的には学校内メンバーである担任とコーディネーターの 2 人に落ち着いていくというケースがほとんどである。

具体的には、「チームメンバーのゆらぎ」はコーディネーターと SSW からはじまる支援の組み立てを通して、学校内だけではなく学校外社会資源のメンバーも加わっていき、支援がない状態から支援を受けられる環境へと変化したことによって、学校生活が落ち着いていく流れを持つ。この一連の支援の組み立てには絶対的な正しいやり方は存在せず、ケースに応じてそのチームメンバーも異なることから、結果として学生自身の「生きる力」を支え、学校生活における学生本人の心地よさを

高めることが支援の目標となる。ケースによっては、チームメンバーがゆらぎながら、何年にもわたる支援が必要であることもあり、そのためには、コーディネーターが中心となる体制づくりと支援目標を共有して、協働する仕組みづくりがあることが必須となる。

コーディネーターが支援の中心となっていなければチーム支援が展開され得ない。コーディネーターの要請に応じて支援が始まり、コーディネーターと SSW がチームになり、支援目標が決まっていく。これは、ケースにより SSW 活用の要請タイミングが存在することを明らかにし、このタイミングについても分析する必要があることを導く。

4.1. 外部連携のケース紹介

次の【表 2】は、簡略化した内容となっているが、コーディネーターと SSW による支援ケースを紹介したものである。ただし、個人が特定されないように性別は示さず学年のみとし、情報は最小限にとどめている。また、学校外社会資源については、市区町村ごとに行政窓口の名称は異なるが一般的な名称に変更を加え、NPO や事業所なども同様に一般的な名称に変更している。

この表では、「ニーズ感知」として、だれから、どのような情報がコーディネーターに「気になる学生」として共有がされているかを示した。次に、コーディネーターと SSW が本人や保護者との面談及び教員からの情報を得て、「本人の状況」として把握した内容を記している。「本人の状況」はコーディネーターと SSW によるアセスメントであり、このアセスメントをもとに決めた「支援の目標」、この目標に向かい「連携した社会資源」についてまとめている。社会資源連携の後は「経過」として示した。

この 7 ケースを選んだのは、それぞれの「本人の状況」が異なることによる。学校生活がスムーズにいかないというニーズ感知が共通しても、その要因をケースごとに示せば、①ネグレクト、②インターンシップ先との配慮の連携、③就労支援、④家庭問題、⑤経済問題、⑥心身虚弱・学力不振、⑦学校内での暴力加害等、さまざまである。

^{*5} 前嶋 (2017)「ゆらいでいくコアチーム」と表現したエコロジカルアプローチの考え方を採用した支援の経過を指す。支援を受けていない状態から支援を受けられる

環境へと移行する中で安定し、チーム支援のメンバーに変化がもたらされること。エコロジカルアプローチについては河野 (2011) を参照。

【表2】 ケース紹介

No.	学年	感知 ニーズ	本人の状況	連携した 社会資源	経過
			支援目標		
①	2年	欠席が続く (担任より)	寮を出て1人暮らしを始めたが、保護者からの支えはなく、本人のアルバイトの稼ぎのみで生活を賄っており、心身ともに疲労困憊で、登校することもできなくなり、学びの意欲も失っている状態であった	SSW と生活保護の申請を考えたが、相談をする中で、ネグレクトに当たる状況であることがわかり、学校より児童相談所へ通告。児相担当と里親が決まり、児相・里親・コーディネーター・SSW でケース会議を開いて、本人をどう支えていくかの役割分担を行った	学校は学業と普段の様子を確認する役割にて、担任へはコーディネーターから必要な情報共有をしながら、コーディネーターが里親と児相との連絡窓口になり、本人の生活の安定を共有し、見守りを継続
			生活状況を落ち着かせて、学業に専念できる環境をつくる		
②	4年	インターンシップ先との連携 (担任より)	発達障害があり、学校での合理的配慮の提供はすでに行われていたが、インターンシップ先へ本人の特性と配慮内容をどう共有すればよいか、一緒に考えてほしいという要請があった	どのように進めていくのかを担当・学科の教員とSSW とともに打ち合わせて計画を立て、本人の意思確認も行いながら、学校からインターンシップ先の会社へ情報共有の場をつくってもらい、SSW が同席して本人の特性について伝達した	インターンシップ先の会社では事前に共有できたことにプラスの受け止めがあった。インターンシップ終了後もコーディネーターが担任と連絡を取り合い、連携しながら卒業まで見守りを継続
			学生本人の納得のいく伝達内容の合意形成をして、インターンシップ先に伝える		
③	5年	就職先が決まれない (担任より)	発達障害があり、就職先をどう決めたら良いか、本人も保護者もわからず、困っている状態であった(精神障害者保健福祉手帳を持っているが、支援機関にはつながったことがなかった)	まずは地元で相談できる場所をつくることを目指し、在住市で活用できる「発達障害支援センター」にSSW が相談し、その後に本人と保護者を支援センターの相談につなげ、卒業後の就労について一緒に考える支援者を在学中に確保した	コーディネーター・支援センター担当者・SSW で支援移行のケース会議を開き、コーディネーターと担任で共有。卒業後は、センターの支援者に支援移行ができたので、卒業と同時に支援終了
			在学中に、発達障害を専門とする就労の伴走支援を行う支援機関につなげる(卒業後に困らないようにする)		
④	3年	成績不振 (担任より)	父から母と本人に支配的なDVがあり、気持ちが高ぶって不安定で学業に専念できない状態であった(本人は成績が悪いと、父からの攻撃が激しくなることを恐れていた)	母にははじめDV被害者であることの認識がなかったが、コーディネーター・SSW と面談を継続していくうちに、父の言動が本人の学業に影響を及ぼしていると感じて女性相談やDV相談、弁護士相談などを活用する中で、DV理解を深め、母と本人のみの生活を作り上げることを決め、実行した	母が相談していた社会資源と直接連絡を取り合うことはなかったが、家を出るなどの大きな行動の際には、コーディネーターは学生の様子を丁寧に観察するなど、担任と連携して見守りを継続し、世帯の法的な手続き終了後に、支援終了
			本人と母は意思疎通ができていたもので、母の支援を中心にして、母と本人の安定を支えることで、本人の安心感を高め、学業に集中できる環境づくりを応援する体制をつくる		
⑤	3年	4年次以降の学校生活の心配 (担任より)	母と本人と2人世帯で、生活保護を受給しているが、高校卒業年代を終えてからの4年次以降の学費等の心配が本人にあり、気持ちが高ぶって不安定になっている状態であった	まずは本人が生活保護の制度をきちんと知ること、本人のためになる制度の活用をすることを第一の目的として、担当ケースワーカーとSSW が面談し、本人の在学中の心配について相談し、生活保護制度の枠組みで学業を続けられることを確認し、本人にも共有した	SSW は、学費や奨学金などの制度や手続きも調べ、本人が活用できる制度を利用しながら、卒業までの見通しを立て、コーディネーターは、担任と情報共有し、連携しながら、困った状況に陥らないように、見守りを継続
			生活保護制度をしっかりと理解した上で、どうすれば卒業まで学校生活が安定するかを一緒に考え、制度活用も含めて卒業までの見通しを持つ		
⑥	3年	心身虚弱・成績不振 (担任より)	過敏性腸症候群で授業に出られない・登校ができない状態であった。また、発達障害の疑いもあり、学びの理解と集中ができず、単位取得がかなわない状況が改善できずに、退学が確定した	公立の高校の種類や課程について、SSW から説明し、世帯経済状況や本人の希望もあわせて転学先を決めること、転学先の高校にSSW が連絡を取り、申し送りをするを本人と保護者と確認し合い、同時に、在住市の若者居場所事業所にもSSW から連絡を取り、本人と保護者に紹介した	コーディネーターは、担任に支援内容を共有しながら見守りを継続。転学後には、SSW が転学先の高校の担任・SSW と面談し、本人の申し送りをし、支援終了。若者居場所事業所からは母のみが事業所見学に来たことの連絡があった
			在籍中に、転学先の相談と転学後の申し送りを丁寧に行う。今後も継続して相談できる支援者が必要であるため、本人の在住市で活用できる相談機関にも本人と保護者をつなげる		

⑦	1 年	(担任より) 暴力の加害	同じ相手からずっと嫌な言葉やか らかいの言葉をかけられており、だれに も相談せずに一人で我慢を重ねてい た状況の中で、思い余って暴力の加害 者となった	本人だけが悪いという加害行 為の認識ではないが、本人の 行為が傷害事件になり得るも のであること、自己理解を深 めて他者とより心地よい関係 性を築くことを目的に SSW か ら犯罪の被害・加害の双方の 相談ができる警察の少年相談 に連絡し、心理士のカウンセ リングを受ける機会を設定し た	出席停止の期間とその後 にわたり、警察の少年相 談のカウンセリングを受 けた経過を踏まえ、心理 士と SSW が情報共有を行 い、見立てを共有。コー ディネーターが担任と連携 し、学校内での本人の様 子と周囲の環境も含めた 見守りの継続
			対人関係の構築や怒りのコントロ ールが上手ではない・我慢を重ねるこ とが良い結果に結びつかない・加害行為 は傷害事件にもなる等を知り、心地よ い学校生活を送れるようにする		

4.2. ケース分析と SSW 活用タイミング

この 7 ケースはすべて担任からコーディネーターに共有され、コーディネーターと SSW のチーム支援が始まっている。ニーズ感知の場所は学校内（教室）や担任と本人との間でされており、その意味では担任からの情報がどのようにもたらされるかによって、支援が左右されてしまうことも示す。コーディネーターがつねにすべての教員と情報共有を行うのは現実的ではないことから、どのような情報に注意を振り向ければいいのかについて知ることが重要になる。

特徴的行動として見えてくるのは「欠席の多さ」と「成績不振」であり、この要因は①④⑥にあるとおり、それぞれに異なり、本人の努力を超えたところに存在する。同時に、学校で発見されるニーズ感知でありながら、教育機関である学校の専門性とはかけ離れている要因により生じている現象でもある。教育の専門性から離れていることは、⑤や⑦も同様であり、⑤の生活保護という福祉の制度や⑦の犯罪の加害・被害の心理的なケアは、教育機関では担うことができない。②や③についても障害福祉と社会生活が接続する場で行う支援であり、やはり教育の専門性からは離れている。

コーディネーターは、担任がニーズ感知をするという前提に加えて、支援が必要である特徴的な行動様式——欠席の多さや成績不振には、本人では解決できない要因の可能性がある——に注目してニーズ感知をし、コンサルテーションを SSW に求めていること、また教育機関が担うことができない場での支援が必要となる際には、SSW とのチーム支援を開始していることが見出せる。また、①②③④⑤⑥⑦のすべてのケースで、学生が在籍中のうちは、学校内メンバーで支援が継続できるように調整することもコーディネーターの役割である——担任を支え、コーディネーターとともに

見守れるだけの学校内連携を組み立てる——ことも導かれる。

これらのケースは、SSW 活用を有機的に行うために、SSW はどのように学校外社会資源と連携をしているのか、どの場合に、どのような社会資源と SSW は相談をしているのかということコーディネーターが知ることの大切さを伝えている。これが、知識と体験の重要性として指摘できるポイントであり、コーディネーターにとっては支援の領域を SSW によって広げることを可能にする。しかし、SSW は学校に所属する非常勤スタッフである以上、あくまで SSW はコーディネーターが活用する人的資源であることを忘れてはならない。よって、コーディネーターの知識と体験は SSW 活用に影響を与えていく大きな要素となる。

5. 高等教育機関・研究機関で必要なチーム連携

教育機関・研究機関として、学生の学修を深め、社会へと送り出す役目を担っている東京高専では、どのようなときにチーム連携を必要とするのか——教育及び研究機関の専門性では解決できない場合——について、事例の分析から明らかにしていく。

5.1. 不完全事例

コロナ禍で発熱があったが、家族に助けてもらえないとの訴えがあった。保護者の仕事も忙しく、世話ができない状況であったため、入寮を勧め、まずは学校で保護し、SSW・SC・看護師をはじめ、担任・学科長・寮務主事・学生主事ともに関わりながら、メンタル面も支えつつ見守る体制をとった。しかしながら、本人の都合により退寮し、自宅に戻ってからは、支援が途絶えてしまった。

学生の話からネグレクトも疑われるケースであったため、自治体への支援も検討し、チームとしての連携も強化されていたが、保護者と本人の話

に食い違いがあり、事実関係が把握しきれないまま、支援が不完全に終了する結果となっている。

5.2. 校内支援(心身虚弱・睡眠障害)

授業中の居眠りが多く、3年次には実験レポートをこなすことに時間がかかるようになり、それによって登校できなくなった。睡眠障害の疑いがあったが、睡眠外来をすぐに受診することが困難であったため、特別支援申請を待たずに定期試験の時間をずらす配慮を行った。それにより単位を取得できたが、その後休学。その間に専門医を受診、治療を継続しながら自宅療養し、復学後は、少しずつ生活リズムを調整し、授業を受けられるまでに回復した。

学生の学習意欲は高く、体調を考えずに無理をしやすく、ヘルプは出せないところがあった。SSWとの面談では、そんな内面をも引き出し自己認識を深めてもらった。さらに保護者や担任とも連携し、本人の睡眠や健康状態を随時共有し見守った。専門の医療機関につながったことが体調の改善には大きな要因にはなっているが、保護者や担任、SSW等の周囲が諦めずに学生の意思を尊重できたこともまた、学生には支えになっていたはずである。

5.3. 校内支援(発達の困り感)

発達障害によるコミュニケーションの困難さを持っている。そのため本人の困り感を引き出すためには、SSWやインテーカーとの信頼関係が欠かせなかった。特にインテーカーは昼休みに来室する学生とのコミュニケーションがとれていたため、支援の際には科目担当教員と学生との連絡窓口の役目を果たした。

また学生は口頭の説明だけでは理解しにくい特性があるため、実験内容が理解できず、レポートが追いつかなくなった。留年した後、学習支援担当のSSWの仲介により、実験レポート支援は学科の上級生がTA(ティーチング・アシスタント)につくことになり、学生に合わせた指導を行っている。その結果、学生の視覚優位な特性も活かされ、格段に実験の理解が進み、レポートも書けるようになっている。

実験レポートがこなせないのは、書く能力がないためと思われがちだが、丁寧なアプローチで学生の困り感を理解することにより、適切な支援に

つなげることができる。ただし教員がすべてその負担を負うことには限界もあるため、TAやピアサポート等学生資源の活用も積極的に進めたい。そうすれば、被支援学生も力を発揮できるのである。

6. おわりに

高専という特殊な仕組みの中でも、もはやSSWの役割を必要とするケースが珍しくない。特にコロナ禍の現状においては、保護者の働き方も変化し、それに伴い家庭の状況も変わり、学生の家庭内での学習環境も不自由さを強いられていることもある。経済状況が苦しかったり、家族の介護をせざるをえなかったりする学生は、学校に苦境を訴えることもしないため、学校からは見えにくい。また、その状況を知り得たとしても、担任や科目担当教員、学科だけで対処することは困難である。

ここまで検証してきたようにSSWの職能も理解し活用すべきである。そのためには、コーディネーターが学内の教員から困り感のある学生の情報を集め、インテーカーの協力も得ながら、専門スタッフへとつなげていく必要がある。また、保護者との連携も不可欠である。さらにSSWを通じて外部の社会資源にもつながることができれば、本校を離れた先も社会へつながるための支援が可能になる。

困難を抱えた学生であっても、社会に貢献できる能力は必ずあるはずである。支援を行う意義はそれを発見する過程でもありうる。

今後は、SSWの事例を積み重ねることによってより柔軟に多様なニーズにも対応できる支援をめざしていきたい。

参考文献

- 1) 河野哲也：エコロジカル・セルフ，ナカニシヤ出版，2011
- 2) 総務省行政評価局：学校における専門スタッフ等の活用に関する調査 結果報告書，2020（2021年12月31日閲覧）
https://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/hyouka_020515000141425.html#kekkahoukoku
- 3) 前嶋深雪：ケースに応じた校内支援体制づくりと社会資源連携についての実践研究―緊急度に合わせて流動的な校内チーム支援体制とSSWの活用，生徒指導学研究第16号，2017

- 4) 文部科学省：教育相談の充実について～学校の教育力を高める組織的な教育相談体制づくり～（報告）, 2017（2022 年 1 月 4 日閲覧）
https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/cho usa/shotou/066/gaiyou/1381049.html

（2022 年 1 月 14 日 受理）

y-x グラフの可視化へ向けた単振動の実験器の製作 —正弦波的な信号源の制御・開発と駆動装置の模索—

藤井俊介*

物理の授業での演示実験を念頭に置いて、つりさげた状態でのばね振動子を駆動するための回路と、電子的に制御可能な単振動信号源についてアナログ方式とデジタル方式の両方視点から装置開発を行う。具体的には、信号源から出力される振動磁場をソレノイドで発生させて、ネオジウム磁石製の強力磁石 (480 mT) をおもりにして振動的な磁気力を加え、強制振動する物理系を作る。また、波源の振動数を可変にすること、波源の初期位相を互いに 90° 単位でずらせるような 2 つの単振動波源を開発し、将来的には波源同士を接続して横に並べて y-x グラフ可視化につながるような、拡張的な機能をもった単振動の実験装置開発を行う。
(キーワード: 単振動波源, 位相制御, 擬似正弦波の生成, 加算回路, AVR とアセンブリ言語)

Realizing Harmonic Oscillation (H.O.) Instruments for Education —Development of Wave Sources and H.O. Driving Instruments—

Shunsuke FUJII*

Intended for demonstration in physics classrooms, a forced oscillation system of electrically controllable harmonic oscillators and magnetically driven actuators, was developed. This system was developed in both an analogue method and a digital method. Strong Neodmium magnets (480 mT) and oscillating magnetic fields are vital elements for this forced oscillation system. The goal of this project is to develop instruments with two frequency-controllable oscillators and to implement a function of a mutually adjustable initial phase by units of 90 degrees, which will be a firm starting point for the application of the electrically synchronized harmonic oscillators for demonstrating y-x graphs in a future physics class.

(Keywords: Harmonic oscillator, oscillating phase control, generation of digitalized sinusoidal wave, analog adder, AVR and assembler)

1. 導入

単振動は重要な物理過程であるが、その理解は y-t グラフ, y-x グラフを通して深まることが多い。しかし、単振動における y-t グラフ, y-x グラフを直感的に理解することを難しく感じる学生は多い。学生に苦手意識を感じさせる前に、少しでも「考えてみよう」という思考をいざなう教材の開発は、物理教師の重要な使命の一つである。

単振動の周期は、物体の質量とばね定数の比によって定まる。単振動を見せるための演示実験としては、ばね定数の小さな (10g 重/cm) 程度のばねと 100g 程度の質量をもつおもりを用いれば、周期が 2[s] 程度になるため、学生に単振動がどんな現象かを伝える目的には、これで十分である。一方

で、単振動波源から波が伝わる様子を、空間中に偏在する多数の媒質の、時間遅れを伴いながら、波源の振動が伝わっていく過程を実際にみせ、それが y-x グラフとして認識されていくためには、少しギャップがある。その目的のためには、多数の少しずつ位相のずれた単振動実験器を並べて電子的に各波源の位相 (角) を制御することも有効¹であろう。多数の波源を同時に観察することにより、y-x グラフの理解が深まると共に、波の伝わり方の直観的理解の出発点になると期待できる。

本報告書の構成は、図 1 の装置開発の全体像と

¹長いばねを用意し、一端を固定して真横に引っ張った状態で、手で振動させて生じる波を観察することが、y-x グラフの演示実験としては一般的に行われている。

対応して各節が構成される。2 節では、駆動装置や振動子の模索・開発をまとめ、続く 3 節において、2 波源の信号の波源の生成や 2 波源の位相をずらす方法を考える。特に、アナログ方式とデジタル方式[ワンチップマイコン(AVR)の DA 変換]について、それぞれ提案する。4 節で、結論と今後の展望を述べる。

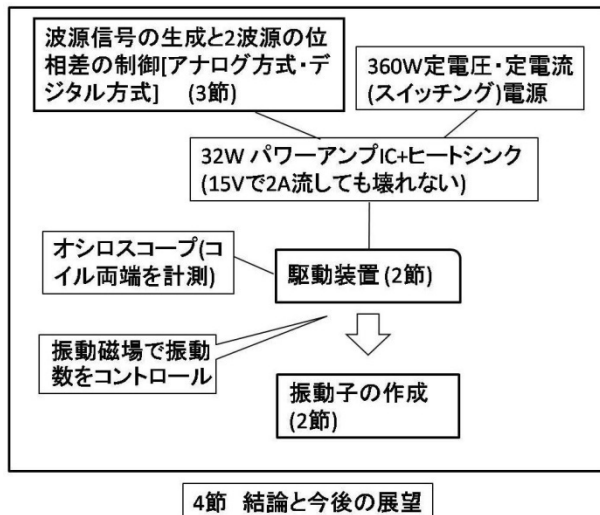


図 1 装置開発の全体像と各節との関係

2. 駆動装置の探索

2.1 振動モータの波源としての利用について

音波モータによる歯ブラシや、市販の振動モータなども波源としては使えるかもしれない。この可能性について調べてみた。振動モータにかかる電圧・電流を、360W 可変定電圧・定電流電源(松定プレジジョン TB80V14A360W)を用いて所定の値に微調整しながら、モータの回転数を変え、電動歯ブラシの振動数を制御する。また、図 2 のように、電動歯ブラシの振動数を確認するのに、電動

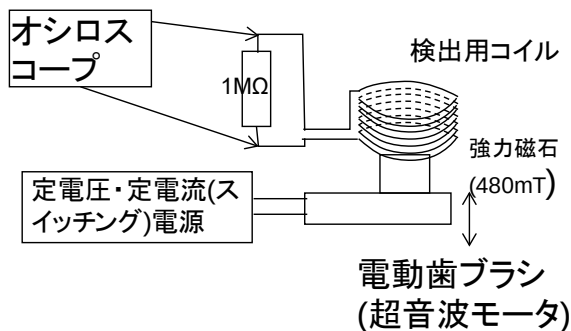


図 2 電動歯ブラシの振動数の検出回路

歯ブラシに磁石を固定し、振動検出用コイルで振動数を検出する。電動歯ブラシの電源を入ると電動歯ブラシに固定された磁石も同期して振動し、

コイル中に磁束密度の変化が生じるため誘導起電力が発生する。これを図 2 のような、振動検出用コイルと $1\text{M}\Omega$ の抵抗との閉回路をつくり、オシロスコープ(岩崎通信 DS-5104, 40MHz)で誘導起電力の周期を測定する。

電動歯ブラシに固定する磁石が、十分強力でない場合、図 3 のように、誘導起電力が 1mV 以下となり、ノイズと区別がつかなくなる。その結果、図 3 では、電動歯ブラシに加える電圧を 2 倍程度に増やしても、信号の形に変化が見られない。

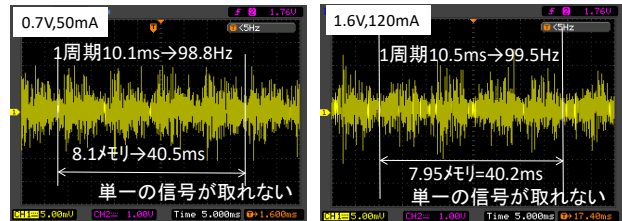


図 3 磁石が十分強くない場合：信号がノイズに埋もれる場合

誘導起電力を検出するための最も単純な方法は、強力な磁石を使うことである。そこで、 480mT の強力磁石(二六製作所, NE667)を用意し、電動歯ブラシに固定したうえで測定した結果が図 4 である。

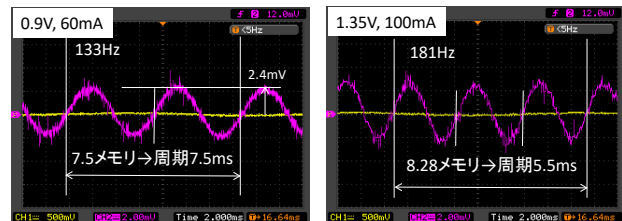


図 4 480mT の強力磁石を使った場合：ノイズと区別できる信号をはっきり出る

図 4 では、ノイズが一部のっているものの目的とする波形は、ノイズに対して十分大きく波源の振動をとらえることができている。また、電動歯ブラシに加える電圧を $0.9\text{V} \rightarrow 1.35\text{V}$ に増加させると、誘導起電力の振動数は対応して 48Hz 分($133\text{Hz} \rightarrow 181\text{Hz}$)ほど増加する。一方、磁石の誘導起電力の周期と実際の歯ブラシの振動の周期が異なる可能性が気になる人もいるかもしれない。原理的には磁束の変化は歯ブラシの振動によって引き起こされているので実際の振動と第 0 近似として等しいはずである。図 4 を細かくみると、波形がきれいな曲線にならず一部ノイズが載っている。このノイズの起源は、固定をセロテープで巻いた程度で、強力磁石がモータの振動に追従しきれていない可能性はある。しかし、基本的には、印加電圧に応じた一定の周期の振動が表れており、振動モータ

の振動に対応した誘導起電力の時間変化が表れているとみなせる。こうして、非接触の振動モータの振動数測定はできた。しかし、振動モータを単振動の波源として授業の演示実験に利用するには、振動数が高すぎる。数 Hz 程度に下げて初めて視認できるからである。

2.2 自作ソレノイド-強力磁石の強制振動駆動装置の製作

単振動では、ばねのばね定数[N/m]とおもりの質量[kg]を決めると、単振動させた時の周期[s] (以降、「周期」と呼ぶ)が決まる。さらに、多数回巻いたソレノイド中にばねを通しておもり(強力磁石)を吊り下げ、つり合いの位置の周りで振動磁場を与えてやれば、強制的におもり(強力磁石)を振動させ、好みの周期の単振動を作りだせるはずである。強制振動は、固有振動の周期からずれると一般に振幅が小さくなるため、おもりの振動が、目にはっきり見えるほど大きな振幅となるかどうか実験する。その準備として、図 5 のように 0.4mm の銅線を 4×10^2 回巻き (以降 400 回巻きと呼ぶ) のソレノイドと 1.0×10^3 回巻き (以降 1000 回巻きと呼ぶ) のソレノイドを作った。

予備実験として用いた用いた手巻き空芯コイル (2.1 節の振動検出用コイルと同じもの) では、導線どうしをアロンアルファとホットボンドで接着し形が崩れないようにしてきたが、アクチュエータとして用いた場合、導線が大電流で熱を持つため接着剤が溶けて接着が弱まるほか、巻かれた導線間の平行電流に起因する電磁的反発力(ローレンツ力)により、導線間の密着状態は徐々に弱まり実験状況が悪化していく問題点がある。この問題を防ぎ継続的に実験できるようにするために、ソ

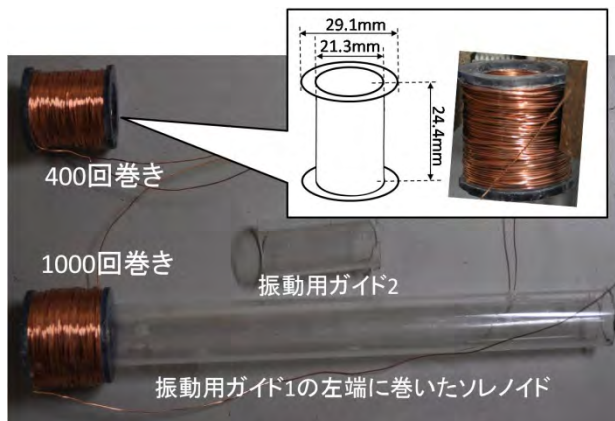


図 5 振動磁場を作り出すソレノイド

レノイドを固定するためのボビンを、強力磁石 (480 mT) の運動に影響を与えない、アクリル等の非磁性素材を用いて作成する。ソレノイドの巻き芯(ボビン)には、内径については 480 mT の強力磁石が通過できるような内径をもつ透明のアクリルパイプ(内径 18.9mm, 外径 21.1mm)と(レーザー加工機で加工可能な)色のついた半透明素材を用意した。色付きの半透明素材は、内径 21.3mm, 外径 29.1mm のドーナツ型にくりぬいた。このドーナツ型の形状のボビンの端の部分の製作には、まず、designer(製図ソフト)で mm 単位の製図し、cad 形式(拡張子.dxf)で保存する。次に、本校のはざま工場の CorelDraw で切り込み等の詳細加工の設定データを作れば、ソフト Speedy300 がその製図の通りの加工データを生成、レーザー加工機が加工してくれる。図 5 のように、振動用ガイド 1 のついたボビンは、加工するドーナツ形状のプラスチックの外側の直径を 5mm ほど大きくしたため、巻き数が 1000 回巻きのものを作ることができた。振動用ガイドは、ばねの振動が直線的にならない場合を想定し、直線性を保つようにパイプ内に動きを制限するためのものである。また、図 7 のように縦に並べた 2 つのソレノイドの間で振動させるか、一つのコイルだけで振動させるかの両方を試すため、短めの振動用ガイド 2 も用意した。

次に、おもり(強力磁石)とばねを固定する金具を作る。480 mT の強力磁石は M4(内径 4.8mm)縦穴を利用してねじ止めする。ばねと固定するための金具を図 6 のように、軟鉄を曲げ加工して作る。軟鉄の切り出しはグラインダー(リョービ MG-12)を用いた。強力磁石はもうひとつ下から磁石同士の磁力でくっつけて、おもりは 2 つとする。こうして単振動の駆動実験の装置ができた。

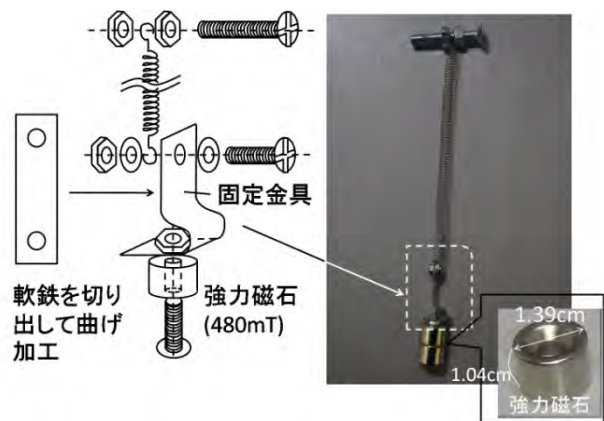


図 6 おもり(強力磁石)とばねの固定金具

2.3 駆動テスト

2.2 節で作成したソレノイドを用いて、おもりとばねからなる振動子を強制振動させる。波源の信号生成に、低周波発振器(AD&D, AD-8626)を用い、

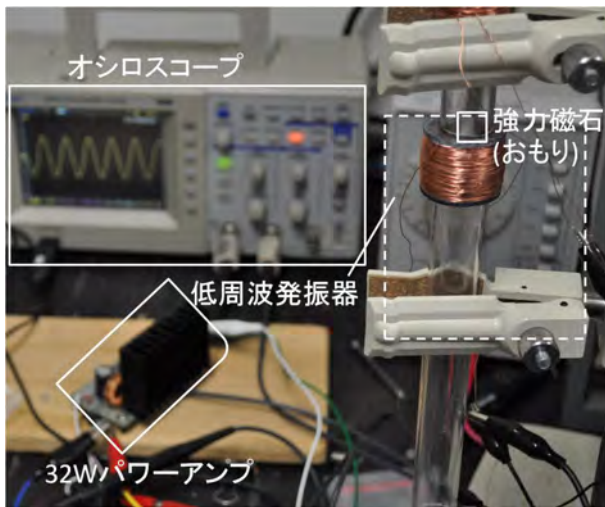


図 7 駆動装置のテスト

信号の電流増幅に IC TA7250BP をのせた 32W パワーアンプキット(共立電子産業・デジット営業所)を用いた。パワーアンプの出力に 2 つのソレノイドを直列につないで駆動する。図 7 の下側のソレノイドに加わっている誘導起電力をオシロスコープで計測することで、強力磁石にかかる磁気力による振動の振動数を確認できる。弾性力はつり合いの位置を固定するためにはたらく。実際に計測されたソレノイドの電位差は図 8 のようになった。図 8 は磁石による誘導起電力を反映した波形なので、低周波発振器の最低振動数の 10Hz 弱と同期して、強力磁石が振動していることが分かる。

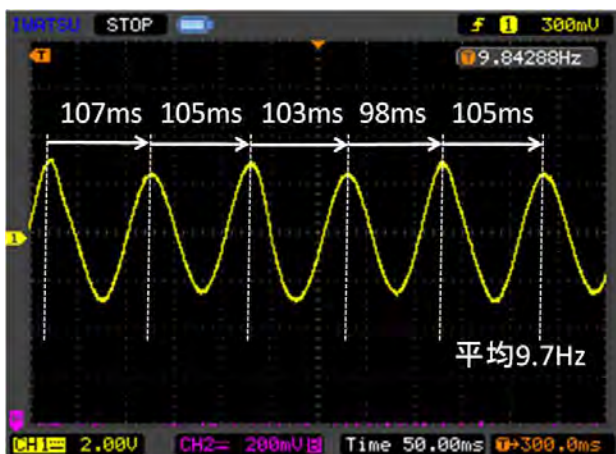


図 8 ソレノイドの誘導起電力

3. 2 波源の発生器・位相ずらし器の製作

図 9 に、この節における開発の流れを示した。

アナログ方式においては、波源は先ほど用いた低周波発振器により、その後の波形整形に集中して位相ずらし回路(図 9 の 2 波源生成回路)の開発を

波源信号の生成と 2 波源の位相差の制御 (3 節)

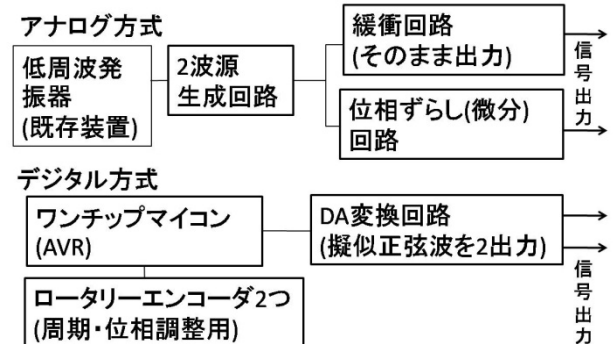


図 9 アナログ/デジタル方式波源の開発の流れ行う。具体的には、低周波発振器の 1 出力から、緩衝回路と位相ずらし回路の両方に並列入力し、相対的に位相のずれた 2 信号を作る(3.1 節参照)。

デジタル方式においては、図 9 のように、2 波源の擬似正弦波信号の生成装置の開発を行う。具体的には、ワンチップマイコン(AVR, Atmel 社製 (Microchip 社に吸収合併))の SRAM 内に登録しておいた擬似正弦波の 16 種類のデジタルデータを、1-30Hz 程度の振動数の範囲で、2 信号を同時に出力するように、アセンブラ(AVR studio4)でプログラムする。仕様の詳細としては、8 ビット(8 ピン)の 2 進数(H/L レベル²)データ出力 2 系統から、それぞれ抵抗を用いた電流合流型 DA 変換回路を通して、擬似正弦波を出力する。(3.2 節参照)

3.1 アナログ方式での波源の位相制御

実際の実験装置は図 10 で、機能ごとに図式的に

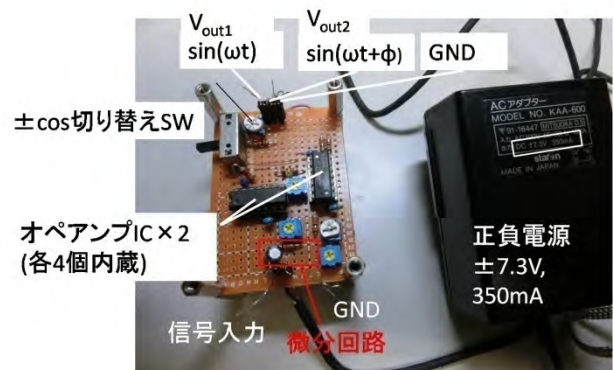


図 10 正弦波の位相ずらし回路と緩衝回路

²H/L レベルは H レベルと L レベルを指す。H レベルは 5V, L レベルは 0V に設定した。

表したのが図 11(上のブロック図)である。また、その具体的な回路は図 11(下の回路図)である。本報告では相対的に位相のずれた単振動波源 2 つの生成を目的とするが、これがうまくいけば、この回路の入力と出力を直列接続、多波源への拡張や y-x グラフ可視化への応用は、たやすい。

図 11(上のブロック図)について説明する。信号源からの信号は、3 つに分岐している。1 つは、信号源からの信号をそのまま(素通しで)出力する緩衝回路を経由した出力(V_{out1})である。残りの 2 信号は、後段の加算回路⁴⁾で重ね合わせる。加算回路を通した 2 つの波の重ね合わせの結果、信号源とは異なる位相のずれた信号を作ることができる(V_{out2})。特に、位相(進/遅)切り替えスイッチ

を付けたのは、信号源に対して $\pm \frac{\pi}{2}$ [rad] の範囲

で位相のずれた出力(V_{out2})を作るための準備である。具体的には、信号源から微分回路を通したあと位相が 90° ずれて、20 倍の増幅回路から続く下の回路では、そのまま素通りし次の加算回路につながるのに対して、逆位相回路(1 倍反転増幅回路)を選べば、逆転した(-90° ずれた)波を次段

の加算回路に入力できる。加算回路に入力する信号の振幅の比によって位相 V_{out2} から出力される位相を連続的にずらすことができる。(図 11 には、信号源が $V_0 \sin(\omega t)$ に対する各点での振動状態を

例として示した。)ただし、加算回路を通った後の振幅は調整が必要である。 V_{out1} と同じ振幅になるように、後段に増幅回路をこの目的で設けた。

図 11 の回路に、低周波発振器から正弦波を入れ、出力側の応答(V_{out2} -GND 間、 V_{out1} -GND 間)を測定したものが図 12 の図 A と図 B である。図 12 の図 A は、位相ずらし回路(微分回路)を通過直後の出力結果である。ただし、微分回路の回路定数($C=1\mu F$, $R=1k\Omega$, $\omega \sim 2\pi \times 50\text{rad/s}$)から見積もると位相

のずれが、 $\tan(\varphi) = \frac{\omega}{CR} \approx 3 \times 10^3 \Rightarrow \varphi \approx 9 \times 10^\circ$ と、

ほとんど 90° となっているが、実際の計測からのずれは 1.5ms であり、これは 1 周期 19.25ms を基

準に算出すると $\sin(\omega t + \varphi) = \cos(\omega t)$ より 19°

もタイミングが遅れて波形が生じることを意味する。この食い違いの原因は、図 11 の回路でオペアンプを素通しの場合に比べて最大で 4 個多く直

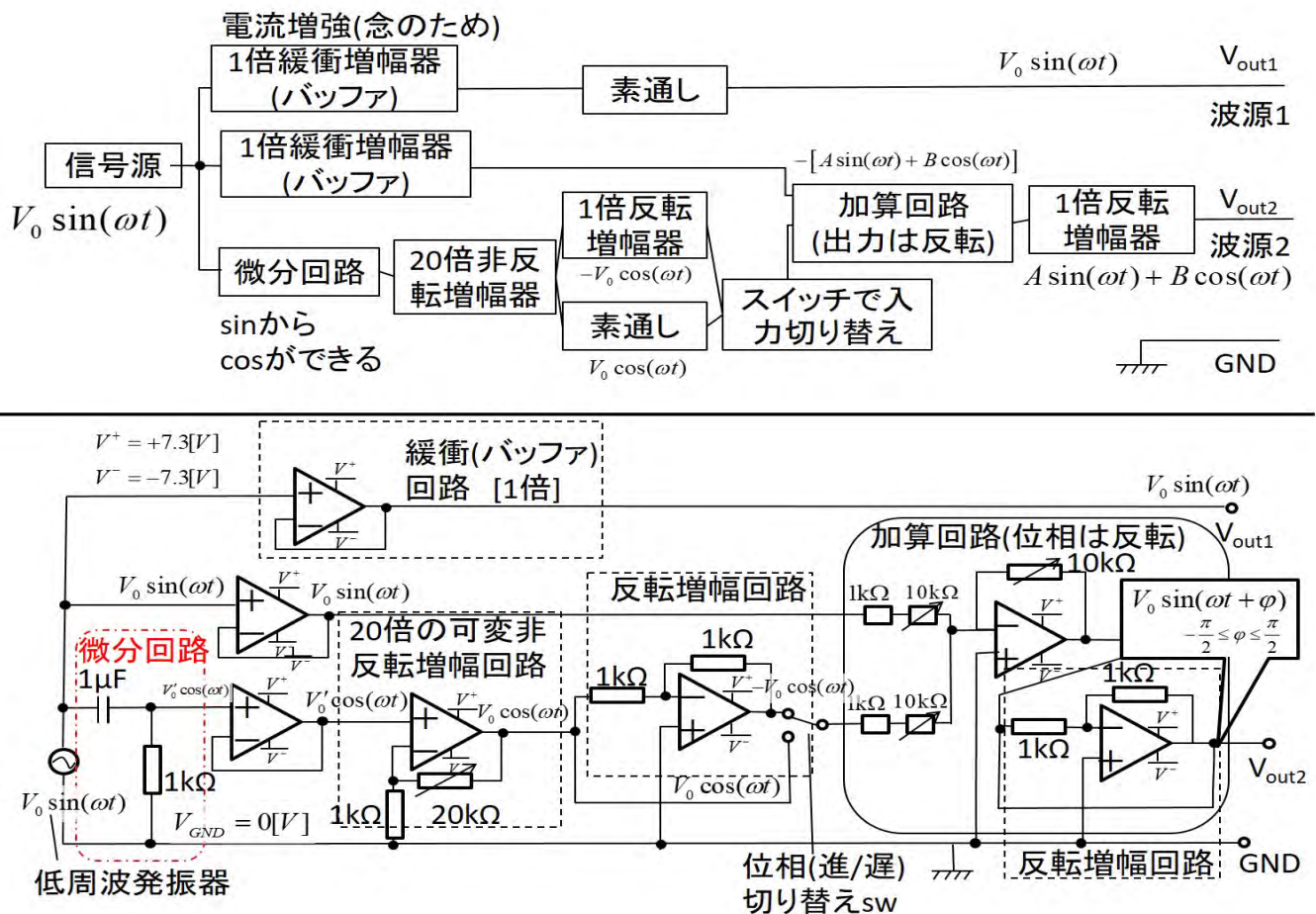


図 11 位相ずらし回路・緩衝(バッファ)回路のブロック図と対応する回路図

列接続したための遅延と考えられる。

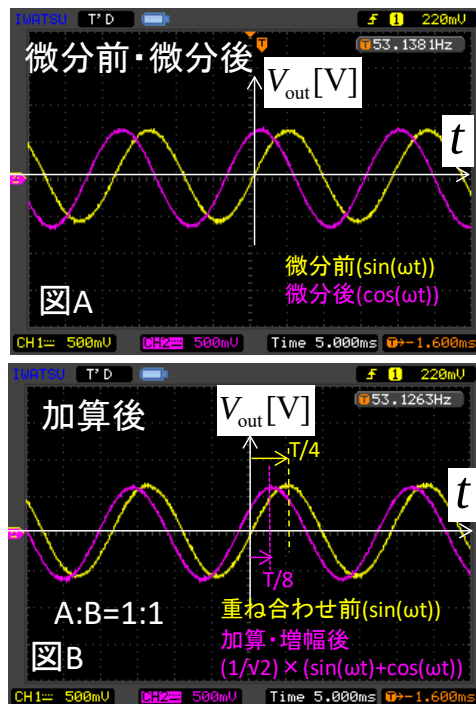


図 12 加算回路を用いた出力の結果

図 9 で説明したとおり、この位相ずらし回路の出力信号を、パワーアンプを通して駆動回路に入れていけば、位相のずれた 2 信号について単振動波源を作ることが可能である。

3.2 デジタル方式での波源の位相制御

この節では、ワンチップマイコン (AVR: 旧 Atmel 社 (Microchip 社に吸収合併)) を用いて、簡易的な擬似正弦波発生器を製作する。このアイデアは著者が教科書⁵⁾の DA 変換を学習していて、LED 点滅回路 (ナイトライダーキット²⁾) と組み合わせて擬似正弦波源を作成可能なことを、著者が着想した。AVR の種類は、8 ビット (8 ビット = $2^8 = 256$ 階調) のデータを同時に 2 つ出力することが可能な 40 ピン AVR (Atmega8515-16PC) を用いる。また、AVR は、通常のデジタル IC と異なり、アセンブラ等を用いた PC からのプログラミングによって、自分の必要な仕様に沿った機能をもたせることができるだけでなく、基板に AVR を実装したままプログラムの入力ができる (In-System Programming が使える) ので便利である。アセンブリ言語から、機械語へ変換 (アセンブル) する (AVR studio4 Ver4.19¹⁾) ことにより hex ファイルを作らせ、USB 接続ライターキット (共立電子産業製) AVR WRT3¹⁾ を用いて、AVR へ書き込む。AVR へのプログラミングで実現したい機能の仕様は、波形データを同時に 2 波源分出力

できること、データの出力間隔は、ロータリーエンコーダの読み取りを通して変更可能なこと、2 波源のデータの相対的に位相をずらすことができること、出力波形が振動数によらず一定を保つこと、オペアンプの正負電源と CPU 用の 5V 電源の 2 系統電源を確保すること、点検用にデータ出力ピンは、並列で LED 点滅回路が各ピンにつながっていること、出力したい振動数は低周波領域 (1Hz ~ 30Hz 程度) に限ること、などである。以上の仕様

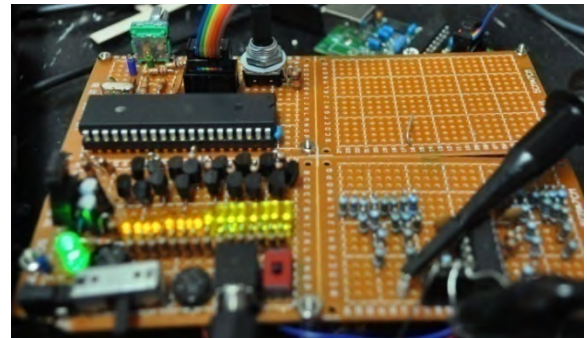


図 13 可変周期・位相をもつ 2 波源の生成基盤

を満たすような AVR 周りの周辺回路として、図 14 の回路図のような基盤を作成した。この回路図は、AVR やオペアンプに必要な電源や外付けの信号入力の部分、AVR と PC を通信させて hex (16 進数 2 ケタからなる機械語) データを入力する通信端子、など周辺機能を持つ回路がほとんどで、波形生成とかかわっている回路は、8 つのピンから出力される 8 ビットデジタルデータを DA 変換する部分のみである。書き込み方は、パソコンの USB 端子から AVR ライタを通して、基板上の 6 ピンのボックスプラグに接続する。このあと PC から AVR ライタのソフトウェアを用いて、hex ファイルを (図 13 左上、虹色のコードが接続されている部分) から AVR に書き込む。ポートから出力される 8 ビットの 2 進数データは負の値を表現することはできないので、正弦波に直流成分を足して、

$\frac{1}{2}(\sin(\omega t) + 1)$ の数値データ 16 点を、あらかじめ

正弦波の波形データとして入力しておく。4MHz の水晶発振子で AVR を駆動して実験すると、2kHz 程度までの信号ならばこの方法で生成できる。AVR の出力する 2 進数データは、5V (H レベル) と 0V (L レベル) の 2 値の電位の違いとして出力され、内部に小さな電流源も持つので、LED 程度であれば直接駆動³⁾できるが、電流を最小限に抑えるため図

³⁾ AVR の駆動電流は、ソース (吐きだし) 電流よりもシンク

14のようにトランジスタを通してH/L確認用LEDを駆動する。つまり、8ピンの端子からLED駆動用(トランジスタ)入力とDA変換回路へ分岐させる。DA変換回路は図14の $1k\Omega \sim 128k\Omega$ の抵抗を組み合わせ、各抵抗に流れる電流がビットの桁の逆数に比例するように抵抗値の比(各下位ビットからの電流は $1/128, 1/64, 1/32, 1/16, 1/8, 1/4, 1/2, 1$ の比で流れる)を設定し、電流加算型の「DA変換」回路⁵⁾を形成できる。この合流した電流が、オペアンプの加算回路により、階段的に変化する出力パルスに成形される。これを積分回路を通してアナログ的な波形にすることに、著者はまだ成功していないので、この部分は今後の課題に回す。

この節では、図14の「out1,out2」から出力される波形を、擬似正弦波的になるように整えることを目的とする。ワンチップマイコンAVRでこの処理を行うメリットは、3.1節でのアナログ波源

からの正弦波の信号を、オペアンプを用いた微分回路・加算回路で、位相のずれた波形を生成するよりも簡単に振幅や振動数の調整ができる点がある。アナログ方式では、加算することにより位相のずれを変えるときに抵抗の比から制限される上限があり、振動数を変えながら、各瞬間ごとに厳密なタイミングのずれた波形を出すには、加算の仕方を変えるごとに、調整が必要となる問題点がある。(自動振幅調整回路は今後の課題。)

一方、このAVRによるデータ読み出し方式では、データを同時に読み出す位置を、変えるだけでよい。すなわち、読み出すタイミングさえうまく設定してやれば、より正確⁴⁾に、互いに位相のずれた二波源を作り出すことが可能である。

ロータリーエンコーダ1,2の読み取り部分については、図15のような状態変化をする。

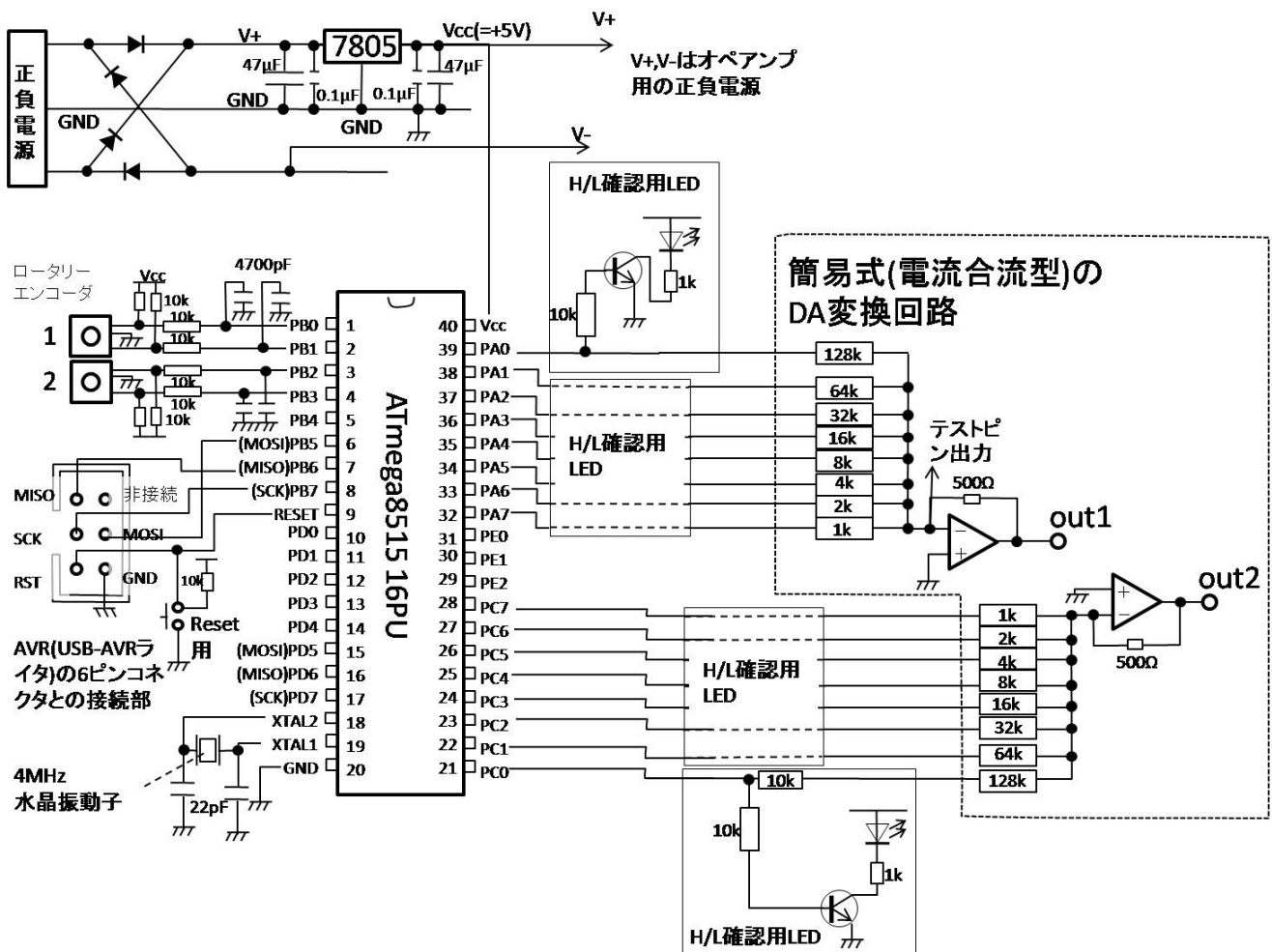


図14 ワンチップマイコンを用いたデジタル的な波形生成回路

(吸い込み)電流のほうが大きい。ここでは、ソース電流を用い、トランジスタを通して電流増強機構をつけた。

⁴⁾AVRは一つの命令を $1/4[\mu s]$ で実行するため、厳密に2信号同時出力ではない。しかし、今の目的には十分である。

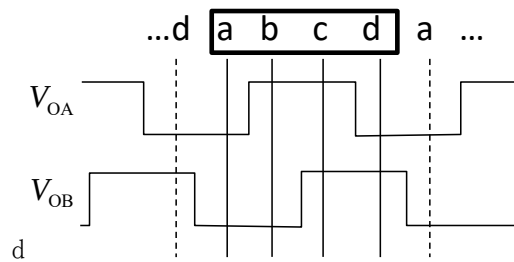


図 15 ロータリーエンコーダと出力パルス

このロータリーエンコーダの読み取り処理は文献³⁾を参考にした。[附録 2 のコードの dout: の SRAM から読み出すアイデアと loop: によりタイマを作り出すアイデアは文献²⁾のコードを参考にし、ロータリーエンコーダ読み取りの encd: 部分については、文献³⁾の原理を参考にした]。図 16 は同位相データを書込後、出力させた波形である。

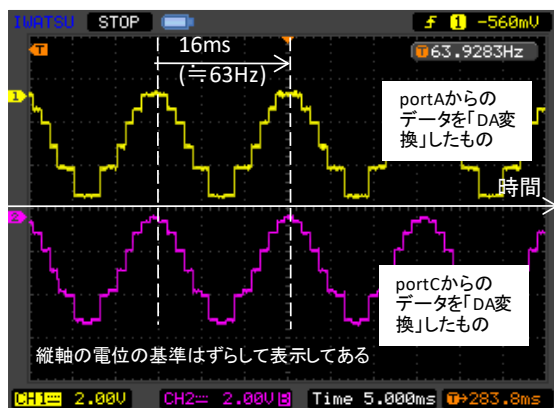


図 16 電流型 DA 変換回路により生成された擬似正弦波

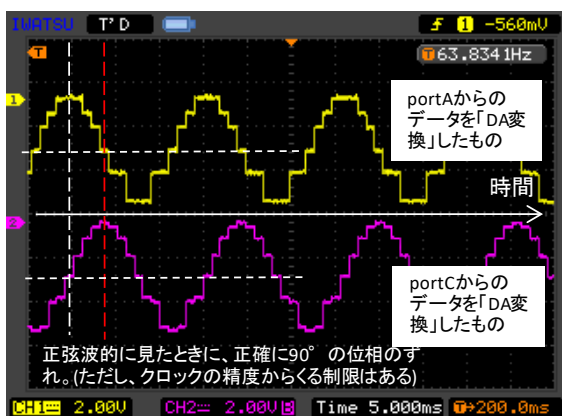


図 17 90° ずれた出力パルス

また、本稿図 17 に対応する波源は、SRAM に保存してあるデータのスキャン位置を 12/16 の場所 (データの読み出し位置は \$0c, phse=\$03) から読みだした場合で、図 17 のように明確に 90° ずれた波形が得られる。データの読み出し位置を前に移すことは、8 ピンの portA (黄色・上側) に対して進

んだ信号 (紫色・下側) を portC から出力する。

附録 2 に添付した最新版 (2022 年 1 月 10 日現在) のソースコードは、ロータリーエンコーダ 2 つを独立に読み取って、それぞれの増減判定で、周期と位相差が独立に制御可能にしたため、図 16, 図 17 を生成した時より、コードが複雑である。このときの波形も以下の図 18～図 21 に示す。

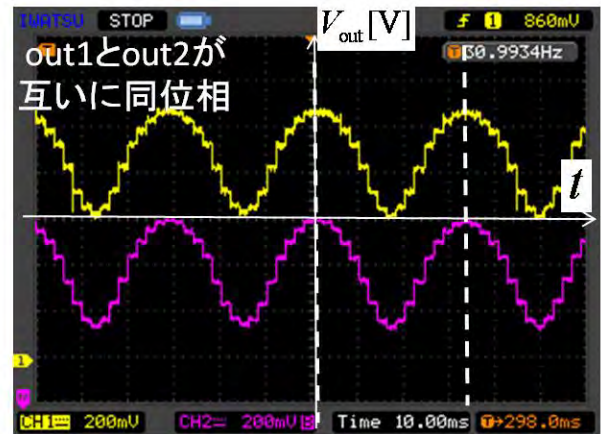


図 18 (out1 に対して out2 が) 同位相の波形出力

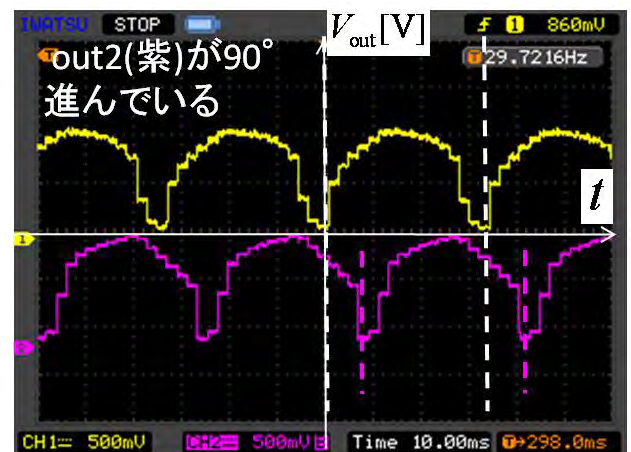


図 19 90° out2 が進んだの波形出力

図 18 と図 19 を見ると、読み出し初期位相 (16 個のデータ中 4 個先から読み出した) の初期読み出し位置の違いしかないもので、図 18 と同じ形の擬似正弦波出力が期待される (図 16, 図 17 の違いに対応する想定だった) が、そうはなっていない。この原因を考えてみよう。図 19 でみて、黄色 (上) と赤紫 (下) で読み出しパターンが逆になっている。これは、ソースコードの読み出し順の問題が想定される。また底 (下位ビット) の出力で電位差が他の部分より大きい。これは、電流合流型の DA 変換に流れこむ電流が最小値で $5V/128k\Omega = 5/128mA$ であるが、ポートの出力先に LED 駆動用のトランジスタの入力端子と DA 変換処理回路が並列接続され

ている。トランジスタ入力端子に分岐して減少した電流が DA 変換用抵抗の電圧変動に与える影響を調べる必要がある。また、最小値あたりでパルス幅が他よりも広がっているように見える。これは、ソースコードを AVR が実行する時間が、コード内の分岐の仕方に依存して変わることと関係する。附録 2 にある encd, shft は、この最小値を出力するところで最も実行コード数が長く、出力パルス幅に影響した恐れがある。実際、encd, shft を切って(コメントアウトして)実行すると振動数は 4 倍の 120Hz くらいに跳ね上がる。コード内分岐によるパルス幅変動問題は、タイマ割り込みを使わないプログラム(附録 2 参照)の原理的な問題といえる。一方で、位相のずらしは正確に行えている。図 19 の out1(黄色・上部)が最小値をとる瞬間では、仕様通り out2 のずれが 1/4 周期にくる。

図 20, 図 21 に他の初期位相から擬似正弦波を出力させた場合も示す。

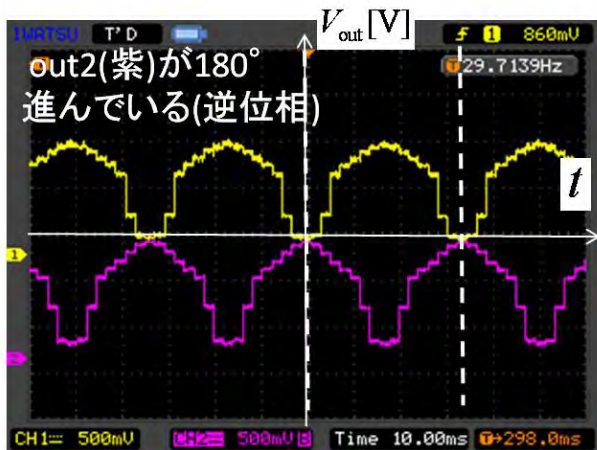


図 20 180° out2 が進んだの波形出力

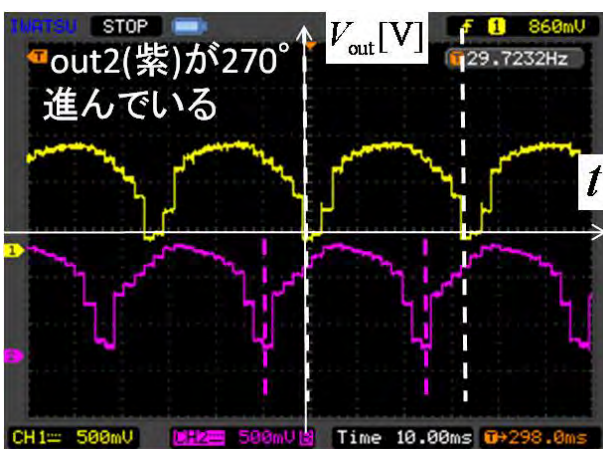


図 21 270° out2 が進んだの波形出力

4. 結論と今後の展望

アナログ方式・デジタル方式の両方の手法を用いて、単振動の実験装置の開発と多波源の振動子への機能の拡充も部分的に達成できた。アナログ回路では、市販の低周波発振器とオペアンプの自作演算回路(2 出力生成)の開発、後半のデジタル方式ではワンチップマイコンの柔軟性を活用して周期や出力の相対位相も可変できる擬似正弦波発振器(2 出力)と強制振動用の駆動装置を試作した。現状、波形が正弦波から大きく異なる点、振動数の変化が不均一な点が問題で、今後の課題である。

将来の開発課題であるが、振動数を校正し、振動数を 7 セグメント LED で表示させること、他の AVR と UART 通信し 4 波源の擬似制限波発振器に拡張することを考える。波形出力が整った後は、1-30Hz 程度の擬似正弦波から、「真に DA 変換」して正弦波を出力できることを目指す。そのための積分回路技術の習得やオートゲインコントロール回路を組み込むことも考える。

謝辞

過去の職場で業務上、私に AVR の開発にかかわらせてくださったすべての上司の方々に深く感謝いたします。

最後に、1000 回巻きのコイルの作成を、手伝ってくれた妻、(藤井)陽子に感謝します。

参考文献

- 1) 共立電子産業，高性能 USB 接続型 AVR ライタ [AVRWRT3]，2021 年 1 月 14 日現在では、販売終了のようであるが、代替品はあるようである。； AVR Studio4 は、Microchip 社のホームページ <https://www.microchip.com/en-us/tools-resources/archives/avr-and-sam-mcus#AVR%20Studio> [参照日 2022. 1. 14] から無料でダウンロードできる。
- 2) キット[1]の付属 CD に収録されていた「ナイトライダーキット(2313&BAR8×1 基板)」のソフトウェアライブラリ
- 3) 共立電子産業，ロータリーエンコーダ表示変換基板の製作 <http://www.kyohritsu.jp/eclib/DIGIT/AVR/rot2343c1.pdf> [参照日 2022. 1. 14]；

AVR-instruction set, ATmega8515 manual はマイクロチップ社のホームページ，有志による

日本語版等も検索サイトで閲覧できる。

- 4) 角田秀夫, 「実用オペアンプ回路」, 東京電機大学出版局, 2000 年第 1 版 12 刷
- 5) 白土義男, 「新版 デジタル IC の基礎」, 東京電機大学出版局, 1998 年第 8 版
- 6) ATmega8515 のインクルードファイルは以下の GitHub などから手に入る。
<https://github.com/DarkSector/AVR/blob/master/asm/include/8515def.inc>
 [参照日 2022. 1. 14]

附録 1 ソースコード(附録 2)の主な特徴

附録 2 のアセンブリ言語のソースコードの特徴をまとめる。擬似正弦波の波形は, 図 14 の DA 変換回路で得られるので, このコードは 8 ビットデータを周期的に出力しているだけである。附録 2 では, main ルーチンで, 4 つのサブルーチン(dout, shift, encd, loop)を呼び出す。各サブルーチンの機能と, 相互に受渡される変数をみておこう。

dout ルーチン

2 つの出力 out1, out2 から 8 ビットの数値データ 2 種類を avr の 16 個のピン(図 14 の PA0-PA7 と PC0-PC7)から出力するためのサブルーチンである。このサブルーチンで指定される 16 ビット SRAM アドレスを参照するための「ポインタ」の役割を果たすレジスタが (z1, zh)[out1 用]と (y1, yh)[out2 用]である。z1(=r30)は下位アドレス, zh(=r31)は上位アドレスを表し, 命令 lpm r16, z+で指定された場所のデータを r16 に読み出す。out1, out2 のデータの位置は, コード最後尾の .db で 16 個の擬似正弦波データを直接登録した。読出しには, アドレスを「out1*2」「out2*2」としておけば, 各コード中で対応する SRAM アドレスの番地にアセンブラが読換える。(2 をアドレス out1, out2 に掛算するのは, SRAM のアドレスが 1 ワード(16 ビット)へ変換するためである。)

dout 中で前半に行っている処理は, データを 16 個読み出し終わったかどうかを判定する部分(chk や dout2)である。out1 と out2 の読み出し初期位置は, 本コードでは 4 つずつ初期位置をずらすことができる。命令「lpm r16, z+」は 1 つずつデータを読み出し, その後, 次の隣の+1 したアドレスに読み出し位置が変更され, 初期位置が out1, out2 の始めの位置の場合は, 16 個目の読み出し後に out1, out2 データが同時に右端に達する。ここで, lpm 命令は, Z レジスタ(z1, zh)のみで Y

レジスタが**使用できない**点は注意を要する。そのため, dout6 は 3 行目以降で(ay1, ayh) という Y レジスタ記憶用メモリから Z レジスタへアドレスを一旦移してから lpm 読みだしを行う。具体的には Y レジスタアドレスを(ay1, ayh)記憶させ, それを Z レジスタに移して, lpm r16, z+出力する。

一般には, 初期の読み出し位置が, 16 進数(a=10, b=11, c=12, d=13, e=14, f=15)で表した, out1 に対する相対位置で\$00, \$04, \$08, \$0c から開始されるので out1 データと out2 が別々のタイミングで右端に達する。そして右端に達したときに, データの左端(out1, out2 の初期位置)に (z1, zh), (y1, yh)を個別に初期化できるようにしてある。ここで, リセット部分(dolR, dout5)で medg というメモリに\$10 という数値を記憶させている。この medg メモリは, out1 が右端に達するときに合わせて, out2 の初期位相を設定する shift ルーチンに入るためのグローバル変数である。

shift ルーチン

shift ルーチンは, 図 14 のロータリーエンコーダ 1, 2 で読み取った(PB0, PB1)データ, (PB2, PB3)データのうち, 特にロータリーエンコーダ 2 のデータを encd ルーチンで読み取り, その増減で初期位相の設定モードを書き換え, その値(phse メモリ)によって(phse=\$00, \$01, \$02, \$03), out2 のデータ読み出し開始アドレス(初期値)の与え方を変えることを目的としている。この medg 変数は, 初期位相(phse)の与え方を変えても, データを 16 個出力し終えてからこの shift ルーチンに入る必要があり, そのために先の dout ルーチンで out1 のデータ位置を基準にしている。out1 データが右端に入ったとき(dolR または dout5)のみ(medg を \$10 に設定し), この shift ルーチンに入ることを許可する。out2 の右端に来て(medg=\$00 のままなので)この shift に入らないことが重要である。

encd ルーチン

encd ルーチンの前半は, 図 14 の PortB (PB0-PB4)のデータを読み取り, 正転・反転の向きを判定できるデータに整える部分である。詳細は, 文献³⁾によるとよい。過去のロータリーエンコーダの 2 端子の H/L レベルの状態を第 2, 3 ビットに, 現在の端子の H/L レベルを第 0, 1 ビットにしてまとめるなどの操作をしている。それをロータリーエンコーダ 1, 2 ごとに分けて記憶させているのが rotm1, rotm2 メモリである。そして, 後半の encini ルーチンを読み出し, 2 つのロータリーエンコーダ

をこの encd ルーチンで数え上げ・下げ，最大値 (encd21 のあたりで，\$ff=255，\$10=17 の比較を行う) の調整がロータリーエンコーダごとにできる。

loop ルーチン

loop ルーチンは，基本的には nop(=何もしない) 演算を多数回行わせ，点灯時間を稼ぐことを目的とする。loop2 で PB0-PB3 ピンのエンコーダの変化を常に監視している。変化があればいつでも loop を抜けて，encd, shft に読み取りに行く。

附録2 ソースコード

このソースコードをアセンブル(機械語に翻訳)するには，Atmega8515 用のインクルードファイル⁶⁾が必要である。「;」を用いるとその行内の;より右は無視される

```
*****
;Atmega8515 (40pin)
;8ビット擬似正弦波生成
;周期調整機能と
;90° ほどの相対位相ずらし機能付き
;ただし，DA変換はハードウェアで行う。
;PortA, Cからは2進数データ出力
;波形を出すには，外付けでDA変換回路が必要
*****
.include "Atm8515def.inc"
.equ rotm=$60 ;ロータリーエンコーダ 状態記憶用
.equ rotm1=$61 ;ロータリーエンコーダ 状態記憶用
.equ rotm2=$62 ;ロータリーエンコーダ (PB2, 3) 状態記憶
.equ rotd=$63 ; ロータリーエンコーダ 方向($01, $02)
.equ rotd1=$64 ; ロータリーエンコーダ 方向記憶用
.equ rotd2=$65 ; ロータリーエンコーダ 方向記憶用
.equ pbm=$66 ;PortB のデータ記憶用
.equ pbm1=$67 ;PB0, 1 のロータリーエンコーダ 記憶保持
.equ pbm2=$68 ;PB1, 2 のロータリーエンコーダ 記憶保持
.equ rcnt=$69 ;ロータリーエンコーダ カウント用(共通)
.equ rcnt1=$6a ;ロータリーエンコーダ 1 (PB0, 1) カウント
.equ rcnt2=$6b ;ロータリーエンコーダ 2 (PB2, 3) カウント
.equ phse=$6f ;信号の位相ずらし用カウンタ 0-3
.equ ayl=$70 ;Y レジスタの下位ビット用保存領域
.equ ayh=$71 ;Y レジスタの上位ビット用保存領域
.equ medg=$72 ;スキャンデータの端まで来ているか?
ini: ldi r16, low(ramend) ;SRAM $025f(end)
     out spl, r16 ;spl stack pointer
     ldi r16, high(ramend)
     out sph, r16; sph stack pointer
```

```
ldi r16, $ff
out ddra, r16 ;PortA 全部出力モード
out ddrc, r16 ;PortC 全部出力モード
ldi r16, $f0 ;11110000, (PortB0, 1, 2, 3)
out ddrb, r16
ldi r16, $ff
out portb, r16;PortB フルアップ 抵抗 ON
in r16, PinB
andi r16, $0f
sts rotm, r16 ;rotm=$00 が初期値
sts rotm1, r16
sts rotm2, r16
ldi r16, $00
sts rotd, r16
sts rcnt, r16
sts rcnt1, r16
sts rcnt2, r16
sts phse, r16; $00, ($00, $01, $02, $03)
ldi r16, $00 ;第5 bit ($01, $02, $03)
sts medg, r16
ldi r16, $cc ;1010 1010
out porta, r16
out portc, r16
ldi z1, low(out1*2);SRAMアドレス変換。
;32bit address ->16bit address
ldi zh, high(out1*2)
ldi yl, low(out2*2)
ldi yh, high(out2*2)
sts ayl, yl
sts ayh, yh
;メインルーチン z1, zh global 変数
main: rcall dout ;擬似正弦波データ読出・出力
      rcall loop ;出力パルス間隔決定
      rcall encd ;ロータリーエンコーダ 読み取り
      rcall shft ;2 波源の位相ずらし
      rjmp main
;以降は全て rcall 用のサブ ルーチン
;データスキャン範囲確認，出力ルーチン
;r28, 29, 30, 31(yl, yh, z1, zh global)
;out1_end (r19, r20)
dout: push r16
      push r17
      push r18
      push r19;右端用 out2 yl
      push r20;右端用 out2 yh
```



```

push r21
push r22;戻し用 out2 yl
push r23;戻し用 out2 yh
lds yl, ayl
lds yh, ayh
ldi r17, $00 ;medg=$00, r17 リセット
chk: cpi z1, low(out1*2+$10);16+1 個目?
brne dout2
ldi r17, $01 ;out1 右端判定
dout2: cpi yl, low(out2*2+$10)
brne dout3
ori r17, $02 ;out2 右端判定
dout3: cpi r17, $01 ;out1 のみ右端か
brne dout4
dolR: ldi z1, low(out1*2);$out1 右端でリセット
ldi zh, high(out1*2)
sts ayl, yl
sts ayh, yh
ldi r17, $10;リセット, 第 5bit セット
sts medg, r17
dout4: cpi r17, $02;out2 のみ右端か
brne dout5
ldi yl, low(out2*2)
sts ayl, yl
ldi yh, high(out2*2)
sts ayh, yh
ldi r17, $00;リセット, 第 5bit 0
sts medg, r17
dout5: cpi r17, $03 ;2 スキャン位置が同時右端か
brne dout6
ldi z1, low(out1*2) ; out1 アドレスリセット
ldi zh, high(out1*2)
ldi yl, low(out2*2)
sts ayl, yl
ldi yh, high(out2*2)
sts ayh, yh
ldi r17, $10;リセット, 第 5bit セット
sts medg, r17
dout6: lpm r16, z+ ;アドレス(r31, r30)のデータ読出
out porta, r16 ;portA , out1 データ出力
;out2 用の push-pop 処理
push r30
push r31
lds r30, ayl
lds r31, ayh
lpm r16, z+ ;読み出し後, アドレス+1
;y レジスタでは, プログラム 空間のデータにアクセスできな
;い。Z レジスタのアドレスに移し替えて使用。
sts ayl, r30
sts ayh, r31
out portc, r16;portc に out2 データ表示
pop r31
pop r30
;out2 ここまで
pop r23
pop r22
pop r21
pop r20
pop r19
pop r18
pop r17
pop r16
ret
;途中で分岐可能なタイマ(ループ)ルーチン
loop: push r16
push r17
push r18
push r19
push r20
push r21
push r22
lds r16, rent
lopi2: ldi r17, $0a ;5 周期 0.5[s] くらい?
lopi1: ldi r18, 10
loop1: dec r18
nop
nop
nop
nop
brne loop1
loop2: in r20, pinb;PinB の値に変化で抜ける
mov r22, r20
andi r20, $03
lds r21, rotm1
andi r21, $03
cp r20, r21
brne lped ;エンコーダ 1≠rotm1 で抜ける
andi r22, $0c
lsr r22
lsr r22
andi r22, $03 ;上位ビットデータを除去
lds r21, rotm2

```

藤井：y-x グラフの可視化へ向けた単振動の実験器の製作

```

andi r21,$03
cp r21,r22
brne lped;エンコーダ 2≠rotm2 で抜ける
dec r17 ;r17 から-1 してゼロフラグ
brne lopi1;ゼロフラグが立たないか?
loop3: dec r16
brne lopi2
lped: pop r22
pop r21
pop r20
pop r19
pop r18
pop r17
pop r16
ret
;ロータリーエンコーダ読み出しルーチン (rotm:エンコーダ履歴)
encd: push r16
push r17
push r18
in r16,pinb
sts pbm,r16
sts pbm1,r16
sts pbm2,r16;pbm2 初期化
andi r16,$03 ;(PB0,PB1)データのみ残す
lds r17,rotm1
andi r17,$03
cp r16,r17
breq encd2 ;前回と同じなら
;ロータリーエンコーダ 2 の読取
lds r16,pbm1
andi r16,$03
sts pbm,r16 ;pinB 呼び出し
lds r16,rotm1
sts rotm,r16 ;rotm
lds r16,rcnt1
sts rcnt,r16 ;rcnt
rcall encini ;enc カウント
lds r16,rotm
sts rotm1,r16
lds r16,rotd
sts rotd1,r16
lds r16,rcnt
sts rcnt1,r16
encd2: lds r16,pbm2
andi r16,$0c
lsr r16
lsr r16
lds r17,rotm2
cp r16,r17
breq encdE
sts pbm,r16 ;pbm に保存
lds r16,rotm2
sts rotm,r16 ;rotm
lds r16,rcnt2
sts rcnt,r16 ;rcnt
rcall encini ;enc カウント, rotm 生成
lds r16,rotm
sts rotm2,r16
lds r16,rotd
sts rotd2,r16
lds r16,rcnt
cpi r16,$ff
brne encd21
ldi r16,$0f
encd21: cpi r16,$10
brne encd22
ldi r16,$00
encd22: ;エンコーダが1クリックで4カウント進むので「÷4」
sts rcnt2,r16
lsr r16
lsr r16 ;rcnt2 の値を4で割る
sts phse,r16
encdE: lds r16,rcnt1
sts rcnt,r16;rcnt の値を戻す(loop 用)
pop r18
pop r17
pop r16
ret
;ロータリーエンコーダカウント判定ルーチン
;変数 rotm, pbm, rotd, rcnt
encini: push r16
push r17
push r18
enc0: lds r17,rotm
lsl r17 ;2 進数上位ビットへ1桁移動
lsl r17
lds r16,pbm
andi r16,$03
or r17,r16 ;pinB(r16)のデータor 結合
andi r17,$0f ;2 進数上4桁は削除

```

```

                sts rotm,r17
;;;;;;;;;;;ロータリーエンコーダ`時計回り判定
enc1:   cpi r17,$07 ;01->11
        brne enc2
        rjmp encu
enc2:   cpi r17,$0e ;11->10
        brne enc3
        rjmp encu
enc3:   cpi r17,$08 ;10->00
        brne enc4
        rjmp encu
enc4:   cpi r17,$01 ;00->01
        brne enc5
        rjmp encu
;;;;;;;;;ロータリーエンコーダ`反時計回り判定;;;;;;;;;;
enc5:   cpi r17,$04 ;01->00
        brne enc6
        rjmp endn
enc6:   cpi r17,$0d ;11->01
        brne enc7
        rjmp endn
enc7:   cpi r17,$0b ;10->11
        brne enc8
        rjmp endn
enc8:   cpi r17,$02 ;00->10
        brne encE
        rjmp endn
encu:   ldi r16,$01 ;時計回り rcnt 加算
        sts rotd,r16
        lds r16,rcnt
        inc r16
        sts rcnt,r16
        rjmp encE
endn:   ldi r16,$02 ;反時計回り rcnt 減算
        sts rotd,r16
        lds r16,rcnt
        dec r16
        sts rcnt,r16
        rjmp encE
encE:   pop r18
        pop r17
        pop r16
        ret
;初期位相変更ルーチン z1 右端+1 に同期
; ($00 ずれなし,$01 90,$02 180,$03 270° )
shft:   push r16

```

```

push r17
shini:   lds r16, medg; dout ルーチン, 第 5 ビット参照
         andi r16, $10
         cpi r16, $10; medg の第 5 ビットがセットか?
         brne shfE
         lds r16, medg
         andi r16, $0f ; medg の第 5 ビットを消去
         sts medg, r16
shft0:   lds r16, phse
         cpi r16, $00; 位相のずれなしモードか?
         brne shft1
         ldi yl, low(out2*2+1)
         ldi yh, high(out2*2+1)
         sts ayl, yl
         sts ayh, yh
shft1:   cpi r16, $01; 位相のずれ 90° モードか?
         brne shft2
         ldi r28, low(out2*2+$04+1)
         ldi r29, high(out2*2+$04+1)
         sts ayl, r28
         sts ayh, r29
shft2:   cpi r16, $02; 位相のずれ 180° モードか?
         brne shft3
         ldi r28, low(out2*2+$08+1)
         ldi r29, high(out2*2+$08+1)
         sts ayl, r28
         sts ayh, r29
shft3:   cpi r16, $03; 位相のずれ 270° モードか?
         brne shfE
         ldi r28, low(out2*2+$0c+1)
         ldi r29, high(out2*2+$0c+1)
         sts ayl, r28
         sts ayh, r29
shfE:    pop r17
         pop r16
         ret
; プログラム領域内にデータ書き込み。Z レジスタのみがアクセス可能。(Y レジスタはアクセス不可能)
.cseg
out1:
.db $80, $b1, $db, $f6, $ff, $f6, $db, $b1
.db $80, $4f, $25, $0a, $00, $0a, $25, $4f
out2:
.db $80, $b1, $db, $f6, $ff, $f6, $db, $b1
.db $80, $4f, $25, $0a, $00, $0a, $25, $4f

```

(2 0 2 2 年 1 月 1 4 日 受理)

Manifestation of Alignment on a Japanese Online Discussion Forum

Sakurako HIROIKE*

In order to understand manifestation of alignment within a Japanese online discourse, this study analyses 101 messages posted on a thread of relationship advice in a Japanese online discussion forum, *Channel 2*.

Analysis shows that in posts with high or neutral alignment, different relational strategies are at work, expressing posters' alignment to the Original Poster (OP). Posts with low alignment, on the other hand, include aggressive linguistic behaviors towards OP.

(Keywords: alignment, online discourse, face, relational work)

1. Introduction

The aim of this study is to explore how networked interactions unfold within a Japanese online discourse. Adapting a coding system suggested by Keisling et al. (2018), this study examines how alignment manifests on a Japanese discussion forum, *Channel 2*. Allowing people to exchange and share information, *Channel 2* has been recognized as a popular online platform for casual interaction. Although previous studies such as by Nishimura (2008) have explored realizations of impoliteness within Japanese online spaces, a cursory literature examination suggests little has been investigated on alignment and disalignment performed in *Channel 2*. Within *Channel 2*, the current study focuses on a discussion consisting of 101 messages posted on a thread in which people exchange relationship advice. In analysing data, the discussion is first divided into three phases in terms of topics, and subsequently classified into three categories according to degrees of alignment in posts. In doing so, a coding system suggested by Keisling et al. (2018) is utilized.

2. Literature Review

2.1 Discourse on *Channel 2*

Unique linguistic behaviors and norms in *Channel 2* have been examined within studies including Nishimura (2008; 2010). According to her studies, it is suggested that members of *Channel 2* typically communicate without using the honorific form (Nishimura, 2008, pg.47) and often use direct imperative forms to others (Nishimura, 2010, pg.6). Although such acts potentially seem to violate socially-accepted norms in Japanese speech communities, Nishimura (2008) reports that members of *Channel 2* community consider such practice as normal and appropriate. Also, her studies suggest that the use of impolite language and intentional face attacks are frequently observed in *Channel 2* (Nishimura, 2008; Nishimura, 2010). She further explains that within *Channel 2*, such linguistic behaviors are often tolerated, and some participants even enjoy such behaviors (Nishimura, 2010, pg.12).

A stronger indication of identity within communities is another identified feature of *Channel 2*. Nishimura (2010) suggests participants use community-specific language (Nishimura, 2010, pg.6), and conformity to norms within a community is emphasized. These distinctive features of *Channel 2* regarding linguistic behaviors and a sense of community shared by participants are taken into consideration in analyzing data of the current study.

2.2 Face and relational work

Within a chapter of internet advice in *Pragmatics of Computer-Mediated*, Locher (2013) discusses relationship between giving advice and a concept of face, suggesting that face is negotiated within interactions

* Department of Liberal Arts

utilizing facework or relational work (Locher, 2013). In her earlier study of advice-giving in an internet advice column, Locher (2006) investigates such relational work and identifies relational strategies including hedging, bonding, empathizing, and humor (Locher, 2006). In keeping with her suggestion, instances including relational strategies and negotiation of face are observed in data of the present study. As such, the current study refers to these concepts mentioned in her studies (Locher 2006; 2013) in analyzing linguistic features of data.

2.3 Alignment and disalignment

In a study proposing a new computational operationalization of interpersonal stance taking, Keisling et al. (2018) annotate three stance dimensions within posts on conversation threads from an online platform, *Reddit*. The three dimensions introduced in the study consist of affect, investment, and alignment, and to indicate degrees of each dimensions, data were coded using likert scales ranging from one to five. According to Keisling et al. (2018), alignment “is how much a speaker/writer aligns (or not) to their interlocutor(s), real or imagined”(Keisling et al., 2018, pg.688). The reason why this concept is chosen to be examined in the current study is that interactions observed in *Channel 2* include various manifestations of alignment. When someone makes a post on a thread on *Channel 2*, it could elicit different reactions from other posters, some posts being considerate and thus show high alignments, and others being extremely aggressive and thus show low alignments. While discourse within *Channel 2* has been recognized for its unique linguistic features, manifestation of alignment in its discourse has yet to be studied. To fill this research gap, the present study looks into this concept, adapting five-likert scales as well as coding system suggested in Keisling et al. (2018).

3. Data

As noted above, a discussion within one of the threads of *Channel 2*, 「もの凄いスピードでカップルの質問・相談に答えるスレ」 (*Extremely Rapid Response to Couples' Questions & Discussions Thread*) was chosen as data. The discussion which this study looks into began with a post shown in *Original Post* below, in which a poster seeks relationship advice. The poster is labeled as Original Poster (OP) in the following sections.

Original Post:

Original Japanese:

Kanojo no tanjo-bi, zizen ni kyoka wo ete Hamazushi de oiwai shitan dakedo kaerini nakareta Iya nante ienakatta kedo, naku nowo gaman dekinakatta rashii[...]Do shitara owabi dekiru kana[...]

English translation:

“On our way home from *Hamazushi* where I celebrated my girlfriend’s birthday, she cried. She told me that although she agreed to go there, she did not actually want to, but could not tell me so. She told me she could not help crying [...] How can I compensate for this? [...]

This post being initiator, interactions among participants eventually developed into an extended discussion on relationship between OP and his girlfriend, which consists of 101 posts posted within a two-day timeframe starting October 31, 2017.

To examine a development of the discussion, the discussion was first segmented into three phases according to a topic on which advice is provided. In each phase, advice was delivered on the following topic, respectively:

Phase 1: Birthday celebration

Phase 2: Christmas celebration

Phase 3: Christmas present

In the sampling process, posts that were (1) posted by OP and (2) addressed directly or indirectly OP were chosen. Posts that consist of sub-discussions, whose topics deviate from that of the main discussion were excluded from data. Collected data were analyzed in terms of realization of alignment utilizing a coding system suggested by Keisling et al. (2018). As introduced in a previous section, Keisling et al.(2018) suggest that alignment indicates degrees to which a speaker/writer aligns to their interlocutors. They suggest a coding system of five-likert scale, 5 being the indication of high alignment and 1 being the strong indication of disalignment. Scores and their descriptions suggested by Keisling et al. (2018) are shown in the table below.

Table 1. Coding system for alignment by Keisling et al. (2018)

Score	What it means
5	Highly aligned. Expressing agreement, sympathy, elaborating on what someone else has said or is figured as saying, etc.
3	Average alignment. Unmarked but not disaligning either.
1	Highly disaligned. Resisting doing a second pair part (like not answering a question), disagreeing, criticizing, being dismissive, etc.

Utilizing this coding system, degrees of alignment in posts which were addressed to OP were first coded. According to degrees of alignment, posts were subsequently coded into three categories: “high-alignment”, “average-alignment”, and “low-alignment”. The posts with 4 or 5 points were categorized as “high-alignment”, and the ones with 3 points were classified as “average-alignment”. The posts that had 2 or lower points were labeled as “low-alignment”.

4. Findings: Alignments of the posts

This section will provide analysis on posts with different degree of alignment. In each sub-section, semantic and linguistic features of posts that has similar degree of alignment are analysed.

4.1. Posts with high-alignment

This section discusses posts with high degree of alignment, which are instances whose alignment are coded as 4 or 5. Such posts are not dominant in the data, and only 7 instances are identified. *Example 1* below, which is the first response posted to the *Original Post*, is one of such examples with high degree of alignment.

Example 1 (Posted by “Wz4gdpTB0”)

Original Japanese:

Semete mousukoshi iitokoro de oiwai shite hoshikatta kedo, enryoshichatte ienakattandanee...[...] Kanojo mo mizime na omoi shita to omoushi, anata mo shokku ukete zannen na tanjo-bi dattane [...] Korekarawa motto wakariyasuku taisetsu ni shite agete wa doudarou [...] Itsumo arigato tokaitte iitokoro ni tsureteitte agetara?

English translation:

“It looks like she wanted you to take her to a better place but felt bad to tell you so [...]. I am sorry it was not a good birthday. I am guessing she felt miserable, but also it was shocking to you too. From now on,

I think it would be better if you treat her in a way that is clearer to her that she is cared for. How about taking her to a better place and expressing your gratitude for her? [...].”

While the contents of the post itself shows high alignment with OP, it is noteworthy that uses of a word end particle *ne* also contribute to high degree of alignment in this post, as they effectively communicate the poster’s empathy toward OP. According to Maynard (1997), this particle *ne* “plays down the information and calls attention instead to interpersonal feelings, in an attempt to assure some level of emotional engagement” (Maynard, 1997, pg. 90). In keeping with the suggestion by Maynard (1997), it is observed how *ne* in this post effectively communicate consideration of the poster toward OP. *Example 2* is another instance in which a high degree of alignment is manifested. This post was made after a set of aggressive comments were posted in response to OP’s elaboration of the situation.

Example 2 (Posted by “obiNppGv0.net”)

Original Japanese:

Daijo-bu Daijo-bu Kokode a-da ko-da itteru hitomo hontouwa sonnani iitokoronante ittenaihitoga hotondo dakara [...] nanimo waruku naiyo Okaneno kakekata nante hito sorezore

English translation:

“Don’t worry, it’s okay. Most people who are criticizing you actually do not go to fancy restaurants. [...] Everyone is free to decide on what and when to use money. You did nothing wrong.”

In this post, alignment is realized by an act of saving face of OP. The concept of face is suggested as the self-image that an interactant wishes to construct during a particular interaction (Goffman, 1967). As face is not static and constantly negotiated in interaction, people could negotiate relationships with others by investing in facework (Locher, 2013). In *Example 2*, an instance of facework is observed, although it is not the poster’s own face but that of OP’s that is being negotiated. This facework is carried out through showing indirect criticism to other posters as well as defending OP’s face, which is seen in the utterance, “*nanimo warukunaiyo*” (You did nothing wrong).

4.2. Posts with average-alignment

This section discusses findings on posts with average degree of alignment, specifically, the instances whose alignment are coded as 3. The posts classified into this category include questions for OP and statements of posters’ opinions from neutral positions. *Example 3* and *4* below are instances in which posters ask questions to OP.

Example 3 (posted by “qFAyOExQ0”)

Original Japanese:

Sushi no hoka ni nanika okuri mono shita?

English translation:

“Did you give her anything else other than *sushi*?”

Example 4 (posted by “fY5GCZ4J0.net”)

Original Japanese:

[...] tanjo-bi ni wa nani shite kuretano?

English translation:

“How did she celebrate your birthday?”

It is worth noting that all of such question-posts have neutral degree of alignment. These posts play significant roles in a development of the discussion as they elicit OP's further explanations on his situation and often triggered topic shifts. When OP provides further information in responding to such questions, most of the posted responses show low alignment, except few instances such as *Example 5* and *6*. In such posts, posters show the neutral degree of alignment, simply stating their opinions on situations that are being discussed.

Example 5 (posted by "TGSWUPUU0.net")

Original Japanese:

Tabun, kanojo to shitewa yasui osushi tabehoudai yorimo tanjo-kai rashii omise ga yokattan ja nai? Nedan yorimo hun-iki toiuka [...] Tatoeba 10sara de 1080 yen dayone. Hamazushi to onazi kurai no nedan de taberareru kafe toka yo-shokuya mo sokosoko arunjanai? Sokodattara monku iwanaiyouna kimosuru

English translation:

"I am guessing that she would prefer a place that has an atmosphere more suited for a birthday celebration, rather than a *sushi* place. I think she cared more about mood rather than price. *Hamazushi* cost you about 1080 yen, right? There might be some places such as cafés and restaurants where you can eat with the same price. I do not think she would be complaining if you take her to such places."

Example 6 (Posted by "0/jdbqRB0")

Original Japanese:

Koukousei nara wakarimasu kedo, daigaku ijo- de Hamazushi ni tanjo-bi dina- ni tsurete ikaretara munashiku narisou Tanjo-bi tte sukoshi iitokoro wo kitai shiteshimau mon ne Demo sekkaku iwatte moratteru noni monku ienaishi to omou kanojo no kimochi mo wakaru

English translation:

"I would have understood if you were in high school, but considering that you are in college, it may be natural that she feels miserable. I would expect my birthday celebration to be held at a fancier place. However, I think I understand how she feels not being able to complain because you picked the place to celebrate her birthday."

In these posts, expression of hedging, including "*Tabun...kimosuru*" (I am guessing that...), and "*omou*" (I think) are often observed. Hedging, identified as one of the relational strategies in Locher (2006), plays an important role in mitigating the potential face threat in these posts, especially in *Example 6*. Although the content of the post essentially shows indirect criticism of OP's behavior, uses of effective hedging help the post sound much less aggressive than it would have been without them. As shown below, another example of a post with average alignment includes humor, which is suggested as another relational strategy by Locher (2006). This post's alignment would have been coded as 2 without a use of humor, as it implicitly blames the poster's behavior and thus disaligns with OP. *Example 7* shows how a humor helps to enhance degree of alignment in the post.

Example 7 (Posted by "WfquOB0Q0")

Original Japanese:

Hamazushi ni surunara messseezi to yubiwa no ke-su ga notta osara ga kurukuru mawatte kuru kurai no enshutsu shinaito

English translation:

“*Hamazushi* would have been ok only in a case if you made an arrangement to deliver an engagement ring to her on a *sushi* plate on a conveyor-belt”.

Posts including *Example 8* and *9*, which respond to questions by OP show neutral alignment with OP as well. *Example 8* and *9* were posted in response to a question by OP, who is asking if his plan for a Christmas celebration would be appropriate.

Example 8 (Posted by “qFAyOExQ0.net”)

Original Japanese:

Ikanajo janai Keeki tsukuru nara soto ni tabeni iku taimingu muzukashiku narukara kanojo to soudan shita houga iiyo

English translation:

“She’s a good girlfriend. If you want to eat out, you should ask her, as it will be a bit difficult to plan it along with baking.”

Example 9 (Posted by “CivZEmZI0.net”)

Original Japanese:

Okashiku wa naikedo sono sasoi kata dato kanojo teki niwa resutoran wa soutei shite naiyo Soshite anmari okane tsukaitaku nasasou Tedukuri keeki tte zikan kakarushi, iede hutaride mattari shiyuu tte kotodato omou Toriaezu gohan wa dousuru tte kiite mitara?

English translation:

“The plan sounds ok, but I don’t think your girlfriend plans to eat out judging from how she asks. I think she wants to relax at home. Also, it sounds like she does not want to spend too much money. How about asking her what she wants to do with a dinner?”

These two posts, providing concrete advice considering OP’s situation yet not including expressions of sympathy, are classified into “average-alignment” category. In *Example 8*, a word end particle *yo*, which acts similarly as *ne* is used, and in *Example 9*, an expression of hedging, “*omou*” (I think) is used. These relational strategies help to make the posts sound less forceful than they had been without them.

4.3. Posts with low-alignment

In this section, findings on posts whose alignment are coded with 2 and 1 are discussed. *Example 10* and *11* below are among the first posts with low alignment in the discussion. Both messages were posted when OP made a follow-up post on his *Original Post*, providing information including his age and how he had celebrated his girlfriend’s birthday previous year.

Example 10 (posted by “Wz4gdpTB0”)

Original Japanese:

Sasugani tsuri ja nai to shitara, kenjo- ka utagau reberu

English translation:

“If this is not a fake story, I doubt he is normal.”

Example 11 (posted by “I+snwrR40.net”)

Original Japanese:

*Korewa sasugani hidoi na Tsukiau noga hajimete dato shitemo mouchotto iroiro
shirabetari benkyoushinai to korekara mazui zo*

English translation:

“This is too horrible. Even if this is your first time dating with someone, you should try to learn more by doing some research. Otherwise, you will be in trouble in the future.”

Both *Example 10* and *11* show strong disalignment with OP, indicating OP is “not normal” (*Example 10*), and his behavior is “too horrible” (*Example 11*). Such posts including negative evaluations are prevalently observed every time OP provides new information. It is worth pointing out that *Example 10* is posted by a person whose poster ID is “Wz4gdpTB0”, which matches with that of a post with high alignment shown in *Example 1*. It is likely that this reversal in “Wz4gdpTB0”’s attitude might be related to a sense of community within *Channel 2*, a concept that is suggested in Nishimura (2008). Since confirming to norms of community is regarded as highly important for members of *Channel 2* communities, a potential *tsuri* post (fake story), which might disrupt orders in a thread, is likely to have been intolerable to this poster. Similar negative evaluations are especially prevalent in phase 3, when it was revealed that OP had been given an expensive birthday gift from his girlfriend. Following a set of such negative comments, different types of posts with lower alignment are observed.

Example 12 (posted by “qQRTy2su0.net”)

Original Japanese:

*Tanjo-bi ni Hamazushi itte gosara dake tabeta ato
naiteru kanojo wo so- zo- shita dakede kusuttokuru*

English translation:

“It cracks me up imagining her crying eating only 5 plates of sushi at *Hamazushi* on her birthday.”

Example 13 (posted by “NYLXVEYb0.net”)

Original Japanese:

*Tsukiatte hajimeteno jibun no tanjo-bi wa warikan Kareno tanjo-jo-bi ni wa keeki to obento- wo tezukuri
shite, issho- kenmei eranda kawa no saihi wo ageta Nikai me no tanjo-bi wa Hamazushi Gakusei dashi
sho-ganai to omotte iiyo to kotaeta kedo, honto- ni Hamazushi dakede, purezento mo sen en chotto no
omocha Nakuwa konnan w*

English translation:

““On the first birthday after we started dating, he did not pay a bill for my meal at a restaurant. On his birthday, I made a cake and a meal in a bento box, and gave him a fancy leather wallet I chose for him to make him happy with all my effort. On my second birthday, he took me to *Hamazushi*, and gave me a cheap toy-like present only worth 1000 yen.’ It is natural that she cries w(*shows a laughter*).”

In *Example 12*, the poster shows strong disalignment with OP, by explicitly stating that they are entertained by the situation. Another instance where a poster shows their enjoyment is observed in *Example 13*, in which the poster shows that they are laughing by using the character “w”, which shows a laughter in Japanese internet slang. This observation is in keeping with that of Nishimura (2008), impolite behavior being often enjoyed by the participants in the discussion of *Channel 2*. In *Example 13*, the poster summarizes OP’s situation revealed through discussion and narrates the story as if they were the OP’s girlfriend. They point out disparities between efforts the

girlfriend and OP put into celebrating each other's birthday, using expressions such as "issho- kenmei" (with all my effort) and "1000 yen chotto no omocha" (Cheap toy-like present). This act is highly disaligned with an OP, as doing so would obviously threaten his face.

Finally, towards the end of the discussion, several posts which show posters' desire that OP leaves the thread were observed.

Example 14 (posted by "Q0OohqVb0.net")

Original Japanese:

Kanke- nai kocchino mune made itaku natte kitakara sassa to yu-do- saki ni ittehoshii wa w Ii kanojo nanoni kawai so-ni

English translation:

Listening to this story hurts me, although the whole situation has nothing to do with me. I just wish that he leaves here soon w (*shows a laughter*). Poor girl, she's such a great girlfriend.

Example 15 (posted by "D1fNYzBg0.net")

Original Japanese:

Madaita noka omae[...].

English translation:

I don't expect you to still be here.

Example 15 shows especially high degree of disalignment, with the second person pronoun, "omae", which is only used to someone in a weaker position, and usually considered to be extremely rude to use it to a stranger. "Mada itanoka" (I don't expect you to still be here), at the beginning of the sentence also expresses strong disalignment, showing annoyance of the poster. Such posts seen in *Example 14* and *15* virtually prompted the end of the discussion, after which no posts by OP were observed.

5. Conclusions

Analysis of the data shows some features and tendencies which would potentially be distinctive characteristics of advice-giving thread in *Channel 2*. Several findings were identified regarding tendencies of posts with high alignment, average alignment, and low alignment. In posts with high alignment, uses of relational strategies were prevalently observed, including expression of empathy and word end particle *ne*. Additionally, one particular instance of an attempt to save the OP's face from other posters' attack was seen. Posts with average alignment were seen in questions to OP, evaluation of OP's situation, and posts responding to OP's questions. In the posts with average alignment, uses of relational strategies are observed as well. Such posts include humor and hedging, which effectively enhance alignment of the posts. Posts with low degree of alignment are observed throughout the discussion and showed aggressive linguistic behaviors toward OP. Such behaviors include criticism and expressions of enjoyment of OP's troubled situation. The descriptions of the realization of alignment presented here are not exhaustive. It is hoped that future research of advice-giving threads in *Channel 2* will further expand what is found in the current study.

Reference

- 1) Goffman, Erving (1967). *Interactional Ritual: Essays on Face-to-face Behavior*. Garden City, NY: Anchor Books.
- 2) Kiesling, S. F., Pavalanathan, U., Fitzpatrick, J., Han, X., & Eisenstein, J. (2018). Interactional stancetaking in online forums. *Computational Linguistics*, 44(4), 683-718.
- 3) Locher, M. A. (2006). *Advice online: Advice-giving in an American Internet health column* (Vol. 149). John Benjamins Publishing.
- 4) Locher, M. A. (2013). 14. Internet advice. *Pragmatics of computer-mediated communication*, 9, 339.
- 5) Maynard, S.K. (1997). *Japanese Communication: Language and thought in Context*. Honolulu: University of Hawaii Press.
- 6) Nishimura, Y. (2008). Japanese BBS websites as online communities: (Im)politeness perspectives. *Language@ Internet*, 5, 1-16.
- 7) Nishimura, Y. (2010). Impoliteness in Japanese BBS interactions: Observations from message exchanges in two online communities. *Journal of Politeness Research* 6.1: 33–55.

(Received January 14, 2022)

数学総合演習への学生のニーズと今後に向けた改善

小中澤聖二*, 安富義泰*

東京高専数学科では、4 年後期に「数学総合演習」を開講している。この授業は「基礎コース」と「発展コース」の 2 コースに分かれており、基礎コースでは、主に 1 年から 3 年の授業の復習を行っている。また、発展コースでは、主に大学編入試験に向けた過去問演習を行っている。この研究では、学生に実施した授業アンケートを通じて、数学総合演習に求める学生のニーズを汲み取り、今後に向けた改善を図るとともに、先輩から後輩へのアドバイスを紹介する。

(キーワード: 数学総合演習, 学生のニーズ, 今後に向けた改善, 後輩へのアドバイス)

Needs of Students for the Comprehensive Exercises in Math and Improvements for the Future

Seiji KONAKAZAWA*, Yoshiyasu YASUTOMI*

The Department of Mathematics of Tokyo KOSEN has given the fourth-year students the mathematical class called “Comprehensive Exercises in Math” in the second semester. This class is divided into 2 courses called the “Basic Course” and the “Advanced Course.” In the Basic Course, students review what they learned in Math from the first grade until the third grade. In the Advanced Course, students answer past examination questions for their transfer admission examinations to the universities. In this paper, we understand the needs of the students for this class through a student questionnaire, improvements for the future, and introduce advice to younger students.

(Keywords: comprehensive exercises in Math, needs of students, improvements for the future, advice to younger students)

1. はじめに

東京高専数学科では、本科において、必修科目として 1 年前期に「基礎数学Ⅰ」(2 単位)・「基礎数学Ⅰ演習」(1 単位), 1 年後期に「基礎数学Ⅱ」(2 単位)・「基礎数学Ⅱ演習」(1 単位), 2 年前期に「線形代数Ⅰ」(1 単位)・「微分積分Ⅰ」(2 単位), 2 年後期に「線形代数Ⅱ」(1 単位)・「微分積分Ⅱ」(2 単位), 3 年前期に「線形代数Ⅲ」(1 単位)・「解析Ⅰ」(2 単位), 3 年後期に「線形代数Ⅳ」(1 単位)・「解析Ⅱ」(1 単位)・「確率統計」(1 単位), 4 年前期に「微分方程式」(2 単位, 学修単位), 4 年後期に「応用数学」(2 単位, 学修単位) の計 22 単位を開講している(表 1)。これらは、2016 年度からのカリキュラム改訂により多少の科目名の変更や開講時期の変更があるものの、その内容については余り変更はない。

また、選択科目として 4 年後期に「数学総合演習」(2 単位, 学修単位)を開講している(表 1)。

表 1 東京高専本科数学科のカリキュラム

科目名	開講時期	主な内容
基礎数学Ⅰ/同演習	1年前期	数と式/集合と命題/色々な関数
基礎数学Ⅱ/同演習	1年後期	三角関数/平面図形/場合の数
微分積分Ⅰ	2年前期	数列/微分
微分積分Ⅱ	2年後期	微分/積分
線形代数Ⅰ	2年前期	平面ベクトル/空間ベクトル
線形代数Ⅱ	2年後期	複素数/行列/行列式
線形代数Ⅲ	3年前期	行列式/連立一次方程式/線型変換
線形代数Ⅳ	3年後期	ベクトル空間/固有値/固有ベクトル
解析Ⅰ	3年前期	媒介変数表示/関数の展開/偏微分
解析Ⅱ	3年後期	偏微分/重積分
確率統計	3年後期	確率/統計
微分方程式	4年前期	微分方程式
応用数学	4年後期	専門学科によって内容は異なる
数学総合演習(基礎)	4年後期	1年～3年の総復習
数学総合演習(発展)	4年後期	大学編入試験対策

こちらは、カリキュラム改訂の際に開講時期が 5 年前期から 4 年後期に変更しただけでなく、基礎コース・発展コースの 2 コースに分離した。

東京高専本科卒業生の進路先は、約半数が就職

*一般教育科

で、約半数が進学である。進学を希望する学生からは進学に特化した授業へのニーズが高く、カリキュラム改訂前から進学を希望する学生を対象とした授業を開講してきた。それに加え、数学の基礎力に不安があるため今までの内容をもう一度しっかりやり直したい、という学生の要望にも応えるべく、カリキュラム改訂に伴い、1 年から 3 年の数学総復習としての基礎コースと、従来の大学編入試験対策としての発展コースを開講する事とした。

現カリキュラム移行後、2 期を経たのを機に、学生アンケートを通じて、両コースの総点検を行い、今後に向けた改善を図るべく、本研究を行うものである。

2. 学生アンケートの実施

2020 年度 4 年生 (現 5 年生) の数学総合演習の履修者は、基礎コースが 84 名、発展コースが 95 名であった。Microsoft Forms を用いて学生アンケートを実施したところ、基礎コース履修者 21 名、発展コース履修者 51 名、履修をしていなかった学生 6 名から回答があった (表 2, 図 1)。

表 2 数学総合演習履修の回答状況

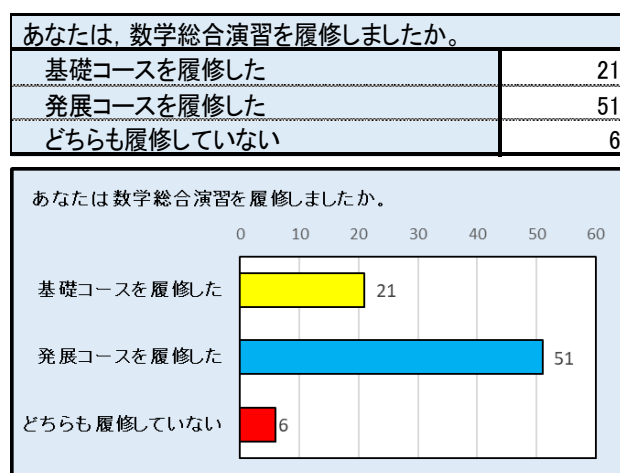


図 1 数学総合演習履修の回答状況

2.1. 基礎コース履修者からの回答

数学総合演習は選択科目であり、また 2 コースに分かれているが、現カリキュラム下では、その両方を履修する事はできない。したがって、まずは「もし基礎コースと発展コースが 2 つとも履修できていたとしたら、どうしていたか」を聞いてみた。基礎コース履修者からの回答は以下の通り

である (表 3, 図 2)。

表 3 両コース履修できたらどうしたか (基礎)

両コース履修できていたら、どちらを履修しましたか。	
基礎コースのみ履修した	17
発展コースのみ履修した	1
両方履修した	3
どちらも履修しない	0

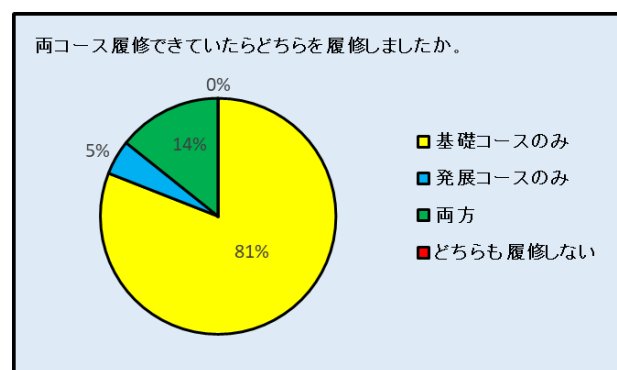


図 2 両コース履修できたらどうしたか (基礎)

基礎コース履修者の 81% は「基礎コース・発展コースの両方が履修できていたとしても、基礎コースのみを履修した」と回答しており、履修の目的が「低学年での数学科目の内容をしっかりやり直したい (直したかった)」事に変わりがない事が伺われる。一方、基礎コース履修者の 14% が「基礎コース・発展コースの両方が履修できていたとしたら、その両方を履修した」と回答しており、「数学の基礎力に不安があるため基礎コースを履修したが、大学編入試験対策用の発展コースも履修したかった」事が伺われる。

次に「科目として、数学総合演習がある方がいいか」を聞いてみた。基礎コース履修者からの回答は以下の通りである (表 4, 図 3)。

表 4 数学総合演習はある方がいいか (基礎)

科目として、数学総合演習はある方がいいですか。	
絶対あった方がいい	8
あってもいい	13
なくてもいい	0
なくした方がいい	0

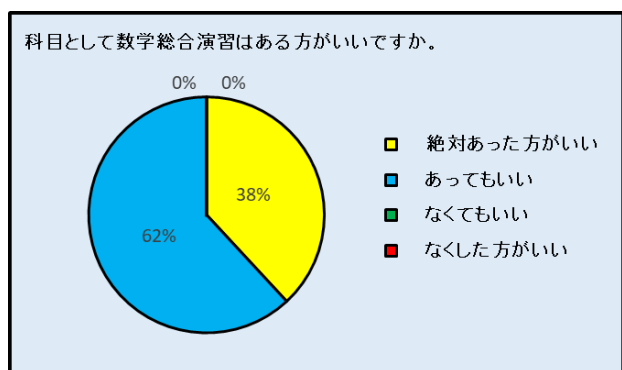


図3 数学総合演習はある方がいいか（基礎）

基礎コース履修者の38%が「数学総合演習は絶対あった方がいい」、62%が「数学総合演習はあってもいい」と回答しており、すなわち、基礎コース履修者の全員が数学総合演習（基礎コース）の開講の必要性を感じている事が分かった。

その理由についての回答は以下の通りである（表5、図4）。

表5 数学総合演習がある方がいい理由（基礎）

その理由を教えてください。	
単位が取れるから	12
復習ができたから	12
以前よりも理解が深まったから	13
編入試験に役に立ったから	6
解き応えがあったから	3
新たな知識を得られなかったから	0
GPAが下がったから	0
その他	0

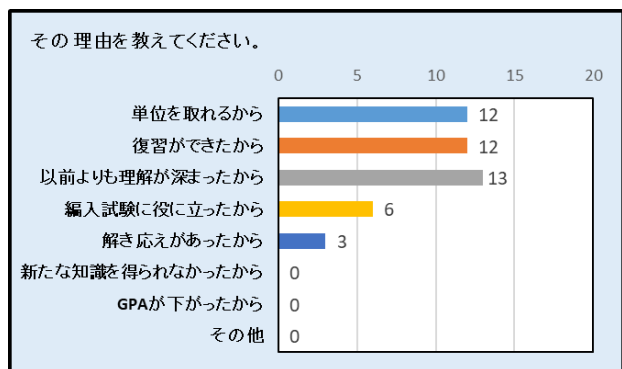


図4 数学総合演習がある方がいい理由（基礎）

基礎コース履修者の約6割が「単位が取れるから数学総合演習はあった方がいい」（57%）、「復習ができるから数学総合演習はあった方がいい」（57%）、「低学年の時よりも理解が深まるから数学総合演習はあった方がいい」（61%）と回答して

おり、基礎コース開講のカリキュラム改訂は成功していると言える。一方、基礎コース履修者の14%が「編入試験に役に立つから数学総合演習はあった方がいい」と回答しており、ここでもやはり、「数学の基礎力に不安があるため基礎コースを履修したが、大学編入試験を受験した」学生が存在する事が伺われる。

続いて「難易度が適切であったか」を聞いてみた。基礎コース履修者からの回答は以下の通りである（表6、図5）。

表6 基礎コースの難易度は適切だったか

難易度は適切でしたか。	
結構難しかった	0
ちょっと難しかった	0
ちょうど良かった	13
ちょっと簡単だった	4
かなり簡単だった	4

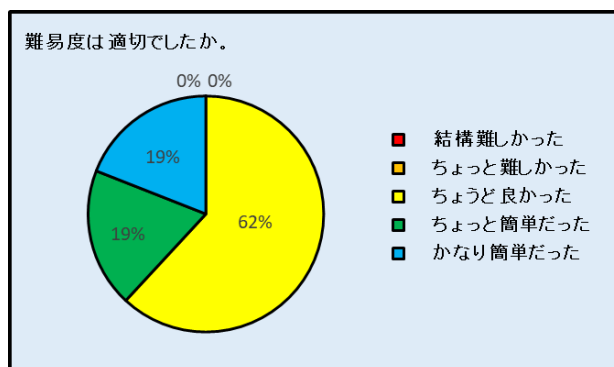


図5 基礎コースの難易度は適切だったか

基礎コース履修者の62%が「基礎コースの難易度はちょうど良かった」と回答しており、基礎コースの授業設計は概ね成功していると言える。一方、「基礎コースは簡単だった」と回答した学生の割合が38%であったのに対し、「基礎コースは難しかった」と回答した学生の割合が0%であった事から、今後は、あと少しだけ難易度を高くする事も検討課題としたい。

基礎コースにおいて「どのような内容を扱うと良いか」を聞いてみたところ、得られた基礎コース履修者からの回答は以下の通りである。

学生によって扱って欲しい内容に多少のばらつきはあるものの、全体としては1年から4年前期までの全ての内容がほぼ同じ割合となっており、今後も特定の分野に偏る事なく、まんべんなく扱うと良い事が分かった（表7、図6）。

表 7 基礎コースで扱って欲しい内容

どの様な内容を扱うと良いですか。	
色々な関数(1年)	9
平面/空間ベクトル(2年)	12
行列/行列式/連立一次方程式(2・3年)	12
固有値/固有ベクトル/行列の対角化(3年)	11
微分/積分(2年)	12
偏微分/重積分(3年)	15
微分方程式(4年)	12
確率統計(1・3年)	13

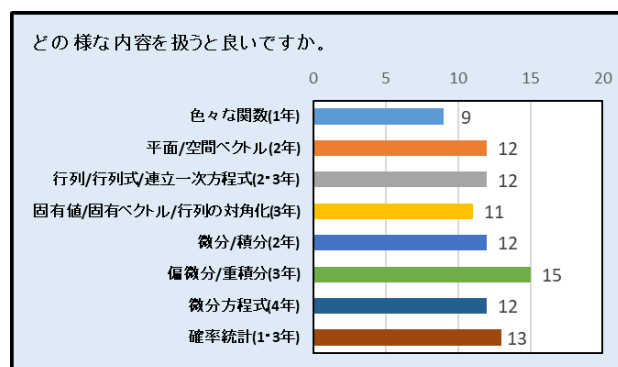


図 6 基礎コースで扱って欲しい内容

基礎コースを「どの時期に開講すると良いか」を聞いてみたところ、得られた基礎コース履修者からの回答は以下の通りである(表 8, 図 7)。

表 8 基礎コースの開講時期

開講時期はいつが良いですか。	
4年前期	4
4年後期(現在と同じ)	16
5年前期	1

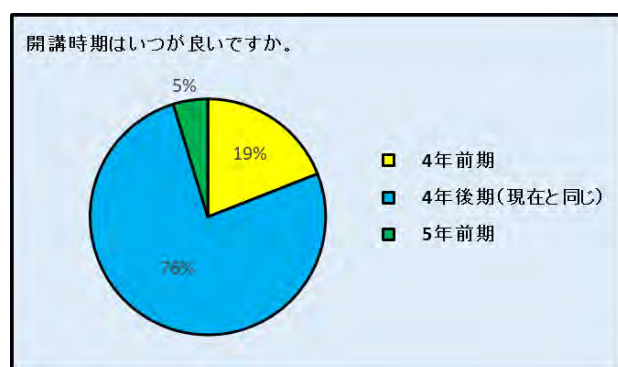


図 7 基礎コースの開講時期

基礎コース履修者の 76%が「基礎コースの開講時期は現在と同じ 4 年後期が良い」と回答しており、開講時期設定は適切であると言える。一方、基礎コース履修者の 19%が「基礎コースの開講時

期は現在より早い 4 年前期が良い」と回答しており、より早い時期から復習に取り組みたいという真摯な希望を持つ学生も一定程度存在する事が分かった。

基礎コースが「今後より良くなるためにはどうしたら良いか」を聞いてみたところ、得られた基礎コース履修者から回答は以下の通りである。

- ・「模範的な授業でした。小テストの難易度もちょうど良かった。」
- ・「基礎コースでも大学編入試験の過去問を解く機会が欲しかった。」

この事から、やはり、基礎コースの授業設計は概ね成功しているものの、「数学の基礎力に不安があるため基礎コースを履修したが、大学編入試験を受験した」学生が存在する事が伺われる。

最後に「卒業後の進路」を聞いてみた。基礎コース履修者からの回答は以下の通りである(表 9, 図 8)。

表 9 基礎コース履修者の卒業後の進路

あなたの卒業後の進路は、以下の選択肢にありますか。	
旧帝大(北大/東北大/名大/阪大/九大)	0
難関国立大(東工大/神戸大/筑波大)	0
関東国立大(農工/電通/横国/埼玉)	2
技科大(長岡/豊橋)	1
東京高専専攻科	2
その他の大学/高専専攻科/専門学校等	3
就職	12
ここにはない	1

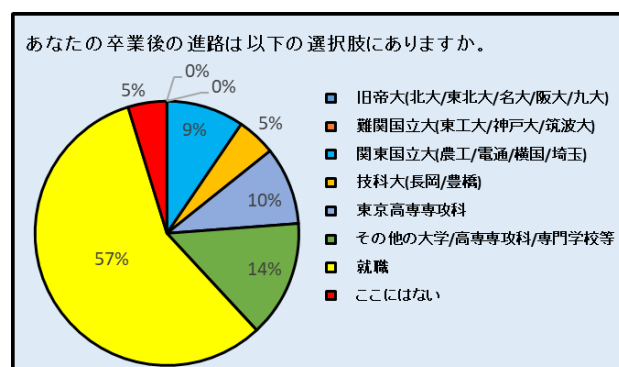


図 8 基礎コース履修者の卒業後の進路

基礎コース履修者の 57%が「卒業後は就職する」と回答しており、「低学年における数学の基礎力に不安があるため、今までの内容をもう一度しっかりやり直し、以前より理解を深めたい」という真摯な希望を持つ学生が多く存在する事が分かった。一方、基礎コース履修者の 38%が「卒業後は進学

する」と回答しており、「数学の基礎力に不安があるため基礎コースを履修するが、大学編入試験を受験する」学生が一定程度存在する事が分かった。

2.2. 発展コース履修者からの回答

発展コース履修者にも同様の学生アンケートを実施した。まずは「もし基礎コースと発展コースが2つとも履修できていたとしたら、どうしていたか」を聞いてみた。発展コース履修者からの回答は以下の通りである（表10、図9）。

表10 両コース履修できたらどうしたか（発展）

両コース履修できていたら、どちらを履修しましたか。	
基礎コースのみ履修した	8
発展コースのみ履修した	23
両方履修した	17
どちらも履修しない	3

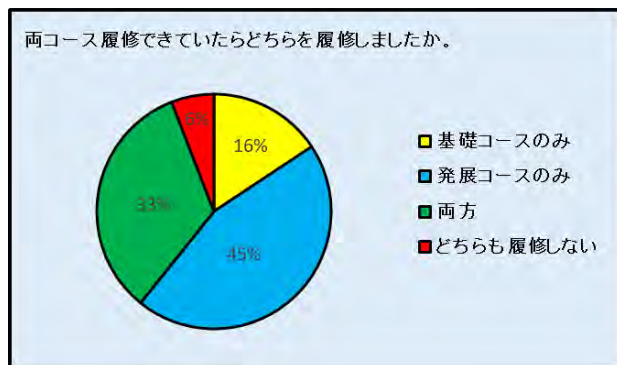


図9 両コース履修できたらどうしたか（発展）

発展コース履修者の78%が「基礎コース・発展コースの両方が履修できていたとしても、発展コースのみを履修した」「基礎コース・発展コースの両方が履修できていたとしたら、その両方を履修した」と回答しており、大学編入試験に特化した授業に対するニーズはかなり高い事が分かる。そのうち、発展コース履修者の33%が「基礎コース・発展コースの両方が履修できていたとしたら、その両方を履修した」と回答しており、「大学編入入学を希望しているため発展コースを履修したが、1年から3年の復習をして、以前よりも理解を深めたい（深めたかった）」学生も多く存在する事が伺われる。

次に「科目として、数学総合演習がある方がいいか」を聞いてみた。発展コース履修者からの回答は以下の通りである（表11、図10）。

表11 数学総合演習はある方がいいか（発展）

科目として、数学総合演習はある方がいいですか。	
絶対あった方がいい	30
あってもいい	18
なくてもいい	3
なくした方がいい	0

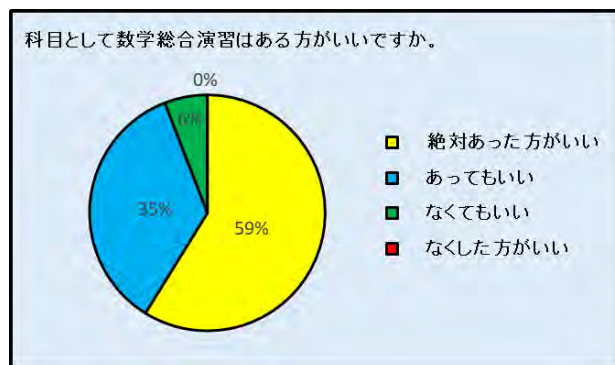


図10 数学総合演習はある方がいいか（発展）

発展コース履修者の59%が「数学総合演習は絶対あった方がいい」、35%が「数学総合演習はあってもいい」と回答しており、発展コース履修者のほとんどが数学総合演習（発展コース）の開講の必要性を感じている事が分かった。一方、発展コース履修者の6%が「数学総合演習はなくてもいい」と回答している事も分かった。

その理由についての回答は以下の通りである。

発展コース履修者の68%が「編入試験に役に立ったから数学総合演習はあった方がいい」と回答しており、やはり、大学編入試験に特化した授業に対するニーズが高い事が分かる。また、発展コース履修者の約4割が「復習ができるから数学総合演習はあった方がいい」（41%）、「低学年の時よりも理解が深まるから数学総合演習はあった方がいい」（43%）と回答しており、ここでもやはり、「大学編入入学を希望しているため発展コースを履修したが、1年から3年の復習をして、以前よりも理解を深めたい（深めたかった）」学生も存在する事が伺われる。一方、「数学総合演習はなくてもいい」と回答した理由として、「自分で勉強した方がやる気も出た」をいう意見もあった（表12、図11）。

表 12 数学総合演習がある方がいい理由(発展)

その理由を教えてください。	
単位が取れるから	17
復習ができたから	21
以前よりも理解が深まったから	22
編入試験に役に立ったから	35
解き応えがあったから	12
新たな知識を得られなかったから	1
GPAが下がったから	5
その他	3

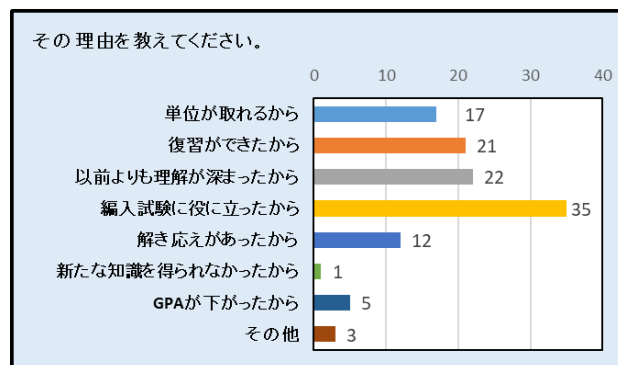


図 11 数学総合演習がある方がいい理由(発展)

続いて「難易度が適切であったか」を聞いてみた。発展コース履修者からの回答は以下の通りである(表 13, 図 12)。

表 13 発展コースの難易度は適切だったか

難易度は適切でしたか。	
結構難しかった	21
ちょっと難しかった	16
ちょうど良かった	13
ちょっと簡単だった	0
かなり簡単だった	0

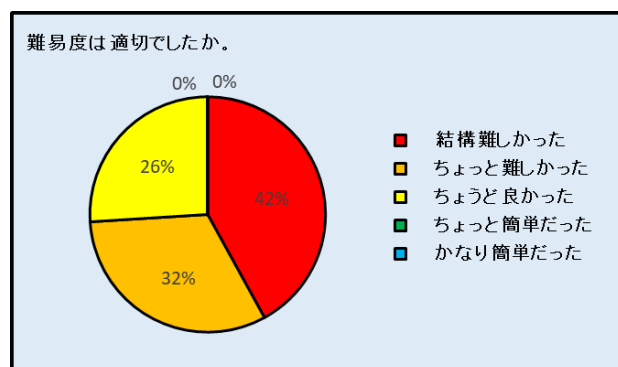


図 12 発展コースの難易度は適切だったか

発展コース履修者の 74%が「発展コースは難しかった」と回答した一方、「発展コースの難易度はちょうど良かった」と回答した学生の割合が 26%、

「発展コースは簡単だった」と回答した学生の割合が 0%であった事から、学生にとって難易度の高い授業であったと言える。したがって、今後は、あと少しだけ取り組みやすい難易度の過去問演習から始める事も検討課題としたい。

発展コースにおいて「どのグループの大学群の編入試験問題を扱うと良いか」を聞いてみたところ、得られた発展コース履修者からの回答は以下の通りである(表 14, 図 13)。

表 14 発展コースで扱って欲しい大学群

どのグループの大学群の編入試験を扱うと良いですか。	
旧帝大(北大/東北大/名大/阪大/九大)	19
難関国立大(東工大/神戸大/筑波大)	25
関東国立大(農工/電通/横国/埼玉)	44
技科大(長岡/豊橋)	27
東京高専専攻科	20
その他	0

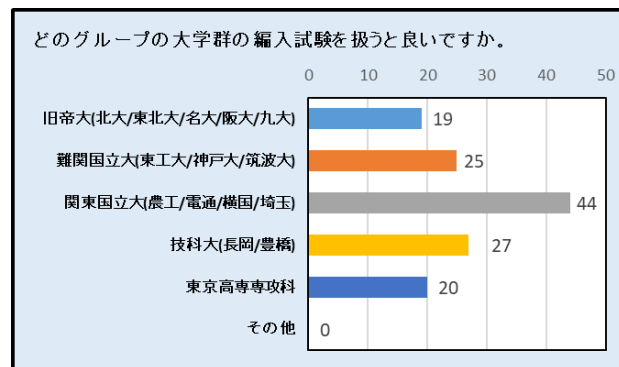


表 13 発展コースで扱って欲しい大学群

東京農工大学や電気通信大学など、東京高専から比較的近い大学への編入学を希望する学生が多い事が改めて分かった。一方、北海道大学・東北大学・名古屋大学・大阪大学などの旧帝大や、東京工業大学や筑波大学などの難関国立大、長岡技術科学大学や豊橋技術科学大学への編入学を希望する学生、東京高専専攻科への進学を希望する学生も数多く存在する事が分かった。したがって、今後も、最初こそ取り組みやすい難易度の過去問演習から始めるものの、最終的には難易度の高い大学の過去問演習も扱う必要がある事が分かった。

発展コースを「どの時期に開講すると良いか」を聞いてみたところ、得られた発展コース履修者からの回答は以下の通りである。

発展コース履修者の 56%が「発展コースの開講時期は現在より早い 4 年前期が良い」と回答しており、より早い時期から大学編入試験対策に取り

組みたいという真摯な希望を持つ学生が数多く存在する事が分かった（表 15，図 14）。

表 15 発展コースの開講時期

開講時期はいつが良いですか。	
4年前期	28
4年後期(現在と同じ)	19
5年前期	3

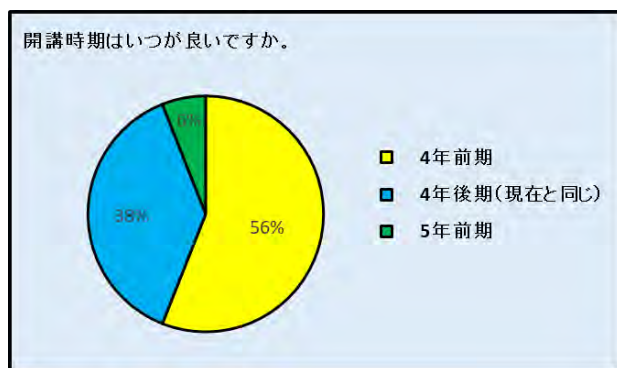


図 14 発展コースの開講時期

発展コースが「今後より良くなるためにはどうしたら良いか」を聞いてみたところ，得られた発展コース履修者から回答は以下の通りである。

- ・「対面授業にして欲しい。」(5 回答)
- ・「発展コースは GPA が下がるので，途中コース変更可や履修せずに聴講可にして欲しい。」(4 回答)
- ・「分かりやすい。今のままでいい。」(3 回答)
- ・「通年授業にして欲しい。」(2 回答)
- ・「前期にする事で早めに勉強を始められる。」
- ・「履修してない人の聴講は認めない方がいい。」
- ・「オンデマンド配信もして欲しい。」
- ・「ベクトル空間の復習を多く入れて欲しい。」
- ・「物理も同等の授業をして欲しい。」

この事から，「新型コロナウイルス感染症が収まった後は対面授業で行う」事や，やはり，「前期(から通年)での開講」を希望する学生のニーズがある事が分かった。

最後に「卒業後の進路」を聞いてみた。発展コース履修者からの回答は以下の通りである。

発展コース履修者の 67%が「卒業後は進学する」と回答しており，やはり，大学編入試験に特化した授業に対するニーズが高い事が分かる。一方，発展コース履修者の 21%が「卒業後は就職する」と回答しており，「卒業後に進学はしないが，解き応えを求めて発展コースを履修した」学生が存在

する事が伺われる（表 16，図 15）。

表 16 発展コース履修者の卒業後の進路

あなたの卒業後の進路は，以下の選択肢にありますか。	
旧帝大(北大/東北大/名大/阪大/九大)	2
難関国立大(東工大/神戸大/筑波大)	5
関東国立大(農工/電通/横国/埼玉)	7
技科大(長岡/豊橋)	7
東京高専専攻科	9
その他の大学/高専専攻科/専門学校等	4
就職	11
ここにはない	6

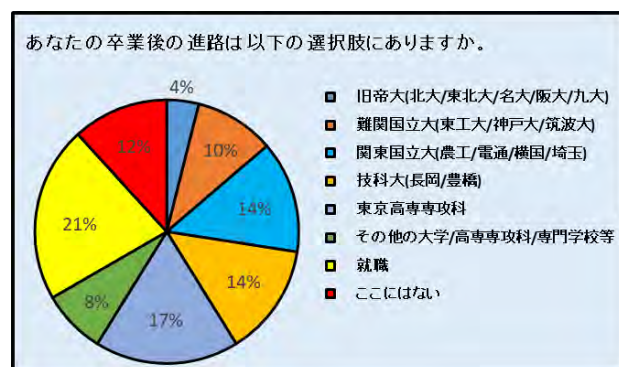


図 15 発展コース履修者の卒業後の進路

3. 学生インタビューと後輩へのアドバイス

学生アンケートを実施する際，追加で個別にインタビューを受けても良いかも聞いてみた。すると，12名の学生から「インタビューを受けても良い」との回答が得られた。12名の学生には，Microsoft Teams を用いて追加のインタビューを行った。実施した学生アンケートは元々「数学総合演習への評価」を得る事が主目的であったが，当該科目は学生の進路にも関係する科目であるため，学生生活全般を通して進路の決定から将来の目標まで後輩学生の参考となる経験や意見を追加のインタビューの中から汲み取る事が出来ればと考えたからである。

追加のインタビュー項目（表 17）と得られた 12名の回答を以下に記す。ただし，紙面の関係上，学生の回答の主旨を損なわない程度に文章の簡略化を行った箇所もある事をここに断っておく。また，各回答に付随するアルファベットは，以下の回答者を表している（表 18）。

これを読まれる後輩学生のみなさんには是非参考にさせていただき，悔いなく，自信を持って卒業していただきたい。

表 17 追加のインタビュー項目

追加のインタビュー項目
1. 低学年の頃の勉強で、心掛けていた事・大事な事はありましたか？
2. 勉強時間を作り出す、あるいは効率的に勉強する工夫はありましたか？
3. 部活など、勉強以外で熱中して取り組んだものはありましたか？
4. 進路はいつ頃決めましたか？その理由も教えてください。
5. 編入試験のための勉強はいつ頃から始めましたか？(該当者のみ)
6. 編入試験のために使って良かった本があれば教えてください(該当者のみ、できれば教科ごと)。
7. 編入試験のための具体的な勉強方法を教えてください(該当者のみ、いつの時期に何の教科をやったとか、1日のうちでどの教科を何時間とか)。
8. 編入学後、どういう事をやりたいですか？(該当者のみ)
9. 大学院進学を希望していますか？
10. 将来の夢は何ですか？
11. 今考えてみたら「こうしていたらよかった」という改善点はありますか？
12. ズバリ、後輩へのアドバイスをお願いします！！

表 18 追加インタビュー回答者一覧

回答者	学科	履修コース	進路
A	電気工学科	発展コース	就職
B	物質工学科	発展コース	私立大
C	機械工学科	発展コース	国立大
D	電気工学科	発展コース	高専専攻科
E	機械工学科	基礎コース	国立大
F	電気工学科	発展コース	私立大
G	電子工学科	発展コース	国立大
H	情報工学科	発展コース	国立大
I	電子工学科	基礎コース	国立大
J	情報工学科	発展コース	高専専攻科
K	機械工学科	発展コース	技科大
L	情報工学科	発展コース	高専専攻科

項目 1 の回答：

- ・低学年でも高学年でも変わらず、自分が興味のある所を気の済むまで突き進みました。(B)
- ・2 年になり周りのレベルが上がったので、勉強に対する意識が変わり勉強をし始めました。3 年には編入で推薦を取りたかったため高い順位を目標に勉強していました。(C)
- ・復習を大切にしていた。特に数学や物理は、その日に習った内容の該当する問題集をすぐ解いて理解を深めた。(D)
- ・1, 2 年生では専門、一般ともに基礎が出てくると思っています。その基礎をおろそかにしてしまつては 3, 4, 5 年生で躓く事になると思う

ので、しっかり理解する事を心がける事が大事です。(J)

項目 2 の回答：

- ・分からないところを何とかして特定し、そこを調べなおす。(B)
- ・むやみに応用問題に手を出さず基礎を固める事に専念していました。基礎を固める事で応用問題もスムーズに理解する事ができました。勉強時間を作り出す工夫としては、レポートなどの提出物を早めにやっておき試験前に時間を作る事です。(C)
- ・後回しにせず、思いついたらすぐにやる。(D)
- ・基本的な生活習慣を乱さないようにする。(E)
- ・課題をためずに昼休みや朝授業前などなるべく平日に終わらせ、休日は自身の勉強に充ててました。(F)
- ・授業中に習った計算の流れや知識の構造をその日のうちに理解する。(G)
- ・電車とかで教科書をつまみ読みして家に帰った時に自然と関心が向く様になりました。(H)
- ・一番効率的だと思うのは 1 日 30 分でその日の授業を復習する事だと思います。(J)
- ・暗記系は通学時間に、計算系はひたすら解きました。(L)

項目 3 の回答：

- ・長年、剣道を習っています。私は物質工学科ですが、機械工学科企画に参加しました。他にも哲学対話、文学、プログラミング等に取り組みました。(B)
- ・卓球部、備品部門、組込みシステム開発マイスター。(D)
- ・ロボコンゼミ(G)
- ・プロコンゼミ(H)
- ・ダンス同好会(J)
- ・文化祭実行委員(L)

項目 4 の回答：

- ・就職を選んで、決まったのは結局 6 月位だったけれど、他を聞いてみるとその前に決まる人の方が多かった。(A)
- ・進路を本格的に決めたのは 4 年の夏休みです。その夏休みに大学の研究室を調べました。調べた中で、都内にあり自分のやりたい研究に強い大学に決めました。(C)

- ・4年生のインターン参加後に進路を決めた。インターンで先輩社員に進路について色々聞き、そのアドバイスをもとに決めた。(D)
- ・3年には進学をしようと決めてました。中学の頃の友達がみんな大学に行くので負けたくないと思いました。(F)
- ・大学進学については高専入学前から決めていた。具体的な学校については3年生の終わり頃に4大学くらいまで絞った。本決定は4年秋ごろ。(G)

項目5の回答:

- ・3年生の春休み。(C)
- ・4年生が始まる時。(D)
- ・3年後期には情報収集はして3年の春休みからしてました。(F)
- ・3年後期から編入数学をやっていました。4年からは、TOEICと数学を中心に勉強し、大学の過去問をひたすら解きまくってました。(J)

項目6の回答:

〈英語〉

- ・TOEICの公式問題集(D, J)
- ・DUO 3.0(E, G)

〈数学〉

- ・編入数学徹底研究(C, G, J)
- ・編入数学過去問特訓(C, D, G, J)
- ・大学編入試験問題 数学徹底演習(F, G)
- ・線形代数キャンパス・ゼミ(C)
- ・複素関数キャンパス・ゼミ(C, G)
- ・ベクトル解析キャンパス・ゼミ(E)
- ・ベクトル解析(理工系の数学入門コース3)(E)

〈国語〉

- ・文学系が好ましい。ただし技科大の試験等では科学に関する書籍から抜き出されるので、それに合わせて読むと良い。(B)

〈物理〉

- ・基礎物理学演習Ⅰ(C, F, G)
- ・基礎物理学演習Ⅱ(C, F)
- ・物理重要問題集 物理基礎・物理(D)
- ・物理学入門 1. 力学(大学生のための基礎シリーズ4)(E)
- ・電磁気学Ⅰ・Ⅱ(物理入門コース)(E)
- ・電磁気学の基礎Ⅰ(E)
- ・電磁気学演習[新訂版](G)
- ・熱力学-現代的な視点から(新物理学シリー

ズ)(E)

- ・長旅Pの物理メモ(WEBサイト)(B)
- ・よびのりの動画(WEBサイト)(F)

〈専門〉

- ・有機化学: マクマリー有機化学概説(B)
- ・無機化学: 絶対に分かる無機化学(B)
- ・分析化学: 分析化学の学び方(B)
- ・物理化学: アトキンス物理化学要論(B)
- ・材料力学(機械系教科書シリーズ)(E)
- ・図解によるわかりやすい流体力学(E)

項目7の回答:

- ・過去問を解いて、その傾向を予測、私が余り得意でないと感じた分析化学と絶対に出ると予想できた有機化学をメインに勉強していきました。(B)
- ・4年生の前期のうちは、数学を中心に行い、休みの日は1日2~3時間は数学をやっていた。学校がある日は、順位を落とさないための勉強をしていました。4年の後期から物理の勉強を増やしていきました。4年の春休みは、1日2時間は数学、1時間は物理をやっていました。5年の前期は、卒研や授業で忙しかったので、学校がある日は、数学1時間30分、物理は1時間、休みの日には数学と物理合計で5時間ぐらいやっていました。(C)
- ・英語は、4年の時のAdvanced TOEIC Englishの授業とともに勉強した。数学は基礎や苦手な分野を4年前期までに終わらせ、数学総合演習発展の授業と同時に編入問題などの応用問題に取り組んだ。(D)
- ・〈英語〉DUO3.0という単語帳は、英単語はもちろんの事、例文も豊富なので文法の習得や文構造を把握する練習にも適していると思いました。僕は和訳をみて英文を思い出して紙に書き出すという使い方をしていました。
〈数学〉理系科目の特徴は、基本ができれば応用もできるという事です。特に数学と物理はこの傾向が顕著だと思います。公式を1つ覚える時は「この公式はどのようにして導かれるのか?」や「導出過程で必要十分性は崩れていないか?」という事を確認しながらやっていました。この様に、懐疑的に向き合う事とそのための忍耐力が何よりも大事なのだと思います。問題演習は、数学総合演習(発展)

と過去問を中心に行っていました。数学総合演習(発展)で扱われる問題は編入試験の中でも易しめのものが多いので、基本から応用への橋渡しに最適です。なお、問題演習ではきちんと答案を書く事が大事だと思います。「きちんと答案を書く」とは答えまでの道筋を論理的に、かつ相手に分かるように答案を作成するという事です。(E)

- ・各大学の過去問を約 10 年分解く事を目標にして学習を行った。数学+電気回路、英語+電磁気という様に分けて交互に勉強した。英語は朝の電車や帰りの電車のなかで DU03.0 を読んでいた。試験前には、実際の試験で受ける順番に過去問を解いていく様にしたり、実際の試験時間と同じになる様に自前模擬試験を実施した。(G)
- ・長期休み期間は 1 日物理を 9 時間位やっていました。物理は好きでしたが得意科目ではなかったので頑張って追い込みました。(H)
- ・数学は 3 年後期で 1,2 年生の基礎を固めました。4 年生では編入の数学の問題をひたすら解きまくってました。英語はまず単語力を付け、その後に文法、次に読解という工程で勉強していました。(J)
- ・1 日 1 時間は必ず数学の勉強をしました。(L)

項目 8 の回答：

- ・今の研究を専攻科でも継続して行うので、自分の研究をもっと深められる様に、大学や企業などにも行って学びたいと思う。(D)
- ・物理が出来る友達を見つけて一緒に物理の議論をしたいです。(H)

項目 9 の回答：

- ・希望する・・・8 名
- ・希望しない・・・4 名

項目 10 の回答：

- ・研究職/教員職(B, F)
- ・医療・介護関係の企業などでの研究開発(C)
- ・鉄道の無線に関する研究者(D)

項目 11 の回答：

- ・学科選びに直結する 1 年の成績を上げておけば良かった。(A)
- ・5 年生は卒研だけかと思いきや授業も思っ

いたより入っているのでも早めに準備しておけば良かったです。(C)

- ・「この問題を何時までにやってくるので、採点をお願いします!」と先生に頼めれば、良い意味で枷になってさばりづらくなると思う。スマホを封印する。結論、勉強をするしかない環境作りが一番大切な気がする。(G)
- ・低学年の頃に勉強する習慣を付ける。また、可能な限り GPA は高く維持する。(I)

項目 12 の回答：

- ・進学したいと思っているのであれば過去問などを調べて、出る問題の分野を低学年のうちから勉強しておいた方がいいと思います。また、先生方は分からない問題を聞きに行った時にかなり対応してくれるので、積極的に聞きに行った方がいいと思います。聞きに行く時は、一通り解いて分からないところを明確にしてから行った方がいいです。(C)
- ・予習よりも復習が大切。課題はためずにすぐやる癖を付けた方がいい。また、就職・進学関係なく早く動いたもん勝ち。低学年のうちからすぐ動ける行動力を身に付けておく方がいいと思う。(D)
- ・ゆるくてもいいので継続する事が大事だと思います。(E)
- ・成績をきちんととって早めの行動をするべき。(F)
- ・せっくなので勉強を楽しみながらしましょう。(H)
- ・低学年の頃の成績が足を引っ張る事になるから、ちゃんと勉強をしておけ!!(I)
- ・毎日コツコツ続ける事が本当に大切です。辛い時も苦しい時も多々あると思いますがめげずに頑張ってください!応援してます!(J)
- ・勉強しないで楽しい事ばかりやっている人は進路の選択肢が少ないです。選択肢を広げたいのなら今のうち勉強しまくる事をおすすめします。(K)

謝辞

本研究を行うにあたり、学生アンケートならびにインタビューにご協力いただいた東京高専 5 年生のみなさんに感謝いたします。

(2022 年 1 月 14 日 受理)

COVID-19 流行時の高専におけるストレスマネジメント教育の試み — 計量テキスト分析によるプログラム評価 —

八田直紀*, 黒田一寿*

本研究の目的は、COVID-19 流行時の高専において、コロナ禍という特殊な社会環境を考慮したストレスマネジメント教育を実施し、その効果を検証することにある。本ストレスマネジメント教育の具体的な目標は、参加者が 1) ストレスに関する基礎的な知識を学習することに加え、2) コロナ禍で生活する中、ストレスを 1 人で抱え込まず、周囲の環境との関係性の中で理解し、対処していこうとする考え方を身につけることの 2 つであった。計量テキスト分析等によるプログラム評価の結果、本ストレスマネジメント教育は、意図したアウトカム（ストレスに関する基礎知識の学習と考え方の理解）の促進に寄与したと考えられた。学生のメンタルヘルスに関する課題を予防するためにも、より頑健な実験デザインに基づきながら、引き続き介入を続けていくことが期待される。

(キーワード: COVID-19、高専、ストレスマネジメント教育、計量テキスト分析、プログラム評価)

Stress Management Education in a KOSSEN during the COVID-19 Epidemic

— Program Evaluation by Quantitative Text Analysis —

Naoki HATTA*, Kazutoshi KURODA*

The purpose of this study was to evaluate stress management education in a KOSSEN during the COVID-19 epidemic. The goals of the stress management education were 1) to learn basic knowledge about stress, and 2) to understand how to interpret stress and cope with it in relation to the surrounding environment. The results of the program evaluation by quantitative text analysis indicated that the stress management education contributed to the promotion of the intended outcomes (learning basic knowledge about stress and understanding how to interpret it). Future research needs to conduct program evaluation based on a more rigorous experimental design preventing mental health challenges in students.

(Keywords: COVID-19, KOSSEN, stress management education, quantitative text analysis, program evaluation)

1. はじめに

近年の新型コロナウイルス感染症 (COVID-19) の流行は、学校現場に大きな変化をもたらした。臨時休校や分散登校、入学式や修学旅行などの学校行事の中止、課外活動の制限など、子どもを取り巻く学校環境は急速に変わることを余儀なくされた。

こうした急速な変化は、子どものメンタルヘルスにも何らかの影響を及ぼすことが予想される。例えば、COVID-19 流行時における子どもは、通常時に生じるストレスに加え、社会的活動の制限や授業への出席方法の変更など、コロナ禍特有のストレスにも晒されることが指摘されている¹⁾。また、コロナ禍における子どもは、臨時

休校により学級での役割がなくなったり、課外活動の制限により目標にしていたことができなくなったりといった喪失体験をしているため、ストレス反応の表出につながるものが危惧されている²⁾。

このように COVID-19 が猛威を振るう緊急的な状況下では、学校現場におけるストレスマネジメント教育の重要性が増すと思われる。実際、現在までに緊急的な状況下において様々なストレスマネジメント教育が実施され、一定の効果を示している。例えば、東日本大震災被災地の小学生を対象にストレスマネジメント教育が実施され、ストレス反応の「生活不調」と「悲しみ」に好ましい変化がみとめられている³⁾。また、東日本大震災被災地の高校生に対する集団認知行動療法につい

*一般教育科

でも、PTSD 症状および抑うつ症状の軽減に寄与したことが示されている⁴⁾。COVID-19 の流行により様々な変化を強いられている昨今、学校現場においても子どもを対象とした効果的なストレスマネジメント教育の実践が期待されているといえよう。

こうした状況の中、八田・黒田⁵⁾において、既存の学校ストレス研究や、感染症に関連するストレス研究を概観することにより、感染症流行時における学校ストレスの概念的枠組みが提示されている。その枠組では、感染症流行時における学校に通う子どものメンタルヘルスを検討するうえで、学内外の資源やソーシャルサポートといった環境的資源の重要性が強調されている。その理由として、先行研究において COVID-19 流行時におけるソーシャルサポートのメンタルヘルスへの有効性が示唆されていることに加え⁶⁾、通常通りでない環境下にいる子ども自身に、自らの内的資源を開拓する心理的余裕は少ないものと考えられることが挙げられている⁵⁾。

2021 年 6 月現在、とりわけ緊急事態宣言下にある都道府県の学校については、様々な制限下で学校運営がなされていると思われる。COVID-19 の流行という、生態学的レベル⁷⁻⁸⁾でいうところのマクロシステムレベルの要因がもたらすストレスには、子ども自身がいくら努力しても、解決し得ないものもあるかもしれない。そのため、ストレスを 1 人で抱え込まずに、周囲の環境との関係性の中でストレスを理解しようとしたり、自らがもつ環境的資源を有効的に活用して対処していこうとする発想を持つことは、コロナ禍におけるストレスマネジメントとして、とりわけ重要であると考えられる。

そこで本研究では、COVID-19 流行時の学校現場において、コロナ禍という特殊な社会環境を考慮したストレスマネジメント教育を実施し、その効果を検証することにある。本ストレスマネジメント教育の具体的な目標は、参加者が 1) ストレスに関する基礎的な知識を学習することに加え、2) コロナ禍で生活する中、ストレスを 1 人で抱え込まず、周囲の環境との関係性の中でストレスを理解し、対処していこうとする考え方を身につけることの 2 つであった。本研究は、ストレス研究における理論的貢献を意図するものではない。むしろ、コロナ禍で生活する子どもが、ストレスに対する上述の考え方を身につけることにより、心

理的課題の表出を予防し、学校を含むコロナ禍の環境への適応を促進することを目指した現場のニーズに基づく実践的な試みである。

2. 方法

2.1. 参加者

参加者は、東京高専に所属する 1 年生 208 名(男性 161 名、女性 47 名)であった。そのうち、調査票が回収された学生(第 1 回: 193 名、第 2 回: 200 名)をそれぞれ分析対象とした。

2.2. 実践状況とプログラム内容

1 年生の必修科目である「健康と福祉」の授業の一環として行われ、全 15 回の授業のうち、2 回分(1 回 90 分)がストレスマネジメント教育として充てられた(表 1)。当該授業は 2021 年 6 月に実施され、遠隔授業形式(第 1 回)と対面ワークショップ形式(第 2 回)で構成された。対面ワークショップ形式については、十分に感染症対策を行ったうえで実施された。

第 1 回のテーマは「心の健康について考える」であり、「ストレスについての基礎知識を学ぶ」および「自分にとっての学校ストレスを明らかにする」という学習目標が設定された。ストレスを理解するための重要語(例: ストレッサー、ストレス反応)を学びながら、身の回りにあるどんな出来事が自分にとってストレスになり得るのかなど、ストレスについて考える様々なきっかけを提供することを意図した。また、心理的ストレスとは人間と環境の関係性から生じるものであるという Lazarus & Folkman⁹⁾の立場から、ストレスを自分一人で抱え込まずに、いかに周囲の環境の中で理解し、解決していくかが重要であることを強調する構成になっている。授業の最後には、コロナ禍で始まった学校生活を振り返る時間を設け、コロナ禍での学校生活についてストレスになった

表 1 ストレスマネジメント教育の概要

テーマ	学習目標	主な内容
心の健康について考える (遠隔講義形式)	・ ストレスについての基礎知識を学ぶ ・ 自分にとっての学校ストレスを明らかにする	・ ストレスに関するクイズ ・ ストレスに関する重要語 ・ ストレッサーの種類 ・ ストレスがもたらす悪循環 ・ ストレスに関するアンケート ・ 振り返り
ストレスへの対処 (対面ワークショップ形式)	・ ストレスマネジメントの考え方を学ぶこと	・ ストレス反応が生じるプロセス ・ 認知的評価 ・ コーピングの種類 ・ グループワーク ・ 実際にストレスを減らすには ・ 振り返り

ことを考えるワークを実施した。

第2回のテーマは「ストレスへの対処」であり、学習目標は「ストレスマネジメントの考え方を学ぶこと」であった。まず、Lazarus & Folkman⁹⁾の理論に基づき、認知的評価およびコーピングといったストレスに晒されてからストレス反応が生じるまでの過程に焦点を当てた説明を行い、ストレスに関するより深い知識の獲得を目指した。次に、コロナ禍における学校生活で生じ得るストレスと、それに対するコーピングをグループで話し合っただけで、クラス全体に共有するための時間を設けた。最後に、Lazarus & Folkman⁹⁾の理論に基づき、「ストレス」「認知的評価」「コーピング」「ストレス反応」のそれぞれに働きかけるストレスマネジメントについて、グループワークの内容に言及しながら解説を行った。

なお、各授業の最後には、授業の中で理解できたことや再確認できたことを振り返り、まとめる時間を設けた。

2.3. 調査内容

プロセス評価として介入実践の質、アウトカム評価として参加者の理解事項を調査した。

介入実践の質の評価は、全体のストレスマネジメント教育終了後に行った。3項目（「心の健康やストレスについての知識は増えましたか」「授業は分かりやすかったですか」「心の健康やストレスについて、しっかり考えることができましたか」）について、「1: 全くそう思わない」—「5: とてもそう思う」—の5件法により回答を求めた。

参加者の理解事項の評価については、第1回および第2回のストレスマネジメント教育終了後に、ストレスマネジメント教育を受けて理解できたことについて、それぞれ自由記述により回答を求めた。

2.4. 分析方法

基本統計量の算出および計量テキスト分析を行った。計量テキスト分析では、誤字の修正や漢字変換を行った後、複合語や授業で扱った専門用語（例: 「グループワーク」「ストレス反応」「認知的評価」）を強制的に抽出するよう設定し、前処理を行った。次に、自由記述データにおける頻出語を検討するとともに、どのような文脈の中で使用されているのかを視覚的に捉えるために、出現パター

ンが似通った語が線で結ばれる共起ネットワーク分析を行った。

なお、計量テキスト分析を行うにあたり、もとのテキストに戻って確認を行う必要性が唱えられているため¹⁰⁾、全体の分析プロセスを通して、適宜もとの自由記述データを確認して解釈を試みた。分析には KH Coder¹⁰⁾および IBM SPSS Statistics 24 を用いた。

3. 結果

3.1. プロセス評価

介入実践の質を評価するために、3項目について5件法で回答を求めた。その結果、各項目の平均値（標準偏差）は、4.76（0.54）「心の健康やストレスについての知識は増えましたか」、4.80（0.58）「授業は分かりやすかったですか」、4.65（0.63）「心の健康やストレスについて、しっかり考えることができましたか」であった。

3.2. アウトカム評価

第1回の参加者の理解事項について検討するために、自由記述データの分析を行った。無回答の学生は3名であり、190名の学生（回答者の約98%）は何らかの回答を行った。自由記述中には528種類の語が含まれており、総単語数は2130であった^{注1}。全体的な傾向をつかむために、5回以上頻出した語を表2に示した。

最も頻出した語は「ストレス」（227回）であった。次いで「思う」（88回）「自分」（48回）「感じる」（42回）といったような一般的に使用される語が頻出しているが、授業で扱った重要な概念である「ストレス」(38回)や「ストレス反応」(10回)という語も頻出している。これらの語は、具体的には「ストレス反応を起こしうる様々なス

表2 自由記述中の頻出語（5回以上）

抽出語	出現回数	抽出語	出現回数	抽出語	出現回数
ストレス	227	様々	12	話	7
思う	88	良い	12	ありがとう	6
自分	48	解決	11	いろいろ	6
感じる	42	多い	11	意味	6
ストレス	38	ストレス反応	10	違う	6
知る	35	生活	9	解消	6
人	34	相談	9	見つける	6
分かる	28	学ぶ	8	今	6
原因	25	言う	8	深い	6
対処	20	言葉	8	身近	6
理解	20	授業	8	抱え込む	6
大切	19	関係	7	力	6
考える	18	気	7	改めて	5
知れる	14	使う	7	気づく	5
環境	13	重要	7	助け	5
周り	13	初めて	7	聞く	5
驚く	12	少し	7	勉強	5
種類	12	状態	7	与える	5

「ストレスの種類が知れた」や、「人によってストレスになったりならなかったり、どれほど大きなストレス反応になるかわかってくるものだとわかり、ほかの人の立場になって考えることは大切なことだとわかった」等といった文脈で使用されていた。

その他、ストレスマネジメントについて学習するうえで重要なキーワードであると考えられる「対処」(20回)、「環境」(13回)、「相談」(9回)、「抱え込む」(6回)といった語も頻出していた。具体的には、「ストレスには様々な原因があり、それぞれに応じた対処を行うことが大切だと思った」、「ストレスの連鎖を断ち切るためにも、ストレスは一人で抱え込まず、他人に相談することが大切だと思った。自分も、周りにいる友達が悩んでいそうだったら、解決はできなくとも、話を聞くなどできることはしたい」、「ストレスは自分だけが原因ではなく、自分を取り巻く環境も関係しているのだと分かった」等という文脈で使用されていた。なお、「抱え込む」は、「ストレスは一人

で抱え込まないことが大切」といったように、すべて否定の意味合いで使われていた。

また、表2に示した頻出語を用いて、共起ネットワーク分析を行った。さらに、より関連が強いと考えられる部分を線で区切り、それぞれの部分にアルファベットを与えた。その結果、自由記述の回答には、A-Cの3つの主題が含まれることが想定された(図1)。

Aグループには、「ストレス」「ストレスター」「対処」「ストレス反応」など、授業で扱ったストレスに関する基礎的な知識に関する語が集まっている。具体的には、「ストレスターには多くの種類があるのを初めて知った」、「ストレスに関する様々な言葉や、ストレスの原因などを詳しく知ることができてよかった」といった回答が挙げられた。

一方で、Bグループには「授業」「考える」「学ぶ」などの語が含まれ、授業の一環として行ったストレスマネジメント教育に対する、より一般的な感想を表す語が集まっている。例えば、「自分の

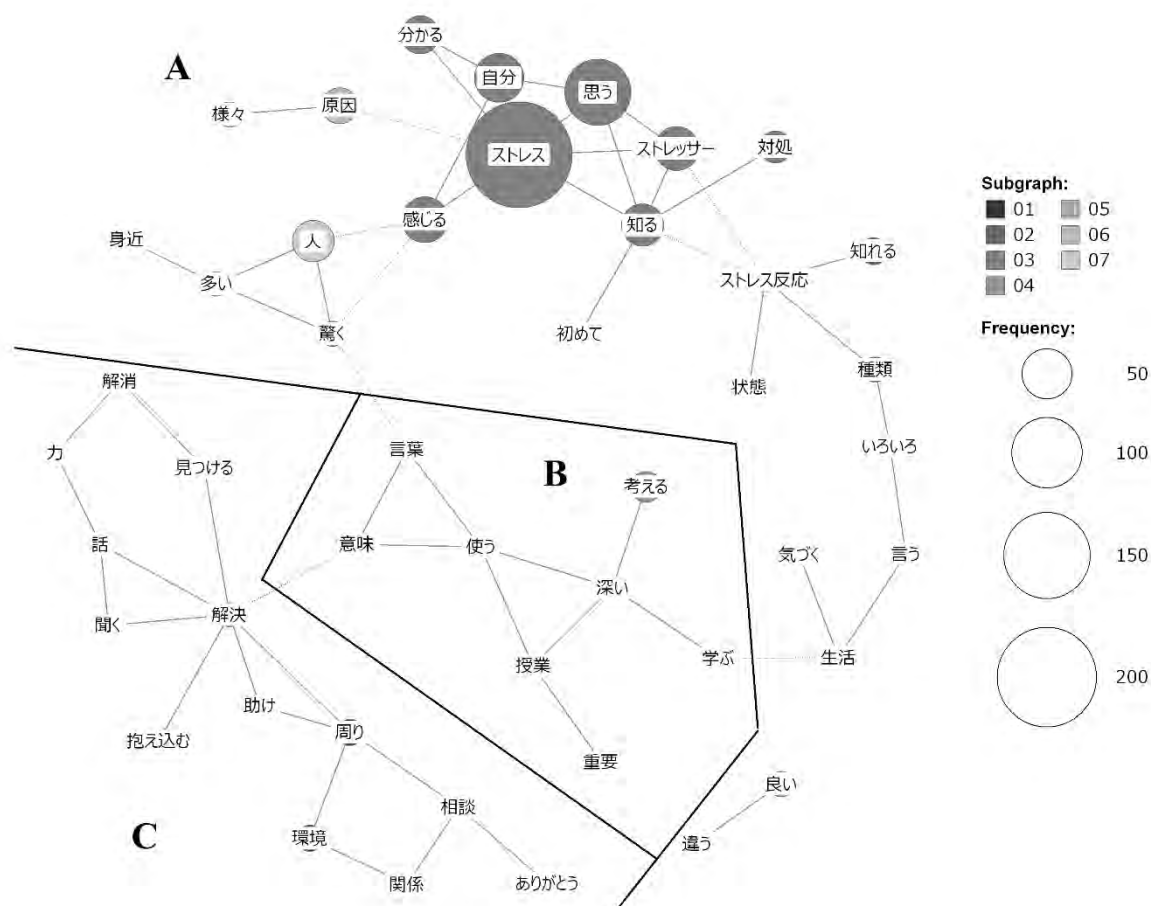


図1 共起ネットワーク分析の結果(第1回)

心身にも関わる内容なので、とても重要だと感じることができた授業だった」、「いつも何気なく使っている『ストレス』について深く考えることができた」といった回答が挙げられた。

C グループには、「解決」「抱え込む」「周り」「環境」「関係」「相談」「話」「聞く」などの語が集まっており、「環境との関係性の中でストレスを理解し、対処しようとする考え方を学ぶ」という本ストレスマネジメント教育の目標と関連する語で構成されている。具体的な回答としては、「ストレスなことは周りと共有してみると解決に近づくのかなと思った」、「新生活に不安になっていたが、ストレスは必ずしも一人で解決するものではないということがわかったので、不満があったら溜めずに両親に話を聞いてもらおうと思った」、「ストレスは一人で抱え込まないことが大切」などが挙げられた。

次に、第2回の参加者の理解事項についても、同様の手続きで検討した。無回答の学生は3名であり、197名の学生（回答者の約99%）は何らかに回答をした。自由記述中には698種類の語が含まれており、総単語数は4860であった^{注1}。第1回時より総単語数が多かったため、10回以上頻出した語を表3に示した。

第2回では「ストレス」(293回)、「ストレスサー」(97回)、「ストレス反応」(61回)といった語だけでなく、第2回で新たに学習した「コーピング」(261回)や「認知的評価」(52回)、コーピングの類型を表す「情動焦点型」(62回)や「問題焦点型」(48回)といった専門用語についても頻出語として挙げられた。これらの語は、例えば「ス

トレスを感じてからストレス反応が起きるまでに、認知的評価とコーピングという過程があることがわかった」、「ストレスを感じた時に、その問題を解決せずに気持ちを落ち着かせることも、しっかりとコーピングだと分かったので、頑張りすぎず情動焦点型コーピングをすることも大切だと思った」等の文脈で使用されていた。

また、「対処」(117回)、「周囲」(20回)、「サポート」(18回)、「周り」(15回)など、ストレスマネジメントを学習するうえで、重要と思われるキーワードも頻出していた。具体的な回答例として、「物事がストレスになるまでの過程が分かった。その過程の中で対処して、軽減または無力化することが大切だとも分かった」、「今後友達から相談を受けたら、ストレスの感じ方には個人差があるという意識を持って、適切なサポートができるようになりたい」、「ストレスを感じる時は、友達や周りの人に助けてもらうのもしっかりと対処法である」等が挙げられた。

さらに、表3に示した頻出語を用いて共起ネットワーク分析を行い、より関連が強いと考えられる部分を線で区切ったうえでアルファベットを記した。その結果、自由記述の回答には、A-Dの4つの主題が含まれることが想定された(図2)。

A グループには、「ストレスサー」「認知的評価」「コーピング(問題焦点型・情動焦点型)」「ストレス反応」など、授業で扱ったストレスに関する基礎的な知識、すなわちストレスマネジメント教育で理解すべき主要概念を表す語が含まれている。これらの語は、具体的には「ストレスサー→認知的評価→コーピング→ストレス反応」の四つの過程があることを理解した、「今回のグループワークで、高専生活で起こるかもしれないストレスサーと、それに対するコーピングを確認することができた」等の文脈で使用されていた。

B グループは、「授業」「今日」「今回」の3語で構成されており、これらの語は授業で学んだことのまとめや感想を記述する際に使用されていた。例えば、「ストレス反応が出てからでは遅いので、今回の授業であらかじめコーピングを考える機会があつて良かった」、「今回の授業でコーピングについて考えたことで、いざストレスサーが起きた時に、良いコーピングができるようになったと思う」といった記述で用いられていた。

また、C グループは、「周囲」「サポート」「体制」という3語で構成されている。これらの語は、「1

表3 自由記述中の頻出語(10回以上)

抽出語	出現回数	抽出語	出現回数	抽出語	出現回数
ストレス	293	気持ち	23	減らす	13
コーピング	261	変える	23	体制	13
思う	136	和らげる	22	様々	13
対処	117	授業	21	過程	12
自分	116	それぞれ	20	起こる	12
ストレスサー	97	行動	20	考え方	12
感じる	92	仕方	20	高専	12
人	71	周囲	20	段階	12
情動焦点型	62	二つ	20	知れる	12
ストレス反応	61	多い	19	適切	12
大切	61	サポート	18	難しい	12
分かる	59	必要	18	良い	12
知る	52	違う	17	解消	11
認知的評価	52	確認	17	起きる	11
種類	51	学ぶ	16	対応	11
考える	49	原因	15	異なる	10
問題焦点型	48	今日	15	改めて	10
方法	45	周り	15	行う	10
解決	44	出る	15	今回	10
理解	32	挑戦	14	少し	10
問題	27	軽減	13		
大事	26	見つける	13		

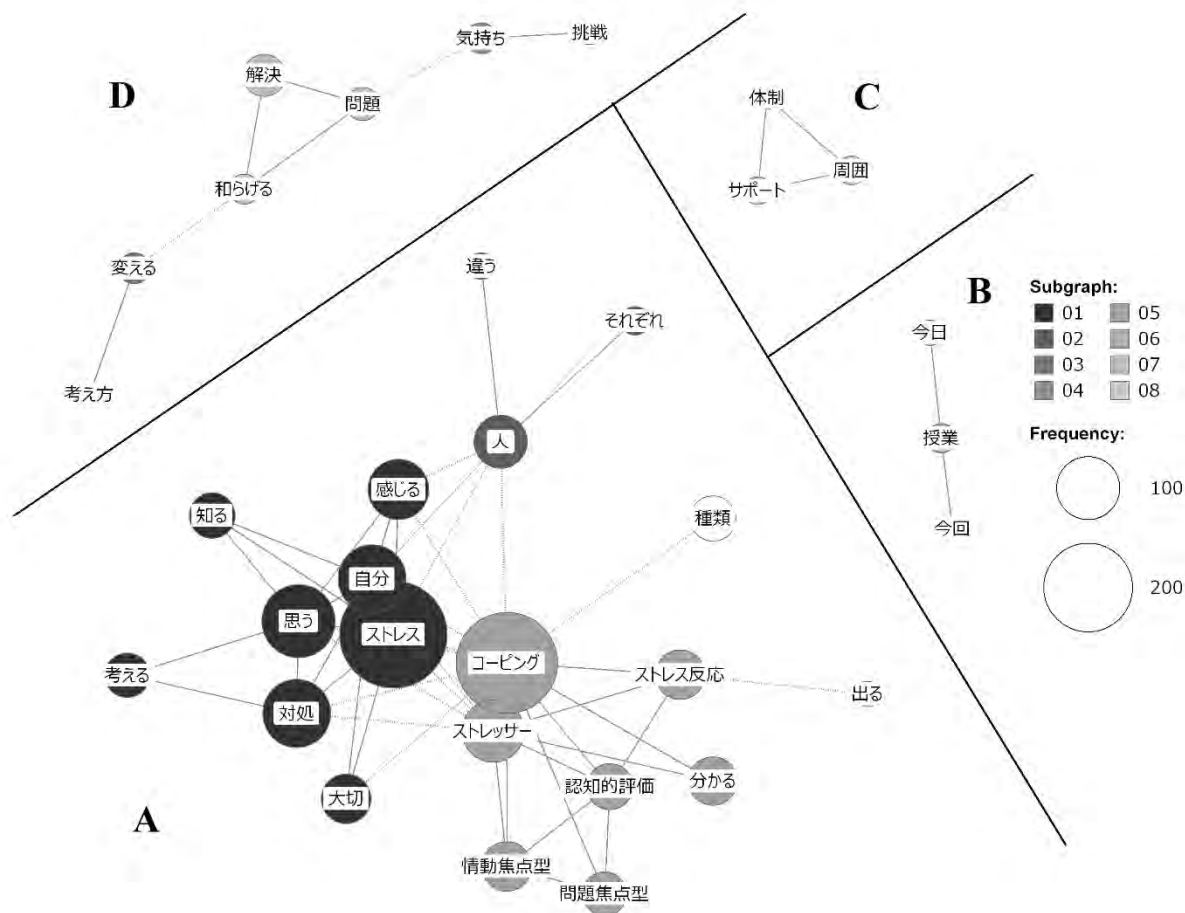


図 2 共起ネットワーク分析の結果(第2回)

人で対処しようとするだけでなく周囲の助けや環境を整えることが大切なのだと知った」や、「ストレスの対処は自分だけでなく、周りの人のサポートも効果的なので、逆に周りの人が困っている時に、相談してもらえるような優しい人になりたい」等の文脈で用いられていた。

最後に D グループには、「問題」「解決」「考え方」「変える」などの語が含まれている。これらの語は、「一つの出来事でも考え方を換えれば(認知的評価を換えれば)、自分にとって良い方向にも悪い方向にも働くことがある。だからこそ、なるべく自分に良い方向に働くような考え方を持つのが大切である」や、「ストレスに対する対処方法は、自分が思っているより多くて、色々考えることも必要だと考えた。視点の換え方と、問題解決へ動くこと、どちらも組み合わせられると良いかと思う」等のように、具体的なストレスマネジメントの方法について言及している文脈で用いられていた。

4. 考察

4.1. プログラム評価

本研究では、COVID-19 流行時の学校現場においてストレスマネジメント教育を実施し、その効果検証を行った。

まず、プロセス評価として介入実践の質について評価した結果、3 項目それぞれについて高い得点が得られた(4.65-4.80)。このことから、実施したストレスマネジメント教育は、一定レベルの質を保ったうえで実施されたことが示唆された。

次に、アウトカム評価として参加者の理解事項について検討するために、計量テキスト分析による自由記述の分析を行った。本ストレスマネジメント教育の目標は、1) ストレスに関する基礎知識を学習すること、2) ストレスを周囲の環境との関係性の中で理解し、対処するという考え方を身につけることの2つであった。そのため、この2つの観点から、本ストレスマネジメント教育のアウトカムについて検討したい。

まず, ストレスに関する基礎的な知識の学習についてである。第1回および第2回の自由記述における頻出語について検討した結果, それぞれの授業で扱ったストレスに関する重要な概念を表す語(ストレッサー, 認知的評価, コーピング, ストレス反応)は, 頻出語として挙げられた(表2, 表3)。また, それぞれの語が使用されている文脈を参照すると, 授業で扱った内容について言及されていた。同様に, 共起ネットワーク分析の結果においても, ストレスに関する基礎的な知識について言及したグループが, 第1回および第2回の双方の自由記述から見出されている(図1および図2のAグループ)。さらに, グループ中の回答を個別に参照すると, 授業で学習した内容を反映した記述になっていた。これらの結果は, 本ストレスマネジメント教育により, 参加者におけるストレスに関する基礎知識の学習が促されたことを支持するものであると考えられる。

次に, 本ストレスマネジメント教育が, ストレスを周囲の環境との関係性の中で理解し, 対処するという考え方を身につけることに寄与したかどうかという観点から, アウトカムについて検討したい。自由記述中の頻出語をみると, 第1回には「環境」「相談」「抱え込(まない)」といった語が含まれ, 第2回には, 「周囲」「周り」「サポート」といった語が挙げられていた(表2, 表3)。それぞれの語が用いられている文脈を参照すると, 環境的要因もストレッサーになり得ることや, ソーシャルサポートの重要性に言及する記述が含まれていた。

また, ネットワーク分析の結果でも, 第1回および第2回の自由記述において, ストレスについて検討する際の環境要因やソーシャルサポートの重要性を表すグループが見出されており(図1および図2のCグループ), 実際の回答でも, 周囲との関係性の中でストレスに対処する重要性について言及する記述が多く挙げられていた。本ストレスマネジメント教育では, ストレスを抱え込まないことが重要である理由や, ストレスに対処する際に環境的な資源を活用することの必要性を繰り返し強調してきた。これらの結果は, 本ストレスマネジメント教育が意図したとおりに, 参加者がストレスに対する考え方について学習したことを示唆するものと考えられる。

以上のことから, 本ストレスマネジメント教育は, 一定レベルの介入の質を保ったうえで実施さ

れ, 意図したアウトカム(ストレスに関する基礎知識の学習と考え方の理解)に好ましい影響を及ぼしたものと考えられる。

4.2. 本研究の限界と今後の課題

本研究の限界として, 実験デザイン上の課題が挙げられる。本研究は, 1群事後テストデザインを用いており, 事前テストおよび統制群が存在していない。本研究では, 高専1年生を対象としており, 事前のストレスに関する知識はごくわずかであると想定されるため, このテストデザインを適用することも可能であるとは考えられるものの, 介入効果の外的・内的妥当性には課題が残されている。教育現場では, 統制群には介入の恩恵を受ける機会が与えられないという倫理上の理由から無作為配置を行うことは難しいため, ウェイティングリスト・コントロールデザインなどを用いることがより望ましい。

また, アウトカム評価の分析において, 自由記述データのみを用いた点も課題として挙げられる。自由記述データは, 回答中の情報量が多く, 具体性に富んでいる一方で, 個人間や個人内の変化の大きさ等について客観的に言及することは難しいと思われる。今後, 他の評価手法も組み合わせながらアウトカム評価を行うことが期待される。

本研究は, COVID-19 流行時に高専に入学してきた1年生を対象に, 現場のニーズに基づきストレスマネジメント教育の実施を試みたものである。2022年1月現在, COVID-19 流行時の学校現場におけるストレスマネジメント教育の実践事例は少ない現状にあるものの, 今後急速に研究知見が積み重ねられていくと思われる。本研究は, COVID-19 流行時の学校現場におけるストレスマネジメント教育の端緒としての位置づけであり, 学生のメンタルヘルスに関する課題を予防するためにも, 引き続き適切なタイミングで, 介入を続けていくことが求められる。

参考文献

- 1) Williams, M. L., Morse, B. L., DeGraffenried, W., & McAuliffe, D. L.: Addressing stress in high school students during the COVID-19 pandemic. *NASN School Nurse*, 36(4), 226-232, Jul. 2021. DOI:10.1177/1942602X21993053
- 2) 木須千明, 安川禎亮: コロナ禍における子どもの心理的影響の一考察, 北海道教育大学大

- 学院高度教職実践専攻研究紀要:教職大学院
研究紀要 11 巻, pp.13-20, 2021 年 3 月
- 3) 佐々木かよ子, 藤原忠雄: 東日本大震災被災
地でのストレスマネジメント教育プログラ
ムの効果の検証—養護教諭が関わる保健教
育の実践的研究—, ストレスマネジメント研
究 13 巻 2 号, pp.39-48, 2017 年 10 月
- 4) 小関俊祐, 大谷哲弘, 小関真実, 伊藤大輔:
東日本大震災被災高校生に対する集団認知
行動的介入が PTSD 症状と抑うつ症状に及ぼ
す効果, ストレスマネジメント研究 10 巻 2
号, pp.53-62, 2014 年 3 月
- 5) 八田直紀, 黒田一寿: 感染症流行時における
学校ストレスの概念的枠組みに関するナラ
ティブレビュー, 学校メンタルヘルス 25 巻 1
号, 印刷中
- 6) Qi, M., Zhou, S.-J., Guo, Z.-C., Zhang, L.-G., Min,
H.-J., Li, X.-M., & Chen, J.-X.: The effect of
social support on mental health in Chinese
adolescents during the outbreak of COVID-19.
Journal of Adolescent Health, 67(4), 514-518, Oct.
2020.
DOI: 10.1016/j.jadohealth.2020.07.001
- 7) Bronfenbrenner, U.: *The ecology of human
development: Experiments by nature and design*.
Cambridge, MA: Harvard University Press. Jun.
1979.
- 8) Kloos, B., Hill, J., Thomas, E., Wandersman, A.,
Elias, M. J., & Dalton, J. H.: *Community
psychology: Linking individuals and communities*
(3rd ed.). Boston, MA: Cengage Learning, Apr.
2011.
- 9) Lazarus, R. S., & Folkman, S. *Stress, appraisal,
and coping*. New York, NY: Springer Publishing
Company, Mar. 1984.
- 10) 樋口耕一: テキスト型データの計量的分析
—2 つのアプローチの峻別と統合—, 理論と
方法 19 巻 1 号, pp.101-115, 2004 年 3 月
- (2022 年 1 月 14 日 受理)

注 1 KH Coder が抽出するのは厳密には単語ではなく形
態素であるが, 本稿では便宜的にこれを語とみなした。

東京高専における遠隔授業の取り組み — 文系科目（英語，社会，国語）を例として（2） —

鈴木慎也*, 小林礼実*, 青野順也*

本稿は小林礼実・鈴木慎也・青野順也(2021)を承け、東京高専において昨年（令和 2）度より継続中の遠隔授業（オンライン授業）のうち、一般教育科の「英語科・社会科・国語科」の実践例を報告するものである。英語科科目からは、本科 3 年生の Reading の実践例をとおして、英語「を学ぶ」から英語「で学ぶ」へとシフトする活動の充実がはかれた例を報告する(小林礼実)。続く社会科科目からは、本科 1 年全学生を対象として実施された、「SDGs 探求プロジェクト」を取りあげ、オンラインによる学年集会の実施とその可能性を報告する(鈴木慎也)。そして国語科科目からは本科 1 年生の「国語総合 I・II」を取りあげ、現代文・古典の両分野における発問の実践例を報告する（青野順也）。

（キーワード：東京高専，遠隔授業（オンライン授業），英語，SDGs 探求プロジェクト，国語）

Practice, Advantages, and Problems of Online Classes at the National Institute of Technology, Tokyo College; English, Social Studies, Japanese: Part II

Shinya SUZUKI*, Remi KOBAYASHI*, Junya AONO*

The National Institute of Technology, Tokyo College started online classes in the spring of 2020 to ensure educational opportunities lost by the new worldwide infectious disease, COVID-19 and it also held some online classes in the school year of 2021 for the same reason. Under circumstances where the pandemic has not yet ended, it is still necessary and important to seek better ways of online teaching and improve online classes. For these purposes, this research report shares the practices of some online classes of two different subjects and one research project in the school: English, Japanese and Social Studies (SDGs Research Project).

(Keywords: Tokyo KOSEN, Online Classes, English, SDGs Research Project, Japanese)

0. はじめに

—本稿の目的および構成について

2021 年は、夏期を中心として新型コロナ・ウィルスが猖獗を極めた年となり、東京高専(以下、本校と呼ぶ)は昨年度に続き、感染防止のための施策として、「分散登校」と「遠隔授業」とが実施されている。このうちの遠隔授業は、昨年度の 5 月より継続して実施されており、令和 3 年 12 月現在、各学年で週 2 日の遠隔授業日が設けられている。遠隔授業は多くの教員にとって未経験の、新規の授業形態であるから、導入初期は教員・学生ともに様々な苦心が見られた。小林礼実・鈴木慎也・青野順也(2021)は、このいわば「遠隔授業元年」と呼ぶべき時節に実施された、本校における

遠隔授業について、文系科目(英語，社会，国語)を通して振り返る試みであった。前稿で述べたとおり、遠隔授業には様々な難点が見いだされ、また同時に、様々な収穫もあった。たとえば、令和 2 年度の本校 1 年担任会は、学年企画「SDGs 探求プロジェクト」を開催しており、200 名余の 1 年生全員が Teams の所定チームに集まって講演会が開催されたことは、従来見られなかった教育方法の先蹤となり得たものと自負するところである(鈴木慎也(2021))。

日々様々な試行錯誤が繰り返されるなか、今年度は導入 2 年目を迎え、授業内容の洗練を図り、応用的な授業実践をしていく段階に到ったものと考えられる。本稿は、小林・鈴木・青野(2021)の

*一般教育科

議論も踏まえた上で、今年度の実践例を報告していくこととしたい。

なお、本稿の議論は以下のように展開される。まず 1～3 節においては、本校本科 1 年生および 3 年生の英語・社会・国語の実践例を報告する。このうちの社会科の報告は、遠隔授業の科目外応用例として、令和 2 年度 1 年学年企画「SDGs 探求プロジェクト」の開催と、その反響とを報告する。

続く第 4 節では 1～3 節の内容を整理し、今後の教育改善に向けての展望を述べ、全体のまとめとする。

1. Reading V, VI の位置付けとこれまでの授業方式

本稿では令和 3 年度の Reading V, VI という科目での遠隔授業の実践について報告する。これは 3 年次の科目であり、1 年時には Reading I, II を、2 年時には Reading III, IV を学生は学んできている。3 年次で学ぶ英語科の科目は、Reading の他、Grammar & Writing V, Science English II (共に半年ずつの科目) がある。小林・鈴木・青野(2021)でも触れたように、本校においては、4 技能は別々の科目として強化が図られているが、4 技能は完全に分離しているものではない上、3 年次からは音声中心の英語科目がそれまでより減ることもあり、Reading においては、他の技能も組み合わせながら、リーディング力をつける指導を心がけている。また、4 年次には、英語の科目は TOEIC に対応した授業のみとなるため、そこへの接続も考慮して、授業を組み立てている。今年度の Reading V, VI は、5 クラス 210 名程が受講し、全て筆者が担当している。1 回あたり 90 分の授業である。

Reading という科目については、1 年時は 1 年間対面で、2 年時には半年弱を対面で、半年強を遠隔で受講している。

2. Reading V, VI の目標

まず、本科目の目標であるが、Reading V, VI を通じて、「英語『を学ぶ』から英語『で学ぶ』へシフトする基礎を養う」ということを掲げている。英語そのものを学習することを趣味とし味わうこともあるかもしれないが、多くの場合、英語を学ぶ本来の目的は、英語を使って、本や論文、情報を読んで理解したり、メールや文を書いたり、口頭発表することで発信をすること、つまり英語を

ツールとして使ってなにかを成すということである。しかしながら、多くの学生にとって外国語であり、日常生活でほとんど使うことのない英語について、始めからツールとして学ぶ機会を得るのはなかなか難しい。幼児や小学校の低学年では、歌やリズムの媒体、つまり「ツール」として学ぶ機会を得ても、その後は「英語を学習対象として学ぶ」という期間が長く続くことになる。大学生になって、突然、留学／学会発表などで「ツール」として英語を使う機会に飛び込むことになり、荒療治的にツールへの転換を経験し、戸惑ったという大人も多いと思う。そこで、高校相当の英語の授業でも、少しずつ転換を図れるようにするため、そのことを明示的に科目の目標として学生に伝えた上で、この目標に寄与する活動を盛り込むようにしている。以下では、この目標に沿いながら、遠隔授業においても実践できる活動とそのスライドの作成方法を紹介する。

3. 活動紹介 1 ～「なりきり翻訳」～

本授業は、「英語で学ぶ」へのシフトを図るものであり、「英語を学ぶ」のプロセスを飛び越して、突然「英語で学ぶ」から始めるものではない。この「なりきり翻訳」という活動は、「英語を学ぶ」、つまり、単語の意味や文法を確認しながら、本文の意味をとるという作業をした後で行う活動である。「なりきり翻訳」では、英語の本文を短くフレーズ毎に切ったスクリプトを用意し、そのフレーズ毎に、日本語の意味を瞬時に述べていく。英語を聴きながら、日本語に翻訳する同時通訳者を真似たかのような活動である。この活動を行うことで、単語など、部分部分で意味を取ることに集中していた意識状態から、より広い範囲のまとまりで意味を取る意識へとシフトすることになる。この活動は、今年度の 3 年生が 1 年生だった時にも、Reading I, II の授業で取り入れていた。その際はペアワークとし、片方の学生が、教師が作ったプリントのスクリプト(例を図 1 に示す)を見てフレーズ毎に英語を音読し、もう片方の学生はプリントを見ずにそのフレーズの意味を日本語で瞬時に伝え、プリントを見ている側の学生が、意味が正しく取れているかチェックするという仕方で行っていた。まさに、音声同時通訳者を真似るような活動だったので「なりきり翻訳」という名前で行っていたのだが、遠隔授業になりペアワークができなくなってしまい、昨年度は断念していた。

Next, Mexican dishes have	次に、メキシコ料理は持っています//
a long history	長い歴史を//
of about 7,000 years.	約 7000 年の//
Corn, peppers, and beans are mainly used	とうもろこし、唐辛子、豆が主に使われます//
in the dishes.	料理では//
Turkish and Mediterranean dishes / also have	トルコ料理や、地中海料理も持っています//
their own characteristics.	それら自身の特徴を//
Washoku is traditional Japanese dishes.	和食は伝統的な日本料理です//

図 1 対面授業時の「なりきり翻訳」プリント

1 Today, /	今日
2 many people in big cities /	大都市の人々の多くは
3 face the problem of isolation. //	孤独という問題に直面しています
4 They do not know their neighbors well. //	隣人の
5 If people are isolated, /	
6 they cannot support each other. //	
7 To solve this problem, /	
8 Neighbors' Day began /	
9 in many cities in Europe. //	

1 Today, /	今日
2 many people in big cities /	大都市の人々の多くは
3 face the problem of isolation. //	孤独という問題に直面しています
4 They do not know their neighbors well. //	隣人のことを
5 If people are isolated, /	
6 they cannot support each other. //	
7 To solve this problem, /	
8 Neighbors' Day began /	
9 in many cities in Europe. //	

図 2 スライド再生時の「なりきり翻訳」画面

しかし、パワーポイントのアニメーションにおけるタイマー機能を使うことで、ペアが組めなくても、ある程度の長さの意味のまとまり毎に、一定のテンポで意味をとっていくという活動は可能になることに気づいた。この機能を使うと、図 2 に示したように、徐々に日本語訳を表示することができる。日本語訳が表示されるより前（つまり翻訳の答えが表示されるより前）までに、日本語訳を口に出して述べるのが求められる活動である。

この活動用のスライドの作成の仕方は以下の通りである。まずは、表を使って、画面を左右に分けて、左側にある程度の意味のまとまり毎に区切った英文を、その右側に、まとまり毎に対応する日本語を入力したテキストボックスを配置する（図 3）。

1 Today, /	今日
2 many people in big cities /	大都市の人々の多くは
3 face the problem of isolation. //	孤独という問題に直面しています
4 They do not know their neighbors well. //	隣人のことをよく知りません
5 If people are isolated, /	もし人々が孤立していると
6 they cannot support each other. //	互いに支え合うことができません
7 To solve this problem, /	この問題を解決するために
8 Neighbors' Day began /	「隣人の日」が始まりました
9 in many cities in Europe. //	ヨーロッパの多くの都市で

図 3 「なりきり翻訳」作成時の画面

全てのテキストボックスについて「開始の効果」の「アピール」を設定して、クリック時に表れるようにしたあと、アニメーションウィンドウを開く。1つ目のテキストボックスについては設定を変えない（図 4）。続く、2つ目以降のテキストボックスについては、タイミングの開始を「直前の動作の後」に変更し、遅延を好きな時間で設定する（図 5）。私は 4 秒にした。これは、前のテキストボックスが表示された後、次のテキストボックス内の文字が現れるのに 4 秒かかるという意味である。また、テキストアニメーションを「単語単位で表示」にする。こうすると、一つのテキストボックス内の文字が、単語毎に徐々に現れる設定になる。



図 4 1つ目のテキストボックスの設定



図5 2つ目以降のテキストボックスの設定

ペアワークで行う「なりきり翻訳」では、音声を読む動機を持たせることで、音読活動に学生が積極的に取り組むこともねらいに含めていた。遠隔授業のパワーポイントでは、そのねらいは達成できないが、「英→日」の「なりきり翻訳」だけではなく、「日→英」の「なりきり翻訳」も、同様の手順でスライドを作成し、実施することで、学生の音読の機会を増やしている。かつ、この「日→英」活動は、もちろん単なる音読活動に終わらず、日本語の意味から適切な単語、構文を用いて英語を組み立てるというアウトプットの機会を提供することにもなる。英語を考えて口に出す方が、難易度が上がることから、一つのテキストボックスが現れてから、次のテキストボックスが現れる(要は、英語の正答が示される)時間の間隔は8秒間と、「英→日」より長めに設定している。

4. 活動紹介2～Retelling & Your Thoughts～

「英語『を学ぶ』から英語『で学ぶ』へシフトする」というねらいに対して、「なりきり翻訳(英→日)」は寄与する部分はあるものの、過渡的な活動である。Reading V, VIにおいては、このシフトの仕上げとして、毎回「なりきり翻訳」の後で“Retelling & Your Thoughts”を行っている。この活動では、学生は、日本語で本文を語り直し、本文を読んで考えたこと・感じたことを伝える。英語の構文や意味を取ることに集中するあまり、本文のメッセージを読み取りそびれる状態から脱し、本文に対して自分は思うだろうと考えることで「英語『を学ぶ』から英語『で学ぶ』へシフトする」(「日本語で」の語り直しは英語をツー

ルとする観点からはやや後退するが、遠隔授業のため学生が本文内容を理解したかモニターできないため、この作業を通して確認している)。この活動はMicrosoft Formsを使用して学生の手稿を回収(学校によってはGoogle フォームでも良い)、回収した手稿をエクセルで表示し、体裁を整えて、クラスメイト全体にPDFの形でMicrosoft Teamsにすぐさまアップロードすることで共有するようにしている。他の学生から見られるという緊張感が生まれること、また他の学生の意見を読むことで、自分の考えを広げたり、深めたりすることを期待している。対面のクラスでは、各人の手稿を一齐に回収しその場で共有することは難しいと思うので、遠隔授業ならではの良さであると思う。ただし、同様の活動は、対面授業でも実施は可能であると考えられる。共有の仕方が、口頭発表で数名ということになるだろうが、「英語『で学ぶ』へシフトする」という目標には寄与するだろう。

2. 「SDGs 探求プロジェクト」の実践報告

2.1. 導入の背景とその狙い

2015年9月、国連サミットで採択された持続可能な開発目標(SDGs)とは、2001年に策定されたミレニアム開発目標(MDGs)の後継として、「持続可能な開発のための2030アジェンダ」に記載された2016年から2030年までの国際目標である。持続可能な世界の実現を目指して、国連や各国政府で様々な取り組みが行われるとともに、自治体や企業、教育現場においてもSDGsの推進が求められてきている。

例えば、平成28年の中央教育審議会答申「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」では、「国際的に共有されている持続可能な開発目標(SDGs)なども踏まえつつ、自然環境や資源の有限性、貧困、イノベーションなど、地域や地球規模の諸活動について、子供一人ひとりが自らの課題として考え、持続可能な社会づくりにつなげていく力を育んでいくことが求められる。」と述べられており、平成29・30・31年に告示された改訂学習指導要領では、「持続可能な社会」という文言が多数含まれるなど、学校教育を通じ、SDGsの担い手を育成することが求められている。

この動きは高等教育機関である高専であっても例外ではなく、モデルコアカリキュラム(平成29年策定)においても、「持続可能な社会」という文

言を複数確認することができる。そのような中で、2019 年から本校でスタートした「社会実装教育」は、実社会に存在する課題について、他者との対話を通じて工学的な解決策を図る一連のプロセスを重視した教育プログラムとなっており、そこに SDGs の観点を盛り込むことで、実践的かつグローバルな教育の展開が期待されている³⁾。しかし、現行の本校カリキュラムの中において SDGs は、一部の科目で部分的に扱われるに留まっており、体系的に学ぶ機会を設けることが喫緊の課題となっていた。

このような中で、本校の1年生に対し、SDGs をテーマとした探求プロジェクトを導入することは、早期の段階から社会課題に対する感度を高めるとともに、利他的な学びの動機付けを可能とし、SDGs 時代に活躍することができるエンジニアの育成に大きく寄与するものである。以上が本校における SDGs 探究プロジェクトの導入の背景とその狙いである。

	学習内容	関係する SDGs 目標
1回目	【講義】筆者 「SDGs とは? ~SDGs と ESG 投資の関係~」	
2回目	【講義】一般社団法人産業環境管理協会 大野氏 「SDGs で環境と社会のつながりを考えてみよう」	
3回目	【講義】花王株式会社 井上氏 「花王の SDGs への取り組みの紹介」	
4回目	【ワークショップ】一般社団法人 イマココラボ カードゲーム『2030SDGs』と『THE SDGs Action cardgame X (クロス)』を用いた活動	
5回目	【講義】アメリカ海洋大気庁 (NOAA) 田中氏 「水産資源の持続的活用のための SDGs」	
6回目	【グループワーク】 17 目標の中から 1 つを選び、現在までの達成状況やその目標の達成のために活動している自治体	
7回目	や NGO, NPO, 企業等の取り組みについて班ごとに調べ、ポスターにまとめる。	
8回目	【まとめ】 作成したポスターを用いた学び合いの実施。	

図6 「SDGs 探究プロジェクト」の学習内容

2.2. SDGs 探究プロジェクトの概要

本プロジェクトは、グローバルエンジニア育成事業の一環として1年担任会(1組:井口雄紀・2組:大野秀樹・3組:横溝仁・4組:青野順也・5組:鈴木慎也)によって企画されたものである。

1年生全員を対象に LHR (45 分) とオンライン授業日の放課後に特別活動(90 分)として実施した。本プロジェクトの第1回~第3回は、マイクロソフト Teams を、文部科学省トビタテ留学 JAPAN の支援を受け実施された第5回は Zoom をそれぞれ用い、オンライン授業として行った。オンライン授業はいずれも講義 60 分+質疑応答 30 分で構成されている。本稿では、SDGs 探究プロジェクト内で実施した、計4回のオンライン授業とワークショップの概要について紹介する(図6)。

2.2.1. 第1回目 「SDGs とは? ~SDGs と ESG 投資の関係」

今回、対象となった本校1年生は、中学校の時点で社会科の授業や特別活動の一環として、何らかの形で SDGs に触れてきた世代である。しかし、出身中学校によって、SDGs についての認知度にかんがりのバラツキが想定されたことから、概説的なところから話を進めることとした。導入部では『FACTFULNESS』⁴⁾の冒頭で取り上げられている、世界の事実に関する12問のクイズを、2020年11月時点の最新の統計資料に基づいて改変し、教材として取り上げた。その後、MDGs との比較から SDGs の特徴を押さえた上で、SDGs と企業の営利活動との関係性について、ESG 投資の概要を説明した上で、日本企業の取り組み事例を紹介しながら解説を行った。

2.2.2. 第2回目 「SDGs で環境と社会のつながりを考えてみよう」

第2回目は、一般社団法人産業環境管理協会の大野香代先生をお招きし、ご講演いただいた。講演では、主に温暖化ガスと海洋プラスチックを取り上げ、17目標のうちの「13. 気候変動に具体的な対策を」、「14. 海の豊かさを守ろう」について、具体例を示されながら、それらの問題の社会的背景と解決策についてご説明いただいた。本講義のまとめとして、13, 14の目標とそれ以外の目標との関連性について、学生が主体的に考えるワークショップが設けられ、活発な意見交換が行われた。

2.2.3. 第3回目 「花王の SDGs への取り組み~洗剤をつくる責任! つかう責任? ~」

第3回目は、花王株式会社の井上紀子先生をお招きし、ご講演いただいた。ご講演の前半部では、

「12. つくる責任 つかう責任」のうちの「つくる責任」について、花王が手掛けている台所洗剤や洗濯洗剤等の原料調達、加工、輸送、販売までの一連の過程における、環境に配慮した取組みについてご紹介いただいた。後半部では、「12. つくる責任 つかう責任」のうちの「つかう責任」について、詰め替えボトルの積極的な利用や、花王製品で推奨されている洗濯のすすぎ回数を実践することで、実現可能な環境への負担軽減について、ご説明いただいた。身近な商品 1 つをとっても、そこには SDGs 達成に向けたさまざまな企業努力がなされていること、また、商品を使用する消費者の日々の心がけが重要であることに多くの学生が気づくことができていたようである。

2.2.4. 第 4 回目 カードゲーム『2030SDGs』・『SDG Action cardgame X (クロス)』を用いたワークショップ

第 4 回目は、第 1 回～第 3 回の授業内容の定着を図るために、『2030SDGs』⁵⁾と『SDG Action cardgame X (クロス)』⁶⁾の 2 つのカードゲームを用いたワークショップを開催した(図 7)。今回、前半部で扱った『2030SDGs』は、一般社団法人イマココラボが作成した SDGs の 17 の目標を達成するために、現在から 2030 年までの道のりを体験するゲームである。実施にあたり、イマココラボから各クラスに 1 名ずつファシリテーターを派遣していただいた。後半部で扱った『SDG Action cardgame X』は、金沢工業大学 SDGs 推進センター学生プロジェクトと株式会社リバーズプロジェクトによって共同開発されたカードゲームである。『SDG Action cardgame X』は、SDGs の発想から事業アイデアを生み出すカードゲームとなっており、将来、エンジニアとして活躍が期待される本校学生にとって、SDGs の学びを深めるだけではな



図 7 カードゲーム『2030SDGs』の様子

く、製品開発を疑似体験できることから大変有用な教材であると言える。

2.2.5. 第 5 回目「水産資源の持続的活用のための SDGs」

第 5 回目は、文部科学省トビタテ！留学 JAPAN からの支援を受け、アメリカ海洋大気庁 (NOAA) の田中貴生氏をお招きし、ご講演いただいた。授業冒頭では、アメリカ海洋大気庁 (NOAA) の主な活動と SDGs との関連性についてご紹介いただいた。その後、水産資源量の推定の仕方について、実際に使用されている数理モデルの一例を用いながら、水産資源の状態をより正確に把握することの重要性をご説明いただいた。ある学生は、「数学はただ計算するだけでなく、様々な分野に応用することができるということを水産資源の数理モデルから実感することができた。応用するためにも、基礎数学の勉強に励もうと思った。」という感想を述べており、日頃勉強している数学が、実社会で役立っている様子を知ることができ、学生にとって刺激になったようである。

後半部では、水産資源を守りながら持続的に利用していくために、消費者として何ができるのか、という点にフォーカスしたお話をしていただいた。マグロにはさまざまな種類がいること、それらの種類に応じて資源量スコアに大きな違いがみられることなど、これまで何気なく口にしていたマグロについて、実は全く知らなかったという事実により多くの学生が衝撃を受けていた。また、持続可能な漁業・養殖業によって提供された水産物に付けられている「水産エコラベル」の種類やその認定方法について、具体的な事例をもとにご説明いただいた。この後半部の内容については、田中先生との事前の打ち合わせの際に、お話しただけのようにお願いしていたものである。環境問題のようなスケールの大きい話になると、そのあまりの大きさに、尻込みしてしまったり、無力感を抱いてしまったりしがちである。そのような中で、消費者として何ができるのか、という点を強調していただくことで、学生一人ひとりがこれらの問題を自分事として捉え、具体的なアクションを起こすきっかけにしたいという狙いがあった。授業後にとったアンケート結果(図 8)を見る限り、この狙いは一定の効果を上げることができたようである。

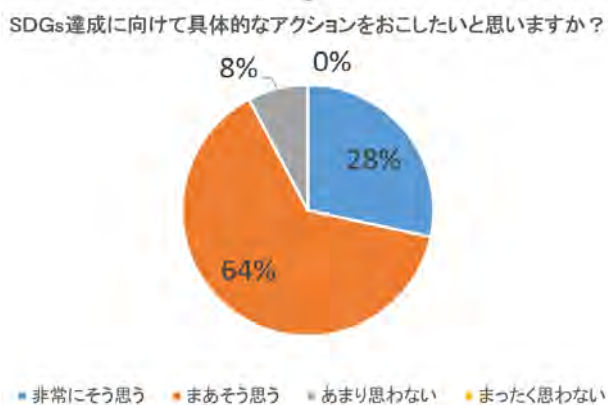


図8 アンケート結果 (n=155)

2.3. 本節のまとめにかえて

オンライン授業の導入によって、距離の制約を取り去ることが可能となり、これまで以上に学校とさまざまな現場をつなぐことができるようになった。特に第5回目の講義は、日本とハワイをオンラインで繋ぐことで実現したものであり、改めてオンライン授業の可能性を強く感じた。第一線で活動されている方々の生の声が、SDGsを学ぶ上で、一番の教材である。

一方で、今回のプロジェクト終了後に実施したアンケートには、「SDGsと日々の学習との関連が理解できない」、「SDGsの対象範囲が広く、理解が難しい」、という声が少なからず寄せられていた。

高専においてSDGsを浸透させるためには、高専生自身が日々の学習や専門学科で身に付けた技術力がどのゴールと関連があるのか認識することが重要である。そのためには、各科目担当教員が、授業で扱うテーマとSDGsとの関連性を常に意識し、授業内で触れていくことが肝要である。

3. 「国語総合Ⅰ・Ⅱ」の実践報告 ——遠隔授業における学生の理解度確認

3.1. 本節の問題意識

本校の遠隔授業では、学生によってインターネット環境が異なることを考慮して教員が授業の録画を行っていることもあって、学生はカメラ機能をオフにしている。したがって、教員は学生の表情等の様子をうかがい知ることができず、学生の理解度もはかりがたくなっている。そこで理解度を測る方法としては小テストの実施が挙げられるが、その結果は授業後に確認されるも

のである。授業中に理解度を測るためには、チャット機能の活用が挙げられ、コメントを記入させながら授業を進めていくしかない。しかし対面授業と異なり、学生にとっては一定の情報量をもった内容をコメントとして書き込むのは、ハードルが高いようである。しかしながら、学生の理解度を図る方法はこれ以外には考えにくいのである。

そこで本節では、令和3年度の本科1年生「国語総合Ⅰ」（現代文分野）・「国語総合Ⅱ」（古典分野）で実践した、チャット機能を活用した発問例を報告することによって、遠隔授業における学生の反応例および授業参加を促進していく一案を提示することとしたい。

3.2. 遠隔授業「国語総合Ⅰ・Ⅱ」における発問

3.2.1. チャットコメント機能の活用にあたって

国語の授業における発問は、漢字の読み方などを除くと一定のまとまりのある言語量を必要とする回答を望むものが多くなるが、対面授業における音声ならまだしも、チャットコメント欄にこうした要請からの回答を書くことには抵抗を感じるものと思われる。以下では、この抵抗を解くために行った試みを報告していく。

3.2.2. 「国語総合Ⅰ」の発問例

「国語総合Ⅰ」は現代文分野を扱っているが、小林・鈴木・青野(2021)でも触れたように、遠隔授業では授業進度の調整も兼ねて授業時間の前半を「単元」とし、「日本語の歴史」を講じている。次は「日本語の歴史」のうち、「漢字の伝来」以前の「無文字の時代」であった縄文時代の期間をクイズ形式として提示したものである。まず、次の図9を提示し、教員が説明を加える。

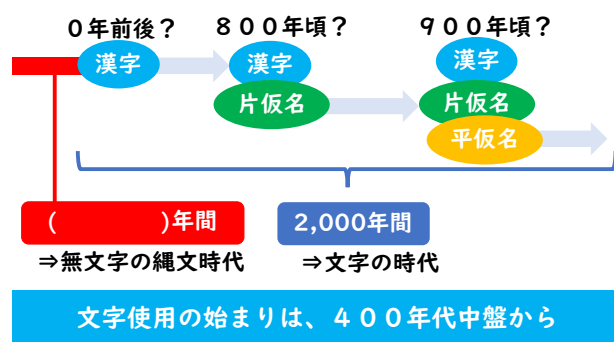


図9 日本における文字の歴史的展開

続いて次の図 10 提示し、答えが分かった者からコメント欄に記入するよう指示する。

問2.
日本列島の「文字がなかった縄文時代」は約何年か？

- ① 約1,000年間
- ② 約2,000年間
- ③ 約10,000年間
- ④ 約50,000年間

図 10 選択肢の提示

図 10 の問題には、当該クラス 42 名中の 34 名から次の図 11 に見える回答が得られた。



図 11 学生からの回答

続いて、次の図 12 を見られたい。これは、『魏志倭人伝』に見える「古代日本の生活」を紹介したスライドである。

『魏志倭人伝』に見える古代日本の生活

1. 葬式の後は、亡くなった人を墓に葬り、
家中の者は**水浴び**に出かける
2. 男は、大人も子供も「**黥面文身**（げいめんぶんしん）」
= **入れ墨**
3. 身分の高い人に出会くと、大陸では**跪拝**（きはい）
するが、日本では**拍手**をする

現代と似ているような、似ていないような・・・

図 12 古代日本の生活

図中の項目 1 および 3 に青い文字で見える「水浴び」・「拍手」などの箇所を空欄として提示する。続いて、項目 1・3 の空欄補充、項目 2 の「黥面文身」が現代の何に相当するかもあわせて問うていったところ、項目 1 は 14 名、項目 2 は 9 名からの回答があった。項目 3 に至っては 24 名と、多数の回答があった。次に項目 3 の回答状況の一部を図 13 として挙げる。



図 13 古代日本における貴人への敬意

古代日本人は、拍手をして貴人に対する敬意を表していたので「拍手」が正解なのであるが、「ウイंक」や「胡麻をする」「すり寄る」など、なかなか面白い回答も見られた。

以上、選択肢形式から始め、次いで、単語形式で答えることのできる設問へと移行していったところ、多くの学生から意欲的な回答があったことを報告した。

3.2.3. 「国語総合Ⅱ」の発問例

続いて本小節では「国語総合Ⅱ」の発問例と学生の参加状況とを報告する。後期開講の「国語総合Ⅱ」は古典分野を扱うが、「国語総合Ⅰ」と同様、進度調整も兼ねて教養の時間を設けている。後期中間試験までは『古事記』のストーリー紹介を、学年末試験までは「項羽と劉邦」のストーリー

一紹介を通して漢文訓読の練習を行った。ここでは、「項羽と劉邦」の発問例を取りあげる。

次に挙げる図 14 は、天下を統一した秦の始皇帝の行幸を目にした項羽と劉邦それぞれの発言を通して、人物像を説明した際のスライドである。



図 14 始皇帝を見た、項羽と劉邦の反応

授業ではまず、項羽の「取って代わってやる!!」を紹介する。劉邦の「あぁなりたいなー!!」は一旦伏せておき、「劉邦は何と述べたのか」を自由にチャットコメント欄に記させたところ、次の図 15 のような回答があった。



図 15 始皇帝を見た劉邦の発言は?

この設問の難易度は高いのだが、以上のように 7 名からの回答があった。図中に見える「おれもこうなりたい」・「俺もなりたい」は、正解を言い当てたものであった。惜しくも正解ではなかった回答も意欲的な取り組みに他ならず、高く評価

できるものである。

この設問に一度で正答することは困難なのであるが、劉邦のイラスト近くにある「わーい!!」がヒントとなる。また、現代人であっても始皇帝を見た劉邦の心情を推し量ることは可能なので、クラスメイトと協力して様々な回答を次々と示していき、いわば人海戦術によって教員から正答を「引っ張り出す」という楽しみがあったのではないだろうか。偶然かもしれないが、下のほうにある回答にいくほど、正解に近いことも興味深かった。

また、学生たちには、自身の回答をクラスメイトに開示して楽しむ余裕があるようにも感じた。こうしたオープンな設問は学生によって回答が異なる点にも魅力的があり、学生同士でお互いの回答コメントに「いいね」をつけるなど、学生間交流も活発であった。

3.3. 本節のまとめ

以上、本節では遠隔授業「国語総合 I・II」の発問例とその回答状況を報告した。学生の理解度をはかるにあたっては、①「選択肢を用意した設問」に始まり、次いで、②「短い語を答える設問」へと移行していき、最後に、③「まとまりのある文」を記させるといったように、段階的に進めていくのが良いと思われる。

紙幅の都合上、報告に到らなかった「『古事記』神話」・「古文の現代語訳」や、「漢文訓読」に関する発問例とその回答状況などは、すべて続稿に譲ることにしたい。

4. おわりに

本節では、以上 1~3 節の報告をまとめることとしたい。

まず第 1 節では、Reading の遠隔授業における「なりきり翻訳」の実践例を報告した。「なりきり翻訳」の試みでは、パワーポイントのアニメーションにおけるタイマー機能を活用して、英文中の言語単位が時間差を設けて提示されていく。このことによって、単語・構文理解へ集中している状態から全体の意味理解へ橋渡しをすることをねらっている。また、“Retelling & Your Thoughts”において、学生が意味的理解に集中し、英語の本文内容から何を学んだかを振り返る時間をとることで、英語を「学習対象」として把握するのではなく、「意味を伝達するもの・ツール」として使う感覚を養成する試みについて報告した。

続く第2節は、新型コロナ・ウィルス感染拡大後に実施が難しくなった学年集会の、オンラインによる実践例を報告した。令和2年度の「SDGs 探求プロジェクト」は、講義、講演およびワークショップをオンラインにて開催し、各講義・講演は、いずれも具体的に踏み込んだもので、学生の反応は極めて良好であった。このことは、後に対面により実施されたカードゲームとパネル作成へと連続していく素地を形成することになった。

当プロジェクトは、「三密」回避のために学年集会が開催しにくい当節にあって、学習意欲の旺盛な学生たちを対象にした「学年全体の学び」の機会をいかにして絶やさないようにするか、また、どのようにすれば無理のない形で開催でき、継続していけるのかという、学年集団のマネジメント例としても参考にしていただければと思う。

そして第3節では、教員からの発問と学生からの回答という授業における基幹サイクルを遠隔でも絶やすことのないようにという問題意識のもと、国語科科目における発問の実践例を報告した。対面とは異なり、姿や反応が見えない学生の中には、積極的な授業参加が実現できていない者もあると思われる。教室以外の場合であっても、学習への積極的な参加を促進するにはどのような手段を講じれば良いのか、チャットコメント欄に回答を書きやすい選択肢問題から始まり、漸進的に文単位の回答を求めていく発問へと移行していった過程を報告した。この他にどのような過程が望ましいか、今後さらに議論を深めていく必要がある。

本来、遠隔授業とは、対面授業の実施が困難な状況において、いかにして学習を継続していくかということから設けられた、いわば対面授業の代替としての授業形態である。しかしながら、対面授業であれ、遠隔授業であれ、学生に何を学ばせたいか、どうしたらより学びやすくなるかなど、より良い教育を目指して教員が思慮する点に変わりはない。その目標に向かうとき、対面授業で良いと思われる方法と遠隔授業で良いと思われる方法の具体においては異なることもある部分があったとしても、双方の授業形態にとって参考になる考えや方法が生まれるものである。小林・鈴木・青野(2021)でも述べられているように、遠隔授業の改善は、対面授業の改善と表裏するものであることを踏まえて、さらなる授業改善と充実とに努めていきたいと考える次第である。

参考文献

- 1) 小林礼実, 鈴木慎也, 青野順也: 東京高専における遠隔授業の取り組み—文系科目(英語, 社会, 国語)を例として—, 東京工業高等専門学校研究報告書第52号, pp. 1-10, 2021
- 2) 鈴木慎也(編修): SDGs 探求プロジェクト成果報告書, 東京工業高等専門学校, 2021
- 3) 庄司良, 鈴木大輔: SDGs を意識した社会実装教育とその展開—社会実装教育フォーラムのテーマを SDGs の観点で解析—, 工学教育, 68 - 2, pp. 46-49, 2020
- 4) ハンス・ロスリング, オーラ・ロスリング, アンナ・ロスリング・ロンランド(上杉周作, 関美和訳): FACTFULNESS 10 の思い込みを乗り越えデータを基に世界を正しく見る習慣, 日経 BP 社, 2019
- 5) カードゲーム『2030SDGs』
<https://imacocollabo.or.jp/games/2030sdgs/> (参照 2022-01-04)
- 6) カードゲーム『SDG Action cardgame X (クロス)』
<https://www.kanazawa-it.ac.jp/sdgs/education/application/> (参照 2022-01-04)

(2022年1月14日 受理)

遠隔授業におけるオンライン形式ワークショップの導入と評価 — 対面形式ワークショップとの比較による検討 —

黒田一寿*

本研究では、これまで対面形式の授業で行ってきたワークショップのオンライン形式化を試みた。ワークショップの内容は、参加者でストーリーを共有し、主人公が亡くなった原因についてアイデアを出し合い、KJ 法およびマインドマップの手法を用いて要因を分析するものだった。1 度目の試行から得られた課題を踏まえて改良した 2021 年度のオンライン形式ワークショップと、2019 年度に実施した対面形式ワークショップについて、混合研究法を用いて比較した。その結果、グループで出されたアイデアの数、アイデアの網羅性、特異的なアイデアの出現率において、対面形式ワークショップの方が上回っていた。今後は、オンライン形式ワークショップのさらなる質的向上を目指し、改良を続ける必要がある。

(キーワード: ワークショップ、オンライン形式、対面形式、要因分析、混合研究法)

Introduction and Evaluation of Online Workshops in Remote Classes — Through Comparison with Face-to-Face Workshops —

Kazutoshi KURODA*

In this research, we attempted to carry out the workshops that had been conducted in face-to-face lessons in an online format. The content of the workshop was to share the story with the participants, come up with ideas about the cause of the death of the main character, and analyze the factors using the KJ method and the mind map method. The face-to-face workshop conducted in 2019 and the online workshop in 2021 which were improved based on the issues obtained from the first trial, were compared using mixed methods. As a result, the face-to-face workshop outperformed the number of ideas presented in the group, the completeness of the ideas, and the appearance rate of specific ideas. In the future, it is necessary to continue improving with the aim of further improving the quality of online workshops.

(Keywords: workshop, online, face-to-face, factor analyze, mixed methods)

1. はじめに

筆者は、2011 年から東京高専本科 1 年生の保健分野の授業にワークショップ (以下 WS と略す) を取り入れた¹⁾。そのねらいは、このスタイルによって学生が「授業に受け身ではなく能動的に参加できる」「グループにおいて自分の考えを表現し、また他者の意見に耳を傾ける機会を得る」「新しいアイデアなり解決方法なり結論なりを共同で創り出す」といった点にあった。

この科目の受講者を対象に質問紙によるアンケート調査²⁾を行い、その自由記述回答を分析したところ、授業で WS を含むグループ学習の手法を用いることについて、「交流が広がった」「楽しく話し合いができて良かった」「コミュニケーションを多く取れた」「能動的に学習できる」「グループで教え合って協力できるのが良かった」「クラスメ

イトと友だちになれた」といった肯定的な記述を多く確認できた。

この授業内 WS のさらなる進展を計画していた矢先、2020 年度は新型コロナウイルス感染症拡大の影響を受け、WS を取り入れてきた「健康と福祉」は遠隔授業で行うことになった。準備期間が短く、にわか仕立ては否めなかったが、Microsoft Teams というプラットフォームのおかげでなんとか体裁を整えることができた。しかし、学生の受講環境やデバイス環境、通信環境は様々であるため、基本的に受講者にカメラ・マイクの使用を求めないなど、種々の制約を伴った。それゆえ、それまで培ってきたグループ学習や相互レビュー、ロールプレイといった手法は手放せざるを得なかった。そしてほとんどの授業回を、スライドを用いた解説と Forms を用いたクイズ、OneNote を用いたレ

*一般教育科

ポート提出で構成することとなった。学生にとってはどうしても受け身になりがちな形態である。

そこで、失敗もあり得るのは承知の上で、これまで教室において取り組んで来た WS を遠隔授業にも取り入れることにした。本研究では、このオンライン形式による WS が、実質的な学習成果においてどこまで対面形式による WS に迫れるのか、その課題はどこにあるのか、両者の比較を通して検討する。

まず比較の前に、次節では従来の対面形式 WS の内容と進め方、2020 年度に試行したオンライン形式 WS、および改良を加えて 2021 年度に実施したオンライン形式 WS について報告する。

2. ワークショップの実践

2.1. ワークショップのねらいとアプローチ

本研究において実施した WS は、「人々が健康で生活するために必要な諸条件」を、ある悲劇の物語から学ぶことを目標としている。予め準備した教材のストーリーを参加者間で共有し、手順書に沿って WS を進めてゆく。WS で用いるマインドマップのテクニックは、前週の授業課題として取り組むことで習得し、レディネス（学習するための前提条件）を整えた。この課題では、「健康」というキーワードを用紙の中心に置き、連想されるキーワードを繋いで枝のように伸ばし、概念マップを描き上げる（例：図 1）。

授業内容の配列にもねらいを持たせ、まずレディネスとして個人がそれぞれ持っている「健康」のイメージをマインドマップで視覚化する。続く WS ではグループ作業を通じて他者が持っている「健康」のイメージも取り入れつつ、特に健康の社会的な側面について気づきを得ることを目標と



図 1 「健康」のマインドマップ作成例

した。とかく「自己管理」の側面が強調されやすい「健康」の捉え方の幅を広げ、それを「福祉」という概念とも結びつけて行きたいと考えた。

WS の類型化を試みた荒木³⁾は、分類の 1 つとして「工学的アプローチ」と「羅生門的アプローチ」をあげている。工学的アプローチでは、最終的な目標を達成するための行動的目標を分節化し、これを達成するための教材を作成し、教材に基づいた学習活動によって目標がどの程度達成されたかを評価する。一方の羅生門的アプローチでは、1 つの事象に対して多様な見方や判断があつてしかるべきであるという主張が重視され、参加者の創造性と評価者の多様な主観的フィードバックが求められる。教材や進め方は「即興的」であり、実践者には高い専門性が求められる。

この分類で言えば、本研究において実践した WS は工学的アプローチに基づいてデザインされたものと言えよう。本 WS は科目の導入期（2 週目）に配置されていることもあり、自由度は少ないがほぼ全ての参加者が最終的な目標に到達できるよう、ある程度形式を固め、進め方を具体的に指定している。参考までに、この科目では障害の社会モデルをテーマとした探索発見型の WS を別途実施⁴⁾してきた（2019 年度まで）。こちらは 1 つの事象に対する多様な見方や判断が重視される羅生門的アプローチに基づいたデザインとなっている。

2.2. 2019 年度の対面形式 WS の進め方

2019 年度に実施した対面形式 WS の進め方は以下の通りで、所要時間は 90 分（授業 1 回分）である。

- ① 参加者のグループ分けを行う。
- ② 教材のストーリー、ワークシート、模造紙、付箋紙、マーカー等を準備する。
- ③ グループ内で自己紹介と役割分担決める。
- ④ 教材のストーリーを交代で音読する。
- ⑤ 主人公の死の原因を各自で付箋紙に書き出す。
- ⑥ 模造紙に付箋を貼りだし、仕分け・分類・追加を進め、中心（主人公の死）から因果関係や関連性に基づいて広がったウェブチャートを作成する。
- ⑦ チャートが完成したら写真に撮って記録する。
- ⑧ 主人公のような子どもを出さないために必要なことをディスカッションし、各自まとめる。

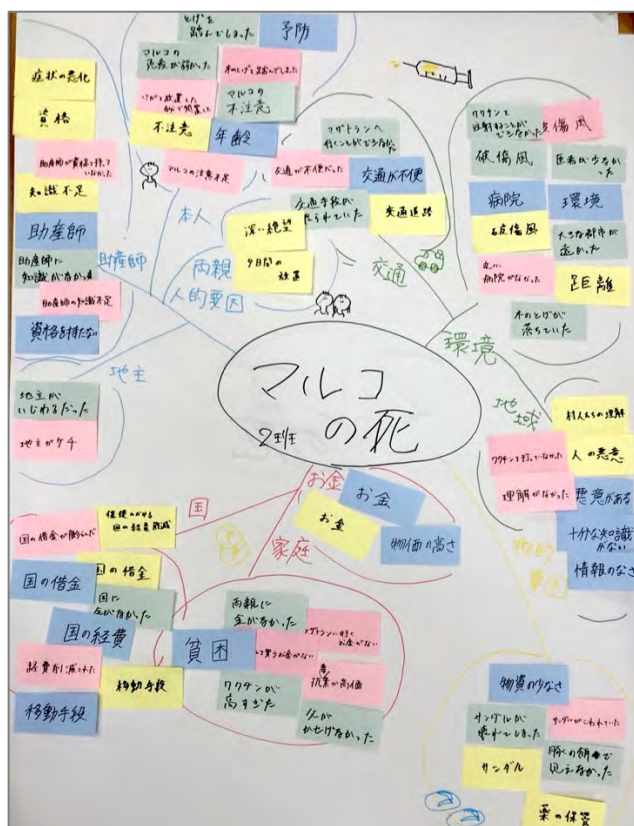


図2 対面形式WS（2019年度）で作成されたウェブチャートの例

手法としては、KJ 法とマインドマップの両要素を組み合わせて要因分析を行うスタイルとなっている。この WS において作成した図を「ウェブチャート」と呼ぶこととする。手順はワークシートに記載して受講者に配付した。同シートは、⑧のまとめを記述したうえで WS 終了時に提出を求めた。教材のストーリー（1, 200 字ほど）は、「MDGs ワークショップ実施マニュアル⁵⁾」に掲載されている教材を改編して用いた。その概要は以下の通りである。

- ・主人公は途上国の貧村の小作農家の少年
- ・サンダルが壊れたが、新しい履物が買えず
- ・家の仕事を手伝い、トゲを踏んで破傷風感染
- ・村には病院がなく破傷風の予防摂取も行われず
- ・村に唯一の助産師は医学的専門知識が不十分
- ・国の財政は厳しく、保健関連の予算が不足
- ・治療ができる大都市の病院までは遠距離
- ・交通機関が未発達で高額的車代を請求される
- ・借金をして病院に行くも抗毒素が入手できず
- ・両親は子どもを救う手立てなく悲劇を迎える

この対面形式 WS において作成されたウェブチ

チャートの例を図2に示す。完成度の差はあるものの、WSを実施した全てのグループ（総数 55）がこのようなウェブチャートの完成まで辿り着いた。付箋紙はグループのメンバーごとに決められた色を使用しており、同じアイデアが複数のメンバーによって考え出され、模造紙上で集められ、縮約されていることがわかる。またアイデア群を線で囲い「人的要因」「環境」「国」「家庭」「物的要因」などの見出しをつけており、模造紙上で要因分析が進んだことがわかる。

2.3. 2020 年度の WS のオンライン化の試みと明らかになった課題

WS をオンライン形式に移植するにあたり、教材となるストーリーは対面形式と同じものを用いた。模造紙の代わりとなるツールは、Office365 に付随する Whiteboard を用いた。またレディネスとなる健康のマインドマップも、対面形式と同様に WS の前週に授業課題として実施した。2020 年度に実施したオンライン形式による WS の進め方は以下の通りで、所要時間は対面形式と同じ 90 分（授業 1 回分）である。

- ① Teams の会議機能で WS の進め方と Whiteboard の使い方を説明する。
- ② 資料の電子ファイルを Teams 上で共有する。
- ③ Teams 上のチーム内に 4 つのチャンネルを設け、参加者を振り分ける。
- ④ 各チャンネル内でメンバー確認を行う。
- ⑤ 教材のストーリーを各自で読みこむ。
- ⑥ 主人公の死の原因を各自で Whiteboard に書き出す。
- ⑦ チャンネルの会議・チャットも併用しながら、Whiteboard 上のウェブチャート作成を進める。
- ⑧ チャートが完成したらスクリーンショットを撮って記録する。
- ⑨ 主人公のような子どもを出さないために必要なことを意見交換し、各自まとめる。

このオンライン形式 WS において作成されたウェブチャートの例を図 3 に示す。このようにウェブチャートの完成に至ったグループは 20 グループ中 15 グループ (75%) で、5 グループ (25%) については Whiteboard の不具合や使い方のところで躓いてしまい、完成に至らなかった。Whiteboard

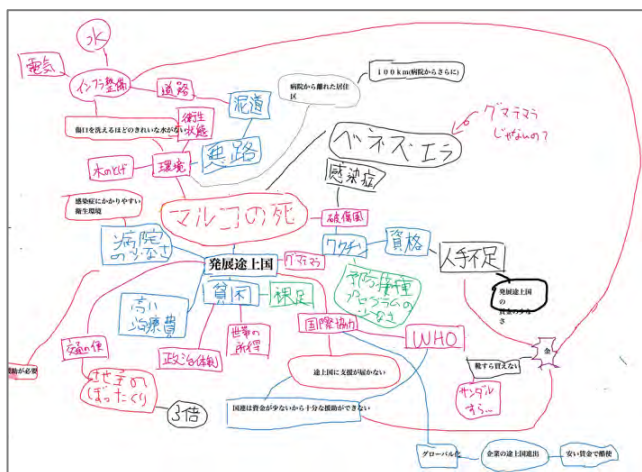


図 3 オンライン形式 WS (2020 年度) で作成されたウェブチャートの例

を複数人で共有して作業する場合、少なくとも 2020 年の時点では動作に安定性を欠くことがわかった。

そのほか、2020 年度における WS のオンライン化の試みでは、次のような点が明らかになった。

- ・マイク (任意) を利用しているグループはごく少数で、主にチャットや Whiteboard 上にコメントを書き込むなどしてコミュニケーションを取っていた。
- ・Whiteboard では一度書き込んだキーワードを別の場所へ移動させる操作の勝手が悪く、要因分

析の際に制約が生じていた。

- ・Whiteboard の操作方法が PC とタブレットで異なり、操作のノウハウをグループ内で共有するうえで混乱が生じていた。
- ・参加者の中には、ウェブチャートの作成で書き込みがなく、見ているだけの者も見受けられた。

2.4. 2021 年度のオンライン形式 WS の改良

2021 年度も前年度に引き続き「健康と福祉」の遠隔授業においてオンライン形式 WS を実施した。その際、2020 年度の試行で見いだされた課題をもとに次のような改良を加えた。

- ・2021 年に新しく Teams に実装されたアウトブレイクルームの機能を用いてグループ分けを行い、コミュニケーションを取る上でも活用した。
- ・グループ数を増やし、1 クラスにつき 9 グループで実施した。
- ・ウェブチャートを作成するツールを Whiteboard から OneNote に変更した。
- ・参加者が OneNote の操作に慣れる目的で、WS を始める前にアイスブレイクを実施した。
内容：クラス全員で共有した OneNote のページに各自が自分の星座を書き込み、書き込んだテキストに色をつけて位置を移動させ、星座ごとに集まるという遊び。

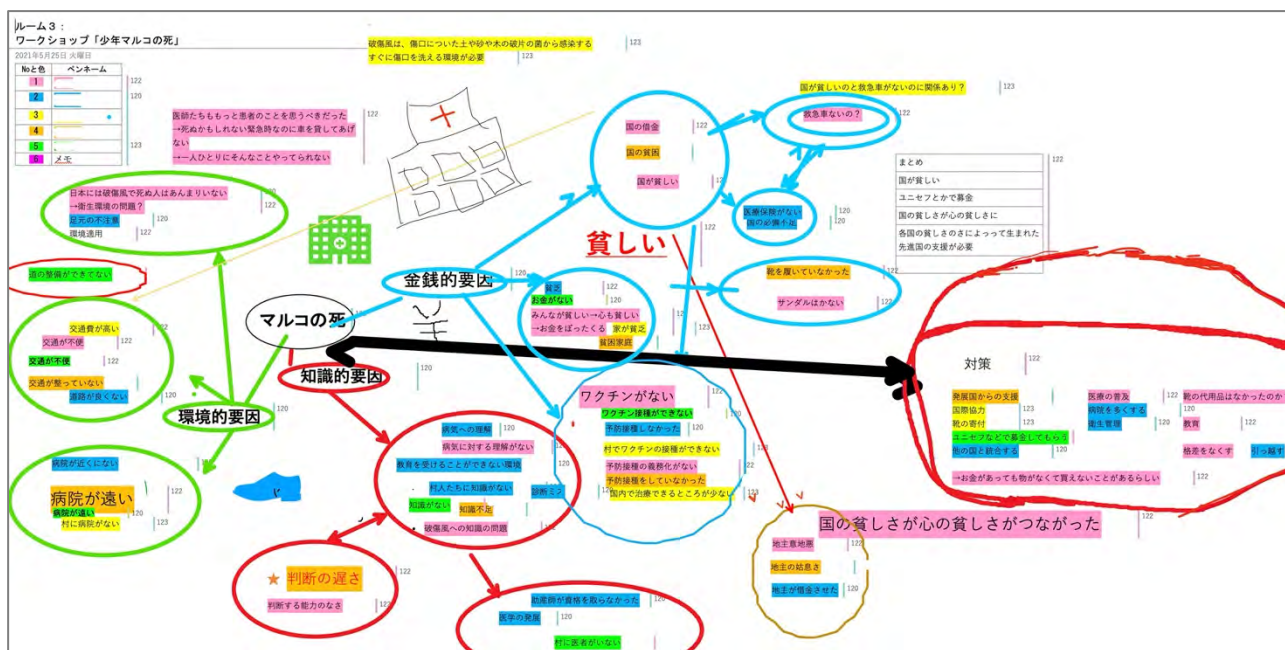


図 4 オンライン形式 WS (2021 年度) で作成されたウェブチャートの例 1

- ・WS の最初にメンバー確認を行う際、それぞれがウェブチャートに書き込む際のテキストカラー（背景色）を決める手順を加えた。

このオンライン形式 WS において作成されたウェブチャートの例 1 を図 4 に示す。完成度に差はあるものの、2021 年度においては全てのグループがウェブチャートの完成に至った。分析作業のテクニカルな面では、メンバーそれぞれが OneNote 上に書き込んだテキストを画面上でスムーズに移動できるようになり、2020 年度のオンライン形式 WS と比較して縮約と要因分析がより深められていた。また各グループともメンバー全員が自分の意見を OneNote に書き込むことができていた。

3. 方法（対面形式とオンライン形式の比較）

本節では、2019 年度に実施した対面形式 WS と、改良を経て 2021 年度に実施したオンライン形式 WS における学習成果を比較する。具体的には両形式共通の成果物であるウェブチャートを分析対象とし、図中の質的データをコーディングによって量的データに変換して比較する混合研究法の手法を用いた。

3.1. 分析対象

2019 年の対面形式 WS の参加者は東京高専に所属する 1 年生 207 名で、2021 年度のオンライン形式 WS の参加者は同じく東京高専 1 年生の 202 名であった。

対面形式 WS では参加 55 グループ全てがウェブチャートを完成させたが、記録写真が不鮮明で文字を判別できないものが 1 例あり、これを除外した 54 例のウェブチャートを分析対象とした。オンライン形式 WS では、参加 45 グループ全てがウェブチャートを完成させ、そのスクリーンショット記録 45 例すべてを分析対象とした。

3.2. 分析方法

一連の解析作業は質的データ分析ソフト Nvivo (Release 1.6.1) を用いて PC 上で行った。まず分析対象となるウェブチャートを全てソフトウェアに取り込み、ウェブチャート上の全ての付箋・テキストを読みながらオープンコーディングによってコード化を進めた。その後、多少の表現の違いはあっても同じ内容と捉えられるコードの統合を進めたところ、最終的には 48 のコードに縮約

された。このコーディングにより、1 つのウェブチャート上にアイデアとしていくつの要因が書き出されているか、内容の重複なく集計することが可能となった。この重複を解消したアイデアの数を本稿では「コード数」と称することとする。

この WS では、主人公の死と関連する要因の主要なカテゴリとして、医学的要因、経済的要因、物理的要因、社会的要因の 4 つのカテゴリが想定されている（参加者には示されない）。そこで、見いだされた 48 のコードについて、これら 4 つのカテゴリのいずれかに含められるか否かを個別に検討した。本研究ではこれら 4 つのカテゴリを「コアカテゴリ」と称することにする。コアカテゴリに当てはまらないコードは「その他」のカテゴリに振り分けた。カテゴリごとのコード数とコードラベル例を表 1 に示す。

表 1 カテゴリごとのコード数とコード例

カテゴリ	コード数	コードラベル例
医学的要因	7	不適切な応急手当 予防接種の未実施 医師・看護師不足 など
経済的要因	6	国の財政難 家庭の貧しさ 物資の不足・物価高 など
物理的要因	8	木のトゲ 裸足だった 大都市までの距離 など
社会的要因	15	地主の冷たさ・欲深さ 貧富の格差 交通機関の未整備 など
その他	12	主人公の不注意 運命的要因 国際協力支援 など

コーディングによってそれぞれのウェブチャートに紐付けられたコードの数は量的データとして扱い、その統計処理には IBM SPSS Statistics 21 を用いた。

4. 結果と考察

4.1. グループにおいて出されたアイデアの数

表 2 は、ウェブチャート 1 枚あたりに書き出されたコード数の平均値を、対面形式とオンライン形式で比較したものである。1 チャートあたりの

コード数が多いほど、WS においてグループのメンバーからより多種多様なアイデアが出されたと評価することができよう。

各グループが作成したウェブチャート 1 枚あたりのコード数は、対面形式で平均 20.43 コード ($SD: 2.88$, $n = 54$), オンライン形式で平均 16.64 コード ($SD: 3.65$, $n = 45$) だった。両形式の平均コード数の比較は、 F 検定にて等分散性の有無を確認したのち、対応のない t 検定を用いた。その結果、対面形式の平均コード数はオンライン形式より有意に多かった ($t(97) = 5.76$, $p < .001$)。

表 2 対面形式 WS とオンライン形式 WS におけるウェブチャート 1 枚あたりのコード数の比較

	n	M	SD	Max	Min	t
対面	54	20.43	2.88	28	14	5.76
オンライン	45	16.64	3.65	27	8	

** : $p < .001$

改良を加えることで参加グループ全てがウェブチャートの完成に至った 2021 年度のオンライン形式 WS だったが、対面形式 WS と比較するとコード数の平均値で 2 割ほど少なかった。オンライン形式では様々な制約により参加者同士のコミュニケーションが質的にも量的にも抑制されてしまうため、グループ内でアイデアが触発されるようなさらなる仕掛けが必要であろう。

コード数のばらつきをみると、オンライン形式の方が対面形式よりも標準偏差が大きかった。ただし最大値では対面形式 (最大値 28) とオンライン形式 (最大値 27) の間で差はほとんどなく、最小値においてオンライン形式 (最小値 8) の方が対面形式 (最小値 14) より 4 割ほど少ない結果となった。

4.2. 要因分析におけるアイデアの網羅性

本研究において実践した WS は、手順に沿って進めて行けば一定の水準の学習成果に辿り着くよう、工学的アプローチによりデザインされたものである。主人公の死の要因分析を行うにあたり、注意深くストーリーを読めば、表 1 に示した 4 つのコアカテゴリーそれぞれに含まれるようなアイデアが、ウェブチャート上に少なくとも 1 カテゴリーにつき 1 コード以上書き出されておかしくな

い。コード数が 0 のコアカテゴリーがあるウェブチャートは、その網羅性において何らかの理由で標準的な到達レベルに至らなかったと評価することができよう。そこで、コード数が 0 のコアカテゴリーがあるチャートと、コアカテゴリー全てで少なくとも 1 コード以上あるチャートを区別し、集計した結果が表 3 である。項目間の比較にはカイ二乗検定を用いた。

表 3 対面形式 WS とオンライン形式 WS におけるコアカテゴリーの網羅性比較

		コードなしのコアカテゴリー		$\chi^2(1)$
		ある	ない	
実施形式	対面	0 (0%)	54	7.67
	オンライン	6 (13.3%)	39	

$n = 99$, ** : $p = .006$ (Fisher の直接法)

このように、対面形式とオンライン形式それぞれの WS で作成されたウェブチャートを対象に、医学・経済・物理・社会のコアカテゴリーに含まれるコード数が少なくとも 1 つ以上あるかどうかとの関連を調べたところ、有意な関連が見られた ($\chi^2(1) = 7.67$, $p = .006$)。

対面形式 WS では、コード数が 0 のコアカテゴリーがあるウェブチャートは認められず、全てのウェブチャートが網羅性の面で実践者が期待する標準到達レベルに到達していた。

一方で、オンライン形式 WS では、6 つのグループのウェブチャートにおいてコード数が 0 のコアカテゴリーがあった。この 6 つのウェブチャートについて、どのコアカテゴリーのコード数が 0 であったのか調べたところ、すべて「物理的要因」のカテゴリーであることがわかった。この物理的要因のカテゴリーに含まれるコードは、道に「木のトゲ」あったことや、「サンダルが壊れた」こと、あるいは「村が大都市まで遠かった」ことなど、社会や経済の課題とはやや趣が異なる要因である。当たりまえ過ぎてメンバー全員が見落とししてしまったのか、要因を出し尽くすには時間が足りなかったのか、理由は明らかではない。しかし、KJ 法やマインドマップの手法においては、アイデア出しにタブーを設けず、できるだけたくさんのアイデアを出すことも重要である。例えば、「サンダルが壊れた」という一見解決しようのない要因も、それを足がかりに靴のリユースやエコトレードと

いったいくつかの NGO 団体が取り組んでいるようなアイデアと繋がるケースもある。

WS における「アイデアを出し尽くす」という点で、オンライン形式には課題が残ったと言えよう。

4.3. 特異的なアイデアの出現

ここでは「その他」のカテゴリーに振り分けたコードについて個別に検討する。コアカテゴリーに分類されたコードは、ストーリーの文中にコードのキーワードとなる単語が使われているなど、問題提起教材から一次的に読み取れるものが多かった。一方で、「その他」のカテゴリーに分類したコードの中には、ストーリーの展開に疑問を持ったり、独自の発想だったり、参加者が持っている関連知識とストーリーの状況が結び付けられるなど、コアカテゴリーのコードとは異なる視点で導き出された特異的なアイデアが見られた。そこで、このようなアイデアの出現について対面形式 WS とオンライン形式 WS を比較し、WS によって標準的なアイデアの枠を越えるような飛躍的発想がみられたか検討してみる。

まず「児童労働」というコードについて、対面形式とオンライン形式それぞれのウェブチャートにどの程度書き出されていたか調べた結果が表 4 である。

表 4 対面形式 WS とオンライン形式 WS における「児童労働」コードの出現率の比較

		「児童労働」のコード		$\chi^2(1)$
		ある	ない	
実施形式	対面	26 (48.1%)	28	10.64
	オンライン	9 (20.0%)	36	

$n = 99$, **: $p = .001$

項目間の比較にカイ二乗検定を用い、対面・オンラインの形式の違いと、「児童労働」のコードの有無との関連を調べた結果、有意な関連が見られ ($\chi^2(1) = 10.64$, $p = .001$), 対面形式により多くの「児童労働」のコードがみられた。

このコードは、ストーリーの主人公が家畜の餌を運んでいるという状況を漠然と捉えるのではなく、4 才の子どもである点を踏まえ、また SDGs の目標にも挙げられている「児童労働」の視点と結びつけることで見いだされている。この一段深掘りが必要なコードが見いだされたウェブチャート

は、オンライン形式 WS では対面形式 WS の半分ほどであった。

次に「両親の諦め」というコードについて、対面形式とオンライン形式それぞれのウェブチャートにどの程度書き出されていたか調べた結果が表 5 である。

表 5 対面形式 WS とオンライン形式 WS における「両親の諦め」コードの出現率の比較

		「両親の諦め」のコード		$\chi^2(1)$
		ある	ない	
実施形式	対面	12 (22.2%)	42	8.61
	オンライン	1 (2.2%)	44	

$n = 99$, **: $p = .005$ (Fisher の直接法)

項目間の比較にカイ二乗検定を用い、対面・オンラインの形式の違いと、「両親の諦め」のコードの有無との関連を調べた結果、有意な関連が見られ ($\chi^2(1) = 8.61$, $p = .005$), 対面形式により多く「両親の諦め」のコードがみられた。

このコードは、ストーリーの両親は高額の借金までして主人公を遠方の病院に連れて行ったが、さらに治療費がかさむ状況で必要な治療を諦めてしまった点を指摘している。「諦めた」という指摘は、「諦めるには早かったのではないか?」「まだできることがあったのではないか?」という解決策の探索に繋がっていく視点で、ストーリーの背景にある課題を見いだす可能性があるコードと言える。このコードが出されたウェブチャートは、対面形式 WS では 2 割ほどあったが、オンライン形式 WS では 1 例のみであった。

次に「運命・不遇」というコードについて、対面形式とオンライン形式それぞれのウェブチャートにどの程度書き出されていたか調べた結果が表 6 である。

表 6 対面形式 WS とオンライン形式 WS における「運命・不遇」コードの出現率の比較

		「運命・不遇」のコード		$\chi^2(1)$
		ある	ない	
実施形式	対面	10 (18.5%)	44	3.02
	オンライン	3 (6.7%)	42	

$n = 99$, **: $p = .082$ (Fisher の直接法)

項目間の比較にカイ二乗検定を用い、対面・オ

ンラインの形式の違いと、「運命・偶然」のコードの有無との関連を調べた結果、有意な関連は見られなかった ($\chi^2(1) = 3.02, p = .082$)。

このコードは、一見やや達観した視点からの発想に見えるが、課題解決の出発点としては興味深い。なぜなら、このストーリーに埋め込まれた課題を「運命・不遇」として見過ごして良いのかという逆説的な問題提起に繋がるからである。さらに公平や福祉の問題を議論する際に「無知のヴェール」^{*1}といった原則を考慮すべきではないか、といった哲学的議論を展開することもできよう。このコードは対面形式 WS、オンライン形式 WS の両ウェブチャートにおいてみられたが、出現率はいずれも 2 割未満のアイデアであった。

5. まとめと今後の課題

本研究では、まず東京高専本科 1 年生の保健分野の授業にて実践の蓄積があった WS の手法をオンライン形式に移植した試みについて報告した。本研究の WS をオンライン形式で行う場合、グループによる要因分析の作業に KJ 法的な要素が入るため、メンバーで共有する画面上にそれぞれのアイデアが書き出された後、そのテキストの位置を自由に移動できることがポイントとなった。これを踏まえ、ツールの再選定や操作に慣れるためのアイスブレイクを取り入れるなど改良を図ったところ、翌年 2021 年度のオンライン形式 WS では、参加した全てのグループがウェブチャートの完成に至った。

この 2021 年度の WS で作成されたウェブチャートについて、2019 年度の対面形式 WS で作成されたウェブチャートと比較を行い、オンライン形式 WS が対面形式 WS と同等の学習成果を得られたか検討した。その結果、各グループで出されたアイデアの数、コアカテゴリーの網羅性、特異なアイデア出現率において、対面形式 WS の方がオンライン形式 WS を上回っていた。よって、本研究において試行したオンライン形式 WS は、今後さらなる質的向上が望まれることが明らかになった。

オンライン形式 WS の質的向上を図るうえでは、コミュニケーション方法の制約が高いハードルとなる。城間⁶⁾は、ワークショップと呼ばれる活動に共通する特質として「創造性」「身体性」「協働

性」「意味生成」の 4 点をあげている。このうち、オンライン形式 WS では身体性の面で不利が生じることと言うまでもないだろう。それでは、身体性とはワークショップの活動に何をもたらすのだろうか。城間は「ワークショップでは従来の『学習』とは異なり、頭で考える（認知）だけでなく、感じる（情動）が大切にされる」と述べている。身体を使った働きかけがこうした情動の変動、またそれに触発されたアイデアをもたらすのだとすれば、今後オンライン形式 WS においてそれを補うために何を工夫すれば良いだろうか。

1 つは、情報技術の革新により、オンラインによるコミュニケーションに身体性が加味されることが考えられる。例えば、今注目のメタバースと呼ばれる仮想空間で WS を行うことなどが考えられる。

別のアイデアとしては、現状の制約下であっても、より能動的にコミュニケーションを取りたいような、新鮮味のある仕掛けを工夫することがあげられる。例えば WS のグループのメンバーを複数クラスや複数学年の学生で構成したり、学外の参加者を加えたりしてみてもどうか。あるいは海外の学生と一緒に WS を行ってみるのはいかがでしょうか。異文化に触れることによって触発されるアイデアは少なくないだろう。

本研究では、対面形式 WS とオンライン形式 WS の比較に混合研究法を用い、最終的にはコード数という量的データによって評価を行った。このことにより、両形式それぞれの WS で作成されたウェブチャートの全体的な傾向をつかんだわけだが、もちろん個々のウェブチャートには、平均値には現れない興味深い点が数多くみられた。例えば、全体のコード数の平均値は対面形式 WS より低かったオンライン形式 WS であったが、図 5 に示した例 2 のように、対面形式 WS と同等以上のコード数が出された充実したウェブチャートもあった。

今後は、オンライン形式 WS が進められるプロセスにも注目し、WS に取り組んでいる参加者同士のコミュニケーションについても分析を行ってみたい。

^{*1} 無知のヴェール：社会秩序の議論を行う際、自分が置かれた状態（才能、性格、財産、運など）がお互いに全くわからない「無知のヴェール」で覆われた想定で議論するという哲学者ジョン・ロールズの思考実験。

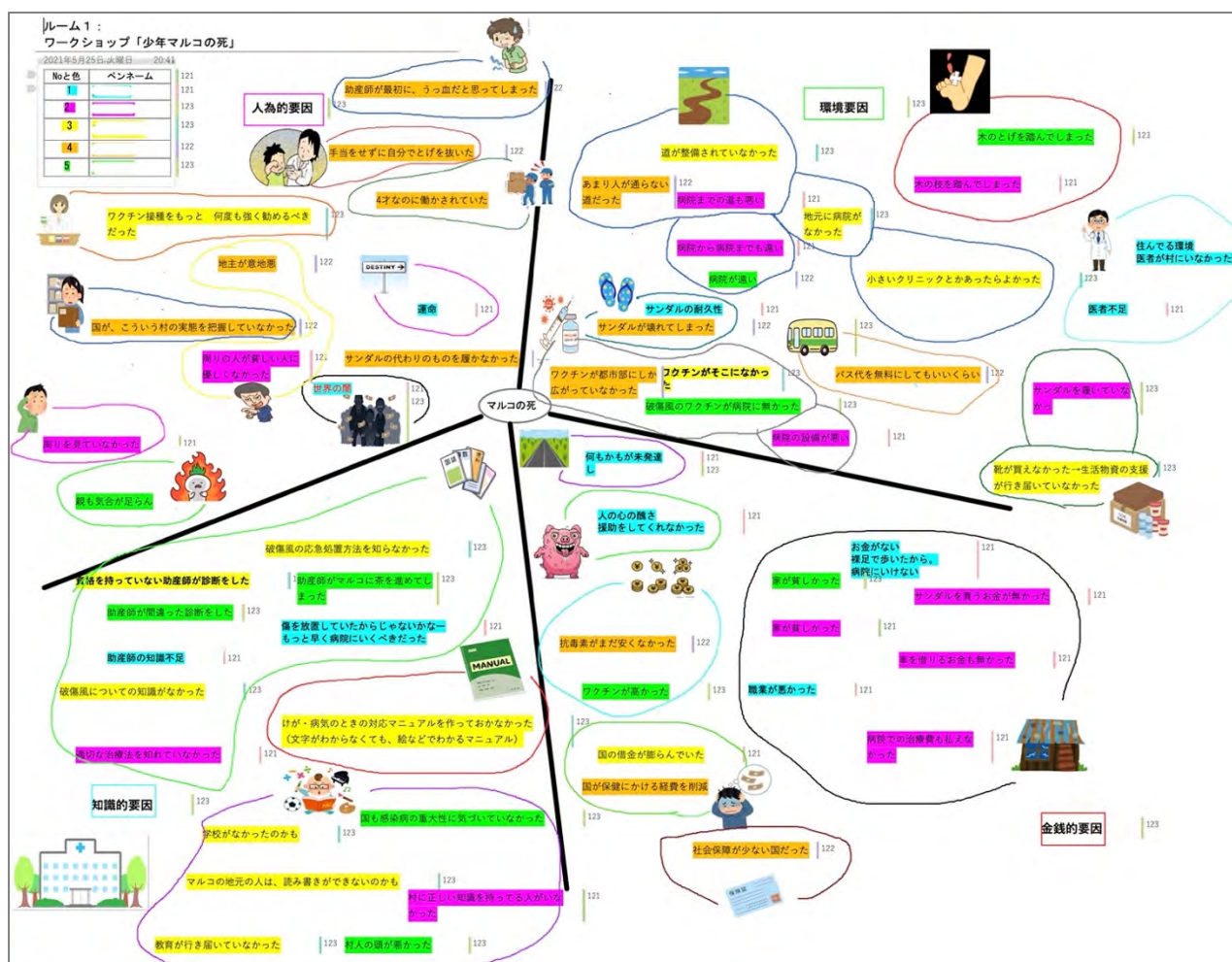


図5 オンライン形式WS（2021年度）で作成されたウェブチャートの例2

謝辞

本研究は JSPS 科研 20K03059 の助成を受けたものです。

参考文献

- 黒田一寿：共助・相互交流促進の仕掛けをもった健康に関する授業の展開，pp. 11-12，日本高専学会第23回年会講演会，2017。
 - 黒田一寿：小グループをベースとした座学の取り組みに対する授業アンケートの自由記述分析による評価，東京工業高等専門学校研究報告書第50号，pp. 32-40，2018。
 - 荒木寿友：ワークショップの構想からみた新しい類型化の試み—連続した取り組みとしてワークショップを展開するために—，立命館教職教育研究（特別号），pp. 3-13，2016。
 - 黒田一寿：ワークショップ形式授業の会話分析～障害の社会モデルの発見～，日本高専学
- 会誌 25 巻 3 号，pp. 55-62，2020。
- 山口誠史（編集責任者）：MDGs ワークショップ実施マニュアル，国際協力 NGO センター（JANIC），2010。
 - 城間祥子：ワークショップを实践できる教師の育成を目的とした授業プログラムの開発，上越教育大学研究紀要，第38巻第2号，2019

（2022年1月14日 受理）

透析治療用止血バンドのずれ防止具の開発

齊藤浩一*, 森悠人*

透析治療後に使用する止血バンドに取り付けてずれを防止するシリコーンゴム製のアタッチメント（ずれ防止具）を試作した。局所圧迫型止血バンドは止血部位に効果的に荷重を与えられるが、突出部が大きいいため手や物にぶつかり腕の円周方向へズレやすい。ずれ防止具は局所圧迫型止血バンドの圧迫荷重の負荷部に取り付け、腕に対する広い接触面積によって摩擦抵抗を増加させ、ズレを抑制する。評価実験の結果、ずれ防止具を装着することで約 3 倍の偏った荷重に対してずれ耐性が向上することが確認された。

（キーワード：人工透析、止血バンド、ずれ、摩擦抵抗）

Development of a Slip Preventer for a Dialysis Hemostatic Band

Hirokazu SAITO*, Yuto MORI*

We developed a prototype of a slip preventer which was made from silicone rubber attached with a hemostatic band used in dialysis treatments. A region compression type of hemostatic band can compress effectively to the hemostasis region, but it can slip in a circumferential direction by contact with the patient's hand or objects to its large projection. The slip preventer was attached to the lower side of the load point of the region compression type of hemostatic band, and it reduce slip by increasing friction with a large contact area to the arm skin. The results of a slip test showed that the slip preventer could tolerate about three times the strength of an unequal load to the hemostatic band.

(Keywords: hemodialysis, slip preventer, slip, friction)

1. はじめに

生活習慣病である高血圧や糖尿病の患者数の増加に伴い、それらの疾病と密接な関係にある慢性腎臓疾患の患者が増加している。腎臓疾患における腎代替療法の中で一般的なものは血液透析であり、透析治療患者数は 1970 年代初頭では 1 万人以下であったが、1990 年に 10 万人を突破し、その後 10 年ごとに 10 万人の増加が続き、2015 年には 32 万人を超えており、腎臓疾患は病気による死因の第 7 位となっている¹⁾。

腎臓疾患の治療法である人工透析は血液を血管から体外に取り出し、濾過器にて老廃物や過剰な水分を除去して再び血管内に循環させる治療方法である。治療後は脱血や返血のために針を刺した部位を圧迫して止血する。しかしながら穿孔部位のシャント（動脈-静脈バイパス）は血液が多く流れており、透析に用いる針（1.2～1.8mm：18～15G）は一般に採血で用いられる針（0.8mm：21G）より太く穿孔部が大きいいため、止血には時間を要する。さらに透析治療では濾過器における血液凝固を抑制する抗凝血剤が投薬されるため、いっそ

う止血されにくい。止血時間は 10～15 分程度であるが個人差が見られ、患者の約 70%を締める 65 歳以上の高齢者では握力が低下し、持続的な止血は困難を伴うことが多い。

透析病院などの施設では止血時の患者の負担を軽減するため、図 1 のような止血バンドが用いられることが多い²⁾。全体圧迫型は止血部位に当てた綿製のパッドを帯状の弾性バンドで押さえて止血する。簡易に用いられるが止血部位以外にも圧力が加わりやすいので、血管を閉塞して血流を遮断しないように注意が必要となる。局所圧迫型は止血部位に集中して圧迫力を負荷する M 字型のステーが弾性バンドに取り付けられているため、血流阻害を防止しやすく患者への負担が少ない。しかしながら局所圧迫型止血バンドは突出部が大きいいため手や物にぶつかり止血位置からズレやすいというデメリットを抱えている³⁾。そこで市販の局所圧迫型止血バンドに取り付けられるズレ防止具の開発を行った。本報では試作したずれ防止具の構造及び、ずれ荷重に対する評価実験結果について述べる。

*機械工学科



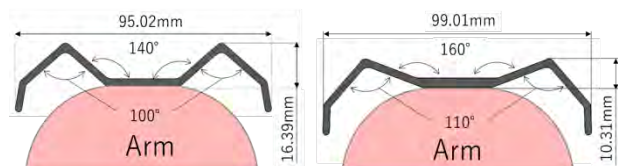
(a) 全体圧迫型 (b) 局所圧迫型

図 1 市販の止血バンドの例

2. 局所圧迫型止血バンド

市販の局所圧迫型止血バンドのM字型ステーの断面構造を図 2 (a) に示す。素材にはポリオキシメチレン (Polyoxymethylene:POM) 樹脂が用いられ、長さ約 95mm、高さ 16.4mm、奥行き方向の長さは固定用の弾性バンド幅に合わせた約 25mm である。止血部位に面する部分の長さは約 30mm である。M字の凹み部の角度は左右にそれぞれ 140 度、凸部は 100 度である。ステーの両端には弾性バンドが取り付けられ、腕に巻き付けられる。このとき締結力は腕の上部では止血部位に集中して負荷され、下部では弾性バンドの接触面全体に分散される。このため内部の血管を過剰に圧迫して血流を阻害することなく止血が可能となる。

図 2 (b) は金光ら³⁾により改良されたM字型ステーの断面構造である。市販品と同等の止血圧迫力を維持しつつ、腕からの突起の高さを抑制することで治療中に不意に接触しにくい形状となっている。しかしながら接触の機会が減少するものの、止血の作用点から離れた両端に弾性ゴムバンドの締結力の作用点があるため、接触があった時に発生するモーメントが大きく、不安定さは解決されていない。



(a) 市販バンド (b) 形状改良されたバンド

図 2 局所圧迫型止血バンドの構造

3. ずれ防止具

3.1. ずれ防止具の構造

止血バンドのM字型バンドは止血圧力を対象部に効果的に集中させるが、周辺部が腕から浮い

ているため、外部から力を受けるとずれやすい。そこで止血圧力の集中を妨げず、ずれのモーメントを抑制するアタッチメント（ずれ防止具）を取り付けることでずれの防止を試みた。

ずれ防止具は局所圧迫型止血バンドの圧迫荷重を付加する部位に取り付け、腕に対する広い接触面積によって摩擦抵抗を増加させ、ズレの抑制を図る。図 3 にずれ防止具の断面構造を示す。奥行き方向の長さは止血バンドの幅に合わせた 25mm である。材料には生体適合性の高いシリコンゴム（信越化学工業株式会社、KE-103）を用いた。止血圧力は上面の平坦部分でM字型ステーから受け、止血綿を介して止血部位に圧力をかける。上面平坦部から緩やかに止血綿を包む形状とすることで、止血綿のずれや脱落の防止を図っている。ズレ防止具の両端には腕上面を密着して覆うように足を設け、足と皮膚表面の摩擦力によりずれを抑制する形状とした。足部の形状は高齢男性の腕の平均サイズ⁴⁾に基づいて設計した。

図 4 は市販されている止血綿の例である。施設によって錠剤状、そら豆状、楕円筒状の止血綿が用いられている。

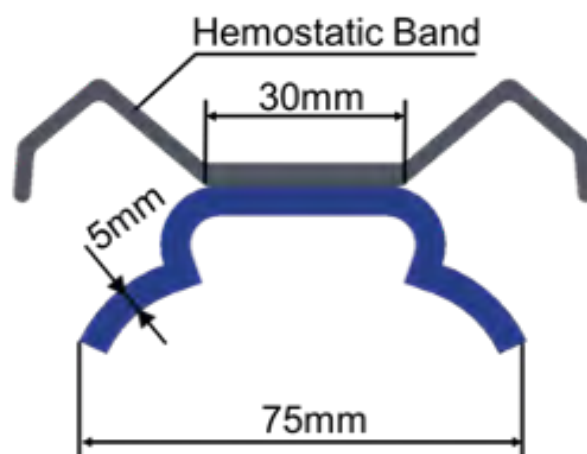


図 3 ずれ防止具の構造



図 4 止血綿の例

図5にずれ防止具の型枠を示す。型枠はアルミニウムのブロックからワイヤーカッターで切り出した。成形においては型枠内部に剥離材（信越化学工業株式会社，バリヤコート No. 6）を塗布した後に主剤と硬化剤を混合したシリコンゴムを流し込み，デシケータにて脱気しながら硬化させた。

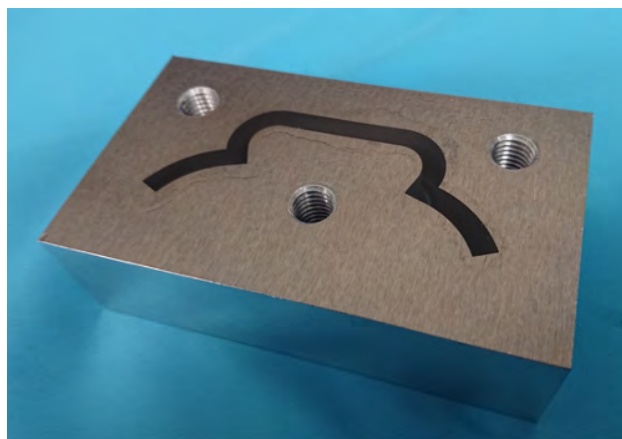


図5 ずれ防止具の型枠

3.2. ずれ防止具の構造パラメータ

ずれ防止具は足部と肌と間の摩擦を利用してずれに対する抗力を得る。そのため図3に示したように，足部の長さは固定用の弾性バンドが干渉しないことを前提にできる限り長い方が望ましいと考えられる。また，止血圧力を介する部分の面積をM字型ステーと同等にして圧力の変化を生じない大きさが望ましいと考えられる。そこで形状の変化がずれに対する耐性に与える影響を検討するため，表1に示すようなタイプのずれ防止具を設計した。

表1 ずれ防止具の構造パラメータ

名称	角度	接触面積	形状
No.1	90°	675 mm ²	
No.2	135°	1231 mm ²	
No.3	90°	1231 mm ²	
No.4	90°	1231 mm ²	

- ・No. 1: 基準タイプ
- ・No. 2: 基準タイプより一回り幅が広く，腕に密着させるため接触角度を大きくし，さらに足部の接触面積を約2倍にしたタイプ
- ・No. 3: 基準タイプの足部の接触面積を約2倍にしたタイプ
- ・No. 4: そら豆状，楕円筒状の止血綿の利用時に安定して固定できるように窪みを設けたタイプ

4. ずれ防止具の性能評価実験

4.1. 実験方法

製作したずれ防止具の耐ずれ性能を評価するため，図6に示す実験系を構築した。局所圧迫型止血バンドにズレ防止具を取り付け，採血訓練に用いられているシリコンゴム製の腕モデル（株式会社高研，静脈採血注射モデルI型）に止血バンドを適正止血圧の40mmHg（1.7N）となるように締結した。止血綿は楕円筒状のSPコットンを用い，図7に示すようにロードセルを装着して止血荷重を計測した。

止血バンドに定量的な接触力を負荷するため，止血バンドの片側に重り（分銅）を吊り下げることで荷重を掛けた。荷重で止血バンドがずれることでロードセルの出力値が変化するが，ずれが大きくなり止血荷重が負荷されなくなるまで荷重を増加させた。

なお，生体組織を模した腕モデルの表面は弾性係数が小さく柔らかいため，ロードセルの感圧部の突起が埋没して正しい反力が得られないため，アルミニウム製の円盤（直径19mm，厚さ4mm）を圧力子として腕モデルの皮膚と感圧部の間に挟んだ。

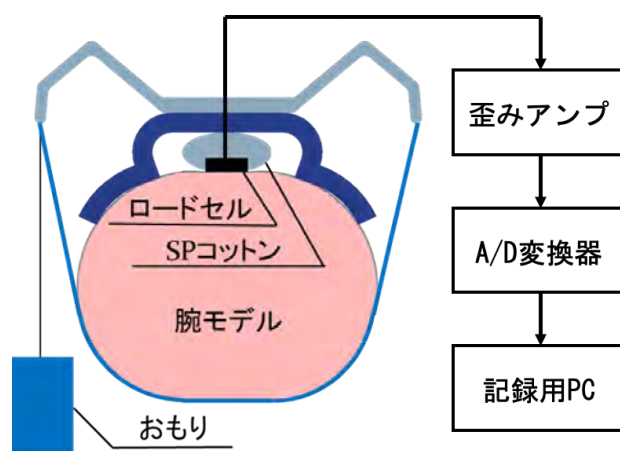


図6 耐ずれ荷重の評価実験

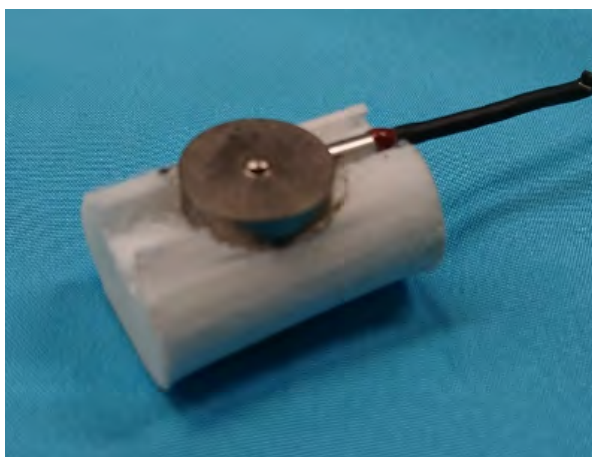


図 7 止血綿に装着したロードセル

4.2. 実験結果及び考察

各タイプのずれ防止具を装着した局所圧迫型止血バンドの片側に負荷を与え、ずれにより脱落して止血荷重が負荷されなくなるまで荷重を増加させた時の止血力を図 8 に示す。止血バンドは適正止血力になるように腕モデルに装着したため、グラフの縦軸は適正止血力をゼロとして変化分をプロットした。局所圧迫型止血バンドのみを腕モデルに装着してずれ荷重を負荷した時は負荷の増加にともない止血力が大きく増大し、1.18N の負荷のときに止血力は約 0.32N となり、これ以上の負荷を与えると止血バンドが脱落した。No. 1 は負荷荷重による止血力の増大は少なく、0.69N の負荷の時に最大値となり (図中①)、1.96N の負荷で

脱落するまで初期止血力よりも減少し続けた。No. 2 は負荷荷重をかけ始めると 0.98N の負荷時 (図中②) まで初期止血荷重よりも約 0.5N 減少し、その後は 1.67N の負荷で脱落するまで大きく減少した。No. 3 は 1.47N の荷重 (図中③) まで止血力が増大し、1.96N の負荷で脱落するまで止血力が減少した。これら①～③は止血バンドの締結力による止血力への作用状態が変化したことを示しており、止血部位のずれが発生したと考えられる。各タイプのずれ発生時及び脱落時の負荷荷重を表 2 に示す。

表 2 各タイプのずれ発生時及び脱落時の負荷荷重

size	Nothing	No.1	No.2	No.3
first slip [N]		0.69	0.98	1.47
final slip [N]	1.18	1.96	1.67	1.96

止血バンドの片側 (力点側) に荷重を負荷した場合、バンドが腕から滑らないと仮定すると、反対側はバンドが伸びながら支点となり、止血部位付近を作用点としたテコのように力が働くと考えられる。負荷荷重による M 字型ステーのたわみやバンドの伸び、ロードセルにかかる力の方向の変化などによりロードセルに作用する力は減少する。この減少分の力が止血バンドに腕の円周方向にずれを生じさせる。ずれ防止具を装着すると止血バンドを単体で用いた場合に対して全てのタイプで負荷時に止血部位にかかる力は小さくなった。こ

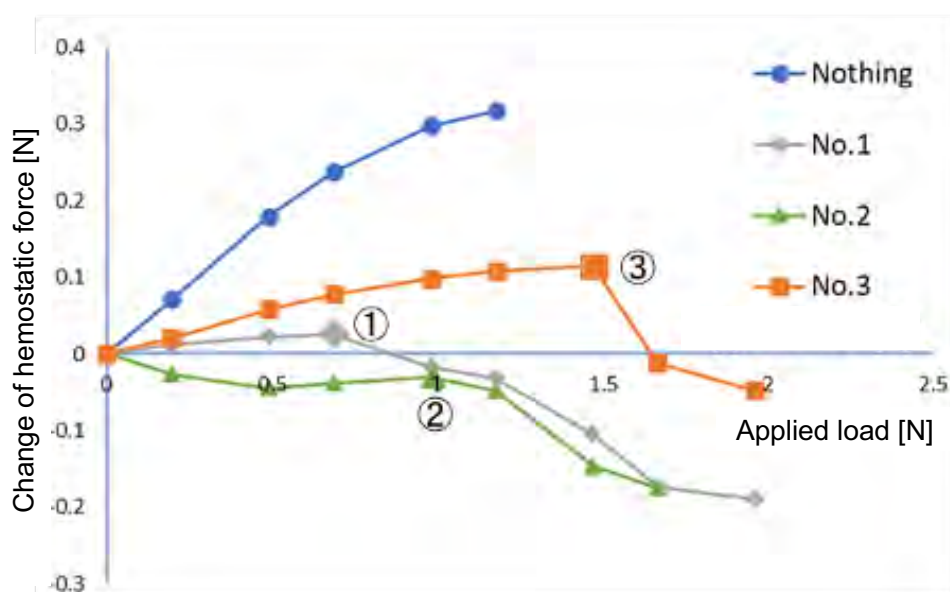


図 8 ずれ荷重と止血力の関係

れはずれ防止具の素材がシリコンゴムであるため POM 製の M 字型ステーよりも柔らかいため変形し、ずれ荷重を吸収したと考えられる。特に No. 2 は荷重を受ける部位の幅が広い変形しやすく、止血綿との接触せずに拘束されない部位が広がる。そのためロードセルを浮かせるような変形を生じ、②に至るまでの止血力の低下を呈したと考えられる。①～③以降は負荷の増大に関わらず止血力が低下するのは、ずれ、もしくはずれ防止具の変形が著しくなり止血作用が機能していない状態であると言える。しかしながら全てのタイプのずれ防止具は止血バンドが脱落するまでの負荷荷重を少なくとも約 0.5N 大きくさせ、ずれの防止に効果があった。

No. 1 は他のタイプに対して足部の面積が半分であり、腕モデルとの摩擦が小さい。①のずれ発生が他のモデルよりも小さい荷重で発生したのはこの摩擦の小ささに起因すると言える。そして前述のように、さらに荷重が増大するに伴ってずれも大きく発生し、止血力を低下させたと言える。

No. 3 は③の 1.5N の負荷荷重まで止血部位にかかる力を維持することができた。これは No. 1 に対して約 2 倍の足部面積を有することで腕モデルとも摩擦を確保し、同様の足部面積を有する No. 2 よりも荷重を受ける部位の幅が小さいため変形量も小さいためと言える。

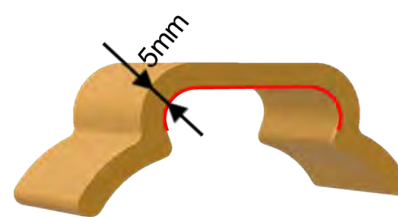
以上より、ずれ防止具の装着により局所圧迫型止血バンドの耐ずれ性は 1.18N から 1.96N に約 7 割向上し、ずれが発生した後も適正止血荷重を維持できることから、ずれ防止具の有用性を確認することができた。また、ずれ防止具は受荷部位が止血綿を保持しやすかつ変形しにくい形状であること、足部は固定用の弾性バンドと干渉しないことを前提に摩擦力を得るための長さを確保することが有効であることが示された。

4.3. そら豆状/楕円筒状止血綿利用への対応

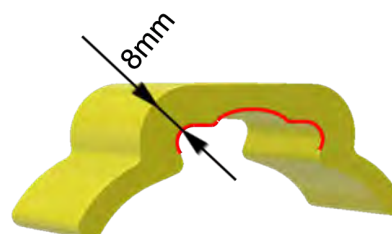
試作したずれ防止具は M 字状ステーの加圧面に密着するように平坦な上面を有し、下面の加圧面も同様に平坦な構造になっている。そのため平坦な面で接する錠剤状の止血綿を利用する場合は安定感が得られる。しかしながら臨床では施設によってはそら豆状、楕円筒状の止血綿や折り返したガーゼなどが使用されている。これらの止血綿やガーゼを全体圧迫型止血バンドで固定して圧迫止血する場合は問題ないが、局所圧迫型止血バン

ドでは M 字型ステーの圧迫部が平面状で硬いため、固定が不安定になってずれやすい。ずれ防止具の素材はシリコンゴムであるため、POM 製の M 字型ステーよりも柔らかいが、そら豆状、楕円筒状の止血綿の局面に馴染んで保持できるような柔軟性は有していない。

そこで、そら豆状や楕円筒状の止血綿を利用する場合でも安定した装着を可能とするための改良を試みた。止血綿接触部の形状に改良を加えたタイプの外観を図 9 (b) に示す。ずれ防止具の足部の形状は No. 3 の対応と同様であるが、止血綿と接触する部位にくぼみを持たせることで止血綿を保持するような効果を狙った。くぼみの形成で薄くなった部分の強度不足を解消するため、厚さは 8mm に変更した。改良したずれ防止具の耐ずれ荷重を評価するため、4.1 節と同様の条件で実験を行った結果を図 10 に示す。



(a) 錠剤状止血綿用タイプ (No. 3)



(b) そら豆状/楕円筒状止血綿対応タイプ (No. 4)

図 9 止血綿接触部の形状変更

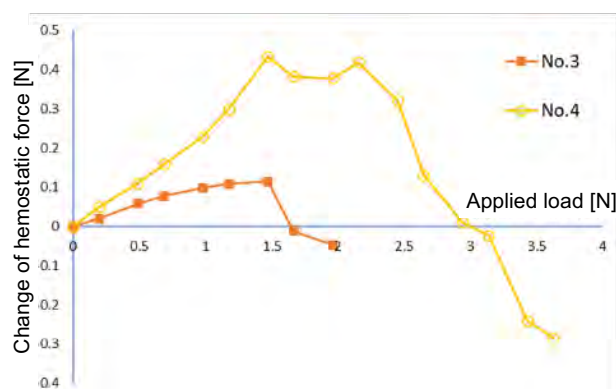


図 10 No. 4 タイプの耐ずれ荷重評価実験結果

曲面を有する止血綿を保持するような形状に加圧面を変更した No. 4 の止血力は止血バンドの片側へ負荷の増加に伴って増加し、約 1.5N の負荷時にピークを呈し、さらに約 2.2N の負荷時に 2 回目のピークを呈したのちに減少し、3.63N の負荷で脱落した。止血力の大きさは No. 3 と比較して大きく、1.18N の負荷時の止血力は局所圧迫型止血バンドを単体で用いた時をほぼ同様の約 0.3N となり、さらに負荷の増加に伴って増加した。これは No. 3 のずれ防止具に比べて負荷による変形が抑制され、止血バンド単体よりもずれが抑制されたことを示していると考えられる。止血力は 1 つ目のピークの後に変形やずれのために一時減少するが、その状態で安定するため再度増加して 2 つ目のピークを呈したと考えられる。最終的に脱落する負荷荷重は No. 3 及び止血バンド単体時のそれぞれ約 2 倍及び 3 倍であり、改良した No. 4 の形状のずれ防止具は大きな耐ずれ性能を有していることが示された。

4.4. 医療従事者へのヒアリング

試作したずれ防止具について透析治療に従事している神奈川県内の R クリニックの看護師長にヒアリングを行った。ヒアリングには図 1 1 に示すように M サイズ及び L サイズ局所圧迫型止血バンドに No. 3 及び No. 4 のズレ防止具をそれぞれ取り付けたものを用いた。



(a) M サイズ-No. 3

(b) L サイズ-No. 3



(c) サイズ M-No. 4

(d) L サイズ-No. 4

図 1 1 ヒアリングに用いた止血具

その結果、「装着時の安定性が向上し、市販の止血バンドと比較して使い勝手が良さそうである。また、止血に不慣れなスタッフでもガーゼや止血

綿を固定しながら操作できるため、安定した装着が行えることが期待できる」との意見を得た。また、臨床に使用するには至らなかったが、ダミーの腕への装着に対して下記の意見が得られた。

- 止血バンド単体よりも安定性がある。
- No. 3 より No. 4 が使いやすく、安定性がある。
- 当院で使用しているガーゼにも対応できる。
- 経験が浅いスタッフでもガーゼをズレ防止具で抑えることができるため、使用時の簡便化を感じた。
- ズレ防止具の耐久性を証明してほしい。
- 前腕以外に上腕にも対応して欲しい。

ヒアリングで得られた意見のように試作したずれ防止具は患者に確実に装着でき、安定した止血が行えることが期待された。一方で耐久性について検証がなされていないことから、繰り返しの脱着や荷重負荷、アルコールなどによる消毒液に対する耐性などについての試験を要すると言える。

5. まとめ

透析治療後に使用する局所圧迫型止血バンドのずれ防止具を試作した。評価実験の結果、ずれ防止具を取り付けることで約 3 倍の偏った荷重に対してずれ耐性が向上することが確認された。透析スタッフへのヒアリングにおいても「経験の浅いスタッフでも確実な装着が行えることが期待できる」との意見が得られ、ズレ防止具の有用性が確認された。

謝辞

機材提供等の支援を頂いた田倉繻帯株式会社に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 厚生労働省：腎疾患対策検討会報告書～腎疾患対策の更なる推進を目指して～，2018
- 2) 日本衛材株式会社：日本衛材総合カタログ no. 9, p27, 2013
- 3) 金光創太郎：透析治療用止血用バンドの構造改良に関する研究，2017 年度東京工業高等専門学校卒業研究論文，pp.11-15, 2018.
- 4) 江良和雄他：各種透析用止血クランプの開発，透析会誌 18(1)，pp. 35-38, 1985.

(2021 年 8 月 4 日 受理)

教育用塑性加工シミュレータの開発

小泉隆行*

教育用塑性加工シミュレータを開発し、代表的な塑性加工法の一つである円筒深絞り加工を例題に、本シミュレータの性能を検討する。はじめに、微視的塑性論と巨視的塑性論をパブリックドメインソフトウェアである動的陽解法有限要素コード DYN3D に実装し、面内異方性を持つアルミニウム合金板の円筒深絞り加工で発生する絞りカップ耳形状の予測シミュレーションを実施した。巨視的塑性論よりも微視的塑性論において、絞りカップ耳形状が良好に予測される。次に、絞りカップ耳形状に顕著な影響を与えるブランク縁部の要素を微視的塑性論、それ以外の要素を巨視的塑性論とし、微視的塑性論を適用する要素領域を広範囲に変化させて絞りカップ耳形状と計算時間の関係を調査した。ブランク縁部の約 40%に微視的塑性論を適用することで、実験結果と同等の絞りカップ耳形状が得られる。さらに、計算時間が従来の 40%程度に短縮できることから、本シミュレータは教育用ツールとして十分な性能を有することを示唆する。

(キーワード: 多結晶塑性, アルミニウム合金, 集合組織, 円筒深絞り加工, 面内異方性)

Development of Metal Forming Simulation Software for Educational Use

Takayuki KOIZUMI*

This study presents a practical method based on a crystal plasticity theory to predict earing profiles in a deep cup-drawing process from crystallographic texture data. The author implements the extended Taylor model as a crystal plasticity theory and Hill's quadratic yield function as a phenomenological plasticity theory, into an explicit finite element program for structural/continuum mechanics (DYN3D). Considering the fact that ears are formed on the rim of a blank during deep cup-drawing, the crystal plasticity theory is applied to only the elements around the rim of the blank that has a pronounced effect on earing profiles, whereas the phenomenological plasticity theory is applied to the remaining regions of the blank. In the numerical analysis of deep cup-drawing of an aluminum blank with a drawing ratio of 1.94, the area occupied by elements to which the crystal plasticity theory is applied is varied in a wide range, and the effect of the variation is investigated in terms of the earing profiles and computation time. It is observed that the application of the crystal plasticity theory to approximately 40% of the blank can express the actual earing profiles of cups drawn with a sufficiently high accuracy. Moreover, in that case, the computation time is reduced to 40%, compared to that required for the full crystal plasticity analysis.

(Keywords: Polycrystal plasticity, Aluminum alloys, Texture, Deep cup-drawing, In-plane anisotropy)

1. 緒言

近年では、製品設計から生産プロセスに至るまで、ものづくりに関する幅広い分野でコンピュータが援用されており、リードタイムの短縮を図って生産性を向上させる取り組みが活発化している。このデジタルエンジニアリングの中心には、有限要素法をベースとしたシミュレーション技術が存在する。塑性加工は自動車などを構成する多くの部品の大量生産に広く用いられている加工であり、日本のものづくりや経済発展を支えてきた重要な技術である。最近ではシミュレーションの活用に

より、試作回数の低減を目指したトライレス設計が検討されており、産業界から大きな期待が寄せられている。有限要素法によるシミュレーションは、高精度の解析結果を容易に得ることができる反面、材料特性、境界条件、解析条件などで結果が大きく左右される。特に、大変形を取り扱う塑性加工シミュレーションでは、多くの仮定や近似を含むことから、解析結果にはこれらの影響も当然付加される。有限要素法のみならず、多結晶塑性モデルや異方性降伏関数などの材料モデルに関する知識がなければ、最適な解析条件や解析結果

* 機械工学科

の妥当性について判断することは困難であろう。それゆえ、若年技術者や学生に対して、高度な専門的知識を必要とする塑性加工シミュレーションの技術教育は必要不可欠である。しかしながら、商用の有限要素解析ソフトウェアは、高額なライセンス料が大きな負担になることから、必ずしも教育用途に適さない場合がある。本研究では、パブリックドメインソフトウェアである動的陽解法有限要素解析コード DYNA3D¹⁾を改良し、教育用塑性加工シミュレータを開発する。代表的な塑性加工法の一つである円筒深絞り加工を例題として、本シミュレータの性能について検討を行う。

2. 教育用塑性加工シミュレータ

パブリックドメインソフトウェアである動的陽解法有限要素解析コード DYNA3D に微視的塑性論及び巨視的塑性論を実装する。これにより、塑性加工における異方性材料の弾塑性変形挙動について、微視的もしくは巨視的な観点から、それぞれ解析することが可能となる。塑性加工に関する有限要素モデルの作成と解析結果の表示（変形状態や、そのひずみ分布など）には、プリポストプロセッサソフトウェアを用いる。近年では、有償から無償のものまで幅広い選択肢が存在することから、使用者の環境に応じて最適なソフトウェアを選択すれば良い。

2.1. 微視的塑性論

微視的塑性論には結晶塑性論（多結晶モデル）を用いる。結晶塑性論は多結晶金属材料の塑性挙動について、その構成要素である単結晶の塑性特性をもとに論ずるものである。すなわち、単結晶の塑性特性が既知であるとき、多結晶体の塑性挙動は単結晶の塑性特性の重ね合わせで求められる。単結晶の構成モデルは、Peirce ら²⁾によって提案された速度依存形モデルを適用する。アルミニウム合金を対象とするため、{111}〈110〉の 12 すべり系を考慮する。各すべり系のすべり速度を次式で与える。

$$\begin{aligned}\dot{\gamma}^{(\alpha)} &= \dot{\gamma}_0 \operatorname{sgn}(\tau^{(\alpha)}) \left| \frac{\tau^{(\alpha)}}{g^{(\alpha)}} \right|^{1/m}, \\ \dot{g}^{(\alpha)} &= h \sum_{\beta} |\dot{\gamma}^{(\beta)}|\end{aligned}\quad (1)$$

$$\begin{aligned}h &= h_0 \left(1 + \frac{h_0 \gamma_a}{\tau_0 n} \right)^{n-1}, \\ \gamma_a &= \int_0^t \sum_{\alpha} |\dot{\gamma}^{(\alpha)}| dt\end{aligned}\quad (2)$$

ここで、 $\dot{\gamma}_0$ は基準すべり速度、 m はひずみ速度敏感性指数、 $g^{(\alpha)}$ は第 α 番目すべり系におけるすべり抵抗、 h_0 は初期硬化係数、 τ_0 は $g^{(\alpha)}$ の初期値、 n はすべりの加工硬化指数、 t は時間である。多結晶体については弾性ひずみを考慮する拡張テイラーモデル³⁾を用いる。各結晶粒の体積は等しいものと仮定し、巨視的応力は各結晶粒の応力値の平均として得られるものとする。

2.2. 巨視的塑性論

巨視的塑性論には、現象論的塑性論を用いる。現象論的塑性論とは、微視的には無限に近い自由度を持つ物体の変形挙動を巨視的に見た場合に、できる限り少ない変数で近似表現し、定式化したものである。本研究では、Hill の 2 次異方性降伏関数⁴⁾を用いる。この降伏関数は、直交異方性主軸の存在を前提に、圧延方向からの角度を変化させた単軸引張試験をもとに式中の異方性パラメータを算出し、材料の異方性を表現する。ひずみ速度依存性を仮定して降伏関数を次式のように与える。

$$f = J - \left[g(\varepsilon^P) + D m \ln \left(\frac{\dot{\phi}}{\dot{\varepsilon}_R} \right) \right] = 0 \quad (3)$$

J は相当応力を表し、圧延板を対象とすることから、平面応力状態を仮定する。板厚方向の応力成分は $\hat{\sigma}_{33} = \hat{\sigma}_{31} = \hat{\sigma}_{32} = 0$ とおくことができ、次式で定義することができる。

$$\begin{aligned}J(\boldsymbol{\sigma}, \mathbf{n}_i, \varepsilon^P) &= \sqrt{\frac{3}{2(F+G+H)}} \left[F \hat{\sigma}_{22}^2 \right. \\ &\quad + G \hat{\sigma}_{11}^2 \\ &\quad + H (\hat{\sigma}_{11} - \hat{\sigma}_{22})^2 \\ &\quad \left. + 2N \hat{\sigma}_{12}^2 \right]^{1/2}\end{aligned}\quad (4)$$

$$\hat{\sigma}_{ij} = \mathbf{n}_i \cdot \boldsymbol{\sigma} \cdot \mathbf{n}_j \quad (5)$$

F, G, H, N は異方性パラメータであり、 r 値によって決定される。 $\mathbf{n}_i$ は異方性主軸を表す単位ベクトル、 $\hat{\sigma}_{ij}$ はこの異方性主軸を参照した応力の成分である。また、ひずみ硬化関数 $g(\varepsilon^P)$ を次式のように仮定する。

$$g(\bar{\epsilon}^P) = \sigma_0 \left(1 + \frac{\bar{\epsilon}^P}{\epsilon_0} \right)^n \quad (6)$$

ここで、 σ_0 は初期降伏応力、 ϵ_0 は無次元パラメータ、 n はひずみ硬化関数である。

続いて、異方性パラメータの算出について説明する。板材面内の圧延方向から 0° (RD), 45° (DD), 90° (TD) 方向に採取した試験片から単軸引張試験により r 値 (板幅方向と板厚方向の塑性ひずみ比) を求め、それぞれを r_0, r_{45}, r_{90} とする。異方性パラメータ F, G, N は、 H を基準とする比の形で次のように表すことができる。

$$\begin{aligned} \frac{G}{H} &= \frac{1}{r_0}, & \frac{F}{H} &= \frac{1}{r_{90}}, \\ \frac{N}{H} &= \left(r_{45} + \frac{1}{2} \right) \left(\frac{1}{r_0} + \frac{1}{r_{90}} \right) \end{aligned} \quad (7)$$

$H = 1$ としても一般性を失わないので次式を得る。

$$\begin{aligned} G &= \frac{1}{r_0}, & F &= \frac{1}{r_{90}}, \\ N &= \left(r_{45} + \frac{1}{2} \right) \left(\frac{1}{r_0} + \frac{1}{r_{90}} \right) \end{aligned} \quad (8)$$

これにより、3 方向の r 値 (r_0, r_{45}, r_{90}) を求めることで異方性パラメータを決定できる。

3. アルミニウム合金板の円筒深絞り加工解析

アルミニウム缶 (缶胴部) は、代表的な塑性加工法の一つである円筒深絞り加工によって製造されている。アルミニウム合金板の円筒深絞り加工を例題として、本シミュレータの性能を検討する。

3.1. アルミニウム缶製造時の問題点

アルミニウムは加工性や熱伝導性の高さ、更には人体への影響が無く、無味無臭といった特徴を有することが飲料缶への適用拡大に繋がった要因と言える。年間に消費されるアルミニウム缶は、約 30 万 1 千トン (平成 19 年度) にも及び、およそ 9 割のリサイクル率を誇る。製缶は既に熟成された技術と認識されがちだが、現在でも様々な問題点を抱えている。代表例として、缶の周方向の縁部が凹凸形状に変形する「耳」の発生が挙げられる (図 1)。製缶工程では耳を除去した後に蓋部材を取り付けているため、歩留まり低下などの対策から、加工時に耳の発生が少ない板材が求められている。缶材に使用されるアルミニウム合金板は、板材製造時の圧延工程の影響を受けて、結晶方位が特定の方向に偏った分布を持つ。これを集

合組織という。例えば、板材の単軸引張試験において、RD や TD など、試験片の面内切り出し方向の違いに応じて力学的特性が変化するのは、集合組織による影響が大きい。すなわち、集合組織によって板材の面内異方性がもたらされ、それが製缶時の耳の発生を招くことになる。



図 1 円筒深絞り加工で生じる「耳」

3.2. 解析条件

3.2.1. 解析モデル

絞り比 1.94 の円筒深絞り加工実験 (図 2) をもとに作成した有限要素モデルを図 3 に示す。形状の対称性から 1/4 領域を解析対象とし、ブランク (板材) とブランクホルダーは 8 節点ソリッド要素、パンチとダイは 4 節点剛体要素を用いた。ブランクは板厚方向へ 1 分割の 1620 要素、各要素は 1 点積分とした。x 軸を圧延方向、z 軸を板厚方向にとり、x-z 面上の変位は y 軸方向に、y-z 面上の変位は x 軸方向に拘束した。パンチ速度は速度スケールリングを考慮して 0.01 mm/s とした。

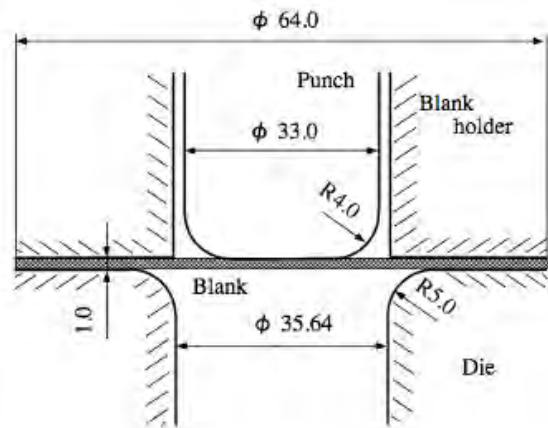


図 2 円筒深絞り加工に用いた実験寸法

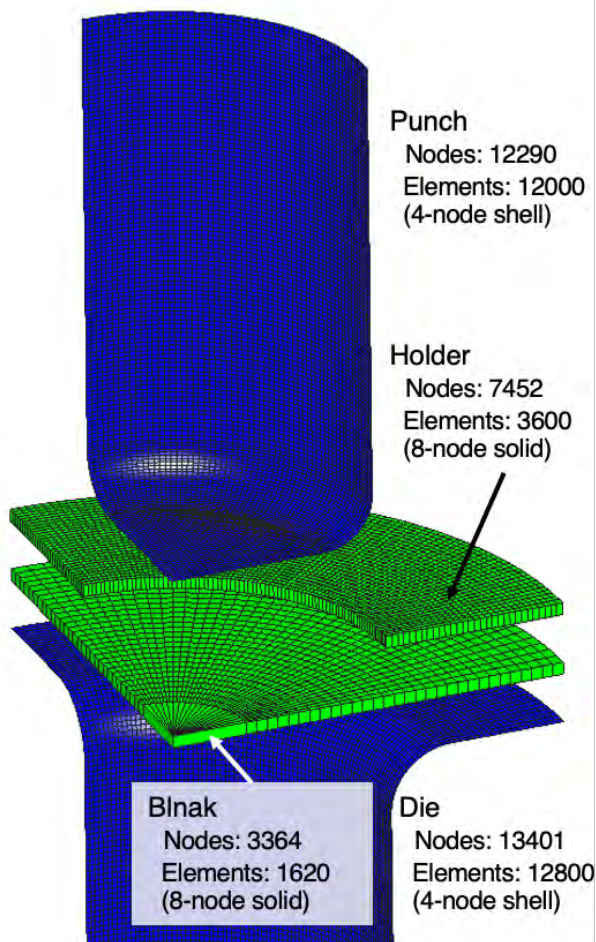


図 3 円筒深絞り加工の有限要素モデル

3.2.2. 微視的塑性論に用いる板材の異方性情報

板材の集合組織情報を測定し、その結果を入力データとして微視的塑性論に用いることで、微視的レベルから板材の面内異方性を考慮した解析が可能になる。圧延工程を経たアルミニウム合金板材に対して、X線回折により3面の不完全極点図を測定した。三次元方位解析⁹⁾よりODF (Orientation Distribution Function) を求め、得られたODFから直接的に集合組織を再製した。1600個の離散的結晶方位としてモデル化した集合組織の{111}極点図を図4に示す。解析では、この集合組織から各積分点に対して、ランダムに8方位を選択した。

3.2.3. 巨視的塑性論に用いる板材の異方性情報

単軸引張試験から得られる r 値を巨視的塑性論に用いることで、巨視的レベルから板材の面内異方性を考慮した解析が可能になる。モデル化した集合組織(図4)を用いて、多結晶塑性単軸引張

解析から得られた r 値($r_0 = 1.21$, $r_{45} = 0.60$, $r_{90} = 1.22$)をもとに、式(8)における異方性パラメータ(F, G, N)を決定した。

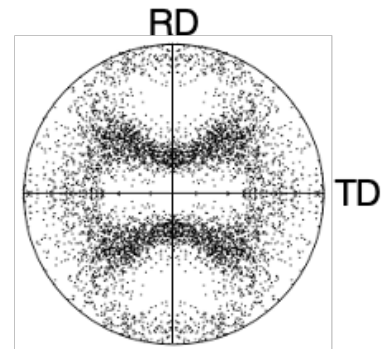


図 4 ODF からのモデル化による{111}極点図

3.3. 各塑性論による解析結果

巨視的塑性論による解析中の変形過程を図5に示す。微視的塑性論及び巨視的塑性論による解析終了後の変形図を図6に示す。変形図中のコンターは相当塑性ひずみ分布を表している。図6のカップ縁部において、両理論による解析結果とともに、 0° (RD), 90° (TD) 付近で耳の発生が確認できる。また、 45° 付近では、相当塑性ひずみが局所的に大きい。耳の発生位置は r 値と相関があり、以下の知見が示されている⁹⁾。① r 値が大きい方向では、絞り変形による板厚増加が起きにくいので、材料がカップの高さ方向に逃げて耳となる。② r 値が小さい方向では、板厚増加が起こりやすいため、材料がカップの高さ方向に逃げずに「谷」となる。3.2.3での数値実験により算出された本板材の r 値は、 $r_0 = 1.21$, $r_{45} = 0.60$, $r_{90} = 1.22$ である。本解析結果においても、 0° と 90° 付近での耳及び 45° 付近での谷形状、谷の位置での板厚増加に伴う相当塑性ひずみの局所的な増加を定性的に再現できている(図6)。

解析結果と実験結果の詳細な比較を実施するため、RDからの角度に対するカップ高さを図7に示す。カップ高さはカップの接地面から上端までの高さを表している。巨視的塑性論では、全体的に耳と谷を過大に評価している。一方、微視的塑性論では、全体的なカップ高さが僅かに高くなるが、耳と谷の形状そのものは実験結果を精度良く予測できている。本シミュレータでは、微視的塑性論のほうが、巨視的塑性論よりも解析精度が高いことがわかる。

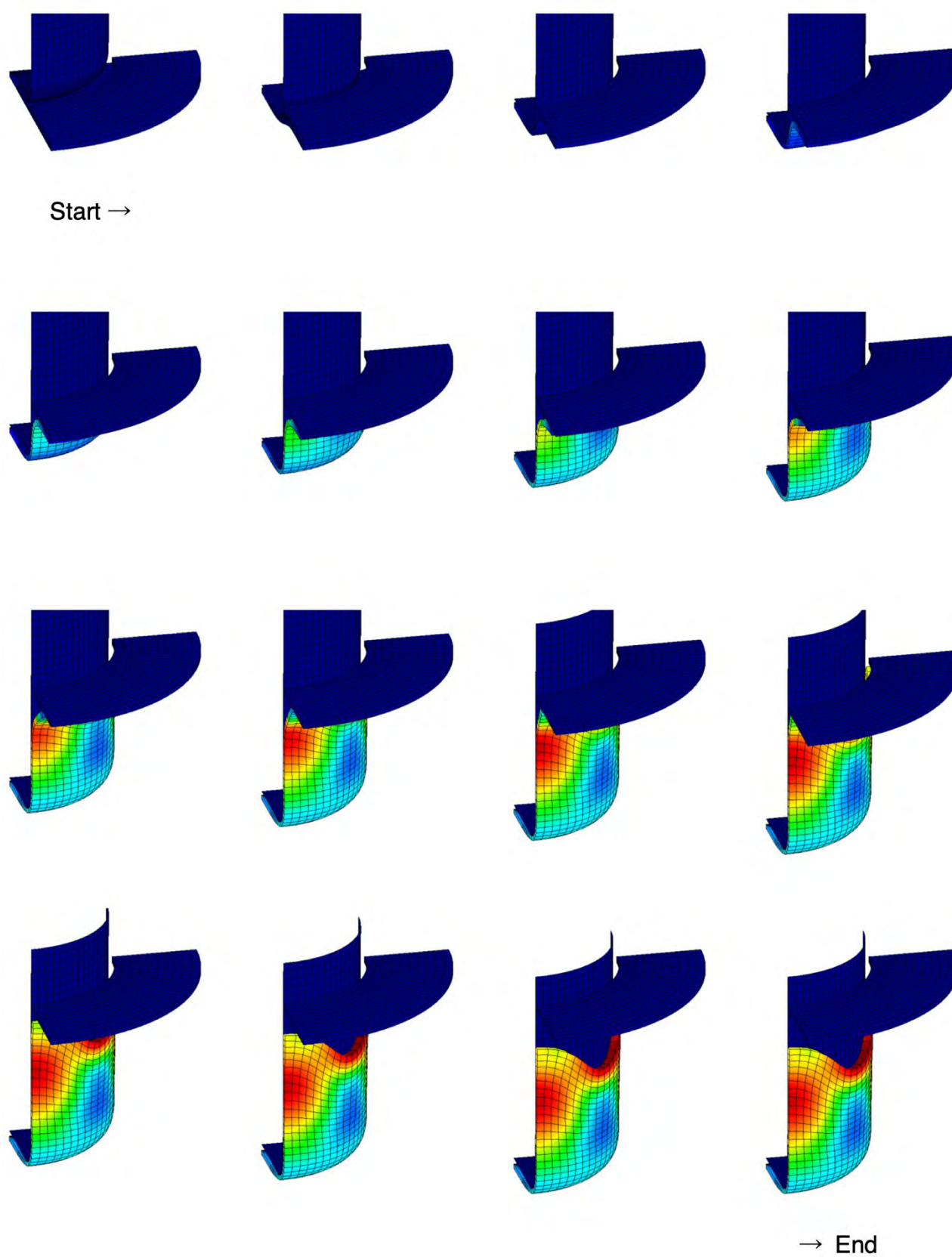


図 5 円筒深絞り加工解析中の変形過程

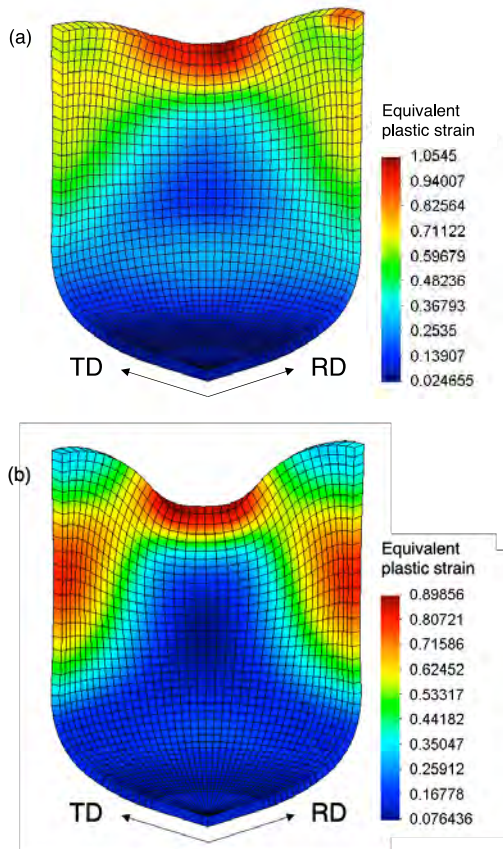


図 6 円筒深絞り加工解析後の変形図 ; (a) 微視的塑性論, (b) 巨視的塑性論

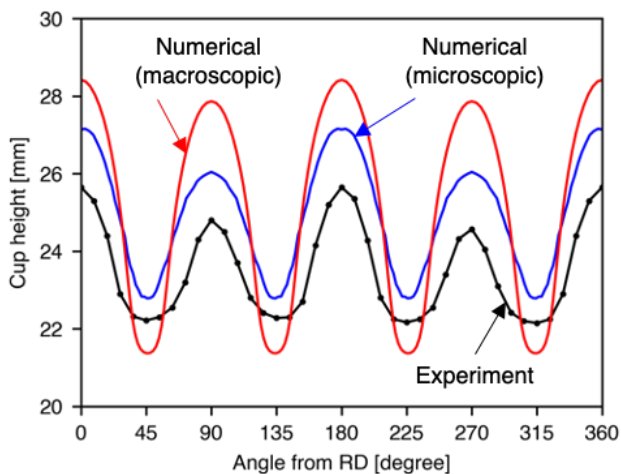


図 7 RD からの角度に対するカップ高さ

3.4. 実用的解析手法の検討

本シミュレータでは、微視的塑性論のほうが巨視的塑性論よりも解析精度が高いが、計算時間では巨視的塑性論に分がある。図 8 に示すように、解析精度が必要なカップの縁の要素は微視的塑性論とし、その他の要素は巨視的塑性論を用いて解析を実施すれば、精度を保持したまま計算時間を

短縮できると考えられる。この時短手法を検討するため、微視的塑性論を用いて解析する要素数を全要素数の 0% から 100% まで約 20% ずつ変化させた場合の耳形状と解析時間の変化を調査した。

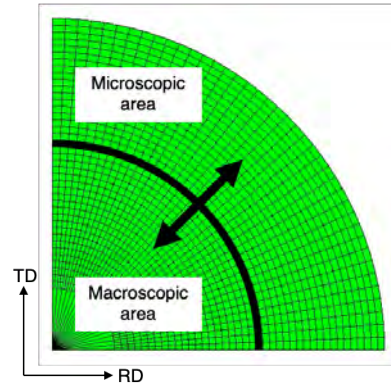


図 8 各塑性論を適用する要素領域

カップ高さを除外し、耳形状の詳細な比較を行うため、RD からの角度に対するカップ高さ率 (解析結果のカップ高さをその平均値で無次元化した値) を図 9 に、解析時間の詳細を表 1 に示す。図 9 より、カップの縁側要素の約 40% を微視的塑性論で解析することで、100% の場合とほぼ同等の解析結果が得られる。この解析条件における計算時間は、全要素を微視的塑性論で解析した場合の 43% まで短縮される (表 1)。本シミュレータでは微視的塑性論の実装により、円筒深絞り加工での耳の発生を精度良く予測できる。また、巨視的塑性論との併用により、耳の予測精度を保持したまま、解析時間を大幅に短縮することが可能である。以上より、本シミュレータは、塑性加工シミュレーションの教育用ツールとして十分な性能を有すると結論付けられる。

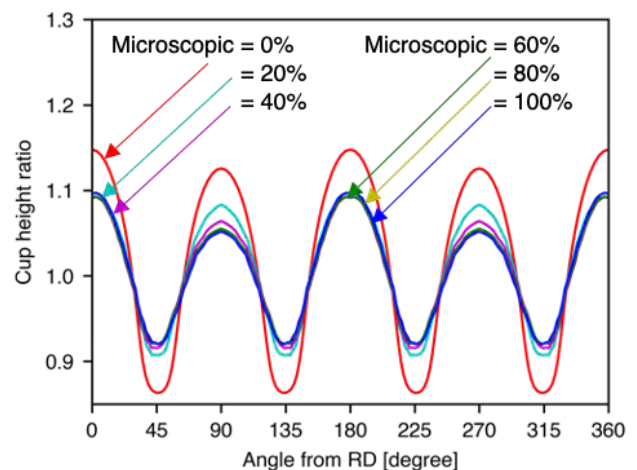


図 9 RD からの角度に対するカップ高さ率

表 1 微視的塑性論に適用する要素数と計算時間の関係

Model	Number of elements		Computation time:	Time ratio:
	Microscopic	Macroscopic	T_{Model} [min]	$T_{\text{Model}} / T_{100\%}$
0%	0 (0%)	1620	30	6%
20%	320 (20.0%)	1280	120	25%
40%	640 (40.0%)	960	209	43%
60%	960 (59.3%)	660	300	62%
80%	1280 (79.0%)	340	392	81%
100%	1620 (100%)	0	486	100%

4. 結言

本研究では，教育用塑性加工シミュレータの開発を行い，代表的な塑性加工法の一つである円筒深絞り加工を例題に，本シミュレータの性能について検討した。得られた結果を以下に示す。

- ・パブリックドメインソフトウェアである動的陽解法有限要素解析コード DYNA3D に微視的塑性論及び巨視的塑性論を実装した。

- ・面内異方性を持つアルミニウム合金板の円筒深絞り加工で発生する絞りカップ耳形状についての予測解析を行い，巨視的塑性論よりも微視的塑性論において，絞りカップ耳形状が良好に予測できることを示した。

- ・カップの縁寄り 40%の要素を微視的塑性論，その他の要素を巨視的塑性論で解析することにより，耳形状の予測精度を保持したまま，解析時間を従来の 43%まで短縮できることを明らかにした。

今後は，本シミュレータを本科及び専攻科生の授業に導入し，塑性加工シミュレーションに関する技術教育を実施していく予定である。

参考文献

- 1) J.O. Hallquist: DYNA3D user's manual (nonlinear dynamic analysis of solids in three dimensions), United States, (1984).
- 2) D. Peirce, R.J. Asaro and A. Needleman: Material rate dependence and localized deformation in crystalline solid, Acta Metallurgica, 31 (1983), pp. 1951–1976.
- 3) R.J. Asaro and A. Needleman: Texture development and strain hardening in rate dependent polycrystals, Acta Metallurgica, 33 (1985), pp. 923–953.
- 4) R. Hill: A theory of the yielding and plastic flow of anisotropic metals, Proceedings of the Royal Society A, 193 (1948), 281–297.
- 5) H.R. Wenk: Preferred orientation in deformed metal and rocks: an introduction to modern texture analysis, Elsevier, (1985).
- 6) 中村和彦，桑原利彦：基礎から学ぶ実践プレス加工シリーズ プレス絞り加工，日刊工業新聞社，(2002).

(2022年1月14日 受理)

情報共有モバイルマルチホップネットワーク

田中晶*, 中村悠哉**, 内田恭矢*, 河村碧生*, 栗原秀弥*,

坂本蒼樹*, 寺川優汰*, 本間玄太*, 三國蒼介*

教育機関においては遠隔授業システム, 企業などでは在宅勤務といったネットワーク利用の急増はもちろんのこと, 4K・8K 映像利用も家庭までひろがり, 物も装置も人もすべてがネットワークと接続された状態に近づきつつある。情報共有の観点から状況をみると, いくつかのクラウド系サービスに依存する場合がほとんどで, また, インターネットの使用が前提である。一方で, 発展を続ける情報通信機能や大量に市場に供給される高性能コンピュータ関連機器, 携帯端末や移動体を用い, 使用規模や目的にカスタマイズされたネットワークを設計する環境も整いつつある。情報通信研究室(田中研)で設計を進めてきた身近な素材を用いる多種のモバイルマルチホップネットワークを組み合わせれば, 非常時を含む様々な状況に適合したネットワークを簡単に設計できる。ネットワークを構成する端末は互いに情報共有する機能を備えており, 移動体端末, 分散データベース, 3D エミュレータやネットワーク・プログラミングトレーナも用いて, ユーザ需要をリアルタイムに反映する広域・高精細の分散データ共有システムが生成できる。

(キーワード: モバイルマルチホップ通信, 共有メモリ, 分散データベース, 群移動体制御, エミュレータネットワーク・プログラミング教育)

Effective Information Sharing Mobile Multihop Networks

Akira TANAKA*, Yuya NAKAMURA**, Kyouya UCHIDA*,
Aoi KAWAMURA*, Shuya KURIHARA*, Aoki SAKAMOTO*,
Yuta TERAOKA*, Genta HONMA*, Sousuke MIKUNI*

Demand for remote teaching systems in education and remote working systems in business is burgeoning and high-resolution video streams (4K/8K) already gain popularity. We are now in the field of “everyone or everything is connected by networks.” Often-utilized information sharing systems almost entirely depend on cloud type services and depend on the internet. On the other hand, we are surrounded by advanced ICT technologies and high-performance computer systems pumped into the markets. Therefore, soon people can anytime design their own network systems customized to the intended usage using such an enriched ICT environment. Our information communication laboratory (Tanaka lab.) has developed various multichip networks using devices familiar with the public. Terminals of our networks have information sharing functions, autonomous mobile capability with drones and robots, distributed databases, 3D network emulation and network programming instruction tool. With these multihop networks, customized networks adopted to every situation from disaster to everyday life can be easily designed. And our system provides a wide-area high-resolution data sharing architecture reflecting user’s demands in real time.

(Keywords: mobile multihop communications, shared memory, distributed database, group mobile objects control, emulator, network and programming education)

1. はじめに

1.1. 情報共有とマルチホップネットワーク

遠隔授業や在宅勤務も定着し, 地理的に離れて

いても, 多数の人々, さらには様々な装置類とリアルタイムに情報共有できる仕組みの重要性がたかまりつつある。このような情報共有においては, 近年広く普及してきた 4K・8K など高精細映像通

*情報工学科 **機械情報システム工学専攻

信, セキュリティ, 携帯端末を使って移動しながらの利用, など様々な要求に応える必要がある。これまで多くの場合, インターネットを前提としたクラウド型サービスの利用によって情報共有がなされてきたが, マイコンなど身近に多数の高性能端末がいきなりつつあり, また, 災害時やインターネットが使用できない環境でも途絶えることなく情報共有できる, といった, 個々の利用条件によりカスタマイズされ, ローカルであっても独立して動作するネットワークが供給できる環境も整ってきた。

情報通信研究室(田中研)では, 小型プロセッサ/マイコン, スマートフォンなどの携帯端末, 再構成可能デバイス(Field Programmable Gate-array (FPGA)), 移動体(ドローン/小型ロボット)を用い, 最適ルーティングや自律拡張, データ共有, マルチメディア高精細映像通信, セキュリティ, ネットワーク仮想化, センサ機能, ネットワークエミュレーション, 測位, バリアフリー, ネットワーク・プログラミング導入教材などを備えた身近なマルチホップネットワークの設計を重ねてきた^{1,2,3)}(Fig.1 参照)。

1.2. 情報共有の基本構成要素

マルチホップネットワークにおいて, FPGA を端末としたものも継続的に設計している。FPGA はそれ自体がメモリの集合体であり, FPGA のネットワークを共有メモリ^{1,3)}化して, 多くの携帯端末やセンサの情報を互いに共有する方式を設計して

きている。この方式は, 高速通信に加えて, 端末の追加, 変更, 離脱などの変化をメモリ構造に即座に反映する特徴を備えており, 携帯端末, マイコンや群移動体で構成されるマルチホップネットワークと接続して, ネットワーク全体がカバーする領域の情報をその位置とリンクして, 持続的にリアルタイム共有できる。

本稿では, 最近の成果を中心に, これまでに設計した最適伝送媒体マルチホップネットワークの構成要素と情報共有のアプリケーションを論じ, さらに, これらの導入につながるネットワーク・プログラミング教材について述べる。2 章で前方ドローンの相対位置を把握して自動追尾しマルチホップネットワークを拡張する群ドローン制御や GPS を用いた群移動体制御, 3 章で適用するネットワークセキュリティや映像処理, 4 章でデータベース生成を中心とした効率的な情報共有, 5 章で広域ネットワークエミュレーション, 6 章で共有メモリと分散プロセッサの基本構造, 7 章でネットワーク・プログラミング教材について述べ, 8 章でまとめと今後の展望について触れる。

2. 高精度の群移動体制御

2.1. 群ドローン・ロボット制御

災害等で基地局・アクセスポイントが使用できない場合, 洞窟等で電波の届かない場所の調査を行なう場合, マルチホップ通信で制御する群ドローンや群ロボットを利用した通信システムが適し

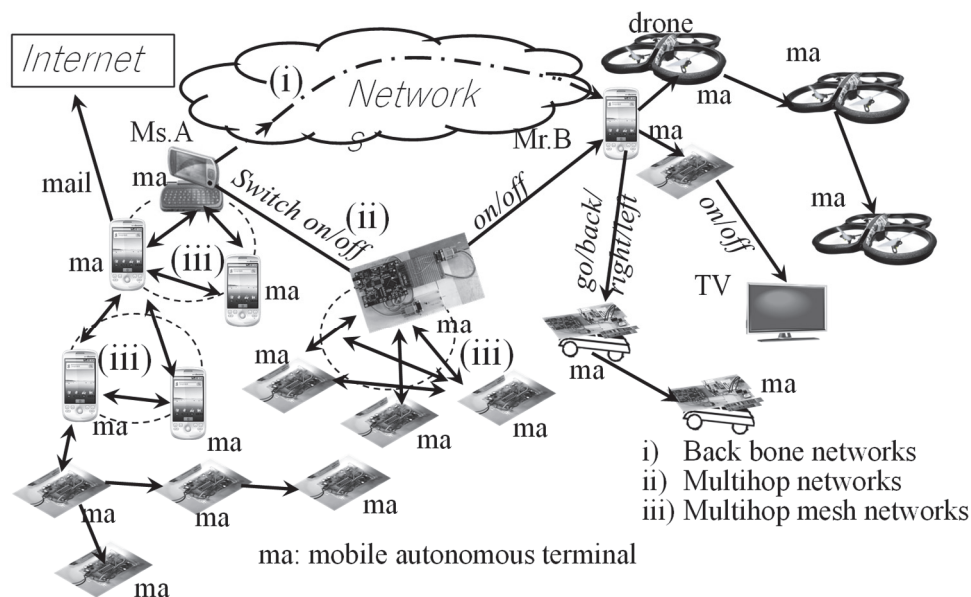


Fig. 1 Locally exploitable heterogeneous multihop networks

ている。これまで情報通信研究室（田中研）で設計された群ドローン・群ロボット制御^{1,2,4,5,7)}の研究もふまえて Bluetooth Low Energy (BLE) の方向検知機能, GPS を用いて追尾対象のドローン・ロボットを検出して自動追尾したり協調制御するシステムを設計する。また, 規制に従った飛行が行えるか事前に検証するシステムも開発する。

2.2. 相対位置検出による群ドローン制御

各ドローンに通信端末を搭載し, 端末から操作コマンドを送信してドローンを制御する (Fig.2(1))。マルチホップ通信を用いて先頭の端末に制御コマンドを送信することで先頭のドローンのみを制御し, その他のドローンは前方のドローンを自動追尾させる。通信端末には Raspberry Pi を用い, Raspberry Pi と BLE 通信用の機器を接続して自動追尾に利用する。また, ドローンは DJI 社の Tello[®]を使用する。先行研究では, 群ドローン制御における自動追尾の方法として, 先頭のドローンに送信する制御コマンドと同じ制御コマンドを後方のドローンに送信するコマンド再生方式⁵⁾や, 前方のドローンに貼り付けられたマークをカメラで検出して追尾するマーク追尾型^{4,7)}の研究が行われていた。コマンド再生方式では, 風などでドローンが本来の位置とずれてしまうと修正できない。またマーク追尾型の場合, 光が届かないトンネルや洞窟ではマークを検出できない問題がある。そこで, 遅延が小さく天候に影響されない BLE の方向検知機能 AoA (Angle of Arrival)⁸⁾を用いた自動追尾⁹⁾を実現する。

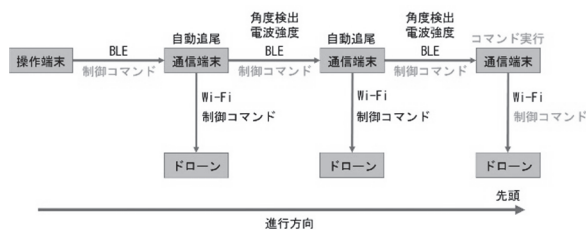


Fig. 2(1) Drone control system

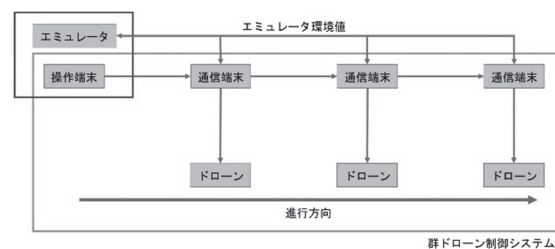


Fig. 2(2) Drone emulator

ドローンには事前登録や許可が必要であり, 建物密集地域などで規制に従い支障ない飛行ができるかどうかを事前に検証する MR 機能付き移動体制御エミュレータの開発も行う。ドローンのフライトコントロールやファームウェアの開発が行えるオープンソースプロジェクト PX4¹⁰⁾をもとに, マルチホップ群ドローン制御のエミュレーションツール (Fig.2(2)) も開発する。エミュレータ上のドローンの動作と, 実環境で飛行させたドローンの動作を同期して MR 化する。エミュレータの画面では, 現在ドローンで実行されているコマンドや制御値の可視化機能, 災害現場等の環境を再現するために障害物の配置機能および風等の自然現象の発生機能を備える。また, ユーザが環境値の設定を容易に行えるよう, UI の簡易化も行う。実環境ではある程度スペースのある場所でドローンを飛行させ, ドローン内部のセンサを用いて移動量を計算し, エミュレータに反映させる。また, 障害物との衝突や風の影響は, ドローンを着陸させたり, 対象の方向に移動させたりすることで環境を再現する。

2.3. GPS による群ドローン・ロボット制御

ドローンはマルチホップを行う際に必要になるデータを送受信する端末として使用することができ, 場所を選ばずにこの方法が使えるようになる。そこで, より広域にマルチホップ通信が行えるようにドローン・ロボットが等間隔に広がり隊列組んだ状態で協調動作する制御を目指す。先行研究^{4,7,9)}では Fig.3(1)のように A~B に直線状にドロー

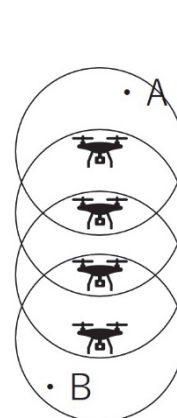


Fig. 3(1) Linear drone control

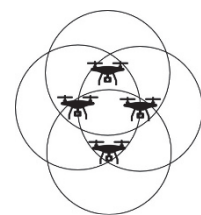


Fig. 3(2) Planar drone control



Fig. 3(3) Control by relative positions

ン・ロボットが連なり追尾するというものである。この場合、通信範囲も直線状になり、通信カバー面積を拡大することは難しい。効率よく広範囲にマルチホップを行うためには相互通信可能な位置で広がる (Fig.3(2)) のが望ましい。より少ないドローン・ロボットの数で広い範囲を通信可能範囲に収めることができる。Raspberry Pi 間マルチホップは過去研究をベースにした¹¹⁾。ドローン・ロボット制御には Raspberry pi を使用しているため、GPS のキット等を使って現在位置を取得、その情報を Wi-Fi を使い別のドローン・ロボットに送る方式とする。Fig.3(3)のように制御の中心になるドローン・ロボットに対してほかのドローン・ロボットの目標の相対位置をあらかじめ決めておき、受信した位置情報から計算で目標の位置を求める。目標となる位置を受信したドローン・ロボットは少しの間前進し位置情報の変化から機体の方向を計算して、目標の位置に対して現在どの方向にいるのか、機体はどの方向に移動すれば目標の位置にたどり着けるのか求め移動することで制御の中心となるドローン・ロボットを追尾する。ドローンは Parrot 社の AR Drone 2.0¹²⁾、GPS レシーバは GLOBALSAT BU-353S4 USB¹³⁾を使用する。GPS を使用しているため屋外で実験などを行う必要があるがドローンを屋外で飛ばすには許可等が必要なため実験においては Raspberry pi で制御可能な Dexter Industries の模型自動車 GoPiGo3¹⁴⁾を使用する。制御の中心となるドローンが移動をしてから、ほかのドローンが目標の位置まで移動するのにかかる時間で評価を行う。

3. ネットワークセキュリティと映像処理

災害時、通信障害時における通信網の手段の確

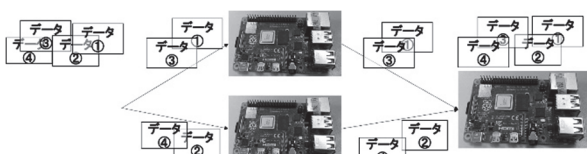


Fig. 4(1) Secure system with multiple routes

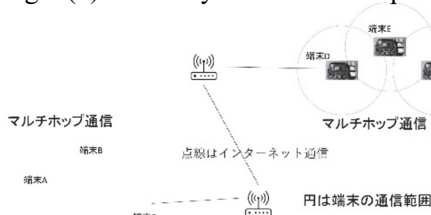


Fig. 4(2) Wider area multihops

保が必要とされている。このような状況解決の一つの手段として Raspberry Pi を用いた、複数経路のマルチホップ通信でデータ送信する研究が行われており、VPN により安全性を高めた近距離でのセキュアなマルチホップ通信が実現されていた¹¹⁾。そこでこれを遠距離通信に拡張する。また、従来方式では遅延が大きいことがわかったため採用してこなかった、経路分割によるセキュリティ確保を行うことで、安全性をより高めることを目指している。経路分割データを分割し保存する際に、経路ごとに保存するフォルダを変えることで、全体の処理量をあまり増やさないようにした。これにより、緊急時に重要性の高い情報をより広い範囲に伝えることができる。

従来の研究ではトンネリングを使った、VPN により安全性を高めていた。しかし、通信を傍受された場合、送信データをそのまま送信しているため、送信データを全て取得されるリスクがある。今回、情報通信研究室 (田中研) では送信データ分割方法を改良したので、複数の経路に通信データを分けて、マルチホップ通信を行い、受信端末で、データを復元することで、通信を傍受されても、一部のデータしか、取得できないようにし、データの流出を抑えることができる。現在は、2 経路に分割してデータ通信を行う形で進め (Fig.4(1)), 通信傍受リスクを軽減できる。また、この機能を利用し、動画を送信する際に分割したデータの一定数ごとに 1 枚をほかの動画などのデータに書き換えて通信して、サブデータを送受信することが可能となっている。

遠距離での通信を実現するためには、端末数の増加、また、マルチホップ通信から、インターネットを経由して、マルチホップ通信を実現するこ

■ 端末の位置情報を利用し、データベースをユーザー近くの端末に自動的に移動させる

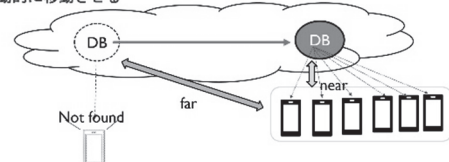


Fig. 5(1) Mobile database

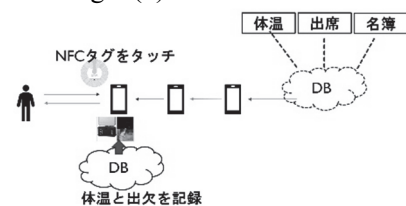


Fig. 5(2) Application system

とが必要である。インターネットも商用のネットワークだけでなくローカルなルータ群¹⁵⁾を利用する方法も実証実験を行っている (Fig.4(2))。これらによりインターネットを挟んでグローバルに通信地域を拡張できる。

4. データベースによる情報共有の効率化

4.1. モバイルデータベースエージェント

通信には通信距離が大きいほど無駄なネットワーク資源と時間がかかる。そのため本研究では、マルチホップ通信を用いてユーザーの近くに必要情報を含んだデータベースを一時的に移動させ、データ参照を効率化する。具体的に実装した例を挙げると、各教室間で NFC タグを用いて個人識別を行い、赤外線センサから学生の体温を取得、SQLite を用いて出欠と体温をデータベースに記録する。講義ごとに教室が変わるため、NFC タグがかざされた時に対応するクラスのデータベースを一時的に教室の端末に自律移動させ、ネットワーク資源の有効活用とデータ通信効率化を図る。利用ユーザーが多く拡張性の高い Android 端末を利用する。

データベースエージェントとは、データベースをユーザーの近くの端末に自動的に移動させるシステムを指す (Fig.5(1))。類似の概念として自律エージェント「目的達成のために、環境とインタラクションを行うシステム」¹⁶⁾が挙げられる。データベースエージェントを導入することで、ユーザーは自らデータベースにアクセスする必要はなく、NFC タグをトリガーにユーザーが欲しいデータベースをユーザーの手元まで自動で移動させ、通常ユーザーの手で操作しなくてもいいデータベースの操作も自動化させられる。また、データベースが需要場所近くに移動することにより、データベースへの大量の遠距離アクセスも防げる。先行研究¹⁷⁾では BLE を用いて通信を行っていたが、BLE では通信距離が短く、通信速度が遅いため Wi-Fi Direct¹⁸⁾を用いる。電波干渉の起きづらさ、通信速度の速さ、通信距離の長さ(屋内:~100m,屋外:~500m)などの利点が挙げられる。また Wi-Fi Direct はオフライン環境で通信が可能であるため、災害時などでも通信を行える。計測可能範囲-20~400℃であり、±3℃の精度で温度を取得できる赤外線センサ FLIR ONE Pro¹⁹⁾を用いて Android 端末に接続し、非接触で体温計測しデー

タベース化する (Fig.5(2))。

4.2. 災害現場向けデータベースプロトタイプ

災害時、避難所には多くの人が集まり、家族の安否確認を行ったり、各地域の各避難所に被害状況に応じた救援物資をどのくらいの数必要なのかを正確に把握したりしなければならぬ。また、インターネットが使えない状況も考えられるため、他の通信方式で支援を進められるシステムが必要である。そこで、過去の研究を改良^{20,21,22)}しモバイル端末における支援物資管理アプリケーションを作成している。具体的には、ユーザー間のコミュニケーションツールとして一般的なスマートフォンでの簡単な操作や、異なるデバイス・OSでの通信を可能にし、よりシームレスな情報伝達ができるようなクロスプラットフォーム開発による端末間通信を実装した災害用データベースを実現する。

避難所ごとに親機である Raspberry Pi, 子機としてユーザーのデバイスが接続する形を取る。親機には SQLite を用いてデータベースを構築する。

親機と子機との間の通信は、BLE を用いて行う。BLE は低消費電力、省コストで、災害時にバッテリー消費が命取りとなる状況で最適の通信手段であると考ええる。Raspberry Pi との BLE 接続を行うアプリケーションは先行研究では Android 同士での通信のみであったが、本研究ではモバイルアプリフレームワークである Flutter²³⁾を用いて iOS, Android 両対応で実装し、親機データベースの編集、閲覧機能を可能にする。

また、各避難所の親機を分散データベースとして構成する (Fig.6)。データベースを分散化することにより、負荷を軽減し、末端のアクセス時間を短縮できる。

5. 広域ネットワークエミュレーション

災害時などに向けて、情報通信研究室(田中研)では、利用可能なメッシュ構造の無線マルチホップネットワークの開発、メッシュネットワークの実測値に基づく経路の最適化、無線メッシュネットワークを PC 上で再現したメッシュネットワークエミュレータの開発、および LAN を用いたエミュレータの IP 化が行われてきた^{24,25,26,27)}。本研究では、移動する端末の場所をリアルタイムに確認でき、特定の端末を操作することができる複合現実エミュレータの作成を目標とし、複合現実エ

ミュレータの UI を作成する。また、インターネット接続や WLAN による中継でより広域のネットワークの再現を可能にする。

複合現実エミュレータの UI は Unity を用いて作成する。先行研究のメッシュネットワークエミュレータは通信の様子を 2D の Form アプリケーションで可視化していたが、様々な場所における無線通信環境の違いを再現できるように 3D 環境を取り入れた。端末の相対座標を指定し、各端末の位置を反映させた。また、エミュレータ内で壁や床などの障害物や電波の強い機器を模したオブジェクトを複数の端末の間に配置することで、該当部分の現実における端末間の通信の負荷を増加させ、負荷が一定値を超えたとき通信不可能の状態にする。Fig.7 はこの 2D イメージであり、丸が端末、端末間の線が通信可能な端末とのリンクを示し、線付近の数字がその通信負荷である。円中心が電波の強い機器を示し、その付近の通信負荷を実験で得られた値をもとに増加させる。これにより、現実の 3D 空間のネットワーク環境の再現が行えるようになる。

広域のネットワークを再現するため、先行研究の Arduino と無線モデムを用いた無線機に ESP-WROOM-02 Wi-Fi シールド²⁸⁾ (Fig.8) を接続し、WLAN ルータによるネットワークを介した端末間通信を行う。送信側がシールドを搭載した端末であるかを判別し、該当していれば Wi-Fi 通信を試み、受信側がシールドを搭載した端末であればデータを送信する。

6. FPGA による共有メモリと分散プロセッシングの基本構造

先行研究²⁹⁾では、災害時に正常な通信ができないときでも通信が行えるマルチホップメッシュネットワークを用いた情報伝達システムの研究が行

われてきた。災害時に利用可能な情報伝達システムとして実用するには、高性能なプロセッサとしての機能が必要になる。しかし、各端末において利用可能なメモリには限りがあり、複雑な処理を行うにはメモリが不足してしまう。本研究では、複数台の FPGA を用いてマルチホップ通信を行うことで各端末のメモリにアクセスできる分散演算システムを構築してきた。多数の FPGA に存在しているデータを使った計算ができ、任意の場所に結果を記録できる、分散演算システムである (Fig.9)。メモリのアドレスは端末 ID とリンクし、効率的にメモリアクセスできる。

先行研究として FPGA と UHF 無線を用いた多次元共有メモリシステムの開発、自動最適ルーティング作成プロトコルの提案と通信プロトコルの改良が行われている。多次元共有メモリを構築して、簡単な処理を実行できていたものの、災害時にはより複雑な操作を要求されると考えられる。加えて、現在使用している無線送受信機の RTM-1/RRM-1³⁰⁾は通信速度が遅いという問題があるので、通信規格を MU-1N³¹⁾ (または 3N) に変更し、通信の高速化を図る。また、MU-1N は専用の中継器がなくても無線端末を中継することが可能である。それに加え、新規に無線機を追加した場合でも、使用状況を留意した初期設定が必要ないことや、情報の発信もどこからでも可能で全無線機は自由に移動することができることもメリットである²⁴⁾。

また、先行研究で行われていたプログラムはすべて Verilog で書かれているが、Open CL³²⁾も使用され始めており Open CL 化も検討する。使用している FPGA の LED 数が少ないため 7Seg 表示への改良も行い、命令に 2 桁、被演算数が入ったアドレスに 2 桁、演算数が入ったアドレスに 2 桁のように 3 分割し、表示させる。

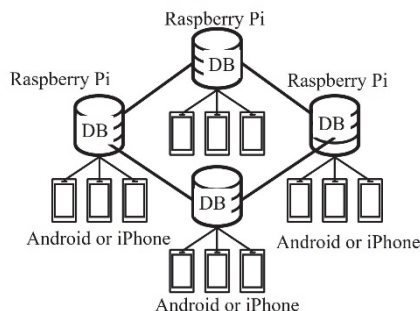


Fig. 6 Distributed database with smartphones

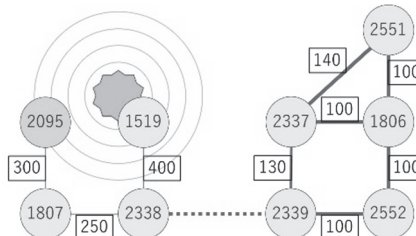


Fig. 7 Network emulation

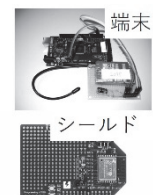


Fig. 8 Devices used for emulator

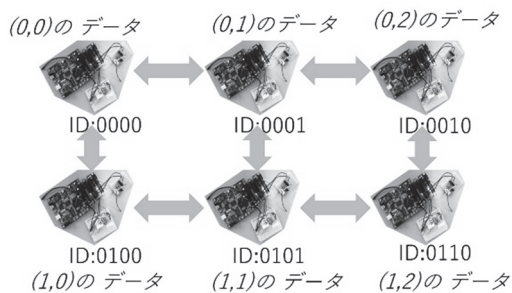


Fig. 9 Distributed calculator



Fig. 10(1) Task, answer and comment

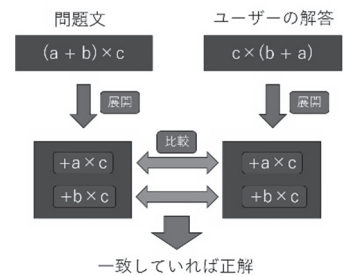


Fig. 10(2) Judging process

7. ネットワーク・プログラミング導入教材

高専の新入生の中にはプログラミングの経験が少ない学生もあり、授業で面白さを感じる前に苦手意識を持つ懸念がある。そこで過去研究^{33,34,35,36}をベースにし、基礎編と応用編の二編構成で徐々にプログラミングに慣れてもらうとともに、ネットワーク技術習得の基盤を形成できる教材の設計を行っている。基礎編では、文字出力、四則演算、ループ(for, while)、条件分岐、関数の学習を取り扱う。プログラミングに慣れ、興味を持ってもらうことが目的であるため、上記 5 つの分野について、学生はプログラムの例を写して実行する。見やすさのために説明文は少なくし、ある種の構文解析も用いて、柔軟な正誤判定ができるように改良する。応用編では、基礎編で扱った内容をもとに条件を提示し、自主的に考えてプログラムを書くような課題とアルゴリズムを学んでもらう課題を設定する。Fig.10(1)は入力と解答画面である。

先行研究では入力したプログラムを直接文字列比較することで正誤判定をしている。その際に、判定部分のプログラムを何通りも書き、これらを学習者に提示して違いや共通性を把握してもらうとともに、イレギュラーなコードにも対応できるようにしている。これでは、より複雑なプログラムを扱うにつれて判定部分におけるプログラムの行数が多くなってしまい、ソースコードの可読性が下がってしまう。そこで、数値計算における四則演算の正誤判定方法を改良する。問題文の計算式を展開して得られる項を答えとし、入力された解答を展開して得られる項と 1 つずつ比較判定することで正誤判定を行う。式の展開には Python のライブラリである SymPy を使用している。これにより、判定部分の行数が短くなり、問題の変更を

加える際にも簡単に変更することができる (Fig.10(2))。

応用編にネットワーク技術習得のための問題を追加する。Raspberry PI を使った端末間の距離を推定する課題と、タグ間ネットワークが容易に行えるようなプログラミング教材を設計する。自分で Raspberry PI の位置を動かす、画像によりわかりやすく経路が表示されるなどにより視覚的にも学べる教材となる。経路探索のアルゴリズムにはダイクストラ法³⁷⁾を用いる予定である。

8. むすび

情報通信研究室（田中研）で開発を続けてきた多種類のマルチホップネットワークの改良を重ねるとともに、6 章で述べた FPGA をコアネットワークとして使い、複数マルチホップネットワーク全体を共有メモリ化し、さらには、移動体（ドローン・ロボット）でカバー域を拡張、データベースを用いた効率的あるいは現実的なデータアクセスを提供する。マルチホップネットワークで重要なセキュリティは複数の方法で確保しており、近年の高精細映像通信も可能である。広域拡張にあたり視認できない領域へ展開されるため、エミュレータも備えている。また、身近なツールで設計できるため、2012 年以来担当させて頂いている八王子市小学校科学教育センター講座^{38,39)}などもとにし、初学者でも扱えるよう、ネットワーク・プログラミング導入教材も提供されるに至り、今後は、広域化の実証実験にむけて研究を進める予定である。

参考文献

- 1) A. Tanaka, "Locally exploitable heterogeneous multihop communications applied to cooperative robots," Proc. 5th Int'l Conf. on Ubiquitous and

- Future Networks (ICUFN 2013), 7A-5, pp. 421-326, Da Nang, Vietnam, Jul. 2013.
- 2) 田中晶, 池田凜音, 石田一翔, 伊藤瑠也, 小泉夏椰, 多田桃大, 谷崎栄俊, 中村悠哉, 日高諒久, “リアルタイムビッグデータのための拡張モバイルマルチホップネットワークの一検討,” 東京高専研究報告書, No.52, pp.43-51, Mar. 2021.
 - 3) 田中晶, 丸山充, 漆谷重雄, “マルチホップ通信を用いた持続可能なリアルタイム情報ネットワーク,” 情処学 29 回マルチメディア通信と分散処理ワークショップ(DPSWS2021), IPSJ-D PSWS2021025, pp.187-194, Oct. 2021.
 - 4) 工藤颯希, リアルタイム画像認識によるマルチホップ群ドローン制御の研究, 2019 年度東京高専卒論, Feb. 2020.
 - 5) 東宇辰朗, “マルチホップ通信による群ドローンの自動探索追尾システムの研究,” 2018 年度東京高専卒論, Feb. 2019.
 - 6) Tello, DJI, <https://www.ryzerobotics.com/jp/tello> (2021.11.25 access)
 - 7) 谷崎栄俊, リアルタイム画像認識を用いた群ドローンの軌道予測の研究, 2020 年度東京高専卒論, Feb. 2021.
 - 8) Martin Wooley, “Bluetooth Core Specification v5.1,” Bluetooth SIG, Jan. 2019.
 - 9) 中村悠哉, “マルチホップ通信による群ドローン制御のエミュレーションの研究,” 2020 年度東京高専卒論, Feb. 2020.
 - 10) PX4 User Guide, PX4 Autopilot, <https://docs.px4.io/master/en/> (2021.11.25 access)
 - 11) 石田一翔, “マルチホップ通信におけるセキュア通信制御の研究,” 2020 年度東京高専卒論, Feb. 2020.
 - 12) AR Drone 2.0, <https://support.parrot.com/us/support/products/parrot-ar-drone-2> (2021.11.14 access)
 - 13) GLOBALSAT BU-353S4 USB GPS レシーバ, https://www.tokyo2show.co.jp/gps/globalsat_bu353s4 (2021.11.14 access)
 - 14) GoPiGo3, <https://gopigo3.readthedocs.io/en/master/> (2021.11.14 access)
 - 15) Buffalo, <https://www.buffalo.jp/product/detail/wsr-1800ax4-wh.html> (2021.12.24 access)
 - 16) 大須賀昭彦, 田原康之, 中川博之, 川村隆浩, “マルチエージェントによる自律ソフトウェア設計・開発”, コロナ社, 2017.
 - 17) 伊藤瑠也, “メッシュネットワークにおける最適な自律データベースの研究,” 2020 年度東京高専卒論, Feb. 2020.
 - 18) “Wi-Fi Direct (ピアツーピアまたは P2P) の概要,” <https://developer.android.google.cn/guide/topics/connectivity/wifip2p.html?hl=ja> (2021.12.20 access)
 - 19) “FLIR ONE Pro ユーザーガイド,” LIR Systems Japan K.K., http://thermo.secret.jp/flir/manual/FLIR_ONE_PRO_Gen3_quick_17-415-026_JP.pdf (2021.1.13 access)
 - 20) 伊藤瑠也, “メッシュネットワークにおける最適な自律データベースの研究,” 2020 年度東京高専卒論, Feb. 2021.
 - 21) 佐田彩星, “Android 端末によるマルチメディア分散データベースの研究,” 2019 年度東京高専卒論, Feb. 2020.
 - 22) 益子海音, “BLE マルチホップ通信による分散データベースの研究,” 2019 年度東京高専情報工学科卒論, Feb. 2020.
 - 23) “Integrate a Flutter module into your Android project,” <https://flutter.dev/docs/development/add-to-app/android/project-setup> (2021.7 access)
 - 24) 中新田覚志, “無線メッシュネットワークによる災害時の情報伝達システムの研究,” 2018 年度東京高専専攻科特研論文, Feb. 2019.
 - 25) 西村憲人, “無線メッシュネットワークにおける 3D 環境エミュレーションの研究,” 2019 年度東京高専卒論文, Feb. 2020.
 - 26) 山川涼, “メッシュネットワークにおける実測値に基づく経路最適化の研究,” 東京高専 2019 年度卒論文, Feb. 2020.
 - 27) 多田桃大, “マルチホップメッシュネットワークエミュレータの IP 化の研究,” 2020 年度東京高専卒論文, Feb. 2021.
 - 28) ESP8266 Series of Modules, <https://www.espressif.com/en/products/modules/esp8266> (2021.12.24 access)
 - 29) 日高諒久, “多次元共有メモリによるメッシュネットワークの研究,” 2020 年度東京高専卒論, Feb. 2020.
 - 30) ㈱サーキットデザイン RTM-1/RRM-1 マニュアル, https://www.circuitdesign.jp/wp/wp-content/uploads/2019/08/og_rtm_rrm.pdf (2021.12.24 access)

- 31) ㈱サーキットデザイン MU-1N-429 マニュアル, https://www.circuitdesign.jp/wp/wp-content/uploads/2019/08/og_mu-1n-429.pdf (2021.12.24 access)
- 32) Open CV, <https://opencv.org/> (2020.12.24 access)
- 33) 木下和渡, “学習体験に基づく Python による小学生向けプログラミング教材の研究,” 2019 年度東京高専卒論, Feb. 2020.
- 34) 池田凜音, “高専新入生向けのプログラミング教材の研究—個人のペースに合わせて基礎から発展まで—,” 2020 年度東京高専卒論, Feb. 2020.
- 35) 小泉夏椰, “高専新入生向けプログラミング教材の研究—初心者でも楽しみながら学べるプログラミング入門—,” 2020 年度東京高専卒論, Feb. 2020.
- 36) 池田凜音, 石田一翔, 大越朱花, 久保夏葵, 谷崎栄俊, “プログラミングを学ぶ学生自身が主体となる「小学生向けプログラミング実習講座」～しりとりプログラムを作ろう！～,” 第 12 回大学コンソーシアム八王子学生発表会, T212, Dec. 2020.
- 37) Kubo Shizuma, “Python ダイクストラ法で最短経路を求める,” <https://qiita.com/shizuma/items/e08a76ab26073b21c207> (2021.12.24 access)
- 38) 田中晶, 土屋賢一, 林丈晴, 中野雅之, 小池和摩, 酒井元太, 菅原健太, 仲林龍馬, 牧野康平, “八王子市小学校科学教育センター「インターネット講座」の実施,” 東京高専研究報告書, No.46(2), pp.66-74, Mar. 2015.
- 39) 田中晶, “小学生に向けたインターネット・プログラミング導入講座,” 信学技報, Vol. 118, No.294, ET2018-55, Nov. 2018.

(2022年1月5日 受理)

八王子、多摩地域の湧水や地下水の化学分析と バイオマス生産への影響調査

庄司良*, 栗原佳奈*

地下水は水循環を構成する要素であり、持続可能な保全と利用のために地下水の性質を知ることが求められている。また、持続可能な社会づくりのために再生可能エネルギーへの注目が集まっている。そこで本研究では八王子周辺の湧水の調査と同時に、バイオマス生産への利用として湧水を用いた微細藻類の培養を行った。その結果、調査したすべての地点で藻類の生長を促進することが確認でき、湧水ベースの培地が藻類の大量培養に有効であることがわかった。また、いくつかの水質項目と藻類の生長には相関があることがわかった。

(キーワード: 湧水, 水質, 藻類増殖)

Chemical Analysis of Spring Water and Groundwater in the Hachioji and Tama Areas and Investigation of their Effects on Biomass Production

Ryo SHOJI*, Kana KURIHARA*

Groundwater is a component of the water cycle on the earth, and it is necessary to understand the current status of groundwater for sustainable conservation. In addition, renewable energy is attracting much attention for the creation of a sustainable society. The groundwater samples around the Hachioji area were investigated to cultivate microalgae for biomass production. As a result, it was confirmed that the growth of algae was promoted by using any investigated groundwater samples. The spring water-based culture medium was promising for algae production. Significant correlation was found between water quality parameters and algal growth.

(Keywords: spring water, water quality, algae growth)

1. はじめに

1.1. 地下水における現状と課題

水は、人が生きていく上で欠かすことのできない限りある資源である。循環する過程で生態の維持・保全や国民生活、産業活動に重要な役割を果たし、産業や文化を育んできた。地下水はこの水循環を構成する重要な要素であり、生活用水、農業用水、工業用水をはじめ、観光、水文化の継承、まちづくりなど地域価値の創造にも広く利用されている¹⁾。そこで、持続可能な社会づくりのために、地下水を含む社会の様々な要素の持続性に関する研究と取り組みが、世界的に行われている²⁾。

日本では、第二次世界大戦後、太平洋ベルト地帯に建設された港湾施設により、石油を中心とした化石燃料と沿岸域に豊富な地下水を含む水の供給が、工業化による経済の発展を支えてきた。それと同時に沿岸域における沖積層からの過剰地下

水揚水により、地盤沈下と地下水の塩水化が進行した³⁾。近年では、地盤沈下は地下水採取規制などの効果で、多くの地域で鎮静化しつつあるが、社会・経済の急激な変化による地下水位低下、水質汚染はいまだに懸念されている。さらに、地球規模の気候変動への対応として、ヒートアイランド対策、再生可能エネルギー利用、防災用・災害時利用など多面的な地下水利用が広がってきている。こうした状況の中で、地盤沈下や水質の悪化を防ぎつつ、地下水を有効利用する方策の確立が必要とされている¹⁾。

地下水も水循環において欠かせない要素の一つであるが、地下水盆などの構造、地下水の利用実態、地下水採取の影響、地下水の水量や水質、水温に関する挙動、地表水と地下水の関係などについては未解明な部分も多い。持続可能な地下水の保全と利用を実現させるには、地下水の現状を知

*物質工学科

ることは非常に重要な課題である。そのため、国全体で地下水の水量や、水質に関する挙動などの調査や解析が推進されている⁴⁾。

また、湧水は地下水が地表に現れたものであるため、地下水の流動状態を示す指標になる⁵⁾。そのため、健全な水循環を維持していく上で、湧水の状態の把握も非常に重要であるといえる。

1.2. 再生可能エネルギーとしての藻類利用

水問題と同様に、経済や工業化の発展により地球温暖化が引き起こされている。地球温暖化は、大気中の温室効果ガスの排出の増加が原因である⁶⁾。そのため、2015 年にはパリ協定が採択され温室効果ガスの削減に向けた動きが強まっている⁷⁾。このような背景から、温室効果ガスを排出しない再生可能エネルギーに注目が集まっている。

再生可能エネルギーには太陽光発電や風力発電など様々な種類があるが、その中でもエネルギー資源としてのバイオマスの利用に注目が集まっている。バイオマス燃料の材料には、穀物や木質系、藻類などの種類がある。その中でも、藻類由来のバイオ燃料は実用化には至っていないものの、単位面積当たりのエネルギー収率の高さや、食料生産と競合しない点、降雨が少ない砂漠などの植物栽培に適さない土地でも利用でき、二酸化炭素固定への寄与率が高いといった点から、将来的に期待されている技術である⁸⁾。

しかし、微細藻類の培養には多くの課題があり、主な課題として膨大な水の量と高い養分を必要とすることがあげられる。藻類バイオマスの大量生産のためには、代替となる低コストの水資源を見つけることが重要となってくる⁹⁾。

また、微細藻類は生長するにあたり水中の有機および無機栄養素を利用するため、淡水域の環境汚染を緩和するために長年にわたり利用されており、研究も盛んに行われている。これらの研究は排水や汚染された河川などに関連した研究であり、地下水での研究はあまり行われていない¹⁰⁾。しかし、地下水は、無機栄養素が豊富に含まれており、汚染物質が比較的少ないため、地下水ベースの培地は、微細藻類の生長を促進する可能性がある。したがって、微細藻類バイオマス生産と地下水処理の同時統合は、持続可能な社会づくりに貢献することができると考えられる¹⁰⁾。

1.3. 研究目的

本研究では、八王子周辺地域の湧水の水質把握と同時に、湧水の微細藻類へ与える影響の評価及び水質との関係を調べることを目的として、水質調査及びバイオアッセイとして微細藻類を用いた藻類生長阻害試験を行った。試験には、大量培養が容易で産業に多く使われている、淡水微細藻類である *Chlorella vulgaris* を使用した。

2. 研究方法

2.1. 調査場所および調査時期

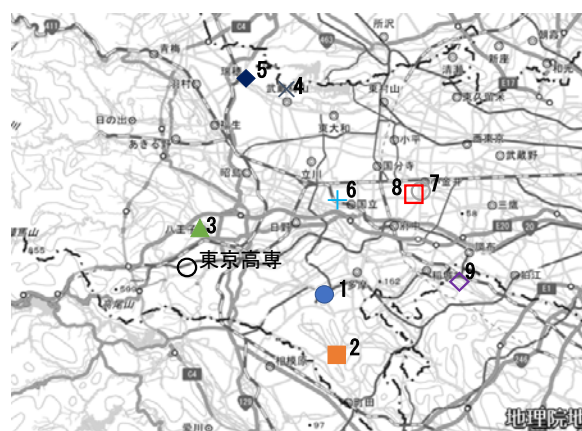


図 1 調査地点

表 1 調査地点の緯度、経度、採取日、及び水温

地点	緯度	経度	採取日	水温 [°C]
1	35.62	139.42	2021/07/16	25.7
2	35.38	139.44	2021/08/23	17.9
3	35.66	139.31	2021/09/01	23.3
4	35.76	139.38	2021/09/14	17.5
5	35.46	139.20	2021/09/14	19.5
6	35.68	138.43	2021/09/25	20.0
7	35.68	139.53	2021/07/23	23.9
8	35.70	139.49	2021/07/30	21.2
9	35.63	139.53	2021/08/17	23.5

本研究で調査対象とした湧水の場所を図 1 に、採取地点の採取日などを表 1 に示す。対象となる地点は、水質がなるべく多様な性質を持つようになるべく等間隔に選出した。また、地点 7 は表流水であるが、地点 8 の湧水と河川の水が合流して

できている河川であるため、水質の変化を比較するため調査を行った。

2.2. 水質分析

水質分析では、水温、pH、電気伝導度(EC)、酸化還元電位(ORP)、溶存酸素(DO)、化学的酸素要求量(COD)、主要溶存成分(Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} , Na^{+} , Cl^{-} , NO_3^{-} , SO_4^{2-} , HCO_3^{-})の測定を行った。

水温、pH、EC、ORP、DOの測定は現地にて行った。水試料は、ペットボトル又はポリ瓶に入れて実験室に持ち帰り、冷蔵庫内で保管した。使用時は常温に戻してから使用した。

主要溶存成分の陽イオン(Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} , Na^{+})の測定は、ICP-AES(HITACHI, PS7800)を用いて行った。試料は、採取した水試料をシリンジフィルター(0.45 μm , Hydrophilic, Membrane Solutions)でろ過し、0.1 M 硝酸を用いて酸性にしたものを使用した。

主要溶存成分の HCO_3^{-} 以外の陰イオン(Cl^{-} , NO_3^{-} , SO_4^{2-})の測定は、イオンクロマトグラフィーを用いて行った。測定には電気伝導度検出器(Shodex, CD-5)を用いて、カラムはNI-424(Shodex)を用いて測定を行った。測定に使用した試料は、陽イオンと同様に採取した水試料をシリンジフィルターでろ過した後、蒸留水で希釈したものを使用した。

CODの測定には、COD パックテスト低濃度用(共立理化学研究所, WAK-COD(D)-2)を使用した。PC(LAPTOP-T9TE9KH4, FUJITSU)のOS上でImageJ(ver1.8.0_172, Wayne Rasband)を用いて、反応後の溶液のRGB値解析によりあらかじめ作成した検量線からCODの濃度を求めた。

HCO_3^{-} の測定にはMアルカリ度のドロップテスト(共立理化学研究所, WAD-AL-M)を使用した。ドロップテストで得られた CaCO_3 濃度に換算したMアルカリ度から、次式を用いて HCO_3^{-} の濃度を算出した。

$$\text{HCO}_3^{-} [\text{mg/L}] = \text{CaCO}_3 [\text{mg/L}] \times 1.22 \quad (1)$$

2.3. 統計分析

各地点の水質の特徴を調べるため、本研究ではクラスター分析による分類と、トリリニアダイアグラムを用いた水質組成の分析を行った。クラスター分析には、各水質項目(pH, EC, ORP, DO, COD, Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} , Na^{+} , Cl^{-} , NO_3^{-} , SO_4^{2-} , HCO_3^{-})

を項目ごとに最大値を1、最小値を0として正規化したデータを使用した。分類には階層的クラスター分析(ウォード法、対象間の非類似度は平方ユークリッド距離の1/2倍)を用いて行った。分析にはPC(LAPTOP-T9TE9KH4, FUJITSU)のOS上でR(x64, 4.0.0, R Development Core Team)を用いた。

トリリニアダイアグラムは、主要溶存成分(Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} , Na^{+} , Cl^{-} , NO_3^{-} , SO_4^{2-} , HCO_3^{-})の当量値を用いて地下水などの水質組成を図示する方法の一つであり、地下水水質の分析に良く用いられる。本研究では、PC(LAPTOP-T9TE9KH4, FUJITSU)のOS上でTrinia(Ver1.29, M.Taniguchi)を用いて、分析を行った。

2.4. 藻類生長阻害試験

本研究で使用した*Chlorella*は、庄司研究室で継代培養されているものを使用し、*Chlorella*の培養は0.75 g/L MOPS-AAP(Algal Assay Procedure)培地を基本培地として実験を行った。表2にAAP培地の組成を示す。

表2 AAP培地の組成

成分	mg/L	成分	mg/L
NaHCO_3	15.0	$\text{Na}_2\text{EDTA} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.30
NaNO_3	25.5	H_3BO_3	0.186
$\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	12.16	$\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	0.415
$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	4.41	ZnCl_2	0.00327
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	14.6	$\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	0.00143
K_2HPO_4	1.044	$\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.00726
$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	0.16	$\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.000012

MOPSは、試験継続に際してのpH変動を小さくするために使用した。

継代培養した*Chlorella*を0.75 g/L MOPS-AAP培地に添加し、4日間前培養を行った。これを、1500 rpmにて、10分間遠心分離機(KUBOTA, KN-70)により遠心分離を行った。その後、上澄み液を捨て沈殿物をまとめたものを*Chlorella*の種水とした。

生長阻害試験はOECDテストガイドライン201に準拠して行った。採取した水試料は、ガラス繊維ろ紙(Whatman, GF/C)で吸引ろ過した後に使用した。まず、12穴培養プレート(VIOLAMO, VTC-

P12)の各ウェルにろ過した試料, 蒸留水, 50 倍濃縮培地を適量加え, 培地の濃度が等しくなるよう水試料の試料濃度として 5 濃度区(95%, 75%, 50%, 25%, 5%)及び対照区の調製を行った。調製した各試験水に *Chlorella* の細胞密度が 1.0×10^5 cell/mL となるように *Chlorella* の種水を添加した。これに付属のふたをして, 20°C , 1500 lux 連続照射, 90 rpm 回転振とう(NISSIN, ROTARY SHAKER NA-301N)の条件で 72 時間培養を行った。

吸光度は 24 時間毎に測定した。あらかじめ血球計算版を用いた計数に基づき, *Chlorella* の極大吸収波長である 690 nm の吸光度が 0.05 Abs の時, 細胞密度 1.0×10^5 cell/mL として *Chlorella* の細胞密度を算出した。吸光度測定時には, *Chlorella* が沈殿していると吸光度の測定が正確に行えないため, ピペットで直接攪拌してから, 試験水を採取し吸光度の測定を行った。また, pH は試験開始時及び終了時に測定を行った。

3. 結果と考察

3.1. 水質分析

まず階層的クラスター分析の結果を図 2 に示す。図 2 に示されるように, 本研究で調査した地点は地点 9, 4, 1 で構成されるクラスター1 と, 地点 7, 3, 5, 8, 6, 2 で構成されるクラスター2 に大別された。

クラスターごとの水質項目を比較したところ, クラスター1 に分類された地点の水試料では, 主

要溶存成分, EC のすべてにおいてクラスター2 と比べて低い値を示した。特に NO_3^- 濃度の範囲がクラスター1 では 0~2.45 mg/L なのに対して, クラスター2 では 16.5~24.84 mg/L となっており, 大きな違いがみられた。クラスター2 に分類されている地点の水試料では, NO_3^- は $\text{NO}_3\text{-N}$ に換算するとすべての地点で環境基準値(硝酸・亜硝酸性窒素合わせて 10 mg/L 以下)を超えていた。

溶存成分以外の pH, DO, COD などは比較しても大きな特徴は見られず, クラスター分析の結果は, 溶存成分の影響が大きいと考えられる。 Mg^{2+} , Ca^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- などのイオン類は, 窒素肥料や生活排水などに起因すると考えられる溶存成分であるため, 主要溶存成分の濃度が高いクラスター2 では窒素肥料や生活排水などの人間の社会経済活動に伴う影響を受けていると考えられる。反対に, クラスター1 に分類される地点の湧水は, 溶存成分濃度が低く, 清涼な水であると考えられる。

次に, 主要溶存成分 (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-) のデータをもとに作成したトリリニアダイアグラムを図 3 に示す。トリリニアダイアグラムは, 図 3 に示すように I, II, III, IV, V のようなグループに分けられる。各グループの特徴と, 調査地点との関係を以下に述べる。

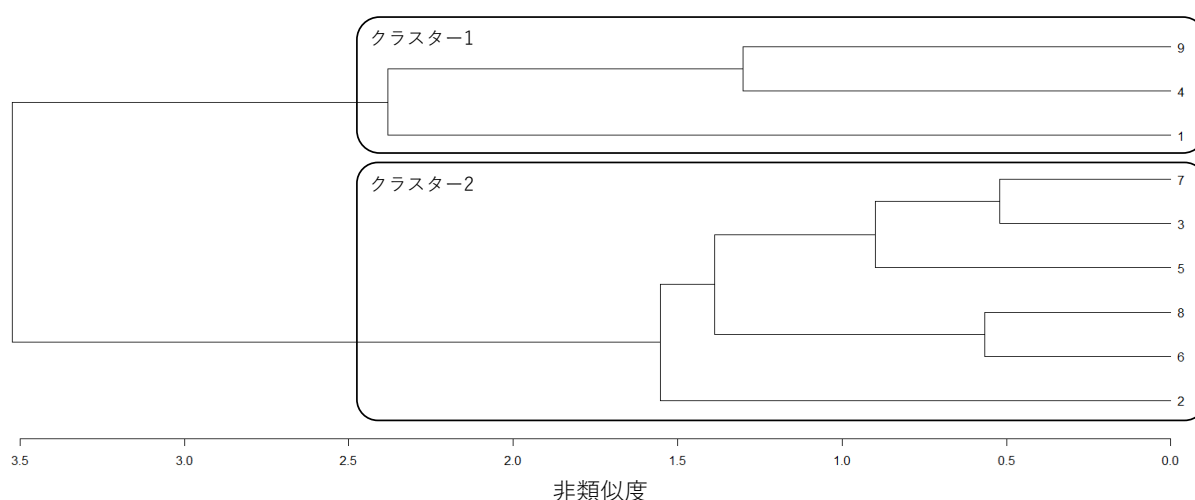


図 2 水質データ(pH, EC, ORP, DO, COD, Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-)による階層的クラスター分析

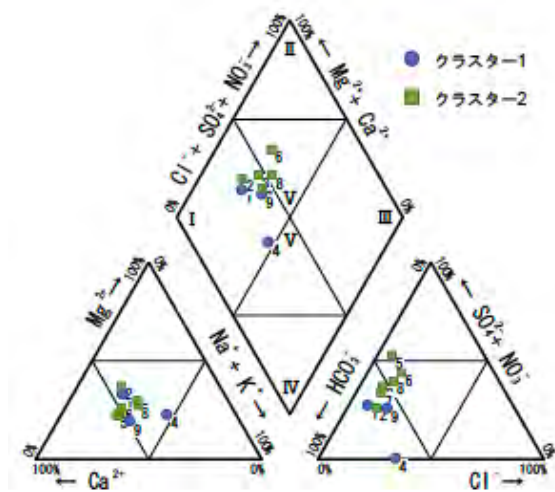


図 3 主要溶存成分(Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} , Na^{+} , Cl^{-} , NO_3^{-} , SO_4^{2-} , HCO_3^{-})の測定結果から作成したトリリニアダイアグラム

I Ca^{2+} - HCO_3^{-} 型

無機汚染の指標となる Cl^{-} , NO_3^{-} , SO_4^{2-} が少なく、一般に河川の上流域や汚染の少ない地下水はほぼ Ca^{2+} - HCO_3^{-} 型に含まれる¹¹⁾。調査地点では地点 1, 2, 3, 4, 7, 9 が含まれていた。クラスター分類と比較したところ、クラスター1 はすべての地点がこのグループに含まれていることが分かった。クラスター2 に属している地点では、 Cl^{-} , NO_3^{-} , SO_4^{2-} も多く含まれているが、 HCO_3^{-} などほかの溶存成分も高い傾向があるため、イオン組成ではクラスター1 と似た位置にプロットされたと考えられる。

II Ca^{2+} - SO_4^{2-} NO_3^{-} 型

陽イオンでは Ca^{2+} , Mg^{2+} , 陰イオンでは、 Cl^{-} , NO_3^{-} , SO_4^{2-} の占める比率が 50% を超え、人的な影響が強いと考えられる水質である¹¹⁾。本研究では該当する地点は存在しなかった。

III Na^{+} - Cl^{-} 型

陽イオンでは K^{+} , Na^{+} が多く、陰イオンでは Cl^{-} が多く含まれ、一般的には海水や温泉などが該当する¹¹⁾。本研究では該当する地点は存在しなかった。

IV Na^{+} - HCO_3^{-} 型

滞留時間の長い深層地下水でよくみられる¹²⁾。本研究では該当する地点は存在しなかった。

V 中間型

Ca^{2+} - HCO_3^{-} 型と Ca^{2+} - SO_4^{2-} NO_3^{-} 型の中間で、 Ca^{2+}

$^{+}$ - SO_4^{2-} NO_3^{-} 型ほど高濃度のイオン成分は見られないが、 Ca^{2+} - HCO_3^{-} 型と比べると高い。人為的な汚染を示すイオンも含有していることから、軽度な汚染もしくは汚染の初期段階と判断される¹¹⁾。本研究の調査地点では、地点 6, 8 が該当した。

9 つの調査地点のうち、地点 4 以外は、分類は違うものの似た位置にプロットされており、水質組成は地点 4 以外の湧水では、大きく異なっていないことが分かった。

3.2. 藻類生長阻害試験

藻類生長阻害試験の結果から、対照区と比較した際に本研究で調査した湧水すべてで、藻類の生長が促進されたことが確認された。藻類生長阻害試験は一般的に、藻類に対する毒性を評価するための試験方法であるため、結果の算出方法には生長阻害率や 50% 生長阻害濃度 (EC_{50}) が用いられる。しかし、これらは毒性を評価する指標であり、本研究ではすべての試料で毒性を示さずに生長を促進する結果になったため、結果の比較には適していないと考えた。そこで、本研究では生長阻害率の符号を反転させたものを生長率として結果を比較した。以下に算出方法を示す。

$$\mu = \frac{\ln N_n - \ln N_0}{T_e} \quad (2)$$

$$I_\mu = - \left(\frac{\mu_c - \mu_T}{\mu_c} \right) \times 100 \quad (3)$$

ここで、 $\mu[\text{h}^{-1}]$ は *Chlorella* の生長速度定数、 $T[\text{h}]$ は藻類生長阻害試験の継続時間、 $N_n[\text{cell/mL}]$ は試験終了時における細胞密度、 $N_0[\text{cell/mL}]$ は試験開始時における細胞密度を示す。また、 $I_\mu[-]$ は *Chlorella* の生長阻害率、 $\mu_c[\text{h}^{-1}]$ は対照区における生長速度定数、 $\mu_T[\text{h}^{-1}]$ は湧水の各濃度区に対する生長速度定数を示す。

図 4 に各地点で採取した水試料を用いた藻類生長阻害試験の結果から得られた生長率を示す。地点 4 の結果は事前実験と大きな差があったため、2 回試験を行い、その平均の成長率を用いている。図 4 から、本試験で用いたすべての水試料で、AAP 培地に混合することで、純粋な AAP 培地よりも *Chlorella* の生長を促進することができると確認された。毒性は確認されず、湧水が藻類の生

長を阻害する重金属などの物質に汚染が少なく、生長を促進する栄養素を含んでいることが示唆された。そのため、本研究で用いた 9 つの地点において、湧水をベースとした培地はバイオマス生産の効率を上げることが可能であると分かった。

また、試料濃度の上昇に伴い、生長率も概ね増加しており、試料濃度を増やすことで藻類の生長を促進できることが確認された。これは試料濃度が増えることで、栄養素も増加したからと考えられる。

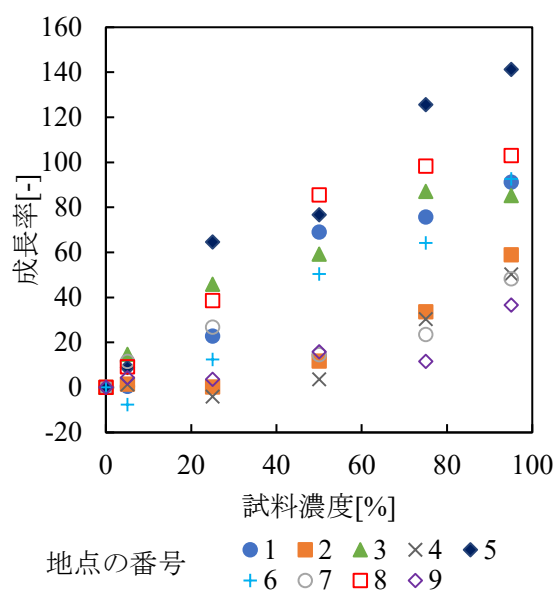


図 4 藻類生長阻害試験の結果から算出した *Chlorella* の生長率(培養時間 72 時間, 1500 lux 連続照射, 90 rpm 回転振とう, 20°C)

湧水を混合することで藻類の生長を促進することが分かったので、実際のバイオマス生産への利用を検討するため、対照区と比較したバイオマス生産量を算出した。*Chlorella* の細胞密度 1.3×10^{10} cell/mL のとき乾燥重量 14%, 脂質含有量は(乾燥バイオマス%)5.0-58.0%と文献値にばらつきが大きい中央値の 32%として計算を行った^{13,14)}。また、比較を行うため、生長速度はすべての試験の対照区の平均成長速度から各試料の生長率を用いて新たに算出したものを使用した。

対照区である通常の AAP 培地を用いて 4 日で 5 kg のバイオオイルを生産できる条件で培養を行った場合、生長率の一番高い地点 5 の水試料ベース(試料濃度 95%)の培地では 12.1 kg のバイオオイルを生産できると予想された。また、

一番生長率の低い地点 9 の水試料ベースの培地では、6.30 kg のバイオオイルを生産できると予想された。ここから、同じ条件でも水試料の違いでバイオマス生産効率は大きく変化することが分かった。

一番藻類の生長を促進する、試料濃度 95%の各地点の生長阻害率をみると、地点 5 の試料が特に藻類の生長を促進し、次に地点 8, 地点 6 と続いていく形となった。また、反対に藻類の生長を促進しにくいのは、地点 9, 地点 7, 地点 2, 地点 4 となった。試料によって生長阻害率が異なっているのは、含まれている成分が異なっているため、藻類の生長へ与える影響に差が出たものと考えられる。しかし、溶存成分が多い地点のほうが生長しやすいと考えられるが、1 番溶存成分の多い地点 2 の湧水が、生長阻害率をみると特別生長を促進しているわけではない。

また、図 3 の水質組成と比較すると、中間型に位置している地点 5, 6, 8 の生長率が比較的高く、水質組成が生長率に関係してくる可能性があると考えられる。しかし、地点 8 は図 3 での他の地点とプロット位置が近く、大きな差はない。さらに、地点 1 と地点 8 のプロット位置は比較的離れているが生長率の差は小さい。そのため、今回の結果は偶然であり、主要溶存成分の水質組成は、藻類の生長には直接的な関係は少ないとも考えられる。

そこで、どの水質項目が藻類の生長に関係しているのかを調べるため、各水質項目と一番生長を促進する試料濃度 95%のときの生長率の相関係数を求めた。生長率に対する各水質項目の相関係数 r を表 3 に示す。

表 3 生長率に対する水質項目の相関係数

	r		r		r
pH	-0.13	Mg ²⁺	0.12	SO ₄ ²⁻	0.84
EC	0.30	Ca ²⁺	0.51	HCO ₃ ⁻	0.03
ORP	-0.44	Na ⁺	0.19	NO ₃ ⁻	0.43
DO	-0.11	K ⁺	0.04	Cl ⁻	0.39
COD	0.01				

これを見ると、生長率に対して SO₄²⁻の相関が一番高く、0.84 と高い相関を示している。次に、Ca²⁺, ORP, NO₃⁻と弱い相関を示した。藻類の生長に必

要な栄養素は C, N, P, K, Mg, Ca, Fe, Zn, Mn および S と考えられており、中でも、C, N, P, K は多量に必要である。また、N と P 以外の主要な元素は、通常では過剰に存在しているため、N と P が制限要素となることが多い¹⁵⁾。しかし、得られた相関係数では、窒素源である NO_3^- は 0.43 であり、弱い相関はあるが、特別強い相関があるわけではない。そのため、本研究で分析していないアンモニア態窒素(N-NH_4)や P の影響や、毒性を示さない程度の汚染など様々な影響も受けていると考えられる。

一番相関係数が大きい SO_4^{2-} は、自然界では硫化物鉱床などの硫化物が酸化され、硫酸イオンとして水中に溶解したものである。人為的汚染源としては、化学肥料(硫酸)を含む農業排水などがある。硫酸($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$)は、硝化過程で酸素と反応して NO_3^- や SO_4^{2-} に変化するが、まだ硝化されていない NH_4^+ が、藻類の生長に使用された可能性がある。また、硫酸イオンは硫酸還元菌によって分解され、その際に酸を消費する。そのため、pH がアルカリ性側に変化し、有機物が分解してリン酸イオンになり、水に溶解する¹⁶⁾。このことから、生長率に対する SO_4^{2-} の相関係数が大きくなったと考えられる。

次に相関係数が大きい Ca^{2+} は藻類の骨格などの形成に用いられると考えられているが、微量栄養素であり、多量には必要ない¹⁷⁾。一般的に天然水にも多く含まれる元素であるが、肥料としても使われており、 Ca^{2+} の含まれるリン酸カルシウムは水に溶解し、 PO_4^{3-} または HPO_4^{2-} となり水中に存在する¹⁶⁾。そのため、 Ca^{2+} だけではなく、それに伴って供給される P の影響によって相関係数も大きくなった可能性が考えられる。

しかし、 SO_4^{2-} が検出されず、 Ca^{2+} も一番低い濃度を示す地点 4 の水試料を用いた際の生長率は極端に低いと予想されたが、実験結果から得られた生長率は下から 3 番目である。地点 4 より SO_4^{2-} 、 Ca^{2+} の濃度が高い地点 7、9 の水試料を用いた培養のほうが、生長率が低くなっている。

このように、藻類の生長率に相関のある水質項目はあるが、生長率を簡単に予測することは難しいことが分かった。これは、藻類の生長には様々な要因が関わっているからであると考えられる。より藻類の生長率を正確に予測するには、今回測

定を行わなかった N-NH_4 や全 P、また、毒性を示す有機物や重金属などの測定も必要であると考えられる。

4. まとめ

本研究では、八王子周辺の湧水について化学分析による水質調査と、バイオアッセイ(藻類生長阻害試験)によるバイオマス生産への利用評価という 2 つの観点から研究を行った。その後、水質から藻類の生長しやすさを予測するため、水質と藻類生長率との関係を調べた。

今回調査した 9 つの地点は、溶存成分の違いから大きく 2 つのグループに分けることができた。また、イオン成分組成は、トリリニアダイアグラムから Ca^{2+} - SO_4^{2-} - NO_3^- 型と中間型の特徴を示した。これらの結果から、クラスター 1 に分類される地点の湧水は清涼な水であると考えられた。クラスター 2 では Ca^{2+} - SO_4^{2-} - NO_3^- 型に分類される湧水もあったが、どれも溶存成分濃度が高く人的汚染が進んでいることが示唆された。

藻類生長阻害試験では、どの試料でも毒性は示さず、生長を促進したことから、湧水ベースの培地はバイオマス生産の効率を上げることに有効であると分かった。藻類の生長率は試料により異なっており、これは水質の違いから出る差であると考えられた。そのため、バイオオイルの生産効率も湧水の種類によって変化することが分かった。

藻類の生長率と水質項目の相関は、 SO_4^{2-} と Ca^{2+} が相関係数 0.5 以上を示した。しかし、これらの値だけでは藻類の生長率を正確に予測するのは難しかった。より正確な予測をするには N-NH_4 や全 P、毒性を示す有機物や重金属などの測定もする必要があると考えられた。

参考文献

- 1) 環境省 水・大気環境局:「地下水保全」ガイドライン, 2001 年 3 月
- 2) 谷口真人: 持続可能な社会へ向けた地下水研究の国際動向と方向性, 地下水学会誌, Vol. 62, No. 1, pp. 5-13, 2020.
- 3) 田瀬則雄: わが国における地下水汚染の現状と課題, 安全工学, Vol. 51, No. 5, pp. 290-296, 2021.
- 4) 水循環制作本部: 水循環基本計画, 2020.

- 5) 環境省 水・大気環境局：湧き水保全・復活ガイドライン，2016.
- 6) 環境省 地球環境局：STOP THE 温暖化 2017 第 4 章 温暖化対策，p.21，2017.
- 7) 経済産業省 資源エネルギー庁：エネルギー白書 2019 第 1 部 エネルギーをめぐる状況と主な対策 第 2 章 パリ協定を踏まえた地球温暖化対策・エネルギー政策，2019.
- 8) 新エネルギー・産業技術総合開発機構：NEDO 再生可能エネルギー技術白書 第 2 版，2014.
- 9) Anamika Singh, Sabeela Beevi, Ummalyma, Dinabandhu Sahoo : Bioremediation and biomass production of microalgae cultivation in river water contaminated with pharmaceutical effluent, Bioresource Technology, Vol. 307, pp. 1-5, 2020.
- 10) Fariba Rezvani, Mohammad-Hossein Sarrafzadeh, Seong-Hyun Seo, Hee-Mock Oh : Phosphorus optimization for simultaneous nitrate-contaminated groundwater treatment and algae biomass production using *Ettlia* sp, Bioresource Technology, Vol. 244, No. 1, pp. 785-792, 2017.
- 11) 小島千鶴，小寺浩二，濱侃，斎藤圭：群馬県大間々扇状地における地下水水質の空間分布および季節変化特性－硝酸態窒素に着目して－，日本水文科学会誌，Vol. 47, No. 2, pp. 61-70, 2020.
- 12) 日本地下水学会市民コミュニケーション委員会第 7 回（2011 年 10 月 2 日開催）「都内湧水めぐり有栖川宮エリア・目黒エリア」説明資料：水質に関する説明，2011.
- 13) 丸山功：淡水産緑藻「クロレラ」の餌料生物用培養餌料としての開発，日本水産学会誌，Vol. 77, No. 5, pp. 783-786, 2011.
- 14) Teresa M..Mata, António A.Martins, Nidia. S.Cactano : Microalgae for biodiesel production and other applications: A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 14, pp. 217-232, 2010.
- 15) 岩崎英雄：微細藻類の栄養要求，日本水産学会誌，Vol. 33, No. 11, pp. 1072-1083, 1967.
- 16) 井伊博行，平田健正，松尾宏，田瀬則雄，西川雅高：茶畑周辺の池水中の pH 変化と窒素，リン，硫黄，アルミニウムの挙動について，土木学会論文集，Vol. 594, No. 7, pp. 57-63, 1998.
- 17) Kanhaiya Kumar, Chitralekha Nag Dasgupta, Debabrata Das : Cell growth kinetics of *Chlorella sorokiniana* and nutritional values of its biomass, Bioresource Technology, Vol. 167, pp. 358-366, 2014.

(2022 年 1 月 11 日 受理)

コロナ禍における『はざまる工房』の公開講座への積極活用

中村源一郎*, 熊澤匠真*, 向川拓臣*, 永吉真知子*, 松岡敏*,
羽鳥広範*, 新田武父**, 庄司良***, 玉田耕治****

2019 年度より多目的工作スペース『はざまる工房』を設置し、学内学生向けに運用してきた。しかしコロナ禍では学内での十分な利用が見込まれなくなった。そこで、工房を学外に向けて活用することを考え、ものづくりや再生可能エネルギーに関する 2 つの公開講座を開講した。本稿では実施した公開講座の内容とアンケートによる評価を報告する。アンケートでは講座内容に対して良い評価が得られた一方、課題も得られた。『はざまる工房』の機器は学外に向けても有用であることがわかり、今後、公開講座や出前授業などのためにも活用していく予定である。

(キーワード: ものづくり, 公開講座, 出前授業, はざまる工房, 自然エネルギー)

Active Use of “Hazamaru Kobo” for Open Lecture During COVID-19

Gen-ichiro NAKAMURA*, Takuma KUMAZAWA*, Takumi MUKOUGAWA*,
Machiko NAGAYOSHI*, Satoshi MATSUOKA*, Hironori HATORI*,
Takenori NITTA**, Ryo SHOJI***, Koji TAMADA****

Since 2019, a multipurpose workshop has been set up for students in our college and it is named “Hazamaru Kobo.” However, the workshop was not fully used by students during COVID-19. Therefore, we decided to use the workshop for the local community by holding two open lectures on “Manufacturing” and “Renewable Energy.” This paper reports some of the contents of these open lectures and their evaluation by questionnaire, in terms of education effectiveness. In the questionnaire, the content of open lectures received good evaluations, but there were also some issues. Equipment in the “Hazamaru Kobo” proved to be useful to the local community, so we are willing to plan using “Hazamaru Kobo” for open lectures and giving lectures for visitors.

(Keywords: “Manufacturing,” Open Lecture, Giving Lectures for Visitors, “Hazamaru Kobo,” Renewable Energy)

1. はじめに

2019 年度、本校のコラボレーション・コモンズ棟（以下、CC 棟）内に技術職員が管理運営する新規実習施設である社会実装教育ラボ『はざまる工房』（以下、工房）が設置された。工房は、低学年にも使いやすい試作スペースでありながら、多様な加工・試作機器を有するため高学年の社会実装や卒業研究にも利用できる施設である。より高度な試作をする場合は、精密で大型の工作機械を有するものづくり教育センターや、各学科が持つ専門機器を利用すればよく、工房はものづくりの門戸を広げ、低学年からものづくりマインドを育み、高学年での社会実装教育をより充実させる意図をもって設置された。

しかし、2019 年度末から本校の新型コロナウイ

ルス感染症対策による休校や課外活動の停止の影響で、工房の閉鎖や利用制限を余儀なくされ、学内学生による機器の有効利用が困難な状況が続いている。一方、東京高専の教職員が地域の小・中学校へ出向き講座を開講する出前授業や、東京高専に地域の児童・生徒を招く公開講座の講座開講は、2020 年度後期以後コロナ以前よりもむしろ増加の傾向が見られている。そこで工房が所有する機器を出前授業や公開講座を通じて学外に向けて積極的に有効活用することを考えた。

本報告書では、2021 年 8 月 22 日に事前申し込み定員制で行われた「東京高専公開講座」に 2 つの体験型講座を開講し、一方では講座で使用する実験器具を工房で作製した例、もう一方では工房にある加工・試作機器を複数使用しながら講座を

行った事例を報告する。また将来的にこれらの公開講座内容を小学校などでの出前授業に展開することを見据え、公開講座参加者から講座内容に対してアンケートを通じてうけた評価結果もあわせて報告する。

2. 体験型公開講座（蓄発電）

太陽光発電の補間技術としての蓄電技術と自然エネルギー等による発電技術を体験する、体験型公開講座を開講した。

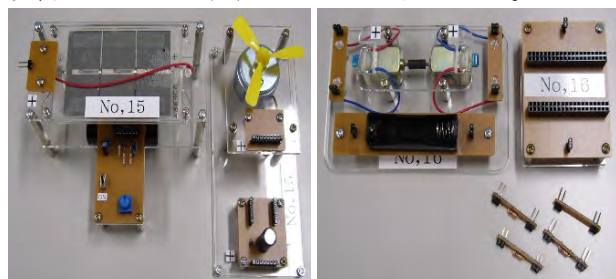
まず、“体験型”となるよう実験器具を開発・製作した^{1,2)}。開発には小学校学習指導要領（電気の利用）³⁾や理科の観察・実験手引⁴⁾を参考にし、小学校 6 年生が理科で学ぶ蓄電・発電を講座内容の中心に据え、周辺学年の児童・生徒も楽しめる実験器具とした。この際、SDGs 教育の意味合いも込めて、自然エネルギーをキーワードとした。

また、本講座開講にあたっては挑戦的試みとして、講座内容を教員が考案・説明、実験器具を技術職員が開発・製作という教員－技術職員の連携による合同講座として行った。

本項では、公開講座実施の実例紹介をすると共に、講座内容や器具に対するアンケートから得られた評価を分析した。

2.1. 実験器具と講座

図 1 に製作した実験器具を示す。図 1(a)は太陽電池で発電した電気をコンデンサにためてモータを回転させる器具である。太陽光発電システムで用いられている蓄電池の役割として、出力が弱い・不安定等のデメリットが蓄電してから利用すると改善できるという利点の説明に使用した。

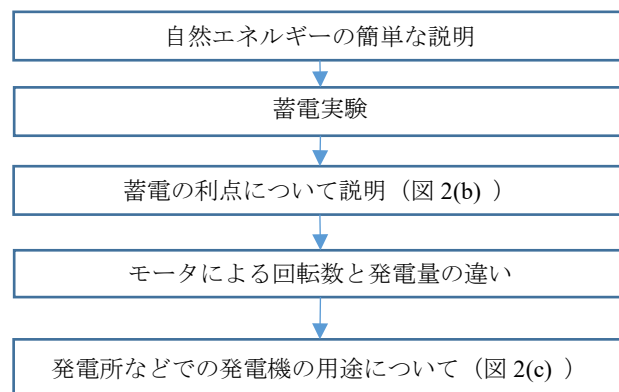


(a) 蓄電の説明用 (b) 発電の説明用
図 1 製作した実験器具

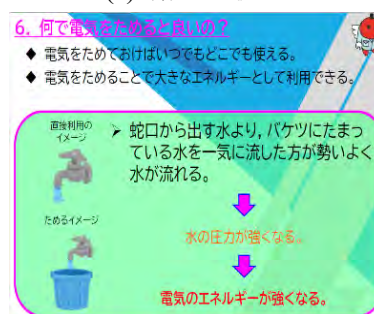
図 1(b)の器具は模型用小型モータを使用して、モータと発電機の基本構造が同じであることの確認と、モータの回転速度の変化により発電される

電気量も変化することを体験してもらうために使用した。また発電所における発電機の実際の使用法についても自然エネルギーを題材として説明をおこなった。

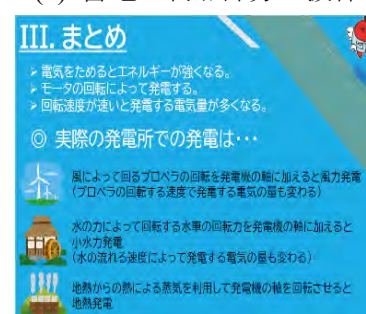
図 2(a)に講座の流れ、図 2(b), (c)に作成⁵⁾・使用したテキストの一部抜粋を示す。講座内容のメインターゲットを小学校 6 年生としたことから、講座所要時間を小学校の 1 コマと同じ 45 分とした。蓄電実験は、2 班に分けて設定時間の違いによる蓄電の効果を確認した。



(a) 講座の流れ



(b) 蓄電の利点部分の抜粋

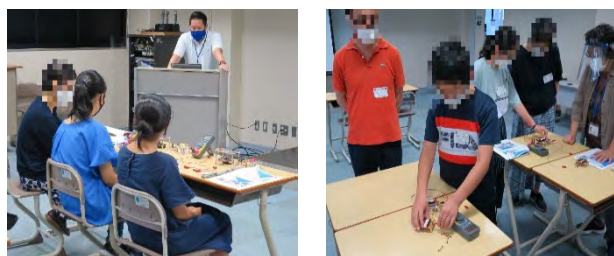


(c) 変電所での発電機の使われ方部分の抜粋

図 2 講座の進め方

2.2. 講座に対する評価アンケート

中心となる年代を小学校 6 年生に設定した講座だったが、参加者は小学校 5 年生：1 名、中学校 1 年生：2 名、中学校 2 年生：3 名の年代、計 6 名であった。講座開催中の様子を図 3(a), (b)に示す。



(a) 蓄電実験

(b) 発電実験

図3 開催講座の様子

講座内で使用した実験器具と講座内容についてのアンケート調査により得られた評価結果について以下に報告する。

2.2.1. 実験器具に対するアンケート結果

開発・製作した実験器具に対して5段階評価のアンケート調査を行った。評価が高い回答ほど高得点となるよう1~5の重み付けをし(回答選択肢例: すごく役に立った: 5, 役に立った: 4, 普通: 3, あまり役に立たなかった: 2, 役に立たなかった: 1) 回答者全員が最高評価のとき合計点が100となるよう規格化して評価した。設問は, 下記の6項目とし, 設問と評価は表1の様であった。

Q1: 実験装置の使いやすさ

Q2: 実験装置による太陽光発電のイメージのしやすさ

Q3: 自然エネルギー由来の電気を蓄電する利点の解りやすさ

Q4: モータが発電機にもなることの解りやすさ

Q5: モータの回転速度と発生する電気量の関係の解りやすさ

Q6: 発電所での発電機の使われ方のイメージのしやすさ

表1 設問項目ごとの評価

設問	評価 (100点満点)
Q1	96.7
Q2	76.7
Q3	93.3
Q4	83.3
Q5	93.3
Q6	73.3

全体的には, 良い評価が得られたと考えられる。しかし, 設問 Q2 と設問 Q6 については, 8 割を超えず講座内での用い方についてもう少し検討していく必要がある。

太陽光発電のイメージのしやすさ(設問 Q2)と蓄電利点(設問 Q3)についての評価を図4として示す。設問 Q3 の「すごく良くわかった」(67%) + 「良くわかった」(33%) を 100%とした時の設問 Q2 との関係を表したグラフである。「役に立った」と「普通」の割合が多く表れている傾向にあることから, 蓄電の役割を講座内において理解させる役割が果たされていると考えている。

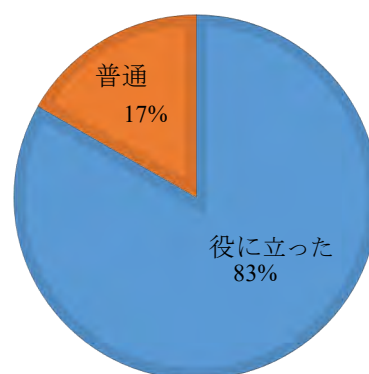


図4 蓄電器具についての評価

回転速度と発生する電気について(設問 Q5)と発電所での発電機について(設問 Q6)の評価を図5に示す。設問 Q5 を「すごく良くわかった」(83%) + 「良くわかった」(0%), 普通 (17%), 「あまり良くわからなかった」(0%) + 「良くわからなかった」(0%) の3段階に分け, 設問 Q6 の回答との関係を表したグラフである。回答した参加者全体の83%が「わかった」と評価しており, この結果も良好な評価傾向がみられ, 発電講座内容を理解させる役割を十分に果たせていると考えている。

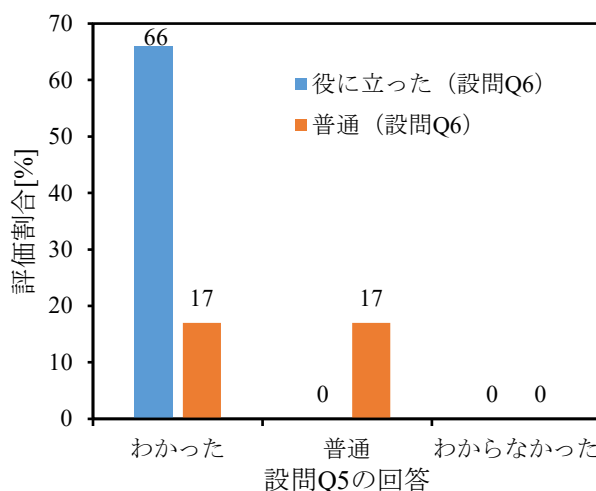


図5 発電器具についての評価

2.2.2. 講座内容に対するアンケート結果

参加者全員が「水力発電」「太陽光発電」「風力発電」「地熱発電」の各自然エネルギーを知っており、また「自然エネルギーで発電した電気をためていること」を知っていると回答した。

講座での説明がわかりやすかったと参加者全員が回答している中において、太陽光発電の仕組みの理解についての結果を図 6 に示す。全体的に「理解できた」、「少し理解できた」と二極化したアンケートの結果となっており、講座の進め方と説明としては、まだ工夫の余地は多いにあるが良い評価が得られた。

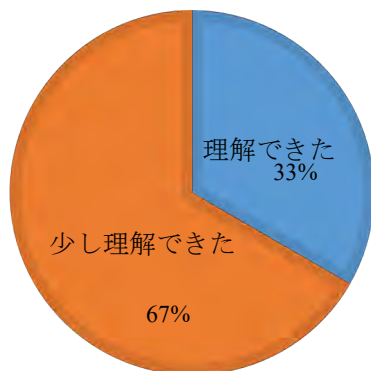


図 6 講座内の説明と仕組みについての理解

自然エネルギーを題材とした蓄電・モータによる発電実験について興味を持った割合と講座の内容について難易度のアンケート結果を図 7 に示す。

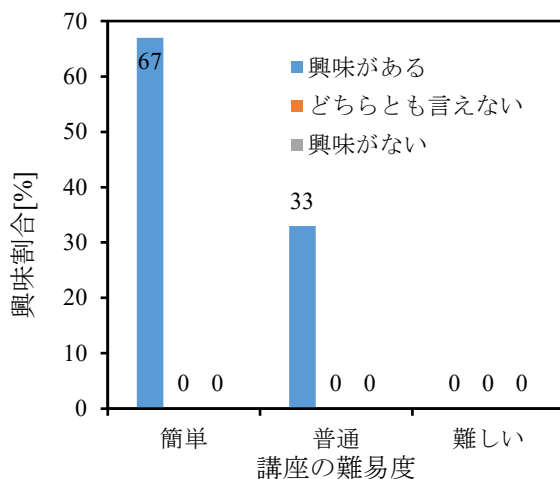


図 7 講座への興味と講座の難易度

回答内訳は、簡単：興味がある（33%）、いくらか興味がある（34%）、普通：興味がある（33%）であった。中心年代を小学 6 年生としたため上の年代には簡単な実験となってしまったが自然エネル

ギーによる蓄電・発電技術に興味を持つきっかけになったのではと感じている。また内容を小学 6 年生中心のままにするのか、対象を広げるのか今後の検討が必要である。興味を持てなかったと回答した参加者は 0%であった。

図 8 に参加学年別と開催時間のについてのグラフを示す。今回は手探りの状態で始めたため、進行速度と小学生が集中できる時間を考え小学校の 1 コマ 45 分に時間設定したが、想定していた講座進行よりも速く終了して時間を持て余す場面があった。これによって 66%の参加者が、講座時間が短く感じた結果と考えられ、従来の我々が想定していたよりも講座内容を増やして開催を行っても支障なく講座進行することができそうである。対象とした小学校 6 年生の前後（小学校 5 年生、中学校 1 年生）を見ても「普通」もしくは「短い」となっているため同様の傾向がうかがえる。

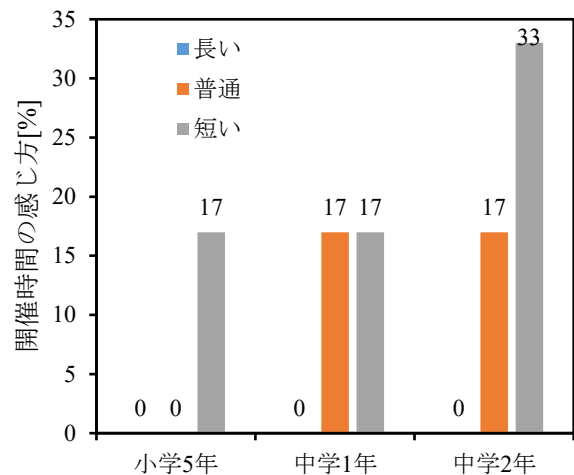


図 8 学年別と講座時間の関係

3. 体験型公開講座（手動射出成型機）

身の回りにある様々な樹脂製品を大量生産する射出成形を体験する、小・中学生向けの体験型講座を開講した。ここでは手動射出成型機を使い、小・中学生でも親しみやすいようオリジナルキーホルダーを製作する講座内容とした。本校入学前の科学に興味のある小・中学生に対して、普段触れることの少ない機器を通じてものづくりの世界を広げてほしいとの思いから、その入り口である工房において本講座を企画したものである。

本項では、工業製品製造を体験する公開講座実施の実例紹介をし、講座内容やものづくりに係る興味などに対するアンケート結果を分析した。

3.1. 手動射出成型機選択の理由

工房には電子回路製作や木工, 金工など幅広い機器を設置しており, 樹脂の加工手段としてはレーザー加工機, 3D プリンタ, 曲げ加工機がある。ここに 2020 年度, 図 9 の手動射出成型機 (INARI™, 株式会社オリジナルマインド) を導入したことでより一層充実したものとなった。



図 9 手動射出成型機

射出成型機は, 私たちが生活を送るうえで欠かせない製品の内部, 外部の微小部品から主要部品に至るまで量産に欠かせない樹脂加工機である。量産向け射出成型機は大型で, 工房には設置ができない。また実験実習向けに保有する高専は存在するが, 学生が技術職員のサポート無しですべての工程を行うことは難しく, 一般に手軽に扱えることができる機器とは言い難い。そこで工房では, 工房内に設置が可能で, 学生でも比較的容易に扱える小型軽量の本手動射出成型機を導入した。小型軽量で操作が容易でも, 量産機と同様に金型製作の基本, 型締め力, 射出圧力, 射出温度, 型予熱温度, 保持時間等の要素を理解し適切に使う必要はある一方, 量産機とは異なり複雑で詳細な設定や調整を必要とせず低学年でも操作が容易である。自身で作製したいものをよりよく製作しようと思えば, 定性的ではあるが自然に各要素を理解できるところが本成型機の利点である。さらに本成型機を使うために, 工房にある小型 NC フライスやモデリングマシン, 3D プリンタを使用してアルミニウム型や樹脂型を製作することで, 産業界とほぼ同じ製作過程を工房内で再現することとなり, 工房が目的とする低学年からのものづくりマインド醸成、本講座の対象である小・中学生へのものづくりの楽しさの体験に適していると考え、手動射出成型機を題材とした。

3.2. 講座の実施方針

従来, 技術職員は夏休みや文化祭における体験講座, 小・中学校向けの出前授業などの支援はも

とより, 独自に企画実施も行ってきた。講座は, 場所, 時間, 設備, 対象が様々であり, 講座内容はそれらに合わせ調整して実施してきた。担当分野により制約の種類は異なるが, 例えば機械工作分野であれば機械装置の可搬性, CAD/CAM 利用時の PC 台数制限等により, 受講者数や受講場所が限定されてしまうことがある。本講座も例外ではなく, 産業界の一般的な作業を模して行えば, 射出成型で一番重要な金型の作製には, PC による CAD 図面作成, CAM を使ったプログラム作成, 切削加工, 型の仕上げ作業と, 設計から製造に数時間から数十時間が必要となる (市販製品は金型設計から製造開始まで数十日かかる)。そのため, この作業を省略するためには事前に金型を用意しておく必要があるが, その場合金型のデザインは主催者側が行うため, 参加者は限られたデザインを選ぶことしかできない。

本講座では, 射出成型の一連のプロセスを, 短時間で高い満足度・達成度を維持しながら体験してもらうため, 参加者オリジナルの型製作を必須とすることとした。射出成型の金型の基本的な構成は図 10 のようにキャビティ (凹型) コア (凸型) であり, 両方を金属から製作するには相当の時間を要するため, 本講座では, キャビティ側を固定デザインの金型, コア側を参加者オリジナルの樹脂型とすることにして時間短縮を狙った。キャビティ側は, 事前にものづくり教育センターのマシニングセンタでアルミニウム型を切削加工した。この型は 1 種類で参加者が好きなデザインを選ぶことはできないが, 親しみやすさを重視し, 本校のイメージキャラクターの『はざまる』をデザインした。コア側は参加者オリジナルデザインとなるので講座時間内での加工が必要となる。そこで加工時間短縮のためアクリル板に凹形状の線画を切削し, 射出後は凸形状の線画が成型品に表現されるようにした。短時間で型をデザイン, 製作するため過去の講座を参考に型製作プロセスを設定した。参考例は, 2019 年のロボコン全国大会への体験講座出展 (於国技館)⁶⁾と, 同年本校文化祭の体験講座出展 (於はざまる工房)⁷⁾である。オリジナルキーホルダーの製作を通じて, 可能な限り多くの来場者に小型切削加工機 (ロボコン出展) やレーザー加工機 (文化祭出展) を体験してもらうため, 時間と端末数が必要な PC 上の CAD/CAM ソフトでのデザインを排し, 専用用紙にペンでデザインを描きスキャンする方式を考案実施した。そ

の結果ロボコン出展では 3 時間で 150 余名、文化祭では 2 日で 500 余名の方に体験してもらうことができた。この形式を応用し、本射出成型機講座では射出成型の要である金型（樹脂型）製作を参加者オリジナルデザインにて迅速に加工することを可能にした。

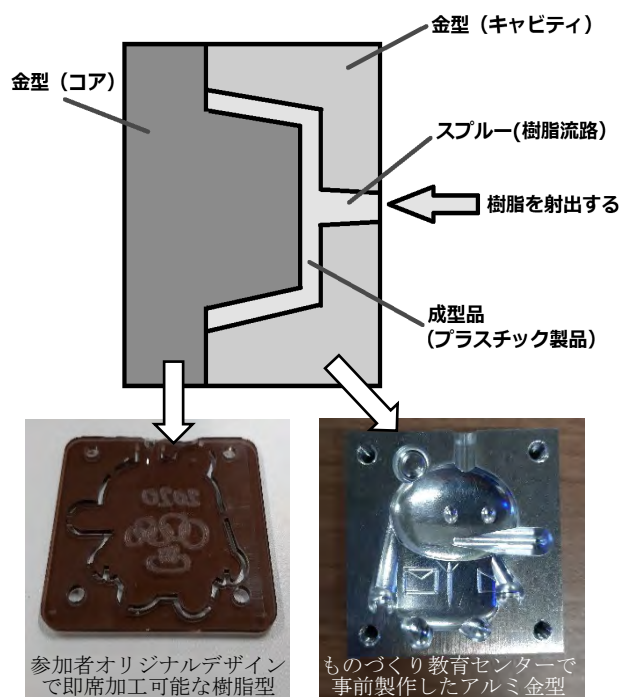


図 10 射出成型金型概略図と講座仕様の型

3.3. 講座の実施

実際の講座は、射出成型の各要素を簡便簡略化して取り入れ、ものづくりの流れを楽しく学んでもらえるように設定した。本講座では、モデリングマシンとレーザー加工機による樹脂型（金型の代替）の製作過程、射出時の温度管理、射出圧力を得る仕組み、電動工具（ボール盤）の扱い、ヤスリがけによる仕上げなど、製品作製の一連の過程を体験、学習することができる。金型製作から射出、成型品取り出しまで講座全体の流れは表 2 のとおりである。

表 2 講座の工程と内容

順	講座工程	内容
(1)	スライドによる説明	プラスチック原料と製品、樹脂成型の種類、講座の流れ
(2)	キーホルダーデザイン（図 11）	専用紙に油性ペンで自由に絵や文字を描く

(3)	樹脂型作製（図 12）	用紙スキャン、モデリングマシンでアクリル板切削
(4)	射出成型機実機説明（図 13）	射出の仕組み、リンクを使った増力機構、成型手順
(5)	成型体験（図 14、図 15）	樹脂投入加熱・金型組立・型予熱・組付け・射出・冷却
(6)	後処理（図 16）	成型品取出し、ボール盤で樹脂型への穴あけ
(7)	レーザー加工機実演（図 17）	樹脂型の切出しの実演とレーザー加工機の説明

(1) スライドによる説明

参加者が小学 4 年生～中学 3 年生と幅広く、知識に差があったため、プラスチックの性質、原料の原油の産出、運搬と消費量、精製法をスライドにより紹介した。また、射出成型の他に、真空成型、ブロー成型、押出成型等の樹脂成型法について、様々なプラスチック製品の製造法が理解できるように説明を行った。

射出成型の仕組みについては、本校卒業生が経営する射出成型製品製造会社に協力を頂き、金型設計・製作、樹脂流動解析、型組み込み、射出、製品検証のプロセスについて、スライドと実際の製造現場の動画を用いて説明した。

(2) キーホルダーデザイン

参加者オリジナルのキーホルダーとするために、参加者には樹脂型（凸型：コア）に彫るイラストや文字などの線画デザインを専用紙（図 11）に描いてもらった。デザインしやすいよう、専用紙には小学生にもわかるような説明とデザイン外形を示し、これらは後の工程で自動削除され線画デザインのみが残るよう青色とする工夫をした。

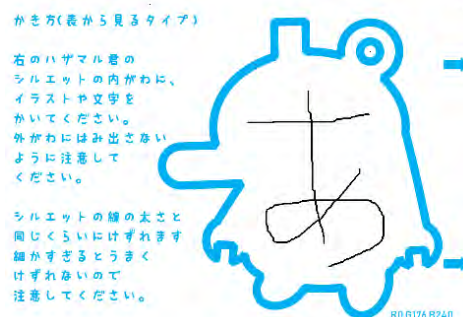


図 11 デザイン用専用紙（青線は自動削除）

(3) 樹脂型作製

専用紙をドキュメントスキャナで PC に取り込み, モデリングマシンで 2 mm 厚のアクリルの板に線画を深さ 0.5 mm で切削した。(2)の工夫により CAD/CAM 操作が無く, スキャンから切削終了まで 2~5 分という迅速作製を実現した(図 12)。

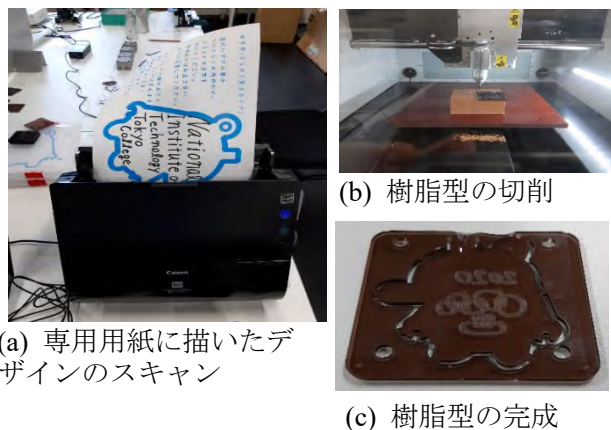


図 12 用紙のスキャン～切削

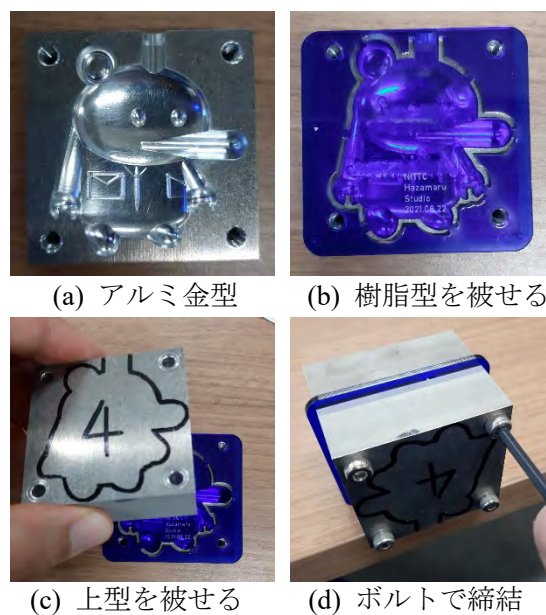


図 14 樹脂型とアルミ金型の組立

(4) 射出成型機実機説明

本手動射出成型機は人力(最大 60 kg と想定)をてこの原理を用いて最大 17 倍に増力し射出方向に約 1 トンの力を得る仕組みである。一般的なてこの原理を, リンク機構を使い適切な向きに変換し射出圧力を得る。仕組みの理解のために機構学(瞬間中心)について模型(図 13)を作り説明した。

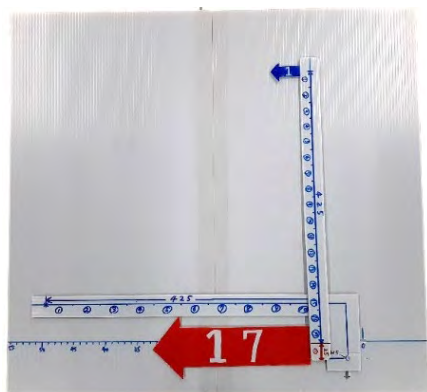


図 13 増力機構の説明用模型

(5) 成型体験

射出成型では, 射出樹脂, 型の温度管理が重要である。講座前に割り出した各温度の再現性を高めるため, 型の余熱器, 射出成型機シリンダー, 冷却器の動作時間をキッチンタイマーで管理した。

金型の組み立ては, キャビティとコアの意味が理解できるように参加者自身が金型を合致・組立した(図 14)。

次に, 組立てた型を余熱器にて 80℃ で 4 分間加熱するとともに, 成型機に指定量までポリスチレンペレットを投入し 245℃ で 3 分間加熱した。両加熱完了後, 型を成型機に取り付けレバーが止まるまで力強く押し下げ, 樹脂の引け防止にそのまま 10 秒程度保持し圧力をかけ続けた(図 15)。この後, 型を冷却器で 1 分間冷却した。

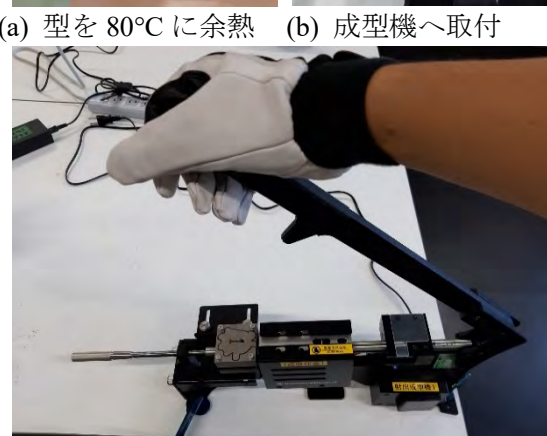
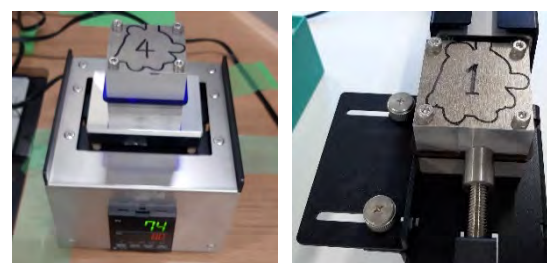
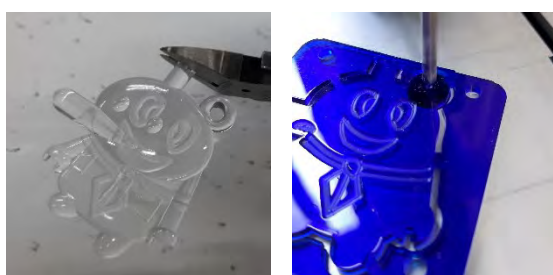


図 15 型の余熱・取付と樹脂の射出

(6) 後処理

最後に型を分解して成型品を取り出し、樹脂の通り道にできた不要部分をニッパで切り取り、バリをヤスリがけで仕上げた。また樹脂型も、記念品として持ち帰り講座後日に射出成型の仕組みを思い返せるように、『はぎまる』の輪郭型キーホルダーとして切り取れるデザインとした。樹脂型の不要部分を参加者自ら切り取り、キーホルダー用の穴をボール盤で開けてもらった。

参加者自ら仕上げ作業をすることで、手を動かして形を作り上げ、製作品に愛着をもつものづくりの基本を体験してもらう重要な工程である(図 16)。



(a) 成型品の仕上げ (b) 樹脂型の仕上げ



(c) 完成品 (左)成型品 (右)樹脂型

図 16 成型品の仕上げと完成品

3.4. アンケートによる講座の検証

本講座は前章の蓄発電講座と同様に、参加人数を小学4年～中学3年の最大8組の事前申込制にて制限し、当日の参加は小学生が3組、中学生が3組で殆どが親子での参加であった。終了時のアンケートから、講座構成の適正性、講座内容の適正性、射出成型への関心、様々な講座への関心、について分析した。

3.4.1. 講座構成の適正性

図 17 は講座の構成の適正性についてまとめた

グラフである。おおむね良好な回答が得られているが、説明のわかりやすさと時間、作業の難易度について難色を示す回答があった。これらの回答は小学生によるものであり、説明については樹脂材料や成型の仕組みが難しかったと考えられ、作業については成型機操作の力加減が難しいと記述されていた。対象年齢の幅が広いため、小学生については質問しやすい環境を作るなどの改善が必要と考えられる。

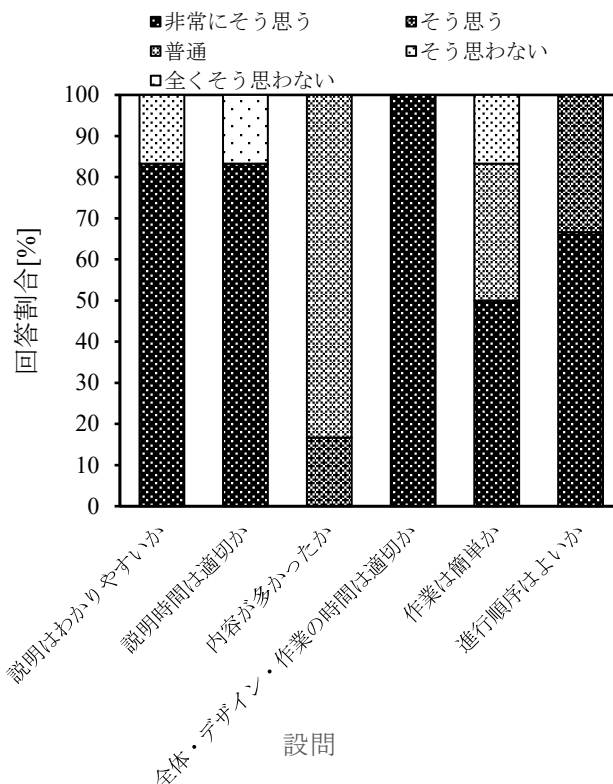


図 17 講座構成の適正性に関する回答

3.4.2. 講座内容の適正性

図 18 は内容の適正性についてまとめたグラフであり、おおむね良好な回答が得られた。『また参加したいか』との設問に否定的な回答があったが、回答理由として会場が自宅から遠いとの記述があり、講座の内容とは無関係である。『はぎまる』形状のキーホルダーのデザインについても良好な回答が得られている。入学したと仮定したとき、はぎまる工房を利用したいかとの回答も全員が利用したいと回答しており、工房におけるものづくりに興味関心があることが分かった。

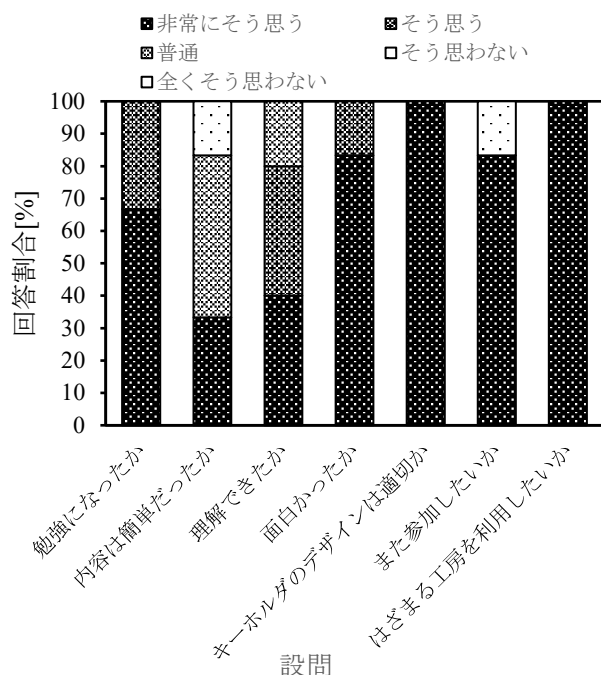


図 18 講座内容の適正性に関する回答

3.4.3. 射出成型への関心

図 19 は、「本講座を選んだ理由について」(複数回答可)の回答の内訳を示している。オリジナルキーホルダーの製作への興味だけではなく、本講座の目的である射出成型機の操作や仕組み、プラスチックの加工法について興味があることが分かり、講座の開講意義を再確認できた。

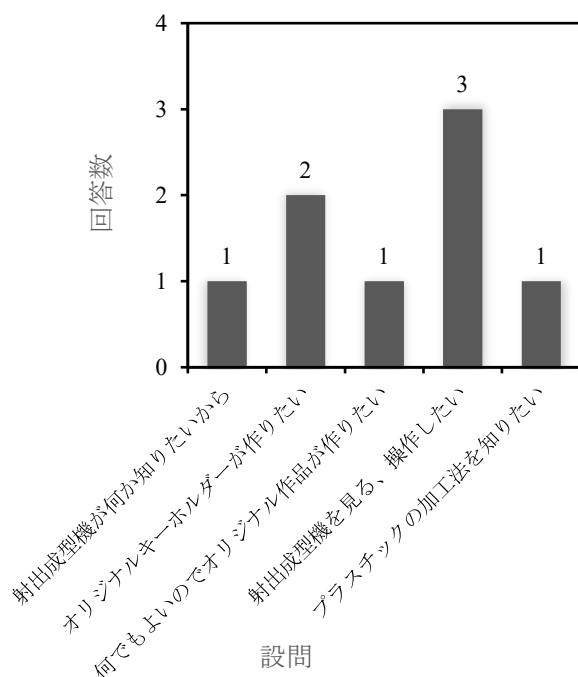


図 19 本講座を選んだ理由への回答

3.4.4. 様々な講座への関心について

図 20 は、本講座内で説明または使用した機器やソフトウェア、原理について、今後それらについての講座があれば参加したいかとの問いに対する回答である。3D プリンタが突出して多いのは、メディア等による露出の多さによる興味関心の高さと考えられ、これまでも講座を開いてきた機器でもある。モデリングマシン、レーザー加工機、マシニングセンタについては、本講座の型製作に使用しており、目に見える形で動作するため興味関心を抱きやすく、回答があったと思われる。てこの原理や CAD/CAM には回答がなかったが、講座という括りには結び付きにくいからと考えられる。しかし、技術的な観点では重要であるので、講座内での説明に具体的事例や理解しやすい説明を増やすなど工夫が必要と考えられる。

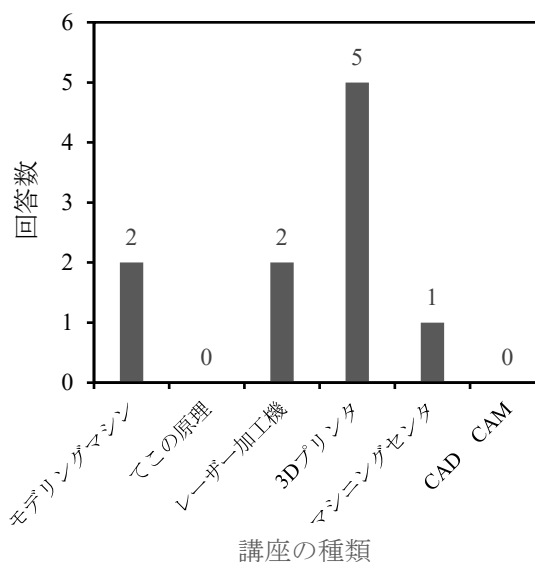


図 20 様々な講座への関心に関する回答

4. まとめ

工房を学外に向けて利用する 2 つの体験型講座を開講した。

蓄発電講座では、工房で技術職員が実験器具を製作し、教員と連携して講座を行った。工房での実験器具作製・教員との連携ともに初の試みであった。アンケートから工房で製作した器具が講座の内容を理解する上で十分な役割を果たすことがわかった。一方で、講座実施において時間配分、所要時間、講座内容で工夫を要する点も見つかり、本講座の出前授業等への展開を前提に今後修正していく必要がある。

手動射出成型機講座では、手動射出成型機の他様々な加工機器を用いてもものづくりの流れを楽しく学ぶ講座を行った。アンケートから講座内容が適正であり、受講者のものづくりに対する興味の高さと、それをより高める講座の目的が一致している様子が伺えた。また、目に見えて機器が動作する講座内容に比べ、理論やソフトウェアへの興味が薄い傾向が見られ、出前授業等への展開ではこの点の興味を引く工夫が必要とわかった。

『はざまる工房』の設置というものづくり環境の整備は本校学生に向けてのものであったが、教職員の教材・実験器具の作製にも時間の短縮や、困難な製作を可能とする役割を果たすことがわかった。また、コロナ禍を期に学外に向けての利用にも有用であることがわかり、今後積極的かつ柔軟に工房を運用していきたい。

謝辞

手動射出成型機講座の実施にあたっては、泰興物産株式会社に技術協力、資料提供をいただきました。ここに深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 松岡敏, 伊藤祐, 中村源一郎, 向川拓臣, 新田武父, 溝口将吾, 永吉真知子, 藤野宏, 羽鳥広範, 庄司良: はざまる工房を活用したものづくりと公開講座, 東京工業高等専門学校研究報告書第 52 号, pp.56-61, 2021 年 3 月
- 2) 松岡敏, 伊藤祐, 中村源一郎, 向川拓臣, 溝口奨吾, 永吉真知子, 藤野宏, 羽鳥広範, 新田武父, 庄司良, 玉田耕治: ものづくり工房を活用した電子工作の事例紹介と公開講座・基板への実装, 技術・教育研究論文誌, Vol.28No.1, pp.5-12, 2021 年 6 月
- 3) 文部科学省: 小学校学習指導要領(平成 29 年告示)解説理科編, pp.82-83, 2017 年 2 月
- 4) 文部科学省: 小学校理科の観察, 実験の手引き, pp.161-165, 2011 年 3 月
- 5) 山本良一: 「クリーン発電」がよくわかる本, 東京書籍, pp.44-47 pp.62-63 pp.92-93 pp.102-103 pp.110-111, 2005 年 12 月
- 6) 藤野宏, 中村源一郎: 全国高等専門学校ロボットコンテスト 2019 全国大会高専連合会・機構本部ブースへの東京高専ブース出展, 令和元年度教育研究技術支援センター報告集, p.31, 2021 年 3 月

- 7) 中村源一郎: 櫛田祭におけるはざまる工房オリジナルキーホルダー作成講座の運営, 令和元年度教育研究技術支援センター報告集, p.45, 2021 年 3 月

(2022 年 1 月 14 日 受理)

©東京工業高等専門学校

東京工業高等専門学校研究報告書

第53号

令和3年度

令和4年3月31日発行

編集者 東京工業高等専門学校情報・図書・広報室

発行者 東京工業高等専門学校

〒193-0997 東京都八王子市栢田町1220-2

TEL (042) 668-5111