

BULLETIN
OF
NIPPON BUNRI UNIVERSITY

VOL. 53 NO. 2 OCTOBER 2025

日本文理大学紀要

第 53 卷 第 2 号

令和 7 年 10 月

日 本 文 理 大 学

大分市大字一木

日本文理大学紀要

第 53 卷 第 2 号

令和 7 年 10 月

目 次

〔論 文〕

工 学 部

呼吸管理中の患者が発声を可能とするための吸気供給システムの提案

— 真空エジェクタ形状の有効性の検討 —	大 惠 克 俊	1
	青 井 宏 樹	
	平 川 皇 樹	
	中 茂 陸 裕	
	内 村 俊 二	
絵本におけるクライとダケ	東 寺 祐 亮	7
	美 濃 祐 子	

経営経済学部

公民科教科書における「熟議」の扱いの現状と課題

— 「公共」「政治・経済」初版教科書の記述をもとに —	斉 藤 雄 次	13
-----------------------------	---------	----

〔研究ノート〕

NBU GEN-HEL の開発（第1報）

— ブレード運動の数学モデル —	大 城 鳳 花	23
	中 山 周 一	

NBU GEN-HEL の開発（第2報）

— NASA ロータ風洞試験とのロータ揚力／抗力比較検証 —	大 城 鳳 花	33
	中 山 周 一	

NBU GEN-HEL の開発（第3報）

— NASA ロータ風洞試験との回転トルク比較検証 —	大 城 鳳 花	45
	中 山 周 一	

国語科教育法の授業に関する一提案

— 「言葉」の学習項目に着目して —	東 寺 祐 亮	53
--------------------	---------	----

〔事例報告〕

STEM 教育の教材としての紙飛行機の活用	大 森 正 勝	59
加振器を用いた学生実験および研究展示	松 原 力 哉	65
	中 山 周 一	
	有 吉 雄 哉	
	室 園 昌 彦	
インストラクショナル・デザイン理論を活用した学生の成長意識向上に関する実証研究	坂 井 美 穂	73
	松 原 かおり	
	測 上 千 香 子	
	吉 村 充 功	
デジタル画像制作の教育実践に関する一報告		
— 造形表現における素材の扱いの観点から —	足 立 元	79
日本文理大学経営経済学部における教育手法の共有		
— 教員座談会と動画撮影・保存の事例 —	阿 部 裕 香 里	85
	河 村 裕 次	
	小 久 保 雄 介	
	長 崎 浩 介	
	吉 本 圭 一 郎	
日本文理大学経営経済学部における授業形態およびPCの使用状況について	小 久 保 雄 介	91
	阿 部 裕 香 里	
	河 村 裕 次	
	長 崎 浩 介	
	吉 本 圭 一 郎	

〔論 文〕

呼吸管理中の患者が発声を可能とするための 吸気供給システムの提案 — 真空エジェクタ形状の有効性の検討 —

大恵 克俊*, 青井 宏樹*, 平川 皇樹*, 中茂 睦裕*², 内村 俊二*³

*日本文理大学工学部機械電気工学科

*²湘南工科大学情報学部情報学科

*³第一工科大学工学部情報・AI・データサイエンス学科

Proposal of an Inspiratory Air Supply System to Enable Vocalization in Mechanically Ventilated Patients — An Evaluation of the Effectiveness of Vacuum Ejector Geometry for Performance Enhancement —

Katsutoshi OE*, Hiroki AOI*, Misaki HIRAKAWA*, Mutsuhiro NAKASHIGE*², Shunji UCHIMURA*³

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

*²Department of Informatics, Faculty of Informatics, Shonan Institute of Technology

*³Department of Information, Artificial Intelligence and Data Science, Faculty of Engineering,
Daiichi Institute of Technology

Abstract

Patients requiring respiratory management due to conditions such as amyotrophic lateral sclerosis (ALS) who use a tracheotomy-mediated ventilator are unable to vocalize, as air cannot be supplied to their vocal cords. For these patients, vocalization can be achieved by delivering air into the trachea through the tracheal orifice using an oxygen cylinder or a hospital room's oxygen supply system, thereby vibrating the vocal cords. Our research has focused on developing a control system for an electric artificial larynx utilizing muscle potential signals from the neck. We have previously proposed a system that incorporates this control to activate a small pump for air supply. While we have also proposed a pump unit design employing multiple small pumps with piezoelectric elements, this paper reports on the results of finite element simulations for a novel shape. This new design demonstrates the potential to enhance flow rate and pressure by applying the principles of vacuum ejectors.

キーワード：呼吸管理, 空気供給システム, 真空エジェクタ, 筋電位信号, 筋萎縮性側索硬化症, 圧電ポンプ

Keywords : respiratory management, air supply system, vacuum ejector, myoelectric signal, amyotrophic lateral sclerosis, piezoelectric pump

1. はじめに

わが国では嚥下障害や ALS（筋萎縮性側索硬化症）等の疾患により、人工呼吸器を用いた呼吸管理を行うために気管切開を行った患者が約7,400人いると言われて⁽¹⁾いる。人工呼吸器は外科的手術により頸部に開けた気管孔にカニューレを装着し、それを介して機械的に空気を肺に送り込み呼吸を行うものである。しかし気管孔を開けることで呼気・吸気が声帯のある咽頭上部を通過しなくなるため声帯を振動させることができなくなり、声の基となる喉頭原音を発生することが不可能となる。その結果、声帯、舌、口腔、鼻腔等の構音器官が健在であるにも関わらず声を失うこととなる。また人工呼吸器から離脱できる状況になった際にも、長期間に渡り声帯を使用しないため上手く発声することができない場合もある。またカニューレは嚥下機能の低下により誤嚥を起こす患者に対して予防策として使用される場合もあり、この状況においても上記と同じ理由で発声が可能となる。

音声は人間にとって非常に重要なコミュニケーション手段であり、それを失うことは非常に不便であるだけでなく精神的なストレスにもつながる。そこでカニューレを装着した状態でも発声が可能となるよう、カニューレに設けられた吸引用のラインから空気を気管内に送り込み、その気流により声帯を振動させて発声する手法を用いる場合もある⁽²⁾⁽³⁾。しかしこの手法は空気の供給源として酸素ボンベやベッドサイドに設けられた酸素供給口を使用するため、コストや可搬性に関して問題がある。

これらの問題点を解決するため、我々は酸素ボンベ等に代わる空気供給装置として小型ポンプに着目し、これまでに株式会社村田製作所の小型ポンプ「圧電マイクロプロア」を使用したポンプユニットを提案してきた。特に流路形状の改良によるユニットとしての性能向上を進めてきたが、吐出圧力、吐出流量ともに必要性能を満たすことができなかった⁽⁴⁾。そこで本報告では、本来真空ポンプとして使用される真空エジェクタの原理を応用した、小型、高圧、高流量が期待されるポンプユニット形状を提案、有限要素シミュレーションにより特性の評価を行ったので、その結果について述べる。

2. 呼吸管理による発声障害と従来の発声方法

2-1 呼吸管理による発声障害

ALSや筋ジストロフィー等の疾病や、事故によるけが等により自力での呼吸が困難な患者は人工呼吸器により呼吸管理を行う。その際、頸部付け根前面に気管切開を行い気管孔を形成、気管カニューレを挿入・留置する。しかしこの状態では呼気・吸気ともに気管孔を通過するため、その上部に位置する声帯を気流が通過しなくなる。そのため声帯を振動させる気流が存在せず、音声の基となる喉頭原音の発生ができなくなり、結果として発声が可能となる。しかし多くの場合は声帯をはじめ口腔、鼻腔、舌、口唇などの発声に関わる器官に機能上の問題がないため、声帯に気流を通すことで再び発声が可能となる。

2-2 従来の発声方法

図1にカニューレの吸引ラインと酸素ボンベを用いた発声方法（吸引ライン・コンスタントフロー法）の模式図を示す。酸素ボンベからの気流は吸引ラインを通り気管内に導かれ放射される。本発声方法はその気流を用いて声帯を振動させ喉頭原音を生成するものである。この酸素ボンベの代わりに室内の酸素供給口を使う場合もあるが、酸素ボンベの場合はその重量や大きさが、酸素供給口の場合は設置されている室内でしか使用できない点の問題となる。そこでボンベや酸素供給口などの代替となる空気供給装置を小型化し、可搬性を高めることで屋外や外出先でも使用可能なものの実現が期待される。

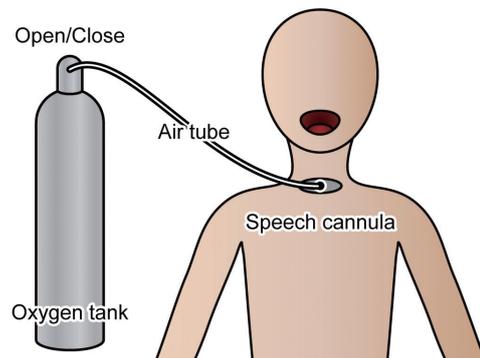


図1 吸引ライン・コンスタントフロー法

2-3 小型ポンプを用いた発声方法

前節で述べた通り、従来手法は気流源となる機構の問題により実用において非常に不便であることが明らかであり、普及させることは困難であると考えられる。そこ

で軽量小型で気流のオンオフが電氣的に容易に制御可能な電動ポンプを用いた空気供給装置を提案する。気流供給装置を発声時にスイッチが入る軽量・小型のポンプユニットに置き換えることで、可搬性および経済性の向上が見込まれる。ここで使用する発声時にオン、非発声時にオフとする制御システムは、我々のこれまでの研究成果により作製済みであり⁽⁵⁾、本制御システムをほぼそのまま使用可能であると考えられる。

3. マイクロプロアを用いた小型ポンプユニット

3-1 概略

図2に小型ポンプユニットを用いた発声方法の模式図を示す。従来の酸素ポンペに代わり、空気供給装置として小型のポンプユニットを採用、オンオフ制御は頸部筋電位信号により行う。この制御システムは電気式人工喉頭を制御するために作製したが、頸部筋の一つである胸骨舌骨筋の筋電位信号を測定することにより、発声時にオン、非発声時にオフの制御用信号を生成することが可能であり、このまま本発声システムに適用可能である。小型ポンプユニットの作製にあたり、株式会社村田製作所の圧電マイクロプロア MZB1001T02 に着目した。これは圧電セラミックスで駆動されるポンプであり、一つの寸法が $20 \times 20 \times 1.85$ [mm] と小型である。これを複数連結することで、発声に必要な流量を確保することを目的とする。

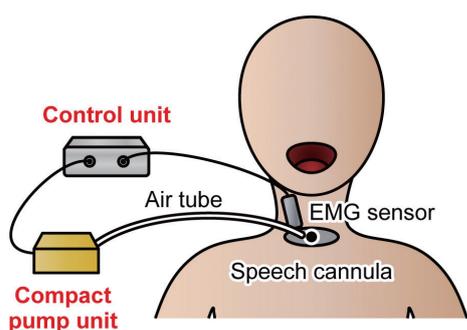


図2 小型ポンプユニットを用いた発音法

3-2 ポンプユニットの必要仕様

川島らは酸素ポンペを用いた発声法を試みており、酸素流量 $3\text{L}/\text{min}$ から $5\text{L}/\text{min}$ において発声が可能であったと報告している⁽³⁾。そこで我々は空気供給装置に必要な性能を求めるために、気流阻止法を用いて上記の2条件の際の呼気流量および呼気圧力と、比較のために健康男性の発声時における呼気流量、呼気圧力を測定した⁽⁴⁾。その結果を表1に示す。使用予定の圧電マイ

クロプロアは、 21V の電圧を印加した際の流量が $11.6\text{mL}/\text{s}$ 、圧力が 1.5kPa ⁽⁶⁾であるため、 $5\text{L}/\text{min}$ の酸素ポンペと比較すると圧力がやや不足するが、流量は10個程度を並列で使用することで十分な性能が得られると考えた。従ってポンプユニットとしての目標値を流量 $100\text{mL}/\text{s}$ 、圧力 1.5kPa と設定した。

表1 気流阻止法により測定した酸素ポンペ使用時と健康男性の発声時の呼気流量と呼気圧力

	Oxygen tank		Healthy male
	3L/min	5L/min	
Flow rate (mL/s)	55.5	84.6	159.2
Pressure (kPa)	1.10	2.211	0.218

3-3 試作ポンプユニット

これまでにサイズの関係からマイクロプロアを8個使用したものを試作、その性能評価を行った。その際、流路形状を変更することで圧力が少し低下するものの流量が増加することが確認された⁽⁷⁾。そこでFEM解析を用いた流路形状の改良を行った結果、流量、圧力の改善が見られたが、所望の数値を得ることはできなかった。

4. 真空エジェクタ型ポンプユニット

4-1 真空エジェクタ

小型で高圧力・大流量のポンプユニットを実現するために、真空エジェクタの原理を応用した新しい形状を考案した。図3に真空エジェクタの模式図を示す。真空エジェクタの原理は、流体の速度が上がると圧力が低下するベルヌーイの定理を利用したものであり、高压流体を駆動源とし、それをノズルから高速噴射することでボディ内に低圧空間を生成、インレットより外部流体を吸引する。駆動流体は吸引された流体を伴いながら出口へ向かい、ディフューザ部において減速しながらほぼ損失無く運動エネルギーを圧力エネルギーに回復、昇圧する。

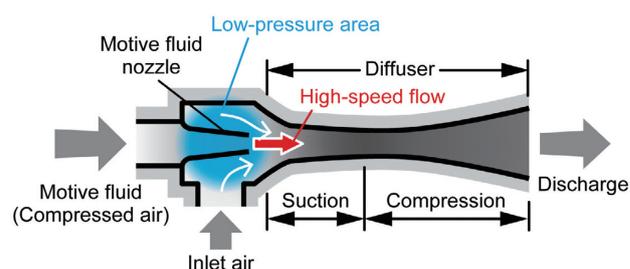


図3 真空エジェクタの模式図

4-2 真空エジェクタを応用したポンプユニット

我々が提案する真空エジェクタ型空気供給装置を図4に示す。図中のインレットより駆動流体を流し込み、アウトレットより拡散・排気、その過程でサイドインレットより外部流体を吸引することで、アウトレットにおいて高流量の気流の生成が期待される。声帯の振動にはアウトレットからの気流を気管内に導入し使用する。駆動流体としては先述の圧電マイクロプロアを直列に接続したものの使用を想定している。真空エジェクタの標準供給圧力は300kPaとされており、これまで使用してきたMZB1001T02では1個当りの吐出圧力が1.5kPaと低く、必要な圧力を得るためには20個以上必要となり、可搬性が低下する。そこで吐出圧力を30kPaに高めたMZB3004T04⁽⁸⁾に変更し、10個直列で使用することで所望の300kPaの供給圧力を得ることが可能となる。本報告で提案する空気供給装置の主要寸法を図5に示す。全長は24.5mm、直径は8mmとかなり小型であることが分かる。図左端が圧電マイクロプロアアレイに接続される。

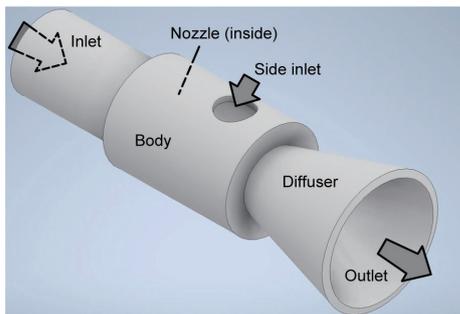


図4 真空エジェクタ型空気供給装置

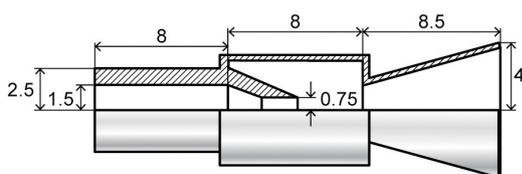


図5 提案する空気供給装置の主要寸法

5. 有限要素解析による性能評価

5-1 目的

提案した真空エジェクタ型ポンプユニットの性能を有限要素解析により評価する。

5-2 方法

図4および図5のボディ部にサイドインレットとして直径10mmの穴を開けたモデルを作成、下記条件にて有限要素解析を行う。

1) 使用ソフト：ANSYS2024 R1 アカデミック版

2) 解析条件

使用気体：空気、入口圧力：300kPa。出口圧力：大気圧開放、サイドインレット圧力：大気圧開放、温度：27℃、壁面滑り無し

3) サイドインレット個数：0, 2, 4個

4) 要求性能

出口圧力：1.4kPa+大気圧、出口流量：100mL/s

5-3 解析結果および考察

図解析結果の1例として、図6にサイドインレットが4個のときの流線および出口圧力分布のコンター図を示す。図6よりサイドインレットからの吸込が確認された。

サイドインレットの個数を変えた際の出口圧力（出口前面での平均値）を表2に示す。穴がない場合の出口圧力が98.059kPaであるのに対し、2個の場合は102.932kPa、4個の場合は104.992kPaとなった。この結果から穴を増やすことで出口圧力が増加することが確認された。さらに4穴において出口圧力と大気圧101.325kPaとの差をゲージ圧とし、声門下圧と比較したところ、3.667kPaとなり標準的な声門下圧である0.57~1.4kPaと比較して過大であることが明らかとなった。また出口における流速と断面積を乗して流速を求めると1830mL/sとなり、呼気流量の目標値である100mL/sと比較して

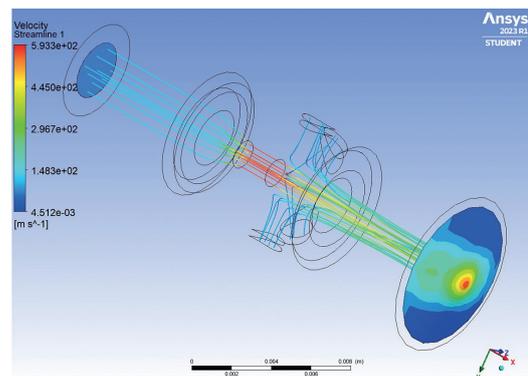


図6 入口圧力300kPa、サイドインレット4穴の際の解析結果

表2 入口圧力300kPa、サイドインレットの個数0, 2, 4個の際の出口圧力

	Number of side inlets		
	0	2	4
Outlet pressure (kPa)	980.59	102.932	104.992

大幅に過大であることが分かった。この結果から駆動圧力を減じて必要な出口圧力および流量が得られることが推測される。そこで使用する圧電マイクロブローアの個数を減らした条件についての解析を行うこととした。

5-4 入口圧力を減じた際の有限要素解析

前節の結果に基づき、入口圧力を圧電マイクロブローアの個数を8個および5個とした場合の圧力である240kPa、150kPaとして解析を行った。またサイドインレットの個数は多いほど出口圧力が高いという結果が得られているため、本節では4穴の場合について解析を行う。入口圧力、サイドインレットの個数以外は5-2節と同じ解析条件を使用する。

5-5 解析結果および考察

表3に各入口圧力における出口圧力と大気圧との差（ゲージ圧）および流量を示す。入口圧力が240kPaの条件においては要求性能に対して必要十分な出口圧力と過大な流量が、入口圧力150kPaの条件においては最低限の出口圧力と過大な流量となることが確認された。以上の点から現状の出口圧力を維持しつつ流量を減らす形状を模索することで、使用する圧電マイクロブローアの数減らすことが可能であると考えられ、将来的な小型・軽量化を実現できることが予測される。

表3 入口圧力を変化させた際の出口でのゲージ圧と流量

	Inlet pressure (kPa)		
	300kPa	240kPa	150kPa
Gauge pressure (kPa)	3.667	1.506	0.584
Flow rate (mL/s)	1830	1469	915

6. まとめ

本報告において以下の知見が得られた。

- 1) 提案したポンプユニット形状は圧力および流量の増加に有効であることが確認された。
- 2) サイドインレットの個数を増やすことで出口圧力の向上が確認された。
- 3) さらに形状を改良することで、より小型・軽量な空

気供給システムの実現が期待される。

今後はサイドインレットと内部ノズルの相対位置や、ディフューザ部の寸法および形状などを変更して、より優れた特性を持つポンプユニットの実現を目指す予定である。またシミュレーションで結果が得られた後には実際に試作し、その特性の評価を行う計画である。

謝辞

本研究の一部は、文部科学省科学研究費補助金（基盤研究（C）23K11974）の補助を受けたものである。

参考文献

- (1) 宮地隆史：「全国都道府県別の在宅人工呼吸器装着差調査（2018年）」、北海道立工業試験場報告、<https://plaza.umin.ac.jp/nanbyo-kenkyu/asset/content/uploads/2019/04/全国都道府県別在宅人工呼吸器装着者調査2018.pdf>（2024. 6. 15閲覧）
- (2) 太田昭生他：「脳出血患者に発声用サイドライン付き気管カニューレ（ポーカレイドTM）を利用した発声訓練の経験」、リハビリテーション医学、Vol. 43 (Suppl) pp. S189（2006）
- (3) 川島広明他：「気管切開患者における吸引チューブを使用した発声訓練の検討」、音声言語医学、Vol. 51, No. 1 pp. 87（2010）
- (4) 木場智美他：「圧電振動子を用いた発声補助用小型ポンプの研究」、日本機械学会講演論文集、No. 218-2 演題番号716（2021）
- (5) K.Oe：「An electrolarynx control method using myoelectric signals from the neck」、Journal of Robotics and Mechatronics, Vol. 33, No. 4 pp. 804-813（2021）
- (6) 株式会社村田製作所、製品情報マイクロブローア MZB1002T02、https://www.murata.com/ja-jp/products/mechatronics/fluid/overview/lineup/microblower_mzb1001t02（2024. 6. 15閲覧）
- (7) 株式会社村田製作所、製品情報マイクロブローア MZB3004T04、https://www.murata.com/ja-jp/products/mechatronics/fluid/overview/lineup/microblower_mzb3004t04（2024. 6. 15閲覧）

〔論 文〕

絵本におけるクライとダケ

東寺 祐亮*, 美濃 祐子*²

*日本文理大学工学部

*²日本文理大学経営経済学部経営経済学科

Kurai and Dake in Picture Books

Yusuke TOJI*, Yuko MINO*²

*School of Engineering, Nippon Bunri University

*²Department of Business and Economics, School of Business and Economics, Nippon Bunri University

Abstract

Extensive research has indicated that reading picture books aloud supports language development in young children. In this context, the varied linguistic input provided by picture books plays a crucial role. However, this input is not entirely comprehensive, as some words spoken by young children may occur infrequently in picture books. In this study, we focused on the adverbial particles (*fukujoshi*) “*kurai*” and “*dake*,” which typically begin to emerge in children’s speech between the ages of 1.5 and 2.5 years. We investigated the extent to which these words are represented in the picture books through morphological analysis. The findings revealed that although input for “*kurai*” and “*dake*” can be acquired through picture book reading, “*kurai*” appeared in only 2 out of 40 books (13 instances), and “*dake*” appeared in only 3 out of 40 books (3 instances), indicating that neither word occurs frequently. Based on these findings, this study also proposes methods to increase the input of these words, such as through the use of singing and hand games.

キーワード：絵本, 形態素解析, 副助詞, クライ, ダケ

Keywords : picture books, morphological analysis, adverbial particles, *kurai*, *dake*

1. はじめに

絵本の読み聞かせが幼児の言語発達を促すことは、これまで多くの研究において指摘されている (DeBaryshe, 1993; Farrant & Zubrick, 2012; Reese & Cox

1999; Payne, Whitehurst & Angell, 1994; Whitehurst, Falco, Lonigan, Fischel, DeBaryshe, Valdez-Menchaca & Caulfield, 1988など)。絵本から得られる多様で豊富な言語インプットは、語彙獲得や構文理解の基盤として重要な役割を果たすと考えられている。しかし、そのようなインプットが必ずしも幼児が発話する語彙を網羅し

ているとは限らず、特に文法的機能語の中には、対象年齢によって出現頻度が低い語が存在する可能性がある。本研究では、副助詞のクライとダケに焦点を当て、絵本からどの程度のインプットが得られるのかを形態素解析によって調査する。その調査を踏まえて、これらの副助詞のインプットをさらに増加させるための活動を示す。

幼稚園教育要領（2017: 16）と保育所保育指針（2017: 30）は、幼児の言葉について、「経験したことや考えたことなどを自分なりの言葉で表現し、相手の話す言葉を聞こうとする意欲や態度を育て、言葉に対する感覚や言葉で表現する力を養う」と述べている。さらに、幼稚園教育要領（2017）の「言葉」の「内容」において、「しったり、見たり、聞いたり、感じたり、考えたりなどしたことを自分なりに言葉で表現する」（p. 16）とある。

幼児がそのような活動を行う際、自分自身が見聞きしたことを表現する方法は、言語表現・非言語表現を含め多岐にわたるが、その程度や範囲の限定を表現しようとする際に、副助詞のクライやダケを使用して表現することは一つの手段である。たとえば、幼児が動物園で見たゾウの大きさを表現しようとする際に、「おうちくらい大きかった」と表現したり、動作を交えて「これくらい大きかった」と表現したりすることができる。あるいは、「みかちゃんだけおかしただべてずるい」と表現して、出来事について「みかちゃんだけ」という限定された対象範囲を表すことができる。

このような表現を可能にするクライは2:05（2歳5カ月）ごろから、ダケは1:11（1歳11カ月）ごろから幼児が発話し始めることが報告されている（永野 1959; 大久保 1967）。永野（1959）は、クライが2:08に「コノクライナラ、ダイジョウブ？（永野 1959: 393）」という例で、ダケが2:02に「サルモーワンワントー……サルトーワンワント……ニャーニャトソイダケ。」（p. 391）という例で観察されたことを指摘している。大久保（1967）は、クライが2:05に「四ツカクライ。（p. 96）」という例で観察されたこと、ダケが1:11に「コレダケ。」（p. 92）という例で発話され始めたことを指摘している。つまり、クライについてもダケについても1歳後半～2歳後半までに発話し始めていることになる。

ということは、これらを発話した幼児は、それよりも以前に人的・物的言語環境からクライやダケのインプットを得ていると考えられる。CHILDES データベース（MacWhinney 2000）に収録されている Noji コーパス（Noji 1973-77）においても、子ども（Sumihare）と母親の会話において、母親がダケを使用して指示を出し、子どもがダケを使用して聞き返す会話が観察され、人的

言語環境からのインプットがあることがうかがえる¹。

では、絵本をはじめとした物的言語環境においては、どの程度これらの語のインプットがあるのだろうか。平・藤田・小林（2012）は大規模書店売り上げ冊数上位547位までの505冊の絵本を対象に形態素解析を行い、高頻度語彙上位400語までを示している。その中で、ダケ（103位）の文書頻度が156、延べ頻度が309であることを報告している。しかし、絵本の対象年齢が絞られておらず、クライやダケを発話し始める時期に読まれる絵本にどの程度のインプットが含まれるかは明らかでない。絵本のテキストを対象とした形態素解析方法を提案している藤田・平・小林・田中（2014:534）は、絵本について対象年齢と共に助詞の割合が単調増加しており、絵本の表現が単語の羅列から助詞などを含む文に変化することを指摘しているが、具体的なそれぞれの助詞については議論がない。鈴木（2020）は、絵本が対幼児発話よりも複雑な文構造や多様な文法情報含んでいることを明らかにしているが、鈴木（2020）においても具体的なそれぞれの助詞についての議論はない。

そこで、本研究では、クライやダケの発話が始まる1歳後半～2歳後半までの幼児を主な対象とした絵本において、どの程度の副助詞クライ・ダケのインプットが得られるのかを明らかにする。具体的には、福音館書店が「年齢別おすすめ本」として示している「赤ちゃんにおすすめの絵本」～「2・3才におすすめの絵本」の絵本を対象に形態素解析を行い、クライ・ダケの出現頻度を調査する²。

本稿の構成は以下の通りである。2節においては絵本を対象とした形態素解析の方法について説明する。3節においては、調査の結果、いずれの語も出現してはいるものの頻度が低かったことを報告する。4節においては、インプットの機会を増やすことにつながりうる歌あそびや手あそびを紹介する。5節においては、議論をまとめ、今後の研究課題を示す。

2. 方法

2-1 調査対象

調査対象となる絵本は、福音館書店ウェブサイトの「年齢別おすすめの本」の「赤ちゃんにおすすめの絵本」（以下「赤ちゃん」と呼ぶ）に掲載されている24冊と、「2・3才におすすめの絵本」（以下「2・3才」と呼ぶ）に掲載されている16冊の、計40冊である（各絵本の文献情報は付記に「赤ちゃん」「2・3才」別に詳細を記す）。福音館書店の「年齢別おすすめの本」を対象とした理

由は、(i)勤める対象年齢が示されており、ダケやクライを産出し始める1歳後半～2歳前半を含む時期に読み聞かせの対象となる絵本を選定できること、(ii)公共の図書館に広く所蔵されており、だれでも利用することができること、の2点である。「赤ちゃん」対象は、次の対象年齢が「2・3才」であることから「0・1才」と考える。

2-2 調査方法

調査にあたって、絵本のテキストのみを著者がデータ化し、そのテキストデータに形態素解析を行った。形態素解析には「web茶まめ」(堤・小木曾 2023)を使用した。web茶まめは国立国語研究所によって運営されている形態素解析ウェブサイトである。解析にあたって、「語彙素」「語彙素読み」「品詞」の情報を確認した。絵本はテキストがひらがなで書かれていること、句読点がない場合も多いことなどから、そのままテキストを形態素解析しても適切に解析されない。そのため、適切に解析されない箇所については、文意を変更しないように漢字仮名交じり文にしようとして解析を行った。また、誤った解析が行われていると判断した箇所については著者が手作業で修正した。主に、単語・品詞・形態素境界の解析が不適切であった場合に修正した。(1)はその修正例である。

- (1) がおーっと (『たんたんぼうや』(1998) より)
 解析結果:が(助詞) おっと(感動詞)
 修正後:がおー (名詞) と(格助詞)

3. 結果

形態素解析調査の結果、クライとダケの頻度は表1の通りであった。まず、クライの使用例と頻度について説明する。クライは「赤ちゃん」対象の絵本において使用例が観察されなかった。「2・3才」対象については2冊において13例が観察された。クライの使用例を(2)に、頻度を表1に示す。なお、クライとグライは異形態として集計している。

- (2) a. おつきさまぐらいのめだまやき
 (『ぐりとぐら』(1967))
 b. ちゅうくらいのは
 (『3びきのくま』(1962))

次に、ダケの使用例と頻度について説明する。ダケは「赤ちゃん」対象の図書については1冊において1例観察

された。「2・3才」対象については2冊において2例観察された。ダケの使用例を(3)に、頻度を表1に示す。

- (3) うさぎだけはかくれないで
 (『もりのなか』(1963))

表1 クライ・ダケの頻度

対象年齢	クライ	ダケ
赤ちゃん	0	1
2・3才	13	2
合計	13	3

幼児に対して推奨年齢通りに絵本の読み聞かせを行うと想定した場合、永野(1959)・大久保(1967)におけるクライの発話時期が2:05-2:08であることを踏まえると、発話時期と同時期に絵本からのインプットを得られることになる。クライの40冊中2冊13例という頻度を鑑みると、クライを使用している絵本では多様なインプットを得られるが、クライを使用している絵本は多くないといえる。また、ダケにおいては、先行研究におけるダケの発話時期が1:11-2:02であることを踏まえると、発話時期と同時期か少し遅い時期に絵本からのインプットを得られることになる。ダケの40冊中3冊3例という頻度を鑑みると、クライと比較してダケを使用している絵本の対象年齢には幅があるが、インプットが多く得られるわけではないといえる。

本調査結果より、クライ・ダケの絵本によるインプットは、先行研究が示すクライ・ダケの発話時期と同時期か少し遅い時期に得られることが確認された。しかし、その頻度は高いとはいえず、必ずしも絵本によってインプットが得られるとは限らない。

4. 歌あそび・手あそび

クライ・ダケのような絵本における頻度が低い語彙について、物的言語環境からインプットを得る機会を増やしたいと考える場合、どのようなアプローチがあるだろうか。本稿では、歌あそびや手あそびといった物的言語環境からクライ・ダケといった語と接する機会を増やす方法を示しておく。

副助詞クライを含む歌あそび・手あそびには「おべんとうばこのうた」(植田 2006:34-35)や「てんぐのはな」(作詞・作曲・振付:浅野ななみ, 阿部 2011:242-243)がある。まず、「おべんとうばこのうた」を見てみよう。「おべんとうばこのうた」は(4a)に示すように「指示

語+くらい」の歌詞が含まれている。植田（2006）では（4b）の手あそびとともに紹介されており、指でお弁当箱の形を描くことで、「これくらい」という表現がお弁当箱の大きさを表していることを体感することができる。

(4) おべんとうばこのうた (植田 2006:34-35)

a. クライを含む歌詞

これっくらいの おべんとうばこに

(植田 2006:34)

b. 手あそび

両手の人さし指でお弁当箱の形を2回描く。

(植田 2006:34, ①)

出典:『「いつ」「どのように」使えるかがわかる!! 手あそび百科』植田光子 編集/ひかりのくに刊

「てんぐのはな」にもクライが含まれる。たとえば(5a)に示すように「指示語+くらい」の歌詞が含まれている。阿部（2011）では、(5b)の手あそびとともに紹介されており、鼻先につけて伸ばすことで、「このくらい」が天狗の鼻の長さを表していることを体感することができる。

(5) てんぐのはな (作詞・作曲・振付:浅野ななみ)

a. クライを含む歌詞

おととととと このくらい

阿部 (2011:242)

b. 手あそび

手をグーにして鼻先につけ、少しずつ前に伸ばして適当なところで止めます。

阿部 (2011:243, 2)

出典:『保育のピアノ伴奏 子どもの大好きなうた150曲』阿部直美監修/日本文芸社刊

副助詞ダケが含まれている歌あそびとしては、「かたたたき」(作詞・作曲:阿部直美, 阿部 2011:54)がある。(6)に示すように「副詞+ダケ」の歌詞が含まれており、大きさの範囲が「ちょっと」と限定している。阿部（2011）には「子どもが祖父母の肩を歌いながらリズムカルにたたきます。」(p. 54)と紹介されており、力加減の範囲を体感することができる。

(6) かたたたき (作詞・作曲:阿部直美)

ちょっとだけおおきく (阿部 2011:54)

出典:『保育のピアノ伴奏 子どもの大好きなうた150曲』阿部直美監修/日本文芸社刊

以上のように、物的言語環境からインプットを得る機会をさらに増やしたいと考える場合、歌あそびや手あそびを用いることができる。

5. まとめと課題

本研究では、福音館書店ウェブサイトの「年齢別おすすめの本」において「赤ちゃん」を対象に勧められている24冊と、「2・3才」を対象に勧められている16冊の計40冊を対象に形態素解析を行い、副助詞クライ・ダケの出現頻度を調査した。その結果、(i)これらの絵本の読み聞かせでクライ・ダケのインプットが得られること、(ii)クライは40冊中2冊13例という頻度、ダケは40冊中3冊3例という頻度であること、の2点が明らかになった。つまり、クライ・ダケという語は読み聞かせによって頻繁にインプットを得られる語ではないということである。

鈴木（2020）が指摘するように、絵本は対幼児発話よりも複雑な文構造や多様な文法情報を含んでいる。しかし、副助詞のように、絵本の推奨年齢の幼児がすでに発話している語でも頻度が低い場合がある。このような語との接点を増やそうとする場合、クライやダケを含む歌あそびや手あそびを利用することで、多様なインプットを得る機会を増やせるのではないかと。

本研究では副助詞クライ・ダケの出現頻度を調査したが、調査における課題と、幼児保育の現場への応用における課題があると考えている。まず、調査における課題として、バカリ・シカ・カ・ヤなどの他の副助詞の頻度についても調査する必要があることが挙げられる。バカリやシカについては同様に頻度が低い可能性があるが、会話文でも頻繁に使用されるカ・ヤについても同様に低い頻度であるかは不明である。また、本研究では、クライ・ダケの発話の初出時期から「赤ちゃん」と「2・3才」の絵本のみを対象としたが、「4才」「5才」にまで対象を広げることで、頻度が変化する可能性がある。藤田他（2014:534）において、絵本では対象年齢と共に助詞の割合が単調増加することが指摘されているためである。

次に、幼児保育の現場への応用における課題として、現場にどのように導入するのか、そして、導入した場合に幼児からどのような反応が得られるのかを調査する必要がある。たとえば、クライが含まれる絵本（(2a)の『ぐりとぐら』など）の読み聞かせを実施して、幼児に「みんなもお家で卵をたべたことある?」「どのくらい大きかった?」、また、「どれくらい大きい卵を見たことがある?」などと問いかけることで、幼児の反応や、仲間とのやり取りを引き出すことができる。それにより、

幼児が見たり聞いたりしたことについての程度の説明を含めて各自の経験を表現する機会を作ることができるのではないだろうか。また、絵本の読み聞かせを契機に、ペーパーアートやパネルシアターにつなげることで、幼児がさまざまな形式でのインプットを得られるように工夫することができる。これらの課題については、今後調査・研究を進めていく。

参考文献

- 阿部直美（監修）2011『保育のピアノ伴奏 子どもの大好きなうた150曲』, 日本文芸社.
- DeBaryshe, Barbara. D. 1993 Joint picture-book reading correlates of early oral language skill. *Journal of Child Language*, 20 (2), pp. 455-461.
- Farrant, Brad. M. & Zubrick, Stephen. R. 2012 Early vocabulary development: The importance of joint attention and parent-child book reading. *First Language*, 32, pp. 343-364.
- 厚生労働省 2017『保育所保育指針』, https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/kodomo_sodachi_yushiki/dail/sankou2.pdf. (2025/05/01確認)
- 文部科学省 2017『幼稚園教育要』, https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/kodomo_sodachi_yushiki/dail/sankou1.pdf. (2025/05/01確認)
- MacWhinney, Brian. 2000 *The CHILDES Project: Tools for analyzing talk*. Third Edition. Mahwah, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates.
- 永野賢 1959「幼児の言語発達について:主として助詞の習得過程を中心に」『ことばの研究』1, pp. 383-396, 国立国語研究所. (<http://doi.org/10.15084/00001725>)
- Noji, Junya. 1973-77 *Yooji no gengo seikatsu no jittai I-IV*. Bunka Hyoron Shuppan.
- 大久保愛 1967『幼児言語の発達』, 東京堂出版.
- Payne, Adam. C., Whitehurst, Grover. J. & Angell, Andrea. L. 1994 The Role of Home Literacy Environment in the Development of Language Ability in Preschool Children from Low-income Families. *Early Childhood Research Quarterly*, 9 (3-4), pp. 427-440.
- Reese, Elaine. & Cox, Adell. 1999 Quality of Adult Book Reading Affects Children's Emergent Literacy. *Developmental Psychology*, 35 (1), pp. 20-28.
- 鈴木孝明 2020「絵本の文法:日本語の絵本テキストにおける文法の複雑さと多様性」『読書科学』, 61(3,4), pp. 154-164.
- 堤智昭, 小木曾智信 2023「複数の UniDic 辞書による形態素解析支援ツール『Web 茶まめ』の実装と運用」『情報処理学会論文誌』, 64 (3), pp. 749-757.
- 植田光子 2006『「いつ」「どのように」使えるかがわかる!! 手あそび百科』, ひかりのくに.
- Whitehurst, G. J., Falco, F. L., Lonigan, C. J., Fischel, J. E., DeBaryshe, B. D., Valdez-Menchaca, M. C., & Caulfield, M. 1988 Accelerating Language Development Through Picture Book Reading. *Developmental Psychology*, 24 (4), pp. 552-559.

資料

- 福音館書店ホームページ <https://www.fukuinkan.co.jp/> (2025/04/23確認)
- web 茶まめ <https://chamame.ninjal.ac.jp/> (2025/04/23確認)

付記

調査対象図書

○赤ちゃんにおすすめの絵本

- 『いちご』, 平山和子 作, 1989, 福音館書店.
- 『おつきさまこんばんは』, 林明子 作, 1986, 福音館書店.
- 『おやすみなさいコッコさん』, 片山健 作・絵, 1988, 福音館書店.
- 『うずらちゃんのかくれんぼ』, きもとももこ 作, 1994, 福音館書店.
- 『かささしてあげるね』, はせがわせつこ 文/にしまさかやこ 絵, 1998, 福音館書店.
- 『きんぎょがにげた』, 五味太郎 作, 1982, 福音館書店.
- 『くだもの』, 平山和子 作, 1981, 福音館書店.
- 『ここよここよ』, かんざわとしこ 文/やふうちまさゆき 絵, 2003, 福音館書店.
- 『ごぶごぶごぼごぼ』, 駒形克己 作, 1999, 福音館書店.
- 『ころころころ』, 元永定正 作, 1984, 福音館書店.
- 『じどうしゃ』, 寺島龍一 画, 1966, 福音館書店.
- 『しゅっぱつしんこう!』, 山本忠敬 作, 1984, 福音館書店.
- 『ずかん・じどうしゃ』, 山本忠敬 作, 1981, 福音館書店.
- 『たまごのあかちゃん』, かんざわとしこ 文/やぎゆう

げんいちろう 絵, 1993, 福音館書店.

『たたんぼうや』, かんざわとしこ 文/やぎゆうげん

いちろう 絵, 1998, 福音館書店.

『ちいさなうさこちゃん』, デイック・ブルーナ 文・
絵/いしいももこ 訳, 1964, 福音館書店.

『でてこいでてこい』, はやしあきこ 作, 1998, 福音館
書店.

『てんてんてん』, わかやましずこ 作, 1998, 福音館書
店.

『どうぶつのおかあさん』, 小森厚 文/薮内正幸 絵,
1981, 福音館書店.

『ぶーぶーじどうしゃ』, 山本忠敬 作, 1998, 福音館書
店.

『ぼんちんぱん』, 柿木原政広 作, 2014, 福音館書店.

『まるくておいしいよ』, 小西英子 作, 1999, 福音館書
店.

『もうおきるかな?』, まつのまさこ 文/やぼうちまさ
ゆき 絵, 1998, 福音館書店.

『よくきたね』, 松野正子 文/鎌田暢子 絵, 2009, 福
音館書店.

〇2・3才におすすめの絵本

『3びきのくま』, トルストイ 文/バスネツォフ 絵/お
がさわらとよき 訳, 1962, 福音館書店.

『あいうえおうた』, 谷川俊太郎 文/降矢なな 絵,
1999, 福音館書店.

『いやだいやだ』, せなけいこ 作・絵, 1969, 福音館書

店.

『おおきなかぶ』, A・トルストイ 再話/内田莉沙子
訳/佐藤忠良 画, 1966, 福音館書店.

『おやすみなさいのほん』, マーガレット・ワイズ・ブ
ラウン 文/ジャン・シャロー 絵/いしいももこ
訳, 1962, 福音館書店.

『かばくん』, 岸田衿子 作/中谷千代子 絵, 1966, 福
音館書店.

『ぐりとぐら』, なかがわりえこ 作/おおむらゆりこ
絵, 1967, 福音館書店.

『三びきのやぎのがらがらどん』, マーシャ・ブラウン
絵/せたていじ 訳, 1965, 福音館書店.

『ぞうくんのさんぽ』, なかのひろたか 作・絵/なかの
まさたか レタリング, 1977, 福音館書店.

『てぶくろ』, エウゲーニー・M・ラチョフ 絵/うちだ
りさこ 訳, 1965, 福音館書店.

『どうすればいいのかな?』, わたなべしげお 文/おお
ともやすお 絵, 1980, 福音館書店.

『ねないこだれだ』, せなけいこ 作・絵, 1969, 福音館
書店.

『はなをくんくん』, ルース・クラウス 文/マーク・シー
モント 絵/きじまはじめ 訳, 1967, 福音館書店.

『みんなうんち』, 五味太郎 作, 1981, 福音館書店.

『めのまどあけろ』, 谷川俊太郎 文/長新太 絵,
1984, 福音館書店.

『もりのなか』, マリー・ホール・エッツ 文・絵/まさ
きるりこ 訳, 1963, 福音館書店.

1 具体的には以下の会話である。*MOT が母親の発
話, *CHI がそれに対する子どもの発話である。

*MOT:それだけ皆持って来て下さい。

*CHI:これだけ?

(Noji1973-77, 2:03. 00)

2 福音館書店ホームページの「年齢別おすすめの本」
では「赤ちゃん」「2・3才～」と記載されている。そ
れぞれのリンクに進むと「赤ちゃんにおすすめの絵
本」「2・3才におすすめの絵本」と記載されている。
本稿では後者の名称を使用している。

〔論 文〕

公民科教科書における「熟議」の扱いの現状と課題 — 「公共」「政治・経済」初版教科書の記述をもとに —

齊 藤 雄 次*

*日本文理大学経営経済学部経営経済学科

**Current Status and Issues in the Treatment of “Deliberation” in Civics Textbooks
— Based on the descriptions in the First Edition of the “Public” and “Politics and Economy” Textbooks —**

Yuji SAITO*

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

Abstract

All of the civics subjects that have begun to be studied since the revision of the Courses of Study for High Schools in 2018 focus on the development of civic qualities and are positioned as core subjects for fostering citizens living in a democratic society. However, few textbooks, either in the “Public” and “Politics and Economy” subjects, cover the concept of “deliberation” and its practice of mini-publics, the significance of which has been frequently mentioned and discussed in political science debates in recent years. This paper discusses the significance of including “deliberation” and “mini-publics” in the civics subjects “Public” and “Politics and Economy” based on the current status and issues in textbook descriptions, and makes recommendations with a view to increasing their popularity in textbooks.

キーワード：公民科，教科書，熟議，ミニ・パブリックス，公共，政治・経済

Keywords : civics, textbooks, deliberation, mini-publics, Public, Politics and Economy

1. はじめに

2018年に高校の学習指導要領が改訂され，公民科の科目は，高校1年次もしくは2年次に必ず履修する「公共」，「公共」履修後に履修することができる「倫理」，「政治・経済」で構成されることとなった⁽¹⁾。また「公共」は2022年度から，「倫理」や「政治・経済」は2023年度から実際の学びが始まり，それに合わせて教科書も新た

なものが，教科書検定を経て各学校に採択されるにいたっている。

一方，教科書とは学校教育法第34条にあるように小学校において使用が義務づけられ，高校もそれに準じるため^(註1)，公民科の授業でも教科書は使用されていると考えられ，どの教科書会社の教科書をもとに内容を学ぶかによって，生徒が身に付ける知識（や技能，思考力・判断力・表現力）は変わってもくる。教科書は，文部科学省が行う検定によって，学習指導要領の趣旨から逸脱し

ていないかが確認された上で発行されるが、力点を置く内容は教科書会社によって異なるため、ある教科書に載っている内容やトピックが、ある教科書では載っていない、といったことも起こる。

特に近年、地理歴史科や公民科を含む社会系教科教育研究において言及が見られるようになった^(註2)、政治学の議論でよく使用される「熟議」の概念、またそれに関連して現実社会で行われている、主に無作為抽出で一般の人々を集め、議論してもらう「ミニ・パブリックス」という取り組みは、ある教科書には載っていて、ある教科書には載っていない例の最たるものとなっている。蓮見(2023)によれば、東京書籍、実教出版、第一学習社の3社が発行した主要5冊の「公共」教科書のうち、熟議やミニ・パブリックスに触れるものは1冊^(註3)、熟議に関連する「くじ引き民主主義」に触れるものは2冊であった⁽⁴⁾。また、「公共」の学習指導要領においては、合意形成や社会参画を視野に入れながら他者と議論する力を養うことも重視されている(文部科学省2018)。そのため、熟議やそれに関連する現実社会の取り組みは、学ぶべき対象として、広く様々な教科書において取り上げられるべきであるように思われる。

だが、こうした「熟議」の語、またそれに関連する取り組みの、公民科教科書における扱いの現状について確認する先行研究は、先の蓮見(2023)のほかには存在せず、その蓮見の先行研究も、科目「公共」の教科書全てを分析の対象とはしていない。また科目「公共」の履修を終えた後に履修し、政治について深く学ぶことになる科目である「政治・経済」の教科書についても、分析の対象外となっている。そこで、本稿では、蓮見(2023)では取り上げられていない残りの「公共」教科書に加え、「政治・経済」の教科書にまで射程を広げて、「熟議」の扱いの現状と課題について検討する。考察を通じて、市民参加を促すものとしての熟議や、それに関連する取り組みを教科書で取り上げることの意義等について提言し、これらの語の教科書における普及率を高める可能性を探ることが本稿の目的である。

2. 「熟議」「ミニ・パブリックス」と社会系教科教育

2-1 熟議の意義

まず、当該「公共」、「政治・経済」教科書の分析に入る前に、「熟議」や「ミニ・パブリックス」の意義や、それらと社会系教科教育との関係について確認する。

熟議とは、政治学において1990年代前後から議論されてきた熟議民主主義論の中核をなす言葉であり、例えば

政治学者の田村哲樹は熟議民主主義を、「熟慮と討議、すなわち熟議を通じて合意を形成することによって、集合的な問題解決を行おうとする民主主義の考え方」(田村2008:3)と整理している⁽⁵⁾。一般的に、政治に参加するための主要な方法として思い浮かぶのは選挙、投票であるが、この行為によって示される人々の意思というのは、投票時点の意思に過ぎず、人々の意思が形となって現われた票の数が集計され、多数の票を獲得した政治家や政策が信任される^(註4)。すなわち、投票においては人々が十分に話し合い、納得し、考えを変えろという意見の可変性は想定されていない⁽⁷⁾。こうした選挙および投票が抱える課題に対し、人々が話し合いながら正しいと思われる答えや納得のいく理由を探り、その都度変わりうる意見を政治的意思決定に反映させていくことが、民主主義のあり方として望ましいと捉えるのが熟議民主主義である⁽⁸⁾。

またこうした熟議の理想を実現する制度的実践として、「自薦(自己選出)または無作為抽出によって選ばれた比較的少人数の市民によって構成される、熟議のためのフォーラムの総称」(田村2017:210)などとも定義される「ミニ・パブリックス」も存在する⁽⁹⁾。これは、無作為抽出により参加者を選出して社会の縮図をつくり、選ばれた人は選ばれなかった人の代表として、特定の課題をめぐる議論に参加する取り組みであり、合意形成を前提としないものとして、様々なテーマに対する人々の賛否を確認する討論型世論調査、合意形成を射程に入れて行われるものとして、科学技術に関するテーマを議論するコンセンサス会議、地方の課題をめぐる議論が行われるドイツの計画細胞を参考に日本で実践が蓄積されてきた市民討議会などが、これまでに展開されている⁽¹⁰⁾。

このミニ・パブリックスをめぐるのは、地球温暖化に対する対策の一つである脱炭素をめぐる、くじで選ばれた市民が議論する気候市民会議も世界の国々、あるいは日本で進められている⁽¹¹⁾。またそうした取り組みも含め、ミニ・パブリックスは日本も含め世界各地で着実に実践が積み重ねられており、社会に少しずつ浸透しつつある⁽¹²⁾。

そのため、選挙中心の民主主義の姿を批判的に捉えるものとしての熟議の概念や、その実践としてのミニ・パブリックスについて知ることや学ぶことは、政治参加のあり方を考えること、ひいては合意形成や社会参画のあり方を考えることにもつながる。

2-2 社会系教科教育における熟議

一方、熟議の概念は、社会系教科教育においても近年注目される傾向にある。例えば長田（2014）は、田村の定義なども参照しながら、論争問題について熟議する学習の意義を明らかにしている⁽¹³⁾。また齊藤（2020）は、熟議民主主義の実践としてのミニ・パブリックスの手法を参考とした場合に、どのような公民科の授業が可能かを明らかにしている⁽¹⁴⁾。

さらに、2018年に改訂された学習指導要領においては、公民科の目標の中に「現代の諸課題について、事実を基に概念などを活用して多面的・多角的に考察したり、解決に向けて公正に判断したりする力や、合意形成や社会参画を視野に入れながら構想したことを議論する力を養う」（文部科学省2018：23）との表現が見られ、公民科においては生徒の他者と熟議する力を伸ばしていくことが志向されている。あるいは、科目「公共」の目標の一部に見られる「現実社会の諸課題の解決に向けて、選択・判断の手掛かりとなる考え方や公共的な空間における基本的原理を活用して、事実を基に多面的・多角的に考察し公正に判断する力や、合意形成や社会参画を視野に入れながら構想したことを議論する力を養う」（文部科学省2018：31）との表現や、科目「政治・経済」の「国家及び社会の形成者として必要な選択・判断の基準となる考え方や政治・経済に関する概念や理論などを活用して、現実社会に見られる複雑な課題を把握し、説明するとともに、身に付けた判断基準を根拠に構想する力や、構想したことの妥当性や効果、実現可能性などを指標にして議論し公正に判断して、合意形成や社会参画に向かう力を養う」（文部科学省2018：124）との表現にも、熟議との関係を指摘することができる。

ただし、先行研究、学習指導要領のいずれも、注目の対象は授業の改善に向けた方法論としての熟議であり、熟議やミニ・パブリックスそれ自体の内容ではない。すなわち、学習内容としての熟議は検討の対象外となっており、生徒が学ぶべき学習内容が網羅されている教科書の中で、熟議やミニ・パブリックスそれ自体を取り上げることの意義については説明されていない。だが、科目「政治・経済」の学習指導要領では、政治に関する概念や理論を活用することに言及もなされており、熟議やミニ・パブリックスの内容を取り扱う余地は十分に存在する。また、前節で述べたように、熟議やミニ・パブリックスは選挙中心の民主主義の姿を批判的に捉えるものであるため、生徒がそれを学び、そこから選挙を中心とする民主主義（政治）のあり方について批判的に考えるような学習はそれ自体に一定の意義が存在しよう。

そしてそのためには、より多くの教科書の中で熟議やミニ・パブリックスが取り上げられ、その意義や課題について、どの教科書を使用した生徒でも考えることができるようになっていく必要がある。しかしながら、現在のところ、それが明らかになっているのは「公共」教科書主要3社の熟議の語やミニ・パブリックスの事例の使用状況を明らかにした蓮見の、以下の記述のみである^(註5)。

これら問題点を踏まえた代議制民主主義に対する代案について、幾つかの「公共」教科書が充実した説明を加えている。対案の一つは熟議民主主義で、その説明では熟議・「理由の力」といった語を太字とし、さらに、具体的な制度例として討論型世論調査や市民討議会について紹介する（701）。もう一つの代案は抽選（くじ引き）民主主義（701）で、地方議会で議会参画員をくじで選ぶ制度を紹介するものもある（710）。（蓮見2023：91-92）（なお引用中の数字番号は教科書番号をあらわす）

また、蓮見の記述は現状の分析のみにとどまっており、そこから導き出される課題や展望については、考察の対象外となっている。さらに、蓮見が分析の対象とした科目「公共」の主要3社の5冊の教科書の採択率は67.8%となっており⁽¹⁵⁾、約7割の学校の使用状況を踏まえて論が展開されているが、残り3割を占める主要3社以外の教科書、すなわち教育図書、清水書院、帝国書院、数研出版、東京法令出版が発行する7冊の教科書の記述については検討がなされていない。そのため、全国の高校生が熟議やミニ・パブリックスについて知識を得たり、考えたりする機会がほとんどないと言い切れるかは、検討の余地がある。

科目「政治・経済」の教科書にまで射程を広げ、熟議やミニ・パブリックスの扱いの現状と課題について明らかにしようとする本研究の意義は、この点にも見出される。

3. 「公共」「政治・経済」教科書における「熟議」「ミニ・パブリックス」の記述の状況

3-1 「公共」教科書の場合

まず、主要3社以外の5社が2022年に発行した7冊の「公共」教科書における「熟議」への言及の状況について確認する（表1）。分析にあたっては、一定の大きさのフォントで2ページ以上において記載のわたって

る、文章と太字で構成されている箇所を「本文」、その両端に広がる、本文よりフォントの小さい説明の箇所を「注」、本文が終わった後の会話文形式の文章や補足資料などが載っている箇所を「資料」や「コラム」とみなして進めていく。

例えば教育図書の教科書では、第1章「公共の扉」の「4 対話から生まれる公共」という内容のページの本文の文末において、「今、改めて真の対話や熟議を取り戻すための努力が求められている」（鈴木ほか2012：13）との記述がある⁽¹⁶⁾。あるいは、同じページにある注にも、熟議に関する詳細な説明が以下のように示されている。

多くの当事者による「熟慮」と「討議」を重ねながら政策を形成していくこと。熟議により、互いの立場や果たすべき役割への理解が深まると共に、解決策が洗練され、各人が納得して自分の役割を果たすようになる。（鈴木ほか2012：13）

また数研出版の教科書においても、ハーバーマスやアレントなど様々な思想家の考えについて学習する本文ページのあとに設けられている、「THINKING TIME 7 民主政治における決め方とは？」というコラムのページに、教師と生徒の会話文があり、その中で熟議に関する説明が以下のように示されている⁽¹⁷⁾。

ハーバーマスによれば、理性的な討議により、誰もが納得できる理由に基づいた合意を形成することが民主政治の本質です。これを、討議（熟議）民主主義といいます。（矢野ほか2022：75）

数研出版の教科書では、上記の教師の会話のあとに、「十分に議論することと迅速に結論を出すこと、矛盾する二つを両立させるにはどうすべきか」（矢野ほか2022：75）という教師の会話も出てきて、熟議と多数決の両立という論点について、生徒に考えさせ、議論させる場面も設けられているが、このように、採択率が全体の3割程度の教科書であっても、多様な政治がありうることを示すものとして「熟議」の語を取り上げるものは存在する。

次に、主要3社以外の5社が2022年に発行した7冊の教科書における「ミニ・パブリックス」への言及の状況について確認する（表1）。この点については、いずれの教科書も、ミニ・パブリックスという固有名詞や、ミニ・パブリックスの事例である討論型世論調査などの実践の名称が触れられることはなかった。ただし、清水書院の教科書では、「参加型民主主義が機能するには、市民に対して十分な情報を提供するとともに、十分に討議を行うことができる場を確保しなければならない」（中野ほか2022：100）という記述、またそれに続く形で、政治学者であるダールが提唱した、無作為抽出で人々を集め、議論してもらう取り組みの構想である「ミニ・ポピュラス」についても以下のように言及がされている⁽¹⁸⁾。

アメリカの政治学者ロバート＝ダール（1915～2014）は、1985年に「ミニ・ポピュラス」という市民集会を提案している。それは、無作為に抽出された1,000人の市民が、核兵器のコントロールや国民健康保険制度など、特定のテーマをめぐって一定期間（数日から1年の間で）討議を設ける制度である。ダールはこの集会を、代表制民主主義を補完する装

表1 5社7冊の「公共」教科書における「熟議」および「ミニ・パブリックス」の言及状況（筆者作成）

発行者	教科書名	熟議		ミニ・パブリックス	
		巻末索引 記載状況	記述の傾向	巻末索引 記載状況	記述の傾向
教育図書	公共	○	ハーバーマスの公共的理性に言及する本文と注において、「熟議」の語に言及がある	×	なし
清水書院	高等学校 公共	×	なし	×	なし
清水書院	私たちの公共	×	なし	×	なし
帝国書院	高等学校 公共	×	なし	×	なし
数研出版	公共	×	多数決の課題や議論の重要性を考えるコラムにおいて、討議（熟議）民主主義が紹介されている	×	なし
数研出版	高等学校 公共	×	なし	×	なし
東京法令出版	公共	×	なし	×	なし

置として、自治体レベル、州レベル、連邦レベルで設けることを唱えている。(中野ほか2022:100)

このミニ・ポピュラスは、ミニ・パブリックスに括られる討論型世論調査をはじめとする様々な実践の意義に注目する政治学者の篠原一によっても言及されているものでもある⁽¹⁹⁾。ダールの構想が形を変えて実現しているものがミニ・パブリックスであると考えれば、この清水書院の教科書の記述は、熟議やミニ・パブリックスの意義を学習者である生徒に示し、政治参加のあり方について考えさせるものであるともいえよう。

3-2 「政治・経済」教科書の場合

「政治・経済」の教科書を発行しているのは東京書籍、実教出版、清水書院、数研出版、第一学習社の5社であり、2023年には6冊の教科書が発行されている。

まず、5社が2023年に発行した6冊の教科書における「熟議」への言及の状況について確認する(表2)。例えば東京書籍の教科書は、「第1章 現代日本の政治」の「4 現代の民主政治」のページの本文に続けて紹介される資料において、トクヴィルやミルも言及する多数意見による少数派の権利の不当な侵害(多数者の専制)を防ぐためのものとしての熟議の意義が、「民主政治では性急な決定に走らず、参加者が理由と根拠を示しながらよく話し合うこと(熟議)が大切である」(杉田ほか2023:20)として示されている⁽²⁰⁾。また、東京書籍の

教科書では同じページのコラムにおいて、政治学の他の議論である参加民主主義論や競争的民主主義論と対比させる形で、熟議民主主義論が「人々が考えを深め、議論を活発に行うことを何よりも重視するものである」ことが示され、コラムの文末も、「民主主義をめぐってはさまざまな立場があり、どの考え方が適切か、考えてみることに意義がある」(杉田ほか2023:20)と学習者に呼びかける構成となっている。これらはまさに、学習指導要領に記載のあった、政治に関する概念や理論の活用を生徒に促すものである。

あるいは、実教出版の教科書では、「1章 現代日本の政治」の最後に位置するコラムのページにおいて、政治学者である山本圭の著作『現代民主主義』に記載の内容を引用する形で、熟議とは「ひらたく言えば話し合いやコミュニケーションのこと」であり、熟議民主主義は「公開の討論のなかで、多様な意見から公正な意思決定をおこなうための手続きを重視し、そうした手続きを経て得られた結論には正統性があると考えられる」(諸富ほか2023:22)のものであると言及されている⁽²¹⁾。

さらに、第一学習社の教科書では、「第1章 現代日本の政治・経済」の政治分野のまとめのページである「主権者としての政治参加のあり方」の内容において、「多数決型の民主主義に対して、話し合いの過程を重視する民主主義のあり方は熟議民主主義といわれる」(谷田部ほか2023:63)という表現で、熟議民主主義の考え方が紹介されている⁽²²⁾。

表2 5社6冊の「政治・経済」教科書における「熟議」および「ミニ・パブリックス」の言及状況(筆者作成)

発行者	教科書名	熟議		ミニ・パブリックス	
		巻末索引 記載状況	記述の傾向	巻末索引 記載状況	記述の傾向
東京書籍	政治・経済	○	資料・コラム欄において、参加者が理由と根拠をよく示しながら話し合う「熟議」の意義や熟議民主主義の議論が紹介されている	×	ミニ・パブリックスの代表例として、2012年に実施されたエネルギー政策をめぐる討論型世論調査が取り上げられている
実教出版	詳述 政治・経済	○	資料・コラム欄において、ある新書中の「熟議」「熟議民主主義」の定義や記述が紹介されている(他著からの引用)	×	なし
実教出版	最新 政治・経済	×	なし	×	なし
清水書院	高等学校 政治・経済	×	なし	×	なし
数研出版	政治・経済	×	なし	×	なし
第一学習社	高等学校 政治・経済	×	まとめのページにおいて多数の資料とともに、話し合いの過程を重視する民主主義のあり方として「熟議民主主義」の語が紹介されている	×	ミニ・パブリックスの代表例として、2012年に実施されたエネルギー政策をめぐる討論型世論調査が写真(実際の議論の様子)付きで取り上げられている

このように、6冊の教科書のうち半分の3冊で熟議および熟議民主主義が取り上げられており、科目「公共」の教科書よりもその取り上げられる割合は多くなっている。

次に、5社が2023年に発行した6冊の教科書における「ミニ・パブリックス」への言及の状況について確認する(表2)。例えば東京書籍の教科書では、先に確認した熟議に言及するページの中で、「ミニ・パブリックス」の語は使われてはいないものの、国のエネルギー政策のあり方を政府が検討するための材料として2012年に開催された、無作為抽出により集められた参加者が議論をした「エネルギー・環境の選択肢に関する討論型世論調査」という取り組みの定義や実際の様子を示した写真、意見変化の状況、討論の流れが示されている(杉田ほか2023)。

また第一学習社の教科書では、先に確認した熟議に言及するページの中で、「ミニ・パブリックス」の語が使用されており、「無作為抽出された市民から構成された人々による話し合いの場を設けて、その結果を政策決定に反映させようとする方法」(谷田部ほか2023:63)との定義や、東京書籍の教科書と同じ事例が、意見変化の状況のみに言及する形で紹介されている。

このように、「熟議」に言及する教科書の数と比較すると、「ミニ・パブリックス」に言及する教科書の数はやや少ない。しかしながら、現実社会の政治のあり方を見直すためのものとしての熟議の概念について学習したあとに、ミニ・パブリックスの実践について理解する構成となっているため、この教科書を使用して政治について学ぶ生徒はミニ・パブリックスの意義についても考えることができるようになる可能性がある。

4. 「熟議」「ミニ・パブリックス」に関する教科書記述をめぐり課題および展望

4-1 教科書記述をめぐり課題

ここまで、科目「公共」の採択率3割を占める教科書と、科目「政治・経済」の教科書における「熟議」や「ミニ・パブリックス」の記述内容について確認してきたが、現時点ではほぼ全ての教科書で「熟議」もしくは「ミニ・パブリックス」への言及が見られるという状況にはなっていない。すなわち、「熟議」や「ミニ・パブリックス」の語を目にし、理解を深める生徒もいれば、そうした語を目にする機会のないまま、高校における公民科の学習を終えてしまう生徒もいるという状況が、現実には存在する。

また、こうした状況を助長する可能性があるものとして、「公共」、「政治・経済」教科書に「熟議」や「ミニ・パブリックス」への言及が見られたとしても、本文ではなくコラムや資料などで言及が見られるケースも多い。これまで確認した限りでは、「公共」教科書は教育図書のもので、本文中で熟議を取り上げていたにすぎず、「政治・経済」教科書にいたっては、本文中で熟議やミニ・パブリックスに言及するものはなかった。

資料やコラムは、本文の内容を学習した上で生徒に読ませるためのものとして設定されていると思われるが、あくまで本文の補足の位置づけであるため、公民科の授業を担当する教員が「この内容は重要である」と認識しなければ、また授業の年間の指導計画に余裕がなければ、教員によって説明や言及を割愛される可能性も十分に考えられる。その意味では、資料やコラムではなく、本文中にこうした語が登場するようになることが望ましい。

加えて、「ミニ・パブリックス」への言及に関しては、「政治・経済」の教科書でしか見られないため、現行の教科書記述の仕方では生徒は、熟議の理想と熟議の実践をつなげて理解することが難しくなるであろう。さらに、「熟議」と「ミニ・パブリックス」の両方に言及する東京書籍の「政治・経済」教科書であっても、熟議の要件である、他者と話し合う中で自らの意見を変える反省性についての言及がないために、討論型世論調査に参加した人々が意見を变えたことを、反省性の獲得や現われであると認識できない可能性がある。このように、政治学の議論で示される熟議の条件をどこまで紙面に盛り込むかは教科書会社によって差があるのが現状であり、その整理の仕方も見直される余地がある。

そして、2022年に発行された「公共」教科書、2023年に発行された「政治・経済」教科書のいずれも、ミニ・パブリックスに数えられ、近年世界や日本でその実践の数が増えつつある気候市民会議については、全く取り上げられていない。三上(2022)によれば、フランスでは政府が主導する形で、無作為抽出された市民が脱炭素政策について議論し、その結果を政策形成に活かそうとする気候市民会議が行われた。また日本でも札幌市や川崎市など自治体レベルではあるが、同様の取り組みが行われた。こうした実践もまた、選挙によって選ばれた代表者としての政治家に任せるだけでは解決の難しい気候変動という問題に対する新たなアプローチを探るという点で、既存の政治や政策を批判的に捉える視点を人々に提供する。持続可能な社会の担い手を育成することを目指す公民科の学習においてもこうしたトピックは取り上げ

られるべきではないだろうか^(註6)。

2009年に改訂された学習指導要領を受けて作成された以前の公民科教科書においては、「熟議」やそれに関連した取り組みである「ミニ・パブリックス」は一切言及がなかったため、現在の教科書において記述が増えていることは大きな変化であり意義も認められる。一方で、まだまだ「熟議」や「ミニ・パブリックス」を扱う教科書は少なく、概念や取り組みの正確な理解、意義についての理解が広く生徒に及ぶかという点では、課題も存在するのが現状である。

4-2 教科書記述をめぐる展望

最後に、上述した課題に対してどのような改善が可能かについても提言を行う。

まず、資料やコラムではなく本文で「熟議」や「ミニ・パブリックス」に言及されるように、教科書の構成が見直される必要がある。例えば「公共」教科書では、公共的な空間の基本原則について学習するところで、ハーバースの討議倫理や対話的理性に触れる教科書は多い。こうした箇所の本文において「熟議」や「ミニ・パブリックス」に言及することができれば、民主的な言論空間を支えるものとしての熟議の存在を、より多くの生徒が認知し、民主的な言論空間のあり方について考察する機会を与えることができるのではないだろうか。

あるいは、「公共」の教科書も「政治・経済」の教科書も、司法の単元のところで裁判員制度が必ず扱われるが、裁判員候補者の選出は無作為抽出によって行われるため、そのほかの三権分立である立法や行政においても、抽選を取り入れることが可能かどうかを、生徒が考察するような構成をとることも、検討されてよいのではないだろうか。こうした視点は、まさに蓮見(2023)においても指摘されている、近年政治学において議論され始めているロトクラシー、くじ引き民主主義の概念とも関わりがあるが、教科書の本文もしくは資料やコラムの中に「立法や行政を国民に身近なものにするために、抽選という手法は果たして妥当であるか」といった問いを設けることができたならば、「熟議」や「ミニ・パブリックス」に関する記述も、追加で新たに盛り込むことができるようになる。

次に、「熟議」や「ミニ・パブリックス」に関する記述の量が現在よりも増えるように、教科書の構成が見直される必要がある。「ミニ・パブリックス」に関する記述そのものが「公共」教科書でも「政治・経済」教科書でも増えることで、熟議の理論と実践の関係やつながりが生徒により見えやすくなるであろうし、選挙で選ば

れた代表者に政治を任せただけでなく、一般の市民の声を反映させることも民主主義にとって重要であることを、生徒が理解したり考えるきっかけを与えることができるであろう。

また、正統性や反省性など、理論的な熟議の条件に関する記述がどの教科書でも見られるようになる必要もあろう。田村(2018)で指摘されるように、熟議とはそれによってもたらされる結論の正しさが高まる(正当性)、その結論に納得して従うことができる(正統性)、話し合いの結果意見を変えることがある(反省性)のものである必要があり、投票に代表される単なる多数決では見落とされるものが、熟議では見落とされにくくなると考えられる。その実践としてのミニ・パブリックスの事例とともに、熟議の意義や課題が読み手に正確に理解されるような記述が存在することも重要であろう。

そして、ミニ・パブリックスの一例としての気候市民会議に関する記述が増えるように、教科書の構成が見直される必要がある。「公共」、「政治・経済」の教科書においては、多様な政治参加や市民参加の機会を増やしていくことが重要であるという記述もたびたび見られる。例えば東京書籍の「政治・経済」教科書では、「SDGs達成に向けて自分にできることを考えよう」というページがあり、そこでは「情報を収集・分析する」、「意見を表明する」、「意見交換をする」、「政治に働きかける」、「選挙に参加する」、「課題解決に取り組む」(杉田ほか2023:249)といった参加の方法が紹介される。SDGsの中にはゴール13として「気候変動に具体的な対策を」が設定されていること、参加の方法の一つである意見交換は熟議に近いことなどから、こうした学習において気候市民会議の例を出すことは十分に可能であろう。

また先述の通り、気候変動問題は政治家に任せただけでは解決が難しく、一般市民の行動も求められるという性質もあるため、人々の社会参画の機会を増やし、その視点を踏まえて合意形成を図っていくことが重要になる。ここで、社会参画や合意形成というのは公民科の学習指導要領の目標、科目「公共」や科目「政治・経済」の目標の中に登場するキーワードでもある。そのため、社会参画や合意形成のあり方について生徒に考えさせる機会を提供するという意味でも、気候市民会議を熟議やミニ・パブリックスの一例として取り上げることには、意義が認められよう。

5. おわりに

本稿では、現実社会の政治を批判的に検討する視点を

与えるという意味で注目に値する「熟議」やその実践としての「ミニ・パブリックス」の語が、公民科の教科書でどの程度記載されているのかを、先行研究では分析の対象となっていなかったものも含めて確認し、教科書記述のあり方について検討した。その結果、科目「公共」においては「熟議」が中心に取り上げられる傾向にあること、科目「政治・経済」では「ミニ・パブリックス」も含めて「熟議」に焦点が当てられるケースがあることなどを明らかにすることができた。

ただし、教科書に関しては蓮見(2023)において、「学校教科書の内容は、生徒が学ぶことを期待されてはいるものの、実際に教師がその通り授業で教えるとは限らず、ましてや生徒がその通り身につけるとも限らない」(蓮見2023:83)ことが指摘されている。教科書に書かれていない内容であっても、教師が独自に工夫をして生徒に伝えることも可能なのであり、本稿で示した教科書分析の結果も、生徒が必ずその内容について学ぶことを証明するものではない点には、注意する必要がある。

今後の課題は、教科書レベルで「熟議」や「ミニ・パブリックス」が十分に取り上げられているわけではない現状を踏まえ、こうした概念や実践を、授業実践レベルでどのように扱うことができるかを検討していくことである。「熟議」や「ミニ・パブリックス」を扱うことで、生徒が政治参加や市民参加に対する理解を深めたり、既存の政治を批判的に捉える視点を身につけたり、合意形成や社会参画に理解を示すようになる可能性があると考え、そうした市民へと生徒を成長させることができるような公民科の授業を構想・開発していく必要がある。

また、本稿で焦点を当てたのは公民科の科目のうち「公共」と「政治・経済」であったが、熟議と関係の深いハーバーマスの思想などは、科目「倫理」においても扱われる。そのため、科目「倫理」の教科書において「熟議」や「ミニ・パブリックス」を扱う余地はないのか、といった残された論点についても、今後検討していく必要があるだろう。

註

- (1) 文部科学省ホームページ「教科書とは」(https://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/kyoukasho/gaiyou/04060901/1235086.htm。2025年8月29日最終閲覧)。
- (2) 本稿では、小学3年生から6年生の間、また中学1年生から3年生の間に学習する教科「社会」を社会科、高校1年生から3年生の間に学ぶ教科

「地理歴史」や「公民」を社会系教科と呼称する。

- (3) なお本文中に「熟議」の語が出てくるのは東京書籍の「公共」教科書のみであるが、筆者が確認した限り、コラムや特集ページにおいて熟議(民主主義)の語が出てくるものもあり、それは、「民主主義の質を高め、民主主義を通じて公共の利益を実現するためには、市民が自ら公的問題について、十分な情報と知識をもって真剣に討論すること(熟議)が必要である」(桐山2022:47)との記述がある実教出版の教科書『公共』、また「民主主義とは単なる多数決ではない以上、人々が十分な情報を得て熟慮をおこなうと同時に、他者の異なる意見に真摯に耳を傾けることが重要である」(中村2022:58)との記述が熟議の語とともに見られる、同じく実教出版の教科書『詳述公共』の2冊である⁽²⁾⁽³⁾。
- (4) 選挙に際しては、人々が自らの利益(自己利益)を考えて投票するならば、社会全体の利益(公益)を考える政治家の当選や政策の実現は、遠く可能性が高くなるであろう。また関連して政治学者のヤングは、選挙に代表される利益モデルのもとでは人々が自己利益の追求をやめる必要も、公的な場で他者とつながる必要もなくなってしまうと述べる⁽⁶⁾。
- (5) なお蓮見は、先行研究の中で「ミニ・パブリックス」の語を直接使用してはいない。ただし、蓮見が熟議の制度例として挙げる討論型世論調査や市民討議会はミニ・パブリックスであるため、本稿においては蓮見の先行研究も「ミニ・パブリックス」に言及するものとして扱っている。また、蓮見の分析においてはミニ・パブリックスに言及のあるものは東京書籍の「公共」教科書のみとされているが、これは教科書の本文に限った場合の話であり、特集ページであれば、実教出版の教科書『詳述公共』の58ページに、討論型世論調査や市民討議会、また名称には触れられていないがコンセンサス会議の情報を確認することができる。
- (6) 三上によれば、「温室効果ガスを排出した影響は、数十年かけて現れる」一方で、気候変動の問題は政治家にとっては「数年間の任期中に決定的な変化が起こる可能性は、他の問題に比べれば小さく、積極的に取り組む動機づけが生じにくい」(三上2022:16)とされている。こうした、政治家にとっての政策的対応の優先順位が低くなりがちであることも、一般市民の積極的な関与が検討

されるべき根拠となろう。

参考文献

- (1) 文部科学省 (2018) 「高等学校学習指導要領 (平成30年告示) 解説 公民編」。
- (2) 桐山孝信ほか (2022) 『公共』 実教出版。
- (3) 中村達也ほか (2022) 『詳述公共』 実教出版。
- (4) 蓮見二郎 (2023) 「高等学校新科目「公共」教科書の政治学的分析—概念と探究課題—」 日本政治学会『年報政治学 2023-II』, pp. 82-105。
- (5) 田村哲樹 (2008) 『熟議の理由—民主主義の政治理論—』 勁草書房。
- (6) Young, Iris M. (1996) “Communication and the Other: Beyond Deliberative Democracy,” in Seyla Benhabib (ed.), *Democracy and Difference: Contesting the Boundaries of the Political*, Princeton University Press, pp. 120-135.
- (7) フィッシュキン, ジェイムズ (2011) 『人々の声が響き合うとき—熟議空間と民主主義—』 曾根泰教 (監修), 岩木貴子 (訳), 早川書房。
- (8) 田村哲樹 (2018) 「「主体的」ではない熟議のために—予備的考察—」 村田和代 (編) 『話し合い研究の多様性を考える』 ひつじ書房, pp. 211-226。
- (9) 田村哲樹 (2017) 『熟議民主主義の困難—その乗り越え方の政治理論的考察—』 ナカニシヤ出版。
- (10) 篠原一 (編) (2012) 『討議デモクラシーの挑戦—ミニ・パブリックスが拓く新しい政治—』 岩波書店。
- (11) 三上直之 (2022) 『気候民主主義—一次世代の政治の動かし方—』 岩波書店。
- (12) OECD Open Government Unit (2023) 『世界に学ぶミニ・パブリックス—くじ引きと熟議による民主主義のつくりかた—』 日本ミニ・パブリックス研究フォーラム (訳), 学芸出版社。
- (13) 長田健一 (2014) 「論争問題学習における授業構成原理の「熟議的転回」—National Issues Forumsの分析を通して—」 全国社会科教育学会『社会科研究』 第80号, pp. 81-92。
- (14) 斉藤雄次 (2020) 「熟議を通じた輿論の形成を目指す高校公民科授業の開発—論争的課題としての選択的夫婦別姓の問題に注目して—」 日本公民教育学会『公民教育研究』 第27号, pp. 29-43。
- (15) 内外教育 (2023) 「公民は22年度比21%の大幅増 23年度高校教科書採択状況—文科省まとめ (中)—」 時事通信社『内外教育』 第7057号, pp. 8-16。
- (16) 鈴木寛ほか (2022) 『高等学校 公共』 教育図書。
- (17) 矢野智司ほか (2022) 『公共』 数研出版。
- (18) 中野勝郎ほか (2022) 『高等学校 公共』 清水書院。
- (19) 篠原一 (2004) 『市民の政治学—討議デモクラシーとは何か—』 岩波書店。
- (20) 杉田敦ほか (2023) 『政治・経済』 東京書籍。
- (21) 諸富徹ほか (2023) 『詳述政治・経済』 実教出版。
- (22) 谷田部玲夫ほか (2023) 『高等学校 政治・経済』 第一学習社。

(2025年6月16日受理)

〔研究ノート〕

NBU GEN-HEL の開発 (第1報)

— ブレード運動の数学モデル —

大城 鳳花*, 中山 周一*²

*日本文理大学工学部航空宇宙工学科 (2024年度卒業)

*²日本文理大学工学部航空宇宙工学科

Helicopter Rotor Simulation Program NBU GEN-HEL Development (1st Report)

— Rotor Dynamics Model —

Fuka OSHIRO*, Shuichi NAKAYAMA*²

*Department of Aerospace Engineering, School of Engineering, Nippon Bunri University (Graduate, AY2024)

*²Department of Aerospace Engineering, School of Engineering, Nippon Bunri University

1. はじめに

NASA CR (Contractor Report) として基本モデルが公開されているヘリコプタ・ロータ・シミュレーション・プログラム GEN-HEL⁽¹⁾を本学で内製することを目標に2023年度から卒業研究^(2,3)で取り組み、2024年度にはNASAによるロータ風洞試験結果⁽⁴⁾と比較検証を行いブレード失速による非線形性を捉える等の成果を得た。本稿(第1報)ではシミュレーションモデルの導出とシミュレーションの基本的な機能確認を行った結果について報告する。

2. ブレード運動の数学モデル

図1にヘリコプタ・ロータ・ハブとブレードの模式図を示す。慣性系に固定されたハブ非回転座標系 $O_H-X_{HF}-Y_{HF}-Z_{HF}$ の原点を中心とし、ハブの回転中心から e だけオフセットされたヒンジにブレードは連結しており、フラップ角 β と、リードラグ角 ζ の2つの回転自由度を持つ。NASAのロータ風洞試験結果と比較検証するため、2024年度卒業研究ではハブ位置は慣性系に

固定し、機体の運動は含めない。

 $\{x\} = \{\zeta, \beta\}^T$ についてのブレードの運動方程式

$$[M]\{\ddot{x}\} + [K]\{x\} = \{M_B\} \quad (1)$$

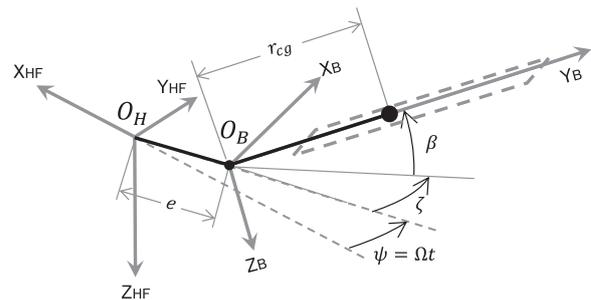
を導出する。 $\{M_B\}$ はブレード空気力項である。

図1 ブレード重心位置

前述のように質点が回転運動しているため遠心力やコリオリ力が作用する。これらを正しく立式するために慣性座標系での位置を求め、ラグランジュの方法で運動方程式の左辺を導出する。ブレードに作用する重力は遠心力に比べて小さいので位置エネルギーは考えず、ラグランジュ関数としてブレードの運動エネルギーだけを考える。

図1からブレード固定座標系 $O_B-X_B-Y_B-Z_B$ でのブレード重心位置は $\{0, r_{cg}, 0\}^T$ である。これをフラップ方向に回転したハブブレード中間座標系 $O_B-X_{HB}-Y_{HB}-Z_{HB}$ に変換する。図2に示すように、2つの座標系の関係を表すフラップ角 β はフラップアップがプラスであり、両者の関係は次となる。

$$\begin{pmatrix} X_B \\ Y_B \\ Z_B \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\beta & -\sin\beta \\ 0 & \sin\beta & \cos\beta \end{bmatrix} \begin{pmatrix} X_{HB} \\ Y_{HB} \\ Z_{HB} \end{pmatrix} \quad (2)$$

以降この変換行列を次のように表記する。

$$[\beta]_{B/HB} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\beta & -\sin\beta \\ 0 & \sin\beta & \cos\beta \end{bmatrix} \quad (3)$$

$[\beta]_{B/HB}$ の逆行列 $[\beta]_{HB/B}$ (本稿では、添え字の順番を逆にすることで逆行列を表す) によりブレード固定座標系でのブレード位置をブレード中間座標系に変換する。

$$\begin{pmatrix} 0 \\ r_{cg} \cos\beta \\ -r_{cg} \sin\beta \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\beta & \sin\beta \\ 0 & -\sin\beta & \cos\beta \end{bmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ r_{cg} \\ 0 \end{pmatrix} \quad (4)$$

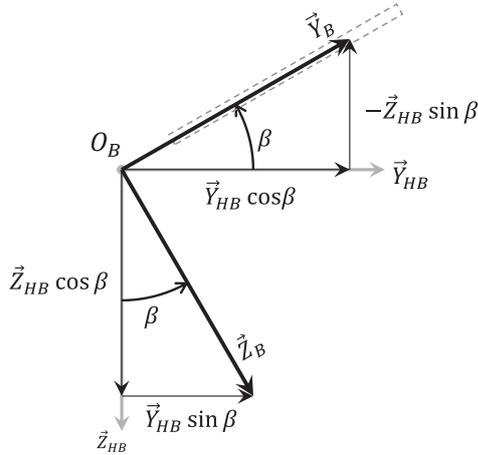


図2 ブレード固定座標とハブブレード中間座標

次にハブブレード中間座標 $O_B-X_{HB}-Y_{HB}-Z_{HB}$ からハブ回転座標系 $O_H-X_{HR}-Y_{HR}-Z_{HR}$ に変換する。図3に示すように、2つの座標系の関係を表すリードラグ角 ζ はロータ回転と同じリード方向がプラスであり、両者の関係は(5)式で表される。 e はヒンジオフセットであり、ブレードのフラップ、リードラグ角は回転中心ではなくヒンジを中心に発生する。

$$\begin{pmatrix} X_{HB} \\ Y_{HB} \\ Z_{HB} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\zeta & -\sin\zeta & 0 \\ \sin\zeta & \cos\zeta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} X_{HR} \\ Y_{HR} - e \\ Z_{HR} \end{pmatrix} \quad (5)$$

以降この変換行列を次のように表記する。

$$[\zeta]_{HB/HR} = \begin{bmatrix} \cos\zeta & -\sin\zeta & 0 \\ \sin\zeta & \cos\zeta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

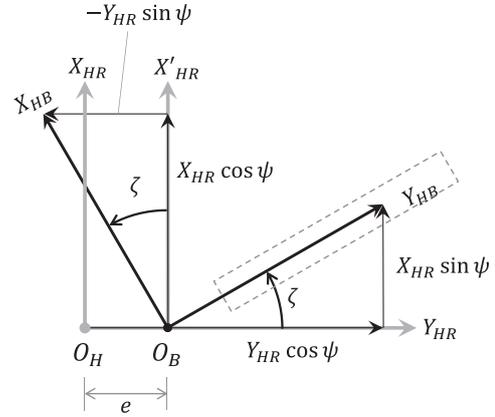


図3 ハブブレード中間座標系とハブ回転座標系

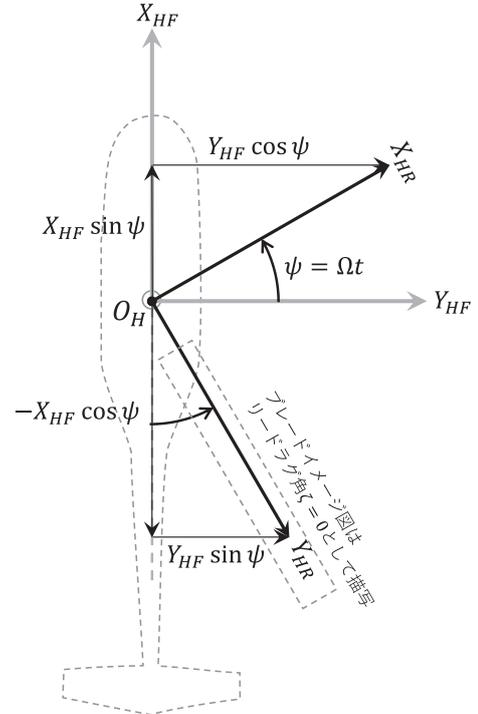


図4 ハブ回転座標系とハブ非回転座標系

$[\zeta]_{HB/HF}$ の逆行列によりハブブレード中間座標系でのブレード位置をハブ回転座標系に変換する。

$$\begin{pmatrix} X_{HR} \\ Y_{HR} - e \\ Z_{HR} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\zeta & \sin\zeta & 0 \\ -\sin\zeta & \cos\zeta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ r_{cg} \cos\beta \\ -r_{cg} \sin\beta \end{pmatrix} \quad (7)$$

$$\begin{pmatrix} X_{HR} \\ Y_{HR} \\ Z_{HR} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ e \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} r_{cg} \sin\zeta \cos\beta \\ r_{cg} \cos\zeta \cos\beta \\ -r_{cg} \sin\beta \end{pmatrix}$$

ハブ非回転座標系 $O_H-X_{HF}-Y_{HF}-Z_{HF}$ からハブ回転座標

系 $O_H-X_{HR}-Y_{HR}-Z_{HR}$ に変換する。図4に示すように2つの座標系の関係を表すロータ回転によるブレード方位角 $\psi = \Omega t$ (Ω は回転角速度) は機体上方から見て反時計回りがプラスであり、両者の関係は(8)式で表される。ヘリコプタ工学では機体後方にブレードが位置する場合を $\psi = 0$ とするのが慣例⁽⁵⁾で NASA CR⁽¹⁾ も同じ定義を使っているため、本稿もそれに合わせている。

$$\begin{Bmatrix} X_{HR} \\ Y_{HR} \\ Z_{HR} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin\psi & \cos\psi & 0 \\ -\cos\psi & \sin\psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} X_{HF} \\ Y_{HF} \\ Z_{HF} \end{Bmatrix} \quad (8)$$

以降この変換行列を次のように表記する。

$$[\psi]_{HR/HF} = \begin{bmatrix} \sin\psi & \cos\psi & 0 \\ -\cos\psi & \sin\psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (9)$$

$[\psi]_{HR/HF}$ の逆行列 $[\psi]_{HF/HR}$ によりハブ回転座標系でのブレード位置をハブ非回転座標系に変換し、ハブ非回転座標系でブレード位置 $\{x, y, z\}^T$ を求める。

$$\begin{Bmatrix} x \\ y \\ z \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin\psi & -\cos\psi & 0 \\ \cos\psi & \sin\psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \left(\begin{Bmatrix} 0 \\ e \\ 0 \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} r_{cg} \sin\zeta \cos\beta \\ r_{cg} \cos\zeta \cos\beta \\ -r_{cg} \sin\beta \end{Bmatrix} \right) = e \begin{Bmatrix} -\cos\psi \\ \sin\psi \\ 0 \end{Bmatrix} + r_{cg} \begin{Bmatrix} -\cos(\psi + \zeta) \cos\beta \\ \sin(\psi + \zeta) \cos\beta \\ -\sin\beta \end{Bmatrix} \quad (10)$$

ラグランジュ関数を得るためブレードの重心位置を時間微分する。

$$\begin{Bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{z} \end{Bmatrix} = e \begin{Bmatrix} \Omega \sin\Omega t \\ \Omega \cos\Omega t \\ 0 \end{Bmatrix} + r_{cg} \begin{Bmatrix} (\Omega + \dot{\zeta}) \sin(\Omega t + \zeta) \cos\beta + \dot{\beta} \cos(\Omega t + \zeta) \sin\beta \\ (\Omega + \dot{\zeta}) \cos(\Omega t + \zeta) \cos\beta - \dot{\beta} \sin(\Omega t + \zeta) \sin\beta \\ -\dot{\beta} \cos\beta \end{Bmatrix} \quad (11)$$

3成分を足し合わせラグランジュ関数を求めると(12)式となる。

$$\begin{aligned} T &= \frac{m}{2} (\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2) \\ &= \frac{1}{2} m e^2 \Omega^2 + m e r_{cg} \Omega \{ (\Omega + \dot{\zeta}) \cos\beta \cos\zeta - \dot{\beta} \sin\beta \sin\zeta \} + \frac{1}{2} m r_{cg}^2 \{ (\Omega + \dot{\zeta})^2 \cos^2\beta + \dot{\beta}^2 \} \end{aligned} \quad (12)$$

運動方程式(1)式の右辺の空気力項の第1成分を $M_{B(1)}$ と表すと、 ζ についての運動方程式は以下となる。

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\zeta}} \right) - \frac{\partial T}{\partial \zeta} = m e r_{cg} \Omega^2 \cos\beta \sin\zeta + m r_{cg}^2 \{ \dot{\zeta} \cos^2\beta - 2\dot{\beta} (\Omega + \dot{\zeta}) \sin\beta \cos\beta \} = M_{B(1)} \quad (13)$$

β についても同様に $\{M_B\}$ の第二成分を $M_{B(2)}$ と表すと、 β についての運動方程式は以下となる。

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\beta}} \right) - \frac{\partial T}{\partial \beta} = m e r_{cg} \Omega^2 \sin\beta \cos\zeta + m r_{cg}^2 (\Omega + \dot{\zeta})^2 \sin\beta \cos\beta + m r_{cg}^2 \dot{\beta} = M_{B(2)} \quad (14)$$

(13), (14)式は、NASA CR⁽¹⁾ の 5.1-31頁の式に対応する。 ζ と β は小さいとし、 $\cos\zeta \simeq 1$, $\sin\zeta \simeq \zeta$, $\cos\beta \simeq 1$, $\sin\beta \simeq \beta$ と近似し変数同士の積を省略すると運動方程式は以下となる。

$$[M] \begin{Bmatrix} \ddot{\zeta} \\ \ddot{\beta} \end{Bmatrix} + [K] \begin{Bmatrix} \zeta \\ \beta \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} m r_{cg}^2 & 0 \\ 0 & m r_{cg}^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \zeta \\ \beta \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} m e r_{cg} \Omega^2 & 0 \\ 0 & m r_{cg} (e + r_{cg}) \Omega^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \zeta \\ \beta \end{Bmatrix} = \{M_B\} \quad (15)$$

次に、ブレードの運動方程式(15)式の右辺の空気力を求める。ブレード空気力を求めるためには動圧、すなわち、ブレード速度が必要である。ブレード速度には、ロータ回転等のブレード運動による速度とヘリコプタの飛行速度(風洞では風洞速度)による成分がある。本来であれば、誘導速度を含めるべきだが、2024年度の卒業研究としては誘導速度を省略している。関係する座標系を図5に示す。

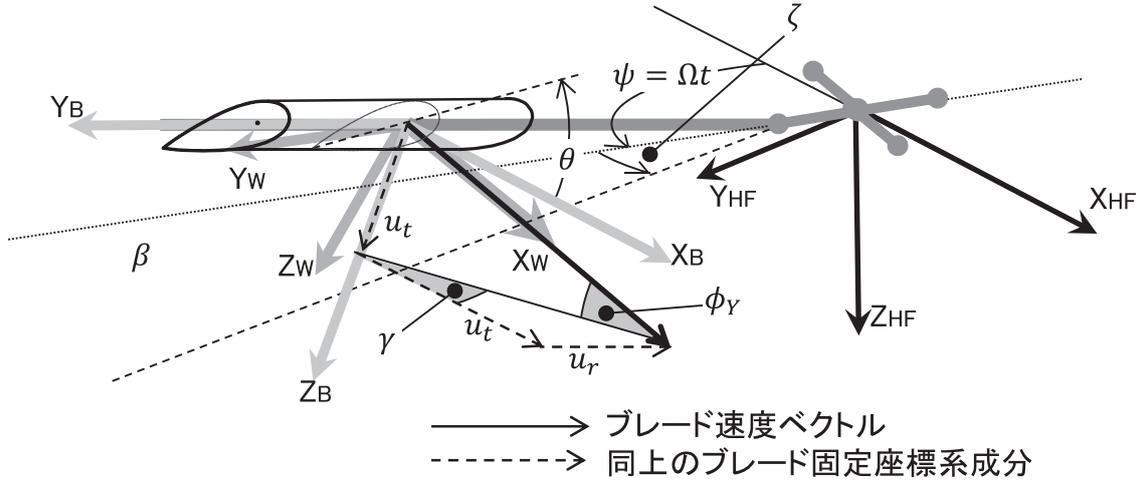


図5 ブレード速度に関わる座標系

ブレード運動による速度について述べる。位置を時間微分すれば速度を求めることが可能であるが、回転している座標系の場合は基底ベクトルの時間変化を考慮する必要がある、面倒である。そこで本稿では、 O_H - X_{HF} - Y_{HF} - Z_{HF} : ハブ非回転座標系での速度を微分した上で、座標変換によりブレード固定座標に持って行く。

ハブ非回転座標系でのブレード運動による速度(11)式を $[\psi]_{HR/HF}$ 等によりハブ回転座標系に変換する。

$$\begin{aligned}
 [\beta]_{B/HB} [\zeta]_{HB/HR} [\psi]_{HR/HF} & \left(e \begin{Bmatrix} \Omega \sin \Omega t \\ \Omega \cos \Omega t \\ 0 \end{Bmatrix} + r_{cg} \begin{Bmatrix} (\Omega + \zeta) \sin(\Omega t + \zeta) \cos \beta + \dot{\beta} \cos(\Omega t + \zeta) \sin \beta \\ (\Omega + \zeta) \cos(\Omega t + \zeta) \cos \beta - \dot{\beta} \sin(\Omega t + \zeta) \sin \beta \\ -\dot{\beta} \cos \beta \end{Bmatrix} \right) \\
 & = e \begin{Bmatrix} \Omega \cos \zeta \\ \Omega \sin \zeta \cos \beta \\ \Omega \sin \zeta \sin \beta \end{Bmatrix} + r_{cg} \begin{Bmatrix} (\Omega + \zeta) \cos \beta \\ 0 \\ -\dot{\beta} \end{Bmatrix} \quad (16)
 \end{aligned}$$

次に機体飛行速度（本研究では風洞風速）の成分について述べる。図6に示すように風洞を表す慣性系 X_I - Y_I - Z_I （風洞）と機体に固定されたハブ非回転座標系の関係を表す迎え角 α_s はピッチアップ方向をプラスとし、両者の関係は以下で表される。

$$\begin{Bmatrix} X_{HF} \\ Y_{HF} \\ Z_{HF} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \alpha_s & 0 & -\sin \alpha_s \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \alpha_s & 0 & \cos \alpha_s \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} X_I \\ Y_I \\ Z_I \end{Bmatrix} \quad (17)$$

以降この変換行列を次のように表記する。

$$[\alpha_s]_{HF/I} = \begin{bmatrix} \cos \alpha_s & 0 & -\sin \alpha_s \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \alpha_s & 0 & \cos \alpha_s \end{bmatrix} \quad (18)$$

$[\alpha_s]_{HF/I}$ により慣性系（風洞）で表される風洞速度 $\{V, 0, 0\}^T$ をハブ非回転座標系に変換すると次式となる。

$$\begin{Bmatrix} V \cos \alpha_s \\ 0 \\ V \sin \alpha_s \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \alpha_s & 0 & -\sin \alpha_s \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \alpha_s & 0 & \cos \alpha_s \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} V \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (19)$$

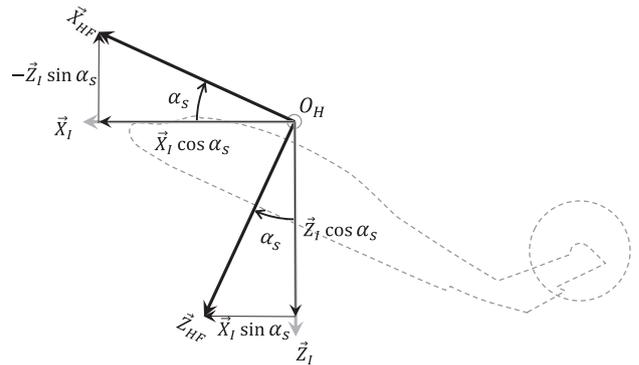


図6 ハブ非回転座標系と慣性座標系

前記速度を $[\psi]_{HR/HF}$, $[\zeta]_{HF/HB}$, $[\beta]_{B/HB}$ により座標変換し, ブレード固定座標系の速度を求める。

$$[\beta]_{B/HB}[\zeta]_{HB/HR}[\psi]_{HR/HF} \begin{Bmatrix} V\cos\alpha_s \\ 0 \\ V\sin\alpha_s \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} V\cos\alpha_s \sin(\psi + \zeta) \\ -V\cos\alpha_s \cos(\psi + \zeta) \cos\beta - V\sin\alpha_s \sin\beta \\ -V\cos\alpha_s \cos(\psi + \zeta) \sin\beta + V\sin\alpha_s \cos\beta \end{Bmatrix} \quad (20)$$

本式は NASA CR⁽¹⁾の P5.1-22, UPAMR (IB) 等に対応する。以上, (16)式と(20)式を合わせてブレード固定座標系でのブレード速度とする。 u_t , u_r , u_p との表記は CR⁽¹⁾に合わせたもので, CR⁽¹⁾では Y 方向速度の定義が右手系座標に対しプラス方向が逆になっているので, Y 方向成分は $-u_r$ となっている。第2報の付録に収録するソースコードでは, $\cos\zeta \approx 1$, $\sin\zeta \approx \zeta$, $\cos\beta \approx 1$, $\sin\beta \approx \beta$ と近似し変数同士の積を省略しているので注意。

$$\begin{Bmatrix} u_t \\ -u_r \\ u_p \end{Bmatrix} = e \begin{Bmatrix} \Omega\cos\zeta \\ \Omega\sin\zeta\cos\beta \\ \Omega\sin\zeta\sin\beta \end{Bmatrix} + r_{cg} \begin{Bmatrix} (\Omega + \dot{\zeta})\cos\beta \\ 0 \\ -\dot{\beta} \end{Bmatrix} + V \begin{Bmatrix} \cos\alpha_s \sin(\psi + \zeta) \\ -\cos\alpha_s \cos(\psi + \zeta) \cos\beta - \sin\alpha_s \sin\beta \\ -\cos\alpha_s \cos(\psi + \zeta) \sin\beta + \sin\alpha_s \cos\beta \end{Bmatrix} \quad (21)$$

以上のブレード速度 $\{u_t, -u_r, u_p\}^T$ からブレードに働く揚力 l と抗力 d を求めることができる。

$$\begin{Bmatrix} -d \\ 0 \\ -l \end{Bmatrix} = -\frac{1}{2}\rho(u_t^2 + u_r^2 + u_p^2)S \begin{Bmatrix} c_d \\ 0 \\ c_l \end{Bmatrix} \quad (22)$$

ここで, S はブレード翼面積, ρ は空気密度である。ブレード空気力 $\{-d, 0, -l\}^T$ は, X 軸をブレード相対風に一致させたブレード相対風座標系 X_W - Y_W - Z_W での成分であり, ブレード固定座標系と同様, X 軸をブレード進行方向, Z 軸をブレード下方方向としているので, 抗力と揚力にはマイナスが付く。このままでは(15)式の右辺に持つて行くことはできず, ブレード固定座標系に変換する必要がある。この変換は u_t , u_r , u_p で表現される。ブレード固定座標系 X_B - Y_B - Z_B の X_B - Y_B 面内で翼断面では, Y_B 方向速度 $-u_r$ により流入速度はブレードに対して傾いた方向から入っている。この角度をヨー角 γ とし, γ だけ Z 軸方向に回転した座標系をブレードヨー座標系 O_B - X_{BW} - Y_{BW} - Z_{BW} とすると両者の関係は図7から次のように表される。

$$\begin{Bmatrix} X_{BW} \\ Y_{BW} \\ Z_{BW} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\gamma & -\sin\gamma & 0 \\ \sin\gamma & \cos\gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} X_B \\ Y_B \\ Z_B \end{Bmatrix} \quad (23)$$

同様に, u_p により流入速度はブレードのピッチ角方向斜め方向から入っている。この角度を流入角 ϕ_Y とすると, 図8に示されるようにブレードヨー座標系 O_B - X_{BW} - Y_{BW} - Z_{BW} とブレード相対風座標系 O_B - X_W - Y_W - Z_W は次式で表される。

$$\begin{Bmatrix} X_W \\ Y_W \\ Z_W \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\phi_Y & 0 & -\sin\phi_Y \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\phi_Y & 0 & \cos\phi_Y \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} X_{BW} \\ Y_{BW} \\ Z_{BW} \end{Bmatrix} \quad (24)$$

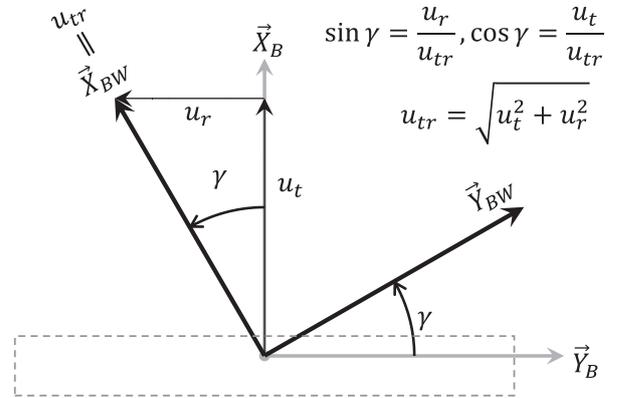


図7 ハブブレード中間座標系とハブ回転座標系

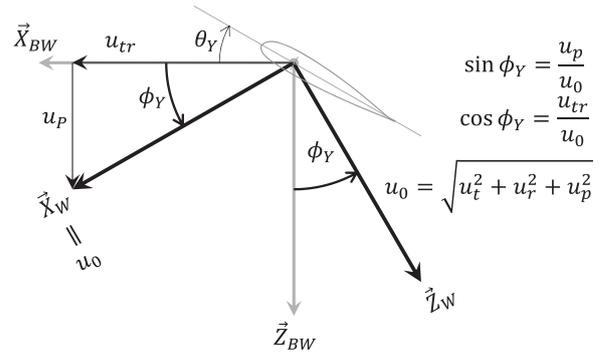


図8 ハブブレード中間座標系とハブ回転座標系

(23)式, (24)式の変換行列 $[\gamma]_{BW/B}$, $[\phi_Y]_{W/BW}$ は $\{u_t, -u_r, u_p\}^T$ の関係から次のように書き換えることができる。

$$[\gamma]_{BW/B} = \begin{bmatrix} \cos\gamma & -\sin\gamma & 0 \\ \sin\gamma & \cos\gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \frac{1}{u_{tr}} \begin{bmatrix} u_t & -u_r & 0 \\ u_r & u_t & 0 \\ 0 & 0 & u_{tr} \end{bmatrix} \quad (25)$$

$$\begin{aligned}
[\phi_Y]_{W/BW} &= \begin{bmatrix} \cos\phi_Y & 0 & \sin\phi_Y \\ 0 & 1 & 1 \\ -\sin\phi_Y & 0 & \cos\phi_Y \end{bmatrix} \\
&= \frac{1}{u_0} \begin{bmatrix} u_{tr} & 0 & u_p \\ 0 & u_0 & 0 \\ -u_p & 0 & u_{tr} \end{bmatrix}
\end{aligned} \quad (26)$$

$[\gamma]_{B/BW}$, $[\phi_Y]_{BW/W}$ によりブレード相対風座標系 $O_B-X_W-Y_W-Z_W$ の $\{-d, 0, -l\}^T$ をブレード固定座標系 $X_B-Y_B-Z_B$ に変換すると次となる。

$$\begin{aligned}
\begin{Bmatrix} Fb_x \\ Fb_y \\ Fb_z \end{Bmatrix} &= [\gamma]_{B/BW} [\phi_Y]_{BW/W} \begin{Bmatrix} -d \\ 0 \\ -l \end{Bmatrix} \\
&= \frac{1}{u_0 u_{tr}} \begin{bmatrix} u_t u_{tr} & u_r u_0 & -u_t u_p \\ -u_r u_{tr} & u_t u_0 & u_r u_p \\ u_p u_{tr} & 0 & u_{tr}^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} -d \\ 0 \\ -l \end{Bmatrix}
\end{aligned} \quad (27)$$

揚力係数 c_l はブレード迎え角 α によって変化する。

抗力係数 c_d は、迎角に依らず一定値として0.01とする。

揚力係数 c_l は薄翼理論から次式とし、

$$c_l = a\alpha \quad \text{where } a = \frac{dc_l}{d\alpha} \quad (28)$$

迎角 α はブレードピッチ角 θ_Y とブレードの相対風による流入角 ϕ_Y (図8参照) から次式とする。

$$\begin{aligned}
\tan\alpha &= \tan(\phi_Y + \theta_Y) = \frac{\tan\phi_Y + \tan\theta_Y}{1 - \tan\phi_Y \tan\theta_Y} \\
&= \frac{\frac{u_p}{u_{tr}} + \frac{u_t \tan\theta}{u_{tr}}}{1 - \frac{u_p}{u_{tr}} \frac{u_t \tan\theta}{u_{tr}}} \\
&= \frac{u_p + u_t \tan\theta}{u_{tr} - u_p u_t \tan\theta / u_{tr}}
\end{aligned} \quad (29)$$

θ はブレード固定座標系の Y_B 軸周りのピッチ角であるが、 θ_Y はブレード相対風座標系の Y_W 軸周りのピッチ角であり、両者の間には、 $u_t \tan\theta = u_{tr} \tan\theta_Y$ の関係がある。(29式の $\tan\theta$ を級数展開すると NASA CR⁽¹⁾の 5.1-25頁の $\tan\alpha$ 式に一致する。

揚力傾斜 α について、前述のとおり誘導速度をブレード速度に含めていないことを鑑み、揚力傾斜 α をアスペクト比 A により補正する⁽⁶⁾。

$$a = \frac{dc_l}{d\alpha} = \frac{a_0}{1 + \frac{a_0}{\pi A}} = \frac{2\pi}{1 + \frac{2}{A}} \quad (30)$$

$a_0 = 2\pi$ は薄翼理論の理論値であり、ブレードのアスペクト比12.1から、 $\alpha = 5.39$ とした。

以上により求められたブレード固定座標系でのブレード空気力 $\{Fb_x, Fb_y, Fb_z\}^T$ を運動方程式(15)式の右辺 $\{M_B\}$ に入れる。リードラグ角 ζ と Fb_x のプラス方向はリード方向で一致しているが、フラップ角 β はフラップアップがプラスとなっているのに対し Fb_z は鉛直下方が

プラスと極性が逆になっているので反転させる。ヒンジから空力代表点までの長さを r_a とすると次式となる。

$$\{M_B\} = r_a \begin{Bmatrix} Fb_x \\ -Fb_z \end{Bmatrix} \quad (31)$$

以上により、 (ζ, β) についての運動方程式として次式を得る。

$$[M]\{\ddot{x}\} + [D]\{\dot{x}\} + [K]\{x\} = r_a \begin{Bmatrix} Fb_x \\ -Fb_z \end{Bmatrix} \quad (32)$$

$[D]$ は次式で表される減衰行列である。

$$[D] = \begin{bmatrix} 0.05(2mr_{cg}\Omega\sqrt{r_{cg}e}) & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (33)$$

ヘリコプタではリードラグ方向にダンパーが通常設けられているのでそれを表す。

3. 計算結果

3-1 計算諸元

(32)式を odeint を用いて時間積分する python プログラムを作成した。全ての計算の時間刻みはロータ1回転を60分割とし、図10を除き50秒間計算を行った。

$$\Delta t = \frac{2\pi}{\Omega(=27)} \frac{1}{60} = 0.00387851[\text{sec}] \quad (34)$$

NASA CR⁽¹⁾に記載されている $M_b = 86.7[\text{slug-ft}]$ (1st mass moment of blade about the hinge), $I_b = 1512.6[\text{slug-ft}^2]$ (Inertia of blade about the hinge) には、

$$M_b = mr_{cg}, \quad I_b = m r_{cg}^2 \quad (35)$$

の関係があるから、

$$r_{cg} = \frac{I_b}{M_b} = 17.45[\text{ft}] = 5.318[\text{m}] \quad (36)$$

$$m = \frac{M_b}{r_{cg}} = 4.970[\text{slug}] = 72.53[\text{kg}] \quad (37)$$

とする。

表1 計算(実機)諸元

記号	値	意味	根拠
Ω	27[rad/s]	ロータ回転角速度	CR ⁽¹⁾
m	72.5[kg]	ブレード質量	(37)式
R	8.178[m]	ロータ半径	CR ⁽¹⁾
e	0.381[m]	ヒンジオフセット	CR ⁽¹⁾
r_{cg}	5.32[m]	ブレード重心位置	(36)式
r_a	4.7[m]	ブレード空力半径	(41)式
r_Q	6.1[m]	トルク半径	(52)式
S	3.36[m ²]	ブレード面積	(42)式
c	0.527[m]	ブレード翼弦長	CR ⁽¹⁾
ρ	1.225[kg/m ³]	標準大気	—

ブレードの重心位置を表す r_{cg} とは別にブレードの空力代表点を表す r_a を設定する。本稿の計算ではブレードを1つの要素と見なしているの、ホバリング時のブレード揚力は

$$l = \frac{1}{2} \rho (\Omega r_a)^2 c_l S \quad (38)$$

で表されるが、周速は半径位置により異なる。この効果を積分した場合は、次式となる。

$$l = \int_0^R \frac{1}{2} \rho (\Omega r)^2 c_l c dr = \frac{1}{2} \rho \Omega^2 c_l S \frac{R^3}{3} \quad (39)$$

翼面積を $S = cR$ とすると、

$$l = \frac{1}{2} \rho \Omega^2 c c_l \frac{R^3}{3} = \frac{1}{2} \rho \Omega^2 c_l S \frac{R^2}{3} \quad (40)$$

(38)式と(40)式が等しくなる r_a を求めると

$$r_a^2 = \frac{R^2}{3} \rightarrow r_a = \frac{R}{\sqrt{3}} = 4.7[\text{m}] \quad (41)$$

このように r_a は回転中心からの長さであり、(31)式に用いる場合は e を差し引いた4.3 [m] が正しいが、第2報の付録に示すコードでは r_a を4.7 [m] としている。今後機会を見て修正が必要である。

UH-60ブレードはほぼ翼弦長が一定であるので、ロータ半径とブレード翼弦長から成る長方形としてブレード面積を設定することはできるが、ハブへの取付部、つまり、根元は翼を成していないのでその部分を取り除く。カットアウト量はTM4183⁽⁴⁾のp77の図を測り22%とした。

$$S = 1.73 \times 26.83 \times 0.78 = 36.2[\text{ft}^2] \\ = 3.36[\text{m}^2] \quad (42)$$

3-2 空気無の計算

ロータ風洞試験との比較検証の前に、基礎的な確認として、(33)式の減衰なし、空気力なし(空気密度 $\rho = 0$)での計算を行った結果を図9に示す。初期値はリードラグ角、フラップ角ともに0.001 [rad] であり、以降の計算もすべて同じである。

フラップ角とリードラグ角はそれぞれの周期ごとに初期値と同じ位置に戻る自由振動となった。リードラグ角の周期が0.8688秒、フラップ角の周期が0.2249秒になっている。(15)式からフラップ角とリードラグ角の固有振動数は以下となる。

$$\omega_\beta = \Omega \sqrt{\frac{r_{cg} + e}{r_{cg}}} = 27.95 \left[\frac{\text{rad}}{\text{s}} \right] \quad (43)$$

$$\omega_\zeta = \Omega \sqrt{\frac{e}{r_{cg}}} = 7.226 \left[\frac{\text{rad}}{\text{s}} \right] \quad (44)$$

フラップ角の周期は $T_\beta = 2\pi/\omega_\beta = 0.224794$ 秒、リードラグ角の周期は $T_\zeta = 2\pi/\omega_\zeta = 0.869525$ 秒となり、計算分解能を考慮すれば両者は一致しているといえる。

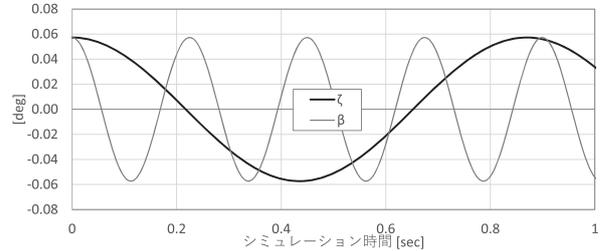


図9 空気なし計算結果

3-3 基本的な確認：ホバリング

次に空気力を加える。前節に続き、(33)式の減衰なし、ピッチ角 $\theta_0 = 2$ [deg]とした。計算結果を図10に示す。

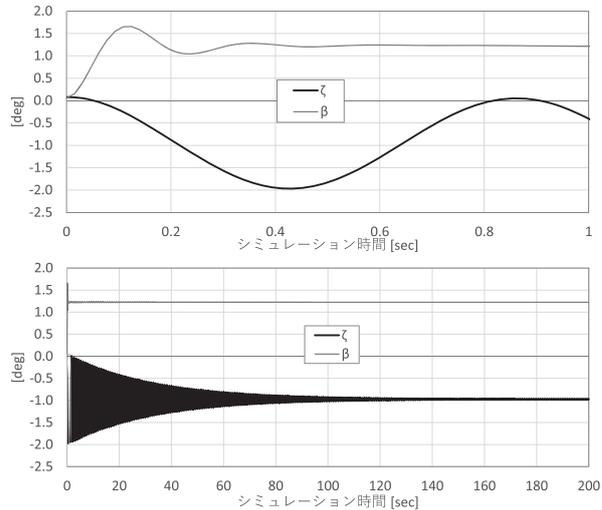


図10 空気あり計算結果 (ホバリング)

フラップ角とリードラグ角は時間経過とともにある値に収束した。リードラグ角の収束に至るまでの動きは空気力なしの場合と同様な周期で変動しているのに対して、フラップ角は1周期程度の動きの中ではほぼ収束しているという違いがある。この違いは揚力と抗力の違いにより、(28)式に示すように迎え角により揚力係数は変化する一方抗力係数は一定値となっている。迎え角による揚力変化については、(29)式の迎え角分母にある u_p には(21)式第2項にあるフラッピングによる成分 $r_{cg}\dot{\beta}$ があり、これが減衰として働く。リードラグ角については特に減衰がはたらく要素はないので固有振動数 ω_ζ での変動が継続するが、(27)式に示される座標変換を介しフラップ方向の減衰がリードラグ方向にも影響するため最終的には収束すると考えられる。

フラップの収束値はプラスであり、リードラッグの収束値はマイナスとなっている。プラスのピッチ角により揚力が発生しフラップ角はプラスの値に収束し、リードラッグ角は抗力によりマイナスの値に収束していることになる。

3-1 および 3-2 では基本的な特性を把握するため、減衰をゼロとして計算してきたが、実機にはリードラッグダンパーが搭載されていることを鑑み、以降は33式の減衰ありで計算を行う。

3-4 基本的な確認：前進速度あり

前進速度ありの計算条件について説明する。ヘリコプタの前進速度は、アドバンス比 μ と呼ばれるホバリング時のブレード翼端速度 ΩR と風洞風速（飛行速度）の比率で表される⁽⁵⁾。

$$\mu = \frac{V \cos \alpha_s}{\Omega R} \tag{45}$$

軸対称であるホバリングに対し、前進飛行は特定の方向に向かって進むためブレードピッチ角 θ を次式により1周の間に変化させる必要がある⁽⁵⁾。

$$\theta = \theta_0 - A_1 \cos \psi - B_1 \sin \psi \tag{46}$$

θ_0 はコレクティブピッチ角、 A_1 、 B_1 はサイクリックピッチ角と呼ばれる。

$\mu = 0.301$ 、 $\alpha_s = 0$ 、 $\theta_0 = 6$ 、 $A_1 = B_1 = 0$ [deg] での結果を図11に示す。ロータ1回転により同じ風速条件に戻ることから、横軸の主目盛線間隔は、ロータ1回転 $0.23271[\text{sec}] = 2\pi/\Omega (=27 [\text{rad/s}])$ に合わせ、補助目盛線は4分の1回転、つまり方位角で90度に対応させている。100回転後にはロータ回転に応じた周期解と

なっているリードラッグ角は、ホバリング時の計算と同様減衰が弱く、最初の数回転では固有振動数に近い動きとなっている。図11下段に示すようにある程度の時間経過後は全てのブレードは同じ軌跡を描いており、横軸を方位角とした場合に一致する関係になっている。(8)式および図4に表されるように $j=0$ ブレード○は、時刻ゼロで機体後方に位置するところ、主目盛位置で最小のフラップ角になり、ロータ半回転後（補助目盛線2つ先）で最大のフラップ角になっている。これはロータが後方に煽られていること（後傾）を表している。

実際のヘリコプタが前進飛行する際にはロータを前傾させるためにサイクリックピッチ角を使う。そこで $B_1 = 0, 2, 4, 8$ [deg] の計算を実施してみた。周期解に収束した100回転時の結果を $j=0$ ブレードのみ各計算条件で比較して図12に示す。

B_1 をプラス方向に変化させた場合、 $B_1 = 8$ [deg] では機体後方となる主目盛位置付近で最大フラップ角、反対側で最小フラップ角と、 $B_1 = 0$ [deg] では後傾していたロータが前傾に変わっていく様子が確認できる。 B_1 の増加に伴いリードラッグ角も減少し $B_1 = 4$ [deg] 以上では収束解がほぼマイナスになっている。

以上の計算結果をロータ6分力で評価してみる。運動方程式(32式の右辺にくる(27)式のブレード空気力はブレード固定座標系のものであり、合力としてのロータ揚力は風洞風速を基準とする慣性座標系で定義されるので、座標変換する。

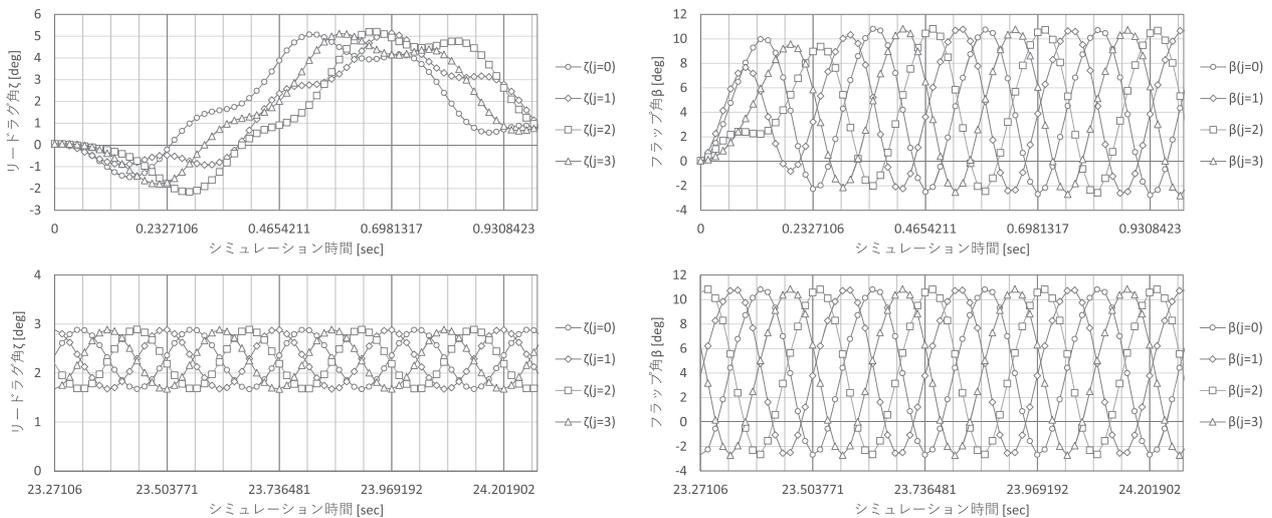


図11 空気有ホバリングでの時歴プロット（注：本図のプロット点は、計算結果を間引いている）

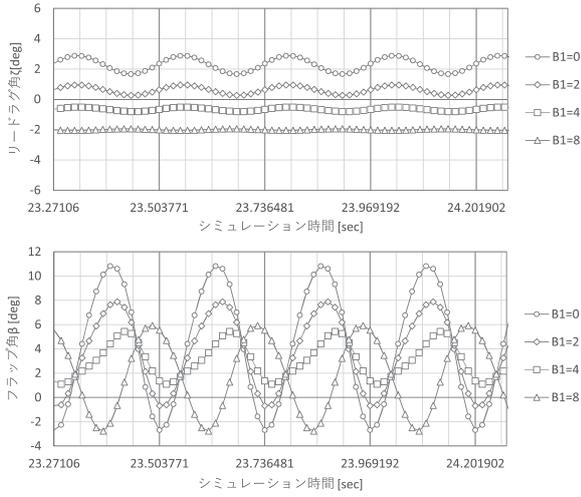


図12 縦サイクリックピッチ角効果

$$\begin{pmatrix} -D_j \\ Y_j \\ -L_j \end{pmatrix} = [\alpha_s]_{I/HF} [\psi_j]_{HF/HR} [\zeta_j]_{HR/BW} [\beta_j]_{BW/B} \begin{pmatrix} Fb_{Xj} \\ Fb_{Yj} \\ Fb_{Zj} \end{pmatrix} \quad (47)$$

$j = 0, 1, 2, 3$ の各ブレードについて上記を求め、合算してロータ揚力 L 、ロータ抗力 D を求める。

$$L = \sum_{j=0}^3 L_j, D = \sum_{j=0}^3 D_j \quad (48)$$

トルクはハブ回転座標系でのブレード空気力 Fhr_{Xj} , Fhr_{Yj} , Fhr_{Zj} を求め

$$\begin{pmatrix} Fhr_{Xj} \\ Fhr_{Yj} \\ Fhr_{Zj} \end{pmatrix} = [\zeta_j]_{HR/BW} [\beta_j]_{BW/B} \begin{pmatrix} Fb_{Xj} \\ Fb_{Yj} \\ Fb_{Zj} \end{pmatrix} \quad (49)$$

$j = 0, 1, 2, 3$ の各ブレード分を合算する。

$$Q = \sum_{j=0}^3 r_Q Fhr_{Xj} \quad (50)$$

r_Q は、ブレードを1つの要素としてみる本稿のやり方と積分を行った場合との比較から、

$$\begin{aligned} r_Q \frac{1}{2} \rho (\Omega r_a)^2 (cR) c_d &= \frac{1}{2} \rho \Omega^2 c c_d \int_0^R r^3 dr \\ &= \frac{1}{8} \rho \Omega^2 c c_d R^4 \end{aligned} \quad (51)$$

において、(41)式の r_a と R の関係を反映すると、次となる。

$$r_Q r_a^2 = \frac{1}{4} R^3 \rightarrow r_Q = \frac{1}{4} \frac{R^3}{r_a^2} = \frac{3}{4} R = 6.1 [\text{m}] \quad (52)$$

以上の式および諸元を使って50秒の時歴計算結果から計

算終了直前のロータ1回転分の平均をエクセルで計算しトルク係数と抗力係数を求めた結果を図13に示す。 C_L , C_D , C_Q は、ロータの円面積、ホバリング時の翼端速度による無次元係数^(4,5)である。

$$\begin{cases} C_L = \frac{L}{\rho \pi R^2 (\Omega R)^2} \\ C_D = \frac{D}{\rho \pi R^2 (\Omega R)^2} \\ C_Q = \frac{Q}{\rho \pi R^3 (\Omega R)^2} \end{cases} \quad (53)$$

図13の棒グラフの値は、 $B_1 = 0$ [deg] では、トルクがマイナスになっており、風車状態であることが確認できる。抗力はプラス、すなわちロータが前傾し前方(X軸プラス)の力を発生している $B_1 = 4$ [deg] ではフラップ角からもロータが前傾していることが確認できる。

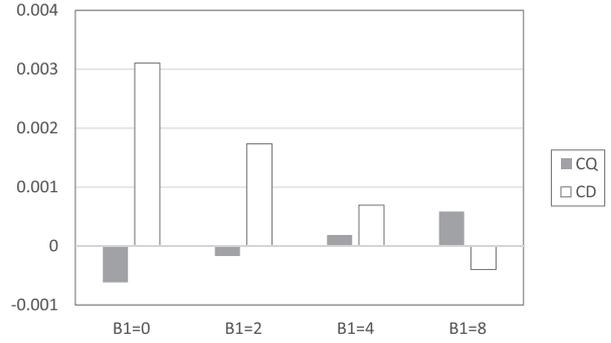


図13 縦サイクリックピッチ効果

4. おわりに

公開されている NASA CR⁽¹⁾ に基づいたシミュレーションプログラムを開発し、基本的な確認結果について報告した。第2報では NASA 風洞試験⁽⁴⁾ 結果との比較検証結果を報告する。

参考文献

- (1) Howlett, J. J., UH-60A Black Hawk engineering simulation program. Volume 1 : Mathematical model, NASA-CR-166309 (1981)
- (2) 加藤翔大, 中山周一, NBU GEN-HEL の開発, 日本航空宇宙学会第61回飛行機シンポジウム講演集, JSASS-2023-5210 (2023)
- (3) 大城鳳花, 中山周一, GEN-HEL NASA ロータ風洞試験との比較検証の試み, 日本航空宇宙学会西部支部講演会 (2024), JSASS-2024-S004

- (4) Singleton, Jeffrey D., Yeager, William T., Jr., Wilbur, Matthew L., Performance Data from a Wind-Tunnel Test of Two Main-rotor Blade Designs for a Utility-Class Helicopter, NASA-TM-4183 (1990)
- (5) 加藤寛一郎, 今永勇生, ヘリコプタ入門, 東京大学出版会 (1985)
- (6) John Anderson, Fundamentals of Aerodynamics, third edition, McGraw-Hill (2001)

(2025年6月16日受理)

〔研究ノート〕

NBU GEN-HEL の開発 (第2報) — NASA ロータ風洞試験とのロータ揚力／抗力比較検証 —

大城 鳳花*, 中山 周一*²

*日本文理大学工学部航空宇宙工学科 (2024年度卒業)

*²日本文理大学工学部航空宇宙工学科

Helicopter Rotor Simulation Program NBU GEN-HEL Development (2nd Report) — Verification Challenge to Compare with NASA Rotor Wind Tunnel Test Lift and Drag —

Fuka OSHIRO*, Shuichi NAKAYAMA*²

*Department of Aerospace Engineering, School of Engineering, Nippon Bunri University (Graduate, AY2024)

*²Department of Aerospace Engineering, School of Engineering, Nippon Bunri University

1. はじめに

NASA CR (Contractor Report) として基本モデルが公開されている GEN-HEL⁽¹⁾を本学で内製することを目標に2023年度から卒業研究で取り組み、2024年度には

NASA によるロータ風洞試験結果⁽²⁾と比較検証を行い、ブレード失速による非線形性を捉える等の成果を得た。本稿では、基本的な計算確認を行った第1報⁽³⁾に引き続き、NASA ロータ風洞試験結果との比較検証のうち、ロータ揚力とロータ抗力の検証結果について報告する。

2. ブレード運動の数学モデル

ヘリコプタ・ブレードは、回転自由度を有するヒンジを介してハブに固定されており、ブレード回転に伴いヒンジ回りのフラップ角 ζ 、リードラグ角 β が変化する。このフラップ角、リードラグ角に関する運動方程式は次式のように表される⁽³⁾。

$$\begin{bmatrix} mr_{cg}^2 & 0 \\ 0 & mr_{cg}^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{\zeta} \\ \ddot{\beta} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} 0.05(2mr_{cg}\Omega\sqrt{r_{cg}e}) & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{\zeta} \\ \dot{\beta} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} mer_{cg}\Omega^2 & 0 \\ 0 & mr_{cg}(e+r_{cg})\Omega^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \zeta \\ \beta \end{Bmatrix} = r_a \begin{Bmatrix} Fb_x \\ -Fb_z \end{Bmatrix} \quad (1)$$

ここで、 m はブレード質量、 r_{cg} はブレード重心とヒンジまでの距離、 e はハブ中心からヒンジまでの距離、 Ω はロータ回転角速度である。右辺は次式で表されるブレード空気力であり、 r_a はヒンジからブレード空気力代表点までの距離である⁽³⁾。

$$\begin{Bmatrix} Fb_X \\ Fb_Y \\ Fb_Z \end{Bmatrix} = \frac{1}{u_0 u_{tr}} \begin{bmatrix} u_t u_{tr} & u_r u_0 & -u_t u_p \\ -u_r u_{tr} & u_t u_0 & u_r u_p \\ u_p u_{tr} & 0 & u_{tr}^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} -d \\ 0 \\ -l \end{Bmatrix} \quad (2)$$

$\{Fb_X, Fb_Y, Fb_Z\}^T$ は、ブレード相対風座標系で定義されるブレード揚力 l とブレード抗力 d をブレード固定座標系に変換したもので、両座標系の変換行列は、ブレード固定座標系で表したブレード相対風 $\{u_t, -u_r, u_p\}^T$ および同速度から構成される $u_{tr} = \sqrt{u_t^2 + u_r^2}$, $u_0 = \sqrt{u_t^2 + u_r^2 + u_p^2}$ で表現される。ブレード相対風 $\{u_t, -u_r, u_p\}^T$ は、次式により、ブレードフラップ角、リードラグ角の他、飛行速度 V 、ロータシャフト迎え角 α_s で表される。付録に収録するソースコードでは、 $\cos \zeta \approx 1$, $\sin \zeta \approx \zeta$, $\cos \beta \approx 1$, $\sin \beta \approx \beta$ と近似し変数同士の積を省略している⁽³⁾。

$$\begin{Bmatrix} u_t \\ -u_r \\ u_p \end{Bmatrix} = e \begin{Bmatrix} \Omega \cos \zeta \\ \Omega \sin \zeta \cos \beta \\ \Omega \sin \zeta \sin \beta \end{Bmatrix} + r_{cg} \begin{Bmatrix} (\Omega + \dot{\zeta}) \cos \beta \\ 0 \\ -\dot{\beta} \end{Bmatrix} + V \begin{Bmatrix} \cos \alpha_s \sin(\psi + \zeta) \\ -\cos \alpha_s \cos(\psi + \zeta) \cos \beta - \sin \alpha_s \sin \beta \\ -\cos \alpha_s \cos(\psi + \zeta) \sin \beta + \sin \alpha_s \cos \beta \end{Bmatrix} \quad (3)$$

3. NASA ロータ風洞試験

本稿の数値計算結果はNASA-TM4183記載の風洞試験データ⁽²⁾と比較検証する。TM4183ではBaselineブレードとしてCR166309が対象としているUH-60のロータ風洞試験が行われている。TM4183からBaselineブレードの試験条件を表1に示す。TM4183のデータはNASA LangleyのTDT (Transonic Dynamic Tunnel)で取得された。TDTは風洞全体を加圧することで実機レイノルズ数に近づけた風洞試験が可能で、表1から海面上標準大気の空気密度 $1.225 \text{ [kg/m}^3\text{]} = 0.0023769 \text{ [slug/ft}^3\text{]}$ よりも高い気体密度で風洞試験が行われている。さらにTM4183のデータが取得された1990年当時はR-12フロンガスが使用されていた。R-12の粘性係数はおよそ $12.5 \text{ [\mu Pa}\cdot\text{s}]$ ⁽⁴⁾であり、空気の $18 \text{ [\mu Pa}\cdot\text{s}]$ (海面上標準大気)よりも低くレイノルズ向上効果がある。

表1の多くの条件で $M_T = 0.65$ となっているのは、マッハ数が実機に一致していることを示す。後掲する表3からUH-60実機のホバリング時ブレード翼端速度は 221 [m/s] であり、海面上標準大気の 15°C での翼端マッハ数は 0.65 である。以上から、風洞試験のレイノルズ数を Re_{WTT} 、UH-60実機のレイノルズ数を Re_{UH60} と表すと、風洞試験のレイノルズ数比率「%Re」は次式となる。

$$\begin{aligned} \%Re &= \frac{Re_{WTT}}{Re_{UH60}} = \frac{\rho_{WTT} V_{WTT} L_{WTT}}{\mu_{WTT}} \frac{\mu_{UH60}}{\rho_{UH60} V_{UH60} L_{UH60}} \\ &= \left(\frac{\rho_{WTT}}{\rho_{UH60}} \right) \left(\frac{V_{WTT}}{V_{UH60}} \right) \left(\frac{L_{WTT}}{L_{UH60}} \right) \left(\frac{\mu_{UH60}}{\mu_{WTT}} \right) \end{aligned}$$

$M_T = 0.65$ の条件では $\left(\frac{V_{WTT}}{V_{UH60}} \right)$ は 1.0 、 $\left(\frac{L_{WTT}}{L_{UH60}} \right)$ は模型縮率で $1/6$ 、速度比はR-12フロンの粘性を反映し、風洞試験のレイノルズ数の実機比「%Re」を計算し表1に示している。

$$\%Re = \frac{Re_{WTT}}{Re_{UH60}} = \left(\frac{\rho_{WTT}}{\rho_{UH60}} \right) \left(\frac{1}{6} \right) \left(\frac{18}{12.5} \right)$$

表1にある γ_b は、ブレードに働く慣性力と空気力の比率を示すロック数と呼ばれる無次元数で⁽⁵⁾、 R はロータ半径、 c はブレード翼弦長、 ρ は空気密度、 $a (= 2\pi)$ は揚力傾斜、 I_b はブレードの慣性モーメントである。

$$\gamma_b = \frac{\rho a c R^4}{I_b} = \frac{\rho a c R^4}{m r_{cg}^2} \quad (4)$$

表3に後掲するUH-60実機諸元からロック数を計算すると 8.9 となり、表1の試験条件の中では 9.35 に近い。以上から、7(c)を検証条件として採用する。

7(c)の試験結果の一部を表2に示す。 α_s 、 A_1 、 B_1 、 θ_0 、 μ が試験条件で C_L 、 C_D 、 C_Q が6分力天秤による計測結果である。 α_s はロータシャフトの迎角、 μ はアドバンス比と呼ばれるホバリング時のブレード翼端速度 ΩR と風洞風速 (飛行速度) の比である⁽⁵⁾。

$$\mu = \frac{V \cos \alpha_s}{\Omega R} \quad (5)$$

A_1 、 B_1 、 θ_0 は次式によりブレードピッチ角 θ を構成し、 θ_0 はコレクティブピッチ角、 A_1 、 B_1 はサイクリックピッチ角と呼ばれる⁽⁵⁾。

$$\theta = \theta_0 - A_1 \cos \psi - B_1 \sin \psi \quad (6)$$

C_L 、 C_D 、 C_Q は風洞風を基準とする慣性座標系でのロータ合力の無次元化数であり、(2)式のブレード固定座標系でのブレード空気力を座標変換行列⁽³⁾

$[\alpha_s]_{I/HF}, [\psi_j]_{HF/HR}, [\zeta_j]_{HR/BW}, [\beta_j]_{BW/B}$ により変換し,

$$\begin{pmatrix} -D_j \\ Y_j \\ -L_j \end{pmatrix} = [\alpha_s]_{I/HF} [\psi_j]_{HF/HR} [\zeta_j]_{HR/BW} [\beta_j]_{BW/B} \begin{pmatrix} Fb_{Xj} \\ Fb_{Yj} \\ Fb_{Zj} \end{pmatrix} \quad (7)$$

$j = 0, 1, 2, 3$ の各ブレード分を合算してロータ揚力 L , ロータ抗力 D を求める。

$$D = \sum_{j=0}^3 D_j, L = \sum_{j=0}^3 L_j \quad (8)$$

以上をロータの円面積, ホバリング時の翼端速度により無次元化し C_L, C_D を求める^(2,5)。

$$\begin{cases} C_L = \frac{L}{\rho\pi R^2(\Omega R)^2} \\ C_D = \frac{D}{\rho\pi R^2(\Omega R)^2} \end{cases} \quad (9)$$

表 1 NASA ロータ風洞試験条件⁽²⁾

Blade set	NASA TM-4183					%Re	検証相手
	ρ slug/ft ³	I_b slug-ft ²	M_T	γ_b	Table		
Baseline (0.00469)	0.0023	0.4383	0.28	4.58	7(a)	0.24	
	0.00382		0.65	7.61	7(b)	0.40	
	0.00469		0.65	9.35	7(c)	0.49	✓
	0.006		0.65	11.95	7(d)	0.63	
	0.0075		0.65	14.94	7(e)	0.78	
	0.009		0.65	17.93	7(f)	0.94	
Baseline (0.006)	0.006	0.5602	0.628	9.35	8(a)	0.63	
	0.006		0.65	9.35	8(b)	0.63	
Baseline (0.0076)	0.0076	0.7092	0.628	9.35	9(a)	0.79	
	0.0076		0.65	9.35	9(b)	0.79	

表 2 NASA ロータ風洞結果例 (Table 7 (c) の代表例)⁽²⁾

POINT	α_s	A_1	B_1	θ_0	μ	$M_{1,90}$	C_L	C_D	C_Q
1135	-5.2	-1.7	2.7	4	0.251	0.819	0.00246	-0.00009	0.00017
1136	-5.2	-2.5	3.4	6	0.252	0.820	0.00392	-0.00025	0.00023
1137	-5.2	-3.4	4	8	0.25	0.819	0.00536	-0.00041	0.00031
1139	-5.2	-4.2	4.7	10	0.25	0.819	0.00677	-0.00056	0.00041

時歴を図 1 に示す。

4. 計算結果

4-1 計算諸元およびプログラム

watlab-blog.com⁽⁶⁾を参考に(1)式を odeint により時間積分する python プログラムを作成した。odeint は運動方程式の変数 (ζ, β) を戻り値として返すが, ブレード空気力等の変数を引っ張り出す必要があり, その方法は stackoverflow.com⁽⁷⁾を参考にした。表 1 にあるように検証データは実機レイノルズに近い条件で取得されているので, 計算諸元は表 3 に示す実機諸元とする。ソースコードを付録に収録する。

4-2 NASA との比較検証 (その 1)

NASA 試験⁽²⁾の $\mu = 0.25, \alpha_s = -5.2$ [deg], $\theta_0 = 12$ [deg], $A_1 = -5.2$ [deg], $B_1 = 5.4$ [deg] で計算した

表 3 計算 (実機) 諸元⁽³⁾

記号	値	意味
Ω	27 [rad/s]	ロータ回転角速度
m	72.5 [kg]	ブレード質量
R	8.178 [m]	ロータ半径
e	0.381 [m]	ヒンジオフセット
r_{cg}	5.32 [m]	ブレード重心位置
r_a	4.7 [m]	ブレード空力半径
r_Q	6.1 [m]	トルク半径
S	3.36 [m ²]	ブレード面積
c	0.527 [m]	ブレード翼弦長
ρ	1.225 [kg/m ³]	標準大気

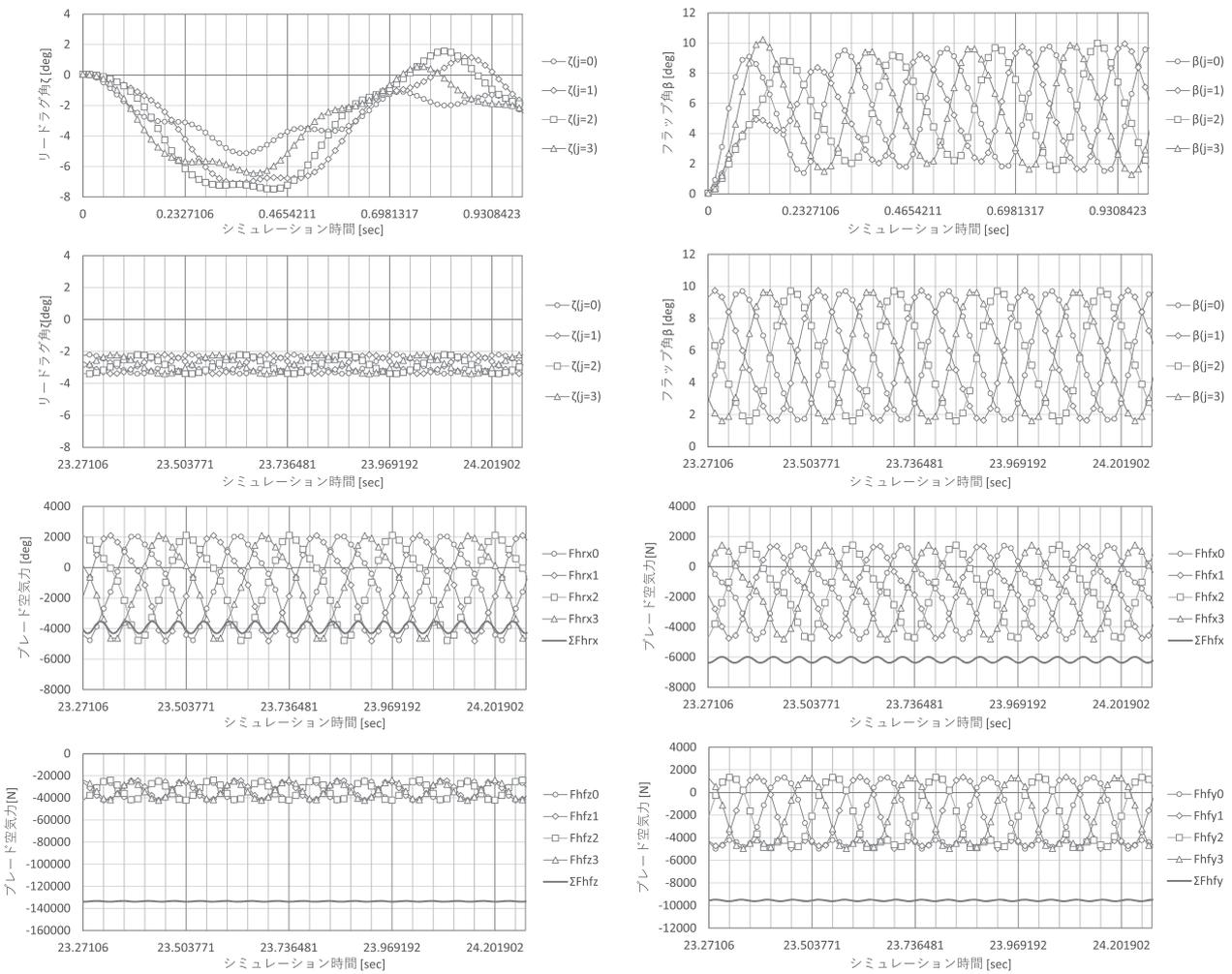


図1 検証結果 (その1) 時歴データ

第1報⁽³⁾の図11と同様に $j = 0$ ブレード○は機体前方位置 (主目盛線) で β が最大, 機体後方 (真ん中の補助目盛線位置) で最小となっており, ロータが後傾していることがわかる。 β, ζ がロータ回転に応じた周期解となっているように, ハブ回転座標系⁽³⁾の Fhr_{xj} , ハブ固定座標系⁽³⁾の Fhf_{zj} 等のブレード空気力にもロータ回転に合わせた周期変動がみられる。

同様な計算を行い, 図1以外の θ_0, A_1, B_1 の結果も併せて同じ μ, α の結果をまとめて, 縦軸: 揚力係数, 横軸: 抗力係数でグラフ化した結果を図2に示す。

4-3 NASA との比較検証 (その2)

図2においてNASA 試験結果はシャフト迎角方向に概ね沿っているのに対し計算結果は大きくずれている。TM4183に「At each collective pitch setting, the cyclic pitch was used to remove rotor first harmonic flapping with respect to the rotor shaft.」とあり, B_1, A_1 の設

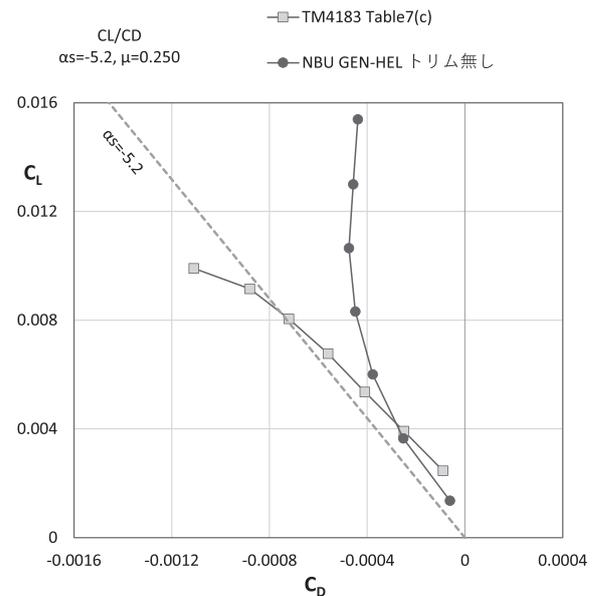


図2 NASA 試験条件での計算結果

定方法が述べられている。 B_1 , A_1 を TM4183値に合わせるのではなく、NBU Gen-Helで B_1 , A_1 を同じように設定する方法を検討する。計算されたフラップ角 β を

次式で表した際に、前記引用部は $a_1 = 0$, $b_1 = 0$ を意味するので、これを達成する B_1 , A_1 を繰り返し計算で求める。

$$\beta = a_0 + a_1 \cos \psi + b_1 \sin \psi + a_2 \cos 2\psi + b_2 \sin 2\psi \cdots, \quad (\psi = \Omega t) \quad (10)$$

いま繰り返し計算の途中 i 番目とし、 $B_{1,i}$, $A_{1,i}$ に対する計算結果を $a_{1,i} (\neq 0)$, $b_{1,i} (\neq 0)$ と表す。 $(i+1)$ 番目の状態は次式で表すことができる。

$$\begin{cases} a_{1,i+1} = a_{1,i} + \left(\frac{\partial a_1}{\partial B_1}\right)_i (B_{1,i+1} - B_{1,i}) + \left(\frac{\partial a_1}{\partial A_{1S}}\right)_i (A_{1,i+1} - A_{1,i}) \\ b_{1,i+1} = b_{1,i} + \left(\frac{\partial b_1}{\partial B_1}\right)_i (B_{1,i+1} - B_{1,i}) + \left(\frac{\partial b_1}{\partial A_{1S}}\right)_i (A_{1,i+1} - A_{1,i}) \end{cases} \quad (11)$$

行列形式に書き直すと次となる。 $[\Phi_i]$ はヤコビ行列である。

$$\begin{Bmatrix} a_{1,i+1} \\ b_{1,i+1} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} a_{1,i} \\ b_{1,i} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} \left(\frac{\partial a_1}{\partial B_1}\right)_i & \left(\frac{\partial a_1}{\partial A_{1S}}\right)_i \\ \left(\frac{\partial b_1}{\partial B_1}\right)_i & \left(\frac{\partial b_1}{\partial A_{1S}}\right)_i \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} B_{1,i+1} - B_{1,i} \\ A_{1,i+1} - A_{1,i} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} a_{1,i} \\ b_{1,i} \end{Bmatrix} + [\Phi_i] \begin{Bmatrix} B_{1,i+1} - B_{1,i} \\ A_{1,i+1} - A_{1,i} \end{Bmatrix} \quad (12)$$

操舵量について、 $a_{1,i}$, $b_{1,i}$ をゼロに近づけるための修正量を $\delta B_{1,i}$, $\delta A_{1,i}$ で表し、

$$\begin{cases} B_{1,i+1} = B_{1,i} + \delta B_{1,i} \\ A_{1,i+1} = A_{1,i} + \delta A_{1,i} \end{cases} \quad (13)$$

繰り返し計算の目標として $a_{1,i+1} = b_{1,i+1} = 0$ であることを踏まえると

$$\begin{Bmatrix} \delta B_{1,i} \\ \delta A_{1,i} \end{Bmatrix} = -[\Phi_i]^{-1} \begin{Bmatrix} a_{1,i} \\ b_{1,i} \end{Bmatrix} \quad (14)$$

となる。線形であれば、これで操舵修正量を求めることができるが、本問題は非線形なので(14)式で得られた操舵修正量に対して1.0より小さい係数(付録に示すプログラムでは0.3)を乗じて操舵量の修正を行う操作を繰り返し、 $a_1 \approx b_1 \approx 0$ に近づいたかの収束判定を行う。ヤコビ行列 $[\Phi_i]$ は次式により数値計算で求める。

$$[\Phi_i] = \begin{bmatrix} \frac{a_1(B_{1,i} + \delta, A_{1,i}) - a_1(B_{1,i}, A_{1,i})}{\delta} & \frac{a_1(B_{1,i}, A_{1,i} + \delta) - a_1(B_{1,i}, A_{1,i})}{\delta} \\ \frac{b_1(B_{1,i} + \delta, A_{1,i}) - b_1(B_{1,i}, A_{1,i})}{\delta} & \frac{b_1(B_{1,i}, A_{1,i} + \delta) - b_1(B_{1,i}, A_{1,i})}{\delta} \end{bmatrix} \quad (15)$$

以上の繰り返し計算により $a_1 \approx b_1 \approx 0$ となる B_1 , A_1 を求めた場合の計算結果を図3に示す。図2と異なり、フラップ角から 1Ω の周期変動が無くなっていることが確認できる。 Fhr_{2j} などのブレード空気力を見ると、振幅は図2とほぼ同じレベルであるが、その中心値はゼロに近づき、 $j=0, 1, 2, 3$ の和は小さくなっている。図3以外の θ_0 の結果も併せて同じ μ , α_s の結果をまとめてグラフ化した結果を図4に示す。

a_1 , b_1 をゼロに近づけた▲はNASA試験結果に近くなった。トリムの方法として、シャフトに対してロータ面を直交させることから C_L , C_D のラインはシャフト迎角の方向を向くことが確認できる。なお、ロータ揚力が高い場合、(14)式の繰り返し計算の収束が難しい場合がある。

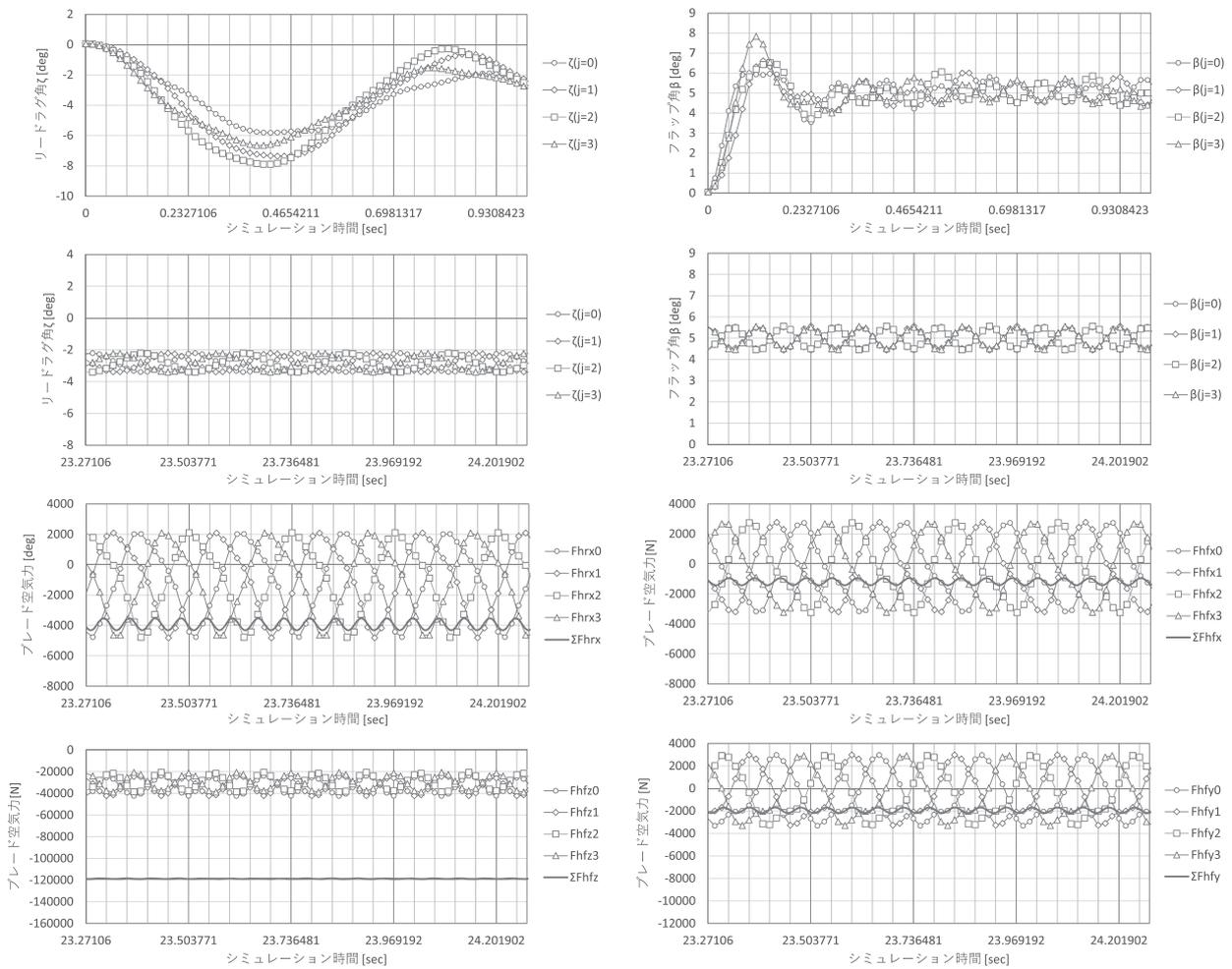


図3 NASA 比較検証結果 (その2) 時歴データ

4-4 NASA との比較検証 (その3)

ただし, NASA 風洞試験結果は, 揚力係数0.008以上では合力が前に垂れてきている。この要因としてブレードが失速に近づいていることが考えられる。

4-3 までの計算では第1報(28式)に示すように, ブレード断面の揚力係数は迎角に比例, 抗力係数は一定と仮定しており, 失速は考慮されていない。

一方CRにはUH-60ブレードで使われているSC1095翼の揚力/抗力データが掲載されている。図5に示すように高い迎角では失速と思われる揚力の増加の頭打ち, 抗力増を示している。そこで, 失速の影響を評価するため, 第1報の(28式)に代わりCR⁽¹⁾の c_l , c_d テーブルのM=0.4のデータに線形補間して使用する計算を行った。0.01で一定と仮設定していた抗力係数についても同様な補間を行った。その結果を図6に■で示す。図6から, ロータ揚力係数0.008以上の領域でロータ合力が前垂れする様子をNBU Gen-Helは捉えており, 前垂れの要因はブレード失速である可能性が高いことが分かった。

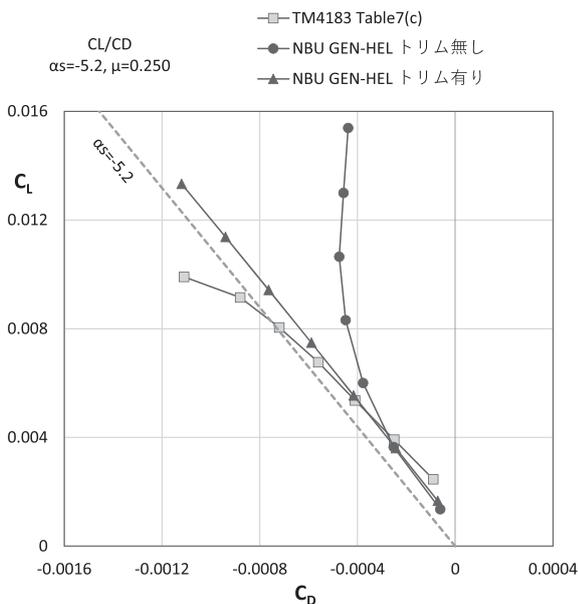


図4 検証結果 (その2) 揚抗特性

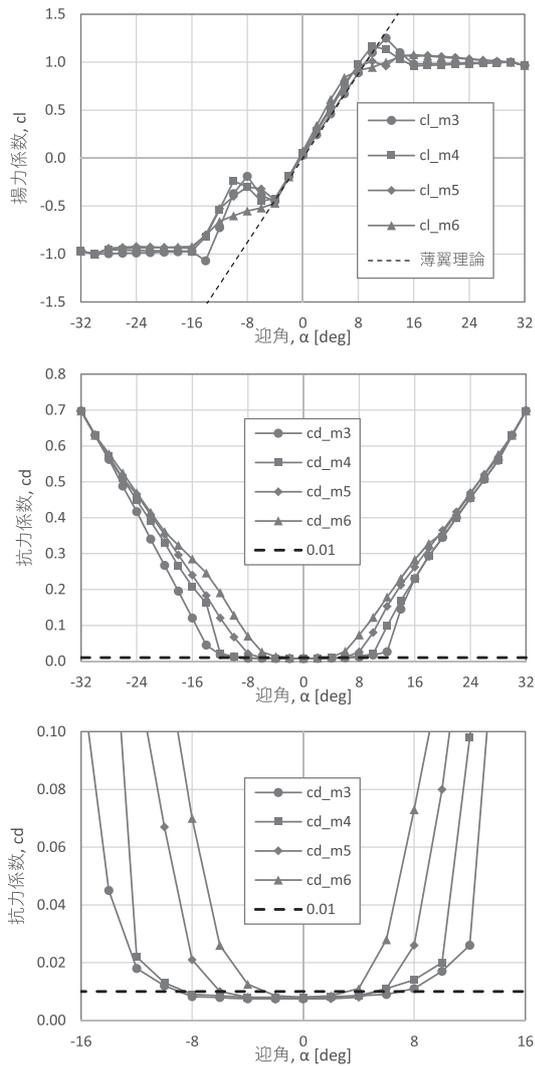


図5 2次元翼テーブルデータ

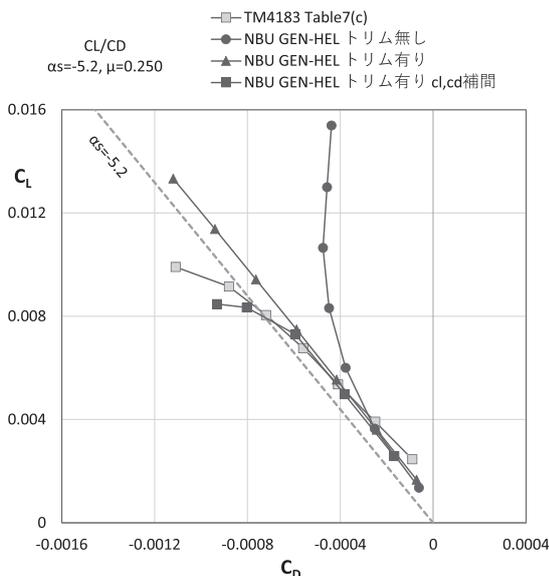


図6 検証結果 (その2) 揚抗特性

図5の2次元翼型データを使うことで、図6に示されるようにロータの X 軸方向の力が増え合力が前垂れする理由について考察する。参考文献(8)にあるように、ヘリコプタが前進飛行時に機体飛行速度とブレード回転速度が反対向きとなる後退側で迎角が大きくなる。CR が対象としている UH-60と同じ上方からみて反時計回りにロータが回転するヘリコプタの場合、ブレードの失速は主に左舷側で発生することになる。左舷側でのブレード失速は、ブレード相対風座標系でのブレード抗力を増大させるが、その方向をハブ固定座標系から見ると機体前方方向となる。このため、ブレード失速により X 軸方向の力が増えることになる。

5. おわりに

公開されている NASA CR⁽¹⁾に基づいたシミュレーションプログラムを開発し、NASA TM⁽²⁾にある実機レイノルズ数のロータ風洞試験結果と比較検証した。ロータ6分力のうちロータ揚力とロータ抗力の関係について、失速効果を反映することで、ブレードの失速による高揚力域での非線形性を捉えることができた。

付録に収録するプログラムについて、2024年度卒業研究以降の課題を列挙しておく。

- F と F2 で同じ計算が重複してコーディングされており、信頼性に難があるのを改善する。
- 第1報(4)式 r_a 等の間違いを修正する。
- 本稿では 4-3 を除き50秒間計算させているが、途中で収束判定をすて計算を止める。本稿に示したフラッピングの 1 Ω 成分の導出するアルゴリズムと似たようなものになるはず。

参考文献

- (1) Howlett, J. J., UH-60A Black Hawk engineering simulation program. Volume 1 : Mathematical model, NASA-CR-166309 (1981)
- (2) Singleton, Jeffrey D. Yeager, William T., Jr., Wilbur, Matthew L., Performance Data from a Wind-Tunnel Test of Two Main-rotor Blade Designs for a Utility-Class Helicopter, NASA-TM-4183 (1990)
- (3) 大城鳳花, 中山周一, NBU GEN-HEL の開発 (第1報), 日本文理大学紀要, 第53巻第2号
- (4) 高橋満男, 高橋信次, 岩崎廣次, 気体ジクロロジフルオロメタン (R-12) の粘性率, 化学工学論

- 文集／10巻1号（1984）
- （5）加藤寛一郎, 今永勇生, ヘリコプタ入門, 東京大学出版会（1985）
- （6）<https://watlab-blog.com/2023/02/25/scipy-odeint/>（2025年6月16日閲覧）
- （7）<https://stackoverflow.com/questions/74143515/how-to-return-ordinary-variables-from-scipy-odeint>（2025年6月16日閲覧）
- （8）航空技術協会編集, 図解ヘリコプタ入門, 航空技術協会（1987）

（2025年6月16日受理）

付録

```

1 # NBU Gen-Hel 20250614
2 # programmed by Fuka Oshiro 2025. 6. 14
3
4 import numpy as np
5 from scipy.integrate import odeint
6 from scipy import interpolate
7 import datetime
8 import time
9
10 def model(omg, r_cg, e): # define model
11
12     m = 72.5 #kg
13
14     M = np.array([[m * r_cg**2, 0],
15                  [0, m * r_cg**2]])
16
17     D = np.array([[0.05 * (2 * m * r_cg * omg * np.sqrt(r_cg * e)), 0],
18                  [0, 0]])
19
20     K = np.array([[m * e * r_cg * omg**2, 0],
21                  [0, m * r_cg * (e + r_cg) * omg**2]])
22
23     return M, D, K
24
25 def f(var, t, M, D, K, omg, r_a, e, Vc, Vs, j, th0, A1s, B1s, S, rho, aero): # harmonic oscillator
26
27     psi = omg * t + np.pi * j / 2
28
29     th = th0 - A1s * np.cos(psi) - B1s * np.sin(psi) #rad (6)式
30
31     ut = ((e + r_a) * omg + r_a * var[2]) + (Vc * np.sin(psi) + var[0] * Vc * np.cos(psi)) (3)式
32     ur = -(e * omg * var[0]) + (-Vc * np.cos(psi) + var[0] * Vc * np.sin(psi)) - Vs * var[1] (3)式
33     up = (-r_a * var[3]) + (-var[1] * Vc * np.cos(psi) + Vs) (3)式
34
35     u2tr = ut*ut + ur*ur
36     u2trp = ut*ut + ur*ur + up*up
37     utr = np.sqrt(u2tr)
38     utrpr = np.sqrt(u2trp)
39
40     al = np.arctan((ut * np.tan(th) + up) / (utr - up * ut * np.tan(th) / utr)) #rad (第1報(29)式)
41
42     if aero == 1 :
43         al_deg = al * 180 / np.pi #deg
44         if al_deg >= -32 and al_deg <= 32:
45             cl = fitted_curve_cl(al_deg)
46             cd = fitted_curve_cd(al_deg)
47         else :
48             cl = fitted_curve_cl_HighAngle(al_deg)
49             cd = fitted_curve_cd_HighAngle(al_deg)
50     else :
51         cl = 5.39 * al (第1報(28), (30)式)
52         cd = 0.01
53
54     # ブレード相対風座標系からブレード固定座標系に変換
55     WtoB = np.array([[ ut * utr, ur * utrpr, - ut * up], (2)式
56                    [- ur * utr, ut * utrpr, ur * up], (2)式
57                    [ up * utr, 0, u2tr]], (2)式
58                    / (utrpr * utr)) (2)式
59
60     # (ブレード座標系)
61     lift = 0.5 * rho * u2trp * S * cl (第1報(22)式)
62     drag = 0.5 * rho * u2trp * S * cd (第1報(22)式)
63     Fw = np.array([-drag, 0, -lift]) (第1報(22)式)
64
65     # 外力
66     Fb = WtoB @ Fw (2)式
67
68     x = var[0:int(len(var) / 2)]
69     v = var[int(len(var) / 2)::]
70
71     Mb = r_a * np.array([Fb[0], -Fb[2]]) (第1報(31)式)
72
73     # 質量行列の逆行列
74     M_inv = np.linalg.inv(M)
75
76     # 運動方程式
77     a = -(M_inv @ K) @ x - (M_inv @ D) @ v + (M_inv @ Mb)
78
79     output = np.concatenate([v, a])
80
81     return output
82
83 def f2(var, t, omg, r_a, e, Vc, Vs, j, th0, A1s, B1s, S, rho, aero): # harmonic oscillator
84     (84~125行は、26~67行と同じ)
85
86     # ブレード固定座標系からハブブレード中間座標系に変換
87     BtoHB = np.array([[1, 0, 0], (第1報(3)式の逆)
88                      [0, np.cos(var[1]), np.sin(var[1])], (第1報(3)式の逆)
89                      [0, -np.sin(var[1]), np.cos(var[1])]]) (第1報(3)式の逆)
90
91     Fhb = BtoHB @ Fb
92
93     # ハブブレード中間座標系からハブ回転座標系に変換
94     HBtoHR = np.array([[ np.cos(var[0]), np.sin(var[0]), 0], (第1報(6)式の逆)
95                       [-np.sin(var[0]), np.cos(var[0]), 0], (第1報(6)式の逆)
96                       [ 0, 0, 1]]) (第1報(6)式の逆)
97
98     # ブレード1枚あたりの空気力 (ハブ回転座標系)
99     # トルクQの計算で使う
100    Fhr = HBtoHR @ Fhb
101
102

```

```

142 # ハブ回転座標系からハブ非回転座標系に変換
143 HRtoHF = np.array([[np.sin(psi), -np.cos(psi), 0],
144                    [np.cos(psi), np.sin(psi), 0],
145                    [0, 0, 1]])
146
147 # ブレード1枚当たりの空気力 (ハブ非回転座標系)
148 Fhf = HRtoHF @ Fhr
149
150 return Fw, Fb, Fhb, Fhr, Fhf
151
152 def Beta_Coef():
153
154     row = 12772
155     row1 = row + count
156     X1 = X[row:row1, :] # [1, cos(psi), sin(psi)]
157     y = var[row:row1, 1] # j1のβを1周分スライス
158
159     #BetaCoef = [const, beta1_c, beta1_s]
160     BetaCoef0 = np.linalg.pinv(X1.T @ X1) @ X1.T @ y
161     BetaCoef0 = BetaCoef0.reshape(1, 3)
162
163     row = 12832
164     row1 = row + count
165     X1 = X[row:row1, :] # [1, cos(psi), sin(psi)]
166     y = var[row:row1, 1] # j1のβを1周分スライス
167
168     #BetaCoef = [const, beta1_c, beta1_s]
169     BetaCoef1 = np.linalg.pinv(X1.T @ X1) @ X1.T @ y
170     BetaCoef1 = BetaCoef1.reshape(1, 3)
171
172     d_BetaCoef = abs((BetaCoef1 - BetaCoef0) * 180 / np.pi) # deg
173
174     if np.any(d_BetaCoef > 0.1): # deg 収束判定
175         print('Betaが収束していません')
176     # else:
177     #     print('d_BetaCoef '+str(itr)+str(d_BetaCoef))
178
179     return BetaCoef1
180
181 if __name__ == '__main__': # メイン処理
182
183     # cl, cd補間
184     alpha = [-32, -30, -28, -26, -24, -22, -20, -18, -16, -14, -12, -10, -8, -6, -4, -2, 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 32]
185
186     cl_m3 = [-0.9675, -1.0, -0.996, -0.992, -0.988, -0.984, -0.98, -0.976, -0.972, -1.07, -0.724, -0.37, -0.19, -0.39, -0.45, -0.19,
187            0.03, 0.243, 0.46, 0.67, 0.89, 1.1, 1.25, 1.1, 0.98, 0.9828, 0.9856, 0.9884, 0.9912, 0.994, 0.997, 1, 0.9675]
188     cl_m4 = [-0.9675, -1, -0.955, -0.96, -0.962, -0.964, -0.966, -0.968, -0.97, -0.82, -0.535, -0.24, -0.3, -0.45, -0.42, -0.185,
189            0.05, 0.28, 0.51, 0.75, 0.98, 1.17, 1.13, 1.03, 0.96, 0.9657, 0.9714, 0.9771, 0.9828, 0.9885, 0.9942, 1, 0.9675]
190     cl_m5 = [-0.9675, -1, -0.94, -0.93, -0.92, -0.925, -0.93, -0.935, -0.94, -0.8, -0.525, -0.4, -0.3, -0.32, -0.44, -0.195, 0.05,
191            0.295, 0.53, 0.78, 0.96, 1.01, 0.96, 1.08, 1.06, 1.07, 1.06, 1.05, 1.035, 1.02, 1.01, 1, 0.9675]
192     cl_m6 = [-0.9675, -1, -0.946, -0.942, -0.938, -0.934, -0.93, -0.926, -0.922, -0.805, -0.66, -0.6, -0.55, -0.52, -0.47, -0.195, 0.075,
193            0.34, 0.613, 0.84, 0.915, 0.947, 1, 1.054, 1.08, 1.063, 1.053, 1.042, 1.031, 1.02, 1.01, 1, 0.9675]
194
195     cd_m3 = [0.6975, 0.63, 0.562, 0.488, 0.417, 0.34, 0.267, 0.195, 0.12, 0.045, 0.018, 0.012, 0.0082, 0.0079, 0.0075, 0.0075, 0.0075,
196            0.008, 0.0085, 0.009, 0.011, 0.017, 0.026, 0.145, 0.23, 0.293, 0.345, 0.4, 0.455, 0.507, 0.56, 0.63, 0.6975]
197     cd_m4 = [0.6975, 0.63, 0.57, 0.51, 0.448, 0.39, 0.33, 0.265, 0.208, 0.161, 0.022, 0.013, 0.009, 0.0085, 0.008, 0.008, 0.008,
198            0.0082, 0.0085, 0.011, 0.014, 0.02, 0.098, 0.169, 0.23, 0.293, 0.345, 0.4, 0.455, 0.507, 0.56, 0.63, 0.6975]
199     cd_m5 = [0.6975, 0.63, 0.564, 0.51, 0.465, 0.408, 0.353, 0.296, 0.24, 0.183, 0.12, 0.067, 0.021, 0.01, 0.008, 0.0075, 0.0075,
200            0.0075, 0.008, 0.011, 0.026, 0.08, 0.153, 0.212, 0.262, 0.315, 0.365, 0.416, 0.469, 0.52, 0.569, 0.63, 0.6975]
201     cd_m6 = [0.6975, 0.63, 0.578, 0.525, 0.469, 0.415, 0.361, 0.323, 0.285, 0.246, 0.191, 0.128, 0.07, 0.026, 0.0125, 0.0085, 0.008,
202            0.0085, 0.011, 0.028, 0.073, 0.122, 0.179, 0.231, 0.283, 0.328, 0.358, 0.412, 0.467, 0.521, 0.576, 0.63, 0.6975]
203
204     fitted_curve_cl = interpolate.interpdl(alpha, cl_m4)
205     fitted_curve_cd = interpolate.interpdl(alpha, cd_m4)
206
207     alpha_high = [-50, -48, -46, -44, -42, -40, -38, -36, -34, -32, -30, -28, -26, -24, -22, -20, -18, -16, -14, -12,
208            -10, -8, -6, -4, -2, 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28,
209            30, 32, 34, 36, 38, 40, 42, 44, 46, 48, 50]
210
211     cl_HighAngle = [-0.675, -0.7075, -0.74, -0.7725, -0.805, -0.8375, -0.87, -0.9025, -0.935, -0.9675, -1.0, -0.996, -0.9,
212            -0.998, -0.984, -0.98, -0.976, -0.972, -1.07, -0.724, -0.37, -0.19, -0.39, -0.45, -0.19, 0.03,
213            0.243, 0.46, 0.67, 0.89, 1.1, 1.25, 1.1, 0.98, 0.9828, 0.9856, 0.9884, 0.9912, 0.994,
214            0.997, 1.0, 0.9675, 0.935, 0.9025, 0.87, 0.8375, 0.805, 0.7725, 0.74, 0.7075, 0.675]
215     cd_HighAngle = [1.335, 1.2625, 1.19, 1.1175, 1.045, 0.9725, 0.9, 0.8325, 0.765, 0.6975, 0.63, 0.562, 0.488,
216            0.417, 0.34, 0.267, 0.195, 0.12, 0.045, 0.018, 0.012, 0.008, 0.00775, 0.0075, 0.0075, 0.0075,
217            0.008, 0.085, 0.09, 0.11, 0.017, 0.025, 0.145, 0.23, 0.293, 0.345, 0.4, 0.455, 0.507,
218            0.56, 0.63, 0.6975, 0.765, 0.8325, 0.9, 0.9725, 1.045, 1.1175, 1.19, 1.2625, 1.335]
219
220     fitted_curve_cl_HighAngle = interpolate.interpdl(alpha_high, cl_HighAngle)
221     fitted_curve_cd_HighAngle = interpolate.interpdl(alpha_high, cd_HighAngle)
222
223     trim = 1 # =0(input A1s, B1s), =1(calculate A1s, B1s to make a1=b1=0)
224     aero = 0 # =0(linear), =1(table)
225
226     omg = 27 #rad/s
227     r_rotor = 8.178 #m
228     r_cg = 5.32 #m
229     e = 0.381 #m
230     r_a = 4.7 #m
231     S = 3.36 #m^2
232     rho = 1.225 #kg/m^3
233
234     alh = -5.2 * np.pi / 180 #rad
235     MT = 0.65
236     mu = 0.25
237     Vc = mu * 340 * MT #m/s
238     Vs = Vc * np.tan(alh)
239
240     th0 = 8 * np.pi / 180 #rad
241
242     #A1si, B1si初期値

```

第1報(9)式の逆
第1報(9)式の逆
第1報(9)式の逆

表3
表3
表3
表3
表3/第1報(41)式
表3
表3

表2(3行目)
表1
表2
(5)式

表2(3行目)

```

243 A1si = -3.4 * np.pi / 180 #rad
244 B1si = 4.0 * np.pi / 180 #rad
245
246 # モデルを定義
247 M, D, K = model(omg, r_cg, e)
248
249 # 解析時間
250 count = 60 #1周期ごとに計算するデータの数
251 dt = 2 * np.pi / omg / count
252 t_max = 50
253 t = np.arange(0, t_max, dt)
254 ts = t.reshape(int(t_max / dt + 1), 1)
255
256 x1 = np.cos(omg * ts)
257 x2 = np.sin(omg * ts)
258 ones = np.ones(len(x1))
259 ones = ones.reshape(len(x1), 1)
260 X = np.concatenate([ones, x1, x2], 1)
261
262 # 初期条件
263 x0 = [0.001, 0.001]
264 v0 = [ 0.0, 0.0]
265
266 date = datetime.datetime.now().strftime('%m%d')
267
268 filename = date+'_alh'+str(round(alh*180/np.pi, 1))+'_th0'+str(round(th0*180/np.pi, 1))
269
270 d = 0.1 * np.pi / 180 #rad
271
272 j = 0
273 itr = 0
274
275 print('初期値:A1s='+str(round(A1si * 180 / np.pi, 2))+' B1s='+str(round(B1si * 180 / np.pi, 2)))
276
277 # a1_i, b1_i
278 A1s = A1si
279 B1s = B1si
280 var = np.concatenate([x0, v0])
281 var = odeint(f, var, t, args=(M, D, K, omg, r_a, e, Vc, Vs, j, th0, A1s, B1s, S, rho, aero))
282 BetaCoef = Beta_Coef()
283 a1_i = BetaCoef[0, 1]
284 b1_i = BetaCoef[0, 2]
285 abi = np.array([a1_i, b1_i])
286
287 while np.any(abs(abi) > 0.0005) and trim == 1 :
288
289     # a1_Bj, b1_Bj
290     A1s = A1si
291     B1s = B1si + d
292     var = np.concatenate([x0, v0])
293     var = odeint(f, var, t, args=(M, D, K, omg, r_a, e, Vc, Vs, j, th0, A1s, B1s, S, rho, aero))
294     BetaCoef = Beta_Coef()
295     a1_Bj = BetaCoef[0, 1]
296     b1_Bj = BetaCoef[0, 2]
297     time.sleep(0.1)
298
299     # a1_Aj, b1_Aj
300     A1s = A1si + d
301     B1s = B1si
302     var = np.concatenate([x0, v0])
303     var = odeint(f, var, t, args=(M, D, K, omg, r_a, e, Vc, Vs, j, th0, A1s, B1s, S, rho, aero))
304     BetaCoef = Beta_Coef()
305     a1_Aj = BetaCoef[0, 1]
306     b1_Aj = BetaCoef[0, 2]
307     time.sleep(0.1)
308
309     # a1_j, b1_j
310     A1s = A1si + d
311     B1s = B1si + d
312     var = np.concatenate([x0, v0])
313     var = odeint(f, var, t, args=(M, D, K, omg, r_a, e, Vc, Vs, j, th0, A1s, B1s, S, rho, aero))
314     BetaCoef = Beta_Coef()
315     a1_j = BetaCoef[0, 1]
316     b1_j = BetaCoef[0, 2]
317     time.sleep(0.1)
318
319     P = np.array([[ (a1_Bj - a1_i) / d, (a1_Aj - a1_i) / d],
320                  [(b1_Bj - b1_i) / d, (b1_Aj - b1_i) / d]])
321
322     P_inv = np.linalg.inv(P)
323     dABi = - P_inv @ abi
324
325     # 更新
326     B1si = B1si + 0.3 * dABi[0]
327     A1si = A1si + 0.3 * dABi[1]
328
329     # a1_i, b1_i
330     A1s = A1si
331     B1s = B1si
332     var = np.concatenate([x0, v0])
333     var = odeint(f, var, t, args=(M, D, K, omg, r_a, e, Vc, Vs, j, th0, A1s, B1s, S, rho, aero))
334     BetaCoef = Beta_Coef()
335     a1_i = BetaCoef[0, 1]
336     b1_i = BetaCoef[0, 2]
337     abi = np.array([a1_i, b1_i])
338     time.sleep(0.1)
339
340     a1b1 = np.array([[a1_j, b1_j]])
341     itr = itr + 1
342     print('while itr ='+str(itr), ' A1s='+str(round(A1si*180/np.pi, 3)),
343           ' B1s='+str(round(B1si*180/np.pi, 3)), ' a1, b1: '+str(abi*180/np.pi))

```

表2(3行目)
表2(3行目)

第1報(34)式

(15)式

(15)式

(14)式

(14)式

(13)式

(13)式

```

344 A1sB1s = np.array([[A1si, B1si]])
345 a1b1 = np.array([a1_i, b1_i])
346 np.savetxt(filename+'_A1sB1s.txt', A1sB1s)
347 np.savetxt(filename+'_a1b1.txt', a1b1)
348 time.sleep(0.1)
349
350
351 for j in [0, 1, 2, 3]:
352     A1s = A1si
353     B1s = B1si
354
355     var = np.concatenate([x0, v0])
356
357     # 微分方程式の近似解法(過渡応答)
358     var = odeint(f, var, t, args=(M, D, K, omg, r_a, e, Vc, Vs, j, th0, A1s, B1s, S, rho, aero))
359
360     Fw_list = []
361     Fb_list = []
362     Fhb_list = []
363     Fhr_list = []
364     Fhf_list = []
365
366     # varを元にvar2を計算
367     for i in np.arange(0, len(var)):
368         Fw, Fb, Fhb, Fhr, Fhf = f2(var[i], t[i], omg, r_a, e, Vc, Vs, j, th0, A1s, B1s, S, rho, aero)
369         Fw_list.append(Fw)
370         Fb_list.append(Fb)
371         Fhb_list.append(Fhb)
372         Fhr_list.append(Fhr)
373         Fhf_list.append(Fhf)
374
375     var_j = np.array(var)
376     Fw_j = np.array(Fw_list)
377     Fb_j = np.array(Fb_list)
378     Fhb_j = np.array(Fhb_list)
379     Fhr_j = np.array(Fhr_list)
380     Fhf_j = np.array(Fhf_list)
381
382     Q = 0.75 * r_rotor * Fhr_j[:, 0] # Q = 0.5 * r_rotor**2 * Fhr_j[:, 0] 2025/06/16 nakayama 表3/第1報(52)式
383     Q_j = np.array([Q])
384     Q_j = Q_j.reshape(int(len(Fhr_list)), 1)
385
386     if j == 0: #j=1のときj1のデータを保存
387         BetaCoef_j1 = Beta_Coef()
388         np.savetxt(filename+'_BetaCoef.txt', BetaCoef_j1)
389
390         var_all = var_j
391         Fw_all = Fw_j
392         Fb_all = Fb_j
393         Fhb_all = Fhb_j
394         Fhr_all = Fhr_j
395         Fhf_all = Fhf_j
396         Q_j_all = Q_j
397         Q_all = Q_j
398
399     else:
400         var_all = np.hstack((var_all, var_j))
401         Fw_all = np.hstack((Fw_all, Fw_j))
402         Fb_all = np.hstack((Fb_all, Fb_j))
403         Fhb_all = np.hstack((Fhb_all, Fhb_j))
404         Fhr_all = np.hstack((Fhr_all, Fhr_j))
405         Fhf_all = np.hstack((Fhf_all, Fhf_j))
406         Q_j_all = np.hstack((Q_j_all, Q_j))
407         Q_all += Q_j # Q_all += Q_j 2025/06/16 nakayama
408
409 # ブレード1枚ごとの計算結果
410 # np.savetxt(date+'_angle_j.txt', np.concatenate([ts, var_all], 1)) # [t, j1ξ, j1β, j1ξ', j1β', j2ξ, j2β, j2ξ'
411 # np.savetxt(date+'_Fw_j.txt', np.concatenate([ts, Fw_all], 1)) # [t, j1Fwx, j1Fwy, j1Fwz, j2Fwx, j2Fwy, j2Fwz,
412 # np.savetxt(date+'_Fb_j.txt', np.concatenate([ts, Fb_all], 1)) # [t, j1Fbx, j1Fby, j1Fbz, j2Fbx, j2Fby, j2Fbz,
413 # np.savetxt(date+'_Fhb_j.txt', np.concatenate([ts, Fhb_all], 1)) # [t, j1Fhbx, j1Fhby, j1Fhbz, j2Fhbx, j2Fhby, j,
414 # np.savetxt(date+'_Fhr_j.txt', np.concatenate([ts, Fhr_all], 1)) # [t, j1Fhrx, j1Fhry, j1Fhrz, j2Fhrx, j2Fhry, j,
415 # np.savetxt(date+'_Fhf_j.txt', np.concatenate([ts, Fhf_all], 1)) # [t, j1Fhfx, j1Fhfy, j1Fhfz, j2Fhfx, j2Fhfy, j,
416 # np.savetxt(date+'_Q_j.txt', np.concatenate([ts, Q_j_all], 1)) # [t, j1Q, j2Q, j3Q, j4Q]
417
418 # 4枚のブレードのFx, Fy, Fzをそれぞれ合計してローターの空気を求める
419 Fx_h = Fhf_all[:, 0] + Fhf_all[:, 3] + Fhf_all[:, 6] + Fhf_all[:, 9]
420 Fy_h = Fhf_all[:, 1] + Fhf_all[:, 4] + Fhf_all[:, 7] + Fhf_all[:, 10]
421 Fz_h = Fhf_all[:, 2] + Fhf_all[:, 5] + Fhf_all[:, 8] + Fhf_all[:, 11]
422
423 Fx = Fx_h * np.cos(alh) + Fz_h * np.sin(alh)
424 Fy = Fy_h
425 Fz = Fx_h * np.sin(alh) + Fz_h * np.cos(alh)
426 Fx = Fx.reshape(len(Fhf_all), 1)
427 Fy = Fy.reshape(len(Fhf_all), 1)
428 Fz = Fz.reshape(len(Fhf_all), 1)
429 F_all = np.concatenate([Fx, Fy, Fz], 1)
430
431 angle_j1 = np.array(var_all[:, 0:2]) # j1の[ξ, β] [0:2]
432 angle_j2 = np.array(var_all[:, 4:6]) # j2の[ξ, β] [4:6]
433 angle_j3 = np.array(var_all[:, 8:10]) # j3の[ξ, β] [8:10]
434 angle_j4 = np.array(var_all[:, 12:14]) # j4の[ξ, β] [12:14]
435 angle_all = np.hstack((angle_j1, angle_j2, angle_j3, angle_j4))
436
437 np.savetxt(filename+'_angle.txt', np.concatenate([angle_all], 1)) # [j1ξ, j1β, j2ξ, j2β, j3ξ, j3β, j4ξ, j4β,
438 np.savetxt(filename+'_Fw.txt', np.concatenate([Fw_all], 1)) # [Fwx, Fwy, Fwz] 相対風座標系
439 np.savetxt(filename+'_Fb.txt', np.concatenate([Fb_all], 1)) # [Fbx, Fby, Fbz] ブレード固定座標系
440 np.savetxt(filename+'_Fhb.txt', np.concatenate([Fhb_all], 1)) # [Fhbx, Fhby, Fhbz] ハブブレード中間座標系
441 np.savetxt(filename+'_Fhr.txt', np.concatenate([Fhr_all], 1)) # [Fhrx, Fhry, Fhrz] ハブ回転座標系
442 np.savetxt(filename+'_Fhf.txt', np.concatenate([Fhf_all], 1)) # [Fhfx, Fhfy, Fhfz] ハブ非回転座標系
443 np.savetxt(filename+'_F.txt', np.concatenate([F_all], 1)) # [Fx, Fy, Fz] 慣性系
444 np.savetxt(filename+'_Q.txt', np.concatenate([Q_all], 1)) # [Q] トルク

```

〔研究ノート〕

NBU GEN-HEL の開発 (第3報) — NASA ロータ風洞試験との回転トルク比較検証 —

大城 鳳花*, 中山 周一*²

*日本文理大学工学部航空宇宙工学科 (2024年度卒業)

*²日本文理大学工学部航空宇宙工学科

Helicopter Rotor Simulation Program NBU GEN-HEL Development (3rd Report) — Verification Challenge to Compare with NASA Rotor Wind Tunnel Test Torque —

Fuka OSHIRO*, Shuichi NAKAYAMA*²

*Department of Aerospace Engineering, School of Engineering, Nippon Bunri University (Graduate, AY2024)

*²Department of Aerospace Engineering, School of Engineering, Nippon Bunri University

1. はじめに

NASA CR (Contractor Report) として基本モデルが公開されている GEN-HEL⁽¹⁾を本学で内製することを目標に2023年度から卒業研究で取り組み、2024年度には

NASA によるロータ風洞試験結果⁽²⁾と比較検証を行い、ブレード失速による非線形性を捉える等の成果を得た。本稿では、ロータ揚力とロータ抗力の NASA ロータ風洞試験比較検証を行った第2報⁽³⁾に引き続き、トルクの検証結果等について報告する。

2. ブレード運動の数学モデル

ヘリコプタ・ブレードは、回転自由度を有するヒンジを介してハブに固定されており、ブレード回転に伴いヒンジ回りのフラップ角 ζ 、リードラグ角 β が変化する。このフラップ角、リードラグ角に関する運動方程式は次式のように表される⁽⁴⁾。

$$\begin{bmatrix} mr_{cg}^2 & 0 \\ 0 & mr_{cg}^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{\zeta} \\ \ddot{\beta} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} 0.05(2mr_{cg}\Omega\sqrt{r_{cg}e}) & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{\zeta} \\ \dot{\beta} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} mer_{cg}\Omega^2 & 0 \\ 0 & mr_{cg}(e+r_{cg})\Omega^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \zeta \\ \beta \end{Bmatrix} = r_a \begin{Bmatrix} Fb_X \\ -Fb_Z \end{Bmatrix} \quad (1)$$

ここで、 m はブレード質量、 r_{cg} はブレード重心とヒンジまでの距離、 e はハブ中心からヒンジまでの距離、 Ω はロータ回転角速度である。右辺は次式で表されるブレード空気力であり、 r_a はヒンジからブレード空気代表点までの距離である⁽⁴⁾。

$$\begin{Bmatrix} Fb_X \\ Fb_Y \\ Fb_Z \end{Bmatrix} = \frac{1}{u_0 u_{tr}} \begin{bmatrix} u_t u_{tr} & u_r u_0 & -u_t u_p \\ -u_r u_{tr} & u_t u_0 & u_r u_p \\ u_p u_{tr} & 0 & u_{tr}^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} -d \\ 0 \\ -l \end{Bmatrix} \quad (2)$$

$\{Fb_x, Fb_y, Fb_z\}^T$ は、ブレード相対風座標系で定義されるブレード揚力 l とブレード抗力 d をブレード固定座標系に変換したもので、両座標系の変換行列は、ブレード固定座標系で表したブレード相対風 $\{u_t, -u_r, u_p\}^T$ および同速度から構成される $u_{tr} = \sqrt{u_t^2 + u_r^2}$, $u_0 = \sqrt{u_t^2 + u_r^2 + u_p^2}$ で表現される。ブレード相対風 $\{u_t, -u_r, u_p\}^T$ は、次式により、ブレードフラップ角、リードラグ角の他、飛行速度 V 、ロータシャフト迎角 α_s で表される⁽⁴⁾。

$$\begin{pmatrix} u_t \\ -u_r \\ u_p \end{pmatrix} = e \begin{pmatrix} \Omega \cos \zeta \\ \Omega \sin \zeta \cos \beta \\ \Omega \sin \zeta \sin \beta \end{pmatrix} + r_{cg} \begin{pmatrix} (\Omega + \dot{\zeta}) \cos \beta \\ 0 \\ -\dot{\beta} \end{pmatrix} + V \begin{pmatrix} \cos \alpha_s \sin(\psi + \zeta) \\ -\cos \alpha_s \cos(\psi + \zeta) \cos \beta - \sin \alpha_s \sin \beta \\ -\cos \alpha_s \cos(\psi + \zeta) \sin \beta + \sin \alpha_s \cos \beta \end{pmatrix} \quad (3)$$

$$\theta = \theta_0 - A_1 \cos \psi - B_1 \sin \psi \quad (5)$$

3. 計算結果

3-1 計算諸元およびプログラム

表1の諸元により(1)式を odeint を用いて時間積分する python プログラムを作成した。ソースコードは第2報⁽³⁾の付録に収録されている。

表1 計算(実機)諸元⁽⁴⁾

記号	値	意味
Ω	27[rad/s]	ロータ回転角速度
m	72.5[kg]	ブレード質量
R	8.178[m]	ロータ半径
e	0.381[m]	ヒンジオフセット
r_{cg}	5.32[m]	ブレード重心位置
r_a	4.7[m]	ブレード空力半径
r_Q	6.1[m]	トルク半径
S	3.36[m ²]	ブレード面積
c	0.527[m]	ブレード翼弦長
ρ	1.225[kg/m ³]	標準大気

3-2 計算結果

NASA ロータ風洞試験との比較検証は、 α_s , μ , θ_0 を入力条件とした計算結果からロータ6分力係数 C_L , C_D , C_Q を求め TM4183記載値と比較する⁽³⁾。

α_s はロータシャフトの迎角、 μ はアドバンス比と呼ばれるホバリング時のブレード翼端速度 ΩR と風洞風速(飛行速度)の比⁽⁵⁾,

$$\mu = \frac{V \cos \alpha_s}{\Omega R} \quad (4)$$

A_1 , B_1 , θ_0 は次式によりブレードピッチ角 θ を構成し、 θ_0 はコレクティブピッチ角、 A_1 , B_1 はサイクリックピッチ角と呼ばれる⁽⁵⁾。 A_1 , B_1 は TM4183記載値を使う場合と、プログラムで計算する場合がある⁽³⁾。

(2)式のブレード空気を座標変換行列⁽⁴⁾ $[\alpha_s]_{I/HF}$, $[\psi_j]_{HF/HR}$, $[\zeta_j]_{HR/BW}$, $[\beta_j]_{BW/B}$ によりロータ6分力の基準となる風洞風を X 軸とする慣性座標系に変換し、

$$\begin{pmatrix} -D_j \\ Y_j \\ -L_j \end{pmatrix} = [\alpha_s]_{I/HF} [\psi_j]_{HF/HR} [\zeta_j]_{HR/BW} [\beta_j]_{BW/B} \begin{pmatrix} Fb_{Xj} \\ Fb_{Yj} \\ Fb_{Zj} \end{pmatrix} \quad (6)$$

$j=0, 1, 2, 3$ の各ブレード分を合算してロータ揚力 L 、ロータ抗力 D を求める。

$$L = \sum_{j=0}^3 L_j, D = \sum_{j=0}^3 D_j, \quad (7)$$

トルク Q はハブ回転座標系でのブレード空気力 Fhr_{Xj} , Fhr_{Yj} , Fhr_{Zj} を求め

$$\begin{pmatrix} Fhr_{Xj} \\ Fhr_{Yj} \\ Fhr_{Zj} \end{pmatrix} = [\zeta_j]_{HR/BW} [\beta_j]_{BW/B} \begin{pmatrix} Fb_{Xj} \\ Fb_{Yj} \\ Fb_{Zj} \end{pmatrix} \quad (8)$$

$j=0, 1, 2, 3$ の各ブレード分を合算する。

$$Q = \sum_{j=0}^3 r_Q Fhr_{Xj} \quad (9)$$

r_Q はトルクの代表半径である⁽⁴⁾。

以上の揚力 L 、抗力 D 、トルク Q からロータの円面積、ホバリング時の翼端速度による無次元係数^(2,5) を求める。

$$\begin{cases} C_L = \frac{L}{\rho \pi R^2 (\Omega R)^2} \\ C_D = \frac{D}{\rho \pi R^2 (\Omega R)^2} \\ C_Q = \frac{Q}{\rho \pi R^3 (\Omega R)^2} \end{cases} \quad (10)$$

第2報⁽³⁾から、 $\mu=0.25$, $\alpha_s=-5.2$ [deg] での計算結果を縦軸ロータ揚力係数、横軸をロータ抗力係数で整理した結果を図1に示す。

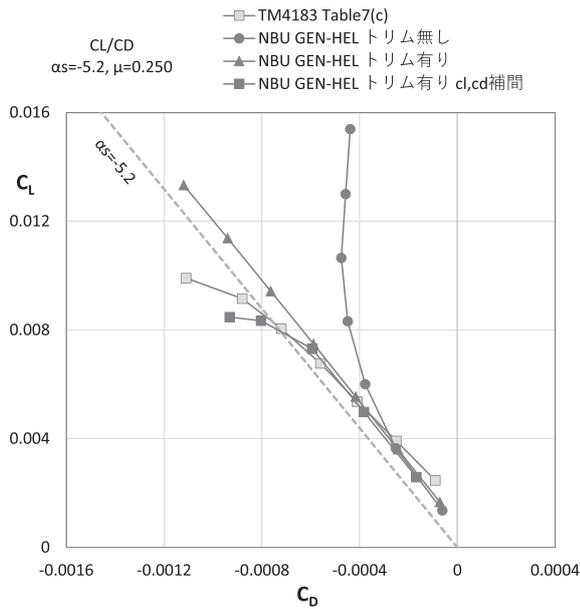


図1 検証結果, 揚抗特性

●は TM4193⁽²⁾記載の A_1 , B_1 , θ_0 で計算した結果, ▲は θ_0 を TM4183⁽²⁾記載値とするが, A_1 , B_1 は計算されたフラッピング角からロータ回転面がシャフトに垂直になるように設定された場合を示す。▲と●は, ブレードの空気力について2次元性が成り立つ想定のもと, 揚力係数を迎角に比例, 抗力係数を0.01で一定とした。■は▲に対して, ブレード揚力係数と抗力係数を NASA CR⁽¹⁾に記載されている失速込みの数値データの内外挿により求めた。

図1の元となる計算結果からトルク係数を計算した結果を図2に示す。

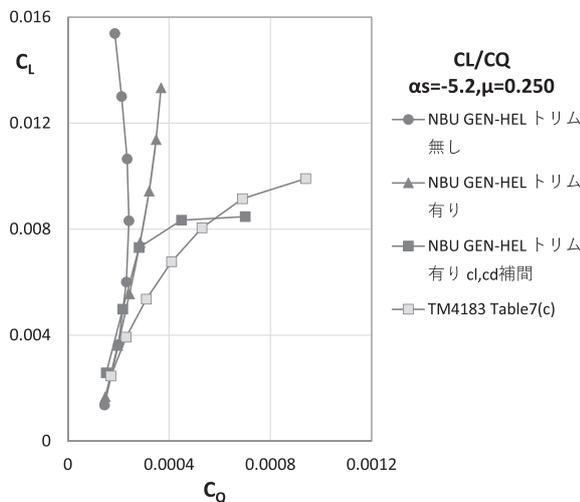


図2 検証結果 (トルク)

A_1 , B_1 を計算させた▲は図1からロータが前傾し推進力を発生させている⁽³⁾ため, TM4183⁽²⁾記載の A_1 , B_1 を使った●に比べて, トルクが増えている。更に A_1 , B_1 を計算し, 失速込みの2次元翼データ⁽³⁾を使った■は高揚力域でトルクが増えていることが確認できる。

ただし, 揚力の大小によるトルク変化はほとんどみられていない。これは(3)式で誘導速度を含めていないためであり, NBU Gen-Hel では誘導抗力によるトルク成分が計算されない。これを補正する方法を検討する。

誘導トルク Q_i によるパワー P_i は, ロータ全体を翼と見なした場合の誘導抗力 D_i と次の関係が成り立つはずである。

$$P_i = D_i V = Q_i \Omega \rightarrow Q_i = \frac{D_i V}{\Omega} \quad (11)$$

固定翼の誘導抗力係数は次の(12)式である⁽⁶⁾から, (11)式と(12)式からロータの誘導トルクを導出してみる。

$$\tilde{C}_{Di} = \frac{\tilde{C}_L^2}{\pi A} = \tilde{C}_L^2 \frac{S}{\pi b^2} \quad (12)$$

~ (ティルダ) は(10)式に示した回転翼の無次元と異なる固定翼式の無次元数であることを示し, A は主翼のアスペクト比で, 翼面積 S と主翼幅 b との関係にある。有次元での誘導抗力は,

$$D_i = \left(\tilde{C}_L^2 \frac{S}{\pi b^2} \right) \left(\frac{1}{2} \rho V^2 S \right) = \frac{L^2}{\frac{1}{2} \rho V^2 \pi b^2} \quad (13)$$

となる。誘導トルク Q_i を(10)式に示される回転翼の流儀で無次元化すると

$$\begin{aligned} C_{Qi} &= \frac{D_i V / \Omega}{\rho \pi R^3 (\Omega R)^2} = \frac{L^2}{\frac{1}{2} \rho V_x^2 \pi b^2} \frac{V}{\Omega R} \frac{1}{\rho \pi R^2 (\Omega R)^2} \\ &= \frac{L^2}{\frac{1}{2} \rho \pi (2R)^2 (\Omega R)^2} \frac{\Omega R}{V} \frac{1}{\rho \pi R^2 (\Omega R)^2} \\ &= \frac{C_L^2}{2\mu} \end{aligned} \quad (14)$$

を得る。NBU Gen-Hel の計算結果に誘導トルク C_{Qi} を加える補正を行った結果を図3に示す。図3には C_{Qi} 自体も点線で示している。補正後の結果は全体的に NASA 試験結果に近づいただけではなく, 翼型テーブルを使った場合■は非線形的なトルクの増加を捉えて, ロータ風洞試験結果 (グレーの□) に近づいたことが確認できる。

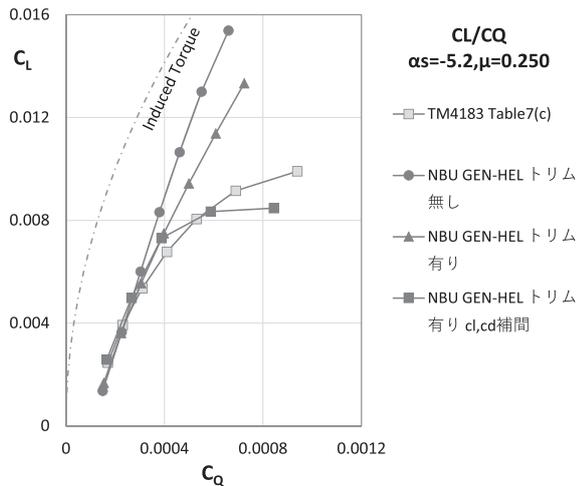


図3 トルク比較結果 (誘導トルク補正後)

3-3 その他の計算結果

TM4183⁽²⁾から本研究での比較検証相手として選定⁽³⁾した Table 7 (c) の風洞試験は、第2報⁽³⁾で取り上げた $\mu=0.301$, $\alpha_s=-5.2^\circ$ 以外にも表2に示される条件で実施されている。この内、付録を付した条件の推算結果を本稿の付録に収録する。トルク係数は前節に示した補正ありである。

表2 table 7 (c) 試験条件

μ	α_s deg	本研究
0.15	0.0	付録
	-1.8	付録
	-5.0	付録
0.20	0.0	
	-3.3	
0.25	0.0	付録
	-5.2	付録
	-7.0	付録
0.30	0.0	
	-6.2	付録
	-8.0	付録
0.35	-5.0	
	-9.1	付録
0.40	-7.9	
	-11.8	

4. 考察

図3に示されるロータトルクのトリム無の●とトリム有の▲の違いについて、(11)式とおなじような観点から考察する。ロータ抗力(推進力)の違い ΔD によるロータ仕事率の違い ΔP を(11)式と同様にトルクに換算すると次式となる。

$$\Delta P = \Delta DV = \Delta Q \Omega \rightarrow \Delta Q = \Delta D \frac{V}{\Omega} \quad (15)$$

これを無次元化すると次式となる。

$$\Delta C_Q = \frac{\Delta Q}{\rho(\pi R^2)(\Omega R)^2 R} = \frac{\Delta D}{\rho(\pi R^2)(\Omega R)^2} \frac{V}{\Omega R} = \mu \Delta C_D \quad (16)$$

この ΔC_Q によりトリム無●を補正した結果を図4に示す。トリム有▲に一致していることが確認できる。

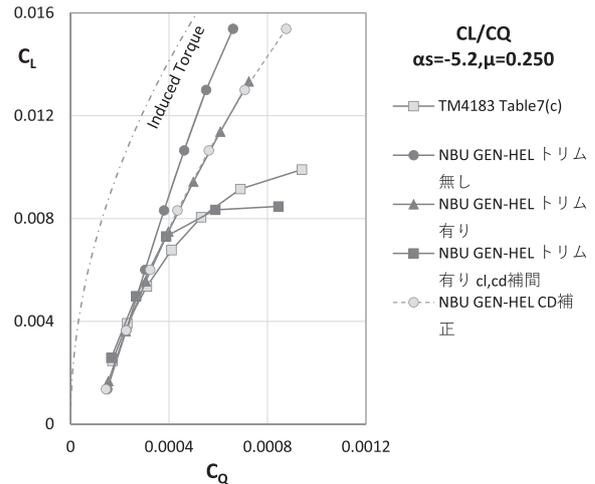


図4 ロータ推進力の違いによるトルク変化

5. おわりに

NASA が公開している CR166309⁽¹⁾に基づいたシミュレーションプログラムを開発し、NASA が行った実機レイノルズ数のロータ風洞試験結果⁽²⁾と比較検証した。ブレードを1つの要素として扱っている等のモデル粒度が低いプログラムでも風洞試験で計測されたロータ6分力に近い計算結果を得た。2次元翼の揚力・抗力特性を反映することで、ブレードの失速による高揚力域での非線形性を捉える等の成果を得た。シミュレーションプログラムの意義は、実験に頼ることなく諸条件を変えた場合の影響を迅速に評価できることや、現象の細部について分析できる点にあり、本学においても2024年度卒業研究の成果を土台にして今後の教育研究での活用が期待される。

今後の課題を列挙しておく。

- 誘導速度を計算し、揚力傾斜やトルク係数の補正を取りやめる。
- 翼を分割し、翼端と翼根で周速が違う効果を反映する。その際に、ブレードのねじり下げと、マッハ数の違いも反映する。

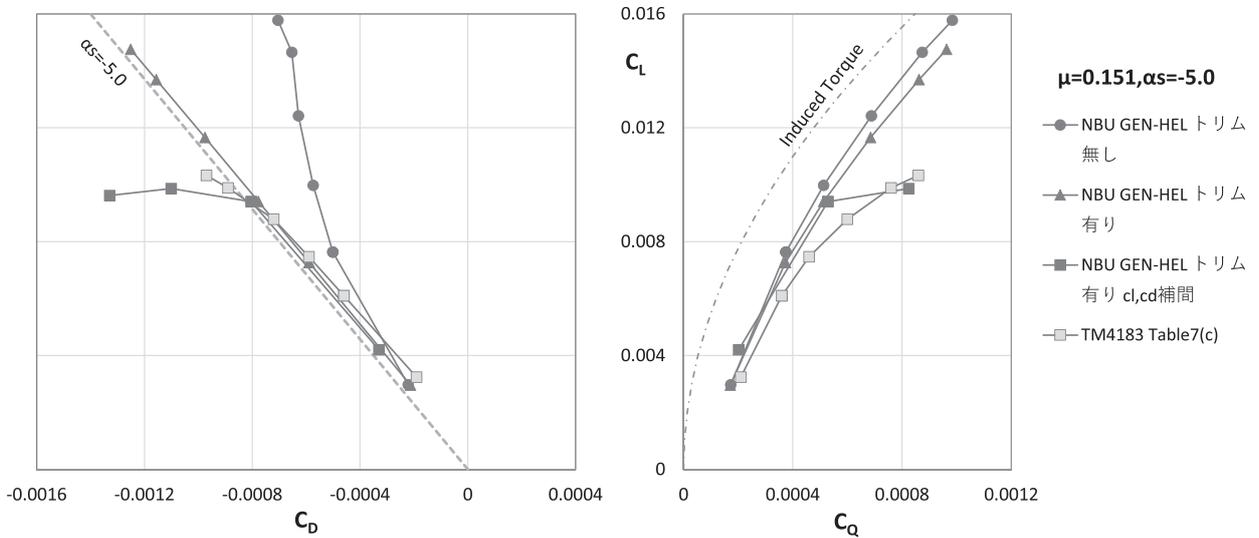
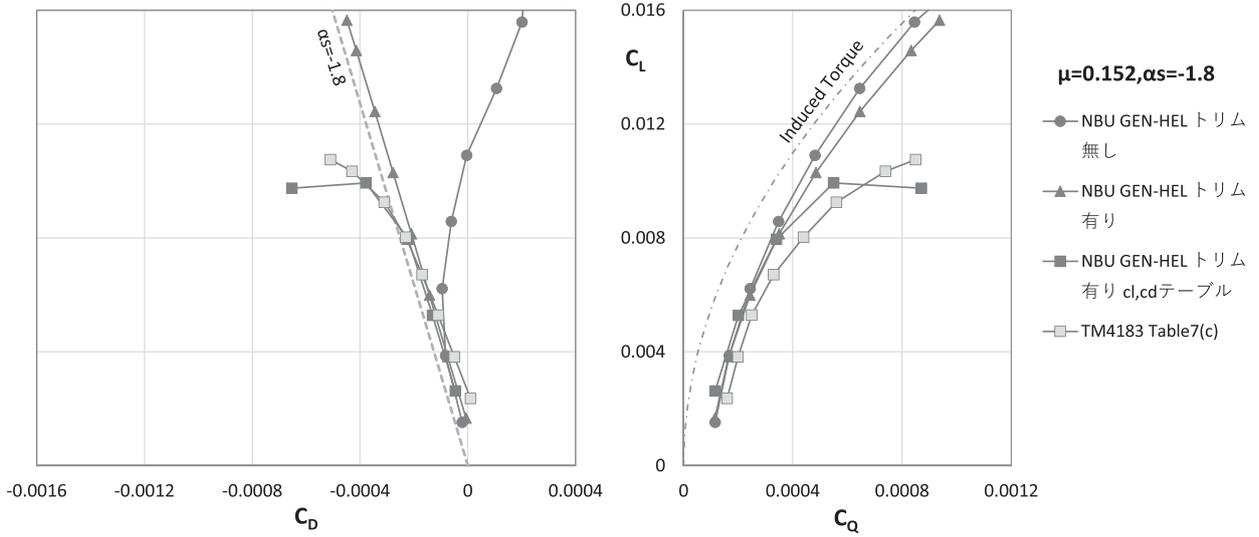
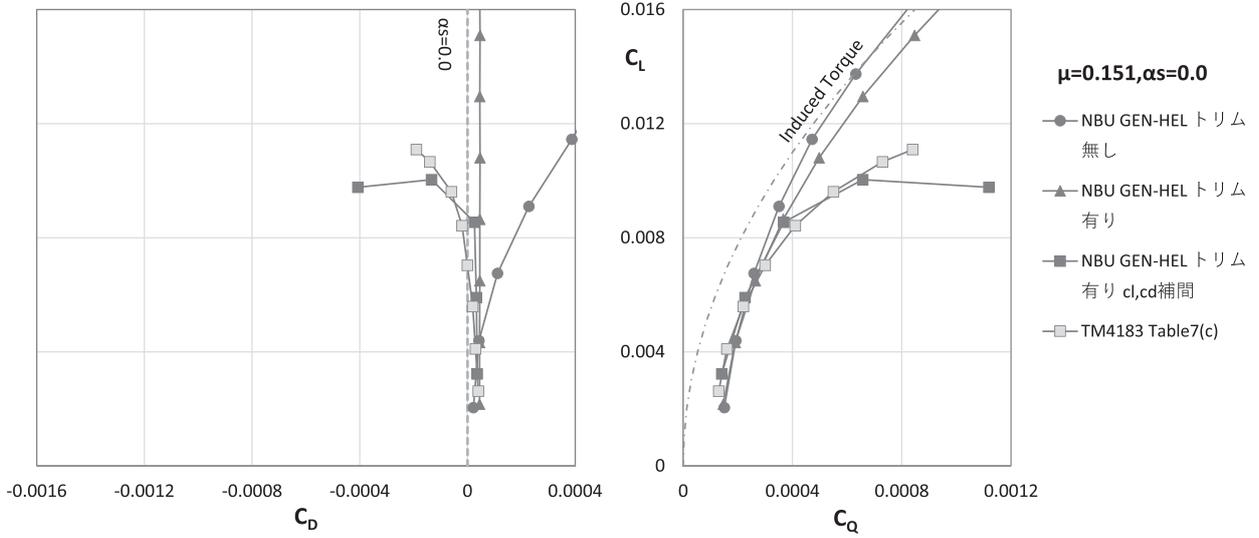
- ハブ固定ではなく機体運動を含めることでフリーフライトをシミュレーションする。

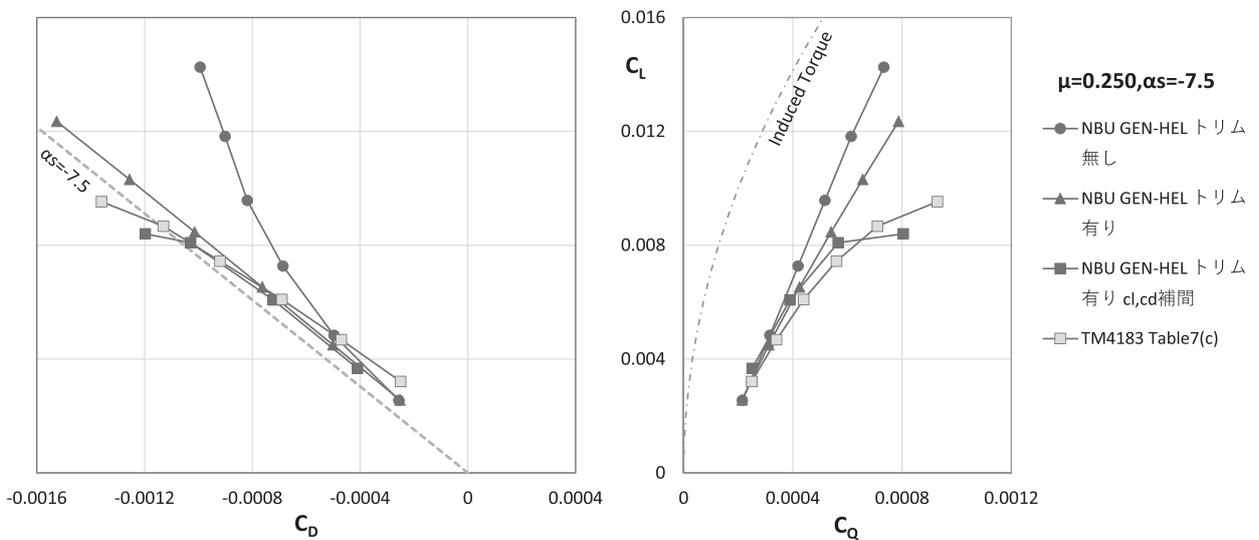
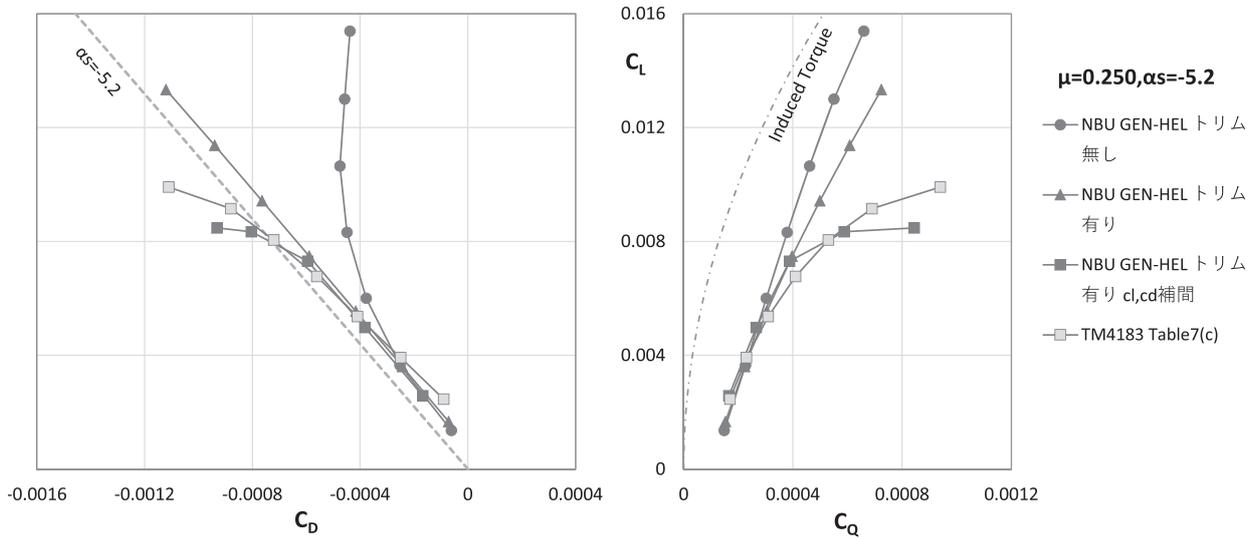
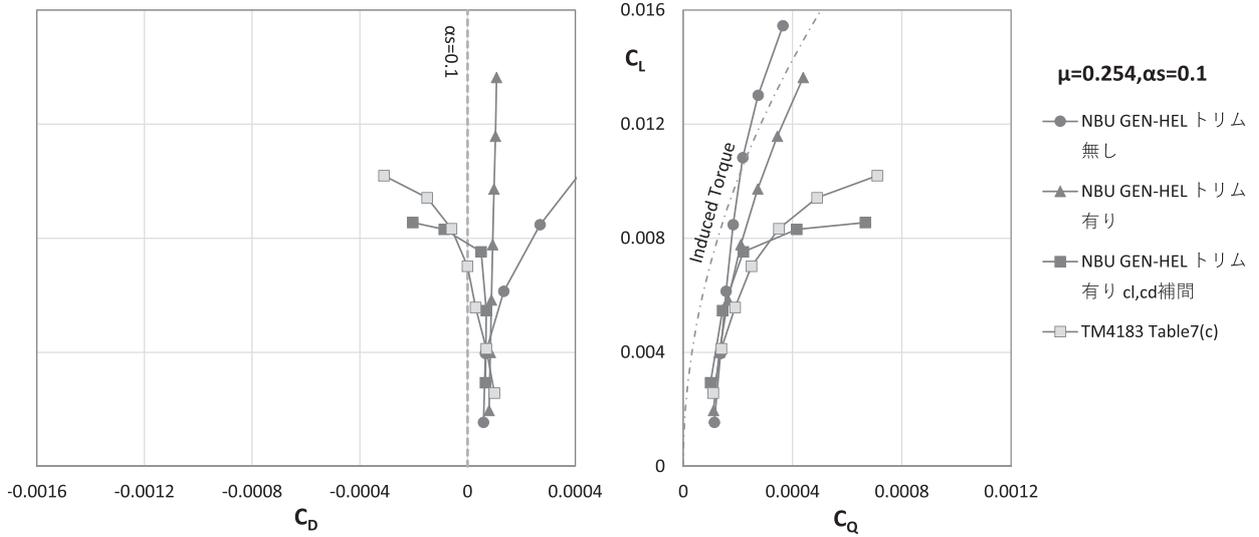
参考文献

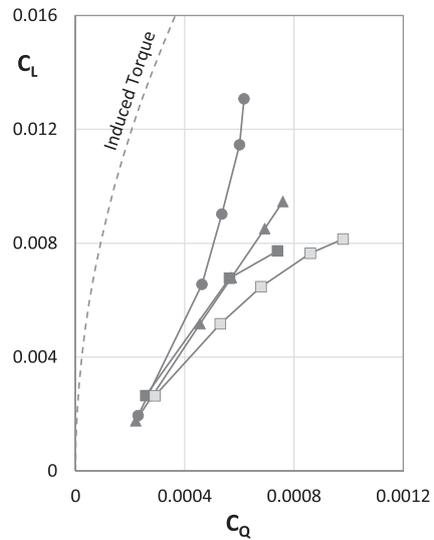
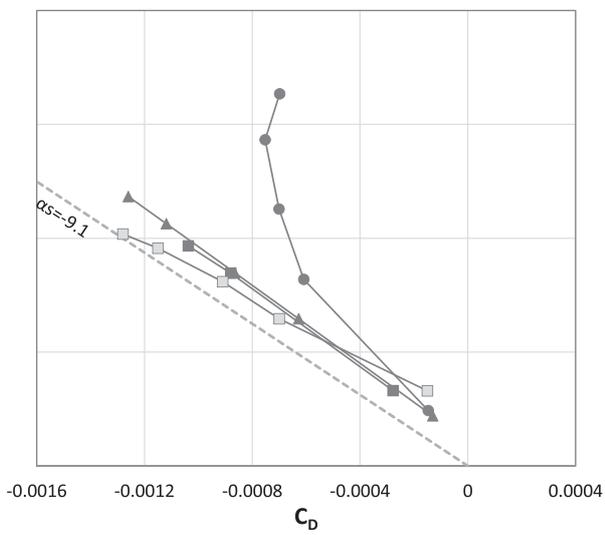
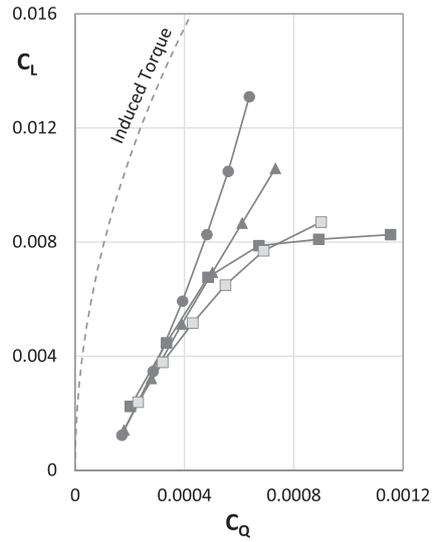
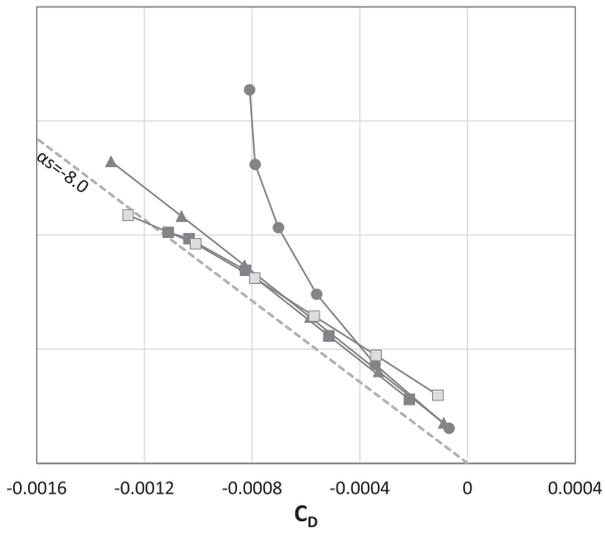
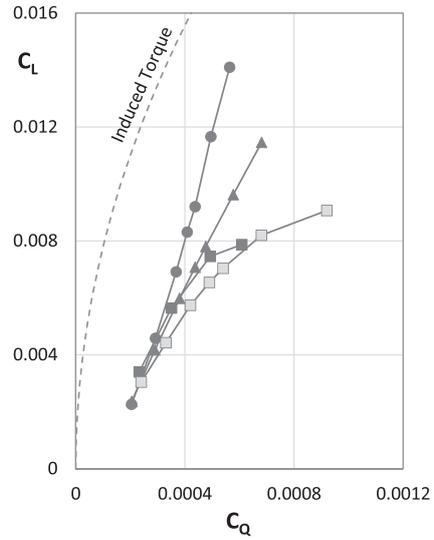
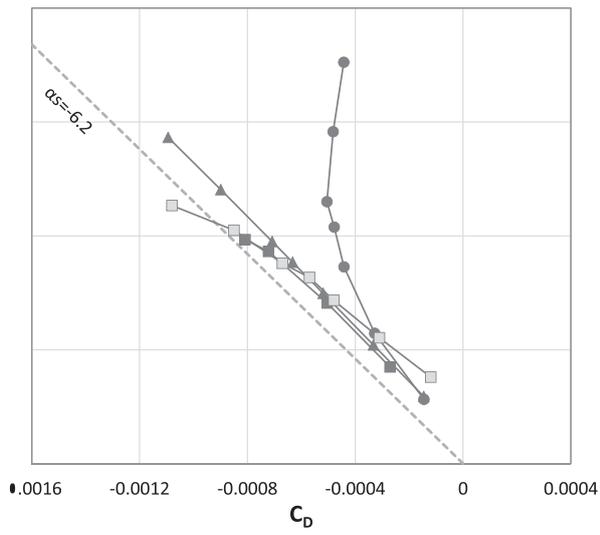
- (1) Howlett, J. J., UH-60A Black Hawk engineering simulation program. Volume 1 : Mathematical model, NASA-CR-166309 (1981)
- (2) Singleton, Jeffrey D., Yeager, William T., Jr., Wilbur, Matthew L., Performance Data from a Wind-Tunnel Test of Two Main-rotor Blade Designs for a Utility-Class Helicopter, NASA-TM-4183 (1990)
- (3) 大城鳳花, 中山周一, NBU GEN-HEL の開発 (第2報), 日本文理大学紀要, 第53巻第2号
- (4) 大城鳳花, 中山周一, NBU GEN-HEL の開発 (第1報), 日本文理大学紀要, 第53巻第2号
- (5) 加藤寛一郎, 今永勇生, ヘリコプタ入門, 東京大学出版会 (1985)
- (6) John Anderson, Fundamentals of Aerodynamics, third edition, McGraw-Hill (2001)

(2025年6月16日受理)

付録 検証計算結果







〔研究ノート〕

国語科教育法の授業に関する一提案 — 「言葉」の学習項目に着目して —

東 寺 祐 亮*

*日本文理大学工学部

A Proposal for Teaching Methods for a Japanese Language Course: Focusing on the Learning Content of “Language”

Yusuke TOJI*

*School of Engineering, Nippon Bunri University

Abstract

The Teaching Methods in Japanese Language course, designed for students pursuing elementary school teaching licenses, aims to develop a comprehensive understanding of the objectives and contents of Japanese language education. However, this course places disproportionate emphasis on reading instruction, potentially limiting students' engagement with the curriculum as a whole. For instance, the learning content related to “language” —specifically, the “features and usage of language” within the “knowledge and skills” domain—is often underrepresented compared to other areas. To address this issue, this study proposes incorporating both the theoretical foundations of the “features and usage of language” and practical classroom examples into this course. Specifically, the proposal involves two primary strategies : (i) providing students opportunities to acquire relevant background knowledge and explore its instructional applications, and (ii) integrating this knowledge into the teaching of other areas, such as reading and writing.

キーワード：国語科教育法, 言葉, 国語学

Keywords : Teaching methods for a Japanese language course, language, Japanese linguistics

1. はじめに

小学校教員免許の取得を目指す学生が履修する「国語科教育法」は、国語科教育の目標や学習内容を理解することを目的としているが、場合によっては学習内容の一つである「言葉」に関する学習項目について、他の学習

項目と比較して十分に取り上げられていないことがある。本稿は、「国語科教育法」の授業に「言葉」の学習事項をどのようにして組み込むかを検討する。

文部科学省「小学校学習指導要領（平成29年告示）」では、小学校国語の目標として以下の3つを掲げている。

(1) 日常生活に必要な国語について、その特質を理

解し適切に使うことができるようにする。

- (2) 日常生活における人との関わりの中で伝え合う力を高め、思考力や想像力を養う。
- (3) 言葉がもつよさを認識するとともに、言語感覚を養い、国語の大切さを自覚し、国語を尊重してその能力の向上を図る態度を養う。

(小学校学習指導要領 (平成29年告示):28)

そして、文部科学省「小学校学習指導要領 (平成29年告示) 解説 国語編」では、上記の目標を達成するための内容が「知識及び技能」、「思考力、判断力、表現力等」に分類され、以下のように整理されている。

[知識及び技能]

- (1) 言葉の特徴や使い方に関する事項
- (2) 情報の扱い方に関する事項
- (3) 我が国の言語文化に関する事項

[思考力、判断力、表現力等]

- A 話すこと・聞くこと
- B 書くこと
- C 読むこと

(「小学校学習指導要領 (平成29年告示) 解説 国語編」の pp. 17-39より作成)

小学校教職員免許の取得を希望する学生は、これらの学習指導要領を踏まえた授業実施を見据えて、「国語科教育法」や「国語」といった科目を履修し、学習指導要領や、指導方法、学習内容などについて学んでいる。

大学において小学校教職員免許を取得した学生が、教育現場に立つことを考えると、「国語科教育法」や「国語」といった科目を通して、「知識及び技能」と「思考力、判断力、表現力等」に基づいて指導できるようバランスよく学ぶことが期待される。しかし、小学校教職員免許の取得を希望する学生が必ずしもバランスよく学べる環境にあるとは限らない。

小学校教育を念頭に置いた「国語科教育法」を主題としている書籍を確認すると、たとえば、長谷川 (2024) は、「読むこと」、「書くこと」、「話すこと・聞くこと」については事例を示して詳細に解説しているが、それに対して「知識及び技能」については扱いが少なく事例も限定的である(長谷川2024以外の先行研究は2節で述べる)。その点で、授業環境によっては「国語科教育法」において「言葉」の学習事項が十分に扱われていない可能性がある。

しかし、小学校国語の教科書には、「読むこと」、「話

すこと・聞くこと」、「書くこと」に関する多様な教材が掲載されているだけでなく、児童の言語使用の力を育成するための「言葉」の教材も多く掲載されている。『新しい国語』(東京書籍)を例に挙げると、6年間で74項目の「言葉」の学習がある(項目数の内訳は一年:23¹、二年:11、三年:11、四年:10、五年:9、六年:10)。その点で、学生は「言葉」の学習事項の背景知識や指導方法を学んで教壇に立つことが望ましい。

「言葉」の学習項目の背景知識は国語学・日本語学の領域に属する内容であり、「国語学概論」のような科目を履修することで学ぶことができる。しかし、学生によっては、国語以外の専門領域(算数など)を主とするコースに所属している場合や、所属する大学に人文学系の学科が存在しない場合もある。そのため、国語学・日本語学領域の科目を履修する機会が限られ、「言葉」に関する背景知識を学ぶ機会が十分に得られていない可能性がある。

このような状況を踏まえると、小学校教職員免許の取得を目指す学生が必ず履修する「国語科教育法」の中に、「言葉」の学習事項の国語学・日本語学的背景知識や授業上の活用例を組み込むことが、学生が「言葉」の学習事項について学んで教壇に立つようにするための、一つの手段になる可能性がある。

そこで、本研究では、国語科教育法の授業にどのようにして「言葉」の学習項目の背景知識とその活用例を組み込むことができるのかを検討し、一案を示す。その意義は二点ある。第一に、「言葉」に関する内容を学習する科目を履修していない場合でも、国語科教育法でその一部を扱えば、学生が全く知識を持たずに教壇に立つ事態を防ぐことができるという点である。第二に、「国語科教育法」において「言葉」の背景知識を実際の活用例と共に学ぶことは、国語学・日本語学科目で個別の知識として学ぶよりも、より実践的な形で「言葉」の学習事項を習得することにつながる点が期待できる点である。

本稿の構成は次の通りである。2節では先行研究について概観する。3節では、(i)「言葉」の学習項目の背景知識、小学校国語の「言葉」の学習項目、その活用例を示して学習する機会を設けること、(ii)「読むこと」、「書くこと」の学習項目に言葉の学習項目の背景知識を導入すること、の2点を提案する。4節ではこれまでの議論をまとめ、課題を示す。

2. 先行研究

「国語科教育法」の改善についてはこれまでも議論されている。たとえば、町田（2008）は、「国語科教育法」の授業内容の改善として、模擬授業などを通して「国語科教育法」の授業そのものを受講者の学生に対する配慮が明確になるように展開するメタ授業を提案している。また、都築（2011）は、「国語科教育法」の授業内容の改善として模擬授業に着目し、大学院生や大学院に研修に来ている現職教員の力を借りて模擬授業を成立させていく方法を提案している。「国語科教育法」の改善にあたっては、その授業で実施される模擬授業だけでなく、「読むこと」・「話すこと・聞くこと」・「書くこと」や「学習指導要領」、「言葉」などの取り扱われる内容についても改善の観点を見出せる。しかし、いずれの研究も模擬授業に着目しており、「言葉」の学習項目についての言及はない。

「国語科教育法」を主題とする書籍については、「言葉」の学習項目の取り扱いについて差が生じている。長谷川（2024）は、第九章「知識及び技能」の項目の1つとして「言葉の特徴や使い方に関する事項」に触れている。しかし、「読むこと」「書くこと」や「知識及び技能」の「古典に関する学習」においては教材を示して詳細に解説されている一方、「言葉の特徴や使い方に関する事項」においては学習指導要領の解説に留まっており、指導に関する具体的な内容については解説されていない。

また、辻村（2019）は、第6章「知識及び技能」の項目の1つとして、「言葉の特徴や使い方に関する事項」について解説している。しかし、「読むこと」については教材や指導過程を示して詳細に解説しているのに対して、「言葉の特徴や使い方に関する事項」については学習指導要領における位置づけやそれを理解するための解説が中心で、指導に関する具体的な内容については解説されていない。

塚田・甲斐・長田（2018）は、長谷川（2024）や辻村（2019）と比較して「言葉の特徴や使い方に関する事項」について詳しい。第4章「国語の特質に関する学習指導」において、文字・表記に関する学習指導、語彙に関する学習指導、文法に関する学習指導、言葉遣いに関する学習指導について解説している。たとえば、文法では主語・述語・修飾語といった文法用語に言及しつつ、実際の指導場面では、書き誤りのある文を児童に提示してそれを児童が修正するといった、文法現象に対する「気づき」を促す指導を例示している（塚田他 2018:43）。し

かし、教員が言葉の学習事項を指導するにあたって必要になる背景知識については十分に触れられておらず、他の授業で国語学・日本語学の知識を学習していることが前提になっている。

これらの先行研究は、「言葉」の学習項目の背景知識や活用事例について詳細な説明がないか、あるいは、活用事例については解説されていても背景知識については他の科目で学習していることが前提となっている。その点で、「国語科教育法」で「言葉」の背景知識やその活用例を学ぶことについて十分な議論がなされているとはいえない。

3. 提案

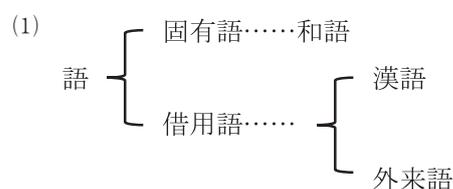
そこで、本稿では、「言葉」の背景知識やその活用例をどのような形で「国語科教育法」に取り入れることができるかについて検討し、一案を示したい。具体的には、(i)「言葉」の学習項目の背景知識、国語教科書の「言葉」の学習項目、その活用例を示して学習する機会を設けること、(ii)「読むこと」、「書くこと」の学習項目に言葉の学習項目の背景知識を導入すること、の2点である。本稿では、(i)について語種を例に、(ii)について文型を例に検討していきたい。

3-1 導入案①

「国語科教育法」の「知識及び技能」について学習する授業回、あるいは、「言葉の特徴や使い方に関する事項」について学習する授業回において、①「言葉」の学習項目の国語学・日本語学的背景知識、②その知識が関係する教科書の「言葉」の学習項目、③その「言葉」の学習項目における活用例を導入するということが提案の1点目である。語彙分野の語種を例にその導入例を説明する。

①「言葉」の学習項目の国語学・日本語学的背景知識
『新しい国語 五』の「和語・漢語・外来語」(pp. 176-177)などを指導するためには次のような背景知識が求められる。

語種とは出自によって語を分類したときの種類のことで、固有語の和語と、借用語の漢語、外来語に分けられる（秋元、押尾、丸山 2019:60-61）。



(秋元、押尾、丸山 2019:61)

「山」などの和語は、漢語が渡来する以前から日本に存在した日本固有のことばである（北原 2002:1772）。「食品」などの漢語は、中国から伝来して日本語となり、字訓ではなく字音で読む語のことである（北原 2002:358）。「ガラス」などの外来語は、外来語から取り入れられて同化し、自国語のように使われる語で、多く欧米諸国から入ってきた語のことである（北原 2002:274）。

②知識が関係する教科書の「言葉」の学習項目

このような知識は、国語教科書における(2)の「言葉」の学習項目に関係する。国語教科書において語種の定義自体が明示されることは少ないが、和語・漢語・外来語という用語は導入されている。そのため、教師がその定義や具体例を理解しておくことは、指導内容の正確性を確保する上で重要である。このような知識があれば、外来語にカタカナ表記が多いことや、日常語に和語が多いことなどから、児童が日常生活の中から語彙に興味を持てるようになる授業の実践につながられる。①で学習する背景知識が小学校の国語教科書を指導する上で必要になるという事実は、学生の学習の動機につながるだろう。

- (2) 『新しい国語』（東京書籍）の「言葉」の学習項目
 一上「かたかなを みつけよう」（pp. 100-101）
 二上「かたかなで 書く ことば」（pp. 54-55）
 三上「漢字の表す意味」（pp. 62-63）
 五「和語・漢語・外来語」（pp. 176-177）

③「言葉」の学習項目における活用例

たとえば、小学館が運営する web サイト「みんなの教育技術」の「小5国語科『和語・漢語・外来語』全時間の板書&指導アイデア」（有光鉄男執筆）では、同じ情報が記載された二つの文章（和語が多く使用されている文章と、漢語と外来語が使用されている文章）を読み比べ、児童それぞれの感じ方の違いやその理由について話し合う活動を紹介している²。それにより、「似た意味の文章なのに、感じ方が違うのはどうしてだろう」「感じ方の違いはどこから来るのだろう」「ひらがなが多く使われていることや漢字やカタカナが多く使われていることと関係があるのだろうか」という課題意識が生じると述べられている。そのうえで、日常の場面を想定し、相手や目的に合わせて意図的に文章を書き換える活動を紹介している。

このような活用例を、背景知識 ①と国語教科書の学習項目 ②と共に学ぶことができれば、「言葉」の

学習項目を授業計画に組み込むことや、自信を持って授業に挑むこと、児童が日常の言葉に関心を持つような魅力的な授業を作ることにつながる。

3-2 導入案②

「読むこと」や「書くこと」の学習内容に「言葉」の背景知識を織り込むことが提案の2点目である。日本語の基本文型の知識を例に、「読むこと」や「書くこと」に活用することを考えてみたい。

説明的文章、文学的文章を問わず、その内容を正確に理解するためには、文中の「誰が」「何を」「どうした」といった構文的要素を捉える必要がある。しかし、特に文学的文章においては主語などの省略が多いことが指摘（光野・篠原 2017:10）されており、省略された語を補いながら読解することが求められる。

山田（2004:37）は、小学校の教科書や図書で使用されている文で主体が省略されていることを示しつつ、「日本語は、文型を手がかりにした推論を利用することによって、代名詞などを立てなくても、わかりきった名詞を省略していく言語」であると述べている。そして、文型という考え方が文の骨格を理解するために有用であることを指摘している。表1は、山田（2004:32）が説明した日本語の基本文型（動詞句が必要とする名詞句の数の順に示した格関係）を表形式にまとめたものである。

表1 基本文型（山田 2004:32, [1]）

名詞句の数	格関係
1つ	[〜ガ] 走る、寝る…
2つ	[〜ガ〜ヲ] 食べる…
	[〜ガ〜ニ] 話しかける…；入る
	[〜ガ〜カラ] 出る…
3つ	[〜ニ〜ガ] わかる、できる…
	[〜ガ〜ヲ〜ニ] 渡す、送る…
4つ	[〜ガ〜カラ〜ニ] 変わる
4つ	[〜ガ〜ヲ〜カラ〜ニ] 移す

省略された名詞を補いながら文章を読むことは、国語教科書にも活動として取り入れられている。『新しい国語 二下』（東京書籍）の『お手紙』（アーノルド・ローベル 文・絵／みき たく やく）の作品後に収録されている「かんそうをつたえ合おう」（p. 128）では、「場めんと 人ぶつの ようすを たしかめよう」という、どの場面で誰が何をしたのかをまとめる活動が示されている³。このような活動では、文型などの知識を用いて

取り組むことになる。

このような文型の知識は、主語と述語の対応関係に注意しながら文・文章を作ることにもつながるため、「書くこと」の活動にも活用できる。塚田他(2018:43)は、文型に関する活動を通して、文がさまざまな語の組み合わせによって成り立っていると気付かせ、文の構造意識を醸成することにつながると述べている。塚田他(2018:43)は、そのような活動として、児童に文の成分や「いつ」「どこで」「だれが」「何を」「どうした」などの文の構成要素ごとに大まかに分けたカードを与えたり作ってもらったりして、それらを自由に組み合わせて文を考えさせるといった活動を紹介している。

また、塚田他(2018:43)は、書き誤りのある文を児童に提示してそれを児童に適切な形に修正してもらおうという活動を紹介しており、そのような活動が、文における語の選択や結合がうまくいかないと円滑な表現・理解が妨げられてしまう点への気づきを促すことにつながると述べている。

もちろん、「言葉」の学習項目においても、一上「ぶんをつくろう」(pp.36-37)、一上「をへをつかおう」(pp.54-55)、二下「主語とじゅつ語」(pp.30-31)、三上「主語とじゅつ語、つながってる？」(pp.128-129)など、文型の知識が関連するものもある。その点で、文系の知識は「言葉」の学習項目だけでなく、「読むこと」、「書くこと」にもつながる知識である。

言葉に関する知識・技能は、文や文章を読んだり書いたりするために不可欠な要素である。国語教科書に掲載されている「言葉」の学習項目も、そのような言語運用能力に密接に関連している。その背景知識を「読むこと」、「書くこと」に関連付けて提示することにより、学生が「言葉」の学習項目をより広範な言語活動に関わる知識であると捉えることにつながる。このような学習の在り方は、学生が「言葉」の背景知識を国語の多様な文脈において活用する土台を形成することに資する。

4. まとめと課題

本稿では、「言葉」の学習項目をどのような形で「国語科教育法」に組み込むことができるのかについて検討した。具体的な検討としては、(i)「言葉」の学習項目の背景知識(①)、小学校国語の「言葉」の学習項目(②)、その活用例(③)を示してそれらを学習する機会を設けること、(ii)「読むこと」、「書くこと」の学習項目に言葉の学習項目の背景知識を導入すること、の2点である。

都築(2011:253)は、「国語科教育法」について、「『国

語科教育の意義と目的』といった『国語科教育法』以外では扱われることのない内容から、『教師論』『生活指導』『進路指導』といった教科教育法以外の授業でも扱うことがありえる内容まで、かなり広範囲な授業内容を扱っている」と述べている。「国語科教育法」で指導すべき内容は多岐に渡るが、本稿で検討した導入内容であれば、全体の指導事項を大きく圧迫することなく、「言葉」の背景知識やその活用例を学ぶことができる可能性がある。

本稿の提案は、「国語科教育法」以外の国語に関する科目を履修して「言葉」の背景知識を学習することが困難な状況に対する、一つの選択肢になると考えている。わずかでも「国語科教育法」で「言葉」の背景知識を学習することができれば、学生が教壇に立った際に教科書の「言葉」の学習項目を活用する足掛かりを作ることができるのではないかと。

本稿では、「国語科教育法」に導入する「言葉」の背景知識の代表例として、国語学・日本語学における語彙領域の語種と、文法領域の文型を用いた。しかし、小学校の国語教科書の「言葉」の学習項目は、音韻、文字・表記、方言など多様である。このような小学校の国語教科書に掲載されている国語学・日本語学知識から、小学校教員に「最低限」必要な国語学・日本語学的知見を検討した研究もある(白岩2016)。しかし、「最低限」必要と知見であっても「国語学概論」のような科目を履修しなければ網羅的に学習することは難しいのではないかと。「国語科教育法」以外の国語に関する科目を履修して「言葉」の背景知識を学習することが困難な状況においては、「最低限」必要な知見の中から、受講する学生の状況に応じて適切に背景知識やその活用例を示していく必要がある。今後は、「言葉」の多様な学習項目を踏まえて、どのような知識をどのような形で導入しうることについて研究を進めていく。

参考文献

- 秋元美晴・押尾和美・丸山岳彦 2019『日本語教育 よくわかる語彙』, アルク。
 馬場治 2020「小学校国語科における基本的文法事項の指導—主語と述語の関係を中心に—」『人間科学研究』13(2), pp.95-100。
 長谷川清之 2024『第4版 初頭国語科教育法』, 明星大学出版会。
 北原保雄 2002『明鏡国語辞典』, 大修館書店。
 光野公司郎・篠原京子 2017「小学校国語科における「書

- くこと」指導の研究], 『共栄大学教育学部研究紀要』
1, pp. 1-25.
- 町田守弘 2008 「『国語科教育法』をどのように扱うか—『メタ授業』としての要素を生かすために—」
『早稲田大学教育学部学術研究 (国語・国文学編)』
56, pp. 1-14.
- みんなの教育技術「小5国語科『和語・漢語・外来語』
全時間の板書&指導アイデア」, 有光鉄男 (執筆),
丹羽正昇 (編集委員), 大塚健太郎 (監修), 小学館.
<https://kyoiku.sho.jp/233567/> (2025/05/29閲覧)
- 文部科学省 2017 『小学校学習指導要領 (平成29年告示)』
(平成29年3月).
- 文部科学省 2017 『小学校学習指導要領 (平成29年告示)
解説 国語編』 (平成29年7月).
- 白岩広行 2017 「大学の日本語学教科書と小学校の国語
教科書—小学校教員に最低限必要な知見を考え
る—」, 『上越教育大学研究紀要』 36 (2), pp. 505-
518.
- 塚田泰彦・甲斐雄一郎・長田友紀 (2018) 『MINERVA
はじめて学ぶ教科教育① 初等国語科教育』, 吉田
武男 (監修), ミネルヴァ書房.
- 辻村敬三 2019 『国語科内容論×国語科指導法 平成29
年度版学習指導要領に基づく国語科学習指導の在り
方』, 東洋館出版社.
- 都築則幸 2011 「『国語科教育法』の授業改善に関する一
考察」『早稲田大学大学院教学研究科紀要 別冊』

- 19 (1), pp. 251-262.
- 山田敏弘 2004 『国語教師が知っておきたい日本語文法』,
くろしお出版.

資料

- 『新編 あたらしい こくご 一上』, 秋田喜代美 (代
表), 東京書籍, 令和6年2月10日発行.
- 『新編 新しい国語 二上』, 秋田喜代美 (代表), 東京
書籍, 令和6年2月10日発行.
- 『新編 新しい国語 三上』, 秋田喜代美 (代表), 東京
書籍, 令和6年2月10日発行.
- 『新編 新しい国語 四上』, 秋田喜代美 (代表), 東京
書籍, 令和6年2月10日発行.
- 『新編 新しい国語 五』, 秋田喜代美 (代表), 東京書
籍, 令和6年2月10日発行.
- 『新編 新しい国語 六』, 秋田喜代美 (代表), 東京書
籍, 令和6年2月10日発行.
- 『新編 あたらしい こくご 一下』, 秋田喜代美 (代
表), 東京書籍, 令和6年7月10日発行.
- 『新編 新しい国語 二下』, 秋田喜代美 (代表), 東京
書籍, 令和6年7月10日発行.
- 『新編 新しい国語 三下』, 秋田喜代美 (代表), 東京
書籍, 令和6年7月10日発行.
- 『新編 新しい国語 四下』, 秋田喜代美 (代表), 東京
書籍, 令和6年7月10日発行.

1 『新しい国語』(東京書籍)の二～六年では「言葉」
の学習ページとして明示されているが, 一年に関し
ては明示されていない。そのため, 各学習内容から
著者が「言葉」の学習を判断している。

2 小学館が運営する web サイト「みんなの教育技術」
では, 無料公開版と有料公開版がある。本引用は無
料公開版のみを使用している。(2025/06/09閲覧)

3 小学校国語科における基本的文法事項の指導につ
いて検討した馬場 (2020:96-98) は, 同作品を用いて
主語と述語の指導について議論している。本稿では,
同作品以外も含め, フラグやカラ格などの省略にも対
応する知識という点に着目しているため, 文型の知
識が関わる活動として紹介している。

〔事例報告〕

STEM 教育の教材としての紙飛行機の活用

大 森 正 勝*

*日本文理大学工学部航空宇宙工学科

Application of the Paper Airplane as the Teaching Materials of the STEM Education

Masakatsu OMORI*

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

1. はじめに

近年、高等学校の先生方と話をすると「理系を選択する生徒」や「ものづくりを目指す生徒」が減少していると聞く。米国では10年以上前から、優れた科学者やイノベーターを育成し、産業競争力を高めることにつながるSTEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics) 教育の重要性が認識され⁽¹⁾、日本でも科学、技術、工学、数学の内容を統合したSTEM教育やArtsの要素を加えたSTEAM教育を指向した種々の実践が試行されている⁽²⁾。

筆者は中学生の時に、ケント紙に描いた部品を接着剤で組み立てて飛ばす紙飛行機に出会い、上手く調整すれば数十秒も空を滑空する紙飛行機に夢中になった。その後、大学で航空工学を学び、航空会社に就職して実際の旅客機をモデルにして設計した紙飛行機を用いて紙飛行機教室を開催し、子供から大人まで多くの参加者が喜んで「制作」と「飛行」に取り組む姿を見てきた。2022年に本学の教員となってからは、航空工学を学ぶ学生の研究用教材として紙飛行機を使用し、学生の協力も得て、高等学校の「総合的な探求の時間」や地域のイベントの機会に未就学児～高校生を対象とした紙飛行機教室を開催してきた。

紙飛行機を教材に研究する学生や紙飛行機教室に参加する子供たちの様子を観察すると、紙飛行機が「STEM/

STEAM教育の教材」に適しているのではないかと考え、その活用について検証を行った。

2. STEM/STEAM教育の現状

文部科学省の資料⁽³⁾によると「理科の勉強は楽しい」と答えた日本の中学生の割合は2019年で70%となっているが中学校国際平均の81%に比較して少なく、小学生の92%から大きく低下している。「理科を使うことが含まれる職業につきたい」と答えた日本の中学生の割合は27%で国際平均の57%の半分以下となっている。この資料に掲載されている中央教育審議会答申(2021年1月26日)でも、STEAM教育は「高等学校における教科等横断的な学習の中で重点的に取り組むべきものであるが、その土台として幼児期からのものづくり体験や科学的な体験の充実、小学校、中学校での各教科等や総合的な学習の時間における教科等横断的な学習や探究的な学習などの充実に努めることも重要」とされている。

一方、2015年～2022年に発表された論文に記載されている総合的な学習及び探究の時間を活用した授業実践の分析⁽⁴⁾によると、小中学校に比べて高等学校における実践の報告が少なく、STEAM教育の視点から抽出された課題を分類するとリベラルアーツ(A)に関する活動が中心となっており、科学(S)、技術(T)に関する実践は一部に限られ、数学(M)や工学(E)に関する活動はほとんど取り扱われていないとされており、学校教

育における STEM 教育の実践に課題があることが窺える。

3. 教材としての紙飛行機の特徴

紙飛行機を教材として考えた場合の最大の特徴は、誰でも手軽に制作、飛行の工程を試行錯誤できる点である。制作工程においては、紙という身近な材料を「折る」「曲げる」「切る」「貼る」を組み合わせることで、手軽に簡単な折り紙飛行機から立体的な組み立て式の飛行機まで生み出すことができる。飛行工程も、どの角度に向かって、どのくらいの速度で発射するのか、を自由に選択することができる。自分で制作した紙飛行機を飛行させ、飛行状態を観察し、必要な調整を施して再度飛行させる試行錯誤のプロセスを短時間で何度でも繰り返すことが可能である。

紙飛行機を真っ直ぐに安定して滑空させるためには、揚力と重力という力のつり合い、重心まわりのモーメントのつり合いという科学 (S)、材料と道具を用いて制作した物を飛行させるという技術 (T)、飛行・観察・調整を繰り返す「ものづくり」の工程という工学 (E) が関係している。

航空工学を学ぶ学生が対象であれば、制作、飛行の工程の前に、設計の工程を加えて、材料や構造、揚力と抗力、安定性と操縦性などの理論と実験を通じた研究にじっくり取り組むこともでき、数学 (M) の要素も関係してくる。

このように紙飛行機は、対象者の年齢層や知識レベル、教育の目的、かけられる時間やコストに応じて、自由に手軽に対応でき、STEM 教育の教材に適していると考えられる。

4. 教材としての活用に関する検証

筆者は2022年度に本校に着任してから、未就学児から高校生までを対象として紙飛行機教室を表1の通り、開催してきた。

標準的な紙飛行機教室は、「制作」と「飛行」で構成され、所要時間は約1時間である。前半の30分で参加者は作業机に向かい紙飛行機の「制作」を行う。指導役は「制作」後、「飛行」のための調整の方法や注意事項までを着席状態で説明する。

その後、参加者は各自の紙飛行機を持って「飛行」を行う場所に移動し、後半の20分程度を使って、紙飛行機を「飛行」させて、飛行状態を観察して、必要な調整を行い、再度「飛行」させることを繰り返す。

最後の10分間は、参加者に「制作」や「飛行」の振り返りを行って貰い、アンケートの記載や片付けを行う。

「制作」の工程で、ハサミを用いて部品を切り出した後、接着剤を用いて貼り合わせて組み立てる機体の場合には、制作時間をさらに長めに確保する必要がある。また、誰が一番遠くまで飛ばすことができるか、コンテスト形式で「飛行」試験を実施する場合もある。教室の主催者の希望に応じて、揚力の発生や飛行の安定など、飛行の原理に関する説明を行う場合もあるが、その場合には所要時間が90分以上必要となるのが一般的である。

4-1. 高校生を対象とした STEM 教育

筆者が高校1年生の「総合的な探究の時間」に実施した紙飛行機教室の例を表2に示す。

高校生を対象とする紙飛行機教室は、図1のように揚力と重力の関係（力のつり合い）や重心位置と尾翼の役

表1 紙飛行機教室開催実績

年月日	イベント名	対象者	原理説明	制作指導	飛行指導	時間
2022年10月22日(土)	一木祭(日本文理大学学園祭)2022	付属高校生徒154名他		○	○	五月雨
2023年3月23日(木)	大分県立国東高等学校「総合的な探究の時間」	高校(普通科)1年生63名	○	○	○	110分
2023年9月10日(日)	大分空港「空の日」	来場小学生未就学児20名×2回		○	○	60分
2023年10月14日(土)~15日(日)	OITAものづくり展2023	事前申し込み小学生20名×2回		○	○	60分
2023年10月21日(土)~22日(日)	一木祭(日本文理大学学園祭)2023	来場小学生未就学児20名×4回		○	○	60分
2024年10月19日(土)~20日(日)	一木祭(日本文理大学学園祭)2024	来場小学生未就学児20名×3回		○	○	60分
2024年10月26日(土)	OITAものづくり展2024	事前申し込み小学生20名×2回		○	○	60分
2025年2月22日(土)	空フェスおおいた2025	来場小学生未就学児20名×2回	○	○	○	60分
2025年2月23日(日)	明治クラフト	事前申し込み小学生30名	○	○	○	90分

表2 高校生向け紙飛行機教室の例

	実施項目	所要時間
1	自己紹介/進め方の説明	5分
2	紙飛行機の制作	30分
3	飛行に関する説明 (制作した紙飛行機の接着剤乾燥時間を兼ねる) ①揚力発生の原理 ②飛行機の安定と主翼・尾翼の役割 ③飛行試験に向けた調整方法	30分
4	体育館への移動	10分
5	紙飛行機の飛行試験	30分
6	振り返り	5分
	合計	110分

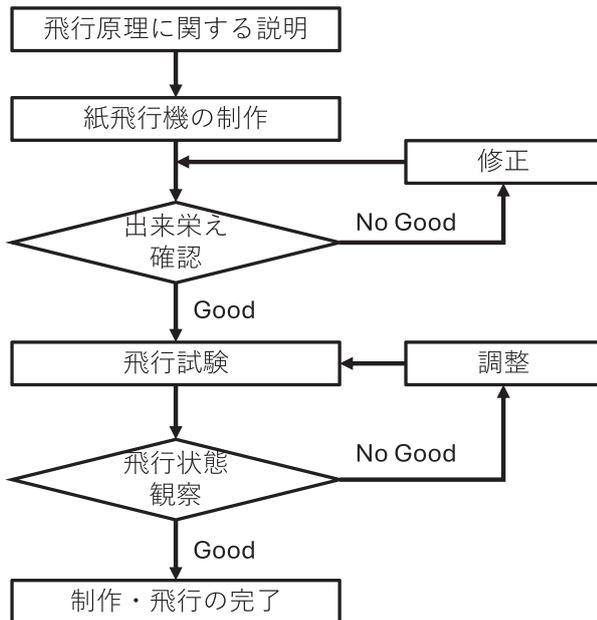


図1 高校生向け紙飛行機教室のプログラム

割（モーメントのつり合い）などの物理現象の理解と制作の出来栄や飛行試験での状態観察を行いながら修正、調整を繰り返すものづくりのプロセスを体験できるプログラムとし、科学（S）、技術（T）、工学（E）の要素を取り入れている。

理系と文系の生徒がおり、理系であっても物理を選択していない生徒も多く含まれていることから、説明の理解度にはバラツキも感じられるが、興味を持った生徒はしっかりと説明を聞いた上で飛行・観察・調整のプロセスを繰り返し、それなりの距離を飛ばすことができるようになる。講義後の感想を読むと「飛行の原理を説明と実験で理解することができた」、「丁寧な制作と微細な調整が飛行性能に繋がることを実感することができた」、「試行錯誤を繰り返す中で飛行距離を延ばせて興味が深まった」などの記載が多く見られ、紙飛行機を通じて科学（S）、技術（T）、工学（E）への関心が高まった様子を感じることができる。

4-2. 小学生等を対象としたSTEM教育

飛行機やものづくりに関するイベント時に紙飛行機教室を実施する機会は多く、小学生が主対象となる。イベントのひとつとして実施する紙飛行機教室は、1時間程度の限られた時間内に制作から飛行までを体験して貰う必要があること、参加者の多くが小学校低学年であるのに対して、学校で「てこの原理」を学ぶのが小学校6年生、「力のつり合い」を学ぶのは中学校3年生であることから飛行原理に関する説明は実施しない。典型的な小学生向け紙飛行機教室の例を表3に示す。

表3 小学生向け紙飛行機教室の例

	実施項目	所要時間
1	自己紹介/進め方の説明	5分
2	紙飛行機の制作	30分
3	紙飛行機の飛行試験	20分
4	振り返り	5分
	合計	60分

参加者の様子を観察すると、対象者が小学校低学年以下の場合には、純粋に紙飛行機を制作するという「ものづくり」の工程と自分が制作した紙飛行機が飛ぶ様子を観察して楽しんでいる子供が多いことが良くわかる。

対象者が小学校高学年になると、指導役の説明を真剣に聞いて、丁寧に正確に制作し、根気良く飛行・観察・調整を繰り返す子供が現れる。彼らは、自分が制作した飛行機の飛び方を慎重に観察し、紙飛行機のどの部分をどのように調整すると、飛び方がどのように変わるかを見極め、調整のコツを習得し、飛行距離を少しずつ確実に伸ばしていくことができる。また、教室が終わる時間には指導役の見本と同等の距離を飛ばすことができるようになる子供もいる。飛行の原理を理解した訳ではないが、科学の不思議さと面白さを体験したものと思われる。

典型的な小学生向けの紙飛行機教室の例として、図2に「OITAものづくり展2024」、図3に「空フェスおおい2025」で実施した紙飛行機教室のアンケート結果を示す。紙飛行機教室の参加者アンケートの結果からは、毎回、「とても楽しかった」と「まあまあ楽しかった」の合計は90%以上であり、全体として高評価を得ている。参加者は、紙飛行機教室を通じて科学の不思議さや楽しさを実感しており、紙飛行機がSTEM教育の良い教材として幼児期からのものづくり体験や科学的な体験の充実に活用できていると考える。

4-3. 大学生を対象とした STEM 教育

筆者は、高等教育機関である大学においても、STEM教育は重要であり、その教材としても紙飛行機が活用できると考えている。近年、理系を選択する、ものづくり

を目指す高校生が減少していると前述したが、工学部に入学した学生も必ずしも高校時代に物理を選択した訳ではなく、小学校～高校までに、ものづくりのプロセスを経験してきた訳でもないからである。

私の研究室では、学生が「紙飛行機教室に適した紙飛行機の最適設計」というテーマで研究に取り組んでいる。学生は材料力学、構造力学、流体力学、飛行力学など航空工学の基礎知識を講義で学んだ後に研究に取り組む。

学生の場合には、取り組む期間が長いので、図4に示すように設計の段階から制作、飛行に至るサイクルを何回か繰り返して改良を図っていく。同時に、実際の紙飛行機教室の指導役やアシスタントを経験して貰う。

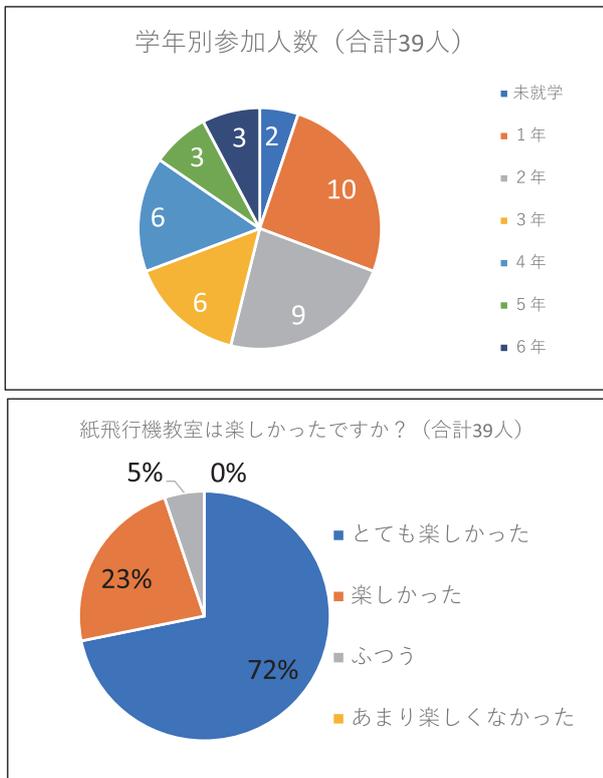


図2 OITAものづくり展2024参加者アンケート結果

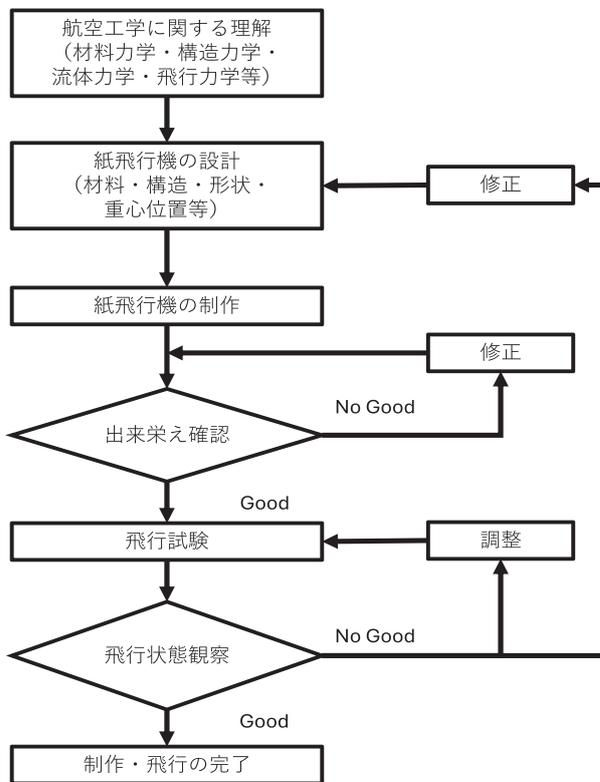


図4 大学における STEM 教育

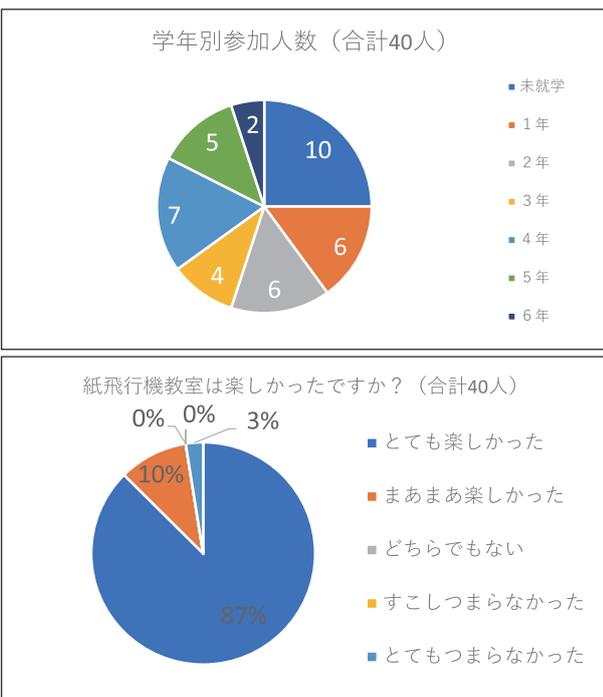


図3 空フェスおおいた2025参加者アンケート結果

航空工学の観点からは、実際の飛行機と紙飛行機では大きさと飛行速度が異なることから、レイノルズ数（空気の粘性の影響）の違いを理解した設計が求められ、紙飛行機の形状や重心位置が実機と大きく異なる理由を科学（S）的に理解する必要がある。また「紙飛行機教室に適した」設計という制約条件により制作時間や調整の容易さを考慮する必要に迫られ、技術（T）的な工夫が求められる。

航空工学の知識だけではなく、自分で考えて「設計」「制作」「飛行」のプロセスを繰り返して改良を図る必

要があり、企画力、構想力、観察力、分析力、課題発見力、課題解決力が求められる。また、小学生を対象とした紙飛行機教室で指導役やアシスタントを行うためには、自身が紙飛行機の特徴を十分に理解した上で、参加者に紙飛行機を楽しんで貰うためのコミュニケーション力や表現力も求められることになる。工学（E）的なものづくりのプロセスに加えて、リベラルアーツ（A）的な取り組みも必要となる。

この様に紙飛行機は、大学生を対象としたSTEM/STEAM教育の教材としても有効に機能していると考えられる。

5. 結論

高校生の「総合的な探究の時間」を活用した紙飛行機教室、小学生を中心としたイベント時の紙飛行機教室、そして大学生を対象とした「紙飛行機教室に適した最適設計」という教育の場面で、紙飛行機がSTEM/STEAM教育の教材としての活用に適しているかを検証した。

高校生を対象とした「総合的な探究の時間」を活用した紙飛行機教室では、文部科学省が推進する「探究活動の充実を通じて、試行錯誤しながら新たな価値を創造し、よりよい社会を実現しようとする態度を育成する」ために紙飛行機が有効な教材のひとつとして活用できることを示したと考えている。

小学生を中心としたイベント時の紙飛行機教室は、幼児期からのものづくり体験や科学的な体験の充実のひとつの場面として紙飛行機が活用できることを示している。

大学生を対象とした「紙飛行機教室に適した最適設計」の研究では、設計・制作・飛行試験のプロセスを繰り返すことが求められ、実社会でのものづくりのプロセスの縮小版を、紙飛行機を教材とすることで体現できていると考える。

この様に紙飛行機は、STEM/STEAM教育の教材として適していると考えられる。

6. 終わりに

これまでも紙飛行機を教員養成課程の学生向けの科学教育に導入した事例⁽⁵⁾や航空工学を学ぶ学生が主体となって紙飛行機教室を開催した事例⁽⁶⁾については、その有効性が報告されているが、日本の初等中等教育にお

けるSTEM/STEAM教育の授業実践については試行の段階にあり、今後の取り組みと研究が期待されている。

筆者は米国の航空機メーカーであるボーイング社が2024年11月に日本各地で実施したSTEMプログラム⁽⁷⁾のひとつを見学した。これはボーイング社がシアトル航空博物館と協力して、空飛ぶおもちゃを使用して飛行の原理を楽しく学ぶサイエンスショーであるが、参加した小学生からは大好評であった。大分県には航空博物館や科学博物館は設置されていないが、大学がサイエンスショーを開催するような試みがあっても良いと考える。このような場面においても、紙飛行機はSTEM教育の手軽な教材のひとつとして活用できるであろう。

参考文献

- (1) これまでのSTEM教育と今後の展望, 新井健一, STEM教育研究 Vol. 1 (2018)
- (2) 科学教育の研究におけるSTEM/STEAM教育を指向した取り組みの動向に関する整理, 丸山雅貴, 森田裕介, 日本科学教育学会第44回年会論文集 (2020)
- (3) STEAM教育等の教科等横断的な学習の推進について, 文部科学省初等中等教育局教育課程課, 文部科学省, https://www.mext.go.jp/content/2024_0401-mxt_kyouiku01-000016477.pdf (2025年5月26日閲覧)
- (4) STEAM教育の視点から分析した総合的な学習および探究の時間における授業実践と課題, 大谷忠・田中若葉・木村優里・原口るみ, 東京学芸大学紀要 教職大学院 75 (2024)
- (5) 教員養成課程学生のための科学教育における「ものづくりの過程」の導入, 千葉大学教育学部研究紀要 第64巻 (2016)
- (6) 学生を主体とした小学生向け理科講座の教育効果—航空工学を学ぶ大学生による紙飛行機教室の開催と運営に向けた取り組み—, 佐々木大輔, 河野昭彦, 平澤一樹, 須田達, 公益社団法人日本工学教育協会 平成27年度工学教育研究講演会講演論文集
- (7) 小中学生対象のSTEMプログラム, 日本の教育機関との連携, Boeing <https://www.boeing.jp/boeing-in-japan/education> (2025年6月9日閲覧)

〔事例報告〕

加振器を用いた学生実験および研究展示

松原 力哉*, 中山 周一*, 有吉 雄哉*, 室園 昌彦*

*日本文理大学工学部航空宇宙工学科

Resonance Testing Using Vibrator and its Display

Rikiya MATSUBARA*, Shuichi NAKAYAMA*, Yuya ARIYOSHI*, Masahiko MUROZONO*

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

1. はじめに

共振・共鳴は、弦楽器や管楽器から出る音を応用例として高校物理の教科書⁽¹⁾に記載されているように応用範囲が広い力学現象である。日本建築学会による「阪神・淡路大震災を振り返り、来たる大地震に備える（建築振動研究に課せられたもの）」シンポジウム⁽²⁾に例を見るように剛に見える建築構造物でも共振などの振動問題が発生する。軽量が求められる航空宇宙分野では柔軟な構造が多く共振が問題になることが多いといえるが、共振は機械や建築も含め構造物を扱う工学分野に共通する問題であり、その適用範囲は広い。本学航空宇宙工学科では2024年度に加振器（エミック製513-B）を導入し、共振実験を始めた。本事例報告では、片持ち梁の共振の学生実験の紹介と同実験に関する理論およびシミュレーションの他、平板の共振のオープンキャンパス展示について報告する。

2. 金属梁の共振実験，理論およびシミュレーション

2-1 学生実験

加振器に金属梁を取り付け加振すると図1に示すような共振を目視で観察することができる。航空宇宙工学科では2024年度の後期から2年次の必修科目：航空工学実験1の中で本加振器を用いた共振実験を始めた。



図1 片持ち梁の共振（1次モード11.6Hz）
（本写真は学生実験ではなく2-4追加実験時のもの）

加振器はファンクションジェネレータからの信号入力に応じた振動を発生させるので、学生実験では、ファンクションジェネレータで周波数を調整する学生と、金属板の振れを目視で観察する学生の連携により振動数の設定を変えて共振条件を探すことを基本としている。その様子を図2に示す。

金属梁にはおもりを取り付けられる穴を設けてあり、学生実験では図3に示すとおり、おもりの追加により共振振動数が変化する様子を記録させている。ある固有振動数を持つ構造体に質量を追加すると、固有振動数が低下し、元の状態では問題にならなかった共振が発生する

ことがあるということを感じさせることを意図している。

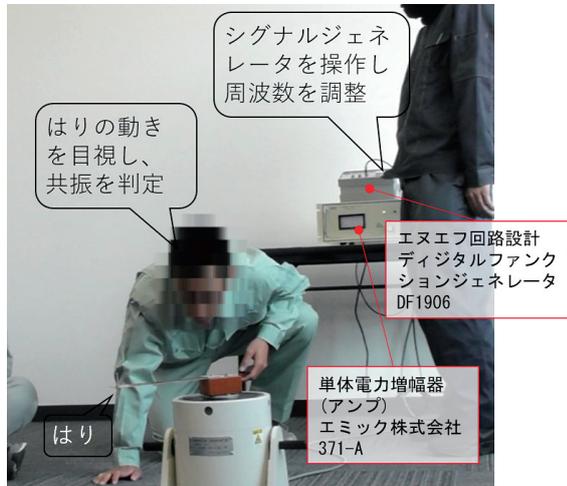


図2 学生実験の様子

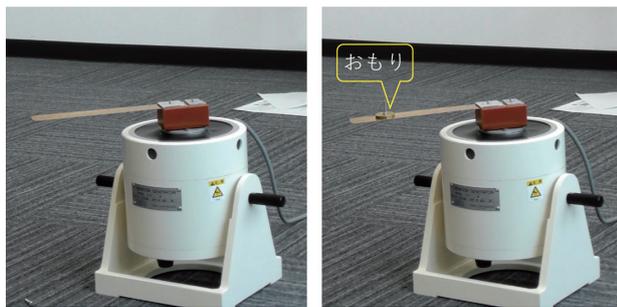


図3 学生実験でのおもりの設定

金属梁の支持条件を図4に示し、実験機器については表1に示す。金属梁の諸元等は次節に示す。



図4 金属梁の支持条件

表1 実験機器

加振器	エミック株式会社513-B ⁽³⁾
アンプ	単体電力増幅器 エミック株式会社371-A ⁽³⁾
ファンクションジェネレータ	株式会社エヌエフ回路設計ブロック デジタルファンクションジェネレータ DF1906 ⁽⁴⁾

2-2 理論

振動によって生じるたわみは時間 t と梁の長手方向の梁の根元からの長さ x に依存するので $w(t, x)$ と表す。梁の微小要素の x 軸方向の長さを dx 、微小要素の断面積を A 、微小要素の密度を ρ とすると、微小要素の質量は $\rho A dx$ となるので、微小要素のたわみ方向の運動方程式は次式のとおりになる。

$$(\rho A dx) \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = F \tag{1}$$

材料力学に基づくと、たわんだ梁のたわみ方向に下向きにはたらく力を正とするせん断力 F と曲げモーメント M の関係は(2)式で表せる。 E をヤング率、 I を断面2次モーメントとすると、たわみ $w(t, x)$ と曲げモーメント M の間には(3)式が成り立つ。

$$F = \frac{\partial M}{\partial x} \tag{2}$$

$$M = -EI \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \tag{3}$$

(1)式に、(2)式を代入し、さらに(3)式を代入すると次式のとおりになる。

$$\begin{aligned} (\rho A dx) \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} &= \frac{\partial M}{\partial x} \\ &= \frac{\partial}{\partial x} \left(-EI \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right) \\ &= -EI \frac{\partial^3 w}{\partial x^3} \end{aligned} \tag{4}$$

よって、これを x で偏微分し次式を得る。

$$\frac{\partial^2 w}{\partial t^2} + \frac{EI}{\rho A} \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} = 0 \tag{5}$$

上式の解について、 $w(x) = \sin \beta x$ と仮定し、角固有振動数を ω としたときの時間に応じた変化を表す $\sin \omega t$ と $w(x)$ の積として表す。

$$w = w(x) \sin \omega t = \sin \beta x \sin \omega t \tag{6}$$

(6)式を(5)式に代入すると次式が得られる。

$$-\omega^2(\sin \beta x \sin \omega t) + \beta^4 \frac{EI}{\rho A} (\sin \beta x \sin \omega t) = 0 \quad (7)$$

梁のたわみ振動では(7)式を満足するためには、次式が成り立つ必要がある。

$$-\omega^2 + \beta^4 \frac{EI}{\rho A} = 0 \quad (8)$$

よって、 i を虚数単位として、 β は次式の4つになる。

$$\beta = \pm \sqrt{\omega \sqrt{\frac{\rho A}{EI}}}, \pm i \sqrt{\omega \sqrt{\frac{\rho A}{EI}}} \quad (9)$$

(6)式の $w(x)$ を $\sinh \beta x$, $\cos \beta x$, または $\cosh \beta x$ としても、(7), (8), (9)式が成り立つ。 $w(x)$ は、(10)式のとおり、三角関数 \sin , \cos , 双曲線関数 \sinh , \cosh の4つそれぞれに係数を掛けて表す。係数を C_1, C_2, C_3, C_4 とする。

$$w(x) = C_1 \cosh \beta x + C_2 \sinh \beta x + C_3 \cos \beta x + C_4 \sin \beta x \quad (10)$$

2-1の実験の金属梁の根元 ($x = 0$) は固定端であるため $w = 0$, $w' = 0$ となる必要があることから、(10)式より次の関係が成り立つ。

$$C_1 + C_3 = 0, C_2 + C_4 = 0 \quad (11)$$

金属梁の $x = l$ は自由端であり、剪断力が零、曲げモーメントも零になることから、 $w'' = 0$, $w''' = 0$ となる必要があるため、(10)式と(11)式から(12)式の C_1, C_2 に関する連立方程式が得られる。

$$\begin{cases} C_1(\cosh \beta l + \cos \beta l) + C_2(\sinh \beta l + \sin \beta l) = 0 \\ C_1(\sinh \beta l - \sin \beta l) + C_2(\cosh \beta l + \cos \beta l) = 0 \end{cases} \quad (12)$$

この連立方程式を行列の積で表すと次式になる。

$$\begin{bmatrix} \cosh \beta l + \cos \beta l & \sinh \beta l + \sin \beta l \\ \sinh \beta l - \sin \beta l & \cosh \beta l + \cos \beta l \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} C_1 \\ C_2 \end{Bmatrix} = \{0\} \quad (13)$$

零ではない C_1, C_2 が存在するためには、(13)式の左辺の行列の行列式が零になる必要があり、(14)式が得られる。

$$\cosh \beta l \cos \beta l + 1 = 0 \quad (14)$$

(14)式について、 βl を横軸にとり、図5のグラフを作成した。

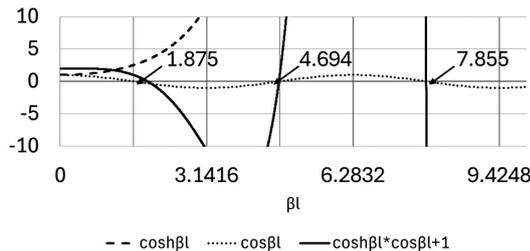


図5 $\cosh \beta l \cos \beta l + 1$

図5のとおり、(14)式を満たす βl は無限に存在するため、梁の振動には無限にモードが存在し、モードごとに梁のたわみや固有振動数がある。

次に、たわみの理論解を求める式を求めた。(10)式を(11)式および(14)式の関係から書き換えた(15)式を得る。

$$w(x) = C_1(\cosh \beta x - \cos \beta x) + C_2(\sinh \beta x - \sin \beta x) \quad (15)$$

(15)式を2階微分し、 $x = l$ で $w'' = 0$ となることから(16)式を得た。

$$w'' = C_2 = -\frac{\cosh \beta l + \cos \beta l}{\sinh \beta l + \sin \beta l} C_1 \quad (16)$$

最後に(16)式について、たわみ $W(x) = \frac{w(x)}{-C_1}$ と考え、(14)式を満たす n 次モードの βl を、 $\beta_n l$ とした場合に、梁の根本 ($x = 0$) からの長さ x におけるたわみを $W_n(x)$ とすると、(17)式が得られる⁽⁵⁾。

$$W_n(x) = (\cos \beta_n x - \cosh \beta_n x) - \frac{\cos \beta_n l + \cosh \beta_n l}{\sin \beta_n l + \sinh \beta_n l} (\sin \beta_n x - \sinh \beta_n x) \quad (17)$$

(14)式を満たす βl の値を使うことで、2-1の実験の金属梁のような、一端固定で他端自由の梁のたわみの理論解を求めることができた。図6にたわみの理論解を示す。

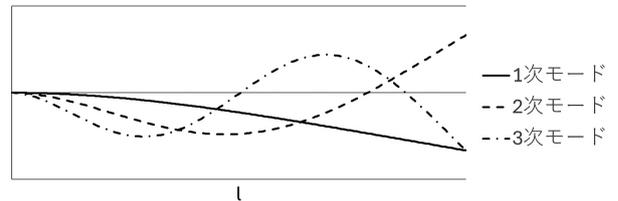


図6 $W_n(x)$ の理論解

2次モードの節の位置も求められた。「節」は、2次モード以上の振動で生じる、たわみが零になる点のことを表す。節に対して、振動でたわみが大きくなる部分は「腹」といわれる。計算の結果、節の位置は根本から先端までの長さ ($x = l$) に対して約78.2%となることが分かった。たわみと同様に、固有振動数の理論解も求められた。 n 次モードの固有振動数 f_n は、角固有振動数を ω_n , E をヤング率, I を断面2次モーメント, ρ を梁の密度とすると(9)式より(18)式で表される。

$$f_n = \frac{\omega_n}{2\pi} = \frac{\beta_n^2}{2\pi} \sqrt{\frac{EI}{\rho A}} \quad (18)$$

金属梁の固有振動数の計算には表2の値を用いた。

表2 金属（リン青銅）梁の諸元

梁の根本から先端までの長さ(mm)	220
梁の幅(mm)	38
梁の厚さ(mm)	1
ヤング率(GPa)	110 ⁽⁷⁾
密度(kg/m ³)	8800 ⁽⁷⁾
断面2次モーメント(m ⁴)	3.167 × 10 ⁻¹²

固有振動数 f_n の計算結果とその計算に用いた $\beta_n l$ を表3に示す。

表3 固有振動数の理論解

モード	$\beta_n l$	f_n (Hz)
1次モード	1.875	11.800
2次モード	4.694	73.952
3次モード	7.855	207.088

2-3 固有振動数とモード形状のシミュレーション

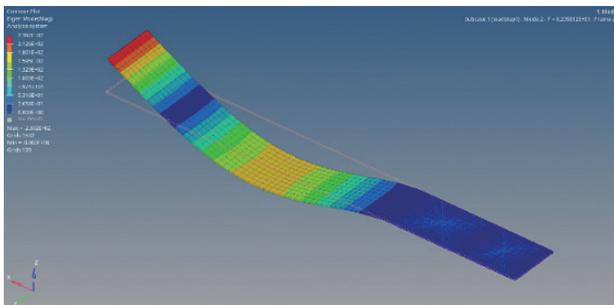


図7 シミュレーションの2次モード

2-1の金属梁のモードごとの固有振動数とモード形状を Altair HyperWorks⁽⁶⁾によるシミュレーションで求めた。シミュレーションには、表2の物性値と図8の

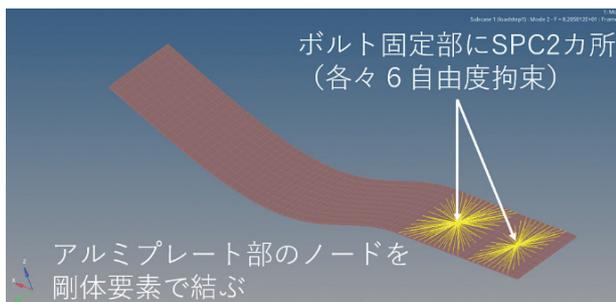


図8 金属梁のシミュレーションの支持条件

支持条件を設定し、解析の種類（Load Steps）には Normal Modes を使用した。

シミュレーションで求めた固有振動数を表4に示す。

表4 シミュレーションの固有振動数

モード	シミュレーション(Hz)
1次	13.112
2次	82.058
3次	140.679
4次	230.282

2-4 追加実験

学生実験とは別に、学生実験と同じく表1の実験機器を使って、金属梁の2次モードの固有振動数を実験で調べた。その結果、2次モードの固有振動数は73.0Hzと分かった。同実験を行った際は、2-2の理論の検討が不十分だったため、シミュレーションで求めた2次モードの固有振動数を加振器の振動数として設定した後、それに近い範囲で0.1Hzずつ振動数を変化させた。ファンクションジェネレータで73.0Hzの振動数で加振するように設定した際に、目視で金属梁の先端の振幅が最大になるのを確認したので、73.0Hzを2次モードの共振と見なした。金属梁の2次モードの共振の様子を図9に示す。

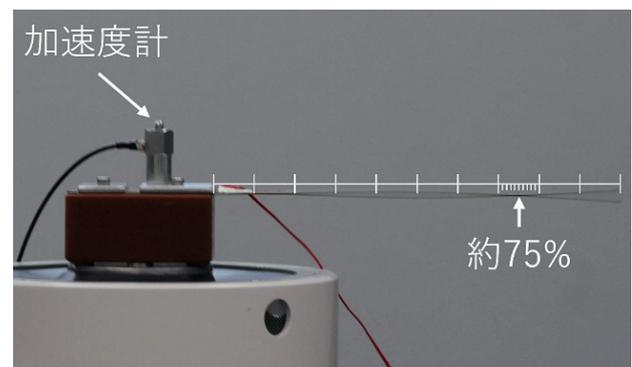


図9 2次モードの共振 (73.0Hz)

図9に示すように、2次モードの振動では節を約75%の位置に確認できた。2-2の理論から求めた1次モードから3次モードまでの固有振動数の理論解に対して、追加実験の固有振動数と、シミュレーションとの比較結果を表5に示す。

追加実験で確認した固有振動数は、理論解に近い結果となった。高次のモードでは梁の振幅が小さく、3次以上のモードを実験で確認することはできなかった。

シミュレーションの3行目の140.679Hzは、ねじりを伴うモードとなっている。

表5 固有振動数の比較

梁理論(Hz)		実験(Hz)	HyperWorks(Hz)
1次モード	11.800	11.6	13.112
2次モード	73.952	73.0	82.058
*	*		140.679
3次モード	207.088		230.282

* 2-2の理論では奥行を考えていないのでねじりを伴うモードは出てこない

本実験の中で、加振器ヘッドに加速度計を取り付け加速度の計測を行った(図9に写っているのが加速度計)。加速度計は、昭和測器の圧電型加速度検出器2300Aを使用した。ファンクションジェネレータを使って、加振器の振動数を4Hz、11.6Hz、20Hzに設定した時の加速度を計測した。それぞれの振動数での加速度の計測結果から1秒間の波形を取り出し、図10にまとめた。図10の計測は、図9と異なり、金属梁は加振器から取り外された状態で行った。

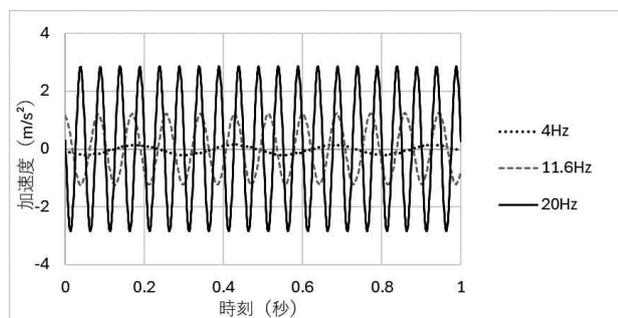


図10 加速度の計測結果

図10より、横軸の0.0秒から1.0秒までのそれぞれの波の数を数えると、ファンクションジェネレータで設定した4Hz、11.6Hz、20Hzのsin波形で加振されていることを確認した。

3. 中心支持された平板の共振

加振器に平板を取り付け振動させ、塩等の粒子を振ると、加振器の振動数を変えることで、平板上の粒子が節に集まることでできる模様の変化していく様子が観察できる。HyperWorksによる振動のシミュレーションを2-3と同様にアクリル平板に対しても実施し、モード

ごとに平板の変形を計算した。シミュレーションでは、図11に示すとおり、板の中心のノードを6自由度固定し、表6の物性値を使用した。

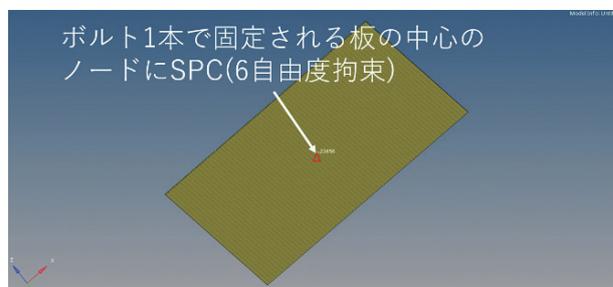


図11 平板のシミュレーションの支持条件

表6 平板のシミュレーションに使用した物性値

ヤング率(MPa)	3000 ⁽⁸⁾
密度(kg/m ³)	1190 ⁽⁸⁾
ポアソン比	0.35 ⁽⁸⁾

図12のように、赤色や橙色の部分が変形の度合いが大きい腹といわれる部分は粒子を払い除けるため、青色の節といわれる振動しない部分に塩の粒子が集まりモード形状を示す模様を得られる。

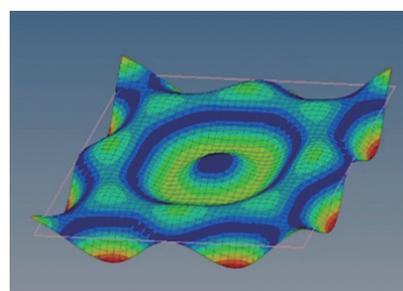


図12 シミュレーションの29次のモード形状

アクリル平板に対する加振周波数を変えることで、塩の模様に変化していく実験を2025年度のオープンキャンパスで展示した。この実験には、長さ350mm、幅350mm、厚さ1mmのアクリル板を使用した。実験は、図13に示すとおり、アクリル板が加振器に干渉しないように、加振器とアクリル平板の間に円形の樹脂ブロックを挟んでボルトで固定した。

その結果、図14に示すように、加振器の加振周波数を変化させると塩の模様に変化することを確認できた。本報告執筆時点で、2025/03/11附属高校、3/29オープンキャンパスの2回で実施した。この2回において見学した高校生から「周波数変えるだけで模様が変わるのはなぜ」

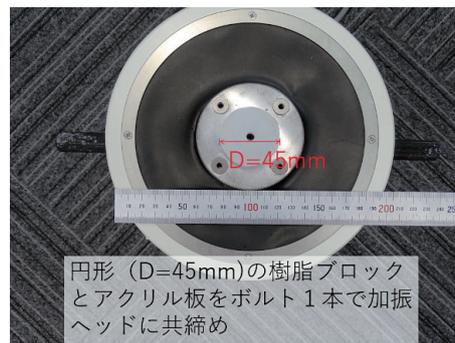


図13 アクリル平板の支持条件

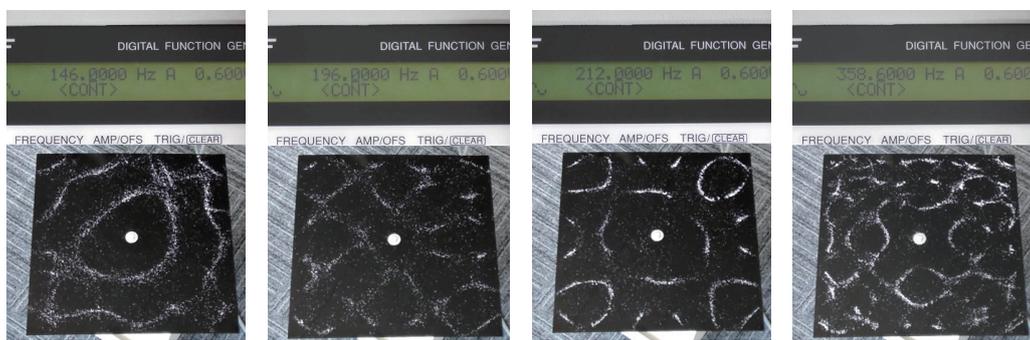


図14 実験で見られた平板の代表的な振動モード事例

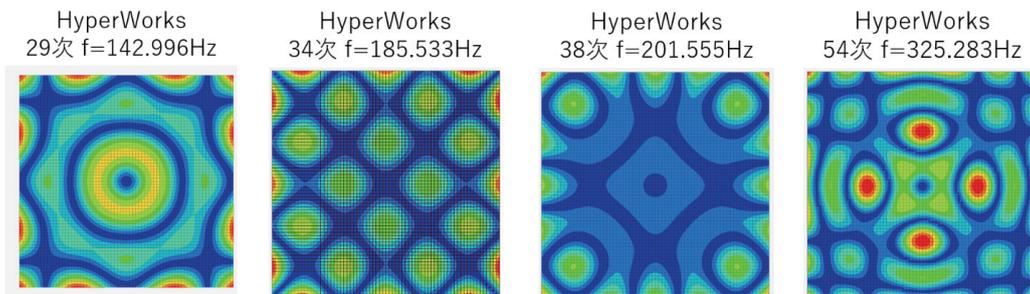


図15 図14に対応するシミュレーションの振動モード事例

と質問があり、関心を惹いていることが確認された（その日、全体を通じて具体的な質問として出たのは本質問のみ）。

実験の平板の様子を撮影した動画と HyperWorks によるシミュレーションの結果を見比べて、実験とシミュレーションで同じ模様があるかどうかを調べた。その結果、シミュレーションの29次、34次、38次、54次のモードに、実験で見られた模様と同じような模様が確認できた。その代表的な事例を表7に示す。固有振動数の誤差を計算すると、2%から10%となった。

図14に示す、実験で見られた代表的な振動モード事例に対応するシミュレーションの振動モードとして、29

次、34次、38次、54次のモード形状を図15に示す。図14と図15で模様がおおむね一致していることがわかる。

表7 アクリル平板の代表的な振動モードの固有振動数

実験 (Hz)	シミュレーション(Hz)	誤差(%)
146.0	モード29 142.996	2.1
196.0	モード34 185.533	5.6
212.0	モード38 201.555	5.2
358.6	モード54 325.283	10.2

4. まとめ

片持ち梁の共振について、学生実験では、学生が片持ち梁の1次モード共振を観察した。学生実験とは別に2次モード共振まで確認することができた。片持ち梁の理論およびシミュレーションから、1次から3次モードまでの梁のモード形状と固有振動数を示した。

平板の共振実験では、塩を振ることで数百 Hz の高次の振動モードを目視で確認できた。塩等の細かい粒子は、平板の高次の振動モードの確認に役立つことを改めて認識した。同実験のオープンキャンパス展示では、高校生からの質問もあり、関心を惹いていることが確認された。

今後の加振器を使った実験としては、樹脂板（塩ビかアクリル）の片持ち梁の2次モードの固有振動数を観察できるような条件設定を検討中である。

参考文献

- (1) 改訂版基礎物理, 数研出版など
- (2) 日本建築学会, 阪神・淡路大震災を振り返り, 来

る大地震に備える - 建築振動研究に課せられたもの - 2011年3月7日, <http://news-sv.ajj.or.jp/kozou/s46/FILES/symposium20110307.pdf>

- (3) エミック株式会社, 513シリーズ98N~196N, <https://www.emic-net.co.jp/download/file/pdf/CL-142-14-J.pdf> (参照日2025年8月29日).
- (4) 株式会社エヌエフ回路設計ブロック, デジタルファンクションジェネレータ DF1906, <https://www.nfcorp.co.jp/pro/mi/sig/df1906/> (参照日2025年8月29日).
- (5) Rao, S.S., Vibration of Continuous Systems, Wiley, p. 335.
- (6) Altair Engineering Inc, Altair HyperWorks, <http://altairjp.co.jp/altair-hyperworks> (参照日2025年8月26日).
- (7) JX 金属株式会社, ハイパーリン青銅・リン青銅成分・特性一覧, <https://www.jx-nmm.com/products/alloy/copper/05pb/> (参照日2025年6月12日).
- (8) 伝熱解析材料物性研究室, PMMA アクリル樹脂 (Acrylic resin), <http://materiallab.seesaa.net/article/155240823.html> (参照日2025年6月12日).

(2025年6月16日受理)

〔事例報告〕

インストラクショナル・デザイン理論を活用した 学生の成長意識向上に関する実証研究

坂井 美穂*, 松原 かおり*, 瀧上 千香子*², 吉村 充功*³

*日本文理大学工学部情報メディア学科

*²日本文理大学工学部*³日本文理大学工学部建築学科

An Empirical Study on Enhancing Students' Growth Awareness Through Instructional Design Theory

Miho SAKAI*, Kaori Matsubara*, Chikako FUCHIGAMI*², Mitsunori YOSHIMURA*³

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

*²School of Engineering, Nippon Bunri University*³Department of Architecture, School of Engineering, Nippon Bunri University

1. はじめに

高等教育においては、「主体的・意欲的に学ぶ」学生の成長が重視されている。本学のアドミッション・ポリシーでも、学習者中心の教育の実現が教育・研究改革の基本方針とされている。その一環として、2023年度の教育・研究改革推進事業においては、インストラクショナル・デザイン理論 (Instructional Design: 以下 ID 理論) に基づくスモールステップ・ユニット学習 (SSU) を文章表現および化学リテラシーの科目に導入し、成果を上げた。

2024年度はその成果を発展させ、新たに実技系の科目である広告デザインを追加し、各科目における学生の成長実感を実践的に検証し、個別有効でありながら共通化可能な教育システムの構築を目指した。

また、文章表現では ChatGPT などの生成 AI を課題として利用し、課題内容の文章を自ら考え、書く力を育てる教育手法を設計する文章表現とグループワークやグループによる発表を取り入れた教育手法である化学リテラシー、感性を磨き、問いを立てて考え抜く訓練を通じ

て成長実感を強化することを広告デザインでは指向した。上記の取組みを通して予想される効果は次のとおりであると仮定した。

- (1) 教員による動画教材の作成や教材の分かち合いを通じた教育デザイン能力の向上。
- (2) 講義外の実践を前提とした学習習慣の形成。
- (3) 学外活動の組み合わせにより新たな興味・関心領域を抽出する機会の提供。

2. 研究体制と方法

本年度の事業の参加者は次の通りである (表1)。

表1 2024年度 事業参加者および担当内容

事業参加者名	担当内容
坂井美穂	教育デザイン, 文章表現実践, 化学リテラシー実践
瀧上千香子	文章表現教育実践
松原かおり	情報デザイン系科目教育実践
吉村充功	総括

実践対象は次の3科目とし、同一日本文理大学情報メディア学科の学生を対象に実施した。

- (1) 文章表現：SSU 学習を用いた階層的学習構造
- (2) 化学リテラシー：ARCS モデルに基づく学習構成
- (3) 広告デザイン：美術鑑賞、造形ワークなどを組み合わせた感性育成型学習

3. 取組結果

3.1. 授業比較の概要

比較対象とした3科目（文章表現・化学リテラシー・広告デザイン）の概要と、それぞれに導入された学習デザイン手法（SSU, ARCS, 美術鑑賞・造形ワーク）を示した。いずれの授業も学習理論に基づいた設計により、異なるアプローチで感性や思考力の育成に取り組んでいる。

3.2. 文章表現（瀬上担当）

工学部・文章表現では今年度より主担当の変更（坂井→瀬上へ・敬称略）をおこなった（図1）。講義手法はモジュールステップ・ユニット学習（SSU 学習）であり、今年度は新規に課題提出時、第10回から第14回まで各3回、語彙定着確認小テストを行った。



図1 担当者交代（瀬上主体で運営）

SSU 学習によって、学生の96%が成長を実感していた。（図2, 3）4%の学生は成長をやや感じないと回答していたが、成績内容はB評価以上が5名、E評価以下が2名であった。

（多く間違えた文章；体言止めは使用してはならないと指導している。「プライバシーの侵害」や「詐欺への使用」など人権や安心を脅かす行為。）

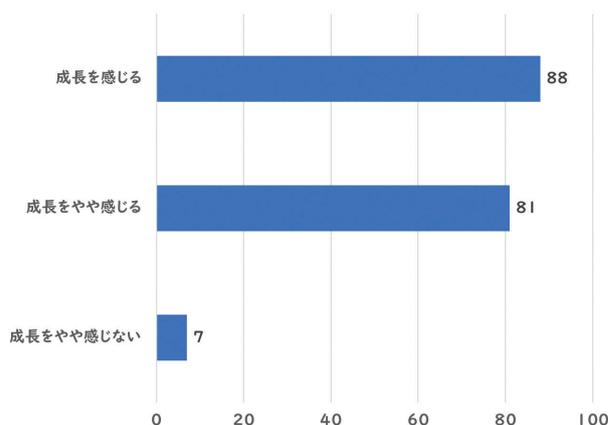


図2 文章表現を受講したことで文章を書くことについて成長を感じたかどうか

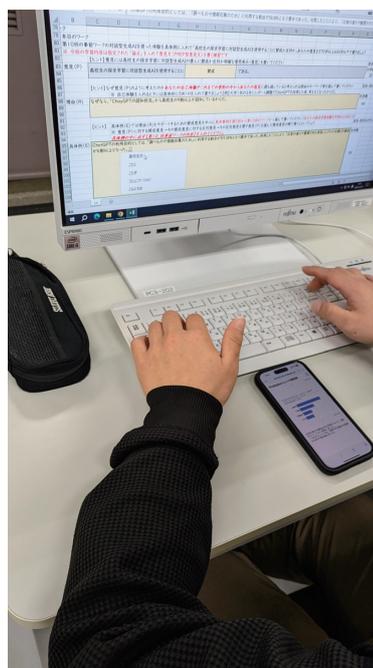


図3 文章表現中の講義状況
(上) 全体の授業風景
(下) スマートフォンを活用して学習している学生

語彙定着小テストでは体言止めの誤用が多く見られたが(図4), それを「学びに変える」仕組みとしてフィードバックを活用することで, 誤用をきっかけとした言語能力の向上が見られた。

分析情報

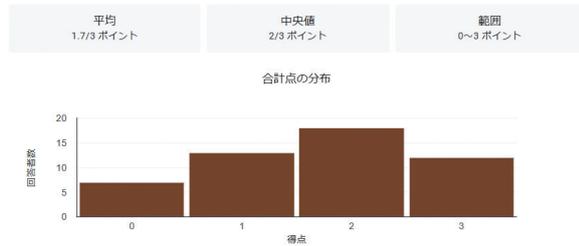


図4 第10回小テストの結果例

3.3. 化学リテラシー (坂井担当)

化学リテラシーではインストラクショナル・デザインのARCSモデル導入し, 講義後とのワークシートの導入を行い, 学生の理解度が上がる工夫を行った。

ARCSモデル(注意・関連性・自信・満足)に基づく講義構成により, 学生の育てたい力は以下の3つである。

- ① 化学アレルギーの低減(テーマの簡略化・身近な事象化による自分事化)
 - ② 問いに対する言語化(ワークシート・毎回のレポート)
 - ③ 1分間のプレゼンテーション(最終講義)
- 1分間のプレゼンテーションを通して, 学生アンケートでは「面白い」「理解できた」「化学が身近に感じられた」といった肯定的評価が多数を占めた(図5-7)。

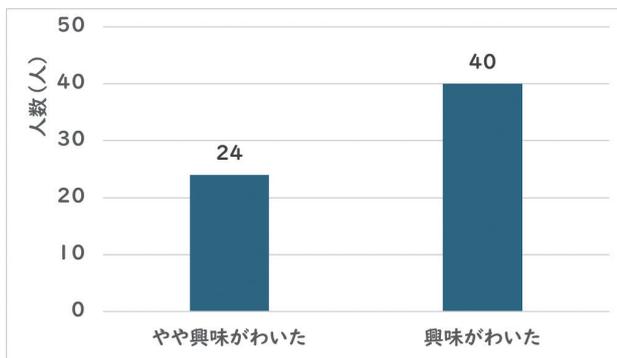


図5 この講義を受講して化学に対して興味があったかどうか (N=64)

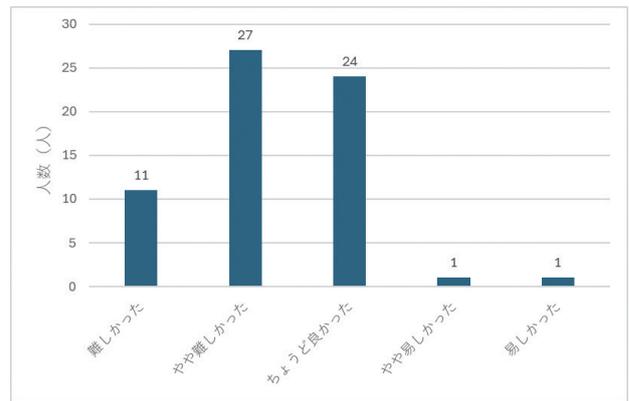


図6 授業の難易度について

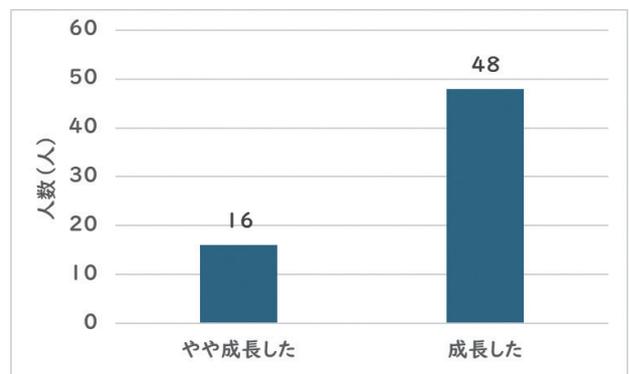


図7 講義受講後の学生の成長実感

難しかった(11名), やや難しかった(27名)と回答しながらも, 化学に対し興味をもち, 成長を感じていた。

授業後の自由記述からも, 身近なテーマと自己との関連づけが深い学びを誘発したことがうかがえる。

3.4. 広告デザイン (松原担当)

広告デザインでは大分県立美術館(OPAM)で開催された「生誕120周年サルバドール・ダリー天才の秘密」展を授業の一環として鑑賞したことを示しており, 視覚的感性とデザイン思考の育成を目的として, 授業中に訪問・アンケートを実施した。

美術鑑賞会後のアンケート結果(図8), 29名中26名が回答した。

ダリの作品は 1好き or 4嫌い
26件の回答

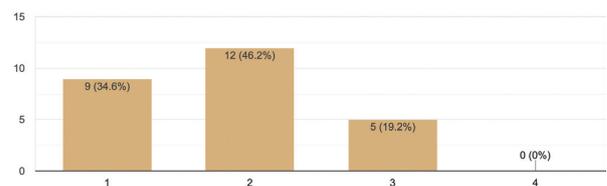


図8 ダリ展鑑賞後のアンケート回答

ダリの作品について8割を超える学生が好き、やや好きと回答していた（図8）。その他のアンケートの結果より美術鑑賞を通じて得た気づきや感情の動きが読み取れた。

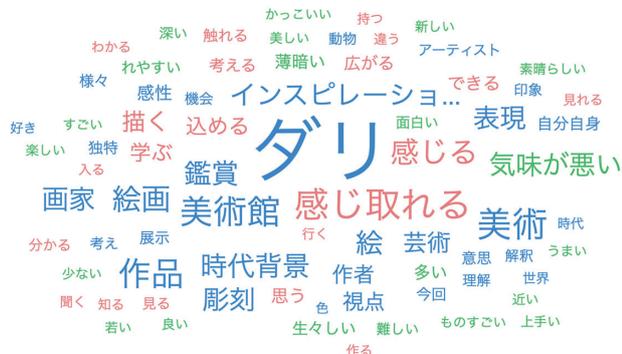


図9 ワードクラウド（自由記述）

自由記述をもとにしたワードクラウドで、「新しい視点」「発見」「表現」「感性」などの語句が強調され、創造性喚起に資する学びが視覚化された（図9）。

図10では、共起キーワードによる意見の構造化図が掲載され、学生の多角的な作品理解が示唆された。

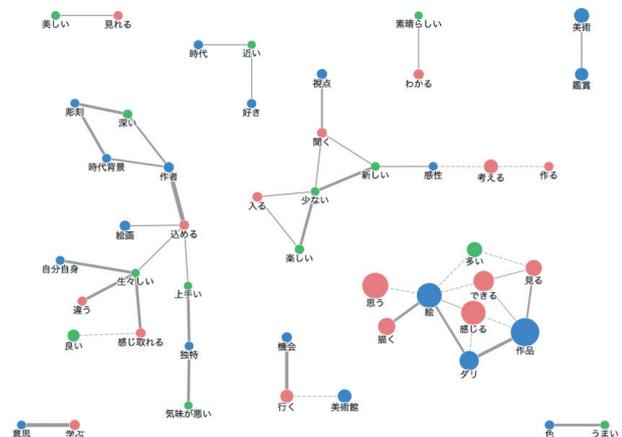


図10 自由記述の共起ネットワーク

造形授業の実践では、美術的感覚を高め、創造的思考を養うことを目的とした。その実施内容は、以下の4項目である。

- ① 色彩構成：色のバランスや配色の基礎を学ぶ
- ② シーボルトの植物図鑑模写：観察力と描写力を鍛える
- ③ フェナキスティスコープ制作：アナログアニメーションの仕組みを理解
- ④ グループワーク「ピタゴラススイッチ」：構成力・協働力を育成

この授業を受けた成果は、造形の基礎力向上と創造性の発展、チームワークを活かした表現力の向上がみられ学生自身が成長を感じていた。



図11 造形活動の自由記述をもとにしたワードクラウド

「表現」「工夫」「楽しかった」「新しい発見」などの語句が目立ち、学生の肯定的気づきが集積されている（図11）。

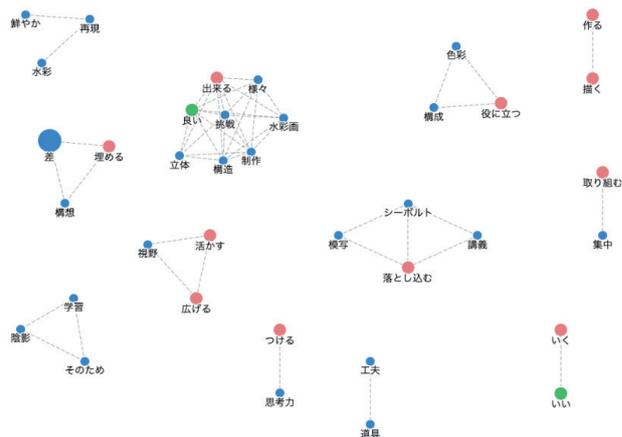


図12 造形授業の共起キーワード図

「知識」「感性」「協働」「達成感」などが相互に関連づけられ、多面的成長が可視化されている。

4. 考察

すべての科目に共通して見られたのは、階層的構造、体験と言語化の反転、自己との関連づけが成長実感に寄与していた点である。SSU 学習や ARCS モデルのような理論を基盤とすることで、学生の内発的動機づけが高まり、授業への没入度や学びの持続性が向上したと考えている。

また、ChatGPTなどのAI活用については、便利さに依存させるのではなく、批判的思考を促す材料として

位置づけることで、学習倫理や自己表現の重要性を再認識させる効果も確認された。

5. おわりにと今後の展望

- ① 文章表現ではSSU学習を行うことで、96%の学生が成長を感じることができた授業デザインであった。
- ② 化学リテラシーではARCSモデルを取り入れることで難易度化学に対する興味、自己成長実感で良い評価を得ることができた。
- ③ 広告デザインでは、チームワークを活かした表現をするためには、造形の基礎力向上と創造性の発展が必要であった。

今後の展開としては、文章表現はテーマの作りこみ、化学リテラシーではワークの作りこみが必要である。本研究により、講義・実技を問わず、ID理論を活用した授業デザインが学生の成長実感を促す上で有効であることが明らかとなった。今後は、フィードバック自動化、可視化支援ツールの開発・展開とともに、学部横断型の授業設計支援モデルへと発展させていくことを目指す。

6. 2024年度発表実績

- 1) 坂井美穂, 「大学における生物および化学リテラシーの教育デザイン研究を活用した実践報告」, 理科教育学会九州支部大会発表論文集 第50巻, pp. 73
- 2) 坂井美穂・東寺祐亮, 「2023年度工学部入学生のモールステップ・ユニット学習の実践報告」, 初年次教育学会第17回大会発表要旨集, pp. 82-83
- 3) 坂井美穂・淵上千香子・東寺祐亮・吉村充功, 「初年次工学部における日本語ライティング教育の実践」, 実践賞・優秀賞受賞 (2024年度)
- 4) 坂井美穂・淵上千香子・東寺祐亮, 「コロナ前後の文章作成における学生の実態と今後の教員の役割について」, 日本リメディアル教育学会 ICT 部会企画
- 5) 坂井美穂・淵上千香子, 「工学部・文章表現の学びを支えるExcel個別最適化ワークの活用実践報告」, UeLA フォーラム2024およびJADE & UeLA 合同フォーラム (2024年3月4・5日) 発表

謝辞

本研究は令和6年度学長裁量教育研究費の助成を受けて実施されたものである。ここに深く感謝の意を表す。

(2025年6月16日受理)

〔事例報告〕

デジタル画像制作の教育実践に関する一報告 — 造形表現における素材の扱いの観点から —

足 立 元*

*日本文理大学工学部情報メディア学科

Report on the Educational Practice of Digital Image Production — From the Perspective of Handling Materials in Artistic Expression —

Hajimu ADACHI*

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

1. 概要

デジタル画像制作における素材の扱いは、画像制作における最も重要な観点の一つである。なぜなら素材の様相が造形作品を観る者の感情に働きかけると考えられるからである。

造形作品を観る者の感情に働きかける他の観点には、形やその配置、配色などがあり、それぞれが関連しつつ作品の中に構成されて表現が成立する。筆者はそれらの中で素材の扱いを画像制作において最も注意を払うべき観点の一つだと考えている。

本報告はこれに関する実践であり、学生の課題作品制作の一事例を報告する。この授業は毎年実施しているが本報告では最も新しい2024年度の事例を報告する。

2. 「質感化」について

本報告では質感化の観点から学生の課題作品を考察する。これは造形素材の扱いに関する一概念である。

デザイナー、アーティスト、教育者として著名なブルーノ・ムナリはヴィジュアルメッセージの媒体の一つにテクスチャーを挙げている。そしてテクスチャーは素材表面を質感化することによって生まれると考え

た¹⁾。筆者はこれを基に、質感化の観点から造形表現における素材の扱いについて考察することを研究テーマとしている²⁾。

3. 授業の目的及び授業課題の位置付け

3-1 「コンピュータグラフィックス基礎」について

本報告では「コンピュータグラフィックス基礎」の授業実践について報告する。この授業は情報メディア学科専門科目である。科目分野は視覚デザイン、1年後期開講の基礎レベルの科目である。またメディアデザインコースとデザインクリエイティブ副専攻の必修科目である。

3-2 授業の目的

この授業は情報メディアの特性を生かしたより良い視覚表現を求め、デジタルコンテンツの創造力を高めるために必要とされる知識と技術を習得することを目的としている。具体的には以下の2点を学ぶ。1つはベクトル画像とラスタ画像を扱い、デジタル画像の生成と加工のための基礎概念を学ぶ。次にデジタルコンテンツ制作に関する訓練課題を通し技術的側面とデザインの側面の両面から、これらの画像による表現について探求する。

3-3 授業の概要及び運営方法等

この授業ではラスタ画像を用いたフォトタッチとその表現、そしてベジェを用いたベクトル画像（これをドローグラフィックと呼ぶ）の表現とその技術について各々の分野の知識と表現技術を、演習を通じて身につける。

授業の形式は演習形式である。演習を通じて課題に取り組み学習内容を修得するため、学生には課題制作に真剣に取り組むことを求める。フォトタッチとドローグラフィックは2DCG分野の基本であり、グラフィックデザインの基礎でもある。このため、この2分野の基本的な仕組みを理解することはデザイン制作を行っていく上で重要である。また知識や技能に偏ることなく、表現について探求することが求められる。

授業はフォトタッチを前半、ドローグラフィックを後半に履修する。アプリケーションはフォトタッチにはアドビフォトショップ、ドローグラフィックには同イラストレータを使用する。それぞれ課題制作を行ってスキルと表現について学んだ後、学生それぞれが表現を深めるために各分野の最後に自由制作課題を設けている。この自由制作課題では与えられたテーマに対し、学生それぞれが思考し、自分なりの工夫を加えて課題作品を創造することが求められる。成績評価においても自分なりの工夫を加えることや、発想や制作過程や作品の仕上がりに独創性があることを重視する。

本報告で取り上げる課題は前半のフォトタッチ分野の自由制作課題に関するものである。

3-4 学修内容

以下に1回から15回の課題内容を簡単に記す。

1 概要

ラスタ画像の基本的な仕組みを理解し、その知識を学習する。

2 フォトタッチ基礎

フォトタッチの基本操作について学ぶ。

3 画像合成

レイヤーを用いた画像合成について学ぶ。

4, 5 フォトタッチ

応用課題を通じてフォトタッチのスキルと表現力を身につける。

6 質感

テクスチャーを生成する課題を通じて、この分野の理解を深める。

7, 8 自由制作課題

与えられたテーマから自由に発想し、作品を制作する。

9, 10 ドローグラフィックの基礎

後半の分野に入る。基礎課題を通じてドローグラフィック画像の基本的な仕組みを理解し、その知識を学習する。

11, 12 バスの練習

課題制作を通じてスキルを身につける。

13 色彩

課題制作を通じて配色と構成について学ぶ。

14, 15 自由制作課題

与えられたテーマから自由に発想し、作品を制作する。

4. ラスタ画像分野の自由課題について

4-1 学修の流れと課題設定

「3-4 学修内容」の項に記述したように、この分野の課題はフォトタッチ、画像合成、テクスチャーの作成の3つに分類することができる。「2 「質感化」について」の項で述べた通り本報告の考察に用いる概念は質感化であり、これに最も近い分野はテクスチャーの作成である。この分野及び他の2つの分野のスキル及びそれを基にして次のように課題を設定した。

○1または2のテーマの中から一つを選んで画像作品を制作してください。

1. 「質感」と「空間」

2. 「あり得ないものが、あたかもそこにあるように見える」または「今にも動き出そうとする」

1は画像合成、2はテクスチャー作成のスキルが必要とされる。フォトタッチのスキルはどちらにも必要である。学生は1点以上の画像作品とそのコンセプト文の提出が求められる。画像作品は1または2もしくは両方のテーマに沿って制作する。

授業では第7回と第8回を使い課題を制作した。第9回の冒頭に講評の時間を設け、全ての提出作品をスライドショーで履修者全員が閲覧した。提出された全ての作品と制作コンセプトはクラウド上に保存している。URLは以下の通りである。

URL : <https://drive.google.com/drive/folders/1rs3mBj-gIXZpZpGdeCKer0r25-e3RX>

4-2 課題作品について

次に作例を挙げて検討する。「質感」と「空間」の特

徴を持つと考えられる作品を2点（作品1, 2）, 「あり得ないものが、あたかもそこにあるように見える」または「今にも動き出そうとする」から2点（作品3, 4）, 二つの特徴が看取される作品1点（作品5）を選んだ。作品名, 制作者のコンセプト, 講評, 画像の順に掲載する。

1. 作品名「夜の街」(図1)

・コンセプト

初めて福岡の夜を見たとき、まぶしい光が限りなく続いていたことに強く印象を受けました。そこから、あらゆる色が重なり光っている雰囲気表現しました。こだわった点は少し奥行きを持たせ立体感を表現したところです。

・講評

「まぶしい光が限りなく続いていた」と感じられた光景に強い印象を持ったことが本作品制作の契機となっている。その印象からあらゆる色が重なり合っているようなイメージが生まれ、それを表現するため様々な色のぼやけた四角形を画面に配置した。これによって画面に独特の空間が生まれている。その空間は作者が言うように奥行きを感じさせており、動きを伴っている。



図1. 作品1 夜の街

2. 作品名「水とタイル」(図2)

・コンセプト

雲模様から水を表現した。また前回の課題より色とりどりのタイルを使用し、奥行きを持たせた。さらに波を

変形し手前に引っ張ることで視界を広くした。

・講評

写真を用いずにアプリケーションの機能を使って作り出したテクスチャーを構成した作品である。タイルを感じさせるテクスチャーと水を感じさせるテクスチャーの2種を組み合わせることにより奥行きを感じさせる空間を生み出している。色彩が独特の質感を持っていることと、透明感を感じさせる空間がこの作品の特徴と言える。

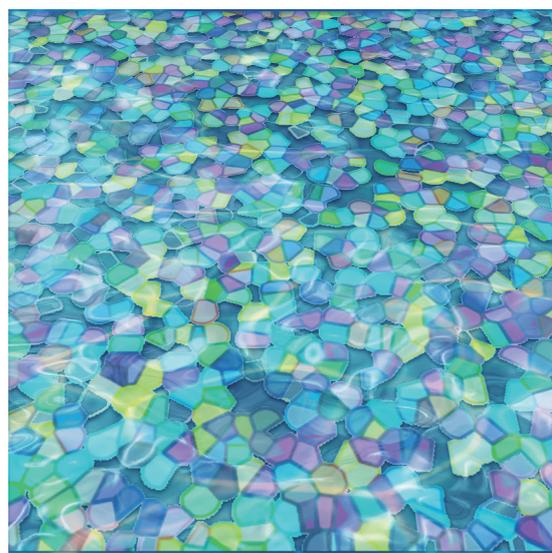


図2. 作品2 水とタイル

3. 作品名「あったらいいな、こんな宙(そら)」(図3)

・コンセプト

テーマは「月」。

空気のない異空間に偶然咲いた、謎の一輪の花。そして、その花に惹かれてやってきた一匹の象。そこに「銀河鉄道」がやってきて、象はそれに乗り宇宙を旅します。

星以外に存在するありえないものを想像すると、面白いなと思いました。

・講評

作者はこの作品に配置された画像の一つ一つに関連を持たせ、物語を紡いでいる。この作品は丁寧に切り抜かれた画像が作者のイメージに沿って（合わせて）配置されており、合成された「ありえない風景」にも関わらず見る者に自然な感じと同時に無垢な印象を与える。



図3. 作品3 あつたらいいな, こんな宙 (そら)

4. 作品名「想像上の遊泳」(図4)

・コンセプト

作品は非現実的だが、私の創造的想像力を表現するために金魚が漁港ではなく、飛行機の窓の外や中で自由に浮かぶ日常的な空間から抜け出して夢のような自由を表現しようとしたし、金魚が空を飛んでいる様子を観覧者に見せることで、現実から抜け出した想像の自由を与え、固定された考え方を破るしたい。

* 作者は留学生である。

・講評

この作品は画面に動きがある。見る者に金魚が窓の外から室内に泳いで入ってくるような感覚を持たせる。



図4. 作品4 想像上の遊泳

5. 作品名「ブラッドムーン」(図5)

・コンセプト

全体的に暗い空間を作ろうと思ったのでブラッドムーンをイメージした。そのために青空と月を赤色にして全体にグラデーションを付けて暗くした。画像の端と真ん中にフレームみたいなものを付けた。これを付けたらさらに暗くすることができたのと、猫と子どもにも暗いイメージを付けることができたと思う。

私が、このような画像をなぜ作成したかという、不思議できれいな画像を作成したいと思ったからです。後ろの、丸いものは前回の授業で作った画像を使いました。きちんと、水に反射している部分も表現し、本当にそこにあるように見せました。

・講評

暗い印象を持つ空間を表現するためにブラッドムーンを用いるという着想を得た。自らのイメージを深めるために合成した画像に赤いグラデーションを施したり黒いフレームを挿入した。これらの処理によってどこか異質な雰囲気を感じさせる空間が生まれた。



図5. 作品5 ブラッドムーン

5. アンケート

15回目の授業終了時にアンケート調査を行い、全ての課題の達成度を5段階で自己評価させた。80名の受講者のうち43名が回答した。表1はそれぞれの項目で高い達成度(5段階の4または5)を回答した人数である。表2は自由記述の内容である。

表1. 各課題の達成度

	課題名	回答数
1	「フォトレタッチ基礎」で学習したスキル	33
2	「写真の合成」で学習したスキル	34
3	「写真の合成」で制作した作品	32
4	「フォトレタッチ応用」で学習したスキル	33
5	「フォトレタッチ応用」で制作した作品	32
6	「質感」で学習したスキル	31
7	「質感」で制作した作品	32
8	「画像作品制作」で制作した作品	28
9	「直線と曲線の練習」で学習したスキル	29
10	「パスの練習」で学習したスキル	31
11	「色彩」で学習したスキル	28
12	「名刺の制作」で制作した作品	28

スキル修得が主になる課題については、スキルが身についたかについて質問した。表現が主になる課題については、思い通りの結果が得られたかについて質問した。全ての課題に約30名の学生が高い達成度を回答した。

自由記述に回答した学生は13名だった。各分野の自由課題に関する記述が多い。本報告でとりあげた課題に関する記述と考えられる回答が4件あった。

6. まとめ

6-1 課題作品について

本課題では2つのテーマを提示した。これによりそれぞれのテーマの特徴が表れた作品と、2つのテーマが混在する作品が制作され、作品の多様性につながったと考える。以下に作品から看取される特徴をまとめる。

1. テーマ1「質感と空間」について

テクスチャー生成の手法を主に用いた作品ではテクスチャーを変形したり、ずらして重ねることで奥行きを持たせようとしていた（作品1, 2）。これは空間を生み出そうとする意識の表れと考えることができる。

2. テーマ2「あり得ないものが、あたかもそこにある

表2. 自由記述の回答

1. 画像合成や、フィルターをかけてアニメ調にしたことが記憶に残りました。ホームページやバナーなどを制作する際に今後必要になると思います。
2. 楽しく授業を受け、満足のいく結果を得ることができた。
3. 記憶に残っているのは画像作品作成
4. お疲れ様でした。
5. 特になし
6. 合成
7. 画像作品制作はやっていて面白かった。
8. Photoshop を利用した自由課題の作品が記憶に残っています。
9. イラストレータや Photoshop の使い方はこれからも活かすことができると考えました。名刺作成は社会人になった時に作ってみたいと感じました。
10. 第8回の自由課題や、最後の名刺課題がとても楽しかったです。
11. 自分の好きなように作品を作ることができて楽しかったです。
12. ロゴの作成
13. とても楽しかったです。

ように見える」または「今にも動き出そうとする」について

これは主に画像合成の手法を用いて制作された作品である。作品3ではそれぞれのモチーフに関連付けをして、物語を紡ぐような手法によって画面を構成していると考えられる。作者は想像力を働かせながら作品制作を楽しんでいるのだろう。結果として、非現実だが自然にそこに存在しているような印象を与える作品になっている。作品4では非日常的な空間を生み出そうとして、飛行機の窓とそこから見える空の画像に金魚を配置した。結果として、動きを感じさせる空間と色彩のコントラストが作品の印象を強くした。

3. テーマ1, 2が混在する作品について

作品5では作者が表現したいイメージに沿って積極的

にフォトタッチの手法を用いて、画面に効果を生み出そうとしている。これは制作意図を表現するために、画面に質感を持たせようとする意識と考えられよう。

6-2 今後の取り組みに向けて

本報告では画像制作における素材の扱いについて授業実践を基に考察した。学生作品から画面に質感を持たせて空間を作り出そうとする意識や、いくつかのイメージをまとめて自らの意図を表現しようとする意識が感じられた。今後もこのような考察を深めることで授業の改善につなげていきたい。

参考文献

- (1) ブルーノ・ムナリー 萱野有美 訳 「デザインとヴィジュアル・コミュニケーション」. みすず

書房. 2006. p101 以下の記述がある。「紙の白い空間に、例えば正方形や長方形の閉じられたひとつの空間を描くとする。(中略) その空間を大雑把にはあっても均一な小さい点で埋めてみる。するとその場所に、これがイメージであると規定することなく、視覚的な興味が生まれる。

(中略) これはある表面を質感化するという目的において、本能的に作られるもっとも基本的なテクスチャーのひとつである。」これは素材に様々な質感を生み出すことで視覚的な興味を持たせることが可能になることを示唆していると考ええる。

- (2) 足立元「デジタル画像の物質性について -素材の質感化の観点から-」. 2012. 美術教育学第33号. pp.13-24 質感化をキーワードに画像生成の手法を探りその結果を検証した。

(2025年6月16日受理)

[事例報告]

日本文理大学経営経済学部における教育手法の共有 — 教員座談会と動画撮影・保存の事例 —

阿部 裕香里*, 河村 裕次*², 小久保 雄介*², 長崎 浩介*², 吉本 圭一郎*²

*東京学院大学経営学部経営コミュニケーション学科

*²日本文理大学経営経済学部経営経済学科

Sharing Educational Methods at Nippon Bunri University's School of Business and Economics — A Case Study of Faculty Roundtable Discussions and Video Recording/ Saving —

Yukari ABE*, Yuji KAWAMURA*², Yusuke KOKUBO*², Kosuke NAGASAKI*²,
Keiichiro YOSHIMOTO*²*The Management and Communication Programs, Business Administration Department,
Bunkyo Gakuin University*²Department of Business and Economics, School of Business and Economics, Nippon Bunri University

1. はじめに

大学教員は、教育、研究、管理運営業務をこなしつつ、教員間でコミュニケーションを取りつつ、協働する必要がある。近年の大学教育では、コロナ禍の影響から導入が盛んとなっている ICT (Information and Communication Technology; 以下 ICT とする) ツールや著しく発展する AI (Artificial Intelligence; 以下 AI とする) など学生が学ぶべき情報リテラシーも日々変化しつつある。教育に必要な手法も時代と共に変化するため、教員間で情報共有も欠かせない。

また、学生の主体的な学びを支援する教師としての役割の質的転換も大学教員に求められている。加速する少子化による労働者人口の減少と AI 技術等の先端技術が高度に発達する時代において、中央教育審議会は、「多様な専門性を有する質の高い教職員集団の形成を加速することが必要である (中央教育審議会, 2024)」と指摘している。質の高い教育人材を育成するためには、教育

現場での情報共有やコミュニケーション、最新の教育手法のアップデートなどが必要である。そのためには、「学び続ける教師」の実現に向け、多くの教員間で教育に関するコミュニケーションを促進し、資質能力を高めるような研修や組織マネジメントの強化が必要とされる。大学教員の業務の中でこれらの機会を十分に創出することは大きい課題である。まずは、学部内の教員で気軽にコミュニケーションできる「場」をつくり、教育方法について情報共有していくことに取り組む必要がある。

本事例報告は、「優れた教育手法を持つ教員の知識やノウハウを学部内で共有するにはどうすればよいのか?」、また、「教員間での教育に関する悩みを共有し、解決しやすくするためにはどうすればよいのか?」という問題解決に取り組んだものである。この問題解決に関して、日本文理大学の経営経済学部では、「経営経済学部教員座談会」の実施と5名の教員による「授業動画の撮影とオンライン上での保存」の2つの取り組みを行った。本論文において、これらの事例報告を行う。

2. 先行研究の検討

先行研究では、教員間のコミュニケーションの質の向上や教職員間での協働の必要性が重視されている。中央教育審議会（2021）は、今後の大学の目指すべき方向性として大学内外の人的・物的リソースを様々な組み合わせ、教育と研究機能を最大化するためには、教員間のコミュニケーションの促進や大学の組織マネジメントが必要であることを指摘している。教員間や教職員間のコミュニケーションは、教育や研究、日々の業務を行う上で必要不可欠であり、協働関係を構築できる環境作りが必要とされている。

教員間のコミュニケーションを妨げる要因として、個業化（佐古，2006；浜田，2009）や授業科目数の細分化や過剰化、管理運営業務に係る負担の大きさ（中央教育審議会，2021）などが挙げられる。個業化とは、「学校の教員が個別拡散的に教育活動を展開することが常態となり、非効率的な組織運営に陥った学校の状況（佐古，2006）」を指す。特に大学教員は、専門性の高い教育研究活動を行うため、個業化が進みやすい傾向にあると言える。教員は、業務において自律と協働のバランスが必要とされる。また、中央教育審議会（2021）は、授業科目数の細分化や過剰化により、学生の履修科目数が多くなっていることや、教員の管理運営業務に係る負担が大きくなることから、教育研究活動に専念する時間の確保が難しく、チームによる教育研究活動が十分でない点を指摘している。

教員間の協働やコミュニケーションを促進するためには何が必要であるのかについて、先行研究では、いくつかの知見が蓄積されている。第一に教職員がコミュニケーションを行うことができる「場」の設定が必要である（伴仲 et al., 2018；浜田，2009）。浜田（2009）は、事例より校内研究の場での意見交流を交えることが学校としての教育にかかわる「共有ビジョン」の形成過程が生まれ、そこに教育理念や重点目標、そのための取り組みのそれぞれが連結し、教員個人の認識の中に位置付けることを明らかにしている。

第二に教員間の信頼関係や親和的雰囲気などの職場の環境整備が挙げられる（淵上・西村，2004；久保木・阿内，2016）。淵上・西村（2004）は、従来から検討されてきた学級経営や授業に関する教師の効力感に加えて、新たに教師の対人関係、とりわけ他の教職員との協働関係を構築できる協働的効力感とバーンアウトの関連性について研究している。教師の協働的効力感の育成に関し

ては、普段からのコミュニケーションからなる信頼関係の蓄積や職場の雰囲気やサポートから強く影響を受けることが明らかになった。同時に協働的効力感は、バーンアウト低減とも関連していることが明らかにされ、協働的効力感の重要性が示唆されている。久保木・阿内（2016）は、学校課題の共有化プロセスの詳細を明らかにした上で、リーダーとフォロワーの関係性について言及している。教育現場では、各教員が独自で課題解決を行いつつ、協働する組織として課題を共有するという両方の活動が必要となる。課題を教員間で共有する際、親和的雰囲気に支えられ、教育する子どもの意識を持ち、提案を巡る関わり合いを促進させるようなリーダーシップが必要であり、同時にオープンマインドや話し合う志向性がフォロワーにも必要とされるという両者の関係性が必要であることを示している。

第三にファシリテーターの存在が挙げられる（畑中，2012；伴仲 et al., 2018）。ファシリテーターは、教員間のコミュニケーションを円滑にするサポートや、仲介役、メンバーや無作為に集散する情報を整理する役割を果たす（伴仲 et al., 2018）。伴仲 et al. (2018) は、ファシリテーターに適している人物は、学内において広いネットワークを既に持つ人物、あるいは業務上、教員として日常的に関わる、逆に職員として教員と日常的に関わる人物を想定している。一方、畑中（2012）は、30歳前後から40歳代の「ミドル教員」が境界人という立場を活用することで周囲を巻き込み、アイデア実現を果たすというミドル・アップダウン・マネジメントに焦点を当てている。

先行研究では、教員間のコミュニケーションや協働環境における重要性、コミュニケーションの阻害要因や促進するための対策についても知見が蓄積されている。一方で課題も挙げられる。第一にコミュニケーションを取るための教員の時間のマネジメントについての検討が必要である。大学教員は、教育、研究、管理運営業務の主に3つの主要な業務を行っている。教員間のコミュニケーションを取る時間も限定されており、いかにその時間を捻出できるかが課題となってくる。

第二に個業化からの脱却のきっかけやどのようにして教員同士がコミュニケーションを取りやすい環境を整備できるかより深い検討が必要である。これまで教員間のコミュニケーションを取る場がなく個業化に陥っていた組織を変革するには、きっかけを作り、環境を整えることが必要となる。また、より課題を気軽に話すことができる雰囲気を作り、コミュニケーションを行う「場」を継続して構築する必要がある。

以上の先行研究の蓄積と課題を踏まえ、本学の大学教員間のコミュニケーションを促進させ、教育手法を学び合うために取り組んだ事例を分析する。

3. 事例の概要

日本文理大学の経営経済学部は、ビジネスソリューションコース、地域マネジメントコース、会計ファイナンスコース、スポーツビジネスコース、こども・福祉マネジメントコース、の全5コースで構成されている。2024年5月時点で専任教員は、34名である。専門知識を有する教員が独自の教育手法を用い、授業を行っている。しかし、お互いのコースの取り組み状況は、共有する機会が少ないため把握することは困難な状況であった。

ユニークな教育方法を持っている教員がいたとしても、大学教員は自身の授業が同じ時間に被っていることが多く、参観も難しい。全学対象のFD研修会などは開催されているが、経営経済学部内での教育に関する勉強会や研究会などは開催されていない状況であった。基本的には、インフォーマルなコミュニケーションが各教員間で行われていた。

また、新任教員や実務家教員が入職した際、大学教育に関するサポート体制が十分整っていないことも課題であった。入職後、大学の制度に関するオリエンテーションなどはあるが、基本的にはすぐに教育現場へ入ることになっている。仮に教員が教育に関する悩みを抱えていたとしても相談に乗れる適任の教員が誰だか分かりづらい状況であった。

よって、本事例は、主に2点の問題解決に取り組むことを目的とした。第一に「優れた教員手法を持つ教員の知識やノウハウを学部内で共有するにはどうすればよいか？」という人的資源の活用と情報共有に関する問題に取り組んだ。本学には、教育方法や様々な知識を有した教員が多く所属している。教員間で情報を共有し、称え合い、悩みを分かち合うことは、教員の教育能力の向上のみでなく、モチベーション向上にも繋がる。得られた知識を実践し、教育の質を向上させることにより、学生へ還元することが可能となる。課題は、教員の限られた時間を調整し、コミュニケーションを取る「場」を設計し、企画することである。

第二に「教育に関する悩みを気軽に相談できる環境を作るにはどうすればよいか？」という教員間での悩み相談に関する問題に取り組んだ。教員は、教育に関して日々悩みは尽きないであろう。特に新任教員や実務家教

員はより多くの悩みを持ち、誰に相談すればよいか分からない状態にある。誰がどのような知識を有しているかという情報がある程度把握できるようになるためには、深くコミュニケーションを取る必要がある。課題は、悩みを気軽に相談するためには、打ち明けやすい雰囲気や職場の良好な人間関係を促進できるような環境を整えることである。

この2つの問題解決を行うため、「経営経済学部教員座談会」と「授業動画の撮影と保存」の取り組みを実施した。

4. 教員座談会の実施

4.1 2024年前期経営経済学部教員座談会

2024年9月25日（水）13:00~16:00、日本文理大学LCMセンター1階において、初の経営経済学部教員座談会が実施された。事前にチラシを作成して配布し、Googleフォームにて参加希望者を募った。参加者は、経営経済学部の専任教員17名であった。

教員座談会のプログラムは、二部制に分かれており、第一部はトークセッション、第二部は、グループワークを実施した。

第一部のトークセッションでは、ユニークな教育方法を実践している教員や最新の知識を有している教員を3名ピックアップし、プレゼンしてもらった。図1は、第一部のトークセッションの様子である。発表時間は、1人約15分で、その後は、約10分フロアより質疑応答を行った。今回のトークセッションは、小久保雄介准教授に「オンラインホワイトボードMiroの使い方」を、今西衛教授に「出席のデジタル化」を、閻亜光助教に「学生が楽しめるグループワーク」について講義をしていただいた。



図1. 第一部トークセッションの様子

第二部は、教員同士のグループワークを実施した。図2は、第二部のグループワークの様子である。このグ

グループワークは、教育に関する悩み相談を目的として行う。今回は、テーマを「普段の教育に関する悩み」と「授業でICTをどのように活用しているか」の2つに設定し、グループワークを行った。グループは、1グループ5名～6名で構成した。メンバーは、コースが異なる教員で構成し、新任教員と中堅・ベテラン教員を混ぜるよう事前に決めておいた。



図2. 第二部グループワークの様子

今回は、第一部においてオンラインホワイトボードMiroの使い方を学んだこともあり、第二部で実際にMiroを使用してグループワークを行った。オンラインのホワイトボード上の付箋に1つずつ意見や解決策を入力していき、KJ法を用いてカテゴリ分けをしていった。各自PCを持参し、グループごとに小型スクリーンと小型プロジェクターを配置し、Miroの画面をグループメンバーに見えるよう投射した。約30分間で情報を入力し終えたら、約10分間でどんな意見が出たか話し合っていた。

表1は、3チームで出た教育に関する悩みを集約し、筆者が独自にまとめたものである。チームで共通する課題も多く、講義、学生対応、ゼミナール、施設に関する様々な悩みを知ることができた。これらの悩みについて、グループでは、どのように対処しているのか議論が活発に行われていた。

教員座談会が終了した後は、Googleフォームにて感想や意見を収集した。第一部については、「とても分かりやすく、今後の授業に役に立つと思いました。」「ICTを活用した授業手法が大変参考になりました。」という意見が得られた。第二部では、「普段お話しする機会の少ない先生と、同じテーマについてざっくばらんに意見交換ができ、とても良かった。」「ICTをあまり活用できていないので、先生方が活用されているアプリやソフトの名前すら初めて聞く状況です。これから少しずつでも

表1. グループワークで抽出された課題

講義	出席	出席不良の改善
		出席不正への対処
		出席入力効率化
	講義内容	認定出席の補填
		講義の難易度設定
		授業資料の乱用
		対面・遠隔のバランス
		予習・復習の設計
	レポート	要配慮学生への対応
		提出率の改善
		レポートを書けない学生への対応
	試験	コピー&ペースト
難易度設定		
採点の効率化		
グループワーク	成績不良者への対応	
	難易度設定	
	採点の効率化	
	フリーライダーへの対処	
学生対応	チーム・ビルディング	
	オンラインツールの使用	
	人数が多い場合の対処	
	参加意欲・モチベーションの向上	
	ICT	PCを持っていない学生への対応
	意欲・態度	リテラシーの低さ
		私語が多い学生
		学生同士がつるんで悪さをする
		遅刻の多さ
		欠席率の高さ
授業中のスマートフォンの利用		
居眠り		
学力	受講態度の悪さ	
	教科書・ノートを持参しない	
	基礎学力の低さ	
	文章力の低さ	
	クラス内の学力の差	
ゼミナール	学習意欲の低い学生	
	学習意欲の高い学生	
	親密度・雰囲気作り	
	ゼミのテーマ設定	
施設	就職活動時のゼミの運営	
	卒業論文・研究指導	
		教室の機器の使用方法

出典：筆者作成

ICTを活用したいと思います。」という意見が得られた。一方で、「時間が足りなかったので、テーマを絞ってもう少し議論したかった。」という意見も得られた。グループワークでは、議論が活発化するため、よりテーマを絞りゆとりを持たせるよう改善する必要がある。

4.2 2024年後期経営経済学部教員座談会

第2回目の教員座談会は、2025年3月5日（水）14：00～16：00に実施された。前回と同様、事前にチラシを配布し、Googleフォームで参加者を募集した。今回の参加者は、経営経済学部専任教員12名であった。

第一部は、トークセッションを行った。今回のトークセッションは、阿部裕香里准教授により「アイスブレイクとチームビルディングについて」に関する講義が行わ

れた。

さらに各コースのアクティブラーニングの取り組み状況について、会計ファイナンスコースを吉本圭一郎准教授、こども・福祉マネジメントコースを河村裕次准教授、ビジネスソリューションコースを小久保雄介准教授により報告が行われた。アクティブラーニングに関する取り組みは、事前に授業動画を撮影して貰い、Googleドライブに共有できるように仕組みを作っておいた。各コースの取り組みについては、地域や企業と連携し、学生がPBLを行う様子や資格取得に向けた取り組みなどが報告された。

第二部は、「授業における地域・企業連携」に関するテーマでグループワークを予定していた。しかし、今回は教員座談会の前に教員の会議が急遽入ってしまったため、時間の都合上実施ができなかった。

5. 授業動画の撮影と保存

この活動は、ユニークな授業を行う教員の授業を動画撮影し、教員間で時間に制限されずオンラインで視聴し、学ぶことができるような仕組みを作ることを目的に実施されたものである。それぞれの教員がどのような教育方法を実践しているのかについては、時間が都合よく調整でき、教員が受け入れてくれれば授業参観の形で学ぶこともできるかもしれない。しかし、本学ではどの教員も多くの授業を受け持っており、なかなか他の教員の授業に参加することは難しい現状であった。

よって、今回のプロジェクトでは、授業の動画を教員が撮影し、そのデータをGoogleドライブへ保存し、メンバーを参加させて共有させることによって授業方法の学習ができるのではないかと考え、取り組みを実施した。対象とした科目は、企業戦略実習、経営学総論、管理会計、産学協働講座「経営分析の実際」、ビジネスソリューション基礎・応用、マーケティング戦略実習である。

今回の取り組みでは、授業動画をビデオカメラで撮影し、そのデータをGoogleドライブへ保存し、授業やオープンキャンパスや広報資料に活用する仕組みを作ることができた。今後は、より多くの教員に共有できるようにYouTubeなどのプラットフォームに学内限定で公開し、幅広く視聴できることを目標とする。

6. 効果と今後の課題

この事例から得られた効果は、主に三点ある。第一にこれまで経営経済学部の教員を集め、教育に関するテ

マでの意見交換や知識習得の機会がなかったため、その仕組みを作ることができたことに大きい意味がある。大学教員はそれぞれが多くの教育に関する知識やノウハウを持っている。学生は所属する大学により、特性や能力が異なるため、その大学の学生に沿った教育方法を実施することが重要である。教員同士で所属学生の情報や教育手法、悩みを共有し合いながら、教育能力を高めつつ学生の教育への満足度向上へも貢献することが可能であると考えられる。

第二にどの教員がどのような情報に詳しく、各コースでどのような活動を行っているか把握することができるという点である。会議やHP上の情報により教員の担当科目などを把握することは可能だが、どのような知識やノウハウを持っているか、誰に相談すればよいかまでは細かく把握することが難しい。

今回の事例では、教育方法に詳しい教員がプレゼンテーションを行うことにより、どの教員が何に詳しいかを把握することができ、教員座談会ではその場で実践を行うことや分からないことを聞くことができた。また、今回のコースの取り組みの発表を聞くことにより、このような場がなければ各コースがどのような取り組みを行っているのか把握することは難しいことも再確認できた。

第三に普段の教育に関して困っていることや授業での学生の様子、教育現場についてざっくりとらんにコミュニケーションを取ることができたことである。教員座談会では、新任教員や普段関わるのが少ない教員同士が気軽にコミュニケーションを取ることができる環境づくりを心掛けた。普段なかなか言えない悩みを打ち明け、教員同士で共有し、解決することは、問題解決に貢献する可能性もあり、教員間での信頼関係を深める意味でも重要である。

しかし、課題も残されている。第一に教員座談会については、プログラムは時間的余裕を持ち、柔軟に実施できるように調整する必要がある。第一回目での参加者の意見にもあったように特にグループワークでは、テーマを少なくし、じっくり深く話せる時間を作る必要がある。また、実施日に関しては、なるべく教員の予定や会議が入りにくい日程を予め調べ、早めに告知を行っていく必要がある。

第二にこの取り組みを継続して行うことである。参加者より「是非このような会を継続して欲しい。」との声を得られた。一度仕組みを作ったことは大きい一歩であるため、今後は継続して行うことが重要である。

第三に学部内でより多くの参加者を増やし、コース間

での情報共有を盛んにすることである。新任教員や実務家教員、コースに紐づいていない教員も含め、積極的に声を掛け、気軽に参加してもらえようような雰囲気を作ることが重要である。

第四に撮影した授業動画の共有を行っていくことである。現在、授業動画はGoogleドライブへ保存している状態であり、編集や共有は十分に行うことはできていない。本来の目的である教員間での教育手法の共有ができるよう今後は進めていく必要がある。また、オープンキャンパスや広報活動の素材として幅広く活用されることを期待する。

最後に、今後は他大学の経営学部・経済学部へ範囲を広げ、情報交換や問題解決を共同で行っていくことも視野に入れている。今後は、少子高齢化や大学教員の人手不足などにより大学共通の多くの課題解決に取り組まないといけなくなるであろう。大学内のみでの情報共有でなく、他大学との範囲を広げた連携が必要になってくるだろう。

7. 結論

本事例報告では、2024年9月25日と2025年3月5日に実施した経営経済学部教員座談会と2024年度を通じて実施した授業動画の撮影と保存の事例を記した。教員座談会の事例では、学部初の試みであり、教育に関するノウハウや教育手法、教育に関する悩みを共有し、コミュニケーションを促進するという目標を達成することができた。授業動画の撮影と保存に関する事例は、大学教員の限られた時間を有効活用し、授業方法をオンラインで共有・学ぶための体制を整えることができた。

経営経済学部教員座談会は、今後より多くの教員の参加と継続することが課題である。教員座談会のテーマや参加者の範囲をより柔軟に取り入れ、教育に関する課題解決や教員間のコミュニケーションの促進の場として活用されることが望まれる。

授業動画の撮影と保存は、今回の事例では教員間での共有は残念ながら未達成である。今後は、より多くの教員間で授業実践の様子を時間に縛られず学ぶことができる体制を整えることが課題である。

8. 謝辞

この研究は、令和6年度教育・研究改革推進事業「経営経済学部におけるユニークな教育手法の共有」に採択され、補助を受けたものです。

参考文献

- 久保木学・阿内春生 2016 「学校課題の共有化プロセスにおける教職員間コミュニケーションの研究—M-GTAによる教職員のインタビュー分析から—」『福島大学総合教育研究センター紀要』, 21, 1-8
- 佐古秀一 2006 「学校組織の個業化が教育活動に及ぼす影響とその変革方略に関する実証的研究—個業化, 協働化, 統制化の比較を通して—」『鳴門教育大学研究紀要』, 21, 41-54
- 畑中大路 2012 「M-GTA を用いた学校経営分析の可能性—ミドル・アップダウン・マネジメントを分析事例として—」『日本教育経営学会紀要』 54, 76-91
- 浜田博文 2009 「小学校の学校改善過程に及ぼす組織的要因に関する研究—教師の自律と協働の連関要因に着目して—」『筑波大学教育学系論集』 33, 41-54
- 伴仲謙欣・高松邦彦・桐村豪文・野田育宏・光成研一郎・中田康夫 2018 「『知』の創造を目指す教職協働 (university development) のためのチームビルディングプログラムの開発~教職員間のコミュニケーション不全を越えるために~」『神戸常盤大学紀要』 11, 17-26
- 淵上克義・西村一生 2004 「教師の協働的効力感に関する実証的研究」『教師学研究』 5・6, 1-12
- 文部科学省中央教育審議会 2021 「教育と研究を両輪とする高等教育の在り方について (審議まとめ)」
https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo0/toushin/1411360_00002.html (2025年6月13日閲覧)
- 文部科学省中央教育審議会 2024 「多様な専門性を有する質の高い教職員集団の形成を加速するための方策について (諮問)」
https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo0/toushin/mext_00004.html (2025年6月13日閲覧)

〔事例報告〕

日本文理大学経営経済学部における 授業形態および PC の使用状況について

小久保 雄介*, 阿部 裕香里*², 河村 裕次*, 長崎 浩介*, 吉本 圭一郎*

*日本文理大学経営経済学部経営経済学科

*² 文京学院大学経営学部経営コミュニケーション学科

Class Format and PC Usage at the School of Business and Economics, Nippon Bunri University

Yusuke KOKUBO*, Yukari ABE*², Yuji KAWAMURA*, Kosuke NAGASAKI*, Keiichiro YOSHIMOTO*

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

*²The Management and Communication Programs,

Business Administration Department, Bunkyo Gakuin University

1. はじめに

少子高齢化が加速する現在、大学間の競争は激化し、学生のニーズを満たすカリキュラムの設計が急務とされている。日本文理大学の経営経済学部においても、学生の社会に必要とされる知識や能力を育成するため、カリキュラムの見直しが課題とされている。特に今後考慮すべき授業形態として、「アクティブ・ラーニング」、「地域志向」、「Information and Communication Technology

(以下 ICT とする)」の3つを挙げる。

アクティブ・ラーニングとは、「教員による一方的な講義形式の教育とは異なり、学修者の能動的な学修への参加を取り入れた教授・学習法の呼称である。(文部科学省, 2012)」。講義形式の授業に加え、表1のようにグループ・ディスカッションやディベートなど能動的な学修であるアクティブ・ラーニングを取り入れる大学が増えてきている。今後は、多くの大学で講義の質的転換が求められるだろう。本学でも多くの授業においてアクティブ・ラーニングが導入されつつある。しかし、現段

表1 アクティブ・ラーニング技法の例 出典：中村 (2016). p. 35

技法区分	具体例
ディスカッションを導く技法	シンク・ペア・シェア、ソクラテス問答法、バズ学習、ディベート、EQトーク、列討論、ライティング・ディスカッション、トランプ式討論、スイッチ・ディスカッション、ブレインストーミング、ラウンドロビン、親和図法、ポストアップ討論法、特派員、ワールドカフェ、フィッシュボウル、パネル・ディスカッション、ナンバリング・ディスカッション、LTD話し合い学習法、発言チップ、発言カード
書かせて思考を促す技法	ミニツペーパー、大福帳、質問書方式、ダイアログジャーナル、リフレクティブ・ジャーナル、キーワード・レポート、BRD(当日レポート方式)、ラウンドテーブル、ピア・エディション、コラボレイティブ・ライティング、クリエイティブ・セッション
学生を相互に学ばせる技法	ピア・インストラクション、ペア・リーディング、ラーニングセル、グループテスト、アナリティック・チーム、ストラクチャード・プロブレム・ソルビング、タッグス、書評プレゼンテーション、ジグソー法、学生授業、橋本メソッド
問題に取り組ませる技法	クイズ形式授業、復習テスト、再チャレンジ小テスト、間違い探し、虫食い、問題技法
経験から学ばせる技法	ロールプレイ、サービスマーケティング
事例から学ばせる技法	映像活用学習、ケースメソッド、PBL(問題基盤型学習)、TBL(チーム基盤型学習)
授業に研究を取り入れる技法	報道番組作成、ルポルタージュ作成、アンケート調査、フィールドワーク、PBL(プロジェクト基盤型学習)、ポスターセッション
授業時間外の学修を促す技法	授業後レポート、授業前レポート、スクラップ作成、反転授業

階でのアクティブ・ラーニングの導入は発展途上の段階である。

日本文理大学の教育理念は、「産学一致」,「人間力の育成」,「社会・地域貢献」である。本学の授業では、特に大分の地域に根差した教育活動が求められている。経営経済学部では、地域の課題解決を通じて、実践的な知識を学ぶことができるだけでなく、人間力を身に付け成長することを目標としている。本学の経営経済学部では、各コースに応じた地域志向の学修実現が求められる。

近年では、ICTの発展により、学生のICTリテラシーの習得が必要とされている。本学では、1年生よりPCの購入と持参が必須になっている。しかしどの程度の授業が学生にPCを十分に活用させているかは不明確である。

前述の今後考慮すべき事項については、現時点で本学の本学部においてどの程度実現されているかは明らかにされていない。そこで経営経済学部で開講されている専門科目について、「アクティブ・ラーニング」,「地域志向科目」,「学生のPCの活用場面」の実態に関する調査を実施した。この調査の結果を受け、本学部の授業形態の状況を把握し、課題を見つけ、今後のカリキュラム・マネジメントに活かすことが本稿の目的である。

2. 実態調査について

2-1 調査の概要

教務調査の一環として、経営経済学科の専門科目（ゼミナールを除く）を対象として、地域志向科目のレベル

と講義形態、アクティブ・ラーニングの有無、学生のPCの活用状況を調査した。2024年9月4日に教員用SNS（desknet's）を用いて周知を行い、27日まで実施をした。調査はGoogle スプレッドシートへの回答となっている。具体的な質問項目は次の通りである。

- ・地域志向科目の有無とレベル
- ・アクティブ・ラーニングの有無と活用技法
- ・講義内で使用しているアプリケーション

なお、活用しているアクティブ・ラーニング技法については表1のすべてを網羅はせず事前に筆者らで日本文理大学で実施されている高度な手法について抜き出し、調査項目としている。

2-2 授業形態調査の結果

調査の結果182の授業に対しての回答があった。以下各項目の集計結果を示す。

図1は授業における地域志向科目の割合を示している。なお地域志向科目とは、学校法人文理学園（2018）の資料によると「地域での体験交流活動」「課題解決に必要な知識の修得」「ステークホルダーとの協働による課題解決型学修」の学修サイクルに関わる科目と定義している。調査の結果、本学経営経済学部での地域志向科目の授業の割合として最も多いカテゴリーは「カテゴリー3：知識修得科目」である。次いで該当なしであるが、これは地域志向でなく汎用的な知識やスキルを学ぶ科目であると考えられる。さらに多いものが「カテゴリー1：課題解決型学修科目」となっている。

本学の地域志向科目は本来的にはカテゴリー2で地域

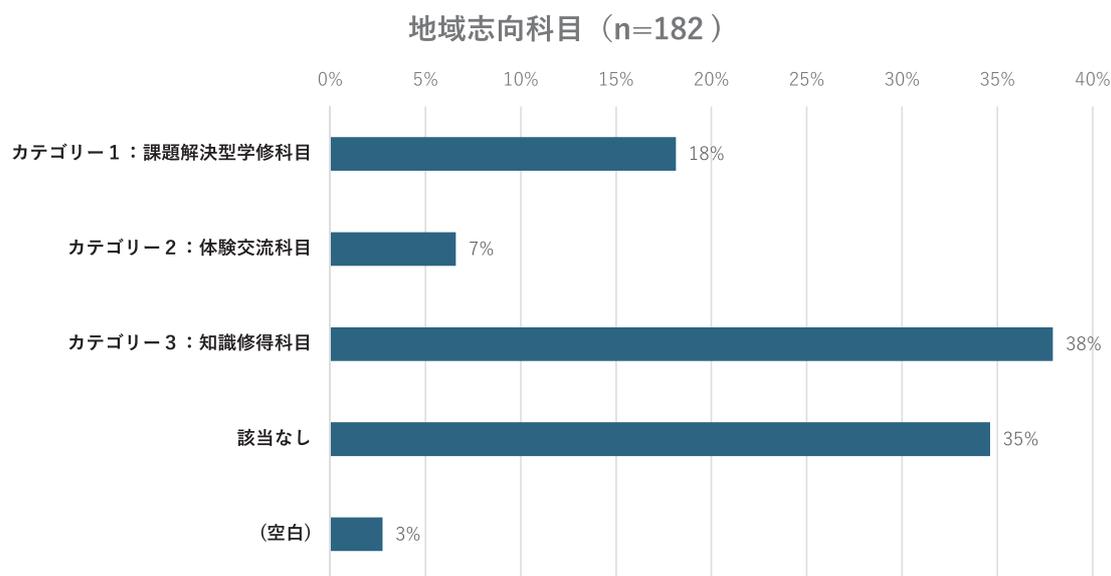


図1 経営経済学部地域志向科目の割合（筆者作成）

に溶け込みその中での経験から知識の習得の必要性を感じ、カテゴリ3で知識を身に付ける、さらに集大成としてカテゴリ1で本格的に地域の問題解決を想定していると考えられている。現状のカテゴリ割合を鑑みると、地域志向の入門であるカテゴリ2が少ない状況である。

次にアクティブ・ラーニングの実施割合についてである。図2は授業で主に用いられるアクティブ・ラーニングの実施割合を示したものである。実施される授業の約半分が何らかのアクティブ・ラーニング技法を用いた授業であることが分かる。「グループワーク」、「実習、フィールドワーク」、「PBL」が10%を超えており特に多い技法となっている。

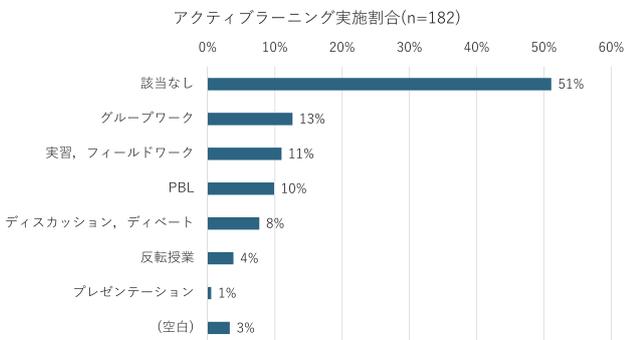


図2 経営経済学部アクティブ・ラーニング実施割合 (筆者作成)

更に図1, 2についてのクロス集計を行ったものが図3である。地域志向科目におけるカテゴリ1, 2についてはアクティブ・ラーニング技法の活用割合が高い一

方でカテゴリ3, 該当なしについてはアクティブ・ラーニングの技法が半数以上用いられていない状況であった。このことから知識習得系の講義科目は旧来からの授業スタイルが大半を占めることがわかる。

2-3 授業で学生が使用しているアプリケーションについて

図4は授業内で学生が使用しているアプリケーションについての調査結果である。最も多いものはGoogle Classroomであるが、割合は66%であった。経営経済学部ではLMS (Learning Management System (学習管理システム)) としてGoogle Classroomを用いているため真の使用状況は回答よりも高い数値であると考えられる。それ以外のアプリケーションの使用はほとんど無く、学生は遅くとも大学1年生でPCを購入しているものの、授業でのアプリケーションの活用が資料提示程度の状況であると想定される。また、あくまでアプリケーションの調査であるためGoogle ClassroomについてもPCからの利用ではなくスマートフォン等からの端末利用であると想定されるため、実際のPCからの使用については限定的であると示唆される。

2-4 他大学とのデータ比較

前節までのデータにつきWebで確認できる他大学におけるアクティブ・ラーニング実施割合の調査との比較を行う。なお、2つの大学の調査結果を挙げるが、若干古いものであること、調査項目として挙げているアクティブ・ラーニングの種類が違うことは留意すべき点である。

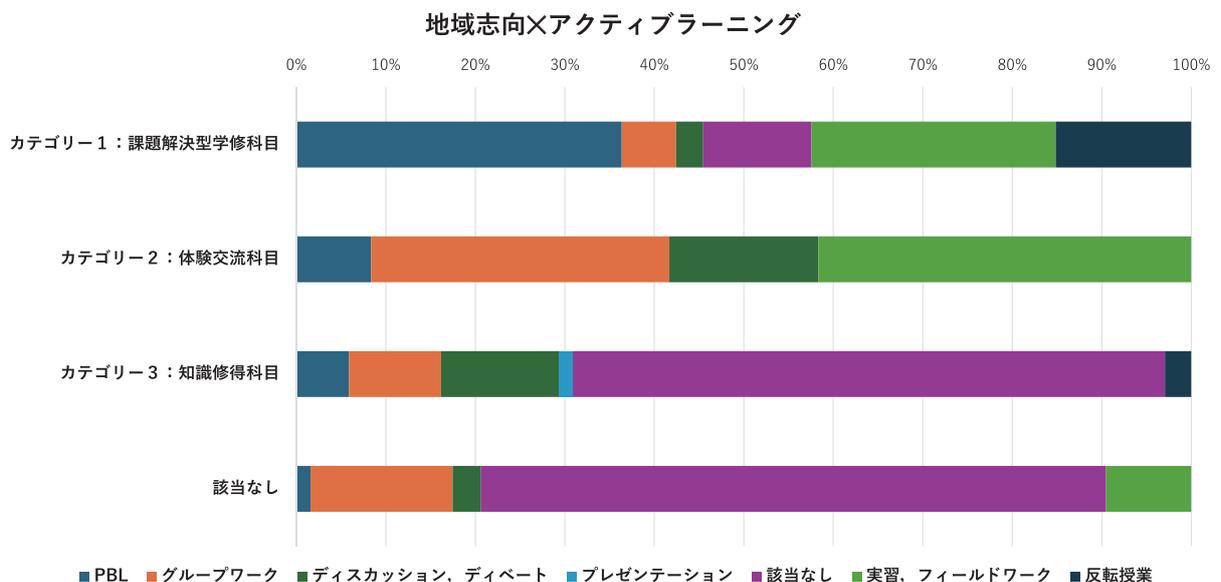


図3 地域志向とアクティブ・ラーニングのクロス集計 (筆者作成)

2016年の東京聖徳大学の調査では入門・教養科目や専門・専門関連科目の講義科目の89%がアクティブ・ラーニングを導入していた。

2017年の東京都市大学の調査では1,378科目のうち、89.5%がアクティブ・ラーニングを導入していた。同大学における更に詳細な技法の割合は図5の通りである。使用される技法の中で最も多いものは「授業中の投げか

けとフィードバック」,「レポート等の課題」が多く、アクティブ・ラーニング科目の約50%であった。次いで「ディスカッション」,「グループワーク」,「プレゼンテーション」(35%程度)であった。一方今回の本学調査の項目にあった「演習」は26%,「フィールドワーク」は7%,「PBL」は13%で本学の結果とほぼ変わらない、もしくは一部科目については多い状況であった。

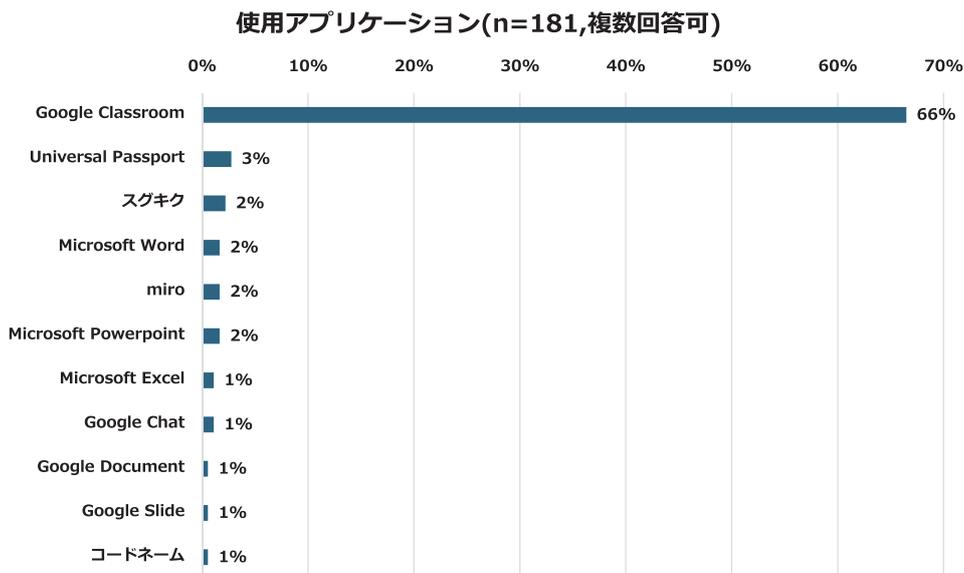


図4 授業で用いられるアプリケーション (筆者作成)

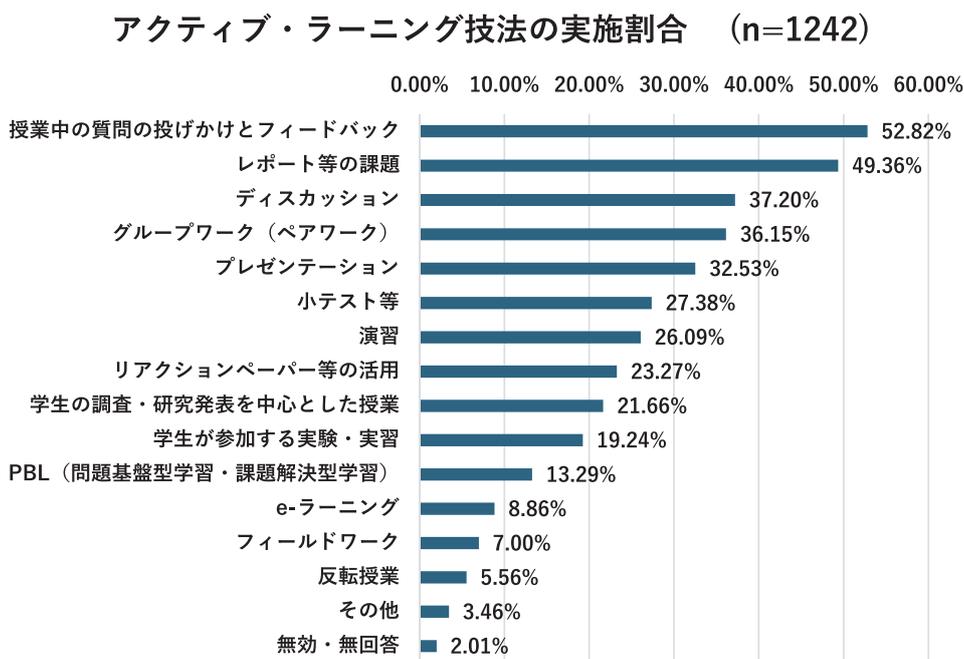


図5 他大学におけるアクティブ・ラーニング技法使用の割合 (東京都市大学 (2017) より筆者が作成)

他大学とのデータ比較より調査項目の違いがあるため、本学のアクティブ・ラーニングの割合が低いという結果であった可能性がある。実際に本学の講義形式の授業においても「授業中の投げかけとフィードバック」, 「レポート等の課題」は実際に行われている可能性は高いため厳密なアクティブ・ラーニング率の調査を行うと高い水準になるのではないかと考える。

3. おわりに

今回の調査を通じて幾つかの状況が判明した。地域志向科目については各カテゴリーの授業数が明らかになり、科目数は多い順からカテゴリー3, 1, 2となっている。正しいバランスとなっているかについての検証および科目の整備が必要である。

アクティブ・ラーニングについては実施割合が約50%であった。また、比較できる項目の一部は他大学より高い割合であった。しかしゼミナールの状況は分かっていないかつ、表1のようなすべてのアクティブ・ラーニングの技法を調査することで実質的な割合はもっと高くなるであろう。本学がより「産学一致」教育を目指し、企業連携での実習が増えていくことでよりアクティブ・ラーニングの割合は向上すると考える。

また、PCの活用について2021年度入学の学生からは必携にしている状態でこの状況では非常にもったいなく、活用率を上げる余地がある。今後入学する学生は高校まででのGIGA端末の使用や探求学習などを経験しているためさらなる活用が望まれる。本調査の結果を踏まえ、今後入学してくる学生に向けて教員はどのような

授業を提供していくのかまだまだ検討の余地があるのではないかと考える。

謝辞

この研究は、令和6年度教育・研究改革推進事業「経営経済学部におけるユニークな教育手法の共有」に採択され、補助を受けたものです。

参考文献

- 学校法人文理学園 (2018) 『日本文理大学「地(知)の拠点整備事業」年次報告書』, 日本文理大学.
- 東京成徳大学 (2016) 「アクティブラーニング実施状況調査報告書」(2025年5月21日閲覧)
https://www.tsu.ac.jp/media/active_learning.pdf
- 東京都市大学 (2017) 「アクティブ・ラーニング実施状況アンケート調査報告」(2025年5月21日閲覧)
<https://fd.fpark.tmu.ac.jp/effort/AL/2017%20AL%20report.pdf>
- 中村俊樹 (2016) 『シリーズ大学の教授法3 アクティブラーニング』, 玉川大学出版部.
- 文部科学省 (2014) 「新たな未来を築くための大学教育の質的転換に向けて～生涯学び続け、主体的に考える力を育成する大学へ～(答申)」(平成24年8月28日) 用語集 (2025年5月21日閲覧)
https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/c_hukyo0/toushin/1325047.htm

(2025年6月16日受理)

日本文理大学紀要

第53巻 第2号

令和7年10月30日 発行

編集 日本文理大学紀要編集委員会

発行 日本文理大学

大分市大字一木1727-162

TEL (097) 524-2711(図書館)

FAX (097) 593-5166

印刷 株式会社 佐伯コミュニケーションズ

大分市広瀬町2丁目3番21号

TEL (097) 543-1211(代表)

[Study Notes]

Helicopter Rotor Simulation Program NBU GEN-HEL Development (1 st Report)	
— Rotor Dynamics Model —	
Fuka OSHIRO, Shuichi NAKAYAMA	23
Helicopter Rotor Simulation Program NBU GEN-HEL Development (2 nd Report)	
— Verification Challenge to Compare with NASA Rotor Wind Tunnel Test Lift and Drag —	
Fuka OSHIRO, Shuichi NAKAYAMA	33
Helicopter Rotor Simulation Program NBU GEN-HEL Development (3 rd Report)	
— Verification Challenge to Compare with NASA Rotor Wind Tunnel Test Torque —	
Fuka OSHIRO, Shuichi NAKAYAMA	45
A Proposal for Teaching Methods for a Japanese Language Course:	
Focusing on the Learning Content of “Language”	
Yusuke TOJI	53

[Case Reports]

Application of the Paper Airplane as the Teaching Materials of the STEM Education	
Masakatsu OMORI	59
Resonance Testing Using Vibrator and its Display	
Rikiya MATSUBARA, Shuichi NAKAYAMA, Yuya ARIYOSHI, Masahiko MUROZONO	65
An Empirical Study on Enhancing Students' Growth Awareness Through Instructional Design Theory	
Miho SAKAI, Kaori Matsubara, Chikako FUCHIGAMI, Mitsunori YOSHIMURA	73
Report on the Educational Practice of Digital Image Production	
— From the Perspective of Handling Materials in Artistic Expression —	
Hajimu ADACHI	79
Sharing Educational Methods at Nippon Bunri University's School of Business and Economics	
— A Case Study of Faculty Roundtable Discussions and Video Recording/ Saving —	
Yukari ABE, Yuji KAWAMURA, Yusuke KOKUBO, Kosuke NAGASAKI, Keiichiro YOSHIMOTO··	85
Class Format and PC Usage at the School of Business and Economics, Nippon Bunri University	
Yusuke KOKUBO, Yukari ABE, Yuji KAWAMURA, Kosuke NAGASAKI, Keiichiro YOSHIMOTO··	91

CONTENTS

[Papers]

School of Engineering

Proposal of an Inspiratory Air Supply System to Enable Vocalization in Mechanically Ventilated Patients

— An Evaluation of the Effectiveness of Vacuum Ejector Geometry for Performance Enhancement —

Katsutoshi OE, Hiroki AOI, Misaki HIRAKAWA, Mutsuhiro NAKASHIGE, Shunji UCHIMURA …… 1

Kurai and *Dake* in Picture Books

Yusuke TOJI, Yuko MINO …………… 7

School of Business and Economics

Current Status and Issues in the Treatment of “Deliberation” in Civics Textbooks

— Based on the descriptions in the First Edition of the “Public” and “Politics and Economy” Textbooks —

Yuji SAITO…………… 13