

# データに基づく学習評価方法と支援に関する研究

令和4年1月

玉井 輝之

## 目次

第1章 序論 .....	1
1.1 研究背景 .....	1
1.2 「データ」と「学習評価方法と支援」 .....	2
1.3 中学校の技術教育.....	5
1.4 本論文の目的と章構成.....	6
参考文献 .....	8
第2章 構造物の部材の長さを用いた荷重の分類技能の評価.....	10
2.1 緒言 .....	10
2.2 開発した教材の構造.....	12
2.3 部材に作用する荷重.....	15
2.4 定量データを使った荷重についての指導.....	16
2.5 教材を使用した授業内容.....	19
2.6 授業実践と考察.....	21
2.7 結言 .....	22
参考文献 .....	23
第3章 音響データを用いたギヤボックスの組立て技能の評価.....	25
3.1 緒言 .....	25
3.2 ギヤボックスと音響データ.....	26
3.3 モデリング誤差.....	27
3.4 完成度の分類 .....	29
3.5 実験環境 .....	32
3.6 定量データを使った完成度の分類実験の結果.....	32
3.7 組立て技能の評価方法.....	42
3.8 教員養成の大学生への授業実践と結果.....	42
3.9 結言 .....	44
参考文献 .....	45

第4章 走行性能に基づくパラメータを調整する技能の評価.....	47
4.1 緒言 .....	47
4.2 ライントレースカー教材.....	48
4.3 学習課題とライントレースカーの走行性能.....	49
4.4 定量データを使った走行性能の評価方法.....	51
4.5 提案する授業の実践.....	53
4.6 パラメータを調整する技能の評価.....	54
4.7 パラメータを調整する技能の習熟過程の評価.....	56
4.8 結言 .....	60
参考文献 .....	61
第5章 設計要素と走行性能に基づく設計技能の評価.....	63
5.1 緒言 .....	63
5.2 提案するモデル教材.....	65
5.3 学習課題 .....	67
5.4 走行体モデルの定量データの分析.....	70
5.5 教材を使った授業内容.....	72
5.6 教員養成の大学生への授業実践と結果.....	72
5.7 結言 .....	79
参考文献 .....	80
第6章 結論 .....	82
引用既発表論文 .....	85
A.学術雑誌等掲載論文.....	85
その他既発表論文 .....	86
B.学術雑誌等掲載論文.....	86
C.国際学会等講演論文.....	86
謝辞 .....	87

## 第1章 序論

### 1.1 研究背景

2016年に内閣府から示された第5期科学技術基本計画の中で、今後日本が実現すべき社会として Society 5.0 について示された[1]。Society 5.0 は、「サイバー空間とフィジカル空間（現実世界）とを融合させた取組により、人々に豊かさをもたらす超スマート社会」として提唱された。そして、Society 5.0 の実現に向け、様々な「もの」がネットワークを介してつながり、それらが高度にシステム化されるとともに、複数の異なるシステムを連携協調させることが必要である。それにより、多種多様なデータを収集・解析し、連携協調したシステム間で横断的に活用できるようになることで、新しい価値やサービスが次々と生まれることが期待されている。Society 5.0 時代の人材の育成としては、データ解析やプログラミング等の基本的知識を持ちつつビッグデータや AI 等の基盤技術を新しい課題の発見・解決に活用できる人材を育成することが求められる。初等中等教育では、科学技術や理科・数学に対する関心・素養を高めるための取組を推進すると示されている。他方では、自然体験やホンモノに触れる実体験を通じて身に付ける力が重要になると指摘されている[2]。

このような社会の変化は教育に対しても例外ではなく、教育の情報化が急速に進展している。学校で ICT 環境を基盤とした先端技術や教育ビッグデータを活用することは、これまで得られなかった学びの効果が生まれるなど、学びを変革していく大きな可能性があると言われている[3]。一方で、課題として、どのような場面でどのような先端技術を活用した機器を利活用することが効果的なのか実証的な検証等が少なく明らかではないことが挙げられている。このように、学習者の学びをデータから評価し、この評価を根拠にした指導が期待されており、具体的な実践場面を示すことが求められているといえる。

これまでの学校教育における設計や製作の活動では、個人やグループによって作られた製作品の機能や精度、学習課題の記録などから技能の評価がされてきた。このような学習評価では、学習者が改善・修正を繰り返すことで、理論と現実の関係について気づいた内容を、

データを根拠に述べさせることが困難であった。しかし、製作品の作動音や動作などから、その特性や特徴を示すデータを得ることができるようになった。これらのデータを分析することで技能の評価や支援に活用できると考える。また、複数の製作品のデータを収集し、比較・分析することで、製作品の設計要素のトレードオフの関係について学習させることや、他の製作品への応用の仕方についても考えさせられることが可能である。

## 1.2 「データ」と「学習評価方法と支援」

様々な分野で「データ」という語句は使用されている。語句の説明の一例としては、「立論の材料として集められた、なんらかの判断を導く情報を内包している事実。」[4]、「コンピュータで、プログラムを運用できる形に記号化・数字化された資料。」、「調査もしくは分析するために収集された事実もしくは情報のこと。」[5]や「「データ」とは、事物・現象から何らかの処理(記号化)を経て得られたものをいい、「情報」とは、各個人・組織の目的に即して整理・価値づけの行われたデータを指す。」[6]などがある。本研究では、数理モデルやグラフなどで示すことができるデータを製作品の作動音や動作などから収集する。

教師が学習者に指導や支援を行う際には、「児童生徒にどのような力が身に付いたか」という学習の成果を的確に捉えて指導や支援の改善を図る、いわゆる「指導と評価の一体化」が重要である。「指導と評価の一体化」については、「児童生徒の学習と教育課程の実践状況の評価の在り方について」の中で、「学校の教育活動は、計画、実践、評価という一連の活動が繰り返されながら、児童生徒のよりよい成長を目指した指導が展開されている。すなわち、指導と評価とは別物ではなく、評価の結果によって後の指導を改善し、さらに新しい指導の成果を再度評価するという、指導に生かす評価を充実させることが重要である(いわゆる指導と評価の一体化)」と示されている[7]。また、「児童生徒にとって評価は、自らの学習状況に気付き、自分を見つめ直すきっかけとなり、その学習や発達を促すという意義がある」と示されている。

学習評価の尺度として、心理学の分野では、名義尺度、順位尺度、間隔尺度、比尺度の4水準での区別がなされてきた[8]。名義尺度は、分類や数え上げるために数値が付与されている基準を指す[9]。順序尺度は、順序が保持された数値を与える場合を指す。間隔尺度は、絶対的な原点はないものの間隔は保証されているものを指す。比尺度は、物理量を測定する場合を指す。学習評価の客観性を確保する際には、間隔尺度や比尺度などを用いた測定が重要とされている。これは、間隔尺度や比尺度などを用いた測定で得られたデータ(定量データ)で、定量的分析や量的な基準づくり[10]ができるためである。学習評価のための定量データとしては、学習課題に取り組んだ時間やアンケート結果などが一般的である。定量データに基づく学習評価をする研究としては、川田らは進化的計算法を用いて設計力を評価する手法を提案しており、その中で定性的な評価の割合が大きい学習内容に対して定量データに基づく学習評価を行う有効性について検証している[11]。このように、定性的な評価がなされている学習内容について、定量データに基づく評価方法を検討していくことは必要であるといえる。

また、実践の目標と実践の結果とを照合する教師の教授行為の構造は、教育工学の分野では、学習者と教師の関係について、学習者を制御対象、教師をコントローラと捉えると、一種の制御系と捉える[12]ことで研究がなされている。近年の研究では、教育あるいは学習の場面における「教師-学習者」の関係を、システムの特性をオンラインで推定しながら制御をする制御手法である、図 1.1 に示すセルフチューニング制御系で解釈することの妥当性について示されている[13]。教育あるいは学習の場面における「教師-学習者」の関係も、セルフチューニング制御系とよく似た形となる。学習者が制御対象、教師はパラメータ同定器、パラメータ変換器、およびコントローラすべてを含んだ形と考えられる。つまり、図 1.1 に破線で囲った部分が教師に対応する。このように考えると、教師は、次の三つの能力を有することが求められている。

能力1 学習者の習熟度を正確に把握する能力

能力2 学習者の習熟度に基づいて適切な教示方法を与える能力

能力3 教示方法に基づいて適切に教示できる能力

ここで、能力1はパラメータ同定器、能力2はパラメータ変換器、能力3はコントローラに対応している。このように、「教師-学習者」の関係を制御工学的に解釈することができることの妥当性が示されている。そして、所望の制御性能を得るためには、対象となるシステムの特性を十分に把握することが必要である。つまり、所望の習熟度を得るためには、対象となる学習者の習熟度を把握することが求められる。これらのことから、教育工学の分野についてもデータに基づいて学習評価を行うことは重要な要素であるといえる。

一方で、学習者の製作品の作動音や動作を数理モデルで表したり、グラフで示したりして、データを比較・分析することで学習者の技能(習熟度)を評価し支援することの研究例は、著者の知る限り実施されていない。

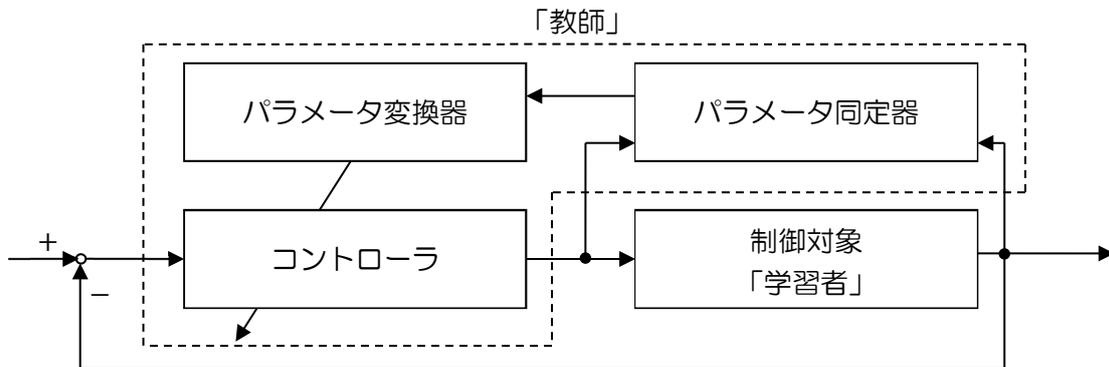


図 1.1 セルフチューニング制御系のブロック線図

### 1.3 中学校の技術教育

本研究の対象としている中学校の技術教育は、1881(明治14)年の中学校教則大綱で、中学校が普通教育と職業準備教育を担うとされたことに伴い設置された専修科(農業、工業、商業)に始まる[14]。そして、1911(明治44)年の改正中学校令施行規則で随意科目として実業科(農業、商業、手工)が加えられた。実業科の目的は実業に関する知識技能の習得や実業に対する興味関心の向上、勤労愛好の精神の育成などであった。そして、普通教育として、職業科、職業・家庭科という教科で技術教育が展開され、今日では技術・家庭科という教科で技術教育がなされている[15]。教育課程の基準となる2017年(平成29年)告示の中学校学習指導要領では、技術・家庭科(技術分野)(以下、技術科)の目標は、次のように示されている。

技術の見方・考え方を働かせ、ものづくりなどの技術に関する実践的・体験的な活動を通して、技術によってよりよい生活や持続可能な社会を構築する資質・能力を次のとおり育成することを目指す[16]。

- (1) 生活や社会で利用されている材料、加工、生物育成、エネルギー変換及び情報の技術についての基礎的な理解を図るとともに、それらに係る技能を身に付け、技術と生活や社会、環境との関わりについて理解を深める。
- (2) 生活や社会の中から技術に関わる問題を見いだして課題を設定し、解決策を構想し、製作図等に表現し、試作等を通じて具体化し、実践を評価・改善するなど、課題を解決する力を養う。
- (3) よりよい生活の実現や持続可能な社会の構築に向けて、適切かつ誠実に技術を工夫し創造しようとする実践的な態度を養う。

以上のように、設計や製作の技能についての目標が定められており、設計や製作に関わる技能の評価との関りの深い教科であるといえる。

## 1.4 本論文の目的と章構成

本研究の目的は、技術科において学習者が作った製作品の作動音や動作などから定量データを得て、数理モデルやグラフで表すことによりデータに基づく評価や分析をする手法を提案し、これらの提案手法を用いた学習評価方法と支援について考察することである。そのために、定量データとして単数を扱う場合や複数を扱う場合、必要となるデータから評価や分析をして得られる結果から場面を分けて授業の実践を行う。本論文の構成を以下に示す。

まず、第2章では、定量データとして単数のデータ(構造物の部材の長さ)を測定させることで、構造物の部材に作用している荷重を2種類の荷重(圧縮荷重及び引張荷重)に分類する技能を評価させることについて述べる[A1]。身近な構造物を模擬した静力学モデルを変形させ、部材の長さを比較することで分類させることを検証する。そして、提案する分類手法で部材に作用する荷重を分類する技能を評価し、正確に分類させる支援について考察する。

次に、第3章では、定量データとして単数のデータ(ギヤボックスを作動させた音響データ)を測定することで、5種類のギヤボックスの完成度に分類し、組立て技能を評価することについて述べる[A2]。ギヤボックスを作動させ、スマートフォンで取得した音響データから自己回帰モデルを算出し、モデリング誤差の値を比較することで、ギヤボックスの完成度を分類することを検証する。そして、提案する分類手法でギヤボックスの組立て技能を評価し、学習者に応じた支援について考察する。

次に、第4章では、定量データとして複数のデータ(プログラムのパラメータとライントレースカーの走行性能)を測定することで、プログラミングの技能の一つであるパラメータを調節する技能を評価することについて述べる[A3][A4]。ライントレース教材を使用した学習課題を、走行時間と左右の振れの二つの指標の定量データを測定し、自グループのデータを分析し、設計と製作を繰り返すことで、課題を解決するパラメータを調節させることを検証する。そして、パラメータを調節する技能を評価し、パラメータを改善させる支援につい

て考察する。

次に、第 5 章では、定量データとして複数のデータ(シャシー性能に特化したモデル教材(以下、走行体モデル)の設計要素と走行性能)を測定することで、設計技能を評価することについて述べる[A5]。グループで製作させた走行体モデルの設計要素や筐体に取り付けた部品と走行結果を定量データで測定し、全てのグループのデータを表やグラフで示して学習者に分析させ、設計と製作を繰り返すことで、課題を解決する走行体を設計させることを検証する。そして、走行体モデルを設計する技能を評価することや、設計要素のパラメータを改善させる支援について考察する。

最後に、第 6 章では、本論文の研究を総括し、今後の研究活動に対して言及する。

## 参考文献

- [1] 内閣府：「科学技術基本計画」 (2016)  
<https://www8.cao.go.jp/cstp/kihonkeikaku/5honbun.pdf>  
(2021年12月1日参照)
- [2] 文部科学省：「Society 5.0 に向けた人材育成～ 社会が変わる、学びが変わる ～」  
(2018)  
[https://www.mext.go.jp/component/a\\_menu/other/detail/\\_icsFiles/afieldfile/2018/06/06/1405844\\_002.pdf](https://www.mext.go.jp/component/a_menu/other/detail/_icsFiles/afieldfile/2018/06/06/1405844_002.pdf)  
(2021年12月1日参照)
- [3] 文部科学省：「新時代の学びを支える先端技術活用推進方策（最終まとめ）」 (2019)  
[https://www.mext.go.jp/component/a\\_menu/other/detail/\\_icsFiles/afieldfile/2019/06/24/1418387\\_02.pdf](https://www.mext.go.jp/component/a_menu/other/detail/_icsFiles/afieldfile/2019/06/24/1418387_02.pdf)  
(2021年12月1日参照)
- [4] 日本国語大辞典第二版編集委員会，小学館国語辞典編集部(共編)：「日本国語大辞典第二版 第九巻」，小学館 (2001)
- [5] 岡ノ谷一夫，黒沢香，泰羅雅登，田中みどり，中釜洋子，服部環，日比野治雄，宮下一博(共編)：「心理学事典」，藤永保，仲真紀子(監修)，丸善 (2004)
- [6] 池島良，景山三平，下村哲：「これだけは知っておきたい教員のための数学Ⅱ-解析・統計・コンピュータ-」，培風館 (2007)
- [7] 文部省教育課程審議会答申：「児童生徒の学習と教育課程の実践状況の評価の在り方について」 (2000)
- [8] 足立自朗：「教育評価にかかわる若干の概念の検討」，日本教育学会教育学研究，Vol.43, No.2, pp.102-112 (1976)
- [9] 安彦忠彦，新井郁男，飯長喜一郎，井口磯夫，木原孝博，児島邦宏，堀口秀嗣(共編)：「新版 現代学校教育大辞典」，ぎょうせい (2002)

- [10] 田中耕治：「教育評価」，岩波新書 (2002)
- [11] 川田和男，山本透，間田泰弘：「進化的計算法を用いた機械設計力の評価方法に関する一考察」，工学教育，Vol.53，No.1，pp.63-68 (2005)
- [12] 井上光洋：「教育工学の基礎」，国土社 (1971)
- [13] 長松正康，白坂高司，川田和男，山本透，山根八洲男：「制御工学的アプローチに基づく教師-学習者間モデルに関する考察」，電気学会論文誌 C(電子・情報・システム部門誌)，Vol.34，No.10，pp.1537-1542 (2014)
- [14] 安孫子啓，安藤茂樹，魚住明生，宮川秀俊(共編)：「新 技術科教育総論」，日本産業技術教育学会技術教育分科会 (2009)
- [15] 横山悦生：「1958年の技術・家庭科の学習指導要領の普通教育としての性格—文部省職業教育課課内会議の資料にそくして—」，産業教育学研究 Vol.27，No.2，pp.42-54 (1997)
- [16] 文部科学省：「中学校学習指導要領(平成 29 年告示)」，東山書房 (2018)

## 第2章 構造物の部材の長さを用いた荷重の分類技能の評価

### 2.1 緒言

普通教育における技術教育は、主として中学校の技術科で行われている[1]。技術科では、発達段階に応じて技術に関する能力を育成する。技術科の教科書では、物体に外から作用する力(荷重)の知識について、部材の形状や部材の組み合わせによる構造についての学習で取りあげられている[2][3][4]。そして、部材の組み合わせによる構造に関する内容は、木材、金属、プラスチックなどの材料をつかった製品の設計の前に指導されている。また、松浦らは、中学校技術科の材料力学的側面として、荷重が重視されていると指摘している[5]。

平成29年告示の中学校学習指導要領では、学習過程として、既存の技術の理解をすることが位置付けられている[6]。そこでは、「技術に関する原理や法則、基礎的な技術の仕組みを理解するとともに、技術の見方・考え方に気付く。」学習をさせる。材料と加工の技術について調べる活動では、「材料の組織や成分、圧縮、引張、曲げ等に対する力学的な性質といった材料の特性や、組み合わせる部材の厚さ、幅、断面形状と、四角形や三角形、面等の組み合わせる部材の構造、切削、切断、塑性加工、加熱といった加工の特性等の材料や加工についての原理・法則と材料の組織を改良する方法や、断面形状や部材の構造を含めた材料を成形する方法、切断や切削等の加工の方法、表面処理の方法等の基礎的な材料と加工の技術の仕組みを理解できるようにする。」と記されている。このように、構造物を構成する材料(部材)に作用する荷重については、技術科で重視されている内容の一つであるといえる。

技術科における荷重に関わる教材開発としては、野崎らは、はりの曲げを学習させる教材を開発し、教材の曲げ剛性について理論と実験の両面から検討を行い、その妥当性を示している[7]。しかし、この教材を使用した授業の有用性については検証されていない。また、荷重に耐えられる強度を持った構造物を製作させる教材はこれまでに提案され、その有用性が示されている。西ヶ谷らは、自立式ハンモックを製作させることでラーメン、トラス、アーチ構造について学習させる授業を提案している[8]。中村らは、栽培容器や水槽を設置す

る免震構造を製作させることで丈夫な構造について指導することを検討している[9]。西山らは、ストローブリッジコンテストを通した2重スパイラル展開により、構造の学習を深化させる授業を提案している[10]。これらは、部材に作用する荷重を理解させた上で使用する教材であるため、学習者が部材に作用する荷重の種類を理解しているかどうかは検証されていない。技術・家庭科の目標には、「(1) 生活と技術についての基礎的な理解を図るとともに、それらに係る技能を身に付けるようにする。」と記されている。「基礎的な理解」では、「個別の事実的な知識の習得だけではなく、社会における様々な場面で活用できる概念の理解を目指している」とされている。これらの記述から、複数の身近な構造物を取りあげ、部材の組み合わせによる構造の工夫を指導することが求められているといえる。しかし、身近な構造物の部材に作用する荷重に着目した教材開発はほとんどなされていない。

荷重は、機械工学事典では、「物体に外から作用する力を荷重といい、物体の体積要素に作用する物体力と面積要素に作用する表面力からなる。」[11]と定義されている。そして、分類方法の一つとして、荷重の作用の仕方で、圧縮荷重、引張荷重、曲げ荷重、ねじり荷重に分類できるとされている。また、荷重について学習させる順序として次の二つの例が挙げられる。一つ目に、イギリスの11歳～16歳対象のテキストである Garratt 著の *Design and technology* である[12]。このテキストでは、まず、単純な構造物の部材に作用する荷重として、圧縮荷重及び引張荷重の2種類の違いを調べさせる。そして、せん断荷重やねじり荷重について学習させる順序になっている。二つ目に、技術教育で技術科と関連のある高等学校工業科での学習である[13]。平成30年告示の高等学校学習指導要領では、機械設計の科目に含まれている[14]。機械設計1では、圧縮荷重及び引張荷重について学習させ、せん断荷重、曲げ荷重について学習させる順序になっている[15]。これらのことから、中学校技術科でも、荷重について学習させる際には、はじめに、圧縮荷重及び引張荷重を取りあげることが考えられる。本章では初学者に対しての指導を検討するため、圧縮荷重及び引張荷重を取りあげることとした。

以上のことから本章では、以下の2点を考慮した構造物の部材に作用する荷重(圧縮荷重及び引張荷重)を定量データとして部材の長さを測定することで体験的に学習させる教材を開発した。そして、中学生に対して授業実践を行い、効果を検証した。

(1)部材に作用する圧縮荷重及び引張荷重を、体験的に理解させる。

(2)身近な構造物の構造と圧縮荷重や引張荷重との関係について理解を深めさせる

## 2.2 開発した教材の構造

開発した静力学モデル教材(以下、フレームモデルと略)には、プラスチック製のフレームを利用した。プラスチック製のフレームは、機構の指導にも利用されており有効性が示されている[16][17]。そのため、学習のつながりを考慮して、フレームモデルの部品とした。接合部には、ネオジウム磁石を利用した。ピンやボルトとナットでの接合よりも、簡単に組み合わせることができるためである。また、異なる色のフレームを利用することで、各部材に作用する荷重について学習させる際に、授業者が指示を出しやすいように工夫している。図2.1に示す信号機のフレームモデルでは、学習者に信号機を想像させるために、接合部に取り付けられる信号機の模型を製作した。なお、この模型は、信号機のフレームモデルを使用する際に破損しても3Dデータから同じ形状を再現できるようにするため、3Dプリンタで製作した。製作した信号機のフレームモデルの簡略図は、図2.2のように示すことができる。図2.3に示す自転車のフレームモデルでは、L字型アングルと木材を利用して、フレームを支えられるようにした。製作した自転車のフレームモデルの簡略図は、図2.4のように示すことができる。

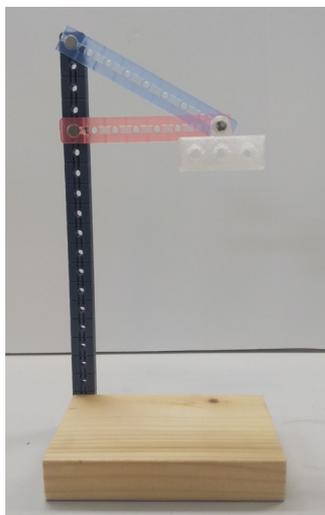


図 2.1 信号機のフレームモデル

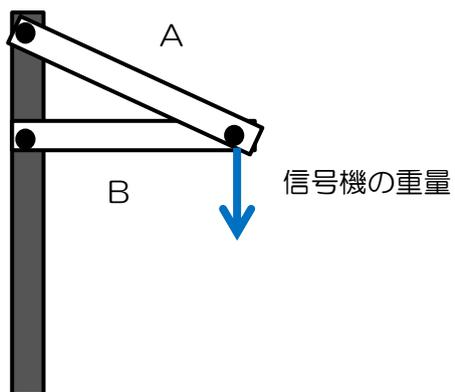


図 2.2 信号機のフレームモデルの簡略図

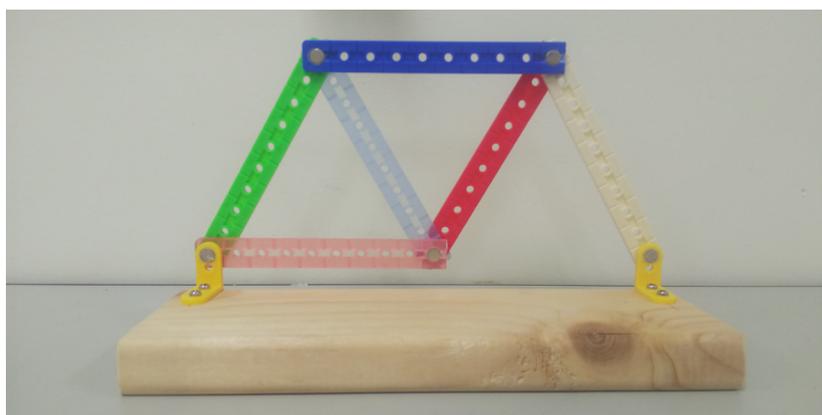


図 2.3 自転車のフレームモデル

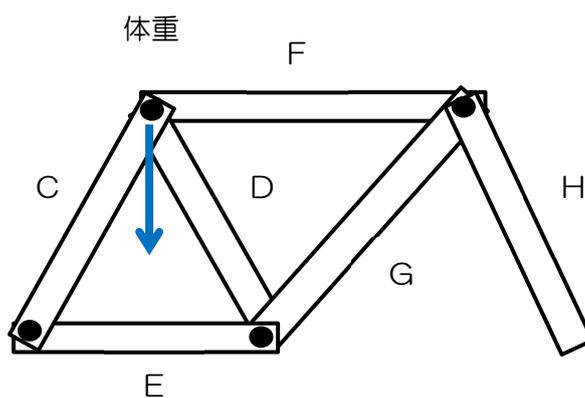


図 2.4 自転車のフレームモデルの簡略図

### 2.3 部材に作用する荷重

部材に作用する荷重を力の釣り合いで考える。信号機のフレームモデルの力の釣り合いを図2.5に示す。フレームAとフレームBの節点に働く力を $F_1$ [N]とする。フレームAに働く力を $F_A$ [N]、フレームBに働く力を $F_B$ [N]、フレームAとフレームBがなす角を $\theta_{AB}$ [deg]とする。節点に加わる力は釣り合うことから、(2.1)式(2.2)式を得る。

$$F_1 = F_A \cos(90^\circ - \theta_{AB}) \quad (2.1)$$

$$F_B + F_A \sin(90^\circ - \theta_{AB}) = 0 \quad (2.2)$$

(2.1)式より、(2.3)式を得る。

$$F_A = \frac{F_1}{\cos(90^\circ - \theta_{AB})} \quad (2.3)$$

(2.1)式(2.2)式より、(2.4)式を得る。

$$F_B = -F_1 \tan(90^\circ - \theta_{AB}) \quad (2.4)$$

図2.5に示すように、フレームAには(2.3)式の引張荷重、フレームBには(2.4)式の圧縮荷重が作用しているといえる。このように、数式を用いてそれぞれの部材の圧縮荷重及び引張荷重を示すことができる。しかし、限られた授業時間で、数式を用いて正確な荷重の値を計算させることは困難である。

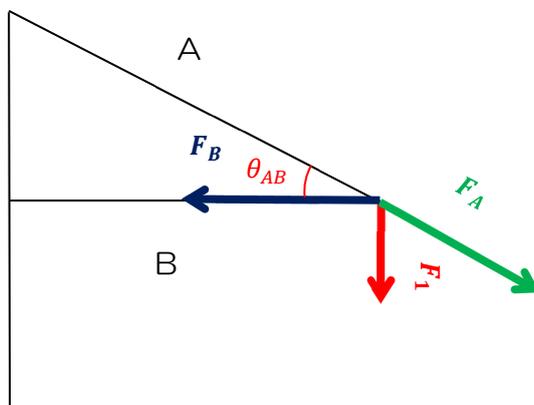


図2.5 信号機のフレームの力の釣り合い

## 2.4 定量データを使った荷重についての指導

限られた授業時間で指導するために、定量データとして部材の両節点の長さ(部材の長さ)を測定させることで、圧縮荷重か引張荷重かを分類させることを検討する。教材を表 2.1 に示す五つの手順で使用する。信号機のフレームモデルで、フレーム A に作用する荷重が圧縮荷重か引張荷重かを指導する。信号機のフレームモデルに作用する荷重は、信号機の重量とする。フレーム A を取り除くと、図 2.6 に示すように、ジョイント A-ジョイント C の間の長さ(フレーム A の長さ)が伸びる。このことから、フレーム A には、引張荷重が作用していると判断させる。フレーム B に作用する荷重が圧縮荷重か引張荷重かを指導する。フレーム B を取り除くと、図 2.7 に示すように、ジョイント B-ジョイント C の間の長さ(フレーム B の長さ)が縮む。このことから、フレーム B には、圧縮荷重が作用していると判断させる。同様に、自転車のフレームモデルを使って、フレーム D に作用する荷重が圧縮荷重か引張荷重かを指導する。自転車のフレームモデルに作用する荷重は、自転車に乗車する人間の体重とする。フレーム D を取り除くと、図 2.8 に示すように、ジョイント D-ジョイント E の間の長さ(フレーム D の長さ)が縮む。このことから、フレーム D には、圧縮荷重が作用していると判断させる。他のフレームについても同様の手順で、圧縮荷重または引張荷重を分類させることができる。

表 2.1 教材の利用手順

	指導内容
Step 1	フレームモデルに作用する荷重を確認させる。
Step 2	圧縮荷重または引張荷重のどちらの荷重が作用しているかを分類する部材を選択させて部材の両節点の長さを測定させる。そして、その部材を取り除かせる。
Step 3	Step 1 で確認させた荷重をフレームモデルに作用させる。
Step 4	取り除いた部材の両節点の長さを測定させ、部材を取り除く前よりも縮んだか、伸びたかを確認させる。
Step 5	縮んだ状態を圧縮荷重、伸びた状態を引張荷重と判断させる。

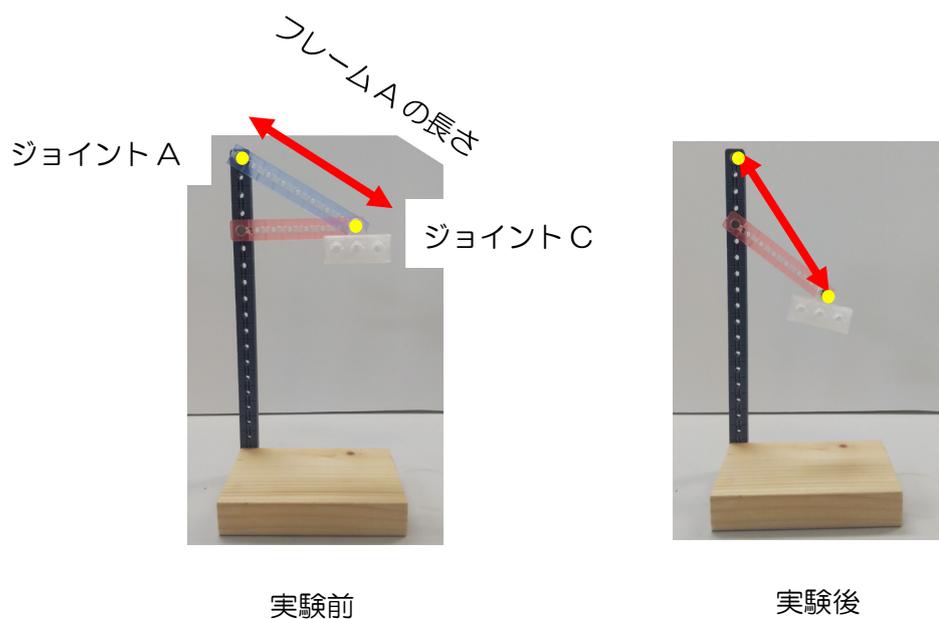


図 2.6 信号機のフレーム A に作用する荷重

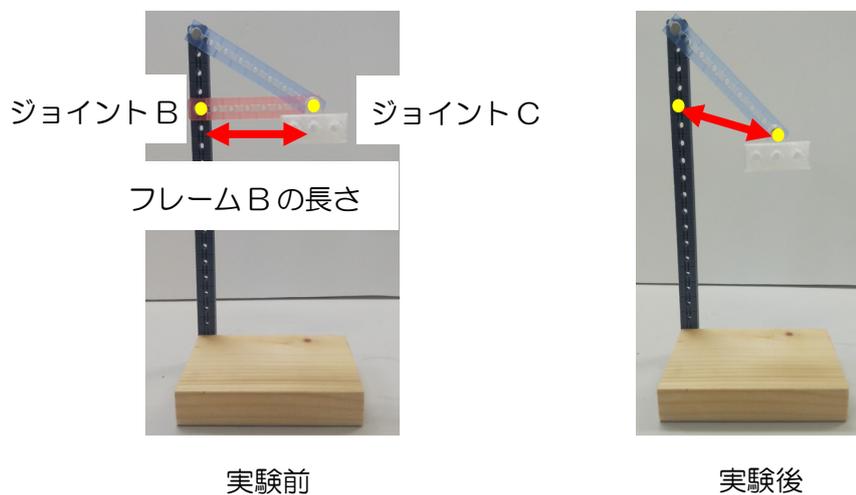


図 2.7 信号機のフレーム B に作用する荷重

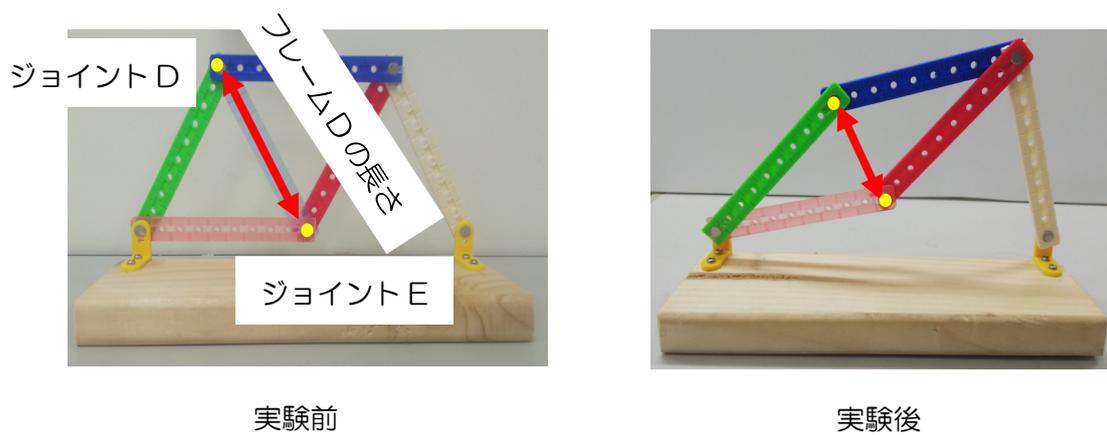


図 2.8 自転車のフレーム D に作用する荷重

## 2.5 教材を使用した授業内容

開発した教材を使用した授業は、1 単位時間の内容とした。授業内容を表 2.2 に示す。

「(1) 圧縮荷重及び引張荷重の学習」では、部材に作用する圧縮荷重及び引張荷重について学習させる。その際、大谷らが考案した力学的な教育内容の簡易化モデルを基にして、図 2.9 のように表現して指導する[18]。

「(2) 信号機のフレームモデルを使用した実験」では、図 2.10 の問題について解答させる。まず、フレーム A とフレーム B に作用する荷重が圧縮荷重か引張荷重かを予想させる。次に、図 2.1 のフレームモデルを使用して、表 2.1 の手順で部材に作用する荷重が圧縮荷重か引張荷重かを判断させるように教示する。そして、フレームモデルの動きを観察させながら答えを示す。

「(3) 自転車のフレームモデルを使用した実験」では、図 2.11 の問題について解答させる。まず、フレーム C～フレーム H に作用する荷重が圧縮荷重か引張荷重かを予想させる。次に、図 2.3 のフレームモデルを使用して、表 2.1 の手順で実験させる。そして、フレームモデルの動きを観察させながら答えを示す。

表 2.2 授業内容

時数	授業内容
1	(1) 圧縮荷重及び引張荷重の学習
	(2) 信号機のフレームモデルを使用した実験
	(3) 自転車のフレームモデルを使用した実験

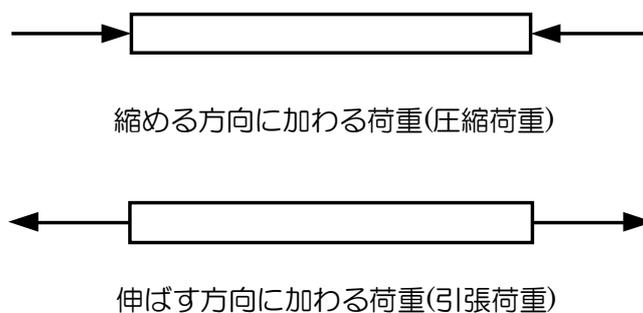


図 2.9 圧縮荷重と引張荷重の簡易化モデル

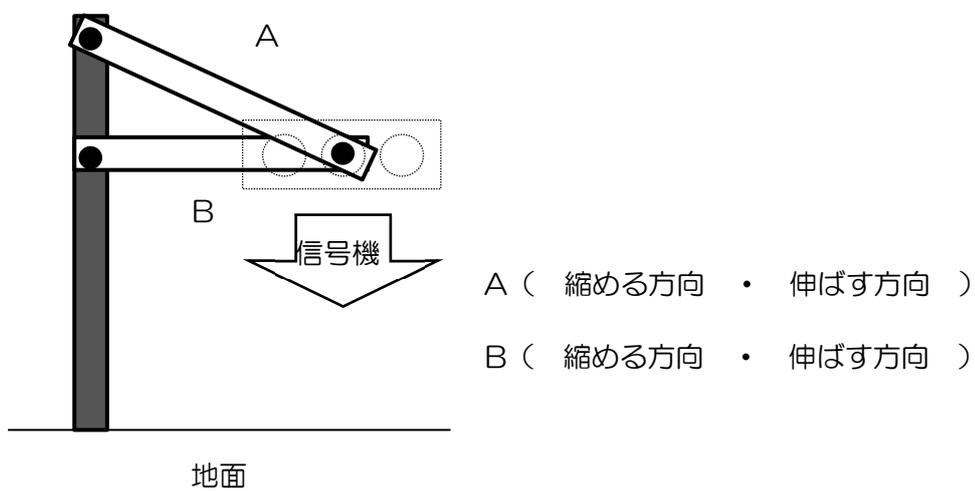
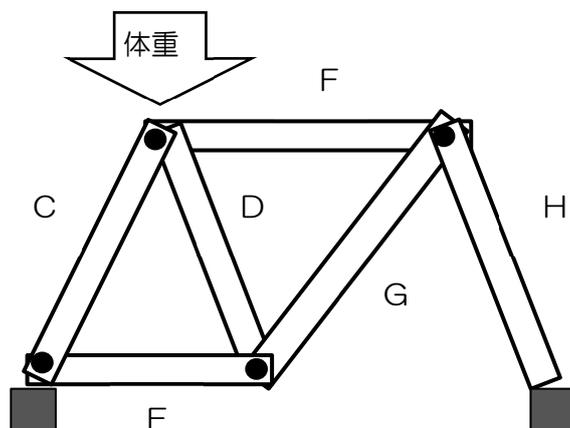


図 2.10 信号機のフレームモデルを使用した問題



- C ( 縮める方向 ・ 伸ばす方向 )      D ( 縮める方向 ・ 伸ばす方向 )  
 E ( 縮める方向 ・ 伸ばす方向 )      F ( 縮める方向 ・ 伸ばす方向 )

図 2.11 自転車のフレームモデルを使用した問題

## 2.6 授業実践と考察

広島県の私立中学校で、2021年7月に中学1年生(合計28人)を対象に提案した授業を実践した。授業時間は、1単位時間50分である。まず、事前テストとして図2.10、図2.11に示す問題をペーパーテストで解答させ、授業前の理解度を評価した。次に、表2.2に示す授業を実践した。実験では、4人1班として、一つの教材を使用させた。そして、事後テストとして事前テストと同様の問題をペーパーテストで解答させ、授業後の理解度を評価した。事前テストと事後テストは、フレームモデルは使用させず解答させた。事前テストと事後テストの解答結果を表2.3に示す。信号機のフレームモデルと自転車のフレームモデルの全てのフレームの正答率が向上した。このことから授業を通して、部材に作用する圧縮荷重及び引張荷重について理解を深めさせられたといえる。また、授業に対する意見を自由記述で回答させた。28人中無回答が3人で、有効回答は25人であった。「圧縮と引張を見分けるための考え方が分かった。」、「模型で考えるととてもわかりやすかった。」のように、授業に対

して肯定的な記述が 24 人であった。また、「もっと複雑なものの加わる力について知りたい。」のように、身近な構造物の構造と圧縮荷重や引張荷重との関係について考えてみたいという記述が 17 人であった。これらのことから、フレームモデルを使用した実験を通して、構造物の構造と圧縮荷重や引張荷重との関係を学習する意欲を向上させたといえる。

表 2.3 事前テストと事後テストの正答率

問題	フレーム	正答	事前テスト 正答率(%)	事後テスト 正答率(%)
信号機のフレームモデルを使用した問題	フレーム A	引張荷重	79	96
	フレーム B	圧縮荷重	68	96
自転車のフレームモデルを使用した問題	フレーム C	圧縮荷重	61	79
	フレーム D	圧縮荷重	71	93
	フレーム E	引張荷重	75	89
	フレーム F	圧縮荷重	29	68
	フレーム G	引張荷重	46	71
	フレーム H	圧縮荷重	46	89

## 2.7 結言

本章では、身近な構造物のフレームモデル教材を提案し、部材に作用する荷重の種類について示した。定量データとして部材の長さを測定させ、データを比較することで 2 種類の荷重(圧縮荷重及び引張荷重)に分類させる手法を提案しその妥当性を示した。そして、教材を使用した授業を中学生に対して実践し、部材に作用する荷重を圧縮荷重か引張荷重かで分類する技能の評価ができることを示した。また、フレームモデルを変形させることで分類する見方・考え方を指導し、正確に分類させる支援を行うことができた。

## 参考文献

- [1] 日本産業技術教育学会・技術教育分科会(編)：「技術科教育概論」，九州大学出版 (2018)
- [2] 安藤茂樹，他 71 名：「技術・家庭[技術分野]」，開隆堂 (2018)
- [3] 田口浩継，他 64 名：「新しい技術・家庭 技術分野 未来を創る Technology」，東京書籍 (2018)
- [4] 佐竹隆顕，他 9 名：「技術・家庭 技術分野」，教育図書 (2019)
- [5] 松浦正史，神野弘良：「技術科における強さとかたちの学習展開」，日本産業技術教育学会誌，Vol.24，No.3，pp.5-11 (1982)
- [6] 文部科学省：「中学校学習指導要領(平成 29 年告示)解説 技術・家庭編」，開隆堂 (2018)
- [7] 野崎英明，本橋諭，上野耕史，竹野英敏：「「はり曲げ」を理解するための教材の開発」，日本産業技術教育学会誌，Vol.53，No.4，pp.255-262 (2011)
- [8] 西ヶ谷浩史，紅林秀治：「金属パイプを利用した自立式ハンモック教材の開発」，日本産業技術教育学会誌，Vol.62，No.2，pp.103-112 (2020)
- [9] 中村加奈，白井貴大，室伏春樹，鄭基浩：「アクアポニックス教材用小型軸組吊り免震構造の開発」，日本産業技術教育学会誌，Vol.61，No.4，pp.269-276 (2019)
- [10] 西山由紀子，角和博，菊池章，伊藤陽介：「技術教育の初期段階におけるストローブリッジコンテストを通じた 2 重スパイラル展開の提案」，日本産業技術教育学会誌，Vol.62，No.1，pp.29-39 (2020)
- [11] 日本機械学会：「機械工学事典」，丸善 (1997)
- [12] Garratt, James : "Design and technology (2nd ed.)", Cambridge University Press (1996)

- [13] 吉田豊, 土井康作:「中学校技術科と高等学校工業学科の教員の連携意識」, 日本産業技術教育学会誌, Vol.55, No.4, pp.235-242 (2013)
- [14] 文部科学省:「高等学校学習指導要領(平成30年告示)解説 工業編」, 実教出版 (2019)
- [15] 林洋次, 他 11名:「機械設計1」, 実教出版 (2018)
- [16] 森慎之助, 山本透, 森岡弘, 白濱弘幸:「中学校技術・家庭科(技術分野)におけるロボット技術を用いた動力伝達および機構学習」, 日本産業技術教育学会誌, Vol.48, No.3, pp.193-200 (2006)
- [17] 宮下晃一, 松本雅裕:「標準化された部品を用いて組み立てる機構学習キットの開発」, 日本産業技術教育学会誌, Vol.56, No.2, pp.109-116 (2014)
- [18] 大谷忠, 腰塚美穂:「中学校の技術教育における材料や構造に関する力学的な教育内容の分析」, 日本産業技術教育学会誌, Vol.52, No.1, pp.25-32 (2010)

## 第3章 音響データを用いたギヤボックスの組立て技能の評価

### 3.1 緒言

新時代の学びを支える先端技術活用推進方策では、「誰一人取り残すことのない、公正に個別最適化された学び」の実現に向けて、ICTを基盤とした最先端技術や教育ビッグデータの効果的な活用に大きな可能性があるとされている[1]。学習履歴や行動等の様々なビッグデータ分析による「経験知」の可視化や、新たな知見の生成が期待されている。中学校学習指導要領では、学習の基盤となる資質・能力の一つである情報活用能力を育成するために、「各学校において、コンピュータや情報通信ネットワークなどの情報手段を活用するために必要な環境を整え、これらを適切に活用した学習活動の充実を図ること」と示されている[2]。そして、生徒の発達を支える指導の充実として個に応じた指導の充実を図るために、情報手段や教材・教具の活用を図るとされている。このように、教育を充実させるための機器やシステムの開発が求められているといえる。

他方では、これまでに音響データを用いた工業製品の故障診断や異常診断に関する多くの研究がなされている。植松らは、マイクで取得した音響データから機器の動作音から異常を検知する研究を行っており[3]、太田らは音響データから転がり軸受の異常診断を行う研究を行っている[4]。近年では、産業において設備の稼働状況や故障の監視などに音響データが利用されるようになってきている。このように音響データを利用して機器の状態を分類する手法は、広く利用されている。

本章で対象としている、技術科では、実習や実験などの体験的な学習を中心に授業がなされている。学習の評価としては、観点別の学習状況の評価が用いられ、「知識・技能」「思考・判断・表現」「主体的に学習に取り組む態度」の観点がある。この観点毎に、学習指導要領に定める目標に準拠した評価規準を定める。そして、この三つの観点の学習状況を、「十分満足できる」状況と判断されるもの：A(以下、A評価)、「おおむね満足できる」状況と判断されるもの：B(以下、B評価)、「努力を要する」状況と判断されるもの：C(以下、C評価)の

3段階で評価する[5]。その際、評価基準は、授業を担当する教師が設定する。「知識・技能」の評価の内、特に技能の評価では、最終的に完成した製作品から、製作品を作る技能だけを評価するのではなく、安全・適切に作業できているかを観察などから多面的に評価するといった工夫が必要であるとされている[6]。学習状況を分析するために ICT を利用した研究としては、森は、ロボット教材を利用した学習において、VTR 映像を用いて作業内容を時系列にまとめることの有用性を示唆したり[7]、岩山らは IoT 教材の状態遷移情報に基づく学習履歴を表示させるコンテンツを開発したり[8]している。しかし、著者の知る限りでは、音響データを使って学習状況を分析する研究はほとんどなされていない。また、学習状況を把握するために、森山らは、プログラミングの学習指導において、ニューラルネットワークを用いた学習効果の予測モデルにより、授業評価を行う可能性を検討している[9]。白坂らは、データベースとガウス曲線を用いた重み付け関数を持ちいて、授業成果の評価を予測する研究を行っている[10]。このように数値モデルを使って習熟度や理解度についての予測を行う研究はなされている。しかし、数値モデルを利用して算出した値を用いて製作品の完成度を分類することで、授業目標の達成状況を評価する研究はなされていない。

そこで、本章では、定量データとして音響データを測定し、ギヤボックスの完成度を分類する手法について検討する。そして、組立て技能の評価に関わる目標と評価基準を定めた授業において、提案する分類手法を実践した結果について考察する。

### 3.2 ギヤボックスと音響データ

本章で利用したギヤボックスは、自在ギヤボックス(Yamazaki 製)である。図 3.1 にその構造を示す。ギヤ比は、200:1 として組立てている。モータは、FA-130RA(マブチモーター製)である。表 3.1 にモータの性能を示す。ギヤボックスを作動させ、スーパーボイスレコーダー(Lovekara 製フリーソフト)を使用して、Android OS のスマートフォン(SH-M07 SHARP 製)で音響データを取得した。

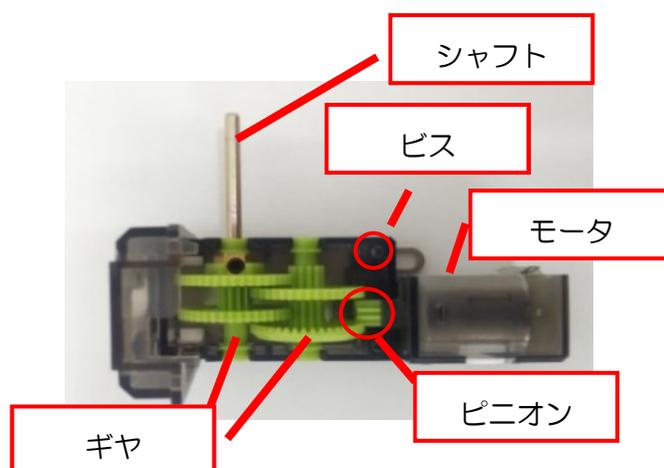


図 3.1 ギヤボックスの構成

表 3.1 FA-130RA の性能

使用電圧範囲	1.5～3.0V
適正電圧	1.5V
適正負荷	0.39mN・m(4.0gf・cm)
無負荷回転数	8,600r/min
適正負荷時の回転数	6,500r/min

### 3.3 モデリング誤差

機器を利用して取得した音響データを $s_i(t)$ と置く。音響データは、自己回帰モデルに適している[11]ことから、 $s_i(t)$ は、(3.1)式で得られるとする。ただし $\xi(t)$ は白色雑音、 $f_i$ は自己回帰モデル係数、 $i$ はギヤボックスの完成度を分類する種類を示す。

$$s_i(t) = \sum_{k=1}^{\infty} f_{ik}s_i(t-k) + \xi(t) \quad (3.1)$$

推定値 $\hat{s}_i(t)$ が自己回帰モデルに準じた次式で得られるものとする。

$$\hat{s}_i(t) = \sum_{k=1}^{\infty} \tilde{f}_{ik} s_i(t-k) \quad (3.2)$$

ただし、次数が無限であると現実の問題として扱えないため、有限の次数 $n$ として設計者が設定し、次式とする。

$$\begin{aligned} \hat{s}_i(t) &= \sum_{k=1}^n \hat{f}_{ik} s_i(t-k) \\ &= [s_i(t-1) \quad s_i(t-2) \quad \dots \quad s_i(t-n)] \begin{bmatrix} \hat{f}_{i1} \\ \hat{f}_{i2} \\ \vdots \\ \hat{f}_{in} \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (3.3)$$

次に、(3.3)式を時間ごとにまとめ、次式を導出する。

$$\hat{\mathbf{s}}_i = \mathbf{Z}_i \hat{\mathbf{f}}_i \quad (3.4)$$

$\hat{\mathbf{s}}_i$ ,  $\mathbf{Z}_i$ ,  $\hat{\mathbf{f}}_i$ は、それぞれ、以下の式とする。

$$\hat{\mathbf{s}}_i = \begin{bmatrix} \hat{s}_i(t) \\ \hat{s}_i(t-1) \\ \hat{s}_i(t-2) \\ \vdots \\ \hat{s}_i(t-l) \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

$$\mathbf{Z}_i = \begin{bmatrix} s_i(t-1) & s_i(t-2) & \dots & s_i(t-n) \\ s_i(t-1-1) & s_i(t-1-2) & \dots & s_i(t-1-n) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ s_i(t-l-1) & s_i(t-l-2) & \dots & s_i(t-l-n) \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

$$\hat{\mathbf{f}}_i = \begin{bmatrix} \hat{f}_{i1} \\ \hat{f}_{i2} \\ \vdots \\ \hat{f}_{in} \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

$l$ は最小2乗法を用いる際に用いるデータの個数であり、 $l > n$ である。次式のように最小2乗法で $\hat{\mathbf{f}}_i$ を求める。

$$\hat{\mathbf{f}}_i = (\mathbf{Z}_i^T \mathbf{Z}_i)^{-1} \mathbf{Z}_i^T \hat{\mathbf{s}}_i \quad (3.8)$$

以上の手段で音響データに基づいた自己回帰係数ベクトル $\hat{\mathbf{f}}_i$ を得ることができる。この自己回帰係数ベクトル $\hat{\mathbf{f}}_i$ を分類するギヤボックスごとに計算する。

次に分類したい音響データを $a(t)$ とする。そして $a(t)$ を(3.9)式のようにモデルに適用し、モデルに基づいて得られる推定値 $\hat{a}(t)$ を計算する。

$$\hat{a}(t) = \sum_{k=1}^n \hat{f}_{ik} a(t-k) \quad (3.9)$$

評価したい音響データである真値 $a(t)$ と、(3.9)式で得られた推定値 $\hat{a}(t)$ のモデリング誤差を $\varepsilon(\hat{f}_i, a(t))$ として、(3.10)式で計算する。ただし、 $h$ はサンプリングデータの区間を示す。

$$\varepsilon(\hat{f}_i, a(t)) = \sum_{j=t-h}^t |a(j) - \hat{a}(j)| \quad (3.10)$$

$\varepsilon(\hat{f}_i, a(t))$ を比較し、値が最小のモデルと同じギヤボックスの完成度として分類する。

### 3.4 完成度の分類

本章では、ギヤボックスを表 3.2 に示すように 5 種類の状態の完成度に分類する。「種類 1 正確に完成できている」状態を図 3.2 に示す。グリスを十分に塗り、ビスも十分に締めている。「種類 2 グリスを塗っていない」状態を図 3.3 に示す。図 3.3 に示す丸で囲んだ、ギヤとギヤが接触する箇所や、軸受となる箇所にグリスを塗っていない状態で、図 3.2 のように組立てる。「種類 3 ビスが締まっていない」状態を図 3.4 に示す。ギヤケースを左右 2 箇所のビス(M2×12mm)で固定している。このビスが締まっていない。「種類 4 ピニオンを取り付けていない」状態を図 3.5 に示す。モータに取り付けるピニオンを取り付けていない状態で、ギヤケースに取り付けている。「種類 5 ピニオンの取り付けが不十分である」状態を図 3.6 に示す。ピニオンを十分に差し込むと、ピニオンとモータケースの距離が 2mm 程度になる。しかし、十分に差し込めていないとモータとモータケースの距離が 5mm 程度となる。この状態で、ギヤケースに取り付けている。

表 3.2 ギヤボックスの完成度の分類

種類	ギヤボックスの組立ての状態
種類 1(Type 1)	正確に完成できている
種類 2(Type 2)	グリスを塗っていない
種類 3(Type 3)	ビスが締まっていない
種類 4(Type 4)	ピニオンを取り付けていない
種類 5(Type 5)	ピニオンの取り付けが不十分である

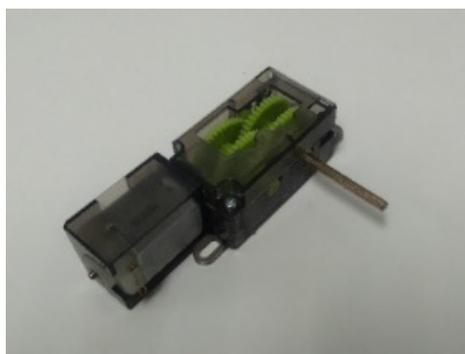


図 3.2 種類 1 のギヤボックス

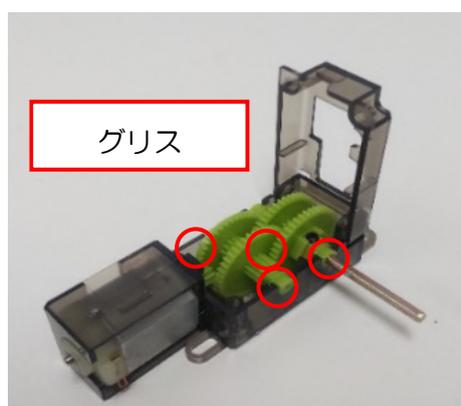


図 3.3 種類 2 のギヤボックス

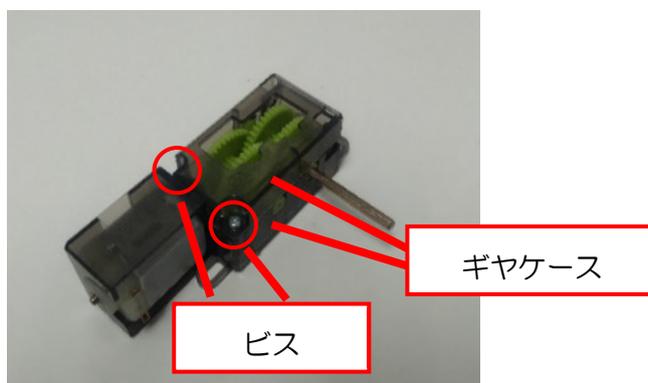


図 3.4 種類 3 のギヤボックス



図 3.5 種類 4 のギヤボックス



図 3.6 種類 5 のギヤボックス

### 3.5 実験環境

ギヤボックスに、直流安定化電源(PMC18-2 KIKUSUI 製)で、1.5V の電圧を加えて、動作させた。ほとんど周囲の騒音がない状態で測定した。音響データとして、サンプルレートは、8000Hzとして、10秒程度録音した。また、グリスを塗った直後の動作には、20秒程度動作させて、回転音を一定になるようにした。のファイル形式は、mp3とした。図3.7に示すように、マイクとギヤボックスとの距離は、20mmとした。シャフトの回転方向は、反時計回りとした。

計算ソフトウェア MATLAB を使って、プログラムを作成した。モデルを作成する際、(3.3)式の次数 $n$ については、サンプルレートを考慮し予備実験を行い、十分高い次数として $n = 10$ とした。そして、ギヤボックスで一番回転数が遅いギヤに取り付けてあるシャフトが1回転以上しているデータを抽出できるように、行列 $Z_i$ は、50000行10列、 $h = 50000$ とした。また、取得したデータの始めと終わりを省けるように、20000番目からのデータを用いた。



図 3.7 ギヤボックスとマイクの位置

### 3.6 定量データを使った完成度の分類実験の結果

得られた音響データの例を図3.8～図3.12に示す。このように表3.2に示す、種類1～5の状態のギヤボックスの音響データを取得した。それぞれのデータを $s_1(t) \sim s_5(t)$ として、自己

回帰係数ベクトル $\hat{\mathbf{f}}_1 \sim \hat{\mathbf{f}}_5$ を計算した。次に、 $s_1(t) \sim s_5(t)$ の音響データを取得したギヤボックスから、 $s_1(t) \sim s_5(t)$ とは異なる音響データ $\mathbf{a}(t)$ を、それぞれ $a_{1\text{Type } 1}(t) \sim a_{1\text{Type } 5}(t)$ として取得した。そして、(3.10)式でモデリング誤差を計算し、完成度の分類を行った。 $a_{1\text{Type } 1}(t) \sim a_{1\text{Type } 5}(t)$ の結果を表 3.3 に示す。同様の手順で、 $s_1(t) \sim s_5(t)$ の音響データを取得したギヤボックスとは別のギヤボックス 5 個で $\mathbf{a}(t)$ をそれぞれ、 $a_{2\text{Type } 1}(t) \sim a_{6\text{Type } 1}(t)$ 、 $a_{2\text{Type } 2}(t) \sim a_{6\text{Type } 2}(t)$ 、 $a_{2\text{Type } 3}(t) \sim a_{6\text{Type } 3}(t)$ 、 $a_{2\text{Type } 4}(t) \sim a_{6\text{Type } 4}(t)$ 、 $a_{2\text{Type } 5}(t) \sim a_{6\text{Type } 5}(t)$ として取得し実験を行った。それぞれの結果を表 3.4～表 3.8 に示す。列ごとに見て、着色している $\varepsilon(\hat{\mathbf{f}}_i, \mathbf{a}(t))$ が最小となっているため、音響データから、ギヤボックスの完成度を正確に分類にできている。その他のギヤボックスについても同様に正確に分類できた。音響データを高速フーリエ変換(FFT)し比較を行った。取得したデータの始めと終わりを省けるように、20000 番目から 50000 個のデータを用いた。 $s_1(t) \sim s_5(t)$ と $a_{1\text{Type } 1}(t) \sim a_{1\text{Type } 5}(t)$ の結果を図 3.13～図 3.17 に示す。種類 1 と種類 4 については、パワースペクトルの値が 0.001 を超えていない。また種類 4 については、ほとんど 600Hz 以降のパワースペクトルの値がみられないことで見分けられる。種類 2 については、2250Hz の近傍が山形になっている。これは種類 1 には見られるが種類 4 には見られないことから、ギヤボックスのギヤのかみ合いに関わる音響であると推察される。そして、グリスを塗ることでパワースペクトルの値が小さくなっていると推察される。種類 5 については、400Hz～1500Hz の間に不規則にパワースペクトルの値が大きくなっている箇所がある。これは、ピニオンとギヤのかみ合わせが不十分であるため、力の伝達が一定になっていないことに関係していると推察される。種類 3 については、1000Hz～1500Hz にパワースペクトルの値が大きくなっているが、その他の箇所は種類 2 や種類 5 と比較するとパワースペクトルの値が小さくなっている。このように、周波数の特性が自己回帰モデルにも表れていると推察され、正確に分類できた要因となっていると予想される。

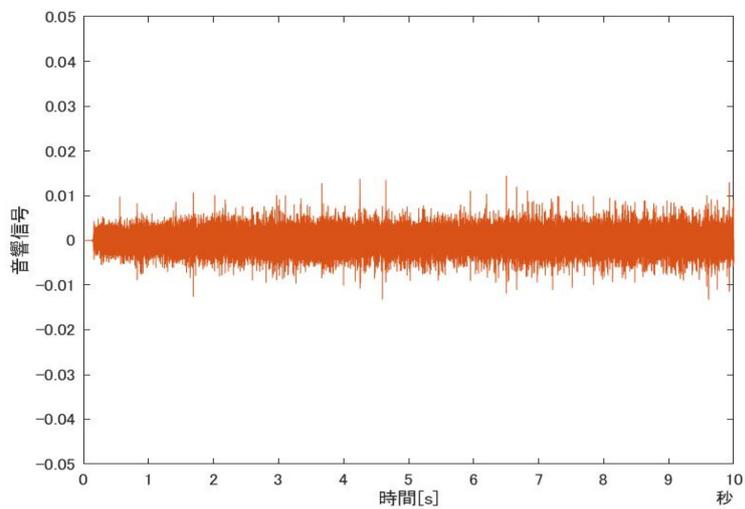


図 3.8 種類 1 の音響データの例

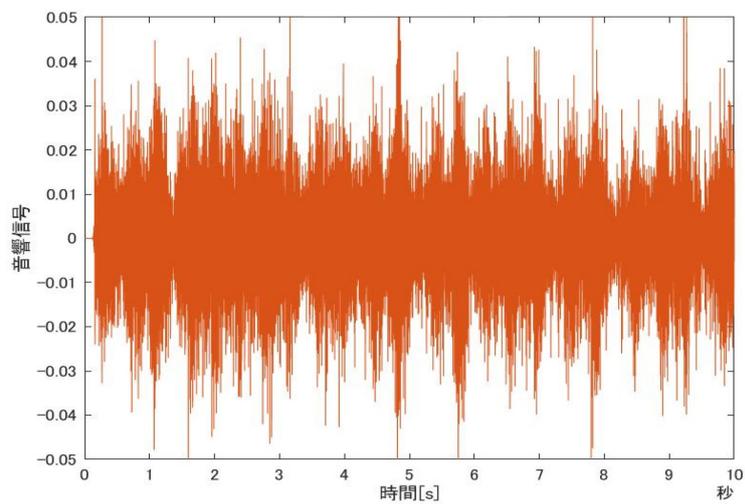


図 3.9 種類 2 の音響データの例

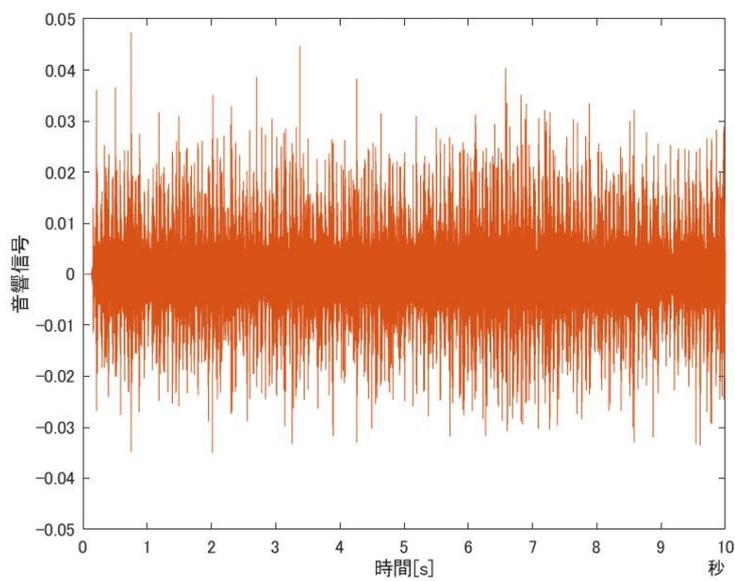


図 3.10 種類 3 の音響データの例

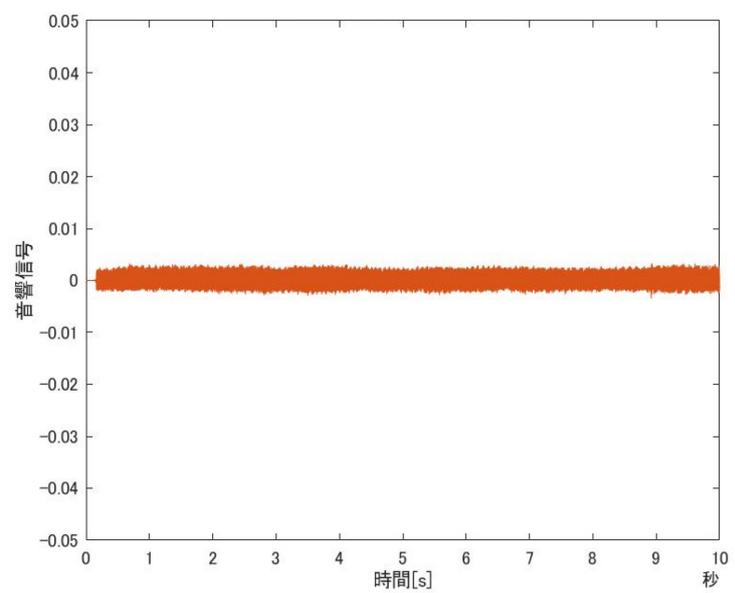


図 3.11 種類 4 の音響データの例

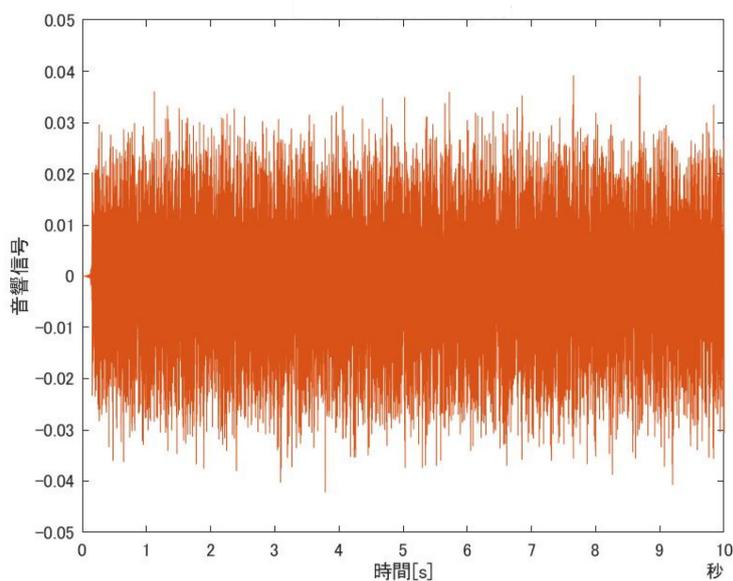


図 3.12 種類 5 の音響データの例

表 3.3 同じギヤボックスで異なる音響データでの結果

		$a_{1 Type 1}(t)$	$a_{1 Type 2}(t)$	$a_{1 Type 3}(t)$	$a_{1 Type 4}(t)$	$a_{1 Type 5}(t)$
Type 1	$\hat{f}_1$	79.543	281.636	208.329	28.250	335.332
Type 2	$\hat{f}_2$	91.528	252.131	176.392	40.234	306.815
Type 3	$\hat{f}_3$	107.753	261.815	172.639	49.909	294.647
Type 4	$\hat{f}_4$	95.635	356.582	263.342	24.214	419.717
Type 5	$\hat{f}_5$	118.233	271.546	181.194	59.294	290.025

表 3.4 種類 1 のギヤボックスでの実験結果

		$a_{2 \text{ Type } 1}(t)$	$a_{3 \text{ Type } 1}(t)$	$a_{4 \text{ Type } 1}(t)$	$a_{5 \text{ Type } 1}(t)$	$a_{6 \text{ Type } 1}(t)$
Type 1	$\hat{f}_1$	94.925	78.493	72.829	95.988	68.893
Type 2	$\hat{f}_2$	114.506	82.490	81.125	104.923	80.446
Type 3	$\hat{f}_3$	122.303	92.508	86.808	111.480	90.782
Type 4	$\hat{f}_4$	109.246	97.111	81.864	114.131	76.780
Type 5	$\hat{f}_5$	134.401	100.297	92.219	114.174	99.259

表 3.5 種類 2 のギヤボックスでの実験結果

		$a_{2 \text{ Type } 2}(t)$	$a_{3 \text{ Type } 2}(t)$	$a_{4 \text{ Type } 2}(t)$	$a_{5 \text{ Type } 2}(t)$	$a_{6 \text{ Type } 2}(t)$
Type 1	$\hat{f}_1$	231.968	167.806	246.300	326.185	226.868
Type 2	$\hat{f}_2$	221.394	166.562	217.129	272.479	214.173
Type 3	$\hat{f}_3$	245.338	174.804	223.840	284.916	216.089
Type 4	$\hat{f}_4$	290.110	211.428	333.118	428.001	293.481
Type 5	$\hat{f}_5$	255.743	184.302	238.786	298.631	229.390

表 3.6 種類3のギヤボックスでの実験結果

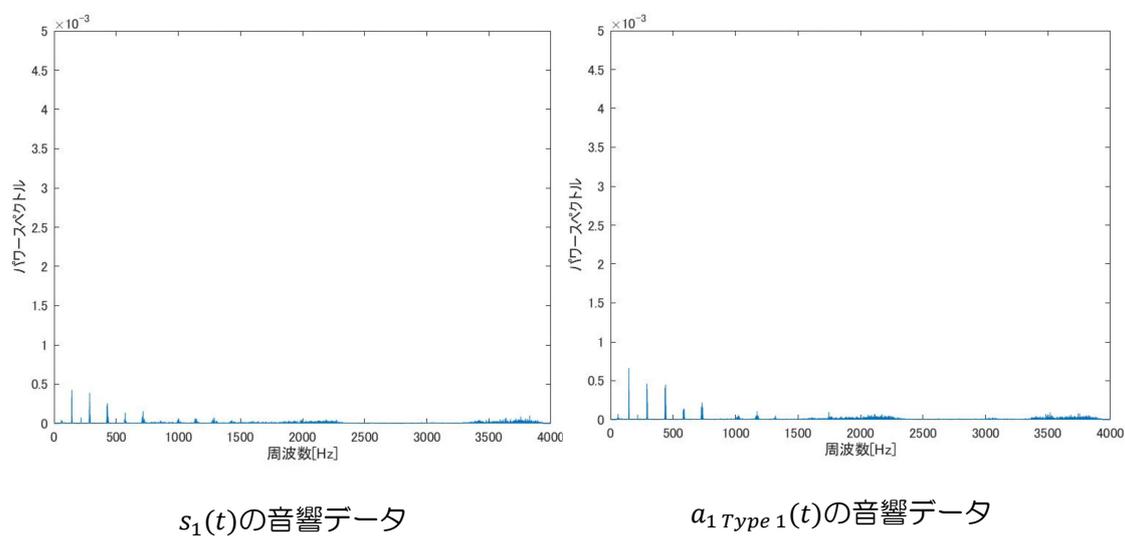
		$a_{2 \text{ Type } 3}(t)$	$a_{3 \text{ Type } 3}(t)$	$a_{4 \text{ Type } 3}(t)$	$a_{5 \text{ Type } 3}(t)$	$a_{6 \text{ Type } 3}(t)$
Type 1	$\hat{f}_1$	312.704	244.099	331.542	361.706	288.265
Type 2	$\hat{f}_2$	272.309	208.008	310.653	339.642	276.474
Type 3	$\hat{f}_3$	267.039	205.158	308.417	330.905	268.497
Type 4	$\hat{f}_4$	390.280	304.989	402.548	471.480	353.089
Type 5	$\hat{f}_5$	278.387	217.350	309.367	336.461	274.682

表 3.7 種類4のギヤボックスでの実験結果

		$a_{2 \text{ Type } 4}(t)$	$a_{3 \text{ Type } 4}(t)$	$a_{4 \text{ Type } 4}(t)$	$a_{5 \text{ Type } 4}(t)$	$a_{6 \text{ Type } 4}(t)$
Type 1	$\hat{f}_1$	46.967	33.650	46.463	36.559	31.998
Type 2	$\hat{f}_2$	67.581	53.509	72.391	50.485	47.061
Type 3	$\hat{f}_3$	86.975	74.626	97.984	57.707	53.981
Type 4	$\hat{f}_4$	44.040	25.333	35.349	31.917	25.920
Type 5	$\hat{f}_5$	100.559	86.010	116.292	66.795	63.035

表 3.8 種類 5 のギヤボックスでの実験結果

		$a_{2 \text{ Type } 5}(t)$	$a_{3 \text{ Type } 5}(t)$	$a_{4 \text{ Type } 5}(t)$	$a_{5 \text{ Type } 5}(t)$	$a_{6 \text{ Type } 5}(t)$
Type 1	$\hat{f}_1$	736.285	477.641	567.472	303.357	145.900
Type 2	$\hat{f}_2$	593.676	427.603	501.627	299.261	151.680
Type 3	$\hat{f}_3$	570.988	379.863	467.956	263.623	146.870
Type 4	$\hat{f}_4$	827.074	544.628	633.152	334.075	171.329
Type 5	$\hat{f}_5$	574.832	336.857	451.802	245.682	140.808

図 3.13 種類 1( $s_1(t)$ )と $a_{1 \text{ Type } 1}(t)$ の音響データの FFT の結果

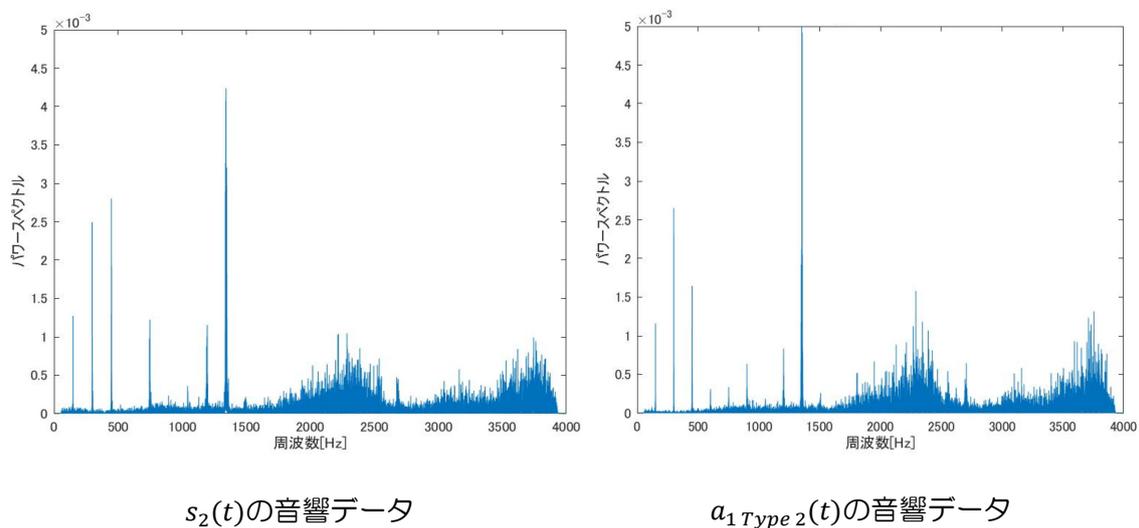


図 3.14 種類 2( $s_2(t)$ と $a_{1Type2}(t)$ )の音響データの FFT の結果

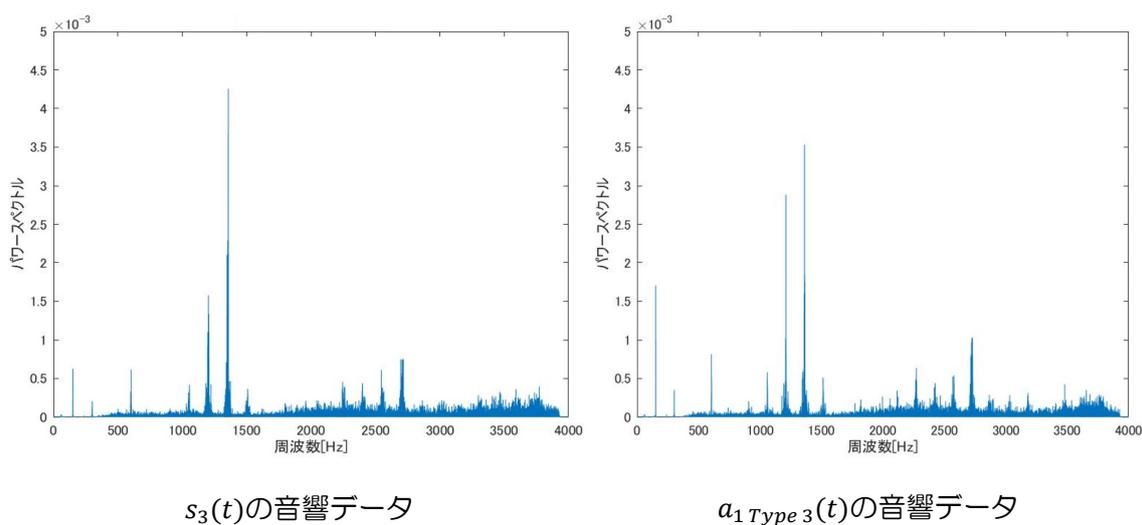
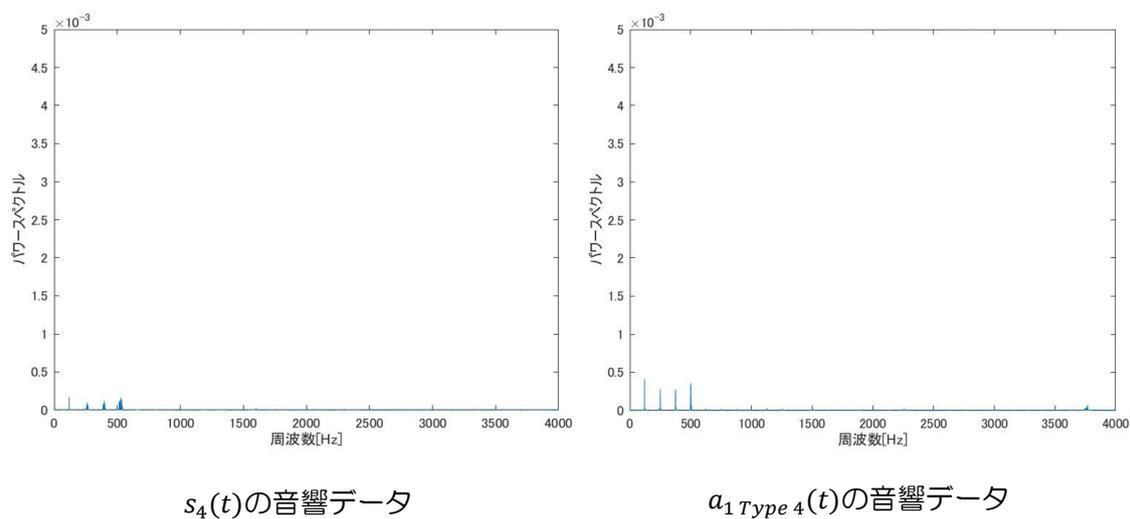
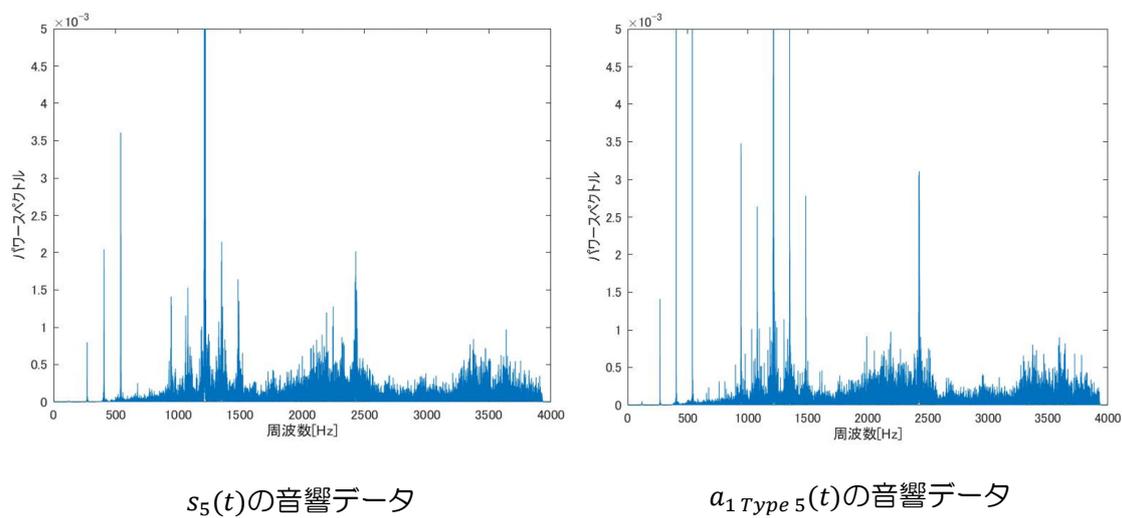


図 3.15 種類 3( $s_3(t)$ と $a_{1Type3}(t)$ )の音響データの FFT の結果

図 3.16 種類 4( $s_4(t)$ と $a_{1Type4}(t)$ )の音響データの FFT の結果図 3.17 種類 5( $s_5(t)$ と $a_{1Type5}(t)$ )の音響データの FFT の結果

### 3.7 組立て技能の評価方法

技術科の技能の評価の視点の一つとして、「工具・道具などを活用し、設計に沿い、一定の精度をもって、加工などの作業ができているか」が考案されている[12]。これに準じた技術科の授業の目標を「ギヤボックスを適切に組立てることができる」とする。評価の方法として、本研究で提案するギヤボックスの完成度の分類を適用し、評価基準を次のように定めた。種類1を製作できた場合は、A評価として技能の評価をする。種類2~5の場合は、B評価として技能の評価をする。組立てられず、音響データを取得できないような状態の場合は、C評価として技能の評価をする。

### 3.8 教員養成の大学生への授業実践と結果

提案する授業での活用場面を大学生の被験者7名(Subject A~ Subject F)に対して実践した。被験者にギヤボックスをそれぞれ製作させた。そして、作動させて取得した音響データを、 $a_{Subject A}(t) \sim a_{Subject F}(t)$ とした。提案する手法を用いると、表3.9に示す着色された種類に分類された。Subject A~ Subject Dの製作したギヤボックスについては、種類1に分類されたため、A評価とする。Subject E~ Subject Gの製作したギヤボックスは種類2に分類された。そのため、この分類をもとにして、Subject E~ Subject Gにグリスを塗っていないことを指摘し、修正させた。修正後の音響データ $a'_{Subject E}(t) \sim a'_{Subject G}(t)$ を取得した。修正後は、表3.10に示す着色された種類1に分類された。このことより、ギヤボックスの完成度に基づいた支援を行うことで被験者7名全員がA評価となった。

本実験では、1度のギヤボックスの修正で、種類1に分類された。しかし、種類2~5の複数の箇所該当する場合も想定される。この場合は、分類された箇所から修正し、何度も修正を繰り返して、種類1に分類されるようにする。

表 3.9 組立てさせたギヤボックスの分類

		$a_{Subject A}(t)$	$a_{Subject B}(t)$	$a_{Subject C}(t)$	$a_{Subject D}(t)$
Type 1	$\hat{f}_1$	95.051	128.08	94.907	111.873
Type 2	$\hat{f}_2$	107.121	152.212	99.046	114.436
Type 3	$\hat{f}_3$	117.279	150.551	110.034	117.329
Type 4	$\hat{f}_4$	110.925	139.511	109.569	134.622
Type 5	$\hat{f}_5$	126.137	151.521	119.905	123.455
		$a_{Subject E}(t)$	$a_{Subject F}(t)$	$a_{Subject G}(t)$	
Type 1	$\hat{f}_1$	146.914	180.859	363.380	
Type 2	$\hat{f}_2$	141.789	166.401	333.021	
Type 3	$\hat{f}_3$	146.165	174.588	336.668	
Type 4	$\hat{f}_4$	200.922	221.672	541.108	
Type 5	$\hat{f}_5$	152.700	182.333	356.029	

表 3.10 修正させたギヤボックスの分類

		$a'_{Subject E}(t)$	$a'_{Subject F}(t)$	$a'_{Subject G}(t)$
Type 1	$\hat{f}_1$	94.233	139.268	130.444
Type 2	$\hat{f}_2$	105.446	142.206	138.713
Type 3	$\hat{f}_3$	103.235	150.113	141.479
Type 4	$\hat{f}_4$	110.241	169.833	157.797
Type 5	$\hat{f}_5$	110.036	144.556	154.310

### 3.9 結言

本章で行った実験環境では、モデリング用と分類実験用のギヤボックスを作動させ、定量データとして音響データを取得してモデリング誤差を求め、値を比較することで正確に5種類の完成度に分類することができた。そして、技術科での観点別の学習状況の評価に含まれる技能の評価を行う際の活用場면을提案し、大学生での実験結果を示すことができた。また、組立ての不具合を修正させる支援の手立てを示すことができた。

## 参考文献

- [1] 文部科学省：「新時代の学びを支える先端技術活用推進方策（最終まとめ）」（2019）  
[http://www.mext.go.jp/component/a\\_menu/other/detail/\\_icsFiles/afieldfile/2019/06/24/1418387\\_02.pdf](http://www.mext.go.jp/component/a_menu/other/detail/_icsFiles/afieldfile/2019/06/24/1418387_02.pdf)  
(2021年12月1日参照)
- [2] 文部科学省：「中学校学習指導要領(平成29年告示)」，東山書房（2017）
- [3] 植松尚，小泉悠馬，齊藤翔一郎，中川朗，原田登：「動作音から機器の異常を検知する異常音検知技術」，NTT技術ジャーナル，Vol.29，No.6，pp.24-27（2017）
- [4] 太田博光，瀬戸邦聰：「正確な区分時点推定に基づく局所定常ARモデルによる転がり軸受の音響診断」，日本機械学会論文集(C編)，Vol.70，No.691，pp.664-670（2004）
- [5] 中央教育審議会 初等中等教育分科会 教育課程部会：「児童生徒の学習評価の在り方について（報告）」（2020）  
[https://www.mext.go.jp/component/b\\_menu/shingi/toushin/\\_icsFiles/afieldfile/2019/04/17/1415602\\_1\\_1\\_1.pdf](https://www.mext.go.jp/component/b_menu/shingi/toushin/_icsFiles/afieldfile/2019/04/17/1415602_1_1_1.pdf)  
(2021年12月1日参照)
- [6] 国立教育政策研究所：「「指導と評価の一体化」のための学習評価に関する参考資料 中学校 技術・家庭」（2020）  
[https://www.nier.go.jp/kaihatsu/pdf/hyouka/r020326\\_mid\\_g-gijyut.pdf](https://www.nier.go.jp/kaihatsu/pdf/hyouka/r020326_mid_g-gijyut.pdf)  
(2021年12月1日参照)
- [7] 森慎之助：「ロボット教材を用いた制御・プログラミング学習の授業実践と作業分析」，日本産業技術教育学会誌，Vol.47，No.3，pp.201-207（2005）
- [8] 岩田敦志，伊藤陽介：「IoT教材の状態遷移情報を利用した学習履歴表示コンテンツの開発」，日本産業技術教育学会誌，Vol.62，No.1，pp.21-28（2020）
- [9] 森山潤，西正明：「プログラミングの学習指導におけるニューラルネットワークを用いた学習効果の予測モデルと授業評価への応用：中学3年生を対象としたLogoによる学習指導の事例」，日本教育工学会論文誌，Vol.25，No.3，pp.207-216（2001）

- [10] 臼坂高司, 山本透:「ものづくり学習の組立てプロセスにおける Memory-Based 評価予測システムの開発」, 工学教育, Vol.58, No.5, pp.61-66 (2010)
- [11] 足立修一:「システム同定の基礎」, 東京電機大学出版局 (2009)
- [12] 日本産業技術教育学会・技術教育分科会(編):「技術科教育概論」, 九州大学出版会 (2018)

## 第4章 走行性能に基づくパラメータを調整する技能の評価

### 4.1 緒言

人工知能(AI), ビッグデータ, Internet of Things(IoT), ロボティクス等の先端技術が高度化してあらゆる産業や社会生活に取り入れられた Society5.0 時代が到来しつつある。AI 時代には, 高い数理能力で AI・データを理解し, 使いこなす力に加えて, 課題設定・解決力や異質なものを組み合わせる力などの AI で代替しにくい能力で価値創造を行う人材が求められる[1]。そして, 初等中等教育段階における AI 教育の強化が進められている。学習指導要領が改訂され, 2020 年度から小学校では, 児童がプログラミングを体験しながら, コンピュータに意図した処理を行わせるために必要な論理的思考力を身に付けるための学習活動が必修とされた[2]。これに伴い, プログラミング教育を効果的に実施できるように教材開発やより高度なプログラミングを学べるように地域環境を整備することが行われている。初等中等教育段階で, プログラミングを学習させることは, 主に中学校の技術科で行われている。2021 年度から技術科の授業では, プログラミングの内容が増えている[3]。このように, 初等中等教育段階の技術教育においてプログラミングの教育や指導の充実が急務となっている。これは, 国内に限ったことではなく, 近年プログラミングの教育や指導に関する研究は, 数多く行われている。例えば, プログラミングを学習するには, 多くの困難さがあることが示されている[4]。また, プログラミングの初心者は, 家庭での学習よりも, 学校の授業で学習する方が, 習熟が高いとされている[5]。このように国内外を問わず, プログラミングを含む人材育成に取り組まれている。

中学校の技術科では, プログラミング技能として, 適切に順次処理, 反復処理, 条件処理の手順や構造を入力し, プログラムの編集・保存, 動作の確認, デバッグ等ができることが求められている[6]。近年は, 2021 年度から全面実施となっている中学校学習指導要領の内容に即したプログラミングに関する授業開発が行われている[7][8]。プログラミング技能の到達度の評価は, 一般的に「順次処理, 反復処理, 条件処理が使用できているか。」や「タ

イピングの間違いないか。」など定性的な評価がされている。このような評価では、評価に多くの時間が掛かったり、教師の裁量に評価が左右されたりする問題がある。この問題を解決するために、画像情報から評価する[9]ことや、学習課題の達成度とプログラミングの難易度との関係から評価する[10]ことなどのデータに基づく評価の研究がなされている。これらは学習の到達度を評価しており、学習の習熟過程を評価できていない。個別の学習の習熟過程を評価する研究としては、習熟度モデルを「一次遅れ+むだ時間」系(TKLモデル)でモデル化する手法が提案されている[11]。長松らは、プログラミングにおける誤り発見課題の習熟過程をモデル化している[12]。Kawadaらは、製図における読図の課題の習熟過程をモデル化している[13]。しかし、学校教育における学習の習熟過程を評価することまでは検討されていない。

そこで、本章では、の習熟過程を、定量データとして、プログラムのパラメータ、走行性能(走行時間と左右の振れ)を測定し、技術科の内容に含まれるプログラミング技能(パラメータを調節する技能)を評価することを検討する。まず、ライントレースカー教材を用いたプログラミングの学習課題について示す。次に、センサカーの直線走行の時間と、走行中の左右の振れの分散で評価する方法について示す。次に、走行時間と振れの分散でパラメータを調節する技能の習熟過程を評価することについて考察する。最後に、トレードオフ曲線を用いた評価方法について考察する。

## 4.2 ライントレースカー教材

図 4.1 に示すライントレースカー(Arttec 製)を用いた。マイコンボードとしては、Stduino mini を使用した。Arduino 互換のマイコンボードであり、入出力のインターフェースを持つ教育用マイコンボードである。走行する線を判別するためのセンサは、赤外線フォトリフレクター(RPR-220, ROHM 製)を利用した。赤外線フォトリフレクターは、接続用のブロックで取り付けられている。電源は単 3 型充電電池を 3 本、計 3.6V で動作させた。

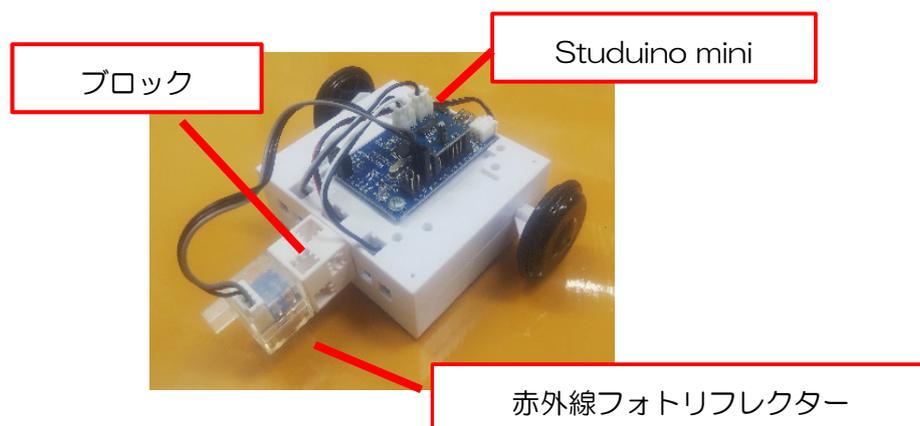


図 4.1 ライントレースカー教材

### 4.3 学習課題とライントレースカーの走行性能

プログラミングの初学者を対象とした学習課題を考案した。図 4.2 に示すように、白色の表面に幅 10mm の黒色の線を引いたフィールドを使用する。このフィールドを黒色の線に沿って 500mm 直進走行をさせる。ライントレースカーの走行性能として走行時間と左右の振れを測定する。課題 1 は、走行時間を短くすることとした。課題 2 は、左右の振れを少なくすることとした。この二つの課題を解決するパラメータを調整することを学習課題とした。図 4.3 に示すフローチャートのプログラムで、ライントレースをさせる。Studuino mini のソフトウェアは、Scratch ベースのビジュアルプログラミングが可能であり、図 4.4 に示すプログラムとした。学習者には、五つのパラメータを調節させる。センサの閾値(Threshold)、左右のモータの速度を調整する PWM の割合(M1y, M2y, M1n, M2n)である。

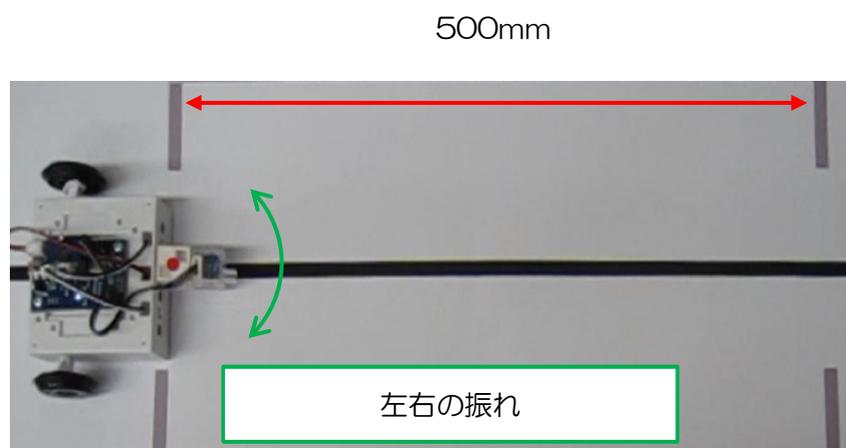


図 4.2 走行させるフィールド

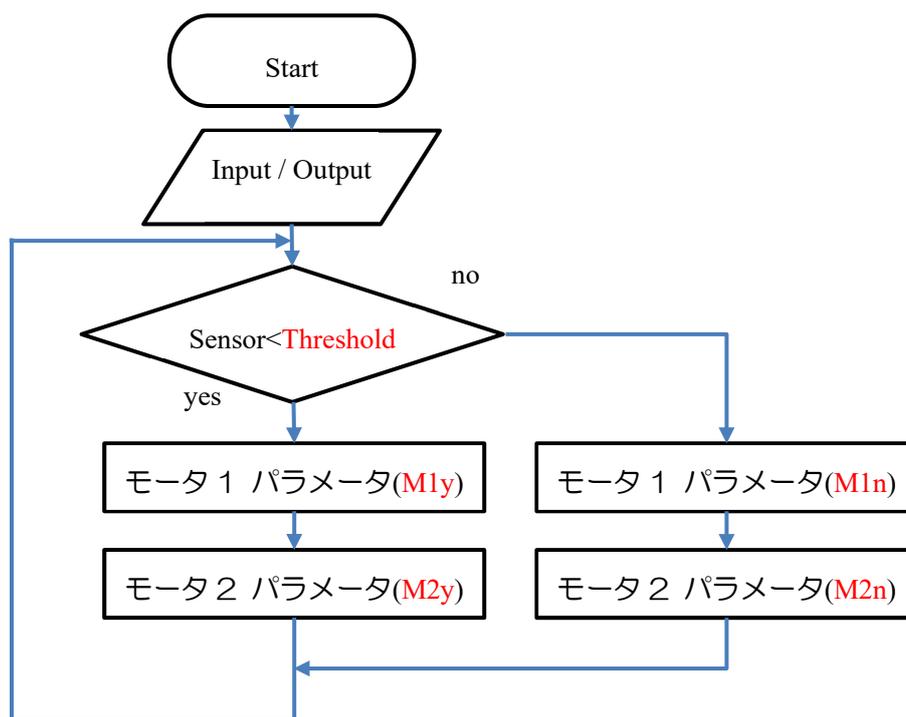


図 4.3 ライントレースをするフローチャート



図 4.4 Studuino mini のプログラム

#### 4.4 定量データを使った走行性能の評価方法

課題 1 の走行時間 $t_R$ は、ストップウォッチを用いて測定した。課題 2 のライントレースカーの左右の振れは、走行中の動画をデジタルカメラ (IXY 92015, CANON 製) で撮影した。そして、動画分析ソフトウェア PV Studio 2D ver2 (L.A.B 製) で分析した。分析するデータのフレーム数は、30fps とした。図 4.5 に示すように、左右の振れを測定するために、2 点のマーカを付けた。図 4.6 に示すように x 軸と y 軸を定め、マーカを位置を読み取った。マーカ $(x_s, y_s)$ は、ライントレースカーの赤外線フォトリフレクターと本体を接続するブロックの位置とした。マーカ $(x_r, y_r)$ は、図 4.6 に示す x 軸をフィールドの黒い線の中心に合わせ、x 軸上の位置とした。また、データの縮尺を一定にするために、ライントレースカーを走行させるフィールド上に、長さ 500mm の位置を定めておき、そこに図 4.5 に示すような 2 点のマーカを付けて長さの基準とした。この基準に基づいたマーカ $(x_s, y_s)$ 、マーカ $(x_r, y_r)$ の値を取得した。左右の振れ $e$ は、次式で計算した。

$$e = |y_s - y_r| \quad (4.1)$$

そして、分散 $\sigma^2$ は、(4.2)式で計算した。ただし、 $m$ は、スタートからゴールまでの動画から動画分析ソフトウェアで抽出したフレームの個数である。 $e_i$ は、抽出した各フレームの(4.1)式で求めた値である。 $\bar{e}$ は、抽出したフレームの(4.1)式で求めた値の算術平均である。この $\sigma^2$ を左右の振れ具合とした。

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^m (e_i - \bar{e})^2}{m} \quad (4.2)$$

この二つのデータ、走行時間 $t_R$ と、左右への振れ具合 $\sigma^2$ の値が小さくなると、学習者は、よいパラメータを選択できている。つまり、パラメータを調整する技能が高いと評価できる。このように、走行時間 $t_R$ と、左右への振れ具合 $\sigma^2$ の値を、パラメータを調整する技能を評価する要素として使用できる。

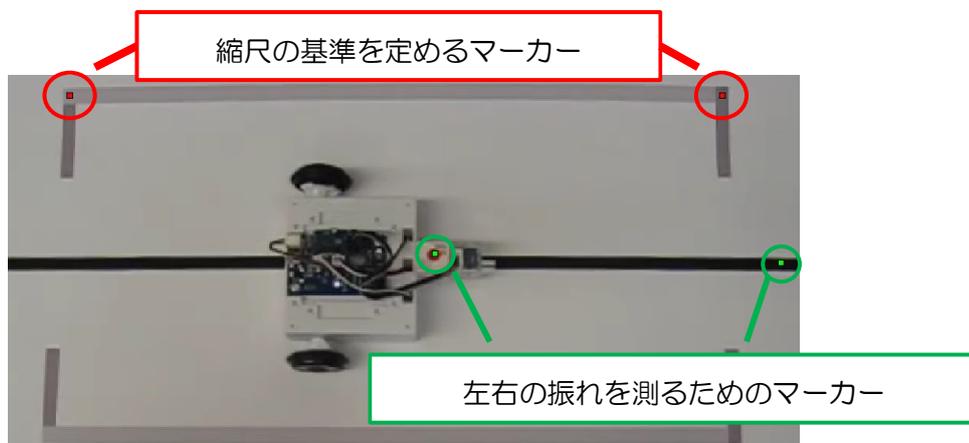


図 4.5 動画分析ソフトウェアのマーカーの位置

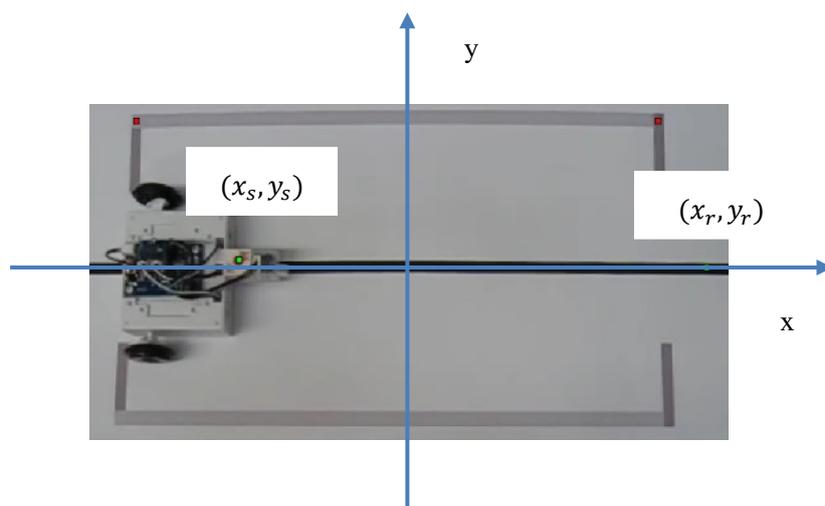


図 4.6 分析のための座標の設定

#### 4.5 提案する授業の実践

提案する学習評価方法を実施するために必要な時間や学習効果を検討するために、教員養成系の大学生 16 名に実践した。二人で 1 台のライントレースカーを利用させ 8 グループとした。表 4.1 に学習内容を示す。Lesson 1 では、左右の回転方向と回転速度を変更することで、ライントレースカーの動作が変わることを体験させた。これは、ほとんどの学生が、初めてライントレースカーのプログラミングを行ったためである。Lesson 2 では、ライントレースを行うための図 4.4 のプログラムについて説明した。Lesson 3 では、まず、課題 1 と課題 2 を解決するための、ライントレースカーの動きを予測させ、パラメータを設計させた。そして、設計に従ってプログラミングをさせて、ライントレースカーを動作させた。この設計と動作を各グループ 4 回試行させた。その際、他のグループの結果は見られないようにした。つまり、自グループの結果から改善方法を考えさせた。ライントレースカーを動作させる順番は、次の通りである。まず 1 回目を一つ目のグループから行い、最後のグループまで実施させた。そして 2 回目以降は同じ順番で実施させた。Lesson 4 は、Lesson 3 と同様の課題を解決するパラメータの設計とライントレースカーの動作を 4 回試行させた。ただし、14 名 7 グループに実施した。

表 4.1 学習内容

	時間[min]	主な学習内容
Lesson 1	60	プログラムとライントレースカーの車輪の動きの関係を確認させる。
Lesson 2	30	ライントレースカーでライントレースをさせるプログラムを理解させる。
Lesson 3	90	学習課題を示す。 課題を解決するパラメータを調整させる(1 時間目)。
Lesson 4	90	課題を解決するパラメータを調整させる(2 時間目)。

#### 4.6 パラメータを調整する技能の評価

大学生に実践した Lesson 3 の結果の一部を表 4.2 に示す。グループ 1 については、課題 1 は、4 回目が最も速く走行しており、得られた値が最も小さくなっている。課題 2 は、2 回目の左右の振れが大きくなり、得られた値が大きくなっている。しかし、3 回目、4 回目で左右の振れを改善できており、得られた値が小さくなっている。グループ 2 については、課題 1 は、3 回目、4 回目の走行時間が同じであり得られた値が同じである。しかし、左右の振れは、0.25 から、0.16 に改善されている。ここに示したグループについては、データを比較することでパラメータの調節が良くなっているといえる。このように、走行時間と左右の振れの二つの指標で評価することで、学習者が良いパラメータを調整できていることを示すことができた。また、データを表に示すことで、パラメータを改善させる支援ができる可能性を示すことができた。

表 4.2 ライントレーサーのパラメータと走行結果

グループ 1							
	$t_R$ [s]	$\sigma^2$	threshold	M1y	M2y	M1n	M2n
1 回目	4.17	0.085	80	55	100	100	55
2 回目	4.12	37.80	60	75	100	100	75
3 回目	4.02	0.24	60	80	100	100	60
4 回目	3.98	0.18	60	90	100	100	75
グループ 2							
	$t_R$ [s]	$\sigma^2$	threshold	M1y	M2y	M1n	M2n
1 回目	4.01	0.32	46	100	20	20	100
2 回目	4.05	0.31	45	100	30	30	100
3 回目	3.73	0.25	43	100	80	80	100
4 回目	3.73	0.16	43	100	90	90	100

#### 4.7 パラメータを調整する技能の習熟過程の評価

大学生に実践した授業での習熟過程を評価した。Lesson4の課題1と課題2に取り組みさせて得られた走行時間 $t_R$ と左右への振れ具合 $\sigma^2$ をそれぞれから評価した。まず、図4.7に示すように、全てのグループの平均値の推移のグラフから評価を行った。課題1と課題2のどちらも試行回数が進むにつれてよい値が示されている。4回目の試行では、課題1の走行時間は、4回の試行で一番良い値を示している。しかし、課題2の左右の振れは3回目の値よりも悪くなっている。このことから、課題1と課題2は、一方の課題を解決することに注視させれば、課題1と課題2の両方の課題を解決する最適なパラメータを算出させられる課題ではないことがわかる。

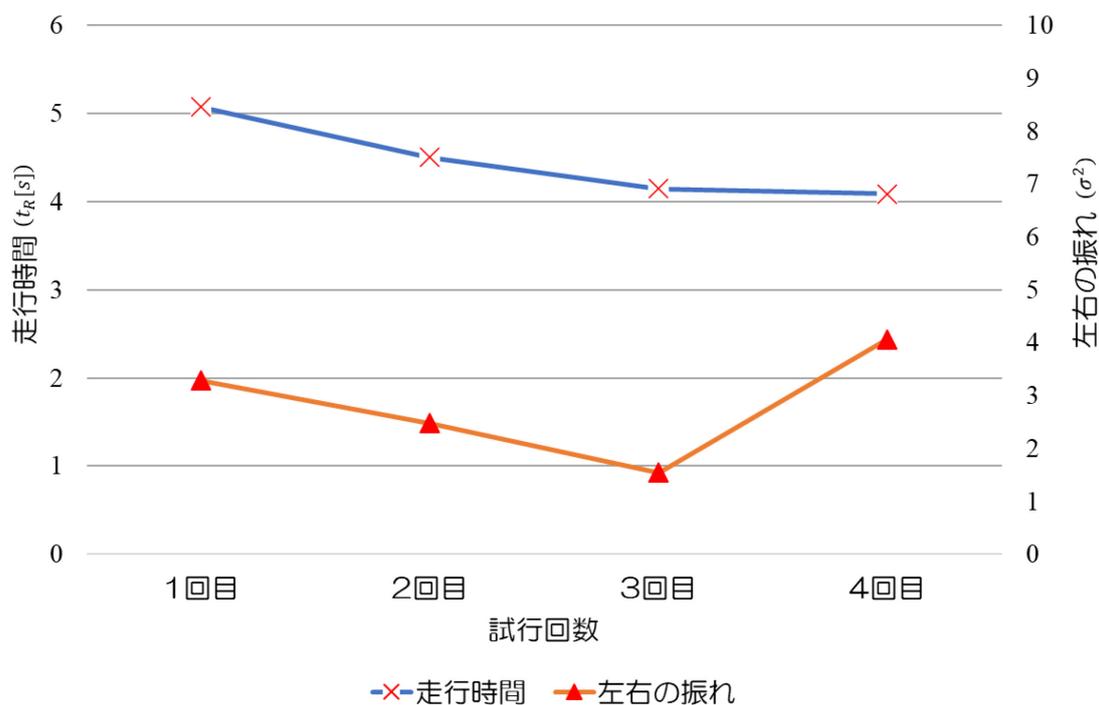


図4.7 課題1と課題2の走行結果の平均

次に、Lesson4 の課題 1 の走行時間 $t_R$ の各グループの値の推移のグラフを図 4.8 に示す。4 グループが 2 回目より 3 回目の方がよい結果になっていることがわかる。このことから、これらのグループは、1 回目と 2 回目の結果の違いから 3 回目のパラメータを決定して改善を図っていると推察できる。試行ごとに値を見ると、グループ 1 は、2 回目の試行( $t_R=3.83$ )と 4 回目の試行( $t_R=3.68$ )でどちらも 7 つのグループの中で一番早くなっている。このことから、走行時間の速さに着目してパラメータを決定していると読み取ることができる。グループ 6 は、1 回目の試行( $t_R=4.74$ )で 5 番目、2 回目の試行( $t_R=4.74$ )で 6 番目、3 回目の試行( $t_R=4.58$ )で 7 番目、4 回目の試行( $t_R=4.47$ )で 7 番目であり、走行時間の速さにはあまり着目していないと読み取ることができる。

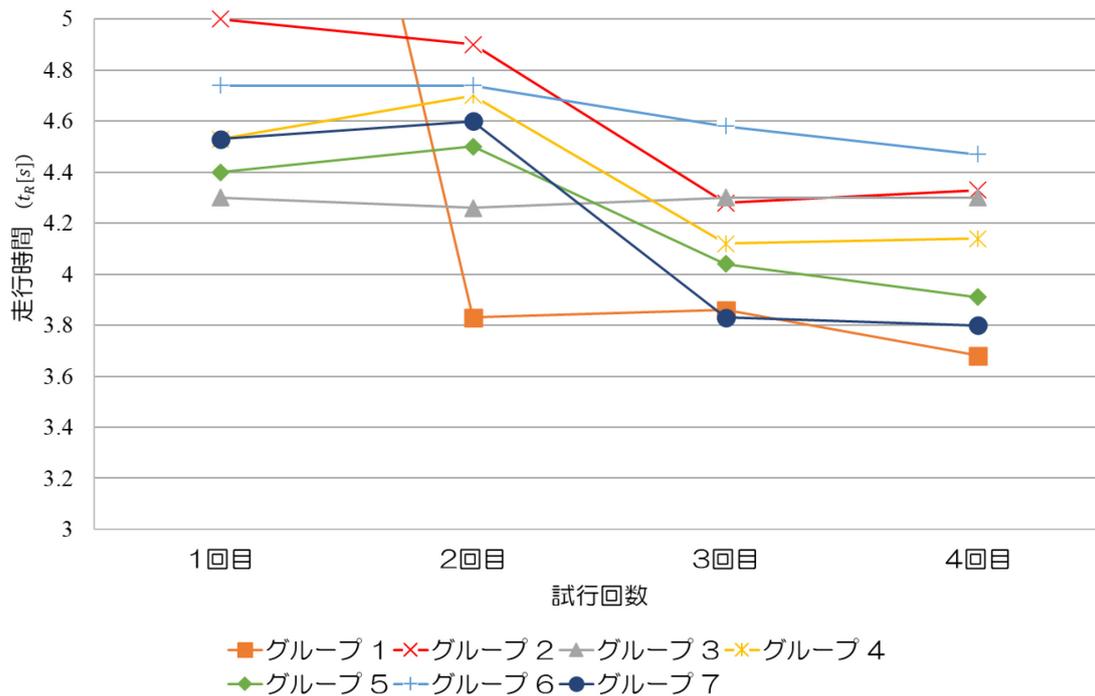


図 4.8 各グループの課題 1 の走行結果

次に、Lesson4 の課題 2 の左右への振れ具合 $\sigma^2$ の各グループの値の推移のグラフを図 4.9 に示す。3 回目から 4 回目への試行では、左右の振れが大きくなったり、グループ 1 のようにライントレースができていなかったりするグループもあることがわかる。また、試行ごとにデータを見ると、グループ 5 は 1 回目の試行( $\sigma^2=0.16$ )で 1 番目、2 回目の試行( $\sigma^2=0.65$ )で 1 番目、3 回目の試行( $\sigma^2=0.69$ )で 3 番目、4 回目の試行( $\sigma^2=1.18$ )で 3 番目であり、左右の振れを抑えながらパラメータを調節していると読み取ることができる。

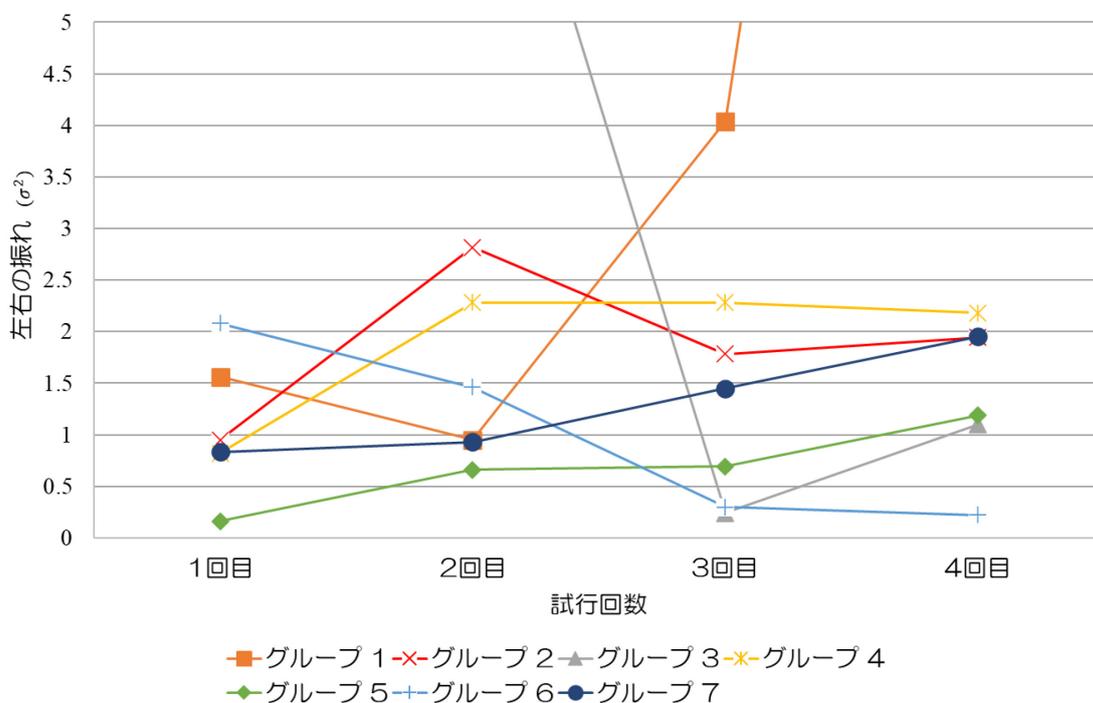


図 4.9 各グループの課題 2 の走行結果

以上のように、走行時間 $t_R$ と左右への振れ具合 $\sigma^2$ をそれぞれの値で比較することで、各グループとの相対的な位置づけから、習熟過程を評価することができる。

最後に、各グループに課題 1 と課題 2 に取り組ませて得られた走行時間 $t_R$ と左右への振れ具合 $\sigma^2$ の二つの値から評価することを検討した。二つの値から評価するためにトレードオフ曲線を用いた。以下の手順で図 4.10 に示すように、Lesson4 の課題 1 と課題 2 に取り組

ませて得られた値をプロットし、トレードオフ曲線を描いた。まず、学習課題に取り組んで得られた値を点 $P(t_R, \sigma^2)$ とする。次に走行時間 $t_R$ と左右の振れ $\sigma^2$ の座標にプロットした。この x 座標は、ライントレースカーの両輪を最速にして直進走行させた時間、y 座標は 0 に近づくほど課題 1 と課題 2 の課題を解決できているといえる。しかし、実際にはこの点に到達することはない。そこで、全てのプロットした $P(t_R, \sigma^2)$ がトレードオフ曲線よりも右側になるように、点を選択して曲線を描いた。この曲線は、各走行時間 $t_R$ における左右の振れ $\sigma^2$ が最も小さくなる点を通っている。トレードオフ曲線の上にプロットされた点は、グループ 5 の 1 回目( $t_R=4.74, \sigma^2=0.16$ )、グループ 5 の 3 回目( $t_R=4.04, \sigma^2=0.69$ )、グループ 1 の 2 回目( $t_R=3.83, \sigma^2=0.95$ )である。これらの値は、 $t_R$ と $\sigma^2$ の別々でみると、全ての値の中で最も良い値ではない。二つの定量データに基づいて評価することで、試行回数が 1 回目、2 回目で各走行時間 $t_R$ に対して左右の振れ $\sigma^2$ が小さくなるようにパラメータを調節できている。このように、新たな指標でパラメータを調節する技能の評価について考えることができる。また、このようなトレードオフの関係は、工学や技術開発の分野でも重要視されている[14][15]。そのため、技術教育の中で学習者に評価方法の一つとして提示することによる教育効果も期待することができる。

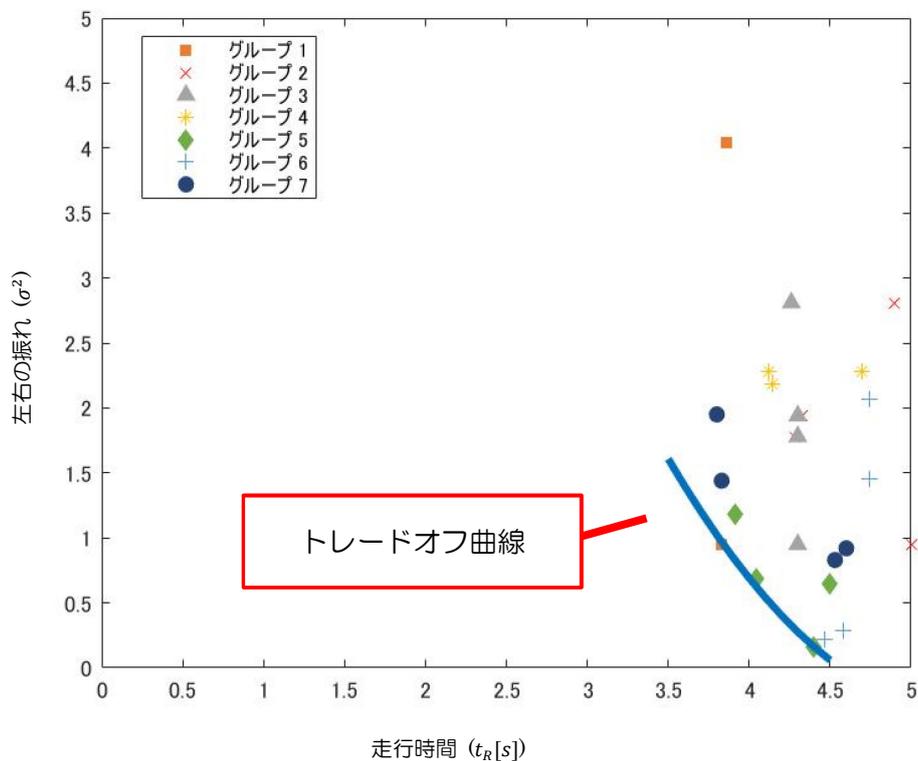


図 4.10 トレードオフ曲線を用いた評価

#### 4.8 結言

本章では、定量データとしてプログラムのパラメータとライントレースカーの走行結果を測定し、設計と制作を繰り返すことで、課題を解決するパラメータを調節させる授業と評価方法を提案した。そして、走行時間と左右の振れの二つの指標で評価することで、学習者が良いパラメータを調整できていることを示すことができた。また、個人ごとのデータを比較させることで、パラメータを改善させる支援ができることを示すことができた。さらに、データをグラフに示すことで習熟過程を評価できることを示し、トレードオフ曲線を用いた新たな指標で技能を評価する可能性を示した。

## 参考文献

- [1] 内閣府：「未来投資戦略 2018-「Society 5.0」「データ駆動型社会」への変革 -」 (2018)  
[https://www.kantei.go.jp/jp/singi/keizaisaisei/pdf/miraitousi2018\\_zentai.pdf](https://www.kantei.go.jp/jp/singi/keizaisaisei/pdf/miraitousi2018_zentai.pdf)  
(2021 年 12 月 1 日参照)
- [2] 文部科学省：「小学校学習指導要領(平成 29 年告示)」，東洋館出版社 (2018)
- [3] 文部科学省：「中学校学習指導要領(平成 29 年告示)」，東山書房 (2018)
- [4] Y. Bosse and M. A. Gerosa : “Why is programming so difficult to learn? Patterns of Difficulties Related to Programming Learning”, ACM SIGSOFT Software Engineering Notes, 41(6), pp.1-6 (2016)
- [5] O. Karnalim, G. Kurniawati, S. F. Sujadi and R. A. Nathasya : “Comparing the Impact of Programming Assessment Type:In-Class Vs Take-Home”, iJEP, 10(4), pp.125-132 (2020)
- [6] 文部科学省：「中学校学習指導要領(平成 29 年告示)解説 技術・家庭編」，東山書房 (2018)
- [7] 木村真人，山本利一，在間拓幹，木村僚，工藤雄司：「IoT の仕組みやデータの効果的な活用を学習する計測・制御システムのプログラミング学習の授業実践と評価」，日本産業技術教育学会誌，Vol.62，No.4，pp.349-356 (2020)
- [8] 鈴木隆将，木下優奈，小島一生，才田亘，村松浩幸：「リコmendシステムのプログラミングを導入した模擬 POS システム教材の開発」，日本産業技術教育学会誌，Vol.62，No.1，pp.41-51 (2020)
- [9] Y. Ohnishi, S. Takechi, T. Tamai and K. Kawada : “Evaluation for Task Achievement of Robotics Programming Based on Image Information”, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.31, No.3, pp.427-433 (2019)
- [10] Y. Ohnishi, T. Tamai and K. Kawada : “Estimation of Programming Learning Achievement by Line Tracing Robot”, Proceedings of the 2019 International Conference on Artificial Life and Robotics, pp.431-434 (2019)

- [11] 長松正康, 白坂高司, 川田和男, 山本透, 山根八州男:「制御工学的アプローチに基づく教師-学習者間モデルに関する考察」, 電気学会論文誌 C(電子・情報・システム部門誌), Vol.134, No.10, pp.1537-1542 (2014)
- [12] 長松正康, 川田和男, 山本透, 山根八州男:「スキルの習熟度モデルの構築と習熟過程の考察」, 電気学会論文誌 C(電子・情報・システム部門誌), Vol.135, No.1, pp.66-72 (2015)
- [13] K. Kawada, T. Tamai and Y. Ohnishi : “Skill Model Estimation of Ability for Reading Drawing”, Journal of Robotics, Networking and Artificial Life , Vol.6, No.3, pp.191-194 (2019)
- [14] 吉本達也, 深尾隆則, 横小路泰義, 伊能寛, 松本平樹:「乗り心地と追従性を両立する自動車の自動操舵制御」, 自動車技術会論文集, Vol.47, No.4, pp.997-1002 (2016)
- [15] 大山聖, 小平剛央, 立川智章, 渡辺毅, 剣持寛正:「多目的進化アルゴリズムと FEM 構造解析を用いた複数車種の車両構造同時設計最適化」, 日本機械学会論文集, Vol.85, No.879, pp.1-12 (2019)

## 第5章 設計要素と走行性能に基づく設計技能の評価

### 5.1 緒言

AI 戦略 2019 では、戦略目標の一つとして、「我が国が、人口比ベースで、世界で最も AI 時代に対応した人材の育成を行い、世界から人材を呼び込む国となること。さらに、それを持続的に実現するための仕組みが構築されること」と示された[1]。そして、「「数理・データサイエンス・AI」に関する知識・技能と、人文社会芸術系の教養をもとに、新しい社会の在り方や製品・サービスをデザインする能力が重要であり、これまでの教育方法の抜本的な改善と、STEAM 教育などの新たな手法の導入・強化、さらには、実社会の課題解決的な学習を教科横断的に行うことが不可欠となる。」と示されている。このように、数理・データサイエンス・AI 人材の育成・確保が緊急的課題であるといわれている。

このような社会状況を踏まえて、中学校学習指導要領が平成 29 年に告示された。その中で、これからの社会に進出するために身に付けるべき資質・能力の一つとして、新たに情報活用能力が位置付けられた[2]。また、平成 30 年に告示された高等学校学習指導要領では、共通教科情報科が新たな科目として「情報Ⅰ」、「情報Ⅱ」に整理された。そして、情報Ⅰにデータサイエンスの内容が「情報とデータサイエンス」という項目として位置付けられた[3]。情報科の指導をする際には、学習者の興味や関心、中学校までに身に付けてくる資質・能力や学習経験を把握することが大切であるとされている。特に、問題解決能力の育成が重要とされている点において関係の深い教科として技術科が挙げられている[4]。技術科は、「A 材料と加工の技術」、「B 生物育成の技術」、「C エネルギー変換の技術」、「D 情報の技術」の四つの内容で学習を行う。技術科において、情報科と関わりの深い学習内容としては、「D 情報の技術」において行われている。この内容の研究としては、手動制御と自動制御の比較によりプログラムによる制御の有用性を学習する教材の開発[5]やプログラムや計測制御システムを学習するロボット教材の開発[6]などがなされている。しかし、他の内容との関りがある授業開発は著者が知る限りなされていない。本節では、情報科における「情報とデー

「データサイエンス」の学習内容である、「データを適切なソフトウェアやプログラミングなどを活用して、処理し可視化などを行うことによって、データの傾向や特性などを理解する方法と技能を身に付ける。」ことに着目し、この内容と技術科との関りがある授業を提案する。技術科では、「技術の見方・考え方」として、「生活や社会における事象を、技術との関りの視点で捉え、社会からの要求、安全性、環境負荷や経済性などに着目して技術を最適化すること」を学習の目標の柱書としている。そして、課題を設定し、解決方策が最適なものとなるよう設計し、製作を行い、その解決結果や解決課程を評価改善する活動が求められている。さらに、本章で述べる授業は、「C エネルギー変換の技術」の内容に該当する。この内容では、「設定した課題を解決するために、工具や機器を使用して、力学的な機構を作り、それらを筐体などの構造物に取り付け、設計通りに作動するかどうかの点検及び調整を行う。」とされている。学習過程では、課題の解決策を条件を踏まえて構想し、試行・試作を通じて解決策を具現化することが求められている。この内容を学習するために、歯車のかみ合いを利用した機構を設計するラジコンカー[7]や、ギヤボックスやタイヤを用いたロボット[8]が教材として利用されている。これらは、限られた材料を用いて製作品を製作し、製作した課程や製作品の機能を評価することで知識や技能を習得させる教材である。製作過程では各自の製作品を試行・試作させることで学習課題を解決させる指導がなされている。しかし、製作品の設計要素や筐体に取り付けた部品を定量データとして測定し、解決方策を最適なものになるよう再設計する授業の提案はなされていない。また、一般的に自動車で高機能なシャシー性能を実現するには、タイヤやフレーム、重心などの各要素のバランスをとることが重要である。しかしながら、リンク機構などの力学的な機構の改善を注視する教材が多く、シャシー性能に特化した教材開発は、著者の知る限りではなされていない。

そこで、本章では、定量データとして、走行体モデルの設計要素と走行性能を測定し、データを表やグラフで可視化することで課題を明らかにして改善できるように再設計・再製作させることを検討する。まず、開発したシャシー性能に特化した走行体モデルについて示

す。次に、走行性能に影響を与える設計要素について示す。そして、走行体モデルを定量データで分析させ、再設計・再製作させることについて考察する。

## 5.2 提案するモデル教材

開発した走行体モデルの例を図 5.1 に示す。技術科の授業では、製作時間や製作経験の不足が問題点として指摘されている[9]。そのため、決められた部品を組み立てるキット教材[10]やブロックを組み合わせる教材[11][12]が利用されていることが多い。しかし、学習内容に、加工についての学習も含まれているため、学習の深まりを考慮して、自由に加工ができる要素を含めた教材とした。教材の主な構成部品は、表 5.1 に示す。教材販売店やホームセンターなどで購入できる比較的安価で、中学校教員が手に入れやすい部品を選定している。キャノピーは、3D プリンタで自作している。図 5.2 に示すように、重さ約 145g、22mm×22mm×39mm の鉄柱を 2 本収納することができる。電源として、単 2 電池 1.5V を直列で 2 本つなぎ、3.0V でモータを駆動させる。製作する際には、以下の五つの部品を変更することができる。一つ目は、ギヤボックスである。ギヤの組み合わせで、ギヤ比が 16:1, 57:1, 200:1, 700:1 を選択できる。二つ目は、六角シャフトの長さである。あらかじめ用意した六角シャフトの長さは、150mm, 300mm であるが、シャフトを切断して利用することもできる。三つ目は、筐体である。200mm×200mm の MDF 材から自由な寸法で切り出すことができる。四つ目は、キャノピーによって、重心の位置を変更することができる。五つ目は、車輪の直径とタイヤとしてのゴムの付け外しを選択することができる。

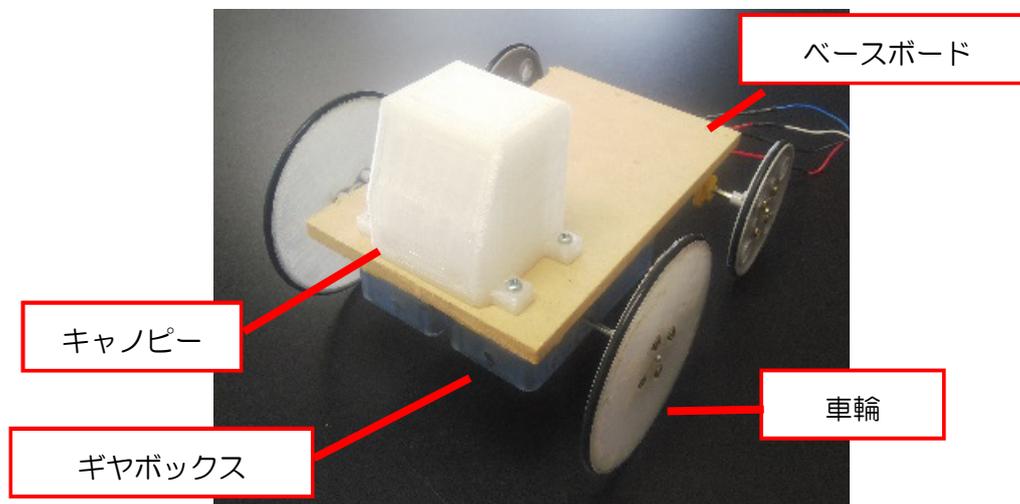


図 5.1 走行体モデルの外観

表 5.1 主な構成部品

部品	個数	備考
モータ	2	FA-130RA, マブチモータ製
ギヤボックス	2	N6410, 山崎教育システム製
六角シャフト	3	山崎教育システム製
車輪	4	$\phi=40\text{mm}$ , $\phi=60\text{mm}$ , 山崎教育システム製 $\phi=80\text{mm}$ , 3D プリンタでの自作
ベースボード	1	MDF $t=6\text{mm}$ , 大創産業製
有線コントローラ	1	J1417, 山崎教育システム製

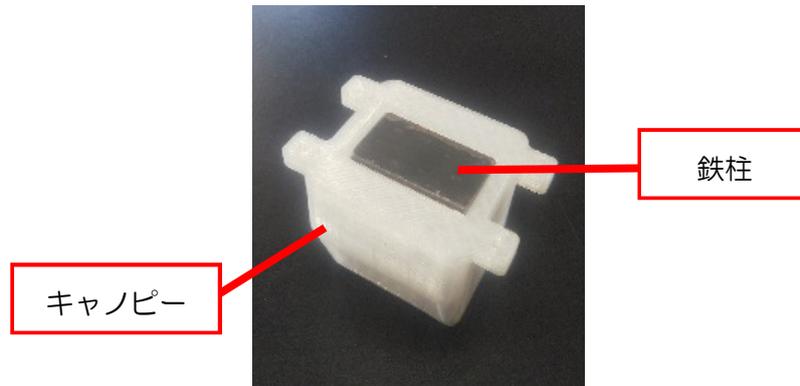


図 5.2 鉄柱を納めたキャノピー

### 5.3 学習課題

「C エネルギー変換の技術」の学習では、学習課題としてロボット競技形式で行われている実践が報告されている[13][14]。また、STEM 教育の観点からも、ロボット競技に参加させることで学習の意欲の向上につながるとされている[15]。このことから、学習課題は、校内で実施できる競技形式の課題とすることとした。競技は、三つの課題とした。課題 1 は、直進走行である。図 5.3 に示すように、凹凸のないフィールドを 3.6m 直進する。その際、スタートからゴールまでに掛かる時間と、スタート線とゴール線に直角に引いた基準線からの変位を測定する。課題 2 は、駐車である。図 5.4 に示す経路で駐車を行う。図 5.5 に示す、駐車スペースに走行体モデルが納まると駐車完了とする。この駐車完了する時間を測定する。また、図 5.5 の位置に、障害物(コップ 大創産業製  $\phi 75\text{mm}$  H78mm)を 6 個置く。D はコップの直径である。この障害物に接触しないように操縦させる。課題 3 は、凸凹走行である。図 5.6 に示すように、 $450\text{mm} \times 450\text{mm} \times 12\text{mm}$  の合板を 6 枚組み合わせてフィールドとする。この 6 枚の合板には、それぞれ  $450\text{mm} \times 39\text{mm} \times 19\text{mm}$  の板材 2 本を地面と設置する面に取り付けている。フィールド A の表面は、加工はしていない。フィールド B、フィールド C の表面は、人工芝を接着している。フィールド D の表面は、3D プリンタで自作した  $\phi 50\text{mm}$ , H10mm の半球を 28 個接着し凹凸にした。フィールド E の表面は、 $410\text{mm} \times$

380mm の波板を接着し凸凹にした。さらに、フィールド D とフィールド E の境界に 2×4 材を置き傾斜をつけている。この凸凹のフィールドをスタートからゴールまで走行する時間を測定する。

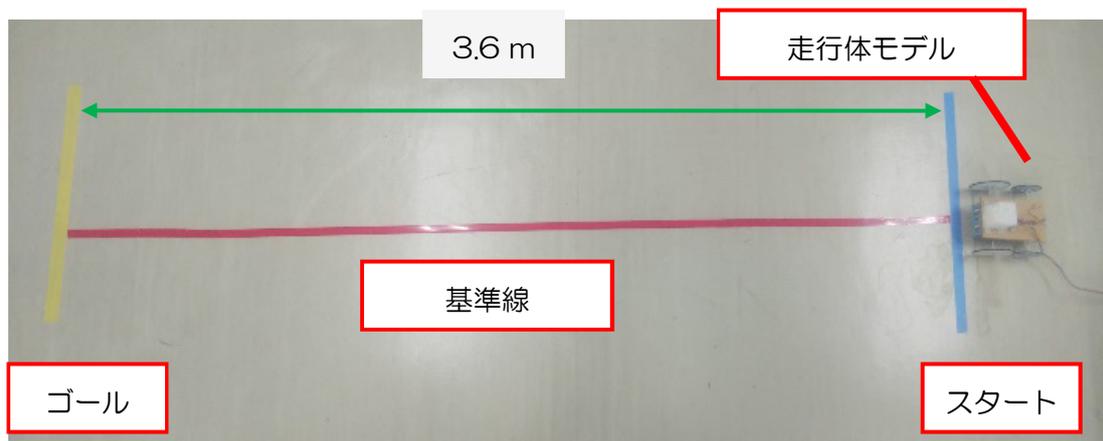


図 5.3 直進走行のフィールド

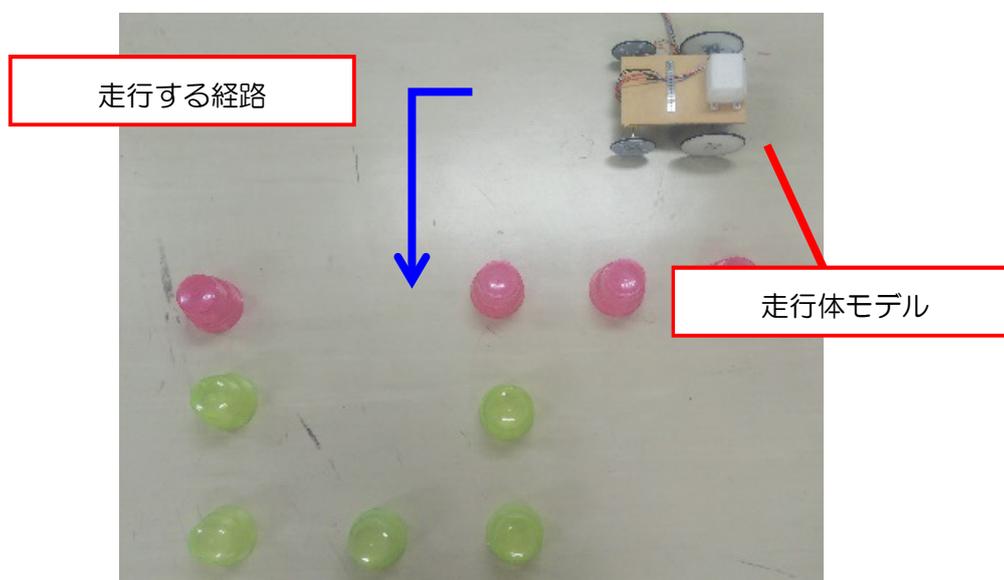


図 5.4 駐車フィールド

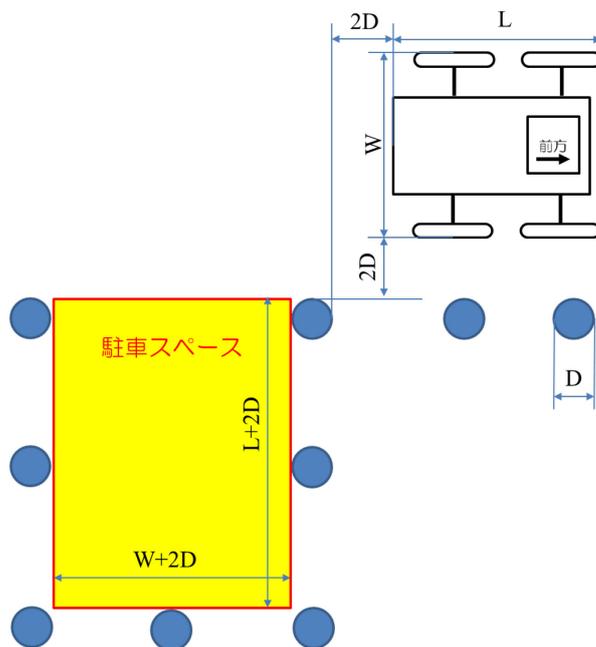


図 5.5 駐車配置

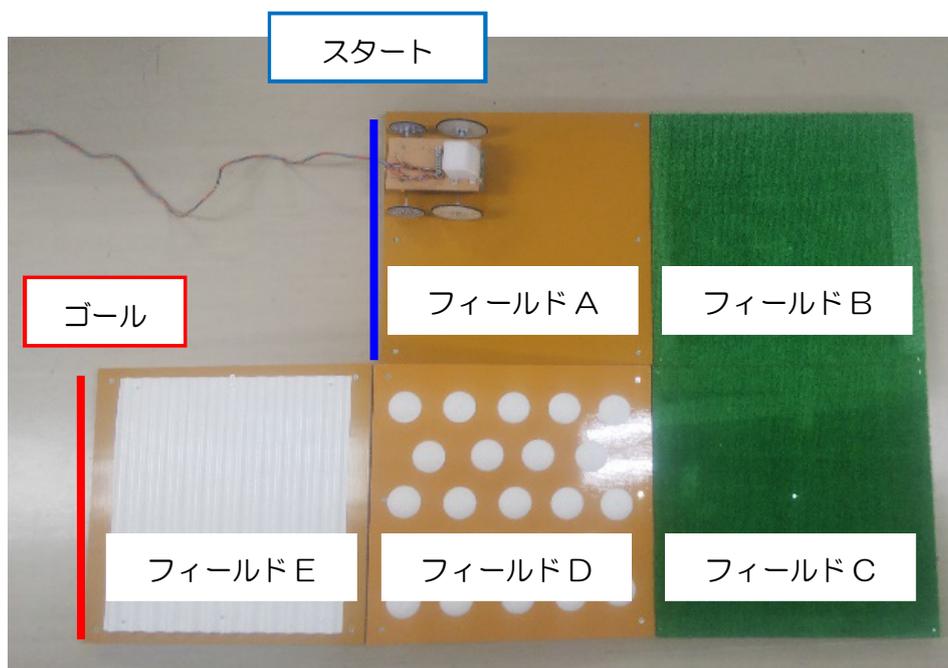


図 5.6 凸凹走行のフィールド

#### 5.4 走行体モデルの定量データの分析

走行体モデルの特徴を理解するために分析する設計要素のパラメータとしては、ギヤ比、トレッド、ホイールベース、前後の車輪の直径とタイヤ、前輪駆動-後輪駆動、キャノピーの位置とした。ただし、トレッドは、図 5.7 に示すように左右の車輪の幅を測定した。ホイールベースは、図 5.8 に示すように前後の車輪の幅を測定した。操縦性や安定性に影響を与える要素は他にもあるが、限られた授業時間で分析できるように測定する要素を限定した。課題 1 のスタートからゴールまでに掛かる時間では、走行体の速度に関わりがあるギヤ比とタイヤの直径が影響する。小さいギヤ比で大きいタイヤを選択することで速度が速くなり、時間を短くできる。しかし、速度が速すぎると課題 2 の操縦でコップに接触しやすくなってしまふ。課題 1 の基準線からの変位では、旋回の運動に関わりのあるトレッドとホイールベースが影響を与える。トレッドとホイールベースを広くすることで旋回速度を遅くして基準線からの変位を少なくできる。しかし、旋回速度を遅くすることで、課題 2 と課題 3 で時間が掛かってしまふ。課題 3 では、凹凸を走行するためには、直径の大きい車輪を選択することで、凸凹を乗り越えやすくなる。また、重心位置は、駆動部と近づくことで、登坂角が大きくなる。しかし、駆動部に近づき過ぎるとフィールド E を下る際に、転倒してしまふ。このように、三つの課題は、限定した設計要素のパラメータを調節することで解決策を具体化する必要がある。これらの設計要素は、力学の知識や数式を用いて示すことができるが、中学生には限られた授業時数で理解させることは困難である。そのため、本章では設計要素のパラメータと走行性能(三つの課題の結果)の関係を分析することで、走行体モデルの特徴や傾向を考察させる。

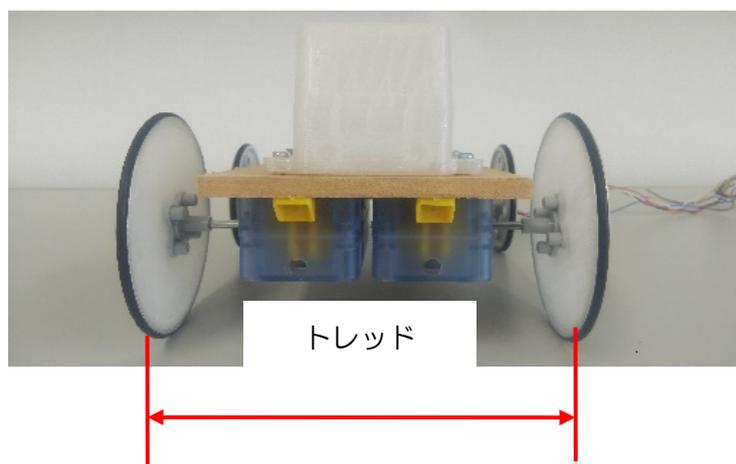


図 5.7 走行体モデルのトレッド

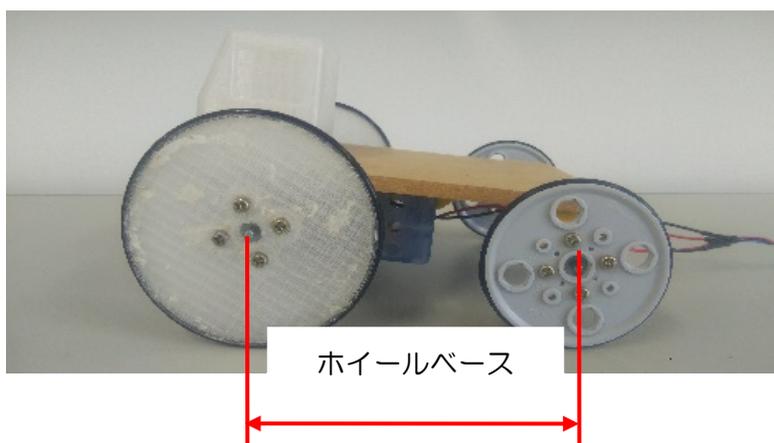


図 5.8 走行体モデルのホイールベース

### 5.5 教材を使った授業内容

森山らは、技術科において、課題を解決する能力を育成するには、問題を見つけ、分析し、解決する試行を行う活動を繰り返すことが重要であるとしている[16]。そのため、授業内容は、図 5.9 に示すように Plan-Do-Check-Action の学習サイクルを取り入れ、設計と製作を 2 回行わせる。

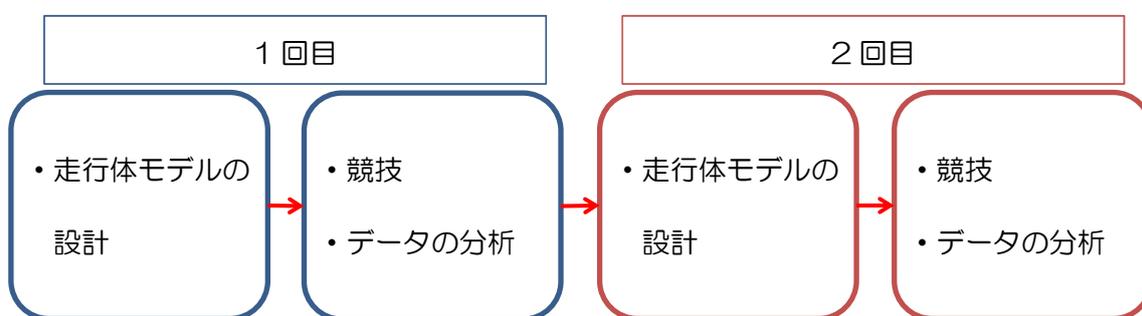


図 5.9 学習サイクル

### 5.6 教員養成の大学生への授業実践と結果

開発した教材の難易度や、製作時間を把握するために、教員養成系の大学生に授業を実践した。学生は、4人1グループとして5グループに各1台の製作モデルを製作させた。表 5.1 に示す部品で、課題 1～課題 3 の三つをクリアした上で、全ての課題で最も良い記録を出すことができる走行体モデルを設計し製作することを学習目標とした。操縦性を評価するために、操縦はグループの2名が行い、結果の平均を各グループの競技結果とした。1回目に製作させた走行体モデルの設計要素のパラメータを表 5.2 に示す。1回目の競技から学生は、三つの問題点を挙げた。一つ目は、車輪の空転である。この問題は、重心が関係する。そのため、学生は表 5.2 の駆動輪とキャノピーの位置を比較することで最適な位置を分析した。二つ目は、直線走行における基準線からの変位である。直線走行の結果をグラフで可視化し

た。1回目の直進走行の課題の結果を図 5.10 に示す。この結果から学生はトレッドが大きくなると変位が少なくなると分析した。三つ目は、凹凸走行の課題における操縦性と安定性である。凸凹走行の結果をグラフで可視化した。1回目の凸凹走行の結果を図 5.11 に示す。ただし、グループ 5 については、コースアウトしてしまったために「記録はなし」となっている。この結果から、学生はホイールベースが小さくなると旋回性が向上すると分析した。なお、大学生を対象とした実践のため、1回目の分析を教師主導では行っていない。そのため、関係性を分析できていない学生も含まれている。これらの1回目の結果を踏まえて、学生に問題を解決する方策を考えさせ、解決方策が最適なものになるように2回目の設計と製作をさせた。設計をする際に学生に記入させたワークシートの例を図 5.12, 図 5.13 に示す。各グループの走行体モデルの設計要素を改善している。2回目に製作させた走行体モデルの設計要素のパラメータを表 5.3 に示す。車輪の空転を抑制するために、前輪駆動でキャンピアーを前方の位置とするグループが増えている。2回目の直進走行の結果を図 5.14 に示す。全てのグループがトレッドを 140mm 以上にして基準線からの変位を抑制しようとしている。凸凹走行の結果を図 5.15 に示す。1回目よりも多くのグループがホイールベースを小さく設計して、旋回性を高めている。このように、設計要素からも学習者の設計の技能を評価することができる可能性がある。図 5.16 に課題 1～課題 3 の主な結果の変位を示す。課題 1 の直進走行は、基準線からの変位を示している。課題 2 の駐車と課題 3 の凸凹走行は、走行時間を示している。直進走行の時間は、ギヤ比に比例していることなど明らかな結果は割愛している。グループ 4 については、全ての競技で結果が良くなっている。一方で、その他のグループは、結果が良くなっている課題と悪くなっている課題がある。このことから、学生には操縦性と安定性の相反する性質や設計要素のトレードオフの関係についても指導を行った。

以上のように、設計要素のパラメータと走行結果を分析させることで、課題を解決できるように再設計・再製作させることができた。このことから、走行結果だけではなく、設計要

素のパラメータを分析することで設計する技能の評価ができる可能性を示した。また、データをプロットすることで可視化し、分類することで特徴を捉えることで設計要素のパラメータを改善させる支援を行うことができた。また、高等学校のデータサイエンスに含まれるデータをプロットすることで可視化し、分類することで特徴を捉えることの活用場面を体験させることができた。

表 5.2 1 回目の走行体モデルの設計要素

	グループ 1	グループ 2	グループ 3	グループ 4	グループ 5
ギヤ比	200:1	57:1	200:1	57:1	57:1
トレッド[mm]	95	85	130	170	85
ホイールベース [mm]	150	150	180	200	120
前輪径[mm]	80	60	60	80	80
タイヤ	タイヤ有	タイヤ有	タイヤ有	タイヤ有	タイヤ有
後輪径[mm]	40	40	80	60	60
タイヤ	タイヤ有	タイヤ有	タイヤ有	タイヤ有	タイヤ有
駆動輪	前輪駆動	前輪駆動	後輪駆動	後輪駆動	前輪駆動
キャンピ어의 位置	前	前	中央	後	後

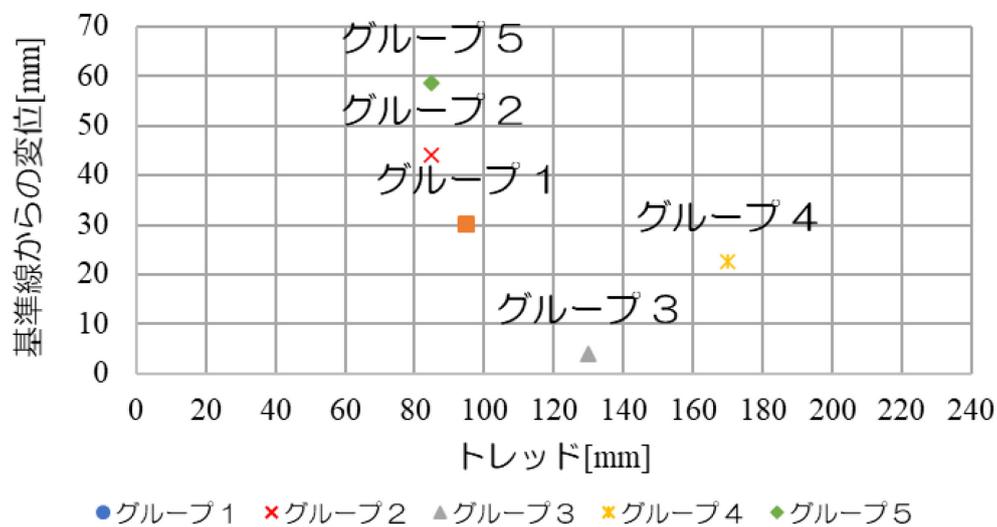


図 5.10 1回目の基準線からの変位

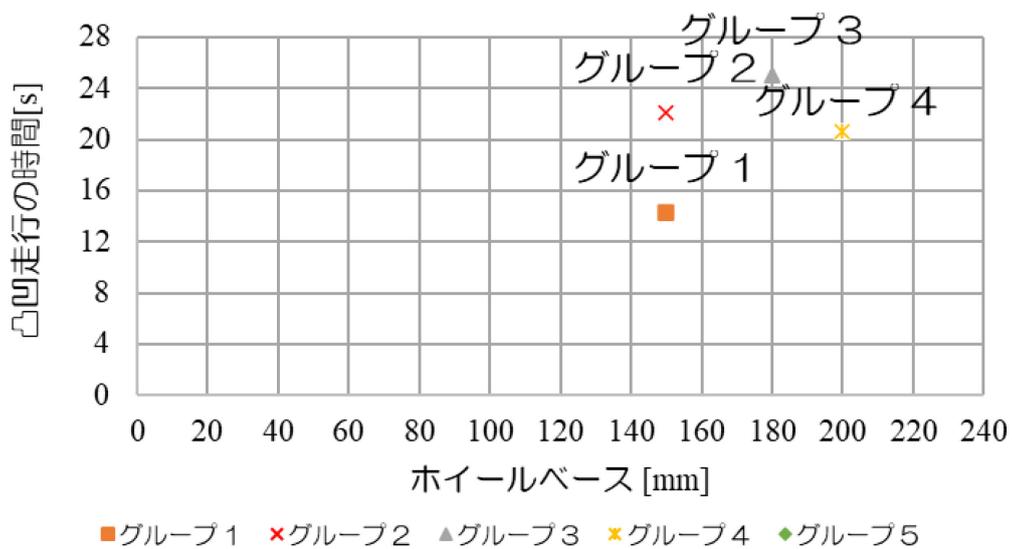


図 5.11 1回目の凸凹走行の時間

縦の長さを長くする(直線走行ができたため)

車輪を一番小さいものに変更(前輪最大、後輪最小)

前輪駆動で、おもりは前側に置く

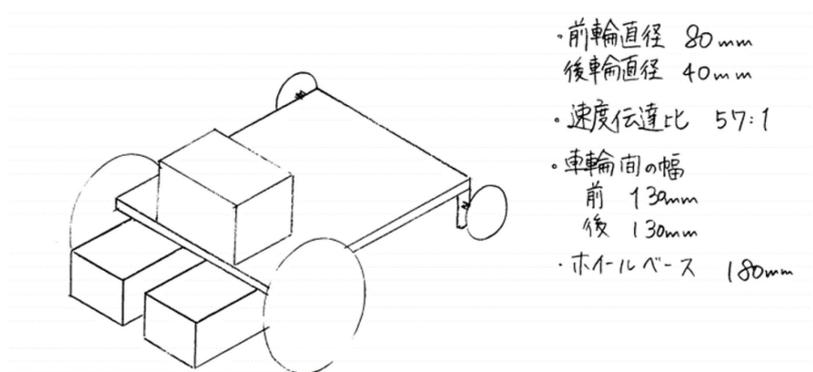


図 5.12 グループ 2 が記入したワークシート

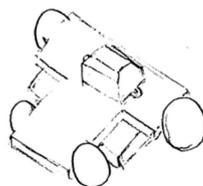
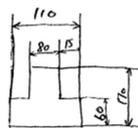
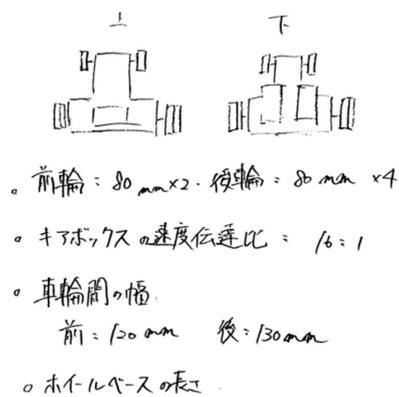


図 5.13 グループ 3 が記入したワークシート

表 5.3 2回目の走行体モデルの設計要素

	グループ 1	グループ 2	グループ 3	グループ 4	グループ 5
ギヤ比	200:1	200:1	57:1	57:1	57:1
トレッド[mm]	150	220	185	150	140
ホイールベース [mm]	140	165	115	125	115
前輪径[mm]	80	80	60	80	60
タイヤ	タイヤ有	タイヤ有	タイヤ有	タイヤ有	タイヤ有
後輪径[mm]	80	40	80	80	40
タイヤ	タイヤ有	タイヤ有	タイヤ有	タイヤ有	タイヤ有
駆動輪	前輪駆動	前輪駆動	後輪駆動	前輪駆動	前輪駆動
キャノピーの 位置	前	前	前	前	前

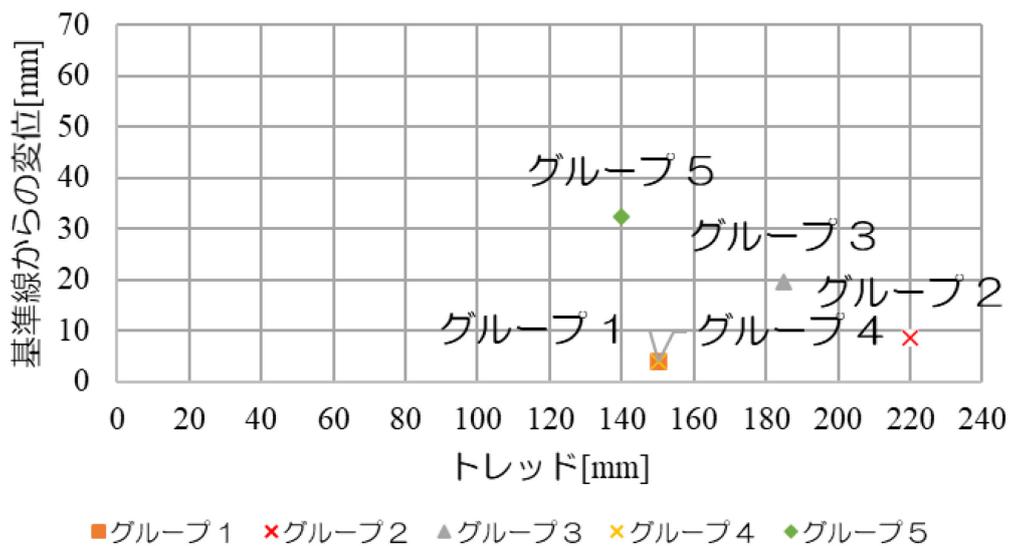


図 5.14 2回目の基準線からの変位

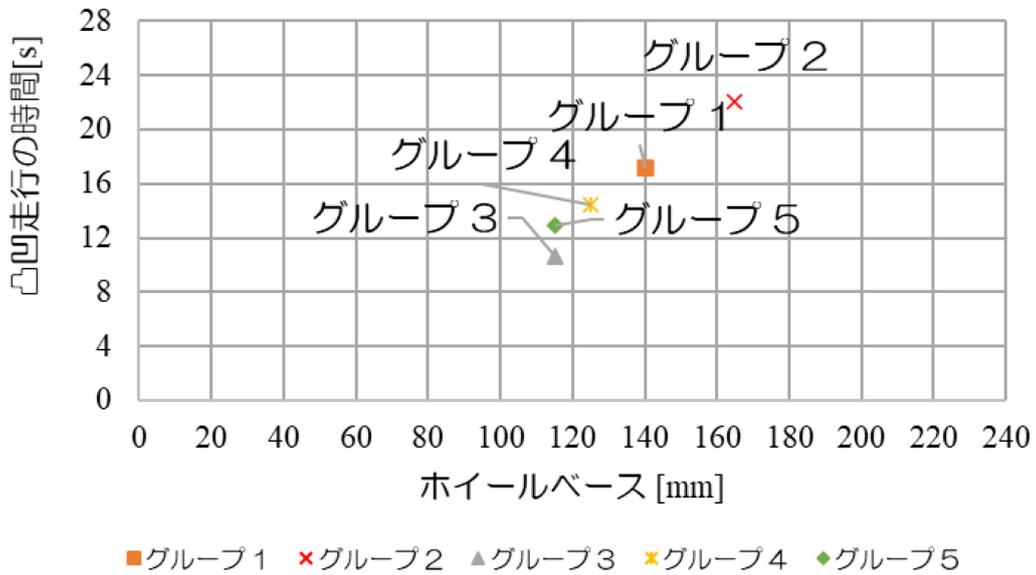


図 5.15 2 回目の凸凹走行の時間

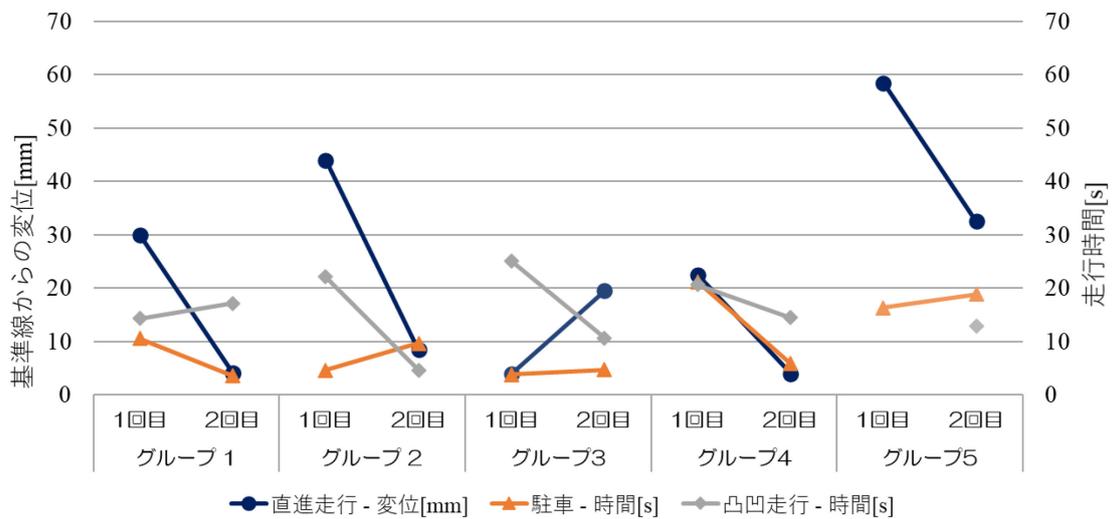


図 5.16 主要な競技結果の変位

## 5.7 結言

本節では、シャシー性能に特化した走行体モデル教材を提案し、測定する走行体モデルの設計要素と走行性能について示した。そして、走行体モデルを製作させ、設計要素のパラメータと走行結果を表やグラフで示して学習者に分析させることで再設計・再製作させる授業を実践した。そして、製作させた走行体モデルを改善させるための支援となることについて示した。そして、設計要素のパラメータで設計技能を評価する可能性を考察した。

## 参考文献

- [1] 統合イノベーション戦略推進会議決定：「AI戦略 2019～人・産業・地域・政府全てにAI～」 (2019)  
[https://www.kantei.go.jp/jp/singi/ai\\_senryaku/pdf/aistratagy2019.pdf](https://www.kantei.go.jp/jp/singi/ai_senryaku/pdf/aistratagy2019.pdf)  
(2021年12月1日参照)
- [2] 文部科学省：「中学校学習指導要領(平成29年告示)」, 東山書房 (2018)
- [3] 文部科学省：「高等学校学習指導要領(平成30年告示)」, 東山書房 (2019)
- [4] 長井映雄, 菊池章：「高等学校情報教育における中学校技術教育の有用性の検証」, 日本産業技術教育学会誌, Vol.59, No.3, pp.219-227 (2017)
- [5] T.Tamai, Y.Shoda and K.Kawada : “Development of Teaching Material for the Motivation of “Measurements and Controls” in Technology Education”, IEEJ Trans, Vol.13, pp.932-933 (2018)
- [6] Y.Ohnishi, K.Honda, R.Nishiok, S.Mori, and K.Kawada : ”Robotics Programming Learning for Elementary and Junior High School Student”, J.of Robotics and Mechtronics, Vol.29, No.6, pp.992-998, (2017)
- [7] 門田和雄, 猪股晃洋, 長嶋春樹：「中学校技術科における教育用小型マイコンボードを活用したラジコンカーの開発」, 日本産業技術教育学会誌, Vol.61, No.4, pp.297-304 (2019)
- [8] 山本利一, 関根裕昭：「電気二重層コンデンサを利用したロボット製作に関する課題の提案」, 日本産業技術教育学会誌, Vol.54, No.2, pp.85-93 (2012)
- [9] S.Fujikawa, and T.Maesaka : “Present Situation and Problems of Technology Education in Japan: With Focusing on Technology Education as General Education”, International Research in Education, Vol.3, No.2, pp.173-182 (2015)

- [10] F. Basoeki, F. D. Libera, E. Menegatti and M. Moro : “Robots in education: New trends and challenges from the Japanese market”, *Themes in Science and Technology Education*, Vol.6, No.1, pp.51-62 (2013)
- [11] 森慎之助, 山本透, 森岡弘, 白濱弘幸 : 「中学校技術・家庭科(技術分野)におけるロボット技術を用いた動力伝達および機構学習」, *日本産業技術教育学会誌*, Vol.48, No.3, pp.193-200 (2006)
- [12] E. Afari, and M. S. Khine : “Robotics as an Educational Tool:Impact of Lego Mindstorms”, *International Journal of Information and Education Technology*, Vol.7, No.6, pp.437-442 (2017)
- [13] 川田和男, 長松正康, 山本透 : 「人命救助を題材とした中学生ロボットコンテストの取り組み」, *工学教育*, Vol.58, No.2, pp.33-39 (2010)
- [14] H. Muramatsu : ” Trends of Technology Education in Compulsory Education in Japan” *J.of Robotics and Mechtronics*, Vol.29, No.6, pp.952-956, (2017)
- [15] E. B. Witherspoon, C. D. Schunn, R. M. Higashi, and E. C. Baehr : “Gender, interest, and prior experience shape opportunities to learn programming in robotics competitions”, *International Journal of STEM Education*, Vol.3, No.18, pp.1-12 (2016)
- [16] J.Moriyama, M.Satou and C. T. King : “Problem solving abilities produced in project based technology education”, *The Journal of Technology Studies*, Vol.XXVIII, No.2, pp.154-158 (2002)

## 第6章 結論

学校の教育活動は、計画、実践、評価という一連の活動が繰り返されながら、児童生徒のよりよい成長を目指した指導が展開されている。すなわち、指導と評価とは別物ではなく、評価の結果によって後の指導を改善し、さらに新しい指導の成果を再度評価するという、指導に生かす評価を充実させることが重要である。そして、評価の客観性を確保するには、間隔尺度や比尺度などの定量データを用いた評価が重要とされている。他方では、教育の情報化が急速に進展している。学校で ICT 環境を基盤とした先端技術や教育ビッグデータを活用することは、これまで得られなかった学びの効果が生まれるなど、学びを変革していく大きな可能性があると考えられている。課題として、どのような場面でどのような先端技術を活用した機器を利活用することが効果的なのか実証的な検証等が少なく明らかではないことが挙げられている。本論文では、学習者が作った製作品の作動音や動作などから定量データを取得し、数理モデルで表したり、グラフに示したりすることで比較・分析し、学習者の技能の評価方法や支援をすることを提案した。定量データとして単数を扱う場合や複数を扱う場合、必要となる定量データから評価や分析をして得られる結果から場面を分けて実践を行うことでデータに基づく学習評価方法と支援を行うことの有用性を検討した。以下に、本論文の各章に対する概要と結論を総括する。

第1章では、本研究の背景となる、近年の教育の情報化の推進、学習評価の考え方と技術教育における設計と製作について概説した。そして、本研究で提案する手法の概念となる、データに基づく評価方法について先行研究や現状の課題を踏まえて考察した。

第2章では、部材に作用する荷重(圧縮荷重及び引張荷重)について学習させる身近な構造物を模擬した静力学モデル教材(フレームモデル)を提案した。次に、フレームモデルを変形させて、定量データとして部材の長さを測定することで、荷重を分類させる手法の妥当性を示した。次に教材を使用した授業を提案し実践を行った。実践の結果から、データに基づいて荷重を分類できているかを学習者に評価させることができることや部材の長さを測定さ

せて分類させることが学習の支援となることの有用性を示した。

第3章では、音響データから自己回帰モデルを算出することで、ギヤボックスの完成度を分類する手法を提案した。ギヤボックスを作動させ、定量データとして音響データを取得しモデリング誤差を求めることでギヤボックスの完成度を5種類に分類することができることを示した。次に、ギヤボックスを組立てる学習において組立て技能を評価する一例を示した。そして、提案する分類手法でギヤボックスの組立て技能を評価し、学習者に応じた支援ができる実践例を示した。

第4章では、ライントレスカーを動作させる五つのパラメータ(左右の車輪の回転を制御する四つのパラメータ、黒色の線を識別する閾値)を調節することで、線に沿って直進走行させる課題を提案した。そして、ライントレスカーの走行性能を走行時間と左右の振れの二つの定量データで評価する手法を示し、値を比較することでプログラミングの技能の一つであるパラメータを調節する技能を評価できることを示した。そして、提案する手法の一つの指標では評価できていなかった技能の評価ができることを示した。また、自グループのデータを比較させることで、データを根拠にパラメータを改善させる支援ができることを示すことができた。さらに、測定した定量データをグラフで示すことで、習熟過程を評価できることを示し、トレードオフ曲線を用いた新たな評価指標の可能性を示すことができた。

第5章では、シャシー性能に特化した教材(走行体モデル)を提案し、定量データとして測定する設計要素を限定してギヤボックスのギヤ比、トレッド、ホイールベース、車輪の直径、前輪駆動-後輪駆動、キャノピーの位置を設計要素のパラメータとすることについて示した。次に、走行性能を評価するための三つの課題(直進走行、駐車、凸凹走行)を提案し、測定する定量データについて示した。次に、提案した走行体モデルを使用した授業を提案し実践した。学習者が製作した走行モデルの設計要素のパラメータと走行結果との関係を表やグラフで示すことで、データを根拠にして走行性能に及ぼす要因を示すことができた。そして、設計

要素のパラメータを改善させる支援ができることと、設計技能の評価として使用できる可能性を示した。

最後に、データに基づく学習評価方法と支援についての研究に対する今後の展望について述べたい。近年の研究や技術革新によって、これまでにない学習データを収集できるようになってきた。これらのデータを分析し、活用する手法は利用者に委ねられている部分が多い。そのため、特に研究を進めていきたい項目を二つに分けて述べる。一つ目は、データを使用することで、教師の授業の改善に役立てることである。教師は、授業を行う際には多くの時間を掛けて準備を行っている。その成果をデータで示すことで、さらに効果的な授業を実施させたり、やりがいを実感させたりすることにつながる。二つ目に、学習者の学習成果を可視化することである。授業における製作は、意欲的に学習者に取り組みせられる活動の一つである。しかしながら、学習成果を抽出することが難しい側面がある。学習者は、製作の過程で多くの気づきや試行錯誤を繰り返している。このような内容について、モデル教材を使用して実験をさせることやグラフで示すことで要点を絞り可視化できるようにできれば、学習成果を実感させられる。これらの二つの項目は重なり合う部分があり、実践によって明らかになることが多くある。今後は、教師や学習者のデータに基づく新しい学習評価方法や支援に関する研究を提案していきたい。

## 引用既発表論文

### A.学術雑誌等掲載論文

- [A1] 玉井輝之, 岡本克哉, 正田義明, 川田和男:「構造物に作用する荷重を体験的に学習するフレームモデル教材の開発」, 日本産業技術教育学会誌, Vol.63, No.4, pp.419-425 (2021)
- [A2] 玉井輝之, 大西義浩, 川田和男:「技術教育における技能評価のための作動音からギヤボックスの完成度を分類する基礎研究」, 電気学会論文誌 C(電子・情報・システム部門誌), Vol.141, No.3, pp.345-350 (2021)
- [A3] T.Tamai, K.Murai, Y.Ohnishi, K.Kawada: “Proposal of Parameter Tuning Skills Evaluation by using Sensor Car Behavior Data in Technology Education”, Journal of Robotics, Networking and Artificial Life, Vol.8, No.2, pp.104-107 (2021)
- [A4] 玉井輝之, 村井啓太, 川田和男:「動作データの分析によるプログラミングスキルの評価に関する一考察」, 電気学会論文誌 C(電子・情報・システム部門誌), Vol.142, No.3 (2022)(掲載決定)
- [A5] T.Tamai, K.Okamoto, K.Iuchi, K.Kawada: “Development of Teaching Material to Design a Vehicle on Data Science in Junior High School Technology Education”, IEEJ Trans. on Electrical and Electronic Engineering, Vol.16, No.10, pp.1407-1413 (2021)

## その他既発表論文

### B.学術雑誌等掲載論文

- [B1] 玉井輝之, 川田和男 : 「技術教育における生活に関わる製品を模擬した計測・制御の導入教材の開発」, 電気学会論文誌 C(電子・情報・システム部門誌), Vol.139, No.4, pp.334-340 (2019)
- [B2] 岡本克哉, 玉井輝之, 川田和男 : 「発達段階を考慮した小学生のプログラミング的思考を促す計測・制御教材の開発」, 電気学会論文誌 C(電子・情報・システム部門誌), Vol.139, No.4, pp.435-441 (2019)
- [B3] T.Tamai, Y.Ohnishi, K.Kawada : “Development of Basic Training for Teaching Measurement and Control to Junior High School Students”, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol. 31, No.6, pp.441-450 (2019)
- [B4] K.Kawada, K.Okamoto, T.Tamai, Y.Ohnishi : “A Study on Developmentally Appropriate Programming Education Learning Materials for Lower-Elementary School Students”, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol. 31, No.6, pp.419-426 (2019)
- [B5] Y.Ohnishi, S.Takechi, T.Tamai, S.Mori, K.Kawada : “Evaluation for Task Achievement of Robotics Programming based on Image Information”, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol. 31, No.6, pp.427-433 (2019)
- [B6] Y.Ohnishi, T.Nakano, T.Tamai, S.Mori, K.Kawada : “Practical learning of science for elementary school students via programming and control experimentation”, Journal of Robotics, Networking and Artificial Life, Vol.7, No.4, pp.266-269 (2021)

### C.国際学会等講演論文

- [C1] T.Tamai, Y.Ohnishi, K.Kawada : “Class Proposal to Experience Simple Edge Computing for Junior High School Students”, SICE Annual Conference 2019, pp.1318-1320, Hiroshima, September (2019)

## 謝辞

本研究は、広島大学 川田和男准教授のご指導によって遂行されたものであり、終始、懇切なご指導とご鞭撻を賜りました。また、筆者が研究に従事する職業を選択するきっかけを与えてくださったことや先生の研究に対する熱意や誠実な姿勢を学ばせていただいたことが本研究を進める活力となりました。深く感謝するとともに厚く御礼申し上げます。さらに、本論文作成の際に有益なご助言を賜りました、広島大学 長松正康教授、田中秀幸教授、若松昭彦教授ならびに山本透教授に厚く御礼申し上げます。

本研究を推進するにあたり、制御工学の基本から本研究に至るまでのご教示とご助言を賜った愛媛大学 大西義浩教授に厚く御礼申し上げます。また、本研究を進めるにあたり、たくさんのアドバイスやご指導を賜った愛媛大学 森慎之助教授に深く感謝申し上げます。

広島大学の同じ研究室の後輩とはともに研究に励み、お互いに励みながら研究を進め、成長できたことを嬉しく思います。特に正田義明氏、岡本克哉氏、守江智哉氏、井内啓介氏、井嶋稔之氏、二井野巧氏、中田凌平氏、村井啓太氏には、提案手法の検証、実験データの取得や分析に多大なご協力をいただき、本論文を仕上げるための大きな助けとなりました。深く感謝いたします。

広島大学大学院教育学研究科博士課程後期への進学に際し、ご快諾いただきました愛媛大学教育学部 前学部長 佐野栄教授、現学部長 小助川元太教授に深く感謝いたします。本論文をまとめる機会を与えていただいた愛媛大学の先生方や事務職員の方々には様々な形でお世話になりました。厚く御礼申し上げます。

最後に、在学1年目の2月から新型コロナウイルス(COVID-19)が広がり、先行きの見えない生活が始まりました。生活様式も変わり、不自由な時間を過ごすことが増えた中で常に応援をして支えてくれた家族には心より感謝を申し上げます。