

データ駆動型アプローチによるメカニカルシステムの
制御と教材化に関する研究

平成20年1月

森 慎之助

目次

第1章	序論	1
1.1	研究の背景	1
1.1.1	制御技術について	4
1.2	本論文の目的と各章の構成	11
第2章	データ駆動型アプローチによるスキルベーストPIDコントローラ の設計	13
2.1	緒言	13
2.2	データ駆動型スキルベーストPIDコントローラ	15
2.3	実験システムの概要	20
2.4	実験結果	22
2.5	結言	29
第3章	中学校技術・家庭科におけるメカニカルシステム教材を 利用した制御・プログラミング学習	31
3.1	緒言	31
3.2	中学校技術・家庭科（技術分野）にロボット教材を導入した教育効果	33
3.2.1	授業実践	34
3.2.2	結果および考察	41
3.2.3	まとめ	47

3.3 中学校技術・家庭科（技術分野）にメカニカルシステム教材を	48
導入した教育効果	
3.3.1 メカニカルシステム教材について	48
3.3.2 授業実践	49
3.3.3 結果および考察	55
3.3.4 まとめ	71
3.4 結言	72
第4章 結論	74
謝辞	77
参考文献	78

第 1 章 序論

1.1 研究の背景

21世紀になり，日本における科学技術力の低下が懸念されている．この要因を教育的背景および社会的背景から検討した．最初に教育的背景から考察を行なう．教育制度において，1996年に文部科学省が「生きる力」の育成をかけた，「ゆとり」を重視した学習指導要領を導入した．結果として，学力低下を招くことになった．特に児童・生徒の「算数・数学」，「理科」の教科に対する興味・関心の低下，いわゆる「数学嫌い，理科離れ」が顕著となり，それらの学力の低下は国際数学・理科動向調査からも明らかである[1]．また，高校生の大学進学に対する「理工系離れ」も指摘され，すでに，理工系学部大学生の製造業への就職に対する興味・関心の低下や就職率の低下が起こり始めている[2]．これらのことより，これまで先人らが築きあげてきた先端の科学技術を受け継ぐ後継者の育成が困難になってきている．つぎに，社会的背景から考察を行った．これまで日本経済を支えてきた「団塊の世代」（1947年から1951年生）の人たちが定年退職を迎える時期となる．第二次産業，特に製造業における職人的作業や機械化が困難な作業の多い企業において技術力の低下や維持が困難な状況となり，企業にとっては危機感をつのらせ社会問題まで引き起こしている．いわゆる「2007年問題」である．このことが，日本全体の経済力および科学技術力の低下を引き起こすと危惧されている[3]．

この問題を改善するための方策の一つとして、これから日本の将来を支える児童・生徒らに科学技術への興味・関心を高めておくことは重要であると考え、対策として、7、8年前から、全国の理工系学部を持つ大学や工業高等専門学校などの教員・学生らが児童・生徒を対象にした出前授業や各イベントなどを多数、開催している。一部には、10年以上前から実施している箇所もある。また、教育系学部では、理科・数学系の現職教員を対象に専門知識の低下を抑止するため、講習会を開催し、専門知識の向上を図っている。教育現場においては、教育委員会が中心となり、教諭らは児童・生徒に「算数・数学」、「理科」の面白さを説き、学習への意欲を低下させないような新たな学習指導や教材の工夫の研究を行っている。企業においても児童・生徒と保護者を対象に工場の見学会の実施や企業の特色を活かした教材を作成し、出前授業を行っている。

これらの中で大学や企業などの出前授業は先端の科学技術を学べる貴重な体験ではあるが、児童・生徒らにとっては一時的な刺激にしかすぎない。やはり、初等・中等教育の中で、また、子どもたちの知性・知能の発達や体型の成長段階に応じて、恒常的および連続的に学習することが望ましい。

ここで、中学校技術・家庭科（技術分野）の果たす役割について考えてみる。中学校技術・家庭科（技術分野）は、小学校や高等学校には存在しない中学校特有の教科である。文部省（現、文部科学省）が平成11年9月に発刊した中学校学習指導要領－技術・家庭編－では、技術分野の目標を「実践的・体験的な学習活動を通して、ものづくりやエネルギー利用及びコンピュータ活用等に関する基礎的な知識と技術を習得するとともに、技術が果たす役割について理解を深め、それらを適切に活用する能力と態度を育てる」と示されている[4]。具体的には「技

術とものづくり」と「情報とコンピュータ」の学習を行っている。

「技術とものづくり」の学習では、(1)生活や産業の中での技術の役割、(2)製作品の設計、(3)工具や機器の使用法及びそれらによる加工技術、(4)機器の仕組み及び保守、(5)エネルギー変換を使用した製作品の設計・製作、(6)作物の栽培で構成されている。現状の多くは、材料（木材、金属、プラスチック等）を加工し、組立てを行う教材を中心に、その知識や技能を習得する内容がほとんどである。また、「情報とコンピュータ」の学習は、(1)生活や産業の中での情報手段が果たしている役割、(2)コンピュータの基本的な構成と機能及び操作、(3)コンピュータの利用、(4)情報通信ネットワーク、(5)コンピュータを利用したマルチメディアの活用、(6)プログラムと計測・制御で構成されている。ここでは、現状として、コンピュータの利用（ワープロ、表計算、図形処理など）とマルチメディア（プレゼンテーションなど）の学習を中心に、その知識や技能を習得する内容がほとんどである。

現行の学習指導要領に基づいて技術分野で取り扱われてきた学習の題材で顕著になってきたのがロボットである。ロボットは「技術とものづくり」の学習のみならず、「情報とコンピュータ」の学習も指導することが可能であり、その両者の学習内容を効率よく学習できることが特長である。今では、全国規模の中学生による創造性を育成するロボットコンテストが開催されている。中学生のロボットコンテストは与えられた課題をものづくりを中心に技術的な工夫を凝らし、解決を行わせている。また、ロボットを題材に技術分野の学習を行うことは、生徒らの科学技術への興味・関心や知識・理解の向上に教育効果があることが示されている[5]。さらに、「情報とコンピュータ」学習においてロボットを取り入れた場

合の利点は「プログラムと計測・制御」学習である。しかし、現行の学習指導要領では、「プログラムと計測・制御」の学習は選択項目となっており、すべての中学生が学習していることにはなっていない。この「プログラムと計測・制御」の学習は生徒らにとって、日本の科学技術の知識の理解や日本の将来の展望・展開による興味・関心の高揚ができる内容である。この内容を学習するためにロボットを題材に新たな教材を考案・作製するだけでなく、様々な題材を選定し、学習目的に適用した適切な教材を作製することは非常に重要である。

その一つとして、日本が抱えている社会問題を科学技術により解決できる手法を生徒らに学習させることで、技術と社会のかかわり、すなわち「生活の中の情報技術の役割」や「プログラムと計測・制御」への興味・関心や知識・理解の向上につながると考える。また、一步踏み込んで制御する技術への興味・関心や知識・理解の向上についての教育効果の検討も可能であると思われる。

中学校技術・家庭科（技術分野）の教育課程におけるプログラムと計測・制御学習を行うに当たり、本質的な制御技術の変遷について以下に説明する。

1.1.1 制御技術について

日本の科学技術の最先端にある制御技術の進歩は目覚ましいものがあり、あらゆる分野へ展開されている。今や日本の制御技術は世界のトップレベルにあると言っても過言ではない。これは戦後の日本経済復興の建て直しによる第二次産業の成長、すなわち製造業などにおける機械化の発展や拡大にともなう機械技術と情報技術の進展が大きく影響している。また、それらの技術の進展には高等教育機関までの教育制度の確立すなわち大学・大学院や研究所における科学技術に対す

る研究内容のレベルの向上や研究・教育施設の充実などがある。このことは、20世紀末頃に日本の科学技術の高さを世界にしらしめたことでも明らかである。

制御技術は、現代科学技術の高度化により発達してきた。これは、情報通信技術と計算機技術の進歩によるものである。機械に使用される制御技術の起源は1778年にワット（James Watt）が蒸気機関に初めて適用したガバナ（flyball governor）による自動回転制御であるといわれている。また、制御理論の起源はマックスウェル（Maxwell）が1868年に、このガバナの制御動作の研究を行い、安定制御について解明した”On Governor”という表題の論文であるといわれている[6, 7]。

制御技術は今日、様々な分野で重要な役割を果たしている。その中においても、サーボ機構およびプロセス制御システムへの適用が代表例である。サーボ機構は、制御対象の空間的な位置、方向および姿勢を制御するフィードバック制御システムである。たとえば、サーボモータはコンピュータで位置を指定できる停止位置精度が優れているのが特徴であり、産業用ロボットには欠くことのできない部材である。サーボ機構により、正確な作業を繰り返して行うことができる。また、プロセス制御システムの技術が使用される分野は、サーボ機構が使用される分野よりもはるかに多く、特に化学プラント（石油の精製、化学薬品や肥料の調合）などのプロセス制御には重要なものとなっている。プロセス制御の対象となる制御量は、温度、圧力、流量、液位およびpHなどである。現在のプロセス制御の90%近くにPID制御法が使用されている。

さらに、PID制御法について詳細な説明を行う[8, 9]。PID制御法は、1922年にマイノースキー（Minorsky）が発想し、1936年にカレンダー（Callender）

らにより空気式PID調節器の原型が作られた。その後、ジエグラー (Ziegler) とニコルス (Nichols) によってPID調整則が提唱された[10]。この調整則は実験的に求められたもので、理論的根拠は明確ではないが、PIDパラメータの求め方が容易で、かつ有効であったため、またたくまに普及した。PID制御法の特長は、制御方式がシンプルでわかりやすい、比例(P)、積分(I)、微分(D)の動作の物理的意味が明確で調整しやすいことである。

ここで、PID制御法と人間の問題解決・判断手法の類似性を表1.1に示す[11]。

表 1.1: PID制御法と人間の問題解決・判断手法の類似性

動作	P:比例動作	I:積分動作	D:微分動作
制御の方法	「現在の偏差」の大きさに対応	「過去の偏差」の累積値に対応	「未来の偏差」の変化予測に対応
判断基準	「現在」データを重視	「過去」のデータを重視	「未来」のデータを重視
変化への対応	即応追従性	継続追従性	予見追従性
人間の判断	現在の状態はどうなっているのか	過去の状態のときはどうであったか	未来はどうなるか

PID制御法の比例動作は現在の偏差の大きさ、すなわち「現在」の状態を示す値のデータを重視し、積分動作は過去の偏差の累積値、すなわち「過去」のデータを重視し、微分動作は偏差の未来の予測値、すなわち「未来」のデータを重視して、制御対象の特性に合わせてPIDパラメータを調整するものである。人間が問題を解決し、判断するときは、「現在の状態はどうなっているか」、「過去の状態

はどうであったか」、「未来どうなりそうか」という「現在」、「過去」および「未来」の情報を収集して、各情報にどのようにウェイトを置くか考えて結論を出す。機能面から考えると、人間が問題解決し、判断する過程と PID 制御法はほとんど同じであることがわかる。

図 1.1 に PID 制御系のブロック線図を示す。

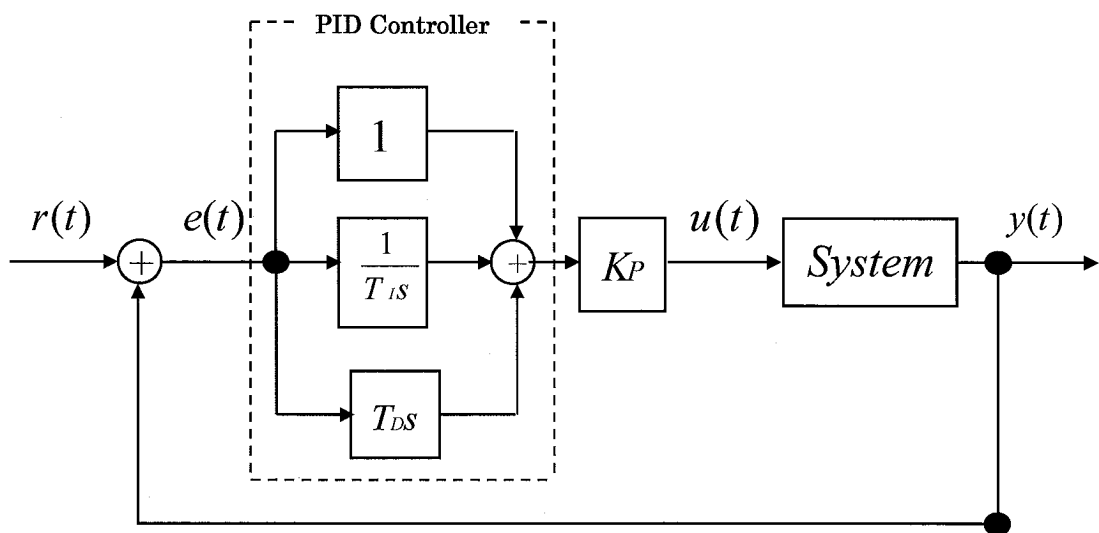


図 1.1: P I D 制御系のブロック線図

図において、 K_P は比例ゲイン、 T_I は積分時間、 T_D は微分時間を表し、これらを PID パラメータと呼ぶ。また、 $e(t)$ は制御誤差を表している。表 1.1 にも示したように比例、積分および微分の各動作は、「現在の偏差」の大きさ、「過去の偏差」の累積値および「未来の偏差」の変化予測の情報に対応している。これらは、周波数領域ではそれぞれゲイン補償、位相遅れ補償および位相進み補償に対応する。

PID 制御システムを設計する中で重要なことは PID パラメータの調整である。これまでの調整法として、前述の Ziegler & Nichols 法のほかに、Chien, Hrones

& Reswick 法(CHR 法)[12]や内部モデル制御法[13, 14]などが提案されている。

現在においても PID 制御法で理論付けされる範囲が広がっており、未解明な部分や高度化の余地が残っている。PID パラメータの調整法について、1960 年以降、計算機技術の進歩により、新たな手法が展開されてきた。たとえば、ロバスト調整法[15]や適応調整法等である[16]。ロバスト調整法とは、制御対象の実際の特性が制御系設計の際、想定したモデルと多少異なっても制御性を余り損なわない手法である。その代表的な一つが外乱信号の影響を抑制する制御系を構築するための制御理論である H_∞ である。これは、 H_∞ ノルムと呼ばれるノルムによって伝達関数を評価し、それが所望の値より小さくなるようにすることにより、目的の性能を達成させるものである[17]。また、適応調整法とは、パラメータ（の一部）が未知である制御対象に対して、系を安定化しつつパラメータを推定する方法である。パラメータが変動するようなシステムで高い制御性能を発揮することを目指しており、制御系設計の段階でシステム同定をする必要がない。適応制御としてセルフチューニング法 [18] やニューラルネットワーク法[19]などがある。

ここで、制御系設計の段階でシステム同定をする必要がない適応制御の利点に着目し、非線形システムに対する適応調整法について検討した。セルフチューニング法では、計算負荷が比較的軽いですが、強い非線形性を示すものには不適である。また、ニューラルネットワーク法では、非線形性に対する適用能力は高いが、学習負荷（計算量、計算時間）が増加する。両者の手法は一長一短がある。理想の調整法として、

1. 非線形性を持つシステムに対して適用できる、

2. 学習負荷（計算量，計算時間，コスト）が比較的軽い，
3. 実現の可能性が高い，

ことが挙げられる．

この3つの要求を満たす制御手法として，データベースに基づくデータ駆動型モデリングの調整法が注目されている[20]-[23]．これは，近年の計算機技術の発展により，大量のデータの保存およびオンラインでの高速なデータの読み出し，書き込み，検索などが可能となったためである．

データベースに基づくモデリングの手法とは，基本データが入出力データに基づいていることや大域特性を動作点（要求点）ごとに線形近似が可能であることである．また，その特徴として，

1. 要求されるシステムの事前情報が少ない，
2. 制御系設計が簡単である，
3. 複雑な非線形モデルを簡単な線形モデル群として扱える，
4. 計算負荷が軽い，
5. 非線形の記述能力が高い，

である．

以上，述べてきたことに基づき，新たな制御方法の実現の可能性として，たとえば，人間の操作のデータをPIDパラメータで表現する．つぎに，人間が制御した，あるいはできる制御対象物のデータを収集し，データベースとして格納する．さらに，制御対象物に合わせ，コンピュータを使用してPIDパラメータを調整し，その動作を再現することが可能であると考ええる．

以下に，新たな制御設計を構築するための基礎となるメモリーベーストコント

ローラについて簡単にまとめる [24]. メモリーベースト型のモデリングのイメージを図 1.2 に示す.

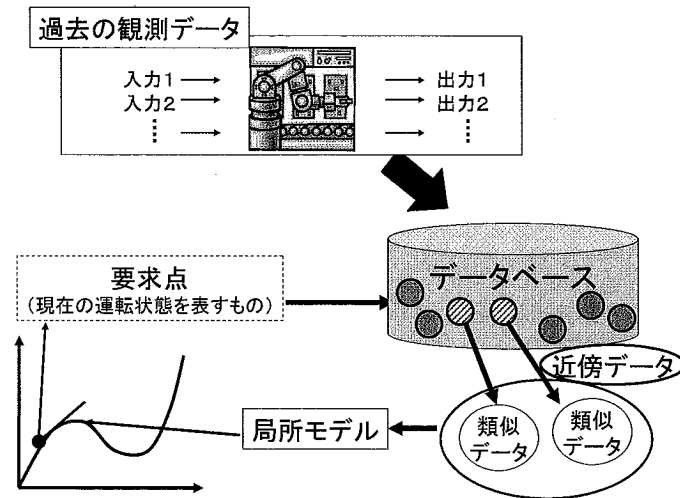


図 1.2: メモリーベースト型のモデリングのイメージ

はじめに、次式で表される離散時間の非線形システムを考える.

$$y(t) = f(\phi(t-1)) \quad \dots (1)$$

ここで、 $y(t)$ はシステム出力、 $f(\cdot)$ は非線形関数、 $\phi(t-1)$ はシステムの時刻 t より前の状態 (ヒストリカルデータ) を表しており、情報ベクトルと呼ぶこととする。情報ベクトル $\phi(t-1)$ は次式で定義される。

$$\phi(t-1) := \left\{ \begin{array}{l} y(t-1), \dots, y(t-n_y), \\ u(t-1), \dots, u(t-n_u) \end{array} \right\} \quad \dots (2)$$

ここで、 $u(t)$ は制御入力、 n_y 、 n_u はそれぞれ出力と入力の次数である。メモリーベース型のモデリングでは、(2)式の情報ベクトルの形式でデータベースへの蓄積が行われる。また、出力 $y(t+1)$ の予測値を得るために必要な情報ベクトル $\phi(t)$ を要求点と呼ぶ。メモリーベース型のモデリングでは要求点に対する予測値は、事前に蓄えられたデータベースから、要求点に類似した情報ベクトルを近傍として抽出し、局所モデルを構成することにより得られる。

1.2 本論文の目的と各章の構成

これまで述べてきたように、中学校技術・家庭（技術分野）において科学技術と社会とのかかわりの学習を行う場合、このような優れた科学技術の一端を子どもから大人への過渡期をむかえる中学生が学習することは、科学技術に対する興味・関心を高め、かつ、これから将来をになう生徒らの進路の選択肢の幅を広げることにつながる。また、先端科学技術の一つである制御技術の進歩からみれば制御対象の構造がより複雑化してきている。その対象のほとんどが非線形を示すものであり、早急な制御系の設計手法の確立が望まれている。さらに、人間が思考を重ね、熟練技または職人技と呼ばれる技術の伝承の手助けに制御技術を適用することは科学技術の使命である。

第1章では、本研究の背景となる社会問題の要因を教育および社会的背景から探った。それを踏まえ、中学校技術・家庭科（技術分野）の情報技術の学習に関する現状を把握し、問題点を整理した。また、社会問題を解決する一つの工学的手法を制御工学分野から検討し、現状の問題点と課題を整理した。

第2章では、非線形性挙動を示すヒューマンスキル（熟練技術）からPIDパラ

メータを算出し、その調整をヒューマンスキルのデータベースに基づくデータ駆動型のPIDコントローラの制御設計を提案する。ここでは、メカニカルシステムを使用したヒューマンスキルのデータからPIDパラメータを取り出し、入出力データとともにデータベースに格納する。要求点に応じた近傍の情報ベクトルを取り出し、データベースを整理する。それをメカニカルシステムに適用し、制御データを採取し、新たなデータベースを構築する。この一連の操作を繰り返す（学習と呼ぶ）ことにより、制御精度の高いスキルベースコントローラの実現およびその有用性を実験的に検証する。

第3章では、学習題材を「ロボットを”もの（有形）”として使用した場合」の教育効果および「制御技術を”技術（無形）”として使用した場合」の教育効果について考察する。はじめに、先行事例として、中学校技術・家庭科（技術分野）におけるプログラムと計測・制御学習にロボットを導入した教育効果について考察する。ここでは、ロボットとその技術を題材に学習の動機付けに使用し、それに関する適切な教材を考案し、プログラムと計測・制御学習に適応した場合の効果について検証する。つぎに、制御技術を題材に第2章で使用したメカニカルシステムを中学校技術・家庭科（技術分野）の教材として使用し、その教育効果について考察する。ここでは、社会で起こっている厳しい問題の一つを生徒に示し、その解決の方策に工学的技術が有効であることを学習の導入部に使用する。また、この学習は、その後のプログラム作成実習への興味・関心及び学習意欲の高揚も考慮している。

第4章では、以上の結果を総括するとともに今後の課題について示す。

第2章 データ駆動型アプローチによるスキルベーストPIDコントローラ的设计

2.1 緒言

生産加工プロセスなどにおいては、巧みな熟練技術を有する作業者が年々不足している傾向にあると言われている。とくに、団塊の世代の退職により、今まで培ってきた技術やノウハウなどが継承されず、システムの維持・管理が困難になる、いわゆる「2007年問題」が、昨今指摘されている。その一方で、熟練技術を必要とされる作業は、比較的好ましくない作業環境で行われていることが多いように思われる。したがって、このような現状を考えると、人間のヒューマンスキル（熟練技術）を、コントローラとして実現する設計法についての考察が必要となってくると考えられる。

Liuらはヒューマンスキルに基づく学習制御手法を開発し、機械加工用ロボットに適用したことを報告している[25]。ヒューマンスキルは一種の非線形システムとして捉えることができる。これまでに、ニューラルネットワーク[26]を用いた非線形コントローラ的设计法が、数多く提案されている[27]-[29]。ニューラルネ

ネットワークは脳機能に見られるいくつかの特性を計算機上のシミュレーションによって表現することを目指した数学モデルである。パターン認識、音声認識や非線形系に対する制御系設計など様々な分野において用いられている。ところで、ニューラルネットワークのようなノンパラメトリックモデルは、その内部がブラックボックスとなり、実用の妨げとなる可能性が高いと考えられる。モデリングにおいて、制御対象の高精度化も重要な要素であるが、その表現方法（例えば、数学モデル）も非常に重要な要素であると思われる。一方、近年のコンピュータ技術の進展により、大量のデータの記憶と高速な書き込み、読み出しおよび検索が可能となった。これにともない、新しいデータが得られるたびにデータの保存が容易になり、データベースの構築が可能となった。このデータベースを基に、要求に応じて過去に蓄積された大量のデータからその要求点に類似したものを近傍として取り出し、これらの近傍データを用いて局所モデルを作成するデータ駆動型アプローチ[30, 31]が提案された。データ駆動型アプローチはJust-In-Time [16, 17], Lazy Learning [32, 33], Model-on-Demand [34], Memory-Based-Method [19] などと呼ばれている。とくに、非線形システムに対してモデリングが行えることから、近年注目を集めている。

本章では、ヒューマンスキルをデータ駆動型アプローチを用いて実現する新たな制御方法を提案する。具体的には、ヒューマンスキルをPID制御器で実現するものである。先にも述べたように、ヒューマンスキルは非線形性を有しているので異なる目標値や過渡状態・定常状態においてPIDパラメータは可変となる。ここでPID制御器としてヒューマンスキルを実現する理由は、以下の通りである。

- (1) 積分動作による区分的に一定な目標値への追従性が保証される。

- (2) PIDゲインは物理的な意味を有しているため、ヒューマンスキルからPIDゲインを抽出することで、制御工学的観点からヒューマンスキルの解釈が可能となる。

最後に、本手法の有効性を検証するために、ヘリコプタモデルに適用し、その制御結果について検討する。とくに、抽出されたPIDパラメータから、ヒューマンスキルの特徴についても言及する。

2.2 データ駆動型スキルベースト PID コントローラ

本論文で構成するデータ駆動型スキルベーストPID制御系の概要を図2.1に示す。図中の r および y はそれぞれ、参照入力およびシステム出力を表している。また、 Δu は制御入力の差分であり、 $\Delta u = u(t) - u(t-1)$ である。データ駆動型アプローチに基づくスキルベーストPIDパラメータの調整法の手順を以下に示す。ただし、すべてオフラインで実行する。

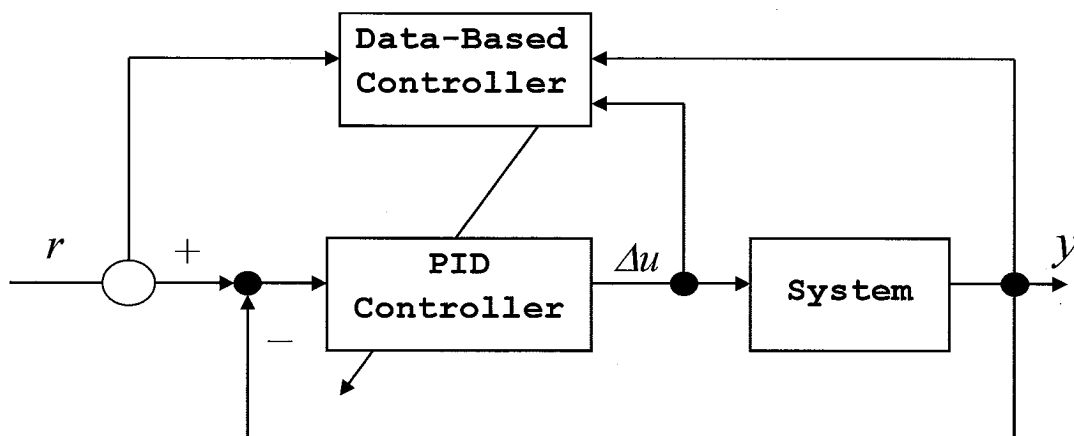


図 2.1: データ駆動型スキルベーストPID制御系

[Step 0] スキルデータの作成

熟練技術者によるスキルデータとして、制御入力 $u(t)$, システム出力 $y(t)$, および設定目標値 $r(t)$ を収集する.

[Step 1] 初期 PID パラメータの算出

スキルデータ $u(t)$ と次式の PID 制御則 $u(t)$ (比例・微分先行型 PID 制御則) の偏差の分散を最小とする PID ゲイン (K_P, K_I, K_D) を最小 2 乗法を用いて算出する.

$$\begin{aligned} \Delta u(t) = & K_P \{y(t-1) - y(t)\} \\ & + K_I \{r(t) - y(t)\} \\ & + K_D \{2y(t-1) - y(t) - y(t-2)\} \quad \dots (1) \end{aligned}$$

なお、定常データが多くなりすぎると、過渡特性を実現する PID ゲインが得られにくいことから、最小 2 乗法を適用する際には、定常データを適切に削除する.

[Step 2] 初期データベースの作成

スキルデータと最小 2 乗法を用いて算出した PID パラメータを次式のように対にして、初期データベースを作成する.

$$\Phi(j) = [\phi(j), K(j)], \quad j = 1, 2, \dots, N, \quad \dots (2)$$

ただし、 $\phi(j)$ と $K(j)$ は、次式により定義される.

$$\begin{aligned} \phi(j) := & [y(j), y(j-1), \dots, y(j-n_y), \\ & u(j-1), u(j-2), \dots, u(j-n_u), \\ & r(j), r(j-1), \dots, r(j-n_r)] \quad \dots (3) \end{aligned}$$

$$K(j) := [K_P(j), K_I(j), K_D(j)] \quad \dots (4)$$

ここで、 $\phi(j)$ は情報ベクトルと呼ばれ、熟練技術を表すために必要とされる入出力データ、ならびに目標値を要素とするベクトルである。なお、 n_y 、 n_u 、および n_r はそれぞれの信号の次数を表している。ここで、各次数は $n_y=1$ 、 $n_u=2$ 、 $n_r=1$ である。一方、 $K(j)$ は、 j 番目の情報ベクトルに対する PID パラメータベクトルを表している。ただし、初期データベースにおける PID パラメータは、すべて一定である。

[Step 3] PIDパラメータの算出

データ駆動型アプローチにより、PID パラメータを算出する。まず、次式により要求点 $\bar{\phi}$ とデータベースに保存されている情報ベクトル $\phi(j)$ との距離 d を計算する。

$$d(\bar{\phi}, \phi(j)) = \sqrt{(\phi(j) - \bar{\phi})^T (\phi(j) - \bar{\phi})} \quad \dots (5)$$

つぎに、すべての情報ベクトルに対して計算された距離 d において、その値が

小さいものから k 個の情報ベクトルを近傍として選択する. さらに, 要求点近傍の k 個の情報ベクトルを用いて, 次式により PID パラメータを求める.

$$K^{old}(t) = \sum_{i=1}^k \omega_i K(i), \quad \sum_{i=1}^k \omega_i = 1 \quad \dots (6)$$

ここで, ω_i は, 選択された近傍における第 i 番目の情報ベクトル $\bar{\phi}(i)$ に対する重みであり, 次式で求められる.

$$\omega_i = \frac{1}{d_i} \frac{1}{\sum_{j=1}^k \frac{1}{d_j}} \quad \dots (7)$$

ただし, d_j は $d(\bar{\phi}, \phi(j))$ を意味している.

[Step 4] PID パラメータの更新

Step 3 において得られる PID ゲイン K^{old} はシステムの状況に応じて PID ゲインが適切に調整されていない可能性がある. そこで, 熟練技術者による操作量に精度良く追従させるために, 次式の最急降下法により PID パラメータを更新する.

$$K^{new}(t) = K^{old}(t) - \eta \frac{\partial J(t)}{\partial K(t)} \quad \dots (8)$$

ここで、 η は学習係数を表している。また、 J は次式で定義される誤差の評価規範を表している。

$$J(t) = \frac{1}{2} \{u(t) - \hat{u}(t)\}^2 \quad \dots (9)$$

上式において、 $\hat{u}(t)$ は[Step3]で得られたPIDパラメータを用いて計算された制御入力である。上式は、計算により求められた制御入力 $\hat{u}(t)$ が実際のスキルデータ $u(t)$ との間の偏差を減少させるように、PIDパラメータを修正することを意味している。具体的に(8)式は、次式として計算される。

$$\left. \begin{aligned} K_P^{new}(t) &= K_P^{old}(t) \\ &\quad + \eta_1 \{y(t-1) - y(t)\} \varepsilon(t) \\ K_I^{new}(t) &= K_I^{old}(t) \\ &\quad + \eta_2 \{r(t) - y(t)\} \varepsilon(t) \\ K_D^{new}(t) &= K_D^{old}(t) + \eta_3 \{2y(t-1) \\ &\quad - y(t) - y(t-2)\} \varepsilon(t) \end{aligned} \right\} \quad \dots (10)$$

ただし、

$$\varepsilon(t) := u(t) - \hat{u}(t) \quad \dots (11)$$

である。なお、(8)式のPIDパラメータの更新は、1ステップあたり M 回実行するものとする。

[Step 5] 不要なデータの削除

更新されたPIDパラメータと情報ベクトルとを対にしてデータベースに格納する。また、データベース内のデータ数が多くなると計算コストが大きくなるので、必要に応じて冗長データを削除する。(9) 式の評価が十分小さくなるまで, [Step3] ~ [Step5]の手順をオフラインで繰り返す。これにより, データ駆動型スキルベーストPIDコントローラが構築される。

2.3 実験システムの概要

データ駆動型スキルベーストPIDコントローラの有効性を検証するために, 図2.2に示すメカニカルシステム(ヘリコプタモデル)に提案手法を適用する。方位角および仰角を測定するため, ロータリーエンコーダをそれぞれ設置している。本実験では仰角は一定, すなわちメインロータについては一定の入力値を与え, 方位角(回転角)のデータのみを採取するため, テールロータの入力値を変化させた。データの採取は, 所定の目標値および時間を設定し, ヘリコプタの機体を移動させる方法で行った。データの測定間隔は200[ms]である。

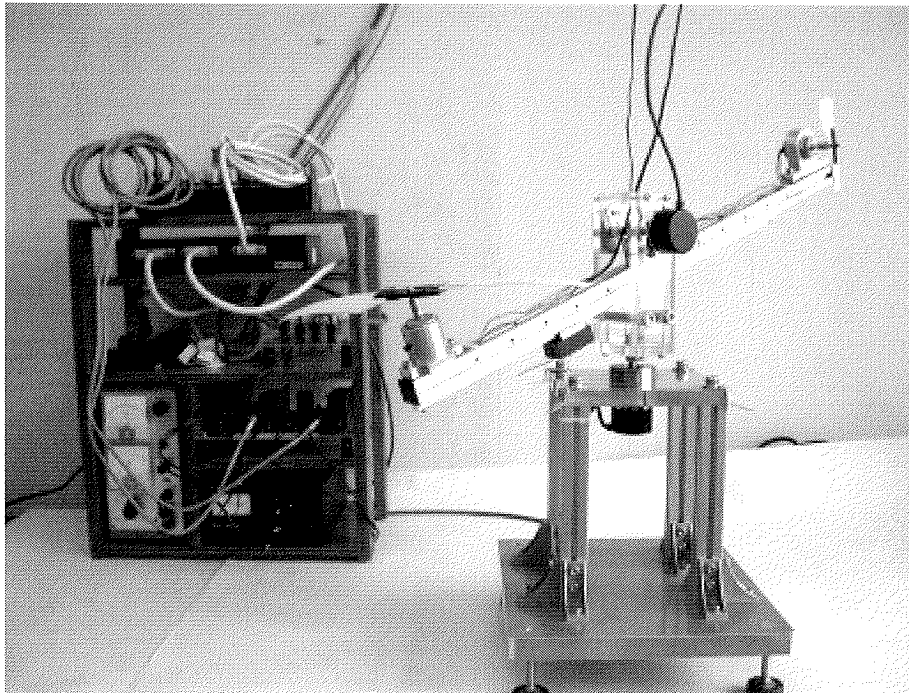


図 2.2: メカニカルシステム (ヘリコプタモデル)

2.4 実験結果

まず、方位角の制御をジョイスティックにより操作し、その際の入力信号 $u(t)$ と、それに対応する出力信号（方位角） $y(t)$ 、ならびに目標値 $r(t)$ を採取した。その入出力データを図 2.3 に示す。上段には出力信号を、下段には入力信号を示す。

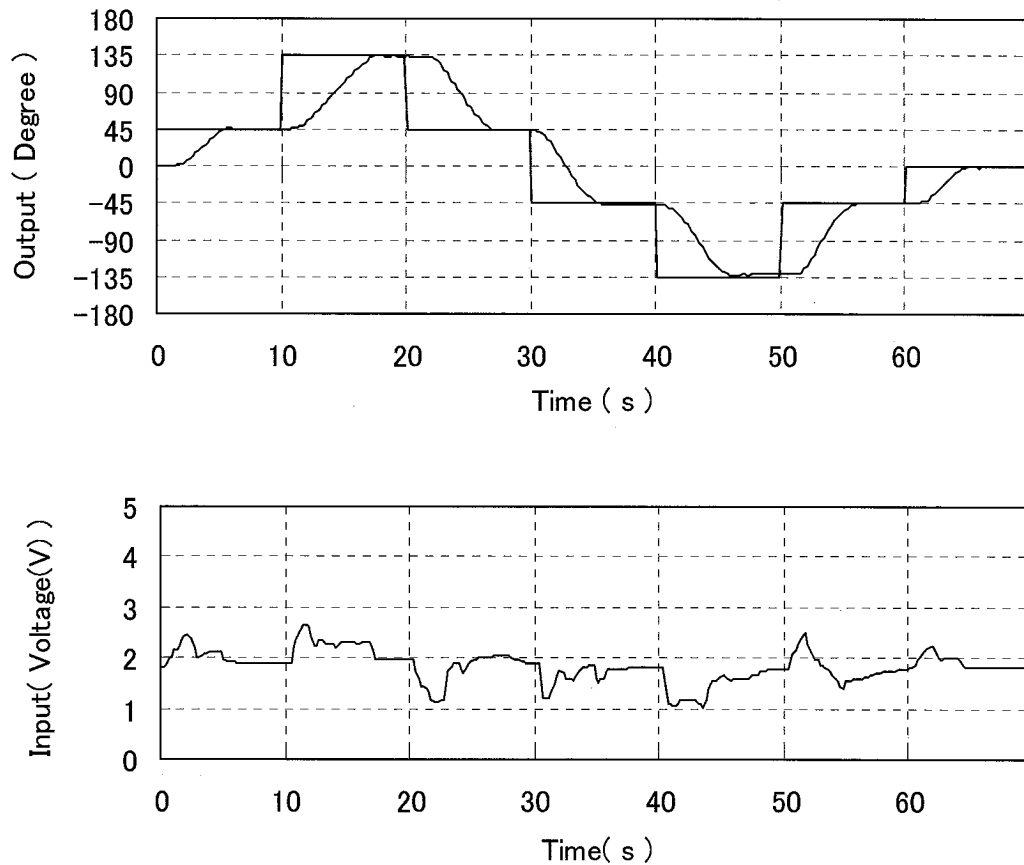


図 2.3: 熟練技術者によるスキルデータ

つぎに、先に示したアルゴリズムの[Step1]として、初期 PID ゲインを最小 2 乗法により算出した。そのゲインは、それぞれ $K_P = 0.132$, $K_I = 0.007$, $K_D = 0.158$ であった。この PID パラメータ（固定）による制御結果を図 2.4 に示す。

上段には出力信号を，下段には入力信号を示す．

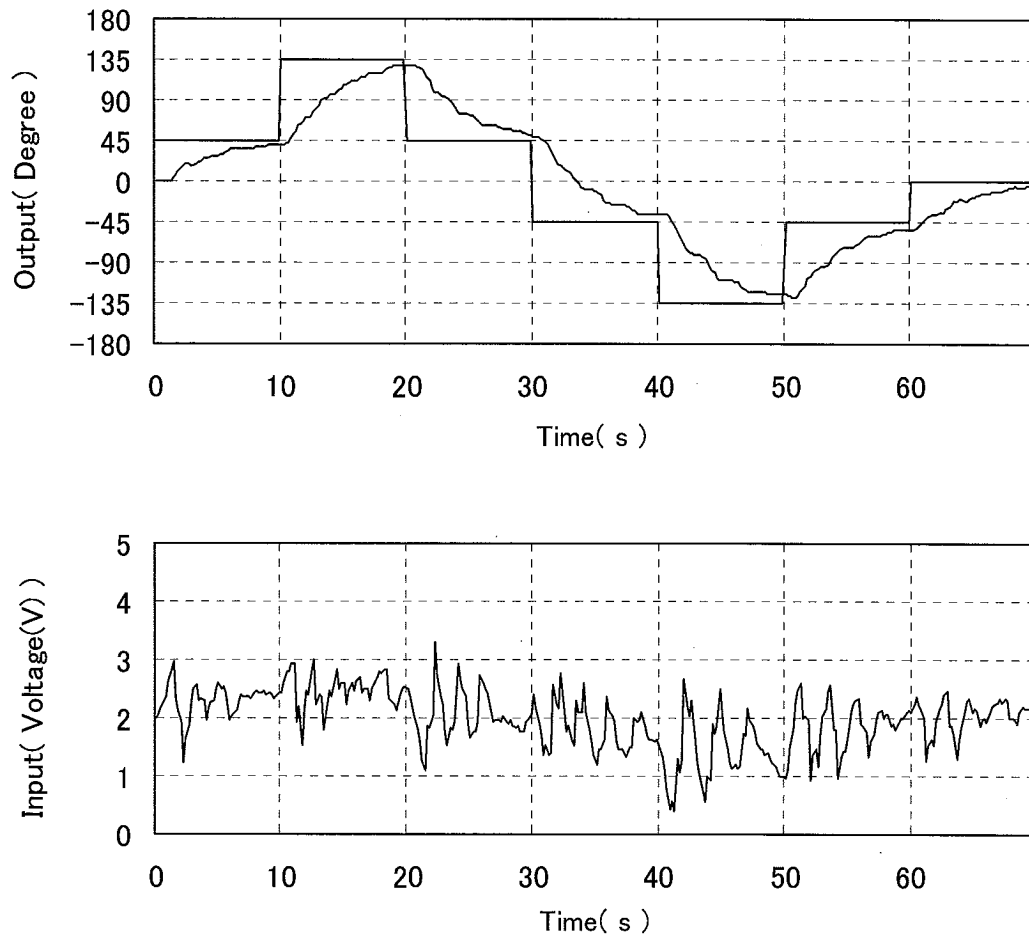


図 2.4: 初期PIDゲインによる制御結果

さらに，上述のPIDゲインと入出力データ（スキルデータ）を対にしてデータベースに格納し，データ駆動型スキルベーストPID制御法を適用した．ただし，データベース中のデータ数 $N = 350$ ，抽出する近傍数 $k = 10$ ，1ステップ中のPIDパラメータ更新回数 $M = 1500$ ，学習係数 $\eta_1 = 1.0 \times 10^{-5}$ ， $\eta_2 = 1.0 \times 10^{-7}$ ， $\eta_3 = 1.0 \times 10^{-5}$ である．

3回（3エポック）の学習を行った時の制御結果を図 2.5 に示す．上段には出

力信号を、下段には入力信号を示す。また、図 2.6 には、これに対応する PID ゲインの算出結果を示す。

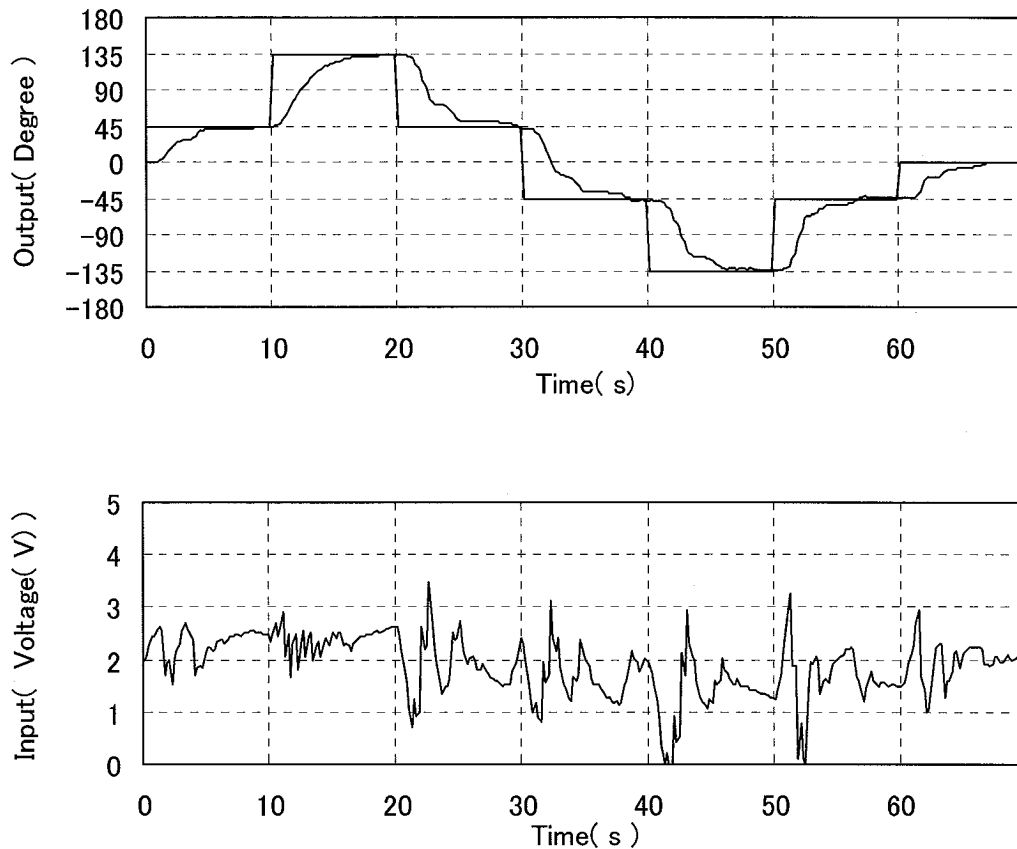


図 2.5: 提案手法による 3 回学習後の制御結果

本提案手法によると、制御入力に高周波成分を含んでいるが、制御応答で、熟練技術者による制御応答と概ね同程度の制御結果が得られている。このように少ない計算コスト（学習負荷）で、スキルベースPIDコントローラが実現できることが、提案手法の大きな特徴である。

一方、図 2.6 の PID ゲインの算出結果からは、目標値変更の際に積分動作が強められ、逆に安定性を確保する意味で比例動作が弱められている様子が見え

る. 追従性と安定性の双方を考慮しているもので, 一般的に考えて妥当であると
考えられる. このように, ヒューマンスキルを PID パラメータで抽出したことで,
ヒューマンスキルを制御工学的観点から解釈することが, 多少ではあるが可能と
なる.

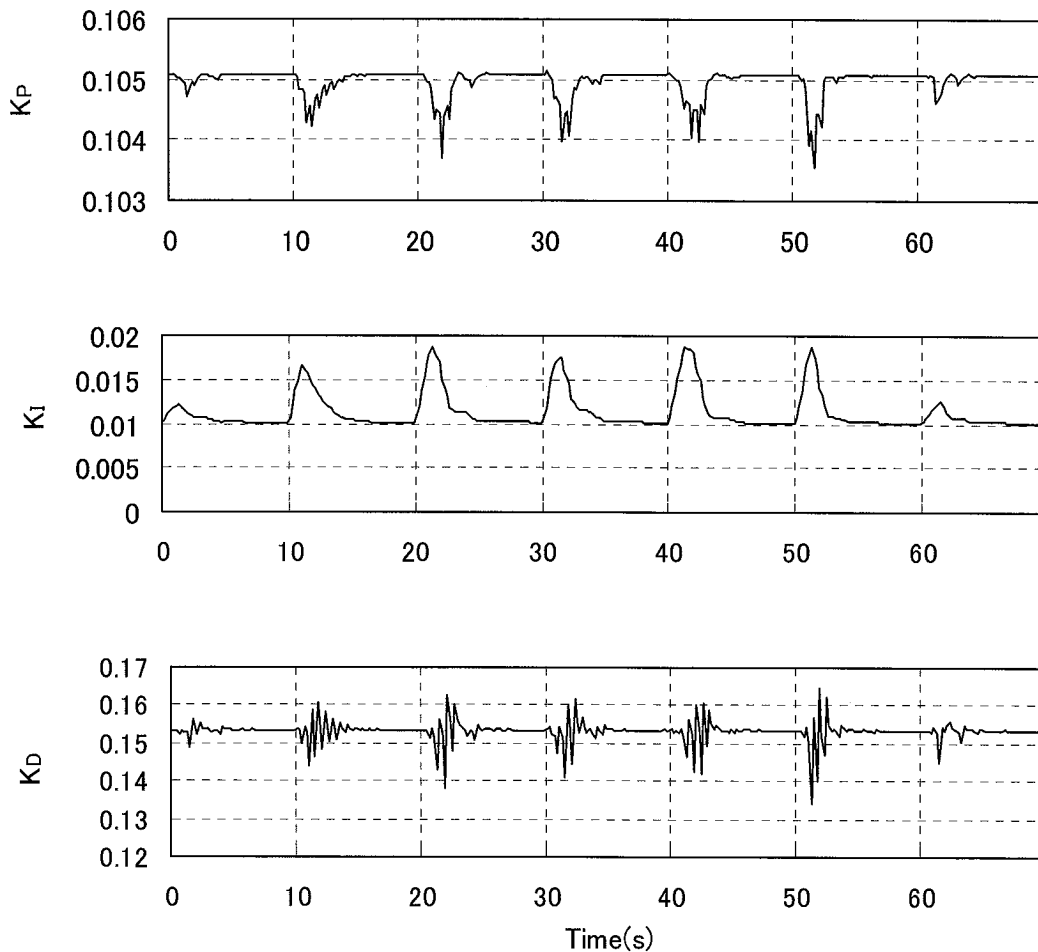


図 2.6: 図 2.5 に対応した PID パラメータの算出

これまでに, 同様の考察をニューラルネットワークを用いて行ったが, 望まし
い制御結果を得るまでには, かなりの学習負荷が必要である [35]. ヒューマン

キルのデータに基づきニューラルネットワークを用いて制御した結果を図 2.7 に示す。上段には出力信号を、下段には入力信号を示す。学習条件はコンピュータ性能：CPU Intel-T1300 1.66GHz で学習回数 500,000 回、計算時間は約 4 時間である。図より、ヒューマンスキルを再現するには至っていないことがわかる。また、入力データは振幅の激しい変則的な繰り返しが見られる。

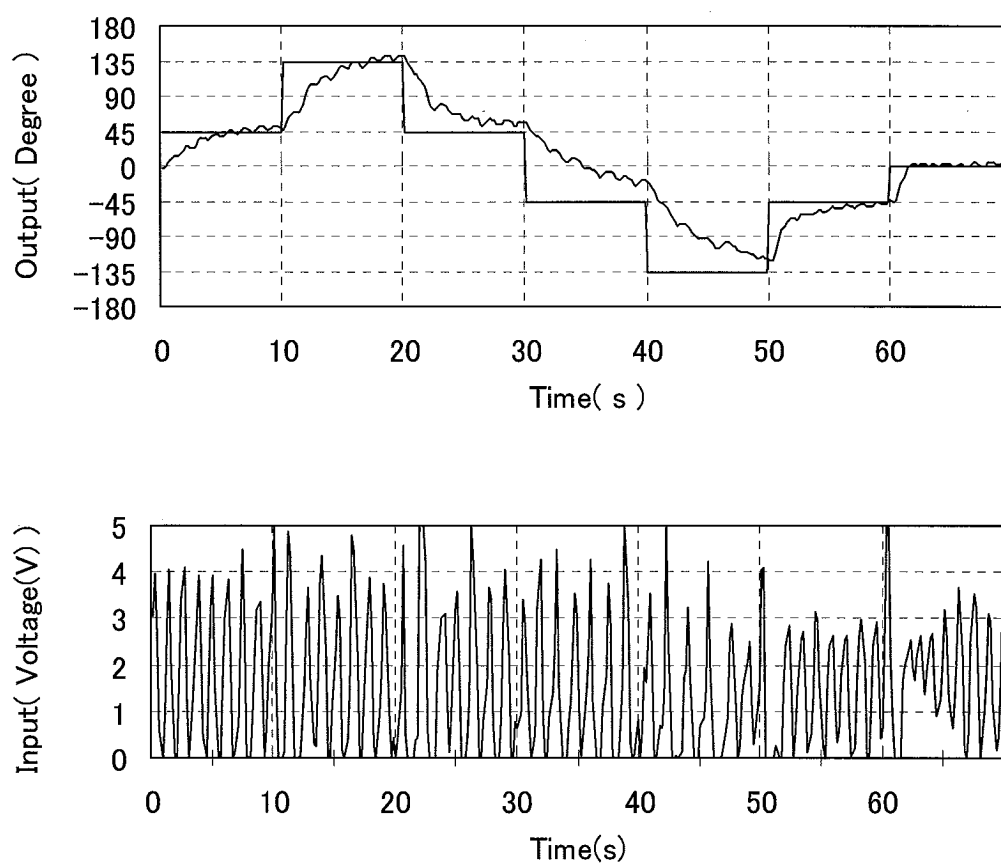


図 2.7: ニューラルネットワーク手法による制御結果

つぎに、提案手法の学習回数による目標値と出力値の制御誤差について考察する。その結果を図 2.8 に示す。学習を繰り返すことにより目標値と出力値の誤差

が小さくなっていくことがわかる。すなわち、学習を繰り返すことにより、制御精度が高くなることを示している。

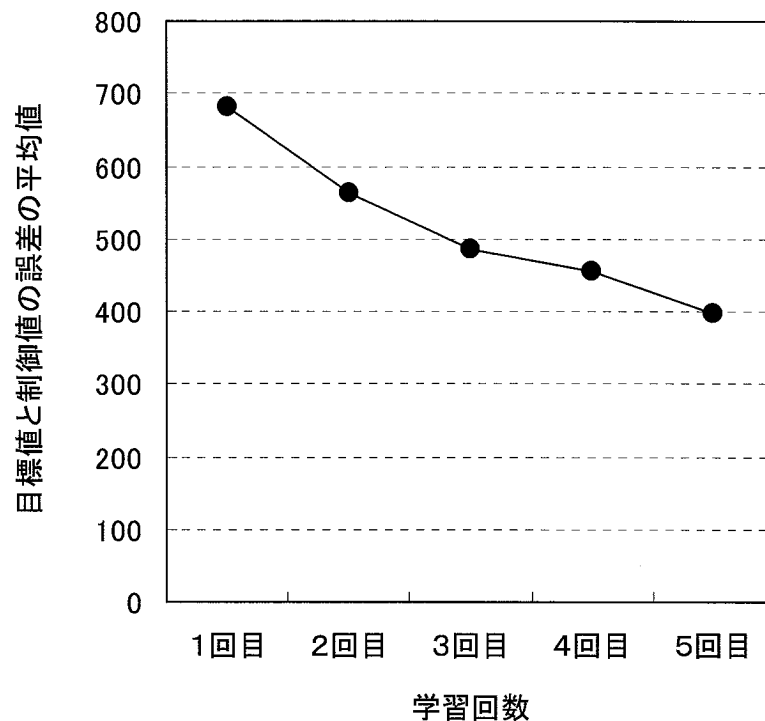


図 2.8 : 学習回数と制御誤差の関係

最後に、未学習の目標値に対する提案手法の汎化性について考察する。先ほどの3回の学習後のデータベースを基に、未学習の目標値を含んだ参照信号に対する制御結果を図 2.9 に示す。上段には出力信号を、下段には入力信号を示す。また、図 2.10 には、これに対応する PID ゲインの算出結果を示す。図 2.9 から、未学習の目標値に対しても、概ね良好な制御結果が得られている。このように、コントローラとして PID 制御器を採用したことで、例え未学習であっても、区分的に一定な目標値に対する追従性が実現されている。この点も提案手法の特徴の一

つである。

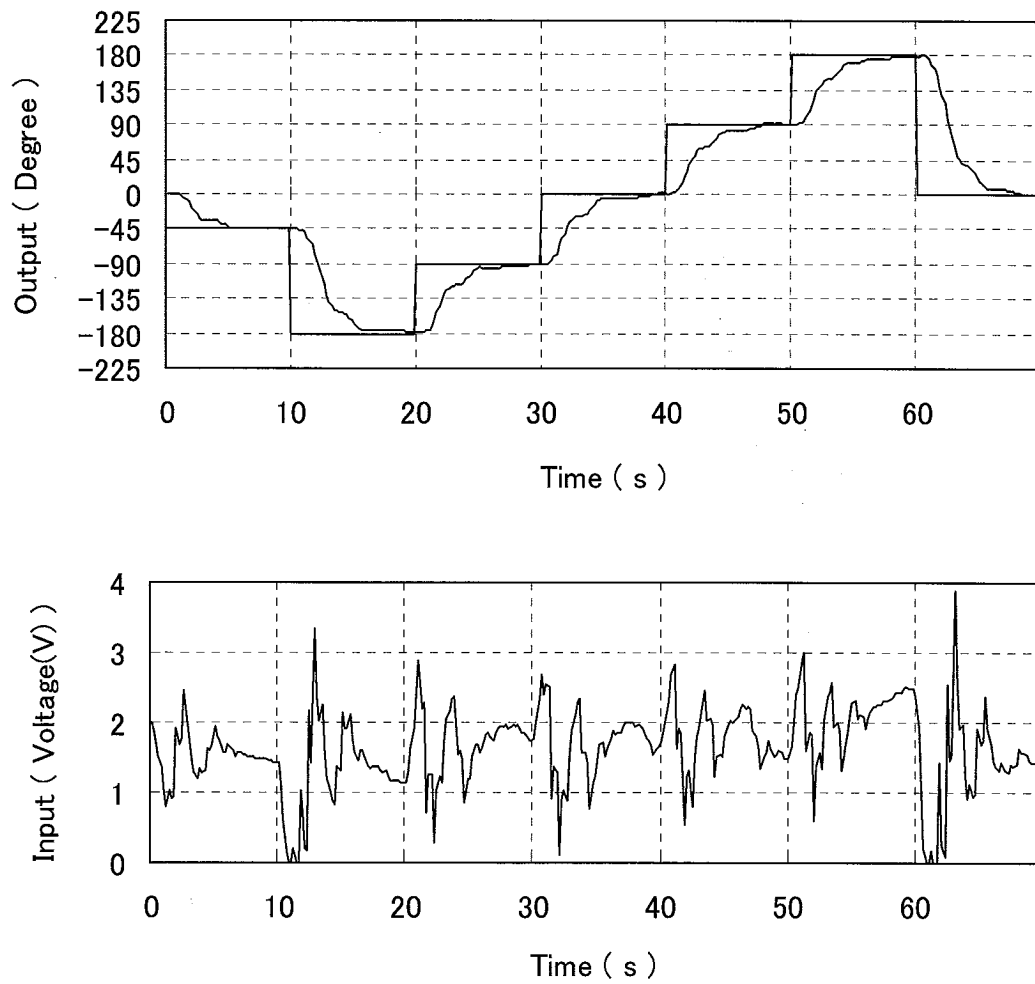


図 2.9: 未学習目標値に対する制御結果

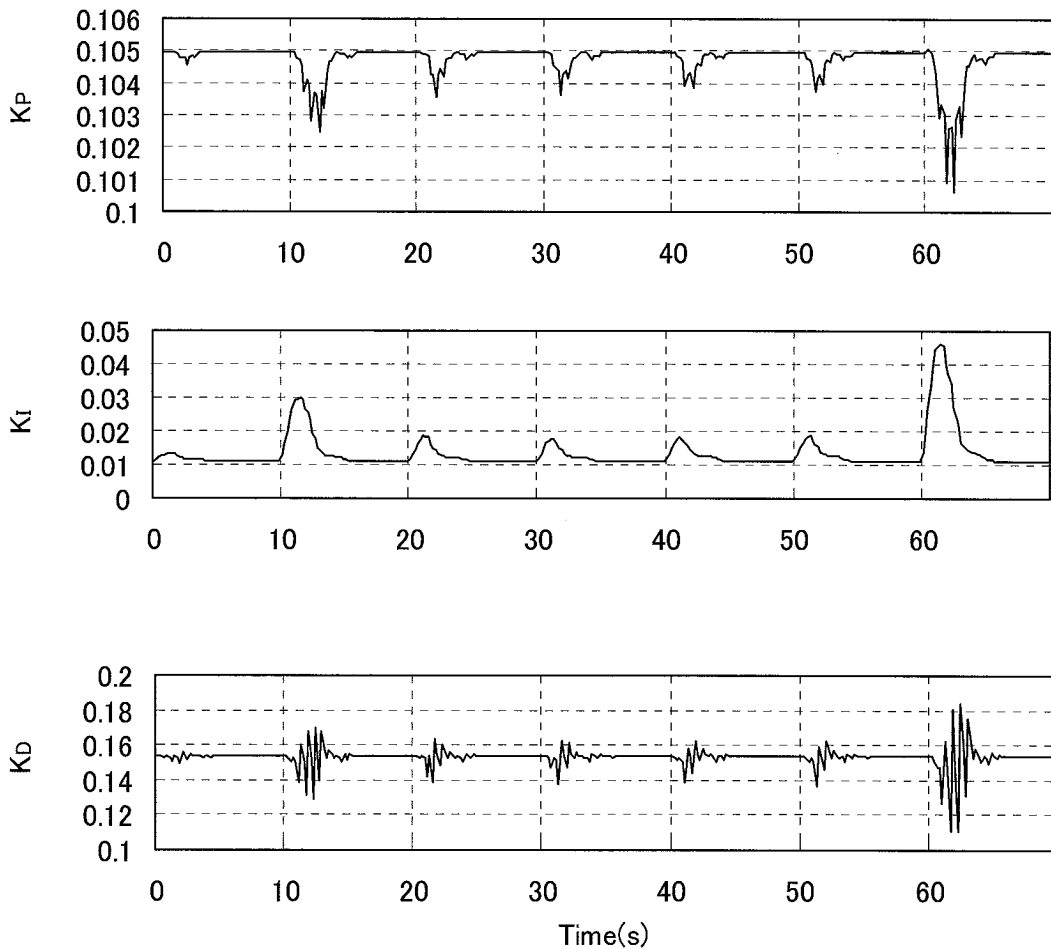


図 2.10: 図 2.9 に対応した PID パラメータの算出

2.5 結言

本章では、ヒューマンスキル（熟練技術）をデータ駆動型アプローチを用いて実現するスキルベースト PID コントローラ的设计法を提案した。さらに、本制御手法の有効性を検証するために、メカニカルシステムの一つであるヘリコプタモデルに適用し、その制御結果について検討を行った。結果を以下に述べる。

- (1) データ駆動型アプローチにより、少ない学習負荷によって、スキルベーストコントローラを実現することができる。

- (2) コントローラをPID制御器とし、ヒューマンスキルをPIDゲインとして抽出することで、制御工学的観点からヒューマンスキルの解析を行うことが可能である。
- (3) PID制御器を採用したことで、積分動作によって区分的に一定な目標値への追従性が保証され、未学習の目標値に対しても、概ね良好な制御結果を得ることができる。

ヘリコプタモデルの制御については、これまで、制御理論の有効性を検証する立場から議論されている[36]-[38]。しかし、本章で提案したようなヒューマンスキルをコントローラとした実現やインテリジェント制御の観点からの考察は、ほとんど行われていない。ヘリコプタモデルへの適用結果を通して、データ駆動型スキルベースト制御も、メカニカルシステムを制御する上で有効な制御手法の一つであることを示した。

第3章 中学校技術・家庭科における メカニカルシステム教材を利用 した制御・プログラミング 学習

3.1 緒言

教育問題の一つに高校生の大学進学に対する「理工系離れ」が指摘されており、また、理工系学部大学生の製造業への就職に対し、興味・関心が低下し、就職率の低下が続いている[39]。そのため、ものづくりに対する高い技術力の継続・維持の低下が懸念されている。その要因のひとつに、初等・中等教育段階での児童・生徒の「理科離れ」があるとされている。その対策のため、文部科学省は科学技術・学術関係人材の養成・確保のため、初等・中等教育段階から、大学学部、大学院、社会人に至るまで連続性を持った取組を総合的に推進している。その解決の方法の一つとして、できるだけ早い段階、すなわち小中学生に対し、実用的な科学技術の一端に触れさせることにより、科学技術の面白さ、興味・関心を高めしておくことは重要であると思われる。

また、小中学校では「生きる力」、「確かな学力」を身につけることを学習目標に各学校が「特色ある教育」を展開している。その中の取り組みの一つに体験的な学習、問題解決的な学習の充実がある。これらの学習を行うことで、知識・技能に加え、学ぶ意欲や自ら学び判断・行動する資質・能力が身につくと思われる。これまで中学校技術・家庭科（技術分野）のプログラムと計測・制御学習に関して、先端の科学技術の一部であるロボットおよびインテリジェントハウスを題材に教材の開発および学習指導案の策定を行い、体験的な学習、問題解決的な学習を取り入れた授業実践を行い、その教育的効果について検討した[40]-[43]。その結果、これらの教材を使用することで、生徒らの先端技術への興味・関心を高めるとともにプログラムや計測・制御に関する知識や技能を高め、教育的な効果が高いことを明らかにした。

ものづくりや情報技術の発展による先端科学技術を将来をにう児童・生徒らに紹介し、その一部の技術の知識や技能を実践的・体験的な学習を通して理解することは重要である。しかし、これらの教材を使用しても、まだ中学生に対して工学的な好奇心を揺動するには内容不足であると考え。技術そのものを適切に評価する能力や活用する能力および課題解決能力の育成のためにも、我が国に現在起こっている社会問題に対し、その解決のために工学の技術的な内容を取り入れたものづくりや高度な情報技術が有効であることを紹介し、理解させることも重要であると考え。これまで、工学研究用の技術的内容の題材を中学校技術・家庭科（技術分野）の教材として授業実践を行い、教育効果を検討した研究報告は少ないように思われる。

そこで、本章は先行事例として、ロボットとその技術を題材に学習の動機付け

およびプログラムと計測・制御学習教材として利用した場合の教育効果および課題について検討した。つぎに、制御技術を題材に工学研究用に使用しているメカニカルシステムを学習教材として学習の導入部に使用した教育効果について検証した。

3.2 中学校技術・家庭科（技術分野）にロボット教材を導入した教育効果

中学校学習指導要領－技術・家庭編－[23]では、実践的・体験的な学習活動を通じた、ものづくり、エネルギー利用、コンピュータ活用等に関する基礎的な知識と技術の習得などが求められている。そこでは科学技術や情報化の進展が考慮されていることが必要であり、各種技術の進展に対応できる授業内容を構成していくことは技術科教育の重要な視点であると考えられる。

21世紀における我が国では「科学技術立国」が唱われ、「科学技術基本法」および「科学技術基本計画」において「科学技術に関する学習の振興」が求められている[44]。これらへの対応として、学習指導要領に示されている「技術の発達と有効な活用の方法についての学習」を視野に入れた基礎的な技術・技能を考慮したうえで、先端科学技術の題材化と教育内容の向上に積極的に取り組んでいく必要がある。先端科学技術の一部は、生徒たちにとって身近で関わり合いが深いものが多く、また、生徒たちの興味・関心も高い。特に、多様な技術の集合体であるロボットは様々な形態で生徒の身の回りに存在し、ものづくり、機械技術、情報技術、制御・プログラミングなどの多面的な学習に有用な題材と考えられる。しかし、その多面性から生徒への理解を促すことの困難さがともなうことも知ら

れている。

ロボットに関する教材の開発およびその教材を使用した授業実践が「技術とものづくり」および「情報とコンピュータ」において行われており、学習効果が高いと報告されている[45]-[49]。

本項目では、ロボットを「技術とものづくり」と「情報とコンピュータ」の学習に対応できる題材として位置づけ、複数の学習内容を総合的かつ実践的に学習させていく手法の開発を目的としている。ロボットとその技術を学習の動機付けおよびプログラムと計測・制御教材として利用した場合の知識・理解および興味・関心の変化を授業実践前・後にアンケート形式で調べることによって検証した。

3.2.1 授業実践

授業実践は愛媛大学教育学部附属中学校の選択教科「技術分野」の授業で行った。授業時間は連続した2時間を2回の4時間である。授業対象は第3学年の男子生徒17名、女子生徒4名である。

3.2.1.1 授業前アンケート調査

授業実践に先立ち、授業対象生徒に対してロボットについての意識および知識に関するアンケート形式の調査を記名式で行った。実施時期は授業実践開始の直前である。調査項目はロボット、制御、プログラミングに関する6項目について検討を行った。その調査項目を表3.1に示す。

表 3.1: 授業前調査項目

	設問	目 的	記入方法
ロボットに関する調査	(1)	言葉のイメージを知る	記述方式
センサに関する調査	(2)	言葉の認知の度合いを知る	選択方式(3 択)
	(3)	機能の理解の度合いについて知る	選択方式(4 択)
ロボットの制御に関する調査	(4)	認知の度合いを知る	選択方式(4 択)
プログラムに関する調査	(5)	興味の度合いを知る	選択方式(4 択)
	(6)	生徒の作成経験を知る	選択方式(2 択)

3.2.1.2 授業構成および学習指導案

授業の構成は、中学校学習指導要領－技術・家庭編－ 技術分野 B (6)アおよびイに関するものであり、体験的・問題解決的な学習に配慮した。授業は学級の枠をはずした 4 名または 3 名の 6 グループの小集団を構成し、各作業を班単位で行わせた。教材に LEGO 社の「マインドストーム」を使用した。マインドストームを使用する利点として、①プログラムの学習においてロボットの動作の流れを視覚的に確認できることやセンサ（感知部）→コンピュータ（制御部）→モータ動作部）の制御の仕組みを体験的な学習で理解できる、②ロボットの動作部の機構学習において組立て・分解が繰り返し行え、学習目的や学習レベルに応じた課題や活動の設定ができることが考えられる。図 3.1 に使用したロボット教材を示す。

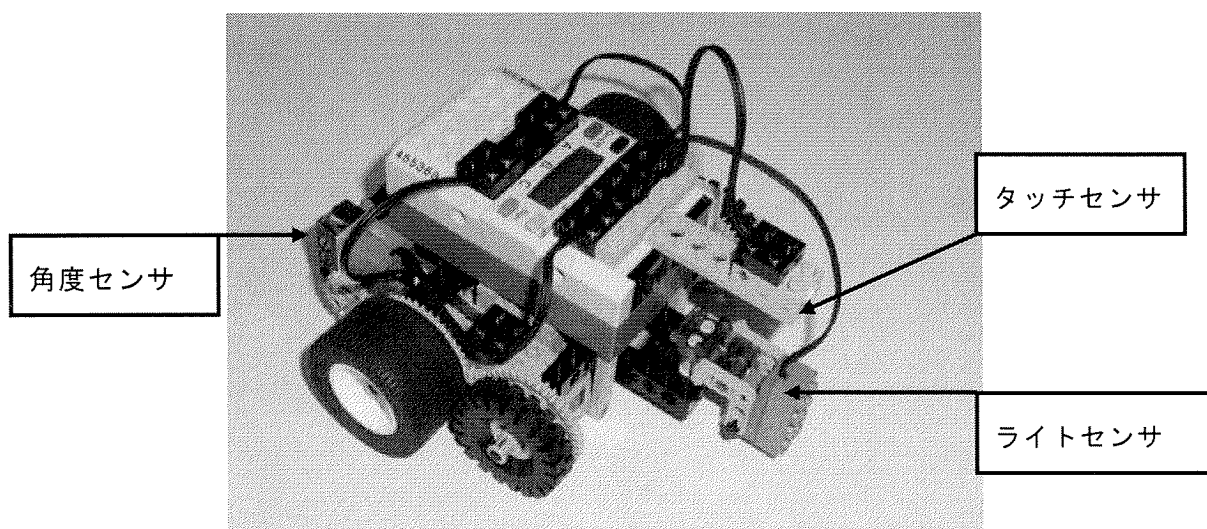


図 3.1: プログラムと計測・制御学習用ロボット教材

学習指導案を表 3.2 および 3.3 に示す。1 時間目は導入学習であり、ロボットに必要な要素を理解させるとともにマインドストームを用いた教示教材を作製して、センサの種類とその働きについて理解させた。2 時間目はセンサを利用させる作業を行わせながら、マインドストームの使用方法和制御方法についての理解を深めることに主眼を置いた。3・4 時間目は主として自主的な作業による学習を行わせた。教材（マインドストーム）を各班に与えてロボットの構成要素である駆動部分、センサ部分および制御部分を確認させるとともに、それを制御するプログラムを作成させる課題について取り組ませた。プログラムの作成課題は与えられたライン上を走るライントレーサおよび障害物を避けて目的地まで到着する障害物回避走行である。

表 3.2: 授業実践の学習指導案 (1・2 時間目)

学習内容	時間 (分)	形態	学習活動	指導上の留意点 (▲評価)
1. 学習課題の確認	10	全体	○ロボットとは何であるか確認する。 ロボットの定義づけをする。 ・実際のロボットの VTR を見る。	○VTR を使用して、具体的にわかりやすくする。
2. ロボットの機能	10	全体	○ロボットに必要な要素にはどのようなものがあるか考える。 1. 動作機能 2. 人工知能 3. センサ	○ロボットの写真を見せることで、必要な要素に気づかせる。(▲ロボットに必要な機能を正しく理解しているか)
3. センサの種類とその働き	20	全体	○センサの種類とその働きについて理解する。 センサ (圧力や明るさや温度等の変化量を計測する装置) ・マインドストームのセンサを使った VTR を見る。(ライトセンサ, タッチセンサ, 角度センサ) ○ロボットの機能についてのまとめと、次時の授業で行う作業の確認	○センサをマインドストームを使って説明することで、興味を持たせる。
4. RCX の使用法の確認	10	班	○ RCX の使い方を理解する。 ・各部の説明と、ボタンの操作法 ・班に分かれて実際に RCX を操作してみる。	○RCX の扱い方の注意をする。 ○RCX を実際に触らせながら説明することで、理解しやすくする。
5. マインドストームの使用法の確認	20	班	○実際にマインドストームを動かしてみる。 ・RCX にセンサとモータをつけただけの簡単なものを使用する。	○前で実演しながら、説明することで理解しやすくする。 ○プログラムをプロジェクターを使って説明する。
6. プログラミング方法の確認	15	一斉	・どのようなプログラムで動いていたのか理解する。 ・センサについてまとめる。	○次時に作成するプログラムと関連づけておく。
7. プログラミング	10	班	○プログラミングの方法を理解する。 ダウンロードの方法を理解する。 ○課題のプログラムを作成して、ダウンロードする。 ・実際に動かしてみて、プログラムの意味を理解する。 ・マインドストームを班ごとに前へ返す。	○机間相談し、作業が出来ていない生徒に助言をする。(▲プログラムを作成し、ダウンロードすることができるか)
8. 次時の内容確認	5	一斉	○次時の授業で行う作業を確認する。 ・班ごとにロボットを作る。	

表 3.3: 授業実践の学習指導案 (3・4 時間目)

学習内容	時間 (分)	形態	学習活動	指導上の留意点
1. 前時の学習内容の復習	5	一斉	○前時の学習内容を確認する。 ・ロボットの機能 ・マインドストームの使い方	○前回配ったプリントを参考にする。
2. 学習課題の確認	10	一斉	○班ごとに作るロボットの課題を確認する。 ・班内で、どのセンサから取り組むのか相談すること ・作業を分担する ・発表の役割分担をするとともに発表をする時間を確認する	○プログラムの課題をプリント及びVTRで提示することで、理解しやすく、確認しやすくする。 ○机間相談して作業がうまく出来ていない生徒に助言する。
3. ロボットの製作	35	班	○班でプログラムを作成する。	
4. 発表	25	班	○作ったロボットを班ごとに発表する。 ①動きを見せる ②プログラムを説明する	○視聴覚機器を使いプログラムを見やすくする。
5. まとめ	10	全体	○ロボットについてまとめる。 ・ロボットの VTR を見る。 ・マインドストームのその他の作品を見る。	○ロボットについてのビデオを見せる。
6. 動作部分を作る	10	班	○自由に動作部分を作る。	○動作部分を作ってみたいか確認をとる。
7. 片付け	5	班	○ブロックの数を確認する。	

プログラム作成のために、各班に1台のコンピュータを用意した。また、授業時間の最後に、班ごとに作成したプログラムおよび動作の確認を行い、知識の共有化を目指した。与えた課題を図 3.2 に示す。

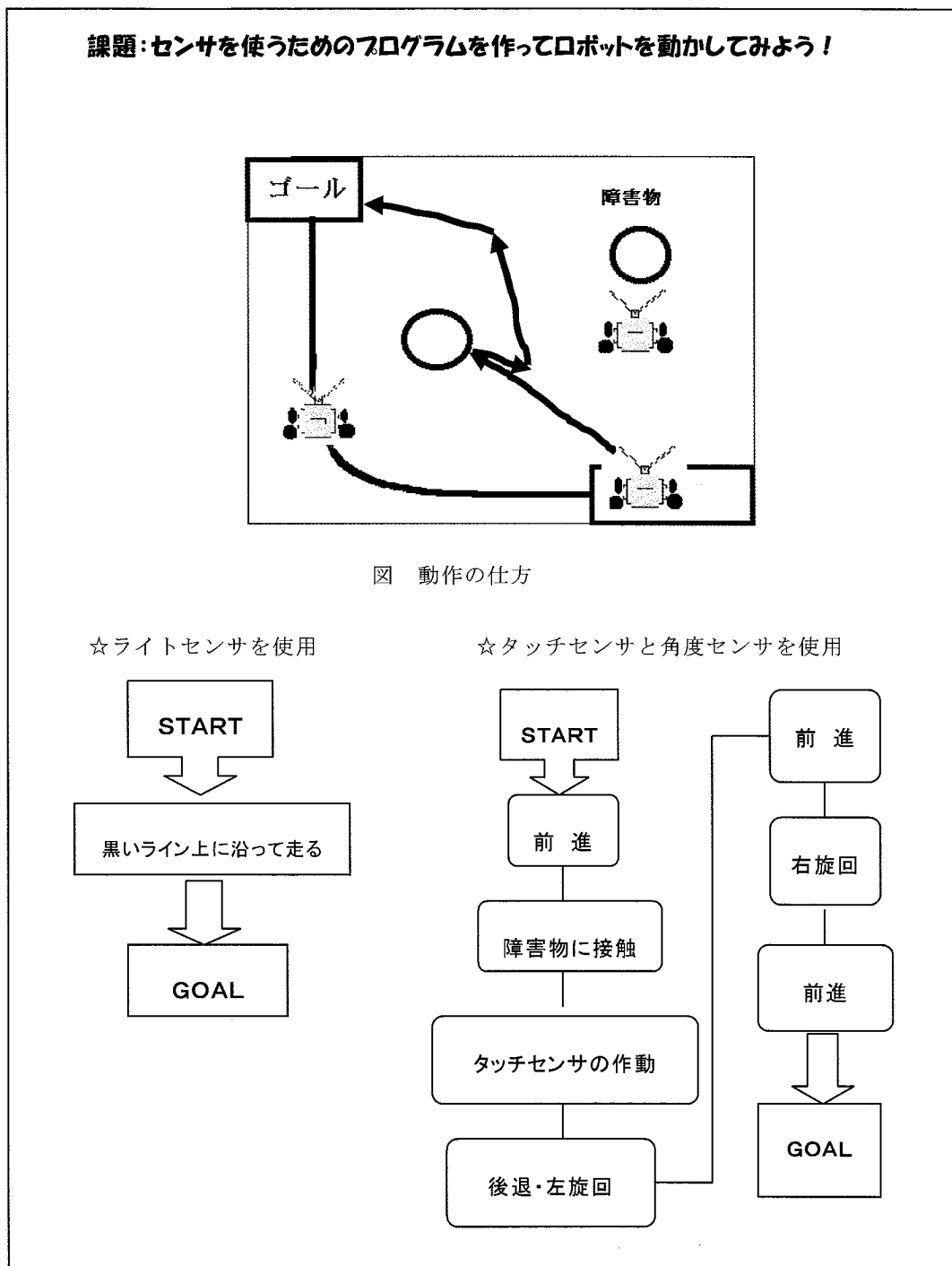


図 3.2: 生徒らに与えた課題

中学校におけるプログラム学習では、プログラム言語の習得よりコンピュータを使用した問題解決の手法の習得が重要であるという観点から、簡単なプログラムの作成と試行を通して、プログラムの機能を学ぶ授業構成とした。本授業実践は、①ライトセンサの感知に応じた駆動部分の制御、②タッチセンサおよび角度センサの感知に応じたモータの回転方向の制御を課題としており、それらに関するプログラム例を教示しながら、プログラムと計測・制御の関連性についての理解を促進させるように配慮した。授業風景を図3.3に示す。

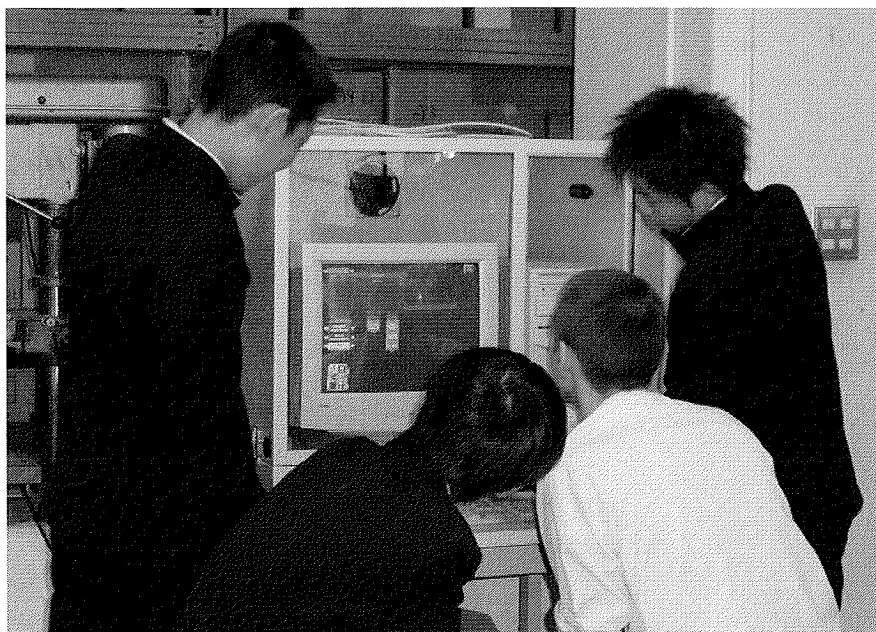


図 3.3 : プログラム作成の様子

3.2.1.3 授業後アンケート調査

授業の終了時にロボット、センサ、プログラミングなどの理解、興味・関心など9項目についてアンケート調査を行った。その調査項目を表3.4に示す。

表 3.4: 授業後調査項目

	設問	目 的	記入方法
ロボットに関する調査	(1)	興味の度合いを知る	選択方法(4択)
	(2)	興味の内容を知る	選択方法(4択)
センサに関する調査	(3)	機能の理解の度合いを知る	選択方式(4択)
	(4)	知識の定着の度合いを知る	記述方式
プログラム作成に関する調査	(5)	自己満足の度合いを知る	選択方法(4択)
	(6)	自己理解の度合いを知る	選択方式(4択)
	(7)	興味の度合いを知る	選択方式(4択)
	(8)	学習意欲の度合いを知る	選択方法(4択)
授業に関する調査	(9)	満足の度合いを知る	選択方法(4択)

3.2.2 結果および考察

3.2.2.1 授業前アンケート結果

アンケートの集計人数に関し、授業前の調査人数は20名(1名欠席)、また、授業実践時および授業後調査の人数が21名であった。生徒の回答について個別にも検討するため、アンケートの調査の対象人数を20名とした。

授業前アンケートにおける設問(1)では、思いつくロボットを記述式で5つ列挙して回答させた。その結果、複数回答の中に現存するロボットなどの記述がみられるが、95%の生徒がアニメなどの空想的なものを記述しており、テレビ放送などの強い影響を受け、かつ現実との距離が存在していることが明らかとなった。

図 3.4 に設問 (3), (4) および (5) の調査結果を示す. ここで, 図中の凡例について説明を行う. ++ : 肯定, + : 弱い肯定, - : 弱い否定, -- : 否定, を表している. また, グラフ中の数値は人数を示す.

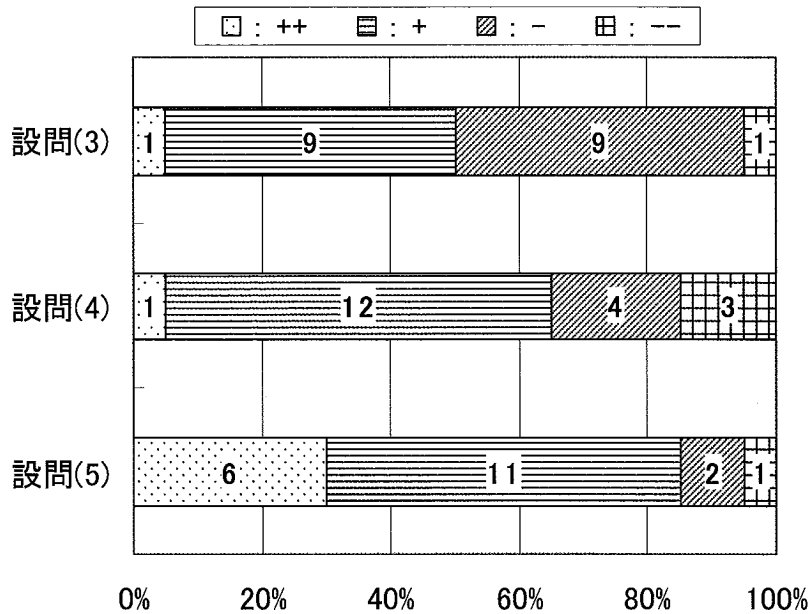


図 3.4: 授業前調査結果

設問(2)は「センサという語句の認知」に関する結果であり, 95%の生徒が「知っている」と回答していることから, この語句は認知されていると思われる. 一方, 設問(3)は「センサの機能」に関する結果であり, 「まったく知らない」または「あまり知らない」と回答した生徒が50%である. すなわち, 生徒は「センサ」という語句については何らかの認知はあるものの, その機能に関しては十分な理解がなされていないことがわかる. 設問(4)では「ロボットと制御装置の関連」に関して35%の生徒が「あまり知らない」または「知らない」と回答しており, 3

分の1の生徒がロボットと制御の関連について認知していないことがわかる。

設問(5)「プログラミングに関する興味」の有無については、85%の生徒が「ある」と回答している。その一方で、設問(6)「プログラミングの経験」の有無についてはプログラミングの経験者は2名のみであり、プログラミングについては興味・関心は高いものの、生徒がプログラミングを体験する機会は非常に少ないことがわかる。

今回の調査により明らかとなった課題は、ロボット教材を用いた制御・プログラミング学習によるロボット技術の正しい理解と制御との関連づけおよびプログラミングの実践によるコンピュータとの関連づけであると考えられる。しかし、授業実践の対象が技術を選択した生徒であり、調査人数も少ないことから、一般的な傾向と位置づけるのは早急と推察される。

3.2.2.2 授業後アンケート結果および学習効果

授業後のアンケートにおいて、設問(1)「ロボットに対する興味」に関して、生徒全員が「興味がわいた」と回答した。設問(2)は「興味がわいたロボット構成要素」に関する結果である。生徒が回答したものを動作部分、知能部分、センサ部分およびその他に分類した。動作部分に40%の生徒が興味を示し、知能およびセンサ部分の15%を大きく上回っていることがわかる。本授業は、主として制御、プログラミング、センサを組み合わせたロボット技術の知能部分についての授業構成とし、動作部分の機構などについてはその説明を最小限にとどめている。それにも関わらず、動作部分に対する生徒の興味が高いことは、マインドストームのブロックが組み合わさった駆動部分の新奇性に対し、製作の意欲が強く現れた

ものであることが推測できる。また、ロボット教材による制御、機構、エネルギー変換などの融合学習への可能性を示唆するものと考えられる。一方、授業の中で比較的時間を費やして解説したセンサ部分については3名の生徒しか興味を示していない。これは、本授業において、センサ技術をロボットというシステムを構成する一部として説明したために生じた結果と考えられる。図3.5に設問(3)および(5)の調査結果を示す。

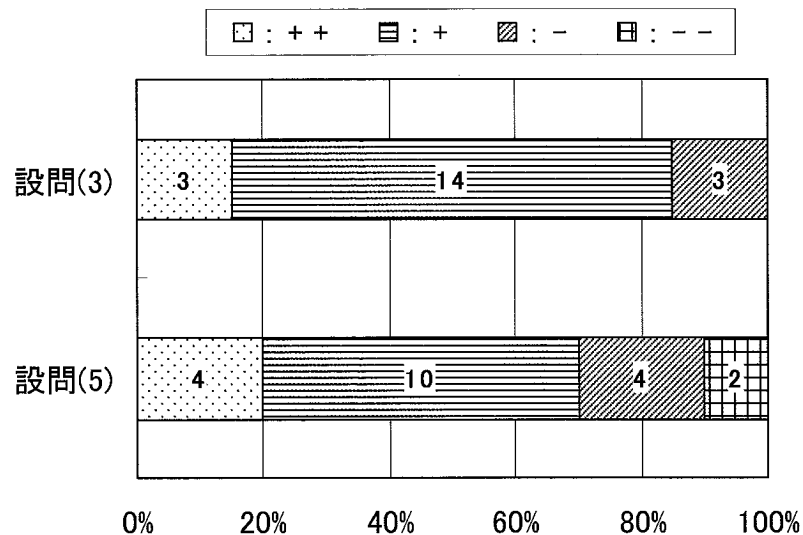


図 3.5: 授業後アンケート調査結果

設問(3)「センサ機能の理解」に関する結果では、15%の生徒が「よくわかった」、65%の生徒が「だいたいわかった」と回答している。また、設問(4)では授業で使用した3種類のセンサの名称および機能を記述させたところ、90%の生徒が3種類とも正答しており、知識に対する高い理解の度合いを示していることがわかる。すなわち、知識面の理解の度合いの高さにも関わらず、センサについて興味があ

いたと答えた生徒が少数であったことを考え合わせると、センサ技術の学習については、その意義や重要性などをより広い視野から取り扱うことが必要であると思われる。

設問(5)は「プログラミングに関する満足度」についての結果であり、20%の生徒が「できた」、50%の生徒が「どちらかといえばできた」と回答している。4名または3名に1台のコンピュータでありながら、「できた」または「どちらかといえばできた」とした生徒が全体の70%に達していることに特徴がみられる。班の中ではキーボード操作に1名、マインドストームの動作部分の機構を観察しながらアイデアを出す担当に1名、他の生徒は配布資料を調べるという役割分担が形成されており、この数値は、それらの役割を担いながらプログラミングに関与したという結果が現れたものと考えられる。設問(5)において、「どちらかといえばできた」を選択した生徒が半数を占めた要因のひとつとして、課題の未達成が考えられる。ライントレーサの課題については、すべての班が解決したが、障害物回避の課題について解決した班が半数であり、上記の数値はこの課題の未達成の影響を受けていると考えられる。ここで、未達成の班も作業時間が、あと半時間あれば十分に完成できたと推察される。今後、課題内容、難易度や学習時間の取り扱い等についての妥当性を検証する必要があると考えられる。

設問(6)「プログラミングに関する自己理解の度合い」の回答は、設問(5)の結果とほぼ同様の傾向を示した。設問(5)および(6)の結果から、各班のうちの1名がプログラミングに主として関与したのではなく、他の構成員たちもプログラミングに関与し、また、それによってプログラムの内容についても理解が促進されたと考えられる。

設問(7)「プログラミングに関する興味」については、授業前の85%が、授業後に90%になったことを考えるとプログラミングに対して高い興味が持続していることがわかる。この要因のひとつとしてロボットの動作の流れを視覚的に確認しながらのプログラミングが、生徒の学習意欲の低下を防いだことによるものと考えられる。設問(8)では75%の生徒が将来的なプログラムの学習について興味を示した。

設問(9)では85%の生徒が授業に対して肯定的な評価を示した。否定的な回答をした3名(15%)の生徒についても、自由記述による感想では、「普段の授業では体験できないことを体験できてよかった」、「ロボットについて知ることができてよかった」、「実際につくってみることでよくわかった」などと記され、生徒全員が授業に対して肯定的であった。自由記述の結果からロボットそのものへの興味・関心は高まったが、ロボットに使用されている技術について感想を述べている生徒はひとりもいなかった。これから技術と社会とのかかわりについて理解を深め、よりよい社会を築くためには、技術そのものを適切に評価する能力や活用する能力を育成できるような題材の選択が課題としてある。

以上に示した授業実践前・後のアンケート結果より、授業前にはロボット、センサ、プログラミングに関して認知および興味があるものの知識および理解が不十分な状況であった。授業後において本授業構成および教材は、センサに関する知識・理解の向上とともに、ロボットおよびプログラミングの興味・関心の向上に有効性を示す傾向がみられた。

今回、授業実践が技術を選択した生徒を対象として行われ、調査人数も少ないことから結果の一般化は難しい。しかし、題材を生徒の関心が高いロボットに設

定し、適切な教材を使用しながら小集団での自主的な課題解決学習をすることで、知的興味が高まり、制御・プログラミング学習が行える可能性がある。また、制御教材に関連づけたプログラミング学習において約10時間を必要とするものもあり[50]、本教材は制御・プログラミング学習が比較的、短時間で行うことができる可能性があると考えられる。

さらに、ロボットを題材として授業を行う場合、ロボットを構成している諸技術（制御、センサ、機構など）を抜粋して教えるのではなく、その構成要素をバランスよく教えていきながらロボットの構成を教示することが必要であると考えられる。

3.2.3 まとめ

技術分野の選択項目「情報とコンピュータ」(6)「プログラムと計測・制御」における学習の題材としてロボットを取り上げ、授業実践を行った場合の学習効果を、授業実践前・後に行ったアンケート形式の調査から明らかにした。得られた結果を以下に示す。

- (1) マインドストームを用いた今回の授業実践は、センサに関する知識・理解が向上するとともに、ロボットおよびプログラミングに対する興味・関心の向上に有効である。
- (2) 題材を生徒の関心が高いロボット技術に設定し、適切な教材を使用しながら小集団での課題解決学習をすることで、知的興味が高まり、比較的短時間で制御・プログラミング学習を行うことが可能である。
- (3) ロボットを題材として授業を行う場合、ロボットを構成している諸技術(制

御，センサ，機構など）を抜粋して教えるのではなく，その構成要素をバランスよく教えていきながらロボットの構成を教示することが必要である。

- (4) 技術と社会とのかかわりについて理解を深め，よりよい社会を築くためには，技術そのものを適切に評価する能力や活用する能力を育成できるような題材の選択が重要である。

3.3 中学校技術・家庭科（技術分野）にメカニカルシステム教材を導入した教育効果

3.2 項の中学校技術・家庭科（技術分野）にロボット教材を使用した学習を行った場合の課題として，技術そのものを適切に評価する能力や活用する能力を育成できるような題材の選択があった。本項では，中学校技術・家庭科（技術分野）に，制御技術を題材に工学研究用に使用しているメカニカルシステムを学習教材として，現在起こっている社会問題の解決のひとつの手段として活用した場合を想定し，中学校学習指導要領－技術・家庭編－[23]の「情報とコンピュータ」(1)「生活や産業の中で情報手段の果たしている役割」，(6)「プログラムと計測・制御」学習の導入部に使用した教育効果について検証する。

3.3.1 メカニカルシステム教材について

「プログラムと計測・制御」学習が可能なメカニカルシステム（ヘリコプタモデル）教材について説明する。本研究で使用した教材を図 3.6 に示す。これは第2章でデータ駆動型の制御手法を検証したメカニカルシステムである。本教材は新奇性があり，中学生の制御技術に対する興味・関心を高めることができると思

われる。

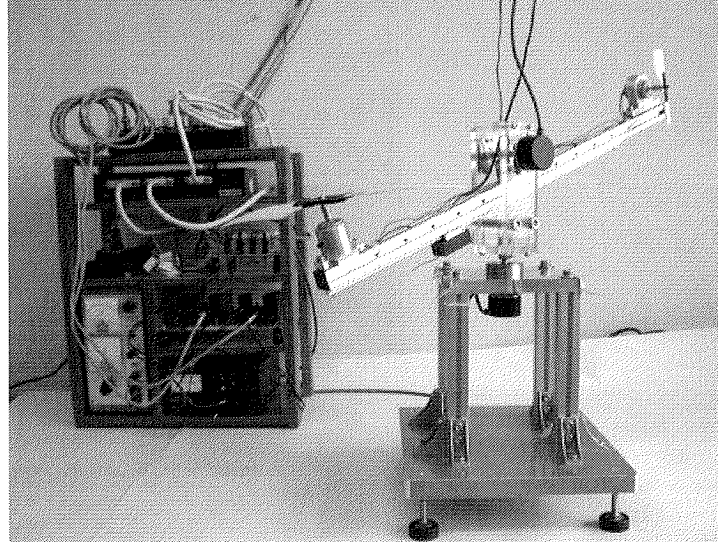


図 3.6: メカニカルシステム（ヘリコプタモデル）教材

3.3.2 授業実践

授業実践は愛媛大学教育学部附属中学校において行った。授業時間数は3時間であり、対象生徒は第3学年の2クラス、計79名である。

3.3.2.1 授業前アンケート調査

本教材を用いて、愛媛大学教育学部附属中学校で授業実践の学習指導計画を作成するにあたり、生徒がコンピュータの活用、プログラムおよび計測・制御に関し、どの程度の知識を有しているのかアンケート調査を第3学年の2クラス、計79名を対象に行った。今回は授業時に欠席した生徒がいるため、78名を調査対象とした。調査項目内容を表 3.5 に示す。選択方式に関して、設問(5)、(7)、(12)および(13)は3択であり、他はすべて4択である。

表 3.5: 授業前調査項目内容

	設問	目 的	記入方法
コンピュータの活用に関する調査	(1)	機能の理解の度合いを知る	選択方式 (4 択)
	(2)	言葉の認知の度合いを知る	選択方式 (4 択)
	(3)	家庭生活での活用法を知る	記述形式
	(4)	社会生活での活用法を知る	記述形式
センサに関する調査	(5)	言葉の認知の度合いを知る	選択方式 (3 択)
	(6)	機能の理解の度合いを知る	選択方式 (4 択)
コンピュータと制御に関する調査	(7)	言葉の認知の度合いを知る	選択方式 (3 択)
	(8)	認知の度合いを知る	選択方式 (4 択)
	(9)	理解の度合いを知る	選択方式 (4 択)
プログラムに関する調査	(10)	理解の度合いを知る	選択方式 (4 択)
	(11)	興味の度合いを知る	選択方式 (4 択)
社会的事象に関する調査	(12)	言葉の認知度を知る (その1)	選択方式 (3 択)
	(13)	言葉の認知度を知る (その2)	選択方式 (3 択)
	(14)	興味の度合いを知る	選択方式 (4 択)

3.3.2.2 授業構成

本授業実践の「コンピュータの活用」および「プログラムと計測・制御」学習は8時間で行う。その指導計画案を表 3.6 に示す。

表 3.6: 学習指導計画案 (8 時間)

学 習 の 流 れ	時 間
1. コンピュータの活用について知ろう	1
2. プログラムとコンピュータ制御について知ろう	2
3. プログラムの作成の仕方を知ろう	1
4. プログラムを作ってみよう	3
5. コンピュータの計測・制御への活用	1

本教材を使用しての学習は導入部の「1. コンピュータの活用について知ろう」、
「2. プログラムとコンピュータ制御について知ろう」の3時間である。1時間
目の授業指導案を表3.7に示す。

表 3.7: 授業実践の学習指導案（1時間目）

学習過程	時間 (分)	形態	学習活動	○指導上の留意点
1. 学習内容の 確認	15	全体	○ 家庭生活・社会生活においてコンピ ュータの活用法について考える。現 在の活用の仕方がほんの一部である ことを知る。	○ 生徒と対話しながら理解 させる。
2. 社会問題を 知る	10	全体	○ 「2007年問題」について知る。 その問題を解決する方法のひとつと してコンピュータを利用する方法が あることを知る。	○ 現実に起こっている社会 問題と情報技術の結びつ きについて理解させる。
3. 制御の理解	20	班 ↓ 一斉	○ 制御がどういうものか知る。また制御 の難しさを知る。 ・ラジコンのヘリコプタ教材を動かして 制御の難しさを知る。 ・熟練技術について知る。	○ 「制御する」ことの難し さ、重要性に気づかせる。
4. まとめと次時 への確認	5	全体		

学習導入部における各時間の授業内容の概要を以下に述べる。1時間目は家庭
生活および社会生活における幅広いコンピュータの活用例について紹介する。そ
こで、コンピュータのできることを、すなわち、(1)高速で通信できる、(2)データを
記憶したり、更新することが容易である、(3)大量のデータを瞬時に正確に処理で
きる、(4)状況を判断することができることを知る。また、その活用のほとんどの
使用例が「制御する」ことに使用されていることも知る。それらを踏まえ、社会
問題となっている「2007年問題」を取り上げ、ものづくりの熟練技術の継承の一
つの方法としてコンピュータの利用があることを知る。つぎに、「制御する」こと

の意味を知るためにラジコンのヘリコプタを使って操作させ、制御することの意味および難しさを理解させる。2時間目の授業指導案を表3.8に示す。

表 3.8: 授業実践の学習指導案 (2時間目)

学習過程	時間 (分)	形態	学習活動	○指導上の留意点
1. 前回の復習と 学習内容の 確認	7	全体	○ 前回の「コンピュータでできること」 「制御の意味」について復習する。 社会問題の解決への理解を知る	○ 生徒と対話しながら前回の 授業内容を思い出させ、 確認する。
2. 熟練技術を見 る	23	個人 ↓ 一斉	○ 教材を使って、熟練技術をコンピ ュータによって確認する。 ・ 熟練技術を数値で見ることができ ることを知る。	○ コンピュータのデータの処 理の早さやコンピュータが 計算機であることを気づか せる。
3. 制御の仕組み の理解	17	全体	○ コンピュータとプログラムの関係 を理解する。 ・ 制御の仕組みを知る。 ・ アナログとデジタルについて知る。 ・ データの処理・順序について知る。	○ 「制御する」ことについて 何度も繰り返して説明す る。
4. まとめと次時 への確認	3	全体		

2時間目は、本教材を使って生徒らに手動により、ヘリコプタモデルを制御させる。そのヘリコプタの挙動と同時にリアルタイムでそのデータが数値として表示されることを見せる。その後、制御データがコンピュータに保存され、グラフにより可視化できることも知る。つぎに、コンピュータが入力したデータをどのように処理するのかを理解させ、コンピュータ制御の意味やセンサの働きおよびアナログ・デジタルの違いなどについて理解させる。生徒が本教材のヘリコプタモデルを手動で制御している様子を図3.7に示す。

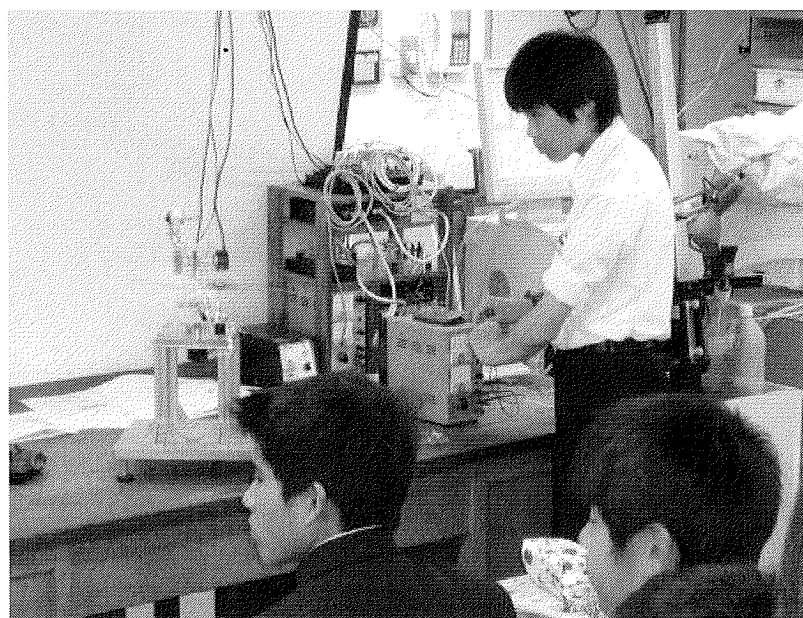


図 3.7: ヘリコプタを手動で制御している様子

3時間目の授業指導案を表3.9に示す。3時間目は、人から採取した熟練技術のデータを基に、プログラムを使って計算し、その計算されたデータとコンピュータを使って制御されたヘリコプタの動きを見せる。また、その制御目標値が異なっても、最初に採取したデータを使用して制御できることを本教材を作動させて生徒に観察させ、コンピュータが状況判断をして制御したことを理解させる。最後に、次回から行うロボット教材を使用して制御するためのプログラム作成のため、ロボットの概要について動画を使用して説明し、学習の興味・関心および学習意欲を高めた。

表 3.9: 授業実践の学習指導案（3時間目）

学習過程	時間 (分)	形態	学習活動	○指導上の留意点
1. 前回の復習と学習内容の確認	7	全体	○ 前回の「プログラム」と「コンピュータ」「制御する」について復習する。	○ 生徒と対話しながら前回の授業内容を思い出させ、確認する。
2. 熟練技術の再現を見る	20	一斉	○ コンピュータによる熟練技術の再現を見る。 ・ 熟練技術の再現を数値で見確認する。 ・ 目標値が変化しても、元のデータがあれば再現してくれることを知る。 ○ コンピュータできることを再確認する。	○ コンピュータの高性能なことが理解できるように説明する。 ○ コンピュータの認識を高めさせる。ロボットとの関係についても説明する。
3. ロボット技術について知る	8	全体	○ ロボットについて説明する。	
4. まとめと次時への確認	15	全体	○ これまでの学習内容についてのアンケート調査を行う	

3.3.2.3 授業後アンケート調査

授業実践後、コンピュータの活用、計測・制御、プログラムについてアンケート調査を行った。調査項目内容を表3.10に示す。選択方式による回答はすべて4

択である。

表 3.10: 授業後調査項目内容

	設問	目 的	記入方法
コンピュータの活用と機能に関する調査	(1)	理解の度合いを知る (その1)	選択方法
	(2)	理解の度合いを知る (その2)	選択方法
	(3)	理解の度合いを知る (その3)	選択方法
センサに関する調査	(4)	機能の理解の度合いを知る	選択方式
コンピュータと制御に関する調査	(5)	理解の度合いを知る (その1)	選択方法
	(6)	理解の度合いを知る (その2)	選択方法
	(7)	理解の度合いを知る (その3)	選択方法
	(8)	理解の度合いを知る (その4)	選択方式
制御技術に関する調査	(9)	理解の度合いを知る	選択方式
	(10)	興味の度合いを知る (その1)	選択方式
	(11)	興味の度合いを知る (その2)	選択方法
プログラムに関する調査	(12)	理解の度合いを知る	選択方式
	(13)	興味の度合いを知る	選択方式
	(14)	学習意欲の度合いを知る	選択方式
社会的事象に関する調査	(15)	理解の度合いを知る	選択方法
	(16)	意見を知る	記述形式
授業に関する調査	(17)	満足の度合いを知る	選択方法
	(18)	満足の内容を知る	記述形式

3.3.3 結果および考察

3.3.3.1 授業前アンケート調査結果

(ア) コンピュータの活用に関する調査

コンピュータの活用に関する調査の回答結果を図 3.8 に示す。ここで、図中の凡例について説明を行う。++：肯定，+：弱い肯定，-：弱い否定，--：否定，を表している。また，グラフ中の数値は人数を示す。

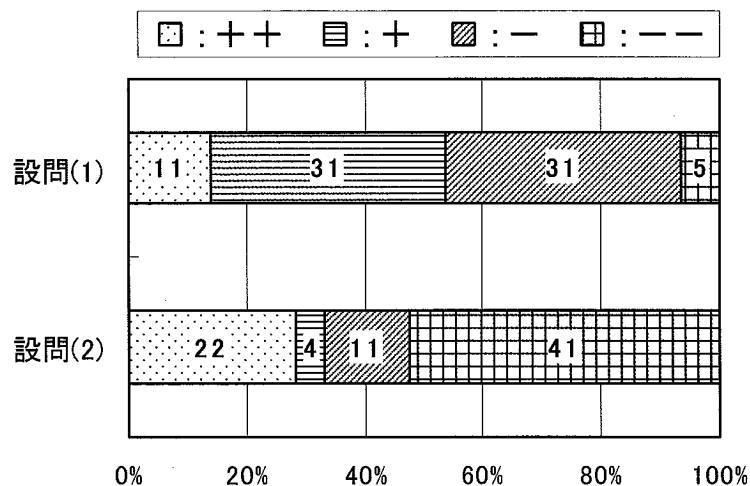


図 3.8: 授業前調査結果

(コンピュータの活用に関する調査)

設問(1)「パーソナルコンピュータの機能や利用方法について自分なりに理解していますか？」に対する回答結果は、「理解している」、「どちらかと言えば理解している」がそれぞれ 14%、40%であり、約半数の生徒が肯定的であった。また、設問(3)および(4)で家庭生活と社会生活におけるコンピュータの活用法について、記述方式により回答させた。家庭生活では、インターネット、メール、調べ物などパーソナルコンピュータの使用範囲内での記述をした生徒は9割以上(73名)であり、冷蔵庫、電子レンジ、エアコンなど家電製品を記述した生徒はほんのごく一部であった。コンピュータと聞けばパーソナルコンピュータであるとの思い込みが、かなり強いことがわかる。また、その活用法は通信手段に偏っていることがわかる。社会生活における活用例については、ほとんどの生徒が記述できていなかった。コンピュータの発達により、われわれの生活が豊かで便利に、安全・安心に暮していることを生徒らに認識させる必要があると思われる。設問(2)「ア

ナログとデジタルの言葉について説明できますか？」に対し、「両方とも説明できる」と回答した生徒は 27%であった。生活の中で特にデジタルの語句は日常的に使用されるようになっているが、その意味の理解についてはかなり低いことがわかる。

(イ) センサおよびコンピュータと制御に関する調査

センサおよびコンピュータと制御に関する調査を図 3.9 に示す。

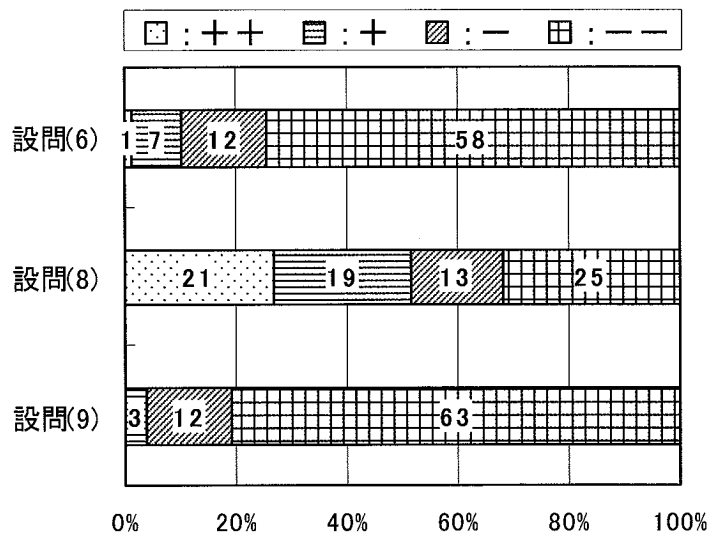


図 3.9: 授業前調査結果

(センサおよびコンピュータと制御に関する調査)

設問(5)で「センサという言葉を知っていますか？」に対する回答結果は、「言葉は知っているが意味は知らない」、「言葉も意味も知らない」がそれぞれ 25% (25名), 62% (48名)であった。また、設問(6)「センサの機能について知っていますか？」に対する回答結果は、「どちらかといえば知らない」、「知らない」がそれぞれ

れ15%(12名), 75%(58名)であった。これらの結果から, 9割前後の生徒がセンサについて認識や機能の理解をしていないことがわかる。

この結果を4年前にインテリジェントハウスの教材を使用した授業実践[52]で, 設問(5), (6)と同様な内容を回答させたものと比較した。また, 設問(6)「センサの機能について知っていますか?」に対する調査対象の生徒は今回と同様, 第3学年であり, 人数は75名である。センサという言葉については, 言葉は知っているが意味は知らない, 「言葉も意味も知らない」がそれぞれ32%(24名), 56%(42名), センサの機能については11%(8名), 68%(51名)であった。4年前の生徒と比較して, 言葉の認知およびその機能の理解の度合いは, ほとんど変わっていないことがわかる。情報技術が発達し, 日常生活において, コンピュータを搭載した電化製品があふれ, センサという語句が常用的になってきたことを考慮すると, センサについて, 体験的学習を通して, 理解ができるように教える必要があると思われる。設問(7)「コンピュータ制御という言葉を知っていますか?」に対する回答結果は, 「言葉も意味も知っている」, 「言葉は知っているが意味は知らない」がそれぞれ5%, 48%であった。また, 設問(8)「機械やロボットを制御するためにコンピュータを使ってプログラミングという操作が必要であることを知っていますか?」に対する回答結果は「知っている」「どちらかといえば知っている」がそれぞれ27%, 24%であった。さらに, 設問(9)「センサとコンピュータとプログラムの関係を知っていますか?」に対する回答結果は, 「どちらかといえば知らない」, 「知らない」がそれぞれ15%, 81%であった。これらの結果から, コンピュータ制御に関して, 言葉を知っている生徒は53%と約半数であるが, その機能や仕組みを知っている生徒は少ない。センサ, コンピュータ, プログラムの関係につい

では 96%の生徒がその関係を認識していないことがわかる。このことから、それぞれの言葉の基本的な理解とそれらの関連についてもセンサの学習と同様に実践的かつ体験的な活動を通して教える必要があると思われる。

(ウ) プログラムに関する調査

プログラムに関する調査の回答結果を図 3.10 に示す。

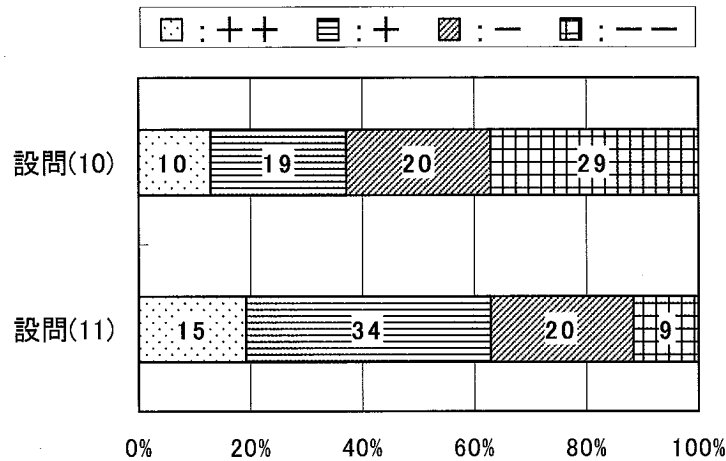


図 3.10: 授業前調査結果

(プログラムに関する調査)

設問(10)「コンピュータで使われるプログラムがどのような働きをするか知っていますか?」に対する回答結果は、「知っている」、「どちらかといえば知っている」と答えた生徒はそれぞれ 13%、24%である。設問(11)「プログラムの作成に興味がありますか?」に対し、「興味がある」、「どちらかと言えば興味がある」がそれぞれ 19%、44%であった。これらの結果から、プログラムに関し、6割以上

の生徒が認識の度合いが低いことがわかる。プログラム作成の考え方の理解を教えるとともに、実践的かつ体験的な活動を通して理解を深める必要がある。さらに、問題解決能力を身に付けさせるために課題の工夫が必要であると考えられる。

(エ) 社会的事象に関する調査

設問(12)「2007年問題という言葉を知っていますか?」、設問(13)「熟練技術という言葉を知っていますか?」に対する回答結果は「言葉も意味も知っている」がそれぞれ10%(8名)、13%(10名)であった。これらの語句は、社会科の公民の授業で学習予定であり、そのことを考えると生徒らの社会に対する問題の予備知識はそれなりに持っていると思われる。設問(14)「人の手によるものづくりの技術がコンピュータを用いることにより再現できたらいいと思いますか?」に対する回答結果は「思う」、「どちらかといえば思う」がそれぞれ35%(27名)、36%(28名)であった。この結果は予想より低い値となった。この設問に関して生徒らは普段考えることのない内容であり、唐突の感を持ったためと思われる。

3.3.3.2 授業後アンケート調査結果

(ア) コンピュータの活用と機能に関する調査

コンピュータの活用と機能に関する調査の回答結果を図3.11に示す。設問(1)「コンピュータが家庭生活や社会生活で幅広く使用されていることが理解できましたか?」に対する回答結果では、肯定的に回答した生徒は99%であり、ほぼ全員の生徒が理解していることがわかる。設問(2)「コンピュータにできることについて理解できましたか?」に対する回答結果では95%の生徒が肯定的に回答した。

設問(3)「アナログとデジタルの意味（違い）が理解できましたか？」では「理解できた」、「どちらかと言えば理解できた」がそれぞれ 62%、30%であり、授業前の 27%と比較するとかなりの生徒が理解したことがわかる。

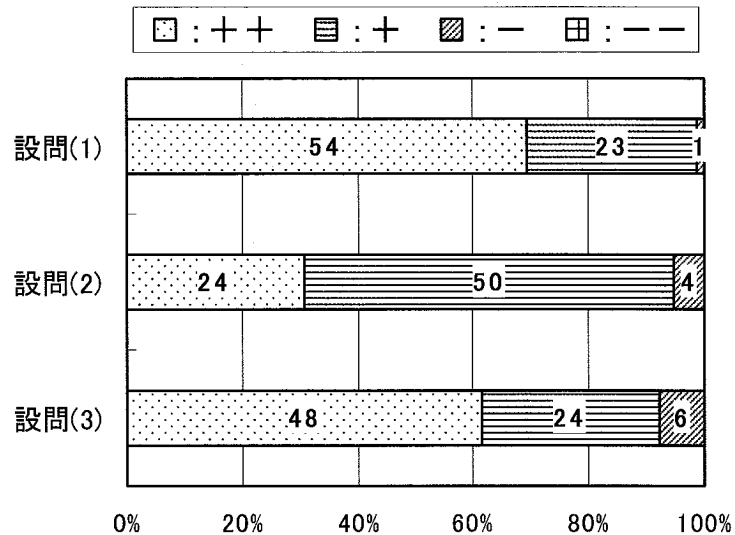


図 3.11: 授業後調査結果

(コンピュータの活用と機能に関する調査)

(イ) センサとコンピュータと制御に関する調査

センサとコンピュータと制御に関する調査の回答結果を図 3.12 に示す。設問(4)「センサの働き（機能）について理解できましたか？」の回答結果では肯定的に回答した生徒は 75%であった。つぎに、設問(5)「センサとコンピュータとプログラムの関係が理解できましたか？」の回答結果では、生徒の約 6 割しか肯定的な回答を得ることができなかった。要因として、今回の授業は「プログラムと計測・制御」の導入部の学習であり、教師からの教材の提示のみの説明で終了したこと

が考えられる。

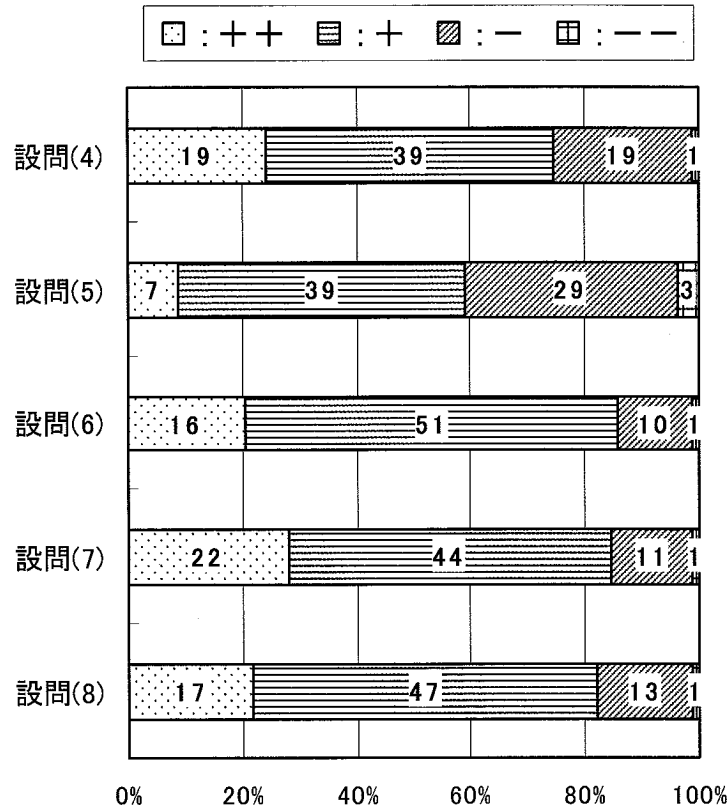


図 3.12: 授業後調査結果

(センサとコンピュータと制御に関する調査)

過去において、「プログラムと計測・制御」学習で、インテリジェントハウス教材を使用し、3種類のセンサを使って制御する課題を与え、プログラムの作成を行わせた[42]。授業の終了後、設問(5)とまったく同じ内容で回答させたところ96%の生徒が肯定的に回答した。生徒らに、センサの実物をふれさせる体験的な活動をさせることで理解の度合いの向上につながると思われる。今回、生徒らは導入部の学習後にロボットを使用し、制御プログラムの作成の授業を行う予定であり、それらの授業を終了した後であれば、理解の度合いが高くなるものと予想

される。

設問(6)「コンピュータは情報をどのように扱う機械か理解できましたか？」に対する回答結果は、86%(67名)の生徒が肯定的に回答した。設問(7)「制御するという意味が理解できましたか？」に対する回答結果に関しても設問(6)と同様は85%(66名)の生徒が肯定的に回答した。また、設問(8)「コンピュータ制御の意味がどのようなことか理解できましたか？」に対する回答結果についても、82%(64名)の生徒が肯定的に回答した。しかし、設問(6)、(7)および(8)の肯定的に回答した生徒の6割前後が「どちらかと言えば理解できた」であり、センサの機能の理解の度合いと同様に、実践的な活動をさせることで理解を深めていくことが重要である。

(ウ) 制御技術に関する調査

制御技術に関する調査の回答結果を図 3.13 に示す。設問(9)「人が機械を操作する技術がコンピュータを使用することで再現できることがわかりましたか？」に対する回答結果は、生徒の96%(75名)が肯定的な回答をした。設問(10)「制御するためにコンピュータが活用されることに対して、興味・関心が高まりましたか？」に対する回答結果は76%(59名)の生徒が肯定的に回答した。また、設問(11)「制御をするための技術について興味・関心がわきましたか？」に対する回答結果は肯定的に回答した生徒は65%(51名)であった。

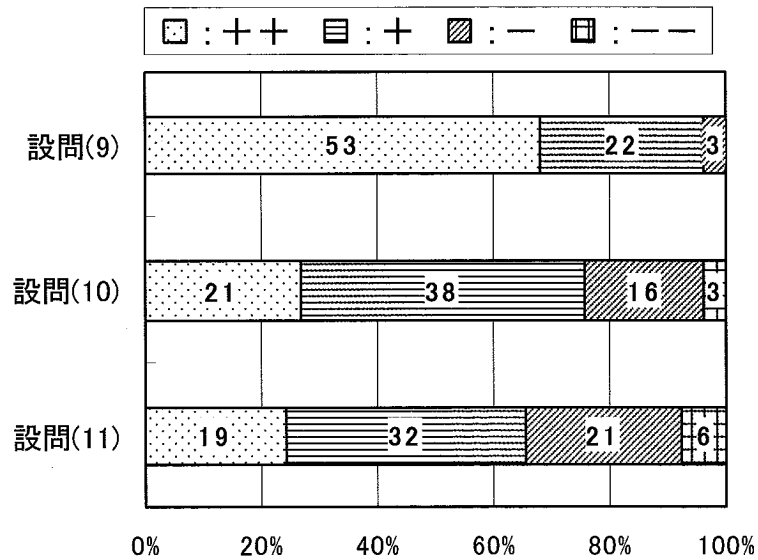


図 3.13: 授業後調査結果
(制御技術に関する調査)

(エ) プログラムに関する調査

プログラムに関する調査に関する回答結果を図 3.14 に示す。設問(12)「プログラムがコンピュータの中でどのような機能をしているか理解できましたか？」に対する回答結果は、肯定的に回答した生徒は 8 割弱(60 名)であった。この結果は教師が演示し説明を行ったものであるが、次回からコンピュータを使用してロボットを制御するためのプログラムを作成する作業を行って理解していく前段階であることを考えると評価できると思われる。設問(13)および(14)の次回から行うロボットを使用してのプログラムの作成学習に対する興味・関心および学習意欲の高まりに関する回答はどちらも 8 割を越えて肯定的であった。これは、生徒らの「ロボットを制御できる」という期待感の表れであると思われる。

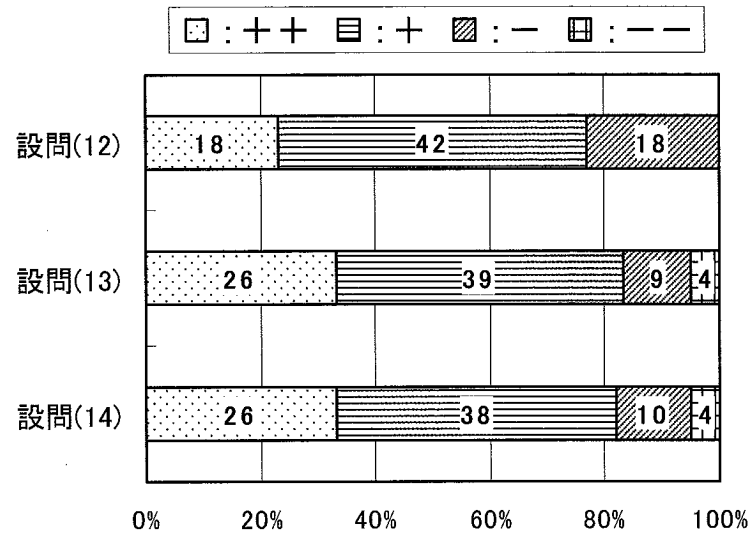


図 3.14: 授業後調査結果

(プログラムに関する調査)

(オ) 社会的事象に関する調査

設問(15)「2007年問題について理解できましたか？」に対する回答結果は生徒の8割以上(65名)が肯定的に回答した。設問(16)「人の持っている技術がコンピュータを使用することにより再現や継承できることをどう思いますか？」を記述式により回答させた。約7割の生徒は、「良いことである、便利である、将来役に立つ」など、実現に対して積極的な意見が多かった。しかし、残りの生徒は「人がすることで気持ちがこもる、コンピュータに頼りすぎはいけない」など消極的な意見もみられた。また、授業前アンケート調査の設問(14)で否定的に回答した生徒は、授業後も否定的な意見を記述していた。

現在、生徒らの生活環境の中で使用しているものは、その多くがデジタルで制御されたものであり、その中に浸っている。その生活環境の中で思考も革新的で

はないかと予想していたが、この結果から、保守的な思考を持ち合わせている生徒もかなりいることがわかる。このことから、工学的なコンピュータ制御技術に関して、人による熟練技術（アナログ）とコンピュータの制御技術（デジタル）を融合した技術を開発し、それを、また教育教材として使用することで、さらなる工学的な資質・能力を育てるような学力および授業づくりが展開されると考えられる。

（カ）授業に関する調査

設問(17)「今回行った3回の授業は自分のためになりましたか？」に対する回答結果は、9割以上(73名)の生徒が肯定的に回答した。設問(18)の自由記述による感想では「授業内容レベルは高かったあるいは難しかったが、面白かった、ためになった」などの内容が半数以上であった。他には「コンピュータによる制御技術に関して興味が持てた、さらに、もっと理解してみたい」などと記述していた生徒が3割近くいた。

以上の結果から、今回の授業実践は「コンピュータの活用」、「プログラムと計測・制御」学習の導入部分であり、かつ教師主導による一斉の学習形態であったが、中学生に対し、科学技術の一部を中学校学習指導要領を参照に授業内容を考案し、学習させることは科学技術に対する知識の蓄積はもちろんのこと興味・関心を高めることに有効であると考えられる。また、工学研究用の題材を中学校の技術・家庭科の技術分野の学習導入部における学習教材に用いることにより、中学生の工学に対する興味・関心の向上の新たな動機づけになると思われる。

さらに、「理科離れ」・「理工系離れ」の抑止の一つとして、中学校の技術・家庭

科の技術分野において，工学的な資質・能力を育てるような学力および授業づくりの工夫が必要であり，かつ重要であることが示唆された。

3.3.3.3 学習後の意識の変容についての考察

授業は表 3.6 の学習指導案にしたがって進めた。学習指導案では8時間で行う予定であったが，諸事情により7時間で行った。プログラムを作成する時間が1時間減少した。「プログラムと計測・制御」学習がすべて終了した時点で，再度アンケート調査を行った。

(ア) プログラミング学習の制御教材について

今回，新たに作製したプログラミング学習教材すなわちキーボード制御教材を図 3.15 に示す。教材の基本モデルは 3.2 項でも使用した LEGO 社の「マインドストーム」である。学習の動機付けの教材にメカニカルシステムとしてヘリコプタモデルを使用したことから，その関連性を考慮し，回転角度の制御を行うことができる工夫を行った。本教材は角度センサとタッチセンサを使用し，ロボットアームを制御することでキーボードをたたき，曲を弾くことができる。生徒らには弾かせたい曲を選択させ，その曲を演奏できるようにプログラムを作成する課題を与えた。また，プログラム作成の様子を図 3.16 に示す。

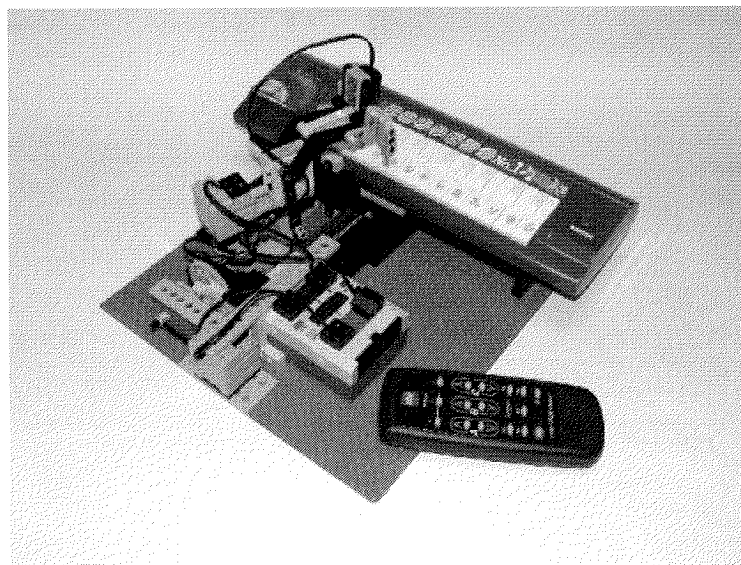


図 3.15 : キーボード制御教材

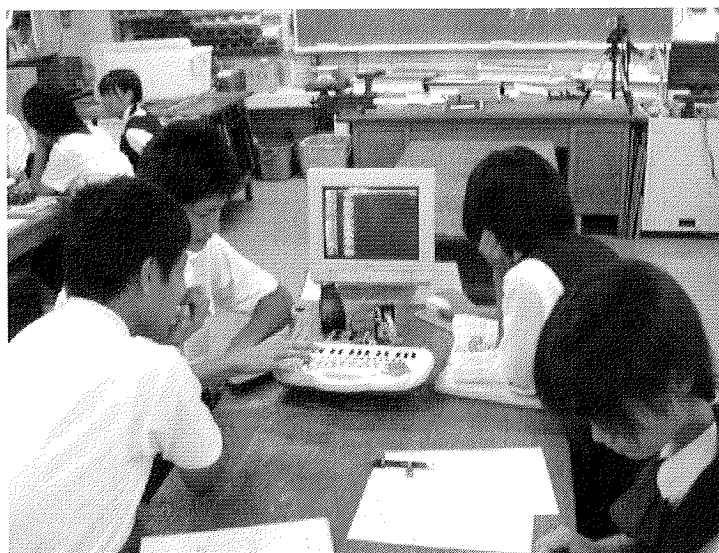


図 3.16 : プログラム作成の様子

(イ) アンケート調査結果の比較

3時間目（動機付けの学習）終了後と7時間目（プログラミング学習）終了後のアンケート調査結果について比較した。図 3.17 に設問「センサとプログラムと

コンピュータの関係について理解できましたか?」の回答結果を示す。この3つ関係の理解の設問については授業前にも調査していたので提示した。授業前において、この3つの関係が生徒らは、ほとんど理解できていなかった。しかし、動機付けの学習後で約6割の生徒が理解を示し、さらにプログラミング学習を行うことで約8割の生徒が理解を示した。

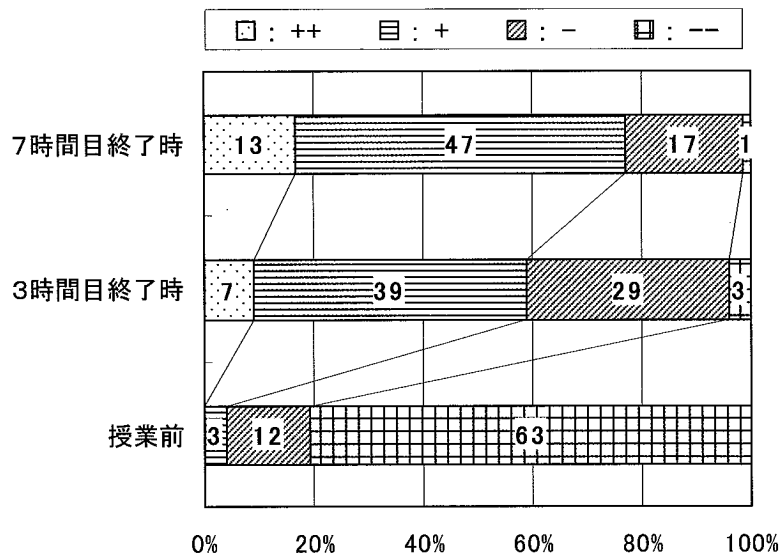


図 3.17: センサとプログラムとコンピュータの関係の
理解の度合いの比較結果

また、図 3.18 に設問「制御する技術について興味・関心は高まりましたか?」の回答結果を示す。制御技術への興味・関心の度合いについても、動機付け学習後からプログラミング学習後では向上していることがわかる。これらの結果から、制御技術に関する動機付けの学習（理論学習）を行い、プログラミング学習（体験的学習）をすることで生徒らの知識の理解および興味・関心とも向上すること

が明らかとなった。技術・家庭科の授業は実習作業時間の占める比率が非常に高い。作業をともなう体験的学習を行う際は、授業の目的を明確に理解できる動機付けの学習が必要であり、また、その学習に対する興味・関心を高揚させておくことが重要であると考えられる。

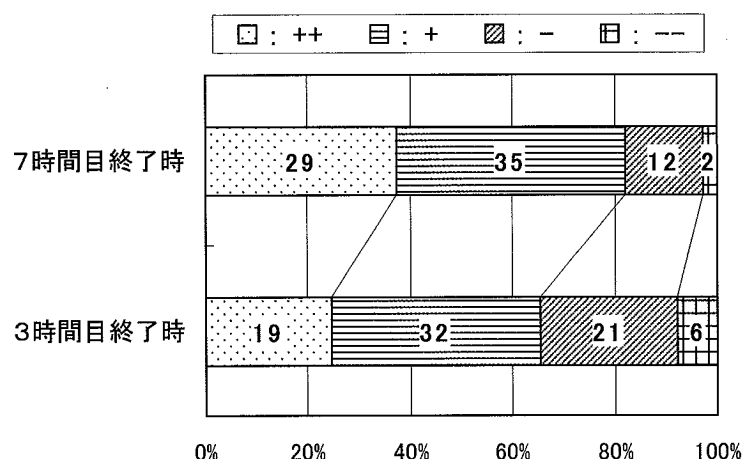


図 3.18: 制御技術についての興味の度合いの比較結果

自由記述により、「制御する技術」についての感想を回答させた。「難しい内容だったが、興味を持って面白かった」と生徒の約半数が回答した。続いて「制御技術は生活に欠かせないもの」、「生活を便利にしてくれる」、「コンピュータの必要性がわかった」などの回答が多かった。これらのことから、今回の一連の授業は工学的技術の持つ社会的役割を理解する学習や工学的技術に対する興味・関心の向上の新たな授業展開の手法として評価できると思われる。

図 3.19 に設問「将来、制御する技術に関する研究や職業に係わることは考えられますか？」の回答結果を示す。生徒らが困惑するような設問ではあるが、約 3

割の生徒が肯定的に回答した。「工学的技術」ではなく、「制御技術」という具体例を挙げても、なお、将来の職業の選択肢に3割の生徒が可能性はあると肯定的に回答したことは十分評価できる。

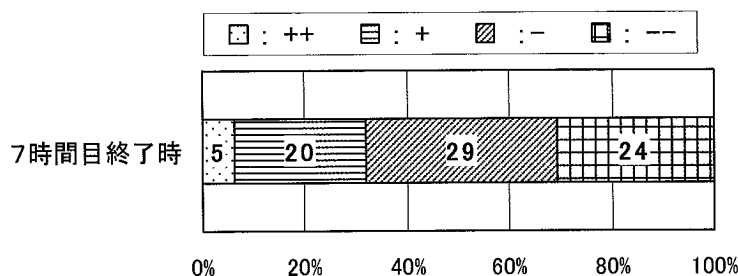


図 3.19： 職業選択肢の可能性についての結果

3.3.4 まとめ

中学生を対象に、機械システムを題材とした教材を現在起こっている社会問題の解決のひとつの手段として活用した場合を想定し、中学校学習指導要領—技術・家庭編—の「情報とコンピュータ」(1)「生活や産業の中で情報手段の果たしている役割」、(6)「プログラムと計測・制御」学習の導入部に使用した学習効果について検討した。得られた結果を以下に示す。

- (1) プログラムと計測・制御の導入部の学習として機械システム教材を使用することで、現在の社会問題の現状の理解とその解決の一手法を教示できた。
また、コンピュータを使用した制御技術について、興味・関心を高めることができた。
- (2) 工学研究用の題材を中学校の技術・家庭科（技術分野）の学習導入部における学習教材に用いることにより、中学生の工学に対する興味・関心の向上

の新たな動機づけになる。

- (3) 「理科離れ」・「理工系離れ」の抑止方法の一つに中学校の技術・家庭科の技術分野において、工学研究用の題材を教育教材に利用し、工学的な資質・能力を育てるような学力および授業づくりの工夫が必要であることを示唆した。
- (4) 制御技術に関する動機付けの学習（理論学習）を行い、プログラミング学習（体験的学習）をすることで生徒らの知識の理解および興味・関心とも向上することを明らかにした。作業をともなう体験的学習を行う際は、授業の目的を明確に理解できる動機付けの学習が必要であり、また、その学習に対する興味・関心を高揚させておくことが重要であると考えた。

3.4 結言

ロボットとその技術を題材に学習の動機付けおよびプログラムと計測・制御学習教材として利用した場合の教育効果および制御技術を題材に工学研究用に使用しているメカニカルシステムを教材として学習の導入部に使用した教育効果について検討した。得られた結果を以下に示す。

- (1) ロボット教材を使用することで、センサに関する知識・理解が向上するとともに、ロボットおよびプログラミングに対する興味・関心の向上に有効であることを示した。ロボットを題材として授業を行う場合、ロボットを構成している諸技術（制御、センサ、機構など）を抜粋して教えるのではなく、その構成要素をバランスよく教えていきながらロボットの構成を教示することが必要であることを明らかにした。また、技術と社会とのかかわりについて

て理解を深め、よりよい社会を築くためには、技術そのものを適切に評価する能力や活用する能力を育成できるような題材の選択が重要であることを指摘した。

- (2) 技術と社会とのかかわり、すなわち社会的問題の現状を把握させ、その解決の一手法に工学的技術が活用されていることを理解するためにメカニカルシステム教材を授業の動機付けに使用することは、中学生に新規性をもたらし、授業に対する興味・関心を高めることを明らかにした。また、本教材を使用することにより、技術そのものを適切に評価する能力や活用する能力を育成できる可能性があることを示した。さらに、工学研究用の技術やそれに関連する装置を教育教材に利用するためには、工学的な資質・能力を育てるような学力および授業づくりの工夫が必要であることを示唆した。

第4章 結論

本論文ではメカニカルシステムの制御系をヒューマンスキルのデータに基づいたデータ駆動型アプローチを用いて実現するスキルベースト PID コントローラ的设计法を提案した。また、提案した制御手法をメカニカルシステムすなわちヘリコプタシステムの実機を用いて検証した。さらに、制御技術が使用されているロボットおよび今回提案した制御技術を教育題材とし、それに係わる適正な教材を使用し、その教育効果についての有効性を考察した。それらの結果を整理するとつぎのようになる。

1. データ駆動型アプローチにより少ない学習負荷によって、スキルベーストコントローラを実現することができ、ヒューマンスキルを PID ゲインとして抽出することで、制御工学的観点からヒューマンスキルの解析を行うことが可能であることを示した。また、ヘリコプタモデルへの適用結果を通して、データ駆動型スキルベースト制御の有用性を明らかにした。

(第2章)

2. ロボット教材を使用することで、センサに関する知識・理解が向上するとともに、ロボットおよびプログラミングに対する興味・関心の向上に有効であることを示した。 ロボットを題材として授業を行う場合、ロボッ

トを構成している諸技術（制御，センサ，機構など）を抜粋して教えるのではなく，その構成要素をバランスよく教えていながらロボットの構成を教示することが必要であることを明らかにした．また，技術と社会とのかかわりについて理解を深め，よりよい社会を築くためには，技術そのものを適切に評価する能力や活用する能力を育成できるような題材の選択が重要であることを指摘した．（第3章）

3. 技術と社会とのかかわり，すなわち社会的問題の現状を把握させ，その解決の一手法に工学的技術が活用されていることを理解するためにメカニカルシステム教材を授業の動機付けに使用することは，中学生に新規性をもたらし，授業に対する興味・関心を高めることを明らかにした．また，本教材を使用することにより，技術そのものを適切に評価する能力や活用する能力を育成できる可能性があることを示した．さらに，工学研究用の技術やそれに関連する装置を教育教材に利用するために，工学的な資質・能力を育てるような学力および授業づくりの工夫が必要であることを示唆した．（第3章）

今後の課題として，ヒューマンスキルをデータ駆動型アプローチにより実現するコントローラとCMAC(小脳演算モデル) [51, 52]などの制御手法と組み合わせ，制御精度の高い，即時性に優れる制御設計に関する研究を進めていきたいと考えている．また，このような制御技術を中学生レベルで理解できる教材および学習指導案を作成し，体験的・実践的な活動を通して学習する授業実践を行い，

技術と社会とのかかわりに関する知識・理解の向上，科学技術への興味・関心の向上，また，そのために必要な技能の向上などの教育効果について考察していきたいと考えている。

謝辞

本論文をまとめるにあたり，終始懇切丁寧な御指導と御助言を賜りました広島大学大学院教育学研究科 山本 透 教授に深く感謝するとともに御礼申し上げます。

また，本論文作成の際に有益なご助言を賜りました広島大学大学院教育学研究科 番匠谷 薫 教授，田島 俊造 教授，前原 俊信 教授，広島大学大学院工学研究科 雛元 孝夫 教授に厚く御礼申し上げます。

さらに，本研究を進めるにあたり，佐世保工業高等専門学校 坂口 彰浩 講師には，実験装置の構築及び実験の遂行に関して御協力・御指導をいただき，心から感謝し，御礼申し上げます。愛媛大学教育学部附属中学校 楠橋光久 教諭には，第3章の研究を進めるにあたり，メカニカルシステム教材を使用した研究授業をさせて頂いたことに感謝し，御礼申しあげます。

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，御快諾いただきました愛媛大学教育学部 前学部長 渡邊 弘純 教授，また，論文作成を見守っていただいた愛媛大学教育学部 現学部長 曲田 清維 教授に感謝の意を表します。

最後に，お世話になった広島大学 山本研究室の大学院生，学部生の皆様に御礼申し上げます。

平成20年1月

参考文献

- [1] 国立教育政策研究所：I E A国際数学・理科教育動向調査の2003年調査(2003)
- [2] 産経新聞社会部編：理工教育を問う，新潮社(1995)
- [3] 厚生労働省：平成16年度「ものづくり基盤技術の振興対策(ものづくり白書)」(2005)
- [4] 文部省：中学校学習指導要領(平成10年12月)解説 ―技術・家庭編―，東京書籍，(1999)
- [5] 森：ロボコン博士のもの作り遊論，オーム社(1999)
- [6] 示村：自動制御とは何か，コロナ社(1990)
- [7] 土谷，江上：現代制御工学，産業図書(1991)
- [8] 須田：PID制御，朝倉書店(1992)
- [9] 山本，加藤：PID制御の基礎と応用，朝倉書店(1997)
- [10] J.G.Ziegler and N.B.Nichols：Optimum Setting for Automatic Controllers,
Trans. ASME, Vol.64, No.8, pp.759-768(1942)
- [11] 広井：チャレンジ 実用アドバンスト制御とその応用，工業技術社(1996)
- [12] K.L.Chien, J.A.Hrones and J.B.Reswick：On the Automatic Control of
Generalized Passive System, Trans. ASME, Vol.74, pp.175-185(1952)
- [13] M.Morari and E.Zafiriou：Robust Process Control, Prentice Hall Inc.(1989)
- [14] 大嶋：プロセス制御システム，コロナ社(2003)
- [15] 木村，藤井，森：ロバスト制御，コロナ社(1994)
- [16] 大松，山本編：セルフチューニングコントロール，計測自動制御学会学術図書，
コロナ社(1996)

- [17] 細江, 荒木監修 : 制御系設計— H_∞ 制御とその応用—, 朝倉書店(1994)
- [18] R.E.Kalman : Design of Self-Optimizing Control System, Trans. on ASME, Vol.80, pp.468-478(1958)
- [19] W.S.McCulloch and W.H.Pitts : A Logical Calcululus of the Ideas Immanent in Nervous Activity, Bulltin of Mathematical Biophysics, Vol.5, pp.115-133(1943)
- [20] G.Bontempi, M.Birattari and H.Bersini : Lazy learning for local modeling and control design, International Journal of Control, 72-7/8, pp.643-658(1999)
- [21] 鄭, 木村 : Just in time モデリングの新しい手法とその圧延セットアップモデルへの応用, Trans. on SICE, 37-7, pp.640-646(2001)
- [22] A.Stenman, F.Gustafsson and L.Ljung : Just in time models for dynamical systems, 35th IEEE Conference on Decision and Control, pp.1115-1120(1996)
- [23] 江田, 大森, 佐野 : Model on Demand 型局所線形モデリングを用いた制御系設計の一方法, 第1回適応学習シンポジウム, p.65-68(2001)
- [24] 高尾, 山本, 雛元 : Memory-Based 型PIDコントローラ的设计, 計測自動制御学会論文集, Vol.40, No.9, pp.898-905(2004)
- [25] S.Liu and H.Asada : Adaptive Control of Deburring Robots Based on Human Skill Models, Proc. of 30th Conference on Decision and Control, pp.348-352 (1991)
- [26] S.Haykin : Neural Networks, Macmillan College Publishing Company (1994)
- [27] K.S.Narendra, and K.Parthasarathy : Identification and Control of Dynamical Systems Using Neural Networks, IEEE Trans. on Neural Networks, Vol.1, No.1, pp.4-27 (1990)
- [28] M.M.Gupta and D.H.Rao : Neuro-Control Systems Theory and Applications, IEEE Press (1993)

- [29] S.Omatu, K.Marzuki and Y.Rubiyah : Neuro-Control and Its Applications, Springer-Verlag (1995)
- [30] 太田, 山本 : PID制御器のデータベース駆動型チューニング, 計測自動制御学会論文集, Vol.40, No.6, pp.664-669 (2004)
- [31] K.Takao, T.Yamamoto and T.Hinamoto : Design and Experimental Evaluation of a Data-Based Self-Tuning PID Controller, Proc. of IFAC World Congress, Prague (2005)
- [32] J.Zhang, Y.Yim and J.Yang : Intelligent Selection of Instances for Prediction Functions in Lazy Learning Algorithm, Artificial Intelligence Review, Vol.11, pp.175-191 (1997)
- [33] G.Bontempi, M.Birattari and H.Bersini : Lazy Learning for Local Modeling and Control Design, Int. J. of Control, Vol.72, No.7-8, pp.643-658 (1999)
- [34] A.Stenman : Model on Demand Algorithms, Analysis and Applications, Ph.D Thesis, Dept. of Electrical Engineering, Linkoping University (1990)
- [35] M.Kato, T.Yamamoto and S.Fujisawa : A Skill-Based PID Controller Using Artificial Neural Networks, Proc. of International Conference on Computer Intelligence for Modeling, Control and Automation, Vienna, pp.702-707 (2005)
- [36] 井村, 家木, 佐伯, 和田 : 動的フィードバックによる厳密な線形化法を用いたツインローターヘリコプターモデルの基礎実験, 日本機械学会論文集(C編), Vol.66, No.648, pp.160-167 (2000)
- [37] A.T. Kutay, A. J. Calise, M. Idan and N. Hovakimyan : Experimental Results on Adaptive Output Feedback Control Using a Laboratory Model Helicopter, IEEE Trans. on Control Systems Technology, Vol.13, No.2, pp.196-202 (2005)

- [38] A.Inoue, M.Deng, S.Nakao, T.Harima and N.Ueki : Combined Adaptive and Non-Adaptive Attitude Control of a Helicopter, Proc. of SICE Annual Conference, pp.2217-2221 (2005)
- [39] 文部科学省 : 平成 17 年版科学技術白書(2005)
- [40] 森 : 「総合的な学習の時間」におけるロボット教材を用いた協働学習の効果, 日本産業技術教育学会誌, 第 45 巻 1 号, pp.23-30(2003)
- [41] 森 : ロボット教材を用いた制御・プログラム学習の授業実践と作業分析, 日本産業技術教育学会誌, 第 47 巻 3 号, pp.201-207(2005)
- [42] 森, 山本 : 中学校技術・家庭科(技術分野)における融合教材 “インテリジェントハウス”の開発とその評価, 日本産業技術教育学会誌, 第 48 巻 4 号, pp.251-258(2006)
- [43] 仙波, 森, 山崎, 楠橋 : インテリジェントハウス教材を用いた制御・プログラミング学習の学習効果, 日本産業技術教育学会 第 19 回四国支部大会講演要旨集, p.10(2003)
- [44] 文部科学省 : 科学技術基本法(1995)
- [45] 下山 : 物作りを通してたくましく生きる力と自ら学び考える創造性を育む授業実践, 日本産業技術教育学会誌, 第 39 巻 4 号, pp.269-272(1997)
- [46] 多田 : ロボットの設計・製作における問題解決能力の育成について, 日本産業技術教育学会誌, 第42巻3号, pp.149-152(2000)
- [47] 大倉, 木村, 須見 : ものづくり学習としてのロボコンの位置づけと教材研究・開発, 日本産業技術教育学会誌, 第 43 巻 4 号, pp.209-217(2001)
- [48] 水谷, 岩本 : お絵かきロボットとしての「梵天丸」ロボット教材, 日本産業技術教育学会第 43 回全国大会講演要旨集, p.54(2000)
- [49] 嶋田, 針谷, 斉藤, 鈴木, 戸田 : 自立型ロボットを利用した計測・制御用教材, 日本産業技術教育学会第45回全国大会講演要旨集, p.61(2002)

- [50] 高洲, 藤山, 山本, 田中 : PIC を用いた制御教材の開発と授業実践, 日本産業技術教育学会第 47 回全国大会講演要旨集, p.147 (2004)
- [51] J.S.Albus : A new approach to manipulator control cerebellar model articulation control(CMAC), Trans. on ASME, J. of Dynamic Systems, Measurement and Control, Vol.97, No.9, pp.220-227 (1975)
- [52] J.S.Albus : Data Storage in the control cerebellar model articulation control (CMAC), Trans. on ASME, J. of Dynamic Systems, Measurement and Control, Vol.97, No.9, pp.228-233 (1975)