



中学校期における3次元CADを用いた投影・構成行為と視点変換行為の形成

藤田, 眞一

(Degree)

博士 (学術)

(Date of Degree)

2011-03-25

(Date of Publication)

2011-10-20

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲5226

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1005226>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



博士論文

中学校期における 3次元CADを用いた
投影・構成行為と視点変換行為の形成

2010年12月

神戸大学大学院人間発達環境学研究科

藤田 眞一

目次

| | | |
|--------------|--|----|
| はじめに | | 1 |
| 第1章 | 本研究の課題と目的 | |
| | 1.1節 研究の背景 | 3 |
| | 1.2節 研究の課題 | 10 |
| | 1.3節 本研究の目的 | 11 |
| 第2章 | 本論文の研究方法論の提示 | |
| | 2.1節 形式的発達研究法 | 13 |
| | 2.2節 「外言の段階」での学習支援方法 | 14 |
| | 2.3節 先行研究との研究方法論の妥当性確認 | 15 |
| 第3章 | 3次元CADによる設計・製図教育が投影・構成行為の形成に及ぼす効果(研究1) | |
| | 3.1節 研究課題と目的 | 17 |
| | 3.2節 研究Ⅰ 3次元CADの学習形態 | 17 |
| | 3.3節 研究Ⅱ 投影・構成行為形成プログラムとその効果 | 20 |
| | 3.4節 研究Ⅲ 3次元CADが「ものづくり」の学習を補完する可能性 | 36 |
| | 3.5節 結論 | 38 |
| 第4章 | 3次元CADによる設計・製図教育が視点変換行為の形成に及ぼす効果(研究2) | |
| | 4.1節 研究課題と目的 | 41 |
| | 4.2節 研究Ⅰ 視点変換の困難さの同定調査 | 42 |
| | 4.3節 研究Ⅱ 視点変換行為形成プログラムとその効果 | 44 |
| | 4.4節 研究Ⅲ 視点変換行為の回顧プロトコル分析 | 51 |
| | 4.5節 結論 | 54 |
| 第5章 | 中学校技術科における新たな設計・製図教育内容の提案(研究3) | |
| | 5.1節 研究課題と目的 | 56 |
| | 5.2節 研究Ⅰ 投影・構成行為と視点変換行為の形成と学習過程で果たす役割・機能 | 56 |
| | 5.3節 研究Ⅱ 生徒の設計・製図学習に対する意識と3次元CADの操作力量 | 64 |
| | 5.4節 研究Ⅲ 新たな設計・製図教育内容の提案 | 67 |
| | 5.5節 結論 | 70 |
| 第6章 | 総合考察と今後の課題 | |
| | 6.1節 本研究の課題と目的について | 72 |
| | 6.2節 研究方法論について | 73 |
| | 6.3節 目的①に対する総合考察 | 73 |
| | 6.4節 目的②に対する総合考察 | 74 |
| | 6.5節 目的③に対する総合考察 | 75 |
| | 6.6節 今後の課題 | 75 |
| 参考文献 | | 76 |
| 博士論文にかかる研究業績 | | 81 |
| 謝辞 | | 82 |

中学校期における 3 次元 CAD を用いた投影・構成行為と視点変換行為の形成

はじめに

科学技術創造立国の実現を目指す日本にとって、学校教育における科学技術教育がその鍵を握っている。科学技術創造立国を支えている科学技術教育は「科学教育」と「技術教育」がその両輪だといえる。本論文では、日本は「技術の製品化、事業化に関する効率が悪い」という指摘があることから、科学技術教育のうち「技術教育」の中学校技術科の設計・製図教育に焦点をあて、次の 3 つを目的とした約 5 年間（2005 年 4 月～2010 年 3 月）の研究について述べる。

- ①設計・製図教育にとって重要な「立体イメージを表象する」行為（投影・構成行為と視点変換行為）がどのように形成されるのかを明らかにする。
- ②3 次元 CAD を使った設計教育の可能性と、3 次元 CAD が「ものづくり」の学習を補完する可能性を探る。
- ③新たな設計・製図教育内容を提案する。

特に本論文のポイントである、「立体イメージを表象する」行為の形成研究については、城の「投影・構成行為の形成」研究を起点として、新たに、「視点変換行為の形成」について明らかにしていく。

第 1 章では、初等中等教育の技術教育の設計・製図教育の現状を調査し、調査した国と地域（韓国、台湾、シンガポール、香港、イギリス）で「等角図」、「投影図」、「CAD」が学習されており、日本の製図学習は、調査した国と地域に比べて授業時数は少なく内容も浅く、「CAD」についても、学習の授業時数は少なく内容も浅いと考えられる状況であることを示す。そして、限られた授業時間数であっても、中学校期の設計・製図教育の学習効果が高められるよう、製図で重要な「立体イメージを表象する」行為の形成と 3 次元 CAD による設計・製図教育の可能性を明らかにしたうえで、新たな教育内容を提案するという研究の背景と目的について述べる。

第 2 章では、ガリペリンの理論にもとづく形式的発達研究法で研究を進める根拠と、「外言の段階」での学習支援方法として 3 次元 CAD を用いる根拠を述べ、先行研究との研究方法論の妥当性確認を行う。

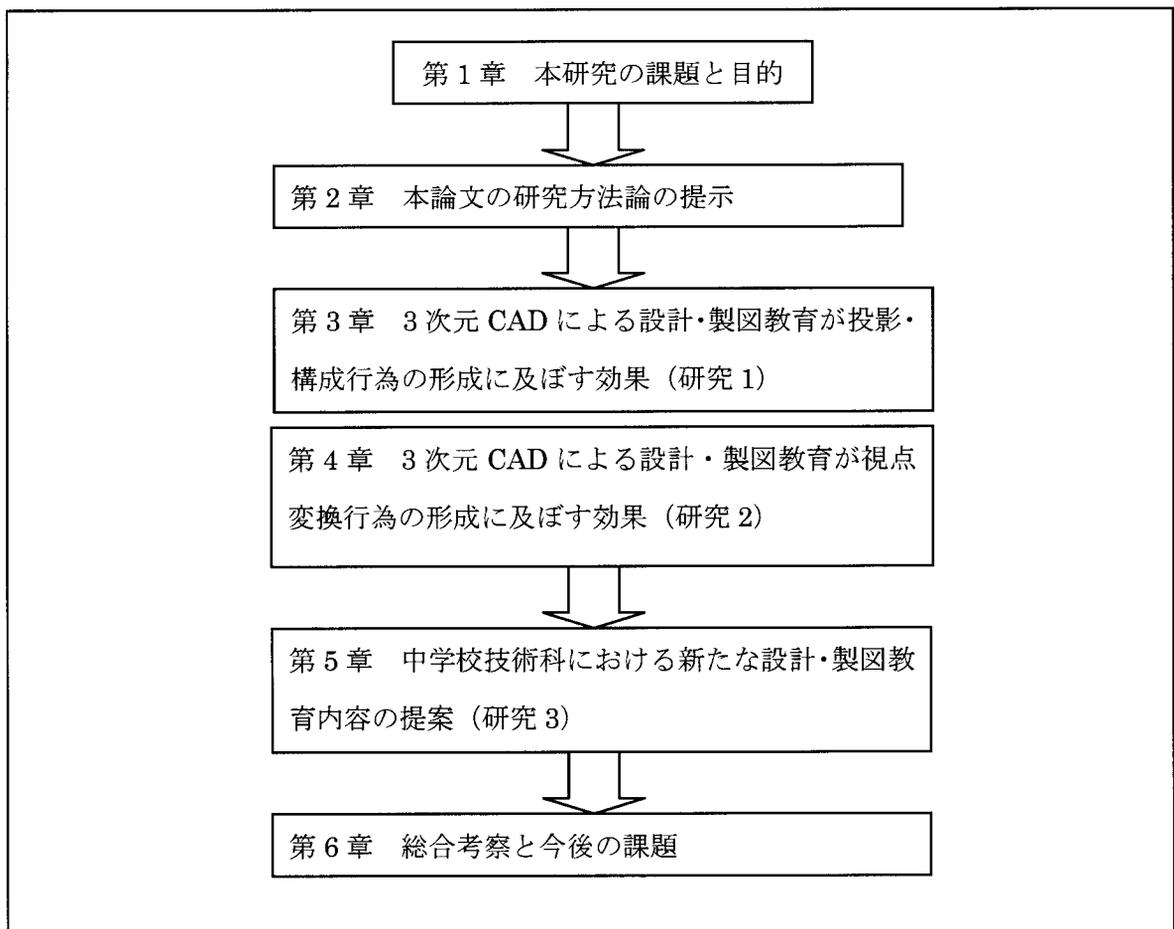
第 3 章では、2 次元製図と 3 次元 CAD による設計・製図教育が「立体イメージを表象する」行為（投影・構成行為と視点変換行為）の形成にどのような効果があるのかを示す。

まず、3次元CADの学習形態を把握するため、CAD作品コンテストの作品の分析から「4つの学習形態」があることを示した後、技術科で「製作した作品から形状モデルを作成する」学習形態で、「投影・構成行為形成プログラム」を中心とした実験授業を実施した結果、投影・構成行為の形成に効果があったこと、視点変換行為の形成には効果が確認できなかったことを示す。そのうえで、3次元CADが「ものづくり」の学習を補完する可能性を示す。

第4章では、視点変換行為の形成には効果が確認できなかったことから、「視点変換行為形成プログラム」を中心とした実験授業を実施した結果、このプログラムが視点変換行為の形成に効果があったことを示す。さらに、回顧プロトコル分析により描画過程を示す。

第5章では、実験授業の効果を基に、新学習指導要領に合致した、中学校技術科の新たな設計・製図教育内容の提案について述べる。

第6章では、本論文の総合的な考察を行い、得られた知見と今後の課題を提示する。論文の流れは次の通りである。



第1章 本研究の課題と目的

1.1 節 研究の背景

1.1.1 日本の科学技術教育

日本は「科学技術創造立国」の実現を目指している^{[1][2]}。科学技術創造立国には、二面があり、一つは、科学技術を担う人間を育てるということであり、もう一つは、出来上がった科学技術の成果を利用し、生活している国としての科学技術創造立国である。その鍵を握るのは、「学校教育」である。ドラッカーがいうように「ネクスト・ソサエティの知識労働者は、学校教育の知識を基盤とする」からである^[3]。

科学技術教育には「専門教育」と「普通教育」とがある。科学技術創造立国を支えるというキーワードで共通のものがあるが、専門分野の学力を習得するという専門教育と、科学技術を素養として扱い、低年齢時から発達段階をふまえて学習していく普通教育では、目標のところで大きく異なるものがある。初等中等教育での「普通教育」としての科学技術教育のうち、科学教育は、主に小学校1-2学年の生活科、3-6学年の理科、中学校の理科、高等学校の理科で行われており、技術教育は、主に中学校の技術・家庭科の技術分野（以下：技術科）で行われている。

1.1.2 初等中等教育での技術教育

科学技術創造立国を支えている科学技術教育は「科学教育」と「技術教育」がその両輪だといえる。本論文では、日本は「技術の製品化、事業化に関する効率が悪い」という指摘がある^{[4][5]}ことから、科学技術教育のうち「技術教育」に焦点をあて、さらに、その裾野である初等中等教育（普通教育）に絞ってみていく。初等中等教育（普通教育）において技術教育は唯一中学校の技術科において実施されている。

中学校技術科^[6]で、2002年度から実施されている現行の学習指導要領（以下：現行学習指導要領）では、技術科の目標は「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。」となっており、内容として「A 技術とものづくり」と「B 情報とコンピュータ」の領域がある。

「A 技術とものづくり」では、必修として「(1) 生活や産業の中で技術の果たしている役割、(2) 製作品の設計、(3) 製作に使用する工具や機器の使用方法及び加工技術、(4)

製作に使用する機器の仕組み及び保守」を指導することになっており、選択として「(5) エネルギーの変換を利用した製作品の設計・製作, (6) 作物の栽培」を指導することになっている。

「B 情報とコンピュータ」では、必修として「(1) 生活や産業の中で情報手段の果たしている役割, (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」を指導することになっており、選択として「(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」を指導することになっている。

学習指導要領の内容(必修)のうち「技術の製品化」と最も関連があると思われるのは、「A 技術とものづくり」領域の「(2) 製作品の設計」であることから、次に技術科での設計教育をみしてみる。

1.1.3 中学校技術科での設計教育の現状

まず、技術科における、「設計」という言葉を定義しておきたい。技術科の教科書では、「ものをつくろうとするときには、最初に設計をします。設計では、しっかり構想することと、構想したものの図面をわかりやすく正確にかくことが大切です。」^[7]や、「ものづくりは設計と製作をとおして行われます。設計ではいろいろなことを考えて図に表し、製作では図にもとづいてつくりあげます。」^[8]と記述されている。これらのことから、技術科における「ものづくり」は「設計+製作」であり、「設計」とは「構想+図面」であると考えられる。

このことを、産業界における「ものづくり」と「設計」の関係で検証してみたい。藤本は、「製品の設計思想(アーキテクチャ)」に基づいた戦略論・産業論を展開しており、図1に示すように、「およそあらゆる製品は、何らかの設計情報が何らかの媒体(情報を担うもの=メディア)の上にのったものである」^[9]と主張している。つまり、現代の企業が生産し販売する製品は、ほぼ例外なく、全てが「あらかじめ設計されたもの」であって、設計情報の存在が製品の供給に先立っており、顧客が消費しているのは、設計情報ということになる。

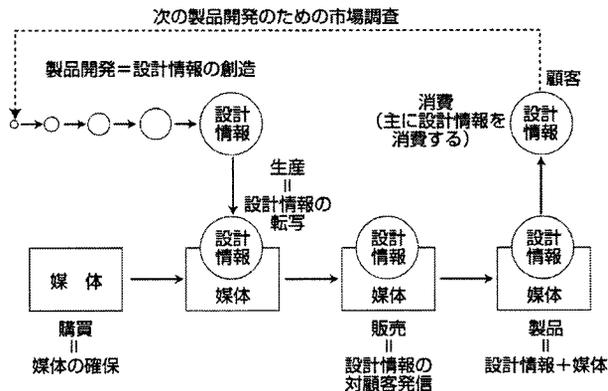


図1 設計情報の循環としてのものづくり

(出所) 藤本 (2004) 121 ページ、図 9

また、技術科における研究実践から「設計教育」をみてみると、第 44 回全日本中学校技術・家庭科研究大会（札幌大会）^[10]の報告では、以下の点を指摘し、設計の重要性を主張している。

- ①「設計と製図」にじっくり時間をかけることができずに、軽く流す程度で製作実習に入ると、製作上の情報伝達手段・意思伝達手段でもある共通の言語を失う。
- ②製作には図が必要という重要な技術的教養を獲得することが望ましい。
- ③立体感覚を生み出し、見通しをもって、ものを作るということがとても大切である。
- ④製図にこだわる理由は、製図によって作成された図面は、ものづくりの「言語（公用語）」であるということ。
- ⑤わたしたちの身の周りに存在する物品や道具のほぼすべては、設計の「言語」に基づいて生み出されている。
- ⑥「生活技術」「生産技術」どちらの考え方に立ったとしても、設計の「言語」の正しい理解と使用方法をおろそかにすることはできない。

これらの指摘から、「設計」とは、設計言語としての「図面」と、見通しをもって、ものをつくるという「計画」であることがわかる。

また、山崎他^[11]は、日本、中国、台湾、韓国、シンガポール、マレーシア、イングランド、ウェールズ、スコットランド、北アイルランド、アメリカ、カナダ BC 州、ニュージーランド、南アフリカにおいて、普通教育としての技術教育の実施状況を調査し、日本を除く全調査対象国（州・地域）が、小・中・高校一貫した技術教育課程基準を設置してお

り、教育課程基準のスコープ（学習対象の範囲・分野・領域）として、「技術のデザインプロセス」を重視する国（州・地域）が多数であると指摘している。この「技術のデザインプロセス」という言葉は、シンガポールの技術教育の教科書^[12]では、「ほとんど全ての製品に当てはまる開発の一連の過程である。その一連の過程は、ニーズを明らかにし、問題点を探り、構想を図面にまとめ、工程計画に従って製作し、製品を評価することである（筆者訳）」と記述されている。

これらのことから、本論文では、技術科における、「設計」を「製品情報を構想し、図面に表すこと」、「図面に表わすこと」を「製図」と定義する。

1.1.4 日本と海外の設計教育

次に、日本と海外の「設計」の学習内容がどのようなものなのかを技術教育の教科書の内容を比較することにより検討していく。日本と海外の技術教育の学習内容を比較するために、日本の教科書として、現行学習指導要領に基づいた内容で編集されている2社の検定教科書を用意した。海外の教科書として、日本の学習指導要領と同じようにナショナルカリキュラムに基づいて編集され、日本の中学校3年間に相当する学年のもので、それぞれの国（地域）でトップシェア1社の教科書（韓国、台湾、シンガポール、香港、イギリス）を用意した。学習内容の比較は、「設計教育の中で、製図教育の内容がどのように記述されているのか」をみていく。

日本の1社の教科書「技術・家庭 技術分野」は、B5版の大きさを243頁のうち13頁（全体の頁数の5.3%）にわたり、「等角図、キャビネット図、線の種類、寸法補助記号の使い方、寸法記入のしかた、コンピュータを用いた設計（CAD）、正投影図（以下：投影図）、実習例の図面」の学習内容が記述されている。また、もう1社の教科書「技術・家庭 技術分野」は、B5版の大きさを227頁のうち10頁（全体の頁数の4.4%）にわたり、「キャビネット図、等角図、製図のきまりと線のかき方、投影図のかき方、製図用具の使い方、図形処理ソフトウェアを使った作図、実習例の図面」の学習内容が記述されている。

韓国の教科書「技術・家庭」^{[13]~[15]}は、技術と家庭の内容を合本にしたB5版の大きさを、「技術・家庭1」^[13]176頁、「技術・家庭2」^[14]224頁、「技術・家庭3」^[15]221頁と3学年に分かれており、技術・家庭1の32頁（技術に関する記述264頁の12.1%）にわたり、「作図の方法（製図用具、ドラフター、CAD）、製図用具の使い方、製図のきまりと線のかき方、投影図、等角図、展開図、キャビネット図、間取りのかき方、図面例」の学

習内容が記述されている。

台湾の教科書「自然與生活科技」^{[16]-[21]}の技術分野は、B5版の大きさで、「1上」^[16]67頁、「1下」^[17]55頁、「2上」^[18]47頁、「2下」^[19]47頁、「3上」^[20]31頁、「3下」^[21]43頁と3学年で上下に分かれており、1下の25頁（全体の頁数の8.6%）にわたり、「図面の読み方（地図、工程図、展開図、回路図、間取りなど）、概念図の読み方、投影について、作図の方法（製図用具、CAD）、CAD/CAM、等角図のかき方、投影図のかき方、製作図例」の学習内容が記述されている。

香港の教科書「初中設計與科技」^{[22]-[24]}は、217×273mm版の大きさで、「第一冊」^[22]190頁、「第二冊」^[23]181頁、「第三冊」^[24]184頁と3学年に分かれている。「第一冊」では35頁にわたり、「製図用具、製図用具の使い方、製図のきまり、正投影法、線のかき方、CADによる作図」の学習内容。「第二冊」では53頁にわたり、「色彩、投影法、キャビネット図、等角図、展開図、透視図、CAD」の学習内容。「第三冊」では36頁にわたり、「正投影法、CAD」の学習内容が記述されており、全体の頁数の22.3%が製図の学習である。

シンガポールの教科書「DESIGN & TECHNOLOGY」^{[12][25][26]}は、200×257mm版の大きさで、中等教育前期用の「1」^[12]122頁、「2」^[25]125頁、中等教育後期用の「Upper Secondary」^[26]493頁に分かれている。「1」では30頁にわたり、「スケッチ、線、形状、方眼紙を使ったスケッチ、GPO(Guidelines, Proportion and Outline)スケッチ、立体、等角図、投影図、CAD」の学習内容。「2」では38頁にわたり、「製図用具、線のかき方、等角図、投影図、断面図、完成図、部品図、キャビネット図、透視図、CAD」の学習内容。「Upper Secondary」では66頁にわたり、「製図用具、スケッチ、キャビネット図、等角図、透視図、投影図、断面図、レンダリング、CAD」の学習内容が記述されており、全体の頁数の18.1%が製図の学習である。

イギリスの教科書「DESIGN & TECHNOLOGY」^[27]は、技術と家庭（被服と食物）の内容が一体となっており、217×269mm版の大きさで251頁あり、24頁（技術に関する記述140頁の17.1%）にわたり、「スケッチ、等角図、グラフ、透視図、文字、型紙、投影図、完成図、部品図、CAD」の学習内容が記述されている。

以上のことから、日本、韓国、台湾、香港、シンガポール、イギリスにおいて、製図の学習内容として、「等角図」、「投影図」、「CAD」が取扱われていることがわかった。また、教科書の頁数を基にした、技術教育全体の学習内容に占める製図の学習内容の比率では、日本が5.3%と4.4%で、韓国が12.1%、台湾が8.6%、香港が22.3%、シンガポールが18.1%、

イギリスが 17.1%であることから、日本の製図学習の授業時数は、調査した他の国（地域）に比べて少なく、内容の深さも浅いと考えられる。

このことは、技術・家庭科の前身の職業・家庭科や 1980 年までの技術・家庭科では、製図はいずれも必修領域として位置づけられていたものが、1981 年に学習指導要領からはずされた結果でもある。しかし、製図が必修領域として位置づけられていた当時であっても、製図が生産物に関する情報伝達を担っていることから技術教育の骨格をなすものである。にもかかわらず、中学校技術・家庭科では、体系的な製図教育はなされていない。また、そのような製図教育を受けた中学生ですら、柔軟な想像力に乏しく、固定化して対象を見てしまう傾向があり、簡単な立体でも描図となると、感覚的に理解していても正確に表現することはできないと指摘されている^{[28][29]}。

また、全ての国と地域で学習されている「CAD」についても、日本の 1 社は「製図」の単元で 1/2 頁扱い、もう 1 社は「ソフトウェアの機能と情報の処理」の単元で 1/2 頁扱いであり、他の国（地域）に比べて、教科書の記述が少ないことから、日本の「CAD」学習の授業時数は調査した他の国（地域）に比べて少なく、内容の深さも浅いと考えられる。

1.1.5 3次元 CAD を使った設計教育の現状

さらに、調査した全ての国（地域）で学習されている「CAD」について、詳しくみていくことにする。イギリス政府は 2000 年に、世界の産業界で CAD の圧倒的なシェアを持つ PTC 社に、初等中等教育のソフトウェアと教育プログラムの開発を依頼し、直感的に設計ができる Low End の 3次元 CAD 「Pro/DESKTOP（以下：Pro/D）」ができあがった。

「3次元 CAD」とは、コンピュータ内で 3次元図形情報を処理する CAD であるが、3次元図形情報を表現した形状モデルの段階によって、最も簡単なモデル「ワイヤーフレームモデル」、次に稜線に加えて面の情報を表現した「サーフェイスモデル」、立体形状を中身の詰まった実体として表現した「ソリッドモデル」があり、Pro/D はソリッドモデルにあたる。イギリスでは、3次元 CAD を使った授業は、想像力を増し、問題解決、クリティカル・シンキング（批判的思考力）、または人と協力するという上で重要な役割を果たすだけでなく、技術力を高めるために重視されている。Pro/D は、Chester^[30]の 2003 年の調査によると、アメリカ、カナダ、オーストラリア、ニュージーランド、シンガポール、香港など 14 カ国に広がり、毎年 100 万人の初等中等教育の生徒が、Pro/D を使い、設計を学んでいる。アメリカでは、PTC 社と国際技術教育学会(ITEEA)が連携をとりながら、Pro/D

による設計教育を推進している。日本でも 2003 年から、国際技術教育学会を通じて「ものづくり CAD 協議会」が設立され、中学校へ展開しており、3 次元 CAD を使った設計教育を取り入れる学校が増えてきている。

この Pro/D を使った 3 次元 CAD 教育を、香港科技教育学会の初等中等教育の教員に指導している、香港理工大学の Cheng 教授は、「多くの教育者は、設計教育で、3 次元物体から 2 次元図面、2 次元図面から 3 次元物体へ変換する概念を最初から教えようとするが、人間は 3 次元空間で生きているのだから、まず、3 次元 CAD を使って 3 次元物体のイメージをつかみなさい」と勧めた（2005 年 11 月 24 日に香港理工大学で筆者がインタビュー）。Cheng 教授は、最初に 3 次元 CAD を使い、その後、従来の手描きによる製図法を指導している^[31]。

また、大阪府立大学で PTC 社の High End の Pro/ENGINEER を使って機械系製図を指導した太田^[32]は、産業界では、3 次元 CAD により、2 次元図面から 3 次元物体を表象する能力がなくても、開発された新製品の良否を評価でき、多くの分野の専門家が製品開発に携わることができるようになってきているということを受け、3 次元 CAD 教育では、従来の 2 次元製図法のように図面を忠実に描く指導法から脱却して、脳裏に浮かんだ部品や製品のイメージをできるだけ素早くモデリングできるような指導に切り換えた。3 次元 CAD 設計では、常に 2 次元と 3 次元図面を対比しながら設計過程を進行しなければならないため、2 次元 CAD を使った教育方法で見られるような線や円弧を描く作業のみにとられることなく、2 次元図面を読みとる能力も直接 3 次元 CAD を使った方がはるかに向上するということを指摘している。

1.1.6 新学習指導要領での技術科

中学校では 2012 年度から新しい学習指導要領（以下：新学習指導要領）が実施される。新学習指導要領の技術科の目標は、「ものづくりなどの実践的・体験的な学習活動を通して、材料と加工，エネルギー変換，生物育成及び情報に関する基礎的・基本的な知識及び技術を習得するとともに、技術と社会や環境とのかかわりについて理解を深め、技術を適切に評価し活用する能力と態度を育てる。」となっており、現学習指導要領の目標と変わっていない。内容として「A 材料と加工に関する技術」、「B エネルギー変換に関する技術」、「C 生物育成に関する技術」、「D 情報に関する技術」の 4 領域を学習することになっており、4 領域全てが「必修」になる。

4領域のうち「A材料と加工に関する技術」では、「(1)生活や産業の中で利用されている技術、(2)材料と加工法、(3)材料と加工に関する技術を利用した製作品の設計・製作」を、「Bエネルギー変換に関する技術」では、「(1)エネルギー変換機器の仕組みと保守点検、(2)エネルギー変換に関する技術を利用した製作品の設計・製作」を、「C生物育成に関する技術」では、「(1)生物の生育環境と育成技術、(2)生物育成に関する技術を利用した栽培又は飼育」を、「D情報に関する技術」では、「(1)情報通信ネットワークと情報モラル、(2)デジタル作品の設計・制作、(3)プログラムによる計測・制御」を指導することになっている。

1.2節 研究の課題

1.2.1 新たな設計・製図教育内容の提案

前節では、研究の背景として技術教育における設計教育の現状を把握し、製図の学習内容を調査し、調査した全ての国（地域）において、「等角図」、「投影図」、「CAD」が取扱われていることがわかった。また、日本の製図学習の内容は調査した他の国（地域）と比較して浅く、授業時数も少ないと考えられることから、必然的に、少ない授業時数でも効果が上がるような新たな教育内容を提案するという課題がみえてくる。そのためには、教育内容の提案の前提として、製図の内容として取扱われている、「等角図」、「投影図」の学習の目標の一つでもある「立体イメージを表象する」行為がどのように形成されるのかを明らかにするという課題がある。

1.2.2 CADの可能性

次に、調査した全ての国（地域）において、「CAD」が取扱われていることから、CADによる製図学習の可能性を探るという課題がでてくる。このためには、従来の手描きによる製図（以下：2次元製図）だけでなく、CADによる製図（現在の主流は3次元CADであることから、以下：3次元CAD）についての研究もしなければならない。

さらに、現行学習指導要領では、技術・家庭科の3年間の総授業数が、それ以前の210～245時間から175時間に削減された反面、「技術とものづくり」領域に、「情報とコンピュータ」領域の学習も加わったことで、「技術とものづくり」領域において、実際に設計してから製作する「実習時間」が少なくなっている。しかし、「情報とコンピュータ」の授業で、CADを使い、「ものづくり」を疑似体験することにより、「ものづくり」の学習を補完

する可能性も考えられることから、このことについても研究課題としたい。以上を整理すると次の3つが課題となる。

- ①「等角図」、「投影図」の学習によって、「立体イメージを表象する」行為がどのように形成されるのかを明らかにする。
- ②3次元CADを使った設計教育の可能性と、3次元CADが「ものづくり」の学習を補完する可能性を探る。
- ③新たな設計・製図教育内容を提案する。

1.3節 本研究の目的

前節の研究課題より、本研究の土台となる、中学校期における「立体イメージを表象する」行為の形成研究は、城の先行研究である「小学校期における立体の投影および構成行為の形成研究」^[33]を起点にしていく。城は、製図学習の基本となる投影図法という客観的で科学技術的な思考方法に着目し、製図学習の基本となるのは、3次元の立体を2次元平面に投影する行為、および、逆に2次元平面上に描かれた投影図から3次元立体を表象する行為（読図という）の2行為であるとし、形成的発達研究法により小学校低・中学年に、2行為を獲得させていく過程を分析することによって、図法幾何学の基礎となる立体の投影および構成行為の小学校期における教育可能性を検討し、その教授・学習の条件を抽出している。

そして、製図を理解するには立体を正投影する行為（投影行為）と同時に、投影図を読図して、その立体を表象・構成する行為（構成行為）の2行為が習得されなければならないとし、読図能力としての構成行為の遂行が小学校児童にどの程度可能なのかを構成操作「つみき構成課題」の分析を通じて検討し、構成行為の特質と形成に必要な条件を明らかにしている。この分析の構成行為には次の3つの行為様式を含んでいる。

- ①投影図を読図し、得られた立体のイメージをつみきという外的・物的な対象を手がかりとして構成するという行為様式。
- ②つみきという物的な支えなしで、立体イメージを表象し、かつそれを2次元平面上に遠近法的に描画する行為様式。
- ③表象した立体イメージを表象レベルで回転させ、回転後の立体イメージを同じく2次元平面上に遠近法的に描画する行為様式（視点変換行為）。

この分析の結果、「つみき構成課題」では、図面統合操作の発達の質的な移行が、4年と6年の間でみられるが、正反応者は、低、中学年ではほとんどおらず、6年でも極めて少なく反応様式も試行錯誤的なものであること。読図、視点変換の両課題では、正反応者は全学年を通じて1名もおらず、両課題に要求される表象レベルでの立体イメージ操作は、小学校児童において未発達であるとしている。この結果を踏まえ、中学校期における投影・構成行為の形成を検証した後、「小学校児童においては未発達」とされ、明らかにされていない「視点変換行為」が中学校期でどのように形成されるのかを明らかにしていく。その過程（次章の研究方法論で述べる）で、3次元CADを使った設計・製図教育の可能性と、3次元CADが「ものづくり」の学習を補完する可能性を探り、新たな設計・製図教育内容を提案する。以上を整理し、次の3つを本研究の目的とする。

- ①設計・製図教育にとって重要な「立体イメージを表象する」行為（投影・構成行為と視点変換行為）がどのように形成されるのかを明らかにする。
- ②3次元CADを使った設計・製図教育の可能性と、3次元CADが「ものづくり」の学習を補完する可能性を探る。
- ③新たな設計・製図教育内容を提案する。

第2章 本論文の研究方法論の提示

2.1 節 形成的発達研究法

本研究の起点となる、城の「小学校期における立体の投影および構成行為の形成研究」^[33]では、発達研究にとって、子どもの発達が自生的なものではなく、教育と強く結びついているので、強力な診断ツールを開発し発達過程とそのメカニズムを明らかにするだけでなく、直接教育実践に結びつく知見や方法を提供できなければならない。また、発達研究を通じて仮説したモデルやプログラムを実際に教育の場に適用することによって、そのモデルやプログラムの妥当性を検証することができるという考え方から、ガリペリンの「知的行為の形成理論」に基づく「形成的発達研究法」^[34]を採用している。

ガリペリンは、ヴィゴツキーの精神発達理論に基づき「知的行為の多段階形成理論」^[35]を発表している。ヴィゴツキーの用語の中で最もよく知られている「発達の最近接領域」の理論は、「教育は子どもの思考を促進させる」ものであり、「子どもに未だ獲得されておらず、未だ発達もしていないが子どもの発達にとって必要だと思われる行為、操作について、それが自発的に発達してくるのを待つのではなく、それらを教授・学習の形で意図的かつ計画的に働きかけ形成するという」ものである^[36]。さらに、ガリペリンの「知的行為の多段階形成理論」は、新しい行為は直ちに、「内面化」され、「一般化」され、「圧縮」され、「自動化」された知的行為として形成することはできないという考えで、知的行為を形成するためには、これら「内面化、一般化、圧縮、自動化」の4つのパラメーターにわたって、多段階的に「仕上げ」なければならないとし、知的行為の習得段階を「準備的段階」、「物質的・物質化された行為の段階」、「外言の段階」、「つぶやきの段階」、「知的行為の段階」の5段階としている。しかし、どんな場合でもすべての段階を設定する必要はなく、ある段階を省略しても行為を形成できることが示されているが、「物質的・物質化された行為の段階」を省略すると、形成の程度に問題がある^[37]とされている。

本研究でも、発達研究と教授・学習研究を同時に進める必要性から、ガリペリンの理論に基づく形成的発達研究法を採用する。この研究法は、「形成法」あるいは「形成教育」と呼ばれているが、子どもに未発達、未形成な心理機能为目标にした教育計画（教育プログラム）を構成し、その下で教育を組織し、その形成過程や行為を支える諸操作間の因果関係および形成と発達に必要な条件を分析することを主たる目的としている。また、プログラムの開発にあたっては、短期的な学習効果や発達効果をねらったプログラムではなく、構造的な発達変化を引き起こすような一般化された長期のプログラムを意図する必要がある。

る。そして、実際にプログラムを構成する場合には、次のような4段階の手続きを踏むことにする。

- ①現在の子どもの発達水準の確認（従来の横断法による調査，実験）
- ②学習対象の構造分析と，それを基礎にした教育計画の構成と教材化
- ③教授・学習（形成教育）の組織・実施と形成過程の分析
- ④教授・学習の学習効果と発達の効果の評価と分析

2.2 節 「外言の段階」での学習支援方法

先（1.3 節）の「つみき構成課題」の分析で，城は，表象レベルで立体を回転させる能力を形成する一方法として，読図能力の安定化を計るとともに，立体の回転を最初，外的な（例えばつみきを使った）対象的な行為で実現化し，その回転操作を知覚的に制御できる形に置き換え，その後再び，一連の操作を外的，物的な支えなしで，つまり表象レベルで行えるよう内面化していくことが効果的であるように思われると，教授・学習の条件を提案している^[33]。このことは，「物質的・物質化された行為の段階」で，何らかの「つみき」のような「物的な支え」が，子どもの学習を支援することを示唆している。

本研究では，3次元CAD「Pro/D」を使うが，3次元CADのような仮想現実技術を利用した空間学習研究では，人間において優位な感覚は視覚であり，また日常経験の出来事はユークリッド空間の中で生じるので，ほとんどの仮想現実システムは，錯視を利用した3次元視覚環境をコンピュータによって生成することを基礎にしているため，被験者は仮想環境を探索することによってかなりの空間情報を獲得するが，現実環境での学習とシミュレートされた環境での学習との間にどの程度の等価性があるかを調べる必要がある^[38]と指摘されている。このことから，仮想環境と現実環境での学習間の等価性も調査する必要があり，「3次元CAD（仮想環境）と2次元製図（現実環境）を一体とした実験授業」を計画する。そして，3次元CADが仮想環境であり，現実環境の「物的な支え」でないことから，ガリペリンの「行為の習得段階」の「物質的・物質化された行為の段階」でなく，「外言の段階（視覚化ではあるが）」で学習を支援するようなプログラムを構成する計画である。設計・製図教育プログラム構成原理（仮設）を表1に示す。

表 1 設計・製図教育プログラム構成原理（仮説）

| ガリベリンの知的行為の多段階形成理論 | | | | 製図・設計教育プログラム構成原理（仮説） | | |
|---------------------|-----|----|------|----------------------|--------|-------|
| 行為の習得段階 | 主体 | 手段 | 結果 | 主体 | 手段 | 結果 |
| (1) 準備的段階 | 小学生 | 積み | 積み構成 | 中学生 | 3次元CAD | 立体を描画 |
| (2) 物質的・物質化された行為の段階 | | | | | | |
| (3) 外言の段階 | | | | | | |
| (4) つぶやきの段階 | | | | | | |
| (5) 知的行為の段階 | | | | | | |

2.3 節 先行研究との研究方法論の妥当性確認

本研究の方法は、形成的発達研究法で、中学生を対象に2次元製図と3次元CADを一体とした実験授業を実施する予定であるが、計画するに当たり、先行研究との研究方法論の妥当性確認を行う。

まず、中学生における設計教育の先行研究として、設計段階の思考活動や構想に関する研究^{[39] [43]}や製図に関する研究^{[44] [46]}、CADやCGを用いた構想や設計に関する研究^{[47] [54]}がある。中等高等教育においては、2次元製図とCADを用いた製図を一体とした設計・製図教育に関する研究^{[55] [59]}がある。また、初等教育から高等教育にかけて、製図において必要な能力である、等角図から投影図を作成する行為（投影行為）と投影図を読む行為（構成行為）など空間情報を変換する空間表象能力に関する研究^{[33] [60] [62]}がある。しかし、これらの先行研究には、中学生において2次元製図と3次元CADを一体とした設計・製図教育を実施し、3次元CADを用いた設計・製図教育の効果を形成実験的に評価したものはない。

次に、「空間認識力」に関する研究を概観してみる。その中で、図学教育における研究^{[63] [64]}では、MCT（切断面実現視テスト）^{[65] [69]}やMRT（Mental Rotations Test）^[70]、他のテスト^{[71] [72]}を実施して空間認識力を測定した研究がある。また、技術教育ではPro/Dでの設計教育をPVRT（Purdue Visualization of Rotation Test）で測定した研究や、数学教育などでも空間認識力の形成に関する研究^{[73] [80]}がある。しかし、研究の多くは大学生を対

象にしたもので、その測定も MCT や MRT の問題例のように「選択問題」が中心であり、空間認識力を「描画」面も含めて分析した研究はみられない。

第3章 3次元CADによる設計・製図教育が投影・構成行為の形成に及ぼす効果（研究1）

3.1 節 研究課題と目的

本章の目的は、研究Ⅰで Pro/D を使った「CAD 作品コンテスト」^[81]の応募作品を分析して学習形態を明らかにした後、研究Ⅱで中学生を対象に 2 次元製図と 3 次元 CAD を一体とした実験授業を実施し、それらの学習効果を比較したうえで、3 次元 CAD を用いた設計・製図教育の効果を投影・構成行為の形成から検討することにある。この実験結果から 3 次元 CAD の有効性を評価するとともに、3 次元 CAD が生徒の学習活動をどのように支援できるかという可能性を検討する。そして、研究Ⅲで 3 次元 CAD が「ものづくり」の学習を補完する可能性を探ることを目的とする。

3.2 節 研究Ⅰ 3次元CADの学習形態

3.2.1 目的

研究Ⅰでは、実験授業の計画に当たって、Pro/D を使った「CAD 作品コンテスト」^[81]の応募作品（全国の中学校 49 校から 55 点）を分析することにより、どのような学習プロセスを経て制作されたかを把握し、学習形態を明らかにすることを目的とする。「CAD 作品コンテスト」は、「ものづくり CAD 協議会」が、日本における Pro/D を使った設計教育が緒についたばかりであることから、3 次元 CAD による教育の振興と学習内容を調査するために Pro/D を使った「CAD 作品コンテスト」を、2005 年 7 月 28 日に、愛知万博瀬戸会場の市民パビリオンで、実施したものである。

3.2.2 方法

「CAD 作品コンテスト」の審査の過程で、「応募作品」と「応募作品の説明（応募用紙の生徒の記述と指導教師の記述）」を分析することにより学習形態を明らかにする。審査は、CAD コンテストの主催者、Pro/D 教育プログラム担当者、技術教育関係者ら計 5 人（筆者を含む）で、評価観点「作品の工夫・創造 10 点」、「制作の技能 10 点」とし、提出された「応募作品」と「応募作品の説明」を審査した。応募作品の審査のうち「技能」については、「部品のフィーチャーなどの履歴」、「アッセンブリの履歴」など細部まで調べた。

3.2.3 結果と考察

応募作品 55 点を分析し、3 次元 CAD の学習には次の「4 つの学習形態」があることがわかった。

- ①「イメージから形状モデルを作成する」学習形態 (図 2)。
- ②「既存の 2 次元図面から形状モデルを作成する」学習形態 (図 3)。
- ③「製作した製作品から形状モデルを作成する」学習形態 (図 4)。
- ④「形状モデルを作成してから製作する」学習形態 (図 5)。

以下の①～④に、「4 つの学習形態」とその代表的な生徒作品を示す。

- ①「イメージから形状モデル作成する」学習形態は、頭に浮かぶイメージを直感的に 3 次元 CAD で形状モデルを作成していき、形状モデルを作成した図面を基に製作はしていない。特に形状モデルを作成することと製作との関連がない学習形態。応募された作品点数が 47 点で最も多かった。

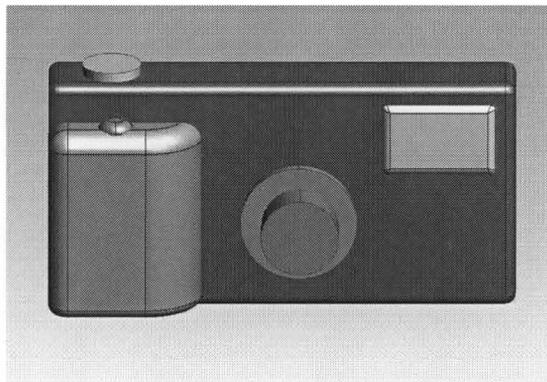


図 2 デジタルカメラ H.S01 (助野晋太郎 2005)

- ②「既存の2次元図面から形状モデルを作成する」学習形態は、既存の2次元図面から3次元CADで形状モデルを作成する学習形態。最優秀賞「機関車軽便コッペル号」は、博物館に所蔵されている図面から形状モデルが作成された。応募された作品点数は1点。

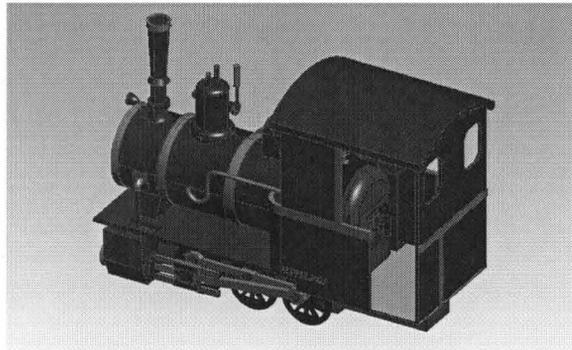


図3 機関車軽便コッペル号（桐木寛仁 2005）

- ③「製作した製作品から形状モデルを作成する」学習形態は、製作した作品から、3次元CADで形状モデルを作成する学習形態。応募された作品点数は2点で、小学校の時に製作した製作品を基に形状モデルを作成した作品と、中学1年生の時に授業で製作した製作品を基に形状モデルを作成した作品である。

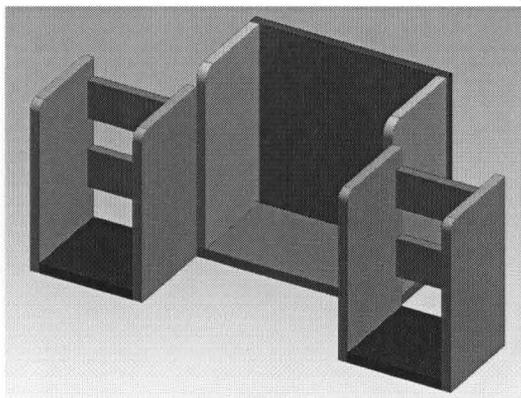


図4 本立て（森華恵 2005）

- ④「形状モデルを作成してから製作する」学習形態は、3次元CADで形状モデルを作成した後、形状モデルを基に製作し製作品が出来あがる学習形態。応募された作品点数は5点。この製作品は写真で確認した。

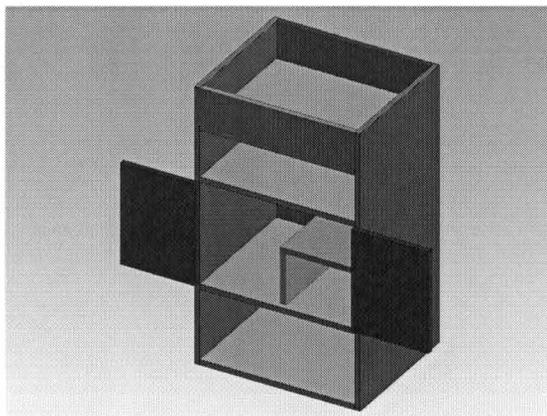


図5 Mini 便利たんす (西尾勇佑 2005)

これらの「4つの学習形態」のうち、技術科の設計と製作からなる「ものづくりの授業」において一般的な、「形状モデルを作成してから製作する学習形態」以外に、「イメージから形状モデルを作成する学習形態」や「既存の2次元図面から形状モデルを作成する学習形態」、「製作した製作品から形状モデルを作成する学習形態」があることがわかった。設計における最も重要な作業に形状生成があり、形状生成には3次元CADは有効な手段であることから、これらの学習形態は、今後の技術科における3次元CADを使った設計教育に応用できると考えられる。

3.3節 研究Ⅱ 投影・構成行為形成プログラムの効果

3.3.1 目的

研究Ⅱでは、中学生を対象に2次元製図と3次元CADを一体とした実験授業を実施し、それらの学習効果を比較したうえで、3次元CADを用いた設計・製図教育の効果を投影・構成行為の形成から検討することにある。この実験結果から3次元CADの有効性を評価するとともに、3次元CADが生徒の学習活動をどのように支援できるかという可能性を検討することを目的とする。

3.3.2 方法

3.3.2.1 設計教育の授業

3次元CADを用いた設計教育の授業は、神戸市内A中学校2年生(59回生)172名(13才~14才:男子生徒83名,女子生徒89名)の協力を得て、2006年9月より技術科の「情報とコンピュータ」領域で12授業時間を設定して、表2に示す実験授業の流れと所要時間で実施した。実験授業の計画では「4つの学習形態」のうち「①イメージから形状モデルを作成する学習形態」と「③製作した製作品から形状モデルを作成する学習形態」を参考にした。指導者は技術科専任教師で33年の経験を有している。調査協力者の2年生の生徒は、1年生時に設計に必要な基礎的内容である「製作品の機能、構造、材料、加工方法及びものの表示のしかた」を学習している。また、設計した製作品を、等角図を用いて構想図に描き表し、材料取り、部品加工、接合・組立及び仕上げ・塗装の一般的な製作プロセスに沿って製作している。

表2に示すように、7月(夏休み前)に、「1年生で製作した製作品の改良を考えよう!」という夏休みの課題を生徒に与え、改良品の構想図を等角図で描いたうえ、改良品の構想を文章で表したレポートを9月(夏休み後)に提出させた。そして、最初の4時間(授業時間:2~5)で2次元製図と3次元CADによる「製図の学習」を行った。製図の学習では、2次元製図と3次元CADの学習効果を比較するため、生徒を2グループに分けた。3次元CADの学習を2時間行った後、2次元製図の学習を2時間行ったグループ(以下:3次元→2次元)と、2次元製図の学習を2時間行った後、3次元CADの学習を2時間行ったグループ(以下:2次元→3次元)である。製図の学習後の5時間(授業時間:7~11)は、Pro/Dのテキスト「ものづくりCAD(キャド)」^[82]に沿って3次元CADの操作などを学習した後、夏休み課題の「改良品の構想図」の3次元形状モデルを作成した。この単元の最後(授業時間:11)には、PowerPointで発表を行った。2次元製図と3次元CADの学習が、生徒の設計能力の形成にどのような効果を及ぼすのかを明らかにするため、それぞれの単元で、前テスト、間テスト、後テストとアンケートを実施し、グループ間の比較と、学習前後での効果を測定した。学習の定着を調査するため11時間の授業の後、約4ヶ月の期間を空けて12時間目に遅延テストを実施した。

表 2 実験授業の流れと所要時間

| 月 | 授業時間 | 3次元→2次元 | 2次元→3次元 |
|-----|------|--|----------------------|
| 7月 | 夏休み前 | 夏休み課題説明 | |
| | 夏休み | 夏休み課題「1年生で製作した製作品の改良を考えよう！」 改良品の構想図とレポートを提出 | |
| 9月 | 1 | 説明(15分) 前テスト(30分) | |
| | 2 | 3次元CAD(コンピュータ) | 2次元製図法(立体模型とプリント) |
| | 3 | 間テスト1(10分) アンケート(5分) | 間テスト1(10分) アンケート(5分) |
| | 4 | 2次元製図法(立体模型とプリント) | 3次元CAD(コンピュータ) |
| | 5 | 間テスト2(10分) アンケート(5分) | 間テスト2(10分) アンケート(5分) |
| | 6 | 後テスト(30分) アンケート(10分) | |
| | 7 | Pro/DESKTOPテキスト | |
| | 8 | 改良品の設計→PowerPointの使い方→プレゼンテーションシート作成 | |
| | 9 | | |
| | 10 | | |
| 11月 | 11 | 設計した「改良品」の発表 | |
| 3月 | 12 | 遅延テスト(30分) アンケート(10分) | |

3.3.2.2 実験授業の内容

実験授業 12 時間のうち最初の 4 時間（授業時間：2～5）の「製図の授業」の内容は、投影・構成行為の形成を中心としたプログラム（以下：投影・構成行為形成プログラム）で、1 年生で学習した、立体を「キャビネット図」や「等角図」に表すことを復習するとともに、「投影図」を学習した。2 次元製図の授業では、指導者が教授用の立体模型を使い、立面、側面、平面と、画面の展開を説明した後、正面図、側面図、平面図からなる投影図の描き方を生徒に指導した。その後、指導者が作成したプリントを使って練習問題を行った。3 次元 CAD の授業では、指導者が事前にコンピュータに準備した 18 種類の立体ファイルを使った。そのうちの 1 種類を図 6 に示す（4.3.2 節で後述する図 23～26 の立体形状 12 種類はこの 18 種類の一部）。生徒は立体ファイルをデスクトップに表示し、立体をマウスやキーを使って、左右や上下に回転させながら立体の形やマウスとキーの操作を学習していった。また、ツールバーにある「見え方」と「見える向き」のそれぞれのアイコンをクリックして、不等角ビュー、等角ビュー、正面、上面、右側面など、立体の見え方と見える方向の設定を変えながら、指導者が作成したプリントを使って投影図を描く練習を行った。その後、3 次元 CAD の「図面テンプレート」の「三面図」を使いながら、デスクトップに三面図を表示（図 7）し、指導者が作成したプリントを使い、三面図を読むようにして等角図を描く練習を行った。

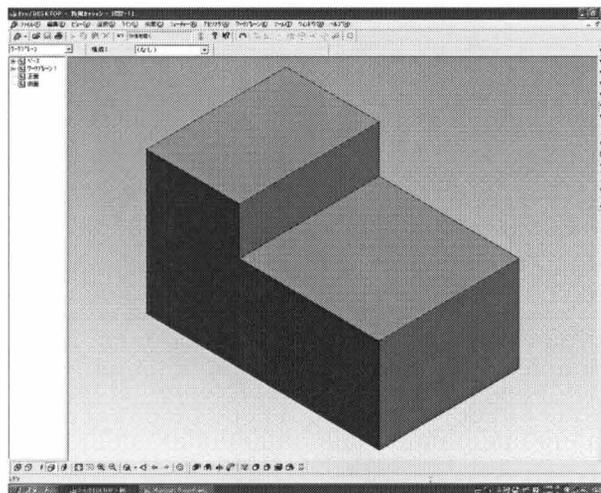


図 6 立体ファイルの例

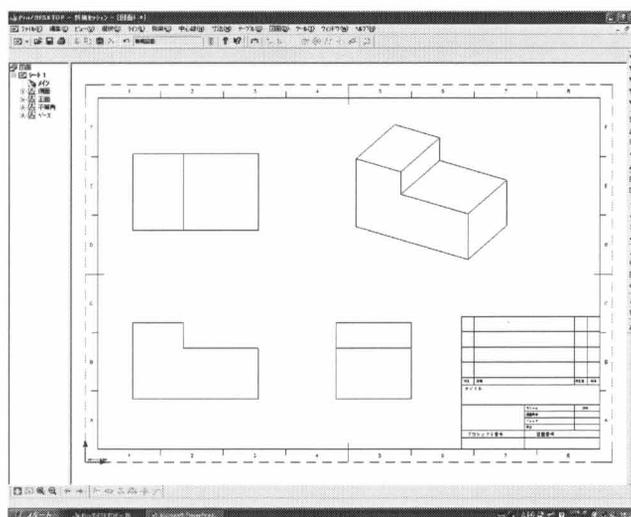


図 7 三面図の例

3.3.2.3 投影・構成・視点変換描画課題

製図を理解するためには、実物や 2 次元平面上に示された等角図から正投影を作成する「投影行為」と同時に、投影図を読図して、その立体を表象・構成する「構成行為」の 2 行為が習得されなければならない^[3]。そこで、製図能力を投影行為と構成行為の 2 行為の形成から検討することとした。さらに、3 次元 CAD はコンピュータのデスクトップ上で立体を回転させることが容易なことから、「視点変換行為」の形成にどのように影響するのかも検討した。視点変換行為は、「2 次元平面上に等角図で示された立体から、立体イメ

ージを表象し、表象した立体イメージを表象レベルで回転させ、回転後の立体イメージを2次元平面上に等角図で描画する行為」^[33]と定義される。

これらの行為の形成過程を評価する課題を図8(投影描画課題)、図9(構成描画課題)、図10(視点変換描画課題)に示す。製図授業の単元の前後で行う「前テスト」と「後テスト」、学習の定着をみる「遅延テスト」の課題は、先に図示した投影描画課題5問^{注1)}、構成描画課題5問^{注2)}、視点変換描画課題(時計方向に90°回転させる)5問^{注3)}で共通である。これらの課題は、技術科教師の指導経験に基づいて作成した課題を、事前に同校3年生にテストを行った結果より、難易度の高いものから中程度のものを抽出して作成した。さらに、授業進行に伴う生徒の変化を詳細に調査するため小単元(2次元製図と3次元CAD)後のテストとして「間テスト」を実施した。間テスト1と、間テスト2は共通で、前テストの課題から、投影描画課題2問(課題④と⑤)、構成描画課題2問(課題③と④)、視点変換描画課題1問(課題③)に絞ったものとした。前テストでは投影描画課題の説明5分、テスト10分。構成描画課題の説明5分、テスト10分。視点変換描画課題の説明5分、テスト10分で実施した。後テストと遅延テストは30分、間テストは10分間で実施した。それぞれの課題の結果や解答例は、テスト・再テストの影響をできる限り除去するために、生徒にはフィードバックしていない。

1. 下図Aは、1年生の時に学習する等角図です。図Bは、第3角法による正投影図といえます。
1つの立体を3つの図で表し、3つの面の形を正確に表します。
図A→図Bの例にならって、①～⑤の等角図を正投影図で表しなさい。

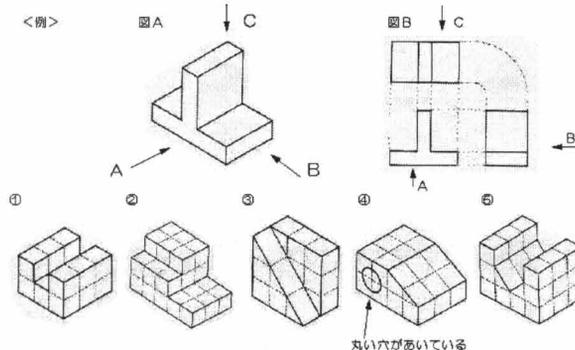


図8 投影描画課題

2. 問1の問題の逆を問える問題です。図A～図Bの例にならって、①～⑤の正投影図を等角図で表しなさい。

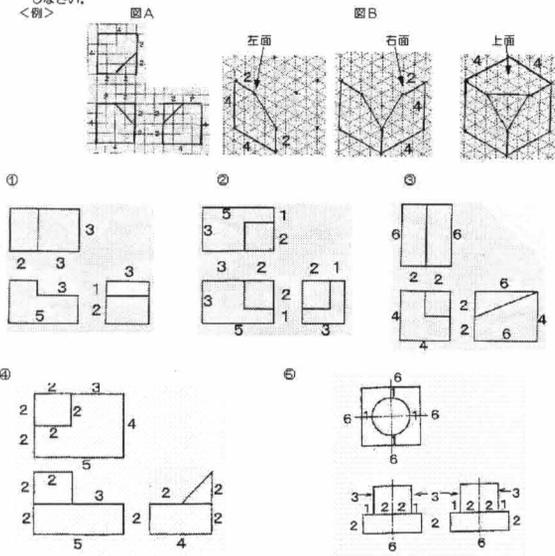


図9 構成描画課題

3. 下図は、図Aの等角図の視点をも90°移動（図Aの右面の頂点を中心にして）表しています。<例>を参考に、①～⑤の等角図をも90°移動した等角図と正投影図に描き表しなさい。

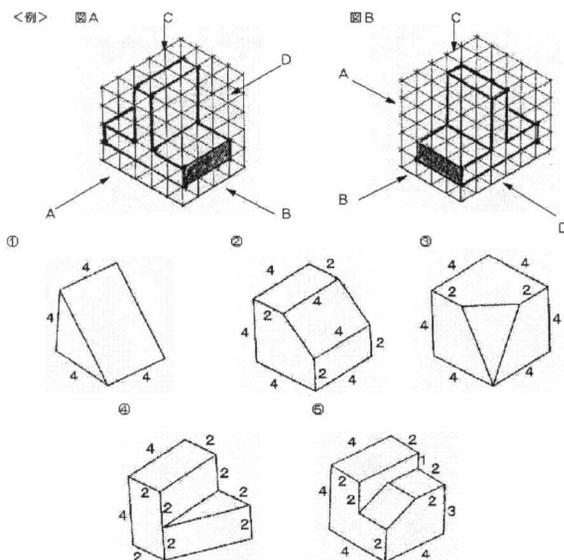


図10 視点変換描画課題

3.3.3 項では授業進行に伴う生徒の変化を詳細に分析するため、間テストの課題である投影描画課題④と⑤、構成描画課題③と④、視点変換描画課題③を分析対象にする。分析にあたって、投影描画課題、構成描画課題、視点変換描画課題の正答数の採点は、筆者らが定めた採点基準によって第1採点者が採点した後、第2採点者が確認し、判断が異なる場

合は第3採点者を含めた3者で協議することとしたが、3者で協議する解答はなかった。また、描画水準の分析も、5段階に設定した描画水準を第1分析者が分析した後、第2分析者が確認し、判断が異なる場合は第3分析者を含めた3者で協議することとしたが、3者で協議することはなかった。また、生徒が「投影描画課題、構成描画課題、視点変換描画課題の困難さ」をどのように捉えているのかを明らかにするため、前テストと後テストの後にアンケート調査を行った。このアンケートでは「投影描画課題」、「構成描画課題」、「視点変換描画課題」のうち「どれが一番難しかったか」を選択させた。また、前テスト後のアンケートでは「難しいと捉えている理由」を自由記述させた。生徒が難しいと捉えている理由を把握するため、アンケートから得られた自由記述をカテゴリー化して集計した。

3.3.3 結果と考察

3.3.3.1 投影描画課題の正答数の変化

被験者数は前テストから遅延テストまでの全てのテストを受けている生徒の142名で、「3次元→2次元」は91名、「2次元→3次元」は51名であった。

正答得点は、等角図を投影した面が、正面、平面、側面と3面あるので、正答の投影面数を把握するため、「3面正答で3」、「2面正答で2」、「1面正答で1」とした。形状、寸法、配置が正しいものを「1」とし、配置が違うものは「0.5」として計算した。

投影描画課題において、両グループの授業進行に伴うテストの平均正答数（課題④と課題⑤の2問の平均）の結果を図11に示す。「3次元→2次元」と「2次元→3次元」の指導法を被験者間要因、「前テスト、間テスト1、間テスト2、後テスト、遅延テスト」を被験者内要因とした2要因分散分析を行った。指導法の違いには有意差が認められなかったが、授業進行に伴うテスト間には1%水準の有意差が認められた ($F(4,560)=60.099, p<.01$)。また、ライアン法により多重比較を行ったところ、前テストと前テスト以降の4つのテスト間と、間テスト1と間テスト1以降の3つのテスト間には、すべて1%水準の有意差が認められ、それ以外に差は認められなかった。また、交互作用では有意差が認められなかった。

一般に、テスト・再テストを行った際には、再テストの点数は上昇すること（練習効果）が報告されている^[83]。投影描画課題における練習効果については必ずしも明らかではないが、3.3.3.9で述べる視点変換描画課題においては練習効果が大きくないことが示されてお

り、投影描画課題においても大きくないものと考えられる。

以上のことから、3次元CADと2次元製図による指導法の違い（前テストと間テスト1の間）による差異と指導法の順序（前テストと間テスト2の間）による差異はみられず、授業進行に伴って投影行為が形成され定着することが明らかになった。3次元CADと2次元製図の授業のいずれの指導法でも、その指導のもとで大きく伸びることがわかった。また、4ヶ月後の遅延テストでも平均正答数は下降していない点については、後テストの後に3次元CADによる形状モデリングの授業（授業時間：7～10）を行っているが、大学における3次元CADを用いた授業による空間認識力の育成効果を評価した先行研究^[83]では、3次元CADによる空間認識力の育成効果は小さいことが示されている。このことから、形状モデリングの授業の影響は少ないと考えられ、学習の保持効果が認められたといえる。

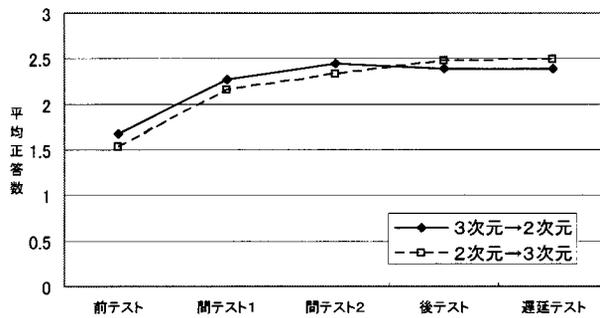


図 11 投影描画課題の平均正答数の変化

3.3.3.2 投影描画課題の描画水準

次に、「前テスト、間テスト1、間テスト2、後テスト、遅延テスト」の投影描画課題を詳細に分析するため、投影描画課題の描画水準を分析した。投影描画課題の描画水準の分析は、3.3.3.1の投影描画課題の正答数の変化では2グループ間に差異がみられなかったことから、全テストを受けた生徒（ $n=142$ ）を対象にした。投影描画課題5問のうち最も困難であった投影描画課題④（前テストにおける平均正答得点は、投影描画課題①は 2.38、課題②は 1.79、課題③は 1.85、課題④は 1.54、課題⑤は 1.71 である。）を分析した。投影描画課題の描画水準を、「レベル 0：描画できない（していない）、面の数が3面未満である」、「レベル 1：面の数（正面、側面、平面の抜き出し）ができていない、形状は問わない」、「レベル 2：面の数（正面、側面、平面の抜き出し）、形状ができていない」、「レベル 3：面の数（正面、側面、平面の抜き出し）、形状ができており、寸法、配置（方向）のうち、いずれかができていない」、「レベル 4：正しい三面図を作成することができる」の5段階に

設定して分析し、その結果を図 12 に示す。授業進行に伴って、特に「3次元 CAD と 2次元製図の授業」と「2次元製図と 3次元 CAD の授業」の時期（前テストと間テスト 2の間）で、面の抜き出しができなかった生徒は、形状は完全でなくても、正面、側面、平面の抜き出しができるようになること、さらに、形状が完全でなかった生徒は、正しい三面図を作成できるようになり、投影行為が形成されることがわかった。また、4ヶ月後の遅延テストでもレベル 3 とレベル 4 の描画水準は維持されていることが確認された。また、3次元 CAD と 2次元製図の授業実施前後（前テストと間テスト 1の間）では、描画水準が高次のレベルに移行していることから、「正答数の変化」という量的な分析では明らかにできなかった 3次元 CAD と 2次元製図の指導法による違いを、描画水準という質的な分析でさらに次目（3.3.3.3）で詳細に分析する。

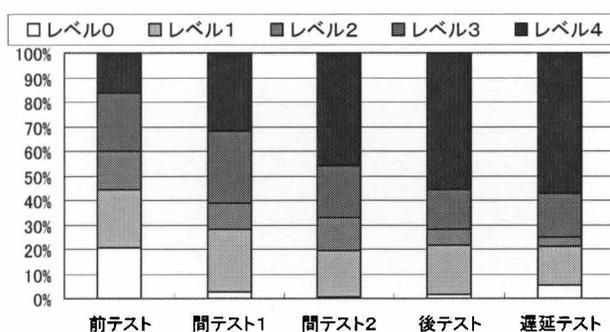


図 12 投影描画課題④の描画水準の変化

3.3.3.3 投影描画課題の描画水準の詳細分析

「正答数の変化」という量的な分析では、3次元 CAD と 2次元製図の指導法による違いによる効果を明らかにできなかった。そこで、両グループを投影描画課題④の描画水準で詳細に分析したところ、3次元 CAD グループの χ^2 検定では、 $\chi^2(4)=22.949, p<.01$ となり、1%水準の有意差があった。残差分析の結果、前テストと間テスト 1 の間でレベル 0 が 15 人から 0 人に減少しており 1%水準、レベル 3 が 19 人から 31 人に増加しており 5%水準、レベル 4 が 14 人から 26 人に増加しており 5%水準で有意差が見いだされた。一方、2次元製図グループでは、 $\chi^2(4)=11.043, p<.05$ となり、5%水準の有意差があった。残差分析の結果、前テストと間テスト 1 の間でレベル 0 が 14 人から 4 人に減少しており 1%水準、レベル 4 が 9 人から 19 人に増加しており 5%水準で有意差が見いだされた。よって、3次元 CAD グループ、2次元製図グループの両方、すなわち、3次元 CAD であって

も 2 次元製図であっても、前テストと間テスト 1 の前後で描画水準に学習効果が現れることが明らかになった。このことは、投影描画課題は、等角図の見える面を抜き出して描画することから、両グループの学習効果に差が少ないと考えられる。その結果を図 13 に示す。

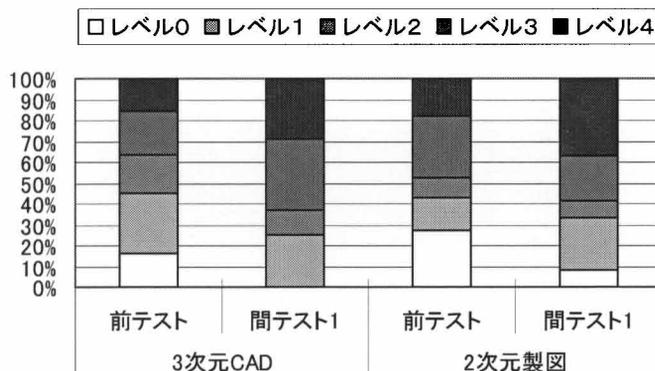


図 13 投影描画課題④の描画水準の詳細分析

3.3.3.4 投影描画課題の困難さの理由

前テスト後のアンケート調査 (n=142) で、「投影描画課題」を困難だと選んだ生徒は 4%であった。これらのうち、自由記述した生徒 (n=5) の理由を分類したところ、「三角形の作図の仕方 (40%)」、「斜面の描き方(40%)」、「投影すること(20%)」となった。これらのうち、「三角形の作図の仕方」と「斜面の描き方」から描画方略上の困難があること、「投影すること」から等角図で示された対象立体を正投影することが難しいと捉えていることが示唆された。後テスト後のアンケート調査 (n=132) では 0%になっており、「視点変換描画課題」を困難とする生徒が増えていく (3.3.3.12) ことがわかった。

3.3.3.5 構成描画課題の正答数の変化

正答得点は、投影図の 3 面 (正面, 平面, 側面) が正しく構成されたものを「正答で 1」とし、3 面の抽出面が正しいが、共辺関係もしくは寸法が違い、未だ不十分なものを「0.5」として計算した。

構成描画課題において、両グループの授業進行に伴うテストの平均正答数の結果 (課題③と課題④の 2 問の平均) を図 14 に示す。「3 次元→2 次元」と「2 次元→3 次元」の指導法を被験者間要因、「前テスト, 間テスト 1, 間テスト 2, 後テスト, 遅延テスト」を被験者内要因とした 2 要因分散分析を行った。指導法の違いには有意差が認められなかったが、

授業進行に伴うテスト間には 1%水準の有意差が認められた ($F(4,560)=56.775, p<.01$). また、ライアン法により多重比較を行ったところ、前テストと前テスト以降の 4 つのテスト間と、間テスト 1 と間テスト 1 以降の 3 つのテスト間と、間テスト 2 と後テスト間には、すべて 1%水準の有意差が認められ、それ以外に差は認められなかった。また、交互作用は有意差が認められなかった。正答数への練習効果の影響は投影描画課題の正答数の変化 (3.3.3.1) で述べたように大きくないものと考えられる。

以上のことから、2次元製図と 3次元 CAD による指導法の違い (前テストと間テスト 1 の間) による差異と指導法の順序 (前テストと間テスト 2 の間) による差異はみられず、授業進行に伴って構成行為が形成され定着することが明らかになった。特に「3次元 CAD と 2次元製図の授業」と「2次元製図と 3次元 CAD の授業」の時期に伸びることが分かった。また、4ヶ月後の遅延テストでも平均正答数は下降していない点については、投影課題の正答数の変化で述べたように、後テストの後の 3次元 CAD による形状モデリングの授業 (授業時間: 7~10) の影響は少ないことから、学習の保持効果が認められたといえる。

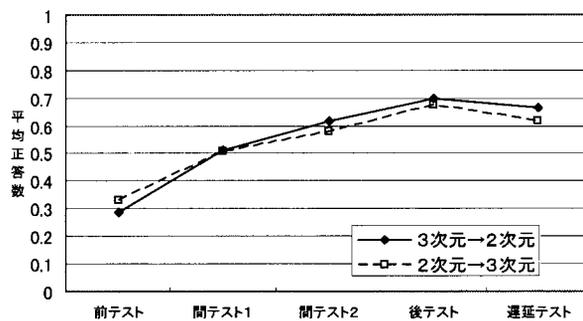


図 14 構成描画課題の平均正答数の変化

3.3.3.6 構成描画課題の描画水準

次に、「前テスト、間テスト 1、間テスト 2、後テスト、遅延テスト」の構成描画課題を詳細に分析するため、構成描画課題の描画水準を分析した。構成描画課題の描画水準の分析は、3.3.3.5 の構成描画課題の正答数の変化では 2 グループ間に差異がみられなかったことから、全テストを受けた生徒 ($n=142$) を対象にした。構成描画課題 5 問のうち構成描画課題④ (前テストにおける平均正答得点は、構成描画課題①は 0.63, 課題②は 0.50, 課題③は 0.44, 課題④は 0.16, 課題⑤は 0.09 である。) を分析した。構成描画課題の描画水準を、「レベル 0: 描画できない (面になっていない)」、「レベル 1: 描画された面が単数

のもの。あるいは、複数であっても、相互につながり（接合）がなくバラバラな（立体になっていない）もの、抽出面の形状は問わない」、「レベル 2：抽出面が複数で、かつ相互につながりがある（接合している、立体になっている）もの、ただし、面の形状と面の共辺関係（正面、側面、平面の配置）が正しくない」、「レベル 3：抽出面が三面で、それらが共辺関係にあるが、未だ不十分なもの（寸法など）」、「レベル 4：三面の抽出面、共辺関係、寸法が正しく構成された等角図」の 5 段階に設定して分析し、その結果を図 15 に示す。授業進行に伴って、特に「3 次元 CAD と 2 次元製図の授業」と「2 次元製図と 3 次元 CAD の授業」の時期（前テストと間テスト 2 の間）に、面の描画ができなかった生徒は、複数の面が相互につながりを持って描画できるようになることや、面の形状と面の共辺関係が正しく描画できなかった生徒は、正しい等角図を描画できるようになることがわかった。また、4 ヶ月後の遅延テストでもレベル 3 とレベル 4 の描画水準は維持されていることが確認された。また、3 次元 CAD と 2 次元製図の授業実施前後（前テストと間テスト 1 の間）では、描画水準が高次のレベルに移行していることから、「正答数の変化」という量的な分析では明らかにできなかった 3 次元 CAD と 2 次元製図の指導法による違いを、描画水準という質的な分析でさらに次目（3.3.3.7）で詳細に分析する。

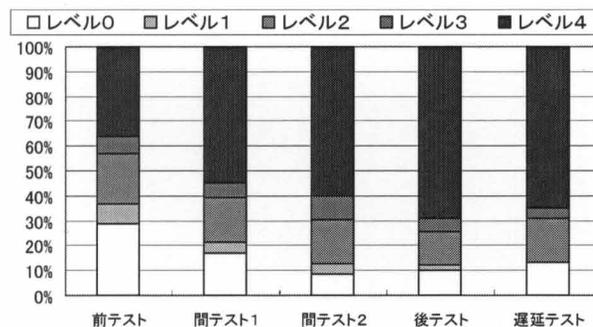


図 15 構成描画課題④の描画水準の変化

3.3.3.7 構成描画課題の描画水準の詳細分析

「正答数の変化」という量的な分析では、3 次元 CAD と 2 次元製図の指導法による違いによる効果を明らかにできなかった。そこで、両グループを構成描画課題④の描画水準で詳細に分析したところ、3 次元 CAD グループの χ^2 検定では、 $\chi^2(4)=25.477, p<.01$ となり、1%水準の有意差があった。残差分析の結果、前テストと間テスト 1 の間でレベル 3

が0人から3人に増加しており10%水準で有意傾向が見いだされ、前テストと間テスト1の間でレベル0が42人から18人に減少しており、レベル4が13人から36人に増加しており、どちらも1%水準で有意差が見いだされた。一方、2次元製図グループでは、 $\chi^2(4)=6.945$, nsとなり、有意差はどこにも見いだせなかった。よって、3次元CADグループは、前テストと間テスト1の前後で描画水準に学習効果が現れることが明らかになった。特に、描画水準レベル0、レベル3、レベル4でその効果が顕著に現れることも明らかになった。その結果を図16に示す。

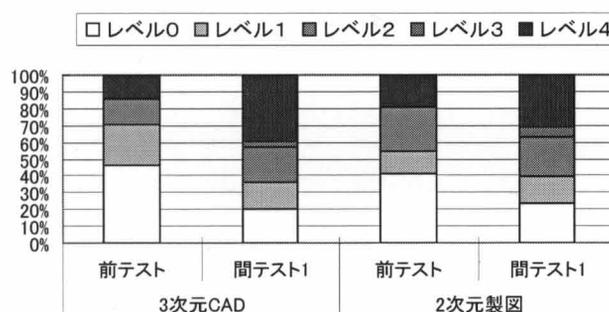


図16 構成描画課題④の描画水準の詳細分析

3.3.3.8 構成描画課題の困難さの理由

前テスト後のアンケート調査 (n=142) で、「構成描画課題」を困難だと選んだ生徒は60%であった。これらのうち、自由記述した生徒 (n=62) の理由を分類したところ、「構成すること(39%)」、「斜線(斜面)の作図(10%)」、「円柱(11%)」、「共線(8%)」、「想像できない(13%)」、「その他(19%)」となった。これらの分類のうち、「斜線(斜面)の作図」と「円柱」から描画方略的困難さが認められた。また、「構成すること」、「共線」、「想像できない」という理由から、投影図から抽出した複数の面を、相互につながりがある立体イメージに表象し、等角図で描画することが難しいと捉えていることがわかった。後テスト後のアンケート調査 (n=132) では59%であった。

3.3.3.9 視点変換描画課題の正答数の変化

正答得点は、正しく視点変換された等角図のものを「正答で1」とし、視点変換された3面の抽出面が正しいが共辺関係もしくは寸法が違い、未だ不十分なものを「0.5」として計算した。

視点変換描画課題において、両グループの授業進行に伴うテストの平均正答数の結果(課題③の1問)を図17に示す。「3次元→2次元」と「2次元→3次元」の指導法を被験者間要因、「前テスト、間テスト1、間テスト2、後テスト、遅延テスト」を被験者内要因とする2要因分散分析を行った。指導法の違いには有意差が認められなかった。また、授業進行に伴うテスト間にも有意差が認められなかった。また、交互作用でも有意差が認められなかった。

以上のことから、3次元CADと2次元製図による指導法の違い(前テストと間テスト1の間)による差異と指導法の順序(前テストと間テスト2の間)による差異はみられず、授業進行に伴って視点変換行為は形成されていないことが示された。また、視点変換描画課題における練習効果は小さいことが示された。

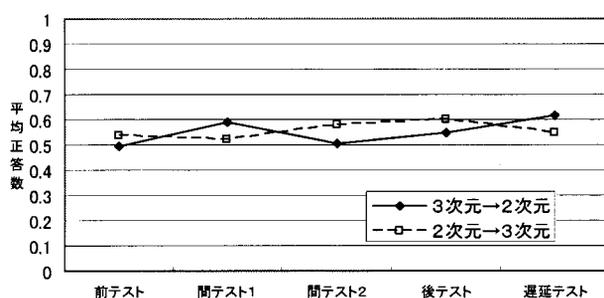


図17 視点変換描画課題の平均正答数の変化

3.3.3.10 視点変換描画課題の描画水準

次に、「前テスト、間テスト1、間テスト2、後テスト、遅延テスト」の視点変換描画課題を詳細に分析するため、視点変換描画課題の描画水準を分析した。視点変換課題の描画水準の分析は、3.3.3.9の視点変換描画課題の正答数の変化では2グループ間に差異がみられなかったことから、全テストを受けた生徒(n=142)を対象にした。視点変換描画課題5問のうち視点変換描画課題③(前テストにおける平均正答得点は、視点変換描画課題①は0.82、課題②は0.76、課題③は0.51、課題④は0.32、課題⑤は0.29である。)を分析した。視点変換描画課題の描画水準を、「レベル0:視点変換して描画できない(面になっていない)」、「レベル1:視点変換して描画された面が単数のもの。あるいは、複数であっても、相互につながり(接合)がなくバラバラな(立体になっていない)もの、抽出面の形状は問わない」、「レベル2:視点変換された抽出面が複数で、かつ相互につながりがある

る（接合している、立体になっている）もの、ただし、面の形状と面の共辺関係（正面、側面、平面の配置）が正しくない」、「レベル 3：視点変換された抽出面が三面で、それらが共辺関係にあるが、未だ不十分なもの（寸法など）」、「レベル 4：視点変換された三面の抽出面、共辺関係、寸法が正しく描画された等角図」の 5 段階に設定して分析し、その結果を図 18 に示す。前目（3.3.3.9）で述べたように、平均正答数という量的変化は認められなかったものの、授業進行に伴って、視点変換した等角図を正しく描画する割合が徐々に増え、視点変換行為が少しずつ高次のレベルへ移行していく様子が伺われる。また、4ヶ月後の遅延テストでもレベル 4 の描画水準は維持されていることも確認された。次目（3.3.3.11）で 3 次元 CAD と 2 次元製図の指導法による違いを、描画水準という質的な分析でさらに詳細に分析する。

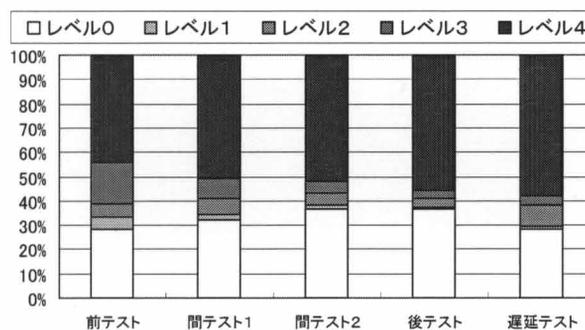


図 18 視点変換描画課題③の描画水準の変化

3.3.3.11 視点変換描画課題の描画水準の詳細分析

「正答数の変化」という量的な分析では、3 次元 CAD と 2 次元製図の指導法による違いによる効果を明らかにできなかった。そこで、両グループを視点変換描画課題③の描画水準で詳細に分析したところ、3 次元 CAD グループの χ^2 検定では、 $\chi^2(4)=8.664$, $.05 < p < .01$ となり、10%水準の有意傾向が検出された。残差分析の結果、前テストと間テスト 1 の間でレベル 3 が 18 人から 6 人に減少しており 1%水準で有意差が見いだされた。一方、2 次元製図グループでは、 $\chi^2(4)=1.333$, ns となり、有意差はどこにも見いだせなかった。よって、3 次元 CAD グループは、前テストと間テスト 1 の前後で描画水準に学習効果が現れることが明らかになった。特に、描画水準レベル 3 でその効果が顕著に現れることも明らかになった。その結果を図 19 に示す。

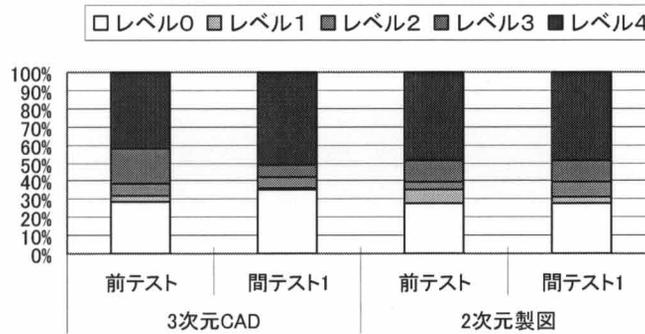


図 19 視点変換描画課題③の描画水準の詳細分析

3.3.3.12 視点変換描画課題の困難さの理由

前テスト後のアンケート調査 (n=142) で、「視点変換描画課題」を困難だと選んだ生徒は 36%であった。これらのうち、自由記述した生徒 (n=42) の理由を分類したところ、「回転(35%)」、「動かす(12%)」、「中心(軸)を移す(12%)」、「視点を変える(7%)」、「斜面(5%)」、「その他(29%)」となった。この分類のうち「斜面」から描画方略的な難しさを感じており、「回転」、「動かす」、「中心(軸)を移す」、「視点を変える」から、等角図で示された対象立体から、立体イメージを表象し、表象した立体イメージを表象レベルで回転させることが依然難しいと捉えていることが分かった。後テスト後のアンケート調査 (n=132) では「視点変換描画課題」を困難だと選んだ生徒は 41%であった。

3.3.3.13 製図学習の違いによる生徒の意識

これまでの分析で、投影・構成行為形成プログラムを中心にした 2 次元製図と 3 次元 CAD の学習を通じて、投影・構成行為が形成されることが明らかになったが、生徒はそれぞれの授業をどのように捉えているのだろうか。後テスト後のアンケート調査(n=140)の結果、「2 学期に 2 時間ずつ、教室とコンピュータ室で製図学習をしましたが、どちらの学習が分りやすかったと思いますか。」という質問に対して、「①教室でやった投影図の描き方の説明や、立体の模型を使って黒板でプリントの解説をしてもらった時間の方(2 次元製図)」、「②コンピュータを使って、自分で 3 次元 CAD の立体ファイル进行操作して解答した時間の方(3 次元 CAD)」、「③どちらもあまりかわらないと思う(かわらない)」の選択肢から選ばせた。その結果、「①2 次元製図」を選んだ生徒は 23%、「②3 次元 CAD」を選んだ生徒は 55%、「③かわらない」を選んだ生徒は 22%であった。このことから、「3 次元 CAD」は過半数以上の生徒に「分りやすい」という形で受け入れられていることが示

された。以上のことから、3次元CADは製図学習に有効であると同時に、生徒の学習活動を十分に支援することが明らかになった。

3.4節 研究Ⅲ 3次元CADが「ものづくり」の学習を補完する可能性

3.4.1 目的

研究Ⅲの目的は、研究Ⅱの実験授業（表2）で実施した「製作した製作品から形状モデルを作成する学習形態」のように、3次元CADで「ものづくり」を疑似体験することにより、現行学習指導要領の「技術とものづくり」の学習を補完する可能性を探ることにある。

3.4.2 方法

前節（3.3）の神戸市内A中学校2年生（59回生）の実験授業（表2）は、「4つの学習形態」のうち「製作した製作品から形状モデルを作成する学習形態」で、実際の「ものづくり」は行っていないが、授業時間7～11で「1年生の時に製作した製作品」と夏休み課題の「改良品の構想図」から3次元CADで形状モデルを作成している。形状モデルの作成では、Pro/Dの「新規スケッチ」の正面、上面、側面から「面を選択」し、その面に「スケッチ（2次元の形を描く）」し、「フィーチャー（押し出し）」によって形状モデルを作成し、部品を作っていた。これらの部品の作成では、角を丸くする「角Rエッジ」作業や、穴をあける「穴の挿入」作業も行っている。そして、作成した部品を、「整列」と「合致」で組み立てる作業を行っている。授業の最後に、組み立てた改良品のデータを基に、PowerPointでプレゼンテーションのシートを作成して発表を行っている（図20）。これらの授業を行った後、実際に製作品を製作する学習と同じような学習効果があるのかどうかを調査するため、遅延テスト（授業時間12）の際にアンケート調査（n=142）を行った。アンケートの質問を、「改良品の設計意図を明確にできたか」、「製作工程を考えたか」、「改良品の設計で達成感を得られたか」の3問用意し、それぞれ4段階尺度の選択肢を用意して選択させた。

3.4.3 結果と考察

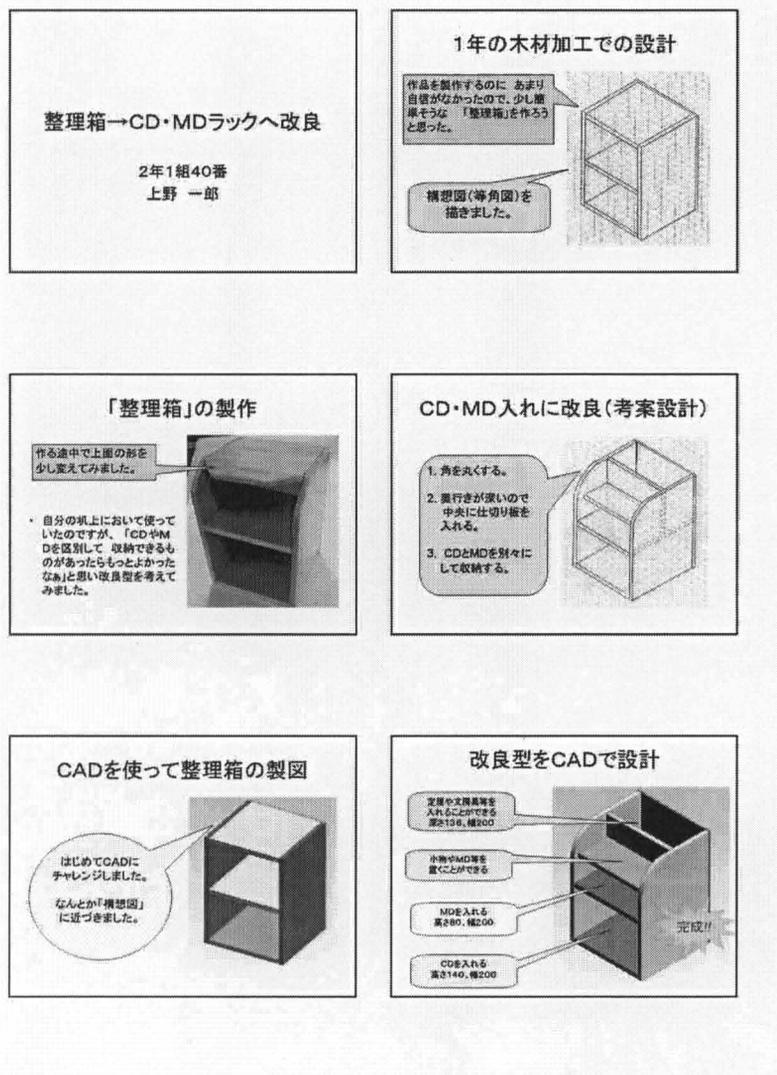
第1の質問「改良品の設計意図を明確にできたか」は、設計において、設計意図を明確にすることが重要であることから、「2学期にコンピュータ室で学習した『1年生時に製作

した板材製品の改良品の設計』で『このところをこんなふうに改良したい』とはっきりわかるように設計できましたか?』という質問を設定した。その結果(n=130)、「改良点を明確にできた」が 16%、「どちらかといえば、できた」が 35%、「どちらかといえば、できなかった」が 37%、「できなかった」が 12%であった。これらの結果より、「改良点を明確にできた」と「どちらかといえばできた」を合わせた 51%の生徒が、設計意図を明確にして設計をしたことが分かった。

次に、第 2 の質問「製作工程を考えたか」は、製作工程において、見通しを立てて製作していくことが重要であることから、「改良品を考えるときに、1 年生の製作時の工程（製品をつくる順序）などを考えながら、設計の課題に取り組むことができましたか?」という質問を設定した。その結果(n=130)、「考えながらできた」が 22%、「どちらかといえば、できた」が 41%、「どちらかといえば、できなかった」が 29%、「できなかった」が 8%であった。これらの結果より、「考えながらできた」と「どちらかといえばできた」を合わせた 63%の生徒が、製作工程を考えながら見通しを立てて設計をしたことが分かった。

最後に、第 3 の質問「改良品の設計で達成感を得られたか」は、製作品を再設計することによって、実際に製作品を製作する学習時と同じような達成感を得られることが重要であることから、「改良品の設計ができたとき、1 年生の製作品が完成したときと同じような『達成感』を得られ（感じ）ましたか?」という質問を設定した。その結果(n=142)、「達成感を得られた」が 27%、「どちらかといえば、得られた」が 31%、「どちらかといえば、得られなかった」が 21%、「得られなかった」が 21%であった。これらの結果より、「達成感を得られた」と「どちらかといえば、得られた」を合わせた 58%の生徒が、改良品の設計で達成感を得られたことが分かった。

これらのアンケートの結果、「製作した製作品から形状モデルを作成する学習形態」において、実際に製作品を製作する学習時と同じように、58%の生徒が改良品の設計で達成感を得られたことから、3 次元 CAD を用いて、設計意図を明確にしたうえで、製作工程を考えながら形状モデルを作成することは、「ものづくり」を疑似体験することと同じような効果があると考えられ、現行学習指導要領の「技術とものづくり」の学習を補完する可能性があると考えられる。



1

図 20 プレゼンテーションシートの例

3.5 節 結論

本章では、研究Ⅰで Pro/D を使った「CAD 作品コンテスト」の応募作品を分析して学習形態を明らかにした後、研究Ⅱで中学生を対象に 2 次元製図と 3 次元 CAD を一体とした実験授業を実施し、それらの学習効果を比較したうえで、3 次元 CAD を用いた設計教育の効果を投影・構成行為の形成から検討し、3 次元 CAD の有効性を評価するとともに、3 次元 CAD が生徒の学習活動をどのように支援できるかという可能性を検討した。そして、研究Ⅲで 3 次元 CAD が「ものづくり」の学習を補完する可能性を探った。

その結果、研究Ⅰでは、「CAD 作品コンテスト」の応募作品を分析し、3 次元 CAD の学習には、「①イメージから形状モデルを作成する学習形態」、「②既存の 2 次元図面から形

形状モデルを作成する学習形態」, 「③製作した製作品から形状モデルを作成する学習形態」, 「④形状モデルを作成してから製作する学習形態」の「4つの学習形態」があることが分かった。

研究Ⅱでは、投影・構成・視点変換課題の平均正答数の変化から、投影・構成行為形成プログラムを中心とした3次元CADと2次元製図の授業(4時間)の進行に伴って投影行為、構成行為いずれとも形成されることが分かったが、視点変換行為が形成されることは確認できなかった。また、3次元CADと2次元製図による「指導法の違い」と「指導法の順序の違い」による差異はみられなかった。しかし、平均正答数の変化という量的な分析では、3次元CADと2次元製図の指導法による違いによる効果を明らかにできなかったが、描画水準を詳細に分析(前テストと間テスト1の前後で χ^2 検定)したところ、投影行為では両グループともに学習効果が現れること、構成行為と視点変換行為では3次元CADに学習効果が現れることが明らかになった。2次元製図には学習効果が現れなかった。次に、投影描画課題、構成描画課題、視点変換描画課題の描画水準の分析からみると、授業進行に伴って、特に「3次元CADと2次元製図の授業」と「2次元製図と3次元CADの授業」の時期(前テストと間テスト2の間)で、投影行為については、面の抜き出しができなかった生徒は、形状は完全でなくても、正面、側面、平面の抜き出しができるようになることと、形状が完全でなかった生徒は、正しい三面図を作成できるようになり、投影行為が形成されることが示された。また、構成行為については、面の描画ができなかった生徒は、複数の面が相互につながりを持って描画できるようになること、面の形状と面の共辺関係が正しく描画できなかった生徒は、正しい等角図を描画できるようになり、構成行為が形成されることが認められた。また、視点変換行為については、少しずつ高次のレベルへ移行していくことが分かった。

アンケート調査では、投影描画課題、構成描画課題、視点変換描画課題のうち、生徒は構成描画課題と視点変換描画課題を難しいと捉えており、構成描画課題では、「構成すること」、「共線」、「想像できない」など投影図から抽出した複数の面を、相互につながりがある立体イメージに表象し、等角図で描画すること。視点変換描画課題では、「回転」、「動かす」、「中心(軸)を移す」、「視点を変える」など等角図で示された対象立体から、立体イメージを表象し、表象した立体イメージを表象レベルで回転させることを難しいと捉えていることが明らかになった。そして、投影行為の形成に伴い、投影描画課題を難しいと捉えていた生徒は減少し、構成描画課題や視点変換描画課題を難しいと捉えるようになるこ

とが分かった。また、3次元 CAD と 2次元製図の製図学習の違いによる生徒の意識を比較したところ、過半数以上の生徒に「3次元 CAD は分かりやすい」という形で受け入れられていることが示された。

研究Ⅲでは、アンケート調査の結果、半数以上の生徒が、設計意図を明確にして設計をしたこと、製作工程を考えながら見通しを立てて設計をしたこと、改良品の設計で達成感を得られたことから、「製作した製作品から形状モデルを作成する学習形態」において、「ものづくり」を疑似体験することと同じような効果があると考えられ、現行学習指導要領の「技術とものづくり」の学習を補完する可能性があると考えられる。

以上のことから、投影・構成行為形成プログラムを中心とした2次元製図と3次元 CAD による設計・製図教育は、投影・構成行為の形成に十分有効であり、特に3次元 CAD は生徒の学習活動を「分かりやすさ」の点で支援していることが示唆され、「技術とものづくり」の学習を補完する可能性があると考えられる。次章では、この章で十分な形成効果が認められなかった「視点変換行為」に焦点をあて、その形成プログラムを開発していく。

注1) 投影描画課題の設問は、「問1 下図 A は、1年生の時に学習する等角図です。図 B は、第三角法による正投影図といます。1つの立体を3つの図で表し、3つの面の形を正確に表します。図 A→図 B の例にならって、①～⑤の等角図を正投影図で表しなさい。」で、等角図から投影図を作成する課題である。

注2) 構成描画課題の設問は、「問2 問1の問題の逆を答える問題です。図 A→図 B の例にならって、①～⑤の正投影図を等角図で表しなさい。」で、投影図を読図して、その立体を表象・構成して等角図を作成する課題である。

注3) 視点変換描画課題の設問は、「問3 下図は、図 A の等角図の視点を 90° 右回転して移動（図 A の右端の頂点を中心にして）したことを表しています。〈例〉を参考にして、①～⑤の等角図を 90° 右回転移動した等角図に描き表しなさい。」で、等角図で示された立体から、立体イメージを表象し、表象した立体イメージを表象レベルで回転させ、回転後の立体イメージを等角図で描画する課題である。

第4章 3次元CADによる設計・製図教育が視点変換行為の形成に及ぼす効果（研究2）

4.1節 研究課題と目的

本章の目的は、中学生を対象に2次元製図と3次元CADを一体とした実験授業を技術科で実施し、視点変換行為の形成を内蔵した3次元CADを用いた設計・製図教育の効果を検討することにある。

前章では、投影・構成行為形成プログラムを中心とした2次元製図と3次元CADによる設計・製図教育は、投影・構成行為を十分形成する上で非常に有効であり、特に3次元CADは生徒の学習活動を「分かりやすさ」の点で支援していることが示唆された。しかし、「視点変換行為」については、投影・構成行為形成プログラム（4時間）では、十分な形成効果が認められなかったことから、本研究では「視点変換行為」に焦点をあて、新たに、「視点変換行為形成プログラム」を開発し、視点変換行為の形成に中心をおいて、3次元CADの活用の可能性を検討する。

本研究は、研究Ⅰ、研究Ⅱ、研究Ⅲの3つからなる。研究Ⅰでは、「視点変換行為の困難さの理由」を明らかにし、研究Ⅱでは、「視点変換行為形成プログラムとその効果」を検討し、研究Ⅲでは、プロトコル分析によって「視点変換行為の困難さの詳細」を分析していく。これらの研究Ⅰ～Ⅲと技術科の実験授業の流れとの関係を表3に示す。実験授業は、2008年4月より2009年3月まで、技術科の年間35授業時間のうち、授業時間1～16の材料加工の学習で実施した。

表3 実験授業の流れと研究Ⅰ～Ⅲの関係

| 年月 | 時間(50分) | CAD→製作グループ | 製作→CADグループ | 研究 |
|---------|---------|-------------------------|------------------------|-----|
| 2008年3月 | | 前テスト(30分) アンケート(10分) | | 研究Ⅰ |
| 4月 | 1 | 選択テスト(5分) 材料加工(金属加工)の学習 | | |
| | 2 | CAD1 デザインの構想 | 金属材料について | 研究Ⅱ |
| | 3 | CAD2 フリーハンドで描く | 金属の加工方法について | |
| 5月 | 4 | CAD3 CADで設計 | 前テスト(10分) CAD1 デザインの構想 | |
| | 5 | CAD4 CADで鑄型を設計 | CAD2 フリーハンドで描く | |
| | 6 | 前テスト(10分) 金属材料について | CAD3 CADで設計 | |
| 8月 | 7 | 金属の加工方法について | CAD4 CADで鑄型を設計 | |
| | 8 | 鑄型の製作 | 後テスト(10分) 鑄型の製作 | |
| | 9 | | | |
| | 10 | 後テスト(10分) 空気抜き作り | 空気抜き作り | 研究Ⅲ |
| 7月 | 11 | | | |
| | 12 | 錆込み | | |
| | 13 | | | |
| 9月 | 14 | 鑄造製品の研磨 | | |
| | 15 | | | |
| | 16 | 製作品(鑄造製品)の評価・反省 | | |
| 10月～3月 | 17～35 | エネルギー変換の学習(動くおもちゃの製作) | | |
| 2009年3月 | | 選択テスト(30分) | | |

4.2 節 研究 I 視点変換の困難さの同定調査

4.2.1 目的

研究 I は、「視点変換行為形成プログラム」の開発にあたって、前章 (3.3.3.12) で明らかになった「視点変換描画課題の困難さの理由」の「描画方略的な難しさだけでなく、回転、動かす、中心 (軸) を移す、視点を変えるなど、等角図で示された表象立体から、立体イメージを表象し、表象した立体イメージを表象レベルで回転させることが難しいと捉えていたこと」を踏まえた上で次のように問題設定した。すなわち、生徒は「描画方略的な難しさ」＝「描くこと」を難しいと捉えているのか、それとも「等角図で示された表象立体から、立体イメージを表象し、表象した立体イメージを表象レベルで回転させることが難しい」＝「イメージを回転させること」を難しいと捉えているのかを同定することを目的とする。

4.2.2 方法

「視点変換行為形成プログラム」の開発にあたって、「描くこと」を難しいと捉えているのか、「イメージを回転させること」を難しいと捉えているのかを同定するため、神戸市内 A 中学校 2 年生 (61 回生) 189 名 (13 才～14 才：男子生徒 113 名、女子生徒 76 名) の協力を得て、図 10 で示した「視点変換描画課題」を課した (2008 年 3 月の前テスト)。さらに、前テストで実施した視点変換描画課題の 5 問の等角図を「水平面を時計方向に 90° 、 180° 、 270° に回転させた等角図」の中から「 90° に回転させた等角図」を選択させる図 21 のような「視点変換選択課題」を作成し、2008 年 4 月にテストを実施した。実験結果の分析は、全ての視点変換選択課題、視点変換描画課題を受けた生徒 138 人とし、これらの課題の結果や解答例は、テスト・再テストの影響をできる限り除去するために、生徒にはフィードバックしていない。

製図テスト問題

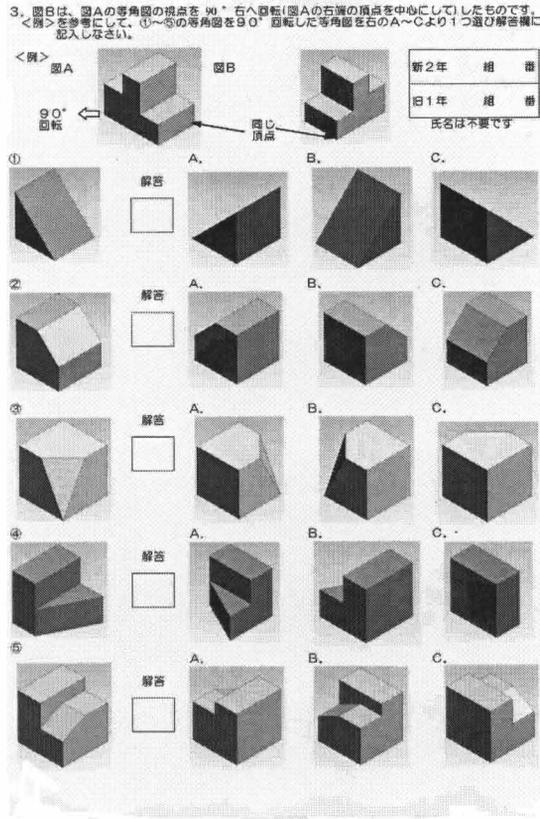


図 21 視点変換選択課題

4.2.3 結果と考察

視点変換選択課題は正答を「1」とした。生徒 (n=138) の視点変換選択課題 5 問の平均正答数が 0.82 であり、全問正解者は 66.7% (92 人) であったことから、視点変換選択課題のように回転させた立体を提示された場合であれば、生徒は概ね正しい立体を選択することができることがわかった。また、前テストの視点変換描画課題 5 問の平均正答数が 0.51 (正答を「1」) であったことから、選択課題に比べて描画課題を苦手としていることが分かった。また、前テストでのアンケート内容も参考にすることとした。アンケートの設問は、視点変換描画課題に関するもので、「1 年生に入学後、2 次元製図と 3 次元 CAD の学習をしましたが、視点変換描画課題のような立体を視点変換する力が身につきましたか」というものである。その結果、「身についた」を選択した生徒は 138 人のうち 86 人で、「身につけていない」を選択した生徒は 38 人、両方とも選択していた生徒は 3 人、未回答は 11 人であった。「身についた理由」として、「3 次元 CAD で立体を回転させたから」、「描く練習をしたから」、「先生の説明が分かりやすかったから」、「友達に教えてもらったから」などの理由が挙げられた。また、「身につけていない理由」は、前章 (3.3.3.12) の「視点

変換課題の困難さの理由」と同じ意味の記述であった。これらの結果から、視点変換行為形成プログラムは「イメージを回転」させた等角図を「描くこと」に重点を置くことにした。

4.3 節 研究Ⅱ 視点変換行為形成プログラムとその効果

4.3.1 目的

研究Ⅱは、視点変換行為形成プログラムで視点変換行為がどのように形成されるかを明らかにすることを目的とした。研究Ⅰの結果から視点変換行為形成プログラムは「イメージを回転」させた等角図を「描くこと」に重点を置くこととした。そこで「3次元 CAD で立体を回転させ、その過程を可視化し、その結果を描く」という学習方略に着目し、自分の描画と実際に3次元 CAD で回転させた立体を比較させながら、その形状の正確さを確認させる方法を考案した。

4.3.2 方法

研究Ⅱは、表3に示したCAD1～4の実験授業（4時間）で「視点変換行為形成プログラム」を、それぞれの授業の前半に実施した。調査協力者の2年生の生徒は、1年生時に、技術科の教科書⁹に基づいて「キャビネット図」、「等角図」の描き方と、「投影図」の製図について学習しており、木工製品の構想を等角図に表し、製作を行っている。また、指導者は前章と同じ技術科専任教師で35年の経験を有している。

視点変換行為形成プログラムの効果を分析するため、生徒を2グループに分け、前テスト（2008年3月）と間テスト（2008年5月）を実施して「プログラムを受けた生徒（n=55以下：CAD→製作）」と「プログラムを受けなかった生徒（n=83以下：製作→CAD）」のグループ間の比較と、学習前後での効果を測定した。教育的配慮から2グループ間の授業時間をずらしてはいるが同じ内容を学習している。後テスト（2008年6月）を実施した後、学習の定着を調査するため、約8ヶ月の期間を空けて遅延テスト（2009年3月）を実施した。

視点変換行為形成プログラムは、図22に示すように、指導者が事前に準備した課題「コンピュータのディスプレイに表示する立体ファイル」と、立体ファイルと同じ立体が印刷されたA4サイズの「視点変換描画練習課題（図23～26）」を用いながら行われた。生徒は一人一台のコンピュータを使用し、練習課題と同じ立体ファイルをコンピュータのディ

スプレイに表示した後、立体を水平面で時計方向に 90° 回転させたあとの形状を予測させ、その立体を等角図で描画させた。その後、ディスプレイの立体を実際に 90° 回転させて表示し、先に描画した立体とディスプレイ上の立体を比較して「正しく描画できたか」どうかを確認させた。正しく描画できた場合は、 90° と同じ手順で、 180° 、 270° に回転させて等角図を描画する練習を行った。正しく描画できなかった場合は、回転後のディスプレイの立体を正しく描画させた後、 180° 、 270° に回転させて等角図を描画する練習を行った。CAD1 では図 23 の視点変換描画練習課題 No.1 をプログラムの手順で練習していった。CAD2 では図 24 の視点変換描画練習課題 No.2 を、CAD3 では図 25 の視点変換描画練習課題 No.3 を、CAD4 では図 26 の視点変換描画練習課題 No.4 を練習した。

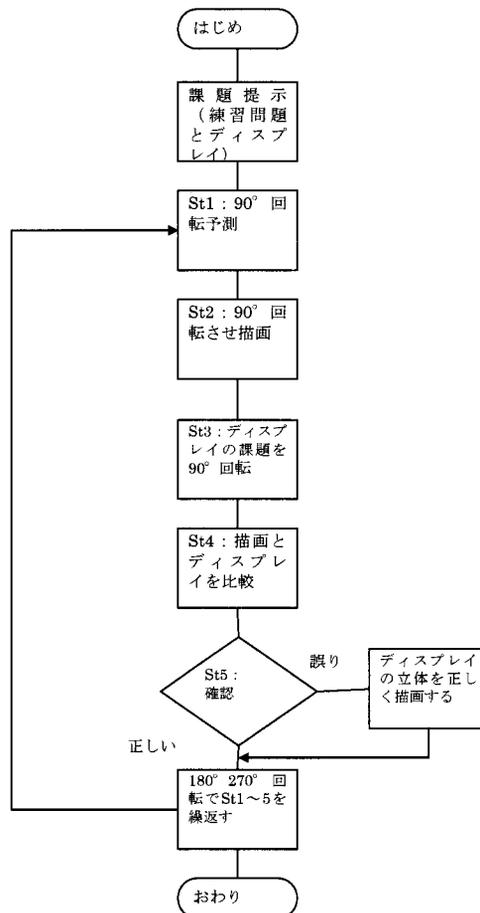
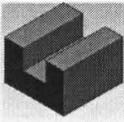
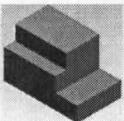


図 22 視点変換行為形成プログラムの概要

製図練習 (視点変換) No. 1

☆次の立体を A. 90° B. 180° C. 270° 右回転させたときの図を描こう。

①  A. 90° B. 180° C. 270°

②  A. 90° B. 180° C. 270°

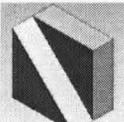
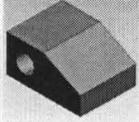
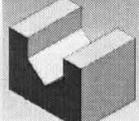
③  A. 90° B. 180° C. 270°

図 23 視点変換描画練習課題 No. 1

製図練習 (視点変換) No. 2

☆次の立体を A. 90° B. 180° C. 270° 右回転させたときの図を描こう。

①  A. 90° B. 180° C. 270°

②  A. 90° B. 180° C. 270°

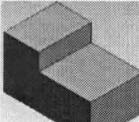
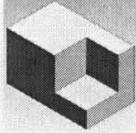
③  A. 90° B. 180° C. 270°

図 24 視点変換描画練習課題 No. 2

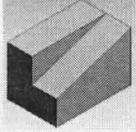
製図練習 (視点変換) No. 3

☆次の立体を A. 90° B. 180° C. 270° 右回転させたときの図を描こう。

① A. 90° B. 180° C. 270°



② A. 90° B. 180° C. 270°



③ A. 90° B. 180° C. 270°

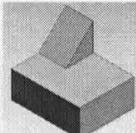
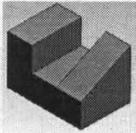


図 25 視点変換描画練習課題 No. 3

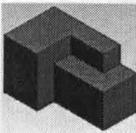
製図練習 (視点変換) No. 4

☆次の立体を A. 90° B. 180° C. 270° 右回転させたときの図を描こう。

① A. 90° B. 180° C. 270°



② A. 90° B. 180° C. 270°



③ A. 90° B. 180° C. 270°

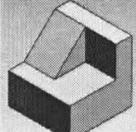


図 26 視点変換描画練習課題 No. 4

4.3.3 結果と考察

4.3.3.1 視点変換描画課題における正答数の変化

前テスト，間テスト，後テスト，遅延テストの視点変換描画課題 5 問（図 10）の平均正答数の変化を分析した。視点変換描画課題の正答数の分析では，前章と同じ基準で正しく視点変換された等角図のものを「正答で 1」とし，視点変換された 3 面の抽出面が正しいが共辺関係もしくは寸法が違い，未だ不十分なものを「0.5」として計算した。

分析にあたって，テストの正答数の採点は，筆者らが定めた採点基準によって第 1 採点者が採点した後，第 2 採点者が確認し，判断が異なる場合は第 3 採点者を含めた 3 者で協議することとしたが，3 者で協議する解答はなかった。

視点変換描画課題において，生徒 138 人のうち「製作→3 次元 CAD」と「3 次元 CAD→製作」の両グループの授業進行に伴うテストの平均正答数の結果（視点変換描画課題の 5 問平均）を図 27 に示す。「製作→3 次元 CAD」と「3 次元 CAD→製作」の指導法を被験者間要因，「前テスト，間テスト，後テスト，遅延テスト」を被験者内要因とする 2 要因分散分析を行った。指導法の違いには有意差が認められなかったが，授業進行に伴うテスト間には 0.1%水準の有意差が認められた ($F(3, 408) = 25.514, p < .001$)。また，ライアン法により多重比較を行ったところ，後テストと遅延テスト間で 5%水準，それ以外の全てのテスト間で 1%水準の有意差が認められた。また，交互作用は有意差が認められなかった。

一般に，テスト・再テストを行った際には，再テストの点数は上昇すること（練習効果）が報告されている^[83]。前章において，視点変換描画課題においては練習効果が大きくないことが示されており，本章においても大きくないものと考えた。

以上のことから，「製作→3 次元 CAD」と「3 次元 CAD→製作」による指導法の違い（前テストと間テストの間）による正答数の差異はみられず，授業進行に伴って視点変換行為が形成され定着することが明らかになった。また，8 ヶ月後の遅延テストでも平均正答数は下降せず学習の保持効果が認められた。

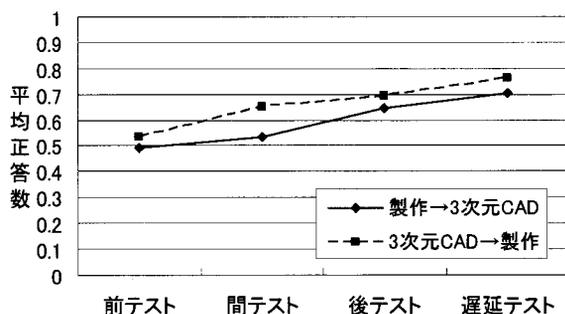


図 27 視点変換描画課題の平均正答数の変化

4.3.3.2 視点変換描画課題における描画水準の変化

次に、前テスト、間テスト、後テスト、遅延テストの視点変換描画課題 5 問 (図 10) を詳細に分析するため、視点変換描画課題の描画水準を分析した。視点変換描画課題の描画水準の分析は、4.3.3.1 の視点変換描画課題における正答数の変化では 2 グループ間に差異はみられなかったことから、全生徒 (n=138) を対象とした。

視点変換課題の描画水準を、前章と同じ基準で「レベル 0: 視点変換して描画できない (面になっていない)」、「レベル 1: 正しく指示された角度 (時計方向に 90°) に視点変換して描画された面が単数のもの。あるいは、複数であっても、相互につながり (接合) がなくバラバラな (立体になっていない) もの、抽出面の形状は問わない」、「レベル 2: 視点変換された抽出面が複雑で、かつ相互につながりがある (接合している、立体になっている) もの。ただし、面の形状と面の共辺関係 (正面、側面、平面の配置) が正しくない」、「レベル 3: 視点変換された抽出面が三面で、それらが共辺関係にあるが、未だ不十分なもの (寸法など)」、「レベル 4: 視点変換された三面の抽出面、共辺関係、寸法が正しく描画された等角図」の 5 段階に設定して分析した。描画水準の分析も、5 段階に設定した描画水準を第 1 分析者が分析した後、第 2 分析者が確認し、判断が異なる場合は第 3 分析者を含めた 3 者で協議することとしたが、3 者で協議することはなかった。その結果を図 28 に示す。

授業進行に伴って、間テスト、後テストと高次の描画レベルに移行し、遅延テストでも描画水準は維持されていることが確認された。特に、「視点変換行為形成プログラム」実施前の前テストと、実施後の間テストでは、描画水準が高次のレベルに移行していることから、視点変換行為形成プログラムの効果を、さらに次の 4.3.3.3 で詳細に分析する。

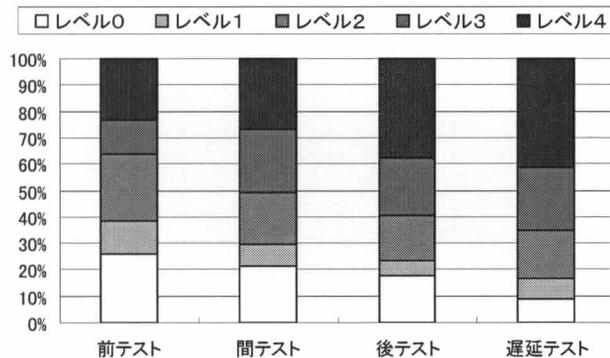


図 28 視点変換描画課題における描画水準の変化

4.3.3.3 プログラム実施後の描画水準の詳細分析

「正答数の変化」という量的な分析では、「製作→3次元CAD」と「3次元CAD→製作」による指導法の違い（前テストと間テストの間）による差異はみられず、視点変換行為形成プログラムの効果を明らかにできなかった。しかし、図 29 に示すように、両グループの前テストと間テスト前後を描画水準で詳細に分析したところ、プログラムを実施した「3次元CAD→製作（プログラム有）」の χ^2 検定では、 $\chi^2(4)=8.383, .05 < p < .10$ となり、10%水準の有意傾向が検出された。残差分析の結果、前テストと間テストの間でレベル2が18人から10人に減少して（高次の次元に移って）おり10%水準で有意傾向がみいだされ、前テストと間テストの間でレベル3が5人から15人に増加しており5%水準で有意差がみいだされた。一方、プログラムを実施していない「製作→3次元CAD（プログラム無）」では、 $\chi^2(4)=2.288, ns$ となり、有意差はどこにもみいだせなかった。よって、プログラムを実施した「3次元CAD→製作（プログラム有）」に、前テストと間テストの前後で描画水準に学習効果が現れることが明らかになった。特に、描画水準レベル2とレベル3でその効果が顕著に現れることも明らかになった。

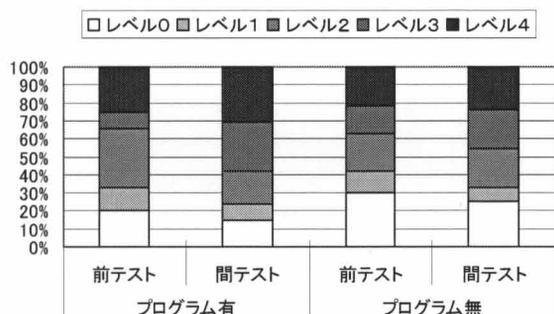


図 29 プログラム実施後の描画水準の詳細分析

4.4 節 研究Ⅲ 視点変換行為の回顧プロトコル分析

4.4.1 目的

視点変換描画課題における描画水準の分析の結果 (4.3.3.2), レベル 4 とレベル 3 の生徒の割合が前テストの 36.2%から遅延テストの 65.2%に増えている半面, 依然, 遅延テストでレベル 0~3 の生徒が 34.8%いる. このことから, 視点変換描画プロセスを回顧プロトコル法で分析することにより, 視点変換描画の困難さを詳細に検討することを目的とする.

4.4.2 方法

視点変換行為形成プログラム実施後 (後テスト実施後), 視点変換描画の困難さを詳細に調査するため, 「全ての調査を受けている生徒 (138 人) で, 視点変換選択課題を全問正解で, 後テストの視点変換描画課題を全問正解した生徒 37 人」を対象に, 視点変換描画プロセスについての調査を行った. 調査対象者を「視点変換選択課題を全問正解で, 後テストの視点変換描画課題を全問正解した生徒」としたのは, 回顧プロトコル分析で, 被験者の視点変換描画プロセスを詳細に解析するためである. ビデオで描画過程を撮影するとともに, その後の質問で被験者に視点変換して描画するプロセスを語ってもらった. 分析に用いる課題は視点変換描画課題①~⑤ (図 10) のうち課題⑤で行った. 後テストの視点変換描画課題の平均正答数は, 課題①が 0.78, ②が 0.83, ③が 0.60, ④が 0.54, ⑤が 0.58 である.

調査は中学校の談話室で実施し, 生徒が椅子に座って机の上に準備された視点変換描画課題を視点変換し描画する過程を撮影するため机の反対側にビデオを設置した. 生徒は一人ずつ順番に入室して課題を視点変換して描画した.

実験者は一人で、自己紹介の後、「視点変換描画課題⑤をどのように描くのか。描く順番をビデオに記録させてください。クラス全員のみなさんの記録をしたいのですが、時間が限られていますのでランダムに選びました。手元だけを撮影しますので、安心してください。また、時間は関係ありません」と説明した後、実際に描いてもらい、撮影を行った。描き終わった後、「描くとき、何かを基準にして描いたのか」また、「課題の立体をどのような方法で描いていったのか」を質問し、その過程を語ってもらった。

4.4.3 結果と考察

ビデオ撮影と回顧プロトコル分析は、図 30 に示した視点変換描画課題の解答例のように、立体の 6 面を A~F とし、18 の線を 1~18、頂点を a と定めて分析した。被験者 37 人のうち、解答で線 18 を描いていない生徒が 5 人、等角図を時計方向に 0° 回転させた生徒が 1 人、180° 回転させた生徒が 1 人、寸法を間違えた生徒が 1 人、解答は正しいが途中で修正したため過程が分析できない生徒が 3 人いた。これらの生徒 11 人を除いた 26 人の描画過程と、「描くとき、何かを基準にして描いたのか」の「基準」と、「課題の立体をどのような方法で描いていったのか」の「発話（問題を解く過程）」を表 4 に示す。

描画過程は「完全に一面が描画できた段階」で「A~F」で、同時に 2 面ができた場合は「・」でつないで示している。「線の描画」は面にならない限りその都度「1~18」で示し、それらの過程を矢印「→」で時系列につないでいる。基準は、「A~F」、「1~18」、「a」で、複数ある場合は「・」でつないで示している。そして、被験者の発話は、簡潔にまとめて示している。

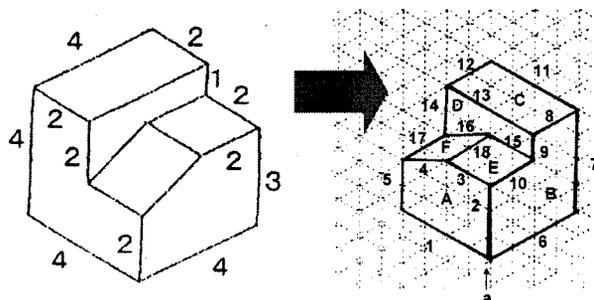


図 30 視点変換描画課題の解答例

表 4 描画過程と基準

| 被験者 | 描画過程 | 基準 |
|-----|----------------------------|--------|
| | 発話 | |
| 1 | A→B→C→E→D→F | なし |
| | 図(課題)と対比させ、一面一面考えて | |
| 2 | A→10→9→C→B→17→D→E・F | 2 |
| | 頭の中で絵を描いて回転 | |
| 3 | 1→B→C→14→E→A→E・D | a |
| | 頭の中で立体を回転させて | |
| 4 | A→B→E→C→F→D | 1 |
| | 図(課題)を見ながら | |
| 5 | 1→2→6→7→C→9→15→3→B→E→A→D→F | なし |
| | 全体を見て描く | |
| 6 | 6→A→E→F→B→C→D | なし |
| | 頭で回転させて | |
| 7 | 1→6→2→3→B→C→A→14→15→E→F・D | a |
| | 思い浮かべて回転 | |
| 8 | 1→B→C→15→14→E→A→F・D | 2 |
| | 図(課題)を対比させて | |
| 9 | 1→2→6→7→C→B→E→14→A→D→F | なし |
| | 頭の中で回して | |
| 10 | A→B→C→18→17→14→F→E・D | なし |
| | 図(課題)を参考にして | |
| 11 | 1→6→A→B→13→15→17→D→C→E・F | A |
| | なし | |
| 12 | A→10→9→C→14→F→B→F・D | 2 |
| | なし | |
| 13 | A→6→7→C→14→17→10→F→E→D・B | A |
| | 見えない所を想像して | |
| 14 | A→B→C→17→D→E・F | 2 |
| | 形を思い浮かべて | |
| 15 | A→B→15→C→16→17→D→E・F | 2 |
| | 図(課題)を見ながら | |
| 16 | A→B→C→E→D→F | 2 |
| | 回転させたものをイメージして | |
| 17 | 1→6→A→10→8→B→C→14→F→E・D | B |
| | なし | |
| 18 | 1→B→E→A→C→F→D | 1・6 |
| | 図(課題)を見ながら | |
| 19 | A→B→C→E→F→D | 7・6・11 |
| | なし | |
| 20 | A→6→7→C→14→17→D→B→E・F | なし |
| | なし | |
| 21 | A→B→E→F→C→D | B |
| | 回転させた時のイメージと数を合わせて | |
| 22 | 1→6→A→B→15→C→17→D→E・F | 6 |
| | 頭で考えながら | |
| 23 | C→B→E→A→14→D・F | C |
| | 1か所を決めて、描いていった | |
| 24 | 6→A→10→9→C→B→14→17→E・F | a |
| | 図(課題)を見ながら | |
| 25 | A→B→C→15→17→D→E・F | 1・2 |
| | 大体のイメージをして | |
| 26 | 2→6→1→B→C→14→5→E→A→D→F | a |
| | 図(課題)と対比して | |

まず、描画過程については、被験者 1～26 の描画過程と発話より、被験者 1 のように「一面ずつ仕上げる」過程で、「図（課題）と対比させ、一面一面考えて」の発話より、「立体全体を捉えながらも一面ずつ思考するタイプ」があることが分かる。また、被験者 5 のように、一面ずつ仕上げて描画せず、視点変換した立体の「アウトラインから描画していく」過程で、「全体を見て描く」の発話より、「立体全体で思考するタイプ」があることが分かった。

次に、視点変換する基準を「面（5 人）」にした被験者（11, 13, 17, 21, 23）は、基準にした一面を仕上げてから次の描画に移る傾向があることが分かった。また、基準を「線（11 人）」にした被験者（2, 4, 8, 12, 14, 15, 16, 18, 19, 22, 25）は、基準線のある面を仕上げてから次の描画に移る傾向があることが分かった。そして、基準を「頂点（4 人）」にした被験者（3, 7, 24, 26）は、基準点のある線から描画していく傾向があることが分かる。このことから、基準「なし（6 人）」とした被験者（1, 5, 6, 9, 10, 20）であっても、その描画過程から、例えば被験者 1 は、面を基準にしていると推定され、被験者 5, 6, 9 は、頂点を基準にしていると推定され、面や点という基準を手がかりに描画していることが推察される。

さらに、被験者の多くが、「見えていない面（視点変換後の B 面）」の描画を早い時期に仕上げていることや、被験者 3 の「頭の中で立体を回転させて」の発話から、視点変換行為形成プログラムの「3 次元 CAD で立体を回転させ、その過程を可視化し、その結果を描く」という学習プログラムの系列が有効に作用していることを示しているといえよう。

4.5 節 結論

本章では、中学生を対象に「2 次元製図と 3 次元 CAD を一体とした設計・製図教育と開発した視点変換行為形成プログラム」を技術科の実験授業で実施し、3 次元 CAD を用いた設計・製図教育と視点変換行為形成プログラムの効果を視点変換行為の形成から探った。

その結果、視点変換描画課題の平均正答数の変化から、授業進行に伴って視点変換行為が形成され定着することが明らかになった。また、8 ヶ月後の遅延テストでも平均正答数は下降せず学習の保持効果が認められた。また、分散分析では、視点変換行為形成プログラムを実施したグループと受けなかったグループの両グループの指導法の違い（前テストと間テストの間）による差異はみられなかった。しかし、両グループのプログラム有無（前

テストと間テストの間)の前後を、描画水準で詳細に分析(χ^2 検定)したところ、視点変換行為形成プログラムを実施したことにより学習効果が現れることが明らかになった。さらに、視点変換描画の困難さを詳細に調査するため、視点変換描画プロセスを回顧プロトコルで分析した。その結果、視点変換して描画する過程は、「立体全体を捉えながらも一面ずつ思考するタイプ」と「立体全体で思考するタイプ」があることが明確になった。視点変換して描画する際は、面や線や頂点など、何らかの基準を手がかりに描画していることが推察される。そして、被験者の多くが、「見えていない面」の描画を早い時期に仕上げている点と、被験者の「頭の中で立体を回転させて」などの発話から、視点変換行為形成プログラムの「3次元CADで立体を回転させ、その過程を可視化し、その結果を描く」という学習プログラムが、視点変換行為の形成に効果があると推察される。これらのことから、視点変換行為形成プログラムは、視点変換行為の形成に十分有効であることが明らかになった。

第5章 中学校技術科における新たな設計・製図教育内容の提案（研究3）

5.1 節 研究課題と目的

本章の目的は、現行学習指導要領の下で実施した中学校技術科3年間の授業で、2次元製図と3次元CADを一体とした設計・製図教育を実施し、設計・製図教育の効果を投影・構成行為と視点変換行為の形成から検討したうえで、新学習指導要領に合致した新たな設計・製図教育内容を提案することを目的としている。

本章は、研究Ⅰ、研究Ⅱ、研究Ⅲの3つからなる。研究Ⅰでは、第3章で明らかになった、投影・構成行為形成プログラムを中心にした設計・製図教育は、投影行為と構成行為を形成する上で有効であり、特に3次元CADは生徒の学習活動を「分かりやすさ」の点で支援していることと、第4章で明らかになった、視点変換行為の形成に、視点変換行為形成プログラムを中心にした設計・製図教育が有効であるということを基に、技術科3年間の授業でどのように投影・構成行為と視点変換行為が形成されるのかを明らかにする。そのうえで、「学習過程で3行為が果たす役割・機能」を明らかにする。研究Ⅱでは、新学習指導要領に合致した新たな設計・製図教育内容を提案するにあたり、2次元製図と3次元CADを一体とした設計・製図教育に対する生徒の意識と3次元CADの操作力量を明らかにする。そして、研究Ⅲでは、第1章で述べた、日本の「図面に表す」学習と「CAD」学習の内容が、調査した国や地域（韓国、台湾、香港、シンガポール、イギリス）に比べて浅く、授業時数も少ないと考えられること、そして、本章の研究Ⅰと研究Ⅱを踏まえて、限られた授業時数でも学習効果を高められる新たな設計・製図教育内容を提案していく。

5.2 節 研究Ⅰ 投影・構成行為と視点変換行為の形成と学習過程で果たす役割・機能

5.2.1 目的

研究Ⅰは、中学校技術科3年間で、2次元製図と3次元CADを一体とした設計・製図教育を実施して、どのように投影・構成行為と視点変換行為が形成されるのかと、学習過程で3行為が果たす役割・機能を明らかにすることを目的としている。第3章で、投影・構成行為の形成に、投影・構成行為形成プログラムが有効であること、第4章で、視点変換行為の形成に、視点変換行為形成プログラムが有効であることを明らかにしたが、それぞれの実験期間が、中学校期3年間（36ヵ月）のうち、第3章の実験授業が約8ヵ月間、第4章の実験授業が約12ヵ月間と比較的短期間であったこと、さらに、設計・製図教育の学習過程で3行為が果たす役割・機能について確認する必要があることから、中学校期

3年間の技術科の授業を分析し、投影・構成行為と視点変換行為の形成過程と、学習過程で3行為が果たす役割・機能を明らかにしていく。

5.2.2 方法

中学校期3年間の分析は、2007年4月に神戸市内A中学校に入学した61回生（入学時191名の12才～13才：男子生徒112名、女子生徒79名）の協力を得て、表5に示した実験授業を2007年4月から2010年3月までの3年間実施した。調査協力者の生徒は第4章の調査協力者と同じ生徒であり、指導者も同じ技術科専任教師である。第4章との関係は表5に示している。

3年間の実験授業で、どのように投影・構成行為と視点変換行為が形成されるのかと、学習過程で3行為が果たす役割・機能を明らかにするため、第3章と第4章と同じように、投影描画課題（図8）、構成描画課題（図9）、視点変換描画課題（図10）によるテストを授業の進行に合わせて5回（テスト1～5）を実施し、それらの投影描画課題5問、構成描画課題5問、視点変換描画課題5問の平均描画水準の変化を分析していく。分析にあたっては、全てのテスト（テスト1～5）と期末考査（期末考査1～2）を受けた生徒133人を対象にする。

対象となる生徒133人は、A中学校区にある3小学校のうち、B小学校出身の生徒が37人、C小学校出身の生徒が51人、D小学校出身の生徒が36人であり、他の小学校出身の生徒が9人である。B、C、D小学校への事前調査では、B小学校出身の生徒は、第6学年時に「一枚の板から、ちょう番を使った箱づくり」を行い、完成予想図を描いている。また、C小学校出身の生徒は、第6学年時に「クランクの動きからつくる作品」を製作し、完成予想図を描いている。そして、D小学校出身の生徒は、小学校期に設計図のようなものは描いていないとのことであった。このことから、B、C、D小学校出身者の生徒は、小学校期に中学校技術科で学習するような設計・製図教育を受けていないことが確認された。

さらに、小学校期の学習内容を把握するため、中学校入学時に実施したアンケート（テスト1）では、「小学校の算数の授業で『展開図』を使った授業がありましたか？」という質問に対して、「あった」と答えた生徒は97.7%、「わからない（覚えていない）」と答えた生徒は1.5%、無回答の生徒は0.8%であった。そして、「あった」と答えた生徒（n=129）に、「授業内容はどうでしたか？」という質問に対して、「楽しくて、内容もよくわかった」と答えた生徒は42.6%、「楽しかったが、内容はわかりにくかった」と答えた生徒は24%、

「あまり楽しくなかったが、内容はわかった」と答えた生徒は 31.8%、「ほとんど楽しくなくて、内容もわかりにくかった」と答えた生徒は 1.6%であった。このことから、技術科の設計・製図教育に関連する「展開図」について 74.4%の生徒が理解できていることが確認できた。

また、3次元 CAD を用いることから、コンピュータに対する意識を調査したところ、「小学校時のコンピュータを使った授業はどうでしたか?」という質問に対して、「楽しかった」と答えた生徒は 54.1%、「まあまあ楽しかった」と答えた生徒は 40.6%、「あまり楽しくなかった」と答えた生徒は 4.5%、「楽しくなかった」と答えた生徒は無く、無回答の生徒は 0.8%であった。このことから、「楽しかった」と「まあまあ楽しかった」と答えた生徒を合わせた 94.7%が、コンピュータを使った授業を「楽しかった」と感じていることが確認できた。

表 5 技術科の3年間の授業内容

| 学年 | 年月 | 授業時間 | 授業の内容 | 第4章との関係 | |
|---------|---------|------------------|-----------------------|----------------------|--|
| 第1学年 | 2007年4月 | | テスト①(30分) アンケート(10分) | | |
| | | 1~3 | オリエンテーション 情報とコンピュータ | | |
| | | 4 | 2次元製図 キャビネット図 | | |
| | 5月 | 5 | 2次元製図 等角図 | | |
| | | 6 | 2次元製図 投影図 | | |
| | | 7 | 3次元CAD | | |
| | 6月 | 8 | 3次元CAD | | |
| | | 9 | 3次元CAD | | |
| | | | テスト②(30分) アンケート(10分) | | |
| | 7月 | 10 | 木のおもちゃの設計 | | |
| | | 11~13 | 木のおもちゃの製作 | | |
| | | | 期末考査① | | |
| | 8月 | 夏休み | 課題(板材製品の構想・設計) | | |
| | 9月 | 14~16 | 板材製品の設計(3次元CAD) | | |
| | | 17~34 | 板材製品の製作 | | |
| 2008年3月 | 35 | 3次元CAD実技テスト(20分) | | | |
| | | 期末考査② | | | |
| 第2学年 | 4月 | | テスト③(30分) アンケート(10分) | 第4章の研究 I | |
| | | 36 | 材料加工(金属加工)の学習 | 第4章の研究 II | |
| | | 37 | 3次元CAD デザインの構想 | | |
| | 38 | 3次元CAD フリーハンドで描く | | | |
| | 5月 | 39 | 3次元CAD CADで設計 | 第4章の研究 III | |
| | | 40 | 3次元CAD CADで構想を設計 | | |
| | | 41 | 金属材料について | | |
| | 6月 | 42 | 金属の加工方法について | 第4章の研究 III | |
| | | 43~50 | 金属製品の製作 | | |
| | | 51 | 製作品(鍛造製品)の評価・反省 | | |
| | 9月 | 52~70 | エネルギー変換の学習(動くおもちゃの製作) | | |
| | | | テスト④(30分) アンケート(10分) | | |
| | 2009年3月 | | テスト⑤(30分) アンケート(10分) | | |
| | 第3学年 | 4月 | 71~80 | エネルギー変換の学習(バネラジオの製作) | |
| | | 11月 | 81~87 | 材料加工(プラスチック加工)の学習 | |
| 2010年3月 | | | テスト⑥(30分) アンケート(10分) | | |
| | | 88 | 3年間を振り返って(データのまとめ) | | |

5.2.3 技術科3年間の授業内容

生徒たちは、表5のように3年間で88時間(授業時間50分)の学習を行っている。第1学年の授業(授業時間1~35)は、授業時間1~3で、オリエンテーションと情報とコンピュータの学習をした後、授業時間4~9で、第3章と同じように「投影・構成行為形成プログラム」を中心とした2次元製図と3次元CADを一体とした学習をしている。授業

時間 10 で材料加工（木材加工）の導入学習で「木のおもちゃ」の設計をして、授業時間 11～13 で製作をしている。期末考査 1 では、投影課題 2 問、構成課題 2 問の描画テストと、「木のおもちゃ」の完成予想図をキャビネット図と等角図で描かせた。夏休みの「課題（板材製品の構想・設計）」では、「板材で自分がつくってみたいものをいくつか考え、簡単にラフスケッチしよう。」、「自分がつくってみたいものを 1 つだけキャビネット図で描こう。」、「自分がつくってみたいものを 1 つだけ投影図で描こう。また、等角図で描こう。」という課題と、「板材製品」の構想から、実物の 2 分の 1 の模型を「5 mm ピッチの方眼が印刷されたダンボール」を使って作らせ、夏休み明けに提出させた。授業時間 14～16 では、夏休みの課題をもとに、「板材製品」の設計を 3 次元 CAD で行った。授業時間 17～34 では、「板材製品」の製作を行い、授業時間 35 では、1 年間のまとめと、3 次元 CAD の実技テストを行った。期末考査 2 では、生徒が製作した「板材製品」を、等角図と投影図で描かせた。

第 2 学年の授業（授業時間 36～70）は、授業時間 36 で材料加工（金属加工）の学習のガイダンスを行った後、授業時間 37～40 で 3 次元 CAD を行った。それぞれの授業の前半では視点変換行為形成プログラムを実施（第 4 章）し、授業時間 37 の後半では製作品の構想を行った。授業時間 38 の後半では構想図をフリーハンドで描き、授業時間 39 の後半では 3 次元 CAD で金属製品の設計を行い、授業時間 40 の後半では 3 次元 CAD で金属製品の鑄型を設計した。授業時間 41 では金属材料について、授業時間 42 で金属加工方法について学習した後、授業時間 42～50 で金属製品「鑄造キーホルダー」の製作を行っている。その後、授業時間 51 で製作品の評価と反省を行った。授業時間 52～70 ではエネルギー変換の学習を行い「動くおもちゃ」の製作を行った。この「動くおもちゃ」の製作では構想図を等角図で描かせている。

第 3 学年の授業（授業時間 71～88）は、授業時間 71～80 で、エネルギー変換の学習を行い「パネルラジオ」の製作を行っている。この「パネルラジオ」の製作では設計・製図学習は行っていない。そして、授業時間 81～87 で、材料加工（プラスチック加工）の学習を行い「ペーパーウェイト」を製作している。この「ペーパーウェイト」の製作では構想図を描かせている。

5.2.4 結果と考察

中学校期 3 年間の実験授業の結果、どのように投影・構成行為と視点変換行為が形成さ

れるのかを分析するため、テスト 1～5 の投影描画課題 5 問、構成描画課題 5 問、視点変換描画課題 5 問の平均描画水準の変化を分析していった。

投影描画課題の描画水準を、第 3 章と同じように、「レベル 0：描画できない（していない）、面の数が 3 面未満である」、「レベル 1：面の数（正面、側面、平面の抜き出し）ができていて、形状は問わない」、「レベル 2：面の数（正面、側面、平面の抜き出し）、形状ができていて」、「レベル 3：面の数（正面、側面、平面の抜き出し）、形状ができており、寸法、配置（方向）のうち、いずれかができている」、「レベル 4：正しい三面図を作成することができる」の 5 段階に設定して分析した。

また、構成描画課題の描画水準を、第 3 章と同じように、「レベル 0：描画できない（面になっていない）」、「レベル 1：描画された面が単数のもの。あるいは、複数であっても、相互につながり（接合）がなくバラバラな（立体になっていない）もの、抽出面の形状は問わない」、「レベル 2：抽出面が複数で、かつ相互につながりがある（接合している、立体になっている）もの、ただし、面の形状と面の共辺関係（正面、側面、平面の配置）が正しくない」、「レベル 3：抽出面が三面で、それらが共辺関係にあるが、未だ不十分なもの（寸法など）」、「レベル 4：三面の抽出面、共辺関係、寸法が正しく構成された等角図」の 5 段階に設定して分析した。

そして、視点変換描画課題の描画水準を、第 3 章と第 4 章と同じように、「レベル 0：視点変換して描画できない（面になっていない）」、「レベル 1：視点変換して描画された面が単数のもの。あるいは、複数であっても、相互につながり（接合）がなくバラバラな（立体になっていない）もの、抽出面の形状は問わない」、「レベル 2：視点変換された抽出面が複数で、かつ相互につながりがある（接合している、立体になっている）もの、ただし、面の形状と面の共辺関係（正面、側面、平面の配置）が正しくない」、「レベル 3：視点変換された抽出面が三面で、それらが共辺関係にあるが、未だ不十分なもの（寸法など）」、「レベル 4：視点変換された三面の抽出面、共辺関係、寸法が正しく描画された等角図」の 5 段階に設定して分析した。

これらの描画水準の分析は、5 段階に設定した描画水準を第 1 分析者が分析した後、第 2 分析者が確認し、判断が異なる場合は第 3 分析者を含めた 3 者で協議することにしたが、3 者で協議することはなかった。

投影描画課題、構成描画課題、視点変換描画課題の描画水準をそれぞれの描画水準で分析後、学習過程で 3 行為が果たす役割・機能を明らかにするため、それぞれの「描画水準

5段階（レベル0～4）」を、「3行為共通の描画水準5段階」に置き換えて、「レベル0：描画できていない」、「レベル1：ほとんど描画できていない」、「レベル2：不完全だが描画できている」、「レベル3：ほとんど描画できている」、「レベル4：正しく描画できている」として、テスト1～5における3行為の平均描画水準（それぞれの課題5問の平均）を分析した。その結果を図31に示す。

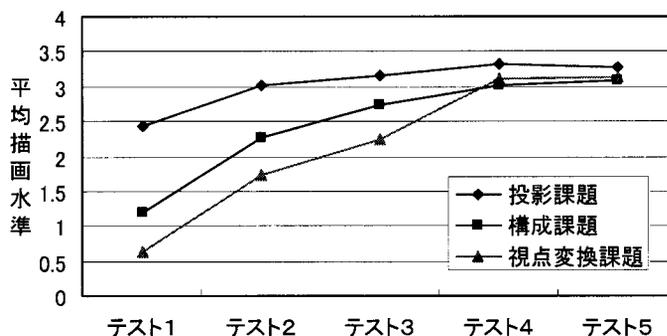


図31 中学校期3年間における3行為の平均描画水準の変化

投影描画課題において、テストを被験者内要因（5水準）とする1要因分散分析の結果、 $F(4,660)=21.4582$ $P<.01$ となり、テスト間に1%水準の有意差が検出された。そこで、Tukey法により多重比較を行ったところ、テスト1とテスト2、テスト3、テスト4、テスト5間に1%水準の有意差が検出された。ただし、それ以外の有意差は認められなかった。このことから、テスト1とテスト2間（授業時間4～9）で実施した、投影・構成行為形成プログラムを中心とした2次元製図と3次元CADの学習が投影行為の形成に効果があることが分かった。そして、描画水準の変化からテスト2でレベル3（ほとんど描画できている）に達することが分かった。

構成描画課題において、テストを被験者内要因（5水準）とする1要因分散分析の結果、 $F(4,660)=80.3548$ $P<.01$ となり、テスト間に1%水準の有意差が検出された。そこで、Tukey法により多重比較を行ったところ、テスト1とテスト2、テスト3、テスト4、テスト5間に、テスト2とテスト3、テスト4、テスト5間に1%水準、テスト3とテスト5間に5%水準の有意差が検出された。ただし、それ以外の有意差は認められなかった。このことから、テスト1とテスト2間（授業時間4～9）で実施した、投影・構成行為形成プログラムを中心とした2次元製図と3次元CADの学習と、テスト2とテスト3間（授業

時間 10～34) で実施した、「木のおもちゃ」の設計・製作、「板材製品」の構想、模型製作、設計・製作の学習が構成行為の形成に効果があることが分かった。そして、描画水準の変化からテスト 3 でレベル 3 (ほとんど描画できている) に近づき、テスト 4 でレベル 3 を超えることが分かった。

視点変換描画課題において、テストを被験者内要因 (5 水準) とする 1 要因分散分析の結果、 $F(4,660)=93.7815$ $P<.01$ となり、テスト間に 1%水準の有意差が検出された。そこで、Tukey 法により多重比較を行ったところ、テスト 4 とテスト 5 間以外の全てのテスト間に 1%水準の有意差が検出された。このことから、テスト 1 とテスト 2 間 (授業時間 4～9) で実施した、投影・構成行為形成プログラムを中心とした 2 次元製図と 3 次元 CAD の学習と、テスト 2 とテスト 3 間 (授業時間 10～34) で実施した、「木のおもちゃ」の設計・製作、「板材製品」の構想、模型製作、設計・製作の学習と、テスト 3 とテスト 4 間 (授業時間 36～51) で実施した、視点変換形成プログラム、「鑄造キーホルダー」の設計・製作が視点変換行為の形成に効果があることが分かった。そして、描画水準の変化からテスト 3 でレベル 2 (不完全だが描画できている) を超え、テスト 4 でレベル 3 (ほとんど描画できている) を超えることが分かった。

また、2 次元製図と 3 次元 CAD を一体とした設計・製図教育を実施していない授業時間 71～87 の後のテスト 5 においても、投影・構成課題と視点変換描画課題全ての描画水準が維持されており、学習の保持効果が認められた。

5.2.5 設計・製図学習の過程で 3 行為が果たす役割・機能

前項 (5.2.4) の結果、中学校期 3 年間の 2 次元製図と 3 次元 CAD を一体とした設計・製図教育で、投影・構成行為と視点変換行為が形成されることが分かった。本項では、これらの学習過程で 3 行為が果たす役割・機能について明らかにしていく。

城は、製図を理解するためには、投影行為と同時に、構成行為の 2 行為が習得されなければならないとし、製図学習過程で 2 行為が果たす役割・機能には次の 3 点があることを確認している^[33]。

まず第 1 に、投影行為は必要な投影画面に対象を投影するので、対象と図面との軸関係が基礎となるが、各図面相互の軸関係の理解は必ずしも必要でない。それに対し、構成行為は 3 面図を統合して 3 次元立体を表象しなければならず、各図面相互の軸関係は必ず理解されていなければならない。

第2に、構成行為は投影行為の習得を前提とし、全く投影行為が未形成の状態では構成行為を形成することはできない。

第3に、投影行為は直接与えられている対象のもつ情報（第1次情報）を抽象し、加工することを基礎にしているのに対し、構成行為は第1次情報が与えられておらず、抽象された対象の情報（第2次情報）の加工を基礎にしている。

これら3点のうち、第2の「構成行為は投影行為の習得を前提とする」について、視点変換行為を加えた3行為が、学習過程でどのような役割・機能を果たすのかを分析すると、描画水準の分析から、投影課題の描画水準がテスト2でレベル3に達したこと、構成課題の描画水準がテスト3でレベル3に近づき、テスト4でレベル3を超えたこと、視点変換課題の描画水準がテスト3でレベル2を超え、テスト4でレベル3を超えたことから、描画水準のレベル3を基準にして、投影行為が形成された後に構成行為が形成され、その後に視点変換行為が形成されていることが分かる。このことは、「視点変換行為は構成行為と投影行為の習得を前提としている」ということである。このことから、学習過程で3行為が果たす役割・機能の第2は、「構成行為は投影行為の習得を前提とし、全く投影行為が未形成の状態では構成行為を形成することはできない。そして、視点変換行為は構成行為と投影行為の習得を前提としている」ということが確認された。

次に、第3の「投影行為は第1情報の抽象と加工を、構成行為は第2情報の加工を基礎にしている」については、第4章の描画過程分析の「見えていない面の描画を早い時期に仕上げている」ことや回顧プロトコル分析の「見えない所を想像して」などの発話から、「視点変換行為は与えられていない対象の情報（第3情報）の加工を基礎にしている」ことが分かる。このことから、学習過程で3行為が果たす役割・機能の第3は、「投影行為は直接与えられている対象のもつ情報（第1次情報）を抽象し、加工することを基礎にしているのに対し、構成行為は第1次情報が与えられておらず、抽象された対象の情報（第2次情報）の加工を基礎にしている。そして、視点変換行為は与えられていない対象の情報（第3情報）の加工を基礎にしている」ということが確認された。

最後に、第1の「対象と図面との軸関係」については、第4章の描画過程分析で「面や線や頂点など、何らかの基準を手がかりに描画していることが推察された」ことから、「視点変換行為は対象を回転させ3次元立体を表象しなければならず、対象と各図面相互の軸関係は必ず理解されていなければならない」ことが分かる。このことから、学習過程で3行為が果たす役割・機能の第1は、「投影行為は必要な投影画面に対象を投影するので、

対象と図面との軸関係が基礎となるが、各図面相互の軸関係の理解は必ずしも必要でない。それに対し、構成行為は3面図を統合して3次元立体を表象しなければならず、各図面相互の軸関係は必ず理解されていなければならない。そして、視点変換行為は対象を回転させ3次元立体を表象しなければならず、対象と各図面相互の軸関係は必ず理解されていなければならない」ということが確認された。

5.3節 研究Ⅱ 生徒の設計・製図学習に対する意識と3次元CADの操作力量

5.3.1 目的

研究Ⅱでは、中学校技術科で新学習指導要領に合致した新たな設計・製図教育内容を提案するにあたり、中学校技術科の3年間で実施した2次元製図と3次元CADを一体とした設計・製図教育に対する生徒の意識と、3次元CADの操作力量を明らかにすることを目的とする。

5.3.2 設計・製図に対する意識調査の方法と結果

設計・製図教育に対する生徒の意識を調査するため、テスト5でアンケートを実施(n=133)した。アンケートは、「みなさんは、中学校3年間で、『設計・製図(2次元製図と3次元CAD)』や『材料と加工』の学習をしました。そして、製作品として、1年生で『木のおもちゃ』と『板材製品』を、2年生で『鑄造キーホルダー』を、3年生で『プラスチック製品』を製作しました。これらを設計した時のことを思い出してアンケートに答えてください。」とし、次の3つの質問をした。質問1は「設計する時、アイデア(工夫)などをイメージして、構想図に表わせるようになりましたか。」、質問2は「構想図にどのように表わせるようになりましたか。」、質問3は「投影図を見て、頭の中で立体をイメージできるようになりましたか。」である。

その結果、質問1「設計する時、アイデア(工夫)などをイメージして、構想図に表わせるようになりましたか。」という質問に対して、「アイデアを構想図に表わせるようになった」と答えた生徒は27.8%、「どちらかというアイデアを構想図に表わせるようになった」と答えた生徒は56.3%、「どちらかというアイデアを構想図に表わせない」と答えた生徒は9.8%、「アイデアを構想図に表わせない」と答えた生徒は5.2%、無回答の生徒は0.8%であった。そして、「どちらかというアイデアを構想図に表わせない」、「アイデアを構想図に表わせない」と答えた生徒(n=20)のうち、構想図に表わせない理由を三

択から選ばせたところ、「アイデアが思いつかなかったこと」を選んだ生徒は 50%、「アイデアを構想図に表わすこと」を選んだ生徒は 27.3%、「材料の種類や大きさなどが決まっていること」を選んだ生徒は 22.7%であった。これらのことから、「アイデアを構想図に表わせるようになった」と答えた生徒と「どちらかというアイデアを構想図に表わせるようになった」と答えた生徒を合わせた 84.1%の生徒が技術科 3 年間の授業でアイデアを構想図に表わせるようになったことが分かった。

次に、質問 2「構想図にアイデアをどのように表わせるようになりましたか。」という質問に対して、キャビネット図、等角図、投影図のいずれかに、「2 次元製図で構想図が表わせるようになった」と答えた生徒は 81.2%、2 次元製図に加えて「3 次元 CAD で構想図が表わせるようになった」と答えた生徒は 17.3%、無回答の生徒は 1.5%であった。これらのことから、3 年間の技術科の授業で 81.2%の生徒が構想図に表わせることができたことが分かった。

そして、質問 3「投影図を見て、頭の中で立体をイメージできるようになりましたか。」という質問に対して、「イメージできるようになった」と答えた生徒は 56.4%、「どちらかというイメージできるようになった」と答えた生徒は 35.3%、「どちらかというイメージできない」と答えた生徒は 6%、「イメージできない」と答えた生徒は 1.5%、無回答の生徒は 0.8%であった。これらのことから、「イメージできるようになった」と答えた生徒と「どちらかというイメージできるようになった」と答えた生徒を合わせた 91.7%の生徒が、3 年間の技術科の授業で、投影図を見て、頭の中で立体をイメージできるようになったことが分かった。

5.3.3 3次元 CAD の操作力量調査の方法と結果

3次元 CAD の操作力量を明らかにするため、授業時間 35 に簡単な形状モデルを作成する「3次元 CAD 実技テスト」を行った。その後、テスト 3 とテスト 4 で「整列と合致の操作」についてのアンケートを行った (n=133)。

授業時間 35 に実施した 3次元 CAD 実技テストでは、生徒 1 人 1 台のパソコンで、20 分間に簡単な形状モデル 4 課題を作成する実技テストを行った。課題 1 は「四角柱を描きなさい。四角形の形や『押し出し』の寸法は自由でよい。」で、課題 2 では作成した形状モデルの「四角柱の『上面』と『下面』の 2 つの辺を丸く (角 R の寸法は自由でよい) しなさい。」という課題である。課題 3 は「円柱を描きなさい。円柱の直径や『押し出し』

の寸法は自由でよい。」で、課題4は「三角柱を描きなさい。三角形の形や『押し出し』の寸法は自由でよい。」である。作成した形状モデルはファイルに保存させ、保存されたファイルを分析した結果、全ての生徒が課題1～4の形状モデルの作成ができていることが分かった。このことから、第1学年終了時には、四角形、円、三角形などを作成する操作や「押し出し」や「角R」などの操作をする力量があることが分かった。

また、「整列と合致の操作」を調査したテスト3のアンケートとでは、「3次元CADで板材製品の設計をしましたが、CADで組み立てる時『整列』はうまくできましたか。」という質問に対して、「できた」と答えた生徒は65.4%、「できなかった」と答えた生徒は24%、無回答の生徒は10.5%であった。そして、「CADで組み立てる時『合致』はうまくできましたか。」という質問に対して、「できた」と答えた生徒は60.2%、「できなかった」と答えた生徒は28.6%、無回答の生徒は11.3%であった。このことから、第1学年終了時には、約60%の生徒が「整列」と「合致」の操作ができることが分かった。

第1学年終了時に、簡単な形状モデルの作成はできるが、「整列」と「合致」の操作ができる生徒が約60%であったことから、第2学年終了時のテスト4で再度「整列と合致の操作」の調査を行った。テスト4のアンケートでは、「3次元CADで鑄造キーホルダー(図32)の設計をしましたが、『台の部品』と『デザインした部品』を整列させたり、合致させたりする作業は、うまくできましたか?」という質問に対して、「できた」と答えた生徒は75.2%、「できなかった」24.8%であった。このことから、第2学年終了時には「整列」と「合致」操作ができる生徒が75.2%に伸びていることが分かった。

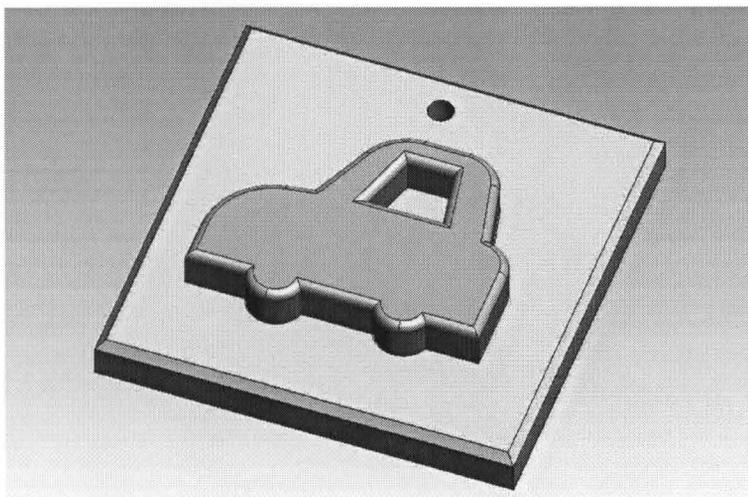


図 32 鑄造キーホルダーの設計例

5.4 節 研究Ⅲ 新たな設計・製図教育内容の提案

5.4.1 目的

研究Ⅲでは、第3章の「日本の図面に表す学習と CAD の学習は、調査した国や地域（韓国、台湾、香港、シンガポール、イギリス）に比べて授業時数が少なく、内容も浅いと考えられる」ことと、本章の研究Ⅰの「投影・構成行為と視点変換行為の形成と、学習過程で3行為が果たす役割・機能」と研究Ⅱの「設計・製図教育に対する生徒の意識と、3次元 CAD の操作力量」を踏まえて、限られた授業時数でも学習効果を高められる、新学習指導要領に合致した新たな設計・製図教育内容を提案していくことを目的にしている。

表5で示した「技術科の3年間の授業内容」は現行学習指導要領に準じており、実施してきた設計・製図教育を、新学習指導要領の領域に対応させると「A材料と加工に関する技術」と「D情報に関する技術」で実施してきたことになる。しかし、新学習指導要領に合致した新たな製図・設計教育内容の提案では、Pro/Dが「アニメーション」機能を備えており、力の伝達の仕組みである「カム装置やリンク装置」を3次元CADで学習できることから、「Bエネルギー変換に関する技術」領域での設計・製図教育も視野に入れる。

5.4.2 方法

新たな設計・製図教育内容の提案にあたっては、具体的に「技術科3年間の授業内容」に落とし込む必要があることから、研究Ⅰで学習効果が確認された「投影・構成行為形成プログラムを中心にした2次元製図と3次元CAD」、「板材製品の構想、模型製作、設計・製作」、「視点変換行為形成プログラムを中心にした2次元製図と3次元CAD」の学習内容を残したうえで、研究Ⅱで調査した「3次元CADの操作力量」の結果を含めて、表5の「技術科の3年間の授業内容」を見直していく。また、この作業と並行して実験授業で使用してきたテキスト「ものづくりCAD（キャド）¹⁶⁾」の内容も見直していく。その際、「Bエネルギー変換に関する技術」領域の3次元CADによる「カム装置やリンク装置の設計」を内容に加えていく。

5.4.3 実験授業で使用したテキストの内容

実験授業で使用してきたPro/Dのテキスト「ものづくりCAD（キャド）」はB5版の58ページで、内容は「基本」と「CDラックのモデリング（図33）」の2章からなっている。

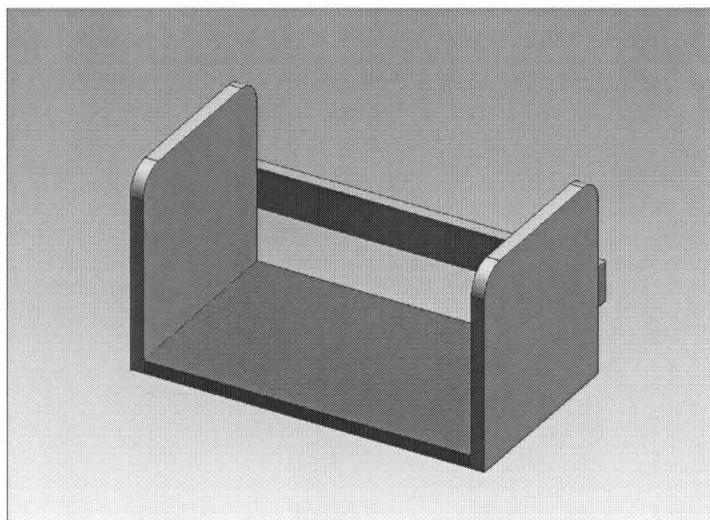


図 33 CD ラックのモデリング

テキストの1章の「基本」では、まず、CAD ソフトを利用する前の予備知識として、「ものづくり CAD について」、「モデリングの順序」が説明されており、次に「アイコンの説明」として、「ファイル操作、図形の見え方を調整するアイコン」、「図形を選択・加工するアイコン」、「図面を作成するアイコン」の説明がある。その次に、「基本操作の説明」があり次の10操作①～⑩の説明がある。

- ①図形を描く操作として、「直線」で直線を作成する操作、「長方形」で長方形や正方形を作成する操作、「円」・「楕円」で円や楕円を作成する操作、「円弧」・「スプライン」で曲線を作成する操作。
- ②図形を選ぶ操作として、「ライン選択」、「拘束選択」、「ワークプレーンの選択」、「エッジの選択」、「面の選択」、「フィーチャーの選択」、「部品の選択」。
- ③図形を見る操作として、見え方の「ワイヤフレーム」、「シェード」、「透明」、「エンハンス」と、見える向き「不等角ビュー」、「等角ビュー」、「正面」、「上面」、「右側面」。
- ④図形をふくらませる「押し出し」の操作。
- ⑤角を丸くする「角 R エッジ」の操作。
- ⑥「ファイルを保存」、「ファイルを開く」操作。
- ⑦図形を組み合わせる「アセンブリ」の操作。
- ⑧図形を配置する「整列」の操作。

⑨図形を配置する「合致」の操作.

⑩図に穴をあける「穴の挿入」の操作.

テキストの 2 章の「CD ラックのモデリング」では、「底板の作成」、「側板の作成」、「背板の作成」、「部品を組み立てよう」の順に CD ラックをモデリングし、その次に「図面を作成しよう」で、「部品図の作成」、「三面図の作成」をして、「図面の印刷」を学習する説明がある.

5.4.4 新しいテキストの内容

新しいテキストの内容を検討するにあたり、イギリスで使われている 3 次元 CAD のテキスト^{[84]–[86]}を参考にした. また、新しいテキストには、「ものづくり CAD (キャド)」の内容に、実験授業で追補テキストとして使ってきた「マウスの操作」、「フォトアルバム」の内容と「鋳造キーホルダー」の設計で学習した操作内容を加える. 追補する「マウスの操作」の内容は、「パン」、「ズームイン」、「ズームアウト」、「回転 (左右・上下回り)」、「回転 (時計・反時計回り)」で、「フォトアルバム」の内容は、作成した形状モデルに「材質」や「背景」、「光の映りこみ」を加えて質感をだす操作、「鋳造キーホルダー」の設計で学習した内容は、「ラインツールのセグメント削除」、「選択ツールのライン固定の切り替え」、「拘束ツールのスケッチ寸法」である. さらに、新学習指導要領の「B エネルギー変換に関する技術」領域に対応させるために「力の伝達の仕組み (カム装置やリンク装置)」の設計やシミュレーションができる「アニメーション」操作の内容を追補する必要がある.

5.4.5 新たな設計・製図教育の内容

新学習指導要領に合致した新たな設計・製図教育の内容は、本章の研究 I で学習効果が確認された「投影・構成行為形成プログラムを中心にした 2 次元製図と 3 次元 CAD」、「材料加工製品の構想、模型製作、設計・製作」、「視点変換行為形成プログラムを中心にした 2 次元製図と 3 次元 CAD」の学習内容に、「B エネルギー変換に関する技術」領域の 3 次元 CAD による「カム装置やリンク装置の設計」の内容を加えた、表 6 のような「新たな技術科の 3 年間の授業内容」として提案する.

表 6 新たな技術科の3年間の授業内容

| 学年 | 月 | 授業時間 | 授業の内容 |
|------|------|-------|-----------------------------|
| 第1学年 | 4月 | 1~3 | オリエンテーション 情報技術 |
| | | 4 | 2次元製図 キャビネット図 |
| | 5月 | 5 | 2次元製図 等角図 |
| | | 6 | 2次元製図 投影図 |
| | 6月 | 7 | 3次元CAD |
| | | 8 | 3次元CAD |
| | | 9 | 3次元CAD |
| | 7月 | 10 | 材料加工(導入)設計 |
| | | 11~13 | 材料加工(導入)製作 |
| | 8月 | 夏休み | 課題(木材製品の構想・設計) |
| | 9月 | 14~16 | 木材製品の設計(3次元CAD) |
| | | 17~34 | 木材製品の製作 |
| | 3月 | 35 | 材料加工の評価・反省 |
| | 第2学年 | 4月 | 36 |
| 37 | | | 3次元CAD(視点変換形成プログラム) 構想 |
| 38 | | | 3次元CAD(視点変換形成プログラム) 構想図 |
| 5月 | | 39 | 3次元CAD(視点変換形成プログラム) CADで設計 |
| | | 40 | 3次元CAD(視点変換形成プログラム) CADで設計 |
| | | 41~43 | エネルギー変換(力の伝達仕組み 導入) 製作 |
| 6月 | | 44 | エネルギー変換(電気エネルギー) |
| | | 45~49 | エネルギー変換(電気エネルギー 導入) 製作 |
| 7月 | | 50 | エネルギー変換の評価・反省 |
| 8月 | | 夏休み | 課題(エネルギー変換 メカトロニクス製品の構想・設計) |
| 9月 | | 51 | 生物育成(ガイダンス 計画) |
| | | 52~69 | メカトロニクス製品の設計・製作 |
| 3月 | | 70 | 生物育成の評価・反省 |
| 第3学年 | | 4月 | 71~80 |
| | 11月 | 81~86 | メカトロニクス製品へのプログラミング |
| | 3月 | 87 | 情報技術の評価・反省 |
| | | 88 | 3年間の振り返り(まとめ) |

5.5 節 結論

本章では、中学校技術科3年間における設計・製図教育の授業で、中学生を対象に2次元製図と3次元CADを一体とした教育を実施し、設計・製図教育の効果を投影・構成行為と視点変換行為の形成から検討したうえで、新学習指導要領に合致した新たな設計・製図教育内容を提案した。

3年間の設計・製図教育の授業において、投影行為の形成には「投影・構成行為形成プログラムを中心とした2次元製図と3次元CADの学習」が有効であること、構成行為の形成には「投影・構成行為形成プログラムを中心とした2次元製図と3次元CADの学習」と、「板材製品の構想、模型製作、設計、製作の学習」が有効であること、視点変換行為の形成には、「投影・構成行為形成プログラムを中心とした2次元製図と3次元CADの学習」と、「板材製品の構想、模型製作、設計、製作の学習」と、「視点変換行為形成プログラム」、「金属製品の設計・製作」が有効であることが分かった。そして、3学年終了時には3行為全ての描画水準が維持されており、学習の保持効果が認められた。

また、設計・製図教育の学習過程で3行為が果たす役割・機能については、以下の3点が確認された。第1は、投影行為は必要な投影画面に対象を投影するので、対象と図面との軸関係が基礎となるが、各図面相互の軸関係の理解は必ずしも必要でない。それに対し、

構成行為は3面図を統合して3次元立体を表象しなければならず、各図面相互の軸関係は必ず理解されていなければならない。そして、視点変換行為は対象を回転させ3次元立体を表象しなければならず、対象と各図面相互の軸関係は必ず理解されていなければならない。第2は、構成行為は投影行為の習得を前提とし、全く投影行為が未形成の状態では構成行為を形成することはできない。そして、視点変換行為は構成行為と投影行為の習得を前提としている。第3は、投影行為は直接与えられている対象のもつ情報（第1次情報）を抽象し、加工することを基礎にしているのに対し、構成行為は第1次情報が与えられておらず、抽象された対象の情報（第2次情報）の加工を基礎にしている。そして、視点変換行為は与えられていない対象の情報（第3次情報）の加工を基礎にしているである。

次に、生徒の意識を調査したところ、3年間の技術科の授業で84.1%の生徒がアイデアを構想図に表わせるようになったこと、81.2%の生徒が構想図に表わすことができるようになったこと、91.7%の生徒が投影図を見て、頭の中で立体をイメージできるようになったことが分かった。そして、3次元CADの操作力量を明らかにするために行った「3次元CAD実技テスト」では、第1学年終了時には、四角形、円、三角形などを作成する操作や「押し出し」や「角R」などの操作をする力量が身に付いていることが分かった。また、「整列と合致の操作」の調査では、第1学年終了時に操作ができる生徒が約60%であったものが、第2学年終了時には75.2%に伸びていることが分かった。

これらの知見を基に、実験授業で実施した「技術科の3年間の授業内容（表5）」を見直し、「Bエネルギー変換に関する技術」領域の「力の伝達の仕組み」を加え、「新たな技術科の3年間の授業内容（表6）」を提案した。また、新たな授業内容に合わせて、実験授業で使用したテキスト「ものづくりCAD（キャド）」の内容に、「マウスの操作」、「フォトアルバム」、「ラインツールのセグメント削除」、「選択ツールのライン固定の切り替え」、「拘束ツールのスケッチ寸法」と「アニメーション」の内容を追補して「新たなテキスト」を編集する必要もある。

注4) Pro/Dのソフトウェアの供給は2007年3月で終了し、その後Pro/ENGINEERに移行している。

第6章 総合考察と今後の課題

6.1 節 本研究の課題と目的について

科学技術創造立国を支えている科学技術教育は「科学教育」と「技術教育」がその両輪だといえる。本論文では、日本は「技術の製品化、事業化に関する効率が悪い」という指摘があることから、科学技術教育のうち「技術教育」に焦点をあて、さらに、その裾野である初等中等教育（普通教育）の中学校技術科の設計・製図教育に絞って現状をみていった。その結果、調査した国と地域（韓国、台湾、シンガポール、香港、イギリス）で「等角図」、「投影図」、「CAD」が学習されていることが分かった。そして、日本の製図学習は、調査した国と地域に比べて授業時数は少なく内容も浅く、「CAD」についても、学習の授業時数は少なく内容も浅いと考えられる状況であった。このことから、少ない授業時数でも効果が上がるような新たな教育内容を提案するという課題と、その前提として、製図の内容として取扱われている、「等角図」、「投影図」の学習の目標の一つでもある「立体イメージを表象する」行為がどのように形成されるのかを明らかにするという課題を設定した。

本研究の土台となる、中学校期における「立体イメージを表象する」行為の形成研究は、城の先行研究である「小学校期における立体の投影および構成行為の形成研究」を起点にした。投影・構成課題に要求される表象レベルでの立体イメージ操作は、小学校児童において未発達であるとされていることから、中学校期における投影・構成行為の形成を検証した後、小学校児童においては未発達とされ、明らかにされていない「視点変換行為」が中学校期でどのように形成されるのかを検証する必要がある。その過程で、3次元 CAD（Pro/D）を使った設計・製図教育の可能性と、3次元 CAD が「ものづくり」の学習を補完する可能性を探り、新たな設計・製図教育内容を提案するために、次の3点を目的にした。

- ①設計・製図教育にとって重要な「立体イメージを表象する」行為（投影・構成行為と視点変換行為）がどのように形成されるのかを明らかにする。
- ②3次元 CAD を使った設計・製図教育の可能性と、3次元 CAD が「ものづくり」の学習を補完する可能性を探る。
- ③新たな設計・製図教育内容を提案する。

6.2 節 研究方法論について

本研究の起点となる、城の「小学校期における立体の投影および構成行為の形成研究」では、発達研究にとって、子どもの発達が自生的なものではなく、教育と強く結びついているので、強力な診断ツールを開発し発達過程とそのメカニズムを明らかにするだけでなく、直接教育実践に結びつく知見や方法を提供できなければならない。また、発達研究を通じて仮説したモデルやプログラムを実際に教育の場に適用することによって、そのモデルやプログラムの妥当性を検証することができるという考え方から、ガリペリンの「知的行為の形成理論」に基づく「形式的発達研究法」を採用している。本研究でも、発達研究と教授・学習研究を同時に進める必要性から、ガリペリンの理論に基づく形式的発達研究法を採用した。

本研究では、3次元CADがどのように学習を支援するかを分析したが、3次元CADが仮想環境であり、現実環境の「物的な支え」でないことから、ガリペリンの「行為の習得段階」の「物質的・物質化された行為の段階」でなく、「外言の段階（視覚化ではあるが）」で学習を支援するようにプログラムを計画した。そして、仮想環境と現実環境での学習間の等価性も調査する必要があることから、「3次元CAD（仮想環境）と2次元製図（現実環境）を一体とした実験授業」を計画した。

6.3 節 目的①に対する総合考察

目的①「設計・製図教育にとって重要な『立体イメージを表象する』行為（投影・構成行為と視点変換行為）がどのように形成されるのかを明らかにする」について研究した結果、「投影・構成行為形成プログラムを中心とした2次元製図と3次元CADの学習」の実施により、投影行為については、プログラムの進行に伴い、面の抜き出しができなかった生徒は、形状は完全でなくても、正面、側面、平面の抜き出しができるようになること、形状が完全でなかった生徒は、正しい三面図を作成できるようになり、投影行為が形成されることが明らかになった。また、構成行為については、面の描画ができなかった生徒は、複数の面が相互につながりを持って描画できるようになること、面の形状と面の共辺関係が正しく描画できなかった生徒は、正しい等角図を描画できるようになり、構成行為が形成されることが明らかになった。しかし、視点変換行為については、少しずつ高次のレベルへ移行していくが形成されにくいことから、「視点変換行為形成プログラム」を計画し実施した後、視点変換描画の困難さを明らかにするため、視点変換描画プロセスを回顧プロ

トコルで分析した。その結果、視点変換して描画する過程は、「立体全体を捉えながらも一面ずつ思考するタイプ」と「立体全体で思考するタイプ」があることが明確になった。そして、視点変換して描画する際は、面や線や頂点など、何らかの基準を手がかりに描画していることが推察された。

次に、中学校技術科 3 年間における設計・製図教育の実験授業の結果、設計・製図教育の学習過程で投影・構成行為と視点変換行為の 3 行為が果たす役割・機能については、以下の 3 点が確認された。

第 1 は、投影行為は必要な投影画面に対象を投影するので、対象と図面との軸関係が基礎となるが、各図面相互の軸関係の理解は必ずしも必要でない。それに対し、構成行為は 3 面図を統合して 3 次元立体を表象しなければならず、各図面相互の軸関係は必ず理解されていなければならない。そして、視点変換行為は対象を回転させ 3 次元立体を表象しなければならず、対象と各図面相互の軸関係は必ず理解されていなければならない。

第 2 は、構成行為は投影行為の習得を前提とし、全く投影行為が未形成の状態では構成行為を形成することはできない。そして、視点変換行為は構成行為と投影行為の習得を前提としている。

第 3 は、投影行為は直接与えられている対象のもつ情報（第 1 次情報）を抽象し、加工することを基礎にしているのに対し、構成行為は第 1 次情報が与えられておらず、抽象された対象の情報（第 2 次情報）の加工を基礎にしている。そして、視点変換行為は与えられていない対象の情報（第 3 次情報）の加工を基礎にしている。

6.4 節 目的②に対する総合考察

目的②「3 次元 CAD を使った設計・製図教育の可能性と、3 次元 CAD が『ものづくり』の学習を補完する可能性を探る」について研究した結果、投影・構成行為形成プログラムを中心にした 2 次元製図と 3 次元 CAD の実験授業後、描画水準を詳細に分析（ χ^2 検定）したところ、投影行為では 3 次元 CAD と 2 次元製図ともに学習効果が現れること、構成行為と視点変換行為では 3 次元 CAD に学習効果が現れ、2 次元製図には学習効果が現れなかったこと。また、3 次元 CAD と 2 次元製図の製図学習の違いによる生徒の意識を比較したところ、過半数以上の生徒に「3 次元 CAD は分かりやすい」という形で受け入れられていることが示唆されたことから、3 次元 CAD を使った設計・製図教育の可能性が高いと考えられる。また、「製作した製作品から形状モデルを作成する学習形態」の授業後

の生徒の意識を調査したところ、過半数以上の生徒が、設計意図を明確にして設計をしたこと、製作工程を考えながら見通しを立てて設計をしたこと、改良品の設計で達成感を得られたことから、3次元 CAD は「ものづくり」を疑似体験することと同じような学習効果があると考えられ、「ものづくり」の学習を補完する可能性があると考えられる。

6.5 節 目的③に対する総合考察

目的③「新たな設計・製図教育内容を提案する」について研究した結果、中学校技術科3年間の設計・製図教育の実験授業において、投影行為の形成には「投影・構成行為形成プログラムを中心とした2次元製図と3次元 CAD の学習」が有効であること、構成行為の形成には「投影・構成行為形成プログラムを中心とした2次元製図と3次元 CAD の学習」と、「実際に設計・製作する学習」が有効であること、視点変換行為の形成には、「投影・構成行為形成プログラムを中心とした2次元製図と3次元 CAD の学習」と、「視点変換行為形成プログラム」が有効であることが分かった。そして、新学習指導要領の「B エネルギー変換に関する技術」領域の「力の伝達の仕組み」を加えて、「新たな技術科の3年間の授業内容」を提案した。

6.6 節 今後の課題

本研究では、ガリペリンの理論に基づく形成的発達研究法を採用した、3次元 CAD が仮想環境であり、現実環境の「物的な支え」でないことから、ガリペリンの「行為の習得段階」の「物質的・物質化された行為の段階」でなく、「外言の段階（視覚化ではあるが）」で学習を支援するようにプログラムを計画し、仮説として3次元 CAD を仮想環境とし、2次元製図を現実環境としたが、3次元 CAD のパソコンは生徒1人に1台の環境であり、2次元製図の教授用立体模型はクラスに1つの環境であることから、仮想環境と現実環境での学習間の等価性を厳密に調査することができなかった。このことと、本研究で明らかになった投影課題の困難さの理由「斜面の描き方、三角形の描き方」と構成課題の困難さの理由「斜線（斜面）の作図、投影図から抽出した複数の面を相互につながりがある立体イメージに表象すること」を基に、学習を支援するために「製図用ペーパークラフト模型」を開発した。その模型を生徒1人に1組ずつ製作させ、学習間の等価性と模型の効果を検証する実験授業を2010年4月から本研究の調査協力校で実施しており、今後、これらを明らかにしていきたい。

参考文献

- [1] 文部科学省, 文部科学白書 (平成 15 年度), 国立印刷所 (2004).
- [2] 文部科学省, 科学技術白書 (平成 16 年度), 国立印刷所 (2004).
- [3] ドラッカーP.F, ネクスト・ソサエティ, ダイヤモンド社 (2000), 6.
- [4] 安藤晴彦他, 日本経済 競争力の構想, 日本経済新聞 (2002), 29-30.
- [5] 富澤宏之, 文部科学省 2004 年版科学技術指標 IMD の科学技術世界競争力を解剖する, 国立印刷所 (2004), 35.
- [6] 文部科学省, 中学校学習指導要領解説 技術・家庭科編, 教育図書 (2008)
- [7] 間田泰弘他, 技術・家庭 技術分野, 開隆堂出版 (2006).
- [8] 加藤幸一他, 新編新しい技術・家庭 技術分野, 東京書籍 (2006).
- [9] 藤本隆宏, 日本のもの造り哲学, 日本経済新聞社 (2004).
- [10] 北海道技術・家庭科教育研究会, “札幌大会要録” (2005), 85-90.
- [11] 山崎貞登, 伊藤大輔, 磯部征尊, “海外の技術・職業教育課程の状況 (1)”, 技術教室 2004 年 8 月号 (2004), 54-59.
- [12] Stensel, P. Tung, A. Soh, B., *DESIGN&TECHNOLOGY1*, Pearson Education South Asia (2001).
- [13] イ・サンヒョン他, 中学校技術・家庭 1, DOOSAN (2001).
- [14] イ・サンヒョン他, 中学校技術・家庭 2, DOOSAN (2002).
- [15] イ・サンヒョン他, 中学校技術・家庭 3, DOOSAN (2003).
- [16] 林英智他, 自然與生活科技 1 上, 康軒文教事業 (2002).
- [17] 林英智他, 自然與生活科技 1 下, 康軒文教事業 (2003).
- [18] 林英智他, 自然與生活科技 2 上, 康軒文教事業 (2003).
- [19] 林英智他, 自然與生活科技 2 下, 康軒文教事業 (2004).
- [20] 林英智他, 自然與生活科技 3 上, 康軒文教事業 (2004).
- [21] 林英智他, 自然與生活科技 3 下, 康軒文教事業 (2005).
- [22] 林志立. 陳國和, 初中設計與科技第一冊, 中華科技出版社 (2003).
- [23] 林志立. 陳國和, 初中設計與科技第二冊, 中華科技出版社 (2003).
- [24] 林志立. 陳國和, 初中設計與科技第三冊, 中華科技出版社 (2003).
- [25] Renwick, P. Stensel, P. Tung, A. Soh, B., *DESIGN&TECHNOLOGY2*, Pearson Education South Asia (2002).

- [26] Stensel, P. Tung, A. Soh, B., *DESIGN&TECHNOLOGY for upper secondary*, Pearson Education South Asia(2000).
- [27] Barlex, D. 他, *DESIGN & TECHNOLOGY*, Pearson Education(2000).
- [28] 中里真之, 読図能力の問題点 —子どもの立体観—, 日本産業技術教育学会誌 15 (1973), 57-60.
- [29] 末富正啓, 技術科教育に関する研究, 山口大学教育学部紀要 22.3 (1973), 89-113.
- [30] Chester, I, "TEACHING FOR CAD EXPERTISE", *International Conference Technology Education*(2006), 232-242.
- [31] Cheng, R, *USING PRO/DESKTOP*, THOMSON(2004).
- [32] 太田幹郎, Pro/ENGINEER の基礎から応用へⅡ, 山海堂 (2001).
- [33] 城仁士, 立体の投影・構成行為の発達と形成, 風間書房(1990).
- [34] 天野清, 発達遅滞児に対する言語の形成教育, 発達障害研究 3,1 (1981), 37-48.
- [35] ガリペリン, 内的思考及びイメージ形成の基礎としての知的行為, ソビエト心理学研究 No.14.15 (1972), 29-51.
- [36] ヴィゴツキー, 思考と言語 (下) (1934), (明治図書 柴田義松訳 1972).
- [37] 城仁士, 技能の習熟に関する実験的研究 —木材加工(ほぞ加工)技能の多段階的形成の試み—, 日本産業技術教育学会誌 20,2, (1978), 123-129.
- [38] Paul N. Wilson, 空間学習研究における仮想現実技術の利用, 空間認知研究ハンドブック, 二瓶社 (2001), 216-217.
- [39] 竹野英敏, 松浦正史, "中学生を対象とした加工学習での設計過程における初期構想場面の内的操作と外的行為に関する分析", 日本産業技術教育学会誌, 35.4(1993), 279-286.
- [40] 谷田親彦, 村田耕一, 上田邦夫, "「ものづくり学習」の設計段階における中学生の思考活動の構造把握", 日本産業技術教育学会誌, 43.3(2001), 137-144.
- [41] 岳野公人, "ものづくりの構想段階における生徒の計画作成に関する基礎的研究", 日本産業技術教育学会誌, 43.3(2001), 145-151.
- [42] 岳野公人, "ものづくりの計画に対する生徒の意識に関する研究", 日本産業技術教育学会誌, 44.4(2002), 199-206.
- [43] 谷田親彦, 上田邦夫, "「ものづくり学習」における設計に関する学習活動要因の因果関係", 日本産業技術教育学会誌, 48.1(2006), 1-10.

- [44]城仁士, “立体認識の発達過程”, 図学研究, 31.1(1997), 27-29.
- [45]有川誠, “技術・家庭科における図形教育”, 図学研究, 31.1(1997), 29-31.
- [46]製図リテラシー検討ワーキンググループ, “製図学習 これまで・いま・これから”, 技術教育研究会(2007).
- [47]川島章弘, 金井哲雄, “中学校技術・家庭科「情報基礎」用図形教材 J-CAD”, 日本産業技術教育学会誌, 36.1(1994), 17-24.
- [48]森岡寛茂, “学習指導要領の内容 A・B を関連付けた学習指導の工夫”, 日本産業技術教育学会誌, 43.1(2001), 61-64.
- [49]石川克彦, 林剛, 石川賢他, “CG を用いた構想に関する学習指導の効果”, 日本産業技術教育学会誌, 47.4(2005), 315-322.
- [50]飯島眞理, “ものづくりのための3次元CG教材におけるインタラクティブ・テキストチャッピング”, 日本産業技術教育学会第50回全国大会(大阪)講演要旨集(2007), 17.
- [51]中島康博, 松井健太郎, 宮川秀俊, “技術科教育における創造的思考の育成に関する基礎的研究”, 日本産業技術教育学会第50回全国大会(大阪)講演要旨集(2007), 116.
- [52]平田敦, “私のソフトウェアづくり実践”, 技術教育研究, 技術教育研究会(2006), 21-24.
- [53]Hodgson T, Allsop C, Beyond Pro/DESKTOP Computer Aided Design(CAD), Proc. DATA International Research Conference (2003), 45-49.
- [54]Chester I, 3D-CAD:Modern Technology -Outdated Pedagogy?, DATA An International Journal, 12.1. (2007), 7-9.
- [55]平野重雄, 吉田英二, 真下哲也, “CAD/CAE の効果的活用方法に関する一試行”, 図学研究, 31.4(1997), 25-30.
- [56]及川和広, 村上存, 中島尚正, “CAD を用いた設計製図教育における教育効果の客観的・定量的評価(初学者における製図知識習得度の評価)”, 設計工学, 34.2(1999), 31-37.
- [57]大高敏男, 朝比奈奎一, “都立高専における3次元CADを利用した設計教育”, 設計工学 39.5(2004), 17-22.
- [58]田中真二, 竹尾和子, 高橋秀智, “3次元CAD/CAMシステムを用いた機械工作実習の教育効果(レポートのコード化と統計的手法に基づいた分析と評価)”, 設計工学, 42.2(2007), 16-21.
- [59]田中真二, 竹尾和子, 高橋秀智, “3次元CAD/CAMを用いた機械工作実習の教育効果と

- その関連要因（質問紙調査に基づいた検討）”，設計工学，42.9(2007)，28-33.
- [60]空間認知の発達研究会，“空間に生きる”，北大路書房(1995).
- [61]前田真正，上田博之，山岡章宏他，“製図教育における S-P 表分析に関する研究”，図学研究，62(1993)，3-9.
- [62]江崎丈巳，D.R. ショート，入江邦夫，“2-3 次元間図形変換問題の作図挙動解析”，図学研究，62(1993)，17-24.
- [63]斉藤孝明，“空間認識の研究”，日本図学会創立 40 周年 図学研究の広がり，(2007)，115-116.
- [64]鈴木賢次郎，“認知図学事始め”，図学研究，32. 2 (1998)，17-25.
- [65]斉藤孝明，鈴木賢次郎，“実写映像立体視 MCT との比較による MCT 誤答原因の考察”，図学研究，33. 4 (1999)，3-10.
- [66]菅井祐之，鈴木賢次郎，“切断面実形視テスト結果の多変量解析”，図学研究，33. 3 (1999)，27-32.
- [67]Brigitta Nemeth, Miklos Hoffmann, “Gender differences in spatial visualization among engineering students”, *Annales Mathematicae et Informaticae*, 33 (2006), 169-174.
- [68]Brigitta Nemeth, “Measurement of the development of spatial ability by Mental Cutting Test”, *Annales Mathematicae et Informaticae*, 34 (2007), 123-128.
- [69]Emiko Tsutsumi, et. al, “A Mental Cutting Test on Female Students Using a Stereographic System”, *Journal for Geometry and Graphics*, 3. 1 (1999), 111-119.
- [70]椎名久美子，鈴木賢次郎，“メンタル・ローテーション・テストの問題解決過程に関する考察”，図学研究，31. 4 (1997)，3-10.
- [71]Kazuhiko Takeyama, et. al, “Evaluation of Objective Test Using a Pair of Orthographic Projections for Descriptive Geometry Education”, *Journal for Geometry and Graphics*, 3. 1 (1999), 99-109.
- [72]Renata A. Gorska, Zuzana Juscakova, “A Pilot Study of a New Testing Method for Spatial Abilities Evaluation”, *Journal for Geometry and Graphics*, 7. 2 (2003), 237-246.
- [73]Mark Sanders, “Student Cognitive Styles in Postsecondary Technology Programs”,

- Journal of Technology Education, 6. 2 (1995), 19–33.
- [74]James LaPorte, “The Relationships of Spatial Experience, Previous Mathematics Achievement, and Gender with Perceived Ability in Learning Engineering Drawing”, Journal of Technology Education, 18. 2 (2007), 53–67.
- [75]K. Lynn Basham, Joe W. Kotrlik, “The Effects of 3-Dimensional CADD Modeling on the Development of the Spatial Ability of Technology Education Students”, Journal of Technology Education, 20. 1 (2008), 32–47.
- [76]Dean Isham, “Developing a Computerized Interactive Visualization Assessment”, Journal of Computer-Aided Environmental Design and Education, 3. 1 (1997).
- [77]Priscilla N. Gitimu, Jane E. Workman, Marcia A. Anderson, “Influences of Training and Strategical Information Processing Style on Spatial Performance in Apparel Design”, Career and Technical Education Research, 30. 3 (2005), 147–168.
- [78]Shauna A. Scribner, Marcia A. Anderson, “Novice Drafters’ Spatial Visualization Development :Influence of Instructional Methods and Individual Learning Styles”, Journal of Industrial Teacher Education, 42. 2 (2005), 38–60.
- [79]James L. Mohler, “An Instructional Strategy for Pictorial Drawing”, Journal of Industrial Teacher Education, 44. 3 (2007), 5–26.
- [80]Sinan Olkun, “Making Connections :Improving Spatial Abilities with Engineering Drawing Activities”, Journal of Mathematics Teaching and Learning, April (2003), 1–10.
- [81]愛知教育大学, ものづくりと教育, 愛知教育大学 (2005).
- [82]ものづくり CAD 協議会, ものづくり CAD (キャド), ものづくり CAD 協議会 (2003).
- [83]鈴木賢次郎, “認知図学事始め (2) 一切断面実形視テストによる学生の空間認識力評価”, 図学研究, 33.3(1999), 5-12.
- [84]Mike Brown, Sports drink bottle tutorial, The design and technology association (2006)
- [85]PTC, STARCHASER Model Rocket tutorial, The design and technology association (2006)
- [86]PTC, Wind sculpture tutorial, The design and technology association (2006)

博士論文にかかる研究業績

論文（学会誌 査読付）

藤田眞一：中学校技術科における 3 次元 CAD を使った設計教育の可能性，図学研究，42. 2 (2008)，3-8.

藤田眞一，加賀江孝信，城仁士：投影・構成行為の形成に及ぼす 3 次元 CAD による設計教育の効果，図学研究，42. 3 (2008)，3-10.

藤田眞一，加賀江孝信，城仁士：3 次元 CAD による製図・設計教育が視点変換行為の形成におよぼす効果，図学研究，44. 1 (2010)，13-21.

藤田眞一，加賀江孝信，城仁士：中学校期における新たな製図・設計教育プログラムの開発，図学研究 (2010 年 10 月受付 査読中).

謝辞

本研究の実験授業，調査，分析，および本論文の執筆にあたっては，多くの方々にご指導ご協力を賜りました．ここに記して謝意を表します．

まず，本論文の実験授業，調査にご協力くださいました神戸市立上野中学校の皆様，加賀江孝信先生に心よりお礼申し上げます．

本論文の執筆にあたりましては，指導教員である神戸大学大学院人間発達環境学研究科教授 城仁士先生に研究計画の段階から論文作成に至るまで，ご指導を賜りました．深く感謝の意を表します．

また，神戸大学大学院人間発達環境学研究科教授 矢野澄雄先生，小高直樹先生，稲垣成哲先生，准教授 井上真理先生には論文指導をいただき，的確かつ貴重なご意見を賜りました．厚くお礼申し上げます．

最後に，いつも暖かく支えてくれた（株）イスペットの社員の皆さん，家族に感謝します．

2010年12月

藤田 眞一