

効果的ものづくり教材による
工学教育手法の開発と適用

2010年3月

熊本大学大学院自然科学研究科

塚本 公秀

目次

第1章 緒論	1
1.1 はじめに	2
1.2 専門教育前の生活環境	2
1.3 専門教育前の教育環境	3
1.4 専門教育における教育環境	4
1.5 創造性育成のためのものづくり教育	4
1.6 本論文の構成	6
第2章 工学教育における効果的な教育手法	12
2.1 緒言	13
2.2 低学年教育における導入教育の位置づけ	13
2.3 工学教育における教育手法の提案	14
2.4 総合的なものづくり実習の問題点	15
2.5 統合的な実習科目の必要性	16
2.6 高専における実習教育の現状と問題点	17
2.7 結言	19
第3章 機械工学導入教育のための実習課題の開発	25
3.1 緒言	26
3.2 導入教育の取り組み	26
3.3 実習教育の改善	27
3.3.1 工具の正しい使用法の学習	27
3.3.2 自転車の分解組立実習の導入	29
3.3.3 実習アンケートの結果	30
3.4 実習課題としての四輪バギー	30
3.5 実習テキストおよび副教材の開発	33
3.5.1 実習用テキストの現状	33
3.5.2 実習教材・テキスト作成への学生参加の必要性	34
3.5.3 実習用副教材の開発	36
3.6 実習の結果と評価	41
3.7 結言	45
第4章 総合的な製品設計・製作の実習教材開発と検証	47
4.1 緒言	48
4.2 バイオリンの製作の現状	48
4.2.1 バイオリン製作の歴史	48

4.2.2	バイオリンの音色	49
4.2.3	バイオリンの製作方法	49
4.3	実習教材としての木工の優位性	50
4.4	教材用バイオリンの製作	50
4.4.1	バイオリンの構造	51
4.4.2	材料評価用バイオリンの製作	52
4.4.3	形状評価用バイオリンの製作	58
4.5	実習製作バイオリンの評価	62
4.5.1	FFT解析による音色の評価	62
4.5.2	音色の官能評価	64
4.6	実習教材としての利点	65
4.7	結言	66
第5章 エンジニアリングデザインのための教材展開		69
5.1	緒言	70
5.2	デジタルモデルの製作とCAE解析	70
5.3	バイオリンの応力解析の実習教材への適用	75
5.4	結言	78
第6章 結論		80

第1章 緒論

1.1 はじめに

近年、若者のものづくり離れや理工系離れが加速している。その為、日本の産業界の各分野で、経済発展の重要な役割を担ってきた優秀な技術者の確保と後継者の育成が大きな社会問題となっている¹⁾。さらに、2007年問題と呼ばれる団塊世代の定年退職が重なり、技能継承の危機も生じている²⁾。特に製造業においては、技能の修得に少なくとも5～10年を要するため、人材の育成とその教育システムも重要な検討課題となっている³⁾⁻¹⁰⁾。

若者の理工系離れやものづくり離れの要因として、学齢期においてもものづくり体験および現場を見る機会の乏しいことが挙げられ、そのため、理工系に対する関心の低下をもたらしている¹¹⁾¹²⁾。そこで、義務教育の早い段階から、ものづくり教育を行うことが提案され、ものづくりを通した総合的な体験学習により、自ら学び、行動し、問題を解決する「生きる力」を育成する試みがなされている¹³⁾¹⁴⁾。

このような社会的背景を踏まえて、近年大学や高専の理工系高等教育機関では、ものづくり教育が推進されている。

1.2 専門教育前の生活環境

機械系の高等教育機関への入学学生の機械技術に関する環境を考える。1990年代の幼児期の遊びの対象は、具体的な“もの”が主流であったとのフィールドワーク調査の報告がある¹⁵⁾。しかし小学校高学年になると対象がテレビゲームに移行するとの報告もある。現在では半世紀前とは大きく異なり、多くの学生は幼少期からゲームに親しみ、モニター画面上の仮想世界で多くの時間を費やしている¹⁶⁾。日本の家庭用ゲーム機使用の人口が3107万人との統計があり、一機種のゲーム機の世帯普及率が50.9%であるとの調査結果を併せると、学齢期の学生・生徒のゲーム人口割合は非常に高いと推定できる¹⁷⁾。

この20年、IT技術、特にハードウェアの進歩は著しく、マイクロコンピューター等の低価格化が急速に進んだ。同時に家庭におけるインターネット環境の充実も見られ、幼少期の子ども達の遊ぶ環境にIT技術が大きな影響を与えている¹⁸⁾。1960年から1970年頃はカム、リンクや歯車で動作する玩具がほとんどであった。玩具が壊れるとドライバーを持ち出してケースを開け、その内部の機械構造を目にし、

分解組立てを遊びとして経験することもできた。しかし、近年は玩具自体を分解しても機械部品は少なく、電子回路基板やモータしか見られないものが多くなっている。

このように、現在、理工系高等教育機関へ入学してくる学生の多くは、幼少期から機械要素で作られた玩具で遊んだ経験を持っていない。さらに、学齢期前から家庭用ゲームで多くの時間を費やす環境では、機械構造に接する時間はほとんどないのが現状である。

1.3 専門教育前の教育環境

次に理工系高等教育機関を志望する学生の入学前の現状を考えてみる。2002年4月1日から始まったゆとり教育は、高専・大学に入学する学生の理数科、技術科に関わる基礎知識の大幅な低下をもたらした¹⁹⁾²⁰⁾。義務教育ではインターネット環境が整備され、高校では情報に関する教科が新たに設けられた²¹⁾。これにより、義務教育段階でコンピューターリテラシー教育が始まり、高専や大学への入学者に対する従来の情報基礎教育の一部負担が軽減された。そのため、情報系科目では、より高度な内容を教えることができるようになった。しかし、このゆとり教育は、学習時間数の全般的な削減により、結果として義務教育における理数系の学力低下や技術教育の基礎知識欠如となって表面化してきた²²⁾⁻²⁴⁾。

1990年代以降の学力低下を招いているのは、ゆとり教育に加えて子ども達が積極的に学ぶことを避ける傾向にあることが挙げられる。東京大学教育学部教授の佐藤学氏は、その傾向を「学びからの逃走」という造語(フロムの自由からの逃走を引用している)で紹介している²⁵⁾²⁶⁾。子ども達はわからないことがあっても気にせず、そのまま先送りしている。彼らはわからないことに、不安や不快を感じることなく少年期を過ごしているというのである。これを学習時間という評価で見ると、高校生の60%が校外学習時間がゼロであるという調査結果がある。高等教育の空洞化が危惧される今日の状況である²⁷⁾²⁸⁾。

また、高進学率と少子化により、学ぶ意識の希薄な学生が、高等教育機関に多く入学している現状をみると、工学教育手法の改善、改革が重要な課題となっていると言える。

1.4 専門教育における教育環境

、続いて、理工系高等教育機関の状況について述べる。工学の領域は年々技術革新が進み、学際化、情報化へと向かっている。工業技術においては、急速なIT化により、従来の生産加工技術に大幅な変化が生じている。そのため、専門教育の講義においては、様々な対応がせまられ、特に実習や実験・演習科目では多くの問題が指摘されている。

例えば、計測装置や解析装置の高性能化の問題がある。これに伴って、実験に用いる解析装置のソフトウェア化、IC化が進み、自動的に計測結果が得られるため、基本原理の確認ができない状況になっている²⁹⁾⁻³¹⁾。荷重計測センサーが、カンチレバーなどの機械要素から圧電素子に置き換えられ、機構学で学ぶメカニズムの実際の動きを見ることができなくなっている。実験・計測装置の進歩により、実習内容も複雑で高度化できるようになっている反面、学生は実験目的のデータ以外は何も得られない状況におかれつつある。興味深いことに、その自動化の革新技術を担っている情報系の教育においても、既存のシステムソフトウェアの動作・構造のブラックボックス化により、動作回路のイメージがつかめなくなり、理解が妨げられているという報告もある³²⁾。

1.5 創造性育成のためのものづくり教育

機械工学分野の教育内容は、従来の基礎とされる内容に加えて、制御・情報技術や、それを用いたシミュレーション技術および環境など、社会的要請や機械産業の必要性から、学習内容は増加の一途をたどっている。そのため、基礎知識が減少しているにもかかわらず、入学後の学生が学習すべき工学技術の知識は増加しているという矛盾が生じている。

今日の大学は、理論を中心とした研究・開発能力養成に加えて、高度で総合的なものづくりの実践的能力養成も要求されている。これらの影響は、高専や大学での実験・演習科目に顕著に表れており、学生に将来必要な機械技術を、限られた時間の中で習得させるカリキュラムが要求されている。

もちろん、技術修得には工学的な理解が必要であるので、入学後の学生に対する

基礎教育の充実もなされている。現在、工学技術系の高等専門教育機関は、入学者の学習や経験の変化に対応した教育内容と実施方法の改善が求められている。例を挙げると、新入生の理科系基礎力不足を補うための基礎教育の充実の試みや、総合的なものづくりのプログラムの開発と実施がなされている³³⁾⁻⁴¹⁾。さらに開発型技術者としての問題解決能力を養うため、企画から設計、製作、評価を通して創造的、自発的に取り組む力を養成する教育プログラムが多く開発されている⁴²⁾⁻⁵²⁾。

ここではものづくりの基礎技術や創造性を育成する場としての実習教育に着目した。従来、低学年実習では様々な工作法の固別の要素技術実習がなされており、学年が進むと創造性の育成やものづくり能力開発を目的として総合的な実習が導入されている。しかし、前に述べた開発例には体験のみを重視し、工学教育目的が希薄なものがある。また、工作機械を含む実習設備や時間の制約から容易に実施できないものや、ものづくりの全工程を経験できないものもある。そこで本研究では効果的な工学教育手法として、早期の専門教育であっても、より高度で多くの専門領域を含む学習が有意義であることを提案し、実習によりその効果を示した。

低学年の実習においても機械工学領域の学習項目を多く含む実習教材の開発を行った。高度な工学の専門領域の知識であっても、学生を惹き付ける実習教材、学生の経験や立場に立った実習手順、理解しやすいテキストや副教材を導入することで、学生の理解を深めることができる。実習教育において、早期に機械技術全般を経験させることは、これから学ぶ講義の内容に対する期待を与え、専門技術領域の理解促進に有効である⁵³⁾。

講義は工学理解の重要な部分ではあるが、その応用がわからないまま学習することは、退屈で興味に乏しい場合もある。そこで低学年で学生が興味を示す魅力的な教材を用いて実習を行うことで、その後の講義の内容をより深く学習させるとともに、講義科目の重要性を理解させる。このことは高度化した技術の習得に、より有効であると考えられる。

本論文では、以下の二つの創造的な教材開発の実施と検証を行った。

第一の実施例として、高専2年生用に四輪バギーの分解組立実習教材の開発と検証を行った。中等教育までに機械やその機構に触れることが少なかった学生に、実際に公道で走っている四輪車の舵取り機構やサスペンションを分解させ、将来学習

する工業力学，機構学，振動工学等の導入教育を行う．同時に工具の正しい使用法を体得させる．

第二の実施例として，専門教科を実習と統合する手法の開発を目的として，伝統的な木製手工業品であるバイオリンの製作実習教材開発に取り組んだ．木製手工業は，近年急速に衰退している伝統的なものづくりの分野ではあるが，ここで採用した製作実習テーマのバイオリンは(1)伝統的なものづくりを体験できる，(2)木工作であるため短時間でものづくりの全工程の製作実習が可能であるなど，実習教材として適した内容を有している，(3)学生の興味を惹く，など実習教材として有効な要素を有する．また材料や構造の違いを工学的に評価できるので，将来学習する材料力学，周波数解析，および3次元CADやCAEの導入教材にもなり得る．

1.6 本論文の構成

本論文の構成を以下に示す．

第1章では，本研究の背景として，最近の学生のものでづくり離れおよび理科離れの要因を，専門教育前の学生の生活環境と教育環境に分けて分析した．さらに専門教育での学習内容の増加や，総合的なものでづくり能力開発のために，実習を用いて効率的な創造性教育手法の開発の必要性について述べる．

第2章では，工学教育を効率的に行うために，ものでづくり実習課題に必要な教育手法について提案した．学習プロセスは，学習者の認識，理解，定着の3段階からなるが，学習の認識は学習の動機付けにおいて重要である．そこで導入教育に適したものでづくり実習課題を設定することで知識の定着を図ることができる．また，高度な専門領域の学習項目を実習教育の中に折り込み，学ぶ意識を強く与える教材の開発が重要であることを示す．

第3章では，実習方法の改善事例について述べた．工具の正しい使用法の学習として，自転車の分解組立実習を通して正しい使用法の定着を図るとともに，自転車の構造も理解させる．さらに高度な機械技術要素を含む四輪バギーの分解組立を採用し，機械システムとしての四輪車の操舵機構やサスペンションに触れることで，将来学習する工業力学，機構学，振動工学等の導入教育が行える．実習教材改善・開発は実習する学生の視点を取り入れるため，教員と技術員に学生スタッフを加え

た共同開発方式を採用し、実習手順書、学習内容テキストおよび機構説明用の副教材の作製を行う。その結果、適切な実習課題を選択し、理解しやすい教科書、適切な手順書や副教材を実習に導入すれば、高度な専門教育内容も十分効果的に学習させることが可能であることを示す。

第4章では、低学年の総合的な実習のための楽器製作を提案し、ものづくり実習において学習効率を高める。専門科目導入としての役割を担う総合的な実習教材とは、(1)材料と構造および工程が製品の性能に与えることを理解できること、(2)製品の性能の評価が定量的に計測できることが必要であることを示した。具体的な開発課題として木製弦楽器であるバイオリンの製品設計、製作、作品評価を提案した。木材は加工しやすく、設計から評価にいたる“ものづくり”の全工程を短時間で体験でき、対象が楽器であるので設計・製作だけでなく製品の音色の評価が行える。ものづくりの際に性能に与える要素として、材料・形状・工程を含めた構造強度および加工法などの様々な専門教育内容を含んでおり、評価には定量的評価であるFFTによる周波数解析を取り入れることにより、高学年の物理で学習する音の性質や、数学で学習するフーリエ変換の知識についても学ぶことができる。また、この課題実習を通して得られる総合的なものづくり教育の有効性を示す。

第5章では、バイオリン製作実習教材を、高学年での学習との統合的な実習教材とするために、工学的解析手法を導入した実習教材として展開する試みを行った。ここでは、工学的解析方法であるFEM解析（有限要素解析）が総合実習として開発したバイオリン製作にどのように役立つかを示すことで将来高学年で学習するFEM解析の導入教育とする。また、バイオリンの製作実習教材が、構造解析、振動解析など高学年での学習内容を多く含み、工学の発展的な教育に有効な教材であることを示す。

最後に第6章で本研究に対して得られた知見と今後の課題をまとめる。

参考文献

- 1) 八代尚宏：日本的雇用慣行の経済学，労働市場の流動化と日本経済，日本経済新聞出版社，1997.
- 2) 松村文人：技能継承問題における中小企業の課題，国際地域経済研究，8号，pp. 135-139，2007.
- 3) 山本孝：熟練技能伝承システムの研究，白桃書房，2004.
- 4) 樋口美雄，財務省財務総合研究所編著：団塊世代の定年と日本経済，日本評論社，2005.
- 5) 木口昭二：鑄造現場の中核人材育成プロジェクト，工学教育，Vol. 54，No. 3，pp. 132-136，2006.
- 6) 藤本隆宏：日本のもの造り哲学，日本経済新聞社，2004.
- 7) 久保田章市：団塊世代の引退による技能継承問題と雇用・人材育成，日本労働研究雑誌，550号，pp. 31-42，2006.
- 8) 技術・技能伝承支援体制に関する調査研究報告，大阪科学技術センター，1996.
- 9) 海野邦昭：次世代への高度熟練技能の継承—技能が消えれば、国が滅びる，アグネ承風社，1999.
- 10) 久保田章市：中小企業の後継者育成についてのベストプラクティスの研究，日本中小企業学会論集，Vol. 24，No. 6，pp. 31-42，2005.
- 11) 黒杭清治：理科離れについて考える，工学教育，Vol. 50，No. 4，pp. 27-34，2002.
- 12) 科学技術庁平成5年度科学技術白書，1993.
- 13) 山本 勇，宮本啓司，井戸和哉：「ものづくり教育」の充実に向けて，大阪教育大学紀要第V部門，Vol. 50，No. 2，pp. 289-297，2002.
- 14) 若年者に対する熟練技能技術者によるものづくり教育・学習の在り方について「ものづくり教育・学習に関する懇談会」報告書，厚生労働省，2001.
- 15) 新井範子：小学生にとっての遊び - フィールドワークから見えてきた子どもの世界，消費者行動研究，Vol. 6，No. 1，pp. 35-46，1998.
- 16) 堀切直人：子供たちはみんな表で遊んでた，右文書院，2009.
- 17) 2009CESA ゲーム白書，コンピュータエンターテインメント協会，2009.

- 18) Tapscott Don: デジタルネイティブが世界を変える, 翔泳社, 2009.
- 19) 小学校学習指導要領(文部省告示第175号), 文部省, 1998年12月14日
- 20) 中学校学習指導要領(文部省告示第176号), 文部省, 1998年12月14日
- 21) 高等学校学習指導要領, 第10節, 情報, 文部省, 1999年12月26日
- 22) 左巻健男: 「理数力」崩壊 日本人の学力はどこまで落ちるのか, 日本実業出版社, 2001.
- 23) 左巻健男, 荻谷剛彦: 理科・数学教育の危機と再生, 岩波書店, 2001.
- 24) 荻谷剛彦, 清水睦美, 志水宏吉, 諸田裕子: 調査報告「学力低下」の実態, 岩波書店, 2002.
- 25) 佐藤学: 「学び」から逃走する子どもたち, 岩波書店, 2000.
- 26) 佐藤学: 学力を問い直す—学びのカリキュラムへ, 岩波書店, 2001.
- 27) 内田樹: 下流志向学ばない子どもたち, 働かない若者たち, 講談社, 2007.
- 28) 金子元久: 日本の高等教育における構造的変化: 現在と未来, 高等教育ジャーナル, Vol. 5, pp. 145-147, 1999.
- 29) Davis Baird: 物のかたちをした知識, 実験機器の哲学, 青土社, 2005.
- 30) トランジスタ技術編集部: RFワールド - デジタル変調時代のRF測定器入門 -, Vol. 5, CQ出版, 2009.
- 31) 魚住智彦: ものづくり産業のデジタル化によって変化した電気測定器産業, 赤門マネジメントレビュー, Vol. 6, No. 11, pp. 597-610, 2007.
- 32) 西野洋介, 川口貴弘, 青山誠一, 早川栄一: ロボットによる組込みシステム学習環境のICD化と導入コストに関する一考察, 情報処理学会研究報告, コンピュータと教育研究会報告, Vol. 13, pp. 25-32, 2008.
- 33) 吉田和夫: 新しい工学教育を目指して, 工学教育, Vol. 50, No. 4, pp. 66-71, 2002.)
- 34) 安西祐一郎: 大学教育と大学組織のあり方を問う, 大学の社会的責任, 大学の研究教育を考える会編, 丸善株式会社, pp. 38-61, 2001.
- 35) 架谷 昌信: 新しい工学教育プログラム 歩みはじめ創造性教育, 工学教育, Vol. 50, No. 4, pp. 78-81, 2002.
- 36) 大山 啓, 高木 均, 日下一也, 堀川敬太郎: Lego Mindstoroms を利用した創造

- 的ものづくり教育とその効果, 工学教育, Vol. 52, No. 4, pp. 20-24, 2004.
- 37) 千田進幸, 松浦英雄, 山本浩治: 機械系学生を対象としたモノづくり実習・企画と実施, 工学教育, Vol. 53, No. 1, pp. 83-88, 2005.
- 38) 小池清之, 阿津勝博: ハイテクとローテクの二つの入り口を設けたものづくり導入教育の試み, 工学教育, Vol. 52, No. 5, pp. 37-41, 2004.
- 39) 田中祐一, 縄田 豊, 開 豊, 井山裕文, 福山重美, 浦本登美雄, 吉田修二, 桐谷能生, 宮本憲隆: “ものづくり”を身に付けさせるための導入教育, 工学教育, Vol. 51, No. 1, pp. 72-77, 2003.
- 40) 犬塚勝美, 小関 修, 渡辺正人: PICとMind Storms とを用いたロボットコンテストの工学教育例報告, 高専教育, Vol. 26, pp. 441-446, 2003.
- 41) 兼重明宏, 藤本 浩, 伊藤 尚, 森野数博, 戸田善久: PICマイコン制御製品開発による総合演習教育, 工学教育, Vol. 51, No. 5, pp. 74-79, 2004.
- 42) 千田進幸, 松浦英雄, 福森 勉, 松室昭仁: 大学1,2年生のための感性・創造実習やじろべ製作, 工学教育, Vol. 53, No. 1, pp. 2005.
- 43) 元場俊雄, 安 弘, 小笹俊博, 升谷保博, 森 幸治, 安富雅典, 吉田晴行: 創造性の育成を目指したもの作り教育, 工学教育, Vol. 54, No. 3, pp. 35-40, 2006.
- 44) 森幸治: 大阪電気通信大学におけるもの作り教育, 日本機械学会関西支部第80期定期総会講演会講演論文集, 054-1, 2-7-2-8, 2005.
- 45) 梅田 靖, 阪上隆英: 大阪大学機械系における学部学生向け創成教育, 工学教育, Vol. 54, No. 3, pp. 41-45, 2006.
- 46) 阪部俊也, 福田和廣, 天野裕司, 道下貴広: ロボット製作を通じたエンジニア総合力育成教育, 工学教育, Vol. 54, No. 3, pp. 57-63, 2006.
- 47) 道下貴広, 櫛 弘明, 中島レイ: 自律型マイクロロボットを通じての創造教育, 奈良工業高等専門学校研究紀要, Vol. 34, pp. 59-62, 1998.
- 48) 道下貴広, 櫛 弘明, 岸下晴亮, 阪部俊也: 自律型マイクロロボットを通じての創造教育(II), 奈良工業高等専門学校研究紀要, Vol. 35, pp. 63-66, 1999.
- 49) 川下智幸, 福田孝之, 下野次男, 南部幸久, 森下浩二, 松尾修二: 高専専攻科における専門分野の異なる学生を融合した「ものづくり」演習の試み, 工学教育, Vol. 53, No. 6, pp. 63-68, 2005.

- 50) 藤澤正一郎, 平岡延章, 十河宏行, 由良 諭: 高松高専制御情報工学科におけるモノづくり教育と創造性育成教育, 工学教育, Vol. 51, No. 5, pp. 18-22, 2003.
- 51) 山口顕司, 山内義一, 谷本明逸, 足立俊幸, 小口英樹, 岸 悠, 杉谷 洋一: 高専高学年における専門知識の実践的応用を目的とした創成科目の実施, 工学教育, Vol. 51, No. 5, pp. 68-73, 2003.
- 52) 岩渕義孝, 荒井 誠, 佐々木 敦, 梶原秀一, 天元 宏, 佐藤彰治: 全学科的創造教育の試み, 工学教育, Vol. 52, No. 5, pp. 5-9, 2004.
- 53) 英 崇夫, 猪子富久治, 小西克信, 升田雅博, 三輪 恵: 専門科目への動機づけを主眼においた初期創成科目, 工学教育, Vol. 49, No. 6, pp. 38-43, 2001.

第2章

工学教育における 効果的な教育手法

2.1 緒言

本章では、まず、専門教育機関が現在直面している教育上の重要な課題について述べ、低学年でのものづくり実習による導入教育の必要性を述べる。次に効率の良い学習を行うために新しい教育課題を導入する手法についての提案を行い、この中で考慮すべき学習者の学習プロセスについて述べる。さらに、ものづくり実習の現状を述べ、多くの提案されている総合的なものづくり実習の問題点を明らかにする。

続いて総合的なものづくり実習においての高学年での学習内容との統合の必要性を述べ、現在の専門教育課程で学習プロセスにおいて不足している部分を示す。その後、本研究で開発した実習が、学習プロセスのどの段階を補充するかについて述べ、同時に高度な工学領域を学生に理解させるために工学技術への動機づけを与える教材の必要性について述べる。

2.2 低学年における導入教育の位置づけ

近年、日本だけでなく多くの先進国においても科学や技術が嫌いな子供が増加している¹⁾。加えて、ゆとり教育による義務教育での理科の教育時間の減少や、教育技術の脆弱化と社会環境の変化のために、専門教育に進む学生の技術教育の基礎となる部分の知識や経験不足が顕著になっている。これまでの高等教育機関における専門教育では研究・開発能力の育成が主であったが、総合的で実践的なものづくり能力、エンジニアリングデザイン能力が求められてきている。

高等教育機関に入学してくる学生は機械構造に触れた経験や技術の基礎知識に乏しいにも関わらず、専門教育では高度の工学技術や専門領域の知識を教えなければならない。そこで、限られた時間で多くの知識や技術を習得させるために、より効率的な教育手法の改善・改良や開発に迫られている。

学生は卒業研究を通して複数の機械部品からなる装置や、補助具など様々なシステムを創る。卒業研究での“ものづくり(システムの創造)”では計画立案、資料収集、製品設計、製作、評価の全工程を含んでいる。したがって専門教育で全カリキュラムを学習することで段階的に知識を学び、経験を心得、統合的なエンジニアリングデザイン能力の修得ができる²⁾⁻⁵⁾。しかしながら、卒業研究ではテーマ毎に

手法や内容が異なり教育内容が統一されていないこと、学生が学習内容の全体を意識しないまま最終学年まで講義を受けていることなどにより十分な効果が得られなくなっている。

効率の良い教育方法としては、単元学習的な講義や実習での個別知識の理解だけでなく、知識の関連を理解させる総合学習的な教育方法が有効であるといわれている⁶⁾。これをうけて、大学・高専では低学年時から機械に触れる体験実習や実験を通したものづくり教育が行われている。しかし、先に述べた学生の経験の乏しさから、入学直後の実習での総合的なものづくりの実施は困難が多い。そこで、導入教育段階での学習前体験により必要知識・学習を認識させることが重要である⁷⁾。

本研究ではこの点に着目し、導入教育での総合的なものづくりの経験に加えて、専門知識や解析手法を経験させる効率的な専門教育手法を提案する。

2.3 工学教育における教育手法の提案

専門教育へ導入する場合の効果的な教育手法について述べる前に、学習プロセスについて述べる。学習者は知識を身につけるまでに、(1)問題認識、(2)学習事項の理解、(3)知識の定着、の三段階を経ている。第一段階の問題認識とは学習者が何を学ぶかという学習対象を知ることであり、第二段階の学習事項の理解ではその対象を系統的に理解する。そして第三段階の知識の定着において、理解した事項を実践・練習して応用力をつける。学習事項の理解と知識の定着では、義務教育段階で単元学習を繰り返しながら生徒は理解している。実際、単元学習の場合は最初に単元のテーマとして提示されているため、何を学ぶかについての問題も認識していることになる。専門教育でもこの学習プロセスを学生に提示しておくことが学生の効率的な学習を促進する。

従来は、第一段階の問題認識は、幼少期や少年時代の遊びでの様々な経験の中で得られていた。第二段階の学習事項の理解は、読書や講義の受講などの様々な学習形態で得られていた。第三段階の知識の定着は、実際の機械の使用や分解組立などの体験が大きな役割を担っていた。従って、専門教育が役割を十分に果たすには第二段階の学習事項の理解が重要であった。

しかし、これらの各段階は、今日では講義を受講するのみでは不十分である。学

習プロセスにおいて第一段階の問題認識と最終段階の知識の定着には、学習効率を高める為の教育手法や教材の開発が必要である。これら3つの段階は全てが単一科目で網羅されている必要性はなく、専門教育のカリキュラム全体を通してこの学習プロセスが実施されることで十分な学習効果が得られる。また複数の科目にわたる共通な学習項目を含むことで、機械工学の総合的な学問体系を認識させることができる。

本研究では、各学習分野の3つの段階について内容を精査し、学習効果をあげるための実習科目や授業方法および教材を提案して検証する。

2.4 総合的なものづくり実習の問題点

これまで、導入教育としての総合的なものづくり実習については多くの報告がある。しかし、1)加工機械の熟練を必要とする、2)高学年の関連科目の学習事項にむすびついていない、3)製作に多大の時間を要する、4)特殊な設備等を必要とする、などの問題点があり、開発された教材が低学年で実施可能であるとは限らない。そこで、工学教育において望ましい総合的な教材として必要な要件について述べる。

図2.4.1に示すように“もの”とは材料と構造からなっている。したがって、構造や材料が異なれば異なる機能や品質を持つ。また、工程によっても、“もの”の機能や品質が異なる。総合的なものづくり実習ではこれらの理解が重要である。

さらに工学では、材料、構造、工程による“もの”の機能や品質の違いを定量的に評価することが必要である。しかし多くの報告事例では製作した“もの”の定量

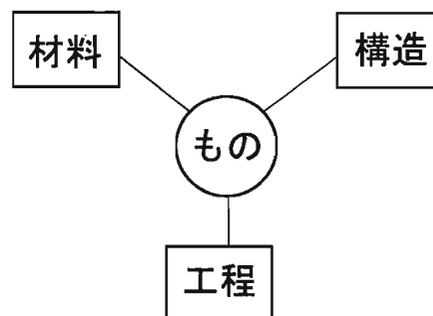


図2.4.1 ものづくりから見たものの構造

的評価がなされていない場合が多い。この原因はものづくり実習の時間的制約による。解決策として、本研究では設計から評価にいたるものづくりの全工程を短時間で体験できる木工作を導入する。

2.5 統合的な実習科目の必要性

2.2 節で導入教育における実習に工学の基本的要素を導入し、実習教育を専門科目と関連させることの重要性を述べた。また、専門教育で多くの工学技術や知識を深く理解させるための効率的な教育手法の改善・改良が必要であることを述べた。

そこで、高学年での専門科目と低学年での実習の連携を提案する。講義と実験の連携は従来から行われており、講義で学んだことを実験で確認する。実習や実験は講義の補完との位置づけのため、講義で学習した後に実験で確認する教科配列を行っている。しかし、限られた時間で学生の経験不足を補い高度な教育内容を理解

表2.5.1 学習プロセスから見た改善・開発実習

学習段階	機械に関する基礎知識	機械操作の基礎	機械の力学			応用数学	計測と制御	設計			工作法				
認識	機械基礎														
	自転車の分解組み立て														
	バギーの分解組立														
理解			バイオリンの製作実習												
	機械工作法		材料力学	機械力学	熱力学	流体力学	数値解析	フリー工級数	計測工学	制御工学	機構学	図学	機械製図	機械要素	機械工作法
定着			機械工学実験								設計製図				
											バイオリンのデジタルモデルの製作				
卒業研究															

させるために、専門科目の学習項目を低学年から経験できる統合的な実習教材が必要である。

実習テーマの改善や新しい統合的なものづくり実習テーマの構築について述べる前に、本研究で開発した事例の3つの教育段階への割付を表2.3.1に示す。改善や改革を行う際にその内容が、学習プロセスのどの段階を改善するかという指針を示すものである。第1段階は学習目的の認識である。第2段階は理解させる内容の抽出。第3段階は定着の評価である。

以下に、本研究で実証した四つの事例について述べる。第1段階の学習目的の認識は導入テーマの状況とその必要性の確認である。機械基礎教育では入学直後から各教育分野の入門の講義を行っている。Early Exposure と呼ばれるもので、早期の段階で専門領域の内容に触れさせて、機械工学を学んでいく上で必要となる知識や理論を認識させる。これらの部分は以前は入学前の各個人の体験により充足・完了されていたが、近年の学生は専門教育以前の機械技術に対する経験が乏しいため、後に学ぶ専門科目への導入と学習に対する動機付けを行うことが必要である。

第3章で述べる低学年実習での自転車の分解組立、その発展として四輪バギーの分解組立は、基礎教育という点では認識・理解・定着の全プロセスを全て網羅している。そこで、この実習科目を機械工学の基礎を体験させる重要な科目と位置づける。第一段階の認識を十分に確認できる科目を経たのちに、第二段階の各専門科目を学ぶカリキュラム構成となる。力学、設計、および計測制御などの専門科目は、導入教育の実習体験によって内容の理解が促進される。

第3段階の定着は、従来のカリキュラムでは工学実験や卒業研究によりなされていたが、近年、その定着にはプロジェクト科目などの知識のインテグレーションを目的とした総合科目が必要となっている。しかしながら、実際の設計製作に十分な時間が確保できないため、設計・製作・評価のすべてを行うことは困難である。この点を改善するために、第4章で述べるバイオリンの製作課題を開発した。このバイオリン製作は木材加工が主体となる。製作は従来の金属加工から木材加工に変更することで、加工時間の短縮と高い完成度が得られる。

2.6 高専における実習教育の現状と問題点

本節では本研究に至った、高専における実習教育の実情と問題点について述べる。

現在、義務教育課程における技術教育は内容、時間の両方において減少している。小学校における相当教科は「図画工作」科であるが、技術教育的要素は「工作」に含まれている⁸⁾。しかし、実質は美術的内容が多く、技術教育は粘土や紙、布などによる造形が主である。また、加工は造形の一部として扱われている⁹⁾。中学校では、普通教育として「技術・家庭」科の「技術」分野が担当しているが、情報技術も多く取り入れられているため加工技術関係は大きく削減されている¹⁰⁾。金属薄板の加工もあるが、布や木を主体とした衣服や本棚などの製作が主に行われている。高等学校では、工業・農業、総合学科を持つ高校においては、職業専門教科・科目としての技術教育が行われているが、普通科では技術教育の教科・科目は無い¹¹⁾。

つぎに、高専の工学教育実習の現状について述べる¹²⁾。高専では1年から3年まで週3時間の工作実習として主要な加工法の実習を行っている。全国の高専における工作実習の内容調査結果を示す。図2.6.1は、全国の高専のWebページより検索し、公開されているシラバスを調査分類したものである。機械系学科を有する全国高専のうち46校のデータを得た。

工作実習の実施は、2年生のみが1校、1-2年生が16校、2-3年生が7校、1-3年生が最も多く21校、1-4年生が1校であった。ほとんどの高専では低学年で実習、

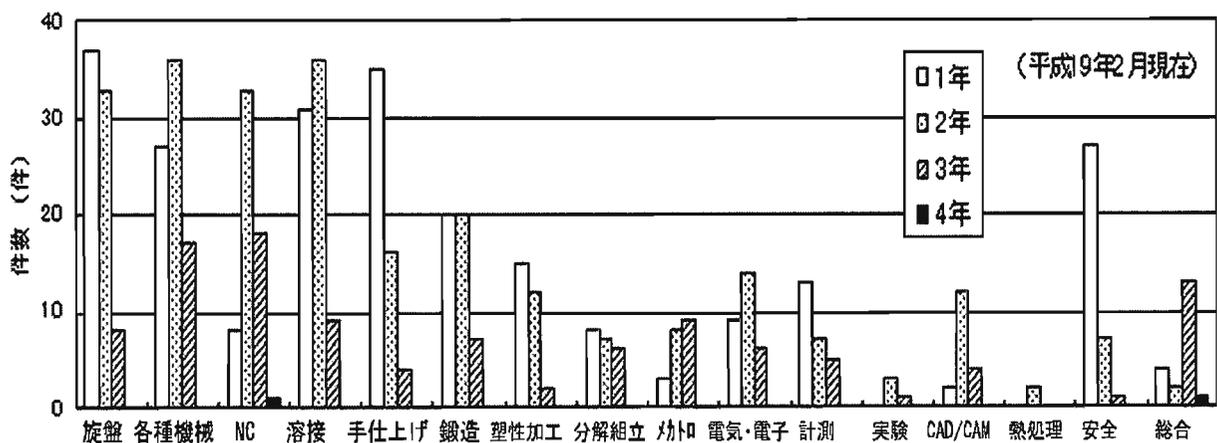


図2.6.1 高専における工作実習のテーマ別分類

高学年で実験という形式をとっている。実習への配当単位は6～9単位である。なお、同図中「各種機械」は旋盤以外の汎用工作機械であり、ボール盤、フライス盤、形削り盤、研削盤などを示す。「NC」はNC旋盤、NCワイヤ放電加工機、NCフライス盤、マシニングセンタなどを示す。「塑性加工」は鍛造や板金などを示す。メカトロはシーケンス制御、ロボットの制御などを示す。「総合」は創作活動、創造設計などを示す。

図より高専では、1年生では旋盤、溶接、手仕上げ、鋳造、塑性加工など基礎的なテーマが多く、2年生ではNC、3年生では総合実習が取り入れられている。基礎的な内容を中心に各工作法単位で実習を行っている。したがって超精密加工やナノ・マイクロ加工など最先端技術に関する実習は低学年では見られない。

著者の所属する高専での工作実習について述べる。機械工学科では、1-3年生で工作実習を行っており、実習形態は1クラス約40名の学生を10名ずつ4班で実施している。実施項目を図2.6.2(a)～(c)に示す。各学年の実習は各7週のローテーションで行っている。

1年生では鋳造、鍛造、溶接、旋盤および工具の使用法を実習する。2年生では鋳造、塑性加工、溶接、切削および研削加工を実習し、3年生の後期で総合実習として、独自の設計・製作を行う。

実習における問題点は、実習における個々の作業の位置づけを理解しないまま実習していることである。各種工作法の実習であるため、個々の作業は体験するが、機械の構成や製作手順について知識が与えられない。そのため総合的なものづくり教材を与えても製作意欲が持てない学生が多い。

この現状を改善するためには、個々の技術を総合的に活用できる優れた教材の選択が重要となる。

2.7 結言

本章では専門教育機関が現在直面している教育上の重要な課題について述べ、解決法の一つとして低学年での効果的なものづくり実習の開発の必要性を示した。

本章のまとめを以下に示す。

1. 専門教育前のものづくり経験不足により工学全般の認識と理解が低下してい

平成21年度 シラバス	学年・期間・区分	1年次・通年・A群
	対象学科・専攻	機械工学科
機械工作法Ⅰ (Mechanical Technology I)	担当教員	塚本公秀(Tsukamoto, Kimihide)
	教員室	機械工学科棟3階(TEL. 42-9106)
	E-Mail	tsuka@kagoshima-ct.ac.jp
教育形態 / 単位の種別 / 単位数	講義 / 履修単位 / 1単位	
週あたりの学習時間と回数	授業 (50分) × 30回	
〔本科目の目標〕 本科目は平行して行われる実習作業の内容を体系的に学習する。機械工学の総括的知識を必要とするが、専門教科として最初の科目であることから、機械工学の専門用語に慣れること。 講義内容は加工対象の金属の性質、特に温度との関係を知り、各種工作法のうち鋳造法、塑性加工法についての基礎を理解する。		
〔本科目の位置付け〕 同時開講の工作実習(1-3年)で学ぶ加工技術の実際の知識を本科目により体系化する。2,3年生までの通論となっている。また工作法で学んだ知識を以後の設計・製図などに効果的に用いる。		
〔学習上の留意点〕 学習内容の確認小テストを実施するので授業内容の理解、専門語の英語表記について確実に学習すること。		
〔授業の内容〕		
授 業 項 目	時限数	授 業 項 目 に 対 す る 達 成 目 標
ガイダンス	1	シラバスの説明
1. 技術の歩み	1	機械工学における教科と工作法、実習と工作法の位置付け
2. 主な機械材料	1	産業革命以後の科学技術の発展と加工技術の進歩を歴史の中で比較する。 機械部品がさまざまな材料からできており、それらは分類されていることが説明できる。
3. 材料の機械的性質 ―― 前期中間試験 ――	4	主要な材料の機械的性質を説明できる。 授業項目1～3について達成度を確認する。
4. 金属の結晶構造と状態変化	1	鉄が結晶構造を変えることを理解できる。
5. 合金の状態変化と結晶構造	2	結晶構造と性質の関係を理解できる。 合金の冷却曲線を理解できる。
6. 炭素鋼の性質と分類	1	弾性変形と塑性変形の違いが説明できる。
7. 熱処理	1	主要な熱処理法について説明できる。
8. 製鉄・製鋼	1	高炉の構造、精鋼炉の種類と構造を理解できる。
9. 鋳造用材料 ―― 前期期末試験 ――	2	鋳鉄と鋳鋼の違いを説明できる 授業項目4～9について達成度を確認する。
10. 砂型鋳造法	5	鋳造とはどのような加工法か一般的な方法として全体を説明できる。 鋳物設計上問題となる模型設計・鋳型設計上の要点を理解できる。 鋳造で発生しやすい問題事例と対策を理解できる。
11. 特殊鋳造法	1	代表的な精密鋳造方法と用途・特徴を理解できる。
12. 溶解炉 ―― 前期中間試験 ――	1	溶解炉の種類と構造・用途を理解できる。 授業項目10～12について達成度を確認する。
13. 自由鍛造	1	鍛造とはどのような加工法か説明できる。
14. 型鍛造	4	自由鍛造と型鍛造の特徴と用途について理解できる。 鍛造作業に使用される機械の名称・構造・目的について理解できる。 せん断加工の機構について理解できる。 曲げ加工の機構・工程上問題点について理解できる。 深絞りの方 法・問題点について理解できる。
15. プレス機械	1	鍛造作業に使用される機械の名称・構造・目的について理解できる。
16. 転造・押し出し・圧延 ―― 後期期末試験 ―― 試験答案の返却・解説	2	転造・押し出し・圧延の方法と用途について理解できる。 授業項目13～16について達成度を確認する。 各試験において誤った部分を理解出来る
〔教科書〕 機械工作Ⅰ 嵯峨 常生 実教出版, 機械工学便覧 B2加工学 加工機器 日本機械学会編		
〔参考書・補助教材〕		
〔成績評価の基準〕 定期試験(中間試験を含む)(60%)＋レポートとプレゼンテーション(20%)＋小テスト(20%)		
〔本科(準学士課程)の学習教育目標との関連〕 3-c		
〔教育プログラムの学習・教育目標との関連〕		
〔JABEEとの関連〕		

(a) 1年生用シラバスから

図 2.6.2 高専における工作実習の内容

平成21年度 シラバス	学年・期間・区分	2年次・通年・必修
	対象学科・専攻	機械工学科
工作実習 II (Hands-on Technical Training II)	担当教員	塚本公秀 (Tsukamoto, Kimihide)
	教員室	機械工学科棟 3階 (14-42-9106)
	E-Mail	tsuka@kagoshima-ct.ac.jp
教育形態 / 単位の種別 / 単位数	実習 / 履修単位 / 3単位	
週あたりの学習時間と回数	授業 (150分) × 30回	
〔本科目の目標〕 各種工作法の基礎実技習得を通して、理論と実際の対比、原理・原則に基づく仕組みの得得、応用力・判断力・総合力の養成を図り、あわせて安全作業の重要性を体得させる。		
〔本科目の位置付け〕 座学の機械工作法で学習した理論と本科目での実践との有機的結合により、加工方法の原理や適切な材料選択および工作機械の運動について理解が深まり、実際の生産現場に適応できる技能能力が養成される。		
〔学習上の留意点〕 実習心得を守り安全に作業すること。実習テーマの終了時に、担当者から実習レポートの提出の指示があるので、指示された日時までに必ず提出すること。また、報告書作成のために実習内容や実習手順等を実習ノートにメモしておくこと。		
〔授業の内容〕		
授 業 項 目	時限数	授 業 項 目 に 対 す る 達 成 目 標
機械加工	2 1	課題の外丸削りの作業法について理解する。 はめあい記号の理解と課題の穴ぐりの作業法について理解する。 穴あけ位置の計算とけがき作業法について理解する。 バイトの材質、種類、形状の理解と選定について理解する。 加工条件の理解と設定について理解する。
NC加工	2 1	NC (数値制御) の概要及び特徴について理解する。 右手直交座標系、標準座標軸、工作機械の座標軸について理解する。 アブソリュート方式とインクレメンタル方式について理解する。 準備機能 (Gコード)、補助機能 (Mコード)、主軸機能 (Sコード)、工具機能 (Tコード) 等について理解する。 CAD/CAMについて理解する。
各種工作機械実習	3	円筒研削盤と平面研削盤について、加工方法の違いと用途を理解する。 歯車の形状と加工原理について理解する。
融体加工	1 2	カップリング用鋳型の造形法及び中子について理解し、鋳型を製作する鋳鉄の鋳込み作業の内容を理解する。 カップリング鋳物の製品検査を通じて鋳鉄の性質を理解する。
溶接加工	2 1	仮付けの方法及び溶接電流、角度、アークの長さについて理解する。 溶接可能な材料と使用ガスについて理解する。
車両の分解組立	9	機構・動作原理を理解する。 実際に四輪バギーの分解・組立作業の作業工程・工具の使用方法を理解する。
工場見学	3	
〔教科書〕 鹿児島高専実習書		
〔参考書・補助教材〕 電卓、筆記用具、メモ帳 (レポート作成のため)1,2年で機械工作法で使用する教科書、便覧		
〔成績評価の基準〕 実習、レポート評価 (50%) + 実習態度 (50%)		
〔本科 (準学士課程) の学習教育目標との関連〕 3-c, 4-a		
〔教育プログラムの学習・教育目標との関連〕		
〔JABEEとの関連〕		

(b) 2年生用シラバスから

図 2.6.2 高専における工作実習の内容

平成21年度 シラバス	学年・期間・区分	3年次・通年・必修
	対象学科・専攻	機械工学科
工作実習Ⅲ (Hands-on Technical TrainingⅢ)	担当教員	引地力男(Hiki-ji, Rikio)
	教員室	機械工学科棟1階(Tel. 42-9103)
	E-mail	hiki-ji@kagoshima-ct.ac.jp
教育形態 / 単位の種別 / 単位数	実習 / 履修単位 / 3単位	
週あたりの学習時間と回数	授業 (150分) × 30回	
〔本科目の目標〕 各種工作法の基礎実技習得を通して、理論と実際の対比、原理・原則に基づく仕組みの得得、応用力・判断力・総合力の養成を図り、あわせて安全作業の重要性を体得させる。		
〔本科目の位置付け〕 座学の機械工作法で学習した理論と本科目での実践との有機的結合により、加工方法の原理や適切な材料選択および工作機械の運動について理解が深まり、実際の生産現場に適應できる技能能力が養成される。実験ジグの製作を行う卒業研究との関連がある。		
〔学習上の留意点〕 実習心得を守り安全に作業すること。実習テーマの終了時に、担当者から実習レポートの提出の指示があるので指示された日時までに必ず提出すること。また、報告書作成のために実習内容や実習手順等を実習ノートにメモしておくこと。		
〔授業の内容〕		
授 業 項 目	時 限 数	授 業 項 目 に 対 す る 達 成 目 標
1. NC加工	2 4	(1)自動プログラミングを理解できる。 (2)PG装置の取扱い及びマシニングセンタの操作を理解できる。 (3)課題のプログラミングと実習を理解できる。 (4)NC立フライス盤の操作を理解できる。 (5)課題のプログラミングと実習を理解できる。 (6)NCワイヤーカット放電加工機の実習を理解できる。
2. 測定実験	2 1	(1)マイクロメータの性能試験を理解できる。 (2)ダイヤルゲージの性能試験を理解できる。 (3)ネジの検査を理解できる。 (4)歯車の検査を理解できる。 (5)空気マイクロメータ及び真円度測定機を理解できる。 (6)CNC三次元測定機の操作と実習を理解できる。
3. 電気実験	2 1	(1)はんだ付け、ワイヤーラップ、圧着を理解できる。 (2)オームの法則を理解できる。 (3)電圧計と電流計の取扱い方を理解できる。 (4)テスターとデジタルマルチメータの取扱い方を理解できる。 (5)オシロスコープの使い方と波形観察を理解できる。 (6)電熱器の効率試験を理解できる。 (7)重ね合わせの原理を理解できる。
4. 総合実習	2 4	(1)レーザ加工機の取り扱いと実習を理解できる。 (2)機械工作法で学習した内容の実験的検討を理解できる。 (3)自由製作を行い、製造工程を理解できる。 但し、(3)を(2)で補う場合がある。
〔教科書〕 鹿児島高専実習書		
〔参考書・補助教材〕 機械工作法で使用する教科書 電卓、筆記用具、メモ帳		
〔成績評価の基準〕 レポート評価(50%) + 実習態度(50%)		
〔本科(準学士課程)の学習教育目標との関連〕 3-c, 4-a		
〔教育プログラムの学習・教育目標との関連〕		
〔JABEEとの関連〕		

(c) 3年生用シラバスから

図 2.3.2 高専における工作実習の内容

るため、導入教育で工学の全般的な知識・学習の必要性を認識させる必要がある。

2. 認識, 理解, 定着の学習プロセスに沿った効率的な実習が必要である。
3. 総合的なものづくり教材は, 製品の材料・構造・工程の違いによる性能を工学的に評価できることが必要である。
4. 学習効率を上げるために, 高学年の学習内容と統合した実習教材が必要である。

参考文献

- 1) 平成15年度文部科学白書：第2部，第7章，第6節，2003.
- 2) 大淵慶史，飯田 晴彦，両角 光男：工学部全学生を対象としたデザイン教育の開発，工学教育，pp.87－92，2007.
- 3) 大淵慶史，飯田晴彦：PBL科目としての機械式時計製作の試み，平成19年度工学・工業教育研究講演会講演論文集，pp.586-587，2007.
- 4) Y. Ohbuchi, H. Sakamoto, T. Yamaoka, T. Kuwahara: Attempt of Mechanical Clock Design and Making as PBL Subject, ACEE2009, 2009.
- 5) 飯田晴彦，大淵慶史：工学部におけるデザイン教育の試行－「私の欲しいスピーカー」デザインと製作－，平成19年度工学・工業教育研究講演会講演論 pp.582-583，2007.
- 6) 大垣眞一郎：工学教育のいままでとこれから，工学教育，Vol.53, No.6, pp.48-51，2005.
- 7) 長坂徹也：工学教育におけるデザイン能力育成の重要性，第3回「ものづくり・創造性教育に関する取り組みに関するシンポジウム」資料，2005
- 8) 小学校学習指導要領：第2章，各教科，第7節，図画工作，1998.
- 9) 左巻 健男：初等・中等理科教育に風穴を開ける“もう一つの理科教科書”，工学教育，Vol.52, No.1, pp.47-51，2004.
- 10) 中学校学習指導要領：第2章，各教科，第8節，技術・家庭，1998.
- 11) 高等学校学習指導要領：第2章，普通教育に関する各教科，1999.
- 12) 山本桂一郎，上野孝行，引地力男：学生が工作実習に積極的に取り組むためのテーマの工夫，富山商船高等専門学校研究集録，Vol.41, pp.9-14，2008.

第3章

機械工学導入教育のための 実習課題の開発

3.1 緒言

本章では、導入教育段階での実習方法の改善事例について述べる。まず、導入教育として高専におけるものづくり教育への取り組みを示す。次に、工具の正しい使用法の、入学直後の実習への導入について述べる。

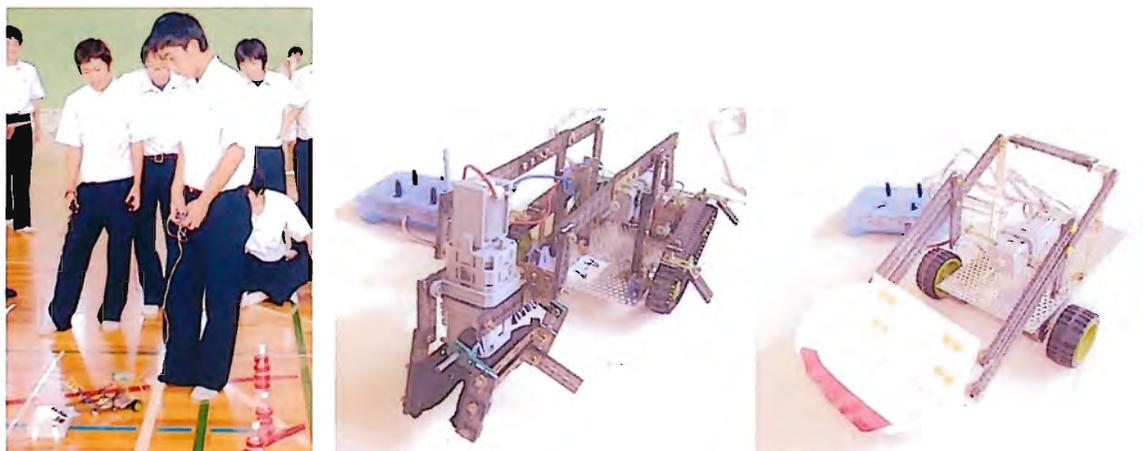
高度な機械技術要素を含む四輪バギーの分解組立を導入について述べる。

また、実習中における行動観察や、実習後の学生の意見から、実習用テキストや実習教材開発を実習する学生の視点を取り入れるため、教員と技術員に学生スタッフを加えた共同開発方式を採用した。実習手順書、学習内容テキストおよび機構説明用副教材の作成について述べる。その結果、興味の高い実習課題を選択し、理解しやすい教科書、適切な手順書や副教材を実習に導入すれば、高度な専門教育内容も十分効果的に学習させることが可能であることを確認した。

3.2 導入教育の取り組み

本高専ではNHK高専ロボコンに触発されて、本学内でのアイデアコンテストを1988年から開催した。自由参加の学生競技会だったものを、近年のものづくり教育の一環として正課科目に取り入れようと1997年に機械工学科3年生対象として試行し、1998年に創造工作として教育科目へ導入した。当初3年生で行っていたが、低学年生への機械技術への動機付けとして2007年度より1年生での開講に変更した。

この創造工作は、“自分たちで作ったルールで移動可能なロボットを制作し、競技を行う”授業である。1回50分で半期15週である。教員(3人で担当)は活動のイニシアチブを取らず作業の日程管理を行うだけである。クラス定員40名の学生全員で競技ルールを決め、その後2人で1台のマシンを製作して最終週にコンテストを行うという学生主導型の授業である。図3.2.1(a)に競技中の写真、図(b)に製作された二台のロボットを例示する。教育教材として市販されているロボットキットを改良して競技を行う。特に知識を必要とする工具は必要とせず、家庭にあるカッターやドライバーなどで製作できるため、1年生の導入教育として成果を上げている¹⁾。特に、学生自身で競技ルールを決めることが学生の競技マシン製作の動機付けになっている。



(a) 創造工作の競技大会

(b) 創作活動作品

図 3.2.1 1年創造工作の競技の様子と作製した競技マシン

3.3 実習教育の改善

この創造工作の作業中に工具の誤使用によるトラブルが多発した。また、リンクを用いて所要の動きを作れない、重心位置の考慮がされない等、学習プロセスにおける学生の認識の問題を多く得ることができた。これらの問題点の改善のために、工具の正しい使用法の実習および、その定着のための自転車の分解組立実習の導入、さらにこれを発展させた四輪バギーの分解組立実習の開発に至る経緯について述べる。

3.3.1 工具の正しい使用法の学習

第2章で近年の学生が機械を分解した経験に乏しいことを述べた。実際に創造工作や実習の作業指導をしていると、身近な工具であるドライバーにマイナスとプラスの種類があることは知っていても、多くのサイズがあることを知らない学生が多い。また、ネジにJISとISOの二つの規格があることや、スパナの名称を知らない、ペンチは知っているがプライヤーを知らない等に遭遇する。そこで表3.3.1に示す内容で1年生の実習時に工具類の正しい使用法を学習させた。

ドライバーの正しい使用法を例として実習内容を述べる。入学直後の実習時に技術員が60分程度で、図3.3.1に示すテキストを用いてネジの種類、ドライバーの種類やネジの締め方を説明し、次に、練習用に準備されたネジを用いて、ドライ

バーを押しつけながら回転させて緩めたり締めたりする作業を体験させる。しかしこの実習は、具体的な製品を用いていないため、学生は積極的に作業したがい。

表 3.3.1 工具類の使い方 学習内容

まわす	挟む・切る	たたく・曲げる	測る
ドライバ スパナ めがねレンチ モンキレンチ 六角棒レンチ ソケットレンチ (トルク管理)	プライヤ各種 ペンチ ラジオペンチ ニツパ	木槌 金槌 パイプベンダ	鋼尺 各種パス ノギス マイクロメータ

*各1回(50分) 10人グループでの受講

ドライバ(SCREWDRIVER)

ドライバは、どこの家庭でも見かけることのできる一般的な工具である。ねじを締め付けたりゆるめたりする工具で、一般的なプラスドライバ、マイナスドライバの他にも、ボルト・ナット用、六角穴付きボルト用、トルクスねじ用など、使う目的によっていろいろな種類がある。

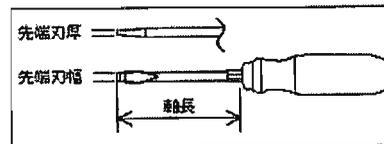
先端形状による分類

マイナスドライバ

マイナスドライバは、JIS規格ではたんに「ねじ回し」といい、サイズは軸の付け根から先端までの長さで表されている。軸長さに対応する先端部刃幅と先端部刃厚は、JIS規格で以下のように決められている。

マイナスドライバの軸長さと先端の関係(単位:mm)

軸長	50	75	100	125	150	200	250	300
先端刃幅	4.5	5.5	6	7	8	9	10	10
先端刃厚	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.2



プラスドライバ

プラスドライバというのは、アメリカのフィリップスという会社が考え、作り出したもので、ねじれ強さは、マイナスよりプラスのほうが大きい力に耐えるようになっている。このプラスドライバの利点は、マイナスドライバのように、ねじとドライバとの両方の回転中心を一致させる必要がなく、ねじの溝にドライバ先端をはめると自然に一致してしまうことにある。プラスドライバのサイズはマイナスドライバと同様、軸の付け根から先端までの長さで表すが、一般的には、まわすねじの大きさによって小さい方から大きい方へ1~4番の呼び番号で呼ぶ。軸の長さと呼び番号の関係はマイナスドライバと同様、JIS規格で決まっている。

プラスドライバの呼び番号と軸長さの関係(単位:mm)

呼び番号	1番	2番	3番	4番
軸長	75	100	150	200



3

図 3.3.1 1年生用実習テキスト

3.3.2 自転車の分解組立実習の導入

工具の正しい使用法の学習で、工具の名称を知り使用経験を経ているにもかかわらず、2年生以降の実習作業中の工具の取り扱いには問題が残った。工具を所定の位置に置かず工具箱に放り投げるなど扱いに無頓着である、ドライバーでネジを緩めるときに異なるサイズのドライバーを用いてネジの頭をなめる、ネジを締めすぎて頭の部分をねじ切る、不適切なサイズのネジを無理矢理締め込む、マイナスドライバーをたがね代わりにして軸をたたき先端を欠いてしまう。モンキーレンチの可動側の爪を舐ってしまう、など数え上げればきりが無い。

どれも汎用の工具を正しく使用しなかったために起きる問題である。学生は工具を取り替えるのが面倒であるとか、代用で何とかできる、という技術者としては誤った理解をしている。適正な工具を正しく使用しなければ、事故を招いたり製品を不良にしてしまうという生産現場での基本的な知識を体得していない。このように、低学年の実習で工具の正しい使用法が十分定着できていないのが現状である。早期に工具の正しい使用法を体得させるカリキュラム開発が緊急の課題であった。

そこで2年生の実習に実際に工具を使った作業を導入した。内容は自転車の分解組立である。1回150分の実習時間のうち、約50分間を資料の説明、約20分間を実習の説明、約60分間を実習、約20分間を準備と片付けおよびレポートの指導とした。本実習は工作機械や特殊な機器を用いないため低コストで実施できる。学生は、1年次で学習したスパナやハンマー等の工具を実際的な作業で正しく使うよう

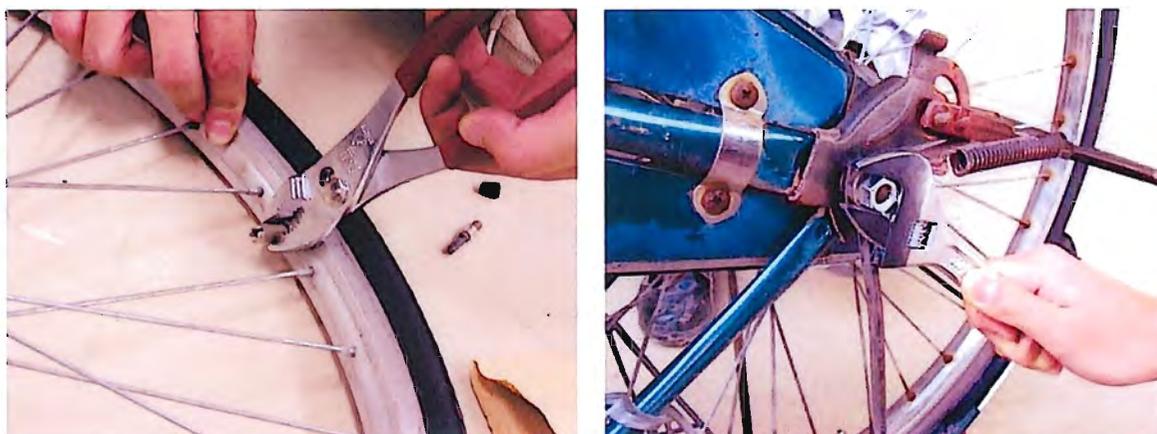


図3.3.2 自転車のパンク修理実習

になった。分解時にパンク修理をさせ再度組立てる必要があるため、多少錆びているネジやボルトの頭を潰さないように締め付ける必要があり、そこには正しい工具の使い方が要求される。図 3.3.2 に作業時の様子を示す²⁾。この実習を通して、自転車の車体の支持機構、伝達機構、ベアリング等、機構学や機械要素についての学習させることができた。

3.3.3 実習アンケートの結果

本実習の後に実習内容についてのアンケートを実施した。結果を図 3.3.3 に示す。さらに自由記述の結果を図 3.3.4 にまとめた。実習内容の満足度について図 3.3.3 の Q10 の結果から「非常に満足」が 40% も得られた。個別の知識として各工具の使用方法を実習するより、自転車を教材として作業させる方が積極的に作業に取り組み、学生の満足度も高いことが明らかになった。しかし図 3.3.4 の学生の希望する教材を見ると、自転車の教材に満足していないこともわかった。車やバイクなどの実用車の教材を望んでいることがわかる²⁾。より高度な実習内容を学びたいという積極的な意見があることを考慮すると、学生の興味を惹く教材を用いることで高い教育効果が期待できる。

3.4 実習課題としての四輪バギー

第2章で述べたように、近年の IT 技術の発展により学生の成長過程での周辺環境が劇的に変化したため、専門教育前の多くの学生が機械の分解・組立によるメカニズムや、そのおもしろさを知らないまま授業や実習に望んでいる。低学年の学生に対して機械の仕組みや機構を実践形式で習得させることが重要な教育課題となっているにもかかわらず、学生の置かれた環境の急激な変化に対する教える側の対策はあまり進んでいない。

ここで機械系学生の興味の対象について考察する。近年若者の自動車に対する見方が変わったと言われている。日本の自動車の黄金期といわれる 1970 年代の若者車の対するイメージはスピードやデザインであったが、近年は単なる交通手段の一つでしかなくなっている³⁾。しかし、工学技術者を目指す学生の自動車に対するイメージは一般の若者とは異なっている。バイクや自動車に対する興味は乗ることだ

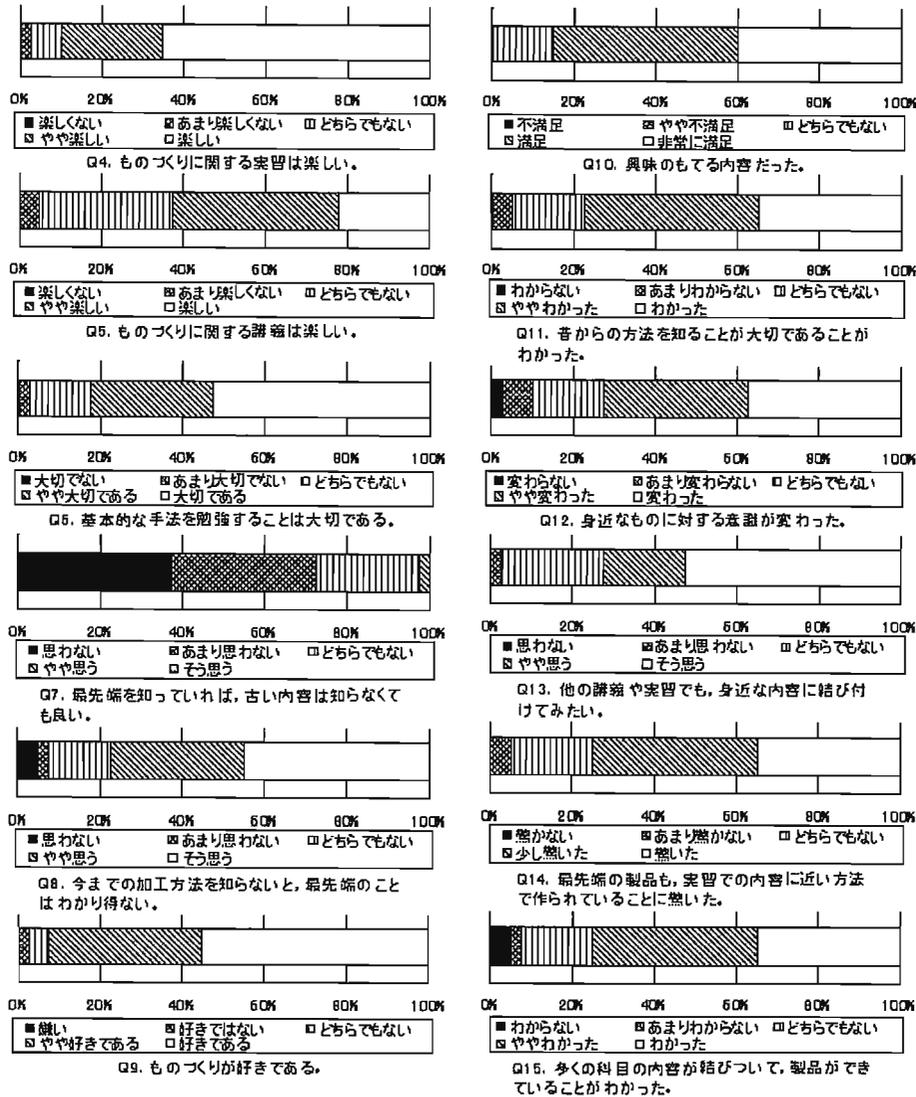


図 3.3.3 学生の授業評価アンケート結果

Q16. 今回、今回は自転車を教材としたが(4年生では実際のエンジン)、それ以外にどんな機械で実習をおこないたいのか。

- ・ 音楽プレーヤ、ゲーム、パソコン、携帯、デジカメなどの最新のミクロの世界の機械。
- ・ 普段身の回りにある電化製品の仕組みが知りたい。
- ・ ラジコン、車、バイク、船、テレビ、ラジオを教材とした実習をおこないたい。
- ・ 稲刈り機、工作機械、ギヤボックス、ボイラを教材とした実習をおこないたい。
- ・ バイクを教材とした実習をおこないたい。
- ・ 船のスクリュー部分、エンジン。
- ・ バイクのトランスミッション。

Q17. その他意見がありましたら自由に書いてください。

- ・ また機会があったら、別なもの作り実習をしてみたい。
- ・ バイクのパンク修理もしてみたい。
- ・ 自分のバイクの構造と重ね合わせたりして、とても楽しめる実習であった。
- ・ 今回みたいな、身近な機械の構造に関する実習のほうが楽しめる。
- ・ 主食の米づくりにかかわる機械を分解してみたい。
- ・ 今回のような実習をもっと増やしてほしい。
- ・ ボイラの資格の授業を取り入れてほしい。
- ・ 数回の実習で理解できるものではないので、エンジンの実習を今よりもっと増やしてほしい。

図 3.3.4 学生の評価から自由記述の抜粋

けではない。ホンダエコノパワー競技会に出るための車両の作製に熱中する機械系の学生が多いことを考慮すると、自動車に対するスピードやデザイン、機能への興味は高い。

そこで自動車を分解組立実習の対象にした。彼ら自身が将来、乗りたいあるいは作りたいと思う自動車は、教材として魅力的である。さらに実用車であるため分解組立作業に対する意識も真摯になる。適切な工具を正しく使用しないと、作業中に部品を壊してしまうことが真剣に受け止められる。しかしながら普通乗用車は重量が1000kgを越えるため、分解組立には相応の設備を要し、安全面の配慮も多く必要であるため、低学年生の教材としては適当でない。そこで多方面を調査した結果、市販されているキットカーの分解組立の報告があった⁴⁾。キットカー(光岡自動車)は50ccのエンジンで重量も軽く寸法も適当で新規性もある。しかし導入価格が高価なこと、実習時に壊した際の補給用パーツの入手が容易でないこと、および部品調達の時間とコストの面から見送った。また、学生に人気がありそうな競技用のカートは価格の面では有利である。しかしサーキット走行を前提としているため、アライメント調整ができないことが通常の四輪自動車と大きく異なっている⁵⁾⁶⁾。これらを考慮し、四輪バギー(All Terrain Vehicle)を採用した。

四輪バギーは主として未舗装路を走行することを目的に設計されているため小型・軽量であるにも関わらず、足まわりの構造が普通乗用車と同一構造で、アライメント調整が可能である。これを用いれば学生が「四輪車は車輪が全て平行に取り付けられている」と誤認していることを正しく認識させられる。また、サスペンションも普通乗用車と同一構造である。一方、フレーム、エンジン、駆動系は二輪車の部品を利用しているため、二輪車と四輪車の構造・動作原理の比較等を同時に学習することも可能である⁷⁾。四輪バギーは普通自動車免許が必要であるが、公道を走行可能である。バイクと異なりヘルメット着用が義務づけられていないためか、地方でも時折見かけられ、学生にもよく知られている。本来農作業用として販売されていた経緯などの知識も学習できるため、この点からも教材として良い対象となる。

四輪バギーを対象とした理由のうちアライメント調整ができることを重要な要素とした理由について述べる⁸⁾。3.2節で述べた1年生の競技マシン製作中に、実

際の自動車は操舵のためにアラインメントが必要であることを説明している。しかし競技マシンの製作では左右のモータを別々に制御する構造で、競技中直線的に運動させることが曲がることより困難であるため、両輪を車軸に垂直に取り付けるという作業を重要視している。製作する競技マシンは軽いためアラインメントの角度は不要であるが、自動車は曲がるための多くの工夫とメカニズムが必要であることを早期に教育することは機械工学科の学生にとって重要である。しかしレーシングカートは路面の平坦なサーキットでの走行用であり、鋭角のカーブを曲がる必要がないこと、車重自体が軽いことなどから車輪のアラインメント調整ができる構造は不要である。一方実用車である四輪バギーはタイヤも太く接地面積が大きいためアラインメント調整ができる構造になっているので教材として適している。

3.5 実習テキストおよび副教材の開発

3.5.1 実習用テキストの現状

小中学校の教科書、高校の参考書は、この20年間で内容表現が豊富になってきている。カラー写真の多用だけでなく、イラスト、CG(コンピュータグラフィック)を用いてシェーディングされた挿絵など、児童・生徒にとって解り易い資料が満載である。図3.5.1に一例として現行使用されている中学校理科の教科書の一ページを示す⁹⁾。

一方、大学・高専で用いられるテキストは(1)内容も高度で専門領域の語彙が多い、(2)解析中心の教科であれば数式が多い、(3)イラストや写真は少なく文章が多い、などにより入学した直後の学生はテキストに困惑を覚える。1970年代までは、高等教育機関に入学した自負や、より高度な学問領域に対するあこがれや期待でこの差は逆に学習意欲になっていた。しかし近年は、学習意欲の低下や、高度な学問領域に対する抵抗感が先に立っている状態である。前節の図3.2.1に、教員と技術員で作成した工具の使用法の実習用テキストを示した。教員と技術員で必要十分と思われる図を用いて作成したが、文字が多く図には立体感が無いなど学生の良い評価は得られていない。低学年生にとっては中学校での教科書と高専で使用するテキストの違いが一因となって学習に対する取り組みに差がでている。導入教育においては、若者の活字離れが問題となっているような学生の現状にも配慮することが重要である。

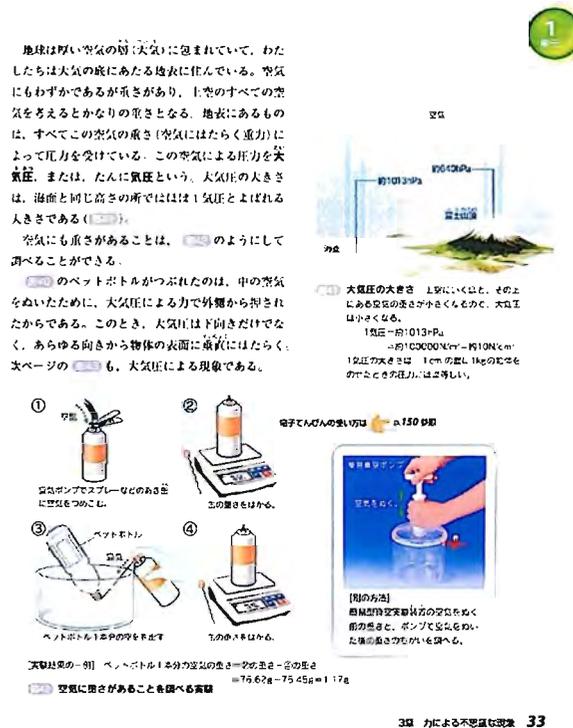


図 3.5.1 中学校の理科教科書のページ¹⁴⁾

3.5.2 実習教材・テキスト作成への学生参加の必要性

実習用テキストの現状を改善するために、四輪バギーの分解組立の導入に際して実習テキストの作成に学生の参加を試みた。中学校教科書と高専で使用するテキストに対する低学年生が持つ差異を埋める方法として、学生の視点を取り込むことにした。このためにテキストの開発に学生を参加をさせ、教員、技術員との共同作業を行った。参加学生は低学年生ではカリキュラムや教科書の作成は学力不足で困難であるため、年齢が近い高専5年生を参加させた。

高専5年生の卒業研究課題として教員・技術員・学生による共同作業とした。作業に先だって、ここ数年間に受講した学生の意見を収集した。これを集約すると、

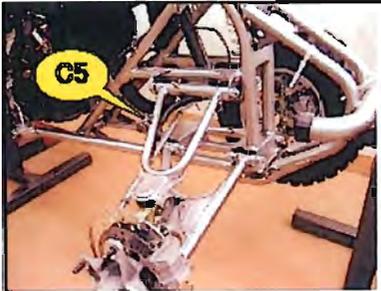
- 1) 使用されるテキストは低学年生にとって中学で使用していた教科書と比べ、用語や表現方法が難しい。
- 2) 文による説明や規格の表(例えばJIS表など)だけでなく、写真やイラストを入れて具体的で視覚的に理解できる表現が欲しい。
- 3) 作業時に参照し易いようにページ構成に工夫をして欲しい。

などが挙げられた。

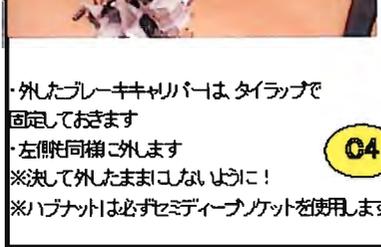
これらの意見を学生と共有して、学生の視点に立ったテキストの成作を行った。その結果、従来のテキストで使用中の不便さが指摘されたページ構成については、作業中のページめくりが不要な内容配置に改めた。図3.5.2に示すように一工程をA4版一ページに収め、写真中心で文章を最小限にするという構成にしている。その工程で分解するための作業箇所の部品の写真に作業部品を番号を示し、ページ下欄に各部品の名称をリストとして示した。作業に必要な工具も併せて示している。さらに組立て

No. 10

Part フロントハブ・ブレーキキャリアの取り外し







・外したブレーキキャリアはタイヤで固定しておきます
 ・左側も同様に取り外します
 ※決して外したままこねないように！
 ※ハブナットは必ずセミディーブナットを使用します

Tools
 スピナハンドル
 六角セミディーブナット(12, 22)
 ティンオペンチ

Parts			
(C3)M14ワッシャー	各1	(C3)規定トルク	70Nm
(C3)M14ワッシャー	各1	(C4)規定トルク	28Nm
(C3)ナット	各1	(C5)規定トルク	なし
(C4)M8X14ボルト(12)	各2		
(C5)M6X15ボルト(10)	各1		
ハブ	各1		

図3.5.2 学生と共同開発した実習用テキストの一部

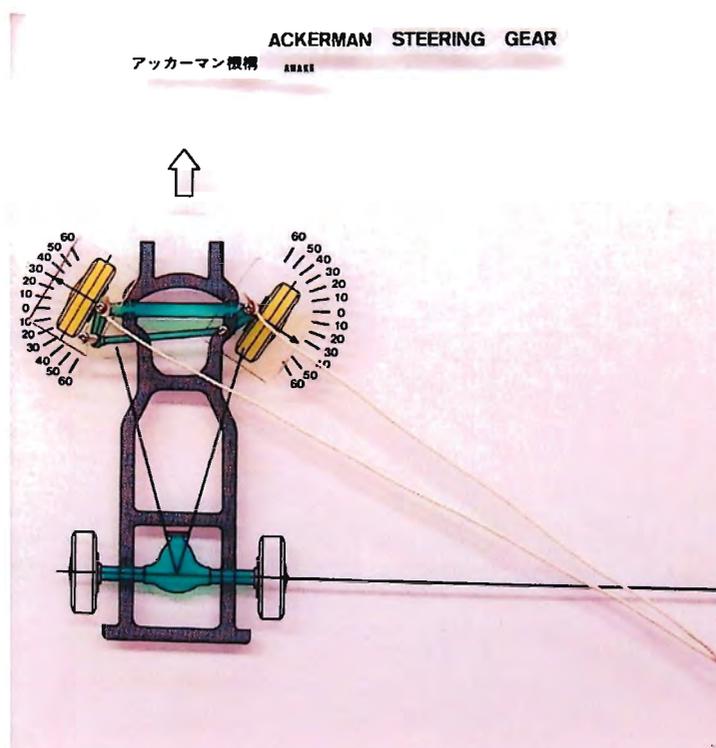
時のトルク値も示すなどの工夫を行った。図3.3.1の教員と技術員のみで作成したテキストと比較するとその優位性が良くわかる。全16ページのカラー印刷テキストを作成した。

以上、実習用の優れたテキストの共同開発例を示したが、高学年生にとっては数年前に学習した内容であることと、他の教科の学習との関わり合いを学習者の立場として理解していることが、解りやすいテキストとなった要因である。また、低学年生と同世代であることから、経験や社会環境から受けている影響についても教員や技術員より理解していることも挙げられる。近年はジェネレーションギャップが激しく、低学年生に対してどのような用語を用いて良いか、どのような例を用い、どの程度の内容まで踏み込んでよいかなどを高学年生が知っていることにもよる。このように学生の視点に立つことは、効率的な学習にとって非常に重要であることが検証できた。

3.5.3 実習用副教材の開発

近年は教室に液晶プロジェクターが設備されており、写真や動画を活用する授業がよく見られる。実習においても作業の時間確保を目的として、説明はなるべく短時間で行うために液晶プロジェクターを用いている。毎回の実習作業の内容を説明するだけでなく、作業の途中にもテキストや実習で製作する製品、関連する事項についての説明等に液晶プロジェクターを用いる。また理解を補助するため副教材や実物も用いている。

本実習においても副教材が必要であるため、図3.5.3に示す市販の教材を購入した。図(a)はOHP上で使用するアッカーマン機構の説明用教材である。機構学の説明用であるため、ナックルアームの角度の決定法とこれに伴うタイロッドの長さの決定法を説明し、操舵時の前輪左右の傾斜角の差を確認することができる。低学年では機構学を学んでいないため、自動車が曲がる際には、左右の前輪が同一角度で傾いていると思っており、左右輪が異なる角度で傾いていないと曲がれないということが理解できていない。しかし、この教材のみでは短時間で感覚的に認識させることは困難であった。図(b)はダンパーのカットモデルである。分解組立ではダンパーは分解しないため、内部構造を示すのには有効であるが、その動きを示すことはできない。以上、低学年に自動車の操舵機構やサスペンションの機構を理解させ



(a) アッカーマン機構の説明教材



(b) ダンパーのカットモデル

図 3.5.3 市販の教育教材

るためには独自の副教材が必要である。

そこで、これらの副教材の開発も学生との共同で、同じく高学年の卒業研究として開発させた。テーマ設定時の開発教材の課題は、四輪車の操舵機構の説明用副教材の開発であった。学生は一年間の研究期間でいくつもの教材を開発した。

次に、これら開発した副教材から教員・技術員・開発担当学生が実際に実習で使用できたものについて述べる。前節の分解組立実習用テキストの開発中、学生からの提案で、ラック・ピニオン式のステアリング機構、デファレンシャル機構、サスペンション機構を学習項目に取り入れた。副教材もこれに伴って3つの機構の説明教材が開発された。

実習においては、教材は目前にあるため、あまり副教材の有効性には注目しないことも多い。しかし、分解組立実習では分解するまではその内部機構は見えないこと、アッカーマン機構、デファレンシャル機構、リンクなどは構造が複雑なため、低学年生にとって図や写真による説明だけでは理解が困難であることを、予め開発担当学生に指摘しておいた。これを受けて、学生からは図や写真だけでは説明が困難なところは模型の活用による説明の提案が出された。

開発された副教材の例を紹介する。図 3.5.4 は LEGO® を用いた自動車の車体模型である¹⁰⁾。これは低学年生に、遊んだ覚えのある玩具のブロックを利用して低学年生の興味を惹こうという狙いがある。ステアリング機構におけるハンドルの回転を前部左右輪の回転角に変換するラック・ピニオン式の説明用としての提案である。ブロックであるため実物とはかなり異なり、簡素化されているが、本質的な構造理解には十分なモデルである。教員側は予測もしなかった教育玩具として有名な LEGO® のブロックを用いているため、副教材の段階で分解組立が可能となっている。実際に実習時に使用すると手空きの時間にブロックを分解しては再度組立を行う光景がしばしば見うけられた。

図 3.5.5 は後輪のデファレンシャルギアの副教材である。図中 (a) は市販のエンジン装備のラジコンカーを一旦組立てた後に、後輪のデファレンシャルギア部を上部から観察できるように、シャーシーとギアボックスのパーツの上部を切除した

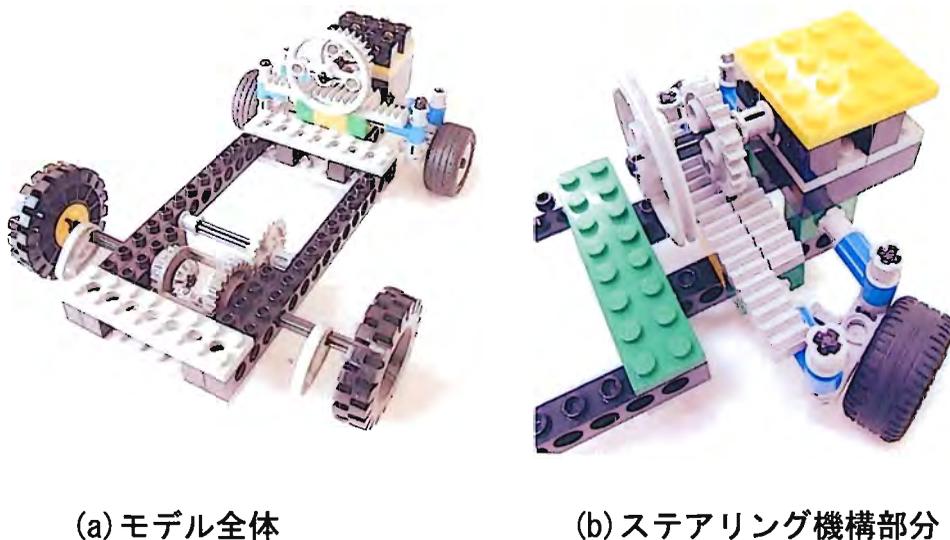
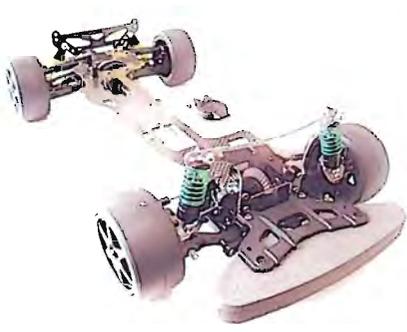
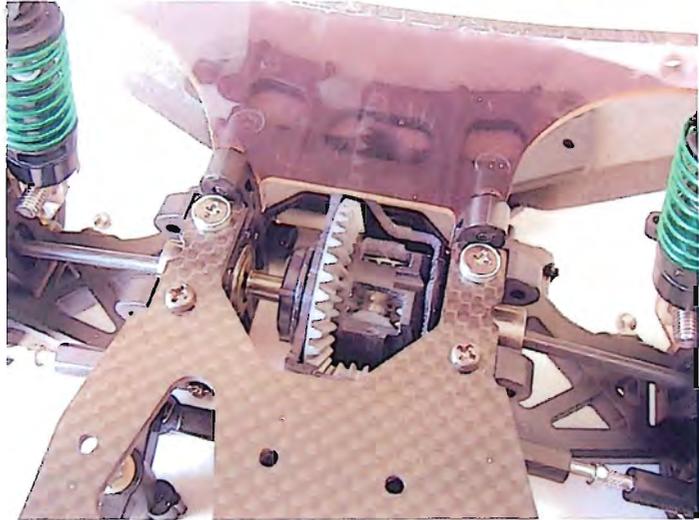


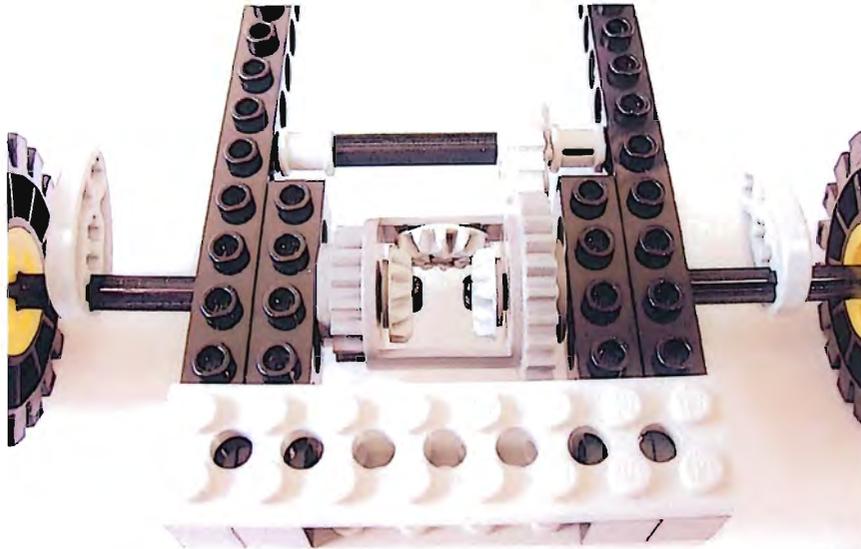
図 3.5.4 LEGO® を用いたステアリング機構説明用副教材



(a) ラジコンモデル利用の
カットモデル



(b) モデルを削ってギヤを露出させた部分



(c) LEGO® を用いたモデル

図3.5.5 デファレンシャルギヤの副教材

カットモデルである。また、図(b)はカットした部分の拡大写真である。このカットモデルの副教材はエンジンが搭載されたレーシングカーの1/8スケールモデルであるため金属パーツなども多用され、実物に非常に近い点で評価できる¹¹⁾。実際の四輪バギーのデファレンシャルギヤ部との比較用として、モデルのギヤの動きを見ながら実習前にデファレンシャルギヤの役目を説明するのに使用する。図(c)には図3.5.4のレゴブロック製のモデルの後輪部分の拡大写真を示す。作動歯車の原

理が理解できる副教材である。ラジコンカーのギヤ部は現実感があり、一方レゴブロックは学生自身で分解組立して構造の確認ができる。エンジン装備のラジコンカーは非常に高価であるため初めて触る学生が多く、興味を惹くよう他の部分もよく観察している。このように学生の立場だから発想できる素材が用いられた副教材となった。

最後にサスペンションの副教材について述べる。サスペンションはリンク機構、バネとショックアブソーバーからなっている。バネは中学校で学習しており、日常身の回りに多くある為、特に説明の必要はない。したがって学生に必要なのはリンク機構とショックアブソーバーの副教材である。ショックアブソーバーは工業力学や制御工学でダンパーとして学習する。シリンダー内の容器内でオイルがオリフィスを通することで速度比例の抗力を生む機械要素として学習するが、オイルが充填されているため分解は困難なため、図3.5.3(b)に示した実物のカットモデルを用いる。学生には速度比例の抗力を生じることのみ説明することにして、ダンパー係数とピストンの動きの説明はしないこととした。

一方、リンク機構は3年生の機構学で学ぶ、また1年次に競技マシンを作る際、リンク機構を用いて所要の動きを作った経験のある学生が多い。そこで、リンク機構の副教材は、4本のリンクの長さを変化させて様々な動きが作れることを体験させる教材とした。開発したリンク教材はダブルウィッシュボーンのリリンク機構を模

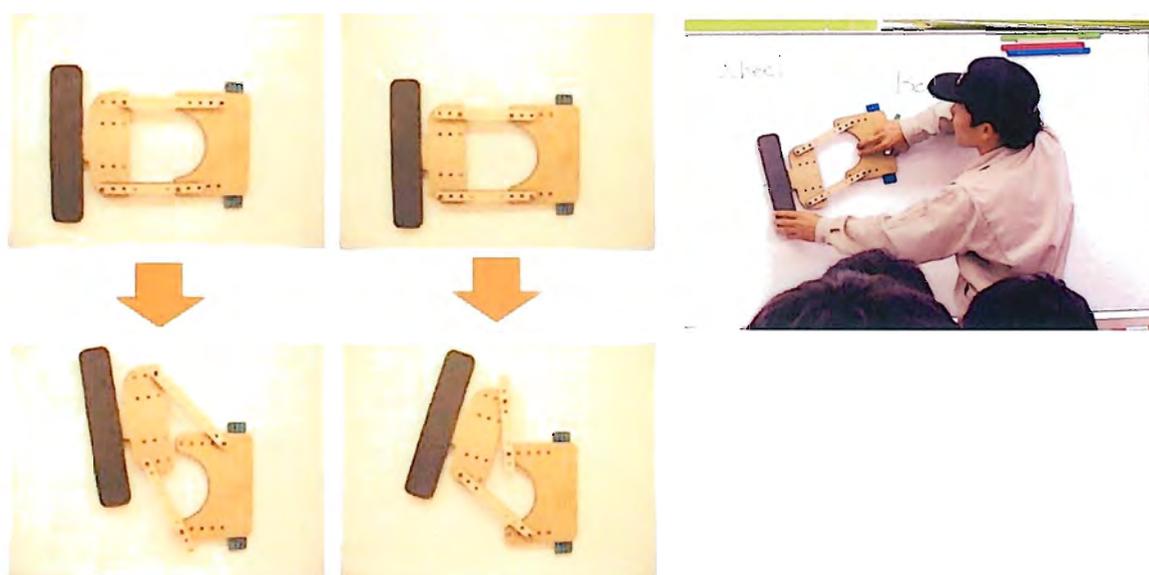


図3.5.6 サスペンションのリンク説明教材

したものであるが、図3.5.6に示すようにリンクの長さをピンで変更することができるように作られている。合板で作られ、裏に磁石を貼り付けてあるため、ホワイトボード上に容易に固定でき、タイヤの上下動の様々な動きを再現できる。実習前に四輪バギーの車輪を模したモデルで動きを視覚的に認識しておくことは実習の効果を高める。

3.6 実習の結果と評価

開発したテキストや副教材を用いて、実際に2年生の実習への導入を試みた。学生は1年次の実習で工具の取り扱いについての基礎的な知識を持っていたため、分解組立作業は想定165分を3回で完了した。なお、1台の四輪バギーの分解組立実習は1グループ5人としている。図3.6.1に分解前の四輪バギーを示す。実習のために準備した設備は、分解時に車体を持ち上げる前後輪用の支持具とジャッキである¹²⁾。実習で、どの程度まで分解したかを示すために図3.6.2に分解状態を示す。

多くの学生が四輪バギーの分解組立実習に興味を示した。実習後に選択式アンケートを実施し、併せて実習に対する要望について自由に記述させたところ、自由記述では以下のような前向きな意見が出た。

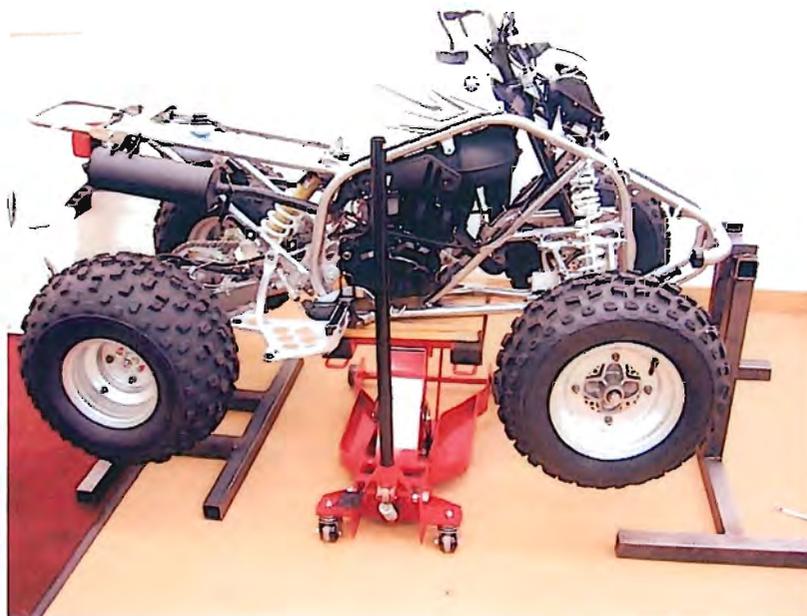


図3.6.1 分解前の四輪バギーと支持具

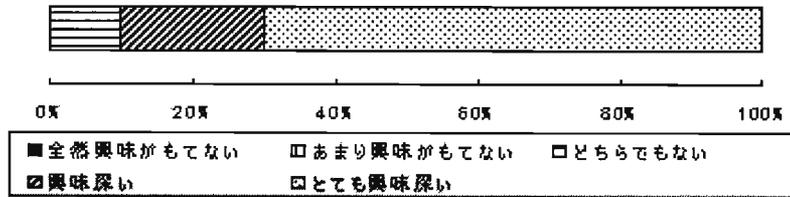
- ・ 実践で工具を使った方が使い方をよく覚えられる。
- ・ 実践の方が集中できる。
- ・ サスペンション内部をばらしてみたい。
- ・ バイクに関する実習を増やして欲しい。

次に選択式アンケート結果の一部を示す。全体のアンケートの中では本実習に無関係な質問項目も設けた為、関係する5項目の結果を図3.6.3に示す。問8の結果より70%の学生がとても興味があると答えている。同一学生の比較ではないが、自転車の分解組立では40%（図2.6.3のQ10の結果）であった結果と比べて、2倍近くの学生が興味を示している。ものづくりには日頃興味をあまり示さない学生も、今回の実習には興味を持ったことがわかった。問10の結果より、本実習によって70%の学生の意識が変化したことがわかる。同問の回答では「まったく変わらない」が20%であるが、この中には機械技術に対する意識をすでに持っており特に

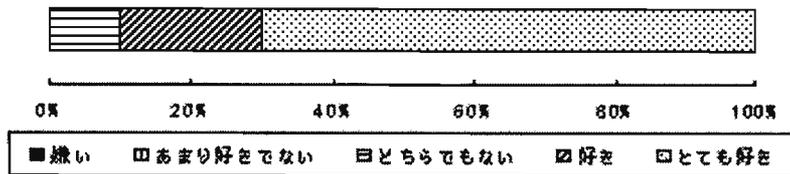


図3.6.2 分解後の四輪バギー

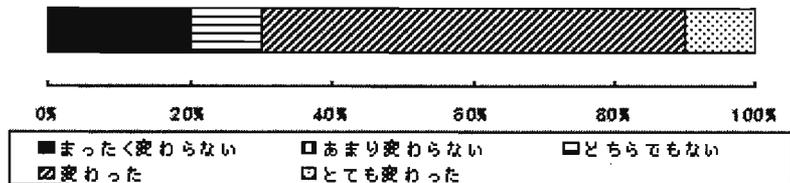
この実習を通して意識の変化があったわけではないという回答が含まれていることを記しておく。また、本実習が機械に対する動機付けを目的としていることに対しても良い結果が得られた。問11では、60%の学生が実製品と今回行った実習内容の関連性についての理解が乏しいことが判明したが、問12より、70%の学生が製品と専門教科との関連性に関する理解を深めたことがわかる。



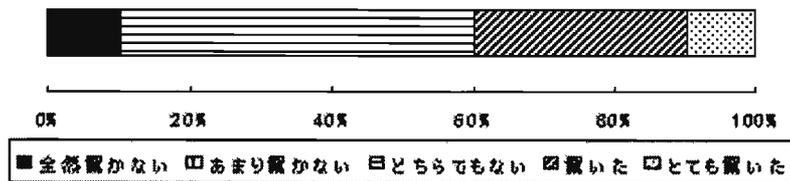
問8 今回の実習は興味のもてる内容だった



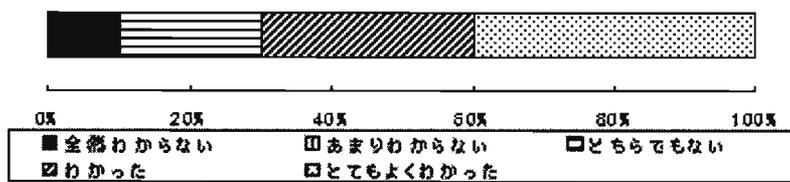
問9 機械を触るのは好きだ



問10 機械に対する意識が変わったか



問11 実際の製品も、実習での内容に近い方法で作られていることがわかった



問12 多くの科目の内容が結びついて、製品ができていることがわかった

図3.6.3 四輪バギーの分解組立実習に関するアンケート結果

実習後の学生への課題として

- 1) ショックアブソーバーについて
- 2) ブレーキについて
- 3) ネジの緩み止めの方法について
- 4) 油圧ジャッキについて

の4項目を課した。その課題のレポートのショックアブソーバーについて記述された部分の一例を図3.6.4に示す。低学年生のレポートではあるが、学習した内容が図を入れて書かれている。実際の部品に触れて実習を行っているため、ばねとダンパーから構成される構造と詳細な動作について報告されている。これらのレポートから写真入りのテキストやイラストおよび副教材のモデルが理解に役立っていることがわかる。低学年において、機構学や機械力学における基礎知識と原理を実習に

1. ショックアブソーバーについて

ショックアブソーバーとは、スプリングなどで、路面の衝撃を吸収した後、そのままバネの伸縮がなかなか収まらず、車体が上下にいつまでも振動してしまいます。

それを抑える役目をするのがショックアブソーバーです。スプリングの伸縮の動きを調整し、車の上下のゆれを抑え働きをします。

ショックアブソーバーの中にはオイルが入っており、そのオイルの抵抗を利用してスプリングの動きを制御します。

ショックアブソーバーは伸びる時と縮む時で同じような抵抗を加えるわけではありません。

路面のショックを吸収するとき、伸びる時は比較的簡単に縮みます。

しかし、いったん縮み、バネが伸びる時の力が加わった時、伸びる。ショックアブソーバーが伸びる時はゆっくり伸びます。これにより、バネの伸縮を吸収して頂くわけです。

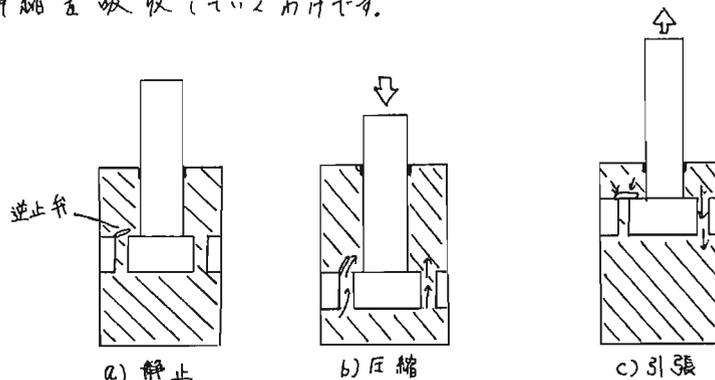


図3.6.4 学生のレポートから

よって体験することにより、教員側の想像以上に学生は理解を深め、かつ学習意欲を向上させている。

3.7 結言

本章では、導入教育段階での実習の改善について具体例を挙げてその改善手法を示した。専門教育における導入教育として、実習に工具の正しい使用法の学習を導入した。しかし定着が不十分であったため、2年次に自転車の分解組立実習を導入し、実際に工具を使用させて、知識の定着を図るとともに自転車の構造も理解させた。さらに、教材を四輪バギーに発展させたことで四輪車の操舵機構やサスペンションについて学習させることができた。これらの教材は、教員・技術員・学生の共同による開発である。得られた結果を以下にまとめる。

1. 個別の要素知識の実習よりも実際の機械システムを用いた実習の方が学生の興味を惹き、知識の定着も高い。工具の使用も実際の作業の中で行う方が正しい方法で、丁寧な取り扱いがなされ、正しく格納されるなどの一定の効果が得られた。
2. 分解組立の対象を自転車から四輪バギーに変更した。低学年の実習ではあるが構成部品の材料、デファレンシャルギア、アッカーマン機構などの機構学、機械要素の実際などを経験させ、専門科目の導入として効果が得られた。
3. 機械要素の理解についての副教材は学生を加えた開発を行い、レゴブロックやレーシング・カー模型を使用したものを製作した。これらの教材は低学年に親しみやすく、かつ理解を促進した。
4. 実習用副教材の共同開発を通して、教員側は学生の視点による教材の重要性を再認識し、今後の機械工学における“ものづくり”への興味を抱かせるための指針を得た。

参考文献

- 1) ヤマザキ実習教材・備品カタログ：No. 38，山崎教育機材株式会社，1999.
- 2) 山本桂一郎，上野 孝行，引地 力男：学生が工作実習に積極的に取り組むためのテーマの工夫，富山商船高等専門学校研究集録，Vol. 41，pp. 9-14，2008.
- 3) 若者の自動車購入・所有に関するアンケート調査：メディアインタラクティブ，p. 13，2009.
- 4) 天野順：マイクロカーを用いた機械総合工学実験の取り組み，高専教育，第24号，pp. 253-258，2001.
- 5) 今村康博，山本光治，大嶋康敬，田中 茂，有吉剛治，鳥居修一：機械システム工学科入門セミナー「ゴーカートおよびエンジンの分解・組立」の紹介，熊本大学学術リポジトリ，2008.
- 6) まるごとわかるカートガイドレーシングカート百科：交通タイムス社，2009.
- 7) バイク レストア&メンテナンスー：スタジオタッククリエイティブ，2001.
- 8) 水木新平：自動車のしくみ，ナツメ社，2009.
- 9) 未来へひろがるサイエンス1分野，上，啓林館
- 10) 北本水晶：LEGO bookmuseum，扶桑社，2003.
- 11) 1/8 エンジン RC TGR シャーシキット組立説明書：株式会社タミヤ，2000.
- 12) YAMAHA サービスマニュアル：YF200S，1998.

第4章

総合的な製品設計・製作の 実習教材開発と検証

4.1 緒言

本章では、低学年の総合的なものづくり実習を提案する。

大学・高専では一般に専門科目の導入として金属材料の加工実習が多く行われている。しかし、この場合加工時間が長く、工作機械の熟練度が要求されるため、ものづくりの全容を把握する十分な時間が確保できない。

そこで、短時間で加工ができ、工作機械の習熟度も必要としない木材加工による実習を提案する。この実習課題では材料の種類や形状、および工程の違いが性能に及ぼす影響を定量的に評価できるため、機械の構成部材の持つ特性や製品の総合的性能の学習ができる。

ここでは具体的な実習課題例として木材加工としてのバイオリン製作を取り上げた。

4.2 バイオリンの製作の現状

4.2.1 バイオリン製作の歴史

バイオリンは14世紀頃の北イタリアで描かれた絵画に描かれている。また、現存する世界最古のバイオリンが1565年頃に製作されているため、この頃を起源とするのが一般的になっている¹⁾²⁾。バイオリンとよく似た楽器に16世紀～17世紀に最も用いられたヴィオール族(ガンバ族とも呼ばれる)があるがバイオリンとは区別されている。

最初期のバイオリン製作者として歴史上に残っているのは、北イタリアのロンバルディア地方にあるクレモナで活動したアンドレア・アマティとガスパロ・ディ・ベルトロッチの二人である。この時代のクレモナではバイオリン製作が盛んとなり、多くの名器が製作された。バイオリン製作者は家内制手工業として技術継承がなされた。著名な製作者として、アマティ、ストラディヴァリ、ガエルネリなどが知られている。これらの作家によるバイオリンは現代にいたるまで著名な演奏家に弾き継がれている。またクレモナは現代でもバイオリンの作家が多く活動している地域である³⁾。

バイオリンの産地としてはイタリア、ドイツ、フランスが知られているが、イタリアでは国立のクレモナ・バイオリン製作学校が弦楽器の製作技術を教育する場として設立されており製作者の養成を行っている。ドイツでも2004年までマイスター資格取得が義務づけられていたように、職人の養成に力を入れている。毎年世界各国でバイオリン製作のコンクールが行われており、世界各地の作家の製作技術の優劣が評価されている⁴⁾。

4.2.2 バイオリンの音色

バイオリンの発音の機構は、最近の研究で工学的に解明が進んできた。しかしバイオリンの音色に関しては工学的解析が進んでいない。これはバイオリンの音色については迷信的なことを含め昔から多くの因子が関係すると言われており、感性の問題が関わっている為である。

楽器の製作に関しては、材料となる木材、形状と寸法、構造、さらに楽器の接着に使うニカワ、楽器の表面に塗るニス素材や使用量、塗り重ねの回数など、多くの要因が音色に影響を与える。また、弓に関しても、木の素材や毛の素材など多くの要因が影響を与える。さらに演奏時についても、毛に塗る松脂の産地や種類、毛と弦の摩擦を支配する多くの要因、演奏時の弓の持ち方、など限りがない⁵⁾⁻¹³⁾。本研究に関連するバイオリン用の木材だけについても多くの研究がなされている。バイオリン用材種は多くはないが、伐採木の幹の大きさや樹齢、採取部位、使用材の水分含有率(製作経過年数で古い材料が珍重される)等の要素が音色に影響すると言われている¹⁴⁾。また、バイオリンの演奏時における木材の内部摩擦の問題なども音色と関連すると言われている¹⁵⁾。

特にバイオリンの音色については感性による評価が重要視され、主観的であるため音楽評論家や演奏家によって楽器の評価は異なり、演奏のしやすさや楽器からの音の出しやすさ、表現力など、現在の工学的手法では解析ができないことが多い。このようにバイオリンについては古くから研究されているにもかかわらず、科学的に立証されていることは少ない。

4.2.3 バイオリンの製作方法

最初期に製作されて現在まで使用されているアマティやストラディバリの楽器が模倣の対象となり、現在も多くのバイオリンはこれらの有名な楽器の形状と寸法を真似たものが多い。また、バイオリンは職人による手作りであることや材料の木の品質のばらつきが多いことなどもあるためか、形状や寸法の規格はない。したがって製作方法も決まっていない。製作用の工具についても、汎用工具以外に多くの専用工具を職人自ら自作して用いられている。また世界中に弦楽器製作の職人が工房を開いて、自らが考案・工夫した独自の工程による製作がなされている。職人達は材料選択から加工法まで独自の手法を持ち、工夫を重ねることで、良い音色の楽器を製作している。

近年では工業製品としてプレスやマシニングセンタによる機械加工で大量生産されている楽器や、加工費の安い中国や東南アジアで加工を行った安価な楽器が供給されている。もちろん高級品として伝統的な製法を守った手作りのものもあり、この中間的な製造手法として、NC工作機械など自動機械を用いて省力化、加工時間の短縮化を図りつつ、最終仕上げは熟練工の手作業で作ったものなど、さまざまな加工法で楽器の生産がなされている。本論からはずれるが、日本の企業ではその独自技術の喧伝のためか、ガラス製の楽器を製造、販売したり、ステンレス製の楽器を製作し演奏会まで開いている。

4.3 実習教材としての木工の優位性

大学・高専では高度な機械設計・開発を前提として金属加工を中心とした講義および製作実習が行われている。義務教育では、紙、木、金属と加工の難易度の低い順から段階的に学習が行われている。したがって高専や大学では主に金属を加工対象としており、機械工学の実習対象には標準的に鋼材が用いられている。しかし金属材料を用いた製作実習では、加工技術および工作機械の習熟度が求められ、加工には多大な時間を要する。

一方、最近では高専・大学へ入学後初めてものづくりを体験する学生が少なくない。このため導入教育では総合的なものづくり体験をさせる十分な時間が確保できない。そこで木や紙などの加工の容易な材料を用いて、加工に関する知識の定着および短時間での総合的なものづくりの体験させる。

現在、使用されている工業製品には金属と非金属、特に樹脂や複合材料が多用されている。これらを考慮し、紙や木を材料とした導入教育実習教材を提案する。

実習教材における木工の優位性を以下に挙げる。

- (1) 短時間で加工ができる。
- (2) 加工中の修正や再製作ができ、設計変更や改良が容易である。
- (3) 工作機械の熟練が不要である。
- (4) 加工のための特別な施設、工作機械などが不要である。
- (5) 素材が安価で、容易に入手できる。

4.4 教材用バイオリンの製作

4.4.1 バイオリンの構造

材料、形状、工程の違う楽器の音色の差を比較するためにバイオリンの製作を試みた。バイオリンの標準的な外形と各部の名称を図4.4.1(a)に示す。内部構造を示すために3次元CADでデジタルモデルを構築した。カットしたものを図(b)に、弦の名称を図(c)にそれぞれ示す。

バイオリンの標準的な材料として、表板はスプルース(松の一種)、裏板、側板とネックはメイプル(楓)、指板はエボニー(黒檀)が用いられている。本体はテールピース、弦、ペグなどの消耗品を除き、表裏の板材と側板で構成される胴、指で押さえて音階を作るための指板、これを支えるネックからなる。内部構造を見ると、バスバーと呼ばれる長い棒材が表板の裏側に接着され、魂柱と呼ばれる細長い棒が駒の片側の足付近に固定されている。魂柱は接着でなく表板と裏板に押しつけられて固定されている。

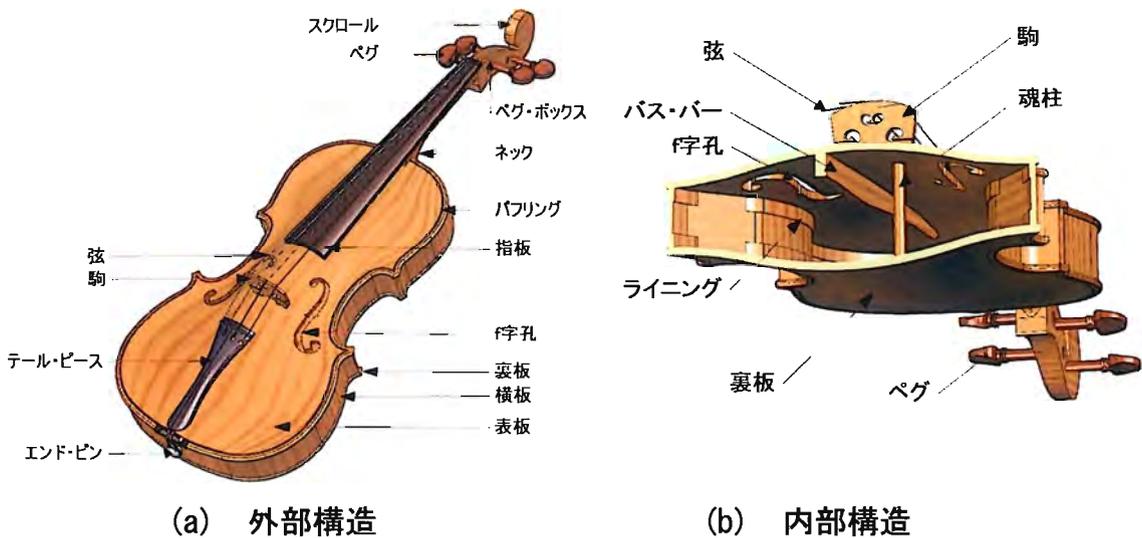


図 4.4.1 バイオリンの構造と名称

バイオリンは弓の毛(馬の毛に滑り止めとして松脂の粉が付けられている)を金属製の弦に擦りつけることで弦を振動させて音を出している。バイオリンの表板に対して水平方向の弦の振動は、駒を介して魂柱側の足を支点とした垂直方向の振動に変換され、表板を垂直方向に振動させる。この振動はバスバーを介して表板全体を振動させる。同時にこの表板の垂直方向の振動は魂柱を介して裏板にも伝わり胴板両方を振動させる。そこで胴部の空間を用いて共鳴させることで音量を増大させている。さらに胴内で増幅されたの音はf字孔から胴外に出る。この機構でバイオリンは小さい筐体にもかかわらず大きい音が出せると解析されている⁴⁾⁻⁷⁾。形状が似ているためよく比較されるギターとの発音機構における最大の相違は、ギターには弦の振動を直接表・裏板に伝える駒と魂柱がないことである。

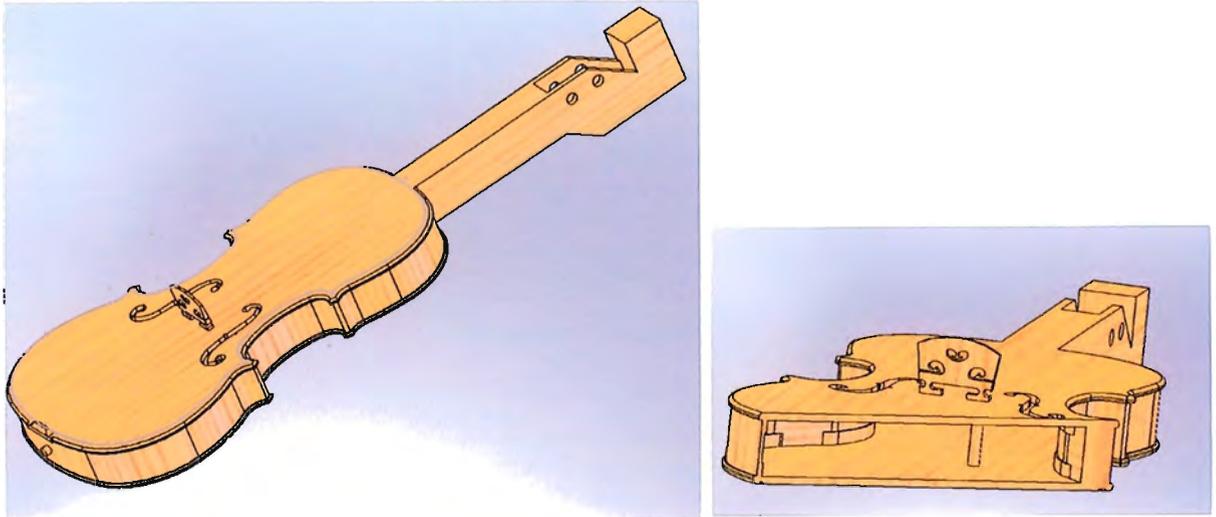
4.4.2 材料評価用バイオリンの製作

教材としてのバイオリンの製作は高専5年生の卒業研究の一環として実施した。文献調査を行ったところ、演奏のための教本は非常に多く出版されているが、製作方法についての教本は非常に少なかった。日本におけるバイオリンの製作を教育する大学、専門学校が存在し、具体的な製作方法についても教えていると思われるが、それらの教科書は市販されていない。最近では趣味としてバイオリンを製作する人が多く、そのための製作キットが販売されており、製作に関するホームページも多く存在している。

学生が主に参考にしたのはストラディヴァリモデルの型紙が原寸大で掲載されていたカナダ人製作者の著書である¹⁶⁾。この他バイオリン演奏者の著した基礎的な学習書や、木工の基礎知識を有する読者を対象としたバイオリン製作方法の著書がある⁴⁾¹⁷⁾。現存するアマティ、ストラディヴァリ、ガエルネリの作品の写真が掲載された著書も、名器と呼ばれる楽器との形状比較に有用であった¹⁸⁾。これらの書籍を参考として製作を行った。

本課題では材料の違いが音色に与える影響を評価するため、異なる木材種でバイオリンを製作し、音色の工学的評価を行った。異なる材料として、アガチス材、ヒノキ材、キリ材の3種類の板を選択した。材種の決定に際しては入手しやすく安価であることを優先した。

材料評価用バイオリンの構造を図4.4.2に示し、胴板材料の仕様一覧を表4.4.1に示す。板厚3mmのアガチス材、ヒノキ材、5mmのキリ材の板を使用した。キリ材は他の木



(a) 胴の表裏板が平面のバイオリン外形 (b) 魂柱を立てた内部構造

図 4.4.2 材料評価用バイオリンの外形と内部構造

表4.4.1 材料比較用バイオリンの仕様比較

	表・裏板厚[mm]	f 字孔	胴形状	側板	ネック
キリ	5	有	平面	バルサ板 1mm厚	スギ棒材 50mm角
アガチス	3				
ヒノキ	3				

表 4.4.2

バイオリン製作の工程と必要な工具

部品	材料評価用バイオリン		形状評価用バイオリン
	工程	必要な工具	必要な工具
表裏板	板の接ぎ合わせ	平鉋 ハタガネ	ハタガネ
	表板の切出し	NCレーザー加工機	平鉋 のこぎり 糸鋸 丸ノミ 鉋
	板厚の計測 f 字孔の切出し		ミニ鉋 (専用工具) デプスゲージ 切出し小刀
駒	アガチス板から切出し	NCレーザー加工機	
側板	バルサ板の切断	小刀	
ネック	角材の切断	のこぎり	
	ペグボックスの彫り込み ペグボックの穴あけ	木工ドリル 平ノミ リーマー (専用工具)	
組立		プレス (専用工具)	プレス (専用工具)
調整	魂柱立て 調弦	魂柱立て(専用工具) チューナー	魂柱立て(専用工具) チューナー



図4.4.3 レーザー加工機で切断した表と裏板(ヒノキ)



(a) 側板接合用型



(b) 側板の曲げ作業

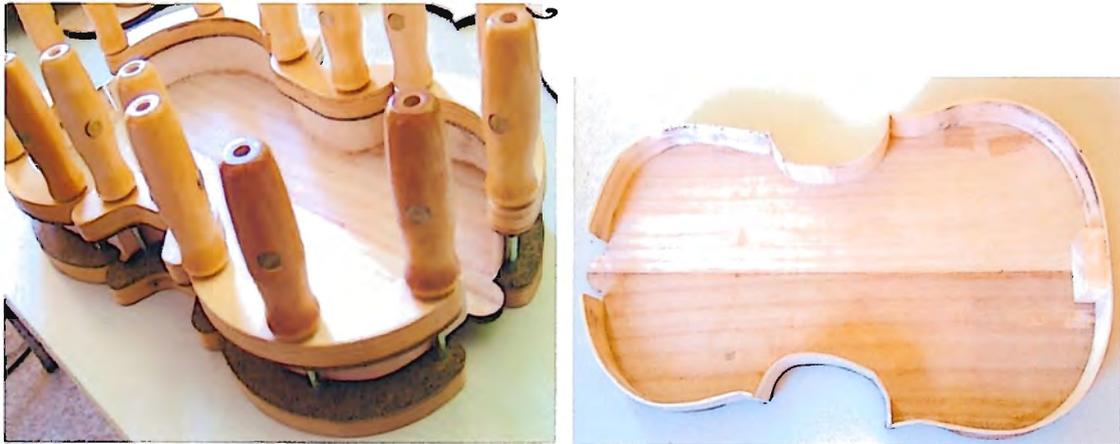
図4.4.4 側板加工



図4.4.5 ペグ孔が加工されたネック

材に比べ強度が弱く集成材であったため、購入板材厚みが5mmのまま使用した。材料の評価用として製作するので、音色に影響を与える胴部形状は同一とした。通常のバイオリンと同様に、表板にf字孔を設け、魂柱を取り付けた。バスバーは省略した。製作時間短縮のために指板の製作は省略し、音色の評価は開放弦(指で弦を押さえない状態)を弾いて比較する。

製作の手順について述べる。工程の概要と製作に必要な工具や工作機械を表4.4.2に



(a) 裏板と側板の接着中の写真 (b) 側板を接合した裏板

図4.4.6 胴部の組立



(a) 完成した胴部 (b) ネックの接合

図4.4.7 胴部とネック部の組立

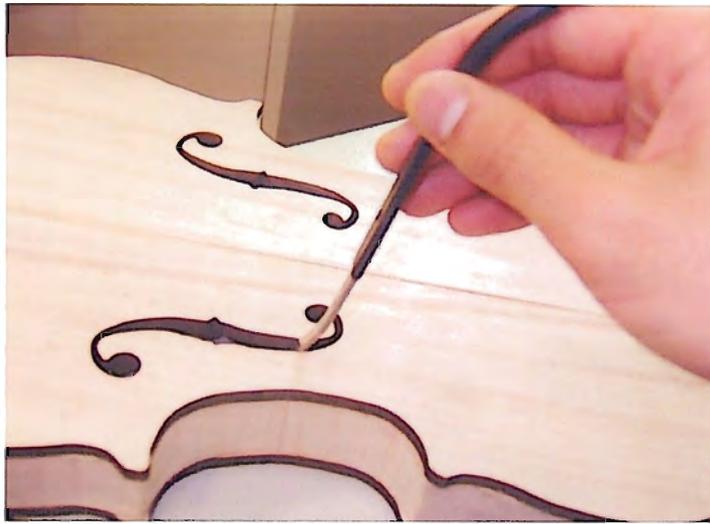


図 4.4.8 魂柱の取付け



(a) アガチス材



(b) ヒノキ材



(c) キリ材

図 4.4.9 製作した材料評価用バイオリン

示した。表、裏板となる板は実際のバイオリンと同じく二枚の板を接ぎ合わせて作る。接着剤(木工用ボンド)を用いて2枚の板を張り合わせた。外形の切り出しは、NCレーザー加工機を用いて切り出した。表・裏板は短時間で複数製作できるように形状を揃えた。バイオリンの胴形状やf字孔は自由曲線であるため、型紙をスキャナで採取し、CADデータに変換した。CADデータからバイオリン胴のNC加工用プログラムを作成し、レーザー加工を行った。図4.4.3に切断後のヒノキの表板と裏板を示す。

次に側板組立用木型(図4.4.4(a))をレーザー加工機で製作した。図(b)に示すように、木型内部の長方形の穴は側板を曲げる際のクランプ使用時に必要となる。側板は曲げ加工の容易な厚さ1mmのバルサ材を使用した。

ネックにはスギ角材を用いた。ペグボックスの成形にはボール盤とノミを使用した。弦を張る際、弦を巻き取るペグは、ペグ穴面との摩擦で固定するため、締まり易いようにテーパ孔となっている。ペグ穴はボール盤とペグリーマ(専用工具として市販)を用いて仕上げた。図4.4.5に製作したネックを示す。

完成した各パーツを接着して組立てる。裏板と側板の固定にはバイオリン製作用の特殊な形状のクランプを用い、接着には木工用ボンドを使用した。図4.4.6に裏板と側板の接着中の写真と接着後の胴の写真を示す。つぎに、表板を接着して胴部を完成する。その後、図4.4.7に示すように、胴とネックを接着する。

本体完成後に魂柱の取り付けを行う。fホールの穴から魂柱を差し込み、表・裏板間に固定する。ここでバイオリン調整用の専門工具のサウンドポストセッターを用いた。図4.4.8に魂柱の取付けの様子を示す。最後にテールピースとペグで4本の弦を張って完成となる。

表4.4.3に製作実習を通して行う作業内容と主要な学習項目をまとめる。レーザー加工機以外は特に専用機械を用いていない。ネックのペグボックス部分の成形は、トリマーを使用すると短時間でできるが、ここでは基礎加工学習のためノミによる手作業で行った。ペグやテールピース、エンドピンはバイオリン用パーツとして市販されている。

表4.4.4に作業に要した大まかな実習時間を示す。接着には木工ボンドを用いるため、乾燥には1日を要する。このため、側板と表裏の板の接着に2日、ネックと胴の接着に1日が必要となる。胴板・駒のNCプログラム作成には25時間を要し、加工・組立の総時間の約半分を占めている。しかし、他の2種類の胴板も同時に切断加工したの

で3台の胴板の総加工時間を短縮することができた。NCプログラム作成を省けば、半期15週(週150分)の実習時間でバイオリンの製作が可能である。図4.4.9に完成した3台の材料評価用バイオリンを示す。

表4.3.3 楽器の構成要素と必要な加工技術

部品名	材質	加工方法	必要な加工技術
表・裏板	キリ材 (板厚6mm) ヒノキ材 (板厚6mm)	レーザー切断機	プログラミング学習 レーザー加工の原理
側板	バルサ材 (板厚1mm)	カッター	切削角 板目
ネック	スギ棒材	ノミ ボール盤	ノミの使用法 ボール盤の使用法
駒	アガチス材(板厚3mm)	レーザー切断機	
ペグ	樹脂製品	市販品	
テールピース	樹脂製品		
エンドピン	樹脂製品		
弦	スチール		

表4.3.4 製作部品の製作時間と組み立て時間

部品名	作業内容	実作業時間[h]	必要日数
表板	プログラミング	25	
裏板	レーザー加工	1	
ネック	ノミでの切り出し	20	
組み立て	接着(ボンド)	8	3日

4.4.3 形状評価用バイオリンの製作

形状比較のために実物を模擬した形状のバイオリン製作を行った。胴板は入手が簡単で、加工の容易な国産スギの正目材を用い、市販バイオリンと同様の曲率を持った形状の胴(胴板の断面形状がアーチ状)の製作を行った。この製作を通して伝統的なバイオリンの製作法の学習、代表的な専用工具の使用を実際に体験できる。胴板製作は伝統的なバイオリン製造法の資料を参考にした。以下に実際の製作工程を示す。テキストだけでは不明な点が多く、問題点解決には、バイオリンの熟練職人の真鍋清美氏より指導を受けた。

表4.3.2に形状評価用バイオリン製作工程の概要と必要な工具の一覧を示す。まず、キットバイオリンの表板の外形を型紙に採取し、スギの板材にけがいて糸ノコで切出した。バイオリンキットの胴板の曲率と形状寸法・板厚の採取にはダイヤルゲージを使用

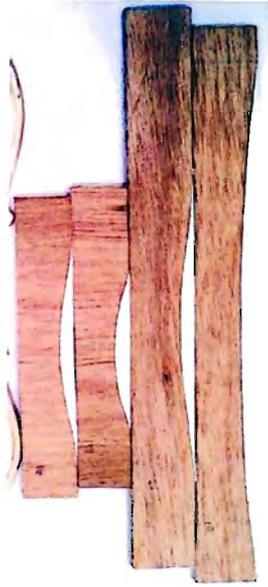
した。この計測結果から表板の4箇所の断面曲線を求め、成型用のガイド板を製作した。胴板の曲率の加工は、ガイド板を材料に当てながらノミや豆カンナを用いて削り出した。仕上げ時にはマイクロメーターを用いて厚みを計測しながら実寸法まで加工した。表板にはナイフでf字形の穴を加工した。表面仕上げは伝統的手法に従い、薄い鋼板に刃を立てたスクレイパーで仕上げた(図4.4.10～図4.4.14)。



図4.4.10 外形を切出したスギ板



図4.4.11 バイオリン表板からの寸法採取



(a) 削出し用ガイド



(b) ガイドを当て、削る場所を確認している写真

図 4. 4. 12 作成した胴板の断面曲線のガイドと使用例



(a) 専用のカンナでの削りだし



(b) 板厚の測定

図 4. 4. 13 表板の加工



図 4. 4. 14 f 字孔開け

側板やネックはバイオリンキット部品を使用した。ニカワで各パーツを接着し、最後に胴内に魂柱を立てて完成させた。図4.3.15にニカワによる接着作業状態を示し、図4.3.16に完成したバイオリンを示す。



図4.4.16 胴部の組立



図4.4.17 完成した形状比較用バイオリン

4.5 実習製作バイオリンの評価

バイオリンの楽器としての性能は音色だけで決まるわけではない。音色の他に、楽器の色、製作者や生産国、さらに弾きやすさや、音の出しやすさ、弦との相性など多くの要素がある。重要なのは音色であるが、音色の評価は従来から官能評価により行われており、客観性や定量性の点で問題がある。

音色の定量的評価は様々な要因を含んでいるため困難である。工学的解析がない時代はバイオリン胴内部に少量の砂を入れて弾き、砂の分布の様相から裏板の振動の状態を計測した¹⁹⁾。最近の研究では楽器の音色を周波数解析する試みがなされている。詳細については次節で述べる。ここでは従来からの官能評価と併せて、工学的定量化法として周波数解析を行なった。

4.5.1 FFT解析による音色の評価

FFT解析によるバイオリンの音色は、演奏時の音に含まれる周波数成分を求め、基音(出した音階の周波数)に対する倍音の比率で評価する¹⁹⁾⁻²¹⁾。図4.5.1に示す実験装置を用いて周波数解析を行なう。コンデンサーマイクからの信号をオーディオキャプ

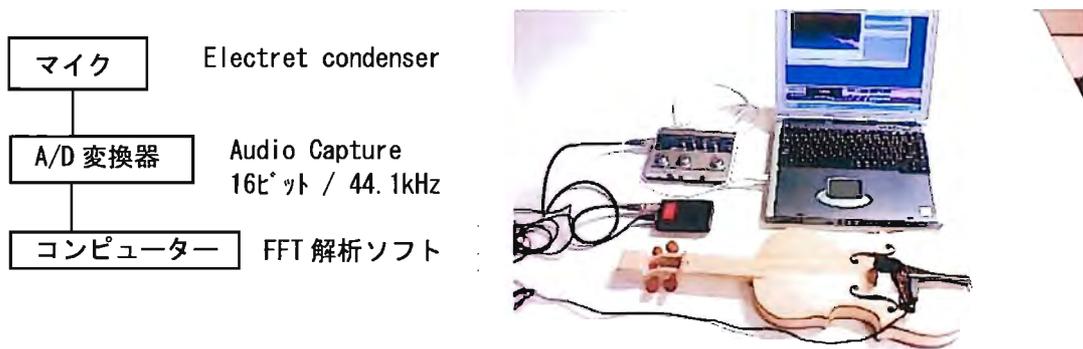
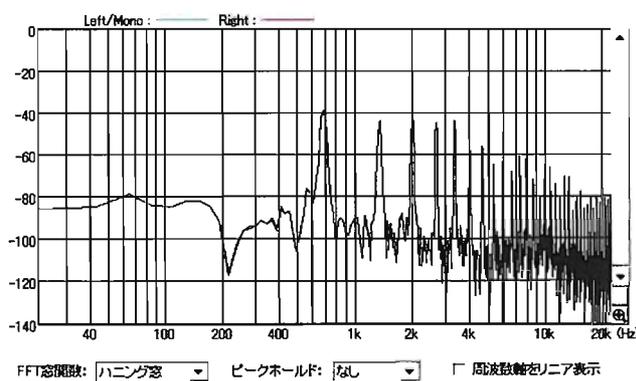
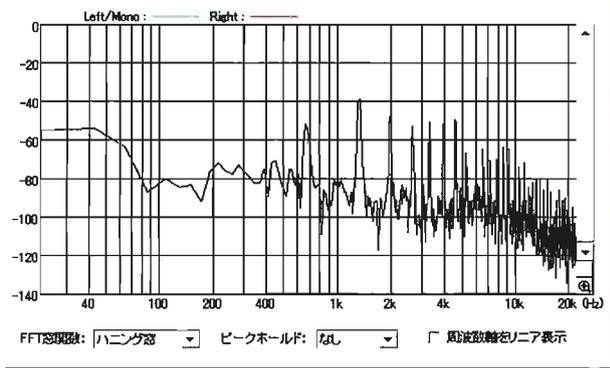


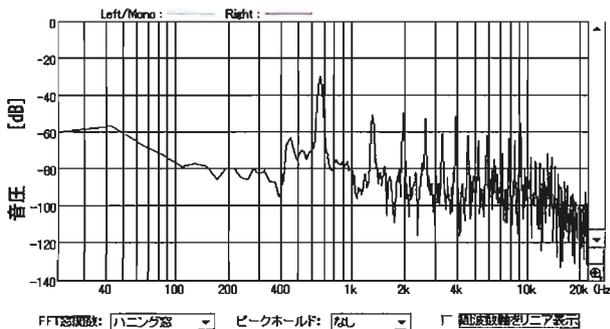
図4.5.1 周波数解析装置



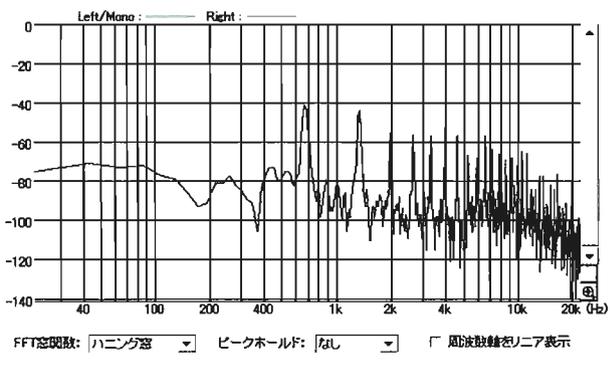
(a) 職人の手作りバイオリン



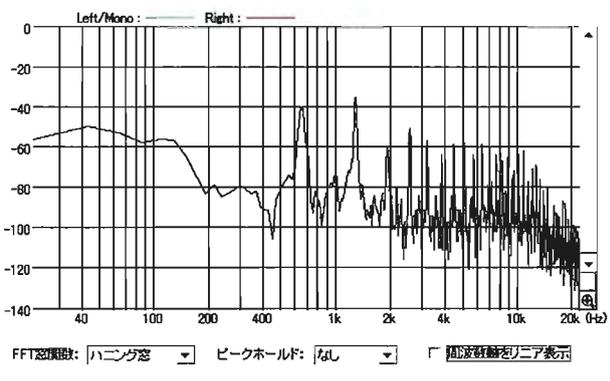
(b) メーカー製量産品



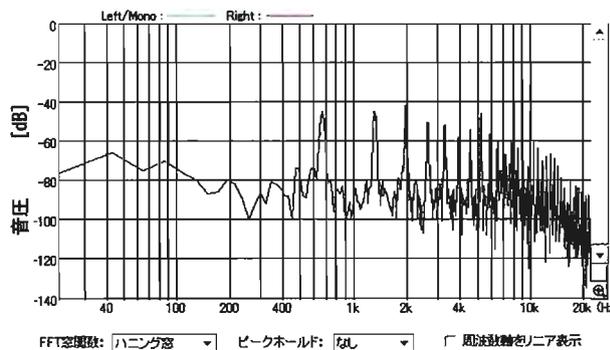
(c) アガチス材



(d) ヒノキ材



(e) キリ材



(f) スギ材(ストラディバリ形状)

図 4.5.2 製作したバイオリンの周波数解析結果

チャー(A/D変換器)を經由してパソコンに接続して録音し、FFTアナライザで周波数解析を行う。

最初に比較の基準として市販されているバイオリン2台の周波数解析の結果を示す。バイオリン職人(真鍋清美氏)により製作された中級のバイオリンの解析結果を図4.5.2(a)に示す。スクールバイオリンとして大量生産されたメーカー製のバイオリンの解析結果を図(b)に示す。一般にバイオリンの音に含まれる周波数成分には、音階を決める基音の他に倍音と呼ばれる基音の整数倍の周波数が含まれる。倍音の成分が一樣で高次の倍音までを含む音色が良いとされている。本評価では図4.3.1(c)に示したE線(ミの音)の開放弦の音色を評価の対象とした。E線の開放弦は660Hzに合わせてある。図(a)では660Hzの音圧が一番高く、5倍音までは高い音圧が検出され、それ以上の倍音は漸減している。一方メーカー製量産品の図(b)では明らかに音圧の分布が異なっており、基音より2倍音の音圧が高い。しかも7倍音まで高い音圧を示す。

製作した材料比較用バイオリンの周波数解析結果を比較する。(d)のヒノキ材や(e)のキリ材が(c)のアガチス材より倍音の分布が良好である。(e)のキリ材が(d)のヒノキ材より2倍音が大きい。次に形状比較用バイオリンの周波数解析結果について述べる。(f)のスギ材は胴板が平らな材料評価用の他の3台より高次の倍音まで出ている。この理由の一つに胴をアーチ状に曲率を設けたことが挙げられる。

4.5.2 音色の官能評価

次に官能試験の結果について述べる。学生9名で官能試験を行った。楽器が見えない状態で開放弦を弾き、音色の優劣の順位で評価する。結果を図4.5.3に示す。この官能評価では図4.5.2(a)で示した職人製の楽器は除いた。被験者はバイオリンの生の音を聞いたことのない学生であることを前提に考察した。市販のスクールバイオリンの音色が一番良いという評価が得られた。メーカーの市販品は一応の音色が出るように作られていることがわかる。次にヒノキのバイオリンは胴板に曲率がないにもかかわらず上位の評価となった。ヒノキ材で曲率のある形状の胴のバイオリン製作をすれば、良い特性が得られることが推測される。

市販のスクールバイオリンは基音より2倍音が強く出ており、周波数特性としては良くない。この結果を除くと、周波数解析による順位と官能試験の順位は同じ結果となった。主観的評価が定量評価と同傾向を示すことから、工学的評価法の学習の有効性を理

解させることができる。バイオリンの材料、構造の違いが音色に与える影響を学生自身で確認できることを示した。

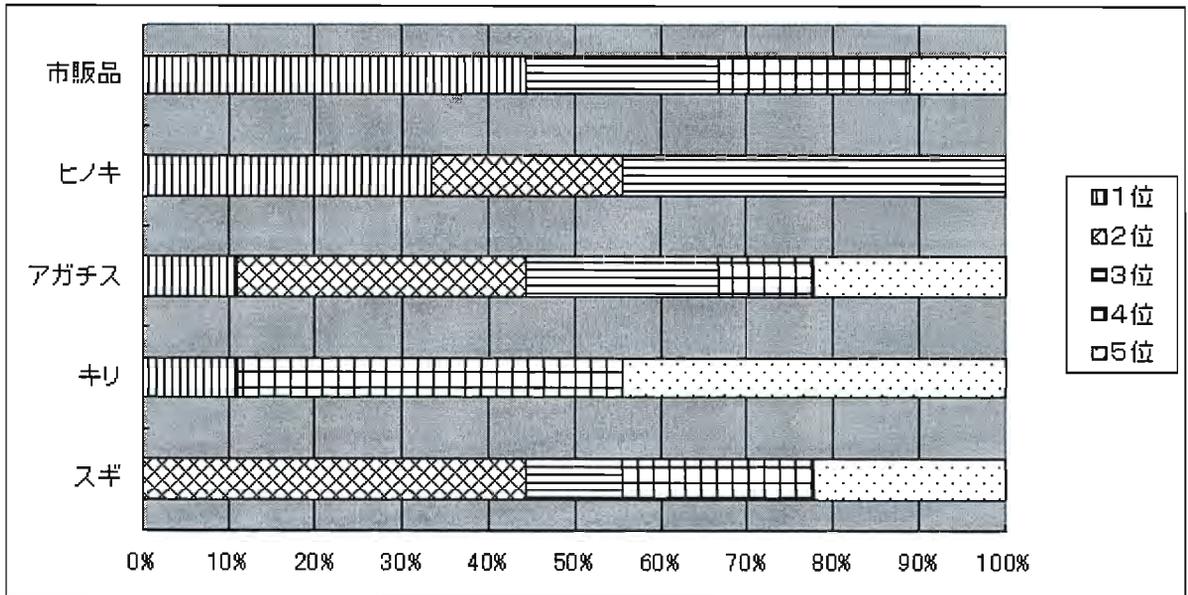


図 4.5.3 音色の官能評価

4.6 実習教材としての利点

現在のゆとり教育では、義務教育段階において簡単な木工工作しか行われていない。そのため、カンナやノミを使った作業などの経験がほとんどない状況を考慮すると、低学年での木材加工教材開発は有意義である。木工工作であるので短時間で加工でき、製作途中の製作変更が容易である。また完成時には楽器としての評価もできる。

低学年におけるものづくり実習教材としての長所について、以下に述べる。

- (1) “もの”を構成する材料の違いや、構造の違いによる製品品質の違いの定量的評価を体験できる。
- (2) 音色の測定を通して音質(振動)の定量化に関する基礎知識やFFTでの解析など工学的評価手法を経験できる。
- (3) 板の形状加工実習では、自由曲線のNC加工プログラム作成が学習できる。

表 4.6.1 にバイオリン製作実習を題材として、半期 15 週の授業計画を組立てた例を示す。1 週 3 時限(165 分)、半期 15 週の実施を想定している。形状評価と材料評価の 2 コースを設定し、学生が選択できるようにした。形状評価コースでは、形状の考案と

構造の設計および手作業による加工が主な実習内容である。NCプログラムはガイド製作の週で学習する。一方、材料評価コースでは、同一形状の胴板をNC加工により製作し、ネック製作を手作業で行うことでノミ・カンナの作業を学習する。どちらのコースも設定した学習内容は全て実習できるよう配慮した。

4.7 結言

学生の興味を惹くバイオリンを用いた実習教材開発を行った。バイオリン製作を通してものづくりを総合的に経験できる効果的な教育教材を開発し、その効果を確認した。楽器製作を通して、材質評価、形状評価、工程評価を行う。さらに、音色に対する定量的評価を行うことにより、設計製作から評価に至るものづくり全体にわたる学習が可能となる。

以下に得られた知見をまとめる。

1. バイオリン製作は共同作業を必要とすることから、低学年の実習作業に適している。
2. 木材は低学年の学生でも容易に加工ができ、設計・製作・評価という総合的なものづくりの全工程が体験できる。
3. 楽器を工学の対象とすることにより、学生の専門科目への動機付けと導入が図れる。
4. 音色の工学的評価により、計測・信号処理やFFTの学習の入門としての工学教育の導入教育ができる。

参考文献

- 1) 森本志乃: バイオリン各駅停車, レッスンの友社, 2000.
- 2) 村川千尋: 超入門バイオリン塾, ヤマハミュージックメディア, 2009.
- 3) 横山進一: ストラディヴァリウス, アスキー・メディアワークス, 2008.
- 4) 「音楽を読む本」編集委員会: ヴァイオリンを読む本—もっと知りたいヴァイオリンのはなし, トーオン, 1998.
- 5) 佐々木朗: これ1冊ですべて分かる 弦楽器のしくみとメンテナンス—マイスターのQ&A, 音楽之友社, 1999.
- 6) 村本直巳, 前田裕司: バイオリンの弦の振動の観察, 広島大学国際学院大学研究報告, Vol. 39, pp. 41-46, 2006.
- 7) 近藤正夫: バイオリンはどんな振動をしているか, 計測と制御, Vol. 21, No. 1, 1982.
- 8) 松谷晃宏: ヴァイオリンの音色の分類と評価および緩衝材を用いた楽器保持による音色の改善, 音楽音響研究会資料, MA2006-24, 2006.
- 9) 松谷晃宏: バイオリン演奏時に弓にかかる力の測定と松脂に関する研究, 音楽音響研究会資料, MA2001-73, 2002.
- 10) Linda Day: Analyzing the tribology of sound, Tribology&Luburication Thechnology, Vol. 1, pp. 28-31, 2007.
- 11) 松谷晃宏: ヴァイオリン演奏における弓毛の張力と音色に関する研究, 音楽音響研究会資料, MA2007-59, 2007.
- 12) 松谷晃宏: 小規模コンサートホールにおけるヴァイオリン奏者の弓の持ち方と演奏音の関係, 音楽音響研究会資料, MA2003-46, 2004.
- 13) 渋谷恒司, 深津紘志, 小松重紀: バイオリン・ボーイング動作における音色表現語の右腕動作に与える影響, バイオメカニズム学会誌, Vol. 28, No. 3, 2004.
- 14) 小原二郎: 古材に関する研究, 千葉大学工学部研究報告, Vol. 9, No. 15, 1958.
- 15) 立道有年: バイオリン用木材の内部摩擦, 応用物理, Vol. 29, No. 7, 1960.
- 16) Joseph V. Reid: You Can Make a "Stradivarius Violin", William Lewis&Son, 1967.
- 17) Bruce Ossman: Violin making, Fox Chapel Publishing, 1977.
- 18) Chris Johnson etc: The Art of Violin Making, Robelt Hale Limited, 2005.

- 19) Andrew Hsieh: Cremona Revisited The Science of Violin Making, Engineering & Science, California Institute of Technology, No. 4, pp. 29-35, 2004.
- 20) 安藤由典: 楽器の音色を探る, 日本音響学会講演論文集, 3, pp. 799-802, 2003.
- 21) 脇田敏裕: 自動車の音色評価, トヨタ中央研究所 R&D レビュー, Vol. 27, No. 3, 1992.

第5章

エンジニアリングデザイン のための教材展開

5.1 緒言

本章では、開発した総合的ものづくり実習としてのバイオリン製作をさらに発展させる。3次元CADを用いてバイオリンのデジタルモデルを製作し、工学的解析としてFEM(有限要素解析)による応力解析を行う。バイオリン各部の応力分布解析は、バイオリン構造強度の理解や製作組立てにおける注意事項などの確認に活用でき、工学解析の重要性や工学的な考え方の理解を深めることができる。また、バイオリンの製作実習が、構造解析、振動解析など高学年での学習内容を多く含み、工学の発展的な教育に有効な統合的な実習となることを示す。

5.2 デジタルモデルの製作とCAE解析

最近の生産方式は製品化の時間短縮のためにCAE(Computer Aided Engineering)技術を用いている。すなわち、試作、実験に替えてコンピュータを用いたシミュレーションを行い、従来のように試作品の計測・評価により設計の修正や変更を行う工程を省いている。近年のデジタルエンジニアリングの急速な進歩がこれを可能にしている。企業はCAD/CAM設備を導入し、設計段階で3D-CADを用いてデジタルモデルを製作する。この時点で運動解析や各 부품の応力や熱解析など多様なシミュレーションを行い、様々な問題点を解決する¹⁾。製造工程ではこの設計データから加工用のNCデータを作成してマシニングセンタで加工を行う。

これまでは、大学・高専においてこのようなCAD/CAM, CAEによる実習を行っている例は少なかった。しかし、近年3D-CADやCAMを導入する大学・高専が増加してきている。高学年の設計では3D-CADを用い、マシニングセンタで製作し、RP(Rapid Prototyping)を活用している例もある。そこで、製作実習の副教材として導入する目的でバイオリンのデジタルモデルを製作した。さらに、弦の張力を加えた際のバイオリン各部の応力分布解析を行った。

デジタルモデルの構築方法について述べる。まず、図5.2.1に示すように、市販のキットバイオリンの表板を実測した。表板を縦横方向に10mm間隔に分割し、交点での板の底面から高さをハイトゲージで測定して表板表面の座標のデータを得た。さらに、各交点の厚みをシックネスゲージで測定し、両データを用いて表板の3次元座標を採取し、この座標を3D-CADへ入力した。図5.2.2に3D-CAD上の3Dスケッチ図を

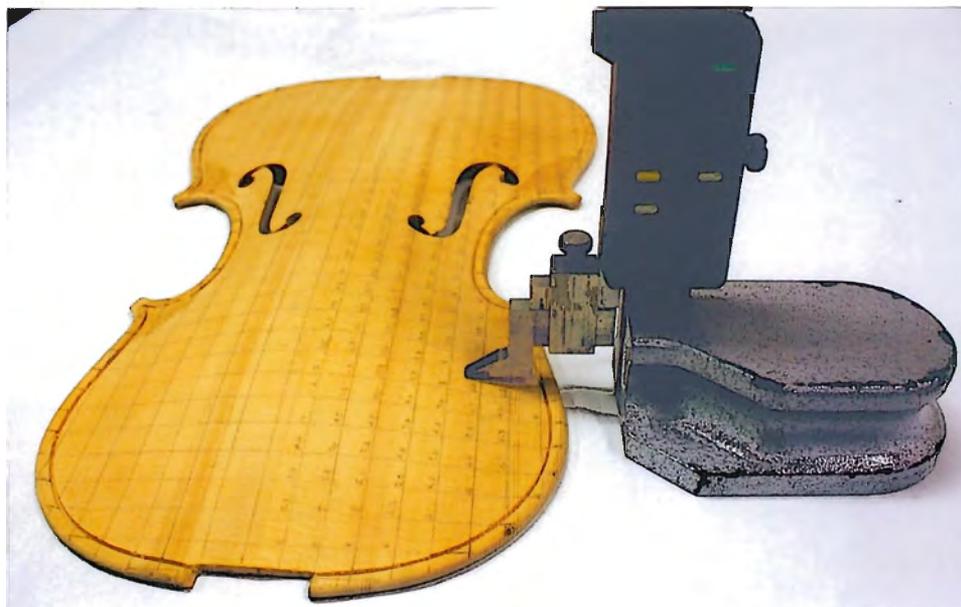


図 5.2.1 バイオリンの表板の形状・寸法の計測

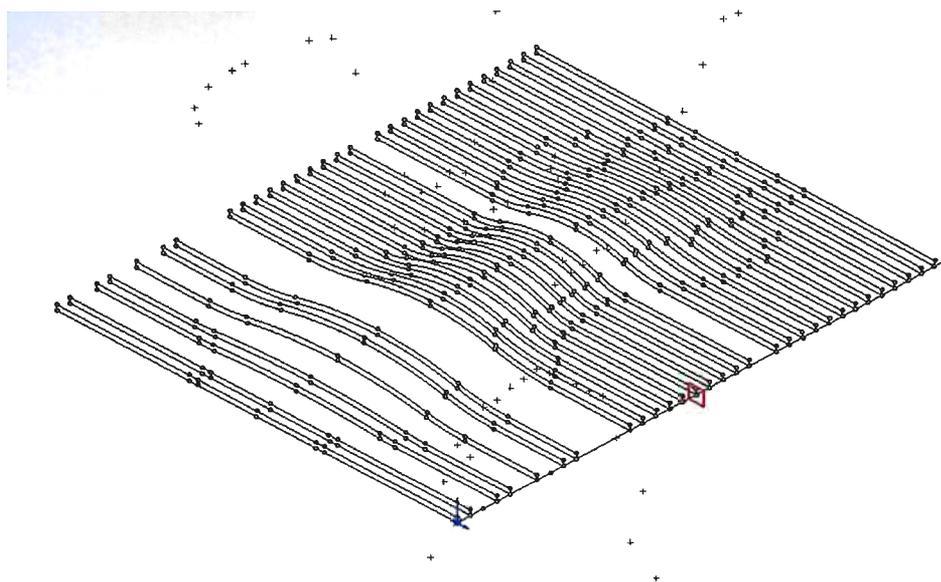


図 5.2.2 バイオリンの表板の3Dスケッチ

示す²⁾。本研究で使用した3D-CADはソリッド系のSolid Worksである。図5.2.3に表板の再現図を示すが、3Dスケッチにロフト処理を施し、更に外周座標を補完しながら結び、表板の外周曲線を得ている³⁾。同様にして、側板、ネック、テールピース、駒等全ての部品をデジタルモデルとして再現した。その他の主要な部品を図5.2.4に示す。最後に、全部品を合致させてバイオリンを再現した。図5.2.5に木のテクスチャマッピングを施してシェーディングしたバイオリンモデルを示す。

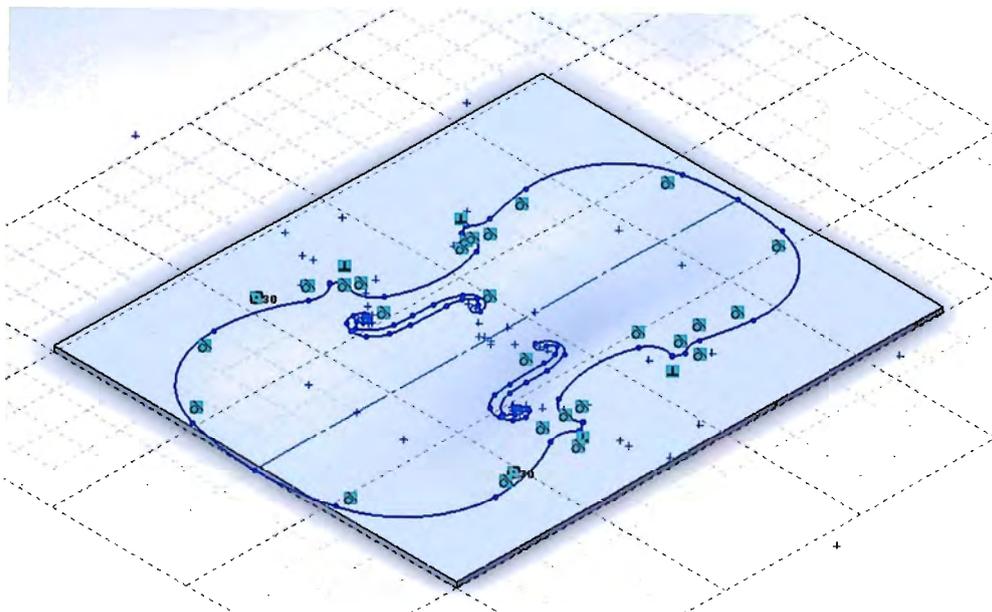
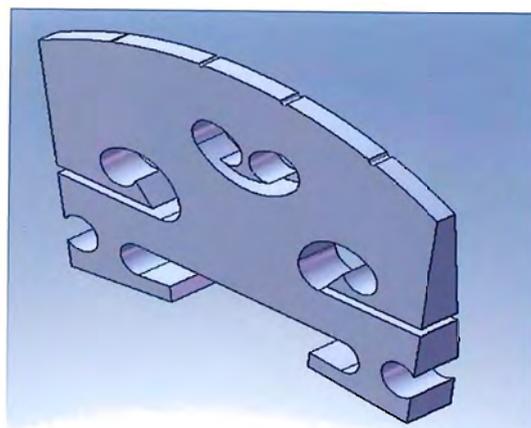


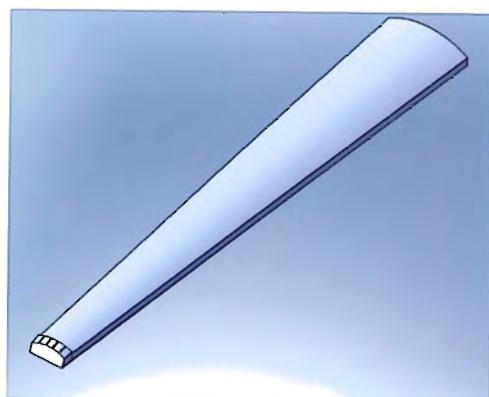
図 5. 2. 3 ロフト処理とバイオリンの外周のカットライン



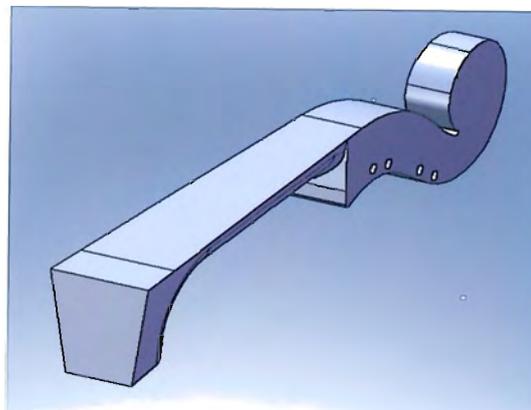
(a) テールピース



(b) 駒



(c) 指板



(d) ネック

図 5. 2. 4 主要な構成部品



図 5. 2. 5 バイオリンのデジタルモデル

前章の図 4. 4. 1 (b) に示したように、バイオリンの内部には駒の下付近に表裏の板を支える魂柱が取り付けられている。魂柱は消耗品であるが、振動を伝える要素として重要な部品である。魂柱と駒の位置はバイオリンの音色を決めるため、適宜調整が可能なようにニカワなどで接着されていない。魂柱と駒の移動を防止するため、バイオリンの4本の弦は常時演奏が可能な程度の力で張られている。したがってバイオリン各部には、常に応力が作用している。そこで製作したバイオリンのモデルを用いて調弦時のバイオリン各部に作用する応力解析を試みた。

調弦時のバイオリンの弦の張力は図 5. 2. 6 に示す装置で実測した。引張り試験機を用いて、バイオリン用の各弦に張力を与えた。上下のチャック間隔はバイオリン上で張られる弦長と同じ 328mm とし、弦を弓で弾きながら、調弦用のチューナを用いて弦を所定の音程まで張り、音程が合ったときの引張り荷重を計測した。表 5. 2. 1 にその結果を示すが、合計 242N の力がバイオリンに常時作用している。

次に、求めた張力による応力分布を求めた。CAE ツールとして 3D-CAD の SolidWorks に統合されている汎用有限要素法解析システム (COSMOS Works) を用いた。バイオリン本体に、駒を固定して4本の弦方向に実験で得た各張力を加えたモデルで応力分布を求めた⁴⁾⁻⁶⁾。結果を図 5. 2. 7 に示す。弦の両端、表と裏板では駒との接触部、魂柱



図 5. 2. 6 バイオリン弦の調律時の張力測定

表 5. 2. 1 バイオリン弦の調弦時の引張り荷重

弦	振動数 f (Hz)	弦長 L (mm)	張力 T (N)
G	196	328	50.50
D	294		51.20
A	440		66.65
E	660		74.00

の接触部分の応力が大きい。またネックの取付け部分にも大きな応力が作用していることがわかる。

さらに、複雑な形状を持つ駒の応力分布も解析した。バイオリンの側板を固定して、各弦から受ける力を駒の上部から負荷した。得られた応力分布を図 5. 2. 8 に示す。弦からの負荷の小さいG線側では駒に作用する応力が小さく、E線側で大きくなっている。駒の上側では弦からの負荷による大きな応力が作用しているが、胴の表板と接触する駒の両足部分では応力が小さい。駒の複雑な形状は、縦方向の荷重を分散させる効果を持っていることが明らかとなった。

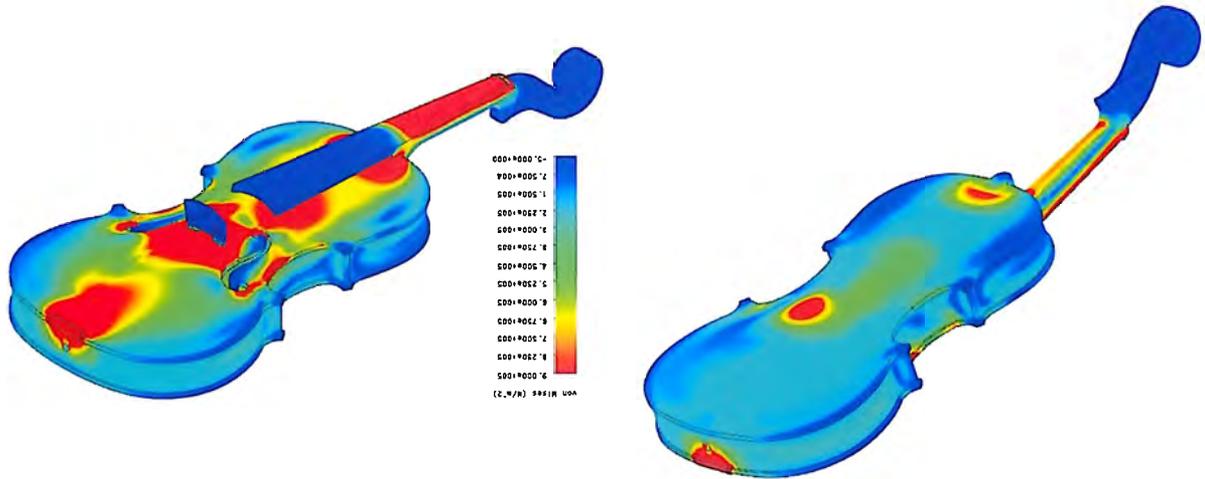


図 5. 2. 7 バイオリン調弦時の応力分布

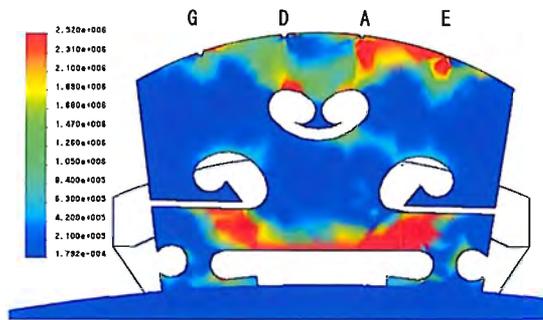


図 5. 2. 8 バイオリン調弦時の駒の応力分布

5.3 バイオリンの応力分布解析の実習教材への適用

次に、前節の結果を用いてバイオリンの破損事故の原因解析を行った例を述べる。4章で実際に製作した形状モデルの中で表と裏板をスギで製作したバイオリンは、製作後しばらくしてネックと裏板の接着部に剥がれが生じた(図5.3.1)。図5.2.7の応力解析結果と比較すると、この破損部位は応力の高い箇所と一致していることがわかる。バイオリン製作実習において、製作前にこれらの結果を示すことで、応力が大きく作用している箇所は構造的に弱いことを実感できる。さらに、設計時に失敗事例の調査を行うことの意義や、壊れることの工学的な理由を考える端緒にもなる。この事例は、FEM解析のような工学的手法を用いることで破損の原因が究明できるという実例を示し、設計・製作における考え方の訓練を含む副教材となった。

さらに、設計の際の副教材にするため、構造の異なるバイオリンの応力解析を

行った。バイオリンの音色に最も影響するといわれる胴部について3台の異なる構造のモデルを製作して応力解析を行った⁷⁾。解析結果を図5.3.2に示す。音の出口であるf字孔の無いモデルの結果を図(a)に、また、表板の振動特性と構造上の補強の機能をもつバスバーの無いモデルを図(b)に、擦弦時に振動の伝達機能をもつ魂柱の無いモデルを図(c)に示す。前章で製作した材料評価のための表裏の板が平板のバイオリンの解析結果も図(d)に示している。これらの結果より、各部品が表板の応力分布に与える影響が視覚的に理解できる。また、製作前の情報として提示することで、構造の違いが音色に影響を与えることを予想させることができる副教材となっている。

また、この研究は高学年の学生にも意義のあるものとなった。大学・高専の教育では機能設計が多いため、バイオリンのように自由曲線で構成された形状設計はあまり行わないが、本研究を通してソリッド系の3D-CADで意匠性のある高度な形状設計ができることを体験した⁸⁾⁹⁾。さらに、CAD/CAMシステムによる製作においては、最近の生産システムにおけるCAEツールの有効な活用法も学習できた。現物を元にした

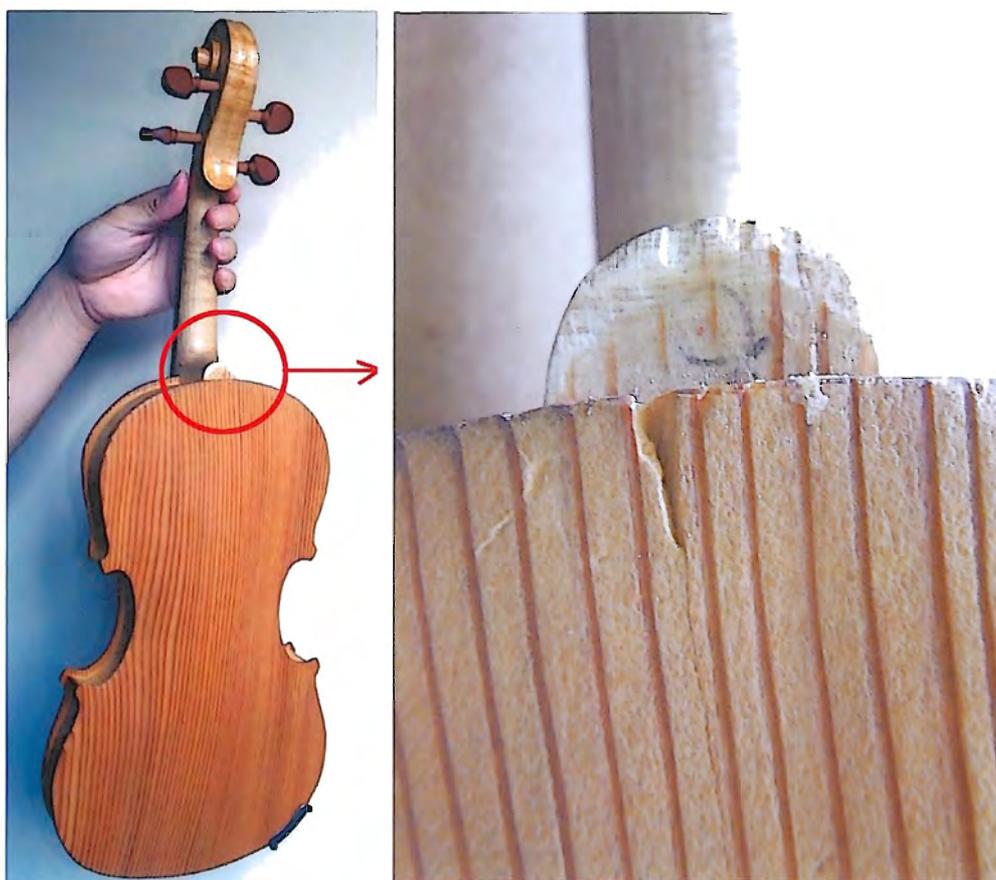
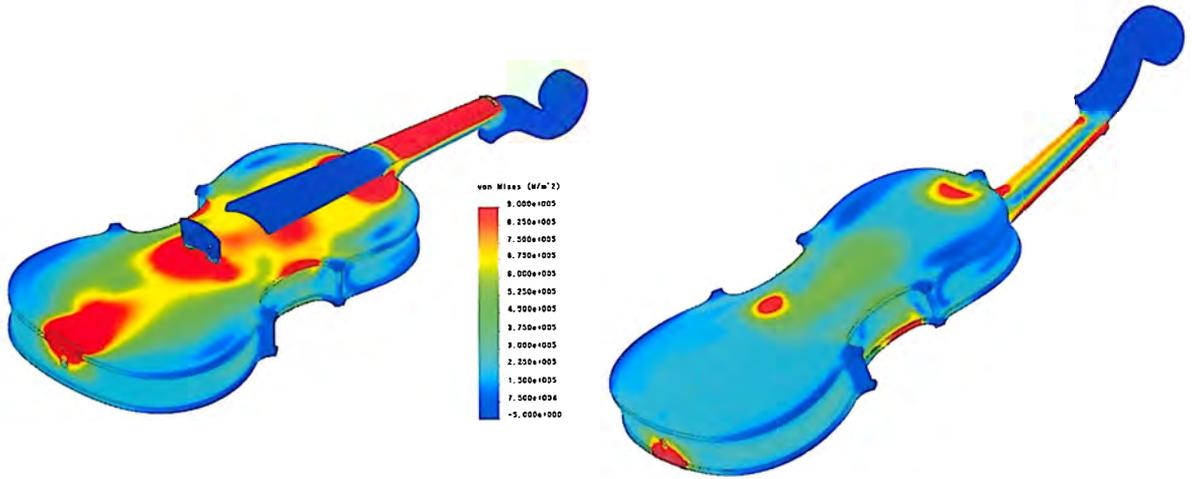
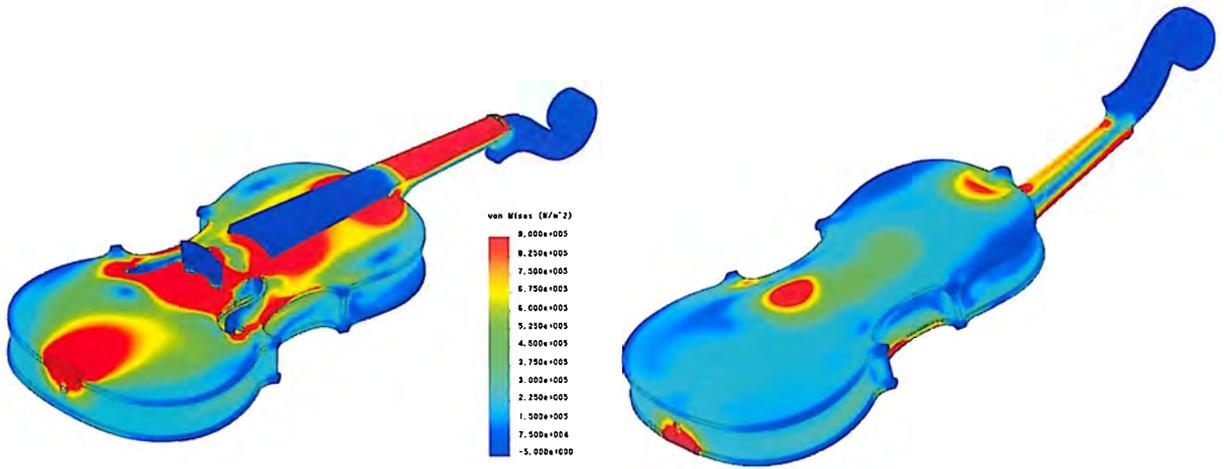


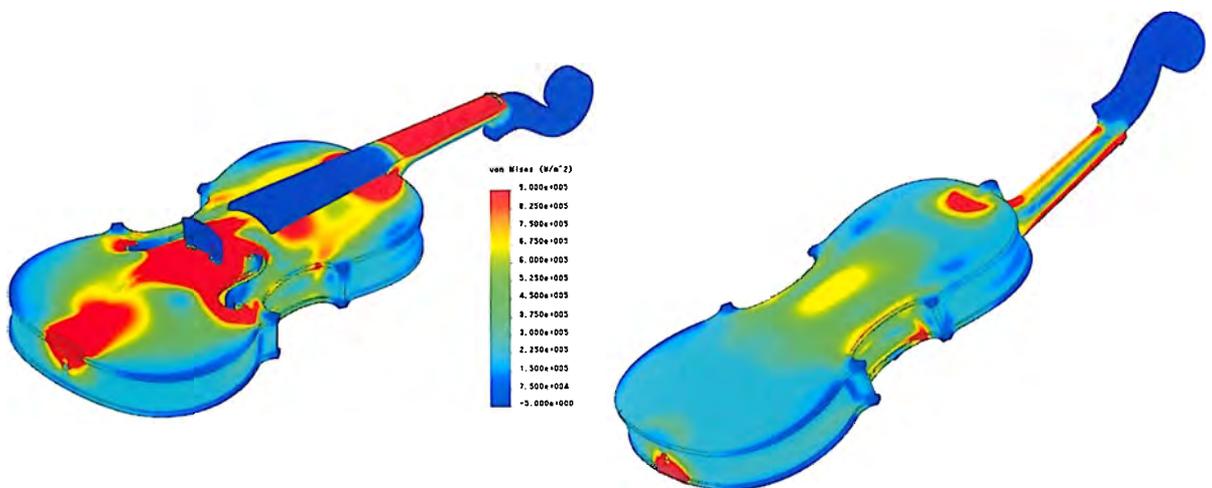
図 5.3.1 形状評価バイオリン（スギ材）の破損部位



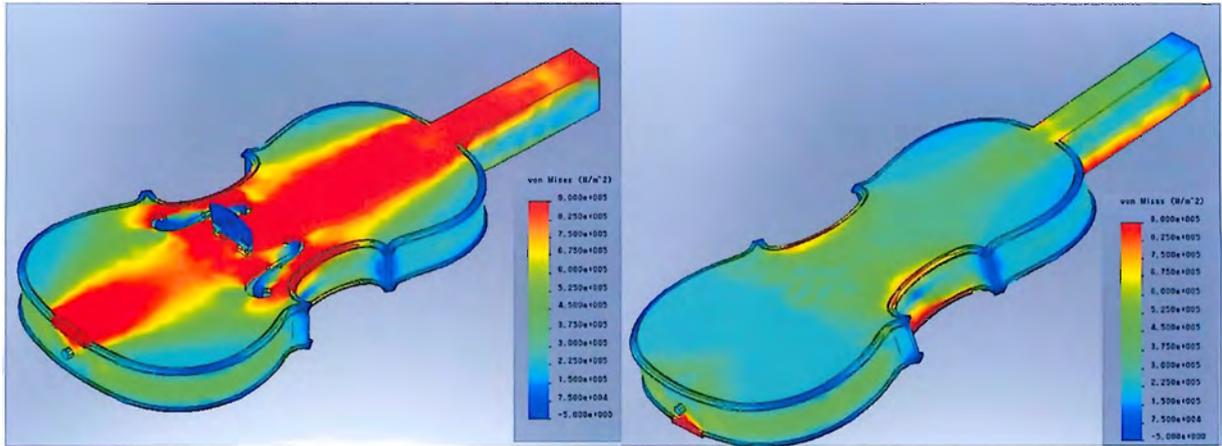
(a) f字孔のないバイオリン



(b) バスバーのないバイオリン



(c) 魂柱のないバイオリン



(d) 表裏の板が平面のバイオリン

図5.3.2 さまざまな構造におけるバイオリンの応力分布解析

デジタルモデル製作では、リバースエンジニアリングとして位置づけられている重要な技術の一端に触れることができた¹⁰⁾。

5.4 結言

導入教育用のものづくり教材としてのバイオリン製作実習課題を、さらにCAE工学解析の導入教材として展開した。ここでは、設計段階での力学的な考察を与えるためにバイオリンのデジタルモデルを製作し、有限要素法による応力解析を行った。以下に実習課題にCAE解析を導入した効果をまとめる。

1. 3次元デジタルモデル作成により、製品の構造について理解を深めることができる。
2. 製品に作用する力の理解とその作用力による各部応力分布を知ることができる。また、構造や形状によって応力分布が異なることを示すことができる。
3. CAE解析を事前に実施することで、実習製作製品の破損し易い箇所および強度設計に関する注意すべき箇所を製作・組立前にあらかじめ知ることができる。
4. 製作・組立実習にCAE解析を副教材として導入することで、設計や故障解析の工学的な考え方を示すことができる。

参考文献

- 1) 日本インダストリアルデザイナー協会：プロダクトデザイナー—商品開発に関わるすべての人へ，ワークスコーポレーション，2009.
- 2) 飯田吉秋：思いのままのモノづくり—3D CAD 徹底解説，オーム社，2004.
- 3) アドライズ編集：よくわかる3次元CADシステム 実践SolidWorks，日刊工業新聞社，2008.
- 4) 金田徹：3次元CAEツール [COSMOSシリーズ]による SolidWorksアドオン解析ツール利用入門，技術評論社，2008.
- 5) 金田徹：SolidWorks アドオン解析ツール 利用入門，技術評論社，2008.
- 6) 三好俊郎：有限要素法解析，朝倉書店，1998.
- 7) 森本志乃：バイオリン各駅停車，レッスンの友社，2000.
- 8) 竹内芳美：設計・開発・仕様設定・生産設計・実験研究のためのCAD/CAEを中心としたデザインエンジニアリング総覧，フジ・テクノシステム，1996.
- 9) Serope Kalpakjian: Manufacturing Engineering and Technology Third Edition, Addison-Wesley, 1999.
- 10) Garratt James: デザインとテクノロジー，コスモス，2004.

第 6 章 結 論

近年の学生は、学齢期前からテレビゲームを玩具として過ごし、機械的なものに触れた経験が少ない。また、義務教育段階でもゆとり教育による理数系の授業数や、技術教育の減少による基礎知識の不足がある。世代の特徴として、積極的に学ぶことを避けている、学習意欲が欠如しているなどの傾向が見られる。加えて、高い進学率や少子化などの社会現象が相まって、ものづくり離れや理科離れが顕在化している。

工学系の高等教育機関における専門の教育内容は、基礎知識に加えて情報技術や環境、安全などに関するものが増えている。さらに、総合的なものづくりの能力開発まで要求されてきている。このため専門教育では、限られた時間で必要な専門技術を習得させるための教育方法の改善・開発に迫られている。

そこで本研究では、低学年の導入教育をものづくり実習で行うための効果的な開発手法を提案し、実施例を示した。学習者の認識、理解、定着の3段階からなる学習プロセスを考慮した創造性教育手法の必要性を示し、専門領域の学習項目を効率的に学ぶことができる教材の開発について事例と共に示した。

以下に本論文の第2章から第5章の各章で得られた結論の要点をまとめて示す。

第2章では、現在、専門教育機関が直面している教育上の重要な課題について述べ、工学教育における効果的な教育手法についての提案を行った。導入教育においては、学習者の認識、理解、定着からなる学習プロセスを踏まえた教育方案の作成が重要である。現在の専門教育課程で不足している学習プロセスの部分を示し、本研究で提案したものづくり実習が、学習プロセスのどの段階を補充するかを示した。また、ものづくり実習の現状を述べ、多くの提案されている総合的なものづくり実習では、実習時間の不足により設計・製作から製品の定量評価までを含むプロセスを体験できていないという問題点を明らかにした。さらに、高度な専門領域の学習項目を実習教育の中に導入するため、ものづくり実習に高学年で学ぶ学習内容を統合した事例を示し、その効果を検証し、効果的な教材の必要性を述べた。

第3章では、機械工学導入教育のための実習課題の開発を行った。第2章で提案した教育手法を実証するために、実習方案改善を行った例を示した。低学年の工具

の正しい使用法の学習方法を、個別の工具ごとの説明から、実際に工具を使用させて正しい使用方法の定着を図る方法に改善して効果を確認した。さらに四輪バギーを教材に導入し、高度な機械技術要素の学習が可能な実習とした。四輪車の操舵機構とサスペンションの分解組立を通して、構成部品/material, 機構学, 機械要素などを学習させることで、専門科目の導入教育となった。また、学習教材の開発は教員・技術員・学生とで共同開発を行い、学生の視点に立った有効な副教材を開発した。高学年で学習する高度な内容でも、適切な実習課題を選択し、理解しやすい教科書、適切な手順書や副教材を実習に導入すれば、高度な専門教育内容も十分効果的に学習させることが可能であることを示した。また、教員側は学生の視点にたった教材開発の重要性を再認識させられ、今後の工学教育における“ものづくり実習開発”の一手法が得られた。

第4章では総合的な製品設計・製作の実習教材の開発と検証を行った。ものづくり実習では、材料と構造および工程が製品性能に影響することを理解させるため、定量的な性能評価が可能である必要がある。そこで、低学年の実習での限られた実習時間内に、性能評価までを含むものづくりの全工程が体験できるバイオリン製作実習を開発した。形状や工程の異なるバイオリンを製作し、音色の官能評価だけでなく、定量評価のために周波数解析を行った。周波数解析の結果は、官能評価と対応しており、主観的評価が定量評価と同傾向を示すことで、工学的評価法の学習の有効性を理解させることができた。また、学生の興味を惹く楽器を工学の対象とすることが、ものづくりの動機づけとなり、物理で学習する音の性質、計測・信号処理、FFTなど専門科目の導入教育としての効果が得られた。

第5章では、バイオリン製作を、高学年での学習との統合的な実習教材とするために、さらに高度な工学的解析手法を導入して、エンジニアリングデザインのための教材として展開した。設計段階での力学的な考察を与えるために、バイオリンのデジタルモデルを構築し、工学的手法であるシミュレーション解析を行った。バイオリンの張力を計測し、この結果をもとに、有限要素解析によりバイオリン各部の応力分布を求めた。バイオリン胴部の構造や形状により本体の応力分布が異なるこ

と、駒部の形状が弦から受ける負荷を分散していることがわかった。4章で製作したバイオリンの強度評価を行うことにより設計における工学的解析の重要性を認識させる有効な教材となる。また、バイオリンの製作実習教材が構造解析、振動解析など高学年での学習内容を多く含み、発展的で統合的な教材となり得ることも示した。

最後に今後の課題について述べる。大学および高専では、高度で先進的な工学技術を用いた解析や測定が行われている。これらの高い技術は学生用の教材として様々な形態で導入されることで、学生の学習や動機付けに有効に作用することを本研究では明らかにした。今後、これらの技術をどのような形で学生に提示していくかについて、更なる教育手法の研究と開発の必要性があると考えている。

謝辞

本研究を進めるにあたって、細事にわたり終始丁寧なご指導とご教示を頂いた坂本英俊教授と大淵慶史准教授には深甚の謝意を表します。

本論文をまとめるにあたり、全体に亘るご指導とご検討を頂きました、峠陸教授、森和也教授、丸茂康男教授に厚くお礼申し上げます。

松尾哲夫先生(熊本大学名誉教授)には高専就職の際に研究の端緒を指導して頂きました。上田昇先生(現徳島大学客員教授)には長年に亘り研究の方法論や実験技術、最新の工学技術を教授頂きました。心より感謝致します。

鹿児島高専の教職員の皆様には熊本大学大学院在学中には様々な協力と便宜を図って頂き、また折に触れて励ましを頂き、ありがとうございました。教材開発を学生と共に行ってくださった鹿児島高専の技術職員の上野孝行氏、鹿児島高専に2年間在籍され、実習教材開発を共同研究として共に行って頂いた富山高専の山本桂一郎准教授、鹿児島高専の卒業研究生として教材開発を行って頂いた卒業生の今里竜成君、吉村暁君他、多くの学生諸君にこの場を借りて謝意を表します。

また弦楽器の演奏に関する基礎をチェロを通して指導頂いたチェロ奏者の石垣博志先生(平成音楽大学講師)と、バイオリンの製作に際し、専門職としての知識を多く教えて頂いたバイオリン職人の眞鍋清見氏(日本弦楽器製作者協会)に感謝いたします。

最後にこれまでの教員生活を支え、時には研究の手伝いをしてくれた妻と息子達に感謝します。