

**工学教育における学生フォーミュラを適用した  
学科目の構築とその評価**

2015年3月

**岡崎 昭仁**

## 目次

第1章 序論	・・・1
1.1 研究の背景	・・・1
1.2 従来の研究	・・・3
1.3 研究の目的	・・・9
第2章 学科目フォーミュラを適用した学科目の構築	・・・13
2.1 はじめに	・・・13
2.2 学生フォーミュラの歴史の変遷	・・・14
2.3 学生フォーミュラを適用した学科目の授業デザイン	・・・21
2.4 まとめ	・・・34
第3章 学生フォーミュラを適用した学科目の実践とその評価	・・・36
3.1 はじめに	・・・36
3.2 学科目「フォーミュラ工房」	・・・36
3.3 導入教育、ワークショップと実車体験	・・・38
3.4 SFJ へ向けた実践「自動車の設計・製作・試験」	・・・47
3.5 考察	・・・62
3.6 まとめ	・・・70
第4章 学生フォーミュラを適用した学科目の発展とその評価	・・・71
4.1 はじめに	・・・71
4.2 授業の実行体制の改善	・・・72
4.3 自動車の設計・製作を通じた授業の実践	・・・74
4.4 考察	・・・83
4.5 まとめ	・・・91
第5章 エンジン要素の先行開発（カムレス可変動弁機構）	・・・92
5.1 はじめに	・・・92
5.2 可変動弁機構の歴史の変遷	・・・94
5.3 カムレス電磁駆動弁機構の開発	・・・99
5.4 電磁駆動弁機構を搭載したエンジンの 設計・製作システム	・・・116
5.5 まとめ	・・・121
第6章 総括と今後の展望	・・・123
参考文献	・・・125
謝辞	・・・146

## 第1章 序論

### 1. 1 研究の背景

日本の人口は、2010年に行われた国勢調査による1億2,806万人から減少を続け、2030年には1億1,162万人（2010年比87.2%）、2040年には1億人を割り9,913万人（2010年比77.4%）となり、今世紀半ばを過ぎる2060年には8,674万人（2010年比67.7%）になるとの予測がなされている[1].

併せて、人口減少だけでなく、少子高齢化が進むことにより、就労人口が減少することで、日本の経済成長において重要な役割を担ってきた製造業を中心とする日本の工業の競争力が低下すると考えられる.

現在、家電などの製造業は、新興国の産業の台頭によって苦境に立たされ、産業の発展を担う技術者の育成に時間や費用をかける余裕がなくなり、即戦力となる人材を求めるようになってきている[2]. さらに、大学など技術者となる人材を育成する工学教育の分野では、科目数の増加や授業内容の高度化により、学生の学ぶ環境は厳しいものになっている. 特に、専門学科目数の増加が顕著であり、筆者が勤務する日本工業大学の機械工学科においては、1990年には履修コース別選択学科目数が37であったが、現在では97となり、その数は約2.6倍に増えている[3]. 学科目数の増加は、工学における専門分野の細分化が進んだことが理由の1つだと考えられる.

一方で、工学教育分野（ここでは機械工学分野を例にする）の教育は、四力学（材料力学、機械力学、熱力学および流体力学）を基軸とした専門学科目と、一般教養を学ぶ教養科目からカリキュラムが構成され、最終年次である4年次には、卒業研究に取り組み、指導教員の下で与えられた課題解決に取り組むが、依然として、教育方法の基本形態は教員が教授を行う、いわゆる「チョーク&トーク」と呼ばれるもので、永らく、その教育スタイルは変わっていない.

こうした中、大学における工学教育分野では、学生に実践力を養わせる目的で「ものづくり」を行わせることが活発化している。これに加えて、1999年には、高等教育機関における技術者教育プログラムの審査・認定を行うことによって、教育の質を保証する日本技術者教育認定機構（JABEE: Japan Accreditation Board for Engineering Education）が設立され[4]、また、大学においては教員の能力を向上させる取り組み、いわゆるファカルティデベロップメントが実施されるなど[5-9]、教育内容を改善するニーズが高まっている。

ものづくり教育の中でも、特に小型フォーミュラ自動車や人力飛行機など工業製品に直結する実機を設計・製作することは、実践力を養うのに適しているといえる。しかし、これらの「ものづくり」教育は、これまで、どこの大学においても工学専門学科目の中に組み込まれておらず、学生の自主活動、サークルとして実施されていて、筆者が知る限り、正規の授業として実施されていないようであり、学科目として構築する方法や、教育効果は明らかになっていない。

また、JABEEは2000年度から技術者教育の認定を開始しているが、2004年度には、技術者教育の実質的同等性を相互承認するための国際協定であるワシントン協定への加盟審査を受けた際に審査チームから、「日本はエンジニアリング・デザイン教育が弱いのではないかと指摘を受けている[10]。エンジニアリング・デザインとは、「数学、基礎科学、エンジニアリング・サイエンス（数学と基礎科学の上に築かれた応用のための科学とテクノロジーの知識体系）および人文社会科学等の学習成果を集約し、経済的、環境的、社会的、倫理的、健康と安全、製造可能性、持続可能性などの現実的な条件の範囲内で、ニーズに合ったシステム、エレメント（コンポーネント）、方法を開発する創造的で、たびたび反復的で、オープンエンドなプロセスである」と定義されている[11]。

JABEEは、「エンジニアリング・デザイン教育に関する国際シンポジウム」を

開催し、デザイン教育を「技術者教育を特徴づける最も重要な要素」と位置づけており[12-13]，工学教育分野における重要な教育方法の1つであるといえる。

上述した小型フォーミュラ自動車や人力飛行機など，工業製品に直結し，設計・製作の一貫した過程を実施するといった，これらのものづくりは，エンジニアリング・デザイン教育であると考えることができる．こうしたことから，工学教育分野においてもものづくり教育を効果的に行うには，これを教員が責任を持つ学科目として実施することが大切である．

しかしながら，例えば，小型フォーミュラ自動車を題材にした授業を実施する場合，これまで，学科目としての構築方法や，自動車の設計・製作・試験の一貫した過程が明らかにされておらず，不確定要素が多い．したがって，正規の授業として実施するには困難さを伴うのが実情であり，筆者が知る限り，本研究で提案するような，小型フォーミュラ自動車の設計・製作を題材とした学科目の構築は行われていないようである．

したがって，小型フォーミュラ自動車の設計・製作・試験を行う実践的なものづくりを学科目として構築して，それを実践して評価することで，工学教育における有効性を明らかにすることにした．

## 1. 2 従来の研究

はじめに，大学における工学教育分野で実施されている「ものづくり教育」の研究例について述べる．ものづくり教育に関する研究事例は，1990年代から報告されている．1993年には，金沢工業大学が「夢考房」を設立した．夢考房は，工学教育関係者には広く知られていて，学生がものづくりを行う施設である．

夢考房における学びは，学生の自主プロジェクトが主体であり，プロジェクトが学内の委員会で承認されると活動を行うことができる．この際，教員は，

「ボランティア」として各プロジェクトを支援し、製作など、技能面の指導は、夢考房専属の技師と呼ばれるスタッフが行う。

プロジェクトには、ソーラーボート、ソーラーカー、ロボット、人力飛行機、そして学生フォーミュラ自動車などがあり、競技会への参加を目的としたものづくりが行われている[14-19]。

自動車を題材にしたものづくり教育では、大学教員や自動車メーカーの研究者・技術者で構成される自動車技術会が主催し、2003年より「全日本学生フォーミュラ大会（SFJ：Student Formula Japan）」が開催されている[20]。この大会は、「ものづくり・デザインコンペティション」と題するもので、学生が1年間でフォーミュラスタイルの小型自動車を製作し、その性能を競うものである。設計技術やコスト管理力、事業提案力も審査項目になっている。

出場校は年々増加し、2003年の第1回大会は17校の出場であったが、2014年の第12回大会には90校が出場している[21]。

SFJは、米国で開催されている学生フォーミュラ大会（FSAE：Formula SAE）に規則を準拠している[22]。FSAEに準拠した大会は世界各地で開催されており、SFJ向けに製作した自動車も、これらの大会へ出場が可能であり、海外の大学と同じ規則の下でものづくりの総合力を競うことができる。

SFJではこれまでに日本国内の大学7校が優勝を経験しているが、これら7校における活動の形態は、学生が自主的に活動する「サークル」である[23-29]。そのため、学科目数が増加し、学びの環境が厳しくなる中で、学生は課外時間に自動車の設計・製作を行わなければならない。その上、自動車を製作して大会で好成績を収めても、「単位」が認定されることはない。

こうしたSFJへの取り組みに関しては、幾多の研究例がある。2002年には、神奈川工科大学の石濱らがSFJ自動車用超軽量スペースフレームの最適設計を行い[30]、2005年には、同じく石濱がSFJ自動車の製作をプロジェクト教育と

して実施している[31]. 2006年には、国土舘大学の本田、若林、児玉がゼミナール、卒業研究、大学院修士課程教育の一環として SFJ 自動車の製作を行っている[32-33]. また、同年には岡山大学の河原らが 1 年次から 4 年次の学生 20 人で構成するプロジェクトを結成し、SFJ 自動車の製作を実施している[34]. 金沢大学の榎本らは、研究会として SFJ 自動車を設計・製作して SFJ で総合優勝している[35]. 2007年には、東海大学の宮崎らが学生の自主的な活動を組織的に支援する施設において、3年間で SFJ 自動車を製作する取り組みを報告している[36]. 金沢大学の元井らは SFJ 自動車用過給エンジンの実験を行っている[37]. 2008年には、大阪大学の井上らが設計と製作の誤差を抑制するアプローチを報告している[38]. 2010年には、東京大学の草加が運転席の側部にエンジンを搭載する独創的な SFJ 自動車（通常の SFJ 自動車は運転席の後部にエンジンを搭載する）を製作して、2009年の第7回大会で優勝するまでの取り組みを報告している[39-42]. 同じく東京大学の岩崎は、その自動車のエンジン開発について報告している[43]. 工学院大学の浜野らは、プロジェクト教育に SFJ 自動車の製作を取り入れており、このプロジェクト教育は、ECP:Engineering Clinic Program と呼ばれ、与えられたテーマの解決法を学生自身が考えるものである[44]. 九州産業大学の石田らは、芸術学部と工学部で連携して SFJ 自動車の部品を製作している[45]. 2011年には、上智大学の鈴木が単年度で SFJ 自動車の製作を行う PBL:Project Based Learning と、数年かけてエンジンや車体の技術開発を行う PBL について報告している[46]. 神奈川工科大学の川口らは、自動車の設計・製作を行うカリキュラムを構築して実施しているが、SFJ 自動車の製作は、教育効果があると認めながらも、正規の授業ではないと述べている[47]. 工学院大学の新井らは、SFJ の活動へ技術経営 (MOT:Management of Technology) を適用した教育を行っている. 対象となる学生は、上述の浜野らが報告した ECP の受講生である[48]. 2012年には、明星大学の川原らが SFJ 自動車製作活動に

おける教員の助言要領をまとめている。この報告において教員は「助言者」として定義されている[49]。2013年には、埼玉工業大学の下山が競技用自動車設計の経験から、SFJ自動車の製作は実践的な技術者教育に適していると報告している[50]。

このように、ものづくり教育におけるSFJを題材にした活動については、自動車の設計・製作、学生の自主活動、PBLに適用された報告が頻繁に行われてきた。しかしながら、工学教育分野において、SFJ自動車の設計・製作を行う活動は、学科目としての教育が行われていないようである。また、SFJ自動車の設計・製作を実施する過程をどのように行うのか、例えば、プロジェクトマネジメント手法など、具体的な運用方法を適用した研究例は、筆者が知る限りないようである。

続いて、プロジェクトマネジメント手法を使った教育事例について詳述する。日本において良く知られているプロジェクトマネジメント手法としては、ピンボック（PMBOK：A Guide to the Project Management Body of Knowledge）に準じた方法が挙げられる[51]。ピンボックは、米国プロジェクトマネジメント協会（PMI：Project Management Institute）が発行するプロジェクトマネジメントの知識体系の標準ガイドブックを指す。PMIはピンボックに準拠した国際資格の試験を実施しており、この資格制度と相まってピンボックは日本国内において、IT業界を始めとして広く普及している。

2011年に北海道大学の本間らが、プロジェクトマネジメント教育に関して国際比較を行い、ピンボックに準拠しながらも、日本的な補足説明を併用することで学生の理解を促進できると報告している[52]。2012年には芝浦工業大学の井上らが、中等教育に対するプロジェクトマネジメント教育の調査結果について報告している[53]。この報告では、スーパーサイエンスハイスクールやインターナショナルスクールにおけるプロジェクトマネジメント教育の実態が述べ



られている。

2013年には、アスカプランニングの永谷らが米国と日本の文化的な違いから、ピンボックを効果的に日本の教育現場へ適用するには、そのままの形で取り入れるのではなく、日本流のプロジェクトマネジメントのメリットを十分に活かしながら、同時にデメリットを補う工夫を重ねて導入することが必要だと報告している[54]。東京工科大学の立川，三雲らは、ピンボックを用いた教育用シミュレータを製作し、コンピュータサイエンス学部の学生にグループ形式のロールプレイ学習を実施している[55-56]。PMI 日本支部教育委員会の斉藤は、PMI 日本支部におけるプロジェクトマネジメント教育の取り組みについて報告している[57]。ソニーの永地は大企業におけるピンボックを適応したプロジェクトマネジメント教育実施例を報告している[58]。

ピンボックを適用しないプロジェクトマネジメント教育の研究例では、2002年に金沢工業大学の青木が大学における授業にプロジェクトマネジメントの発想を取り入れ、これを「プロジェクトマネジメントの発想を取り入れた授業法」と名付け、工学基礎科目に適用している[59]。この授業法は、授業計画を基本として学生と教員が共同で、学習のPDCA : Plan-Do-Check-Action サイクルを繰り返すことで、お互いの行動目標を達成するものである。2008年には、九州産業大学の廣田が情報システム開発教育にアーンドバリューマネジメントを導入している[60]。アーンドバリューマネジメントは、計画価値を計測する手法である。2013年には、東京都市大学の横山がIT企業に行ったアンケート結果より、大学教育におけるプロジェクトマネジメント教育の必要性について報告している[61]。

しかしながら、ものづくり教育にプロジェクトマネジメント手法が適用された研究例は、筆者が知る限り存在しないようである。

最後に、日本発のプロジェクトマネジメント手法である P2M (Project and

Program Management) に関する研究事例について詳述する。P2M は受託者視点のプロジェクトマネジメント手法であるピンボックに対して、協働を重視する日本の組織文化に合うように工夫された手法であり、その適用事例は幅広い。

2006 年には、大成建設の田中らが建築業界の建築リニューアル市場へ P2M を適用した[62]。2008 年には、中央大学の山本らが実務家向け研修教材に P2M を適用して、その効果を報告している[63-64]。また、塩野義製薬の岩木は医薬品開発の資源調達マネジメントへ[65]、静岡大学の小松は医薬品開発プロジェクトの経済性評価に P2M を適用している[66-67]。2009 年には、東京農工大学の野地、中山、亀山らが地域活性化と環境問題解決を両立させるプロジェクトへ P2M を適用した報告を行っている[68-72]。2010 年には、同じく東京農工大学の高橋らが公共事業の 1 つである水道事業の施設更新や職員訓練に適用している[73-74]。また、東京農工大学の佐藤らは IT 業界における目標共有やリスクマネジメントの仕組みづくりへ P2M を適用している[75-77]。2011 年には、国際協力機構 (JICA : Japan International Cooperation Agency) の中村らが政府開発援助における合意形成プロセスの最適化に適用している[78-80]。東京農工大学の山本らは、大学発ベンチャー企業と製造業のコミュニケーションマネジメントに P2M を適用している[81]。2012 年には、東京農工大学の和田らが食品製造会社の開発手法の改善へ P2M を適用し、その効果を報告している[82-83]。横浜国立大学の栗原、小川らは、気候変動問題に P2M を適用している[84-86]。

また、P2M は大学教育にも適用されている。2008 年には千葉工業大学の菅谷らが、近年、大学教育で盛んに行われている PBL : Project Based Learning の一段上の概念とした、新たに考案したプログラム型授業の構築へ適用を試み、その効果を報告している[87]。同じく千葉工業大学の真原らは、卒業研究科目における研究活動支援へ適用している[88]。続いて、千葉工業大学の高野らは大学の研究室で実施されるゼミ活動へ適用している[89]。そして、千葉工業大学

の田隈らは、卒業論文製作の支援へ P2M で推奨する知識の 1 つであるロジックモデルを適用している[90]。東京農工大学の小原，亀山は，社会人大学院における環境プロジェクトマネジメント教育へ P2M を適用している[91]。

P2M は，サービス業，製品開発，政府開発援助，地域活性化プロジェクト，そして大学教育まで広範囲に適用される柔軟性のあるプロジェクトマネジメント手法であり，大学において，不確実性が高く実施に困難を伴う小型フォーミュラ自動車の設計・製作を適用する学科目の構築と実践に適していると考えられるが，ものづくり教育へ P2M が適用された事例は筆者が知る限りないようである。

以上のことにより，本論文においては，大学の工学教育分野における小型フォーミュラ自動車を題材にしたものづくり教育を対象として，柔軟性が高いプロジェクトマネジメント手法である P2M を適用して，自動車の設計・製作・試験の一貫した過程を学科目として構築・実践して，工学教育における効果を明らかにする。併せて，SFJ での成績向上を目的とし，エンジン要素技術の先行開発を行った結果を報告するとともに，この技術を実現するために必要な工学教育について示す。

### 1. 3 研究の目的

本研究は，工学教育分野において，実践的なものづくり教育である学生フォーミュラを学科目として構築し，それを実施することにより，実践的な教育効果を示すことを目的としたものである。

工学教育，技術者を育成するための「エンジニアリング教育」は，従来から行われている講義形式，教員が教授する，いわゆる「チョーク&トーク」だけでなく，自動車などの工業製品を対象とした実践的なものづくりを学科目の中で

行う、といった変革の必要があると考える。

筆者は、19年間、自動車メーカーの開発部門で勤務し、大学へ赴任した際に、従来通りの講義、「チョーク&トーク」に加えて、昨今の教育改善ニーズの高まりによる、科目数の増加などを目の前にして、「このままではいけない」と思い、自動車メーカーにおける「開発過程」をそのまま実行することで、実践的な教育ができるのではないか、という考えを持つようになった。そんな折、学科主任教授から、「学生フォーミュラを実施できないか？」と言われたことが、本研究の発端である。

筆者が育った高度経済成長時代には、「ものづくり」という言葉は使われておらず、1990年代初頭のバブル経済の崩壊以降になってから使われるようになってきた。既に、日本国内の家電業界や半導体産業の苦境などから、大量生産の拠点はアジア諸国へ移ったと認識するべきである。したがって、今後、必要とされることは、創造力を発揮して、新しい技術や製品を継続的に開発することである。そのためには、「自ら課題を設定して、解決策を考え、それを実行できる」技術者が求められる。

企業は、工学教育分野で学び入社してくる社員に対して、時間をかけて育てる余裕がなくなっていて、1.1節で述べたように、即戦力となる人材を求めているのである。

筆者が考える工学教育、「エンジニアリング教育」のあるべき姿は、図1.1に示すように、学生と教員が協働しながら実践的なものづくりに取り組み、教育効果と技術成果を出していくというものである。本研究において重要なことは、この「あるべき姿」をいかに実現していくかということである。そのために、以下に示す研究を実施し、教育効果と技術成果を示す。

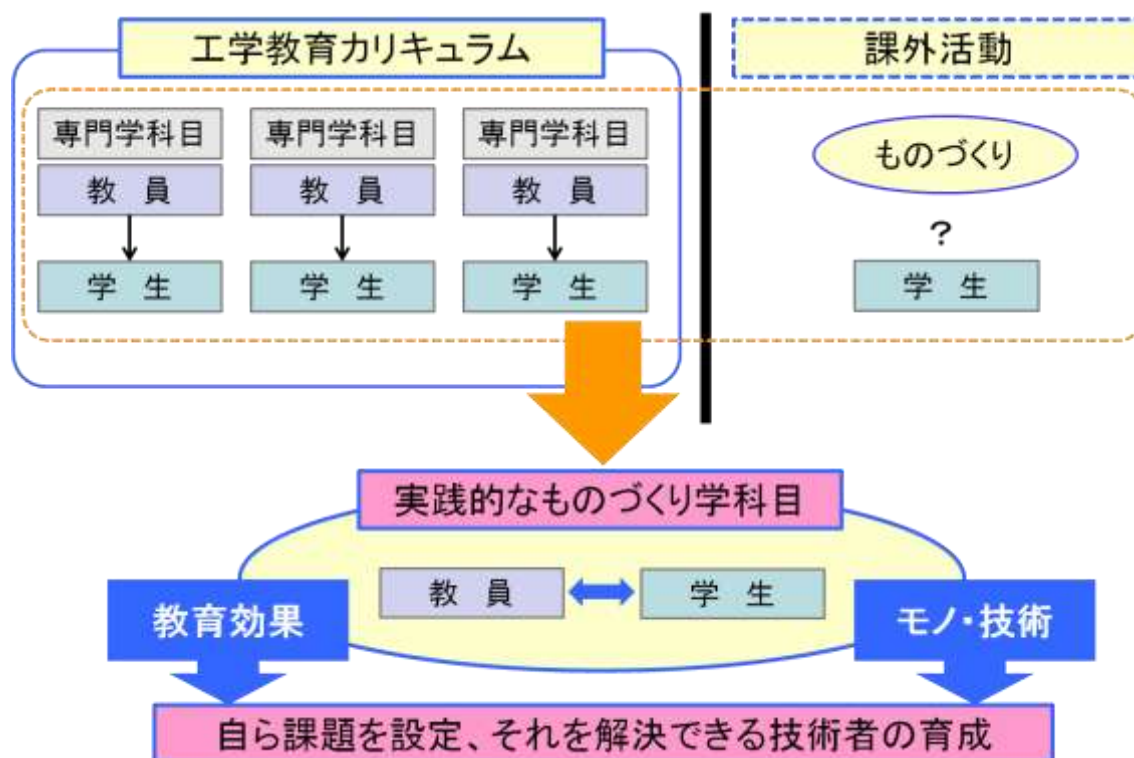


図 1.1 従来の工学教育と本研究で提案する教育形態

第1章は序論であり、研究の背景、従来の研究および本研究の目的、また本論文の構成について述べている。

第2章では、本研究が対象とする学生フォーミュラの歴史的変遷について調査し、その創設の意義を明確にする。次に、学科目立ち上げの構想・計画・実施、それらの評価に適したマネジメント手法を用いた「授業デザイン」について述べている。

第3章では、学生フォーミュラに対応する学科目の構築、自動車の設計・製作・試験、大会で実績を残すまでの施策について述べる。学生の動機づけから始まり、3段階に分けてマネジメントする新たな方法を考案し、これを適合させた。その教育効果については、大会での実績や学生のアンケート調査などで評価している。

第4章では、学生フォーミュラに対応する学科目の価値を明確に意義づけ、

より発展させるために高い目標を設定して、新たに SFJ 出場に特化した自動車を設計・製作する。そして、大会で成績を向上させる取り組みについて述べている。高い目標の中には、海外大会で実績を得ることを含んでいる。ここには、改善したマネジメント手法を適合させている。教育効果については、大会の実績や学生へのアンケート調査で評価している。

第5章では、SFJ 自動車用エンジンの要素について先行開発を行い、その結果を述べている。ここでは、技術的な成果を報告するとともに、この技術を実現するために必要な工学教育について示している。

第6章は、結論であり、本研究より得られた結果についてまとめ、今後の課題と展望について述べている。

## 第2章 学生フォーミュラを適用した学科目の構築

### 2.1 はじめに

学生フォーミュラは、競技会が開催され、日本国内においては「全日本学生フォーミュラ大会（SFJ：Student Formula Japan）」が行われている[93]。学生フォーミュラ大会における審査は、表 2.1 に示すように、「静的審査」と「動的審査」の2項目に分けられる。静的審査は、投入した技術を審査する「設計審査」、製作した自動車の費用算出の精度を審査する「コスト審査」、設計・製作した自動車を商品化するにあたり企業の役員への事業提案を模擬した「プレゼンテーション審査」から構成される。動的審査では走行性能が審査され、加速性能（アクセラレーション）・旋回性能（スキッドパッド）・総合走行性能（オートクロス）・耐久走行性能（エンデュランス）が審査種目となっている。耐久走行性能では、燃料消費量も審査の対象になる。製作した自動車の性能だけでなく、設計技術やコストなど、開発過程に関わる審査項目に特徴がある。

本章では、製作した自動車の走りの性能だけでなく、開発過程に関わる審査を行う学生フォーミュラの歴史的変遷について調査を行い、技術史の視点から考察することで、大会の創設の意義を明らかにする。次に、不確実性の高い課題を扱うのに適した日本発のプロジェクトマネジメント手法である P2M：Project and Program Management を学科目に適用し、授業デザインを行う。

表 2.1 全日本学生フォーミュラ大会の審査項目と配点

静的審査項目	配点	学び	動的審査項目	配点	学び
設計	150	企画・開発	アクセラレーション	75	開発 販売
コスト	100	企画・開発	スキッドパッド	50	
事業プレゼンテーション	75	企画・販売	オートクロス	150	
技術車検 (配点なし)		開発	エンデュランス	300	
			燃費	100	
得点合計				1000	

## 2. 2 学生フォーミュラの歴史の変遷

### 2.2.1 米国における学生フォーミュラの創設

1957年に旧ソビエト連邦が世界初の人工衛星スプートニクを打ち上げて地球周回軌道に載せることに成功した。世界最先端の科学・技術国を自負していた米国は強い衝撃を受けた。いわゆる「スプートニク・ショック」である。この出来事を契機に米国では、軍事・科学・教育の改革に乗り出すことになった。

一方で、この頃、米国経済を牽引していた自動車製造業を中心とする産業界からは、工科系大学を卒業して入社した若手社員に実践力が不足している、との声が上がっていた。ここでも実践的な技術者養成への要求が高まっていた。この状況は、即戦力の技術者を求める日本の現状に似ているといえる。

こうした時代の要請を受けて、身近な工業製品である自動車を題材にして設計・製作を一貫して学べる実践的教育プログラムの開発が始まった。この時には、米国自動車技術会（SAE International：The Society of Automotive Engineers）が主導的な役割を果たした。

### 2.2.2 米国における学生フォーミュラの草創期

#### （1）2人乗り水陸両用自動車シリーズ（REV：Recreational Ecological Vehicle）

1973年にSAE Internationalは、William R. Shapton（University Of Cincinnati）を大会実行委員長として、学生自らが設計・製作した自動車（2人乗り水陸両用自動車）の性能を競う、競技会を開催した[94]。この競技会は、非舗装路40kmと湖上の500m（渡岸）からなるコースを走破するという、大変に過酷な条件が課されたものであった。翌年の1974年も継続して開催されたが、問題点として、参加校が増加しなかったことが挙げられる（1973年6台、1974年8台）。参加校が増加しない理由は、①水陸両用自動車は身近な製品ではなく参考にするものがない、②製作コストが高い（\$1,600から\$5,000）の2点であった。



## (2) 1人乗りバギー自動車シリーズ (Mini Baja)

続いて1976年にSAE Internationalが開催したのが、1人乗りバギー自動車の設計・製作を課題とした競技会であった[94]。会場は、University of Southwestern Louisianaが提供した。この大会の名称である「Mini Baja」は、メキシコで開催される有名なバギー自動車レースである「Baja 1000」に由来する。

この競技会では、製作コストを抑制するために、その上限を\$550と規定した。また、使用する自動車用エンジンは、参加校の入手が容易となるようにSAE Internationalにより1機種が指定された。こうしたコスト抑制策は、現在の学生フォーミュラにおいても継続して採用されている。この方策は、大学の金銭面での負担を軽減させ、参加校数の増加を図るには有効な方策といえる。

競技会の審査方法もまた、継続して現在の学生フォーミュラに採用されている。産業界から招請された現役の技術者、マーケティング担当者、企業経営者などが審査員を務めるというものである。

競技会は2日間に渡って開催された。1日目には、製作した自動車の車両検査（合格しない場合は競技会での一切の走行が認められない）、設計審査（用いた技術の優位性について審査する、現在の学生フォーミュラにおける設計審査と内容は同じ）、そしてコスト審査（製作した部品のコスト算出の正確さと上限額以内であるかについて審査する。これも設計審査同様に現在の学生フォーミュラにおけるコスト審査と同じである）が行われた。競技会の2日目には、未舗装路での走破性能、登坂性能、ハンドリング性能などの走行性能が審査された。

この1人乗りバギー自動車シリーズは、現在でも継続して開催されている（米国各地で年に3大会、2014年はイリノイ、テキサス、カンサス州で開催された）。また、この大会は米国以外にも広がりを見せ、1995年にはブラジル、1996年には韓国、そして1996年には南アフリカで開催されている。

### (3) Mini Indy シリーズ

自動車に興味を持つ若者，学生はレース場を高速で走行する自動車にあこがれる．この興味と関心を捉えて，SAE International は，次に 1 人乗りバギー自動車の舗装路版を企画した．米国では，インディカー・シリーズなど，4 輪のタイヤをオープンな状態にしたレース自動車の人気が高い．Mini Indy シリーズは，その名称を人気が高いインディカー・シリーズ（Indianapolis 500 など）に準拠し，出場する自動車も 4 輪のタイヤをオープンな状態にするフォーミュラ自動車のスタイルとした．使用するエンジンについては，1 人乗りバギー自動車シリーズに準拠し，大会主催者が指定したものが使用された．

審査方法は，1 人乗りバギー自動車シリーズと同じで，設計審査・コスト審査・走行性能の審査であった．走行性能審査については，1 人乗りバギーと違い舗装路を高速で走行させる審査種目が実施された．

### (4) Formula SAE シリーズ

これらに続いて SAE International では，工学系の学生の興味や関心をさらに喚起すべく，自動車用エンジンの規則に自由度を持たせた競技会を開催した．これが，1981 年が第 1 回大会となる「Formula SAE」である[95]．この競技会では，排気量 610cc 以下の 4 サイクルガソリンエンジンであれば，過給機の装着や気筒数は自由と規定された．また，車体は流線形のフォーミュラ自動車スタイルとし，Mini Indy シリーズの車体規則を踏襲した．そして，舗装路を高速走行するものである．規則では審査における走行時の最高速度が時速 105km 以下になるように走行路のレイアウト設定が決められている．最高速度を走行路のレイアウトで抑制するのは，学生フォーミュラ自動車が高い動力性能を持つからであり，運転者の安全性確保も意図している．

Formula SAE の自動車は，全長が 3m 程度の小型な自動車であるが，動力性能を示す指標の 1 つである，馬力当たり重量であるパワーウエイトレシオ

(PWR : Power Weight Ratio) は 2.4kgf/kW と高く [96], この数値は, プロフェッショナルレースの登竜門といわれる「Formula 3」の 3.22kgf/kW [97] を凌駕し, 日本国内最高峰のレースといわれる「Super Formula」の 1.63kgf/kW に迫るものである [98]. このことから, Formula SAE で使用する自動車は, 動力性能の面からみると, 相当に高性能であることがわかる.

競技会の審査方法は, 1 人乗りバギー自動車シリーズや Mini Indy シリーズと同様である. Formula SAE は, 現在でも継続して開催されており, 全日本学生フォーミュラ大会 (SFJ : Student Formula Japan) は, この Formula SAE に準じたものである.

米国で開催される Formula SAE は, 同国が最先端の科学・技術立国でなくなるという危機感と産業界からの実践的な技術者育成の要請を受けて創設された実践的な技術者育成プログラムの 1 つである. 実践的であるがゆえに, 市販実用自動車の開発と同様に, 厳しい制約を課して学生を鍛える内容になっている. したがって, 第 1 章において問題提起したように, 実践的な技術者育成の要請が高まる我が国においても学生フォーミュラを工学教育分野で行うことは有効な対策の 1 つであると考えられる.

また, Formula SAE を創設して, それを開催する SAE は, 米国の民間ベースの技術者教育認定機関である ABET : Accreditation Board for Engineering and Technology [99] と連携して, 実践的な工学教育プログラムづくりを進めていて, その成果の一端は, Winfred Phillips らにより報告されている [100].

### 2.2.3 学生フォーミュラ大会の現状

#### (1) 海外における状況

学生フォーミュラ大会は, 1981 年に Formula SAE の第 1 回大会が開催されて以降, 世界各地へ拡大し, 現在では米国を始めとして日本を含む 10 か国 (米国,

ドイツ、イタリア、イギリス、ブラジル、オーストラリア、日本、タイ、韓国、中国)で実施されている。米国では、出場校の増加により年間に4大会が開催されるようになっている[101]。10か国で開催される大会全てが、Formula SAEの開催規則に準拠して開催されている。

また、昨今、自動車開発における重要な課題の1つである、地球温暖化対策や排気ガス対策などの環境対応技術への取り組みの高まりを受けて、Formula SAEでは、電気駆動の自動車、電気自動車EV: Electric vehicleの出場も認めている[102]。

Formula SAEにおけるEVの規則も、ガソリンエンジン自動車と同様に自由度が高く、学生が創造性を発揮できるよう工夫されている。絶縁性能など、安全に関する規則が厳格に定められているのみであり、電気駆動システムを構成する、電動機/インバータ/蓄電装置については、例えば、使用する電動機の実出力や個数は自由である。この規則の自由度の高さから、ここ2,3年でFormula SAEの規則に準拠した大会へ出場するEVは、その性能を高め、2013年と2014年のイギリスの大会(Student Formula)ではガソリンエンジン自動車に打ち勝ち、総合優勝を遂げている[103-104]。また、2014年のドイツの大会(Student Formula Germany)とオーストラリアの大会(Formula SAE-Australasia)では、EVが総合2位になっている[105-106]。このようなEVの活躍から、2015年の新規規則では、EVに使用する電動機の実出力が最大80kWに制限された[107]。

世界中で開催される自動車のレースを見渡しても、ガソリンエンジン自動車とEVが同じ走行条件で競うのは筆者が知りうる限りFormula SAEだけのものである。

これらのことから、Formula SAEは、学生が自動車の設計・製作を通して、創造性を育めるような工夫がなされており、実践的な技術者育成のための教育プログラムの1つとして、米国以外の国でも行われるようになっている。

## (2) 日本国内の大会 SFJ における状況

第1章で述べたように、日本では、2003年に第1回のSFJが開催されて以来、年々出場校が増加して、図2.1に示すように、2014年の第12回大会には90校が出場している[108].

一方で、大会における審査結果を見てみると、出場校の増加に伴って、全ての動的審査を完走できないチームが増加している。その内、動的審査種目全てを無得点、つまり大会へ出場しても走行ができなかった出場校も図2.2に示すように増加していて、2014年の大会では、出場校90校の内、30校が動的審査において無得点である。

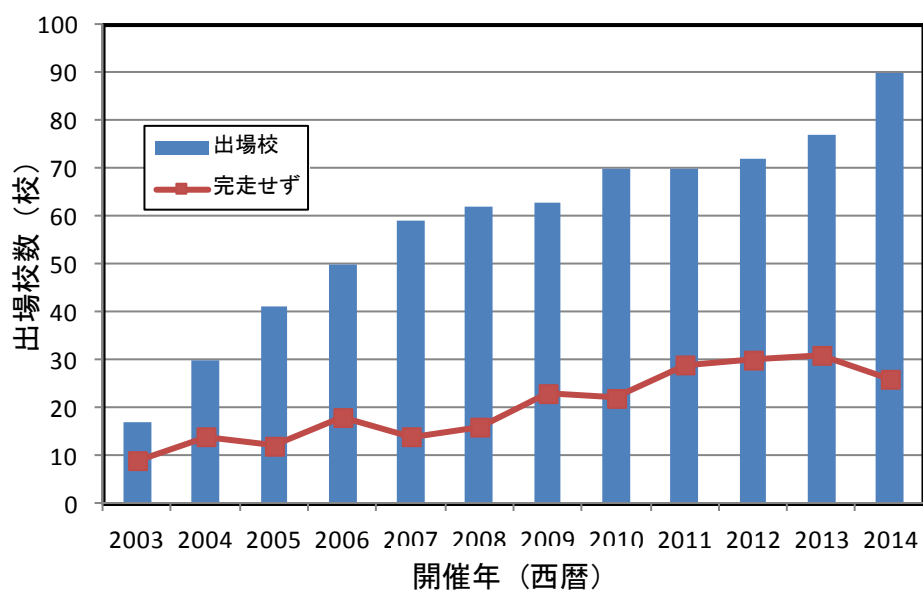


図 2.1 SFJ 出場校と動的審査未完走校の推移

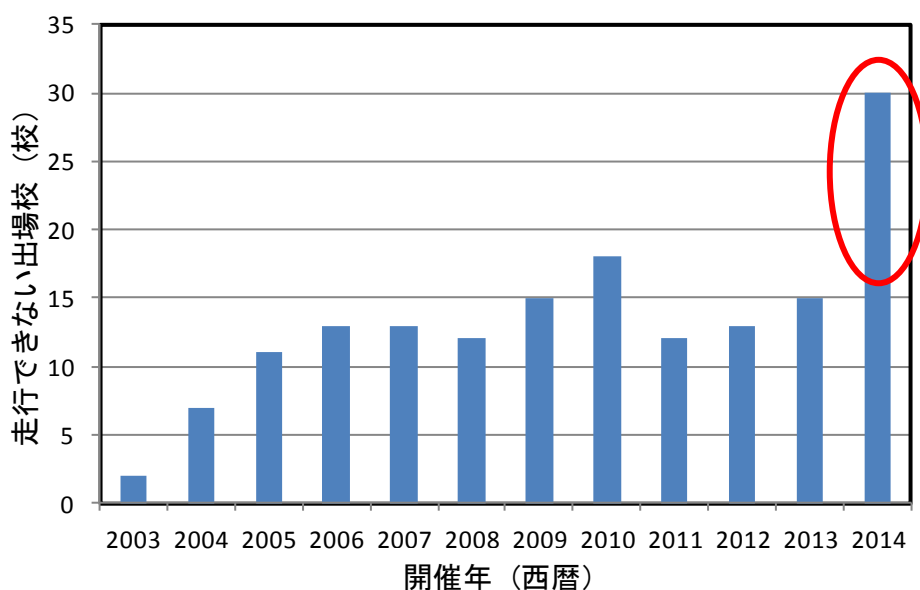


図 2.2 SFJ 動的審査における「一切走行できない」出場校の推移

さらに、SFJにおいても、2012年からFormula SAEの規則に準拠して、海外で開催される大会と同様に電気自動車EVの出場を認めている。しかしながら、SFJにおけるEVの動的審査における完走台数はきわめて少なく、2012年と2014年の大会では、それぞれ、わずか1台しか完走していない（2013年開催のSFJでは、1台も完走していない）。

これらのことから、SFJもFormula SAEに準拠した大会の1つとして、学生に実践的なものづくりを行わせるという価値が認められ、出場校は増加しているものの、製作した自動車を全ての動的審査で完走させるという「質」の面で課題がある。

### (3) SFJの課題

上述したように、Formula SAEでは、学生が小型フォーミュラ的设计・製作・試験を行う一貫した過程を経験し、実践的な学びが得られるように工夫されている。大会において動的審査を完走できないという、SFJにおける「質」の課題は、製作した自動車の性能、信頼性がFormula SAEの要求品質を満足してい

ないということである。また、第1章で述べたように、学生は、学科目が増加する厳しい学びの環境の中であって、SFJにおける良い成績に希望を膨らませながら、自動車の設計・製作時間を捻出し、努力していると考えられる。製作した自動車が大会で完走できないという、SFJにおける「質」の課題は、前途ある学生に挫折感を持たせてしまう懸念がある。

Formula SAEを創設して継続開催するSAE International（米国自動車技術会）では、学生フォーミュラの活動を行う大学には、ファカルティ・アドバイザー FA: Faculty Advisorを置くように規則で定めている[109]。SAE Internationalでは、FAの役割を、学生フォーミュラで学生が成果を得られるように、①工学的な指導と、②組織運営面における指導を行うように定めている[110]。SFJでは、SAE Internationalが定めるFAの役割が十分に理解されていないようであり、学生フォーミュラ活動は、「学生の自主活動」とされて、その活動形態が「サークル」となっていると考えられる。

日本は、自動車生産台数世界第2位を誇る自動車大国であり、自動車の開発・生産・販売を行う企業が11社も存在し、今後も自動車業界で活躍できる技術者の育成は重要であり、学生フォーミュラを通じた実践的な学びは有効だと考えられ、これを効果的に工学教育の中で行うことは大切である。

## 2.3 学生フォーミュラを適用した学科目の授業デザイン

### 2.3.1 自動車メーカーにおける開発プロセス

一般に自動車の設計・試作・実験から生産開始までの開発プロセスについて詳しく示された事例は少ない[111-113]。この理由は、筆者の自動車メーカーの開発部門における勤務経験から2点考えられる。1点目は、自動車メーカーの開発部門は機密性が高く、秘匿部門だからである。通常、開発部員以外の社員は、

開発部門へ立ち入ることができない。2点目の理由は、自動車メーカーの開発プロセスは緻密にその中身が定められているものの、複雑であり、かつ企画などの上流部署から生産などの下流部署まで広範に渡って関わる社員は極めて限定されるからである。

筆者の経験による自動車メーカーにおける開発プロセスの例を図 2.3 に示す。設計・試作・実験をいくつか繰り返して品質を高めることを目的に、複数の部署が携わる点が自動車メーカーにおける開発プロセスの特徴である。また、設計や実験部署などの開発部門だけではなく、購買部門、生産部門や品質保証部門も自動車の開発プロセスの中でそれぞれが担当分野の役割を担う専門家集団による分業体制である。

自動車メーカーにおける開発プロセスは、実施手順と管理項目を緻密に定めて、携わる各々の部署は専門スキルを持つ社員で構成される必要があり、大学における教育の現場にそのままの形で適用することは困難を伴う。

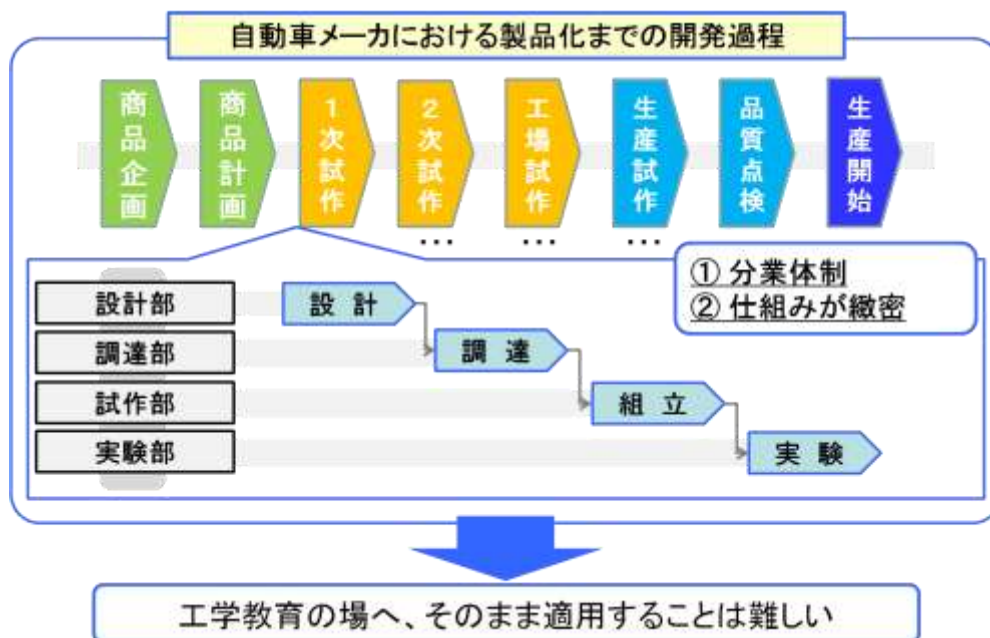


図 2.3 筆者の経験による自動車メーカーにおける開発プロセス



### 2.3.2 プログラム&プロジェクトマネジメント (P2M) の概要と知識体系

P2M は、経済産業省による「日本版プロジェクトマネジメントの標準形式をつくりたい」との要請を受けて、エンジニアリング振興協会のプロジェクトマネジメント導入開発調査委員会により、2001年に「日本版プロジェクト&プログラムマネジメント標準ガイドブック(以下、P2M Ver.1.0)」にまとめられた[114]。その後、P2Mの普及促進を図る目的で、国際P2M学会(以降、P2M学会)が2005年10月に創設された[115]。

2006年、P2M学会は、「P2M Ver.2.0 コンセプト基本方針(以下、P2M Ver.2.0)」を発表した[116]。P2M Ver.2.0は、実行領域に限定していたP2M Ver.1.0に対して(P2M Ver.1は、第1章で述べた米国のピンボックと似ている)、プログラムの事業主(本研究では教員を指す)と、それを実行する組織構成員(本研究では学生を指す)がマネジメント感覚を共有して、一体感を持って活動するために改訂されたマネジメント手法である。

P2M Ver.2.0を学科目へ適用すれば、教員と学生が一体感を持って活動ができると考えられ、通常の講義のように、教員からの一方的な決定や指示に留まることなく、学生による提案も活かすことができ、学生フォーミュラ自動車の設計・製作・試験を行う学科目の構築・実施・評価に望ましい手法であるといえる。

#### 2.3.2.1 「プログラム」の概念

P2Mでは、「プログラム」と「プロジェクト」を明確に分けて定義している。プログラムは、図2.4に示すように、いくつかのプロジェクトから構成されており、不確実性の高い問題解決にあたり、まず、①何を、どこで、いつまでに実行するか、概略を決める。次に、各プロジェクトにおいて、②どのように実行するのかを決める。続いて、③実行した結果を評価するという手順で進められる[117]。

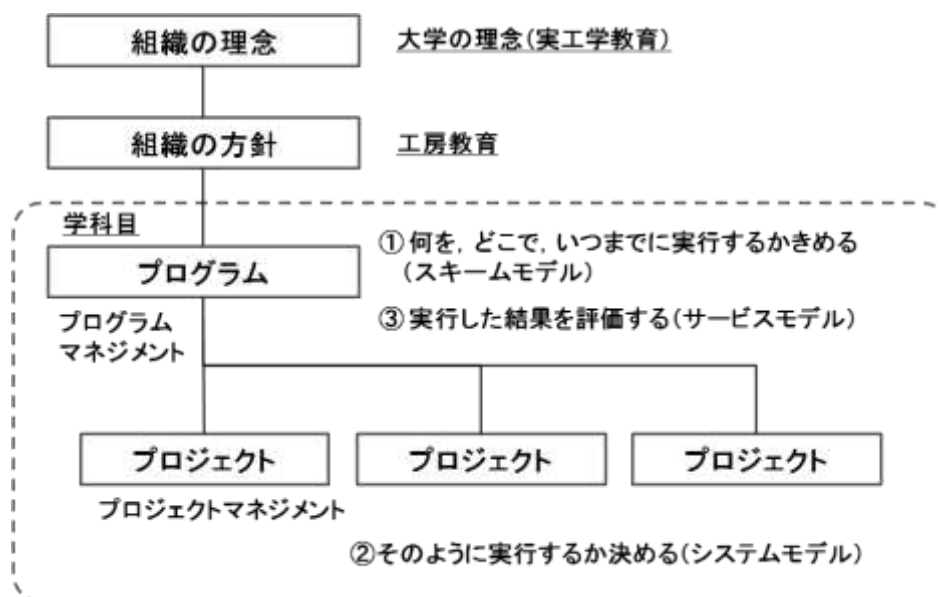


図 2.4 P2M におけるプログラムとプロジェクトの関係[117]

一般に、自動車メーカーにおいて新型自動車を開発するような活動は、「プロジェクト」と呼ばれているが、P2M の視点では、これを「プログラム」と定義することができる。したがって、学生フォーミュラを適用する授業も、プログラムであると考えられる。

プログラムの概念は、行政による産業戦略においても重視されるようになっており、2013 年 12 月に公開された「革新的研究開発プログラム (Impact : Impulsing Paradigm Change through disruptive Technologies)」には、プログラムの成功を担う「プログラムマネージャ」が次世代の研究・開発におけるリーダーとして重要な役割を担うと示されている[118]。

### 2.3.2.2 P2M の基本体系

続いて、P2M の基本体系について詳述する。P2M では、プログラムを連続的にマネジメントするために、「構想段階 (スキームモデル)」、「実行段階 (システムモデル)」、「価値獲得段階 (サービスモデル)」の 3 段階に分けている[119]。

この3段階を、P2Mでは3Sモデルとして定義している。そして、3Sモデルを統括する統合マネジメントを設ける。以下、3Sモデルの各モデルについて詳述する。

### (1) 構想段階 (スキームモデル)

スキームモデルでは、組織の運営方針 (ミッション) を実現するための場面設定や人の動き (シナリオやビジネスモデルと呼ぶ) を構想する。

この段階では、組織の内部状況や外部環境を把握して、どのように活動するのか方針を決める。そして、方針を実現するために「何を、どこで、いつまでに実行するのか」目標を決める。併せて、目標の実現に必要な技術・資金・人的資源・知識などを集めることを行う。

本研究では、この段階を「授業計画」と、自動車の設計・製作・試験の過程における「企画・構想」の段階に適用する。

### (2) 実行段階 (システムモデル)

スキームモデルにおいて決めた方針や目標を具体的にどのように実行するかを検討し、組織を作って実行する。この組織は、定常的な活動を行うのではなく、目標を実現するために期間と資源が限定された特別な活動、いわゆるプログラムにおけるプロジェクトと呼ばれる活動を行う。

本研究では、この段階を自動車の設計・製作・試験の実施段階に適用する。

### (3) サービスモデル (価値獲得の段階)

この段階では、システムモデルによって得られた成果を利用して、組織の運営方針 (ミッション) に合致した付加価値を創出するための施策を行う。システムモデルで得られた成果が、定常業務として定着するまでの期間に実施する。つまり、この段階は、実施した結果を評価する段階であって、本研究では、自動車の設計・製作・試験の過程における「実績評価」と、授業を実施したことによる「教育効果」の検証に適用する。

### 2.3.2.3 P2M の知識体系

続いて、3S モデルを実施する中で用いる 6 項目からなる知識体系[120]について詳述する。これらの知識は 3S モデルにおいて、プログラムを成功に導くために用いられるものである。

#### (1) プロファイリングマネジメント

プログラム実施の初期段階（構想段階）において、特定使命（ミッション）を理解して、具体的な作業に詳細化する作業である。本研究では、①学科目の意図を表現する、②利害関係者の分析を行い、③実現のためのシナリオを作成する、といったように適用し、授業の特定使命を明確に示すために用いる。授業の特定使命については、後述する。

#### (2) プログラム戦略マネジメント

このマネジメントの基本は、自分が所属する組織の置かれている立場（外部環境）と、自分の組織が持つ長所と短所（内部環境）の両方を考慮して、方策を決める作業である。外部環境と内部環境の分析には、経営学の競争戦略論や組織論の研究成果として編み出された手法が用いられる。

本研究では、学科目の位置づけを明確にすることと、自動車を設計・製作・試験する過程の実施段階において、強み・弱みを分析し、戦略の策定に適用する。本研究において、この知識は、第4章における授業に適用している。

#### (3) アーキテクチャマネジメント

ここでは、プログラム戦略マネジメントで有効とされた複数の関係を示し、プログラム全体を複数のプロジェクトで分担できるように詳細化する。

構想段階では、授業全体や基本方針を示す文書、複数プロジェクトの間の関係を示す図を作成する。実行段階においては、プロジェクトの活動内容を詳細に示した詳細設計書と、システムを構築するための手順書を作成する。価値獲得段階では、実行段階で得られた成果を利用して定常的に価値を高める運用方

法を示す。運用で得られた技術ノウハウなどは、次の新しい価値創造を行う際の資源となる。

本研究では、自動車の設計・製作において、その実施項目をいくつかのプロジェクトに分割するために用いる。

#### (4) プラットフォームマネジメント

P2Mでは、プログラム（ここでは学科目を指す）を推進するために作られる協働作業の場として、「プラットフォーム」を定義し、これを実施する。プラットフォームマネジメントは、プログラムの遂行と創造された価値を確実にするために、場の設定および運用にあたり、①魅力あるテーマを設定し、②国籍、民族、宗教、職業などの文化的障壁に対してオープンで、③問題解決のための情報の処理・蓄積・伝達が適切に行われるようにする活動である。

本研究では、このマネジメントを授業の実施段階における学生と教員の関係性を規定するために適用する。具体的な関係性は後述する。

#### (5) ライフサイクルマネジメント

ライフサイクルマネジメントは、プログラムの最初から終わりまでの期間にわたり、連続的な状況変化に対応し、後述する価値指標マネジメントを実施しながらプログラムの価値を最大限に保つための活動である。

本研究においては、自動車を設計・製作するという授業の実施段階において、日常的に起こりうる問題解決への適用を図る。この知識を適用するにあたり、筆者の自動車メーカーにおける開発部門勤務経験を活かすこととする。

#### (6) 価値指標マネジメント

このマネジメントは、プロファイリングマネジメントによって導き出されたプログラムの価値を、3Sモデルに対して指標を示して、プログラム全体の活動を通じて、計測と評価を行うことにより、プログラム価値の維持と向上を図る活動である。本研究では、授業の実施段階における評価と学科目の評価に適用

する。

これら, P2M における, 3S モデルと 6 項目のマネジメントから構成される知識体系を図 2.5 に示す[121].

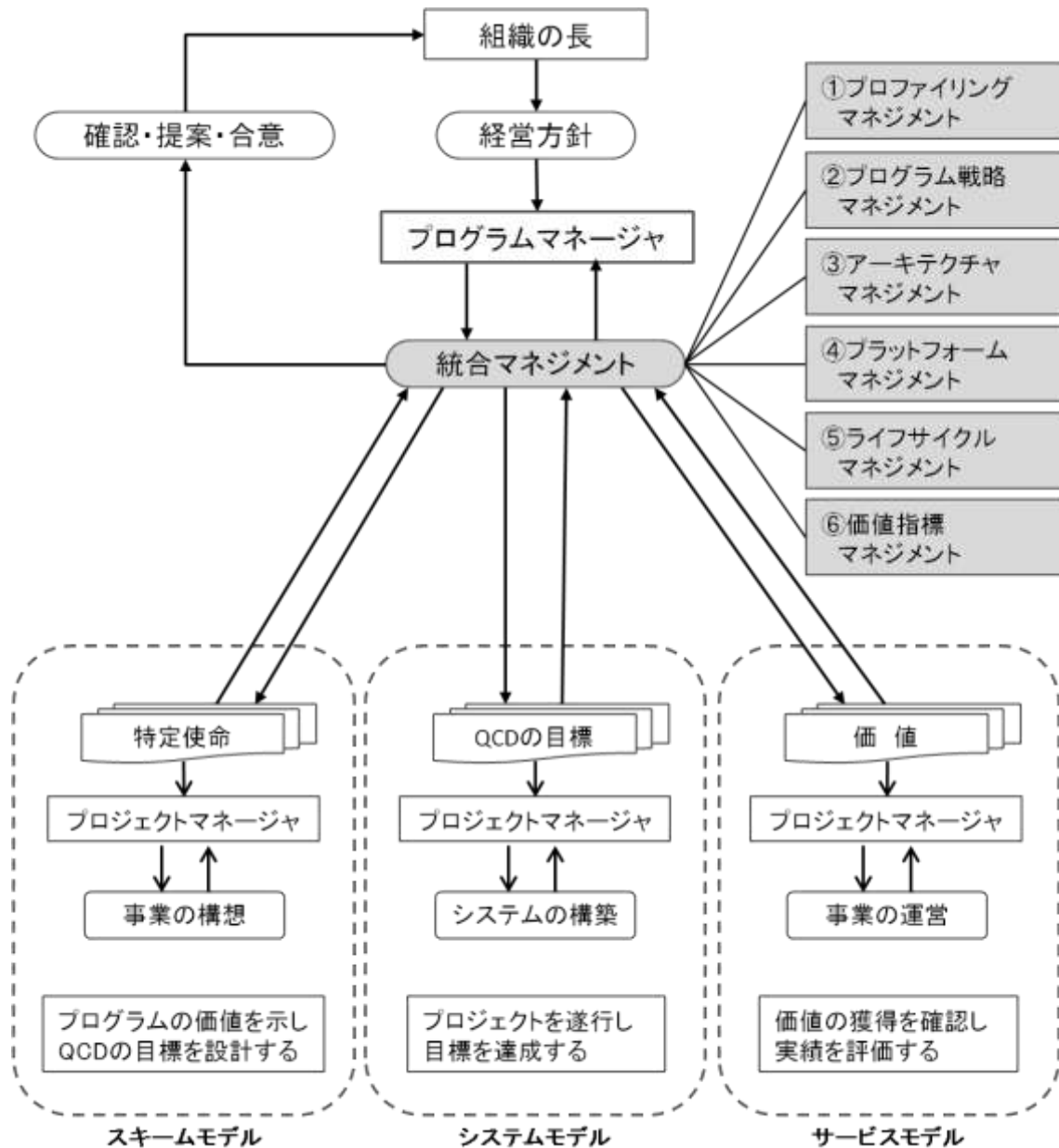


図 2.5 P2M の知識体系[121]

### 2.3.3 学科目への P2M の適用検討

SFJ における審査に対応するには、自動車のマーケティング、企画、構想、設計と製作、そして性能を実証することが求められる。これは、一般企業における事業開発だといえる。事業開発は、技術開発、製品開発、市場開発を重視する「形態効果識別法」で分類ができ、SFJ へ出場する活動は、「技術ベンチャー」と見立てられ、自ら創作した特定使命を自分たちの特定任務として実行する「マイクロ・ベンチャー型」に分類できる[122]。

また、大学で実施される教育の一環であることから、教育における体系思考、そして自動車の開発に特化して実施するがゆえの価値創造とリスク、不確実性への実証、さらに組織運営や広報・渉外活動を通して、多様な意見調整を経験値あるいは、実践知として学生達に学ばせることができる。

小原らの研究によれば価値創造には、ミッションの識別の重要性が大切であるとされている[122]。大学における通常の講義は、教員と学生間の役割が明確で欠席過多や試験点数不足時の単位不認定など、リスク分担風土も定着している。つまり、平常時に行われる大学での学科目教育は、「明確なミッション」と位置付けることができる。一方で、SFJ 活動は、大会に参加する方針、設計・製作するマシンや審査内容などへの対応、そして活動に参加する学生と教員、資金などの資源は確定しているものの、図 2.6 に示すように学生が実施する環境と体制は企業とは大きく異なり、プログラム契約ができていないわけではない。また、企業における組織のようなガバナンス（統治）も効くようになっておらず、識別は「曖昧なミッション（特定使命）」であるといえる。プログラムを通して、曖昧なミッションから、中間的なミッション、そして明確なミッションへ移行する中で実践的な教育を行うことができることになる。

SFJ 活動に参加する学生数は大学により異なる。本学においては、本研究の学科目立ち上げ時には、24 名で構成される（授業の年次進行に伴って人数は変

動する)。各学生は、学年、参加する動機、生活環境やモチベーションも異なっている。この環境下で支援者、大学、大会事務局など、これら利害関係者（ステークホルダ）との折衝が必要であり、複雑な他者間調整が求められる。この関係を図 2.7 に示す。ステークホルダの数は多く、学生は大学に在学しながら、社会性を学ぶことができる。



図 2.6 企業における開発と学生フォーミュラ活動の比較

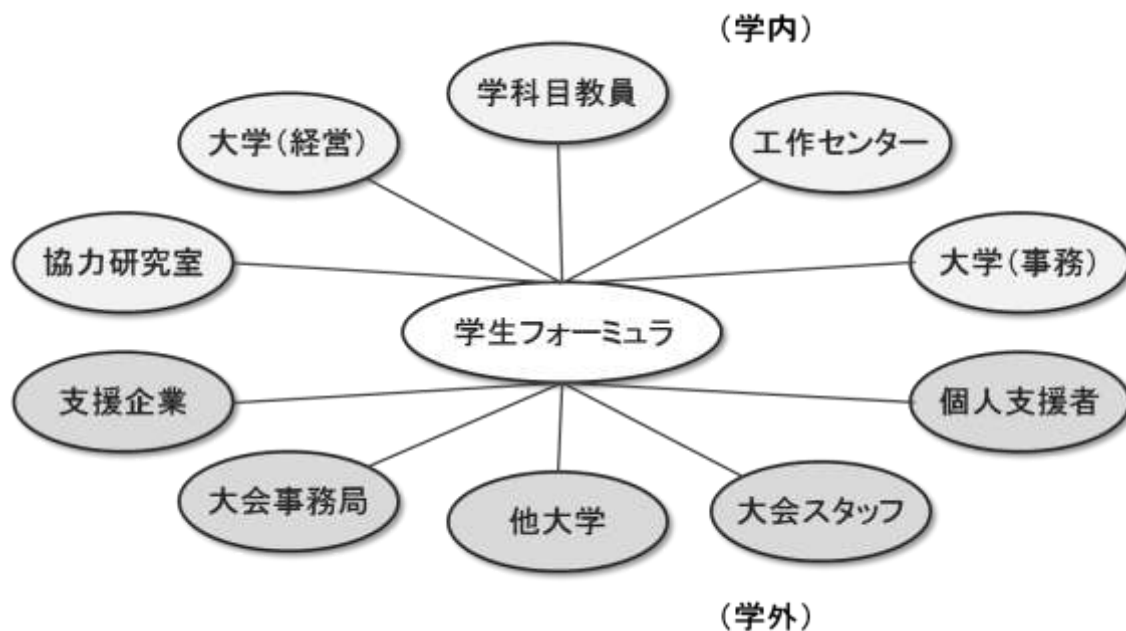


図 2.7 学生フォーミュラ活動における利害関係者の関係図



### 2.3.4 実践的なものづくりを行う学科目の授業デザイン

筆者は自動車メーカーにおける開発部門勤務時代に小集団で企画・設計・実験・提案を一気通観して行う開発手法を提案してきた[123-124]。本研究では、一気通観して自動車の設計・製作・試験が行えるように、P2Mの手法を用いた学生フォーミュラを適用する学科目の全体像を図2.8に示すようにデザインした[125]。

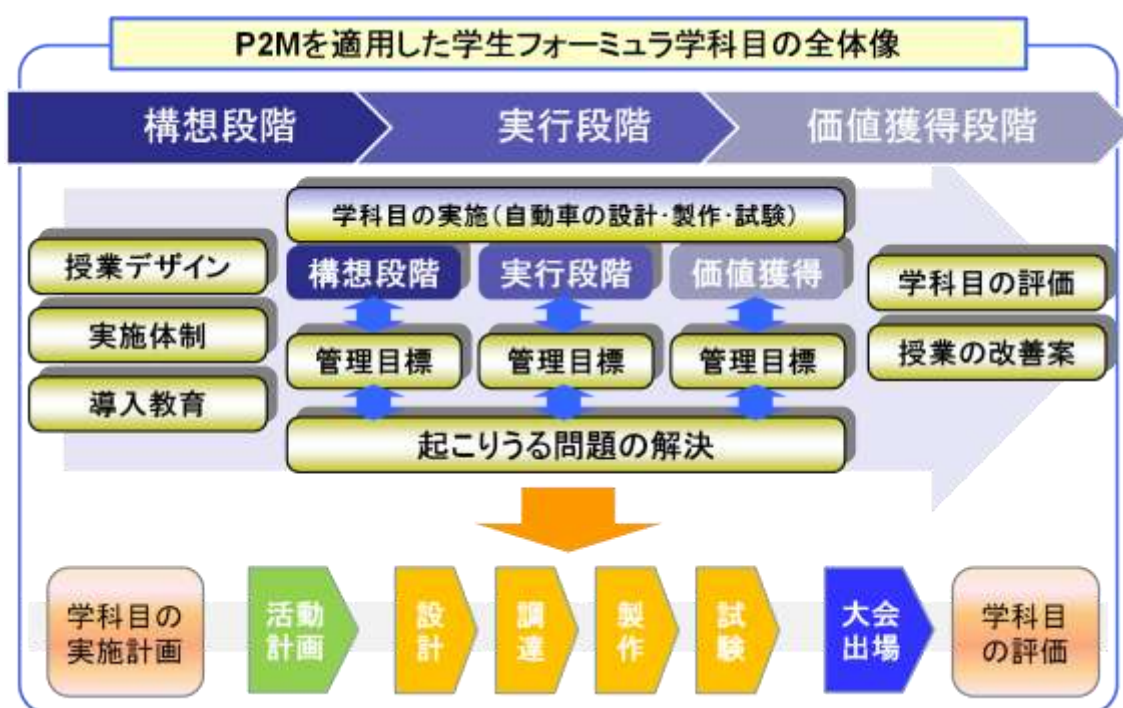


図 2.8 学生フォーミュラを適用した学科目の全体像

上述した P2M の知識体系を活用して、構想段階では、学科目の全体像や実施体制、組織体制を決める。実行段階では、さらにその構成を3段階に分けて、導入教育から始まる自動車の設計・製作・試験、大会出場までといったプロセスを実施していく。その後、価値獲得段階では、学科目の評価と授業の改善策を検討する。

続いて、P2M の知識体系を使って、授業を実施していく上での、「特定使命」、

「プロジェクトの構成」, 「学生と教員の関係性」を検討する.

### (1) 「プロファイリングマネジメント」による授業のミッション全体像

構築したミッション全体像を表 2.2 に示す. この表で規定したミッション (使命) は, 実践的なものづくりを行う授業において, 全体を俯瞰するのに有効である.

表 2.2 学生フォーミュラを適用する授業のミッション全体像

誰が(Who)	所有者	学科目の発想者	学生・大学・教員
何を(What)	問題と解決	複数プロジェクト	SFJへの出場
いつ(When)	始まりと終わり	日程・不確実性	設定した実施期間
目的(Why)	存在意義	価値・目的・期待・方針	実践知の場
方策(How)	エンジニアリング	システム・資源・予算	進行しながら明確化
方向(Which)	方向性・選択	方向・意志決定	進行しながら明確化
誰に(Whom)	利害関係者	学生・支援者・大学	進行しながら明確化

### (2) 「アーキテクチャマネジメント」を使ったプロジェクトの構成

図 2.9 に授業における自動車の設計・製作・試験の過程におけるプロジェクトの構成を示す. 本研究では, SFJ への出場を前提にすることから, 「自動車の設計・製作」, 「企画・マーケティング」, 「静的審査 (設計審査・コスト審査)」, 「運転者育成」の 4 つのプロジェクトで構成している.

これら 4 つのプロジェクトを P2M の基本モデルである 3S モデルに組み込むことで, 目標設定と進捗管理を行っていく.

なお, 時系列, 図の横方向の視点では, 自動車を設計・製作する上で求められる「企画・構想」, 「設計・解析」, 「製作・試験」, 「大会出場」を配置しているが, 学びの場では学生が自動車を製作する「実行者」であることから, ライフサイクルマネジメントの観点から必ずしも時系列の実施にこだわらず, 必要に応

じて、前後したり、並行したりして実行することも考慮することにした。

### (3) 「プラットフォームマネジメント」による教員と学生間の関係性の規定

P2M の知識体系から、授業を実施していくには（すなわち、P2M で規定するところのプログラムを実行するには）、教員と学生間における、「確認・提案・合意」を行うための、「コミュニケーションチャンネル」が必要不可欠である。

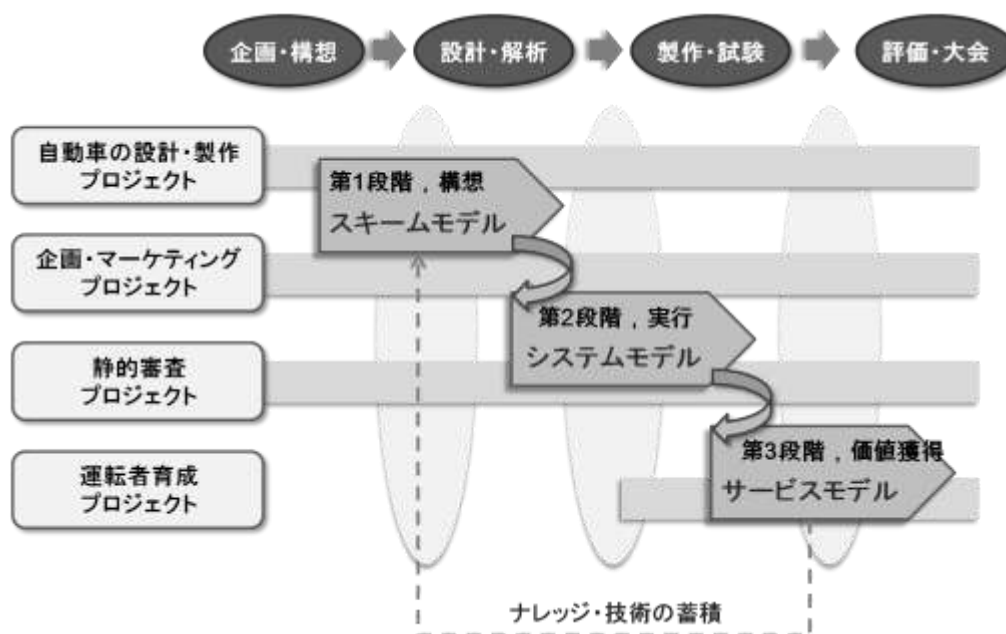


図 2.9 SFJ 自動車の設計・製作過程におけるプロジェクトの構成

本研究では、上述した4つのプロジェクトにおける主体的な実行者である学生（プロジェクトマネージャ）と、自動車の設計・製作・試験、全体における主体的な実行者（プログラムマネージャ）からなる「コアチーム」を結成し、複雑な問題に対して協働で考えて教員との「確認・提案・合意」ができるような体制を構築した（図 2.9）。なお、ここで示す体制には、上述した4つのプロジェクトの内、「運転者育成プロジェクト」は、記載しておらず、自動車が完成した時点における課題としている。

大学では、年次進行による学生の入れ替わりがあり（卒業や入学による）、学

生の構成に変化がある。今後、授業の実施に伴い、新たな課題が出てくる可能性があるが、ライフサイクルマネジメントの観点から、その都度、教員が懇切な指導を実施することにより、新たに参加する学生が主体性を持って取り組めるように配慮している。

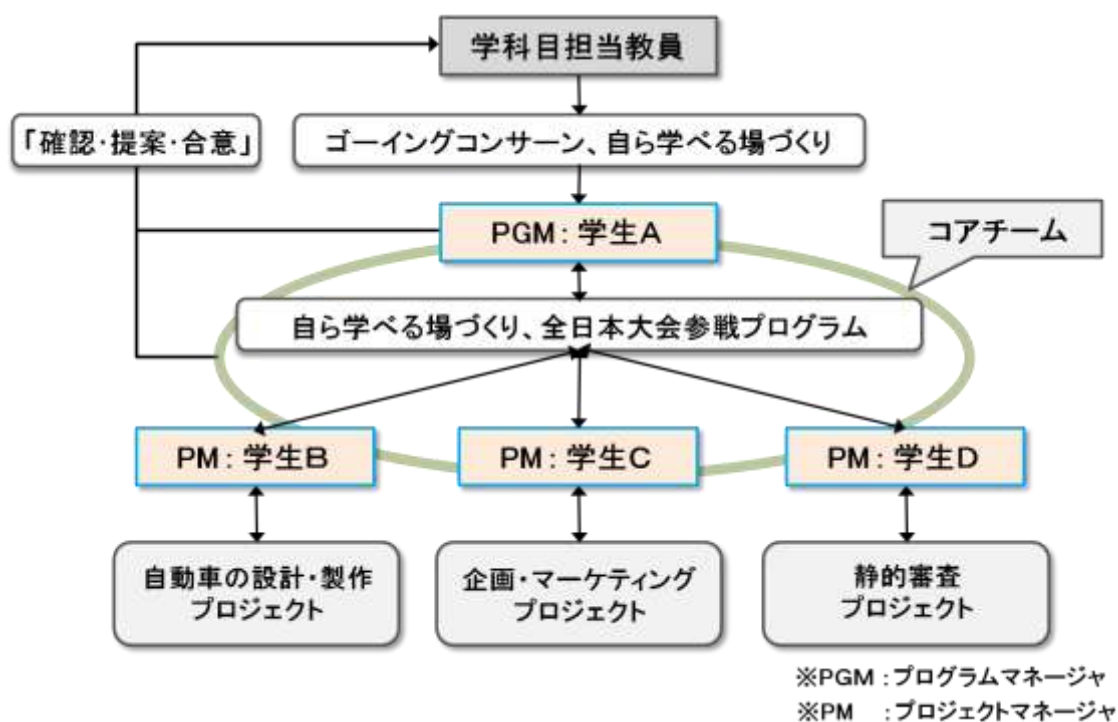


図 2.10 授業における教員と学生間の関係性規定

## 2. 4 まとめ

本章において得られた結論を以下に述べる。

- (1) 米国における学生フォーミュラ Formula SAE は、実践的な技術者育成を目的に創設された教育プログラムの1つであり、実践的な工学教育へのニーズが高まるわが国の工学教育分野においても有効であるといえる。
- (2) 日本の経営風土に合うようにアレンジされたプロジェクトマネジメント手法である P2M は、学生フォーミュラを適用する学科目の構築と実施に

有効であり、この手法を適用することの有効性を明らかにした。

- (3) 学生フォーミュラを適用した学科目の授業デザインに P2M を適用して、授業の全体像を示すことができた。

### 第3章 学生フォーミュラを適用した学科目の実践とその評価

#### 3. 1 はじめに

第2章においては、日本発のマネジメント手法である P2M : Project & Program Management を用いることで、学生フォーミュラを適用した学科目の授業デザインができることを明らかにした。本章における研究では、学科目を実践して、その効果を示すことで、工学教育分野における有効性を明らかにすることを目的としている。

第1段階として、学生に対して、履修者全員が協働で活動していくための意識づけと、自動車に関する基本的な知識を持たせることを目的に導入教育を行っている。教育効果は、学生の受講姿勢やアンケートにより評価している。次に、第2段階として、全日本学生フォーミュラ大会 (SFJ : Student Formula Japan) に出場することを前提とした自動車の設計・製作・試験を行い、これを完成させて SFJ へ出場した。P2M を用いて、自動車の設計・製作・試験の実行段階を3段階に分けて、各段階に管理目標を設定して実施している。続いて、第3段階では、実施した結果を評価している。評価項目は、P2M により設定した管理目標、学生の受講姿勢とアンケート調査、学生によるアイデア、そして工学専門学科目への波及効果を検証している。

#### 3. 2 学科目「フォーミュラ工房」

学生フォーミュラを適用した授業は、その名称を「フォーミュラ工房」とし、日本工業大学における学科目の選択科目の1つである工房科目の中に位置づけた。工房科目は、他大学にはない取り組みであり、この科目は、3年間かけて実際にものづくりを行い、機械製品や建築物を完成させるものである[127]。

これまで、工房科目の機械工学分野では、小型旋盤の製作を行う「機械加工工房」、樹脂射出成形加工用の金型を設計・製作する「型技術工房」、そしてエンジンを製作する「エンジン工房」が行われてきた[128-130]。しかしながら、機械加工工房とエンジン工房は、製作に特化した授業内容であり、構想・設計を学ぶことはできない。また、型技術工房では、設計は行うものの、工業製品の様に競合との「競争」や法規などによる「制約」がなく、これら3つの工房では、「競争」と「制約」がある実践的なものづくりを学ぶことができないというのが現状である。

本研究において提案する「フォーミュラ工房」は、自動車の設計・製作・試験を一貫して行い、多くの大学が参加する大会に出場することで、他校との「競争」や大会規則による「制約」により、工業製品の開発と同じような実践的な学びを得ることができる点に特徴がある[131]。

履修期間は、他の工房科目に倣い3年間とした。3年間の各年次の春・秋学期にそれぞれ科目を配置し、フォーミュラ工房I～VIまで合計6科目で構成した。

授業計画は、表3.1に示すように構築した[132]。入学年度である1年次には、上級年次を主体とする自動車の設計・製作を手伝いながら、協業して活動することを体験しながら学び、続いて、設計や製図が行えるようにした。授業計画に示す内容は、時間割で設定された時限に学年別に行い、自動車の設計・製作・試験や大会出場へ向けた活動では履修者が協働で実施できるように工夫している。なお、加工作業や自動車の走行試験などでは、多くの課外時間を費やしているが、安全面で配慮が必要な作業については、課外時間であっても、教員が付き添い、必要に応じて運営や技術面での指導を行った[133-134]。

実施場所は、日本工業大学内の自動車工学研究室とした。この理由は2点あり、1点目として、ボール盤、小型旋盤、電動工具、溶接機など、自動車部品

の加工や組み立て作業に必要な機材が研究室に揃っているからである。そして、2点目として、研究室では4年次の学生が卒業研究を行っており、専門知識や技能面でのアドバイスを、下級年次の学生が受けられ、協働できるからである。

表 3.1 「フォーミュラ工房」学科目の授業計画[132]

科目名:フォーミュラ工房Ⅰ (Formula SAE Workshop 1) 機械工学科 学科専門科目   1年 春学期 選択科目 <b>【授業の目標】</b> フォーミュラ工房は、全日本学生フォーミュラ大会への参戦を通して、エンジニアに必要とされる実践的な問題解決力を身につけます。本講義では、組織をつくり、かつプロジェクトの管理運営手法について学びます。	科目名:フォーミュラ工房Ⅱ (Formula SAE Workshop 2) 機械工学科 学科専門科目   1年 秋学期 選択科目 <b>【授業の目標】</b> フォーミュラ工房は、全日本学生フォーミュラ大会への参戦を通して、エンジニアに必要とされる実践的な問題解決力を身につけます。本講義では、車両開発&製作の始めとなる車両レイアウトとフレーム設計・製作について学びます。
科目名:フォーミュラ工房Ⅲ (Formula SAE Workshop 3) 機械工学科 学科専門科目   2年 春学期 選択科目 <b>【授業の目標】</b> フォーミュラ工房は、全日本学生フォーミュラ大会への参戦を通して、エンジニアに必要とされる実践的な問題解決力を身につけます。本講義では、大会での設計審査及びプレゼンテーション審査への対応方法を学びます。	科目名:フォーミュラ工房Ⅳ (Formula SAE Workshop 4) 機械工学科 学科専門科目   2年 秋学期 選択科目 <b>【授業の目標】</b> フォーミュラ工房は、全日本学生フォーミュラ大会への参戦を通して、エンジニアに必要とされる実践的な問題解決力を身につけます。本講義では、車両の運動性能を決める上で重要なサスペンション装置の設計手法について学びます。
科目名:フォーミュラ工房Ⅴ (Formula SAE Workshop 5) 機械工学科 学科専門科目   3年 春学期 選択科目 <b>【授業の目標】</b> フォーミュラ工房は、全日本学生フォーミュラ大会への参戦を通して、エンジニアに必要とされる実践的な問題解決力を身につけます。本講義では、コンセプトを決定して、それを実際の車両へ結びつけるプロセスを学びます。	科目名:フォーミュラ工房Ⅵ (Formula SAE Workshop 6) 機械工学科 学科専門科目   3年 秋学期 選択科目 <b>【授業の目標】</b> フォーミュラ工房は、全日本学生フォーミュラ大会への参戦を通して、エンジニアに必要とされる実践的な問題解決力を身につけます。本講義では、エンジン／パワートレインの設計手法について学びます。

### 3. 3 導入教育，ワークショップと実車体験

まず、学科目の立ち上げ段階において、導入教育を行った。この目的は、「学生間のコミュニケーションを高める」、「自動車の知識を得る」、「SFJ へ既に参加している大学の実態を学ぶ」の3点である。

自動車の設計・製作段階においては、学生間の協働が不可欠となり、そのためには、「コミュニケーション」が大切となるので、ワークショップを開催し、学生間のコミュニケーションを高めることにした。また、学習者のモチベーシ



ョンを高めることも目的であった。

### 3.3.1 導入教育①ワークショップの実施

はじめに、ガイダンスを行い、開発を行う組織においては「報告・連絡・相談」が大切であり、全ての基本となることを説明した。以後、授業においては作業の進捗状況や問題事項については速やかに教員に報告し、情報は教員や他のメンバーに連絡し、困った場合には教員や他の学生に相談するよう確認した。一般に企業で大切とされる、いわゆる、「報・連・相（ホウ・レン・ソウ）」である。

ガイダンスに続いて、ワークショップを行った。この授業では、ワークショップを通じ、学生が議論する能力、議論を通じて問題解決を図る能力を身につけることを目的とした。この際、対象学生の学年差による知識や経験に差があっても授業を行うことができるような内容とした。

これまで学生フォーミュラに関する研究報告で、学生間のコミュニケーションを高める教育的な施策が行われた例は筆者が知る限りないようである。

#### (1) 「ファイブミニッツ」

学生同士がランダムに他の学生と1分間お互いに自己紹介をする。これをワンセットとして、5回行う。ワンセットに、教室内の5人と話し、知り合うことができる。自己紹介の内容は、特に限定せず学生の自由とした。話している最中は相手の目を見て話す、1分間経過の合図を聞いたら速やかに次の相手に移るなど、事前に簡単なガイダンスを行った。本講義の実施後、学生同士で気軽に話し合うようになったことが確認できた。

#### (2) 「月面サバイバル」

月に不時着した宇宙船から脱出することを想定し、協働で課題解決の方法と合意形成を学ぶ課題であり、企業教育でも広く使われ、筆者も企業勤務時代に

社内研修で体験している。

内容は、個人で「パラシュート」、「ピストル」、「粉末ミルク」、「方位磁石」などのアイテムの中から重要度の高いものより順位づけする。順位づけした結果を持ちよって、数人のグループで討議して順位づけを行うものである。

この講義では、正解を得るよりもグループでの話し合いによる合意形成のプロセスを体験させることを重視した。合意形成のプロセスを体験することで、自動車の製作において、学生が協働できることを狙った。

発表においては、冒頭で各グループにおける話し合いのプロセスを必ず説明するように指導した。この課題では、数人が協働して結論を導き出すプロセスを実施できていることが確認できた。

### (3) 「タイムマシン」

上述した講義、「月面サバイバル」に続いて、同じくグループ討議形態の講義を実施した。本講義では、学生達に対して、3年後にどうなっていたいか、付箋紙に書き出す、次に、3年後の目標を実現するためには、1年後あるいは2年後にどうなっていないかを書き出す課題を与えた。各学生が書き出した結果を持ちより、それらを数人のグループで議論させた。議論した結果は模造紙にまとめて発表させた。講義では、結論に唯一の正解はないことを教え、話し合いのプロセスを重視させた。図 3.1 にグループで議論する様子を示す。集中して課題に取り組む姿勢、そして自分の意見を主張しながら、他の学生の意見も尊重し、議論を収束させながら結論を導き出す様子が講義の中で確認できた。

また、この講義は、学生が「ありたい姿」を議論しながら、目標を定めていくという素養を身につけさせることも目的であった。なお、学習者による、目標・課題設定は、第4章において述べる。



図 3.1 ワークショップの様子

#### (4) 「Will・Can・Must」

上述の「タイムマシン」で議論したあるべき姿を「Will: やりたいこと」, 「Can: できること」, 「Must: やらねばならないこと」の3項目に分類させて, 数名のグループで議論させた。グループでの話し合いに先立ち, 「Will: お互いが得た他校の情報をシェアしたい」, 「Can: 他校の調査報告書を書く」, 「Must: 他校の調査項目を決めて調べてくる」などを参考例として説明した。なお, 話し合った結果をまとめて各グループに全員の前での発表を課した。活発に質問が飛び交う活気に満ちた雰囲気を確認できた。また, 発表内容には, 「全日本学生フォーミュラ大会で優勝したい」など, 大会出場へ向けた前向きなものが大半となり, 受講する学生のモチベーションの高まりを確認することができた。

#### 3.3.2 導入教育②開発プロセス

「開発の意味」は, 企業においては「顧客が満足する製品を生産・販売できる

ようにすること」であるが、この授業においては、「設定したコンセプトと目標性能を満足すること」、「期限内に完成すること」であるとした。また、自動車事故は人命に直結することから、目標性能においては、動力性能より安全性能が優先されることを学生に周知させた。

「自動車メーカーでの開発プロセス」として、特に「コンセプトと目標性能を設定した上で設計・製作をすること」が開発であり、「思いつくままに何かを作ること」は単なる工作である、と繰り返し強調した。

### 3.3.3 導入教育③実際の自動車を使った体験学習

学科目を履修する学生に自動車の保有や整備経験について質問した。その結果、多くの学生は保護者が運転する自動車に同乗する程度しか機会がないことが明らかになった。また、最近の自動車は故障が少なく、自宅で自動車を整備する場面を見る機会はほとんどない。そこで、自動車の構造について理解を深めてもらう目的で、以下に示す講義を行った。

#### (1) 普通自動車を使った運転姿勢検討会

第1段階として、自動車の運転席や後部座席に実際に座ることで、運転姿勢や視界について車種による違いを体験させた。準備した自動車は、セダン自動車、クーペタイプスポーツ自動車、高級セダン自動車、ワゴンタイプの軽自動車、コンパクトな欧州製の自動車の5台である。学生は運転席に座ることで、タイプの違いによって運転姿勢がかなり異なることを体感できた。特にクーペタイプのスポーツ自動車は、着座位置が低く、足を前に伸ばして座るような特徴をつかむことができ、これから設計・製作する小型フォーミュラ自動車と同じような運転姿勢を体験することができた。

#### (2) 自動車の部品交換作業の見学

自動車の懸架装置を構成する部品（スプリングとショックアブソーバー）の

交換作業を見学させた。参加者が24名と多く、作業を体験させることはできなかったが、教科書だけではなく、日頃接することのない自動車の懸架装置の構造を間近で学ばせることができた。なお、ここでは構造の学びだけでなく、ジャッキアップして自動車を持ち上げる際には、「輪止めをかける」、「リジッドラック（固定具）をかける」など自動車の整備を行う上での「安全」についても指導した。

### 3.3.4 導入教育④SFJ 自動車を使った部品構成表作成

本学における専門学科目や一般教養科目においては、自動車の部品構成や部品表作成方法について学ぶ機会は少ない。そこで、学生フォーミュラ自動車を題材にして、自動車の部品構成に関する講義と、実際に部品表を作成する演習を行った。使用した自動車は、本学において2008年度に製作されたものである。

自動車の部品構成を説明するのに、図3.2に示す資料を用いた。この資料は、筆者の自動車メーカーでの経験を活かして製作したものである。講義においては、自動車メーカーにおいて部品表を作成することで自動車1台あたり数千点以上に及ぶ部品を管理していること、その管理情報は部品・要素の調達や生産にも使われていること、等について詳しく説明した。



図 3.2 部品構成表作成の講義に使った教材の一部

講義の後，実際に 2008 年度に製作された SFJ 自動車に装着されている全部品を分類して，実際に部品表を作成させるように指導した．部品表には，部品名と調達方法を記載することに限定して作成に慣れることに主眼を置いた．

### 3.3.5 導入教育⑤他校の学生フォーミュラを知る

既に全日本学生フォーミュラ大会に出場している大学は，年間活動計画の立案や自動車の設計・製作・実験を経験している．また，大会事務局へ提出する静的審査の書類（設計レポート，コストレポートなど）を作成することを経験している．これら一連の実施項目を調査する目的で，関東地区にある 5 校の調査をさせた．事前準備として，参加する学生には，調査項目を事前課題として与えた．

各校での見学・調査時間は，2～3 時間として時間に余裕をもたせた．この施策は，参加者が多くの質問ができることを意図したものである．また，見学先の工房が実際に製作を行っている時間帯に訪問するようにした．この段階にお

いて、見学時の学生の取り組み態度には違いが見られ、熱心に訪問先の学生に質問する者、問題意識を持たず、ただ何となく見学する学生に大別できた。これらの見学の後、学生1人1人と面談したところ、見学時に積極的だった学生は明らかに問題意識が高まっていることを確認できた。

### 3.3.6 導入教育の評価

調査紙による学生へのアンケートにより、導入教育の評価を行った。対象学生は24人で、その構成は、「フォーミュラ工房」を履修する1年次が17人、「卒業研究」を履修する4年次が7人である。調査項目は、以下の8項目とした。なお、質問(1)～(4)の内容は、日本工業大学で実施されている授業評価の調査項目に準拠している。学生には4段階で回答させた。質問事項と回答を以下に示す。

#### [I] 学生フォーミュラを適用した「授業」に関する調査

(1) 「授業における学びの目的は明確でしたか？」

4: 大変明確, 3: 明確, 2: 明確でない, 1: 全く明確でない

(2) 「授業の内容はシラバス（授業計画）通りでしたか？」

4: 大変そう思う, 3: そう思う, 2: 思わない, 1: 全く思わない

(3) 「授業は役に立ちましたか？」

4: 大変そう思う, 3: そう思う, 2: 思わない, 1: 全く思わない

(4) 「この授業を他の学生に奨めますか？」

4: 大変そう思う, 3: そう思う, 2: 思わない, 1: 全く思わない

#### [II] 学生フォーミュラを適用した「授業の内容」に関する調査

(5) 「この授業の履修を継続しますか？」

4: 大変そう思う, 3: そう思う, 2: 思わない, 1: 全く思わない

(6) 「自身のスキル（技術・技能など）を向上させようと思いますか？」

4:大変そう思う, 3:そう思う, 2:思わない, 1:全く思わない

(7) 「この授業は専門学科目を学ぶ上で参考になりますか？」

4:大変そう思う, 3:そう思う, 2:思わない, 1:全く思わない

(8) 「この授業を通して自動車の開発プロセスを理解できましたか？」

4:大変そう思う, 3:そう思う, 2:思わない, 1:全く思わない

### (1) 「授業」に関する調査結果

図 3.3 に示す結果から、80%を超える学習者が、目的通りであってシラバス通りだと回答し、高く評価していることがわかる。一方で、全く目的に沿っていないと答えた学生もおり、今後の改善課題だと考える。

また、70%を超える学習者が、有用性を認めて、他の学生にも履修を奨めると回答しており、高く評価していることがわかる。

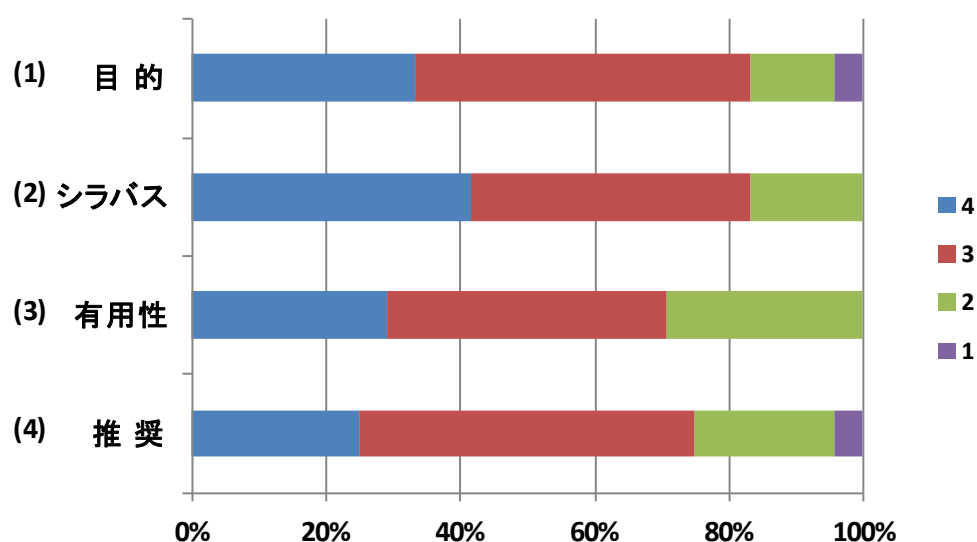


図 3.3 導入教育における「授業」に関するアンケート調査結果



## (2) 「授業の内容」に関する調査結果

授業の内容については、図 3.4 に示すように 80%の学生が履修継続の意思を示し、高い評価をしている。一方で、専門学科目との関連付けについては、60%弱の結果に留まっており、この理由は、実際に自動車を製作していないためであると推察される。自動車を設計・製作して、大会へ出場した後の段階で、再度、同じ内容で評価を実施する。

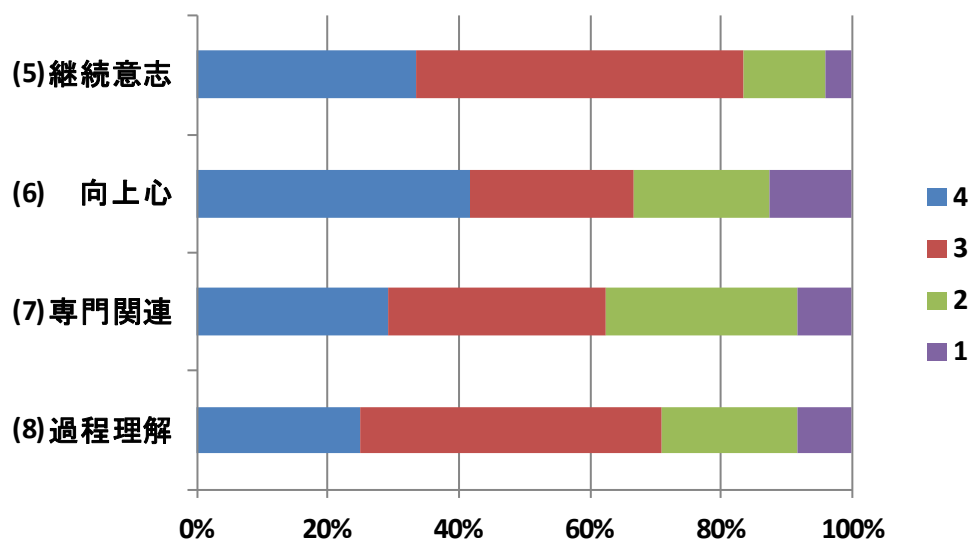


図 3.4 導入教育における「授業内容」に関するアンケート調査結果

### 3. 4 SFJ へ向けた実践「自動車の設計・製作・試験」

#### 3.4.1 実践①構想段階（スキームモデル）

本来、P2M の手法では、この段階において、「何を」、「どこで」、「いつまでに」実行するかを決めることになっている。しかし、ここでは、既に筆者がプログラムとしての概要を決定しているため、その作業は省き、第 1 段階として、設計・製作する自動車の「コンセプト作成」を行う。次に、第 2 段階として、コ

コンセプトを用いて「事業企画書の作成」を実施する。続いて、第3段階において、「製作する自動車の製作方法」を決めることにした。

### (1) コンセプトの作成

まず、設計・製作する自動車の「コンセプト作成」を行った。コンセプト作成段階では、学生に対して筆者の講義だけに限定せず、外部より現役の実用自動車のエンジニアや、レーシング自動車のエンジニアなどを講師として招請し、幅広い見識を与えるようにした[135]。

コンセプトは、自動車を開発する上で最も重要な最上流の指針である。概念ではなく、コンセプトを見れば、設計に携わる者が方向性を定められるものである。例えば、「誰もが、どんな路面状況下（雨天、降雪）でも運転でき、時速300kmで走行できる自動車」[136]といったものが自動車開発におけるコンセプトであると説明した。

コンセプトを明確化することで、設計作業で問題が生じた場合に、コンセプトに合致しているか確認することで問題解決が容易になる。また、コンセプトを基に企画書を作成でき、協力企業からエンジン供給に係る支援を受けることも目的の一つであった。

しかしながら、小型フォーミュラスタイル自動車のコンセプトを、学生自身が一から考えて作成することは困難である。そこで、学生にまず具体的な3段階からなる課題を与えることとした。

第1段階の課題は、「安全性を得るための方策を考えよ」であった。この課題を与えるにあたり、授業では、未舗装路を走行する、転倒時の対策が施されているバギー自動車の写真を見せ、その保護バーの位置が高く設定されている理由について説明するなどした。

その結果、学生たちは思案を繰り返した後、フォーミュラスタイルの自動車においても「保護バーを高くすることで、転倒時に高い安全性が得られる」と

の結論を導き出すことができた。

第2段階の課題は、「大会出場自動車のエンジン出力と車両質量の関係について調査し、考察せよ」とした。その結果、全日本学生フォーミュラ大会の動的審査では、高出力の4気筒エンジン搭載自動車が常に優位であるわけではなく、低出力・軽量の単気筒エンジンを搭載する自動車も良い成績を残しているとのデータを得ることができた。

しかしながら、単気筒エンジンは、4気筒エンジンと比べて振動が大きく、車体にクラックが生じることも考えられることから、「その中間の気筒数では？」など、教員が適切なアドバイスを行うことにより、4気筒エンジンと同等の出力でありながら、比較的軽量である2気筒エンジンを採用することが望ましいとの結論を導き出すことができた。この結論を導き出すにあたり、3.3.5項で上述したSFJに参加している他大学調査時の報告を役立たせることができた。

第3段階の課題は、「旋回時の運転のしやすさを確保する方策を考えよ」であった。この際、授業では、数台の乗用車を用意し、学生に運転させた。その結果、学生は、クランク路走行時には全長の短い自動車は車両感覚をつかみやすく運転が容易であることを理解した。そして、全長を規則ぎりぎりまで短くするとの結論を導き出すに至った。

以上、3段階の課題を学生に与え、解決させることで、図3.5に示すコンセプトを得ることができた。

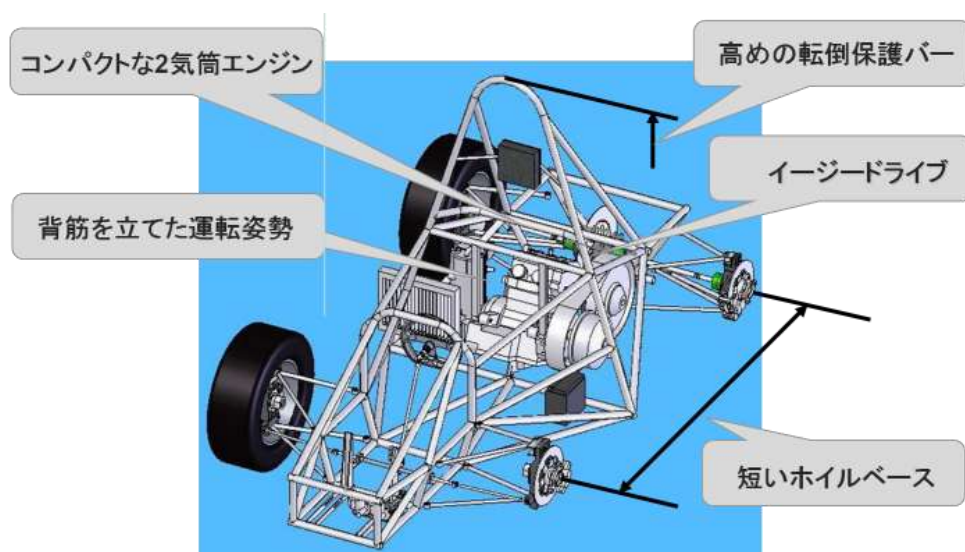


図 3.5 設計・製作する自動車の「コンセプト」

## (2) 事業企画書の作成

次に「事業企画書作成」を行った。事業企画書は、学内・学外の協力者に学生自身が自分たちの活動計画を説明して、協力を得るための書類である。この課題では、筆者が過去に作成した事業企画書を使って講義を行い、学生の理解を深めるような工夫を行った。

SFJ では、2 輪車メーカーに使用するエンジンの支援依頼をするのが慣習的になっており、その前例に倣うことにした。そのためには事業企画書を示す必要があり、これを学生の動機づけとした。

本学には、事業企画書を作る具体的な知識を得るための科目は少ない。そこで、コンセプトを作成した時と同様に学生に対して、講義の中で具体的な課題を出し、それを解決させながら作成する手法を採用した。

まず、第1段階の課題として、「自分たちが学ぶ大学の特徴を調べてまとめよ」を与えた。学生は、大学の案内やインターネットを使った調べ学習などを行い、本学の教育面の特徴である「実工学教育」と「工房教育」をまとめることができた。そこから、「手を動かすだけでなく、常に考えながらものづくりをする」、

「どんな状況でも自分で行動できる人間になる」という2つのビジョンを導くことができた。

第2段階の課題は、「SFJ 出場へ向けた目標を決めよ」とした。特にアドバイスを与えず、学生の話し合いに任せることにした。ここでは、他校や大会見学の知見が役立ち、大会での全動的審査種目を完走する大学が20校前後であることから、「動的審査種目全てを完走すれば20位以内になれる」との目標決定に至った。この検討結果から、SFJ 出場における目標を「総合順位20位以内」と決めた。

次に、第3段階の課題として、「エンジンの供与をお願いする2輪車メーカーの特徴を調べてまとめよ」に取り組みさせた。この課題では、インターネットを使った調べ学習をさせた。その結果、2輪車メーカーの特徴とその技術の高さを挙げることができた。

これら3段階の課題に取り組みさせることで、「日本工業大学学生フォーミュラチーム第8回全日本大会参戦企画書」が完成した。この企画書と、先に決定したコンセプトを使って、2輪車メーカーに対してエンジン供与を依頼するプレゼンテーションを行った。その結果、SFJ 自動車に搭載する2気筒エンジンの供与を受けることができた。

### (3) 製作する自動車の製作方法の決定

SFJ 自動車製作の中では、パイプ材をトラス状に溶接する車体の製作が難しい。本学で2008年度に製作された自動車に関する技術資料は残っていなかった。思案の末、形状決定については、デジタルモックアップと木材で作るモックアップを併用することにした。溶接などの工法については、力学や実験など専門学科目と関連づけた学びを活かすことにした。

### 3.4.2 実践②実行段階（システムモデル）

この段階では、前段階の構想段階で決めた事項から詳細な実行計画を作りながら、それを実行する。ここでは、「工学教育の専門学科目から得た学びを使い自動車を生設計・製作して、それを完成させる」、「自動車の走行試験方法を学ぶ」の2点を評価指標に設定した。

#### （1）自動車の設計と製作

第1段階として、自動車の設計・製作・試験を行った。この際、設計・製作・試験の一貫したプロセスを学ばせるため、他の専門学科目群と関連づけるとともに、SFJ 出場に至る日程の管理も行うよう指導した。

車両の設計に当たっては、CAD(Computer Aided Design)を使ったデジタルモックアップと、木材で作る原寸のモックアップを併用した。図 3.6 に製作した木材モックアップの一例を示す。実際に、木材モックアップに乗車し、乗り降りの容易性や視認性を評価することができた。この時点で問題が見つければ、木材モックアップをその都度修正して、再評価を行った。



図 3.6 設計検討に用いた木材で製作した車体のモックアップ

なお、CADに加えて木材モックアップを併用したのは、設計経験の少ない学生にはCADだけに頼った部品間の干渉検討や製作可否の判断は難しいと考えたためである。また、CADによるデジタルモックアップだけでは、乗降性や視認性など人間工学的な視点での確認は難しい。結果として、製作した自動車では、部品間の干渉は発生しなかった。筆者が知る限り、学生フォーミュラに関して、CADとモックアップを併用し、乗降性や視認性の評価に適用している報告例は他大学にはないようである。

車体の強度検討は、まず、他大学から過去に実際に使用した3台の車体を借用し、数値解析の一つである有限要素法（FEM：Finite Element Method）による解析とねじり試験を行うことにより、その誤差を見出すところからスタートした。この誤差から補正係数を求めれば、設計値（解析値）に近い実物を製作できると考えたからである。

車体のFEM解析の一例と、ねじり試験の様子、そして、FEM解析とねじり試験の結果を比較したものを、図3.7に示す。

解析値は、実験値と比較して最大で104～116%になった。この値より、解析値に補正係数を乗じることで製作後のねじり剛性を予測した。実際に製作した車体のねじり剛性値は、ほぼ設計予測値通りになった。なお、解析値と実験値で誤差が生じる理由は、車体に使用するパイプ材は、中空形状であるが、FEM解析では使用した機器の性能による制約から、中実軸に置き換えて計算を行ったからだと考えられる。履修者は、座学のみでは得られない、解析と実験の差異を実践的に学ぶことができた。

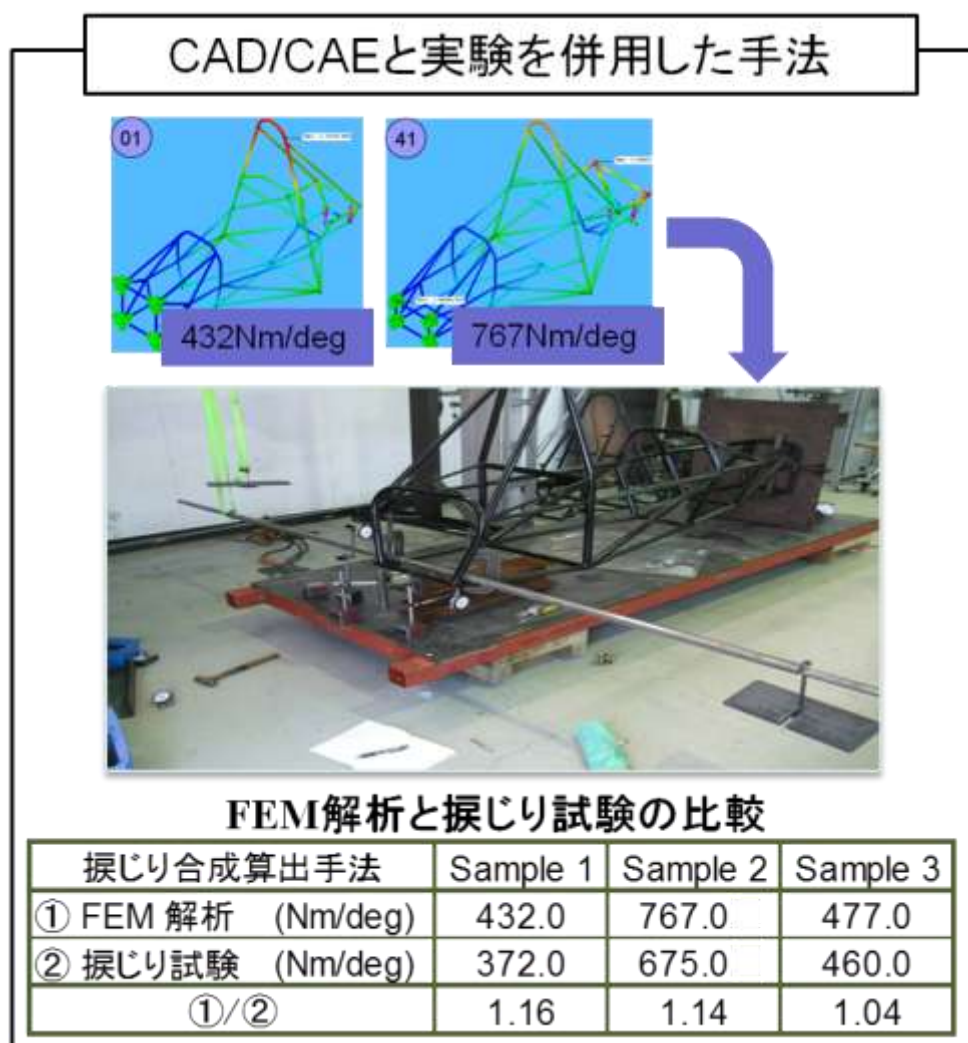


図 3.7 FEM と実験を併用した，車体のねじり剛性の予測手法

学生フォーミュラ自動車の車体は，一般に鉄パイプ材を接合してトラス状に構成する．参加校の多くでは TIG: Tungsten Inert Gas 溶接が用いられているが，学生に，工学実験科目で学ぶ引張試験について再度具体的な講義を行った上で，引張試験で溶接強度について試験するよう指導した．その結果，学生自らが図 3.8 に示す 3 種類の接合法で試験片を作り，引張試験を実施するに至った．試験の結果，TIG 溶接が最も高強度であったことから，車体の接合には TIG 溶接を採用することにした．



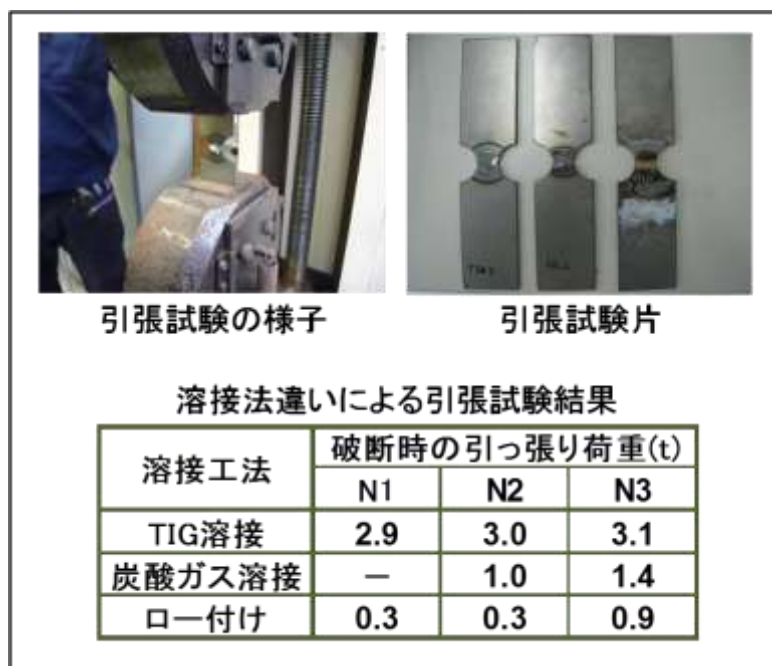


図 3.8 引張試験による溶接強度の比較

また、実際の溶接作業にあたっては、学生が工夫して考案した、図 3.9 に示すように市販の H 形鋼を用い、その上に治具を組む手法を用いた。



図 3.9 学生が考案した市販 H 型鋼を使った溶接治具

これら一貫した設計・製作・試験のプロセスは、4年次の学生が「卒業研究論文」にまとめることで技術資料に残すことができた。また、作業の主体となった学生の卒業にあたり、履修を継続する学生への引き継ぎも行った。そして、高い問題意識を持つ新2年次の学生をプログラママネージャにした。

大会へ向かって、製作工程が定常化して順調に進むかと思われたが、授業第2年度に入ると製作作業が停滞した。この理由は2点考えられ、卒業生からの引き継ぎが「伝えた」で終わり、「伝わった」になって定着していなかったこと、そして学生は、教室における講義の受講が常に最優先され、課外時間や土曜日の講義時間だけでは作業時間が不足してしまうことであった。この問題を解決するために、研究室に所属する4年次の卒業研究生へプログラママネージャの実務を委託することにした。SFJ自動車の製作を実施するには、卒業研究生の参加が重要となることを強く認識させられた。

また、日程管理については、ガントチャートの書き方と活用の仕方を丁寧に説明した。作成にあたっては、担当者と期限を明示するように教えた。

その結果、学生はガントチャートの印刷物を各自が持つようになった。さらに、ガントチャートは活動に携わる学生全員が見られるように掲示するアドバイスをを行った。この方法で細部に渡る日程の管理が見えるようにすることができ、遅れが一目瞭然となり、遅れた作業部位には他の作業部位から応援するようになるなど指導を行った。

こうして、学生の手によりSFJ自動車がエンジンを搭載してタイヤを装着し、地面上を動かすことができるような状態になった。大会までの学生の意識づけを目的に船舶の進水式にちなみ、「接地式」と名付けて、関係する学生と筆者で自動車を完成させることを再度確認した[137]。

こうして、学生の手により製作されたSFJ自動車が完成した[138]。

## (2) 自動車の走行試験

初めての走行試験では、筆者が運転することにした。理由は、学生が製作した自動車の安全性確認である。SFJの規則では、学生以外の者（教員含む）による設計・製作・試験を禁じている。しかしながら、「学生の安全確保を禁じる」という条項はどこにもない。よって、安全性だけを確認し、走行性能に関わるフィードバックは一切行わないことにした。なお、走行試験では、走行前の自動車の点検方法などを現場で教えた。教えた項目は、動力伝達系部品の締結状態、タイヤの異常有無、燃料・油・水漏れの有無、タイヤの空気圧確認などである。

その後、学生の運転による走行試験において走行不能となる問題が発生した。自動車を点検すると、図 3.10 に示すように、デファレンシャルギアを支えるブラケットが開く方向に曲がり、これにより駆動力の変動時にデファレンシャルギアが動いてしまい、ドライブチェーンが外れるという問題が起きた。原因については、設計で予測した以上にブラケットには左右方向に大きな力が加わったことによる曲がりであると推定し、対策を施すことにした。これ以後、「走行試験をする」→「壊れる」→「壊れた原因を考える」→「対策する」→「走行試験をする」といったサイクルを繰り返した。学生は、このサイクルを実際に体験することで、机上だけでは学ぶことができない実践的な工学知識を身につけることができた。また、大会が悪天候である場合も想定し、リスクマネジメントの観点から雨天の中でも走行試験を実施した。これにより晴天の日の走行試験では得られない、自動車部品の防水対策法などを実地で学ぶことができた。実際、大会での動的審査は、雨天であったが、防水対策法を実施して対処することができた。

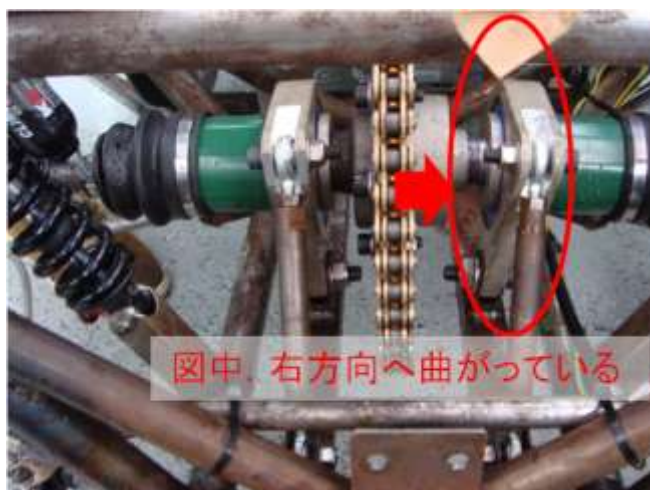


図 3.10 走行試験において破損した部位

### 3.4.3 実践③価値獲得段階（サービスモデル）

#### （1）静的審査への対応「事業プレゼンテーション作成」

自動車の設計・製作段階において、大会事務局へ提出する「設計レポート」や「コストレポート」は既に作成できており、学生に実践的な課題を与えて、「プレゼンテーション」審査に対応する資料を作成させることにした[139]。

課題の内容は、「街へ出て自動車に興味を持つ人に話を聞いて、小型フォーミュラ自動車のあるべき姿を求めよ」とした。課題に取り組む前に、大学周辺の高性能な自動車を所有する家を訪問するように指導し、①高性能な自動車を所有する理由、②小型フォーミュラ自動車に望むこと、の2点を聞いてみるようにアドバイスした。なお、この時には、完成した自動車の写真を見せるようにした。

調査の結果、以下に示す5項目が「小型フォーミュラ自動車に望まれること」だとわかった。

- ① 安全で壊れないこと（信頼性がある）
- ② 普段運転する自動車と同じように運転できる（自動変速など）
- ③ 自分自身で製作を楽しめること

- ④ 外観が「カッコいい」、そして所有感があること
- ⑤ 何らかの性能を調整できること（例えば懸架装置など）

既に、SFJ 自動車は完成状態にあったので、①・②・③を事業プレゼンテーションに採用することにし、④・⑤は、今後の課題とし、第4章における研究で対応策について述べる。項目①については、走行試験で信頼性を確保する。項目②の対応は、自動変速の無段変速機を採用しているので問題なく、項目③については、学生に対して、自動車愛好家の調査に続いて、課題を出すことにした。

第2段階の課題は、「購入者自身が製作できる提案を考えよ」として、講義の場で、かつて英国で流行した「キットカー」について説明した。キットカーは、自動車を要素・部品状態で購入して、購入者自身が組み立てるものである。

学生は思案の末、図3.9に上述したH型鋼を使った溶接手法にヒントを得て、図3.11に示すようにパイプ材とH鋼を使った組み立て式の治具を宅配便で送り、自宅のガレージで製作を楽しんでもらうアイデアを導き出すことができた。

## KIT Formula

～自分でつくる 世界に1台のフォーミュラカー～

- ・ 宅配便で、フレーム製作に使用するパイプとH鋼の治具を送る。それらを使って顧客が自身の手で車体を製作する。
- ・ 他の要素・部品は製作済みのものを発送し、顧客が組み立てる。



図 3.11 プレゼンテーション審査用資料の一部[139]

## (2) 合同試走会への参加

SFJでは大会の約1か月前に自動車技術会が主催する合同試走会が行われる。この試走会におけるスタッフの多くは、全日本大会の審査員である。したがって、この試走会に参加して、「技術車検を受けて不適合部位を見つける」、「会場でチームの運営を学ぶ」、「他校とのレベル差を確認する」という3点の目的を定めた。会場でのチーム運営は、ホワイトボードを持ちこみ、各自の役割を「見える化」することで何ら問題なかった。

技術車検では、車体の規則不適合部位を指摘された。安全上の問題ではなく、試走会での走行は許された。その後、試走会が終わってから対策を行った。規則不適合部位は、車体の転倒時の乗員保護バーの構造であり、規定寸法を満たしていなかった。これは、規則を良く確認していないことから起きたことであり、次年度に向けて、規則を設計担当者が確認するだけでなく、製作者と一緒に確認するように指導した。

試走会では、順調に走行を重ねたが、突如コース上で自動車が止まり、点検すると車体が大きく曲がっていた。このために、エンジンから後輪へ動力を伝えるチェーンラインが曲がり、動力を伝達できなくなった。技術的に修理可能であったが、学生の落胆した様子から、教員（筆者）が走行中止を判断した。初めての他校との競走の中で、全員が緊張状態を続けていたのである。「無理をさせずにリスクを回避し、無事に学生を帰宅させる」ことも、教員の責務である。なお、学生は、自分たちの自動車を走行させるのに精一杯となり、「他校とのレベル差」を調査することはできなかったが、これは今後の課題とした。

## (3) 自動車の耐久・信頼性確認

合同試走会が終わり、大会事務局への最終提出物である「走行証明」を提出したことで、全ての提出書類を期日までに提出することができ、書類審査に合格して、大会への出場が可能となった。

次に、大会に向けて自動車の完成度を増すために、動的審査の「エンデュランス」で要求される走行距離の3倍の距離を連続して走行させた。この際に、運転手の交替手順を確認し、大会で規定される3分間で交替できるよう練習させた。

また、大会の見学では運転手交替時にエンジンが再始動できない自動車を多く見受けたため、この問題の対策として、酷暑の中に自動車を放置してもエンジンを始動できるよう燃料噴射量を調整するよう指導し、実施させた。

#### (4) 全日本大会への参加

全日本大会では、開催1日目の技術車検開始前に会場に入った。この日は、前年度の総合順位20位以上のチームが優先して車検を受ける日である。筆者らは前年度出場しておらず、この日に車検を受ける優先権はない。一方で、大会2日目は静的審査種目があり、審査を受けている合間に技術車検を受けることになり、車検場が混雑して受けられなくなる可能性がある。そうすると、大会3日目の動的審査を受けられなくなる。よって、1日目に会場入りし、完成した自動車を示すことで車検を受ける機会を待った。

その結果、昨年度大会の成績上位20校に車検キャンセルが相次いだことから、車検を受ける準備をしていた筆者らは車検を受けて合格した。

静的審査の日は、会場付近に台風が上陸し、悪天候により「設計審査」の会場が急きょ変更となり、SFJ自動車と必要機材一式をトラックに積み込み移動することになった。設営したテント内の整頓が行き届いていた筆者らは、他校が移動準備に1時間程度を要する中、15分間で準備を終えた。残りの時間は、設計審査に向けて再度確認作業ができた。審査員は、自動車関連メーカーの技術者であったが、学生は堂々とプレゼンテーションを行うことができた。

こうした取り組みの結果、全ての静的審査を受けることができ、悪天候の中にも関わらず動的審査種目すべてを何ら問題なく完走することができ、「全ての動的審査を完走する」という管理目標を達成した。

### 3.5 考察

授業を実施して、SFJ への出場を前提とした自動車を学生の手により完成させることができ、SFJ へ出場して成績を残すことができた。ここでは、この一連の授業を評価する。評価の視点は、「自動車の設計・製作・試験における管理目標達成」、「授業が学生に受け入れられているか」、そして、「工学教育における波及効果」の3点である。

#### 3.5.1 自動車の設計・製作・試験の過程における管理目標の視点

以下に示すように、全項目の管理目標を満足している。

##### (1) 構想段階における評価

- ① 「コンセプトを作成する」 [OK]
- ② 「事業企画書（活動計画書）を完成させる」 [OK]

##### (2) 実行段階における評価

- ① 「自動車を完成させる」 [OK]
- ② 「大会で完走できる信頼性を得る」 [OK]

##### (3) 価値獲得段階における評価

- ① 「全ての審査書類を期日までに提出する」 [OK]
- ② 「大会に出場し、全ての動的審査を完走する」 [OK]

##### (4) 大会成績

大会成績を分析すると、燃費性能は第5位と上位にある。しかしながら、静的審査ではコスト審査において書式違反により減点となって、得点できず、また、プレゼンテーション審査と設計審査も得点が低い。これらのことから、動的審査の成績は良いものの、静的審査への取り組みが、成績を向上させるための課題だとわかった。



### 3.5.2 授業を通した学生によるアイデア

実践的なものづくり教育は、従来からの講義形式である、一方的に教員が「教授」を行う、いわゆる「チョーク&トーク」では実施することが難しく、本研究では、授業を通して、学習者である学生との対話を重視し、アイデアを引き出せるようにした。以下に、学生によるアイデアを示す。

#### (1) 教員が気づきを促したことによるアイデア

3.4.2 項で示した SFJ 自動車の車体のねじり試験について、具体的な試験方法は、教員の指導をヒントに、学生が考えだしたものである。また、溶接強度を評価するために実施した引張試験の具体的な方法も学生が考案したものであり、引張試験片の製作において、レーザ加工機の活用などを学生が提案した。

#### (2) 学習者が自身で考えて提案したアイデア

授業を実施する中で、教員が特に指導を行うことなく、図 3.9 で示したような、車体の製作方法を学習者が自ら提案することができている。また、学習者は、「完成させた自動車を多くの人に見てもらいたい」との思いから、大学が立地する街のイベントに製作した自動車を展示し、SFJ についての広報活動を自発的に行っている。この展示により、イベントの来場者には、大学において学生が自動車を設計・製作する教育があることを知ってもらうことができた。

### 3.5.3 授業を通した学生の受講姿勢

学習者が学年の差を気にすることなく、協働で課題解決にあたる様子が授業を通して確認できた。特に、自動車の組み立て作業工程では、学習者同士が協力して作業する様子を確認できた。これは、3.3.1 項で上述した導入教育におけるワークショップの効果が発揮されたものである。

### 3.5.4 授業アンケートと学習者の感想

「授業」と「授業の内容」について、3.3.6項と同じ質問項目で、学生に評価させた。対象とした学生は、1年次生が8名、2年次が4名、4年次生が4名の計16名である。年次進行により、3.3.6項における評価と比較して、対象学生の年次と人数は変動している。

#### (1) 「授業」に関する調査結果

図3.12に示す調査結果から、学生フォーミュラを適用した授業について、学習者は高い評価をしていることがわかる。特に、質問項目(2)と(3)については、回答者全員が高い評価をしている。

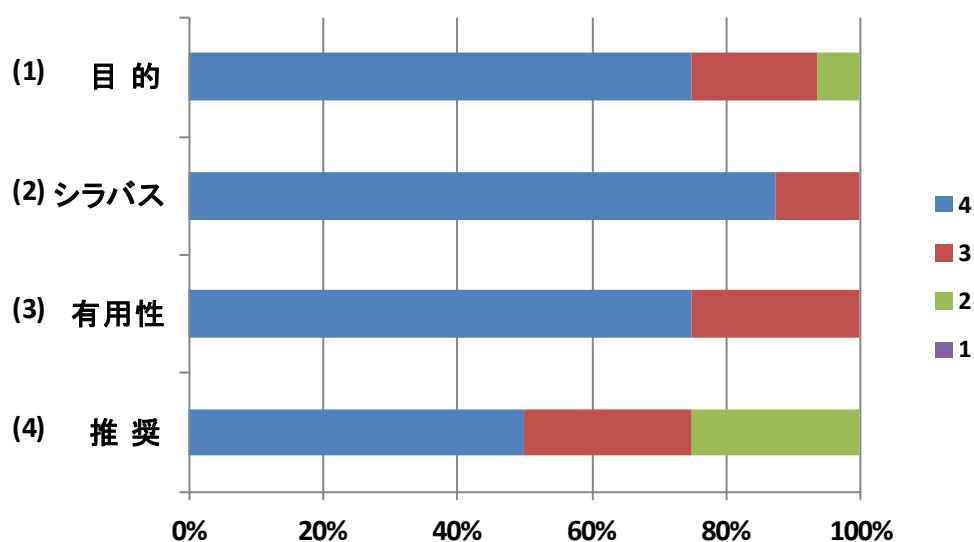


図 3.12 大会出場後の「授業」に関するアンケート調査結果 I

#### (2) 「授業の内容」に関する調査結果

授業内容に関する調査結果を図3.13に示す。3.3.6項で実施した調査結果と比較すると、(6)向上心、(7)専門学科目との関連付け、(8)自動車製作過程の理解、の3項目について、学習者の評価が向上している。このことは、実際に自動車を製作し、大会に出場して、他校と競争するといった体験によるものだと

考えられ、「実践」することを学習者は高く評価している。

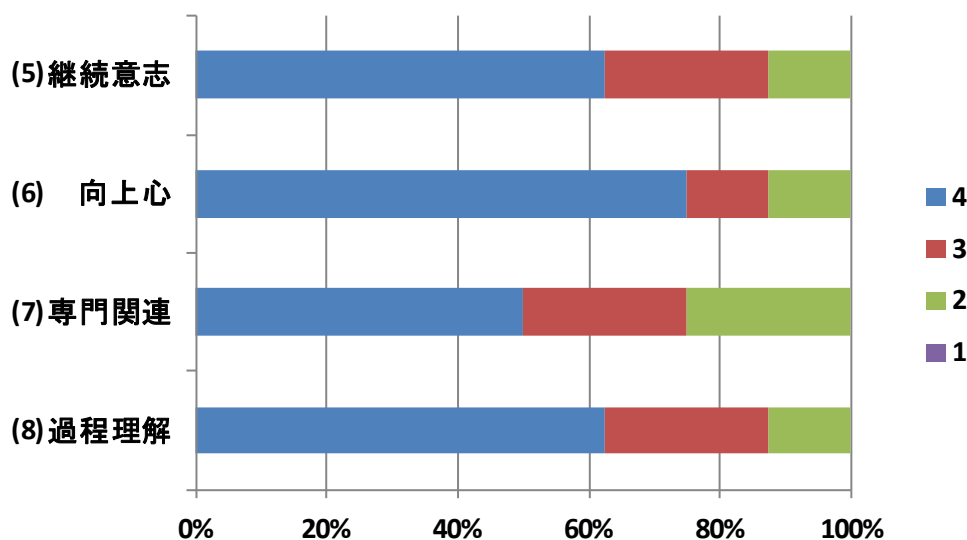


図 3.13 大会出場後の「授業」に関するアンケート調査結果 I

### (3) 学習者の感想

学習者には、1) 授業を通して学んだこと、2) 次に設計・製作する自動車の課題、3) 次の大会へ向けて何を実施したいか、という3点の質問事項で感想を自由記述させた。その結果、1)について学習者は、

- 履修する1人1人が役割と責任を持ち行動することの大切さ
- 自分で何かを考え、自分から行動することの大切さ
- 自動車の信頼性を得るために、事前に走行試験を行うことの大切さを学ぶことができたと挙げている。

また、2)と3)の質問事項については、

- 自動車の軽量化を行う (回答者の82%)
- 外観を「カッコいい」ものにする (回答者の64%)
- 壊れない懸架装置にする (回答者の64%)

といった回答を示していて、「自動車の軽量化」、「カッコいい外観にする」、「壊れない懸架装置を作る」という3点は、次の大会へ向けた授業において、自動車

を製作する際の課題であり、このことを学習者が認識できているとわかる。

### 3.5.5 自動車の設計・製作・試験の過程と工学専門学科目の関連づけ

本研究において実践した授業「フォーミュラ工房」は、工学選択学科目に位置づけられていることから、他の専門学科目との関連づけを見出すことで評価する。

#### (1) 導入教育段階

この段階においては、学生間のコミュニケーションを高める目的の「ワークショップ」と、実際の自動車について知識を得る講義を行った。コミュニケーションは、経済産業省が2006年2月に定義づけた「社会人基礎力」[140]の3つの能力の1つである、「チームで働く力（チームワーク）」を養うのに大切なスキルであり、本研究で実施したワークショップでは、チームワークを学ばせることができたといえる。自動車の知識については、工学専門学科目を学ぶにあたり、興味を持たせることができたと考えられる。

#### (2) 自動車の設計・製作・試験

この段階では、先ず「コンセプト作成」において、専門学科目におけるものづくり科目である「メカニクス演習」系科目との関連性が認められる。メカニクス演習系科目は、表3.3に示す授業計画からわかるように、教員から与えられた課題、「空き缶潰し機」、「ボール飛ばし機」などから、1点を学習者が選択して、設計・製作を行う科目である[141]。筆者もこの科目を担当してきたが、どのような機械を製作するのか、という構想の段階で学生が苦慮する様子を観察しており、SFJ自動車のコンセプト作成は、自動車の具体的な設計・製作の指標となるものであって、この作成を経験することで、学習者は、メカニクス演習系科目など、専門学科目における、ものづくり科目の構想段階で効果を発揮できると考えられる。

表 3.3 メカニクス演習系科目の授業計画[141]

科目名:メカニクス基礎演習 (Basic Practice for Mechanics Design)		科目名:メカニクス総合演習 I (Integrated Practice for Engineer I)	
機械工学科 学科専門科目	2年 秋学期 必修科目	機械工学科 学科専門科目	3年 春学期 必修科目
【授業の目標】 アイデアの具体化, 製作方法の検討, 性能や機能の評価, 結果のプレゼンテーションなどの総合的な活動を行わせ, 創造性・主体性・問題解決能力を育成するとともに, グループ活動の重要性を理解させる。		【授業の目標】 これまで機械工学科で学んできた基礎的学力をベースに, 社会的に有用で高品質な製品群を研究, 開発, 設計, 製造するために必要とされる技術対応と新たなメカニズムの創出を目的として, 機械工学関連分野での問題発見・解決が自らの手で行えるような能力をを付与する。メカニクス演習で構想したものを製作する。	
科目名:メカニクス総合演習 II (Integrated Practice for Engineer II)			
機械工学科 学科専門科目	3年 秋学期 必修科目		
【授業の目標】 これまで機械工学科で学んできた基礎的学力をベースに, 社会的に有用で高品質な製品群を研究, 開発, 設計, 製造するために必要とされる技術対応と新たなメカニズムの創出を目的として, 機械工学関連分野での問題発見・解決が自らの手で行えるような能力をを付与する。			

次に, SFJ 自動車の設計段階における専門学科目との関連づけについて述べる。SFJ 自動車は CAD を使い, 各構成部の要素や部品設計を行うことで, 設計・製図系科目や CAD・CAE 系科目との関連づけを見出すことができると考えられる。表 3.4 に設計・製図系科目, 表 3.5 に CAD/CAM/CAE 系科目の授業計画を示す[142-143]。

表 3.4 設計・製図系科目の授業計画[142]

科目名:機械製図-J (Mechanical Drawing)		科目名:機械設計 I-J (Mechanical Design I-J)	
機械工学科 学科専門科目	1年 秋学期 必修科目	機械工学科 学科専門科目	2年 春学期 必修科目
<b>【授業の目標】</b> 本科目は、高等学校において機械製図の履修経験がある学生を対象とした科目である。キャストや歯車を用いた装置を製図演習課題とし、機械設計に必要な寸法公差、表面性状、溶接記号、材料等について学習する。同時にねじや歯車、軸受などの機械要素に関するJIS規格をも学びながら、組立図と部品図の製図法について理解を深める。機械製図に必要な実務的な知識と能力を身につけることができる。		<b>【授業の目標】</b> ものづくりを実践するためには、設計・製図法の基礎を習得していることが必要不可欠である。本科目では、課題「減速機」の設計製図を通して、JIS規格に基づいた設計法とその表現方法を学ぶ。本講義は、本学で開発した教材学習支援(CAI)システムによって進められる。具体的には、学生ごとに異なる設計仕様が提示され、毎週、レポートや図面の提出が行われる。	
科目名:機械設計 II (Mechanical Design II)			
機械工学科 学科専門科目	2年 秋学期 必修科目		
<b>【授業の目標】</b> ものづくりを実践するためには、設計・製図法の基礎を習得していることが必要不可欠である。本科目では、「機械設計 I-J」で習得した設計法をもとにより高度な機械、具体的には、ガソリンエンジンの部品を設計・製図を行う。その過程において、エンジンの仕組み、各種部品の寸法測定方法と強度計算方法や製図法について習得する。受講生各自が、独力で設計し、製図で表現できるようになることを学習の達成目標としている。			

表 3.5 CAD/CAM/CAE 系科目の授業計画[143]

科目名:機械CAD-J (Mechanical CAD-J)		科目名:CAD/CAM/CAE演習 I (CAD/CAM/CAM Practice I)	
機械工学科 学科専門科目	1年 秋学期 必修科目	機械工学科 学科専門科目	3年 春学期 選択科目
<b>【授業の目標】</b> 本学では、ものづくり実践ツールである3次元CADシステム(Solid Works, CATIA)を用いて基礎的なモデリング技法を学ぶことにより、その後のCAD応用技術展開のための基礎技術を学ぶ。本講義内容は、本学で開発された3次元CAD学習(CAI)システムによって、実施され、動画マニュアルによる個別指導、自動採点による評価が行われる。具体的には、提示される課題(電動装置)を独自でモデリングできる技術を習得することを達成目標とする。		<b>【授業の目標】</b> 工業製品の強度的安全性や省資源を実現するための最適設計において、CAEは有効な手段になっている。そこで、本学に設置されている3次元CAD/CAM/CAEシステムを使って、CAD/CAEによる製品(からくり人形)の最適設計を実体験によって学ぶことを目的とする。CADによりモデリングした部品を組み立て、からくり人形の機構を理解した後からくり人形の主要部をCAEにより強度解析し、部品の最適形状を検討する。	
科目名:CAD/CAM/CAE演習 II (CAD/CAM/CAM Practice II)			
機械工学科 学科専門科目	3年 秋学期 選択科目		
<b>【授業の目標】</b> 本講義は、CAD/CAMシステムの実践的モデリング手法とCAMを使ったNC加工法、およびマシニングセンターによる切削加工法を学ぶ。動画マニュアルによる講義で、工具・加工条件等の設定方法やCAM操作方法を学び、演習で操作盤の扱い方などを学ぶことで、加工方法を習得することを達成目標とする。			

一方で、上述したように (3.5.4 項)、学生は調査紙によるアンケートでは、「工学専門学科目との関連づけ」について高い評価をしていない。この理由は、本研究で実施した SFJ 自動車の設計・製作・試験は、一貫した工程になっており、各専門学科目のように定まった領域の知識を得るものではなく、図 3.14 に示すように、広い領域の知識を用いて実践するために、学習者は、「専門学科目」とは関連性がない、といった感想を持つと考えられる。この要因として、学習者が、これまでの教育の中で、広域な専門知識を実践する教育を受けてきていないことが考えられる。

上述したことは、今後、大学教育においては、学習者に主体性を持たせる目的で行われる PBL : Project Based Learning やアクティブ・ラーニングを実施する際に留意すべきことだと知見を得ることができた。

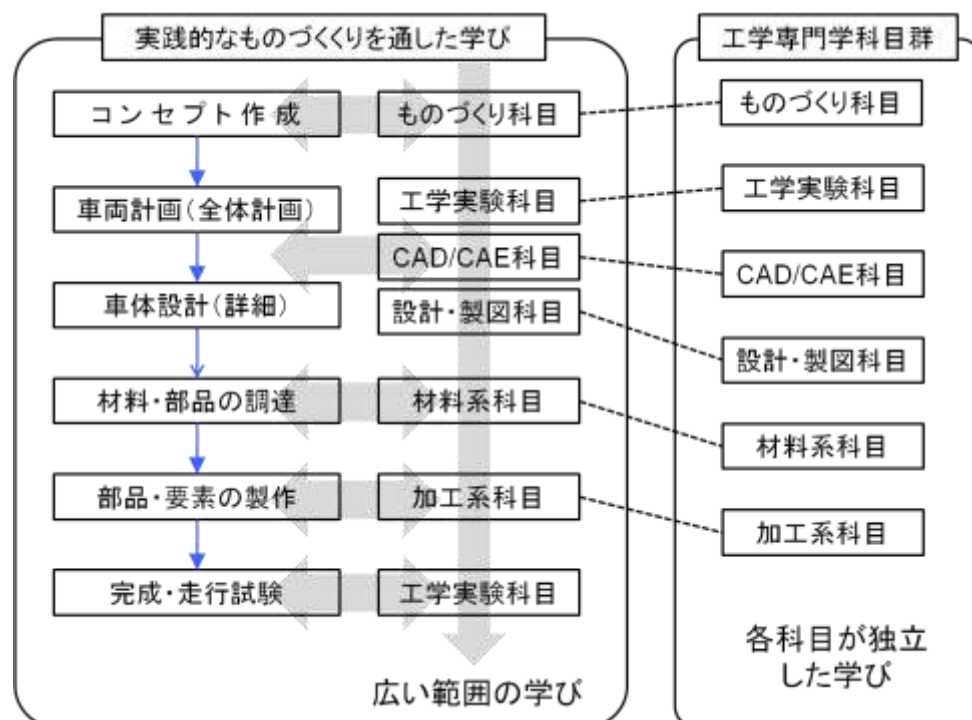


図 3.14 本研究における学びと従来カリキュラムの比較

### 3.6 まとめ

以下、本章における要旨をまとめる。

- (1) 実体験を通じた導入教育を行うことで、学生のコミュニケーション力と問題意識を高めることができ、SFJ 出場へ向けた授業の実践を始めることができた。
- (2) コンセプトは、具体的な課題を与えることで学生の手で作成することができた。また事業企画書を作成して、自動車の基幹要素であるエンジンの支援を2輪車メーカーより受けることができた。
- (3) 力学を題材にした実践的な課題を与えることで、一貫した自動車の設計・製作・試験を学ぶプロセスを確立し、それを実施できた。
- (4) P2Mにより、プログラムを3段階からなるモデルに分けることで、評価指標が明確となり、実行することで目標を達成することができた。
- (5) 履修者に対して調査紙によるアンケートを行った結果、授業と授業の内容は高く評価されている。

第2章、そして本章においては、日本発のプロジェクトマネジメント手法であるP2Mを、実践的なものづくりを行う学科目へ適用し、授業デザインを行った。続いて、「フォーミュラ工房」学科目を実践し、これを評価することで、工学教育における有効性を示すことができ、工学専門学科目の中における学科目の1つとして、定常化できた。次の課題は、実践的なものづくり学科目を発展させることである。



## 第4章 学生フォーミュラを適用した学科目の発展とその評価

### 4.1 はじめに

第3章までの研究に続いて、本章では、学生フォーミュラを適用した授業である「フォーミュラ工房」について、「授業の発展」という視点で実証性を示すこととする。本研究において、実証性とは、「① 実践的なものづくり授業が継続できている」、「② 学生の学びの「質」が向上できている」の2点で判断する。これら2点については、「(a) 学生の手により、自動車を設計・製作して大会へ出場できる」、「(b) 学生に授業が受け入れられる」、「(c) 工学専門学科目に波及効果がある」の3項目の指標で評価する。

実施にあたり、第1段階の構想段階において、学生の学びの「質」を向上させる「場」をつくることを目的に、P2M: Project & Program Management を活用して、授業における「アーキテクチャ」と「プラットフォーム」を新たに構築する。

次に、実行段階では、複数の学生フォーミュラ大会への出場を目的とした授業を実践する。本研究では、全日本学生フォーミュラ大会 SFJ: Student Formula Japan への出場に加えて、海外大会への出場を試みている。

続いて、第3段階として、上述した3点の評価指標である、「学生の手により、自動車を設計・製作して大会へ出場できる」、「学生に授業が受け入れられる」、「工学専門学科目に波及効果がある」について考察をしている。

「学生の手により、自動車を設計・製作して大会へ出場できる」という指標は、実際に自動車を完成させて、大会へ出場して成績を残すといった実績で判断する。次に、「学生に授業が受け入れられる」については、第3章と同じように、1) 学生に対する授業アンケート、2) 学生の受講姿勢で評価する。最後に、「工学教育への波及効果」については、1) 学生によるアイデア、2) 工学専門学科目との関連付け、3) 学生がシラバス通りの学びの成果を得ているか、4) 学

生による授業の感想により，評価・考察している。

#### 4. 2 授業の実行体制の改善

本節においては，学生の学びを向上させるための「場」をつくることを目的として，授業実行体制を構築する。

##### (1) 「プラットフォームマネジメント」による学生と教員の関係性規定

プログラム（授業）を進めるには，第2章で述べたように組織運営体制を規定し，学生と教員間の関係性を明確にしておく必要がある。

大学の通常の授業，教員が学生に対して教授を行う授業形態では，授業計画や試験の実施による合否判定などにより，教員と学生間の関係性が定められている。本研究で実施する実践的なものづくり教育においては，通常の授業のように，「講義」を行って，合否判定のために「試験」を実施する関係性では対応が難しく，自動車の設計・製作においては，毎日のように問題や課題が発生することから，教員と学生が協働して解決を図らなくてはならない。

日々の問題解決を実行するために，本研究においては，専門技能や知識を有する外部アドバイザーの協力を得ながら，学びの質を向上させることにし，第2章で規定した教員と学生の関係性を，図4.1に示すような形態へと改善して適用することにした。

教員と学生が，「確認・提案・合意」を行うコミュニケーションパスを持つ点は，第2章で述べた通りであり，新たに学生と外部アドバイザーの関係性を規定する「コミュニケーションパス」を追加した。このコミュニケーションパスは，学生が教員を介すことなく，外部アドバイザーや大学院生から，専門的な指導を直接受けられることを狙ったものである。なお，学生には定期的な報告を課し，情報の共有化を行いながら対応することにした。

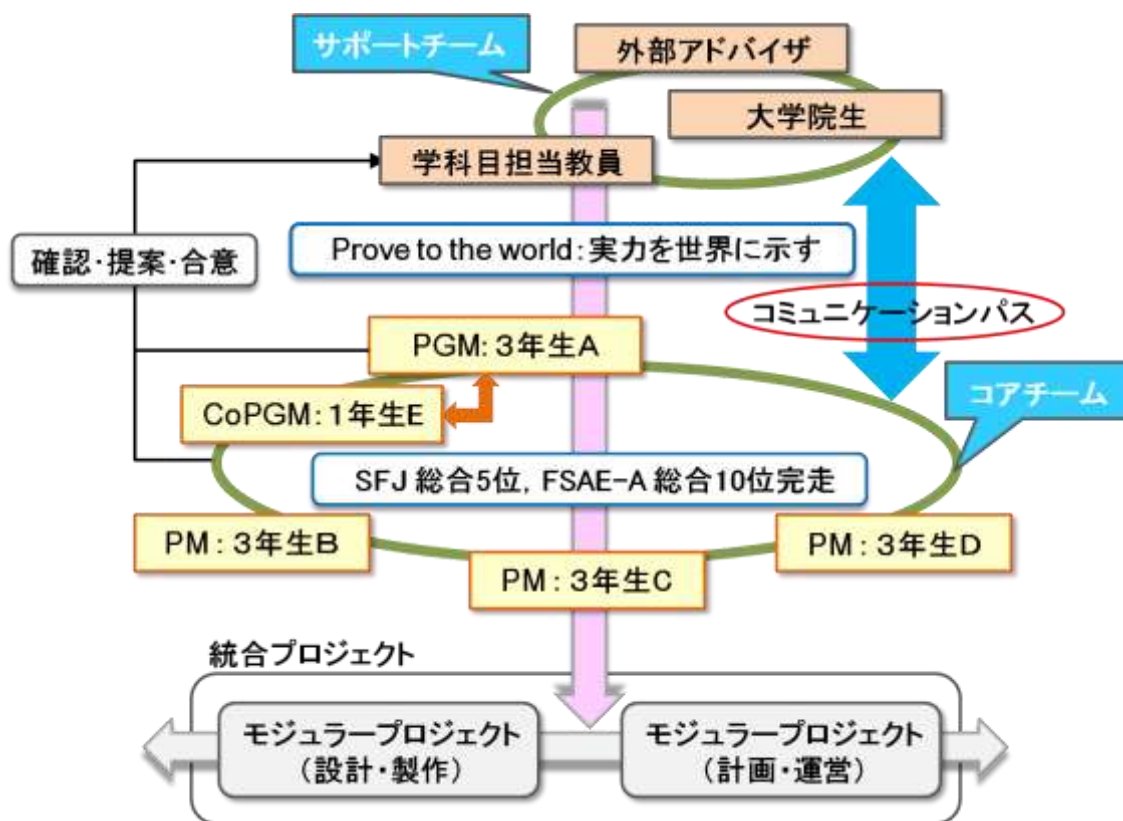


図 4.1 学生と教員の関係性を規定する組織図

## (2) 「モジュラープロジェクト」によるプロジェクトの規定

ここでは、実行段階における各プロジェクトの関係性を明確に規定し、目標管理が行えるようにする。

実行段階においては、「システムズ・アプローチ」[145]の考え方を適用する。これは、プログラム（授業全体）をシステムと見立てて、各プロジェクトの課題を関係づけられた諸要素に定義するという考え方である。システムズ・アプローチ第3層の視点（プロジェクトのしくみ）では、「顧客サービス」を目指して何らかの成果物を生み出すシステムを設定することが求められ、本研究では、目標設定段階（スキームモデル）で要求された課題を解決するために、各々のプロジェクトをモジュラープロジェクトとし、それらを統合してマネジメント



学生に目標・課題の立案にあたり、まず、ミッションプロファイリング、「ありたい姿」を議論させる。次に、P2Mの知識体系にて、構想段階において使用が推奨されている、ロジックモデルの考え方を適用して[146-147]、目標と課題を設定させることにした。

#### (1) ロジックモデルの考え方をういた目標・課題設定

第1段階として、学生に具体的な課題を与えて議論させた。課題は、「ありたい姿を考えよ」であった。その結果、将来目標、あるべき姿を具現化することができた。最終目標は、「全日本大会 SFJ・ワールドの大会（海外大会）で優勝する」であり、これは、「アウトカム」の1つであるといえる。このアウトカムからバックキャストイングして、授業第3年度である2011年にSFJで総合5位、その翌年である2012年には、総合3位と目標を定めている。そして、授業第3年度には海外大会へ参加することも描かれており、「グローバルに活躍できる人材になる」といった、将来に想定される「インパクト」も記述されている。その他、「新しい技術への挑戦」、「前向きな姿勢と強い意志」、「チームワークと仲間の和」など、授業において自動車を設計・製作していく上で必要不可欠なことが列記されている。さらに学生に議論をさせた結果、図4.2に示すように大会へ向けた目標を具現化することができた。なお、出場する海外大会は、SFJが9月に終了した後、3か月間のインターバルをもって、12月に開催される「学生フォーミュラオーストラリア大会 FSAE-A : Formula SAE-Australasia」と定めた。

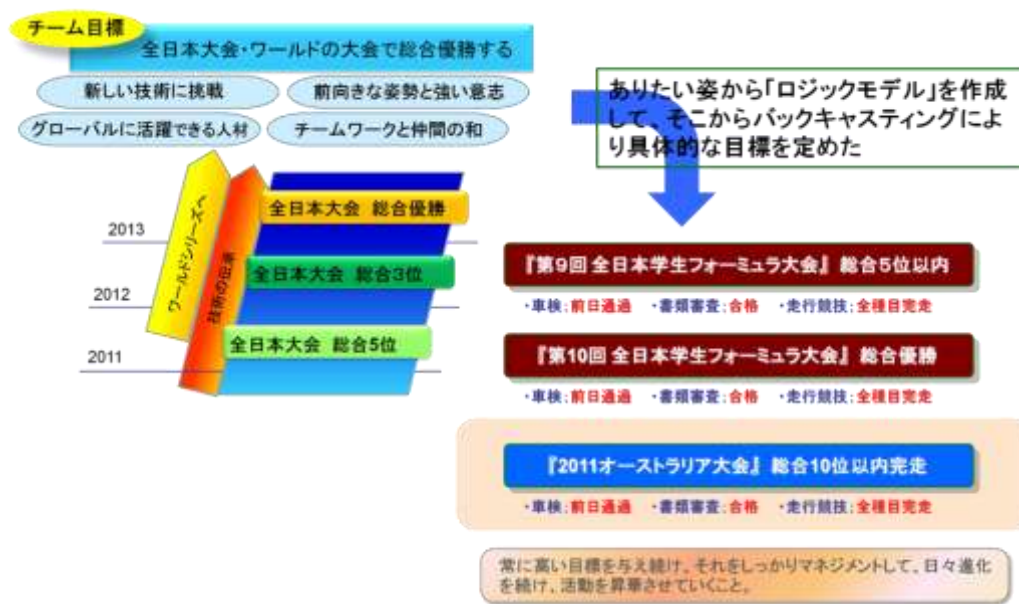
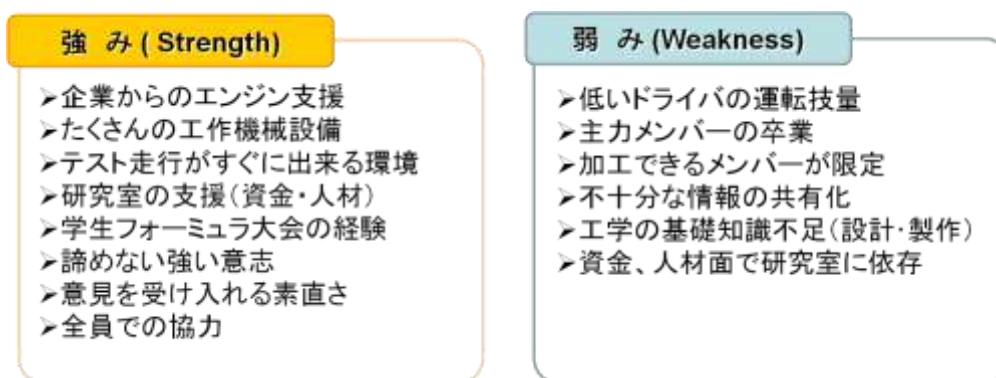


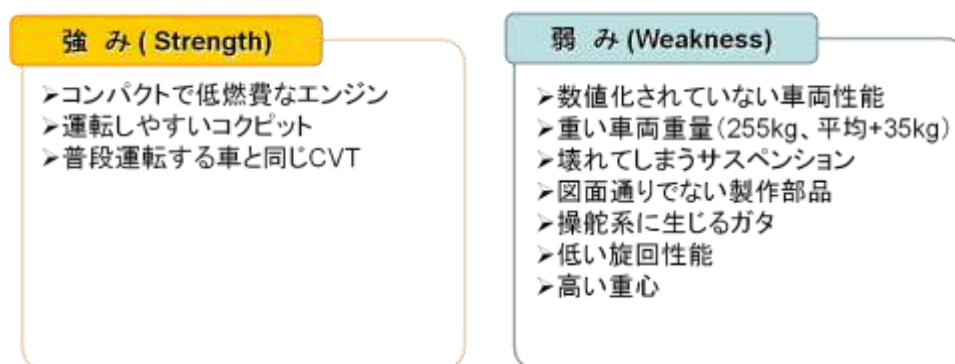
図 4.2 ロジックモデルの考え方を適用した活動目標

次いで、第2段階では、目標を達成する方策を考えるにあたり、学生に「前年度プログラム（授業）における SWOT 分析をせよ」との課題を与え、議論させた。話し合いに先立ち、SWOT 分析の仕方について講義を行った。講義では、「クロス SWOT 分析」[148]を指導した。一般的に、SWOT 分析は、「強み：Strength」、「弱み：Weakness」、「機会：Opportunity」、「脅威：Threat」をまとめて、戦略立案に用いる。クロス SWOT 分析は、強みと機会を活かし、弱みを克服して脅威を解消する手法である。

講義では、学生の理解度を見定めながら、「強み」と「弱み」の2項目だけを検討させた。学習者は、経験が少なく、機会や脅威の検討は難しく、これらの検討を行うと議論が停滞すると思ったからである。議論の途中では、作成の仕方やまとめ方などを適時アドバイスした。こうして、図 4.3 に示すような、学生による SWOT 分析結果が作成できた[149]。



(1) 組織運営に関する SWOT 分析結果



(2) 製作した自動車に関する SWOT 分析結果

図 4.3 課題策定のための SWOT 分析結果[149]

続いて、第3段階として、SWOT分析結果を使って課題を検討させた。その結果、「運転者の技量向上」、「新規加入メンバーの育成」、「情報の共有化」、「工学知識の学び」の4点が組織運営面における課題であることが明らかになった。また、製作する自動車の課題は、「車両質量の軽減」、「サスペンション装置（懸架装置）の信頼性向上」、「図面と製作部品の一致（図面の品質向上の意味）」、「旋回性能の向上」であった。併せて、SFJで上位10位以内の成績を残している自動車の諸元を調べて、開発する自動車の目標性能値を定めることにした。その結果、前章で述べた当該チームで製作した自動車は質量が重く、軽量化を行うことが必要であることが判明した。

以上の施策で、プログラムの目標と課題設定ができ、全体のミッション（使命）を以下のように定めた。

—「Prove to the world：大学における自分たちの学びを活かして設計・製作・試験をした自動車を異国の地（オーストラリア）における競争の場（Formula SAE-A）へ持ち込み、その実力を示すこと」

## （2）設計・製作する自動車のコンセプト作成

第3章における研究では、教員が3段階の課題を学生に与え、それを解決させることで、コンセプトを導く施策をとった。本研究では、学びの「質」の向上を目的に、上述したSWOT分析結果より、コンセプトを決めるよう学生に課題を課した。

その結果、設計・製作する自動車のコンセプトは、「軽量」、「信頼性のある懸架装置」、「かっこいい外観」の3点を導き、決定することができた。

以上、上述の（1）における目標・課題設定と、コンセプトを学習者が決定できたことで、学生が「自ら課題を設定できる」という視点を満足でき、構想段階における、学びの「質」が向上したと考える。

### 4.3.2 授業の実践②実行段階（システムモデル）

前節で述べたように、学生自身による、目標・課題設定とコンセプトの策定を行うことができた。すなわち、スキームモデルにおいては、学生が課題を設定するという学びを実現できている。次に、授業は、実行段階に移行し、コンセプトを満足する自動車の設計・製作を実施していく。

本研究の実行段階（システムモデル）では、上述したコンセプト、「軽量」、「かっこいい外観」、「信頼性のある懸架装置」を満足する自動車を設計・製作するための施策について述べる。



### (1) 自動車の軽量化

第3章において上述した自動車の質量は、255kgであった。これまでのSFJにおける成績上位10位以内の大学の自動車の諸元を調査したところ、平均質量が220kgとわかり、授業では目標質量を調査した平均値より20kg軽い200kgと設定した。余裕代の20kgは他校の技術の進展を想定したものである。

55kgの軽量化を行う課題について、自動車を構成する主要な要素・部品であるエンジン、タイヤ、ホイールなど、市販品を採用する部位は軽量化の施策が難しい。そこで、学生が製作・組み立てを行う要素・部品に絞って、軽量化の方向性を示すことにした。

ここでは、軽量化によって高い性能を発揮した第二次大戦初期の堀越二郎の設計による三菱航空機製の零式戦闘機を題材に挙げるなどして、軽量化を行うには、それを実施可能な要素・部品と、軽量化が困難な要素・部品に分けるよう指導した。

また、筆者の開発部門での勤務経験から、各要素・部品に対して一律に軽量化目標値を割り当てるのではなく、学生間で協働して、軽量化が可能である要素・部品に集中して対応するようにするなど指導した。

その結果、車体を構成するパイプ材の規則で肉厚が規定されていない部位について、車体の強度を落とさない程度に薄肉材料を採用することで、軽量化の約20%を実現できた。強度検討にあたっては、第3章において使用する技術を蓄積したCAE解析を活用した。

また、学生が進んでエンジンの支援先企業に技術的な問い合わせをし、実際にエンジンを分解し、その構造を調査したところ、エンジンについても、ケースの強度に問題がない部位を削ることで軽量化ができるとわかった。その他、軽量化を図ったステアリングギアボックスを新たに設計・製作するなど、学生が総力を挙げて軽量化に取り組んだ結果、完成した自動車は、車両質量が205kg

となり、50kgの軽量化を達成できた[150].

## (2) 「カッコいい外観」の実現

第2段階として、「カッコいい外観」を実現するために、製品造形研究室と協業することにし、教員間で協力体制を築いた[151]. 製品造形室に所属する学生は、意匠・製作を行うものの、実際に機能部品を製作する機会は少なく、また、フォーミュラ工房を履修する学生は、意匠を行う機会がないことから、お互いの強みを活かしながら、学びの領域を広げる目的で築いたものである.

この協業体制における作業を通して、研究室と授業間の垣根を超えて、学生同士が協力し合う様子を確認できた. また、実際の製作作業では、炭素繊維強化樹脂 (CFRP : Carbon Fiber Reinforced Plastic) 部品を製作するのに、150°Cの温度下で、これを焼成する必要があるとわかったが、本学には、焼成を行う設備はない. 学生は思案の末、図 4.4 に示すような、建築用の断熱材を活用した「簡易炉」を提案し、解決することができた.

これらの施策の結果、「意匠」と「設計」を擦り合わせるという、製造業の開発部署と同じような過程を学生に体験させることができ、「カッコいい」外観のCFRPを用いた外装部品を完成させることができた[151].

## (3) 信頼性の高い懸架装置の実現

第3章で述べた自動車は、SFJの動的審査を完走した後に点検したところ、懸架装置を構成するリンク部品が破損しており、問題があった. そこで、信頼性を高めるために新規に設計を行うことにした.

設計にあたり、学生に対して、海外大会に出場する自動車を調査させるなど、技術的知見を高めるような工夫を実施した. その結果、学生は思案の末、リンク部品を用いない構造を考案し、図 4.5 に示すような懸架装置を完成させた[152]. この懸架装置の特徴は、「調整がしやすい」、「故障しても、その部位を特定しやすい」の2点であり、競争の場で使用する自動車に適した構造である.

SFJ で他校の自動車を観察する限り，本研究で採用・実現する懸架装置の採用例はきわめて少ないようである。



図 4.4 学生が提案した「簡易炉」と製作した部品[151]

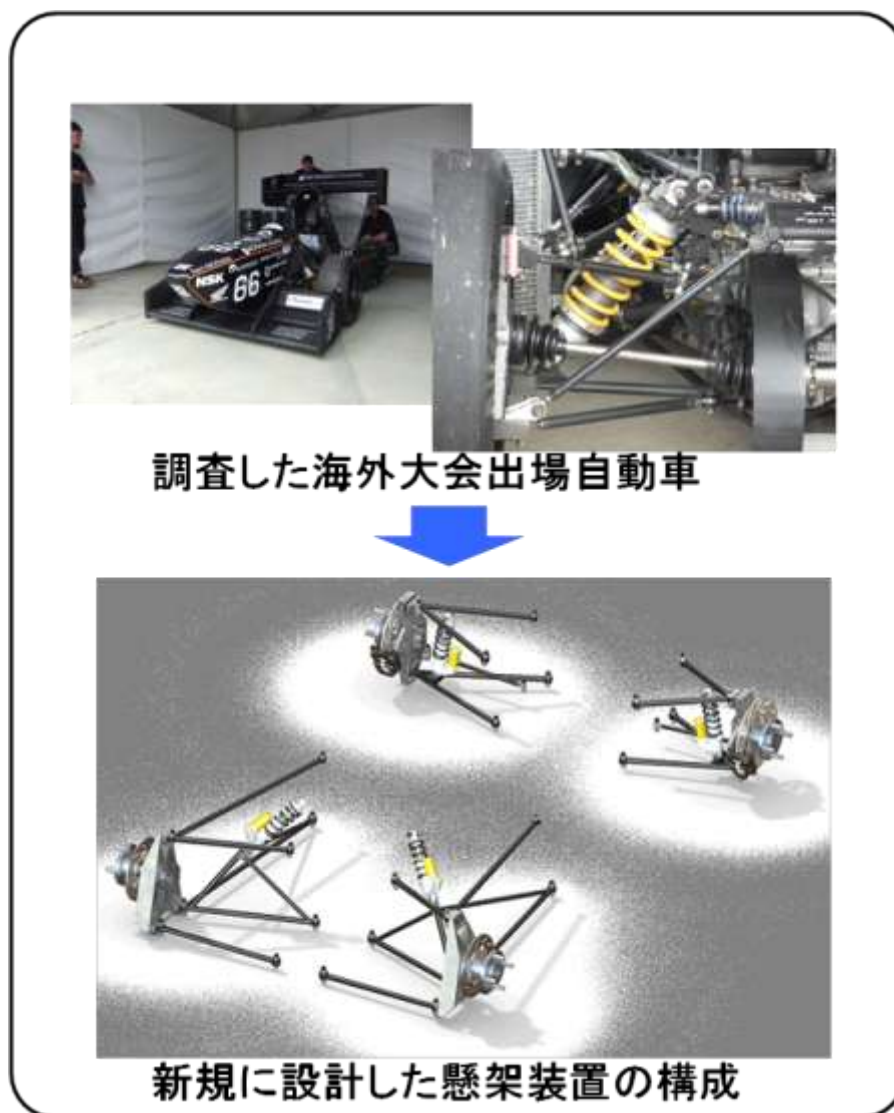


図 4.5 新規に考案・設計・製作した懸架装置[152]

#### 4.3.3 授業の実践③価値獲得段階（サービスモデル）

本研究では、上述したように2つの大会、全日本学生フォーミュラ大会 SFJ とオーストラリア大会 FSAE-A に出場した。

##### (1) SFJ への出場と結果

設計・製作した自動車は、軽量化による性能向上で、動的審査の中でも最も

配点が高い、「エンデュランス」と「燃費」(SFJでは2種目の得点を合計して順位を発表)で出場70校中4位の成績を得るなど、審査における総得点を大幅に増やし、前回の出場成績に比較して、196.24点の増点となり、総得点570.24点を得ることができた[152].

一方で、車検を受ける際の準備に手間取り検査を受ける時間に遅れるなど、今後の改善点も見受けられた。2回目の出場であり、慣れから来る油断であったと推察される。今後の改善課題とした。

## (2) FSAE-A への出場

英語圏における大会であり、語学力が課題であったが、履修者は積極的に英会話を学ぶようになり、頻繁に日本工業大学内の英語教育センターへ通う姿が観察できた。また、大会の審査において、学生は、「複数の学生で審査員の話を聴く」、「事前に審査の質問に対する回答表を作っておく」などの工夫を行うことで、大会における全ての審査を英語で対応することができた。

## 4. 4 考察

### 4.4.1 授業の継続性

本研究においては、学生が自動車を設計・製作することで、大会に出場してできる限り好成績を残すという、一連の過程を実行することができ、実践的なものづくりを行う学科目として、継続性があると判断できる。

4.3節で述べたように、コンセプト作成にあたり、教員が必要以上に懇切丁寧な指導を行わなくとも、学習者は、目標・課題を設定して、コンセプトを作成できており、「自ら課題を設定できる」という学びができていると考えることができる。

管理目標については、以下に示すように、全項目を達成している。

(1) 構想段階 (スキームモデル) における評価

- ① 「活動の目標と課題設定ができる」 [OK]
- ② 「自動車のコンセプトを作成できる」 [OK]

(2) 実行段階 (システムモデル) における評価

- ① 「コンセプト (目標性能) を満足する自動車が完成する」 [OK]
- ② 「学内の研究室との協業により, 擦り合わせを实践できる」 [OK]

(3) 価値獲得段階 (サービスモデル) における評価

- ① 「2つの大会事務局へ全ての静的審査書類を提出できる」 [OK]
- ② 「2つの大会へ出場し, 完走することにより, 全ての動的審査に対応することができる」 [OK]

(4) 大会成績の分析

大会成績, 各審査項目の得点について, 成績上位校と比較したものを図 4.6 に示す. 成績を分析すると, 以下のことが考えられる.

- ① 「動的審査」: 経験 (出場回数) を重ねることで, 成績上位校に追いつける可能性がある. その理由として, 最も配点が高く, 自動車の総合性能を審査する「エンデュランス」の成績は, 互角であり, 筆者らが設計・製作した自動車の性能上の潜在性能は高いと考えられるからである.
- ② 「静的審査」: 成績上位校とは点差が大きく, 改善課題であり, 教員主導で, 次の施策が必要であると考えられる.
  - a) コスト審査: 設計・製図と原価計算を併行して学べる授業が必要である.
  - b) 設計審査: 研究室などで SFJ に特化した「技術開発」を行い, それを反映させる.
  - c) プレゼンテーション審査: 上述した「技術開発」を反映する.

上述した 3 項目の審査に対応する課題の「技術開発」については, 第 5 章における研究において述べている.

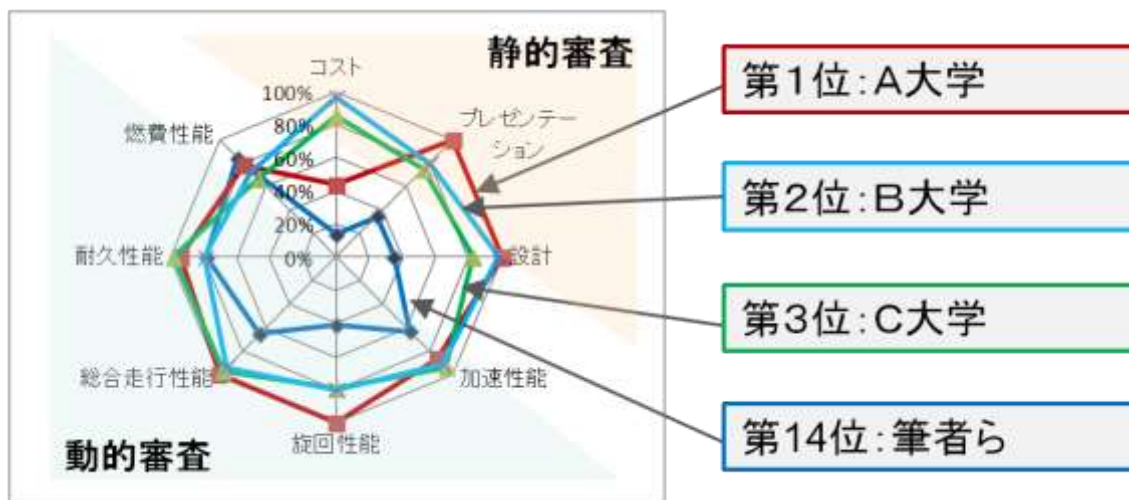


図 4.6 大会成績分析結果

#### 4.4.2 学生に「授業」として受けられているかという視点

##### 4.4.2.1 授業アンケートによる評価

授業と授業内容に関して、第3章 3.3.6 項と 3.5.4 項で述べた質問項目で、学生に評価させた。対象学生は、1年次生が16名、2年次生が7名、3年次生が4名、研究室の大学院生2名の計29名である。年次進行により、対象学生の年次と人数は変動している。なお、調査は、大会出場後に実施した。

##### (1) 「授業」に関する調査結果

図 4.7 に示す調査結果より、本研究において実施した授業について、学生は高い評価をしていることがわかる。

##### (2) 「授業内容」に関する調査結果

授業内容に関する調査結果を図 4.8 に示す。自動車の設計・製作に関する過程を理解できたか、という質問に対して課題が残った。この理由として、本研究における授業では、学びの期間が浅い1年次生が、回答者の55%を構成しているからであると考えられる。

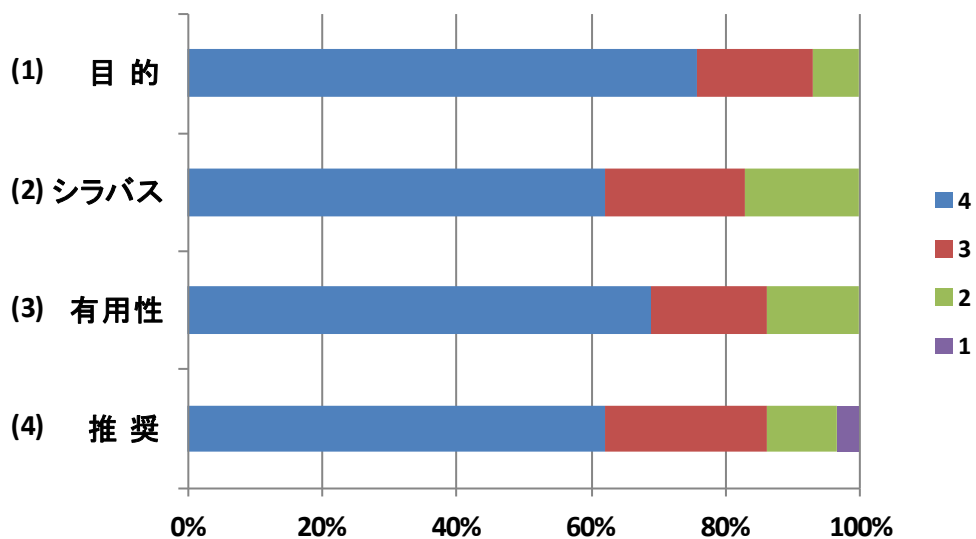


図 4.7 大会出場後の「授業」に関するアンケート調査結果Ⅱ

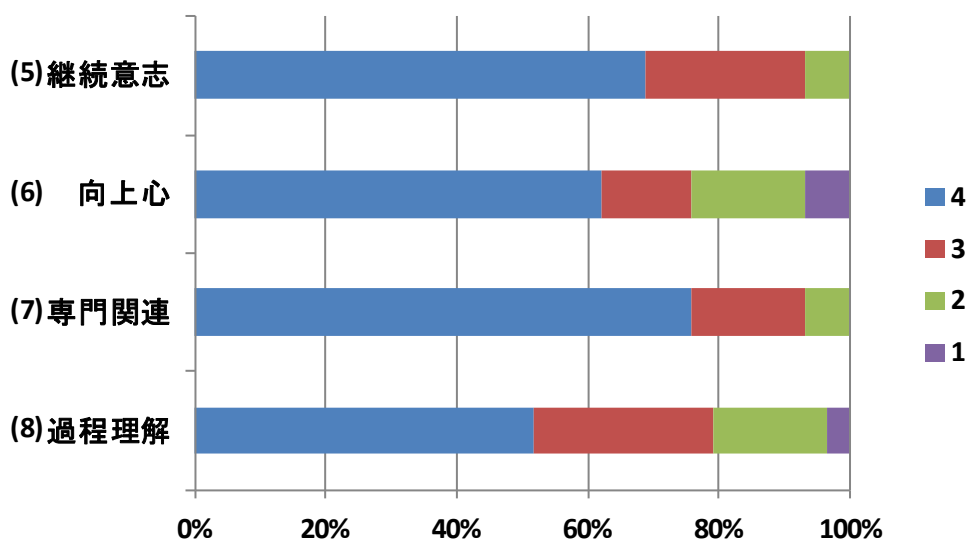


図 4.8 大会出場後の「授業内容」に関するアンケート調査結果Ⅱ

#### 4.4.2.2 履修者の学習姿勢

自動車の設計・製作を行う段階では、協働で作業に取り組む様子が確認でき、また、海外大会に出場することで、学生は日本工業大学内の「英語教育センタ



一」へ頻繁に足を運び熱心に英会話を学ぶようになり、FSAE-A に出場して、英語で静的審査を受けることができた。これらのことから、履修者の学習姿勢は、良好であったといえることができる。英語教育センターには、ネイティブの教員が常駐しており、学生はいつでも自由に英会話を学ぶことができる。

授業アンケート調査結果と履修者の学習姿勢を考慮すると、本研究において実施した実践的なものづくり授業は、継続性があると判断することができる。

#### 4.4.3 工学教育への波及効果

##### (1) 学生によるアイデアの創出

授業を実施する中では、図 4.4 に示したような、CFRP 部品を焼成するために学生が発案・製作した簡易炉、そして図 4.5 で示したように、SFJ では見ることがきわめて少ない斬新な懸架装置の構造を完成させることができた。これらのことから、授業の実践を通して、学生の創造性を引き出し、アイデアを実現することができている。

##### (2) 工学専門学科目への波及効果

本研究における自動車の設計・製作では、4.3.2(2)で述べたように、「意匠」と「設計・製作」の擦り合わせを体験させることを目的に、意匠を専門に行う製品造形研究室と協業した。その結果、授業を通して、製造業の開発現場で行われているような、いわゆる「デザイナー」を担当する学生と、「設計者」を担当する学生間で、擦り合わせを行う様子を確認することができた。

日本工業大学の機械工学科におけるデザイン系学科目の授業計画は、表 4.2 に示すものであり[153]、機能を満足する意匠を学ぶように記されているものの、実際に製作する作品は、卓上レベルに留まっている。本研究では、大会の動的審査において、時速 100km で走行する自動車に装着する外装部品を製作し、その自動車が大会で完走したことで、「工業デザイン」の実践を学生に体験させる

ことができたと考える。

表 4.2 デザイン系科目の授業計画[153]

科目名: デザイン演習 I (Product Design Experiences I)		科目名: デザイン演習 II (Product Design Experiences II)	
機械工学科 学科専門科目	3年 春学期 選択必修科目	機械工学科 学科専門科目	3年 秋学期 選択必修科目
<b>【授業の目標】</b> 2テーマを演習する。前半は「道具のデザイン」をテーマに文具や工作用工具、物を運ぶ行為を補助する新しい手法や形態を考案し、機能するモデルとして制作し、プロダクトの機能と構造、意匠造形の関連を体験的に理解する。スケッチ-機能試作-造形展開-プレゼンテーションまで行い製品開発の基本技術を修得する。後半では製品設計をテーマに、製品外観の複合的な3次曲面のモデリングとリアリスティックレンダリング技法を学び、機構設計と意匠造形の関連性を学習する。		<b>【授業の目標】</b> 2テーマを演習する。前半は福祉/介護をテーマに人間の身体構造や運動特性を考慮した場合に、機器の構造や形態がどう変化するかを考察する。人体の計測や動作解析から問題点を抽出し、解決案としてのプロトタイプを制作/検証するデザイン手法への理解を深める。後半はラピッド・プロトタイピングの実践的手法を用い、製品のモックアップを作成する。モデリングデータをNC切削と3次元樹脂造形装置を利用して立体化し、設計イメージと実物との差異を確認する。	

### (3) 学生の授業に対する感想

3.5.4 項と同様、1) 授業を通して学んだこと、2) 次に設計・製作する自動車の課題、3) 次の大会へ向けて何を実施したいか、という3点の質問事項で感想を自由記述させた。その結果、学習者は以下のように回答している。

- 高校（工業高校）時代に、燃費競技自動車の製作に取り組んだ。しかし、「作ること」が目的で物足りなかった。この授業では、「設計」や「製図」を学び、それらを基にして実際にものを作るということを学び、満足した。今後も継続して履修し、自分の能力を向上させたい。
- 自動車が好きで履修した。自動車の開発がどういうものなのか、何となく見えてきた。授業の履修を通して、自動車の開発者になりたいと強く思うようになった。今後も履修を継続していきたい。
- 大会出場を経験することで、他校に勝ちたいと強く思うようになった。そのためにも、これからは自分の能力を向上させる努力をしていきたい。

また、統計的に見ると、以下に示すことがいえる。

- 設計・製作する自動車の性能を向上させる (回答者の 40%)
- 大会の成績を向上させる (回答者の 40%)
- 自己を成長させる (設計・製作スキル) (回答者の 80%)
- エンジンの開発を行う (回答者の 25%)

これらの感想から、学生は授業に満足感を持ちつつ、自分の能力を高めようという思いを持つようになったことがわかる。したがって、本授業は、工学教育分野において、学習者の学ぶ意識を向上させていると考えられる。

続いて、本研究で実施している実践的なものづくり授業に学び、卒業後に自動車関連製造業の開発部署に勤務する学生の感想を以下に示す。

●自動車の設計・製作では、行動することの大切さを学んだ。机上検討を十分に行っても、企業における実際のものづくりの現場では、想定外のことが起こる。したがって、授業を通して起きたことを事実として受け止め、原因を調べて、課題を特定し、その解決方法を考えることが大切だということがわかった。そして、現状の物からの学び方、その学びに対して、なぜそうなっているか、理由（競合他社車の調査などにおいて）を考えることが設計業務において大変役立っている。

授業第1年度3月卒業 自動車関連上場企業 設計職

●授業を通して、「行動したことの結果、何らかの形になって成果になった」ことが印象に残っている。机上で検討したことを実行（製作など）に移すと、協力者が出てきて、さらに良いものになる。実務では、開発品の実験を担当しており、学生フォーミュラの製作を通して、実験を行う際に、試行錯誤した経験が大いに役立っている。特に、車体のねじり試験と FEM 解析結果の相関を確

認したことは、今の仕事にそのままの形で応用できている。

授業第1年度3月卒業 自動車関連上場企業 実験技術職

これらの感想より、本研究で提案して実施した授業は、企業の開発部署で勤務する技術者の育成に効果があったと考えられる。

(4) 履修者がシラバス（授業計画）通りの学びを得られているか

第3章で述べた導入教育から始まり、授業の第2年度と第3年度における大会出場を目的として、学生フォーミュラ自動車を設計・製作を行い、大会へ出場して成績を残すことができた。この一連の過程を通して、第1年度より履修している学生は、全6科目の履修を通して、第3章の表3.1で示した授業計画の内容を全て学ぶことができている。

また、第2年度に履修を開始した学生は、上級年次の学生の作業を手伝うことで協働することを学び、設計・製図を行うようになっている。さらに、第3年度に履修を始めた学生も、第2年度に履修を開始した学生と同様に、当初は協働することを学び、続いて、設計・製図を行うことができている。

これら、学びのフローを表4.3に示す。

表4.3 フォーミュラ工房学科目，学びのフロー

	第1年度		第2年度		第3年度	
	導入教育		自動車の設計・製作・試験		自動車の設計・製作・試験(2大会へ出場)	
学期	春学期	秋学期	春学期	秋学期	春学期	秋学期
学科目区分	選択科目(工房科目)					
科目名	フォーミュラ工房					
1年次	I(1単位)	II(1単位)	I(1単位)	II(1単位)	I(1単位)	II(1単位)
	17名		8名		16名	
2年次			III(1単位)	IV(1単位)	III(1単位)	IV(1単位)
			4名		7名	
3年次					V(1単位)	VI(1単位)
					4名	
科目名	卒業研究				自主参加	
4年次	I(4単位)	II(4単位)	I(4単位)	II(4単位)	(大学院生)	
	7名		4名		2名	
履修総数	24名		16名		29名	

#### 4.5 まとめ

本研究では、①実践的なものづくり授業が継続して実施できている、②学生の学びが向上できている、という2つの視点を目的に授業を実践した。その結果、「学生に目標・課題と自動車のコンセプトを決定させる」、「コンセプトで定めた目標を満足する自動車を設計・製作し、大会へ出場してできる限り良い成績を残す」ということを達成でき、実施した内容の考察結果から、上述の①と②の視点を満たしているとわかった。

また、今後の大会における成績向上には、「技術開発」の必要性が課題として残った。この課題の一例を続く第5章で述べる。

## 第5章 エンジン要素の先行開発（カムレス可変動弁機構）

### 5.1 はじめに

工学教育分野において、従来は学生の自主活動であるサークルとして扱われていた実践的なものづくり活動である学生フォーミュラについて、それを学科目として構築して実践することで、以下のことが明らかになっている。

- ① 設計・製作・試験の一貫した実践的なものづくりができています。
- ② 授業として学生に受け入れられている。
- ③ 工学教育分野への波及効果がある。

次に、行うべき研究課題は、第1章で述べた本研究で提案する工学教育のあるべき姿より、「学生と教員が協働で実施する実践的なものづくりにおいて技術開発の成果を出す」ということである。これまで実施されてきた「サークル」という活動形態では、教員による専門的な指導を受けられず、また開発設備を使うことができないため技術開発は困難を伴う。

これまでに、学生フォーミュラを適用した授業を実施することで、1) 車体の設計・製作、2) 懸架装置の設計・製作、3) 意匠と設計・製作を実現する技術・技能が得られている。次に、競技用自動車の性能向上に重要な要素は何か、と考えると、それは、「良い車体」と「良いエンジン」である。既に、第4章までの研究において、「車体」については、技術・技能の蓄積ができており、次の開発課題は、「エンジン」であると考えられる。また、4.4.3項で述べたように、アンケート調査結果からも学生はエンジンの開発を望んでいる。

日本国内における学生フォーミュラの分野では、エンジン開発については、吸排気系の改善[156]や過給機の装着[157]など、主としてエンジンの補機部品に関する研究報告例があるのみで、学生フォーミュラ専用のエンジン開発を行っている海外の大学に対して[158]、技術開発面で遅れていると思われる。

この理由は、上述したように、日本国内における学生フォーミュラの活動形態がサークルであって、技術開発の教育環境や設備面に課題があるからだと推察でき、これを改善するためには、学生に対して、「エンジン技術開発の可能性」を示すことが必要だと考える。本研究で定義する「エンジン技術開発の可能性」は、1) 技術シーズを示し、2) それを実現できる（つまりは学生が実施可能な）ツール・環境を示すことである。どのような技術を与えるべきか、という観点から、プロフェッショナルの自動車競技の分野、モータースポーツを見てみる。

世界最高峰のモータースポーツの1つに数えられる「ルマン24時間耐久レース」では、出場する自動車が走行時に使用できる燃料の総量と流量が厳しく制限されている[159]。2014年の大会では、使用できる燃料総量が前年比で25%削減された。今後も、省エネやCO<sub>2</sub>排出量削減という社会情勢を背景に、燃料総量の削減は進むと予測され、モータースポーツの世界においても、速さだけでなく、低燃費で低CO<sub>2</sub>排出量な環境対策技術が強く求められていることがわかる。

一方で、使用できる燃料総量を削減されても、ルマン24時間レースの出場自動車は、速さを増し、レース場における周回時間を短縮している[160]。このことは、世界最高峰のモータースポーツの分野においては、環境対策技術と高性能化技術が両立できていることを示している。したがって、自動車の走行競技を題材にした学生フォーミュラにおいても、「環境対策」と「高性能化」を両立した開発が必要になると考える。

SFJにおける動的審査では、第2章で述べたように「燃費」が審査項目の1つであり、その配点は100点で、これは総得点の10%を占め、加速性能（50点）や旋回性能（75点）より高く設定されている。このことから、燃費を向上させることは、大会の成績向上策の1つにもなる。加えて、燃費向上のために、新たな技術開発を行うことは、設計審査やプレゼンテーション審査においても、得点向上が見込めると考えられる。

そこで、本研究においては、学生にエンジンの技術開発に対する可能性を与えることを目的とし、エンジンの出力向上と低燃費に大きく寄与するエンジン要素である動弁機構を題材に、その開発を通して、学生が製作・試験することが可能で、学生フォーミュラ自動車に適用可能な「技術」提供を行えるか、という視点でエンジン要素の先行開発を行う。

## 5. 2 可変動弁機構の歴史的変遷

自動車用エンジンの動弁機構は、吸排気のカム交換を行う機能を持ち、性能を大きく左右するものである。この動弁機構の構造は、1883年にドイツのルドルフ・ディーゼル Rudolf Diesel がディーゼルエンジンを発明した頃に確立され、茸型弁、スプリングおよびカム軸で構成される[161]。1900年代初頭には、スリーブ弁を使った機構の研究・開発が行われ、高級自動車や航空機用エンジンに採用された[162-163]。しかし、これは広く普及することなく終わった。以降、ディーゼルの発明から現在に至るまで動弁機構の構成は変わっていない。

一方で、エンジンの性能向上を目的に可変動弁機構の研究・開発が進められ、1982年、イタリアにおいて世界で初めて実用化された可変動弁機構は、エンジンの幅広い運転領域で性能改善を狙ったシステムである[164]。市販実用自動車の分野では、年々厳しくなる排出ガス規制や燃費向上要求に対応するために幾多の改良がなされて進化して、性能向上が図られてきた。しかしながら、可変動弁機構は専門書などでは技術アイテムの1つとして扱われており、その技術的進化や体系がわかる資料は少ない[165-166]。

可変動弁機構を装着しない一般的なエンジンの動弁系のカムは、単一のカムプロフィールを持つ。カムプロフィールは、エンジンの比較的使用頻度が多い運転域（回転速度や負荷）においてトルクや燃費が最良になるように設定され



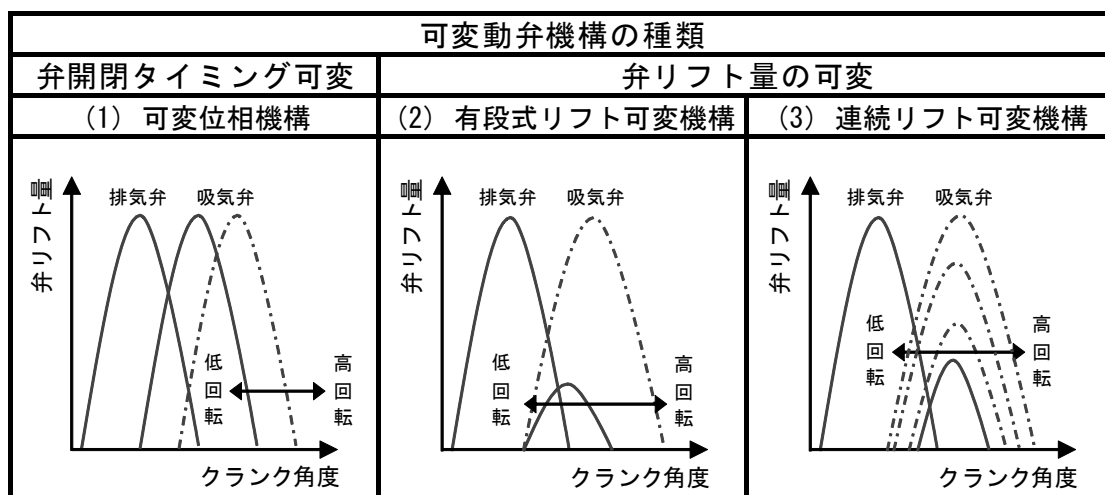
ている。したがって、この設定された運転域を外れるにしたがってトルクが低下し、燃費が悪くなる。

しかしながら、自動車の走行中には交通の状況は時々刻々変化する。それに対応してエンジン回転速度や要求負荷も大きく変化することになる。エンジンのトルクを向上させて、燃費も同時に低減するには、エンジンのシリンダ内へ効率良く空気を取り入れて燃焼させるために体積効率を高めることが重要である。体積効率を高めるためには、エンジンの回転速度や負荷に適した弁の開閉タイミングと弁のリフト量を与えることが必要であり、可変動弁機構はそれを実現するのに有効である。

これまでに実用化され、広く市販されている可変動弁機構は大きく分けて2種類ある。1種類は弁の開閉時期（位相）を変化させる可変位相機構、もう一方は、弁のリフト量を変化させる可変リフト機構である。可変位相機構は高速域と低速域の2段切り替え式から連続可変式に進化して、負荷や回転速度に応じてきめ細かな制御が可能になっている。一方でリフト量の可変機構も有段式から連続可変式へと進化して、スロットルを除いた吸気制御も実用化されている。

表 5-1 に可変動弁機構の代表的な種類と弁リフト曲線を示す。各機構の説明は次項以降で述べるが、エンジンのトルクに大きな影響を及ぼすのは吸気弁の閉止タイミングであり、閉止タイミングを早くすれば低回転速度域でのトルクを確保でき、遅くすれば高回転速度域でのトルクを確保できる。したがって、実用化されている可変動弁機構は一部の機構を除いて吸気弁側に装着されている。

表 5.1 可変動弁機構の弁リフト曲線比較



### 5.2.1 可変位相機構

可変位相機構は、カム軸と動力伝達用スプロケットの締結部分に位相を可変にするアクチュエータが装着される。構造が比較的簡潔であり、エンジン本体に大幅な変更をしなくても付加することができる。

表 5-1(1)に、2 段切り替え式可変位相機構の弁リフト曲線を示す。実線は、低速・部分負荷域での弁リフト曲線である。高速・高負荷になると破線で示すように吸気弁の位相を遅らせることになる。遅角させることで、吸気弁の閉止時期が遅くなり、多くの空気を吸入できることによりトルクが向上する。

可変位相機構は、1982 年に実用化されて以来、特に国内では 1990 年代に急激に普及した。また、現在では 2 段切り替え式は、採用されておらず、連続的に位相を可変にする方式になっている。エンジン制御や自動変速などにおける自動車用電子制御の進化に伴い、電子制御化により緻密に可変させることができるようになって広いエンジン回転速度域での性能改善に寄与している。

## 5.2.2 可変リフト機構

### （1）有段式可変リフト機構

有段式可変リフト機構は、1基のエンジンに幾種類かのカム（2～3種類）を搭載し、それらを運転状態に応じて切り替える。カムを切り替えることで、吸気弁の開口期間、リフト量を変化させる。表 5-1(2)に示すように、低回転・低負荷域では開口期間・リフト量が小さいカムを使い（実線で示す曲線）、高速域では弁の開口期間とリフト量が大きいカムに切り替えることで、トルクを向上させる。

カムの切り替え機構を動弁系に追加し、油圧ピストンにより切り替えを行うため、弁が開いていない（カムに押されていない）時にしか切り替えができず、緻密な制御技術が要求される。また、カム切り替え時には、トルクの落ち込みが発生してしまう。

### （2）連続可変リフト機構

無段階に弁の開口期間とリフト量を可変にする目的で、2001年にベー・エム・ヴェーBMWが世界で初めて、連続可変リフト機構を実用化した[167]。動弁系にリンクで構成される機構を付加することで、リフト量を最大値から休止まで表 5-1(3)に示したように可変にすることができる。また、可変位相機構を併用して位相も可変させる。

一方で、カムを3次元形状とし、可変位相機構を併用せずに、弁リフト量と開口期間を連続的に変える機構も研究されている[168-169]。

連続可変リフト機構は、幾多の研究事例があるものの、実用化している自動車メーカーは世界でも4社だけである。その理由として、構造が複雑なことで、開発力、生産・コスト面での対応力のハードルが高いからだと考えられる。

### 5.2.3 カムレス機構（電磁油圧動弁機構）

図 5-1 に示すのは、自動車用要素・部品メーカーであるドイツのシェフラ SCHAEFFLER が開発し、2009 年に世界で初めて市販された電磁油圧動弁機構を用いたカムレス機構である[170]。排気弁にはカムを使った一般的な動弁機構が備えられる。また、このカムは、リンク機構を介して吸気弁側に装着された油圧ポンプを押して、油圧を発生させる役割も担う。油圧ポンプで発生した油圧を吸気弁の開閉に用いる。ソレノイド弁により油圧を制御することで吸気弁が開閉する。したがって、吸気弁の動作はカムの動作に左右されることなく、自在に制御でき、「カムレス機構」である。

カムレス機構は、電磁式のものを含めて研究事例は多い[171-178]。しかしながら、実用化例は、ここで紹介するシェフラの製品のみである。従来の動弁系装置と異なる機構のため、開発力、生産・コスト面での対応力についてハードルが高いことが理由であると考えられる。



図 5.1 電磁油圧動弁機構[170]

### 5.3 カムレス電磁駆動弁機構の開発

実用化されている可変動弁機構は、エンジンのトルクや燃費を向上させることができ広く採用されている。学生フォーミュラ自動車に採用すれば性能向上を見込むことができる。しかし、次の課題があると考ええる。

- ① 可変位相機構は、国内では軽自動車にまで広く採用されており、吸気弁の閉止時期は可変にできるが、弁の開口期間は可変にできない。よって、高回転速度域での性能向上に限界がある。
  - ② 有段式リフト可変機構は、カムを切り替える機構が複雑で、切り替え時にはトルクの落ち込みが起こる。連続可変リフト機構は、その構造が複雑であり、動弁系部位の搭載スペースが大きくなり、重量も増加する。自動車の軽量化を図るには問題となり、その上、実用化されている有段式・連続可変リフト機構は、可変位相機構を併用して装備する必要があり、構造の複雑化や重量増加を招く上に、双方の協調制御を行う必要がある。
  - ③ 電磁油圧動弁機構は、リンクを介した油圧発生機構や油圧の制御が複雑であり、動弁系部位の搭載スペースが大きくなり、重量も増加する。また、市販例が極めて少なく、コストや製造技術などに課題があると考えられる。
- 一方で、電磁駆動弁機構は、エンジンに搭載される各々の弁を独立して駆動することができる。構造もシンプルであり、弁のリフト量・位相・開閉時期を可変にすることができる。すなわち、可変制御の自由度は高い。これまでの研究経験から、以下に述べる電磁駆動弁の性能とエンジンへの適用性の課題を検証する。

#### 5.3.1 電磁駆動弁の概要

##### (1) 高電圧化

図 5.2 に 2008 年までに、日本工業大学で研究されていた電磁駆動弁の概観を

示す[179]。印加電圧は、直流 48V である。この電圧は、将来の自動車用バッテリーの高電圧化から決定された（いわゆる、36V バッテリーを指す）。しかしながら、コイルに電圧を印加して駆動する際、発生する熱損は電流値の二乗に比例する。すなわち、印加する電流を減らせば熱損は少なくできる。そこで、さらなる高電圧化を図ることにした。

1997 年以降、エンジンと電気モータの動力を併用するハイブリッド自動車（HEV : Hybrid Electric Vehicle）が販売台数を増やし、日本国内における新車販売の約 1 割を占めるようになった。また、販売台数は少ないものの、ガソリン

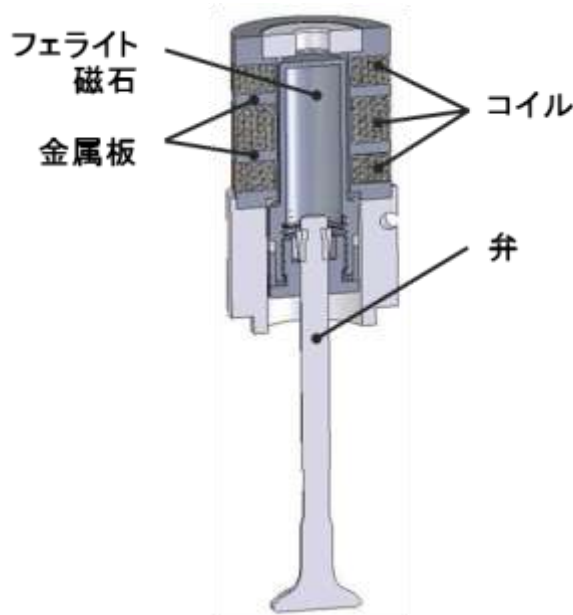


図 5.2 日本工業大学で研究されていた電磁駆動弁の概観[179]

や軽油などの化石燃料に替わり、蓄電池で電気モータを駆動する電気自動車（EV : Electric Vehicle）も量産されている。これら HEV や EV は、100, 200, 300V といった自動車用としては比較的高い電圧を使用している。HEV や EV は、今後も普及を続け、適用される技術が進歩すると考えて、これらに準じる電圧（100V 以上）を電磁駆動弁へ採用することにした。

一般に自動車用電源の標準電圧は、12Vであり、100V以上の電源をSFJ向け自動車で使えるのか、という課題が出てくる。例えば、オランダのデルフト工科大学が製作する学生フォーミュラ自動車は、電気自動車EVであり、その電源電圧は600Vになっている[180]。また、日本国内においても、SFJ向けに製作された静岡理工科大学のEVが350Vの電源を搭載している[181]。これらのことから、学生フォーミュラ自動車において、600V以下の電源を使用することは技術面で何ら問題が無いと考えた。

100V以上の電圧を印加するにあたり、次の2点の改良を行った[182-183]。

① 通電部の絶縁性向上

- a) コイル間に絶縁部材を配置する。
- b) 外層部に絶縁性材が塗布されたポリアミドイド線材を使用する。

② 駆動素子の耐電圧性向上

- c) 使用電圧に対応できる電界効果トランジスタの一種である MOS-FET :

Metal oxide semiconductor field effect transistor か半導体素子の一種であ

る IGBT : Insulated gate bipolar transistor を使用する。

これらの施策を反映した高電圧用電磁駆動弁の概観を図 5.3 に示す。コイルを格納する部材を、金属材から絶縁性のある樹脂に変更し、高電圧化に対応した。

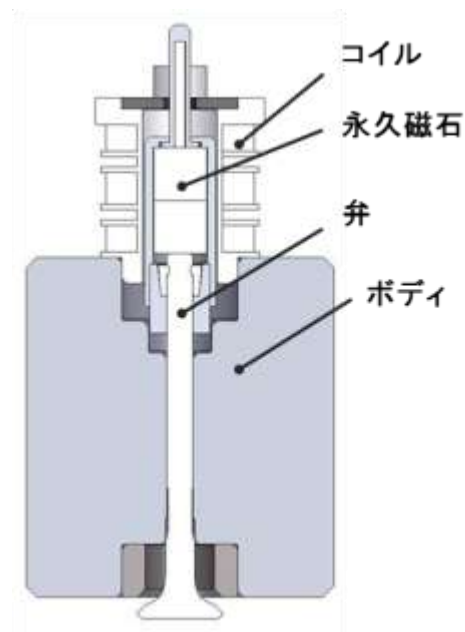


図 5.3 高電圧用電磁駆動弁の概観[182-183]

高電圧化に対応した電磁駆動弁の作動実験を行うにあたり，図 5.4 に示す実験装置を構成した．電圧は，容量 1F（電圧 5.5V）の電気二重層キャパシタを 27 直列として，最大電圧を 148.5V とした．駆動素子は，市販の MOS-FET である．この実験装置は，駆動回路を市販の汎用基板台上に構成し，学生でも製作できるように工夫している．

作動実験の結果，一定時間稼働させると，使用した磁石が減磁することで作動不良になる問題が起こり，改善を行うことにした．





図 5.4 市販の基板台を用いた実験装置

## (2) ソレノイド型電磁駆動弁の構成・原理

続いて、磁石の減磁に関わる課題を解決するために、磁石を使わない「ソレノイド型電磁駆動弁」を考案して、これを試作した[184-186]。図 5.5 に電磁駆動弁の構造を示す。弁ステム(d)上部に磁性体で製作したアーマチュア(a)を固定し、その周囲に電磁コイル(b)を配置する。また、閉弁時に弁を保持しておくスプリング(c)をアーマチュアの下部に配置する。電磁コイルは2系統とし、1系統は、弁が開く方向に作用し、他系統は弁が閉じる方向へ電磁力を作用させる。図 5.5(1)の状態は、電磁コイルに通電せず、スプリングの力のみで弁が閉じている状態である。図中(2)は、弁が開くように電磁コイルへ通電した状態である。この時、ソレノイドの原理より、弁は、図中(2)に示す位置で静止する。図中(3)は、弁が閉じる方向へ動くように電磁コイルへ通電した状態である。このような一連の通電を繰り返すことで、弁を開閉させる。

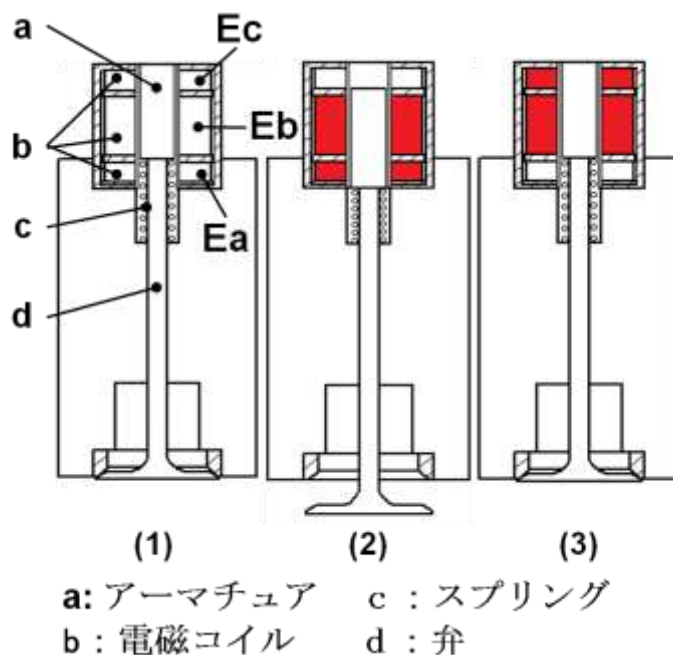


図 5.5 ソレノイド型電磁駆動弁の作動原理

図 5.6 に駆動回路を示す。駆動素子には、2つの IGBT を使用した（図中 G1 と G2）。G1 をオン、G2 をオフにすることでコイル Eb-Ea 間が通電状態になり、図 5.5(2)に示すように弁が開く。一方、G2 をオン、G1 をオフにすれば Eb-Ec 間が通電状態となり、図 5.5(3)のようにバルブが閉じる。

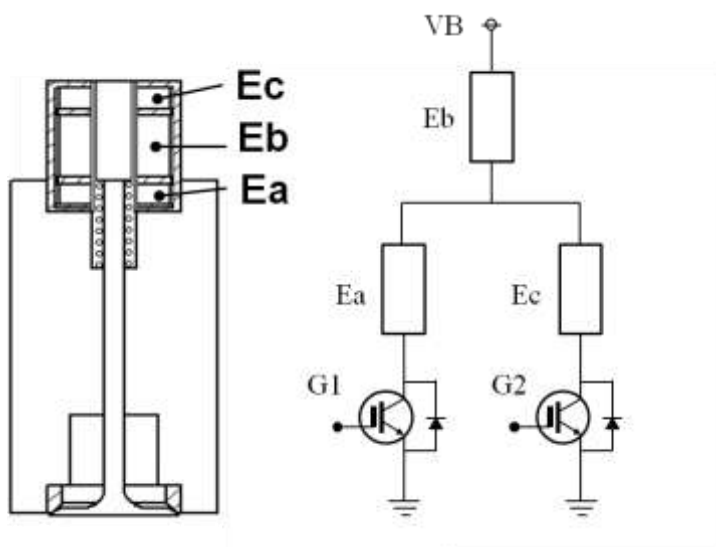


図 5.6 電磁駆動弁の駆動回路

### 5.3.2 実験装置と実験方法

試作した電磁駆動弁機構の作動特性を実証するために、図 5.7 に示す実験装置を製作した。なお、使用した弁本体の材質はチタニウムであり、質量は 25.7g である。アーマチュアの材質はパーマロイとし、バルブとアーマチュアを合わせた稼働部の質量は 49.6g となる。

弁のリフト量は、アーマチュア(a)上部に取り付けたリニアホールセンサ(f)と磁石(e)により検出されて、オシロスコープ(g)に記録される。

実験にあたり、図 5.8 に示す電磁駆動弁制御設定画面において、弁開口期間や、弁開閉のための各種パラメータを設定した。

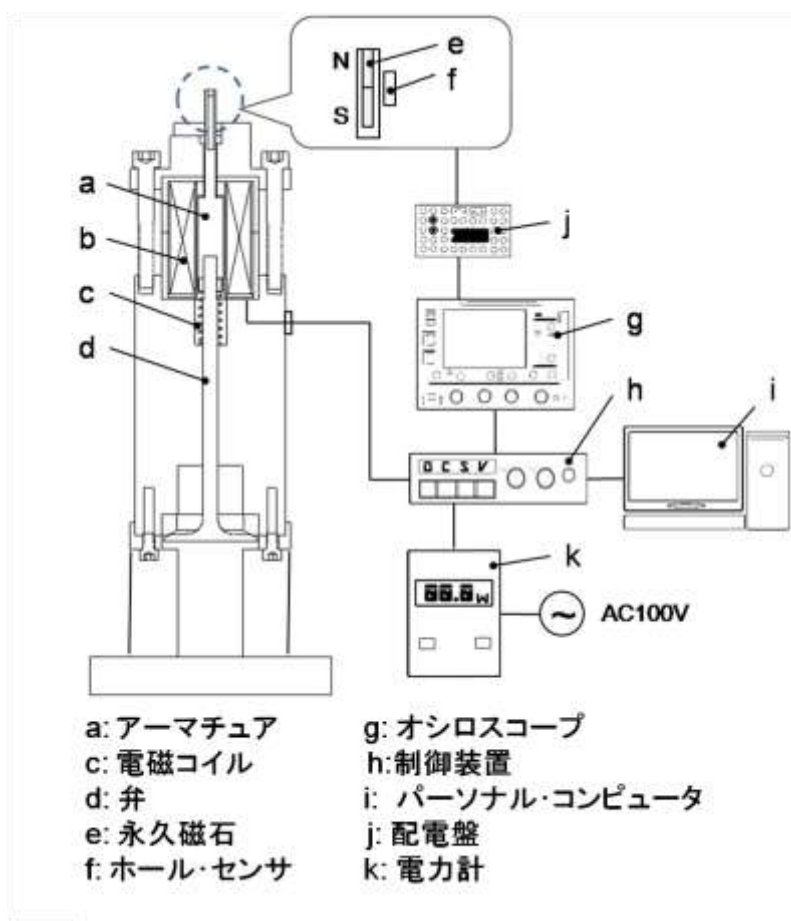


図 5.7 実験装置図

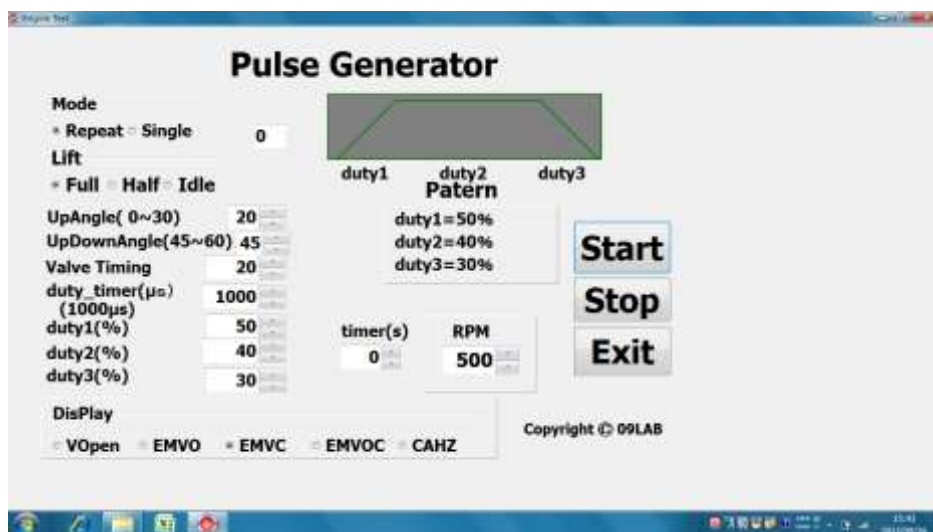


図 5.8 電磁駆動弁制御設定画面

### 5.3.3 弁の開口期間と弁リフト量の実験結果

#### (1) 電圧 140V 印加時の弁の開口期間制御と電力消費量

図 5.9 に、コイル印加電圧 140V 時の弁開口期間に対するバルブリフト量曲線を示す。電磁駆動には、パルス幅変調（PWM：Pulse width modulation）制御を用い、図 5.8 に示した電磁駆動制御設定画面にて、バルブ開口期間を任意に設定し、各条件で目標リフト量である 9mm が得られるように、通電時間と非通電時間の比であるデューティ比の値を決めた。実験結果から、開口期間の可変制御が可能であることが明らかになった。バルブ開口期間を短くするには、デューティ比の値を大きくして、電圧を高めることで、バルブに急峻な立ち上がりを与えた。なお、本実験においては、PWM 制御の搬送周波数を 1kHz に設定している。

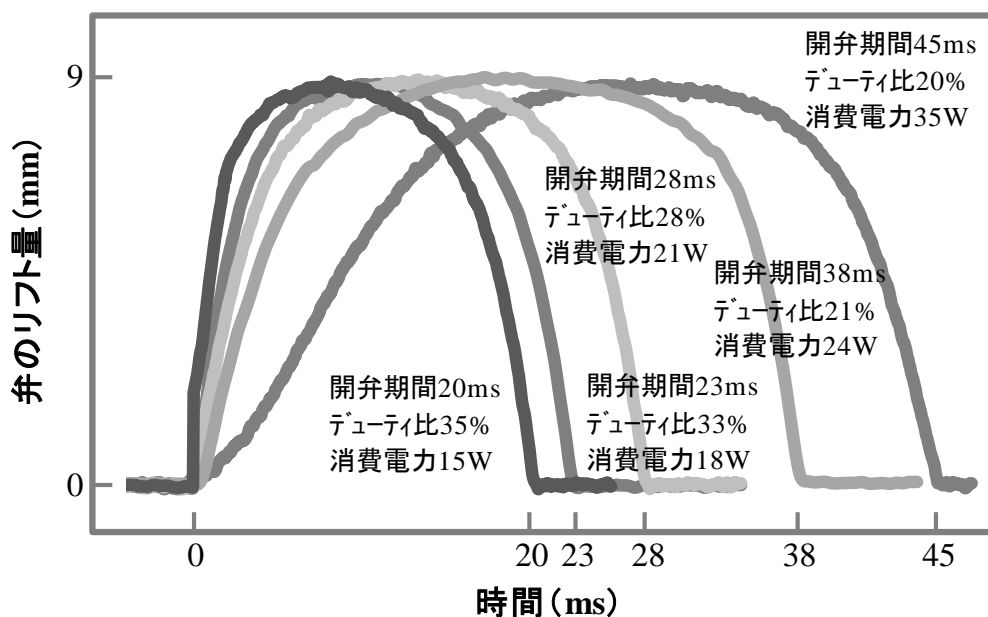


図 5.9 印加電圧 140V における弁開口期間とリフト量

## (2) 電圧 140V 印加時の弁のリフト量制御と電力消費量

図 5.10 は、コイル印加電圧 140V 時のデューティ比の値に対する弁リフト曲線である。駆動時間を目標とした 45ms に設定することで、弁開口期間を一定にした。そして、デューティ比の値を変化させることにより、リフト量を変化させた。図に示すようにデューティ比の値を 10%、12% と増していくことで、ほぼ比例的に弁リフト量を制御できている。最大リフト時のデューティ比の値は 20% であり、この時、電磁コイルに印加するパルス時間は 200 $\mu$ s と比較的小さく（搬送周波数 1kHz）、電力消費の低減に寄与していると推察できる。

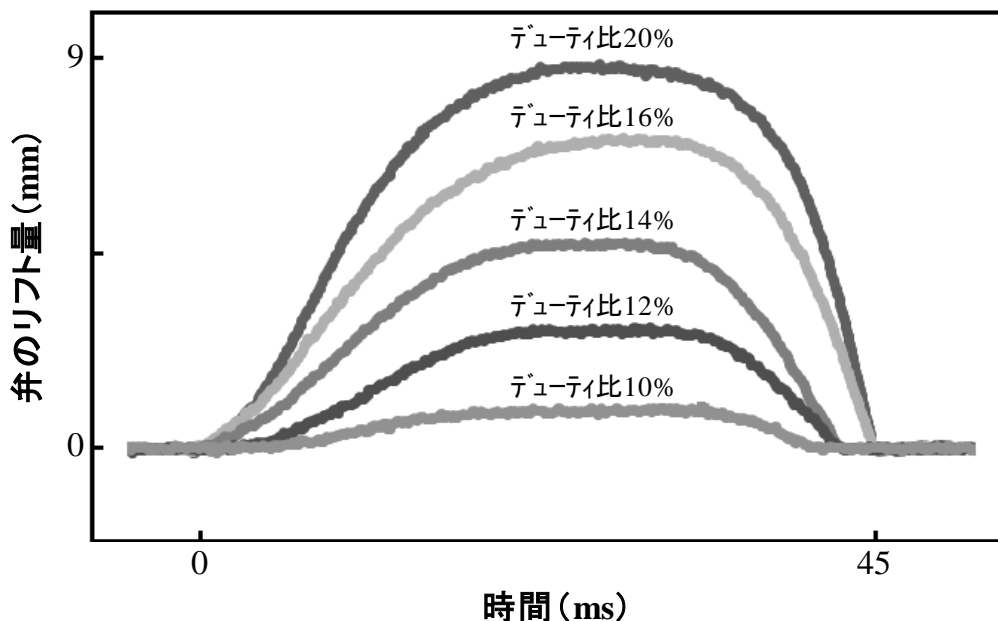


図 5.10 印加電圧 140V におけるリフト曲線

### 5.3.4 閉弁着座時の衝撃緩和制御の実験

電磁駆動弁機構には、閉弁時の着座時の衝撃で弁が跳ね返り、弁が再度開いてしまう問題があり[187], 筆者も実験を通して、この現象を確認してきている。図 5.11 は、図 5.7 に示す実験装置において、閉弁時に弁が着座する直前に逆方向（開弁方向）の駆動パルスを与えた実験結果を示すものである。実験結果から、逆方向の駆動パルスを与えない時には、閉弁後に弁が跳ね返ってしまい、再度開弁する様子が観察できる。一方、閉弁時において逆方向（弁を開く方向）にデューティ比 20%の駆動パルスを与えることで、跳ね返りを抑えることができることがわかった。閉弁時の衝撃緩和対策には、従来研究では、複雑なコイル構成により、対応が行われているが[187], 本研究で提案する手法は、制御方法の変更だけで対応できるため簡便である。

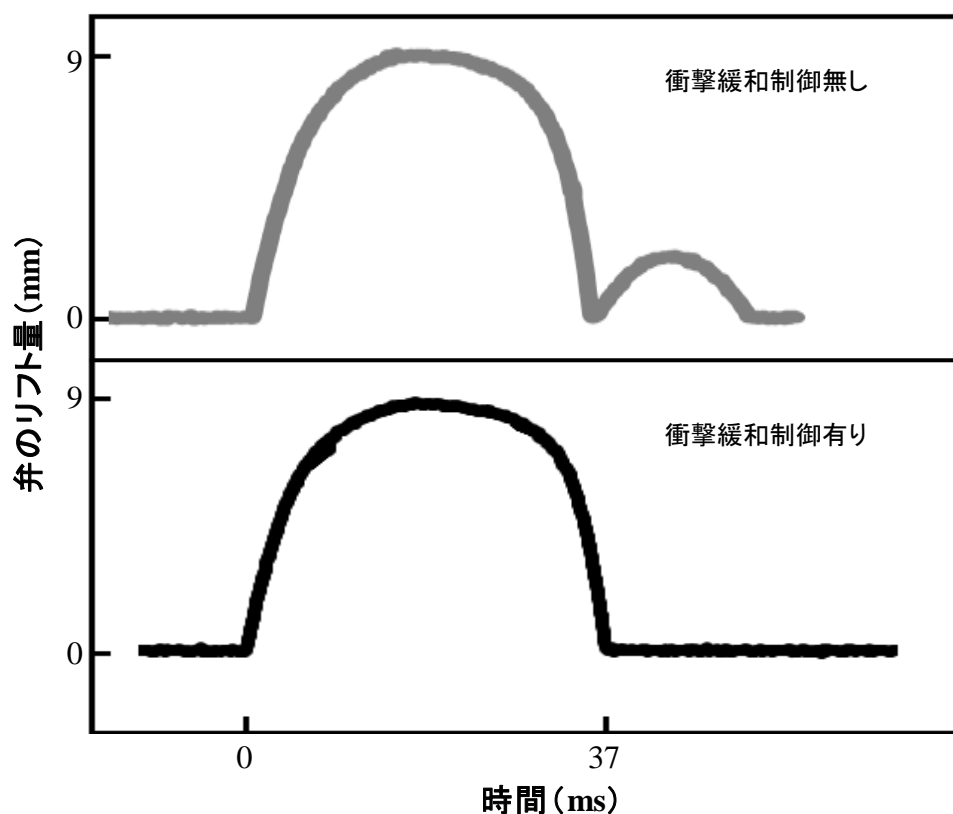


図 5.11 閉弁着座時の衝撃緩和制御の効果

### 5.3.5 排気行程時を想定した開弁性能検証

続いて、自動車用ガソリンエンジンの運転時におけるシリンダ内圧を測定することで、排気弁が開き始める時の圧力値を求めて、この値を、電磁駆動弁の「開弁性能」目標値とし、電磁駆動弁が、この値で開くことができるか実験により確認する。

実験に用いた自動車用ガソリンエンジンは、排気量が 3,456cc、ボア×ストロークが 94mm×83mm、圧縮比が 11.8 の V 型 6 気筒である。1 気筒当たりの排気量は、576cc である。

実験により得られたクランク角度—シリンダ内圧測定結果を図 5.12 に示す。シリンダ内圧は、360deg（上死点）付近で燃焼により急激に上昇し、ピストンの下降に伴い低下する。このエンジンは、上死点后 151deg で排気弁が開く（ク

ランク角 51deg). よって, この時の内圧を図 5.13 から読み取ると, 0.2MPa となり, これを開弁性能の目標値とした. つまり, この圧力下で電磁駆動弁が開けば, 開弁性能を満足し, エンジンへの使用を想定した場合に, シリンダ内の圧力が高い排気行程時にも開弁できることになる.

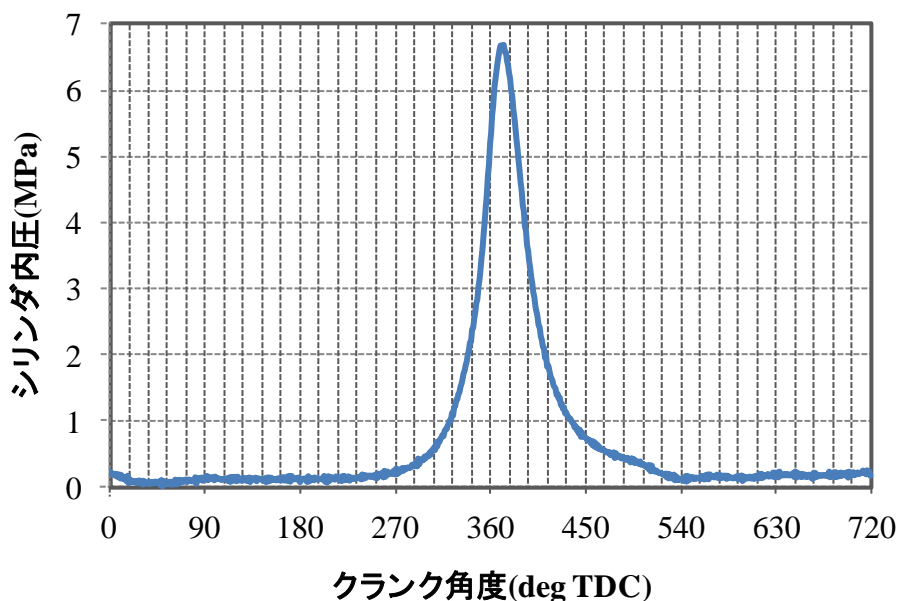


図 5.12 シリンダ内圧測定結果

続いて開弁性能の実験を行うために, 図 5.14 に示す実験装置を製作した. 本実験では, 電磁駆動弁の駆動電源を直流 200V とした. この電圧は, 市販のハイブリッド自動車 (HEV : Hybrid Electric Vehicle) に使用される電池の総電圧から決定した. 電源デバイスは, 電気二重層キャパシタである. エアタンクの容積は, 前述の実験用エンジンの 1 気筒あたりの排気量と同じ 576cc とした.

実験方法は次の通りである. 先ず圧力容器であるエアタンク内に圧縮空気を充填し, 目標圧 (0.2MPa) になったことを確認した時点でコントローラから電磁駆動弁機構の駆動信号を印加する. この時の圧力容器内の圧力変化を圧力センサーで計測し, アンプを介してオシロスコープで記録した.



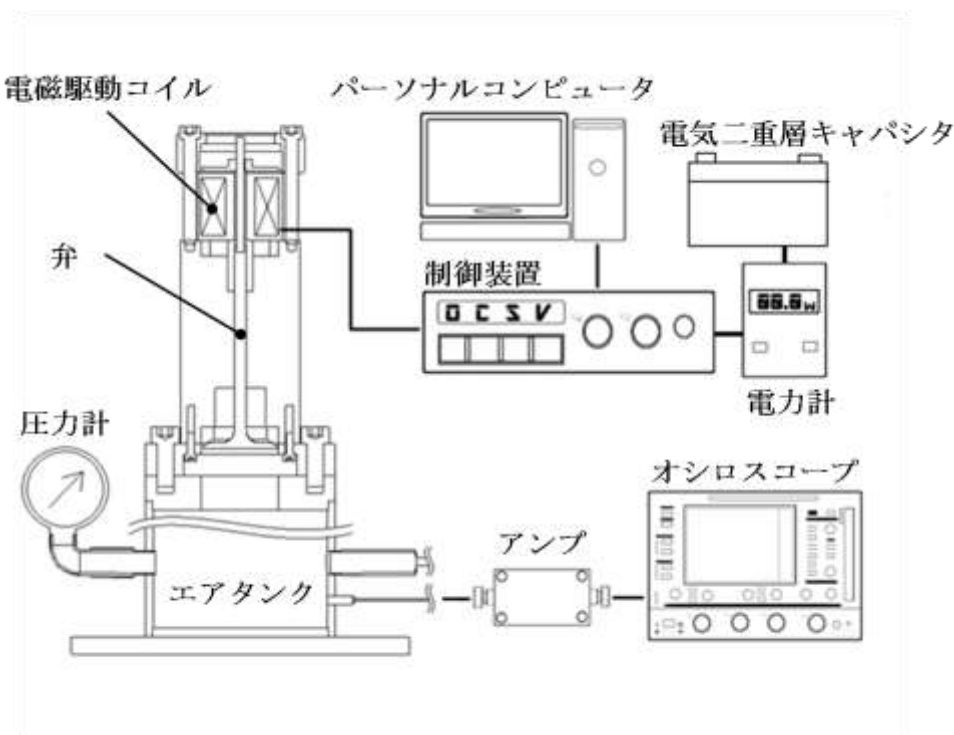


図 5.13 開弁性能実験装置構成

図 5.14 に実験結果を示す．0.2MPa のエアタンク内の圧力は，電磁駆動弁の駆動パルスを印加すると急激に低下する．これは，弁がエアタンクの内圧に打ち勝って開くことができていることを示している．弁は，閉じる方向に戻されることなく継続して開き続け，内圧は大気圧近傍まで低下する．この結果から，自動車用エンジンの排気行程で排気弁を開くことが可能である．

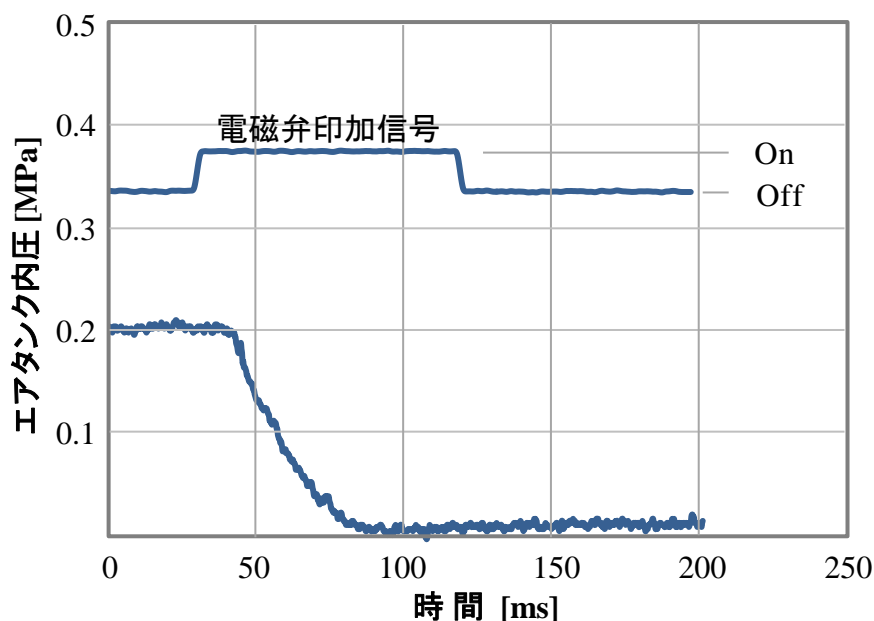


図 5.14 排気行程時の開弁性能 (0.2MPa)

次に、クランク角度に対して開弁時期を進角させても開弁することができるかを検証した。この時の目標圧力値は、使用したエンジンの開弁位置より 30deg 進角させることにして、図 5.13 の計測結果より 0.25MPa とした。実験の手順は、先の内圧 0.2MPa の時と同じである。

図 5.15 に実験結果を示す。内圧 0.2MPa の条件における実験結果と同じように、電磁駆動弁にパルスを印加すると内圧が急激に低下し、大気圧近傍まで低下する。このことから、電磁駆動弁は、開弁位置を 30deg 進角させた状態を想定した 0.25MPa の圧力にも打ち勝って開弁を続けられることを示している。したがって、排気行程時に排気弁を 30deg 進角させても開くことができることが判った。

これらの実験結果より、電磁駆動弁は、HEV 用途を想定した電源電圧 200V（直流）を用いた実験では自動車用エンジンの排気行程でも十分な開弁性能を持つことがわかった。実験に用いたエンジンは、圧縮比が 11.8 と比較的高

く，SFJ 自動車に使われるエンジンと同等の値である[188-190]。したがって，本実験で試作した電磁駆動弁は，SFJ 自動車用エンジンにおいても，排気行程時に開弁が可能であると推定される。

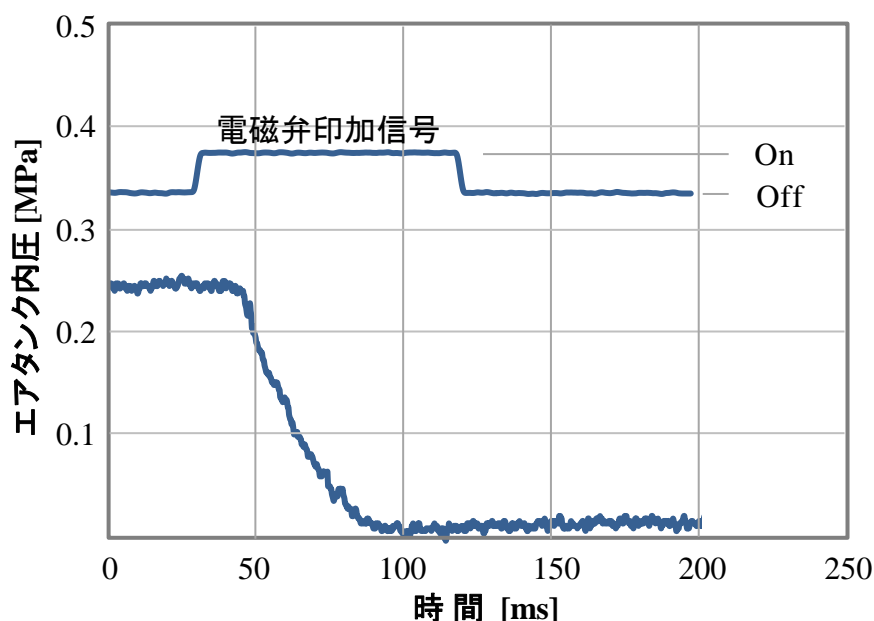


図 5.15 排気行程時の開弁性能 (0.25MPa)

### 5.3.6 電磁駆動弁機構のエンジンへの適用検証

従来の研究では，実際にエンジンへ電磁駆動弁の搭載事例を示したものは，少ないことから，本研究ではエンジンのシリンダヘッドへ電磁駆動弁機構を搭載する設計を行い，これを製作して装着することで適用できるか検証することにした。

シリンダヘッドへの搭載にあたり，図 5.16 に示すような，2 弁を一組とする 2 弁式電磁駆動弁機構を設計・製作した。全日本学生フォーミュラ大会 SFJ 向けの自動車で多く使用されるエンジンは，1 気筒あたり 4 弁を持っており，構

成や製作のしやすさから、2 弁式電磁駆動弁機構を採用した。また、複雑なシリンダヘッド周辺への搭載性を考慮して、電磁コイルが発生する磁力を効率良く、アーマチュアへ作用させるためのヨークは、薄板（純鉄）の積層構造とした。



図 5.16 設計・製作した 2 弁式電磁駆動弁機構

続いて、シリンダヘッドへ電磁駆動弁機構を搭載する。SFJ における成績上位校の自動車は、単気筒エンジンか 4 気筒エンジンを搭載している。そこで、これら 2 機種エンジンのシリンダヘッドへ搭載することにした。

#### （1）単気筒ガソリンエンジンへの搭載

図 5.17 に、電磁駆動弁機構を搭載した排気量 404cc のガソリンエンジン・シリンダヘッドを示す。このエンジンは、吸気弁が 1 弁、排気弁が 1 弁の合計 2 弁のため、吸気弁と排気弁を 2 弁式電磁駆動弁機構により構成している。

カム軸やそれを取りつける部品を除き、そのスペースへ取り付けることができる。SFJ で使用される単気筒エンジンは、排気量 450cc の仕様が比較的

多い。したがって、本研究で提案する電磁駆動弁機構は、SFJ 自動車で使用される単気筒エンジンへ搭載可能である。

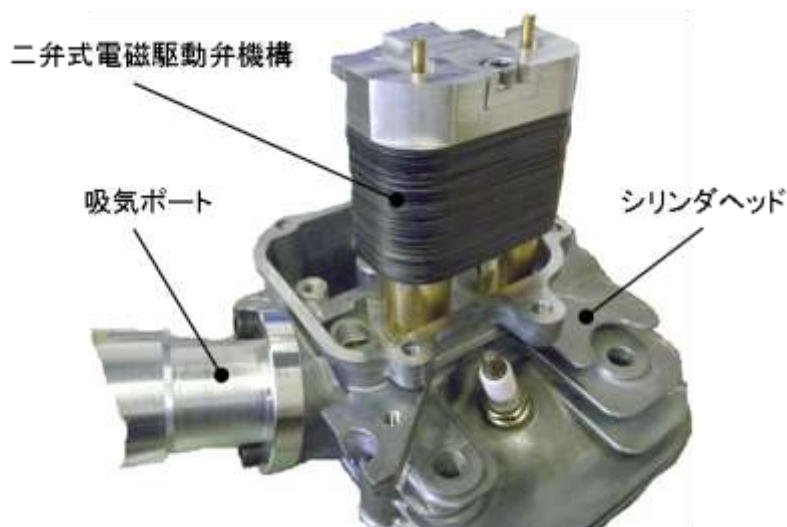


図 5.17 単気筒エンジンへ搭載した電磁駆動弁機構

## (2) 4気筒ディーゼルエンジンへの搭載

ディーゼルエンジンは、圧縮比を高めるために、吸気・排気弁間に挟み角を設けておらず、弁が垂直に配置されて、動弁機構の搭載スペースがガソリンエンジンと比較すると小さく、ディーゼルエンジンに搭載することができれば、同じサイズ（排気量）のガソリンエンジンにも本研究で提案する電磁駆動弁機構が搭載可能であると考えた。

図 5.18 に製作したエンジン・シリンダヘッドを示す。使用したエンジンは、排気量が 3,000cc の 4 気筒で、1 気筒あたり 4 弁を持ち計 16 弁である。

搭載にあたり、カム軸やそれを保持する部品を除し、そのスペースに取り付けることができた。上述したように、SFJ 自動車には 16 弁を持つ 4 気筒エンジンが多く使用されている。本研究で得られた 4 気筒用電気駆動弁機構の基本構成は、縮小化することで SFJ 自動車用エンジンへ適用できる可能性があり、今

後の課題とする。

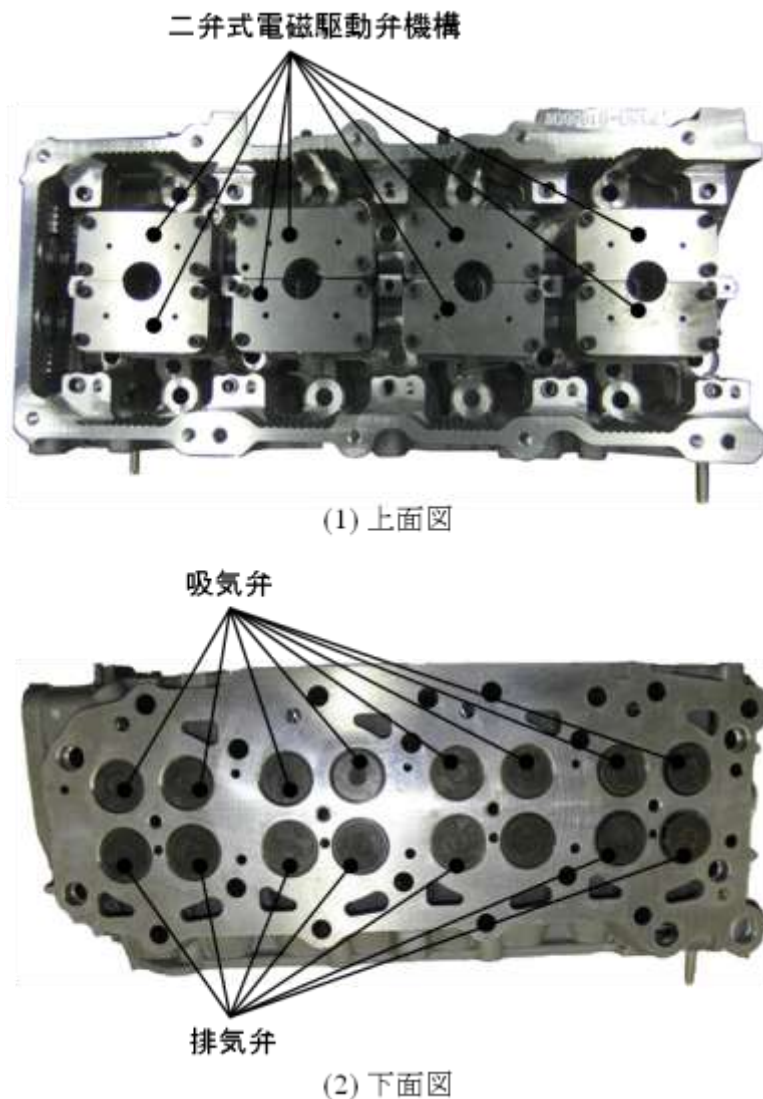


図 5.18 4気筒エンジンへ搭載した電磁駆動弁機構

#### 5.4 電磁駆動弁機構を搭載したエンジンの設計・製作システム

自動車用エンジンのシリンダヘッドは、鋳造法と機械加工を組み合わせることで製作される。鋳造工程においては、複雑なシリンダヘッドの形状を実現するために、シェルモールド鋳造法が一般的である[191]。この工法は、専用の砂を焼成

して中子を作るために、大がかりな専用の設備が必要である。したがって、大学でシェルモールド鋳造法を実施することは難しい。

また、電磁駆動弁は、それ自体を冷却する必要がある、シリンダヘッドの冷却水路の形状を従来エンジンに対して、変更することが求められる。これらの課題に対して、「消失模型鋳造法」を採用して、学生フォーミュラの授業を通して培った CAD/CAM（Computer Aided Design / Computer Aided Manufacturing）に関する技術を活用することで、大学においても、「設計（CAD）」→「中子製作（CAM）」→「砂型製作」→「鋳造」→「機械加工」を一貫して実施し、エンジンのシリンダヘッドを製作することにした[192-193]。

消失模型は、発泡剤を切削加工して、それを中子に替わるものとして、砂に埋め込むものである。したがって、大学でも比較的簡単に製作が可能である。また、設計変更が生じた際には、CAD により作成した図面データを変更し、消失模型を作り直せば、設計変更仕様品を製作できる。これらの理由により、「消失模型鋳造法」を採用することにしたのである。

#### 5.4.1 CAD を活用したシリンダヘッドの設計

シリンダヘッドの設計にあたり、その設計方針を次のように定めた。

- ① シリンダへの吸気と排気の出入口（ポート）形状の決定は、市販自動車用エンジンの形状を参考とし、図 5.19 に示すようにシリコン材を用いて、ポート形状を再現し、寸法を測定して CAD へ形状入力した。この方法は、自動車メーカーにおいて、競合他社のエンジンを調査する際に用いられている。
- ② 電磁駆動弁機構、燃料噴射弁と燃焼室の冷却水路を設ける。
- ③ 3次元 CAD を活用し、形状データを使って消失模型を加工する。

このようにして設計したシリンダヘッドを図 5.20 に示す。弁の配置数は、吸

気2弁，排気2弁の計4弁である．電磁駆動弁機構と燃料噴射弁，そして燃焼室の冷却水路を設けた．シリンダヘッドは筐体形状として，冷却水の流路を大きく配置し，電磁駆動弁機構の冷却が行えるように工夫している．



図 5.19 市販エンジンを使ったポート形状の再現

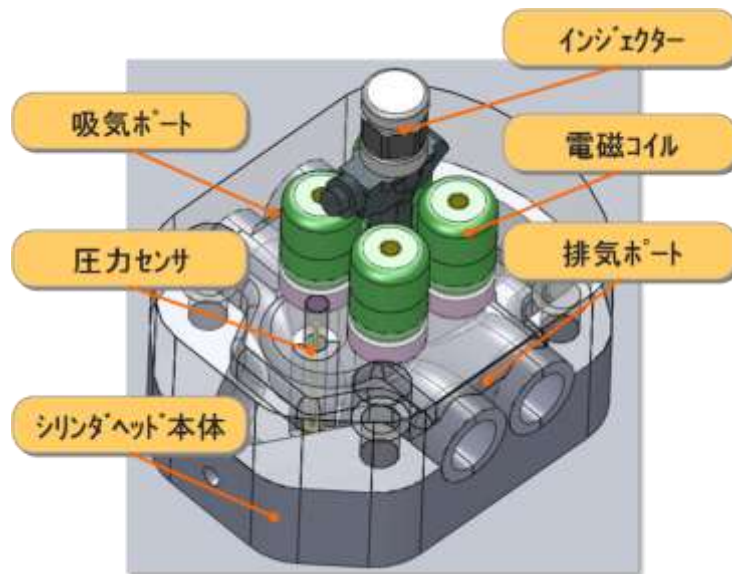


図 5.20 CAD を活用して設計したシリンダヘッド[192-193]



### 5.4.2 CAD/CAM を活用したシリンダヘッド鋳型（消失模型）の設計と製作

3次元CADで得られた形状データを加工用のデータに変換して、大学にある切削加工機を使い、消失模型を製作した。図5.21に加工中の様子、図5.22に完成した消失模型を示す。

消失模型は、シリンダヘッド本体の上下部、吸気ポート、排気ポートなどから構成される。なお、消失模型の材料は、市販の消失模型用発泡スチロールを用いた。



図 5.21 消失模型を切削加工する様子



図 5.22 完成した消失模型

### 5.4.3 「消失模型鋳造法」による電磁駆動弁搭載シリンダヘッドの製作

CAD/CAM を活用することで、加工した消失模型を鋳造用の中子に替わるものとして、これを砂型へ埋没させて鋳型を製作した。続いて、図 5.23 に示すように、溶解したアルミ材（本研究では AC4D 材を使用）を流し込み、シリンダヘッドの鋳造を実施した。

鋳造したシリンダヘッドには、機械加工を施して電磁駆動弁を搭載した。そして図 5.24 に示すような電磁駆動弁機構搭載エンジンが完成した。

CAD/CAM を活用し、消失模型鋳造法を採用することで、シェルモールド鋳造法に代わり、大学でも一気通観してシリンダヘッドの設計・製作が行える「エンジン製作システム」を確立することができた。



図 5.23 鋳造作業（鋳湯）の様子

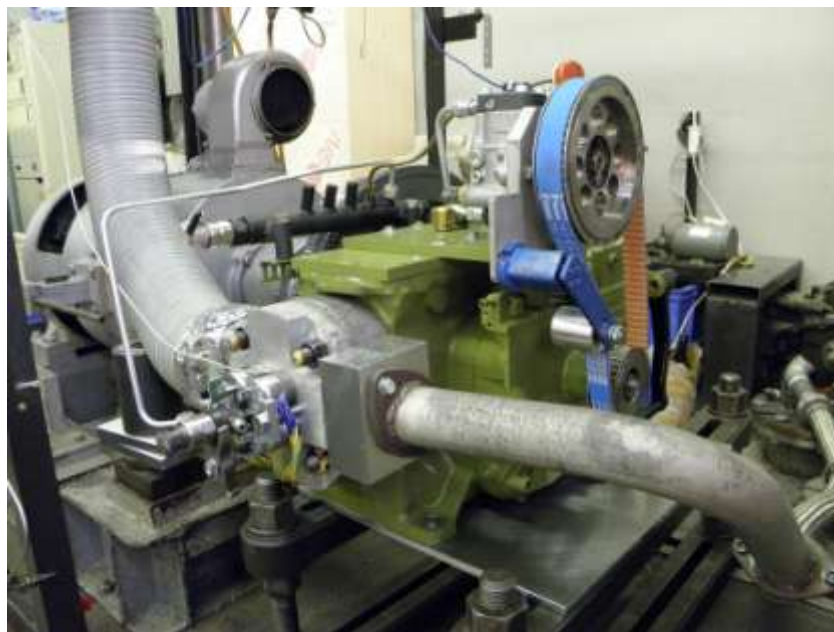


図 5.24 完成した電磁駆動弁搭載エンジンの外観[189-190]

## 5.5 まとめ

以下，本章で得られた結論を述べる．

- (1) 簡便な構造の「ソレノイド型電磁駆動弁」を提案し，高電圧を実現することができた．
- (2) 製作した実験装置により，印加電圧 140V において，弁の開口期間とリフト量を制御指令値に比例させて可変させることができた．
- (3) 圧縮比が比較的高いガソリンエンジンを想定した排気行程時の開弁性能を実証できた（印加電圧は 200V）．
- (4) 単気筒ガソリンエンジンと，弁搭載挟み角の狭い自動車用ディーゼルへ電磁駆動弁機構を搭載することができ，SFJ 自動車用エンジンへの適用可能性を示すことができた．

これら，（1）から（4）の研究成果により，本研究で提案する電磁駆動弁の自動車用エンジンへの適用可能性を示すことができた．縮小化を図ることで，学生フォーミュラ自動車用エンジンへの適用も可能である．

（5）電磁駆動弁を搭載した単気筒エンジンのシリンダヘッドを設計・製作した．電磁駆動弁を冷却する複雑な冷却水路を実現するために，学生フォーミュラ自動車の設計・製作を通して蓄積した CAD/CAM 技術を活用して消失模型を製作し，「消失模型鋳造法」と機械加工により，電磁駆動弁搭載エンジンの製作システムを示すことができた．

上述した（5）の成果より，電磁駆動弁を搭載するエンジンの設計・製作を行う工程を確立することができ，学生によるエンジン・シリンダヘッドの製作が可能となった．

## 第6章 結論と今後の展望

### 6.1 結論

本研究は、学生が1年間で小型フォーミュラ自動車を設計・製作・試験を行い、その成果を競う学生フォーミュラ大会への参加を前提とする活動を学科目として構築して、その成果を実証することを目的としたものである。

学科目として構築するために、これまで学生フォーミュラ活動の中では助言者として曖昧であった教員の立場を、「責任を持ち学科目の指導を行う」と定義し、日本発のプロジェクトマネジメント手法であるP2Mを適用して、自動車を設計・製作・試験する授業をデザインした。続いて、授業を実践して、適時有用な教育的施策を実施した結果、学生が設計・製作した自動車が完成し、大会へ出場して一定の成果を残すことができ、自動車を設計・製作・試験する工程を通して、工学的な学びを効果的に得ることができることを明らかにした。

続いて、自動車を完成させるまでの過程を通じた授業がマンネリズム化を起こさないように、活動目標を学生に立案させる、海外大会へ出場する、などの施策を行った。その結果、マンネリズム化を起こすことなく、引き続き自動車が完成し、大会へ出場して成績を残すことができ、構築した授業が継続できることを明らかにした。

さらに、これまで行われていなかった学生フォーミュラ自動車用エンジンの動弁系装置の先行開発を行い、その実現の可能性を示し、必要な工学教育について明らかにすることができた。

## 6. 2 今後の課題と展望

第2章で述べたように、米国では工学教育分野において実践的な技術育成プログラムの1つとして、米国自動車技術会 SAE International が学生フォーミュラ Formula SAE を創設した。自動車という工業製品を題材として扱うので、その実践的な教育価値が認められ、世界各地で Formula SAE に準拠した大会が開催されるようになった。

米国では、SAE International が主催する実践的な教育プログラムは、Formula SAE に留まらず、現在では、CDS : Collegiate Design Series として、未舗装路を走破する1人乗りバギー自動車 (Baja SAE)、雪上を高速走行するスノーモビル (SAE Clean Snowmobile)、燃費競技自動車 (SAE Supermileage)、また、模型飛行機を題材にした競技 (SAE Aero Design) が SAE International により統括されている。

日本国内でも、学生フォーミュラだけに留まらず、学生の選択肢を増やすという観点から、米国のように多彩な実践的な教育プログラムが実施されてもいいのではないかと考える。今後、筆者は CDS を参考にして、新たな教材を開発して、それを工学教育の中で行うことが課題だと考えている。また、米国と日本では、大学における工学教育の体系が必ずしも同じではないので、日本の教育事情に適合させることが大切であり、本論文で提案するようなプロジェクトマネジメント手法を適用した学科目の授業デザインと実践は、1つの指針を示したものと考えてる。

## 参考文献

## 第 1 章

- [1] 国立社会保障・人口問題研究所：日本の将来推計人口  
(平成 24 年 1 月推計),  
<http://www.ipss.go.jp/syoushika/tohkei/newest04/point.pdf>  
(参照日 2014 年 12 月 6 日)
- [2] 平野重雄, 喜瀬晋, 関口相三, 奥坂一也：ものづくりのための企業内教育－リーマンショック後の機械系新入社員の研修体制－, 平成 25 年度工学教育研究講演会講演論文集, pp.552-553, 日本工学教育協会 (2013)
- [3] 日本工業大学：機械工学科カリキュラム表, 日本工業大学ホームページ,  
[http://www.nit.ac.jp/gakka/pdf/7gakka/curri\\_m\\_140730.pdf](http://www.nit.ac.jp/gakka/pdf/7gakka/curri_m_140730.pdf)  
(参照日 2014 年 11 月 12 日)
- [4] 日本技術者教育認定機構：JABEE と認定制度, 日本技術者教育認定機構ホームページ, [http://www.jabee.org/about\\_jabee/](http://www.jabee.org/about_jabee/)  
(参照日 2015 年 1 月 10 日)
- [5] 辻高明：FD とプロジェクトマネジメント, 研究発表大会予稿集 2010 (春季), pp.201-208, 国際 P2M 学会 (2010)
- [6] 小淵高志：大学教育とファカルティ・デベロップメントの方法論的検討, 明星大学社会学研究紀要, No.34, pp.77-102, 明星大学人文学部人間社会学科 (2014)
- [7] 西村秀雄：カリキュラムマップを活用した技術者倫理教育の実質化を目指して, 電気学会研究会資料, Vol.35, No.46, pp.35-40, 電気学会 (2012)
- [8] 井上史子, 沖裕貴, 林徳治, 安岡高志, 江原武一：実践的 FD プログラムの開発－新任教員対象実践的 FD プログラムモデルの展開と評価－, 年会論文集 (26), pp.106-109, 日本教育情報学会 (2010)

- [9] 森勝行, 中島守: 授業の自己点検によるファカルティ・デベロップメントービデオ撮影による授業評価を通じた改善効果ー, 平成 24 年度工学教育研究講演会講演論文集 (60), pp.2-3, 日本工学教育協会 (2012)
- [10] 篠田庄司: 工学教育の未来に向けての変化, 電子情報通信学会基礎・境界ソサイエティ Fundamentals Review, Vol.2, No.3, pp.4-18, 電子情報通信学会 (2008)
- [11] 日本技術者教育認定機構: 教育の質保証とエンジニアリング・デザイン教育について, 日本技術者教育認定機構, <http://www.jabee.org> (参照日 2014 年 11 月 4 日)
- [12] 日本応用地質学会技術者教育委員会: JABEE 国際シンポジウム「技術者教育とエンジニアリングデザイン」参加報告, 応用地質, Vol.46, No.1, p.58, 日本応用地質学会 (2005)
- [13] 日本技術者教育認定機構: JABEE 国際シンポジウム「技術者教育とエンジニアリングデザイン」共通認識, 日本技術者教育認定機構ホームページ, [http://www.jabee.org/public\\_doc/download/?docid=346](http://www.jabee.org/public_doc/download/?docid=346) (参照日 2015 年 1 月 10 日)
- [14] 出村公成, 谷正史, 服部陽一: 夢考房プロジェクトのオリジナリティと評価, 金沢工業大学紀要工学教育研究, No.11, pp.21-36, 金沢工業大学 (2006)
- [15] 服部陽一, 松石正克, 谷正史: 工学設計とその課外活動環境, 工学教育, Vol.54, No.2, pp.3-8, 日本工学教育協会 (2006)
- [16] 石川憲一, 谷正史: 夢考房知的な感性工作空間, 日本機械学会誌, Vol.98, No.923, pp.819-821, 日本機械学会 (1995)
- [17] 千徳英一: ものづくりを支援する夢考房プロジェクト, システム・情報部門学術講演会講演論文集, Vol.2003, pp.95-98, 計測自動制御学会 (2003)
- [18] 出村公成: 夢考房の教育形態, 平成 16 年度工学・工業教育研究講演会講演論文集, pp.39-40, 日本工学教育協会 (2004)



- [19] 浅野泰樹, 坂本巧: 夢考房の紹介と仕組みについて, 情報処理学会研究報告, Vol.2013, No.18, pp.1-6, 情報処理学会 (2013)
- [20] 自動車技術会: 全日本学生フォーミュラ大会ホームページ, <http://www.jsae.or.jp/formula/jp/> (参照日 2014年12月20日)
- [21] 自動車技術会: 第12回全日本学生フォーミュラ大会開催結果, <http://www.jsae.or.jp/formula/jp/12th/result.html>  
(参照日 2014年12月20日)
- [22] 2014 Formula SAE Rules, 全日本学生フォーミュラ大会, [http://students.sae.org/cds/formulaseries/rules/2014\\_fsae\\_rules.pdf](http://students.sae.org/cds/formulaseries/rules/2014_fsae_rules.pdf), 自動車技術会 (参照日 2014年12月20日)
- [23] 上智大学 Sophia Racing ホームページ: チーム紹介, <http://www.sophi-racing.com/sr/index.html>  
(参照日 2014年11月12日)
- [24] 金沢大学 Formula R&D ホームページ, チーム紹介, <http://www.kanazawa-formula.com/> (参照日 2014年11月12日)
- [25] 東京大学フォーミュラファクトリーホームページ: チーム紹介, <http://utff.com/modules/pico/index.php/content0001.html>  
(参照日 2014年11月12日)
- [26] 大阪大学 Formula RACING Club, ホームページ: What's OFRAC!?, <http://ofrac.net/whatsofrac.html>  
(参照日 2014年11月12日)
- [27] 京都大学フォーミュラプロジェクト KART: KART について, [http://www.formula-kart.org/about\\_us/](http://www.formula-kart.org/about_us/) (参照日 2014年11月12日)
- [28] 京都工芸繊維大学 KIT Formula SAE Project Team "Grandelfino": <http://www.grandelfino.net/grandelfino/>  
(参照日 2014年11月12日)
- [29] 名古屋大学フォーミュラチームホームページ:  
<http://nagoya.fem.jp/fem/team.html> (参照日 2014年11月12日)
- [30] 石濱正男, 飯塚真吾, 棚橋一雄, 髭内亜季, 福田真弓: 超軽量スペースフレーム車体の最適設計: 日本機械学会 Dynamics and

Design Conference 2002 CD-ROM 論文集, 日本機械学会 (2002)

[31] 石濱正男: 学生フォーミュラ開発競争における工学教育, エンジンテクノロジーレビュー, Vol.7, No.3, pp.76-80, 養賢堂 (2005)

[32] 若林克彦, 児玉知明, 本田康裕: フォーミュラ SAE 競技車両の設計・製作および競技会参加型ものづくり実践プロジェクト教育ー競技車両の設計・製作・改良によるものづくり創生教育ー, 平成 18 年度工学・工業教育研究会講演論文集, pp.98-99, 日本工学教育協会 (2006)

[33] 本田康裕, 児玉知明, 若林克彦: フォーミュラ SAE 競技車両の設計・製作および競技会参加型ものづくり実践プロジェクト教育ー6 年間一貫教育によるものづくり教育を通じての開発と研究能力の創生ー, 平成 18 年度工学・工業教育研究会講演論文集, pp.648-649, 日本工学教育協会 (2006)

[34] 河原伸幸, 塚本真也, 吉田寛: フォーミュラカー製作を通じた実践的ものづくり教育, 平成 18 年度工学・工業教育研究会講演論文集, pp.100-101, 日本工学教育協会 (2006)

[35] 榎本啓士, 元井博康, 中尾仁, 福永洋輔, 西村大志, 北本寛, 森田浩也: 第 3 回全日本学生フォーミュラ大会優勝車輜 (KF2005) 設計概要, エンジンテクノロジーレビュー, Vol.8, No.2, pp.68-75, 養賢堂 (2006)

[36] 宮崎智博, 飯島敏雄, 向井恒三郎: 長期のフォーミュラカーづくりプロジェクトとチャレンジ精神の涵養, 平成 19 年度工学・工業教育研究会講演論文集, pp.150-151, 日本工学教育協会 (2007)

[37] 元井博康, 榎本啓士, 高橋恭平, 稗田登, 家城雅彦: F-SAE 参戦車輜用過給機付きエンジンの開発, 日本機械学会北陸信越支部第 44 期総会・講演会講演論文集, pp.289-290, 日本機械学会 (2007)

[38] 井上豪, 田中慎也, 武下肇, 水野恵太, 稲井麻美子, 池内祥人, 生原尚季, 奥西晋一, 松本佳幸, 久掘拓人, 人見崇史: 大阪大学フォーミュラチームにおけるフォーミュラ車両の開発ー「走

- る・曲がる・止まる」for the next stage－，日本機械学会第 18 回設計工学・システム部門講演会 CD-ROM 論文集，pp.354-356，日本機械学会（2008）
- [39] 草加浩平：全日本学生フォーミュラ大会優勝までの軌跡－第 1 報 独創的車両での勝利まで－，エンジンテクノロジーレビュー，Vol.2，No.1，pp.46-52，養賢堂（2010）
- [40] 草加浩平：全日本学生フォーミュラ大会参加を通じたものづくり教育，平成 23 年度工学・工業教育研究会講演論文集，pp.498-499，日本工学教育協会（2011）
- [41] 草加浩平：学生フォーミュラ大会参加を通じた新技術開発による人材育成とその効果，工学教育，Vol.59，No.4，pp.99-104，日本工学教育協会（2011）
- [42] 草加浩平：サイドエンジンフォーミュラカー優勝までの軌跡－物真似でない開発を体験させる教育－，設計工学，Vol.46，No.10，pp.20-29，日本設計工学会（2011）
- [43] 岩崎成記：全日本学生フォーミュラ大会優勝までの軌跡－第 2 報 学生フォーミュラにおけるエンジン開発－，エンジンテクノロジーレビュー，Vol.2，No.2，pp.81-85，養賢堂（2010）
- [44] 浜野友紀，鈴木健太，雑賀高：工学院大学 GE 学部におけるエンジニアリングデザイン教育，平成 22 年度工学・工業教育研究会講演論文集，pp.344-345，日本工学教育協会（2010）
- [45] 石田惇師，青木幹太：デザインと工学の連携によるフォーミュラカーの開発，日本デザイン学会研究発表大会概要集，pp.16-17，日本デザイン学会（2010）
- [46] 鈴木隆：フォーミュラ競技車両の設計製作教育について，設計工学，Vol.46，No.10，pp.7-12，日本設計工学会（2011）
- [47] 川口隆史，狩野芳朗：自動車システム開発工学科の設計製作教育，設計工学，Vol.46，No.10，pp.30-37，日本設計工学会（2011）
- [48] 新井敏夫，雑賀高：全日本学生フォーミュラ大会における車両マーケティングに関する MOT 教育－フォーミュラカーの事業

- 化まで見据えた MOT 教育の事例報告ー，平成 23 年度工学・工業教育研究会講演論文集，pp.688-689，日本工学教育協会（2011）
- [49] 川原万人，石井友之，江川庸夫，宮本昌幸，松村誠，亀井延明：学生フォーミュラチーム FA の助言要領，明星大学研究紀要【情報学部】Vol.20，pp.119-122，明星大学（2012）
- [50] 下山修：大学における実践的機械設計教育，設計工学，Vol.48，No.5，pp.26-30，日本設計工学会（2013）
- [51] 米国プロジェクトマネジメント協会（PMI：Project Management Institute）編著：プロジェクトマネジメント知識体系ガイド（PMBOK ガイド）第 4 版，PMI 日本支部（2009）
- [52] 本間利久，永谷裕子：PM 国際教育プログラムの比較調査研究，平成 23 年度工学教育研究講演会論文集，pp.456-457，日本工学教育協会（2011）
- [53] 井上雅裕，泉田浩二，泉澤聖一，富樫晃，十返文子，永谷裕子：プロジェクトマネジメント中等教育に対する PMI 日本支部の調査，工学教育，Vol.60，No.4，pp.123-128，日本工学教育協会（2012）
- [54] 永谷裕子，平石謙治：PMBOK ガイドの日本での適応ー日米の組織文化的背景で PMBOK ガイドを紐解くー，プロジェクトマネジメント学会誌，Vol.15，No.1，pp.3-7，プロジェクトマネジメント学会（2013）
- [55] 立川結貴，丸山広，中村太一：PMBOK シミュレータによるプロジェクトマネジメント教育，平成 25 年度工学教育研究講演会論文集，pp.252-253，日本工学教育協会（2013）
- [56] 三雲明，立川結貴，大澤裕季，首藤亮，菅原雅彦，山本龍登，中村太一：PMBOK シミュレータによるプロジェクトマネジメント教育支援システム，プロジェクトマネジメント学会 2013 年度春季研究発表大会講演論文集，pp.283-288，プロジェクトマネジメント学会（2013）
- [57] 斉藤学：PMI 日本支部におけるプロジェクトマネジメント教育の取り組み，平成 25 年度工学教育研究講演会講演論文集，

pp.542-543, 日本工学教育協会 (2013)

[58] 永地恒一：企業内プロジェクトマネジメント教育の現状と今後の課題，平成 25 年度工学教育研究講演会論文集，pp.538-539，日本工学教育協会 (2013)

[59] 青木克比古：プロジェクトマネージメントの発想を取り入れた新しい授業法，工学教育，Vol.50，No.3，pp.93-97，日本工学教育協会 (2002)

[60] 廣田豊彦：情報システム開発教育におけるプロジェクト管理（開発プロジェクト管理，プロジェクト管理とモニタリング，一般），電子情報通信学会技術研究報告（KBSE），知能ソフトウェア工学，Vol.107，No.540，pp.55-60，電子情報通信学会 (2008)

[61] 横山真一郎：プロジェクトマネジメントのための基礎教育，工学教育，Vol.61，No.5，pp.10-15，日本工学教育協会 (2013)

[62] 田中和夫，小原重信：建築リニューアル市場のサービスモデルの研究－建築所有者と建設業の視点から－，国際 P2M 学会誌，Vol.1，No.1，pp.111-120，国際 P2M 学会 (2006)

[63] 山本秀男，吉川厚：ナラティブアプローチを用いたマンガ研修教材の評価，国際 P2M 学会誌，Vol.3，No.1，pp.73-81，国際 P2M 学会 (2008)

[64] 山本秀男，吉川厚，小川美香子，折田明子：マンガ教材を用いたアドバンスト・ケース研修の構想，国際 P2M 学会誌，Vol.3，No.2，pp.87-95，国際 P2M 学会 (2009)

[65] 岩木一巳：医薬開発における資源調達マネジメント，国際 P2M 学会誌，Vol.3，No.1，pp.169-178，国際 P2M 学会 (2008)

[66] 小松昭英：医薬開発プロジェクトの経済性評価，国際 P2M 学会誌，Vol.2，No.2，pp.89-101，国際 P2M 学会 (2008)

[67] 小松昭英：製薬事業のビジネスアセスメント，国際 P2M 学会誌，Vol.3，No.2，pp.17-25，国際 P2M 学会 (2009)

[68] 野地英昭，佐藤秀明，亀山秀雄：ロジックモデルとバランススコアカードの有効性について，国際 P2M 学会誌，Vol.4，No.1，

pp.73-82, 国際 P2M 学会(2009)

[69] 中山政行, 亀山秀雄: P2M 理論を応用した地域活性化環境プラットフォーム構築, 国際 P2M 学会誌, Vol.5, No.2, pp.53-62, 国際 P2M 学会(2011)

[70] 野地英昭, 中山政行, 亀山秀雄: P2M からみた社会的環境プラットフォーム構築へのアプローチ, 国際 P2M 学会誌, Vol.6, No.1, pp.141-153, 国際 P2M 学会(2011)

[71] 中山政行, 野地昭英, 林和希, 十河直人, 亀山秀雄: P2M プラットフォームマネジメントによる地域活性化の事例分析, 国際 P2M 学会誌, Vol.8, No.2, pp.71-82, 国際 P2M 学会(2014)

[72] 野地英昭, 田隅紀, 中山政行, 亀山秀雄: 産学官連携テーマにおけるスキームモデルリスクマネジメント, 研究発表大会予稿集 2010 (春季), pp.55-64, 国際 P2M 学会 (2010)

[73] 高橋正彦, 亀山秀雄: 水道施設の更新におけるアセットマネジメント及び P2M 手法適用の考察, 国際 P2M 学会誌, Vol.5, No.1, pp.53-63, 国際 P2M 学会(2010)

[74] 高橋正彦, 亀山秀雄: 水道職員教育訓練プログラム開発における P2M 理論の適用, 国際 P2M 学会誌, Vol.8, No.2, pp.155-168, 国際 P2M 学会(2014)

[75] 佐藤達男: これからの IT 業界における P2M の有効性と課題について, 国際 P2M 学会誌, Vol.5, No.1, pp.171-180, 国際 P2M 学会 (2010)

[76] 佐藤達男, 亀山秀雄: P2M 理論による IT サービス産業の水平連携プラットフォームの構築, 国際 P2M 学会誌, Vol.6, No.2, pp.113-126, 国際 P2M 学会 (2012)

[77] 佐藤達男, 亀山秀雄: P2M におけるバランス・スコアカード適用による統合リスクマネジメントの検討ー高度化する IT システムのトラブル事例への対応ー, 国際 P2M 学会誌, Vol.7, No.1, pp.49-59, 国際 P2M 学会 (2012)

[78] 中村明, 亀山秀雄, 小原重信: ODA 事業におけるステーク

ホルダーマネジメントの実践構造化－環境社会配慮における合意形成プロセスの最適化－, 国際 P2M 学会誌, Vol.6, No.1, pp.15-28, 国際 P2M 学会(2011)

[79] 中村明, 亀山秀雄, 小原重信: 開発途上国における開発計画策定支援の意義とその実行への PPP 適用に関する研究－3S モデルによる開発プロセスの適正化－, 国際 P2M 学会誌, Vol.6, No.1, pp.113-127, 国際 P2M 学会(2011)

[80] 中村明, 亀山秀雄: 日本の国際緊急援助におけるプラットフォーム形成－緊急時ミッション達成の多様な人材ビルディング－, 国際 P2M 学会誌, Vol.8, No.1, pp.99-113, 国際 P2M 学会(2013)

[81] 山本佳世子, 亀山秀雄: 大学発ベンチャーと製造業とのかわりにおける P2M コミュニケーションマネジメント, 国際 P2M 学会誌, Vol.5, No.2, pp.115-126, 国際 P2M 学会(2011)

[82] 和田義明, 亀山秀雄, 中村昌允: 企業 R&D におけるプラットフォームマネジメントの実践, 国際 P2M 学会誌, Vol.6, No.2, pp.99-111, 国際 P2M 学会(2012)

[83] 和田義明, 亀山秀雄: 企業における研究開発プロセス手法の考察, 国際 P2M 学会誌, Vol.7, No.2, pp.75-85, 国際 P2M 学会(2013)

[84] 栗原崇, 伊藤公紀, 亀山秀雄: 気候変動問題に適用し得る東洋型リスクマネジメントの考察, 国際 P2M 学会誌, Vol.7, No.1, pp.61-72, 国際 P2M 学会(2012)

[85] 小川隆雄, 栗原崇, 伊藤公紀: 気候変動対策への P2M 適用に関する考察－ISO 認証制度を活用した MRV スキームモデルの構築－, 国際 P2M 学会誌, Vol.8, No.2, pp.45-55, 国際 P2M 学会(2014)

[86] 栗原崇, 伊藤公紀: 気候変動マネジメントにおけるシナリオ・プランニング理論の展開, 国際 P2M 学会誌, Vol.8, No.2, pp.169-182, 国際 P2M 学会(2014)

[87] 菅谷茂, 西尾雅年: P2M に基づく大学環境での人材育成プログラムの実践, 国際 P2M 学会誌, Vol.3, No.1, pp.137-146, 国際

## P2M 学会(2008)

- [88] 真原友春, 田隅広紀, 西尾雅年: ロジックモデルとバランススコアカードを活用した卒業研究支援, 国際 P2M 学会誌, Vol.5, No.1, pp.161-170, 国際 P2M 学会(2010)
- [89] 高野渉, 田隅広紀, 西尾雅年: P2M に基づくゼミ運営プログラムの実践, 国際 P2M 学会誌, Vol.5, No.1, pp.151-160, 国際 P2M 学会(2010)
- [90] 田隈広紀, 西尾雅年, 亀山秀雄: 集団活動でのロジックモデル利用の模擬実験と研究支援システムの発展性検討, 国際 P2M 学会誌, Vol.4, No.2, pp.61-72, 国際 P2M 学会(2010)
- [91] 小原重信, 亀山秀雄: P 2 M 理論を適用した環境プロジェクトマネジメントと大学院教育, 国際 P2M 学会誌, Vol.7, No.1, pp.83-96, 国際 P2M 学会 (2012)

## 第 2 章

- [92] 岡崎昭仁: 大学教育における学生フォーミュラ活動への P2M の実践, 国際 P2M 学会誌, Vol.7, No.2, pp.112-127, 国際 P2M 学会 (2013)
- [93] 自動車技術会: 全日本学生フォーミュラ大会ホームページ, <http://www.jsae.or.jp/formula/jp/>, 自動車技術会(参照日 2014.11.4)
- [94] John Stephens, William Shapton: Mini-Baja 1977 An Overview, SAE Technical papers 780241, SAE International (1978)
- [95] SAE International: SAE Collegiate Design Series, <http://students.sae.org/cds/formulaseries/cdshistory.htm>  
(参照日 2014 年 12 月 20 日)
- [96] Formula Student Team Delft: <http://fsteamdelft.nl/en/>  
(参照日 2014 年 12 月 20 日)
- [97] 全日本 F3 選手権大会: 全日本 F3 選手権大会ホームページ, <http://www.j-formula3.com/about/about2.html> (参照日 2014 年 11 月



4 日)

[98] Japan Race Promotion Inc. : スーパーフォーミュラホームページ, <http://superformula.net/sf/about/> (参照日 2014 年 11 月 4 日)

[99] Johnson M. : - Engineers for the Next Century - Mobility Industry Verification of ABET's Criteria 2000, SAE Technical Papers 980662, SAE International (1998)

[100] Winfred M. Philips, George D. Peterson, Kathryn B. Aberle : Quality Assurance for Engineering Education in a Changing World, Int. J. Egnog Ed. , Vol.16, No.2, pp.97-103, TEMPUS Publications (2000)

[101] Formula SAE Series : SAE International, [http://students.sae.org/cds/formula series/](http://students.sae.org/cds/formula%20series/) (参照日 2014 年 12 月 20 日)

[102] Formula SAE Electric : SAE International, [http://students.sae.org/cds/formula series/electric/](http://students.sae.org/cds/formula%20series/electric/) (参照日 2014 年 12 月 20 日)

[103] Formula Student 2013 Overall Results : International Mechanical Engineers, [http://events.imeche.org/docs/default-source/results-2013/fs\\_uk\\_2013-overall.pdf?sfvrsn=2](http://events.imeche.org/docs/default-source/results-2013/fs_uk_2013-overall.pdf?sfvrsn=2) (参照日 2014 年 12 月 20 日)

[104] Formula Student 2014 Overall Results : International Mechanical Engineers, [http://events.imeche.org/docs/default-source/Results-2014/fs\\_uk\\_2014---overall-issue2.pdf?sfvrsn=0](http://events.imeche.org/docs/default-source/Results-2014/fs_uk_2014---overall-issue2.pdf?sfvrsn=0) (参照日 2014 年 12 月 20 日)

[105] Formula Student Germany 2014 Overall Results : Formula Student Germany, <https://www.formulastudent.de/fsc/2014/results/#c2768> (参照日 2014 年 12 月 20 日)

[106] Formula SAE Australasia ( FSAE-A ) : SAE Australasia , <https://www.facebook.com/FSAEAustralasia>

- (参照日 2014 年 12 月 25 日)
- [107] SAE International : 2015 Formula SAE Rules,  
[http://students.sae.org/cds/formulaseries/rules/2015-16\\_fsae\\_rules.pdf](http://students.sae.org/cds/formulaseries/rules/2015-16_fsae_rules.pdf) , pp.100-101, SAE International  
(参照日 2015 年 1 月 10 日)
- [108]自動車技術会 : 第 12 回全日本学生フォーミュラ大会開催結果,  
<http://www.jsae.or.jp/formula/jp/12th/result.html>  
(参照日 2014 年 12 月 20 日)
- [109] SAE Faculty Advisors : SAE International, <http://www.sae.org/about/board/committees/facadv.htm> (参照日 2014 年 12 月 20 日)
- [110] SAE International : 2015 Formula SAE Rules,  
[http://students.sae.org/cds/formulaseries/rules/2015-16\\_fsae\\_rules.pdf](http://students.sae.org/cds/formulaseries/rules/2015-16_fsae_rules.pdf) , p.10, SAE International  
(参照日 2015 年 1 月 10 日)
- [111] 下川浩一 : グローバル経済の変貌と世界自動車市場の新動向, 自動車技術, Vol.68, No.10, pp.4-11, 自動車技術会 (2014)
- [112] 小林哲也 : 日本自動車産業における「開発の現地化」の動向に関する考察, 機械経済研究, No.38, pp.71-75, 機械振興協会 (2007)
- [113] 目代武史, 岩城富士大 : 新たな車両開発アプローチの模索 - VW MQB, 日産 CMF, マツダ CA, トヨタ TNGA -, 赤門マネジメント・レビュー, Vol.12, No.9, pp.613-652, 東京大学大学院経済学研究科 ABAS/AMR 編集委員会 (2013)
- [114] 小原編著 : プロジェクト&プログラム標準ガイドブック上巻プログラムマネジメント編, 第 1 版第 4 刷, PHP研究所, p. 75 (2006)
- [115] 国際 P2M 学会 : 学会設立の趣旨,  
[http://www.iap2m.org/p2m\\_top.html](http://www.iap2m.org/p2m_top.html) (参照日 2014 年 12 月 20 日)
- [116] 国際 P2M 学会 : P2M Version 2.0 コンセプト基本指針,  
<http://www.iap2m.org/pdf/p2mconcept200906.pdf>  
(参照日 2014 年 12 月 20 日)
- [117] 吉田邦夫, 山本秀男編著 : 実践プログラムマネジメント,

pp.22-23, 日刊工業新聞社 (2014)

[118] 革新的研究開発推進プログラムの概要について：内閣府,  
<http://www8.cao.go.jp/cstp/sentan/kakushintekikenkyu/outline.pdf>

(参照日 2014 年 12 月 20 日)

[119] 小原重信：「P2M の実践有効性見解と学際研究認識論の提唱」  
－知識体系を進化させる実践と理論の接点を探る－, 国際 P2M 学  
会誌, Vol.3, No.2, pp.1-15, 国際 P2M 学会 (2009)

[120] 山本秀男：イノベーションプログラムのマネジメントに関  
する考察, 研究発表大会予稿集 2013 (秋季) pp.164-174, 国際 P2M  
学会 (2013)

[121] 山本秀男：イノベーションプログラムのマネジメントに関  
する考察, 国際 P2M 学会誌, Vol.8, No.2, pp.123-133, 国際 P2M  
学会 (2014)

[122] 小原重信, 亀山秀雄：P2M 理論を適用した環境プロジェク  
トマネジメントと大学院教育～プロジェクトガナバンス前提と創  
造的統合マネジメントツール, 国際 P2M 学会論文誌, Vol.7, No.1,  
pp.83-96, 国際 P2M 学会 (2012)

[123] 岡崎昭仁, 川治孝之, 青山勇, 河野司朗, 竹田雅巳, 三宅  
博, 宮田達司：電気二重層キャパシタを用いた小型燃料電池車の  
開発, 平成 19 年度電気学会産業応用部門大会講演論文集, No.2-4,  
電気学会 (2007)

[124] 岡崎昭仁：村文化組織からグローバル化への提案－ある会  
社の先行開発組織, 国際 P2M 学会春季研究発表大会予稿集,  
pp.11-15, 国際 P2M 学会 (2011)

[125] 岡崎昭仁：大学教育における学生フォーミュラ活動への  
P2M の適用, 国際 P2M 学会第 14 回秋季研究発表大会予稿集,  
pp.124-133, 国際 P2M 学会 (2012)

### 第 3 章

[126] 岡崎昭仁：草創期の学生フォーミュラと工学教育への適用,  
技術史教育学会誌, Vol.16, No.2, pp.6-11, 日本技術史教育学会

(2014)

[127] 日本工業大学：特色 GP 工房教育プログラムの概要，文部科学省特色ある大学教育支援プログラム（特色 GP）7つの工房によるカレッジマイスターの養成事業報告書，pp.2-11，日本工業大学（2009）

[128] 二ノ宮進一，森山富治男，石井治実，渡邊歩，望月孝，足立久則，村串晃，石井進，田中博：カレッジマイスター「機械加工工房」活動報告，日本工業大学研究報告，Vol.44，No.3，pp.27-30，日本工業大学（2014）

[129] 大寄越彦，長坂保美：型技術工房の概要と活動，文部科学省特色ある大学教育支援プログラム（特色 GP）7つの工房によるカレッジマイスターの養成事業報告書，pp.26-29，日本工業大学（2009）

[130] 小倉勝：エンジン工房教育プログラム，文部科学省特色ある大学教育支援プログラム（特色 GP）7つの工房によるカレッジマイスターの養成事業報告書，pp.30-34，日本工業大学（2009）

[131] 岡崎昭仁：フォーミュラ工房教育活動の改善，日本工業大学研究報告，Vol.41，No.2，pp.9-10，日本工業大学（2011）

[132] 日本工業大学授業計画／シラバス（平成 23 年度）工房科目：日本工業大学ホームページ，日本工業大学，  
<http://www.nit.ac.jp/gakka/pdf/syllabus2011/koubou.pdf>

（参照日 2014 年 12 月 20 日）

[133] 岡崎昭仁：学生フォーミュラ初参戦年におけるものづくり教育，日本工学教育協会研究講演会講演論文集，pp.80-81，日本工学教育協会（2013）

[134] 遠又涼，小野寺星子，岡崎昭仁：学生フォーミュラ立ち上げ期における教育手法について，自動車技術会関東支部学術研究講演会論文集，CD-ROM，NO.D2-4，自動車技術会（2012）

[135] 岡崎昭仁：学生フォーミュラ大会参加車両の考察と参加車両への適用，日本技術史教育学会 2013 年度総会・研究発表講演論

- 文集, pp.7-9, 日本技術史教育学会 (2013)
- [136] 水野和敏: プロジェクト GT-Rー知られざる成功の真実ー, 双葉社, pp.96-97 (2009)
- [137] 岡崎昭仁: フォーミュラ工房教育プロジェクトー全日本学生フォーミュラ大会への挑戦, 日本工業大学研究報告, Vol.40, No.3, pp.527-530, 日本工業大学 (2010)
- [138] 田口直樹, 小築裕介, 佐藤竜也, 青木浩明, 岡崎昭仁: 日本工業大学 2010 学生フォーミュラ車両の開発, 自動車技術会関東支部学術研究講演会論文集, CD-ROM, NO.C2-2, 自動車技術会 (2011)
- [139] 岡崎昭仁: 学生フォーミュラ静的審査種目への MOT の適用, 日本工学教育協会研究講演会講演論文集, pp.168-169, 日本工学教育協会 (2013)
- [140] 社会人基礎力: 経済産業省ホームページ,  
<http://www.meti.go.jp/policy/kisoryoku/>(参照日 2014年 12月 20日)
- [141] 日本工業大学授業計画/シラバス (平成 23 年度) 機械工学科「メカニクス基礎演習」, 「メカニクス総合演習 I」, 「メカニクス総合演習 II」: 日本工業大学ホームページ, 日本工業大学,  
<http://www.nit.ac.jp/gakka/pdf/syllabus2013/m.pdf>  
(参照日 2014 年 12 月 20 日)
- [142] 日本工業大学授業計画/シラバス (平成 23 年度) 機械工学科「機械製図-J」, 「機械設計 I-J」, 「機械設計 II」: 日本工業大学ホームページ, 日本工業大学,  
<http://www.nit.ac.jp/gakka/pdf/syllabus2013/m.pdf>  
(参照日 2014 年 12 月 20 日)
- [143] 日本工業大学授業計画/シラバス (平成 23 年度) 機械工学科「機械 CAD-J」, 「CAD/CAM/CAE 演習 I」, 「CAD/CAM/CAE 演習 II」: 日本工業大学ホームページ, 日本工業大学,  
<http://www.nit.ac.jp/gakka/pdf/syllabus2013/m.pdf>  
(参照日 2014 年 12 月 20 日)

## 第4章

- [144] 岡崎昭仁, 小栗康文: 大学教育における学生フォーミュラ活動への P2M の実践 (第 2 報) 海外大会への挑戦, 国際 P2M 学会誌, Vol.8, No.2, pp.183-194, 国際 P2M 学会 (2014)
- [145] 小原重信編著: プロジェクト&プログラムマネジメント標準ガイドブック下巻, pp.56-68, PHP 研究所 (2003)
- [146] 亀山秀雄: ロジックモデルの歴史と P2M 理論への応用, 国際 P2M 学会春季研究発表大会予稿集, pp.170-179, 国際 P2M 学会 (2010)
- [147] 農林水産奨励会農林水産政策情報センター: ロジックモデル策定ガイド (Logic Model Development Guide, W. K. Kellogg Foundation),  
<http://www.maff.go.jp/primaff/kenkyu/gaiyo/pdf/066.pdf>,  
農林水産奨励会農林水産政策情報センター  
(参照日 2015 年 1 月 10 日)
- [148] 吉田邦夫, 山本秀男編著: 実践プログラムマネジメント, pp.52-53, 日刊工業新聞社 (2014)
- [149] 岡崎昭仁, 小栗康文: 大学教育における学生フォーミュラ活動への P2M の実践 (第 2 報) 海外大会への挑戦, 国際 P2M 学会 2013 年度秋季研究発表大会講演論文集, pp.276-287, 国際 P2M 学会 (2013)
- [150] 田口直樹, 岡田全史, 石田一貴, 小野寺星子, 岡崎昭仁: 日本工業大学 2011 学生フォーミュラ車両の開発, 自動車技術会関東支部学術研究講演会論文集, CD-ROM, NO.D2-2, 自動車技術会 (2012)
- [151] 小野寺星子, 谷江正昭, 大堀竜, 大島康彰, 岡崎昭仁: 製品造形の視点での学生フォーミュラ部品の開発, 自動車技術会関東支部学術研究講演会論文集, CD-ROM, NO.D2-1, 自動車技術

会 (2012)

[152] 全日本学生フォーミュラ大会：第9回全日本学生フォーミュラ大会開催結果（綜合成績表），

[http://www.jsae.or.jp/formula/jp/9th/docu/overall\\_result.pdf](http://www.jsae.or.jp/formula/jp/9th/docu/overall_result.pdf)

（参照日 2015年1月10日）

[153] 日本工業大学授業計画／シラバス（平成23年度）機械工学科「デザイン演習Ⅰ」，「デザイン演習Ⅱ」，日本工業大学ホームページ，日本工業大学，

<http://www.nit.ac.jp/gakka/pdf/syllabus2013/m.pdf>

（参照日 2014年12月20日）

## 第5章

[154] 岡崎昭仁，長谷川拓也，根本泰行：自動車用可変動弁機構の発達と電磁駆動弁によるカムレス化，技術史教育学会誌，Vol.16, No.1, pp29-34, 日本技術史教育学会（2014）

[155] **AKIHITO OKAZAKI**, **HIROKI SHIBASAKI**, **TAKUYA HASEGAWA** : Continuous Variable Valve Actuation Mechanism using an Electromagnetic Drive System for Internal Combustion Engines, ICESTEH 2014 Bhutan Proceedings, pp.44-51, ICESTEH 2014 (2014)

[156] 時野谷拓己，田淵堅太，吉田憲司：学生フォーミュラ車両におけるパワートレイン開発，自動車技術，Vol.68, No.9, pp.67-73, 自動車技術会（2014）

[157] Changjoo Ahn, Takashi Suzuki, Yasufumi Oguri, Hiroki Toshitani, Tatsuyoshi Nakafuku, Yusuke Nakano : An Improvement of a Small Displacement Engine's Efficiency with a Super Charging System, SAE Technical Papers 2011-32-0571, SAE International (2011)

[158] William Attard, Harry C. Watson : Development of a 430cc Constant Power Engine for FSAE Competition, SAE Technical Paper 2006-01-0745, SAE International (2006)

- [159] FIA SPORT DEPARTMENT : 2014 Technical Regulations for LMP1 Prototype, [http://www.fia.com/sport/regulations?f%5B0%5D=field\\_regulation\\_category%3A95](http://www.fia.com/sport/regulations?f%5B0%5D=field_regulation_category%3A95) (参照日 2014年10月31日)
- [160] Wikipedia : 2014 FIA World Endurance Champion season, [http://en.wikipedia.org/wiki/2014\\_FIA\\_World\\_Endurance\\_Championship\\_season#LMP1-H](http://en.wikipedia.org/wiki/2014_FIA_World_Endurance_Championship_season#LMP1-H) (参照日 2015年1月10日)
- [161] 鈴木孝 : 20世紀のエンジン史ースリーブバルブと航空ディーゼルの興亡, p.56, 三樹書房 (2001)
- [162] 鈴木孝, 有我正博 : 二次大戦中のガス電 (日立/日野)「ハ-200型」, スリーブバルブエンジン, 日本機械学会関東支部総会講演会論文集, 2004(10), pp.267-268, 日本機械学会 (2004)
- [163] A.H.R. Fedden : The Single Sleeve as a Valve Mechanism for the Aircraft Engine, SAE Technical Papers 380161, SAE International (1938)
- [164] Scott D. : Variable Valve Timing has Electronic Control, Automotive Eng, Vol.92, No.5, pp.86-87 (1984)
- [165] 中島泰夫, 村中重夫編著 : 改訂 自動車用ガソリンエンジンー研究開発技術者の基礎と実際, p.152, 山海堂 (1994)
- [166] 是松孝治, 森棟隆昭編著 : エンジンー熱と流れの工学ー, pp.135-137, 産業図書 (2005)
- [167] Luttermann C., Schünemann E., Klauer N. : Enhanced VALVETRONIC Technology for Meeting SULEV Emission Requirements, SAE Technical Paper 2006-01-0849, SAE International (2006)
- [168] 佐々木富幸, 小倉勝, 笠原倉利 : 3次元カムによる連続吸排気可変バルブタイミング機構に関する研究, 自動車技術会論文集, Vol.34, No.2, pp.51-56, 自動車技術会 (2003)
- [169] 川口洋一, 宮田和則, 小倉勝 : 三次元カムによるリフト・



- 位相独立制御可変動弁機構の開発，自動車技術会論文集，Vol.38，No.4，pp.53-58，自動車技術会（2007）
- [170] 栗城剛，Michael Hass，久保田真也：エレクトロハイドロリックフルバリアブルバルブトレインシステム，自動車技術会シンポジウム講演論文集，NO.09-10，pp.40-43，自動車技術会（2010）
- [171] 北畠亮，島崎直基，港明彦，鈴木浩高，西村輝一：油圧駆動カムレスバルブシステムの適用による予混合ディーゼル燃焼領域の拡大，自動車技術会論文集，Vol.40，No.1，pp.111-116，自動車技術会（2009）
- [172] 伊藤希，田中裕久：カムレスエンジン用電子油圧動弁の開発，自動車技術会論文集，Vol.35，No.3，pp.139-142，自動車技術会（2004）
- [173] 村田豊，吉見泰広，草鹿仁，大聖泰弘，川野大輔，鈴木央一，石井素，後藤雄一，小高松男：可変バルブ機構による高負荷ディーゼル機関のエミッション低減に関する研究，自動車技術会論文集，Vol.38，No.1，pp.157-162，自動車技術会（2007）
- [174] 新田淳一郎，島崎直基，港明彦：3段過給ディーゼル機関における排ガス燃費改善とカムレスシステムの性能評価，自動車技術会論文集，Vol.41，No.2，pp.327-332，自動車技術会（2010）
- [175] 高梨淳一，高沢正信，浦田泰弘：自在動弁系を用いた高圧縮比高効率ガソリン機関の研究，日本機械学会論文集（B編），Vol.74，No.746，pp.139-146，日本機械学会（2008）
- [176] 村田正樹，竹村昌也，森田良文，神藤久，藪見崇生：自動車エンジン用電磁駆動バルブのための磁石可動型リニア振動アクチュエータの設計，日本 AEM 学会誌，Vol.14，NO.4，pp.394-399，日本 AEM 学会（2006）
- [177] 梶原伸治：電磁駆動バルブによるエンジンの高性能化，近畿大学理工学部研究報告，No.45，pp.15-19，近畿大学（2009）
- [178] R. Uhlenbrock, J. Melbert, G. Lugert : Smart Actuator for Senseless Electromagnetic Variable Valve Actuation, SAE Technical

Paper 2001-01-3278, SAE International (2001)

[179] 鈴木昭智, 小倉勝: 電磁駆動バルブ搭載ガソリンエンジンの開発, 日本機械学会東北支部第 44 期総会・講演会論文集, pp.140-141, 日本機械学会 (2009)

[180] Formula Student Team Delft: CARS DUT14,  
<http://fsteamdelft.nl/en/cars/dut14.html> (参照日 2015.1.10)

[181] 安田善紀, 須原淳, 柳田靖人, 大山和伸, 土屋高志: 学生 EV フォーミュラ用 IPMSM のパワー密度の向上, パワーエレクトロニクス学会誌, Vol.39, pp.48-53, パワーエレクトロニクス学会 (2014)

[182] 岡崎昭仁, 小倉勝: 高電圧電磁駆動バルブの開発, 日本機械学会第 45 回東北支部総会・講演会論文集, pp.158-159, 日本機械学会 (2010)

[183] 岡崎昭仁, 小倉勝: 高電圧型電磁駆動バルブの開発, 第 22 回電磁力関連のダイナミクスシンポジウム論文集, pp.78-81, 日本 AEM 学会 (2010)

[184] **AKIHITO OKAZAKI**: Development of Electromagnetic Valve in ICE, Small Engine Technology Conference 2012(US) Proceedings, SAE Technical papers 2012-32-0058, SAE International (2012)

[185] 柴崎裕輝, 岡崎昭仁, 長谷川拓也, 小倉勝: 内燃機関における電磁駆動吸排気バルブの開発, 第 22 回内燃機関シンポジウム講演論文集, pp.443-446, 日本機械学会・自動車技術会 (2011)

[186] 柴崎裕輝, 岡崎昭仁, 小倉勝: PWM による内燃機関の電磁駆動吸排気バルブ制御, 日本機械学会関東支部第 19 期総会講演会前刷集, pp.451-452, 日本機械学会 (2013)

[187] Liu Liang, Chang Siqin: Improvement of Valve Seating Performance of Engine's Electromagnetic Valvetrain, Mechtronics, Vol.21, No.7, pp.1234-1238, ELSEVIER (2011)

[188] ヤマハ発動機: YZ450F 仕様, ヤマハ発動機ホームページ,  
<http://www.yamaha-motor.co.jp/mc/competition/yz450f/spec.html>

(参照日 2015 年 1 月 10 日)

[189] 本田技研工業：CBR450R WEB カタログ，本田技研工業ホームページ，<http://www.honda.co.jp/CRF/crf450r/spec/>

(参照日 2015 年 1 月 10 日)

[190] 本田技研工業：CBR600RR WEB カタログ，本田技研工業ホームページ，<http://www.honda.co.jp/CBR600RR/spec/>

(参照日 2015 年 1 月 10 日)

[191] 小倉勝，萩野清徳，佐々木富幸，川口洋一，トオイン・チャロンデイ・チャポン，劉 国郡：エンジン製作教育プログラムの開発，日本機械学会関東支部ブロック合同講演会講演論文集，pp.327-328，日本機械学会（2004）

[192] 岡崎昭仁，長谷川拓也，南裕基，小倉道也，小倉勝：カムレス単気筒直噴ディーゼルエンジンの開発，自動車技術会春季学術講演会前刷集，NO.50-11，pp.19-22，自動車技術会（2011）

[193] 岡崎昭仁：可変動弁機構の変遷と電磁駆動弁への適用，日本技術史教育学会 2013 年度総会・研究発表講演論文集，pp.10-12，日本技術史教育学会（2013）

## 謝 辞

本研究論文をまとめる機会を与えていただき、終始熱心なるご指導、ご鞭撻ならびにご激励を頂戴した足利工業大学理事長兼学長である牛山泉先生に深甚なる謝意を表します。牛山先生の真摯な人間性と温かいご指導は、これからの人生を生きていくための糧となりました。

また、論文の審査において、ご指導とご助言を頂いた、足利工業大学大学院工学研究科博士後期課程情報・生産工学専攻の山城光雄先生、松本直文先生、櫻井康雄先生、群馬大学大学院教育学研究科教科教育実践専攻の三田純義先生に深く感謝致します。論文の執筆では、足利工業大学工学部創生工学科自然エネルギーコースの根本泰行先生に多大なご助言とご指導を頂戴しました。深く感謝致します。

学生フォーミュラを適用した学科目を立ち上げて、全日本学生フォーミュラ大会へ出場して実績を残すまでの期間、終始、UDトラックス㈱の三宅博氏、上智大学テクノセンターの小栗康文氏からは、数々の有益なご助言とご指導をいただきました。深く感謝致します。

学科目の立ち上げ、そして海外大会への遠征の機会を与えてくれた日本工業大学理事長の柳澤章先生に深く感謝致します。

また、学生フォーミュラ活動の調査にあたり、東京大学の草加浩平先生、上智大学の鈴木隆先生、芝浦工業大学の岡村宏先生、東京都市大学の三原雄司先生、今は故人となってしまいましたが、金沢憲一先生には、工房の見学を快諾頂き、学生は大いなる学習をすることができました。深く感謝します。そして、レース自動車開発のご経験から有用なる知見を提供頂いた宮坂宏氏、自動車に関する貴重な知識を与えてくれた自動車評論家の両角岳彦氏に感謝します。

学生フォーミュラ自動車は、小築裕介，村岡康伸，島村貴之，森山育雄君，そして，フォーミュラ工房を履修した学生諸氏，自動車工学研究室に在籍した卒業研究生諸氏による寝食を忘れる努力により，完成しました．諸氏に感謝すると共に，今後の活躍に期待します．

電磁駆動弁の製作・実験では，筆者の学生時代の恩師であり，今もご自身で熱心にご研究を続けている 09LAB の小倉勝先生よりご指導とご助言を賜わり，深く感謝しております．また，実験装置の製作と実験に協力してくれた長谷川拓也，柴崎裕輝，長内優和，磯善人君に感謝します．ガソリンエンジンの実験では，上智大学名誉教授の吉田正武先生にご協力して頂きました．深く感謝します．

本論文の執筆に際しては，多くの有益な参考文献を引用させていただいた筆者の方々に心より感謝の意を表します．

なお，本研究の一部は，スズキ財団科学技術研究助成，日本工業大学学内特別研究助成を受けて行われました．御礼申し上げます．また，学生フォーミュラ自動車の製作では，多くの企業より支援を受けました．御礼申し上げます．