

博士（人間科学）学位論文

熱力学教育におけるマルチメディアコンテンツの効果的活用
-熱機関の動作原理および理論の理解を助ける CG アニメーションコンテンツの開発と実践-

Effective Use of Multimedia Contents on the Thermodynamics Education
-Developments and Practices of the CG-Animation Contents which Support the
Understandings of the Principle and the Theory of Thermal Engine-

2008 年 1 月

早稲田大学大学院人間科学研究科

佐藤 智明

S a t o T o m o a k i

研究指導教員：永岡 慶三 教授

目 次

	頁
第1章 序 論.....	1
1.1 熱力学と熱力学教育.....	2
1.2 科学技術・工学教育を取り巻く社会的背景.....	3
1.2.1 科学技術コミュニケーターとしての役割を担う大学教育.....	3
1.2.2 工学教育における教材開発.....	5
1.3 情報通信技術（ICT）を用いた教育の普及.....	6
1.4 研究の概要.....	7
第2章 教育用コンテンツのやさしい開発手法の検討.....	9
2.1 はじめに.....	10
2.2 教員に対するアンケート調査.....	10
2.3 教育支援コンテンツのやさしい開発手法.....	15
2.3.1 コンテンツ作成ツールの選定.....	15
2.3.2 LMSの検討.....	15
2.3.3 コンテンツ作成アプリケーションの検討.....	15
2.4 まとめ.....	17
第3章 内燃機関の動作メカニズムの理解を促進するCGコンテンツの開発 および教育実践.....	18
3.1 はじめに.....	19
3.2 導入する授業およびコンテンツの仕様.....	19
3.3 コンテンツの開発および動作環境.....	21
3.4 CGアニメーション部の設計および作成.....	21

3.4.1	構造およびメカニズムの理解の促進	21
3.4.2	ガソリン(オートサイクル)機関とディーゼル機関の違いを理解させる	22
3.4.3	ガソリン機関およびディーゼル機関のCGコンテンツおよびその特長	23
3.5	eラーニングコンテンツの設計および作成	27
3.6	本コンテンツを用いた授業の設計およびeラーニングコンテンツの設計制作	32
3.7	本コンテンツを用いた授業の実践	33
3.8	アンケートの実施	34
3.9	小テストによる教育効果の測定	36
3.9.1	小テスト	36
3.9.2	小テストの正答率比較	36
3.10	相関係数を用いた教育効果の検討	40
3.10.1	相関係数に用いるデータ	40
3.10.2	相関係数の比較	41
3.10.3	相関係数による比較検討(学習効果に対する仮説)	57
3.10.3.1	検討1	57
3.10.3.2	検討2	57
3.10.3.3	検討3	57
3.10.3.4	検討4	57
3.10.3.5	検討5	60
3.10.3.6	検討6	61
3.10.3.7	検討7	61
3.11	主成分分析および因子分析による検討	61
3.11.1	主成分分析	61
3.11.2	因子分析	63
3.11.3	主成分分析および因子分析の結果による教育効果の検討	66

3.11.3.1	Web 課題の点数をパラメータとした評価について	66
3.11.3.2	アクセス時間をパラメータとした評価について	66
3.12	実習作業に対する教育効果の検討	67
3.13	コンテンツの改良とその効果の検討	71
3.13.1	フレームスピードの調整	71
3.13.2	燃焼音の合成	71
3.13.3	改良後の評価	72
3.13.4	改良後のコンテンツの実習作業課題による評価	73
3.14	まとめ	74
第4章	オットーサイクル原理の学習用 e ラーニング CG コンテンツの開発	
	および教育実践	76
4.1	はじめに	77
4.2	e ラーニングコンテンツの概要	77
4.3	アニメーションコンテンツの特長	80
4.3.1	等容加熱（燃焼）過程	81
4.3.2	断熱膨張過程	81
4.3.3	等容冷却（排熱）過程	81
4.3.4	排気吸気過程	82
4.3.5	断熱圧縮過程	82
4.4	コンテンツの実践	82
4.5	教育効果の検討	83
4.6	相関係数による比較検討	85
4.6.1	相関係数	85
4.6.2	比較検討	92

4.6.2.1	検討 1	92
4.6.2.2	検討 2	95
4.7	まとめ	96
第 5 章	カルノー機関の CG コンテンツの開発および教育実践	98
5.1	はじめに	99
5.2	カルノーサイクルの学習で理解させたい点	99
5.2.1	仕事と熱エネルギーの関係	99
5.2.1.1	圧力 P と容積 V および仕事量 W の関係	99
5.2.1.2	温度 T とエントロピー S および熱量 Q の関係	100
5.2.1.3	工学分野におけるエントロピー S の捉え方	102
5.2.2	カルノーサイクルの原理	102
5.2.2.1	等温圧縮 (冷却) 過程	102
5.2.2.2	断熱圧縮過程	105
5.2.2.3	等温膨張 (加熱) 過程	105
5.2.2.4	断熱膨張過程	105
5.2.2.5	カルノーサイクルの熱効率	105
5.3	コンテンツの開発	106
5.4	コンテンツの概要および特長	107
5.5	コンテンツの実践	111
5.5.1	コンテンツを実践した授業	111
5.5.2	授業の進め方とコンテンツの使い方	111
5.6	アンケートの実施	112
5.7	アンケートの結果および考察	113
5.7.1	コンテンツ視聴の前と後の比較	113

5.7.2	コンテンツに対する意見および感想についての記述	114
5.7.2.1	プラスの評価としての記述	114
5.7.2.2	マイナスの評価および改善点に関する記述	114
5.7.3	記述内容に対する検討	115
5.8	まとめ	115
第6章	簡易な教育用 3DCG 立体視コンテンツの開発手法を用いたエンジンの メカニズム理解のための立体視コンテンツの試作	116
6.1	はじめに	117
6.2	従来の 3DCG 立体視コンテンツ開発	117
6.3	簡易 3DCG 立体視システムの概要	118
6.4	エンジンのメカニズムの理解を促進させる 3DCG コンテンツの作成	122
6.5	3DCG 立体視コンテンツの試行的実践	126
6.6	アンケートの実施	126
6.7	アンケートの結果による検討	127
6.8	まとめ	128
第7章	結 論	129
謝 辞		132
参考文献		134
関連業績リスト		138
付 録		141

第 1 章 序 論

第1章 序 論

1.1 熱力学と熱力学教育

トーマス・ニューコメン (1664-1729) やジェームズ・ワット (1736-1819) などによって、実用的な熱機関である蒸気機関が発明され、それがその後の産業革命の引き金となったことは広く知られている¹⁾²⁾。しかし、ワットが当時、グラスゴー大学で実験器具製造・修理店を開いており、教授を務めていた物理学者のジョセフ・ブラック (1728-1799) などの指導を受けながら物理学実験の授業で使うニューコメンの蒸気機関 (図 1.1-1) の教材模型の修理等を行っていたこと、そして、そのことを通じて、ニューコメンの蒸気機関の問題点や改良点を考える中でワット独自の蒸気機関 (図 1.1-2) を考案した、ということはいまだあまり知られていない。ここで仮に、当時ワットが修理技術家ではなく、単に物理学を学ぶ一学生で、また、模型に触れることもなく書物を通してのみニューコメンの蒸気機関を学んでいたとしたら、その後の世界を一変してしまった彼の偉大な発明は達成されていなかったかもしれない。このことは、科学技術発達黎明期の頃から、既に技術の教育や啓蒙のために教材が開発されていたこと、そして、その教材に触れ構造や原理を考察することによって単にその原理の理解が深まるだけではなく、新たな発想を喚起する大きな原動力となり得たということの大きな証であるといえよう。

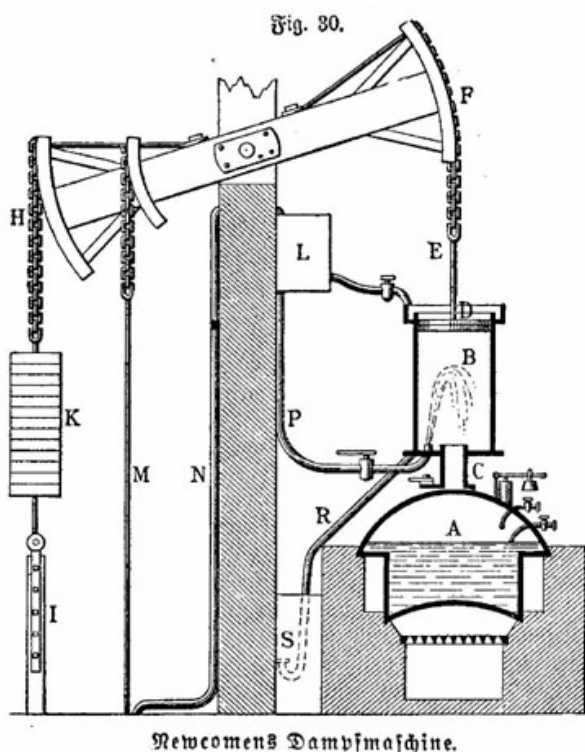


図 1.1-1 ニューコメンの蒸気機関

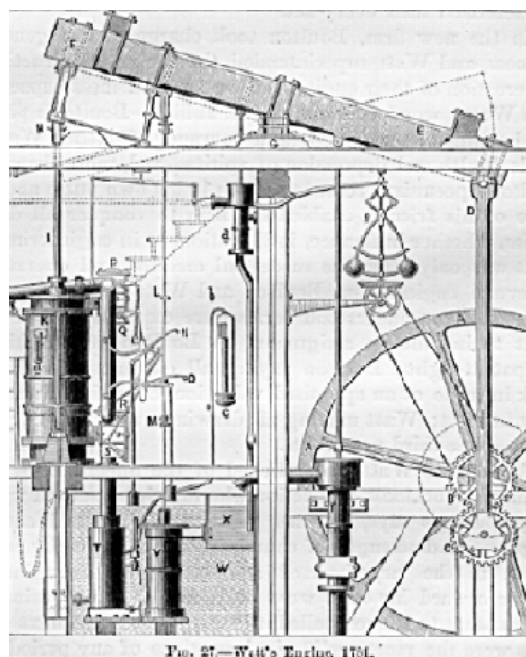


図 1.1-2 ワットの蒸気機関

[Meyers Konversations-Lexikon (1890)]

ところで、このワットの蒸気機関の発明によって始まった熱機関の開発は、その後カルノー（1796-1832）やクラウジウス（1822-1888）といった科学者たちによって、熱力学という学問として確立され、これは自然科学の分野では最も重要な学問の一つとなった。以後、熱機関の開発は熱力学の発達とともにより理論的に進められるようになった。そして、発生した熱量に対して取り出せる仕事量の比、即ち熱効率という概念に基づいた開発が行われるようになり、熱効率をいかに高くできるかということが現在の熱機関開発においても重要なものとなっている。こうしたエネルギー利用の効率を扱う熱力学をベースとした議論は環境エネルギー問題が注目される昨今において、更にその重要度を増したと言える。教育の現場でも、熱力学を学ぶ重要性は大きくなりつつある。大学においては環境エネルギー関係の学部や学科が増加し、小中高の教育においてもエネルギーに関係したテーマが授業に取り上げられることが多くなった³⁾。

一方で、熱力学が扱う熱というものは直接目で見ることはできない。したがって熱と仕事の間を取り扱う熱力学を学習者に学ばせるときは、目に見えない熱を如何に可視化することができるか、更に、可視化が容易な力や仕事といったものと如何に有機的に結びつけて考えさせることができるか、ということが重要となる。このため、熱の現象を視覚化して学ばせると言うことは有効であると考えられる。熱を可視化する技術はサーモグラフィやホログラフィーなど、熱伝導や対流のような熱の現象を視覚化して解析する手法として熱工学研究の分野では一般的になっている^{4) 5)}。熱力学教育においてもこうした熱の可視化技術を使って熱流体の性質や動きを学ばせる試みも行われているが未だ一般的なものではない⁶⁾。

こうした中、コンピュータグラフィックス（CG）やeラーニング等のICTを用いた教育は教材として有効であるとして、様々な教育分野で使われるようになった⁷⁾。目に見えない現象を扱う熱力学教育においてもこうした情報通信技術（ICT）を用いた手法は有効となるであろう。

1.2 科学技術・工学教育を取り巻く社会的背景

1.2.1 科学技術コミュニケーターとしての役割を担う大学教育

近頃、日本の社会では理科離れが騒がれるようになった。この理科離れが個人の科学的教養を失墜させ、例えば遺伝子組み換え問題や原子力問題などの社会問題への的確な判断能力の低下や無関心を招きかねないとして、文部科学省などを中心に科学技術コミュニケーターとよばれる人材の育成が行われるようになった⁸⁾。これは、科学的知識を分かりやすく伝えることで科学者と一般市民の橋渡しとなる人材で、科学的知識と、その知識を分かりやすく伝えることのできる能力を併せ持った人材を養成する試みである。既に北海道大学⁹⁾、東京大学や早稲田大学などで主に大学院生を対象に科学技術コミュニケーターの養成が始まっている。これらの養成機関では、サイエンスカフェ（図 1.2.1-1）と呼ばれる科学者と一般市民とのコミュニケーションの場を設定して、そこで科学者と一般市民を比較的フランクなシチュエーションで交流させる試みが行われている。ここでは、招待科



図 1.2.1-1 サイエンスカフェ例(北海道大学 CoStep 主催:2007.9.15 紀伊国屋札幌店)

学者と一般市民の仲介役として学生を参加させ、彼らのコミュニケーション能力を高める実習の場としての機能も期待されている。また、最近では国立科学博物館や未来科学館などの主要な博物館でも科学コミュニケーターの養成やサイエンスカフェが行われるようになってきた。このように、一般市民に最先端の科学技術に理解や興味を持ってもらおうとする試みはにわかに活発になりつつある。

しかし、一方で、こうした科学技術への関心の少なさは一般市民のみではなく、本来科学技術に対して興味があって入学して来るはずの工学部など理系の学部の入学生の中にも、全く関心のない学生が増えている。この背景としては、大学全入時代の到来がある¹⁰⁾。これは、日本の18歳人口の減少により、大学入学希望者の数と全大学の入学定員の総数が同数となることで、無試験に近い状態で大学に入学してくる大学生が増加することが危惧されている。文部科学省の予測では2007年から2009年にかけてこの状態に達するとされている。大学全入時代の到来は、即ち、大学に学力の低い学生が入学してくることを余儀なくさせる。また、このことは、単に学力が低だけではなく、なんとなく大学に入った、といったような勉学や学問に対してモチベーションの低い学生が増えることを意味する。

こうした志気の低い学生の入学は授業について行けない者の増加、さらには退学者の増加につながる。したがって、大学などの教育機関では今後こうしたやる気のない学生に授業に興味を持たせ、基礎力の乏しい学生に対して、より分かりやすい授業を提供することが要求されるようになる。このようなことから、今後の大学の教員は、学生にいかに関心に対する興味を持たせられるか、より良く理解させられるか、ということに関心を持たなくてはならなくなると考える。

中央教育審議会においても、大学の教育力の向上のために、教員のファカルティディベロップメント(FD)研修への参加を義務化する提案¹¹⁾がなされており、今後、大学教員

は自らの授業の質を高めていく努力が益々求められていくことになるであろう。

1.2.2 工学教育における教材開発

このように、学力の低い学生が増加する状況の中で、特に理学・工学系学問は原理や理論を数式化したものが多く、数学や物理学などの基礎知識が無いと、その概念を理解することが難しい場合が多い。したがって、これからの工学系の教育においては、比較的早いうちに、いかに数学などの工学リテラシーを効率よく学ばせるかということと同時に、なるべく数学的知識を使わず、直感的に原理や概念を理解させることについても考えて行かなくてはならない。

しかし、このような、数式を用いずに理論や原理の概念を理解させる教育は実は以前から行われてきた。それは、大学などの高等教育を受ける前、すなわち小中学校における理科や技術家庭などの教育においては、なるべく数式は使わずに、教材を用いて原理を説明する授業が盛んに行われてきた^{1,2)}。例えば、重力加速度を学ばせる教材として、球体の重りを自由落下させ、それを均等な周期で点滅するストロボ撮影によって重りの速度が徐々に早くなっていることを理解させる手法は、理科の授業では定番となっている。こうした教材を使うことによる教育効果はこれまでの教育工学等の研究によってほぼ自明の域とっていいほど証明され尽くしている。前節(1.1)で議論したワットの蒸気機関の発明が、ニューコメンの蒸気機関の教材いじりから発案された例を見ても教材の持つ教育効果は明らかである。

ところで、これまで大学など高等教育機関ではこうした教材を用いた教育というものはあまり重要視されてこなかった。入学試験を経て、ある程度の基礎学力のある学生が入学してきた頃の高等教育においては、数式からでも概念をイメージすることができる基礎力を有している学生が多かったため、概念を理解させる上で、わざわざ教材を使って、手取り足取り教えることは必要なかったのである。また、大学などの教員は教育者である以前に各学問領域における研究者であるため、研究時間を削ってまで、教材を開発して分かりやすい授業を行おうとする教員が少ない、ということもその原因として考えられる。しかし、前項(1.2.1)で議論したように、大学生の基礎学力の低下と共に、これまでは初等および中等教育で行われてきた教材を使った教育が、高等教育機関においても必要不可欠なものになってくるのが推測される。

しかし、一方で、教材開発というものは非常に多くの手間と時間および資金が必要である。例えば前述した重りの落下実験の教材開発など、実際に動作する模型などの教材は、学習者が直接触れて試すことができるので高い教育効果が期待できる。しかし、これら工作が必要となる教材は材料費がかかる上に工作するための工具や機材・施設および場所が必要である。そこで、最近は技術の発達が著しいコンピューターを使った教育が脚光を集めている。コンピューターを用いた教材開発には使用するコンピューター以外、工作のための工具や場所を必要とせず、気軽に教材開発できるメリットがある。また、コンピュータグラフィックス(CG)などのマルチメディアコンテンツは実物では再現できない現象や

構造を表現することができる。高等教育機関において教員が行う教材開発としては、今後こうした情報通信技術（ICT）を用いたものが最も有力であろう。

1.3 情報通信技術（ICT）を用いた教育の普及

第二の産業革命とも言われる近年の情報技術社会の到来は、我々の日常生活や社会に非常に大きな変化をもたらしている¹³⁾。情報革命の担い手であるコンピューターは指数関数的な早さでその処理能力を向上させてきた。情報処理速度の上昇はコンピューターが行える機能を飛躍的に高め、コンピューターグラフィックス（CG）やバーチャルリアリティ（VR）といった高度な技術を可能にした¹⁴⁾。また、コンピューター同士を繋げるインターネットは人々に多くの情報の共有を可能にした。現在では、インターネットに繋がるコンピューターは世界中で数千万～1億台とも言われる。こうしたコンピューターが持つCG等の高度な画像表現能力とインターネットなどのコミュニケーション能力を教育に利用する試みは既に広く行われている¹⁵⁾¹⁶⁾。

カリフォルニア大学バークリー校のリンらの WISE（Web-Based Inquiry Science Environment）プロジェクト¹⁷⁾では、物理学の法則「特に熱と光に関する体感をベースにしたシミュレーションソフト」をコンピューター上で体験させる手法（図 1.3-1）と、インターネット上で生徒同士の意見を戦わせたり、専門家の意見に触れさせたりする2つの手法を組み合わせることで生徒の主体的な授業参加を促進させ教育効果を上げている。大学の工学教育においても、近年は盛んに情報通信技術を用いた新しい教育システムの導入が実践されるようになってきた。ノースウェスタン大学の工学部では EDC「Engineering Design and Communication」（図 1.3-2）と EA「Engineering Analysis」という2つのプロジェクト¹⁸⁾で実験実習等の実技や情報通信技術を用いたシミュレーション体験を主体とした新しい教育システムを導入し、はじから本物のエンジニアリングを体験させることで「創造性」を育てることを目的として入学後直ぐの1年生から導入している。

日本の科学・工学教育においては、前項（1.2.2）のように初等中等教育機関などでは以前から教育の現場で活発に教材開発が行われており、日本物理教育学会や日本産業技術教育学会などで議論されてきた。これらの学会では、近年では ICT を用いた教育についての研究が盛んに報告されてきている。

日本の高等教育機関の教育においても、教材を用いた教育、特に ICT を用いた教育に対する関心は強まっている。特に eラーニング教育に対しては多額の予算をかけて高度な設備を取り入れる大学が多い。しかし、その一方、ネットワークやコンピューターの設備などインフラは充実しても、ソフトの面、すなわち教育コンテンツの充実という意味においては、必ずしも満足できるものであるとは言えない。教育の質の向上ということに目を向ければ、教材である教育コンテンツの充実こそ最も重要な課題であるといえる。

しかし、大学などの高等専門教育においては、教授する内容そのものが高度な専門性を持っているため、教育学や学習科学を専門としている研究者だけでは、内容に立ち立った専門性の高い教育手法の開発は難しい。各専門の講義1つ1つに教育効果の期待できる教



図 1.3-1 WISE プロジェクト：熱伝導シミュレーション
（カリフォルニア大学バークリー校）



図 1.3-2 EDC プロジェクト（ノースウェスタン大学）

材を開発するためには、各専門の教員自身がある程度のコンテンツ開発スキルを習得し、個々の専門領域に適応したコンテンツを独自に開発しなくてはならないであろう。そのためには、コンテンツ開発についての専門知識や技術を持ち合わせていない教員でも、簡単にコンテンツを開発できる手法についての検討と、それによって開発されたコンテンツの教育効果について十分に検討する必要がある。

1.4 研究の概要

本章で議論してきたように、日本では学生の学力低下問題に起因して、大学など高等教育機関の現場でも教育効果を向上させる努力が必要となってきた。しかし、一方で、大学教員の教育の質の向上に対する取り組みは必ずしも高いものであるとは言えない。こうした状況を改善するには、教員が自ら教材を開発することに少しでも抵抗が少なくなるように教材作成スキルの高くない教員でも容易に開発出来る手法を探る必要がある。そのためにも、ICTを用いた教育コンテンツ作成は有効であると考えられる。

一方、工学教育においては、理論や原理の理解、更には機械の構造やメカニズムなどの理解のためにCGを駆使した教育コンテンツは有効であると考えられる。また、工学の分野でも

特に熱力学の分野は目に見えない熱というものを対象とするため，その抽象的概念を具体化するために動画像による表現は特に有効であると考ええる．本研究ではこうした熱力学の特徴に着目し，その教育におけるアニメーション CG コンテンツ開発を目指した．

本研究では，今後，著者らだけでなく他の教員が自ら教育コンテンツを開発する際の参考となるように，コンテンツの開発にはなるべく簡便な手法をとることとした．そこで，はじめに，著者の所属する大学の工学部機械工学系大学の教員を対象としたアンケートを実施し，教員自ら教育用コンテンツを開発することに対する意識やスキルに関する調査を行った．そして，各教員が考えている開発に充てられる手間と時間を考慮して，コンテンツ作成アプリケーションの選定を行った¹⁹⁾．

選択したアプリケーションソフト等を用いて，実際に教育用コンテンツを作成し，それによる教育効果を検討することを目指した．教育コンテンツを開発する対象として，熱力学の学問の中でも特に重要な熱機関の原理および理論の教育に焦点を絞った．

はじめに，著者の担当する授業科目である実験実習科目の中で，エンジンの動作メカニズムを教えるテーマにおいて，ガソリンエンジン（オットーサイクルエンジン）およびディーゼルエンジンの動作を再現する 2D(2次元)CG アニメーションコンテンツを開発した²⁰⁾．そして，本コンテンツを授業および e ラーニング環境下で実践し，その教育効果を確認した^{21)~27)}．

次に，熱機関サイクルの理論の理解をサポートするための改良を施し，オットーサイクルの原理及び理論の学習をサポートするコンテンツを開発した．本コンテンツを授業および e ラーニング環境下で実践することによって，教育効果を確認した²⁸⁾²⁹⁾．

更に，熱力学の第二法則の説明に必要不可欠で，熱力学の教科書などには必ず取り上げられるカルノーサイクルに着目した．カルノーサイクルは理論としては成り立つが，実際に存在することができない熱機関である．そこで，カルノーサイクルエンジンを再現した 2DCG アニメーションを開発し，熱力学講義科目の中で実践しその教育効果を検討した^{30)~33)}．

最後に，より高度なアプリケーションとして，3D(3次元)CG 立体視コンテンツに着目した．ここでは，3DCG 立体視コンテンツの簡易なコンテンツ作成手法を提案し，本手法によってガソリンエンジンのメカニズムを再現した 3DCG ステレオ立体視コンテンツを開発した．本コンテンツを実習科目の中で実践し，アンケートによりその有効性を確認した³⁴⁾．

第2章 教育用コンテンツのやさしい 開発手法の検討

第2章 教育用コンテンツのやさしい開発手法の検討

2.1 はじめに

序論で論じたように、インターネットなど ICT を利用した教育用コンテンツが様々開発され、大学をはじめとした教育機関で広く利用されている。これらのコンテンツは年々技術的に高度なものとなり、複雑化しつつある。また、社会的にもこのような高度な教育支援システムに対する期待は大きく、教員はそうした期待に応えるべく自らの授業に教育用コンテンツを用いることを強いられつつある。一方、教員個人のコンテンツ開発スキルは必ずしも高いものではない。また、オンデマンドの e ラーニングシステムやテレビ会議システムを用いた遠隔授業など、大学全体で大規模なシステムを導入し各教員に提供する場合には、莫大な経費が必要となり、さらに、そうした大規模システムは、個々の教員の要望に応じた小回りの利く対応には不向きであるなどの欠点がある。そこで本研究では、コンテンツ作成スキルの低い教員でも自ら簡単な教育用コンテンツを開発できるように、既存の安価なアプリケーションソフトウェアや、簡単な web 作成手法を用いたインターネット教育支援コンテンツの作成手法について検討した。

2.2 教員に対するアンケート調査

教育支援コンテンツ開発を始めるに際し、現状での教員側のコンテンツ作成に関する各自のスキルとニーズを確認するために、教育への IT 導入について問う、教員に対するアンケート調査を行った。対象者は神奈川工科大学工学部機械工学科およびシステムデザイン工学科の教授から助手までの教員全員とし、計 19 人から回答を得た。設問は、問 A から問 G までの 7 つの項目について調査した。図 2.2-1～図 2.2-7 にそれぞれの設問内容とその結果を示す。更に各アンケートの設問の結果に対する考察を次に示す。

問 A：「自分の授業に IT 導入を考えているか」という問に対して、既に導入済みおよび導入してもよいと考えている教員を合わせると 95%の教員が IT 導入に前向きであることが分かった。

問 B：問 A で導入済みの回答者に対して、「導入済みである IT の種類」についての問いの結果、パワーポイントのみと答えた教員が 54%、Web による発信（パワーポイントの資料などを公開するだけ）と答えた教員が 38%である。したがってまだほとんどの教員が、動画アニメーションを作成したり、e ラーニングを導入したりといった高いスキルを要求される IT 導入は行っていないことが分かった。

問 C：「今後導入したい IT の種類」の問に対しては、動画アニメーション、Web コンテンツおよび e ラーニングを合わせると約 60%となり、多くの教員が今後はより高度な IT 導入を希望していることが分かった。

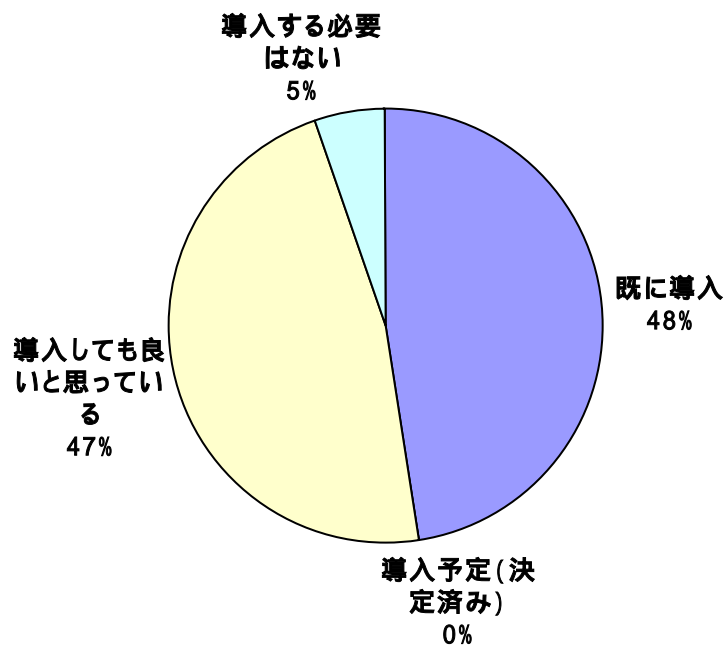


図 2.2-1 問 A . 自分の授業に IT の導入を考えているか

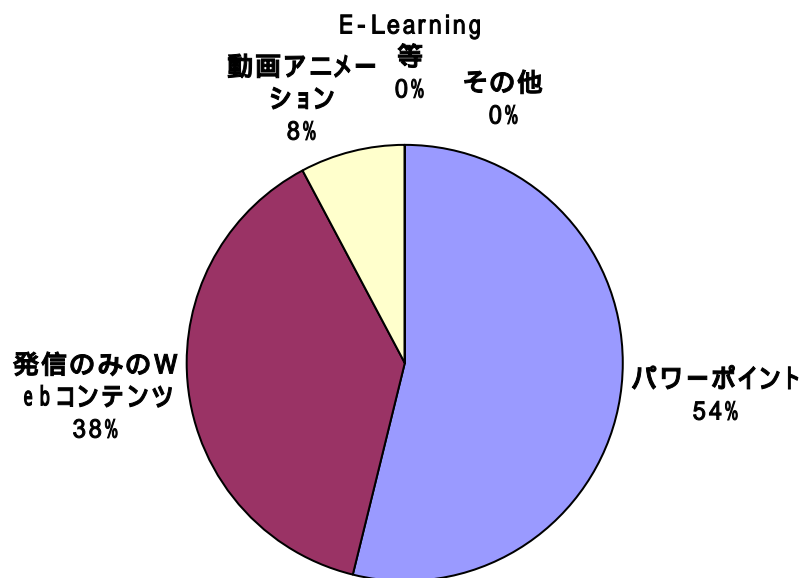


図 2.2-2 問 B . 導入済みの場合の IT の種類

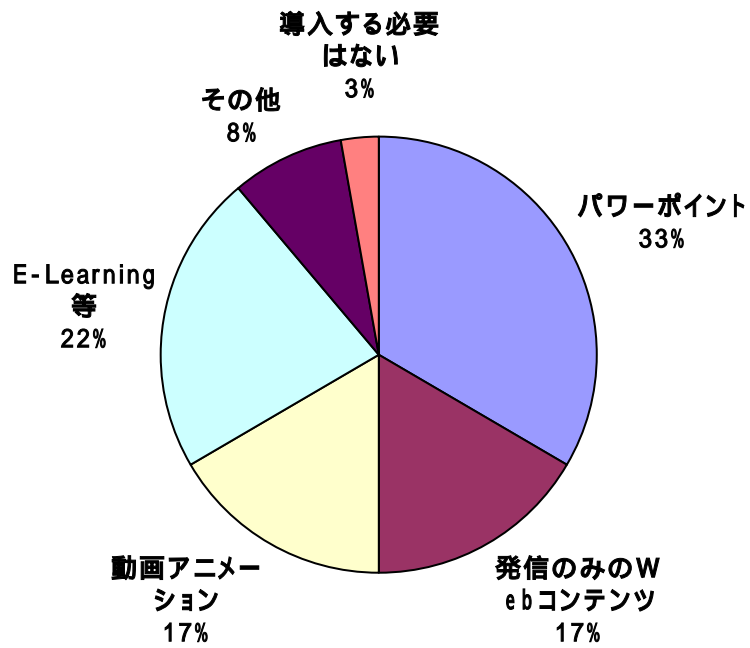


図 2.2-3 問 C . 今後導入したい場合の IT の種類

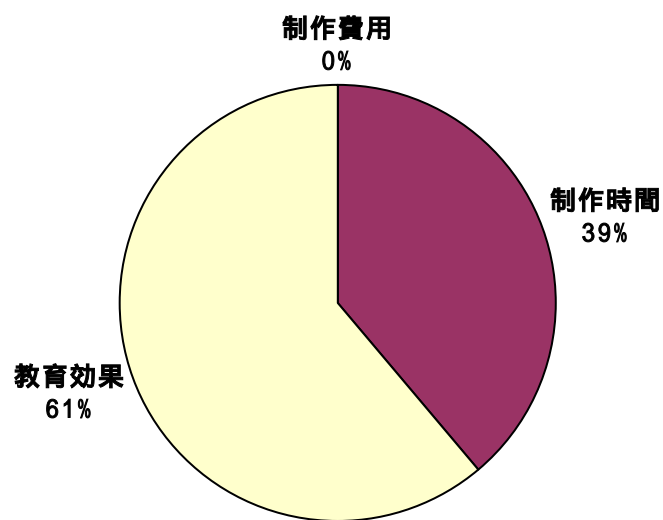


図 2.2-4 問 D . 新たに IT 導入を決める場合その判断基準

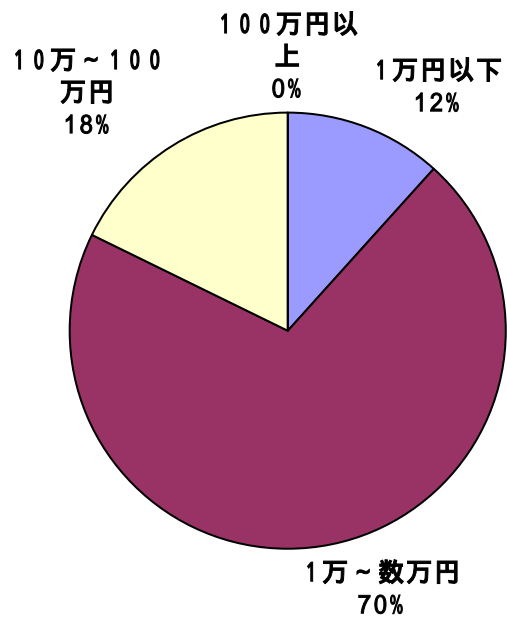


図 2.2-5 問 E . 導入に充てることのできる予算

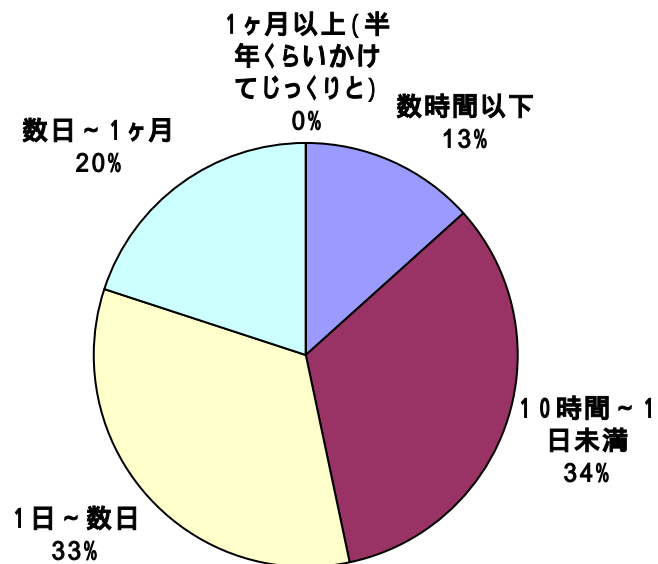


図 2.2-6 問 F . 導入にあたって充てることのできるコンテンツ作成時間

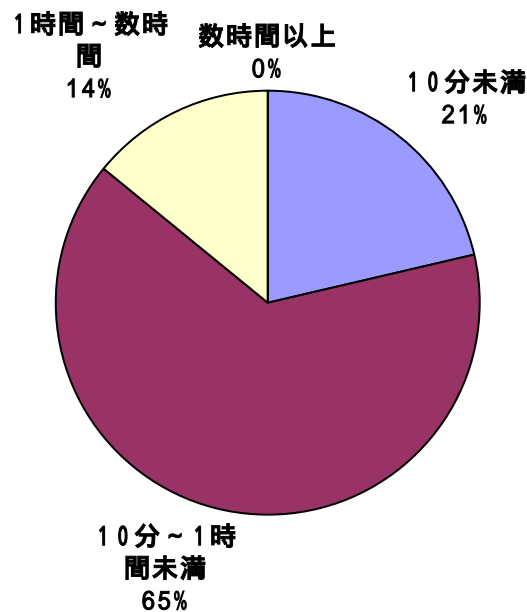


図 2.2-7 問 G . 導入後維持運営に充てられる時間 (1 科目 1 講義当たり)

問 D : 「新たに IT 導入を決める場合その判断基準」の問に対しては、作成時間 39%、教育効果が 61%となり、教員が拘束される作成時間を少なく押さえたうえで、教育効果の高いシステムが望まれていることが分かった。

問 E : 「導入に充てることのできる予算」としては、70%の教員が 1 万円～数万円まで、としており、個人研究費や実験実習費等で無理なく対応できる予算の範囲で考えていることが分かった。

問 F : 「導入にあたって充てることのできるコンテンツ作成時間」については、10 時間～数日程度の範囲に約 70%回答している。また数日から 1 ヶ月程度かけてもよいと答えている教員も 20%も存在することから、IT 教育コンテンツ作成を個人で行う場合に対してはある程度時間の消費を覚悟していることが分かった。

問 G : 1 講義に対する「導入後維持運営に充てられる時間」については、10 分から 1 時間と答えた割合が 65%と最も多かった。

その他、アンケートに書かれた意見として、パワーポイント等を使っただけの授業では、学生の書き写す行為がなくなってしまうので、板書に比べて逆に教育効果は低下してしまうのではないかとの意見が多かった。このことから、学生も参加できる双方向性を持つインタラクティブなコンテンツが望まれていることがわかった。

2.3 教育支援コンテンツのやさしい開発手法

本研究では、コンテンツ作成に不慣れな教員でも自ら簡単な教育用コンテンツを開発できるように、既存の安価なアプリケーションソフトウェアや簡単な web 作成手法を用いたインターネット教育支援コンテンツの作成手法について以下のような検討を行った。

2.3.1 コンテンツ作成ツールの選定

前節 2.2 のアンケートの結果を考慮して、教育支援のためのコンテンツ作りに必要なアプリケーションの選定を行った。まず、図 2.2-1~2.2-3 に示した問 A および問 C の結果から、インターネットを利用したインタラクティブなアニメーションコンテンツを簡単に作成できることを目指した。また、図 2.2-5 の問 E の結果から、その中間値を採用し、アプリケーション購入の予算を 1~3 万円程度。同様にして図 2.2-6 の問 F の結果からコンテンツ作成時間を 1~2 日、図 2.2-7 の問 G の結果から維持運営にかかる時間は 1 科目 1 講義数十分程度をそれぞれ目安として、コンテンツ作成ツールを選定した。

2.3.2 LMS の検討

はじめに、学習管理システム (LMS) アプリケーションの選定を行った。LMS は、ビデオ教材の提示、Web 上で課題の提示および提出、出欠管理およびデータの管理など e ラーニングを総合的に管理することができるアプリケーションである。代表的なものとして、WebCT や Blackboard といったアプリケーションが存在するが、ユーザー数が数十以上、全体では百数十万円単位での販売となっており、学科単位程度の規模のコンセンサスの上で購入する必要があるため、個人単位でのシステム構築を考えた今回の選定対象からは外した。結局本研究では、HTML 言語ベースでホームページを開設し、Perl 言語を用いた CGI³⁵⁾ による簡単な Web 管理プログラムを作成することとした。

2.3.3 コンテンツ作成アプリケーションの検討

教育コンテンツ自体の作成に関しては、アニメーションによる視覚教育効果を期待して、2D および 3D アニメーションコンテンツ作成アプリケーションソフトの選定を行った。今回検討したアプリケーションの特徴を表 2.3.3-1 に示す。選定に当たっては、はじめから 2D および 3D 作成のどちらにするかは決定せずに、両領域に渡って検討し、実際にアプリケーションを購入使用し、初歩的な開発能力を習得するまでにどのくらいの期間が必要かを主観的判断によって推定した。以下に各アプリケーションの主観的考察を示す。

「Maya」(Alias 社製)^{36) 37)} は用意されている機能は非常に豊富で、スクリプト言語を使用すると、自然現象の忠実なシミュレートが可能であり、既に関数としてパーティクル (粒子の運動を力学的にシミュレートする) 機能が備わっているため、物理現象を 3DCG アニメーションで説明するコンテンツの作成には非常に有効であると考えられる。しかし、その反面そうした機能を覚えるために多くの時間が必要であり、コンテンツ作成時

表 2.3.3-1 アニメーションコンテンツ作成用アプリケーションの比較

:excellent :good :not enough

機能	アプリケーション			
	Flash-MX	CARRARA	Shade	Maya
2Dアニメーション作成	○	○	○	○
3Dアニメーション作成	△	○	○	○
Web対応コンテンツ作成	◎	○	△	○
スクリプト言語による拡張	◎	○	△	◎
初歩的なコンテンツ開発力習得までに要する目安期間	1日程度	2日程度	3日程度	5日程度
価格（アカデミック版）	1万円	3万円	2万円	10万円

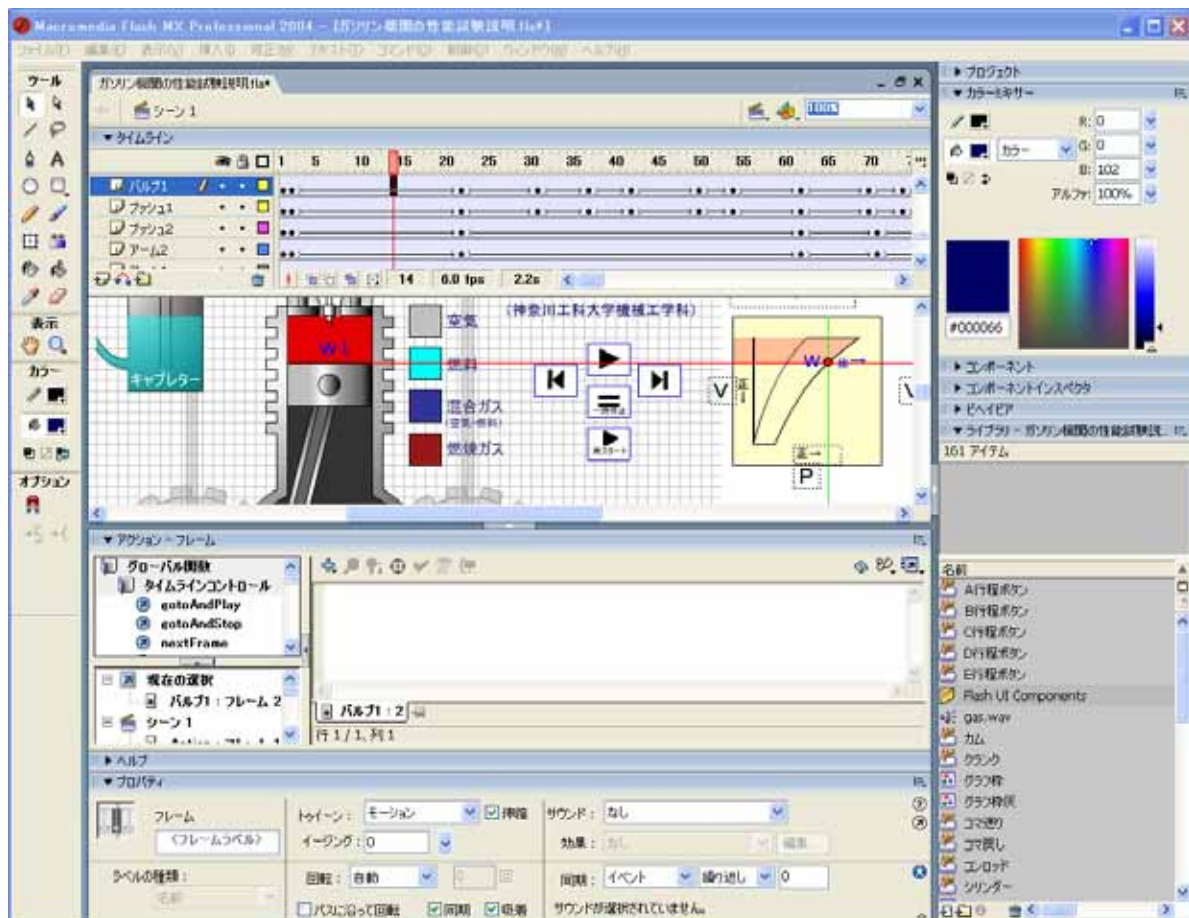


図 2.3.3-1 Flash-MX のコンテンツ編集画面

の操作が複雑化しているので初心者にとっては使いこなすのは難しいと判断した。

「Shade」(イーフロントィア社製)³⁸⁾はもともと 3D でのレンダリングを行うアプリケーションとして開発されたので、様々な光環境での物体の様子を表現するのに優れており、あたかも写真を見ているかのようなリアリティのある 3D コンテンツの作成には優れている。しかし、このアプリケーションも機能が多すぎるため、初心者が使いこなすのは難しい。

「CARRARA」(eovia 社製)³⁹⁾は上述の 3D アニメーション作成ツールに比べると比較的操作が易しく、イメージした動きを 3D 画面上に再現するのが容易である。スクリプト言語による拡張性も多少備わっているのでシミュレーションにも対応できる。しかし、3D アニメーションの作成は初心者にとってはやはり困難であるという感じを否めなかった。

「Flash-MX」(Macromedia 社製)^{40)~42)}は、基本的に 2D アニメーション作成に特化したアプリケーションであるが、スクリプト言語による拡張機能が比較的充実しており、スクリプトを書くことで擬似的に 3D コンテンツを作成することも可能である。2D 作成を基本としているので、上述の 3D アニメーション作成ツールに比べると格段に作成操作性は簡単で初心者に向いている。また、価格も低く設定されている。

本研究では、コンテンツ作成に不慣れな教員を想定している。将来的には 3D アニメーションを用いた高度な教育コンテンツの作成を理想とするが、本研究の趣旨である平易な作成手法としては、上述の検討の結果、Flash-MX を用いた 2D アニメーションコンテンツ作成が最も作成しやすいという結論となった。Flash-MX のコンテンツ編集画面を図 2.3.3-1 に示す。

2.4 まとめ

本章では、コンテンツ作成スキルの低い教員でも自ら簡単な教育用コンテンツを開発できるように、既存の安価なアプリケーションソフトウェアや、簡単な web 作成手法を用いたインターネット教育支援コンテンツの作成手法について次のような検討を行った。

(1)現状での教員側のコンテンツ作成に関する各自のスキルとニーズを確認するために、教員に対して教育への IT 導入について問うアンケート調査を行った。その結果、多くの教員が自分の授業にコンテンツを導入することに興味を持っていることが分かった。

(2)各教員が考えているコンテンツ作成に投資できる費用や費やせる時間の調査結果から、費用は 1~3 万円程度、コンテンツ作成時間を 1~2 日程度として教育用コンテンツ作成に最適なアプリケーションを選定した。

(3)選定したアプリケーションおよび e ラーニング用 Web ページ作成システムは、以下のシステムとなった。

[e ラーニングシステム]: HTML 言語ベースでホームページを開設し、Perl 言語を用いた CGI による簡単な Web 管理プログラム。

[2DCG コンテンツの作成アプリケーション]: Flash-MX (Macromedia 社製)

第3章 内燃機関の動作メカニズムの理解を促進 するCGコンテンツの開発および教育実践

第3章 内燃機関の動作メカニズムの理解を促進するCGコンテンツの開発および教育実践

3.1 はじめに

CG アニメーションなどマルチメディアを用いた教育手法は、原理や構造を視覚的に理解するのに有効なため、機械工学の教育においても有効であると考えられる。機械工学教育において、エンジンの動作メカニズムを理解させることは、機械というものが構成部品の1つ1つが他の部品と有機的に機能して、1つの大きな装置として動作しているものであることを理解させる上で、最も重要なテーマの1つである。動作を理解させるという意味においては、エンジンの実物を用いて実際の動作の上で見せることができれば有効だと考えられるが、実際に動くエンジンを用いて説明することは困難を要する。そこで、予め機械工学科の熱力学系他の教員に聞き取り調査したところ、エンジンの原理説明時に、教科書に掲載されている挿絵を板書したり、OHP等の投影機材によって静止画を映し出したりすることで説明することがほとんどであった。

こうした実績の中で、これまで、学生の理解度は必ずしも良いものではなかった。既に1年次の実習や2年次の講義等においてオットーサイクルエンジン（ガソリンエンジン）の仕組みについて一通り学習済みであるはずの本学科2年生修了時の学生に、後述3.9で使用するものと同様の小テストのうち、4ストロークサイクルガソリンエンジンの各行程を描いた図をサイクルの順番に並べ替える小テストを課したところ、解答者56名中正解者は6名しかいなかった。そこで、サイクル中の各行程の順番が理解できていないという事実から、この理解を促進させる手段として、各行程を動作の上で関連づけて理解させることが最も重要であると考えた。動作の上で理解させる手段としてはアニメーションを用いたビデオ教材が考えられ、既にいくつかのコンテンツが存在するが^{4,3)}、その説明が解説者の一方的なスピードで語られることが多いため、視聴者の中には理解が追いつけない者が出る可能性がある。そこで本研究では、学生の反応や理解の度合いに合わせて教員自らがそのスピードを自在にコントロールできたり、あるいは学生自らが操作したりすることができるこれまでのエンジンの説明ビデオ教材にはなかった新しいインタラクティブアニメーションコンテンツの作成を目指して、前章2で検討した方法を採用し、後述3.2のような仕様に基づいてコンテンツの開発を行った。

3.2 導入する授業およびコンテンツの仕様

本コンテンツは機械工学科1年生の機械実習実験科目の「エンジンの分解・組み立て」のテーマにおいて使用する（付録3にシラバス添付）。本科目の授業の科目周期は1年間である。ただし、全体は前期期間（4月から7月）と後期期間（9月から12月）の大きく分けて2つの期間に分かれている。それぞれ8班、合計16班についてエンジンの分解組立実習を行う。各班は11～12人で構成されており、2週間ごとに異なったテーマについて実習および実験を行う科目である。コンテンツ導入に際しては、前期（4月から7月）において本コンテンツ導入によるコンテンツの評価および教育効果を測定し、その結果を基に改

表 3.2-1 授業およびコンテンツの仕様

使用する科目名	機械実習実験(エンジンの分解・組立)	
授業形態	少人数班に分かれての実習形式, 2週間毎に異なるテーマを受講(ローテーション形式, 1テーマ2週「2回」, 半期5テーマ), 1週2コマ180分, 合計2週4コマ360分	
学習対象者	機械工学科1年生	
学習者人数	10~12人 / 1班	
用途	授業用	Web用
使用箇所	教員が授業形式により分解組み立ての実習に入る前の内燃機関の動作原理の説明に使用	1週目と2週目の間に課す課題(ホームページ上で行う自習用課題)
内容	内燃機関(4ストローク, 2ストロークのオットーサイクルおよび4ストロークディーゼルサイクル)の動作原理およびサイクルの説明	ホームページ上に設置した内燃機関のCGを見て、行程ごとに何が行われているか学習者に説明させる(解答はWebページ上から直接書き込み提出)
使用時間	約25分	学習者に応じて異なる

良を加え, 後期(9月から12月)においてはその改良点についてコンテンツの再評価を行うこととした。

本研究で取り上げた「エンジンの分解・組み立て」は機械実験・実習科目の1テーマであり, 実際にエンジンを分解および組み立てることで, 内燃機関の動作する仕組み, 各構成部品の役割や構造について理解を促す体験型授業である。本テーマは1週目に内燃機関の動作原理についての説明およびピストン周りの分解・組み立てを行い, 2週目にカムやバルブの動きを司るギア部分を分解・組み立てる。本コンテンツは, 1週目に行う内燃機関の動作原理についての説明時と, 1週目と2週目の間に課す自習課題(eラーニング)において使用する。授業およびコンテンツの概要を表3.2-1に示す。本コンテンツは用途に応じて2種類作成した。1つは1週目の授業中に使用する動作原理説明を支援するためのコンテンツ。もう1つは1週目と2週目の間に課す自習課題のためのeラーニングWebページコンテンツである。両コンテンツはCGアニメーション部分(図3.4.3-1~図3.4.3-3)

表 3.3-1 開発および動作環境

項 目	詳 細
コンピュータ	(コンテンツ制作用)DOS/Vオリジナル組み立てパソコン CPU-Pentium4 2.4GHz OS:WindowsXP
	(実演用)SHARPノートパソコンPC-MM1-H3W CPU-CrusoeTM5800 1GHz OS:WindowsXP
Webサーバーマシン	NECVG26 CPU-Pentium4 2.6GHz OS:Linux RedHat9
アプリケーション	Macromedia Flash-MX
	IBM ホームページビルダー
CGI	Perl言語(テキストベース)

については共通とし、前者はプロジェクターによってスクリーン上に映し出されたCGを教員がパーソナルコンピュータを使って開始および停止、あるいは逆回転などを直接操作できるようにした。後者は、学生がeラーニング環境でWebページにアクセスする。学生は自らCGの開始および停止を行い、このCGアニメーションコンテンツを見て、ピストンの動きをカムやバルブの動作と関連づけて見ることができる。また、課題を与えWeb上で書き込み提出できるシステムとした。これによって学生は1週目に説明した内燃機関の原理についての復習ができるとともに、2週目に行うカム機構の分解組立に先立ってカムやバルブの動作原理を予習できる。

3.3 コンテンツの開発および動作環境

本コンテンツの開発は、前章2に示したように、コンテンツ作成スキルの少ない教員も同様なコンテンツを作成できるように、その参考モデルとなる目的も持っている。そのため、コンテンツ作成の専門的な知識が無い作成者でも平易に開発できる前章2で検討した環境を採用した。開発および動作環境を表3.3-1に示した。

3.4 CGアニメーション部の設計および作成

内燃機関の中でも最も一般的な4ストロークサイクルガソリン機関、2ストロークサイクルガソリン機関および4ストロークサイクルディーゼル機関の3種類のCGアニメーションコンテンツを以下3.4.1および3.4.2のような思想で設計し3.4.3のように作成した。

3.4.1 構造およびメカニズムの理解の促進

カムやバルブなどの動きをクランク軸の動きに連動させて忠実に再現することで、吸排気のメカニズムとサイクルの関係を分かりやすくする。特にカムの回転によって開閉されるバルブの機構を言葉による説明なしに見ただけで理解できるようにする。また、吸排気システムの違い、すなわち4ストロークサイクルと2ストロークサイクルの違いを理解させる。

3.4.2 ガソリン（オットーサイクル）機関とディーゼル機関の違いを理解させる

本コンテンツでは、特にガソリン機関とディーゼル機関の違いを理解させることを重要なテーマとする。図 3.4.2-1 にガソリン（オットーサイクル）機関，図 3.4.2-2 にディーゼル機関のサイクル図（ PV 線図）を示す。

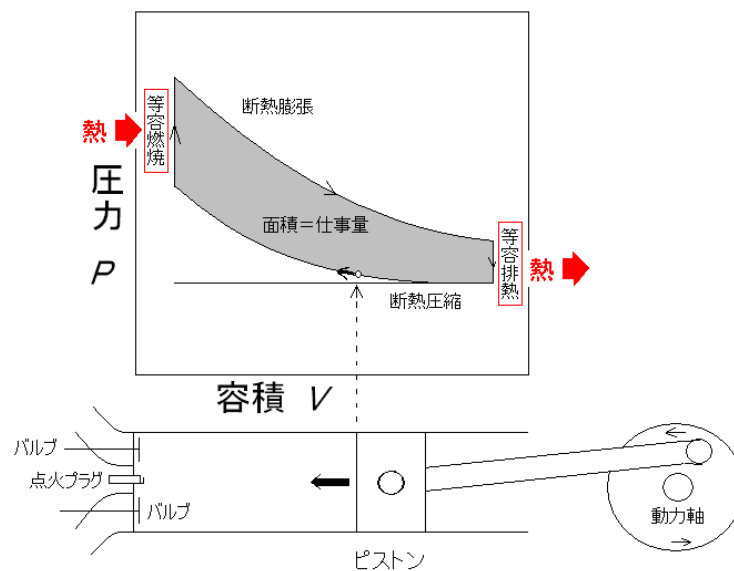


図 3.4.2-1 ガソリン（オットーサイクル）機関の PV 線図

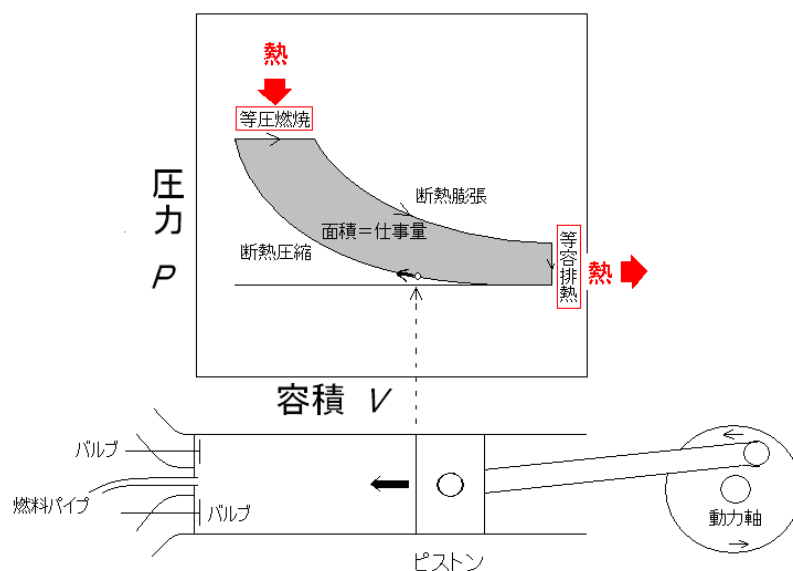


図 3.4.2-2 ディーゼル機関の PV 線図

ガソリン機関とディーゼル機関の大きな違いは燃焼の過程にある。ガソリン機関では燃料と空気の混合気を点火プラグによって強制的に燃焼させることによって熱エネルギーを得る。図 3.4.2-1 (等容燃焼部) のように、燃焼は一瞬にして行われるため、その間のピストンの移動はないものとみなし、等容燃焼となる。燃焼後は断熱膨張を行い仕事が発生する。後述 5.2.1.1 で論ずるように、図中のサイクルの線によって囲まれた面積が 1 サイクル当たりが発生する仕事量となる。一方、ディーゼル機関では、燃料は圧縮熱によって高温となった空気の中に燃料が流入することによって自然発火し、その後燃焼室容積の増加と共に燃料が流入しながら燃焼する。このため膨張とともに温度が上昇することになる。したがって図 3.4.2-2 (等圧燃焼部) のように燃焼はピストンの移動とともに時間をかけながら行われる。この間、容積は増えるが温度が上昇するため圧力は一定のままとなる等圧燃焼をする。その後は断熱膨張を行う。ガソリン機関と同様に 1 サイクルにおける仕事量はサイクルの線に囲まれる面積に相当する。したがって、この仕事量に相当する面積はガソリン機関においては等容燃焼により縦方向に、ディーゼル機関では等圧燃焼による横方向の増加によって生じることになる。こうした 2 種類の機関の違いをコンテンツ上に設置した線図の上からも理解できるように、アニメーション上にピストンの動きと連動する形で線図上を動くポインターを設け、現在どの行程が行われているか分かるようにした。

3.4.3 ガソリン機関およびディーゼル機関の CG コンテンツおよびその特長

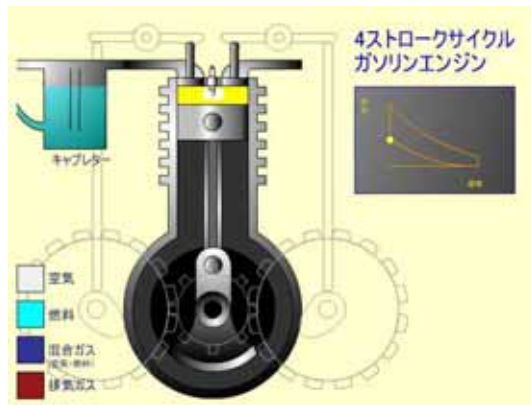
アプリケーションソフト (Flash MX) を用い、前項 3.4.1 および 3.4.2 の思想に基づき CG アニメーションコンテンツを作成した。図 3.4.3-1 ~ 図 3.4.3-3 に本コンテンツを示した。これらのコンテンツは教員が授業中に説明のために使用するもので、コンピューターのキー操作によって進めたり戻したりすることができる。本コンテンツの特長を以下に示す。

各コンテンツにおいてガスの色分けを行った。空気はシリンダー内壁の色がシルバーなので透明感を出すために灰色にした。燃焼時の色は火の色として黄色を用いた。燃焼後の排気ガスの色は、多少温度が高い状態を保持していることが分かるように臙脂 (えんじ) を用いた。混合ガスは燃焼前の低い温度を連想させる青色とした。また、燃料は液体のイメージを表現するため水色とした。

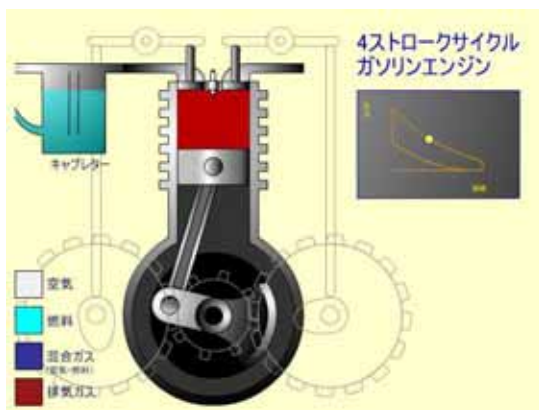
図 3.4.3-1 の 4 ストロークガソリン機関と図 3.4.3-3 の 4 ストロークディーゼル機関のコンテンツでは、バルブの開閉機構が分かるように、クランク軸 (動力軸) に取り付けられた歯車からカムに取り付けられた歯車に動力が伝達され、その回転によってカムがブッシュロッドを持ち上げ上部のバルブの開け閉めを司っていることが分かるようになっている。

図 3.4.3-1 の 4 ストロークガソリン機関と図 3.4.3-2 の 2 ストロークガソリン機関では、吸気バルブへと混合気が導かれる途中にキャブレター (混合器) があり、外から入ってきた空気に燃料が混合される様子を描いている。

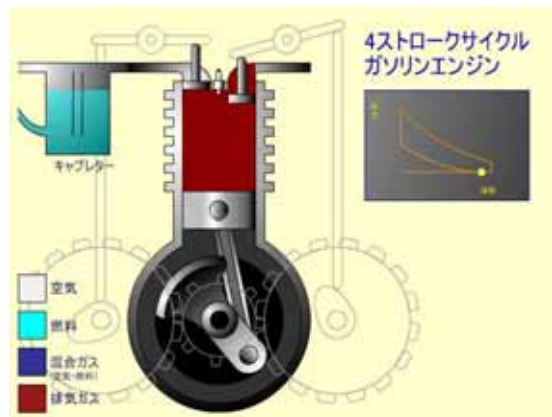
図 3.4.3-2 の 2 ストロークガソリン機関では、吸気と排気ของガスの出入りが分かりにくいので、矢印によってガス動きの表現を補助している。



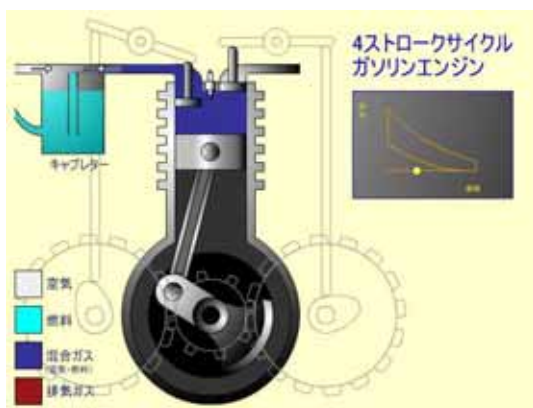
a . 燃焼



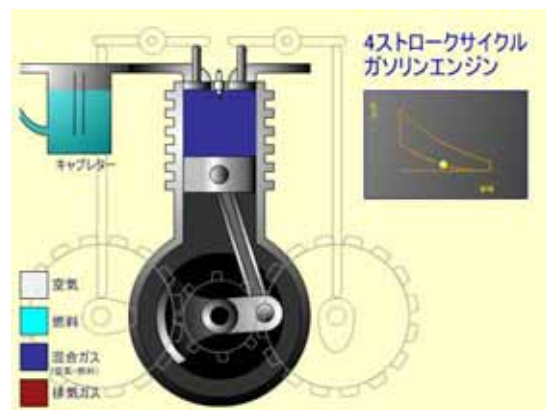
b . 膨張行程



c . 排気行程

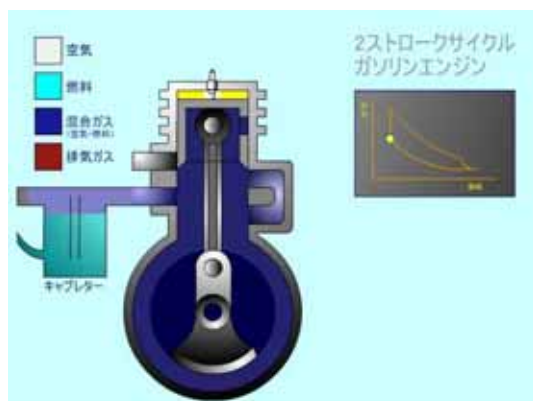


d . 吸気行程

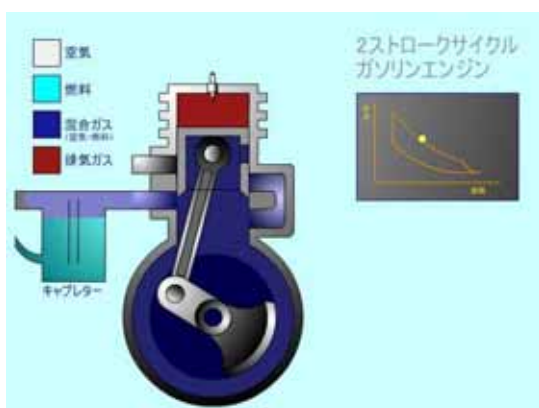


e . 圧縮行程

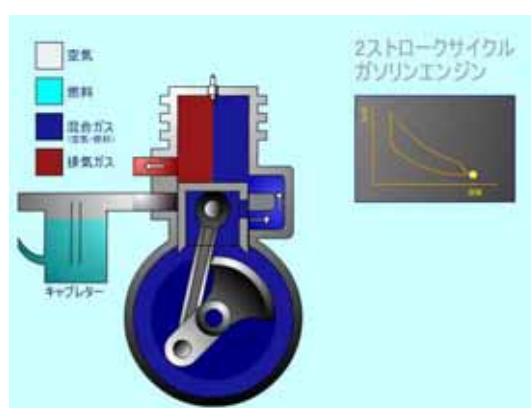
図 3.4.3-1 内燃機関の動作原理を説明する CG アニメーションコンテンツ
(4 ストロークサイクルガソリン機関)



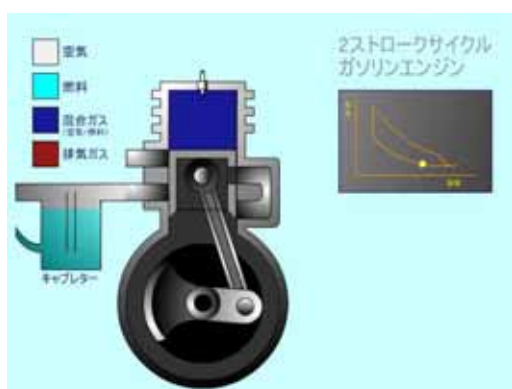
a . 燃焼



b . 膨張行程



c . 排気・内部吸気行程

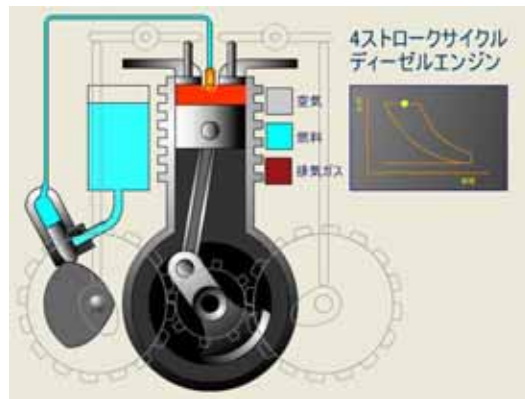


d . 圧縮行程

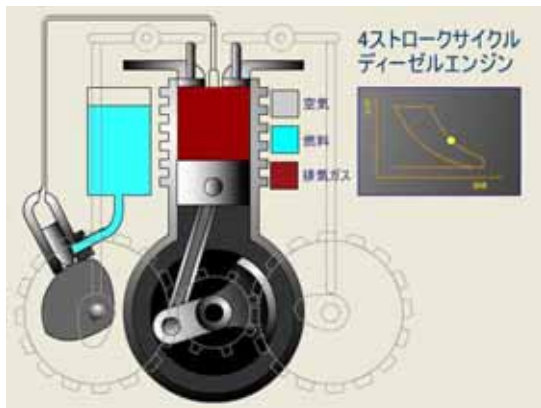


e . 圧縮・外部吸気行程

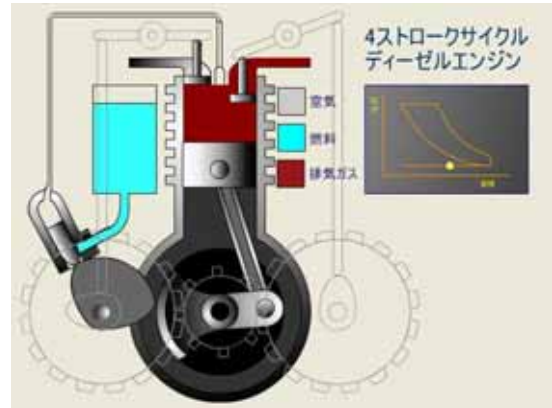
図 3.4.3-2 内燃機関の動作原理を説明する CG アニメーションコンテンツ
(2 ストロークサイクルガソリン機関)



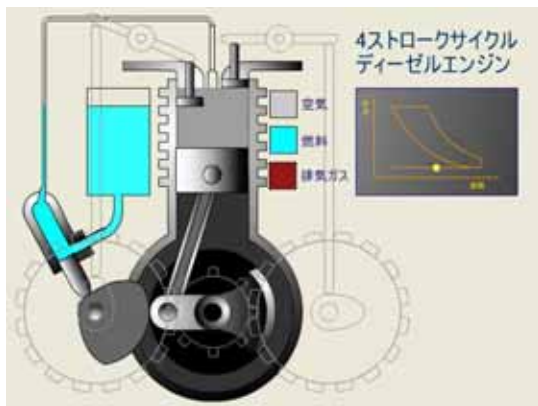
a . 燃焼膨張行程



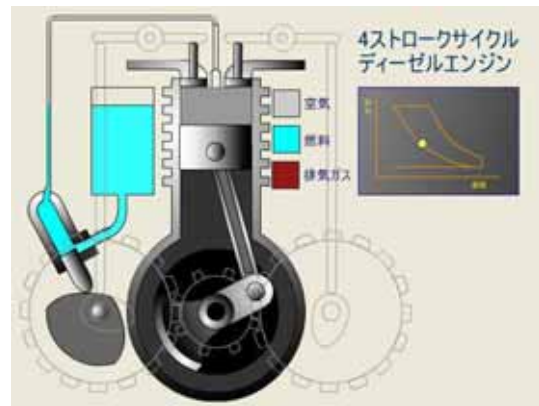
b . 膨張行程



c . 排気行程



d . 吸気行程



e . 圧縮行程

図 3.4.3-3 内燃機関の動作原理を説明する CG アニメーションコンテンツ
(4ストロークサイクルディーゼル機関)

図 3.4.3-3 の 4 ストロークディーゼル機関の特徴である燃料噴射の仕組みが分かるように、図中に燃料噴射ポンプ（インジェクションポンプ）を設置し、大きなカムによってポンプ内の小さなピストンが押されて、その圧力で燃料が燃焼室内に送り込まれる様子を詳細に再現した。これによってガソリン機関とは大きな違いがあることを理解させる。

3.5 e ラーニングコンテンツの設計および作成

本研究で設計した e ラーニング用 Web ページは学生が自宅などオンデマンドな環境でいつでもどこでもアクセスして、リンク先にあるアニメーションコンテンツを自ら操作することができる。これによって、理解できないところを繰り返し見ることができ、エンジンの原理の理解を促進させることを目的とする。アニメーション部分は前節 3.4 で作成したコンテンツに学生が各行程を独立して操作できるように操作ボタンを配置したものになっている。図 3.5-1~3 に 4 ストロークおよび 2 ストロークサイクルガソリン機関と 4 ストロークディーゼル機関の Web 用アニメーションコンテンツを示した。学生は、スタート、ストップ、コマ送りおよびコマ戻しなどのボタンを使ってアニメーションを直接操作できる。また、各行程のボタンをクリックするとその行程の部分のみアニメーションが動作するようになっている。これによって、学生は同じ行程を何度も繰り返し確認することができる。

課題提示および提出のために、前章 2.3.2 の手法によって、簡単な HTML 言語による課題書き込み用 Web ページを設けた。このページからリンクする形で、学生はアニメーションコンテンツを起動させることができる。アニメーションを見ながら、Web ページ上に示した課題の回答を書き込み、CGI プログラムにより送信できるようにした。この先頭の Web ページを図 3.5-4 に示し、開発した簡単な CGI プログラムを図 3.5-5 に示した。

課題の内容は各行程におけるエンジンの動作について各アニメーションを観察し、その状態変化や動作を文章で説明させる内容とした。これによって、学生はサイクル内の各行程で行われることを自らの操作でアニメーションを何度も繰り返し見ながら考え、自らの言葉でそれを表現することによって、知識の外化によるメタ認知の促進⁴⁴⁾⁴⁵⁾につながり、動作原理の理解が深まるものと考えられる。提出されたデータは CSV テキスト形式としてサーバー上に保存され、後で教員が確認できるようになっている。図 3.5-6 に学生がアクセスして回答した CSV データ実例を示した。

アニメーション部分を除く、本 Web ページ作成に要した時間は 2~3 時間である。また、CGI プログラムは図 3.5-5 のように数十行程度であり、非常にコンパクトなプログラムとなった。この CGI プログラムを HTML ファイルとともにサーバー上に置くだけで、学生の課題提出を Web ページから行うことが可能となる。ただし、CGI については、セキュリティの問題が指摘されているため、これらのファイルについてはセキュリティのしっかりした学外のプロバイダーのサーバーに設置した。

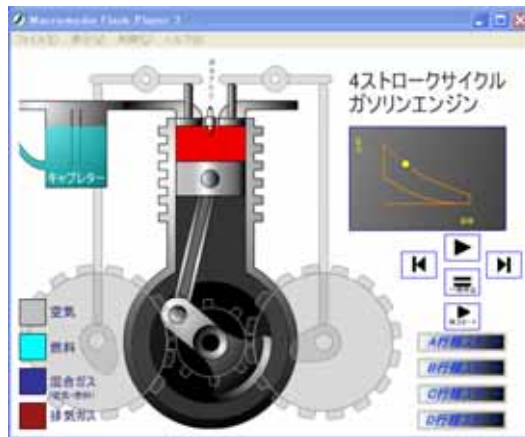


図 3.5-1 Web 用 CG アニメーションコンテンツ
(4ストロークサイクルガソリンエンジン)

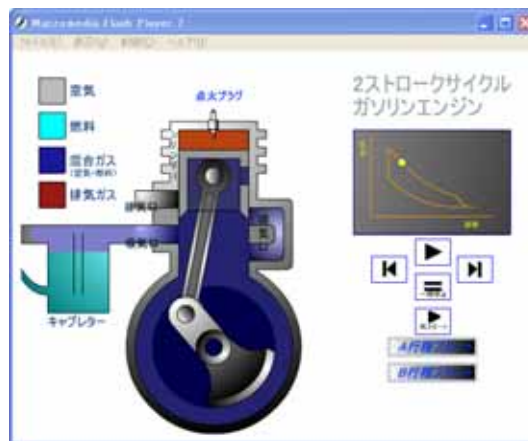


図 3.5-2 Web 用 CG アニメーションコンテンツ
(2ストロークサイクルガソリンエンジン)

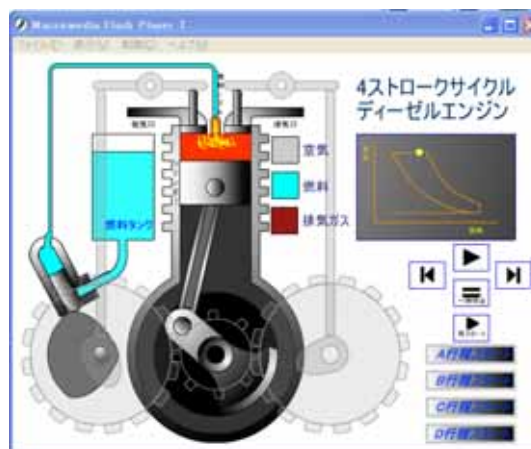


図 3.5-3 Web 用 CG アニメーションコンテンツ
(4ストロークサイクルディーゼルエンジン)

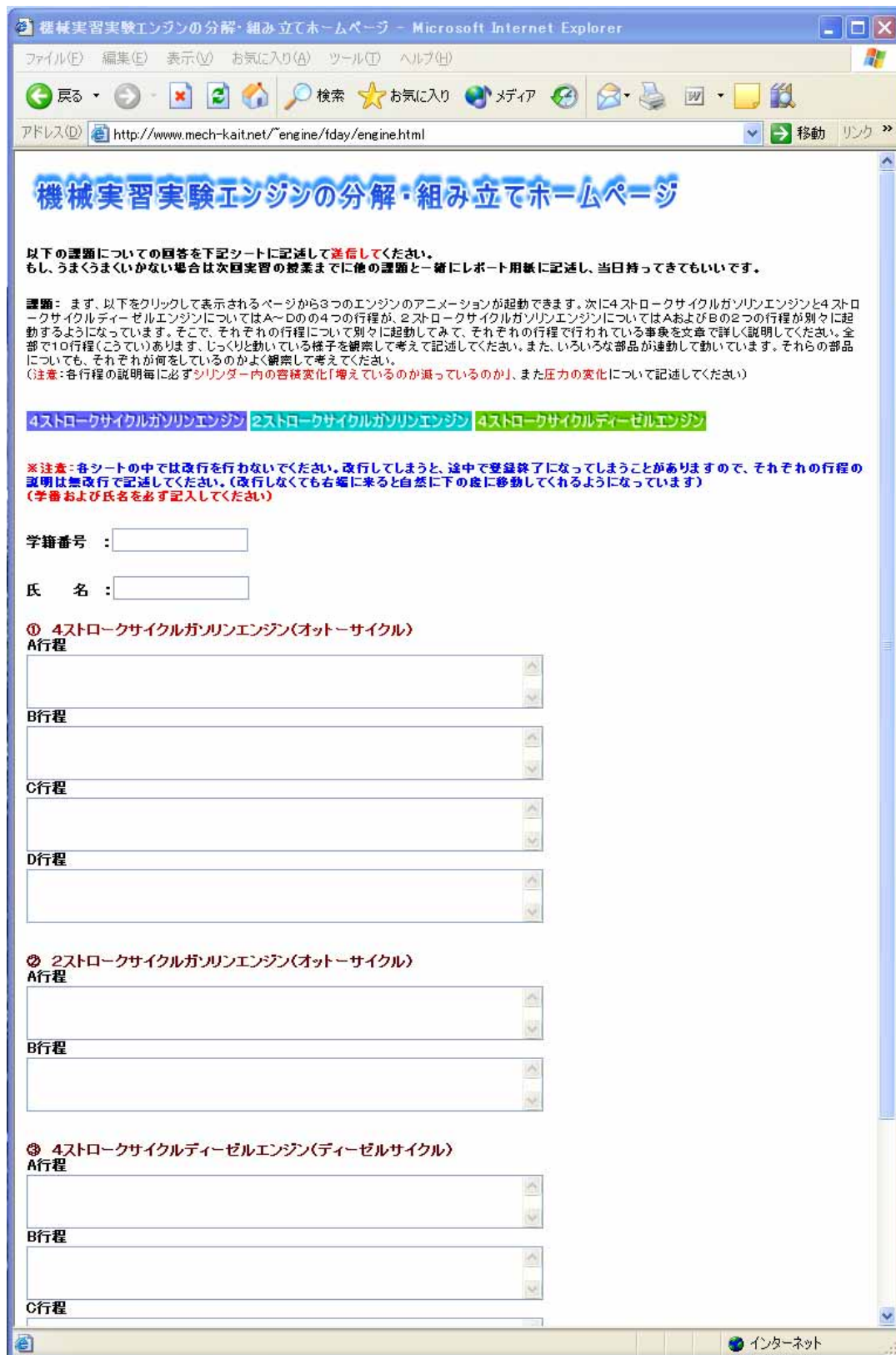


図 3.5-4 アクセス用先頭 Web ページ

```

#!/usr/bin/perl
print "Content-type: text/plain\n\n";
# /////課題提出数をカウントする/////
$name='./count.dat';
open(F0, "$name");
chomp($count=<F0>);
close(F0);
$count++;
open(F0, ">$name");
flock(F0, 2);
print F0 "$count";
close(F0);
flock(F0, 8);
# /////ファイル名指定/////
$nameout='./NoScout.csv';
$no=$count;
# /////POSTメソッドによる処理/////
if( $ENV{'REQUEST_METHOD'} eq "POST" ) {
read( STDIN, $buffer, $ENV{'CONTENT_LENGTH'} );
} else {
$buffer = $ENV{'QUERY_STRING'};
}
@buf = split( /\&/, $buffer );
# /////HTMLから渡された文字を変数に代入/////
open(F1, ">$nameout");
flock(F1, 2);
print F1 "No, $no\n";
foreach $data ( @buf ) {
( $name, $value ) = split( /=/, $data );
$value =~ tr/+//;
$value =~ s/%([a-fA-F0-9][a-fA-F0-9])/pack("C",hex($1))/eg;
$personal{$name} = $value;
print F1 "$name, $value\n";
}
flock(F1, 8);
close(F1);
# /////HTMLに受付確認を表示/////
print <<"HTML";
<HTML>
<HEAD>
<TITLE>結果表示</TITLE>
</HEAD>
<BODY>
<H1>課題は提出されました。受付番号$count</H><BR>
</BODY>
</HTML>
HTML

```

図 3.5-5 アクセス用 CGI プログラム

学籍番号	049999	1	状態 説明	機構 説明
名 前	神奈川 太郎			
4ストガソ リン膨張行 程	混合ガスの圧縮されたものが、スパークプラグによって点火・爆発して、発生した排気ガスがピストンを下死点まで下げている。シリンダー内の容積は増えていき、圧力は一瞬増えたあと減っている。			
4ストガソ リン排気行 程	排気バルブが開きピストンが上死点まで上昇して、排気ガスをシリンダー内から出している。シリンダー内の容積は減っていき、圧力は少し減った後は一定になっている。			
4ストガソ リン吸気行 程	吸入バルブが開きキャブレター内に空気が入り、空気と燃料をあわせた混合ガスがシリンダー内に入り、ピストンを下死点まで下げている。シリンダー内の容積は増えていき、圧力は一定のままである。			
4ストガソ リン圧縮行 程	バルブは閉じたままでピストンが上死点まで上昇し、混合ガスを圧縮していく。シリンダー内の容積は減っていき、圧力は増えている。			
2ストガソ リン膨張排 気送気行 程	圧縮されていた混合ガスがスパークプラグによって点火・爆発して、ピストンを下死点まで下げている。ピストンが下がると同時に排気ガス側面から排出して、ピストンの下から混合ガスが横の穴を通りピストンの上へ行く。シリンダー内の容積は増えていき、圧力は減っている。			
2ストガソ リン吸気圧 縮行程	A行程でピストンの上に行った混合ガスが、ピストンによって圧縮される。ピストンが上死点まで上がると、シリンダーの側面のキャブレターに通じている穴から混合ガスが吸入される。シリンダー内の容積は減っていき、圧力は増えている。			
4スト ディーゼル 膨張行程	圧縮され高温になった空気に燃料が混ざり、燃焼することによってピストンが下死点まで下がる。シリンダー内の容積は増え、圧力は完全に燃焼するまで一定で、燃焼し終わると減っていく。			
4スト ディーゼル 排気行程	排気バルブが開いて、ピストンが上死点まで動き排気ガスを排出する。シリンダー内の容積は減っていき、圧力は少し減ったあと一定のままである。			
4スト ディーゼル 吸気行程	吸入バルブが開き空気が吸入されて、ピストンが下死点まで動く。シリンダー内の容積は増えていき、圧力は一定のままである。			
4スト ディーゼル 圧縮行程	ピストンが上死点まで動き、シリンダー内の空気が圧縮され高温になる。また、ピストンが上死点の近くまでくると燃料も吸入されはじめる。シリンダー内の容積は減っていき、圧力は増えている。			

図 3.5-6 提出された課題記入例 (CSV データファイル)

3.6 本コンテンツを用いた授業の設計およびeラーニングコンテンツの設計制作

機械実習実験科目において，本コンテンツを用いた授業，および Web ページ課題を実践する授業の設計を行った．教育効果の測定は前節 3.2 に示したように，はじめに，前期に行う 8 班（計 88 人）について行うこととし，これら 8 班分について設計した．図 3.6-1 に授業のタイムテーブルを示した．授業の形態は11人を基本構成とする8つの班に対して，ローテーションしながら別々に実習指導を行う．各班は2週間にわたって本テーマを行い，隔週ごとに別の班に対して指導を行う．本コンテンツの実演は分解組み立て実習に先立って行うエンジン（内燃機関）の原理説明で使用する．

	1限目						2限目			
	25分	25分	5分	40分	10分	25分	45分	20分		
Aグループ(2班合計22人)	1週目(2限)	実習説明その他	エンジンの原理説明(動画コンテンツ)	小テスト	エンジン分解実習	休憩	部品スケッチその他実習	組み立て		Web課題説明その他
	Webコンテンツ課題									
2週目(2限)	小テスト	カム・バルブ部分解	スケッチその他ギヤ比計算等実習		休憩	スターリンクエンジン・アルコールエンジン(透過シリンダー)実演	部品の役割考察課題	組み立て		レポートまとめおよびアンケート実
Bグループ(2班合計22人)	1週目(2限)	実習説明その他	エンジンの原理説明(静止画使用)	小テスト	エンジン分解実習	休憩	部品スケッチその他実習	組み立て		Web課題説明その他
	Webコンテンツ課題									
2週目(2限)	小テスト	カム・バルブ部分解	スケッチその他ギヤ比計算等実習		休憩	スターリンクエンジン・アルコールエンジン(透過シリンダー)実演	部品の役割考察課題	組み立て		レポートまとめおよびアンケート実
Cグループ(2班合計22人)	1週目(2限)	実習説明その他	エンジンの原理説明(動画コンテンツ)	エンジン分解実習		休憩	部品スケッチその他実習	組み立て		小テスト Web課題説明その他
	Webコンテンツ課題									
2週目(2限)	小テスト	カム・バルブ部分解	スケッチその他ギヤ比計算等実習		休憩	スターリンクエンジン・アルコールエンジン(透過シリンダー)実演	部品の役割考察課題	組み立て		レポートまとめおよびアンケート実
Dグループ(2班合計22人)	1週目(2限)	実習説明その他	エンジンの原理説明(静止画使用)	エンジン分解実習		休憩	部品スケッチその他実習	組み立て		小テスト Web課題説明その他
	Webコンテンツ課題									
2週目(2限)	小テスト	カム・バルブ部分解	スケッチその他ギヤ比計算等実習		休憩	スターリンクエンジン・アルコールエンジン(透過シリンダー)実演	部品の役割考察課題	組み立て		レポートまとめおよびアンケート実

図 3.6-1 授業のタイムテーブル

アニメーションによる学習効果の比較のために、動作原理の説明時にアニメーションを用いて説明するグループ(4つの班44名)と、アニメーションを用いずに静止画を使うグループ(4つの班44名)のそれぞれ実験群と統制群の2つに分けて行った。また、この2種類の標本比較にホーソン効果^{4 6)}の影響が現れないように、静止画もアニメーションと同じ画像を用い、プロジェクターを使用して説明することでアニメーションを用いるクラスと同様に従来よりも新しいことをやっている、という感覚を意図的に持たせるようにした。

説明する内容は、両者とも全く同じであるが、後者は、動きを言葉で詳しく説明する必要があるので教員側の説明時間は長くなる(後述3.7表3.7-1)。また本コンテンツの教育効果を測定するために、説明の後、燃焼、排気、吸気および圧縮のそれぞれの行程を描いた絵をサイクルの順に並べ替えさせる簡単な小テスト(後述3.9.1)を時間内に回答させる。小テストは4ストロークサイクルガソリン機関、2ストロークサイクルガソリン機関および4ストロークサイクルディーゼル機関の3種類についてそれぞれ絵の並びを変化させた2種類ずつ用意し、1週目に行う小テストと2週目に行う小テストを班ごとに入れ替えて行う。これによって小テスト個々が持つ優位性を相殺する。

ここで、サイクルの各行程の図の順番を並べ替えるというかなり基礎的な内容の小テストによって検討を行うのは、前節3.1で示したように、本学の学生の学力として、そのレベルの内容でも3年生以降の高学年になっても理解していない学生が多いということが挙げられる。また、授業時間内で他の課題を圧迫しない程度の短い時間で実施できるテストとして並べ替え問題が最適だと考えられること、更に、各行程の図を正確に並べ替えるためには、実際にその図がサイクル中どの行程なのか考え、各サイクルで何が行われているのかを知っていなければ答えられないはずであり、短い時間でエンジンの原理の理解度をチェックするためには最も単純で最適な方法であると考えたからである。

小テストの実施タイミングは、まず、1週目の授業で、エンジンの原理を説明した直後に実施する場合と、約2時間後の1週目授業終了時に実施する場合の2パターンで行った。次にeラーニングのアニメーションWeb課題の効果を測定するために、2週目の始めにも小テストを行った。以上より、小テストによる計測パターンの総バリエーションは図3.6-1に示すように、A、B、CおよびDの合計4種類のグループ(各22人)となる。

3.7 本コンテンツを用いた授業の実践

「エンジンの分解組立」1週目の授業における本コンテンツの実演の様子を図3.7-1に示した。図3.6-1の授業のタイムテーブル中「エンジンの原理説明」における説明内容としては、内燃機関における動力の発生の仕組みをピストンの挙動を示しながら説明した後、バルブの役割、4ストロークサイクルと2ストロークサイクルの違い、更にガソリン機関とディーゼル機関の違いについて等説明する。前節3.6に記したように動画(アニメーションコンテンツ)を使用するグループと、パワーポイントによる静止画のみを使用し



図 3.7-1 授業中におけるコンテンツ使用

表 3.7-1 アニメーション動画使用による説明時間の短縮

	説明に要した平均時間
静止画使用	30.5 min
アニメーション(動画)使用	25 min
効果	-18.0%

たグループに分けて授業を行った。教員(著者)の主観的評価としては動画を使用しなかった場合に比べて動画を利用することで、クランクやピストンの動きの説明が実際の動きの中で説明でき、したがって、スムーズに説明することができた。各授業において同様の部分についての教員の説明時間を計測し、動画を用いた場合と用いなかった場合の説明に要した時間の比較を表 3.7-1 に示した。その結果、アニメーションを使用した場合の説明時間は、静止画を使用した場合に比べて、約 18%の説明時間の短縮が見られた。

3.8 アンケートの実施

本研究で開発したコンテンツを用いて行った授業での教育効果について検討を行う。はじめに、授業を受けた学生に対して行ったアンケート調査について検討を行った。回答項目は、評定尺度法に基づく 4 段階とし、得られた結果は間隔尺度で数値化した。

アンケートの項目は以下の通りである。

(1)4 ストロークサイクルと 2 ストロークサイクルの違いを理解できたか？

- | | |
|-------------|---------------|
| ア．全く理解できない | イ．あまりよく理解できない |
| ウ．おおよそ理解できた | エ．良く理解できた |

(2)オットーサイクル(ガソリンエンジン)とディーゼルサイクルの違いを理解できたか？

- | | |
|-------------|---------------|
| ア．全く理解できない | イ．あまりよく理解できない |
| ウ．おおよそ理解できた | エ．良く理解できた |

(3)カム機構のしくみ（バルブを開閉させる仕組み）を理解できたか？

- ア．全く理解できない イ．あまりよく理解できない
ウ．おおよそ理解できた エ．良く理解できた

(4)ホームページのアニメーションコンテンツは理解しやすかったか？

- ア．全く理解できない イ．あまりよく理解できない
ウ．おおよそ理解できた エ．良く理解できた オ．利用できなかった

(5)ホームページを見ていた時間はどれくらいだったか

このホームページを見ていた全体の時間（解答記入時間も含） 約 分

上記の内，アニメーション部分を見ていた正味時間 約 分

(6)その他感想や意見

図 3.8-1 に上記項目 1～3 についての結果を示した．また図 3.8-2 には項目 4 の本コンテンツに対する学生の評価の結果を示した．図 3.8-1 の結果より 80%以上の学生が理解できたと回答している．また，図 3.8-2 のホームページアニメーションが理解しやすかったかどうかという問いに対しては，95%の学生が理解しやすかったと回答している．この結果，アンケートによる調査の結果では，概ね本コンテンツの有効性が認められたといえる．

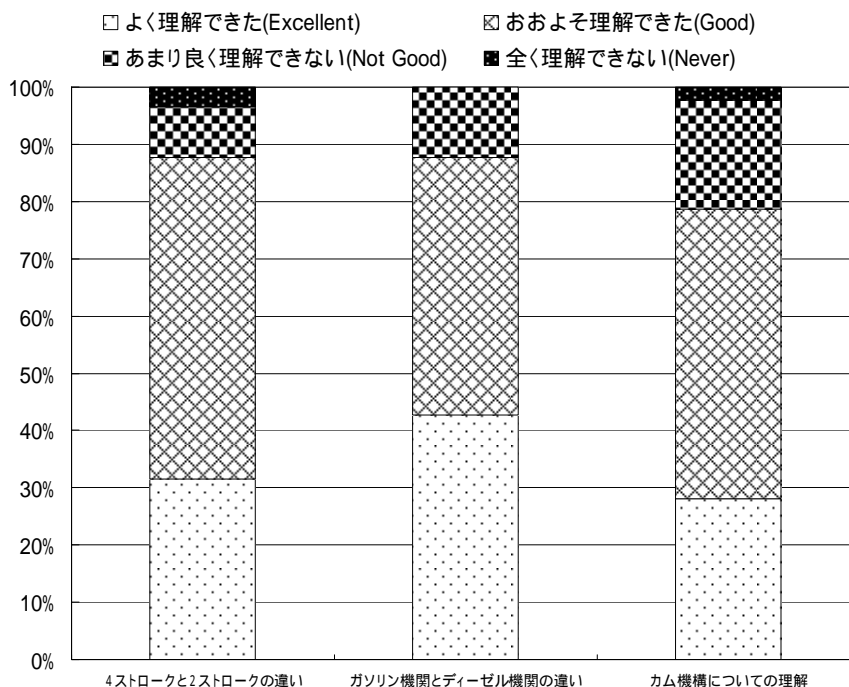


図 3.8-1 項目 1～3 についての結果

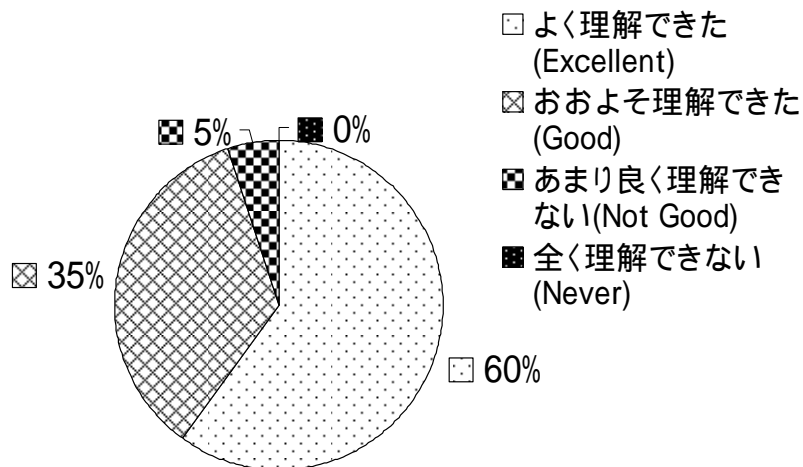


図 3.8-2 本コンテンツに対する学生の評価

3.9 小テストによる教育効果の測定

3.9.1 小テスト

前項 3.6 で説明したように、教育効果測定のための小テストを行った。図 3.6-1 授業のタイムテーブル中、1 週目のエンジンの動作原理説明の後および 2 週目の最初に行う小テストを図 3.9-1～図 3.9-3 に示す。小テストは 4 ストロークサイクルガソリン機関、2 ストロークサイクルガソリン機関および 4 ストロークサイクルディーゼル機関の各 3 種類について同時に行った。それぞれの小テストは、燃焼、排気、吸気および圧縮行程の 4 つの図に 1 枚付け加えた計 5 つの図について、順不同に並べたものをサイクルの順番に並べ替えさせる簡単なものである。前項 3.6 で示したように、小テストを行うタイミングは、A および B グループは原理の説明直後に、C および D グループについては原理の説明終了後約 2 時間後（1 週目授業終了間際）に行った。

3.9.2 小テストの正答率比較

1 週目の小テストについては、説明直後に実施した場合と、約 2 時間後の授業終了時に実施した場合の 2 種類、さらに、説明時に動画アニメーションを用いた場合と静止画を用いた場合の 2 種類、の合計 4 つのグループに分けて行った。すなわち、図 3.6-1 授業のタイムテーブルで分けられた A、B、C および D の 4 グループである。

小テストの結果を表 3.9-1 に示す。この結果、説明後に時間が経過（授業終了時、約 2 時間経過）すると、小テストの正答率の低下（A および B の平均値 74% C および D の平均値 67%）が認められる。また、1 週目にアニメーション動画を用いて説明したグループ（A および C の平均値 79%）と、静止画の絵のみを用いて説明したグループ（B および D の平

学番 _____ 氏名 _____

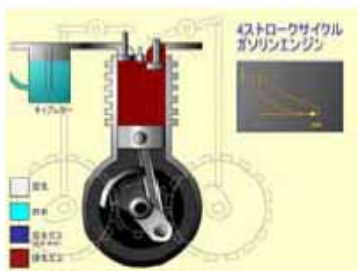
4ストロークサイクル ガソリン(オート)エンジン

燃焼過程を一枚目としたサイクルの順
番を図の上に記入してください

()



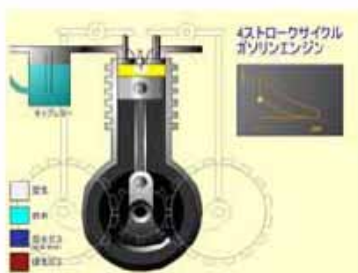
()



()



()



()

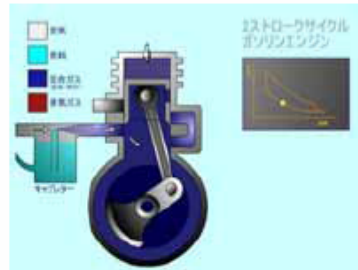


図 3.9-1 小テスト (4 ストロークサイクルガソリン機関)

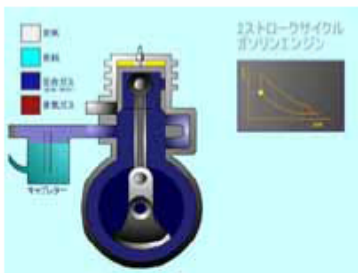
2ストロークサイクル ガソリン(オットー)エンジン

燃焼過程を一枚目としたサイクルの順
番を図の上に記入してください

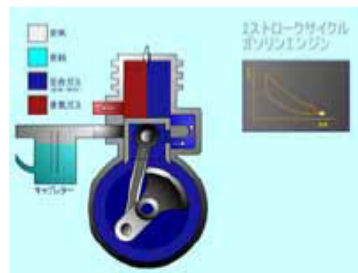
()



()



()



()



()

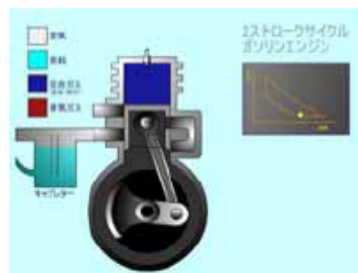
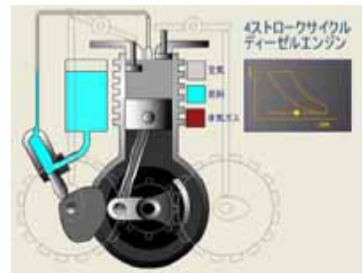


図 3.9-2 小テスト (2 ストロークサイクルガソリン機関)

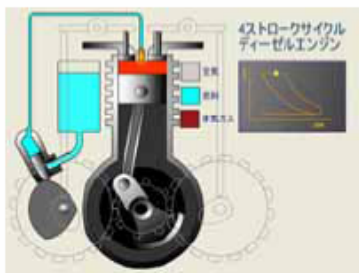
4ストロークサイクル ディーゼルエンジン

燃焼過程を一枚目としたサイクルの順
番を図の上に記入してください

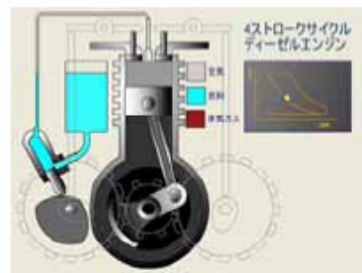
()



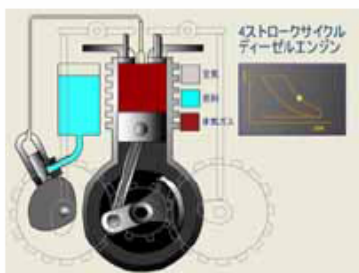
()



()



()



()

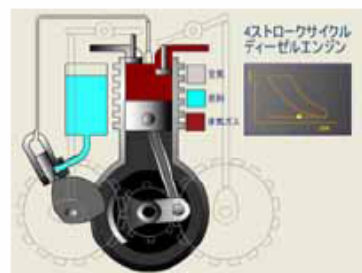


図 3.9-3 小テスト (4 ストロークサイクルディーゼル機関)

表 3.9-2 小テストの正答率の比較 (%)

		1週目 (Web 課題前)			2週目 (Web 課題後)
		動画を使用	静止画使用	平均	
1週目 (Web 課題前)	説明直後実施	83(A)	65(B)	74	82
	授業終了時	74(C)	60(D)	67	82
	平均	79	63	71	82
2週目 (Web 課題後)		85	80	82	

均値 63%)との比較においては、前者の方が約 25%も正答率が高くなった。このことから説明時に動画を用いた方が明らかに理解度が上昇するといえる。次に、eラーニングのアニメーション Web 課題による効果については、1 週目の全平均値 71%から Web 課題提出後となる 2 週目の全平均値は 82%となり、Web 課題によるアニメーションの学習効果が認められる。Web 課題に取り組んだ日時は学生によって異なるが、ほとんどの学生が 2 週目の授業を受ける前日の夜 (10 時間以上前) までに Web 課題を終えている。しかし、2 週目の授業の開始時の小テストにおいては、視聴後長い時間経過しているにもかかわらず、全平均が 82%という高得点を維持している。

このように、1 週目は 2 時間程度経過しただけで正答率の大きな低下 (平均値 74% 67%) が見られていたのに対して、学習効果の長い持続時間が認められる。したがって、経年的な学習効果持続についても、アニメーションの Web 課題による効果が認められた。

3.10 相関係数を用いた教育効果の検討

3.10.1 相関係数に用いるデータ

本コンテンツを用いて行ったことによる教育効果について総合的に検討するために、相関係数による比較検討を行った。比較する項目は 1 週目の Web 課題を行う前の小テスト「小テスト (Web 課題前)」, 2 週目の Web 課題提出後の小テスト「小テスト (Web 課題後)」, Web 課題自体の点数「Web 課題の点数」、学生が主観的に理解できたかどうかという評定尺度に基づいたアンケートによる理解度の回答を間隔尺度で数値化した値「アンケートの結果」、Web 課題のページにアクセスしていた時間「アクセス時間」および「レポートの点数」(コンテンツとは直接関係しない内容。ピストンリング、エンジンオイルについて調査する内容：詳しく調査して、ページ数が多ければ多いほど評価が高いので学習者の勤勉さが問われる)の計 6 種類の数値について、それぞれ 2 つの組み合わせについてのピアソンの積率相関係数を求めた。相関係数による比較に用いるデータは、前期に実施した付録 1 のデータの内、1 週目および 2 週目とも出席しており、なおかつ小テストおよびアンケートにすべて回答している者だけを用いた。その結果標本数は 51 人となった。各データ値を表 3.10.1-1 に示す。

表 3.10.1-1 相関係数算出に用いたデータ (51 人)

班	学籍番号	氏名	小テストWeb課題前	小テストWeb課題後	Web課題	アンケート	アクセス時間 (分)	レポート
1組3班	*****	*****	100.0	100.0	87.5	66.7	55	33.3
1組3班	*****	*****	100.0	100.0	50.0	75.0	10	66.7
1組3班	*****	*****	100.0	100.0	60.0	83.3	50	66.7
1組3班	*****	*****	100.0	100.0	72.5	75.0	15	66.7
1組3班	*****	*****	100.0	100.0	97.5	91.7	90	66.7
1組3班	*****	*****	66.7	100.0	92.5	75.0	40	33.3
1組3班	*****	*****	100.0	100.0	90.0	100.0	40	66.7
1組3班	*****	*****	100.0	33.3	27.5	58.3	10	33.3
1組3班	*****	*****	100.0	100.0	100.0	100.0	40	66.7
1組3班	*****	*****	100.0	100.0	80.0	83.3	30	66.7
1組3班	*****	*****	33.3	66.7	90.0	100.0	120	66.7
1組4班	*****	*****	100.0	100.0	92.5	91.7	80	66.7
1組4班	*****	*****	100.0	100.0	72.5	100.0	60	33.3
1組4班	*****	*****	100.0	100.0	65.0	100.0	80	66.7
1組4班	*****	*****	33.3	0.0	50.0	58.3	180	66.7
1組4班	*****	*****	100.0	66.7	95.0	100.0	180	66.7
1組4班	*****	*****	100.0	100.0	95.0	91.7	120	100.0
1組4班	*****	*****	100.0	100.0	95.0	75.0	120	66.7
1組4班	*****	*****	66.7	100.0	67.5	83.3	90	66.7
1組4班	*****	*****	33.3	33.3	20.0	75.0	30	33.3
1組4班	*****	*****	33.3	100.0	85.0	75.0	90	100.0
1組5班	*****	*****	100.0	100.0	42.5	91.7	30	66.7
1組5班	*****	*****	100.0	100.0	87.5	100.0	60	33.3
1組5班	*****	*****	33.3	0.0	25.0	66.7	45	66.7
1組5班	*****	*****	33.3	100.0	27.5	58.3	120	33.3
2組3班	*****	*****	100.0	100.0	52.5	83.3	30	66.7
2組3班	*****	*****	100.0	100.0	47.5	100.0	120	66.7
2組3班	*****	*****	66.7	66.7	90.0	83.3	20	33.3
2組3班	*****	*****	33.3	66.7	72.5	66.7	60	66.7
2組3班	*****	*****	66.7	100.0	95.0	91.7	60	66.7
2組3班	*****	*****	0.0	100.0	95.0	100.0	60	33.3
2組3班	*****	*****	0.0	33.3	35.0	58.3	30	66.7
2組3班	*****	*****	100.0	66.7	67.5	83.3	40	66.7
2組3班	*****	*****	100.0	66.7	67.5	75.0	20	66.7
2組3班	*****	*****	100.0	100.0	100.0	91.7	60	33.3
2組4班	*****	*****	66.7	66.7	100.0	100.0	90	33.3
2組4班	*****	*****	100.0	100.0	82.5	100.0	30	66.7
2組4班	*****	*****	66.7	100.0	75.0	83.3	90	100.0
2組4班	*****	*****	100.0	66.7	80.0	100.0	60	66.7
2組4班	*****	*****	100.0	100.0	60.0	100.0	60	33.3
2組4班	*****	*****	66.7	100.0	87.5	100.0	30	33.3
2組4班	*****	*****	0.0	0.0	45.0	91.7	20	33.3
2組4班	*****	*****	66.7	100.0	77.5	75.0	30	66.7
2組4班	*****	*****	66.7	100.0	20.0	58.3	60	33.3
2組4班	*****	*****	66.7	100.0	77.5	83.3	120	66.7
2組5班	*****	*****	100.0	100.0	82.5	91.7	120	100.0
2組5班	*****	*****	66.7	100.0	77.5	91.7	60	66.7
2組5班	*****	*****	100.0	100.0	75.0	75.0	30	66.7
2組5班	*****	*****	100.0	100.0	80.0	75.0	90	100.0
2組5班	*****	*****	0.0	66.7	77.5	75.0	180	66.7
2組5班	*****	*****	100.0	100.0	100.0	83.3	40	66.7
平均値			75.8	84.3	72.3	84.2	66.6	60.1
標準偏差			32.4	28.3	22.8	13.4	43.1	19.8

3.10.2 相関係数の比較

各 2 組についての相関係数を各得点の平均値からの偏差を標準偏差で割ることで標準化した標準得点による散布図とともに図 3.10.2-1 から図 3.10.2-15 に示した。それらに対する検定結果を表 3.10.2-1 から表 3.10.2-15 に示す。各図中には最小 2 乗法近似によって求めた原点 (0,0) を通る 1 次近似式 $y = ax$ を示した。ここで、傾き a は相関係数 r と同値となる。各相関係数を表 3.10.2-16 にまとめた。また、各相関係数比較を No.1 ~ No.15 のように付番した。

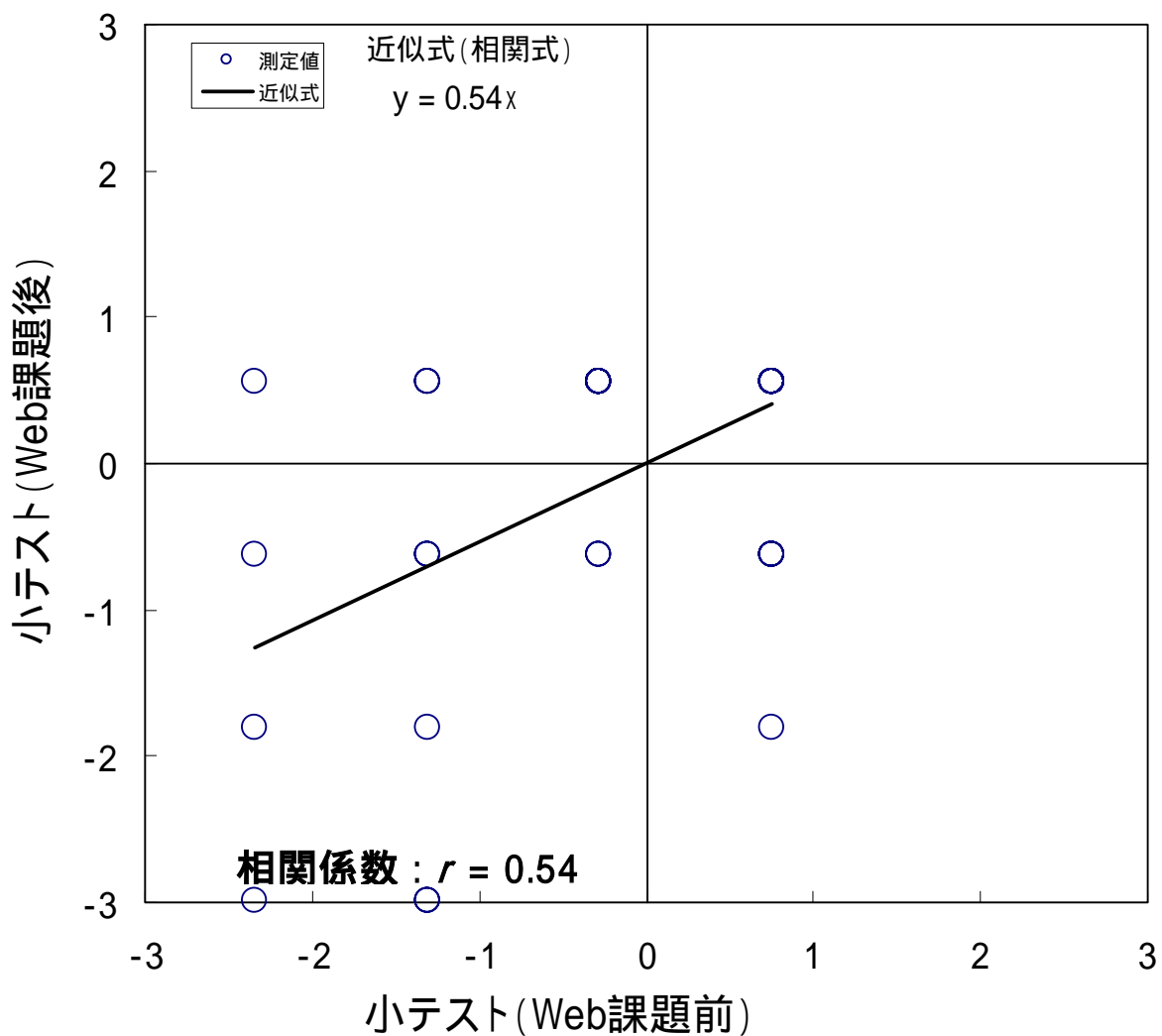


図 3.10.2-1 比較 No.1 の標準化散布図

表 3.10.2-1 比較 No.1 の検定結果

相関係数	r	0.54
サンプル数	n	51
有意水準	α	0.05
自由度	ϕ	49
検定統計量	t 値	4.46
棄却値 (両側)	$t(\phi, \alpha)$	2.01
両側確率	P 値	4.80E-05
相関関係	$(p \leq \alpha)$ 有	

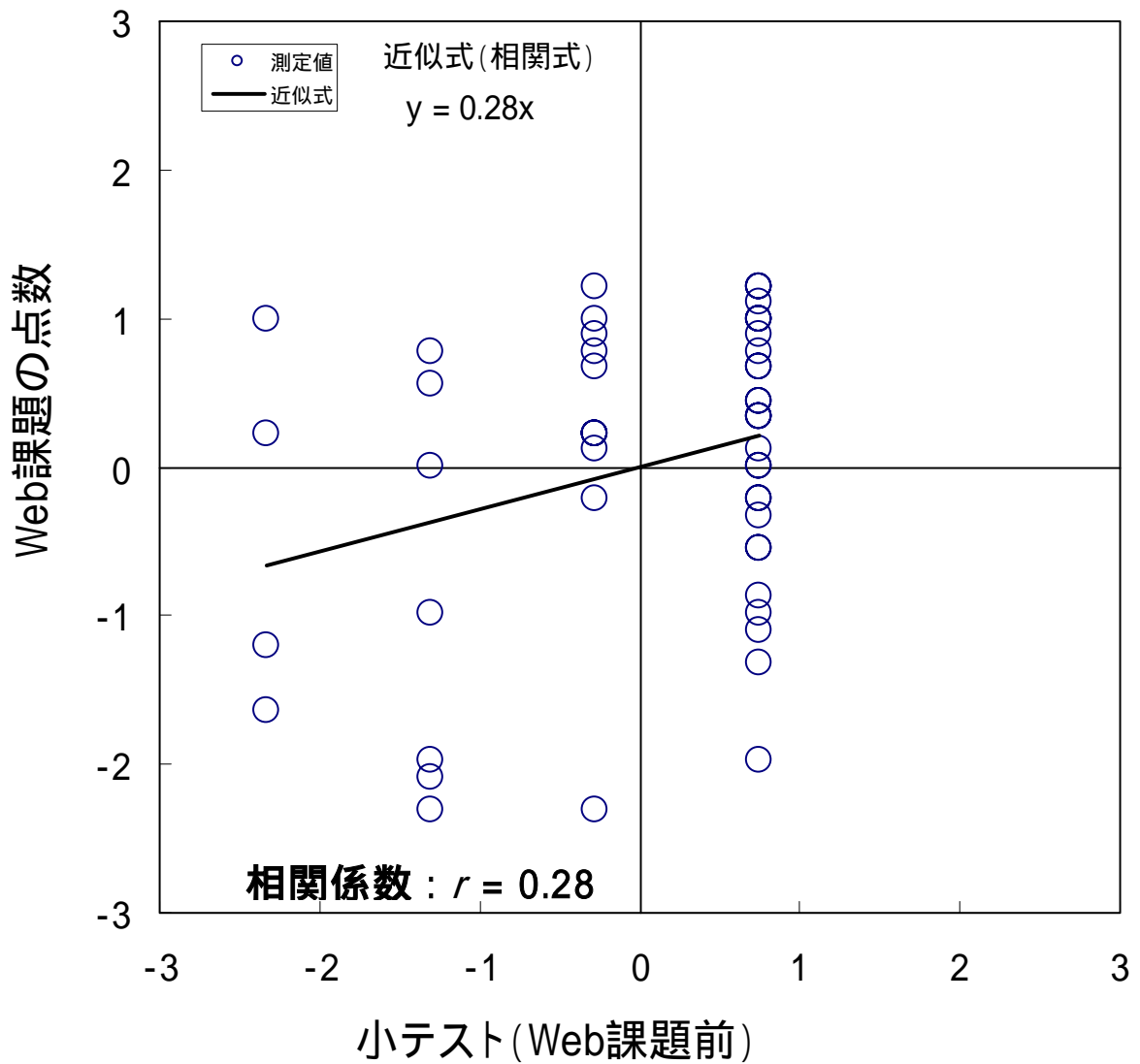


図 3.10.2-2 比較 No.2 の標準化散布図

表 3.10.2-2 比較 No.2 の検定結果

相関係数	r	0.28
サンプル数	n	51
有意水準	α	0.05
自由度	ϕ	49
検定統計量	t 値	2.05
棄却値 (両側)	$t (\phi, \alpha)$	2.01
両側確率	P 値	4.59E-02
相関関係	($p \leq \alpha$) 有	

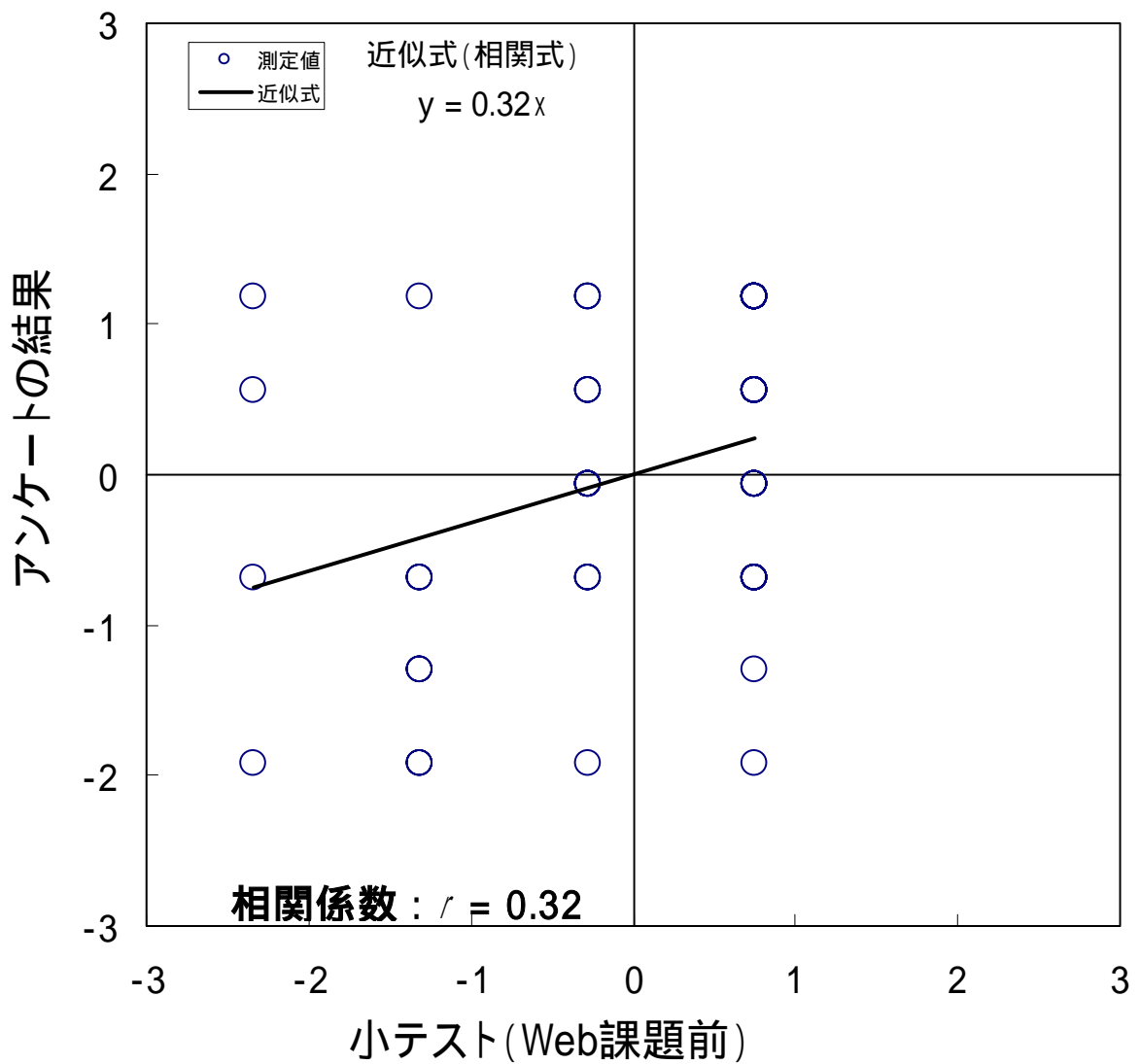


図 3.10.2-3 比較 No.3 の標準化散布図

表 3.10.2-3 比較 No.3 の検定結果

相関係数	r	0.32
サンプル数	n	51
有意水準	α	0.05
自由度	ϕ	49
検定統計量	t 値	2.37
棄却値 (両側)	$t (\phi, \alpha)$	2.01
両側確率	P 値	2.17E-02
相関関係	($p \leq \alpha$) 有	

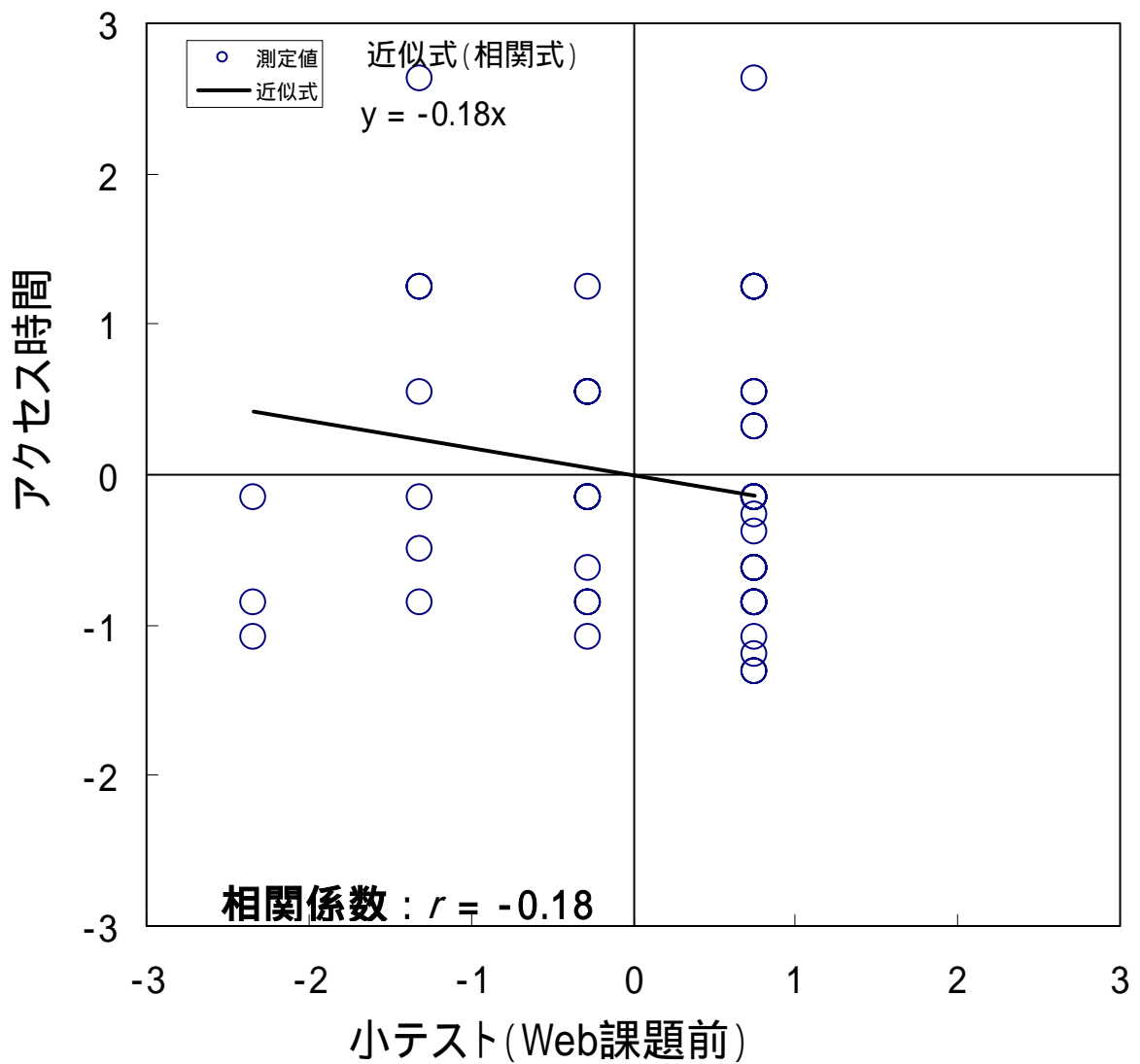


図 3.10.2-4 比較 No.4 の標準化散布図

表 3.10.2-4 比較 No.4 の検定結果

相関係数	r	-0.18
サンプル数	n	51
有意水準	α	0.05
自由度	ϕ	49
検定統計量	t 値	-1.29
棄却値 (両側)	$t (\phi, \alpha)$	2.01
両側確率	P 値	2.03E-01
相関関係	$(p > \alpha)$	無

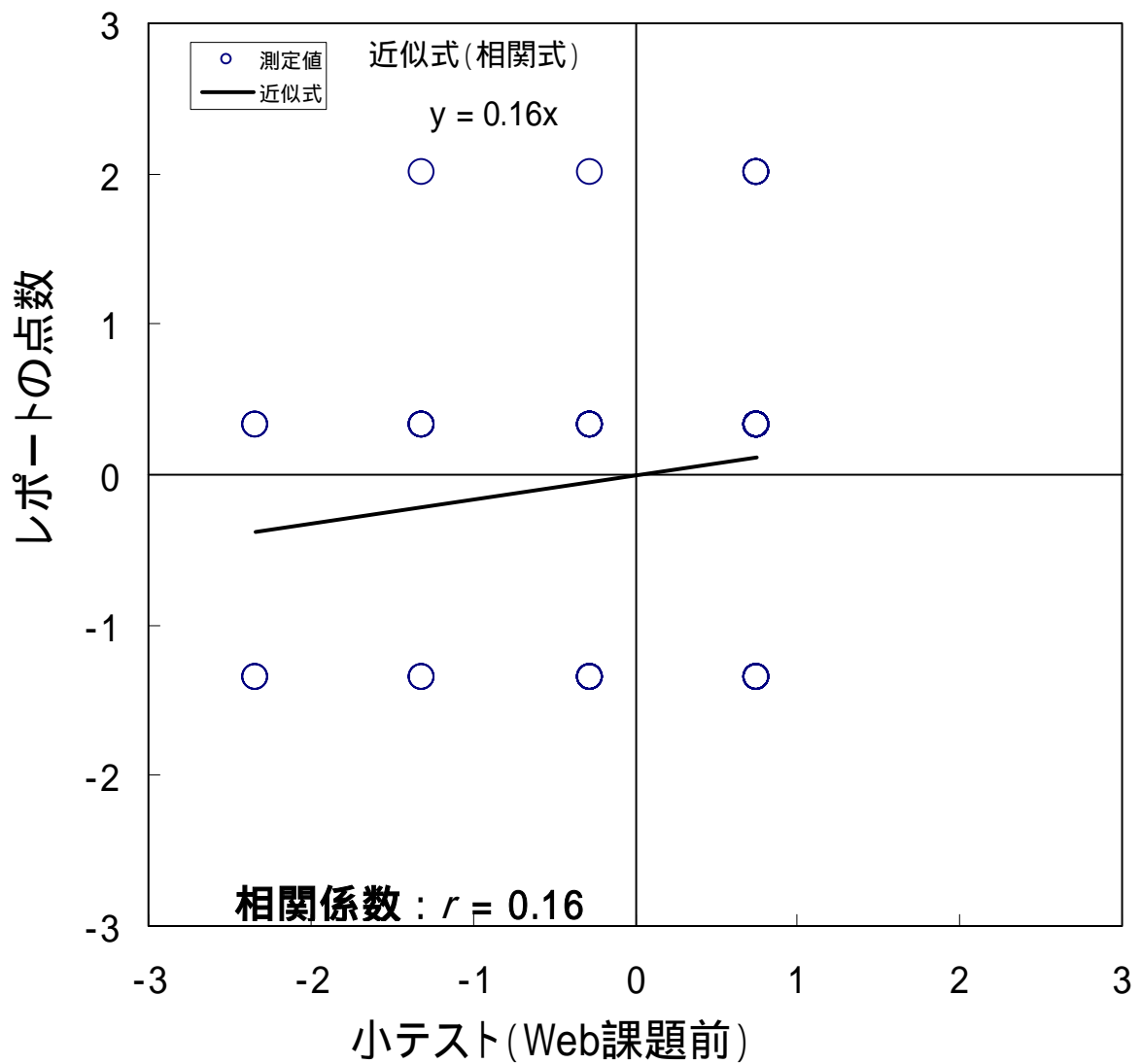


図 3.10.2-5 比較 No.5 の標準化散布図

表 3.10.2-5 比較 No.5 の検定結果

相関係数	r	0.16
サンプル数	n	51
有意水準	α	0.05
自由度	ϕ	49
検定統計量	t 値	1.14
棄却値 (両側)	$t (\phi, \alpha)$	2.01
両側確率	P 値	2.59E-01
相関関係	$(p > \alpha)$	無

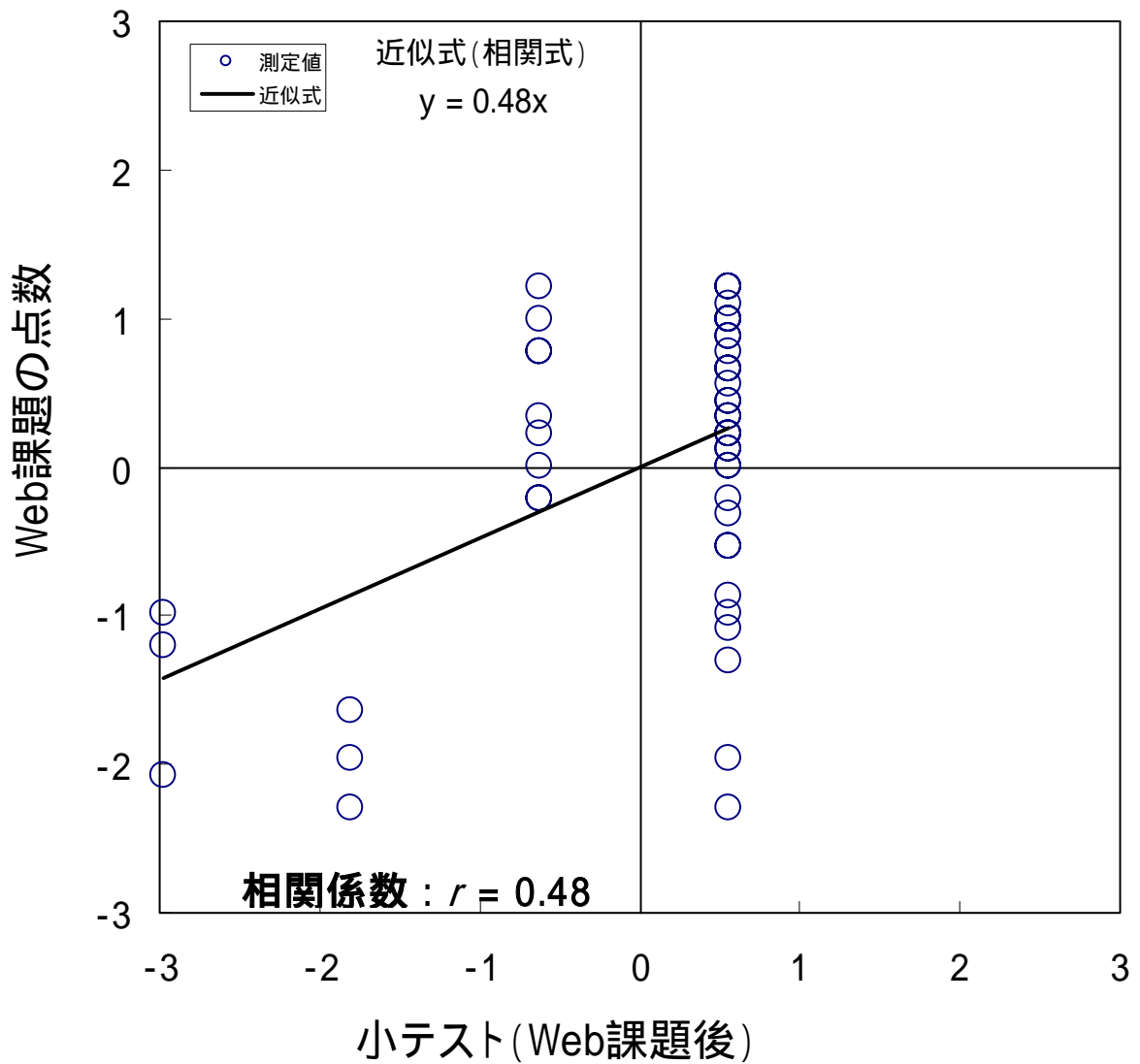


図 3.10.2-6 比較 No.6 の標準化散布図

表 3.10.2-6 比較 No.6 の検定結果

相関係数	r	0.48
サンプル数	n	51
有意水準	α	0.05
自由度	ϕ	49
検定統計量	t 値	3.79
棄却値 (両側)	$t (\phi, \alpha)$	2.01
両側確率	P 値	4.12E-04
相関関係	(p ≤ α) 有	

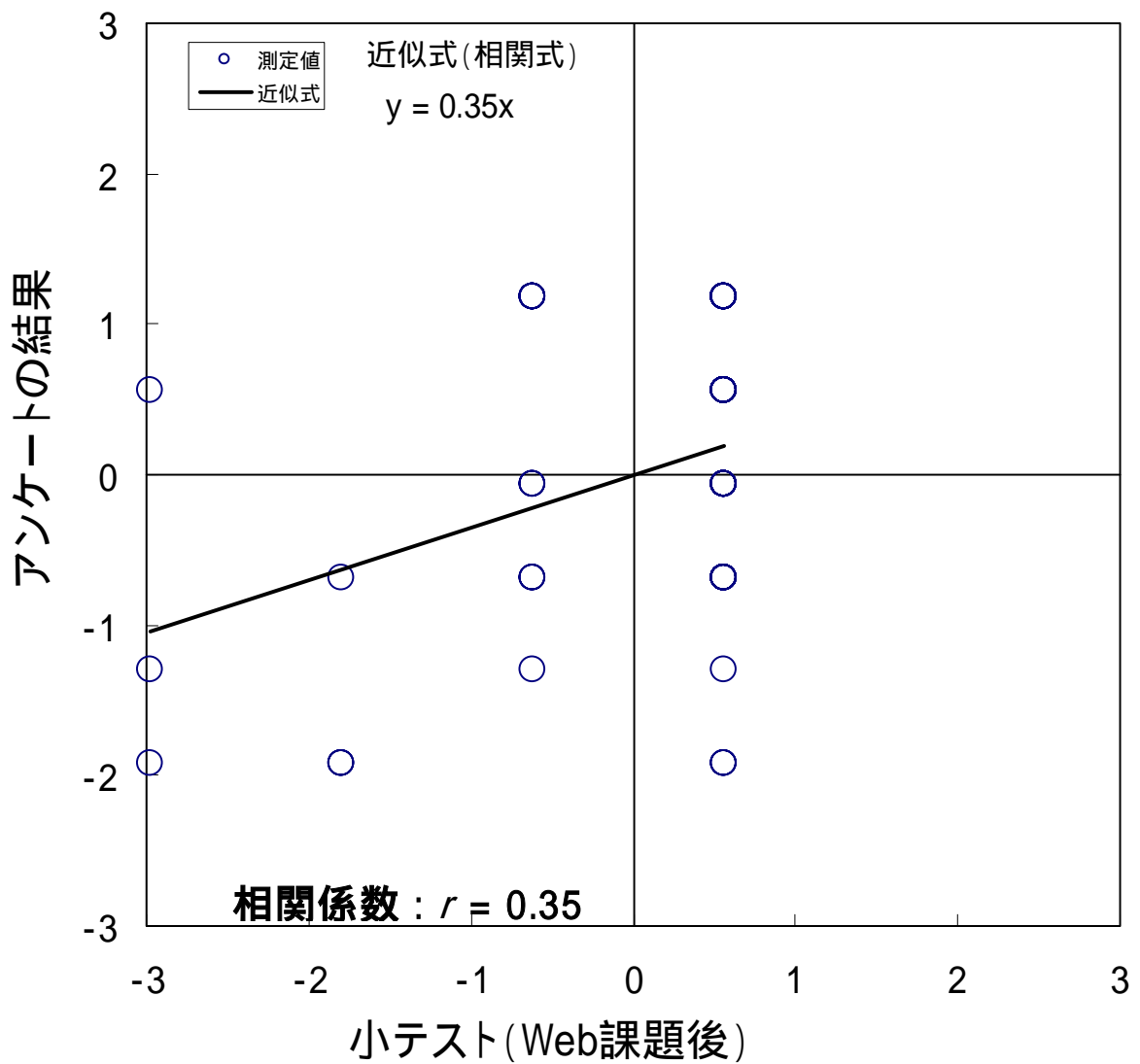


図 3.10.2-7 比較 No.7 の標準化散布図

表 3.10.2-7 比較 No.7 の検定結果

相関係数	r	0.35
サンプル数	n	51
有意水準	α	0.05
自由度	ϕ	49
検定統計量	t 値	2.61
棄却値 (両側)	$t (\phi, \alpha)$	2.01
両側確率	P 値	1.20E-02
相関関係	($p \leq \alpha$) 有	

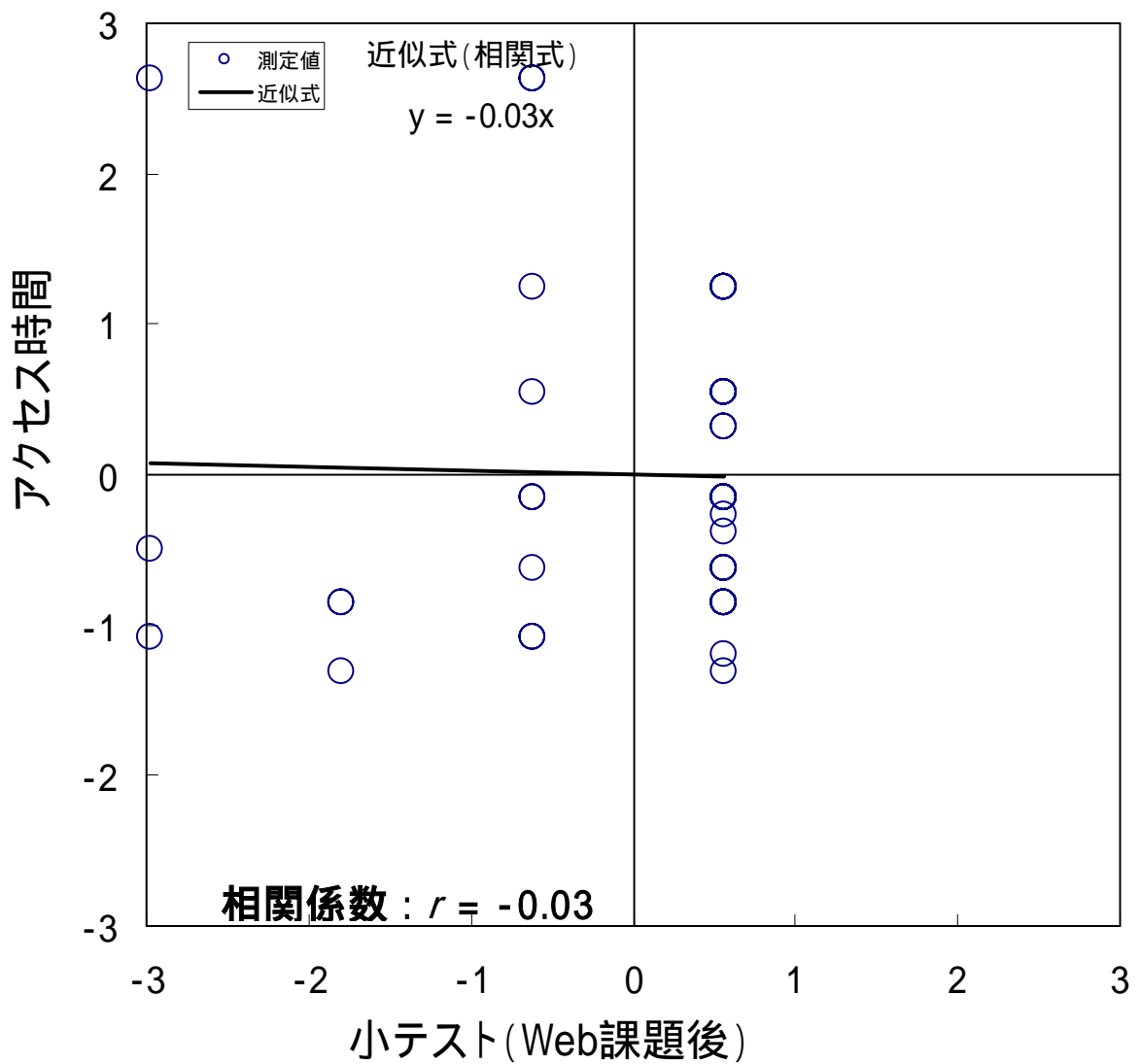


図 3.10.2-8 比較 No.8 の標準化散布図

表 3.10.2-8 比較 No.8 の検定結果

相関係数	r	-0.03
サンプル数	n	51
有意水準	α	0.05
自由度	ϕ	49
検定統計量	t 値	-0.18
棄却値 (両側)	$t (\phi, \alpha)$	2.01
両側確率	P 値	8.60E-01
相関関係	$(p > \alpha)$	無

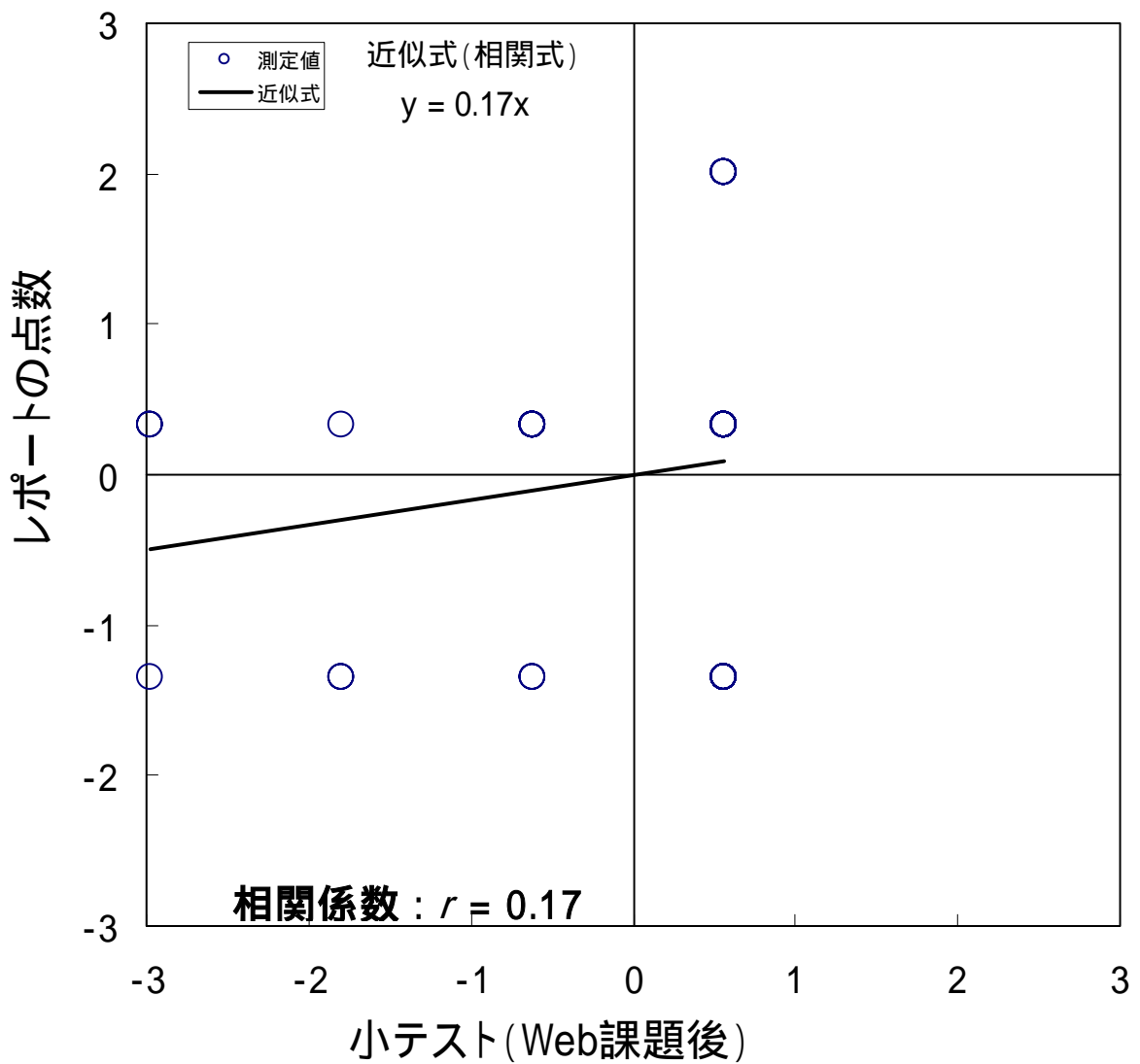


図 3.10.2-9 比較 No.9 の標準化散布図

表 3.10.2-9 比較 No.9 の検定結果

相関係数	r	0.17
サンプル数	n	51
有意水準	α	0.05
自由度	ϕ	49
検定統計量	t 値	1.18
棄却値 (両側)	$t (\phi, \alpha)$	2.01
両側確率	P 値	2.42E-01
相関関係	$(p > \alpha)$	無

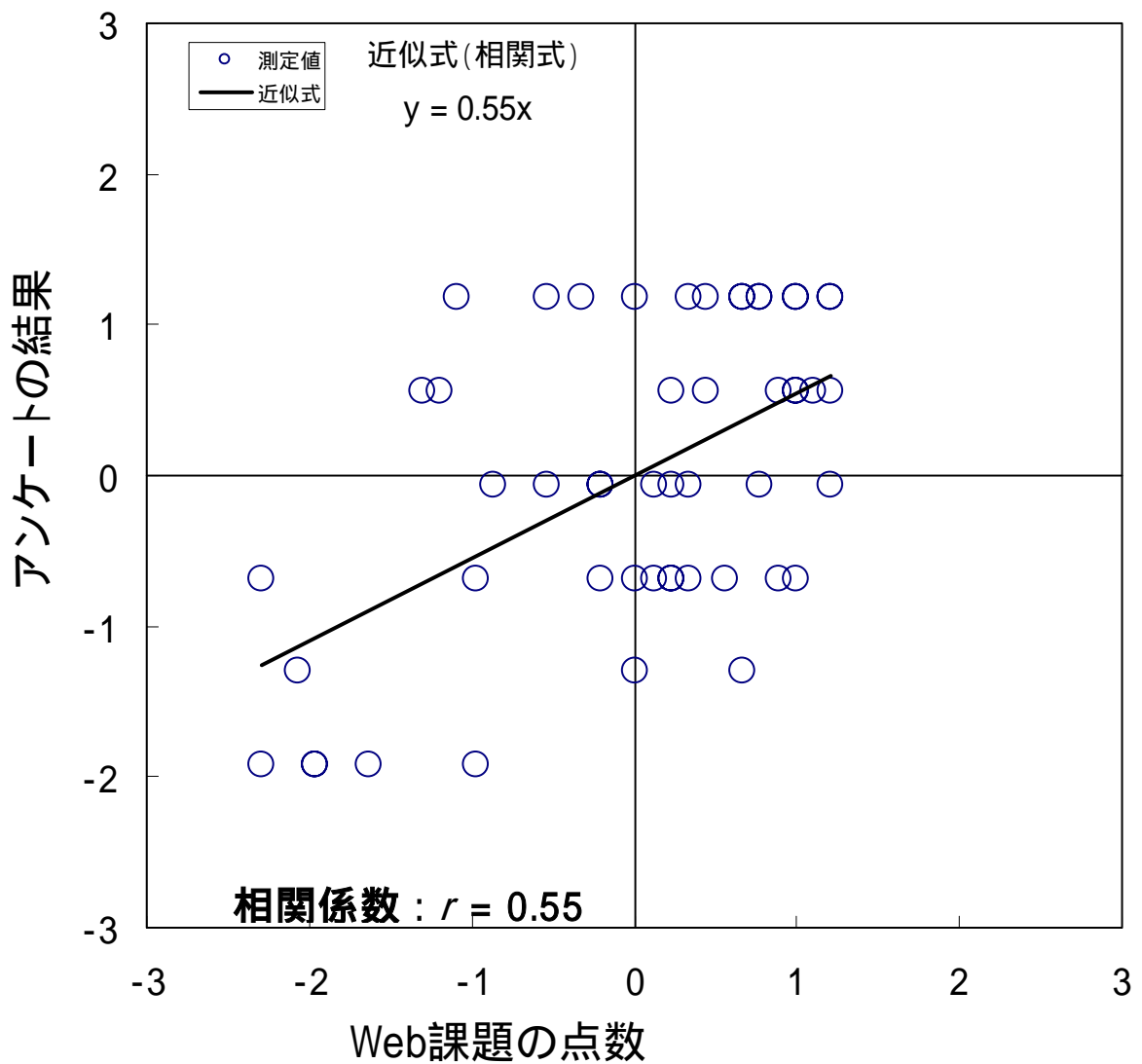


図 3.10.2-10 比較 No.10 の標準化散布図

表 3.10.2-10 比較 No.10 の検定結果

相関係数	r	0.55
サンプル数	n	51
有意水準	α	0.05
自由度	ϕ	49
検定統計量	t 値	4.59
棄却値 (両側)	$t (\phi, \alpha)$	2.01
両側確率	P 値	3.14E-05
相関関係	($p \leq \alpha$) 有	

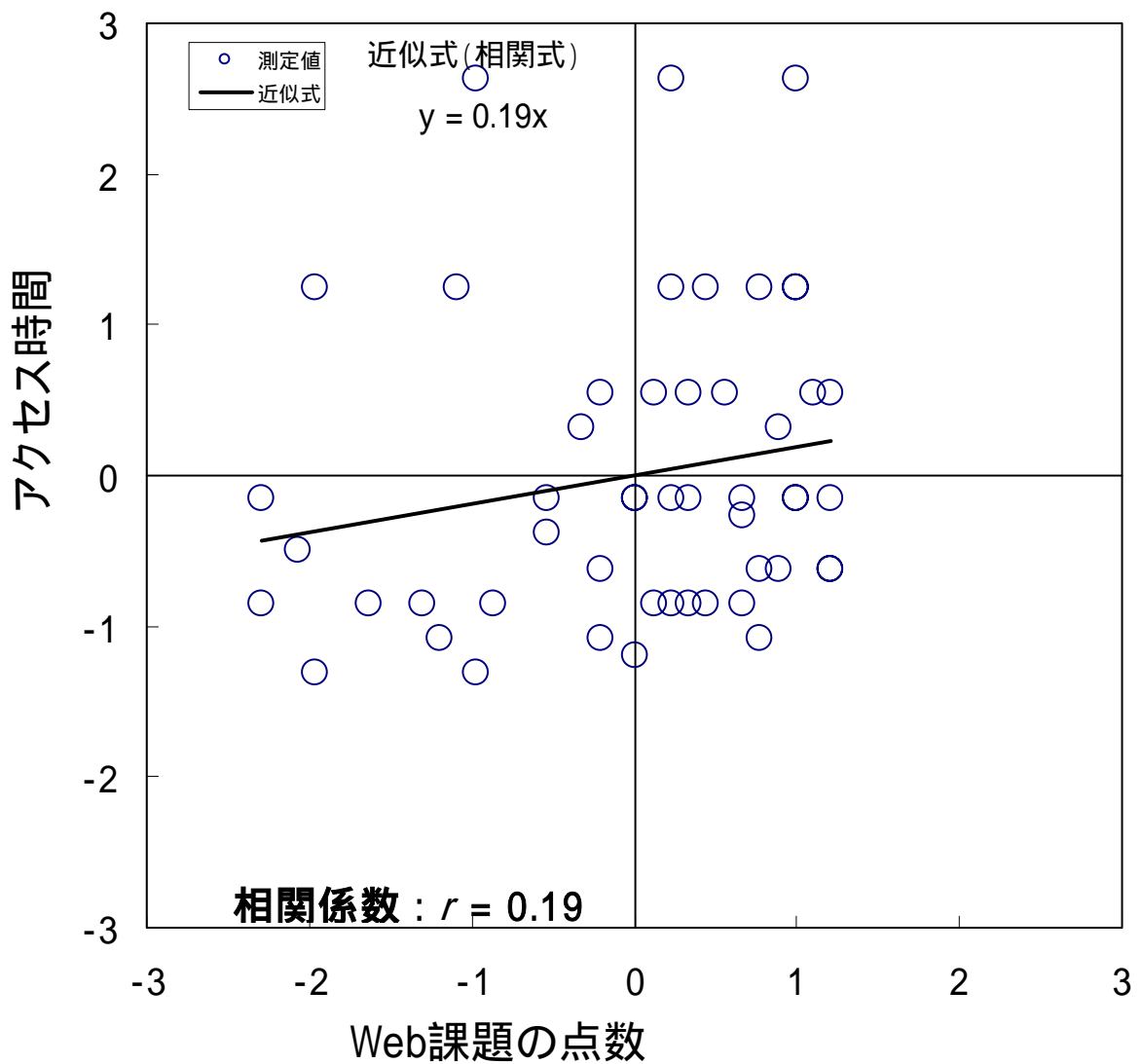


図 3.10.2-11 比較 No.11 の標準化散布図

表 3.10.2-11 比較 No.11 の検定結果

相関係数	r	0.19
サンプル数	n	51
有意水準	α	0.05
自由度	ϕ	49
検定統計量	t 値	1.34
棄却値 (両側)	$t (\phi, \alpha)$	2.01
両側確率	P 値	1.85E-01
相関関係	$(p > \alpha)$	無

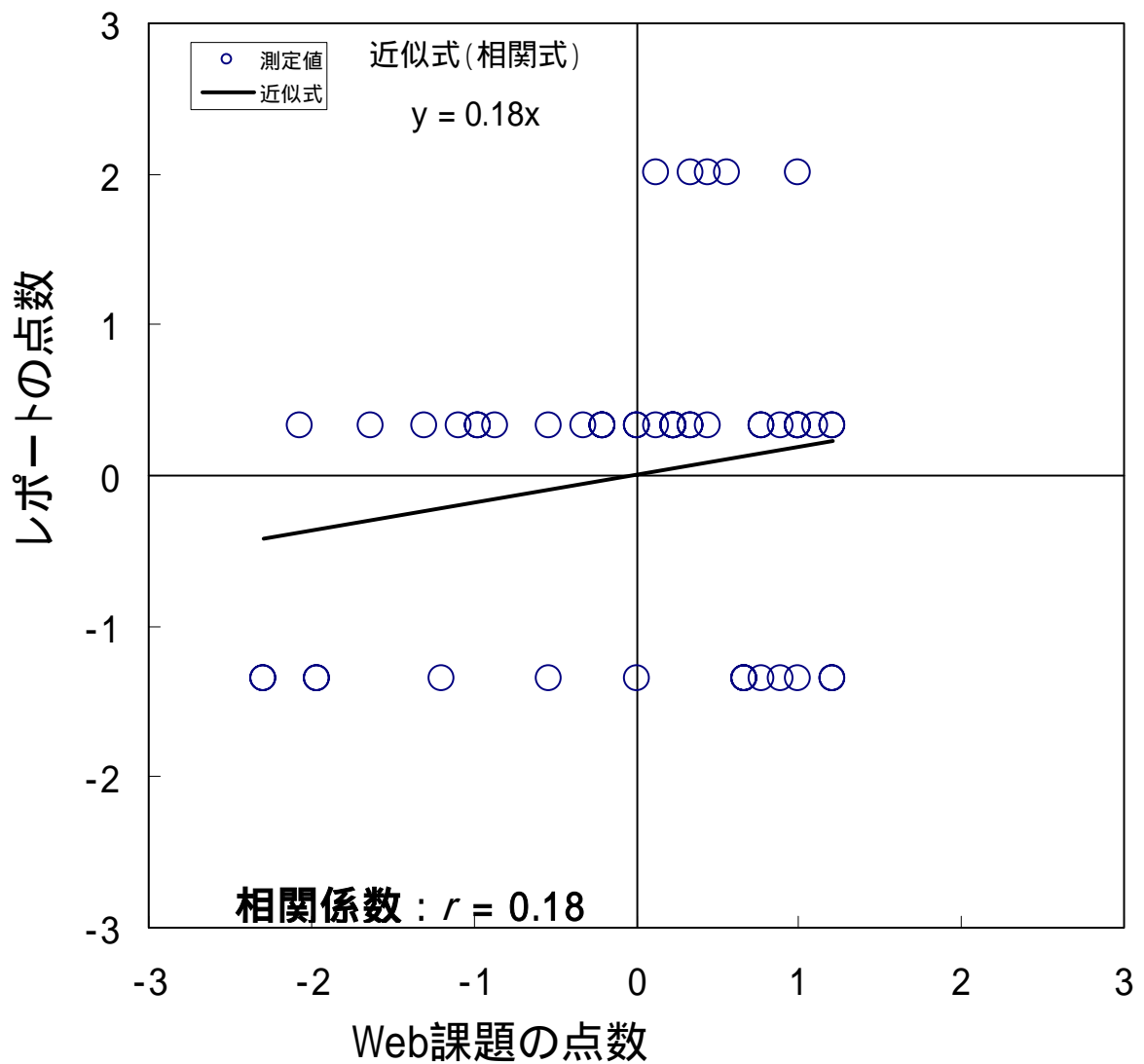


図 3.10.2-12 比較 No.12 の標準化散布図

表 3.10.2-12 比較 No.12 の検定結果

相関係数	r	0.18
サンプル数	n	51
有意水準	α	0.05
自由度	ϕ	49
検定統計量	t 値	1.32
棄却値 (両側)	$t (\phi, \alpha)$	2.01
両側確率	P 値	1.94E-01
相関関係	$(p > \alpha)$	無

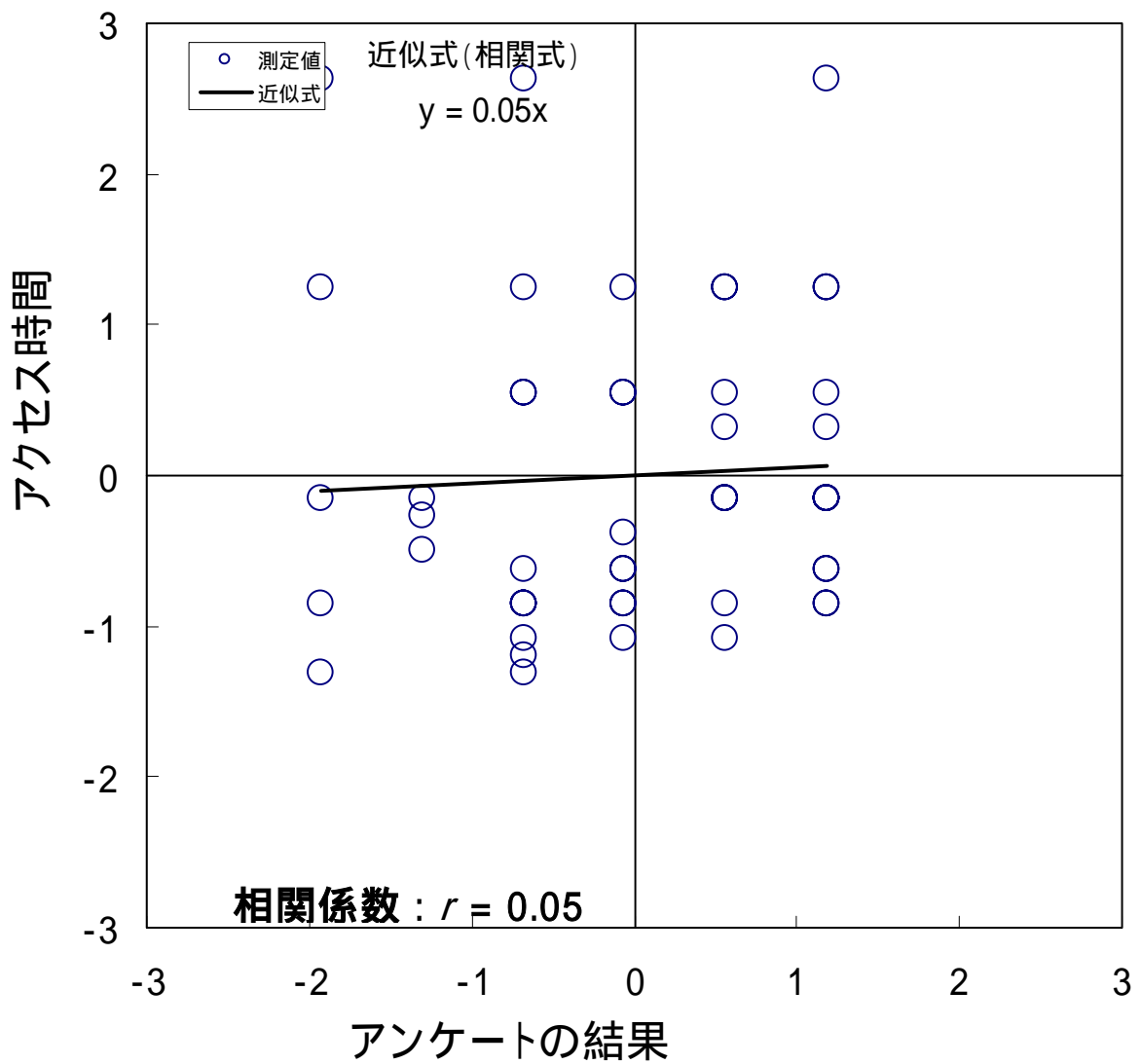


図 3.10.2-13 比較 No.13 の標準化散布図

表 3.10.2-13 比較 No.13 の検定結果

相関係数	r	0.05
サンプル数	n	51
有意水準	α	0.05
自由度	ϕ	49
検定統計量	t 値	0.38
棄却値 (両側)	$t (\phi, \alpha)$	2.01
両側確率	P 値	7.05E-01
相関関係	$(p > \alpha)$	無

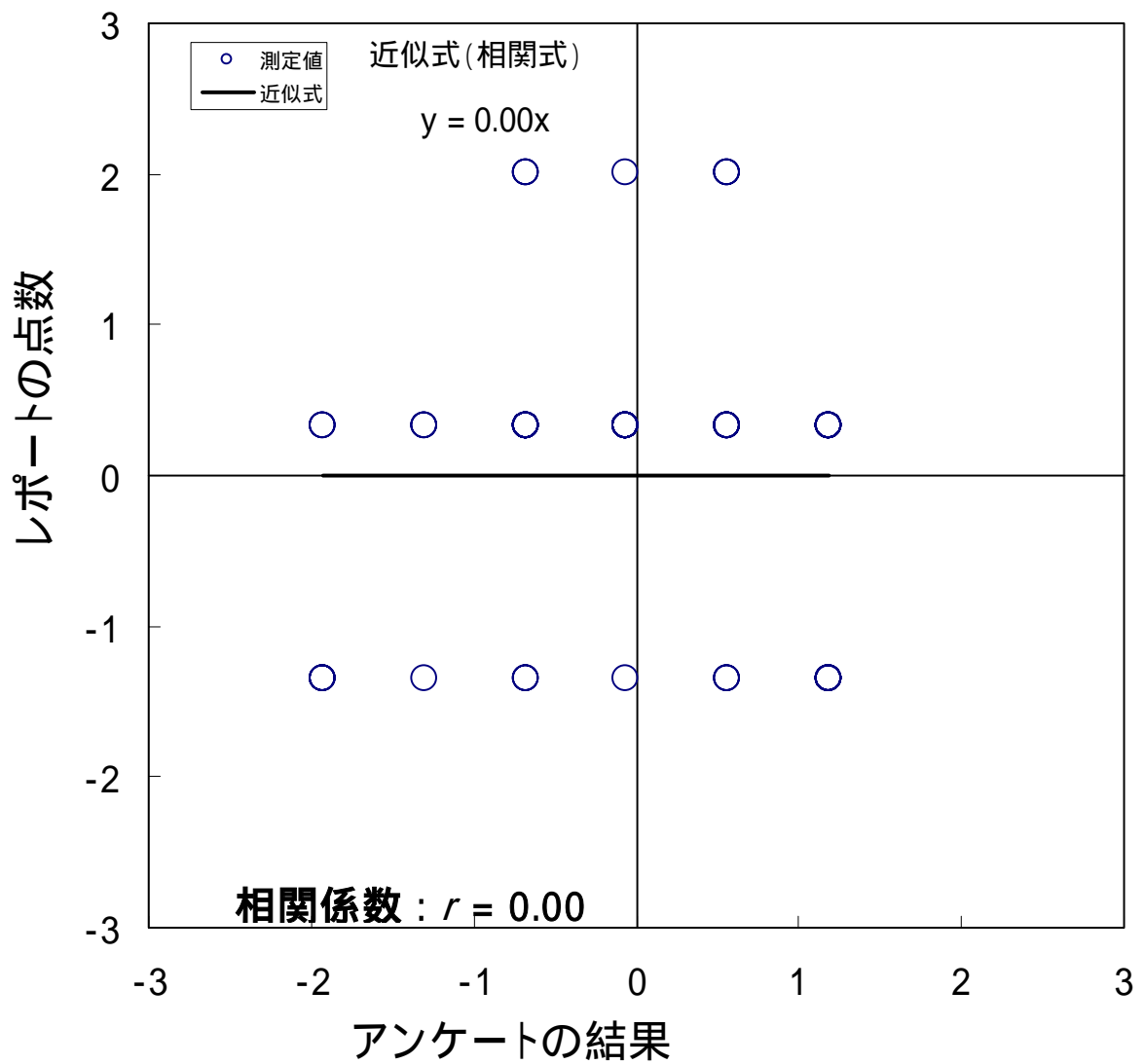


図 3.10.2-14 比較 No.14 の標準化散布図

表 3.10.2-14 比較 No.14 の検定結果

相関係数	r	0.00
サンプル数	n	51
有意水準	α	0.05
自由度	ϕ	49
検定統計量	t 値	0.00
棄却値 (両側)	$t (\phi, \alpha)$	2.01
両側確率	P 値	9.98E-01
相関関係	$(p > \alpha)$	無

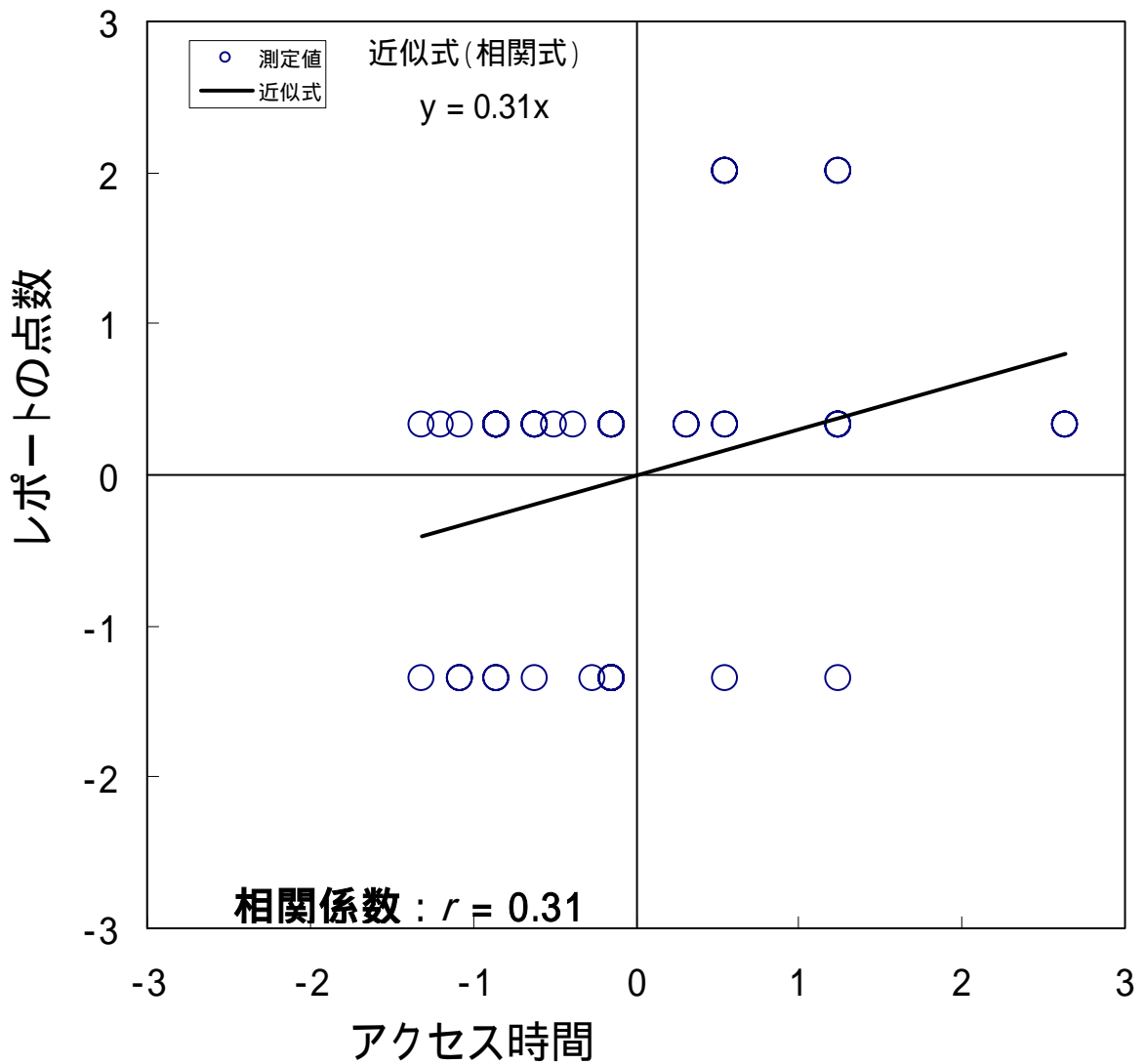


図 3.10.2-15 比較 No.15 の標準化散布図

表 3.10.2-15 比較 No.15 の検定結果

相関係数	r	0.31
サンプル数	n	51
有意水準	α	0.05
自由度	ϕ	49
検定統計量	t 値	2.25
棄却値 (両側)	$t (\phi, \alpha)$	2.01
両側確率	P 値	2.86E-02
相関関係	$(p \leq \alpha)$ 有	

表 3.10.2-16 相関係数の比較

	小テスト(Web課題前)				
小テスト(Web課題後)	0.54(No.1)	小テスト(Web課題後)			
Web課題の点数	0.28(No.2)	0.48(No.6)	Web課題の点数		
アンケートの結果	0.32(No.3)	0.35(No.7)	0.55(No.10)	アンケートの結果	
アクセス時間	-0.18(No.4)	-0.03(No.8)	0.19(No.11)	0.05(No.13)	アクセス時間
レポートの点数	0.16(No.5)	0.17(No.9)	0.18(No.12)	0.00(No.14)	0.31(No.15)

3.10.3 相関係数による比較検討（学習効果に対する仮説）

以下に相関係数による比較検討を行い学習効果に対する仮説を立てた。

3.10.3.1 検討 1

最も相関係数の高い No.10（図 3.10.2-10）の比較は、アンケート調査において、自分が理解できたと思うかどうかの質問に対する回答の強度を評定尺度に基づいて数値化した値（理解度）「アンケートの結果」と、Web 課題自体の点数「Web 課題の点数」の相関を示したものである。相関係数は 0.55 となっている。この結果はアンケートの数値の高さが含有する学生が理解できたという感覚が、Web 課題にまじめに取り組んだ結果であることを示唆していると考えられる。

3.10.3.2 検討 2

「アンケートの結果」と「小テスト（Web 課題前）」の正答率との比較 No.3 および「アンケート結果」と「Web 課題後の小テスト」の正答率との比較 No.7 については共に 0.3 以上の正の相関が認められる。この結果から、アンケートによる学生が理解できたと思う割合と小テストの結果に相関関係があるということになるので、アンケートの結果はある程度実際の理解の度合いを示しているといえる。

3.10.3.3 検討 3

比較 No.1 は、「小テスト（Web 課題前）」と「小テスト（Web 課題後）」の正答率の比較である。相関係数は 0.54 と高い相関係数となっている。課題の前の小テストで高得点をとった者は当然課題後の得点も高いと考えられるのでこの結果は妥当なものである。

3.10.3.4 検討 4

比較 No.2 および No.6 は、それぞれ「小テスト（Web 課題前）」と「小テスト（Web 課題後）」の正答率について共に「Web 課題の点数」と比較したものである。ここで、「Web 課題の点数」は、サイクルの過程毎に、その過程の説明に用いた書き込み文字数にその内容が正しいかどうかの係数（0 or 1）を掛けた値である。書き込み文字数の多い者ほど勤勉

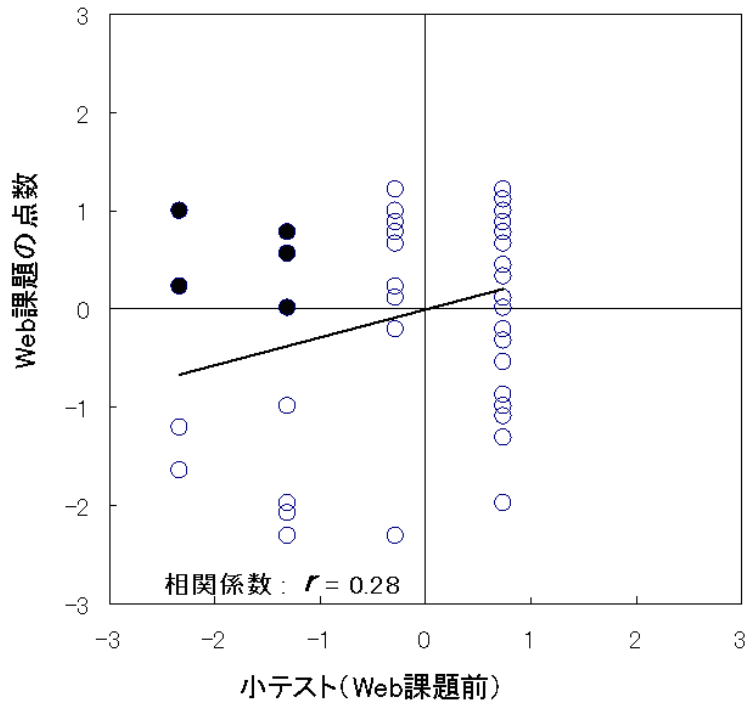


図 3.10.3-1 検討 4 の比較散布図 1 (比較 No.2)

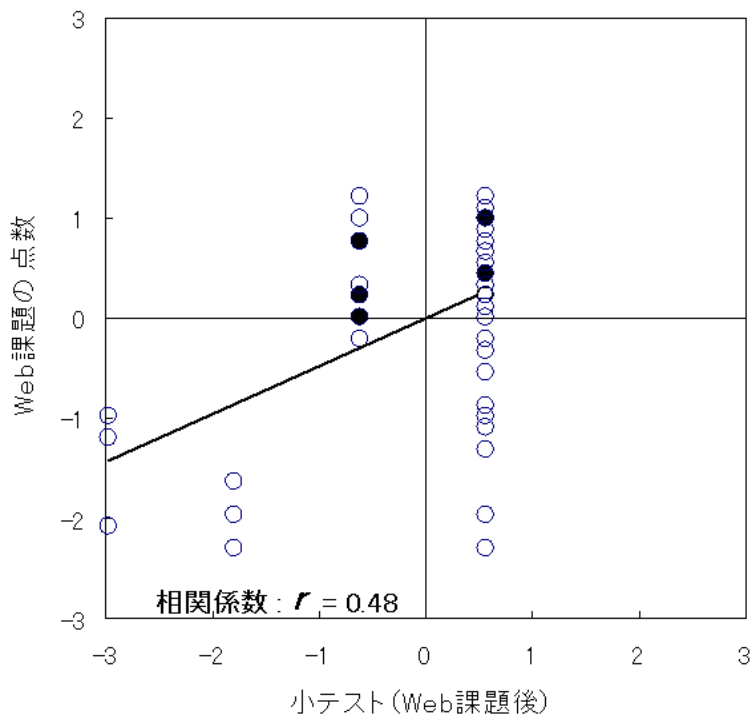


図 3.10.3-2 検討 4 の比較散布図 2 (比較 No.6)

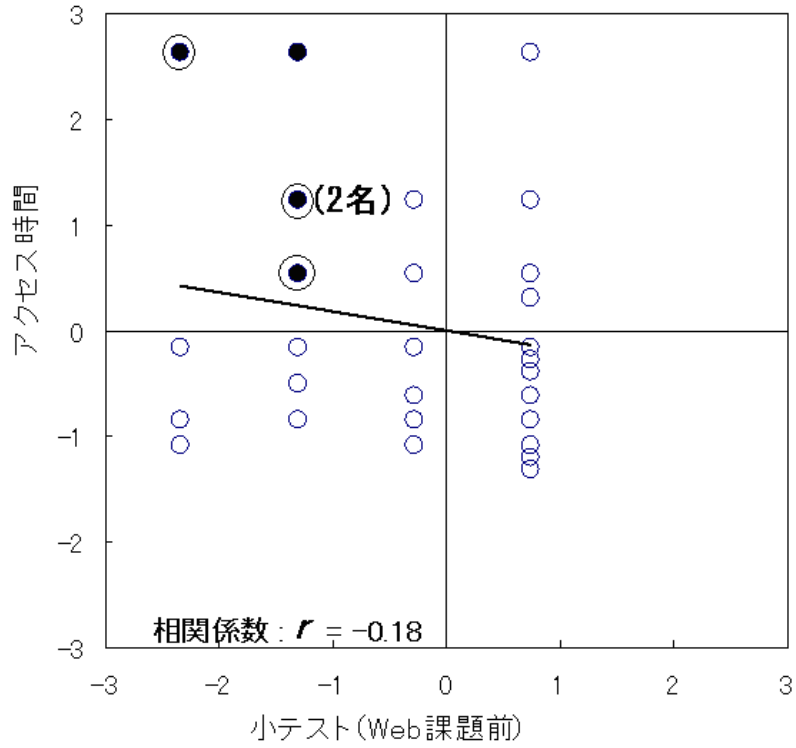


図 3.10.3-3 検討 5 の比較散布図 1 (比較 No.4)

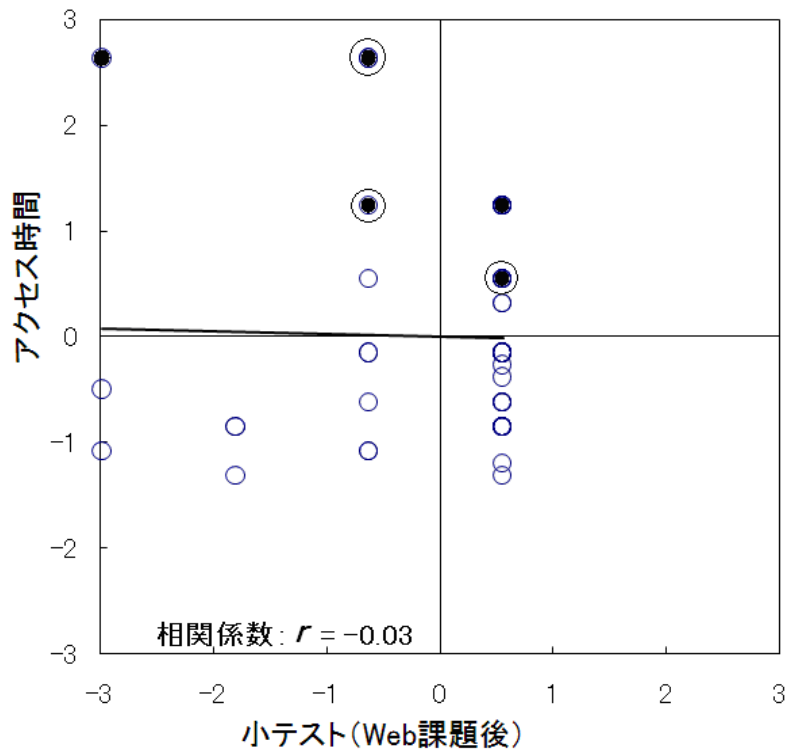


図 3.10.3-4 検討 5 の比較散布図 2 (比較 No.8)

である可能性が高いので、これにより課題に対する勤勉さ、すなわち取り組みの度合いの評価が可能であると考えた。相関係数の比較において「小テスト（Web 課題前）」の正答率よりも「小テスト（Web 課題後）」の正答率の方が「Web 課題の点数」との相関が高くなっている（ $r = 0.28 \sim 0.48$ ）。この結果は、「小テスト（Web 課題後）」の正答率の上昇が Web 課題を行った結果であると考えることができる。

このことを検討するために、No.2 の比較および No.6 の比較をそれぞれ図 3.10.3-1 および図 3.10.3-2 で検討する。これらの図中の黒丸（5 名）は、図 3.10.3-1 において、「小テスト（Web 課題前）」の点数は低かったが、「Web 課題の点数」が高い学生である。これらの学生は、課題に対する取り組みの度合いが高く、勤勉であると考えられるが、1 週目の教員の説明だけでは十分に理解できなかった者と考えられる。しかし、これらは図 3.10.3-2 の比較においては、同じく黒丸でプロットした位置、即ち「小テスト（Web 課題後）」の点数の高い方へシフトしている。これによって No.6 の比較の相関係数が高くなったと考えられるが、このことから、これらの学生は、Web 課題に真面目に取り組んだ結果として、「小テスト（Web 課題後）」の点数が高くなったと考えることができ、本 Web 課題による e ラーニングの学習効果を認めることができる。

3.10.3.5 検討 5

比較 No.4 は「小テスト（Web 課題前）」の正答率と「アクセス時間」との相関を比較したものである。無相関の検定結果は明らかな相関関係を認めていないが、相関係数は $r = -0.18$ となっており、多少のマイナス相関が認められる。これは、「小テスト（Web 課題前）」の正答率の低い学生ほど「アクセス時間」が長いということを意味する。このことは、学習能力の低い学生ほど Web コンテンツ上のアニメーションを理解するのに時間がかかり、そうした学生は授業中の説明に対する理解力も高くないため、授業直後に行う「小テスト（Web 課題前）」の正答率も低くなったのではないかと考えることができる。しかし、No.8 の比較において「小テスト（Web 課題後）」と「アクセス時間」とは相関係数が -0.03 となり相関が認められなくなっている。これは、理解力の低い学生でも長い時間を費やして Web 課題に取り組んだことによって理解度を増すことができたからではないかと考えることができる。

このことを検討するために、図 3.10.3-3 および図 3.10.3-4 を比較する。図 3.10.3-3 は、比較 No.4 において「アクセス時間」は長い「小テスト（Web 課題前）」の点数が低い学生を黒丸でプロットしたものである（5 名）。しかし、これらの学生は比較 No.8 の図 3.10.3-4 においては、同様に黒丸でプロットした「小テスト（Web 課題後）」の点数が高い方へシフトしている。これらの学生によって No.8 の比較の相関係数が 0 に近くなったと考えられるが、このことから、授業中の説明だけでは理解が不十分だった学生でも、Web 課題に真面目に取り組んだ結果として、課題後の小テストの点数が高くなったと考えることができる。

3.10.3.6 検討 6

「レポートの点数」とその他の点数との比較 No.5, No.9, No.12, No.14 および No.15 について考える。前項(3.10.1)で示したように、レポート課題は今回のエンジンの動作原理とは直接関係のない、ピストンリングおよびエンジンオイルについて調査する課題である。レポートの評価は、採点者による主観評価であり、基本的に如何に詳細に調べてきたか基準となる。したがって、レポート課題の評価が高い学生は、勤勉で真面目な者(勤勉度が高い)である可能性があると考えられる。このことを考慮すると、「レポートの点数」と最も相関が高いものは「アクセス時間」(No.15の比較)であり、アクセス時間は真面目さあるいは勤勉度と関係があるといえる。これは、検討5を裏付ける。また、「レポートの点数」と「アンケートの結果」は相関が全く認められない(No.14の比較)。このことから、勤勉な者が皆よく理解できたということにはなっていないといえる。

その他, No.5, No.9, No.12 および No.13 の比較については顕著な相関は認められない。

3.10.3.7 検討 7

検討5の図3.10.3-3および図3.10.3-4の黒丸を二重丸で強調したプロットは、検討4においても黒丸で示した「小テスト(Web課題前)」の点数は低く「Web課題の点数」は高い該当者だった者を示した。検討4と検討5のそれぞれ5人の該当者の内、3人が同じ学生である。このことから、検討4において比較パラメータとして用いた「Web課題の点数」と、検討5において比較パラメータとして用いた「アクセス時間」は共に勤勉さの因子を含み、本eラーニングに対して真面目に取り組んだ度合いを示すと考えることができる。

しかし、一方で、比較No.11において「Web課題の点数」と「アクセス時間」は顕著な相関は認められない。このことは上述とは矛盾する。この理由として、「Web課題の点数」と「アクセス時間」との間には、勤勉さの共通因子とは別に、互いに異なる方向性となるような別の因子を含んでいるからではないかと考える。このことについては、後述3.11.2の因子分析において検討する。

3.11 主成分分析および因子分析による検討

3.10で行った相関係数による比較検討の仮説を検証するために、主成分分析および因子分析を行った。

3.11.1 主成分分析

表3.11.1-1に各主成分の固有値および寄与率を示した。表3.11.1-2に各主成分の固有ベクトル値を示した。また、主成分1の固有ベクトルを図3.11.1-1に、主成分2の固有ベクトルを図3.11.1-2で比較した。

主成分1の固有ベクトルを比較すると、「小テスト(Web課題後)」、「Web課題の点数」、「アンケートの結果」および「小テスト(Web課題前)」は0.45~0.52の高い値となって

いる。固有ベクトル値の低い「アクセス時間」および「レポートの点数」は本コンテンツの内容の理解とは関係ないものである。したがって、主成分1は概ね本課題への取り組み（エンジンの原理理解）に対する総合力と考えられる。このことから共に0.5以上の固有ベクトル値となった「小テスト（Web 課題後）」および「Web 課題の点数」は、総合力の指標として有効であると考えられる。

主成分2の固有ベクトルの比較では、「アクセス時間」、「レポートの点数」および「Web 課題の点数」がプラスの値となり「小テスト（Web 課題前）」、「小テスト（Web 課題後）」および「アンケートの結果」がマイナスの値となった。前項（3.10.3）でも議論したように、「アクセス時間」が長いということは理解するスピードが遅いと考えられるが、一方で、真面目にしっかりと課題をこなそうという勤勉さの現れとも考えられる。前項（3.10.3）の検討6で勤勉さのパラメータとした「レポートの点数」も高い固有ベクトル値を持っていることから、これら「アクセス時間」、「レポートの点数」および「Web 課題の点数」のグループは「勤勉さ」を表している度合いが高いと言える。

一方、「小テスト（Web 課題前）」、「小テスト（Web 課題後）」および「アンケートの結果」は理解していないと高い得点とならないものである。また、「小テスト（Web 課題前）」における高得点者は、1週目授業における教員の説明だけで理解出来た学生であると見ることができる。したがって、これらマイナスの固有ベクトルを持つグループは、理解力に関係する重みを表していると考えられる。

以上より、主成分2はプラス方向に「勤勉さ」、マイナス方向に「理解力」を識別する成分だと言える。したがって主成分1の総合力は、「勤勉さと理解力の総合力」を評価する成分であると言える。

表 3.11.1-1 各主成分の固有値および寄与率

主成分No.	固有値	寄与率(%)	累積(%)
1	2.32	38.63	38.63
2	1.34	22.27	60.90

表 3.11.1-2 主成分毎の各項目の固有ベクトル

	主成分 1	主成分 2
小テストWeb前	0.450	-0.307
小テストWeb後	0.518	-0.138
Web 課題	0.515	0.149
アンケート	0.464	-0.073
アクセス時間	0.070	0.747
レポート	0.209	0.548

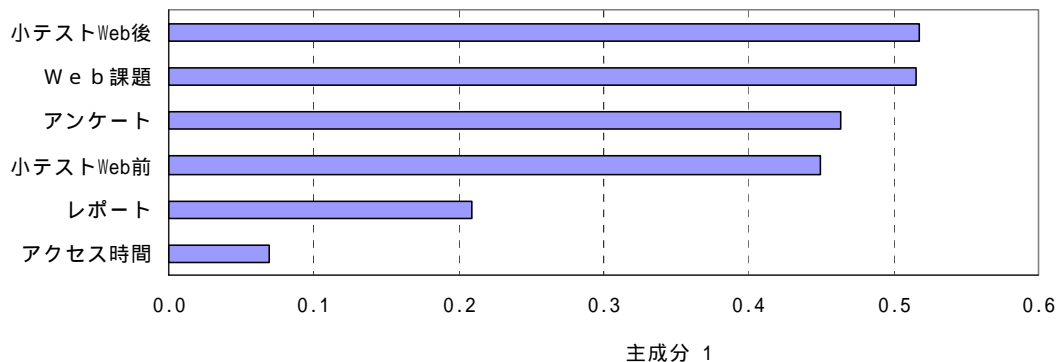


図 3.11.1-1 主成分 1 の固有ベクトル

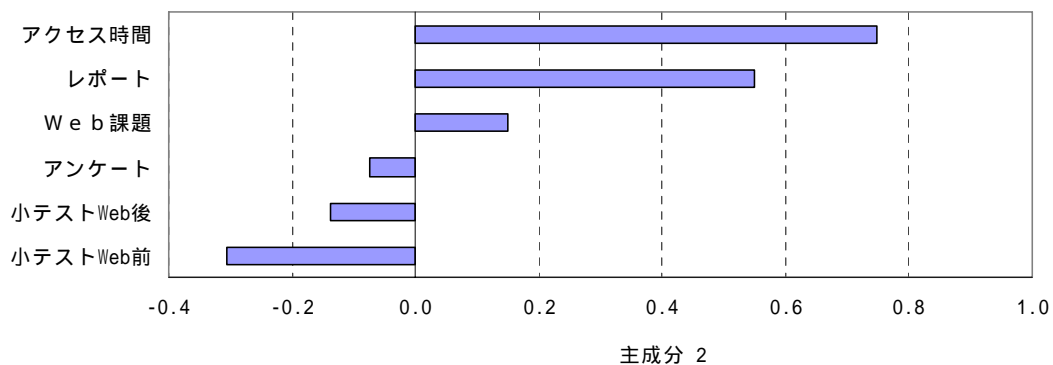


図 3.11.1-2 主成分 2 の固有ベクトル

3.11.2 因子分析

表 3.11.2-1 に各因子の 2 乗和および寄与率を示した．表 3.11.2-2 にバリマックス法による回転後の因子負荷量を示した．また，表 3.11.2-3 には各項目を因子負荷量の近いものに並べ直して示した．更に，図 3.11.2-1～図 3.11.2-3 に，因子 1 から因子 3 までの各項目の因子負荷量をグラフで示した．

因子 1 については「レポートの点数」のみゼロか若干のマイナスの因子負荷量となっている．前項 (3.10.1) のように，レポートの課題は今回の課題と直接の関係が無いものである．直接の課題である「Web 課題の点数」と，アンケートによる学習者本人の理解度調査「アンケート結果」は因子 1 に対して高い負荷量をもっていることから，因子 1 は「本課題への取り組みの度合い」を示していると考えられる．

因子 2 については「アクセス時間」のみがマイナスの負荷量を持っている．「アクセス時間」は，前項 (3.10.3) の検討 5 および検討 6 で議論したように，「勤勉さ」の指標とも考えられるが，「理解するための時間」とも考えられる．更に，理解するための時間が長いということは，「理解力が乏しい」と考えることもできる．アクセス時間がマイナス

表 3.11.2-1 各因子の 2 乗和および寄与率

因子No.	二乗和	寄与率(%)	累積寄与率(%)
1	1.38	23.04	23.04
2	1.16	19.41	42.45
3	0.85	14.21	56.66

表 3.11.2-2 因子負荷量

	因子1	因子2	因子3
小テストWeb前	0.2187	0.8625	-0.0309
小テストWeb後	0.4382	0.5159	0.0821
Web課題	0.8614	0.1295	0.2167
アンケート	0.6148	0.1935	-0.0293
アクセス時間	0.1496	-0.2333	0.4662
レポート	-0.0152	0.2141	0.7612

表 3.11.2-3 因子負荷量による項目の分類

	因子1	因子2	因子3
Web課題	0.861	0.129	0.217
アンケート	0.615	0.193	-0.029
小テストWeb前	0.219	0.863	-0.031
小テストWeb後	0.438	0.516	0.082
レポート	-0.015	0.214	0.761
アクセス時間	0.150	-0.233	0.466

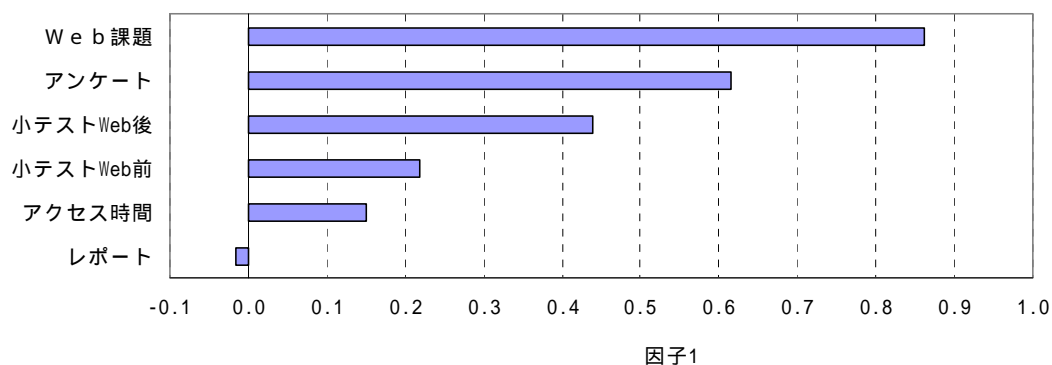


図 3.11.2-1 因子 1 の因子負荷量

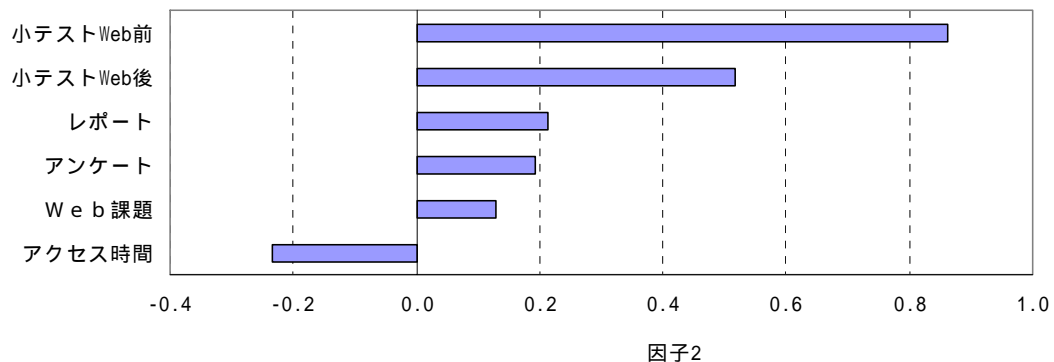


図 3.11.2-2 因子 2 の因子負荷量

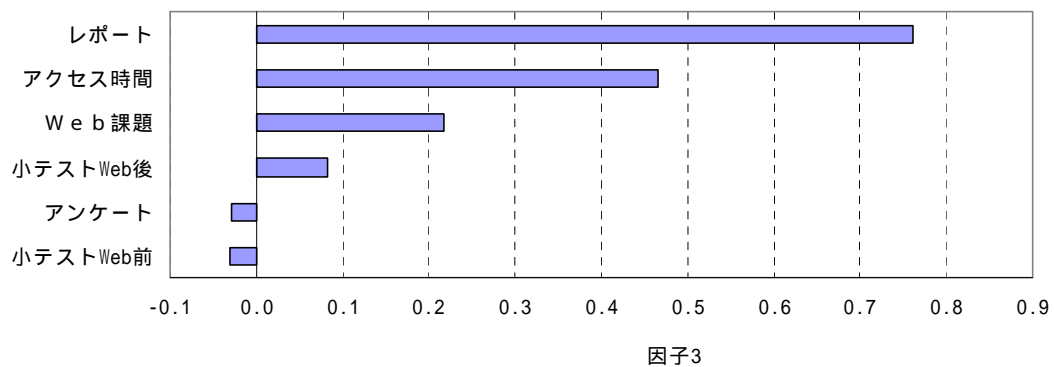


図 3.11.2-3 因子 3 の因子負荷量

であることと、2 種類の小テストの点数が共に高い負荷量を持っていることから因子 2 は理解度を示すものだと考えることもできる。しかし、もし、この因子 2 が理解度を示すとした場合、自己の理解度感を評価する「アンケートの結果」はプラスに高い負荷量を示すはずである。ところが、ここでは「アンケートの結果」はそれほど高い負荷量を示していない。したがって、この因子による評価は最終的な理解力を示しているのではなく、時間をかけずに素早く理解する力、すなわち「要領の良さ」を示していると考えることができる。

また、因子 2 の因子負荷量の比較において、「アクセス時間」がマイナスなのに対して、「Web 課題の点数」はプラスの負荷量であることから、この因子における違いが、前項 (3.10.3) の検討 7 で問題にした、比較 No.11 の相関係数が低くなった原因であると考えられる。

因子 3 は前項 (3.11.1) の主成分 2 と同様に「レポートの点数」と「アクセス時間」が高いプラスの負荷量を持っている。そして、特に「レポートの点数」は際だって高い。この「レポートの点数」は本課題 (エンジンの原理理解) とは関係ない内容のため、こ

の因子は理解度に関する要素は少ないと考える。したがって因子 3 は学生の資質としての勤勉さを示していると考えられる。また、この因子 3 において「アクセス時間」および「Web 課題の点数」が共にプラスの値を持っている。これは前項 (3.10.3) の検討 7 で議論した「Web 課題の点数」と「アクセス時間」は共に勤勉さの因子を持つとした仮説を裏付ける。

3.11.3 主成分分析および因子分析の結果による教育効果の検討

3.11.3.1 Web 課題の点数をパラメータとした評価について

主成分分析における主成分 1 の検討により、「Web 課題の点数」は総合力に高い相関を持っており、総合評価に重要な指標であるとした。また、因子分析における因子 1 の負荷量比較検討の結果からも、「Web 課題の点数」は、本課題全体への取り組みの度合いを最もよく表しているといえる。

前項 (3.10.3) の検討 1 において、「Web 課題の点数」と「アンケートの結果」の相関係数が高い理由が課題にしっかり取り組んだ結果として理解が増したと感じたからではないかとした。上述のように「Web 課題の点数」が本課題全体への取り組みの度合いを示すとすると、この仮説を裏付けるものであり、本コンテンツの有効性の一つを示すものである。

更に、前項 (3.10.3) の検討 4 において、「Web 課題の点数」に対する「小テスト (Web 課題前)」の点数および「小テスト (Web 課題後)」の点数との相関係数の比較において、後者の方が相関係数が高くなっている理由として、Web 課題にしっかり取り組んだ結果が「小テスト (Web 課題後)」の点数を引き上げたからだとして仮説をたてた。「Web 課題の点数」が本課題全体への取り組みの度合いを示すとすると、この仮説を裏付けるものであり、本コンテンツの学習効果を示すものである。

3.11.3.2 アクセス時間をパラメータとした評価について

主成分分析における主成分 2 と因子分析における因子 3 の検討で示したように、アクセス時間は勤勉さの度合いを示していると考えた。これは前項 (3.10.3) の検討 6 の「アクセス時間」は勤勉さを示すという仮説を裏付ける。

一方で、因子 2 で検討したように、アクセス時間は要領の悪さを示しているとも見られる。このように、アクセス時間には、勤勉さの因子が含まれるとともに、要領の悪さを示す因子が含まれているということになる。

このことは、検討 5 で示した次の 2 つの仮説を裏付ける。即ち「アクセス時間」の長かった学生は、要領が悪いため教室で行った説明だけでは理解が不十分であったため「Web 課題前の小テスト」は低かった。しかし、時間をかけて勤勉に Web 課題に取り組んだため Web 課題後の小テストが上昇した。

このように、教室での授業だけでは理解が十分でない学生に対しても本 Web コンテンツは学習効果が認められたといえる。

3.12 実習作業に対する教育効果の検討

前述までで検討したものは異なり，小テストの点数に現れない学習効果を調べるために，本実習実験科目で実施する実習作業に対しての本コンテンツの効果について検討する．

本授業は，機械に実際に触れることで，機械を構成している部品の一つ一つが有機的に関連して作動しているということを，体感を通して理解してもらうことを目的の一つとしている．特に，ガソリン機関とディーゼル機関の違いについての理解は2週目の実習において重要なポイントとなっている．1週目の内燃機関の原理の説明と，1週目と2週目の間に行う Web コンテンツによる理解の促進が，2週目の実習作業に影響を与えているかどうかを調べることは本コンテンツの教育効果を検討する上でも非常に重要である．

コンテンツによる学習効果の有無を確かめることが可能であると考えられる作業の部分としては，図 3.6-1「授業のタイムテーブル」において2週目の組立の前に行う「部品の役割考察課題」を選んだ．この課題は，本授業で分解したディーゼル機関に必要な燃料噴射ポンプ「インジェクションポンプ」の役割を教員があらかじめ説明せずに，部品の配置や形状から学生にグループごとに相談して考えさせる協調学習的課題である．学



図 3.12-1 実習作業の授業風景



図 3.12-2 インジェクションポンプを手に持つ



図 3.12-3 カムの動きを確認中

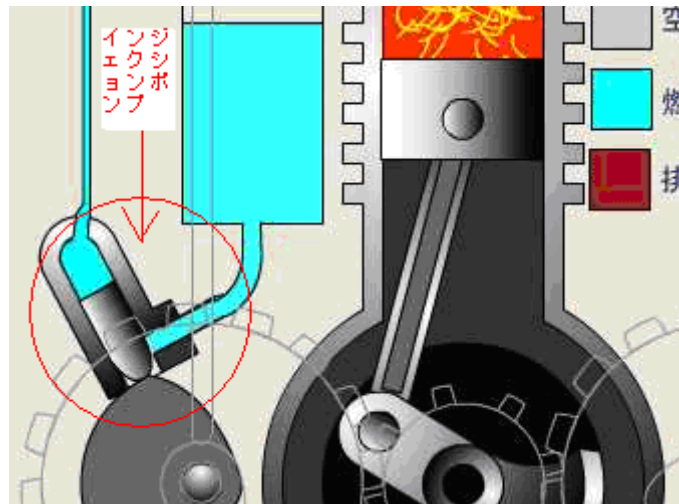


図 3.12-4 コンテンツ上のインジェクションポンプ

生は取り出してあるインジェクションポンプを手に持ち，取り付けてあった場所に再び取り付けたりしながら，インジェクションポンプの役割を考え出さなくてはならない．グループ（通常 3 人）の中ではお互いに相談することができる．図 3.12-1～図 3.12-3 にその作業の様子を示した．

1 週目の内燃機関の原理の説明の時は，インジェクションポンプについての説明は行っていないので，通常の学生はインジェクションポンプについての知識は持ち合わせていない．しかし，2 週目の授業の前にアクセスする Web コンテンツ（2DCG アニメーション）上には図 3.12-4 に矢印で示したように大きなカムによって押され，燃料を押し出すインジェクションポンプが描かれており，動作もしている．したがって，Web 課題に真剣に取り組む，アニメーションをくまなくチェックしている学生にとっては正答にたどり着くのは容易であると思われる．そこで，作業中に交わされる発話から，解答にたどり着く過程を観

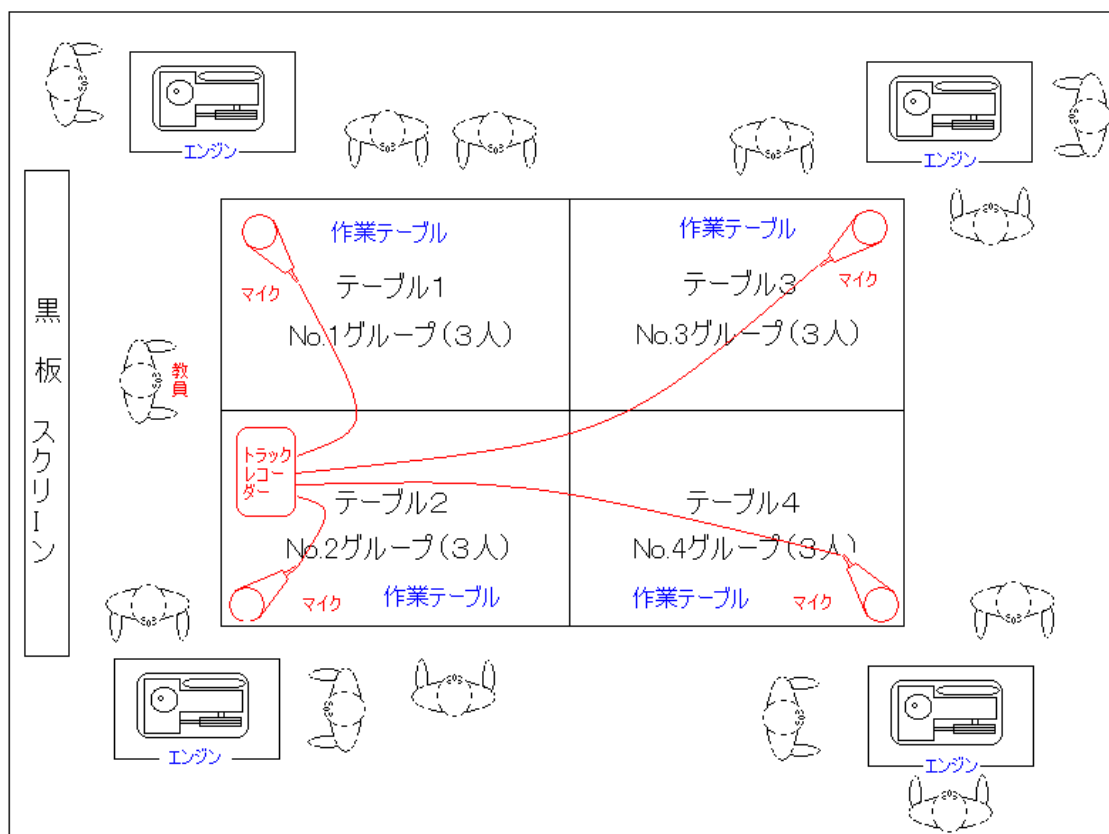


図 3.12-5 設備の配置図

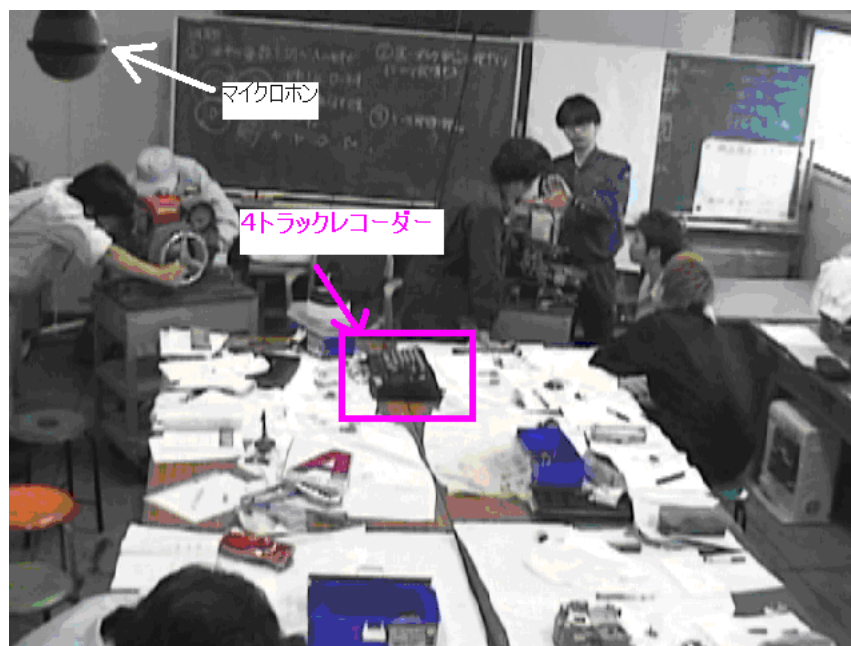


図 3.12-6 4トラックマルチレコーダーとマイク

察し，グループ別にその経過時間を計測し比較することでコンテンツの効果を検討した．

発話のチェックは3名ずつ4つのグループに分かれた学生の会話を教員が監視聴し，学生が発話の中で「ディーゼルエンジン」「燃料」「噴射」といったキーワードを発した場合，ディーゼル機関のインジェクションポンプに関係することと気がついたと判断し，グループのその時点での経過時間をチェックする．また，後でグループごとの会話の内容を確認できるようにチェックのサポートとして図3.12-5に示す配置にグループごとに全部で4つのマイクを設置し，会話の様子を4トラックマルチレコーダーに録音しておき，後に会話音声を確認する．図3.12-6に実際の様子を示した．

表3.12-1に発話の観察結果を示した．前節(3.11)までの検討を行った前期受講者グループ約90名に加えて，後期受講者グループ約90名についても調査対象に含めた．また，本コンテンツの学習効果を検討するため，統制群として，コンテンツを用いなかった前年度(平成15年度)にあらかじめ調査していた結果を用いて比較検討した．表には課題の開始から5分経過までのノーヒントでインジェクションポンプと燃料の関係に気がついたグループの数．5分後にヒントとしてインジェクションポンプに燃料導入用のパイプが設置されているエンジンを見せた後，開始から10分経過までに気がついたグループの数を示した．この結果，平成15年度の，コンテンツを使用していなかった時は，この関係に気がついたグループは全64グループ中0(ゼロ)だったのに対して，コンテンツを使用した平成16年度は14グループが関係に気がついた．開始から10分まででは，平成15年度は2グループしかなかったのに対して，平成16年度は合計64グループの半分以上34グループが時間内にインジェクションポンプと燃料およびディーゼルエンジンとの関係に気がついた．以上のことから，本コンテンツは実習作業課題の結果からも教育効果が認められた．

表3.12-1 発話観察結果

前後期	班	ディーゼルエンジンとの関係に気づいたグループ数 (各班4グループ構成で1グループは3人編成)		合計
		ノーヒント(5分経過まで)	ヒント後の10分経過まで	
前期 (相関係数による比較を行った)	1組6班	1	1	合計
	2組6班	1	0	
	1組5班	2	0	
	2組5班	1	1	
	1組4班	0	0	
	2組4班	1	2	
	1組3班	0	2	
	2組3班	1	0	
後期	1組2班	2	2	
	2組2班	1	1	
	1組1班	0	4	
	2組1班	3	0	
	1組8班	1	1	
	1組7班	0	3	
	2組8班	0	1	
	2組7班	0	2	
平成16年度(コンテンツ使用年)合計		14/64	20/64	34/(全64グループ中)
前年度(平成15年度)の結果		0/64	2/64	2/(全64グループ中)

3.13 コンテンツの改良とその効果の検討

学生に対して理解度のチェックを行い，その結果を更にフィードバックさせてより良いコンテンツの開発を行っていくことがこれからの教育には要求されるであろう．そこで，本研究では更に教育効果の高いコンテンツの開発のために，前期の授業のアンケートで得られた学生からの要望を基に改良を加え，その改良後のコンテンツによって実践した後期の授業の結果からコンテンツの再評価を行った．

3.13.1 フレームスピードの調整

アンケートの「その他」の項でコンテンツの感想や改良を要する点などの記述がいくつかあった．その中で一番多かったものは，アニメーションのスピードが速く，理解するのが難しかったというものであった．そこで，改良の1つめとして，後期からは，アニメーションのスピードをそれまでの半分にした．前期はアニメーションの再生スピードが毎秒12フレーム（コマ）の速度であったところを，後期は毎秒6フレーム（コマ）のスピードに減速した．

3.13.2 燃焼音の合成

次に，燃焼の音があると興味が湧くというアンケート記述が少数存在した．そこで，後期8班中最後の2班のみ，ガソリン機関とディーゼル機関それぞれ別の音声を合成し，燃料が燃焼する時にコンテンツに同期して発音するようにした．合成音の作成には，パーソナルコンピュータのフリーソフトである「Audacity」と「Sound Engine」というアプリケーションソフトを用いて作成した．作成した音の波形データを図3.13.2-1（ガソリン機関用）および図3.13.2-2（ディーゼル機関用）に示した．

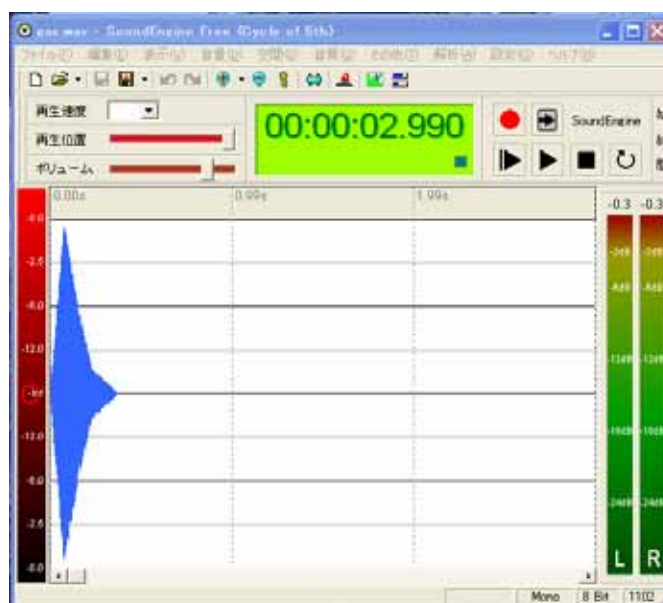


図 3.13.2-1 ガソリン機関用燃焼音の波形

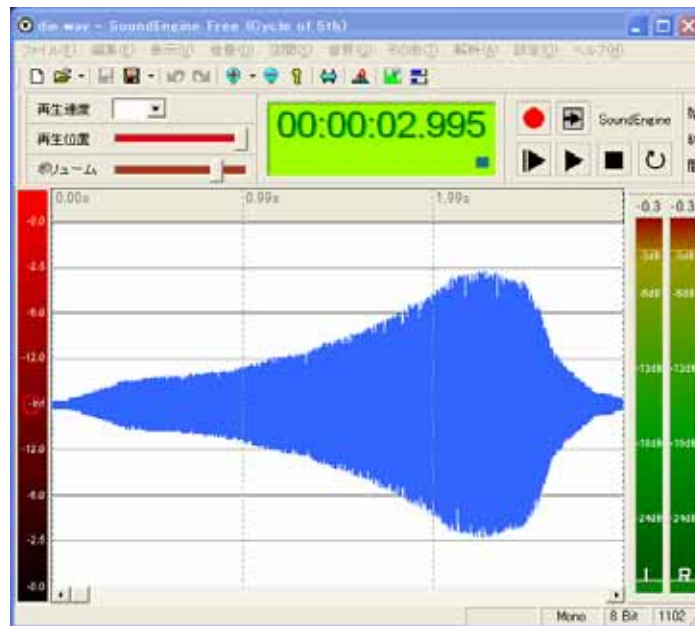


図 3.13.2-2 ディーゼル機関用燃焼音の波形

図 3.13.2-1 のガソリン機関用の音はガソリン機関のサイクル中，燃焼は一瞬にして行われるので，0.3 秒程度の短時間の音とした．一方，図 3.13.2-2 のディーゼル機関用では，ディーゼルサイクルにおける燃焼時間はピストンの膨張とともに長い時間をかけて行われるので，アニメーションの動きに合わせて 3 秒程度の長い持続音を用いた．合成音作成は 11025Hz サンプルレートのホワイトノイズを基に作成した．

3.13.3 改良後の評価

前項 3.13.1 および 3.13.2 の改良を行い平成 16 年度後期の授業で実践した結果と改良前の前期の結果の比較から改良後のコンテンツの評価を行った．改良を行う前と後について，「小テスト（Web 課題前）」、「小テスト（Web 課題後）」、「Web 課題の点数」，「アンケートの結果」，「アクセス時間」および「レポートの点数」による比較を行った．フレームスピードについての比較は，後期の 8 班はすべてフレームスピードを遅くしたので，前期と後期の測定値比較を行った．使用したデータは前期（8 班）については付録 1，後期（8 班）は付録 2 である．また，燃焼音の付加については，後期の後半最後の 2 班のみ使用した．後期からフレームスピードを遅くしているので，同条件での比較を行うため燃焼音を付け加えなかった後期前半 6 班と付け加えた後期最後の 2 班の，ともに後期に行った班同士で比較を行った．

表 3.13.3-1 にフレームスピードの違いによる各測定値の比較の表を示した．その結果，「小テスト（Web 課題前）」、「小テスト（Web 課題後）」と「Web 課題の点数」はフレームスピードを遅くした方が若干点数は高いが，「アンケートの結果」は逆の結果となっている．しかし，これらの違いは微少であり，明らかな優劣は見られない．「アクセス時間」についてはフレームスピードを遅くした方が 1 割ほど短くなっており，フレームスピードが遅く

表 3.13.3-1 フレームスピードの違いによる各測定値の比較

	小テストWeb前	小テストWeb後	Web課題	アンケート	アクセス時間	レポート
フレームスピード早い班〔前期〕(12フレーム/秒)	75.5	83.7	72.0	85.8	66.8	60.5
フレームスピード遅い班〔後期〕(6フレーム/秒)	78.1	85.5	73.9	84.7	61.1	59.6

表 3.13.3-2 燃焼音有無の違いによる各測定値の比較

	小テストWeb前	小テストWeb後	Web課題	アンケート	アクセス時間	レポート
燃焼音なしの班〔後期中6班〕	78.1	85.5	73.9	84.7	61.1	59.6
燃焼音ありの班〔後期中2班〕(その内音声環境あり)	83.3	91.7	77.0	86.7	58.1	70.8

なって見やすくなったために、繰り返し見直す必要が減ったためではないかと考えられる。「レポートの点数」は、内燃機関の原理に直接関係しないピストンリングおよびエンジンオイルについて調査する課題なので、フレームスピードの違いによる優劣は考えにくく、結果もほぼ同じ点数となっている。

表 3.13.3-2 に燃焼音有無の違いによる各測定値の比較の表を示した。「小テスト (Web 課題前)」、「小テスト (Web 課題後)」、「Web 課題の点数」および「アンケートの結果」において燃焼音有りの方が測定値は高いことが認められる。また、「アクセス時間」も燃焼音ありの方が時間は短くなり、優位性が認められる。しかし、燃焼音有りの標本数は学生が使用するコンピューターが音声発音可能になっている必要があるためアンケートで音を聞くことができたと答えた学生のみを対象としたため、少数 (8 人) であった。本来優劣に関係がないと思われる「レポートの点数」に着目すると燃焼音有りの方が大きく優位になっている。このことから、燃焼音有りのグループは、標本として元々優位に偏っていた可能性があり、今回の測定では音声有りの優位性をはっきりさせることはできなかった。

3.13.4 改良後のコンテンツの実習作業課題による評価

前節 (3.12) で行った実習作業課題について、改良後のコンテンツを用いた効果の評価を行った。表 3.13.4-1 に発話観察による比較を示した。フレームスピードに関しては、10 分以内にインジェクションポンプの役割に気がついたグループ数を比較した。フレームスピード 12 / 秒の速いグループと 6 / 秒の遅いグループの比較において、13 対 21 で後者の遅い班の方が優位になっている。前項 (3.13.3) の検討では、小テスト等の優劣に対してはこのフレームスピードの「速い」「遅い」の影響は見られなかったが、この実習作業課題においては、フレームスピードを遅くしたことによって顕著に学習効果が上がっていることが分かった。この原因を次のように考えた。

小テストの内容は、サイクル中の各行程の順番について問うものであり、Web 課題の内容が理解できれば正答できる。フレームスピードが速くても、課題について何回も再生することで時間をかけて考えることができる。このため、フレームスピードが速くても十分理解することができる。一方、インジェクションポンプに関しては、Web 課題に関係するものではないので、目につきづらいことが理由として考えられる。このため、フレームス

表 3.13.4-1 発話観察による比較

アニメーションのスピード	音声有無	班	ディーゼルエンジンとの関係に基づいたグループ数 (各班4グループ構成で1グループは3人編 入/ピストン(5分経過まで) ピストン後の10分経過まで)		2班毎のグループ数	合計
			1	2		
毎秒12フレーム	音声なし	1組6班	1	1	3	13
		2組6班	1	0		
		1組5班	2	0	4	
		2組5班	1	1		
		1組4班	0	0	3	
		2組4班	1	2		
		1組3班	0	2	3	
2組3班		1	0			
毎秒6フレーム		1組2班	2	2	6	21
		2組2班	1	1		
		1組1班	0	4	7	
		2組1班	3	0		
		1組8班	1	1	5	
		1組7班	0	3		
	2組8班	0	1	3		
	2組7班	0	2			
合計			14	20	4.3(平均)	34/(全64グループ中)
前年度(平成15年度)の結果(参考)			0/64	2/64		2/(全64グループ中)

ピードを遅くしたことによって、ピストンおよびクランク周りだけではなく、更に広い範囲に目を動かすことができる余裕ができたため、コンテンツの端の方で動作しているインジェクションポンプに気づく学生が増えたためではないかと考えられる。

音声の有無については、音声有りの2つの班の合計8グループ中で時間内にできたグループ数は3グループであり、それ以前の音声なしの時の2班ごとにまとめたグループ数の平均は4.3グループとなっており、音声有りによる優位性は認められなかった。

しかし、フレームスピードの改善という些細な調整によって、大きな学習効果の上昇を見たことは、学習者の状態を調査し、その結果を授業改善に役立てて、再び学習者にフィードバックさせることの重要性を再認識させる結果となった。

3.14 まとめ

第2章において検討したコンテンツ作成手法を用いて、神奈川工科大学工学部機械工学科における体験型授業の1つである「機械実習実験」の中のテーマ「エンジンの分解・組み立て実習」で使用するための「内燃機関の動作原理を説明するCGアニメーションコンテンツ」を開発した。更に本コンテンツを授業にて実践し、その教育効果を調べ次のような結果を得た。

- (1) アンケートの結果から、概ね学生は理解しやすかったとの回答が多かった。
- (2) 小テストの正答率の比較より、コンテンツ利用による学習効果が認められた。
- (3) 相関係数の比較から、「小テスト(Web課題後)」の点数と「Web課題の点数」に相関が認められ、本コンテンツ課題に対する取り組みの度合いが高い者ほどコンテンツ課題実施後のテストの点数が高いという結果が得られ、本コンテンツによる学習効果を裏付ける結果となった。
- (4) 実習作業に対する教育効果の検討から、Web課題のアニメーションを見ることで部品の役割を構造的に学習していることを示す結果が得られた。

(5) アンケートに記載されていた要望等を参考にコンテンツの改良を行った。改良点としてコンテンツに燃焼音を加え、またアニメーションのフレームスピードを遅くした。改良後のコンテンツを実践し評価した結果、更なる教育効果の向上を確認することが出来た。

本コンテンツによる教育実践の結果、高度な機能を用いずに、簡易な作成手法によって作成されたアニメーションコンテンツでも専門教育の場である工学実習実験の授業による実践で明らかな教育効果が確認できた。

第4章 オットーサイクル原理の学習用eラーニングCGコンテンツの開発および教育実践

第4章 オットーサイクル原理の学習用 e ラーニング CG コンテンツの開発および教育実践

4.1 はじめに

前章 3 において、内燃機関の動作する仕組みについて、主にそのメカニズムについての理解を促進させるために、ピストンやクランク等の動きを分かり易く再現する CG アニメーションコンテンツを開発し、その教育効果を確認した。本章では、ガソリン機関の基本理論であるオットーサイクルについて、その理論の理解をサポートするコンテンツの開発を目指した。前章 3 のガソリン機関のコンテンツを基に再構築し、ピストンの動きと連動して動作するポインターをコンピューター画面上の PV 線図や TS 線図上に配置し、それらの動きを追うことで、オットーサイクルを理論的に理解することを助ける e ラーニングアニメーションコンテンツを開発した。更に、本コンテンツを機械工学科機械工学実験科目において、オットーサイクル機関の理論および原理を学習させる課題の 1 つとして、授業中および e ラーニング環境で実践しその学習効果を確認した。

4.2 e ラーニングコンテンツの概要

本コンテンツは 3 章と同様に 2 章において検討したシステムを利用して開発した。学習者が e ラーニング環境下で自習できるように、CGI 言語によって開発した自習課題へのアクセス用 Web ページ (図 4.2-1) とマクロメディア社製 CG アニメーション作成ツール FLASH-MX を用いて作製した CG アニメーションコンテンツ (図 4.2-2~図 4.2-6) のページで構成される。

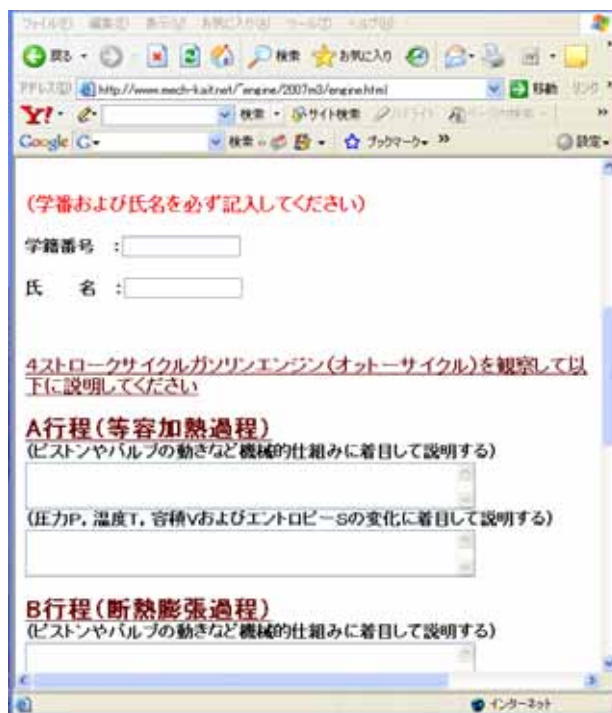


図 4.2-1 e ラーニングコンテンツ (自習課題へのアクセス用 Web ページ)

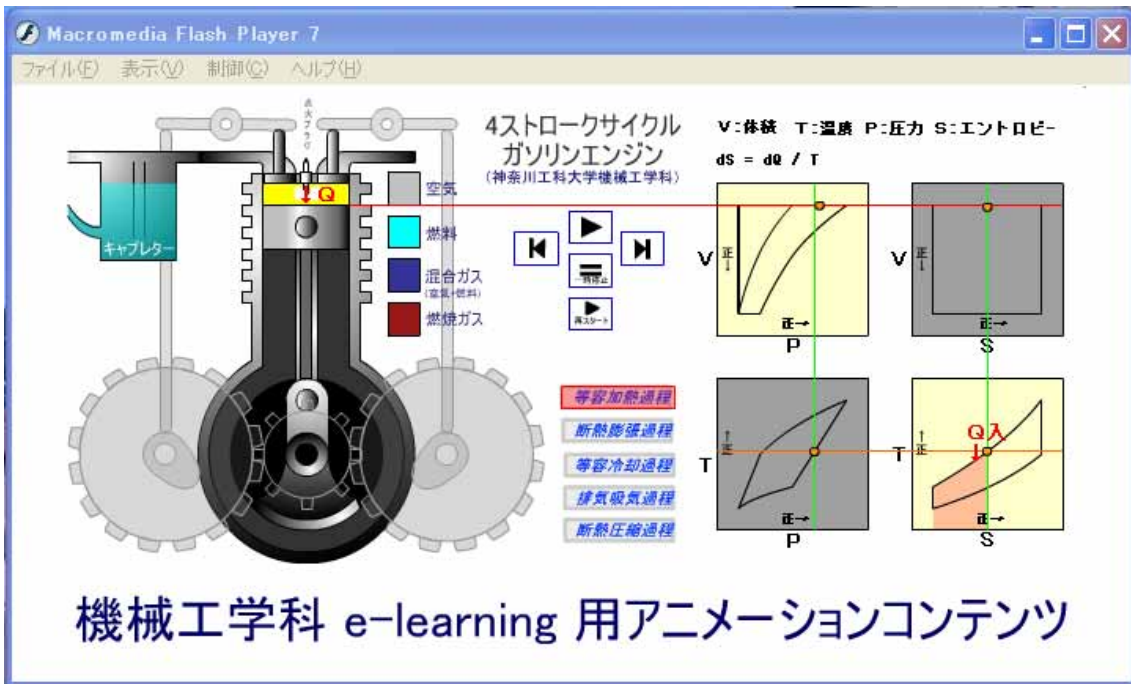


図 4.2-2 CG アニメーションコンテンツ (等容加熱過程)

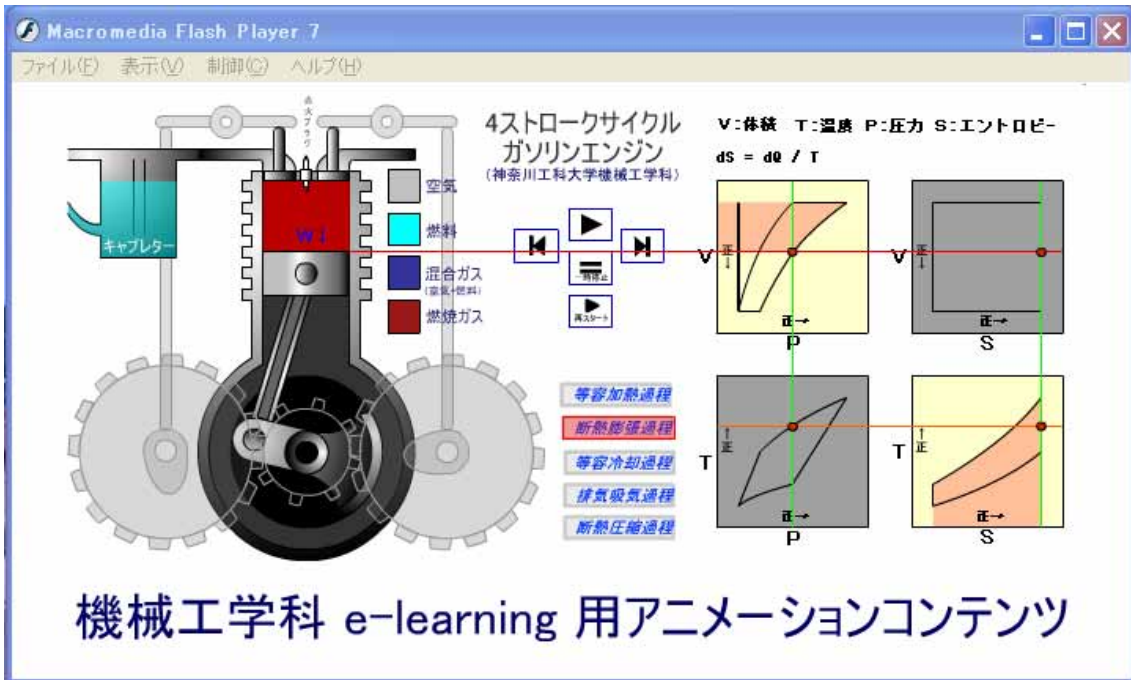


図 4.2-3 CG アニメーションコンテンツ (断熱膨張過程)

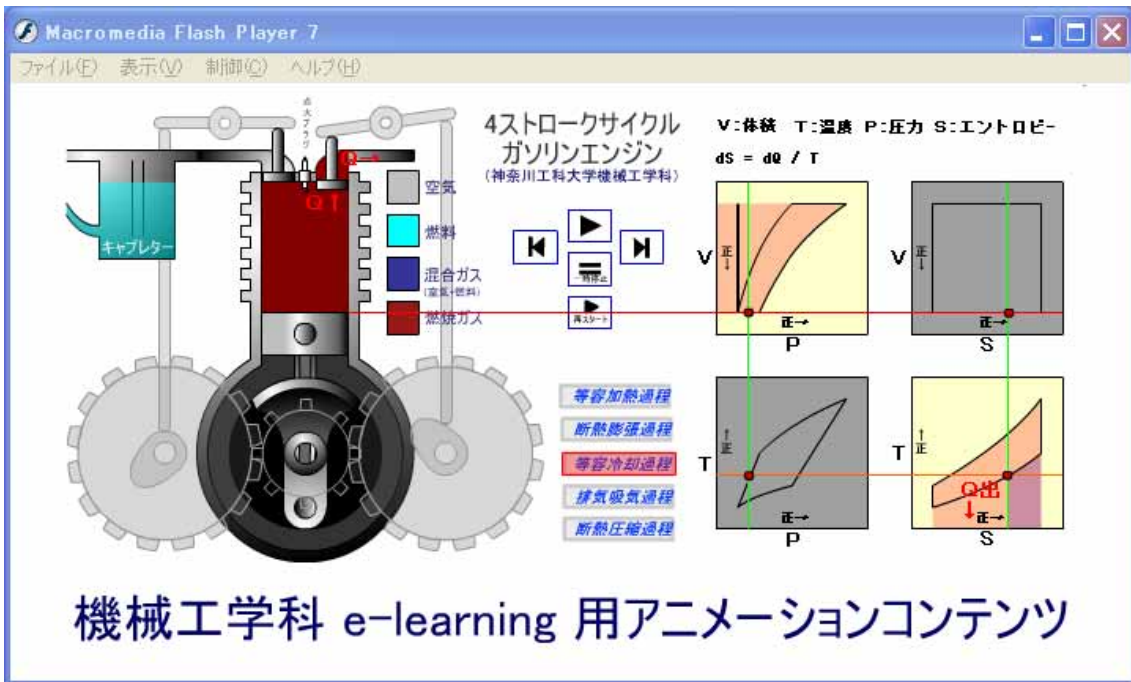


図 4.2-4 CG アニメーションコンテンツ(等容冷却過程)

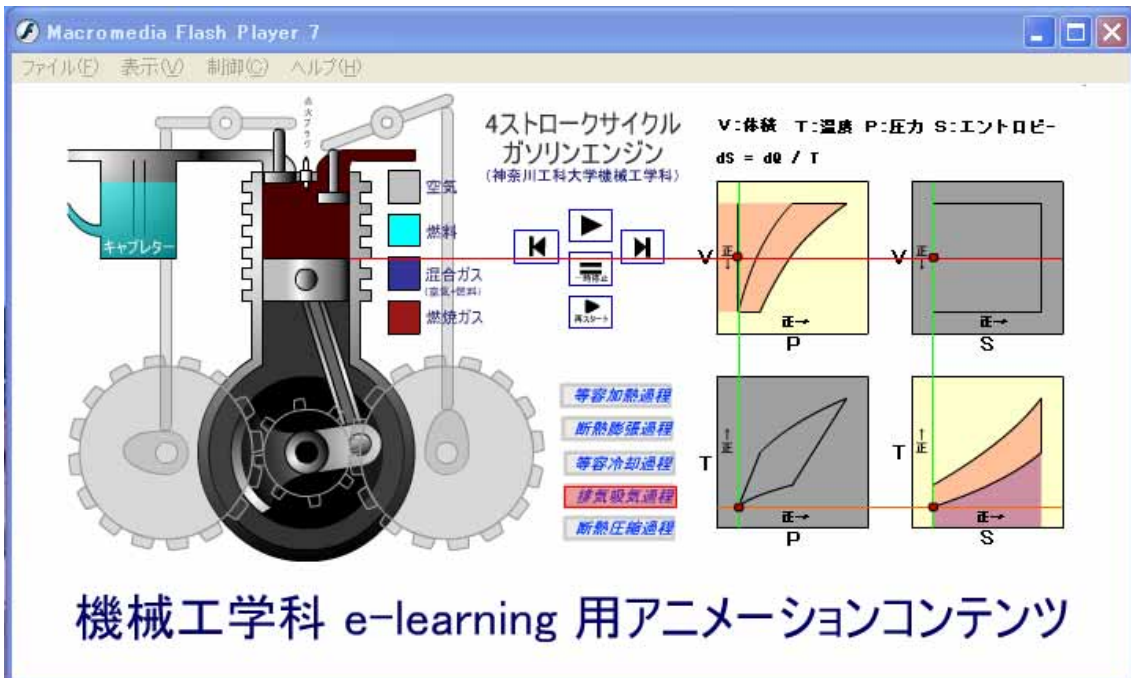


図 4.2-5 CG アニメーションコンテンツ(排気・吸気過程)

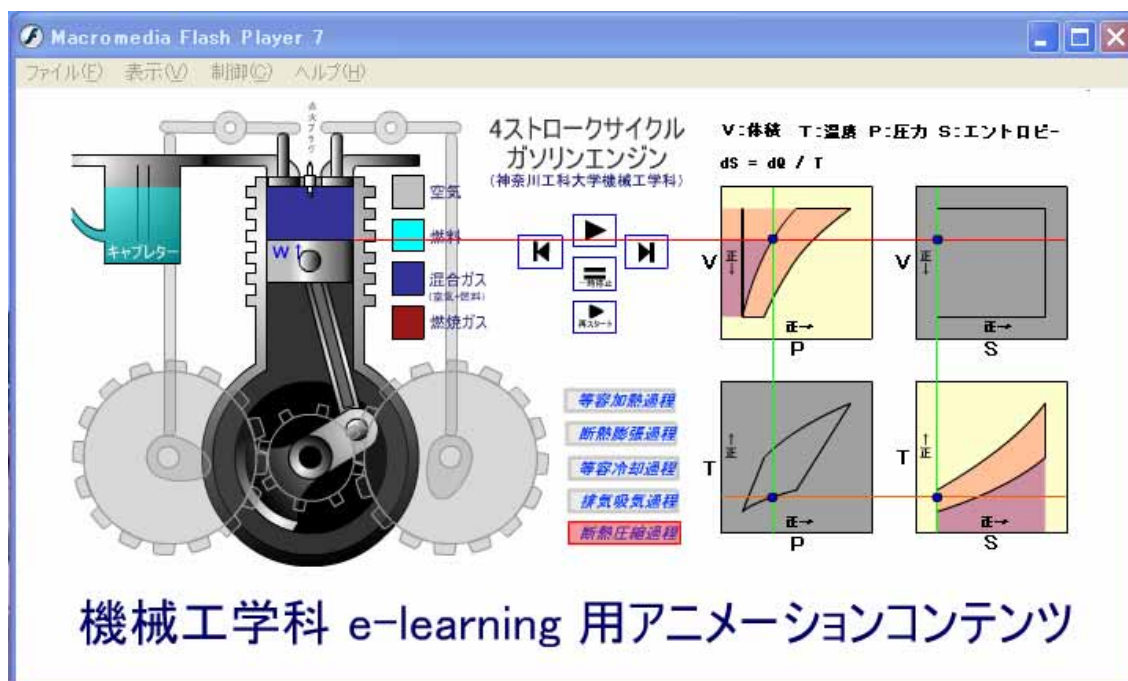


図 4.2-6 CG アニメーションコンテンツ(断熱圧縮過程)

学習者は、アクセス用 Web ページにアクセスして、そこに示された課題を行う。本アニメーションは再生、停止、コマ送り（正転）およびコマ戻し（逆転）等、学習者が直接操作することができる。課題はCG アニメーションコンテンツを再生させながら、ピストンやクランクなど主要な部品の動作に着目した説明と、シリンダー内のガスの状態変化について圧力 P 、温度 T 、容積 V およびエントロピー S の変化についての説明を行わせるものである。等容加熱（燃焼）(A 行程)、断熱膨張（B 行程）、等容冷却（排熱）(C 行程)、排気吸気（D 行程）および断熱圧縮（E 行程）のそれぞれの過程について別々に文章で説明させ、ホームページ上から送信させる。アニメーションによるエンジンの動作と線図をよく観察し、文章によって説明（外化）することによって、記憶への定着の促進が期待できる。

4.3 アニメーションコンテンツの特長

図 4.2-2～図 4.2-6 に示すように、画面左側にシリンダーが垂直方向になるようにピストン、コネクティングロッド、クランク等を配置したオートエンジンが設置されている。ピストンの動きに連動するように、ピストン上面から引き出されたポインター誘導線が右方向へと伸びている。ポインター誘導線の延長線上には、容積 V と圧力 P の V/P 線図と V とエントロピー S の V/S 線図があり、ポインター誘導線とそれぞれの線図の交点を丸いポインターが移動するようになっている。これによって、シリンダー内のガスの状態が V/P 線図および V/S 線図上で現在どこの状態点にあるかがリアルタイムで分かるようになっている。

V/P 線図および V/S 線図の各ポインターからは下方向へ向けて別のポインター誘導線

が伸びており、それぞれ温度 T と圧力 P の TP 線図および T とエントロピー S の TS 線図上のポインターを誘導するようになっている。これによって、 VP 線図および VS 線図と同様に、 TP 線図および TS 線図各線図上でシリンダー内のガスが現在どの状態にあるかということがリアルタイムで分かるようになっている。

ここで、本コンテンツの特徴は、 VS 線図と TP 線図を設けたことである。通常、教科書などではこれらの線図は掲載されていないことが多い。本コンテンツでは VS 線図および TP 線図を一種の媒介変数のように用いることで PV (VP) 線図と TS 線図の関係が動きの上で連動して分かるようになっている。

4.3.1 等容加熱（燃焼）過程

図 4.2-2 に示したように、ピストンが上死点にある状態で、点火プラグにアークの発生が再現される。これと同時に、矢印 (Q) が表示され、系内に熱量 Q が入ってくことを表現している。線図上では、 VP 線図上でポインターが V 一定で P のみ上昇することが再現される。 TS 線図上では T の上昇に伴って、 S も上昇していることがポインターの動作によって分かる。また、ポインターの動作と共に、ポインターの動く曲線と S 軸とに挟まれた部分の領域の色が変化していき、この領域の面積すなわち積分値（後述 5.2.1.2）が系に加わる熱量であることが分かりやすくなっている。

4.3.2 断熱膨張過程

図 4.2-3 に示した断熱膨張過程では、シリンダー内容積が膨張することによって低下する温度変化を、シリンダー内ガスの色が暖色系から寒色系へ変化することによって表現している。また、シリンダー内のガスが膨張するとき外部に対して仕事をしていることが、矢印 (W) によって示されている。 TS 線図では、ポインターの動作によってエントロピー一定のまま温度 T だけが低下することが再現される。また、 VP 線図では、 V の増加に伴って P が低下することが分かる。更に、ポインターが移動する曲線と V 軸によって挟まれる領域の色がポインターの移動と共に変化するようになっており、この領域の面積が外部に対して行う仕事量（後述 5.2.1.1）であることが分かりやすいようになっている。

4.3.3 等容冷却（排熱）過程

図 4.2-4 に示したように、ピストンが下死点にある状態で、上部排気バルブが開き、これと同時に、矢印 (Q) が表示され、系の外に熱量 Q が出ていくことを表現している。線図上では、 VP 線図上でポインターが V 一定で P のみ低下することが再現される。更に、 TS 線図上では T の低下と共に S が減少していることがポインターの動作によって分かる。また、ポインターの動く曲線と S 軸とに挟まれた部分の領域の色がポインターの移動と共に変化していき、この領域の面積は外部へ排出されていく熱量であることが分かりやすくなっている。そして、等容加熱過程で系に入ってきた熱量の面積からこの過程で外部に排出される熱量の面積を差し引いた面積（即ち TS 線図上の曲線で囲まれた領域）がこの系

に入ってきた正味の熱量であることが分かりやすくなっている。

4.3.4 排気吸気過程

図 4.2-5 では，排気バルブおよび吸気バルブが開き，それぞれ排気および吸気が行われるが，この間は P ， T および S は変化していないため，この過程はオットーサイクルを考える場合は重要性がないことが分かる。

4.3.5 断熱圧縮過程

図 4.2-6 に示した断熱圧縮過程では，シリンダー内容積が縮小し，圧縮熱によって上昇する温度を，シリンダー内ガスの色が寒色系から暖色系へ変化することによって表現している。また，シリンダー内のガスが圧縮されるときに外部から仕事をされていることが矢印 (W) によって示されている。 T S 線図では，ポインターの動作によってエントロピー一定のまま温度だけが上昇することが表現されている。また， V P 線図では， V の減少に伴って P が上昇することが分かる。更に，ポインターが移動する曲線と V 軸によって挟まれる領域の色がポインターの移動と共に変化するようになっており，この領域の面積が外部から内部に対して行う仕事量であることが分かりやすくなっている。そして，断熱膨張過程において外部に行った仕事量に相当する面積を，この過程で内部に入ってきた仕事量の面積で差し引いた面積（即ち P V 線図上の曲線で囲まれた領域）がこの系が動力軸を通して外部に行う正味の仕事量であることが分かりやすくなっている。また，この V P 線図上の正味仕事量は， T S 線図上の正味熱量と同じ量であることがイメージしやすいように，図中の実際の面積も共に等しくなるように描いてある。

4.4 コンテンツの実践

神奈川工科大学工学部機械工学科 3 年の授業「機械および電気工学実験」(付録 4 にシラバス添付)のテーマの 1 つである「ガソリン機関の性能試験」において本コンテンツを実践した。この授業は受講者を 1 班 8~9 人の班に分けて，班毎に全部で 5 テーマある実験テーマを各テーマ 2 週間ずつ，それぞれ 90 分 1 コマを 2 コマ，合計 4 コマ 360 分ずつローテーションしていく科目である。図 4.4-1 に本授業のタイムテーブルを示した。

本コンテンツは，はじめに 1 週目において，ガソリン機関の動力性能試験の実験を始める前に，ガソリン機関の基本原理解サイクルであるオットーサイクルについて教員が説明する際のサポートに用いた。本受講生である機械工学科 3 年生は，それまでに，熱力学や熱機関工学といった授業でオットーサイクルについては既習である。したがって，本コンテンツによる説明は熱機関に関する復習の意味を持っている。

次に，1 週目と 2 週目の間に，e ラーニングとして，自宅などのオンデマンドな環境で前節 4.2 に示した Web ページ課題を行わせた。

1週目	5分	85分	休憩	85分	5分
	小テスト 授業前	内燃機関の原理説明(CGを用いたオットーサイクル原理の説明含む)		ガソリン機関の性能試験	小テスト 授業後
Webアニメーションコンテンツ課題(コンピュータ室および自宅等, 授業時間外)					
2週目	5分	85分	休憩	90分	
	小テスト Web後	実験の結果の検討		実験の結果の検討	

図 4.4-1 授業のタイムテーブル (ガソリン機関の性能試験)

4.5 教育効果の検討

本コンテンツの教育効果の検討を行うために、理解度確認のための小テストを行った。図 4.4-1 のタイムテーブルに小テストの実施タイミングを示した。小テストは、1 週目の授業開始時と、1 週目のオットーサイクル原理説明終了後(1 週目の授業修了間際)および 2 週目授業開始時(e ラーニング課題実施後)の計 3 回に分けて行った。小テストを図 4.5-1 に示した。小テストの内容は、まず、等容加熱過程、断熱膨張過程、等容冷却過程および断熱圧縮の 4 つの過程に排気吸気過程を加えた計 5 つの過程に相当するアニメーションのコマ図を順不同に並べて配置した。そして、各過程に対応したそれぞれ 5 個の PV 線図および TS 線図をやはり順不同に配置し、アニメーションの 5 つのコマ図に対して PV 線図 TS 線図がそれぞれどれに対応するかを線で結ばせるものとした。

本小テストの実施結果を表 4.5-1 に示す。表には 1 週目のコンテンツを使った教員のオーラルによる説明の前「小テスト(授業前)」と説明の後「小テスト(授業後)」, および 2 週目の授業前すなわち e ラーニング Web 課題実施後「小テスト(Web 課題後)」の計 3 回について、それぞれ PV 線図および TS 線図がそれぞれ 5 点ずつ、合計 10 点満点の点数を示した。また、Web 課題自体の点数「Web 課題の点数」も 10 点満点に換算して表中に示した。更に表 4.5-2 に各小テストの平均点のみを示した。

この結果、 PV 線図と TS 線図の合計点数は「小テスト(授業前)」, 「小テスト(授業後)」および「小テスト(Web 課題後)」と点数が徐々に上昇しており、コンテンツによる繰り返し学習による学習効果が確認された。 PV 線図については、説明前よりも説明後で若干点数が低下している。これはケアレスミスなどが原因の誤差の範囲内であると考えられるが、いずれにしても授業説明による学習効果は認められない。これは、「小テスト(授業前)」で既に約 8 割の正答率となっていて、機械工学科 3 年生にとつてはこの内容は優しすぎるため差が生じなかったのではないかと考える。一方で、 TS 図については「小テスト(授業前)」は 1.8 点であったものが、「小テスト(Web 課題後)」は 4.1 点と 2 倍以上の点数に上昇している。このことから、 T と S の関係については、本コンテンツによる明らかな学習効果が認められたといえる。

学番 _____
 名前 _____

問1. 真ん中のオットーサイクルエンジンの絵に対して左右の絵がどれに対応するか線で結んでください。

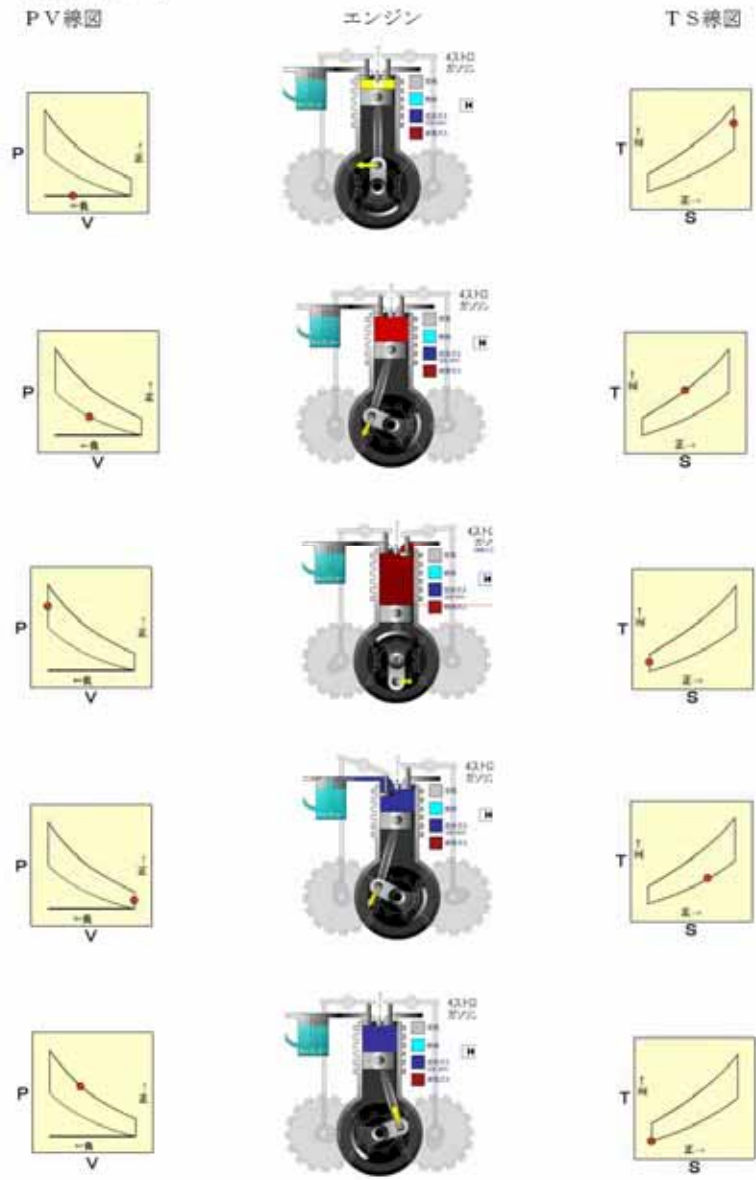


図 4.5-1 小テスト（オットーサイクルの $PV \cdot TS$ 線図選択問題）

表 4.5-1 小テストの結果

学番	小テスト(授業前)			小テスト(授業後)			小テスト(Web課題後)			Web課題点数
	授業前PV	授業前TS	合計	授業後PV	授業後TS	合計	Web後PV	Web後TS	合計	
*****	5	1	6	2	2	4	3	2	5	2
*****	3	0	3	5	5	10	5	2	7	2
*****	5	1	6	5	5	10	1	1	2	2
*****	0	0	0	0	5	5	5	5	10	3
*****	5	0	5	1	0	1	5	2	7	3
*****	5	1	6	5	5	10	5	5	10	3
*****	5	0	5	0	5	5	5	5	10	4
*****	3	5	8	5	5	10	5	5	10	4
*****	5	0	5	5	5	10	5	5	10	4
*****	5	0	5	4	5	9	5	5	10	4
*****	5	5	10	1	5	6	3	5	8	4
*****	3	5	8	3	5	8	5	5	10	4
*****	5	5	10	5	5	10	5	5	10	4
*****	3	0	3	5	3	8	5	5	10	4
*****	3	1	4	5	5	10	5	5	10	5
*****	5	0	5	5	0	5	5	5	10	5
*****	3	0	3	1	3	4	2	1	3	5
*****	0	0	0	5	0	5	5	5	10	5
*****	1	0	1	1	1	2	5	5	10	5
*****	5	0	5	5	0	5	5	5	10	5
*****	5	1	6	5	1	6	5	5	10	5
*****	5	1	6	5	5	10	5	5	10	5
*****	5	3	8	2	5	7	5	5	10	6
*****	5	5	10	5	5	10	5	5	10	6
*****	1	1	2	1	2	3	0	2	2	6
*****	5	5	10	5	5	10	5	1	6	7
*****	5	5	10	5	5	10	5	5	10	7
*****	2	5	7	5	5	10	5	5	10	7
*****	5	3	8	5	5	10	5	5	10	8
*****	2	0	2	5	5	10	2	1	3	10
平均	3.80	1.77	5.57	3.70	3.73	7.43	4.37	4.07	8.43	4.82
標準偏差	1.64	2.09	2.93	1.85	1.91	2.85	1.35	1.57	2.68	1.79

表 4.5-2 小テストの平均点

	PV	TS	合計
授業前	3.8	1.8	5.6
授業後	3.7	3.7	7.4
Web課題後	4.4	4.1	8.4

4.6 相関係数による比較検討

4.6.1 相関係数

第 3 章と同様に，相関係数による比較検討を行う．比較は「小テスト（授業前）」、「小テスト（授業後）」、「小テスト（Web 課題前）」および「Web 課題の点数」の 4 種類について行った．小テストの点数は PV，TS 線図の合計得点を用いた．各 2 組の相関係数を，各得点を標準化した標準得点による散布図とともに図 4.6.1-1～図 4.6.1-6 に示し，その検定結果を表 4.6.1-1～表 4.6.1-6 に示した．更に，各相関係数を表 4.6.1-7 にまとめた．また，各相関係数比較を No.1～No.6 のように付番した．

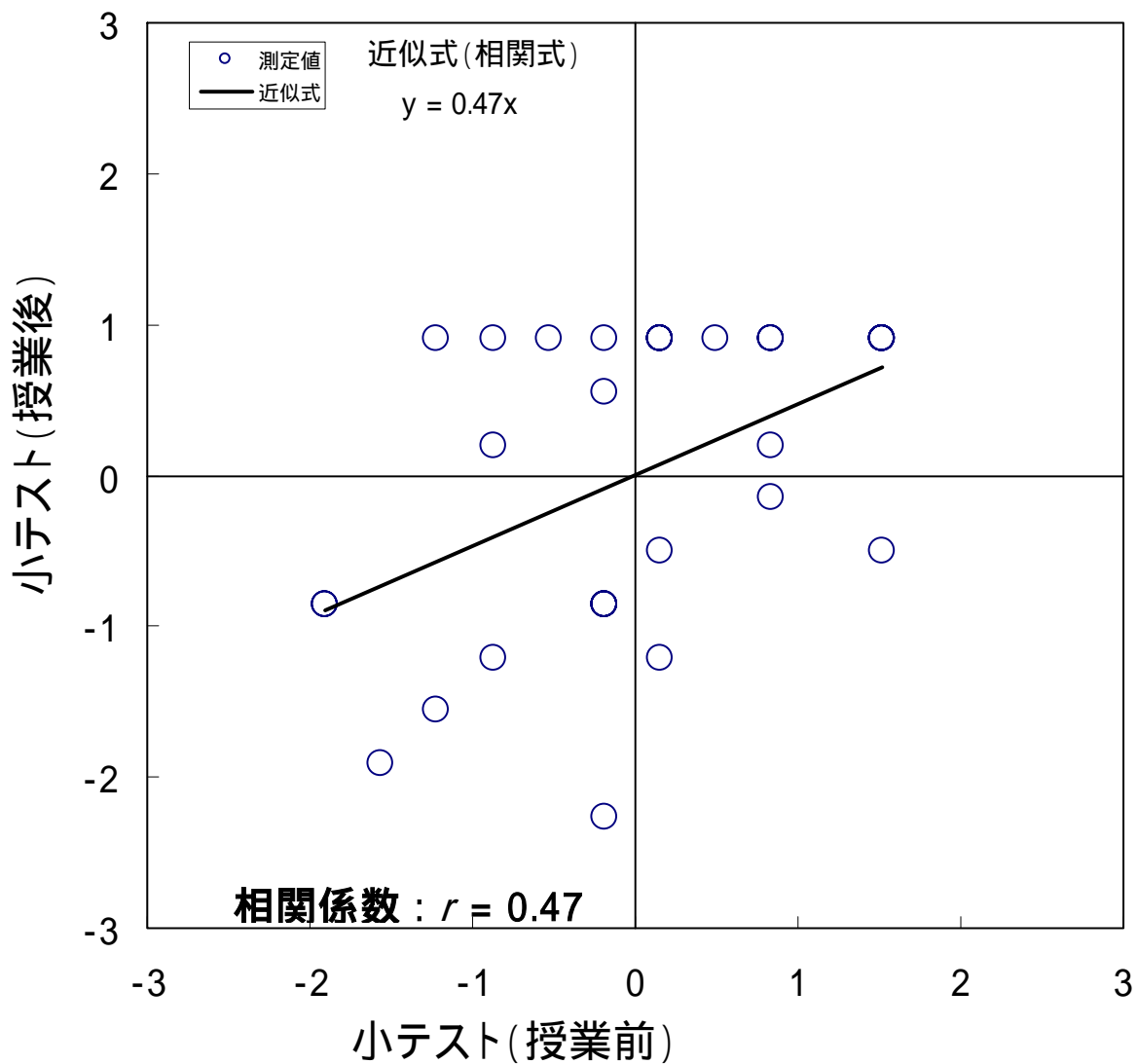


図 4.6.1-1 比較 No.1 の標準化散布図

表 4.6.1-1 比較 No.1 の検定結果

相関係数	r	0.47
サンプル数	n	30
有意水準		0.05
自由度		28
検定統計量	t 値	2.82
棄却値(両側)	t (,)	2.05
両側確率	P 値	8.77E-03
相関関係	(p) 有	

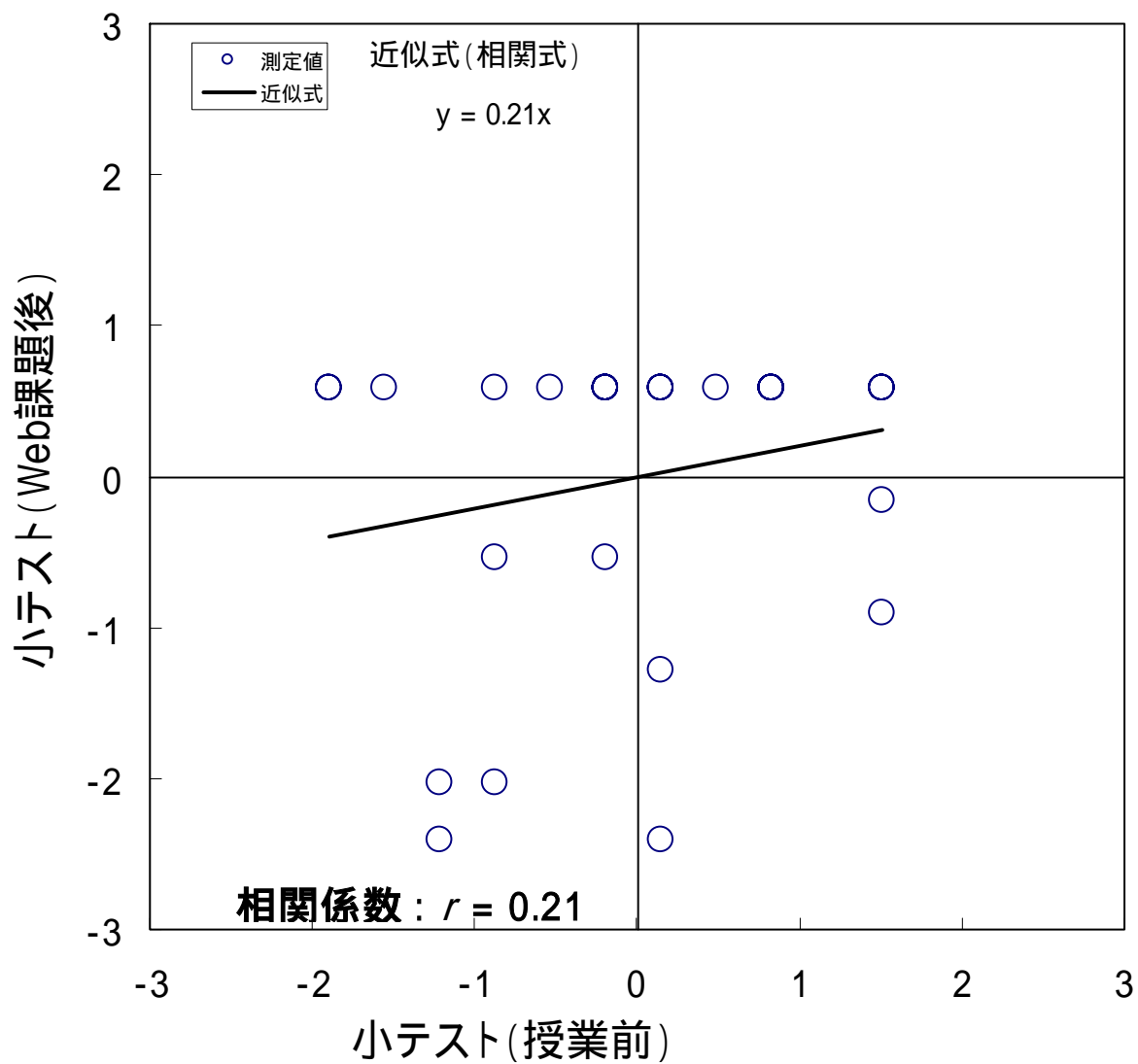


図 4.6.1-2 比較 No.2 の標準化散布図

表 4.6.1-2 比較 No.2 の検定結果

相関係数	r	0.21
サンプル数	n	30
有意水準		0.05
自由度		28
検定統計量	t 値	1.11
棄却値(両側)	t (,)	2.05
両側確率	P 値	2.75E-01
相関関係	($p >$)	無

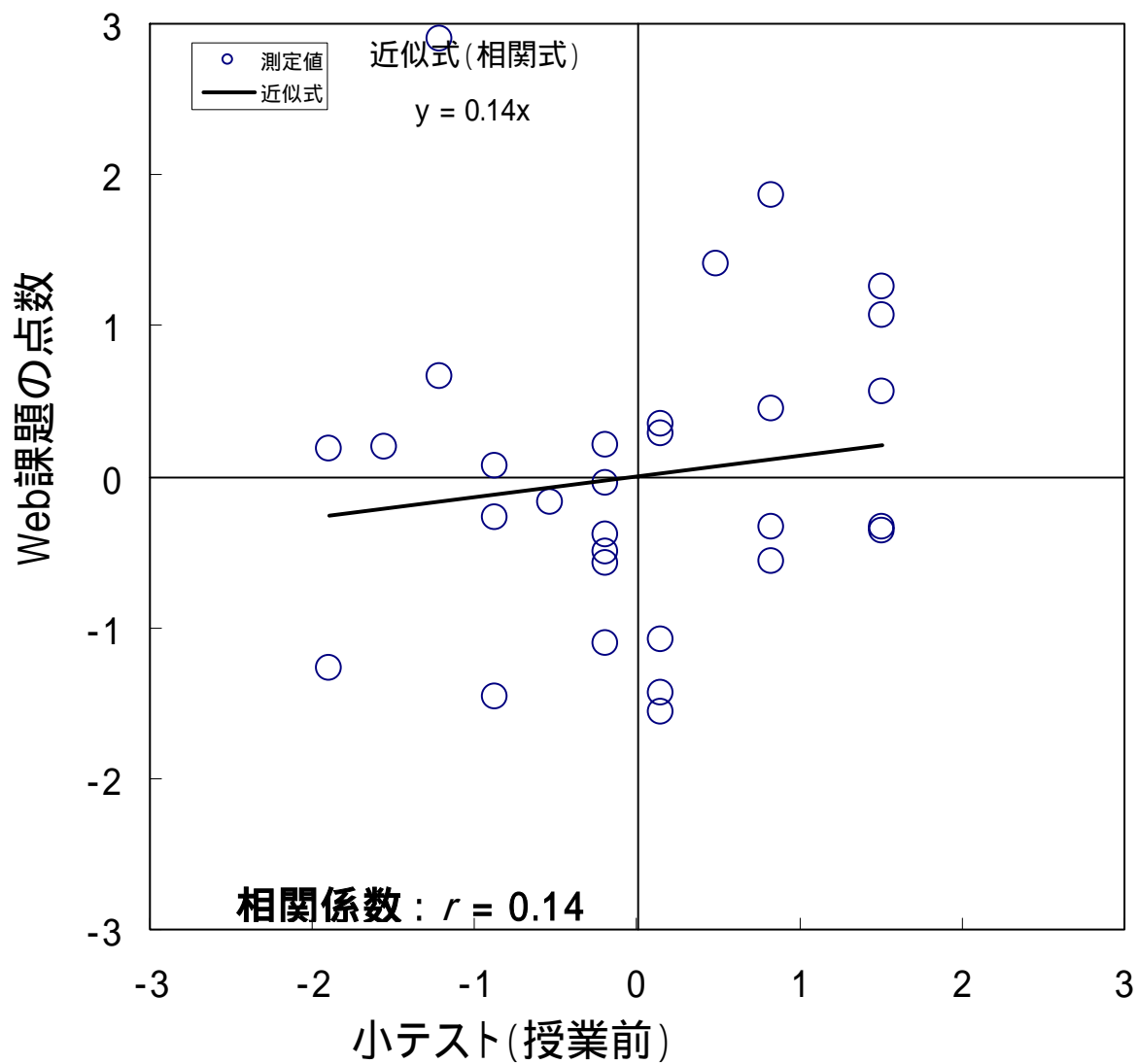


図 4.6.1-3 比較 No.3 の標準化散布図

表 4.6.1-3 比較 No.3 の検定結果

相関係数	r	0.14
サンプル数	n	30
有意水準		0.05
自由度		28
検定統計量	t 値	0.73
棄却値(両側)	t (,)	2.05
両側確率	P 値	4.70E-01
相関関係	($p >$)	無

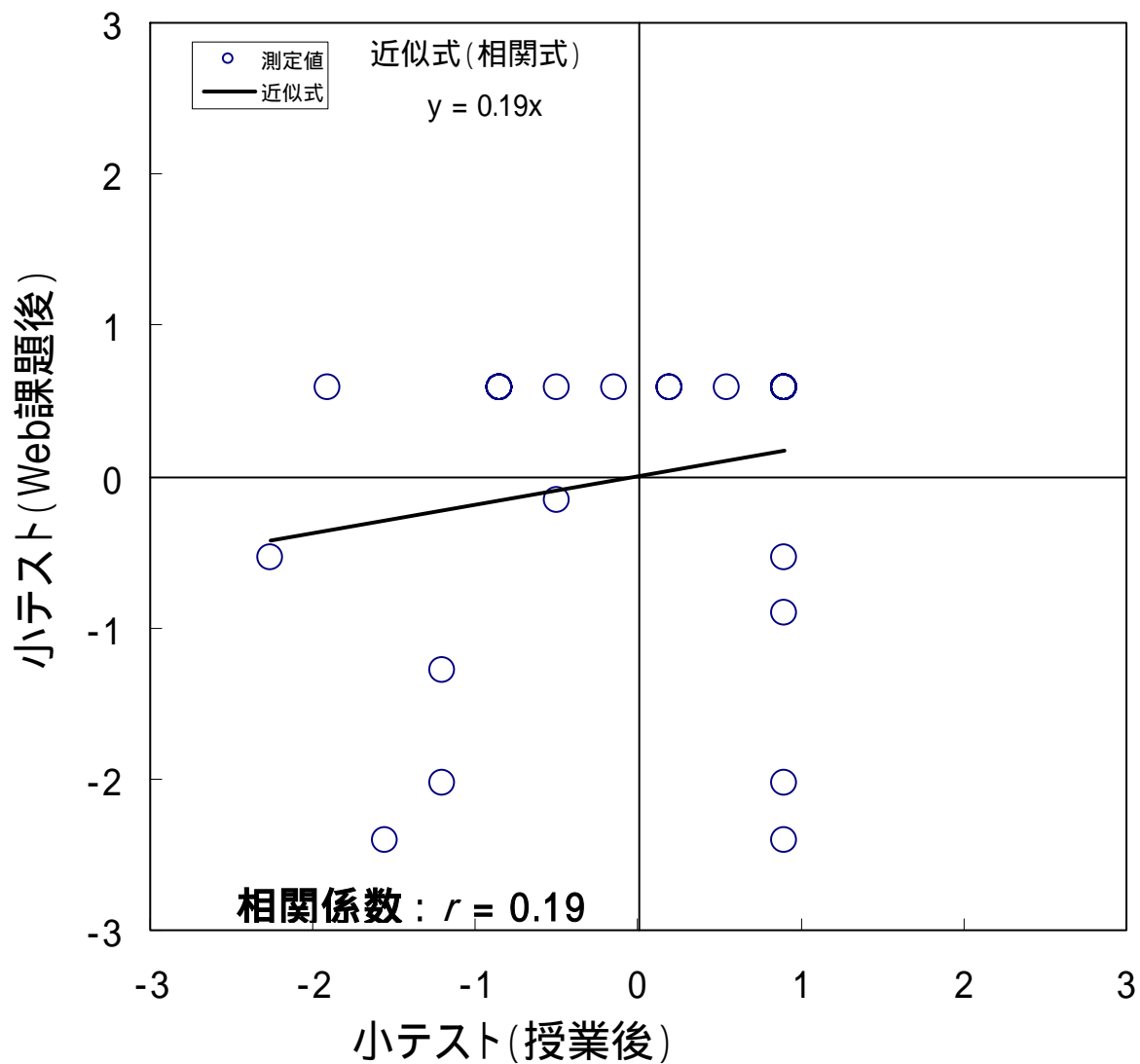


図 4.6.1-4 比較 No.4 の標準化散布図

表 4.6.1-4 比較 No.4 の検定結果

相関係数	r	0.19
サンプル数	n	30
有意水準		0.05
自由度		28
検定統計量	t 値	1.00
棄却値(両側)	t (,)	2.05
両側確率	P 値	3.28E-01
相関関係	($p >$)	無

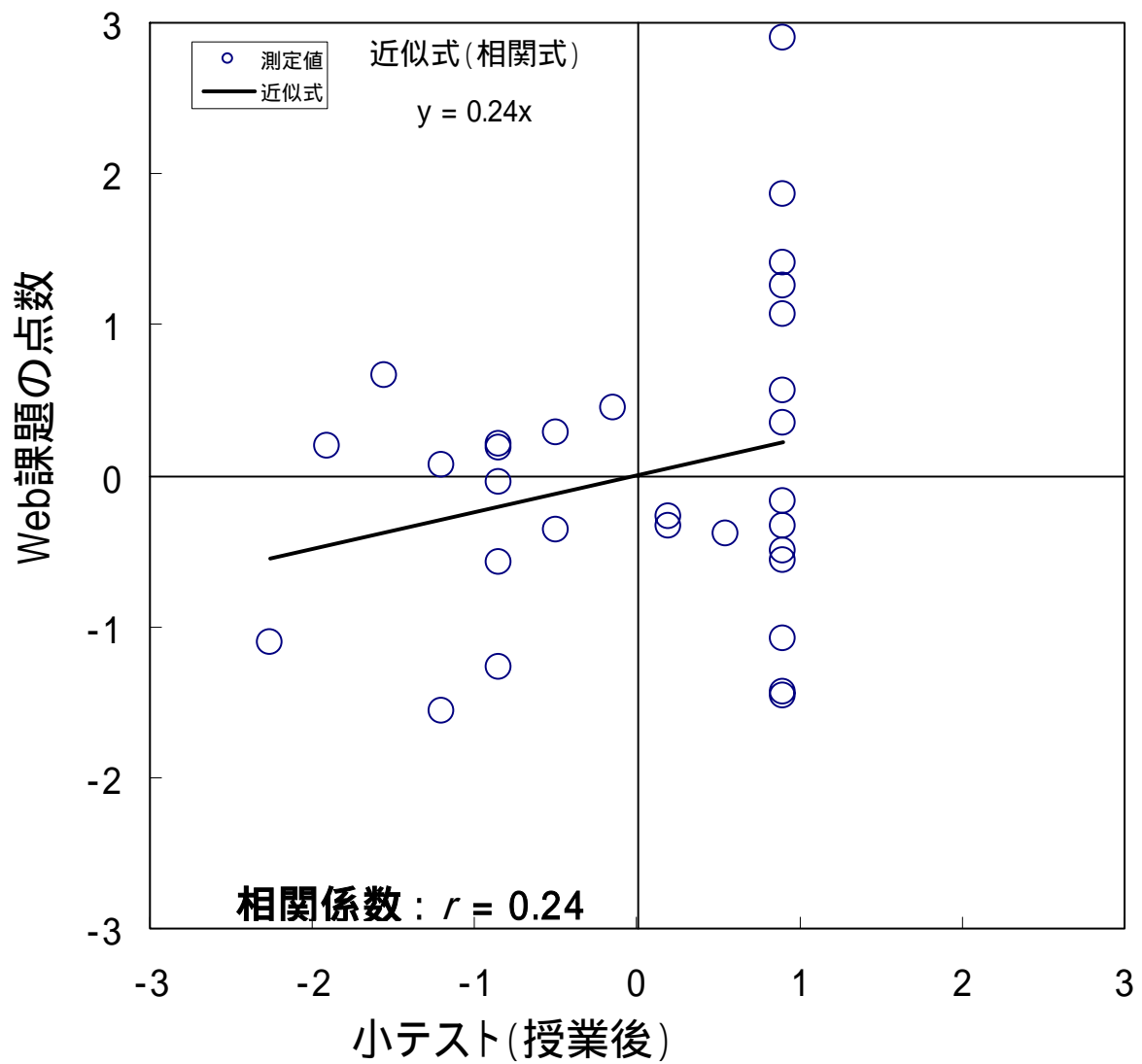


図 4.6.1-5 比較 No.5 の標準化散布図

表 4.6.1-5 比較 No.5 の検定結果

相関係数	r	0.24
サンプル数	n	30
有意水準		0.05
自由度		28
検定統計量	t 値	1.32
棄却値(両側)	t (,)	2.05
両側確率	P 値	1.98E-01
相関関係	($p >$)	無

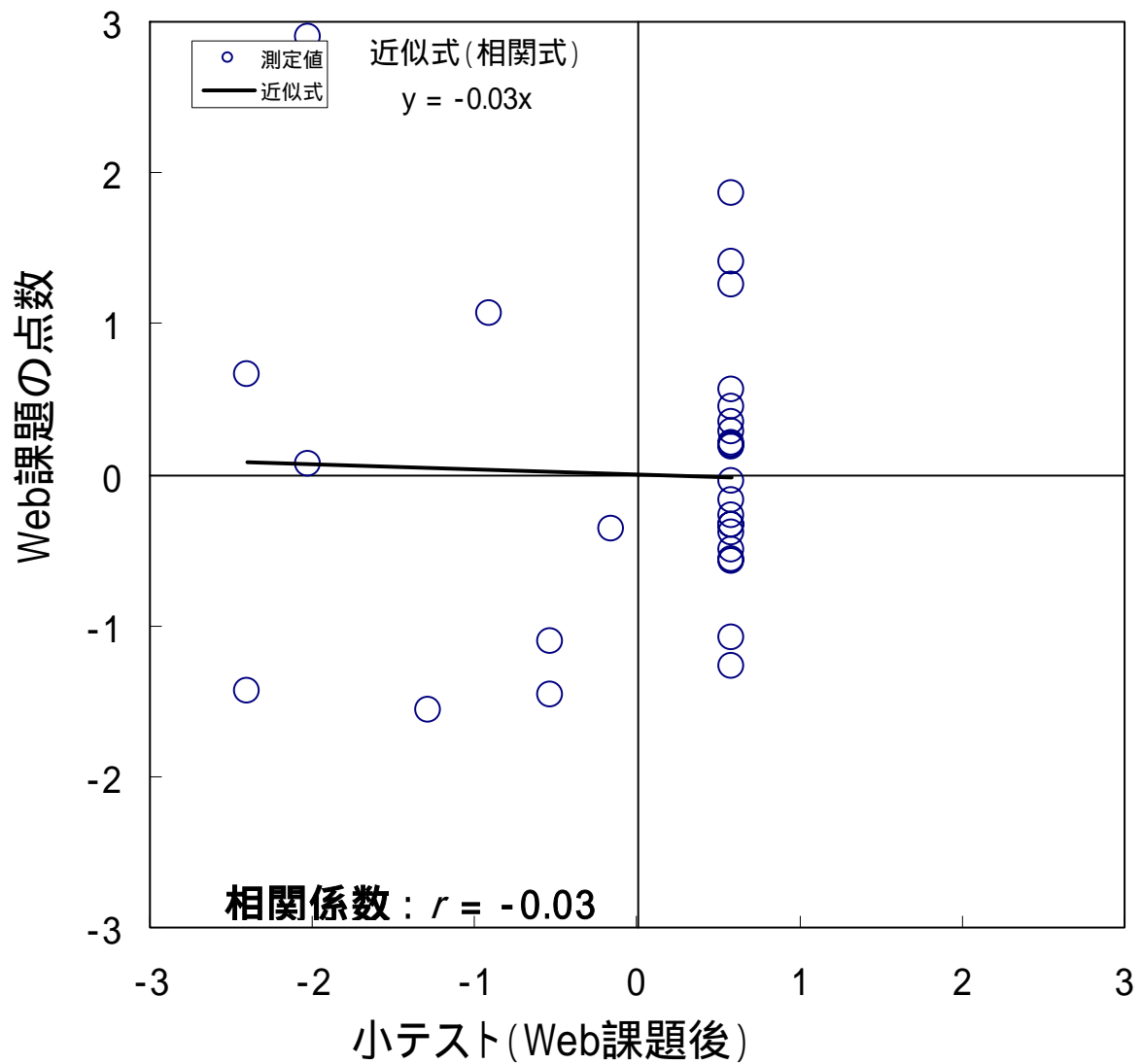


図 4.6.1-6 比較 No.6 の標準化散布図

表 4.6.1-6 比較 No.6 の検定結果

相関係数	r	-0.03
サンプル数	n	30
有意水準		0.05
自由度		28
検定統計量	t 値	-0.17
棄却値(両側)	t (,)	2.05
両側確率	P 値	8.63E-01
相関関係	($p >$)	無

表 4.6.1-7 相関係数比較

	小テスト(授業前)		
小テスト(授業後)	0.47(No.1)	小テスト(授業後)	
小テスト(Web課題後)	0.21(No.2)	0.19(No.4)	小テスト(Web課題後)
Web課題の点数	0.14(No.3)	0.24(No.5)	-0.03(No.6)

4.6.2 比較検討

4.6.2.1 検討 1

「小テスト(授業前)」をパラメータとして「小テスト(授業後)」と「小テスト(Web課題後)」との相関係数を比較する。前節 4.4 のように、本授業は熱力学においてオットーサイクルの理論および原理について既習の学生が受講している。したがって、「小テスト(授業前)」の点数の良い学生は、本コンテンツによる説明を受ける前に既に良くオットーサイクルを理解していたといえる。もし、本コンテンツを用いた教員による説明や Web 課題によってオットーサイクルの原理を思い出したり新たに理解したりした学生が全く生じなければ、それぞれ「小テスト(授業前)」に対する「小テスト(授業後)」比較 No.1 および「小テスト(Web課題後)」比較 No.2 の相関係数はそれぞれ理論上は 1 となるはずである。しかし、比較 No.1 から比較 No.2 と、コンテンツによって学習する回数が増えるに従って相関係数は 0.47, 0.21 と小さくなっている(表 4.6.1-7 の黄色の部分)。このことから、本コンテンツを用いた授業を受け、更に Web 課題を行うことによって「小テスト(授業前)」の時点ではオットーサイクルの原理を忘れていたかあるいは理解していなかった学生の点数が段階的に上昇したからではないかという仮説が立てられる。

このことを検証するために、図 4.6.2.1-1 および図 4.6.2.1-2 に比較を行った。図中、黒い丸は「小テスト(授業前)」の点数は低かったが、「小テスト(授業後)」は点数が高かった者、即ちこれらは授業中のコンテンツによる説明によって理解できた者であるといえる。赤い四角は「小テスト(授業前)」および「小テスト(授業後)」共に点数が低かった者であり、即ち、授業中の説明だけでは理解が不十分であった者であるといえる。青い四角は、「小テスト(授業前)」は点数が高かったが、「小テスト(授業後)」は逆に相対的に点数が低いグループになってしまった者である。このグループは、授業前に既にある程度理解していたが、授業後は他の学生に比して理解度が進まなかった者であるといえる。

図 4.6.2.1-1 の黒丸が赤四角と同数であることから、授業中のコンテンツによる説明を受けたことで、授業前までは理解していなかった者の半数がよく理解できたことになる。このことが、相関係数を 1 から 0.47 に引き下げた要因であると考えられる。更に、図 4.6.2.1-2 では、授業を受けても理解が進まなかったと考えられる赤四角の 6 人の内、半数の 3 人が「小テスト(Web課題後)」の点数が高い方へシフトしている。これが、「小テスト(授業前)」との相関係数を更に引き下げて 0.21 とした要因であると考えられる。

以上より、授業を受ける前にオットーサイクルの原理を理解していなかった者が、コ

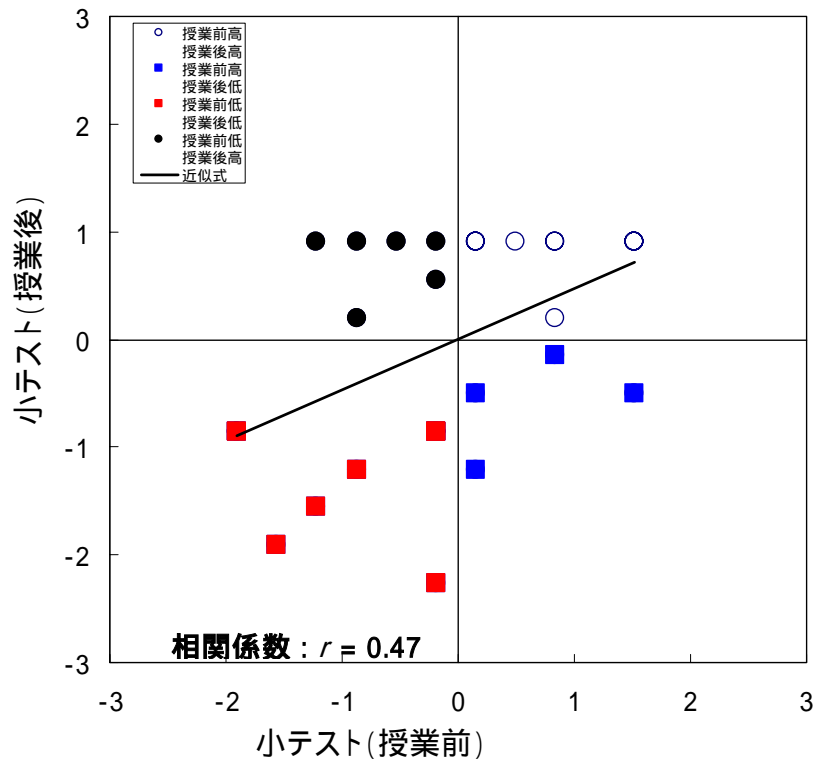


図 4.6.2.1-1 検討 1 の比較散布図 1

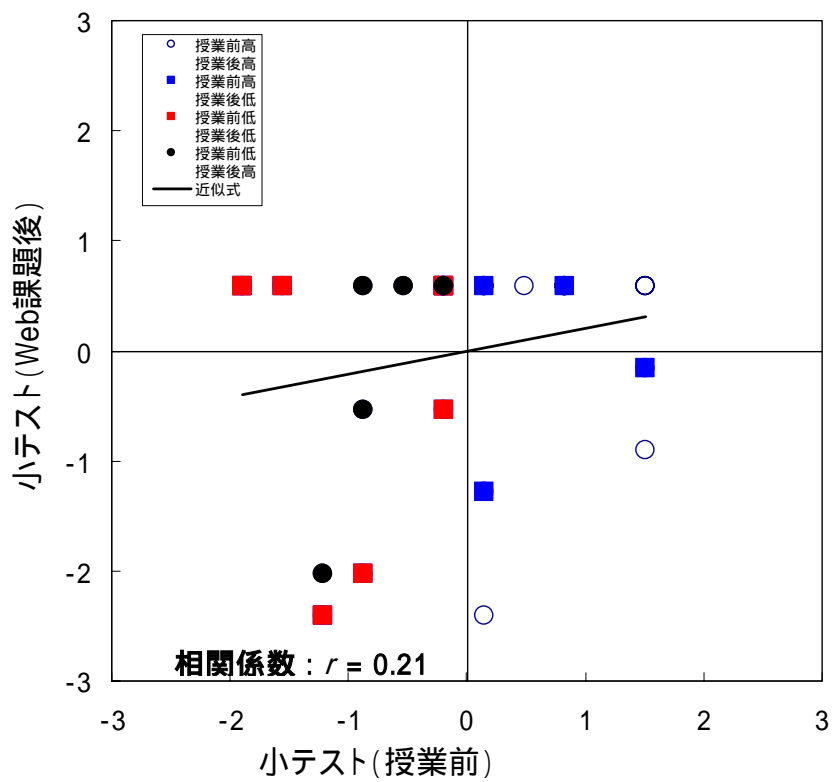


図 4.6.2.1-2 検討 1 の比較散布図 2

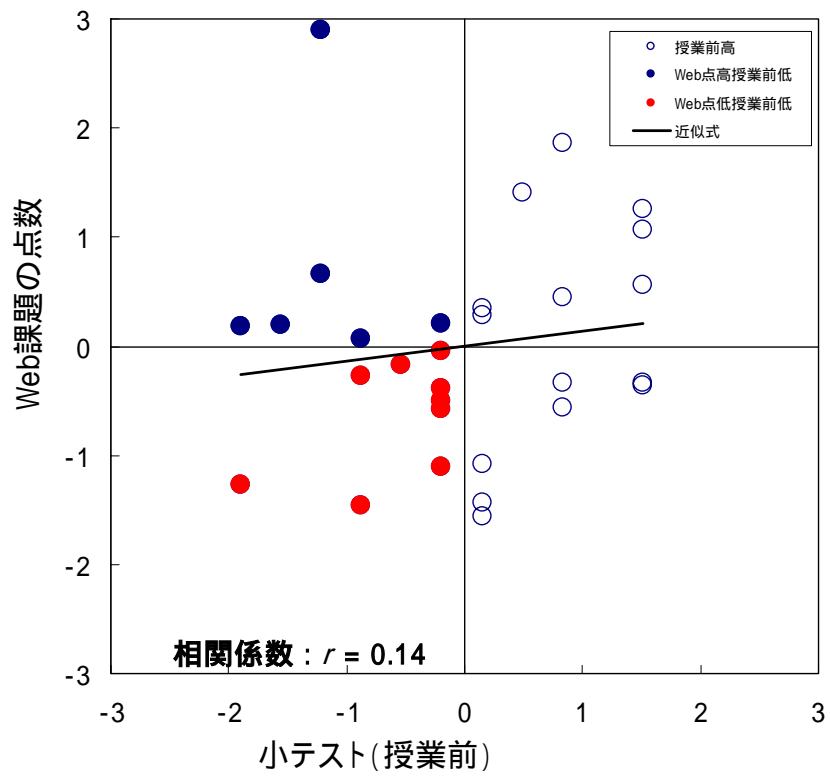


図 4.6.2.2-1 検討 2 の比較散布図 1

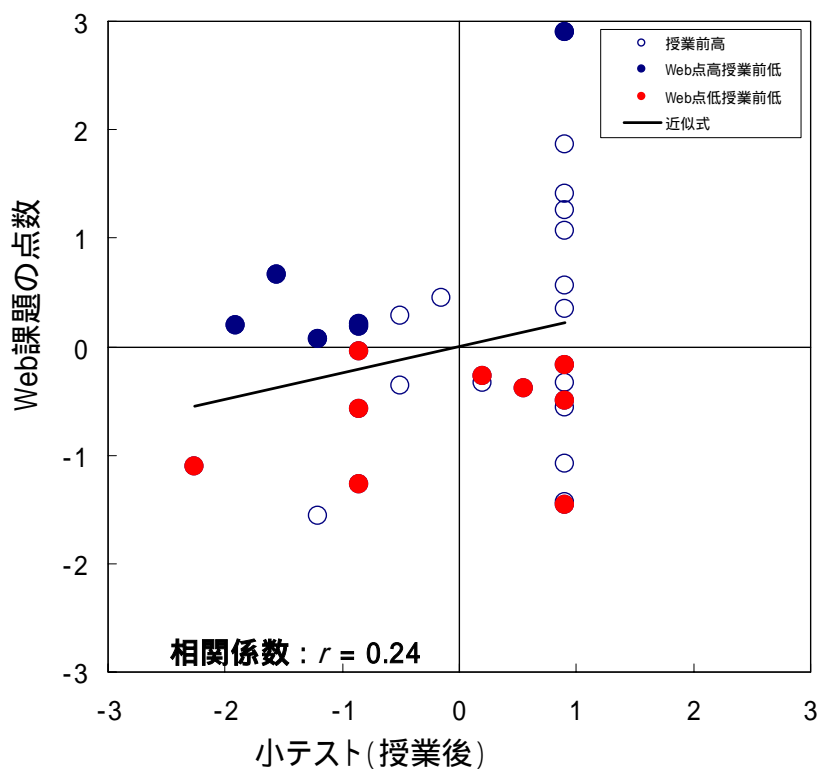


図 4.6.2.2-2 検討 2 の比較散布図 2

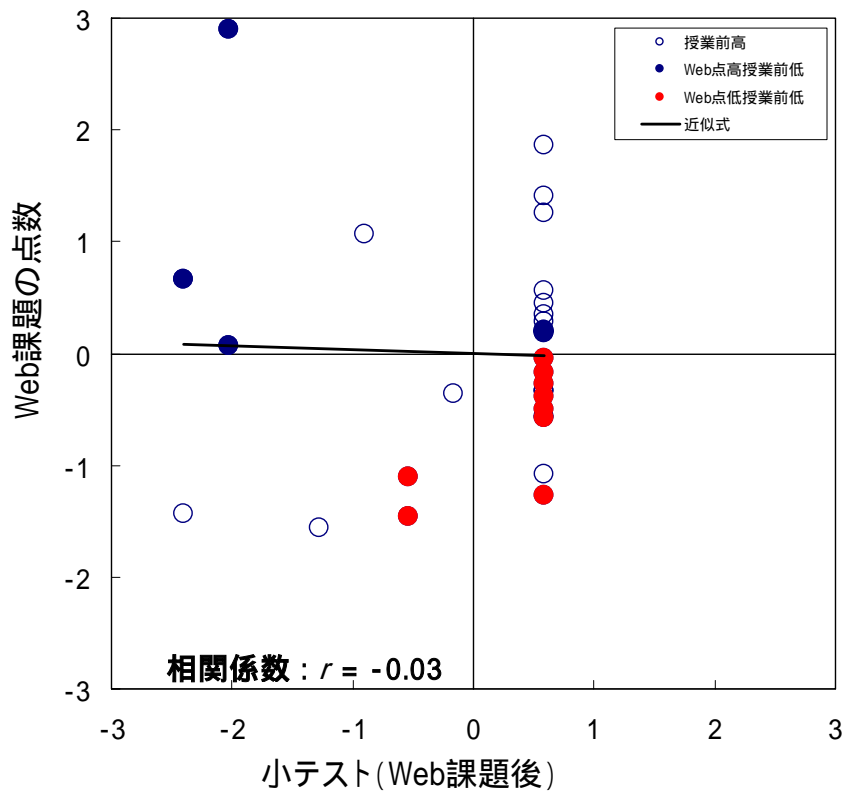


図 4.6.2.2-3 検討 2 の比較散布図 3

コンテンツを使った授業による説明と、Web 課題におけるアニメーションによる学習で、段階的に理解していったと考えることができるが、これは本コンテンツによる学習効果を肯定するものであると考える。

4.6.2.2 検討 2

次に、「Web 課題の点数」をパラメータとした比較検討を行う。第 3 章(3.11.3.1)においての議論では、「Web 課題の点数」を、課題に対する取り組みの度合いを示すものとした。本章における Web 課題も 3 章のものと同様の形式なので、本章の「Web 課題の点数」も課題に対する取り組みの度合いを示していると考えられる。

「Web 課題の点数」をパラメータとして見た場合、相関係数は、「小テスト(授業前)」が 0.14、「小テスト(授業後)」が 0.24、そして「小テスト(Web 課題後)」が -0.03 となっている(表 4.6.1-7 の緑色の部分)。相関係数の検定ではいずれも相関は認められなかったため、相関係数の値だけで検討することは難しい。そこで、図 4.6.2.2-1～図 4.6.2.2-3 の散布図で検討する。図中、青丸は「小テスト(授業前)」の点数が低かったが「Web 課題の点数」は高かったグループ。赤丸は「小テスト(授業前)」と「Web 課題の点数」共に低かったグループである。

ここで、これら青丸と赤丸の分布の変化に着目してみる。まず、「Web 課題の点数」が

低く、課題への取り組み度合いが低かったとみられる赤丸の分布の変化に注目してみる。図 4.6.2.2-1 において「小テスト(授業前)」では低い方に分布していた赤丸のグループは、図 4.6.2.2-2 の「小テスト(授業後)」, 図 4.6.2.2-3 「小テスト(Web 課題後)」と徐々に点数の高い方へシフトしている。これは、はじめはオットーサイクルをよく理解していなかった者たちが、授業から Web 課題とコンテンツにふれる回数が増えるにしたがい、理解するようになったと考えることができる。一方で、本課題に対する取り組みの度合いが高かったとみられる、青丸で示した「Web 課題の点数」が高く「小テスト(授業前)」は低い点数だったグループは、図 4.6.2.2-2 の「小テスト(授業後)」, 図 4.6.2.2-3 「小テスト(Web 課題後)」と経験を積んでも、点数の高い方へシフトしているとは言えない。ただ、1 名だけ「Web 課題の点数」が抜きん出て高かった者が、「小テスト(授業後)」で一度高得点の方へ移動し、「小テスト(Web 課題後)」では再び得点の低い方へ戻ってしまっている。この 1 名によって、「小テスト(授業後)」の相関係数が一時的に高くなり(0.24), 「小テスト(Web 課題後)」ではまた低くなってしまった(-0.03)と考えられるが、この 1 名は例外であると考えられる。したがって、全体の傾向としては、散布図による比較のように、「Web 課題の点数」の低かった者ほど「授業による説明」、「Web 課題」、とコンテンツを経験する回数が増えるにつれて点数が上昇すると考えられる。前述のように、「Web 課題の点数」が課題に対する取り組みの度合いを示しているとすれば、これは、課題への取り組みが少なかった者ほど点数が上昇する傾向にあるということを示している。しかし、このことは、第 3 章(3.11.3.1) Web 課題に真剣に取り組んだ勤勉な者が「小テスト(Web 課題後)」の点数が上昇し、学習効果が高かったとする結果と矛盾する。この理由として考えられることは、本コンテンツの内容は既に学習済みの内容であり、新たに理解する内容というよりは、思い出す、ということが小テストの点数を上昇させる要因になっているからではないかと考える。課題に対してはあまり積極的ではなくても、要領が良いか、あるいは理解力に優れた者であれば、概念をアニメーション化した本コンテンツを少し確認するだけでサイクル理論や原理を思い出したり、更に理解を深めたりすることも可能であると考えられる。いずれにしても、本検討は標準化した点数を用いた比較であり、あくまでも相対的に点数が上昇したか否かを考えている。前節(4.5)で検討したように、平均点数の上昇は明らかであるので、本コンテンツの学習効果に対する優位性は失われまいと考える。

4.7 まとめ

本章では、ガソリン機関の基本理論であるオットーサイクルについて、その理論の理解をサポートするコンテンツの開発を目指した。前章 3 のガソリン機関のコンテンツを基に再構築し、ピストンの動きと連動して動作するポインターをコンピューター画面上の PV 線図や TS 線図上に配置し、それらの動きを追うことで、オットーサイクルを理論的に理解することを助ける e ラーニングアニメーションコンテンツを開発した。更に、本コンテンツを機械工学科機械工学実験科目において、オットーサイクル機関の理論および原理を学習させる課題の 1 つとして、授業中および e ラーニング環境で実践した。学習効果を検

証し以下のような結果を得た。

(1)小テストによる学習効果の検討を行った。授業を始める前，授業で本コンテンツを用いて教育した後，更に，eラーニング環境でアニメーションコンテンツによる課題に取り組んだ後の3つの時点において小テストを行った。この結果，コンテンツの経験が増すに従い小テストの点数が上昇することを確認し，本コンテンツの学習効果を認めた。

(2)相関係数による比較検討においては，コンテンツに対する取り組み度の低い者ほどコンテンツによる学習効果が高いという矛盾を含んだ結果が得られたが，これは，学習内容が既習であったことが原因であり，内容を思い出すという点においては，コンテンツへの取り組み度の量に関わらず，学習効果が認められるという考察に至った。

第5章 カルノー機関のCGコンテンツの 開発および教育実践

第5章 カルノー機関のCGコンテンツの開発および教育実践

5.1 はじめに

カルノーサイクルは熱力学第二法則の概念を理解する上で非常に重要な熱機関であり、熱力学の教科書には必要不可欠なものである。一方で、カルノーサイクルは実在しない熱機関でもある。そういう意味では、現実には存在し、実際に人や物の移動に使う事ができるオットーサイクルやディーゼルサイクルといった熱機関と比べると、カルノーサイクルは熱力学の概念を理解するためだけの、教材としてのみ価値を持つ熱機関だといえる。しかし、熱機関である以上、概念上では動作可能であり、現実には稼働不可能な機関をいかに学習者の思考の上で動かす事ができるか、ということがカルノーサイクルの原理を理解させる上で重要だといえるであろう。そうした意味で、カルノーサイクルの動作をアニメーションによって映像化し、学習者に視聴させる事は非常に有効であると考えられる。

本章では、カルノーサイクルの熱力学的理解を目的としたアニメーションコンテンツの開発を目指した。カルノーサイクルの動作原理を説明するCGコンテンツとしては、文部科学省^{4,7)}や科学技術振興機構^{4,8)}等の関係サイトに既にいくつかの簡易なコンテンツが紹介されているが、エントロピー等を用いて仕事量と熱量の関係を説明するとき用いることができるコンテンツは、著者らの調べた範囲においては見あたらなかった。そこで本章では、インタラクティブCGアニメーションの利点を活用し、教員が説明の内容や進行スピードに合わせて自在に操作することができ、熱量と仕事量との関係の説明に用いることができるアニメーションコンテンツを開発した。更に、本コンテンツを熱力学の講義で実践し、受講者に対するアンケート調査を行った結果、本コンテンツの有効性を確認した。

5.2 カルノーサイクルの学習で理解させたい点

熱機関とは、熱エネルギーを仕事のエネルギーに変換する装置のことである。熱機関の開発やそれについて論じるとき、熱エネルギーから仕事エネルギーへ変換する効率をいかに良くするかということが最も重要なポイントである。熱力学においてエネルギーの効率を考える場合、圧力 P と容積 V および温度 T とエントロピー S という変数を用いて考える。 P と V は仕事量 W 、 T と S は熱量 Q を見積もるために必要なパラメータとなる。カルノーサイクルはこれらのパラメータを使って学習者に熱効率を考えさせるための重要な教材である。カルノーサイクルを学ばせるに当たって理解させたい点を以下にまとめた。

5.2.1 仕事と熱エネルギーの関係

仕事 W と熱エネルギー Q の関係を P 、 V 、 T および S のパラメータで考えるとき、それぞれ、 W を P と V の積、 Q を T と S の積で捉え以下のように考える。

5.2.1.1 圧力 P と容積 V および仕事量 W の関係

それぞれ圧力 P は $[N/m^2]$ 、容積 V は $[m^3]$ の次元を持つ。この2つの積 PV の次元は $[N \cdot$

m)となり，これは即ちジュール：[J]仕事量である．従って，縦軸 P と横軸 V からなる座標系の面積に相当する量が仕事量 W であるということになる．これを式(1)に示した．ある状態1から状態2へ変化するとき系が外部に働く仕事量を W_{12} とすると， W_{12} は図5.2.1.1-1のように考えることができる． W_{12} は従属変数 P ，独立変数 V とした関数 $P = f(V)$ を状態1から状態2まで積分した値として式(2)で表される．

$$dW = PdV \quad (1)$$

$$W_{12} = \int_1^2 PdV = \int_1^2 f(V)dV \quad (2)$$

5.2.1.2 温度 T とエントロピー S および熱量 Q の関係

エントロピー S は，熱力学の概念の中でも特にわかりにくい概念の一つである．エントロピーは熱力学の分野だけではなく，情報科学，経済学など多くの分野で用いられる⁴⁹⁾⁵⁰⁾．一般的には，エントロピーは「乱雑さの度合い」や「無秩序さ」などと表現されることが多い．

こうしたエントロピーの本質的な概念は，分子レベルのミクロな視点で考える統計力学で詳しく学ぶ．しかし，工学の領域では，主にマクロな視点でしかエントロピーを扱わない．したがって，乱雑さや無秩序といった概念を教育に用いると逆に分かりにくくなるという問題点を持っている．著者は本研究以外の他の研究において，こうしたエントロピー概念の言語表現について認知科学的側面から研究を行っている⁵¹⁾．しかし，一般的に工学分野の熱力学ではエントロピー S を単に熱量 Q を操作する1つのパラメータとして扱う．

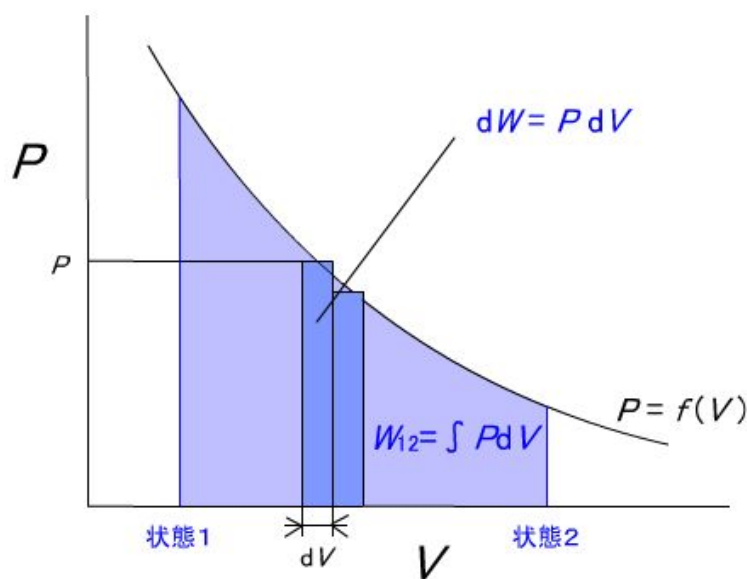


図 5.2.1.1-1 P V 線図上における仕事量 W の概念

エントロピーの定義は以下ようになる。

$$dS = \frac{dQ}{T} \quad (3)$$

これより，

$$dQ = TdS \quad (4)$$

となり，前項（5.2.1.1）の式(1)の形に酷似する。

即ち，式(4)は，式(1)において，仕事量 W を熱量 Q ，圧力 P を温度 T ，容積 V をエントロピー S と置き換えたものと同様の形になる。従って， P と V の関係において，両者の積によって仕事量が求まるのと同様に， T [K] と S [J/K] の関係において，両者の積が Q [J] となるように定義したものが式(3)によって定まるエントロピー S [J/K] である。従って，式(2)と同様に，状態 1 から状態 2 へ変化するとき系が外部から得る熱量を Q_{12} として，熱量 Q_{12} は図 5.2.1.2-1 のように考えることができる。熱量 Q_{12} は従属変数 T ，独立変数 S とした関数 $T = f(S)$ を状態 1 から状態 2 まで積分した値として次式で表される。

$$Q_{12} = \int_1^2 TdS = \int_1^2 f(S)dS \quad (5)$$

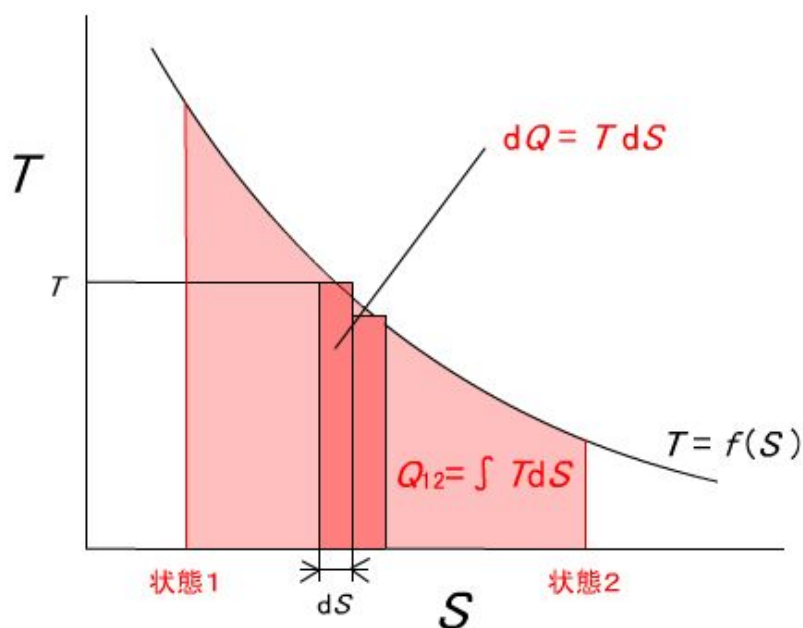


図 5.2.1.2-1 T S 線図上における熱量 Q の概念

5.2.1.3 工学分野におけるエントロピー S の捉え方

ところで、統計物理学で議論するエントロピー S は、分子レベルのミクロな視点から捉えた、ボルツマン（1844～1906年）によって示された次式が定義式として重要視される。

$$S = k \log_e \Omega \quad (6)$$

ここで、 k はボルツマン定数、 Ω はミクロな視点から見た分子運動の微視的状态数（熱力学的場合の数）である。

式(3)によるエントロピーも式(6)によるエントロピーも同様のものであるが、エントロピーをマクロな視点から見つめたものが式(3)であり、分子や原子の運動などミクロな視点から見つめたものが式(6)であるといえる。

しかし、工学の分野においては式(3)がエントロピーの定義式として重要視されている。この理由としては、本節 5.2 のはじめに示したように、工学の分野においては、熱エネルギー量と仕事量の関係に関心を置くため、ミクロな視点で捉えた式(6)よりも、図 5.2.1.2-1 のように、マクロな視点で定義された式(3)の方が馴染みやすい。

このような理由から、工学分野では主に熱エネルギーから仕事エネルギーへの変換効率（熱効率）を考えるための教材として使われるカルノーサイクルにおけるエントロピーは式(3)および式(5)が重要な概念となる。

5.2.2 カルノーサイクルの原理

カルノーサイクルのサイクルの原理図を図 5.2.2-1 に示した。図中には、シリンダーの中にガスが閉じこめられており、ピストンによって圧縮したり膨張させたりできるようになっている。図上部には P - V 線図を示し、各過程でのシリンダー内容積 V をピストンの面から延ばした波線で示した。カルノーサイクルのサイクル図はこの図のように菱形になっている。 P - V 線図を図 5.2.2-2 に示し、更に T - S 線図を図 5.2.2-3 に示した。各過程についての詳細を次項以下に示す。

5.2.2.1 等温圧縮（冷却）過程（図中 $1 \rightarrow 2$ ）

図 5.2.2-1 中のピストンが外部からの仕事として左方向に動く。内部ガスは圧縮され圧力は上昇する。このとき外部からなされる仕事量は図 5.2.2-1 および図 5.2.2-2 の P - V 線図上の $1 \rightarrow 2$ の面積に相当する。ガスは圧縮されるため圧縮熱を発生し、温度を上昇させようとするが、このとき外部に熱量 Q を捨てることで、内部の温度を一定に保つ。このときエントロピーは低下し、外部へ捨てられる熱量は図 5.2.2-3 T - S 線図上の $1 \rightarrow 2$ の面積に相当する。

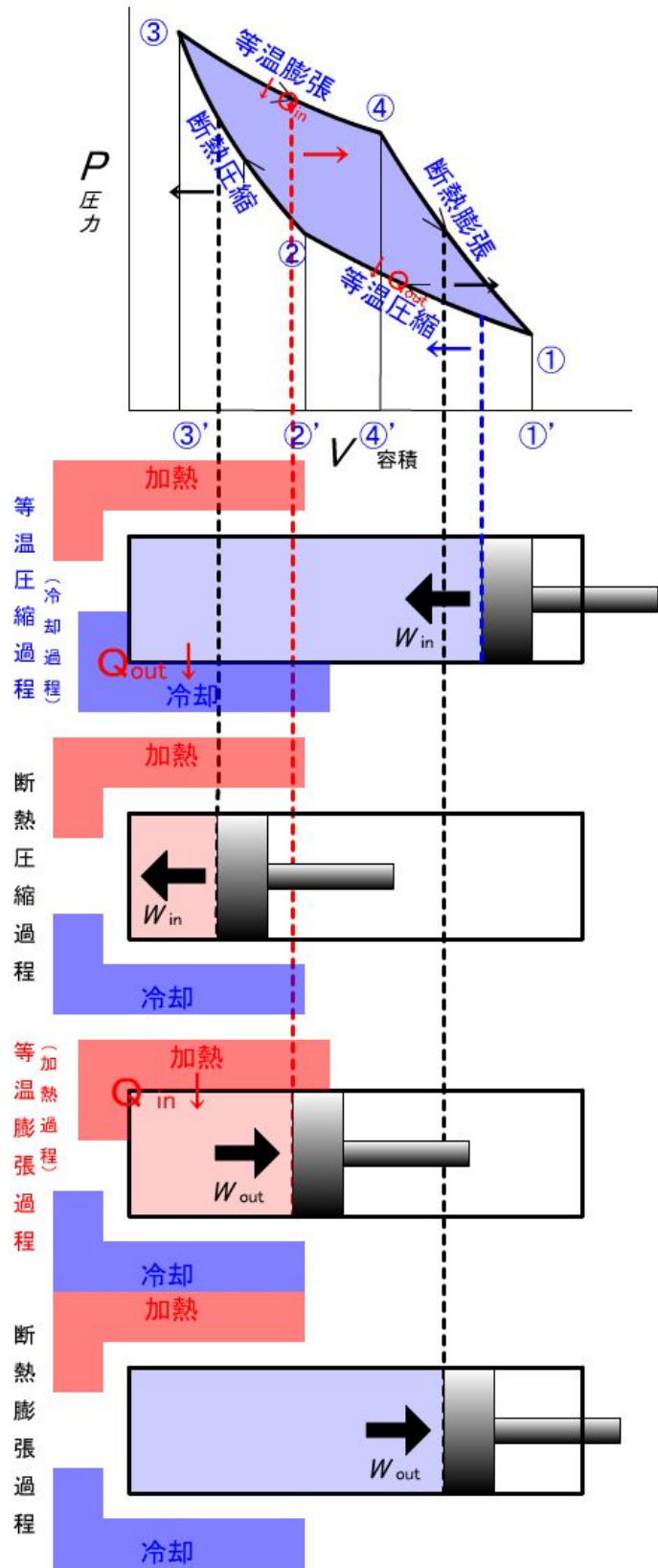


図 5.2.2-1 カルノーサイクルの原理

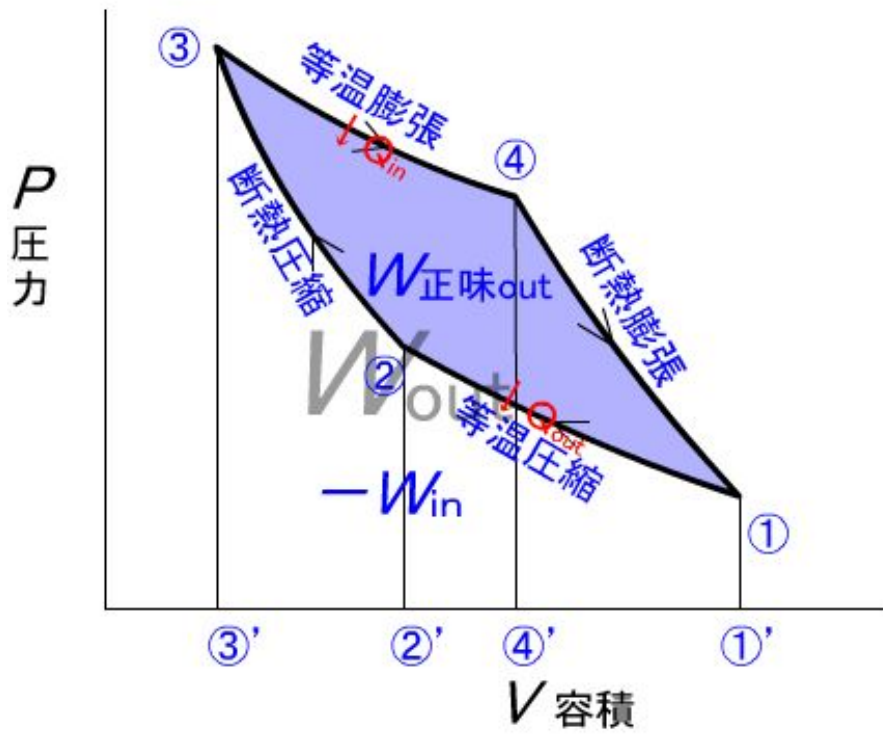


図 5.2.2-2 カルノーサイクルの P V 線図

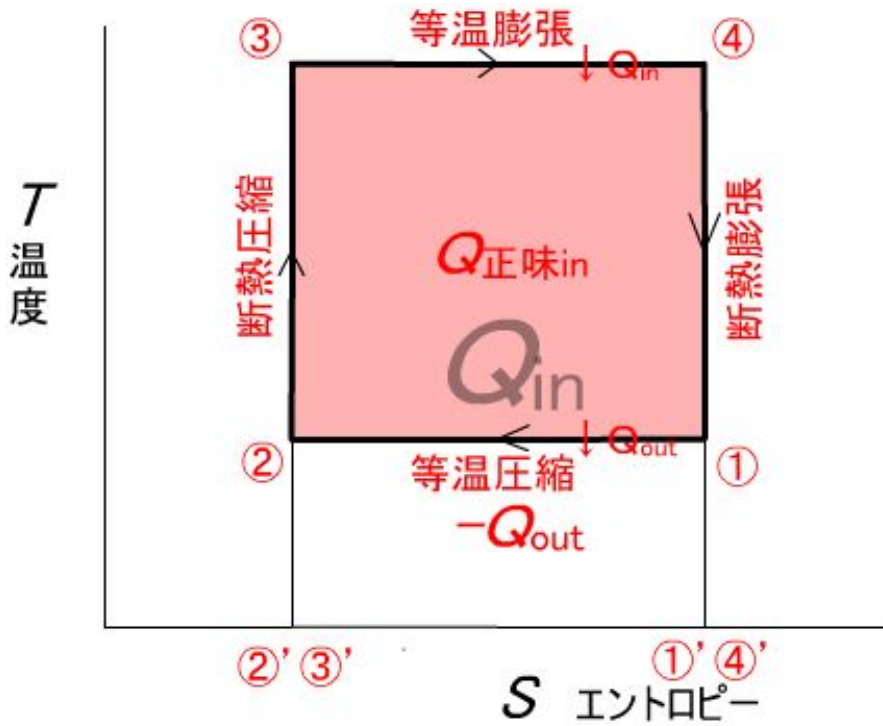


図 5.2.2-3 カルノーサイクルの T S 線図

5.2.2.2 断熱圧縮過程 (図中)

等温圧縮過程と同様に、ピストンが外部からの仕事として左方向に動く。内部ガスは圧縮され圧力は上昇する。このとき外部からなされる仕事量は PV 線図上の

で囲まれる面積に相当する。ガスは圧縮されるため圧縮熱を発生し、内部温度は上昇する。このとき外部との熱の出入りはないのでエントロピーは一定であり、 TS 線図上の の面積は 0 (ゼロ) である。

5.2.2.3 等温膨張 (加熱) 過程 (図中)

ピストンは内部の圧力によって外部へ行う仕事として右方向に動く。内部ガスは膨張するので圧力は低下する。このとき外部へ行う仕事量は PV 線図上の

で囲まれる面積に相当する。ガスは膨張するため、温度は低下しようとするが、このとき外部から熱量 Q が流入することで、内部の温度を一定に保つ。このときエントロピーは上昇し、外部から内部へ流入する熱量は TS 線図上の の面積に相当する。

5.2.2.4 断熱膨張過程 (図中)

等温膨張過程と同様に、ピストンは内部の圧力によって外部へ行う仕事として右方向に動く。内部ガスは膨張するので圧力は低下する。このとき外部へ行う仕事量は PV 線図上の

で囲まれる面積に相当する。ガスは膨張するため、温度は低下する。このとき外部から熱量の出入りはないので、内部の温度は低下する。このときエントロピーは一定であり、 TS 線図上の の面積は 0 (ゼロ) である。

5.2.2.5 カルノーサイクルの熱効率

図 5.2.2-2 の PV 線図において、このカルノーサイクル系が外部に対して行う仕事量と、系が外部からなされる仕事量の収支は次のようになる。

この系が外部に対して行う仕事量は PV 線図上で W_{out} (灰色の文字) の記号で示した で囲まれる面積である。この系が外からもらう仕事は W_{in} の記号で示した、 で囲まれる面積である。結局この系が外部に対して正味行う仕事量 $W_{正味 out}$ は次式となる。

$$W_{正味 out} = W_{out} + (-W_{in}) \quad (7)$$

したがって、カルノーサイクルの系が外部に対して行う正味仕事 $W_{正味 out}$ は PV 線図上の、 に囲まれた菱形の面積に相当する。

次に、図 5.2.2-3 の TS 線図において、このカルノーサイクル系が外部から得る熱量に対して、系が外部へ放出する熱量の収支は次のようになる。

この系が外部から得る熱量は $T S$ 線図上で Q_{in} (灰色の文字) の記号で示した
 で囲まれる面積である。この系が外部へ放出する熱量は $-Q_{out}$ の記
 号で示した、
 で囲まれる面積である。結局この系が外部か
 ら得る正味熱量 $Q_{正味in}$ は次式となる。

$$Q_{正味in} = Q_{in} + (-Q_{out}) \quad (8)$$

したがって、カルノーサイクルの系が外部から得る正味熱量 $Q_{正味in}$ は $T S$ 線図上の、
 に囲まれた正方形 (長方形も含む四角形) の面積に相当する。
 ここで、系の状態が定常状態 (系の平均温度が上昇することがなければ) であるとすれ
 ば、外部から得る正味熱量は、系内にとどまることはできないので、全て外部に対して行
 う仕事量 $W_{正味out}$ に変換されることになる。熱効率とは、系が外部から得る熱量の内、どの
 程度の割合が外部に対する正味仕事量に変換されるか、ということの意味する。したがっ
 て、このカルノー熱機関の熱効率 η_{th} は、次式で求まる。

$$\eta_{th} = \frac{W_{正味out}}{Q_{in}} = \frac{Q_{正味in}}{Q_{in}} \quad (9)$$

したがって、 $T S$ 線図上の
 の面積を同じ $T S$ 線図上の
 の面積で割った値が熱効率となる。
 カルノーサイクルでは、系内に流入する正味熱量は正方形 (長方形も含む四角形) の形
 となるが、このことはカルノーサイクルの熱効率は高温側の温度 T_{or} と低温側の温度 T_{or}
 の値だけで計算できる事を意味しており、更にこのサイクルが他のあらゆる熱機関の内
 で最も熱効率が高いことを意味する。

$$\eta_{th} = \frac{Q_{正味in}}{Q_{in}} = \frac{(T_3 - T_2)}{T_3} \quad (10)$$

以上が、カルノーサイクルを用いて学習者に学ばせたい事項である。

5.3 コンテンツの開発

前節 5.2 で示した内容を考慮したアニメーションコンテンツを開発した。本コンテンツ
 は教員が授業中に操作することを想定すると共に、将来的に、インターネット上に設置し
 て学習者が自宅などオンデマンドな環境で直接操作する e ラーニングにも対応したシステ

ムとした．開発手法は第 3 章および 4 章で用いたものと同様とした．

5.4 コンテンツの概要および特長

本コンテンツを図 5.4-1～図 5.4-4 に示した．コンテンツには，画面上部に横に寝かせたシリンダー，ピストン，コネクティングロッドおよびクランクを設置した．また，その下方部にピストンの動きと連動して丸形ポインターがグラフ上を移動する PV 線図を配置した．更にそのポインターに連動して移動する同様のポインターを配置した PT 線図， SV 線図および ST 線図を設置した．前章(4.3)でも述べたように，一般的に教科書などに用いられるグラフは PV 線図および TS 線図であり， PT 線図および SV 線図が解説に用いられることは少ない．しかし本コンテンツでは， PT 線図および SV 線図が一種の媒介変数のように働いて， PV 線図と ST 線図を有機的に結びつけることで，学習者が圧力 P ，容積 V ，温度 T およびエントロピー S の関係を直感的に理解しやすいように意図した．

PV 線図においては，圧力曲線と V 軸に挟まれた領域がポインターの移動に連動して徐々に着色されていくようになっており，その面積が仕事量に相当することを説明しやすくなるように考慮した．同様に， ST 線図においても，等温線と S 軸に挟まれた領域がポインターの移動に連動して徐々に着色されるようになっており，この領域の面積が熱量であることが説明しやすくなっていると考えられる．

本コンテンツ画面右側には，教員あるいは学習者がアニメーションのスタート，ストップおよびコマ送り，コマ戻しが行えるように操作ボタンを設置した．コンテンツ画面左側には等温膨張，断熱膨張，等温圧縮および断熱圧縮のそれぞれ 4 つの過程の名称が記されたボタンを設置し，現在行われている過程のボタンの色が変化する仕組みになっている．これによって，現在どの過程を行っているのかが分かるようになっている．またそれぞれのボタンをクリックすると，その過程を繰り返し再生するアニメーションとなる．

図 5.4-1 は等温膨張過程であり，ピストンが上死点（左端）から下死点（右端）方向へ移動し，系の体積 V が増加する．このときシリンダーには上部から高熱源が接触している．高熱源からはシリンダー内部へ矢印として描かれた熱 Q が入ってきて，同様に矢印として描かれた仕事 W によってピストン表面に対して仕事をすることが分かるようになっている．この時，体積の増加に伴って低下する圧力 P に連動して仕事 W の矢印の大きさが小さくなるようになっており，圧力低下に伴う仕事量の低下が感覚的に分かるようになっている．このとき，仕事 W の矢印の大きさの減少と同時に，熱 Q の矢印の大きさも同じ比率で小さくなるようになっている．これによって流入してくる熱エネルギーが直接同じエネルギー量の仕事に変化していくことを説明しやすくなるように考慮した．また，前述したように， PV 線図における圧力曲線と V 軸に挟まれた領域および ST 線図における等温線と S 軸に挟まれた領域が，それぞれポインターの移動に連動して徐々に着色されていくようになっている．これによって，系の外部に対する仕事量と，系に入ってくる熱量がそれぞれ着色された領域の面積として表現される．

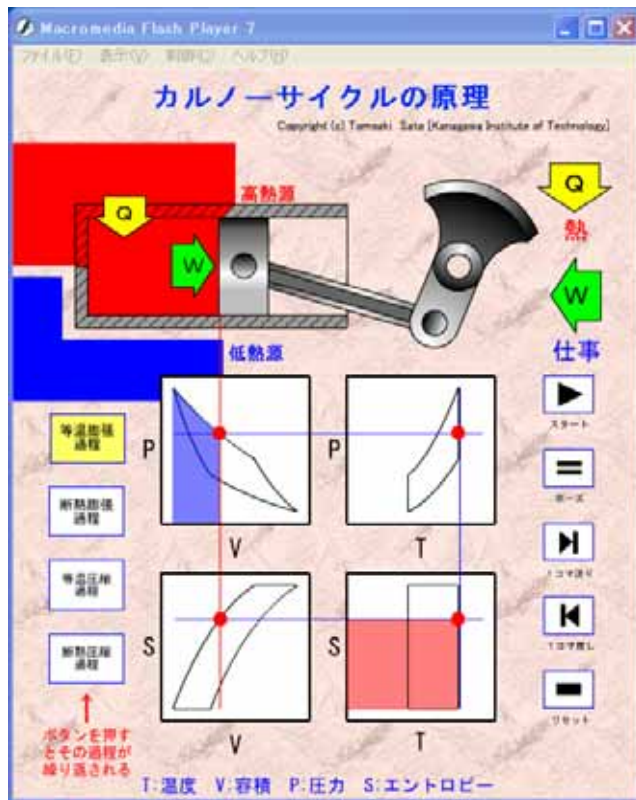


図 5.4-1 等温膨張過程

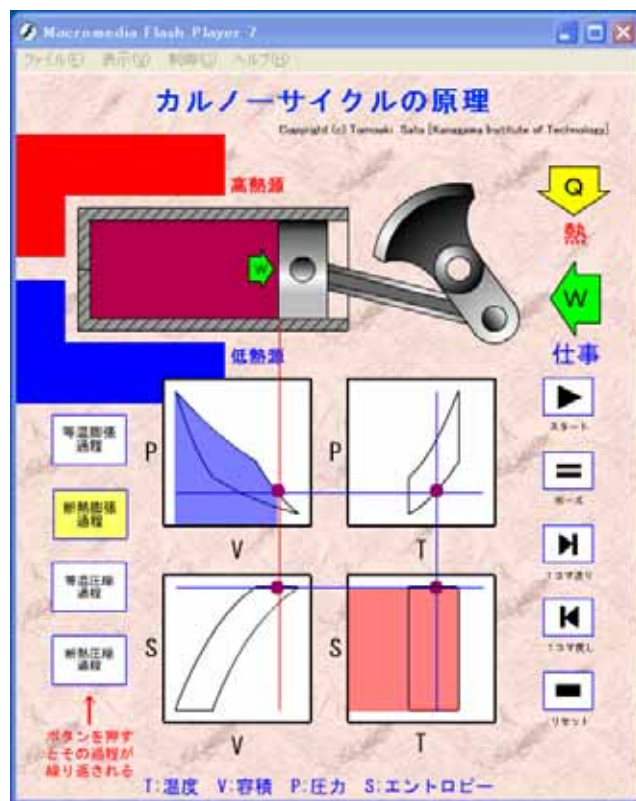


図 5.4-2 断熱膨張過程

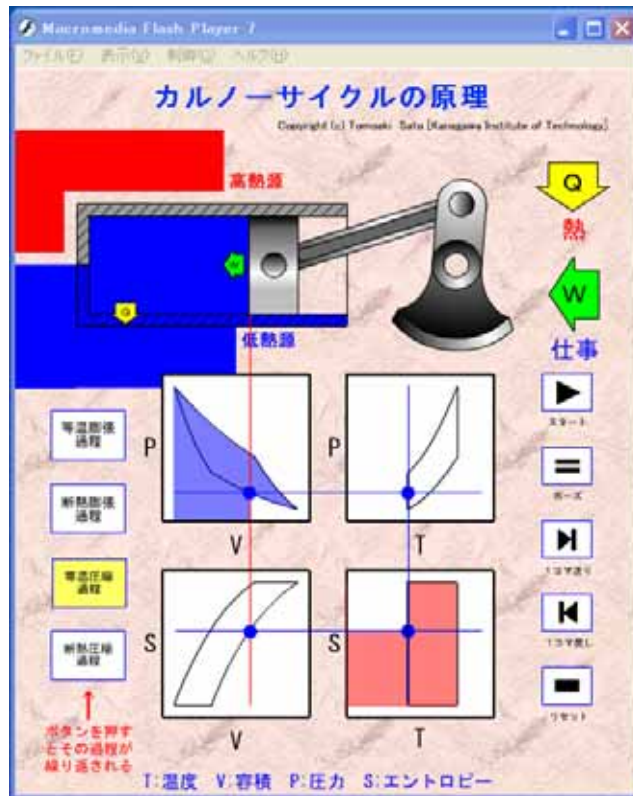


図 5.4-3 等温圧縮過程

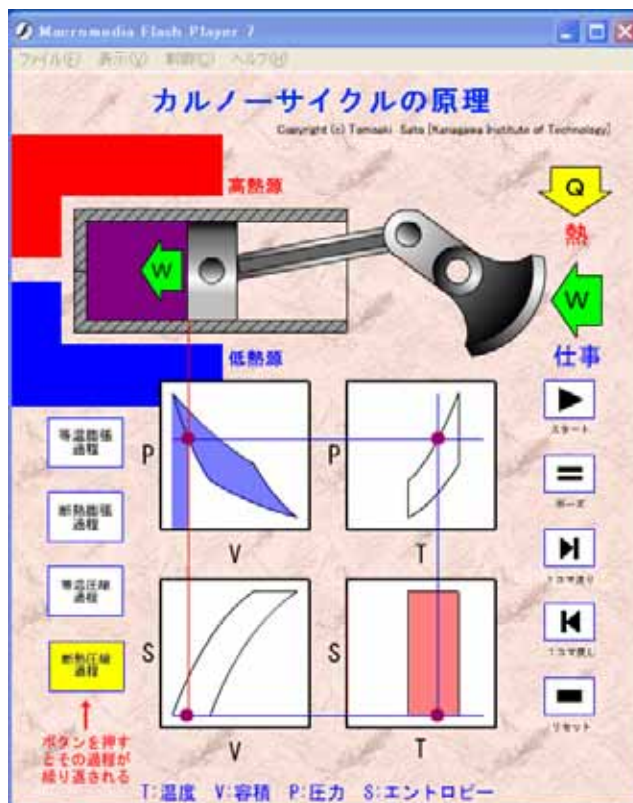


図 5.4-4 断熱圧縮過程

図 5.4-2 は断熱膨張過程であり，外部熱源とシリンダーが切り離されて，断熱状態になっていることが分かるようになっていいる．外部からの熱量供給が無くなるため， PV 線図上で体積 V の増加に伴って低下する圧力曲線のマイナスの傾きが大きくなるが，このとき，圧力の減少に伴って仕事 W の矢印が小さくなるスピードも等温膨張過程よりも早くしてある．また，シリンダー内部のガスの様子は，ガスの色を暖色から寒色へ連続的に変化させることで温度の低下を表現している．また， PV 線図における圧力曲線と V 軸とに挟まれた着色領域は等温膨張過程と同様に増加していく．一方で， ST 線図においては，ポインターは等エントロピー線を温度の高い方から低い方へ横方向に移動するだけなので，等温線と S 軸に挟まれた着色領域は増加しない．これによって，エントロピーの増減は熱の出入りのみに依存するというを説明しやすくなっていると考える．

図 5.4-3 は等温圧縮過程であり，ピストンは下死点（右端）から上死点（左端）へ向かって移動し，系の体積 V は小さくなる．このときシリンダーには等温膨張過程の図 5.4-1 とは反対の下側から低熱源が接触するようになっていいる．体積の減少に伴って圧力は増加するが，この圧力増加に連動して仕事 W の矢印の大きさが大きくなる．これと同時に，外部低熱源に捨てられる熱 Q の矢印も同じ比率で大きくなる．このことより，容積が縮小して圧力が高くなりながら，等温膨張過程の時と同様に，系に対してピストンが行う仕事量と同じ量のエネルギー量を熱エネルギーとして外部に放出していいることが分かりやすくなっていると考える．また， PV 線図において膨張過程時に着色された高い側の圧力曲線と V 軸とに挟まれた領域の内，本等温圧縮過程時にいける低い側の圧力曲線より下方の領域が，圧力曲線上を移動するポインターの移動に追従して消され，無色となっていいる．これによって，膨張過程時に発生した仕事量のうち，本過程で圧縮に使われる仕事量分が相殺されていいることが説明しやすくなるように考慮した．また，等温膨張過程において着色された ST 線図上の高い側の等温線と S 軸に挟まれた領域も本過程にいける低い側の等温線と S 軸に挟まれた領域の部分ポインターの移動と共に消去されていいるようになっていいる．これによって，等温膨張過程において系に入ってきた熱量のうち，着色域が無色となっていいる部分の面積が系の外に捨てられる熱量に相当することと，更に相殺されて残された領域の面積が系に加えられた正味熱量であることが説明しやすくなっていると考える．

図 5.4-4 は断熱圧縮過程であり，図 5.4-2 の断熱膨張過程と同様に外部との熱の出入りがたたれ，圧縮熱によって温度が上昇し（内部ガスの着色は寒色から暖色へ連続的に変化させていいる），等温圧縮過程のときよりも PV 線図上の圧力曲線の傾きが大きくなる．これと共に，圧力に連動する仕事 W の矢印の大きさが大きくなるスピードが早くなるようになっていいる．断熱膨張過程と同様に， PV 線図および ST 線図上で着色域が消去されていいるのは， PV 線図のみであり， ST 線図上は着色面積の変化は起こらない．このことから，断熱膨張過程と同様に，断熱圧縮過程においても熱の出入りが無いためにエントロピーの変化が起こらないことを理解させやすいと考える．また，このとき PV 線図上で，残された着色域の面積が外部に対して系が行った正味の仕事量である事が説明しやすいと考える．

5.5 コンテンツの実践

5.5.1 コンテンツを実践した授業

本コンテンツを、神奈川工科大学工学部機械工学科の熱力学の授業において実践した。本授業は熱力学第一法則および第二法則（カルノーサイクルの概念含む）等の基礎概念を教授する熱力学と、熱力学の内容を復習し、更にその熱力学の基礎概念をオットーサイクルやディーゼルサイクル等、実際の系に適用することを教授する熱力学の2つの講義科目に分かれている。本コンテンツの実践は熱力学の授業において、熱力学において一通り学習した受講者に対して、カルノーサイクルの概念を復習する内容において実践した（付録5にシラバス添付）。本コンテンツの実施タイミングは、熱力学の授業約3ヶ月の期間において、熱力学で学習したカルノーサイクルの復習を講義期間の中盤で一度講義し、更にその後授業期間の後半においてもう一度講義する時間を設けて、その時に本コンテンツを実践した。したがって、本講義を受講した学生は、カルノーサイクルの原理の説明を、熱力学1において一回、熱力学において二回の計三回に渡って受けた事になる。

5.5.2 授業の進め方とコンテンツの使い方

今回実践した授業は既に進行中の授業であり、急きょコンテンツを導入してもらった経緯もあり、授業の進め方や、コンテンツの具体的な使い方については、授業を担当する教員に任せた。

本コンテンツを用いた説明時間は約30分であり、はじめにサイクル全体を通してアニメーション再生する機能を用いてサイクルの概要を説明し、続いて4つの過程毎に、その過程のみを繰り返し再生する機能を使って各過程についての詳細な説明が行われた。説明の順序は等温膨張過程、断熱膨張過程、等温圧縮過程および断熱圧縮過程の順で行った。全体の説明を通して、アニメーション中の熱 Q の矢印と仕事 W の矢印の動作のサポートを受けることでスムーズな説明が可能となったと考える。

本コンテンツの特徴であるピストンと連動したポインターが動作する線図を用いた主な説明の内容は次のようなものとなった。

はじめに P - V 線図上では面積は仕事量に相当することを説明し、更に膨張時に系の外へなされる仕事分の面積から、圧縮時に系の内部へ戻される仕事分の面積を差し引いたものが正味仕事量であることの説明が行われた。このとき、圧力曲線と V 軸に挟まれた領域、即ち仕事量の面積がピストンの移動と連動して着色されていくことで説明が容易となったと考える。また、 P - V 線図上の圧力曲線の傾きが等温過程よりも断熱過程の方が大きくなっていることについて次のように説明がなされた。アニメーション中の熱 Q の矢印と P - V および P - T 線図を同時に見せながら、等温膨張過程では系内に熱が入ってくることで温度が一定となり体積の膨張に伴う圧力の低下も緩やかであるが、アニメーション中の熱 Q の矢印が消滅して、即ち断熱されて外部から熱が入ってこなくなると温度が低下し始め、体積の膨張に伴う圧力の低下と伴に温度の低下による圧力低下も加算されて圧力の低下の

傾きが大きくなることの説明がなされた。また、等温圧縮過程から断熱圧縮過程にかけて PV 線図の圧力曲線の傾きが大きくなることも同様な理由によることの説明がなされた。この時、熱 Q の矢印のサポートと PV 線図と連動した PT 線図の温度変化を見せることは理解を向上させる上で有効であったと考えられる。

ST 線図では、はじめに、系に入ってくる熱量と、系から排出される熱量がそれぞれ等温線と S 軸によって挟まれる領域の面積に相当することが説明された。次に、入ってくる熱量から排出される熱量を差し引いた量が後に仕事に変換される正味の熱量であることが説明されるが、このとき、 ST 線図中で熱が流入してくる時に領域が着色され、排出されるときはその着色が消えていく様子を見せることでこれらを理解させやすくなったと考える。また、 ST 線図中の差し引きの面積と PV 線図中の正味仕事量の面積が同じであることを説明し、系に流入してくる総熱量に対して、仕事に変換される正味の熱量の割合が熱効率であることが説明された。

5.6 アンケートの実施

熱力学 の授業において本コンテンツを実施した後、受講生を対象にアンケート調査を実施し、本コンテンツの評価を行った。アンケートの質問は、それぞれ熱力学 終了時点、熱力学 においてコンテンツを用いずに講義を受けた時点、熱力学 において再び本コンテンツを使用して説明を受け直した時点 の3つの時点に分けて答えてもらう内容とした。本アンケートは、下記問 1~5 のそれぞれの設問に対して、評定尺度法を適用した選択肢 [(1)大変良く、(2)まあまあ良く、(3)あまり良くない、(4)全くだめ] を設け、3~0までの4段階の評定尺度値に定量化した。各選択肢と評定尺度値の対応を表 5.6-1 に示す。本アンケートの内容を以下に示す。

問 1. 後期の熱力学 を受講する前 (熱力学 において) に既にカルノーサイクルの原理は理解していたか

問 2. アニメーションを使用して説明を受ける前までの熱力学 の講義によって既にカルノーサイクルの原理は理解していたか

問 3. (問 1 および問 2 で選択肢 3 と 4 を選んだ人) アニメーションを使用しながらの説明を受けてようやくカルノーサイクルの原理が理解できたか

問 4. (問 1 および問 2 で選択肢 1 と 2 を選んだ人) アニメーションを使用しながらの説明を受けてより良くカルノーサイクルの原理が理解できたか

問 5. このアニメーションコンテンツはカルノーサイクルの原理を理解するのに有効だと思うか (分かりやすかったか)

問6. その他：今日のアニメーションコンテンツについての感想や意見など

5.7 アンケートの結果および考察

アンケートの結果を表5.7-1に示した。回答者は50人である。本表には、設問毎に(1)～(4)の各選択肢を選択した人数を示した。問3および問4については、アニメーションによる説明によって理解が深まったかどうかについての同様の設問であるので、2つの合計の人数を示した。また、各人数と評定尺度値の積の値の合計値と、それを人数で割った評定尺度値の平均値を表中最下部に示した。

5.7.1 コンテンツ視聴の前と後との比較

問2のコンテンツ視聴前の人数と視聴後の問3および問4の合計人数との比較から、コンテンツ視聴前、即ち（講義後）問2において「大変良く」と「まあまあ良く」と答えた者は50人中29（0+29）名（約60%）であったのに対して、コンテンツ視聴後、即ち問3および問4の合計においては、「大変良く」と「まあまあ良く」と答えた者の人数が50人中47（10+37）名（約95%）となった。このことから多くの学習者が本コンテンツを使った説明を受けたことで、良く理解できるようになったと感じていることが分かった。ここ

表 5.6-1 アンケートの評定尺度

選択肢	対応させる評定尺度値
(1)大変良く	3
(2)良く	2
(3)あまり良くない	1
(4)全く良くない	0

表 5.7-1 アンケートの結果

選択肢	講義前 問1	講義後 問2	コンテンツ視聴後			コンテンツの評価 問5
			問3	問4	合計	
(1)大変良く	0	0	4	6	10	21
(2)まあまあ良く	23	29	15	22	37	27
(3)あまり良くない	20	18	1	1	2	2
(4)全くだめ	7	3	1	0	1	0
評定尺度値の合計 点数(比率尺度)	66	76	43	63	106	119
評定尺度平均値	1.32	1.52	2.05	2.17	2.12	2.38

で特筆すべきは、「大変良く」を選んだ者が視聴前の0人から視聴後の10人となったことである。更に、評定尺度値の平均値についても、問2の1.52から、問3および問4の平均値2.12に上昇している。これらの結果から、本コンテンツの利用によって受講者が感じる理解度は上昇したといえる。また、問5の「本コンテンツは有効であると思うかどうか」という、本コンテンツを直接学習者に評価させる質問に関しては、「大変良く」と「まあまあ良く」の合計は48人となり、96%の学習者が本コンテンツがカルノーサイクルの原理の理解に有効であると評価した。以上の結果から、本研究で開発したCGアニメーションコンテンツは、カルノーサイクル原理の理解向上のために有効であったといえる。

5.7.2 コンテンツに対する意見および感想についての記述

問6における受講者の意見および感想を本コンテンツに対するプラスの評価の記述とマイナスの評価の記述に分けて以下に示す。

5.7.2.1 プラスの評価としての記述

- a. 熱が色分けされているので見やすく分かりやすい。仕事Wの矢印が大きくなったり小さくなったりするので分かりやすかった。
- b. PV 線図と TS 線図が同時に動いているのを見ることができてカルノーサイクルの原理を理解しやすかった。
- c. 図や式だけではいまひとつイメージが分からなかったが、実際に仕組み、図を一緒に見られたので理解しやすかった。
- d. それぞれの状態変化を個々にみられる機能は良いと思った。
- e. こういうものを使うと頭の中でイメージしやすいので、理解しやすくなった。
- f. 理解できないと、頭の中で想像できないので、このようなアニメーションにすることにより理解でき、頭で想像図もつくれるようになったのでとても良かった。
- g. 言葉だけで説明されるより実際の絵を使用した方が理解が深まったので良かった。
- h. カルノーサイクルの原理は、図や文章で説明するより、アニメーションを使った方が効率も良く理解できた。これからも色々なものをアニメーションにすればもっと理解が深まると思った。
- i. 黒板に書いてあるものを見たり、教科書をよんだりするよりも、アニメーションを見た方が分かりやすかった。
- j. カルノーサイクルは実現させるのは難しいのはこれを見て改めて分かった。
- k. 今日のアニメーションコンテンツは、理解しやすい。今後も使ってほしいと思う。
- l. あまり熱力学の授業でこういうのはなかったので、たまにあると良いと思った。

5.7.2.2 マイナスの評価および改善点に関する記述

- m. とても動きが分かりやすくて良かったが同時に3つの要素を見るのは少し大変なのでその部分だけ改善してほしい。

n. エンジン全体が出ていればもう少し分かりやすかった .

o. 各熱源とシリンダーが断熱時にもっと離れると , より一層熱源と接していないのだと一目で分かるようになると思う .

5.7.3 記述内容に対する検討

前述 5.7.2.1 および 5.7.2.2 で示した記述回答内容について検討を行う . 全体としては本コンテンツに対するプラスの評価が多く , マイナスの評価も否定的な意見ではなく , 建設的なものが多かった . 詳細について検討してみると , 例えば記述回答内容 a , b , c および d 等は前節 (5.4) で検討した本コンテンツの特長が受講者に対して有効に働いている事を具体的に示すものである . また , e , f , g , h および i 等は本コンテンツ開発の目的であるカルノーサイクル原理の理解のしやすさそのものを評価するものであり , 特に「頭の中で想像図もつくれるようになった」という記述 f は非常に高い教育効果を示すものであると考える .

以上より , 前項 (5.7.1) と同様に , 本研究で開発した CG アニメーションコンテンツは , カルノーサイクル原理の理解向上のために有効であったといえる .

5.8 まとめ

カルノーサイクルの原理を理解させることを目的とした 2DCG アニメーションコンテンツを開発し実践した . 受講者に対するアンケート調査を行い以下の結果を得た .

(1) 選択式回答の結果より , 授業だけでは理解が難しかったカルノーサイクルの原理が , 本コンテンツを用いた説明によって理解が深まったと考えている受講生が多く , 本コンテンツに対する評価が高いことが分かった .

(2) 記述式回答に対しても非常に多くの意見が書き込まれた . 本コンテンツに対する批判的意見はほとんど無く , 概ね本コンテンツによって理解がより深まったとするものがほとんどであった .

以上のようなことから , カルノーサイクルの原理の理解を促進させるために , 本 CG アニメーションコンテンツは有効であることが示された .

第6章 簡易な教育用 3DCG 立体視コンテンツの開発 手法を用いたエンジンのメカニズム理 解のための立体視コンテンツの試作

第6章 簡易な教育用3DCG立体視コンテンツの開発手法を用いたエンジンのメカニズム理解のための立体視コンテンツの試作

6.1 はじめに

本研究では、前章までに2次元CGアニメーションを用いたマルチメディアコンテンツを開発し、その教育効果を検証してきた。その結果、2DCGによるアニメーションはエンジンのメカニズムや理論を学習する上で非常に高い教育効果が得られることが分かった。今後は、こうした2DCGコンテンツの作成システムや方法を各方面に周知し、多くの教員によって、教員自身の手によって開発されたコンテンツが増えることを期待する。

一方で、更に教育効果が望まれる新しいメディアの開発やコンテンツの開発手法というものについても同時に検討されて行くべきではないかと考える。また、これまでも述べてきたように、それらの開発は、教員自らが作成可能な簡易な方法でなくてはならないであろう。そこで、本章では、更により高い教育効果の期待出来るメディアとして3DCG立体視システムに着目し、そのシステムを考案し、そのコンテンツの試作及び小規模な実践を試みた。

これまでの3DCG立体視システムは、大型娯楽施設のアトラクションや博物館の視聴覚施設など、大規模なものでは数千万円から数億円の予算が必要であった。近年になり、比較的小規模の数百万円程度で3DCG立体視が可能なものも普及してきている。しかし、3DCG立体視を実現させるための設備はいまだ高価で誰でも気軽にコンテンツを作成して上映することは難しい。教育の現場においても、大学など大規模なシステムを導入可能な機関ではいくつか報告例^{5,2)}がある。しかし、小中高などの学校単位、あるいは教室(講義)単位でシステムを導入するには、施設の面でもまたコンテンツ作成能力においてもまだ敷居が高いと言えよう。その一方、3DCG立体視システムは学習者に学習対象物の構造を認知させるためには効果的であると考えられるため、特に工学や物理学などにおける教育には非常に有効であると考えられる。したがって、これまでより廉価な3DCG立体視システムが開発され、教員が比較的平易にコンテンツを作成できるようになれば、こうしたコンテンツによる教育効果の向上が期待できる。このようなことから、本章では既製の視聴覚装置やPCアプリケーションを応用した廉価な3DCG立体視システムを考案した。更に、工学部機械工学科の授業で使用するためのエンジンの動作を表現した簡単な教育用3DCGコンテンツを開発し、平易にコンテンツの立体視上映をすることに成功した。

6.2 従来の3DCG立体視コンテンツ開発

これまでの立体視コンテンツの開発には高度なスキルが要求された。パーソナルコンピュータ上で3DCG立体視コンテンツを作成する場合、OpenGLやDirectXといったグラフィックス表示のためのライブラリをC言語などのプログラムから直接制御する必要があった。そのため、プログラミングに関するスキルや、コンピュータグラフィックスに関する知識を持ち合わせていない一般ユーザーにとって、立体視コンテンツを作成することは難しかった。

た．このようなことから，教育現場においても教育用コンテンツを開発する場合，コンテンツの作成を外部のメーカーに委託しなくてはならず，高価な立体視システムの購入と共に高いコンテンツ制作費を準備しなくてはならなかった．また，コンテンツを外部に作成依頼した場合，その後に修正の必要が生じた場合，その度に追加の予算が必要となるため，運用コストも無視できないものとなる．

6.3 簡易 3DCG 立体視システムの概要

本章で提案する 3DCG 立体視システムは，従来の同様なシステムにおいて最も一般的に用いられてきた偏光メガネ方式を採用している．図 6.3-1 に偏光メガネ立体視法の概要図を示す．2 台のプロジェクターからそれぞれ右目用と左目用の CG 画像を別々に映写する．映写される光は，各プロジェクターのレンズの直前に設置された偏光フィルターを透してスクリーンへ投射される．2 つの偏光フィルターの偏光角度を 90 度ずらした状態で光を透過させることで左右異なる偏光角度の光による映写が可能となる．映写するスクリーンには偏光を偏光のまま反射することができるシルバースクリーンを用いる．シルバースクリーン上に左右別々の映像を重ねて映写する．視聴者は偏光メガネをかけることで右の目には右用の映像，左の目には左用の映像を見ることができる．これによって視聴者は映像を立体的に見ることができる．本システムでは市販のプロジェクター 2 台と偏光フィルター 2 枚およびシルバースクリーンの合計金額約 40 万円でシステムを構築した．

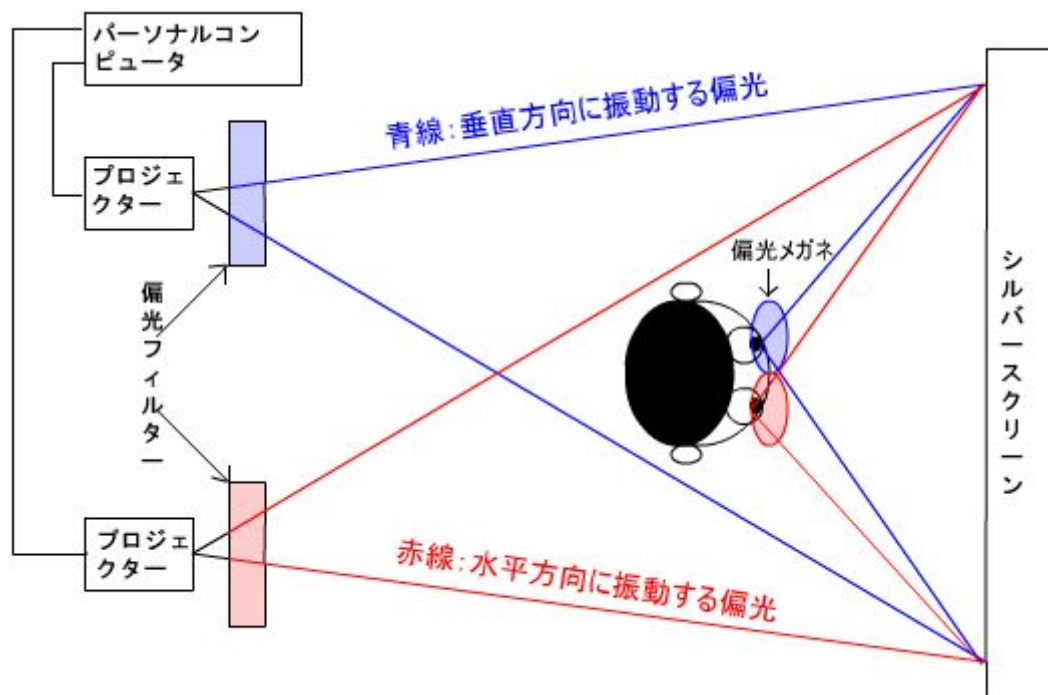


図 6.3-1 偏光メガネ立体視法概要図

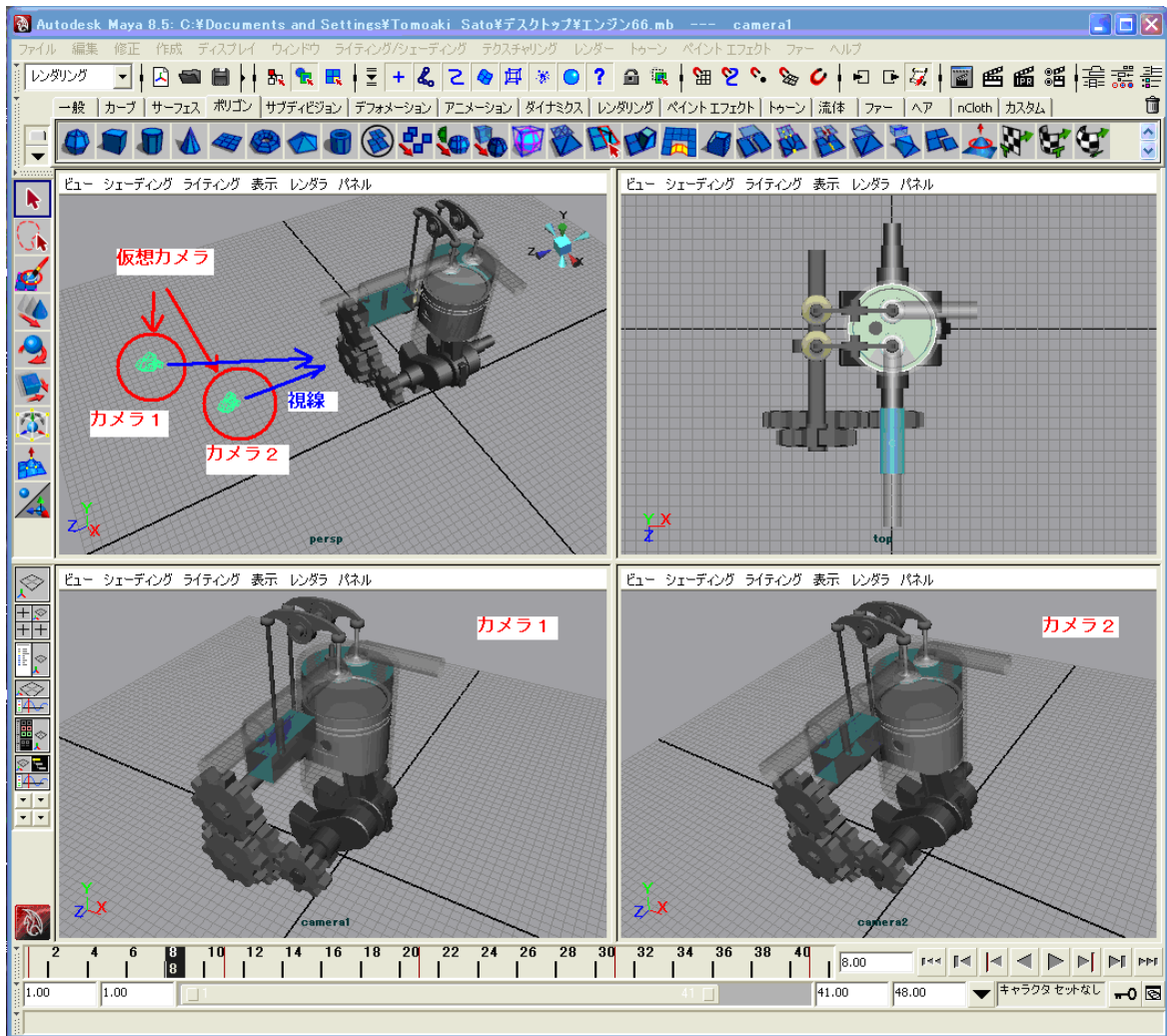


図 6.3-2 Maya 編集画面

本システムは 3DCG アニメーションコンテンツの開発とコンテンツの上映を一種類のアプリケーションソフトウェアで行う。ソフトウェアは AutoDesk 社製 Maya8.5 を用いた。本ソフトウェアの価格は教育版で 12 万円程度である。このソフトウェアは 3DCG のモデリング、レンダリングおよびアニメーションの作成を 3DCG の知識がなくても比較的簡単に作成することができる。本ソフトの機能の中に、編集時の動作確認のために、複数の仮想カメラを仮想作業空間上に配置し、それぞれのカメラが撮影した画像を 2 つの別々のウィンドウ上に再生する機能がある。本研究ではこの機能に着目した。

図 6.3-2 に仮想カメラから見た画像を表示する Maya の編集画面を示した。図中左上のウィンドウには 2 台の仮想カメラが黄緑色で示されている。各カメラは別々の位置から対象物を写しそれぞれ左カメラからの画像が左下(カメラ 1)、右カメラからの画像が右下(カメラ 2)に映し出される。(この図中、カメラ 1 の図とカメラ 2 の図をそれぞれ左目と右目で平行法によるステレオ視を行うと立体的に浮き出たエンジンの画像を見ることができます。ステレオ視をすることができる読者の方はお試しください)。本来の機能としては、ア

アニメーション編集集中に様々な角度から対象物を見てリアルタイムに確認するための補助機能である（ステレオ視を想定して用意されたものではない，単純に2つの画面を別々に見て確認するための機能）．本研究ではこの機能をステレオ立体視に応用した．それぞれ左下および右下にあるカメラ1とカメラ2の画像をテアオフという機能でそれぞれ独立したウィンドウとして取り出す．これら2つのウィンドウをデュアルディスプレイ対応のPCグラフィックボードに取り付けた2つのプロジェクターから別々に映写することで，本システムによる3DCG立体視アニメーションは実現される．2台のプロジェクターの固定は，市販のカメラ用デュアルスタンドに取り付けても問題はないが，2台のプロジェクターのレンズの位置をより近づけるために，新たにプロジェクター用筐体（プロジェクター設置台）を設計制作した（付録6および7）．立体視自体のシステムは図6.3-1の偏光メガネ立体視法である．図6.3-3～図6.3-6に本システムによる立体視映写の様子を示した．

このように，本システムの特徴は，一般的な市販の3DCG作成ソフトウェアに備わっている，アニメーション編集のための機能を立体視アニメーションの実演に応用したことにある．これによって，これまで専門的スキルを必要とした立体視コンテンツの作成と実演をアプリケーションの使い方を覚えるだけで誰でも比較的簡単に行えるようにした．



図 6.3-3 立体視システム映写の様子 1



図 6.3-4 立体視システム映写の様子 2 (偏光メガネの装着)



図 6.3-5 立体視システム映写の様子 3



図 6.3-6 立体視システム映写の様子 4 (偏光メガネ非装着では画像はぼやける)

6.4 エンジンのメカニズムの理解を促進させる 3DCG コンテンツの作成

本システムを使用して、エンジンの動作原理を再現する 3DCG アニメーションコンテンツを作成した。エンジンの形式は、単気筒 4 ストロークサイクルガソリンエンジンである。シリンダー、ピストン、クランクシャフト、カムシャフトなど、大小 22 個の部品から構成される。各部品は一つ一つ Maya のモデリング機能を使って作成した。図 6.4-1 に Maya 編集画面中に全体を組み立てた後の画面を示した。図中にはそれぞれ正面図、平面図および側面図が表示されている。また、モデリング画面における組み立て図、正面図、側面図および平面図のワイヤーグリッド図を図 6.4-2～図 6.4-5 に示した。

本コンテンツの動作は、マウスによって操作が可能である。マウスの操作によって、エンジンを上下左右 360 度どの方向からでも動作しているアニメーションを観察可能である。パンやドリーの操作も簡単に行える。操作時に、左右 2 つの仮想カメラはお互いの相対座標を変えることなく移動するので、立体視の状態を保ったまま全ての操作が可能である。

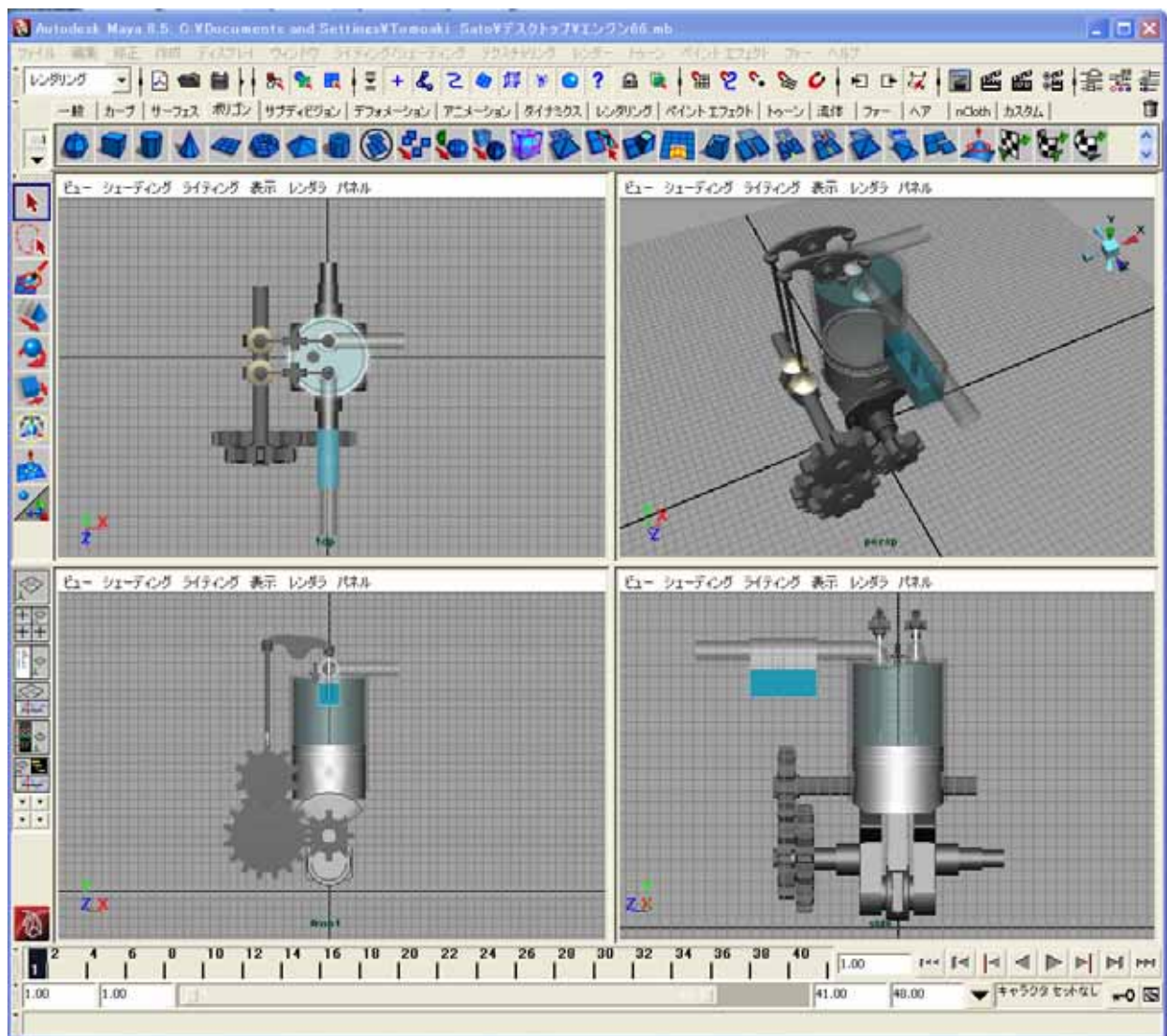


図 6.4-1 Maya 編集画面中の組み立て図

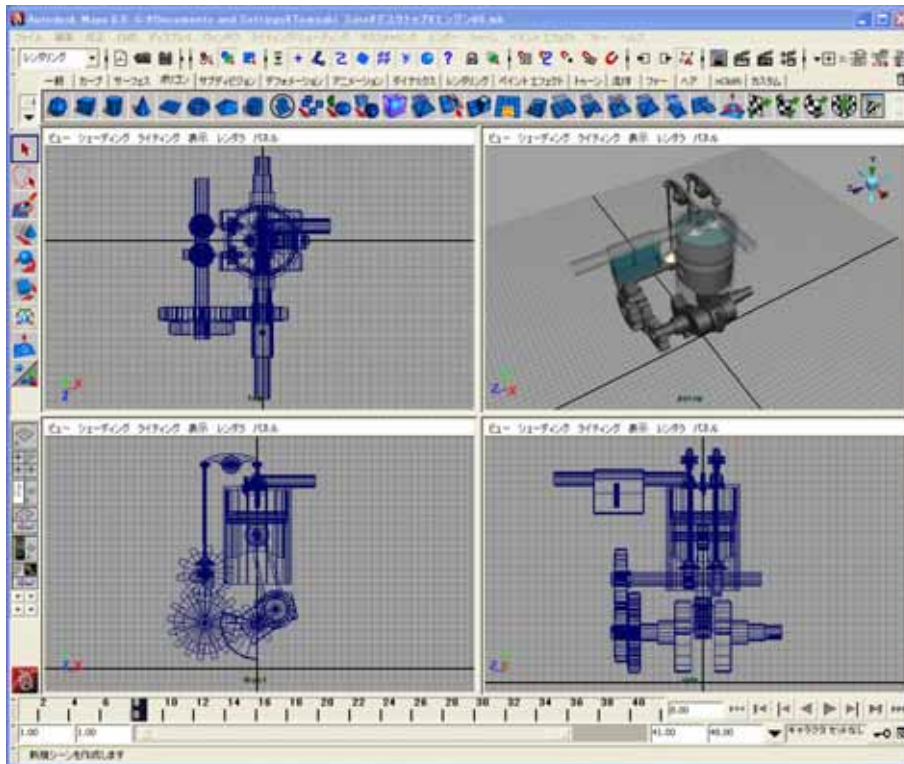


図 6.4-2 組み立て図 (ワイヤーグリッド)

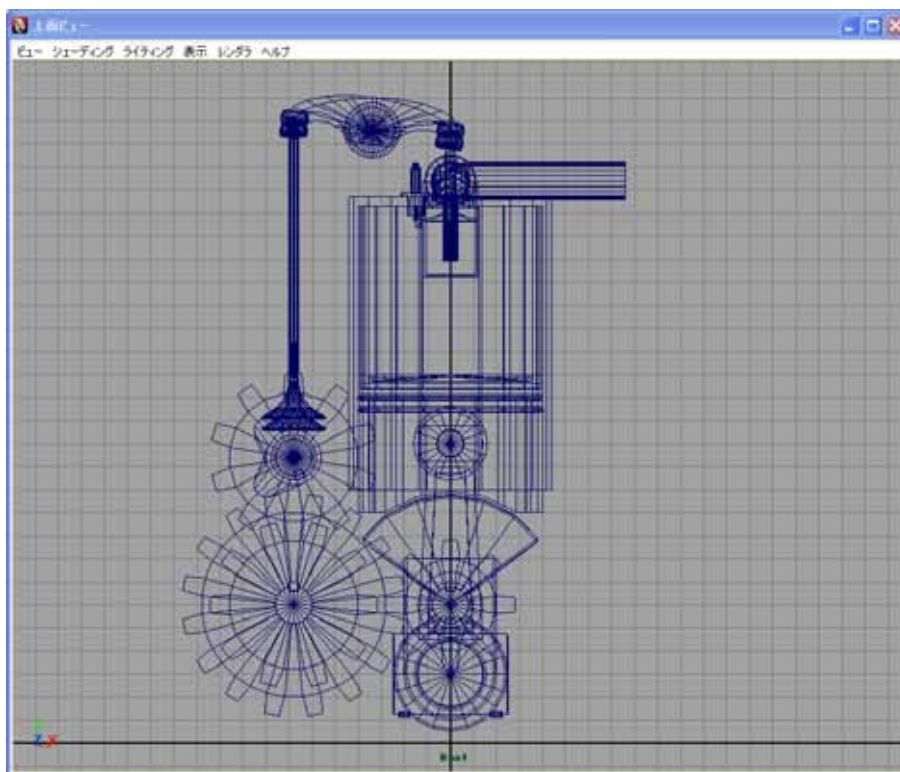


図 6.4-3 ワイヤーグリッドによる正面図

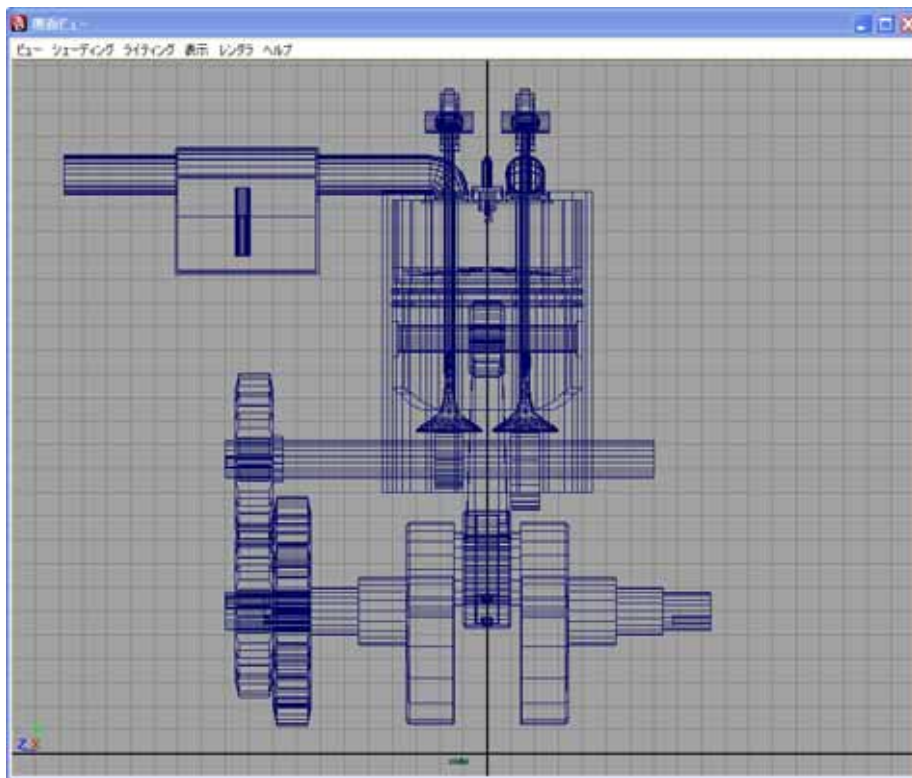


図 6.4-4 ワイヤーグリッドによる側面図

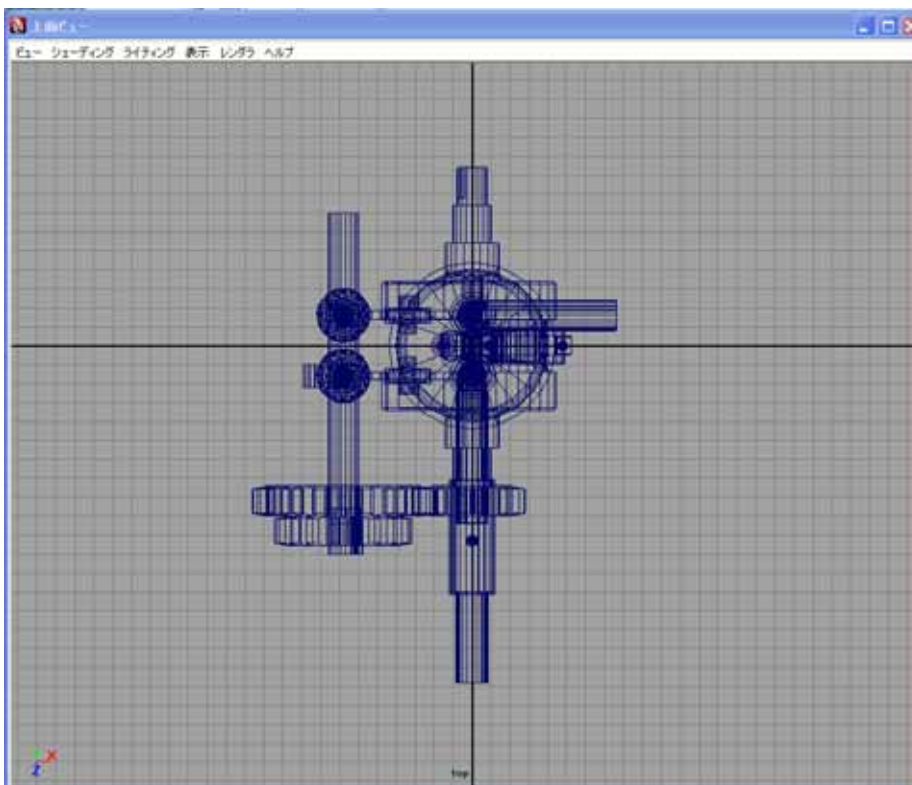


図 6.4-5 ワイヤーグリッドによる平面図

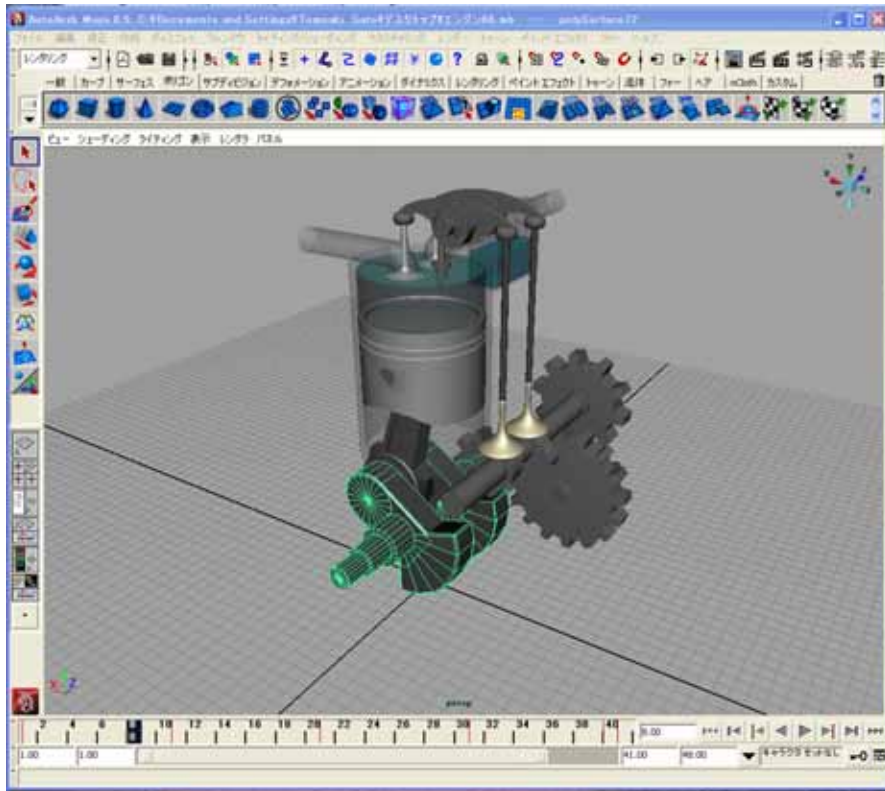


図 6.4-6 ワイヤーグリッド表示による部品の強調（クランクシャフト）

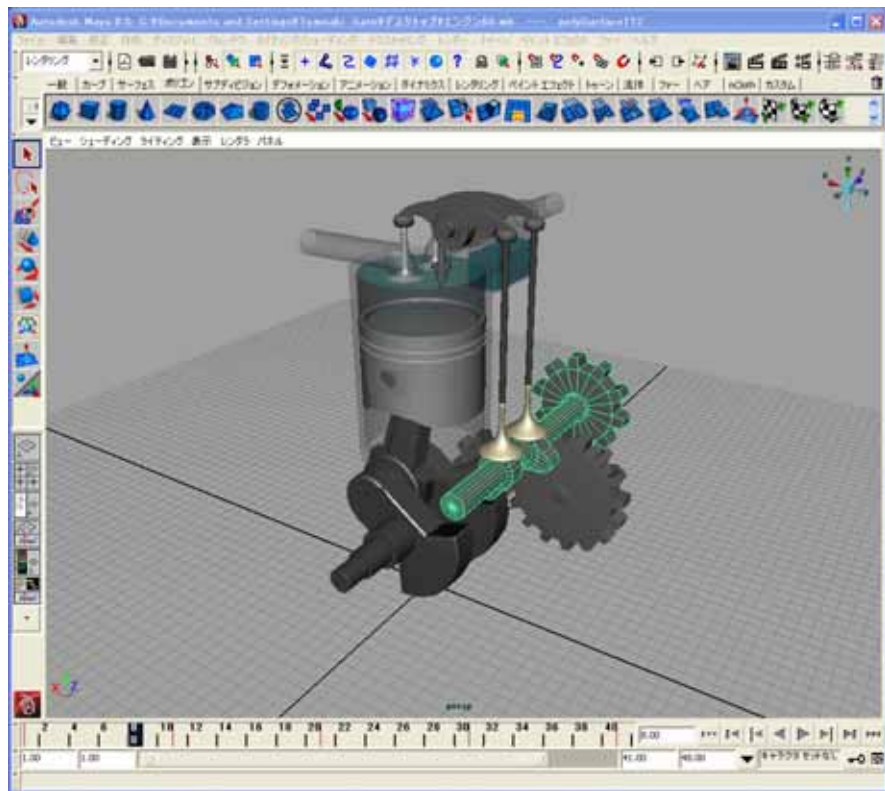


図 6.4-7 ワイヤーグリッド表示による部品の強調（カムシャフト）

アニメーション動作時に、マウスによってカムシャフトやクランクシャフト等の各部品をクリックすることによって、その部品がグリット表示させ、強調することが可能である。これによって、教員が現在説明している部品を学生に認識させ易くすることが可能である。この様子を図 6.4-6 および図 6.4-7 に示した。ここでは、ワイヤーグリット化されることでクランクの形状が分かり易くなったと考える。また、カムがプッシュロッドのタペットを持ち上げる様子が、カムをグリット表示することでより鮮明に捉えることができると考える。

6.5 3DCG 立体視コンテンツの試行的実践

第 3 章で 2DCG コンテンツを実践した授業と同じ「エンジンの分解組立」実習科目の 2007 年度後期（2007 年 10 月～現在）において本コンテンツを実践した。第 3 章の図 3.6-1 授業のタイムテーブル中、1 週目の「エンジンの原理説明」の時にこれまでの Flash アニメーションによる説明に更に付け加える形で本コンテンツを試行的に実践した。前節(6.3)の図 6.3-4 および図 6.3-5 は本実践の時の様子である。

本論文執筆時現在において、実践期間中であり、2 グループまで実践し合計 15 名のアンケート結果を得ている。次項にアンケートの結果を示す。

6.6 アンケートの実施

本コンテンツの実践時に行ったアンケートは以下のような項目である。

エンジンの分解組立アンケート

3D 立体視のアニメーションコンテンツについて以下の問に答えてください

問 1 立体的に見えましたか	Y e s	N o
問 2 歯車やカムシャフトなど一つ一つの部品の形状がよく分かりましたか	Y e s	N o
問 3 部品同士の構造やメカニズムがよく分かりましたか	Y e s	N o
問 4 空気と燃料の混合気や排気ガスの動きが良く分かりましたか	Y e s	N o
問 5 立体視コンテンツを見て目の疲れは感じましたか	Y e s	N o

問6 エンジンの構造やメカニズムを理解するのにこのような3D立体視アニメーションは有効だと思いますか Yes No

問7 今後このようなアニメーションコンテンツが他の科目にも使われるようになってほしいと思いますか Yes No

問8 その他何か感想，意見がありましたらお書きください

6.7 アンケートの結果による検討

図6.7-1にアンケートの結果を示す．問1の結果から，概ね立体視による実演は成功したと考えられるが，約10%の被験者がコンテンツを立体的に感じられなかったという結果を得た．したがって，立体視はその見え方に個人差があることが分かった．また，問5の目の疲れを感じた被験者が約70%に達したが，この理由として，今回開発したシステムでは，左右の画像を映写する2つのプロジェクターからの画像の大きさが微妙に異なっており，その調整機能は設けていなかった．このことが，被験者の目の疲れを誘発したと考えることができる．更に，問1の結果についても，こうした微妙なズレが立体視をしにくい被験者にとってはより立体的に見にくかったことが考えられる．しかしこれらの詳細な検討はまだ行っていないため，これらは今後の検討課題となる．いずれにしても，左右のズレの微調整は必要だと考えるので，今後は微調整の機能を加え，より見やすいシステムに改良する必要があると考える．

その他の項目は概ね評価が高く，特に問3のメカニズムを理解することに対する評価は非常に高く，本コンテンツの目的であるエンジンのメカニズムの理解を促進させるという目的は概ね達成されたと言える．

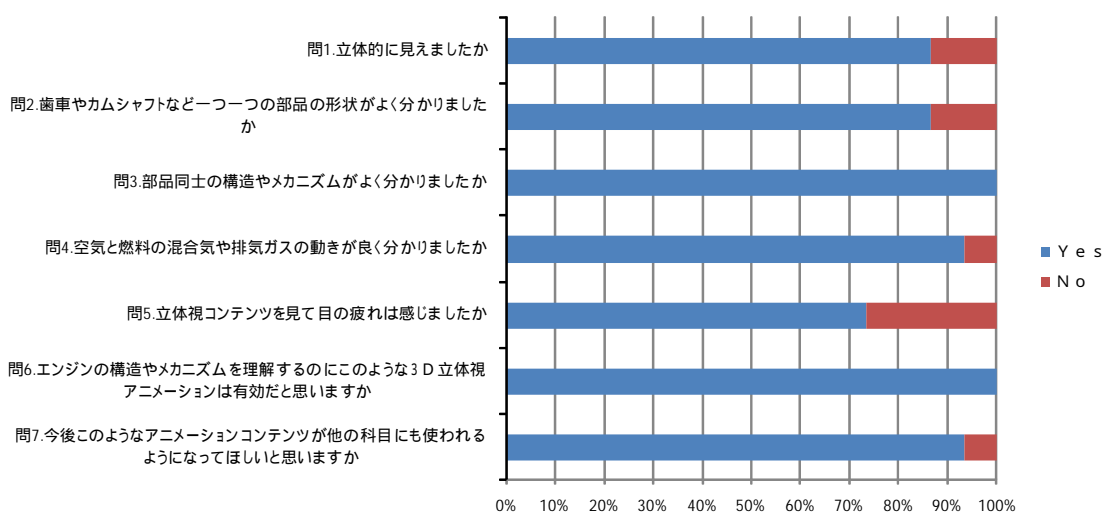


図 6.7-1 アンケートの結果

6.8 まとめ

本章では、前章までで検討してきた 2DCG アニメーションコンテンツに加え、既製の視聴覚装置や PC アプリケーションを応用した廉価な 3DCG 立体視システムを考案し、それによるコンテンツを開発した。本システムは既存の立体視 3DCG アニメーション設備に比べ大幅なコストダウンとコンテンツ開発の容易さに成功した。本システムを用いて以下のことを行った。

(1) 4 ストロークサイクルガソリンエンジンの動作原理を再現する 3DCG 立体視用アニメーションコンテンツを作成した。

(2) 第 3 章で 2DCG コンテンツを実践した授業と同じ「エンジンの分解組立」実習科目の 2007 年度後期（2007 年 10 月～現在）において本コンテンツを実践した。

(3) アンケートによるコンテンツの評価を行った結果、本コンテンツによってメカニズムの理解が深まったとする回答が多く、本コンテンツの有効性が確認できた。

第 7 章 結 論

第7章 結 論

本研究では、熱力学の中でも特に重要なテーマの1つである熱機関の動作原理および理論について、その理解を促進させるためのCGマルチメディアの開発および実践を行うことを目的として以下のことを行った。

本研究で開発したコンテンツは、他の教員が自ら教育コンテンツを開発する際の参考となるように、開発にはなるべく簡便な手法をとることとした。そこで、はじめに、第2章において、著者の所属する大学の工学部機械工学系大学の教員を対象としたアンケートを実施し、教員自ら教育用コンテンツを開発することに対する意識やスキルに関する調査を行った。そして、各教員が考えている開発に充てられる手間と時間を考慮して、コンテンツ作成アプリケーションの選定を行った。選ばれたアプリケーションソフト等を用いて、実際に教育用コンテンツを作成し、それによる教育効果を検討することを目指した。

第3章では、著者の担当する授業科目である機械実験実習科目の中で、エンジンの動作メカニズムを教えるための、ガソリンエンジン（オットーサイクルエンジン）およびディーゼルエンジンの動作を再現する2DCGアニメーションコンテンツを開発した。そして、本コンテンツを授業およびeラーニング環境下で実践し、その教育効果の検討を行い次のような結果を得た。

- (1) アンケートの結果から、概ね学生は理解しやすかったとの回答が多かった。
- (2) 小テストの正答率の比較より、コンテンツ利用による学習効果が認められた。
- (3) 相関係数の比較から、「小テスト（Web 課題後）」の点数と「Web 課題の点数」に相関が認められ、本コンテンツ課題に対する取り組みの度合いが高い者ほどコンテンツ課題実施後のテストの点数が高いという結果が得られ、本コンテンツによる学習効果を裏付ける結果となった。
- (4) 実習作業に対する教育効果の検討から、Web 課題のアニメーションを見ることで部品の役割を構造的に学習していることを示す結果が得られた。
- (5) アンケートに記載されていた要望等を参考にコンテンツの改良を行った。改良点としてコンテンツに燃焼音を加え、またアニメーションのフレームスピードを遅くした。改良後のコンテンツを実践し評価した結果、更なる教育効果の向上を確認することができた。

第4章では、ガソリン機関の基本理論であるオットーサイクルについて、その理論の理解をサポートするコンテンツの開発を目指した。3章のガソリン機関のコンテンツを基に再構築し、ピストンの動きと連動して動作するポインターをコンピューター画面上のPV線図やTS線図上に配置し、それらの動きを追うことで、オットーサイクルを理論的に理解することを助けるeラーニングアニメーションコンテンツを開発した。更に、本コンテンツを機械工学科機械工学実験科目において、オットーサイクル機関の理論および原理を学習させる課題の1つとして、授業中およびeラーニング環境で実践した。学習効果を検証し以下のような結果を得た。

- (1) 小テストによる学習効果の検討を行った。授業を始める前、授業で本コンテンツを用

いて教育した後，更に，eラーニング環境でアニメーションコンテンツによる課題に取り組んだ後の3つの時点において小テストを行った．この結果，コンテンツの経験が増すに従い小テストの点数が上昇することを確認し，本コンテンツの学習効果を認めた．

(2)相関係数による比較検討においては，コンテンツに対する取り組み度の低い者ほどコンテンツによる学習効果が高いという矛盾を含んだ結果が得られたが，これは，学習内容が既習であったことが原因であり，内容を思い出すという点においては，コンテンツへの取り組み度の量に関わらず，学習効果が認められるという考察に至った．

第5章では，熱力学の最も重要なテーマの1つである熱エネルギーから仕事エネルギーに変換される効率を理解させる上で重要となるカルノーサイクル原理の理解をサポートする2DCGコンテンツを開発した．そして本コンテンツを熱力学の授業で実践し，アンケートを行い次のような結果を得た．

(1) 選択式回答の結果より，授業だけでは理解が難しかったカルノーサイクルの原理が，本コンテンツを用いた説明によって理解が深まったと考えている受講生が多く，本コンテンツに対する評価が高いことが分かった．

(2) 記述式回答に対しても非常に多くの意見が書き込まれた．本コンテンツに対する批判的意見は少なく，概ね本コンテンツによって理解がより深まったとするものがほとんどであった．

第6章では，前章までで検討してきた2DCGアニメーションコンテンツに加え，既製の視聴覚装置やPCアプリケーションを応用した廉価な3DCG立体視システムを考案し，それによるコンテンツを開発した．本システムは既存の立体視3DCGアニメーション設備に比べ大幅なコストダウンとコンテンツ開発の容易さに成功した．本システムを用いて以下のことを行った．

(1) 4ストロークサイクルガソリンエンジンの動作を再現する3DCG立体視用アニメーションコンテンツを作成した．

(2) 第3章で2DCGコンテンツを実践した授業と同じ「エンジンの分解組立」実習科目の2007年度後期(2007年10月～現在)において本コンテンツを実践した．

(3) アンケートによるコンテンツの評価を行った結果，本コンテンツによってメカニズムの理解が深まったとする回答が多く，本コンテンツの有効性が確認できた．

以上のように，本研究では，熱力学教育の中でも特に重要なテーマの1つである熱機関の動作原理および理論の学習に着目し，これらの理解をサポートする教育用CGマルチメディアコンテンツの開発を行った．開発した2DCGおよび3DCG立体視によるCGマルチメディアコンテンツを実践し，学習効果の検討を行った結果，非常に高い学習効果を得た．これより，熱機関の動作原理や理論の教育においてCGマルチメディアコンテンツは非常に有効であるという結論を得た．また，このことは，他の工学分野の教育においてもマルチメディアコンテンツを用いた教育が同様な教育効果をもたらすことを期待させるものである．

謝 辭

謝 辞

はじめに、本研究の遂行および本論文の作成にあたり、終始ご懇切なご指導を賜った早稲田大学人間科学学術院教授の永岡慶三先生におかれましては、深甚なる感謝の意を表します。いつも、論文の締め切り間際になって原稿をお渡ししても、お忙しい中、快く直ぐにチェックをしてくださり、感謝の言葉が尽きません。

また、国際情報通信研究科教授の坂井滋和先生におかれましては、修士課程の頃より現在に至るまで、修士論文の指導やゼミの時など坂井先生の様々な分野にわたる幅広い知識によるお話は大変参考になり、的確なアドバイスとなりました。また、今回本論文の副査の依頼を快くお引き受けくださりありがとうございました。ここに深い感謝の意を表します。

私の仕事上の上司でありまた学生時代からの恩師である神奈川工科大学学長の小口幸成先生におかれましては、本論文の研究に対しましても並々ならぬ理解を示してくださり、本研究の共同研究者としてもいろいろご教授頂きました。ここに、甚大なる感謝の意を表します。また、学長のお仕事で大変お忙しい中、何度も私の稚拙な英文のチェックにお手を煩わせてしまいましたことをこの場をお借りしてお詫びいたします。

神奈川工科大学機械工学科教授で私の仕事上の直接の上司であられる高石吉登先生におかれましては、本来の私の専門とは異なった本研究に対しましても理解してくださり快く許可していただきました。仕事の上ではおそらく数々のご迷惑をおかけしたことと思います。この場をお借りしてお詫びいたしますとともに、ここに大いなる感謝の意を表します。

最後に、大学院の入学という私のわがままを快く承諾し、私の学業および研究に対して大いなる理解を示してくれた私の妻：孝江に敬愛の念と心よりの感謝の意を表します。

参 考 文 献

参考文献

- 1) 谷下市松：1971，「基礎熱力学」，裳華房，p.1．
- 2) 石谷清幹，浅野弥祐：1958，「熱機関通論」，コロナ社，p.17．
- 3) 間田泰弘，他 85 名：2005，「技術・家庭（技術分野）」，開隆堂出版，pp.92-117．
- 4) 中山泰喜，川橋正昭編：2001，「光学的可視化法」，朝倉書店
- 5) 中山泰喜，青木克巳編：1998，「可視化技術の手ほどき」，朝倉書店
- 6) 海老崎功：2005，「感温シールで「熱い・冷たい」だけを目で見よう」，物理教育，第 53 巻，第 4 号，pp.335-336．
- 7) 岡本敏雄，伊東幸宏，家本修，坂元昂編：2006，「ICT 活用教育 先端教育への挑戦」，海青社．
- 8) 文部科学省科学技術政策研究所：2003，「科学技術理解増進と科学コミュニケーションの活性化について」，文部科学省科学技術・学術審議会人材委員会(第 22 回)資料 2-2．
- 9) 北海道大学科学技術コミュニケーター養成ユニット (CoSTEP)：
<http://costep.ucc.hokudai.ac.jp/>
- 10) 朝日新聞：2004，「「大学全入」07 年度に 文科省試算，2 年早まる」，7/24．
- 11) 教育学術新聞：2007，「文科省が予算概算要求提出 (FD 支援等で一般補助 58 億円増)」，9/5．
- 12) 金城啓一：2007，「理系志望初学者のための物理学習書の開発」，物理教育，第 55 巻，第 3 号，pp.197-204．
- 13) 西垣通：1997，「思想としてのパソコン」，NTT 出版．
- 14) 西垣通：1994，「マルチメディア」，岩波新書．
- 15) 三宅なほみ：1996，「マルチメディアと教育」，AREA Mook8．
- 16) 大島純：1998，「コンピュータ・ネットワークの学習環境としての可能性」，佐伯胖他 [編]，「岩波講座 8 現代の教育 情報とメディア」，岩波書店，pp 219-239．
- 17) Linn, M.C.：2001，「Promoting knowledge integration: Science & Technology.」，Talk presented at the 82th colloquium of School of Computer and Cognitive Science, Chukyo University, February 24th 2001, Yagoto, Japan.
- 18) 近藤潔：2002，「ノースウェスタン大学の創造性教育」，高岡短期大学紀要，Vol.17, pp.73-81．
- 19) 佐藤智明，中根一郎，小宮聖司：2004，「教育支援コンテンツのやさしい開発手法の検討 内燃機関の動作原理の理解を助ける CG コンテンツによる実践」，神奈川工科大学研究報告 B 編，Vol.29，pp.1-6．
- 20) 佐藤智明，坂井滋和，小口幸成：2004，「内燃機関の動作原理の理解を助けるマルチメディア教育コンテンツの開発」，日本機械学会九州支部第 57 期講演会発表論文集，pp.201-202 頁．
- 21) 佐藤智明，永岡慶三，坂井滋和，小口幸成：2006，「エンジンの動作メカニズムの理解を

- 補助するCGアニメーション教育支援コンテンツを用いた教育実践」, 日本教育工学会論文誌, 29巻(Suppl.), pp.81-84.
- 22) 佐藤智明, 坂井滋和, 小口幸成: 2004, 「機械工学実習科目におけるマルチメディア利用の学習効果」, 教育システム情報学会第29回全国大会発表論文集, pp.227-228.
 - 23) 佐藤智明, 坂井滋和, 小口幸成: 2004, 「内燃機関の動作原理の理解を助けるマルチメディア教育コンテンツの評価」, 日本機械学2004年度年次大会発表論文集, pp.399-400.
 - 24) 佐藤智明, 坂井滋和, 小口幸成: 2005, 「エンジンの動作原理の理解をサポートするアニメーションコンテンツ」, コンテンツクリエイション・アンド・コミュニケーション学会第8回研究会発表論文集, pp.19-26.
 - 25) 佐藤智明: 2005, 「エンジンの動作メカニズムの理解を助けるマルチメディアコンテンツを用いた教育実践」, 教育システム情報学会「ICTを利用した優秀教育実践コンテスト」入選発表会発表論文集, pp.51-54.
 - 26) 佐藤智明, 永岡慶三, 小口幸成: 2006, 「機械実習科目におけるWebコンテンツの学習効果 - ディーゼルエンジンの動作原理を学習するアニメーションコンテンツ - 」, 日本機械学会関東支部第12期講演会発表論文集, pp.135-136.
 - 27) 佐藤智明, 永岡慶三, 小口幸成: 2007, 「内燃機関の動作原理の理解を促進するCGコンテンツの効果的活用に関する研究 - 原理説明用アニメーションおよびe-learningコンテンツの学習効果 - 」, 日本機械学会論文集C編, 73巻725号, pp.35-43.
 - 28) 佐藤智明, 永岡慶三, 小口幸成: 2006, 「オットーサイクル原理の理解を助けるeラーニングコンテンツの開発」, 2006年度日本機械学会年次大会発表論文集, pp.395-396.
 - 29) 佐藤智明, 永岡慶三, 小口幸成: 2007, 「eラーニングCGコンテンツを利用したオットーサイクル原理の学習」, 工学・工業教育研究講演会発表論文集 pp.428-429.
 - 30) 佐藤智明, 永岡慶三, 小口幸成: 2006, 「カルノーサイクルの理解を助けるアニメーションコンテンツの開発」, 日本機械学会関東支部第12期講演会発表論文集 pp.137-138.
 - 31) 佐藤智明, 永岡慶三, 小口幸成: 2006, 「カルノーサイクル原理の理解を助けるアニメーションコンテンツの実践」, 日本機械学会「技術と社会の関連を巡って過去から未来を訪ねる」発表論文集, pp.25-28.
 - 32) Tomoaki Sato, Keizo Nagaoka, Kosei Oguchi: 2006, 「The Development of the Multimedia Contents for the Understandings of the Principle of the Carnot Cycle」, International Conference on Physics Education 2006, CDRom.
 - 33) 佐藤智明, 永岡慶三, 小口幸成: 2007, 「カルノー機関のCGコンテンツの開発および実践」, 物理教育(日本物理教育学会誌), 55巻2号, pp.110-116.
 - 34) 佐藤智明, 永岡慶三: 2007, 「教育用コンテンツのための簡易な3DCGアニメーション立体視システムの開発」, 日本教育工学会第23回全国大会発表論文集, pp.263-264.
 - 35) 伊藤博康: 2001, 「テキスト処理とCGIのためのPerlプログラミング」
 - 36) Dariush Derakhshani: 2005, 「3DビギナーのためのMaya」, エイリアスシステムズ(株).
 - 37) John Patton, Lee Graft: 2003, 「Learning Maya Dynamics」, (株) ボーンデジタル.

- 38) e frontier : 2005 , 「 e 解説 Shade7 」 , (株) イーフロンティア .
- 39) 上田和浩 : 2004 , 「 CARRARA STUDIO 3 ワンダーランド 」 , (株) ビー・エヌ・エヌ新社 .
- 40) 鷹野雅弘 : 2005 , 「 できるクリエイターFLASH 独習ナビ 」 , (株) インプレス .
- 41) 小泉茜 : 2004 , 「 Macromedia FLASH MX 2004 ポケットリファレンス 」 , (株) 技術評論社 .
- 42) 大重美幸 : 2002 , 「 Macromedia FLASH Action Script 」 , (株) ソーテック社 .
- 43) 阿部龍蔵 , 堂寺知成 : 1998 , 「 エネルギーと熱 」 , 放送大学教育振興会 , pp.39-52 .
- 44) ガードナー , H. , (佐伯胖 , 海保博之訳) : 1985 , 「 認知革命 - 知の科学の誕生と展開 」 , 産業図書 .
- 45) ノーマン , D.A. : 1984 , 「 認知科学の展望 」 , 産業図書 .
- 46) 三宅なほみ : 2003 , 「 学習科学とテクノロジー 」 , 放送大学教育振興会 .
- 47) 文 部 科 学 省 : 「 シ ミ ュ レ ー シ ョ ン で 見 る 気 体 の 世 界 」 , <http://rikanet2.jst.go.jp/contents/cp0280/start.html>
- 48) 科学技術振興機構 : 「 熱と温度 : 超低温・絶対ゼロ度の世界 」 理科ネットワーク , <http://rikanet2.jst.go.jp/contents/cp0050a/start.html>
- 49) ファースト : 1969 , 「 エントロピー 」 , 好学社 .
- 50) Jeremy Rifkin : 1990 , 「 エントロピーの法則 」 , 祥伝社 .
- 51) 佐藤智明 , 永岡慶三 , 小口幸成 : 2006 , 「 エントロピー概念の表現手法についての考察 言語表現および視覚表現と心理量との関係についての認知科学的検討 」 , 神奈川工科大学研究報告 B 編 , Vol.30 , pp.5-14 .
- 52) 近藤智嗣 : 2002 , 「 VR 技術による空間表現手法の教育応用 」 , 日本教育工学会研究報告集 , No.02-4 , pp.1-6 .

関連業績リスト

関連業績リスト

学位論文

1 .内燃機関の動作原理の理解を助ける教育支援マルチメディアコンテンツの教育効果についての研究 2005 早稲田大学大学院国際情報通信研究科修士論文

学術論文

- 1 . 佐藤智明, 中根一朗, 小宮聖司: 2004 教育支援コンテンツのやさしい開発手法の検討 内燃機関の動作原理の理解を助けるCGコンテンツによる実践 . 神奈川工科大学研究報告B編, Vol. 29, 1-6頁 .
- 2 . 佐藤智明, 永岡慶三, 坂井滋和, 小口幸成: 2006 エンジンの動作メカニズムの理解を補助するCGアニメーション教育支援コンテンツを用いた教育実践 .日本教育工学会論文誌, 29巻(Suppl.), 81-84頁 .
- 3 . 佐藤智明, 永岡慶三, 小口幸成: 2007 内燃機関の動作原理の理解を促進するCGコンテンツの効果的活用に関する研究 - 原理説明用アニメーションおよびe-learningコンテンツの学習効果 - . 日本機械学会論文集C編, 73巻725号, 35-43頁 .
- 4 . 佐藤智明, 永岡慶三, 小口幸成: 2007 カルノー機関のCGコンテンツの開発および実践 . 物理教育 (日本物理教育学会誌), 55巻2号, 110-116頁 .

著 書

1 . (編者: 岡本敏夫, 伊藤幸宏, 家本修, 坂元昂) 堀田博史, 松居辰則, . . , 佐藤智明, . 他22名: 2006 ICT活用教育 - 先端教育への挑戦 - (第20章担当). 海青社 .

その他

《学会発表》

- 1 . 佐藤智明, 坂井滋和, 小口幸成: 2004 内燃機関の動作原理の理解を助けるマルチメディア教育コンテンツの開発 .日本機械学会九州支部第57期講演会発表論文集, 201-202頁 .
- 2 . 佐藤智明, 坂井滋和, 小口幸成: 2004 機械工学実習科目におけるマルチメディア利用の学習効果 . 教育システム情報学会第29回全国大会発表論文集, 227-228頁 .
- 3 . 佐藤智明, 坂井滋和, 小口幸成: 2004 内燃機関の動作原理の理解を助けるマルチメディア教育コンテンツの評価 . 日本機械学2004年度年次大会発表論文集, 399-400頁 .
- 4 . 佐藤智明, 坂井滋和, 小口幸成: 2005 エンジンの動作原理の理解をサポートするアニメーションコンテンツ . コンテンツクリエーション・アンド・コミュニケーション学会第8回研究会発表論文集, 19-26頁 .
- 5 . 佐藤智明: 2005 エンジンの動作メカニズムの理解を助けるマルチメディアコンテンツを用いた教育実践 . 教育システム情報学会「ICTを利用した優秀教育実践コンテスト」入選発表会発表論文集, 51-54頁 .

- 6 . 佐藤智明, 永岡慶三, 小口幸成 : 2006 カルノーサイクルの理解を助けるアニメーションコンテンツの開発 . 日本機械学会関東支部第12期講演会発表論文集 , 137-138頁 .
- 7 . 佐藤智明, 永岡慶三, 小口幸成 : 2006 機械実習科目におけるWebコンテンツの学習効果 - ディーゼルエンジンの動作原理を学習するアニメーションコンテンツ - . 日本機械学会関東支部第12期講演会発表論文集 , 135-136頁 .
- 8 . 佐藤智明, 永岡慶三, 小口幸成 : 2006 オットーサイクル原理の理解を助けるeラーニングコンテンツの開発 . 2006年度日本機械学会年次大会発表論文集 , 395-396頁 .
- 9 . 佐藤智明, 永岡慶三, 小口幸成 : 2006 カルノーサイクル原理の理解を助けるアニメーションコンテンツの実践 . 日本機械学会「技術と社会の関連を巡って過去から未来を訪ねる」発表論文集 , 25-28頁 .
- 10 . 佐藤智明, 永岡慶三, 小口幸成 : 2006 熱力学教育におけるCGコンテンツの有効的活用 熱機関の動作原理の理解をサポートするeラーニングCGコンテンツの開発と実践 . 神奈川工科大学ITを利用した教育シンポジウム2006発表論文集 , 7-10頁 .
- 11 . Tomooki Sato, Keizo Nagaoka, Kosei Oguchi : 2006 The Development of the Multimedia Contents for the Understandings of the Principle of the Carnot Cycle . International Conference on Physics Education 2006 , CDRom .
- 12 . 佐藤智明, 永岡慶三, 小口幸成 : 2007 eラーニングCGコンテンツを利用したオットーサイクル原理の学習 . 工学・工業教育研究講演会発表論文集 , 428-429頁 .
- 13 . 佐藤智明, 永岡慶三 : 2007 教育用コンテンツのための簡易な3DCGアニメーション立体視システムの開発 . 日本教育工学会第23回全国大会発表論文集 , 263-264頁 .

付 録

付録 3

機械実習実験シラバス

科目詳細

授業コード	3770, 3771, 3775
科目名	機械実習実験
英文科目名	Machine Shop Practice & Mechanical Engineering Laboratories
開講	機械工学科、1年次、通年科目 ②-1組、前期：火曜日1～2限、後期：金曜日3～4限 ②-2組、前期：火曜日3～4限、後期：金曜日3～4限
分類	3
必選	M：◎
コース	M：◎
単位	3
教員名ヨミ	ナルミ アキラ ハシモト ヒロシ カミヤ カツヨシ
教員名	鳴海 明教授 橋本 洋教授 神谷 勝義教授
学習目的とねらい	機械技術者、研究者としては、実感を伴ったモノづくりの技術を、実習、実験をとおして実習する。これは、機械工学の授業を理解する上で重要な科目であるとともに、データの整理、レポートの作成などの手法を習得して、工業学習になじむための導入科目としての意義を持つものである。 学習・教育目標： (1)機械工学の原点であるものづくりに関する基本的な知識を得るとともに、これらの作業を通して機械工学への関心を高めることができる。 作業実施(27%)、取り組み・成果(20%)、レポート(13%)で評価する。 (2)身の回りの製品を通して、それらの製品と機械工学との関連および製品への機械工学の果たす役割を実感することにより、機械工学への関心を高めることができる。 作業実施(13%)、取り組み・成果(10%)、レポート(7%)で評価する。 (3)各作業を通して安全の重要性を理解するとともに、安全についての知識を得ることができる。 作業実施(10%)で評価する。 JABEE(機械および機械関連分野) ◎(2)機械工学の主要分野の修得 機械の主要分野の修得 基本キーワード： ・設計と生産・管理 (C)加工法(18h)、 ・材料と構造 (D)材料の構造と組織(6h)、 個別キーワード： ・設計と生産・管理 (31)CAD/CAM/GAE(6h) ・情報と計測制御 (28)シーケンス制御(4.5h)、(18)ロボット用センサー(0.5h) ・機械とシステム (9)メカトロニクス(1h)、(5)内燃機関(6h)、(7)交通機械(6h)
履修条件、他科目との関係	加工学、材料力学、機構学、材料工学、機械設計製図、機械設計法、計測工学、熱機関工学などの理解を助けるための基礎科目である。
授業形式、形態	授業は、第1回目を除き、甲・乙それぞれの組が8グループに分かれ、1グループ約10名の学生が1テーマに対して2週にわたり取り組み、レポートの提出をもって終了する。
成績評価方法	各テーマごとに製作品、レポート、出欠、遅刻、積極性などを考慮し(作業実施：50%、取り組みおよび成果：30%、レポート：20%)成績(10点満点)をつけ、それらの合計で評価を行う。それらの合計を100点満点に換算し、60点以上を合格とする。ただし、1テーマでも欠席のテーマがある場合には、60点以上であっても不合格となる。なお、実習や実験は出席し、実際に体験することが重要であるので、欠席や遅刻は厳しく取り扱う(下記、履修上の注意参照)。
課題、レポート提出	レポートの提出は期限を厳守する。ただし、やむを得ない理由がある場合は、速やかにその旨を担当者に連絡すること。
学習上のアドバイス	事前にテキストを読んでおくこと。
教科書	書名 機械実習実験テキスト 著者名 出版社 売店で購入のこと
指定図書	
参考書、推薦図書	
履修上の注意	原則として欠席したテーマがある場合、不合格となる。病気や交通事故など、やむを得ない理由で欠席した場合は、1週間以内に、欠席届を各テーマ担当者へ提出すること。欠席がやむを得ないと認められた場合に限り、後日、補講の案内が掲示される。 ・第1回目のテーマ、旋盤作業とフライス作業を除き、各テーマは2週で完結するように構成されている。2週目の内容は1週目の作業進度・理解の上になり立っているため、1週目を欠

席した場合、そのテーマは欠席扱いになる。1週目に出席し2週目に欠席した場合もそのテーマは欠席扱いになる。

- ・テーマによっては危険を伴うもの、油で汚れるものがあるので、作業着、作業帽及びネームプレートは必ず着用すること。また、出来るだけ安全靴を履くこと。サンダル履きでの出席は認めない。
- ・時間内にレポート作成を行うことがあるので、A4レポート用紙、方眼紙、筆記用具、電卓を忘れないこと。
- ・再履修者は担当教員に必ず連絡し、指示を受けること。

授業計画

- 第1回 機械加工の精度と測定
機械加工をしたときの工作物の精度に関して、工作機械の選択、加工精度とコスト、表面粗さと幾何公差、測定器などについて講義し、代表的な測定器であるノギスとマイクロメータの使い方を修得する。
- 第2回 旋盤作業(丸棒削り)とフライス盤作業(平面削り) (1週目)
1グループを半分に分け、あるグループが旋盤作業(丸棒削り)、もうひとつのグループがフライス盤作業(平面削り)を行う。
材料を回転させて円柱状に加工する工作機械・・・旋盤を使用し、外丸削りを行い、栓ゲージを製作する。角形材料の平面、溝、複雑な曲面などの加工を行う工作機械・・・フライス盤を使用し、ブラケットの四角削りを行う。また、工作物の平行度、直角度の測定も行う。
- 第3回 旋盤作業(丸棒削り)とフライス盤作業(平面削り) (2週目)
第2回目とは第1回目とは逆になり、第1週目に旋盤作業をしたグループはフライス作業、もう一つのグループは旋盤作業を行う。
材料を回転させて円柱状に加工する工作機械・・・旋盤を使用し、外丸削りを行い、栓ゲージを製作する。角形材料の平面、溝、複雑な曲面などの加工を行う工作機械・・・フライス盤を使用し、ブラケットの四角削りを行う。また、工作物の平行度、直角度の測定も行う。
- 第4回 溶接作業(金属材の接合) (1週目)
金属同士を接合する加工法のうち、溶接について、ガス溶接、アーク溶接、隅肉溶接および点溶接について体験する。
- 第5回 溶接作業(金属材の接合) (2週目)
金属同士を接合する加工法のうち、溶接について、ガス溶接、アーク溶接、隅肉溶接および点溶接について体験する。
- 第6回 手仕上げ基本作業(穴あけとねじ切り)と研削盤作業 (1週目)
研削盤作業を体験した後、手仕上げ基本作業(ケガキ、ヤスリ、ボール盤、ネジ立て、ネジ切り作業)で手作りのペーパーウェイトを製作する。
- 第7回 手仕上げ基本作業(穴あけとねじ切り)と研削盤作業 (2週目)
研削盤作業を体験した後、手仕上げ基本作業(ケガキ、ヤスリ、ボール盤、ネジ立て、ネジ切り作業)で手作りのペーパーウェイトを製作する。2週目は1週目の手仕上げ基本作業の続きを行い、完成させる。
- 第8回 パソコン工作 (1週目)
パソコン用図ソフトで文字や図形を描き、それをモデリングマシンという加工機械で自動加工する。難しい曲線や曲面の加工が、コンピュータの利用で初心者にも可能になることを体験する。1週目にはAUTOCAD L.T.を用いて加工するための図形を描く。
- 第9回 パソコン工作 (2週目)
パソコン用図ソフトで文字や図形を描き、それをモデリングマシンという加工機械で自動加工する。難しい曲線や曲面の加工が、コンピュータの利用で初心者にも可能になることを体験する。2週目は作図した図形をモデリングマシンで加工する。
- 第10回 焼入れと硬さ (1週目)
高温に熱した鋼を水で急冷し焼入れを試みる。焼入れ前の材料の表面の状態と焼入れ後のその比較や硬さを測り、焼入れによって何が変化したのか、冷却する速さが異なるとどのような違いが生ずるかについて調べる。
- 第11回 焼入れと硬さ (2週目)
高温に熱した鋼を水で急冷し焼入れを試みる。焼入れ前の材料の表面の状態と焼入れ後のその比較や硬さを測り、焼入れによって何が変化したのか、冷却する速さが異なるとどのような違いが生ずるかについて調べる。
- 第12回 エンジンの分解・組立 (1週目)
ピストンアセンブリの分解・組立を通して、蒸気エンジンからガソリンエンジン・ディーゼルエンジンまでのエンジンの仕組みについて勉強する。
- 第13回 エンジンの分解・組立 (2週目)
エンジンの吸排気システムの分解・組立を通して、バルブやカム等の役割を理解する。
- 第14回 マイクロカーの分解・組立 (1週目)
マイクロカーを用いて、工具の使い方から始め、1週目には主に足回り、ブレーキの分解・組立を行い、自動車に利用されている物理法則・メカニズムを学ぶ。
- 第15回 マイクロカーの分解・組立 (2週目)

マイクロカーを用いて、2週目には主にクラッチ、ミッションの分解・組立を行い、自動車の原理・メカニズムを学ぶ。

第16回 メカトロ入門（1週目）

メカトロの構成要素であるメカニズム、センサー、アクチュエーター、コントロールの役割を勉強した後、ラダー図によるシーケンサ制御プログラミングの基本を勉強する。

第17回 メカトロ入門（2週目）

1週目に引き続き、ラダー図によるシーケンサ制御プログラミングの基本を勉強する。それらの学習の成果として、各自自由に用意してある様々な構成要素ユニット（メカニズム、センサー、アクチュエーター）を組み合わせ、生産ラインをイメージしたシーケンサ制御プログラミングを作成し、実行する。

備 考

第1回は甲・乙組それぞれ全員で行う。2回目以降は、各グループ毎に実施テーマが異なるので、必ずしも下記の順番で実施するわけではない。グループ分けやグループ毎の実施順、実施場所など、詳細はオリエンテーション時に配布する実習実験関係の資料を参照のこと。

付録 4

機械及び電気工学実験シラバス

授業コード	3650, 3652
科目名	機械及び電気工学実験 II A
英文科目名	Mechanical and Electrical Engineering Laboratories II A
開講	3年前期 金曜3,4限
分類	分類III (Aコース:必修科目、Jコース:選択必修科目)
必選	M:◎
コース	A、J
単位	2
教員名ヨミ	タカイシ ヨシノリ ヤダ ナオユキ アリカワ ケイスケ ミヤ
教員名	高石 吉登教授 矢田 直之准教授 有川 敬輔准教授 宮地
学習・教育目標(学習目標とねらい)	機械工学の専門分野から選んだ基礎的項目に関する実験を行う。Aコースに相応し るとともに、データの測定法、整理法、解析法、レポートの書き方の修得を行う。
到達目標	(1)実験課題を理解し、その目的、それを達成するための実験計画を理解できる。 (2)実験を行う上で必要な測定機器の操作法を学び、測定が出来る。 (3)測定データから算出される物理量等を視覚化し、現象を把握することが出来る。 (4)測定データと専門分野の基礎知識との関連を認識出来る。 (5)実験の目的、実験方法、実験結果、及びそれらの検討結果を適切な日本語で これまでに学習した機械工学に関する基礎事項に関する実験を行うので、専門基礎 履修学生を10グループに分割し、各グループごとに下表に示すテーマに関する実験 する。各実験ともに基本的には2週間で実験、実験結果の整理、レポートの作成・様 【成績評価】 実験は決められた日の実験に参加し、実験で体験した現象などをレポートにまとめ を提出しないかぎり成績は認定されない。正当な理由でやむを得ず実験を欠席した C-2号館 W101室)に必ず欠席届を提出しなければならない。 【評価方法と評価基準】 【到達目標】の各項目に対し、以下の通りである。 (1)に対しては、実験の実施状況を観察し、それを基に評価する。20% (2)に対しては、実験の実施状況を観察し、評価する。20% (3)に対しては、実験中に計算値を表にまとめさせ、図表に表現させて判断する。さ (4)に対しては、提出されたレポート及び質疑により評価する。20% (5)に対しては、提出されたレポート及び質疑により評価する。20% (注)上記の評価基準は、原則を示しており、詳細は各実験テーマごとに担当者から 【評価対象の割合】 実験に参加し、レポート提出がなされて、初めて評価対象となる。 総合評価の60%以上を合格とする。
履修条件、他科目との関係	
授業形式、形態	
成績評価方法と評価基準	
課題、レポート提出	各テーマの実験を行うたびにレポートを提出する。提出先、提出期日は担当教員が
学習上のアドバイス	1 実験日の前日までに、副読本および教科書中に実施する実験テーマについて記 2 卒業研究着手条件科目に指定されている。 3 学生諸君への連絡事項は、C2号館、1階の機械工学科掲示板に掲示することに。 4 予習が重要である。前日までにテキストを読んでおくこと。同じグループで同じ実験 を分担しあったり、写しあったりしてはならない。自分独自の観察眼と考察力を養う また、Word、Excel等を用いて、最終レポートをまとめるのはよいが、実測値を自分の 身体で実感できるチャンスであるから必ず行うこと。 レポートを書くには多くの調査と基礎事項の復習が必要であるから、実験終了日か トを写すことは、著作権の侵害にあたるので、日常生活の中でこのようなことを行わ のいくレポートを書くことが、現象に対する目を養う第一歩である。
教科書	書 名 「機械および電気工学実験 I・II」 著者名 神奈川工科大学機械工学科編 出版社 平成18年(2006年)度版を使用する。2年次後期に使用したものであるから新たに購
指定図書	書 名 著者名 出版社 特に指定はない。
参考書、推薦図書	書 名 著者名 出版社 実験テーマに関連した基礎科目の教科書、およびそれら教科書の各実験テーマに
履修上の注意	1 遅刻や欠席はグループ内の他の学生に迷惑をかけ、かつ自分自身も単位取得が

- 2 病気、忌引き等でやむを得ず欠席した場合には、1週間以内に実験担当教員(宮)に連絡をとり、遅延を認める。
- 3 実験時には、電卓、レポート用紙、A4方眼紙等を必ず持参すること。また実験テーマによっては衣類が汚れることもあるので、作業着の着用が望ましい。また、実験終了後は、実験室の清掃を行うこと。

授業計画

- 第 1回 金属の顕微鏡組織と硬さ試験
金属の顕微鏡組織の観察と硬さ測定を体験し、金属材料についての認識を深める。鉄鋼の金属組織の基本的な事項と熱処理の復習をしておくこと。
- 第 2回 金属の顕微鏡組織と硬さ試験
金属の顕微鏡組織の観察と硬さ測定を体験し、金属材料についての認識を深める。鉄鋼の金属組織の基本的な事項と熱処理の復習をしておくこと。
- 第 3回 ガソリン機関の性能試験
ガソリン機関の運転および性能測定法を体験し、性能および性能を左右する各種の条件を理解する。
- 第 4回 ガソリン機関の性能試験
ガソリン機関の運転および性能測定法を体験し、性能および性能を左右する各種の条件を理解する。
- 第 5回 うず巻ポンプの性能試験
うず巻ポンプの一般性能を試験することにより、流体機械の構造や作動原理、性能試験法および内部流れの状態を理解する。
- 第 6回 うず巻ポンプの性能試験
うず巻ポンプの一般性能を試験することにより、流体機械の構造や作動原理、性能試験法および内部流れの状態を理解する。
- 第 7回 切削抵抗の測定 (Aコース特有のテーマである。)
旋盤を用いて外削りを行い、切削抵抗およびその測定方法ならびに工作機械の効率に対する理解を深める。
- 第 8回 切削抵抗の測定 (Aコース特有のテーマである。)
旋盤を用いて外削りを行い、切削抵抗およびその測定方法ならびに工作機械の効率に対する理解を深める。
- 第 9回 ロボットの制御 (Aコース特有のテーマである。)
3自由度マニピュレータ(腕型ロボット)を所定の軌道に沿って動かすことから、ロボットの制御方法の基本について学ぶ。
- 第10回 ロボットの制御 (Aコース特有のテーマである。)
3自由度マニピュレータ(腕型ロボット)を所定の軌道に沿って動かすことから、ロボットの制御方法の基本について学ぶ。
- 備考 実験は各グループに分かれて実験を行うが、その実験テーマは必ずしも上の表に書かれた順番ではない。詳細は掲示または配布資料で確認すること。

付録 5

熱力学 シラバス

科目詳細

授業コード	3230, 3231
科目名	熱力学 IIJ
英文科目名	Thermodynamics IIJ
開講	2年後期水曜日1限
分類	Jコース:必修、Jコース以外:選択必修
必選	M:◎
コース	2004年度以降入学生:Jコース、Jコース以外、 2003年度以前入学生:Jコース
単位	2
教員名ヨミ	タカイシ ヨシノリ
教員名	高石 吉登教授
学習・教育目標(学習目標とねらい)	「熱力学 IJ」の内容を復習し、理想気体の状態変化について理解を深めます。ついで、熱力学の基礎概念を実際の系に適用し、エンジンなどの動力機関が熱エネルギーを仕事に変換する原理を理解します。各種ガスサイクルや統計熱力学の基礎も取り扱います。高圧ガス、エネルギー管理士などの国家試験の問題が解けるようになることを目指します。
到達目標	【達成目標】 この授業の達成目標は、次のとおりです。 (1)理想気体の状態変化を計算できる。 (2)カルノーサイクル、オットーサイクル、ディーゼルサイクル、サバテサイクルを解析できる。 (3)実在気体の性質を理解する。 【キーワードと学習保証時間】 エネルギーと流れ 基本キーワード:(A)状態量と状態変化(3h)、(C)熱力学第1法則(3h)、(D)熱力学第2法則(6h) 個別キーワード:(1)状態方程式(2h)、(4)ガスサイクル(5h) 情報と計測・制御 個別キーワード:(10)単位と標準(1h)
履修条件、他科目との関係	この科目は、原則的にJコースのための科目です。「熱力学 IJ」を合格した後で履修することが望まれます。 3年次の「応用熱力学 I」、「応用熱力学 II」などの基礎となる科目です。省エネルギー、地球環境関連の知識を深めるための基礎事項を学びます。
授業形式、形態	講義中心で進めます。授業中に演習も行います。
成績評価方法と評価基準	【評価方法及び基準】 【達成目標】の各項目の評価基準は次とおりです。 (1)演習・宿題等、期末試験30% (2)演習・宿題等、期末試験40% (3)演習・宿題等、期末試験30% 【評価対象の割合】 期末試験90%、演習・宿題等10%で総合評価し、100点満点で60点以上を合格とします。
課題、レポート提出 学習上のアドバイス	随時、宿題を課します。 講義の内容はその日のうちに必ず復習しよう。不明な点があればそのままにしないで、先生に疑問点を質問しよう。疑問を解決しておくことが次の時間の授業を理解するための秘訣です。自ら教科書等の練習問題を解き、理解度をチェックして下さい。
教科書	書名 「熱力学」 著者名 小口幸成編著 出版社 朝倉書店
指定図書	書名 著者名 出版社 特に指定はありません。
参考書、推薦図書	書名 「工学基礎熱力学」 著者名 谷下市松著 出版社 養華房 書名 「絵でわかる熱力学」

著者名 小暮著
出版社 オーム社

書名 「基礎力学演習 工業熱力学」
著者名 宮部、斎藤編著
出版社 実教出版

書名 「詳解機械工学演習」
著者名 酒井・小口ほか著
出版社 共立出版

など、演習書として1冊所持すると良いでしょう。

履修上の注意

- (1)出席調査を行います。病気等で欠席した場合は、必ず欠席届けを提出して下さい。
- (2)欠席5回以上は、期末試験の受験資格を失います。
- (3)卒業研究着手条件科目の一つに指定されています。
- (4)不合格の場合は、次年度に再履修し再受講することになります。

授業計画

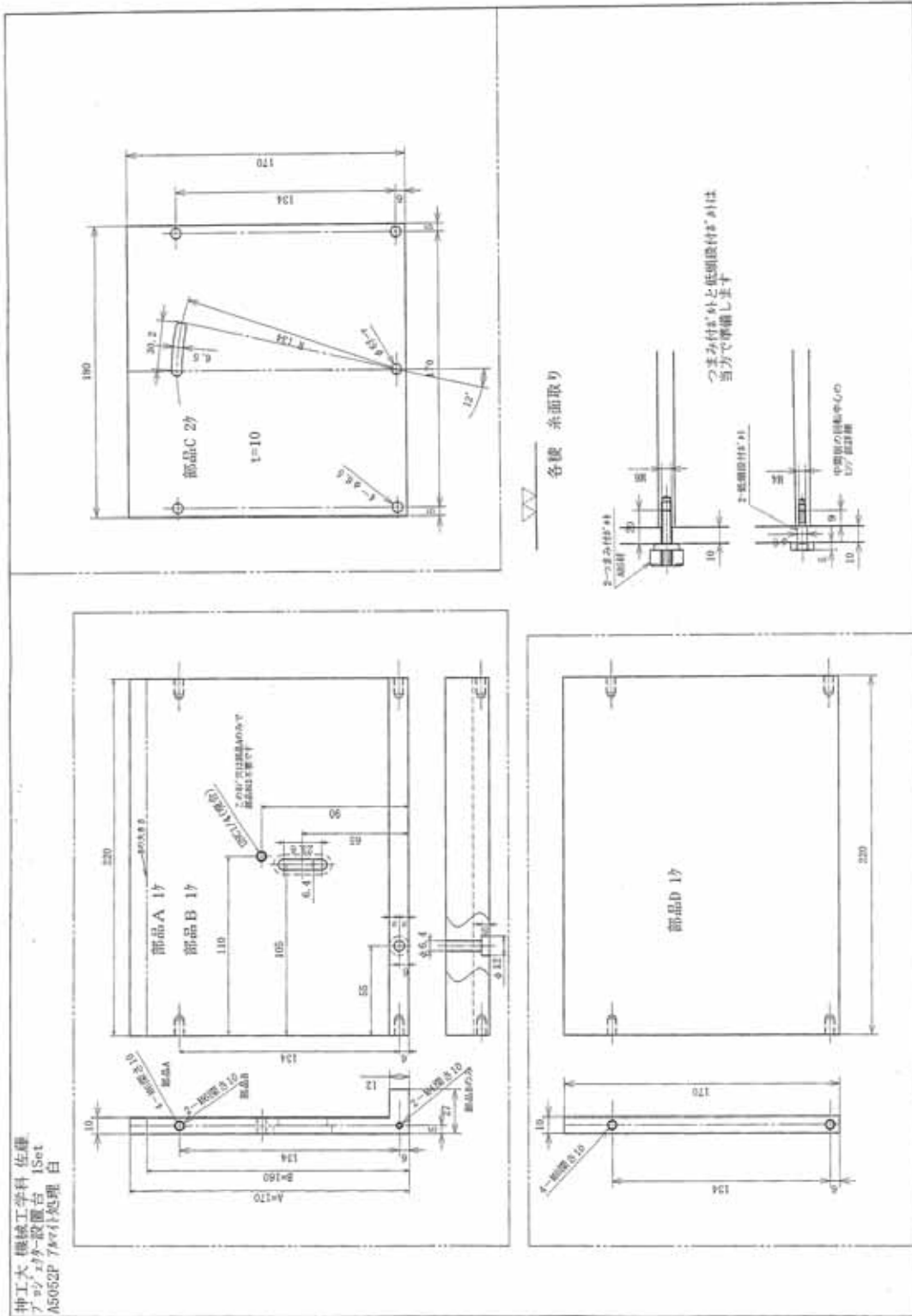
- 第1回 理想気体に関する復習、計算
理想気体のエントロピー変化の計算を含む
(1)状態式
(2)等温変化
(3)等圧変化
(4)等容変化
到達目標【理想気体の状態変化を計算できる。】
- 第2回 理想気体の状態変化
(1)可逆断熱変化
到達目標【理想気体の状態変化を計算できる。】
- 第3回 理想気体の状態変化
(1)ポットロープ変化
(2)各種線図における各状態変化の表現
到達目標【 p - V 線図、 T - S 線図で各種状態変化における仕事量と熱量の関係を理解できる。】
- 第4回 ガスサイクル(カルノーサイクル)
(1)カルノーサイクルの仕事量と熱量の関係
(2)カルノーサイクルの理論熱効率
(3)カルノーサイクルとエントロピー
到達目標【カルノーサイクルを理解する。】
- 第5回 ガスサイクル(オットーサイクル、等容燃焼サイクル)
(1)オットーサイクルの仕事量と熱量の関係
(2)オットーサイクルの理論熱効率
到達目標【オットーサイクルを理解する。】
- 第6回 ガスサイクル(オットーサイクル)
(1)オットーサイクルの平均有効圧力
(2)指図線図(理論サイクルとガソリン機関のサイクルの比較)
(3)カルノーサイクルとオットーサイクルの比較
到達目標【オットーサイクルの理論熱効率と平均有効圧力を誘導できる。】
- 第7回 中間試験(これまでの範囲での理解度を確認する)
- 第8回 ガスサイクル(ディーゼルサイクル、等圧燃焼サイクル)
(1)ディーゼルサイクルの仕事量と熱量の関係
(2)ディーゼルサイクルの理論熱効率
到達目標【ディーゼルサイクルを理解する。】
- 第9回 ガスサイクル(ディーゼルサイクル)
(1)ディーゼルサイクルの平均有効圧力
(2)カルノーサイクルとディーゼルサイクルの比較
到達目標【ディーゼルサイクルの理論熱効率と平均有効圧力を誘導できる。】
- 第10回 ガスサイクル(サバティサイクル、複合燃焼サイクル)
(1)サバティサイクルの仕事量と熱量の関係
(2)サバティサイクルの理論熱効率
(3)サバティサイクルの平均有効圧力
(4)カルノーサイクルとサバティサイクルの比較
到達目標【サバティサイクルの理論熱効率と平均有効圧力を誘導できる。】
- 第11回 統計熱力学の基礎事項
(1)エントロピーの表現

- (2)マクスウェルの速度分布則
- (3)理想気体の気体分子運動論的取り扱い
- 到達目標【気体の理論的な解析方法を理解する。】

- 第12回 実在気体の性質
 - (1)ガスと蒸気
 - (2)飽和状態
 - (3)湿り蒸気
 - 到達目標【湿り蒸気の性質を計算できる。】
- 第13回 実在気体の性質
 - (1)相律
 - (2)クラペイロンの式
 - (3)van der Waalsの状態式
 - 到達目標【相変化の基礎式を理解する。】

付録 6

プロジェクター設置台設計図 (部品図)



付録 7

プロジェクター設置台設計図（組立図）

