

技術学の科学的認識の形成に関する研究

——予想実験授業による熱力学第一法則の定性的認識の授業——

大谷良光**・川村 侖・田中喜美

技術教育*

(1988年7月20日受理)

OHTANI, Y., T. KAWAMURA and Y. TANAKA ; An Approach to Scientific Recognition of Technology in Junior High Schools - A Qualitative Recognition of First Law of Thermodynamics by Yosō - Jikken - Jigyō (Prognosis Experiment Instruction) -. Bull. Tokyo Gakugei Univ., Sect. 6, 40: 71-88 (1988)

ISSN 0387-8953

Based on the hypothesis of Yosō - Jikken - Jigyō (Prognosis Experiment Instruction) as an unified theory of educational contents and method, we built up experimental instruction plan 'Qualitative Recognition of First Law of Thermodynamics' at industrial arts education in junior high schools, and we verified the efficiency through the practices of instruction in which we used the Jigyōsho (instruction book).

- 1 . In the evaluation test, more than 80% of students could understand the concept of first law.
- 2 . In the questionnaire, more than 90% of students enjoyed the classes.
- 3 . By using the Jigyōsho, new teacher could obtain the same results.

(in Japanese)

KEY WORDS : Industrial Arts, Experiment, Qualitative Recognition of Thermodynamics, Instruction Evaluation.

Department of Technalogy Engineering, Tokyo Gakugei University, Koganei-shi, Tokyo, 184 Japan.

1. はじめに

生徒が技術に関する確かな学力を形成することは、一般普通教育として大切である。技術の科学である技術学の認識と、技能（運動的肉体的技能＝狭義から科学的認識に裏付けられた精神的技能＝広義におよぶ）および技術観を学力の構成と考えた時、技術学の認識（“わかる”）における教育内容と教育方法を統一して研究した授業研究は少ないと思われる。

さて、授業改造をめざす「授業研究」が教授研究における研究方法体系のなかで一定の有機

*東京学芸大学（184 小金井市貫井北町4-1-1）

**日野市立七生中学校（191 日野市南平6-7-1）

的な環として位置付けられ、その研究方法が整備され、体系的、組織的に成ったのは歴史的に新しい。鈴木秀一氏は、この発展の要因について「教授学的研究が『教授学的実験』を主要な研究方法とするようになり、『授業研究』は、仮説に基づく実験授業の構築と、実践による検証を主たる内容として進められるようになったのである。」⁽¹⁾と述べている。

そこで、私達は生徒に「楽しく」「感動をもって」「充実して」「わかる」授業を展開し、技術学的教養として質の高い本質的な内容を教授するため研究をしてきた。そして、「実験」を教育方法として導入した授業が予想実験授業であると言う仮説が得られた。

本論は、この仮説にもとずき、「授業書」という具体的な教授プランを作成し、実験授業を構築し、実践によって検証をした。そして、仮説の有効性を実証し、技術教育における「技術学の認識」のための教育方法としての法則化をめざす科学的教授学へのアプローチを試みたのである。

2. 仮説実験授業の思想

技術科の理論的学習は、生徒が興味を示さず授業を成立させることが困難であるとしばしば言われる。しかし、それは一つは理論的学習の内容の問題であり、もう一つは、生徒の知的好奇心を喚起する授業になっているかという教育方法の問題である。「おもしろかった」「感動した」「充実した」と多くの生徒が実感するような授業でなければ、技術学の科学的概念の教授＝学習とは言えない。そうでなければ、断片的な知識の押しつけの授業と変わらないものである。そこで、上記二つの問題点を改善する教育思想、授業の内容と方法の統一の論理として注目したのが、科学教育で一定の成果を蓄積している仮説実験授業である。この章と次章では、仮説実験授業のエッセンスと、技術教育への発展的適用である予想実験授業について述べる。

「仮説実験授業というのは、広い意味での科学教育に関する一つの思想・考え方だということが出来ます。それは、科学教育に一つの新しい授業形態をもちこんでだけでなく、科学と教育の両方に関する新しい考え方を提出し、教材の組織の仕方や教育研究運動の進め方、根本的なプランを提出してきました。……仮説実験授業というものを本当にわかっていたかためには、どうしてもそれが具体的な教材をどのような観点からどのように組織しなおして、どのような授業を実現しているかについて実際に知っていただくよりほかないと思うのです。」仮説実験授業の生みの親である板倉聖宜氏の『仮説実験授業』（仮説社 1974年10月）の「はしがき」の一文である。氏は、科学史研究の中で、過去の天才や一流学者の研究や、誤りをおかした学者の研究の中より、「自らの予想、仮説をもって対象に問いかけその答えをひき出したときのみ、科学的認識は成立する」⁽²⁾という結論を導き、「その結論は現在の子どもが科学を学ぶ場合も変わらない」と考えこの授業の方法を展開したのである。

また、氏は現在の理科教育、特に力学の学習過程のすじみちについての考察をおこない、「かなり多くの生徒たちにとって納得できがたいものであることは、……教科書や教師の指導の中に、生徒にとって許容しがたいと思われる論理の飛躍があったり、直観的にいって承服しがたいと思われる理論的結論を裏づけるのに必要な一連の論理の実験的証拠が欠けているからだ」⁽³⁾と分析し、それを克服した授業書『ばねと力』⁽²⁾を発表したのである。

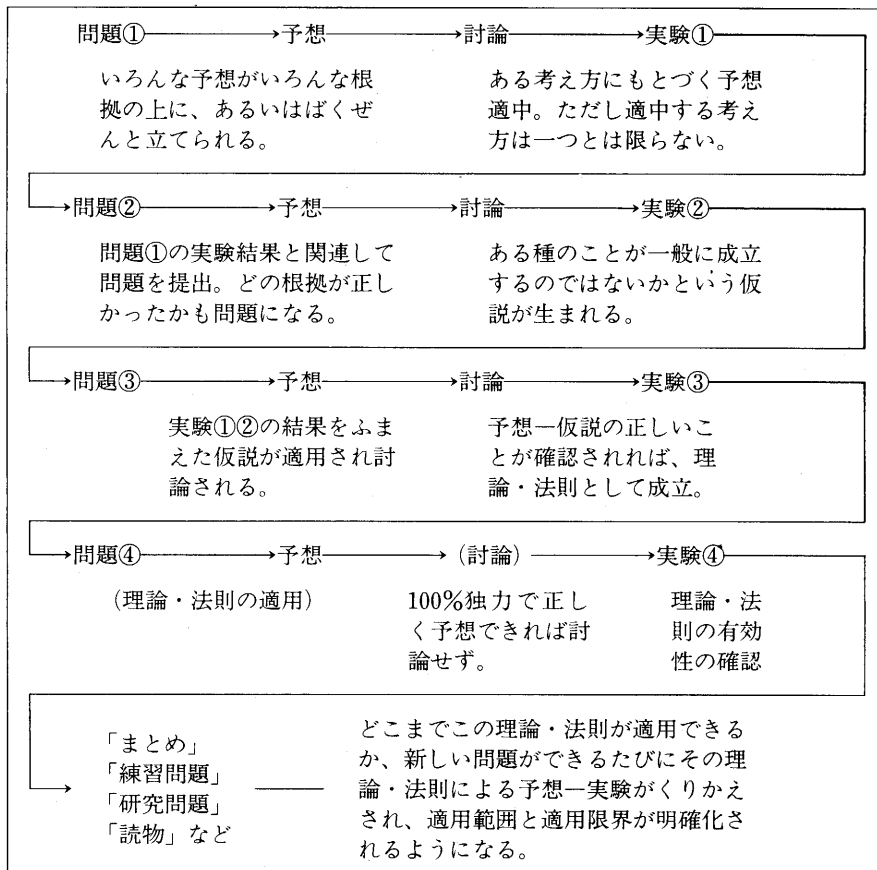
このように仮説実験授業は、授業の方法だけではなく、授業内容と深く切り結んだ科学教育の思想であり、我々が技術の科学（技術学）の教育に適用する場合、その学習内容の深い検討が必要であることを示している。

仮説実験授業の原則的な考え方を整理すると次の3点になる。⁽⁴⁾

- ① 科学上の最も基本的な概念や原理・原則を教えることを意図した授業である。科学上とは理科上と限定するのではなく、広義の科学である。
- ② 科学的認識は、対象に対して目的意識的に問いかけるという意味における「実験」を通してのみ成立する。
- ③ 科学的認識とは、たくさんの人たちが協力して作り上げてきた財産だと言う意味で社会的な認識である。

以上の命題から、実験の前には必ず一人一人に予想・仮説をもたせ、そしてその予想に基づいて討論をすることで認識を深める。そこから授業では、問題（選択肢）—予想—討論—実験という4段階のパターンが生まれた。そして、同じ概念・法則に関する一連の問題をつぎつぎと与えて予想をたてさせ、討論し、実験で確かめる。そして問題の積み上げの中で、漠然としていた予想から、ある種のことが一般に成立するのでないかという仮説が生まれ、次の問題の段階で仮説が確認され理論・法則として認識されるのである⁽⁵⁾。

表1 板倉氏の仮説実験授業の展開



3. 予想実験授業と技術教育

仮説実験授業研究会で板倉氏と共に中心的役割を果たしておられた、庄司和晃氏が、成城学

園グループにおける実験の成果を踏まえて発表された考え方と方法が予想実験授業である。これは、仮説実験授業の思想と方法を基本的に踏襲し、教育内容の段階（性質）に合わせて展開されたものである。「予想実験授業とは、一言でいうと、具体的な問題の特殊な法則にとりくませる授業として組織したものである。そういう点で、科学上の普遍的な概念・法則の習得をめざす仮説実験授業とは相対的に区別しているわけである」⁽⁶⁾と規定し、理科教育の「飼育・栽培」「理科工作」「採集・利用」などの授業編成で成果をあげている。「なにか具体的なものをつくりだすためには特殊な知識が必要になってくるわけで、ここに技術的・特殊な教育の存在理由も生まれてくるのである」⁽⁷⁾。私達は科学教育におけるこの側面に注目したい。技術の科学（技術学）は、科学・技術の一般的な原理、法則（仮説実験授業の命題）の柱と、技術の特殊な法則、または規則、指示と言った部分から構成されていると言える。⁽⁸⁾そこで予想実験授業は、後者の特殊法則や知識の学習内容に有効であると仮定される。

庄司氏は、著書『仮説実験授業と認識の理論』で「予想実験授業の三段階」を論じている。⁽⁹⁾各段階における庄司氏の論文の要旨と、後ほど述べる私（大谷一以下同じ）の授業書での展開要旨を紹介したい。

第一段階 気持ち実験授業——予想はあるが、その裏付けとしての理由や考えがそれほどにないといった段階の授業で「タブンコウダロウナ」といった気持ちを確かめてみる段階である。また日常生活における問題処理の一つの肝要なる論理ともいえ、犬モ歩ケバ棒ニ当タルの論理を積極的に使い出す段階とも言える。予想の裏付けとしての理由は重視せず、予想そのもの、予想をたてることにウエイトを置き、「間違いを奨励する」授業でもある。私は授業書で『質問』という予想で、これに相当するであろう問を設定し、特に導入の段階では班競争をしくみながら、自ら挙手をして能動的、積極的に授業に取り組んでいく手だてとして活用している。

第二段階 理由実験授業——日常の経験や既習事項などを利用してつくり出した『理由』を確かめてみようとする段階で、理論的側面の特殊な法則・適用範囲の狭い法則をつかませようとする授業に適している。予想をたてることもさることながら、それを裏づける理由そのものが確かかどうかということにウエイトのかかった授業である。技術学における科学的概念の多くはここに属し、科学・技術の一般法則に対して、技術の特殊法則、または技術の規則として私は位置づけた。授業書では、これに相当する問を『問題』として設定し、予想を選んだ理由、討論、それによって予想の変更がなされ、実験によって決着をつけた。これは生徒に大きな感動と深い印象を与え、「楽しかった」「充実した」という感想をひき出している。

第三段階 仮説実験授業——これが通常われわれが「仮説実験授業」と呼んでいるものであり、予想の裏付けとなる理由がかなりはっきりしていて、確信度の極めて高い広範囲にわたる一般的な理由、すなわち「仮説」の正否を決しようとするところまで立ち至った段階の授業である。この「仮説実験授業」はもっとも基礎的で一般的な、そして有効度の高い概念・法則をにぎりとりさせ、それを行使できるようにすることを目的とした授業に適している。技術学における科学的概念で『基本的で一般的な、そして有効度の高い概念・法則』は自然科学の上記のような概念と合致するところが多い。しかし、自然科学における科学的概念を形成する理科教育と「製品を生産」する技術学における科学的概念の形成は、おのずから、その概念へのせまり方は違ってくる側面もある。そこで、後述する「機械・原動機における技術の科学的概念の構造（体系）」では、科学・技術の一般法則と位置づけ、その基本概念を「原動機におけるエネルギー変換」とし、6つの下位概念を設定し、それらの概念の形成を図った。概念形成の道筋は、理由実験授業の段階と違い、表1のように、いくつかの問題を積み上げていく中で、一

つの概念認識が図られる。

以上の論旨を要約してみると以下のようになる。

予想実験授業において、生徒に技術に関する科学的認識を形成するには、まず科学的な探求への強力な動機づけを考えることが必要である。それは、生徒の常識と相反する衝撃的な事実や、また感動を伴う事実を突き付けることが有効であると言える。これらを授業書の『問題』として設定し、問題の予想を選択し、討論し、実験で確かめることで、先入観や常識的な直観をひっくりかえし、科学的概念の豊かな実体的イメージを形成させるというものである。⁽¹⁰⁾

4. 機械・原動機における技術の科学的概念⁽¹¹⁾

技術教育における「わかる」内容とは、技術に関する法則、規則、道具の使用法など多岐にわたる。私は、技術科の「経験主義教育の克服」の視点で「わかる」内容の中心を、技術の科学的概念（生活的、日常的な概念と比して）と位置づけた。そして、機械・原動機における技術の科学的概念を「科学・技術の一般法則」と「技術の特殊法則と規則」として構造化した。

表2 機械・原動機における技術の科学的概念の構造

	科学・技術の一般法則	技術の特殊法則と規則
基本 概念	原動機（水車、熱機関）におけるエネルギー変換	原 動 機 の 効 率
下 位 概 念	①仕事量とまさつ力 ②熱力学第一法則における、エネルギー変換と動作流体 ③熱力学第二法則における高熱源と低熱源、その差の仕事量 ④ベルヌーイの定理における運動—圧力エネルギー変換 ⑤ボイル・シャルルの法則における圧力—体積—温度の関係 ⑥以上を通してのエネルギー転化及び保存の法則 (②~⑥は定性的認識を目的とする)	①仕事量と動力（仕事率、馬力、ワット） ②出力=入力-損失、効率=出力÷入力×100 ③水車の入力、出力、損失と効率 ④熱機関の入力、出力、損失と効率 (①~④は定性的認識と共に定量的認識を目的とする) ⑤水車、熱機関におけるエネルギー変換の様態 ⑥熱機関の4つの行程（過程） ⑦圧縮と圧縮比 ⑧インジケータ線図 ⑨燃焼と公害、その技術対策 ⑩ガソリン機関の機械的損失を少なくし効率を向上させるしくみ ⑪動力を取り出す機構

表3 学習内容

番 号	学 習 項 目 項	時 間
テーマ1	原動機と仕事量・動力	5
テーマ2	水車のエネルギー変換と動力・効率	6
テーマ3	熱と動力～熱機関のエネルギー変換～	6
テーマ4	内燃機関の動力発生のおしくみ	5
テーマ5	ガソリンエンジンのしくみ	9
テーマ6	公害と熱機関の発達	3
テーマ7	流体（運動—圧力）エネルギー変換と紙飛行機の製作	5
テーマ8	総合課題 蒸気自動車（首振りエンジン）の製作	11
		計 50

前者の基本概念を、「原動機（水車，熱機関）におけるエネルギー変換」，後者のものを「原動機の効率」と論究し，それぞれの下位概念を設定した。以上の考察を経て確定した機械・原動機における技術の科学的概念の構造は表2に，学習内容は表3のようになる。

5. テーマ3「熱と動力～熱機関のエネルギー変換～」の学習内容

学習内容の内，本論ではテーマ3に絞り熱機関の原理，その熱力学の定性的認識を生徒に教授する学習のねらいを述べる。教育内容の構造化と編成の視点⁽¹¹⁾より検討され選択された学習内容はつぎのとおりである。

熱機関の学習では，熱機関すべてを貫く原理を認識することがたいせつである。そこで，つぎの熱力学の4つの原理が取り上げられる。

第一は，熱力学第一法則「熱と仕事の相互のエネルギー変換の成立」である。そのポイントは，熱が仕事に変換するには，媒介物（動作流体＝気体）が必要であることを認識することであり，蒸気機関など外燃機関で，分かりやすいこの原理を，内燃機関にまでおし広げて，熱機関共通の原理であることを理解させることである。

第二は，熱力学第二法則「熱機関が作動するには，高熱源（給熱）から低熱源（放熱）へ動作流体が移動し，その熱量差が仕事量となる」ことであり，このポイントは，各熱機関の低熱源の認識である。給熱—放熱のサイクルが分かれば，各熱機関の過程（行程）へと発展させることができる。しかし，「その熱量差が仕事量となる」ことを立証するには，公式を用いるかインジケータ線図により求めるなどの新たな概念の導入が必要であり，深入りはさけ「こうなるんだよ」で納める。

第三は，温度と圧力と体積の関係，ボイル，シャルルの法則である。理科教育の発展の上に，定性的に圧力と体積（温度一定）の関係＝ボイルの法則，体積と温度（圧力一定）の関係＝シャルルの法則を理解し，外燃機関を通してのシリンダー内における，温度—圧力—体積の関係と等圧変化，等容変化の認識を形成する。そして，内燃機関におけるシリンダー内での温度と圧力と体積の関係，インジケータ線図の理解へと発展する。

第四は，熱機関の4過程（行程）である。外燃機関での，圧縮—給熱—膨張—放熱，内燃機関での，吸気—圧縮—膨張（給熱・膨張）—排気（放熱）の理解である。蒸気機関—ガソリン

表4 授業の計画

学 習 項 目	時間	学 習 内 容
熱⇄仕事の変換(熱力学第一法則)	1.5	・ 燃焼ガス、空気、水蒸気それぞれの膨張実験を通して、動作流体について認識する。
熱力学第二法則とは	1.5	・ 蒸気機関→内燃機関と進む中で、低熱源(放熱)を認識し、その熱量差が仕事量であることを知る。 ・ 蒸気機関の発達を知る。
温度と圧力と体積	1	・ 気体は圧縮させれば収縮し、熱を発生すること、またその逆の現象のあることを理解する。 ・ 等容変化、等圧変化を知る。
熱機関の入力・出力、熱効率と損失	2	・ 入力、出力の求め方を理解し、測定ができ、熱効率を計算で求めることができる。 ・ 損失を知り、熱勘定表で表すことができる。

機関—ディーゼル機関—ガスタービン—スターリング機関と発展させる中で, その共通性の認識を形成することを図る。

以上の各概念における認識形成の授業書編成では, 技術史をとり入れ, 生徒の技術への理解を幅広いものにするよう配慮した。

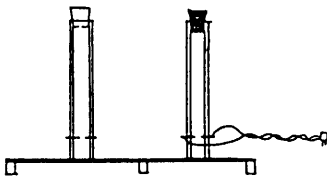
この学習のねらいを達成する授業の計画は表4のようになる。

6. 「熱力学第一法則」の定性的認識を目標とした予想実験授業による授業実践

テーマ3の第1学習項目は熱力学第一法則である。そこで, 熱力学第一法則「熱と仕事の相互のエネルギー変換の成立」の定性的認識のポイントは, 熱が仕事に変換するには, 媒介物(動作流体=気体)が必要であることであった。蒸気機関など外燃機関では分かりやすいこの原理を, 内燃機関までおし広げて, 熱機関共通の原理であることを理解することが, 技術の科学的認識の形成となる。以上の結論に基づき, 授業書を構成した。授業書の問題と討論の様子などを次に報告する。

問題1で, 「熱エネルギー⇄運動エネルギーの変換が直接できるか」を考えさせ, 問題2で, 「アクリルパイプの燃焼実験装置に混合気を入れ点火させれば, パイプの上に乗せたボールは仕事をするか」を考えさせた。問題2では, 日常的経験からボールが飛ぶであろうことは予想できる。(この実験ではやや重いウレタンボールを利用した。)

(問題 3) 問題2の実験装置のアクリルパイプの上部に軽いコルク栓を軽く詰め, もう一方のパイプにやや重いゴム栓をきつくしめ, ガソリンと空気が良く燃焼をする割合で入れ点火すれば, どちらの栓がたかさんの仕事をするでしょうか。



予想

ア、軽いコルク栓を軽く詰めた方。
 イ、やや重いゴム栓をきつくしめた方。
 ウ、どちらとも言えない。

ヒント どちらが高く(遠く)まで飛ぶでしょうか。

そこで, 問題3ではアクリルパイプ内の動作流体(燃焼ガス)とその圧力上昇について気づかせることをねらいとした。生徒の生活的概念からは, 栓が軽くてしめてあった方がポンと抜けて飛びやすいという体験と, 空気銃のように栓をきつく締めてポンプを押し空気圧を高めた方が勢い良く飛ぶという経験がある。この両者の経験をベースに討論を展開し深め, 実験で確かめ生活的概念から科学的概念へ“わたらせる”という構想である。予想分布はア4人, イ36人, ウ1人となり討論の最後に予想の変更を調べたところ, アよりイへ2名変更した。討論の様子を次に紹介する。

T では次にいきます。はい, プリントを見て。「問題2の実験装置の—中略—仕事をするでしょ

うか。」こういう問題です。では、説明をしますよ。問題2の実験で仕事をすると言うことは分かったね。『こちらを見てください。』片方に木のコルク栓、これは軽く押さえてもう一方の方にゴム栓。これは重いです。これをギュと締める。ではこの場合どちらの方がたくさん仕事をするか、こういう問題です。さあ考えて下さい。〈生徒隣どうし、または班でしばらくの間話し合い。〉

T はい、ありがとう。さあプリントに○つけたか。では聞くよ。ア、やや軽い。軽いコルク栓をつけた人。アの人。1, 2, 3, 4人。イ、逆に重いものをギュと締めたほうが飛ぶと言う人。1, 2, 3, ……36人。どうらも言えない人。ウ、一人、—中略—多数はイだね。ではそれぞれの理由を聞くよ。

〈生徒何人か挙手〉

大石 ぼくはイにしたんですけど、軽いコルク栓の場合だと、何と無く、ある程度空気がぬけて、せつかくいい状態にしたものがまた悪い状態になってしまう。

T もうちょっと大きい声でいってくれ。おーい良く聞け。

大石—中略(同じ内容)—

T あっ。もれる空気と言うのは最初に入れた空気の事。

大石 はい。

T はい、ありがとう。軽く締めてあれば最初に入れた空気がもれてしまうんじゃないか。でもね、もれない程度にきつくしめるつもり。分かりました。そういう意見ね。では、先にあげたから、次ぎ高木君。

高木 えーと、さっきのボールが一番最初に点火したとき、あがらなかった事もあるし、重すぎたり、きつくしめても、爆発だけであがらないということもあるから。(さっきのボールとは問題2の実験をさす—筆者)

T 予想はどっちなの。

高木 ア。

T 先程、重すぎたのはあんまり飛ばなかった。(問題2の実験—筆者) きつすぎたり、重すぎたりしたら良く飛ばないのではないか。だから飛びやすい、アの方が飛ぶということだね。では、順番にいこう。荒井君

荒井 イなんですけど。

T イ はい。

荒井 その場合は、爆発したときに強く締めておけば、その栓をあげなければ、その爆発した時にしか外に逃げられないけど、コルク栓の場合はちょっとあいただけで全部、パット逃げてしまう。あまり強く締めないのでパット逃げてしまう。その場合だったらしめてないから、ちょっとあければ爆発したものが外に出るからきつく締めた方がいい。

T あー。こういうことかな。ではもう一度先生が復唱するよ。問題2のボールの実験ではボールがちよっとあがっただけでもれちゃった。もれちゃった。なにがもれちゃうの？

荒井 えー、爆発した混合気。

T 爆発したなにかがもれちゃうのね。ところがゴム栓をきちんとしめておけばなかなかもれない。もれないとたくさん飛ぶんじゃないかな。こういう説明ですね。

〈二三の生徒からオーという声〉

T うー。感心したら、例のオーを言ってくれなきあ。

〈オーの歓声があがる。またどっと笑いが起こる。〉

T はい、どうぞ。下島君

下島 さっきの高木君の意見には反対なんですけど。〈わーと言う歓声。〉ガソリンエンジンでもわ

りと大きな車が動かせるほど力が出るから、コルク栓をきつくしめた程度の力くらいは出せるとおもおう。

T はい、下島君は実際のエンジンにもある程度詳しいみたいだね。——中略——それでは議論をしているとおもしろいが、論点がつまったので、ここで実験をして確かめたいと思います。それでは部屋の中では危ないから、そんなこと言って飛ばなかったら困るけど、外に出ます。——後略——

以上の討論の中で明らかになってきたように、生徒は燃焼をして発生する『なにか』を、空気、混合気、燃焼ガスなどと様々にとらえていた。その『なにか』のふくらみの違いに気づき、実験で確かめ、イメージをしたのである。そこで、『なにか』は次の問題で深める。

(問題 4)	問題2と3でボールや栓を飛ばして、直接仕事をさせたものは何でしょうか。
予想	ア、空気の膨張による圧力エネルギー イ、燃焼ガス(排気ガス)の膨張による圧力エネルギー ウ、混合気の膨張による圧力エネルギー エ、熱エネルギーによる火炎波の上昇力
討論	どうしてそう思いますか。みんなの考えを出しあつて討論をしましょう。
実験	正解は先生が発表します。
結果	_____

この討論と実験(正解は教師説明)で、生徒は燃焼ガスという動作流体とその膨張による圧力の上昇という事象を認識したのである。

問題5よりは、外燃機関である空気、水蒸気という動作流体を通して熱力学第一法則のポイントを認識させようと試みた。

<p>(問題 5) 右図のような実験装置のピストン(注射器)の上に重りをのせ、ボイラー(フラスコ)を空気のみとし、ガスバーナーで熱エネルギーを与えれば、ピストンは仕事をしますか。予想</p> <p>ア、仕事をします。 イ、仕事はしない。 ウ、どちらとも言えない。</p> <p>討論 どうしてそう思いますか。みんなの考えを出しあつて討論をしましょう。</p> <p>実験 ガスバーナーに点火をし、ボイラーを熱してみよう。</p> <p>結果 _____</p>		<p>(問題 6) 問題5でピストンは重さ()Kg重の重りを()m持ち上げました。ピストンにした仕事は()Kg重・mとなりますが、このピストンに直接仕事をさせたものはなんでしょうか。</p> <p>予想</p> <p>ア、空気の膨張による圧力エネルギー イ、都市ガスの燃焼による熱エネルギー ウ、空気の膨張による運動エネルギー</p> <p>討論 どうしてそう思いますか。みんなの考えを出しあつてから実験をしましょう。</p> <p>実験 正解は先生が発表します。</p> <p>結果 _____</p>
--	--	---

(問題 7) 問題5の実験装置のボイラーに水を入れ、ガスバーナーで熱すればピストンは仕事をするでしょうか。

予想
 ア、仕事をする。
 イ、仕事をしない。
 ウ、どちらとも言えない。

実験 ガスバーナーに点火をしボイラーを熱しましょう。

(問題 8) 問題7の実験でピストンを押しあげ、直接仕事をさせたものは何でしょう。

予想
 ア、水の膨張による圧力エネルギー
 イ、水蒸気の膨張による圧力エネルギー
 ウ、空気の膨張による圧力エネルギー
 エ、空気+水蒸気の膨張による圧力エネルギー

実験
 正解は先生が発表します。

問題5よりの予想の選択正解率は、回を追うごとに高くなった。このことは問題3, 4で認識した燃焼ガス=動作流体とその圧力上昇という概念が、空気、水蒸気が膨張するという概念へ転移が行われた事を証明している。認識の手順としては、視覚的にわかりやすい、空気→水蒸気→燃焼ガスと展開した方が良いように思われるが、予想実験授業の精神は、「楽しく」、「感動を伴い」、「充実した」授業展開なのである。衝撃的で感動的な燃焼膨張実験を前に配置することで、強力な動機づけと実体的イメージを形成し、概念の認識を図るのである。そして、後で形成された概念を駆使し、空気、水蒸気の外燃機関の事象を判断し、概念の正しさを確信するのである。

この授業の後に「熱-運動エネルギー変換とジュールの話」という授業書を読みあわせまとめとした。

7. 実験授業の検証と評価

授業研究における実験授業の検証・評価の方法は、日本の教育界において諸潮流がある。授業研究の目的と研究方法により異なってくるが、教育内容と方法の統一の論理に基づいて授業改造を進めるといふ私達の論点に立つならば、北大教授学研究グループ(鈴木秀一他)や仮説実験授業研究会の成果が参考となる。私達は、上記2グループの研究成果に学び三つの検証・評価の方略と評価の指標を定めた。

一つめの方略は、予想実験授業による授業で生徒が技術の科学的概念を理解し使いこなせるようになったと言うことである。そして、その指標は、①評価テストにおいて8割以上の生徒が理解したか。②授業展開における討論で、生徒の認識が形成されて行ったかを、授業記録と

生徒の感想文より読み取れるかである。

二つめの方略は、授業は「楽しく」「感動的で」「充実した」ものであり、生徒は技術とこの授業が好きになったかの生徒による授業評価である。そしてその指標は、①事後の生徒による感想アンケートでこの授業が「楽しかった」と答えた生徒が9割以上いたか。②多くの生徒が技術とこの授業が好きになったかが感想文などから読み取れるかである。

三つめの方略は、「授業書」の質と、質の良いものであればベテランでなくても予想実験授業について、理解のある教師ならだれでも実施でき、同じ位の成果を上げることができたかである。そしてその指標は、一と二の方略と指標における結果の比較で、授業者間に差が余り表われないことである。私達は以上の3つの方略と指標で授業評価を行った。

7.1. 技術における科学的概念の理解の検証

この検証には3つの方法を用いた。一つは、授業での予想、選択の推移と授業記録に見られる討論過程での理解の深化である。この点については前章の「授業の様子」で述べたので省略するが、認識の形成がはっきりと読み取れる。

二つ目は、この授業の終了時点での事後調査である。調査問題では、スターリングエンジンの動作流体を考えさせる応用問題を入れた問題で、正答率80.8%であった。(表5、資料1参照) また、私の授業書で同じ学校で追実践をされた新卒A教諭の場合も76.6%と言う正解率であった。私の学校は受験のための学力テストの平均偏差値が50~52位である

という公立のごく普通の学校である。ケアレミスや国語の基礎学力の低い生徒の状況を加味すれば、正解率が高いものと言える。指標の①をほぼ満たしていると考えられる。

三つ目は、認識に関する生徒の感想文よりの考察である。何点かピックアップしてみよう。

1. 実験で証明していくやり方は、目で見てわかるから、このような授業のやり方が納得でき、よくわかった。「空気と水を入れて仕事をするか」というところであやふやだったけど、石野君や辰見君の意見ではっきりわかった。(M. K)

2. 実験5. 7 (空気と水の膨張) で熱しただけで膨張をしてピストンが上がるとは思わなかった。(S. Y)

3. ピストンを空気が圧力で押し上げることは、ピンポン玉などを熱するとふくらむと同じだと言うことがわかった。(K. F)

4. 今回のは前回(テーマ2)とちがってよくわかった。理由は前に理科でやって少しは知識があったからだと思う。全体を通してわかったことは、少しは知識があるとよくわかると僕は思った。(K. K)

5. 少量のガソリンであれだけのふたを飛ばすエネルギーの大きさに感動をした。(T. N)

表5 テーマ3(1)熱⇔仕事の変換(熱力学第一法則)の認識に関する事後調査

問題項目	ベテラン%	新卒%	誤答
問1 熱⇔仕事の変換	81.8	81.8	イ 8人
問2 内熱機関の仕事	95.5	97.9	
問3 内熱機関の動作流体	81.8	70.5	ア 3人
問4 外熱機関の仕事	95.5	95.5	
問5 外熱機関の動作流体	86.4	79.5	ウ 4人
問6 外熱機関のエネルギー変換(3問)			
熱エネルギー	75.0	77.2	
圧力エネルギー	70.5	56.8	
運動エネルギー	75.0	61.4	
問7 応用(スターリングエンジン)	43.2	63.6	
全問の正解率	80.8	76.6	
実施クラス 実施日 人数 授業者	3年1.2組 9月27日 44名 大谷	3年3.4組 10月30日 44名 新卒A教諭	

6. 「ボールの打ち上げ」が面白かった。普通に見て飛びそうもない重い方のゴム(又はカン)がコルク栓の数倍も飛んだことに驚いた。しかし今一つ理解できないように思える。(Y. Y)

7. 予想問題もほとんどできたのでわからないところはないと思う。実験がおもしろかった。(F. N)

生徒が様々な生活的概念から、討論と実験を通して科学的概念に「わたる」様子が、文章の端々から分かる。またピストンによる空気の膨張が、ピンポン玉を熱してふくらませる現象(生活的概念)と共通であることを認識するなど、科学的概念の認識の形成が読み取れる。

7.2. 生徒による授業の評価

第二点目の方略は、生徒にとって「楽しく」「感動的で」「充実した」授業であったか。また、技術とこの授業が好きになったかである。この分析には4つの方法をとった。それは、<1>授業後の感想アンケート、<2>線結びによる授業内容分析、<3>認識の事後調査と生徒の感想アンケートのマトリックス分析、<4>授業の方法に対する生徒の感想文の考察である。

<1>授業後の感想アンケートによれば、表6のように「楽しかった」と答えた生徒が96%もあり、授業への意欲を示した事が分かる。

表6 授業後の感想

項目	人数	%	
大変楽しく、大変よくわかった	3	6.8	} 72.7% } 96%
楽しく、よくわかった	29	65.9	
楽しいけど、あまりわからなかった。	10	22.7	
楽しくないけど、よくわかった	1	2.	
楽しくなくて、よくわからない。	0	0.	
その他 未記入	1	2.	
		96%楽しい	73%分かった
実施クラス 3年1,2組 追試クラス未実施			

<2>次に、線結びの授業内容分析⁽¹²⁾によれば(資料2)、もっとも印象に残った実験は、栓の打ち上げであり、次に空気によるピストン上げであった。そして、その実験の感想は、一位おもしろかった、二位分かりやすかったであり、その結果生じた感情(意欲)としては、1位楽し

かった、2位わかった、3位満足であったという結果である。このデータは、授業後の感想で97%の生徒が「楽しかった」と答えた中身を示していると言える。

<3>さらに分析をもう一步進め、事後調査の得点(正解率)と感想項目のマトリックスを作成し(表7)、それらのグループの生徒の感想文をピックアップして見ると生徒の認識形成と情意面の関係が見えてくる。

表7 認識形成と情意面のマトリックス

感想項目	得点	100	90	80	70	60	50	40以下
1 大変楽しく 大変よくわかる	① 2人	1						
2 たのしく よくわかる	9	9	3	2	② 2	3	1	
3 たのしいがあまりわからない	1	3	1	1	3		1	
4 たのしくなく よくわかった		③ 3	1					
5 たのしくなく わからない					④ 1			
6 その他 未記入など						1		

マトリックスの①~④の生徒グループを考察してみると次のようになる。

① 80点以上を理解したら到達点と考える(応用一問とミス一問位で)。感想も得点もよい傾向

資料1 テーマ3 ポスト調査

クラス 番 氏名

1. エネルギーが変換されていくことを学習しましたか。では、熱エネルギーを直接運動エネルギー(仕事)に、または運動エネルギーを直接熱エネルギーに変換をすることはできるでしょうか。正しいと思うものに○をつけなさい。

- ア、両方とも直接できる。
- イ、熱エネルギー→運動エネルギーの変換は直接できるがその逆はできない。
- ウ、運動エネルギー→熱エネルギーの変換は直接できるが、その逆はできない。
- エ、両方とも直接にはできない。

2. アクリルパイプの実験装置において、ガソリンと空気が良く燃焼をする割合で入れて、点火をすればパイプの上のボールは仕事をしたでしょうか。

- ア、仕事をした。
- イ、仕事はしなかった。

3. 問2でボールを飛ばして、直接仕事をさせたものは何でしょうか。

- ア、空気の膨張による圧力エネルギー
- イ、燃焼ガス(排気ガス)の膨張による圧力エネルギー
- ウ、混合ガスの膨張による圧力エネルギー
- エ、熱エネルギーによる火炎波の上昇力

4. 実験装置のボイラー(フラスコ)に水を入れ、ガスバーナーで熱すればピストン(注射器)は仕事をしますでしょうか。

- ア、仕事をしない。
- イ、仕事をしない。
- ウ、どちらとも言えない。

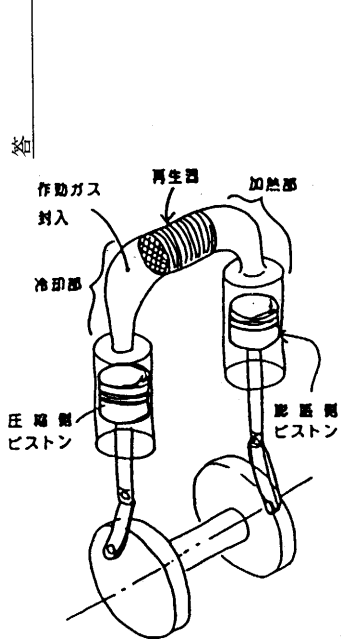
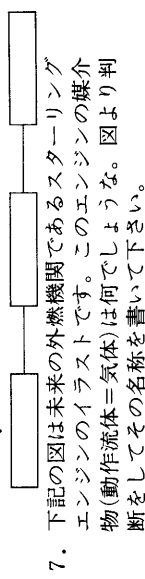
5. 問4の実験でピストンを押しあげ、直接仕事をさせたものは何でしょうか。

- ア、水の膨張による圧力エネルギー
- イ、水蒸気の膨張による圧力エネルギー
- ウ、空気の膨張による圧力エネルギー
- エ、空気+水蒸気の膨張による圧力エネルギー

6. 問5の場合のエネルギー変換を、変換の順に従って下記の表に記入しなさい。答えは語群より選びその記号を書きなさい。

語群	
ア、ピストンの運動エネルギー	イ、水蒸気の運動エネルギー
ウ、熱エネルギー	エ、水蒸気と空気の圧力エネルギー
オ、空気の圧力エネルギー	カ、水蒸気の圧力エネルギー

〈表〉
都市ガスの燃焼

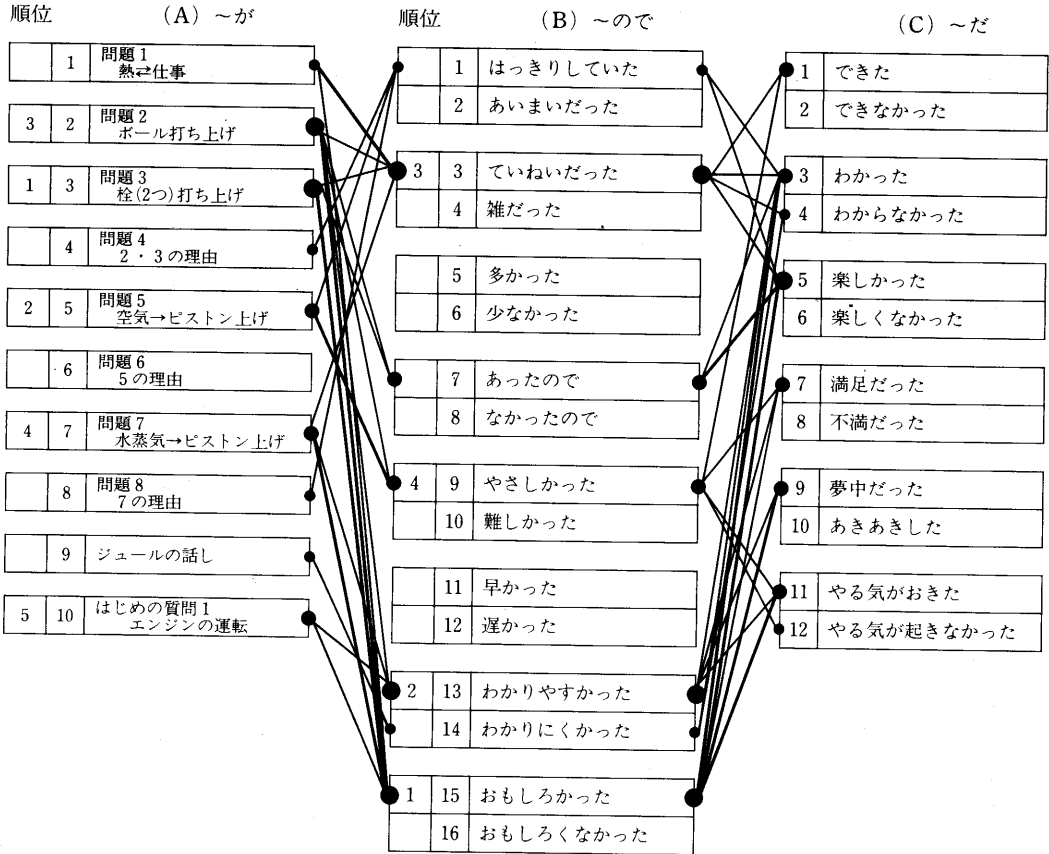


答

7. 下記の図は未来の外燃機関であるスターリングエンジンのイラストです。このエンジンの媒介物(動作流体=気体)は何でしょうか。図より判断をしてその名称を書いて下さい。

資料2 線結びの授業内容分析

記入方法：(A)の列から印象に残っている項目を3つ選らび(B)、(C)の項目にあてはまる所を線で結びなさい。



生徒が一番印象に残った問題(実験)の項目順は

1. 栓(2つ)打ち上げ
2. 空気→ピストン上げ
3. ボールの打ち上げ
4. 水蒸気→ピストン上げ
5. 導入 エンジンの運転

(感想)

1. おもしろかった。
2. 分かりやすかった。
3. ていねいだった。
4. やさしかった。

(印象に残った感情(意欲)の項目順は)

- { 楽しかった。
- { 分かった。
- { やる気が起きた。
- { 満足だった。
- { 楽しかった。
- { できた。
- { 楽しかった。

を示した生徒は24名(55%)おり, 両面での評価ができる。

② 得点では達成していないが「よくわかる」と答えた生徒は8名(18%)おり, 得点は達成していないが, 本人は理解したと自覚している。この理由としては, 普段の授業において消化不良が多い中で, この授業において理解できたことへの喜びの自覚であると考えられる。感想文より検討してみると,

T君 圧力とかはわかるが公式のところがよくわからない。

S君 わかりやすい授業であった。

M君 ゴムを飛ばしたところはいがいであった。

H君 実験5. 7で熱しただけで膨張をしてピストンが上がるとはおもわなかった。

N君 あれだけのふたを飛ばすエネルギーの大きさに感動をした。

Y君 手を上げたり, 自分の考えが言えることがよかった。ゴムせんの実験がおもしろかった。

③ 得点では達成しているが「あまりわからない」と回答した生徒は5名(11%)いる。感想文より検討してみると,

T君 授業では, よくまちがえた(予想選択)ので, その分みんなよりよくわかったと思う。

A君 負荷が大きければ大きいほど打ち上がる高さが高くなるのか。

2名の感想文からは, 答としてはわかったが, その理由までまだ理解し納得できないということが分かる。

④ 得点も未達成で「あまりわからない」と回答している生徒が5名(11%)いる。これは, 理解が充分できなかったことを両面より示している。

考察をまとめてみると, 認識・理解が情意と密接に関連しており, 理解できることと学習動機が意欲と密接に結び付いていることを読み取ることができる。

<4>最後に生徒の感想文より, この授業の方法に関するものをピックアップして評価としたい。

1. 授業の方針がとてもよく自分で考えることが多くなってよかったと思う。おもしろい実験もたくさんあり, とても楽しく理解できた。(T. F)

2. (この授業の方法は)まちがえてもはずかしくないで, 自分の意見がはっきり言え楽しく, よく理解できた。発言が多少できるようになった。(A. O, A. O)

3. まちがえをちゃんとした理屈で解釈していくところがこの授業の特徴だと思う。みんなで意見を出しあって討論して成り立っていくところがいいと思う。でもほくは, 1回も発言できなかった。(F. N)

4. 楽しかった。楽しかったからすぐ覚えられた。この授業では, まちがえてもはずかしいとは思わなくなった。とつても, そういう学校の勉強が, 勉強以外でもすごく役に立った。楽しかったがつかれた。(S. I)

5. こういう授業のやり方はいいと思う。いろんな予想の結果を実験してみて答を出したりそれに(発言して班の)マルの数が少ないとそうじなのでみんなひっしになって発言するのがいいとおもう。(S. T)

6. 授業は楽しかったが, 計算と単位がむずかしかった。だけど, 技術がこんなにたいへんだとおもわなかった。(J. T)

7. 授業はおもしろく, 実験があったのでわかりやすかった。答があってもなくてもどうとう(意見)が言えるのでたすかるし, 自分が答えると真剣に考えるからよかった。(A. O)

ほとんどの感想文がこのような内容で書かれており, この授業の方法に多くの支持を示して

いることが分かる。

7.3. 授業書の有効性の検証

授業評価の第三点目の方略は、「授業書」を用いれば、だれにでも実施でき同じ位の成果を上げることができたかである。

この基準を検証するため、本校の新卒教諭のA氏に、私の授業書を使い授業を実施してもらった。仮説実験授業研究会では、「授業についての一通りの能力をもち、仮説実験授業の考え方を自らとり入れようとする熱意をもった教師⁽¹³⁾と、「だれにでも」に制限をつけてある。しかし、A氏の場合、新卒であり、仮説実験授業については私の説明以外何も知らないという状況であったが、実施をお願いした。もちろん、実験教具などは私の製作したものをを用い、私の授業を参観してから授業に望んだ。

表8 私と追実践者の授業後の感想（テーマ3終了時）

項 目	3年1,2組 44名 10月29日 大谷		3年3,4組 41名 10月30日 A教諭		
	人数	%	人数	%	
1 大変たのしく大変よくわかった	5	11.4	0	0.	} 19.5 } 85.4%
2 たのしく よくわかった	16	36.4	8	19.5	
3 たのしいけどあまりわからなかった	23	52.3	27	65.9	
4 たのしくないけど よくわかった	0	0.	3	7.3	
5 たのしくなくて よくわからない	0	0.	1	2.4	
6 その他			2	4.9	未記入
		約50%わかる 100%楽しい		約20%わかる 85%楽しい	

科学的概念の認識の事後調査では、前述したように76.6%の正解率で私の結果より約4%下回った。授業の討論の様子も、生徒の感想文もほぼ私と同じ傾向を示した。

また、情意面での評価も表8のように、テーマ3終了時点での感想アンケートで85.4%の生徒が「楽しかった」と答えている。（熱力第一法則の授業のみの感想アンケートを追試授業の時に忘れてしまったので、代りにテーマ3終了時のものを資料とした。）

授業の方法に対する生徒の感想文も、私のものとほぼ同じ記述が見られ、この方法に対する生徒の意欲の高い事を示した。

知識の理解で5%、情意面で10%の差が生じたが、新卒とベテランの経験差を考えれば小さいと言えよう。このことは、授業書の質が高ければ、その内容と方法を理解しているどの教師が実施しても同じ位の成果を上げることができていることを証明したと言える。

8. 結論と課題

本論文では、教育内容と方法の統一の論理としての予想実験授業という仮説に基づき、「機械学習における熱力学第一法則の定性的認識」という実験授業を構築し、授業書という具体的な授業プランにより、授業実践を通してその到達可能性を検証をした。この結論は、技術の科学的概念（熱力学の第一法則の定性的認識）が、授業を通して認識され、調査と授業分析によって確かめられたと考えている。また、情意面でも生徒の高い評価が得られる結果となった。さらに、追試授業においても私と同じ位の成果を上げることができ、授業書の一般化が図られた。

これらの事実から、予想実験授業は、生徒に高い技術の科学的概念を認識させ、『楽しく』『感動し』『充実した』授業を実現させることが実証されたといえる。このことは、技術教育における「技術学の認識」の教授方法として、予想実験授業が有効であるという科学的教授学へのアプローチを示したと言えよう。

ここで、仮説実験授業の技術教育への発展的適用である予想実験授業について定義をする。仮説実験授業の三つの命題に準じて行なえば、定義1—予想実験授業は技術の科学的概念の授業＝学習方法である。それは、技術に関する科学的認識を形成するため、生活的概念から科学的概念への“わたり”をどう保証するかがたいせつであり、もっとも有効な方法が予想実験授業であると考えられる。定義2—科学的認識は強力な動機づけに基づき、対象に対して目的意識的に問いかけるといふ意味における『実験』を通してのみ成立する。このことは、“わたり”を保証するために、生徒の常識と相反する衝撃的な事実や、感動を伴う事実を突き付けることで、先入観や常識的な直観をひっくりかえし、科学的な探求への強力な動機づけを与えることである。そして、実験を通して科学的概念の豊かな実体的イメージが形成されたと思われる。定義3—科学的認識とは、たくさんの人たちが協力して作り上げてきた財産だと言う意味で社会的な認識である。このことは、生徒自らが予想を持ち討論に参加することによって、主体的に授業に参加し、自ら考える場を持ち「楽しく」「充実した」授業を受けることをあらわしていると思う。

今後の課題としては、この授業書での多くの方の追実践とその検証・評価の作業を通してより客観化し、よりよく授業書を改善して行くことである。さらに、機械、原動機全体に渡っての実験授業とその検証・評価を行ない、授業プランの構造化を図ることである。また、実験授業の検証・評価の方法についても、検討をして行く必要がある。

本論文の作成にあたり、授業分析の方法において、東京都立教育研究所産業第一研究室の諸先生方からアドバイスを受けた。紙上をお借りして心よりお礼申し上げます。

注

- 1) 鈴木秀一、『教育方法の思想と歴史』, p.3 (1978)。
- 2) 板倉聖宜、『仮説実験授業〈ばねと力〉によるその具体化』, p.242, (仮説社) 1974。
- 3) 同上, p.14。
- 4) 板倉聖宜、『仮説実験授業のABC』, p.19, (仮説社) 1977。
- 5) 板倉聖宜、『科学と方法』, p.231, (季節社) 1969。
- 6) 成城学園小学校、『理科教育の創造』, p.109, (国土社) 1968。
- 7) 同上, p.110。
- 8) 大谷良光, 田中喜美, 川村侔, 「機械・原動機における技術の科学的概念の構造化」, 東京学芸大学紀要 第6部門 第40集 第3章, 1988。
- 9) 庄司和晃、『仮説実験授業と認識の理論』, pp.30~41, (季節社), 1976。
- 10) 本文中の実体的イメージとは、「認識対象の本質的な構造を正確に反映した感性的イメージであり、それはあくまでも感性的でありながら、対象の本質的な認識を媒介する実体的特質をそなえたもの」と規定される。高村康雄, 「物理教授法の研究」, p.44, 北海道大学図書刊行会, 1987。
- 11) この章および視点に関しては、前掲8) 紀要論文「機械・原動機における技術の科学的概念の構造化」に詳しく論じてある。また、大谷良光著『予想実験授業によるたのしくわかる機械・原動機』の教材論, 教具と授業運営法・付授業書 (自主出版1000円), 1987を参照されたい。

- 12) 東京工業大学の坂元昂研究室で開発され, 学習意欲を開発する授業技術という視点で行なう授業内容分析で用いられる。
- 13) 注2 pp.207~209。