

熱力学授業の自己点検

福田 昌 准*

A Self-study of my Thermodynamics Class

Masanori FUKUDA

Teaching method, quality of instruction, student evaluation of teaching, and student outcomes for my thermodynamics class have been self-studied in order to develop more effective pedagogical techniques. The result of analysis will be utilized effectively as the first step for continuous improvement of my teaching in thermodynamics class. And this kind of study is expected to have the positive effect on keeping the level and quality for engineering knowledge and skill of our students and graduates.

1. はじめに

現代は評価の時代である。学校や大学も評価の対象の例外ではなく、いまや大学自身による自己評価の実施を法令によって義務付けられているのみならず、政府や市場など、学外からの外部評価や第三者評価機関の対象にもされつつある⁽¹⁾。

また技術教育を行う高等教育機関を対象として、技術教育プログラムの国際同等性を確保する目的で、日本技術者教育認定機構 (JABEE) による審査・認定も平成 14 年度から本格的に開始されている。プログラム修了生の知識と能力を保証するには、個々の教科の内容や達成度が重要となる。

そこで、本報告では筆者が長年にわたり津山高専で担当している熱力学について、授業方法や内容、成績評価などに関して自己分析・点検を試みた。まだ評価には至っていないが、これを第一歩として授業改善に役立てたい。

2. 授業方針と方法

熱力学は材料力学、流体力学、機械力学とともに機械の 4 力学と呼ばれ、機械工学の基礎をなす重要な力学である。このうち熱力学は他の力学に比べると難解な数学を必要としないにも関わらず、学生にとっては理解しにくい科目とされている。その理由は、他の力学に比べ現象を視角で捉えにくいことや、難解な用語が現れることにあるようである。

熱力学はエネルギーを取り扱う基礎科目であり、熱エネルギーと仕事つまり力学的エネルギーについて、これらと物質の性質との関係、エネルギー相互の変換およびこれらの工業面への適用について学ぶ。機械工学科 4 年の配当科目であり、2 単位の必修科目である。

授業には市販の教科書⁽²⁾を用い、シラバス⁽³⁾に明示した項目に沿って学生の理解度を確認しつつ説明し、演習問題をまじえて退屈しない授業になるよう心掛けている。演習には過去の試験問題を中心としたプリントを用い、できるだけ多くの問題に当たらせて理解が深まるように配慮している。

授業は板書を中心に進め、図や表も含めて整理して板書し、学生がノートを見るだけで熱力学の概略が理解できることを目標にしている。また授業は出席して熱心に聞くのが原則であり、遅刻や授業中の私語、居眠り等には厳しく対応して、緊張感のある授業を心掛けている。これらの方針は、年度初めに学生に十分説明している。

平成 13 年度に 5 年生の熱機関の授業でアンケートを行った。その結果、実際のエンジンを見たことのある学生は 90 % に達するが、少しでも分解した経験のある学生は 22 % に過ぎないことが分かった。学生の関心の高いエンジンでもこの程度だから、熱力学で扱う現象をイメージし理解するのは大変であろう。このためにもできるだけ具体的な図などを用いた説明が重要と考えている。

3. 授業内容と水準

JABEE では教育内容が社会水準に達していることが要求される。水準を示す指標がないため、熱力

* 機械工学科
平成 14 年 8 月 30 日受理

表1 熱力学の授業項目

熱力学の基礎, 熱と仕事, 理想気体の状態変化 熱力学の第2法則とエントロピー, 理想気体の サイクル, 気体の流れ, 蒸気と蒸気サイクル

学授業の内容が国際的水準に達しているかどうかの判断は難しいが, 水準の保証はシラバスと試験問題で示すことになる。

シラバスに記している熱力学の授業内容を表1に示す。手元にある市販の熱力学教科書を見ると教授項目については, この他に「熱力学の一般関係式」や「燃焼」, 「湿り空気」, 「冷凍機のサイクル」, 「伝熱」などが含まれている場合も多い。本校でもそうであるが伝熱については機械系学科では独立した教科としている場合が多い。また燃焼や湿り空気, 冷凍機のサイクルについては, 本校では熱機関(機械5年)とエネルギーシステム工学(専攻科, 機械・制御システム工学専攻1年)での教授内容としている。熱力学の一般関係式については, 設計等に使用する頻度は低いと判断するとともに数学的知識も必要であり, 本校での教育内容には含めていない。

授業内容については, 熱力学で扱う標準的な項目はほぼ満たしているが, 授業のレベルについては判断が難しい。一つの基準として, 自分が受けた学生時代の講義が考えられる。当時の講義録に加えて演習問題や試験問題を参考にし, 熱力学授業の基準, 目標としている。

水準の証明として JABEE 認定との関係で, 技術士第一次試験の問題⁽⁴⁾を調べてみた。なお JABEE の認定を得た教育プログラムの修了生は, 技術士の第一次試験が免除される予定である。第一次試験の専門科目は5つの選択肢からの択一問題が10問と記述式の問題(10問から3問を選択して解答)から構成される。機械部門では「原動機」, 「流体機械」, 「暖冷房及び冷凍機械」などの10の範囲から出題され, 熱力学に関する問題は伝熱学や熱機関での授業範囲を含めても, 択一問題, 記述式問題ともにそれぞれ1問程度である。問題は決して難解ではなく, 本校の授業で十分に解答できる内容である。ただ, 本校で熱力学に合格した学生全員が正解できるかどうかは疑問である。熱力学に関する問題に限ると解けるだけの授業は行っているつもりである。

また, 授業のレベルを示すもう一つの指標は, 卒業生の声であろう。卒業後に職場で熱力学を直接に利用している卒業生は少ないため感想を聞く機会は多くないが, 技術科学大学やその他の大学に進学または編入学した複数の学生から, 以下のような意見を聞いている。「大学に進学しても熱力学の高専時代のノートが非常に役に立った」, 「高専とのレベル差に戸惑った教科もあるが, 熱力学はほぼ大丈夫だ

った」。

以上のように, 現在の熱力学の授業水準は決して最高レベルではないけれども平均的な水準は超えていると判断している。今後, よりレベルアップのための努力は必要であるし, 他大学の試験問題を本校学生にトライさせるのも, 達成度を比較する一つの方法であろう。

最近, 日本機械学会から, 大学学部学生のための機械工学への入門から必須科目の修得までに焦点を当て, 機械工学の標準的内容をもち, かつ技術者認定制度に対応する教科書の発行が企画されている⁽⁵⁾。国際水準を示す指標として大いに参考になるであろう。

4. 授業評価

4.1 授業アンケート

平成12年度に行った熱力学の授業アンケート結果をアンケートを実施した全講義の平均とともに図1に示す。授業内容・方法等に関する質問は, 概略を表2に示すように12個あり, 学生は「ふつう」, 「どちらとも言えない」を3として5段階で評価する方式である。全ての質問で5が最も評価が高くなるように, 質問を工夫してある。付録に授業アンケートの質問全文を示しておく。

担当の熱力学は, 全ての質問項目で全体の平均を上回り, 平均評点3.82は全教科の中でも高い方であった。全体の平均より評点が1以上高いのは, 質問番号5「教官の黒板の使い方や書き方はわかりやすいものでしたか」と9「教官は授業中, 私語や居眠りを放置せず注意していましたか」の2項目である。図2に示す質問番号別の評点分布を見ると, 先ほどの質問番号5と9は評点5の割合が他の質問に比べて高く, 特に9については93%が5の評点である。授業で心掛けていることが学生によく伝わっているが, 9については少し厳しすぎたのではとも思っている。

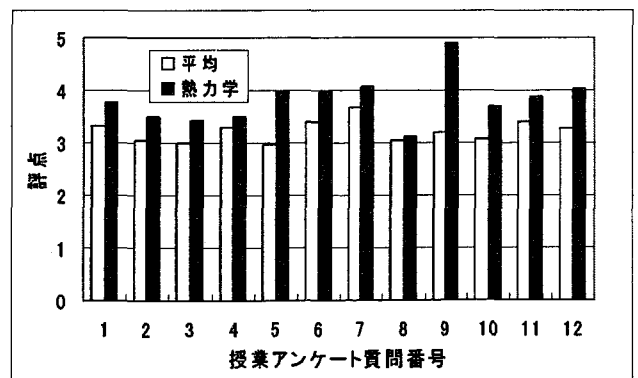


図1 熱力学の授業アンケート結果

表2 授業アンケート項目

質問番号	質問内容
1	話し方は聞き取りやすいか
2	授業は分かりやすいか
3	学生の理解度を確認したか
4	授業の進度
5	黒板の使い方、書き方
6	授業のまとめ
7	教官は授業に意欲的だったか
8	質問できたか
9	私語や居眠りへの対応
10	教科に興味を持ったか
11	授業内容は将来役立つか
12	総合評価

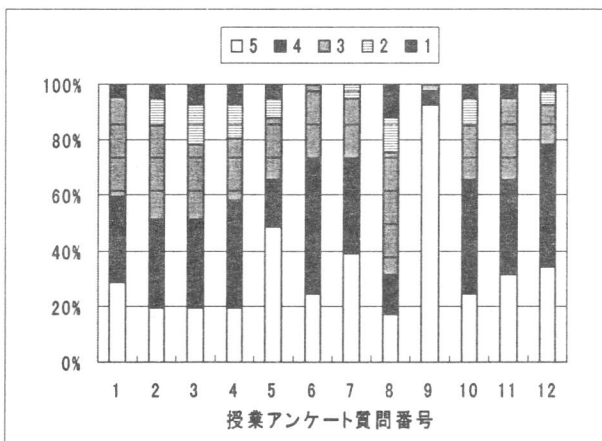


図2 授業アンケートの評点分布

この他に平均評点が4より高いのは、質問7「教官は授業に対して意欲的だったと思いますか」と12「総合的に見て、あなたはこの授業を高く評価できますか」の2項目である。質問7については、全教官の平均値が3.68と12の質問項目中で最も高く、本校の教官は授業に意欲的であると学生は判断している。

ところで、図2の質問ごとの評点分布において、平均すると5の評価が全体の33%を占め、89%が3以上の評価となっている。どの質問項目においても1, 2の評価はごくわずかである。

逆に全体の平均とほとんど差がないのが質問8「この授業(放課後も含む)では疑問点があれば質問できましたか」である。図2を見ても質問8では、評点4と5の割合が他に比べて低く、質問しにくい授業のようである。

クラスの雰囲気にもよるが、最近の学生は何事も自分で調べる意欲が少なく、何でもすぐ質問をする傾向があり、内容はともかく以前の学生と比べると質問数が多いと感じている。例えば、式の流れを追っていけば κ と K の区別は分かるはずであるが、

区別がつかず質問する学生が多い。この種の質問にも、不本意ながら丁寧に答えるようにしているが、実に情けない。あまり丁寧に答えるのも問題であると最近では感じており、同じ内容の陳腐な質問には、「先ほど答えた」とそっけなく扱うことにしている。この方が学生の注意力を喚起できるのではないかと思う。そして少しは自分で考え調べる習慣を身に付けるように指導している。他の学生の理解を助ける質問を期待したいものである。

上述のような内容の質問が多いものの授業中の質問数は比較的多く、授業アンケートの結果はやや意外であった。質問しているのはごく一部の学生であり、質問しにくいと感じている学生の方が多いことを結果が示している。学生の反応や質問が全くないのも授業を進めにくいので、質問しやすい授業進行や時間配分を心掛ける必要がある。また授業中の質問が苦手な学生への配慮が大切である。このため研究室での質問は時間の許す範囲で対応しているが、試験前を除くと訪れる学生は少ない。

ところで、アンケート回答用のマークカードの裏面に授業の感想等を記述してもらっている。15名の学生が意見や要望等を記しており、最も多いのは「黒板書きすぎ、ノート取りで疲れて説明が聞けない(3.42)」、「授業中、理解する間もなくノートを取っていたので、ゆっくりと進めてもらいたかった(3.25)」、「授業の進みが早かったと思う。書く量が多い(3.92)」等に代表される板書の量の多さと授業進度の問題である。()の数値はコメントを記入した学生の12の質問に対する平均評点である。

板書については、前述のように年度始めにノートを見るだけで熱力学の概略が理解できるようにとの理由で、たくさん書くことは学生に説明し、ノートを取るときには取捨選択するように話している。しかし最近の学生は、ノートを取れば勉強したように錯覚している向きがあり、式変形や説明の流れを理解せずに1字1字写し取っているようである。学生にとって、板書をノートすることと理解することは全く別のことであり、理解しながら板書している学生は非常に少ない。この原因が、板書量の多さに起因するのであれば、再考する必要がある。ノートを取るスピードの個人差は大きく、最近ではできるだけ遅い学生に配慮しながら、ノートを取る時間をみて説明しているが限界はある。

授業進度については、基礎的な分野には時間をかけるとともに問題演習に十分な時間をとり、応用分野は比較的スピードをあげて進めているので、このような感想が出るのであろう。進度については授業アンケートの質問3「学生の理解を確認しながら授業が進められていましたか」、質問4「この授業の進度は適切でしたか」との間があり、それぞれ3.42、

3.51であり、熱力学の中ではやや低い評価となっている。心にとめて授業に臨む必要がある。

同じ授業アンケートに学生自身についての質問項目がある。熱力学の授業は比較的熱心に聞いてくれている(3.78)が、授業内容の理解度はふつうである(3.02)。この原因の一つは授業時間以外での熱力学の勉強時間の少なさである。「ほとんどしない」が41名中34名を占めており、少しは勉強をやってくれないと、授業だけで理解するのは難しいであろう。授業の進度が速いと感じたら、自分で勉強することも必要である。何事も他力本願でなく、学生自身の努力を喚起したい。このための雰囲気作りは必要である。

以下のような意見もあった。「授業が分かりやすかった(4.67)」、「授業内容がよく分かった。でもノートを書いているときに説明するので聞き取りにくい所もあった(4.0)」、「黒板がきれいで見やすかった。先生の説明もわかりやすくていい。問題プリントもとても役に立った。でも難しいですね(5.0)」。また次のような建設的な意見もあった。「なかなか難しい教科だと思うから、毎授業で小テストをした方がよいと思った(4.42)」。学生の勉学意欲を増進させる方策を考える上での参考にしたい。

これらを踏まえて現在では、板書量は減らさないものの、学生がノートを取る時間を考慮して説明することに加え、学生に質問するなど双方向で授業を進めるように心掛けている。

4.2 授業の出席率と得意科目

教員の個人評価制度の教育分野で、授業のコマ数、登録学生数、出席率などに授業アンケート結果を加味して評価する案を示している大学がある⁽⁶⁾。質の高い分かりやすい授業を行えば、学生の出席率が高くなるということであろう。授業科目の分野や授業の行われる時間帯にも左右されそうであるが、これを参考に平成9年度から13年度の熱力学授業における学生の欠席率(平成11年度は担当していない)を計算した。その結果を図3に示す。

欠席率は、クラス全体の総欠課時間数から年間30

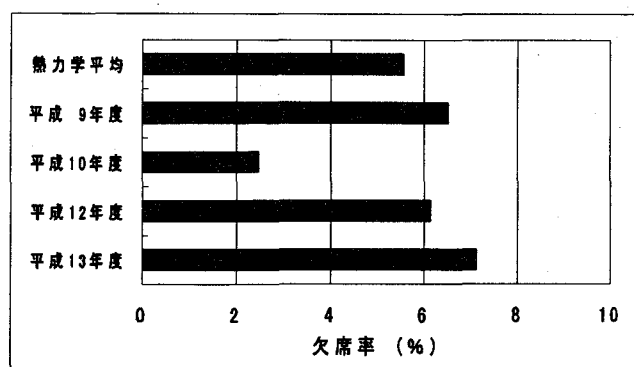


図3 熱力学授業の欠席率

時間として1単位時間あたりで算出した。平成10年度を除いて6%を超え大きな差はないが、人数にすると毎時間2~3人は欠課していることになる。平成13年度における4年生の専門教科である材料力学Ⅱ、流体工学、制御工学Ⅰの欠席率は5.4~9.0%で、熱力学の欠席率は平均的な数字である。平成10年度の欠席率はどの教科においても他年度に比べて著しく低く、その学年の特色である。ただ、欠課が少ないから成績が良いとは限らない。

5年生の進路指導に利用する進路指導資料に得意科目、不得意科目を記入する欄がある。平成14年度の機械の5年生について見ると、熱力学を得意科目に挙げている学生が63%に対して、不得意とする学生は20%であった。熱力学が不得意科目にならないだけの授業ができているといえよう。

5. 成績評価

5.1 試験と評価

成績評価の方法としてシラバスには、「4回の定期試験成績に問題演習、レポートおよび授業への参加姿勢等を考慮して総合的に評価する」と記している。残念ながら現状では、定量的な表現になっていないが、試験成績が約8割程度を占めている。なお試験は筆記用具と電卓のみを持込可能として行っている。試験問題は、問題の難易度によって3段階のレベルを想定し、平均60点を目標に作成している。

試験問題で数値を与えた問題と記号の問題で正解率を比較すると、後者の正解率が非常に低い。授業中の演習問題や教科書の例題には、数値を与えた問題が多く、学生は内容の理解よりも解法をパターン化して覚えているのかもしれない。このため記号になると正解率が落ちるのではないか。また、式変形の前に数字を代入し少しずつ計算しながら答を出している学生が目につく。計算ミスが多くなると思うが、式変形が苦手なための苦肉の策かもしれない。大学に編入学した学生から、大学の試験は記号の式変形が多いので苦労しているとの感想を聞いたこともある。本校学生は基礎的な計算力を養う必要があるようだ。

図4に過去5年間の熱力学の学年成績(平成11年度は担当していない)を示す。50点以上が合格であり、成績を優、良、可および不可に分けて図に示してある。年度により人数にやや差はあるが、4年間を平均すると優、良、可がそれぞれ13名ずつで等しくなる。平均点は優の人数が多く、可の人数が少ない平成9年度が最も高い。4年生の他の専門教科と比較すると、年度によって教科による差はあるが、熱力学の評価に顕著な特色は認められない。

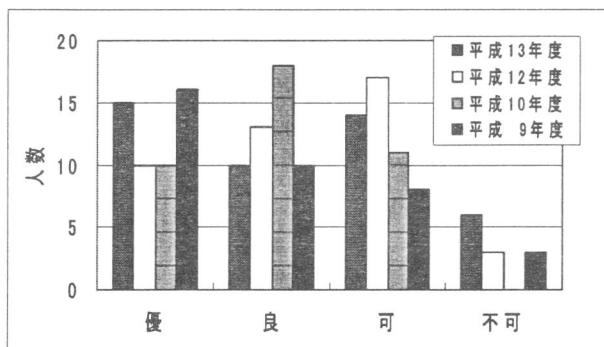


図4 熱力学の成績

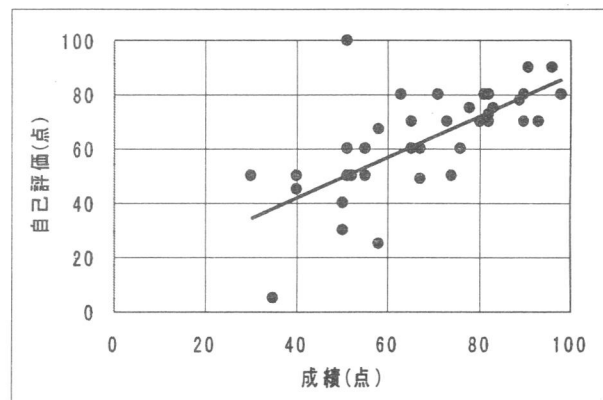


図5 学年成績と自己評価の相関

5.2 学生による自己評価

平成13年度末に以下のように学生に自己評価を依頼した。「熱力学に関する君の1年間の試験成績、問題演習や授業への参加姿勢・態度を総合的に自己評価すると成績は100点満点でいくらの点数になりますか。また、その理由を簡潔に説明してください。この評点は成績には影響しない」。

この自己評価点を学年成績に対して表示した結果を図5に、優、良、可および不可の人数分布を図6に示す。学生の自己評価は、学年成績と比較的よく対応しており、学生に不信感を抱かせる成績評価ではないといえよう。また学生は謙虚であり、自己評価の方が学年成績より低い学生が80%を超えている。平均点も自己評価は62.2点で成績評価65.8点に比べてやや低い。

評価理由を見ると、「他の教科に比べて興味ももて、授業中のノートは1年間とおしてほぼ全部書いたので、テストも平均すると60点ぐらいかなと思う」、「授業は一度も寝ないで、真面目に取り組めたと思うが、テストで実力を発揮できなかったから(70点)」、「授業は比較的良好に聞いていた方だと思う。眠いときもあったが、頑張っけて起きていたと思う。勉強していたと思うが、テストではあまりよい点は取れていなかったから、これくらいかなと思って、この点にした(78点)」。()は自己評価点である。以上のように、授業は真面目に聞きノートもきちんと取ったが、試験のできが今少しだったのが評価を下げた主な理由である。

以下のような反省をして、成績評価に比べて相当低い自己評価を行っている学生もいる。「自分が理解できたかどうかで考えると80点以上をつけたいのですが、テストの点を考慮してこの点にしました。授業中に理解できたのでよかったけれど、ノートを取るばかりでなく、先生の話をよく聞けばさらに理解できた気がします(75点)」、「授業の受け方はよかったと思う。ノートや演習もしっかりやった。でも復習ができなかったから、授業中に理解していても、テストになると忘れていたりした。これからは

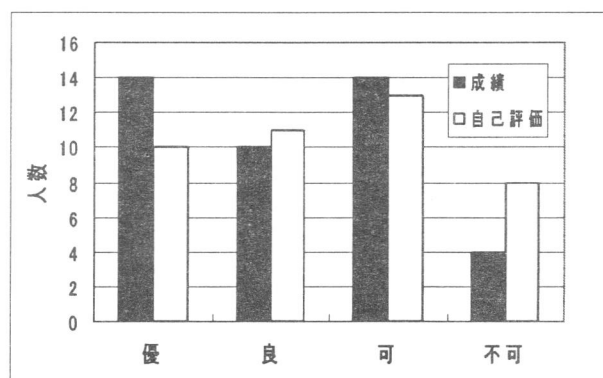


図6 自己評価の成績分布

復習をしっかりやっていきたい(70点)」。

低い点数をつけている学生は、「授業などは真面目にやった方だと思うが、テストではなかなか勉強の成果が出せなく、よい点がぜんぜん取れてないので(50点)」、「あまり意欲的にやっていなかったと思うから(40点)」、「欠課が少しと遅刻があったこと、テストの点が悪かったことが減点理由です。毎日勉強はしているのですが、応用に弱いから点に結びつきません(40点)」などと分析している。

以上のように学生は自分の学習態度や成績を冷静に判断しており、学習意欲を増進させる方法やきっかけが見つかれば、成績が向上する可能性は十分あるように感じる。このための教員の責任は重い。

6. おわりに

以上、熱力学授業について様々の観点から自己点検を試みた。全く初めての経験であり、十分な分析ができていない点も多い。

ゆとり教育⁽⁷⁾や学力低下⁽⁸⁾と関連させて、学力論争⁽⁹⁾が起こっている。高専は高等学校年齢の学生を抱えながら学習指導要領の影響を受けず独自のカリキュラムで教育を行っている。高専の歴史の中で過去2回、過密スケジュール解消のための単位削

減はあったが⁽¹⁰⁾、この間の高等学校の減少に比べると少なく、卒業要件167単位以上で今日に至っている。最近、大学編入者が増えたり、不況下でも多くの求人を得ているのは、相対的に見ると高専卒業生の学力低下が比較的少ない証ではないか。

津山高専では、平成12年度から自発的学習科目の導入や資格の単位化により、実質学習時間数の削減を行った⁽¹¹⁾。3年目を迎え実質的学習時間の減少に伴う学力低下を懸念する声が聞こえる。このカリキュラム改革に携わった一人として、これが杞憂に終わることを切に願っている。

今後とも津山高専卒業生の知識や能力が大きく低下しないことを願うとともに、このためには熱力学などの担当教科を通しての教員の責任は大きい。この自己点検を授業内容見直しのスタートとし、より内容の充実した質の高い授業を目指す所存である。

参考文献

- (1) 喜多村和之, 大学は生まれ変わるか, 中公新書1631, (2002).
- (2) 斎藤孟, 工業熱力学の基礎(エンジニアリングラ

イブラリ 基礎機械工学-5), サイエンス社, (2001).

- (3) シラバス-学習の手引き-, 機械工学科, 津山工業高等専門学校, (2002).
- (4) 技術士第一次試験問題集(平成10~13年度合本), 通商産業研究社, (2002).
- (5) 円山重直ほか, 熱力学, 日本機械学会, (2002).
- (6) 朝日新聞朝刊, (2002.1.23).
- (7) 小松夏樹, ドキュメントゆとり教育崩壊, 中公新書ラクレ37, (2002).
- (8) 戸瀬信之・西村和雄, 大学生の学力を診断する, 岩波新書756, (2001).
- (9) 「中央公論」編集部・中井浩一, 論争・学力崩壊, 中公新書ラクレ2, (2001).
- (10) 斎藤齊, モデルは高専にあり-基礎科目必修の強さ, 教育が危ない2 ゆとりを奪った「ゆとり教育」(西村和雄編), 日本経済新聞社, (2001), 84.
- (11) 最上勲・西山宗弘, 津山工業高専新教育プログラム-自発的学習をめざして-, 論文集「高専教育」, 第25号(2002.3), 145.

付 録 : 授業アンケート(講義用)質問

1. 教官の話し方は聞き取りやすかったですか.
2. 授業はよく工夫され, わかりやすかったですか.
3. 学生の理解を確認しながら授業が進められていましたか.
4. この授業の進度は適切でしたか.
5. 教官の黒板の使い方や書き方はわかりやすいものでしたか.
6. この授業は各時間ごとに内容がまとまっていたか.
7. 教官は授業に対して意欲的だったと思いますか.
8. この授業(放課後も含む)では疑問点があれば質問できましたか.
9. 教官は授業中, 私語や居眠りを放置せず注意していましたか.
10. この授業によって, あなたはこの教科に興味を持ちましたか.
11. この授業の内容は将来あなたに役立つと思いますか.
12. 総合的に見て, あなたはこの授業を高く評価できますか.