アクティブラーニング手法としてのゼミ形式の理系 専門科目への導入事例

古屋, 謙治
九州大学基幹教育院

<https://doi.org/10.15017/2557065>

出版情報：基幹教育紀要. 6, pp.73-82, 2020-02-28. 九州大学基幹教育院
バージョン：
権利関係：

アクティブラーニング手法としてのゼミ形式の理系専門科目への導入事例

古屋 謙治^{1,2*}

¹九州大学基幹教育院, 〒819-0395 福岡市西区元岡 744

²九州大学大学院総合理工学府物質理工学専攻, 〒816-8580 福岡県春日市春日公園 6-1

An introduction example of small group teaching sessions as an active-learning method in science-specialized subjects

Kenji FURUYA^{1,2*}

¹Faculty of Arts and Science, Kyushu University, 744 Motooka, Nishi-ku, Fukuoka 819-0395, Japan

²Department of Molecular Sciences, Interdisciplinary Graduate School of Engineering Sciences, Kyushu University, 6-1 Kasuga-koen, Kasuga, Fukuoka 816-8580, Japan

*E-mail: furuya@artsci.kyushu-u.ac.jp

Received Oct. 16, 2019; Revised Nov. 28, 2019; Accepted Nov. 28, 2019

We have introduced a small group teaching style for the past three years in a science-specialized subject, Fundamental Thermodynamics, which is held in the Spring quarter in the Graduate School of Engineering Sciences, Kyushu University. A text book suitable for self-directed study is used, and the overall content treated in the class is the same as that in the lecture-style class previously carried out. It is helpful for students' understanding that the teacher comments on all of the questions unresolved in the group work. Many students feel that the level of understanding the content is same or higher in comparison with that in the lecture style.

1. はじめに

基幹教育院では基幹教育セミナーや課題協学科目の実施を通して、アクティブラーニング手法を授業に取り入れる具体的な手法をこれら科目の担当教員に提示してきた。アクティブラーニング手法は学生の理解度を高めるために効果的な手法であるため、専門科目においてアクティブラーニング手法を活用する方法を提示することは、担当教員の授業改善に役立つであろう。ピア・インストラクション^{1,2}や反転授業³は魅力的な手法であり、一部の意欲的な教員はそれらの実践に取り組んでいる⁴。しかし、学部や学府を担当する多くの教員にとってそれらを専門科目の授業に導入するにはかなり敷居が高い。

ここで紹介するのは理系専門科目の授業にゼミ形式を一部導入した事例である。ゼミ形式は多くの教員にとって手慣れた手法であり、既存の授業への導入においても敷居が低いと思われる。学生への授業アンケートをこの3年間行ってきたので、その結果も併せて示す。なお、「ゼミ形式の導入」とは、授業時間を使って学生に丸投げして自主的な勉強会をさせることではないことを明記し

ておく。

授業にアクティブラーニング手法を取り入れるとは、つまるところ、授業時間内において学生にアクションを起こさせ、それに対するフィードバックを与える作業を繰り返すことである。フィードバックが学生の予想から外れるほど刺激が大きく、学生は予想外のフィードバックに対応すべくさらにアクションを起こすことで学びを深めていく。ゼミ形式では学生自ら説明し、様々な質問を受け、意見交換しながら納得できる解答を探し、それでも理解できないなら教員の意見を聴く、というサイクルを繰り返す。

2. 授業概要

大学院生向けの科目「基礎熱力学」にゼミ形式を取り入れた。本科目は総合理工学府物質理工学専攻修士1年生を主な対象とした補完科目（リメディアル系科目）であり、毎年春学期にクォーター科目（週1回1コマ90分で計8回、1単位）として開講している。物質理工学専攻では約30%の学生が九州大学工学部エネルギー科学科の卒業生であり、その他は近隣の大学や高専専攻科の卒業生である。ほとんどの学生は学部時代に熱力学を学んではいるが、その内容は出身大学や高専によって大きく異なるため、補完科目で一定水準まで引き上げて基盤科目や専門科目へ繋げることを目的としている。ゼミ形式を授業に取り入れるには自学自習可能な書籍を教科書として選定する必要がある。本科目では教科書として「アトキンス 物理化学（上）」⁵を指定しており、同じ教科書を使って学部時代に熱力学を学んでいるエネルギー科学科卒業生については本科目の履修登録を認めていない。

本科目の受講者数は例年30名程度であり、エネルギー科学科出身者を除くほとんどの物質理工学専攻1年生が受講している。他専攻の学生は高々1, 2名である。九州大学では授業開始週を含め3週目前半までに履修登録を完了することが定められており、特に1週目では履修を継続するかどうか決めていない学生も受講している。受講者が確定しない状況でゼミ形式を導入し4, 5名のグループ内で担当を決めて教えあうことは問題を発生しやすく、また、学生が教科書を入手するまでにはある程度の時間を要する。そこで、前半の4週を講義+演習形式、後半の4週をゼミ形式+演習、解説に充てている。表1に各回の授業概要を示す。なお、ゼミ形式を取り入れる以前は全8週を講義+演習形式で行っていたが、ゼミ形式を取り入れることによって授業で取り扱う範囲を狭めたり、省略する項目を増やしたりはしていない。

表1. 各週で取り扱う内容と教科書との対応付け

	取り扱う項目	教科書該当箇所
第1週	《キーワード》状態方程式、熱力学第零法則、熱力学第一法則、孤立系、閉鎖系、開放系、平衡状態、状態量、示量性、示強性、熱、仕事、内部エネルギー、自由膨張、可逆過程、準静的過程、完全気体（理想気体）、偏微分、全微分、完全微分、化学と熱力学の歴史 ^{6,7}	A3(b), 2A1-2A4

第2週	《キーワード》定容熱容量、エンタルピー、定圧熱容量、断熱変化、標準状態、標準エンタルピー変化、熱化学方程式、標準反応エンタルピー、標準燃焼エンタルピー、基準状態、標準生成エンタルピー、ヘスの法則、内圧、膨張率、等温圧縮率	2B1-2C3 2E1, 2E2
第3週	《キーワード》熱力学第二法則、エントロピー、自発変化、永久機関、クラウジウスの不等式、正規分布、ボルツマン分布、微視的状態の数、等確率の原理、熱力学第三法則	3A1-3A4 3B1, 3B2
第4週	《キーワード》ヘルムホルツエネルギー、ギブズエネルギー、最大仕事、自発変化、平衡の判定基準、標準生成ギブズエネルギー、標準反応ギブズエネルギー、マクスウェルの関係式 【グループ分けとアイスブレイク】	3C1-3C2 3D1 3D2(a)-(c)
第5週	【アイスブレイク】 ・相の安定性 ・相境界 ・諸条件の下での相の安定性 ・相境界の位置	4A1 4A2 4B1 4B2
第6週	【アイスブレイク、前週で残った質問に対する回答】 ・部分モル量 ・混合の熱力学 ・液体の化学ポテンシャル ・液体混合物	5A1 5A2 5A3 5B1
第7週	【アイスブレイク、前週で残った質問に対する回答】 ・蒸気圧図、温度-組成図 ・液-液相図、固-液相図 ・三角形相図、3成分系 ・溶媒の活量、溶質の活量	5C1, 5C2 5C3, 5C4 5D1, 5D2 5E1, 5E2
第8週	【アイスブレイク、前週で残った質問に対する回答】 ・ギブズエネルギーの極小 ・化学平衡の熱力学1 ・化学平衡の熱力学2 ・化学平衡の圧力、温度変化への応答	6A1 6A2(a), (b) 6A2(c), (d) 6B1, 6B2

前半4週では教科書の内容を中心に参考図書⁶⁻¹¹の内容を織り交ぜて講義資料を準備している。そのため、表1には各週で取り扱ったキーワードを挙げた。また、教科書該当箇所として記した範囲のうち一部は省略している。講義中には教科書の演習問題を適宜実施して解答用紙を最後に回収し、また、宿題として自習問題を課して次週の最初にレポートとして提出させている。演習問題の解答用紙には質問記入欄を設けているが、質問を記入する学生は毎回2,3名しかいない。2週目よ

り講義の最初には質問への回答と宿題の解説を行っている。

後半4週では各週とも取り扱う内容を4つに分けて分担を決めているため、教科書の節のタイトルをそのまま記載している。後半4週における授業の流れを表2に示す。

表2. 第5～8週における授業の流れ

実施項目	所要時間(分)
前週で残った質問に対する回答説明	10
アイスブレイク	10
質問記入用紙への記入方法と授業の進め方の説明	5
グループワーク1：担当箇所の説明と質疑応答	10×4 = 40
個人作業：復習と質問の整理	7
グループワーク2：残った質問に関する意見交換	15
個人作業：自習問題実施、相互評価記入	
次のアナウンスと、質問記入用紙、自習問題・相互評価用紙、各学生が作成した説明用資料を回収	3

同一研究室の学生が同じグループとならないよう教員側でグループ分けを行い、4週に渡って同じメンバーとしている。毎週異なるアイスブレイク¹²を用意し、学生同士が打ち解けて話せる雰囲気作りを行った。なお、5名グループの場合には1名に予備要員役を担当させ、急な欠席者が出た場合には欠席者に代わって教科書を使って説明すること、任意の1つの課題を選んで説明用資料を作成し提出することを課している。

質問記入用紙には、

- ・発表者：説明内容に対して受けた質問のすべてと質問者名を記入
- ・聴衆：発表者に質問しても解決しなかった質問や、説明を受けても理解できなかった事柄を記入

するよう予め指示しており、グループワーク1実施の際に記入させ、さらに、引き続き行う個人作業やグループワーク2でも使用している。そして、意見交換で質問が解決した場合にはその質問項目に打ち消し線を引かせ、授業の最後に回収している。こうすると多くの学生の質問記入用紙には解決しなかった質問項目がいくつも残っていることを把握できる。未解決だった質問事項のすべてに対して回答を用意して配布資料としてまとめ、次の授業開始時に簡単に解説している。ゼミ形式を最初に導入した年ではこのような資料を作成するのにかなりの時間を要したが、2年目以降では類似した質問が増えていき、資料作成の手間は軽減した¹³。

前半4週では宿題をレポートとして、後半4週では質問記入用紙、自習問題・相互評価用紙、説明用資料を毎週提出させており、個々の成績評価のために十分な材料が揃っている。相互評価ではグループメンバー全員（自分自身も含む）に対して、発表者としての説明とグループ活動全般のそれぞれに対する4段階評価と、その理由を記入させた。

3. 授業アンケート結果と考察

毎年授業の最終週に独自のアンケートを実施した。質問項目を表3に示す。なお、すべての質問について、回答の選択肢に加えてその理由を記入する自由記述欄を設けている。表4-1～4-6に2017～2019年度別の単純集計結果を示す。

表3. 授業アンケートにおける質問項目

質問項目
Q1. この講義では前半4回を講義+演習形式、後半4回をゼミ形式で行いました。どのような授業形式が望ましいですか。
Q2. 講義+演習形式とゼミ形式ではどちらの方がより理解が深まったと思いますか。
Q3. 前半4回の講義+演習形式で扱った内容全般の理解度はどうですか。
Q4. 後半4回のゼミ形式で扱った内容全般の理解度はどうですか。
Q5. ゼミ形式のときに毎週担当した分量（レポート作成量）は総じてどうでしたか。 〔ゼミ形式でレポート作成1回あたりに費やした平均時間〕 ____時間
Q6. 修士1年前期に開講されているほとんどの科目がゼミ形式になるとすればどう思いますか。

表4-1. 質問Q1に対する回答の単純集計結果（%表示）

選択肢	2017	2018	2019
1. 全て講義+演習形式	45	31	32
2. すべてゼミ形式	7	0	7
3. この講義と同様に半分ずつ混ぜた形式	45	60	61
4. 毎回、講義+演習とゼミ形式を織り交ぜた形式	3	9	0
5. その他	0	0	0

質問Q1に対する回答では、選択肢3と1で大半を占めている。他の質問項目に対する回答や自由記述欄への記入内容と合わせて考察すると、ゼミ形式は講義+演習形式に比べて準備が大変だが、自分で勉強すると身に付く、ゼミ形式を通して発表に慣れ学生同士の交友関係が深まる、という学生の思いを反映しているのだろう。

表4-2. 質問Q2に対する回答の単純集計結果（%表示）

選択肢	2017	2018	2019
1. 講義+演習形式	37	31	46
2. ゼミ形式	57	51	36
3. どちらも変わらない	7	17	18

質問 Q2 に対する回答では、2017 年と 2018 年には選択肢 2 のゼミ形式を選んだ学生が多かったのに対し、2019 年では講義＋演習形式を選んだ学生の方が多かった。ただし、講義＋演習形式で取り扱った内容は多くの学生が学部時代に学んだ内容の復習であるのに対し、ゼミ形式で取り扱った内容については初めて学ぶ学生も多い。また、筆者の講義においては、「先生の説明が丁寧で理解し易かった」「先生のスライドが良くまとまっていた」等の自由記述が多く、評判は悪くないと判断できる。このような状況にもかかわらず表 4-2 の結果が得られているということは、形式のみを比較するのならゼミ形式は講義＋演習形式に比べて同等あるいはそれ以上の理解度が得られていると考えてよいだろう。

なお、自由記述欄には、「人によって説明の解りやすさが違う」、「自分で担当した部分だけはよく理解できた」、などの記述が散見され、理解度にばらつきがみられる。総体的には互いに教え合うことで理解が深まることを体感した学生が多かったようである。また、「自分のやっていることに自身がもてない」、「理解している先生に教えてほしい」という記述も見られた。自分自身で納得できるまで深く考えるよう指導することが必要であると感じた。

表 4-3. 質問 Q3 に対する回答の単純集計結果 (%表示)

選択肢	2017	2018	2019
1. 全体的によく理解できた	17	11	18
2. まあまあ理解できた	83	89	79
3. あまり理解できなかった	0	0	4
4. ほとんど理解できなかった	0	0	0

表 4-4. 質問 Q4 に対する回答の単純集計結果 (%表示)

選択肢	2017	2018	2019
1. 全体的によく理解できた	10	17	11
2. まあまあ理解できた	87	74	64
3. あまり理解できなかった	3	9	25
4. ほとんど理解できなかった	0	0	0

質問 Q3、Q4 では講義＋演習形式とゼミ形式の理解度を尋ねたが、いずれの場合も概ね理解できた学生が多かった。なお、ゼミ形式では講義＋演習形式に比べて選択肢 3 を選んだ学生がわずかながら増加している。この結果は Q2 の結果とも対応しており、2019 年度は特にその傾向が強かったようである。また、ゼミ形式での理解度を高めた要因の一つとして、毎回残った質問事項すべてに対して教員が解説したことが自由記述欄から読み取れた。質問 Q2 と Q4 に関しては、自身で担当した箇所の理解度と他のグループメンバーが説明した箇所の理解度を分けて尋ねる必要があるだろう。

表 4-5. 質問 Q5 に対する回答の単純集計結果 (%表示)

選択肢	2017	2018	2019
1. 適切だった	23	25	32
2. 毎週大変だった	77	72	68
3. 毎週簡単だった	0	3	0

質問 Q5 については予想通り「毎週大変だった」を選択した学生が多かった。この結果とレポート準備時間に対する回答を対応させたところ、大まかには2時間が選択肢1と選択肢2の境界上にあることがわかった。

表 4-6. 質問 Q6 に対する回答の単純集計結果 (%表示)

選択肢	2017	2018	2019
1. 勘弁してほしい	50	79	43
2. しょうがない	37	9	21
3. まあよい	7	12	32
4. 是非そうして欲しい	7	0	4

質問 Q6 については選択肢1の回答が大半を占めるだろうと予想していたが、2018年度を除き、ほとんどの授業がゼミ形式となることを容認し得ると考えている学生が半数にのぼっていたのは意外だった。特に2019年度においてはゼミ形式を積極的に受け入れる選択肢3,4を選んだ学生が36%に及んでいる。その一方で、Q4の回答(表4-4)に示された通り、この年度の学生は他の年度に比べてゼミ形式での理解度が明らかに低かった。Q2の自由記述欄において、交友関係を深められて良かったとの記述が他の年度に比べて多かったことを鑑みると、ゼミ形式を通して交友関係を深めた半面、授業で取り扱った内容に関する議論に費やした時間は短かったということだろうか。

4. まとめと将来展望

大学院生向けリメディアル系講義「基礎熱力学」の一部にゼミ形式を導入した。そうすることによって教科書の進度が遅れることはなく、また、講義+演習形式と同程度もしくはそれ以上の理解度が達成されていることがアンケート結果より示唆された。グループ学習で終わるだけでなく、そこで解決しなかった質問を集め教員が回答を示すことは、学生の理解度を高めるために有効であった。学生自身で納得できる理解にたどり着くまでグループ内で調べたりじっくり考えたりする作業まで授業に取り入れることができたらさらに教育的であろうと考えているが、その具体的な方法については未だ模索中である。

専門科目の講義を行う目的は大別して、俯瞰的に学問の構成を示す（ロープウェイに乗せて見晴らしの良いところまで連れて行きその学問領域を眺望させる）、問題を解決するためのスキルを身に付けさせる（自分の足で一步一步山を登りながら見晴らしの良いところへ向かうルートを探りそこまでたどり着くための具体的な手法を教授して能力を身に付けさせる）、の二つに分けられるであろうが、それら講義が機能するには学生たちがアクティブラーナーでなければならない。学生たちに学ぼうとする意識が無ければ何も身に付かない。講義にアクティブラーニング手法を取り入れたからといって必ずしも学生がアクティブラーナーに育つとは限らないが、そうなるきっかけを増やしてはいる。

物質理工学専攻においてはゼミ形式を取り入れた授業が同時期に他に開講されていないため、筆者自身で実施方法を自由に選択することができた。同形態の授業が同時期に複数開講される状況では、特にそれらが同一専攻内であるなら、学生の総授業外学習時間を考慮して実施内容を授業間で調整したりアイスブレイクのやり方を変更したりする必要が出てくる。さらには、科目数自身を減らすことも検討すべきである。

本稿で示した「基礎熱力学」へのゼミ形式導入で得た知見を踏まえ、学部1年生向けに開講している「基礎化学結合論」でも今年度後期よりゼミ形式を一部導入することにした¹⁴。この科目では量子力学の基礎から原子軌道、分子軌道論の初歩の初歩まで取り扱うため、1年生にとってはかなり難易度の高い内容となっている。だからこそゼミ形式が効果的に作用し、学生がアクティブラーナーへと育ってくれることを期待している。

参考文献

- ¹Mazur, E.: "Peer Instruction - A User's Manual", Prentice Hall inc., 1997.
- ²新田英雄, 松浦 執, 工藤知種: 科学教育研究, 38, 12, 2014.
- ³Bergmann, J., Sams, A. 著, 上原裕美子 訳, 山内祐平, 大浦弘樹 監修: 「反転授業」, オデッセイコミュニケーションズ, 2014.
- ⁴小島健太郎: 九州大学アクティブラーニング教室 「ピア・インストラクションによるグループ学習」 (<http://www.artsci.kyushu-u.ac.jp/~cfde/report20190823/>), 2019.
- ⁵Atkins, P., de Paula, J. 著, 中野元裕, 上田貴洋, 奥村光隆, 北河康隆 訳: 「アトキンス 物理化学 (上)」 (第10版), 東京化学同人, 2017. この書籍は1978年に初版が出版されて以来数年おきに改訂を重ね、現在では第11版に至っている。日本語版は第1版が1979年に出版され、その後は偶数版のみ出版されており、最新版は第10版 (2017年発行) である。化学系学部生向け教科書 (特に化学熱力学の教科書) として定評がある。なお、多くの学生が第8版 (2009) を所有しているため、授業では第8版と第10版との対応付けを適宜示した。
- ⁶山本義隆: 「熱学思想の史的展開 1, 2, 3」, ちくま学芸文庫, 2008, 2009.
- ⁷廣田 襄: 「現代化学史—原子・分子の科学の発展」, 京都大学学術出版会, 2013.
- ⁸白井光雲: 「現代の熱力学」, 共立出版, 2011.
- ⁹原島 鮮: 「熱力学・統計力学 改訂版」, 培風館, 1978.
- ¹⁰大沢文夫: 「大沢流手づくり統計力学」, 名古屋大学出版会, 2011.

¹¹ その他、授業で直接引用しなかったが参考にした図書を以下にまとめて挙げておく。佐々真一：「熱力学入門」、共立出版, 2000; 清水 明：「熱力学の基礎」、東京大学出版会, 2007; 田崎晴明：「熱力学－現代的な視点から」、培風館, 2000; 大野克嗣：「統計力学」 (<http://web.me.com/oono/StatPhysJ> 公開終了)。

¹² 第 3 週ではミラーリング（トップバッターが 1 分間の自己紹介を終えた後に次の人を指名し、次の人は指名した人が話した内容を 1 分間オウム返ししたのちに自身の自己紹介を行うことをメンバー全員が終わるまで続ける手法でメモは取らせない）を実施した。筆者はこの手法を田中岳氏（現 東京工業大学教育革新センター教授）より学んだ。なお、学部 1 年生向けの必修科目である基幹教育セミナーではミラーリングを初回に実施している。第 4-7 週では「となりのとなりゲーム」（今村光章：「アイスブレイク入門」、解放出版社, 2009）の派生バージョン、すなわち、

最初の人から右回りに順に番号を付けておき、全員立って適当なトップバッターからスタートし、以下の作業 i) - v) が終わったグループから着席する

- i) 最初の方は自分の呼び名を「xxx です」と言う
- ii) 右回りで、二番目の人は「xxx さんのとなりの yyy です」と言う
- iii) 三番目の人は「xxx さんのとなりの yyy さんのとなりの zzz です」と言う
- iv) 以後、自分の二人前と一人前の人の呼び名を言ってから自分の呼び名を言う
- v) 先頭に戻ったら着席する

※上記 i) - v) を左回りでもう一回行うとよい

において、呼び名を言うだけでなく、第 5 週では「総合理工学府に入学して思うこと」、第 6 週では「最近ハマっていること」、第 7 週では「最近悩んでいること、迷っていること」を追加してもらい、「xxx です。AAA にハマっています。」「AAA にハマっている xxx さんのとなりの・・・」と続けるを行った。この派生バージョンについては基幹教育の「課題協学科目の手引き」（内部資料）に筆者自身が紹介している。第 8 週では学生同士でペアを作ってジャンケンしてもらい、まず、勝った者は 2 分間何でも良いから話し続け、負けた者は相手の目を見て頷いたり、「なるほど、それで」と相槌を打ったりして相手の話集中するしぐさを示すよう指示する。次に、負けた者は 2 分間何でも良いから話し続け、勝った者は相手の目を見ずスマホやパソコンをいじったりして相手の話を完全に無視する態度をとるよう指示する。これらを終えた後に、相手の話を聴く姿勢の重要さと、講義中にはほとんどの教員がジャンケンで負けた役を、学生は勝った役をやっていることを伝えている。筆者はこの手法を西村宣彦氏（現 長崎大学経済学部教授）より学んだ。ちなみに、西村氏が九州大学 21 世紀プログラムの集中講義（課題提示科目）でこの手法を実施した際には学生に 3 分間ずつ話させた。普通ならジャンケンで負けた学生たちが話し始めても 2 分と立たずに教室内は静まってしまうのに、21 世紀プログラムの学生たちはみな 3 分間ずっと話し続けていたのを驚いておられた。

¹³ 全質問に対する回答を準備するのにかなりの時間を要した理由は、筆者が熱力学を専門としていないことが一因であり、また、受講者は一通り基礎的な熱力学を学部時代に学んでいるため取るに足らないような質問はほとんどなかったためである。複数の教員が同じ教科書を使ってゼミ形式を導入した授業を行う場合には、Q&A を教員間で共有し蓄積できるし、それを受講者に公開しておいてもよい。同じ教科書を使っている限り毎年類似した質問がでるため、Q&A の蓄積を共有していれば講義にゼミ形式を導入することは担当教員にとってさらに敷居が低くなるだろう。

¹⁴ 本稿執筆時点において、「基礎化学結合論」にゼミ形式を導入した授業を5回実施した。これまで集まった質問のほとんどは、授業で以前に取り扱った内容をよく理解していなかったり、教科書をよく読んでいなかったりすることに由来するものだった。なじみのない数学や新しい概念の理解に戸惑っている受講者が多く、回答に時間を要するような質問はごくわずかである。筆者の専門が熱力学よりも量子力学に寄っていることもあり、回答資料を用意する時間は毎回半日程度で済んでいる。ゼミ形式の導入を通して受講者が抱える疑問点を半ば強制的に集められることはこの授業形式の大きな利点の一つであり、受講者がどこで躓いているのかを実感できる。それはまた、講義形式での授業の改善にも大いに役立つ。