工学系初年次物理教育における ブレンド型授業の設計と実践

A Case Study of Blended Learning in First Year Physics Course for Engineering Education

神谷 克政^{※1}
Katsumasa KAMIYA

西口 磯春^{※2}
Isoharu NISHIGUCHI

澤井 淳^{※3}
Jun SAWAI

大嶋 啓子^{※4}
Keiko OSHIMA

土谷 洋平^{※1}
Youhei TSUCHIYA

Blended learning systems combine face-to-face instruction with distributed learning systems. We designed a blended course in physics courses and conducted it for from lower- to upper-level classes since 2015. We used online homework to enhance study time outside class, and found that students spent about 100~160 minutes per week on homework in all classes. In a face-to-face class, collaborative group activities were conducted in which students share what they have learned and what they have deduced the general strategy applicable to other problems from the online homework. After these activities, students are finally given short writing activities to explain their problem solving strategy.

Keywords : Blended Learning, Physics Education, First Year Experience at Universities, Study Outside Class, Logical Writing

キーワード : ブレンド型学習, 物理教育, 初年次教育, 授業外学習, 答案作成

1. はじめに

大学全入時代により、理科についての学習量が不十分で学習習慣も身につけていない生徒が工学系の大学に進学している。例えば、2015年の高校2年生（普通科）に実施されたベネッセ教育総合研究所の調査¹⁾によれば、平日の学校外の平均学習時間は、学力下位層（ベネッセ進研模試の高校平均偏差値が50未満）で44.6分から65.5分であり、学力中上位層（平均偏差値が50以上）で84.5分から119.1分である。他方、この授業外学習時間を理科に使う生徒は少ないようだ。例えば、宿題を出す頻度について2016年に公立高校教員に対して実施されたベネッセ教育総合研究所の調査²⁾によれば、「宿題をほとんど出さない」と回答した割合は、数学で1%未満に対して理科では47.0%である。理科も数学のように積み重ねが必要な科目である。従って、理科系の科目で学習習慣が身につけていない学生には、大学入学後できるだけ早い時期にそれを身につけさせ、一定量の学習を継続的に行わせることが必要となる。

学習習慣を身につけていない生徒は、公式の丸暗記や計算の手続きを覚えるだけの勉強法で高校の定期試験や大学受験などに対応しようとする傾向が強いようだ。例え

ば、著者らの所属する大学でも「理科系科目で答えは出せるが、考え方を説明することは苦手」、「暗記科目は得意だが、論理的思考力が必要な物理は苦手」という新入生が多く見られる。このような学生に勉強法を見直すような意識改革を初年次に行わなければ、大学での期末試験でも同じような暗記型の勉強法で対応し続けてしまうだろう。

そこで本事例研究では、1年次の物理基礎科目において、授業外での学習を継続的に行わせることで学生の学習習慣を定着させ、学生が物理の問題を公式の丸暗記で解くのではなく、ストーリーのある答案を書いて解き方や考え方を説明できるようになることを目標とした。そのために、本事例では対面学習とオンライン学習を組み合わせたブレンド型学習に基づき、教室内・教室外の学習活動をトータルにデザインした。一般に、ブレンド型学習では、オンライン教育を導入することで学生の学習活動の自由度が高まる（勉強する時間や場所を学生が選びやすくなる）ことが知られている³⁾。そこで本ブレンド型授業では、まず宿題をオンラインで課すことで学生の授業外学習を促した。次に、対面学習で宿題の解き方をグループで話し合わせた。その際のグループ編成では、宿題の出来不出来に基づいて好成績の学生と低成績の学生が同じグループに入るように工夫した。ここまでの学習活動を通して、多くの学生が問題そのものがある程度解けるようになっていくことが期待できるため、最後に演習の仕上げとして、ストーリーのある答案を作成させた。さらに、問題から何を学んだのかという「教訓」を

2018年3月29日受付

※1 神奈川工科大学基礎・教養教育センター

※2 神奈川工科大学情報学部

※3 神奈川工科大学応用バイオ科学部

※4 神奈川工科大学基礎教育支援センター

表1 ブレンド型授業を実施した科目

開講年度期	学部・学科名	科目名	履修者数	プレイスメント・テストの クラス分け ^{注)} 必選区分
15年度前期	創造工学部・自動車システム開発工学科 (V科)	基礎力学Ⅰd	25	あり (上位層) 必修
15年度後期	創造工学部・ホームエレクトロニクス開発工学科 (H科)	基礎力学Ⅱd	22	なし 自由
16年度前期	創造工学部・自動車システム開発工学科 (V科)	基礎力学Ⅰd	26	あり (上位層) 必修
16年度後期	創造工学部・自動車システム開発工学科 (V科)	基礎力学Ⅱd	19	あり (上位層) 必修
16年度後期	創造工学部・ホームエレクトロニクス開発工学科 (H科)	基礎力学Ⅱd	28	なし 自由
17年度前期	工学部・電気電子情報工学科 (E科)	基礎力学Ⅰd	59	あり (下位層) 必修
17年度後期	工学部・電気電子情報工学科 (E科)	基礎力学Ⅱd	16	なし 自由
17年度後期	スーパーサイエンス特別専攻 (工学部、創造工学部、情報学部) (特専)	物理学B	13	なし 学科による

注) プレイスメント・テストによるクラス分けがある科目の場合では、学力中上位層／学力中下位層の学生からなるクラスを (上位層)／(下位層) と記す。

引き出すことも求めた。期末試験では論理的な答案を作成して問題が解けるかどうかを評価することを、学生には繰り返し伝えた。このブレンド型授業を学力中下位層から学力中上位層までのクラスで実践した (表1)。なお、17年度の一部の学力上位層のクラス (特別専攻) では、ジグソー法と呼ばれる協同学習の技法⁴⁾を導入し、グループ学習の活性化を試みた。

ブレンド型授業の設計と実践は2015年度から開始し、毎年改良を重ねた。本稿では、主に16・17年度に実施したブレンド型授業の設計と実践の結果を紹介する。

図1 16・17年度のブレンド型授業の流れ

2. ブレンド型授業の設計

2.1 実践した科目

ブレンド型授業を実施した科目は、表1に示す学部・学科の物理系基礎科目である「基礎力学Ⅰd／基礎力学Ⅱd」と「物理学B」である。どちらも週2コマで3単位の授業である。宿題のオンライン化は15年度から始めた。16年度からは、授業外学習で取り組んだ問題の解き方や問題から学んだこと (教訓) をグループで話し合わせ、その後に演習の仕上げとしてA4一枚程度の答案を作成させるようにした。

2.2 授業の流れ

図1は16・17年度に行ったブレンド型授業の流れである。全体として、(1) 週1回目の対面授業では講義形式の授業を行う、(2) 授業外ではオンライン上で問題演習を行う、(3) 週2回目の対面授業ではグループワークと答案作成を行う、という流れである。

週1回目の対面授業では、従来までの講義形式の授業を行う。そして、これまでの紙ベースの宿題をオンライン化した。このように、本事例ではこれまでの授業形態

を大きく変更することなく、オンライン学習を導入した。なお、オンライン上の宿題の問題数は、他の科目の学習時間に影響が出ないように3問から4問とした。

1回目と2回目の授業の間に、学生はオンライン宿題に取り組む。はじめに何度でもやり直せるドリル形式の問題演習を行わせ、それに合格した場合のみ、1回のみ受験可能な小テストを受けさせる。さらに各小テストには、その問題で学んだ「教訓」の記述欄を設けた。そして、小テストの集計結果に基づき、学生を4～5名程度のグループに分けた。その際、小テストの自動採点機能で得られる点数の一覧 (Excelファイル) で点数の並べ替えを行うことで、各グループに「好成績の学生」と「低成績の学生」が入るように編成した。同時に、2回目の対面授業時に使用する教訓の一覧も作成した。

週2回目の対面授業では、まずグループワークで、宿題の解き方をグループのメンバーにわかりやすく解説させる。さらに、問題を解くことで何を学んだのかの教訓

を話し合わせてグループで共有させる。ここでは、グループの話し合いを円滑にするため、「班長」、「書記」、「問題1の解説担当者」、「問題2の解説担当者」などとグループ内で役割分担させた。グループワークが終わり次第、学生には答案を作成させた。机間巡視による指導では、小テスト集計結果と教訓の一覧を活用した。

17年度後期の物理学B（特別専攻クラス）の授業ではジグソー法を導入した。そこでは、グループ内での学習活動を始める前に、同じ問題の解説を担当する学生同士を集めて10分程度の「検討会」を行った。そして、元のグループに戻って問題の解説を行わせた。

2.3 オンライン宿題の特徴

本事例で用いたオンライン学習管理システム（learning management system, LMS）はmanaba course（朝日ネット）である。図2にオンライン上での宿題例を示す。以下に、オンライン宿題を作成する際に工夫した点を挙げる。

- (1) ドリル形式の問題演習では、学生が問題をやり直す度に文章題中の数値（初期条件）が変わるようにした。これにより、解答提出時に学生に正解や解説を見せることができ、学生の自習を助けることができる。さらに、できるだけ文字式を使って問題を解き進めて数値は最後に代入することを学生に伝えることや、他の人の答えを写すだけの不正の防止にも役立つ。
- (2) 小テストでは、manaba courseの「前提条件の設定」の機能を用い、対応するドリルで満点を取ることを受験条件とした。
- (3) 教訓の引き出しでは、問題を解いてみて得られた教訓（例えば、問題を解くのに気付くべきことや、思い出す必要があったこと、別の問題を解くときに役立ちそうなことなど）を、小テストの問題の解答時に、manaba courseの「自由記入」の機能を用いて書かせた。
- (4) ドリル問題の一部では、問題文に書かれている用語の定義や問題で求める量の定義式の理解が不十分な学生に定義に立ち返ることの重要性を学んでもらうために、定義式の確認や簡単な多肢選択問題を用意

した。

(1)の数値変更問題を作成する具体的な手順は以下の通りである：

- ①文章題の解答を文字式として求め、適当な言語のプログラムにしておく。
- ②文章題中で変更したい箇所を文字にしてドリル教材を作成する。
- ③mht形式でファイルをエクスポートし、それを入力ファイルとして①で用意したプログラムで文字を数値に置換し、数値が異なる問題（20題）のファイル群を生成する。
- ④ファイル群をzip形式にまとめ、manaba course内の「小テストをインポート」にある「一括インポート」でファイル群をアップロードする。
- ⑤manaba course内の「ドリル出題」で数値の異なる全ての問題を、「出題数設定」で「このうち1個をランダムに出題する」を選ぶ。

3. 授業改善の結果

3.1 授業外学習時間の増加

図3に、本学の全学授業アンケートの「事前・事後学習時間」の合計である授業外学習時間を示す。アンケートでは、「この授業のための事前学習（予習・課題）／事後学習（予習・課題）は週平均でどのくらいですか」の項目に対し、2015年度までは「1.5時間以上（120分）、1時間程度（60分）、30分程度（30分）、15分以下（15分）、ほとんどない（5分）、0分（0分）」の6項目、2016年度は「1.5時間以上（120分）、1時間程度（60分）、30分程度（30分）、15分以下（12分）、0分（0分）」の5項目で回答を求めた。なお、各項目の分換算には（ ）内の数値を仮定した。

図3から、ブレンド型教育を実施した15・16・17年度では、学力中下位層のクラス、学力中上位層のクラス、および特別専攻のクラスのいずれの場合で、授業外学習時間は週およそ100～160分になったことがわかる。この値は、「1. はじめに」に示した学力中上位層の高校生の平日の学校外の平均学習時間（84.5分から119.1分）を上回る。一方、大学全体での授業外学習時間は週およそ40分であった。この値は、学力下位層の高校生の平日の学校外の平均学習時間（44.6分から65.5分）程度である。授業外学習時間の増加の理由としては、宿題をオンライン化したことで学生の学習活動の自由度が高まったことが考えられる。一方で、本ブレンド型授業では、オンライン学習を解くことが週1回目の対面授業の復習とグループ学習を行う週2回目の対面授業の予習という意味を持ち、考える力やストーリーを持った答案作成につながるものとしてデザインされている。このことが、学生がオンライン学習に取り組もうとする動機に影響を与え、授業外学習時間の増加に寄与していることも考えられる。これらの結果から、本ブレンド型教育の実践により、授業外の学習時間は学力層によらずに大幅に増加すること、さらに高校までにこのような学習量の勉強をしてこなかった学生にとっては初めての学習経験を与える

図2 オンライン宿題の例

図3 授業外学習時間の年度別比較. 略称は表1を参照

ことができることがわかった。

3.2 グループ活動（解き方の話し合いと教訓の共有）

グループで問題の解き方を話し合う活動では、どのクラスでも学生同士が自然に教え合う場面が頻繁に見られた。これは、グループに宿題ができていない学生とできていない学生を混成させていること、教員が問題の解き方を説明しないことなどが寄与していると考えられる。また、難易度がやや高い問題が解けたときには、解き方を教えた気持ちが高まっているように見られた。さらにグループ活動の様子から、教員と学生の間にコンピューターが介在することで、他の学生や教員に対して学生が持つイメージが問題解決をアシストしてくれる味方のような存在に変化しているようにも感じた。

また、どのクラスでも問題の解き方のメモを事前に用意し、それを使って解き方を説明する学生が多く見られた。このような事前準備は教員側が強く求めているものではなかったが、自分が説明しやすいことやグループのメンバーからメモを見せて欲しいと言われた経験を通して、メモを準備することへの動機が自然に高まったためだと考えられる。

教訓については、全般的に他の問題を解く際に有用な汎用性の高いものがグループで共有されていた。例えば、定義を確認すること、問題文をよく読むこと、図を描いて問題の状況を理解すること、何を求めるのかを明確にすること、文字式を立ててできるだけ整理した後で数値を代入することなどである。

教訓のクラス毎の特徴としては、学力上位層である特別専攻のクラスで「式をつくる流れを理解する」、「問題理解をきちんとする」、「求めたいものを一番に置き、そこから逆の順番に解いていく」などの「問題の捉え方や考え方の教訓」が多い傾向があった。一方、学力中下位層のクラスでは、「有効数字に気をつける」、「文字式を立てた後で最後に数値を代入する」などの「技術的な教訓」が多い傾向があった。

グループ活動全体として、特別専攻のクラスでは、協同

学習の技法の1つであるジグソー法を導入することで、グループでの教え合いがより活発になった。一方、同手法を学力中下位層のクラスでも試みたが、例えば問題の検討会で特に私語が多く見られ、教え合いの活性化にはつながらなかった。

3.3 答案作成

答案作成では、学生に解答を整理してまとめることを課した。事前準備として、オンライン宿題とグループ学習を通して、問題そのものを十分に解けるようになっていくことを期待した。言い換えれば、授業内演習の一部をオンライン宿題に回したことで生じる時間的余裕を活用することで、問題演習でより高次の課題である答案作成を学生に取り組ませた。

図4に答案のイメージを示す。答案作成の指導では以下の6点を重視した。

(1) 問題を理解できているか：

問題の状況を図やグラフで表す。図やグラフには問題で与えられているものと求めるものを答案の中で定義された記号で書き込む。

(2) 情報を整理できているか：

問題で与えられているものと求めるものを区別して、全てを適切な記号で定義する。

(3) 考え方を整理して、ストーリーを持って説明できているか：

考え方のストーリーや根拠を明確にして、読者が内容を容易に理解できるようにする。例えば、求めるものを出発点にして与えられているものとあわせて足りないものを明らかにする。

(4) 単位をつけて計算できているか：

求めるものの式を与えられているものだけで表し、最後に数値と単位を代入して計算する。

(5) 答えを正しく表せているか：

この箇所だけ読めば何を求めていくらになったのかわかるようにする。

(6) 答案を文章形式で書けているか：

第5問の問題文 面密度が 0.120kg/cm^2 の均質な長方形板がある。長方形の縦横の長さは 2.00cm と 4.00cm である。長方形板の重心を通り板の面に垂直な軸のまわりの慣性モーメントを求めよ。数値は有効数字3桁で求めよ。

第5問の答え

問題の状況を表すと図1のようになる。長方形板の中心を原点 O とし、長方形の横方向と平行に x 軸、縦方向と平行に y 軸をそれぞれとる。

長方形板の横の長さを a 、縦の長さを b 、面密度を σ とする。求めるものは、長方形板の中心を通り板の面に垂直な軸のまわりの慣性モーメント I である。

図1のように長方形板を微小要素に分割する。座標 (x, y) の位置にあり、横の長さ dx 、縦の長さ dy を持つ長方形の微小要素について考える。この微小要素の慣性モーメントへの寄与 dI とする。この微小要素の質量を dm とすると、 dI は x, y, dm を用いて

$$dI = r^2 dm = (x^2 + y^2) dm \quad (1)$$

と表せる。一方、 dm は、 σ, dx, dy を用いて

$$dm = \sigma \times (dxdy) = \sigma dxdy \quad (2)$$

と表せる。式(2)を式(1)の dm に代入すると、 dI は σ, x, y, dx, dy を用いて

$$dI = \sigma(x^2 + y^2)dxdy \quad (3)$$

と表せる。

次に式(3)の dI を積分することについて考える。まず、 x と y の積分範囲について考える。長方形板の全体積を積分領域とするためには、微小要素を x 軸方向に $-\frac{a}{2} \leq x \leq \frac{a}{2}$ まで、 y 軸方向に $-\frac{b}{2} \leq y \leq \frac{b}{2}$ について積分すればよい。そこで、この積分範囲で dI を x と y で二重積分して I を計算すると、 I は σ, a, b を用いて

$$\begin{aligned} I &= \int_{-\frac{b}{2}}^{\frac{b}{2}} \int_{-\frac{a}{2}}^{\frac{a}{2}} (x^2 + y^2) \sigma dxdy = \int_{-\frac{b}{2}}^{\frac{b}{2}} \left[\int_{-\frac{a}{2}}^{\frac{a}{2}} (x^2 + y^2) \sigma dx \right] dy \\ &= \sigma \int_{-\frac{b}{2}}^{\frac{b}{2}} \left[\frac{x^3}{3} + y^2 x \right]_{-\frac{a}{2}}^{\frac{a}{2}} dy = \sigma \int_{-\frac{b}{2}}^{\frac{b}{2}} \left[\frac{(\frac{a}{2})^3}{3} + \frac{(\frac{a}{2})^3}{3} + y^2 a \right] dy \\ &= \sigma \int_{-\frac{b}{2}}^{\frac{b}{2}} \left(\frac{a^3}{12} + y^2 a \right) dy = \sigma \left[\frac{a^3}{12} y + a \frac{y^3}{3} \right]_{-\frac{b}{2}}^{\frac{b}{2}} \\ &= \sigma \left(\frac{a^3 b}{12} + \frac{ab^3}{12} \right) = \frac{1}{12} \sigma ab(a^2 + b^2) \end{aligned} \quad (4)$$

と表せる。以上より、式(4)に問題で与えられた条件を代入することで、求める量を計算できる。

計算を実行すると、

$$\begin{aligned} I &= \frac{1}{12} \times 0.120 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \times 2.00\text{cm} \times 4.00\text{cm} \times \left[\left(2.00\text{cm} \times \frac{1}{10^2} \frac{\text{m}}{\text{cm}} \right)^2 + \left(4.00\text{cm} \times \frac{1}{10^2} \frac{\text{m}}{\text{cm}} \right)^2 \right] \\ &= 1.60 \times 10^{-4} \text{kg} \cdot \text{m}^2 \end{aligned}$$

となる。

よって答えは、長方形板の重心を通り板の面に垂直な軸のまわりの慣性モーメントは $1.60 \times 10^{-4} \text{kg} \cdot \text{m}^2$ (有効数字3桁) である。

図4 答案作成例

全ての文末に句点をつける。

文字式の操作が苦手な学力中下位層のクラスでは、求めるものを与えられているものだけで表す文字式を立てる前に、すぐに数値を使って物理量を計算してしまったり、途中式でも最終式でも単位を書かずに計算したりする学生が多く見られた。そこで答案作成では、両辺の単位が等しくなるかどうかで立てた文字式が正しいことが確認できることと、文字式に単位を入れる回数は1回のみであるため仮に途中式に単位を入れないと高校までに教わっていた場合でもそれと矛盾しないことを強調した。その結果、文字式で解答を進める学生が多くなった。その際、オンラインの宿題で数値が毎回変更することが重

要であったと考えられる。

また、どのクラスでも、例えば問題で与えられているものと求めるものを適切な記号で表すときに、「何の」「何を」などの格関係が曖昧な答案も見られた。これは数学的对象や数学的な操作が曖昧になる原因にもなりうる。さらに、学力中下位層のクラスでは、上記(1)の図の作成で、図が小さすぎたり、図に与えられているものや求めるものが本文中に定義された記号で書かれていなかったりする場合もあった。これらの改善には、例えばルーブリックなどを用いた形成的評価が有効であると考えられる。

4. まとめ

本事例では、1年次の物理系基礎科目で、学生が学習習慣を身に付けて物理の問題の解き方や考え方を説明できるようになることを目指し、対面学習とオンライン学習を組み合わせたブレンド型学習による授業設計を試みた。本ブレンド型授業では、宿題をオンラインで課すことで学生の事前事後学習を促し、対面学習で宿題の問題の解き方をグループで話し合わせてから、演習の仕上げとして答案を作成させた。さらに、問題から何を学んだのかという「教訓」を引き出すことも求めた。このブレンド型授業を学力中下位層から学力中上位層までのクラスで実践した結果、どのクラスでも学生の授業外学習時間を週およそ100～160分にすることができた。この授業外学習を活用することで、学生同士が自然に学びあうグループワークが実施できることと、ストーリーのある答案作成を指導できることがわかった。本ブレンド型授業全体による教育効果として考えられることは、(1)授業外学習時間の増加で一定量の学習を担保できること、(2)対面授業でのグループワークの実施は、学生が解き方や考え方を説明する機会を与えることに加え、ストーリーのある答案作成指導に向けて学生が問題そのものを解けるようになっていることに対する事前準備にもなること、(3)答案作成は、問題の解き方を振り返り、それを整理して論理的に説明する機会になること、(4)教訓の引き出しは問題を解くことに関する学生のメタ認知の向上につながることを、である。

謝 辞

データ分析では、神奈川工科大学教育開発センターの中尾正紀氏、新井正義氏、矢野正人氏、および本学のKAITpiaの学生の協力を得た。また、本教育実践は、平成27～29年度神奈川工科大学・教員経費重点配分（革新的教育計画）の助成を受けた。

参 考 文 献

- 1) ベネッセ教育総合研究所：第5回学習基本調査, 2015
- 2) ベネッセ教育総合研究所：第6回学習指導基本調査 高校版, 2016
- 3) Bonk, C. J., Graham, C. R. : The Handbook of Blended Learning : Global Perspectives, Local Designs, Pfeiffer, 2006
- 4) Barkley, E. F., Cross, K. P., Major C. H., 安永 悟(監訳) : 共同学習の技法, ナカニシヤ出版, 2015

著 者 紹 介

神谷 克政

学 歴 東京学芸大学教育学部卒業, 筑波大学大学院数
理物質科学研究科修了, 博士(理学)

職 歴 兵庫県立大学大学院特任助教, 筑波大学助教を
経て, 2013年より現職

katsumasa.kamiya@gen.kanagawa-it.ac.jp