

報 告

「学生のニーズに基づく補習」の教育効果 —技術職員による基礎物理学講座—

渡邊 美奈子¹・佐藤 秀一²・青柳 成俊³

¹ 教育研究技術支援センター (Technical Support Center for Education and Research, National Institute of Technology, Nagaoka College)

² 一般教育科—物理 (Liberal Arts-Physics, National Institute of Technology, Nagaoka College)

³ 機械工学科 (Department of Mechanical Engineering, National Institute of Technology, Nagaoka College)

Educational effects of “Students’ Needs Oriented Lesson for Physics”
- Physics Lesson by Technical Staff -

Minako WATANABE¹, Shuichi SATO² and Naritoshi AOYAGI³

Abstract

Physics is the basis for many specialized studies in the field of engineering education. In our college, professors in charge of general physics have been trying to improve students’ understanding by giving supplementary lessons. However, students’ understanding has not enhanced so far. Our previous report showed there are some mismatches between the way supplementary lesson with and students’ difficulty. We also reported a physics lesson based on their difficulty has a possibility to enhance their understanding. Thereafter, we have held the lesson periodically and verified an effect of the lessons again. As the results, it was cleared to enhance the students’ understanding and keep a motivation. Also, it was shown this our lesson help to understand for specialized engineering study.

Key Words : *Physics, Education, Students’ needs, Understanding, Motivation*

1. はじめに

高等専門学校教育において、一般教養科目の物理学（以下、一般科目物理と称す）は、専門科目を学習する上で基盤となる重要な学問である。そのため本校では、従来、一般教育科の物理担当教員らが補習や試験を繰り返し実施し、基礎物理に関する理解度の向上とその知識の定着に努めてきた（以下、これらをまとめて学力と称す）。しかし、従来の試験

形式の補習では、学生の学力に目立った変化は見られなかった。著者らは、この要因が、学生の躓いているポイントと補習内容との間に隔りがあるためではないかと考え、学生の抱える問題を調査した上で「学生のニーズに基づく補習」と題した基礎物理学講座を試験的に開講した。その結果、受講生から概ね好意的な評価が得られ、受講生の学習意欲の向上に効果があることを確認した¹⁾。これを受け、基礎物理学講座は定期的の開講することとなり、2019

年12月末時点で14回目を数えた。本稿では、定期開講開始から約2か月が経過した時点（8回目終了後）における講座の教育効果を、受講生へのアンケート調査結果と試験答案の変化を基に検証した。

2. 基礎物理学講座開講の経緯

物理担当教員らによって行われてきた従来の補習は、春、夏の長期休み明けに実施される実力試験と、その実力試験において合格点に満たなかった者を対象とした補習・再試験で構成される。補習は30～40分程度の小試験と解説から成り、約1週間の間隔で5～6回実施された後、再実力試験を受験するという形式が取られている。一方、著者らの行った聞き取り調査から、学生は、物理の基本法則の意味が理解できていないこと、そもそも数式や問題文の意味が理解できないこと、補習や再試験に向けた自習をしていないこと、等の問題を抱えていることが分かった。即ち、従来の試験形式の補習では学習効果を得ることが難しい可能性が示唆された。この事実を受け、著者らは「学生のニーズを基にした補習」と題し、以下を基本方針として掲げた基礎物理学講座を考案した。

【基礎物理学講座基本方針】

- ・問題文を図示し、設定条件や求めるべき物理量をイメージさせる
- ・公式を用いず、定義や基本法則を起点として数式を立てることで、数式の物理的意味を理解させる
- ・学生の理解度を確認しながら平易な解説を行う
- ・同じ質問を繰り返しても決して否定しない
- ・質問や発言に対し可能な限り肯定的な反応を返す

なお、講師は、学生にとって教員よりも親しみやすい存在である技術職員（著者）が務めた。

本講座を3日間限定で試験的に開講したところ、受講生から「物理の基本法則の意味を理解することができた」、「講座の継続実施を希望する」等の肯定的意見が寄せられた。また、学習意欲や理解度の向上にも一定の効果がある可能性が見出された¹⁾。そのため、その後定期的な開講が検討され、実施するに至った。以下では、基礎物理学講座の教育効果を、受講生へのアンケート結果と、受講生らの試験答案の変化を基に検証した結果を示していく。

表-1に、学生の抱える問題と基礎物理学講座の基本方針、講座試行後の学生からの評価をまとめた。

表-1 表学生の抱える問題と基礎物理学講座の基本方針、試験運用後の受講生の評価（既発表内容¹⁾）

I：学生の抱える問題 <ul style="list-style-type: none"> ・学生は物理に対して、「嫌い」、「難しい」等の負のイメージを持っている ・教科書に登場する公式を、全て暗記しなければならないと思っている ・数式、或いは問題文の意味が理解できていない ・補習（再試験）に向けた自習はしていない ・疑問点があっても教員に質問に行くことはない
II：基礎物理学講座の基本方針 <ul style="list-style-type: none"> ・問題文を図示し、設定条件や求めるべき物理量をイメージさせる ・公式を用いず、定義や基本法則を起点として数式を立てていくことで、数式の物理的意味を理解させる ・平易な解説を心掛け、学生の理解度を確認しながら進める ・同じ質問を繰り返しても決して否定しないことを約束する ・質問や発言に対しては可能な限り肯定的な反応を返す
III：試験運用後の受講生からの評価（抜粋） <ul style="list-style-type: none"> ・物理の基本法則を理解することができた ・講座の継続実施を希望する ・答えると褒めてもらえて嬉しかった

3. 基礎物理学講座

3.1 開講の時期と講座内容

試験運用後、基礎物理学講座は、概ね週1回（定期試験期間中除く）、1回60分程度で定期的の開講してきた。講義内容は試験運用時と同様、主に低学年の学生が受講することを想定して2年～3年で学習する範囲とし、授業で学習した内容を復習できるよう、物理担当教員と打ち合わせをしつつ足並みを揃えた。また、学生からの希望により、定期試験後には試験解説の回を設けた。開講スケジュールと講義内容は、月毎に事前に学生へ案内し、完全自由参加（事前申込も不要）とした。表-2に、開講時期と講座内容、および受講者数を開講実績として示す。

3.2 受講生へのアンケートとその分析

基礎物理学講座の定期開講後2回目の試験となる夏休み明け実力試験の答案が返却された時点で、受講生に対してアンケート調査を行った。アンケートは無記名式とし、本校の属する国立高等専門学校機構が契約しているOffice 365に附属するFormsアプリを使用して行った。調査対象者は、7月9日から8月23日の間に1回以上の受講実績のある41名の学生で、その内11名より回答を得た。

表-3は、アンケートの質問項目をまとめたもの

表-2 開講実績

開催日	講義内容	受講者数 [人]
7月9日	力のつり合い	1
7月17日	力のつり合い	1
7月26日	(試験前につき, 自由質問)	0
7月29日	(試験前につき, 自由質問)	2
8月8日	3年物理春休明再試験解説	16
8月20日 am	3年物理春休明再試験解説 (2)	7
8月20日 pm	2年物理前期末試験解説	8
8月23日	等加速度運動, 運動方程式	8
10月10日	2年物理夏休明試験解説	11
10月23日	3年物理夏休明試験解説	0
11月7日	仕事	5
11月14日	力学的エネルギー	5
11月21日	仕事, 力学的エネルギー	11
12月24日	2年物理後期中間試験解説	4

である。分類Ⅰは試験成績の変化を知るためのもので、基礎物理学講座開講直後に実施された前期末試験（この時点における既受講生は2名であった）と、講座8回目の後に実施された夏休み明け実力試験の得点を尋ねた。なお、前期末試験と夏休み明け実力試験の出題範囲と難易度はほぼ一致しており、両者の得点を比較することに問題はない。分類Ⅱは基礎物理学講座受講前後での学習意欲の変化を探るための質問で、学習意欲の大きさを図る指標として自主学習の機会（頻度）や学習量の変化を尋ねた。更に、学習の機会や量が増えたと答えた学生に対しては、その理由を選択式（複数回答可）で尋ねた。分類Ⅲは基礎物理学講座考案の原点である専門科目への波及効果を探るための質問で、専門科目物理に対するイメージと、理解を妨げる要因を洗い出し、それが一般科目物理の基礎知識を習得することによって解決できる問題であるかどうかを調査したものである。最後の分類Ⅳは、基礎物理学講座に対する受講生の主観的評価を尋ねたものである。図-1～5に、以上の質問に対する結果を示す。

図-1は、基礎物理学講座開講後の試験成績の変化を表したものである。講座開講直後に実施された前期末試験では80点以上の者がいなかった一方で19点以下の者が存在していたが、講座8回目終了の約1か月後に行われた夏休み明け実力試験では、39点以下の者がいないことに加え、回答者の約半数を占める5名が80点以上を獲得した。図-2は、試験成績が上がった者に対して自主学習の頻度や学習量が増加したかを尋ねたもので、回答者の64%が自主学習の頻度や量が増えたと答えた。その変化をもたらした要因をまとめた結果が図-3で、「問題文の意味が分かるようになったから」が5名、「問題が解けて

楽しいと思えるようになったから」が2名、「その他」が1名という結果であった。図-4および図-5は、

表-3 アンケートの質問項目

分類Ⅰ：試験成績の変化 (1) 今年の物理の前期末試験の成績を教えてください (2) 今年の物理の夏休み明け実力試験の成績を教えてください
分類Ⅱ：学習意欲の変化とその要因 (3) 基礎物理学講座受講後、自主学習をするようになりましたか（もともと自主学習をしていた方は、学習の機会や量が増えましたか） (4) 自主学習をするようになった（または学習量が増えた）理由は何ですか ※当てはまるものを全て選択してください a. 問題文の意味が解るようになったから b. 問題が解けて楽しいと思えるようになったから c. 公式を覚える必要がないと分かり、勉強のハードルが下がったから（またはやる気が出た） d. その他（枠内に内容を記入してください）
分類Ⅲ：専門科目の物理への波及効果 (5) 専門科目の物理は、難しい（分かりにくい）と感じますか (6) 専門科目の物理の理解を妨げる要因（分かりにくいと感じる要因）を教えてください a. 物理量（質量、速度等）の用語の解説が違うから b. 物理量を表す記号が違うから c. 扱う単位系が違うから（kg, mではなく、g, cmを使う等） d. その他（枠内に内容を記入してください）
分類Ⅳ：基礎物理学講座の効果（学生の主観的評価） (7) 夏休み明け試験の成績が上がった方に伺います 成績が上がった要因の一つに、基礎物理学講座を受講した事が挙げられると思いますか (8) 基礎物理学講座受講後、専門科目の物理も理解できるようになりましたか

- A. 80点以上
- B. 60～79点
- C. 40～59点
- D. 20～39点
- E. 19点以下

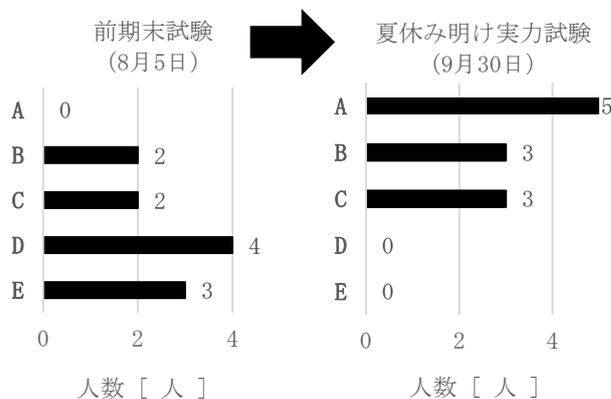


図-1 受講生の試験成績推移（自己申告）

質問(4) 基礎物理学講座受講後、自主学習をするようになりましたか（もともと自主学習をしていた方は、学習の機会や量が増えましたか）



図-2 自主学習量の増加

質問(5) 自主学習をするようになった（または学習量が増えた）理由は何ですか

- 問題文の意味が解るようになったから
- 問題が解けて楽しいと思えるようになったから
- 公式を覚える必要がないと分かり、勉強のハードルが下がったから（またはやる気が出た）
- その他

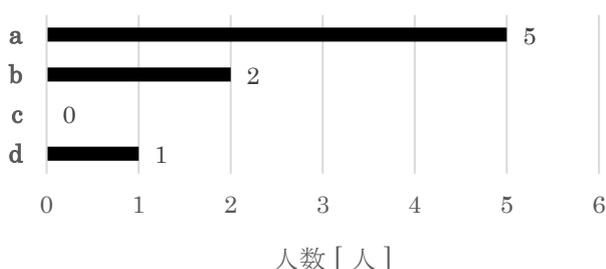


図-3 自主学習量増加の理由

質問(6) 専門科目の物理は、難しい（分かりにくい）と感じますか



図-4 専門科目物理に対するイメージ

質問(7) 専門科目の物理の理解を妨げる要因（分かりにくいと感じる要因）を教えてください

- 物理量（質量，速度 等）の用語の解説が違うから
- 物理量を表す記号が違うから
- 扱う単位系が違うから（kg, m ではなく，g, cm を使う等）
- その他

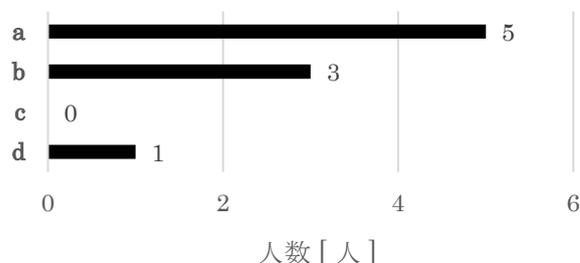


図-5 専門科目物理の理解を妨げる要因

質問(8) 成績が上がった要因の一つに、基礎物理学講座を受講した事が挙げられると思いますか

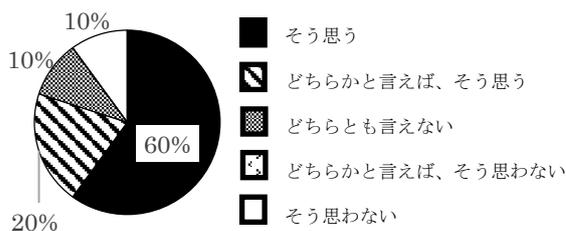


図-6 基礎物理学講座の一般科目物理の理解度への効果（受講生の主観的評価）

質問(9) 基礎物理学講座受講後、専門科目の物理も理解できるようになりましたか



図-7 基礎物理学講座の専門科目物理の理解度への効果（受講生の主観的評価）

専門科目物理への波及効果を探るための質問に対する回答である。専門科目物理に対するイメージとして、「専門科目の物理は難しい（分かりにくい）」と

感じますか」という問いに対し、「そう思う」または「どちらかと言えば、そう思う」との回答は64%に上った(図-4)。図-5はその要因をまとめたもので、「物理量の用語の解説が違うから」が5名、「物理量を表す記号が違うから」が3名、「その他」が1名であった。図-6と図-7は、基礎物理学講座に対する受講生の主観的評価である。「成績が上がった要因の一つに、基礎物理学講座を受講した事が挙げられると思いますか」という質問に対し、「そう思う」または「どちらかと言えば、そう思う」という肯定的意見が80%を占めた(図-6)。また、「基礎物理学講座受講後、専門科目の物理も理解できるようになりましたか」という質問に対しては、半数が肯定する結果となった(図-7)。

3. 3 受講前後の答案の変化

次に、受講生の理解度の変化を客観的に検証するため、前期末試験と夏休み明け実力試験の答案を比較した。図-8~10に、基礎物理学講座を受講した学生の答案例(何れも一部を抜粋)を示す。学生(a)は前期末試験30点から夏休み明け実力試験96点に上昇、同様に(b)は31点から81点に、(c)は2点から44点に上昇した。なお、各学生の基礎物理学講座受講回数はそれぞれ、(a)が2回、(b)と(c)が3回であった。

まず、前期末試験の各答案を見てみる。学生(a)では問題文で与えられた「重さ W 」に対して重力加速度を掛けて式展開をしており、「重力」と「質量」を混同している。学生(b)には“静止摩擦力 $\mu_0 = F/N$ ”という記述があり、やはり用語解釈に混乱が見られる。学生(c)においては、「力の向きと符号の不一致」や「力と無次元量とで加算を行う」等、ベクトル量の概念や個々の物理量の解釈の時点で躓いていることが窺える。

次に、夏休み明け実力試験の答案を見てみる。用語の解釈に混乱のあった学生(a)と(b)は何れも用語を正しく理解し、以前の答案には見られなかった明快な論理展開ができていく(例えば、問題文に与えられていない物理量や座標を自分自身で設定し、“静止摩擦力の大きさを f とする”、“鉛直上向きを正とする”等と明記している)。学生(c)は計算途中でのミスが目立つものの、物体に働く力を図示し、正しく数式を立てることができていることから、ベクトル量の概念や各物理量の意味を理解できたと考えられる。

Figure 8 shows two pages of student (a)'s answers. The left page is the '前期末試験' (Pre-term exam) with a score of 30. It contains a physics problem about a pulley system and a block on an inclined plane. The student's solution for the pulley system shows $W_A + F \sin \theta = 0$ and $N = W_B - W_A + F$. The right page is the '夏休み明け実力試験' (Summer break strength test) with a score of 96. It shows the same pulley system problem and a more detailed solution for the inclined plane problem, including a free-body diagram and the equation $F \cos \theta + W \sin \theta - f = 0$.

図-8 図学生(a)の答案の変化

Figure 9 shows two pages of student (b)'s answers. The left page is the '前期末試験' (Pre-term exam) with a score of 3. It shows a physics problem about a pulley system and a block on an inclined plane. The student's solution for the pulley system shows $T = W_B - W_A + F$ and $W = F/N$. The right page is the '夏休み明け実力試験' (Summer break strength test) with a score of 8. It shows the same pulley system problem and a more detailed solution for the inclined plane problem, including a free-body diagram and the equation $F \cos \theta + W \sin \theta - f = 0$.

図-9 図学生(b)の答案の変化

Figure 10 shows two pages of student (c)'s answers. The left page is the '前期末試験' (Pre-term exam) with a score of 2. It shows a physics problem about a pulley system and a block on an inclined plane. The student's solution for the pulley system shows $T = W_B - W_A + F$ and $F - \sin \theta = 0$. The right page is the '夏休み明け実力試験' (Summer break strength test) with a score of 44. It shows the same pulley system problem and a more detailed solution for the inclined plane problem, including a free-body diagram and the equation $F \cos \theta + W \sin \theta - f = 0$.

図-10 図学生(c)の答案の変化

4. 基礎物理学講座の効果

以上に示した受講生アンケート結果および答案の変化と、先の調査で明らかとなった問題点とを照らし合わせ、基礎物理学講座の教育効果を検証する。

先の調査で明らかとなった問題点は、以下の通りである。

- (1) 学生は物理に対して、「嫌い」「難しい」等の負のイメージを持っている
- (2) 教科書に登場する公式を、全て暗記しなければならないと思っている
- (3) 数式、或いは問題文の意味が理解できていない
- (4) 補習（再試験）に向けた自習はしていない
- (5) 疑問点があっても教員に質問に行くことはない

まず問題点(3)については、学生の変化したから、解決できたことが明らかである。そして、自主学習量の増加(図-2)と自主学習量増加の理由(図-3)を照らし合わせれば、学生が自主学習をしていなかったのは、問題文または基本法則の意味が理解できなかったことに起因していたと解釈することができる。更には、僅か2名ではあるものの、物理を「楽しい」と感じる学生が現れたことは大変興味深い事実であり、問題点(1)の解決にも繋がると期待できる。そして、これらの変化に基礎物理学講座が寄与したことは、図-6に示した学生からの評価により明らかである。問題点(2)と(5)については、今回の調査では明らかなことは言えないが、完全自由参加として開講した基礎物理学講座に参加する学生が少なからず存在する事実から、少なくとも、「学生側に勉強する意思はある」と認識すべきであろう。

最後に、専門科目物理の理解への波及効果について考える。図-4に示したように、回答者の64%が「専門科目物理は難しい(分かりづらい)」と感じていた。しかしその主な要因は「用語の解説の違い」と「記号の違い」であり、これらは物理量の定義や基本法則をしっかりと理解することにより解決可能である。現に、回答者の約半数が、基礎物理学講座受講後は専門科目物理も理解できるようになったと感じている(図-7)。

以上の基礎物理学講座による教育効果は、試験成績の向上、正確な論理展開、物理の学びへのモチベーション向上、自主学習量の増加、専門科目物理の

理解、としてまとめることができる。

5. おわりに

物理学は専門科目の基盤となる重要な学問であるとの認識の下、従来、一般教育科物理担当教員は物理の補習・再試験を繰り返し行い、学生の支援に努めてきた。それにも関わらず学生の学力に改善が見られないことに疑問を抱いた著者らは、「学生のニーズに基づく補習」と題して基礎物理学講座を考案し、物理の基礎知識の理解と定着に取り組んだ。

本基礎物理学講座を延べ79名の学生が受講し、受講生アンケートと受講生の答案の変化から講座の教育効果を検証した。その結果、下記の教育効果が示された。

- (1) 試験成績に改善が見られた
- (2) 問題文の意味を理解し、必要な物理量の図示や正確な論理展開ができるようになった
- (3) 問題を解けるようになったことが、自主学習量の増加に繋がった
- (4) 物理を「楽しい」と感じる学生が現れた
- (5) 一般科目物理の知識を習得することは、専門科目物理の理解に繋がる可能性がある

今後の課題としては、講座参加者の増加と、学生が苦手とする他の科目への展開が挙げられるだろう。

謝辞：基礎物理学講座の開講に当たり、長岡工業高等専門学校一般教育科物理担当教員の皆様と教育研究技術支援センター長より、多大なる御指導、御協力を賜りました。ここに、厚く御礼申し上げます。また、講座の主旨に御賛同くださり、重点施策として認定くださいました同選考委員の先生方に、深く感謝致します。(本取組は、“令和元年度重点施策経費”を受け実施したものです)

参考文献

- 1) 渡邊美奈子, 佐藤秀一, 青柳成俊: 「学生のニーズを基にした補習の提案と試行—技術職員による基礎物理学講座—」, 長岡工業高等専門学校研究紀要, 第55巻, pp.45-55, 2019

(2020. 10. 5 受付)