

令和元年6月21日現在

機関番号：55402

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K01155

研究課題名(和文) インタラクティブな電子書籍の開発とLMSを活用した物理教育

研究課題名(英文) Development of Interactive Electronic Books and Using an LMS in Physics Education

研究代表者

藤原 滋泰 (FUJIWARA, Shigeyasu)

広島商船高等専門学校・一般教科・准教授

研究者番号：20390495

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,500,000円

研究成果の概要(和文)：ICTを用いた効果的な物理教育について以下の研究を推進した。微分積分と力学についての、計算の図解を多用したインタラクティブな電子書籍を開発し、視覚的に分かり易い学習を行った。電子書籍のインタラクティブな機能を活用させることで、アクティブラーニングを促進した。電子書籍での学習に連携してLMSを活用し、概念理解の確認と解析力のチェックの為にオンラインテストを実施した。研究期間全体を通して、アンケートでは、約62-73%の学生達が電子書籍は役立ったと回答し、オンラインテストについても約55-69%の学生達が役立ったと回答した。高専の学習到達度試験の結果についても、全体的に成績が向上した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で開発した、微分積分と力学の電子書籍は、Blackboard (<https://bb.kosen-ac.jp>) のホームページと当校の教員紹介の個人ホームページ (<http://www.hiroshima-cmt.ac.jp/faculty/ippan/007.html>) より配信中であり、物理の基礎を学ぶ学生達に広く活用してもらうことが出来る。更に、本研究に関する論文などから、電子書籍とLMSを活用した学生の「主体的な学び」の先行事例としても社会的に参照されるであろう。

また、物理量の理解を深めるのに、電子書籍のギャラリー機能を用いて視覚的な認知を高める本研究の手法は、学術的にも意義深い。

研究成果の概要(英文)：We have developed tools to enhance the practice of physics education in differential and integral calculus and mechanics, using interactive electronic books to support graphical understanding and an LMS, for third year students in national colleges of maritime technology. Using the gallery function of electronic books, we teach a graphical understanding of the mechanics of a particle. For example, in graphical terms, the slope of a tangent line at any point on a distance-time graph gives the speed at that point in time. As a class exercise, the students took an online examination in the LMS, and could efficiently check their degree of understanding of general concepts of physics and fundamental calculations of physics quantities. From the results of a student questionnaire given after the exercise, about 62-73% of the students found the electronic books to be helpful and about 55-69% of them found the online examinations in the LMS to be useful.

研究分野：教育工学、物理教育

キーワード：電子書籍 LMS 微分積分と力学 物理教育 視覚的な理解 e-ラーニング アクティブラーニング 学習到達度試験

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

スマートフォンやタブレットが日常生活へ浸透するのに伴い、教育現場でもそれらの持つアシティブな機能を活用した教育が推進されており、中央教育審議会や高専機構中期計画等でも、ICTを活用した「学生の主体的な学び」が要請されていた。この様な背景のもとで、申請時より約3年前から、高専の学習到達度試験（物理）の過去問演習の電子書籍を開発し、離島で学ぶ当校の学生達が、時と場所を選ばずにスマートフォン等で、効率的に学習を進められるように物理教育を実践してきた。

開発した電子書籍を運用する際には、配信用ホームページから配信するだけでなく、高専機構の運営するLMSであるBlackboard (<https://bb.kosen-ac.jp>)からも配信することで、利用状況を確認した。定期試験でも学習到達度試験の過去問を出題し、長期休暇中の課題としても過去問を渡し、電子書籍の解答を参照しながら解いてくるように指導することで電子書籍の使用を定着させるように工夫してきた。また、卒業研究としても電子書籍を開発してきた。

2. 研究の目的

インタラクティブな電子書籍を開発し、Blackboard (図1) を用いて配信すると共に、オンラインテストとも連携させ、物理教育に於けるICTの活用効果について明らかにする。具体的には、①高専の学習到達度試験（物理）の第9領域である「微分積分を用いた力学」についてのインタラクティブな電子書籍の開発と配信を行う。②Blackboardのオンラインテストを連携させ、概念理解の確認と解析力のチェックを行う。加えて、微分積分の概念と物理量の不可分な関係を理解するために、微分積分を用いる解法と等加速度直線運動の公式を用いた解法とを併用する問題の学習とテストも行う。③アンケートや学習到達度試験の結果などを基にしつつ、以上の物理教育の教育効果について明らかにする。



図1 Blackboard「物理3年」のホームページ

3. 研究の方法

(1) 微分積分と力学についてのインタラクティブな電子書籍の開発

物理量に対する理解を視覚的に促進する為に、学習到達度試験の第9領域である「微分積分を用いた力学」についてのインタラクティブな電子書籍（iBooks形式）を開発し、Blackboard「物理3年」のホームページ（図1）と当校の教員紹介の個人用ホームページ (<http://www.hiroshima-cmt.ac.jp/faculty/ippan/007.html>) より配信した。

この電子書籍では、縦軸に位置 x や速度 v 、横軸に時刻 t をとった $x-t$ グラフや $v-t$ グラフ、縦軸に力 F 、横軸に位置 x や時刻 t をとった $F-x$ グラフや $F-t$ グラフに於いて、iBooksのギャラリー機能を用いて、指のスイープ操作で、①グラフ、②微分や積分の結果の図解と③それについての解説文章が表示されるので、“傾き（微分の計算結果）”と“面積（積分の計算結果）”の図示により物理量を視覚的に分かり易く学習することが出来る（図2）。電子書籍は、要点のまとめと出題例、平成24年度～26年度の過去問演習、練習問題ウィジェット（初級編、グラフ編、計算編）、参考文献の全7章（全57頁）で構成されている。解答解説では、公式やポイントの後に、問題文で与えられた数値の代入を分かり易く示し、アンダープレスを多用しながら計算過程を丁寧に記述している（図3）。

更に、メモ（図3）とその一覧の表示機能、ハイライト、ブックマーク（図3）、学習カード機能（図4）による反復学習、練習問題ウィジェット（図5）といった、iBooksならではのインタラクティブな機能を活用できる。そのことにより、独自の書き込みやブックマーク等による学習履歴の形成、反復学習による学習内容の定着等々を効率的に進めていくことができる。

また、予習・復習での電子書籍の使用を促すと共に、各自のスマートフォン、もしくは配布したiPadによって電子書籍を起動させ、上述の各種機能を使用しながら、教え合いや議論をさせることでアクティブラーニングを実施した。

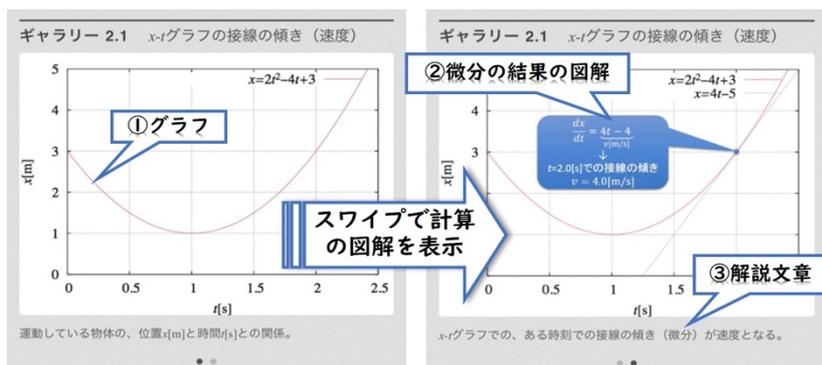


図2 iBooksのギャラリー機能を用いた速度 v の計算の図解

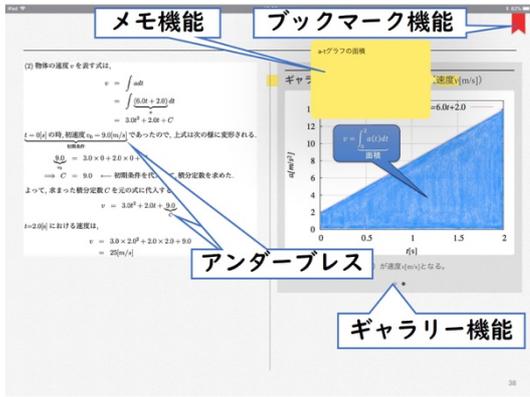


図3 公式とアンダープレスによる式変形の詳解、メモ機能とブックマーク機能

(2) Blackboard「物理3年」でのオンラインテストと併用問題

3年生の学生達が自ら理解度を効率的に確認し、学習効果を高められるように、電子書籍と連携したオンラインテストをBlackboard上の「物理3年」のコースで実施した。実施に当たっては、オンラインテストの点数を平常点として成績評価に加味することで、学習意欲の向上を図った。

まず、平成28年8月には、一問一答編として、概念理解のチェックを行う為の図6のような正誤問題と穴埋め問題のテストを行った。

微分積分と速度・加速度・変位についての各問題の正解率は約86-95%であったのに対して、微分積分と仕事・力積についての正解率は、約81-82%とやや低くなるのが分かった(図6)。

続いて、平成29年8月には、一問一答編に加えて、表1のような計算問題のオンラインテストを追加した。

速度 v を積分するだけの問題(表1-2)であれば、正解率は約96%であったのに対して、積分後に積分定数を初期条件などから求めないといけない問題(表1-3、1-9、1-10)になると、正解率が約81-91%に下がった。

力を積分して、仕事や力積を求める問題(表1-6、1-7)では、正解率は共に約94%となった。

また、積分定数を求める必要が無い問題でも、 x 成分と y 成分に分けて解く問題(表1-4、1-5)では、正解率が約86%に下がった。

更に、合成関数の微分を用いる問題(表1-8)では、正解率が約81%にまで下降した。

以上により、学生達の理解度を落とす原因として、“合成関数の微分の使用”、“ x 成分と y 成分への分解”や“不定積分”が影響している事が明らかとなった。

更に平成31年1月には、微積を用いても、等加速度直線運動の公式($v=v_0+at$ 、 $x=v_0t+at^2/2$ 、 $v^2-v_0^2=2ax$)を用いても解ける併用問題(表2)の小テストも行った。全5問の平均得点率は68.9%であった。

表1 Blackboardでのオンラインテスト(計算問題編)

問題と正解率 (%)	
1	x 軸上を運動している物体がある。時刻 t [s]における位置 x [m]が、 $x = 4.0t + 2.0$ で表される時、 $t = 3.0$ [s]における物体の位置は() [m]である。(正解率: 91%)

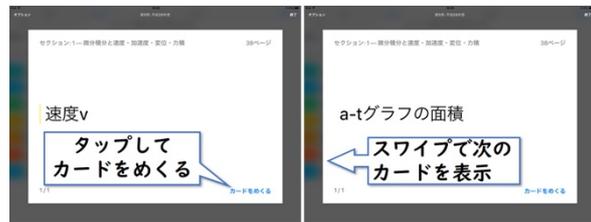


図4 学習カード機能(左図はタップする前の表面、右図はタップした後の裏面)

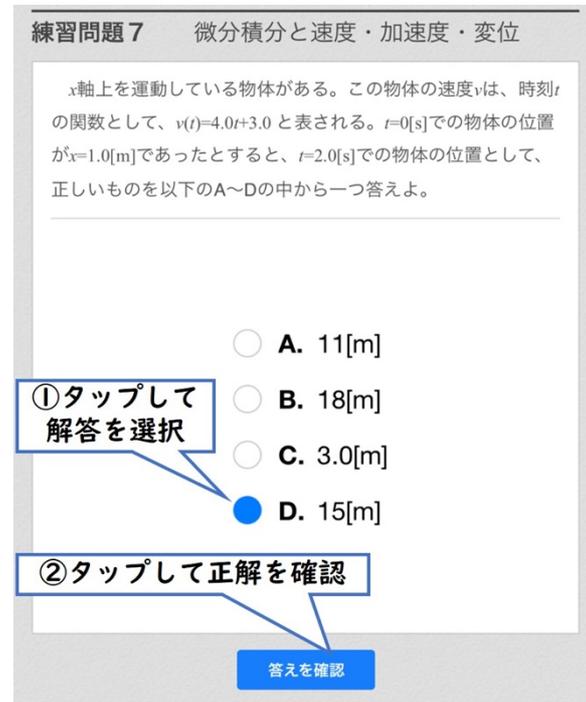


図5 練習問題ウィジェットを用いた計算問題

質問の種類	識別力の選択	難易度の選択	実行	フィルタのリセット
質問の種類	識別力	難易度		
● 微積と速度: 速度 v を時間 t で積分すると「距離 x 」を計算できる。	正誤問題	0.41	95.19%	
● 微積と速度: ある時刻における位置 $x(t)$ を t で微分すると「速度」が計算できる。	正誤問題	0.46	93.98%	
● 微積と加速度: ある時刻における位置 $x(t)$ を t で2回微分すると「速度」が計算できる。	正誤問題	0.65	89.16%	
● 微積と速度: ある時刻における速度 $v(t)$ を t で微分すると、「速度」を計算できる。	正誤問題	0.69	86.75%	
● 微積と加速度: 加速度 a を時間 t で積分すると「距離 x 」を計算できる。	正誤問題	0.74	85.55%	
● 微積と仕事: 力 F を距離 x で積分すると、「力積」が計算できる。	正誤問題	0.82	81.93%	
● 微積と力積: 力 F を時間 t で積分すると、「仕事」が計算できる。	正誤問題	0.82	81.93%	
● 微積と仕事・力積: 力の時間積分は()である。	穴埋め問題	0.81	80.73%	
● 微積と仕事・力積: 力の距離積分は()である。	穴埋め問題	0.9	80.73%	
位置エネルギーと微分: 位置エネルギー U を位置 x で微分したものにマインスを付けると、「運動量 P 」になる。	正誤問題	0.66	71.09%	

図6 Blackboardのオンラインテスト(一問一答編)の結果表示の画面: 難易度が正解率を表す

2	x 軸上を運動している物体がある。この物体の速度 v [m/s]は、時刻 t [s]の関数として、 $v(t) = 4.0t + 5.0$ と表される。この物体が $t = 1.0$ [s]から、 $t = 3.0$ [s]までの間に移動した距離は () [m]である。 (正解率：96%)
3	x 軸上を運動している物体がある。この物体の加速度 $a(t)$ は時刻 t [s]の関数として、 $a(t) = 8.0t + 4.0$ と表される。時刻 $t = 0$ [s]での物体の速度が 2.0 [m/s]であったとすると、時刻 $t = 3.0$ [s]での速度は() [m/s]である。 (正解率：81%)
4	座標平面上を運動している物体の座標が、時刻 t [s]の関数として、 $(x, y) = (4.0t + 2.0, 5.0t + 3.0)$ と表される。時刻 t [s]における物体の速度の x 成分は() [m/s]である。 (正解率：86%)
5	座標平面上を運動している物体の座標が、時刻 t [s]の関数として、 $(x, y) = (4.0t + 2.0, 5.0t + 3.0)$ と表される。時刻 t [s]における物体の速度の y 成分は() [m/s]である。 (正解率：86%)
6	x 軸上を運動している物体がある。物体に働いている力は、 $F(x) = 5.0 + 2.0x$ と表される。この物体が $x = 1.0$ [m]から $x = 3.0$ [m]の位置まで移動した時、力が物体にした仕事は () [J]である。 (正解率：94%)
7	ある物体に働いている力が、時刻 t [s]の関数として、 $F(t) = 8.0t + 30$ と表される。時刻 $t = 1.0$ [s]から $t = 3.0$ [s]まで力が働いた場合に、物体が受ける力積の大きさは () [N・s]である。 (正解率：94%)
8	放物線 $y = 4.0x^2$ のレールに沿って、放物運動をしている物体がある。物体は x 方向には 2.0 [m/s]の等速運動をしているとすると、 y 方向の速度成分は、 x を用いて() x [m/s] と表すことができる。 ヒント 1 : $dy/dt = (dy/dx)(dx/dt)$ 、 ヒント 2 : $dx/dt = 2.0$ [m/s] (正解率：81%)
9	x 軸上を運動している物体がある。この物体の速度 v [m/s]は、時刻 t [s]の関数として、 $v = 4.0t + 3.0$ と表される。時刻 $t = 0$ [s]での物体の位置が $x = 1.0$ [m]であったとすると、時刻 $t = 2.0$ [s]での物体の位置は() [m]となる。 (正解率：91%)
10	x 軸上を運動している物体がある。この物体の加速度 $a(t)$ は、時刻 t [s]の関数として、 $a(t) = 8.0t + 4.0$ と表される。時刻 $t = 0$ [s]での物体の速度が 3.0 [m/s]であったとすると、 $t = 2.0$ [s]における物体の速度は() [m/s]である。 (正解率：81%)

表2 微分積分を用いても等加速度直線運動の公式を用いても解ける併用問題

問題：全 5 題の平均得点率 (68.9%)	
1	x 軸上に静止していた物体が、時刻 0 [s]に運動を始めた。 t [s]後に $4.0t$ [m/s] の速さになった。以下の問いに答えよ。ただし、微分積分を用いても、等加速度運動の 3 つの公式を用いても、どちらでも良いものとする。 (1) 動き始めて、 4.0 [s]後の加速度は何[m/s ²]か。 (2) この 4.0 [s]間に進んだ距離はいくらか。
2	初速度の大きさ 39.2 [m/s]で物体を真上に投げ上げた。物体の t 秒後の高さ y [m]は、以下のように表される。 $y = 39.2t - 4.9t^2$ このとき、以下の問いに答えよ。ただし、微分積分を用いても、等加速度直線運動の 3 つの公式を用いても、どちらでも良いものとする。 (1) 物体の t 秒後の速度を求めよ。 (2) この物体が最高点に達するのは、投げ上げてから何[s]後か。 (3) この物体が最高点に達した時の高さを求めよ。

4. 研究成果

微分積分と力学についての講義終了後（平成 28 年と 29 年の 8 月、31 年の 2 月）、3 年生に対して、以下のアンケートを実施した。アンケートは無記名で且つ、回答の有無も任意とした。項目 (6)については、平成 29 年度と 30 年度で実施した。項目 (7)は平成 30 年度でのみ実施した。

- (1) 電子書籍「微分積分を用いた力学」は役に立った。
- (2) 微分や積分で、速度 v [m/s]や加速度 a [m/s²]、変位 x [m]を求められることが理解できた。
- (3) 電子書籍のギャラリー機能による図解（傾きや面積についての解説など）は、微分積分による力学を理解するのに、役に立った。
- (4) 力 F [N]に対する積分の結果、仕事 W [J]や力積 I [N・s]を求められることが理解できた。
- (5) Blackboard のオンラインテスト「微積と力学の問一答」は、理解度チェックに役立った。
- (6) Blackboard のオンラインテスト「微分積分と力学（計算問題）」は、理解度のチェックに役立った。（※平成 29 年度に新規に追加した項目）
- (7) 等加速度直線運動において、微積を用いても 3 つの公式を用いても解ける併用問題（小テスト）は、理解度のチェックに役立った。（※平成 30 年度に新規に追加した項目）

アンケートでは、「微分積分と力学の電子書籍は役に立った」と思った学生は、図 7、8、9-(1)より、“強くそう思う”と“そう思う”の合計が約 62-73%であった。回答の理由欄には、「家や寮でも簡単に見られる」、「探したい所がすぐに見つかったり、グラフなどが分かりやすいため。何よりかさばらない」等というコメントが書かれてあった。

図7、8、9-(2)より、「微分や積分で、速度 v [m/s]や加速度 a [m/s²]、変位 x [m]を求められることが理解できた」と思った学生は、“強くそう思う”と“そう思う”の合計が約64-73%であった。理由欄には、「数学の授業で微分・積分をやっており、それを用いて、速度、加速度を求めることができた」、「どんな式変形をするかが分かりやすかった」、「 v 、 a 、 x の関係を理解して、微分、積分をすることで分かりやすかった」等のコメントが寄せられた。

図7、8、9-(3)より、「電子書籍のギャラリー機能による図解（傾きや面積についての解説など）は、微分積分による力学を理解するのに役立つ」と思った学生は、“強くそう思う”と“そう思う”の合計が約57-59%であった。理由欄には、「微分・積分の特性を知ることができた」、「ギャラリー機能は、グラフが見やすい。頭の中で理解するのに役に立つ」、「簡単に図解が出てくることで、すぐに見れて効率が上がったと思う」、「視覚的に分かりやすかった」、「数字だけではなく、図で解説を見ることによって、より理解でき頭に残った」、「元のグラフとの変化が、指一本スワイプするだけでできるのが良かった」、「言葉や式で伝わらないことが、ギャラリー機能によって伝わったので良かった」等という好意的なコメントが多く書かれていた。

図7、8、9-(4)より、「力 F [N]に対する積分の結果、仕事 W [J]や力積 I [N・s]を求められることが理解できた」と回答した学生は、強くそう思う”と“そう思う”の合計が約67-70%であった。理由欄には、「 F 、 W 、 I の関係を積分で表すことができ、今までの公式も理解しやすくなった」、「これをしたことによって、力や仕事、力積の関係を、もっと深く知ることができた」等と書かれていた。

また、図7、8、9-(5)より、オンラインテストは理解度のチェックに役立つと回答した学生は、一問一答編については、“強くそう思う”と“そう思う”の合計が約55-69%であった。理由欄には、「短い時間に簡単な○×問題がスマートフォンからでも解け、答案や点数もすぐ見れるから」、「原理が理解できた」、「正誤問題だったので、解きやすかったのと、間違った問題を復習しやすかったので良かった」、「一問一答をしたことにより、基礎力がついたと思う」、「(平常点への) 加点があつて助かった」等の好評が記載されていた。

計算編については図8、9-(6)より、“強くそう思う”と“そう思う”の合計が約58-68%であった。理由欄には、「基本的な計算問題であったため、公式を用いて計算ができるかの確認になった」、「計算の仕組みがわかった」、「実際に計算して、理解を深めることができたから」等々の好意的な実感が書かれていた。

図9-(7)より「微積を用いても3つの公式を用いても解ける併用問題（小テスト）は、理解度のチェックに役立つ」と回答した学生は、強くそう思う”と“そう思う”の合計が約65%であった。理由欄には、「微積や3公式を使い分けて問題を解くことができたので、とても役立つ」、「両方の公式を使って勉強し、理解することができたから」等の好評価が書かれていた。

平成28年度の学習到達度試験の当校の第9領域「微分積分を用いた力学」の平均点は16.6点であり、難易度が高い領域であるにも関わらず、全9領域の中4番目に高い得点領域となった。全9領域の得点平均の合計は156点であり、過去最高の得点となった。

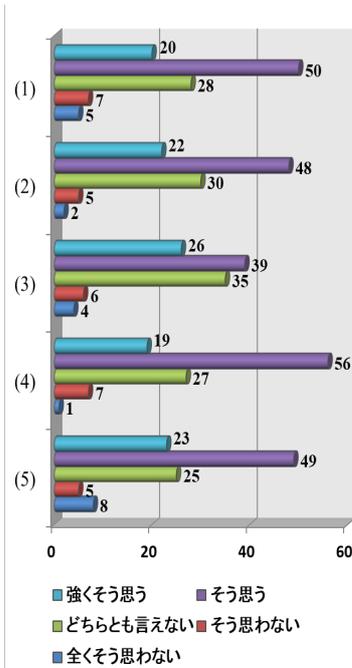


図7 平成28年度の結果
(全110枚:3学科で実施)

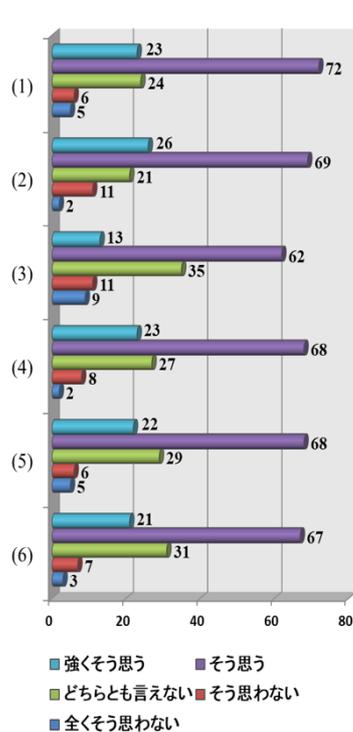


図8 平成29年度の結果
(全130枚:3学科で実施)

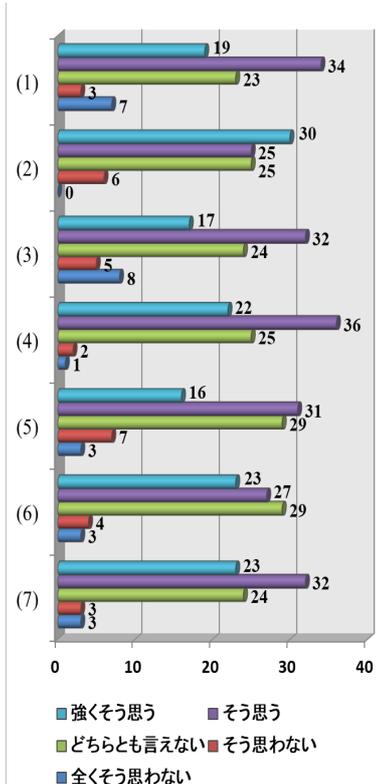


図9 平成30年度の結果
(全86枚:2学科で実施)

平成 29 年度の学習到達度試験の第 9 領域の全国高専の平均点が、前年度より 3.7 点下降しているのに対して、当校の平均点は前年度比で 1.5 点上昇し、18.1 点となった。視覚的な分かり易さに配慮した電子書籍と LMS による学習の継続効果が現れたものと思われる。全 9 領域の得点平均の合計は 143.3 点であった。

平成 30 年度は高専の学習到達度試験が終了した為、昨年度の過去問を用いて、学習の効果測定を行ったところ、第 9 領域（微分積分を用いた力学）の得点平均が 21.4 点となり、昨年度（29 年度）より 3.3 点の得点上昇が確認できた。

以上のように本研究期間全体を通して、アンケートでは、6 割以上の学生達が電子書籍は役立ったと回答し、オンラインテストについても約 6 割の学生達が役立ったと回答した。学習到達度試験の結果についても、全体的に成績が向上した。ギャラリー機能による“傾き（微分の計算結果）”と“面積（積分の計算結果）”の図示が物理量に対する理解を視覚的に促進したことや、概念理解と計算力の 2 つの観点から基礎知識をオンラインテストで効率的にチェックできたこと、微積を用いても公式を用いても解ける併用問題（表 2）での理解の深化が功を奏したこと等が好結果の一因として推察される。

今後は、理解度を落とす原因として明らかになった、合成関数の微分の適用や積分定数の計算、各成分への分解に対応できる力を養うべく、物理数学についての補章を電子書籍に追加し、それに連動させたオンラインテストも実施したい。

更に、簡易な正誤問題や計算問題のオンラインテストにも詳解を加えつつ、文章による定量的な表現をグラフによる定性的な表現に変換する問題や、物理現象の因果関係を問う為の並べ替え問題、論述問題等を新規に追加し、学生達に深い思考を促す ICT 教育を指向していきたい。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 4 件)

- ① 藤原滋泰、瀧口三千弘、微分積分と力学についての電子書籍と LMS を活用した物理教育の実践、工学教育、査読有、第 67 巻 2 号、2019、pp. 8-14
https://doi.org/10.4307/jsee.67.2_8
- ② 藤原滋泰、馬場弘明、インタラクティブな電子書籍を活用した小学生に対する放射線教育の実践、工学教育、査読有、第 65 巻 6 号、2017、pp. 86-91
https://doi.org/10.4307/jsee.65.6_86
- ③ 藤原滋泰、瀧口三千弘、Blackboard とインタラクティブな電子書籍を活用した物理教育の実践、(大学 COC 事業) 離島の知の拠点形成 平成 28 年度 成果報告書、広島商船高等専門学校、査読無、2017、pp. 42-51
- ④ 藤原滋泰、馬場弘明、鎌島彰宏、山本修平、専攻科生による放射線教育の電子書籍を活用した三原エネルギー環境教室での教育実践、(三原市・広島商船高等専門学校協働研究事業) 平成 28 年度 事業成果報告書、査読無、2017、pp. 11-15

[学会発表] (計 4 件)

- ① 藤原滋泰、瀧口三千弘、微分積分と力学についてのインタラクティブな電子書籍の開発と Blackboard を活用した物理教育、平成 30 年度 全国高専フォーラム 教育研究活動発表セッション (ポスター発表)、2018
- ② 藤原滋泰、瀧口三千弘、Blackboard とインタラクティブな電子書籍を活用した物理教育の試み、工学教育研究講演会 (第 65 回年次大会)、講演論文集、2017、pp. 434-435
- ③ 藤原滋泰、馬場弘明、高専生による放射線教育の電子書籍を活用した地域での教育実践、2016 年次 日本島嶼学会 大崎上島大会、研究発表要旨集、2016、pp. 153-156
- ④ 藤原滋泰、瀧口三千弘、電子書籍を活用した物理教育の継続的な実践、工学教育研究講演会 (第 64 回年次大会)、講演論文集、2016、pp. 480-481

[図書] (計 1 件)

- ① 藤原滋泰、瀧口三千弘、<http://www.hiroshima-cmt.ac.jp/faculty/ippan/007.html> よりダウンロード可能、電子書籍：微分積分を用いた力学 (学習到達度試験 第 9 領域 過去問演習)、2018、全 57 頁

[その他]

- ① 開発した電子書籍については、以下の URL (教員紹介の個人用ホームページ) より配信中。
<http://www.hiroshima-cmt.ac.jp/faculty/ippan/007.html>
- ② 藤原滋泰、全国高専フォーラム参加報告、広島商船高等専門学校 研究交流センター、Vol. 10、2019、p. 32-33

6. 研究組織

(1) 研究協力者

研究協力者氏名：瀧口 三千弘

ローマ字氏名：(TAKIGUCHI, Michihiro)