

電磁気学と量子力学の e ラーニング Web サイトの開発

Development of e-learning websites for electromagnetism and quantum mechanics

田中 康寛, 巖島 あずみ, 金澤 梨々華, 根間 裕史, 工藤 知草
TANAKA Yasuhiro, ITSUKUSHIMA Azumi, KANAZAWA Ririka,
NEMA Hirofumi, KUDO Tomoshige

金沢工業大学における物理学習用 e ラーニング Web サイト「KIT 物理ナビゲーション」では、これまでに、高校向けの物理基礎と物理、大学向けの力学の Web サイトを開発してきた。本サイトには、本学の大学生や大学院生ばかりでなく、高校や研究機関からの利用も多くあるため、サイト内の大学向け教材をより充実させる必要性があると考えた。ICT の側面から、本学の STEAM の教育的付加価値をさらに向上させることを目指し、大学で学ぶ電磁気学、量子力学の Web サイトを新規に開発した。教員が事前に電磁気学や量子力学の予備知識のない学生に講義を行い、分かりやすい内容にブラッシュアップしたため、初学者にも理解しやすい Web ページの開発につながった。本事例報告では、これらのサイトの内容とその開発過程について紹介する。

キーワード：Web サイト，電磁気学，量子力学

At our university's e-learning websites for physics, KIT Physics Navigation, we have developed basic physics and physics for high school and mechanics for university. As these websites have many visits not only from our university's undergraduate and postgraduate students, but also from high schools and research institutions, enhancement of the contents for university education in the Physics Navigation is highly needed. Aiming to further improve the educational added value of the university's STEAM education from an ICT aspect, we are working on developing new websites for electromagnetism and quantum mechanics. By giving lectures in advance to students with no prior knowledge of electromagnetism or quantum mechanics, the instructors refined the content, which led to the development of websites that are easy to understand and accessible even to beginners. This case report introduces the content of these websites and outlines their development process.

Keywords: Website, electromagnetics, quantum mechanics

1. はじめに

金沢工業大学（以下、本学）における物理学習用 e ラーニング Web サイト（KIT 物理ナビゲーション）は、2016 年 3 月に公開された¹⁾。この Web サイトは、物理を学ぶ学生にとって高校から大学へのスムーズな橋渡しとなることを目指した教材であり、現在も本学教員によって開発が進められている。例えば、高校では微積分を用いないで物理を学習するのに対し、大学では速度や加速度を微分で定義し、

ニュートンの運動方程式を微分方程式として解いて物体の運動を求める、というように高校と大学では科目の内容に大きな違いがある。このような高大の違いを意識した理解しやすい構成の Web サイトとなっている²⁾。2017 年からは、「e ラーニング 物理」で検索すると本学の KIT 物理ナビゲーションが一番はじめにヒットするようになり、その認知度は広がっている。現在、工学教育の事実上の世界標準となっている CDIO (Conceive, Design, Implement, Operate) Initiative³⁾ では、未来を担うエンジニアに必要なものは数学、科学などの基礎知識と基礎的な専門知識であると提言しており、高校と大学の物理を総合的に学習することができる Web サイトの開発は、ICT (Information and Communication Technology) の側面から STEAM (Science, Technology, Engineering, Art, and Mathematics) 教育を充実させる意味で重要な役割を果たしている。

以上のように、KIT 物理ナビゲーションは主に高校生や大学初年次の学生を対象とした、物理の基礎を学ぶための Web サイトとして発展してきた。しかし一方で、本 Web サイトには本学学生のみならず、他大学を含めた研究機関からのアクセスも多いことから、その利用目的が学生の勉強からより進んだ研究用途にまで広がっていることが推測されている。この状況を踏まえ、訪問者のニーズや本学の ICT 教材の付加価値をさらに高めるために、大学物理そのものを対象とした Web ページの充実が必要であると考えた。そこで、2023 年 4 月から大学物理の中心的な分野である電磁気学と量子力学の Web サイトの開発をはじめた⁴⁾。本事例報告では、KIT 物理ナビゲーションの新しいコンテンツとして開発している電磁気学と量子力学の Web サイトについて、その内容と開発過程について紹介する。

本事例報告の構成は次のとおりである。まず、2. ではこれまで開発してきた KIT 物理ナビゲーションの特徴をまとめ、それを踏まえて現在開発している電磁気学と量子力学の Web サイトの作成方法について簡潔に述べる。3. と 4. ではそれぞれの Web サイトの内容について、具体的な構成や分かりやすいサイトとなるように工夫した点などを含めて説明する。5. ではまとめを述べる。

2. KIT 物理ナビゲーションの特徴と、電磁気学と量子力学の Web サイトの作成方法

2.1 KIT 物理ナビゲーションの特徴

KIT 物理ナビゲーションの Web サイトは、訪問者が知りたい情報にスムーズにアクセスできるように、「1 ページ 1 知識」を基本理念とし、どのページから閲覧しても学習を始められ、物理の辞書のように利用できる構成となっている。訪問者の学習状況は異なり、訪問したページを閲覧するだけで理解できる訪問者もいれば、そのページを理解するためにさらに基本的な知識を必要とする訪問者もいる。そのため、各 Web ページはその中のキーワードに対してハイパーリンクを設けることで関連ページに接続され、難しい知識から簡単な知識に立ち戻ることで、知識を補足しながら自学自習 (リンク・バック・ラーニング) できる仕組みとなっている。これらの特徴を Web サイト全体で共有しながら、訪問者の Web ページの閲覧行動に対する分析や、クラスタリングの分析によってハイパーリンク構造を改善することで、分かりやすい Web サイトの開発を行ってきた⁵⁾。さらに、訪問者がより学習しやすい環境を整えるために、チャットボット機能を開発して Web サイト内に組み込んでいる⁶⁾。

KIT 物理ナビゲーションの開発は、教員とともに、本学の学内インターンシップ制度でスタッフとして雇用された学生が協力して進めている。学生は教員の指導を受けながら Web サイトの作成を行っている。

2.2 電磁気学と量子力学の Web サイトの作成方法

今回開発を進めている電磁気学と量子力学の Web サイトも、上記の「1 ページ 1 知識」やリンク・バック・ラーニングの特徴を備え、数式のフォーマットなどについて KIT 数学ナビゲーション⁷⁾および KIT 物理ナビゲーションに共通したルールに基づいたページとして作成した。解説はコンパクトに記載し、効果的に数式と図を表示して、訪問者が理解しやすい構成にした。現在、KIT 物理ナビゲーション

にはスマートフォンからのアクセスが多くあるが、数式を閲覧する際、数式が長いと画面に数式が収まらず理解しにくい欠点があった。数式入力では、スマートフォンでサイトを見る際にも不具合が生じないよう配慮したページ作成を行っている（3.2 参照）。この工夫は、KIT 数学ナビゲーション⁷⁾において初めて導入されたものである。

2.3 その他の工夫

現在、新規 Web サイトの開発に携わっている学生スタッフ 2 名（巖島，金澤）は、電磁気学および量子力学の講義を受けたことがない。そのため、教員（田中，工藤）が事前に Web ページの内容に関する講義を行った上で、講義で用いた原稿を学生スタッフが Web 化する、という手法を取った。詳細な講義を行い、予備知識のない学生でも分かりやすい内容にブラッシュアップして、初学者にも理解しやすい Web ページの作成を行った。

3. 電磁気学の Web サイト

電磁気学の Web サイト⁸⁾では、一般的な理工系大学で学部の 1，2 年次までに学習する内容を念頭に置き、クーロンの法則からマクスウェル方程式までをカバーするページを作成している。また、電磁気学を学ぶために必要となる数学的知識として、ベクトル解析のページ作成も同時に行っており、それらは物理数学の Web サイト内の 1 つのセクションにまとめられている。以下、3.1 では電磁気学の Web サイトの例として「ガウスの法則（積分形）」のページを、3.2 ではベクトル解析のページをそれぞれ紹介する。

3.1 ガウスの法則（積分形）のページ

図 1 は、「ガウスの法則（積分形）」のページのスクリーンショットである。ガウスの法則は、空間内の閉曲面 S 上での電場 E の面積分が、 S 内の電荷の総量 Q で表されることを示す物理法則であり、積分形では図 1 中の(1)式で表現される。

(1)式を示すためには、閉曲面 S の形状や、電荷分布の仕方（点電荷や連続的な分布）、電荷が S の内部にあるか外部にあるかなど、さまざまな場合について考察する必要がある。しかし、これらをすべて 1 つの Web ページ内で解説すると、非常に長いスクロールが必要となる上に複数の重要なポイントが連続して現れることとなり、利用者にとって分かりにくくなる。そこで、上記のポイントをそれぞれが 1 ページの内容となるように順序立てて整理し、ステップバイステップで理解しやすいように配置する工夫を行った。

ガウスの法則 (Gauss's law) 積分形

真空中に電荷があるとする。このとき、積分形のガウスの法則 (Gauss's law) は、

$$\oint_S \mathbf{E} \cdot d\mathbf{S} = \frac{Q}{\epsilon_0} \dots\dots(1)$$

の式で表される。ここで、 S は空間内に取った閉曲面、 $\mathbf{E}$ は S 上の電場ベクトル、 Q は S 内にある電荷の総量である。また、 ϵ_0 は真空の誘電率を表す。(1)式は、 S における電場ベクトルの面積分が、 S 内の電荷の総量を ϵ_0 で割ったものに等しいことを示している。

以下では、まず単純な系として、半径 R の球面の中心に点電荷 Q がある場合を考え、(1)式が成り立つことを確認する。

[閉曲面 S を半径 R の球面とし、その中心に点電荷 Q がある場合]

次に、任意の閉曲面や電荷について考える。ここでも単純な場合から考えることにし、1つの点電荷のみが閉曲面 S の①内側にある場合と、②外側にある場合について、(1)式が成り立つことを示す。ただし、点電荷からの電場ベクトルは、①の場合は1回のみ、②の場合は2回のみ曲面と交わるものとする。

①[点電荷 Q が S の内側にある（電場ベクトル $\mathbf{E}$ は S と1回だけ交わる）とき]

②[点電荷 Q が S の外側にある（電場ベクトル $\mathbf{E}$ は S と2回だけ交わる）とき]

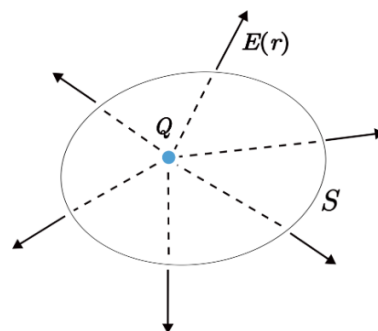


図 1 「ガウスの法則（積分形）」のページのスクリーンショット

図 2 は、「ガウスの法則（積分形）」ページからのリンク構造をネットワークグラフとして可視化した

ものである^{9,10)}。楕円は Web ページを、矢印はハイパーリンクを表している。赤の楕円で示されたメインページから、上記の様々な状況におけるガウスの法則の導出ページへとリンクが張られていることが分かる。緑の楕円と矢印はそれぞれ KIT 物理ナビゲーションのページとそこからのリンクを示し、水色の楕円と矢印は KIT 数学ナビゲーションのコンテンツについて同様に示したものである。

ガウスの法則を示すためには面積分の知識が必要となるが、これはベクトル解析のページで解説し、リンクしている。さらに面積分の解説で現れる法線ベクトルの知識については、KIT 数学ナビゲーションの Web サイトに解説があり、必要に応じてリンクから参照できる。このように、初学者が読む際に基本的な内容へ戻って学習することが可能なようにページ全体が接続されているのが大きな特徴である。

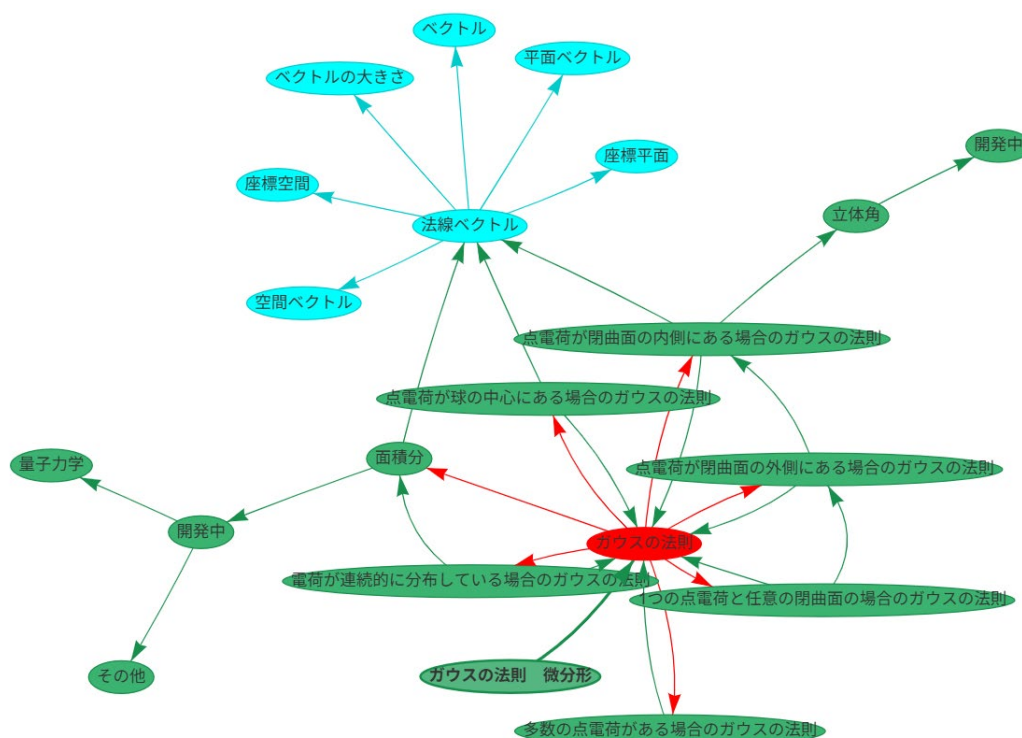


図2 「ガウスの法則(積分形)」のページを中心とした Web コンテンツのリンク構造の模式図。

メインページ(楕円)とそこからのリンク(矢印)を赤で示した。また、緑、水色はそれぞれ KIT 物理ナビゲーションと KIT 数学ナビゲーションのページ(楕円)とリンク(矢印)を示す。

3.2 ベクトル解析のページ

ベクトル解析は、電磁気学を学ぶ上で必要となる数学的知識のなかでも中心的な役割を果たすため、KIT 物理ナビゲーションのコンテンツ内にセクションを設けてページ作成を行っている。我々はこれまでに、微分演算子 ∇ （ナブラ）を使って表される発散や回転といった量や、それらに関するいくつかの公式、「ガウスの定理」や「ストークスの定理」などの基本定理を、導出から記述するページを作成した。3.1 同様、これらのページに現れるより基礎的な事項については、KIT 数学ナビゲーションにリンクを張ることで self-contained なサイトとなるように留意している。ここでは、ベクトル解析のコンテンツの1つとして、微分演算子 ∇ を使った公式 $\nabla^2(1/r) = -4\pi\delta(\mathbf{r})$ の解説ページを例として説明する。

図3左は、PC版の Web ページである。初学者への配慮として、式変形は基本的なもので省略することなく記述している。そのため、数式が横方向に長くなる場合が多くなり、PC では改行なしに表示できる数式であっても、スマートフォンでは横方向の表示幅が狭いために画面に収まりきらず、正しく

表示されない場合がある。これを解消するために、図 3 右のように、スマートフォン版では画面に収まる範囲で改行するか、数式行にスライダーを設けて横方向にスライドして式を表示できるよう html コードを工夫している。これにより、どちらの端末で閲覧してもスムーズにページを読むことができる。

PC 版ページ

微分演算子 ∇ を使った公式 (Formulas involving differential operator ∇)

$\mathbf{r} = (x, y, z)$, $r = |\mathbf{r}|$ のとき,

$$\nabla^2 \left(\frac{1}{r} \right) = -4\pi\delta(\mathbf{r}) \cdots \cdots (1)$$

と書けることを示す。ここで, $\nabla^2 = \Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$ である。

まず, $r \neq 0$ の場合を考える。

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{r} \right) = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}} \right) = \frac{-x}{(x^2 + y^2 + z^2)^{\frac{3}{2}}} = -\frac{x}{r^3} \cdots \cdots (2)$$

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2} \left(\frac{1}{r} \right) = \frac{\partial}{\partial x} \left(-\frac{x}{r^3} \right) = -\frac{1}{r^3} + 3\frac{x}{r^4} \cdot \frac{\partial r}{\partial x} = -\frac{1}{r^3} + 3\frac{x}{r^4} \cdot \frac{x}{r} = -\frac{1}{r^3} + 3\frac{x^2}{r^5} \cdots \cdots (3)$$

スマートフォン版ページ

微分演算子 ∇ を使った公式
(Formulas involving differential operator ∇)

$\mathbf{r} = (x, y, z)$, $r = |\mathbf{r}|$ のとき,

$$\nabla^2 \left(\frac{1}{r} \right) = -4\pi\delta(\mathbf{r}) \cdots \cdots (1)$$

と書けることを示す。ここで,

$$\nabla^2 = \Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$$

である。

まず, $r \neq 0$ の場合を考える。

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{r} \right) = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}} \right) = \frac{-x}{(x^2 + y^2 + z^2)^{\frac{3}{2}}} = -\frac{x}{r^3} \cdots \cdots (2)$$

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2} \left(\frac{1}{r} \right) = \frac{\partial}{\partial x} \left(-\frac{x}{r^3} \right) = -\frac{1}{r^3} + 3\frac{x}{r^4} \cdot \frac{\partial r}{\partial x} = -\frac{1}{r^3} + 3\frac{x}{r^4} \cdot \frac{x}{r} = -\frac{1}{r^3} + 3\frac{x^2}{r^5} \cdots \cdots (3)$$

図 3 ベクトル解析のページの例, 左は PC 版, 右はスマートフォン版のページ

4. 量子力学の Web サイト

量子力学の Web サイト¹¹⁾では、シュレディンガー方程式に関するページ作成を行った。電磁気学の Web サイトと同様に、重要となるポイントごとに 1 ページにまとめ、順番に配置する工夫をして初学者にも分かりやすい構成とした。また、微分方程式の解法などの数式も基本的なところから省略することなく記述している。以下では、これまでに作成したいくつかのページについて紹介する。

4.1 シュレディンガー方程式のページ

図 4 に、「自由粒子のシュレディンガー方程式」のページの一部を示す。量子力学において、粒子性と波動性の両方の性質をもった量子の概念と、その量子の存在が確率で決まるといった確率解釈の概念が非常に重要になる。ここでは、1 次元と 3 次元のシュレディンガー方程式を導入し、量子の存在確率密度が波動関数によって表されることを説明している。

4.2 シュレディンガー方程式の定常解のページ

図 5 では、「1 次元ステップポテンシャルに対するシュレディンガー方程式の定常解」の Web ページを示した。このページでは、具体的にシュレディンガー方程式を微分方程式の解法を用いて解く過程を説明している。ステップポテンシャルは、位置 $x \geq 0$ の領域で V_0 、その他の領域では 0 としている。この問題では、 x の値、および粒子の入射エネルギー E と V_0 の大小関係により場合分けをして調べる必要がある。Web ページでは、これを系統的に分かりやすく解説している。

図 6 は、入射エネルギー E が V_0 より大きい場合のシュレディンガー方程式の定常解を示した図である。 E が V_0 より小さい場合についても定常解の図を作成し、その場合の解法を Web ページ中で解説している。

自由粒子のシュレディンガー方程式

量子は粒子性と波動性の2重性をもち、その挙動はシュレディンガー方程式で表される。量子の質量 m [kg]，Dirac 定数 $\hbar = \frac{h}{(2\pi)}$ (プランク定数 $h = 6.626 \times 10^{-34}$ J・s) として、1次元(x 軸)上で力を受けずに自由に運動している粒子のシュレディンガー方程式は

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \psi(x, t) = -\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2}{\partial x^2} \psi(x, t)$$

と表される。ここで、 $\psi(x, t)$ は波動関数、 $P(x, t) = |\psi(x, t)|^2$ は量子の存在確率密度を表す。1次元上の $x \sim x + dx$ の間に見出される量子の存在確率は、

$$P(x, t)dx = |\psi(x, t)|^2 dx$$

と表される。

図 4 「自由粒子のシュレディンガー方程式」のページ

1次元ステップポテンシャルに対するシュレディンガー方程式の定常解 (ステップポテンシャル)

1次元 (x 軸上) のポテンシャル中を運動する質量 m の量子に対するシュレディンガー方程式は次式となる。

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \psi(x, t) = \left(-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2}{\partial x^2} + V \right) \psi(x, t)$$

Figure1のようなステップポテンシャル

$$V = \begin{cases} 0 & (x < 0) \\ V_0 & (x \geq 0) \end{cases}$$

において、 $x < 0$ の十分遠方 ($x \sim -\infty$) の粒子源からある運動量をもつ粒子を x の正の向きに入射し続けている状況を考え、その定常状態(確率密度の空間分布が時刻に依らず変化しない状態)についてのシュレディンガー方程式の解を求める。

図 5 「シュレディンガー方程式の定常解」のページ

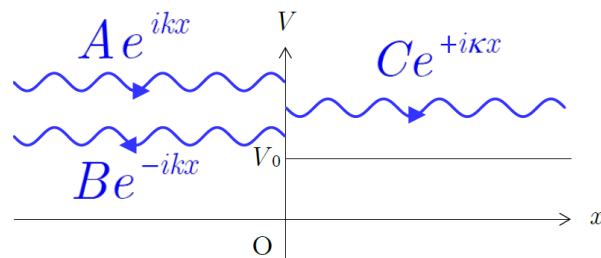


Figure 2 Wave line of the real part of the wave function

図 6 ステップポテンシャル中のシュレディンガー方程式の定常解 ($E > V_0$)

4.3 変数分離形のページ

ステップポテンシャル中のシュレディンガー方程式の定常解を求める際に、変数分離形の概念が必要になる。変数分離とは、微分方程式において左辺を時間の変数、右辺を位置の変数のみを持つよう式変形し、左辺と右辺が定数関数に等しいとして解く手法で、工学の分野でもよく用いられる。

変数分離

定数状態の場合、エネルギーは時間的に変化しないで一定値をとる。ここで、エネルギーの一定値としての定数関数を E とおく。定常状態の場合、シュレディンガー方程式の解は変数分離 $\psi(x, t) = \phi(x)\varphi(t)$ で表すことができる。具体的に1次元(x 軸上)のポテンシャル中を運動する質量 m の量子に対するシュレディンガー方程式

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \psi(x, t) = \left(-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2}{\partial x^2} + V \right) \psi(x, t)$$

にこの解を代入すると、

$$\frac{1}{\varphi(t)} \left[i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \varphi(t) \right] = \frac{1}{\phi(x)} \left[\left(-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2}{\partial x^2} + V \right) \phi(x) \right]$$

これが定数関数 E に等しいとすると、変数分離により、以下2つの式に分離できる。

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \varphi(t) = E\varphi(t)$$

$$\left(-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2}{\partial x^2} + V \right) \phi(x) = E\phi(x)$$

上式は、エネルギー演算子の固有値が一定値 E になり、エネルギーが時間的に変化しない定常状態であることが確認できる。

図7 「変数分離形」のページ

図7は、この手法を解説したWebページの一部である。このページは、4.2の定常解のページに接続されており、利用者が解法のポイントとして理解しやすい構成になるよう工夫がなされている。

5. まとめ

2023年4月から我々が本学で開発している大学で学ぶ電磁気学と量子力学のeラーニング教材開発について報告した。特に、それらの作成手順や内容とともに、より分かりやすいサイトとなるよう工夫したポイントについて具体的に紹介した。電磁気学のWebサイトではガウスの法則とともに、電磁気学に付随する数学的内容として同時に開発しているベクトル解析のページを紹介し、量子力学のWebサイトではシュレディンガー方程式の解法ページについて解説した。

校内インターンシップ制度で雇用された学生に対して、ホワイトボードで電磁気学と量子力学の講義を行い、学生が学習しながら教員の指導のもとWebページ開発を行った。学生が初学者であったために、補足説明などを適宜入れて学生自身が理解できる分かりやすい内容になったと考えている。今後も、これらのページを拡充し、ICTの側面から本学のSTEAMの教育的付加価値を向上させるように尽力したい。

謝辞

ここで、Web ページについてとても貴重なコメントを頂いた本学の中村 晃教授と西岡 圭太教授に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 工藤 知草, 西岡 圭太, 中村 晃, 動くウェブサイト「KIT 物理ナビゲーション」の開発 (力学編), 日本物理学会 2016 年秋季大会 講演概要集, vol.71, no.2, p.967, 2016.
- 2) Tomoshige Kudo, Keita Nishioka, Akira Nakamura, ““KIT Physics Navigation”Showing Relationship Between High School and University”, Proceedings of the 14th International CDIO Conference, pp.223–229, 2018.
- 3) Crawley, E. F. The CDIO Syllabus: A Statement of Goals for Undergraduate Engineering Education, MIT CDIO Report #1, 2001.. Available at <http://www.cdio.org> (閲覧日 : 2025 年 8 月 18 日)
- 4) 田中 康寛, 金澤 梨々華, 工藤 知草, 量子力学と電磁気学を中心とした大学物理のウェブ教材開発, 日本物理学会 2024 年春季大会概要集, p.2020, 2024.
- 5) Tomoshige Kudo, Keita Nishioka, Akira Nakamura, “Evaluation for e-Learning Website of Physics by Browsing Path Analysis and Cluster Analysis of Access Log”, Journal of ICT, Design, Engineering and Technological Science, vol.2, no.1, pp. 16-22, 2018.
- 6) 中村 晃, 西岡 圭太, 工藤 知草, 渡辺 秀治, 秋山 綱紀, ウェブ教材と連動した微分の計算をアドバンスするチャットボットの開発, 2021 年度工学教育研究講演会講演論文集, pp.422–423, 2021.
- 7) KIT 数学ナビゲーション : <https://w3e.kanazawa-it.ac.jp/math/> (閲覧日 : 2025 年 8 月 18 日)
- 8) KIT 物理ナビゲーション (電磁気学の Web ページ) : <https://w3e.kanazawa-it.ac.jp/math/physics/category/electromagnetism/index.html> (閲覧日 : 2025 年 8 月 18 日)
- 9) 中村 晃, 工藤 知草, 西岡 啓太, 知識構造の可視化による STEM ウェブ学習の効率化-ネットワークグラフを用いたナビゲーション機能向上-, 2018 年度工学教育研究講演会講演論文集, pp. 536-537, 2018.
- 10) A. Nakamura, T. Kudo, K. Nishioka, International Journal of Recent Technology and Engineering, “Development of Visualization System of Knowledge Necessary for Solving Mathematical Questions”, Vol. 7 Issue 4S2, pp. 305-309, 2018.
- 11) KIT 物理ナビゲーション (量子力学の Web ページ) : https://w3e.kanazawa-it.ac.jp/math/physics/category/quantum_mechanics/index.html (閲覧日 : 2025 年 8 月 18 日)

[受付日 令和 7 年 (2025 年) 11 月 11 日, 採択日 令和 7 年 (2025 年) 12 月 15 日]



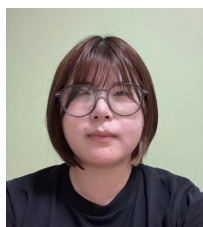
田中 康寛

講師・博士（理学）
基礎教育部
数理・データサイエンス・
AI 教育課程
物性理論



厳島 あずみ

工学部
情報工学科 4 年
情報セキュリティ・
機械学習・顔認証



金澤 梨々華

バイオ・化学部
生命・応用バイオ学科 4 年
応用微生物学・天然物創薬・
界面発酵・代謝工学



根間 裕史

講師・博士（科学）
基礎教育部
数理・データサイエンス・
AI 教育課程
物性実験



工藤 知草

准教授・博士（理学）
基礎教育部
数理・データサイエンス・
AI 教育課程
数学教育・物理教育・
情報教育・量子力学