

工学教育のデジタル化の取り組みと現状

金沢工業大学 基礎教育部 数理基礎教育課程
教授

中 村 晃

1. はじめに

新型コロナウイルス感染も収まりかけていたが、年末年始にかけてオミクロン株の感染が広がりはじめ再び予断を許さない状況になってきている。2年前に新型コロナウイルス感染が始まり、その感染対策の一環としてリモートワークが一気に広がった。その結果として、世の中の DX 化が急速に進展した。教育業界においても感染対策のために対面授業ができない状態になり必要に迫られて遠隔授業を実施することになった。そして、今まで課題であった教育の DX 化も瞬く間に進んだ。一言で教育の DX 化といっても、実際には様々な取り組みがある。例えば、ウェブ教材の活用、LMS（学習管理システム：Learning Management System）の導入、Slack などのコラボレーションツールを用いた協働学習、Zoom などを用いた遠隔授業、学習履歴を基にした AI によるアドバイスなどである。筆者は長年、授業だけでなくウェブ教材の作成を通して工学教育に携わってきた。ここでは、筆者の取り組み、および、工学教育のデジタル化の現状を紹介したい。

2. 社会の変化

産業革命後、世の中に工業製品が溢れるようになり、生活環境が大きく変化してきた。この変化のスピードが近年とくに速くなっている。その要因は、「半導体の集積率が 18 ヶ月で 2 倍になる」いわゆるムーアの法則によって半導体の性能が指数関数的に向上したことによると言われている。ムーアの法則を実現するために半導体の製造に関わっている材料技術、加工技術、検査技術も同時並行して急速に進歩した。この技術進歩が多く他の産業にも波及し、次々と技術革新が生じた。コンピューターの性能が指数関数的に向上したことにより、ソフトウェアで実現できる領域も広がり、技術の重心がハードウェアからソフトウェアに移ってきている。その代表例が AI の急速な進歩である。その結果、先端の技術開発ができるようになるためには、従来よりも必要な知識量が増え、しかも高度な知識を身に付けなければ

ならなくなった。工学教育に携わる者としては、教育 DX を推進し教育の効率および質を高めて、このような環境変化に対応していく必要がある。

教育の DX 化を推進する上で参考になるのは、電子書籍の登場によっていち早く DX 化が進んだ書籍の状況変化であろう。学習に使われていた書籍の内容の構成で大きく分けると、参考書と辞書の 2 種類である。参考書では、基礎的な知識を基にして応用的な知識を説明する知識の積み上げ式になるため、基礎的な知識から応用的な知識へと、順序正しく記述されている。辞書では、知識の名称のあいうえお順など、引きやすいように知識の内容には関連のない規則の順で記述されている。書籍のデジタル化で両者がどうなったかは、みなさんご存じだろう。紙の辞書は電子辞書やオンライン辞書にほとんど駆逐されてしまった。紙の辞書はかさばるし、紙の辞書を引くのには結構時間がかかる。それに対して、電子辞書はコンパクトであるし、オンライン辞書は素早く引くことができ、紙の辞書より利便性が高い。筆者はオンライン辞書派である。最近、電子書籍をよく購入するようになったが、何回も読み返すような参考書は、筆者自身は電子書籍よりも紙の書籍の方を選ぶ傾向がある。その理由は、どの辺に何が書いてあったかは、物理的な紙の書籍の方が把握しやすいと感じているからである。しかしながら、電子書籍の検索機能はとても便利であると考えている。学習効率を高めるためには電子書籍と紙の書籍の両方を使うのがベストだと思う。この DX 化における出版業界の変化を踏まえ、教育の DX 化を進める必要がある。

3. ウェブ教材の開発

筆者は 2004 年から「KIT 数学ナビゲーション」¹⁾ という数学のウェブ教材の開発を始めた。本学の学生だけでなく広く使っていただきたいと思いウェブ教材はインターネットで公開している。書籍の DX 化による変化を踏まえ、開発コンセプトは「数学のオンライン参考書」で、辞書のように手軽に数学の

知識を検索できるように取り組んだ。ウェブページの特徴は検索性とハイパーリンクによる参照性であるので、ウェブ教材は辞書的な構成の方が、参考書のような積み上げ式の構成より有利であると考えている。このコンセプトを実現するために、ひとつの知識を1ページにまとめて解説し、解説の中で使う知識にはハイパーリンクで該当するページを参照する構成になっている。2015年には「KIT 物理ナビゲーション」²⁾、2017年には「KIT 工学ナビゲーション」³⁾を新たに立ち上げた。これら3つを統合したものを「KIT STEM ナビゲーション」⁴⁾と呼んでいる。開発に携わっている教員も増え、学生スタッフも参加している。

KIT STEM ナビゲーションでは、学習の効率と質を高めるためにいろいろと工夫をしている。以下にその内容を述べる。

(1) 遠隔授業での質問対応

遠隔授業では、学生の質問に対して電子メールやメッセージアプリで回答する機会が増加した。前述したように、KIT STEM ナビゲーションでは、ひとつの知識を1ページにまとめて解説しているの、指導に必要な知識が記載されているウェブページのURLを電子メールやメッセージアプリで質問者に伝えるだけで、学生への遠隔指導が可能になる。指導できる内容を増やすために、1ページ1問で構成されている演習問題のページも順次作成をしている。

(2) リンク・バック・ラーニング

辞書的な構成で、関連するページを参照するようにハイパーリンクで関連付けているため、積み上げ式学習よりも、ハイパーリンクをクリックして基礎的な知識に向かって学習する立ち返り学習が容易にできる。この立ち返り学習のことを筆者らは「リンク・バック・ラーニング」と呼んでいる。KIT STEM ナビゲーションは、学びたい知識を検索しハイパーリンクで理解不足の知識を参照しながら学習する方法に適している。実際に、アクセスログを解析すると、インターネット検索経由で利用している割合は約7割である。

(3) 知識構造の可視化⁵⁾

ひとつの知識を1ページにまとめて解説し、解説の中で使う知識にはハイパーリンクで該当するページを参照する構成にすると、ハイパーリンクの構造が知識構造に対応することになる。数学の部分のハイパーリンク構造を解析し、数学の知識構造を、ネットワークグラフを用いて可視化した。その結果を図1に示す。円がノードでウェブページを、円と円

の間を繋いでいる円弧がエッジでハイパーリンクを示す。ハイパーリンクの方向は時計回りである。ノードのラベルはウェブページのタイトルになっている。多くのページから参照されるページは重要な知識と考えノードの円の半径を大きくしている。ハイパーリンクは知識を参照するために張られるので、ハイパーリンクの方向は応用的な知識から基礎的な知識に向いている。この特性を用いて知識の難易度を算出した。青が基礎知識、赤が応用知識に対応し、青から緑を経由して赤になるように11段階で色分けして各ウェブページに記載された知識の難易度を表現している。この知識構造は拡大縮小ができ、任意のウェブページに簡単にアクセスできる工夫がなされている。この数学の知識構造の可視化により、数学の知識が不足していても各数学の知識間の関係性を直感的に把握することができ、数学の学習効率を高めることができる。

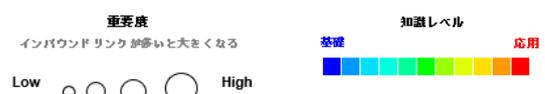


図1 数学の知識構造の可視化

(4) ハイパーリンクによる数学・物理・工学の統合⁶⁾

工学は数学、物理学などを基礎とした応用学問であるため、これらの学問間の関係性を把握することは、知識の理解を深めることになる。KIT STEM ナビゲーションでは、KIT 数学ナビゲーション、KIT 物理ナビゲーション、KIT 工学ナビゲーションの各ウェブページ間をハイパーリンクで関連付け、図2に示す様にネットワークグラフを用いて数学、物理、工学の知識の関係を可視化した。各ページには図2のようなネットワークグラフを表示するためのハイパーリンクが設けられている。図2は「外積」の学習を例にしており、赤色のノードが学習しているウェブページを示す。水色のノードは数学、緑色のノードは物理、黄土色のノードは工学の知識を表す。

エッジの矢印の方向はハイパーリンクの方向を示す。数学で学ぶ「外積」は、物理で学ぶ「力のモーメント」に使われており、工学で学ぶ「曲げモーメント」に関係していることが分かる。このように学習しているウェブページを起点として基礎的な知識と応用的な知識の関係を容易に把握することができる。更に、ノードをクリックするとウェブページにジャンプする仕組みとなっている。

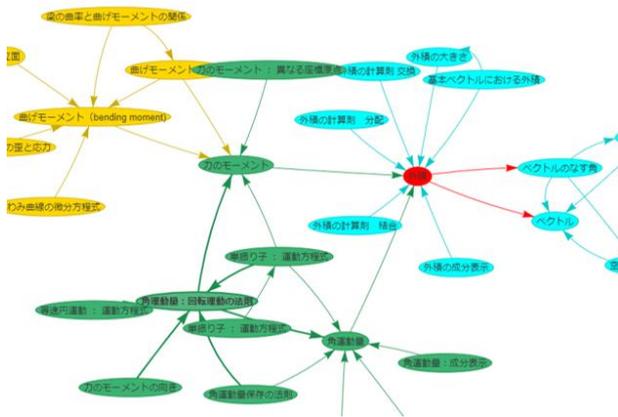


図2 学習している知識の近傍の知識構造

次に、KIT STEM ナビゲーションの利用状況について述べる。

(1) 年間推移

図3は2017年から2021年までの過去5年間の月間の訪問者数の推移を表したグラフである。コロナ禍前の2017年から2019年の3年間の特徴としては、学生が春休みの時期の3月に訪問者数が最小になり、夏休みの時期の8月、9月も訪問者は少なく、期末試験の時期の7月と1月に訪問者数のピークが生じている。コロナ禍で急きょ遠隔授業を開始した2020年5月から急激に訪問者が増加し、7月には例年の2倍程度の訪問者になった。2021年の前半まで

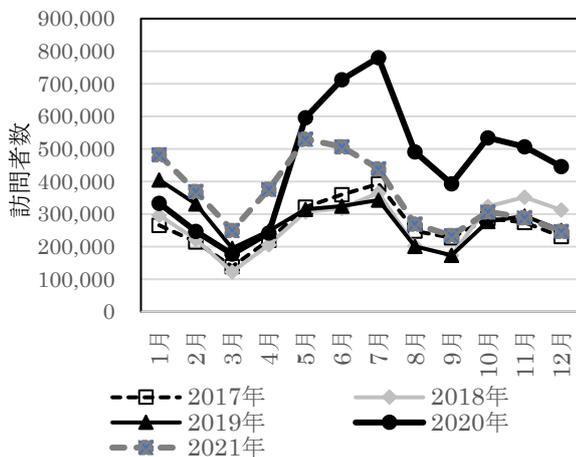


図3 訪問者数年間推移

は例年より増加傾向にあったが、8月には例年程度に戻った。2021年度の後学期から通常通りの授業運営に戻ったと思われる。

(2) 週間推移

2021年10月の訪問者数推移を図4に示す。月、火、水、木は、訪問者数は同程度であるが、金曜日には訪問者数が減少し始め、土曜日が最も訪問者数が少なく、日曜日に若干訪問者数が増加する。

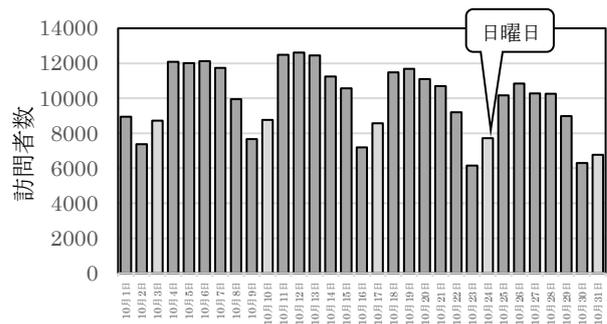


図4 2021年10月の訪問者数推移

(3) 日間推移

1日におけるページビューの推移をみると、3回ピークがある。第1回目は11時台、第2回目は14時台、第3回目は22時台である。食事時の12時台、19時台にはページビューが減少し、最もページビューが少ないのは5時台である。

アクセスログデータからユーザーのホストのドメインを確認すると、インターネットプロバイダーや大学からのアクセスだけでなく、日本のメーカーからのアクセスも多くあることが確認できる。このことからKIT STEM ナビゲーションは企業技術者にも役立っていると思われる。

4. 公開されているデジタル教材

工学教育に関するデジタル教材で筆者が把握しているものを取り上げてみる。

(1) ウェブ教材

筆者らが開発しているようなウェブ教材は、既にインターネット上には豊富にある。Wikipediaはあらゆるジャンルのコンテンツが存在するが、工学系の教材も豊富で、工学関連のウェブ教材で最も使われている教材のひとつではないかと思う。大学の教員が授業資料をウェブ教材として公開しているものも多くある。更に、企業や個人が工学関連の教材を公開している場合もある。

(2) オープンコースウェア

フリー百科事典『ウィキペディア (Wikipedia)』によると、「オープンコースウェア (OpenCourseware; OCW) とは、大学や大学院などの高等教育機関で正規に提供された講義とその関連情報を、インターネットを通じて無償で公開する活動。2003年9月、アメリカの理工系大学マサチューセッツ工科大学が世界初の OCW サイトを立ち上げ、その後世界中の大学にその活動が広がっている。」⁷⁾となっている。

マサチューセッツ工科大学の OCW⁸⁾ では講義関連の資料が公開されているだけでなく、科目によっては授業のビデオが公開されている。ビデオ講義の配信には YouTube を利用しており、日本語の字幕を表示させることも可能になっているものもある。

「オープンコースウェア」と検索すれば、日本においても多くの大学が講義動画や講義資料を公開していることが確認できる。オープンコースウェアのコンテンツも年々増加しており、近い将来オープンコースウェアのコンテンツだけでも大学卒業レベルの知識を修得できるであろう。

(3) Massive Open Online Course (MOOC)

フリー百科事典『ウィキペディア (Wikipedia)』によると、「Massive Open Online Course (MOOC、ムーク) または Massive Open Online Courses (MOOCs、ムークス) は、インターネット上で誰もが無料で受講できる大規模な開かれた講義のことである。代表的なプラットフォームとしては「Coursera」「edX」や、日本版としては JMOOC が提供する「gacco」「OUJ MOOC」があり、条件を満たせば修了証が交付される。」⁹⁾

JMOOC¹⁰⁾を確認すると、材料力学、電気回路、制御工学など工学に関する講座も多数ある。

(4) YouTube

ご存じのように動画配信サービスの雄は「YouTube」である。様々な動画が投稿されているが、最近では工学教育関連の動画投稿も充実している。大学の講義を投稿している場合もあれば、教育系 YouTuber の方が投稿しているコンテンツも多い。京都大学は Kyoto-U OCW というチャンネルを持っており、2022年1月5日時点で6,168本の動画を投稿している。工学に関連する教育系 YouTuber のチャンネルとして有名なのは、『予備校のノリで学ぶ「大学の数学・物理」』¹¹⁾であろう。2022年1月5日時点でチャンネル登録者数は84.4万人である。学生がこのチャンネルの講義を視聴しているのを見かけ

たこともある。教育系 YouTuber によるプログラミングや数学、物理などの動画も着実に増加している。

英語のコンテンツの量は日本語のコンテンツの量より桁違いに多いであろう。筆者がチェックしたことのあるチャンネルを紹介する。数学では、「3Blue1Brown」¹²⁾、物理では、「Physics Videos by Eugene Khutoryansky」¹³⁾がある。両者ともグラフィックが素晴らしい。このようなグラフィックを大学の授業で準備するのは困難であると思う。探せばもっと品質の高い教育コンテンツは存在するであろう。Khan Academy¹⁴⁾は YouTube から生まれた非営利団体であるが、Google や Bill and Melinda Gates Foundation などからも支援があり、コンテンツも豊富で多言語対応を進めており気になる存在である。

(5) 英語コンテンツ

学術・研究の分野では英語が共通語になっており、しかも、英語が使える人口は日本語が使える人口より1桁多い。そのため、英語のウェブ教材も多く存在する。英語が苦手な人でも、Google Chrome や Microsoft Edge のブラウザに付随している自動翻訳機能を使い日本語に変換すれば利用可能である。正しく翻訳されていない場合もあるが、急速な AI 技術の進歩を考えると、近い将来、十分な翻訳精度になるだろう。自動翻訳では、Google 翻訳が最も有名であると思うが、DeepL¹⁵⁾は翻訳精度が高いことで知られている。

(6) 数式処理システム

工学の数式を計算するのに Mathematica や Maple などが使われている。個人で購入するにはかなり高価なソフトウェアである。ところが、Mathematica を開発した Wolfram Research が WolframAlpha¹⁶⁾というウェブサービスで、数式処理を解答だけなら無料で提供している。Mathematica 固有のコマンドで計算式を入力する必要もなく、「 $\sin(2x)$ の二次導関数」と入力すればよく、数式処理に関する知識がほとんどなくても利用できるようになっている。複雑な数式の入力には、数式を入力するための GUI が装備されている。有料会員(学生だと月額550円)になれば計算ステップごとの解説も提供している。スマホアプリにも数式処理ができるものがある。WolframAlpha のように高機能ではないが「Photomath」¹⁷⁾というアプリでは微積分程度までなら計算可能である。微分方程式の計算は無理であった。アプリを立ち上げ、紙に書かれた数式(手書きでもよい)をスマホのカメラ機能で認識させると、スマホの画面に答が表示される。簡単な計算

手順も提示できる。数式が記載されたプリントであれば、数式の入力も不要である。近い将来、数式処理が現在の電卓のように一般的に使われるようになるであろう。

5. おわりに

今まで述べてきたように、インターネット上には既に豊富に教育コンテンツが存在し、インターネット検索によって必要な教材を探し出し活用することができる。筆者も日ごろインターネット検索をしながら学習を進めることがある。その時に感じる不便さは、(1) 必要な教材は存在するが、検索で見つけ出すのに時間がかかる、(2) 断片的な教材が多く、記載している内容を理解するには、検索を繰り返す必要がある、等が挙げられる。同様なことはみなさんも感じているのではないか。このような不便さを解消するために、KIT STEM ナビゲーションではコンテンツの改善及び拡充を継続的に取り組んでいる。教育DXではAIを用いた個別学習システムも注目されている。将来的には、KIT STEM ナビゲーションにもAIを取り入れることにより提供できる学習環境をアップグレードできればと考えている。

デジタル教材の普及とAIによる音声認識、音声合成、自動翻訳の進歩が掛け合わされ、教育における言語の壁がなくなる方向に進んでいる。今後、教育のグローバル化が急速に進み、IT業界におけるMicrosoftやGoogleのような企業が教育業界にも生まれるだろう。工学教育においては、CourseraやedXなどの大学レベルの講義を提供するMOOCの動向を注視し、我々も教育のグローバル化に備える必要がある。

謝辞

KIT STEM ナビゲーションの開発に携わっている西岡圭太准教授、工藤知草講師、渡辺秀治講師、秋山綱紀講師、学生スタッフ、並びに、金沢工業大学の関係者に感謝する。また、KIT STEM ナビゲーションの開発に関する研究は科研費19500826、25350359、16K01137、19K03154の助成を受けたものである。

参考文献・資料

- 1) KIT 数学ナビゲーション
<https://w3e.kanazawa-it.ac.jp/math/>
- 2) KIT 物理ナビゲーション
<https://w3e.kanazawa-it.ac.jp/math/physics/>
- 3) KIT 工学ナビゲーション
<https://w3e.kanazawa-it.ac.jp/math/engineering/>
- 4) KIT STEM ナビゲーション
<https://w3e.kanazawa-it.ac.jp/math/stem/>
- 5) Akira Nakamura, "Graph drawing of knowledge structure of mathematics combined with knowledge level," Proceedings of INTED2015 Conference (9th International Technology, Education and Development Conference) pp. 2576-2579, 2015
- 6) A Nakamura, T Kudo, K Nishioka, "Development of the visualizing system of knowledge structure based on STEM e-learning website," Proceedings of the 9th International Conference on Language, Innovation, Culture & Education, pp. 24-25, 2018
- 7) オープンコースウェア
<https://ja.wikipedia.org/wiki/オープンコースウェア>
- 8) MIT OpenCourseWare
<https://ocw.mit.edu/index.htm>
- 9) MOOC
https://ja.wikipedia.org/wiki/Massive_open_online_course
- 10) JMOOC <https://www.jmooc.jp/>
- 11) 予備校のノリで学ぶ「大学の数学・物理」
<https://www.youtube.com/channel/UCqmWJJoIqAgjIdLqK3zD1QQ>
- 12) 3Blue1Brown
<https://www.3blue1brown.com/>
- 13) Physics Videos by Eugene Khutoryansky
<https://www.youtube.com/user/EugeneKhutoryansky/featured>
- 14) Khan Academy
<https://www.khanacademy.org/>
- 15) DeepL <https://www.deepl.com/translator>
- 16) WolframAlpha
<https://www.wolframalpha.com/>
- 17) TechCrunch Japan 「数学学習アプリのPhotomathが24.3億円調達、2億2000万ダウンロード突破」
<https://jp.techcrunch.com/2021/02/19/2021-02-18-math-learning-app-photomath-raises-23-million-as-it-reaches-220-million-downloads>