

オープン教材を活用した原子力工学分野における リカレント教育プログラムの展開

北海道大学大学院
工学研究院応用量子科学部門
北海道大学大学院工学研究院
原子力安全先端研究・教育センター

小崎 完

北海道大学大学院工
学研究院応用量子科学部門
北海道大学大学院工学研究院
原子力安全先端研究・教育センター

渡邊 直子

北海道大学大学院工学研究院
原子力安全先端研究・教育センター

中島 宏

北海道大学大学院教育推進機構
オープンエデュケーションセンター

小林 和也

北海道大学大学院工学研究院
原子力安全先端研究・教育センター
北海道大学大学院教育推進機構
オープンエデュケーションセンター

重田 勝介

オープン教材を活用した原子力工学分野における リカレント教育プログラムの展開

Development of Recurrent Education Program Utilizing Open Educational Resources in
the Field of Nuclear Engineering

小 崎 完^{*1, 2}
Tamotsu KOZAKI

渡 邊 直 子^{*1, 2}
Naoko WATANABE

中 島 宏^{*2}
Hiroshi NAKASHIMA

小 林 和 也^{*3}
Kazuya KOBAYASHI

重 田 勝 介^{*2, 3}
Katsusuke SHIGETA

Various open educational materials have been produced and made available on the internet by the human resource development project in the nuclear field at Hokkaido University. Massive Open Online Courses (MOOCs) also have been produced and offered by the project. Both of them can be used and effective in recurrent education. Course materials for recurrent education need to be designed in a systematic, comprehensive, and hierarchical manner in order to meet the requirements and preferences for professional development and skill enhancement of individual students. The content needs to be aligned with industry and societal needs reflecting the latest progress in science and technology. Offering certificates of completion can also serve as motivation for learners. Human resources are vital in developing these educational materials as collaborative activities are necessary between experts in nuclear engineering and educational technology, as well as technical staffs who specializes in copyright processing etc.

Keywords : Recurrent Education, Open Educational Resource, Nuclear Engineering

キーワード : リカレント教育, オープン教材, 原子力工学

1. はじめに

情報通信技術 (ICT) を活用した教育・学習支援は、コロナ禍により急速に普及し、工学教育においても不可欠なものとなった。また「オープンエデュケーション」と呼ばれる運動において、大学や学校、生涯学習教育で使われる資料がインターネット上で、無償で一般公開され、多くの学習希望者に教育機会が届けられるに至っている。これにより、多様な内容の「教材蓄積」が可能となり、蓄積された教材を予習教材などとして利用することでより効果的な学習を実現する「教育改善」に加え、様々な学術分野の学習や専門家による教育を、インターネットを介して無料で受けられることから、「生涯学習」の機会が広がっている¹⁾。こうした活動は、ポストコロナの社会においても、さらに大きく展開するものと予想される。またこうした潮流と関連して、様々な分野で業務内容が複雑化した結果、学校卒業後にも仕事で求められる能力の開発のために、社会人の学び直しとしてリカ

レント教育にも注目が集まっている。

これに対して、近年、大学では教員定員の削減が進み、工学教育は年々難しさを増している。また、若い世代の工学離れ（農学・生物学志向）の中、それに伴う学力低下や学習・研究意欲の低下が懸念されている。とくに、原子力および放射線分野においては、2011年の福島第一原子力発電所の事故以降、この専門分野への進学・就職を敬遠する傾向が顕在化した。その一方で、福島第一原子力発電所の廃炉や放射性廃棄物処分、さらにはカーボンニュートラルを目指した次世代革新炉の開発など、多くの人材が求められており、人材育成が喫緊の大きな課題となっている。なお、原子力は様々な専門分野から構成される複合工学であり、その教育は複雑なものとなっていることから、これは個々の学科・専攻あるいは大学で容易に対応できるものではなく、より大きな組織による取り組みが不可欠であった。

北海道大学（以降、「北大」と略す）では、大学院工学研究院の原子力系教員を中心に、福島第一原子力発電所の事故直後の2011年9月から文部科学省の補助金（国際原子力人材育成イニシアティブ事業 [原子力人材育成等推進事業]、以降「原子力人材育成事業」と略す²⁾）を得て、国内外の大学、工業高等専門学校、研究機関、民間企業と連携して、原子力・放射線分野の人材育成を開始し、2013年度からは、原子力や放射線教育のためのオー

2024年8月27日受付

*1 北海道大学大学院工学研究院応用量子科学部門

*2 北海道大学大学院工学研究院原子力安全先端研究・教育センター

*3 北海道大学大学院教育推進機構オープンエデュケーションセンター

本論文では、北大を拠点とした原子力人材育成事業におけるオープン教材の制作・公開状況ならびに社会人の活用状況を述べるとともに、これまでに蓄積した原子力人材育成事業に関する知見・経験をもとに、オープン教材を活用したリカレント教育の今後の展開の可能性ならびに課題点を検討する。

2. オープン教材を用いたリカレント教育の現状

北大にて、原子力に関するオープン教材が最初に制作・公開されたのは2013年である。これは2011年から開始した原子力人材育成事業「多様な環境放射能問題に対応可能な国際的人材の機関連携による育成」で開講した、放射線リスク、原子力安全、環境放射能などの公開講義を収録したものである。講義を聴講した一般市民から、動画収録およびその提供の要望が寄せられたことが契機となり、福島第一原子力発電所の事故直後の社会的な関心に応えるとともに、講義内容を記録に残すこととした。すなわち、オープン教材制作・公開は当初から、一般市民への学習機会を提供する、リカレント教育を意図した活動であった。

北大が全国コンソーシアムの下でオープン教材制作およびカリキュラム構築の拠点となった2020年度からは、原子力人材育成事業における活動目標を

- 日本の原子力政策、エネルギー政策を俯瞰的に思考し、未来を切り拓ける人材および世界最先端の研究・技術開発を推進できる人材の育成
- 企業において即戦力となる人材、日本における喫緊の

課題について解決できる科学的・技術的知見を有する人材の育成

- 国際的情勢に通じ、国内外の文化の違いを考慮して、原子力分野の研究技術開発、規格・標準などについて、日本のプレゼンスを示せる人材の育成
- 原子力を含む科学のリスクについて認識し、社会におけるリスク共通認識形成にかかる仕組みの構築を思考できる人材の育成

とした。また、育成対象を高専生・大学生に限定せず、幅広い年齢層を対象と設定し、教材制作を加速させた。これにより、原子力・放射線分野のオープン教材制作・公開数は急速に増加し、2024年3月末現在で165講義となっている。これらのオープン教材は、北大OECのサーバーから、北海道大学オープンコースウェア (Open Course Ware) の一部として、他分野の教材とともに無料で一般公開されている (図1)⁶⁾。なお、これらオープン教材の著作権は北海道大学に帰属するよう担当教員と書面を交わし、北大OECの著作権担当専任スタッフにより、教材内の資料について、権利調査や利用許諾申請を行って映像教材化している。

原子力・放射線分野のオープン教材数は他分野の教材数を凌駕しているが、それでも幅広い原子力・放射線分野の全体をカバーするには至っていない。オープン教材へのアクセス数 (再生数) を図2に示す (教材の内容ごとに、60~90分の講義を分割して公開しているため、アクセス数は講義受講数とは一致していない)。アクセス数は、オープン教材の公開数の増加とともに増え、2013年



図1 北大OEC・Homepageでのオープン教材の公開状況

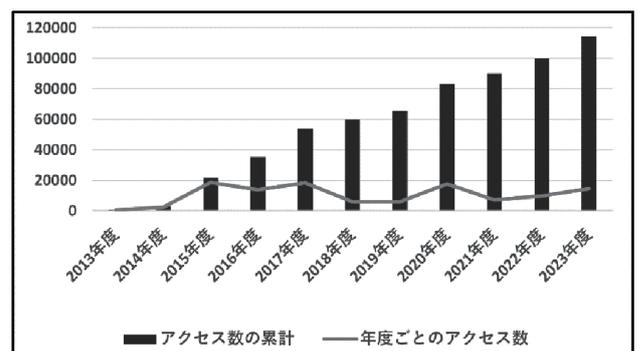


図2 オープン教材アクセス数の推移

から現在までの累計で124,000件を超えている。

オープン教材は、「誰でも、どこでも、何時でも、(講師の退職などにかかわらず)何時までも」即座に無料で受講できることが利点である。この利点を最大限活かすため、受講者にアカウントの作成などを求めていることから、OCWでは利用者情報は得られない。唯一得られる受講者のIPアドレス情報から、大学、高等専門学校に加えて、民間企業、国の機関、地方自治体などからのアクセスが認められ、リカレント教育に役立っていることがうかがえる。一方、近年、コンソーシアム内で連携している一部の民間企業が社内教育にオープン教材を活用し始めており、リカレント教育への活用が着実に広がりつつある。

3. MOOCにおけるリカレント教育の現状

MOOCとは、大規模公開オンライン講座(MOOC, Massive Open Online Course)の略称で、多くの場合一定期間オープン教材を公開するのみならず、学力判定や、学習者同士、あるいは学習者と専門家が教材内容について質疑応答などのコミュニケーションが可能な電子掲示板を提供するなど、開講期間中に学習を支援するサービスも提供可能な教材プラットフォームである。学習者はMOOCが提供されているウェブサイトに登録してアカウントを作成し、オープン教材を視聴して、教材で学んだ内容について知識確認クイズの解答やレポート課題を提出する。こうして得られた学習者データ(視聴率や解答状況、開始・終了時アンケートなど)に基づき学習評価が可能で、単にオープン教材を視聴するだけではない、大学が提供するオンデマンド講義に準じた教育を行うこと、より専門的な内容に踏み込んだ教育を大学の外へも提供することが可能であり、リカレント教育の趣旨に合致する。北大拠点では、これまでに制作・公開したオープン教材をベースに、MOOCを複数開講してきた。このうち、2015年にedX(米国のMOOC公開サービス組織)にて開講した「Effects of radiation: Introduction to radiation and radioactivity」(図3)⁷⁾では、8名の北大の教員(工学および獣医学)が4週にわたって講義を行った。これは単に関連のオープン教材の寄せ集めではなく、全体および各週の学習目標を設定し、用語の統一を図った他、各回の理解度クイズおよび中間・最終テストを作成したものであった。また、開講期間中は電子掲示板を管理するTAとして、当該専門分野を専攻する大学



図3 edXにて開講した英語版MOOC

院生を雇用し、講師に寄せられた質問などに答える体制となっていた。この講座には、最終的に世界133ヶ国から計4,342名の受講登録があった。国別には、米国(19.9%)、インド(11.1%)、英国(4.1%)、カナダ(3.0%)の順に多く、3~1.8%の間に、スペイン、ロシア、メキシコ、ブラジル、エジプト、フランス、ドイツ、オーストラリア、パキスタン、日本がならんだ。受講登録者の年齢は、25歳以下:39.4%、26~40歳:41.7%、41歳以上:18.9%、平均年齢は28歳であった。年齢構成から、リカレント教育目的の受講生が相当数となっていたことがうかがえる。また、このことは、一部の受講生が受講後の感想・コメント文においてリカレント教育に言及していたことから確認できた。なお、受講期間内に最終テストをクリアした講座修了者は計380名、このうち、この講座の内容を高く評価し、有料の修了証の取得を希望した者は49名であった。

2020年には、日本語版のMOOC「放射線・放射能の科学」をgacco(国内のMOOC公開サービス組織)にて開講した(図4)⁸⁾。日本語版では、英語版の内容に陽子線治療に関する講義を加え、8名の北大教員(工学および獣医学)による計5週間の講座とした。新たに追加した陽子線治療に関するもの以外のオープン教材は、2016年度から大学学部生向けの演習科目にて、反転授業用予習教材として活用したものであり、その際に教員や学生からのフィードバックを受けて改善されたものであった。講座は英語版と同じく、理解度確認のためのクイズ(毎週)および最終テストを用意した他、同コース受講生専用の電子掲示板が開講期間に開設された。

2020年度日本語版MOOCの初回の講座では、受講登録者数は2,635名に達した。また、受講期間内に最終テストをクリアした講座修了者は計585名となり、他の講座よりも高い割合であった。日本語版MOOCは、その後、2021年(第2回)および2023年(第3回)にも開講し、計3回の登録者総数は4,432名、講座修了者総数は875名となった。表1に第1回~第3回の受講登録者の年齢構成を示す。各回の年齢構成はほぼ同じであり、20代以下:20.4%、30~40代:23.6%、50代以上:39.8%であり、日



図4 2020年開講の日本語版MOOC

表1 日本語版MOOC受講者の年齢構成

受講者年代	10代以下	20代	30代	40代	50代	60代	70代	その他	合計
受講登録数	333	569	493	555	658	671	436	717	4,432
受講登録数構成比	7.5%	12.8%	11.1%	12.5%	14.8%	15.1%	9.8%	16.0%	

表2 日本語版MOOC受講者の職種構成

NO.	カテゴリ	実数	%
1	フルタイム	1,039	50.8%
2	パートタイム・アルバイト	183	8.9%
3	専業主婦（夫）	68	3.3%
4	無職	428	20.9%
5	小学生	2	0.1%
6	中学生	6	0.3%
7	高校生	39	1.9%
8	短大生・高専生・専門学校生	9	0.4%
9	大学生	211	10.3%
10	大学院生（修士課程）	27	1.3%
11	大学院生（博士課程）	10	0.5%
12	上記以外の学生	23	1.1%
	回答数合計	2,045	

本語版では英語版に比べて、受講者の年齢が明らかに高い。一方、第1回～第3回の受講者から回答があった職種の構成を表2に示す。職種構成においても、各回の回答内容に大きな差がなく、総回答数2,045名のうち、フルタイム勤務者：50.8%、無職：20.9%、大学生10.3%、パートタイム・アルバイト：8.9%、専業主婦（夫）：3.3%、高校生：1.9%であり、フルタイム勤務者がほぼ半数、パートタイム・アルバイトを含めると約6割であることから、本講座がリカレント教育として活用されたことがうかがえる。

受講前後に実施したアンケートにおいては、

- 「意欲のある社会人が学習するには、会社を辞めて大学に通わなければならない、このような場はとても素晴らしいと思います。」
- 「社会人にとって、学校に出向いて講義を受けることは容易ではない。今後も積極的に公開して下さい。受講生にとっては、自分に合う講義を自由に受けることが可能。その結果、受講生にとって有益な学ぶ場が提供される。」
- 「社会人は学びの場が少ない。学ぶ意欲がある人間も多くはない。環境を提供するという点では、無料開講は良いと思う。お金を払っている学生には、その分他の形で還元すればよい。」
- 「社会人になってから、特定の（専門）分野に興味を持つ方は決して少なくないと思います。専門分野を学習したいけど、すでに働いていると、辞めてまで大学に入学しようと思うのは相当の決心が必要だと思います。そのため、無料で公開していただくことで、本当に学びたい人が学べるため、すごくありがたいと私は考えます。」
- 「大学を出て、社会人として勤め上げた者にとり、学び直しをすることは良い事でもあると思う。また、地域の発展のために貢献したいと思い、自宅で無料で勉強できる環境下にある事に感謝する次第です。」

などのように、リカレント教育へのニーズ、社会人の学習環境（時間、通学、経済的な制約）、MOOCの有効性および期待に関するコメントが多数あった。



図5 2024年開講の日本語版MOOC

2024年3月には、新たに制作した日本語版MOOC「地層処分の科学」を開講した（図5）⁹⁾。これは、先の日本語版MOOC「放射線・放射能の科学」において初心者向けとして提供された、原子力発電で発生する高レベル放射性廃棄物の地層処分に関する講義を科学的・工学的に拡充したものである。講義は北大教員2名に加えて、全国コンソーシアムの下で連携した大学、国立研究所、さらには海外の大学教員が分担し、5週分、イントロ講義を含む計6講義から構成されている。受講登録者は1,300名を、講座修了者は80名を超えており、これらの数字は「放射線・放射能の科学」の第3回分よりも大きい。これは、専門性を高めたMOOCに対しても、そのテーマによっては受講生の関心が高いことを示唆している。今後は、講座の閉講を待ち、学習状況などを分析し、翌年度以降の再開講を検討する予定である。

4. 今後の展開と課題

オープン教材は、「誰でも、どこでも、何時でも、（講師の退職などにかかわらず）何時までも、無料で」受講できるものであることから、リカレント教育の教材に適している。とくに、学習者に時間的制約、地理的制約（遠隔地からの通学の困難など）、経済的制約がある場合に、その利点は大きい。一方、原子力は複合工学であるため、原子力・放射線分野といえどもその対象範囲は広く、それらすべてを網羅するためには相当数のオープン教材が必要となる。さらに、入門的レベルから、極めて専門性の高いレベルの講義まで、階層的に教材を整備するならば、その数はさらに増加する。また、リカレント教育に主に用いられる専門性の高い教材については、科学技術の進歩に合わせて常に内容を見直し、必要に応じて改訂あるいは最新の内容のものとの入替が求められる。すなわち、科学技術の進歩、社会および受講者のニーズなどを把握した上で、体系的、網羅的かつ階層的に教材を整備することが、今後、リカレント教育を展開する上で必要である。

OCWで公開しているオープン教材については、受講の簡便性、迅速性を優先していることから、受講者に関する情報は入手できない。従って、受講者のニーズの把握も困難である。これに対して、MOOCは、受講者登録が行われ、受講前後のアンケート調査などが可能なこと、学習管理システム（LMS）によって受講者の受講状況や理解度テストの結果などが把握できること、開講期間においては電子掲示板などが用意され、受講者との情報交換・意見交換が可能なことから、講義の難易度と受講者

の理解度の相関、受講者の関心度、受講者のニーズなどを比較的容易に入手できる。しかしこれはMOOCの開講期間に限定される。このため、北大拠点の原子力人材育成事業においては、オープン教材を反転授業用予習教材として用い、情報収集を図っている。また、オープン教材で学習した知識を定着させる場として、オープン教材で学習した全国の学生に対して、実験、実習、見学会への参加を促し、その際に学生の声聞く機会を設けている。社会人がリカレント教育を受ける場合には、そうした学習機会への参加を促すとともに、それが難しい場合の情報収集が大きな課題になると考えられる。

オンラインのみでの学習の場合、受講者の学習意欲の継続が課題となる。オープン教材での学習の場合、学修歴が記録されないことから学習証明は難しいが、MOOCにおいては修了証書などの発行が可能である。北大拠点の原子力人材育成事業では、令和6年度からはデジタル学習証明（デジタルバッジ）を発行し、学習者のモチベーション向上や学修歴への意識向上を図ることとしている。リカレント教育においては、受講者の所属する企業などにおいて、そうした学習証明が認知され、評価などに積極的に利用されることが望まれる。

北大拠点において現在公開しているオープン教材講義数は165を超えているが、上述の通り、原子力・放射線分野をカバーするには至っておらず、社会および受講者のニーズなどを把握した上で、今後も多くの講義を体系的、階層的に収録し、迅速に公開することが求められている。また、MOOCがリカレント教育に有効であり、ニーズが高いことを考慮すると、学習希望者のために一定期間ごとに再開講することも必要である。新たな内容の講座を新規に開講し、それに対する受講者の反応を分析することも有効と考えられる。さらにこうした活動は、長い期間にわたって継続的に行われなければならない。こうした活動には、講義を行う教員の他に、既存の対面講義の内容を元に、オンラインで効果的に学ぶことのできるオープン教材を設計開発する知識や技術を有する教育工学の専門家が必要である。さらに、一般公開に耐えうるオープン教材に要する厳密な著作権処理、教育内容をわかりやすく伝える動画編集、オープン教材を公開するサーバー管理を担当する専門スタッフも不可欠である。こうした人材の育成と北大OECでの人員確保が大きな課題である。

今後は、以上の課題の解決を図りつつ、オープン教材を活用した原子力教育を進めることで、大学においては優れた若手人材を輩出するとともに、企業におけるリカレント教育を支援し、原子力の技術水準を高めることが目標となる。また、一般市民の方々にも学習機会を用意することで、原子力への理解促進を図ることが望まれる。

5. まとめ

北大を拠点とした原子力人材育成事業においてオープン教材を制作・公開した結果、多数のアクセスが認められ、これらの一部は、民間企業、国立研究所、地方自治体からのものであり、リカレント教育に活用されている

ことが示唆された。また、一部の企業において社内教育に活用されるに至った。

オープン教材をもとに開講したMOOCにおいては、英語版および日本語版ともに多数の受講があった。日本語版では中高年齢層の受講者が多く、ほぼ半数はフルタイム勤務者であった。受講生からは、リカレント教育へのニーズ、社会人の学習環境（時間、通学、経済的な制約）とMOOCの有効性に関するコメントが多数あった。

今後は、科学技術の進歩、社会および受講者のニーズなどを把握した上で、体系的、網羅的かつ階層的に教材を整備することが必要である。また、学習意欲の向上のために、企業などで学習証明が評価などに積極的に利用されることが望まれる。さらに、オープン教材による知識習得と対面による実験や実習などを効果的に組み合わせ、原子力教育におけるハイブリッド型教育を開発することにより、多様な受講者のニーズに応じた教育環境を提供することも重要である。

利益相反

本活動の一部は文部科学省「国際原子力人材育成イニシアティブ事業（原子力人材育成等推進事業）」（2011年度採択事業 [2011～2013年度]、2014年度採択事業 [2014～2016年度]、2017年度採択事業 [2017～2019年度]、2020年度採択事業 [2020～2026年度]）として実施した。

参考文献

- 1) 重田勝介：オープンエデュケーション 開かれた教育が変える高等教育と生涯学習、情報管理, 59-1, pp. 3-10, 2016
- 2) 原子力安全研究協会：文部科学省、国際原子力人材育成イニシアティブ事業(原子力人材育成等推進事業費補助金)、Webページ, <https://jinzai-initiative.jp/>, 参照日：2024-8-27
- 3) 北海道大学オープンエデュケーションセンター：Webページ, <https://www.open-ed.hokudai.ac.jp/>, 参照日：2024-8-27
- 4) 未来社会に向けた先進的原子力教育コンソーシアム(ANEC)：Webページ, <https://anec-in.com/>, 参照日：2024-8-27
- 5) 未来社会に向けた先進的原子力教育コンソーシアム(ANEC)北海道大学拠点：Webページ, <https://caren.eng.hokudai.ac.jp/anec/>, 参照日：2024-8-27
- 6) 北海道大学オープンエデュケーションセンター：原子力人材育成事業 オープン教材一覧, Webページ, <https://www.open-ed.hokudai.ac.jp/nucl-eng-edu-archives/>, 参照日：2024-8-27
- 7) edX：MOOC “Effect of radiation: Introduction to radiation and radioactivity”, Webページ, <https://www.edx.org/learn/environmental-science/open-education-consortium-effects-of-radiation-an-introduction-to-radiation-and-radioactivity/>, 参照日：2024-8-27
- 8) gacco:MOOC「放射線・放射能の科学」, Webページ,

https://lms.gacco.org/courses/course-v1:gacco+ga140+2023_03/about?_ga=2.233662366.1688259058.1682578509-2141556016.1677230149/, 参照日:2024-8-27

9) gacco:MOOC「地層処分の科学」, Webページ, https://lms.gacco.org/courses/course-v1:gacco+ga189+2024_03/about, 参照日:2024-8-27



中島 宏
1985年 東北大学大学院工学研究科修士課程修了
学 位 博士(工学)
現 在 北海道大学大学院工学研究院・原子力安全先端研究・教育センター副センター長, 特任教授
専 門 原子力工学
所属学会 日本原子力学会
表 彰 2022年工学教育賞 業績部門
連絡先 Nakashima.hiroshi@eng.hokudai.ac.jp

.....

著 者 紹 介



小崎 完
1988年 北海道大学大学院工学研究科修士課程修了
学 位 博士(工学)
現 在 北海道大学大学院工学研究院教授, 工学系教育研究センター長, および原子力安全先端研究・教育センター長
専 門 原子力工学
所属学会 日本工学教育協会, 日本原子力学会
表 彰 2022年工学教育賞 業績部門
連絡先 kozaki@eng.hokudai.ac.jp



小林 和也
2014年 北海道大学大学院文学研究科修士課程修了
学 位 修士(文学)
現 在 北海道大学大学院教育推進機構オープンエデュケーションセンター博士研究員
専 門 教育工学
所属学会 日本教育工学会
連絡先 kobayashi@open-ed.hokudai.ac.jp



渡邊 直子
2006年 University of California, Davis, Dept. of Civil and Environmental Engineering博士課程修了
学 位 Ph.D
現 在 北海道大学大学院工学研究院教授, および原子力安全先端研究・教育センター教授(兼任)
専 門 原子力工学
所属学会 日本原子力学会
表 彰 2022年工学教育賞 業績部門
連絡先 N.Watanabe@eng.hokudai.ac.jp



重田 勝介
2007年 大阪大学人間科学研究科博士課程修了
学 位 博士(人間科学)
現 在 北海道大学情報基盤センター教授, および大学院教育推進機構オープンエデュケーションセンター副センター長
専 門 教育工学, オープンエデュケーション
所属学会 日本教育工学会, 教育システム情報学会, 科学教育学会, 通信教育学会, デジタルアーカイブ学会
表 彰 2022年工学教育賞 業績部門
連絡先 shige@iic.hokudai.ac.jp

