

## 小特集

## 高専における核融合および原子力に関する人材育成

Human Resource Development on Nuclear Fusion/  
Fission in National Institute of Technology

## 1. 核融合・原子力の関連と高専における人材育成

1. The Relation of Nuclear Fusion/ Fission and Human Resource Development  
in KOSEN高田 英治, 齋藤 誠紀<sup>1)</sup>TAKADA Eiji and SAITO Seiki<sup>1)</sup>独立行政法人国立高等専門学校機構 富山高等専門学校, <sup>1)</sup>山形大学

(原稿受付: 2021年2月20日)

国立高等専門学校(高専)では, 原子力分野の人材育成をめざし, 文部科学省・国際原子力イニシアティブ事業を10年以上にわたり実施している。核融合と原子力は, 反応前後の結合エネルギーの差を利用してエネルギー生産をめざす点, 高速中性子や高温環境が存在する点などで共通点が多い。そのため, 高専では, 原子力関係の事業の中で, 核融合関連の内容にも積極的に取り組んでいる。第1章では, 国立高専の沿革や教育システムや高専教員の業務について紹介する。また, 核融合と原子力の共通点・類似点および相違点について解説するとともに, 高専全体としてのこれら分野の人材育成の取り組みについて概説する。また, 高専生の当該分野に関する意識等についても紹介する。

## Keywords:

National Institute of Technology (KOSEN), nuclear fusion, nuclear fission, human resource development

## 1.1 本小特集の概要

日本の研究者・技術者たちは, 世界の核融合研究を牽引し, 大きな成果を上げてきた。成功の一因として, 核融合発電を含む原子力技術が魅力的な技術として日本の若い学生を魅了してきたことがあると考えられる。しかし, 近年, 「核融合」というキーワードは若い学生を引き付ける魅力を残しながら失いつつあるようにも感じる。例えば, ITERでの日本人研究者・技術者の割合が他国に比べて低いなどの状況も伝え聞く。ITER計画の後, 核融合研究は, 原型炉に次いで商業炉建設フェーズに突入し, 炉設計技術を有する実践的な技術者が求められる時代がやってくると思われる。その時, 今以上に日本が国際社会にその存在感を示すためには, 核融合研究や関連する原子力技術の面白さと大切さを大学入学前の若い学生たちに伝え, 興味を持ってもらうことが何よりも大切である。高等専門学校(以下, 高専と呼ぶ)では核融合・原子力技術に興味をもってもらうために様々な取り組みがなされている。高専での教育を通じて大学・大学院に進学し核融合の研究者をめざす例も多

い。また, 高専では, 核融合以外にも, 例えば, 原子力発電所の「廃炉」など, 現在の日本の社会から必要とされている技術の必要性和大切さを伝える魅力的な取り組みも行われている。本小特集では, 現在行われている高専での教育活動を紹介することで, 教育活動の大切さを読者に伝えたい。さらに, 若い学生が核融合・原子力技術にどのようなこと感じているのかということも紹介しながら, 本コミュニティが将来も継続して発展していくための材料を提供したく, 本小特集を企画した。

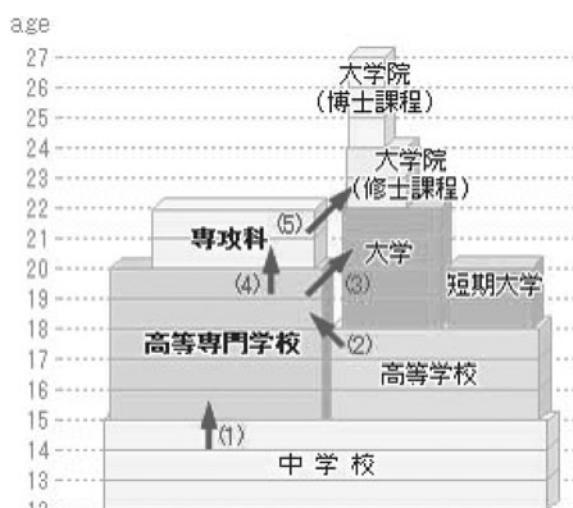
本小特集では, まず本章で国立高専の状況や, 国立高専で実施している原子力人材育成事業やその中での核融合の取り扱いについて, 概略を解説する。第2章以降では, 高専全体を対象とした放電プラズマネットワークによる人材育成・研究に関する取り組みや, 活発に活動している各高専での取り組み状況を紹介する。プラズマ・核融合分野の研究者の方々と高専教員がさらに連携し, 学生を当該分野に導くための取り組みが活発となることを期待する。

## 1.2 国立高等専門学校の沿革と教育システム

昭和36年度に高等教育機関として工業高専が制度化され、現在の高専の歴史が始まった。翌年からの4年間に43校の工業高専が設置され、その後も工業高専、電波高専、商船高専が設置され、高専数が増加した。平成16年度には独立行政法人国立高等専門学校機構（以下、高専機構）が発足し、4箇所での高度化再編を経て、令和3年1月時点で、全国で51校の国立高専が存在する。国立高専を束ねることで、スケールメリットを生かした教育を実施している。

初等・中等教育において6-3-3制を採用している我が国においては、中学校を卒業後に3年間の高等学校、4年間の大学学部を経て就職または大学院に進むことが一般的である。一方で高専生は、中学校卒業後に5年間の本科課程を経て、①20才で職を得る、②さらに2年間の高専専攻科課程に進む、③大学3年生（一部大学は2年生）に編入学する、という多様な進路を選択できる（図1）。産業界からの強い要望に応えるため、設立当初から実践的技術者を養成することを目的としていたため、実験・実習を重視した実践的な教育を行うことを旨としている。

中学校から高専に入学した学生は、他の高校に進んだ生徒と同様に、まず数学、物理及び化学の基礎科目だけでなく、社会科学、語学、保健体育及び芸術等の科目を履修する。その一方で、これらの基礎科目と専門科目が5年間を通じて効果的に配置され、低学年の間から専門科目を学び、勉強の進度の各段階に応じて理解力と問題解決能力が増すように構成されている。学科ごと、また年度ごとに進学率・就職率は異なるが、本科の5年間を修了した学生の60%程度がその時点で就職する。残りの40%は専攻科課程に進学するか、大学に編入学する。2年間の専攻科課程を修了した学生は、就職するか、または大学院に進学する。



- (1) 中学校卒業後に高専に入学
- (2) 高校から高専への編入学
- (3) 本科卒業後に大学に編入学
- (4) 本科卒業後に専攻科に進学
- (5) 専攻科で学位（学士）取得後に大学

図1 高専の教育システム[1].

このような多彩なキャリアパスの中から、学生たちは各自の適正に合わせて進路を選択する。

高専本科・専攻科から就職した学生、大学・大学院に進んだ学生の多くが、企業・大学・大学院から高く評価されている。高専からプラズマ・核融合を専攻とする大学・大学院に進んだ学生の中にはそのまま当該分野で研究を続けているものもある。

## 1.3 高専における原子力分野の人材育成と核融合との関連について

高専機構では、モデルコアカリキュラム（以下、MCCと呼ぶ）を策定し、全国の高専における教育の質を保証する取り組みを行っている。MCCのうちコア部分については、各専門分野で必ず履修すべき内容が定められ、学生は卒業までに必ず履修することが求められている。その中で、核分裂に関連する内容としては、電気系学科の「電力」分野において、「原子力に関して説明できる」との記述があるが、他には記述がない状況である。そのため、原子力に興味を持つ学生がいても、そのための授業が各高専で必ず準備されているわけではない。このような状況の改善をめざし、高専機構では文部科学省の国際原子力人材育成イニシアティブ事業に申請し、平成22年度のFeasibility Study (FS)を経て、平成23年度以降、採択されている。事業の中では、高専生に対してオンライン講義を行うとともに、eラーニング教材の開発等を行っている。また、原子力関連企業や高専生が多数進学する長岡技術科学大学（以下、長岡技科大と呼ぶ）において学生に原子力関係の実践的な実習の場を提供している。また、低学年学生等にバックグラウンド放射線について理解させることを目的に、ポケット線量計測定やNaI(Tl)シンチレーションサーベイメータによる測定を行っている。

さらに、日本原子力産業協会（以下、原産協会と呼ぶ）と連携し、原子力関連企業によるキャリアセミナーを行うとともに、大学・大学院に進学を希望する学生を対象に、関連大学・大学院を紹介するセミナーを予定している。これらを通じ、学生に当該分野のキャリアパスについて興味を持たせることをめざしている。以下、これらの内容について実施例を紹介する。

### (1) オンライン講義，eラーニング教材

高専機構においては、国立高専を接続する形のオンライン会議システムを従来から整備してきた。一方で、所属する教職員および学生全員について、Microsoft Office 365のアカウントも契約し、授業や会議等に活用できる状態となっていた。そのため、付随するオンラインTV会議アプリケーションであるTeamsも自由に使える環境にあった。これらのシステムを活用し、原子力・放射線について学ぶ機会の少ない高専生を対象に、平成26年度からオンラインによるTV講義を実施してきた。MCCに明示的に記載されていない内容について講義するものであり、講義後にとったアンケートでは、「貴重な講義を聴講する機会であった」等のコメントが多かった。開始時点においては、このようなオンライン講義による多高専同時配信は例のないもので

あり、本取り組みを参考にして、他分野においても高専機構内で同様の取り組みが進んだ。また、令和2年度の新型コロナウイルス禍においても、これらの取り組みの経験を踏まえ、高専機構内では順調にオンライン講義の実施が可能であった。

一方、リアルタイムで行うオンライン講義では、各高専の講義・実験実習や行事等により聴講できない学生が存在した。そこで、平成30年度からはオンデマンドで聴講できるeラーニング教材の開発を行ってきた。開発した教材をまとめ、eラーニング高等教育連携事業(eHELP)[2]の枠組みの中で、富山高専電気制御システム工学科5年生の単位互換科目(「システム工学」)として配信している。扱う項目は以下のようなものであり、放射線の基礎から放射線応用まで幅広い内容の概略をカバーしている。

- ①日本のエネルギー政策と原子力技術の開発
- ②世界の原子力発電を巡る最近の動向と今後の展望
- ③放射線の基礎と放射線計測
- ④放射線の検出原理と信号データ処理
- ⑤原子力発電所の仕組みと機械工学
- ⑥原子力材料基礎
- ⑦原子力安全の基本的な考え方(1) 安全の考え方と原子力の安全設計
- ⑧原子力安全の基本的な考え方(2) 安全マネジメント
- ⑨リスクコミュニケーション
- ⑩原子力分野における化学工学と核燃料サイクル
- ⑪高レベル放射性廃棄物の地層処分について
- ⑫加速器基礎
- ⑬核融合発電
- ⑭放射線の医学応用－核医学－
- ⑮放射線の医学応用－核医学物理

#### (2) 高専生向けテキスト

高専生に原子力・放射線に関する知識を習得させるため、和文テキストおよび英文テキスト(2冊)を作成した。和文テキストの内容は以下の通りであり、eラーニング教材と同様の内容としている。

1. 原子力とエネルギー
2. 放射線とは
3. 原子力プラント入門
4. 原子力プラントの安全と防災
5. 核融合炉
6. 放射線とその応用

また、英文テキストは主に和文テキストを英訳する形で作成した。これらのテキストは高専機構内および長岡技科大内で行われる授業でのみ使用可能な状態であるが、英文テキスト第2分冊については著作権に関する処理も完了し、広く配布可能な状態となっている。

#### (3) 実習

高専生に原子力や放射線の基礎について理解させるとともに、産業の現場を経験させることで、進路として原子力関連産業に導くことをめざし、電力会社等における実習を企画・実施している。令和元年度には北海道、東北、東京、中部、北陸、関西、中国、四国、九州の各電力会社、電源

開発、日本原電、日本原燃の各社で実習を実施した。また、長岡技科大では、高専から大学・大学院への進学を考えている学生を主な対象とした実習を実施した。これらの実習に参加した学生が令和元年度には100名に達するなど、着実に実施してきた。

電力会社等での実習は2日間のものが多く、内容的には、

- ・放射線、原子力に関する講義
- ・施設見学
- ・原子炉シミュレータ体験実習
- ・環境放射能測定実習
- ・OBとの懇談会(電力会社での業務説明)

等が多い。終了後のアンケート結果でも、有意義であった、理解できた、職業としての関心が高まった、との良好な意見が多かった。図2に北陸電力における実習の様子を示す。

#### (4) ポケット線量計測定

高専の低学年学生にバックグランド放射線について理解させることを目的に、ポケット線量計測定を実施している。事務局でポケット線量計を用意し、希望する高専に順次巡回することで、各高専40名程度が1週間の継続測定を行う。主に下級生の物理学や物理実験等の科目で実施している例が多い。測定したデータは各高専の結果をヒストグラムで表し、地域による分布の違いを学生に紹介している。令和2年度に富山高専で実施した測定結果を図3に示す。測定期間中の落下や、携帯電話の近くでの放置等の理由でデータとして使用できなくなる例もあるが、数日でもデータがあればその期間だけで平均を求めるなどして、できるだけデータを有効活用している。

#### (5) NaI(Tl)シンチレーションサーベイメータ測定

高専機構として原子力人材育成関係の予算に応募・採択された直後に、希望高専でNaI(Tl)サーベイメータを調達し、毎月数回の測定を継続してきた。高専機構としてまとまることで、全国的な測定ネットワークを実現したものであり、毎年度3月に「フォーラム」として事業参加高専が集まる際に集計結果を報告している。測定結果の一例として、令和元年度の各高専での平均線量率を図4に示す。また、継続的な測定により、福島第一原発事故直後には高かった福島高専における空間線量率が徐々に小さくなり、令和元年度時点でほぼ富山高専と同程度(0.1 $\mu$ Sy/h弱程度)まで低減したこともわかった。富山高専では物理学や他の専門科目等で放射線について触れる際、このようなデータも活用して説明することで、バックグランド放射線に関する理解を深めるとともに、福島第一原発事故の経験が風化しないようにしている。

#### (6) キャリアセミナー、大学・大学院紹介

事業ではこれら以外にも、原産協会と連携することで原子力関係の企業によるキャリアセミナーを実施している。また、令和2年度からは、進学希望者を対象に原子力・放射線に関連する大学・大学院の合同説明会も開催予定である。これらの取り組みを通じ、学生が当該分野に進むことを促すように努めている。



(a) 身体スクリーニング実習



(b) サーベイメータによる測定実習



(c) OB との懇談会

図2 北陸電力における実習の様子 (令和元年度)。

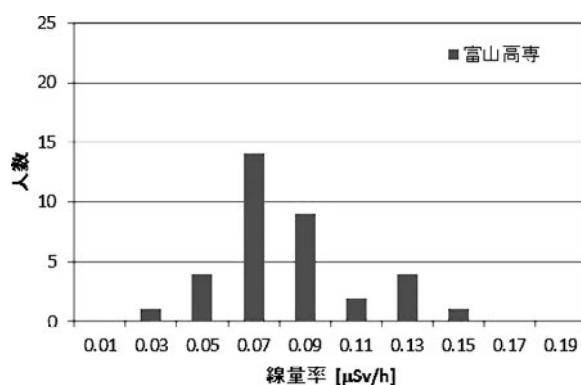


図3 富山高専におけるポケット線量計測定結果 (令和2年度)。

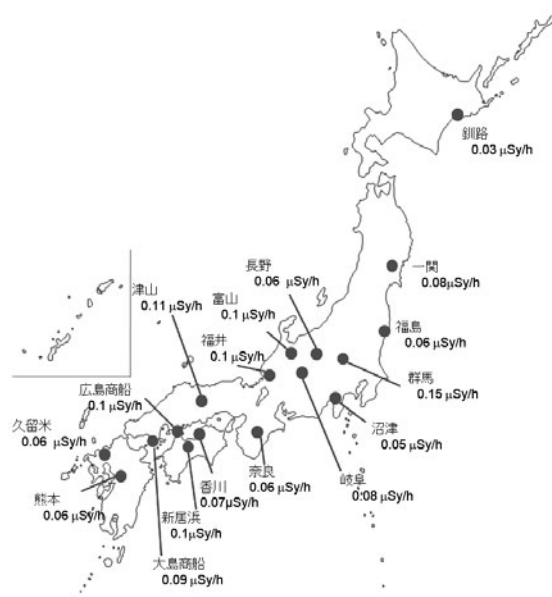


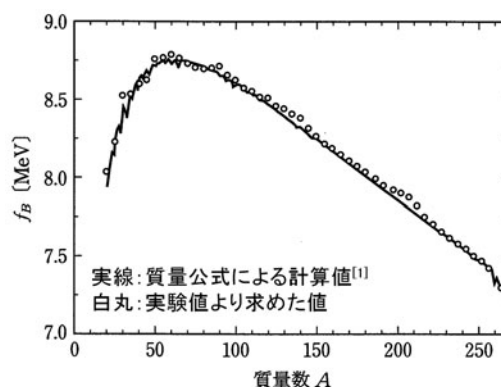
図4 各高専における空間線量率測定結果 (令和元年度)。

#### 1.4 原子力人材育成における核融合・プラズマの位置づけと高専生の意識

高専における原子力人材育成事業を実施するに当たっては、放射線の基礎や応用、原子炉の仕組み、核燃料サイクル等に関する内容とともに、核融合関係の内容を常に含めるようにしてきた。このことについては、事業実施の過程でも、「なぜ原子力の人材育成の中に核融合を含めるのか」というコメントをいただいていた。ここではその位置づけについて述べる。

まず、原子力と核融合は、原子核反応における質量欠損をエネルギーとして取り出すという点で類似のものである。高専生にそれらを説明する際にも、結合エネルギーの説明から始めることが多い。

図5に原子核の質量数と核子あたりの結合エネルギー： $f_B$ を示す[3]。結合エネルギーは原子核を陽子と中性子にバラバラにするために必要なエネルギーと定義されている。言い換えると、 $f_B$ が小さい原子核は $f_B$ が大きい原子核に比べバラバラの状態からの静止エネルギーの減少量が小さい状態である。すなわち、結合エネルギーの総和が小さい状態から大きい状態に変化することで、結合エネルギー

図5 質量数と核子あたりの結合エネルギー： $f_B$ の関係[3]。

の差に相当するエネルギーが放出される。図5に示すように、 $f_B$ は $A=60$ 付近でピークを持ち、それよりも $A$ が大きい領域では、 $A$ の増加とともに減少する。

原子炉で利用されている核分裂反応はこの領域で発生し、 $A$ が235と大きい $^{235}\text{U}$ が $A>60$ の領域にある2つの小さい原子核に分裂する際に $f_B$ が増加し、その差が静止エネルギーの減少として放出される。一方、核融合炉で利用される反応は、 $A$ が、2、3と小さい重水素、三重水素が結合し、 $A<60$ 以下の大きい原子核に変化するため、ここでも $f_B$ が増加し、エネルギーが放出される。このように核分裂、核融合のエネルギーの放出は、ともに $f_B$ の変化によって説明でき、両者をともに扱うことが学生の理解につながると考えている。

また、他の類似点としては、核分裂、核融合ともに放射線、特に高エネルギー中性子を扱うことが上げられる。高エネルギー中性子による材料の損傷は両分野で共通の研究テーマであるし、放射線計測の面からも同様の方法論が適用される。以上のような点から、原子力人材育成の中に核融合が含まれていることは理解の促進に効果的である。

次に、核分裂、核融合に関し、高専生を対象にアンケート調査を行った（回答数：570）。本特集記事を執筆した複数の教員の所属する高専で調査したものであり、他の高専よりは原子力、核融合に関する学習機会が多いことが予想されるが、その点をご容赦いただきたい。内訳は図6、図7の通りであり、まんべんなく各学年にばらついている。性別は男子が多く、全体の約8割を占めている。

原子力発電や核融合の原理や仕組みに関する知識について聞いた結果を図8に示す。今回の調査では原子力発電についてある程度知っていると感じた学生が70%弱に達したのに対し、核融合では40%程度であった。核融合に関する知識をどこで得たか、との問いに対する回答は図9の通りである。多くの学生が授業またはインターネットを選択した。

次に、将来的な原子力発電、核融合の必要性について質問した結果と、原子力発電、核融合について学習したいか

について聞いた結果を図10、11に示す。今回、調査対象とした学生においては、原子力発電、核融合についての学習意欲はほとんど変わらない結果となった。これが今回の調査対象だけの現象なのか、高専全体として同じ傾向となっているのかについてはさらに調査が必要であるが、福島第一原子力発電所事故のような大事故を起こしたにもかかわらず、原子力発電に関する学習意欲が高いことは、高専における原子力人材事業の継続実施によるものである可能性もある。

次に、これまでに高専機構が実施してきた実習等による効果を見るため、実習等への参加の有無による各回答の変化を見た結果を図12に示す。図12(a)より、実習等に参加したことのある学生の方が明らかに知識が多いことから、知

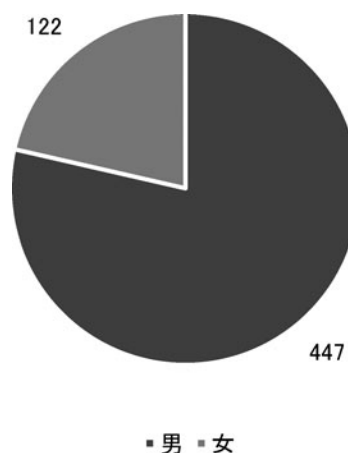


図7 アンケート調査回答者の性別。

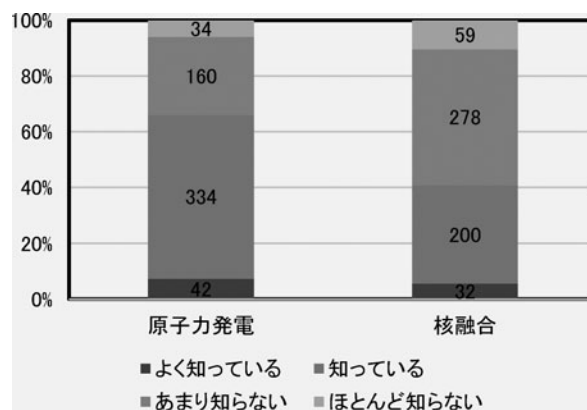


図8 原子力発電、核融合に関する知識。

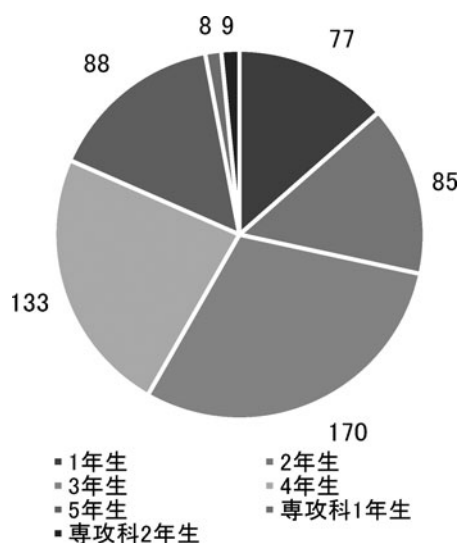


図6 アンケート回答者の学年。

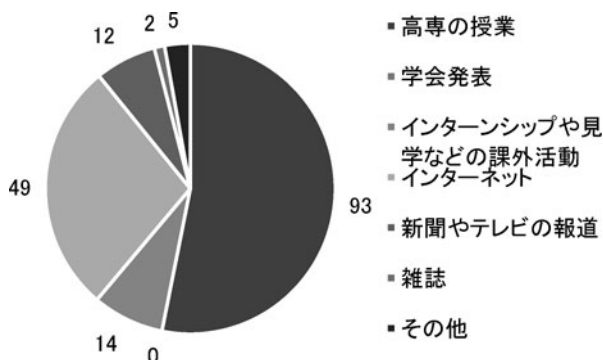


図9 核融合に関する知識を得た場所。

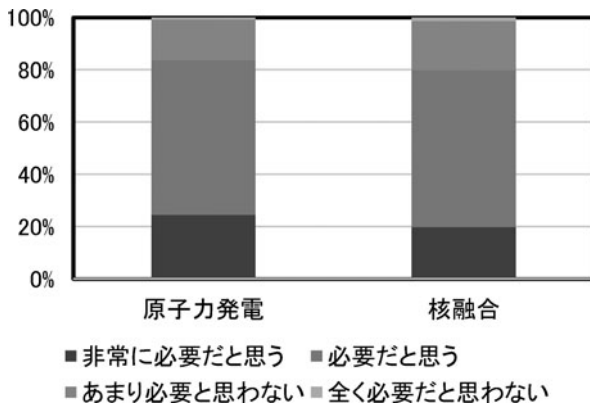


図10 原子力発電, 核融合の将来的な必要性.

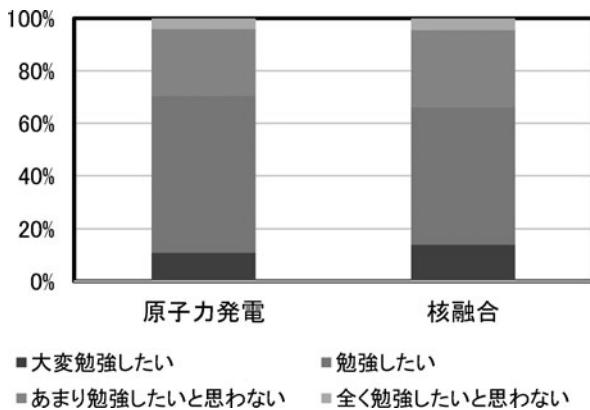
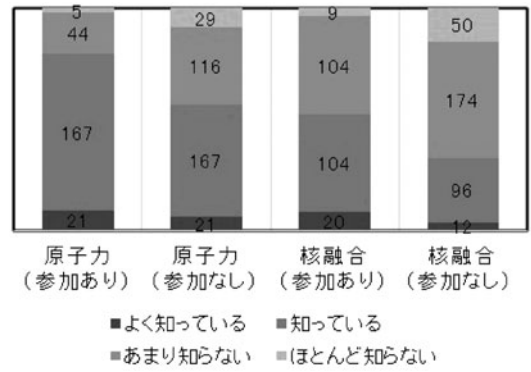


図11 原子力発電, 核融合に対する学習意欲.

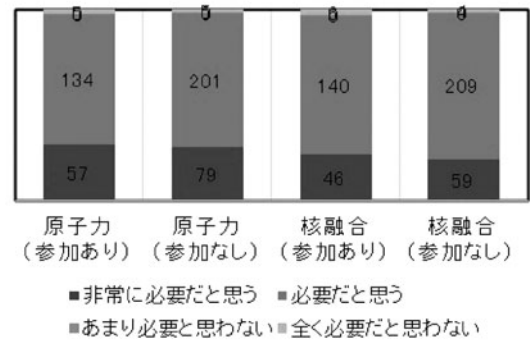
識面では実習の成果が認められる。また、図12(b)から、実習参加の有無によらず、原子力発電、核融合ともに高専生には必要性が認識されている。図12(c)から、勉強意欲についても知識量と同様に、実習等に参加した学生の方参加していない学生よりもやや高い。原子力発電と核融合を比較すると、知識量、勉強意欲ともに原子力発電の方が高い傾向であった。原子力発電所の再稼働がなかなか進まない中でこのような結果となったことは、やや意外にも感じる。核融合については、今後、必要性や学術的な面白さなどについて、高専生にアピールしていく必要があるのではないかとと思われる。

### 1.5 まとめ

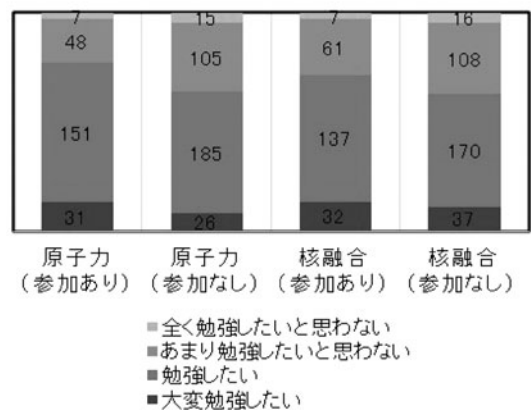
高専および高専機構の沿革や教育システムについて紹介するとともに、高専の行っている原子力人材育成事業について整理した。MCCでもほとんど扱っていない原子力について学生に学習機会を提供するため、継続的な取り組みを行ってきた。その結果として、アンケートにも見られるように、原子力発電に関する知識や学習意欲は、核融合に関するものと遜色がなく、むしろそれ以上であることが分かった。逆に言えば、核融合については今後、より高専生にアピールする必要があると考えられる。正確な統計をとったことはないが、高専における原子力、核融合に関連する教員数については、特に若手においては核融合関連の教員の方が多いように思う。すなわち、高専生に対して核融合関係の学習機会を今まで以上に提供するためのポテン



(a) 原子力発電・核融合に関する知識



(b) 原子力発電・核融合の必要性に関する認識



(c) 原子力発電・核融合に関する勉強意欲

図12 実習参加濃度による回答の変化.

シャルは高い。今後、今までにもまして核融合関係の大学・研究所の先生方と連携し、高専における核融合関係の人材育成にも取り組んでいきたいと考えている。

### 参考文献

- [1] 高専機構 HP  
[https://www.kosen-k.go.jp/nationwide/feature/hj\\_1-12tokushoku.html](https://www.kosen-k.go.jp/nationwide/feature/hj_1-12tokushoku.html)
- [2] e ラーニング高等教育連携事業 (eHELP)  
HP <https://www.ltc.kyutech.ac.jp/business/ehelp/>
- [3] 原子力ハンドブック編集委員会：原子力ハンドブック、(オーム社、2007) 978-4-274-20443-2.





## 小特集 高専における核融合および原子力に関する人材育成

# 2. 高専における放電プラズマネットワーク

## 2. Discharge Plasma Network in KOSEN

川崎 仁 晴

KAWASAKI Hiroharu

佐世保工業高等専門学校

(原稿受付：2020年10月12日)

現在の国立高専は、全国に51ヶ所存在するが組織としては1法人であるというユニークな教育機関であり、多くの「放電」「プラズマ」「核融合」関連研究者が教員として在籍している。ほぼすべての県に同じ組織に属するプラズマ関連の研究者が在籍している、という特徴を活かして、これまで離散的であった研究テーマを系統的にマッチングし、困難であった教育・研究に対する問題の解決を図るとともに、新しい研究テーマの発掘を行うため「放電プラズマネットワーク」を設立した。本章では、「放電プラズマネットワーク」の形成経緯と、このネットワークを活かしたこれまでの教育・研究実践例を述べるとともに、今後の展望について述べる。

### Keywords:

KOSEN, education, network, plasma, discharge, fusion

### 2.1 はじめに

改めて記載するのは「釈迦に説法」かもしれないが、工業高等専門学校とは、「実践的・創造的技術者を養成することを目的とした高等教育機関」であり、高校と短大を合わせたような教育機関である。本科卒業生は准学士、専攻科卒業生は学士の資格をもって就職するか、あるいは大学、大学院へ進学する。多くの卒業生が、就職先企業で活躍し、そのことが高く評価されたこと等から、その教育方法が近年注目されるようになってきた[1-3]。

第1章でも記載があったように、全国で51校の国立高専は、独立行政法人国立高等専門学校機構（以下、高専機構）となり、スケールメリットを持つ世界的にも稀有な技術系高等教育機関として学生教育に当たっている。高専の教員数は全国で約4千人であるが、「高等教育機関」であることから、そのほとんどが学位を持ち、教育者としてだけでなく、専門の研究者としての顔を持つ。その中には、放電やプラズマに関連した研究を専門に行う教員も多くいる。例えば、放電やプラズマ関連の教員を「国立高専研究情報ポータル」[4]で調べると、「放電」関連教員数が36名、「プラズマ」関連教員数が68名ヒットする。これ以外にも、プラズマの持つ熱的な非平衡性や高い電子エネルギーを利用して、新しい機能を持つ材料創生を行う教員も散見され、実際にはもっと多くの教員が放電やプラズマを利用した研究を行っていると考えられる。ところがそれらの高専教員同士の直接的な繋がりや交流は弱く、交流も盛んとは言えない。さらに、放電やプラズマを用いた研究は、実験系のテーマが多く、学位取得時やその後の大学勤務時と同じ研究環境を準備するのは困難である。そのため、研究は各個人の努

力で、細々と進められているのが実情である[5]。

著者は、1998年に佐世保高専に就職したが、それまでの大学（九州大学、長崎大学）で行ってきたプラズマの研究と同程度の内容を行うには、人的にも、スペース的にも設備的にも不足していた。そこで、プラズマを用いた材料の作製に関する研究を行っていた同じ電気工学科の須田義昭准教授（現、石川高専校長）にお願いして、装置を共同で利用させていただき成果を共用することを提案したところ快く了承していただいた。真空容器や高電圧発生装置、高出力レーザーなどを共同で利用させていただき、教員2名分の卒業研究生とともに研究を行って、予想以上にスムーズに研究成果を出すことができた。このことは、専門分野が多少異なっても、うまく協力することで物理的かつ人的な研究環境を向上させることができることを示唆している。その後、本校電気工学科だけでなく他学科あるいは近隣（九州内）で同じような内容の研究を行っている教員に声をおかけし、それぞれの専門領域で放電やプラズマが利用できそうな場合は、それを利用した共同研究を行えないか模索した。現在では全学科につながりを持つ教員がおり、それぞれの強みを活かして協力しながら研究を行っている。このつながりは外部資金の獲得にも良い効果をもたらした。科学研究費補助金だけでなく、環境・エネルギーに関連する財団や、殺菌や滅菌等第一次産業関連分野の財団等様々な分野の財団資金の獲得にもつながっている。

一方、高専機構でも全国51の国立高専の複数地区の高専の教員が共同で研究を行うことを奨励し、それによって研究が飛躍的に進展するとともに、その結果をもとに国プロやサポインなどの事業へ申請できるようになることが期待

できるグループに補助金を与える「研究ネットワーク」事業の公募が始められた。そこで、上述の本校内部のグループも、この公募に「放電プラズマネットワーク」として申請し、2017年度に採択された(図1)。

本論文では、この時に行った「放電プラズマネットワーク」の形成経緯と2017-2018年度に行った事業を述べる。また、このネットワークを活かしたこれまでの教育・研究実践例を述べるとともに、今後の展望についても述べる。

## 2.2 放電プラズマネットワーク形成の経緯と活動内容

前述のように、国立高専機構では平成16年度に1法人となった。これを活かして2017年に研究ネットワーク事業構築の募集が行われた。そこで全国の放電プラズマ関係の研究や、それを利用して研究を行っておられる方にお声がけをし、ネットワークの構築を行った。目的としては①装置の共有、②研究協力、③分析協力を行うことで、研究の質や量の向上を図ることにある。2017年度には、国立高専を中心に全国の高専に協力者を募った。最終的には、13の高専(釧路、鶴岡、群馬、石川、富山、長岡、和歌山、明石、松江、北九州、有明、大分、都城：教員は当時の所属)の13名、および、5つの大学(名古屋大学、長岡技術科学大学、豊橋技術科学大学、岩手大学、熊本大学)の7名から賛同を得た。また、これらの教員とともに、次のような事業を行った。

〈2017年度〉

- (1) 第1回放電プラズマネットワーク会議の開催  
日時：2017年10月6日(金) 13:00～(受付12:00～)  
場所：佐世保高専 多目的教室
- (2) 各連携グループ関連高専、大学への協力依頼と研究室見学

- ①松江高専、②熊本大学、③明石高専、④豊橋技科大、⑥北九州高専、⑦長岡技科大、⑧群馬高専、⑨名古屋大学、⑩鶴岡高専、⑪富山高専、⑫大分高専、⑬都城高専

(3) 学会発表、ディスカッション

- ①2017年12月6日：日本MRS：プラズマ部門、高専部門
- ②2018年3月14日：電気学会全国大会
- ③2018年3月16日：応用物理学会(春)

〈2018年度〉

- (1) 第2回放電プラズマネットワーク会議の開催  
日時：2018年12月4日(金) 13:00～14:30  
場所：大阪大学 会議室
- (2) 2018年プラズマ核融合学会年会オーガナイズドセッション
- (3) 学会発表、ディスカッション  
①2018年12月3日：「プラズマ新領域研究会」および「プラズマ・核融合学会専門委員会」  
②2018年12月18日：日本MRS  
③2018年9月18日：応用物理学会(秋)  
④2019年3月9日：応用物理学会(春)

上述の2018年度(2)は、著者が名古屋大学の大野哲靖教授に依頼した、佐世保高専5年生に対する核融合関連の特別講演の際に打診され、同教授の尽力で設定された。このセッションでは、各高専で行われているプラズマや核融合に関する研究やプラズマを用いた材料開発等の講演が行われ、いくつかの共同研究に結びついた例もある。同時に行われた「プラズマ新領域研究会」および「プラズマ・核融合学会専門委員会」では、高専だけでなく大学も含めた学生へのプラズマ教育の重要性が再確認されるとともに、どうすれば高校生までの生徒にプラズマと接触する機会を与えられるのかについて話し合われた。

これ以外で、この放電プラズマネットワークが行っている事業として以下のものが挙げられる。

- (1) プラズマ技術に関する相談窓口としてのHP作製と広報[6]  
佐世保高専のHPに「放電プラズマの研究ネットワーク」のHPを立ち上げた。そこで、プラズマや薄膜に関する研究あるいは技術的相談を行う。基本的には、メールで相談を受け、関連の深い先生に回答してもらう形式にする。
- (2) 研究等で利用できる装置の共用、分析  
各高専で保有している分析装置をまとめ、可能な範囲で共同利用できる様にする。共用できる分析装置は上述のホームページだけでなく、ブロックごとのネットワーク報告書にまとめた。
- (3) 科研費あるいは各種助成金への共同申請

複数の高専教員が協力して科学研究費等の助成金に申請を行った。その結果、後述する「地震等の教育及び予測装置」等、いくつかの採択につながっている。また、研究助成金だけでなく学会や学術論文への共同投稿も進めている。

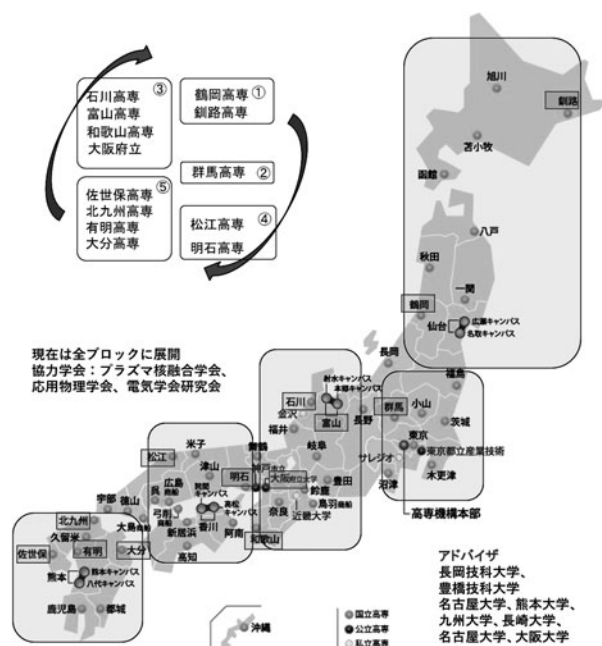


図1 放電プラズマネットワークの概要。



## 2.3 これまでのネットワーク利用例

放電プラズマネットワークも、高専機構のスケールメリットを利用して形成されており、そのことが特徴的な効果を生み出す。以下は、これがある程度の成果を上げた具体的な取り組みをいくつか紹介する。なお、あまり放電プラズマにこだわりなく進めたため、プラズマ・核融合学会に不適切な研究成果もあることをご容赦いただきたい。

### 2.3.1 専門が異なる高専研究者の協力による研究成果

新しいパワーデバイス用ワイドバンドギャップ(WBG)半導体材料として、近年遷移金属であるNiの窒化物材料が注目されている。ここでは松江高専で熱CVD法、佐世保高専でパルスレーザデポジション法を用いて、同じWBG半導体であるNi窒化物薄膜を別々の装置で作製した結果と、作製した薄膜をお互いに提供し、佐世保高専ではXRD、XPS、ホール効果測定を、松江高専では電気特性の測定を行い比較検討した結果を示す。

まず、松江高専において熱CVD法を用いたNi炭化物の合成を行った。SiO<sub>2</sub>/Si基板上にNi蒸着し、その後CVD炉内に炭化水素ガスを導入、冷却とともに端子がNi表面に炭素が析出し、Niと炭素が合成されることを利用した。作製後、一旦薄膜の特性を調査し、さらに炭化水素ガス中で、炭化を進めたところ、作製したNi炭化物の電気特性が、反応時間とともに強い整流性からオーミック性に変化することが明らかとなった。そこで、結晶性や化学結合状態を調べるために佐世保高専でXPSによる測定を行った。図2はNiと炭素の反応時間を変化させて作製したNi炭化物のXPS測定結果を示す。反応から1分でNiのピークが減少し、炭素のピークが明確に大きくなることからわかる。この

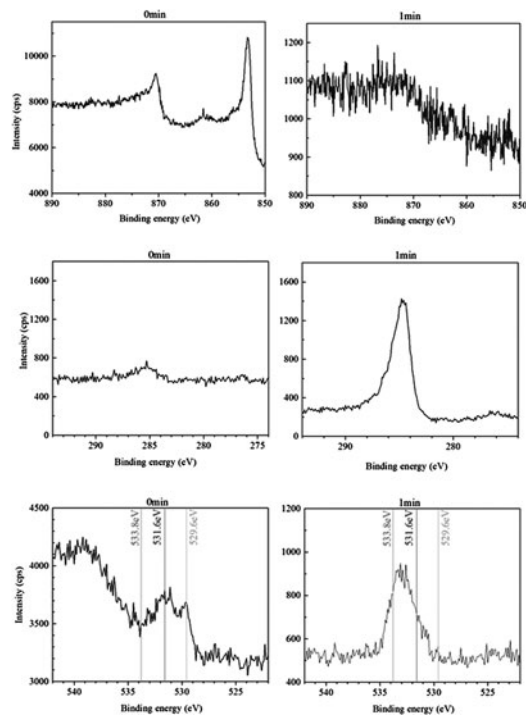


図2 Ni炭化物のXPS測定結果(表面をArイオンで5秒間スパッタ後) 上段: Ni2p, 中段: C1s, 下段: O1s, 左から反応時間 0 min, 1 min.

ことから、炭化水素ガス中の熱炭化によって膜中のNiとCの比率が変化し、電気的特性に影響することがわかった。

次に、蒸着で作製したNi薄膜を窒素と水素の混合ガス中で熱窒化することでNi窒化物薄膜の作製を行った。松江高専の分析ではこの薄膜は、オーミック性から整流性へ変化することが明らかとなった。これについても上述同様に、佐世保高専においてXPSによる分析を行った(図3)。計測結果から、この方法では膜中のN原子の取り込みはごくわずかに確認されたが、そのほとんどがNi-O結合の可能性が高く、NiとNの結合(Ni<sub>3</sub>N等)ピークは明確には得られなかった。以上の結果は、蒸着で作製したNi薄膜中に炭化水素ガスによって、熱的にCを導入することは可能であるが、同じNi薄膜中に窒素と水素などの混合ガスによって、熱的にNを導入させることは難しいことを示唆している。

最後にPLD法を用いて、NiターゲットをNH<sub>3</sub>ガス中でアブレーションしNi窒化物薄膜の作製を行った。XRD測定において、NiとNi<sub>3</sub>Nの混晶であることが確認され、NH<sub>3</sub>ガス圧力と基板温度の増加によってNiからNi<sub>3</sub>Nへ結晶成長することが確認された(図4)。これはXPS測定におい

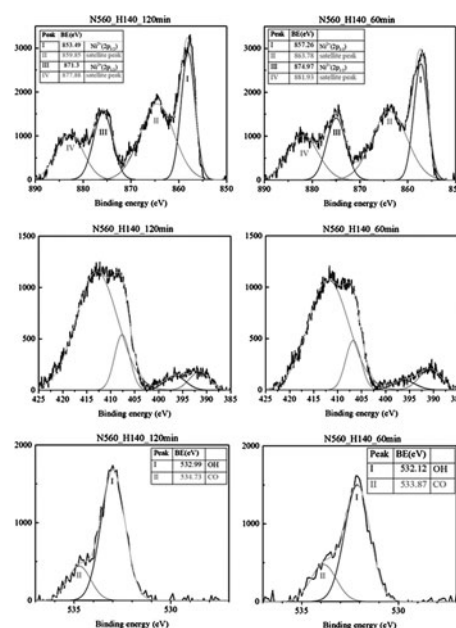


図3 Ni窒化物のXPS測定結果(表面をArイオンで5秒間スパッタ後) 条件: N<sub>2</sub>:H<sub>2</sub> = 560:140 sccm, 上段: Ni2p, 中段: N1s, 下段: O1s, 左120分処理, 右60分処理。

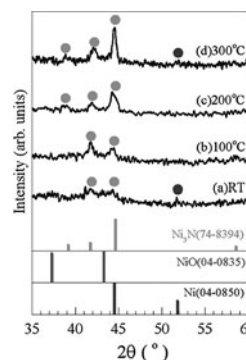


図4 PLDで作製したNi窒化物薄膜のXPS測定結果。

て、Ni2p ピークと N1s ピークより、Ni-N 結合に由来するピークが観測されたことから明らかである（図5）。そこで、PLD法により作製したNi窒化物薄膜の電気特性を調べた。図6はNH<sub>3</sub>ガス5Pa中でPLDによって作製したNi窒化物薄膜の電気特性測定結果を示す。これよりNH<sub>3</sub>ガス5Paで作製した薄膜は整流性を示すことがわかる。このことは、プラズマプロセスであるPLD法によって熱CVD法などに比べ、比較的簡単にN原子を膜中に含むNi<sub>3</sub>N薄膜を作成できることを示している。

このように、各々独立している複数の高専で同じ機能・同じ目的の材料をプラズマプロセスとそれ以外の方法で作製し、その性質を同じ分析装置で比較することは、材料作製のメカニズム解明やその確実性制御性向上に高い効果を有すると考えられる。この放電プラズマネットワークを利用すれば、同様の共同研究が比較的簡単に進められ、高専でも学術的に高評価を得る研究が進むと予想される[7-9]。

### 2.3.2 全国に設置された太陽電池の劣化状況に関する研究

高専教員が行っている研究テーマのうち太陽電池に関する研究は比較的多い[10]。例えば、長岡技科大の片桐教授は、プラズマプロセスの1種であるスパッタリング成膜法で、材料に全く有害なものを含まないCZTS (Cu<sub>2</sub>ZnSnS<sub>4</sub>)系の太陽電池開発にいち早く取り組み、これまで何度も世界一の変換効率を持つ太陽電池の作製に成功してい

る[11]。

この太陽電池に関して、高専のスケールメリットを利用した共同研究として、1998年前後に高専に導入された太陽光発電システムに関する利用状況と発電状況の調査が挙げられる[12]。これはプラズマ技術が深く関与して作製されるシリコン系（単結晶または多結晶）40kW級の太陽光発電を全国55国立高専のうち39高専に設置し、その発電効率のデータを調べるものである。その結果については、筆者は直接関わっていないため詳細は記載しないが、発電効率が太陽電池の設置角度に大きく依存しているという結果が得られていた。筆者らは、その後、太陽電池が約20年間でどのように劣化するのかを調べた[13]。2015年度前後に劣化度を調査した結果、現在でも稼働している発電システムは35高専であった。このうち設置時と同じ状況で稼働していた高専は12、パワーコンディショナー故障が21、パネル故障（発電不可）が2、あった。残り4高専は建物改修等で利用していないかあるいは不明（現在見当たらない）ということであった。パネルを交換せず稼働中の33高専のうち、発電データの蓄積が行われていた高専は26あり、このうち、5%以上の明確な発電劣化が認められた高専は比較的東側（太平洋側）に位置した12高専であり、残りの14高専では5%未満であった（図7）。一方、目視（写真）によってパネル自身を観察したところ、特に九州地区のパネルには剥離が多くみられた（図8）。特に都城高専や大分高専では6~7割近くのパネルで剥離が見られたが、発電量の劣化は10%未満であった。なお、この結果は、2015前後であったため、2021年より再度、調査を行う予定にしている。

一方において、プラズマプロセスを用いた薄膜型太陽電

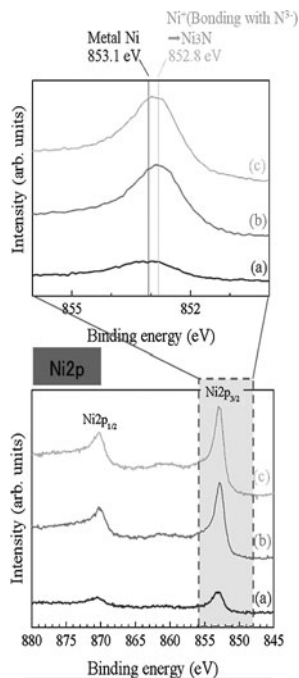


図5 PLDで作製したNi窒化物薄膜のXPS測定結果。

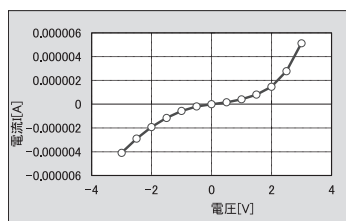


図6 PLDで作製したNi窒化物薄膜の電気特性試験結果。

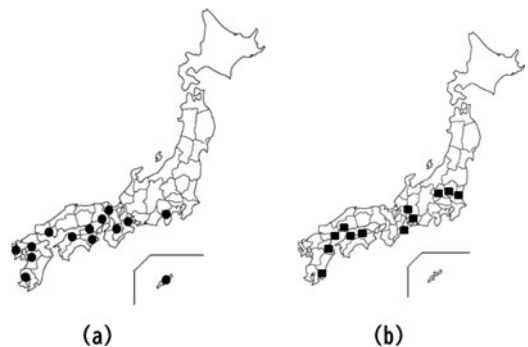


図7 劣化が少なかった14高専の所在地(a)と5%以上の明確な劣化が認められた12高専の所在地(b)。

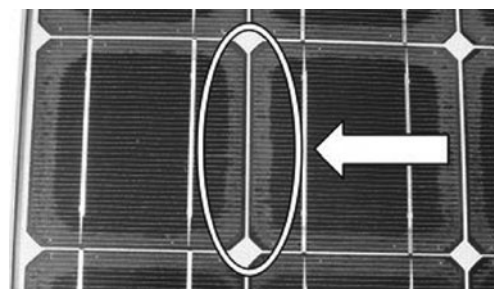


図8 九州地区の太陽電池パネルの劣化の様子。

池は、クラスターの除去でこの太陽電池の劣化を抑える技術開発に成功している。この結果を、放電プラズマネットワークを利用して再度フィールドテストに活かすことができれば、プラズマプロセスの重要性が見直されると考える。

### 2.3.3 学生の理科離れに対するアンケート調査

“理科離れ”が叫ばれて久しいが、高専は、中学生時点で理数系科目に興味がある学生が受験することが多い。すなわち高専生は理科離れしていない学生ということもできる。筆者らは、長崎大学の准教授とともに若年者の理科離れに原因探求に関する研究を行っている。その研究の一部として、高専生（理系）と近隣の理系以外の若年者（文系：近隣私立大学文系学科低学年等）にアンケート調査を行い、幼少期の生活環境と理科離れの関連を調査した[14]。その結果を簡単に述べると、幼少期の生活環境に技術系の要素が大きいほど、高専に入るモチベーションが上がるということがわかった（図8）。このアンケート中に「幼少期に放電やプラズマという言葉聞いたことがあるか」、「幼少期に核融合という言葉聞いたことがあるか」というアンケート調査を行った。結果、高専4年生の9割近く、文系学生でも5割以上がプラズマという言葉聞いたことがあるということであった（図9）。京都大学の門の研究によると、2014（平成26）年時点で高校の教科書でも、プラズマが現れるのは、わずかに「地学」分野であり、それほど多くない。にもかかわらず、プラズマの認知度が高いのは、空気清浄機などに利用されているプラズマクラスターという言葉によるものと予想される。一方、核融合に関しては、高専生でも幼少期の認知度は低いことがわかった（図10）。この結果は佐世保高専が存在する佐世保地区の結果であるため、放電プラズマネットワークを利用して全国の高専とその近隣文系学生等に協力依頼を行い、同様な傾向があるかどうかを調査する必要がある。

上述以外にも、このネットワークを活かした研究をいく

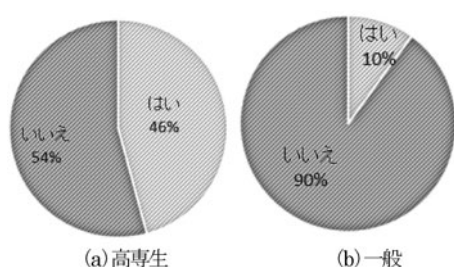


図9 「幼少期に近く工場はあったか」に対する回答。

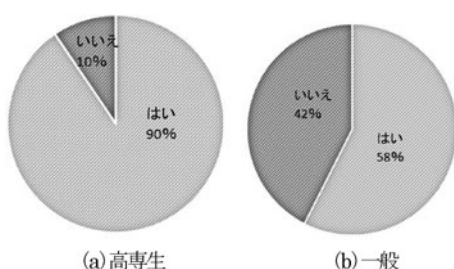


図10 「幼少期にプラズマという言葉聞いたことがあるか」に対する回答。

つか進めている。例えば、近年頻発する地震や豪雨災害は、予知が難しいとされている。一方、早川らによると、地震前には大地浅部、深部の断層や岩石層の破壊から、摩擦等で一時的に電荷分離が発生し、大気中の電界（電位）観測である程度の変化が生じると考えられている。水野らは、非常に簡単な装置でこれを捉える研究を行っており[15]、いくつかの有益な結果が得られているが、その情報は、地震多発地域に限られていたため、より広い領域でのフィールドテストが望まれる。このテストに、放電プラズマネットワークを利用できれば、ほぼ日本全国で同じ時間の有益な情報が得られる。筆者はこれを行うための研究も進めている。

### 2.4 おわりに

これまで述べてきたいくつかの例からもわかるように、全国に51ヶ所存在するが組織としては1法人であるというユニークな教育機関となったことで、装置の共有が比較的スムーズにできるようになったことは、これまでの高専における研究の問題点を解決する方法として手段が増えたことを意味している。以降は私見となるが、以前の高専における研究環境は、特に放電・プラズマ・核融合が専門の研究者にとって、人的にも時間的にもスペース的にも経済的にも少なからず障壁があった。具体的には、同じ学科内に、同じ専門の教員が少なく、学位をとった研究内容を行うには、その組織（大学等）との繋がりに頼るしかない。実験スペースも1～2スパンしかないので、実験装置を1つ置くのが限度である。学生の研究は本科5年生（大学2年生）の卒業研究に頼る（現在は専攻科もある）ことになるが、その時間は週1日～1日半しかない。放課後自主的に卒研に来る学生はいるが、未成年であるため、（特に女子学生等は）日が暮れる前には帰宅させなければならない。教員側も授業コマ数に加え、学生実験の直接指導があり、教務は大学の教員と同程度以上時間が必要である。加えて高専特有のクラブ活動の指導、試合の引率などが加わる。研究に使える費用は、近年は大学教員も同様だが、十分とは言えず、関東の学会に年1回行くとそれではなくなる。

以上の点から、高専では困難であった放電プラズマ関連の研究も、今回のようなネットワークを有効利用すれば、比較的行いやすくなると考えられる。また、今回いくつか紹介した様な、高専のスケールメリットとネットワークをうまく利用した研究ができれば、大学にはできない、特徴的な研究も可能となる。今後は、このネットワークを利用して、紹介した様な「高専ならではの」研究が多く行われ、高専の研究が今まで以上に進むことを期待する。

### 謝 辞

本稿の執筆は、プラズマ核融合学会専門委員会の活動費、および名古屋大学低温プラズマ科学研究センターのご協力によって行われた。研究成果は、佐世保高専：大島准教授、松江高専：市川准教授、岡山理科大：重松教授、長崎大学：森野准教授の協力を得た。ここに謝意を表す。

## 参考文献

- [1] 細川幸一：東洋経済オンライン (2019. 10. 8).
- [2] H. Newby *et al.*, OECD Reviews of Tertiary Education japan, p.16 (2009).
- [3] 黒田孝春：「高専教育の現状と課題」, 日本機械学会技術と社会部門ニュースレター No.14 (2004).
- [4] <https://research.kosen-k.go.jp/>
- [5] 岩崎寛希：独法化時の「高専」と今後の進む道, 全大教時報 42, No.4 (2018).
- [6] <https://hiroharu0714.wixsite.com/mysite>
- [7] R. Morioka *et al.*, *Nickel nitride semiconductor was synthesized by thermal chemical vapor deposition*, Proc. 41 Int. Symp. Dry Process, Vol. 42 (2018).
- [8] 丸田健太 他：プラズマプロセスによる窒化ニッケル薄膜の作製, 第28回日本 MRS 年次大会 (2018).
- [9] 森岡璃久 他：Ni の熱窒化により作製した Ni 窒化物半導体の酸素依存性, 第15回薄膜材料デバイス研究会 (2018).
- [10] T. Yamaguchi *et al.*, J. Nanoelec. Optoelec. 12, 976 (2017).
- [11] T. Mise *et al.*, Improving the photovoltaic performance of co-evaporated Cu<sub>2</sub>ZnSnS<sub>4</sub> thin-film solar cells by incorporation of sodium from NaF layers", Prog. Photovolt: Res. Appl. (2016).
- [12] 佐藤岳志：高専に設置された 40 kW 太陽光発電設備モデルの基礎研究, 平成13年電気関係学会関西支部連合大会 G140 (2001).
- [13] 重松利信 他：太陽光発電施設のフィールド調査, 電気学会・教育フロンティア研究会 FIE-14-3, pp.11-15 (2014).
- [14] 川崎仁晴, 森野美央：理系と文系への同じアンケート理科離れに関する考察 LH29 電気・情報関係学会九州支部連合大会予稿集 p235 (2017).
- [15] 木下洋輔 他：大気電界の測定と地震との関連, 静電気学会講演論文集 pp7-8 (2011).



## 小特集 高専における核融合および原子力に関する人材育成

### 3. 炉心プラズマ研究を用いた高専での学生教育の実践例 ～岐阜高専での取り組み～

#### 3. Practical Example of Student Education at KOSEN by Research on Fusion Core Plasma ～An Approach in NIT, Gifu College～

柴田 欣秀

SHIBATA Yoshihide

岐阜工業高等専門学校

(原稿受付：2021年2月22日)

炉心プラズマ研究は多くのお金や人員が必要であり、高専のような小さい研究室では独自に装置を開発して研究を実施するのは難しい。岐阜高専は、同じ県内に核融合科学研究所があり、共同研究を行うには地理的に優位な場所にある。また、高専では1名の教員が10名程度の学生の世話をするなど、とても1名の教員では密接な学生教育を行うことが困難である。そこで、岐阜高専では共同研究を実施している研究所、大学などと協力して炉心プラズマに関する学生教育を実施している。本章では、高専での学生研究の実態から、研究所、大学と協力して実施している学生教育について紹介する。また、岐阜高専では外部機関と連携した原子力教育も盛んに実施しているため、それについても紹介する。最後に岐阜高専では炉心プラズマ研究の派生として医工連携をめざした医療データ解析を実施しているため、少し紹介する。

#### Keywords:

core plasma, fusion, student education, experience-based learning

#### 3.1 はじめに

岐阜工業高等専門学校（通称、岐阜高専）は岐阜県本巣市（岐阜市の西側）にあり、本科としては機械工学科、電気情報工学科、電子制御工学科、環境都市工学科、建築学科の5学科、専攻科としては先端融合開発専攻の1専攻がある。本科生は1クラス40名程度であるため5学科5学年で約1000名程度、専攻科生は2学年で70名程度の学生が在籍している。学生の多くは本巣市、岐阜市、大垣市などの近隣地域に住んでいるが、滋賀県に高専がないことから滋賀県の琵琶湖より東側に居住する学生や、愛知県は一宮などの尾張地域の学生も在籍している。また、建築学科は限られた高専にしかなく、岐阜高専にも日本全国より学生が集まっている。そのため、岐阜高専には学生寮があり、200名程度の学生が敷地内に設置された学生寮で生活している。さらには、高専では政府派遣・私費の長期留学生の受け入れを行っているため、数名程度の留学生も在籍している。

近年の高専での業務は多岐にわたっており、授業や研究室に所属する学生の教育に加え、クラス担任や校内の各種委員会の業務、クラブ活動の支援などがある。近年では全国の高専生を対象としたコンテストが増え、映画にもなったロボットコンテスト（通称、ロボコン）、建築系の学生を対象としたデザインコンペティション（通称、デザコン）、

ディーブラーニングコンテスト（通称、Dコン）などがあり、それに出場する学生の指導などがある。また、高専を対象としたコンテストやクラブ活動の地区、全国大会は各高専が持ち回りで実施しているため、大会の主管校になった年はそれらの業務で忙殺されることがしばしばある。

読者の皆さんが前述の文章を読むと、キャリアとしての高専教員という選択肢を無くしてしまう可能性もあるが、残念ながらこれが近年の高専での状況である。しかし、高専での教育研究活動にも良い点があり、多くの高専教員は様々な工夫を実施して研究時間の確保を行い、研究成果を出している。本章では岐阜高専で実施している炉心プラズマ研究を用いた学生教育を例に、高専での共同研究などの枠組みを利用した学生教育の利点・欠点などを紹介する。高専では各教員に研究テーマの設定が任せられているため、比較的自由に研究を実施することができる。著者の専門は核融合の炉心プラズマ研究であるが、最近では核融合分野で培ったデータ解析技術を医療データ解析に応用する研究を実施しており、他大学の医学部の研究者と連携して研究を行っている。そのため、医療データ解析を例に、高専での研究活動についても紹介する。

#### 3.2 高専での学生教育・研究活動

多くの高専では大学のような講座制ではなく、助教から



でも自身の研究室を持ち、自身の研究を通じて卒業研究などの学生の指導を実施している。そのため、各教員は自由に研究テーマを設定することができ、教育寄りの研究テーマから本格的な研究テーマまで全国の高専で様々な研究が実施されている。高専でどのような研究が行われているかはホームページに公開されており[1]，“高専 研究シーズ”と検索していただければ各高専の研究シーズ集を閲覧することが可能なので、興味のある読者は是非ご覧いただきたい。本節では高専での本科生を対象とした卒業研究、専攻科生を対象とした特別研究について述べ、教員が学生教育を通じて自身の研究をどのように行っているのかを紹介する。

### 3.2.1 高専での卒業研究・特別研究

他の高専も同じく、岐阜高専では本科5年生が研究室で実施する研究活動を“卒業研究”，専攻科生が実施するものを“特別研究”と呼び、区別をしている。専攻科は大学3，4年生に相当するため、専攻科における特別研究は大学における卒業研究と同等である。また、それらの活動は授業として授業時間割に組み込まれている。図1に岐阜高専電気情報工学科の電気電子コース5年生の2020年度後期の授業時間割を示す。2020年度は新型コロナウイルスの関係で通常より休み時間の確保を実施しているため、授業時間は80分となっているが大学と同じく通常は90分授業を実施している。2020年後期では図1に示すように卒業研究は週4コマ確保されているため、研究室に所属する学生はその時間を使って各研究室で卒業研究を実施している。高専では卒業研究が授業時間に組み込まれているので、最低限の時間を確保することが可能となっている。一方で、卒業研究が授業時間割に組み込まれているため、学生の中でその時間以外に研究しなくても良いという認識が芽生えやすく、うまく指導をしないと研究が進まないという状況になりやすい。専攻科は本科での研究活動を経験しているため、大学での卒業研究に比較的近い形になるが、中には本科での卒業研究の形式を引きずってしまう学生もいる。

### 3.2.2 高専における炉心プラズマの研究室

著者の専門は磁場閉じ込め核融合における炉心プラズマの研究であり、特にトカマク型磁場閉じ込め装置で発生す

るプラズマ崩壊現象であるディスラプション現象に関する研究を実施している。ディスラプション現象についての詳細は割愛するが、本誌でもたびたび取り上げられており、現象や制御技術に関する解説[2]やシミュレーションについての解説記事[3]が掲載されているため、興味を持たれた読者はご参照いただきたい。

本研究室では、ディスラプションシミュレーションコードを用いたシミュレーション研究をはじめ、名古屋大学にある小型トカマク装置 HYBTOK-II を用いた MHD 不安定性に関する実験研究などを実施している。また、大型装置との共同研究を利用して LHD (核融合研), D3D (General Atomics), JT-60U (量研機構) の実験データ解析を実施している。高専では若い研究者も単独で研究室を持てることが利点であるが、各個人が自由に研究テーマを設定している性質上、実験装置の引き継ぎはなく、実験を行う場合には一から作製する必要がある。そのため、高専などで炉心プラズマ研究を実施するために必要な実験装置を作製することは難しく、実験などを行う場合には共同研究などをうまく利用する必要がある。岐阜高専では図2に示すように多くの大学・研究所との共同研究に参加しており、可能であれば学生も参加させている。高専での共同研究で注意が必要なのは学生の旅費の取り扱いである。多くの共同研究では参加している学生の旅費を支出することが可能であるが、高専の場合、専攻科生でも大学生に相当するため、共同研究に参加できず、学生の旅費は研究室の経費で負担しなければならないことがある。最近では核融合研との共同研究では専攻科生の参加を認めるなど、状況は変わりつつあるが全ての共同研究で高専の学生の参加が認められていないのが現状である。

本研究室の2020年度の学生の構成は、専攻科生3名、本科5年生3名、本科4年生が4名の10名である。岐阜高専電気情報工学科では4年次から学生を研究室に配属し、研究を実施している。研究室に教員は1名しかいないため、高専では10名程度の学生を1名の教員が面倒をみることになる。そのため、研究室に所属する全学生の指導を1名で実施することは困難であるため、岐阜高専では外部機関との共同研究を利用して学生教育を実施しているため、次節にて詳しく説明をする。

2020年度後期 電気情報工学科電気電子コース 5年生 時間割

|   | 1限<br>9:10-10:30 | 2限<br>10:50-12:10 | 3限<br>13:20-14:40 | 4限<br>15:00-16:20 |
|---|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 月 | 英語A              |                   | 卒業研究              | 卒業研究              |
| 火 | 技術者倫理            | 言語理論*             | 情報数学*             | 自動制御*             |
| 水 | 卒業研究             | 卒業研究              | 電気電子工学実験          | 電気電子工学実験          |
| 木 | システム工学*          | 中国語               | 高電圧工学*            | 情報ネットワーク*         |
| 金 | 画像処理工学*          | 電気法規*             | パワーエレクトロニクス*      | エネルギー変換工学*        |

\*は選択科目を示す

図1 岐阜高専電気情報工学科電気電子コース5年生の2020年度後期の時間割。

### 3.3 外部機関との共同研究を利用した学生教育

2.1節で示したように高専では1週間にかかなりの数の授

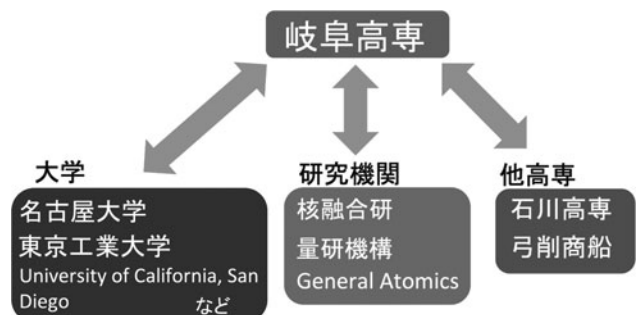


図2 岐阜高専が行っている共同研究先一覧。



業が予定されており、授業期間中に学生を高専外部に連れ出すのは困難である。しかし、高専は大学と同様に夏の長期休暇期間は2ヶ月程度あるなど、長期休暇期間に研究のために外部に行くことは可能である。また、岐阜高専の専攻科では1年次の夏期休暇時に民間会社や共同研究先の大学・研究所などに3週間以上のインターンに行くことが義務化されており、参加した学生は卒業に必要な単位を取得できる。本節では当研究室に所属していた専攻科生が核融合研、General Atomicsにてインターンとして研究を実施したことを経緯なども含めて紹介する。

### 3.3.1 核融合科学研究所との共同研究を利用した学生教育

核融合科学研究所では一般共同研究[4]など数多くの共同研究が用意され、2020年度には一般共同研究は395件採択されており、6件の研究テーマが高専からの応募であった。2021年度から高専の専攻科生は正式に共同研究に参画できるようになったため、共同研究のルールに則した出張であれば共同研究の予算から学生の旅費を出すことが可能である。核融合科学研究所では高専生のインターンの受け入れを実施しており、学生は長期間核融合研に滞在し、研究することが可能である。今回は共同研究者である核融合科学研究所の渡邊清政教授に協力を仰ぎ、事前に共同研究の枠組みで研究をスタートさせ、当研究室の専攻科1年の学生を2017年度の夏期休暇中にインターンとして3週間程度核融合科学研究所に派遣した。学生は3週間の間にシミュレーションの基礎となっているFortran言語の学習から、研究のテーマであった磁場閉じ込め核融合装置における磁力線追跡計算のコードの使い方、解析の基礎について学んだ。岐阜高専ではプラズマ関連の授業は少なく、かつプログラミング言語もC言語しか学んでいないため、高専教員だけで学生を教育するのは非常に難しい。また、教員1名で受け持つ学生数も非常に多いため、学生一人当たりに充てることができる時間も少なく、より深い専門教育を行うためには、上記のような外部の研究機関と連携し、実施することが重要であると考えている。参加している学生に聞き取り調査を実施したところ、学生自身も最先端の研究を実施している研究施設での研究は高専では体験することができないため非常に新鮮であり、モチベーションの向上に繋がったと話していた。

### 3.3.2 General Atomicsとの共同研究を利用した学生教育

岐阜高専では、前述したように夏季休暇を利用して国内外の企業、研究所での1ヶ月程度のインターンを行うことが必須である。岐阜高専では13の海外の大学と提携しており、海外でのインターンを希望する学生がいる場合にはそれらの大学でインターンを実施している。しかし、多くの場合には学生自身が研究している研究テーマとは全く異なる研究をインターン中に実施しており、相違が発生していた。そのため、著者が共同研究を実施しているGeneral Atomicsにインターンの受け入れを依頼し、1ヶ月のインターンを実施した。General Atomicsでは中型トカマク装置DIII-Dを所有しており、国内外から研究者が集まって実験を実施している。学生がインターンを行った期間はDIII-Dでは実験を行っていなかったため参加することはできな

かったが、現地にいるMHD不安定性、ディスラプションの専門家と議論を実施し、DIII-Dにおけるディスラプション時の電流減衰時間の実験解析を実施している。学生はインターンとして参加しているため、インターン最終日には受け入れ担当の研究者に滞在期間中に実施した研究成果を英語で発表し、成果について評価も実施していただいた。インターン終了後に学生にきいたところ、海外で最先端の研究を実施している研究所でのインターンは学生にとっても魅力的な経験であり、特別研究のモチベーション向上につながったと話していた。

### 3.3.3 研究機関の学生参加型研修プロジェクトを利用した学生教育

核融合研（総研大）では夏の長期休暇時に大学生、高専生を対象とした夏の体験入学[5]を、量研機構ではサマースクール[6]を実施している。専攻科生であれば、核融合科学研究所の共同研究に参加できるなど学生の旅費の確保が比較的行うやすいが、本科生は共同研究者として認められていないため、学生が最先端の研究所での実習や見学を希望した際には旅費の確保が必要である。もちろん、学生自身が望んでいるため、学生が負担すればよいという考えもあるが、なるべく学生の負担なく実施できた方がよい。上記で紹介した核融合研（総研大）の夏の体験入学や量研機構のサマースクールは1週間程度のプログラムであり、かつ全額ではないが旅費の支給がある。まだ研究を始めたばかりの本科5年生に最先端の研究の現場に行かせることは研究のモチベーション向上につながるため、岐阜高専ではなるべくこれらの制度を利用して、学生の教育を実施している。

## 3.4 他機関と連携した学生の原子力教育

著者は核融合の専門家であるが、原子力を専門としていないため、学生に原子力に関する教育を行うことは難しい。しかし、高専に所属する多くの学生は技術者として電力会社など原子力に関連する企業に就職することが多く、そのような学生への原子力教育の必要性を感じていた。1章で述べられているように高専機構ではスケールメリットを利用して全国51高専を対象に原子力教育を実施しているため、興味のある学生はそちらの原子力教育に参加させていたが、各高専で授業日程などのスケジュールが異なることからうまく参加できないことがあった。そのため、岐阜高専では原子力関連の他機関と連携し、岐阜高専独自に原子力教育を実施しているため、本節にて詳しく紹介する。

### 3.4.1 日本原子力文化財団と連携した原子力教育

日本原子力文化財団は原子力の平和利用についての知識の啓蒙活動を行い、原子力が明るい文明社会の形成に寄与することを目的として設立された団体[7]である。日本原子力文化財団では無料で講師（専門家）を派遣するなど全国各地で様々な原子力に関する活動、イベントを実施している。また、原子力発電環境整備機構（NUMO）と協力し、地層処分事業の理解に向けた選択型学習支援事業[8]も実施している。この事業では地層処分に関する学習・活動を希

望する団体に対して、活動や活動に伴う費用を最大100万円まで支給する制度となっている。支給された費用は地層処分に関する施設見学の旅費として使用することが可能である。この事業では支給を受けた団体が活動を通じて学習したことを情報発信することが義務付けられている。

岐阜高専では表1に示すように2017–2019年度に4回の施設見学を実施している。2017、2018年度には青森県六ヶ所村にある日本原燃株式会社の再処理工場とその敷地の隣にあるQST六ヶ所核融合研究所の見学を実施し、それぞれ13名の学生が参加した。その時の見学時の様子を図3、4に示す。2019年度には北海道幌延町にあるJAEA幌延超深地層研究センターの見学を実施し、13名の学生が参加した。見学後にアンケートを実施したところ、参加した学生の満足度は高く、今回の見学が原子力発電、核融合発電を知ることができる良いきっかけになったと話す学生もいた。このように座学の授業だけでなく、学生の学習の質を高めるためには施設見学などの体験型の授業を行うことが重要であると考えられる。事業の詳しい内容やどのような施設が見学できるかは日本原子力文化財団のホームページなどを参照されたい。

### 3.4.2 日本原子力産業協会と連携した原子力教育

日本原子力産業協会は「原子力の開発と平和利用を推進することを目的に、「社団法人 日本原子力産業会議」として、民間組織が結集し発足した」組織であり、設立50周年である2006年に「日本原子力産業協会」に名称を変更した[9]。日本原子力産業協会では大学、高専を対象に原子力、高レベル放射性廃棄物の地層処分に関する出前授業を実施している。岐阜高専ではその制度を利用し、専攻科生の授業において原子力、高レベル放射性廃棄物の地層処分に関する授業を実施したので、本節ではその内容について紹介する。

専攻科生に実施した出前授業は2日間に渡り実施しており、1日目には日本原子力産業協会の講師によるエネルギーミックスから原子力の基本的な情報、ガラス固化体などの高レベル放射性廃棄物の基本的特性から製造方法、廃棄物の処分方法の検討について情報提供が行われた。2日目には1日目に受けた講義の情報を基に(1)情報提供時にわからなかった・質問したい項目、(2)「自分なら高レベル放射性廃棄物の処分問題をどのように解決するか」という内容についてグループディスカッションを実施し、講義の最後に各グループで議論した内容を発表するというものである。原子力のことを知らない学生も1日目の講義で習うことができ、2日目のディスカッションに参加できるため非常に良い講義が提供されるものとなっている。

以上のように日本原子力産業協会が提供している出前授業を利用すれば、原子力の専門家がいらない高専、大学においても困ることなく学生に教育を実施できるため、利用価値は非常に高いと考えられる。出前授業の詳細は日本原子力産業協会にお問合せいただければ幸いである。

### 3.5 医工連携をめざした医療データ解析

本節で述べる内容は本小特集にはあまり関係ない内容で

表1 日本原子力文化財団の事業で行った原子力関連施設の見学一覧。

| 年度   | 見学先               | 参加学生 |
|------|-------------------|------|
| 2017 | 日本原燃 六ヶ所再処理工場     | 13名  |
|      | QST 六ヶ所核融合研究所     |      |
|      | JAEA 瑞浪超深地層研究センター | 23名  |
| 2018 | 日本原燃 六ヶ所再処理工場     | 13名  |
|      | QST 六ヶ所核融合研究所     |      |
| 2019 | JAEA 幌延超深地層研究センター | 13名  |



図3 六ヶ所原燃PRセンターでの見学の様子。職員の方から学生は模型を用いて原子力発電の基礎から再処理に関する説明を聞いている。



図4 QST六ヶ所核融合研究所での見学の様子。学生は事前に核融合に関する基礎的な講義を受講し、その後施設見学を実施した。

あるが、自由に研究が実施できる高専ならではの研究であるため、どのような経緯で研究を実施したのか、研究の内容について少し紹介させていただきたい。

事の発端は、著者が2018年度に University of California, San Diego への1年の在外研究に行っていた際に著者の子どもが川崎病に罹患したことにある。小児疾患である川崎病はアジア人（特に日本人）に多く、発見されてから50年ほど経ったいまでも発症原因は不明である。50年経過しても解決できていないところに核融合と通じるものを感じるが、日本で発症が多いことから発症原因の特定が急務とされている。アジア人に多い病気のため、アメリカでは発症数が少ないが、サンディエゴ地域には全米でも一、二位を争う川崎病研究チームが存在していた。子どもの治療を通じてその研究チームに在籍する日本人の医師の方と出会い、これが医工連携をめざした医療データ解析を始めたきっかけとなった。

核融合、特に炉心プラズマ分野ではプラズマが高温であるため、炉心のプラズマパラメータの計測には直接計測できるプローブ等を使用することができず、様々な工夫をしながら炉心プラズマの計測を実施している。そのため、限られたデータから創意工夫しながら多くの情報を引き出すデータ解析技術が発達している。一方、医療現場では臨床と研究を両立させることは非常に難しく、かつ医師は人を治す専門家であってデータを解析する専門家ではないため、データ解析技術が他分野に比べて遅れている。最近ではAIを用いた医療画像解析の成果が報告されており、医療画像診断の分野では近い将来にAIがベテランの専門医を上回るとも言われている[10]。

岐阜高専ではサンディエゴで出来た人脈を利用し、国内の大学の医学部、医科大学（自治医科大学、東京女子医科大学、滋賀医科大学など）との共同研究を実施し、医療データ解析を実施している。具体的には、国内における川崎病の医療データを使用して、川崎病発症原因をデータ解析の観点から探り出すという研究を実施している。このように他分野と気軽に共同研究が始められるのも高専の良い

点であると考えている。岐阜高専で行っている医療データ解析について詳細に知りたい方は是非ご連絡いただきたい。

### 3.6 おわりに

炉心プラズマは様々な物理現象が関係しており、1名の教員で高専のように大学低学年に対しての教育を行うことは非常に難しい。そのため、岐阜高専では研究所、大学等の力をお借りして、学生教育を実施してきた。また、原子力教育においても、著者は核融合の分野の人間であるため、赴任当時に原子力教育は素人であった。しかし、紹介したように外部機関と連携することにより、素人でも質の高い原子力教育を実施することができた。本稿が学生教育に苦勞されている先生の参考になれば幸いである。

### 参考文献

- [1] 国立高専研究情報ポータル 各高専シーズ集, [https://research.kosen-k.go.jp/research/college\\_seeds/](https://research.kosen-k.go.jp/research/college_seeds/) (閲覧日 2021/2/20)。
- [2] 河野康則, 杉原正芳, 飛田健次: プラズマ・核融合学会誌 **86**, 3 (2010)。
- [3] 松山顕之: プラズマ・核融合学会誌 **95**, 589 (2019)。
- [4] 核融合科学研究所 共同研究 (閲覧日 2021/3/16), <https://www.nifs.ac.jp/collaboration/index.html>
- [5] 国立大学法人総合研究大学院大学物理科学研究科核融合科学専攻 夏の体験入学 (閲覧日 2021/3/16), <https://soken.nifs.ac.jp/archives/open/opencampus>
- [6] 国立研究法人量子科学技術研究開発機構 QST サマースクール (閲覧日 2021/3/16), <https://www.qst.go.jp/site/collaboration/1091.html>
- [7] 一般社団法人日本原子力文化財団 (閲覧日 2021/3/16), <https://www.jaero.or.jp>
- [8] 一般社団法人日本原子力文化財団 地層処分事業の理解に向けた自主企画支援事業 (閲覧日 2021/3/16), <https://www.jaero.or.jp/kikakusien/index.html>
- [9] 一般社団法人日本原子力産業協会 (閲覧日 2021/3/16), <https://www.jaif.or.jp>
- [10] A. Rajkomar *et. al.*, New Eng. J. Med. **380**, 1347 (2019)。

## 小特集 高専における核融合および原子力に関する人材育成

# 4. 高専におけるエネルギー構造材料研究と人材育成 ～久留米高専の取り組み～

## 4. Research and Human Resource Development for Energy Structural Materials in KOSEN ～An Approach in NIT, Kurume College～

岩田 憲幸

IWATA Noriyuki

国立高等専門学校機構久留米工業高等専門学校

(原稿受付：2021年4月9日)

次世代原子炉や核融合炉を実現するためには、過酷環境下で使用可能な材料の研究開発とそれを支える人材育成が必要不可欠である。しかし、今日の我が国の国立高等専門学校（高専）において、材料系の学科を単独で設置している高専は、全国51校中、僅か3校に過ぎない。本章では、それらのエネルギー構造材料研究を行っている久留米工業高等専門学校（久留米高専）を取り上げ、これまでの関連研究の経緯や最近のトピックスなどを紹介する。また、この材料分野の人材育成の取り組みを概説し、今後の展望について著者の考えを述べる。

### Keywords:

nuclear material, fusion reactor material, ODS ferritic steel, mechanical alloying, human resource development

### 4.1 はじめに

地球規模のCO<sub>2</sub>排出削減や世界のエネルギー需要の拡大などに対応すべく、次世代原子炉や核融合炉の技術開発を継続的に推進するためには、高温で高照射量の中性子照射という過酷環境下で使用可能な材料の研究開発とそれを担う人材育成が不可欠である。一方、原子力工学や核融合工学は、各炉に関する物理の他、機械工学、材料工学、電気電子工学、制御情報工学、応用化学、土木建築工学などから構成される総合工学であり、多くの先端理工学分野を内包している。特に、材料工学は、炉内構造物の健全性を確保することにとどまらず、システムの安全性向上に係る技術開発を進めるという点でも、将来のエネルギー施策の要であるといっても過言ではない。

2003(平成15)年の日本金属学会会報の特集「工学教育の新潮流」において、我が国の国立高等専門学校（高専）の黎明期から当時までの高専材料工学科の変遷についてまとめられている。現在（2021(令和3)年4月）全国51校の中で、材料系の学科を単独で置く高専の所在を図1に示す。東から西の順に、鈴鹿工業高等専門学校（鈴鹿高専）、新居浜工業高等専門学校（新居浜高専）、および久留米工業高等専門学校（久留米高専）の3校しか存在しない。いずれの材料系学科も、当初は金属工学科として設置されたが、その後の時代や社会的な要請の変化に対応して、それぞれ材料工学科（鈴鹿高専）、環境材料工学科（新居浜高専）、材料システム工学科（久留米高専）に改組あるいは改組・

名称変更され、現在に至っている。

このような状況下で、原子炉や核融合炉の材料の研究を行っているのは、上記3校の中で久留米高専だけである。加えて、原子力・核融合炉材料分野の高専研究者は、機械系学科を含めても極めて少数であることも論を俟たない。ここでは、久留米高専でのこれまでのエネルギー構造材料研究の経緯と最近のトピックスなどを紹介する。また、この材料分野の人材育成の取り組みを概説し、材料研究者として、今後どのように人材育成を進めるべきか、将来の展望について私見を述べてみたい。



図1 材料系の学科を擁する高専。



## 4.2 久留米工業高等専門学校の概要

久留米高専（福岡県久留米市）は、新設された他の高専とは大きく異なり、旧制の官立久留米高等工業学校の創設以来80余年の歴史と伝統を有し、我が国の高等教育機関としての高専教育において、先駆的な役割を担ってきた高専の一つである。図2に久留米高専のキャンパス写真を示す。本キャンパスは、九州随一の河川である筑後川とその支流の宝満川の合流地に位置し、自然豊かな水と緑に囲まれた「小森野」の地から、これまでに1万3千余名の人材を産業界に輩出している。

その長い歴史を紐解くと、1939(昭和14)年に創設された官立久留米高等工業学校を起源とし、1944(昭和19)年の学制改革により、久留米工業専門学校へと改称された。1949(昭和24)年には第二次世界大戦後の学制改革により、九州大学に包括されて九州大学久留米工業専門学校となり、九州大学教養部第二分校と九州大学生産科学研究所が併設された。1951(昭和26)年に旧制工専は閉校されたが、当時の高度経済成長に伴う産業界からの要請に応じて、1958(昭和33)年に全国初の工業短期大学として久留米工業短期大学が新設された。その後、我が国初の5年一貫の工業教育システムの構築に向けたモデル校として、1961(昭和36)年に附属工業高等専門学校が付設された。

1964(昭和39)年には久留米工業短期大学とその附属工業高等専門学校から移行して、今日の久留米工業高等専門学校が設立され、1966(昭和41)年3月には他の高専より1年早く、全国初の高専卒業生を社会に送り出している。その後、1993(平成5)年には5年制の本科の上に2年制の専攻科が設置され、現在の各学科・各専攻の教育課程の原型が完成した。本科に関しては、機械工学科、電気電子工学科、制御情報工学科、生物応用化学科、および材料システム工学科の5学科により構成されている。その上の専攻科に関しては、機械工学科、電気電子工学科、ならびに制御情報工学科を母体とした機械・電気システム工学専攻、さらに生物応用化学科と材料システム工学科を基盤とした物質工学専攻の2専攻がある。



図2 久留米高専のキャンパス。

## 4.3 エネルギー構造材料研究の経緯

これまでに著者は、原子力・核融合炉材料の研究に取り組んできたが、始まりは京都大学エネルギー理工学研究所（京都府宇治市）へ博士研究員として赴任した時である。同研究所のある宇治キャンパスは、自然に囲まれ、歴史と文化に彩られた宇治川の右岸に位置し、研究所がメインのキャンパスであることから、落ち着いた研究環境にある。周辺には、インゲン豆を日本に伝えたと言われる中国の僧、隠元禪師によって開かれた黄檗山萬福寺、さらに少し足を運べば、10円硬貨の表に刻印されている世界遺産、平等院鳳凰堂などがある。この一帯は著者の息子2人が幼い頃、よく一緒に散策した懐かしい場所でもある。

それはさておき、京都大学エネルギー理工学研究所在籍中（2004(平成16)年7月～2013(平成25)年3月）は、エネルギー機能変換研究部門エネルギー貯蔵研究分野（現：エネルギー基盤材料研究分野）、附属エネルギー複合機構研究センターに順次所属し、粉末冶金法により製造される先進鉄鋼材料の合金設計とプロセスの改良を行う、いわゆる鉄鋼材料とその製造技術の高度化をテーマとした調査が主な研究であった。一般にフェライト系鉄鋼材料は、中性子照射下における組織安定性や耐スウェリング性に優れていることはよく知られており、次世代原子炉・核融合炉のいずれにおいても、各システムの実現のために鉄鋼材料が果たす役割は大きく、低放射化材料の開発や材料の照射効果など、取り組むべき多くの課題がある。

その後、2013(平成25)年4月に著者が京都大学から久留米高専に准教授として赴任以来、材料工学科（現：材料システム工学科）に所属し、材料プロセス工学研究室を運営している。図3に示すように、高機能材料の創製をめざして、金属、セラミックス、およびそれらの複合材料から構成される無機系エネルギー材料・バイオマテリアルの研究開発を進めている。なお、後者の研究についてはここでは言及しないが、従前からのエネルギー構造材料研究を継続しつつ、人工骨や人工関節などのバイオマテリアルの生体活性化技術に関する研究なども行っている。

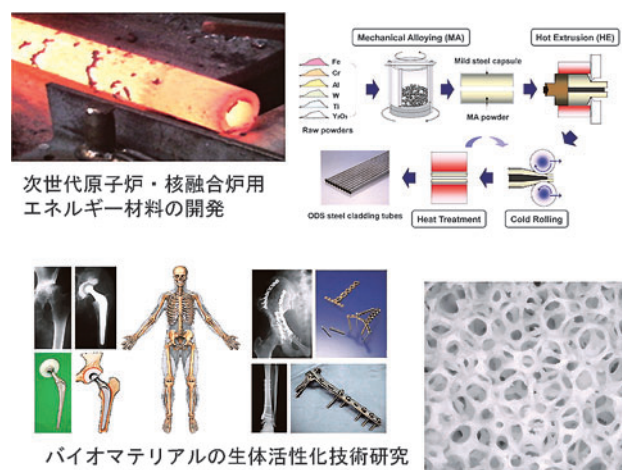


図3 材料プロセス工学研究室の研究概略図。

次世代原子炉・核融合炉用のエネルギー構造材料研究に関しては、高温、高圧、高腐食、高線量中性子照射という過酷環境に耐える先進鉄鋼材料の創製に取り組んでいる。材料プロセス工学研究室は、著者、材料システム工学科の本科5年生、および物質工学専攻の専攻科生から構成される。通常、研究テーマにエネルギー構造材料研究を選択した学生は、後述する粉末冶金法を用いた鉄鋼材料の製造プロセスに関連する研究を中心に活動している。所属学生の教育課程としての卒業研究、専攻科研究基礎、専攻科研究論文の研究活動で得られた成果は、学生自身が研究会や学会などで毎年発表を行っている。久留米高専のエネルギー構造材料研究は、活動を開始してから今年で9年を迎えるに至っているが、この間、学内外の教育・研究助成、外部機関との共同研究や外部資金の獲得などにより研究環境はおおむね整備されている。

#### 4.4 氧化物分散強化フェライト鋼の開発

核融合炉の開発においては、高線量の中性子照射による材料中の格子原子の弾き出し損傷、また核変換ヘリウムや水素の生成による材料劣化の促進作用が懸念されており、これらに耐える「革新的な材料」の開発が不可欠である[1]。一方、次世代原子炉の開発においては、高燃焼度対応型燃料被覆管の開発が重視されており、ここでも材料開発がシステム実現の鍵を握っている[2]。

第4世代原子炉(Generation IV: GEN-IV)システムでは、冷却材として超臨界圧水(Super-Critical Water: SCW)、液体鉛や鉛ビスマス共晶(Lead-Bismuth Eutectic: LBE)合金などを使用するタイプの超臨界圧水冷却炉(Super-Critical Water-cooled Reactor: SCWR)や鉛冷却高速炉(Lead-cooled Fast Reactor: LFR)などの実用化に向けて、国際協力の下で技術開発が進められている。SCWや

LBE中においては、鉄鋼材料の腐食が重要な課題とされており、高温強度特性や耐照射性能だけでなく、それらの冷却材に対する耐食性の確保が必須となる。しかしながら、相反する要件を全て満たす鉄鋼材料を創ることは非常に難しく、多くの場合はトレードオフが発生する。新しい材料の開発という観点からは、これを解消するために合金添加元素の有効活用が重要であり、いわば隠し味のような微量合金元素の果たす役割も重視されている。

従来、我が国でナトリウム冷却高速炉(Sodium-Cooled Fast Reactor: SFR)用に開発された9Cr-ODS鋼は、SCWやLBE中の耐食性に問題があり、SCWやLBE冷却システムの燃料被覆管としての適用は困難であった。そこで、この問題を抜本的に解決するために、京都大学を中心として「スーパー ODS 鋼」の開発研究が進められてきた[3-11]。図4にスーパー ODS (15Cr-4Al-Zr) 鋼の材料特性のまとめを示す。同じフェライト系鉄鋼材料であるFe-9Cr鋼やSUS 430 (18Cr) 鋼に比べて、室温での強度をはじめ、700℃でのクリープ寿命(高温強度特性)、研究用原子炉(High Flux Isotope Reactor: HIFR)を利用した中性子照射試験後の室温引張伸び(耐照射性能)、さらにSCW中の腐食試験による腐食増量(耐食性)のいずれにおいても、極めて優れた特性を有していることがわかる。なお、合金設計の考え方や材料特性の発現機構に関しては、次の特許や論文、解説記事などにおいて、京都大学の木村晃彦先生が論じておられるので、詳細についてはそれらを参照されたい[2, 12, 13]。このように、我が国で開発されたスーパー ODS 鋼は、高温強度特性と耐照射性能に加えて、耐食性にも優れていることから、現行軽水炉のジルカロイ被覆管に代わる事故耐性燃料被覆管として使用することが検討されており、次世代原子炉や核融合炉の構造材料として有望視されている。

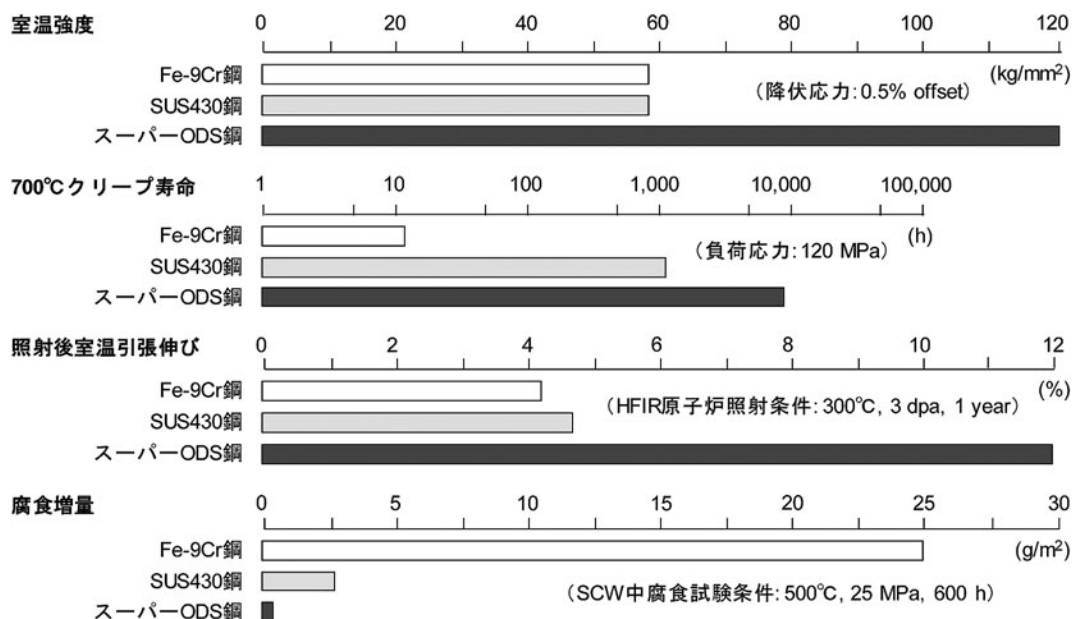


図4 我が国で開発されたスーパー ODS 鋼の材料特性のまとめ。



ちなみに、酸化物分散強化 (Oxide Dispersion Strengthened: ODS) 鋼は、通常の鉄鋼材料中に酸化物粒子を数 nm サイズで分散させることにより、高温強度の向上を図った先進鉄鋼材料である。これに対して ODS フェライト鋼は、耐照射性能に優れたフェライト系鉄鋼材料中に酸化物粒子を高密度に分散させるために、汎用鉄鋼材料の製造に使用される溶解法とは異なり、各種金属元素粉末と  $Y_2O_3$  粉末をボールミルで合金化させるメカニカルアロイング (Mechanical Alloying: MA)、ならびにその後の熱間固化成形を組み合わせた粉末冶金法を用いて製造される。

通常、その MA 処理は、不活性ガスのアルゴン (Ar) 雰囲気下で行われるため、高温での固成プロセスで、MA 中に導入された Ar バブルが鋼中において凝集・粗大化し、強度特性の低下を招くことはよく知られている。そこで、Ar または水素 (H) 雰囲気下でそれぞれ MA 処理して作製した ODS フェライト (16Cr-4Al) 鋼の室温での引張特性を比較した。この 2 種の ODS フェライト鋼の引張変形挙動に及ぼす雰囲気影響を図 5 に示す。H 雰囲気下で MA 処理を施すと延性が顕著に改善され、Ar 雰囲気下で MA した場合よりも良好な伸びが得られることがわかる。さらに、還元性ガスである H は、鋼中に存在する介在物や酸化物粒子の粗大化を抑制できるため、高温強度、特にクリープ強度の向上が期待できる [14]。

#### 4.5 エネルギー構造材料分野の人材育成

久留米高専では、2016(平成28)年から京都大学エネルギー理工学研究所、および、第 1 章で触れられた高専機構「国際原子力人材育成イニシアティブ事業」で協働する福島工業高等専門学校(福島高専)と連携し、両高専の学生を対象とした「エネルギー材料工学インターンシップ」による原子力・核融合炉材料分野の人材育成を進めている。久留米高専からは、毎年 2 名の学生(材料システム工学科の本科 5 年生または物質工学専攻の専攻科生)を同研究所へ派遣し、夏季休業期間中に 5 日間の実習を行っている。ただし、2020(令和 2)年度は、新型コロナウイルス感染症拡大の影響により、活動自粛を余儀なくされた。

このインターンシップは、京都大学エネルギー理工学研究所の保有する最先端の装置や施設に触れ、エネルギー材料研究の最前線を体験させるとともに、研究者や大学院生との交流を通して、材料研究に対する興味や関心を高めることを目的としている。図 6 にエネルギー材料工学インターンシップの様子を示す。研究者や大学院生チューターの指導の下で、種々の金属材料(代表的な金属である純鉄、汎用フェライト系ステンレス鋼、核融合炉材料としての低放射化フェライト鋼など)を供試材とし、各種の評価装置を用いて、材料と環境の相互作用による特性の変化を調査する実験を行っており、短期間でもエネルギー材料研究の魅力や醍醐味を存分に味わえる実習となっている。また、福島と久留米、両高専の学生間の交流を図る場としても、教員間の交流を深める場としても機能している。

これまでに参加した学生によると、高専では見られない先端的な装置や施設を目にし、最先端のエネルギー材料研

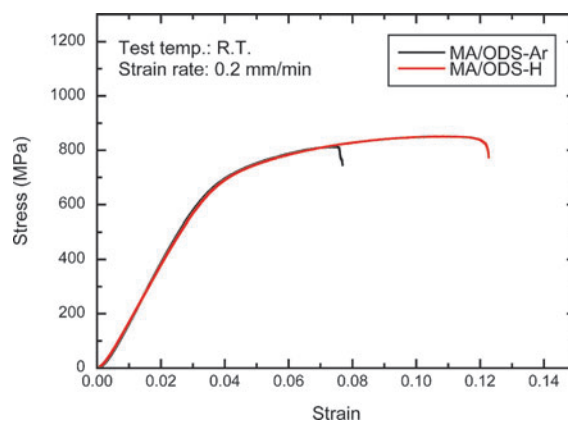


図 5 ODS フェライト鋼の引張変形挙動に及ぼす雰囲気影響。



図 6 エネルギー材料工学インターンシップの様子。

究を実際に体験する中で、今一度、学校で学ぶことの意義や価値などを実感している。とりわけ高専生にとっては、研究者や大学院生と直接対話することで、研究の楽しさや難しさ、奥深さを知り、大学や大学院では何を学ぶのか、将来どのようなキャリアプランを立てればよいのかなど、考える機会が数多く提供されるであろう。また、研究者や大学院生が研究に取り組む姿を見て、研究そのものやその進め方、取り組み方に対しても具体的なイメージを持てるようになる効果も期待できる。一方、研究者や大学院生にとっては、自分の研究や姿勢、考え方などが高専生にどのように受け止められるのかを知る機会となる。「研究」は、学問と実務の双方に知見をもたらすことが求められるが、それらを体感することで、研究に対する理解や自らの研究をより一層深化させることができると考えられる。

さらに、「エネルギー材料工学インターンシップ」参加後の進路状況を見ると、久留米高専の全参加者のうち、約 75%の学生が本科卒業後または専攻科修了後にそれぞれ、大学編入、専攻科進学、あるいは大学院進学の道に進んでいる。他方、このインターンシップの参加者ではないが、著者が久留米高専に赴任して以降、2名の学生(物質工学専攻の専攻科生)が京都大学大学院エネルギー科学研究科に進学している。こうした取り組みの継続により、学生の

学業や研究に対するモチベーションの維持や意識高揚の動機付けにもなっている。一方、今春に久留米高専の材料工学科を巣立った1人の本科卒業生が東京電力HDに入社し、福島第一原子力発電所(1F)の廃炉部門に配属された。本人は高専入学以前から、「将来、1Fの廃炉に携わる仕事に就きたい」との強い志を一貫して持ち続け、結果としてその道を拓いたのである。これを機に、次代に向けた道標となる業務に係る本人に敬意を表し、そして材料技術者としての今後の活躍を期待したい。

ところで、京都大学エネルギー理工学研究所では、最近、文部科学省認定共同利用・共同研究拠点「ゼロエミッションエネルギー研究拠点」活動が展開されており、この一環として、高専の専攻科生を対象としたインターンシップの受け入れが随時行われている。該当する分野は、太陽光、レーザー、バイオ、先進原子力システム、プラズマなど、多岐に渡っている。なお、同研究所の研究拠点活動としての「高等専門学校専攻科インターンシップ」については、京都大学エネルギー理工学研究所のHPを参照されたい。産官学によるインターンシップは、実学的、かつ実践的な教育プログラムであるため、広く情報共有が行われるべきである。しかし、企業のインターンシップ情報に比べて、教育機関や研究機関などの情報のデータベース化が立ち後れている現状があり、各機関からの有益な情報発信が行われているが、必ずしも十分に認知されているとは言い難い状況にある。

近年、我が国では少子超高齢化が急速に進行しており、あらゆる科学技術や産業の基盤となる人材の確保と育成が急務となっている。そのため、全ての分野をこれまでと同じ規模で維持していくことは不可能であるが、この調整を自然淘汰に委ねてはならない。それを避けるためには、産官学の長期的視点での問題意識の共有が不可欠である。また、我が国が実現をめざす「Society 5.0」やSDGsに代表される社会の課題解決や自然との共生という難しい境界条件の下で、産官学が連携して対話を進めるとともに、産・官・学それぞれにおいて戦略的一貫性のある仕組みを構築すべきである。一例を挙げれば、少子超高齢化などの社会構造の変化に端を発した学校教育におけるキャリア教育や職業教育では、その支援の在り方がキャリア形成に関与していることを改めて再認識する必要がある。地域や企業、および高等教育機関と初等中等教育機関との連携は次世代のキャリア形成に影響を与えるであろう。とりわけ未知の時代を切り拓く人材育成は、地域・企業・教育機関がより一層密に連携することで可能となる。現代の社会が抱えている様々な課題や問題を俯瞰してみると、これからの人材育成においては、組織や分野の枠を超えた研究者・技術者の人的交流、科学技術立国に不可欠な産官学連携の果たす役割が甚大である。

## 4.6 おわりに

環境問題やエネルギー問題をはじめ、社会全体に刻々とパラダイムシフトが生じている現代、従来の考え方や手法では解決できない諸課題が顕在化してきている。それゆえ現在を時代の転換期と捉え、社会の変化や発展に対応していくことが必要であり、我が国の科学技術や産業の将来を牽引する人材を育成するために、組織・分野横断的な研究者・技術者の交流の促進、さらには産官学相互の有機的な連携が様々な形で重点的に実施されるであろう。

原子力・核融合分野に限らず、材料研究者は、多角的な観点から材料を理解し、基盤技術開発から社会実装までの研究動向と社会的要請を把握しつつ、それらを研究に反映させることが重要である。そして何よりも、ものづくりを通して、次世代を担う若い世代や将来を創る子どもたちの好奇心を育むことが肝要であろう。

## 謝 辞

本章で紹介した研究の一部は、エネルギー対策特別会計に基づく文部科学省からの受託事業として、京都大学が実施した「原子力システム高効率化に向けた高耐食性スーパー ODS 鋼の開発」、日本学術振興会科学研究費補助金(15K21593)、京都大学エネルギー理工学研究所「ゼロエミッションエネルギー研究拠点」共同研究(ZE31A-27)の成果です。

同じくここで紹介した「エネルギー材料工学インターンシップ」の実施に当たっては、京都大学エネルギー理工学研究所の木村晃彦教授(現:名誉教授)、笠田竜太准教授(現:東北大学金属材料研究所教授)、檜木達也准教授(現:京都大学オープンイノベーション機構特定教授)、近藤創介特定准教授(現:東北大学金属材料研究所准教授)、藪内聖皓助教らの協力を得ました。以上の先生方と同研究所の関係者各位に感謝いたします。

## 参 考 文 献

- [1] A. Kimura *et al.*, J. Nucl. Mater. **367-370**, 60 (2007).
- [2] 木村晃彦 他: 配管技術 **52**, 5 (2010).
- [3] H.S. Cho *et al.*, Fusion Eng. Des. **81**, 1071 (2006).
- [4] A. Kimura *et al.*, J. Nucl. Sci. Tech. **44**, 323 (2007).
- [5] H. Kishimoto *et al.*, J. Nucl. Mater. **367-370**, 179 (2007).
- [6] N.Y. Iwata *et al.*, J. Nucl. Mater. **367-370**, 191 (2007).
- [7] R. Kasada *et al.*, J. Nucl. Mater. **367-370**, 222 (2007).
- [8] H.S. Cho *et al.*, J. Nucl. Mater. **367-370**, 239 (2007).
- [9] K. Yutani *et al.*, J. Nucl. Mater. **367-370**, 423 (2007).
- [10] H.S. Cho *et al.*, J. Nucl. Mater. **367-370**, 1180 (2007).
- [11] N.Y. Iwata *et al.*, ISIJ Int. **49**, 1914 (2009).
- [12] 木村晃彦 他: 特開 2010-65302 (2010).
- [13] A. Kimura *et al.*, J. Nucl. Mater. **417**, 176 (2011).
- [14] N.Y. Iwata *et al.*, Proc. 10th Int. Symp. Adv. Energy Sci. Kyoto, 215 (2019).



## 小特集 高専における核融合および原子力に関する人材育成

# 5. 福島第一原子力発電所の廃炉に向けた研究開発・人材育成 ～福島高専の取り組み～

## 5. R & D and Human Resource Development for Decommissioning of Fukushima Daiichi Nuclear Power Station ～An Approach in NIT, Fukushima College～

鈴木茂和, 青柳克弘, 原田正光

SUZUKI Shigekazu, AOYAGI Katsuhiro and HARADA Masamitsu

福島工業高等専門学校

(原稿受付: 2021年2月21日)

福島第一原子力発電所に最も近い場所に立地している国立の工学系高等教育機関である福島高専では、福島復興への貢献を社会貢献の重要課題と位置付けている。福島第一原子力発電所の廃炉を実現するためにはこの課題に挑戦する若い人材を育てることが、現在、喫緊の課題となっている。また、放射能汚染からの地域の環境回復や放射性廃棄物の処理・処分も重要な課題である。これらの課題解決に向けた福島高専の取り組みと ITER に関する材料研究について紹介する。

### Keywords:

Fukushima Daiichi Nuclear Power Station, Environmental Restoration, decommissioning, human resource development, ITER

### 5.1 福島高専の概要

福島工業高等専門学校（以下、福島高専）は、東京電力（株）福島第一原子力発電所（以下、福島第一）から直線で 45 km 離れた福島県浜通り南部のいわき市に立地しており、浜通りで唯一の工学系高等教育機関である。学科は工学系の機械システム工学科、電気電子システム工学科、化学・バイオ工学科、都市システム工学科と文系のビジネスコミュニケーション学科の 5 学科を有しており準学士課程である 1 年生から 5 年生は 1003 名の学生が在籍している。その上には専攻科である産業技術システム工学専攻とビジネスコミュニケーション学専攻があり、2 専攻合わせて 77 名が在籍している。

福島高専では、2007 年の文部科学省（以下、文科省）の「原子力教授人材充実プログラム」へ応募し、採択されたことをきっかけに、2009 年文科省「原子力研究促進プログラム」、2010 年経済産業省「原子力地域人材プログラム」へ応募してきた。それらの採択を受けて、地元自治体や東京電力と連携して原子力分野での人材育成を進めてきた。その間、2008 年には京都大学エネルギー理工学研究所と連携協定を締結し、最先端の研究に触れることができる人材育成を実施してきた。

2011 年の東日本大震災後は、文科省の「大学等における地域復興のためのセンター的機能整備事業」の採択により東日本大震災からの復興復興に向けた復興人材育成プログラムを開始した。復興人材育成プログラムでは原子力安

全、減災・防災、再生可能エネルギーに関する教育を実施してきた。この事業を通じて、学生の福島第一廃止措置への興味と関心が高まってきたことから、2014 年に文科省の「英知を結集した原子力科学技術・人材育成推進事業廃止措置研究・人材育成等強化プログラム」へ申請を行った。2014 年は FS 採択であったが、2015 年に正式採択となり、「廃炉に関する基盤研究を通じた創造的人材育成プログラム-高専間ネットワークを活用した福島からの学際的なチャレンジ-」を開始して、福島第一廃炉に関する人材育成を積極的に進めている。

2016 年度からは原子力規制庁の「原子力規制人材育成事業」を開始し、地域の環境回復に関する人材育成を進めている。

### 5.2 ITER に関する材料研究

2007 年 6 月の ITER 計画・幅広いアプローチ協定発効を受けて、福島高専では、核融合の将来への幅広いアプローチ協定に基づく活動（BA 活動）の一環として、日本原子力研究開発機構核融合研究開発部門核融合炉構造材料開発グループ（現量子科学技術研究開発機構核融合エネルギー部門六ヶ所核融合研究所）と原型炉ブランケットにむけた材料工学研究開発の一部となる微小試験片強度特性評価に関する共同研究を実施している。

核融合炉ブランケット構造材として有力視されている低放射化フェライト鋼（F82H 鋼）の強度特性を明らかにする

ことは、炉の設計上非常に重要であり、これまでも様々な研究チームによって膨大な試験結果が蓄積されてきている。しかしながら、引張強度に関する評価は主に強度に注目しており、伸びやひずみに関する評価は少ない。原子炉や核融合炉構造材料開発には JIS の標準試験片ではなく直径や板厚の薄い微小試験片が用いられている。これは材料開発において、試験炉や加速器を用いて照射試験を行い、イオンや中性子が材料に与える影響を調べる必要があり、その際に小さな試験片が用いられているためである。同様に、高経年化発電機器における余寿命評価においても、供用中部材からの切出し片や廃材から製作された微小試験片が用いられているが、微小試験片の作製条件について明確な規定がない。そこで、本共同研究では、微小試験片作製条件や引張強度および伸びの評価に関する研究を進めている。

図 1 に引張試験で用いる試験片の形状 (SS-J3) と図 2 に微小引張試験の様子を示す。

供試材は F82H 鋼を用いた。ボイラー用耐熱鋼である改良 9Cr-1Mo 鋼をベースとした合金であり、低誘導放射化のために Mo を W, Nb を Ta に置換したものである。そのため、基本的な特性としては、改良 9Cr-1Mo 鋼に近い特性[1]となっている。試験片作製条件を検討し、微小引張試験を行った結果、試験片作製条件は、試験片ブロック側面を耐水紙研磨したのち所定の厚さに加工し、試験片表面を耐水紙研磨、バフ研磨仕上げする方法が最適であることが得られた。

最近では、非接触によるひずみ計測手法確立に向けた研究も実施しており、これらの研究を通じて、学生に ITER 計画、核融合炉の構造や研究開発について理解を深めさせることができた。

### 5.3 福島第一廃炉に関する人材育成

国家課題である福島第一の廃炉を進めていく上で中長期的な観点からの技術者育成は、喫緊の課題であるとともに、実践的な技術者を育成している国立の高等教育機関である高専の課題でもある。福島第一に最も近い場所に立地

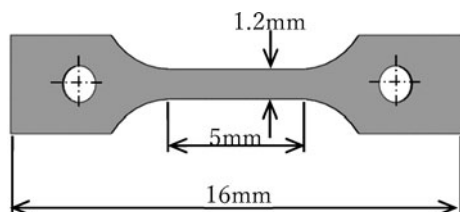


図 1 試験片形状.



図 2 微小引張試験の様子.

している福島高専には全国の高専を廃炉教育の分野で牽引する立場が求められている。

2015年から文科省委託事業である「廃炉に関する基盤研究を通じた人材育成プログラム-福島からの学際的なチャレンジ-」を開始した。その中で、福島高専が廃炉に関する人材育成において全国の高専の中心となり、中長期的な視点での人材育成及び大学・研究機関との連携を進めるために「廃止措置人材育成高専等連携協議会」を2015年3月17日に設立した。また、廃炉に関する教育プログラムである「廃炉創造学修プログラム」を立ち上げ、新たに下記の講義(1単位)を新設した。

- 1 年生 原子力発電基礎
- 2 年生 放射線基礎
- 3 年生 廃炉と社会、廃炉ロボット概論
- 4 年生 廃炉工学
- 5 年生 原子力事故総論

休日や長期休暇中に実施する集中講義形式で実施しているにもかかわらず、毎年合計で300名前後の学生が受講し、原子力や放射線、廃炉について理解を深めている。

廃炉人材育成では、学生が自分の目で現場を見て、直接話を聞いて、肌で感じることを重要と考えているため、学生に国内外の様々な場所を見学させている。これまでの主な見学先は以下の通りである。

アメリカ

Hanford Site B Reactor, KURION

Pacific Northwest National Laboratory

University of California Berkeley

ウクライナ

チェルノブイリ原子力発電所

ウィーン

IAEA

代表的な例として図 3 にチェルノブイリ原子力発電所見学の様子を示す。

これらの他に、同じ文科省委託事業の東京大学のプログラムにおいて下記の施設を見学させた。

スウェーデン

KTH Royal Institute of Technology, Studsvik



図 3 チェルノブイリ原子力発電所見学の様子.



Uppsala University

アメリカ

NASA

フランス

CEA Cadarache, ITER, CEA Marcoule

イギリス

National Nuclear Laboratory, Sellafield site

UKAEA, Oxford Technologies

微小試験片による研究を担当していた学生がフランス見学に参加し、建設中の ITER サイトを直接見ることでとても感動していた。

また、2016年からは福島第一でのインターンシップを実施している。6号機使用済み燃料プール見学や車両スクリーニング見学、地下水対策・水処理計画業務説明、アルプス設備視察などを通じて、福島第一の現状と廃炉に向けた取り組みについて、学生の理解を深めることができた。

#### 5.4 環境回復に関する人材育成

放射能汚染からの地域の環境回復や放射性物質を含む除染除去土壌の処理・処分が、福島県の重要な課題となっている。本事業は原子力規制庁からの補助を受けて、原子力規制人材育成事業の一環として、「地域の環境回復と環境安全に貢献できる原子力規制人材の育成」を実施している。本事業では、福島高専に入学する学生を対象として、高専の準学士課程・専攻科の7年間にわたる環境安全学修プログラムを構築して教育を実施している。

環境安全学修プログラムは、原子力規制に関する授業、複数の機関で実施する複合型インターンシップ、COOP (Co-operative) 教育による PBL (Problem Based Learning)

型学生研究から構成されている。これらを通じて地域の課題に取り組み、環境モニタリングや環境放射エネルギーの低減手法などの知識や技術を修得して、地域課題の解決に貢献できる人材や放射線利用における安全性に配慮できる人材の育成を実施している。

授業の一つである4年生を対象とした環境安全学・演習では、除染除去土壌をテーマに座学に加えてフィールドワークやグループ討論により、中間貯蔵や最終処分について理解を深めた (図4)。

複合型インターンシップは、福島第二原子力規制事務所をはじめとし、地域の環境回復や放射性廃棄物の処理処分等に関する業務や研究を行っている企業や大学・研究機関、原子力災害からの復旧・復興に関わっている自治体等で実施した。令和元年度では8機関でのべ27人の学生が研修に参加した。参加学生は、福島県浜通り地域で行われている原子力発電所事故対応や原子力規制業務、さらには地域の環境回復や再生に関する業務の実践を体験することができた。

これらのインターンシップに参加した学生からは、原子力を利用する際の危険性や責任の大きさが再確認できた。原子力や放射線を管理する規制業務の内容とそれを遂行する職員のすばらしさを肌で感じる事ができた。原子力発電所の内外の安全に対する環境整備を体験できたなど



図4 グループ討論の結果。

の感想が報告されており、知識や技術の修得のみならず自分達の今後の進路や役割を再認識する研修にもなった。

一方、複合型インターンシップでは立地市町村など地方自治体でもインターンシップも重要であると考えているが、除染や復興のための作業が減少し、地方自治体における学生の受入れが減少したこともあり、学生の参加はなかった。学生のインターンシップ参加が、将来の進路を強く意識する傾向にあり、大学や企業のインターンシップを志向するようになってきている。多方面から原子力や放射線の安全利用について捉えることが必要であることから、地方自治体での研修機会を維持していくことが課題である。

インターンシップとしては参加できなかった施設について理解を深めるために、施設見学に学生を派遣した。学生の参加募集の際に課題を与えて選考し、事前学習をさせた後に見学を実施した。これまでに、イギリスのセラフィールド社、Low Level Waste Repository, シェフィールド大学、JAEA 幌延深地層研究センターを訪問した。

セラフィールド社、Low Level Waste Repositoryでは、施設の概要や警備、廃棄物のレベルと処分方法、施設内で行われている研究について学習し、原子力災害が社会や地域におよぼす責任の重さを再確認するとともに日本の原子力発電所と警備や放射性廃棄物処理方法の違いなどを理解することができた。また、シェフィールド大学では材料科学分野の研究室で放射性廃棄物を包むセメントについての研究や放射性廃棄物を収納する際の圧縮機器の開発研究についての説明と意見交換を通して、レベルの高い研究成果や企業との共同研究に学生自身が主体的に関わる研究環境に触れることができた (図5)。

COOP教育によるPBL型の学生研究では、地域の環境回復や環境安全、放射性廃棄物の処理処分など地域課題の解決のために指導教員や学外研究者等の支援を受けて学生自身が設定した研究課題について、学外研究者等の協力を得ながら、基礎的な学修で得た知識を活用して課題の解決に向けた研究の取り組みを行った。学生研究課題は学内公募で実施した。4月から学生研究が開始できるように、前年度の1月末に学生が応募し、学内審査を経て研究課題を採択した。審査においては以下の点を考慮した。

- ・原子力発電所事故による放射能汚染から地域の環境を回復するという地域課題に取り組み、地域の環境回復に貢





図5 セラフィールド社見学の様子。

献するとともに、放射線利用における安全性に配慮できる人材の育成を目的としていることから、原子力発電所事故からの地域の環境回復に資する課題解決型の研究であること

- ・学外研究者からの支援が可能であること
- ・関連するフォーラム等での成果発表が可能であること  
2019年度は11件の学生研究を実施し、主な研究課題は以下の通りである。
- ・段ボール構造を有する遮へい材の機械的特性評価
- ・鉄含有ジオポリマーの作製と評価
- ・植物中に含まれるセシウム等の輸送のイメージング
- ・環境水中に含まれる放射起源物質の影響評価
- ・動物細胞の増殖における環境放射能とガンマ線の影響
- ・降雨時の河川濁水に含まれる放射性セシウムの調査

学生研究の成果は原子力関連分野、環境関連分野の学会等で学生自らが発表する事を義務付けており、成果発表に参加した学生からは、「発表会やフォーラムの中では関連するテーマはとても少なかったが、専門的な方と意見交換ができて参考になる意見をいただいたことは今後地域の環境回復に関する課題に取り組むうえで励みになった」、「次第に薄れていく原子力災害の影響や復興の状況などをもっと情報発信すべきである」、などの感想が聞かれた。

### 5.5 福島県内の大学生向け原子力人材育成

1F 廃炉や福島県内の環境回復を進めていく上での重要な点として、放射性廃棄物や除染除去土壌の処理処分が挙げられる。これまでは主に福島高専の学生を対象とした原子力人材育成を実施してきたが、福島県内の大学生が廃炉を含めた原子力と向き合うことが重要と考え、また、原子力産業を支えている関連企業への理解を深めることが重要と考え、2018年に文科省の「機関横断的な人材育成事業」へ「グローバルな視点から原子力関連企業とバックエンド事業を理解する実践的人材育成」というタイトルで応募し採択を受け2020年度までの事業を実施している。

本事業では原子力関連企業とバックエンド事業を理解することを目的として、福島県内の大学生を対象に国際的な視点とコミュニケーション能力を持ち、科学的・技術的な面から原子力と向き合える人材を育成するための取組を実

施している。主な内容は以下の通りである。

- ・東海村研修（原子力関連企業での研修）
- ・六ヶ所村研修（再処理、放射性廃棄物処理処分に関する研修）
- ・JAEA 梶葉研修
- ・イギリス研修
- ・カナダ研修

2018年度と2019年度は5日間の東海村研修と六ヶ所村研修、3日間のJAEA 梶葉研修、約2週間のイギリス研修とカナダ研修を実施し、福島大学の学生や福島高専の学生が参加した。

2019年のイギリス研修では、東京電力ロンドン事務所や世界原子力輸送協会（WNTI）、世界原子力協会（WNA）を訪問し、それぞれの機関と業務内容について理解を深めた。その時の様子を図6に示す。

また、オックスフォード近郊のCulhamにある英国原子力公社のRACE（Remote Applications in Challenging Environments）を訪問し、トカマク型核融合装置である欧州トカマク型核融合実験装置（Joint European Torus, JET）のモックアップを見学した。遠隔操作によるアームでタイル交換の訓練の様子を見学したところ、3人で連携した作業と学生と同年代の若い職員が核融合研究の最前線で活躍しているのを目の当たりにして、とても驚いた様子であった。また、自分も負けられないという強い思いを抱いたようであった。JET 見学の様子を図7に示す。

その他に、セラフィールド社を訪問し廃止措置や放射性廃棄物について理解を深めた。研修の後半はシェフィールド大学での研修を予定していたが、新型コロナウイルスの影響により、研修を途中で打ち切って帰国したことはとても残念であった。

### 5.6 Japan-IAEA 原子力エネルギーマネジメントスクール

将来、各国のリーダーとなることが期待される若手人材に原子力に関連する幅広い課題について学ぶ機会を与えることを目的として、原子力政策・規制組織の担当者、技術者・研究者を対象に、2010年にイタリアのトリエステで初



図6 世界原子力輸送協会訪問の様子。



図7 JET 見学の様子。

めて原子力マネジメントスクールが開催された。2012年からは毎年日本でも開催しており、2014年からは原子力人材育成ネットワーク、JAEA、東京大学原子力専攻、日本原子力産業協会、原子力国際協力センターの主催で開催している。3週間の研修であり、1週目と3週目は東京大学本郷キャンパスで講義やグループワークを実施し、2週目は東京を離れて施設見学などを実施している。

2017年度のマネジメントスクール開催検討にあたって、福島の見学が検討されたことから、高専機構を通じて福島高専へ協力依頼があり、高専機構および福島高専が主催に加わり協力することとなった。

2017年のマネジメントスクールは、2017年7月18日から8月3日の日程で開催し、外国人研修生20名（インドネシア、カザフスタン、ブルガリアなど16か国）、日本人研修生15名の合計35名が参加した。福島研修では、1Fと2Fの視察、JA 福島さくらでの農作物の放射能全量検査や破壊式検査、ワンダーファームにおけるトマトハウス栽培の見学、JAEA 福島遠隔技術開発センターでのVRシステムや遠隔操作ロボット見学を実施した。図8にワンダーファーム見学の様子を示す。

ハウス栽培のため、放射能汚染が無いにも関わらず、福島というだけで作物が売れなくなった風評被害の話を聞き、研修生は原子力事故の問題を実感するとともに、風評被害克服に向けた努力に感動していた。

1Fは視察、旧エネルギー館で概要説明を聞いた後に、原子炉建屋屋上の瓦礫除去や使用済み燃料プールからの燃料取り出しの進捗状況を視察し、舗装や地下水汲み上げポンプ、凍土壁、多核種除去施設などを視察した。2F視察はビクターズホールで概要説明を受け、1～4号機海水熱交換器建屋の津波侵入跡や震災時の仮設ケーブル敷設ルート、4号機原子炉建屋内で使用済み燃料プールやベDESTAL内部の視察を行った。発電所に到着すると、研修生たちの表情は変わり、真剣そのものであった。事故から6年が経過した状況を直接見ることで、原子力事故の重大さ、廃炉作業の状況や安全の重要性を実感してもらうことができた。図9に1F視察の様子を示す。

また、福島での研修最終日には、福島高専において高専

生との英語による交流セッションを実施し、研修生が福島高専の学生と直接意見交換を行い、学生にとっては国際交流の良い機会となった。

## 5.7 まとめ

1Fの廃炉作業は今後30年～40年かかると言われており、安心安全な廃炉作業を進めて行くためには若い世代の人材育成が非常に重要である。また、環境放射能汚染を受けた福島県にある高等教育機関として、原子力災害に対する風化を抑えつつ地域の環境回復に貢献できる人材の育成も重要である。

廃炉は一般的に負の印象を持たれがちであるが、未知の世界で放射線量の高い環境下において遠隔操作による作業は、宇宙開発とほぼ同様である。また、工学的、技術的には、他の分野に比べると新しいことに挑戦可能な分野である。福島だけではなく全国の高専生に、廃炉を研究や技術開発として、とてもやりがいのあるテーマであると、前向きに捉えてもらえるような取り組みを継続していきたい。

## 参考文献

- [1] 芝 清之 他：6. 低放射化フェライト鋼データベースの現状と課題，プラズマ・核融合学会誌 87, 187 (2011).



図8 ワンダーファーム見学の様子。



図9 1F 概要説明聴講の様子。

## 小特集執筆者紹介

たか だ えい じ  
高田 英治

独立行政法人国立高等専門学校機構富山高等専門学校教授，博士（工学）（東京大学）。トリトン燃焼計測等のための高速中性子検出器の開発に従事。他にも医療用放射線検出器の開発などを行っています。



さい とう せい き  
齋藤 誠紀

山形大学・准教授。2013年名古屋大学博士（工学）取得。釧路高専に職を得た後2018年から現職。プラズマ・材料相互作用を分子動力学法で研究。釧路高専にいたときにお誘いいただき、原子力人材育成成事業に楽しく関わらせていただきました。本事業で学んだ教育的視点は、現職でも学生との関わりの中で役立っています。最近は庭のDIYにハマリ、モルタルを練って階段を作ったりと家族に白い目で見られながら楽しい週末を過ごしています。今はウッドデッキを計画中。



かわ さき ひろ はる  
川崎 仁晴

佐世保工業高等専門学校電気電子工学科教授。1993年長崎大学博士（工学）取得。主として、プラズマを用いた機能性薄膜の作製や微粒子の発生成長機構解明の研究に従事。高専では工学教育にも注力している。最盛期には120 km/h程度出せたが、今は50肩と成り下がり、10 mも投げられず、長年勤めた野球部員に失笑をかう。北海道にいらっしやる恩師とのキャッチボールのため左投げに転向し、逆星飛雄馬になるべく目下努力中。



しば た よし ひで  
柴田 欣秀

岐阜工業高等専門学校電気情報工学科准教授。2012年名古屋大学博士（工学）取得。日本原子力研究開発機構博士研究員を経て、2015年より現職。トカマク型核融合炉におけるディスラプション現象の実験解析を本職としているが、最近では医療データ解析を行っており、現在医学雑誌に2本の論文を投稿中。医療データ解析は自身がUCSDに海外留学中に子供が川崎病にかかり（9万ドルぐらいの医療費がかかりましたが、献身的な治療もあり無事に完治）、それがきっかけで始まった研究です。学生時代にはまさか医学雑誌に論文投稿をするとは夢にも思いませんでした。最近では家づくりをしているため、3 DCADに挑戦中。



いわ た のり ゆき  
岩田 憲幸

国立高等専門学校機構久留米工業高等専門学校材料システム工学科教授，博士（工学）。主に原子力・核融合炉材料の研究開発に従事。この他、生体材料の開発なども行っている。1976年和歌山県和歌山市生まれ，同県紀の川市出身，和歌山県立粉河高等学校卒業。桐蔭横浜大学先端医用工学センター博士研究員，韓国東義大学校客員研究員，京都大学エネルギー理工学研究所博士研究員および特定助教，久留米工業高等専門学校材料工学科准教授を経て，2021年4月より現職。



すず き しげ かず  
鈴木 茂和

福島工業高等専門学校機械システム工学科准教授。2006年に長岡技術科学大学大学院博士課程を修了（博士（工学））。2004年に福島高専採用，2009年から原子力人材育成事業に関わっています。材料の強度特性評価が専門ですが，最近では接合に関する研究や遮蔽材開発にも取り組みながら，地元企業と連携して福島第一での活用に向けたロボット開発にも関わっています。車とお酒が好きで何故か陸上のA級公認審判です。