

廃炉研究開発の取組状況と今後の方向性について 【英知を結集した原子力科学技術・人材育成事業】

令和4年 2月25日

福島における日本原子力研究開発機構（JAEA）の研究拠点

福島における基礎・基盤研究の中核であるCLADSの機能を強化し、オンサイト／オフサイト研究を一つの指揮命令系統の下で進めるため、令和2年4月より、別の組織であった福島環境安全センター（三春町、南相馬市）を廃炉国際共同研究センターに統合し、「廃炉環境国際共同研究センター（CLADS）」に名称を変更。

廃炉環境国際共同研究センター（CLADS）

【オフサイト研究】

廃炉環境国際共同研究センター（CLADS）

【三春町】

福島の環境回復に係る環境動態研究等を実施

※福島県環境創造センター研究棟に入居し活動



研究棟

廃炉環境国際共同研究センター（CLADS）

【南相馬市】

福島の環境回復に係る環境モニタリング・マッピング技術開発等を実施

※福島県環境創造センター環境放射線センターに入居し活動



環境放射線センター

【オンサイト研究】

廃炉環境国際共同研究センター（CLADS）

【富岡町】

国内外の英知を結集し、安全かつ確実に1Fの廃止措置等を実施するための研究開発、人材育成等を実施



国際共同研究棟

大熊分析・研究センター（経産省所管）

【大熊町】

1Fの廃止措置推進のための放射性廃棄物や燃料デブリの分析・研究を行う施設の整備



施設管理棟

第2棟

第1棟

楢葉遠隔技術開発センター（NARREC; 経産省所管）

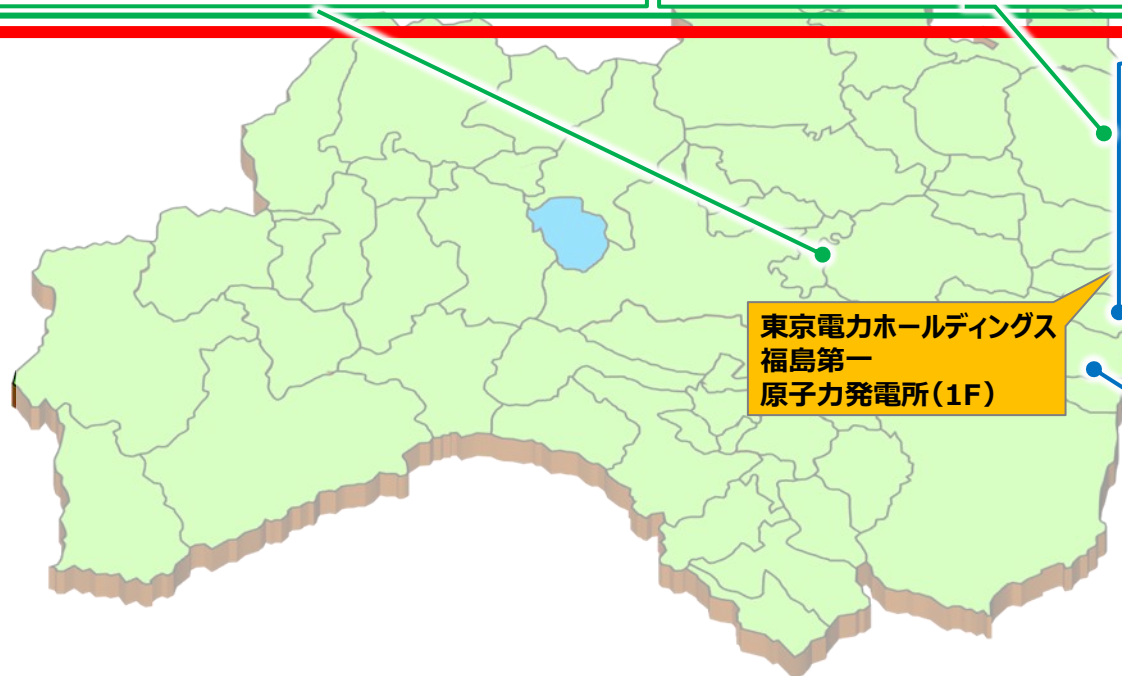
【楢葉町】

1Fの廃止措置推進のための遠隔操作機器（ロボット等）の開発・実証試験を実施



試験棟

研究管理棟



東京電力ホールディングス
福島第一
原子力発電所(1F)

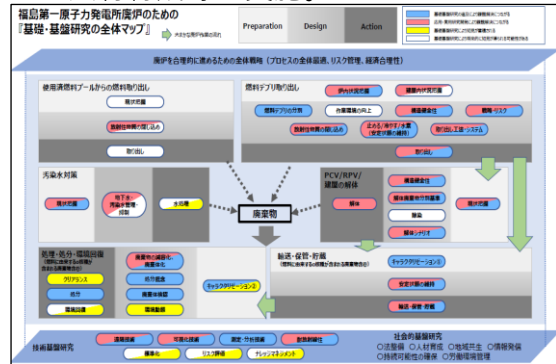
英知を結集した原子力科学技術・人材育成推進事業 (廃炉研究等推進事業補助金 (CLADS補助金))

目的・概要

「東京電力(株)福島第一原子力発電所の廃止措置等研究開発の加速プラン」(平成26年6月文部科学省)や、廃炉現場のニーズ等を踏まえ、日本原子力研究開発機構廃炉環境国際共同研究センター(CLADS)を中核に、国内外の英知を結集し、様々な分野の知見や経験を融合・連携させることにより、産学が連携した基礎・基盤的研究や人材育成の取組を推進する。

研究動向調査・戦略方針検討等

廃炉現場のニーズを俯瞰・可視化した「基礎・基盤研究マップ」について、東京電力(株)による現場レビューの実施や時系列情報の追加、全国の大学の有するシーズとニーズの紐づけ等の高度化を実施。また、「廃炉創造ロボコン」等を通じた国内の学生の人材育成等を実施。



2020年度基礎・基盤研究マップ

国際的人材ネットワーク形成

経済協力開発機構/原子力機関(OECD/NEA)の枠組みを活用し、世界各国の大学等と連携し、若手研究者等を派遣・招へいすることで、中長期的に廃炉に資する人材を国際的ネットワークの下で育成。

廃炉を支える基礎・基盤的研究の推進

「基礎・基盤研究マップ」に基づき、公募を実施し、国内外の大学等の有する多様な分野の優れた知見を、廃炉研究の国際的な中核であるCLADSに結集し、廃炉現場のニーズへの橋渡しを実施。

□課題解決型廃炉研究プログラム

廃炉現場の課題解決に資する研究開発を推進

□国際協力型廃炉研究プログラム

国際共同研究により国外の知見を廃炉に向けて取り込むための研究開発を推進

□研究人材育成型廃炉研究プログラム(第2期)

JAEAと大学が連携ラボを設置し、廃炉研究を支える人材育成等を推進



令和3年度現在の研究体制

CLADSを中核に60研究代表、再委託先含め国内外のべ185の大学等と連携

【主な成果】

- 第1期人材育成プログラムの修了者503名のうち、約2割の学生が原子力関連機関を進路として選択(平成30年度実績)。
- 第1期人材育成プログラム採択機関である東北大学、福島大学、東京大学、東京工業大学が、本事業終了後、東京電力等から資金を得て産学連携講座を開設。
- 従来法では2週間～1か月程度要していたストロンチウムの分析を20～30分程度まで短縮する新たな分析手法を開発。実際の廃炉現場での運用を開始。



ICP-MSを用いた⁹⁰Sr分析装置

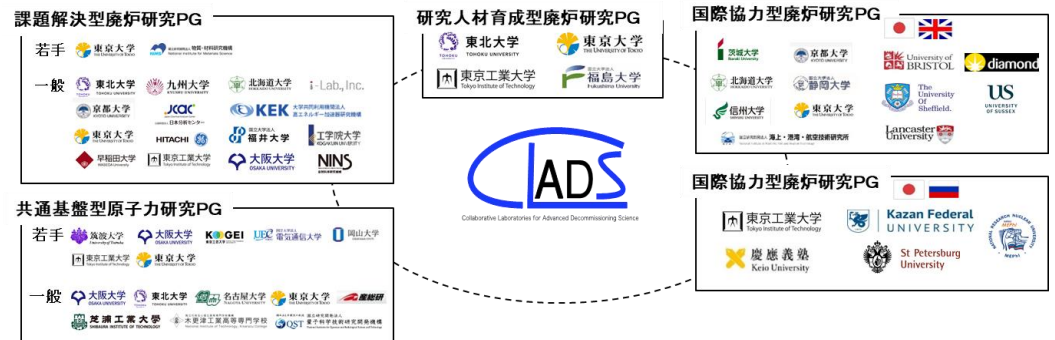
国内外のアカデミア・研究機関・企業の60研究代表、再委託含め延べ185機関と連携

- 令和3年度新規公募は、令和2年度公募に引き続き現場ニーズに直結する課題解決型廃炉研究プログラムと日英共同研究に加え日露共同研究を公募。計12課題を採択。
- 若手研究枠をなくし、研究責任者に若手を組み込むことを必須とした。条件を満たした17件の申請があり若手研究者の取り込みは改善しつつあるものの、全体としての申請件数は減少しており、幅広い分野への周知をして応募を増やしていくことが課題である。
- 国際協力型廃炉研究プログラム(採択予定日英、日露それぞれ2件)には、日英が4件、日露が3件しか応募がなく、**国際的な共同研究に対して日本側と相手国側のマッチングを促していく機会を増やしていく必要がある。**

() 内連携機関数

分類	R1	R2	R3
研究人材育成型廃炉研究プログラム			
研究人材育成型	4(12)	-	-
共通基盤型原子力研究プログラム			
若手研究	2(1)	-	-
一般研究	5(5)	-	-
課題解決型廃炉研究プログラム			
課題解決型	4(7)	若手	2(4)
		一般	6(20)
国際協力型廃炉研究プログラム			
日英	2(5)	2(6)	2(6)
日露	2(4)	-	2(5)

令和3年度現在の研究体制



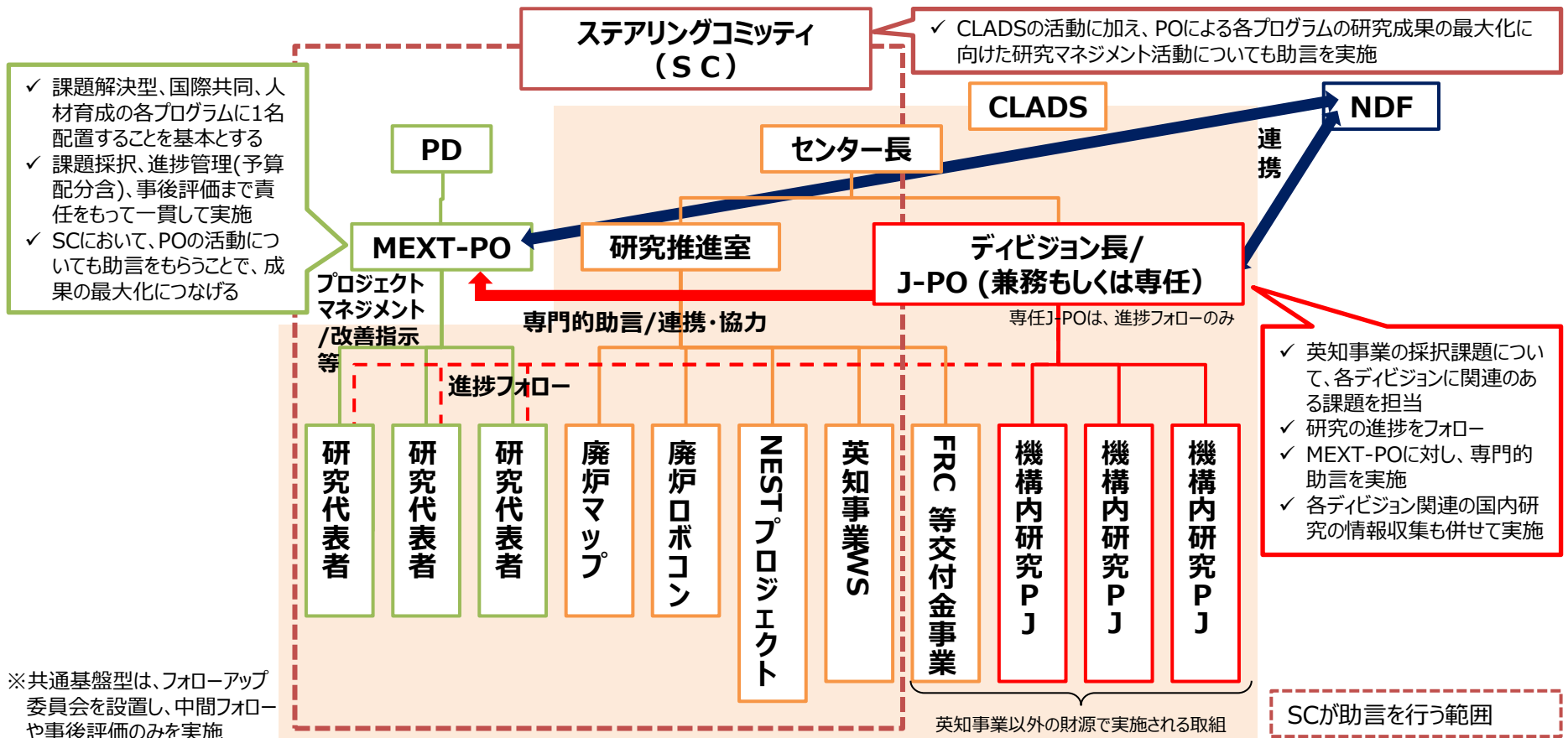
令和2年度採択



令和3年度採択



- **MEXT-POの権限と責任を明確化**
→各プログラムに1名ずつ配置することを基本とする。各プログラム内の採択課題の選定、進捗管理、予算配分等の権限を強化
- **J-POの新設**
→MEXT-POと連携し、採択課題の研究進捗のフォローを実施し専門的助言を実施
- **ステアリングコミッティ（SC）の対象範囲を拡大**
→CLADSの活動に加え、POの活動が各プログラムの成果の最大化に向けて効果的に実施されているか、助言をもらう
なお、1年間の試行期間を置き、再度、事業体制について見直しを実施する。



POの研究マネジメントの適正化

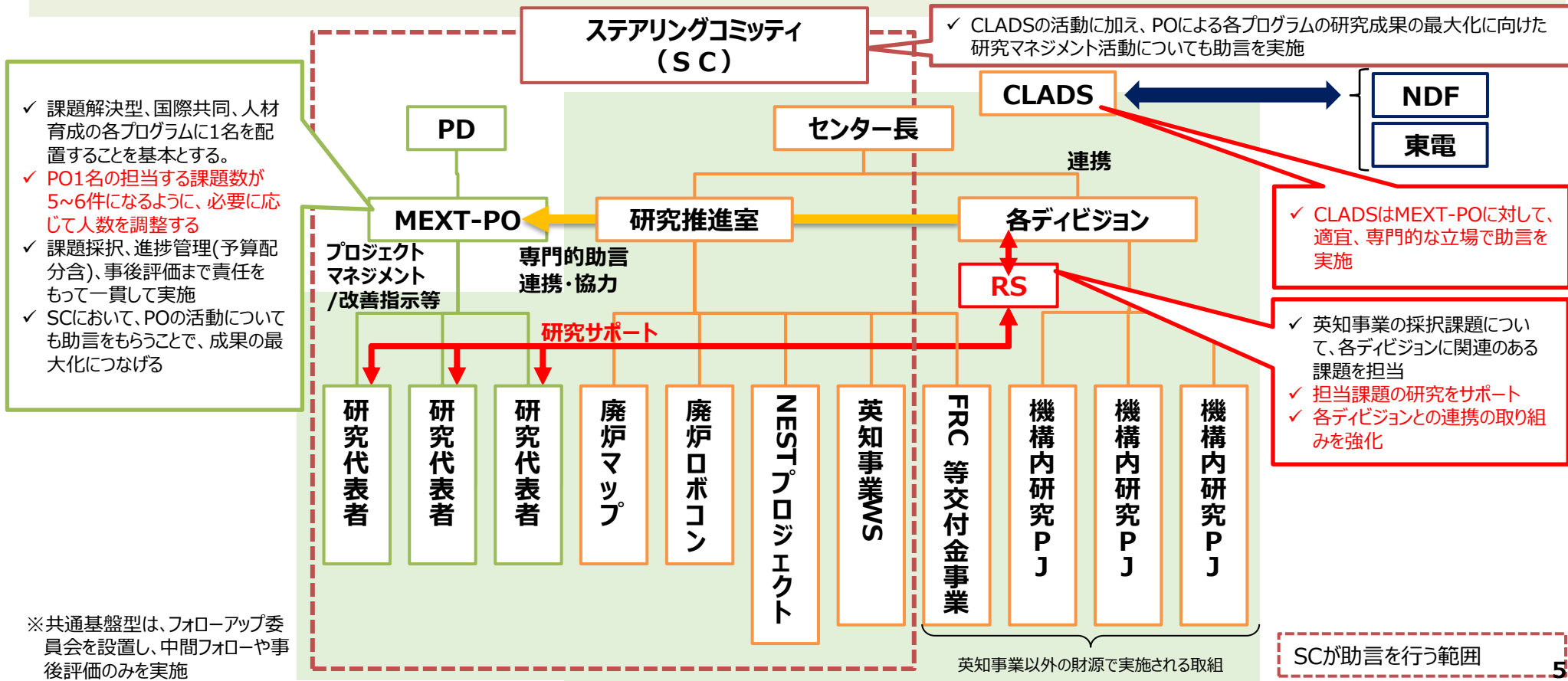
→研究マネジメントを適切に実施するためには、PO一人当たりの課題数は5~6件が適正であり、現状は約2倍の担当数となっている。そのため、POの増員を図ることで、POの研究マネジメントの適正化を図る。POに対する技術的な補佐はCLADSで行う。

J-POの廃止とRS（リサーチサポーター）の配置

→現J-POの役割をCLADSで行う。RSはPO的な役割ではなく、研究者支援の役割を担うことで、研究成果の最大化に繋げる。（研究者側に立った相談等、研究支援の方策等に関するCLADSとの調整、CLADSからの情報提供等を行う。）

CLADS関連の改善事項

→RSは、CLADS（各ディビジョン）との連携の取り組みを強化する。研究成果の橋渡しは、引き続いてCLADSが行う。



- ✓ 課題解決型、国際共同、人材育成の各プログラムに1名を配置することを基本とする。
- ✓ PO1名の担当する課題数が5~6件になるように、必要に応じて人数を調整する
- ✓ 課題採択、進捗管理(予算配分含)、事後評価まで責任をもって一貫して実施
- ✓ SCにおいて、POの活動についても助言をもらうことで、成果の最大化につなげる

✓ CLADSの活動に加え、POによる各プログラムの研究成果の最大化に向けた研究マネジメント活動についても助言を実施

✓ CLADSはMEXT-POに対して、適宜、専門的な立場で助言を実施

✓ 英知事業の採択課題について、各ディビジョンに関連のある課題を担当
 ✓ 担当課題の研究をサポート
 ✓ 各ディビジョンとの連携の取り組みを強化

※ 共通基盤型は、フォローアップ委員会を設置し、中間フォローや事後評価のみを実施

原子力分野にとどまらない多くの分野への周知、課題の明確化、国内外アカデミア等とのマッチングに向けた取組を試行

公募に関する情報の周知
(認知度・応募数向上)

国内、国外との交流の場を企画
(ニーズ・シーズマッチング、応募課題の実現性向上)

JAEAイノベーションハブと連携

大学・研究機関等の
産学連携部署に対して
英知事業の説明会を開催

英知事業の認知度を高めるとともに、幅広い分野から応募数を増やすことを目指す

国内WSの開催
(R3.11,R4.2)

詳細化したニーズを提示や現場とのディスカッションを行うWSを開催

公募課題の目的、趣旨を明瞭化することで、広く研究者を取り込み、公募の実現性向上を目指す

日英WSの開催(R4.1)

海外との交流を深めるためWebを活かした参加し易いオンライン形式のWSを開催

マッチングを促進することで公募の壁となる海外との連携をサポートし、質の高い競争を促す

英知事業ステアリング・コミッティ

<議長>

山名 元 原子力損害賠償・廃炉等支援機構 理事長

<文部科学省>

阿部 陽一 研究開発局原子力課放射性廃棄物企画室長

<経済産業省>

福田 光紀 資源エネルギー庁原子力発電所事故収束対応室長

<CLADS>

岡本 孝司 JAEA/CLADS センター長

<NDF>

伊藤 隆庸 原子力損害賠償・廃炉等支援機構 執行役員

<東電>

小野 明 東京電力HD（株） 常務執行役 福島第一廃炉推進カンパニープレジデント

<IRID>

新井 民夫 国際廃炉研究開発機構 副理事長

<メーカー>

有馬 博 (株)日立製作所福島原子力発電所プロジェクト推進本部本部長

<有識者(大学・学会)>

岩田 修一 東京大学名誉教授

小川 徹 JAEA/CLADS 非常勤客員研究員

<有識者(福島)>

小沢 喜仁 国立大学法人福島大学 教授

CLADSの活動に加え、POの活動が各プログラムの成果の最大化に向けて効果的に実施されているか、確認・助言・評価を行うよう、**機能を強化**

メーカーから参画いただくことで、**ステークホルダーの関与を強化**

PO名簿

石川真澄 東京電力HD(株)福島第一廃炉推進カンパニー 福島第一原子力発電所 廃炉技術担当

小山正史 電力中央研究所 首席研究員

寺井隆幸 エネルギー総合工学研究所 理事長

山本章夫 名古屋大学大学院工学研究科 総合エネルギー工学専攻 エネルギー安全工学 教授

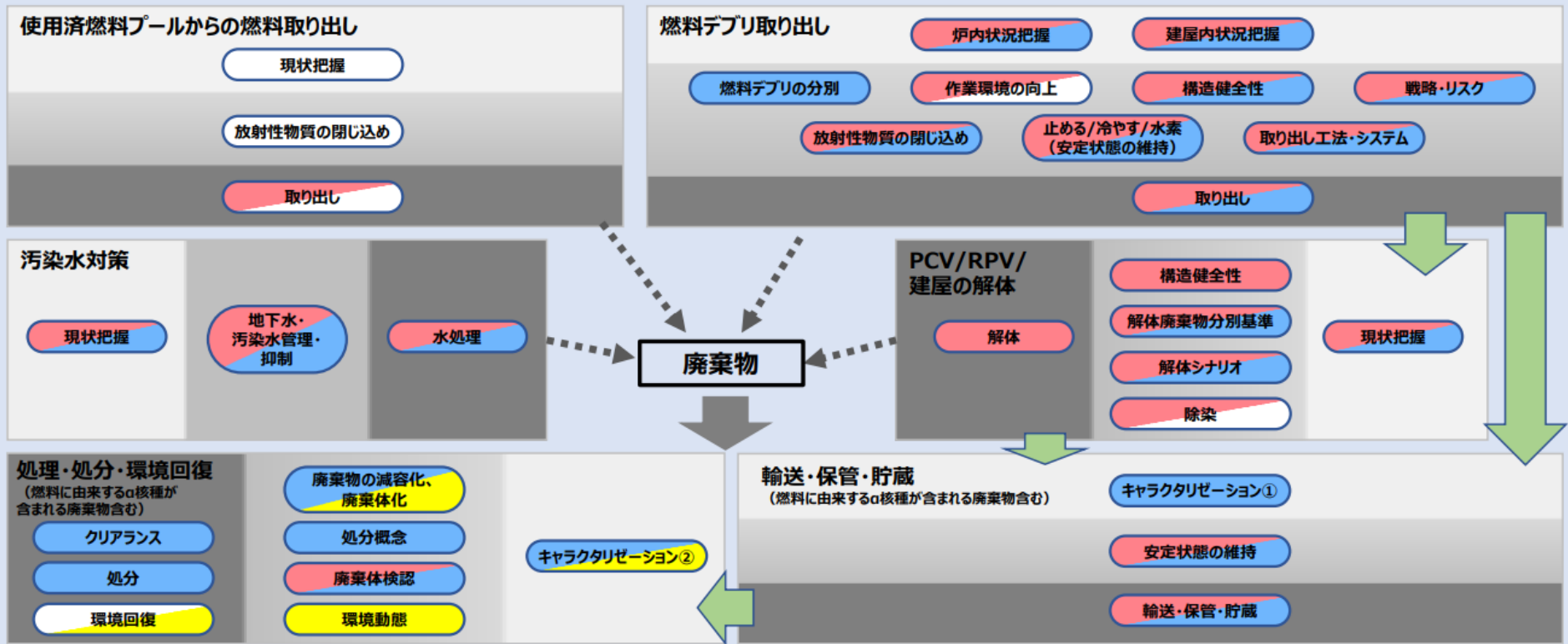
- ・ 共通基盤型原子力研究プログラム (山本PO)
廃炉を含む原子力の課題解決に資する基礎研究を推進
- ・ 課題解決型廃炉研究プログラム (主担当 小山PO 副担当 石川PO)
廃炉現場の課題解決に資する研究開発を推進
- ・ 国際協力型廃炉研究プログラム (寺井PO)
国際共同研究により国外の知見を廃炉に向けて取り込むための研究開発を推進
- ・ 研究人材育成型廃炉研究プログラム (寺井PO)
JAEAと大学が連携ラボを設置し、廃炉研究を支える人材育成等を推進

福島第一原子力発電所廃炉のための『基礎・基盤研究の全体マップ』

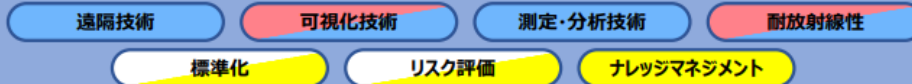
→ 大まかな廃炉作業の流れ



廃炉を合理的に進めるための全体戦略（プロセスの全体最適、リスク管理、経済合理性）



技術基盤研究



社会的基盤研究

- 法整備
- 人材育成
- 地域共生
- 情報発信
- 持続可能性の確保
- 労働環境管理



経済産業省

Ministry of Economy, Trade and Industry

廃炉・汚染水・処理水 対策事業

目的：廃炉・汚染水対策の安全かつ
着実な実施に必要な技術開発
年間予算：約125億円（令和3年度補正予算）
実施体制：廃炉研究開発計画（1件1葉）
に基づく公募の実施、
審査委員会による審査
実施主体：資源エネルギー庁
R3年度事務局：MRI、NDF



文部科学省

MINISTRY OF EDUCATION,
CULTURE, SPORTS,
SCIENCE AND TECHNOLOGY-JAPAN

英知を結集した原子力科学技術・ 人材育成推進事業 （英知事業）

目的：1F廃炉に向けた基礎・基盤
研究と人材育成
年間予算：約13億円（令和3年度当初予算）
実施体制：基礎・基盤マップに基づく公募の
実施、PO等による審査、
マネジメント
実施主体：JAEA/CLADS
R3年度事務局：原安協

廃炉の課題を連携して解決

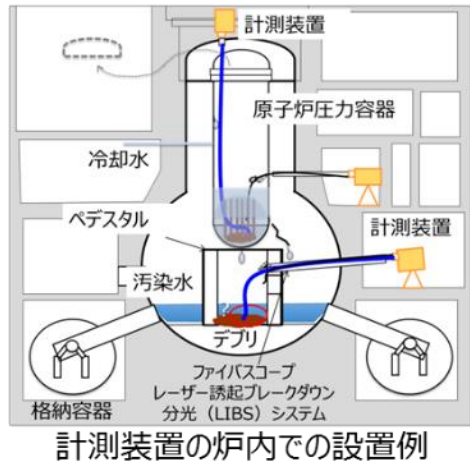
（取組例）

- ・ 経済産業省主催の研究開発企画会議（東京電力とNDFが参加）に
令和3年2月より文部科学省も参加し、廃炉現場のニーズ等を情報共有
- ・ 文部科学省主催の英知事業ステアリング・コミッティに構成員として
資源エネルギー庁原子力発電所事故収束対応室長が参加
- ・ 両事業の事業報告会の場を活用してそれぞれの成果の共有

先進的光計測技術を駆使した燃料デブリ組成の その場分析法の開発

研究代表者: 若井田 育夫 (JAEA) 受託期間: 平成27~30年度

- 1Fの廃炉においては、溶融した燃料や構造材で構成されるデブリの組成をその場で迅速に測定する技術が求められる。
- 耐放射線性の光ファイバーでレーザーを照射することで発生するプラズマ光を分光分析することにより、デブリの元素組成を現場で分析する基盤技術を開発 (LIBSシステム)。
- 現場の適用に十分な性能で対応できるようにするため、本手法の高感度化、高分解能化等の技術の高度化を実施。



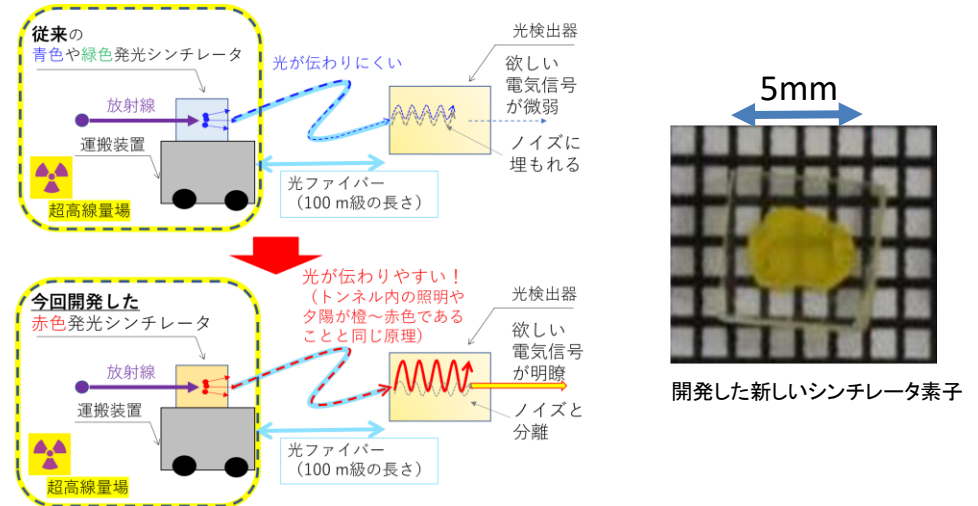
【成果の展開・応用】

- 廃炉現場への適用に向けて、多種多様な組成のデブリ等に関するデータベースの整理、現実的な光ファイバーの長さの検証、装置を炉内へ搬送する手段の検討を進め、東京電力やメーカーとの協議を実施中。

革新的発光材料の開発と1F炉内 放射線計測への活用

研究代表者: 黒澤 俊介 (東北大) 受託期間: 平成30~令和2年度

- 1Fの原子炉内の放射線量を測定するには遠隔での作業が前提となるため、高い放射線環境下で正常に動作し、かつ離れた場所まで信号(光)を送る技術が必要。しかし、従来のシンチレータ(青や緑色の発光)では発光量が低く遠隔まで光が届くことが困難であった。
- 英知事業において、高い発光量を有する赤色発光の新規シンチレータを開発。光ファイバーや光検出器と組み合わせ、高線量下で遠隔で放射線量を測定することに成功。



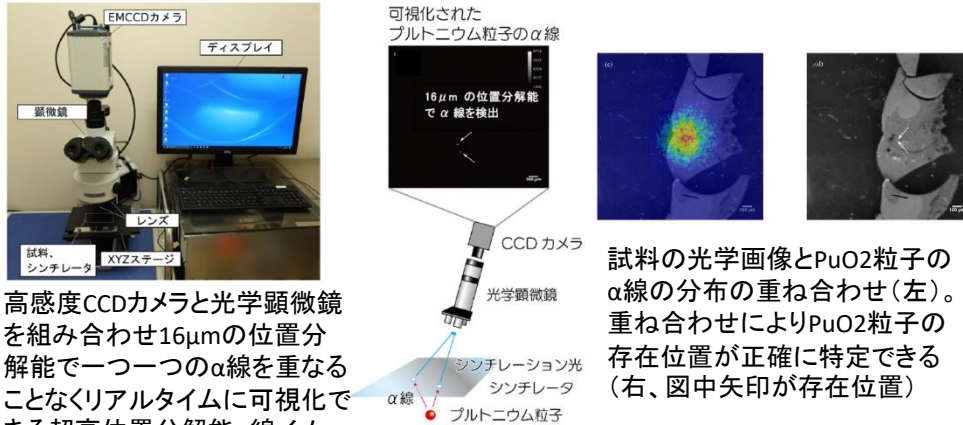
【成果の展開・応用】

- 東京電力から、当該システムを令和4年度以降1Fの原子炉内部調査で活用したいとの要望が寄せられた。
- 令和3年度、英知事業と東京電力双方から費用を出し、現場適用に向けたシステムの小型化や光ファイバーの長尺化等の機能の向上及び現場適用に向けた課題の検証等を実施予定。

α線を放出する粒子の大きさをリアルタイムに計測 — 超高位置分解能α線イメージング検出器を開発 —

研究代表者: 黒澤 俊介(東北大) 受託期間: 平成30~令和2年度

- α線を放出する粒子の大きさの測定は作業者の内部被ばく評価に必要だが、これまで作業現場でリアルタイムに測定できなかった。また、従来の手法ではα線とその他の線種の放射線との識別ができないことが課題であった。
- 医療分野の技術を応用し、16μmの位置分解能で一つ一つのα線のみをリアルタイムに可視化できる原子力用超高位置分解能α線イメージング検出器を、世界に先駆けて開発した。
- 個々のイメージの発光強度から、作業現場でのα線を放出する粒子の大きさの迅速な評価が可能になり、原子力発電所の廃止措置や核燃料施設の安全性の向上につながることを期待される。



高感度CCDカメラと光学顕微鏡を組み合わせて16μmの位置分解能で一つ一つのα線を重ねることなくリアルタイムに可視化できる超高位置分解能α線イメージング検出器を開発した。

【成果の展開・応用】

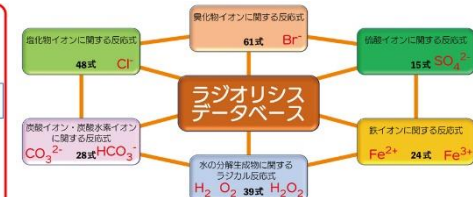
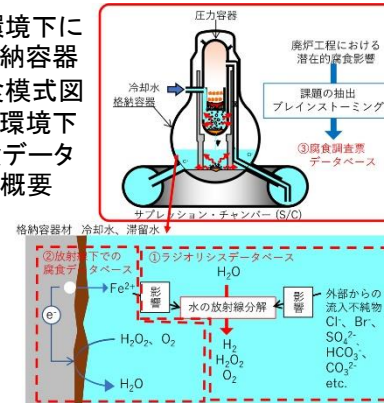
- 令和3年度、英知事業と東京電力双方から費用を出し、現場適用に向けた1F2号機調査時に採取された実試料により測定試験を実施中。

1Fの格納容器内にたまった水の中で金属材料はどう腐食するのか？ — 放射線環境下での腐食データベースの構築 —

研究代表者: 加治 芳行(JAEA) 受託期間: 平成29~令和元年度

- 1F廃炉を安全かつ継続的に進めるためには、時間の経過とともに進行する原子炉などの材料の腐食を抑えることが重要である。しかし、1F特有の海水等の不純物成分が混入した高い放射線の環境における腐食反応に関するデータは十分に整理されていない。
- ①海水混入系ラジオリシスデータベース②放射線環境下腐食データベース③腐食調査票データベースからなる「放射線環境下での腐食データベース」を構築し広く公開した。
- その結果、原子炉格納容器内にたまっている滞留水の酸性度や海水由来および原子炉の材料から溶出するイオンなどの影響により、材料腐食を加速する原因となる酸化性の成分の濃度が大きく変化することが明らかとなった。

放射線環境下にある1F格納容器材の腐食モード図と放射線環境下での腐食データベースの概要



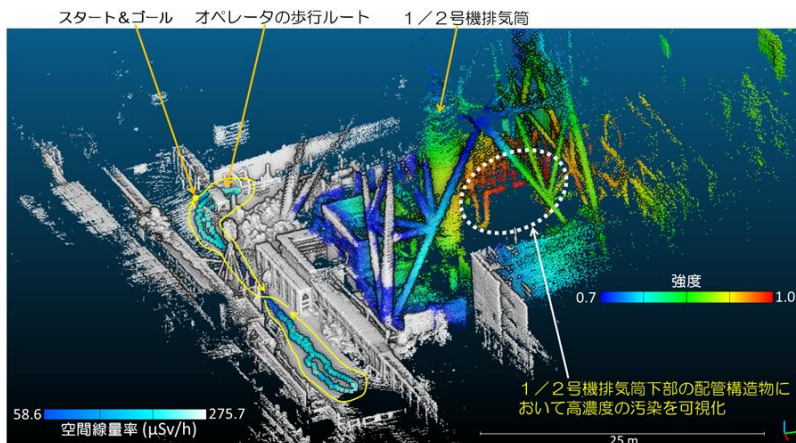
ラジオリシスデータベースの概要(上図)
放射線環境下での腐食データベース(左図)
JAEA-Review

【成果の展開・応用】

- 令和3年6月26日、放射線環境下での腐食データベースを公開した。1F廃炉作業のみならず、学術的にも貴重なデータとして活用されている。

廃炉現場の汚染分布を3次元マップで“見える化” —見えない汚染を仮想空間で把握し、作業員の被ばくを低減—

- 1Fでは機器やガレキが汚染しており、それらの汚染分布を正確に把握するためには汚染箇所を3次的に特定する必要がある。
- 放射性物質を可視化するコンプトンカメラに、サーベイメータおよびレーザー光を利用した3次元空間認識デバイスを組み合わせることにより、任意の視点から汚染箇所や空間線量率を俯瞰可能な3次元マップを描画するシステム (iRIS) を開発した。



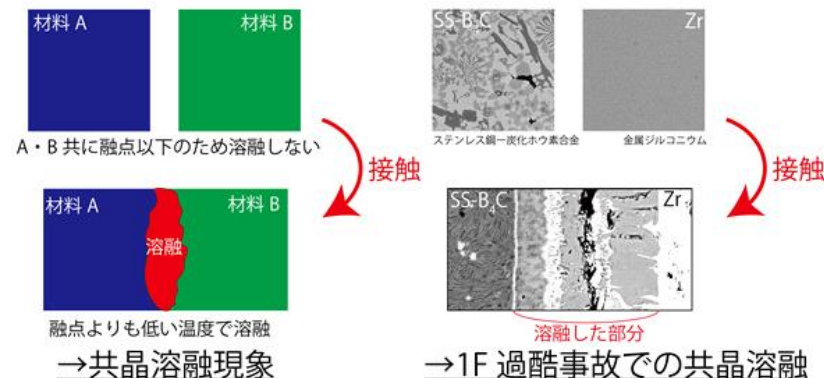
1F 1/2号機排気筒付近における空間線量率と高濃度汚染箇所を可視化した3次元マップ。オペレータの歩行ルート上の線量率と、コンプトンカメラで任意の視点から俯瞰し可視化した高濃度汚染箇所をカラー表示した。

【成果の展開・応用】

- 汚染箇所に近づくことなく5分未満のわずかな測定時間で、1Fの1/2号機排気筒付近の汚染分布や歩行ルート上の線量率分布を可視化したマップの描画を実証した。
- 汚染分布や線量率分布を可視化した3次元マップを仮想空間に投影し、線量率低減のための遮へいや除染効果のシミュレーションが可能となり、1F廃炉作業員の被ばく低減に期待できる。

材料が溶ける不思議“多成分系での共晶溶融現象”を解明 —未知物質である福島第一原子力発電所の“燃料デブリ”の性状予測への第一歩—

- 材料単体の熔点よりも低い温度で液化反応を起こす“共晶溶融現象”は、様々な科学・産業分野で利用される。しかし、実験・理論的検討の難しさから、“多成分系での共晶溶融現象”は多くの部分が未解明である。
- “固体金属ジルコニウム”と“ステンレス鋼と炭化ホウ素の高温金属融体”を用いて、多成分系での共晶溶融現象を、実験・理論の両面から検証した。



(左) 共晶溶融現象のイメージ図 (右) 本研究で得られた多成分系での共晶溶融後の試料

【成果の展開・応用】

- 多成分系での共晶溶融について、拡散の速い軽元素成分(ホウ素や炭素など)が、重元素成分に先行して反応境界面に熱力学的に安定な相を形成し、その後の共晶溶融反応の進行に大きな影響を与えることを解明した。
- 1F事故で溶融した制御棒(ステンレス鋼と炭化ホウ素)と燃料被覆管(主成分が金属ジルコニウム)から成る燃料デブリの特性解明につながるものであり、今後も材料学的観点に立脚した基礎研究により、燃料デブリの正体やその特性・性状を明らかにしていく第一歩となるものである。

H26～R1年度：第1期人材育成プログラム

多様な分野の知見を1F廃炉に取り込むための 拠点を全国の大学に構築

- 原子力分野だけでなく多様な分野の学生が、福島第一原子力発電所の廃炉に関心を持つことにより、長期的に廃炉を支える人材の育成に貢献するため、全国の大学等に人材育成の拠点を構築。
- 東京電力をはじめ廃炉に携わる企業との共同研究や廃炉に関する研修、ワークショップを開催する等、多様な分野の学生等が積極的に廃炉に関わるための契機となる取組を推進。

【採択機関】

(H26) 東北大学、東京大学、東京工業大学
(H27) 福島大学、福井大学、福島高専、
地盤工学会(千葉工業大学、早稲田大学)

【各大学における主な取組内容】

- 原子力に限らない、材料、建築、土木、機械、情報科学など異分野融合の体制を構築
- 燃料デブリの分析技術の習得等、廃炉に関する学生実験環境の充実 ⇒ 米国MITとの間で相互単位認定が可能に
- 廃炉に関する特別講義の開設
- 廃止措置に関する講義やサマーセミナー、1Fの見学等の実施
- 廃炉に携わる民間企業との産学連携講座の開設 等



廃炉に関する学生実験の様子



産学連携講座の開講



原子力発電所の視察

R1年度～：第2期人材育成プログラム

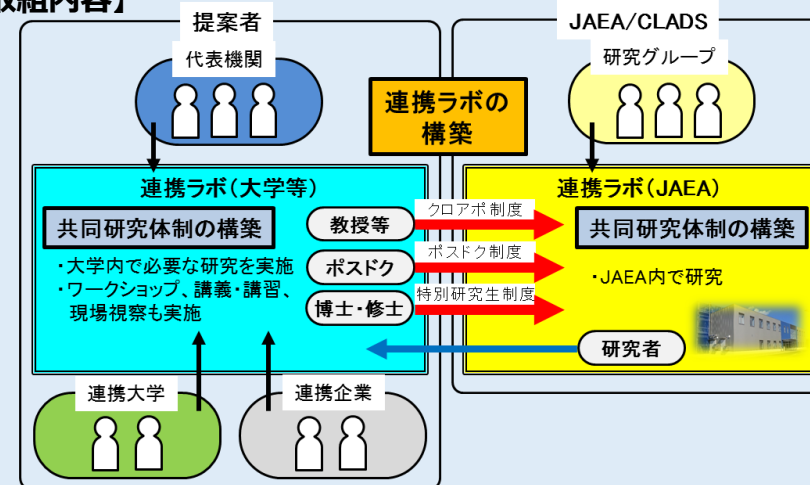
CLADSを中核に全国の大学の知見を 結集する体制を構築

- これまで全国の大学において培ってきた多様な分野の知見や経験を、CLADSに結集させる体制を構築。
- CLADSと大学との間でクロスアポイントメントを活用した産学官連携ラボラトリを設置することにより、将来の1F廃炉を支える多様な分野の研究人材層とCLADSが強力な連携体制を構築することを目指している。

【採択機関】

(R1) 東北大学、東京大学、東京工業大学、福島大学

【取組内容】



- 当該プログラム修了者503名のうち約20%にあたる83名の学生が原子力関連の企業等を就職先に選択（平成30年度実績）。
- このような実績が高く評価され、東京大学、東北大学、東京工業大学、福島大学の拠点は英知事業終了後、東京電力等と4大学との間で包括協定を締結し、産学連携講座を開設（現在実施中）。