



東京工業大学廃止措置技術・人材育成フォーラム

-英知を結集した原子力科学技術・人材育成推進事業-

「廃止措置工学高度人材育成と基盤研究の深化」

東工大における廃止措置工学人材育成活動

東京工業大学
科学技術創成研究院 先導原子力研究所
准教授 赤塚 洋

文部科学省
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
「廃止措置工学高度人材育成と基盤研究の深化」

- 実施機関
 - 東京工業大学 事業代表者 小原 徹
- 事業期間
 - 平成26年度～平成30年度
- 課題目標と概要
 - 廃止措置に不可欠な人材の育成と基盤的な研究の推進により大学として福島第一原子力発電所の事故収束に貢献することを目標として
 - 廃止措置工学の最新技術を習得した人材の継続的育成の実施
 - 廃止措置工学の基盤的研究を推進
 - 廃止措置機関等と連携した人材育成・研究を推進



研究効果、人材育成効果、発展性

- 現場で効果的に適用できる実用的な技術の開発
 - 現場で必要とされる課題についての研究者の知見の深化及びこれまで関与できなかった研究者の新たな貢献をもたらすワークショップ活動
- 現場で実際にものを触れることの出来る技術者・研究者の育成
 - 放射性物質及び核燃料物質を用いた実験
 - 現場に近い状況でのロボットによる遠隔計測技術の実験
- 廃止措置事業に高いモチベーションをもつ人材の育成
 - キャリアパス形成活動
- 研究成果の他分野への適用
 - 環境汚染分析、食品・医薬品分析、天災時や種々の化学プラント事故時、深海探査・宇宙探査等への応用

廃止措置工学高度人材育成と基盤研究の深化（東京工業大学）



廃止措置に関する新たな技術知見の創出

廃止措置を担う人材の継続的な育成

研究活動

東工大先導原子力研究所、東工大機械系
 連携大学：東京医科歯科大、東京都市大、芝浦工大、東海大

人材育成活動

「廃止措置工学特別コース」

東工大先導原子力研究所

【東海大学】
 ハロゲン化物系イオン液体を用いたセルロース溶解に基づく汚染木材等の除染法の開発

【芝浦工業大学】
 廃液組成をマトリックスとしたホウ酸塩ガラスによる放射性核種を吸着した廃ゼオライトの固定化に関する研究

【東工大：理工学研究科機械系】
 移動プラットフォームの設計とロボット搬送計測システムの統合開発

【東京医科歯科大学】
 高強度化学合成繊維を用いた計量超冗長多関節アームの設計開発

分析

1. 難分析核種用マイクロ分析システムの構築

除染

2. セルロース分解性イオン液体を用いた汚染木材等の除染法の開発
 3. 水熱分解法による汚染土壌・焼却灰処理技術

回収・固化

4. フェリ・フェロシアン系吸着剤によるCs高選択回収技術
 5. クラウンエーテル含有ゲルと天然鉱物を利用したCs、Sr同時回収・固定化技術

遠隔計測

6. シビアアクシデント後の遠隔計測技術

臨界安全

【東京都市大学】
 7. デブリ取出時の未臨界確保方策
 8. メルトダウン炉心の臨界事故解析と対策の検討

成果の反映

1. デブリ材料工学に関する人材育成
 「廃止措置・材料工学実験」
 (ホットラボ実験)

2. デブリ化学に関する人材育成
 「核燃料・デブリバックエンド工学実験」
 (ホットラボ実験)

3. シビアアクシデント後の遠隔計測技術に関する人材育成
 「シビアアクシデント工学実験」
 (モックアップ施設実験)

4. 廃止措置の最新技術と基礎に関する人材育成
 「原子炉廃止措置特別講義」
 「原子炉廃止措置工学」
 (最新知見と基礎の体系的講義)

5. キャリアパス形成活動
 「原子炉廃止措置インターンシップ」
 「原子炉廃止措置セミナー」
 (モチベーションの向上)

参加・情報交換

参加・情報交換

インターンシップ
 受入れ・連携

講師派遣・連携

9. 廃止措置技術・人材育成フォーラム

連携

連携機関
 廃止措置実施機関

学生の参加

東京工業大学・連携大学



人材育成活動

以下の活動について、H26年度後半からカリキュラムの作成、実験機器の整備、制度設計等を経て、H27年度後期から開始。

「廃止措置工学特別コース」

- ① **デブリ材料工学**に関する人材育成
: 放射化材料を用いた材料実験
- ② **デブリ化学**に関する人材育成
: 核燃料を用いた化学実験
- ③ シビアアクシデント後の**遠隔計測技術**に関する人材育成
: 計測技術とロボット技術を組み合わせた実験

実験

- ④ 廃止措置の**最新技術と基礎**に関する人材育成
: 原子炉廃止措置にかかわる授業及び特別講義

講義

- ⑤ **キャリアパス**形成活動
: 原子力施設等へのインターンシップ・セミナー

外部との連携



東工大における人材育成活動の年度展開

	年度	一年目 (H26年度)	二年目 (H27年度)	三年目 (H28年度)	四年目 (H29年度)	五年目 (H30年度)
①	デブリ材料工学実験 (1単位)	.....	後期 ↓	3Q ↓ 4Q ↓	3Q ↓ 4Q ↓	3Q ↓ 4Q ↓
②	デブリ化学実験 (1単位)	.....	後期 ↓	3Q ↓ 4Q ↓	3Q ↓ 4Q ↓	3Q ↓ 4Q ↓
③	遠隔計測技術実験 (2単位)	.....	後期 ↓	4Q ↓	4Q ↓	4Q ↓
④	原子炉廃止措置工学 及び特論 講義 (各1単位)	.....	後期 ↓ ↓	1Q ↓ 4Q ↓	1Q ↓ 4Q ↓	1Q ↓ 4Q ↓
⑤	キャリアパス (インターン:1単位)	.....	春休み ↓	春休み ↓	春休み ↓	春休み ↓
	備考	準備	開始年度 (前期・後期制)	クォーター制	最終年度	



① デブリ材料工学に関する人材育成

<実施内容>

- a)放射化セラミックス材料(SiC等)の試料調製・物性測定
 - b)金属材料の材料試験・金相観察
 - c)ジルカロイ及びセラミック粉末を用いた模擬デブリの作製及び評価
- ※上記の実験を、4班に分け並行して実施。

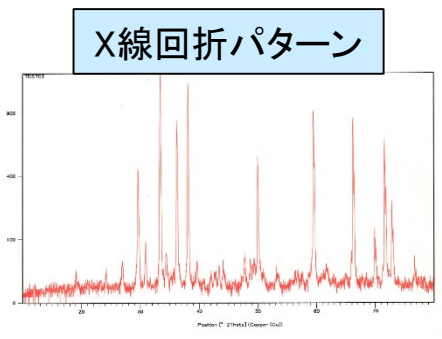
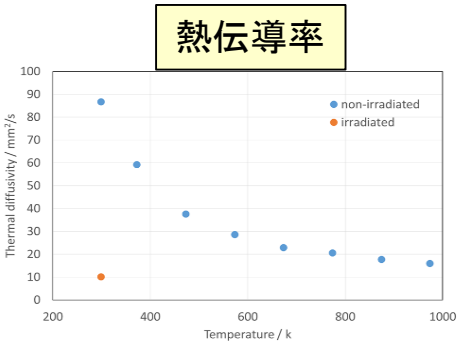
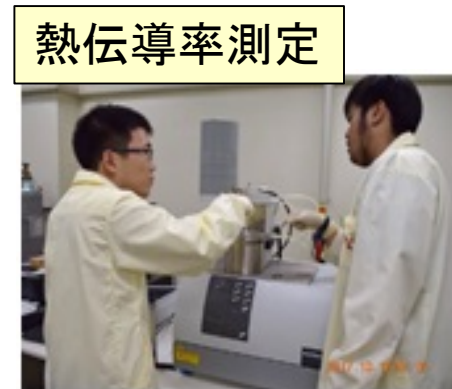
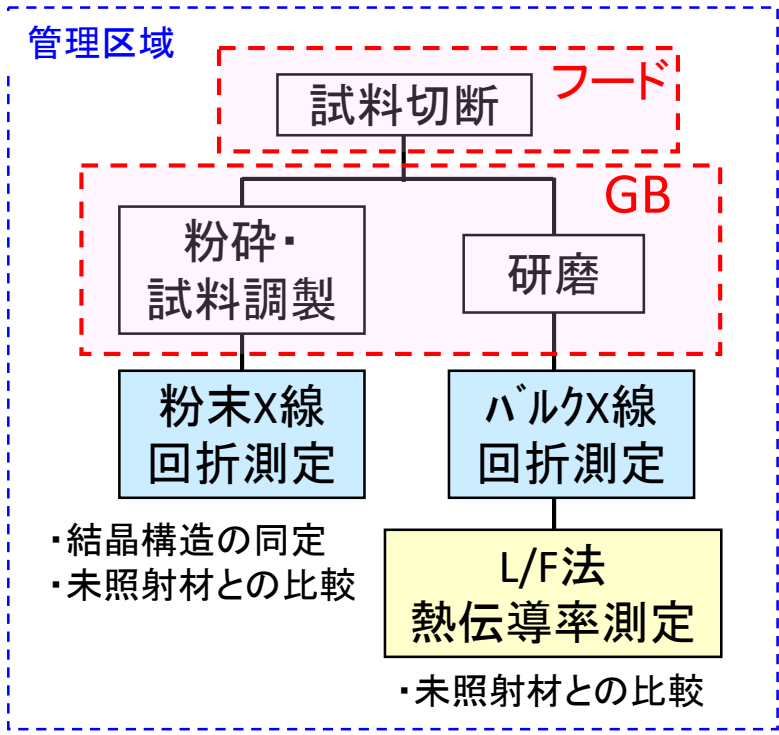
<ねらい>

- 放射性物質の取扱い（汚染・線量の評価、フード・GBの使用）
- 材料特性の評価手法
- 照射による材料特性の変化
- (模擬)デブリの特性の理解

	①10/1	②10/15	③10/22	④10/29	⑤11/5	⑥11/12	⑦11/15	⑧11/19
A		*汚染検査 〈模擬試料〉 切出し→粉碎→詰込 *スミヤ計測	〈未照射試料〉 ・X線回折 ・熱拡散率 〈照射・熱処理試料〉 ・X線回折 ・熱拡散率	〈照射・熱処理試料〉 切出し→粉碎→詰込 →X線回折→片付け *汚染検査・計測	実験c.1 室温での引張試験 実験c.2 水熱環境下での引張試験		実験c.2 試験後試料の測定と計算解析 実験c.3 X線回折データを分析する	
B		*汚染検査 〈未照射試料〉 ・X線回折・熱拡散率 *スミヤ計測	〈模擬試料〉 切出し→粉碎→詰込 〈照射・熱処理試料〉 切出し→粉碎→詰込→ X線回折→片付け	〈照射・熱処理試料〉 ・X線回折 ・熱拡散率 *汚染検査・計測	実験d 模擬デブリの作製	実験d 模擬デブリのX線回折、 硬度測定	実験c.4 走査型電子顕微鏡 (SEM)による微構造観察	実験d 個人被ばく線量の 評価
C	講義	実験c.1 室温での引張試験 実験c.2 水熱環境下での引張 試験	実験d 模擬デブリのX線回折、 硬度測定	実験c.2 試験後試料の測定と計算 解析 実験c.3 X線回折データを分析 する	*汚染検査 〈模擬試料〉 切出し→粉碎→詰込 *スミヤ計測	〈未照射試料〉 ・X線回折 ・熱拡散率 〈照射・熱処理試料〉 ・X線回折 ・熱拡散率	〈照射・熱処理試料〉 切出し→粉碎→詰込 →X線回折→片付け *汚染検査・計測	
D		実験d 模擬デブリの作製		実験c.4 走査型電子顕微鏡 (SEM)による微構造観察 *スミヤ計測	*汚染検査 〈未照射試料〉 ・X線回折・熱拡散率 *スミヤ計測	〈模擬試料〉 切出し→粉碎→詰込 ・X線回折 〈照射・熱処理試料〉 切出し→粉碎→詰込→ X線回折→片付け	〈照射・熱処理試料〉 ・X線回折 ・熱拡散率 *汚染検査・計測	

① デブリ材料工学に関する人材育成

<実験a> 放射化材料物性測定



※コールド試料で体験後、ホット試料を用いた実験を実施

① デブリ材料工学に関する人材育成

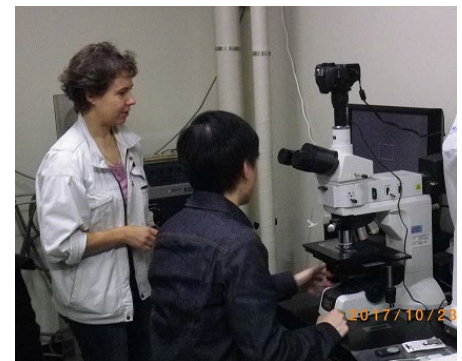
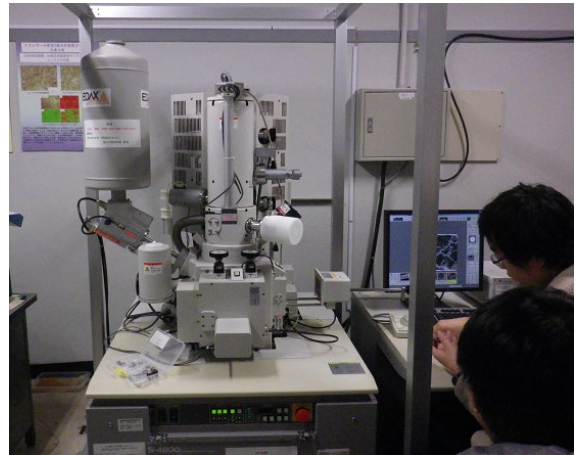
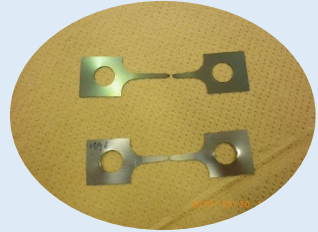
<実験b> 金属材料の引張試験

評価材料: アルミニウム及びジルカロイ

- 1) 室温での引張試験
- 2) 水熱環境下での引張試験
- 3) X線回折による結晶相の同定
- 4) 走査型電子顕微鏡 (SEM) による試料表面及び破断面の微構造観察

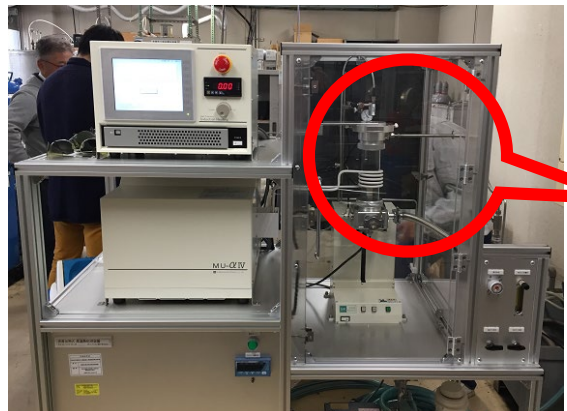


引張強度試験機 (オートクレーブ付)

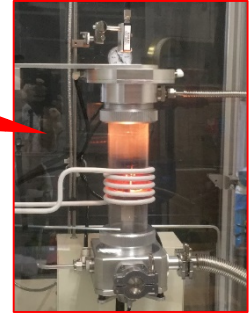


① デブリ材料工学に関する人材育成

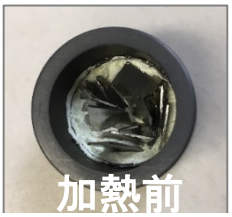
<実験c> 模擬デブリの作製・評価



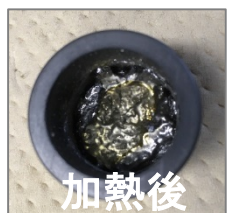
誘導加熱式高温熱処理装置



1600°Cで2分加熱



加熱前



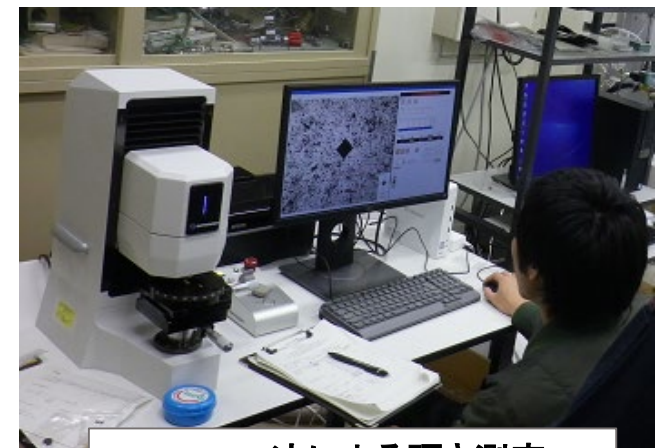
加熱後

試料: CeO₂粉末・ジルカロイ

模擬デブリの作製



作製模擬デブリの切断・研磨



Vickers法による硬さ測定

X線回折による結晶相の同定

① デブリ材料工学に関する人材育成

平成27年度		平成28年度		平成29年度		平成30年度	
授業科目の新規立ち上げ		実験授業の実施					
試行版テキストを作成、 学生実験を実施		テキストの改訂				テキストの改訂、完成	
		英訳テキストの作成		英訳テキストの改訂		英訳テキストの改訂、完成	
		受講者人数の増加に伴う 教員間の分業の徹底		実験段取りの見直し		模擬デブリの作製・評価・ 観察に関する実験項目を 新たに追加	
『放射化セラミックスの物性測定』 実験							
・グローブボックスやフード環境での 微細分析試料の加工技術の習得		・X線回折・熱拡散率測定及び解析			・放射化物質（非密封）の取扱及び 材料の照射損傷に関する知識の習得		
『金属材料の引張試験』 実験							
・水熱腐食・強度実験				・水熱腐食後の微細構造観察及びX線回折			
『模擬デブリの作製・評価・観察』 実験							
受講人数	後期	第3Q	第4Q	第3Q	第4Q	第3Q	第4Q
	11名	22名	16名	22名	20名	17名	5名



② デブリ化学に関する人材育成

<実施内容>

1.抽出

U含有硝酸溶液から溶媒抽出法でU抽出後UV測定。

2.精製・転換・再転換

UO₂²⁺含有硝酸溶液からイローケーキを得、転換後XRF測定。

3.分離

U、Sr、Cs及びEu含有硝酸溶液からイオン交換法でU抽出後UV測定。
分配係数を評価。

○受講生を2班に分け、
上記の3テーマの実験を
ローテーションで実施。

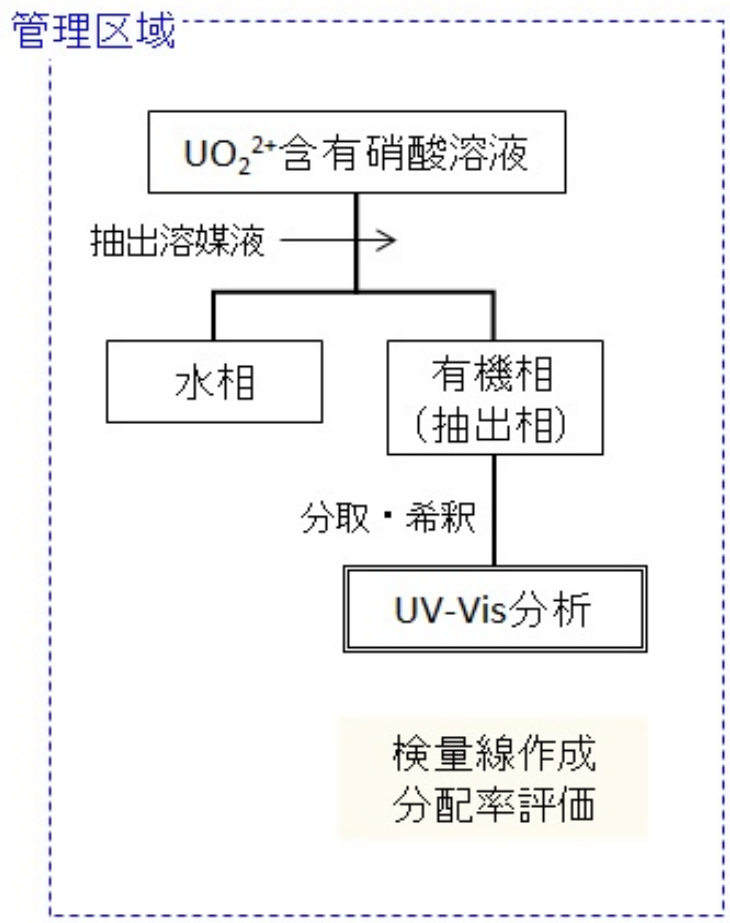
	10月4日	10月11日	10月18日	10月25日	11月1日	11月8日	11月22日
A	1コース (原田) 抽出	1コース (原田) 抽出	なし	2コース (鷹尾) 精製転換	2コース (鷹尾) 精製転換	3コース (塚原) 分離	3コース (塚原) 分離
B	なし	3コース (塚原) 分離	3コース (塚原) 分離	1コース (原田) 抽出	1コース (原田) 抽出	2コース (鷹尾) 精製転換	2コース (鷹尾) 精製転換

<ねらい>

- ・核燃料(ウラン)を用いた液・固体化学分析術の習得
- ・放射化学分析の基礎的知見を学習
- ・放射性物質の汚染管理における実際を学習

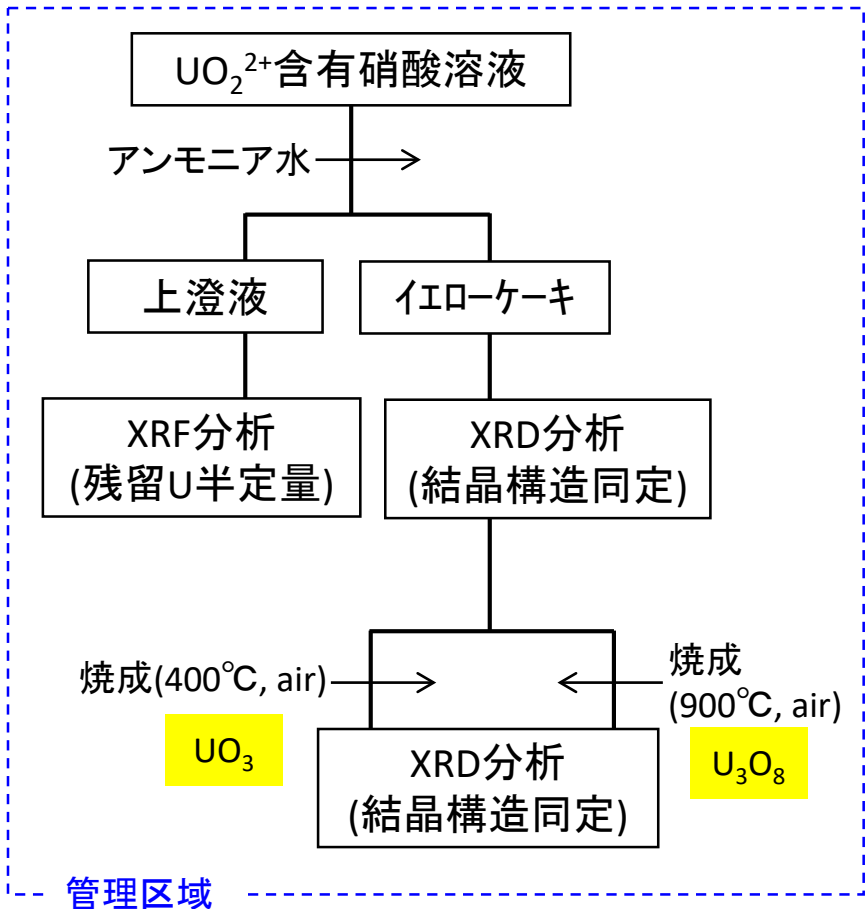
① デブリ材料工学に関する人材育成

＜溶媒抽出によるウラン分離実験＞



② デブリ化学に関する人材育成

< 精製・転換・再転換実験 >



核燃料含有溶液取扱い

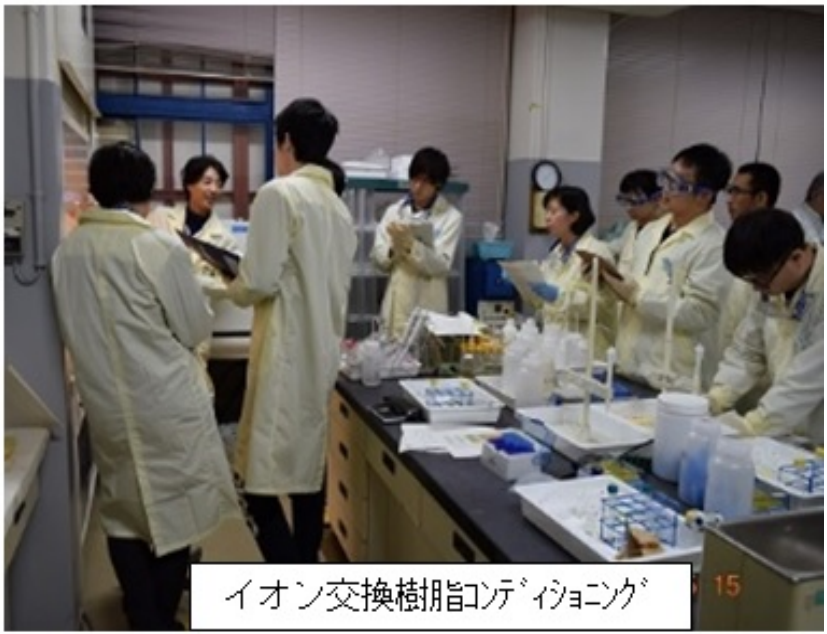
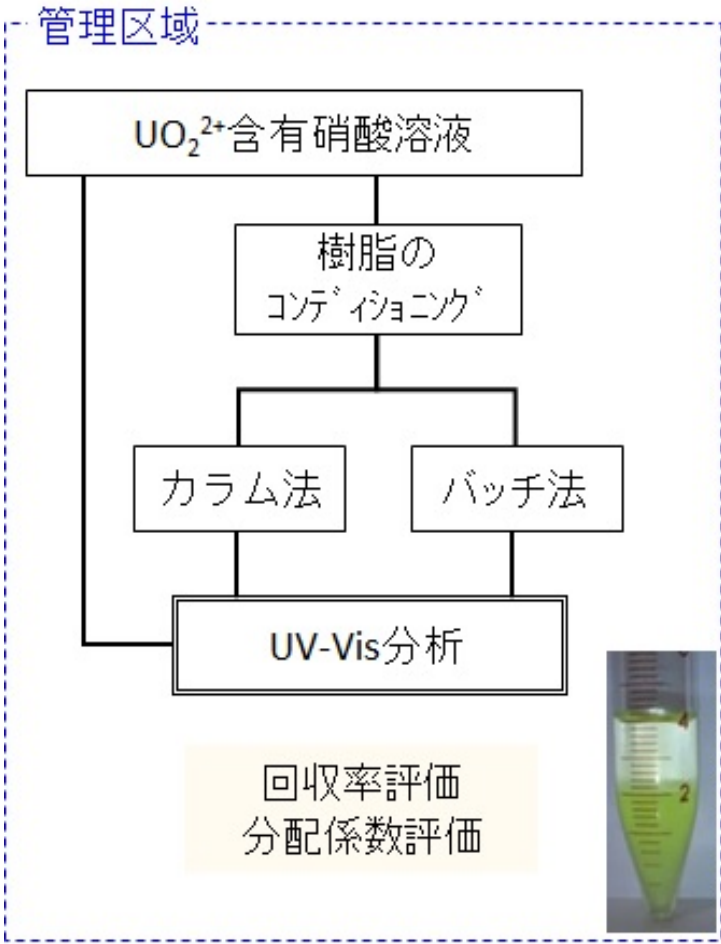


XRD分析



汚染管理用検出器

＜イオン交換法による廃液からのウラン分離回収法＞実験





② デブリ化学に関する人材育成

平成27年度	平成28年度	平成29年度	平成30年度
--------	--------	--------	--------

「核燃料デブリ・バックエンド工学実験」の新規立ち上げ。試行版テキストに基づき少人数の学生向けに実験を実施。

⇒固体・液体のウランに対する基本的な化学分析操作の習得。

【実験内容】

1. 『イオン交換法による廃液からのウラン精製』

2. 『粘土鉱物における放射性核種の吸着挙動』

3. 『溶媒抽出法』

4. 『精製・転換・再転換』

XRF分析、XRD分析、ICP-AES分析、 α 線スペクトロメトリ等の機器分析装置を使用。

大人数の学生に適用できる内容及び方式に改訂。英語版テキストの準備。

⇒核燃料物質の化学分析操作習得及び、作業環境・被ばく・汚染管理の重要性を理解。

【実験内容】

学生を班分けし、3人の教員が各テーマを分担して並行で実験を実施

1. 『イオン交換法による廃液からのウラン分離回収』

2. 『溶媒抽出法』

3. 『精製・転換』

XRF分析、XRD分析、ICP-AES分析、UV-Vis分析、 α 線スペクトロメトリ等の機器分析装置を使用。

留学生向けの英語版テキストを作成。日本人と一緒に実験できる方式に改良し、実験を実施。

⇒核燃料物質取扱いに関する専門的な知識と技量の取得を支援。

【実験内容】

3つの実験コースを学生がローテーションで実施できるよう設計

1. 『溶媒抽出コース』

UV-Vis分析で抽出率を算出

2. 『精製・転換コース』

イエローケーキを沈殿回収後、焼成し、XRD, XRF分析等により結晶構造を同定

3. 『分離・除染コース』

イオン交換樹脂にてウランを吸着回収し、UV-Vis分析により濃度定量。

・カリキュラムの完成
・実験テキストのWEB上への公開

⇒「放射化学分析」の実務的な知識と技能を有する学生を養成。

受講人数	後期	第3Q	第4Q	第3Q	第4Q	第3Q	第4Q
	8名	21名	17名	19名	20名	17名	10名



③シビアアクシデント後の遠隔計測技術に関する人材育成

<実施内容>

- ・超音波流速分布計測法(UVP)での流速分布・フローマッピングの測定
- ・アーム及び移動ロボットの制御
- ・総合実験(UVPセンサ+ロボット)

<ねらい>

- ・超音波流速分布計測法(UVP)によるセンシングの学習
- ・「見えない」(視界不良、カメラ位置不良)場合におけるセンシングの在り方の検討
- ・ロボットの制御工学における基本的な概念の習得

<成果・実績>

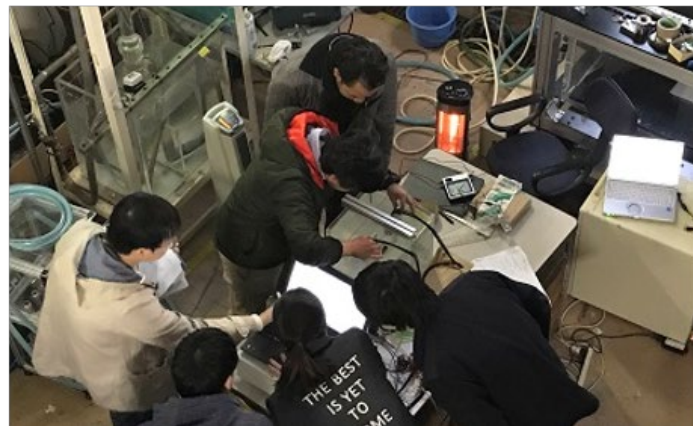
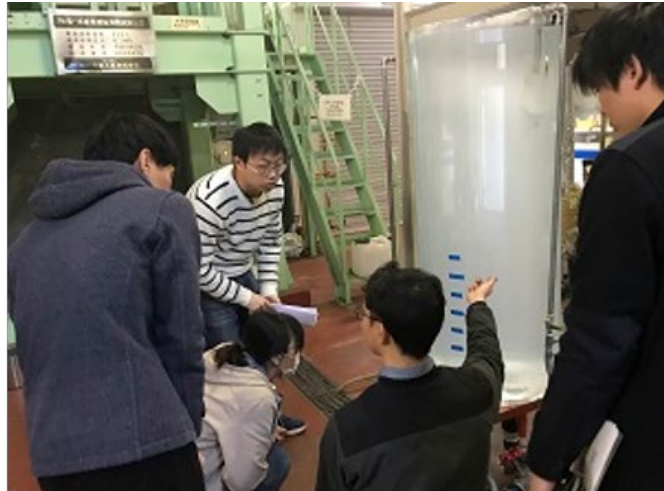
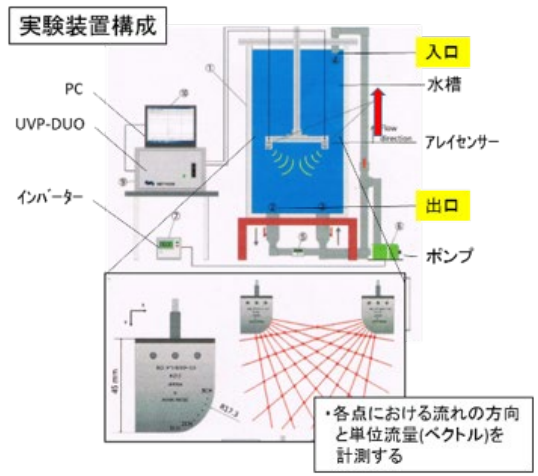
- ・この授業では、複数の人間で一つの課題に取り組むという実際の現場と同じ状況が再現されており、完成度の高いプログラムとなった。
- ・H29・H30年度はJAEA櫛葉遠隔技術開発センターのロボット試験用水槽を使用した実験を実施。

受講人数	H27後期	H28-第4Q	H29-第4Q	H30-第4Q
	5名	11名	8名	8名



③シビアアクシデント後の遠隔計測技術に関する人材育成

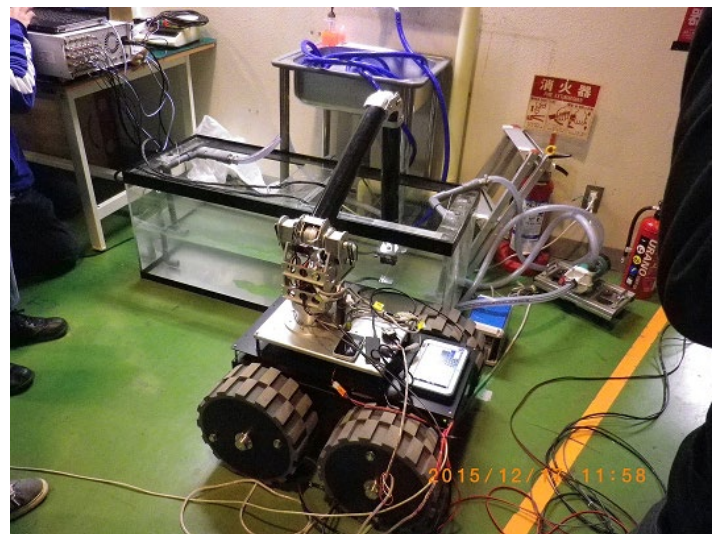
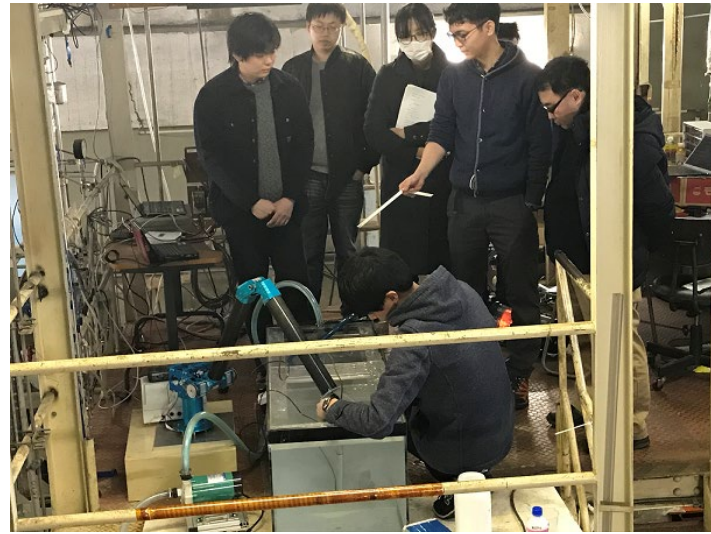
「超音波フローマッピング計測」実験





③シビアアクシデント後の遠隔計測技術に関する人材育成

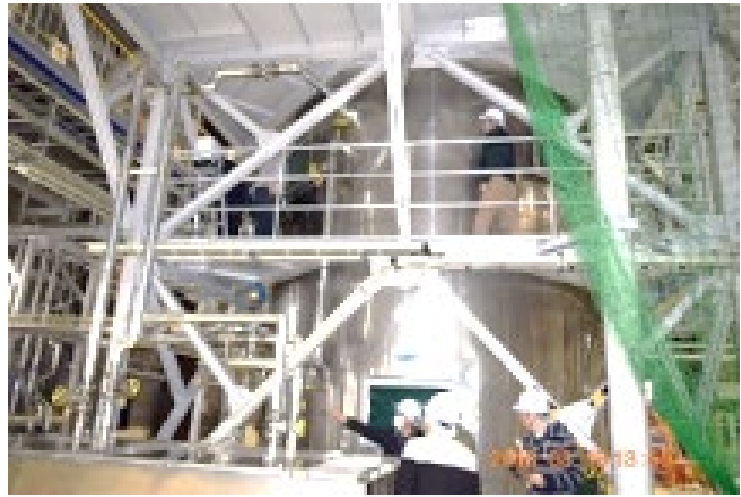
「アーム・移動ロボットの制御」実験





③シビアアクシデント後の遠隔計測技術に関する人材育成

櫓葉遠隔技術開発センター学生実験「ロボット制御と超音波流体計測」





③シビアアクシデント後の遠隔計測技術に関する人材育成

平成27年度	平成28年度	平成29年度	平成30年度
<ul style="list-style-type: none"> 授業科目の新規立ち上げと試行版テキストに基づき実験を実施 	<ul style="list-style-type: none"> 実験授業の実施 		
<p>【実施実験】</p> <p>超音波フローマッピング計測</p>	<p>【実施実験】</p> <p>超音波フローマッピング計測</p>	<p>【実施実験】</p> <p>超音波フローマッピング計測</p>	<p>【実施実験】</p> <p>熱流動計測実験</p>
<p>アーム・移動ロボットの制御</p>	<p>アーム・移動ロボットの制御</p>	<p>アーム・移動ロボットの制御</p>	<p>超音波フローマッピング計測</p> <p>アーム・移動ロボットの制御</p>
<ul style="list-style-type: none"> 見えない場合のロボット制御に及ぼす影響とその対策の検討 1Fにおけるロボット制御及び計測方法の在り方の検討 	<ul style="list-style-type: none"> 見えない場合のロボット制御に及ぼす影響とその対策の検討 1Fにおけるロボット制御及び計測方法の在り方の検討 超音波流速分布計測法の基礎を習得 	<ul style="list-style-type: none"> 見えない場合のロボット制御に及ぼす影響とその対策の検討 1Fにおけるロボット制御及び計測方法の在り方の検討 超音波流速分布計測法の基礎を習得 JAEA 櫛葉遠隔技術開発センターにて「ロボット制御と超音波流体計測」実験の実施 	<ul style="list-style-type: none"> 熱流動計測実験の追加 見えない場合のロボット制御に及ぼす影響とその対策の検討 1Fにおけるロボット制御及び計測方法の在り方の検討 超音波流速分布計測法の基礎を習得 JAEA 櫛葉遠隔技術開発センターにて「ロボット制御と超音波流体計測」実験の充実



④廃止措置の最新技術と基礎に関する人材育成

<全体概要>

大学院授業項目「**原子炉廃止措置工学特別講義**」及び「**原子炉廃止措置工学**」を開講し、福島における最新の廃止措置技術と、原子炉廃止措置技術の基礎についての教育を、事故炉と通常炉の違いというテーマのもと講義を実施。



外部講師(東芝)による講義(H30/5/11)

平成30年度 第1Q「原子炉廃止措置工学特論」(全8回)		
	日程	講義項目
第1回	(4/13)	過酷事故原子炉の廃炉
第2回	(4/20)	福島第一原子力発電所と廃炉への道筋
第3回	(4/27)	汚染水の浄化技術(1)
第4回	(5/11)	汚染水の浄化技術(2)
*	(5/17)	東芝 磯子エンジニアリングセンター見学会(希望者)
第5回	(5/18)	遠隔技術
第6回	(5/25)	燃料デブリ(1)
第7回	(6/1)	燃料デブリ(2)
第8回	(6/5)	総合討論



④廃止措置の最新技術と基礎に関する人材育成

<成果・実績>

○東芝より非常勤講師を招き講義を実施、廃止措置の最新技術と現状を習得。

○東芝磯子エンジニアリングセンター見学を実施し、技術開発を実地で体験。

○授業最終日に総合討論の時間を設け、グループごとに意見の発表と討論を実施し東工大OCWで動画を公開。



東芝・磯子エンジニアリングセンター見学
(H30/5/17)

受講人数	H27後期	H28	H29	H30
特論-1Q	15名	11名	11名	27名
講義-4Q	17名	10名	7名	10名



⑤キャリアパス形成活動

<概要>

●原子炉廃止措置インターンシップ

1Fの廃止措置活動への関心を高めることを目的として、大学院授業科目「原子炉廃止措置インターンシップ」(1単位)を開講。

1Fで廃止措置活動を行っている企業のインターンシップへの参加を奨励。

●原子炉廃止措置セミナー

短期の一泊二日の研修セミナーを実施。連携大学の学生も参加。

<実績>

●原子炉廃止措置インターンシップ

	H27年度	H28年度	H29年度	H30年度
東京電力	3名	4名	2名	1名
アトックス	4名	2名	1名	

●原子炉廃止措置セミナー

	H27年度	H28年度	H29年度	H30年度
東京電力	13名	12名	11名	11名
日本原電	9名	8名	8名	2/25-26予定



東電セミナー(H30/8/20)



⑥連携大学学生実験

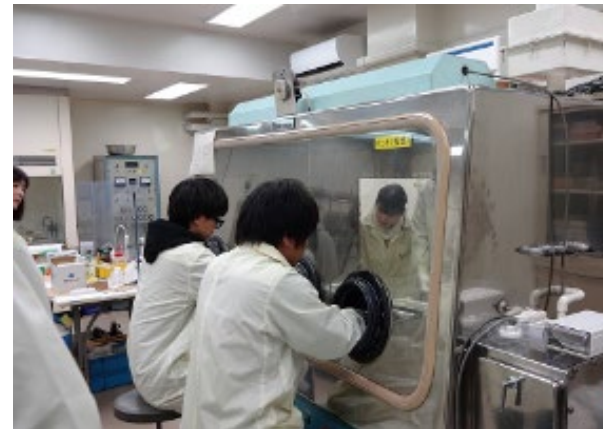
<概要>

・本プログラムの連携大学である[東京都市大学](#)及び[東海大学](#)の学生を募り、「[デブリ材料工学](#)に関する人材育成」と「[デブリ材料化学](#)に関する人材育成」の学生実験をそれぞれ1日で集中体験できるような学生実験を実施。

<成果・実績>

・実施時期が年度末であるため、参加学生は少人数となるが、RI等を実際に扱う実験を落ち着いた状況でできるため、参加学生からは毎年良い感想を得ている。

受講人数	H27年度	H28年度	H29年度	H30年度
	2名	4名	5名	2/21-22予定



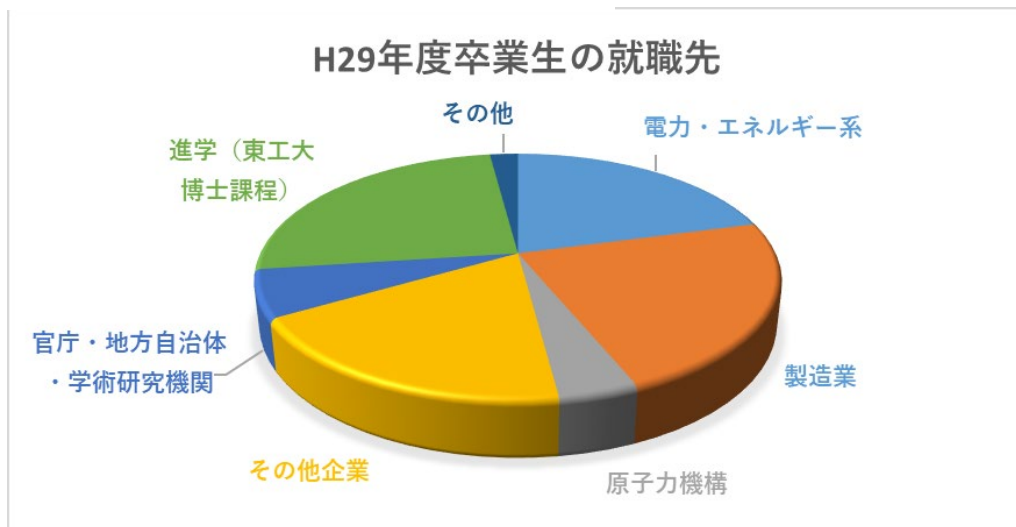


まとめ - 人材育成活動

<原子核工学専攻・コースの卒業生数と廃止措置プログラムの受講者数>

	H27年度			H28年度			H29年度		
	修士	博士	計	修士	博士	計	修士	博士	計
卒業生人数	32	10	42	31	7	38	48	11	59
うち廃止措置P 受講者人数	9	0	9	22	1	23	47	1	48

<H29年度卒業生就職・進学先>





- 本プログラムの人材育成活動の方針として
 - 5年間のプログラム期間のみならず、
 - 終了後も廃止措置の人材育成が続けられるよう、
 - カリキュラム充実に力を注いできました。
- 廃止措置セミナー等の一部の活動は
 - 来年度以降、旅費等の予算がなくなり、実施できなくなりますが、
- 大学院授業科目として新設した、他の人材育成講義・実験、等、
 - すべて来年度以降も継続して実施されます。