



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

平成30年1月10日(水)

東京工業大学 先導原子力研究所
赤塚 洋

連携大学: 東京都市大学、東海大学、
芝浦工業大学、東京医科歯科大学





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(予定)

- 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・固定化

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

9. 廃止措置技術・人材育成フォーラム

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け入れ・連携

講師派遣・連携

連携機関
廃止措置実施機関

東京工業大学・連携大学
学生の参加



I . 人材育成活動(H27-29年度実績)

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 (1単位)		後期 ↓	第3Q ↓ ↓ 第4Q	第3Q ↓ ↓ 第4Q	
②デブリ化学 (1単位)		後期 ↓	第3Q ↓ ↓ 第4Q	第3Q ↓ ↓ 第4Q	
③遠隔計測技術 (2単位)		後期 ↓	↓ 第4Q	第3Q ↓ ↓ 第4Q	
④廃止措置授業及 び特別講義 (各1単位)		後期 ↓ ↓	第1Q ↓ ↓ 第4Q	第3Q ↓ ↓ 第4Q	
⑤キャリアパス (インターン:1単位)		後期 ↓ ↓	後期 ↓ ↓	後期 ↓ ↓	
備考	準備	開始年度 (前期・後期制)	クォーター制	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

(吉田准教授、今井技術職員)

<実施内容>

- ・放射化セラミックス材料(SiC等)の試料調製・物性測定
- ・金属材料の材料試験・金相観察

<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

<実績>

- ・平成27年度: 受講学生11名(うち3名留学生)、連携大学: 2名
- ・平成28年度: 受講者22名(第3Q)、16名(第4Q)、連携大学: 4名
→ 平成29年度: 受講者22名(第3Q)、19名(第4Q)、(連携大学未定)
- ・GBやフード環境での微細分析試料の加工技術を習得
- ・放射化材料は熱伝導率が低下し、結晶構造が乱れるという
基本的な照射損傷に関する知識を習得した



① デブリ材料工学に関する人材育成

<実験の例> : 放射化SiCの物性測定

管理区域

GBで実施

フードでの切断

粉碎・
試料調製

研磨

粉末X線
回折測定

バルクX線
回折測定

- ・結晶構造の同定
- ・未照射材との比較

L/F法
熱伝導率測定

- ・未照射材との比較



フード作業



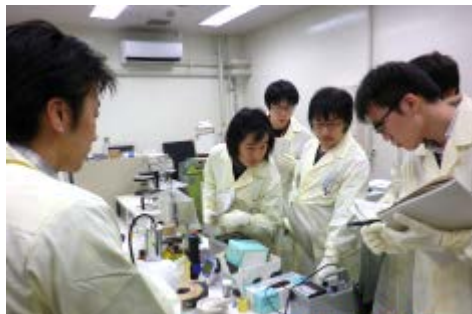
訓練用GB



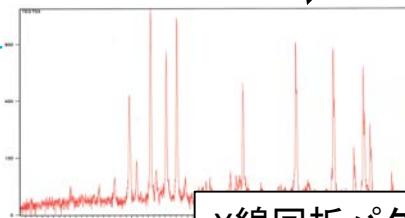
GB作業



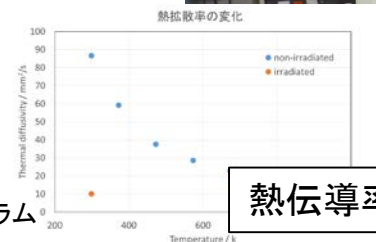
物性測定



放射化材の線量測定



X線回折パターン

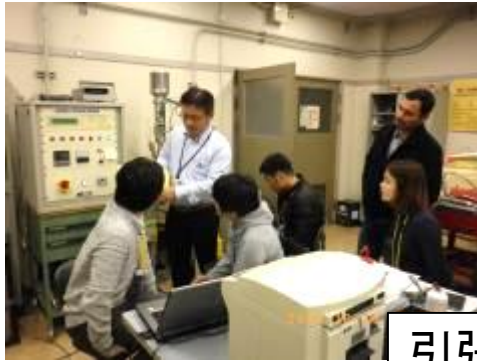


熱伝導率



① デブリ材料工学に関する人材育成

＜実験の例＞：金属材料の引張試験



引張試験



試験後のデータ解析

＜担当教員の感想(H27年度終了時)＞

- ・実験と学問の関係も意識している。そういった意味で、「座学」があって「学生実験」があった方が好ましいと考える。
- ・セラミックスと金属を溶融して、これに関する材料学的な一般的な試験ができるとよいと感じた。



② デブリ化学に関する人材育成

(塚原准教授、鷹尾准教授)

<実施内容>

- ・ UO_2^{2+} 含有硝酸溶液からイエローケーキを得、転換後XRD測定。
- ・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XRF測定。
分配係数を評価。
- ・U含有硝酸溶液から溶媒抽出法でU抽出後XRF測定。

<ねらい>

- ・核燃料(ウラン)を用いた液・固体化学分析技術の習得
- ・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

<実績>

- ・平成27年度: 受講学生8名(うち1名留学生)、連携大学: 2名
- ・平成28年度: 受講者22名(第3Q)、16名(第4Q)、連携大学: 4名
⇒平成29年度: 受講者19名(第3Q)、20名(第4Q)、(連携大学未定)
- ・Uの抽出方法に関して、基本的な方法を習得
- ・XRD、XRF、ICP-AESなどの機器分析技術を原理含めて学習

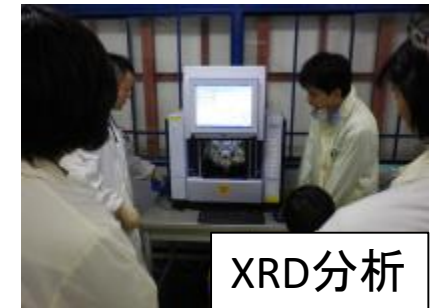
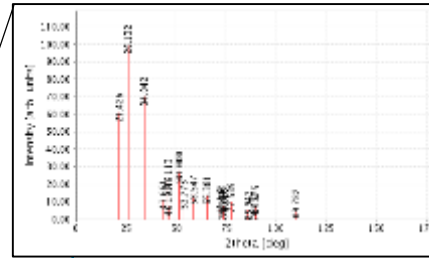
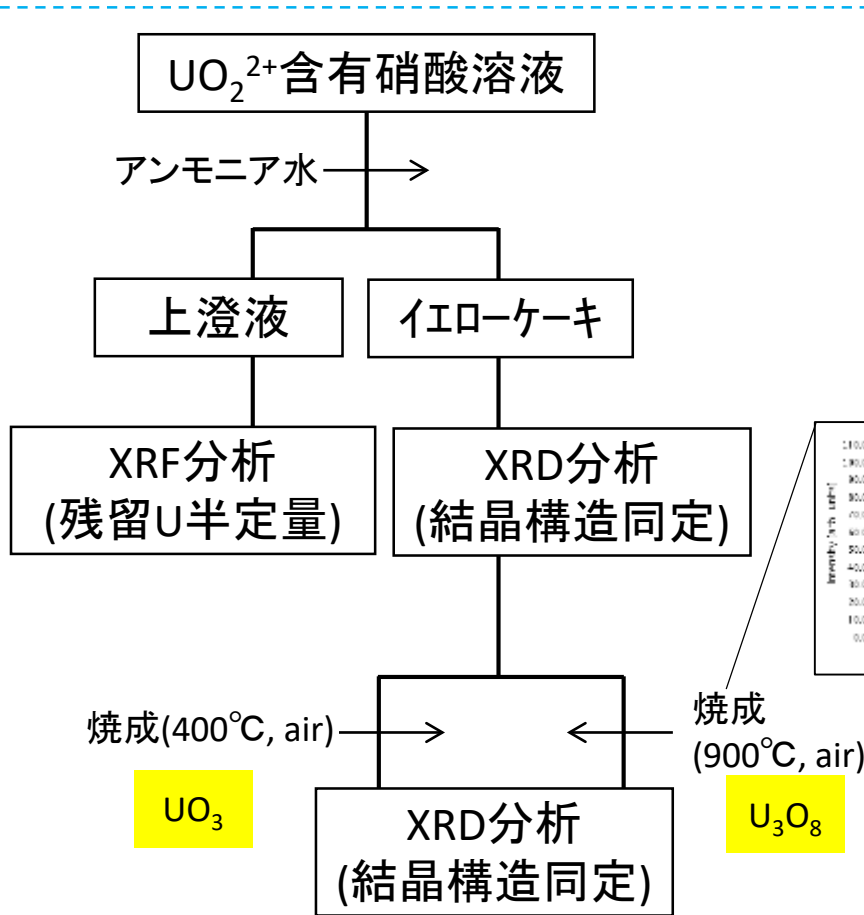


② デブリ化学に関する人材育成

＜実験の例＞：精製・転換・再転換



核燃料含有溶液取扱い



XRD分析



汚染管理用検出器

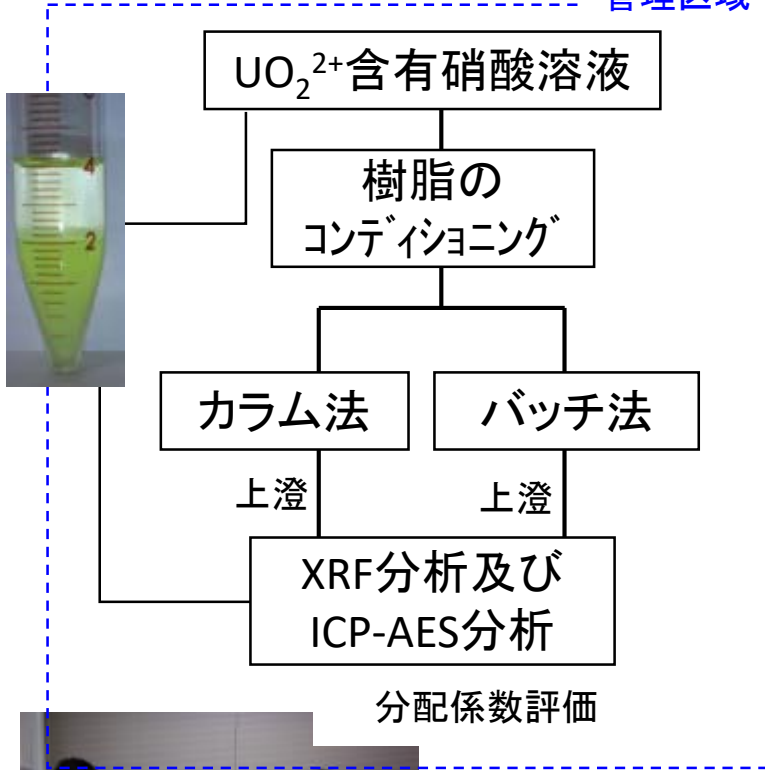
管理区域



② **デブリ化学**に関する人材育成

＜実験の例＞：イオン交換法による廃液からのウラン精製法

管理区域



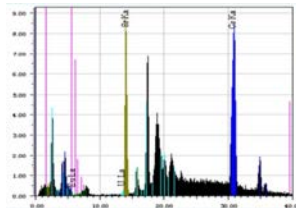
イオン交換樹脂コンディショニング

＜担当教員の感想(H27年度終了時)＞

- ・レポートでは、化学系ではない学生からも良い反応を得ることができた。
- ・分野の異なる学生すべてに合わせた実験の設定は難しい(ただ、学生同士、相補的な対応を行っていた点は非常に良い)



XRF分析





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

(木倉准教授、遠藤准教授)

<実施内容>

- ・超音波流速分布計測法(UVP)での流速分布・フロアマッピングの測定
- ・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

<実績>

- ・平成27年度: 受講学生5名、連携大学: 3名
- ・平成28年度: 受講学生11名、連携大学: 4名
⇒平成29年度: 受講学生9名、(連携大学未定)
- ・「見えない」(カメラ位置不良等)場合、ロボットの制御に及ぼす影響と対策を検討
- ・超音波流速分布計測法の基礎を習得し、本法の現場での適用法に関して検討



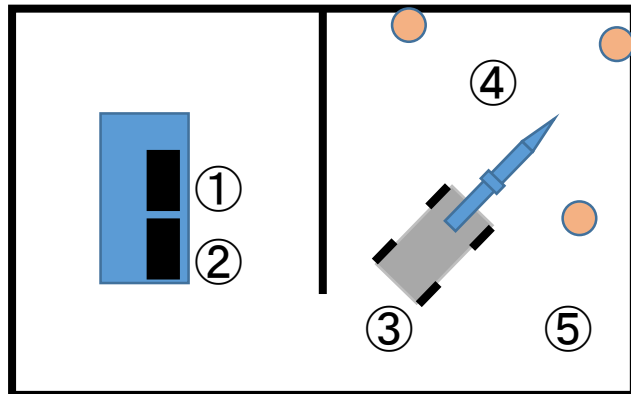
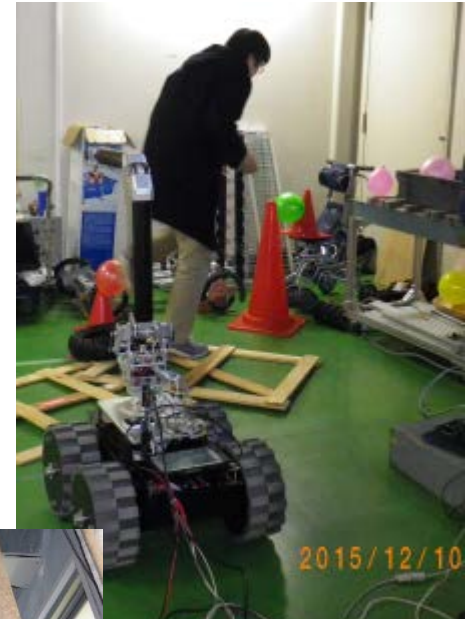
③シビアアクシデント後の遠隔計測技術に関する人材育成

＜実験の例＞：アーム・移動ロボットの制御

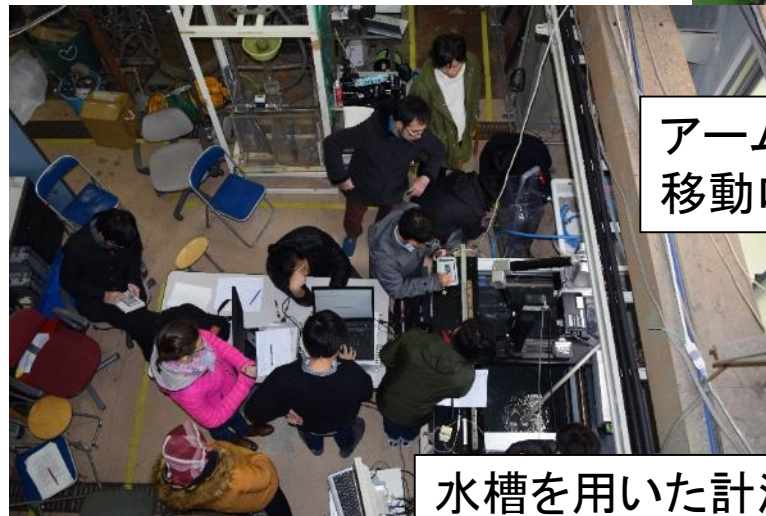
- ①: 移動ロボット制御
- ②: アームロボット制御
- ③: ケーブル取り回し
- ④: 評価者
- ⑤: 俯瞰的観察者

【課題】

カメラ画像のみでアーム
ロボットの先端につけた針で
「風船を割る」



実験室の平面図



水槽を用いた計測実験

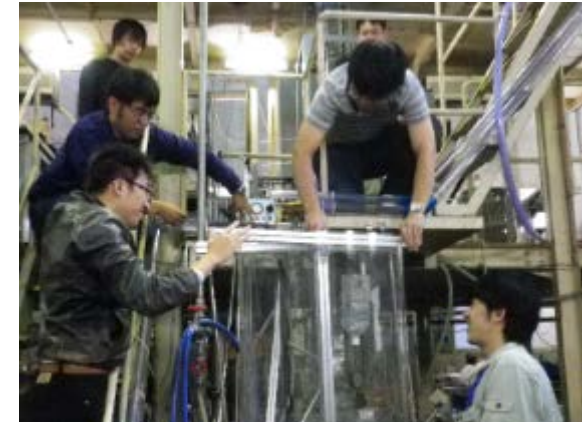
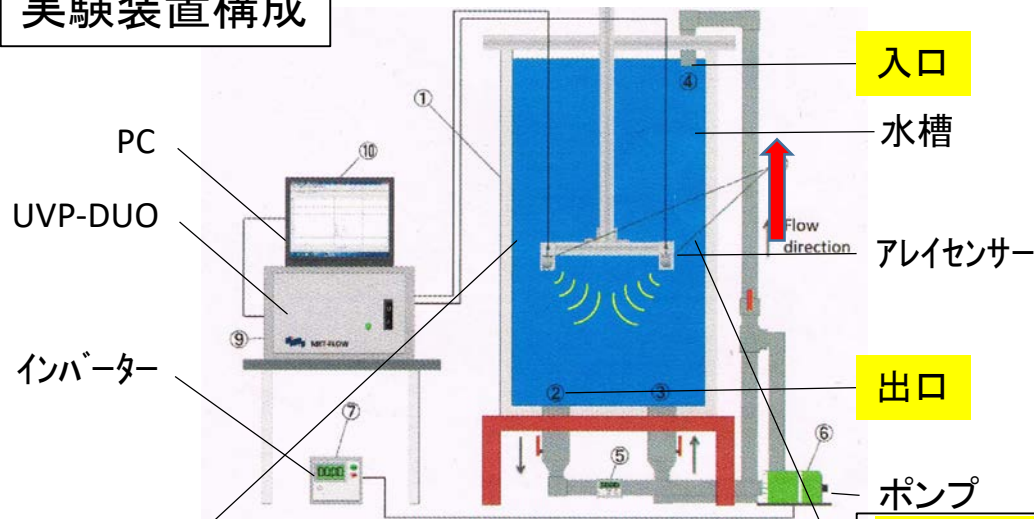
アームロボットを取付けた
移動ロボット



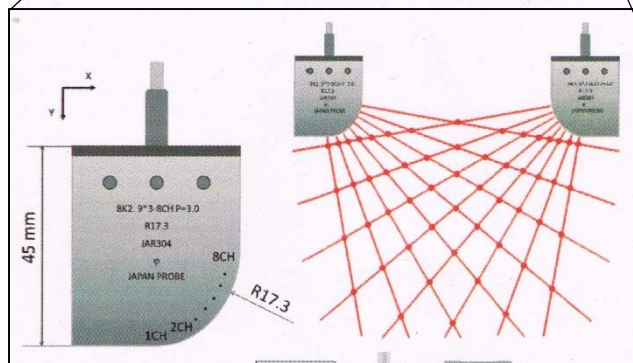
③シビアアクシデント後の遠隔計測技術に関する人材育成

＜実験の例＞：超音波フローマッピング計測

実験装置構成



水槽の水張り・センサ取付け



＜担当教員の感想(H27年度終了時)＞

- ・ここでの狙いは、デブリ取出し時のロボット操作で「俯瞰的に見えない状態での難しさ」を体感してもらうことである。この目標は達成できたと考えている。
- ・意図した「現場で判断・決定」に関してもできていた。また、チームプレーもこなしていたように思う。



④廃止措置の**最新技術と基礎**に関する**人材育成**

(竹下教授、加藤教授、東芝講師の皆様)

<全体概要>

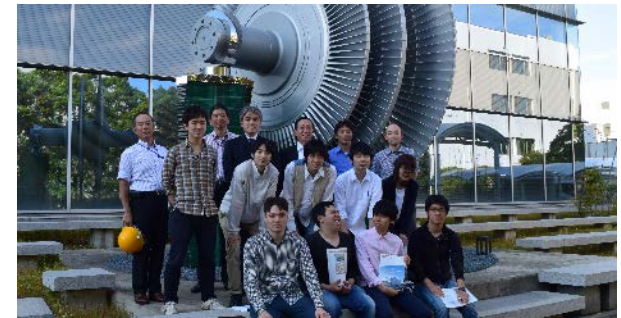
大学院授業項目「**原子炉廃止措置工学特別講義**」を新規に立上げ福島における**最新の廃止措置技術**と本プログラムで実施している研究の成果についての教育を行う。また、大学院授業項目「**原子炉廃止措置工学**」を新規に立上げ原子炉廃止措置技術の基礎についての教育を行う。

<ねらい>

- ・福島における最新の廃止措置技術の習得
- ・原子炉廃止措置技術の基礎の習得

<実績>

- ・「原子炉廃止措置工学特別講義」: 受講学生; **17名(H27)**、**11名(H28)**, **11名(H29)**
- ・「原子炉廃止措置工学」: 受講学生; **17名(H27)**、**10名(28)**, **6名(H29)**
- ・福島における最新の廃止措置技術を習得(除染、デブリ取出)
- ・**東芝の講師の方々の話で、現場のエンジニア色を出した講義となった**
- ・原子炉廃止措置技術の基礎を習得(通常炉と事故炉の違い)



2016.5.18 東芝・磯子EC見学



⑤ キャリアパス形成活動

(赤塚)

<原子炉廃止措置インターンシップ>

- ・東京電力:参加学生;3名(H27)、4名(H28)、2名予定(H29)、内容:本社および1Fで業務体験
- ・ATOX :参加学生;4名(H27)、2名(H28)、募集中(H29)、内容:各種ロボ系実習、及び実務体験

⇒就職先として、廃止措置関連企業への関心が生じた。

<原子炉廃止措置セミナー>

- ・日本原電:参加学生;9名(H27)、8名(H28)、8名(H29) (連携大学含む)
通常炉の廃止措置に関して学習、および東海原発の廃止措置作業見学
- ・東京電力:参加学生;11名(H27)、12名(H28)、募集中(H29) (連携大学含む)
1Fでの廃止措置作業見学、停止中の2Fにおいて現状見学
JAEA櫛葉遠隔技術開発センター見学(H28)、CLADS国際共同研究棟見学(H29)



<参加学生からの感想>

- ・廃止措置と他の工学分野の関係
- ・放射性廃棄物処分の法整備の危惧
- ・廃止措置は長期的な取組であることへの理解
- ・報道内容と、実際の現場とのギャップの発見



Ⅲ. まとめ

- 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
- 廃止措置事業に高いモチベーションをもつ人材の育成

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