



—東京工業大学廃止措置技術・人材育成フォーラム—

「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28年1月22日(金)

東京工業大学 原子炉工学研究所

佐藤 勇

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



TMDU



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

東工大原子炉工学研究所、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」

東工大原子炉工学研究所

【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

分析

1. 難分析核種用マイクロ分析システムの構築

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)

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

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)

【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

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

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)

【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

遠隔計測

6. シビアアクシデント後の遠隔計測技術

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)

【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

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

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)

8. メルトダウン炉心の臨界事故解析と対策の検討

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

東京工業大学・連携大学
学生の参加



人材育成活動各項目

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
- 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
- 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



① デブリ材料工学に関する人材育成

＜全体概要＞

廃止措置に必要なデブリ材料分析の技術の習得を目的とした大学院授業科目「**廃止措置・材料工学実験**」を新規に立ち上げ、東京工業大学のホット実験施設で放射化材料を用いた実験を大学院生に行わせる。連携大学の学生も参加。

＜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**、**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**



① デブリ材料工学に関する人材育成

<授業スケジュール>

	実験等の項目	講義日程	担当
1	・管理区域内入退室の基本 ・放射性同位体元素の取扱の基本	2015/10/8	吉田 克己 准教授
2	・【講義】物性評価の基礎原理 ・実験の事前準備	2015/12/3	吉田 克己 准教授 今井 雅三 技術職員
3	・コールド実験 ・RI試料の切断・研磨・粉碎、除染・スミヤ測定 【放射性物質の取扱】	2015/12/10	矢野 豊彦 教授 吉田 克己 准教授 佐藤 勇 特任准教授 山崎 宰春 特任助教 今井 雅三 技術職員 大饗 恭子 技術員
4	・熱伝導率測定及び解析 ・スミヤ測定 【放射性物質の取扱】	2015/12/17	
5	・X線回折実験及び解析 ・スミヤ測定 【放射性物質の取扱】	2015/12/24	
6	・水熱腐食・強度実験	2016/1/7	
7	・水熱腐食・強度実験 ・水熱腐食後の微細構造観察、X線回折	2016/1/21	
8	・個人被ばく量(外部被ばく、内部被ばく)の評価	2016/1/28	



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

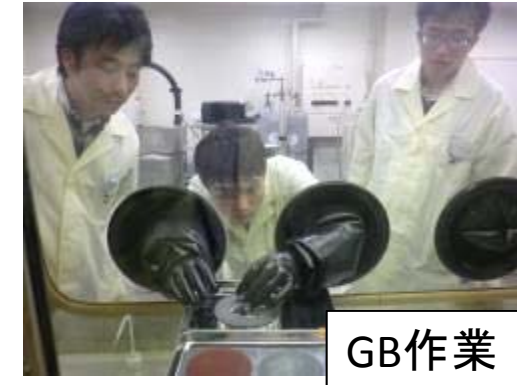
- ・未照射材との比較



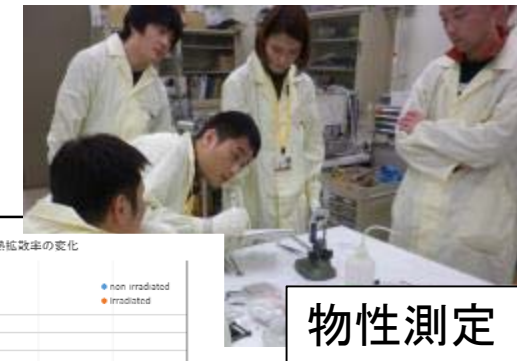
フード作業



訓練用GB



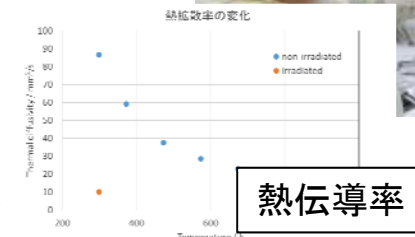
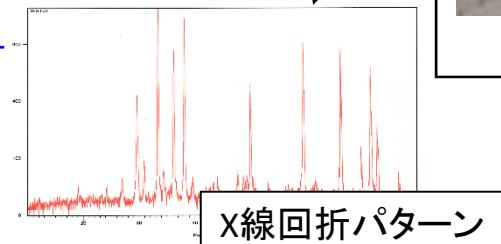
GB作業



物性測定



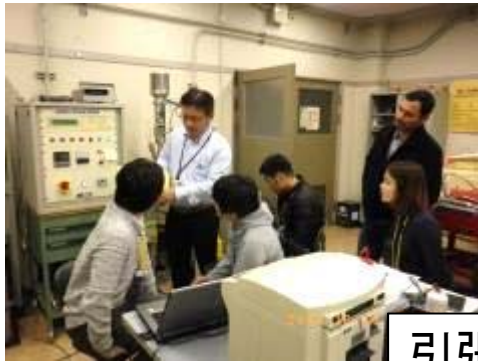
放射化材の線量測定





① デブリ材料工学に関する人材育成

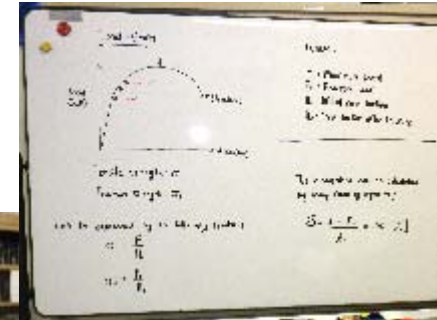
＜実験の例＞：金属材料の引張試験



引張試験



試験後のデータ解析



＜実績＞

- ・学生11名(うち3名留学生)、8回実施(連携大学は2月実施)
- ・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



② デブリ化学に関する人材育成

<全体概要>

デブリ化学分析・バックエンド工学技術の基礎の習得を目的とした大学院授業科目「核燃料デブリ・バックエンド工学実験」を新規に立ち上げ、東京工業大学のホット実験施設でRI及び核燃料物質を用いた実験を大学院生に行わせる連携大学の学生も参加。

<実施内容>

- ・ UO_2^{2+} 含有硝酸溶液からイロケーキを得、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。



② デブリ化学に関する人材育成

<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



② デブリ化学に関する人材育成

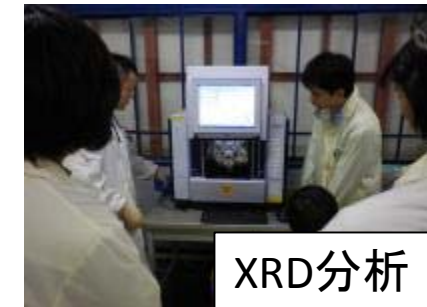
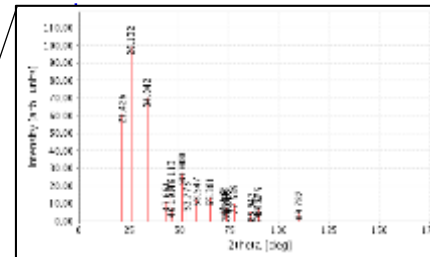
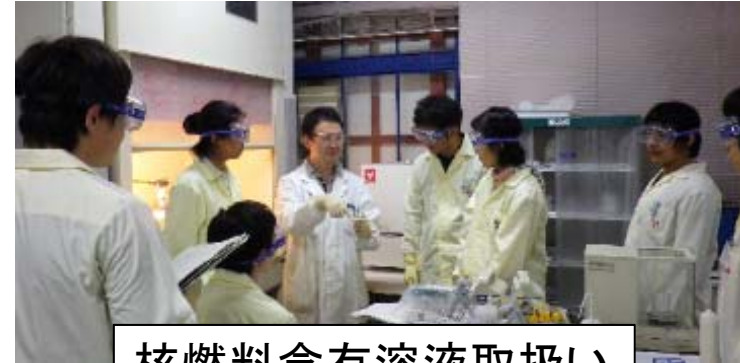
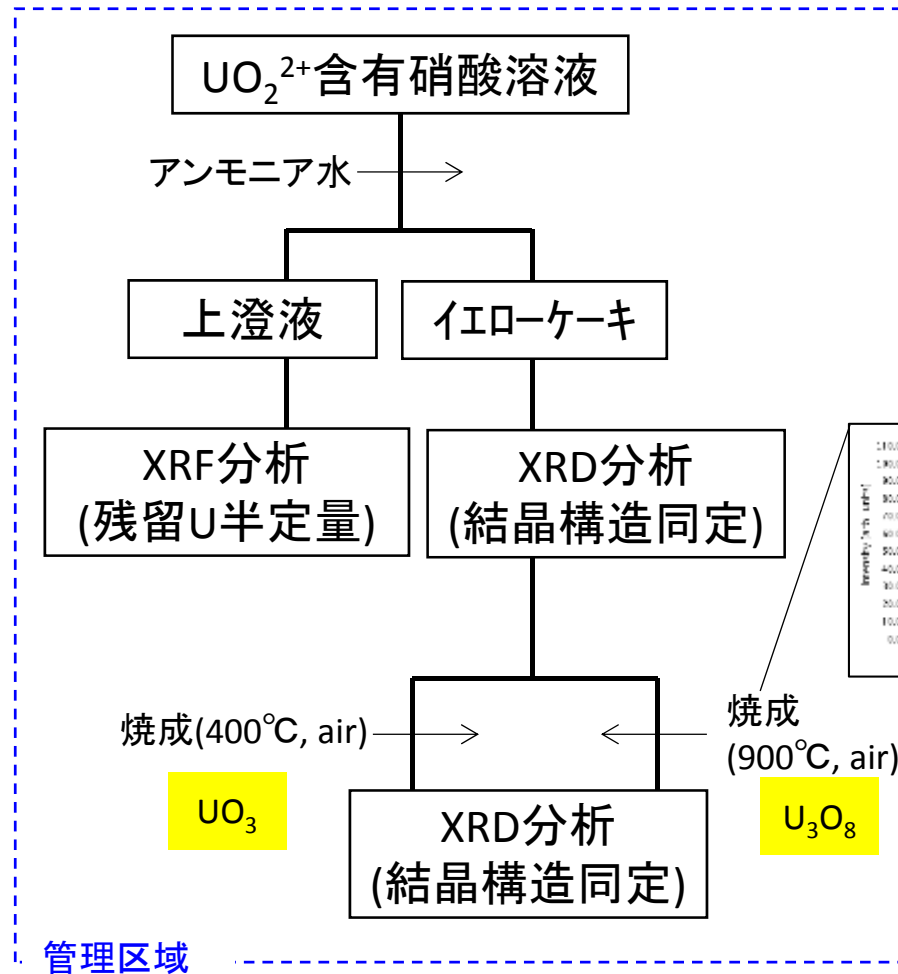
<授業スケジュール>

	実験等の項目	講義日程	担当
1	・オリエンテーション及び教育訓練	2015/10/8	塚原 剛彦 准教授 鷹尾 康一郎 准教授
2	・実験前講義	2015/10/15	池田 泰久 教授 塚原 剛彦 准教授 鷹尾 康一郎 准教授 原田 雅幸 助教 佐藤 勇 特任准教授 山崎 幸春 特任助教 大饗 恭子 技術員
3	・精製・転換・再転換	2015/10/22	
4	・精製・転換・再転換	2015/10/29	
5	・イオン交換法による廃液からのウラン精製法	2015/11/5	
6	・粘土鉱物における放射性核種の吸着挙動	2015/11/12	
7	・溶媒抽出法	2015/11/19	
8	・溶媒抽出法	2015/11/26	



② デブリ化学に関する人材育成

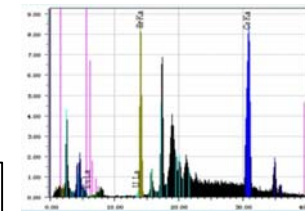
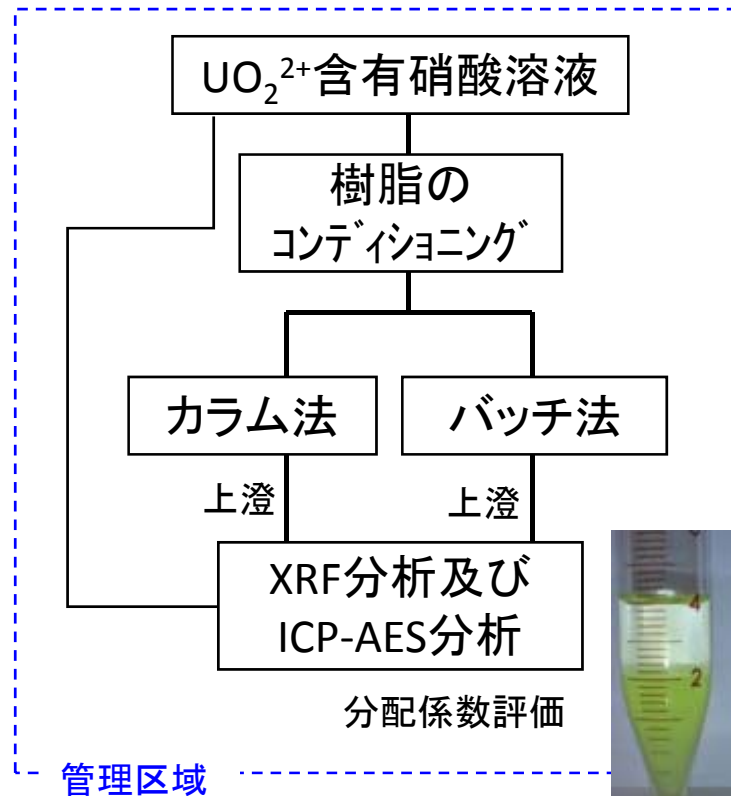
＜実験の例＞：精製・転換・再転換





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





② デブリ化学に関する人材育成

<実績>

- ・学生8名(うち1名留学生)、8回実施(連携大学は2月実施)
- ・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
- ・U酸化物の化学量論性比(O/M)と焼成温度の関係を学習



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

<全体概要>

シビアアクシデント後の高放射線場での計測とロボット技術の習得を目的として大学院授業科目「シビアアクシデント工学実験」を新規に立ち上げ、東工大での実験及び福島に建設予定のモックアップ施設での実験を大学院生に行わせる。連携大学の学生も参加。

<実施内容>

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



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

<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



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

<授業スケジュール>

	実験等の項目	講義日程	担当
1	・イントロ・シビアアクシデント工学概論1 ・超音波計測基礎	2015/10/8	木倉 宏成 准教授
2	・超音波計測技術応用 ・垂直円管流を用いた流速分布計測実験	2015/10/15	木倉 宏成 准教授
3	・超音波計測技術応用 ・超音波フローマッピング計測	2015/10/22	木倉 宏成 准教授
4	・原発対応ロボット概論 ・ロボット制御基礎	2015/10/29	遠藤 玄 准教授
5	・ロボットアームの制御	2015/11/5	遠藤 玄 准教授
6	・ロボット実験	2015/11/12	遠藤 玄 准教授
7	・シビアアクシデント工学概論2 ・超音波計測技術応用	2015/11/19	木倉 宏成 准教授 相楽 洋 准教授
8	ロボットアームと超音波計測技術応用 ・超音波フローマッピング計測	2015/12/3	木倉 宏成 准教授 遠藤 玄 准教授
9	・アーム車両総合遠隔操作実験	2015/12/10	遠藤 玄 准教授
10	・総合実験	2015/12/17	木倉 宏成 准教授 遠藤 玄 准教授
11	・総合討論・学生発表	2015/12/24	木倉 宏成 准教授 遠藤 玄 准教授



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

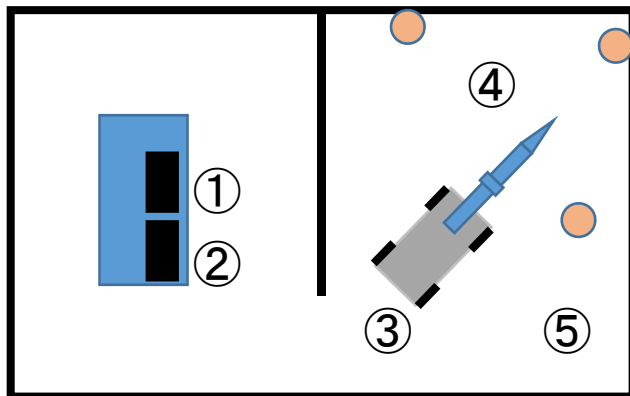
- ①：移動ロボット制御
- ②：アームロボット制御
- ③：ケーブル取り回し
- ④：評価者
- ⑤：俯瞰的観察者

【課題】

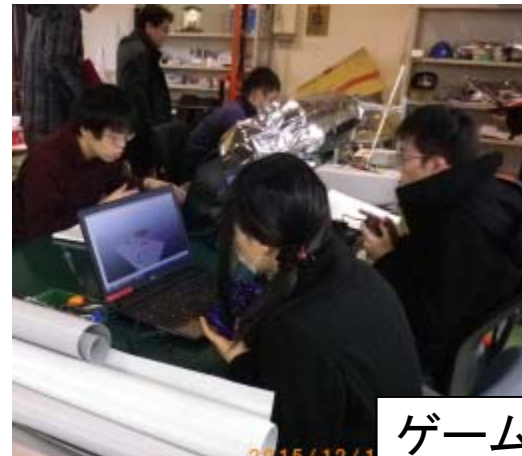
カメラ画像のみでアーム
ロボットの先端につけた針で
「風船を割る」



アームロボットを取付けた
移動ロボット



実験室の平面図



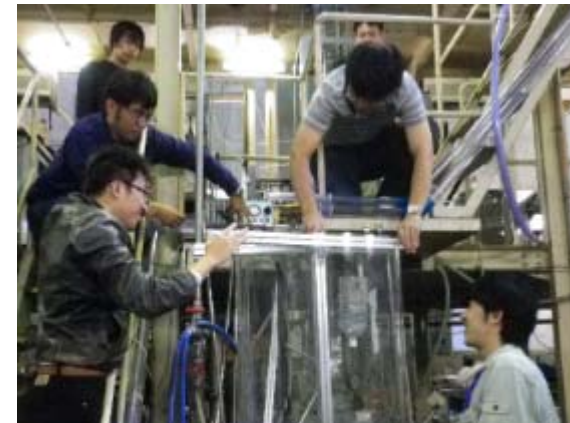
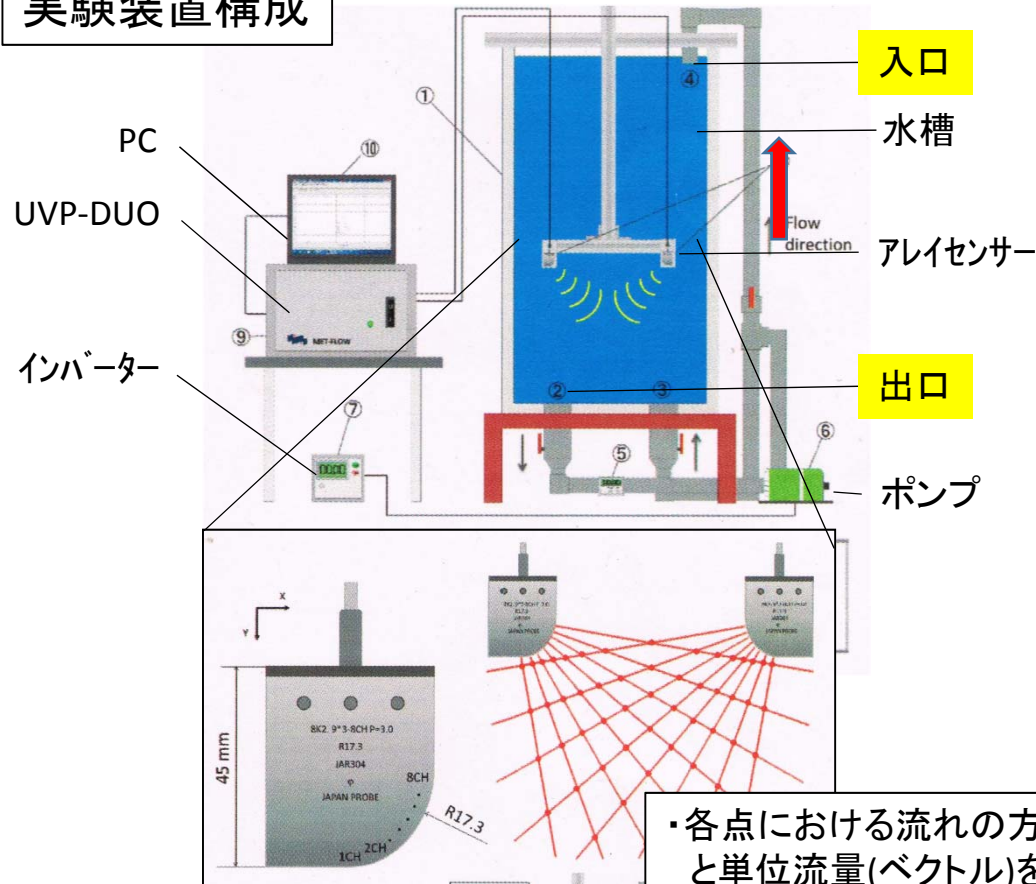
ゲームのコントローラ
による遠隔制御



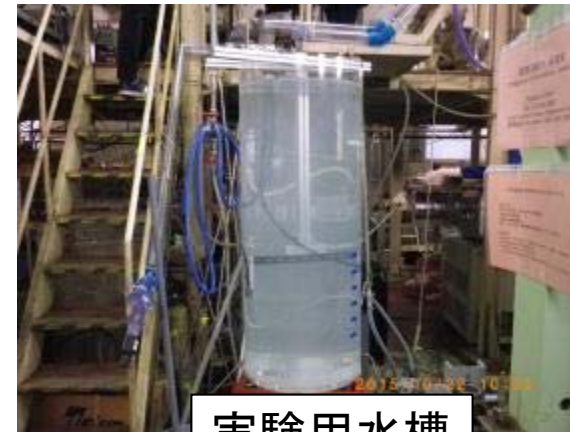
③シビアアクシデント後の遠隔計測技術に関する人材育成

＜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



実験用水槽

・各点における流れの方向と単位流量(ベクトル)を計測する



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

<実績>

- ・学生5名(インフラ的に最適人数)、11回実施(連携大学は3月実施)
- ・「見えない」(視界不良、カメラ位置不良)場合、ロボットの制御に及ぼす影響とその対策を検討
- ・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



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**」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



④廃止措置の最新技術と基礎に関する人材育成

<原子炉廃止措置工学特別講義>

	講義項目	講義日程	
1	過酷事故原子炉の廃炉(TMI事故、チェルノブイリ事故)	2015年10月5日	加藤 之貴 教授
2	福島第一原子力発電所の現状	2015年10月19日	今村 功 非常勤講師(東芝)
3	燃料デブリの存在状態と取出し技術	2015年10月26日	川野 昌平 非常勤講師(東芝)
4	汚染水の浄化技術(1)	2015年11月2日	池田 昭 非常勤講師(東芝) 山本 誠二 非常勤講師(東芝)
5	汚染水の浄化技術(2)	2015年11月9日	山本 誠二 非常勤講師(東芝) 池田 昭 非常勤講師(東芝)
6	東芝(京浜)見学(ロボット技術中心)	2015年10月19日	竹下 健二 教授、ほか
7	福島第一原子力発電所の現状廃炉への筋道	2015年11月30日	湯口 康弘 非常勤講師(東芝)



④廃止措置の最新技術と基礎に関する人材育成

<原子炉廃止措置工学>

	講義項目	講義日程	
1	原子炉廃止措置とは	2015年12月14日	竹下 健二 教授
2	原子力発電所の放射能、除染、汚染検査	2015年12月21日	三倉 通孝 非常勤講師(東芝)
3	廃炉コストと原子力発電所のライフサイクル	2016年1月4日	竹下 健二 教授
4	原子力発電所の解体技術	2016年1月12日	豊原 尚実 非常勤講師(東芝)
5	解体廃棄物の処理・処分技術(1)	2016年1月18日	小松原 勝 非常勤講師(東芝) 金子 昌章 非常勤講師(東芝)
6	解体廃棄物の処理・処分技術(2)	2016年1月25日	加藤 之貴 教授
7	原子力発電所の構成と原子炉の寿命	2016年2月1日	加藤 之貴 教授
8	世界の廃炉経験と今後の課題	2016年2月8日	小畑 政道 非常勤講師(東芝)

④廃止措置の最新技術と基礎に関する人材育成

<実績>

- ・「原子炉廃止措置工学特別講義」: 学生17名履修、7回(見学含む) 終了し、レポート提出済
- ・「原子炉廃止措置工学」: 学生17名履修、8回のうち5回実施
- ・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)



授業風景(今村 功 非常勤講師(東芝))



受付ロビーでの集合写真

工場見学(東芝・京浜工場)、H27/10/19実施



⑤ キャリアパス形成活動

<全体概要>

福島第一原発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**」を新規に立上げ、福島第一原発で廃止措置活動をしている機関・企業等に学生をインターンシップ派遣する。また、「**原子炉廃止措置セミナー**」を実施し、日本原電の東海発電所廃止措置作業の見学及び講演会、福島において廃止措置活動を行っている機関の見学及び講演会を行い学生を参加させる。セミナーには連携大学の学生も参加。

<原子炉廃止措置セミナー>

(廃止措置工学の技術・研究開発を学習、廃止措置作業を視察)

- ・**日本原電**: H27年 9/15-16, 学生9名参加(東工大7名、都市大1名、東海大1名)



<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**
- ・現場での勉強した内容との**ギャップの発見**



⑤ キャリアパス形成活動

<原子炉廃止措置セミナー>

- ・ **東京電力** H28年 3/17-18、学生11名参加予定
 - 1日目(午後):2Fの見学(事故時の模擬体験等)
 - 2日目(午前):1F見学(廃止措置作業の見学や、OBとの意見交換会)、
JAEA櫛葉遠隔技術開発センター見学

<原子炉廃止措置インターンシップ>

- ・ **東京電力** H28年 2/15~26に予定(受入人数:3名)、
内容(本社プロジェクト計画部および福島第1発電所で
業務体験、レポート作成・発表)
- ・ **ATOX** H28年 2/22~3/4に予定(受入人数:4名)、
内容(各種ロボ系実習、または実務体験)



まとめ

- ① デブリ材料工学に関する人材育成
- ② デブリ化学に関する人材育成
- 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
- ④ 廃止措置の最新技術と基礎に関する人材育成
- ⑤ キャリアパス形成活動

なお、

上記の授業項目及びセミナーの履修・参加履修を履修指導で推奨し、所定の履修・参加をして小論文を提出した学生を審査の上、専攻長が顕彰するシステムを構築。