

令和6年度 国際原子力人材育成イニシアティブ事業 成果報告会

メーカー／電力連携プログラム 『原子力プラント技術実践研修』 (R6年度終了課題)

2024.2.3

三菱重工業株式会社
原子力セグメント

本資料は当社及び（又は）協力会社の商業機密を含んでおりますので、本提出（貸与）目的以外での使用は御遠慮ください。
また、当社の同意なく本資料の全部又は一部を第三者に公開、開示されることのないようお願いいたします。

1. 背景と目的

- 原子力発電プラントの安全・安定運転は、技術開発から運用に至る各段階での**広範囲かつ高度な技術**に支えられており、**プラントメーカーと電力会社の連携**によって実現される

研究開発

設計

製造・検査

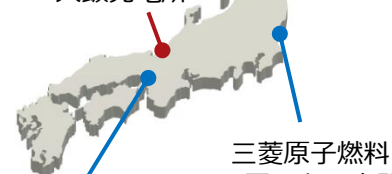
建設・運転・保守

- 原子力を将来に亘って最大限活用するためには、あらゆる分野での**技術力の維持・向上**と**優秀な人材の効果的・戦略的な育成**が不可欠であり、**原子力業界全体の課題**である

原子力の将来を担う**人材の育成**と**裾野拡大**のために、三菱重工グループと関西電力が連携し、各社の業務範囲や特性に応じた**実践的な研修プログラム**を提供する



関西電力
大飯発電所



三菱原子燃料
MHI原子力研究開発

三菱重工
神戸造船所



実施体制

2. 事業計画

育成対象： 理系分野の大学院生、大学生（3年以上）及び高専生（専攻科）

➔ 原子力専攻に限定せず幅広い分野の学生を受け入れ … 裾野拡大

育成人数： 各項目20名程度ずつ※1,※2（3カ年で計105名程度）

開催方式： R4年度はオンライン※3、R5・R6年度は現地

※1 項目①と②は連続した1つのプログラムとして実施

※2 現地開催では施設のキャパシティを考慮し、項目③を15名に変更

※3 コロナ感染防止対策のため

全体計画	R4年度				R5年度				R6年度			
	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q
企画・運営	企画、学生募集等											
	事後評価、次年度準備											
① 原子カプラント設計・製造研修		研修の実施			2.5日	3日			R5年度以降は計4日間に延長			3日
② 原子カプラント運用研修		0.5日			1日			1日			1日	
③ 燃料設計・製造研修		2日			2日			2日			2日	

研修項目	育成対象	計画人数			
		R4年度	R5年度	R6年度	計
① 原子カプラント設計・製造研修	日本国籍を有する理系分野の大学院生、大学生（3年以上）、高専生（専攻科）	20名	20名	20名	105名
② 原子カプラント運用研修		20名	15名	15名	
③ 燃料設計・製造研修		20名	15名	15名	

3. プログラム概要

- 原子力プラント／燃料の幅広い技術分野とメーカー／電力会社の様々な取組みや業務内容について、座学、実習、現場見学を通して、実践的・俯瞰的に学習
- 実際の設計業務を模擬体験する「設計実習」は、蒸気発生器を共通テーマとした2コースを設け（選択制）、グループワークで学生自らが考え、判断しながら課題を解決
- 工場／発電所見学、非破壊検査やシミュレータ実習などの体験型プログラムも充実
- 原子力業界で働くことをより身近に、魅力的に感じてもらうために、参加学生と年齢が近い若手技術者との交流会を開催

R6年度研修プログラム

① 原子力プラント設計・製造研修			② 運用研修		③ 燃料設計・製造実習														
1日目	2日目	3日目	4日目 ※1		1日目	2日目													
<p>[座学] 原子力発電の位置付け 三菱重工原子力事業の紹介</p> <p>[座学] PWRプラントの概要及び 主要機器</p> <p>[見学] ※2 格納容器VR見学</p> <p>[実習A導入座学] PWRプラントの機器(SG) 設計 原子力を支える製造技術</p> <p>[実習B導入座学] プラントシステム設計概要</p>	<p>[実習A] PWRプラントの主要機器 原子力を支える製造技術</p> <p>[実習B] プラントシステム設計</p>	<p>[座学・実習] PWRプラントの検査技術</p> <p>[座学] 原子力の将来に向けた取 組み</p> <p>[見学] ※2 機器製造工場、保全訓練 センター、NDEセンター</p> <p>[若手技術者との交流会] 関西電力との共同開催</p>	<p>[座学] ※2 原子力発電所の概要</p> <p>[見学] ※2 大飯発電所</p> <p>[座学] 原子力プラント運用</p> <p>[実習] ※2 訓練シミュレータでの原 子炉運転操作実習</p>		<p>[座学] PWR燃料の概要</p> <p>[見学] ※2 燃料製造工場</p> <p>[座学] 燃料設計</p> <p>[座学] PWR燃料の研究開発</p>	<p>[見学] ※2 実験施設、試験設備 マニピュレータ操作 体験</p> <p>[見学] ※2 燃料被覆管バースト 試験</p> <p>[実習] ペレット製作実習</p> <p>[実習] 燃料LOCA模擬試験</p>													
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>設計実習コース</th> <th>R4年度</th> <th>R5年度</th> <th>R6年度</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A : 機器設計・製造実習</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td>B : システム設計実習</td> <td>—</td> <td>○</td> <td>○</td> </tr> </tbody> </table>		設計実習コース	R4年度	R5年度	R6年度	A : 機器設計・製造実習	○	○	○	B : システム設計実習	—	○	○				
設計実習コース	R4年度	R5年度	R6年度																
A : 機器設計・製造実習	○	○	○																
B : システム設計実習	—	○	○																
						<p>※1 R4年度は3日目に実施 ※2 R4年度は未実施</p>													

4. 開催実績・参加者数

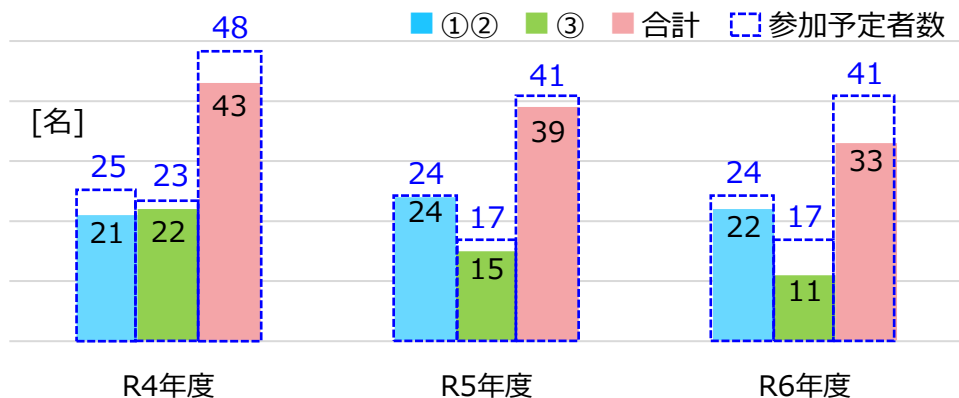
■ 開催実績

- R4年度はオンライン、R5年度以降は現地での研修を計画通り実施
- R6年度は台風直撃を受け、項目②を已む無く中止とするも、③は期間を変更して開催

研修項目	R4年度	R5年度	R6年度
① 原子カプラント設計・製造研修	3日間 (2/15-17)	3日間 (8/22-24)	3日間 (8/27-29)
② 原子カプラント運用研修		1日 (8/25)	1日 (8/30) 台風により中止
③ 燃料設計・製造研修	2日間 (2/20-21)	2日間 (8/28-29)	2日間 (9/2-3 → 9/26-27) 変更

■ 参加者数

- 3年間で全国20大学から計画を上回る延べ115名の学生が研修に参加 … 内訳は次葉



北海道大学
 東北大学
 東京大学
 東京科学大学
 東京都市大学
 早稲田大学
 神奈川大学
 長岡技術科学大学
 名古屋大学
 京都大学

大阪大学
 大阪公立大学
 近畿大学
 兵庫県立大学
 奈良女子大学
 福井大学
 徳島大学
 広島大学
 九州大学
 熊本大学

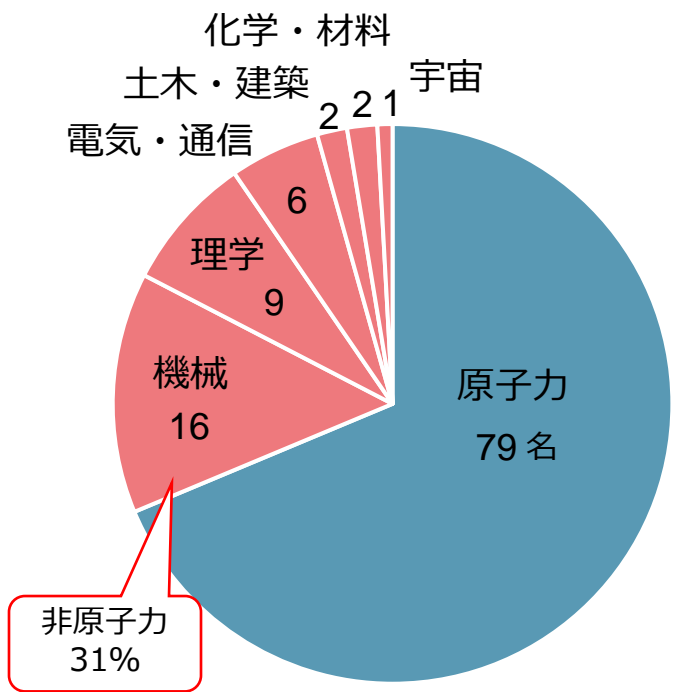
参加者の所属校

参加者数	R4年度	R5年度	R6年度	合計
予定	48名	41名	41名	140名
実績※	43名	39名	33名	115名

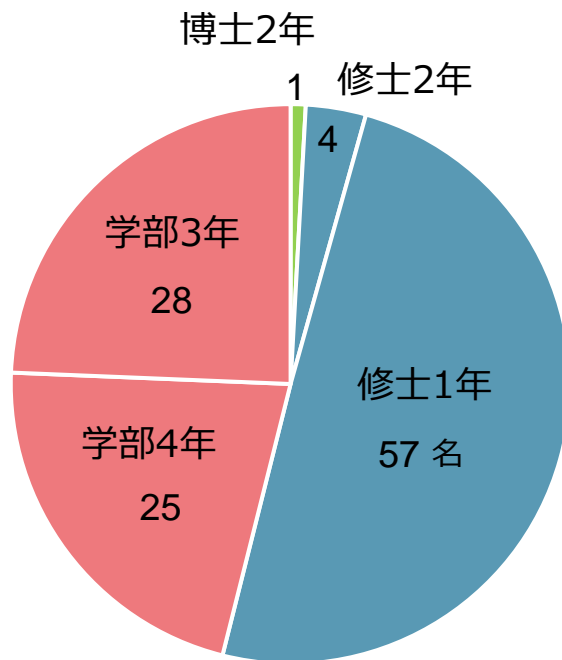
※ 直前の体調不良や台風による辞退者が発生

参考：参加者の内訳

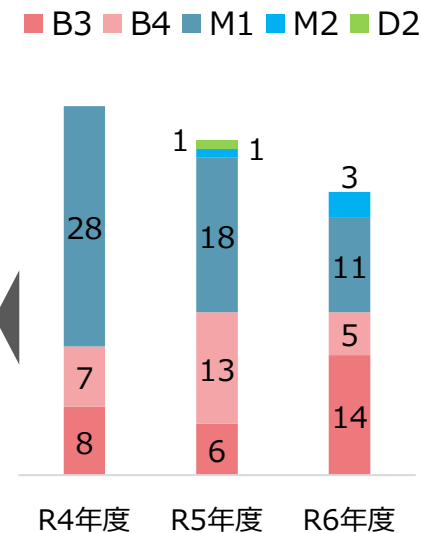
- 機械工学、理学、電気・通信など原子力専攻以外の学生は36名（31%）
- 学部3年生から博士2年生までの幅広い学年が参加
 - ➡ 学校・専攻分野・学年の枠を超えた幅広いコミュニケーションの機会を提供



専攻分野



学年



5. プラント設計・製造研修 [座学] (1/3)

- 原子力専攻外の学生も実習にスムーズに参加できるように、原子力発電の特徴やプラントの仕組みなど基礎的な内容から座学を実施
- 原子力業界で将来活躍できる場があることを示すために、三菱重工の事業ロードマップや将来や向けた革新炉や新技術開発の取組みなども紹介

加圧水型軽水炉 (PWR) の発電の仕組み

① ウランの核分裂で熱せられた高温水が蒸気発生器に流れていく
 ② 蒸気発生器では、伝熱管を介して放射性物質を含まない蒸気が作られる
 ③ 蒸気でタービンを回転させて発電する
 ④ 蒸気は冷却されて水に戻り、再び蒸気発生器に給水される

格納容器 加圧器 蒸気発生器 主蒸気(非放射性) タービン 発電機
 制御棒 燃料 原子炉 炉心容器 冷却材ポンプ 凝縮器 冷却水(再水) 循環水ポンプ

● 一次系 (放射性物質を含む)
 ● 二次系 (放射性物質を含まない)

[座学] 原子力発電の仕組み

2.1. 1次冷却系統 (RCS) 構成設備

原子炉容器：Reactor Vessel (RV)
 原子炉容器とは、核燃料、炉内構造物、1次冷却材など原子炉の主要構成を収納し、その中で核分裂のエネルギーを発生させる容器

上部ふた
 スタッドルボルト
 上部胴
 下部胴

	高さ	内径
2次系	11.5m	3.4m
3次系	12.4m	4.0m
4次系	13.0m	4.6m

[座学] PWRプラントの概要及び主要機器

三菱重工の革新炉ラインナップ

- 革新軽水炉SRZ-1200に加え、将来の社会的ニーズに応える将来炉の開発も推進中
- 2023年度に国のGX基本方針の下で進められる高速炉/高温ガス炉実証炉事業の中核企業に選定され、実証炉実現に向けた開発・設計を推進していく

革新軽水炉SRZ-1200	小型軽水炉	高温ガス炉	高速炉	マイクロ炉
<ul style="list-style-type: none"> 2030年代半ばの実用化を目標に、高い経済性に加え、革新技術を採用した世界最高水準の安全性を実現 	<ul style="list-style-type: none"> 安全系のフルパッケージ化、主機一体型炉心の採用 余裕性能も視野に開発を推進 	<ul style="list-style-type: none"> 超高温(900℃以上)の熱源利用により大量かつ安定的な水素製造を実現 鉄鋼業向けに産業界の脱炭素化に貢献 	<ul style="list-style-type: none"> 核燃料サイクルの実現により、資源の有効活用、高レベル放射性廃棄物の減容化、有害物の低減が可能 	<ul style="list-style-type: none"> 陸揚・備地・災害時用電源など多目的利用可能なポータブル原子炉 二重安全性の全固体原子炉

[座学] 原子力の将来に向けた取組み



5. プラント設計・製造研修 [実習] (2/3)

- PWRプラントの特徴的な機器である「蒸気発生器」を共通テーマに、メーカーならではの学生自らが強度計算や基本システム構成（系統、配置）検討を行う実習を実施
- グループディスカッションや成果発表を行い、設計技術者の丁寧なフィードバックによりプラント設計の難しさや楽しさを体験

[実習A] 機器設計・製造実習 (SG給水管台の設計・製造技術)

課題 2 計算条件

三菱重工

【補強が必要な面積】 $Ar = t_{r1} \times 2R_2$
 【補強が有効な範囲】 $Ae_1 = 2 \times X \times (t_2 - t_{r2})$
 $Ae_2 = 2 \times (Y - (R_2 + t_{r2})) \times (t_1 - t_{r1})$

$Ar < Ae_1 + Ae_2$ になればOK!!

Y: 補強が有効な距離 (穴の中心軸からの距離) $Y = R_2 + t_1 + t_2$
 X: 補強が有効な距離 (胴板の外表面からの距離) $X = 0.5\sqrt{(R_2 + 0.5t_2)} \times t_2$

材料	材料強度 S_m	必要板厚 t_{r1}	必要板厚 t_{r2}
炭素鋼	110 MPa	167 mm	16 mm
合金鋼	200 MPa	90 mm	9 mm
インコニル	160 MPa	113 mm	11 mm

R_1 : 胴の内半径
 R_2 : 管台(穴)の内半径
 t_{r1} : 胴の必要最小板厚
 t_{r2} : 管台の必要最小板厚
 t_1 : 胴の製品板厚
 t_2 : 管台の製品板厚
 $t_r = \frac{PR}{S_m - 0.5P}$

前提条件 (ケース②セットオン型)

三菱重工

② 鋼 管台 溶接

鋼: 円筒形状の材料を購入 (穴有り。穴内径は未加工)
 管台: 管台形状の材料を購入 (開先加工済)

合わせ精度要求
 先端部食違い: 3mm以下
 隅肉: 0~1mm
 外面食違い: 要求なし

先端部の食違い量
 外面の食違い量

外径: $\phi 5000$ mm
 板厚: 100mm
 長さ: 3000mm
 重量: 約40,000kg (約40ton)

外径 $\phi 720$ (内径 $\phi 430$)
 高さ: 850 [mm]
 重量: 約600kg

[実習B] プラントシステム設計実習 (SG補助給水システムの系統設計・配置設計)

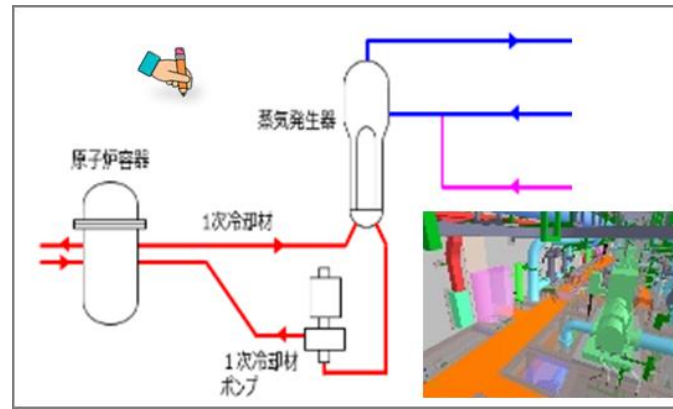
三菱重工

実習の概要
 本実習ではプラント設計プロセスの中の**システム設計 (基本設計)**を体験します

導入講座
 ・ 系統設計の考え方
 - 流体力学、圧力損失計算方法
 - ポンプ、弁の機能や構造
 ・ 配置設計の考え方

本研修で設計体験
 系統図 (2D) 3D CAD内観

演習
 B-1: ポンプ選定 } 代表的な機器であるポンプに関わる設計を実習!
 B-2: NPSH評価 }
 B-3: 系統構成検討 → 系統図を描く!
 B-4: 配置検討 → 配置立性を検討!



5. プラント設計・製造研修 [現場見学] (3/3)

- 現場見学では製作中の蒸気発生器を間近で見学など、座学・実習の理解度を更に深め、ものづくりの現場の雰囲気やスケールの大きさを体感
- 若手エンジニアとの交流会では、原子力産業界での仕事や働き方・魅力や将来性、社員の日常生活などについて、ざっくばらんな意見交換を実施



[現場見学] 格納容器内VR



[現場見学] 保全訓練設備



[現場見学] 製作中の蒸気発生器



[現場見学] 蒸気発生器モックアップ



[若手交流会] (三菱重工若手社員)



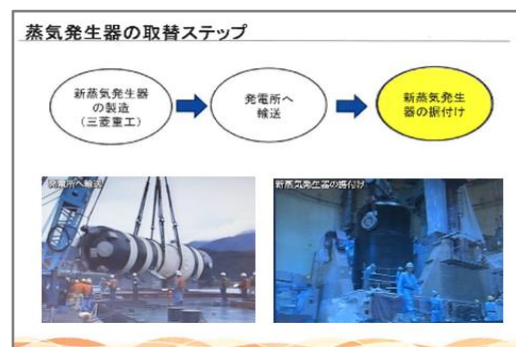
[若手交流会] (関西電力若手社員)

6. プラント運用研修

- メーカーでの設計・製造実習のあとに、実際に原子力発電プラントがどのように運用され、社会に役立てられているかを学ぶ、**電力会社視点の研修プログラム**
- 大飯発電所見学では、**新規制対応の安全対策**について電力社員が現場で詳しく解説し、**格納容器やタービン建屋内部はVR見学**を併用して現場体験
- **シミュレーター実習**では、電力社員による**運転操作デモ見学**の他、シナリオに沿って**学生自らが制御棒やトリップ操作**などを体験



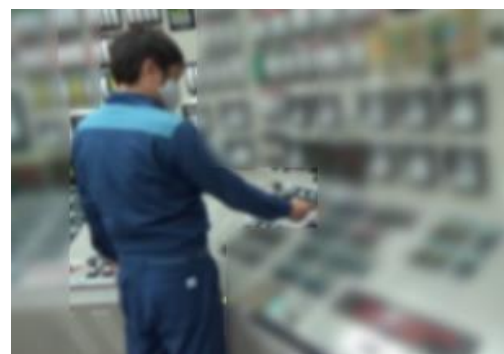
【座学】 蒸気発生器の取替



【座学】 蒸気発生器の取替



【現場見学】 大飯発電所見学



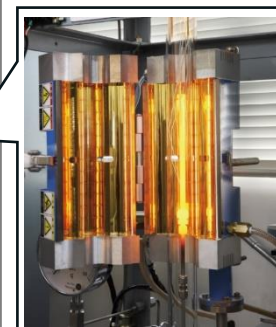
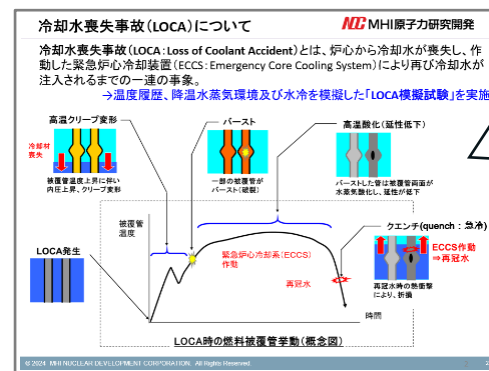
【現場実習】 シミュレータ運転操作実習

7. 燃料設計・製造研修

- 座学では、原子燃料の基礎から設計技術、ATFなどの最新技術開発動向までを幅広く紹介
- 燃料ペレット製作と被覆管のLOCA模擬試験を、動画・見学で実作業を模擬体験
- 現場見学では、国内唯一の再転換工程を含む一連のPWR燃料製造工程（三菱原子燃料）やホットラボなどの各種研究開発施設（MHI原子力研究開発）を見学
- ラボ内では、照射材を取扱うために必要となるマニピュレータの操作も実際に体験



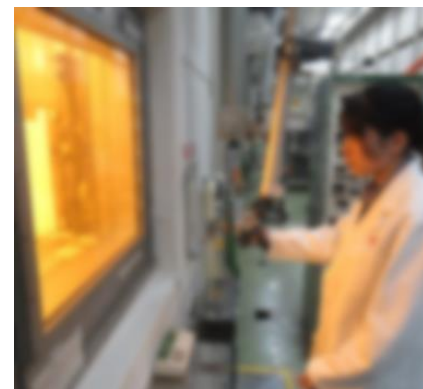
【実習】 動画教材を用いたペレット製作実習



【実習】 被覆管のLOCA模擬試験



【現場見学】 燃料製造工場見学



【実習】 マニピュレータ操作実習

8. 参加学生の声

- 参加学生ほぼ全員から非常に高い満足度評価を獲得
- 原子力専攻以外でも十分に理解でき、且つ、大学では学べないメーカーと電力会社の実務を体験できる内容が「有意義」との回答が多数
- 技術面だけでなく原子力の魅力や重要性・将来性にも触れ、原子力専攻／専攻外を問わず、原子力業界に対するポジティブな意見や感想あり

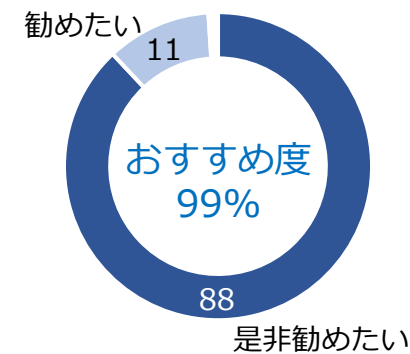
研修全般・講義内容について * 原子力専攻外の学生の声

- ✓ 専門外なので少し不安だったが、分かりやすい講義で、自分の専攻分野の知識を活かせる点も多く、原子力への興味が深まった *
- ✓ 実務体験や現場見学から大学では学べないことをたくさん学べる
- ✓ 実物を間近で見れたのは貴重な経験。理解が一気に深まった
- ✓ 他校生との交流は、良い刺激になった



意識の変化、将来への想い

- ✓ 安全最優先の取組みを知って原子力のイメージが良くなった。 *
- ✓ 若手社員と話して原子力を身近に感じた。仕事が楽しそう。
- ✓ 将来性がある魅力的。革新炉開発にも携わってみたい。
- ✓ 仕事を知って、原子力業界で働きたい気持ちが芽生えた。 *



アンケート結果

- 指導教員の多くが、メーカーと電力会社でしかできない貴重な研修であり、学生の学習意欲も向上したなど、本研修を高く評価
- 原子力分野への進学・就職等、原子力のキャリア形成にも有効であることを確認
- 人材育成研修の継続を望む声もあり

Q. 本研修は学生にとって有用でしたか？

- ✓ 実践的なことを多く学べ、メーカー／電力会社ならではの研修と大学教育は補完関係にある
- ✓ 社員の生の声を聞ける貴重な経験、他校や他分野の学生との交流は良い刺激になった
- ✓ 学生が原子力業界で働き、活躍する姿をイメージできたと思う
- ✓ 他の学生にも勧めたいので是非継続してほしい

Q. 研修後学生に変化はありましたか？ * 原子力専攻外の学生に対する声

- ✓ 研修に参加してモチベーションが更に高まった
- ✓ 研究室でのリーダーシップが増し、実験方法の改善等を積極的に提案するようになった
- ✓ 原子力やエネルギーに興味を持ち、関連する講義を積極的に聴講している *
- ✓ 他分野から原子力専攻への進学を決めた *

- 本事業では、三菱重工グループと関西電力が連携して、原子力発電の広範かつ高度な技術分野をカバーする実践的な研修プログラムを構築し、3年間で延べ115名を育成
- モノづくりやプラント運用の実務と現場を体験できるメーカー・電力会社ならではの研修は参加学生、指導教員それぞれから高い評価
- 人材の裾野拡大や原子力業界のイメージアップにも繋げるべく、幅広い専攻分野の学生に参加を募り、原子力の重要性や将来に向けた取組みなどを積極的に情報発信



当社は今後も社会のニーズや学生・教員の期待にマッチした人材育成活動を継続していく

(R7年度以降の研修プログラムを検討中)



MITSUBISHI
HEAVY INDUSTRIES