

国際原子力人材育成イニシアティブ事業成果報告書

＜課題名＞

機関横断的な人材育成事業「PWR設計技術を基盤とした原子力人材の育成」

＜実施機関＞

三菱重工業株式会社（MHI）

＜連携機関＞

- ・ニュークリア・デベロップメント株式会社（NDC）
 - ・三菱原子燃料株式会社（MNF）
 - ・MHIニュークリアシステムズ・ソリューションエンジニアリング株式会社（NSENG）*
- *（平成31年1月：「MHI NSEngineering株式会社」に社名変更）

＜実施期間・交付額＞

28年度20,700千円、29年度18,126千円、30年度16,536千円

＜当初計画＞

1. 目的・背景

本課題は、PWR燃料やPWRプラントについて実践的に学ぶとともに、PWRの安全設計技術について自ら考え理解する機会を通じて、原子力の安全を支えリーダーとなり得る若手の育成と、将来の原子力教育に向けた裾野拡大を目指すものである。

国内の原子力は、東京電力福島第一原子力発電所事故の教訓を踏まえた過酷事故への対策強化や、継続的な安全性向上の取り組みが進められている。また、日本の温暖効果ガス削減目標の達成に向けて、原子力を含めた長期的な技術革新が期待されている。原子力において安全確保は極めて重要な事項であり、安全性を確保するためには、高度な技術と高い安全意識を持った人材が必要であり、設計、運転、検査、保全といった幅広い技術分野がある。プラントメーカーにおいては、OJTを含む現場での実務を通じて若手技術者に伝承され、技術を習得していく。大学等での原子力関連教育に加えて、現場での実践的な模擬体験は、原子力の安全について自ら考えることを促し、原子力の視野を広げるものとする。

そこで、本課題においては、社有設備等を活用した講義・実習を通じて、原子力の安全について、自ら考え理解する機会を提供する。特に、実習においては、炉心設計、プラント設計、機器設計、検査、保全といった広い分野の中からの選択実習として専門性を高め、裾野拡大を図る。

2. 実施計画

技術者による座学と社有施設を用いた体験的学習等を組み合わせ、3日間程度の以下2つの研修コースを構築し試行した。これらの2コースのいずれか、また、両方の受講が可能とした。

項目1：「PWR燃料安全設計技術」研修

PWR燃料の開発や検証について学び、事故時を含めた安全を担保するための基本思想を理解する。また、PWR燃料の基礎研究や製造設備を見学する。更に、実際に劣化ウランを用いて燃料を試作する実習を行う。これらを通じて、PWR燃料およびその安全設計技術について理解を深める。

- ・実施場所：東海地区（NDCおよびMNF）
- ・研修実施期間：平成28年度、平成29年度と平成30年度に各1回
- ・対象者：大学生（3年生以上）及び大学院生

項目2：「PWRプラント安全設計技術」研修

PWRの運転制御（起動、運転、停止）について学び、PWRプラント設備の構成や役割を理解する。また、PWRプラント関連設備の製造現場を見学する。更に、興味のある分野での専門性を高めるために、コースに分かれて、炉心挙動解析、プラントシミュレータ、機

器・プラント設計、検査・保全に関する実習を行う。これらを通じて、PWRプラント及びその安全設計技術について理解を深める。

- ・実施場所：神戸地区（三菱重工）
- ・研修実施期間：平成28年度、平成29年度と平成30年度に各1回
- ・対象者：大学生（3年生以上）及び大学院生

「PWR設計技術を基盤とした原子力人材の育成」としての3年間のスケジュールは以下のとおり。

【平成28年度】

項目1：

座学、燃料ペレット製造実習、各種試験設備、製造設備の見学を含む研修を試行する。

項目2：

座学、コース別の現場実習、製造現場等の見学を含む研修を試行する。

【平成29年度及び平成30年度】

項目1：

前年度の経験を反映して研修を実施する。新たな実習や見学が可能であれば、取り入れることも検討する。

項目2：

前年度の経験を反映して研修を実施する。新たな実習や見学が可能であれば、取り入れることも検討する。

＜実施状況＞

本事業は、＜当初計画＞2. 実施計画に示す通り、研修の試行（平成28年）、経験反映を含めた研修実施（平成29年、平成30年）の段階的な推進を行っており、各段階での実施内容は以下の通りである。

	平成28年度	平成29年度	平成30年度
全体計画	・全体計画 ・募集/選定	・全体計画に関して、前年度の事後評価からの経験を反映	・全体計画に関して、前年度の事後評価からの経験を反映
項目1 「PWR燃料安全設計技術」研修	[研修準備] ・研修実施計画 ・座学/実習資料作成 [研修実施] ・座学/実習/見学 [事後評価] ・アンケート、レポート、第三者評価	・研修に関して、前年度の事後評価からの経験を反映	・研修に関して、前年度の事後評価からの経験を反映
項目2 「PWRプラント安全設計技術」研修	[研修準備] ・研修実施計画 ・座学/実習資料作成 [研修実施] ・座学/実習/見学 [事後評価] ・アンケート、レポート、第三者評価	・研修に関して、前年度の事後評価からの経験を反映	・研修に関して、前年度の事後評価からの経験を反映

実施スケジュールおよび参加人数について、表1、2に示す。

今回、研修の試行を経て、経験反映も含めた研修実施までを計画スケジュール通りに完了した。

全体計画、および、項目 1, 2 の各研修コースについて、実施状況を以下に示す。

(1) 全体計画

- ・カリキュラム、学生募集方法、研修生受け入れ等、コースデザインを詳細化し、全体計画を作成した。
- ・旅費規程、募集案内、成果の把握のための各種アンケート（学生／講師／指導教官）を作成した。

(2) 項目 1 「PWR 燃料安全設計技術」研修

(2-1) 研修準備

- ・受け入れ人数倍増（10 名→20 名）による実施に当たってのフィージビリティ、研修実施体制の詳細を詰め、実施計画書を作成した。特に燃料ペレット製作実習等については安全確保のためにリハーサルを実施し、対応策等を確認した。
- ・実習や座学の教育資料およびレポート問題を作成した。

(2-2) 研修実施

- ・放射性物質の閉じ込めについて理解させるために、一連のペレット製作実習、被覆管高温破裂試験および模擬試験体を使用した流水・機械試験の見学を行った。また、これらの実習、見学に先立ち、座学により、ペレット、被覆管および燃料集合体に関する講義を行った。
- ・放射性物質の閉じ込めに関連して、照射後試験について理解させるために燃料ホットラボ施設の見学、マニピュレータの操作体験を行った。また、照射後試験結果を紹介した。
- ・さらに、ペレット製作実習にて体験した実験規模設備と量産規模設備との関連性について理解させるために、三菱原子燃料（MNF）の実機燃料製造現場を見学した。

研修実施（実績）

①第 1 回（平成 28 年度）

- ＜研修期間＞ 平成 28 年 8 月 30 日（火）～9 月 1 日（木）
- ＜研修場所＞ NDC、MNF
- ＜人材の種別＞ 学部：3 名、修士：7 名、博士：1 名
- ＜人数＞ 11 名

②第 2 回（平成 29 年度）

- ＜研修期間＞ 平成 29 年 8 月 29 日（火）～8 月 31 日（木）
- ＜研修場所＞ NDC、MNF
- ＜人材の種別＞ 学部：5 名、修士：11 名、博士：2 名
- ＜人数＞ 18 名

③第 3 回（平成 30 年度）

- ＜研修期間＞ 平成 30 年 8 月 28 日（火）～8 月 30 日（木）
- ＜研修場所＞ NDC、MNF
- ＜人材の種別＞ 学部：5 名、修士：10 名
- ＜人数＞ 15 名

研修実施の様子を写真 1 から写真 4 に示す。



写真 1 : 「PWR 燃料安全設計技術」 研修
ペレット製作実習

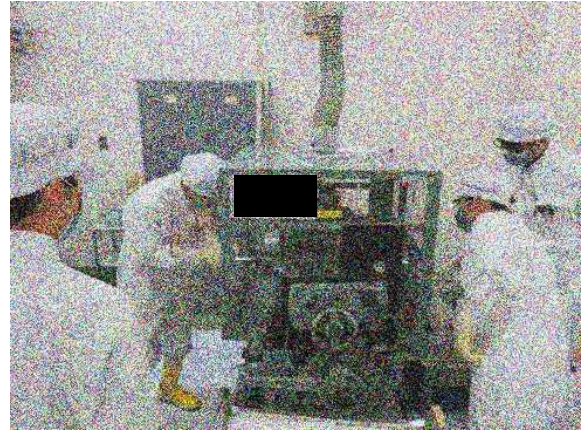


写真 2 : 「PWR 燃料安全設計技術」 研修
ペレット研削実習



写真 3 : 「PWR 燃料安全設計技術」 研修
被覆管 LOCA 模擬試験



写真 4 : 「PWR 燃料安全設計技術」 研修
被覆管金相観察

(2-3) 事後評価

- ・研修実施後に、研修生によるアンケート／レポート、講師アンケート、講師以外による第三者評価、指導教官へのアンケートに基づき、理解度のチェックや研修の改善点をまとめた。なお、レポートは添削を行い、指導教官経由にて学生へ返却した。

(3)「PWRプラント安全設計技術」研修

(3-1) 研修準備

- ・受け入れ人数を増加や複数研修コースを提供するために、研修の実施に当たってのフューチャビリティ、研修実施体制の詳細を詰め、実施計画書を作成した。
- ・実習や座学の教育資料およびレポート問題を作成した。

(3-2) 研修実施

- ・実習、見学に先立ち、座学により、安全設計、安全評価、系統設計や機器設計などについての講義を行い、原子力プラントの仕組みや特性、設計の考え方などを理解させた。
- ・また、学生の専門性を高めるために、以下のコース選択制実習を導入した。
 - コース1：炉心挙動解析シミュレーション実習では、取替炉心設計や事故時の炉心挙動について理解させるために、取替炉心解析や制御棒飛び出し事故の解析を行った。
 - コース2：プラントシミュレータ実習では、原子力の安全性を体感させるため、プラントシミュレータを用いて異常な過渡変化および事故のシミュレーション実習を行った。
 - コース3：機器・プラント配置設計実習コースでは、原子炉容器の設計及び総合配置設計について理解させるために、原子炉容器胴の板厚計算実習や配置図面作成を行った。
 - コース4：検査保全実習では、非破壊検査技術及び保全技術について理解させるために、ECT 探傷技術体験やSG モックアップ内の補修体験を実施した。
- ・さらに、原子力安全の支えとなる保全の重要性を理解させるために、原子力機器製造現場、保全訓練センターや非破壊検査施設などを見学した。

研修実施（実績）

①第1回（平成28年度）

- ＜研修期間＞ 平成28年8月24日（水）～8月26日（金）
- ＜研修場所＞ MHI（神戸造船所）
- ＜人材の種別＞ 学部：4名、修士：13名、博士：1名
- ＜人数＞ 18名

②第2回（平成29年度）

- ＜研修期間＞ 平成29年8月23日（水）～8月25日（金）
- ＜研修場所＞ MHI（神戸造船所）
- ＜人材の種別＞ 学部：6名、修士：12名、博士：2名
- ＜人数＞ 20名

研修実施の様子を写真5から写真8に示す。

③第2回（平成30年度）

- ＜研修期間＞ 平成30年8月22日（水）～8月24日（金）
- ＜研修場所＞ MHI（神戸造船所）
- ＜人材の種別＞ 学部：7名、修士：12名、博士：1名
- ＜人数＞ 20名

研修実施の様子を写真5から写真8に示す。



写真5：「PWRプラント安全設計技術」研修
炉心解析実習風景(コース1)



写真6：「PWRプラント安全設計技術」研修
シミュレータ実習風景(コース2)



写真7：「PWRプラント安全設計技術」研修
配置設計実習風景(コース3)

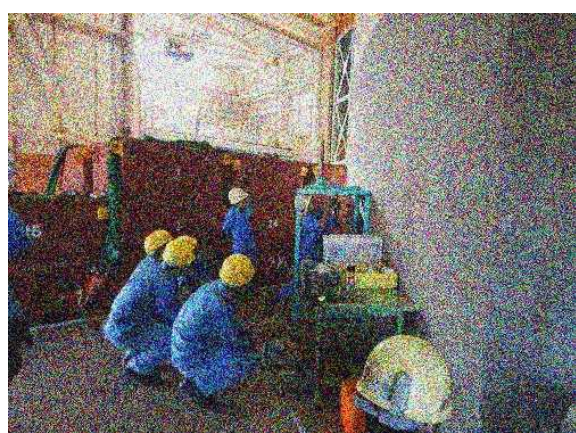


写真8：「PWRプラント安全設計技術」研修
保全技術実習風景(コース4)

(3-3) 事後評価

- ・研修実施後に、研修生によるアンケート／レポート、講師アンケート、講師以外による第三者評価、指導教官へのアンケートに基づき、理解度のチェックや研修の改善点をまとめた。なお、レポートは添削を行い、指導教官経由にて学生へ返却した。

表 1. 育成対象および人数（結果）

実施項目	実施プログラム	育成対象者	育成人数		
			28年度※2	29年度	30年度
項目1 「PWR燃料安全設計技術」研修	・座学 ・実習 ・見学	大学生（3年生以上） 及び大学院生	11※3名	18※3名	15※3名
項目2 「PWRプラント安全設計技術」研修	・座学 ・実習 ・見学	大学生（3年生以上） 及び大学院生	18※3名	20名	20名
参加人数（実績※1）			29名	38名	35名
（参考指標）			714	477	472
交付額/参加人数			千円/人	千円/人	千円/人

※1 本事業では両研修コースへの参加を基本としたが、1コースのみ参加した学生が若干名含まれるため、延べ数とした。

※2 学生要望を踏まえ、初年度の研修実施時期を8月として計画し実施したが、事業交付決定が6月中旬となり研修実施までに募集期間を十分確保できなかったことから育成人数が当初計画を下回った。

※3 研修直前に辞退の申出あり（大学の集中講義、国際会議の発表が入った等の理由）

表 2. 実施スケジュール（結果）

項目	28年度 （四半期毎）				29年度 （四半期毎）				30年度 （四半期毎）			
全体計画		↔			↔				↔			
項目1：「PWR燃料安全設計技術」研修		↔ 研修準備			↔ 研修準備				↔ 研修準備			
		■	↔ 事後評価		■	↔ 事後評価			■	↔ 事後評価		
項目2：「PWRプラント安全設計技術」研修		↔ 研修準備			↔ 研修準備				↔ 研修準備			
		■	↔ 事後評価		■	↔ 事後評価			■	↔ 事後評価		

＜成果と評価＞

本事業は、平成25年度～平成27年度に実施した「軽水炉プラント安全確保の体験的研修」からの発展的な継続としてPWRプラントおよび燃料について実践的に学び、実習を通じて自ら考え理解する機会を提供することにより、原子炉の安全を支えるリーダーの育成、原子力の裾野拡大を目指すことを目的とし、項目1、2の研修コースを計画通り実施した。以下に詳細を示す。

(1) 実践的な研修プログラムの構築

- ・ 学生受け入れ人数の倍増、学生の専門性を高めるためのコース選択制を導入した当社及び当社グループ会社の大型社有施設を活用した実践的なプログラムを構築した。
- ・ 「PWR燃料安全設計技術」研修では、平成25年度～平成27年度に実施した「軽水炉プラント安全確保の体験的研修」から育成人数を倍増したため、燃料ペレット製作等の実習を2班に分け行う計画とした。当研修プログラムは初めての試みであったため、リハーサルを実施し、実習内容、作業手順等、2班に分かれた場合の対応を事前に確認した。これにより、実施機関/連携機関において、現場研修を安全に実施する基盤を構築した。
- ・ メーカーならではの社有施設を活用した実践的な模擬体験実習の充実化を図ったが、本実習を体験した学生からは、「教科書では分からない実物の大きさや安全対策を確認できた」、「各設備の設計哲学や安全に関する考え方を知ることができて非常に有意義であった」といった声が寄せられており、構築した研修プログラムが有用であったと判断できる。
- ・ 座学においては、PWRとBWRのプラント構成や発電システムの相違についても説明し、幅広い知識の提供に努めた。
- ・ 研修の事後評価結果から、平成29年度以降の研修では学生の理解度に合わせたプログラムの見直し（例：コース3 機器・プラント配置設計実習コース等）や原子炉格納容器内のVR体験などを試行し、学生の要望に沿った実習型のプログラム改善を図った。
- ・ 専門性を高めるために「PWRプラント安全設計技術」研修についてコース選択制を導入したが、各4コースとも応募の段階で希望に偏りがなく、学生ニーズに合った幅広い研修（コース設定）を提供した。
- ・ 参加学生全ての指導教官からのアンケート結果より「本研修は学生にとって有用であった」との回答が得られた。
- ・ 新たに構築したプログラム（学生の専門性を高めるためのコース選択制の導入、大型社有施設を活用した実践的なプログラム等）が有用であったと判断している。
- ・ なお、学生からは「原子力分野に進むことに不安なため将来性を知りたい」、「グループワークがあると頭の中が整理でき理解が深めやすい」、「最前線の技術や研究について知りたい」とのニーズが寄せられた。これらニーズは今後のプログラムでの課題と認識している。

(2) 原子力人材の育成

- ・ 学生要望を踏まえ、初年度の研修時期を8月として計画し研修を実施したが、事業交付決定が6月中旬となり研修実施までに募集期間を十分確保できなかったことから育成人数が当初計画を下回った。次年度以降は4月初旬に事業交付決定したため、募集期間を十分確保でき、加えて、募集の継続的な多角化により概ね計画通りの人材（人数）を育成できた。平成29年度からは原子力の安全を支えるリーダーとなり得る人材を育成するとの目的に照らして研修への参加意欲が高く、PWR設計技術を俯瞰的に習得させるため基本的に両コースを学べる学生を選抜し、参加大学は偏りが無いよう考慮した。
- ・ 進路の回答があった参加学生のうち、約8割が原子力分野への就職・進学を決めており、原子力を支えるリーダーとして活躍することが期待される。
- ・ 募集の多角化を図ることで原子力以外の分野を専攻する学生を含め、日本全国の幅広い累計17校（平成28年から平成30年の累計）もの大学から応募が得られ、原子力以外の分野の学生は約20名を育成した。女性については毎年1名以上参加させ、3カ年で合計6名育成した。
- ・ 原子力分野以外の指導教官からは、「原子力専攻の大学院進学モデルケースとなっている」、「原子力業界の情報を与える大変良い機会である」との意見を得た。
- ・ 原子力の裾野拡大を目指すとした本プログラムは有効であったと判断している。

(3) 原子力全体の教育力の向上

- ・ ある程度プログラムが固まった講義や実習は順次、若手技術者を中心に担当させることにより、本研修を通して企業側の若手社員による説明力や指導力の向上も図った。これにより原子力全体の教育能力が向上した。
- ・ 学生と若手技術者との交流会を開催し、若手社員から仕事に就く意義やどのように業務に就いているかなどを紹介した。学生の原子力分野で働くことのイメージを深められ、原子力業界で

働くことのインセンティブに繋がっていることを学生アンケート結果から確認した。

- ・若手社員にとっては学生から刺激を受け、次年度プログラムを積極的に改善するといった研修のモチベーション向上に繋がっており、産学の原子力人材育成の観点で大きな効果を上げた判断している。

＜今後の事業計画・展開＞

今回の研修を通じて学生からは「原子力分野に進むことに不安なため将来性を知りたい」、「グループワークがあると頭の中が整理でき理解が深めやすい」、「最前線の技術や研究について知りたい」とのニーズが寄せられている。今後の原子力人材の確保、育成には原子力分野の将来性を示すことは非常に重要であり、また、教育定着のためには座学と言った一方向の教育ではなく、グループワークのような対話型の実習が有効であると考えられることから、これらのニーズを取り込んだ研修の高度化（将来に向けた取り組み（技術開発等）に関する講義、グループディスカッションの導入、先端技術の講義ツールとしての導入等）を図りたいと考える。

また、更なる原子力の裾野拡大として、研修対象に高専生を含める等の検討を考えたい。

＜整備した設備・機器＞

「添付資料」に示す「PWR設計技術を基盤とした原子力人材の育成」テキスト一式を整備した。

＜その他特記すべき事項＞

原子力人材育成ネットワークのうち、高等教育分科会において平成28年度～平成30年度の実施内容及び成果を報告している。

＜参考資料＞

（１）添付資料

「PWR設計技術を基盤とした原子力人材の育成」テキスト（非公開のため、個別テキストのリストのみ）

（２）事業成果の公開事例、関連する文献）

なし

評価項目に係る事項について

①課題の達成度（採択時の審査評価委員会所見への対応を含む。）	① 実践的な研修プログラムの構築 ・以下の要素を含んだ実践的なプログラムを構築（P 8（1）） ➢ 学生受け入れ人数の倍増（10名→20名） ➢ 学生の専門性を高めるためのコース選択制導入 ➢ 大型社有施設の活用 更に、2班に分かれた場合の研修プログラムを確立し、今後複数班にて実習を行う際の見通しを得た。（P 8（1）） ・構築した研修プログラムの継続的な改善（P 8（1）） ➢ 研修の事後評価結果より、学生の理解度に合わせた講義及び実習内容の見直し ➢ PWR原子炉格納容器内のVR体験の追加 ② 原子力人材の育成（裾野拡大） ・募集の多角化、効果的な募集方法の検討による人材育成（P 8（2）） ➢ 新規大学9校を含め、日本全国の幅広い累計17校の大学から応募あり、概ね計画通りの人材（人数）を育成 ➢ 約20名の非原子力分野の学生を育成 ➢ 女性は毎年1名以上参加、3力年で計6名を育成 ③ 採択時の所見の対応 ・所見①：軽水炉全体の中でのPWRの位置づけを紹介する等幅広い知識の提供に努めること - 対応①：PWRとBWRのプラント構成や発電システムの相違について説明し、幅広い知識の提供に努めた（P 8（1）） ・所見②：大学側との意見交換に努めること - 対応②：毎年指導教官アンケートを実施し、要望、コメントを踏まえ次年度プログラムの設計を行った（P 8（1））
②特記すべき成果	・非原子力分野の学科から原子力専攻の大学院進学モデルケースとなっていることを確認（P 8（2）） ・研修後も多くの学生が原子力の研究や勉強に積極的に取り組んでいることを把握 ・非常に有意義であり本事業を継続してほしいとの指導教官要望あり（P 8（2）） ・学生に講義に関連するレポートを課し、添削することで研修内容の定着を図った（P 6（3-3）） ・本研修を通して企業側の若手社員の説明力や指導力の向上を図った。これにより原子力全体の教育能力が向上した。（P 8（3））
③事業の継続状況・定着状況	・『PWR燃料安全設計技術研修』、『PWRプラント安全設計技術研修』とも発展的な形で継続することとし、令和元年～令和3年の国際原子力人材育成イニシアティブ事業として採択され、事業の継続を図っている。 ・大学から講師派遣を依頼される講義において、本事業で作成したテキストを有効活用している。
④成果の公開・共有の状況	・今後、本事業で得られた成果は以下にて報告予定である。 ➢ 原子力人材育成ネットワーク ➢ 日本原子力学会（口頭発表）
⑤参加した学生数、原子力関係機関への就職状況、公的資格取得者数	・進路の回答があった約8割の学生が原子力関係に進学・就職を決めていることを確認している。（P 8（2））