

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「軽水炉プラント安全確保の体験的研修」

〈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）
- ・MHI原子力エンジニアリング株式会社（MNEC）*
- ・原子力サービスエンジニアリング株式会社（NUSEC）

*（平成27年7月：合併により「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」に社名変更）

〈実施期間・交付額〉

25年度9,125千円、26年度17,881千円、27年度16,722千円（予算）

〈当初計画〉

1. 目的・背景

「閉じ込め」を達成する『多重バリア』と、燃料被覆管破損、一次系バウンダリ損傷、メルトダウン、格納容器バウンダリ損傷のような閉じ込め構造の破たんに至ることを防止する仕組み、及び、破たんした場合の影響を緩和する仕組みと関係付けながら、『深層防護』の思想について学ぶとともに、それらに関する実習を通じて、実践的な理解を与える。これらにより、原子力を支えるリーダーとなり得る若手人材を育成する。

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、1週間程度の以下2つの研修コースを構築し試行する。これらの2コースのいずれか、また、両方の受講が可能なコース設計とする。

項目1：多重バリアの体験的研修

燃料ペレット製造、燃料被覆管健全性、照射試験片の役割等の学習を通じ、事故時を含めて放射性物質の「閉じ込め」をどう確保しているかを実践的に理解する。実習では、劣化ウランを用いたペレット試作などを行う。

- ・実施場所：NDC
- ・研修実施期間：平成26年度と平成27年度に各1回
- ・対象者：主に大学院生（原子力・放射線分野）

項目2：深層防護の体験的研修

原子力プラントの制御や安全設備によって深層防護が成立することを運転制御、安全保護系の働き等と共に実践的に理解する。実習では、プラントシミュレータ及びシミュレーションコードを用いてその働きを体感する。また、実プラントを模擬した保全訓練設備、検査システムを見学する。

- ・実施場所：MHI
- ・研修実施期間：平成26年度と平成27年度に各1回
- ・対象者：主に大学院生（原子力・放射線分野）

「軽水炉プラント安全確保の体験的研修」としての3年間のスケジュールは以下のとおり。

【平成25年度】 事前検討／準備

（1）多重バリアの体験的研修、（2）深層防護の体験的研修

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、リハール等も通じて、実施に当たったのフィージビリティ、研修実施体制の詳細を詰める。

【平成26年度】 研修の試行

(1) 多重バリアの体験的研修、

東海地区にて、座学、各種試験設備、製造設備の見学を含む研修を試行する。この段階で、ペレット製造実習が可能であれば、研修に取り入れる。

(2) 深層防護の体験的研修

神戸地区を中心に、座学、シミュレータ設備等での体験学習を含む研修を試行する。

【平成27年度】 経験反映を含めた研修実施

(1) 『多重バリアの体験的研修』

東海地区にて、前年度の経験を反映して研修を実施する。この段階からペレット製造実習を取り入れることも検討する。

(2) 『深層防護の体験的研修』

神戸地区を中心に、前年度の経験を反映して研修を実施する。

＜実施状況＞

本事業は、＜当初計画＞2. 実施計画に示す通り、事前検討／準備（平成25年度）、研修の試行（平成26年）、経験反映を含めた研修実施（平成27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25年度	平成26年度	平成27年度
全体計画	<ul style="list-style-type: none"> ・カリキュラム、募集/受け入れ等のフィージビリティ検討 ・全体計画（案） 	<ul style="list-style-type: none"> ・全体計画 ・募集/選定 	<ul style="list-style-type: none"> ・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 多重バリアの体験的研修	[研修準備] <ul style="list-style-type: none"> ・研修実施計画（案） ・座学/実習準備 ・ペレット製造実習のFS（実習リハーサル） 	[研修準備] <ul style="list-style-type: none"> ・研修実施計画 ・座学/実習資料作成 [研修実施] <ul style="list-style-type: none"> ・座学/実習/見学 [事後評価] <ul style="list-style-type: none"> ・アンケート、レポート、第三者評価 	<ul style="list-style-type: none"> ・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 深層防護の体験的研修	[研修準備] <ul style="list-style-type: none"> ・研修実施計画（案） ・座学/実習準備 	[研修準備] <ul style="list-style-type: none"> ・研修実施計画 ・座学/実習資料作成 ・実習リハーサル [研修実施] <ul style="list-style-type: none"> ・座学/実習/見学 [事後評価] <ul style="list-style-type: none"> ・アンケート、レポート、第三者評価 	<ul style="list-style-type: none"> ・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、新たに人材育成研修プログラムを構築し、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『多重バリアの体験的研修』

(2-1) 研修準備

- ・リハーサル等により、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。
- ・実習や座学の教育資料およびレポート問題を作成した。
- ・ペレット製造実習、事故時健全性確認試験設備の見学のリハーサルを実施し、研修生向けに実施可能であることを確認し、研修プログラムに組み込むこととした。

(2-2) 研修実施

- ・放射性物質の閉じ込めをどのように確保しているかを理解させるために、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26年度）

- ＜研修期間＞ 平成26年8月25日（月）～8月29日（金）
- ＜研修場所＞ NDC
- ＜人材の種別＞ 大学院生11名
- ＜人数＞ 11名

②第2回（平成27年度）

- ＜研修期間＞ 平成27年8月31日（月）～9月4日（金）
- ＜研修場所＞ NDC
- ＜人材の種別＞ 大学院生6名、大学生2名
- ＜人数＞ 8名

研修実施の様子を写真1から写真4に示す。

(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。



写真1：多重バリアの体験的研修
講義の様子



写真2：多重バリアの体験的研修
ペレット製作実習の様子

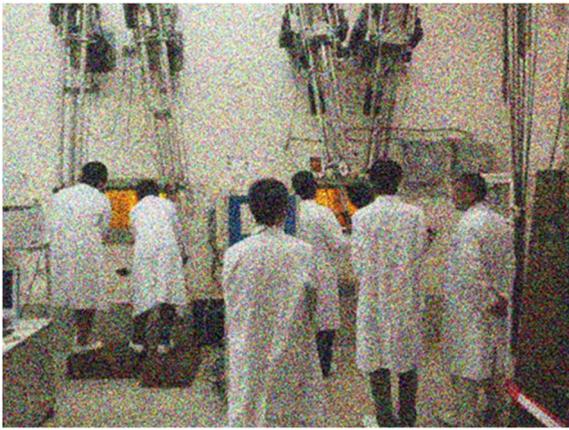


写真3：多重バリアの体験的研修
マニピュレータ操作体験の様子

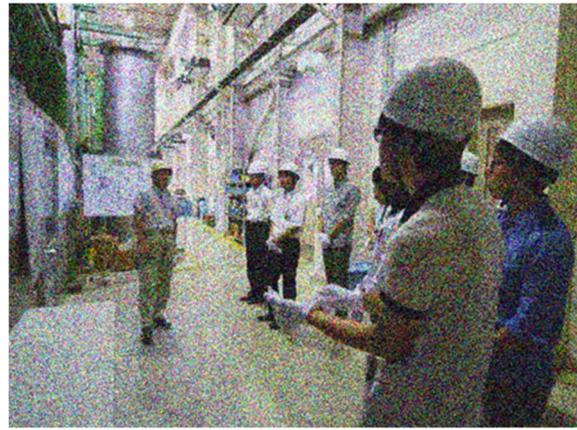


写真4：多重バリアの体験的研修
模擬試験体を使用した流水・機械試験の様子

(3) 項目2『深層防護の体験的研修』

(3-1) 研修準備

- ・リハーサル等により、実施に当たってのフェージビリティ、研修実施体制の詳細を詰め、実施計画書を作成した。
- ・実習や座学の教育資料およびレポート問題を作成した。
- ・プラントシミュレータおよびシミュレーションコードを用いた炉心関連の実習については、リハーサルを通して、実施内容や実施手順などを確認した。

(3-2) 研修実施

- ・深層防護を体感させるため、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。また、シミュレーションコードを用いた炉心関連の実習では、取替炉心解析や制御棒飛び出し事故の解析を行った。
- ・さらに、深層防護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。
- ・これらの実習、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。

研修実施（実績）

①第1回（平成26年度）

- ＜研修期間＞ 平成26年9月8日（月）～9月12日（金）
- ＜研修場所＞ MHI（神戸造船所）
- ＜人材の種別＞ 大学院生10名 大学生2名
- ＜人数＞ 12名

①第2回（平成27年度）

- ＜研修期間＞ 平成27年9月14日（月）～9月18日（金）
- ＜研修場所＞ MHI（神戸造船所）
- ＜人材の種別＞ 大学院生5名 大学生6名
- ＜人数＞ 11名

研修実施の様子を写真5から写真8に示す。

(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。



写真5：深層防護の体験的研修
講義の様子



写真6：深層防護の体験的研修
に用いたプラントミュレータ

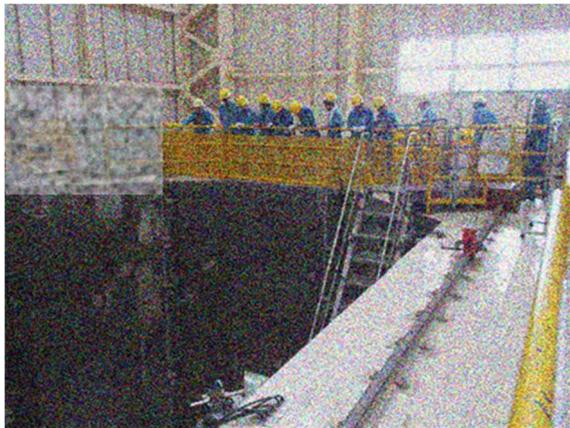


写真7：深層防護の体験的研修
保全訓練センター見学の様子



写真8：深層防護の体験的研修
修了式の様子

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		
			25年度	26年度	27年度
項目1 多重バリアの体験的研修	・座学 ・実習 ・見学	（主に放射線・原子力を学んでいる）学部生 （4年生以上） 大学院生	- （研修準備のみ）	11名	8名
項目2 深層防護の体験的研修	・座学 ・実習 ・見学	（主に放射線・原子力を学んでいる）学部生 （4年生以上） 大学院生	- （研修準備のみ）	12名	11名
		参加人数（実績※）	0名	23名	19名
		（参考指標） 交付額/参加人数	- 千円/人	777 千円/人	880 千円/人

※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含まれるため、延べ数とした。

表 2. 実施スケジュール（結果）

項目	25年度 (四半期毎)				26年度 (四半期毎)				27年度 (四半期毎)			
全体計画				←→					←→			
項目 1 : 『多重バ リアの体験的研 修』				←→ 研修準備		□			←→ 研修準備		□	
							←→ 事後評価				←→ 事後評価	
項目 2 : 『深層防 護の体験的研修』				←→ 研修準備		□			←→ 研修準備		□	
							←→ 事後評価				←→ 事後評価	

＜成果と評価＞

本事業は、新たに人材育成研修プログラムを構築し、研修の試行を経て、経験反映も含めた研修実施までを行うものであったが、計画通り項目 1, 2 の研修コースを実施することができた。

実施機関側の視点からの成果と、研修生/指導教官の視点からの成果について、評価結果は以下に示す通りであり、目標を達成できたと考える。

(1) 実施機関の視点からの成果（項目 1 『多重バリアの体験的研修』）

(1-1) 具体的成果

- ・ 2年間の育成計画（20名）に対し19名を受け入れ、ほぼ計画どおりの人数を育成することができた。なお、育成人数は施設規模の制限より10名/回としていたが、平成26年度は応募人数が多かったため計画より多い11名を受け入れた。また、受け入れ人数に応じて実施機関が考慮すべきポイントを把握することができた。
- ・ ペレット製作実習、被覆管高温破裂試験および流水・機械試験の見学を行うことで、放射性物質の閉じ込めをどのように確保しているかを実践的に理解させることができた。また、MNFの見学も取り入れることで、実験規模設備から量産規模設備の見学をさせ、両者の関連性についても理解を深めることができた。
- ・ 放射線、原子力を学んでいる学生を育成対象者としたため、当初、放射線従事者指定を受けている前提で計画を行っていたが、実際には指定を受けていない学生が半数程度いた。そのため、計画外ではあったが、放射線従事者指定を受けていない学生にも研修を受講させることとし、法令で定められた教育訓練を研修プログラムとは別に提供した。これより、学生向けに放射線従事者教育を実施するメニューを構築することができた。
- ・ 学生を対象とした原子力燃料教育研修の実績を積むことができた。特に、実習についてはリハーサルを実施したことによって、内容、作業手順や安全対策などを事前に改善することができ、燃料を取り扱ったことがない学生に対しても安全に実習を行うことができた。これより、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することができた。

(1-2) 成果の把握の方法

- ・ 研修生アンケート
- ・ 研修生レポート
- ・ 講師アンケート

- ・第三者評価
- ・指導教官へのアンケート

(1-3) 今後期待される成果

- ・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することができたことから、今後の継続においては、受け入れ人数の拡大やプログラム再編などによる改善を図りたい。

(2) 実施機関の視点からの成果（項目2『深層防護の体験的研修』）

(2-1) 具体的成果

- ・2年間の育成計画人数20名に対し23名を受け入れ、計画を上回る人数を育成することができた。また、受け入れ人数に応じて実施機関が考慮すべきポイントを把握することができた。
- ・平成27年度研修では平成26年度の事後評価を反映し、実践的な実習の理解を深めるために新規プログラムの追加（系統設計、設備設計）や、個々の座学／実習／見学の連携を図れるようプログラムを改善した。
- ・社有施設を活用し、プラントシミュレータ、シミュレーションコードを用いた炉心関連の実習を行った。また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も見学した。これらの実習や見学を通して、放射性物質の閉じ込めをどのように確保しているかを実践的に理解させることができた。また、現場で実物に触れる機会が人材育成において有効であることが研究生／指導教官からのアンケートにより明らかとなった。
- ・学生を対象とした原子力プラント教育研修を提供できることが確認できた。特に、実習については、リハーサル実施したことによって、実習内容、作業手順等を事前に改善することができた。これより、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することができた。

(2-2) 成果の把握の方法

- ・研修生アンケート
- ・研修生レポート
- ・講師アンケート
- ・第三者評価
- ・指導教官へのアンケート

(2-3) 今後期待される成果

- ・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することができたことから、今後の継続においては、受け入れ人数の拡大やプログラム再編などによる改善を図りたい。例えば、実習や見学では実物大の機器や装置を見たり装置を動かしたりすることができ、研修生の関心が高かったことから、研修生にとって魅力ある現場実習プログラムを複数提供することが考えられる。

(3) 研修生/指導教官の視点からの成果（アンケート結果に基づく目的達成に係る評価）

目的達成に係る評価として、1. 目的・背景のうち、「原子力安全を支えるリーダーとなり得る若手人材の育成」、「深層防護に関する実践的な理解」について、アンケート結果をもとに考察した。

(3-1) 「原子力を支える若手人材の育成」の観点

研修を実施した平成26年度および平成27年度について、研修実施後に行った指導教官へのアンケート結果より、研修生の進路希望について整理した。

項目1、2の研修コースに対する募集は、主に、原子力関連の研究を行っている学生を対象としていることもあり、約7割と多く研修生が原子力関連への進路を希望していることが分かった。また、その内訳においては、研修の実施者（メーカ）に偏ることなく、多方面への希望が示された。なお、研修生の中には、原子力以外の研究を行っている学生も含まれて

おり、非原子力関連への進路希望も選択肢として含まれていた。

さらに、指導教官からの自由記述においては、研修生が原子力に関する研究の取り組む様子がより積極的に変化した、といった声も寄せられ、研修への参加が研修生に影響を与えていることが分かった。

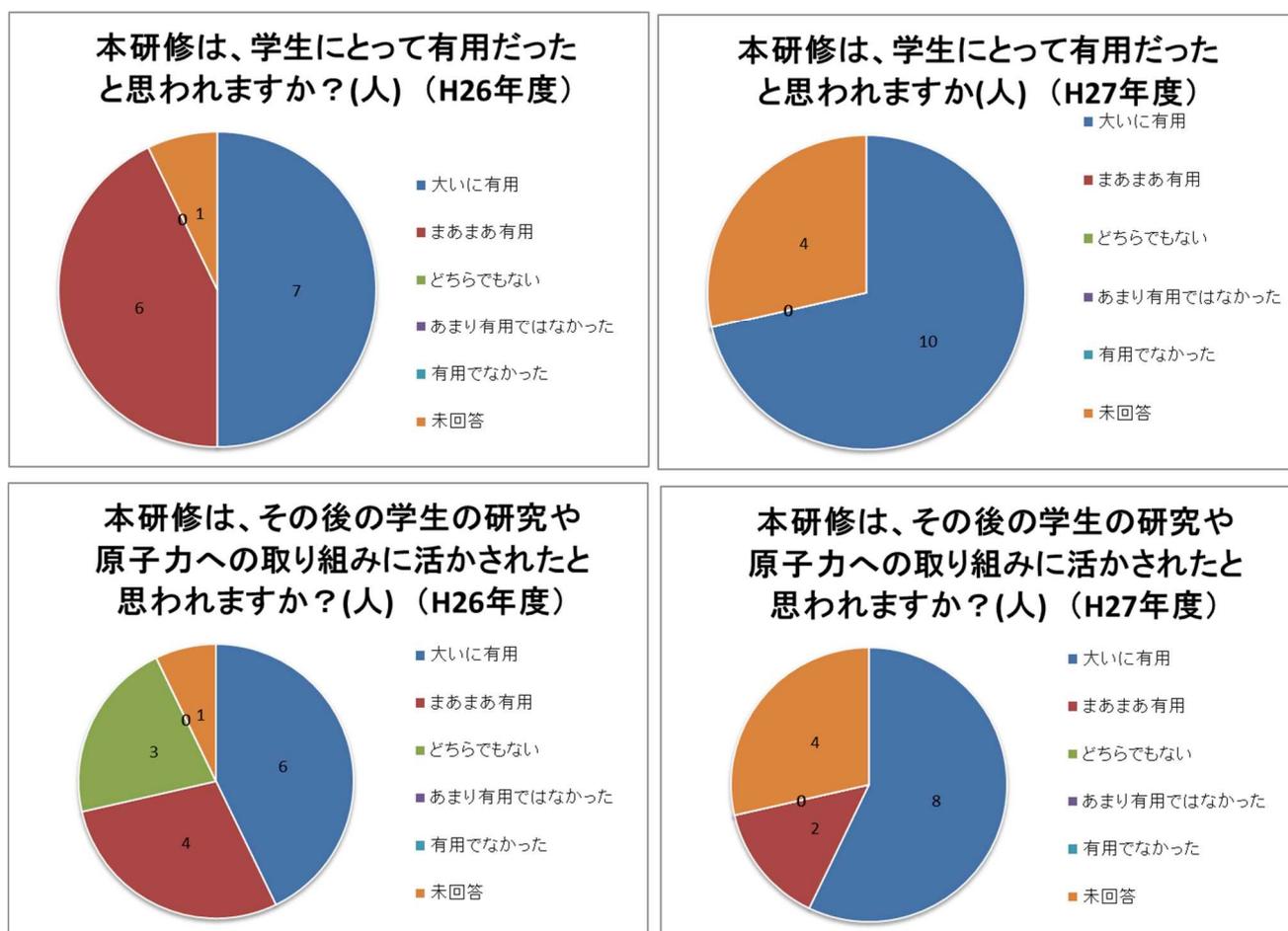
これより、「将来、原子力安全を支えるリーダーとなり得る若手人材の育成」について、十分に寄与することができたと考える。

(3-2)「深層防護に関する実践的な理解」の観点

研修生の指導教官から見た理解度に関する情報として、平成26年度および平成27年度について、研修実施後に行った指導教官へのアンケートの中から、有効性を問う設問について以下に示す。

平成26年度は、未回答分を除いて全員が“本研修を大いに/まあまあ有用”と回答し、またその多くが“学生の研究や取り組みに活かされた”と回答。平成27年度は、未回答分を除いて全員が“本研修を大いに有用”と回答し、またその全員が“学生の研究や取り組みに活かされた”と回答。

これらの結果を踏まえ、指導教官の視点から、研修内容が学生に有効なものであったことがわかる。



参考ではあるが、研修生（本人）による理解度に関連する情報として、平成27年度の研修生アンケートの中から、研修生の期待に応える内容であったかを問う設問について以下に示す。

ほぼ全員が“後輩に勧めたい”と回答しており、研修生の期待にマッチした内容であった

ことがわかる。

また、研修生による自由記述からのフィードバックを以下に例示する。現場での実践的な模擬体験などを通じて、理解を深める、あるいは印象に残る経験となった、といった声が寄せられている。

- ・プラントシミュレータ実習や関連施設見学により、原子炉に関する理解が深まった。事故が起こっても制御できるよう工夫されていることを知り、原子炉の将来性を感じることができた。
- ・東海での研修では普段扱うことが難しいウラン燃料をこの手で扱い、大学での燃料研究について実践的な理解が深まった。今後、原子力の研究を实のあるものとしていきたいと強く感じた。
- ・原子力を仕事にすることに本気で考えるようになった。その結果、研修後の今でも継続して原子力について勉強を続けている。
- ・自分の研究がPWRに基づいた研究であるので参加したが、実際の機器がどのようになっているのかを知り、原子力の興味についてかなり変化した。多くのことを下の世代に対して残そうとしていることが分かった。この業界に対して、私達の下世代、学生はそれに対してよく考え、学び、応えていく必要があると感じた。
- ・国内のほとんどの原子力発電所が停止している中、原子力を継続していく意思と責任感を目の当たりにした。原子力が国内エネルギーの一躍を担っていけるのではないかと感じた。
- ・プラントシミュレータを用いて事故を模擬し、どうやって対処していくのかを体験できたことが最も印象に残った。

これより、「深層防護に関する実践的な理解」について、十分に寄与することができたと考える。

〈今後の事業計画・展開〉

(1) 実施結果から見出された課題

- ・指導教官および研修生から得られた事後評価から、本研修は、原子力人材育成に一定の効果が得られることが分かった。今後も発展的な形で、同様の取り組みを継続していくことが望ましい。
- ・なお、原子力発電プラントの設計・建設・運転・保守・廃止措置には、原子力固有の技術はもちろんのこと、電気・機械・化学などの幅広い知識や能力が求められるため、原子力を支える人材を考えるうえでは、その裾野を広げることが重要である。そのためには、原子力への興味や知識につながる機会をより多くの学生にもたせることが望ましい。この観点からは、研修生の受け入れ人数の増加、あるいは、研修実施回数の増加が考えられる。

(2) 今後の展開

上記の課題を踏まえて、今後の研修の計画／実施にあたっては、研修生や指導教官からのフィードバックを活かして、ニーズを考慮した内容に適宜反映する必要がある。また、将来の原子力教育に向けた裾野拡大のため、受け入れ人数の増加等を考慮する必要がある。

〈整備した設備・機器〉

なし

〈その他特記すべき事項〉

・放射線、原子力を学んでいる学生を育成対象者としたため、当初、放射線従事者指定を受けている前提で計画を行っていたが、実際には指定を受けていない学生が半数程度いた。そのため、放射線従事者指定を受けていない学生にも研修を受講させることとし、計画外ではあったが、法令で定められた教育訓練を研修プログラムとは別に提供した。また、健康診断についても事前に受診させた。なお、これらにかかる費用は平成26年度研修では持ち出しとしたが、本教育は研修にかかる必要な経費のため、平成27年度研修では事業費に含めた。ただし、真

に必要な計上となるよう精査した。

<参考資料>

(1) 添付資料

「軽水炉プラント安全確保の体験的研修」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

1) 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。）	<p>①育成人数について</p> <ul style="list-style-type: none"> ・『多重バリアの体験的研修』、『深層防護の体験的研修』とも、育成計画人数は、ほぼ計画どおりの人数を育成することができた（P 6（1-1）、P 7（2-1））。 <p>②放射線従事者教育メニューの構築</p> <ul style="list-style-type: none"> ・放射線従事者指定を受けていない学生にも研修を受講させることとし、法令で定められた教育訓練を研修プログラムとは別に提供した。これより、学生向けに放射線従事者教育を実施するメニューを構築することができた（P 6（1-1））。 <p>③原子力教育研修の実施基盤構築</p> <ul style="list-style-type: none"> ・学生を対象とした原子力教育研修の実績を積むことができた。特に、実習についてはリハーサルを実施したことによって、内容、作業手順や安全対策などを事前に改善することができ、学生に対しても安全に実習を行うことができた。これより、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することができた（P 6（1-1）、P 7（2-1））。 <p>④人材育成資源（技術者、原子力施設）の有効活用について</p> <ul style="list-style-type: none"> ・三菱重工グループの経験豊富な多くの技術者と原子力施設を有効に活用により、「多重バリア」や「深層防護」について、2つの人材育成研修プログラムを構築し、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（P 3～5）。 <p>⑤効果的な研修とするための大学との調整</p> <ul style="list-style-type: none"> ・研修生の指導教官へアンケートを実施し、大学からの要望やコメントを確認しながら、次年度のプログラムの設計を行った（P 7（2）（2-1））。 <p>⑥効果的な経費節減</p> <ul style="list-style-type: none"> ・研修に関わる雑役務費については、真に必要な人員数を配置することにより、過度な経費とならないよう努めた。ただし、放射線従事者指定に係る教育訓練については、当初計画時点では含まれていなかったが、必要な研修経費として最小限計上した（P 9）。
②特記すべき成果	<ul style="list-style-type: none"> ・アンケート結果より、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が分かった（P 7、P 9）。また、指導教官からは、本研究が非常に有意義であり事業を継続してほしいとの多くの要望があった。
③事業の継続状況・定着状況	<ul style="list-style-type: none"> ・『多重バリアの体験的研修』、『深層防護の体験的研修』とも発展的な形で継続することとし、H 2 8 年～H 3 0 年の原子力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た。
④成果の公開・共有の状況	<ul style="list-style-type: none"> ・今後、原子力人材育成ネットワークにて報告する予定である。
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	<ul style="list-style-type: none"> ・研修後、年度末に実施した指導教官へのアンケート結果より、約7割の学生が原子力関係機関に就職を希望していることが分かった（P 8）。