

令和 5 年度

文部科学省

国際原子力人材育成イニシアティブ事業

「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』

成果報告書

令和 6 年 3 月

三菱重工業株式会社

目 次

1. 事業の概要.....	1
1.1 背景.....	1
1.2 目的.....	1
2. 事業計画.....	1
2.1 全体計画.....	1
2.2 令和5年度の計画及び業務の実施方法.....	4
2.3 体制.....	4
3. 令和5年度の成果.....	4
3.1 開催時期・参加者.....	4
3.2 研修の実施.....	5
3.3 事後評価.....	9
4. 結言.....	13

1. 事業の概要

1.1. 背景

原子力発電の安全・安定運転は、研究開発・設計・製造・建設・運転・保守などの各段階における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が連携・協力し合うことで実現している。原子力を将来に亘って継続的に活用していくためには、たゆまぬ安全性向上への取組みや技術革新など、あらゆる分野において技術力の維持・向上を図ることが極めて重要である。また、将来を担う優れた人材を効果的・効率的・戦略的に育成することは、我が国の原子力産業界における大きな課題である。

1.2. 目的

本事業では、原子力の将来を担う優れたリーダーとなり得る人材を育成するために、プラントメーカーと電力会社が連携し、それぞれの業務範囲・特性に応じた実践的な体験型研修を実施する。また、人材の裾野拡大のために、原子力専攻に限定しない全国の理系学生を対象として、原子力プラントの研究開発、設計・製造・検査からプラント運用までを幅広く俯瞰的にとらえる能力を養うプログラムとする。

2. 事業計画

2.1. 全体計画

本事業の全体計画を表 2.1-1、令和 4 年度計画からの変更点を表 2.1-2 に示す。また、本事業での育成対象及び計画人数を表 2.1-3、表 2.1-4 に示す。

本事業では技術者による座学と社有施設を活用した実習・見学等の体験的学習を組合せ、以下の 3 つの項目（研修コース）を実施する。なお、令和 4 年度は新型コロナウイルスの影響を考慮し全項目をオンライン開催としたが、収束状況を踏まえ、令和 5 年度以降は、項目 1 の期間を 1 日延長し、全項目を現地開催とする。（項目 1 と項目 2 は一連のプログラムの中で連続して実施し計 4 日間、項目 3 は 2 日間）

◆ 項目 1：原子力プラント設計・製造研修 [三菱重工（MHI）]

- 原子力プラントの仕組みから、主要系統・機器などの基礎知識習得と、模擬設計の実践を行うグループワーク・討議を通して、プラント設計・機器製造技術についての理解を深めると共に、知識だけに留まらず、自ら考え判断する能力を育成する。
- カーボンニュートラルの実現やエネルギー安全保障の観点での原子力の役割・重要性、原子力イノベーションに向けたプラントメーカーの取組みなどを伝え、原子力の将来性や魅力を発信する。
- 原子力をより身近に感じ、原子力産業界で働くことに興味をもってもらうために、参加学生と年齢が近い若手技術者との交流会を開催し、闊達な意見交換の場を提供する。
- 計画を 1 年前倒し^{※1}、グループワークは「機器設計・製造実習（コース A）」、「システム設計実習（コース B）」のいずれかを参加学生が選択する形式とする。（グループワークのテーマ及び 3 カ年事業の各年度の実施計画を表 2.1-5 に示す）

- 講義、グループワークに加え、現地開催ならではの体験型プログラムとして原子力機器製造工場及び関連施設見学を実施する。

※1 事業開始当初は、令和4年度にコースA、令和5年度にコースBをそれぞれ単独で実施し、令和6年度にA/B選択形式で実施する計画としていた。

◆ 項目2：原子力プラント運用研修 [関西電力（関電）]

- プラントメーカーが設計・製造したシステムや機器が、どのように運用され役立てられているのか、原子力プラントの安全・安定運転を実現するために電力会社はどのように運用・保守しているのかについて講義を行う。
- 主要機器取替工事や事故時の運転操作などについて、動画教材を用いた講義に加え、大飯発電所見学や運転員訓練シミュレータを活用した実習も取り入れることで、電力会社ならではの現場を実体験できるプログラムとする。

◆ 項目3：燃料設計・製造研修 [MHI、MHI 原子力研究開発（NDC）、三菱原子燃料（MNF）]

- 原子力発電プラント特有且つ重要な要素である核燃料に関する講義、グループワーク・討議を通して、燃料開発・設計・製造技術についての理解を深めると共に、知識だけに留まらず、自ら考え判断する能力を育成する。
- 燃料集合体の模型を活用した講義や、動画教材を活用した製造・試験作業の模擬体験型実習に加え、研究開発施設や燃料製造工場の見学も実施する。

表 2.1-1 全体計画

項目	令和4年度				令和5年度				令和6年度			
	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q
全体計画	企画、学生募集等 ■■■■				企画、学生募集等 ■■■■				企画、学生募集等 ■■■■			
項目1：原子力プラント設計・製造研修	研修(コースA) ■■■■ 事後評価 ■■				研修(A/B選択制) ■■■■ 事後評価 ■■■■				研修(A/B選択制) ■■■■ 事後評価 ■■■■			
項目2：原子力プラント運用研修	研修 ■■■■ 事後評価 ■■				研修 ■■■■ 事後評価 ■■■■				研修 ■■■■ 事後評価 ■■■■			
項目3：燃料設計・製造研修	研修 ■■■■ 事後評価 ■■				研修 ■■■■ 事後評価 ■■■■				研修 ■■■■ 事後評価 ■■■■			

表 2.1-2 令和 4 年度からの主な変更点

項目	変更前	変更後
共通	オンライン開催	現地開催（工場・施設見学も実施）
項目 1：原子カプラント設計・製造研修	設計実習：コース B のみ	コース A または B 選択制 （計画を 1 年前倒してコース選択制を導入）
	期間：1.5 日	2 日（工場・施設見学の実施などに伴う変更）
項目 2：原子カプラント運用研修	期間：0.5 日	1 日（同上）
項目 3：燃料設計・製造研修	計画人数：20 名	15 名（表 2.1-4 参照）

表 2.1-3 育成対象

項目	育成対象
項目 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 年生以上）及び高専生（専攻科）
項目 2：原子カプラント運用研修	
項目 3：燃料設計・製造研修	

表 2.1-4 計画人数

項目	計画人数		
	令和 4 年度	令和 5 年度	令和 6 年度
項目 1：原子カプラント設計・製造研修	20 名	20 名	20 名
項目 2：原子カプラント運用研修			
項目 3：燃料設計・製造研修	20 名	15 名 ^注	15 名 ^注

注）現地開催への変更に伴い、研修施設の受入可能人数を考慮の上、計画を見直し

表 2.1-5 グループワークのテーマと実施計画（項目 1）

テーマ名	内容	令和 4 年	令和 5 年	令和 6 年
機器設計・製造実習 (A)	原子力主要機器設計時の材料選定や板厚計算、応力評価及び製造工法検討を題材として、設計条件、製作・加工性、材料コスト等の制約条件から最適解を導き出す実践的研修プログラム	○	○ 選択制	○ 選択制
システム設計実習 (B)	プラント安全に関わる安全対策工事でのプラントシステム設計を題材として、系統・配置・配管・補機仕様等を検討し、模擬プラントを設計していく実践的研修プログラム	—	○ 選択制	○ 選択制

2.2. 令和5年度の計画及び業務の実施方法

令和5年度は2.1に示す全ての項目を現地にて対面形式で実施する。

2.3. 体制

令和5年度の実施体制を図2.3-1に示す。

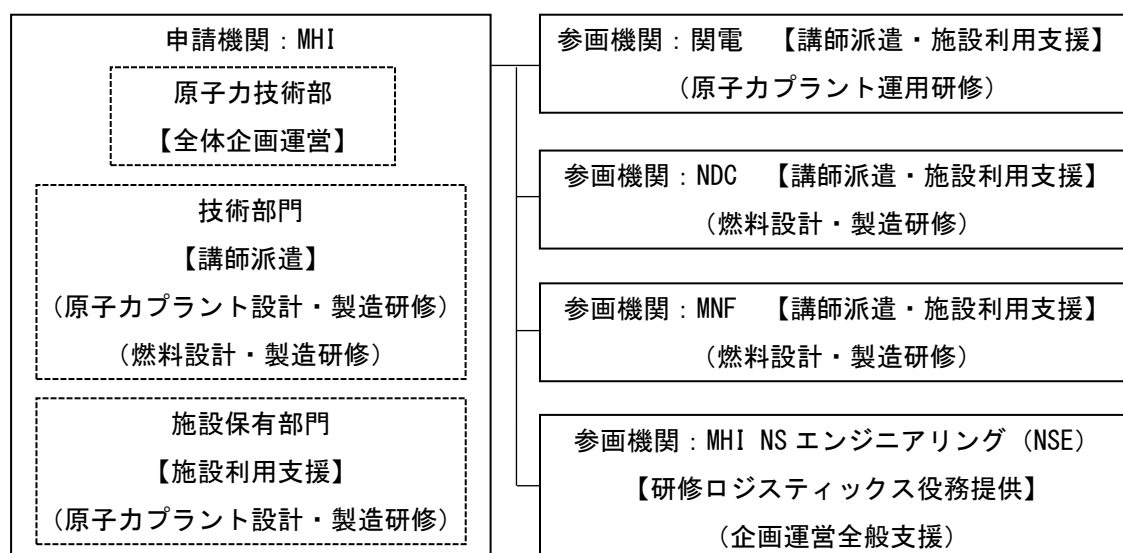


図 2.3-1 実施体制

3. 令和5年度の成果

3.1. 開催時期・参加者

令和5年度の研修開催実績を表3.1-1に示す。また、項目毎の参加学生の内訳を図3.1-1～3.1-2に示す。

- 計画通り、学生の夏休み期間である8月下旬に全項目を現地にて対面形式で開催した。
- 当社及び関西電力 Web サイトでの募集に加え、関係団体（原子力教員協議会、原子力人材育成ネットワーク等）や各大学のリクルート窓口などへの PR を行った結果、多数の大学から計画定員数を超える応募があった。
- 全国9つの大学から計39名（延べ数）の学生（約3割が非原子力専攻）が本研修に参加した。（項目1及び項目2は計画よりも受入人数を2割拡大）

表 3.1-1 実績

項目	参加者数	研修期間
項目1：原子力プラント設計・製造研修	24名 (計画：20名)	2023年8月22日～25日 (4日間)
項目2：原子力プラント運用研修		
項目3：燃料設計・製造研修	15名 (計画：15名)	2023年8月28日～29日 (2日間)

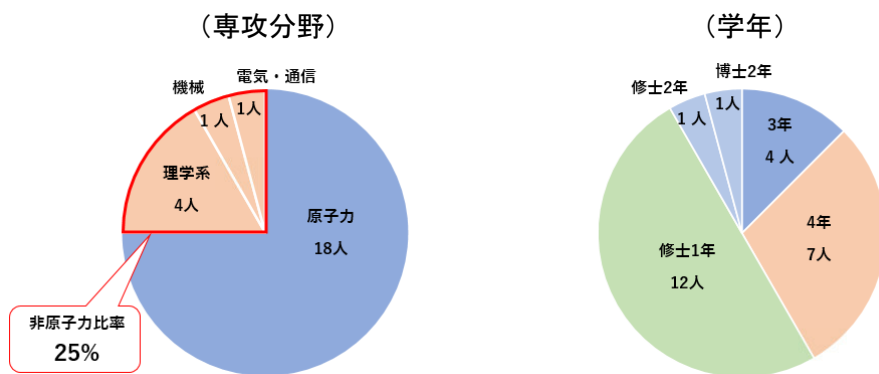


図 3.1-1 項目 1・2 の参加学生の内訳 (計 24 名)

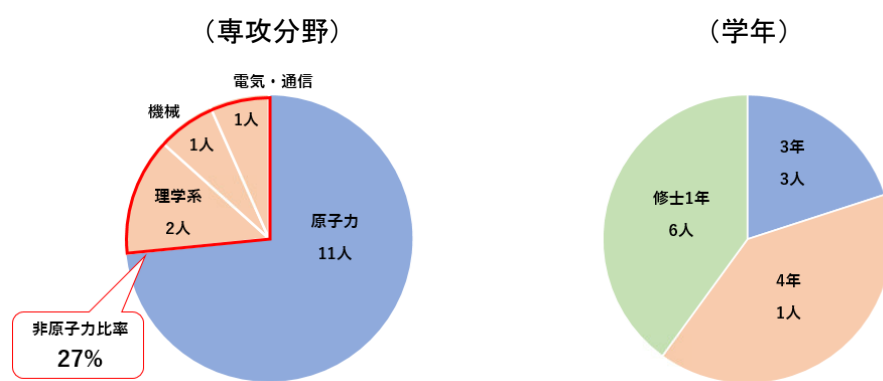


図 3.1-2 項目 3 の参加学生の内訳 (計 15 名)

3.2. 研修の実施

令和 5 年度の研修を以下の通り実施した。

- 計画通り全ての項目を現地・対面形式で実施した。
- 項目 1 と項目 2 は、加圧水型軽水炉 (PWR) ※2 の特徴的な機器である蒸気発生器 (SG) ※3 を共通のテーマとして、機器の設計、製法工法検討、検査から実際のプラント運用までを一貫して学び、且つ、学生自らが考え判断する実践的な研修プログラムを構築し、実施した。
- 項目 3 は、PWR 燃料の開発から製作、試験までの一連のプロセスを、項目 1・2 同様に実践的に学ぶ研修プログラムを構築し、実施した。
- 全ての項目において、学生が実習にスムーズに参加できるよう実習に先立って基礎知識に係る講義を実施し、グループワークでは課題検討の成果をもとに講師を交えた学生間の討議や発表・質疑を行うことで、知識の習得だけに留まらず、合意形成力や表現力、コミュニケーション力などの育成も目指す構成とした。
- 研修後に学生が提出するレポート課題は、担当講師が 1 件ずつ添削・コメントし返送することで、理解の深化や達成感・満足度の向上を図った。なお、指導教官 (研修に応募する際の推薦者) が研修内容や学生の理解度などを把握できるよう、レポート課題は指導教官を介して学生に返送している。

◆ 項目 1：原子力プラント機器設計・製造研修 [MH1]

- 原子力プラントの概要や基本的な設備構成などの基礎的な技術に加え、原子力の役割・重要性や将来に向けた革新炉開発の取組みなど、原子力専攻外を含む全ての学生にとって有意義な研修となるよう、幅広い視点での講義を実施した。（写真 1、2）
- SG を項目 2 との共通テーマとして、主要機器の設計・製作工法検討、検査までの一連のプロセスについて講義・実習を実施した。
- 3 カ年事業の 2 年目である令和 5 年度は、実際の設計業務を模擬体験できるプログラムとして新たに「システム設計実習（コース B）」を構築し、令和 4 年度にオンライン形式で実施し高評を得た「機器設計・製造実習（コース A）」との 2 コース選択制で実施した。対面形式でのグループワークでは学生間での盛んな議論が展開された。また、相互理解を深めるために両コースのテキストとグループワーク成果を参加学生全員に共有した。（写真 3、4）
- 検査技術に関する講義、実習、ならびに検査機器・関連施設見学を実施し、大型機器の検査プロセスや技術開発状況などプラントの安全・安定運転に向けた最新の取組みを紹介した。（写真 4）
- 原子力機器製造工場・施設見学を行い、SG の製造現場や保全訓練用モックアップ設備などを紹介した。（写真 5、6）
- 原子力産業界で働くことの魅力を伝え、身近に感じてもらえるよう、若手技術者との交流会（関電社員も対面で参加）を開催し、闊達な意見交換が行われた。（写真 7）

※2 加圧水型軽水炉（PWR）：原子炉の中で発生した高温高压の熱水を利用してつくった蒸気でタービンを回し発電する原子炉。当社は国内唯一の PWR プラントメーカーであり、現在国内で稼働している PWR プラントは全て当社が納入。

※3 蒸気発生器（SG）：原子炉内で発生した熱エネルギーを蒸気に変えてタービンに送る装置で、PWR プラントの重要機器の一つ。当社は 1970 年に美浜 2 号機用に初の国産 SG を製作して以来、これまでに取替用を含め 100 基を超える SG を製作し国内外に納入。

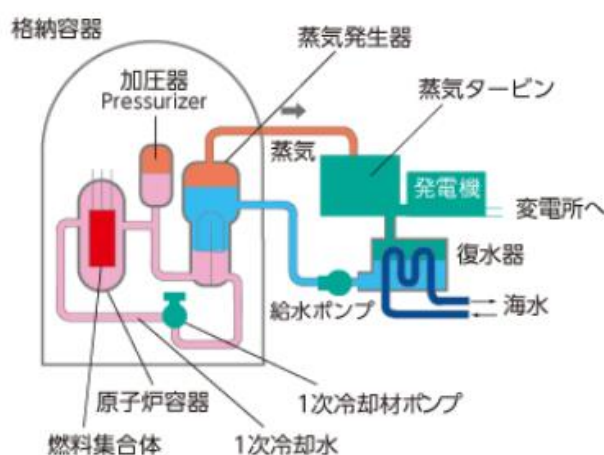


図 3.2-1 PWR 発電プラント

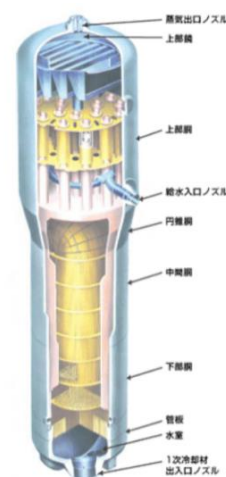


図 3.2-2 蒸気発生器の構造



写真 1 : 講義風景



写真 2 : 講義では VR も活用

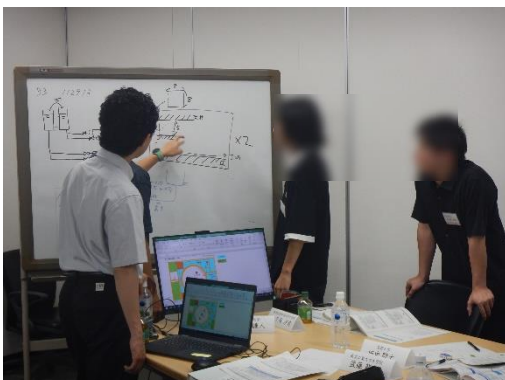


写真 3 : グループワーク

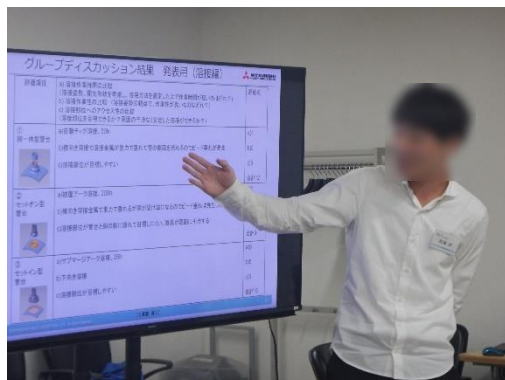


写真 4 : 成果発表



写真 5 : 非破壊検査実習



写真 6 : 工場見学



写真 7 : SG 製造現場も見学



写真 8 : 交流会では関心に意見交換

◆ 項目 2：原子力プラント運用研修〔関電〕

- 電力会社の視点・立場から原子力発電所の現場での安全確保や電力安定供給に向けた取り組みを紹介し、プラントメーカーが設計・製造したシステムや機器が実際にどのように運用され、原子力発電がどのように社会に貢献しているかについて理解を深めることを目的とする。
- SG を項目 1 との共通テーマとし、PWR プラントの特徴的な大型保全工事の一つである SG 取替工事の記録映像を使用した動画教材による講義を実施した。（写真 9）
- 運転中の大飯発電所を訪問し、プラントの運用・管理や様々な安全対策の現場を紹介した。運転中のため立入り可能エリアに制約があった中でも、VR ツールを用いて原子炉格納容器やタービン建屋の内部も案内し、臨場感のある現場見学の機会を提供した。（写真 10）
- 実際の運転員訓練用シミュレータ設備を用い、学生自らが制御盤を操作しプラントの出力調整等を行う運転操作実習を行った。また、現役運転員が福島第一事故を模擬した一連の事故時対応（地震発生から過酷事故回避までの手順）を実演し、緊迫感ある現場の雰囲気や日々の訓練の重要性を教示した。



写真 9：講義風景



写真 10：発電所見学

◆ 項目 3：燃料設計・製造研修〔NDC、MNF〕

- 原子燃料及び燃料被覆管の構造や設計思想、燃料が炉心寿命中に健全であるための要求事項や最新の燃料開発事例、事故燃料の開発動向、ならびに燃料の製造・検査プロセスについてのグループワークを取り入れた講義を実施した。（写真 11）
- 燃料開発・製造メーカーならではの体験型プログラムとして、燃料ペレット製造と燃料被覆管 LOCA 模擬試験^{※4}を題材に動画教材を活用した実習とグループワークを実施した。（写真 12）
- 工場・施設見学では、国内唯一の再転換工程^{※5}を含む一連の PWR 燃料製造工程やホットラボをはじめとした各種研究開発施設^{※6}を紹介した。また、ホットラボ内で核燃料物質や放射性物質をを取扱う試験操作の一つとして、マニピュレータによる模擬試験体の準備や移動の操作体験を実施した。

※4 LOCA (Loss Of Coolant Accident : 冷却材喪失事故) を模擬した環境下で燃料被覆管の挙動を確認する試験

※5 濃縮されたウラン (UF_6) を軽水炉用の核燃料として使用するために粉末 (UO_2) にする工程であり、日本では唯一、MNF 東海工場が有する

※6 放射性物質を安全に取り扱うことができるよう設計され、核燃料の各種試験・検査・実験を行う施設

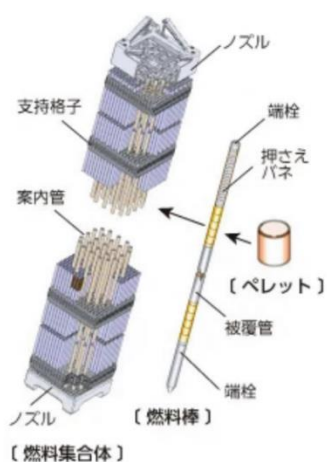


図 3.2-3 燃料集合体の構造



図 3.2-4 ホットラボ施設



写真 11：講義風景



写真 12：施設見学

3.3. 事後評価

事業の有効性評価と次年度以降への適切なフィードバックを目的に、事後評価として、①参加学生アンケート、②指導教官アンケート、③社内評価を行った。

① 参加学生アンケート

研修終了後、参加学生全員に対するアンケート調査を実施した。学生からの主な意見を表 3.3-1 に示す。

- 図 3.3-1 に示す通り、参加者の多くが本研修を「満足」、「後輩にも勧めたい」（5段階評価の 5 と 4）と回答した。

- 本研修に参加したことで「原子力の魅力や必要性を再認識した」、「原子力業界で働きたいという思いが強くなった」、「原子力のイメージが良くなった（原子力専攻外の学生）」など将来原子力に携わることにに対する前向きな意見や原子力そのものへの好意的な意見が多数挙げられた。
- 本研修の大きな特徴である「プラントメーカーと電力会社の連携」に対しても「メーカーと電力会社それぞれの取組みを俯瞰的に学べ、視野が広がった」、「講義や交流会を通じて両社の技術者から様々な話を聞いたことは、大学では学べない貴重な経験」など肯定的な意見が多く、高評を確認することができた。
- 今年度より現地開催としたこと※7 に対しては、「講義で学んだことを現場で目で見えて復習できたので理解が深まった」、「現場の雰囲気を感じることができて良かった」、「他校の学生との交流が刺激になった」などの意見が多く、現地開催の重要性を再認識した。

※7 令和4年度の参加学生アンケートでは「実際に施設を目で見て規模感や臨場感を肌で感じてみたい」、「対面でのディスカッションを行いたい」など現地開催を期待する声を多数聴取

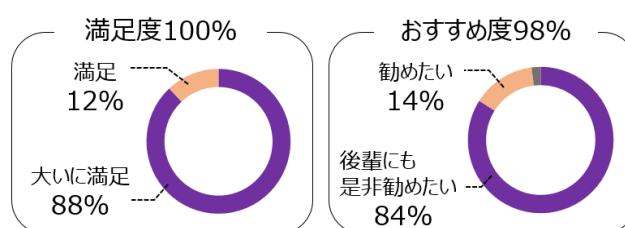


図 3.3-1 参加学生の声

② 指導教官アンケート（記述式）

レポート課題の返却と併せ、指導教官へのアンケート調査を実施した。指導教官からの主な意見を表 3.3-2 に示す。

- 指導教官の多くが「本研修は学生にとって有用」と評価し、「学生へのレポートのフィードバックもあり、知識習得に効果的」、「メーカーや電力会社社員の生の声を聴くことはエンジニアとしても良い経験」、「他校の学生との交流は良い刺激」などポジティブな意見が多く挙げられた。
- 本研修に参加したことで「研究意欲や積極性が高まった」、「研究室内でリーダーシップを発揮するようになった」、「原子力発電に興味を持ち、原子力専への進学を決定した」など学生の意識が前向きに変化したことが窺えた。

③ 社内評価

講師を除く社内関係者による客観的な評価を実施した。

- アンケートやレポート課題から原子力専攻外の学生を含め、研修全体を通して十分な理解が得られていることを確認した。
- 講座毎の時間配分や説明のポイントなど、次年度以降に向けた改善点を抽出した。

表 3.3-1 参加学生の声

研修・講義内容について	✓ <u>原子力の基礎知識がなくても理解しやすく、基礎から応用までを幅広く学べる良い研修だと思う</u> ✓ <u>グループディスカッションでは自分では思いつかないアイデアが出てくるなど、皆で協力しながら議論することはとても面白く、良い刺激になった</u> ✓ <u>バックグラウンドの異なる同世代間で意見交換し、友好を深めることができたのは自身の将来を考える上で有益だった</u> ✓ <u>講師からのフィードバックがあり、更に理解が深まった</u> ✓ <u>実際の現場の雰囲気やスケール感を肌で感じることができ、大学では得られないとても貴重な経験になった</u> ✓ <u>原子力の設計・製造から運用までを俯瞰的に学び、広い視点で考えることができた</u> ✓ <u>震災以降、原子力には良い印象を持っていなかったが、メーカーや電力会社の様々な取り組みや安全意識の高さを知り、原子力の印象が良くなった</u> ✓ <u>項目 1・2 と項目 3 が続けて開催されたことは、日程的にはハードだったが高いモチベーションのまま次の研修に臨むことが出来て良かった</u>
感想	
意見・要望	✓ <u>工場見学は見学エリアが充実していただけに時間が少し短く感じた（項目 1、項目 3）</u> ✓ <u>次世代炉開発について、より深く学びたい（項目 1）</u> ✓ <u>できれば格納容器（管理区域）の中にも入ってみたかった（項目 2）</u> ✓ <u>見学や実習の内容が充実していただけに全体的に時間が短く感じた（項目 2）</u>
自身の今後・将来について	✓ <u>原子力の重要性や将来性を知り、原子力業界で働きたいという思いが強くなった</u> ✓ <u>新設に向けた取り組みや研究開発が盛んに進められていることを知り、自分もそれに携わりたいと思った</u> ✓ <u>原子力が社会に必要な技術であることを確信した。原子力の発展に貢献したい</u> ✓ <u>自分の研究内容が実際に社会で活用されていることを知り、研究活動のモチベーションが高まった</u> ✓ <u>現場で働く人たちの熱意に触れ、自分もそのようなエンジニアになりたいと思った</u> ✓ <u>原子力にはあまり良いイメージを持っていなかったが、安全最優先の取り組みを知り、好感を持った</u>

表 3.3-2 指導教官の声

Q：本研修は学生にとって有用だったと思いますか？ ✓ <u>大学では見られない大型生産設備などを見学でき、エンジニアとしてとても良い経験。今後もこのような研修を続け、現場の設備等をたくさん見られる機会を提供してほしい</u> ✓ <u>学生レポートへのフィードバックもあり、知識習得の良い機会であった</u> ✓ <u>学修・研究に対して良い動機付けとなる貴重な機会を与えてくれたことに感謝する</u> ✓ <u>メーカー、電力会社それぞれの社員の生の声を聴くことは貴重な機会であり、他大学の学生との交流も良い刺激になった様子</u> ✓ <u>専攻分野と密接に関係する内容であり、専門的な知識を自分から身につけていく良い機会になったと思う</u> ✓ <u>原子力工学に関する深い知識と見識を得て帰ってきてくれた。自身の研究へのモチベーションアップにも繋がる</u> ✓ <u>（原子力専攻外の学生にとって）原子力関連科目を履修している他の参加学生と議論することで、原子力への興味や理解を深めることができ、有用であった</u>
Q：本研修の前後で学生に変化は見られますか？（研究への姿勢、原子力への意識など） ✓ <u>自発的に実験に参画したり、実験方法の改善等を提案するようになった</u> ✓ <u>教員に質問するばかりでなく、自分でもより良い方法を考えるようになった</u> ✓ <u>周囲との連携が密になり、研究室内でリーダーシップを発揮するようになった</u> ✓ <u>研究の目標を具体的に設定し、積極的に学会等での発表を行うなどの意欲が見られる</u> ✓ <u>以前は大学院進学のために研究に取り組んでいるように見受けられたが、現在は大学院終了後に何がしたいか、そのためには何が必要かを自問しながら真剣に考えている様子</u> ✓ <u>これまでの教育カリキュラムでは原子力発電を学ぶ機会は無かったが、本研修を通じて原子力発電に興味を持ち、来年度から原子力専攻に進学することを決断した</u>

3.4. その他の取組み実績

新たな取組みとして、日本原子力学会の2024年春の年会（2024年3月26日～28日）の展示で本事業を紹介した。展示ブースには多くの学会参加者が来訪し、大学の先生方をはじめ多くの来訪者に本研修を高く評価頂き、また、過去に本研修に参加した学生が後輩を連れて来訪するケースも複数あり学生からも高い関心が示された。



図 3.4-1 展示ポスター



写真 13：学会参加者が多数来訪



写真 14：本研修を業界に広くPR

4. 結言

令和 5 年度は全ての項目を現地・対面形式で実施した。オンライン開催であった前年度のプログラムをベースとしつつも、実習や工場・施設見学など現地ならではのコンテンツを豊富に取り入れ、さらに事業計画を 1 年前倒し、項目 1 におけるグループ実習を 2 コース選択制で実施（受入人数も拡大）するなど、当初計画に対し発展的な取り組みを行うことで、前年度以上に充実した研修を全国の学生に提供することができたと考える。

次年度も全項目を現地・対面形式で開催すると共に、事後評価で抽出した意見・要望や改善課題を的確にフォードバックすることで更なる改良を図る計画である。また、次年度は本事業の PR を強化し、より多くの学生（大学・高専）に参加を募ることで、更なる人材の裾野拡大にも繋げていく。当社は今後も社会のニーズや学生の期待にマッチした人材育成活動を展開していく。