

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 3月30日現在

機関番号：34428

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21500847

研究課題名（和文）原子炉遠隔実習のシステム整備と実践

研究課題名（英文）Arrangement and practice of the distance education system for the experiments and the exercises of nuclear reactor

研究代表者

山本 淳治（YAMAMOTO JUNJI）

摂南大学・理工学部・教授

研究者番号：90144427

研究成果の概要（和文）：教育用原子炉を用いて原子炉の実験や実習を学生が行う場合に、設備や放射線の安全管理のために利用時間を十分に確保できない状況にある。そこで、インターネットを用いた遠隔教育のシステムを開発して、原子炉を用いた実験や実習を実践した。そして、インターネットを用いた遠隔教育と原子炉実習を組み合わせさせた体系的な原子炉教育システムを提案した。

研究成果の概要（英文）：In the experiments and the exercises using the nuclear reactor for education and research, it is the actual state for students to have trouble by lack of machine time due to the security of facility and radiation protection. The distance education system using Internet communication tools has been developed and carried out to learn the control mechanism of nuclear reactor. Finally, a proposed systematic education system is described, which is a combination of reactor practice and distance education using Internet communication tools.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2010年度	800,000	240,000	1,040,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
総計	2,500,000	750,000	3,250,000

研究分野：工学教育，原子力学

科研費の分科・細目：科学教育・教育工学，科学教育

キーワード：原子炉実習，遠隔教育，実験，インターネット，eラーニング

1. 研究開始当初の背景

教育研究用の原子炉を使った学生のための実験および実習は、大学で原子力工学を専攻する学生の専門教育以外に、電気系や機械系学科のエネルギー教育においても取り上げられる。例えば、原子力発電の講義に関連した実験や実習を原子炉施設で行う体験学習は、講義を補ってエネルギー変換のしくみや原子炉制御の方法を理解する上で大いに役立つ。そして、この体験学習を通じて地球

温暖化問題に対して原子力発電と言う選択肢について、学習者が自らその是非を考えてみるよい機会になる。しかし、教育研究用の原子炉施設は全国に数基である。現地に向くための時間と経費の他にも、次のようないくつかの管理上の制約がある。このため、学生のための実験や実習は特定の対象者に限定的に実施せざるを得ない。また、その実施も容易ではない。なお、本研究の開始後に東京電力福島第一原子力発電所において東日

本大震災による原子炉事故が起こった。このため、本研究開始当初の背景にはこの事故に対する視点は含まれていない。

教育研究用の原子炉であっても原子燃料（核燃料）を扱っているため、立ち入りには放射線防護をはじめ放射線障害防止法に基づく安全管理が必要である。また、施設の保安上の管理もある。放射線管理区域への立ち入り記録と保管，教育訓練，原子炉施設での保安教育などの実務がある。従って，実習する側とこれを受け入れる側の双方に，実習時だけでなくその前後も含めて多くの管理上の作業が発生する。そこで，実験や実習の課題の中で，受講者が原子炉施設に立ち入ることなく実施できる課題の設定と実施の方法を検討することにした。

原子炉施設に立ち入ることなく遠隔から実験や実習を実施する方式はなかった。もちろん，原子炉の運転実習を制御室以外から行うことは安全管理上不可能であるが，実験や実習の課題の中には，工夫すれば施設に立ち入ることなく実施できそうな課題がある。そこで，インターネットを使って遠隔でこれらの課題を実施するシステムを考案した。そして，平成 17 年度から近畿大学原子力研究所の教育研究用原子炉（以下，近畿大学炉）を用いて研究所スタッフとの共同研究を開始した。内容はインターネットに接続して実験実習を行うハードウェア及びソフトウェアの要素技術の開発である。その後，遠隔教育の可能性が確認できた段階に入り，本研究の申請に至った。

2. 研究の目的

原子炉のしくみを学ぶ実験や実習の課題の中で，原子炉施設に立ち入ることなく実施できる課題を選び，インターネットを使って遠隔でこれらの課題を実施する。このため，計画は遠隔実習システムの整備，教材の開発，実習の実践で構成する。

(1) 遠隔実習システムの整備では，本研究開始時の現有機器を用いて達成できている機能をベースとする。そして，教育効果を高める情報の送信機能を追加して，システムの完成度を上げる。

(2) (1)は原子炉の運転と連動して原子炉の運転データをリアルタイムで遠隔地に送信することで実験や実習を行う方式である。これに対し，原子炉の運転と連動せず予め記録しておいた運転データを再現（再生）することで実験や実習を行う方式も考えられる。実験課題別に運転記録のデジタルデータを教材として用意しておくデジタルライブラリーの開発である。大学の原子力発電の講義では演習の教材に利用できる。また，これを基に一般社会人向け，学校の生徒向けの教材へと展開する。

(3) 遠隔実習を実践する。そして，アンケート等による学生の評価によって教育効果を検証する。

3. 研究の方法

(1) 遠隔実習システムの構成

図 1 にシステムの構成を示す。原子炉施設で実施する実習では，原子炉の運転員が操作する制御コンソール上の各種メータ類に表示される運転データを学生と教員も共有しながら進行する。同様の状況を原子炉施設以外の遠隔にある教室（実習室）に再現するために，運転データのうち原子炉の制御に不可欠な情報である原子炉出力と制御棒位置を情報通信機器を使ってインターネットに送り出すしくみである。

運転中の原子炉の運転データがサーバ用 PC から遠隔教室に送られる。送信するデータは制御棒位置が 2 種類，原子炉出力系が 4 種類である。図 1 の左側に送信する運転データの項目を示す。これらの運転データが遠隔教

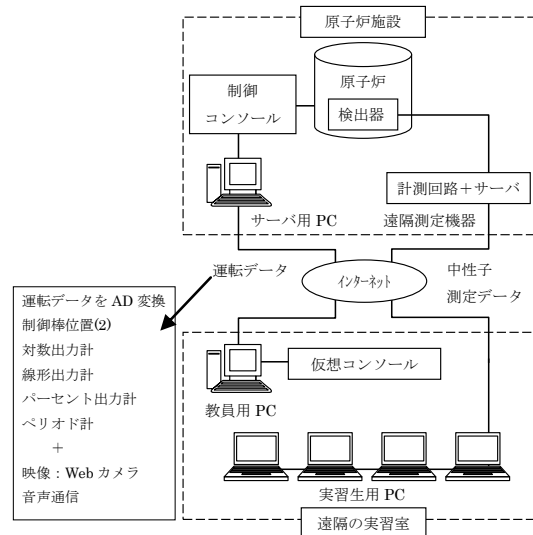


図 1 遠隔実習システムの構成

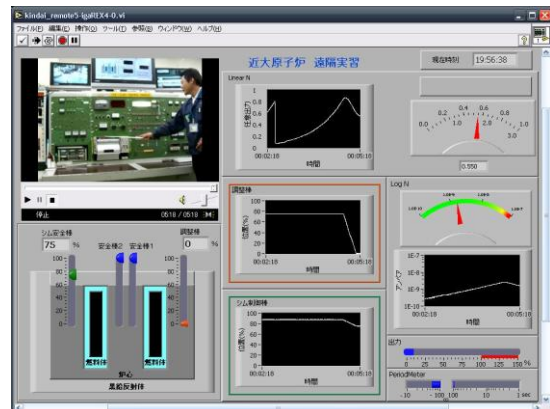


図 2 仮想コンソールの表示画面

室では実物の制御コンソールの代わりになる「仮想コンソール」に映し出される。運転データと同時に運転員の操作の映像も送信する。仮想コンソールの一例を図2に示す。遠隔教室側の教員が実習生に仮想コンソールの表示を説明し、運転員と交信しながら実習を進める。実習生は、運転記録の記述など教員に指示された内容を実習レポートに記していく。

実習生にとっては、原子炉施設の制御室で実習を行う場合と同等の情報を遠隔の教室でも得られることになる。このため、次の利点がこの学習方式によって達成できる。参加者側にとっては旅費、移動時間の節約、多数の場所から同時に参加できる。また、参加側と受け入れ側の双方にとっては参加人数の制限緩和、放射線管理区域への立ち入りに伴う管理業務の不用などである。また、この方式を実験や実習を再体験する機会に用いると非常に効果的な学習になる。例えば、原子炉施設での実験や実習が時間の制約で十分に実施できなかった場合に、遠隔教育でこれを補完する使い方である。この点については、次節の「4. 研究成果」で述べる。

(2) 実験実習課題のライブラリー化

前節の方式では原子炉の運転と連動してリアルタイムで遠隔実習を実施する。このため、原子炉のマシントimeをこの遠隔実習に割り当てることが必要である。すなわち、時間的な制約からは逃れられない。近畿大学炉の年間スケジュールは通常事前に決まっておき、遠隔実習のためのマシントimeを随時提供することは難しい。この問題を解消するため次の方式を考えた。

実験や実習の課題別に事前に行った運転によって得た運転データをサーバに保存しておく。運転員の操作を映した映像も同時に録画しておく。そして、運転データとその運転の動画をデジタルライブラリーとして利用する方式である。遠隔教室では、このライブラリーの中から一組を選んでダウンロードして使用する。この方式においても図2に示した仮想コンソールを使って教材を提示する。しかし、図2の左上に表示される動画の内容が遠隔実習とは異なっている。運転員はこの学習の教員でもあり、課題の内容や運転操作の目的などについて説明しながら運転している様子をビデオ撮影する。さらに、動画とメタ類等への運転データの表示を同期させているので、授業の途中で一時停止、巻き戻し、早送りの機能が使える。一旦停止によって、授業担当者の補足説明の時間がとれ、巻き戻しによって学生に運転データの再確認をさせることができる。授業内容の理解を向上させるために役立つ機能である。現在のところ2課題8コンテンツをライブラリー

にしている。また、実験実習テキストと運転データシートも加えてeラーニングのようにWeb上で学習できる教材を計画した。

4. 研究成果

(1) 原子炉遠隔実習の実践事例

東海大学工学部原子力工学科では平成21年度から近畿大学炉を用いた原子炉実習を開始した。神奈川県から大阪府へと長距離を移動し、1泊2日の日程で約20名がこの実習に参加している。この2日間の日程で学習する内容を学科のカリキュラムと接続して、原子炉実習の学習効果をどのようにして高めるかが課題である。そこで、近畿大学炉の実習を経験した学生達に遠隔実習を実施して、この課題に対する対策のひとつとして役立つかを検討した。

図1に示したとおり原子炉を運転中に運転員（遠隔の実習生に説明もするため教員が担当）の操作映像とおもな運転データをインターネットを使ってリアルタイムで遠隔の教室に配信した。遠隔の教室では、送られてくる映像と時々刻々変化する運転データを使って教員が実習生に課題を出しながら授業を進めた。このデータ通信は専用のアプリケーションソフトウェアを製作して行ったが、受信側では一般のウェブページ閲覧用ソフトウェアでデータを受信した。また、運転操作の映像配信と送受信者間の通話にはフリーソフトウェアのSkypeを用いた。従って、図3に示すように受信側はノートPCが1台とこれに接続するスピーカとウェブカメラ、そしてプロジェクタとスクリーンの装備であって、特殊な機器やソフトウェアは不用であった。

授業時間は90分間×2コマとした。内容は、前半が原子炉の臨界について、後半が制御棒校正実験（原子炉出力に対して制御棒1本分が担う出力制御の性能（価値）を測定する）とした。参加者は24名で、このうち近畿大



図3 遠隔教室で使用する機器類

原子炉の実習経験者が17名、未経験者（次回の実習参加予定者）が7名であった。実施日の1ヵ月前に東海大学は近畿大学炉で2日間の実習を行っている。このため、前半の原子炉の臨界は実習の経験者にとっては復習である。なお、未経験者にも理解できるように配慮した。後半は、1ヵ月前の実習では時間がなくて実施できなかったが、制御棒の役割を理解する上で専門知識となる実験である。授業風景を図4に示す。参加者には開始前に運転データを記録するデータシートを配布した。参加者は手元に近畿大学炉実験実習テキストを置き、スクリーン上の運転状況を見ながら教員の指示に従ってデータシートに必要な事項を記入していった。授業は原子炉施設で通常行う場合とほぼ同じ手順で進めることができた。後半の実験では学生が測定を行った。臨界状態から特定の制御棒1本を引き抜くと原子炉の出力が上昇するので、その上昇の速さをストップウォッチで測った。

(2) 学生による評価

原子炉の臨界状態、制御棒の役割、そして中性子源（原子炉起動時の「火種」）は、いずれも講義では理解が容易ではないが、本物の実習では現象として実感できる項目である。原子炉遠隔実習システムを用いた場合は疑似体験的な実習となるが、遠隔実習でも実感できるかどうかでこのシステムの成果が問われる。この点について実験実習の受講者にアンケートを行っている。前節の実践事例での結果を図5に示す。

本物の実習を経験した全員が肯定的な回答であった。臨場感の本物の実習に比べようもないが、現実を共有している事実は伝わったようである。一方、実習の未経験者も予想外に良い評価であった。特に、未経験者には授業後半の制御棒校正実験は自由参加としたが、全員が受講して好評であった。この課題に授業時間1コマを割り当てていたため、



図4 授業風景

測定の意義と方法を説明して学生の理解度を確認しながら実験を進める十分な時間があつたためであろう。本物の実習ではこれだけの時間的な余裕はない。また、原子炉の運転途中に遠隔教室のスクリーンを利用して講義資料や理論式による説明を挟み、再び原子炉の運転表示に切り替えることを繰り返した。このようにして、講義内容との関連性を意識的に示した。遠隔実習ではスクリーン上の運転表示は制御コンソールのメータ類の配置とは異なる。原子炉の出力と制御棒位置の表示に絞って原子炉の状態を分かりやすくしている。

(3) デジタルライブラリーによるWeb上の学習

近畿大学炉の実験実習に参加する大学の学科、専攻は様々であり、正規の授業で原子炉実習に必要な基礎科目（原子炉物理等）を学んでいない学生もいる。それぞれの大学で事前学習が行われ、実習参加前に短時間で学習する場合もある。例えば、摂南大学理工学部には原子力工学を専門に学ぶ学科やコースはないが、電気電子工学科と機械工学科の授業科目で原子力発電の講義を行っている。このため、平成21年度と22年度に各10名程がこの原子炉実習に参加して原子炉の運転を体験した。しかし、原子炉物理や放射線に関する授業科目がないため、原子力発電の講義からいきなり実習を受講しても原子炉のしくみを理解することは難しい。そこで、実習の教材を使ってWeb上で学生が学習できる機会を作った。このように、実験実習内容のデジタルライブラリーにeラーニングのようなWeb上の学習システムを組み合わせることで、より体系化された学習内容を構成することが可能となる。原子炉実習、遠隔実習、ライブラリー化教材によるWeb学習を組み合わせれば原子炉教育が構成できる。

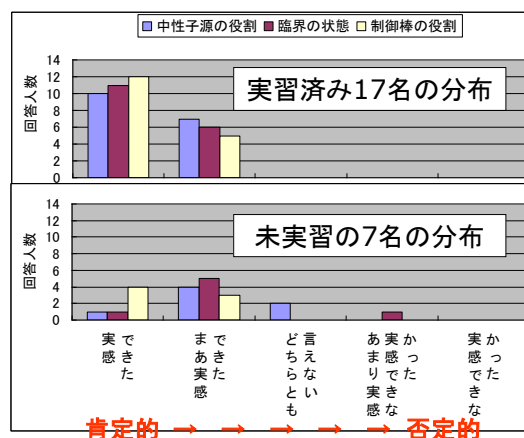


図5 学生アンケートによる評価

(4) 原発事故後の課題

福島第一原子力発電所の事故を受けて、原子炉および放射線に対して多くの人が関心を寄せている。教育研究用原子炉を有している近畿大学原子力研究所においても多くの問い合わせや見学の申込みがある。本研究では大学生のための原子炉実習をおもに取り上げたが、この研究所では一般向けの研修会も以前から実施している。この研修会への参加希望が増えており、特に高等学校と中学校の教員からの希望が多く、そのすべてに応じることができない状況にある。同時に、原子炉および放射線に関心をよせる高校生や中学生の全員を対象に実習や見学を行うことも困難である。本研究では後半期に一般社会人向けと学校の生徒向けの教材作成へと展開する計画であったが、計画どおりには捗らなかった。これが反省点のひとつである。高等学校や中学校向けの教材が間に合っていれば、今回の事態に少なからず貢献できたであろう。一般社会人と生徒向けの教材として、今後は社会のニーズを反映して、原子炉教育よりも放射線教育を優先して遠隔実習システムを活用していくことが課題であると考えている。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 3 件)

①堀口哲男, 山本淳治, 橋本憲吾, 杉浦神之, 伊藤哲夫, 「実験実習とインターネット遠隔実習を組み合わせた原子炉教育の体系化」, 工学教育, 査読有, 第 59 巻, 第 1 号, 2011, pp. 106-111

② Y. Ihara, W. Kada, F. Sato, T. Iida, J. Yamamoto, S. Yamada, T. Horiguchi and K. Hashimoto, “Development on compact pulse height analyzer modules based on FPGA for e-learning type exercises on nuclear reactor”, Progress in Nuclear Science and Technology, 査読有, Vol.1, 2011, pp. 244-247

③山本淳治, 村田勲, 橋本憲吾, 中田早人, 堀口哲男, 「インターネットによる原子炉遠隔実験および実習のための技術開発」, 近畿大学原子炉等利用共同研究経過報告書平成 21 年度, 査読無, 2010, pp. 17-21

[学会発表] (計 6 件)

①山本淳治ほか, 原子炉遠隔実習の実践事例, 平成 23 年度工学教育研究講演会, 工学教育協会, 2011 年 9 月 8 日, 北海道大学大学院工学研究科

②十塚大己ほか, 実験シミュレータを併用した e ラーニング, 平成 23 年度工学教育研究

講演会, 工学教育協会, 2011 年 9 月 10 日, 北海道大学大学院工学研究科

③堀口哲男ほか, e ラーニングを取り入れた近畿大学原子炉実習, 日本エネルギー環境教育学会第 6 回全国大会, 2011 年 8 月 8 日, 山梨大学

④堀口哲男ほか, 近畿大学原子炉を用いた原子力体感プログラム, 日本エネルギー環境教育学会第 5 回全国大会, 2010 年 8 月 1 日, 長崎大学教育学部

⑤井原陽平ほか, 近畿大学炉を用いた原子炉教育のための遠隔授業用教材, 日本エネルギー環境教育学会第 5 回全国大会, 2010 年 8 月 1 日, 長崎大学教育学部

⑥山本淳治ほか, インターネットを用いた原子炉遠隔実習 - 実習課題のライブラリー化 -, 平成 21 年度工学教育研究講演会, 工学教育協会, 2009 年 8 月 7 日, 名古屋大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山本 淳治 (YAMAMOTO JUNJI)
摂南大学・理工学部・教授
研究者番号: 90144427

(2) 研究分担者

橋本 憲吾 (HASHIMOTO KENGO)
近畿大学・原子力研究所・教授
研究者番号: 70218410
堀口 哲男 (HORIGUCHI TETSUO)
近畿大学・原子力研究所・講師
研究者番号: 30278741