

令和 6 年 6 月 21 日現在

機関番号：34419

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21K02912

研究課題名(和文)原子炉を用いたオンライン遠隔実習教育に関する研究

研究課題名(英文)Study on online remote training and education using a research reactor

研究代表者

若林 源一郎(Wakabayashi, Genichiro)

近畿大学・原子力研究所・教授

研究者番号：90311852

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：原子力専攻学生にとって、原子炉を用いた実習は、講義で学んだ知識を実践して理解を深める場として不可欠であるが、最近では原子炉の教育利用の機会が失われつつある。そこで本研究では、近畿大学原子炉を用いた遠隔実習を行うための環境を構築した。具体的には、原子炉制御コンソールから信号を取り出し、コンピュータ上に構築した仮想コンソール上に実習に必要な運転データを表示するシステムを制作した。仮想コンソールの画面をテレビ会議システムを用いて遠隔地の教室にあるPCと共有することにより、原子炉の情報を遠隔地でリアルタイムで見ながら必要なデータを取得し、臨場感ある実習を行うことができるようになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現在わが国では研究用原子炉の多くが運転停止または廃止となり、原子炉を保有し実習環境を提供できる大学は近畿大学と京都大学のみとなっている。さらに、核セキュリティ強化により、教育目的であっても原子炉施設への立入人数が厳しく制限されるようになり、原子炉の教育利用の機会が急激に失われつつある。本研究の成果により立入人数制限の問題が解消され、より多くの学生にも実習参加の機会を提供することが可能になるだけでなく、実習参加のための旅費が確保できない場合でも、学生に最低限の実習参加を保証することにもつながる。国内に残された貴重な原子力教育資源である近畿大学原子炉を有効活用し、効率的に運用することが可能となる。

研究成果の概要(英文)：Practical training using a reactor is essential for nuclear engineering students as a place where they can practice the knowledge they have learned in lectures and deepen their understanding, but recently opportunities for educational use of reactors have been disappearing. In this study, a system for remote training using the Kindai University reactor was constructed. Specifically, the system was made to take out signals from the reactor control console and display the operational data necessary for training on a virtual console built on a computer. The screen of the virtual console was shared with PCs in remote classrooms using a videoconference system, so that the data could be obtained while viewing reactor information in real time at remote locations.

研究分野：原子力教育

キーワード：研究炉 オンライン遠隔実習 仮想コンソール 近畿大学原子炉

### 1. 研究開始当初の背景

近畿大学が保有する原子炉(UTR-KINKI)は、大学における教育訓練を目的に設計された原子炉であり、1961年11月の初臨界以来、半世紀以上にわたって国内外の原子力専攻学生の教育に大いに活用されてきた。原子炉の熱出力はわずか1ワットであり、極めて安全性が高いため、学生が自ら原子炉を運転して実験、実習をすることができる。また、運転中も原子炉内は常温・常圧に保たれるため、原子炉を冷却する必要がなく、冷却機能を持たない。そのため構造が非常にシンプルで、原子炉として最小限の構成要素(燃料、制御棒、減速材、反射材、遮へい材、放射線検出器など)から構成されており、原子炉の原理を学ぶための基礎的な実験や、原子炉を中性子源として利用した中性子計測実験に適している。図1に近畿大学原子炉の外観を示す。



図1 近畿大学原子炉 UTR-KINKI

このような優れた特長から、原子力・放射線分野を専門とする学生の実習施設として現在も多くの大学に利用されている。また、中等教育へのアウトリーチ活動として、中学・高校理科教員を対象とした実習研修会が毎年開催されており、多くの教員が原子炉運転体験を含む実験に参加し、原子炉、放射線に関する理解を深める場となっている。特に福島第一原子力発電所事故後は国民のこれらの分野への関心が高まり、科学的見地から情報発信をする立場の理科教員にとって貴重な研修の場となった。さらに近年では、放射線医療系の学生の実習も行われるようになってきている。これは、放射線がん治療に中性子ビームを用いるホウ素中性子捕捉療法(BNCT)の開始や、従来のがん治療ビームの高エネルギー化に伴って治療場で発生する二次中性子線への対応など、放射線医療技術者も中性子測定管理技術を身に付けることが求められるようになったため、中性子源としての原子炉を利用した実習訓練の必要が生じているためである。

このように、近年ますます教育利用のニーズが増している状況であるが、福島第一原子力発電所事故後の規制の厳格化により、わが国では多くの研究用原子炉が運転停止または廃止となり、現在原子炉を保有する大学は近畿大学と京都大学のみとなっている。そのうち、上述のニーズのすべてに応えることができる施設は近畿大学原子炉のみであり、わが国の貴重な原子力教育資源として最大限活用することが求められているが、年々増大する規制要求により、原子炉の教育利用の機会が制限されつつあるのが現状である。

また従来からの問題として、実習に参加する学生の旅費に関する問題がある。遠隔地の大学に所属する学生は、近畿大学まで足を運んで実習に参加する必要があるが、旅費の制限により学生が何回も近畿大学まで足を運んで継続的に実習を受けることができない。そのため、多くの大学では年に1回、1泊2日程度の日程で実習を開催することになるが、短時間に多くの実習テーマを詰め込むことになり、貴重な現場実習の機会にも関わらず参加学生の理解が消化不良気味になってしまうことが多い。旅費が確保できない場合は、参加学生が旅費を自己負担することになるため、参加を希望する学生全員が必ずしも実習に参加できない状況である。

このように、現状では原子力専攻学生であっても確実に実習に参加できる体制がなく、実習を開催できたとしても短時間集中型のイベントになってしまうため、多くの大学では原子炉実習を単位化して教育カリキュラムの中に位置づけるのが困難であり、課外活動として実施することが多い。

### 2. 研究の目的

以上のような背景から、本研究では、近畿大学原子炉と遠隔地の教室をインターネットで接続したオンライン遠隔実習を実施するための環境を構築し、実際に遠隔実習を行って教育効果を確認することを目的とする。このような環境が整備されれば、短時間に多くの実習テーマを詰め込む必要がなくなり、参加学生が時間をかけて実習内容の理解を深めることができるようになる。また、遠隔実習が実現すると、立入人数制限の問題が解消されるので、現場での実習に参加できなかった学生にも実習参加の機会を提供することが可能になり、実習開催の自由度が増すことになる。さらに、実習参加のための旅費が確保できない場合でも、遠隔実習は学生の負担にならない少ないコストで開催可能であり、学生に最低限の実習参加を保証することにもつながるので、原子炉実習を教育カリキュラムの中で位置づけて単位化することが容易になることが期待される。

### 3. 研究の方法

遠隔実習システムは、新型コロナウイルス感染拡大を契機として普及したテレビ会議システムZoomなど、大学が契約利用している主なシステムを想定して構築し、遠隔地側の教室ではインターネット接続環境のみがあれば利用できるようにする。具体的には、近畿大学原子炉の原子

炉制御コンソールから、実習に必要な運転パラメータ、各種計測器からの信号を取り出し、LabVIEW を用いてコンピュータ上に構築した仮想コンソール上に表示させるようなシステムを作成する。この仮想コンソールの画面をテレビ会議システムを通じて遠隔地の教室にある PC と共有する。また同時に、近畿大学原子炉側の運転員や講師が、遠隔地の教室と双方向でやり取りできるように音声・映像を送受信する。これにより、近畿大学で実際に運転している原子炉の各種パラメータを遠隔地側の教室でリアルタイムで見ながら必要なデータを取得し、原子炉側の運転員や講師とやり取りをしながら現場に準じた臨場感ある実習を行うことができるようになる。

#### 4. 研究成果

令和元年度に文部科学省の補助金(国際原子力人材育成イニシアティブ事業)を得て遠隔実習のために整備したテレビ会議用機材等をベースに、仮想コンソールを開発・改良した。図2に仮想コンソールの画面を示す。仮想コンソール上には、原子炉の制御コンソール上に表示されている核計装の指示値(線形出力(Lin-N)計、対数出力(Log-N)計、核分裂計数管の計数率計、ペリオド計、安全系2系統の出力計)が表示される。また、制御棒位置、スクラム表示灯、アラーム表示灯も仮想コンソール上に再現した。これらのうち、線形出力計と対数出力計の指示値、シム安全棒と調整棒の位置は、その経時変化をグラフで時系列表示できるようにした。これらの情報を表示した仮想コンソールの画面を遠隔地にある PC と共有することにより、実習の際に現場で見ることができる主要な原子炉運転データを遠隔地にいる学生も同様に確認し、取得することができる。

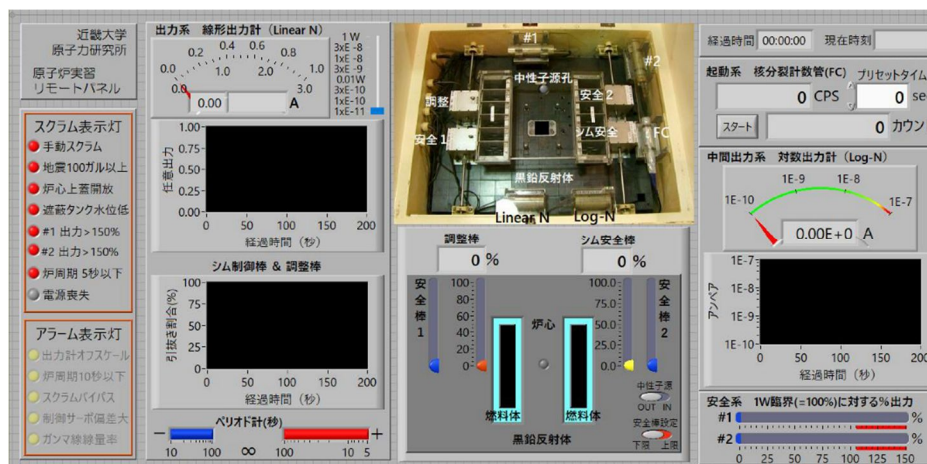


図2 製作した原子炉仮想コンソールの画面

本研究では、仮想コンソールに核分裂計数管からの計数を積算して表示する機能を追加した。原子炉を使った典型的な実習として制御棒校正実験があり、そこでは核分裂計数管からの計数を一定時間積算して解析を行う。従来の実習では現場で核分裂電離箱からの信号をカウンターに入力し、測定時間を設定して積算値を求めていたが、これらを原子炉仮想コンソール上でも実施できるようにした。この機能は遠隔実習だけでなく、現場での実習でも活用できる。

さらに、仮想コンソールで取得している原子炉運転データを記録、再生できる機能を追加し、仮想コンソールに表示された情報を時系列データとして記録し、運転終了後に再生できるようにした。これにより、実際に原子炉を運転しなくても、実習後に原子炉仮想コンソール上で実習時の原子炉運転を再現できるようになった。また、取得した時系列データを使って、実習終了後に様々なデータ解析を行うことも可能となった。

開発した原子炉仮想コンソールを用いて、研究期間中に4回の遠隔実習を行った。遠隔実習が開催された時期は、新型コロナウイルスの感染が拡大し、大学への入構が制限されていた時期であった。そのため、4回のうち3回は参加者が遠隔地の会場に集まることなく、参加者が所有する PC やタブレット端末を用いて直接参加する形式とした。

4回の実習では、原子炉を直接使った実習(原子炉運転、制御棒校正、臨界近接)に加えて、原子炉見学や、放射化と半減期測定、空間線量率測定、中性子ラジオグラフィなどの中性子計測利用実験も合わせて実施した。これらの中で、特に原子炉運転、制御棒校正、臨界近接において仮想コンソールを活用し、原子炉の起動から出力上昇、臨界、定格出力運転、出力変更、停止までの一連の操作を仮想コンソールの画面上で参加者と共有し、実習に必要な核計装の表示値や制御棒位置などを参加者がリアルタイムで取得できるようにした。



図3 仮想コンソールを用いた遠隔実習の様子

実習に参加した学生 38 名にアンケートを取ったところ、遠隔実習であっても現地にいるような感覚で実習に参加することができた、との感想があり、臨場感のある実習を提供できたようであった。また、仮想コンソールを使ったことにより実習が非常に分かりやすかったとの声も寄せられた。時系列グラフなど、情報が整理された形で表示される仮想コンソールには、現実の制御コンソールにはない見やすさや分かりやすさがあり、対面で実習を行う際にも活用できることが示唆された。さらに、遠隔実習に参加した学生の多くが、本物の原子炉を見たい、現地で実習に参加したい、との感想を寄せており、遠隔実習に参加することで、現地での実習参加への意欲を強くする効果があった。

仮想コンソールについて一連の開発を行った後、実習の事前・事後学習に有効な教育用ソフトウェアの開発を合わせて行った。このソフトウェアは、仮想コンソールと同様に LabVIEW を用いて構築したもので、画面上で制御棒を操作して原子炉の一連の運転操作を行うと、それに従って原子炉の出力変化が表示され、原子炉の運転を疑似体験できる。原子炉内の物理現象を精密に再現するシミュレータではなく、教育用として簡素化したもので、動特性方程式を一点炉近似で簡略化した計算式を使用し、制御棒操作に対する原子炉の応答を模擬した。このソフトウェア上で、原子炉運転の他、制御棒校正（落下法、正ペリオド法）、臨界近接などの基本的な炉物理実験が再現できることを確認した。

近畿大学原子炉を国内に残された貴重な原子力教育資源として有効活用するため、本研究で開発した仮想コンソール等のソフトウェアを研究期間終了後も維持し、各方面からの教育ニーズに応えていきたい。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 若林源一郎
2. 発表標題 近畿大学原子炉を用いた教育と研究について
3. 学会等名 原子力技術に関する理解促進セミナー（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 若林源一郎
2. 発表標題 バーチャル原子炉実習の紹介
3. 学会等名 日本原子力学会2021年秋の大会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 埴和鷹、若林源一郎、山本淳治
2. 発表標題 近大炉の中性子動特性を模擬する実習教材ソフトウェアの制作
3. 学会等名 日本原子力学会2024年春の年会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 G. Wakabayashi, H. Shiga, N. Sugiura, H. Yamanishi, J. Yamamoto
2. 発表標題 Status Update of UTR-KINKI: Response to COVID-19 and Future Conversion to LEU Fuel
3. 学会等名 RRFM European Research Reactor Conference 2023（国際学会）
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------