

## 原子炉を用いた教育（教育系）

総括責任者 大阪大学大学院工学研究科  
教授 村田 勲

令和 2 年度に実施された教育系課題を総括する。申請された 4 課題を以下に示す。

- (1) N R 施設における環境安全マネジメントに関連した人材育成
- (2) 近畿大学原子炉の炉特性実験・中性子利用実習による教育的効果に関する研究
- (3) 近畿大学原子炉の出力過渡特性の測定と評価
- (4) 原子炉増倍度および制御棒反応度の詳細測定

以下、それぞれの課題を総括する。

(1) N R 施設における環境安全マネジメントに関連した人材育成  
令和 2 年度は未実施。

(2) 近畿大学原子炉の炉特性実験・中性子利用実習による教育的効果に関する研究

本学原子力工学科 3 年次秋学期開講科目「原子炉実験・演習」の学外実習として「近大炉実習」を毎年実施している。本年度は新型コロナ拡大防止対応もあり、実施が危ぶまれたが、何とか実施することができたことは幸いである。このような状況下、学部 3 年生 17 名、TA として院生 2 名の計 19 名の学生、他指導教員 2 名を含む A、B の 2 班編成にて、本炉実習プログラムを実施した。実習内容は 1) 原子炉運転実習、2) 空間線量率測定（2 次  $\gamma$  線パルス波高分布測定含む）、3) 制御棒校正実験、4) 原子炉軸方向熱中性子束分布測定、5)  $^{28}\text{Al}$  短半減期測定、6) X 線・中性子ラジオグラフィーの 6 テーマにて、1) ~ 4) の原子炉基礎実験と、5)・6) の原子炉応用実験として実施した。実習プログラムは第 1 日目午後から翌 2 日目の正味 1 日半にて具体的な炉実習作業を行い、2 日目の夕方から翌 3 日日の午前中を通じて、全実習内容とそれらの結果を総括するプレゼンテーション用資料の作成作業をグループごとに行い、第 3 日目午後に報告会として発表し、相互の理解確認と問題点の抽出等を行った。学生にとっては短期集中的に、これまで講義や PC シミュレーションにより学んできた内容を、実際の実習から学び直し、理解充足を達成することができた。

### (3) 近畿大学原子炉の出力過渡特性の測定と評価

原子炉各出力での臨界状態確認実験、制御棒反応度校正実験、遅発中性子先行核確認実験、および、原子炉運転中の原子炉室内空間線量率測定実験を原子力専攻学生2年生、3年生、8名とともに9月16日、9月17日に各々実施した(各日4名)。炉出力0.01W、0.1W、1W各出力で、臨界状態を達成するための各制御棒(安全棒SR#1、SR#2、シム安全棒SSR、調整棒RR)位置は、出力に依存しないことを確認した。調整棒(RR)を対象に正ペリオド法による制御棒反応度校正実験を実施した。異なる原子炉出力値において調整棒引き抜きによる出力倍加時間から、RR(0→100%)の反応度価値を逆時間方程式から求めた。結果、 $0.135\% \Delta k/k$ となり、近大炉公称値と比較してほぼ妥当な値を得ることが出来た。原子炉スクラム後ある程度十分な時間が経過した付近での出力変化から半減期を求めるときおよそ50~60秒以内であり、遅発中性子先行核の中で特に $^{87}\text{Br}$ (半減期が55.6秒)の存在を実感することが出来た。炉出力約1W時の原子炉室内での $\gamma$ 線線量率を電離箱型サーベイメータで、中性子線量率を中性子レムカウンターで測定した。炉心直上部付近などで高線量率を示す場所もあったが、安全管理の上で特に問題となる点は見られないことを確認した。最後に、本研究は令和2年(2020年)の新型コロナウイルス感染症(COVID-19)拡大期の実施であったが、集団感染防止のために3密(密閉・密集・密接)対策を行いながら、少人数(各日4名)で実験を実施し、結果、感染無く安全に実験を遂行したことここに報告する。

### (4) 原子炉増倍度および制御棒反応度の詳細測定

原子炉の特性測定における不確かさを定量化するために、原子炉の臨界近接実験における複数の未臨界度点に対する増倍度状態と臨界時における粗調整棒および微調整棒の位置データを取得し、原子炉の未臨界状態および臨界状態に対する特性の再現性から、不確かさを定量化する事を試みた。臨界近接実験では核分裂計数管および補償型電離箱の2系統の検出器を用いて計測を実施し、粗調整棒の位置の異なる複数の運転状態で未臨界状態における核分裂計数管および補償型電離箱の計数値を得た。また、臨界体系における粗調整棒の位置と微調整棒の位置を測定した。未臨界状態および臨界状態の再現性および不確かさに関して、検出器による計数の不確かさや検出器の配置再現性、また制御棒位置の再現性について次年度以降も継続して実施し、未臨界状態および臨界状態における不確かさについて評価する。

## (2) 近畿大学原子炉の炉特性実験・中性子利用実習による教育的効果に関する研究

代表者: 吉田 茂生 (東海大学工学部)

### [要約]

本学原子力工学科3年次秋学期開講科目「原子炉実験・演習」の学外実習として「近大炉実習」を毎年実施している。2018年度は原子炉調整棒駆動機構の不調にて、実習不可能となり、また、本年度は新型コロナ拡大防止対応にて、実施が危ぶまれたが、何とか実施することができたことは幸いである。このような状況下、学部3年生17名、TAとして院生2名の計19名の学生、他指導教員2名にてA・B2班編成にて、本炉実習プログラムを実施した。

実習内容は1)原子炉運転実習、2)空間線量率測定(2次 $\gamma$ 線パルス波高分布測定含む)、3)制御棒校正実験、4)原子炉軸方向熱中性子束分布測定、5) $^{28}\text{Al}$ 短半減期測定、6)X線・中性子ラジオグラフィーの6テーマにて、1)～4)の原子炉基礎実験と、5)・6)の原子炉応用実験として実施した。

実習プログラムは第1日目午後から翌2日目の正味1日半にて具体的な炉実習作業を行い、2日目の夕方から翌3日日の午前中を通じて、全実習内容とそれらの結果を総括するプレゼンテーション用資料の作成作業をグループごとに行い、第3日目午後に報告会として発表し、相互の理解確認と問題点の抽出等を行った。学生にとっては短期集中的に、これまで講義やPCシミュレーションにて学んできた内容を、実際の実習から学び直し、理解充足を達成することができた。

## (3) 近畿大学原子炉の出力過渡特性の測定と評価

代表者: 尾崎 穎彦 (福井工業大学工学部)

### [要約]

原子炉各出力での臨界状態確認実験、制御棒反応度校正実験、遅発中性子先行核確認実験、および、原子炉運転中の原子炉室内空間線量率測定実験を原子力専攻学生2年生、3年生、8名とともに9月16日、9月17日に各自実施した(各日4名)。

炉出力0.01W、0.1W、1W各出力で臨界状態を達成するための各制御棒(安全棒SR #1、SR #2、シム安全棒SSR、調整棒RR)の位置には出力に依存しないことを確認した。

調整棒(RR)を対象に正ペリオド法による制御棒反応度校正実験を実施した。異なる原子炉出力値において調整棒引き抜きによる出力倍加時間から、RR(0→100%)の反応度値を逆時間方程式から求めた。結果、0.135%  $\Delta k/k$ となり、近大炉公称値と比較してほぼ妥当な値を得ることが出来た。

原子炉スクラム後ある程度十分な時間が経過した付近での出力変化から半減期を求めるときおよそ 50～60 秒以内であり、遅発中性子先行核の中で特に  $^{87}\text{Br}$  (半減期が 55.6 秒) の存在を実感することが出来た。

炉出力約 1W 時の原子炉室内での  $\gamma$  線線量率を電離箱型サーベイメータで、中性子線量率を中性子レムカウンターで測定した。炉心直上部付近などで高線量率を示す場所もあったが、安全管理の上で特に問題となる点は見られないことを確認した。

さいごに、本研究は、令和 2 年(2020 年)の新型コロナウイルス感染症(COVID-19)拡大期の実施であったが、集団感染防止のために 3 密(密閉・密集・密接)対策を行いながら、少人数(各日 4 名)で実験を実施し、結果、感染無く安全に実験を遂行したことをここに報告する。

#### (4) 原子炉増倍度および制御棒反応度の詳細測定

代表者：北田 孝典（大阪大学大学院工学研究科）

##### 〔要約〕

原子炉の特性測定における不確かさを定量化するために、原子炉の臨界近接実験における複数の未臨界度点に対する増倍度状態と臨界時における粗調整棒および微調整棒の位置データを取得し、原子炉の未臨界状態および臨界状態に対する特性の再現性から、不確かさを定量化する事を試みた。臨界近接実験では核分裂計数管および補償型電離箱の 2 系統の検出器を用いて計測を実施し、粗調整棒の位置の異なる複数の運転状態で未臨界状態における核分裂計数管および補償型電離箱の計数値を得た。また、臨界体系における粗調整棒の位置と微調整棒の位置を測定した。

未臨界状態および臨界状態の再現性および不確かさに関して、検出器による計数の不確かさや検出器の配置再現性、また制御棒位置の再現性について次年度以降も継続して実施し、未臨界状態および臨界状態における不確かさについて評価する。