

緒言 現在、日本では原子力関連分野における人材育成の充実を目指した原子力人材育成プログラムが推進されており、その一環として原子力関連分野を専攻する学生を対象とした原子炉実習や、トライアンドエラー教育が可能な炉心シミュレータを用いた仮想実習等が行われている。しかし、これまでに開発されてきた炉心シミュレータはGraphical User Interface(GUI)上のボタン操作等で入力を行い、入力に応じた計算結果がトレンドグラフ等の比較的シンプルな形で表示されるものが多く、炉心シミュレータの利用者には、これらのシンプルな可視化結果から実機の挙動を予測することが求められる。これは炉物理の専門家にとっては容易であるが、初学者が専門家と同じように実機の挙動の予測・想像を行うのは困難である。そこで初学者の教育を対象とした炉心シミュレータの開発が求められている。ここで、初学者がシミュレータ上での計算結果から実機の挙動を直感的に予測・想像するためには、自らが行った操作が実機上でどのような操作に該当し、得られた計算結果が、実機のどこで、どのような現象が起きたことを意味するものなのかを直感的に理解できる必要がある。つまり計算機上での事象と実世界上での事象を繋ぐパイプが必要となる。そこで本研究では、両者のパイプとなる技術として拡張現実感(Augmented Reality : AR)と呼ばれる技術に着目した。ここでARとは実世界の映像に対し計算機上で情報を付加表示する技術であるが、本研究ではこのAR技術と炉心模型、そして炉心解析技術を組合せることで、利用者が自らの手を用いて操作でき、その操作に対する炉心の応答を模型の映像と共に確認できる炉心シミュレータを開発した。これにより、実機上での操作及び操作に対する炉心の応答を、より直感的に理解しやすい炉心シミュレータを提供することができる。

システム構成及び処理概要 本シミュレータではまず実世界に配置した炉心模型上での制御棒操作を計算機上で認識し、制御棒操作が行われた際の炉心の動特性解析を行う。そして得られた動特性解析結果を実世界の映像に合わせて表示する。よって、シミュレータとしては①制御棒操作の認識処理、②各時間における中性子束分布や出力分布を得るための動特性解析処理、③実世界の映像に合わせた計算結果の可視化処理の3つを行う必要がある。そこで本研究では、まず制御棒操作が可能な炉心模型を作成し、模型下部にはFig. 1に示すように制御棒操作の様子を撮影するためのカメラを設置した。本シミュレータではこの制御棒位置認識用カメラの映像に対して画像解析を行うことで制御棒位置を認識し、炉内の物質配置を更新する。次に、各時間における炉内の物質配置を入力として、各時間における中性子束分布、出力分布をリアルタイムで計算する。この部分については、中性子の拡散方程式に基づいた三次元動特性解析コードを自作した。ただし、実世界の制御棒操作に応じて炉心出力の時間変化をリアルタイムで解析するためには、動特性計算を十分高速に行う必要があるため、CMFD加速法、simplified fixed source scaling factor法といった加速法を活用し、計算の高速化を図った。最後に、得られた計算結果を実世界の映像と共に表示する。本シミュレータでは、計算値の大きさを色で表現した3Dカラーマップを作成し、作成した3DカラーマップをFig. 1に示すAR表示用カメラで撮影した映像に合成することで実世界の映像に合わせた計算結果の可視化を実現した。

結果 模型上での制御棒操作によって生じた炉心出力等の時間変化を、実世界の映像と共にリアルタイムで確認可能な炉心シミュレータを開発した。その実例としてFig. 2 に計算結果とカメラの映像の合成表示結果を示す。Fig. 2 では模型の映像に対し、炉内の出力分布に応じて輝度を変化させた3Dカラーマップを合成することで出力値の大小を表現している。

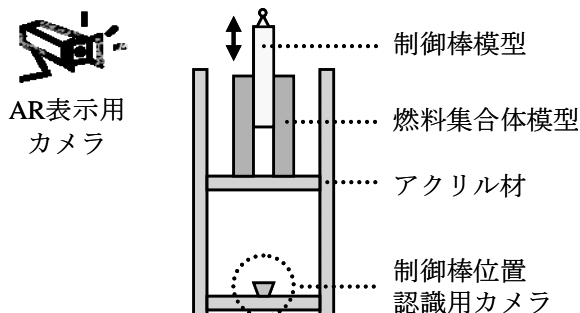


Fig. 1 炉心模型断面図とカメラ配置

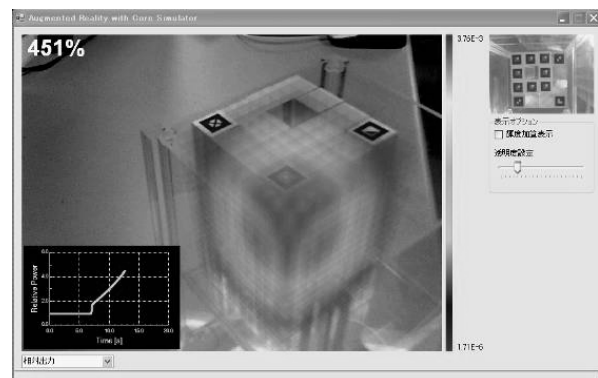


Fig. 2 計算結果の合成表示