

移行期高速炉に関する諸量評価のための代理モデルの開発

Development of surrogate model for the evaluation of various quantities of fast reactors
in the transition period

*奥山 莉子¹, 千葉 豪¹
¹ 北海道大学

核燃料サイクルにおける諸量評価を容易に、短時間で計算できるようにするため、クリギングの考え方を利用して、代理モデルを開発した。

キーワード: 核燃料サイクル、高速炉、移行期、クリギング、回帰モデル

1. 背景 核燃料サイクルの技術開発においては、核燃料サイクルシステムにおける核物質や核廃棄物の流れを定量的に評価するための計算ツールを用いることが多いが、そのようなツールでは計算の高速化が求められている。本研究では、軽水炉取り出し燃料中の TRU 組成や高速炉の炉心・廃棄物特性を高速に計算する代理モデルを開発した。

2. 理論の概要 ある出力パラメータ y を考え、それが複数の入力パラメータによって決まるものとする。そして、この入力パラメータをベクトル $\mathbf{x}$ として定義したとき、本研究で開発した代理モデルでは、以下のよう

$$y \approx \sum_{j=1}^J \beta_j f_j(\mathbf{x}) \tag{1}$$

なお、(1)式における係数 β_j は入出力パラメータがセットとなった教師データをもとに最小二乗法により決定する。入出力パラメータ数が多い場合には、主成分分析の手法を用い少数のパラメータ（直交基底成分）に変換して扱う。

3. 代理モデルの概要 移行期高速炉に関する諸量評価のため、軽水炉の燃料仕様・運転条件を入力すると、その使用済み燃料中の TRU を燃料として用いた場合の高速炉（JSFR-1500）の炉心・廃棄物特性を推定するモデルを開発した。代理モデルは、軽水炉の燃料仕様・運転条件の入力から使用済み燃料の TRU 組成を予測するモデル、高速炉に装荷する TRU 組成の入力から高速炉の炉心・廃棄物特性を予測するモデルからなる。軽水炉から燃料を取り出したのちに高速炉に装荷するまでの核種の数密度変動は、核種の崩壊計算によって容易に計算できることから、より複雑な入出力パラメータの関係性がある部分に対してのみ代理モデルの開発を行なった。これら 2 つのモデルに対し、想定されうる条件の中でランダムサンプリングを行い、教師データを取得した。

4. 解析例 ここでは UO_2 燃料を用いて軽水炉を運転した場合の取り出し燃料中の TRU 組成を予測するモデル作成時の想定条件と検証結果を示す。Np、Pu、Am、Cm 同位体 16 核種の TRU 組成割合（単位%）を予測する代理モデルを作成し、元データとの絶対誤差 0.1%以内を目標精度とした。U 濃縮度（3.0～4.1%（BWR）、3.4～4.7%（PWR））、燃焼度（20～45GWD/t）、H/HM 比率（ボイド率とピンピッチの変更により算出）の各パラメータについて、一様分布を仮定してランダムサンプリングを行い、条件を取得した。取得した条件について、ピンセルモデルを対象としてコードシステム CBZ で燃焼計算を行い、教師データを作成した。代理モデル作成時には、1000 ケースの教師データを使用し、回帰関数としては最大で 3 次までの多項式を用いた。また、教師データとは別にコードシステム CBZ を用いて取得した 1000 ケースの検証データと比較を行った。表 1 に Pu、Am の 8 核種について、絶対誤差 0.1%を超える数、最大誤差、平均誤差の結果を示す。1000 ケースの検証計算に対し、目標精度である 0.1%を超える計算結果となったのは最大で Pu-239 の 65 ケースであった。

表 1. UO_2 燃料で軽水炉を運転した時の TRU 組成を推定するモデルで検証計算を行った結果

	目標精度を超える数	最大誤差(%)	平均誤差(%)
Pu-238	0	0.089	0.011
Pu-239	65	0.286	0.040
Pu-240	29	0.190	0.028
Pu-241	9	0.231	0.029
Pu-242	7	0.175	0.019
Am-241	8	0.117	0.026
Am-242m	0	0.002	0.001
Am-243	0	0.063	0.014

*Riko Okuyama¹, Go Chiba¹

¹Hokkaido Univ.