

Oral presentation | III. Fission Energy Engineering : 305-1 Computational Science and Engineering

📅 Wed. Mar 16, 2022 10:55 AM - 12:00 PM JST | Wed. Mar 16, 2022 1:55 AM - 3:00 AM UTC | 🏢 Room B

[1B06-09] Simulation Models and Methods

Chair: Mikio Sakai (UTokyo)

10:55 AM - 11:10 AM JST | 1:55 AM - 2:10 AM UTC

[1B06] TDDFT+Langevin model calculations for inertial energy dissipation in quasi-fission dynamics

*Yoritaka Iwata¹, Haoran Wang² (1. Kansai University, 2. Shibaura Institute of Technology)

11:10 AM - 11:25 AM JST | 2:10 AM - 2:25 AM UTC

[1B07] High-precision condensation simulation with interface-tracking method

*Kei Ito¹, Naoya Odaira¹, Daisuke Ito¹, Yasushi Saito¹ (1. Kyoto University)

11:25 AM - 11:40 AM JST | 2:25 AM - 2:40 AM UTC

[1B08] Application of Surrogate Models for Statistical Safety Evaluation

(6) Bayesian modeling and inference for uncertainty analysis using Stan

*Ikuo Kinoshita¹ (1. INSS)

11:40 AM - 11:55 AM JST | 2:40 AM - 2:55 AM UTC

[1B09] Estimation of radiation source distribution using LASSO

*Susumu Yamada¹, Masahiko Machida¹ (1. JAEA)

11:55 AM - 12:00 PM JST | 2:55 AM - 3:00 AM UTC

Time reserved for Chair

TDDFT+Langevin モデルによる核分裂反応における慣性散逸効果

TDDFT+Langevin model calculations for inertial energy dissipation in quasi-fission dynamics

*岩田 順敬¹, 王浩然²

¹ 関西大学, ² 芝浦工業大学

原子核自由度の巨視的 Langevin 計算に、核子自由度の微視的時間依存密度汎関数計算 (TDDFT) によって得られた摩擦テンソルを導入することで、核分裂に関する広範な実験データと比較可能な TDDFT+Langevin 計算による計算結果を紹介する。結果から、従来の粘性散逸効果に加えて、慣性散逸の効果がとくに核分裂が起こる程度の低エネルギー原子核反応で有効に機能していることを示す。これは低エネルギー原子核反応に特有の非線形性が顕在化したものとして理解できる。

キーワード： 慣性散逸、核分裂反応、TDDFT+Langevin モデル

1. 緒言

核分裂反応においては、エネルギー散逸が重要な役割を担っているものと考えられている。実際に核分裂反応に等エネルギー性を仮定した理論計算では、原子核の結合エネルギーから運動エネルギーへの移行が限定的で分裂確率が過小評価されることが知られている。このような状況の下で等エネルギー性を破る重要な要素がエネルギー散逸と核分裂との関係についてはまだ多くのことが定量的によくわかっていない。

2. TDDFT+Langevin モデル

原子核自由度の 4 次元 Langevin モデルの摩擦テンソル γ_{ij} に核子自由度の時間依存密度汎関数計算 (TDDFT) から得られた摩擦係数を導入する。

$$\begin{aligned}\frac{dq_\mu}{dt} &= m_{\mu j}^{-1} p_j, \\ \frac{dp_\mu}{dt} &= -\frac{dV}{dq_i} - \frac{1}{2} \frac{dm_{ij}^{-1}}{dq_\mu} p_i p_j - \gamma_{\mu i} m_{ij}^{-1} p_j - g_{\mu i} R_i,\end{aligned}$$

3. 結論

このモデルによって、従来の Langevin 計算では用いられてこなかった

- エネルギーに依存した摩擦係数
- 分裂する原子核によって異なる摩擦係数
- 非経験的な量子効果の導入

が実現できる。提案手法を用いれば、核分裂に関する広範な実験データと比較することが可能となる。

参考文献

[1] Y. Iwata, and T. Nishikawa, "Inertial energy dissipation in quasi fission dynamics", arXiv2111.13093.

*Yoritaka Iwata¹, and Haoran Wang²

¹Kansai University, ²Shibaura Institute of Technology

界面追跡法に基づく高精度凝縮解析手法の開発

High-precision condensation simulation with interface-tracking method

*伊藤 啓¹, 大平 直也¹, 伊藤 大介¹, 齊藤 泰司¹

¹京都大学

沸騰・凝縮など大きな密度変化を伴う相変化を生じる流れ場の数値解析は、精度・安定性などの点において未だ多くの課題が残されている。本研究では、界面追跡法に基づく高精度な凝縮解析手法を開発する。

キーワード：界面追跡法，相変化，凝縮，数値解析

1. 緒言

沸騰・凝縮などを生じる流れ場の数値解析は、高精度に安定して実施することが未だ難しい問題である。本研究では、界面追跡法に基づく凝縮流れ解析手法開発の一環として、気液界面の移動計算の再検討を行い、従来の解析手法と比較して高精度に解析が行える手法を開発する。

2. 界面追跡法に基づく凝縮解析

本研究では、高精度 Volume-of-fluid 法^[1]に基づく界面追跡を行う。Volume-of-fluid 法に基づく従来の凝縮計算では、凝縮に伴う気液界面の移動は各格子セル内で行うのが一般的であるため、凝縮量が多い、または格子セル内の気相体積が少ないなどの状況で、気液界面がセルを跨いで移動する際には解析精度が低下する。これを抑制するため、格子セル間の界面移動を正確に計算する手法を開発した。

3. 検証解析

開発した手法の検証として、1次元 Stefan 問題の解析を行った。初期状態において解析体系は飽和蒸気で満たされており、冷却壁面の温度を 298.15 K に保つことにより壁面上で凝縮が生じ、時間とともに気液界面が x の正方向に移動していく。解析格子のサイズは 0.0625 mm とし、時間刻みを 0.01 ~ 0.2 s まで変化させた。時間刻み 0.1 s の場合の気液界面位置の時間変化を Fig. 1 に示す。従来手法、改良手法ともに理論解と良く一致しているが、従来手法の結果は理論値を下回っている。Fig. 2 に示す解析誤差（界面位置の理論値に対する解析結果の誤差）の比較結果からも、改良手法の方が高い解析精度を与えることが分かる。

4. 結言

高精度界面追跡法に基づく凝縮解析手法について、セル間の界面移動や界面熱流束を正確に計算する手法を開発し、従来手法と比較して計算精度が向上することを確認した。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP19H02638 の助成を受けたものです。

参考文献

[1] K. Ito et al., Multiphase Science and Technology, Vol. 32, No. 2, pp. 109-131, 2019.

*Kei Ito¹, Naoya Odaira¹, Daisuke Ito¹ and Yasushi Saito¹

¹Kyoto Univ.

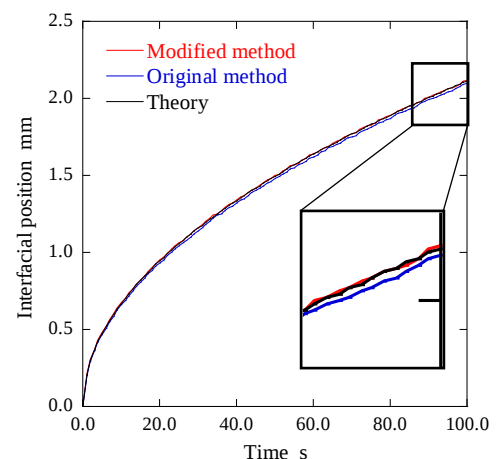


Fig. 1 Interfacial location

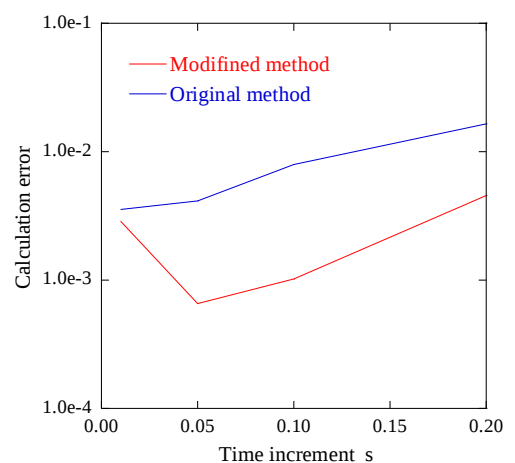


Fig. 2 Simulation accuracy

統計的安全評価における代替統計モデルの適用
(6) Stan による不確かさのベイズ推定

Application of Surrogate Models for Statistical Safety Evaluation

(6) Bayesian modeling and inference for uncertainty analysis using Stan

*木下 郁男

原子力安全システム研究所

RELAP5 コードによる燃料被覆管最高温度の統計的安全評価に対して、代替統計モデルの適用性を検討している。本報では、確率的プログラミング言語 Stan を用いて、代替統計モデルによる不確かさ解析のベイズ推定を行い、95%累積確率値の予測区間を算出した。

キーワード：統計的安全評価，代替統計モデル，ベイズ推定，Stan，RELAP5

1. 緒言 代替統計モデルは、解析コードの入力と計算結果との関係を近似するように少数のサンプル(学習データ)から学習されたモデルである。代替統計モデルを統計的安全評価に適用するにあたっては、学習データ以外のデータに対する予測精度の確認が必要である。本研究では、確率的プログラミング言語 Stan [1]を用いて、不確かさ解析のベイズ推定を行い、95%累積確率値の予測区間を算出した。

2. 解析方法 解析対象は、ROSA/LSTF の低温側配管 1.0%破断実験とした。本実験を対象に、RELAP5 コードによりモデル不確かさ(7 パラメータ)を変化させた統計解析 (1024 サンプル)を行い、被覆管最高温度(PCT)の不確かさを評価した [2]。

本研究では、この不確かさ解析を対象に、93 サンプルを学習データとして、Stan により不確かさ解析のベイズ推定を行った。不確かさ解析の統計モデルは 7 変数 2 次多項式で定義し、ノイズを正規分布で与えた。各パラメータの事前分布は無情報事前分布で与え、事後分布の平均値を用いて、不確かさ解析の予測モデルを構築した。また、PCT の事後予測分布により、不確かさ解析の 95%ベイズ予測区間を算出した。

3. 解析結果 図 1 に、PCT の 95%ベイズ予測区間を示す。学習データ(93 サンプル)は赤丸で示されている。学習データ以外のデータに対するベイズ予測区間は、学習データに対するベイズ予測区間よりも大きい。少数の例外を除き RELAP5 による PCT 計算値はベイズ予測区間に含まれており、本研究のモデルによるベイズ推定は適切であると言える。

図 2 に、PCT の累積確率分布を 95%ベイズ予測区間と合わせて示す。破線は、各データのベイズ推定における 5%点および 95%点についての累積確率分布を示している。

表 1 に、PCT の不確かさに係る統計量の評価を示す。ベイズ推定による 95%値は 883.29K であり、RELAP5 計算による 95%値の 885.30K とよく一致する結果が得られた。また、ベイズ推定による 95%点の 95%累積確率値は 906.98K であり、順序統計法による評価値の 908.80K とよく一致する結果が得られた。

参考文献 [1] Stan Development Team, Stan User's Guide, Ver. 2.28, <https://mc-stan.org>. [2] I. Kinoshita, et al., IMECE2016-66638 (2016).

*Ikuro Kinoshita, INSS

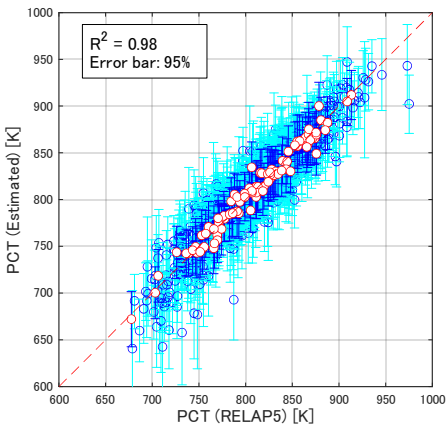


図 1 PCT の 95%ベイズ予測区間

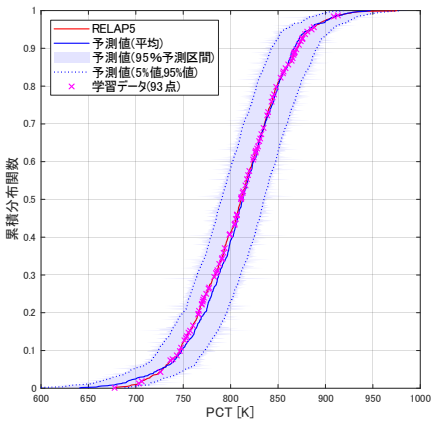


図 2 PCT の累積分布関数

表 1 PCT の不確かさに係る統計量の評価

評価法	統計量	PCT [K]
代替統計モデル (ベイズ推定)	95%値	883.29
	95%/95%値	906.98
順序統計法 (93 サンプル)	最大値	913.14
	2 番目に大きい値	908.80
RELAP5	95%値	885.30

Lasso 回帰を用いた放射線源分布の推定

Estimation of radiation source distribution using LASSO

*山田 進¹, 町田 昌彦¹

¹ 日本原子力研究開発機構

現在、福島第一原子力発電所では廃炉作業が行われているが、安全かつ効率的な廃炉作業を行うためには、放射線源の分布を知ることが重要である。そこで、本研究では複数の観測点で計測した線量値を利用した LASSO による回帰分析により線源分布を推定する方法の有効性を評価する。

キーワード：LASSO, 線源推定, スパースモデリング

1. 緒言

2011 年 3 月の福島第一原子力発電所の事故を受け、現在廃炉作業が行われているが、この作業を安全かつ効率的に行うためには、放射線源の分布を知ることが重要である。この線源分布は、壁や床などの対象物付近の放射線量を計測することで知ることができるが、什器等を移動させるごとに再測定が必要になるため、効率的ではない。そこで、本研究では、複数の観測点で計測された線量値と、あらかじめ計算しておいた対象物から観測点までの減衰率から放射線源を逆推定する LASSO による回帰分析コードを開発しており、このコードを用いた試計算により得られた結果を報告する。

2. LASSO による線源推定方法

複数の観測点で計測した線量値と対象物から観測点までの減衰率から線源分布を LASSO で推定するには、観測値のベクトル y 、減衰率を表現した行列を A とした時に評価関数

$$\frac{1}{2} \|y - Ax\|_2^2 + \lambda \|x\|_1$$

を最小化する x が推定された線源分布を表現しているベクトルになる[1]。ここで、 λ は非負の正則化パラメータであり、この値が増加すると x の非ゼロ成分が減少する。この評価関数を最小化する x の計算方法は数多く提案されているが、線源の値（ベクトル x の成分）は非負である制限がある。そのため、本研究では、そのような条件下でベクトルを求めることのできる Nonnegative LASSO [2]を採用したコードを開発している。この開発したコードを用いた試計算では、ある領域に放射線源を配置し、線源と観測点の距離の 2 乗に比例して線量が減衰するとの仮定の下で、逆推定を行ったところ、線源の推定が可能であることを確認した。本結果および実際の原子炉建屋内を対象にしたシミュレーション結果は当日発表する。

本研究は、経済産業省資源エネルギー庁「令和 3 年度開始廃炉・汚染水対策事業費補助金（原子炉建屋内の環境改善のための技術の開発(被ばく低減のための環境・線源分布のデジタル化技術の開発)）」の成果の一部である。

参考文献

- [1] Wei Shi, et. al., Inverse estimation scheme on radioactive source distribution inside nuclear power plant buildings using LASSO: Theory and Demonstration, 日本原子力学会英文論文誌. (投稿中)
- [2] L. Wu, Y. Yang and H. Lin, Nonnegative-lasso and application in index tracking, *Computational Science and Data Analysis*, **70**, 116-126, 2014.

*Susumu Yamada¹ and Masahiko Machida¹

¹Japan Atomic Energy Agency