

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	Study of Fission Product Yield by Deep Learning
著者(和文)	陳敬徳
Author(English)	Jingde Chen
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京科学大学, 報告番号:甲第363号, 授与年月日:2025年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:片渕 竜也,小原 徹,相樂 洋,赤塚 洋,筒井 広明
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Institute of Science Tokyo, Report number:甲第363号, Conferred date:2025/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第		号	学位申請者氏名		CHEN JINGDE	
論文審査 審査員		氏 名		職 名		氏 名	職 名
	主査	片渕 竜也		准教授	審査員	筒井 広明	准教授
	審査員	小原 徹		教授			
		相楽 洋		教授			
		赤塚 洋		准教授			

論文審査の要旨（2000 字程度）

本論文は「Study of Fission Product Yield by Deep Learning」と題し、5 章より構成されている。 第 1 章「Introduction」では、本論文の研究テーマである核分裂生成物収率（FPY）についてその背景と重要性について述べている。具体的には、核分裂過程とそれに関連する核データについて触れ、FPY がどのような物理量であるかを示し、核分裂観測量のうち最も重要な物理量の一つであることを述べている。さらに、FPY データが様々な原子核工学の応用においてどのように使用されるかについて説明し、実験・測定および理論計算における高精度な FPY データの取得の限界について議論し、未測定の中性子エネルギー領域での FPY データの理論予測の意義を指摘している。その上でベイズニューラルネットワーク（BNN）モデルに基づくディープラーニングを用いて、評価済み核データライブラリで提供される 3 つの入射中性子エネルギー（熱中性子、0.5 MeV, 14 MeV）以外の任意の中性子エネルギーで FPY データを予測し、ディープラーニングを用いた予測手法の有効性を明らかにするという本研究の目的を述べている。 第 2 章「Bayesian Deep Learning」では、本論文で用いたベイズ深層学習の基礎理論を紹介している。具体的にはベイズ推定、ニューラルネットワーク理論、BNN モデルおよび関連するアルゴリズムについて順に説明している。第 2.1 節では、ベイズ推定の基本概念を紹介し、ベイズの定理、ベイズ学習、およびベイズ予測について説明している。第 2.2 節では、ニューラルネットワークおよび深層ニューラルネットワークの基本的な構造と原理について概説している。これらの基盤をもとに、第 2.3 節では BNN モデルとその基盤となるメカニズムについて述べ、ベイズ推定と深層ニューラルネットワークを統合する方法について論じている。最後に、第 2.4 節では、本論文で用いた手法である BNN モデルを実装するために使用される近似ベイズ推定アルゴリズムについて詳述している。 第 3 章「Deep Learning Implementation to Nuclear Data」では、BNN モデルを用いて未知の FPY を評価・予測する方法を提案している。その際に提案する手法が従来手法に比べて革新的な三つの点を各節で取り上げ詳説している。3.1 節では、核データライブラリや理論モデルからのデータを統合してトレーニングデータを拡張する手法、つまり訓練データの増強について述べている。実験的な制約から任意の入射中性子エネルギーで核データ測定を行うのは難しく、また ENDF、JENDL、JEFF などの評価済み標準核データライブラリでは限られた入射中性子エネルギーについてのみ FPY データが与えられていることから、トレーニングデータとして JENDL の評価値に加え、実験値ライブラリ EXFOR で提供される測定値や理論計算を活用して訓練データを増強することの重要性を指摘している。3.2 節では、物理情報を埋め込んでモデル予測を改善する手法を提案している。BNN モデルはデータ駆動型であるため、未測定のエネルギー領域での予測が難しいが、殻効果に基づく殻効果因子という物理情報を BNN モデルに直接組み込むことでモデル予測を改善できることを明らかにしている。3.3 節では、モデル性能を効果的に評価するための検証手法の再構築について述べている。 第 4 章「Prediction and Discussion」では、BNN モデルの検証および予測結果について論じている。具体的には、データ拡張の有無、また殻効果因子の有無での BNN モデルの再現性と検証結果について比較している。殻効果因子がある方がモデルの予測精度が向上することを示した後、殻効果因子の強さを強弱の二通りで提案し、それぞれに対して BNN モデルを最適化する過程を示している。最後に、最適化された BNN モデルを用いて FPY データを予測し、その結果を基に、荷電分布、遅発中性子収率、およびその他の関連する指標を計算し、モデルの予測能力を総合的に評価し、モデルの信頼性を確認している。その結果、原子核物理に基づいて提案した弱い殻効果因子を用いた場合に、構築した BNN モデルが類似研究に比べて非常に高い値の再現性および予測性を示すことを明らかにしている。 第 5 章「Conclusion」では、以上の各章で得られた成果を統括し、結論を述べている。 これを要するに、本論文は中性子エネルギーの限られた測定データの制約を受けずに、様々な入射中性子エネルギーに対して FPY の予測値を高精度で予測できる新たな計算手法を確立しており、原子力安全に加え、核医学検査薬の製造効率の向上や核変換技術、核セキュリティのための核鑑識の精度向上など、工学上及び工業上貢献するところが大きい。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として十分価値のあるものと認められる。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。