



# HOKKAIDO UNIVERSITY

|                     |                                                                                                                                     |
|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Title               | 福島第一原子力発電所廃炉用高γ線線量率対応ダイヤモンド中性子計測システムの実用性向上に関する研究                                                                                    |
| Author(s)           | 織田, 堅吾                                                                                                                              |
| Degree Grantor      | 北海道大学                                                                                                                               |
| Degree Name         | 博士(工学)                                                                                                                              |
| Dissertation Number | 甲第16843号                                                                                                                            |
| Issue Date          | 2026-03-25                                                                                                                          |
| DOI                 | <a href="https://doi.org/10.14943/doctoral.k16843">https://doi.org/10.14943/doctoral.k16843</a>                                     |
| Doc URL             | <a href="https://hdl.handle.net/2115/99688">https://hdl.handle.net/2115/99688</a>                                                   |
| Type                | doctoral thesis                                                                                                                     |
| File Information    | Kengo_Oda_review.pdf, 審査の要旨 <a href="https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/">https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/</a> |



## 学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士 (工学) 氏名 織田 堅吾

審査担当者 主 査 准教授 金子 純一  
副 査 教 授 千葉 豪  
副 査 教 授 加美山 隆

## 学位論文題名

福島第一原子力発電所廃炉用高 $\gamma$ 線線量率対応ダイヤモンド中性子計測システムの実用性向上に関する研究

(Improving the Practical Applicability of a Diamond Neutron Measurement System Operable under High  $\gamma$ -Ray Dose-Rate Conditions for the Decommissioning of the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant)

福島第一原子力発電所では、2011 年 3 月 11 日に発生した地震により、運転中であった 1～3 号機すべてにおいて炉心溶融が発生し、燃料デブリは原子炉圧力容器内にとどまらず、原子炉格納容器内にまで広がっていると推定されている。燃料デブリ取り出し作業においては、デブリの形状や含水量の変化に伴う臨界の発生を防止するとともに、万一臨界が生じた場合においても被ばくを抑制するための臨界管理が不可欠である。この課題に対応するため、炉雑音法による未臨界度測定および中性子源増倍法による臨界近接監視に関する技術開発が進められてきた。しかしながら、最大 1 kGy/h に達する高 $\gamma$ 線線量率環境下において、燃料デブリから放出される微弱な中性子を現実的な時間内に計測可能な中性子感度を持つ軽量な中性子検出器の実現は、大きな課題となっている。

本論文では、福島第一原子力発電所廃炉事業における燃料デブリ取り出し作業を念頭に、高 $\gamma$ 線線量率に対応可能なダイヤモンド中性子計測システムの実用性向上に関する研究が行われた。論文は、序論と総括を含む全 7 章から構成されている。第 2 章では、ダイヤモンド検出器の基礎的特性ならびに検出器の作製方法および評価手法について示された。第 3 章では、ダイヤモンド中性子計測システムプロトタイプの実現可能性が検証されるとともに、実現に向けた主要な課題が整理された。第 4 章では、検出器用ダイヤモンドへの加工を通じたダイヤモンド中性子検出器の高 $\gamma$ 線線量率対応性の向上が、第 5 章では、ダイヤモンド合成時の酸素添加が検出器特性に及ぼす影響評価がそれぞれまとめられている。第 6 章では、約 100 枚を最終目標としたダイヤモンド中性子検出器を用いたダイヤモンド中性子計測システムが構築され、その動作検証が実施された。これらの成果は以下に要約される。

- (1) ダイヤモンド中性子検出器の中性子感度評価や高 $\gamma$ 線線量率への対応性評価などにより、6 mm 角程度のサイズのダイヤモンド検出素子を 1,024 枚用いることで、 $2 \text{ cps/n cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  の中性子検出感度を持ち、最大 1 kGy/h の高 $\gamma$ 線線量率下で中性子を測定可能で、総重量が 20 kg 未満となる設計となるダイヤモンド中性子計測システムプロトタイプを実現可能であることを明らかにした。
- (2) 検出器用ダイヤモンドに対するイオンビームエッチングおよび  $p^+$  ダイヤモンド層の導入という加工により、ダイヤモンドの結晶内捕獲準位を低減し、 $\gamma$ 線照射に起因するノイズ信号の低減を通じて $\gamma$ 線線量率対応性の向上に寄与することを明らかにした。

(3) ダイヤモンド合成時に酸素を添加することで、捕獲準位が少なく、成長表面が平坦なダイヤモンドを合成可能であることを明らかにした。一方で、ダイヤモンド結晶中への酸素の取り込みに起因して $\mu\tau$ 積が低下することが示唆され、 $\gamma$ 線線量率対応性の低下を招いた。合成時の酸素添加による $\gamma$ 線線量率対応性の向上は見込めなかったが、エネルギー分解能に優れた検出器用ダイヤモンドを合成することは可能であることを明らかにした。

(4) ダイヤモンド中性子計測システムの動作検証を実施した。動作検証として、中性子感度評価、中性子束への追従性評価、55 Gy/h の低 $\gamma$ 線線量率応答性評価を実施した結果、燃料デブリ取り出し作業の臨界管理に必要なダイヤモンド中性子計測システムの実現に向けた見通しが得られた。

これを要するに、本論文では、ダイヤモンド中性子検出器の高 $\gamma$ 線線量率対応性向上について、検出器用ダイヤモンドおよび酸素添加合成の観点から体系的な評価を行い、さらにダイヤモンド中性子計測システムの動作検証を通じて、燃料デブリ取り出し作業における臨界管理への実用性を検討した。この一連の研究は、福島第一原子力発電所廃炉事業の燃料デブリ取り出し作業を念頭に置いた高 $\gamma$ 線線量率対応ダイヤモンド中性子計測システムが実現可能であることを明らかにするとともに、その実用性向上のための技術的基盤を前進させ、過酷環境エレクトロニクスの発展に大きく貢献するものである。よって、著者は北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格があるものと認める。