

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	磁気機能性流体を用いたハプティックセンサによる原子力関連施設内部の遠隔センシング技術の開発
Title(English)	
著者(和文)	池田 遼
Author(English)	Ryo Ikeda
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第12821号, 授与年月日:2024年6月30日, 学位の種別:課程博士, 審査員:木倉 宏成,赤塚 洋,片淵 竜也,筒井 広明,高橋 秀治
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12821号, Conferred date:2024/6/30, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	融合理工学 原子核工学	系 コース	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士 Doctor of	（工学）
学生氏名： Student's Name	池田 遼		審査員主査： Chief Examiner	木倉 宏成	

要旨（和文 2000 字程度）

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

本論文は「磁気機能性流体を用いたハプティックセンサによる原子力関連施設内部の遠隔センシング技術の開発」と題し、全 5 章より構成した。以下に、本論文の各章における要旨を示す。

第 1 章「緒言」では、現在進められている東京電力ホールディングス福島第一原子力発電所の廃止措置において、カメラや線量計を搭載した小型炉内探査ロボットによる炉内センシングが行われているが、用いられる装置は単一のセンシング対象用途に開発されたものが多く、将来の原子力関連施設における廃止措置や災害対応には、放射線環境下にも適用可能な人型ロボットの開発が必要であることを示した上で、ロボット動作に不可欠な情報として、触覚に着目し、かつ、放射線環境下への適用には、耐放射線性や耐衝撃性に優れ、遠隔での運用が可能なセンサの開発が必要だと述べている。この実現のために、人型ロボットにおいて優れた触覚センシング機能を有する磁気機能性流体の一種である磁気混合流体 (Magnetic Compound Fluid: MCF) を応用したセンサである MCF ゴムセンサに着目し、原子力関連施設内部における触覚センシングにも応用可能であることを述べている。さらに、事前検証試験により γ 線によって電圧が上昇することが示されたことから、放射線計測、あるいは放射線の環境発電にも適用可能であることを述べている。MCF ゴムセンサは従来の触覚センサと比べて耐放射線性や耐衝撃性に優れており、センサ自体の自己電位を利用しているため、取り付けるだけでセンシングを行えるなど計測についての優位性が高いことを示している。そのために、MCF ゴムセンサを原子力分野に応用した新たな素子、放射線にも適用可能な環境発電デバイスと、人型ロボットへの応用を目的とした触覚センサであるハプティックセンサを開発することを提案しており、従来の廃止措置をはじめとした原子力分野におけるセンシング技術の研究開発の現状を概観した上で、本研究の位置づけ、意義および目的を述べた。

第 2 章「磁気混合流体ゴムセンサの作製手法および環境発電デバイスの開発」では、MCF ゴムセンサの作製手法について示し、磁性流体と高分子材料の架橋、自己電位の発生メカニズム、電線との接着、添加するドーパント剤によるセンシングへの特性に対する影響について取り上げ、 γ 線の照射時における電気信号の変化を隔離された部屋から遠隔で測定し、放射線によってセンサから出力される電圧が上昇することを明らかにしている。また、MCF ゴムセンサの組成を変えて実験を繰り返した結果、 γ 線による発電効果にはドーパント剤の違いによる影響が大きいことを明らかにしている。そして、交流インピーダンス測定、サイクリックボルタンメトリーによって、MCF ゴムセンサの電気的な特性について明らかにし、MCF ゴムセンサから出力される電気信号についてのパワースペクトル解析では、 γ 線特有の周波数帯が観測できることを明らかにしている。検証試験の結果、MCF ゴムセンサを応用した放射線の環境発電デバイスに用いるドーパント剤として最も適しているのは二酸化チタンであることを示した。さらに、MCF ゴムセンサを応用した放射線の環境発電デバイスを作製し、その特性や有効性を明らかにした。

第 3 章「磁気混合流体ゴムセンサのハプティック技術への応用」では、人間の触覚を模倣するにあたっては人体における細胞組織が参考にされることを示し、人型ロボットに搭載するためのハプティックセンサの開発へのアプローチとして、人間の皮膚組織を MCF ゴムセンサにより模倣する構想について述べている。細胞組織として機械受容器、温度受容器および自由神経終末を取り上げ、MCF ゴムセンサを応用してハプティックセンサとして作製するまでの手順とその構成を示した上で、作製したハプティックセンサに圧力、熱、電磁波、 γ 線の外部刺激を与えた際の電気信号の変化を計測し、ハプティックセンサは圧力、熱、電磁波を繊細にセンシングできることを明らかにするとともに、交流インピーダンス測定を行うことによって、ハプティックセンサの電気的な特性と周波数特性を明らかにした。

第 4 章「磁気混合流体ゴムセンサの放射線環境下における遠隔センシングへの応用」では、これまでのセンサ開発の知見から、放射線環境下において運用可能な人型ロボットの歩行状態を遠隔で判別するためのセンサ開発について検討し、有効と思われる足底触覚センサの構成、用いる組成について示している。実際に人型ロボットにセンサを搭載した状態で、 γ 線照射時における歩行試験を行い、足底触覚センサ取り付けにより、出力された電気信号から歩行状態を遠隔で判別できることを明らかにした。

第 5 章「結言」では、各章で得られた成果を要約し総括するとともに、開発したセンサの今後の展望を示した。

以上より、本論文では磁気機能性流体を用いたセンサによる原子力関連施設内部の遠隔センシング技術を新たに開発し、その特性と原子力分野におけるセンシングにおける有効性について明らかにした。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(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。
Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	融合理工学 原子核工学	系 コース	申請学位(専攻分野)： Academic Degree Requested	博士 Doctor of	(工学)
学生氏名： Student's Name	池田 遼		審査員主査： Chief Examiner	木倉 宏成	

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

In nuclear facilities, many robots such as crawler-type, arm-type, and multi-joint manipulators perform maintenance work and internal investigation in areas with a high-dose radiation environment where humans cannot be present for a long time. Recently, in the decommissioning process of the Tokyo Electric Power Company HD Fukushima Dai-ichi nuclear power plant, various robot technologies such as a remote operation vehicle, shape-changing robot, and small robot equipped with a gamma camera have been utilized to measure the inside of the reactor building.

On the other hand, humanoid robots suitable for nuclear facilities will be required in the future. Humanoid robots are expected to replace human tasks in a radiation environment, including debris removal, equipment maintenance, and disaster countermeasures. That contributes to reducing the risk of radiation exposure to humans and improves work efficiency. Accurate sensing of tactile and temperature information is crucial for the seamless functioning of humanoid robots. Furthermore, the robot's equipped sensor needs radiation and shock resistance for remote sensing in a radiation environment.

Therefore, we focused on a rubber sensor utilizing magnetic compound fluid (MCF). The MCF rubber sensors are highly effective in providing tactile and temperature sensitivity, which makes them suitable for use in a haptic sensor of a humanoid robot. Additionally, it can be applied to radiation measurement and energy harvesting device.

In this study, we conducted to explore the potential of using MCF rubber sensors for tactile sensing and energy harvesting in a radiation environment. Therefore, we applied the MCF rubber sensor to develop new elements, an energy harvesting device for radiation, and haptic sensors for humanoid robots, based on past research of functional fluid, semiconductor devices, and artificial skin that mimics human skin tissue. Finally, we conducted to evaluate the voltage generation efficiency of γ -ray, characteristics of AC properties, and tactile and temperature sensitivity of the developed devices. As a result, MCF rubber sensors are effective for sensing using humanoid robots in nuclear facilities.

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note: Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1 copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(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。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).