

様式 I

博士學位論文調査報告書

論文題目

A Study on Field Work Support in Nuclear Power Plants Utilizing
3D Reconstruction Model and Tagging
(3次元再構成モデルとタギングを活用した原子力発電プラントの
現場作業支援に関する研究)

申請者 原園 友規

最終学歴 平成 31年 3月
京都大学大学院エネルギー科学研究科
エネルギー社会・環境科学専攻 修士課程 修了

調査委員 京都大学大学院エネルギー科学研究科
(主査) 教授 下田 宏

調査委員 京都大学大学院エネルギー科学研究科
教授 宇根崎 博信

調査委員 京都大学大学院エネルギー科学研究科
教授 黒崎 健

(続紙 1)

京都大学	博士 (エネルギー科学)	氏名	原園 友規
論文題目	A Study on Field Work Support in Nuclear Power Plants Utilizing 3D Reconstruction Model and Tagging (3次元再構成モデルとタギングを活用した原子力発電プラントの現場作業支援に関する研究)		
(論文内容の要旨)			
<p>国内外の原子力発電プラントにおいて、経年化した原子炉の継続的な運用のための保守作業や、寿命を迎えた原子炉の廃炉のための解体作業の需要は大きくなっている。特に、原子力発電は高い安全性や信頼性が求められる分野であるため、そのような保守作業・解体作業全てにおいて重大事故に繋がらないよう、綿密かつ安全確実な作業の遂行や想定外事象発生時の適切な対応が求められる。本研究では、それらを支援するためのアイデアの一つとして ICT (Information and Communication Technology) を活用した「タギング」を提案し、原子力関連施設における現状の課題に対して 3次元再構成モデルとタギングを活用した支援手法を提案し、それらの有用性に関して評価した結果をまとめたものであり、5章からなっている。</p> <p>第1章は序論で、日本及び世界の原子力発電に関する近年の動向について述べた後、原子力発電プラントでの作業における課題について述べている。その後、作業を支援する技術として CAD(Computer Aided Design)等の ICT の活用例を挙げ、CADよりも作業現場を忠実に反映する 3次元再構成モデルを説明している。最後に、3次元再構成モデルを活用した作業支援のアイデアとして、「タギング」を提案し、本論文での研究の目的及び本論文の構成について概説している。</p> <p>第2章では、原子力発電プラントの現場作業における課題である、作業計画検討時の現場監督への負担低減や、作業時の作業ミスの可能性の低減を目指した支援手法として、作業現場の 3次元再構成モデル上に作業関連情報をタギングすることができる GUI(Graphical User Interface)ツールと、それらの情報を実際の作業現場で確認できる拡張現実感(Augmented Reality; AR)アプリケーションの 2つのシステムを提案・開発し、それらを使用した際の有用性について評価した結果について述べている。評価は、実際の廃炉作業が行われている原子力発電プラントにて、廃炉作業に従事する作業員 6名を対象に実施した。評価の結果、3次元再構成モデル描画時の視点移動のスピード等、開発したインタフェースの操作性に関していくつかの問題点が挙げられたものの、作業現場の 3次元再構成モデルにより現場の詳細な状況を把握することができることや、ARによる情報提示により現場での作業ミスの低減に有効であることが、アンケート及びインタビューの結果から分かった。</p>			

第3章では、第2章で利用した3次元再構成モデルを作業員自身が容易に作成できるようにするための環境スキャン支援システムの開発について述べ、さらに実験環境での定量評価と実際の原子力発電プラント内部での実地評価の結果について述べている。本システムはタブレットPCに深度画像も撮影可能なRGB-Dカメラを装着し、ユーザが作業現場等の屋内空間を移動しながら再構成する環境をRGB-Dカメラでスキャンし、スキャンされた映像・深度データから3次元再構成モデルを作成するものである。本システムでは、ARを用いて画面上に未スキャンの領域をリアルタイムに可視化することで、その領域のスキャンを促すものである。定量評価では、オフィスのような屋内環境において18名の実験参加者が本支援手法を利用する場合と利用しない場合で環境をスキャンした。その結果として、支援手法を利用しない場合のスキャン完了率が平均 $40.9 \pm 6.8\%$ であったのに対して、利用した場合は $43.4 \pm 3.5\%$ と、有意に高くなった($p < 0.05$)。また、実際の原子力発電プラントでの有用性を検証するために、同様の実験をプラント構内にて現場作業員を対象に実施した。4名の実験参加者に本支援手法を利用する場合と利用しない場合で定められた現場環境をスキャンしてもらった結果、すべての参加者において本支援手法を利用した方が高いスキャン完了率を示した。

第4章では、原子力関連施設で行われている緊急時対策訓練を対象に、タギングを活用したAR訓練構築支援システムを提案・開発し、実際の施設職員を対象にその有用性を評価したことを述べている。近年注目されているAR訓練や原子力関連施設で行われてきた緊急時対策訓練では、体験できる訓練シナリオが限定的であり、多様なシナリオの訓練を実施するのは難しい。本システムでは、プログラムブロックと呼ばれる積み木のようなブロックを組み合わせることで、火事等の災害だけでなく、外部からの侵入や設備の爆発等のさまざまな事象やそれらの発生タイミング・条件等を自由に設定でき、それらを発生させたい訓練環境に配置(タギング)することで、設定されたシナリオをARで体験することができる。7名の施設職員に本システムを利用して訓練シナリオを作成してもらい体験してもらった結果、プログラミングの経験のない職員でも数十分程度でAR訓練を作成できたことから、容易かつ短時間でAR訓練シナリオを作成できることがわかった。また、インタビュー調査等から、作成できるシナリオの自由度が十分高いとは言えないことも分かったが、プログラムブロックの種類を追加する等の軽微な修正で、実際の施設で求められる訓練シナリオを実現できることが分かった。

第5章は結論で、第2章から第4章で述べた内容をまとめ、それに基づいて本論文で提案したタギングの、原子力発電プラントの作業支援における有用性と評価から得られた課題を述べ、さらに原子力発電プラント内での利用するための将来のARデバイスの理想像について言及している。また、今後の展望として、近年注目されている技術であるデジタルツイン実現における本研究の意義についても述べている。

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

福島第一原子力発電所の事故やカーボンニュートラルに向けたエネルギーシステムの再構築に伴い、原子力発電プラントのさらなる安全性や効率の向上が希求されている。本研究では、近年の ICT の急速な発展により実現可能になってきた 3次元再構成モデルを活用した原子力発電プラントでの安全で効率的な作業支援のアイデアとして、作業現場と情報とを直接紐づける「タギング」の活用方法を提案した。さらに、タギングを活用した作業支援方法を実現し、実際の原子力関連施設においてその有用性を評価した。得られた主な成果は以下のとおりである。

1. 原子力発電プラント内の保守・解体作業における作業計画検討及び拡張現実感(AR)による作業時の情報共有支援として、3次元再構成モデルとタギングを用いた支援手法を提案した。実際の原子力発電プラントで作業に従事する職員6名による評価の結果、本支援手法が作業計画検討時の現場滞在時間の低減や作業時のヒューマンエラーの低減に有用であることがわかった。
2. 1で実施した研究に関連して、作業現場の外観を忠実に再現する3次元再構成モデルを現場作業員が容易に作成可能にするためのスキャン支援手法を開発し、その有効性を被験者実験により定量評価するとともに、実際の原子力発電プラントの作業現場にて4名の作業職員の参加により評価した。評価の結果から、本提案手法は支援の全くない場合と比較して、容易にスキャンの抜け落ちの少ない、タギングに適した3次元再構成モデルが作成できることがわかった。
3. 原子力関連施設での緊急時対策訓練を対象に、プログラムブロックの配置というタギングと拡張現実感(AR)を活用して、容易に訓練シナリオを作成できるAR訓練構築手法を提案し、その有用性を施設職員7名の参加により評価した。評価の結果から、プログラミングスキルを持たないユーザでも30分程度のチュートリアルだけで自由に訓練シナリオが設計でき、それをARで体験できることを示した。

以上、本研究では、3次元再構成モデルとタギングを活用した原子力発電プラントの作業支援手法を提案しその有用性を示したもので、得られた成果は安全かつ効率的な原子力発電プラントでの作業遂行に貢献するものであり、作業支援手法における新たな視点を提供するとともに、近年注目されているデジタルツインの実現等への展開も期待でき、学術上及び實際上、資するところが少なくない。

よって、本論文は博士(エネルギー科学)の学位論文として価値あるものと認める。また、令和4年4月25日に実施した論文内容とそれに関連した試問の結果合格と認めた。

論文内容の要旨、審査の結果の要旨及び学位論文の全文は、本学学術情報リポジトリに掲載し、公表とする。ただし、特許申請、雑誌掲載等の関係により、要旨を学位授与後即日公表することに支障がある場合は、以下に公表可能とする日付を記入すること。

要旨公開可能日： 年 月 日以降