

( 続紙 1 )

京都大学	博士 (エネルギー科学)	氏名	顔 偉 達
論文題目	A Study on Augmented Reality for Supporting Decommissioning Work of Nuclear Power Plants (原子力発電プラントの解体作業支援のための拡張現実感に関する研究)		
(論文内容の要旨)			
<p>本論文は、放射性廃棄物の取り扱いが煩雑な原子力発電プラントの解体作業に際し、その安全性を確保するとともに作業効率の向上を目指し、最新の情報技術である拡張現実感技術を作業支援に適用するための基礎的技術の研究開発と試作システムの導入評価の結果をまとめたもので、5章からなっている。</p> <p>第1章は序論で、我が国には多くの商用原子力発電プラントが稼働しており、将来その運転期間を終えて解体し新しいプラントへの置き換えが見込まれていることと、そのプラントの解体には放射化された機器・配管や構造物等の多くの放射性廃棄物を取り扱う必要があり、安全の確保が必要であるばかりでなく煩雑な作業を効率化することが望まれているなど、研究の背景を述べている。その後、この課題を解決することを目指して、新しい情報通信技術である拡張現実感技術を作業支援技術として活用することを述べ、最後に本研究の具体的な目的として、作業の安全を確保できる信頼性の高いトラッキング基礎技術を研究開発することと、解体作業支援のための試作システムを開発して作業現場で評価することを述べている。</p> <p>第2章では、プラント解体作業支援に利用可能な信頼性の高いトラッキング技術の研究開発について述べている。トラッキング技術は作業者の視線位置と方向を計測することで、コンピュータで生成された仮想物体や情報があたかも現実世界に存在するかのように見せるための基礎技術であるが、これまで広範囲に複雑な機器が多数存在するプラント構内において、機器の解体作業支援に利用可能な信頼性の高いトラッキング技術は存在しなかった。そこで本研究では、円形のマーカーの周囲に小さな4つの円を組み合わせることで認識精度の向上と認識距離範囲を大幅に拡大した拡張現実感用マーカーを新たに設計・開発した。さらに、プラント構内に貼付したマーカーの3次元位置を計測する煩雑な作業を自動化するために、カメラとレーザー距離計測機を組み合わせることによって高速に位置計測が可能になるマーカー自動計測システム MAMS(Marker Automatic Measurement System)を開発した。これらを用いることで、プラント構内の解体作業現場において簡便に利用可能な信頼性の高いトラッキング基礎技術を開発することができた。</p> <p>第3章では、第2章で開発したトラッキング基礎技術を補助する特徴線トラッキング技術の研究開発について述べている。プラント作業現場には狭隘な作業箇所も多く存在し、開発したマーカーを貼付できないことも想定される。マーカーを利用しないトラッキング技術として、これまで周囲の機器の角や特徴的な模様等の作業現場に元から存在する特徴的な点を利用する特徴点トラッキング方法が提案されている。しかし、多くのパイプ等が交差するプラント構内ではその交差点で擬似的な特徴点が現れ、トラッキング精度と安定性が著しく低下するため、この方法を利用</p>			

することは難しい。そこで、本研究では、プラント構内に機器の筐体やパイプ等の直線状の形状が多く存在することを利用して、その直線をトラッキングに利用する特徴線トラッキング手法を開発した。ここでは特に位置計算処理 P3L(Perspective 3 Lines)を並列化することで計算時間を大幅に短縮し、RANSAC(Random Sample Consensus)手法の繰り返し計算回数を増加させることにより、トラッキング精度を向上させ信頼性の高い特徴線トラッキング手法を実現した。

第4章では、原子力プラント解体作業を支援する拡張現実感システムの試作と解体現場作業員による評価について述べている。拡張現実感技術は比較的新しい技術であり、これまでプラント構内で実用化した例はない。そこで、本研究では、原子力プラント解体時の作業支援への拡張現実感技術の適用可能性を検討することを目的として作業支援システムを試作し、「ふげん」原子力発電所の解体作業現場でその有効性を評価した。具体的には、多くの機器が密集する狭隘な作業現場で機器の解体や搬出作業が実施可能かどうかの作業計画を検討するため、第2章で開発したマーカーと MAMS を利用して拡張現実感を実現し、実際の作業現場で拡張現実感技術により解体対象機器を搬出、仮置き、解体する様子を提示することで周辺の機器や構造物との干渉状態を確かめる解体作業模擬システム TPCOSS(Temporary Placement and Conveyance Support System)を試作した。さらに、3人の解体現場作業員とインタフェース専門家によるヒューリスティック評価法によりその適用可能性を確認した。

第5章は結論で、広範囲に複雑な機器が多数存在する原子力プラント構内において、機器解体作業支援に用いることができる信頼性の高いトラッキング技術を開発したこと、および、その技術を活用して作業現場で解体作業を模擬するシステムを試作し、その実用性を評価したことを述べ、これらを踏まえて作業支援への導入に向けた課題や将来の展望を述べている。

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、放射性廃棄物の取り扱いが煩雑な原子力発電プラントの解体作業に際し、その安全性を確保するとともに作業効率の向上を目指し、最新の情報技術である拡張現実感技術を応用した作業支援を実用化するための基礎的技術の研究開発と試作システムの導入評価の結果をまとめたものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

1. トラッキング技術は作業者の視線の位置と方向を計測することで、コンピュータで生成された仮想物体や情報があたかも現実世界に存在するかのように見せるための拡張現実感技術の基礎となるが、これまでプラント構内のような広範囲に多数の複雑な機器が存在する環境で利用可能な信頼性の高いトラッキング技術はなかった。そこで本研究では、拡張現実感用マーカ―を新たに設計・開発するとともに、その利用に必要な 3 次元位置計測作業を自動化するシステムを開発することで、プラント構内において簡便に利用可能で十分な信頼性を持つ実用的なトラッキング基礎技術を開発した。
2. プラント構内には狭隘な作業部分等があり、開発したマーカ―を利用できない箇所があることも想定されるため、補助的なトラッキング手法としてマーカ―の代わりに作業環境中の機器の筐体やパイプ等の直線状の形状特徴を利用する特徴線トラッキング手法を開発した。ここでは特に位置計算処理 P3L を並列化することで計算時間を大幅に短縮し、RANSAC 手法の繰り返し計算回数を増加させることでトラッキング精度の向上を実現した。
3. 開発したトラッキング手法を利用してプラント解体作業計画支援システムを試作し、「ふげん」原子力発電所の解体作業現場でその実用可能性を評価した。具体的には多くの機器が密集する狭隘な作業現場で、機器の解体や搬出作業が実施可能かどうかの作業計画を検討するため、拡張現実感技術を応用して仮想的に機器の解体・搬出・仮置きを模擬するシステムを試作し、3 人の解体現場作業員とインタフェース専門家によるヒューリスティック評価法によりその実用性を確認した。

以上、本論文は原子力プラント解体作業への支援を目標として拡張現実感の基礎技術開発と試作システムによる実用性評価について述べたものであり、得られた成果は拡張現実感技術を活用した安全且つ効率的な原子力プラント解体作業支援の実用化に大きく貢献するものであり、学術上、實際上、資するところが少ない。

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、平成 25 年 4 月 19 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。

論文内容の要旨及び審査の結果の要旨は、本学学術情報リポジトリに掲載し、公表とする。特許申請、雑誌掲載等の関係により、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