

審査の結果の要旨

氏 名 陳 実

建設中および廃止措置中の原子力施設は、多くの作業安全上の危険が潜在的に存在する環境の一つである。建設中および廃止措置中の原子力施設は、化学的、放射線学的、そして非放射線的のハザードなど、作業者にとってのリスクが高くなる。とくに福島第一原子力発電所の廃止措置ではこれまで経験のない作業を求められることがあるため、従来以上に作業者の安全性を確保する必要がある。作業者を労災事故から守るための重要な安全対策の一つが個人用保護具の装着や危険な電動工具などの不適切な取り扱いなど危険状況の発生を監視し検知することである。陳氏の論文では、深層学習による監視ビデオ映像の認識機能と自然言語処理による推論機能を統合したモデルを提案し、作業安全対策上の危険状況をリアルタイムで検知する手法が新たに開発されている。

論文は7つの章から構成されている。

第1章では、作業現場における作業安全上の危険に対する最新の検知技術がレビューされ、各々のメリット・デメリットが解説されている。そのうえで開発すべき4つの技術課題として、安全規程文書等からの遵守・禁止ルールの自動抽出と表現、監視ビデオ映像の画像認識出力からの危険情報の表現、カメラ視点に依存しない頑健な画像認識、作業者の危険回避を可能とするためのリアルタイム危険検知、が導き出された。

第2章ではまず、安全規程文書の遵守・禁止ルール文と監視ビデオ映像の画像認識情報という異なる情報の比較を実現するためのインターフェイスについて検討された。陳氏はインターフェイス実現の手段として4つの手法を提案・検討した中からグラフ構造の適用を選択するとともに、遵守・禁止ルール文のグラフ構造化モジュール、画像認識情報のグラフ構造化モジュール、両グラフ構造の比較による危険状況の自動推論モジュールの3構成からなるアルゴリズムを提案した。

第3章では、自然言語処理を用いた遵守・禁止ルール文のグラフ構造化モジュールについて解説されている。この手法はトークン化と形態素分析からなる前処理、品詞タグ付けと関係性解析からなる特徴生成、オントロジーモデル・

フレーズ関係分析・禁止/義務関係分析・条件付き関係分析からなる意味論解析、および論理表現を用いたグラフ構造生成の、4つの行程で構成される。陳氏は4つの全行程の自動計算プログラムも実装した。また、このグラフ構造は危険状況を規定するための条件・遵守・禁止の3層構造を形成するため、階層型シーングラフと名付けられた。

第4章では、画像認識情報のグラフ構造化モジュールについて解説されている。物体認識と人物姿勢認識には深層学習モデルであるYOLOv3とOpenPoseを改良したアルゴリズムと独自開発した肌色検出アルゴリズムが採用されている。これらから得られる画像認識情報と位置情報に二部グラフ最小重み付きマッチングを適用し幾何学的相互関係を分析することで、カメラ視点に依存しない頑健な画像情報のグラフ構造が出力される。陳氏はその自動計算プログラムも実装した。

第5章では、両グラフ構造の比較による危険状況の自動推論モジュールについて解説されている。安全規程文書から事前に生成された階層型シーングラフと監視ビデオ映像からリアルタイムで出力されるグラフ構造は同型写像を用いて比較され、禁止ルールに該当する危険状況および遵守ルールに反する危険状況が識別されている。この自動計算プログラムも実装されている。

第6章では、開発したプログラムによる危険状況識別性能が検証されている。建設作業現場および廃炉作業現場に関連する10の禁止・遵守ルール例を対象に、該当する監視ビデオ映像を入力データとして行った検証では、平均検出速度7.95 fpsを確保しながら正解率94.22%、再現率85.45%と高精度な識別性能が示された。

第7章は結論と今後の課題である。文書情報と画像情報とのグラフ構造化による危険状況判定手法を提案したこと、2種のグラフ構造を生成し比較判定する自動計算プログラムを実装したこと、および高精度の検証結果が得られたことが述べられるとともに、さらなる発展として未来予測手法の導入が有効であるとされている。

本研究は、文書情報と画像情報という異なる情報のインターフェイスを新たに提案した点、およびこれを応用した危険状況自動判定手法を開発し有効性を示した点で、学術的に有意義であると言える。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。