

厚生労働科学研究費補助金 (労働安全衛生総合研究事業)

総括研究報告書

特定機械等におけるデジタル技術の活用促進に向けた課題抽出

研究者

研究分担者	山際謙太	(独) 労働者健康安全機構 労働安全衛生総合研究所 機械システム安全研究グループ・部長
研究協力者	濱島京子	(独) 労働者健康安全機構 労働安全衛生総合研究所 機械システム安全研究グループ・首席研究員
研究協力者	山口篤志	(独) 労働者健康安全機構 労働安全衛生総合研究所 機械システム安全研究グループ・上席研究員
研究協力者	緒方公俊	(独) 労働者健康安全機構 労働安全衛生総合研究所 機械システム安全研究グループ・主任研究員

研究要旨

本研究では、特定機械等における安全管理へのデジタル技術活用促進に向けた課題抽出を目的として、(1) 移動式クレーン、天井クレーン、ボイラー・圧力容器等を対象としたデジタル技術マップの構築、(2) 韓国の韓国産業安全保健公団 (KOSHA) 及び産業安全保健研究院 (OSHRI) 訪問による外国の取組の把握、(3) ワイヤロープ及び繊維ロープ画像を対象とした機械学習の基礎的検討、の3点を実施した。技術マップの構築では、活用場面、期待される安全衛生効果、導入上の制約、安全上の論点、関連法令・規格を整理し、さらに「危険源除去・低減」「時間空間分離」「状態把握・警報」「教育訓練・記録支援」という安全確保の考え方との対応を示した。韓国調査では、スマート安全装備の導入が、支援制度、技術分類、認証・標準化の検討と一体で進められていること、また法令上の位置付け、性能確認、責任分担、費用対効果の評価等が制度運用上の課題であることを確認した。機械学習の基礎的検討では、鋼ロープ高荷重条件のラインカメラ画像に対し、試験片単位の 4-fold 評価で全検証データに対して MAE 0.1317, RMSE 0.1692, 相関係数 0.8680 を得て、損傷進行度を一定程度推定できる可能性を示した。以上より、デジタル技術は点検・監視・教育・記録の高度化に有用である一方、多くは人の判断を代替するものではなく、制度との整合、性能確認、データ蓄積及び運用設計を前提とした補完的技術として位置付けることが重要であることを明らかにした。

研究分担者

① 濱島京子

（独）労働者健康安全機構労働安全衛生総合研究所

機械システム安全研究グループ

首席研究員

② 山口篤志

（独）労働者健康安全機構労働安全衛生総合研究所

機械システム安全研究グループ

上席研究員

③ 緒方公俊

（独）労働者健康安全機構労働安全衛生総合研究所

機械システム安全研究グループ

主任研究員

A 研究目的

本研究の目的は、特定機械等の安全管理に活用し得るデジタル技術について、その適用可能性、導入上の留意点及び制度的課題を整理し、我が国における活用促進に向けた基礎資料を得ることである。対象とする技術は、センサ、監視カメラ、ドローン、DCS、通信技術、記録支援技術、生成 AI、機械学習等を含み、対象設備としては移動式クレーン、天井クレーン、ボイラー・圧力容器、及び複数設備に共通する設備・事業場横断的技術を念頭に置いた。

本年度は、単に新しい技術を列挙するのではなく、安全管理上どの工程に適用でき、どのような情報を取得・蓄積し、どのような支援が可能かを整理することを重視した。あわせて、韓国におけるスマート安全装備の導入支援や標準化の考え方を調査し、我が国で今後検討すべき制度運用上の論点を明らかにすることを目指した。また、機械学習については、ワイヤロープ画像から損傷進行状態を推定する具体例を通じて、安全分野における画像計測、データ蓄積、状態推定及び点検支援の接続可能性を検討した。

B 研究方法

1 全体方針

研究は、第一に既存調査結果及び本年度の検討結果を再整理し、対象設備と活用場面の二軸からデジタル技術を俯瞰する技術マップを構築した。第二に、韓国の KOSHA 及び OSHRI を訪問し、スマート安全装備の導入状況、関係省庁の施策、支援制度、認証・標準化に関する考え方及び制度運用上の課題についてヒアリングを行った。第三に、ワイヤロープ及び繊維ロープの U 曲げ疲労試験中に取得した画像を用い、機械学習による損傷進行度推定の基礎的検討を実施した。

2 デジタル技術マップの作成

技術マップの作成に当たっては、移動式クレーン、天井クレーン、ボイラー・圧力容器及び設備・事業場横断の 4 区分を対象とし、活用場面を「点検・検査」「状態監視」「作業安全」「操作・制御」「教育訓練」「記録・証跡」に分類した。その上で、各技術について、期待される安全衛生効果、導入段階、導入上の制約、安全上の論点、更新性及び関連法令・規格を整理した。また、安全確保の考え方として「危険源除去・低減」「時間空間分離」「状態把握・警報」「教育訓練・記録支援」を設定し、各技術が主としてどの考え方に関連するかも整理した。

3 韓国調査

韓国調査は、2026 年 3 月 17 日に KOSHA 及び OSHRI を訪問して実施した。ヒアリングでは、スマート安全及びスマート技術の位置付け、スマート安全装備の支援対象、関係省庁の役割分担、認証・標準化の考え方、制度運用上の課題等について確認した。また、支援対象として整理されたスマート安全装置 37 種の内容をもとに、機能別の分類を行った。

4 機械学習の基礎的検討

機械学習の検討では、ワイヤロープ及び繊維ロープの U 曲げ疲労試験中にラインカメラで取得した画像を用いた。鋼ロープ高荷重条件を主対象とし、画像から局所パッチを生成したうえで、観察時点の繰返し数を破断繰返し数で除した寿命消費率を学習ラベルとした。モデルには畳み込みニューラルネットワークを用い、試験片単位の leave-one-specimen-out 4-fold 評価により未知試験片に対する推定性能を評価した。

C 研究結果及び考察

1 デジタル技術マップの構築と位置付け

技術マップの整理により、ロードセル、角度計、GNSS、無線センサ、監視カメラ、ドローン、UT・3D 計測、DCS、インターロック、VR 教材、電子日報、生成 AI を用いた安全確認支援等の技術について、対象設備、活用場面、期待される安全衛生効果、導入上の制約、安全上の論点及び関連法令・規格を俯瞰的に整理することができた。これにより、設備固有の技術と、事業場横断的に利用される支援技術とを区別して把握できるようになった。

安全確保の考え方との対応を整理した結果、デジタル技術の多くは、危険源そのものを除去するというより、状態把握、警報、時間空間分離の維持、教育訓練及び記録支援に強みを持つことが明確となった。このことは、デジタル技術を安全管理に導入する際、多くの場合において人の最終判断や既存の安全方策を代替するものではなく、それらを補完し、判断材料や記録を充実させる技術として位置付けるべきことを示している。

また、本マップ及び付随する表は、本研究において調査し得た範囲の技術及び関連情報を整理したものであり、当該分野の技術を網羅的に列挙したものではない。一方で、新技術が出現した際には、用途及び対象設備の確認、活用場面の判定、期待される安全衛生効果や関連法令・規格の整理、安全確保の考え方との対応付け、既存技術との重複又は包含関係の確認という手順により、継続的に更新可能な構造として整理した点に意義がある。

2 韓国調査から得られた知見

韓国調査では、IoT、AI、ビッグデータ、クラウドコンピューティング、ロボティクス等を活用した安全管理の高度化が「スマート技術」及び「スマート安全」として位置付けられ、スマート安全装備の導入が政策的に進められていることを確認した。雇用労働部、中小ベンチャー企業部、国土交通部等が役割分担を行いながら、中小規模事業場への補助事業や建設分野を中心とした導入支援が進められていた。

支援対象として整理された 37 種のスマート安全装置には、AI 画像認識、人検知、接近警報、自動停止、クレーン・高所作業に関する転倒防止、化学災害監視、電気災害防止、個人保護具の高度化等が含まれていた。韓国の事例からは、デジタル技術の導入促進に当たって、単に個別技術の有用性を示すだけでなく、支援対象の整理、機能分類、性能評価、認証・標準化及び制度との整合を一体として検討することが重要であることが示唆された。

一方で、法令上の定義や適用範囲の曖昧さ、性能検証制度の不足、認証基準の未整備、事故発生時の責任分担の不明確さ、個人情報保護、導入コストと効果測定の難しさ等も課題として認識されていた。これらは、我が国で今後デジタル技術を安全管理へ活用していく際にも共通して検討すべき論点である。

3 機械学習技術の具体例としてのワイヤロープ評価

ワイヤロープ画像を用いた機械学習の基礎的検討では、鋼ロープ高荷重条件に対する試験片単位 4-fold 評価において、全検証データに対して MAE 0.1317, RMSE 0.1692, 相関係数 0.8680 を得た。fold 1 から fold 3 では MAE が 0.10 前後であり、未知試験片に対しても損傷進行度を一定程度推定できる可能性が示された。一方、fold 0 では予測値が全体的に高めとなり、寿命消費率の絶対値推定には試験片間差の影響が残ることも確認された。

この結果は、画像と機械学習を組み合わせることで、ワイヤロープの損傷進行に伴う相対的な画像特徴の変化を捉えられる可能性を示す一方、現段階では自動判定装置として単独で用いるのではなく、点検支援技術又は状態監視技術として位置付けるのが妥当であることを示している。画像を時系列的に保存し、推定値とともに蓄積することで、損傷進行の把握、点検対象の優先順位付け、記録の客観化、遠隔確認等に活用し得る。

また、この検討は、機械学習技術をデジタル技術マップの中でどのように位置付けるべきかを具体的に示す事例となった。すなわち、機械学習は単なる自動判定手法ではなく、画像計測、データ蓄積、状態推定、点検支援を接続する支援技術として理解することが適切であり、多様な条件のデータ蓄積とモデル改善が今後の課題である。

D 結論

本研究では、特定機械等における安全管理へのデジタル技術活用促進に向けた課題抽出を目的として、技術マップの構築、韓国 KOSHA/OSHRI 訪問調査及び機械学習の基礎的検討を行った。その結果、デジタル技術は点検・検査、状態監視、作業安全、操作・制御、教育訓練及び記録・証跡の各場面において有用である一方、多くの場合、人の判断を代替するものではなく、既存の安全方策を補完する支援技術として位置付けることが適切であることを示した。

また、韓国調査からは、デジタル技術の導入促進には、個別技術の導入支援だけでなく、技術分類、性能確認、認証・標準化及び制度との整合が重要であることが明らかとなった。さらに、ワイヤロープ画像に対する機械学習の検討からは、画像計測と機械学習を用いた状態推定が安全管理に有用な基礎資料となり得ることが示された。

今後は、技術マップを継続的に更新しつつ、個別技術について実データに基づく性能検証を蓄積し、標準化及び制度的課題の検討を進めることにより、特定機械等の安全管理の高度化に資するデジタル技術活用の具体的要件を明らかにしていく必要がある。

E 研究発表

1. 論文発表

該当なし。

2. 学会発表

該当なし。

F 知的所有権の取得状況

1. 特許取得

該当なし。

2. 実用新案登録

該当なし。

1 3. その他

該当なし。

G 引用文献

各分担報告書に示す。