

令和 7 年度厚生労働科学研究費補助金
労働安全衛生総合研究事業

研究成果報告書

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

令和 7 年度 総括・分担研究報告書

研究代表者 山際謙太

令和 8(2026) 年 5 月

目次

報告書	頁
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	1
分担研究報告書：デジタル技術マップの作成	7
分担研究報告書：韓国（KOSHA/OSHRI）訪問による外国のデジタル化の現状 調査	18
分担研究報告書：機械学習を用いたデジタル技術活用の基礎的検討	25
刊行物一覧	37

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。

研究成果の刊行に関する一覧表

該当なし

令和8年5月26日

厚生労働大臣 殿

機関名 (独)労働者健康安全機構
労働安全衛生総合研究所

所属研究機関長 職 名 所長

氏 名 大幢 勝利

次の職員の令和7年度厚生労働科学研究費の調査研究における、倫理審査状況及び利益相反等の管理については以下のとおりです。

- 1.研究事業名 労働安全衛生総合研究事業
- 2.研究課題名 特定機械等の安全衛生対策等に活用できる先進的なデジタル技術の現状把握及び活用への課題抽出(24JA1003)
- 3.研究者名 (所属部署・職名)機械システム安全研究グループ・部長
(氏名・フリガナ)山際謙太・ヤマギワケンタ

4.倫理審査の状況

	該当性の有無 有 無 ☐ ☒	左記で該当がある場合のみ記入(※1)		
		審査済み	審査した機関	未審査(※2)
		☐		☐
人を対象とする生命科学・医学系研究に関する倫理指針(※3)	☐ ☒	☐		☐
遺伝子治療等臨床研究に関する指針	☐ ☒	☐		☐
厚生労働省の所管する実施機関における動物実験等の実施に関する基本指針	☐ ☒	☐		☐
その他、該当する倫理指針があれば記入すること (指針の名称:個人情報保護に関する法律)	☐ ☒	☐		☐

(※1)当該研究者が当該研究を実施するに当たり遵守すべき倫理指針に関する倫理委員会の審査が済んでいる場合は、「審査済み」にチェックし一部若しくは全部の審査が完了していない場合は、「未審査」にチェックすること。

その他(特記事項)

(※2)未審査に場合は、その理由を記載すること。
(※3)廃止前の「疫学研究に関する倫理指針」、「臨床研究に関する倫理指針」、「ヒトゲノム・遺伝子解析研究に関する倫理指針」、「人を対象とする医学系研究に関する倫理指針」に準拠する場合は、当該項目に記入すること。

5.厚生労働分野の研究活動における不正行為への対応について

研究倫理教育の受講状況	受講 ☒ 未受講 ☐
-------------	---

6.利益相反の管理

当研究機関におけるCOIの管理に関する規定の策定	有 ☒ 無 ☐ (無の場合はその理由:)
当研究機関におけるCOI委員会設置の有無	有 ☒ 無 ☐ (無の場合は委託先機関:)
当研究に係るCOIについての報告・審査の有無	有 ☒ 無 ☐ (無の場合はその理由:)
当研究に係るCOIについての指導・管理の有無	有 ☐ 無 ☒ (有の場合はその内容:)

(留意事項) ・該当する□にチェックを入れること。
・分担研究者の所属する機関の長も作成すること。

令和8年5月26日

厚生労働大臣 殿

機関名 (独)労働者健康安全機構
労働安全衛生総合研究所

所属研究機関長 職 名 所長

氏 名 大幢 勝利

次の職員の令和7年度厚生労働科学研究費の調査研究における、倫理審査状況及び利益相反等の管理については以下のとおりです。

- 1.研究事業名 労働安全衛生総合研究事業
- 2.研究課題名 特定機械等の安全衛生対策等に活用できる先進的なデジタル技術の現状把握及び活用への課題抽出(24JA1003)
- 3.研究者名 (所属部署・職名)機械システム安全研究グループ・首席研究員
(氏名・フリガナ)濱島京子・ハマジマキョウコ

4.倫理審査の状況

人を対象とする生命科学・医学系研究に関する倫理指針(※3)	該当性の有無 有 無 □ ■	左記で該当がある場合のみ記入(※1)		
		審査済み	審査した機関	未審査(※2)
		□		□
遺伝子治療等臨床研究に関する指針	□ ■	□		□
厚生労働省の所管する実施機関における動物実験等の実施に関する基本指針	□ ■	□		□
その他、該当する倫理指針があれば記入すること (指針の名称:個人情報保護に関する法律)	□ ■	□		□

(※1)当該研究者が当該研究を実施するに当たり遵守すべき倫理指針に関する倫理委員会の審査が済んでいる場合は、「審査済み」にチェックし一部若しくは全部の審査が完了していない場合は、「未審査」にチェックすること。

その他(特記事項)

(※2)未審査に場合は、その理由を記載すること。
(※3)廃止前の「疫学研究に関する倫理指針」、「臨床研究に関する倫理指針」、「ヒトゲノム・遺伝子解析研究に関する倫理指針」、「人を対象とする医学系研究に関する倫理指針」に準拠する場合は、当該項目に記入すること。

5.厚生労働分野の研究活動における不正行為への対応について

研究倫理教育の受講状況	受講 ■ 未受講 □
-------------	------------

6.利益相反の管理

当研究機関におけるCOIの管理に関する規定の策定	有 ■ 無 □ (無の場合はその理由:)
当研究機関におけるCOI委員会設置の有無	有 ■ 無 □ (無の場合は委託先機関:)
当研究に係るCOIについての報告・審査の有無	有 ■ 無 □ (無の場合はその理由:)
当研究に係るCOIについての指導・管理の有無	有 □ 無 ■ (有の場合はその内容:)

(留意事項) ・該当する□にチェックを入れること。
・分担研究者の所属する機関の長も作成すること。

令和8年5月26日

厚生労働大臣 殿

機関名 (独)労働者健康安全機構
労働安全衛生総合研究所

所属研究機関長 職 名 所長

氏 名 大幢 勝利

次の職員の令和7年度厚生労働科学研究費の調査研究における、倫理審査状況及び利益相反等の管理については以下のとおりです。

- 1.研究事業名 労働安全衛生総合研究事業
- 2.研究課題名 特定機械等の安全衛生対策等に活用できる先進的なデジタル技術の現状把握及び活用への課題抽出(24JA1003)
- 3.研究者名 (所属部署・職名)機械システム安全研究グループ・上席研究員
(氏名・フリガナ)山口篤志・ヤマグチアツシ

4.倫理審査の状況

	該当性の有無 有 無 ☐ ☒	左記で該当がある場合のみ記入(※1)		
		審査済み	審査した機関	未審査(※2)
		☐		☐
人を対象とする生命科学・医学系研究に関する倫理指針(※3)	☐ ☒	☐		☐
遺伝子治療等臨床研究に関する指針	☐ ☒	☐		☐
厚生労働省の所管する実施機関における動物実験等の実施に関する基本指針	☐ ☒	☐		☐
その他、該当する倫理指針があれば記入すること (指針の名称:個人情報保護に関する法律)	☐ ☒	☐		☐

(※1)当該研究者が当該研究を実施するに当たり遵守すべき倫理指針に関する倫理委員会の審査が済んでいる場合は、「審査済み」にチェックし一部若しくは全部の審査が完了していない場合は、「未審査」にチェックすること。

その他(特記事項)

(※2)未審査に場合は、その理由を記載すること。
(※3)廃止前の「疫学研究に関する倫理指針」、「臨床研究に関する倫理指針」、「ヒトゲノム・遺伝子解析研究に関する倫理指針」、「人を対象とする医学系研究に関する倫理指針」に準拠する場合は、当該項目に記入すること。

5.厚生労働分野の研究活動における不正行為への対応について

研究倫理教育の受講状況	受講 ☒ 未受講 ☐
-------------	---

6.利益相反の管理

当研究機関におけるCOIの管理に関する規定の策定	有 ☒ 無 ☐ (無の場合はその理由:)
当研究機関におけるCOI委員会設置の有無	有 ☒ 無 ☐ (無の場合は委託先機関:)
当研究に係るCOIについての報告・審査の有無	有 ☒ 無 ☐ (無の場合はその理由:)
当研究に係るCOIについての指導・管理の有無	有 ☐ 無 ☒ (有の場合はその内容:)

(留意事項) ・該当する□にチェックを入れること。
・分担研究者の所属する機関の長も作成すること。

令和8年5月26日

厚生労働大臣 殿

機関名 (独)労働者健康安全機構
労働安全衛生総合研究所

所属研究機関長 職 名 所長

氏 名 大幢 勝利

次の職員の令和7年度厚生労働科学研究費の調査研究における、倫理審査状況及び利益相反等の管理については以下のとおりです。

- 1.研究事業名 労働安全衛生総合研究事業
- 2.研究課題名 特定機械等の安全衛生対策等に活用できる先進的なデジタル技術の現状把握及び活用への課題抽出(24JA1003)
- 3.研究者名 (所属部署・職名)機械システム安全研究グループ・主任研究員
(氏名・フリガナ)緒方公俊・オガタマサトシ

4.倫理審査の状況

人を対象とする生命科学・医学系研究に関する倫理指針(※3)	該当性の有無 有 無 □ ■	左記で該当がある場合のみ記入(※1)		
		審査済み	審査した機関	未審査(※2)
		□		□
遺伝子治療等臨床研究に関する指針	□ ■	□		□
厚生労働省の所管する実施機関における動物実験等の実施に関する基本指針	□ ■	□		□
その他、該当する倫理指針があれば記入すること (指針の名称:個人情報保護に関する法律)	□ ■	□		□

(※1)当該研究者が当該研究を実施するに当たり遵守すべき倫理指針に関する倫理委員会の審査が済んでいる場合は、「審査済み」にチェックし一部若しくは全部の審査が完了していない場合は、「未審査」にチェックすること。

その他(特記事項)

(※2)未審査に場合は、その理由を記載すること。
(※3)廃止前の「疫学研究に関する倫理指針」、「臨床研究に関する倫理指針」、「ヒトゲノム・遺伝子解析研究に関する倫理指針」、「人を対象とする医学系研究に関する倫理指針」に準拠する場合は、当該項目に記入すること。

5.厚生労働分野の研究活動における不正行為への対応について

研究倫理教育の受講状況	受講 ■ 未受講 □
-------------	------------

6.利益相反の管理

当研究機関におけるCOIの管理に関する規定の策定	有 ■ 無 □ (無の場合はその理由:)
当研究機関におけるCOI委員会設置の有無	有 ■ 無 □ (無の場合は委託先機関:)
当研究に係るCOIについての報告・審査の有無	有 ■ 無 □ (無の場合はその理由:)
当研究に係るCOIについての指導・管理の有無	有 □ 無 ■ (有の場合はその内容:)

(留意事項) ・該当する□にチェックを入れること。
・分担研究者の所属する機関の長も作成すること。

厚生労働科学研究費補助金

分担研究報告書

デジタル技術マップの作成

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、移動式クレーン、天井クレーン、ボイラー・圧力容器等の安全確保に資するデジタル技術について、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し、技術マップとして可視化した。あわせて、近年活用が拡大している生成 AI について、安全確認、教育訓練、災害事例参照、記録支援等への適用可能性を検討した。その結果、デジタル技術は危険の見える化、点検・監視の高度化、教育訓練の効率化、記録・証跡の整備に有効である一方、誤検知・見逃しへの対応、人の最終判断の位置づけ、法令適合性、通信障害やサイバーセキュリティへの備え等を前提とした導入が必要であることを整理した。

1 研究目的

本研究の目的は、特定機械等の安全管理に活用され得るデジタル技術を体系的に整理し、その適用可能性と留意点を俯瞰できる技術マップを構築することである。令和 6 年度には企業ヒアリングや公開資料調査等を通じて、クレーン、ボイラー、圧力容器等の分野で活用されているデジタル技術の把握を行った。これらの経過を踏まえ、本年度は個々の技術を断片的に列挙するのではなく、対象設備、活用場面、安全衛生上の効果、関連法令・規格等を対応付けて整理し、今後の実装可能性や制度上の論点を検討するための基礎資料を作成することを目的とした。

加えて、近年急速に利用が広がっている生成 AI についても、安全分野における活用の可能性を検討対象に含めた。生成 AI は、現場画像を用いた危険要因の抽出支援、災害事例の検索支援、法令・規格の参照支援、教育訓練教材作成支援等への応用が考えられる一方、出力結果の正確性、根拠の確認、機密情報の取扱い等に関する新たな課題も有する。このため、本報告書では、従来型のセンサ、監視、点検、記録技術とあわせて、生成 AI を活用した支援的技術についても技術マップ上で位置付けることを目指した。

2 研究方法

研究方法として、まず令和 6 年度に実施した企業ヒアリング、現地調査、公開資料調査、韓国を含む海外情報の収集結果、ならびに令和 7 年度に検討したワイヤロープ及び繊維ロープの画像活用技術に関する知見を再整理した。次に、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 区分を対象として、デジタル技術の活用場面を「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。

そのうえで、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。関連法令・規格については、労働安全衛生法、クレーン等安全規則、ボイラー及び圧力容器安全規則、高圧ガス保安法、消防法等の国内法令に加え、ISO、IEC、JIS 及び JCAS 等の規格類を参照し、技術ごとの位置付けを確認した。特に、機械安全の一般原則、安全関連制御系、非常停止、予期しない起動の防止、クレーンの点検及び設計使用期間の監視、クレーン作業のリスクアセスメントに関する規格・指針について、技術マップとの関係を整理した。

さらに、生成 AI に関しては、安全分野への適用事例や公開情報を参照し、特定製品の推奨とならないよう留意しつつ、どのような機能が安全確認支援、教育訓練、記録支援等に活用可能であるかを機能単位で整理した。これらの検討結果をもとに、俯瞰図と詳細表からなる技術マップを作成し、構成及び表現について複数回の見直しを行った。

3 研究結果及び考察

本研究では、対象設備及び活用場面の組合せに基づき、デジタル技術を俯瞰的に整理した技術マップを作成した。作成したマップでは、移動式クレーン、天井クレーン、ボイラー・圧力容器といった個別設備に加え、複数設備に共通して用いられる技術を「設備・事業場」区分として整理した。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した。

整理の結果、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、電子日報等は、それぞれ適用対象や活用場面は異なるものの、危険の見える化、異常の早期把握、教育訓練の効率化、証跡の電子化という共通の方向性を有することが確認された。一方で、これらは多くの場合、人の判断を完全に代替するものではなく、センサ異常時の安全側動作、誤検知・見逃し時の対応、通信断時の扱い、データの信頼性確保、責任分界の明確化等を前提として導入すべき補完的技術であることも明らかとなった。

また、関連法令・規格の観点からは、機械安全の一般原則、安全関連制御系、非常停止、予期しない起動の防止等に関する規格が、設備横断的な基盤として重要であることが確認された。加えて、クレーンの点検や設計使用期間の監視に関する ISO、クレーン作業のリスクアセスメントや無線操作式クレーン等に関する JCAS は、クレーン分野の個別技術を整理する上で有用な参照枠組みであった。したがって、技術導入の検討に当たっては、単に機能面だけでなく、どの規格体系や法令枠組みの中で位置付けられるかを併せて整理することが重要である。

3.1 生成 AI の活用

生成 AI については、安全分野においても、危険要因の抽出支援、災害事例の検索支援、関連法令・規格の参照支援、教育訓練資料の作成支援、記録内容の整理支援等に活用し得ることが確認された。特に、現場

画像と組み合わせた安全確認支援，過去事例との類似性に基づく注意喚起，点検記録や教育資料の下書き支援等は，若手教育や事前検討の効率化に有効と考えられる。

一方で，生成 AI の出力は，必ずしも完全な正確性，網羅性又は最新性を保証するものではない。このため，法令適合性の最終判断，危険性の評価，対策の採否等を生成 AI のみに委ねることは適切ではなく，利用者による根拠確認と専門的判断が不可欠である。また，現場画像や設備情報を取り扱う場合には，機密情報保護，個人情報保護，外部サービス利用時のデータ管理にも留意が必要である。以上より，生成 AI は安全確認や教育訓練等における有力な補助技術ではあるが，導入に当たっては，人の最終確認を前提とした運用設計が必要である。

3.2 デジタル技術マップの構築

作成した技術マップを次頁以降に示す。技術マップは，対象設備と活用場面の二軸でデジタル技術を俯瞰的に整理した俯瞰図と，各技術について安全衛生効果，導入制約，安全上の論点，関連法令・規格等を整理した詳細表から構成される。これにより，個別技術の導入検討だけでなく，分野横断的な比較や今後の調査項目の抽出にも利用できる構成とした。

また，本マップでは，個々の技術を単に設備別・機能別に並べるだけでなく，安全確保の観点からどのような役割を担うかを把握できるよう，「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」という基本的な考え方を整理し，各技術が主としてどの考え方に関連するかを対応表として付した。この対応表により，デジタル技術の多くが危険源そのものを除去するというより，状態把握，警報，分離の維持，教育及び記録の支援に強みを持つことが明確となり，技術の導入効果と限界を安全管理上の考え方と対応付けて検討しやすくなった。

本マップは現時点での把握結果に基づくものであり，今後，新たな技術の普及状況，規格改正，制度運用の変化等に応じて更新が必要である。なお，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。特に，生成 AI を含むソフトウェア的技術，横断的な情報連携基盤，画像解析や異常予兆検知等の AI 技術については，今後も適用事例と留意点の蓄積が必要である。そのため，本技術マップは完成版というよりも，今後の実装可能性，制度的課題及び研究課題を継続的に整理するための基礎資料として位置付けるのが適切である。

また，新たな技術が出現した場合には，(1) 当該技術の用途及び対象設備を確認する，(2) 「点検・検査」「状態監視」「作業安全」「操作・制御」「教育訓練」「記録・証跡」のいずれの活用場面に位置付けるかを判定する，(3) 期待される安全衛生効果，導入上の制約，安全上の論点，更新性及び関連法令・規格を整理する，(4) 「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」のいずれに主として関連するかを検討する，(5) 既存技術との重複又は包含関係を確認したうえで，俯瞰図及び詳細表に反映する，という手順で更新することを想定している。このような更新フローを明示することにより，今後新たな技術が追加された場合にも，恣意的な追加ではなく，一定の観点に基づいて継続的に整理・更新していくことが可能となる。

特定機械等におけるデジタル安全技術マップ（例）

活用場面・対象設備別の俯瞰図

技術要素に加え、導入上の制約、安全上の論点、関連法令・規格を整理するための基礎図

▶

対象	点検・検査	状態監視	作業安全	操作・制御	教育訓練	記録・証跡
移動式 クレーン	- 組立性・メンテナンス性確認（VR）△ - カメラによる吊荷・周辺確認○	- 荷重・ワイヤロープ負荷（ロードセル）^[D2]◎ - ジブ角度・対地角・対機角（角度計、MEMS）^[D3]◎ - 風速、アウトリガー張出量、位置情報（GNSS/GPS）^[D4]◎ 4G/5G、GSM、Bluetooth、クラウド保存○	- 危険エリア・人の立入り検知（カメラ、赤外線）^[D11]○ - ドライブレコーダ、GPS付き記録○ - 通信断・誤検知時の安全側動作が論点	- モーメントリミッタ、CANバス◎ - 遠隔操作、半自動運転、荷振れ抑制△ - 非常停止、通信安定性、機能安全が論点	- 巻き込まれ、転倒、墜落体験（VR）○ - 実機教育との併用が前提	- 稼働ログ、日報、エラー・過負荷履歴◎ - 事故直前操作の確認、保全計画への活用○ - データ改ざん・責任分界点が論点
天井 クレーン	- レール、ボルト、緩衝装置等の画像確認△ - ワイヤロープ損傷検出、ブレーキ状態確認△ - 閉じた亀裂・緩みは現地確認や NDT が必要	- 荷重、運転回数、ブレーキ状態、インバータ情報○ - 建屋変形等はクレーン単体データだけでは不十分	- 接近検知、危険区域検知、監視カメラ○ - 床上無線運転時の視認性・資格・合図が論点	- インバータ制御、揺れ抑制、半自動運転○ - 遠隔停止、非常停止、通信エラー時動作が論点	VR、技能評価、ヒヤリハット映像教材○	- 定期自主検査記録、点検写真、運転ログ○ - 法令上の「目視」代替範囲が論点
ボイラー・ 圧力容器	- 厚さ、き裂、硬さ、組織（UT、非接触 3D、硬度計）^[D5]◎ - ドローン、ファイバースコープ、静止画・動画^[D6]○ - 防爆仕様・航空法・消防法等が制約	- 圧力、温度、液面、流速、振動、漏洩、分析計^[D7]◎ - DCS、HART 自己診断、無線センサ、Private LTE^[D12]○ - パトロールロボット、AI 異常予兆検知^[D13]△ - データ標準化・精度確認が論点	- ガス検知、監視カメラ、赤外線センサ、安全柵インターロック^[D8]◎ - 防爆スマートデバイス、スマートグラス^[D1]△	- DCS 統合管理、可視化基盤、設備診断◎ - モバイル DCS、AI 異常予兆検知^[D12]△	- 墜落、転落、感電、飛液等の VR 体感教育^[D9]○ - e-learning、作業手順映像教材^[D10]○ - 災害事例 AI 検索システム^[D14]△	- 電子日報、検査記録、監査・認定エビデンス◎ - 紙保存との併存、保管期間、サイバー初動体制が論点
設備・ 事業場	監視カメラ・ドライブレコーダ等による横断的確認△	事業場横断での状態把握・情報集約△	対象設備・事業場横断型の安全支援ツール△	設備横断の情報連携・可視化基盤△	生成 AI を活用した安全確認支援ツール△	横断的な安全記録・教育記録・事故事例参照△

記号	意味
◎	既に実用され、安全管理・設備管理に使われている技術。
○	実用例はあるが、対象・条件・運用設計により効果が左右される技術。
△	補完的活用または実証段階。人による確認、追加検証、制度整理が必要な技術。

詳細表で追加する項目	内容
安全衛生上の効果	災害防止、作業負荷低減、点検精度向上、保全高度化など。
導入上の制約	防爆、通信、費用、精度、保守、人材、サイバーセキュリティ。
安全上の論点	誤検知、見逃し、故障時動作、通信断、ブラックボックス化。
人の関与の程度	人の判断が主体か、人の確認が必須か、人の設定・解除が重要か等を整理する。
更新性	技術名だけでなく、成熟度と適用条件を分けて更新可能にする。

関連法令・規格	例
法令	労働安全衛生法、クレーン等安全規則、ボイラー及び圧力容器安全規則、高圧ガス保安法、消防法。
公的規格	ISO 12100 / JIS B 9700、ISO/IEC Guide 51 / JIS Z 8051、IEC 62061 / JIS B 9961、ISO 13850 / JIS B 9703、ISO 14118 / JIS B 9714 等。
業界基準	JCAS 0001-2022、JCAS 1001-2004、JCAS 1002-2004、JCAS 2001-2004 等。
位置付け	各技術について、適用対象、要求性能、運用条件、法令上の論点を対応付けて整理する。
今回の主な参照候補	ISO 12100 / JIS B 9700、ISO/IEC Guide 51 / JIS Z 8051、IEC 62061 / JIS B 9961、ISO 13850 / JIS B 9703、ISO 14118 / JIS B 9714、JCAS 0001-2022、JCAS 1001-2004、JCAS 1002-2004、JCAS 2001-2004。

詳細表のサンプル（俯瞰図中の参照番号 [D1]～[D14] に対応）

安全確保の考え方	内容
危険源除去・低減	危険源そのものを除去する、又は危険状態の発生を低減する考え方。
時間空間分離	人と危険源とを時間的又は空間的に分離する考え方。
状態把握・警報	センサ、監視、診断等によって状態を把握し、警報又は停止判断につなげる考え方。
教育訓練・記録支援	教育、記録、事故事例参照等を通じて安全行動及び安全管理を支援する考え方。
位置付け	各技術が主としてどの考え方に関連するかを整理し、必要に応じて副次的な関連も併記する。

参照	技術名	主たる関連	副次的な関連
D1	防爆スマートデバイス（例： 防爆 iPhone）	時間空間分離	教育訓練・記録支援
D2	ロードセルによる荷重・ワイヤ ロープ負荷監視	状態把握・警報	危険源除去・低減
D3	角度計・MEMS による姿勢 監視	状態把握・警報	危険源除去・低減
D4	GNSS/GPS による位置情報 把握	時間空間分離	状態把握・警報
D5	超音波探傷器・非接触 3D 計 測器	状態把握・警報	教育訓練・記録支援
D6	ドローンによる点検・監視	時間空間分離	状態把握・警報
D7	無線プロセスセンサ	状態把握・警報	危険源除去・低減
D8	安全柵インターロック・ガス 検知システム	時間空間分離	危険源除去・低減，状態把握・警報
D9	VR による災害体感教育	教育訓練・記録支援	－
D10	e-learning・作業手順映像教 材	教育訓練・記録支援	－
D11	監視カメラ・赤外線カメラに よる危険区域監視	時間空間分離	状態把握・警報，教育訓練・記録支援
D12	DCS・HART 自己診断・モバ イル DCS	状態把握・警報	危険源除去・低減
D13	パトロールロボット・AI 異常 予兆検知	時間空間分離	状態把握・警報
D14	災害事例 AI 検索システム	教育訓練・記録支援	状態把握・警報

注：ここでいう「主たる関連」は，当該技術が主として寄与する安全確保の考え方を示したものであり，唯一の分類を断定するものではない。複数の考え方にまたがる技術については，副次的な関連を併記した。また，「時間空間分離」及び「危険源除去・低減」については，これらの技術により当該状態が確実に達成されることを保証するものではなく，それらを支援し，又は補完する役割として位置付けるものである。

参照	技術名	対象設備	活用場面	期待される安全衛生効果	導入段階	代替/補完	人の関与の程度	導入上の制約	安全上の論点	関連法令・規格	更新性
D1	防爆スマートデバイス（例：防爆 iPhone）	ボイラー・圧力容器、化学系プラント	点検・検査、記録・証跡	危険場所での写真記録，電子日報，点検記録の効率化，情報共有の迅速化	○	補完	人の確認が必須	防爆対応機器が高価，機種が限られる，更新・保守に制約がある	危険場所での使用条件の誤認，端末故障時の運用継続，情報漏えい対策	労働安全衛生法，消防法，電気機械器具防爆構造規格，工場電気設備防爆指針，IEC 60079-0 / JIS C 60079-0，ISO 80079-36，社内防爆基準	端末更新・OS更新が必要
D2	ロードセルによる荷重・ワイヤロープ負荷監視	移動式クレーン，天井クレーン	状態監視，操作・制御	過負荷防止，ワイヤロープ負荷の把握，異常の早期検知	◎	補完	人の判断が主体	校正，センサ保守，設置条件による誤差，通信系統との接続が必要	センサ異常時の安全側動作，誤計測時の運転継続判断，警報設定値の妥当性	クレーン等安全規則，ISO 12482，ISO 9927-1，JIS B 9700，メーカー基準	定期校正・設定見直しが必要
D3	角度計・MEMS による姿勢監視	移動式クレーン	状態監視，操作・制御	ジブ角度・対地角・対機角の把握により，転倒防止，姿勢異常の早期把握，安全な操作判断を支援する	◎	補完	人の判断が主体	設置位置や校正条件により精度が左右される，外乱や経時変化の影響を受ける	センサ異常時の安全側動作，誤計測時の運転判断，しきい値設定の妥当性	クレーン等安全規則，JIS B 9700，メーカー基準	校正・しきい値見直しが必要
D4	GNSS/GPS による位置情報把握	移動式クレーン	状態監視，記録・証跡	作業位置や移動履歴の把握，危険区域との位置関係確認，運転記録の保存に資する	○	補完	人の確認が主体	屋内・遮へい環境で精度が低下する，通信環境や地図連携が必要	測位誤差による誤判断，通信断時の記録継続，位置情報の管理とプライバシー配慮	電波法，関連測位サービス仕様，社内運用基準	地図・通信条件に応じて更新
D5	超音波探傷器・非接触 3D 計測器	ボイラー・圧力容器	点検・検査	減肉，き裂，形状異常等の把握により，設備健全性評価の高度化に資する	◎	補完	人の評価が必須	測定条件や表面状態の影響を受ける，技能を要する，装置コストがある	見逃し・誤判定時の評価責任，測定結果の再現性，記録の証跡化	労働安全衛生法，ボイラー及び圧力容器安全規則，ISO 12100 / JIS B 9700，非破壊試験規格	測定手順・評価基準の更新が必要
D6	ドローンによる点検・監視	ボイラー・圧力容器，化学系プラント	点検・検査，状態監視	高所・狭陰部・危険箇所の近接確認，画像・動画による記録取得，点検負担の軽減に資する	○	補完	人の確認が主体	防爆対応，飛行可能空間，操縦技能，バッテリー制約，機体コストがある	墜落・衝突・通信断時の安全確保，危険場所での使用条件，取得画像の管理	航空法，消防法，防爆に関する規格・指針，社内飛行ルール	機体・運用ルールの更新が必要

D7	無線プロセスセンサ（圧力・温度・液面・流速・振動・漏洩）	ボイラー・圧力容器，化学系プラント	状態監視	設備状態の常時計測，異常兆候の早期把握，巡視負担の低減に資する	◎	補完	人の判断が主体	通信品質，電源・電池寿命，設置環境，校正・保守が必要	通信断時の監視継続，誤報・欠測時の対応，センサ故障時の安全側設計	労働安全衛生法，高圧ガス保安法，電波法，JIS B 9700，計装関係基準	センサ・通信設定の更新が必要
D8	安全柵インターロック・ガス検知システム	ボイラー・圧力容器，化学系プラント，事業場共通設備	作業安全	危険区域への立入り抑止，有害ガス検知，設備停止や警報による災害防止に資する	◎	補完	人の設定・解除が重要	設置対象の選定，保守点検，センサ配置，誤報対策が必要	誤検知・見逃し時の安全確保，停止条件の妥当性，解除運用の管理	労働安全衛生法，消防法，高圧ガス保安法，ISO 12100 / JIS B 9700，IEC 62061 / JIS B 9961，JIS B 9710，JIS B 9703，JIS B 9714	設定値・解除手順の見直しが必要
D9	VRによる災害体感教育	クレーン等，ボイラー・圧力容器，事業場共通	教育訓練	墜落，転落，巻き込まれ，感電等の疑似体験により，危険感受性の向上と教育効果の均質化に資する	○	補完	人の教育実施が主体	教材作成コスト，更新負担，実機教育との役割分担が必要	疑似体験への過度な依存，教材の現実適合性，教育効果の評価方法	労働安全衛生法，安全衛生教育指針，社内教育基準	教材内容の継続更新が必要
D10	e-learning・作業手順映像教材	クレーン等，ボイラー・圧力容器，事業場共通	教育訓練，記録・証跡	教育内容の標準化，反復学習，受講履歴の保存，技能継承の支援に資する	○	補完	人の教育管理が主体	教材管理，受講環境の整備，内容更新，理解度確認の仕組みが必要	受講のみで技能が担保されないこと，記録管理の責任分界，教材陳腐化	労働安全衛生法，安全衛生教育指針，社内教育基準，情報セキュリティ方針	教材・受講管理方法の更新が必要
D11	監視カメラ・赤外線カメラによる危険区域監視	移動式クレーン，天井クレーン，事業場共通設備	作業安全	危険区域への立入り把握，人の接近検知，映像記録による事後確認に資する	○	補完	人の監視判断が主体	設置位置，死角対策，照度条件，通信環境，画像保存容量が課題となる	見逃し・誤検知時の対応，監視依存，プライバシー配慮，通信断時の扱い	労働安全衛生法，ISO 12100 / JIS B 9700，IEC 62061 / JIS B 9961，個人情報保護に関する社内ルール，JIS B 9703	配置・監視条件の見直しが必要

D12	DCS・HART 自己診断・モバ イル DCS	ボイラー・ 圧力容器， 化学系プラ ント	状態監 視，操 作・制御	設備状態の統合監 視，警報管理，異常 兆候の把握，保全判 断の迅速化に資する	○	補完	人の運転判断 が主体	既設設備との接 続性，データ互 換性，サイバー セキュリティ， 運用設計が必要	誤警報・見逃し時 の運転判断，操作 権限管理，通信 断・障害時の安全 側設計	労働安全衛生法， 高圧ガス保安法， ISO 12100 / JIS B 9700， IEC 62061 / JIS B 9961，計 装基準，情報セ キュリティ方針	接続構成・監視 画面の更新が 必要
D13	パトロールロ ボット・AI 異 常予兆検知	ボイラー・ 圧力容器， 化学系プラ ント，事業 場共通設備	状態監視	巡視負担の低減，危 険箇所の遠隔確認， 異常兆候の早期把握 に資する	△	補完	人の確認が 必須	走行環境整備， センサ精度，学 習データの確 保，導入コス ト，保守が必要	誤検知・見逃し， ブラックボックス 化，ロボット停止 時の運用継続，責 任分界	労働安全衛生法， JIS B 9700， IEC 62061 / JIS B 9961，ロ ボット安全の考え 方，社内運用基準	学習データ・運 用条件の更新が 必要
D14	災害事例 AI 検 索システム	クレーン等， ボイラー・ 圧力容器， 事業場共通	教育訓 練，記 録・証跡	過去事例の検索性向 上，教育資料作成支 援，知識継承の効率 化に資する	△	補完	人の内容確認 が必須	データ整備，検 索精度，継続更 新，著作権・機 密管理への配慮 が必要	誤検索・不適切提 示時の扱い，出典 確認，生成結果へ の過度な依存	労働安全衛生法， 教育指針，JCAS 0001-2022（参 考），情報セキュ リティ方針，知的 財産・著作権関連 ルール	検索対象 DB・ プロンプトの更 新が必要

注：本図は報告書作成に向けた俯瞰図の例示であり、今後、個別技術ごとに「導入段階」「期待される安全衛生効果」「代替・補完の別」「人の関与の程度」「導入制約」「安全上の論点」「関連法令・規格・業界基準」を付加して詳細化する。

4 結論

本研究では、特定機械等の安全管理に関係するデジタル技術を対象設備及び活用場面に基づいて整理し、技術マップとして可視化した。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り、設備固有技術と事業場横断技術とを区別して整理することが有効であることを示した。また、生成 AI については、安全確認支援や教育訓練支援等に活用可能性がある一方、人の最終判断を前提とした補助的利用が適切であることを整理した。

今後は、本技術マップを基礎資料として、個別技術の有効性、導入条件、制度上の適合性、標準化の状況等をさらに精査し、安全管理の高度化に資するデジタル技術の具体的な導入要件と課題を明らかにしていく必要がある。

研究発表

1. 論文発表

該当なし。

2. 学会発表

該当なし。

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。

3. その他

該当なし。

厚生労働科学研究費補助金

分担研究報告書

韓国（KOSHA/OSHRI）訪問による外国のデジタル化の現状調査

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、韓国の韓国産業安全保健公団（KOSHA）および産業安全保健研究院（OSHRI）を訪問し、労働安全衛生分野におけるデジタル技術活用の現状についてヒアリングおよび意見交換を行った。韓国では、スマート安全装備の導入が、単なる機器導入にとどまらず、関係省庁による施策、導入支援制度、技術分類、認証・標準化の検討と一体となって進められていることが確認された。また、支援対象として整理されたスマート安全装置 37 種をみると、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、多様な機能が含まれていた。一方で、法令上の位置付け、性能評価、責任分担、費用対効果の把握といった制度運用上の課題も認識されていた。以上より、デジタル技術を労働安全衛生分野へ適用する際には、個別技術の有用性のみならず、導入対象の整理、技術分類、性能確認、基準整備、制度との整合を含めて検討することが重要であることが示唆された。

1 研究目的

本研究では、我が国における労働安全衛生分野へのデジタル技術導入を検討するうえで参考となる知見を得るため、韓国における取組の実情を把握することを目的とした。特に韓国では、スマート安全装備の導入支援、関係省庁による施策展開、認証・標準化に関する議論等が進められていることから、これらの実態を調査することにより、デジタル技術を安全管理へ活用する際の考え方、導入促進の枠組み、および制度運用上の課題を整理することを目指した。あわせて、韓国の事例を通じて、我が国において今後デジタル技術を労働安全衛生分野へ適用する際に必要となる論点を明らかにすることを目的とした。

2 研究方法

2026年3月17日に韓国の韓国産業安全保健公団（KOSHA, <https://kosha.or.kr/landing>）および産業安全保健研究院（OSHRI, <https://oshri.kosha.or.kr/oshri/index.do>）を訪問し、韓国の労働安全衛生分野におけるデジタル技術の活用状況について、担当者へのヒアリングおよび意見交換を実施した。具体的には、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、ならびに制度運用上の課題について説明を受けた。また、昨年度における本研究の調査内容と研究分担者が所属する（独）労働安全衛生総合研究所におけるAIに関連した研究内容について紹介を行った。本稿では訪問時の説明内容および意見交換の結果をもとに、その内容を整理した。

3 研究結果及び考察

3.1 スマート技術およびスマート安全について

韓国では、IoT、AI、ビッグデータ、クラウドコンピューティング、ロボティクス等のデジタル技術を活用して安全管理の高度化を図るための技術群を”スマート技術”として位置付けていた。そして、これらの技術を組み合わせて、労働災害の予防や安全管理の効率化を実現するための装置やシステムを指す概念として”スマート安全”を位置付けていた。したがって、韓国においては、スマート安全は単なる機器の導入にとどまらず、安全管理全体のデジタル化・高度化を目指す包括的な取り組みとして理解されていた。このような理解のもとで、韓国ではスマート安全装備の導入が積極的に推進されていることが確認された。

3.2 スマート安全装備の導入状況

韓国では、スマート技術は単なる情報化手段としてではなく、災害予防、危険状態の早期把握、現場監視の高度化、教育訓練の効率化等を実現するための安全対策の一部として位置付けられていた。

スマートセンサによる監視、AIを用いた映像認識、ドローンや無人搬送機器の活用、スマートファクトリーにおける安全監視システム、化学物質管理システム、知識管理システム、デジタルツイン等が、労働安全衛生に関係する主要技術として挙げられていた。これらは、設備・機械の状態監視、作業者の接近検知、危険行動の把握、異常時の警報発報、管理情報の蓄積といった複数の機能を組み合わせて利用される点に特徴がある。

3.3 関係省庁の施策

韓国では、関係省庁ごとに役割分担を行いながらスマート安全の導入が進められていた。雇用労働部は、全産業を対象とした災害予防の観点からスマート安全装備の導入支援を進めており、中小ベンチャー企業部はスマートファクトリー政策を通じて中小企業における安全機能の統合を推進していた。さらに、国土交通部は建設分野に重点を置き、IoT、AI映像認識、位置把握、BIM等を活用したスマート建設安全の展開を進めていた。このように、韓国では産業横断的な安全対策と、業種固有の対策とが並行して進められていることが確認された。

3.4 支援制度

韓国では、中小規模事業場を対象とする補助事業の中で、スマート安全装備の導入支援が行われていた。例えば、従業員 50 人未満の小規模な事業場を主な対象とし、導入費用の一部を公的に補助する枠組みが示されていた [1]。支援対象には、AI による人検知システム、クレーンの衝突防止装置、車両系機械の転倒防止・衝突防止装置、化学事故予防のための監視システム、電気安全監視装置、密閉空間対策装置、筋力補助スーツ等が含まれており、安全、保健、人間工学的負担軽減まで含めた広い概念で整理されていた。

その具体的な支援対象品目として整理されていたスマート安全装置 37 種を表 1 に示す [1]。

3.5 認証・標準化に関する考え方

表 1 に示したスマート安全装置 37 種をみると、韓国におけるスマート安全装置は、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に大別できる。なお、この分類結果を表 2 に示す。この分類は表 1 に示された支援対象品目をもとに整理したものである。また、韓国側の説明では、スマート安全の導入を進めるうえで、機器やシステムをどのように分類し、どのような基準で性能を確認するかが重要視されていた。したがって、スマート安全の推進は、単に新技術を導入する段階にとどまらず、標準化、認証、性能評価の枠組みを整備する段階へ進みつつあると理解された。

3.6 制度運用上の課題

韓国側の説明では、スマート技術の導入拡大と並行して、制度的課題も明確に認識されていた。具体的には、スマート技術の法令上の定義や適用範囲の曖昧さ、ソフトウェア・ハードウェア・プラットフォームの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、個人情報保護や労働者の自律性に関する懸念、さらに導入コストと効果測定の難しさが挙げられていた。したがって、韓国におけるスマート安全の推進は、技術導入そのものだけでなく、責任分界の整理や制度基盤の構築と一体で進める必要があるという認識のもとに行われていることが示された。

以上より、韓国の事例からは、スマート技術の活用が安全管理の高度化に資する一方で、その実装には支援制度、導入対象の整理、技術分類、性能確認、法制度との整合が重要であることが示唆された。我が国においても、デジタル技術を労働安全衛生分野へ導入する際には、個別機器の有用性だけでなく、それらをどのような分類体系で整理し、どのような基準や評価方法のもとで運用するかという観点が必要である。

表 1: 韓国におけるスマート安全装置 37 種の一覧 [1]

No.	装置名	主な対象・機能
1	AI 基盤人体感知システム（固定式）	作業者検知、危険区域侵入検知
2	AI 基盤人体感知システム（移動式）	移動体周辺の作業者検知、接触防止
3	高危険機械設備スマート統合安全システム（ILO 型）	高危険機械設備の統合監視、警報
4	高危険機械設備スマート統合安全システム（AI 型）	AI による危険状態認識、統合監視
5	移動型危険設備スマート接近警報装置	接近検知、警報
6	高所作業車スマート安全装置（非接触過上昇防止）	高所作業車の過上昇防止
7	AI スマートクレーン衝突防止装置	クレーン衝突防止
8	AI スマートクレーン衝突防止装置（揺れ防止オプション）	クレーン衝突・荷振れ抑制

表 1: 韓国におけるスマート安全装置 37 種の一覧（続き）

No.	装置名	主な対象・機能
9	車両系建設・荷役運搬機械スマート安全装置（転倒防止）	建設機械・荷役機械の転倒防止
10	車両系建設・荷役運搬機械スマート安全装置（衝突防止：カメラセンサ型）	カメラ・センサによる衝突防止
11	車両系建設・荷役運搬機械スマート安全装置（自動徐行・停止）	危険時の自動減速・停止
12	車両系建設・荷役運搬機械スマート安全装置（着脱式衝突防止）	後付け型の衝突防止
13	スマート統合転倒防止システム（移動式クレーン）	移動式クレーンの転倒防止
14	スマート統合転倒防止システム（車両搭載型高所作業台）	高所作業台の転倒防止
15	スマート統合転倒防止システム（引越し用リフト）	リフトの転倒防止
16	化学事故予防統合モニタリングシステム（固定式）	化学物質・環境の固定監視
17	化学事故予防統合モニタリングシステム（移動式）	移動式の化学事故監視
18	化学事故予防統合モニタリングシステム（AI 火災感知器）	AI による火災感知
19	化学事故予防統合モニタリングシステム（AI 計測装置）	AI 計測，状態認識
20	化学事故予防統合モニタリングシステム（化学物質漏えい防止型）	漏えい検知・防止
21	化学事故予防統合モニタリングシステム（防爆静電気測定器オプション）	静電気測定，防爆対策
22	化学事故予防統合モニタリングシステム（スマート避難誘導設備）	避難誘導
23	二輪車運転者着用型衝突保護エアバッグベスト	二輪車作業者の保護
24	電気安全モニタリングシステム（電気安全装置）	電気災害監視
25	電気安全モニタリングシステム（アーク除去装置）	アーク災害低減
26	電気安全モニタリングシステム（移動式漏れ電流統制装置）	漏れ電流監視・統制
27	音声認識非常停止補助システム	音声による非常停止補助
28	崩壊・変位危険警報システム	崩壊・変位監視
29	開口部カバー開閉感知システム	開口部管理，開閉検知
30	スマート安全装置付き電動フォークリフト	フォークリフト安全管理
31	筋力補助スーツ	人間工学的負担軽減
32	有害物質統合安全管理システム（換気設備統合システム）	換気管理，有害物質対策
33	有害物質統合安全管理システム（化学物質ばく露情報モニタリング）	ばく露情報の監視
34	人間工学的重量物運搬補助装置	重量物運搬の負担軽減
35	スマート安全保健個人保護具（耳栓）	騒音ばく露対策
36	スマート安全保健個人保護具（防じんマスク）	粉じんばく露対策
37	スマート密閉空間窒息災害予防装置	密閉空間の酸欠・有害ガス対策

表2 スマート安全装置 37 種の機能別分類

分類	該当番号	内容
AI 画像認識・人検知系	1, 2, 4, 7, 18, 19	人体検知, 危険行動認識, 火災感知, 計測値読取り等
機械停止・接近警報・衝突防止系	3, 5, 10, 11, 12, 27, 30	接近警報, 自動徐行・停止, 非常停止補助等
クレーン・高所作業・転倒防止系	6, 8, 9, 13, 14, 15	クレーン衝突防止, 荷振れ抑制, 転倒防止等
化学災害・漏えい・避難誘導系	16, 17, 20, 21, 22, 33, 37	化学事故監視, 漏えい検知, 静電気管理, 避難誘導, 密閉空間対策等
電気災害防止系	24, 25, 26	電気安全監視, アーク対策, 漏れ電流統制
構造物・開口部・崩壊監視系	28, 29	崩壊・変位監視, 開口部管理
人間工学・PPE・健康障害予防系	23, 31, 32, 34, 35, 36	エアバッグベスト, 補助スーツ, 換気管理, 運搬補助, 耳栓, 防じんマスク等

4 結論

本調査では、韓国の KOSHA および OSHRI への訪問を通じて、労働安全衛生分野におけるデジタル技術活用の状況について把握した。韓国では、スマート安全装備の導入が、単なる機器導入ではなく、関係省庁の施策、支援制度、技術分類、認証・標準化の検討と一体となって進められていることが確認された。また、導入促進と並行して、法令上の位置付け、性能確認、責任分担、費用対効果の評価といった制度運用上の課題も認識されていた。

以上より、デジタル技術を労働安全衛生分野へ適用する際には、個別技術の有用性のみを論じるのではなく、導入対象の整理、技術分類、性能評価、基準整備、制度との整合を含めて検討することが重要であることが示唆された。韓国の事例は、我が国において今後、デジタル技術を安全管理へ活用していくうえで参考となる知見を与えるものであった。

参考文献

- [1] 韓国におけるスマート安全装備の支援対象品目一覧（https://image.starrich.co.kr/integration/ceo_files/%5B%EB%B6%99%EC%9E%84%5D%20%5B%EC%B0%B8%EA%B3%A0%5D%20%EC%8A%A4%EB%A7%88%ED%8A%B8%20%EC%95%88%EC%A0%84%EC%9E%A5%EB%B9%84%20%EC%A7%80%EC%9B%90%ED%92%88%EB%AA%A9%20%EB%93%B1%EB%A1%9D%20%EB%AA%A9%EB%A1%9D_0951.pdf）. 2026 年 5 月確認.

研究発表

1. 論文発表

該当なし。

2. 学会発表

該当なし。

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。

3. その他

該当なし。

厚生労働科学研究費補助金

分担研究報告書

機械学習を用いたデジタル技術活用の基礎的検討

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、デジタル技術マップにおける機械学習技術の位置づけを具体化するため、ワイヤロープのU曲げ疲労試験中に取得したラインカメラ画像を対象として、畳み込みニューラルネットワークによる寿命消費率推定の基礎的検討を行った。ワイヤロープの点検では、素線切れ、摩耗、変形などを目視により確認することが基本であるが、観察条件や点検者の経験により評価がばらつく可能性がある。また、点検結果が画像として継続的に保存されていない場合、過去状態との比較や損傷進行の定量的把握は容易ではない。そこで、画像計測、データ蓄積、状態推定、点検支援を接続する技術要素として、機械学習を用いたワイヤロープ画像評価の有効性と限界を検討した。

U曲げ疲労試験中に取得したワイヤロープ画像から、ロープ軸方向に局所画像パッチを生成し、各観察時点の繰返し数を破断繰返し数で除した値を寿命消費率として学習ラベルに用いた。鋼ロープ高荷重条件を対象として、試験片単位の leave-one-specimen-out 交差検証を行い、未知試験片に対する推定性能を評価した。その結果、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が確認された。

以上の結果から、ラインカメラ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画像特徴の変化を一定程度捉えられることが示された。ただし、本技術は現段階では自動判定装置として単独で用いるものではなく、点検支援技術または状態監視技術として位置づけることが妥当である。画像と推定値を時系列的に保存することで、損傷進行の把握、点検対象の優先順位付け、点検記録の客観化、遠隔確認、および点検周期や交換判断の妥当性を検討するための基礎資料として活用できる可能性がある。今後は、より多様なロープ条件でデータを拡充し、ロープ張力、ロープ種別、撮影時の繰返し数、過去の推定履歴などの補助情報を組み込んだモデル化を進める必要がある。

1 研究目的

クレーン、ワイヤロープ、ボイラー、圧力容器等の機械設備に対して、画像計測、センサ、通信、データベース、機械学習などのデジタル技術を安全管理に活用することが期待されている。一方で、これらの技術はそれぞれ性質が異なり、単に新しい技術を列挙するだけでは、安全管理上どの工程に適用できるのか、どのような情報を得られるのか、またどのような限界や注意点があるのかを把握しにくい。そのため、本研究課題では、各種デジタル技術を点検、検査、監視、記録、判断支援などの観点から整理し、安全管理への適用可能性を示すデジタル技術マップを作成することを目的としている。

デジタル技術マップを実効性のあるものにするためには、技術の名称や一般的な機能を整理するだけでなく、実際の安全管理対象に対して、どのようなデータを取得でき、そのデータからどの程度の状態推定や判断支援が可能であるかを確認する必要がある。例えばワイヤロープの点検では、素線切れ、摩耗、変形などの損傷状態を人が目視により確認することが基本である [1] が、観察条件や点検者の経験によって評価にばらつきが生じる可能性がある。また、点検結果が画像として継続的に保存されていない場合、過去状態との比較や損傷進行の定量的な把握は容易ではない。

このような課題に対して、ラインカメラ等により取得したワイヤロープ画像を蓄積し、機械学習により損傷進行状態を推定する技術は、デジタル技術マップにおける画像計測、データ蓄積、状態推定、点検支援を結び付ける具体例となる。すなわち、機械学習は単に自動判定を行うための手法ではなく、画像データを安全管理上有用な情報へ変換し、点検者が確認すべき対象や損傷進行の傾向を把握するための支援技術として位置づけられる。

そこで本研究では、ワイヤロープの U 曲げ疲労試験中に取得したラインカメラ画像を対象として、畳み込みニューラルネットワークを用いた寿命消費率推定の基礎的検討を行う。具体的には、撮影画像から局所パッチを生成し、破断繰返し数に対する観察時点の繰返し数の割合を寿命消費率として与えることで、画像から損傷進行状態を連続値として推定できるかを検討する。また、試験片単位の評価により、未知試験片に対する推定性能や誤差の傾向を確認し、機械学習を用いたワイヤロープ検査技術の有効性と限界を明らかにする。これにより、デジタル技術マップにおける機械学習技術の位置づけ、安全管理への適用可能性、および今後必要となるデータ蓄積・運用上の課題を整理することを目的とする。

2 研究方法

本研究では、ワイヤロープの損傷進行状態を画像から推定するための基礎的検討として、疲労試験中に取得したワイヤロープ画像を用い、機械学習による寿命消費率の回帰推定を行った。ここで寿命消費率は、対象試験片における観察時点の繰返し数を破断繰返し数で除した値として扱い、0 から 1 の連続値として定義した。

2.1 ワイヤロープ U 曲げ疲労試験による対象データの取得

対象データは、U 曲げ疲労試験中に撮像したワイヤロープ (IWRC 6xFi(29)) および繊維ロープ (エースライン SUHD026B) の画像である。いずれのロープも直径は 16 mm である。図 1 に、本研究で対象としたワイヤロープおよび繊維ロープの外観を示す。各観察時点のラベルは、観察時点に対応する繰返し数を破断繰返し数で除すことにより算出した。

本研究で対象とした U 曲げ疲労試験の条件および破断繰返し数を表 1 および表 2 に示す。ワイヤロープ



図1 本研究で対象としたワイヤロープ (IWRC 6×Fi(29)) および繊維ロープ (エースライン SUHD026B) の外観

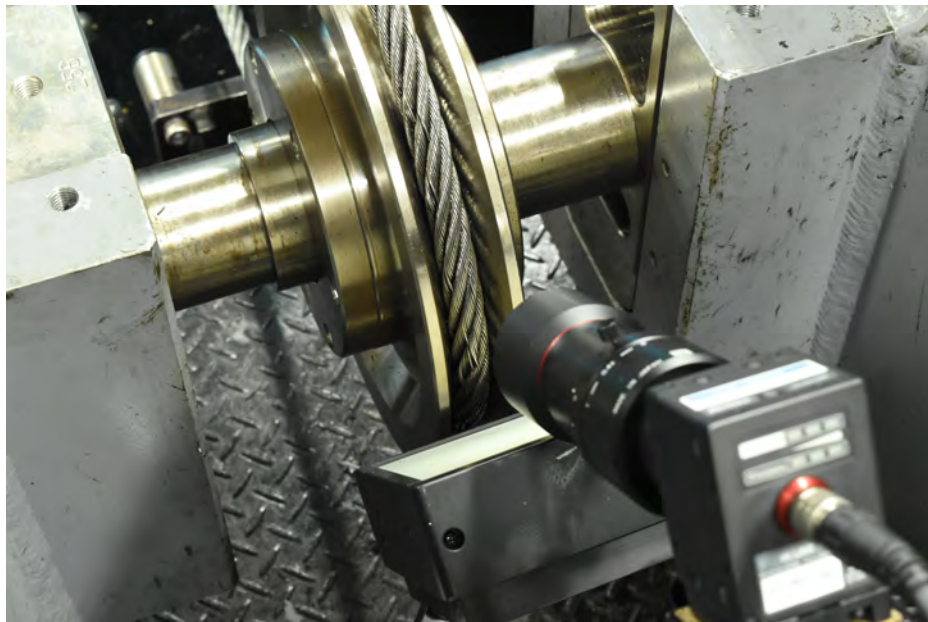


図2 ラインカメラ (Keyence 製) によるワイヤロープ撮影の様子

と繊維ロープでは材料、構造および表面性状が異なるため、画像上に現れる損傷の見え方にも差があると考えられる。鋼ロープについては、高荷重条件では 2000 cycles ごと、低荷重条件では 20000 cycles ごとにラインカメラ観察を行った。繊維ロープについては、高荷重条件では 300 cycles ごと、低荷重条件では 6000 cycles ごとに観察を行った。観察間隔は、筆者らのグループで行ったワイヤロープの曲げ疲労試験に関する検討 [2] を踏まえ、概ね破断寿命の 1/10 程度の繰返し数となるように設定した。

なお、試験時間の都合上、鋼製ワイヤロープの高荷重については機械学習を行う上で十分な試験本数を行うことができたが、他の条件については十分な本数を行うことができなかったため、こちらについては引き続き試験を行い来年度に報告することとする。

表 1 鋼ロープ (IWRC 6×Fi(29)) の U 曲げ疲労試験条件

符号	ロープ張力 (kN)	破断繰返し数
U_197	34.6	24617
U_201	34.6	23545
U_202	8.65	206377
U_203	34.6	24525
U_204	34.6	23988

表 2 繊維ロープ (エースライン SUHD026B) の U 曲げ疲労試験条件

符号	ロープ張力 (kN)	破断繰返し数
U-017	37.0	7783
U-018	9.25	94437

2.2 画像パッチの生成

撮像画像はラインカメラにより取得された画像であり、画像幅は同一であることを前提とした。学習に用いる前処理として、画像の中央付近からワイヤロープ領域を含む幅 1024 画素の領域を切り出した。次に、ロープ軸方向に対して 1024 画素高さのパッチを切り出し、隣接パッチ間に 25% の重なりを持たせた。これにより、一枚の元画像から複数の局所画像パッチを生成した。

各パッチには、元画像、試験片 ID、観察時点、パッチ位置、寿命消費率ラベルを対応付け、これらの情報を CSV 形式のメタデータとして保存した。画像パッチの生成時には、画像サイズおよびファイルサイズを確認し、撮像条件から外れたデータや読み込み不能なデータを検出できるようにした。

2.3 学習データの構成

生成した画像パッチは、グレースケール画像として読み込み、所定の入力サイズにリサイズした後、画素値を 0 から 1 の範囲に正規化した。ニューラルネットワークへの入力では、グレースケール画像を 3 チャンネルに複製して用いた。これは、後続のモデル構造や一般的な画像処理フレームワークとの整合性を確保するためである。

学習ラベルは寿命消費率の連続値とした。試験初期では画像上に明瞭な損傷特徴が現れにくいことから、初期域の予測誤差については、画像情報から識別できる限界を考慮する必要がある。一方で、安全管理への応用を考えると、損傷進行に伴う相対的な変化を捉えられることが重要であるため、本検討では連続値回帰としてモデル化した。

2.4 回帰モデル

寿命消費率を推定するモデルとして、畳み込みニューラルネットワークを用いた。モデルは、複数の畳み込み層と最大値プーリング層により局所的な画像特徴を抽出し、Global Average Pooling 層および全結合層を介して 1 つの連続値を出力する構成とした。出力値は寿命消費率に対応するため、最終層の活性化関数

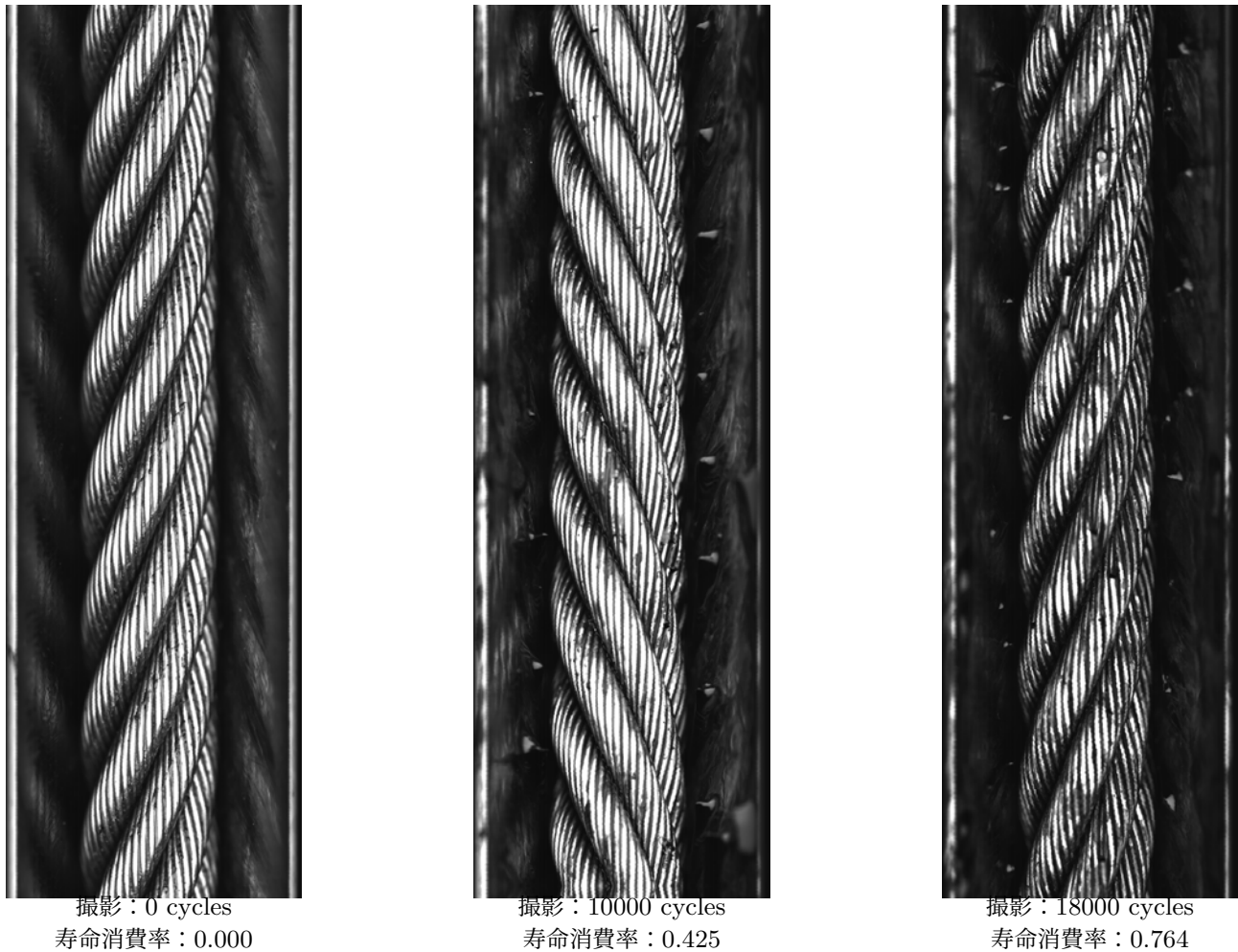


図3 鋼ロープのU曲げ疲労試験における撮影画像の例

には線形関数またはシグモイド関数を選択可能とした。シグモイド関数を用いる場合、出力は0から1の範囲に制限される。

CNNの概略構成を表3に示す。本表では、実装したネットワークの各層、出力形状およびパラメータ数を整理した。

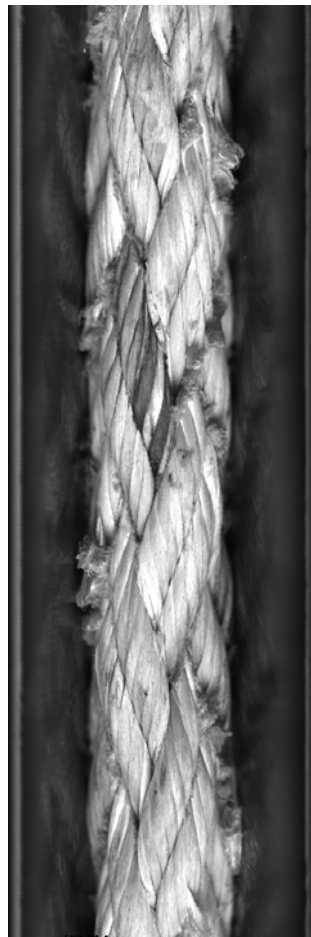
2.5 評価方法

評価は、未知試験片に対する汎化性能を評価するため、試験片単位の leave-one-specimen-out 交差検証を行った。具体的には、4本の試験片のうち1本を検証用、残り3本を学習用とする分割を4通り作成し、各foldで学習および予測を行った。この交差検証により、同一試験片内の画像に対する推定性能だけでなく、未学習の試験片に対する推定性能を確認した。

評価指標として、平均絶対誤差 (MAE)、二乗平均平方根誤差 (RMSE)、予測値と正解ラベルの相関係数、および予測バイアスを用いた。MAEは、予測値と正解値の差の絶対値を平均した値であり、予測誤差の大きさを表す。一方、予測バイアスは、予測値から正解値を差し引いた値の平均であり、正の値であれば全体として過大評価、負の値であれば全体として過小評価であることを示す。また、寿命消費率を複数の区間に分け、区間ごとの誤差を集計することで、初期域、中間域、高損傷域における推定傾向を確認した。加えて、正解値と予測値の散布図および誤差ヒストグラムを作成し、モデルの系統的な過大評価または過小評価の有無を確認した。



撮影：0 cycles
寿命消費率：0.000



撮影：3900 cycles
寿命消費率：0.501



撮影：6900 cycles
寿命消費率：0.887

図4 繊維ロープの U 曲げ疲労試験における撮影画像の例

3 研究結果及び考察

3.1 鋼ロープ高荷重条件に対する推定結果

鋼ロープ高荷重条件の画像データを対象として、試験片単位の leave-one-specimen-out 4-fold 交差検証を行った。各 fold では、4 本の試験片のうち 1 本を検証用、残り 3 本を学習用として用いた。評価結果を表 4 に示す。

全検証データを統合した場合、MAE は 0.1317、RMSE は 0.1692、相関係数は 0.8680 であった。fold 1 から fold 3 では MAE がおおむね 0.09 から 0.10 程度であり、未知試験片に対しても寿命消費率を一定の精度で推定できた。一方、STEEL_HIGH_01 を検証試験片とした fold 0 では MAE が 0.2056、Bias が 0.1978 となり、他の fold と比較して予測値が全体に高めとなる傾向が認められた。ただし、fold 0 の相関係数は 0.9349 であり、損傷進行に伴う相対的な変化はよく捉えられていた。

fold 0 では、相関係数は高いものの MAE および Bias が大きく、絶対値としては高めに推定される傾向があった。このことから、単一の回帰モデルにより損傷進行の相対的な傾向を捉えることは可能である一方、未知試験片に対して寿命消費率の絶対値を高精度に推定するためには、試験片間のばらつきや損傷発現時期の違いを考慮する必要があると考えられる。

表 3 CNN 回帰モデルの構成

Layer (type)	Output Shape	Param #
input_layer (InputLayer)	(None, 512, 512, 3)	0
conv2d (Conv2D)	(None, 512, 512, 32)	896
max_pooling2d (MaxPooling2D)	(None, 256, 256, 32)	0
conv2d_1 (Conv2D)	(None, 256, 256, 64)	18,496
max_pooling2d_1 (MaxPooling2D)	(None, 128, 128, 64)	0
conv2d_2 (Conv2D)	(None, 128, 128, 128)	73,856
max_pooling2d_2 (MaxPooling2D)	(None, 64, 64, 128)	0
conv2d_3 (Conv2D)	(None, 64, 64, 256)	295,168
global_average_pooling2d (GlobalAveragePooling2D)	(None, 256)	0
dense (Dense)	(None, 256)	65,792
dropout (Dropout)	(None, 256)	0
dense_1 (Dense)	(None, 64)	16,448
dense_2 (Dense)	(None, 1)	65
Total params		470,721
Trainable params		470,721
Non-trainable params		0

表 4 鋼ロープ高荷重条件に対する試験片単位 4-fold 評価結果

fold	検証試験片	データ数	MAE	RMSE	Bias	相関係数
0	STEEL_HIGH_01	13984	0.2056	0.2368	0.1978	0.9349
1	STEEL_HIGH_02	7712	0.0929	0.1136	0.0335	0.8931
2	STEEL_HIGH_03	12912	0.1033	0.1423	0.0571	0.8863
3	STEEL_HIGH_04	12880	0.1031	0.1288	0.0337	0.9252
全検証データ		47488	0.1317	0.1692	0.0884	0.8680

3.2 寿命消費率区間ごとの推定傾向

寿命消費率を複数の区間に分けた場合の誤差傾向を図 6 に示す予定である。試験初期では画像上に明瞭な損傷特徴が現れにくく、低寿命消費率域では予測値が高めに出る傾向が見られた。一方、高寿命消費率域では誤差が比較的小さく、損傷が顕在化した後の画像特徴はモデルにより捉えやすいと考えられる。

低寿命消費率域における過大評価は、試験初期にワイヤロープ表面の画像に明瞭な変化が現れにくいことに起因すると考えられる。この領域では、画像から連続的な寿命消費率を厳密に推定することには限界がある。一方で、安全管理への応用を考えると、低損傷域を厳密な連続値として評価するだけでなく、損傷が顕在化する段階や高損傷域を見逃さないことも重要である。

3.3 考察

本検討により、ラインカメラ画像を用いた畳み込みニューラルネットワークにより、ワイヤロープの損傷進行に伴う画像特徴の変化を一定程度捉えられることが確認された。特に、fold 1 から fold 3 では未知試験片に対しても MAE が 0.10 前後であり、損傷進行度の推定に有効である可能性が示された。一方で、fold

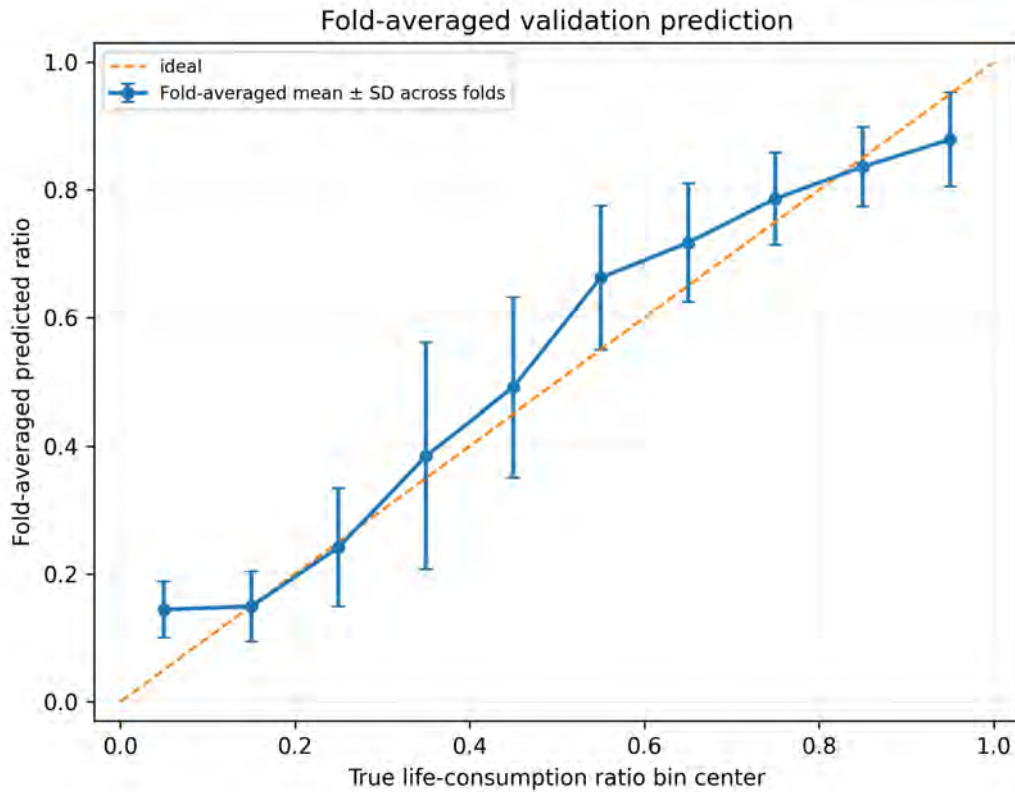


図5 鋼ロープ高荷重条件における 4-fold 検証データの正解値と予測値の関係

0のように予測値が全体的に高めとなる試験片も存在した。この結果は、画像特徴と寿命消費率の対応関係が試験片間で完全には一致しないことを示している。

3.3.1 機械学習モデルとしての技術的考察

技術的な観点からは、本手法は、ワイヤロープ表面の局所画像から損傷進行に関連する特徴を抽出し、寿命消費率という連続値へ対応付ける回帰問題として構成できることを示した点に意義がある。ワイヤロープの損傷は、素線切れ、摩耗、変形、表面状態の変化などが局所的に現れるため、一枚の長尺画像全体をそのまま扱うよりも、パッチ単位で局所特徴を学習する構成は妥当であると考えられる。また、ラインカメラ画像は撮像幅や照明条件を比較的そろえやすく、機械学習に投入する画像データとして扱いやすい利点がある。

一方で、今回の結果は、画像特徴から寿命消費率の絶対値を推定することの難しさも示している。寿命消費率は破断繰返し数に対する割合で定義されるが、同じ寿命消費率であっても、試験片ごとに表面に現れる損傷の見え方が同一とは限らない。fold 0 で予測値が全体に高めとなったことは、学習に用いた試験片群と検証試験片との間で、画像上の損傷特徴と寿命消費率の対応関係にずれがあったことを示唆する。したがって、本モデルは損傷進行の相対的な傾向を捉える能力を有する一方で、未知試験片に対する絶対値推定には試験片間ばらつきの影響が残ると考えられる。

また、低寿命消費率域では予測値が高めに出る傾向が見られた。試験初期には画像上に明瞭な損傷特徴が現れにくく、健全状態に近い画像同士の差が小さいため、連続値回帰として細かな寿命消費率差を識別することは難しい。この領域では、寿命消費率を厳密な連続値として推定するよりも、健全域、損傷発現域、高損傷域のような段階的な分類問題として扱う方法も考えられる。あるいは、回帰値そのものではなく、同一

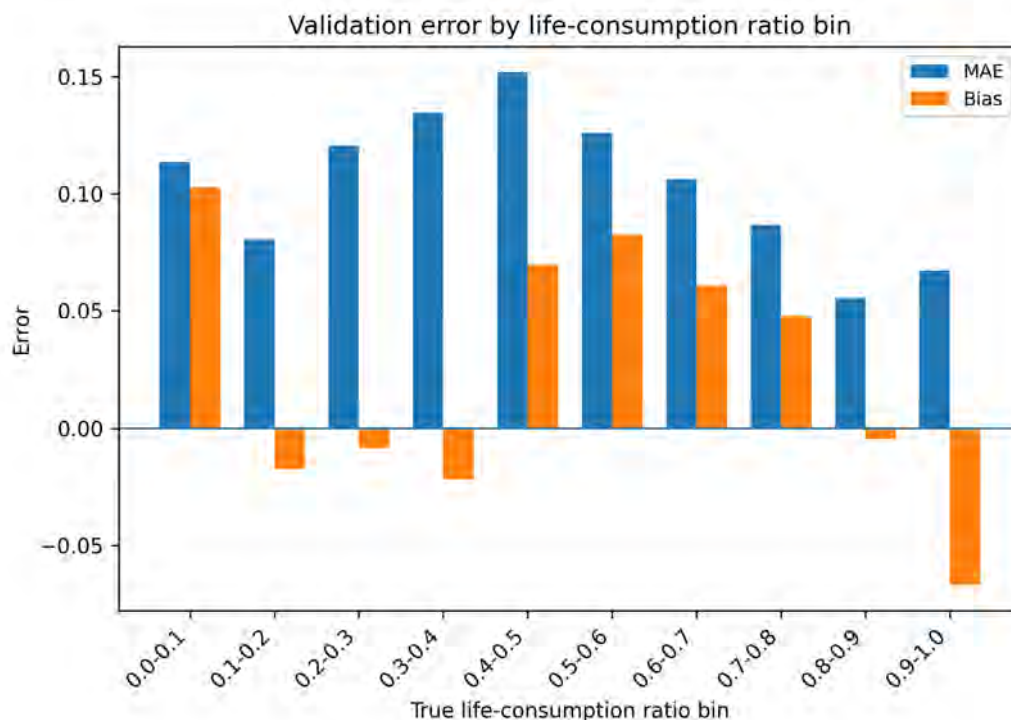


図6 寿命消費率区間ごとの推定誤差

ロープに対する推定値の時系列変化を利用することで、初期状態からの相対的な変化を検出する方法が有効である可能性がある。

今後の技術的課題としては、第一に、試験片数およびロープ条件を増やし、モデルが試験片間ばらつきを学習できるようにすることが挙げられる。第二に、画像のみではなく、ロープ張力、ロープ種別、撮影時の繰返し数、過去の推定履歴などの補助情報を入力に加えることで、画像特徴と寿命消費率の対応を補正できる可能性がある。第三に、パッチ単位の推定結果を単純に平均するだけでなく、ロープ全体における高損傷パッチの割合や、推定値の空間分布を利用する集約方法を検討する必要がある。これにより、局所的な素線切れや摩耗の発生をより直接的に評価できる可能性がある。

3.3.2 点検支援技術としての位置づけ

以上を踏まえると、機械学習を用いたワイヤロープ検査は、モデルの変更等により精度が向上したとしても、現段階では「自動判定装置」としてではなく、「点検支援技術」または「状態監視技術」として活用することが妥当である。具体的には、画像の定期取得、推定値の時系列表示、急激な変化の検出、点検者への注意喚起、および点検記録の保存といった用途が考えられる。このような使い方であれば、デジタル技術の利点である継続的記録性、定量性、遠隔性を活かしつつ、最終判断を人が行う安全管理体系と整合させることができる。

3.3.3 データ蓄積による安全管理への波及効果

また、機械学習を用いた検査技術の導入は、推定モデルを構築することにとどまらず、安全管理に利用可能なデータを継続的に蓄積する契機となる。画像、使用条件、点検結果、破断寿命などを対応付けて保存することで、従来は点検者の経験や一時的な判断に依存していた情報を、後から比較・検証可能な形で記録できる。これにより、過去画像との比較による損傷進行の把握、点検対象の優先順位付け、熟練者の判断の形

式知化，および教育訓練用データとしての活用が可能となる。

さらに，多数の事例が蓄積されれば，損傷の進行速度，使用条件と劣化傾向の関係，点検周期や交換判断の妥当性を検討するための基礎資料となる。これは，機械学習モデルによる自動判定そのものよりも広い意味で，デジタル技術が安全管理にもたらす重要な効果である。ただし，蓄積されたデータを安全管理に利用するには，撮影条件，ラベル付け方法，対象設備の使用条件などを併せて記録し，データの意味を後から解釈できる形で管理することが必要である。

3.3.4 デジタル技術マップ上の位置づけ

本検討で扱った機械学習技術は，デジタル技術マップにおいて，画像計測，データ蓄積，状態推定，点検支援を接続する技術要素として位置づけられる。すなわち，ラインカメラによりワイヤロープ表面の画像を取得し，画像と使用条件，観察時点，破断寿命などを対応付けて保存し，機械学習により損傷進行に関連する指標へ変換する一連の流れである。この整理により，機械学習は単独の自動判定技術ではなく，取得されたデジタルデータを安全管理上利用可能な情報へ変換する中間的な技術として位置づけられる。

安全管理への適用可能性としては，推定値を用いた即時の使用可否判定よりも，定期的に取得した画像および推定値を時系列的に比較し，損傷進行の傾向や通常と異なる変化を把握する用途が有効であると考えられる。また，推定結果を点検者に提示することで，重点的に確認すべき対象や部位を選定する支援にも利用できる。この意味で，本技術は，点検者の判断を置き換えるものではなく，点検記録の定量化，確認対象の優先順位付け，および遠隔確認を支援する技術として整理できる。

一方で，デジタル技術マップへ反映するには，機械学習モデルの推定精度だけでなく，データの取得条件，ラベル付け方法，対象設備の使用条件，誤推定時の影響，および人による最終判断との役割分担を併せて整理する必要がある。

4 結論

本研究では，ワイヤロープの U 曲げ疲労試験中に取得したラインカメラ画像を対象として，畳み込みニューラルネットワークを用いた寿命消費率推定の基礎的検討を行った。撮影画像から局所パッチを生成し，破断繰返し数に対する観察時点の繰返し数の割合を寿命消費率として与えることで，画像から損傷進行状態を連続値として推定する回帰モデルを構築した。

鋼ロープ高荷重条件を対象とした試験片単位の 4-fold 評価では，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。このことから，本手法は損傷進行に伴う相対的な画像特徴の変化を捉える一方で，未知試験片に対して高精度な絶対値推定を行うには，より多様な条件のデータ蓄積とモデル改善が必要である。

安全管理への応用を考えると，本技術は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，点検支援技術または状態監視技術として位置づけることが妥当である。画像を定期的に取得し，推定値を時系列的に保存することで，損傷進行の把握，点検対象の優先順位付け，点検記録の客観化，および遠隔確認への活用が期待できる。また，機械学習に用いるための画像，使用条件，点検結果，破断寿命などのデータを継続的に蓄積することは，熟練者の判断の形式知化や，点検周期・交換判断の妥当性を検討するための基礎資料としても有用である。

今後は，鋼ロープおよび繊維ロープを含むより多様なロープ条件でデータを拡充し，ロープ張力，ロープ

種別，撮影時の繰返し数，過去の推定履歴などの補助情報を組み込んだモデル化を検討する必要がある。また，低寿命消費率域では画像上に明瞭な損傷特徴が現れにくいため，連続値回帰だけでなく，健全域，損傷発現域，高損傷域のような段階的の分類や，推定値の時系列変化を用いた異常検出も検討すべきである。これらの検討により，デジタル技術を活用したワイヤロープ検査の実用性と安全管理上の有効性をさらに明確化できると考えられる。

参考文献

- [1] JIS B 8836 クレーン－ワイヤロープ－取扱い，保守，点検及び廃棄, 2019.
- [2] Masatoshi Ogata, Atsushi Yamaguchi, Naoya Kurahashi, and Kenta Yamagiwa. Statistical modelling of wire breakage progression and rope fatigue life considering tension history. *Engineering Failure Analysis*, 186:110476, 2026.

研究発表

1. 論文発表

該当なし。

2. 学会発表

該当なし。

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。

3. その他

該当なし。