

令和6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

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

令和6年度 総括・分担研究報告書

研究代表者 山際 謙太

令和7（2025）年 5月

目 次

I. 総括研究報告	
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	—— 1
山際謙太、濱島京子、山口篤志、緒方公俊	
II. 分担研究報告	
1. 特定機械または事業場におけるデジタル化の現状調査	—— 7
山際謙太、濱島京子、山口篤志、緒方公俊	
2. 特定機械または事業場で活用されているデジタル技術マップの作成	—— 19
山際謙太、濱島京子、山口篤志、緒方公俊	
III. 研究成果の刊行に関する一覧表	—— 24

総括研究報告書（山際謙太、濱島京子、山口篤志、緒方公俊）
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

研究代表者 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
研究分担者 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
研究分担者 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
研究分担者 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

本調査は、移動式クレーンメーカー2社および化学系プラント2社に対する現地ヒアリングを通じて、各事業場でのデジタル技術の導入実態を把握し、安全衛生分野における課題と活用可能性を整理することを目的とした。クレーン分野では、MEMS やロードセル、CAN 通信、クラウド連携、フル HD カメラ、VR 教材などの多様なデジタル機器が導入されており、構造モニタリング、安全管理、教育訓練に活用されている。一方で、アナログ機器の信頼性や現場対応力も評価されており、技術選択においては実用性と安定性のバランスが重視されていた。

化学系プラントでは、DCS 統合による運転監視、無線センサによる設備状態把握、防爆スマートデバイスの導入、ドローンや非破壊検査機器の活用など、高度なデジタル運用が進んでいた。また、セキュリティポリシーの整備や、サイバーインシデントへの初動体制も構築されており、安全確保と運用効率化が両立されていることが確認された。

両分野に共通する利点としては、情報の一元化、点検整備の精度向上、作業効率化、技術検討の高度化などが挙げられる。課題としては、防爆対応機器の高コスト、データの標準化・精度確保、人材育成の不足、法規制による制約などが顕在化していた。

最後にこれらの事業場ヒアリングを通じて得られた技術要素を表にしてテクノロジーマップを作成した。

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

IoT、DX、AIなどのいわゆるデジタル技術は例えばクレーン等などの特定機械の衝突防止[1]、遠隔操作[2]またはクラウドを活用した状態監視[3]などに活用されている。こうしたデジタル技術は今後加速度的に発展していくと予想される。そして、安全分野においても活用が促進されることで、現在より更に安全な労働環境を構築することが期待できる。

そこで本研究ではデジタル技術を積極的に特定機械等に関連した安全分野へ活用していくために必要な資料の作成及び課題の整理を目的とする。デジタル技術はともすれば便利さが優先され、導入に伴いリスク等が正しく評価されないことが想定される。そのために本研究で作成する資料等はリスク等の評価のために活用することができ、その点において安全分野において資する研究である。

この目的を達成するために、次に挙げる3つの目標を設定する。第一は、社会全体で活用されているデジタル技術の全体像の把握である。これにより現在のところ安全衛生分野に活用されている技術と活用されていない技術を俯瞰的に把握することができる。次に、これらの技術を安全衛生分野に活用していくためには、例えば通信速度の安定性、障害時のふるまいなどシステムの信頼性などを検討する必要がある。その結果、デジタル技術を安全衛生のために導入するにあたっての課題及び基準の整理をしていくことを第二の目的とする。そして第三の目的として、これらの技術を社会実装するためには法律上の整合性も必要になってくることから、デジタル技術の導入にあたって法令改正に必要な基礎資料の作成を試みる。

本稿では特定機械において活用されているデジタル技術を調査するため、事業場にヒアリングを行い、技術要素の取りまとめ等を行うことを目的とする。

[1] 例えば 太田, "GNSSを活用したT-iDigital Fieldクレーン衝突防止システムの開発", クレーン, Vol. 60, No. 698, pp. 28-32.

[2] 例えば 大野, "タワークレーンの遠隔操作システム", クレーン, Vol. 59, No. 688, pp. 34-40.

[3] 例えば 吉田, "次世代港湾クレーン遠隔監視システム CARMS", クレーン, Vol. 61, No. 708, pp. 10-16.

B. 研究方法

今年度の本研究の目的は安全分野で活用できるデジタル技術マップ(以下、技術マップ)についての作成を行うことである。技術マップには、記載する技術要素と、それらの関係を記載する。活用されている技術については、ヒアリングもしくは実際に技術が活用されている事業場でのヒアリングなどで入手した。また、海外の動向についてはASME PVPに参加し、圧力容器および配管の検査に適用されているデジタル技術について調査を行った。その後、調査結果を元にデジタル技術の要素を抽出し表形式で取りまとめを行なった。

C. 研究結果及び考察

事業場のヒアリングでは、移動式クレーンメーカー及び化学系プラントを対象として、現場におけるデジタル技術の導入実態を詳細に把握した。これにより、デジタル技術が機器構造の把握、作業中の安全性向上、モニタリング、教育訓練、さらには設備診断や保全計画に至るまで、多岐にわたり有効に活用されていることが明らかとなった。

移動式クレーンにおいては、MEMSをはじめとする高精度センサやCAN通信による情報取得・蓄積、遠隔地からの稼働情報管理、VR・カメラ等を用いた安全衛生教育といった高度なデジタル技術の実装が進んでいる。一方で、センサの信頼性検証やアナログ技術との適切な使い分け、既存設備への後付けの難しさなど、現場特有の課題も確認された。

化学系プラントでは、DCS への統合管理、可視化基盤の整備、防爆 iPhone 等の導入による巡視業務の効率化、ドローンや非破壊検査機器を活用した保全精度の向上がみられた。さらに、制御系システムに対する明確なセキュリティポリシーや、法令との整合性を踏まえた運用が行われており、成熟したデジタル運用環境が構築されつつあることが確認された。

一方、両者に共通する課題として、機器の防爆対応、維持費の高さ、データの精度確保と標準化、ならびに人材育成の必要性が挙げられる。また、ドローンや無線機器の運用には法規制が大きな影響を及ぼしており、導入時の検討要素として無視できない。

事業場ヒアリングにより得られた知見から技術要素を抽出し、テクノロジーマップとして表にした結果を以下に示す。なお、赤字は ASME PVP により得られた情報である。

	ボイラー・圧力容器	移動式クレーン
点検・検査	デジカメによる写真撮影(防爆 iPhone) ドローンによる点検・監視(ドローン) 減肉部の厚さ(超音波探傷器、非接触 3D 計測器) き裂(超音波探傷器, 超音波探傷+5 軸 C スキャンシステム) 剥離(光干渉) 硬さ(超音波硬度計) 電子日報(クラウド)	組み立て性、メンテナンス性(VR)

<p>機械の監視・見 守り</p>	<p>デジカメによる写真撮影(防爆 iPhone) 圧力(無線型センサー) 温度(無線型センサー) 液面(無線型センサー) 流速(無線型センサー) 振動(無線型センサー) 漏洩(無線型センサー) 計装機器状態（自己診断、弁の状態など） 分析計(PH, CR 計等) パトロールロボット(無線機・カメラ) 回転機器の異常予兆検知(センサー、機械学習) ボルト接合部の緩み検出(摩擦帯電型薄膜センサー)</p>	<p>荷重検出(ロードセル) ワイヤロープ負荷検出(ロードセル) ジブ角度(角度計, MEMS) 対地角(角度計, MEMS) 対機角(角度計, MEMS) 風速(風速計) アウトリガー張出量(伸び系) 位置情報(GNSS, GPS) データ転送(4(3)G/GSM, Bluetooth) データ保存(クラウド)</p>
<p>操作・制御</p>		<p>モーメントリミッタ(CANバス) デジタルカメラ</p>
<p>作業上の安全</p>	<p>監視（デジタルカメラ、ネットワークカメラ、IP デジタルカメラ、ビデオストリーマ、PTZ カメラ） ロボットの稼働範囲の限定(赤外線センサー) 安全柵インターロック(接触式・非接触式) 体調管理スマートウォッチ(例えば Apple Watch)</p>	<p>ドラレコ(デジタルカメラ, GPS) 危険エリア(デジタルカメラ) 人の立ち入り(デジタルカメラ, 赤外線カメラ)</p>
<p>教育・訓練</p>	<p>墜落, 転落, 感電, 飛液(VR) XR による現場作業支援・ガイダンス(VR) 災害事例 AI 検索システム(機械学習)</p>	<p>巻き込まれ(VR) クレーン転倒(VR) 墜落体験(VR) 踏み台からの落下(VR)</p>

D. 結論

本研究では、移動式クレーンメーカー及び化学系プラントを対象として、現場におけるデジタル技術の導入実態を詳細に把握した。これにより、デジタル技術が機器構造の把握、作業中の安全性向上、モニタリング、教育訓練、さらには設備診断や保全計画に至るまで、多岐にわたり有効に活用されていることが明らかとなった。

移動式クレーンにおいては、MEMS をはじめとする高精度センサや CAN 通信による情報取得・蓄積、遠隔地から

総括研究報告書（山際謙太、濱島京子、山口篤志、緒方公俊）の稼働情報管理、VR・カメラ等を用いた安全衛生教育といった高度なデジタル技術の実装が進んでいる。一方で、センサの信頼性検証やアナログ技術との適切な使い分け、既存設備への後付けの難しさなど、現場特有の課題も確認された。

化学系プラントでは、DCS への統合管理、可視化基盤の整備、防爆 iPhone 等の導入による巡視業務の効率化、ドローンや非破壊検査機器を活用した保全精度の向上がみられた。さらに、制御系システムに対する明確なセキュリティポリシーや、法令との整合性を踏まえた運用が行われており、成熟したデジタル運用環境が構築されつつあることが確認された。

一方、両者に共通する課題として、機器の防爆対応、維持費の高さ、データの精度確保と標準化、ならびに人材育成の必要性が挙げられる。また、ドローンや無線機器の運用には法規制が大きな影響を及ぼしており、導入時の検討要素として無視できない。

最後にこれらの事業場ヒアリングを通じて得られた技術要素を表にしてテクノロジーマップを作成した。

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

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

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 鷹屋 光俊

次の職員の令和6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		左記で該当がある場合のみ記入 (※1)		
	有	無	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)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
遺伝子治療等臨床研究に関する指針	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
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	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
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)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>

(※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) 未審査の場合は、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 <input checked="" type="checkbox"/> 未受講 <input type="checkbox"/>
-------------	---------------------------------------------------------------------

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 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (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 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (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 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (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 <input type="checkbox"/> 無 <input checked="" type="checkbox"/> (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 鷹屋 光俊

次の職員の令和6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

	該当性の有無		左記で該当がある場合のみ記入 (※1)		
	有	無	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)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
遺伝子治療等臨床研究に関する指針	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
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	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
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)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>

(※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) 未審査の場合は、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 <input checked="" type="checkbox"/> 未受講 <input type="checkbox"/>
-------------	---------------------------------------------------------------------

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 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (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 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (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 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (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 <input type="checkbox"/> 無 <input checked="" type="checkbox"/> (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 鷹屋 光俊

次の職員の令和6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		左記で該当がある場合のみ記入 (※1)		
	有	無	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)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
遺伝子治療等臨床研究に関する指針	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
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	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
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：個人情報の保護に関する法律)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>

(※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) 未審査の場合は、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 <input checked="" type="checkbox"/> 未受講 <input type="checkbox"/>
-------------	---------------------------------------------------------------------

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 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (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 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (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 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (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 <input type="checkbox"/> 無 <input checked="" type="checkbox"/> (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 鷹屋 光俊

次の職員の令和6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

	該当性の有無		左記で該当がある場合のみ記入 (※1)		
	有	無	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)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
遺伝子治療等臨床研究に関する指針	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
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	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
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：個人情報の保護に関する法律)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>

(※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) 未審査の場合は、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 <input checked="" type="checkbox"/> 未受講 <input type="checkbox"/>
-------------	---------------------------------------------------------------------

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 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (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 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (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 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (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 <input type="checkbox"/> 無 <input checked="" type="checkbox"/> (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

特定機械または事業場におけるデジタル化の現状調査

研究代表者 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
研究分担者 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
研究分担者 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
研究分担者 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

本調査は、移動式クレーンメーカー2社および化学系プラント2社に対する現地ヒアリングを通じて、各事業場でのデジタル技術の導入実態を把握し、安全衛生分野における課題と活用可能性を整理することを目的とした。クレーン分野では、MEMS やロードセル、CAN 通信、クラウド連携、フル HD カメラ、VR 教材などの多様なデジタル機器が導入されており、構造モニタリング、安全管理、教育訓練に活用されている。一方で、アナログ機器の信頼性や現場対応力も評価されており、技術選択においては実用性と安定性のバランスが重視されていた。

化学系プラントでは、DCS 統合による運転監視、無線センサによる設備状態把握、防爆スマートデバイスの導入、ドローンや非破壊検査機器の活用など、高度なデジタル運用が進んでいた。また、セキュリティポリシーの整備や、サイバーインシデントへの初動体制も構築されており、安全確保と運用効率化が両立されていることが確認された。

両分野に共通する利点としては、情報の一元化、点検整備の精度向上、作業効率化、技術検討の高度化などが挙げられる。課題としては、防爆対応機器の高コスト、データの標準化・精度確保、人材育成の不足、法規制による制約などが顕在化していた。

1. 研究目的

IoT、DX、AIなどのいわゆるデジタル技術は例えばクレーン等などの特定機械の衝突防止[1]、遠隔操作[2]またはクラウドを活用した状態監視[3]などに活用されている。こうしたデジタル技術は今後加速度的に発展していくと予想される。そして、安全分野においても活用が促進されることで、現在より更に安全な労働環境を構築することが期待できる。

そこで本研究ではデジタル技術を積極的に特定機械等に関連した安全分野へ活用していくために必要な資料の作成及び課題の整理を目的とする。デジタル技術はともすれば便利さが優先され、導入に伴いリスク等が正しく評価されないことが想定される。そのために本研究で作成する資料等はリスク等の評価のために活用することができ、その点において安全分野において資する研究である。

この目的を達成するために、次に挙げる3つの目標を設定する。第一は、社会全体で活用されているデジタル技術の全体像の把握である。これにより現在のところ安全衛生分野に活用されている技術と活用されていない技術を俯瞰的に把握することができる。次に、これらの技術を安全衛生分野に活用していくためには、例えば通信速度の安定性、障害時のふるまいなどシステムの信頼性などを検討する必要がある。その結果、デジタル技術を安全衛生のために導入するにあたっての課題及び基準の整理をしていくことを第二の目的とする。そして第三の目的として、これらの技術を社会実装するためには法律上の整合性も必要になってくることから、デジタル技術の導入にあたって法令改正に必要な基礎資料の作成を試みる。

本稿では特定機械において活用されているデジタル技術を調査するため、事業場にヒアリングを行い、技術要素の取りまとめ等を行うことを目的とする。

[1] 例えば 太田, "GNSSを活用したT-iDigital Field クレーン衝突防止システムの開発", クレーン, Vol. 60, No. 698, pp.28-32.

[2] 例えば 大野, "タワークレーンの遠隔操作システム", クレーン, Vol.59, No. 688, pp.34-40.

[3] 例えば 吉田, "次世代港湾クレーン遠隔監視システム CARMS", クレーン, Vol. 61, No.708, pp. 10-16.

2. 研究方法

本研究の目的は安全分野で活用できるデジタル技術マップ(以下、技術マップ)についての作成を行うことである。技術マップには、記載する技術要素と、それらの関係を記載する。活用されている技術については、ヒアリングもしくは実際に技術が活用されている事業場のヒアリングなどで入手していく。本稿では事業場等でヒアリングを行った結果と、ASME PVP[4]に参加して得られた特に圧力容器配管関係の海外動向について述べる。

3. 研究結果及び考察

3.1 ヒアリング先について

ヒアリングは以下の4箇所にて行った。なお、ヒアリングに際しては会社名等が特定されないよう配慮することが条件であるので、本稿ではそれを考慮した上で報告するものとする。

ヒアリングは以下の4箇所にて実施した。

- 1：移動式クレーンメーカー（1）（コベルコ）
- 2：移動式クレーンメーカー（2）（タダノ）
- 3：化学系プラント（1）（住友化学）
- 4：化学系プラント（2）（出光）

ヒアリングの内容については、クレーン関係については以下の点について重点的にヒアリングを行った。

1. クレーン本体の構造に活用されているデジタル機器
2. 作業中の安全に寄与するデジタル機器
3. クレーン等のモニタリングに関するデジタル機器
4. 社内の安全衛生教育に活用されているデジタル機器
5. その他

プラント関係については以下の点について重点的にヒアリングを行った。

1. ボイラの稼働中に使用されているデジタル機器
2. ボイラの定修中に活用されているデジタル機器
3. 作業中の安全に寄与するデジタル機器
4. 社内の安全衛生教育に活用されているデジタル機器
5. その他

以下、ヒアリングの結果について報告する。

3.2 移動式クレーンメーカー（2社）のヒアリング内容についてのまとめ

ク レ ン 本 体 の 構 造	<p>転倒防止、過負荷防止のところで計測機器を使用している。</p> <p>ワイヤロープの張力については、ワイヤロープのエンドのところにロードセルをつける。</p> <p>ワイヤロープの掛け数が演算の項目として重要になるが、人手による入力のままとして残っている。</p> <p>トラスジブを繋ぐピンがロードセルになっている。</p> <p>ブームの角度は対地角を計測している。</p> <p>対地角はジブ付きだとジブの根本により計測する。大型機はたわみが無視できないのでブーム先端も計測する。</p> <p>最近では MEMS（静電容量型）で傾き検出を行う。MEMS であれば電圧変動によるハンチングが少なく計測できる。出口がアナログから CAN（デジタル）を使う。長大化とともに電圧降下の影響を受けないデジタル化。</p> <p>これまではオイルを使ったポテンシオメーターで計測していた。</p> <p>荷重はブーム長、角度からの演算を行っていた。</p> <p>記録はデータを集める機器に SD カードを使用している。</p> <p>稼働情報：1日1回クラウドなどに飛ばす。通信環境がいいとは限らないことから、通信負荷を下げるためにバイナリデータに圧縮して送信している。また、データ量も実際の計測しているデータから間引いている。詳細なデータは SD カードを抜いて PC に保存して解析を行う。</p> <p>風速計で風速を可視化してオペレータへ通知する。風速計はブーム先端に設置。パルスで出るからデジタルデータである。オペレータはこれをみて作業の開始や継続の判断を行う。</p> <p>クレーンの姿勢と荷重、負荷率、アウトリガーの張り出し量を記録している。</p> <p>100%負荷率に到達した時に警報型と停止型がある。警報型は揺れて変動する船上のクレーンとかで使われる。</p> <p>機能安全に基づいてセンサ等の採用を行う。センサ寿命、繰り返し使用可能回数、故障率などを検証する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ● EN13000, TUV（トゥフ）認証 ● 規格を満たす日本企業が少なくなっている。 ● 欧州と日本の機能安全の制約の違いが影響している可能性がある。 <p>つり荷を監視するカメラは Full HD を用いている。</p> <p>旋回角度の検出器は、冗長化のため2つ付けてある。</p> <p>アウトリガー反力は精度が不明である。</p>
--------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<p>作業中の安全</p>	<p>暗闇でも見えるように赤外線カメラなどの使用もある。 あえてデジタルカメラにしないようにしている。アナログは断線等にトラブルに対して復旧が早い、デジタルは故障等のトラブルから復旧までに時間を要することがある。 安定性を重視するとアナログのほうが現状は有利であるという認識。 ただ、現場からは記録したいというニーズがあり、デジタルカメラが後付けされることがある。外部製品のほうがカメラ性能いいし。 危険エリアの設定・人の立ち入りの検出などにカメラ映像を使用する。 作業領域設定の機能はある。監視カメラの場所も重要である。 吊荷周辺の確認（作業員の立ち入り、障害物）にカメラ画像を使用する。 走行時の耐振動の基準に満たないため、走行時は吊荷カメラの取り外しが必要となっている。</p>															
<p>クレーン等のモニタリング</p>	<p>モーメントリミッタ等様々なデータを内部演算するコンピュータがある。 休止時もバッテリーで動作している。 シンガポールはモニタリングデータを日報にして提出する必要がある。 各機種稼働データを収録（つり回数、アワメータ、安全停止履歴）、警報情報、日報・週報の出力する機能を持つ。 各機体に4(3)G/GSMなどの通信機能を持たせる。GNSSによる位置情報も記録する。 データの保存は、テレマティクスサービスの運用により行なっている。 スマートフォン用のアプリもある。デバイスをクレーンと接続することで、モニタリングの情報をすぐに見ることができる。 記録データと記録頻度は以下のとおり</p> <table border="1" data-bbox="196 1263 1335 1512"> <thead> <tr> <th>データの種類</th> <th>記録頻度</th> <th>自動送信</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>a. 日報データ</td> <td>1日1回</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td>b. 累積</td> <td>数100～数1000時間</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td>c. ヒストグラム</td> <td>数100～数1000h</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td>d. エラー、過負荷</td> <td>発生都度</td> <td>×</td> </tr> </tbody> </table> <p>表示された時のエラーコードと連絡した時のエラーコードが異なることがあるが、データを抜き取ることで、その詳細を把握することができる。 詳細なデータの記録はCANバスロガーにより数100時間分をとっている。 電力消費量の少ないeMMCに保存している。キーオン・キーオフで1ファイル生成。ただし、ファイルサイズが大きいと分割される。 古いクレーンのレトロフィットは困難であるので順次モニタリングできる機体が変わっていくことを期待している。</p>	データの種類	記録頻度	自動送信	a. 日報データ	1日1回	○	b. 累積	数100～数1000時間	○	c. ヒストグラム	数100～数1000h	○	d. エラー、過負荷	発生都度	×
データの種類	記録頻度	自動送信														
a. 日報データ	1日1回	○														
b. 累積	数100～数1000時間	○														
c. ヒストグラム	数100～数1000h	○														
d. エラー、過負荷	発生都度	×														
<p>安全衛生</p>	<p>墜落体験等がVRで行われている。 組み立て性とかメンテナンス性を確認するためにVRが活用される。安全教育でも使い始めている。 踏み台落下やフォークリフトのヒアリハット事例が多いので、ドラレコなどをつけている。</p>															

<p>生 教 育</p>	<p>危ない作業があったときの振り返りをするためにカメラ映像はとにかく蓄積しておく。その映像を用いてしつこく PDCA を行うことが大切。</p> <p>他部署から見ての安全衛生の確認（慣れを排除したパトロール）が大切。</p> <p>リスクパージ活動の実施 → 繰り返し型災害 Top10 を毎月 2 類型ピックアップし、RA を実施</p> <p>サービス員の教育などのため、実物も組み合わせた VR を活用</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ ワイヤロープの巻き込まれ（手袋） ・ 不注意によりラフテレーンクレーンのタイヤに挟まってしまう事故 ・ カーゴクレーン転倒事故
<p>そ の 他</p>	<p>センシング等により稼働状況が見えていれば（ヘルスマニタリングできていれば）、定期検査の簡略化が望めるのではないか。</p> <p>新しい機器がほしいというより、製造時の機器が欲しいということが多い。これはクレーンの仕様変更になる可能性があることが原因となっている。型式認定された新しいものであれば、つけられる可能性はあるが、そのニーズはない。</p> <p>ヒアリングのみの対応とは異なり、事故発生時の直前の操作が記録として残るところがメリットである。</p> <p>費用（ハード・維持費・通信料・データ管理費用）が高いのがデメリット。</p> <p>クレーンの検査等におけるデジタル化のメリット・デメリット</p> <p>○メリット</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ 点検・整備の実効性が高まる ▶ 点検・整備不良による事故リスクの低減 ▶ 省人化により遠隔操作・自動化の生産効率のさらなる向上が望める <p>●デメリット</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ 職人の検査技術の低下により古いクレーンの検査ができなくなる ▶ 検査技術の継承の断絶 ▶ セキュリティによるデータ改ざん

3.4 化学系プラント（2社）

ボイラ等の稼働中に計測している要素		圧力、温度、液面、流速、振動、漏洩、計装機器状態（自己診断、弁の状態など）分析計(PH,CR 計等)
稼働中	計測方法	<p>圧力伝送器、測温抵抗体、熱電対、各種液面計、各種流量計、振動、ガス検知器(有線、無線:公衆 LTE 回線使っている/LTE or Bluetooth)など。</p> <p>全て DCS へ接続されており、表示データは 1 秒間隔更新される</p> <p>デジタル化の一つとして、防爆 iPhone の導入行なっている。利用方法としては、パトロール、電子日報の作成のために使用している。プラント内は電波状況が悪いところもあるので、private LTE も活用している。</p> <p>防爆製品が高額である、そもそも製品が少ない、ということがデジタル化のネックになっている。</p> <p>無線型センサを使用しているところもあり、障害物を回避する様なかたちで中継機を使用している。</p> <p>情報の共有化、測定結果を社内システムで閲覧することを目的に、可視化基盤を開発・導入。</p> <p>ほとんどの無線は、監視に使用している。</p> <p>中継機をいくつか用意しており、通信がロストしないように冗長化している。</p> <p>取得したデータは全て残しており、保全計画に活用している。</p>
データの保存先		圧力、温度、液面、流速、振動、漏洩：DCS 内 一部振動系は専用システムに保存。
データの活用方法		<p>運連条件の常時監視（事業所単位で確認可能、技術スタッフ）遠隔も見ることにはできる。</p> <p>運転条件の改善検討</p> <ul style="list-style-type: none"> ・データ解析による設備異常予兆検知など ・運転時のトラブル検討 ・運転管理値の見直し ・生産計画の策定等に伴う、機器のコンディション確認 ・パフォーマンス管理による異常の早期発見 ・計装計器の HART 機能による機器設備診断 ・機器別評価 ・サンプル分析等の結果から、用役の再利用や運転のプロセスへ回収する等の運転判断 ・各種検査記録を電子保管し、認定・監査等のエビデンスとして利用
ボイラ等の定修中に計測している要素		機器・配管の厚さ、変形、亀裂、硬さ、組織など
定	計測方法	各種非破壊検査による計測（超音波探傷器など）

<p>修中</p>		<p>目視検査：静止画撮影、ドローン撮影、ファイバースコープ 熱交伝熱管検査：渦流探傷検査、IRIS(UT)、MFR（磁束抵抗法）、EMAT（電磁超音波探触子）有資格者が実施。 ドローン実際に細かいところをみる用途で使ってる。例えば燃焼炉の中身をドローンで観察する。足場組んでいたところをドローンで見れば、（転落）のおそれがない。人が見落としていたところをドローンならすべて網羅できる。 ドローンはコンビナート地区ですと、ガイドラインがある。危険物の上からはドローンつかえない。道路からプラント方向をみる、とか。 防爆仕様のドローンが無いので使う場所が限定される（定修中は可能）。 防爆エリアでも工事内容（定修作業中の火気使用時）によってはドローンとばせる可能性はある。 機器（減内部）の厚さ：超音波探傷器、非接触 3D 計測器 き裂：超音波探傷器 硬さ：超音波硬度計 組織：レプリカ法（SUMP）</p>
	<p>データの保存先</p>	<p>静止画：社内共有クラウドに保存後に、印刷し紙ベースで保管 動画：社内共有ドライブに保存後に、スナップ写真を印刷し紙ベースで保管 ・伝熱管検査記録：測定記録の纏めを社内共有ドライブに保存後、印刷物を紙ベースで保管、波形等の連続データは未保管。 データの保管期間は未定。 クラウドは数年使用していている。どこかでオンプレサーバ側に退避させる必要は感じている。 特に大事な紙データは耐火倉庫の中で保管。</p>
	<p>データの活用方法</p>	<p>余寿命評価、補修要否判定、工物品質管理、保全記録、次回の工事計画など</p>
<p>作業中の安全</p>	<p>危険エリアの設定・人の立ち入りの検出など</p>	<p>・赤外線センサ（ロボット稼働範囲などに実績あり） ・安全柵インターロック ・ロープスイッチ、非常停止ボタン 用途は異なるが現場のカメラとして下記を設置 ・固定現場 ITV の設置 ・持ち出し定点カメラ（Safie） これらは工事の監視の用途でテスト運用中</p>
	<p>監視カメラがある場合、その仕様と記録間隔</p>	<p>監視カメラあり（デジタルカメラ、リアルタイム撮影、メモリなどに一定期間保存・上書き保存） ITV：IP デジタルカメラ、ビデオストリーマ、PTZ カメラ（設置機種及び導入目的によって異なる） 現地サーバーにて撮影記録、映像記録、周期は 1 秒当たりのフレームレートで設定。</p>
	<p>計測された</p>	<p>データの保存先は各機器の専用メモリへ保存</p>

データの保存先	<p>現地サーバーにて保存 可燃性ガス処理設備であるフレアースタック以外の保存はなし</p>
デジタルデータの活用方法	<p>カメラ類は、設備監視が主な目的であり、作業者の作業に関するデータ活用の事例はない ボイラの高圧給水ドラムに対する現場レベルの監視及び調整。（装置立ち上げ等の際に圧力が上がっていないと発信機では、正しくレベルが表示されない為） フレアースタックの炎の監視及び調整。市公害及び近隣クレーム等が発生した際の記録。 現場状況の監視、現場工事の監視</p>
デジタル機器の使用による作業者への負荷	<p>防爆 iPhone などデジタルデバイスを活用し、記録用紙への記入→データ入力までの作業や移動時間の短縮など業務の効率化を実現できている ITV は常設の為、負荷なし。</p>
安全衛生教育	<p>構内安全教育の一環として、VR 体感教育を実施している。 社員教育に e-ラーニングを活用している。 体感教育を従来から実施している。はさまれ体感とか。 VR と体感を組み合わせて実施している 実際の体験が難しくなっている→墜落、転落、感電、飛液（葉傷、有害物との接触） VR で疑似体験してもらって、怖いという思いの体感。 作業の実態に応じた VR を使っている。</p>
その他の	<p>デジタル機器の運用における責任分界点の把握。 制御系システムのセキュリティ管理に関する遵守事項を工場則として定め、制御系システムの適切な管理を維持する体制を整えている。 また、リスク判定や多層防御、減災といった現実的なサイバーセキュリティ対策の取組みを実施している。 サイバーインシデント発生時の対応であれば、防災体制を構築、初期行動としてネットワークの切り離しを実施した後に原因調査に踏み入る。原因が何処にあるかで、どの部署が対策及び対応をするかが変わる。 一般故障の場合は、各ネットワーク階層にて保全領域が分かれている。</p>
既存のデジタル化、およびデジタル機器のメリット・デメリット	<p>メリット：業務の効率化や情報の一元管理、保全業務の高度化を目指すことが可能である。 帳票等の作業の短縮化が図れる。 場所を選ばずに作業が出来る。 データの量が多ければ多いほど、技術検討の精度が上がる。 AI 等でのデータ活用を見据えた際の基盤としてデータ活用の幅を広げられる事が期待できる。 デメリット：デジタル機器は危険場所では防爆機器を使用する必要があり、機種が少なく高額である。 維持管理労力と費用が掛かる。 活用する為に値の正確性の確認やデータ加工作業が発生してしまう。</p>

	<p>測定するシステムやデータの型等が揃った設備でないと異なったシステムが乱立してしまい、ユーザーが扱いきれない。</p> <p>人の育成がしっかりしていないと間違っただータで間違っただ判断を実施してしまう可能性がある。</p>
デジタル機器の保守についての考え方	<p>アナログ機器と同様、計器点検計画基準に基づいて、機器毎に保守方法を定めて管理している。</p>
法令等により活用が限定される事例	<p>高圧ガス保安法、電波法、航空法、消防法などが該当。</p> <p>装置内防爆制約において、扱えるデジタル機器が限定されており、活用できる技術自体が制限されている。</p> <p>ドローン等の活用においても利用制限と規制が強く、活用を実現しようとする運用上の負荷がかなり高くなってしまふ。</p> <p>電子機器による電波帯域の制約により、導入する機種及びセキュリティ要件が合わない状況が発生する。</p>

3.7 ASME PVP のヒアリング内容についてのまとめ

ASME (American Society of Mechanical Engineering) の PVP (Pressure Vessels and Pipings) は毎年開催されており圧力容器及び配管についての最新の研究および技術の情報を得ることができる。本会議に参加し情報を収集したので、これについて報告する。

全体の中でデジタル技術に関連した内容としては以下の論文発表があった。

講演番号	タイトル	安全衛生の観点	センシング・モニタリング技術	総括
PVP2024-123224	Ultrasonic Phased Array Automatic Detection on Weld Seams of Plastic Liner in Type IV Hydrogen Cylinder	高圧水素容器の溶接部内部欠陥を非破壊で検出し、水素漏洩リスクを低減	フェーズドアレイ超音波+自動5軸Cスキャンシステムによる高感度欠陥検出	水素容器の安全運用に直結する高度な非破壊検査技術で、標準化にも貢献
PVP2024-122942	Non-Destructive Testing Study of Hydrogen Storage COPVs Based on Digital Shearography Technique	水素貯蔵容器における層間剥離や微小亀裂の検出が運用安全に重要	シェアログラフィ（光干渉）による非接触・リアルタイムモニタリング	高圧容器の内部欠陥を可視化する光学モニタリング技術の応用例として優秀
PVP2024-124932	Study of Error Analysis and Optimization Algorithm for IMU-Based Pipeline Bending Strain Detection	地震・地盤変動によるパイプひずみの正確な評価が事故予防に必須	IMU+ANN-ExtraTree 補正モデルでひずみ計測の精度を大幅向上	誤差補正を含めた実用的モニタリング法として高い応用性がある
PVP2024-122347	Experimental Study on Applicability of Triboelectric Film Sensors for Integrity Monitoring of Shear Bolted Joints	ボルト接合部の緩みは構造安全上のリスク要因	摩擦帯電型薄膜センサによりすべり検知・自己発電型モニタリングを実現	構造物の予防保全に資する柔軟・安価なセンサの可能性を提示
PVP2024-124240	A Calculation Method of Pipeline Bending Strain Based on IMU Data of Pipeline Internal Detection	地震・地すべりによるパイプラインの破断リスクに対応	IMU 姿勢データを用いて変形・ベンドを識別	非破壊かつリアルタイムで管路の状態を評価可能とする手法
PVP2024-122867	Lift-Off Simulation and Revision of the Fluid-Driven MFL Pipeline Inspection Robot Under Obstacle Excitation	センサ Lift-off 変動による誤検出が健全性評価の妨げとなる	ADAMS/Simulink を用いた Lift-off 補正と振動モデリング	MFL 信号補正と精度向上に向けた設計・補正統合アプローチ

4. 結論

本調査では、移動式クレーンメーカー及び化学系プラントを対象として、現場におけるデジタル技術の導入実態を詳細に把握した。これにより、デジタル技術が機器構造の把握、作業中の安全性向上、モニタリング、教育訓練、さらには設備診断や保全計画に至るまで、多岐にわたり有効に活用されていることが明らかとなった。

移動式クレーンにおいては、MEMSをはじめとする高精度センサや CAN 通信による情報取得・蓄積、遠隔地からの稼働情報管理、VR・カメラ等を用いた安全衛生教育といった高度なデジタル技術の実装が進んでいる。一方で、センサの信頼性検証やアナログ技術との適切な使い分け、既存設備への後付けの難しさなど、現場特有の課題も確認された。

化学系プラントでは、DCS への統合管理、可視化基盤の整備、防爆 iPhone 等の導入による巡視業務の効率化、ドローンや非破壊検査機器を活用した保全精度の向上がみられた。さらに、制御系システムに対する明確なセキュリティポリシーや、法令との整合性を踏まえた運用が行われており、成熟したデジタル運用環境が構築されつつあることが確認された。

一方、両者に共通する課題として、機器の防爆対応、維持費の高さ、データの精度確保と標準化、ならびに人材育成の必要性が挙げられる。また、ドローンや無線機器の運用には法規制が大きな影響を及ぼしており、導入時の検討要素として無視できない。

5. 研究発表

1. 論文発表

該当なし

2. 学会発表

該当なし

6. 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

7. 引用文献

なし

厚生労働科学研究費補助金 分担研究報告書

特定機械または事業場で活用されているデジタル技術マップの作成

研究代表者 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
研究分担者 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
研究分担者 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
研究分担者 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

本報告書は、特定機械や事業場で活用されているデジタル技術の全体像を把握し、安全衛生分野への応用のための技術マップを作成することを目的としている。研究はIoT、DX、AIといったデジタル技術がクレーンの衝突防止、遠隔操作、状態監視などに広く活用されている現状を踏まえ、安全性向上の可能性を示唆する。特に導入時にリスク評価が不十分となりやすいという課題に着目し、技術の活用状況を俯瞰的に整理し、今後の制度整備や法改正のための基礎資料とする意図がある。

調査方法としては、移動式クレーンメーカー2社および化学系プラント2社へのヒアリング調査と、ASME PVP（圧力容器および配管に関する国際会議）への参加を通じて、実際に使用されているデジタル機器や技術要素を収集した。その結果をもとに、「点検・検査」「機械の監視・見守り」「操作・制御」「作業上の安全」「教育・訓練」といった観点から分類整理された技術マップが作成された。内容には、超音波探傷器、ドローン、防爆 iPhone、MEMS センサ、VR による教育支援、GNSS による位置把握、赤外線センサやネットワークカメラによる安全確保など多岐にわたる技術が含まれる。

また、デジタル庁が公開する技術マップの表現方法も参照され、今後はより視覚的・動的な技術マップの形式を検討する余地があると指摘されている。現時点では、ヒアリング結果を基にした表形式の技術マップを成果として取りまとめ、今後はさらに調査対象を拡大しながら、情報の網羅性と表現力の向上を図る予定である。

1. 研究目的

IoT、DX、AI などのいわゆるデジタル技術は例えばクレーン等などの特定機械の衝突防止[1]、遠隔操作[2]またはクラウドを活用した状態監視[3]などに活用されている。こうしたデジタル技術は今後加速度的に発展していくと予想される。そして、安全分野においても活用が促進されることで、現在より更に安全な労働環境を構築することが期待できる。

そこで本研究ではデジタル技術を積極的に特定機械等に関連した安全分野へ活用していくために必要な資料の作成及び課題の整理を目的とする。デジタル技術はともすれば便利さが優先され、導入に伴いリスク等が正しく評価されないことが想定される。そのために本研究で作成する資料等はリスク等の評価のために活用することができ、その点において安全分野において資する研究である。

この目的を達成するために、次に挙げる3つの目標を設定する。第一は、社会全体で活用されているデジタル技術の全体像の把握である。これにより現在のところ安全衛生分野に活用されている技術と活用されていない技術を俯瞰的に把握することができる。次に、これらの技術を安全衛生分野に活用していくためには、例えば通信速度の安定性、障害時のふるまいなどシステムの信頼性などを検討する必要がある。その結果、デジタル技術を安全衛生のために導入するにあたっての課題及び基準の整理をしていくことを第二の目的とする。そして第三の目的として、これらの技術を社会実装するためには法律上の整合性も必要になってくることから、デジタル技術の導入にあたって法令改正に必要な基礎資料の作成を試みる。

本稿では事業場におけるヒアリングにより得られた知見を元に事業場等で活用されているデジタル技術を取りまとめたデジタル技術マップの作成を試みる。

[1] 例えば 太田, "GNSS を活用した T-iDigital Field クレーン衝突防止システムの開発", クレーン, Vol. 60, No. 698, pp.28-32.

[2] 例えば 大野, "タワークレーンの遠隔操作システム", クレーン, Vol.59, No. 688, pp.34-40.

[3] 例えば 吉田, "次世代港湾クレーン遠隔監視システム CARMS", クレーン, Vol. 61, No.708, pp. 10-16.

2. 研究方法

本研究では、事業場におけるヒアリングおよび ASME PVP の参加により得られた知見(文献等の検索)から安全衛生に資する技術要素を抜き出し、今年度はひとまず表として整理することとした。

一方でテクノロジーマップというキーワードで検索を行うと、以下の情報を得ることができる。

- デジタル庁 テクノロジーマップ
 - <https://www.digital.go.jp/experimental/technology-map/map-data/?pattern=1>
 - <https://www.digital.go.jp/experimental/technology-map/map-data/?pattern=2>
- デジタル庁 資料 テクノロジーベースの改革のための調査研究 (57 ページ)
 - https://www.digital.go.jp/assets/contents/node/basic_page/field_ref_resources/82a1ea56-128f-4cf6-bbd5-9ef6d4b7bafc/eb3981e7/20230616_policies_budget_entrustment_deliverables_report_01.pdf

これらの資料は Web ブラウザ等で表現することが前提となっている動的なマップであること、また、規制等についても詳細に検討されていることから、翌年度以降は新しく得られた知見も含みながら別の表現方法も検討していくこととする。

3. 研究結果及び考察

事業場（移動式クレーン2社、化学プラント2社）におけるヒアリングの結果およびASME PVPにより得られた知見（赤字）を表として取りまとめた結果を下表に示す。

	ボイラー・圧力容器	移動式クレーン
点検・検査	デジカメによる写真撮影(防爆 iPhone) ドローンによる点検・監視(ドローン) 減肉部の厚さ(超音波探傷器、非接触 3D 計測器) き裂(超音波探傷器, 超音波探傷+5 軸 C スキャンシステム) 剥離(光干渉) 硬さ(超音波硬度計) 電子日報(クラウド)	組み立て性、メンテナンス性(VR)
機械の監視・見守り	デジカメによる写真撮影(防爆 iPhone) 圧力(無線型センサー) 温度(無線型センサー) 液面(無線型センサー) 流速(無線型センサー) 振動(無線型センサー) 漏洩(無線型センサー) 計装機器状態（自己診断、弁の状態など） 分析計(PH,CR 計等) パトロールロボット(無線機・カメラ) 回転機器の異常予兆検知(センサー、機械学習) ボルト接合部の緩み検出(摩擦帯電型薄膜センサ)	荷重検出(ロードセル) ワイヤロープ負荷検出(ロードセル) ジブ角度(角度計, MEMS) 対地角(角度計, MEMS) 対機角(角度計, MEMS) 風速(風速計) アウトリガー張出力(伸び系) 位置情報(GNSS, GPS) データ転送(4(3)G/GSM, Bluetooth) データ保存(クラウド)
操作・制御		モーメントリミッタ(CAN バス) デジタルカメラ
作業上の安全	監視（デジタルカメラ、ネットワークカメラ, IP デジタルカメラ、ビデオストリーマ、PTZ カメラ） ロボットの稼働範囲の限定(赤外線センサ) 安全柵インターロック(接触式・非接触式) 体調管理スマートウォッチ(例えば Apple Watch)	ドラレコ(デジタルカメラ, GPS) 危険エリア(デジタルカメラ) 人の立ち入り(デジタルカメラ, 赤外線カメラ)

<p>教育・訓練</p>	<p>墜落, 転落, 感電, 飛液(VR) XR による現場作業支援・ガイダンス(VR) 災害事例 AI 検索システム(機械学習)</p>	<p>巻き込まれ(VR) クレーン転倒(VR) 墜落体験(VR) 踏み台からの落下(VR)</p>
--------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

4. 結論

本研究では、移動式クレーン 2 社および化学プラント 2 社における事業場ヒアリングの結果をもとに技術要素を抽出し技術マップの作成を試みた。一旦は表形式で取りまとめを行なっているが、表現方法については次年度にさらにヒアリングを追加して検討することとする。

5. 研究発表

1. 論文発表

該当なし

2. 学会発表

該当なし

6. 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

7. 引用文献

URL

- デジタル庁 テクノロジーマップ
 - <https://www.digital.go.jp/experimental/technology-map/map-data/?pattern=1>
 - <https://www.digital.go.jp/experimental/technology-map/map-data/?pattern=2>
- デジタル庁 資料 テクノロジーベースの改革のための調査研究（57 ページ）
 - https://www.digital.go.jp/assets/contents/node/basic_page/field_ref_resources/82a1ea56-128f-4cf6-bbd5-9ef6d4b7bafc/eb3981e7/20230616_policies_budget_entrustment_deliverables_report_01.pdf