

建設現場の生産性向上に資する技術に関する調査・研究

(その2)

2022 年 10 月

土木学会 建設技術研究委員会

生産性向上小委員会

目 次

1. はじめに	1
2. 遠隔臨場(立会)について	2
2-1. 発注者の動向	2
2-2. 遠隔臨場システムの比較	3
2-3. 小委員会アンケート結果	5
2-4. 今後の展開	14
3. アシストスーツの現状と今後の展望	19
3-1. 歴史・背景	19
3-2. 種類および建設現場への適応性	21
3-3. 建設分野におけるアシストスーツ市場拡大の障壁	25
3-4. 「協調」の重要性	30
4. ウェアラブルデバイス（バイタルセンサ類）の建設現場への導入と可能性について	32
4-1. 調査の背景	32
4-2. ウェアラブルデバイスの種類、用途について	34
4-3. 調査結果からの分析・考察	36
4-4. 今後の作業について	38
参考資料-1：ウェアラブルデバイス調査結果	39

1. はじめに

建設技術研究委員会 生産性向上小委員会は、「生産現場（設計・施工など）における生産性向上を図るため、最先端の生産性向上技術や今後の進むべき方向性を検討し提言する」ことを目的に、2018 年 9 月に発足した。主な活動として、

①2019 年 9 月には土木学会 全国大会にて「建設現場における生産性向上に向けての取組み」と題し、研究討論会を実施した。同討論会では、各種 ICT 技術を用いた造成・ダム・トンネル工事の紹介、そして土木分野ではあまり注目してこなかった鉄筋コンクリート構築についても、生産性向上の可能性を探り討論を実施した。

②2021 年 9 月には「建設現場の生産性向上に資する技術に関する調査・研究」と題して、「5G 通信技術」「ロボット技術」「配筋検査システム」の現状把握と今後の課題・展望について調査報告を実施した。

本書では、昨年の研究テーマを踏襲しつつ、「遠隔臨場」「パワーアシストスーツ」「バイタルチェック」について、ネットで溢れた情報と違う土木学会ならではの観点を意識し、取り纏めを実施したつもりである。土木技術者の皆さまにとって、少しでも参考になれば幸いである。

2022 年 10 月

土木学会 建設技術研究委員会 生産性向上小委員会
委員長 石田 靖

2. 遠隔臨場（立会）について

従来、監督職員が現場に出向いて行っていた確認や立会の検査に対し、現地に出向かずに Web 通信を使用した遠隔臨場（立会）が試行され、普及してきた。国土交通省では令和 4 年度から本実施への移行が決定し、NEXCO、農林水産省、鉄道会社、地方自治体などもでも採用が進んでいる。

本稿では発注者の動向、調達可能なシステムの比較、委員会に参画している各社のアンケート結果、判明した課題に対する対応策の一例を報告する。

2-1. 発注者の動向

遠隔臨場のおもな目的として、「受発注者の業務の効率化」が挙げられることから、遠隔臨場を円滑に運用するためには、受発注者が一体となって取り組むことが重要である。また、運用にあたっては、遠隔臨場にて検査する項目や使用する機器の仕様などを明確にした試行要領等のルール設定が必要となる。そこで、今回、実施したアンケートの結果から、発注者を分類し、それぞれにおける実施要領の策定状況や遠隔臨場に対する取組み等の動向について調査した。

国土交通省をはじめとした各省庁においては、令和 2 年度から遠隔臨場の試行を開始し、試行結果をもとに遠隔臨場に関する実施要領が策定され、本施行へと移行している。地方自治体においても、遠隔臨場の試行が進められており、それぞれが策定した試行要領以外の事項については、国土交通省が定めている「建設現場の遠隔 臨場に関する試行要領（案）」「建設現場の遠隔臨場に関する監督・検査試行 要領（案）」の最新版を準用するという運用がなされている例もある。NEXCO 中日本では、令和 4 年 5 月に「遠隔立会実施要領」が策定され、運用がなされている。JR 東日本では、工事の品質確認に伴う移動を不要にしながら、効率的な品質確認作業を可能にすることを目的に建設工事現場を 5G とデジタルツインを使って遠隔から監督する実証実験をソフトバンクと共同で開始すると発表している。JR TT では、モデル工区を設定して遠隔臨場に関する各種技術の実証を開始すると発表している。また、取組みの本格化に向けて、モデル工区の支援を行うとともに、DX 導入を促進し、各種課題の解決に向け、対応していくため本社内に ICT 推進チームを設定すると発表されている。

遠隔臨場に対する各発注者の動向について、以下に示す。

(1) 国土交通省

国土交通省は令和 2 年度から生産性向上や非接触・リモート化を目的に遠隔臨場の試行を開始した。令和 2 年度は 760 件、令和 3 年度は約 1,800 件程度と普及が進み、現場の移動時間や、立会に伴う受注者の待ち時間の短縮等といった効果が確認されたことから、令和 4 年度から本実施に移行し、「建設現場における遠隔臨場に関する実施要領（案）」及び「建設現場の遠隔臨場に関する監督・検査実施要領（案）」を策定している。

(2) NEXCO

NEXCO 中日本では、令和 4 年 5 月に工事・維持修繕作業の施工現場について、「材料確認」や「現地立会」などの作業を遠隔臨場で実施するための「遠隔臨場実施要領」を制定し、土木・施設工事などに原則適用することとしている。NEXCO 中日本では、令和 4 年 5 月に「遠隔立会実施要領」が策定され、運用がなされている。

NEXCO 西日本では、令和 4 年 2 月に「遠隔立会実施要領」が策定され、運用がなされている。

NEXCO 東日本では、i-Construction の推進の一環として遠隔臨場による工事立会や材料確認

を試行的に実施している。

(3) 農林水産省

農林水産省も国土交通省と同様に、令和2年度から遠隔臨場の試行を実施した。令和2年度の試行実施工事を対象としたアンケート調査の結果、移動時間の短縮に伴う業務の効率化、新型コロナ対策として接触機会の減少など9割以上で効果があったとの評価があり、令和3年度から、原則として、各地方農政局で発注する全ての工事を対象に実施している。

なお、実施の条件として、当初発注においては受注者の希望により実施することとし、「通信環境が整備されていない工事」、「遠隔確認に必要な機材の調達が困難な工事」などは対象外とされている。

(4) 防衛省

防衛省では令和3年3月から、建設現場における「長時間労働の是正」、「週休2日の確保」、受注者における「施工確認に伴う手待ち時間の削減や確認書類の簡素化」、発注者における「現場臨場の削減による効果的な時間の活用」を目的に遠隔臨場の試行が開始された。試行にあたっては、「建設現場における遠隔臨場の試行要領等」が策定されている。

(5) 地方自治体

地方自治体においても遠隔臨場の試行が進められている。高知県では、高知県土木部発注の建設工事に関して、「建設現場の遠隔臨場に関する試行要領（高知県案）」を制定している。また、要領以外の事項については、国土交通省が定めている「建設現場の遠隔臨場に関する試行要領（案）」「建設現場の遠隔臨場に関する監督・検査試行要領（案）」の最新版を準用するものとし、運用を行っている。その他にも、福島県や仙台市等、多数の自治体においても遠隔臨場に関する要領が策定され、遠隔臨場の試行が進んでいる。

(6) JR

JR 東日本では、平成30年度から建設部門としての遠隔臨場に関するルールが制定され、試行されている。また、土木工事標準仕様書の追加仕様として、遠隔臨場について記載されており、運用がなされている。さらに、令和2年2月の時点で令和3年夏頃から、工事の品質確認に伴う移動を不要にしながら、効率的な品質確認作業を可能にすることを目的に建設工事現場を5Gとデジタルツインを使って遠隔から監督する実証実験をソフトバンクと共同で開始すると発表している。

(7) JRJT

JRJTでは、令和3年11月に遠隔臨場の本格導入を目指し、北海道新幹線建設工事においてモデル工区を設定して各種技術の実証を令和3年度内に開始すると発表している。また、取組みの本格化に向けて、モデル工区の支援を行うとともに、DX導入を促進し、各種課題の解決に向け、対応していくため本社内にICT推進チームを設定している。

2-2. 遠隔臨場（立会）システムの比較

遠隔臨場で使用するハードは大別すると

- ・ウェアラブルカメラ、スマートグラス、スマートフォン(iPhone、Android)・タブレット(iPad、Android)がある。

また、通信するシステムは

- ・カメラ専用システム、システムのみ、TV会議システム(zoom、teamsなど)に分けられる。

以下に代表的な遠隔臨場で使用できるハード、およびシステムを紹介する（表 2-1）。

表 2-1 遠隔臨場（立会）システム一覧

製品	セーフィーポケット2	CX-WEシリーズ	Generation-Eye	MET-EYE
メーカー	セーフィー(株)	(株)ザクティ	Atos(株)	エコモット(株)
分類(ハード)	ウェアラブルカメラ	ウェアラブルカメラ	スマートグラス	スマートグラス
分類(システム)	カメラ専用システム	カメラ専用システム	カメラ専用システム	カメラ専用システム
システム概要	・バッテリーと通信機能が内蔵し、胸ポケットにセット ・会話をする場合は、付属のヘッドセットが必要 ・電源を入れ、カバーを下すだけで録画が開始。録画中フルHD写真撮影可能 ・クラウドにデータ保存 ・背面ディスプレイあり ・LEDライトで暗所の撮影可能	・カメラはヘルメット、胸ポケット用を選定可能 ・ブレ補正機能搭載 ・iPhone、iPad、Androidに接続して通信 ・汎用通信アプリ(Zoom、Teams等)を使用	・ハンズフリーで、映像と音声を共有し、スマートグラスで資料を確認できる ・リアルタイムに現場状況を作業者目線で可視化 ・両目で対象物と映像を同時に見る ・赤ペン、指さし機能でオペレーターから作業者へ指示を出せる	・国土交通省の示す遠隔臨場試行方針に則った使用を備えた、専用通信機とヘルメット装着型カメラのセット ・通信機能を内蔵し、通信の遅延や途絶を最低限に抑える ・付属のインカムから双方向通話やクラウドへの録音可能 ・ブレ補正機能あり
画像				
費用(初期費用除く)	18,000円/月(カメラシステム、通信費込)	12,000円/月(カメラシステム、通信費別)	8,400円/月(カメラ) 30,360円/月(システム、通信費別)	43,500円/月(カメラ) 14,100円/月(システム、通信費込)
同時接続(現場を含む)	16拠点	通信アプリ(Zoom、Teams等)の接続拠点数(例: Zoom300拠点)	2拠点	2拠点

製品	HMT-1	遠隔臨場Site-Live	G REPORT
メーカー	日本システムウェア(株) テクノレント(株)(レンタル)	(株)建設システム	エコモット(株)
分類(ハード)	スマートグラス	スマートフォン(iPhone)	スマートフォン(Android)
分類(システム)	TV会議システム	システムのみ	システムのみ
システム概要	・ヘルメットに装着してハンズフリーのAndroidスマートグラス ・音声操作でドキュメントを参照可能 ・写真や動画撮影が可能 ・Teamsが利用可能 ・日立ソリューションズの「フィールド業務情報共有システム」で現場と事務所の情報共有が可能	・遠隔臨場に特化したシステムで確認・管理が容易 ・電子小黒板を表示可 ・工事情報共有システム(ASP)と連携可	・遠隔臨場に特化したハンディ型モバイルコミュニケーションツール ・国土交通省策定の試行要領(案)に記載された使用を満たす ・GリポートアプリをインストールしたAndroidスマホと3軸ジンバル、ワイヤレスヘッドセットで構成 ・クラウドにデータ保存
画像			
費用(初期費用除く)	50,000円/月(カメラ、通信費込)	22,000円/月(通信費別)	25,000円/月(カメラシステム、通信費別) 28,500円/月(タブレット)
同時接続(現場を含む)	通信アプリ(Zoom、Teams等)の接続拠点数(例: Zoom300拠点)	無制限(通信環境による)	2拠点

2-3. 小委員会アンケート結果

(1) アンケート調査の概要

当小委員会の委員各社（合計 13 社）に対して、遠隔臨場の実施状況に関するアンケート調査を実施した。

- ・調査項目：表 2-2 の 19 項目（ただし、適当な選択肢がない場合は、自由記述）

表 2-2 アンケート調査項目の一覧

大分類	中分類	小分類
現場の諸条件	発注者（選択）	国土交通省（各地方整備局）、 NEXCO（東日本、中日本、西日本）、 農林水産省（各農政局）、 JRJT、鉄道会社、地方自治体 他
	施工場所（選択）	47 都道府県
	工種（選択）	トンネル、地下構造物、高架・橋梁、道路、無人化施工、 造成・土工、河川・用水路、海岸・港湾、ダム、シールド・ 推進、リニューアル
	適用場面（選択）	材料確認、品質管理、出来形管理（鉄筋）、出来形管理（躯体・土工他）、中間・竣工検査、工場検査
	事務所（監督員詰所等）の 距離（選択）	15 分以内、15 分～30 分、30 分～1 時間、1 時間～1 時間 半、1 時間半以上
	発議者（選択）	発注者、受注者
	導入経緯（選択）	仕様書に記載、モデル現場、コロナ対策
発注者	使用デバイス ータブレット（選択）	発注者業務用、受注者支給
	使用デバイス ーパソコン（選択）	発注者業務用、受注者支給
	帳票閲覧（選択）	紙出力、遠隔臨場システム内
	通信環境（選択）	事務所 LAN、事務所 Wi-Fi、公衆 Wi-Fi、携帯 4G、携帯 5G
	意見（自由記述）	メリット、デメリット、どうすれば有効活用できるか
受注者	使用ハード ースマートフォン /タブレット（選択）	iPhone、android、iPad、android タブレット
	使用ハード ーハンディタイプ（選択）	Safie Pocket、ザクティ
	使用ハード ーウェアラブル端末（選択）	REALWEAR HMT-1、エプソン MOVERIO
	使用システム（選択）	FaceTime、Zoom、Teams、GoogleMeet、G REPORT、 V-CUBE、ハード専用システム
	黒板（選択）	従来黒板、システム内電子黒板
	通信環境（選択）	事務所 LAN、事務所 Wi-Fi、公衆 Wi-Fi、携帯 4G、携帯 5G
	意見（自由記述）	メリット、デメリット、どうすれば有効活用できるか

- ・調査対象：各社の遠隔臨場担当部署、導入現場
- ・調査方法：調査票への記入やヒアリング
- ・調査期間：2022 年 3 月～6 月
- ・調査現場数：70 現場

(2) 現場の諸条件

①発注者

NEXCO、国土交通省の順で多く、70%以上（52 現場）を占める。NEXCO に関しては、NEXCO 中日本（19%、13 現場）、NEXCO 東日本（11%、8 現場）、NEXCO 西日本（11%、8 現場）の順番で、国土交通省に関しては中部地方整備局（10%、7 現場）、九州地方整備局（6%、4 現場）、関東地方整備局および近畿地方整備局（ともに 4%、3 現場）の順番で、遠隔臨場の実施現場数が多いことが分かる。

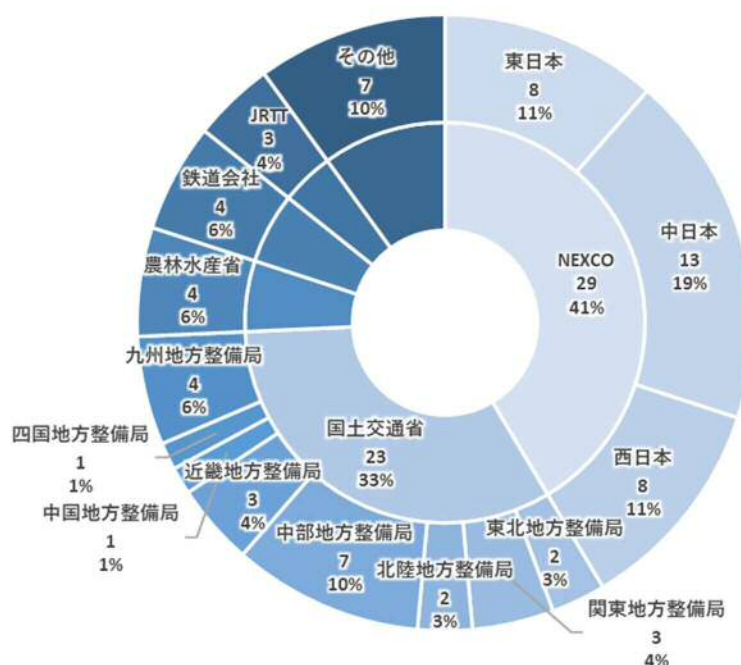


図 2-1 内訳：発注者

②工種

トンネル、高架・橋梁の順で多く、50%以上を占める。その他の項目に含まれているが、選択肢以外の工種として、排水機場（農林水産省東北農政局）、現場打函渠工（東北電力）、上水道工（姫路市）、耐震補強工（NEXCO 西日本）などの事例報告もあった。

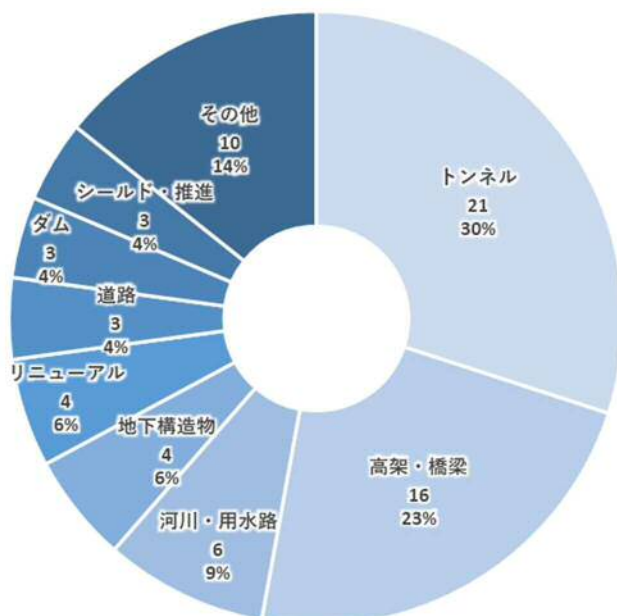


図 2-2 内訳：工種

③発注者×工種

発注者ごとに工種の内訳を整理したところ、NEXCO では高架・橋梁（14%、10 現場）が、国土交通省ではトンネル（13%、9 現場）が最も多かった。

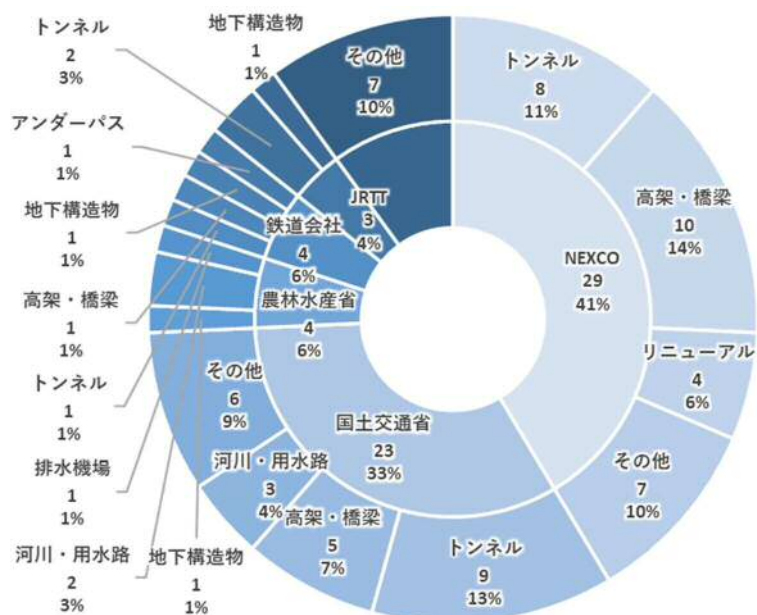


図 2-3 内訳：発注者×工種

④適用場面

品質管理（23%、33 現場）、出来形管理（躯体・土工他）（22%、32 現場）、材料確認（20%、29 現場）の順番が多い。その他の中には、打設前清掃（国土交通省九州地方整備局）、支障物等の確認や対応（国土交通省中部地方整備局、農林水産省東海農政局）といった事例も見られた。

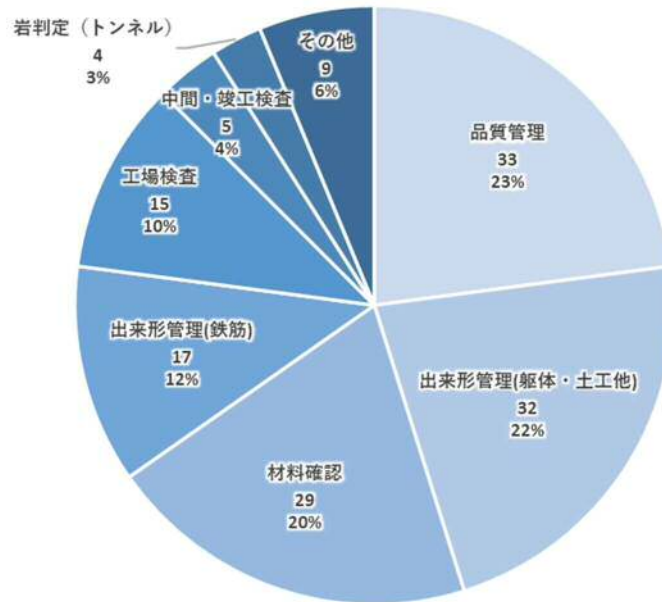


図 2-4 内訳：発注者×工種

⑤事務所（監督員詰所等）の距離

1 時間以内の距離にある現場が 70%程度を占めており、その中でも 30 分～1 時間の距離にある現場が最も多い（44%、31 現場）。

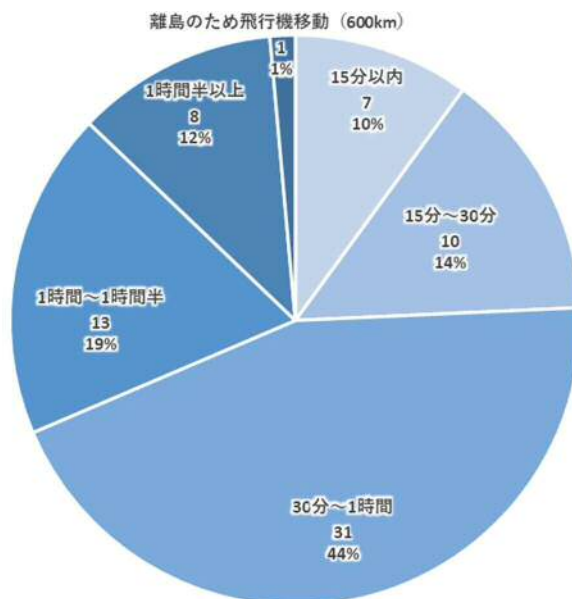


図 2-5 内訳：事務所（監督員詰所等）の距離

⑥発議者

発注者が50%以上（38現場）を占めている。なお、未回答は「不明」と記載した。

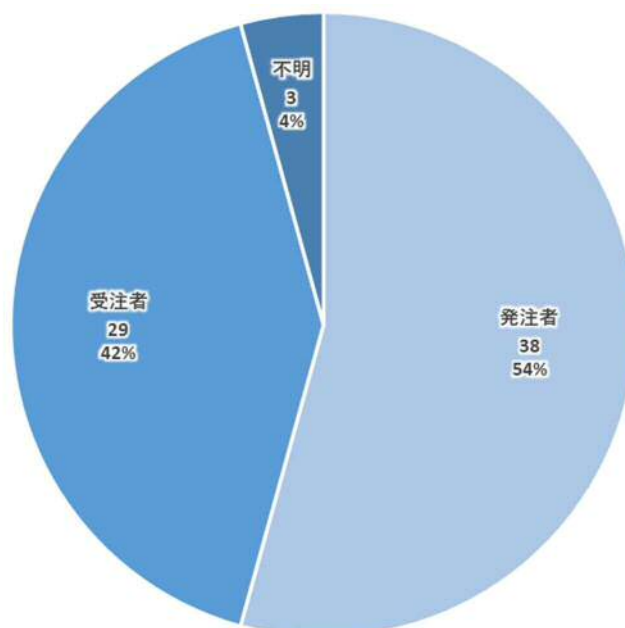


図 2-6 内訳：発議者

⑦導入経緯

仕様書に記載（31%、22現場）、コロナ対策（11%、8現場）、モデル現場（8%、6現場）の順番で多く、50%を占めている。なお、未回答は「不明」と記載した。

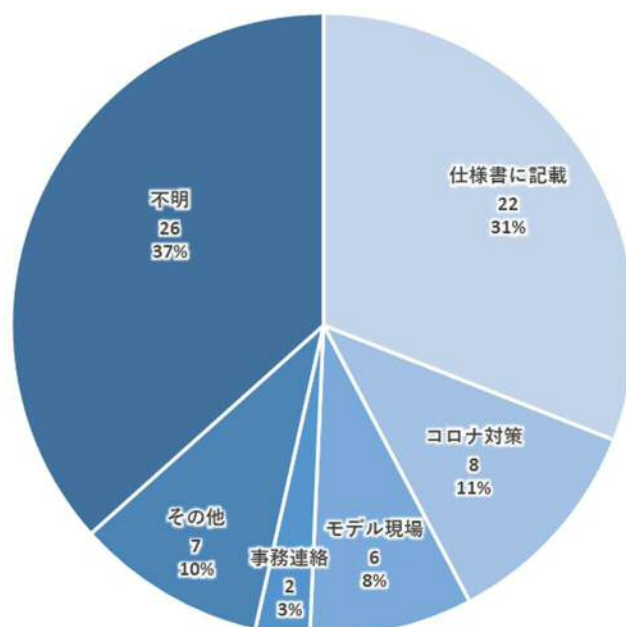


図 2-7 内訳：導入経緯

(3) 自由記述

アンケートでは遠隔臨場の「メリット」、「デメリット」、「どうすれば有効活用できるか」の3つの設問について、発注者と受注者の意見を自由記述により回答していただいた。それぞれの立場毎のアンケート結果について示す。

なお、発注者の意見は受注者側からヒアリングした結果であり、本アンケートに直接回答を行っていない。

a) 発注者側

①発注者が感じるメリット

移動時間の削減や時間が有効活用できるなど、遠隔臨場によって時間や場所を問わないことに対するメリットについて言及する傾向であった。

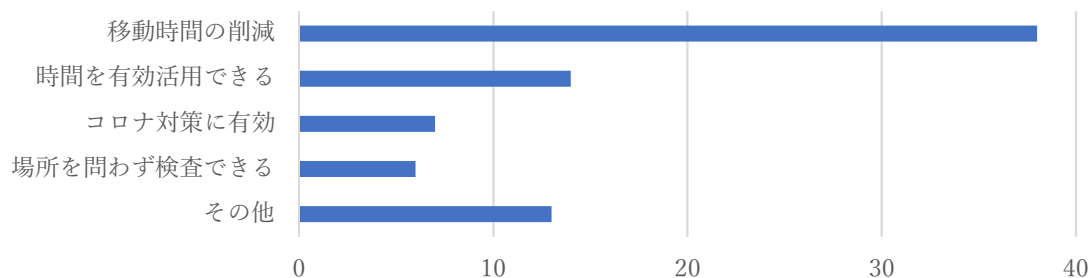


図 2-8 発注側メリット

②発注者が感じるデメリット

遠隔臨場の性質上、通信環境が検査に与える影響は大きく、通信環境の悪さについての意見が多い。また、発注者は映像のみで現場を確認しているため、解像度の低さやブレ、視野に制限があり、映像から確認できる情報量の少なさをデメリットとして挙げられている。

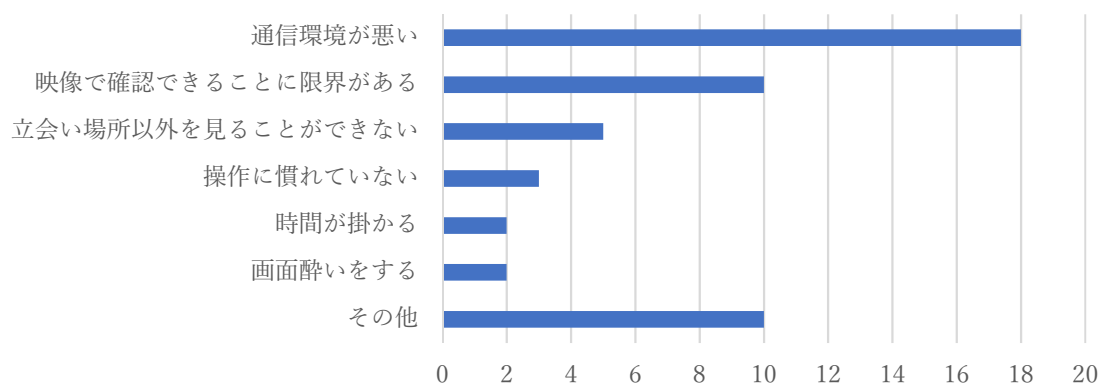


図 2-9 発注者デメリット

③発注者が考える改善案、有効活用案

デメリットで挙げられていた通信環境の改善が多く、次いで、遠隔臨場を運用する際のマニュアルやルールの整備への言及が見られた。各現場で異なる運用方法をとっているものと想定される。

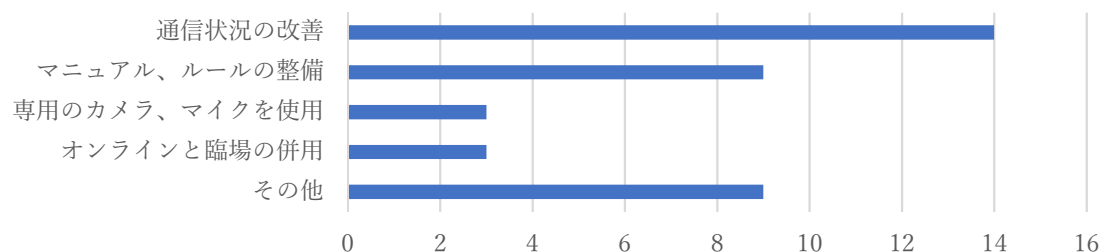


図 2-10 発注者が考える改善案、有効活用案結果

b) 受注者側

①受注者が感じるメリット

受注者側も発注者と同様に、遠隔臨場によって時間が有効的に使える点におけるメリットが挙げられており、検査の待ち時間の減少や、検査予定の立てやすさ、移動時間の短縮、予定外の立会いが可能になり行程遅延につながるなどの意見が挙げられている。

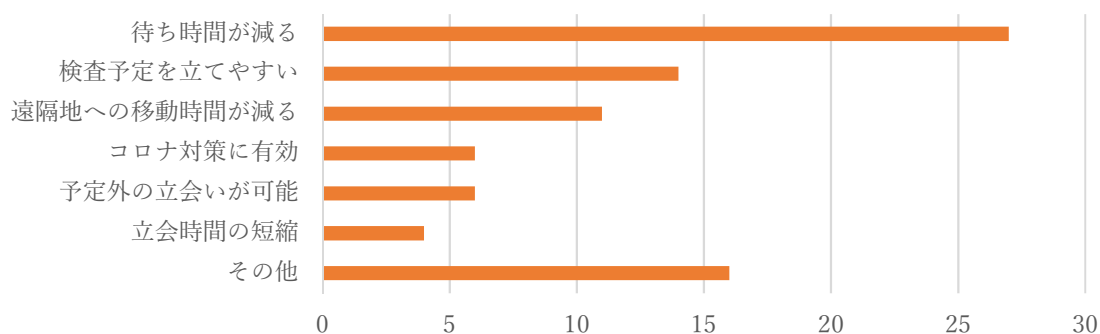


図 2-11 受注者メリット

②受注者が感じるデメリット

通信環境の悪さを指摘する声や、検査状況の撮影方法に苦労している意見が多くみられた。そのほかの意見として、検査が遠隔になったことで発注者とのコミュニケーション機会の減少に指摘する意見が散見されたほか、機器設定の煩雑さや機械トラブル等様々なデメリット意見を受けた。

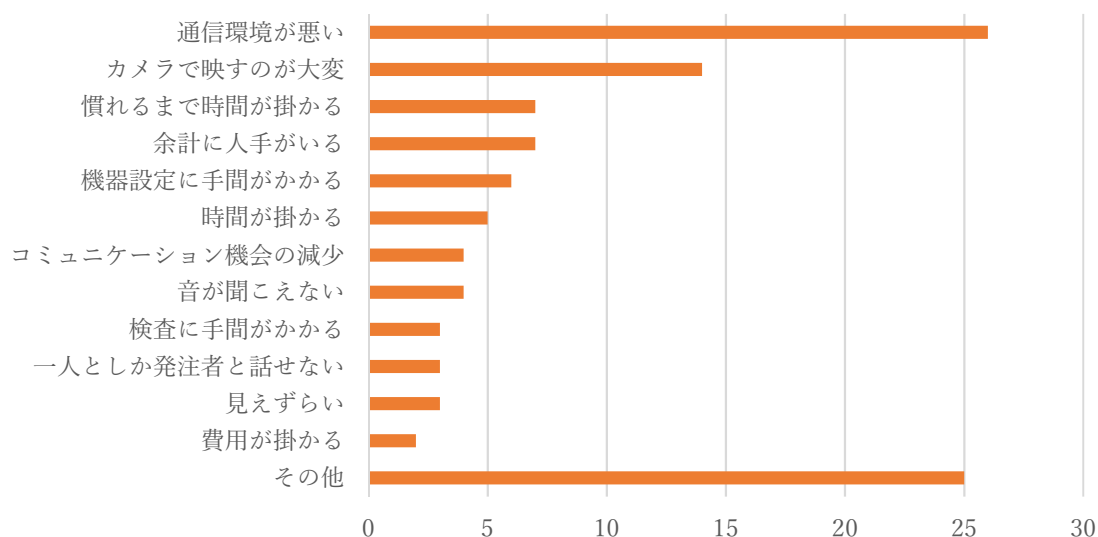


図 2-12 受注者デメリット

③受注者が考える改善案、有効活用案

通信環境や検査に使用する機器性能の向上といった、ハード面の向上を求める声が多く締められた。調書の簡素化や、遠隔臨場の導入基準の明確化、マニュアル整備、検査以外での発注者とのコミュニケーション機会を設けるなど様々な意見があった。

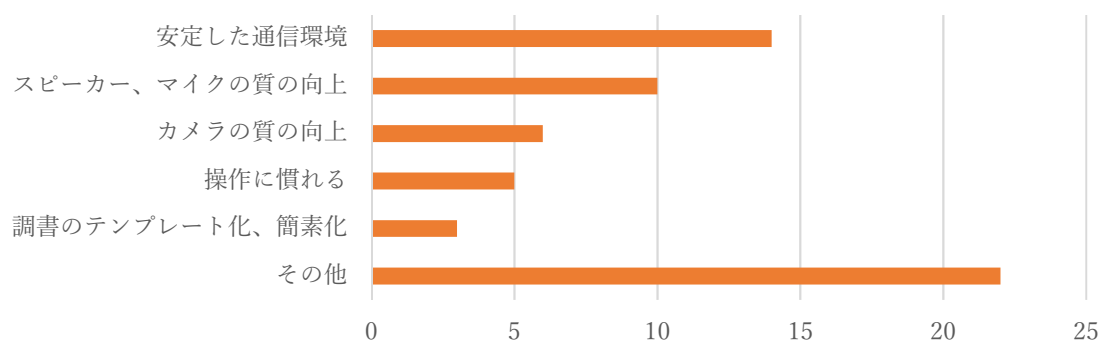


図 2-13 受注者が考える改善案、有効活用案結果

(3) 通信環境の分析

遠隔臨場を実施する上で必要となる通信環境について、受注者、発注者とも悪いと言う声が多く挙げられていた。通信環境が悪いと回答されたアンケート結果について、工種と使用している通信環境について分析を行い、通信環境を改善する方法について考察した。

①工種別の比較

通信環境が悪いと答えた回答を工種別に分類すると、ほぼすべての工種で通信環境の悪さを訴えていることが分かる。アンケートに回答した全工種の割合と比べてみても特異的な傾向が出ていないため、工種による影響はほぼ無いものとみられる。

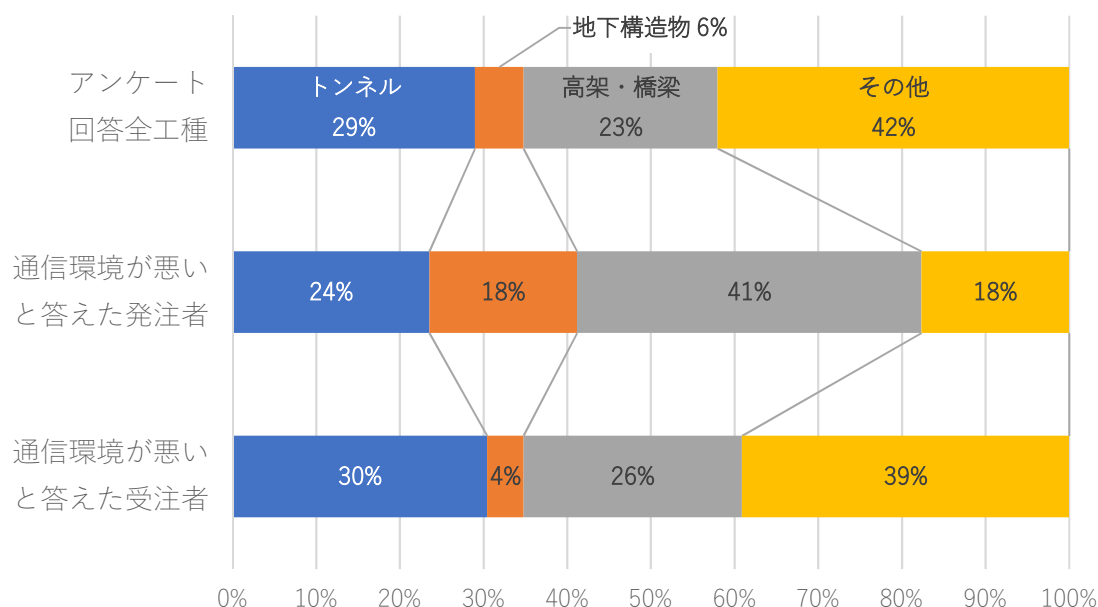


図 2-14 アンケート回答工種

②発注者の通信環境

通信環境が悪いと回答した受注者の通信環境は、固定回線を使用している事務所 Wi-Fi と事務所 LAN の割合が全体の 85%を占めていた。受注者側は比較的安定している固定回線を用いているため、発注者側の通信環境が原因の可能性は低いとみられる。

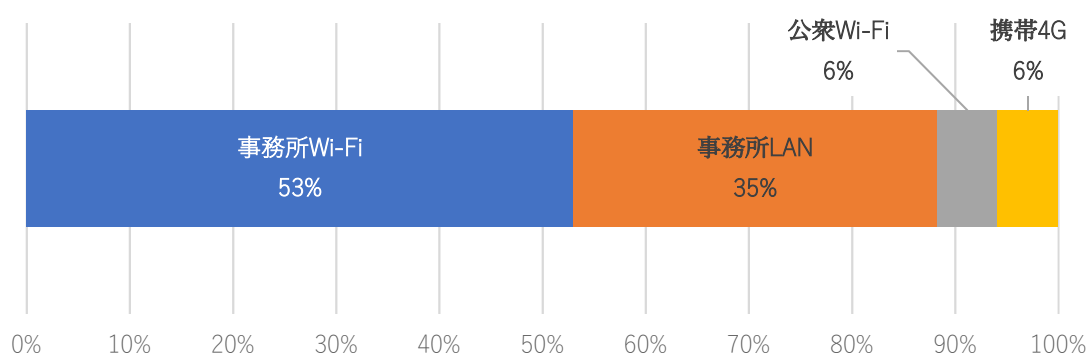


図 2-15 発注者側の通信環境

③受注者の通信環境

通信環境が悪いと回答した受注者の多くは、遠隔現場で携帯回線を使用していた。今回のアンケート調査における通信環境が悪い原因については、受注者が使用している通信環境によるものと推察される。建設現場という性質上、安定した固定回線が得られにくい環境下において携帯回線は必要不可欠であるが、遠隔現場を円滑に進める通信手段としては課題があることが分かった。

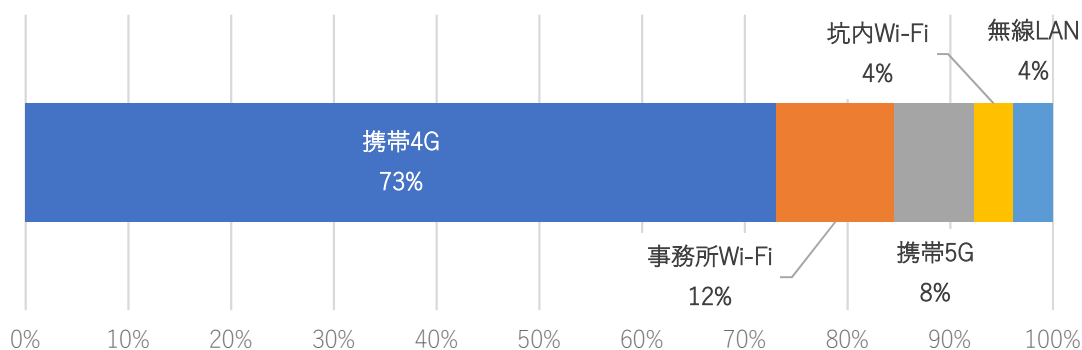


図 2-16 受注者側の通信環境

2-4. 今後の展開

遠隔現場は移動時間、待機時間の削減等、大きな効果が期待できる。その反面、ウェアラブルカメラ等は限られた範囲しか視認できない、機器等の画面を撮影すると反射して見えないなどの課題もある。

これらの課題を解決する方法として、360°カメラの利用や、検査データを遠隔のパソコンに直接送信、メタバースを利用するなど、視認性や臨場感を改善した技術が開発、展開されつつある。

一例として、360°カメラ、3次元測量を遠隔のPCに転送する「3次元測量データ閲覧・共有プラットフォーム」の事例を述べる。

(1) 鹿島建設・リコー：360°カメラ「リコーバーチャルワークプレイス」

(転載：<https://www.kajima.co.jp/news/press/202112/20c1-j.htm>)

(株)リコーが開発した「リコーバーチャルワークプレイス（以下、VWP）」を鹿島建設（株）が導入し、国土交通省北陸地方整備局発注の水路床固改築工事で実証した。

VWPはバーチャルリアリティ（以下、VR）空間に多人数が同時にリモート接続できるシステムで、これによりVRと現実空間が融合され、遠隔地からでも、あたかも建設現場にいるような感覚で、同じ情報を共有しながらコミュニケーションや意思決定を行うことが可能となった。

①システムの概要と特長

ネットワークにつながったパソコンとVRゴーグル、VWPアプリケーションを使い、遠隔から多人数が同時に同じVR空間に入り、各人が自由な視点でコミュニケーションできる。

②システムの特長

- ・VR空間内に、BIM/CIMモデル、360°写真、3Dスキャナで計測した点群データ等を反映できるため、遠隔地から現場の状況を現地で実際に立ち会うのと同様に確認可能
- ・VR空間では互いに自由な会話ができるとともに、3Dスキャナで計測した構造物の点群計測や

電子書類の確認、書類へのサインを行えるため、遠隔臨場での立会いも可能

- ・本工事では現場カメラのライブ配信映像を VR 空間内で共有する機能を新たに実装しており、これにより複数の遠隔地から実際の現場映像を見ながら打合せが可能

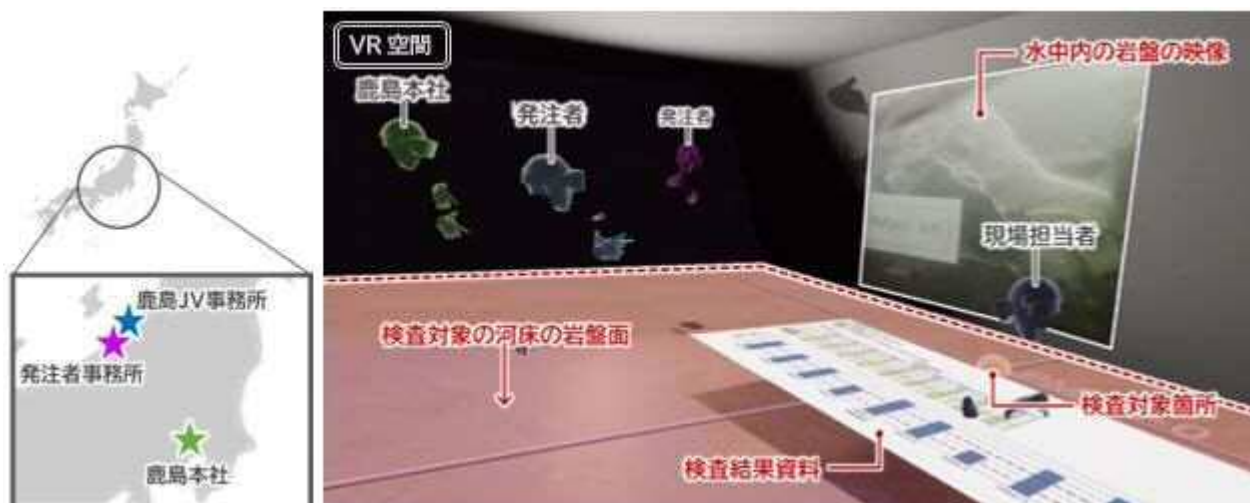


図 2-17 3 拠点から河床の VR 空間に入り、岩盤検査結果を確認している状況



図 2-18 VR 空間内で「BIM/CIM モデル」と「現場ライブ映像」を同時に確認



図 2-19 VR 空間内の 360° 写真入口から 360° 写真に入り、現場の状況を確認

(2) 青木あすなろ建設・建設システム：3次元測量データ・共有プラットフォーム

(転載：

[https://www.aaconst.co.jp/news/notice/%E5%9B%BD%E5%9C%9F%E4%BA%A4%E9%80%9A%E7%9C%81%E3%80%8C%E5%BB%BA%E8%A8%AD%E7%8F%BE%E5%A0%B4%E3%81%AE%E7%94%9F%E7%94%A3%E6%80%A7%E3%82%92%E9%A3%9B%E8%BA%8D%E7%9A%84%E3%81%AB%E5%90%91%E4%B8%8A%E3%81%99-2/\)](https://www.aaconst.co.jp/news/notice/%E5%9B%BD%E5%9C%9F%E4%BA%A4%E9%80%9A%E7%9C%81%E3%80%8C%E5%BB%BA%E8%A8%AD%E7%8F%BE%E5%A0%B4%E3%81%AE%E7%94%9F%E7%94%A3%E6%80%A7%E3%82%92%E9%A3%9B%E8%BA%8D%E7%9A%84%E3%81%AB%E5%90%91%E4%B8%8A%E3%81%99-2/))

青木あすなろ建設（株）と（株）建設システムは、「3次元測量データ閲覧・共有プラットフォーム」を開発し、国土交通省中部地方整備局の排水樋門整備工事に適用した。Webシステム「KENTEM-CONNECT」と遠隔臨場システム「SiteLive」を活用し、遠隔での測量立会検査（TS 出来形管理・ヒートマップ）の視認性向上を実現した（図 2-20）。

①システムの概要

同システムは、3次元測量モバイル端末「快速ナビ」で計測した出来形計測データをクラウドへ転送し、リアルタイムにWebシステム上で検査結果を表示する。それと同時に、計測箇所（プリズム位置）を3次元設計モデル（3D、平面、横断）と重ね合わせ、測量検査の位置情報を正確に表現した（図 2-21）。



図2-20 システム概要



図2-21 遠隔側画面

②測量端末の視認性向上

現状の遠隔立会検査ではウェアラブルカメラで測量端末の画面を確認しているが、反射等により画面が確認できないなどの課題があった。本試行で測量端末に表示されているデータを直接 Web ブラウザで表示可能となったため、計測結果をはっきりと確認することが出来た。

プリズムの位置が 3 次元モデル、平面、横断上にわかりやすく表現され、ウェアラブルカメラの映像も加わり、測点や測定項目の信憑性も確保出来た。

また、点群データをシステムに表示し、設計データとの差分を確認することで、ICT 土工の出来形実地検査を遠隔で実施可能となった（図 2-22）。

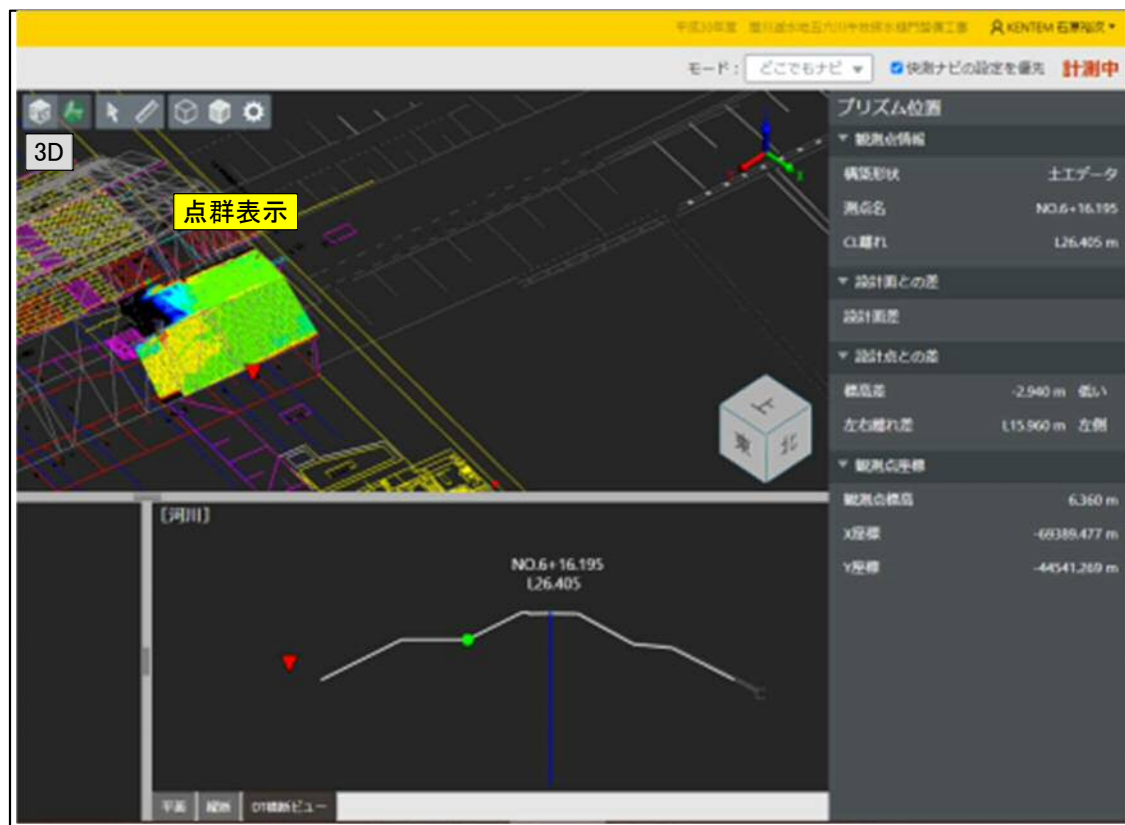


図 2-22 点群データを表示した遠隔側画面

③作業時間の縮減に関する効果

実証した現場の品質証明員は、普段は東京で勤務しており、岐阜県の現場まで往復約 7 時間が短縮できた。

④作業員の省力化効果

従来の現地立会に要する人員は 3 人（計測係 2 人、記録係 1 人）であったが、自動追尾型測量機へのカメラの搭載、またはカメラを体に固定することで現地での計測を 1 人で行うことができた。

⑤品質の確保・向上に関する効果

カメラのみの遠隔臨場では計測箇所を都度帳票に記載し漏れが生じる可能性があった。本試行では計測済み箇所がシステム上にマーキングされるため、計測箇所を同一画面で可視化でき、計測漏れを防止できた（図 2-21）。

⑥今後の展開

今後はクラウド上で出来形管理図表データを閲覧可能にし、ペーパーレス化を図っていく。また、ICT 土工以外でも TS 出来形管理が可能な様々な工種への適用を図ることで、作業現場の生産性向上に寄与していきたいと考える。

3. アシストスーツの現状と今後の展望

3-1. 歴史・背景

(1) 歴史

人間の能力を拡張するアシストスーツに関する研究は 1960 年代から進められており、最初のアシストスーツ「ハーディマン (Hardiman)」(図 3-1) は、米国の陸軍と海軍の共同プロジェクトとして開発された。しかし、このハーディマンは全身運動を補助するタイプのスーツとして開発されたものの、安定性に乏しく、実用化には至らなかった。

その後、海外では主に軍事目的で開発が進められたが、日本では、主として医療や介護支援向けの福祉分野におけるアシストスーツの開発が進められてきた。福祉分野では、1970 年代に周期的な歩行動作を行う下肢運動補助用のアシストスーツを開発した記録が報告されているが実用化には至らなかったようである。近年になり、必ずしも全身の運動を支援するアシストスーツではなく、運動の目的に合わせ、限定された条件下で上肢運動あるいは下肢運動補助用のアシストスーツがようやく実用化され始めた。

日本で代表的なアシストスーツとして、「HAL (Hybrid Assistive Limb)」(図 3-2) が CYBERDYNE 社により開発され、世界初のロボット医療機器として多くの国や機関から注目を集めた。一方、福祉分野のみならず、種々の産業分野での利用が広まっており、近年では建設業においても、複数のメーカーから様々な種類のアシストスーツが開発・販売されている。

1960年代 GE社(米国) Hardiman



GE's Hardiman could lift 1,500 pounds.
Image credit: Museum of Innovation and
Science Schenectady

<https://www.ge.com/news/reports/do-you-even-lift-bro-hardiman-and-the-human-machine-interface> より引用

2010年代 CYBERDYNE社(日本)
HAL腰タイプ作業支援用



<https://www.hal-care-support.jp/> より引用

図 3-1 ハーディマン

図 3-2 HAL

第 1 回建設施工における PAS 導入に関する WG 資料 (2020 年 8 月年国土交通省)

なお、アシストスーツの呼称は統一されておらず、パワードスーツ、アシストスーツ、ロボットスーツとも呼ばれており、その呼称は定まっていない。

(2) 背景

近年ロボット技術の発展により、多様な分野におけるロボット技術の活用が期待されており、造船、農業、物流等では、労働者の負担軽減を目的としたアシストスーツの活用が増加している。

建設業においても、重量物の運搬や中腰での作業がさまざまな工種の中に存在しており、少子高齢化にともなう労働人口減少の問題も相まって、アシストスーツの活用による作業員の負担軽減（軽労化）・作業の効率化・生産性向上への期待は大きい。

しかし、建設業におけるアシストスーツ導入は徐々に進んでいるものの、新型コロナウイルスの影響でアシストスーツの売上げが一時停滞したこともあり、広く浸透しているとは言えないのが実状である。

次ページ以降で、建設現場で使用されているアシストスーツの分類や種類に応じた適応性について考えてみたい。

3-2. 種類および建設現場への適応性

アシストスーツの現状を把握するにあたり、国土交通省が立ち上げている『建設施工におけるパワーアシストスーツ（以下、「PAS」という）導入に関するWG（以下、「WG」という）』の取り組みについて、本WGは2020年8月5日に第1回の会議が開催され、2021年9月15日までに第5回の会議が開催されている。

当委員会ではその活動状況を把握するとともに、以下に本WGで検討した内容について紹介する。

(1) 種類について

アシストスーツは身体の装着部位または、ゴム、バネなど素材の伸縮力や空気圧で助力を得るパッシブタイプ、もしくは電動モーターなどで助力を得るアクティブタイプに分類される。（図3-3）

一般的には、パッシブタイプは、軽量の製品が多いため、価格も1万5千円～と低く設定されている。そのため、調達についてはほとんどが購入となる。反対にアクティブタイプについては、バッテリー駆動のため重量が4kg前後と重く、価格も10万円程度と高額であるためレンタル対応となる。（表3-1）

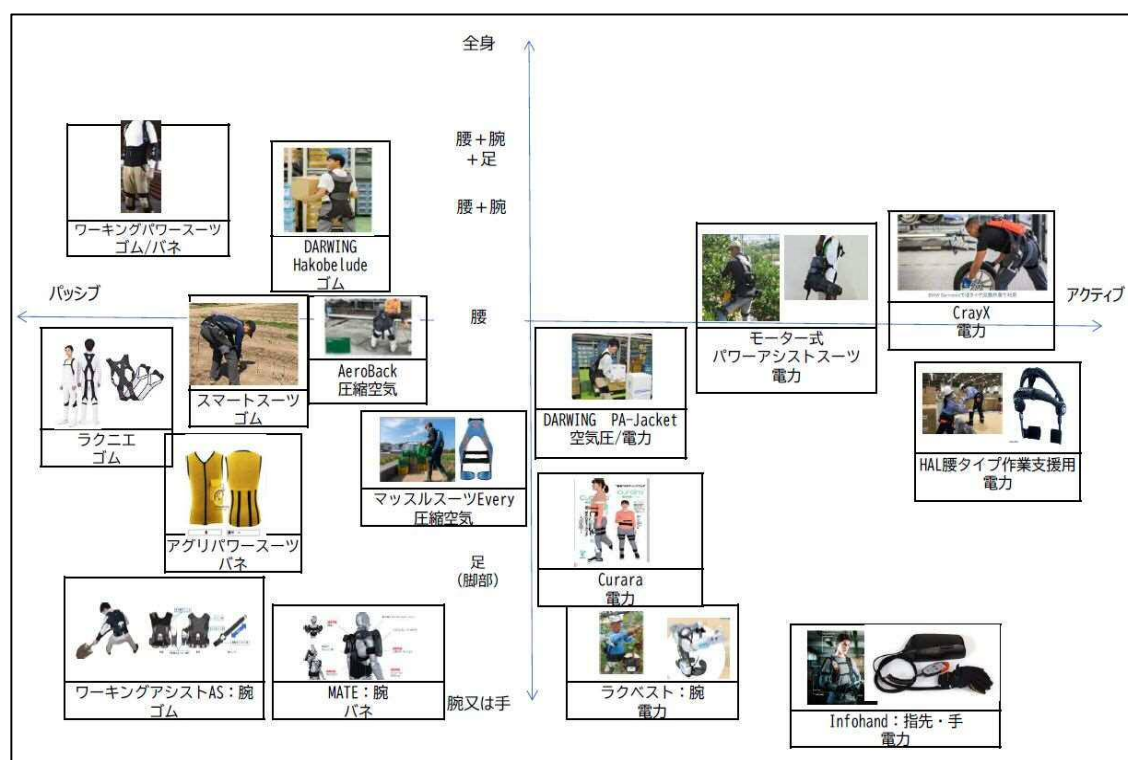


図3-3 PASの分類

表 3-1 アシストスーツの導入に向けた技術情報（抜粋）

主助力部位	脚部	腰	腕・手	腰+腕	腰
属性	企業（開発者）	企業（開発者）	その他	企業（開発者）	企業（開発者）
会社名	AssistMotion（株）	G B S（株）【ドイツ】	西尾レトル	アトリエケー	株式会社イノフィス
製品名	商品名 Curara	コネクトド（IoT） アクティブ型ハースーツ	Ironhand 【アイアンハンド】	アグリパワースーツ	マッスルスーツEvery
タイプ（アクティブorパッシブ）	アクティブ	アクティブ	アクティブ	パッシブ	パッシブ
重量	4 k g	7.2kg（バッテリー含まず）	3.8kg（バッテリー1.3kg）	300 g ～	3.8kg
バッテリー駆動時間	1 h	8 h	6 ～ 8 h	—	—
概要図、写真					
調達方法	レンタル	定額料金	（レンタル）	製品購入のみ	製品購入、レンタルあり
価格	初期費用 120,000円 月額 80,000円	サブスク価格84,000円/月～	※添付資料は特になし	15,000円	購入：ソフトフィット146,000円 レンタル：ソフトフィット4,980円

出典：国土交通省「第2回WG資料」

(2) 建設業への適応性

建設現場では、適用工種や作業箇所により様々な作業動作が考えられる。アシストスーツにおいて効果が期待できる作業場面を想定した模擬作業を実施し、被験者からのヒアリングをもとに評価・意見をまとめた結果を以下に示す。（図 3-4、図 3-5）

パッシブ		アクティブ	
P1 身体フィット型	P2 外骨格型	A1 外骨格型	A2 外骨格型
- 現場で使用の意向。 - 手軽でかつ一定のアシスト効果がある。 - フルハーネス併用可で、建設作業対応しやすい。 - 装着性、動きやすさなど比較的普及しやすい要素を有す。	（会社などから）提供される場合に使用意向。 - 特定の作業（中腰主体、動き回らない）には効果を発揮できる。 - 意外と軽く、装着に抵抗感は少ない。	- 価格次第では購入の意向。 - 持上げ、階段昇降、持ち運びで良好な評価。 - 道具装着への対応、操作性の改善などを行うと、今後利用度は高まるとの声。	- 特定の作業（例えば持ち上げ作業）で効果を発揮。 - 運搬歩行、階段昇降でも効果を発揮。 - アシストが比較的強力である点に高評価。
アシストがもの足りないとの声もある。	- 足場内では背中突起が邪魔との声がある。 （腰部への補助得るには）大腿部に反力が働き、歩行や階段昇降には、あまり向いていない。 （装着位置により）スーツがズレて痛さを感じる場合がある。 （使い慣れていないので）動作がしにくい場合がある。	- 操作の分かり難さ、装着時の圧迫感を感じる被験者もあった。 - 比較的良否の評価が分かれる。 - 高価なPASイメージから、壊してしまう懸念ももたれた。	- アシストが強力な分、その動きに違和感を持つ被験者もある。 - 複雑な作業で瞬時の動きがし難いとの声もある。
指先や腕の補助もあるとよい（長尺や不定形の資材、資材袋や土のう袋の持上げや保持しての移動作業時）			

図 3-4 被験者の PAS に対する評価点・意見まとめ

評価対象としたPASのメーカー4者にヒアリングを実施し、模擬作業の評価に対する意見や現場実証に向けた留意点を把握した。	
● 機種特性や仕様の違いに応じた評価の要望	設計機能が腰支援中心のPASに対し、歩行移動多い模擬作業はやや不利であったとの指摘もあり
● 評価指標	先行の検証経験では、身体負荷が減っても、作業ペースは作業者の主観により左右されるため必ずしも作業時間は低減しにくい
● 新たな評価指標の提案	複数社より疲労度変化の指標として、作業者が無意識に休憩する時の休憩延べ時間、休憩頻度のデータ計測の提案あり
● 現場作業における実証への要望	- 適正装着を促すための各種対応の実施（初期説明、中間チェックの2段階等） - 一定の装着期間（装着、未装着で各1週間程度）の確保 - 有無比較時の留意（未装着→装着の順より、装着→未装着の順を推奨）

図 3-5 模擬作業の評価に対する PAS メーカー意見 出典：国土交通省「第 3 回 WG 資料」

パッシブタイプは重量や機動性に優れるがサポート力が弱いという弱点があり、アクティブタイプはサポート力に優れるが重量や機動性に劣る、という相反する評価となっている（図 3-6）。

PAS評価まとめ①		国土交通省			
		パッシブ		アクティブ（モーター）	
		P1 ゴム/身体フィット型	P2 圧縮空気/外呼吸格型	A1 腰、腿/外骨格型	A2 肩、腰、腿/外骨格型
重量					
手軽さ					
フルハーネス					
サポート力					
PAS					

図 3-6 PAS 評価まとめ①

一方、パッシブタイプは重量や機動性に優れるため中腰作業や軽量運搬作業に有効であり、アクティブタイプはサポート力に優れるという点から、人力掘削や重量物昇降作業に有効であると言える（図 3-7）。

	パッシブ		アクティブ(モーター)	
	P1 ゴム/身体フィット型	P2 圧縮空気/外骨格型	A1 腰、腿/外骨格型	A2 肩、腰、腿(外骨格型)
				
特性	➢ 多様で複雑な動きが可能 ➢ フルハーネス、腰ベルトと両立可能	➢ 中腰など特定の姿勢維持等に特に効果あり ➢ 助力度合いは、空気圧の範囲で任意調整可能	➢ 連続掘削など特定の動作には効果あり ➢ 同時装着可能なフルハーネスも有	➢ 持上げ、階段登り等特定の動作には効果あり ➢ 同時装着可能なフルハーネス、道具用腰ベルトも有
留意点	➢ サポート力は小さめ	➢ 動き回りが多く、多様で複雑な動きがある作業にはあまり向かない	➢ 多様で複雑な動きにはサポートがきかない ➢ 利用者の動きと合わない場合がある	➢ 多様で複雑な動きにはサポートがきかない ➢ 利用者の動きと合わない場合がある
建設現場が望む改善点	➢ サポート力の強化 ➢ ハーネスとの一体化型開発	➢ 小型化 ➢ 建設現場の多様な一連の動きへの対応	➢ 建設現場の多様な一連の動きへの対応 ➢ 利用者の動きに柔軟に対応(きめ細かな設定、動きを学習等)	➢ 建設現場の多様な一連の動きへの対応 ➢ 利用者の動きに柔軟に対応(きめ細かな設定、動きを学習等) ➢ 軽量・小型化
有効な作業	➢ 中腰作業 ➢ 運搬作業	➢ 中腰作業	➢ 人力掘削 ➢ 資材抱え上げの昇降	➢ 人力掘削 ➢ 重量物の持上げ・下げ

図 3-7 PAS の評価まとめ②

出典：国土交通省「第4回WG資料」

建設現場での労働環境において、まだまだ多いのが高所作業時の墜落・転落災害による事故である。そのため、2022 年 1 月 2 日からフルハーネスの義務化（6.5m 以上）が義務付けられた。そのため、アシストスーツとフルハーネスとの併用についての検証も必要となった（図 3-8）。下図のように併用が可能なアシストスーツもあるものの、装着感など作業時の快適性についても検証が必要であろう。

項目	パッシブ	パッシブ	アクティブ	アクティブ
名 称	スマートスーツ Lite	マッスルスーツEvery (ソフトフィット)	HAL 腰タイプ作業支援 HAL-LB03	パワーアシストスーツ PAIS-M100
フルハーネス	○	▲	○	○
備考1	PASはフルハーネスの下に装着で可能	背部からの安全ひもの引き出しはできるも機能不安	フルハーネスの上からの装着で両立	フルハーネスの上からの装着で両立
腰ひも 装具	○	▲	▲	▲
備考2	PASは腰ひもと着衣の間に装着で可能	腰ひも装具、PASの腰部固定帯の適正位置の両立困難	腰ひも装具、PASの腰部固定帯の適正位置の両立困難	腰ひも装具、PASの腰部固定帯の適正位置の両立困難
その他	PASの外側から空調服、防寒着の利用も可	PASの内側に着込めるタイプの空調服、防寒着であれば可	空調服、防寒着の利用も概ね可能	PAS自体に送風機能あり防寒着は大きめのものが必要
複数装着 状況				

図 3-8 PAS とフルハーネスの併用検証

(3) PAS で効果を発揮するユースケース

建設業において適用できるケースは、**図 3-9** に示すような作業と想定される。

ただ、工種によって作業用途が異なるためパッシブタイプとアクティブタイプの使い分けが今後重要になると考えられる。

また、近年では自然災害時に様々なロボットが活躍しているので、使う場面によっては PAS の活躍の場は多々あり適用性が高いと感じる。そういった場面での PAS 活用を広げながら普及を目指す方法が最良ではないかと考えられる。

- ❑ 多様な建設施工のうち、**身体負担が大きい苦渋作業**（掘削、持上げ、据付など）において適用可能性が高い
- ❑ パッシブ、アクティブで機能が異なるため、特性に応じた使用が必要
- ❑ 人力作業が多く、緊急性の面から年代を問わず身体負担が高い作業を強いられることが多い災害現場における対応も適用可能性が高い



図 3-9 現状 PAS で効果を発揮するユースケース

出典： 国土交通省「第 4 回 WG 資料」

3-3. 建設分野におけるアシストスーツ市場拡大への障壁

(1) アシストスーツの使用目的

① 先行導入された他分野での使用目的

- ・ 医療・福祉分野

主に、高齢者や脳卒中患者などの歩行訓練の補助のような人体の動きをサポート（自立支援型）と介助現場でベッドから車椅子など被介護者の移乗介助（作業支援型）等で使用され、下肢や腰などの負担の軽減を目的としている。

- ・ 製造業・農業分野

工場などの作業現場での立ち作業と反復作業の補助や畑などでの長時間の中腰作業等の補助（作業支援型）で使用され、長時間の姿勢維持や反復動作に伴う腰などの負担の軽減を目的としている。

② 建設業

建設業には労働者の高齢化や入職者の減少等の問題があり、加えて令和 6 年度から時間外労働の上限規制が適用開始されることから、主として業務の生産性向上を目的としている。

上記から、先行導入分野と建設業では、使用目的とその用途が大きく異なっている。

(2)アシストスーツに求められる機能と現状の課題

アシストスーツにおいて求められる機能と現状の課題を把握するため、複数のアシストスーツメーカーへのヒアリングを実施した。なお、ヒアリングするメーカーは、国による違いを確認するため、日本メーカー2社および米国メーカー1社の計3社を選定した。

以下に、メーカーのヒアリング内容を示す。

①日本メーカーへのヒアリング（有限会社アトリエK、ユーピーアール株式会社）

- ・ 労災認定となり得る業務上疾病発生数のうち約58%を災害性腰痛が占めている（図3-10）。そのため、これまでは、a. 腰痛という健康リスクの緩和、b. 作業者にかかる身体的負担の抑制を目的として、主に腰を対象として負担を軽減する機能を目指していた。あくまで、強化（パワーアップ）ではなく、人体機能の補助（アシスト）である。
- ・ 現在のアシストスーツの分野別導入率は、概ね製造業：10%、建設業：20%、物流 10%、農業分野：10%、介護分野：10%となっている。
- ・ 近年の高齢化社会・人手不足といった社会環境の変化により、現状の人員への作業負担が大きくなっていると同時に、女性や高齢者等の働き手の多様化が進展しており、それに対する対応が必要となる。
- ・ これらを背景として、今後のアシストスーツの将来性を以下と考えている。
 - 高齢者・女性など体力弱者の支援 ⇒ 日常生活におけるアシスト（補助）
 - 筋力弱者の社会参加 ⇒ 特に腰部のアシスト支援
 - 現場の環境改善で安全性と作業効率を向上 ⇒ きつい現場の離職対策
 - 作業者の就労年齢延伸 ⇒ 定年延長で高齢者の就労者増加

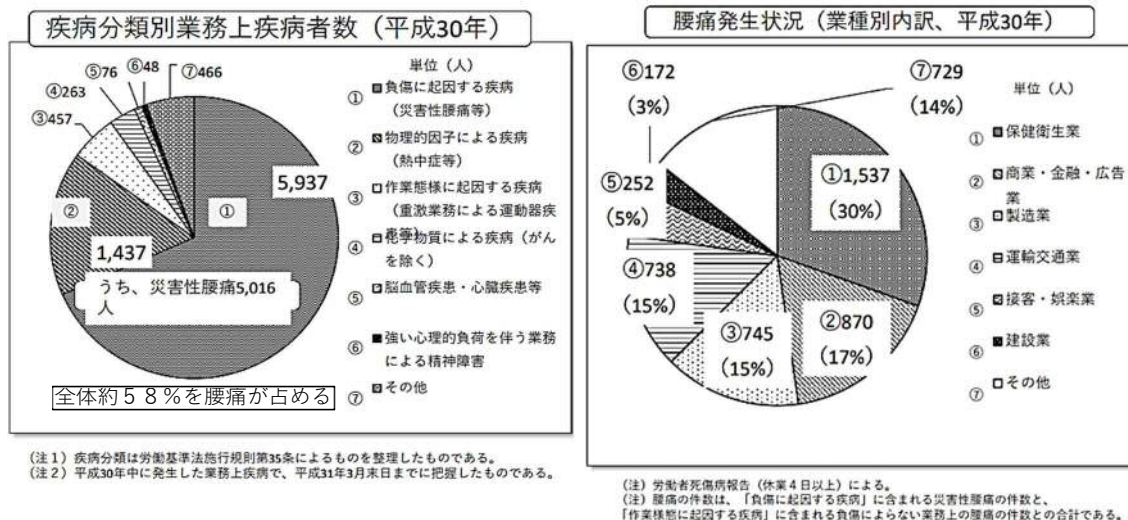


図3-10 業務分類別業務上疾病者数と業種別腰痛発生状況

出典：厚生労働省ホームページより

②米国メーカーへのヒアリング（Seismic 社）

- ・ 米国では、外骨格型（Exoskeleton：フレームを背負うタイプ）のアシストスーツは、国防総省や複数の医療機関での分析により、過度のアシスト依存による着用者筋肉の劣化や重いものを背負うことによる重心変化と脳の認識のズレによるケガリスクの上昇等があり、

デメリットが大きいと考えられている。

- ・ Seismic 製品の目的としては、生産性を上げる（重いものを持ち上げるなど）というよりは、主には労働者の怪我防止＝健康と安全の向上となる。
- ・ 「一定時間以内に多くの重いものを持ち上げる」のは、「作業効率の向上」であって「生産性の向上」ではない。エンジニアリングと人間の健康をきちんと考えれば、重いものを運搬する仕事は自律型無人ロボット等がやるべきであり、人間がやるべきことではない。
- ・ 建設会社にとって「生産性」とは、「少ないコストで大きな建設プロジェクトを安全に完遂する」ことであると定義すると、分母に相当する「少ないコスト」に作用することが目的と考える。
- ・ 具体的には、労働者の健康と安全の向上により、「長期的な」労務コスト（労災ゼロ・工事保険の低減・疲労低減による作業能率アップ等）を下げることとなる。
- ・ 建設業におけるアシストスーツの適用には、a. 非定常な作業環境、b. 多岐にわたる職種、c. 様々な姿勢・動作、という 3 つの技術的チャレンジがあり、着用者がある程度増加し、ノウハウとデータを蓄積のうえ、今後のアップデートが必要である。
- ・ 日本では、下請け制度により現場管理者（元請け）と現場作業者を雇用する会社（下請け業者）が異なるため、元請け主導で着用を促すのが難しく、結果的に、作業員が購入可能なレベルまで単価を下げる必要がある。

上記から、アシストスーツメーカーは、アシストスーツの機能により人体機能の補助（アシスト）を行い、主に腰などの負担の軽減（腰痛対策）をして労働者の健康の向上を目指していると思われる。また、アシストスーツは、使用することで直接的に生産性を向上するものではなく、間接的にあるいは結果として生産性が向上するという認識であり、特に米国ではそういう意識が強いと思われる。

(3) 新型コロナウイルス感染症によるアシストスーツ普及への影響

日本メーカーへのヒアリングによれば、アシストスーツ普及の拡大が見込まれた矢先（2019～2020 年ごろ）に新型コロナウイルス感染拡大が発生し、現場での対面営業や各種展示会等での営業活動の自粛や制限があり、市場規模が大幅に縮小したことが推測された（図 3-11）。

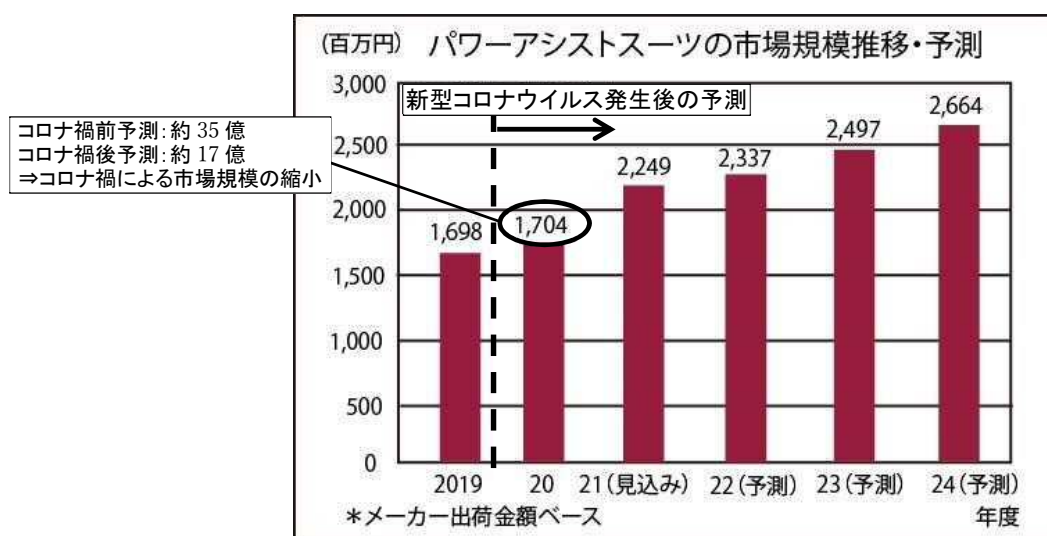


図 3-11 アシストスーツの市場規模の推移予測 （メーカー資料に一部加筆）

(1) 建設分野におけるアシストスーツ市場拡大を妨げる要因

当ワーキンググループが考えるアシストスーツの市場拡大を妨げる要因を以下に挙げる。

① 建設分野のニーズとメーカーが目指す機能の乖離

建設分野がアシストスーツを導入する目的あるいは必要と考えている機能（ニーズ）は、生産性向上に資するものであるが、メーカーがこれまで他分野での使用を通じて目指している機能は、人体機能の補助（主に腰などの負担の軽減）である。両者の「必要とする機能」と「目指す機能」には大きな乖離がある。

② 他分野と異なる建設分野の下請け制度と作業特性

アシストスーツの導入には少なくない費用が必要となるが、一般に零細企業が多い下請け業者は導入に二の足を踏む傾向がある。加えて、屋外における多様な工種やその施工に伴う様々な姿勢・動作といった建設業特有の技術的課題がある。

③ 新型コロナウイルスの感染拡大の影響

新型コロナウイルスは依然として拡大傾向にあり、しばらくの間こういった状況が継続するものと予測されるため、営業活動および使用環境に制限がかかる。

④ 日本人特有の集団主義

日本人の民族性の1つとして「集団主義」が挙げられる。コロナ渦以降のマスク同様に周囲の人たちがマスクをしていれば、同調しようとする意識が強い。逆に、周囲がしていないことに対しての抵抗も強い。服の上から着用するタイプがほとんどのアシストスーツは、特に自分だけ着用し目立つことへの恥ずかしさがあり、周囲がつけていなければ自分もつけないという意識が普及の妨げになっているといえる。

⑤ 使用者に対する教育

間違った使い方をすることで効果を実感できない人もいることから、正しい使い方・用途を使用者に教育する必要がある。必ずしも購入するだけではないという課題も普及を遅らせる要因になっている。

次項では、これらの要因を踏まえ、アシストスーツの普及へ向けての当ワーキンググループの考えを示す。

〔参考〕 メーカーへのヒアリングおよびアシストスーツ試着状況



写真 3-1. メーカーヒアリング：有限会社アトリエK



写真 3-2. メーカーヒアリング：ユーピーアール株式会社

3-4. アシストスーツの普及に向けた、今後の展望

3-1~3-3 にて、アシストスーツについての現状および導入・普及に向けての障壁（課題）について論じてきた。

本項では、それらの解決策を探りながら、普及に向けた当ワーキングの考え方を示すこととする。

(1) アシストスーツの再定義

前項でも論じられていたが、建設作業員がアシストスーツに求めるものとしては下記が挙げられる。

- ・あらゆる動作や作業に対し、身体的な負担を軽減してくれる
- ・装着しやすく、且つフルハーネスの安全帯と併用できる
- ・軽い、邪魔にならない
- ・（装着していても、特に夏季は）暑くならない
- ・洗濯が可能

これらすべてが成立した製品は、現実的には皆無に等しい。成立した製品があったとしても非常に高額なものとなり、各々の建設作業員が購入し利活用するには障壁が高すぎる。

となると安価で使いやすいものとするためには、（潜在意識的な）「過大要求」の度合いを下げる必要がある。

上記の要求性能のうち、大多数が期待してしまうのが「強度・強さ」である。

国交省では PAS（パワーアシストスーツ）という言葉を用いてはいるが、そもそもアシストスーツとは「筋力を増強させるものではない」と考える方が無難である。倫理上の問題もあるが、アシストスーツによって人間以上の力を発揮するものではない。

そもそも、この誤解を解かなければ、ニーズとの隔たりは永遠に解消されないと考えている。

では一体、アシストスーツに何を求めるべきなのか。現状のアシストスーツには何ができるのか、を考えてみたい。

『物を持ち上げる⇒運ぶ⇒置く』という一連の作業において、人体のうち最も守るべきものは重要な部位は「腰」であると言える。したがって、数多くの会社がアシストスーツという名の製品を出しているが、結局は「腰」を防護し（腰痛を防止し）、その結果として作業の効率化が図れるというものにすぎない。

「アシストスーツ」とは、「腰をサポートするもの」とであると改めて定義づければ、誰もが納得してくれるのではないだろうか。

(2) 多種多様な動作への追従

『物（人）を持ち上げる⇒運ぶ⇒置く』という作業は、建設業のみならず農業・製造業や介護の現場で多く見られる。

アシストスーツメーカー各社のウェブサイトなどを見ると、特に農業や介護の現場には導入が進んでいるようである（数字上では建設業の方が導入率が高いが、感覚的に「利用率」で見ると、圧倒的に農業分野・介護分野の方が高い）。

建設業と比較すると、農業や介護の仕事の方が「物（人）を持ち上げる⇒運ぶ⇒置く」の一連の動作を繰り返し行うため、アシストスーツによる効果をより発揮しやすいのが主な理由である

と考えられる。

逆に言えば、建設業の場合は土工・鉄筋工など職種は細分化されてはいるものの、その作業内容（動作）は一定ではない。上下左右への動き、上体の捻れ、ありとあらゆる動作をつなげて、作業を行っている。その動きに常に追従し「腰」をサポートする「アシストスーツ」が必要である。

(3) 空調服の例

近年、多くの建設作業員が空調服を着用するようになった。また、建設作業のみならず、キャンプなどのレジャーや屋外でのスポーツ観戦など広く使われるようになっている。とは言え、広く認知・支持されるようになるまでの道のりは容易ではなかったようである。

空調服の歴史は意外と古く、市場への投入は2004年のことである。

しかし、発売当初は1.5V電池を電源としており、風量も弱く思ったほど涼しいと感ずることができない上に、すぐに電池切れになってしまい評判は芳しくなかった。

その後、リチウムバッテリーの開発、および2011年の東日本大震災後の復旧作業時の熱中症対策および省エネルギー対策として空調服が注目を浴びることで一気に知名度を獲得、その市場の動向をみたメーカー各社が参入し、機能性・デザイン性および価格設定でしのぎを削るようになったとのことである。

現状で、建設業界への導入が進んでいないアシストスーツも、空調服の市場拡大のプロセスを参考にすべきかと考える。

残念ながら災害などの外部要因もあるが、大元はメーカーによる、ニーズを的確にとらえた技術開発であることに異論の余地はない。

(4) 供給の仕組みとメーカー間のつながり

最後に、どうすれば建設作業員に気軽に利用してもらえるか、考えてみたいと思う。

まずは値段である。非動力系でも数万円の価格設定となっており、作業員が自己負担するには躊躇してしまう金額と言える。

作業員の所属する会社、元請会社などからの支給が最適なのかもしれないが、元請からすれば支給したとたんに他現場に行かれてしまっは元も子もない。

そこで、メーカーと提携し、レンタルした上で作業員には装着感・効果などをフィードバックしてもらい、という流れを作り上げることも効果的なのではないだろうか。メーカーにとっては大きなプロモーションの場ともなり、使う側にとっては適切なフィードバックが大前提ではあるが、破損時の迅速な交換などが補償されるというメリットが出てくる。

これらの仕組みを、メーカーごとに構築・実施しているとリスクも多いため、横のつながりを持たせるためにも「協会」を設立することも提案したい、

市場の動向や建設業からのニーズの把握や、国土交通省との連携などを協会団体で実施し、それらを会員企業に展開することで、より迅速に適切に技術開発・販売促進ができるものとする。

4. ウェアラブルデバイス（バイタルセンサ類）の建設現場への導入と可能性について

4-1 調査の背景

建設現場の生産性を上げる方法として、機械や ICT 技術の導入、作業方法の改善などがイメージされるが、そこで働く作業従事者の体調やモチベーションによっても作業効率は大きく変わる。夏場炎天下での屋外作業が主となる大規模造成現場や、湿度が高く暑熱がこもりやすいトンネル現場などでは、作業従事者に対する暑さ対策は労働衛生上重要であり、対策が不十分な場合には熱中症など作業員の体調に深刻な問題が起きる可能性がある。特に昨今は世界的な気温上昇により、熱中症のリスクが高まり、屋内外問わず作業員の労働環境は悪化している。

厚生労働省の統計によれば、過去 10 年間（平成 19 年～28 年）の熱中症による死傷者数は、400～500 人台で推移しており依然として高止まり状態にある。業種別発生状況の死傷者数をみると建設業が最も多く、全体の約 3 割を占めている。（図 4-1、4-2）



図 4-1 職場における熱中症による死傷数の推移

図 4-2 熱中症による死傷者数の業種別の状況

「平成 28 年度職場における熱中症による死傷災害の発生状況」 厚生労働省 HP より

国土交通省では、建設作業における熱中症対策として以下を掲げている。

（参考資料：<https://www.mlit.go.jp/common/001292278.pdf>）

対策 1：朝礼時・現場巡回時における作業員への声かけ

対策 2：快適な現場休憩施設及び熱中症対策用品の設置

対策 3：体に快適な作業環境

対策 4：IoT 機器を活用した健康・危機管理





これらを受け、これまで建設現場では、熱中症対策としてスポットクーラーや空調服など体を空冷したり、こまめな休憩と水分補給が行える設備を施したり、暑さ指数（WBGT 値）測定による注意喚起を徹底するなど様々な取り組みを実施している。

しかしながら万全の暑さ対策を行ったつもりでも、個々の作業従事者の体調や労働状況によっては熱中症を発症するリスクはゼロではない。工事責任者には、熱中症対策に気を配り、作業従事者全員で情報を共有し、発生を防止するための対策を常に講じることが求められている。

また厚生労働省によれば、令和3年度における業種別の死亡災害発生状況では建設業が最も多く、中でも事故のタイプのトップとして墜落・転落災害が掲げられている。（図4-3、4-4）

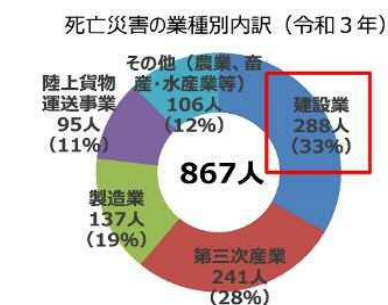


図4-3. 死亡災害の業種別内訳

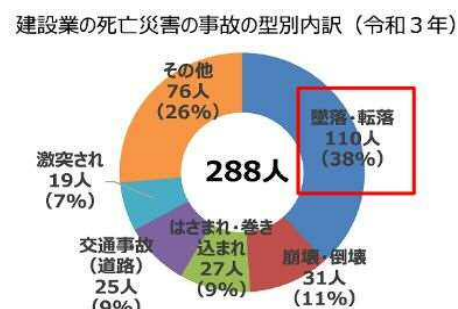


図4-4. 建設業の死亡災害の事故の型別内訳

「建設業における労働災害の発生状況」 厚生労働省 HP より

墜落・転落事故を事前に予防するための対策実施は当然のことながら、万が一事故が発生した際の発見・初動対応への対策も現場では求められている。

このような状況から、最近では前述する対策4として、温度や脈拍、加速度、ビーコンといった各種センサーを内蔵し、使用者の体温、脈拍などの情報から体調や熱中症危険度を予測するのみならず、転倒・墜落による加速度異常を検知し、位置情報と併せて災害発生を関係者に自動通知するような、作業従事者の安全確保に向けたウェアラブルデバイスによる健康・危機管理サービスが開発され使用されてきている。

4-2 ウェアラブルデバイスの種類、用途について

ウェアラブルデバイス（バイタルセンサ類）の現状について調査した。調査方法としては、委員各社で照会・試用したことがある製品やインターネット上などで発表・公開されている直近数年の情報を中心に収集した。

調査結果の詳細については添付資料－１に示すが、現在も市場に提供されている機器・サービスとして約 15 件を確認できた。

(1) ウェアラブルデバイスの形状

ウェアラブルデバイスの形状としては、主に以下の 4 種類に大別される。（図 4-5）

- ・ヘルメット装着型（3 件）
- ・衣料型（2 件）
- ・リストバンド型（9 件）
- ・上腕部装着型（1 件）

最近の傾向としては、装着性に優れ、デバイス（センサー）単価が比較的安価なリストバンド型が主流になっている様子が見受けられる。



図 4-5 ウェアラブルデバイスの種類

(2) ウェアラブルデバイスの目的（機能）や用途について

目的（機能）や用途としては、主に以下の3項目が挙げることができる。（図4-6）

- ・体調管理（熱中症の検知・予防）
- ・安全管理（転倒・墜落の検知）
- ・位置情報管理（異常発生時の所在情報）

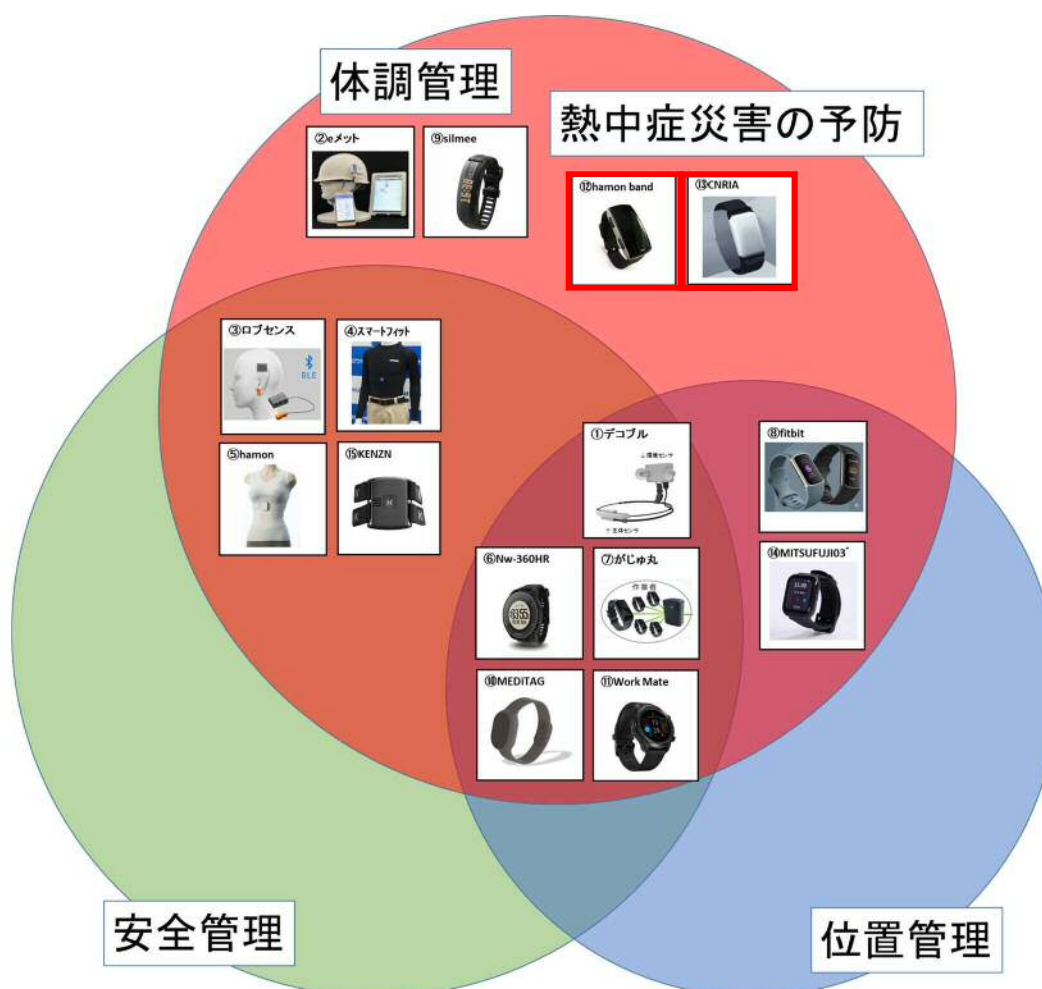


図4-6 ウェアラブルデバイス（バイタルセンサ類）の用途

※写真の赤太枠は自己通知型の機器

また通信機能・管理機能の有無により、自己通知型（装着者本人にのみ通知されるもの）と管理者通知型（本人および管理者に通知されるもの）の2種に別けられる。（図4-6）

自己通知型の場合は機能が単純（熱中症の予防に特化）であり、装置単価も安く、装置以外のサービス利用料も発生しないことから、積極的に導入される事例が増えているようである。

4-3 調査結果からの分析・考察

調査した内容を元に、各ウェアラブルデバイスについてのメリットやデメリット、運用課題などについて考察した。

(1) 形状について

各デバイスの装着形状毎の特徴を以下にまとめた。

表 4-1 形状分類毎のメリット、デメリット

形 状	メリット	デメリット
ヘルメット装着型	・ 装置をヘルメットに装着できるため、サイズが多少大きくても邪魔にならない。	・ 生体（額など）にセンサーを密着させる必要があるため、装着がやや面倒である。
衣料型	・ 検出部については衣料のため、違和感がほとんどない。	・ 専用衣料なので交換/洗濯頻度にもよるが耐久性に難があり、使いまわしも難しい。 ・ 通信部（トランスミッター）が胸部や腹部に存在するため装着の異物感があり、装着者が嫌がる場合が多い。 ・ フルハーネス着用時のベルトとの干渉に注意する必要がある。
リストバンド型	・ 製品にもよるが概ね軽く、装着の違和感は少ない。 ・ 端末自体の単価としては比較的安価	・ 手首に密着する必要があるため、時計と装着位置が重複する。 ・ 外し忘れ・持ち帰りなどによる一定数の紛失が見込まれ、単価が高い端末の場合は紛失対策が必要となる。
上腕型	・ 特になし	・ 上腕部への装着が面倒である。

(2) 通知機能（情報の共有化）について

管理者への通知（管理情報の共有化）機能の有無による特徴を以下にまとめた。

表 4-2 管理者への通知（管理情報の共有化）機能の有無によるメリットやデメリット

	メリット	デメリット
自己通知型 (通信・管理機能なし)	・ 機能や装置が簡便で費用が安く、判定も分かり易い	・ 熱中症の危険性の判断が自己任せとなり、労働災害発生リスクの低減につながらない ・ 通信機能がないため、災害発生時の位置把握や管理者側での状況把握ができない
管理者通知型 (通信・管理機能あり)	・ 位置情報通知機能や転倒検知機能により、熱中症予防対策を個人任せにするだけでなく、管理者の積極的な介入が可能。 ・ 第三者の目が届かない作業環境下での急な健康事故発生に対する初動対応の時間短縮が期待できる。	・ 自己通知型と比較して、1 端末あたりの利用料が高い ・ 作業エリア内における通信環境の確保や整備が課題となる。(通信環境が整備されていないエリアでは、データ通信や検知ができない)

なお管理者への通知（管理情報の共有化）機能の有無によらず、どちらの場合でも、以下の課題が存在すると考えられる。

- ・熱中症に対する予防的な警告アラートの発報や加速度異常検知による通報は、災害を未然に防ぐために必要な機能ではあるが、実際の使用条件や環境条件によっては誤検知が多く発生し、使用者の危険意識や動作信頼性が低下する恐れがある。自己判断や対応へのマンネリ化などを防止する工夫が運用面で必要と思える。

(3) 導入・運用にあたっての課題と解決策

ウェアラブルデバイスの導入・運用にあたっての課題と解決策を以下に簡略にまとめた。

表 4-3 ウェアラブルデバイス導入・運用にあたっての課題と解決策

着目点	導入・運用課題	検討される解決策
装着性	・装着が面倒、装着に違和感がある	・センサー部や通信部などデバイスの小型化
耐久性	・長期間の耐久性に欠ける	・機器耐久性の向上
転用性	・衛生上他人装着のものを使い回すことに抵抗感がある	・人数分の個数を用意する必要性
検知機能	・誤検知が多い	・アラート発出のロジックの改善
通信機能	・クラウド利用環境に導入や運用が左右される	・現場内ネット環境の整備
利用コスト	・1人あたり端末単価/サービス単価が高い	・市販品代用の可能性や大量導入によるデバイス単価の低価格化 ・会社支給スマートフォンなどとの連動性 ・持ち帰り等による紛失や盗難対策
情報機密性	・取得した健康情報の取り扱い	・個人情報取り扱い規定の整備

(4) 考察 【普及・浸透させるためにどうしたらいいのか】

ウェアラブルデバイスは、熱中症など労働災害防止の観点からは、現場における作業従事者全員へ配布することが望ましいと考えるが、出入り人数が多い現場の場合には導入規模（個数）が大きくなるため、モニタリング設備も含めた全体としてのシステム導入費や定常運用コストが嵩む傾向にある。このため試行はしたものの、その後の導入展開が一部の作業所内や特定の作業従事者内に制限されるなど、なかなか全社導入・普及まで到達していない傾向がうかがえる。

また連続した作業であっても、作業員の編成は日々変わるため、作業所毎にデバイス管理する作業は、かなり面倒で手間がかかる。協力会社にデバイス管理を行わせる方法が理にかなっていると感じるが、そのためには協力会社全員にデバイスを持たせる必要があり、その費用を元請け会社が負担する必要もある。会社全体の取り組みとして強制実施するぐらいの勢いでないと浸透しないと考える。

デバイスから得られる情報は、元請け、協力会社ともに共有できるメリットは計り知れない。建設キャリアアップや資格情報などと更に連携できれば、今後の普及の起爆剤になりうるかもしれない。

4-4 今後の作業について

今回、4-2～4-3 で示したようなウェアラブルデバイスに関する調査・考察を行ったが、取りまとめの段階で、より具体的な内容について更に掘り下げる必要性を感じた。

今後のワーク作業としては当小委員会の委員各社（合計 13 社）に対して、ウェアラブルデバイスの導入状況に関するアンケート調査への協力を仰ぎ、結果を再度取りまとめる予定である。

【調査予定項目】

- ・現状把握（どこが会社が何を試行・導入しているか）
- ・導入規模や実績。（単なる試行なのか、作業所での恒常的实施なのか、全社か）
- ・作業員への配布方法（貸与、購入、レンタルなのか、対象範囲は？）

ウェアラブルデバイスに関する委員各社アンケート（案）

Q1: ウェアラブルデバイス（バイタルセンサ類）を試行・導入しているか

- ① 既に正式導入・社内展開済み
- ② 現在試行中
- ③ 既に試行したが、正式導入・展開の予定なし
- ④ 既に試行し、今後の正式導入・展開を検討、あるいは予定中
- ⑤ 今後の試行を検討、あるいは予定中
- ⑥ 試行・導入の予定なし、あるいは未定

（(Q1 で⑥を選択された方は Q8 にジャンプ。それ以外の方は、引き続き回答）

Q2: 試行・導入の対象組織範囲はどの程度か

- ① 全社作業所範囲での試行・導入を実施、あるいは予定
- ② 一部の支店配下・事業部配下の作業所範囲での導入・試行を実施、あるいは予定
- ③ 一部の作業所での導入・試行を実施、あるいは予定
- ④ 本支店の主管部署や安全担当部署での導入・試行を実施、あるいは予定

Q3: デバイス配布の対象者はどの程度の範囲か

- ① 作業所配属の従業員のみ
- ② 前項①に加え、作業所配属の契約社員・派遣社員を含む
- ③ 前項②に加え、作業所配属の JV サブの構成会社員を含む
- ④ 前項③に加え、（一部の）協力業者（職長など）を含む
- ⑤ 上記以外: 具体的に（ ）

Q3-1: （Q3 で②～③と回答された方） 端末の扱いはどうのように考えているか

- ① 契約社員、派遣社員、JV サブ構成会社員に関係なく（スポンサーが用意し）貸与
- ② 契約社員、派遣社員へは貸与。JV サブの構成会社員は JV 協定に従って用意・利用料負担。
- ③ 契約社員、派遣社員へは貸与。JV サブの構成会社員は JV サブ側が用意・利用料負担。
- ④ 上記以外: 具体的に（ ）

Q3-2: （Q3 で④と回答された方） 協力業者への端末の扱いはどうのように考えているか

- ① 協力業者に対しても（スポンサーが用意し）貸与。業者側への利用料負担は無し
- ② 協力業者に対しても（スポンサーが用意し）貸与するが。利用料については請求
- ③ 協力業者側で端末を用意。利用料についても業者側で負担あるいは業者側に請求
- ④ 上記以外: 具体的に（ ）

Q4: 試行・導入したウェアラブルデバイス（バイタルセンサ類）の形状タイプは？（複数選択可）

- ① ヘルメット装着型
- ② 衣料型
- ③ リストバンド型
- ④ 上腕部装着型
- ⑤ 上記以外： 具体的に（ ）

Q5: ウェアラブルデバイス（バイタルセンサ類）は購入か、あるいはリース/レンタルか

- ① 購入
- ② リース/レンタル
- ③ ①②の両方あり

Q6: 試行・導入の経緯は（複数選択可）

- ① 発注者からの指示
- ② 技術提案項目としての履行義務
- ③ 社内上位組織からの導入指示
- ④ 作業従事者の健康安全確保のための自主的取り組みとしての独自判断
- ⑤ 上記以外： 具体的に（ ）

Q7: 試行・導入の評価や社内展開について

- ① 想定評価以上。今後は機器利用をさらに拡充・拡大
- ② 想定評価通り。今後も機器利用を継続（予定）
- ③ 期待外れ。今後は利用を縮小、あるいは他機器・サービスへの転換を検討
- ④ 上記以外： 具体的に（ ）

Q8: 導入・展開にあたっての阻害要因

- ① 作業従事者への組織的健康管理に対する機器・サービス導入に対する組織あるいは上長の理解や意識不足
- ② 作業従事者本人の健康安全意識への理解欠如（装着が面倒など嫌がる）
- ③ 導入範囲（どこまでの範囲で配布・貸与するか）の理解が得られない
- ④ 1台あたりの機器単価やサービス利用料が高すぎる
- ⑤ 導入数全体に対する導入・維持費用面での負担が大きく、導入・展開が広がらない
- ⑥ 端末・サービス利用に対する費用負担先が明確化されていない
- ⑦ 作業エリアの通信環境整備が不十分
- ⑧ 検知・管理面などに対する端末性能・サービス機能の不足、動作が不安定
- ⑨ 上記以外： 具体的に（ ）

以 上