

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1)

2021年9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. 第5世代移動通信システム「5G」を活用した技術の建設現場への導入について	2
2-1. 1G~5Gの変遷（5Gで出来る事とは）	2
2-2. 国土交通省が5Gに期待すること	3
2-3. 導入事例（実証実験）	5
2-4. 2030年代のBeyond 5Gについて	8
3. ロボット技術を活用した建設現場の未来	11
3-1. 過去の建設ロボット開発	11
3-2. 建設ロボット開発の現状（背景）	12
3-3. 建設ロボット普及に向けての課題	15
3-4. 「協調」の重要性	16
4. 配筋検査システムを活用した検査時の省人化について	17
4-1. 従来の配筋検査	17
4-2. 各社の配筋検査システム比較	20
4-3. 遠隔立会との組合せ	23
4-4. 共同開発の意義	24
4-5. 発注者の動向	25
5. おわりに	27

1. はじめに

少子高齢化、担い手不足、働き方改革などのキーワードを背景に、生産性向上・効率化・デジタル化という語句が毎日のように紙面・画面をにぎわせている。

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。

また、2019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。

そこから2年あまりが経過し、特に通信技術の向上（4Gから5Gへ）やデジタル化の波はますます建設分野にも及んできている。

そこで、当小委員会では改めて、

- ・ 5G 通信技術
- ・ ロボット
- ・ 配筋検査システム

の技術について現状の動きを調査するとともに、将来への展望について考察を行った。本書が、生産性向上を目指す土木技術者の皆様にとって、少しでも参考になれば幸いである。

2021年9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 安藤 陽

2. 第5世代移動通信システム「5G」を活用した技術の建設現場への導入について

2-1. 1G～5Gの変遷（5Gでできる事とは）

5Gとは「5th Generation」のことであり、日本語では冒頭のタイトルのとおり「第5世代移動通信システム」の略である。

1980年代に日本で1G（アナログ方式）が始まり、1990年代に2G（デジタル方式）となり、そこから約30年で5Gまで進化してきた。およそ10～20年ごとに通信技術の世代交代が起こっている。最大通信速度は、この30年間で約10万倍となった。

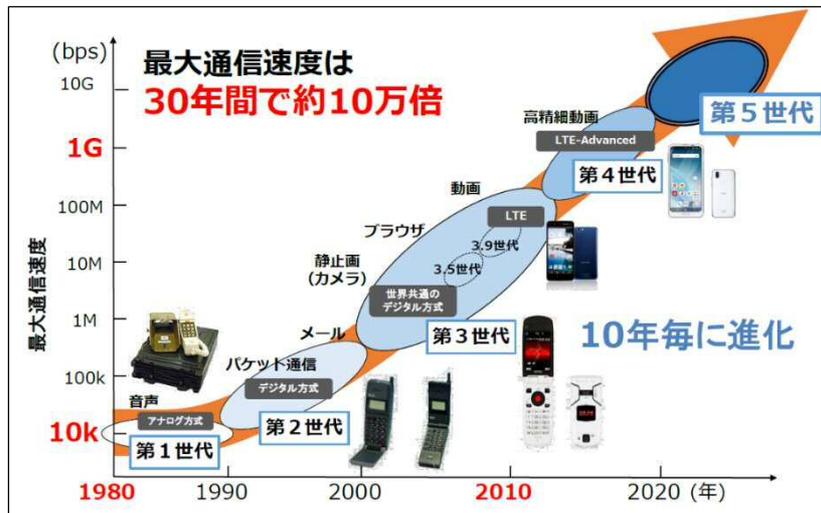


図 2-1 通信速度の変遷

「5Gの普及展開に向けた取組（2020年1月 総務省総合通信基盤局）」より

また、5Gの特徴として、「超高速・大容量通信」と「多数同時接続」および「超低遅延」の3つの性能が挙げられている。



図 2-2 5Gの特徴

「5Gの普及展開に向けた取組（2020年1月 総務省総合通信基盤局）」より

(1) 超高速・大容量通信

5G の通信速度は 10Gbps*以上とされており、これは 4G (100Mbps) の 100 倍ほどである。動画なども高画質化が進んでおり、4K や 8K といった高画質の動画も手軽に扱えるようになると言われている。

(※ bps : 1 秒あたりに転送できるデータ数の単位。bits per second)

(2) 多数同時接続

ひとつの通信基地局に、より多くの端末の接続が可能となる。従来の 10 倍～100 倍の接続数が実現すると言われている。基地局に接続するのは、スマートフォンなどの携帯端末だけではなく家電・メーター・センサー・カメラなどであり、5G の規格は IoT の実現に対応したものとなっている。

(3) 超低遅延

データを要求してから送られてくるまでの時間が短いことである。5G においては、移動通信の遅延を 1 ミリ秒 (1,000 分の 1 秒) 以下に短くできる。これによって自動運転で走行中の自動車が、通信で危険を察知する場合、遅延が短ければ即座にブレーキをかけられることとなる。

上記の特徴を活かし、建設事業においても「インフラ分野の DX」の基幹テクノロジーのひとつとして、5G 通信技術が挙げられている。

2-2. 国土交通省が 5G に期待すること

(1) 建設現場の生産性向上を飛躍的に向上するための革新的技術の導入・活用に関するプロジェクト (PRISM)

国土交通省では、全ての建設生産プロセスで ICT 等を活用する i-Construction を推進し、建設現場の生産性を 2025 年度までに 2 割向上させることを目指している。

また、「統合イノベーション戦略 (2018 年 6 月 15 日 閣議決定)」においても、我が国を「世界で最もイノベーションに適した国」に変革するため、科学技術イノベーションの創出に向けた官民の研究開発を強力に推進することとされている。

そこで、2019 年度の PRISM 追加公募では、土木又は建築工事の労働生産性の向上 (作業員の省人化、施工時間の短縮、休日の拡大等を指す。) を図るため、5G 通信等の革新的技術を活用し、建設機械等の遠隔操縦の効率向上または部分的な自動施工を実現する新技術等を試行した。

(2) Society5.0 への取組み (2018 年 9 月)

内閣府の「第 5 期科学技術基本計画」にて、「Society5.0」は「サイバー空間 (仮想

空間)とフィジカル空間(現実空間)を高度に融合させたシステムにより、経済発展と社会的課題の解決を両立する、人間中心の社会(Society)」と定義されている。

現在のSociety4.0が抱えるさまざまな課題を克服し、社会の変革を通じて日本が目指すべき未来社会の姿であると提唱された。その課題の1つが「持続可能な産業の推進・人手不足」であり、まさに建設業界が抱えている最重要課題である。

国土交通省は、2018年9月に「国土交通省におけるSociety5.0への取り組み」を発表し、その中で5G通信技術についても言及している。5Gに期待することとして、先述の「大容量」「低遅延」「同時多接続・低コスト」を挙げている。具体的には、先に述べたとおりである。

(3)国土交通白書(2020年)

2020年の国土交通白書には、以下のように5Gについて言及されている。

5Gを導入することで、5Gの特性である「高速大容量」、「多接続」、「低遅延」によって、同時に多数の建設機械を投入することによる施工量の増大化、オペレータへの高解像度の映像提供に加えて音や振動などの現実に近い操作感覚を提供することによる施工効率の向上化、さらに数百キロ離れた超遠隔地から建設機械の操作により安全性や施工性の向上などを期待。

今後、雲仙・普賢岳等で5Gを活用した無人化施工技術の現場実証に取組み、安全かつ迅速な土砂災害対策の実現を推進。

以上のように、5G通信技術を活用した建設(土木)工事の効率化・生産性向上が大いに期待されており、既にも実証実験などで試行は始まっている。次項にて、建設会社による5Gを活用した取組み事例を述べる。

2-3. 建設会社における 5G の取り組み事例

遠隔操縦、複数台遠隔管理、現場映像伝送の観点から、事例を 3 件紹介する。

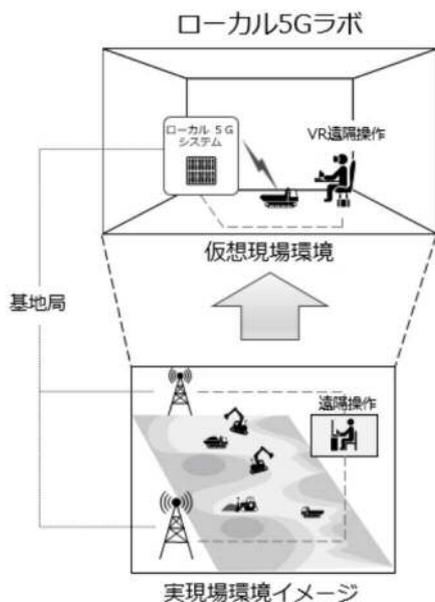
(1) 熊谷組・日本電気：重機操縦時のリアルタイム高品質映像の伝送

(参考：https://www.kumagaigumi.co.jp/news/2020/nw_20201210_1.html)

熊谷組と日本電気（以下 NEC）は、自然災害現場等の工事現場におけるネットワーク対応型無人化施工を想定し、ローカル 5G を活用した 4K 映像の伝送および重機模型の VR 遠隔操作を実験した。

建設機械の映像を VR ヘッドマウントディスプレイ（以下 HMD）に表示すると同時に、操縦席が取り付けられたモーションベースで建設機械の傾きや振動などの動きを再現した。映像に加え建設機械の傾きなど動きの情報を、ローカル 5G を活用して高品質かつリアルタイムに伝送することで、建設機械を傾斜地などで運用する場合でも、実際の搭乗操作に近い感覚で遠隔操作をすることが可能となる。

5G 活用により、①無人化施工 VR 技術、360 度映像および 4K、2K 映像の伝送、②大容量、低遅延かつ多次元的な通信のリアルタイム性に関して検証ができた。



ローカル 5G ラボ(仮想現場環境)での実験



重機模型を操作している様子

図 2-3 実証実験イメージ

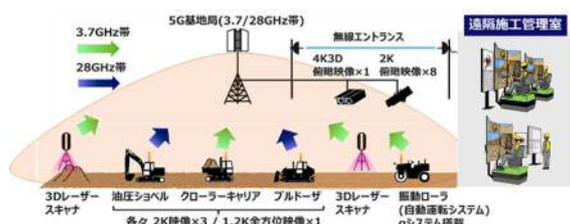
熊谷組ホームページより

(2) KDDI・大林組・NEC：複数重機の遠隔管理およびリアルタイム出来形管理

(転載：https://www.obayashi.co.jp/news/detail/news20200214_1.html)

KDDI、大林組、NECは、2020年2月3日から2020年2月14日の間、建設中の川上ダム（三重県伊賀市）内で5Gを活用し、3台の重機の遠隔操作と自動運転システムを搭載した振動ローラの同時連携に加え、工事に必要な施工管理データのリアルタイム伝送・解析による一般的な道路造成工事の施工を実施した。実施内容は下記の通りである。

- ①3台の重機（油圧ショベル、クローラキャリア、ブルドーザ）の遠隔操作による掘削、運搬、敷きならしの実施
- ②自動運転システム搭載の振動ローラによる転圧作業の施工指示、施工結果取得
- ③4台の重機に設置したGNSSデータ伝送による施工管理（重機位置、施工状況と設計データとの差異）
- ④リアルタイム3Dレーザースキャナによる土砂量や造成結果データの伝送



実証実験イメージ図



油圧ショベルとクローラキャリア（遠隔操作）

図 2-4 実証実験イメージ

大林組ホームページより

(3) 清水建設：ウェアラブルカメラ映像のリアルタイム送信

(転載：<https://www.shimz.co.jp/company/about/news-release/2021/2021018.html>)

清水建設は、コンクリート打設時のバイブレータによる締固め状況を AI で分析し、可視化する「コンクリート締固め管理システム」を開発した。このシステムでは、作業員のヘルメットに装着したウェアラブルカメラから送られてくるコンクリート打設作業のリアルタイム映像を AI が解析し、締固めの進行状況を評価する。映像データの送信に 5G を活用。評価結果はモニター上の 3 次元モデルに投影されるため、施工者は締固めの過不足を視覚的に確認できる。

AI が締固め状況を評価する要素は、バイブレータの挿入位置、挿入深さ、挿入時間。配置した AR マーカから挿入位置を、動力ホースに貼付した色マーカから挿入深さを、撮影時間から挿入時間をそれぞれ認識する。所定の挿入深さと挿入時間を満たせば、適切に締固められたと判断し、3 次元画像上の当該範囲を青色の球体で着色する。条件を満たさない場合は、無着色となる。

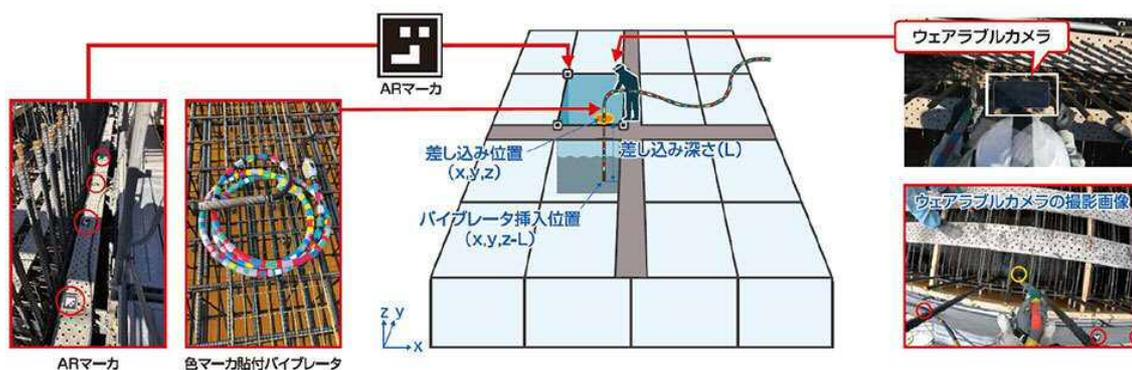


図 2-5 使用イメージ

清水建設ホームページより

2-4. 2030年代のBeyond 5Gに向けて

今後、フィジカル空間とサイバー空間で膨大な情報をやりとりするようになり、サイバー空間にフィジカル空間を再現するサイバー・フィジカル・システム（CPS）が私たちの生活基盤や業務基盤の一部になっていくと考えられる。その中核的な機能を担うのがBeyond 5G（6Gのことを指す）である。

2030年代には、下記のような社会イメージが具体的に考えられている。

- ①誰もが活躍できる社会（Inclusive）：地理、年齢、身体能力などの差異がない。
- ②持続的に成長する社会（Sustainable）：サイバー空間で最適化し、現実にはフィードバック。
- ③安心して活動できる社会（Dependable）：通信網の安全性と安定性を自律的に確保。

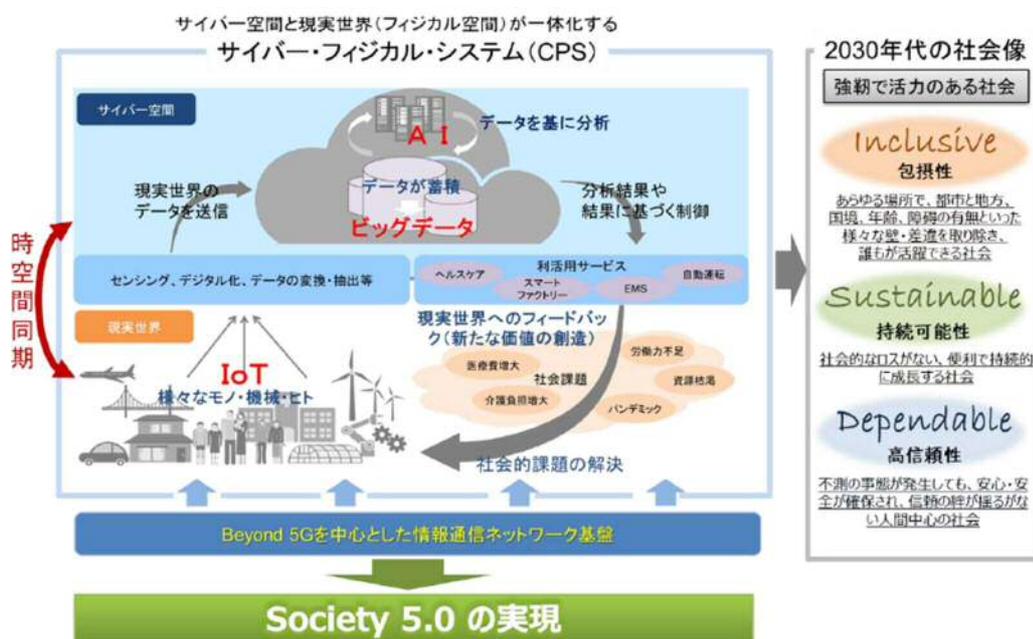


図 2-6 サイバー・フィジカル・システム

Beyond 5G 推進戦略—6G へのロードマップ—（2020年6月 総務省総合通信基盤局）

Beyond5G では、5G の「超高速・大容量」、「超低遅延」、「超多数接続」に加え、下記の機能が必要と考えられている。

- ・自律性：AI 技術等を活かし、人手を介さず（ゼロタッチ、あらゆる機器が自律的に連携し、有線・無線を意識せず即座に利用者のニーズに合わせて最適なネットワークを構築する機能。
- ・拡張性：端末や基地局が、衛星や HAPS（High Altitude Platform Station）等の異なる通信システムとシームレスに繋がり、また、端末や窓など様々なものも基地局とすること（ユビキタス基地局で、至る所にある機器が相互に連動しつつ、海、空、宇宙を含むあらゆる場所で通信を利用可能とする機能。
- ・超安全、信頼性：利用者が意識しなくてもセキュリティやプライバシーが常に確

5G は一般向けの商用サービスとして普及し始めた段階にあり、建設現場での 5G 普及による現場の生産性向上は各社での試行が始まったばかりである。一方で、後述する 3 章「ロボット技術」、4 章「配筋検査システム」などは、個々の技術そのものに加えて、通信技術の発達に頼る場面に多々遭遇すると想定される。すなわち 5G 通信技術は、長期的な建設業界の生産性向上、さらには魅力と価値の向上の根幹となるべきものであると言える。

そう考えると、我々土木技術者は、従来の土木技術のみならず、機械・通信・情報処理などの知識・技術も持ち合わせる必要に迫られていると言える。

また、今後は 5G 試行・普及と並行して、Beyond5G を活用した技術の研究および開発を進めることも、この変化の速い世の中では求められるであろう。

[参考文献]

- ・ 5G の普及展開に向けた取組（2020 年 1 月） 総務省総合通信基盤局
- ・ Beyond 5G 推進戦略－6G へのロードマップ－（2020 年 6 月）

総務省総合通信基盤局

3. ロボットを活用した建設現場の未来

3-1. 過去の建設ロボット開発

自動車作業を中心とした製造業では、1970 年ごろからいち早く生産ラインのロボット化を図り、大幅な生産性向上を成しえてきた。実は、1970 年代まで建設業の労働生産性は、製造業のそれと比較して高かったようである（図 2-1）。しかし、先のとおり 1970 年ごろから着実に生産性を向上させていった製造業に対し、建設業は横ばいあるいは低下傾向を示しており、その差は広がる一方となった。

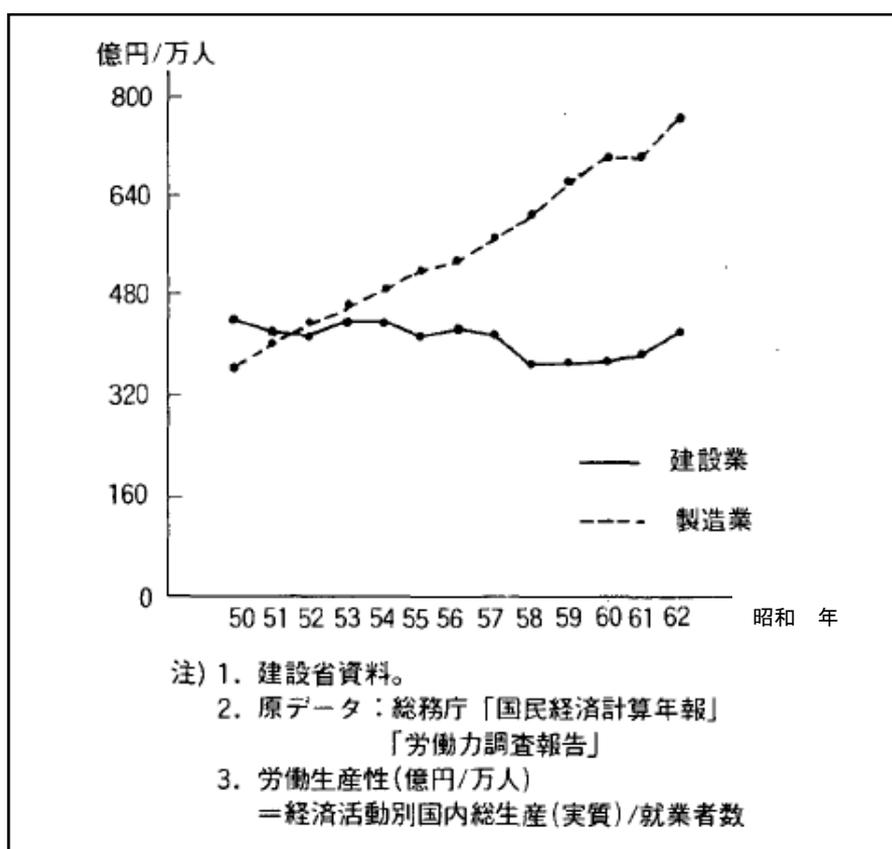


図 3-1 建設業の労働生産性の推移

(建設業における現場施工自動化の現状と問題点 より)

そうした背景を機に、建設ロボットの研究開発が始まった。それは、製造業向けの産業用ロボットが開発・導入され、大きな成果を上げ始めたことに刺激を受けたことも要因の一つであろう。

建設ロボットが建設現場に適用され始めたのは、1980年代の鉄骨の耐火被覆材の吹付けロボットが最初である。その後、急速に各種建設ロボットが試作されるとともに、現場適用が試みられ、特にバブル経済の時期は各企業の開発競争的な様相を呈していた。しかし、そのほとんどは「モデル現場での適用」に留まり、その後広く展開されたものは稀である。その理由は、以下のとおりと考えられる。

- ① 各企業が各々に研究開発を実施していたため、市場性に乏しく開発・製造コストが割高となり、費用対効果が得られなかった。
- ② 各々の現場の状況が異なり、簡単には転用できず、減価償却が効率的に進まなかった。
- ③ 技術（機械・通信その他）そのものが未熟であり、期待したとおりに省人化・無人化が進まなかった。

3-2. 建設ロボット開発の現状（背景）

近年、改めて「建設業の担い手確保」「待遇改善」が建設業界最大の課題だと捉えられている。これらの実現には、業界をあげて「生産性向上」に取り組む必要があると誰もが認識し始めており、その切り札としてロボット技術が注目されることになった。

ひと言で「ロボット」といっても、建設分野に求められるロボットにはどのようなものがあるのだろうか。

「土木学会 建設技術研究委員会」の中に、「作業員に代替する自律型歩行ロボット小委員会」が発足し、2018年3月に「作業員に代替する自律型歩行ロボット調査研究報告書」が公開された。

同書は、建設現場で自律歩行し作業するロボットの可能性や技術動向について、調査成果をまとめている。同書によると、ほぼ要素技術は完成（「作業」ができる程度）しているが、人間の脳に匹敵した自律性を確保するためには、10年単位の開発年数が必要と言っている。



写真 3-1 人間との共同作業（パネル建込み）
（作業員に代替する自律型歩行ロボット調査研究報告書 より）

また、去る 9/26 (日) NHK の「サイエンス ZERO」にて、特集「遠隔操作ロボットで“働き方革命”」を放映していた。ここでも、自律型ロボットは多種多様な動作に要求されるハードルが高く、いわゆる遠隔操作の方が柔軟性・適用性が高いと述べられていた。

建築分野・土木分野それぞれが提言しているロボット開発の方向性について、日建連の建築ロボット専門部会へのヒアリングさせていただいた。その結果、建築分野と土木分野でロボットの定義（イメージ）が少し異なっていることが分かった。

建築分野で開発を促進しているのは、作業員を手助けするロボット、すなわち「自動溶接」「自動運搬」「自動墨出し」「自動コンクリート均し」などである（写真 3-2）。このうちの殆どは、土木工事にも間違いなく適用可能であると考えられる。なお、「作業員を手助けする」という意味では、アシストスーツもロボットの一つととらえることができるかもしれない。アシストスーツについてまた別の機会に触れてみたいと思う。



写真 3-2 建築ロボット例（溶接ロボット）
（清水建設ホームページ より）

一方、土木工事のロボットは、大規模造成などに代表されるような重機土工の自動化・遠隔化が主となっている。これらは、従来の重機に後付けできる、位置情報や遠隔操作の装置を開発することで、汎用性の拡大を図っている。また、第2章で述べた、「5G」の通信技術もこれらを後押ししている。そして、これら重機ロボットは、建物の解体・ガラ運搬などにも十分、適用可能であると考ええる。

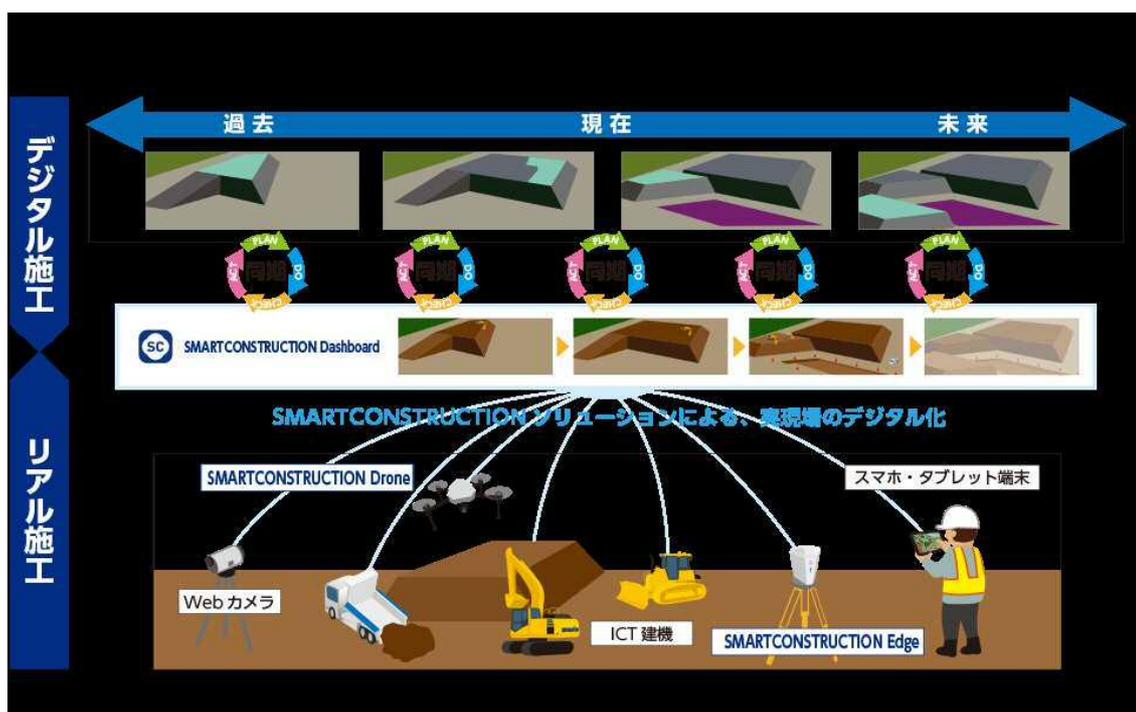


図 3-2 土木ロボット イメージ (重機土工)

(コマツ ホームページより)

また、建築工事は建設中の建物内での垂直方向の移動が主であるため、電波等が届きにくく、遠隔操作には不向きだと言われている。一方、土木工事でも特にトンネル内や路面覆工の下など、同じく通信状況の改善が必要な場合が多い。

したがって、建築分野・土木分野それぞれが研究開発しているロボット技術、およびそれぞれが抱える課題を共有し技術交流を図ることも、今後の「建設ロボット」開発の有効な手段なのではないかと考えている。

3-3. 建設ロボット普及に向けての課題

前項にて、建設ロボットの開発・研究の必要性、建築・土木の両分野のロボット開発の方向性について述べたが、それらの普及には未だ様々な課題が残っていると云える。以下に、それら課題について述べる。

(1) 現場条件~技術的課題

工場内で一定の環境下で稼働する製造業と異なり、建設工場の現場は、風雨・日光・気温の影響を受け、また場所を変えながらの作業となる。「場所を変えながら」と簡単に書いてはいるが、現場はその足元さえ平準ではない。土・砂利・コンクリート、さらには凹凸や勾配・階段などがあるなかで、移動させなくてはならない。技術が格段に進歩した現代であっても、これらの条件下で適確にロボットを稼働させることは厳しい。

(2) 安全性・法規・基準など

自動車工場で稼働する産業用ロボットの周辺には、柵を設けることが厳格に義務化されている。一方で、建設業界では人とロボットは協同することが大前提である。その建設ロボットには現在、法的な規制や基準がない。技術の進歩に法規・基準の整備が追い付いていないのが現状である。

(3) コスト・費用対効果・ビジネスとしての有効性

各企業が独自に研究開発を進めているため、その開発費用が大きな負担となっているとともに、その市場規模も小さいままである。また、それ故に製品（ロボット）の規格が統一されていない。企業間で「協調」し、横断的にプラットフォームづくりを進めていくことで、部品などの共通化を図り、研究開発に要するコストを下げる必要があると考える。

さらに、製品（ロボット）をどのように市場に投入するのかが不明瞭である。販売なのかレンタルなのか、販売店を通すのかなど、ビジネスモデルとして確立するための方法論の検討が必要である。

(4) 使用性・使い勝手

前項と同様に、各企業が独自に研究開発を進めているために、ロボットの操縦方法が、現場（ロボット）ごとに異なっている。実際に操縦するのは、研究開発している元請（ゼネコン）の職員ではなく、その現場で働く作業員である。作業員にとっての「使用性・使い勝手」を考えた際、操縦方法等は共通化されていた方が望ましい。そのためにも、操縦方法等に関する「協調領域」を設け、使い勝手の向上を目指すべきであると考えられる。

上記の4つの課題は、バブルの終焉とともに建設ロボットの研究開発がトーンダウンしていった際の理由と、全く同じである。研究開発に至った背景も「労働生産性向上」

を目指したものであり、歴史は繰り返されていると言える。以前と同じ轍を踏まないためにも、これらの課題（障壁）を建設業界が一丸となって乗り越えていく必要がある。

3-4. 「協調」の重要性

前項では、建設ロボットの普及に立ちはだかる「課題（障壁）」について述べた。このうちの何点かを解決する方策として、「協調」が有効であり重要であると考えられている。

危険で単純な作業をロボットに任せ、建設災害を減らすためにも、建設ロボットの導入促進は必須である。一方で、各企業それぞれで開発競争を続けていても、実証実験等のデータ蓄積には限界が生じる。また先にも述べたとおり、コスト・費用対効果の問題も生じる。それを解決するのが、共同での技術開発すなわち「協調」である。

去る 9/22、鹿島建設・清水建設・竹中工務店を幹事とする計 16 社により、建設施工ロボット・IoT 分野での技術連携に関するコンソーシアムを設立することに合意した。このコンソーシアム設立すなわち「協調」が、ロボット開発のみならず、建設業界における様々な分野の技術開発にとって、大きな機運となることを期待する。

なお、この「協調」の有効性・重要性は、第 4 章の「配筋検査システム」の共同研究についても言及しているので、ご一読願いたい。

[参考文献]

- ・ACe (2021.6) 特集 施工ロボットは建設現場の夢を見るか？
- ・日建連 建築ロボット専門部会
「建築ロボット」の現場導入に向けたアクションプラン
- ・溶接学会誌 (1990 年 第 7 号) 建設業における現場施工自動化の現状と問題点

4. 配筋検査システムを活用した検査時の省人化について

4-1. 従来の配筋検査

建設現場の品質確保に向けた取組みの1つに「出来形検査」がある。その中の1つである「配筋検査」も他の検査と同様に、検査準備・立会い依頼（移動）・検査・帳票作成など、多くの労力を要していた。

そこで、生産性向上小委員会では発足時の2018年9月に「配筋検査に要する時間」について、委員会に参画している各社にアンケートを依頼した。配筋検査を、①検査準備、②鉄筋検査、③帳票整理の3つに分け、それぞれについて所要時間を調査した。

次ページに調査結果のグラフをまとめる。

なお、おおよそではあるが

① 検査準備：主に、30分～1時間程度

② 鉄筋検査：主に、30分～1時間程度

③ 帳票作成：主に、1～2時間程度

という結果となっている。

すなわち、配筋検査全体には概ね2時間～4時間程を要していることが分かった。

① 検査準備

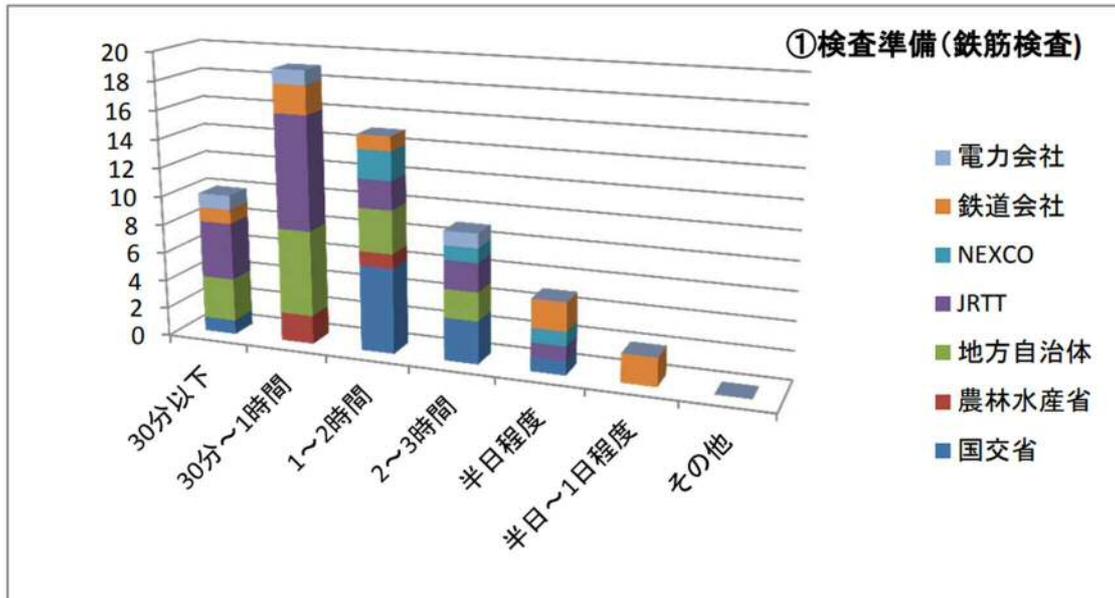


図 4-1 配筋検査の準備に要する時間

② 鉄筋検査

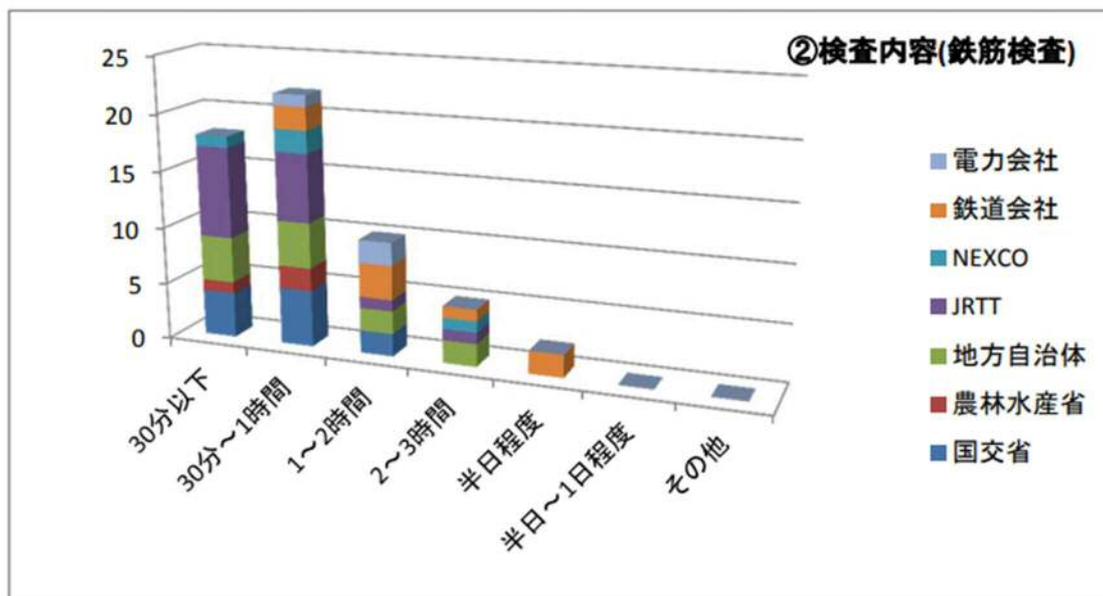


図 4-2 配筋検査に要する時間

③ 帳票整理

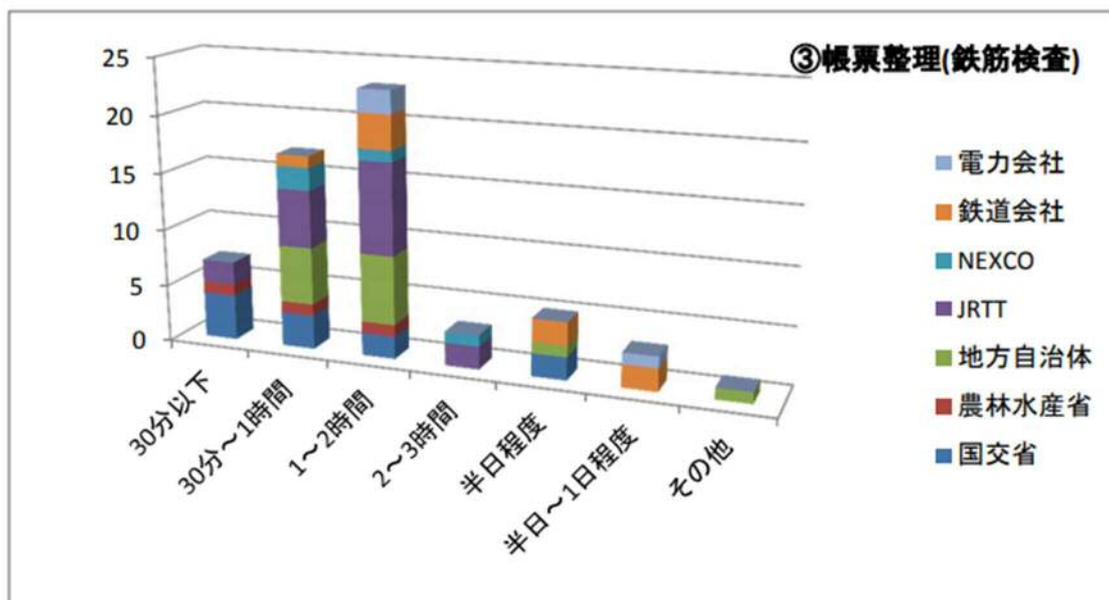


図 4-3 配筋検査の帳票作成に要する時間

これらを背景に、配筋検査に要する時間の短縮を目的として、各社で「配筋検査システム」の研究開発を実施している。大まかに言えば、「端末で撮影した画像から鉄筋径・本数・間隔の計測を自動的に瞬時に行い、検査にかかる時間や手間を削減するシステム」と言える。また、その計測データを基に帳票作成も可能となるため、大いに期待されているシステムである。

次ページ以降に、各社の配筋検査システムの比較、遠隔立会との組合せ、また「共同開発」を実施している事例についても紹介する。

4-2. 各社の配筋検査システム比較

各社において開発されている各種検査システムの概要を次ページに示す。撮影媒体は、一般的なカメラやタブレットで複数枚写真を撮影して合成する①一般カメラ複数枚撮影、②ステレオカメラ等特殊なカメラを使用する②特殊カメラ撮影、③3次元スキャナに大別される。

表 4-1 配筋検査システム一覧(1)

撮影媒体	①一般カメラ複数枚撮影	②特殊カメラ	②特殊カメラ
企業	大林組①	大林組②	清水建設 シャープ
システム概要	<ul style="list-style-type: none"> デジタルカメラで撮影した画像で、鉄筋径を特定して判定結果をPC画面に表示 マーカーと背景を検査対象の鉄筋背後にセットし、配筋写真を撮影 計測結果として、縦筋と横筋の鉄筋本数、径、ピッチがそれぞれ得られる 黒板への記入や背景とマーカーのセット作業は必要。検査作業は30%以上短縮が可能 1mほどの距離からミリ単位で測定が可能 竹ふし鉄筋とねじふし鉄筋の計測が可能 	<ul style="list-style-type: none"> 複数のカメラからの映像を基にVisual SLAM技術を用いて、BIMモデルと重ね合わせる 特定した部位の配筋状況を3Dの点群データとして分析し、配筋の本数、間隔(ピッチ)、径、長さ、材質を判別可能 配筋検査業務について25%以上の生産性向上が可能と判断 これまでに開発した配筋検査システムとの連携を図る 	<ul style="list-style-type: none"> 3つのカメラを用いて異なる方向から同時に撮影し、画像データの3次元情報を把握する 鉄筋径や配筋の平均間隔、本数、重ね継手の長さ、かぶり(コンクリート厚)を計測 精度は鉄筋径で±1.0mm、配筋の平均間隔で±5mm わずか7秒後で検査結果を表示 検査人員、時間を1/3以下に削減可能
画像	<p>配筋写真(マーカーと背景をセット)</p>  <p>撮影</p>  <p>デジタルカメラ 無線転送 タブレット式PC</p>		 <p>検査結果の画面表示</p>
出典	大林組プレスリリース 大林組技術研究所報 アプライド・ビジョン・システムズ技術資料	大林組プレスリリース	清水建設ニュースリリース シャープニュースリリース
撮影媒体	②特殊カメラ	①一般カメラ複数枚撮影	②特殊カメラ
企業	三井住友建設 日立ソリューションズ	21社共同研究①	21社共同研究②
システム概要	<ul style="list-style-type: none"> TOFカメラを搭載したタブレット等で撮影するだけで、鉄筋径・配筋間隔の計測が可能 計測作業の時間が従来の3分の1に縮小 通常、デジタルカメラ等に使用される色彩を判別するRGBカメラと、対象物に照射した光が反射して戻ってくるまでの時間から距離を計測できるTOFカメラを活用したもの <p>・検測システムについて特許出願済み、信憑性確認適合取得予定(2019年12月現在)</p>	<ul style="list-style-type: none"> 「配筋チェック機能」では、撮影された配筋の径と本数、ピッチなどを算出 サーバー内でディープラーニング技術と画像処理を用いて、鉄筋径などを算出する 設定された管理値に基づき正誤判定を行う 算出値と判定結果をタブレット端末上で確認し、目視で再確認する 十字マーカーとタブレット端末が必要 	<ul style="list-style-type: none"> 「配筋検査機能」では、三次元的に配筋形状を自動で計測可能 検査項目に合わせて変換・照合することで、配筋検査帳票への自動入力が可能
画像	 <p>【TOFカメラ搭載タブレットでの計測作業】</p>	 <p>②配筋チェック</p> <p>【Web・解析サーバー】 設計データ 計測写真 設計・照合データ 【タブレットPC】</p>	 <p>③配筋検査</p> <p>【Web・解析サーバー】 設計データ 【タブレットPC】 ポイント 【特殊カメラ】</p>
出典	三井住友建設ニュースリリース	AAニュースリリース	AAニュースリリース

表 4-2 配筋検査システム一覧(2)

撮影媒体	①一般カメラ複数枚撮影	②特殊カメラ	③3次元スキャナ
企業	IHIインフラ建設	鹿島建設 三菱電機	鉄建建設
システム概要	<ul style="list-style-type: none"> 一眼レフカメラで様々な角度から撮影する 撮影した写真を3次元写真計測システムで処理し、鉄筋の本数やピッチ、鉄筋径、そしてかぶりや有効高さなど深さ方向の距離が計測できる 撮影写真をAIで画像解析し、検査データの帳票を自動生成する。作成した帳票データをCIMモデルに属性として自動付与しデジタルツインモデルを作成する。 	<ul style="list-style-type: none"> ステレオカメラ搭載の端末に、「AI配筋計測技術」を用いる 鉄筋径の判別可能範囲D10～D51、鉄筋間隔の計測精度±5mm 従来の配筋検査と比較し、計測時間を約60%短縮 出来形管理や写真管理を行う「施工管理システム」との連携が可能 小型かつ軽量で、過酷な環境での作業に耐え得る防塵防水構造を採用 広範囲の場合でも、分割して撮影することで計測を実現 二点間計測機能により、撮影した画像から重ね継手長や、かぶりの計測が可能 	<ul style="list-style-type: none"> 3次元スキャナで取得した配筋の点群データから、鉄筋径、本数、間隔を自動算出 瞬時に配筋状態全体を把握し、不具合等の抽出も視覚的に確認可能 正確な配筋状況を電子データとして保存し、遠隔地での検査および事後の確認が可能
画像			 <p>配筋の点群データ</p>
出典	建設ITワールド記事	鹿島建設プレスリリース 三菱電機ニュースリリース 三菱電機打合せ資料	鉄建建設HP技術紹介

〔配筋検査システム導入の効果〕

配筋検査システムの導入効果が公表されている、三菱電機の例を以下に示す。従来の配筋検査と比較して、検査に要する時間を約60%短縮（作業時間180分から75分に短縮）可能となり、その効果のほどが分かる。

なお、従来の配筋検査の180分は、冒頭で述べた従来の配筋検査に要する時間（2時間～4時間）と概ね合致する。

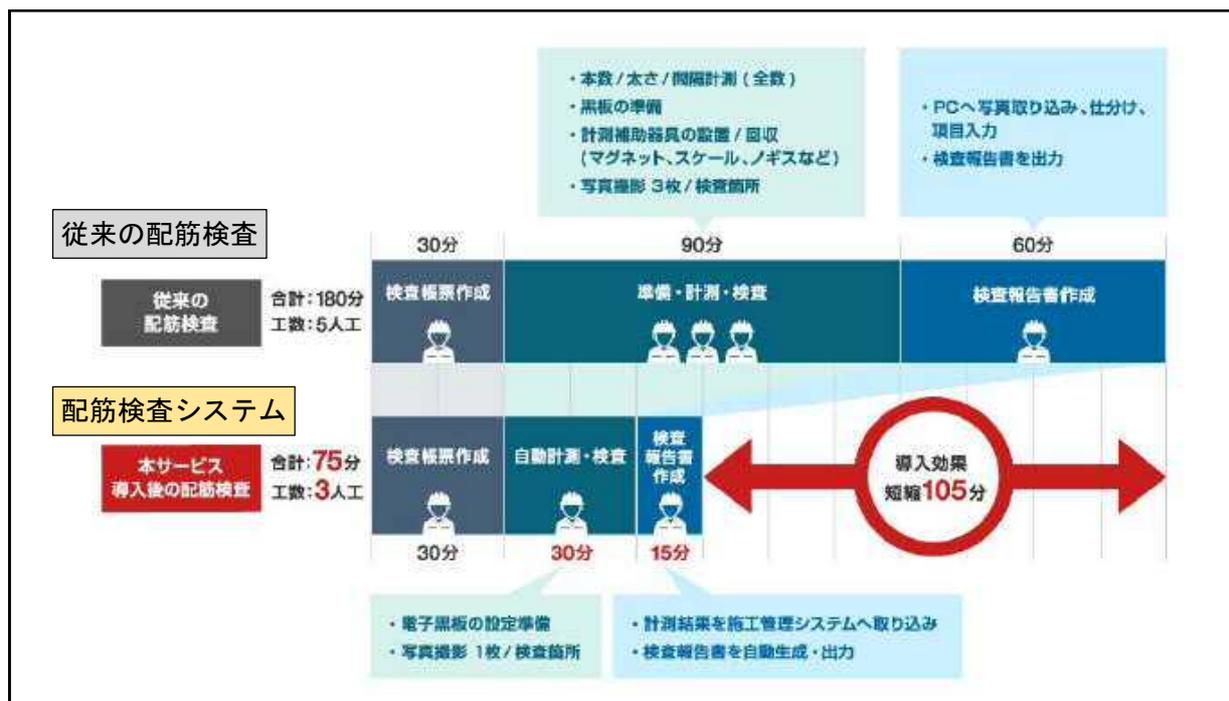


図 4-4 配筋検査システムの導入効果

（三菱電機リーフレットより）

4-3. 遠隔立会との組合せ

配筋検査システム自体は、受注者（施工会社）側の省力化が主目的である。一方で、配筋検査には「発注者の立会」が必須であり、その立会を遠隔化できれば受発注両者に大きなメリットが生まれてくることは自明である。特に山間部の現場ともなると、発注者の事務所から現場まで移動するだけで1時間以上かかる場合も多い。この移動時間を削減することで、発注者側の業務の効率化が図れる。もちろん、現物を見ての立会も必要な場合があるはずなので、現地・遠隔の双方を効果的に使い分けることが重要かと考える。

以下に、本年 2/25 に掲載された新聞記事を紹介する。国土交通省が「遠隔臨場と画像解析技術を組合わせて、品質検査業務の省力化を目指す」取組みに、2021 年度内に 20 現場で試行するとあり、同様の動きがますます加速すると期待される。

▶国土省／遠隔臨場に画像解析技術導入へ／品質検査を省力化、21年度に20現場で試行 [2021年2月25日1面]

国土交通省は、建設現場の遠隔臨場に画像解析技術を組み合わせ、品質検査業務のさらなる省力化を目指す。配筋検査の際、タブレット端末などで撮影した画像を基に鉄筋の径や間隔などを計測。発注者がリモートでリアルタイムに出来形を確認する。検査データはクラウドで共有する。これにより遠隔臨場時に現場で検査作業に当たる施工者を従来の3人から1人に減らす効果を見込む。年度内に技術の機械要件や試行要領をまとめ、2021年度には全国20現場での試行を目指す。

これまでの配筋検査の遠隔臨場では撮影者のほか、配筋に検尺ロッド（スケール）を当てる人や黒板を持つ人などが必要だった。瞬時に鉄筋の間隔などを計測可能な画像解析技術を組み込むことで、撮影者以外を不要にする。検査業務の質を維持しながら省力化につなげる。離れた場所からの検査が可能のため足場が不要となり、作業の安全性も高められる。

国土省は内閣府の「官民研究開発投資拡大プログラム」（PRISM）の推進費を活用して研究開発した▽清水建設コンソーシアム▽鹿島コンソーシアム▽JFEエンジニアリングコンソーシアム▽三井住友建設コンソーシアム▽IHIインフラ建設コンソーシアム-の5技術の要件を整理し、試行実施に備える。

画像解析技術では一度の撮影範囲に限られるため、より広範に検査ができるレーザー照査による点群データ取得といった手法も将来的に活用していきたい考えだ。

遠隔臨場はこれまで監督職員が現場で立ち会っていた臨場確認に代えて、映像と音声のデータを使用して発注者の事務所内でリアルタイムに承認・確認する。発注者は現場への移動時間、受注者は立ち会い調整時間がそれぞれ削減できる。対面検査が省けるため新型コロナウイルスの感染拡大で導入が加速。20年度は直轄工事現場で約560件の試行を予定している。

図 4-5 建設工業新聞記事

4-4. 共同開発の意義

これまでの技術開発は、各企業が独自に実施してきた。しかし、第3章でも述べたが、1社が単体で研究開発を行い、製品を作り、その製品を販売（貸出し）してビジネスとして軌道の乗せるためには、多くの労力とコストを要する。超大手のような体力のある会社はともかく、それ以外の会社にとってはアイデアがあっても研究開発に二の足を踏むことが多かったと想像に難くない。

この慣習に一石を投じるべく、21もの建設会社が、AIおよび画像解析を応用した「配筋検査システム」の共同研究開発を2019年4月から進めている。

この研究開発では、配筋工事の施工管理を支援する「配筋チェック機能」と、配筋検査の業務効率を改善する「配筋検査機能」の2つの機能を兼ね備えた統合システムの実現を目指している。現状では「配筋チェック機能」に一定の目途が立ち、より汎用性の高い機能開発を目指している段階である。

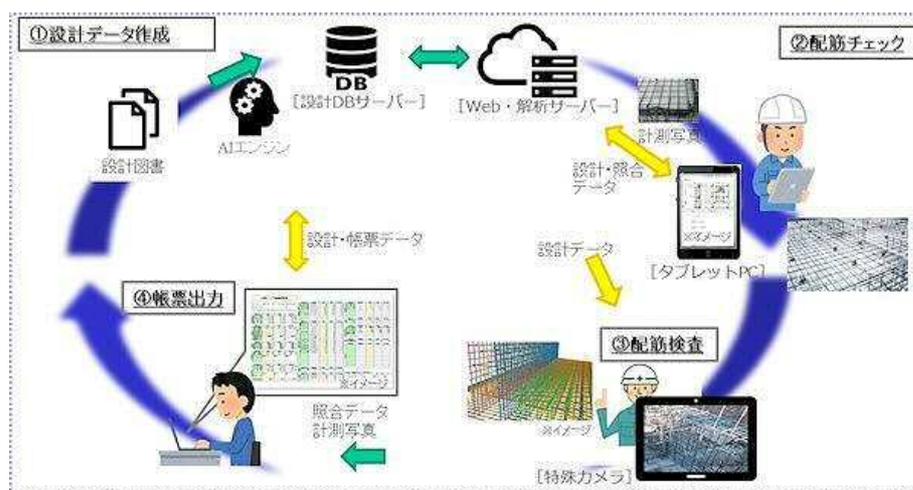


図 4-6 配筋検査システム (イメージ)

以下に、複数の会社で共同開発するメリットを列記する。

- ・ 実証実験するフィールド（構造物種別、土木・建築別）、データ数が多い
- ・ 各社の知恵、アイデアが集まる
- ・ 開発費用を分担できる
- ・ 大きなプロジェクトとして展開できる。1社だと小さいニュースだが、集まることにより業界の標準を目指すことが可能となる

21社も参画していれば、1つの意思を決定するだけでもそのプロセスは複雑であり、時間を要する等の課題もある。しかし、建設ロボットのコンソーシアムと同じく、建設業界としてこれまでにない動きであることから、有意義な取組みであることは間違いない。今後も、同コンソーシアムの活動を注視していきたいと考えている。

4-5. 発注者の動向

7月に「デジタルデータを活用した鉄筋出来形計測に関する試行要領（案）」が、国土交通省大臣官房技術調査課から発刊された。同要領（案）では、

- ・適用の範囲
 - ・画像計測に使用する機器等
 - ・出来形計測、出来形管理の方法と実施手順
- について定めている。

なお、7/8（木）のプレスリリース（下図参照）によると、令和3年（2021年度）に試行、令和4年（2022年）度に「ICT技術を活用した測定方法の実施要領」を策定、令和5年（2023年）度を目標に社会実装を目指すとのことである。

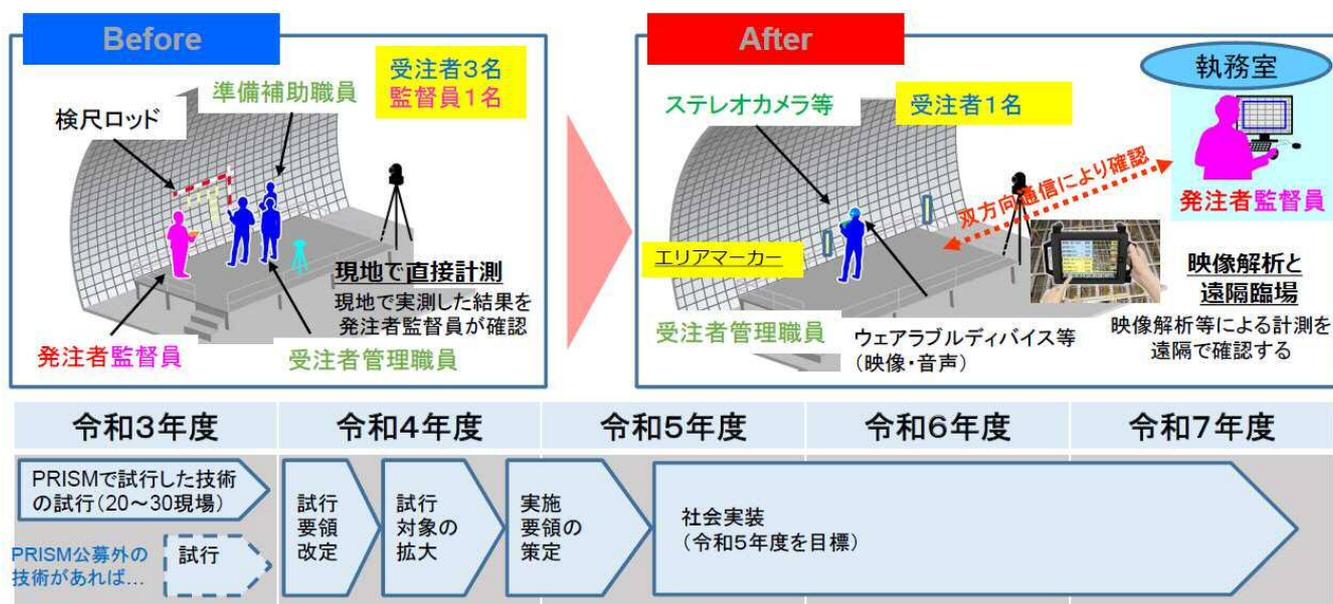


図 4-7 ICT 活用による業務効率化（配筋検査）イメージ

国土交通省プレスリリースより（2021.7.8）

また、国土交通省だけでなく、NEXCO の現場でも積極的に配筋検査システムをはじめとした新技術を採用しており、この動きは各自治体や民間の発注者にも広がっていくものと思われる。

5. おわりに

本書では、

- ・ 5G 通信技術を活用した建設現場の事例と、今後の展望
- ・ ロボット開発のあるべき方向性（協調）
- ・ 配筋検査システムの現状と共同開発の意義

について、述べてきた。

これからの建設業界は、いわゆる土木技術だけではなく、あらゆる分野の技術を融合させていく必要がある。2章でも述べたが、特に若い土木技術者には、土木技術の知識のみならず、機械・通信・情報処理などの知識を習得してもらうべく、人材開発計画の策定が必要となろう。

そして、今回の調査の中で、特に印象に残ったのが「協調」「共同」という考え方・言葉である。これらのキーワードは、今後の建設会社の技術開発の方向性を指し示す、大きな柱の1つになると考えている。

なお、本来であれば、実証実験の現場やロボットが活躍している現場を見学し、現場職員・作業員の生の声を聴くことこそが重要であった。しかし、コロナ禍の折、残念ながら今のところ見学は実施できていない。そのような中でも、日建連の建築ロボット専門部会・配筋検査システムの開発者の皆さまに、オンラインなどでヒアリングを行うことで、当小委員会メンバーの知見を広げることが出来たと考えている。

ご協力いただいた皆さまに、厚く御礼を申し上げる次第である。

以上

2021年9月

土木学会 建設技術研究委員会 生産性向上小委員会