

【産業競争力懇談会 2015年度 プロジェクト 最終報告】

## 【IoT、CPS を活用したスマート建設生産システム】

2016年3月3日

**産業競争力懇談会 COCN**

# 【エグゼクティブサマリ】

## I. 本プロジェクトで構想したスマート建設生産システム

スマート建設生産システムとは、建設データ基盤としての BIM/CIM に、IoT として建設時や運用時の情報が連携することにより（次世代 BIM/CIM）、3 次元計測／測位、ネットワーク、デバイス、ビッグデータ解析、人工知能、ロボット自動化などの先端 ICT を有効に活用する革新的なシステムである。

この実現により、労働生産性、安全性、品質などの建設業が抱える課題克服に加え、工期やライフサイクルコストを含めた顧客・利用者ニーズへの柔軟な対応、新たな就労機会創出、グローバル市場への展開、維持管理者・発注者・利用者を含むすべての関係者による情報利活用などの様々な効果も期待される。

### スマート建設生産システム（図 1） / Construction 4.0

次世代 BIM/CIM + ICT の実装

#### 次世代 BIM/CIM

設計から施工、維持管理に至る建設データ基盤としての BIM/CIM に加え、現場における様々なリアルタイムデータとも連携するためのデータ基盤

#### ICT の実装

##### ヒト・モノデータのリアルタイム自動収集技術

- ・ 3 次元の位置情報検出・収集を実現する技術（人、建設機械、資材等）
- ・ 建設機械や人の動作情報検出・収集を実現する技術
- ・ 人の健康状態情報検出・収集を実現する技術
- ・ 出来高／出来形情報の収集を実現する技術

##### 収集データの加工分析技術

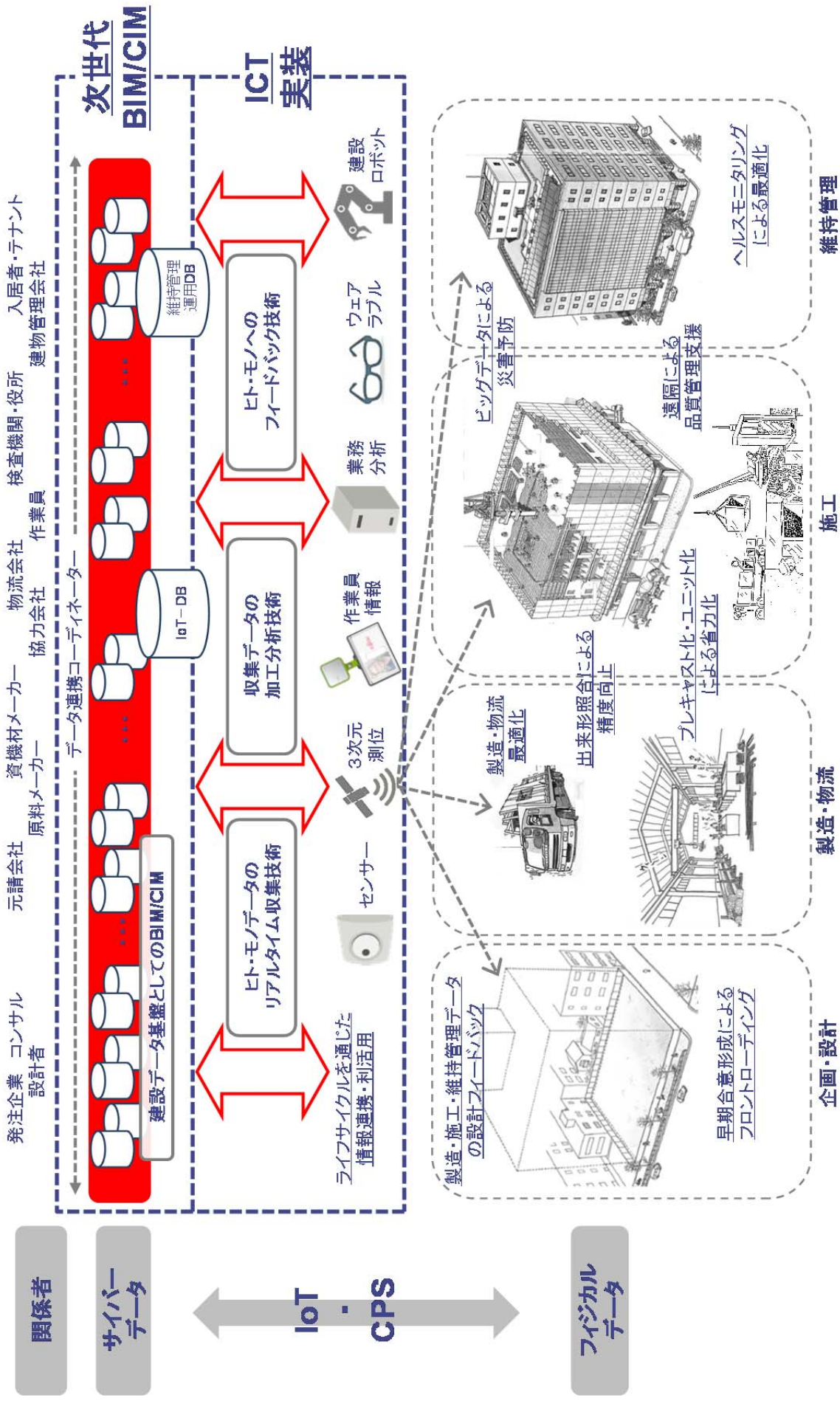
- ・ 現場業務分析を実現する技術
- ・ 行動解析技術／異常検出を実現する技術
- ・ 施工計画自動化を実現する技術

##### ヒト・モノへのフィードバック技術

- ・ 出来形の 3 次元表現技術と人、建設機械、資材等の位置情報表示を実現する技術
- ・ 現場作業や建設機械への情報伝達／マシンコントロールを実現する技術
- ・ ロボット化施工技術

##### ICT インフラに関する課題

- ・ 現場適用可能な耐環境性・堅牢性、ウェアラブルを含めた機器の扱いやすさ
- ・ 多様な ICT 実装にともなう情報セキュリティの確保
- ・ ライフサイクルマネジメントに耐えうる ICT 機器の長期補償・メンテナンス簡易化
- ・ 異業界を含む多様な ICT 技術における知見の活用



※記載イラスト：一般社団法人日本建設業連合会「イラスト「建築施工」」、及び全日本建設技術協会「土木構造物設計ガイドライン」より引用

図1：スマート建設生産システム (Construction4.0)

## II. スマート建設生産システム実現への取り組み

### (1) 建設産業における BIM/CIM のあり方

#### ① BIM/CIM を標準とした建設データ連携

設計、施工、維持管理までのライフサイクルで一貫したデータの連携を高めるため、BIM/CIM を建設プロセスにおけるデータ基盤とすることに注力する必要がある。

#### ② 国際的な BIM/CIM の動向の把握

国際的な標準化の動きや、政府として BIM/CIM を用いた建設業改革のビジョンを示している諸外国の取り組みに対して、日本の立ち位置を確認すべく官民で協力して情報収集を行う。

#### ③ 国内の BIM/CIM 普及促進

BIM/CIM を全体最適につながるレベルまで引き上げるためには、国内における活動の実態を踏まえたうえで、関連する産業界も含めた国全体としての新たな体制の構築をお願いしたい。

#### ※BIM/CIM 普及促進機関

理想的には、国（国交省、経産省、文科省など）、建設関連業界（設計、施工、IT ベンダーなど）、産業界（発注者、メーカー、物流企業など）を含む推進組織（BIM/CIM コンソーシアム）を設立し、そのような推進母体のもとでの情報収集、実証実験による課題の洗い出し、関連する技術開発、プロセスの標準化など、検証と改善の反復によりシステムの実現を目指す関係者の強い意志と地道な努力が望まれる。

### (2) ICT 実装の取り組み方針

#### ① 導入が期待される ICT の現場への展開

スマート建設生産システムにて導入が期待される ICT について、図 1 の通り整理した。これら ICT を実装するためには、現場の大量かつ多種多様な非構造化データを効率良く収集・分析した上で、タイムリーに現場にフィードバックする仕組みが求められ、引き続き ICT として何が重要かを見極めていくとともに、ICT 機器の長寿命化、情報セキュリティの確保や、現場に適する堅牢性の実現など、ICT 実装の課題解決に向けて検討を進める必要がある。

#### ② ICT 展開上の課題解決に向けた取り組み

課題解決にあたっては、具体的なプロジェクトにて検討を進めつつ、法規制などの阻害要因を抽出する。併せて、更なる課題への解決策や適用可能なアプリケーションについて IT 業界や関連団体に連携を求め、建設業者と協力して実証プロジェクトを検討する。なお、ICT を活用しやすい検査基準への見直しなど、制度面からも建設生産における ICT 活用の普及促進を図る。

### (3) 建設生産・ICT に関する教育

#### ① 建設労働者の個社での教育機会の提供

建設生産現場での ICT やロボット利活用のための作業員の ICT 技能の向上支援

#### ② 大学教育等における内容の充実

建築・土木学科における ICT 活用教育（BIM/CIM 作図課程、ICT 全般の教育）

建設生産システム工学の更なる拡充

ICT 分野との学際研究の促進

建設関連データのセキュリティや知的財産権に関する研究

## 【はじめに】

我が国の建設業は1992年度の建設投資84兆円をピークに2010年度には42兆円とピーク時の半分に市場が縮小しており、20年にわたる建設市場の縮小により、企業体質の劣化や技能労働者の処遇低下、若年労働者の減少、技能労働者の著しい高齢化に建設業界全体が直面している。2015年3月に一般社団法人日本建設業連合会が発表した「建設業長期ビジョン」では、特に団塊の世代の大量退職に対応するため、建設労働者の世代交代に向け、女性や若者の就業増加や更なる生産性向上の早急な実現が強く求められている。また、女性や若者の就業増加については、労働環境の改善や安全性の向上など、産業としての魅力向上も欠かせないものとなっている。

建設業の特色としては非量産性、自然依存性、労働集約性、社会環境依存性等が挙げられる。建設現場では主に人が操作する建設機械や電動工具等を用い、工事現場ごとの創意工夫で生産性向上を図ってきたが、同一製品の大量生産を目的としたライン化や自動化等による工場での生産性向上を図ってきた製造業とは異なり、依然、大幅な生産性向上の実現には至っていない。

幸いなことにICT導入のインフラとなるべき建設データ基盤としてのBIM/CIMが世界的にとりあげられており、現在その普及や認知が課題となっている。

そこで、当プロジェクトでは、BIM/CIMの高度化を図って情報基盤としつつ、現在世界中で大きな潮流となりつつあるIoT（Internet of Things）やCPS（Cyber Physical Systems）という概念やIndustry4.0（第4次産業革命）に代表される世界的な産業構造変革の潮流を踏まえた上で、日本が持つ各種ICT技術を組み込んだ「スマート建設生産システム」を構想し、上記の建設業が抱える課題について解決を図ることとした。

具体的には、BIM/CIMと準天頂衛星システム、ロボット、自動制御、小型無線飛行機、各種センサ、ビッグデータ解析、人工知能等のICTを結びつけ、大量に取得されるデータ解析を織り込んで、建設の設計・施工・維持管理のライフサイクルに適用させ、「次世代BIM/CIM」にシフトさせていくことを期待する。

ここで得られるメリットは建設のオーナー（発注者）、施工業者、設計業者、設備業者といった関係者とどまらず、広く資材・機材を供給する一般産業界、加えて現場で働く作業員の福祉の向上にもつながるものである。

なお、当プロジェクトの構想は2014年度COGN研究会「飛躍的な生産性の向上を実現する構工法の構築」における建築生産システムの将来ビジョンが原案となっており、昨年度の参加者の協力で当プロジェクトのスタートを切ることが出来た。本年度検討中の「スマート建設生産システム」は、第5期科学技術基本計画における「超スマート社会」の一角を構成するシステムとして建設業界のみならず、建設物の企画調査段階から完成後の社会インフラの維持管理や建設物ユーザーの施設管理など、建設物のライフサイクルを通じた多様な人々に利用される社会情報基盤の一部となりうるものであり、各方面の関係者から広く知見を提供されることが必要である。異業種参加のオープンイノベーションを活用し、我が国が直面する生産性の向上と魅力ある業界への脱皮を図る根源的な課題を解決できる社会システムのグランドデザインを描くべく、国、産業界の関係者のご支援を賜りたい。

産業競争力懇談会

理事長 小林 喜光

## 【研究会メンバー】

|                  |  |                            |
|------------------|--|----------------------------|
| リーダー             | 児嶋 一雄  | 鹿島建設(株) 副社長                |
| サブリーダー           | 奥山 敏   | (株)富士通研究所 シニアディレクター        |
|                  | 利穂 吉彦  | 鹿島建設(株) 執行役員               |
| アドバイザー           | 浅間 一   | 東京大学大学院 工学系研究科 教授          |
|                  | 建山 和由  | 立命館大学理工学部 教授               |
|                  | 森川 博之  | 東京大学 先端科学技術研究センター 教授       |
|                  | 野城 智也  | 東京大学 生産技術研究所 教授            |
| COCN実行委員         | 浦嶋 将年  | 鹿島建設(株) 専務執行役員             |
|                  | 富田 達夫  | (株)富士通研究所 会長 (2016.1.5 退任) |
| COCN企画委員         | 金枝上 敦史   | 三菱電機(株) 担当部長               |
| COCN事務局長         | 中塚 隆雄  |                            |
| メンバー (順不同)       |  |                            |
| (株)IHI           | 山西 晃郎、山田 武俊  |                            |
| 鹿島建設(株)          | 丹羽 直幹、横尾 敦、上迫田 和人、横関 康祐、古市 耕輔、三浦 悟、青野 隆、大浜 大<br>鈴木 紀雄、池上 隆三、堀井 千聡、安井 好広、狩野 茂、佐藤 康博、船迫 俊雄、上田 純広 |                            |
| (株)国際社会経済研究所     | 名倉 賢   |                            |
| (株)小松製作所         | 四家 千佳史、布谷 貞夫   |                            |
| 産業技術総合研究所        | 小島 一浩、高橋 孝一  |                            |
| 清水建設(株)          | 柴 慶治、佐藤 博一、石井 大吾、土屋 雅徳、鈴木 正憲、小林 顕  |                            |
| 新日鐵住金(株)         | 菅野 良一、半谷 公司、巽 雄二郎、徳田 英司  |                            |
| 新日鐵住金ソリューションズ(株) | 賀屋 恵二  |                            |
| 新菱冷熱工業(株)        | 岸本 洋喜  |                            |
| センクシア(株)         | 伊藤 倫夫、田中 秀宣  |                            |
| ソニー(株)           | 島田 啓一郎、川名 規之   |                            |
| 高砂熱学工業(株)        | 石田 明央、近藤 員宗、北澤 直哉  |                            |
| 東芝エレベータ(株)       | 高草木 康史   |                            |
| 日本電気(株)          | 山本 賢司、寺岡 謙二、矢嶋 勇、有海 篤司、武田 安司、服部 美里、河崎 真理<br>山崎 俊輔  |                            |
| 日立化成(株)          | 河合 宏政、松村 繁、松宮 久雄、松沼 宏佳、山浦 隆利   |                            |
| (株)日立製作所         | 三和 祐一、関口 知紀、江川 栄治  |                            |
| 富士通(株)           | 寺田 透、豎山 明彦、長田 尚之   |                            |
| (株)富士通研究所        | 佐藤 均、延原 裕之、小野寺 裕幸  |                            |
| 富士電機(株)          | 小高 秀之  |                            |
| 三菱化学(株)          | 新村 多加也   |                            |
| 三菱重工業(株)         | 川添 司、井上 典亮、大西 献  |                            |
| 三菱重工カトロンシステム(株)  | 武石 雅之、上野 大司  |                            |
| 三菱電機(株)          | 津高 新一郎、関 真規人、高井 伸之   |                            |
| 三菱レイヨン(株)        | 金子 学、岩崎 和彦、景山 義隆   |                            |
| YKKAP(株)         | 小林 幸男、早川 貴雄、内藤 哲也、高橋 謙一、伊藤 卓、梅津 満、植村 彰   |                            |
| 事務局：鹿島建設(株)      | 横塚 雅実、森本 直樹、稗園 成人、古賀 達雄、鈴木 雄介、中島 賢市、北垣 太郎  |                            |

# 【目次】

|                                   |    |
|-----------------------------------|----|
| 第1章. スマート建設生産システムの構想に至る背景         |    |
| 1. 1 生産性向上の必要性                    | 1  |
| 1. 2 品質・安全性向上の必要性                 | 2  |
| 1. 3 新たな価値創造の必要性                  | 3  |
| 第2章. スマート建設生産システムへの変革             |    |
| 2. 1 建設生産システムの特徴                  | 5  |
| 2. 2 スマート建設生産システム                 | 6  |
| 第3章. BIM/CIMの導入                   |    |
| 3. 1 BIM/CIMの概念                   | 8  |
| 3. 2 BIM/CIMによる建設プロセスを通じた情報連携     | 9  |
| 3. 3 BIM/CIMの国際的な動き               | 12 |
| 3. 4 BIM/CIMによる標準化                | 13 |
| 3. 5 BIM/CIM普及促進にむけた課題            | 15 |
| 3. 6 IoTとも連携した次世代BIM/CIMとしての方向性   | 17 |
| 第4章. ICTの実装                       |    |
| 4. 1 建設生産システムを支える技術マップ            | 19 |
| 4. 2 建設生産とICT活用の現状                | 21 |
| 4. 3 ICT活用の方向性                    | 23 |
| 4. 4 ICT適用と課題                     | 25 |
| 4. 5 ICT技術の実装と次世代BIM/CIM連携        | 30 |
| 第5章. スマート建設生産システム実現に向けた提言と取り組み方針  |    |
| 5. 1 建設産業におけるデータ基盤としてのBIM/CIMのあり方 | 32 |
| 5. 2 ICT実装の取り組み方針                 | 34 |
| 5. 3 建設生産・ICTに関する教育/訓練            | 35 |
| 参考資料                              |    |
| 1. イギリス政府におけるBIM/CIMの取り組み         | 36 |
| 2. 建設への適用が考えられるICT要素技術            | 42 |
| 添付資料                              |    |
| 1. 土木生産性向上に関する工法などの検討結果           | 57 |
| 2. 建築生産性向上に関する工法などの検討結果           | 68 |

## 第1章. スマート建設生産システムの構想に至る背景

我が国の建設業は、1992年度の建設投資84兆円をピークに2010年度には42兆円とピーク時の半分に市場が縮小している。この20年にわたる建設市場の縮小により、技能労働者の処遇低下、若年労働者の減少、技能労働者の著しい高齢化に建設業界全体が直面している。

これら建設業の抱える課題を生産性向上、品質・安全性向上、新たな価値創造という3つの観点で整理し以下に述べる。

### 1. 1 生産性向上の必要性

#### (1) 人材確保と省力化の課題

建設業における労働生産性は、右肩上がりに上昇している全産業及び上昇が顕著な製造業に比べ、右肩下がりに低下している。これは主として、バブル崩壊後、建設投資が労働者の減少を上回ったため、ほぼ一貫して労働力過剰となり、省力化につながる建設現場の生産性向上が見送られてきたことに加え、建設生産の特殊性（単品受注生産等）および工事単価の下落等によるものと考えられる。近年は2008年を底に僅かずつ上昇しているが製造業との差は依然として大きい。2015年3月に一般社団法人日本建設業連合会が発表した「建設業長期ビジョン」では、現在の343万人いる技能労働者（全建設業就業者数の約7割）のうち、今後10年間で高齢者を中心に128万人が離職する見通しであり、2025年に必要とされる技能労働者を328～350万人と推計した上で、この離職による不足を補うために若者を中心とした新たな技能労働者を90万人（うち女性20万人）確保するとともに、それでも不足する35万人分については、生産性の向上による省力化で対応することとしている。なお、省力化については、後述するデータ活用や工程管理の課題も存在する。

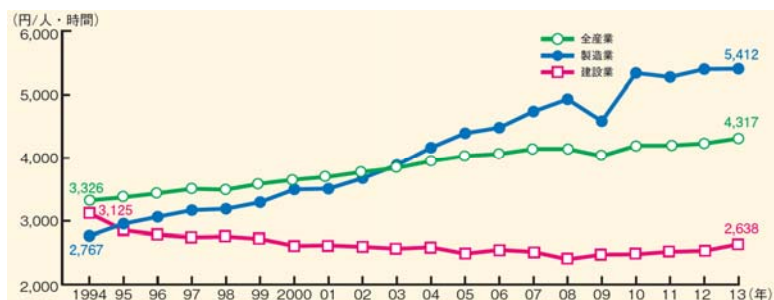


図1-1-1 労働生産性の推移 (出典：日建連建設業ハンドブック 2015)

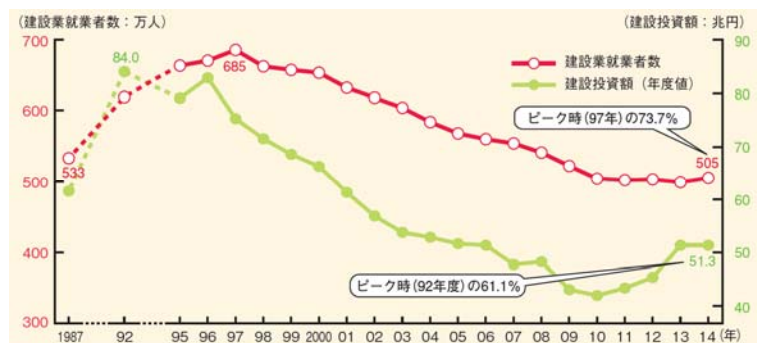


図1-1-2 建設就業者数の推移 (出典：日建連建設業ハンドブック 2015)



## (2) データ活用の課題

建設事業においては、設計・施工時における図面データファイルのやり取りや調達時の電子入札等において ICT 活用が進む一方、建設物のライフサイクル全体を対象とした建設情報インフラの整備には至っていない。また、建設プロセスが、多くの異なる利害関係者が関与する分業制であることによって、データの非連続性や帰属権のあいまいさ、データ交換におけるタイミングや対象などの複雑性を生んでおり、このような無駄を取り除くことによって、プロセス全体としての生産性を向上させることができると考えられる。

## (3) 工程管理の課題

電子メールや電子調達、表計算ソフト等の普及に伴い、見積・発注等に要する業務時間の削減が進んでいるが、必要な建設資材の洗い出しについては、図面データや工程管理システムによる自動生成の実用レベルには至っておらず、多くの現場で工程進捗に合わせた人為的な作業が行われている。また、都市部の建設現場においては資材等の保管場所も不足しているため、必要な時に必要な分だけ資材を調達・搬入することが必須であり、これらを解決する効率的な工程・資材発注管理によって生産性の向上につなげる必要がある。

# 1. 2 品質・安全性向上の必要性

## (1) 品質管理の課題

一部の土木工事等では、モニタリング技術によるリアルタイムでの出来高・出来形把握を実施しているものの、ほとんどの建設事業においては、現地での目視、写真撮影、出来形測量等による出来高・出来形把握を行っており、これらをパソコンに入力して管理しているのが現状である。また、施工に伴う誤差や自然条件などへの現場合せ対応が必要な場合も多く、設計情報と施工結果では差異が生じるのが一般的である。この差異は、施工時の後工程や維持管理時の現況確認等において重要な情報であることから、リアルタイムかつ正確な把握が求められる。

## (2) 労働安全の課題

建設業における死亡災害者数については徐々に右肩下がりになっているものの、依然として全産業の3割を占めており、最大の比率となっている。また労働力人口に対する死亡災害発生率も、全産業及び製造業に対して3倍以上（平成25年度）と非常に高く、我が国産業界の労働安全上、看過できない課題となっており、早期改善が求められている。

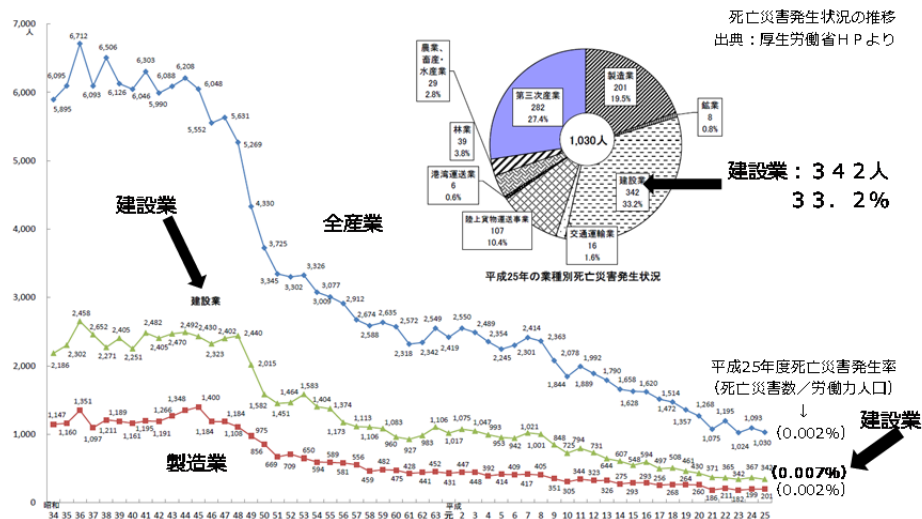


図 1-2-1 死亡災害発生の推移 (出典：厚生労働省 HP)

### 1. 3 新たな価値創造の必要性

#### (1) 就業魅力向上と事業機会創出の課題

建設業は年間労働時間が長く、生産労働者の年間労働賃金水準も低いため、働く人にとっての魅力が失いつつある産業であると言える。また、各企業努力により安全や健康管理などの現場作業環境は改善してきているものの、他産業に比して依然厳しい状況であることは否めない。新たな就業者確保に向けては、建設キャリアシステム（旧称 就労履歴管理システム）の導入による技能スキルの統一基準化に基づく賃金水準の確保や、社会保険の加入率向上政策などの労働諸施策に加え、ICT を活用した建設産業の構造改革による労働環境の抜本的な改善が望まれる。

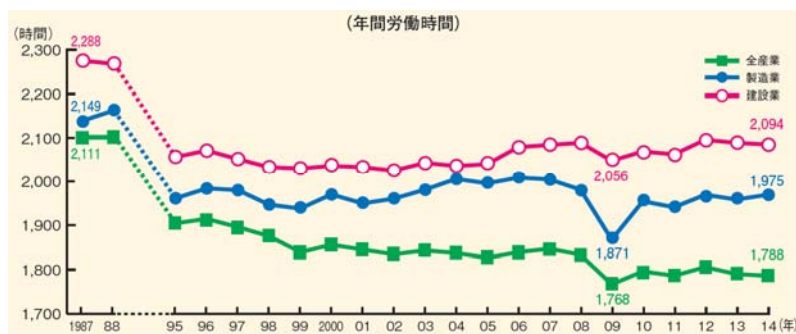


図 1-3-1 年間労働時間の推移 (出典：日建連建設業ハンドブック 2015)



図 1-3-2 年間労働賃金の推移 (出典：日建連建設業ハンドブック 2015)

国内建設投資は1990年代より概して減少基調にあるため、ICTを活用した建設産業の構造改革を機に、建設時だけでなく維持運営管理段階を含むライフサイクル全般を通じて、環境保全やエネルギーマネジメント等の新たな付加価値をもたらすサービスを施設所有者や施設利用者に提供することにより、新規事業の創出を図ることが望まれる。このように魅力ある事業を創り出すことで、ICT分野を含め幅広い人材の就業に繋げる必要がある。



図 1-3-3 建設投資の推移（出典：日建連建設業ハンドブック 2015）

注 2014年度 COCN 研究会テーマにおける取組み

前述した必要性のうち「生産性向上」に関しては、2014年度 COCN 研究会テーマ「飛躍的な生産性の向上を実現する構工法の構築」において、建築における接合作業の合理化を検討している。そこでは、新たに考案した合理的な接合手法の導入により、接合作業に要する工数を1/5～1/10に削減できる可能性と、ロボット・自動化技術の活用、それらを支えるBIM・3次元計測技術などのICTが不可欠であることを提言として取り纏めた。特にBIMについては、施工の出来高・出来形情報をロボット・自動化技術とリアルタイム・シームレスに連携するためのICTインフラとして着目し、現場の枠を超え、他産業との連携に発展する構想を提案するに至った。

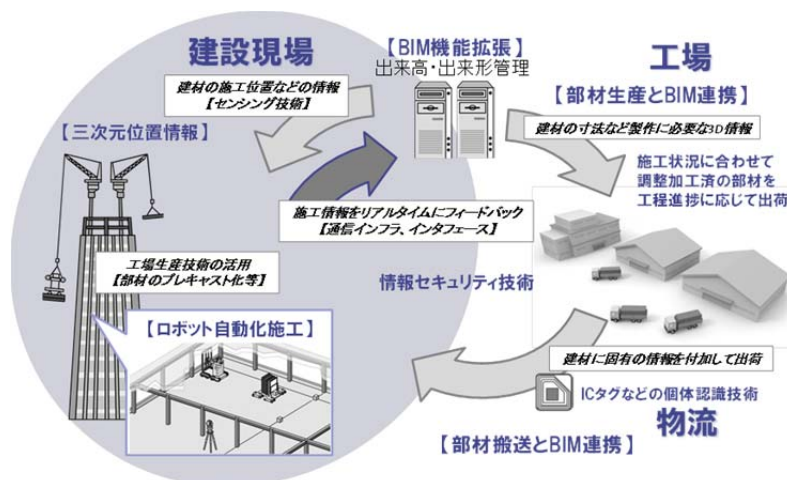


図 1-3-4 将来の建設生産概念図

（出典：2014年度 COCN 研究会「飛躍的な生産性の向上を実現する構工法の構築」最終報告書より）

## 第2章. スマート建設生産システムへの変革

2015年度は、前年度研究会の延長線上にありつつも、検討対象を建築の接合から土木を含めた建設生産全体へ広げ、Industrie4.0（第4次産業革命）に代表される世界的な産業構造変革の潮流を踏まえた上で、建設業における生産システムの将来ビジョンとして「スマート建設生産システム（Construction4.0<sup>※</sup>）」を構想した。なお、構想にあたっては、現在の建設生産システムの特徴整理により建設業と製造業との違いを理解したうえで、現場作業を軽減し高品質で付加価値の高い構造物の生産を実現するために必要な工場生産技術や高度 ICT の活用を検討した。

さらに、ICT 活用の軸となる情報基盤、現在の ICT 要素技術レベル、将来の ICT 要素技術と建設業界のニーズ適合の可能性などを検討し、将来ビジョンの実現に向けた課題や取り組み方針を整理した。これらは3章以降で記載する。

### ※Construction 1.0～4.0 の定義

Construction 1.0 : 現場手作業を中心とした施工

Construction 2.0 : 工場生産の活用と機械化施工

Construction 3.0 : 情報化施工による部分最適化

Construction 4.0 : ICT による建設プロセスの全体最適化

### 2. 1 建設生産システムの特徴

一般的な製造業とくらべて異なると思われる建設生産システムの特徴について、以下の通り整理した。

#### (1) 非量産性

- それぞれ異なる土地で、顧客の注文に基づき、一品ごとに異なる形状の構造物を構築する。(属地生産、注文生産、一品生産)

#### (2) 自然依存性

- 雨や風、気温、降雪といった天候条件や、地中、水中などの自然条件を相手としながらの作業である。また、これらへの対応には人の経験によるノウハウを多く必要とする。

#### (3) 作業環境の一過性

- 作業環境自体が変化し、高所や開口部、重機、搬送機械との近接部位が随時発生するため、働く人に危険を及ぼす環境が多い。
- 机上での検討をもとに実地で作りながら検証し、場合によっては作り直しも発生するなど、いわば、新たな試作品をその都度生産しているといえる。

#### (4) 社会環境依存性

- プロジェクト工期が長いため、社会環境や顧客の経済状況の変化等によるプロジェクトの計画変更、中断も多い。

#### (5) 複合専門性

- 各業務が専門性を持ち、細分化された分業制であるため、多くの専門業者が存在する。
- プロジェクトの規模や工期、建設場所等によって投入資源を柔軟に調整するため、

重層下請け構造になりやすい。

(6) 労働集約性

- ・ 巨大な構造物を構築するがゆえに、現地ですこしずつ成形しながら構築する作業が多く、手作業も多い。
- ・ その都度出来上がりの形（出来形）を確認しながら進むことによる人的なすり合わせや、成型取付後の寸法、品質のばらつきへの対応を要する。

以上の特徴から、工場での屋内生産や大量生産を前提とした一般的な製造業で行われている生産性向上策（設計製造の垂直統合、材料供給の効率化、機械化、ライン化、機械生産による24時間稼働など）が適用しにくい業種であるといえる。

## 2. 2 スマート建設生産システム

上述した現状の建設生産システムの特徴により、従来のICTレベルでは、一般の製造業で進められているような生産性向上策は困難であると考えられていた。しかし、センサ技術、無線技術、クラウド技術の発達など、昨今のICT要素技術の急速な発展からいよいよ建設生産への適用可能性が高まったものと考え、現時点で想定し得る「スマート建設生産システム（図2-2-1）」を構想した。具体的には、建設データ基盤としてのBIM/CIMと、近年のロボット・自動化、3次元計測／測位、ネットワーク、デバイス、ビッグデータ解析、人工知能などのICTを連携させた革新的なシステムとした。

したがって、本報告書では、このスマート建設生産システムにおける重要な要素が、「建設データ基盤としてのBIM/CIM」と「ICTの実装」であると考え、それぞれの課題や今後の方向性について検討した。また、1章で述べた建設業の課題に対する解決策との関連性を表2-2-1に整理した。

なお、スマート建設生産システムの実現により、建設業が抱えるこれらの課題克服に加え、工期や品質（ライフサイクルコスト）を含めた顧客や利用者の要求への柔軟な対応、新たな就労機会の創出、グローバル市場への展開、維持管理業者・発注者・利用者を含むすべての関係者による情報利活用なども期待される。さらに、スマート建設生産システムを社会実装していくことにより、第5期科学技術基本計画における「超スマート社会」の実現に寄与することも目指している。

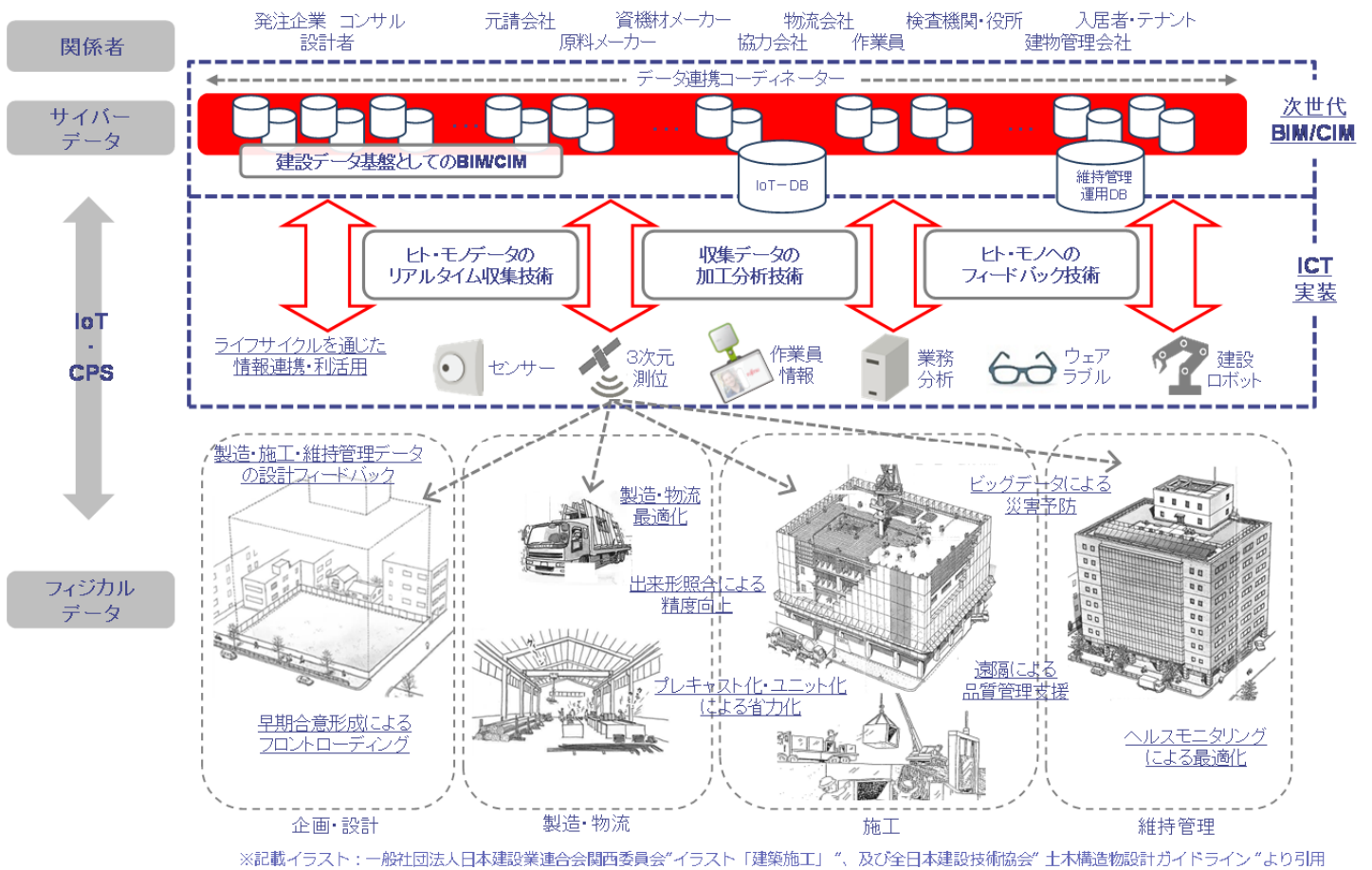


図 2-2-1：スマート建設生産システム (Construction4.0)

表 2-2-2：建設業における課題と解決策の関連性

| 必要性／課題       |             | 解決策            |                 |              | 解決策概要<br>／<br>本文記載箇所                                |
|--------------|-------------|----------------|-----------------|--------------|---|
|              |             | 次世代<br>BIM/CIM | ICT実装           |              |   |
|              |             |                | ヒト・モノ<br>データの収集 | 収集データの<br>分析 |   |
| 生産性<br>向上    | 人材確保<br>省力化 | ○              | ○               | ○            | 建設プロセス全般を通じた<br>情報連携とICT活用<br>⇒ 3章、4章に記載            |
|              | データ活用       | ◎              | ○               |              | 建設プロセス全般を通じた<br>情報連携<br>⇒ 3.2、3.4に記載                |
|              | 工程管理        | ○              | ◎               | ◎            | 出来高情報の迅速かつ正<br>確な把握とフィードバック<br>⇒ 4.4 (1)、(3)に記載     |
| 品質・安全性<br>向上 | 品質管理        | ○              | ◎               | ◎            | 出来高情報の迅速かつ正<br>確な把握とフィードバック<br>⇒ 4.4 (1)、(3)に記載     |
|              | 労働安全        | ○              | ◎               | ◎            | 人の健康状態、行動の把<br>握、分析、フィードバック<br>⇒ 4.4 (1)、(2)、(3)に記載 |
| 新たな<br>価値創造  | 新事業創出       | ◎              | ○               | ○            | ライフサイクル全般を通じ<br>た情報連携とICT活用<br>⇒ 3.6、4.5に記載         |

### 第3章. BIM/CIMの導入

前章で構想したスマート建設生産システムにおいて、一つの鍵となるものは情報連携だと考えられる。現在の建設生産システムでは、多くの情報が部分最適連携となっている。例えば、発注者と設計者との情報共有や意思決定、同じように、意匠設計者と構造設計者、設計者と元請施工者、元請施工者と下請施工者、下請施工者と現場作業員など、それぞれが個別に双方向の情報連携を行っている。しかしながら、建物やインフラストラクチャーを生み出し、運営し、解体するという一連のライフサイクルを俯瞰した場合、それら部分最適の情報連携が必ずしも全体最適につながるものではなく、むしろ全体としては無駄や非効率性を生み出している可能性もある。そのような不要な要素を取り除き、全体として生産性や品質、安全を高めるということが、今回のスマート建設生産システムの大きな柱であり、Construction4.0の意図するものである。

なお、前章でも記載のとおり、建設産業は製造業と異なる性質を多く持つ。情報連携の観点からみても、細分化された分業制や多重請負構造、生産プロセスにおいてリアルタイムに状況が変化する性質、自然への対応など、シンプルでスムーズな情報連携を阻害する要因が非常に多く存在する。そして、そのような複雑かつ変動の多い情報連携の質を高め、複雑な連携を可能にするものとして、3次元CADを軸としたBIM/CIMという概念が生まれ、発展してきた。本章では、そのようなBIM/CIMの概念に加え、現在の国内国外の状況、情報連携に向けた標準化、及び今後の向かうべき方向性や課題について整理検討した。

#### 3. 1. BIM/CIMの概念

BIMとは、Building Information Modelingの略称で、もともとは3次元の建物デジタルモデルに、部位や仕上げ、管理情報などの属性データを付加した建物設計データのことである。

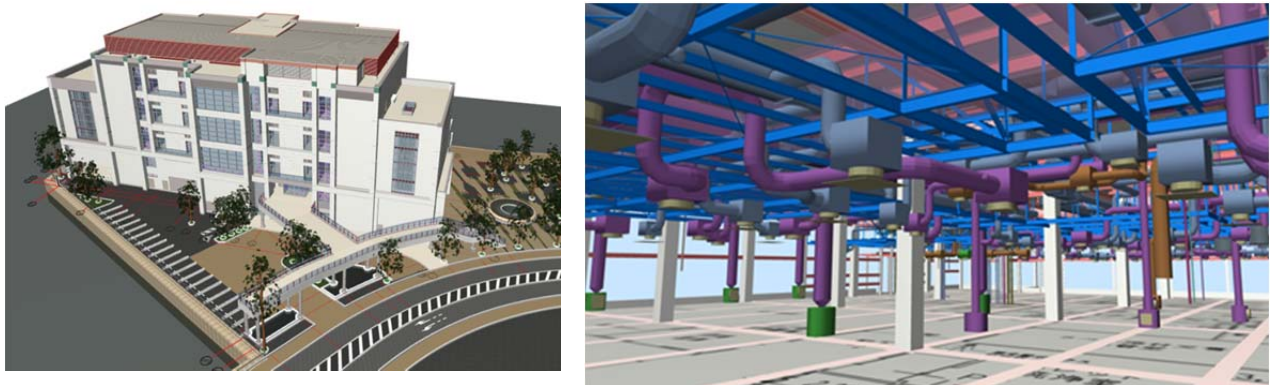


図 3-1-1 : BIMによる設計可視化の例 (出典 : 鹿島建設より提供)

ただし、最近では、時間情報やコスト情報、安全や品質など、建設の企画、設計、施工、維持管理までの建設生産プロセス全般を通じた様々な建設データ連携基盤としての概念へと広がりつつあり、これらデータ連携により建設プロセスにおける効率化や合理化が図られると考えられている。また、CIMとはConstruction Information Modelingの略称で、BIMと同様の概念であり、土木分野を対象として利用されている。(図3-1-2：ダム工事におけるCIM活用事例)なお、国際的には土木分野のCIMを含めてBIMで統一して表現されている。



図3-1-2：ダム工事におけるCIM活用事例

(出典：一般社団法人日本建設業連合会パンフレット「建設イノベーション」より)

### 3. 2 BIM/CIMによる建設プロセスを通じた情報連携

全体最適をめざすスマート建設生産システムの実現のためには、プロジェクトの進捗とともに複雑に連携や内容変更を行いながら膨張、変化していく各種情報を、いかに効率的に無駄を少なく共有し、適切な形にできるかが鍵であり、これが現地での手戻りや手待ちを減らし、実際の建設プロセスにおける生産性の向上などにもつながるものと考えられる。(図3-2-1：建設プロジェクトの進捗にともない膨張、変化する情報のイメージ)

なお、それぞれの情報連携においては、大きくは技術的課題と制度的課題に分けられる2つのカベが存在し、効果的な連携のためにそれらを解決していくことが重要であると考えられる。(図3-2-2：情報連携における技術的課題と制度的課題のカベ)



建設プロジェクト進捗(企画設計～製造～施工～維持管理)

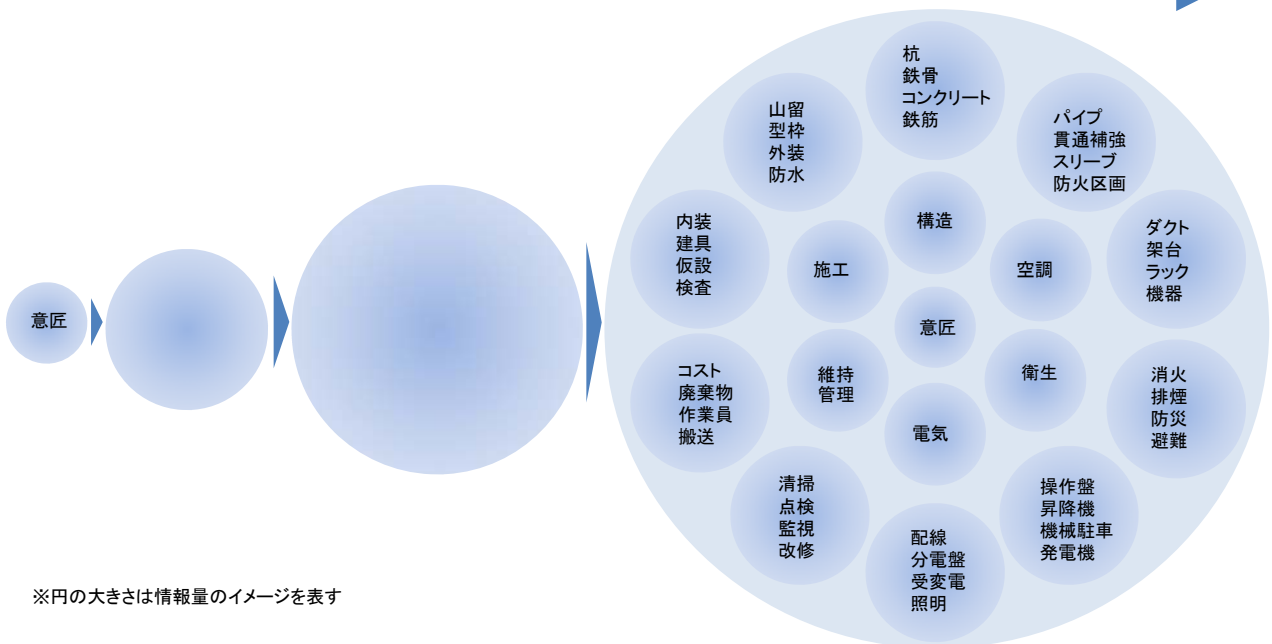


図3-2-1：建設プロジェクトの進捗にともない膨張、変化する情報のイメージ

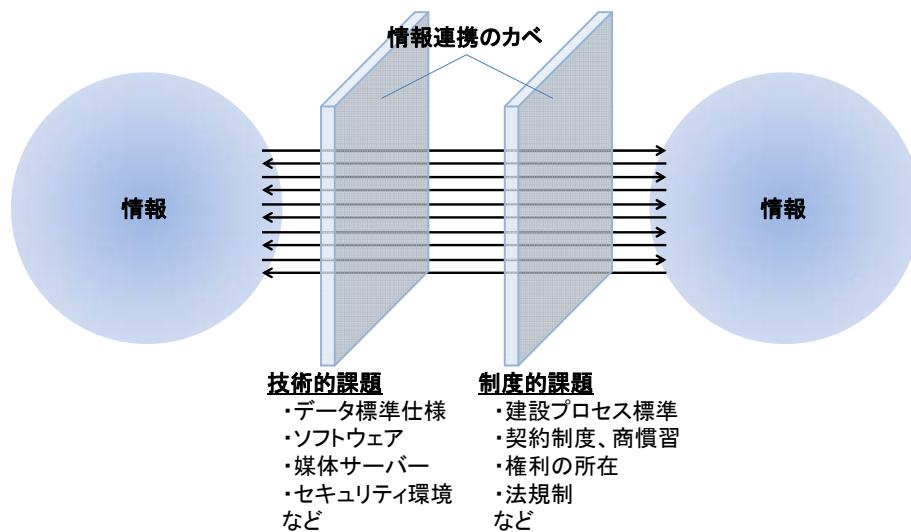


図3-2-2：情報連携における技術的課題と制度的課題のカベ

例えば、技術的課題としては、データ標準仕様、ソフトウェアの操作性・互換性、媒体サーバー、セキュリティ環境、導入コストなどが考えられる。これらは、データ標準のISO化や、ソフトウェアのバージョンアップ等により着実に改善が進んではいるが、簡易な操作での2次元図面化や頻繁に発生する設計変更対応が可能なレベルでの操作性など、実務への適用にむけて引き続き克服しなければならない課題も多く存在する。一方、制度的課題としては、建設プロセスにおける標準（どんな情報を、誰と、どのタイミングで、どの程度の内容で受け渡すかなど）、契約制度、商慣習やヒエラルキー、権利の所在、法規制などが考えられる。特に、建設プロセスの標準については、現在の建設生産プロセスが多種多様で明確になっていないことも進展の妨げとなってい

るものと考えられる。

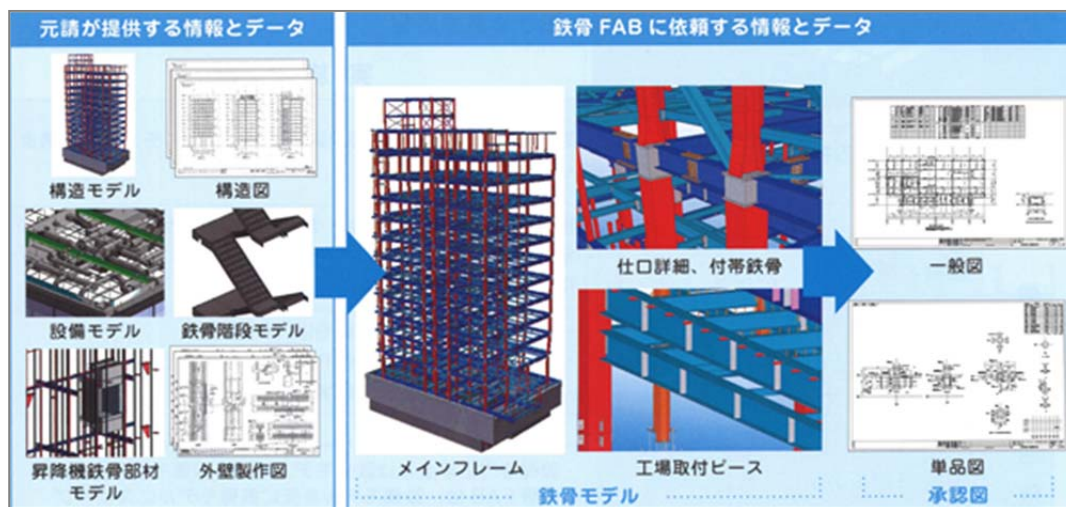


図3-2-3：元請業者と鉄骨製作者との情報連携例

(出典：一般社団法人日本建設業連合会発行「施工BIMのスタイル」より)

現時点では、大手企業を中心にこのような課題を解決しながらBIM/CIMによる情報連携の取組みが進められているが、建設産業は、設計・コンサルタント、資機材メーカー、ゼネコン・サブコン、メンテナンス企業、発注者・ユーザーとしての国・地方公共団体・民間企業など、幅広い関係者がかかわるため、共有すべき情報の効率的な連携には依然多くの課題も存在する。特に、情報連携をスムーズに行うための標準化については、建設行為という社会的、文化的な観点からのプロセスの多様性を確保しながらも、BIM/CIMをより効果的に活用するための一定の標準が定義されることで、それぞれの部分連携の効率性を高めるだけでなく、建設プロセス全体の最適化にもつながると考えられる。また、全体最適をめざすデータ連携には、複雑に変化する各種データを適切に処理する高度なICTリテラシーを備えたデータ連携コーディネーターのような、あらたな職能が必要となる可能性もある。

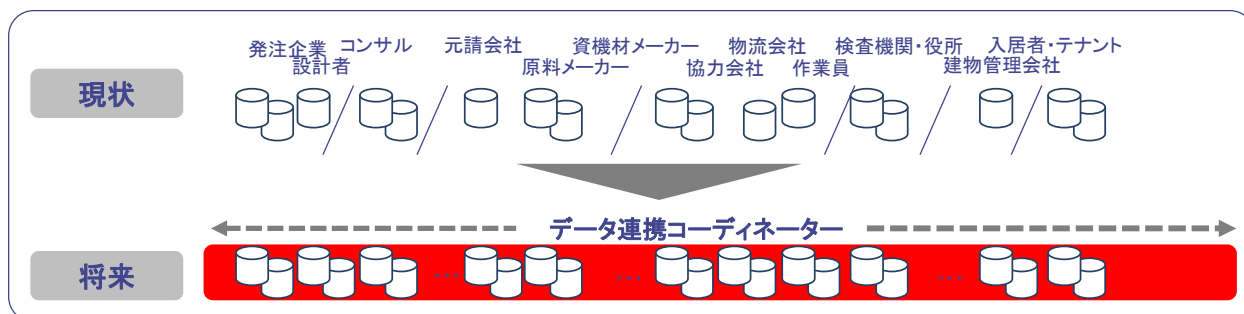
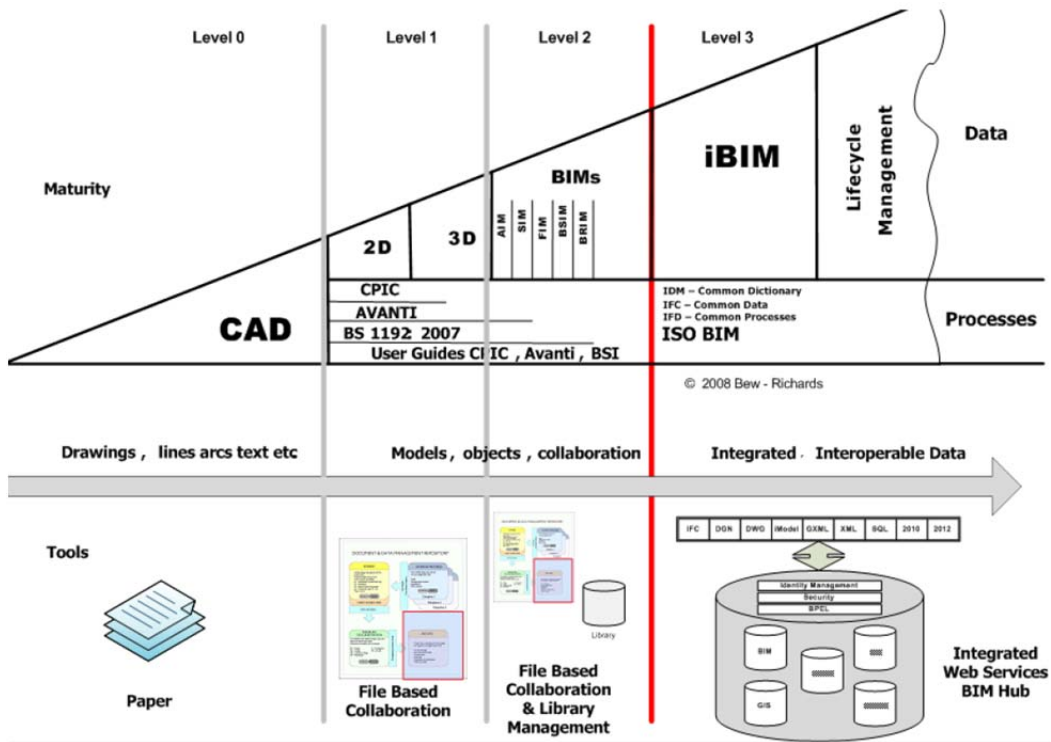


図3-2-4：全体最適につながる建設データ連携促進のイメージ

### 3. 3 BIM/CIMの国際的な動き

BIM/CIM を活用した建設生産プロセスの革新については、すでに国外を中心に活発な検討、検証が進められている。特に、欧米や北欧、アジアの一部においては積極的な取組みがみられ、イギリスではBIMによる建設プロセス革新を国家戦略と位置付け、2025年にはBIMの完全利用による建設ライフサイクルコスト 33%削減、工期 50%短縮を目標としている。<sup>1</sup> (図 3-3-1：イギリス戦略庁における BIM ロードマップ)



(引用：UK, A report for the Government Construction Client Group, Building Information Modeling (BIM) Working Party Strategy Paper, 03/2011, <http://www.bimtaskgroup.org/wp-content/uploads/2012/03/BIS-BIM-strategy-Report.pdf>)

図 3-3-1：イギリス戦略庁における BIM ロードマップ

また、シンガポールでは 2013 年に BIM での建築確認申請の受付を開始し、2015 年からは 5,000 平米以上の建物に対する BIM 申請の完全義務化を開始したほか、BIM 導入の為に補助金支給などの支援策も行われている。(表 3-3-1：BIM/CIM の国際的な動向) また、現在、学問的にも多くの建設関連企業や大学が、BIM/CIM による建設プロセス革新の研究、検証、新たな資格開発などを積極的に進めている。

<sup>1</sup> HM Government report: Construction2025(2013/07)

表 3-3-1 : BIM/CIM の国際的な動向 (出典 : IAI 日本 2015 年度第 1 回セミナー「BIM/CIM に係る IFC の国際的な状況と日本への期待」、当研究会 IAI 発表資料「建設生産プロセスを変革する BIM の現状、将来について」)

| 国      | 動向  |
|--------|---|
| イギリス   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・2025年には完全BIM化をビジョンとして掲示 (現在はLevel1の最終段階。2016年にLevel2、2025年にはLevel3到達を目標)</li> <li>・2016年に政府がBIM利用を義務化予定</li> <li>・HS2(215kmの高速鉄道プロジェクト)のフェーズ1にBIMを利用</li> </ul> |
| アメリカ   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・連邦調達庁のプロジェクトではBIM(IFCデータ)での図面提出を要求</li> <li>・陸軍工兵隊はBIM(IFCデータ)での図面納入を義務化</li> </ul>   |
| シンガポール | <ul style="list-style-type: none"> <li>・2013年より建築確認申請にBIM適用を開始</li> </ul>   |
| フランス   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・EGIS(建設コンサル)、Bouygues(大手ゼネコン)などで積極的なBIM利用</li> <li>・欧州の共同プロジェクト(MINnD)でBIM利用を検討中</li> </ul>   |
| ドイツ    | <ul style="list-style-type: none"> <li>・Hochtiff(大手ゼネコン)などで積極的なBIM利用</li> <li>・大学にてシールドトンネルのBIMに関する研究プロジェクトを実施中</li> </ul>  |
| フィンランド | <ul style="list-style-type: none"> <li>・公共工事分野においてBIM(IFCデータ)の利用を推進</li> </ul>  |
| ノルウェー  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・建築確認の一定分野において、BIM利用(IFC、GISの活用)を展開中</li> </ul>  |
| デンマーク  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・公共工事分野においてBIM利用(IFC標準)を推進</li> </ul>  |
| 韓国     | <ul style="list-style-type: none"> <li>・2016年度より全ての公共工事においてBIMを適用予定</li> </ul>  |

### 3. 4 BIM/CIMによる標準化

BIM/CIMによる技術面での建設データ交換仕様の標準化、及び制度面での建設プロセスの標準化の検討も進んでおり、現在、国際的な標準化推進組織である buildingSMART International (bSI) がそれらを牽引している。bSIは1996年にイギリスで設立された非営利組織であり、BIMのデータ交換仕様の定義、BIM利用の推進、広報活動などを行う団体である。また、bSIは世界17か国に支部があり、一般社団法人IAI日本はその日本支部である。(図3-4-1: bSIによる標準開発プロセス)

すでに、建築プロジェクトの情報連携における一定の技術的標準については、データ交換仕様の定義によりISOによる国際標準化も実現している。さらに、現在は、土木インフラ分野でのモデル仕様の検討が進んでおり、2015年に開催されたbSI国際会議では、bSIの中国支部が自国での高速鉄道建設で利用した設計標準をアピールし、国際標準化の主導権争いの様相も呈しており、日本としても情報収集を行う必要がある。(図3-4-2: 2015年bSI国際会議での中国鉄道による鉄道BIMの発表資料抜粋)

なお、bSIは国際標準化団体(ISO)のリエゾン団体となっており、実際にbSIにて検討されてきた共通データ交換仕様(IFC: Industry Foundation Class)が、2013年に“ISO16739: Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries”として定義されている。

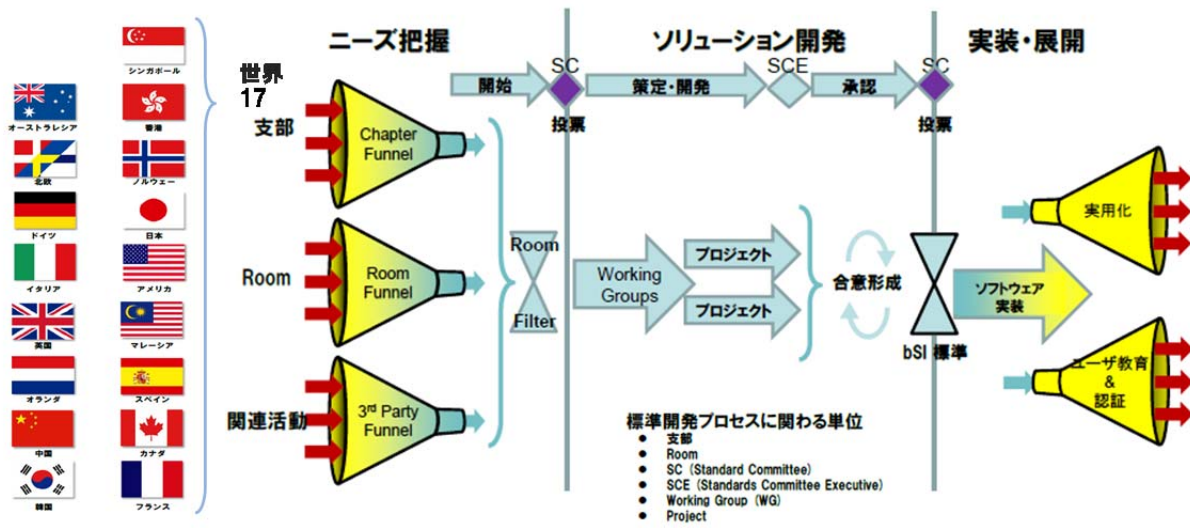


図 3-4-1 : bSI による標準開発プロセス (出典 : 一般社団法人 IAI 日本より提供)

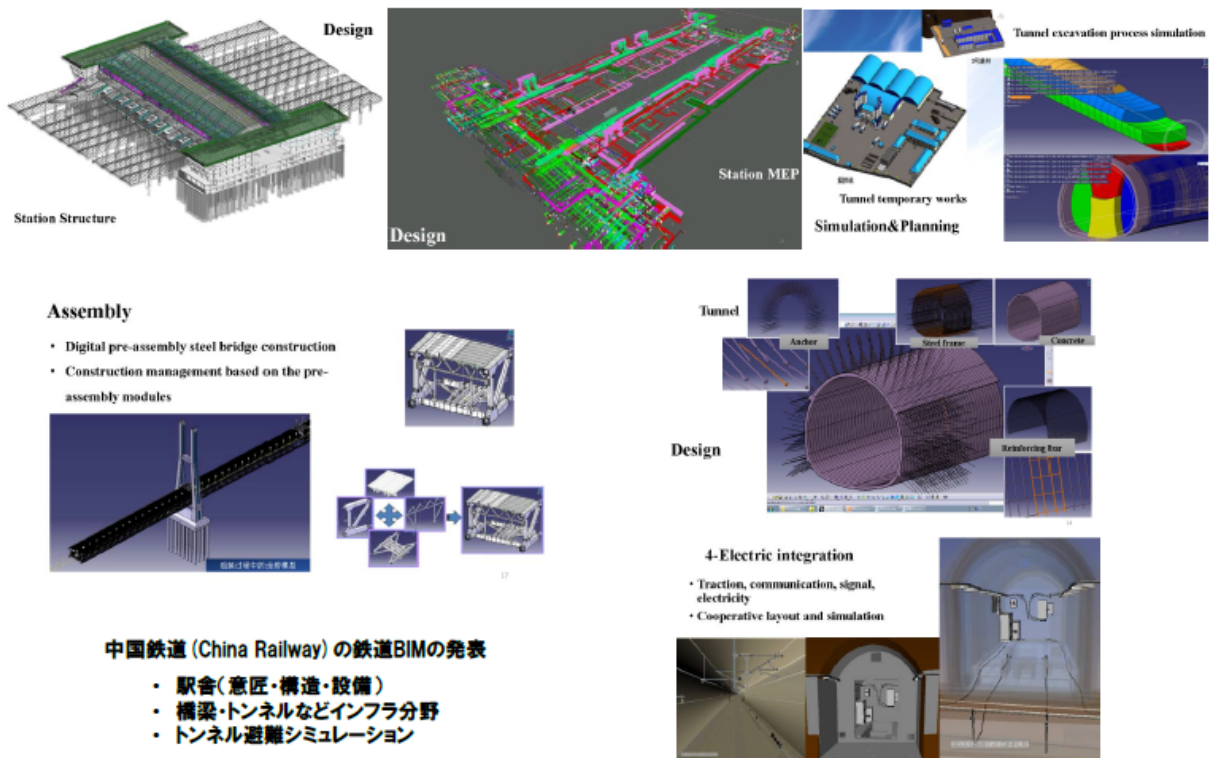


図 3-4-2 : 2015 年 bSI 国際会議での中国鉄道による鉄道 BIM の発表資料抜粋 (出典 : 一般社団法人 IAI 日本より提供)

### 3. 5 BIM/CIM普及促進にむけた課題

BIM/CIMの利用は、国内では大手設計事務所、大手ゼネコンを中心にひろがっているが、業界全体としての利用度は依然低い状況にある。その要因としては、実用レベルの観点からのソフトウェア互換性や、費用負担、活用できる建設系ICT人材の不足などが考えられる。しかしながら、それら技術的課題の多くは、ITベンダーや建設企業などの個別民間企業、設計、施工、維持管理などの各種業界団体の努力などにより、着実に改善されてきており、今後も整備が進展することで情報連携の質が向上していくものと思われる。

表3-5-1：我が国におけるBIM/CIMに関連した主な普及活動（当研究会調べ）

| 団体名   | BIM/CIMに関連した主な普及活動内容   |
|---|--|
| 国土交通省   | <ul style="list-style-type: none"> <li>官庁営繕事業における複数のBIM試行プロジェクトを実施。（2010～）</li> <li>BIMガイドライン策定。（2014）</li> <li>土木を主な対象としたスマート建設生産コンセプト「i-construction」を発表し検討委員会を立上げ。（2015）</li> <li>CIMに関する制度/技術検討会立上げ。産学官によるCIMモデル事業の推進。2016年にCIMガイドラインを策定予定。</li> </ul>                   |
| 国立研究開発法人建築研究所   | <ul style="list-style-type: none"> <li>建築確認審査等におけるBIM技術応用の研究</li> <li>電子申請・BIM利活用状況の海外事例調査などを実施</li> </ul>   |
| （一財）日本建設情報総合センター  | <ul style="list-style-type: none"> <li>主に土木公共社会資本の建設ライフサイクルにおいて、CIMなどの各種情報共有の環境整備を推進。</li> <li>建設マネジメントの向上に資する調査研究に対する研究助成、BIM/CIM海外動向視察などを実施。</li> </ul>  |
| （一社）公共建築協会  | <ul style="list-style-type: none"> <li>BIMマネジメントに関する読み物テキストの作成を検討中。</li> </ul>   |
| （一財）建設業振興基金   | <ul style="list-style-type: none"> <li>建設産業の設計や製造にかかる情報を中心とする電子商取引の基盤整備および導入や普及活動を実施。</li> <li>建設CADデータ交換コンソーシアム（C-CADEC）を設立し、設備CADデータ交換仕様を制定。</li> <li>「BIM推進のための要件整理と考察」レポートなどを発行。</li> </ul>  |
| （一社）IAI日本   | <ul style="list-style-type: none"> <li>イギリスに本部を置き世界17支部にて活動するbSIの日本支部団体として、意匠、構造、設備、土木インフラ等の分野ごとに、ソフトウェア間での相互運用のための標準ルール作り、普及プロモーションなどを推進。</li> <li>システム利用者とソフトウェア開発者がIFCに関する共通理解を促し、データ連携を促進するためのIFC検定を実施。</li> <li>Build Liveと呼ばれるイベントを開催し、設計における実証を兼ねた普及活動を実施。</li> </ul> |
| （公社）土木学会  | <ul style="list-style-type: none"> <li>CIMの普及展開を目的に、産官学における取組方針や事例などを紹介する「CIM講演会」を開催。</li> <li>各委員会活動においてCIM研究活動を実施。成果をセミナーやシンポジウムなどで公開。</li> </ul>  |
| （一社）日本建築学会  | <ul style="list-style-type: none"> <li>BIMの普及展開を目的に「BIMの日」というシンポジウムを毎年開催。</li> <li>各委員会活動においてBIM研究活動を実施。IPDなどの生産プロセスも研究対象。</li> <li>BIMで関係者が協業するためのプロセスを整理した「BIMプロジェクト標準プロセスマップ」を公表。（2015年）</li> </ul>   |
| （公社）日本建築家協会   | <ul style="list-style-type: none"> <li>設計者の観点からBIMの活用における検討事項を整理したBIMガイドラインを公表。（2012年）</li> </ul>  |
| （一社）日本建設業連合会  | <ul style="list-style-type: none"> <li>各部会、WGにてBIM実用化に向けた検討を実施。</li> <li>施工者の観点からBIMの活用における検討事項を整理した「施工BIMのスタイル」発刊。（2014年）</li> <li>土木インフラ工事を対象とした「施工CIM事例集」を発行。（2015年）</li> <li>i-Constructionの実現、BIMやIoTの活用による生産性向上等を目的として生産性向上本部を立上げ。（2016年）</li> </ul>                   |
| （一財）建築保全センター  | <ul style="list-style-type: none"> <li>BIMライブラリーコンソーシアムを設立し（2015年）、ライブラリーの在り方検討、標準仕様・運用基準・規格等を作成。</li> </ul>   |
| （公社）日本ファシリティマネジメント協会  | <ul style="list-style-type: none"> <li>建物管理者の観点からBIMの活用における検討事項を整理した「ファシリティマネジャーのためのBIM活用ガイドブック」を発刊。（2015年）</li> </ul>   |
| <p>（その他、関連すると思われる団体など）</p> <p>（一社）全日本建築士会、（公社）日本建築士会連合会、（一社）全国中小建築工事業団体連合会、（一社）建築設備総合協会、（公社）ロングライフビル推進協会、（公社）空気調和・衛生工学会、（公社）全国ビルメンテナンス協会、（一財）建築コスト管理システム研究所、（一社）Civilユーザ会など</p> |  |

今後、さらなるBIM/CIMの普及を促進するためには、ソフトの互換性や操作性といった技術面だけでなく、契約制度やデータ帰属権などの制度面における課題もクリアしていく必要があると思われる。また、BIM/CIMによる情報連携がすすむと、各業務フェーズで検討できる内容が変わることから、どこまでの詳細度で設計データを作りこむことが適切か、工程や業種によってどのよ

うな属性データを付加するべきか、建設プロセスの中でどのような情報が発生しどのように分析・活用するかといった、建設プロジェクトにおける役割分担や報酬配分などが変わっていく可能性もある。そのような既存の業務形態の変化を伴う革新的な建設プロセス構築によって、既存の設計事務所や元請会社、専門工事会社、現場作業員、ICT関連企業に新たな役割や利点をもたらすことはもとより、建設プロジェクトの直接的な利害関係者である発注者や施設オーナー・建物利用者にとってのメリットを生み出すものである。そのような全体最適化を実現するためには、各プロセスにおける要求事項の整理、実行計画、それらに基づく新たな契約制度など、BIM/CIM運用のための日本にあった新しいルール作りが必要となる。以下、現在考えられる主な課題を記載する。

#### (1) BIM/CIM を有効活用するための新たな業務プロセス作り、契約形態の見直し、運用ルールの充実

BIM/CIMによるデータ連携を活用した新たな業務プロセスや、役割分担の見直しが望まれる。たとえば、異なる専門分野が協調的に推進していくプロジェクト推進方法や、発注者・設計者・施工者の3者間でのオープンな情報共有によるプロジェクト推進方法（IPD：インテグレートッド・プロジェクト・デリバリー）などの導入検討が必要である。建設プロセスの国際標準化もにらみながら、国内の慣習や契約形態に適合する、BIM/CIMを軸とした日本式の新たな建設プロセス作りの検討が望まれる。

また、BIM/CIMにおけるデータ連携の国際標準フォーマットとしてIFCの普及が始まっているが、IFCを正しく活用するためのガイドライン策定など、さまざまな団体による活動を取りまとめ、日本の建設業界としての運用ルールを確立する必要がある。そのほか、モデル作成のための部品（ライブラリー）の提供や標準化も求められる。

#### (2) BIM/CIM普及促進にともなう、ソフト、ハード、ITインフラの利用環境の整備

関連する外部企業とのデータ連携を円滑に行うための、高性能・高品質・セキュリティを保持したネットワーク基盤、ソフトウェアやハードウェアなどのICT機器類の安価な提供が求められる。さらに、中小企業や個人事業主などの資源が限られる企業、個人に対するBIM/CIM利用のための補助金適用やBIM/CIM活用教育など、金銭的、人的負担を軽減する支援策も幅広い普及展開には必要である。

#### (3) BIM/CIM推進のための人材育成と支援体制の拡充

各業界団体のBIM/CIM活用状況の調査からは、普及促進の壁となっているのがソフトウェアを活用できる設計者・技術者不足であるという結果がでていいる。また、国外の大学においては、BIM/CIMの操作教育だけではなく、BIM/CIMを有効活用するための新たな業務プロセスの研究や請負形態、コスト構造の変革などの研究も進んでいる。このような建築設計・生産におけるBIM/CIM活用に十分な知識と技量をもった人材の育成や、BIM/CIMを活用した建設プロセス研究の人材育成など、建設系ICT人材育成の底上げには、大学などの幅広い教育機関による人材育成や教育ツールの整備が必要であり、建設業界を超えた取り組みが必要である。

#### (4) 有効活用事例のアピール

BIM/CIM普及のためには、デモンストレーションなども組み込んだBIM/CIMの展開シナリオを官民で協力してつくり、有効活用事例をアピールすることも重要である。

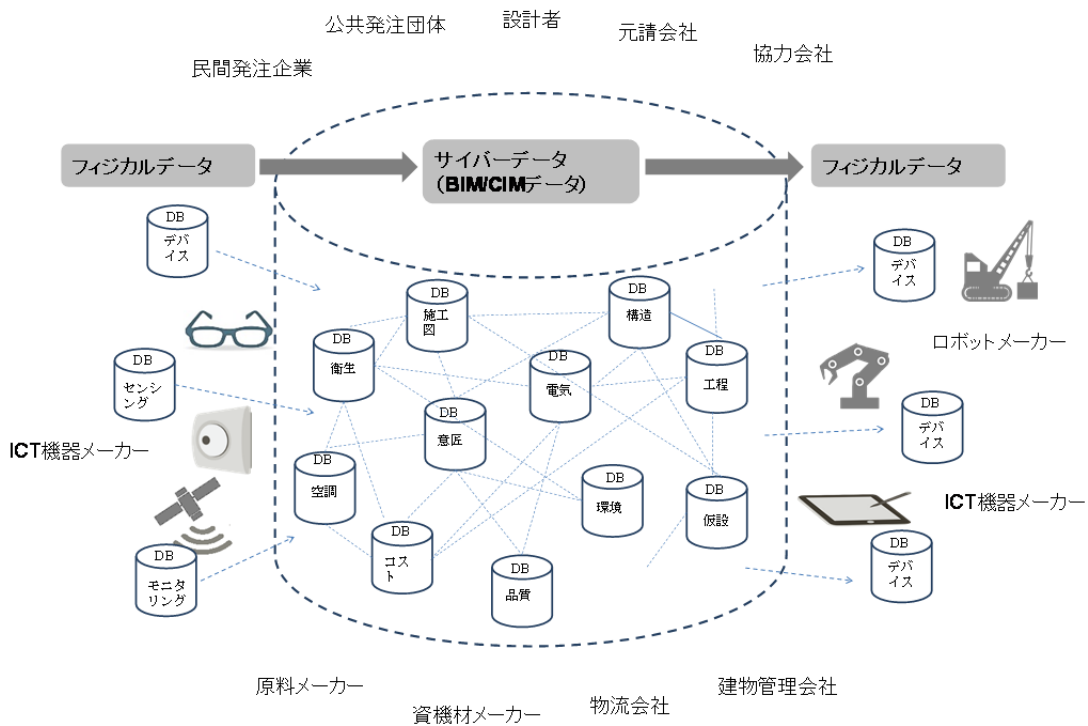
### 3. 6 IoTとも連携した次世代BIM/CIMとしての方向性

すでに多くの製造業では、生産工程前に工程やコストなど様々なシミュレーションが可能となっており、生産ラインでの機械動作チェックや産業ロボットの設置計画などにも活用され、さらに3Dプリンタの出現により、従来は大量生産でなければ発注できなかったものが一品でも製造可能になるなど、製造業のものづくりのあり方が変化しつつある。

建設業においても、これまで述べたようなBIM/CIMによる高度な建設データ基盤と、近年のレーザースキャナ、センサ、ロボット、3次元計測/測位、ネットワーク、デバイス、ビッグデータ解析、クラウドサーバーなどの先端IoT技術とが連携することで、ものづくりのあり方が変わっていく可能性が高い。例えば、3次元測位やレーザースキャナを用いた墨出し測量作業の効率化、資機材タグやARなどを用いた出来形・出来高管理の高度化、施工状況にあわせて調整加工した部材のリアルタイム出荷など、現場情報との融合によるあらたな価値創造が期待される。(図3-6-1: 施工現場でのIoT、GPSとしてのBIM/CIM) また、維持管理分野においても、構造物や建物内に設置されている機器などが、インターネットを通じて情報のやり取りをおこなうことによる、建物所有者や利用者への新たな価値創造が期待される。

このように、BIM/CIMがデータ基盤として建設プロセスの中核になることで、IoTを活用したりリアルタイムな情報交換、他システムとの情報連携などが可能となり、製造業と同様に革新的な新たな建設生産プロセスの構築が期待される。なお、本報告書ではこの建設データ基盤としてのBIM/CIMに、建設段階や運用段階におけるモノの情報がインターネットを介して連携したもの(IoT)を次世代BIM/CIMと呼ぶ。また、本内容については第4章 ICTの実装でさらに記述する。(図3-6-2: IoTとも連携した次世代BIM/CIMの概念図)





※破線、破線矢印は情報の連携を示す。なお、上図はイメージであり実際の情報連携を示すものではない。

図 3-6-1 : 施工現場での IoT、GPS としての BIM/CIM

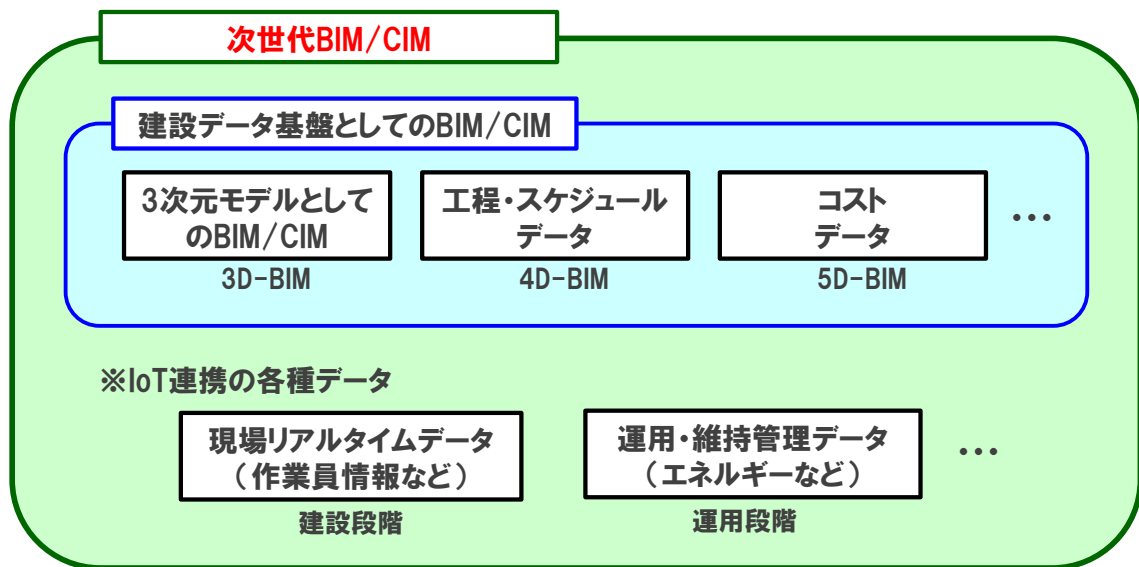


図 3-6-2 : IoT とも連携した次世代 BIM/CIM の概念図

## 第4章 ICTの実装

2章で構想したスマート建設生産システムの実現には、3章で述べた建設プロセスを通じた情報連携に加えて、建設生産の特徴を踏まえたICTの活用が重要であり、次世代BIM/CIMにおけるIoT連携が鍵となる。ここでは、建設生産における生産性、品質の向上と、人の安全確保や作業支援に対して、ICT技術を活用、実装する取り組みと次世代BIM/CIMとの連携について検討した。

### 4.1 建設生産システムを支える技術マップ

IoTやGPS等ICT技術の将来トレンドを踏まえ、これらを活用して建設生産システムの課題を解決し、新しいスマート建設生産システムを実現するために、特に2章で説明した今後のビジョンを含めた検討を行った。今後の土木・建築における建設生産システムのあるべき方向性と並行して、建設生産システムを支える全体のアーキテクチャ(※参考文献1)をベースに、これらを実現するために必要となる関係技術を含めたマップを作成し(図4-1-1)、その進展と適用の可能性の調査・検討を行った。

※参考文献1:

Aboola, A. Chimay, A John, M(2013) "SCENARIOS FOR CYBER-PHYSICAL SYSTEMS INTEGRATION IN CONSTRUCTION" Journal of Information Technology in Construction  
- ITcon Vol. 18, pg. 240

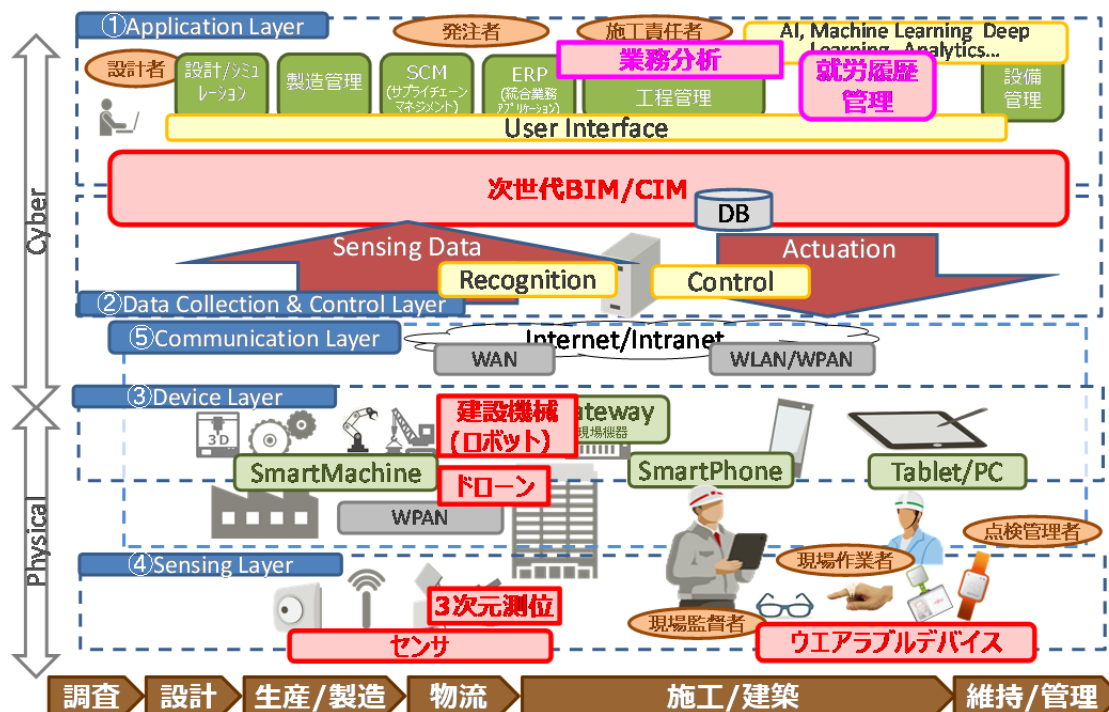


図 4-1-1 : IoT、GPS を活用したスマート建設生産システム 技術マップ

この技術マップでは、建設生産システム情報の根幹を成す次世代 BIM/CIM で得られる膨大な各種情報を蓄積・管理しながら、調査、設計、生産/製造、物流、施工/建築、維持管理までのライフサイクルを通じて活用することを中心に考えている。この上に各工程での IoT、GPS として取得、制御する現場情報との整合、融合を図りながら、状況のリアルタイムな把握、指示の迅速化・効率化、建設高品質化を図るとともに、人が関わる部分での生産性や安全性の向上を同時に追求することを目指す。なお、技術マップにおける技術領域の階層としては、以下の 5 分類と定義している。

- ① Application Layer/アプリケーションレイヤー：設計から施工、維持管理に至る建設プロジェクト全体で、建設プロジェクトに関する様々なデータを 3 次元モデルとともに集約、統合し、IoT データを効率的に活用する概念が次世代 BIM/CIM である。次世代 BIM/CIM での設計、現場の工程管理や作業員の管理などを含めた発注者、設計者、施工者、点検管理者などが利用するアプリケーションを提供するレイヤー
- ② Data Collection & Control Layer/データ収集・蓄積・制御レイヤー：現場の様々な情報を収集・蓄積・管理し、蓄積や建設のモデルなどにマッピングする領域と、上位のアプリケーションからの指示に応じて、ユーザーインターフェース（以下「UI」という）や建設ロボットなどのスマートマシンの制御を行うレイヤー  
尚、次世代 BIM/CIM のレイヤーは、関連する大量のデータ、モデルを蓄積・管理するデータ蓄積レイヤーと、これを利用者が設定、反映するアプリケーションレイヤーの両方の側面があり、現状では、アプリケーションレイヤーとまたがった形に位置付けている。
- ③ Device Layer/デバイスレイヤー：現場にある建設ロボットや、建機、電動工具、さらには、スマートフォンやタブレット、現場に設置するセンサを収容する機器など現場の情報収集や制御を実行するレイヤー
- ④ Sensing Layer/センシングレイヤー：現場に設置する仮設工事用センサや、人に着けるウェアラブルデバイスなどのセンシング・UI など、実世界を取り込むためのレイヤー
- ⑤ Communication Layer/通信レイヤー：センシングレイヤーやデバイスレイヤーと、サーバーやクラウドとの間の情報通信を行うレイヤーであり、有線、近距離・広域無線通信技術などを含むレイヤー

この全体最適にむけたアーキテクチャを意識しながら、建設生産システムにおける ICT の活用・実装に向けて、現状と、その課題や ICT 活用の方向性について、次に述べる。

#### 4. 2 建設生産と ICT 活用の現状

現状の建設生産は、スマートファクトリーに代表される整備された環境における大量生産とは大きく違って、2. 1にあげたような建設ならではの特性がある。これにより、他の産業で活用されてきている ICT をそのまま活用することが難しい部分もあり、一品生産であるための費用対効果も図りにくいなどの要因もあり、ICT 化は部分最適での一部の導入にとどまっていた。

また、働く人の面から見ても、以下の現状があり、長年 3K（きつい・きたない・きけん）の職場と言われている建設産業は離職が多く、少子高齢化も相まって働き手の確保が難しくなっている。

##### 【働く人の現状】

- ・建設工事は、その時々工事の内容により異なる人が入れ替わりながら工事が進んでいく。
- ・様々な技能者、技術者また有資格者が必要、長い工期に多くの人携わる。
- ・工期はもちろん、関連する工事担当者、使用する資機材なども個々の現場ごとに異なり、資機材などは同じ現場でも進捗によってその配置場所が異なる。作業者はそれらのすぐ隣で作業を進める必要があるため、人の動きも含めフレキシブルな対応が求められる。
- ・高所からの転落事故、人と建設機械が近接することによる接触事故、真夏の直射日光下での熱中症など、労災事故が全産業の中で最も多い。日々状況が変わる現場で、予期せぬ危険を誘発することもある。
- ・天候・気象、周辺環境といった外的な要因に影響を受けやすく、作業者の経験・スキル等の要因も関連し、施工計画のダイナミックな修正・変更が恒常的に起き、手戻りや手待ちが発生することも多く、生産性低下を招いている。

こういった状況の中で、ICT の活用は期待も大きいですが、ICT 自体の運用の手間や、使う人の習熟、情報の管理体制の整備が必要であり、現状は、現場監督者の一部の業務（タブレットを用いた業務報告など）での活用が行われてきたところである。

今後の ICT のさらなる活用を考えるにあたって、具体的な現状の建設生産の工程の例として、特に以下 2 つを取り上げ、その現状と課題を抽出した。

##### (1) 測量

現地見学も実施した、東京外環自動車道 市川中工事を例に検討を行った。道路のブロック単位などでの施工が多い中で、着手前の基本測量から土留壁、基礎工事、躯体施工など、施工前の計測・すみ出し、フェーズ毎の出来高検査の実施など、測量があらゆる面での基本となっている。10m程度の 1 函体（ブロック）単位の施工だけを見ても、手間の工数も多く、かつ品質面でも誤りがあると手戻り含めて全体の施工に重大な影響を与えるなど、測量は生産性向上と品質向上には不可欠であり、また建築でも共通面も多く、ICT による活用の期待が大きい。

##### 【現状と課題】

- ・現場社員の測量に費やされる時間が膨大、かつ測量作業員の確保が難しい上、測量のコストは近年上昇傾向にある。また立会いに要する人員、時間も膨大になる。
- ・測量や出来形検査が完了しないと次のステップへ進めず、手待ちになることがある。
- ・万一、測量ミスによって施工誤差が発生した場合、解体・再施工に繋がる。

- ・高所の出来形確認には足場や高所作業車、立ち会いが必要で、時間・費用がかかる。
- ・位置出しのためには、常に位置が定まっている地上基準点から「座標」を引き継いでくる必要があり、非常に手間がかかる。
- ・工事の進捗に応じて、仮ベンチマーク（BM）や測量点が見えなくなり、その際は再度測量して別のBMを盛り替えて設置する必要がある。



図 4-2-1 : 削孔・鉛直度測量

図 4-2-2 : 通り、芯ズレ測量



図 4-2-3 : 躯体出来形測量

(出典：鹿島建設より提供)

## (2) 杭工事

杭は建物の基礎であり、その品質や工程管理が全体の施工や維持管理において非常に重要な要素の一つであることから取り上げた。杭工事では、大きく分類して①工場等で作られたコンクリートや鋼管製の杭を、穴を掘って挿入する既製杭工法、②現場で掘削・鉄筋挿入を行い、そこにコンクリートを打設して杭を作る場所打ち杭工法に分けられる。本件では、①既製杭工法の1つで、PHC杭（Pretensioned Spun High Strength Concrete Piles；プレテンション方式遠心力高強度プレストレスコンクリート杭）を利用した「プレボーリング拡大根固め工法」を事例として取り上げた。

### 【現状と課題】

- ・杭施工過程での位置ずれ、傾きなど、工程途中での確認ポイントが多く、その管理、修正に大きな手間がかかり、規定管理値を超えた場合には再施工が必要となる。
- ・一部のプロセスにおいて、電流計での間接的な支持層確認などにおいてICTを導入しているが、掘削深度や内部に注入する根固めの状況などが目視できない土中での施工となるため、状況が直接確認はできない。

- ・杭が長い場合は複数の杭をジョイントすることになり、その溶接作業や溶接完了の検査、杭の基準の高さや鉛直などの検査に工数・時間を要す。
- ・転落、建設機器同士あるいは人との接触など、事故防止対策への配慮も必要である。



図 4-2-4：杭打ち（継ぎ杭作業）



図 4-2-5 杭打ち：（芯ずれ確認・修正）

（出典：鹿島建設より提供）

これら課題を解決すべく、ICT を活用した方向性を検討し、その適用と課題について整理した。次章以降にその考え方の一端を示す。

#### 4. 3 ICT 活用の方向性

ここでは、先に述べた現状と課題を踏まえて、建設生産における生産性および品質向上に向けた ICT 活用の方向性と、働く人の安全確保や作業支援に向けた ICT 活用の方向性について述べる。

##### （1）建設生産性・品質向上に向けた ICT 活用の方向性

前記の建設生産の現状と課題も踏まえて、図 4-3-1 にあるような建設生産のあるべき姿をイメージして、今後の建設生産における ICT 活用の方向性について検討を行った。

- ・プレキャスト化、モジュール化部材の生産・物流などの自動化
- ・プレキャスト化、モジュール化部材の自動認識と、建設生産ロボットによる現場の位置把握に基づく正確な自動施工
- ・ドローンや検査ロボットによる 施工モジュールや出来形の自動計測・検査
- ・現場状況を把握しての遠隔からの操作、現場での設計情報との差分などの状況確認
- ・作業の詳細状況分析による高品質・短期施工にむけた改善抽出と、施工工程の見直し

なお、これらの ICT 活用に向けては、先に述べた次世代 BIM/CIM とのデータ連携は、欠かせない。この情報をもとに高精度な施工を実施し、逆に現場で抽出した情報を反映するなど、密接な連携が必要になる。

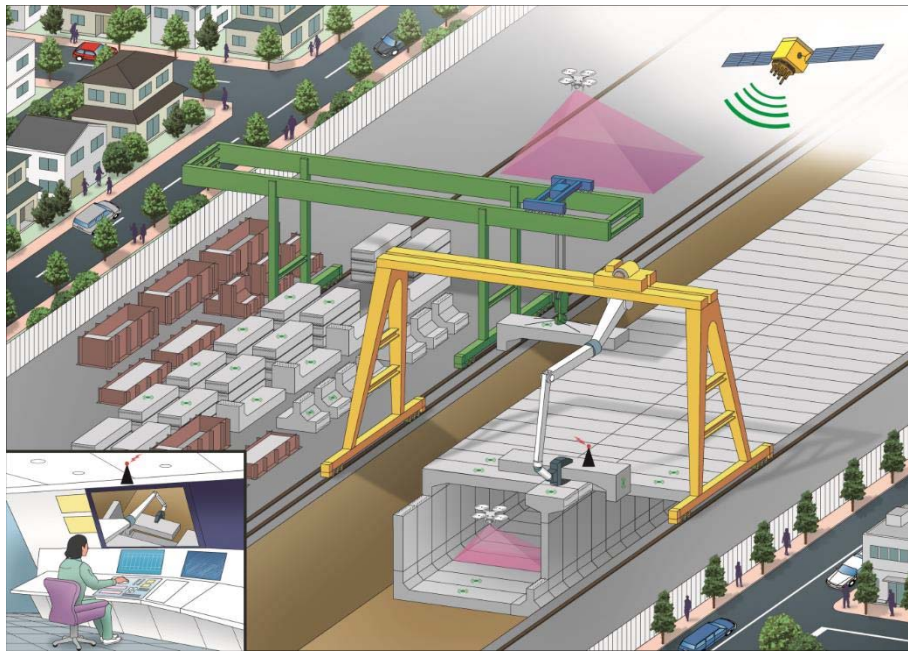


図 4-3-1：建設生産のあるべき姿のイメージ（例：地下開削躯体構築）

## （２）働く人の安全確保・作業支援に向けた ICT 活用の方向性

人の働く環境や働き方を改善することにより、安心・安全で、かつ働く人にとって魅力的な職場となることを目指す。このために、ハードや制度面の充実とともに、適切な支援や役割を担う ICT の活用が必要である。

ICT を使い、“少ない人材をどう効率的に活用するか。”“経験の浅い人材や多様な人材をどう支援して早期に立ち上げるか。”について、安心・安全をベースにおきながら、効率的で生産性がある働き方を提供する。ICT の活用としては例えば次のような役割が期待される。

- －作業員・建設機械・資材の位置も含めた現場の“今”の状況を把握し、現場での人、モノの最適化とともに、危険を事前把握して予防安全につなげ、現場の安全性を高める。
- －工事を見守り、その場にいなくても作業が成り立つ仕組みを提供する。遠隔指示・操作により、効率的な人の配置と労働時間の短縮や作業負担軽減など労働環境の改善につなげる。
- －現場状況から ICT が自動的に判断・指示により、経験によらず品質を保持した工程計画策定の補助を行う。3次元モデルを活用し現場状況を誰もが理解できる表現を提供する。
- －現場状況の分析により、将来を予測して建設現場の安全かつ効率的な作業の支援を行う。現場の見守り状況や必要な情報は個々に的確にフィードバックする。
- －建設に従事する技能者や技術者の早期育成のため、仮想現場での体験教育など ICT を使った教育環境を整備する。

今後、省人化や効率化の観点から ICT を活用した建設機械やロボットによる自動施工においては、どこまでどのように自動化するかにより、人の働き方は変わってくる。建設機械等を自動施工させるための準備作業など、新たな工程が生まれることも考えられる。今まで人が対応していた作業を単純に機器に置き換えるのではなく、ICT や自動施工機器と人による作業をどう切り分け、連携するのが最適かを十分に見極める必要がある。

建設生産システムにおいて、ICT や自動施工機械を十分に活用するには、それらを使いこなす新たなスキルが必要になる。操作や設定方法、データの管理や意味、判断ポイントなど様々な知識や技術である。教育体系や育成体制の確立が必要になり、教育環境の提供という視点においても ICT による支援は考えられる。

#### 4. 4 ICT 適用と課題

前述した ICT を適用するにあたって、建設ロボットでの施工など建設生産システムに直接関わるものや、そこからいろいろな用途に応じて、アプリケーションと一体で検討していくものなどを抽出して、課題の検討を行った。(表 4-4-1 : ICT 実装の分類)

表 4-4-1 : ICT 実装の分類

| 分類                        | 項目                                     |
|---------------------------|--|
| (1) ヒト・モノデータのリアルタイム自動収集技術 | ① 3次元の位置情報検出・収集を実現する技術（人、建設機械、資材等）     |
|                           | ② 建設機械や人の動作情報検出・収集を実現する技術              |
|                           | ③ 人の健康状態情報検出・収集を実現する技術                 |
|                           | ④ 出来高／出来形情報の収集を実現する技術                  |
| (2) 収集データの加工分析技術          | ⑤ 現場業務分析を実現する技術                        |
|                           | ⑥ 行動解析技術／異常検出を実現する技術                   |
|                           | ⑦ 施工計画自動化を実現する技術                       |
| (3) ヒト・モノへのフィードバック技術      | ⑧ 出来形の3次元表現技術と人、建設機械、資材等の位置情報表示を実現する技術 |
|                           | ⑨ 現場作業や建設機械への情報伝達／マシンコントロールを実現する技術     |
|                           | ⑩ ロボット化施工技術                            |

なお、建設生産システムにとって特に重要と考えられる、6つの要素技術（建設機械（ロボット）、ドローン、3次元計測、センサ、ウェアラブルデバイス、業務分析技術）については、詳細を別途調査し参考資料として巻末に記載した。

##### (1) ヒト・モノデータのリアルタイム自動収集技術

##### ① 3次元の位置情報検出・収集を実現する技術（人、建設機械、資材等）

位置を捉える必要のある対象物は、人、建設機械、資材である。それぞれ、屋内、屋外という環境で用いられること、躯体工事中にはその高さ情報も加えた3次元の位置情報が必須となる。3次元の位置計測技術は、「i-Construction」の発表により、建設現場での生産性向上の抜本的な改革に繋がるものとして期待できる。特に、土工、コンクリート工において3次元の測量技術、3次元データを基にしたICT施工の分野は大きく進むことが想定される。

その精度は、ロボット施工や位置決め、建設機械と人の接触事故、開口部からの落下事故



防止のためには、少なくともミリ精度で位置を検出することが建設現場では必要な要件である。現在の技術としては、屋外では GPS や準天頂衛星を活用した 3 次元測位、屋内では、Wi-Fi を活用した 3 点測位、ビーコンを活用した位置検出の他、I-MES、地磁気センサ、気圧センサを活用した位置検知技術、更には、センサ類を活用した測位を映像で補正・補完する技術などがある。

#### 【課題】

現時点では、屋内外双方に共通に有効な位置検出技術がない上に、ミリ精度の位置補足ができる技術は十分に確立できていない。今後、屋内外ともに検知可能なハイブリッド式且つミリ精度で位置を捕捉できる技術の開発が求められる。また、合わせて、3 次元を扱う技術者の養成や 3 次元データを扱うソフトウェア利便性が課題になってくると考える。

### ② 建設機械や人の動作情報検出・収集を実現する技術

人やモノの位置と合わせて、それらの動作や状況がどうなっているのかを理解するために現場映像や加速度センサ等のセンシング情報が有効である。

現場映像を撮影するための機器は、固定カメラやウェアラブルカメラ等を使った映像技術が活用できる。また動きをとらえる技術として、光の対象物への反射がセンサに届くまでの光の飛行時間を検出することで、距離測定を行うイメージセンサ技術がある。マイクロソフトの Kinect など主に近距離でのジェスチャー入力に応用されている。

また、対象がモノや環境であれば、その稼働状況は振動センサ、加速度センサ等、資材や機械に組み込むあるいは周辺に設置して、各種センサから情報を収集することが可能である。

#### 【課題】

天候によって霧がかかったり、日光が差し込まずに暗い環境になったりする作業現場で、人やモノの動作を捕捉するための映像処理技術も必要となる。測量分野への活用に向けては、イメージセンサとしての距離測定技術は、今後の広範囲性や精度技術の向上が必要である。また、現場に設置したセンサは、長期間にわたってメンテナンスフリーで利用したいという要望も多い。各センサにはさらなる省電力化・バッテリーレス化を進めると共に、設置後に手間のかからない運用管理手法を確立することが望まれる。また、各種センサを組み合わせ、従来検出できなかった現場の様々な状態をリアルタイムに高精度に検出するアルゴリズムの技術開発も期待される。さらには、建設現場という日々変化する環境において、これら情報を収集するためのエッジコンピューティングやネットワークゲートウェイ等の仕組みを構築することも今後の課題となる。

### ③ 人の健康状態情報検出・収集を実現する技術

最も重要な現場情報の一つが人の健康に関する情報である。現場作業員が健康な状態で現場に入っているのか、現地入り後、天候・湿度・気温等の変化によって体調に異常をきたしていないか、あるいは、身動きが取れない状態で容態を悪化させていないかなどの情報である。現状、これら状況を的確に補足する技術としては、赤外線カメラによる体温測定、顔認証等の技術を応用した表情認識、またウェアラブルデバイス（スマートウォッチや衣服に装着するセンサ等）による心拍数や体温等のバイタルセンシング、更には、気圧センサ等によ

り作業者の姿勢状態等を把握することが可能である。

【課題】

作業者の体や衣服にセンサを装着することは、作業を阻害する要因になり、付け忘れる作業者がでる、プライバシー情報の管理、心理的な要因での拒否などの問題も想定される。このような問題を踏まえて、作業者が必ず身に着けるモノにセンサを組み込むなど、負担なく作業できるデバイスやセンシング技術、容易な利活用とセキュアな情報管理を併せ持つセキュリティ技術の開発が求められる。

④ 出来高／出来形情報の収集を実現する技術

施工中の構造物が現時点でどこまで出来上がっているのか、設計通りの出来形となっているのかを捕捉するため、現場映像や工事実績情報を収集することが、検査作業の効率化や作業員の安全や作業支援に有効である。建設現場という特性上、固定的にカメラを設置して映像撮影をすることや、地面を走行しながら必要な映像を撮影する方式だけでなく、スマートフォン・タブレットやデジタルカメラで現場作業員が現地を撮影するという手段がとられている。

【課題】

今後、ドローンを活用した航空映像撮影や人が立ち入れない場所でのロボットによる映像撮影、センサ利用等が建設現場では有効となる。この際、どの映像がどの場所でのどのような角度から撮影されたのか等の高精度な情報も付加する必要がある。更に、詳細な出来形を捉えるために、資材に組み込まれたRFID等から、組み立てられた資材のトレースや、機械の操作や作業実績などを出来形情報を補完する情報として利用することも望まれる。

(2) 収集データの加工分析技術

⑤ 現場業務分析を実現する技術

現場から収集されたセンシング情報（3次元位置、人の健康状態、機械や人の動作、出来形等）から最新の出来形情報を解析して、従来顕在化しなかった現場作業の無駄や改善点、作業安全施策の抽出により、労務管理、品質管理、事務管理の業務フローの抜本見直しに期待が大きい。

【課題】

現場作業の改善施策提示や危険の検知に向けては、AI技術やビッグデータ分析を活用した業務分析の技術が必要になる。現場作業改善策の策定時に向けては、施工計画や次世代BIM/CIMのデータのモデル化と、それらと実際の作業状況のデータとの関連のモデル化が必要となる。このモデルは、サプライチェーン全体での改善を実現するため、業界全体で標準化されるべきである。これらのモデル化したデータから、目標に対する相関を自動で抽出する分析技術も必要である。分析方法を想定したモデル化も必要になる。また、過去の工事案件からの知見を抽出するために、これらの大量のデータを分散して保管し、分析する技術や基盤も必要である。過去データは大量になることが想定されるので、得られた知見を効率よく表現する建築施工に適したナレッジのモデルも必要である。

⑥ 行動解析技術／異常検出を実現する技術

人・建設機械・資材等の位置情報及び現場映像から何処に危険が存在するのかを判断し、導線を推測することにより、危険状況を予め察知することが可能となる。現在、映像監視技術で一部実現されているが、今後、映像情報とその他様々な情報を組み合わせた分析・解析を行うことにより、より早期に危険な状況を捉えることが期待できる。

【課題】

現場業務分析と同様に行動解析技術／異常検出モデル化が必要になる。

危険の予測・検知はこれに加えて、さらなるリアルタイムでの解析も求められる。

特にAIやディープラーニングの領域については、データそのものが蓄積されてこないことには取り組めない領域である。このため、まずは、現場情報を収集する技術及びそれをAIやディープラーニングを使わずに現場へフィードバックできる技術の領域から取り組み、段階的に、AI・ディープラーニング技術検討を深め、適用領域を拡大するなどが必要である。

⑦ 施工計画自動化を実現する技術

施工計画（工程計画）は外的要因によりダイナミックに修正・変更する必要性が生ずることがある。この計画策定を機械的に実施し、各種作業の変更調整やそれともなう危険作業やエリアを検出することは、今後の建築現場の生産性向上や安全管理において非常に有効である。実現には、現場からリアルタイムに集められる情報の他、気象情報や現場作業員の就業履歴情報等を活用することも必要になる。これら情報に基づき、計画を機械的に作成するにあたっては、AI技術やディープラーニング技術の活用が期待できる。過去の建設実績を踏まえて⑥で示した業務分析なども活用して、施工モデル化する技術により、より安全且つ効率的な計画を作成することが可能となる。

【課題】

課題としては、⑥と同様である。

(3) ヒト・モノへのフィードバック技術

⑧ 出来形の3次元表現技術と人・建設機械、資材等の位置情報表示を実現する技術

データ処理された出来形情報や人・建設機械・資材等の位置情報に基づき、現場のどこに何があり、誰がいて、どのように動いているかを3次元地図情報として表現することは、現場状況の俯瞰に有効である。

【課題】

描画の下敷きとなる高精度な3次元地図のリアルタイムでの作成と、人・建設機械・資材等の位置と動作を精度よく、リアルタイムにマッピング、可視化する技術が必要である。

⑨ 現場作業や建設機械への情報伝達／マシンコントロールを実現する技術

データ処理・分析の結果、それを通知すべき人や機器へのフィードバックが必要である。例えば、人が危険な状態にある際にそれを当該者に迅速かつ確実に伝える必要がある。現状では、ウェアラブルモニタやスマートウォッチ等身に着けるデバイスに AR や VR 等の技術を活用して情報を通知することが考えられる。また、人が熱中症で倒れた場合には、周辺の人にその事態を通知することも必要になる。場合によっては、センターと現場で同じ映像を見ながらコミュニケーションが取れる仕組みも有効である。

【課題】

その内容や状況を位置情報に基づいて、周辺作業や最適な場所やデバイスを判断して、的確に指示を与える仕組みが必要になる。更に、状況によっては、機器を遠隔でリアルタイムに確実に停止させ、危険を予防するなどの仕組みも必要となる。

⑩ ロボット化施工技術

溶接やボルト締めといった従来人手で行っていた固有な作業の自動化及び、クレーン作業に変わる重量物の支持や固定位置の微調整等の位置決めロボット・自動化など、危険作業の代替のみならず、検査、生産の効率化を可能とする技術として期待が高い。

【課題】

建築現場での高度なロボット群の実現のためには、センサやアクチュエータ等の要素技術の高度化とともに、作業全体を管理するシステム化技術が必須となる。

主な課題は以下であり、今後継続してさらなる技術開発が必要である。

- ・ ロボット要素技術（精密位置決め技術等）の向上
- ・ BIM/CIM、工程管理システム、ロボット制御システムの連携
- ・ 計測自動化とアズビルトデータ（点群計測データから 3 次元モデル）のロボット制御への活用
- ・ ロボット活用を前提とした建築工法の見直し（ユニット化、モジュール化等）
- ・ ロボットを制御する十分な帯域・距離・遅延がない無線通信技術と周波数帯域の確保と、免許など運用制度の確立
- ・ 人・ロボット混在作業に関する法制度の見直し

(4) ICT インフラに関する課題

ICT の実装に向けての個々の技術課題については、先に挙げているが、ここでは、建設生産システムの特徴を踏まえた全体に共通する ICT インフラに関する課題を示す。

① 現場適用可能な耐環境性・堅牢性、ウェアラブルを含めた機器の扱いやすさ

建設現場では、雨や泥の影響、高温・低温などの温度・湿度環境、振動や衝撃への耐性、手袋をはめた作業員が使うなど、現場の環境や利用環境が非常に厳しい現実がある。これまで ICT はコンピュータが扱えるオフィスユースが中心で、一部現場点検などを想定して

いるが、こういった建設現場での利活用の検討が十分でなく、すぐに使えるものがまだまだ少ないのが現実である。また、現場作業員がウェアラブルなど新たなものを身に着ける、操作を覚えるなどの敷居も高く、扱いやすさの追求も必須となる。

#### ② 多様な ICT 実装にともなう情報セキュリティの確保

様々な現場機器からの測量なども含めた多様な情報がデジタル化され、管理されるが、発生元の情報の権利問題、データの改竄、漏洩、機器のなりすましなどによる妨害などが、今後懸念される。これらに向けた技術開発とインターフェイスの標準化やルール作りが急務となる。

#### ③ ライフサイクルマネジメントに耐えうる ICT 機器の長期補償・メンテナンス簡易化

建築生産におけるインフラや建築物の保証期間は 50 年以上にも及ぶ場合が多い。しかし実装する ICT 機器の平均保証期間は 3 年程度など非常に短いことが多い。これは、利用する OS の寿命、セキュリティ方式の更新、部品の終息などがその背景にある。センサなど含め、建設資材の中に埋め込む ICT 機器については、その寿命も考慮して、メンテナンスや交換時期も踏まえた実装を検討する必要がある。

#### ④ 異業界を含む多様な ICT における知見の活用

ICT も今後様々な場所から新たな技術やシステムが生まれてくる。従来の建設生産の延長で情報化施工を考えているだけでは、新しい発想や技術の利活用に伴った建設プロセスの見直しが生まれてこないと考えられる。新しいイノベーションの創造に向けて、オープンな場で異業種が情報を共有し、新たなプロセスや ICT の活用を柔軟な発想で検討する場の提供も今後必要となる。

### 4. 5 ICT 技術の実装と次世代 BIM/CIM 連携

3 次元データを軸に建設プロジェクトの情報マネジメント手法として次世代 BIM/CIM を導入するためには、現場の物理的データとサイバー空間上のモデルとが合致していることが基本要件となる。これによりプロジェクト進捗が数値把握されて、進捗状況を生産計画へフィードバック、施工記録、出来高／出来形情報とすることができ、得られたデータの生産効率化・品質向上へのマネジメント利用や検査、維持管理への効率的な活用が可能になる。

ところが、現場を記述するデータは、各種のセンサ・建設機械・ロボットなどによる現場で得なければならないデータ、輸送されて来る工場製作部材のデータなど、多種多様で大量である。また、これらの情報には随時変化するものも多い。現場の状況にサイバー空間が同期追従するために、リアルタイムにデータを収集、反映する仕掛けや、これらの非構造化データを統一的に効率よく交換し、利用できるデータベースシステムも必要となる。

建設現場で発生するリアルタイムデータは一時的にはそれぞれの機器やシステム・受託組織で活用される。現状は、それぞれのプロセス内で必要なデータだけが残され保存されている。次世

代 BIM/CIM では他のプロセスで有効活用できるようにデータを受け渡し関係者にオープンな状態で蓄積することが求められる。各プロセスにもたらされるメリットを明確にして、プロセスに跨がる課題を関係者で協調して確立していく必要がある。

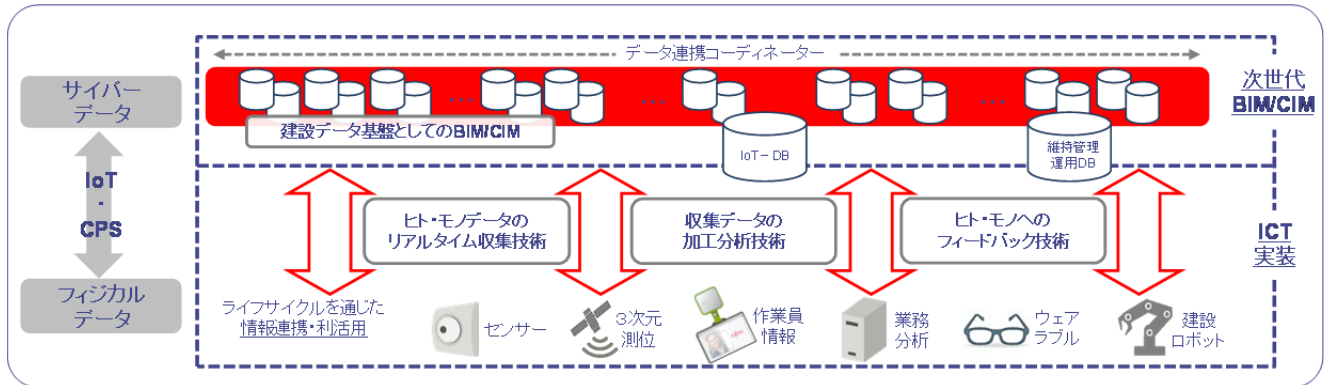


図 4-5-1 : ICT の実装と次世代 BIM/CIM のイメージ

ここでは多種の情報機器・システムの相互運用性が課題となる。セキュリティを確保しつつ入出力データなどの互換性を実現し、長期に渡って維持するために、次世代 BIM/CIM 導入初期の段階で解決策を検討しておく必要がある。単位系、文字コードなどの基本的標準体系に加えて、データの保全やアクセス権の管理、さらには部材や工法など建設要素のコード化による互換性の確保など、広いスコープで準備しなければならない。

また、製造業で行われている MES (Manufacturing Execution System : 工場の生産ラインと作業手順、入荷、出荷、品質管理、保守、スケジューリングなどと連携して、工場の機械や労働者の作業を管理するシステム) のように、データだけにとどまらず、建設生産でもシステムやアプリケーションが連携できる枠組みの整備も必要となってくる。

次世代 BIM/CIM は建設生産物のライフサイクル全般に渡り、建設業界のみならず、設備ベンダーや ICT ベンダー、維持管理業者や発注者および利用者などがエコシステムを形成し複雑に利活用する構造となる。そのため、これらの調整推進に向けて国の果たす「役割が大きい」と考えている。データに関する権利と義務、次工程や全体最適のための費用の考え方など、標準化の推進と共に制度の整備が求められ、コンソーシアムを組織して産官学交えて議論する必要がある。今後の ICT の成長を見守りながら、次世代 BIM/CIM や日本発の建設情報の標準化、特に加速すべき技術などについて、民間でも推進の意思を明らかにして取り組む。

## 第5章. スマート建設生産システム実現に向けた提言と取り組み方針

### 5. 1 建設産業におけるデータ基盤としてのBIM/CIMのあり方

#### (1) BIM/CIMを標準とした建設データ連携の促進

BIM/CIMを3次元モデル作成のツールとして利用するだけでなく、建設プロセスにおけるデータ基盤とすることに注力するとともに、本報告で主張した設計、施工、維持管理までのライフサイクルを一貫したデータの連携を高めることは、生産性の向上、品質・安全性の確保、魅力ある事業への転換、IoTの活用促進の観点から、めざすべき方向であると考えます。(図5-1-1：建設データ連携促進のイメージ)

また、建設業における課題解決に加え、国際競争の観点からも、建設データ基盤としてのBIM/CIMを軸とした日本版建設プロセスの新しいあり方は、官民一体となって取り組むべき非常に重要なテーマであると考えます。その実現のためには、データ互換性を備えるソフトウェアやセキュリティ、導入コストなどの技術的課題の解決だけでなく、業務プロセスや法整備、各種申請・検査におけるBIM/CIM利用の容認など、制度的課題からも見直しをはかる必要がある。

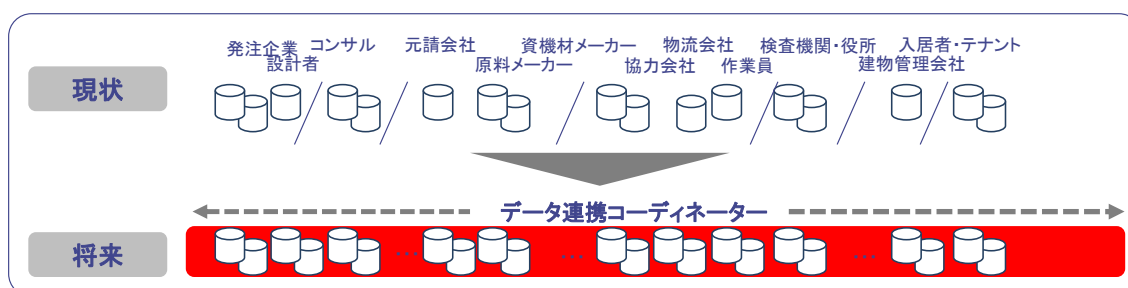


図5-1-1：建設データ連携促進のイメージ

#### (2) 国際的なBIM/CIMの動向把握

国際的な標準化の動きや、政府としてBIM/CIMを用いた建設業改革のビジョン・方策を示しているイギリスやシンガポールなど諸外国の取り組みに対して、日本の立ち位置を確認すべく官民で協力して情報収集を行う。

#### (3) 国内のBIM/CIM普及促進

土木インフラ分野におけるCIMについては、主たる発注者である国土交通省先導のもと、土木プロジェクトのデータ基盤としての活用について技術面と制度面から検討が始められており、今後、制度改定などを通じてより効率的な生産プロセスの構築が期待される。

一方、建物を対象であり主たる発注者が民間であるBIMに関して、主に技術的課題については、ITベンダーや建設関連の民間企業、業界団体などを主体として、標準化や規格化、ライブラリー構築、データ互換性などの検討・整備がすすめられており、設計や施工などそれぞれの事業領域でのデータ連携による活用がすすめられている。具体的には、意匠、構造、設備などの設計業務内でのデータ連携、施工業務における元請と下請とのデータ連携などの取り組みが見られる。(表5-1-1：我が国におけるBIM/CIMに関連した主な普及活動)

しかしながら、企画設計から施工、維持管理までのライフサイクル全体を通じた全体最適につながるデータ連携に向けた活動はあまり進んでおらず、また、ライフサイクルを公平統一的な視野で俯瞰して検討する団体が不在でもあり、利害関係の解決も困難が想定される。実際に、国土交通省により2014年に発行されたBIMガイドラインにおいても、ライフサイクルを通じた建設プロセスの全体最適化までは踏み込まれておらず、多くの利害関係者が関与する制度面や慣習面での課題が大きいものと思われる。具体的には、各フェーズにおける設計詳細レベルの明確化やそれに伴う報酬・契約形態、データの所有権や著作権、公的申請におけるデータ形式、データ管理方式やセキュリティの確保などが考えられる。

表5-1-2：我が国におけるBIM/CIMに関連した主な普及活動（当研究会調べ）【表3-5-1再掲】

| 団体名   | BIM/CIMに関連した主な普及活動内容  |
|---|---|
| 国土交通省   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・官庁営繕事業における複数のBIM試行プロジェクトを実施。（2010～）</li> <li>・BIMガイドライン策定。（2014）</li> <li>・土木を主な対象としたスマート建設生産コンセプト「i-construction」を発表し検討委員会を立上げ。（2015）</li> <li>・CIMに関する制度/技術検討会立上げ。産学官によるCIMモデル事業の推進。2016年にCIMガイドラインを策定予定。</li> </ul>                  |
| 国立研究開発法人建築研究所   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・建築確認審査等におけるBIM技術応用の研究</li> <li>・電子申請・BIM利活用状況の海外事例調査などを実施</li> </ul>  |
| （一財）日本建設情報総合センター  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・主に土木公共社会資本の建設ライフサイクルにおいて、CIMなどの各種情報共有の環境整備を推進。</li> <li>・建設マネジメントの向上に資する調査研究に対する研究助成、BIM/CIM海外動向視察などを実施。</li> </ul>   |
| （一社）公共建築協会  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・BIMマネジメントに関する読み物テキストの作成を検討中。</li> </ul>   |
| （一財）建設業振興基金   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・建設産業の設計や製造にかかる情報を中心とする電子商取引の基盤整備および導入や普及活動を実施。</li> <li>・建設CADデータ交換コンソーシアム（C-CADEC）を設立し、設備CADデータ交換仕様を制定。</li> <li>・「BIM推進のための要件整理と考察」レポートなどを発行。</li> </ul>  |
| （一社）IAI日本   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・イギリスに本部を置き世界17支部にて活動するbSIの日本支部団体として、意匠、構造、設備、土木インフラ等の分野ごとに、ソフトウェア間での相互運用のための標準ルール作り、普及プロモーションなどを推進。</li> <li>・システム利用者とソフトウェア開発者がIFCに関する共通理解を促し、データ連携を促進するためのIFC検定を実施。</li> <li>・Build Liveと呼ばれるイベントを開催し、設計における実証を兼ねた普及活動を実施。</li> </ul> |
| （公社）土木学会  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・CIMの普及展開を目的に、産官学における取組方針や事例などを紹介する「CIM講演会」を開催。</li> <li>・各委員会活動においてCIM研究活動を実施。成果をセミナーやシンポジウムなどで公開。</li> </ul>   |
| （一社）日本建築学会  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・BIMの普及展開を目的に「BIMの日」というシンポジウムを毎年開催。</li> <li>・各委員会活動においてBIM研究活動を実施。IPDなどの生産プロセスも研究対象。</li> <li>・BIMで関係者が協業するためのプロセスを整理した「BIMプロジェクト標準プロセスマップ」を公表。（2015年）</li> </ul>   |
| （公社）日本建築家協会   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・設計者の観点からBIMの活用における検討事項を整理したBIMガイドラインを公表。（2012年）</li> </ul>  |
| （一社）日本建設業連合会  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・各部会、WGにてBIM実用化に向けた検討を実施。</li> <li>・施工者の観点からBIMの活用における検討事項を整理した「施工BIMのスタイル」発刊。（2014年）</li> <li>・土木インフラ工事を対象とした「施工CIM事例集」を発行。（2015年）</li> <li>・i-Constructionの実現、BIMやIoTの活用による生産性向上等を目的として生産性向上本部を立上げ。（2016年）</li> </ul>                  |
| （一財）建築保全センター  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・BIMライブラリーコンソーシアムを設立し（2015年）、ライブラリーの在り方検討、標準仕様・運用基準・規格等を作成。</li> </ul>   |
| （公社）日本ファシリティマネジメント協会  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・建物管理者の観点からBIMの活用における検討事項を整理した「ファシリティマネジャーのためのBIM活用ガイドブック」を発刊。（2015年）</li> </ul>   |
| <p>（その他、関連すると思われる団体など）</p> <p>（一社）全日本建築士会、（公社）日本建築士会連合会、（一社）全国中小建築工事業団体連合会、（一社）建築設備総合協会、（公社）ロングライフビル推進協会、（公社）空気調和・衛生工学会、（公社）全国ビルメンテナンス協会、（一財）建築コスト管理システム研究所、（一社）Civilユーザ会など</p> |   |

以上、BIM/CIMを（1）にあるような全体最適につながるレベルまで引き上げるためには、国内における活動の実態を踏まえたうえで、関連する産業界も含めた国全体としての新たな体制の構築をお願いしたい。産業界をまたぐこのような挑戦的な取り組みを進めるために、理想的には、国（国交省、経産省、文科省など）、建設関連業界（設計、施工、ITベンダーなど）、産業界（発

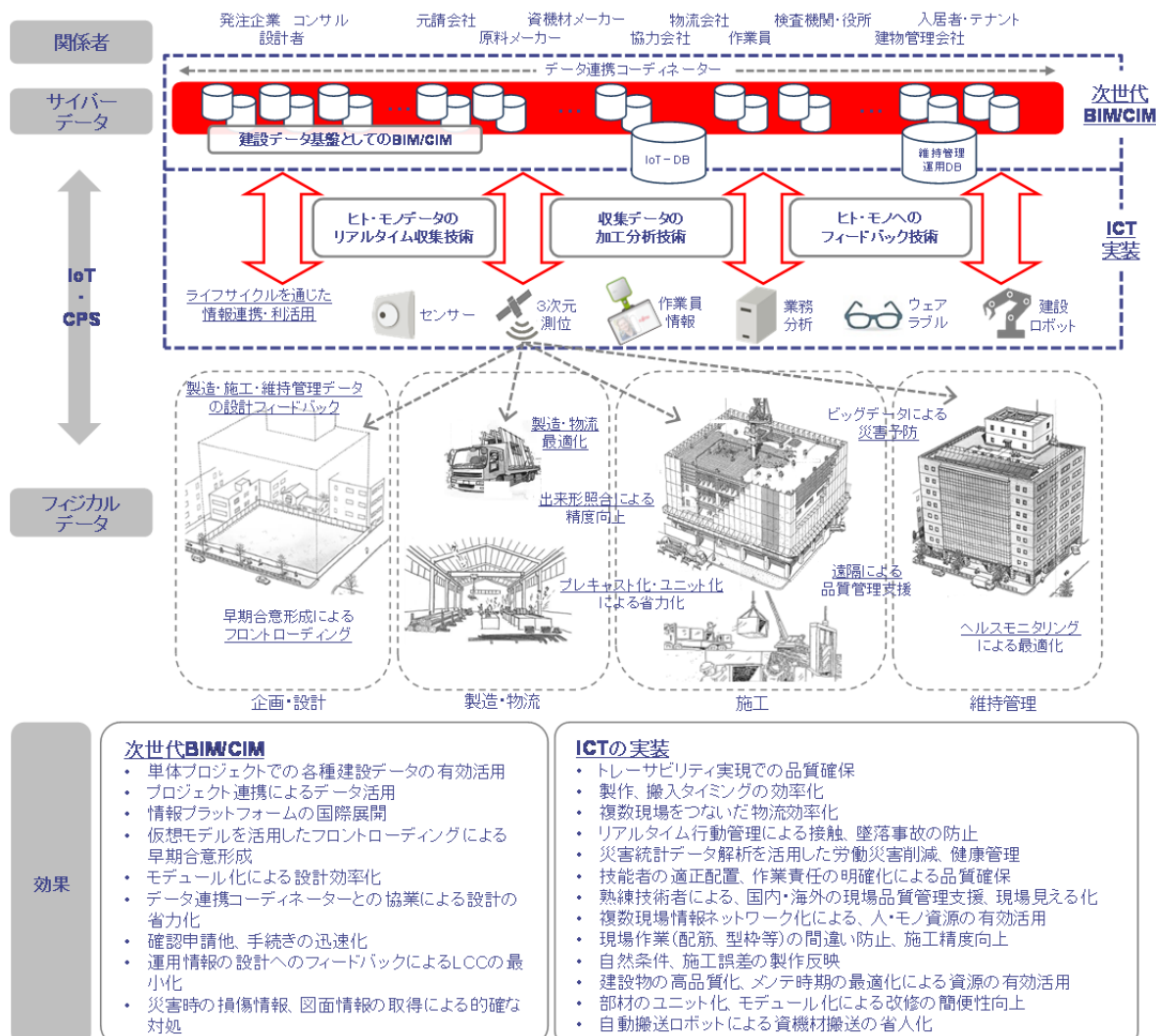


注者、メーカー、物流企業など）を含む推進組織（BIM/CIMコンソーシアム）を設立し、そのような推進母体のもとでの情報収集、実証実験による課題の洗い出し、関連する技術開発、プロセスの標準化など、検証と改善の反復によりシステムの実現を目指す関係者の強い意志と地道な努力が望まれる。なお、建設に関わる個別各社においては、そのような将来的な全体最適化への取り組みと並行して、それぞれの事業領域におけるBIM/CIMの活用を推進することで、個別利用のための課題の洗い出し、ITベンダーとも連携したソフトウェアの改良、IoT連携などの個別メリットの創出、人材育成、社会的な認知度向上を継続していく必要がある。

## 5. 2 ICT実装の取り組み方針

### (1) 導入が期待されるICTの現場への展開

本研究会では、スマート建設生産システムにて導入が期待されるICTとその効果について、図5-2-1のとおり整理した。



※記載イラスト：一般社団法人日本建設業連合会関西委員会「イラスト「建築施工」」、及び全日本建設技術協会「土木構造物設計ガイドライン」より引用

図5-2-1 導入が期待されるICTとその効果

図5-2-1にて想定したICTを実装するためには、現場の大量かつ多種多様な非構造化データを効率良く収集・分析した上で、タイムリーに現場にフィードバックする仕組みが求められる。しかしながら、工場生産での適用が進展しているIoT、GPSを非量産性と自然依存性のある建設生産に適用することは容易ではない。このため、本プロジェクト終了後も、引き続きICTとして何が重要かを見極めていくとともに、ICT機器の長寿命化、情報セキュリティの確保や、現場に適する堅牢性の実現など、ICT実装の課題解決に向けて検討を進める必要がある。

## (2) ICT展開上の課題解決に向けた取り組み

課題解決にあたっては、具体的なプロジェクトにて検討を進めつつ、法規制などの阻害要因を抽出する。併せて、更なる課題への解決策や適用可能なICTについてIT業界や関連団体に連携を求め、建設業者と協力して実証プロジェクトを検討する。なお、ICTを活用しやすい検査基準への見直しなど、制度面からも建設生産におけるICT活用の普及促進を図る。

### 5. 3 建設生産、ICTに関する教育／訓練

建設産業に従事する職員、作業員の総数は505万人と推定される。(内訳：技能工・建設作業員344万人、販売営業・事務・管理・技術専門職155万人、その他6万人) ICTを活用した建設における生産性向上のためには、これら多くの生産現場で働く人に対するICT人材開発だけでなく、生産プロセスに関する教育研究も重要である。さらに、近年のICTの急激な進歩により要素技術を深く理解し、それらを融合して利用することが求められている。特に、BIM/CIMの利活用は、主に建設生産現場や設計業務を中心とする実務の世界で進められており、今後は建築・土木学科におけるICT活用教育、建設生産システム工学のさらなる拡充など、下記のような対策を講じることによるプロセス管理を含めた建設ICT人材の底上げが望まれる。

- ・ BIM/CIM利用技術底上げのための3次元モデルの作図課程
- ・ BIM/CIMを含むICTを利活用した設計から維持管理にわたるライフサイクルを通じた研究や、製造業からの技術移転に関する研究
- ・ 建設プロセスで扱うデータのセキュリティや知的財産権に関する研究

また、実際の建設生産現場でICTやロボットを利活用する作業員のICT技能向上も必要である。今後の産業界の取組みとしても、個別各社による作業員教育／訓練に加え、業界団体等を通じた教育も継続して行っていく。さらに、中小建設会社、専門工事会社や個人事業主など、建設業を支える人材に対する教育について国からも幅広い支援をお願いしたい。

参考資料: イギリス政府における BIM/CIM の取り組み

1. 英国政府の戦略

政府（内閣府）は 2011 年の 5 月、BIM Mandate（Government Construction Strategy）を公表し、このプロジェクトを進めるにあたって早い段階で業者の参画を促した。政府の建設業界戦略では、BIM が非常に重要と考えられており、2016 年に BIM を義務化する目標が打ち出された。また、コンストラクション 2025 というさらに進んだ戦略書も公表されており、その目標値はコスト削減 33%、工期短縮 50%と更に高い目標となっている。（図 1）

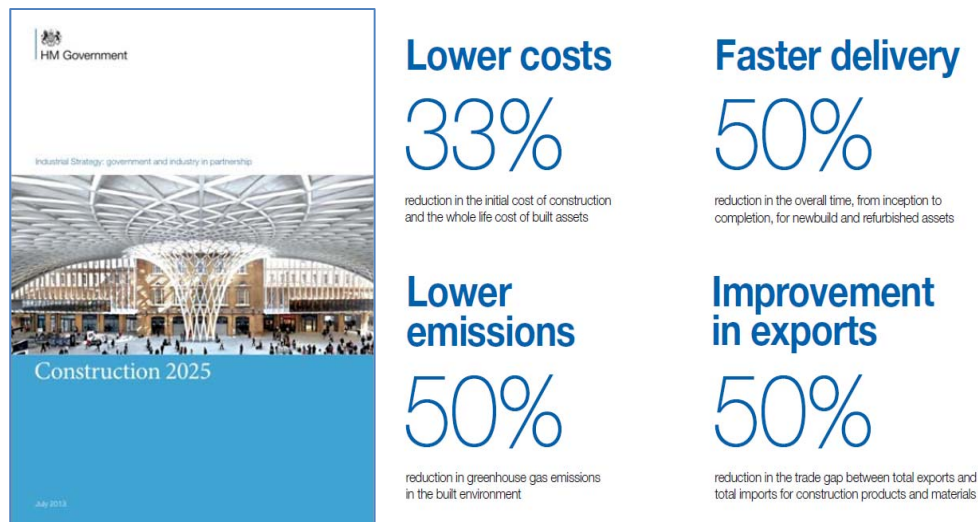


図 1 : 英国ガバメント・コンストラクション・ストラテジーの表紙、及び本文に記載されている数値目標

([https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/210099/bis-13-955-construction-2025-industrial-strategy.pdf](https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/210099/bis-13-955-construction-2025-industrial-strategy.pdf) より引用)

2. 検討組織

行政官庁「ビジネス・イノベーション・職業技能省」(BIS: Department for Business, Innovation and Skills) が設置した BIM タスクグループ (BIM Task Group) により検討。政府が決めた目標に対して、民間やベンダー企業がそれを実行するためにドキュメント作成など様々な知恵を絞って進めてきた。BIM タスクグループは、政府関係者、建設業界、研究機関、ソフトウェアベンダー等で構成されており、建設業界への BIM 活用支援・教育の役割を担っている。また、政府関係部局の知識及び能力の向上を図っている。なお、コンストラクションリーダーシップカウンセルが、BIM 導入に関する意見を集約し、英国政府に対する提言も行っている。

| リーダーシップチーム           |                         |
|----------------------|-------------------------|
| • Adam Matthews      | Autodesk                |
| • Barry Blackwell    | BIS                     |
| • Michelle Barker    | BIS                     |
| • Nigel Fraser       | BAA                     |
| • Phil Jackson       | Bentley                 |
| • Prof Andrew Thomas | Constructing Excellence |
| • Sanjeev Shah       | Unit 4                  |
| • Simon Rawlinson    | EC Harris               |
| • Terry Boniface     | BIS                     |

メンバー(3グループ構成:ワーキングGr、レビューGr、コンサルGr)  
計115名  
(ソフトウェアベンダー、設計コンサル、ゼネコン、エンジニアリング企業、業界団体(建築家協会、積算協会、建設関連団体、空調エネルギー団体他)、政府系団体(厚生、運輸他)、その他法律事務所など)

図2 : BIM タスクグループ構成メンバー

(Department of Business, Innovation and Skills: A report for the Government Construction Client Group-Building Information Modelling (BIM) Working Party Strategy Paper March2011 より引用)

### 3. ロードマップ

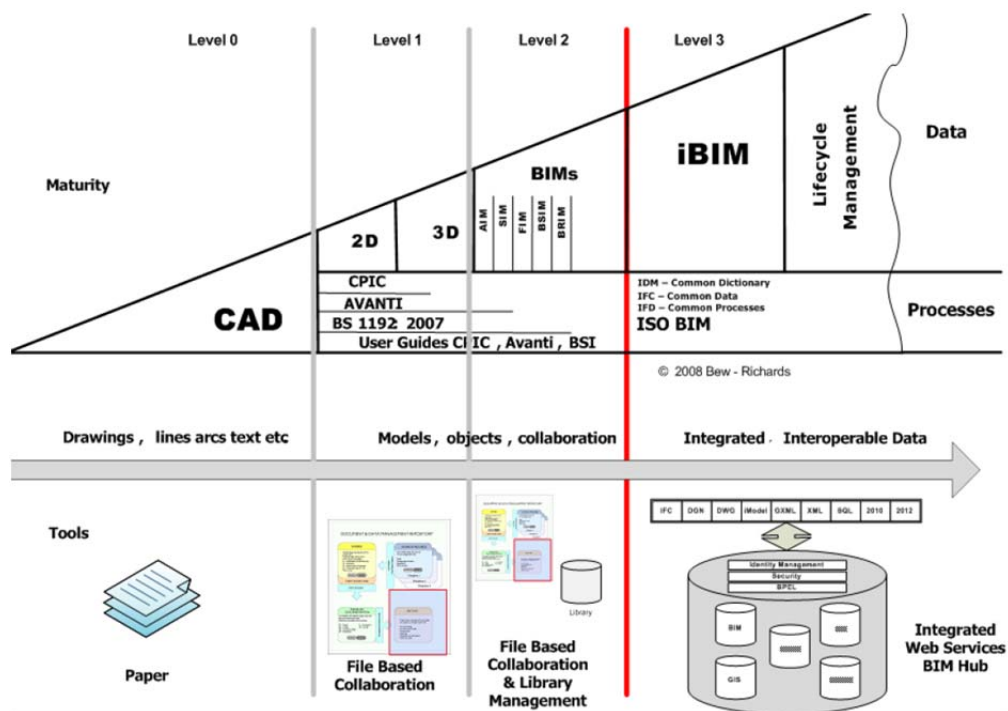
図3に示すチャートは欧州でBIMの成熟度を示す際によく利用されるもので、BIM Task Groupが作成したものである。また、業界のスキルアップに役立つように考えられており、成熟度によってトレーニング方法が変わることも表現している。なお、それぞれのBIMレベルの要求性能は以下の通りである。

レベル 0 : 2次元の作図 CADによる紙ベースあるいはCADファイルによるデータ交換

レベル 1 : 標準化途上のデータ構造やフォーマットのデータ共有環境を提供する2次元あるいは3次元CAD。コスト情報は個別の財務あるいはコスト管理ソフトで管理され、CADデータとは統合されていない。

レベル 2 : 属性データ付与機能を持つBIMツールによる3次元環境。コスト情報はERPシステムや市販のインターフェイスあるいはカスタマイズされたミドルウェアによって管理される。このレベルのBIMでは4D施工進捗シミュレーションや5Dのコスト情報を扱うことができる。英国政府のBIM戦略文書では、英国建設業界は2016年までにBIMレベル2を達成することを求めている。

レベル 3 : Webサービスや現在標準化進行中のIFCにより実現される完全なデータ連携や協調プロセス。このレベルのBIMは4D施工進捗シミュレーションや5Dコスト情報、さらには6Dプロジェクトライフサイクル管理情報を扱うことができる。



(引用 : UK, A report for the Government Construction Client Group, Building Information Modeling (BIM) Working Party Strategy Paper, 03/2011, <http://www.bimtaskgroup.org/wp-content/uploads/2012/03/BIS-BIM-strategy-Report.pdf>)

図 3 : BIM 利用成熟度ロードマップ

英国 BIM の戦略は、2016 年に BIM レベル 2 を達成し、かつ BIM を義務化することで建設事業コストを 20%効率化することである。また、2025 年には BIM レベル 3 を達成し、33%のライフサイクルコスト削減と 50%の工期短縮する事を目標としている。英国政府の 2016 年の目標である BIM レベル 2 は全ての業界関係者が容易に達成できると考えている。その後、相当の努力が必要になるが 10 年以内にさらに成熟度が上がり高度な BIM(レベル 3)の活用ができると考えている。

なお、この 2016 年の BIM レベル 2 達成による建設事業コストダウン 20%という目標は、2004 年に取り組んだアバンティプロジェクトで得た BIM 効果の検証結果が根拠となっている。アバンティプロジェクトは同一形状の建築物を複数建てる際に、施工条件を変えてコスト、工期を検証したものである。この研究成果が英国政府の BIM の義務化の根拠となり、この結果が BS1192 : 2007 に記載されている。

#### ・アバンティプロジェクト概要

- CASE1 は既存の方法で建設。積算に対して 20%のコストが増大し、予定の工程に対して 20%の遅れが発生した。
  - CASE2 は積算の段階で CASE1 において得た知見を活用してコスト削減を実施した。しかし、20%コスト増大が発生した。
- ⇒この 2 つのプロジェクトの比較で、技術ではなくマネジメントのプロセスが変化をもたらすことが分かった。

- CASE3 では BIM の教育をプロジェクトチームに対して行った。これにより 10%のコスト削減があり、工期の遅延は 10%だった。  
⇒この結果から BIM により 20%の効率化を得られたと考えている。

#### 4. 英国省庁における BIM 利用率

英国省庁発注における BIM の利用率は、2016 年までに全ての省庁で概ね 100%を目標としている。(図 4) なお、2014 年調査時において、約 1 千万ポンド (約 17 億円) のプロジェクトで BIM による調達及び活用が行われていた。また利用対象は、新規建設プロジェクトで 1 千万ポンド規模 (約 17 億円) からスタートし、現在は 1 百万ポンド (約 1.7 億円) の改修工事プロジェクトにも導入している。

図 5 は 2009 年をゼロとし、現在までの BIM 導入プロジェクトにおけるコスト削減率を示したものである。この値は BIM だけの効果ではなく、リーンフィロソフィーとアーリー・コントラクター・インボイメント、いわゆる設計段階で施工者の意見を聞くといった手法も寄与している。これらによる 2013 年時点での累積原価削減額は 8.4 億ポンド (約 1,455 億円) とされている。

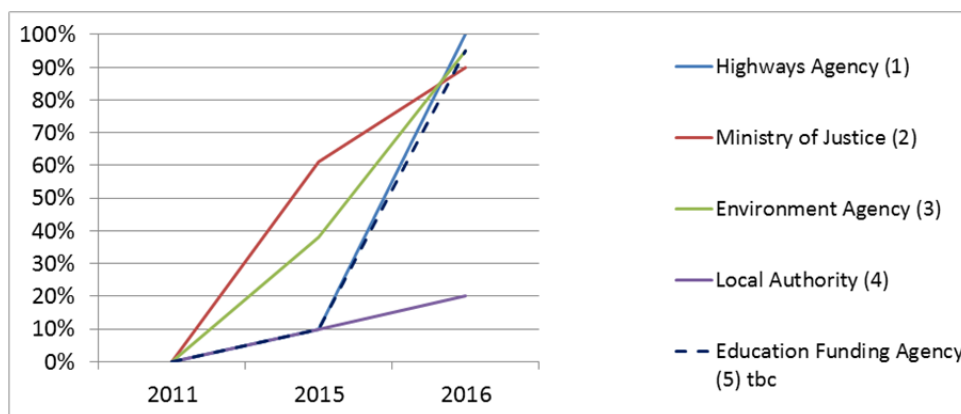


図 4 : 英国政府系機関による BIM 利用率と目標

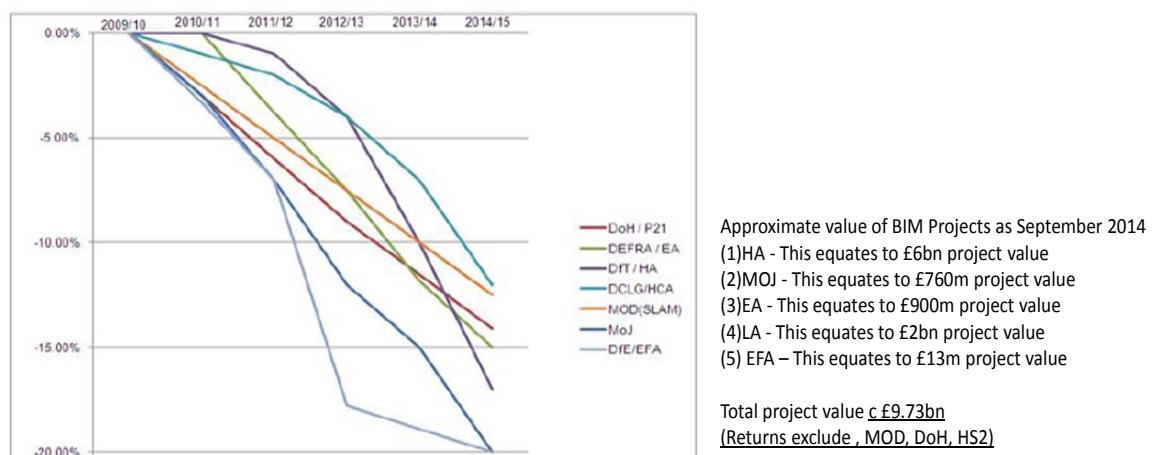


図 5 : 特定プロジェクトにおける BIM によるコスト削減率

## 5. 教育

政府による BIM 義務化を受け、BIM タスクグループによる戦略のもと、技術面、意識面での教育に取り組んでいる。学校に対する教育では、中学・高校・大学、それぞれのレベルでトレーニングの情報を提供している。ある大学では BIM のコースを設け、BIM により得られる効果学習やケーススタディを行っている。ただし、ほとんどの大学では BIM に関するコースはないというのが現状である。タスクグループのメンバーは大学での BIM の講師としても招聘されており、学生たちにその BIM の知識を直接授けることも行っている。

建設業界全体を 2016 年までに BIM レベル 2 に引き上げることが英国政府のプロジェクトとなっているが、これは英国の 220 万人が対象となり、非常にチャレンジングな内容となっている。これを達成するために様々な大学の教育を実施しており、教育レベルを認定する活動も行っている。また、大学を卒業し建設業界にいる技術者に対しての教育も存在し、その達成度を認定する活動も行っており、認定された専門家は認定エンジニアとなる。

また、英国建築研究所では 10 年間に 1 千万ポンド（約 17 億円）を費やし、2500 名の工事関係者に対して BIM の教育を施すことで、2 億ポンド（約 344 億円）の利益が生み出されたと報告している。

なお、欧米や日本の建設業でも CAD マネージャという職種があり、CAD システムの選定や共通テンプレートの作成、各プロジェクトの CAD データ管理を行う職種であるが、BIM においては BIM マネージャという職種が既に定着している。BIM レベル 2 のデータ管理手法においては、各グループで作成した情報を「承認」・「共有」する権限を有する人が BIM マネージャに該当すると考えられる。

## 6. EU への影響

EU 各国へ情報提供を行っており、EU 各国の BIM の適用に対して影響力を与えている。また、EU 各国はイギリスの BIM 義務化の動きに興味を持っており、BIM レベル 2 を目標として、EU の組織、委員会がそれぞれの国に対して、BIM の義務化を提言している。EU の委員会の指令・指示からすると、それぞれの国は BIM の義務化の方向には向かっている。

## 7. 土木における BIM 適用

土木関連のプロジェクトにおいて 3 次元モデルは情報の一部という認識で、全体のプロジェクトを完成させるために必要な情報の 5%と捉えている。従って、プロジェクトを完成させるためには 3 次元モデルだけではなく、全ての情報を運用・管理する必要がある。

BIM 活用効果の計測を行ったプロジェクトの一つが、ヒースローエクスプレスプロジェクトである。このプロジェクトの大部分は地下鉄道路線、地下トンネル、地下の通路といった土木プロジェクトで、その一部に対してコスト縮減の計測を実施し、大きな効果があったことが報告されている。

これらのコスト縮減効果はライフサイクル全体での数字となる。例えば、設計フェーズでは 25% のリソース削減が実現された。施工では工期の縮減が実現され、RFI（情報提供依頼書）の削減も実現された。さらにコスト削減としては投資の削減も実現している。それ以外の効果として、精度および品質の高い情報が、竣工後の維持管理で有効に利用されると考えている。ただ、竣工後

のコスト縮減は計測出来ていないので今後の課題である。

(本参考資料の引用元：土木学会 土木情報学委員会 欧州 CIM 技術調査団「欧州における CIM 技術調査 2014 報告書 (2015 年 1 月)」より内容抜粋の上、質疑応答内容を精査して再編成した。また、当研究会による調査結果も一部追記している。)



参考資料：建設への適用が考えられる ICT 要素技術

### 【ICT 要素技術】

建設生産システムにおける ICT の実装において、技術マップにおける5つのレイヤーのうち、注力していくべき要素技術として、デバイスレイヤー、センシングレイヤー、アプリケーションレイヤーから下記6点を抽出した。

- デバイスレイヤー
  1. 建設機械（ロボット）：人工知能（以下「AI」という）なども活用した施工の自動化により、プレキャスト化、モジュール化した重量物の施工、危険個所での作業など生産性の向上と安全性の向上を図る。
  2. ドローン：人が立ち入りにくい場所の状態を監視、検査等により、生産性の向上や安全性向上、維持管理の効率化を図る。
- センシングレイヤー
  3. 3次元計測技術：建設現場の現在の状況と設計との差分などを、工数をかけずに安全、簡易、短期に検出し、ロボットの自動施工、ドローンでの自動計測・検査に活かす技術として期待が高い。
  4. センサ：環境や部材の状況などの遠隔からの監視や、点検・維持管理の省力化、施工の進捗状況の自動見える化等により、生産性の向上やタイムリーな調達、安全管理を図る。
  5. ウェアラブルデバイス：人の状態をセンシングし、簡易なUIでの作業員の安全確認、作業の効率化等を図る。特に現場作業に負担にならない形でのあるべき姿などを検討する。
- アプリケーションレイヤー：支援技術
  6. 業務分析技術：集まった各種情報、ビッグデータを活用し、施工における生産性、安全性、品質の改善策等を導出する。

以下に、これらの重要となる技術について、現在の状況把握、今後の技術の進展や利活用に向けた課題の抽出を行った。

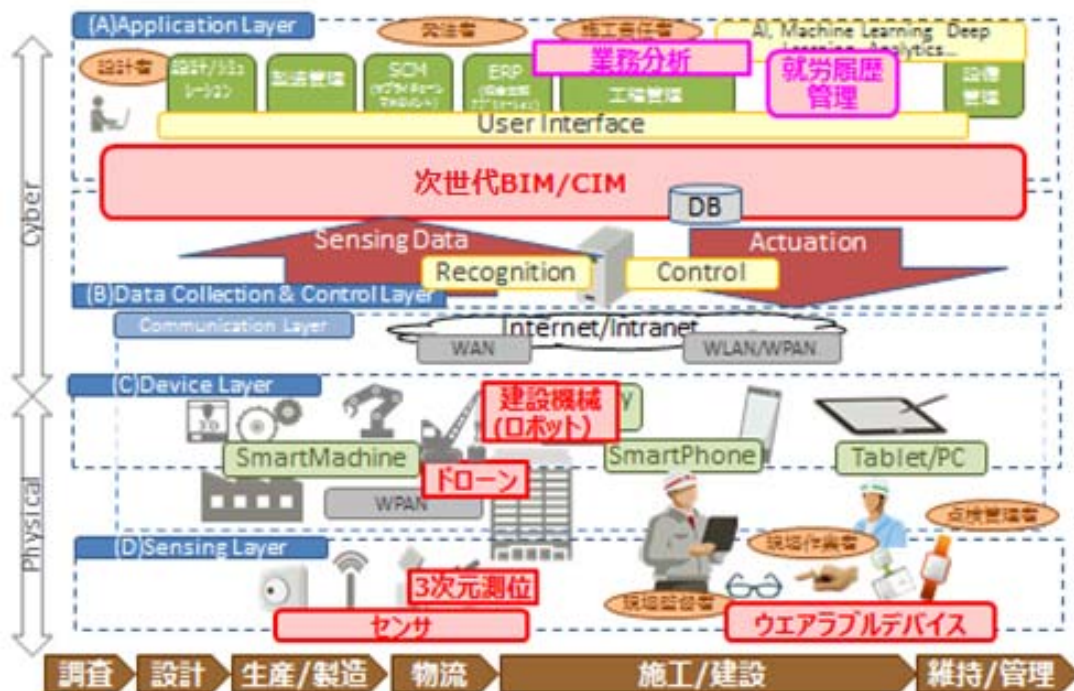


図1：技術マップにおける注力要素技術

### 1. 建設機械（ロボット）

#### 【建設生産システムでの必要性】

危険領域での作業代替のみならず、検査、生産の効率化を可能とする技術として期待される。

#### 【技術の概要】

溶接やボルト締めといった従来人手で行っていた固有な作業の自動化及び、クレーン作業に変わる重量物の支持や固定位置の微調整等の位置決めロボット・自動化の技術。ロボット化に伴い、作業場所や作業対象のリアルタイムでの位置情報の取得が必須となる。

#### 【現在の動向・適用例】

##### (1) 土木における活用

土木現場における ICT 技術の活用の一例として、コマツから提案されているシステムを紹介する(図2)。智能化された ICT 建機を使い、ICT 技術によって得られる施工現場の3次元測量データや変動データを使用した自動制御技術で、経験の少ない作業員でも熟練作業員の精度で作業が出来る。従来施工と比べて丁張(※)設置や検測などの作業工程の大幅な削減が可能となり、工程を3~4割短縮できる事例の報告もある。(※工事着手前の位置出し作業)

工事最初から最後まで、工事に関わる、全ての人、建機、土までも、ICTで有機的に「つなげる」

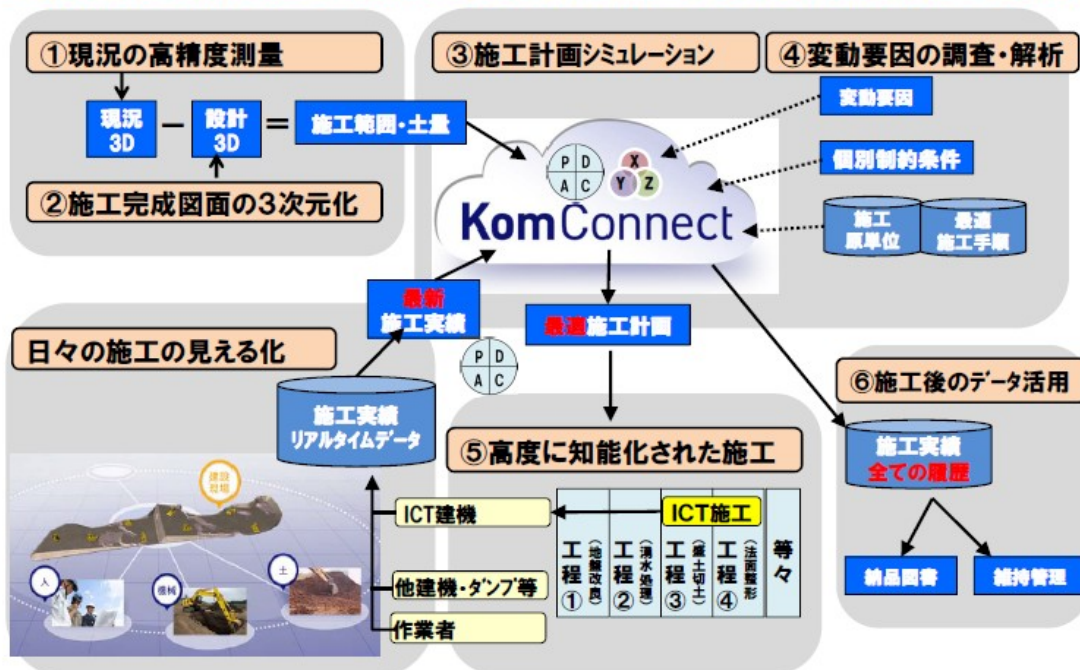


図 2：ICT 建機を利用した建設自動化システムの俯瞰図の例（出典：(株)小松製作所）

## (2) 建築における活用

建築におけるロボットの適用は古くから試みられているが、環境条件の難しさや作業の不定形さからロボット化は進んでいない。これは、“3K 作業の撲滅”を目的にロボット開発が行われたためであり、世情の変化とともに目先の作業効率を重視した人手作業にとってかわられたためである。一方、多目的建築ハンド(商品名 マイティハンド)等の重量物保持機能を有するロボットについては、現在も建築現場で使用されている(図3)。これらは、屋外環境での正確な位置決めや、人では持てない重量物の組立を行うロボットであり、人手だけではできない作業をロボット化し、作業の無人化ではなく人と協調し支援するロボットであることが、使い続けられるポイントであると考えられる。ロボット化の実現に向けた課題を以下に整理する。

- ①ロボット化を前提としたロボットでなければできない高効率な建築工法と並行して開発
- ②人の代替ではなく、人手だけではできない作業をロボット化
- ③作業から作業への搬送や段取り替えが簡単なロボットを開発
- ④無人化でなく人と協調することでロボットの複雑化・大型化を防ぐ



図3：使い続けられる建築用ロボットの例（左：外壁PC板取付装置、中央：プレキャストコンクリート柱位置決め装置、右：重量鉄筋用配筋ロボット）（出典：鹿島建設㈱）

一方、近年の ICT 技術の進歩によりロボット技術は飛躍的な進歩を遂げている。建築ロボットの性能向上に特に大きな影響を与えると思われる新技术を例示する。

- ① ロボットを智能化するセンサ技術（レーザレンジファインダ等）
- ② ロボットをシステム化する技術（ビッグデータ処理、AI 技術等）
- ③ ロボットを小型化、モジュール化する技術（モータ、コントローラ小型化技術）
- ④ ロボットをケーブルレスにする技術（バッテリー、無線通信技術、ナビゲーション技術）

これらの最新技術を適用、組み合わせた新しい搬送技術や位置決め技術により、新たな建築ロボットが実現、建築生産性の向上に寄与することが期待される。

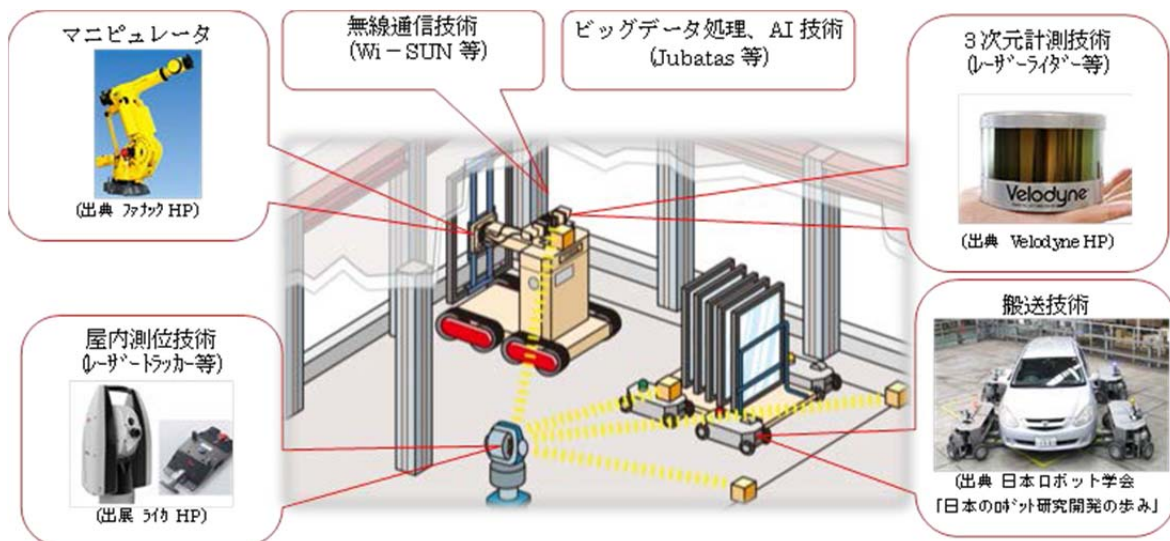


図4：ロボット要素技術の例

### (3) ロボット用無線通信

ICT 施工には無線通信が必要不可欠であるが、これに関し日本の法制度などにおける現状は十分とは程遠い環境にあり、電波法を含めた制度の改革が検討されている。

建屋の中を動く小型機から、建設機械のような大型陸上機械、さらに無人小型航空機（ドローン）のように、稼働環境によって、無線に関する問題点や将来に向けての要望は異なる。

2014 年 COCN 災害対応ロボットの社会実装プロジェクトでは、こうした各種ロボット用の無線システムについて、問題点と解決に向けた提言をまとめ、下記に報告している。

<http://www.cocn.jp/common/pdf/thema71-L.pdf>

現状の課題は、映像の送信が可能な伝送容量を確保すること、複数機の稼働において混信（輻輳）が無いこと、また遅延や遮断がなく、かつ十分な距離を飛ばせること等であり、解決にはロボット用の専用無線周波数帯の確保が要望されている。

現在、2014年度 電波産業会（ARIB）において、ロボット用電波利用システム調査研究会が設置され、検討結果が情報通信審議会 陸上無線通信委員会 ロボット作業班に提言、電波法の改正に向けた検討作業が行われている。2016年1月に、具体的な周波数帯・出力等について提言がまとめられており、3月までに、最終とりまとめと答申審議が行われる予定である。

[http://www.soumu.go.jp/main\\_sosiki/joho\\_tsusin/policyreports/joho\\_tsusin/idou/robot/02kiban09\\_03000307.html](http://www.soumu.go.jp/main_sosiki/joho_tsusin/policyreports/joho_tsusin/idou/robot/02kiban09_03000307.html)

またさらに今後は、免許制度および免許人による運用調整のしくみ作りが必要である。

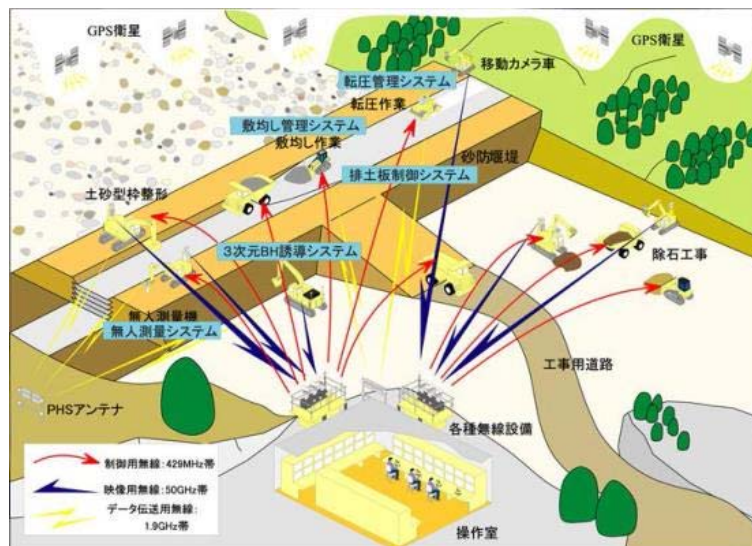


図5：屋外作業ロボットの無線通信イメージ

### 【課題と今後の方向性】

建築現場での高度なロボット群の実現のためには、センサやアクチュエータ等の要素技術の高度化とともに、作業全体を管理するシステム化技術が必須となる。建築へのロボット適用に関する課題を記す。

- ①ロボット要素技術（精密位置決め技術等）の向上
- ②BIM/CIM、工程管理システム、ロボット制御システムの連携
- ③計測自動化とアズビルトデータのロボット制御への活用
- ④ロボット活用を前提とした建築工法の見直し（ユニット化、モジュール化等）
- ⑤人・ロボット混在作業に関する法制度の見直し

## 2. ドローン

### 【建設生産システムでの必要性】

土木分野のみならず、狭隘で複雑な建設現場においても、計測、情報収集に利用が可能であれば、BIM/CIM と周辺測位を連動したスマート建設における重要な手段として期待される。ドロー

ンを使った映像撮影や、3次元計測及びマッピング技術などは、新しい施工の革新を生み出す可能性のある要素技術として、国土交通省「i-Construction」の中に取り上げられている。

#### 【技術の概要】

ドローンとは小型無人航空機のこと、最近、操縦が容易であるマルチコプタータイプの普及が進み、撮影機材や計測器を装着して、種々の産業用への活用が計画されている。現状は目視範囲飛行であるが、将来は自律・自動飛行による建設生産現場への適用をめざす。

#### 【現在の動向・適用例】

ドローンおよびその利活用については、2014年度COCN災害対応ロボットの社会実装プロジェクトにて取り上げられ、報告書に詳細が記されている。

<http://www.cocn.jp/common/pdf/thema71-L.pdf>

一方ドローンは昨今、落下事故などが多く報道され安全面における懸念が高まってきており、国土交通省では、必要な措置を講ずるため下記 航空法の一部を改正し、2015年12月10日から施行に至っている。

[http://www.mlit.go.jp/report/press/kouku02\\_hh\\_000083.html](http://www.mlit.go.jp/report/press/kouku02_hh_000083.html)

その主な内容を下記に表す。

① 無人航空機の飛行に当たり国土交通大臣の許可を必要とする空域の指定（図6参照）

②無人航空機飛行の方法（国土交通大臣の承認を受けた場合除く）

[1]日中に飛行させること、

[2]周囲の状況を目視により常時監視すること

[3]人又は物件との間に距離を保って飛行させること

③ その他

[1]事故や災害時の公共機関等による捜索/救助等の場合は①②を適用除外とする。

[2]①②に違反した場合は、罰金を科す。

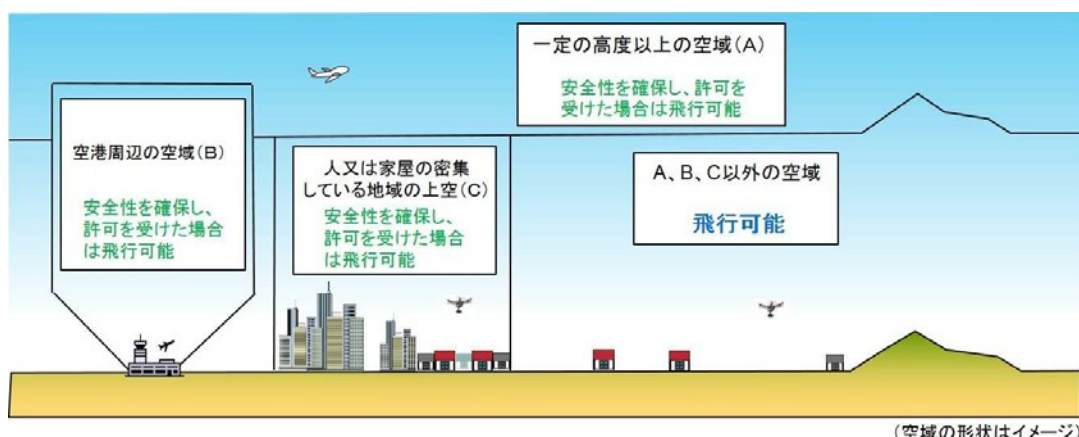


図6：無人航空機の飛行に関する措置（出典 国土交通省ホームページ）

#### 【課題と今後の方向性】

2015年12月7日から、内閣官房が事務局となり、ドローンの利活用推進に向け、産・官・学の専門家と関係者を集めた「小型無人機に係わる環境整備に向けた官民協議会」が開かれている。本格的なビジネスでの活用に向けては、安全性を担保する技術の開発のほか、認証の仕組み、免

許制度の必要性検討などを踏まえた、新しい制度設計が必要となる。

### 3. 3次元計測

#### 【建設生産システムでの必要性】

準天頂衛星測位、全周囲画像とレーザ計測による高精度屋内測位などの測位技術の進歩により、図面と出来形の管理や建設機械の自動運転など、BIM/CIMと連携した情報化施工などの必須技術として期待が高い。2015年11月24日に国土交通省から公表された「i-Construction」では、3次元測量・3次元計測を含めた3次元データの活用により、建設プロセス全体の最適化を目指すとしている。施工現場の情報化や情報管理において、屋内外でリアルタイム・高精度な測位技術の需要が見込まれる。

#### 【技術の概要】

準天頂衛星、MMS、航空測量、屋内測位等の計測技術と取得したデータ処理技術の革新により、従来と比較して効率的に高精度な3次元データの取得が可能になる。各々の技術には長所・短所はあるが、データの重畳により、高精度・高精細な3次元データを作成する事が可能となる。

#### 【現在の動向・適用例】

3次元計測では、屋外・屋内とも高精度な測定が可能となっており、建設現場での現在の状況と設計の差分などを、工数をかけずに、安全、簡易、短期に検出する技術として期待が高い。

#### (1) 準天頂衛星測位

GPS衛星と同じ信号を配信。また、準天頂衛星独自の機能として、日本の電子基準点データをもとに補強信号を配信することにより、センチメートル単位の3次元位置（経度、緯度、高さ）を検出できる。準天頂衛星は、準天頂軌道（高仰角）に常に位置するためマルチパス（多重伝播）を軽減する。

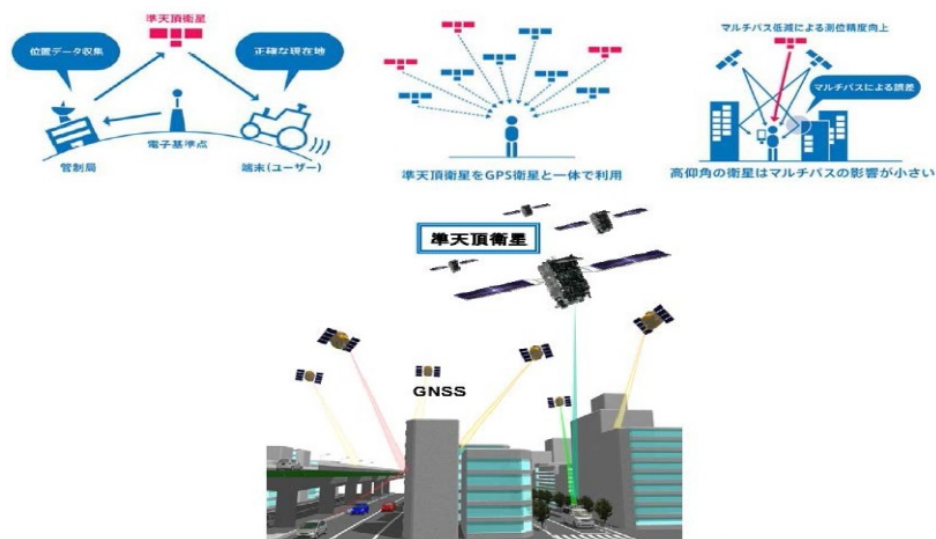


図7 準天頂衛星システムサービスのイメージ

出典：準天頂衛星システムサービス（株）ホームページ、三菱電機（株）

図7：準天頂衛星システムサービスのイメージ

## (2) モービルマッピングシステム(MMS: Mobile Mapping System)

車にレーザ、カメラを搭載し、走行しながら道路周辺のカメラ画像と3次元レーザ点群データを重ね合わせることで画像上の地面及び物体の3次元位置計測をおこなう。車載カメラとレーザにより点群データが取得可能である。MMSで計測した場合、各レーザ点群の緯度・経度・高さの絶対精度は10cm、相対精度は1cmとなる。本データを用いることにより従来のTS測量による手法と比較して大幅に現場作業効率を向上させることが可能であり、点群データにより周辺の構造物及び地形等の現況把握が容易である。

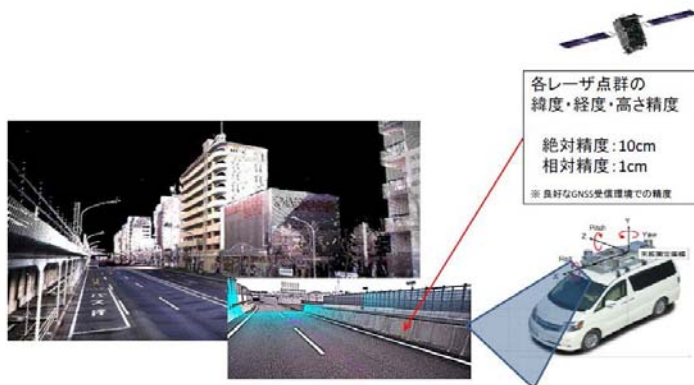


図8: モービルマッピングシステム (出典: アイサンテクノロジー(株)、三菱電機(株))

## (3) 航空写真測量、航空レーザ測量

航空機から撮影計測された写真画像及びレーザプロファイラを用いて面的な3次元位置情報を取得する。本技術を用いて絶対精度として、緯度・経度25cm、高さ15cmの測量が可能。都市計画・河川砂防・森林などの分野で活用されている。また、航空機から多方向(直下、前方、後方、右方、左方)を同時に広域で空撮する事で、多重オーバーラップ画像を効率的に自動取得し、画像と空中三角測量成果による高精度な3次元の地形モデルを生成する手法がある。オブリークカメラを用いるこの技術では、広域な都市や災害現場の3次元の地形モデルを効率的に作成することができる。これらの3次元計測の技術を活用し、都市や地域の立体的構造の把握や、防災シミュレーションなどへの活用が期待されている。

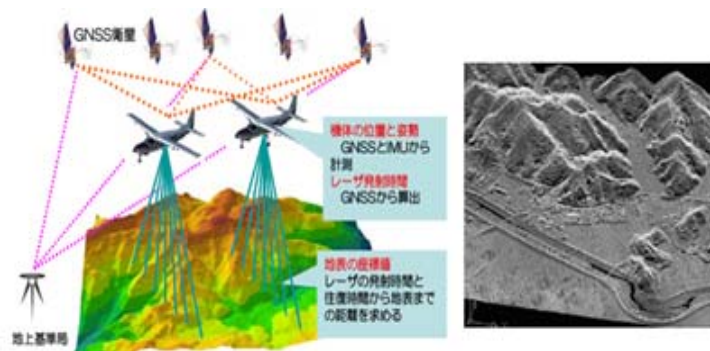


図9: 航空写真測量、航空レーザ測量 (出典: (株)パスコ)



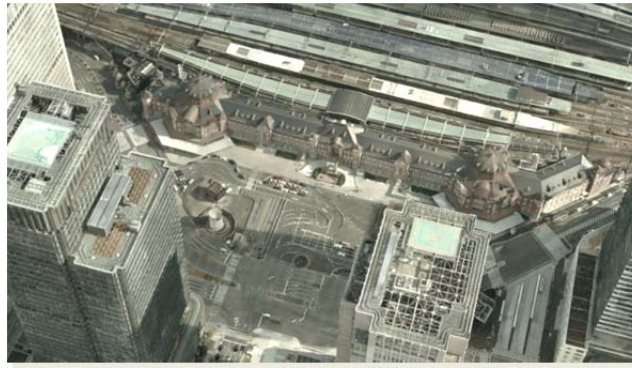


図 10 : オブリークカメラを用いて生成した都市の 3 次元地形モデルの例  
(出典 : (株)パスコ)

(4) 全周囲画像とレーザ計測による高精度屋内測位

360° カメラの連続映像と高精度レーザの計測結果をハイブリッドに組み合わせた、高精度 3 次元データ作成技術を用いることで、従来の 2 次元施設管理を 3 次元で行うことが可能となる。

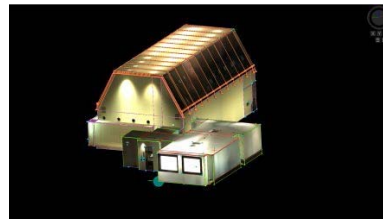


図 11 : 高精度 3 次元データ作成 (出典 : アイサンテクノロジー(株))

(5) ドローンを活用した測量技術

ドローン（無人航空機）を用いて撮影した写真から、SfM (Structure From Motion) の手法を用い、高精度 3 次元データを作成する事ができる。ドローンを活用することで、造成現場等において、従来と比較して効率的に土量把握を行うことが可能となる。

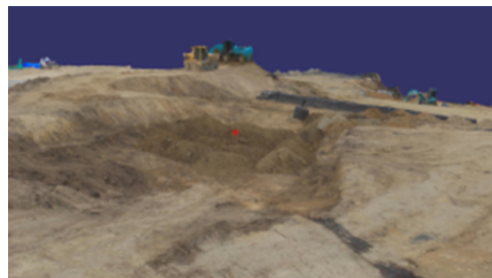


図 12 : ドローンによる土量計測 (出典 : (株)パスコ)

(6) Visual SLAM (Simultaneous Localization and Mapping)

携帯可能な小型の距離画像センサ(3 次元センサ)とタブレット PC を用い、センサで捉えた部分的な 3 次元データを正確につなぎ合わせることで、比較的広い空間や大きい構造物を簡単にモデル化する。つなぎ合わせには、3 次元の点群データだけでなく、面の情報も用いるため、リアルタイムでのモデル化が可能となっている。

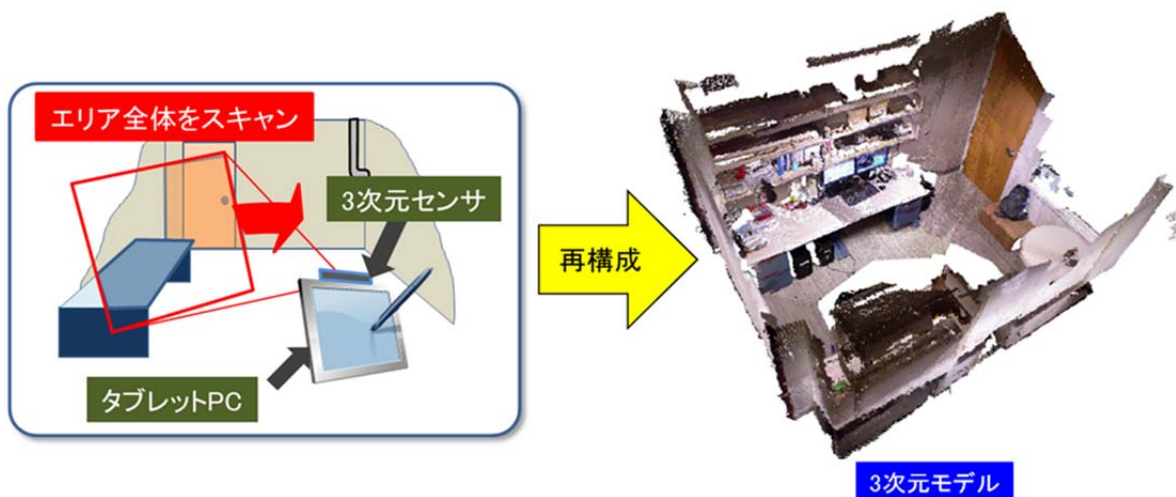


図 13 : Visual SLAM を使った 3 次元モデル (出典 : 三菱電機株)

#### 【課題と今後の方向性】

3 次元の計測技術は、「i-Construction」の発表により、建設現場での生産性向上の抜本的な改革に繋がるものとして期待できる。特に、生産性向上が遅れている土工、コンクリート工において 3 次元の測量技術、3 次元データを基にした ICT 施工の分野は大きく進むことが想定される。また、制度に関する課題についても解決に向けて大きく前進する可能性がある。

3 次元を扱う技術者の養成や 3 次元データを扱うソフトウェア利便性が課題になってくると考える。

## 4. センサ類

### (1) 各種センサ

#### 【建設生産システムでの必要性】

部材や建設機械の状況、環境などの管理・監視や、施工の進捗状況の自動見える化、点検・維持管理の省力化に向け、人手をかけず効率的に人・モノ・環境の状態を収集するセンサの活用は必須と言える。ロボットによる無人化施工を進める上でも不可欠である。

#### 【技術の概要】

人やモノの個体認識、状態、位置、動き、イメージ等の情報を把握するためにセンサ類が用いられる。汎用的なセンサとして、図 14 のような種類があり、目的・用途に応じて単独で、あるいは複数を組み合わせて使用される。

RFID(IC タグ ; 以下 RFID と記す)は、タグに書き込まれた ID 情報をリーダライタで検出する。パッシブ型ではバッテリー不要で、リーダからの電波をエネルギー源として動作する。UHF 帯の RFID は読み取り距離が実用性能で 2~3m あり、一括での複数同時読み取り、摩耗せず表面が汚れても読み取れる、耐環境性が強い、データ書込可能などの特徴がある。

#### 【現在の動向・適用例】

一般のセンサの活用例には、振動・音響・温度センサを使用した設備機械のリアルタイム稼働状態把握・日常点検、さらに膨大なデータ解析結果から機器の故障予測、振動センサと後述のイメージセンサ画像を組み合わせた建築構造物の点検保守、加速度・ジャイロ・GPS 等のセンサやビーコンの組み合わせによる人/建築機械/ロボットの姿勢・転倒検知、位置・動線把握、移動誘

導、危険区域への立ち入り制限、行動ログ取得などがある。

RFID では、アパレル、小売、物流、製造、図書館、書店、金融、CD/DVD レンタル、ホテル、医療機関など多くの業種、業界で、物品管理やサプライチェーンでの利活用事例、航空業界では、航空機部品に貼付し、整備の効率化・在庫管理を行うだけでなく、タグメモリへ作業履歴を書き込んだでの保守活用事例などがある。

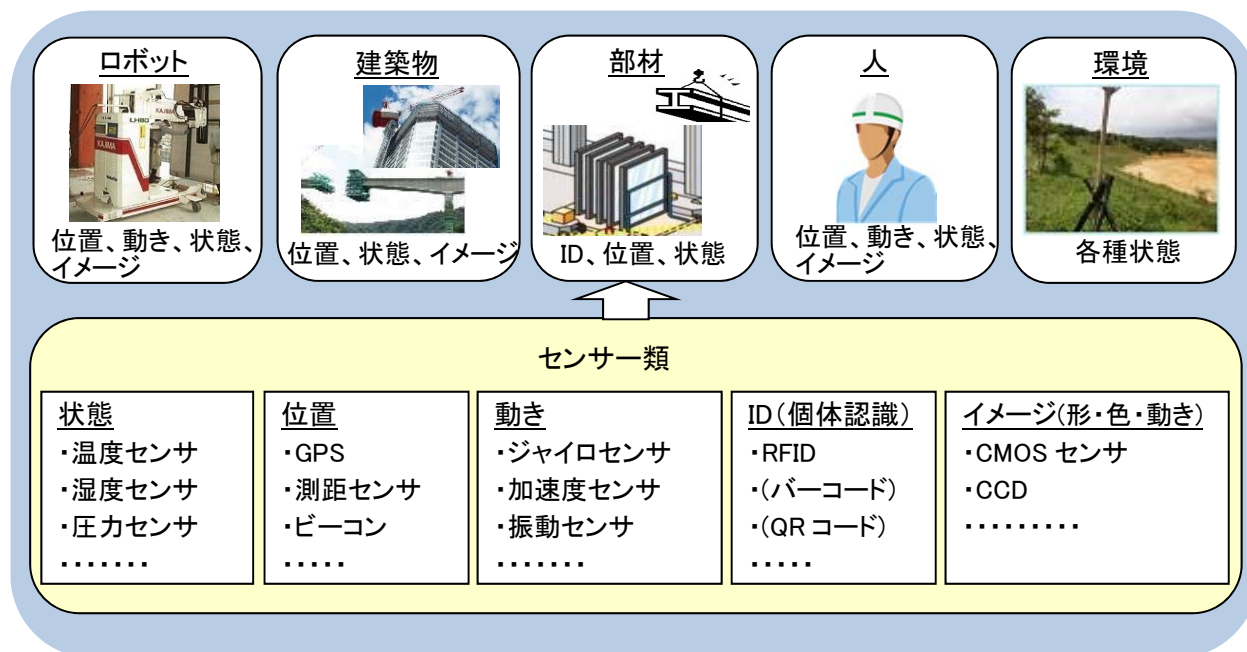


図 14：センサー類 (出典：鹿島建設株、富士通株)

【課題と今後の方向性】

センサを一度設置したら、長期にわたってメンテナンスフリーで利用したいという要望が強い。各センサにはさらなる省電力化・バッテリーレス化を進めると共に、設置後に手間のかからない運用管理手法を確立することが望まれる。また、各種センサを組み合わせ、従来取得できなかった現場の様々な状態をリアルタイムに高精度で検出するアルゴリズムの技術開発が期待される。ライフサイクルマネジメントでの利用には、耐用年数の向上が求められる。

(2) イメージセンサ

【建設生産システムでの必要性】

建設現場の進捗管理は、現状では目視に頼るところが多く、イメージセンサを用いた撮像を分析することで自動化できれば、この膨大な工数を削減することが可能になる。点検作業を自動化することは、効率性だけでなく正確性にも富んだ進捗管理システムが期待できる。

【技術の概要】

イメージセンサとは、レンズから入った光を電気信号に変換する半導体であり、人の目の網膜と同様の役割を果たし、センサの受光面で光の明暗を電気信号に変換し、被写体の撮像を可能にするデバイスである。

### 【現在の動向・適用例】

画像・映像を扱うイメージセンサは、速度、感度、ダイナミックレンジ、視野、距離などの従来の限界を超える性能のものが開発されており、画像撮影とクラウドによる画像データの処理を組み合わせ、測量、調査、管理、点検など広範囲に利用可能である。

方式としては、CCD 及び CMOS があり、数年前までは、CCD は高画質という特徴により、デジタルスチルカメラやデジタルビデオカメラ、セキュリティカメラに、CMOS は、小型、低消費電力の特徴により携帯電話/スマートフォンに多く採用されていたが、現在は画質的にも CMOS が優位性を持ちつつある。

高画質化の動向としては、デジタルスチルカメラで 3000 万画素を超えるものや、デジタルビデオカメラや、セキュリティカメラ、スマートフォンにも動画で 4K 撮影が可能な商品ものが市販されている。速度においては毎秒 1000 枚程度の撮影が可能な速度、感度においては、暗所でもノイズの少ない撮影を可能とする感度が実現されている。また従来の明暗差（ダイナミックレンジ）が大きい場面での撮影における明るい部分の白一色（白飛び）、暗い部分の黒一色（黒つぶれ）が、イメージセンサおよび画像信号処理の技術向上により解消されている。

上記の特徴により、ドローンのような端末で高高度を高速移動しながらも高解像度でブレ・ボケもなく正確に撮影できることは、安全にかつ短時間で建設現場などの状況把握につながり、進捗管理などにおいて大きなメリットとなる。

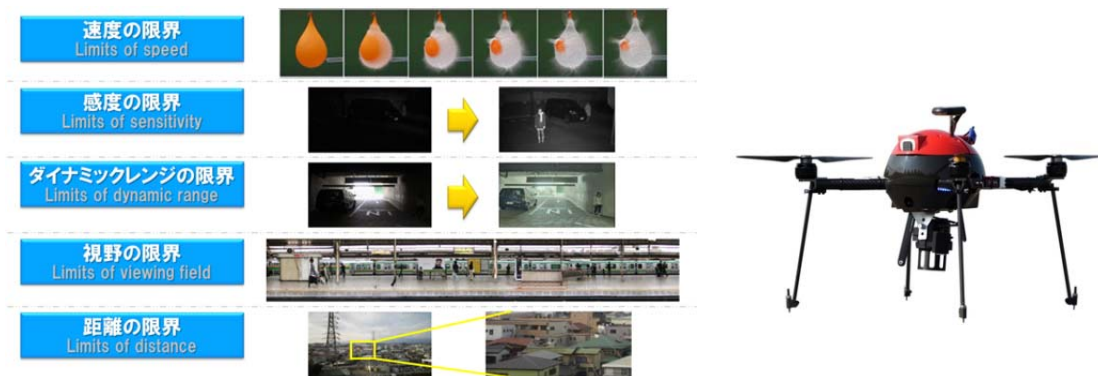


図 15：イメージセンサの特徴と撮影用ドローン  
(出展：ソニー(株)、エアロセンス(株)ホームページ)

### 【課題と今後の方向性】

現状撮像して記録する用途がメインであるが、イメージセンサ自体を様々なセンシングに応用していく方向が検討されている。一例としては距離測定分野がある。イメージセンサを活用した距離測定には、光の対象物への反射をセンサに届くまでの光の飛行時間を検出して距離測定を行う ToF 方式技術があり、マイクロソフトの kinect など主に近距離でのジェスチャー入力に応用されている。今後の技術向上により、測量分野への活用も考えられる。

## 5. ウェアラブルデバイス

### 【建設生産システムでの必要性】

身体への装着により、人や周囲の状態の自動的なセンシングや、作業に必要な情報を適宜参照できることから、作業効率向上や作業員の安全確認に大きな効果が期待できる。特に、ハンズフリー利用は、土木・建築現場での作業において大きなメリットとなる。

### 【技術の概要】

装着する場所・形状により、メガネ型、リストバンド/時計型、衣服型、指輪型、名札/バッジ型等に分類でき、使用目的・用途に応じて使い分けられる。各種センサや、カメラ、表示機能等が搭載され、サーバー/クラウドと繋がることにより、大きな効果を発揮する。

### 【現在の動向・適用例】

ここ数年で、装着に違和感の無いデバイスの開発と、普及が始まっており、作業現場への導入の障壁が低くなっている。

具体的な適用例としては、マニュアル・手順書等を表示し、それ見ながら作業するシステム、経験値の少ない作業員の見ている現場の情報を遠隔地の熟練者が共有し、適切な遠隔作業指示・支援を行うシステム、画像認識やAR（Augmented Reality 拡張現実）技術とシースルータイプの表示機能を持つメガネ型デバイスを利用して、現実の物体に重畳してそれに紐づけられた情報の表示や、実際には見えない隠れた部分の物体・構造やこれから施工する部分の構造を重畳して表示するシステムも開発されており、作業効率向上や作業ミス減少の目的での利用拡大が期待される。また、指輪型等の入力デバイスでの指示と組み合わせた利用などもある。

ウェアラブルデバイスは、身に着けるといふ特徴から、後述する人の働き方をサポートするICTとしての活用例も多い。名札/バッジ型による作業員情報確認や、リストバンド/時計型/衣服型による、生体センサを用いた作業員の体調モニターが可能である。さらに環境センサ（温度、湿度、気圧、音響等）とも組み合わせて熱中症危険度を把握したり、作業員の健康管理や作業員の姿勢・転倒検知、位置把握、行動分析等を行った事例もある。

### 【課題と今後の方向性】

小型軽量化・低電力化が進んでいるが、まだ装着に抵抗感を感じる、バッテリー交換や充電の手間が面倒という意見もある。今後、長時間駆動とともに、現場作業の邪魔にならず、操作が容易で、長時間使用しても疲れにくいものに進化していくことが期待される。また、これを活用して、BIM/CIM や他のセンサデータと連携した3次元リアルタイム施工状況表示や、現場で見ているものを遠隔と共有・支援するシステムがより高度化していくことが期待される。

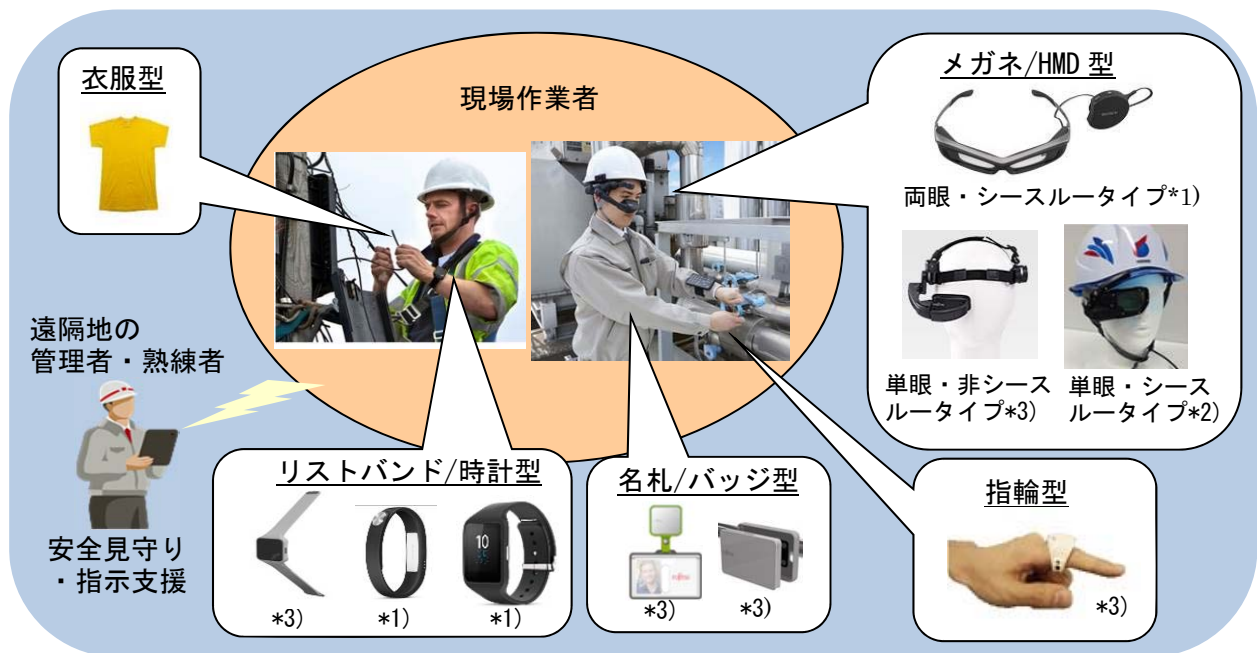


図 16 : ウェアラブル利用の具体例

出展: \*1) ソニー(株) ホームページ  
 \*2) 新日鐵住金ソリューションズ(株) ホームページ  
 \*3) 富士通(株) ホームページ

## 6. 業務分析技術

### 【建設生産システムでの必要性】

既述の各技術およびBIM/CIM、天候などの様々な情報から、人工知能（AI）やビッグデータ分析を活用した解析技術で、従来顕在化しなかった現場作業の無駄や改善点、作業安全施策の抽出により、労務管理、品質管理、事務管理の業務フローの抜本見直しに期待が大きい。

### 【技術の概要】

設計や工事の進捗状況を含む BIM/CIM や施工の計画と、作業員の活動量や作業画像などの実際の工事の作業状況を示すデータとから、工事の生産性や安全性に関する KPI との相関を発見し、その相関から改善施策を施工時にリアルタイムで提示する。また、データと施策の適用結果を蓄積して、設計・計画の段階で、生産性・安全性に関するリスクと対応策を工事前に提示する。

### 【現在の動向・適用例】

ICT を活用した業務改善の手法としては、BPM(Business Process Management), BAM(Business Activity Monitoring) とよばれる ICT でワークフロー化された業務のボトルネックや進捗を可視化する手法がある。ICT 化されていない業務については、エスノグラフィーのように、人が業務の現場を実際に観察して課題を抽出し、無駄や改善点を抽出する手法がとられている。

また、小型化・高性能化したセンサやカメラから、モノと人の位置や個体の認識、時系列での動きを把握することで、AR を用いた現場での作業のガイド、正しさや進捗の遠隔からの確認、数値データとして作業の記録が可能となっている。加えて、ビッグデータや人工知能によるデータ分析、シミュレーション技術の進展で、これらの記録したデータの分析から、生産性などの改善策を導出するような事例が出現し始めている。

建設生産現場では、施工計画、次世代 BIM/CIM、現場の作業状況を示すセンサ・カメラデータを組み合わせた分析により、生産性、安全性、品質の改善策の導出の可能性が高まっている。

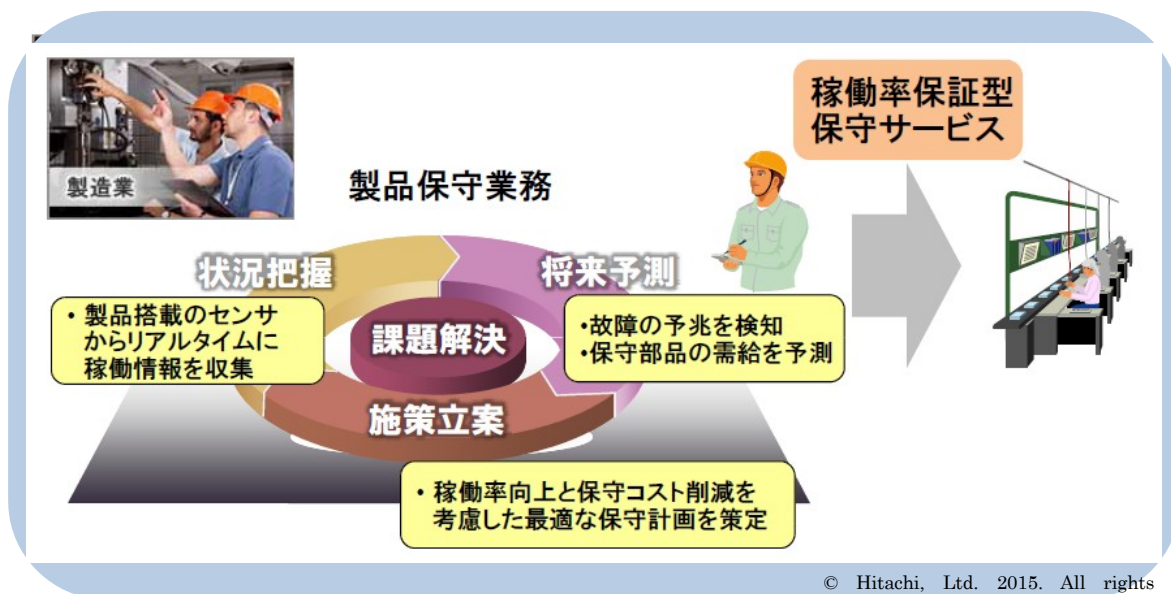


図 17：保守業務改善の具体例（出典：(株)日立製作所）

【課題と今後の方向性】

データ分析による改善施策提示に向け、計画や BIM/CIM のデータのモデル化と、それらと実際の作業状況のデータとの関連のモデル化が必要となる。このモデルは、サプライチェーン全体での改善にむけ業界全体で標準化されるべきである。これらのモデル化したデータから、目標に対する相関を自動で抽出する分析技術や、分析方法を想定したモデル化も必要になる。また、過去の工事案件からの知見の抽出に向け、大量のデータの蓄積・分析する基盤技術や、得られた知見を効率よく表現する建築施工に適したナレッジのモデルも必要である。

## 添付資料：土木生産性向上に関する工法などの検討結果

## 1. 土木構造物、土木建設現場の特徴

土木構造物、土木建設現場は建築と比べて以下の特徴を有する。

- ① 工事場所や工種が多様であり、施工範囲が平面的に広い。
- ② 官庁発注で、調査、設計、施工、維持管理が分業である場合が多い。設計基準や施工仕様書が発注機関によって異なる。
- ③ 建築構造物が膨大な種類の部品や集合体であることに比べて、土木構造物は比較的単純な RC 構造で現場打ちコンクリートでの施工が主体。
- ④ 地下工事等では自然（土圧や水）を相手とする場合が多く、施工時にはモニタリング等で安全性を確認しなければならない。また、施工中に設計時と異なる自然条件が判明し、構造物の仕様が施工中に変更される場合もある。品質面では地下水に対する止水・防水性能が要求される。
- ⑤ 作業員による屋外作業が多く、天気等の自然条件に起因する労働災害のリスクが高い。

## 2. 土木工事における合理化の現状

土木工事では重機の大型化・自動化、測量・計測技術の自動化、工事管理の ICT 化等を中心に合理化が図られてきた。近年は、ICT を活用した社会インフラの合理的なモニタリングや評価が検討されている。また、BIM の土木版である CIM についても国交省主導で試行が始まった。建設工事の合理化には ICT の活用が必要不可欠であり、ここでは、合理化の現状や今後期待される技術について ICT の観点から記述する。

- ① 調査・計画段階では、現状地形や既設構造物の形状・寸法を調査する方法として、カメラやレーザスキャナが活用されるようになってきている。今後は、調査の簡易化と高精度化、調査データの迅速な 3D モデル化が期待される。
- ② 施工段階では、TS (Total Station) や GNSS 等を用いた建設機械の MC (Machine Control) や MG (Machine Guidance)、災害地等危険な場所での遠隔操作による無人化施工、シールドマシンの自動運転、ニューマチックケーソンの省人化等が進んでいる。建設機械については、より一層の品質確保と生産性向上のために機械の詳細な動きの高精度な制御が求められる。また、トンネル、盛土、土留め掘削等では施工中の地盤挙動を計測し施工に反映する「情報化施工（観測施工）」が採用されており、各種センサの自動化、データの WEB での「見える化」等が進んでいる。
- ③ 施工時の生産管理としての作業工程管理、人工管理は、日々の作業日報を手入力でデータ保存しているのが現状である。今後はセンサや画像処理等により作業内容や作業員数を自動で把握・管理し生産性向上に繋げるシステムが期待される。また、出来形検査等の検査においても ICT による省人化が進んでおり、ICT 技術の進展に対応した検査・監理要領の確立も望



まれる。

- ④ 施工時の作業員の安全管理としては、センサを用いて重機に人が近づいた際に警報を発生させるシステム、IC タグを用いたトンネル入坑管理システム等が活用されているが、最近は腕時計や着衣型のウェアラブルデバイスにより作業員の心拍数や血圧等の情報を一元管理し安全管理につなげる試みがなされている。過去の労働災害情報をビッグデータ解析し、災害リスクの高い時期、場所を抽出する技術が開発されれば安全性は一層向上するだろう。
- ⑤ 維持管理段階では、構造物のひび割れや変位を画像やレーザで検知するシステムが開発されており、今後は狭い空間や高い場所等、人が近寄ることができない場所で供用に支障を与えることなく調査する方法や、調査結果の分析・評価方法・意思決定システムの開発が進むだろう。
- ⑥ 建設工程全体の生産性の向上や品質の確保、合理的な維持管理の観点から、設計や維持管理を通して CIM を利用した新しい建設管理システムの構築の試みがなされている。今後は調査計画段階から三次元モデルを活用し、フロントローディングを含む各段階での高度な業務の遂行が期待される。
- ⑦ 土木工事は場所が広域で大規模な構造物を構築することから、更なる合理化を実現させるためには、三次元の測位技術、移動通信技術、機械制御技術、等でレベルの高い技術が必要となる。そのためには、施工現場において屋内外シームレスに、高速・大容量でセキュリティが確保できる汎用的な通信技術・システムの開発が期待される。また、ICT 技術を部分的に導入することではなく、調査・設計から施工・検査、さらには維持管理・更新までの全てのプロセスにおいて導入し、プロセス全体を最適化することが重要であり、それを実現するための制度の確立も急がれる。

### 3. 土木建設工事におけるスマート生産「プレキャスト工法と ICT による生産システムの合理化」

土木建設工事における ICT を活用した合理化は土工分野では進んでいるが、コンクリート分野では比較的遅れている。これは現在でも鉄筋、型枠、現場打ちコンクリートを主体とした、「熟練作業員」と「現地合わせ」の施工が工事の大半を占めていることが大きな要因であると考えられる。今後はコンクリート構造物のプレキャスト化を普及させることで作業の標準化、施工の機械化を促進し、これに ICT と連携させることで、建設プロセス全体を合理化し、品質、安全、生産性を大きく向上させる「スマート生産」が実現できると考えられる。

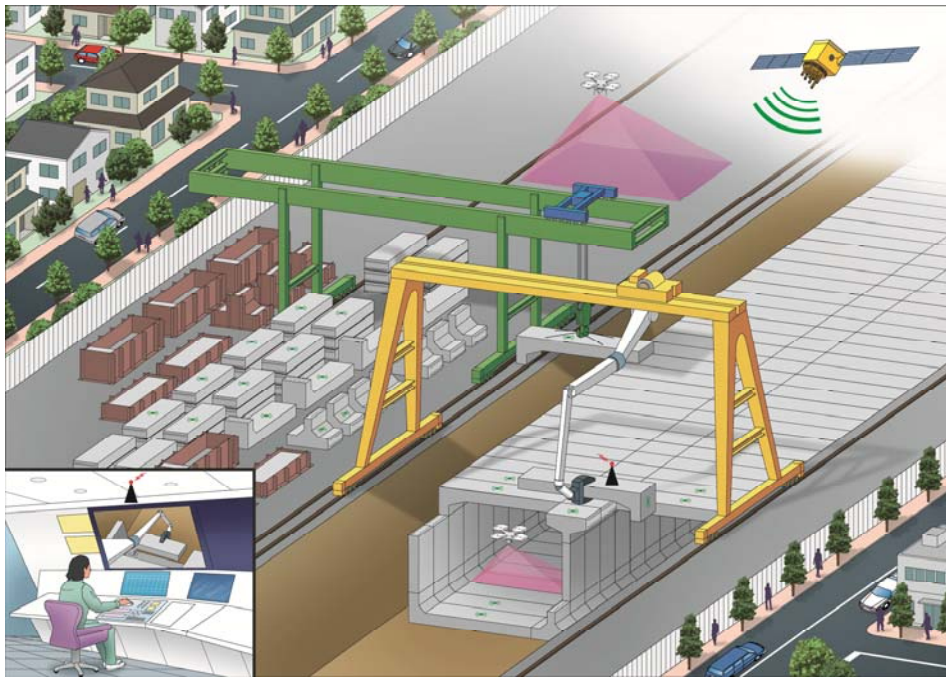


図1：プレキャスト工法と ICT による建設プロセス全体の合理化イメージ①  
 (出典：鹿島建設)

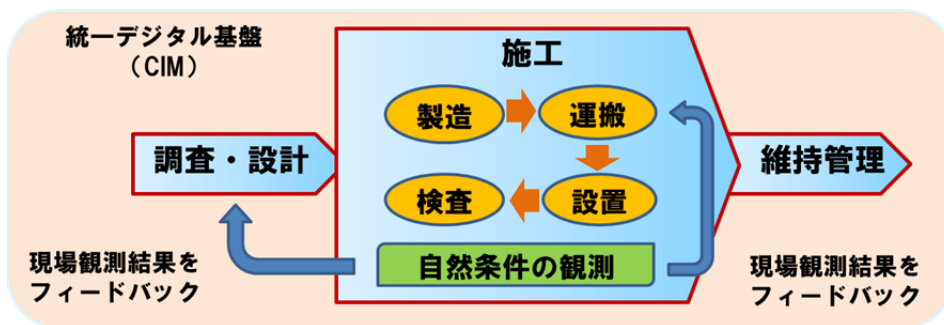


図2：プレキャスト工法と ICT による建設プロセス全体の合理化イメージ②

現在土木建設工事では函渠や側溝、L型擁壁等、小型の構造物でプレキャスト製品化が進んでいる。また、臨海地域等広い場所が確保でき大型の揚重機が利用できる場合は、橋脚等の大型構造物のプレキャスト化の事例がある。地下工事ではシールドトンネルのセグメントが挙げられる。今後一層プレキャスト工法を普及させるためには、都市部の開削工事等、各種制約条件が厳しい工事でも適用可能なプレキャスト技術が求められる。また、都市部ではプレキャスト部材の運搬において様々な制約条件を受け、これが生産性低下、コスト増大の要因となるため、現場でプレキャスト部材を製作するサイトプレキャストについての検討も必要となる。併せて、プレキャスト工法を採用しやすい仕組み・制度作りも必要である。

表 1 : 工場製作と現場製作 (サイトプレキャストの比較)

| 工場製作  | 現場製作(サイトプレキャスト)   |
|---|---|
| (利点)<br>・ 管理された工場での一括した品質管理が可能<br>・ 現場打設が困難な特殊材料の取り扱いが可能<br>(課題)<br>・ 運搬コストがかかる<br>・ 製作できる部材の寸法・重量に限られる<br>・ プレキャスト工場の繁忙度にコストや納期が影響する | (利点)<br>・ プレキャスト部材の運搬コストが低減できる<br>・ 製作できるプレキャスト部材の寸法・重量を大きくできる<br>(課題)<br>・ 製作, スtockヤード, 設備が必要<br>・ 各製作工程で製作上のノウハウが必要<br>・ 現場での施工, 品質管理が必要 |

プレキャスト化と ICT の組み合わせによって、熟練作業員による現地合わせの世界から脱却することができ、構造物の仕様、材料、ロジスティクス、施工手順など多くの項目について設計段階での意思決定（フロントローディング）が可能となる。ただし、いくら設計段階で詳細を決定したとしても、施工段階での風や地下水、土圧など自然条件の影響は避けられず、これらの自然条件に即座に対応できる施工技術がスマート生産の成功の鍵となる。また、現状の施工法をプレキャスト化し ICT を適用するのではなく、プレキャスト化に適した構造物の仕様、ICT 化をフルに活用できる施工法など、従来のやり方自体を変える必要があり、そのための仕組みや制度の構築も極めて重要である。

#### 4. スマート生産の実現に向けた研究開発の方向性

プレキャストと ICT を連携させたスマート生産の実現に向けた、今後の研究開発の方向性について述べる。

表 2 : プレキャストと ICT を連携させたスマート生産の実現に向けた今後の研究開発

|                 |   |
|-----------------|---|
| (1) 材料・構造・設計    | ①RC に代わる構造<br>②3D モデルや AR を駆使した精度の高い設計  |
| (2) プレキャスト部材製作  | ①型枠製造の合理化と 3D プリンタの活用<br>②ICT 技術を活用したプレキャスト部材の品質管理  |
| (3) ロジスティクス     | ①ジャストインタイムに調達・搬入するための情報通信   |
| (4) 施工技術、施工管理   | ①プレキャスト部材を高精度かつ迅速に設置するための技術<br>②施工状況のリアルタイムモニタリング<br>③自然条件の観測と対応技術<br>④センサや画像処理技術を利用した生産性分析技術<br>⑤ペーパーレス施工管理・検査<br>⑥安心・安全な情報通信基盤<br>⑦ビックデータを利用した災害リスク分析 |
| (5) 維持管理、メンテナンス | ①接続部の漏水検知と止水対策技術<br>②耐久性に関する品質データのデータベース化   |

##### (1) 材料・構造・設計

###### ① RC に代わる構造

現在は RC 構造が主体であるため、部材あたりの重量が大きく運搬、設置に労力を要する。また、部材間の接合も鉄筋継手構造となっており、施工性や止水性等の品質確保の面でも課題が

ある。今後は RC に代わる構造として S 造、SC 造の採用が期待されており、設計手法の確立・整備が望まれる。継手については現状の機械式継手の施工性向上、コスト低減、適用範囲の拡大が望まれるが、今後は接着剤の適用も期待される。また、接合部で重要となる止水性についても設計手法の確立が望まれる。

## ② 3D モデルや AR を駆使した精度の高い設計

施工プロセスの最適化は、設計段階でどれだけ精度の高い施工計画を立案できるかが鍵となる。そのためには現場施工条件を詳細に反映した 3D モデリングによる施工シミュレーションが必要となる。さらに、AR 技術を用いて机上ではなく現地で施工状況をシミュレーションし、関係者間で合意形成しながら設計を進めると極めて精度の高い設計が実現できるだろう。

また、プレキャスト部材を運搬する場合、運搬ルート上の障害物の事前確認が必要となる。MMS (Mobile Mapping System) 等を用いて運搬ルートを 3D モデル化すれば、運搬に支障ない最適なプレキャスト寸法の決定が可能となる。

## (2) プレキャスト部材製作

### ① 型枠製造の合理化と 3D プリンタの活用

プレキャスト部材において品質、コスト双方を左右するのが型枠である。この型枠の合理化技術については材料や型枠製作などあらゆる観点での検討が望まれる。プレキャスト部材の形状が複雑になると、型枠の製作が難しくなる。将来は 3D プリンタ技術の利用が期待される。また、軽量かつ強度のある材料と耐久性のある接着材が開発されれば、プレキャスト部材自体を 3D プリンタで作成することができるかもしれない。

### ② ICT 技術を活用したプレキャスト部材の品質管理

プレキャスト部材は、同じ場所で同じ手順で繰返して製作される。したがって、各製作ステップで必要となる品質管理において各種センサを活用することで、プレキャスト部材の製作時における品質管理を高精度化、効率化できる。例えば、画像分析技術やレーザスキャナ技術は、配筋検査や出来形検査に有効な ICT 技術であると考えられる。また、品質管理データをデータベース化し、プレキャスト部材に付与する ID や IC タグ等で管理することで、トレーサビリティや維持管理性の向上にも寄与できる。

## (3) ロジスティクス

### ① ジャストインタイムに調達・搬入するための情報通信

現場のヤードが狭く仮置きスペースに限界がある場合は、プレキャスト部材をタイムリーに搬入しなければならない。製造段階からプレキャスト部材に ID を付け、プレキャスト部材が今どの状態にあるかタイムリーに管理するための情報通信技術が必要となる。これを活用すれば、帰りを活用する等して現場外への搬出の合理化も実現できる。

#### (4) 施工技術、施工管理

##### ① プレキャスト部材を高精度かつ迅速に設置するための技術

プレキャスト部材を効率よく設置するためには、設置するための座標を自動で現地に示す技術が必要となる。また、絶対座標に自動的にプレキャスト部材を設置できる建設重機が開発されると、大幅な省人化が達成されると考えられる。そのためには、精度の高い位置検知技術と重機の制御技術の双方が必要となる。重機についてはクレーンの工夫改善といった従来技術の延長だけでなく、プレキャスト部材をしっかりと把持できる特殊機械など新しい機構をもった重機も検討する必要がある。位置検知については、プレキャスト部材自信の位置検知だけでなく、所定の位置に設置後、合わせるべき2点が同一地点にあることをセンサで確認するといった、正確に設置できたことを確認する技術も重要である。

##### ② 施工状況のリアルタイムモニタリング

施工状況をリアルタイムに見える化することは、作業が計画通りに進捗しているかを迅速に確認し改善策を早急に講じることができる。同様に、安全面の確認と対策の実施もタイムリーに実施できる。さらに、CIM モデルと連動させることで、材料管理、構造物の出来高管理も可能となり、更なる付加価値が期待できる。

##### ③ 自然条件の観測と対応技術

土留め杭打設時の周辺地盤変状や掘削時の土留めの変形など広範囲にわたる観測についてはドローンやレーザスキャナ、写真測量技術の活用が期待される。また、土木建設現場は屋外空間が多く風の影響を受けるため、風速、周囲の状況、荷振れ等を検知して自動アシストするクレーンの開発など、風の影響に柔軟に対応できるプレキャスト部材の設置技術の開発が望まれる。また、プレキャスト部材に作用している土圧、水圧、風圧力などの外的作用と、応力、ひずみなどの内的応答を部材に内蔵したセンサにて常時モニタリングし、設計の想定から逸脱していないことを確認する技術も品質を確実に確保する上で必要となる。併せて、高精度に雨や風の予測情報を提供できるシステムも望まれる。

##### ④ センサや画像処理技術を利用した生産性分析技術

建設機械やロボットについては、自身の稼働データを収集・分析することで生産性評価を行うことができるが、人の作業については今でも作業内容と作業時間を記録しているのが実態である。今後は画像処理やセンサを利用して人の作業内容・作業時間を定量把握し生産性分析を行うことにより、作業の効率化や安全性が向上すると考えられる。

##### ⑤ ペーパーレス施工管理・検査

現場での施工管理や検査業務は立ち合いによる図面との比較や施工データの記録が主体となる。レーザスキャナやデジタルカメラを用いた測量、WEB を利用した遠隔立会い検査等の ICT 技術を利用してこれらの作業をペーパーレス化・省人化することは生産性向上に大きく寄与すると考えられる。タブレット端末の活用は勿論、将来はウェアラブルモニタやスマートグラスの適用も期待される。

#### ⑥ 安心・安全な情報通信基盤

ICT 技術が建設現場のあらゆる場面で利用されるためには、情報通信基盤の充実が必要となる。具体的には、広大な施工現場において屋内外シームレスに、高速・大容量でセキュリティが確保できる汎用的な通信技術・システムの構築が望まれる。

#### ⑦ ビックデータを利用した災害リスク分析

現場作業の安全性向上は極めて重要であり、ICT の活用が期待される。例えば、過去の労働災害情報（ビックデータ）から、災害リスクの高い時期、場所を抽出する技術や作業員の移動軌跡に係るデータ分析により、安全性の高い導線や安全表示配置の計画を支援する技術などが期待される。また、作業員の位置や脈拍等をモニタリングして作業員健康状態を管理する技術が開発されており、これらの管理技術は「現場の見える化」の一部として普及するものと考えられる。

### (5) 維持管理、メンテナンス

#### ① 接続部の漏水検知と止水対策技術

プレキャスト構造はその接続部の品質管理が重要となる。特に地下構造物では漏水に対して注意しなければならず、漏水検知技術ならびに漏水検知後の止水対策技術が必要となる。あらかじめプレキャスト部材にセンサを埋め込んでおくなどといった様々な工夫を考える必要がある。

#### ② 耐久性に関する品質データのデータベース化

プレキャスト部材は、コンクリート打設後、十分な養生期間を経て、架設されることが基本である。そのため、養生後における耐久性に関する品質データを、現場架設前に同一の試験条件で取得することができる。例えば、表層の圧縮強度や透気係数、ひび割れの有無などを、現場架設前に取得し、データベース化しておくことで、供用後の維持管理における初期データとして活用することができる。また、供用後の点検結果を同じデータベースで管理することにより、経年による劣化、変状を評価することも可能である。

### 5. 実用化に向けた規格・標準化・制度上の支援など

新技術を速やかに普及展開させスマート生産を実現させるためには、規格・標準化・制度上の支援等が必要となる。

表3：実用化に向けた規格、標準化、制度上の支援項目

|    |  |
|----|--|
| 1  | 構造物部材、寸法のある程度の統一化                      |
| 2  | 施工性を考慮した設計思想の標準化                       |
| 3  | 設計施工一括発注など、施工者が上流段階に関与できる契約の採用拡大       |
| 4  | 発注者毎に異なる指針、仕様書の統一、簡素化                  |
| 5  | 工事契約後における生産性向上を目的とした設計変更を推進するための仕組みづくり |
| 6  | 現場における工期短縮や省力化への取組みに対する発注者サイドの評価       |
| 7  | 調査、設計、施工、維持管理等の関連者の情報共有プラットフォームの統一化    |
| 8  | 大型プレキャスト部材を公道運搬する際の制約の緩和               |
| 9  | ICTを活用した承認、検査手法の標準化                    |
| 10 | 自動化、ロボット導入を促進する安衛則等の安全規則の見直し           |
| 11 | 建設機械の通信・制御プロトコルのオープン化、標準化              |
| 12 | パイロットプロジェクトの実施                         |

① 構造物部材、寸法のある程度の統一化

現状、各構造物は想定される作用と要求性能に対して個別に最適化されているため、個々の部材の寸法、諸元が現場ごとに異なる。また、同じ用途である構造物であっても発注者ごとに指針や基準が異なる場合がある。そのため、同じ構造形式であっても現場ごとに個別の施工方法を採用せざるを得ない。これに対して、構造部材が形式ごとに幾つかのパターンに統一されれば、パターンに応じた施工方法、資材を標準化することによって、プレキャスト製造のための部材の転用や職人に要求される技術の標準化が可能となり、生産性や品質、安全性を高めることができる。

② 施工性を考慮した設計思想の標準化

官庁工事に代表される公共工事は設計・施工分離が原則であり、設計では材料数量が最小となる考え方が取り入れられ、構造物の形状や配筋が複雑化される傾向にある。結果として、施工には多くの手間と熟練工を要し、生産性が低下しているのが現状である。よって、現場での生産性をより重視した設計の考え方を採用することは、設計・施工全体を合理化し生産性を向上させるだけでなく、品質、安全面でも大きく向上させることができる。

③ 設計施工一括発注など、施工者が上流段階に関与できる契約の採用拡大

現行の公共土木の契約形態は、設計と施工を分離して発注することが基本であり、事業の上流（設計）段階での施工上のリスク管理の実施（フロントローディング）は限定的となり、結果的に施工段階での図面修正や施工方法の修正などによる手戻りや手待ちが発生している。今後は、測量会社、建設コンサルタント、請負業者などの異業者間の垣根を取り払い、設計施工一括契約（DB）をベースとした契約形態を採用しCIMを活用することで、事業の上流段階でリスクの大部分を洗い出し具体的な対策を設計に盛り込むことで、事業全体のプロセスの合理化が期待できる。米国で採用されている調達方法の一つである、Integrated Project Delivery（IPD）は、建築家、エンジニア、請負業者、発注者等の利害関係者が計画の初期の段階から協力し、最適な構造物を作成するための最も有効な決定を共同で下す調達方法である。民間建築

工事の適用が多いらしいが今後の検討の参考事例となるかもしれない。

④ 発注者毎に異なる指針、仕様書の統一、簡素化

現在は用途、目的が同じ構造物でも発注者によって指針や仕様異なるものが存在する。これらを統一化することで、管理資料の様式も統一化が可能となり、ICTの適用可能性が広がる。

⑤ 工事契約後における生産性向上を目的とした設計変更を推進するための仕組みづくり

指定仮設や本体構造物の配筋、寸法等を変更することで、プレキャスト化や機械化による工期短縮が可能となる場合があるが、現在はそのような変更は困難である。基準や指針の枠にとどまらない自由なアイデアを工事契約後に積極的に提案・採用できる仕組みがあれば、建設現場全体としての生産性向上が図られる。

⑥ 現場における工期短縮や省力化への取組みに対する発注者サイドの評価

現在の制度では工期短縮要請が無い限り、施工者の努力で工期短縮しても評価されない。しかしながら、工期短縮することで施工者や作業員は次のプロジェクトに移動することができ建設産業全体の生産性は間違いなく向上する。また、一つのプロジェクトの環境影響負荷という面でも工期短縮の寄与は大きい。発注者が工期短縮に対して積極的に評価する制度ができれば、企業の生産性向上への取組みが加速し、様々な技術開発が促進されるだろう。

⑦ 調査、設計、施工、維持管理等の関連者の情報共有プラットフォームの統一化

調査から維持管理までの全体プロセスを合理化するためには、これら一連の情報を共有する基盤が必要となる。このような情報共有基盤の標準化、統一化により建設業のICTによる合理化は加速するだろう。



図3：一連のプロセスにおける情報共有イメージ



⑧ 大型プレキャスト部材を公道運搬する際の制約の緩和

土木構造物は部材が大きいため、大型のプレキャスト部材を公道運搬することが想定される。現在は重量物の運搬に様々な制約があり、これらを緩和することで調達によるロスを軽減することができる。また、運搬する際には、運搬車に設置した位置検知機と信号機と連動させた運搬交通管制システムによりスムーズに運搬することが可能になれば、生産性は更に向上する。

表 4：制約を受ける車両制限の例（道路法第 47 条 1 項、車両制限令第 3 条）

| 車両の諸元  | 一般的制限値（最高限度） |
|--------|--------------|
| 幅      | 2.5m         |
| 長さ     | 12.0m        |
| 高さ     | 3.8m         |
| 総重量    | 20.0ton      |
| 最小回転半径 | 12.0m        |

表 5：制約の例（道路法第 47 条の 2 第 1 項の規定に関する通達より）

| 区分 | 重量条件  | 寸法条件                           |
|----|---|--------------------------------|
| A  | 徐行等の特別の条件を付さない。   | 徐行等の特別の条件を付さない。                |
| B  | 徐行および連行禁止を条件とする。  | 徐行を条件とする。                      |
| C  | 徐行、連行禁止および当該車両の前後に誘導車を配置することを条件とする。   | 徐行および当該車両の前後に誘導車を配置することを条件とする。 |
| D  | 徐行、連行禁止および当該車両の前後に誘導車を配置し、かつ 2 車線内に他車両が通行しない状態で当該車両が通行することを条件とする。道路管理者が別途指示する場合は、その条件も附加する。 |                                |

⑨ ICT を活用した承認、検査手法の標準化

測量技術については ICT 技術の発展により、より簡易でより精度が高くなると期待される。また、同じ場所で繰り返して部材を製作するプレキャスト工法では、各種センサや ICT 技術で効率的な品質管理が可能となることが考えられる。しかしながら、現在の検査や承認手段は検査員立会いのもと目視確認や紙での記録が一般的であり、ICT 技術の発展に制度が追いついていない。ICT を活用した検査手法の制度化の早期実現が望まれる。

⑩ 自動化、ロボット導入を促進する安衛則等の安全規則の見直し

現在の安衛法は「重機は人が運転すること」が前提となっている。雲仙普賢岳で利用された無人化施工は遠隔操作を人が行うので安衛法に適合しているが、人が運転しない自動機械を現場で使用することについては適合性についてグレーゾーンとなる可能性が高い。今後は、機械化、自動化、ICT 化に適合した法整備も急がれる。

⑪ 建設機械の通信・制御プロトコルのオープン化、標準化

建設機械の通信・制御の仕様をオープン、或いは、標準化することによって、ユーザーがメーカーを介することなく自動化や無人化を自らの手で行うことが可能となるため、この分野の技術開発は一層促進すると考えられる。

⑫ パイロットプロジェクトの実現

各種要素技術開発成果の実証並びに社会実装する前段階の検証として実証実験が必要となるが、各開発成果の組合せによる全体効果検証のためには、ある程度の規模の構造物施工を対象とした試験施工が必要である。例えば、二車線道路断面程度のボックスカルバート工事の構築を対象として、各種の要素技術の開発成果を適用し、工程、コスト、品質、安全、環境負荷などについての効果を検証することが望まれる。

添付資料：建築生産性向上に関する工法などの検討結果

## 1. 現状の整理と建築工法革新のポイント

現状での建築生産の課題を整理し、建築工法の革新をもたらすポイントを見出す。建築生産は

- ①建築物は一品生産であり、反復継続する工場内生産とは異なる
- ②建築の労働生産性は、他製造業と比較して半分以下である
- ③労働者、特に熟練工や若年層不足が今後大きな課題となる
- ④工数分析の結果（図1）では、接合作業は現場作業の55%を占める

など、他産業にはない特殊性を抱えており、これらに着目して建築合理化のためのポイントをおさえる必要がある。

### 分析結果

- ・建物工事全体を①構造体工事(35%)②仕上げ工事(39%)③設備工事(18%)に分解
- ・接合は各工事の広範にわたるが、特に工数を要する以下の作業に着目

構造体工事 : (a) 柱や梁の接合 (70%)  
 仕上げ工事 : (b) アルミサッシ取付 (53%)  
 設備工事 : (c) 天井配管工事 (56%)

- ・建物工事全体に占める接合作業の割合は約55%

$$\text{構造体}35\% \times 70\% + \text{仕上げ}39\% \times 53\% + \text{設備}18\% \times 56\% = 55\%$$



鉄筋コンクリート造建物（プレキャスト工法）の工事全体に占める接合作業の割合

図1：工数分析結果（2014年度COCN最終報告書から引用）

上記建築生産の特殊性を踏まえ、本WGで検討する建築工法革新のポイントを以下の通り設定する。

- ①ユニット化・モジュール化による建築生産への貢献。工場生産率の向上
- ②ロボット・自動化施工（効率化／省人化／自動化／遠隔操作／画像認識）
- ③ユニット化・モジュール化、ロボット施工の促進のための接合技術
- ④ライフサイクルにおける技術活用。特にリニューアル工事
- ⑤拡張されたBIMと連携したライフサイクルに渡るデータ管理

## 2. あるべき姿（建築生産におけるスマート化）

ユニット化・モジュール化に着目した革新的な建築工法（工数削減）のアウトラインを検討した結果を以下に示す。

### ①ロボット・自動化の促進

建築生産において、ロボット・自動化施工を促進することで、これまで困難であったモジュールやユニット単位での効率的な省人化施工も実現できる可能性が生まれる。例えば、通

常別々に施工されるアルミサッシ枠とガラス窓を一体としたモジュールを接着接合する工法が実現されれば、重量物を正確な位置に移動・設置して一定時間保持するロボット施工の有効性が増す（図2）。

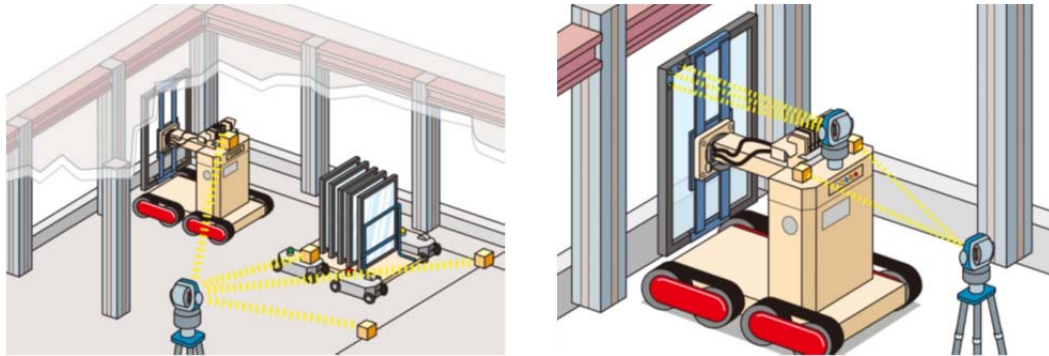


図2：外壁ユニットのロボット施工法案  
（出典：2014年度COCN最終報告書）

また、ユニットの大きさは運搬上の制約により決まることが多いが、図3に示すように、運搬可能なサイズのモジュール複数を設置場所近傍で一体化（ユニット化）し、位置決め機能を持った揚重ロボットにより所定の位置に移動・設置すれば生産性向上が図れる。さらに、機械化施工では、人間との安全な共存が前提であり、人が現場にいることでロボットの活用が停滞する可能性もはらんでいるため、将来的には無人化施工を実現することも意識する必要がある。

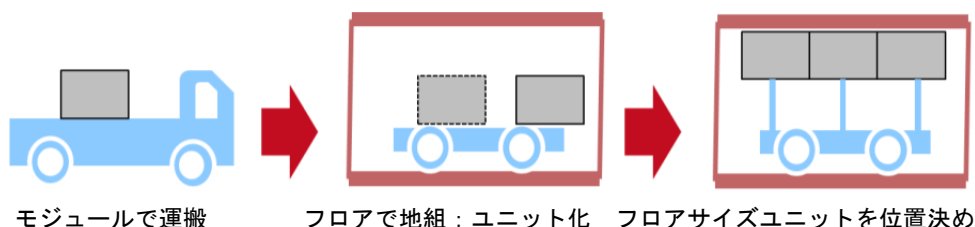


図3：設備モジュールのユニット化施工の例  
（出典：2014年度COCN最終報告書に加筆修正）

## ②高品質・高精度化

ユニット化・モジュール化は、作業条件の良い生産工場での加工比率（プレ加工）の向上を前提とするため、現場での作業効率向上のみならず、建築物の高品質・高精度化につながる。海外の物件では、品質確保のために完全プレハブ化も行われている

## ③ユニットや部材のインテリジェント化

上記の例のように、ロボットで操作しやすい単位をモジュール化して製品管理することで、一定規模の部材群をICタグなどの情報技術により管理することが可能となる。ユニット化、モジュール化された単位で、ICタグなどにより施工情報や利用状況を管理することができ

ば、それらのデータを、リニューアルを含むライフサイクルに渡り活用することで、より効率的な維持管理・更新が可能となる。

#### ④高速施工

ユニット化は、建設現場での工数削減を達成することで高速施工の実現に貢献する。より高速な施工を達成するためには、ユニット化率を高めることが重要な課題となる。国内外の事例では90~94%まで達成しているものがある。特に、設備が集中する床（床下から直下階の天井まで含む）のユニット化（図4）は、工数削減に大きな効果を発揮するため、国内外の工事で実施されている。この工法は、建物用途や規模が限定される場合もあるが、ロボット・自動化施工の進展により、より汎用性の高い高速施工の実現が可能となる。

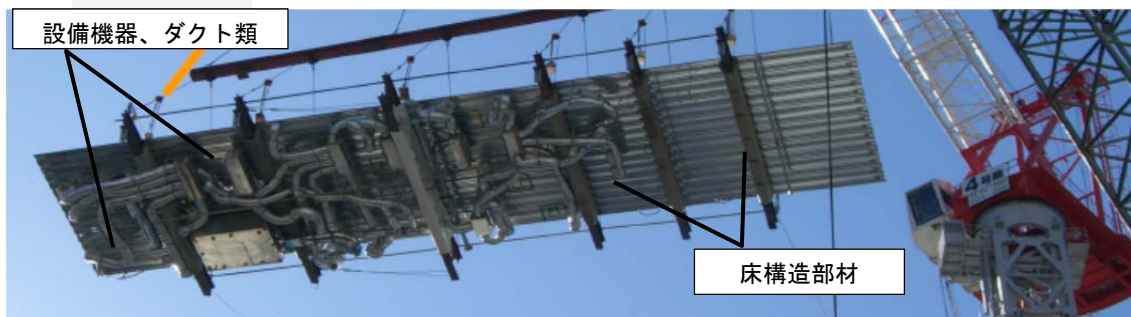


図4：床ユニット例（構造、設備の一体化）（出典：鹿島建設）

#### ⑤現場作業・工程の削減及び平準化

ユニット化することで現場での工数が削減されると同時に、工種も減らすことができる（図5）。これは、現場での作業・工程の削減や平準化にも結び付けることができる。

| 作業内容          | 数量                    | 歩掛                     | （施工フロー）     |             |             |
|---------------|-----------------------|------------------------|-------------|-------------|-------------|
|               |                       |                        | 所要工数<br>(人) | 作業人員<br>(人) | 所要日数<br>(日) |
| 鉄骨建方(1節)      | 18.10 t               | 0.467 人/t              | 8.5         | 5           | 2           |
| 柱接合(アンカーボルト)  | 48 本                  | 0.05 人/本               | 2.4         | 3           | 1           |
| 梁本締め          | 2540 本                | 0.0075 人/本             | 19.1        | 7           | 3           |
| デッキ敷き、コン止め    | 931.32 m <sup>2</sup> | 0.013 人/m <sup>2</sup> | 12.1        | 6           | 3           |
| スラブ配筋         | 16.43 t               | 2.13 人/m <sup>2</sup>  | 35.0        | 6           | 6           |
| コンクリート打設(1F)  | 79.63 m <sup>3</sup>  | 0.045 人/m <sup>3</sup> | 3.6         | 4           | 1           |
| 床金ゴテ仕上げ(1F)   | 523.66 m <sup>2</sup> | 0.025 人/m <sup>2</sup> | 13.1        | 14          | 1           |
| コンクリート打設(2F)  | 69.85 m <sup>3</sup>  | 0.045 人/m <sup>3</sup> | 3.1         | 4           | 1           |
| 床金ゴテ仕上げ(2F)   | 465.66 m <sup>2</sup> | 0.025 人/m <sup>2</sup> | 11.6        | 12          | 1           |
| 耐火被覆吹き付け      | 494.42 m <sup>2</sup> | 0.02 人/m <sup>2</sup>  | 9.9         | 3           | 4           |
| 鉄骨建方(2節)      | 7.43 t                | 0.467 人/m <sup>2</sup> | 3.5         | 4           | 1           |
| 柱溶接           | 711.15 m              | 0.05 人/m <sup>2</sup>  | 35.6        | 8           | 5           |
| 梁本締め          | 1538 本                | 0.0077 人/本             | 11.8        | 4           | 3           |
| デッキ敷き         | 501.57 m <sup>2</sup> | 0.013 人/m <sup>2</sup> | 6.5         | 4           | 2           |
| スラブ配筋         | 15.94 t               | 2.13 人/m <sup>2</sup>  | 34.0        | 6           | 6           |
| コンクリート打設(3F)  | 69.85 m <sup>3</sup>  | 0.045 人/m <sup>3</sup> | 3.1         | 4           | 1           |
| 床金ゴテ仕上げ(3F)   | 465.66 m <sup>2</sup> | 0.025 人/m <sup>2</sup> | 11.6        | 12          | 1           |
| コンクリート打設(RF)  | 71.20 m <sup>3</sup>  | 0.045 人/m <sup>3</sup> | 3.2         | 4           | 1           |
| 床金ゴテ仕上げ(RF)   | 474.66 m <sup>2</sup> | 0.025 人/m <sup>2</sup> | 11.9        | 12          | 1           |
| コンクリート打設(PHF) | 4.04 m <sup>3</sup>   | 0.045 人/m <sup>3</sup> | 0.2         | 3           | 1           |
| 床金ゴテ仕上げ(PHF)  | 26.91 m <sup>2</sup>  | 0.025 人/m <sup>2</sup> | 0.7         | 1           | 1           |
| 耐火被覆吹き付け      | 971.45 m <sup>2</sup> | 0.02 人/m <sup>2</sup>  | 19.4        | 3           | 7           |
| 総所要工数         |                       |                        | 259.9 人     |             |             |

| 作業内容        | 数量                     | 歩掛                     | ユニット化の一例    |             |             |
|-------------|------------------------|------------------------|-------------|-------------|-------------|
|             |                        |                        | 所要工数<br>(人) | 作業人員<br>(人) | 所要日数<br>(日) |
| PCa版仮設(1F床) | 84 枚                   | 0.1 人/枚                | 8.4         | 3           | 3           |
| PCa版グラウト    | 336 ヶ所                 | 0.008 人/ヶ所             | 2.7         | 1           | 3           |
| 鉄骨建方        | 39.01 t                | 0.467 人/t              | 18.2        | 5           | 4           |
| 梁接合         | 4078 本                 | 0.0071 人/本             | 29.0        | 6           | 5           |
| 柱接合(柱脚グラウト) | 40 ヶ所                  | 0.14 人/ヶ所              | 5.6         | 6           | 1           |
| 柱接合(柱頭グラウト) | 40 ヶ所                  | 0.14 人/ヶ所              | 5.6         | 6           | 1           |
| PCa版架設      | 258 枚                  | 0.1 人/枚                | 25.8        | 3           | 9           |
| PCa版グラウト    | 1032 ヶ所                | 0.008 人/ヶ所             | 8.3         | 1           | 9           |
| 耐火被覆巻付け     | 1261.33 m <sup>2</sup> | 0.035 人/m <sup>2</sup> | 44.1        | 6           | 8           |
| 総所要工数       |                        |                        | 147.7 人     |             |             |

図5：ユニット化による工種削減例（施工フロー）<sup>1)</sup>

## ⑥施工管理・検査・出来形管理の省力化・簡易化

BIM の活用が進めば施工管理や検査も省力化・簡易化が図れる。既に、3次元レーザスキャナ計測とBIMを連携させて既存建物・設備の現状把握が行われている（図6）。

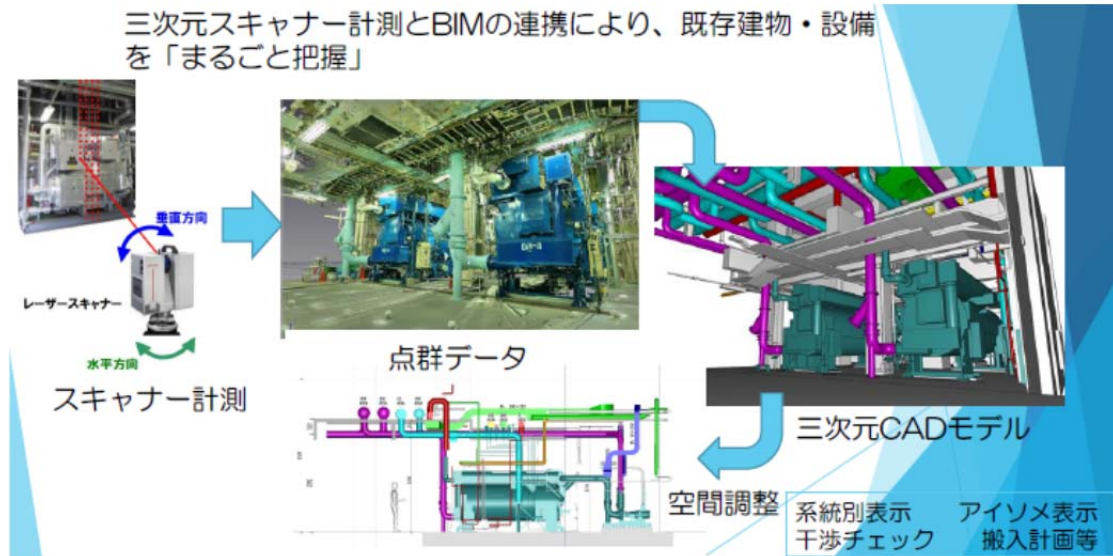


図6：3次元レーザスキャナ計測による現状把握

（出典：新菱冷熱工業(株)）

例えば、エレベータ工事では、鉄骨部材の図面作成・チェックから他の建築・設備部材との納まり・干渉検討、レール取付け部の誤差吸収など、設計から施工に渡り事前工程の出来形情報が必要となる。また、リニューアル工事においても、実寸法の確認を前提とした施工・安全・工期管理が要求される。これらの管理において、現実の出来形を反映させたBIMデータの活用は非常に有用である。

## ⑦リユースの促進

資源の有効活用のためにリユースは重要であり、ユニット化・モジュール化とリユースの促進は、相乗効果を発揮することが期待できるため、構造分野では図7に示すように、柱梁の接合部などにおいて解体後のリユースを前提とした接合方法の開発が進められている。設備・仕上げの分野でも検討すべき課題である。

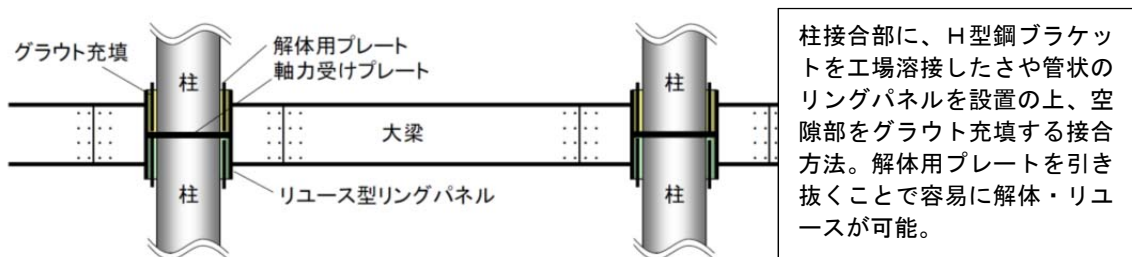


図7：リユース構造体の例（リユース型接合部<sup>1)</sup>）

### ⑧安全性確保

建設現場では生産性の向上とともに、安全性の確保・向上は重要な課題であり、それがひいては生産性にも多大な影響を与える。ユニット化、モジュール化やそれによる現場作業工数の低減は、現場における墜落・飛来落下などの安全リスクの低減に寄与する。

### ⑨リニューアルでの活用：使いながら。短工期。正確・迅速な現状把握

リニューアル工事においては、建物の使用不能期間を極力短くするために短工期での施工が求められる。また、使いながら工事を行うことも頻繁である。そのため、部材単位での施工ではなく、一定の機能を担うモジュール単位、又はユニット単位での施工が有効性を発揮する。新築時において、取り換えの単位をモジュールとして規格化・標準化してICタグにより管理しておけば更新が容易となる。

リニューアルを効率的に行うためには、建物各部がどのように使われ、どのような状況にあるかをモニタリングしておくことが有効である。このトレーサビリティを確実なものとするために、施工時のBIMによる出来形の管理は有用であり、それは、部材（または部材群）をリユースする場合にも効果を発揮する。これらのユニットやモジュールの現場施工では、接着剤やワンアクション接合など、現場での作業を省力化できる技術によりさらなる効率化、短工期が達成される。

## 3. 課題（研究開発の方向性）

ユニット化、モジュール化に着目したあるべき姿（建築生産におけるスマート化）を実現するための課題、特に必要な技術開発の方向性について以下に述べる。

### ①ロボット・自動化技術

ユニット化（モジュール化）を前提としたロボット・自動化を推進するためには、以下の「課題」が挙げられる。

- a. ユニット重量：ユニット化による重量増加への対応
- b. ユニットサイズ：ユニット化による大型化への対応
- c. 運搬手段：輸送可能な大きさを前提としたユニット化
- d. ユニット間接合：大型化による接合部ずれ量増大への対応
- e. 標準化・共用化：搬送の効率化のためのユニット取付け部形状の共用化

自動化（無人化）を前提とすると、以下の項目が建設用ロボットに求められる「仕様」となる。

- a. 全高制限：安全性、ロボットサイズ、作業難易度を考慮してロボットの全高を制限
- b. 作用点の低位置化：人の介在なし。表示、確認、取り合いなどを低位置で実施
- c. 遠隔操作化：ロボットの大型化・ハイパワー化に伴う危険回避
- d. フロア間移動機能：フロア間の移動を自力で行う。障害物にも対応

上記の「課題」を考慮し、「仕様」を前提とした視点でのロボットの開発が必要である。

### ②機能拡張されたBIM技術、及び工場・ロボットなどとの各種連携技術

本WGの前提となっている2014年度研究会の成果である図8に示す建築生産システムでは、拡張されたBIMを基盤技術として、現場、工場、物流をネットワーク化することを将来ビジ

ョンとしている。ここで提案された建築生産のシステム開発が必要である。

- i. 施工情報をフィードバックされたBIMの情報に基づき工場では部材（ユニット）生産
- ii. 固有情報を付与した部材（ユニット）を出荷・搬送
- iii. BIM情報と部材（ユニット）情報をもとにロボットにより自動取り付け
- iv. 取り付け位置などの施工情報をBIMに提供

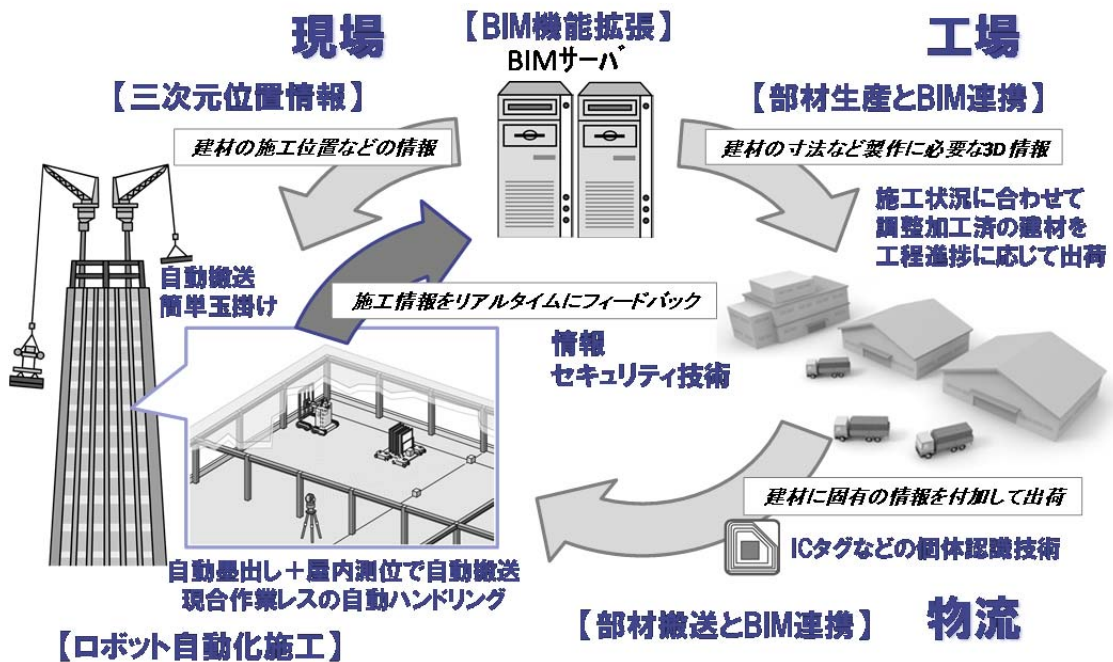


図 8：建築生産システムの将来ビジョン（出典 2014 年度 COCN 報告書）

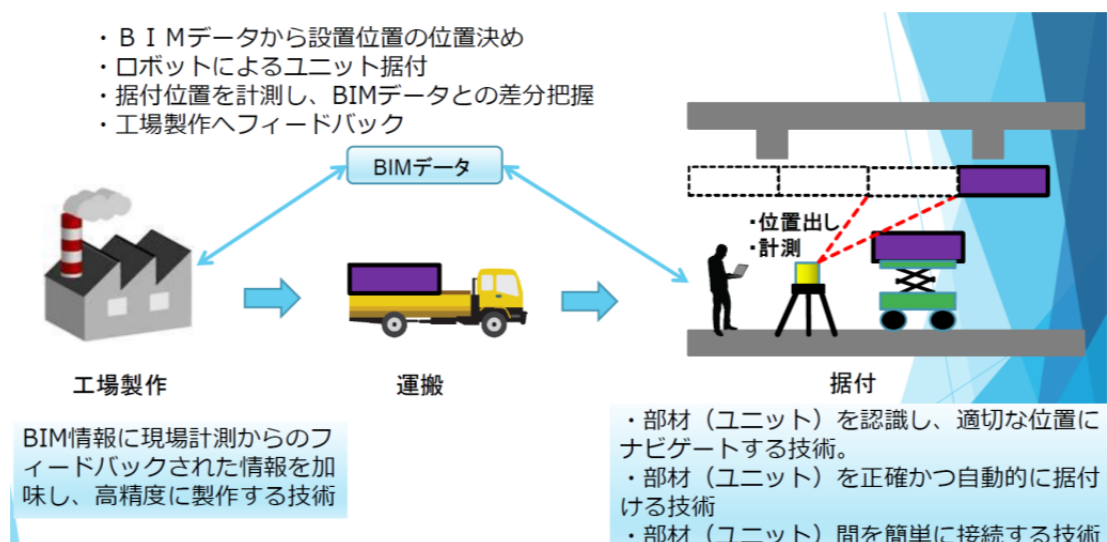


図 9：ユニット単位での BIM データ連携（出典：新菱冷熱工業（株））



また、拡張された BIM を有効活用して工事の出来形管理を行う場合には、図 9 に示す各種連携技術も必要となる。例えば、据え付け位置を計測して BIM データとの差分を把握する技術や現場計測からフィードバックされた情報を加味した高精度な工場製作技術などである。

#### ③軽量・高強度材料／高機能・多機能材料

これまで炭素繊維を用いたシート、プレート、ロッドなどが開発されてリニューアル工事での耐震補強工事の合理化に貢献している。今後は、高機能・多機能材料の開発によるライフサイクルに渡る新材料の活用が益々重要となる。

例えば、コンクリートのひび割れ幅の拡大に追従するような接着剤が開発されれば、通常、構造体に悪影響を与えないひび割れ幅の状態で充填してもその後の変化に追従できるため、構造体の劣化を早期に防止することができる。

#### ④位置・形状測位技術（大規模部材）

施工現場の位置や形状の把握は、自動化施工を行う上でも不可欠な技術である。技術として、3次元位置計測、3次元レーザスキャナ、カメラによる画像認識などが活用でき、それらと BIM との連携技術を開発することで、現場に設計情報を投影するデジタルモックアップ技術を進展させる必要がある。それにより、リニューアル工事も含めた施工の効率化が図れる。

例えば、リニューアル工事においては、図 10 に示すように、施工現場に BIM データを重畳することであらかじめ工事の見える化が可能となり、施工後はそれらの差分を自動検出することで出来形管理が容易になる。

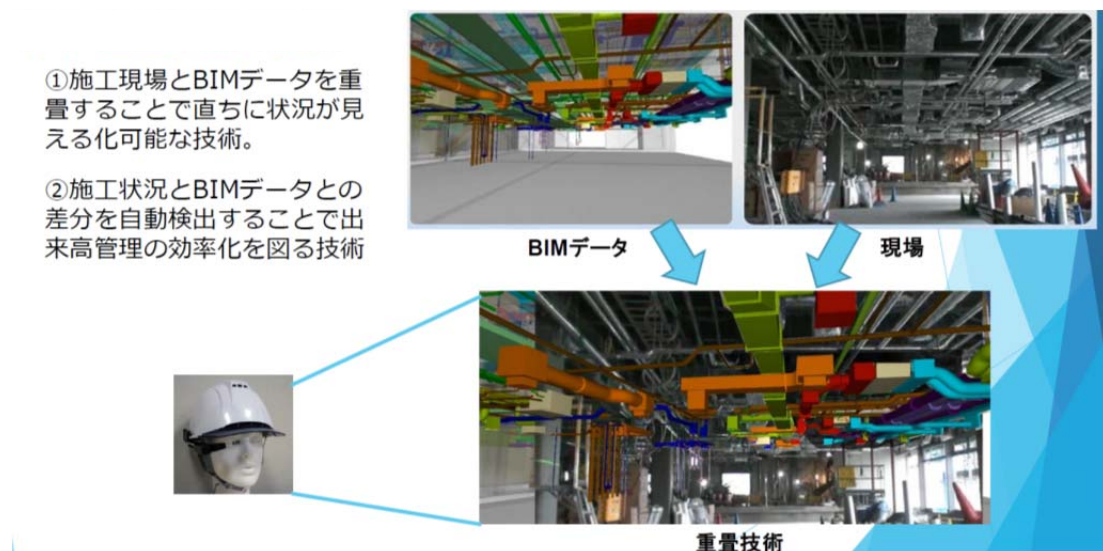


図 10：施工状況と BIM データとの重畳技術  
(出典：新菱冷熱工業(株))

### ⑤部材・部材群認識技術

部材やユニット化（モジュール化）された部材群の個体情報を IC タグなどで認識する情報管理は、ロボットによる完全無人化施工においては不可欠な技術である。さらに、この認識技術により、継続的に施工させた部材・部材群の情報の収集・管理が可能となり、その情報を機能拡張された BIM と連携させることができれば、リニューアルを含む建物の維持管理にとって非常に有効な技術となる。

### ⑥電力供給技術（無線、電磁波など）

ライフサイクルにいたる部材や部材群を認識するための技術では、数十年の長期間に渡るデータの利用が前提となる。そのためには、上記の「部材・部材群認識技術」などのように建物内のいたるところからデータを収集するための技術が必要となるが、同時にそれらを稼働させるための電力などのエネルギー源を準備する必要がある。このエネルギーを建物のいたるところに効率的に供給する方法として、電磁波などを利用した無線による電力供給手段が求められる。

### ⑦簡易取付け・接合技術：接着剤、ワンアクション接合など

昨年度のテーマである「飛躍的な生産性の向上を実現する構工法の開発」では、接合手法の合理化について検討を行った。ワンアクション接合などの現場工数を削減する接合技術の開発は、現場の生産性向上に貢献する。ユニット化やモジュール化に対応した接合技術も視野に入れた開発が必要である（図 11）。

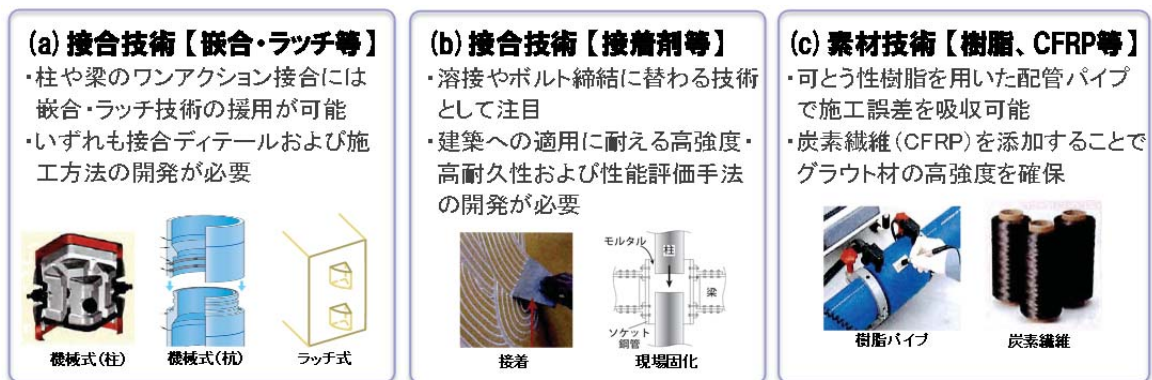


図 11：合理化接合の要素技術例  
(出典：2014 年度 COCN 最終報告書)

#### ⑧健全性計測（モニタリング）・評価技術

リニューアルを効率的に行うためには、建物各部がどのように使われ、どのような状況にあるかをモニタリングしておくことが有効である。このトレーサビリティを確実なものとするために、各種の健全性計測技術やそのデータに基づく評価技術を確立する必要がある。前出の部材・部材群認識技術と組み合わせた施工からライフサイクルに渡る計測技術も重要となる。部材・部材群の健全性のデータは、それらをリユースする場合にも効果を発揮する。また、部材・部材群認識技術が設置されていない既往部材の健全性評価のためには図 12 に示すモニタリングロボットの活用・開発も必要となる。その際には、これまで開発されても使われてこなかったロボットをベースに、BIM との連携など現在の技術を取り入れた見直しを行って開発することが有効である。



図 12：既開発のモニタリングロボット（出典：新菱冷熱工業(株)）

#### ⑨リユース技術

リユース技術を普及させるためには、各部材をリユースできるように作り上げるとともに、リユースを効率的に行うためのシステム構築が必要である。

例えば、

- i. 取り換え単位をモジュール化して規格・標準化
- ii. それを IC タグにより情報管理することでトレーサビリティも含め健全性を評価
- iii. それらのデータを BIM に集約
- iv. 現場では簡易に脱着できるワンアクション接合を利用したロボット施工

を行うことで、ライフサイクルにわたり建物を管理することができ、リユースを促進するシステムが構築させる。

### 4. 実用化に向けた規格・標準化、制度上の支援など

#### ①規格・標準化

- ・ BIM の活用：標準化・規格化された部材・ユニット単位での管理・運用
- ・ ロボット・自動化施工で扱う単位を規格・インテリジェント化（ユニット単位での情報管理）  
：例えば、ガラス組込みアルミサッシ（ユニット）のロボットによる接着接合と IC タグ（情報管理デバイス）による施工

- ・ リユースの再利用単位やリニューアル工事の取り換え単位を規格・標準化
- ・ インターフェイス部の規格・標準化の必要性
  - ： 異なるメーカーの部材や機器を統一的に利用できるようロボットの把持部（インターフェイス部）などを規格・標準化する。特に、リニューアル時に効果発揮
- ・ 建築と設備を統合したデジタルモックアップの共通利用の促進と標準化

## ②制度上の支援

- ・ 建設作業の一部へのロボット使用の義務付けや補助金制度の確立
- ・ BIMの普及に向けたシステム導入・データ作成費用支援
- ・ ロボット施工における取り扱いインターフェイス部（把持部など）の共通化

## ③法・指針改正

- ・ 新技術（例えば接着剤）の建築基準法への追加
- ・ 昇降機におけるガイドレールのボルト接合の指針への追加
- ・ ロボット活用、無人施工のための労働安全衛生法の見直し

## 5. 関係府省への要請事項

以下、2014年度COCN研究会「飛躍的な生産性を向上する構工法の構築」の最終報告（COCN全体会議資料）からの抜粋。

### (1) 内閣府

- ・ 府省連携プロジェクトの実現と推進
- ・ 特に、開発諸技術を包含するパイロットプロジェクト※の主導

※各種要素技術開発成果の実証並びに社会実装する前段階の検証を行うための実規模での実証実験

### (2) 文部科学省

- ・ 建築構造、建築材料、ロボット知能システムなどの分野に係る基礎・基盤研究と融合研究

### (3) 経済産業省

- ・ 接合に係る各種素材・建材・ロボットなどの技術開発と規格・標準化

### (4) 国土交通省

- ・ 新材料・新接合技術の普及促進と新技術採用に伴う制度上の課題解決
- ・ BIMの普及と情報化施工の推進

## 参考文献

1) 熊田、梶、兼光、瀧、坂本、「アダプタブルビルの開発ー適用事例の環境影響評価と生産性評価ー」、日本建築学会・建築経済委員会・第22回建築生産シンポジウム2006、pp.77-82

一般社団法人 産業競争力懇談会（COCN）

〒100-0011 東京都千代田区内幸町 2-2-1

日本プレスセンタービル 4階

Tel : 03-5510-6931 Fax : 03-5510-6932

E-mail : jimukyoku@cocn.jp

URL : <http://www.cocn.jp/>

事務局長 中塚隆雄