

# 人口減少社会と 建築生産におけるICT技術

工学院大学建築学部建築学科 助教 石田 航星

## 1 はじめに

建築生産分野のみならず、日本国内の多くの産業において人手不足が深刻化している。そのため、多くの業種において生産性向上のために、作業手順の見直しやICT技術の導入、ロボット化、あるいは海外への生産拠点の移転などが行われている。建築生産分野においても、情報化施工や合理化工法のみならず、バブル期に最盛期を迎えていた工事ロボットの研究・開発が再び行われるようになっている。ただ、2020年の東京オリンピックを境にして逼迫していた建設需要が一段落し、その後は急激な人口減少を迎えることにより、新築市場が急激に冷え込むことが予想されるため、建設会社によっては、新規雇用や新規技術への投資を手控える向きもある。

本稿においては、人口減少社会を迎えた我が国の建築生産現場において、どのような技術が求められていくかについて、情報化の視点から僭越ながら述べていきたい。

また、情報化施工に関する研究では、情報化技術を必要とする社会的背景に加え、ICT技術自体の発展動向に関する技術的背景の二つの背景を勘案して、将来必要とされる技術の方向性を定め、研究・開発を行う必要がある。そのため、本稿では、社会的背景と技術的背景の両面で述べていきたい。

## 2 社会的背景—人口減少と労働者不足—

日本国内の人口は、2008年頃より減少に転じており、2010年から東京オリンピックのある2020年までの10年間で395万人減少し、2020年～2030年の10年で更に748万人減少すると予想されている（いずれも中位予想）。そのため、2020年の東京オリンピック以降に、建築市場が縮小することが予測される。ただ、これにより建築生産に携わる労働者の不足が解消されるかは別問題である。建築市場の縮小スピードより、建築産業に従事する労働者数の減少スピードの方が速ければ、市場が縮小中での労働者不足という最も望ましくない状況も生じ得るからである。

また、人口減少により新築市場が大幅に縮小しても、既存のストックを維持するためには、継続的に修繕・改修工事を実施する必要がある。特に日本の人口動態の将来予測では、更なる核家族化の進行により、総世帯数は2030年でも2010年とほぼ同数の数値となる。図2は、1968年以降の世帯数と住宅ストック数、空家数の推移を示している。この図が示すように空家数は基本的に住宅ストック数と世帯数の差に近い値を取る。これは複数世帯での同居が一般的ではない我が国において1世帯につき1戸以上の住宅が必要であることによる。そのため、2030年においても5,000万戸を超える住宅を維持する必要があると考えられるが、これら住宅の維持・修繕工事を実施する労働

表1 総人口と総世帯数の推移 (千人・千世帯)

	総人口 <sup>1)</sup>	総世帯数 <sup>2)</sup>
2010	128,057	51,842
2020	124,100	53,053
2030	116,618	51,231

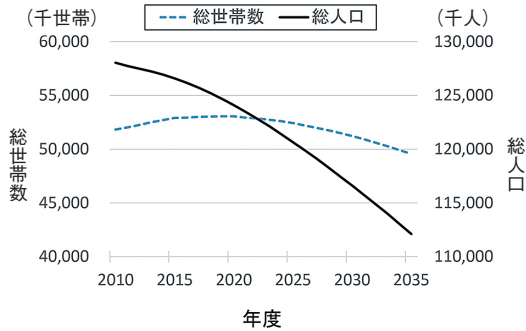


図1 人口<sup>1)</sup>と世帯数<sup>2)</sup>の推移

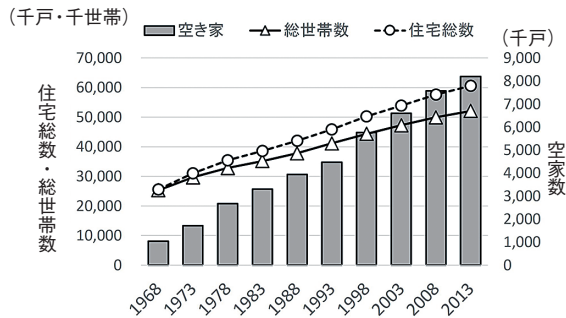


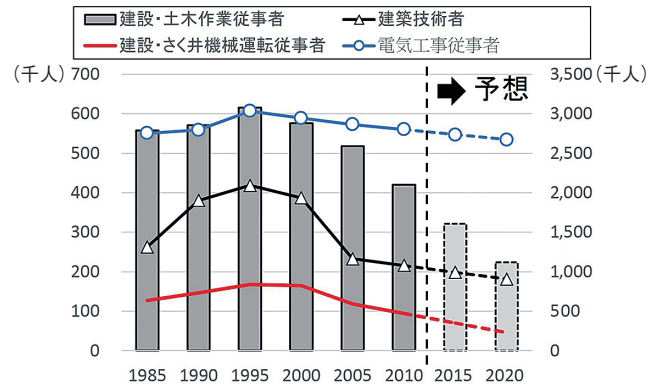
図2 総世帯数<sup>2)</sup>、住宅総数<sup>3)</sup>、空き家の数<sup>3)</sup>

者を確保する必要がある。

ところで、建築生産に従事する労働者数の推移を国勢調査の職業解答欄の結果を基に分析してみると、建設・土木作業従事者の継続的な減少が確認できる。図3は1985年から2010年の6回分の国勢調査の結果を基に作成した図である。設計や施工管理に従事する建築技術者は2000年から2005年の建設不況期に大幅に減少しているが、2005年から2010年にかけての減少率は7% (1.7万人減) に留まっている。一方、建築・土木作業従事者は1995年以降、5年毎に20万人以上の減少が続いており、2005年から2010年にかけての減少率は19% (49万人減) である。

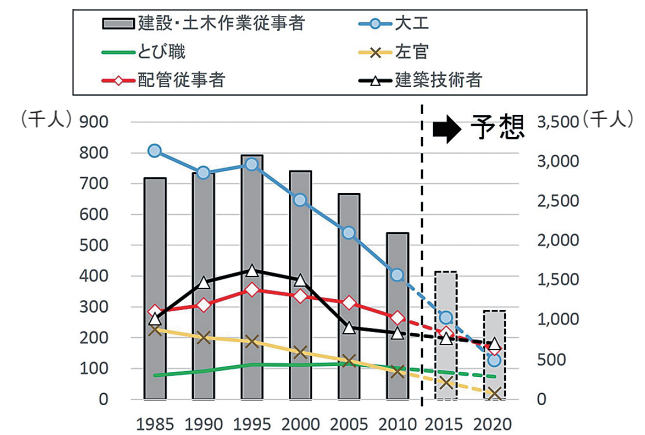
「建築・土木作業従事者」を構成する10の職種の中で、1985年～2010年で継続的に比較が可能な職種で、かつ建築工事に関係する「大工」「とび職」「左官」「配管従事者」の人数の推移をまとめたものを図4に示す。減少が続く建築・土木作

業従事者に含まれる職種でも、「とび職」のように従事者の減少が少ない職種もあるが、2005年から2010年の減少率が木工では26% (14万人減)、左官では28% (3.5万人減) となっており、減少率の高い職種も確認できる。なお、図3、4の2015、2020年の数値は2005年から2010年の減少数が続いた場合の就業者数を示している。



(棒グラフで示した建設・土木作業従事者のみ右軸で、それ以外は左軸である)

図3 職業分類毎の就業者数<sup>4)</sup> \* 1



(棒グラフで示した建設・土木作業従事者のみ右軸で、それ以外は左軸である)

図4 建築工事に関連する就業者数<sup>4)</sup> \* 1

\* 1 2015年にも国勢調査が実施されたが、細かい職業分類が確認できる「抽出詳細集計結果」の公表は2017年12月の予定であるため、本稿には掲載していない。また、建築技術者とは建築士や建築設備設計、施工管理者に従事するものを指しており、建設・土木作業従事者は大工、とび職、左官など建築・土木作業に従事するものを指す。国勢調査の実施回毎に、職業分類(小分類)が異なるが、「平成22年と平成17年」の違いと「平成17年と平成12年」の違いに関しては職業分類の分類項目比較対照表を基に、それ以前のは平成12年との職業名称の変更の有無を確認し、最終的に平成22年の調査項目に合わせたものに変更した。平成22年より「建設・土木作業従事者」に「鉄筋作業従事者」が追加されている。これは、平成17年までは「建設・土木作業従事者」以外の項目に含まれていた項目であるが、平成17年以前には「鉄筋作業従事者」のみの人数が把握できないため、いずれの実施年度においても「建設・土木作業従事者」の合計人数をそのまま掲載している。

就業者数の減少が起きている一部の職種では、2020年以降の建築市場が縮小する状況下でも、労働者不足が改善しない可能性がある。そのため、いくつかの職種では新規入職者を獲得する必要があるが、従来のような若い男性の新規入職者を獲得することは徐々に難しくなると考えられる。以下に示す図5は男性の労働参加率を示したものである。我が国の男性の労働参加率は欧米各国と比較しても高く、男性の新規入職者を大幅に増加させることは難しいと考えられる。また、高校・大学を卒業した学生を新卒として採用することも考えられるが、図6に示すように若年人口の人口減少のスピードが高く、新卒の学生数自体が少なくなるため、これも決定的な解決方法にはなりづらいと考えられる。

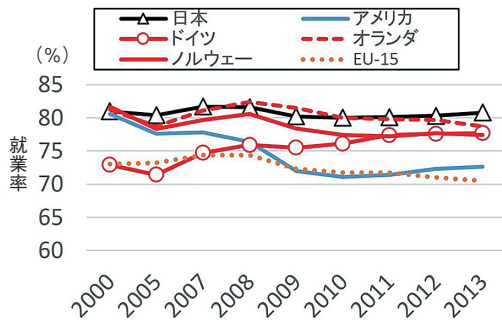


図5 男性の労働参加率<sup>5)</sup>

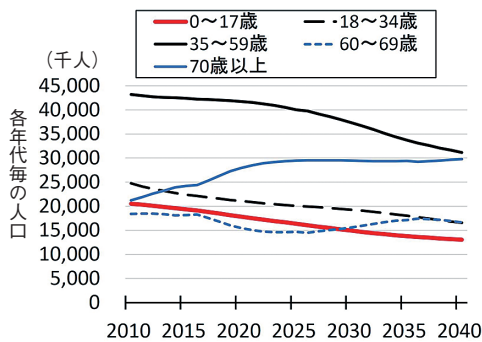


図6 各年齢階層の人口推移<sup>1)</sup>

### 3 人口減少時代における新規労働者の可能性

建築市場が縮小する状況下でも、ある程度の建築工事に従事する労働者を確保する必要があるが、2章で示したように、従来の取組みだけでは解決できない可能性が高い。そこで本章では、

「若年男性の入職」以外の方法で労働力を確保する方法について検討を行いたい。

人口減少時代において、労働者を確保するには、まず、「熟練技能者」が高齢でも働ける環境を整えることが重要である。図7に示す建設業における就業者の年齢分布を見ると、建設分野で働く労働者（約500万人）のうち、55歳以上の労働者は約170万人（約34%）存在する。これら労働者の過半があと10年で引退することになるが、彼らが働ける年齢を引き上げることができれば、労働者不足が顕著な職種にとって大きな力になり得る。

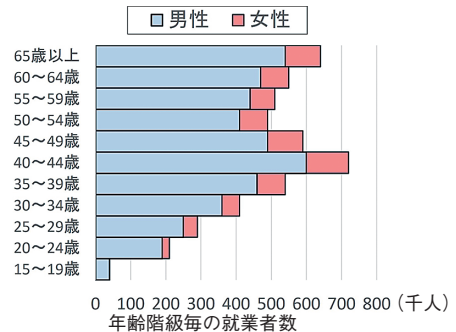


図7 建設業における就業者の年齢分布<sup>6)</sup>

次に、高校・大学などの専門機関で建築教育を受けていない「一般女性」が働ける環境を整備することが必要であると考えられる。

図8に示すように女性の労働参加率は増加傾向にあるものの、依然として65%を下回る水準で推移している。女性の生産年齢人口は約3,790万人（2016年3月時点）であり、仮に労働参加率が3%上昇すると約114万人の労働者の増加が見込まれる。そのため、建築生産への女性の参画の促進は非常に可能性のある選択肢であると言える。

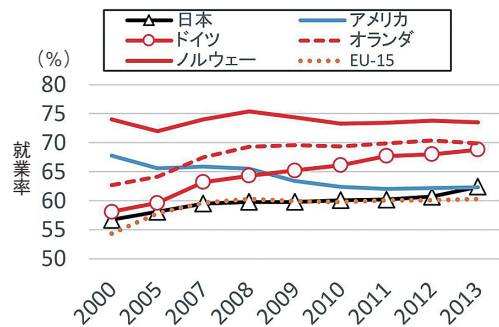


図8 女性の労働参加率<sup>5)</sup>

ただ、ここで述べた女性の多くは、高校・大学などの建築系学科での専門教育を受けていない人が大半であるため、専門知識の教育や、作業手順を示したマニュアルの整備が不可欠である。

## 4 ICT技術の発展とBIMブームの到来

建築工事の生産性や、建築プロジェクト全体の進め方を大きく変化させる要因として、ICT技術の急激な進歩がある。特にBIMへの注目と期待は高く、与える影響も大きいと考えられる。これらの技術は人口動態などの社会的要因と異なるが、建築生産の将来を考える上で重要な因子であるので、本章においてはBIMを中心にICT技術の現状を整理して行きたい。

### 1) 建築生産におけるICT技術導入の流れ\*2

BIMの技術的特徴や将来像については、本誌においても度々特集されているので、そちらで確認していただくとして、本項では、建築生産に関係するICT技術の変遷を簡単に確認する。

今日も建築生産のICT技術の中心的技術であるCAD (Computer Aided Design) は1963年にアイバン・サザランド博士 (米国) が開発したSketchpad<sup>7)</sup> が始まりとされる。1970年初頭にソリッドモデルの基礎概念であるCSGとB-Repsが登場<sup>8)</sup> し、これを受け、CADとCAMが一体化したCAD/CAMの研究・開発<sup>9)</sup> が本格化した。更に1980年頃に米国のSDRC社のキャンペーンによりCAEの概念が一般化<sup>10)</sup> した。また、1977年に購入者が部品から組立てる必要のない完成品の個人向けのコンピュータであるApple IIが発売され、1980年代に入るとPCの低価格化と高性能化が進み、AutoCAD (1982年販売)、MiniCAD (1985年販売、1998年よりVectorWorks)、MicroStation (1986年販売) などの、現在も利用されているPC用CADが登場している。他方で米国国防総省が始めた調達合理化プロジェクトに端を発する

CALS (Continuous Acquisition and Life-cycle Support) が1985年に開始<sup>11)</sup> された。

我が国の建築生産におけるICT技術は、1960年代中盤に、主に工程計画と工程管理に使用することを目的として導入が始まった。1971年に電電公社のTSS (Time Sharing System) であるDEMOSサービスが始まり、数量積算システムBUILQNなどの積算ライブラリの提供が開始されるとともに、ゼネコン各社は独自に大型機を導入し、CADシステムの開発を実施している。1980年代に入るとPCの普及が始まり、多くのPC用CADの登場により、CADを利用しやすい環境が整ってきたと言える。このような状況下で1980年代中盤にCIM (Computer Integrated Manufacturing: コンピュータ統合生産) の研究<sup>12)</sup> が盛んになり、建築分野でも1990年頃から研究<sup>13)</sup> が実施されている。また、同時期にCALSの研究が始まり、1994年にはCALS Japan'94が開催<sup>11)</sup> され、1997年に建設省により建設CALS/ECアクションプログラムが公表<sup>14)</sup> された。

以上の流れを図9にまとめた。このように日本国内におけるCADを中心としたICT技術による建築生産の合理化・省力化に関する研究は継続的に実施されてきており、CAE、CIM、コンカレントエンジニアリングなどBIMの概念に近いシス

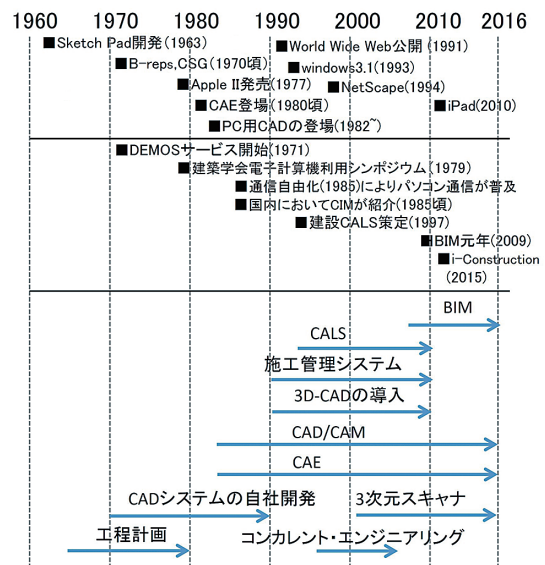


図9 建築生産におけるICT技術導入の流れ\*3

\* 2 本稿を作成するに当たり、松田らの研究<sup>24)</sup> を基礎として、ICT技術の導入の流れを作成した。特に引用のない項目に関しては、この研究を参考している。

\* 3 図9における各技術の下にある矢印は、論文検索サイトCiniiでの検索結果を基に、国内において研究が活発に実施されていた年代を大まかに示したものである。

テムの研究・開発も実施されてきたことが分かる。

## 2) BIMブームの到来

BIMはBuilding Information Modelingの略称で、我が国においては2009年がBIM元年<sup>15)</sup> <sup>16)</sup>と言われている。企画から維持管理に至る建築生産プロセス全体でBIMの検証や導入が試みられており、「BIMブーム」とでも呼ぶべき状況が生じている。図10は論文検索サイトCiniiにおいて、BIM、情報化施工、CALS/ECに関連する論文・記事の件数の推移をまとめたものである。建築生産において、ICT技術の活用により生産性を向上させる試みは以前から行われてきたが、BIMは既往の研究を大幅に超える速度で、研究・開発と導

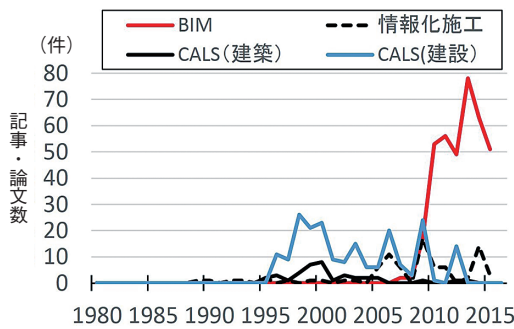


図10 情報化に関する記事・論文数の推移\*4

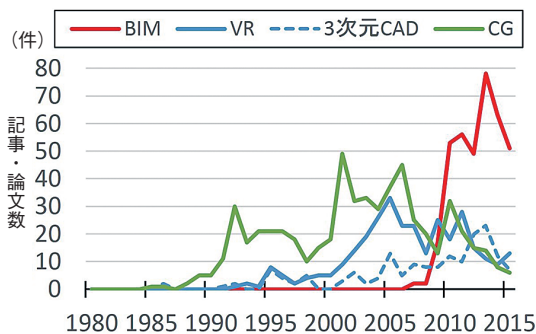


図11 3次元表示に関する記事・論文数の推移\*4

入が行われていると言える。また、BIMはPC上で建物の3次元形状を把握する技術でもあるが、図11に示すように仮想空間上でのビジュアル化に関する「VR」「CG」「3次元CAD」などの用語と比較しても、各年の記事・論文数が大幅に多いことが確認できる。

BIMという技術の最大の特徴は、そのコンセプトの斬新さではなく、ソフトウェア・ハードウェアなどの環境が整ったことにより、建築プロジェクトに関わる全分野の関係者が参画できるフィールドを提供した点にあると感じる。これにより、建築生産のみならず建築分野全体で一種のブームのような状況が生じており、この点が過去のICT技術と大きく異なる特徴と言える。

また、著者は2014年に建設会社を対象としてBIMの利用状況に関するアンケートを実施したが、このアンケートの結果では建設会社の約30%でBIMを利用したプロジェクトが存在しており、BIM元年からわずか5年で、多くの企業で導入されている状況が窺える。

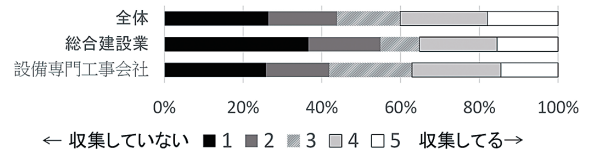


図12 BIMの情報を収集している人の割合<sup>17)</sup>

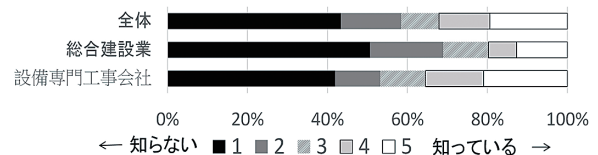


図13 社内でBIMを利用したプロジェクトを知っている人の割合<sup>17)</sup>

\* 4 Ciniiで「BIM」と検索すると他分野で使われる意味の異なる用語が多く検索されるため、キーワードを「BIM」、出版社を「建築」で限定して検索を行った。検索結果には日本建築学会の論文集、支部研究報告集、技術報告集、梗概や、建築技術や建築コスト研究などの技術雑誌の記事が含まれている。他の用語においても出版社を「建築」で限定して検索を行った。なお、CALSは出版社を「建設」でも検索を行い、結果を別に示している。また、検索結果を精査し、キーワードが建物名称の略称や異なる用語の略称と判断できる場合、その記事を除外している。以下にすべての項目名の検索キーワードを示す。いずれも2016年8月23日に検索したものである。

付表1 Ciniiにおける記事検索の用語

項目名	検索時の条件	
	キーワード	出版社
BIM	BIM	建築
CALS (建築)	CALS	建築
CALS (建設)	CALS	建設
情報化施工	情報化施工	建築
VR	VR	建築
3次元CAD	3次元CAD or 3DCAD	建築
CG	CG or グラフィクス	建築

5

建築生産におけるICT技術の研究の方向性

建築生産分野において、生産性の向上が重要な研究テーマであることは明らかであり、BIMを始めとするICT技術が生産性向上において重要な役割をすると期待されていることも明らかである。

また、良質な建築ストックを維持するためには、建築生産に従事する現場作業者を各工種で維持する必要があるが、人口減少が進む我が国においては、「高齢の熟練技能者が働ける環境」を実現し、「一般女性が安心して働ける環境」が重要であると考えられる。加えて、今後増える可能性がある「外国人労働者」も考慮に入れる必要がある。

以上をまとめると、生産性の向上と労働者の不足の両面への対応策として以下の四つの方向性があると考えられる。

- (1) 建築工事における生産性の向上
- (2) 高齢の熟練技能者が働ける環境の実現
- (3) 一般女性の活用
- (4) 外国人労働者の導入

ところで、上記の四つの対策に対応するためにはどのような技術が必要とされているのだろうか。特に、具体性のある対策である(2)～(4)の対処法に関して、少し検討してみたい。

日本の建築生産は、多くの熟練技能者に支えられてきた。図14は新規入職者が熟練技能者になり、年齢により引退していくプロセスのイメージ図である。横軸が体力の高さを縦軸が専門的技能・知識の高さを示している。

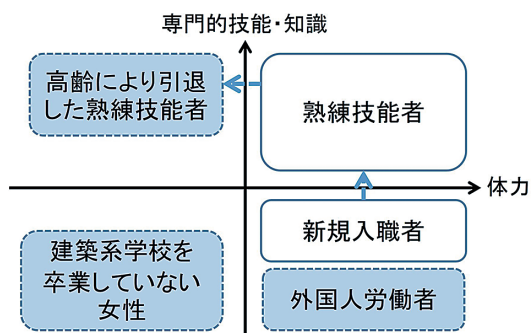


図14 作業者の属性毎の位置づけ

これまで日本の建築生産では、体力の溢れる若い男性の新規入職者に、時間をかけて教育を施し、現場で経験を積ませることにより、技能・知識と体力が高い熟練技能者に育ててきた。そして、この熟練技能者の高い技能・知識に支えられて建築生産を維持してきた。ただ、建築工事では重量物の運搬や、高所作業、高温（あるいは低温）下での作業が多く、熟練技能者は、高齢化すると体力の衰えにより、引退すると考えられる。そのため、高齢化した熟練技能者は、重量物の運搬などの体力を必要とする作業を代替する方法が確立されれば、高度な技能と知識を活用できる可能性がある。

次に外国人労働者が円滑に建築工事に就業するために必要な条件について検討してみよう。日本国内の建築工事において多くの外国人労働者が働くようになるかは国の政策にもよるため、判然としないが、仮に多くの外国人労働者が国内の建築工事に参加した場合、最も大きな障害となるのは言葉の壁である。建築の部位には漢字が多く、また漢字と読みが一致しないものも多く、非漢字圏から来た外国人労働者には分かりづらい。そのため、工事対象の形状をダイレクトに表現する3Dモデルや作業手順を示す映像の作成などは非常に重要である。また、高度な知識や非言語的知識を整理し、ビジュアル化することは、一般女性が働けるようにする際にも重要である。加えて、これら熟練技能者以外の作業者が建築工事に従事する場合、作業者の現在位置を把握し、適宜誘導することや、適切に工事が実施されているかを確認するために出来形を常時、検査する必要がある。

これらを整理すると以下の五つの技術が必要になると考える。また、作業者の属性毎の各技術との関係を表2に示す。

- (1) 図面の3Dモデル化と閲覧環境の整備
- (2) 作業手順の可視化と指示方法の整備
- (3) 作業者の位置の把握
- (4) 重量物・高所作業の軽減
- (5) 品質確保のための出来形の検査

表2 作業者の属性毎の解決すべき事項

	高齢の 熟練技 能者	一般 女性	外国人 労働者
(1) 3Dモデル		○	◎
(2) 作業手順の可視化		○	◎
(3) 作業位置の把握		○	○
(4) 重量物・高所作業 の軽減	◎	◎	
(5) 出来形の検査		○	○

(◎：非常に重要、○：重要)

## 6 生産技術に関わる新たなICT技術の紹介

前章で示したように、建築工事の生産性向上や高齢者や一般女性、外国人労働者が建築工事に適切に参画できるようにするには、BIMを始めとするICT技術を積極的に導入することが重要であると考えます。本章では、筆者の研究内容を基に、BIMと一緒に用いることで効果が期待できる新規技術を紹介したい。なお、本章における項目番号は5章で示した五つの技術に対応する番号である。

### (1) 3D-PDF

BIMにおいては、設計情報を3Dモデルでやり取りするが、3Dモデルの閲覧には、専用ソフトのインストールが必要であった。しかしながら、今では通常のPDF Readerにより3Dモデルの閲覧が可能となり、PCやタブレット端末により、3Dモデルを確認することが非常に容易に行えるようになった。

図15は筆者がMicroStationを用いて作成した3Dモデルを無料版のあるBentley view v8iを用いて3D-PDFに変換し、PDF Readerで閲覧したものである。CAD環境を持たない学生でもPDFを閲覧できる環境があれば閲覧できるため、教育上のメリットも大きいと感じる。

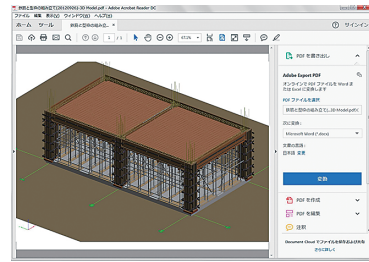


図15 3D-PDFによる3D表示の例

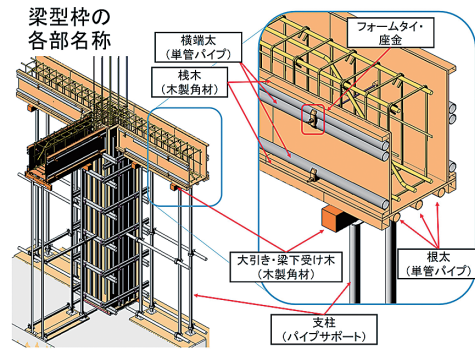


図16 3Dモデルによる型枠部位の説明例

### (2) タブレット端末とウェアラブル端末

建築工事で使用する図面や作業マニュアルの閲覧、工事箇所の写真撮影・記録などのためにタブレット端末を導入する事例が多くなっており、日本建設業連合会から「工事現場のタブレット導入ガイドブック<sup>18)</sup>」が公開されている。

また、メガネ型ウェアラブル端末が相次いで発売され、両手が空いた状態でデジタルデータにアクセスするツールが利用可能になっている。このウェアラブル端末とAR技術を組み合わせることで、視覚上に作業手順を示し、経験の浅い作業者の作業を補助するような使用方法が想定される。また、ガラス型ウェアラブル端末に内蔵するカメラにより、図17右に示すように作業者の視点で作業記録を取得することが可能である。



図17 ウェアラブル端末の例

### (3) 作業位置の把握

建築工事では屋内での作業が多く、作業員や作業機械の位置の把握にGPSを使用できないことが多いが、屋内で作業員の位置を把握する種々の技術が登場している。建物の内部で作業員の位置を把握する技術は、「作業員に位置情報を把握するセンサを装着する」ものや、「設置済みのモーションセンサから位置を把握する」などがある。

図18は、作業員に小型の計測ユニットを装着し、このユニットに記録した情報を基に作業員の位置情報を取得したものである。本機器は、ジャイロセンサや加速度センサなどにより位置を推計するため、徐々に誤差が生じるが、位置座標を修正する補正ユニットをストックヤードなどに設置することで、位置補正が可能である。

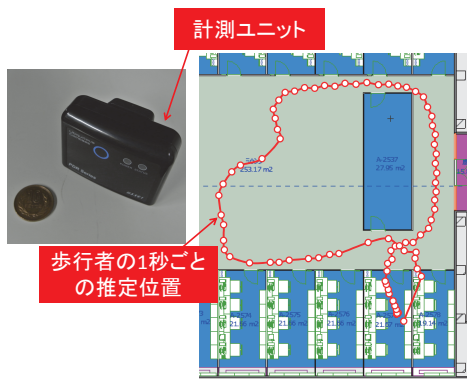


図18 屋内での作業員位置の推定例\*5

図19左上は、モーションセンサの一種であるMicrosoft Kinectである。Kinectはゲーム機の付属品として開発された機器であるが、画像データと被写体までの距離を記録した深度データを取得でき、更に図19左下に示すようなモーションキャプチャーも実施可能な機器である。このKinectを4台設置し、8階から9階に20個の荷物を運搬する作業を記録した結果を図19右に示す。Kinectは画像データと深度データを基に3次元カラー点群を作成できるため、被写体の3次元形状を取得できる。図19右の灰色で示した点群は階段室の壁面と踏面の3次元計測結果を示している。また、黒色で示した線は、作業員の腰の座標の移動経路を示している。

\*5 杉原イー・エス・アイ社製 PDR 自律型行動計測システムを用いて、1秒毎に取得したデータを使用した。

示している。

更にデジタルデータとして作業員位置を取得することにより、作業員の移動速度や加速度の分析が可能となり、作業員負担の定量的分析が可能となることが期待される。以下の図20は作業員の腰の3次元座標を基に、水平面上の移動速度と鉛直方向の移動速度を分析したグラフである。

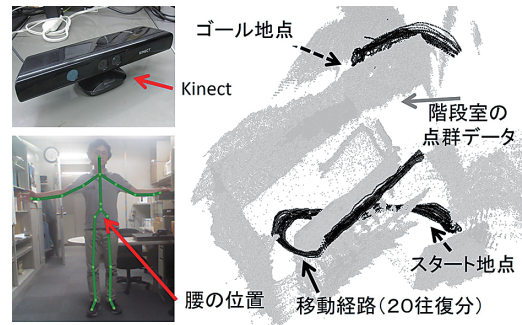


図19 Kinectにより取得した階段形状と移動経路<sup>19)</sup>

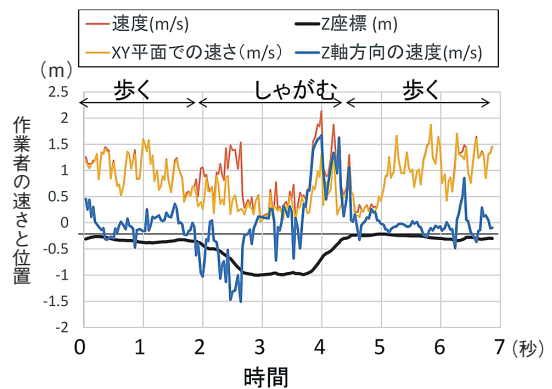


図20 荷物を置くためにしゃがむ作業の分析例<sup>20)</sup>

### (4) 作業補助ロボット

高齢の熟練技能者や女性が建築工事に参画する際には、重量物の運搬の補助や無理な姿勢での作業の削減など、作業環境の改善が必要である。この作業環境の改善においては、従来の作業手順の見直しに加え、パワーアシストスーツや重量物の運搬や設置を補助するロボットなどの建築作業員と共同作業を行うロボットの開発が重要になると思われる。これら技術の導入は建築工事と同様に重労働や現場作業が多い造船業において積極的に研究<sup>21)</sup>されており、建築生産現場の導入の際に参考になると思われる。



### (5) 3次元計測技術

建築工事では、図面通り施工されているかを把握するために出来形の検査が実施される。この建物の3次元形状を計測する技術として3次元レーザースキャナがある。3次元レーザースキャナはレーザー光により建物とスキャナとの距離を計測することで対象物の3次元形状をデジタルデータとして取得する機器である。また、取得した点群データを基に、以下の図21に示すように、RC躯体の壁面の平均平面からの出入り寸法を視覚化することも可能である。更に、3次元の形状認識を行う手法があれば、検査の自動化にも利用可能である。図22は鉄筋の点群データから鉄筋を構成する主筋や帯筋の部位を自動認識し、数量などを自動把握した例である。

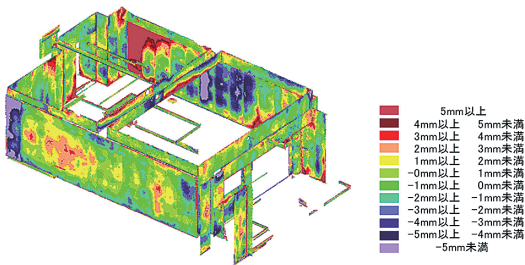


図21 壁面の点群から平均平面からの出入り寸法

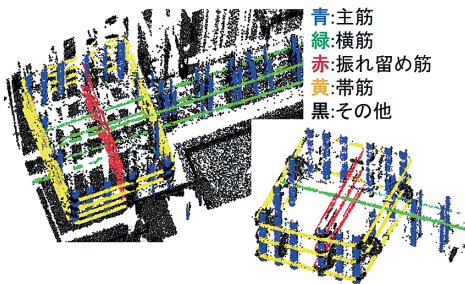


図22 点群データに基づく形状認識<sup>22)</sup>

3次元形状を計測する技術には、この他にデジタルカメラから取得した画像データにより3次元モデルを作成する手法がある。図23は市販されているデジタルカメラから取得した50枚の画像を基に作成した3Dモデルである。PCの処理速度の向上と高度なソフトウェアの登場により、スマートフォンやデジタルカメラの画像により3次元形状を把握することが可能となり、身近な機器で簡易な測量を行うことも不可能ではなくなっている。

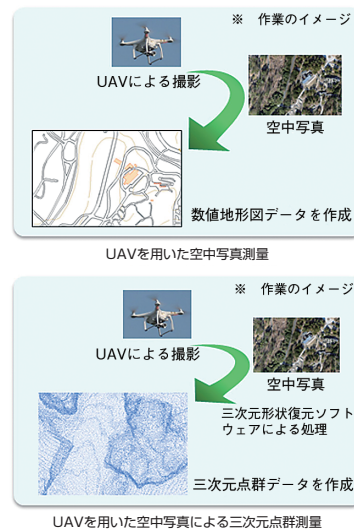


図23 写真から作成した3Dモデル<sup>\*6)</sup>

なお、昨今、話題のドローンを始めとするUAV（無人航空機）の利用は、この写真から3Dモデルを作る技術とセットでの利用が主要になると考えられる。これら技術に関しては国土地理院から「UAVを用いた公共測量マニュアル（案）」と「公共測量におけるUAVの使用に関する安全基準（案）」が2016年3月に公表されている。これは、UAVを公共測量で利用する環境を整えるとともに、国土交通省の「i-Construction」への利用も見据えて策定されたものである。

また、同マニュアル（案）では、「UAVを用いた空中写真による三次元点群測量」が規定され、更に2016年6月には「三次元点群データを使用した断面図作成マニュアル（案）」が公開され、画像データから作成した3次元計測データの活用に関する指針が示された。

これらマニュアルは、土木分野への適用を想定



出典：国土地理院Webページ

図24 国土地理院によるUAV活用のイメージ<sup>23)</sup>

\* 6 Bentley社のContextCaptureを用いて作成した。

して作成されているが、建築生産におけるドローンと画像による3次元計測においても重要なマニュアルになると考えられる。

## 7 まとめ

建築工事における生産性向上はBIMを始めとするICT技術の進歩により大きく進展する可能性を秘めている。また、これら技術は、人口減少により生じる労働者不足を改善するためにも重要な技術である。BIMが普及しつつある現状において、建物の3Dモデルが存在する前提で、新たな技術開発を実施することが重要である。その際に、次々と現れるウェアラブル端末や各種センサなどの新技術の動向を注意深く見ながら、BIMに続く技術の研究を続けていきたい。

(参考文献)

- 1) 国立社会保障・人口問題研究所「日本の将来推計人口（平成24年1月推計）出生中位（死亡中位）推計, <http://www.ipss.go.jp/syoushika/tohkei/newesn04/sh2401smm.html>, 2016.8.26閲覧
- 2) 国立社会保障・人口問題研究所「日本の世帯数の将来推計（全国推計）（平成25年1月推計）, <http://www.ipss.go.jp/pp-ajsetai/j/HPRJ2013/t-page.asp>, 2016.8.26閲覧
- 3) 総務省統計局「平成25年住宅・土地統計調査結果」
- 4) 総務省統計局「国勢調査（平成22年）時系列データ：人口の労働力状態、就業者の産業・職業」, <http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?bid=000001000000>, 2016.8.23閲覧
- 5) 労働政策研究・研修機構「データブック国際労働比較2015」, pp.76-77, 2015.3.31
- 6) 総務省統計局「平成27年労働力調査結果」, <http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?lid=000001143324>, 2016.8.25閲覧
- 7) Ivan Edward Sutherland: Sketchpad: A Man-Machine Graphical Communication System, Computer Laboratory, <http://www.cl.cam.ac.uk/techreports/UCAM-CL-TR-574.html>, 2016.8.31閲覧
- 8) 沖野教郎「形状モデリング」『精密機械』Vol.47 No.11, pp.1334-1342, 精密工学会, 1981
- 9) 沖野教郎, 久保洋「形状モデリングとCAD/CAM」『情報処理』Vol.21 No.7, pp.725-733, 情報処理学会, 1980.7
- 10) 沖野教郎「CAEの現状と将来」『日本機械学会誌』Vol.86 No.770, pp.40-47, 日本機械学会, 1983.1
- 11) 日本建築学会『建築生産・情報技術-建築生産情報統合ガイドブック-』, 1995.12
- 12) 小川英次「CIMと生産的システム」『オフィス・オートメーション』Vol.7 No.3, pp.26-31, オフィス・オートメーション学会（日本情報経営学会）, 1986.10
- 13) 椎野潤「PC住宅生産の総合的日程管理システムの構築：PC部材を用いた住宅生産システムの経営工学的調査研究（その4）」『日本建築学会計画系論文集』No.465, pp.133-142, 1994.11
- 14) 日本建築学会『ネットワーク時代における建築情報標準化技術-建築生産情報統合ガイドブック3-』p.12, 1995.12
- 15) 武藤正樹「BIMの現状と建築研究所のBIM関連研究の取り組み」『建材試験情報』Vol.48, pp.2-7, 2012.6
- 16) エー・アンド・ユー編「BIM in Japan 2009」『BIM元年-広がるデザインの可能性』（建築と都市2009年08月臨時増刊）pp.156-157, エー・アンド・ユー, 2009.7
- 17) 石田航星, 志手一哉, 壹岐健章「建設会社の組織形態がBIMの導入に与える影響に関する研究（掲載決定）」『日本建築学会計画系論文集』Vol.81 No.726, pp.1743-1753, 2016.8
- 18) 建築生産委員IT推進部会スマートデバイス専門部会『工事現場のタブレット導入ガイドブック』日本建設業連合会, 2015.2
- 19) Kosei Ishida, Construction Progress Management and Interior Work Analysis Using Kinect 3D Image Sensors, 33rd International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC 2016), No.59 (8頁分), 2016.7
- 20) 石田航星「モーションセンサによる屋内工事の作業環境と作業負荷の記録手法」『大会学術講演会梗概集：建築社会システム』pp.47-48, 日本建築学会, 2016.8
- 21) 東京大学「2014年度造船所へのパワーアシストスーツ適用可能性に関する調査研究」<http://www.jstra.jp/html/PDF/2014%20Assist%20Report.ppd>, 2016.8.28閲覧
- 22) Kosei Ishida, Naruo Kano, Kenji Kimoto, Shape Recognition with Point Clouds in Rebars, 29th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC 2012), 2012.6
- 23) 国土交通省国土地理院「UAVによる公共測量」<http://psgsv2.gsi.go.jp/koukyou/public/uav/#01>, 2016.8.31閲覧
- 24) 松田章宏, 嘉納成男「建築生産におけるIT化の動向に関する研究 1960年から1999年までのIT化の変遷と技術開発の要因」『関東支部研究報告集』Vol.83 (II), pp.521-524, 日本建築学会, 2013.3