



i-Construction 小委員会活動報告書

PART I WG 1「職能・人材育成・教育」

1 背景と目的

1.1 背景

我が国では少子高齢化が進み、国全体として生産性向上が強く求められている。建設業においても、ICT や BIM/CIM, AI 等を用いた生産性の向上、魅力ある産業づくりが緊喫の課題となっており、生産性向上施策の柱である i-Construction の推進を業界全体で推し進めているところである。国土交通省においては、基準・要領類の整備、i-Construction 大賞に代表される事例の水平展開、工事成績の加点、ICT 施工機材整備に対する補助金制度などの施策を展開している。このような取り組みによって、一定の成果が出始めている現状を元に、本 WG では i-Construction を推進できる人材が具備すべき能力、およびその育成・教育体制などについて下記の検討・調査を行った。

- ✓ 発注者・受注者（ゼネコン・コンサル）における、トップダウン型現場実装や人材育成に関する取組調査
- ✓ 国内外の高等教育機関における取組調査、意識調査（アンケート）
- ✓ 個人のモチベーションで技能習得を行っていくボトムアップ型技能習得事例
- ✓ ブルーム・タキソノミーを活用した人材育成プログラムの分類・整理

その結果、次のような「あるべき体制」と「i-Construction 人材の能力」が、建設生産プロセスの変革を果たすために必要と考える。（図 1.1）

- あるべき体制：プロジェクトのリーダー、各担当技術者、システム開発者の間で、土木専門技術と ICT 技術のそれぞれを理解し、自分で活用できるとともに、必要に応じて専門家との”通訳的”な役割を果たす「i-Construction 人材」が体制の中に必要
- i-Construction 人材：土木に関する専門技術と ICT 技術を持ち合わせ、適切に組み合わせることで課題解決ができ、かつこれらの原動力となる高いモチベーションを維持できる能力を持つ人材

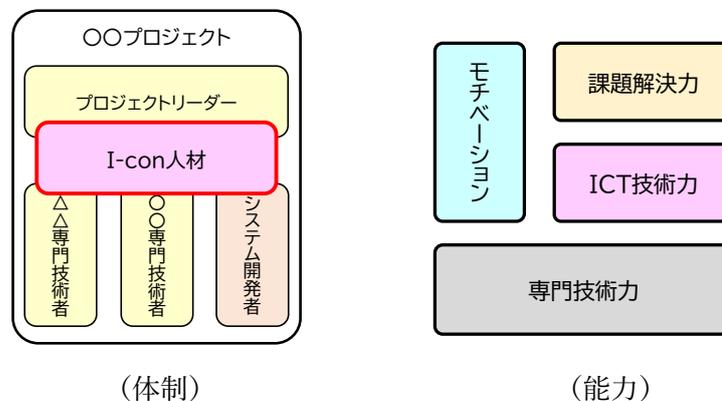


図 1.1 i-Construction 推進に必要な体制と能力

1.2 目的

i-Construction 人材の育成に際しては、我々がどのような姿になりたいか、あるべき姿（目標）を定めることが非常に重要と考える。市場の動向や技術革新を見定め、グランドデザインを描き、具体的な人材像に落とし込むことで、育成方針が定まる（図 1.2）。ビジョンなき育成は、十分な投資効果が得られない活動に陥りかねないので、十分な留意が必要である。

本 WG では、あるべき姿（目標）として、下記を提示する。

本WGが定めるあるべき姿（目標）：『デジタルを前提としたプロセスの改善・変革』

静的、動的データや空間情報などの各種情報を取得・蓄積し、単独あるいは複数の情報を組み合わせた分析を行い、行動を変容する社会の実現を目指すものであり、行動の変容には ICT、BIM/CIM や AI などを効果的に活用することをあるべき姿（目標）として掲げた。本章は、あるべき姿を実現するために求められる i-Construction 人材の育成方法、取り組みに関する着眼点、留意事項などを提言することを目的とする。

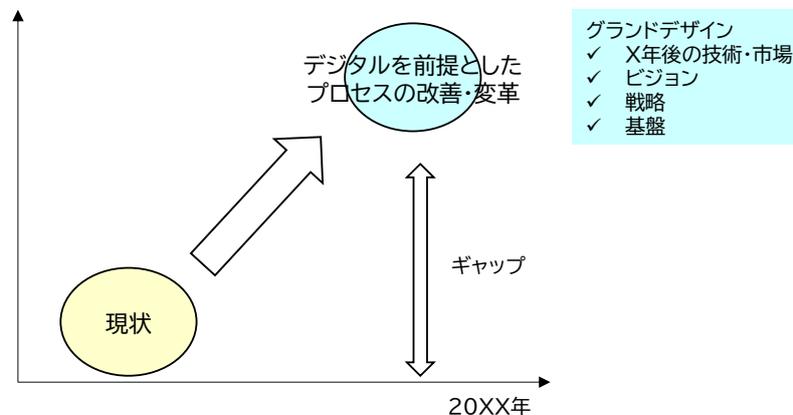


図 1.2 あるべき姿（目標）の設定

1.3 あるべき姿・体制 i-Construction における職能

WGでの議論の結果、「1.1 背景」で示した「あるべき体制」と「i-Construction 人材」が具備すべきとした能力をそれぞれ図 1.3、図 1.4 に詳述する。

あるべき体制

- i-Construction を推進する体制とは、日進月歩の ICT を駆使して、建設生産プロセスの変革を実現できる能力を持ち合わせた組織
- 土木専門技術者、ICT 専門技術者に加え、土木技術と ICT を融合するための通訳的役

割を担う i-Construction 人材が体制の中核に位置する

- そのことによって、プロダクトアウトされた ICT・サービスを活用する体制から、マーケットインによって ICT・サービスを協働開発する体制を指す

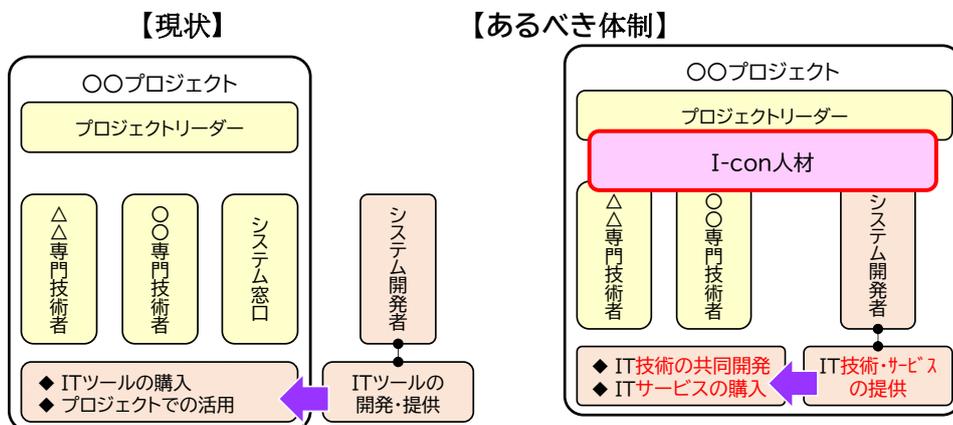


図 1.3 あるべき体制

i-Construction 人材像

- 土木工学の根源を理解し、核となる専門技術と専門技術に関連する幅広い知識を有する専門技術能力
- 必ずしも ICT に精通している必要はないが、BIM/CIM の基本ソフトに対する基礎操作力を有し、AI や ICT に関する知識を有する ICT 技術力
- 土木専門技術力を駆使して社会課題の解決の道筋を立てることが出来る構成力やフロントローディングやコンカレントエンジニアリングによって、建設生産プロセスの省力化や省人化の着想を得ること出来るなどの課題解決力・マネジメント力
- ICT を用いて、建設生産プロセスを変革することに意欲を持ち、楽しむことが出来るモチベーションを有するマインド

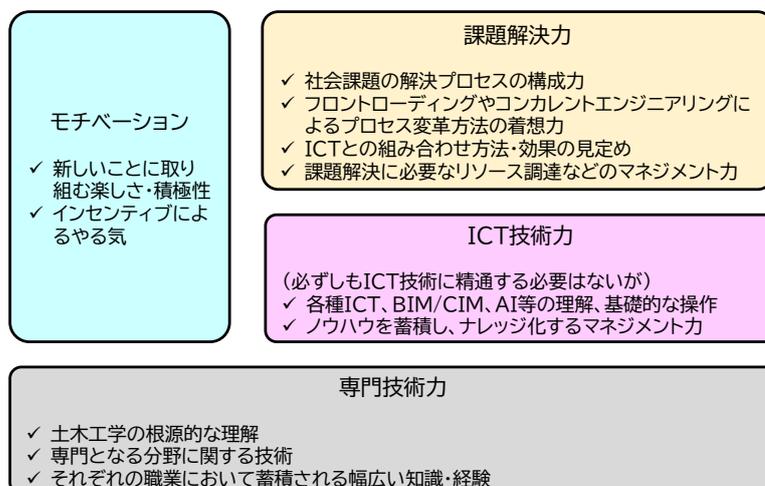


図 1.4 i-Construction 人材の職能

1.4 目指すアウトプット・検討項目

本章で目指すアウトプットを下記に列記する。

- 現状の i-Construction 教育の事例と、求める人材像を得るための課題の抽出
- 海外の i-Construction 教育や、他分野の ICT 教育と国内土木の i-Construction 教育の比較
- 教育手法の分類整理方法の提案
- 上記を踏まえた上での i-Construction 人材の育成に関する着眼点, 留意事項の提示
- 上記を踏まえた上での土木学会への提言

2 i-Construction に関する職能・人材育成

2.1 i-Construction 人材育成体系の整理

2.1.1 i-Construction 人材育成のロードマップ

i-Construction 人材を 1.1 で「土木に関する専門技術と ICT 技術を持ち合わせ、適切に組み合わせることで課題解決ができ、かつこれらの原動力となる高いモチベーションを維持できる能力を持つ人材」のように定義したが、そのような人材の役割が変更し、成長していく過程を以下の図 2.1 のようなロードマップに示す。

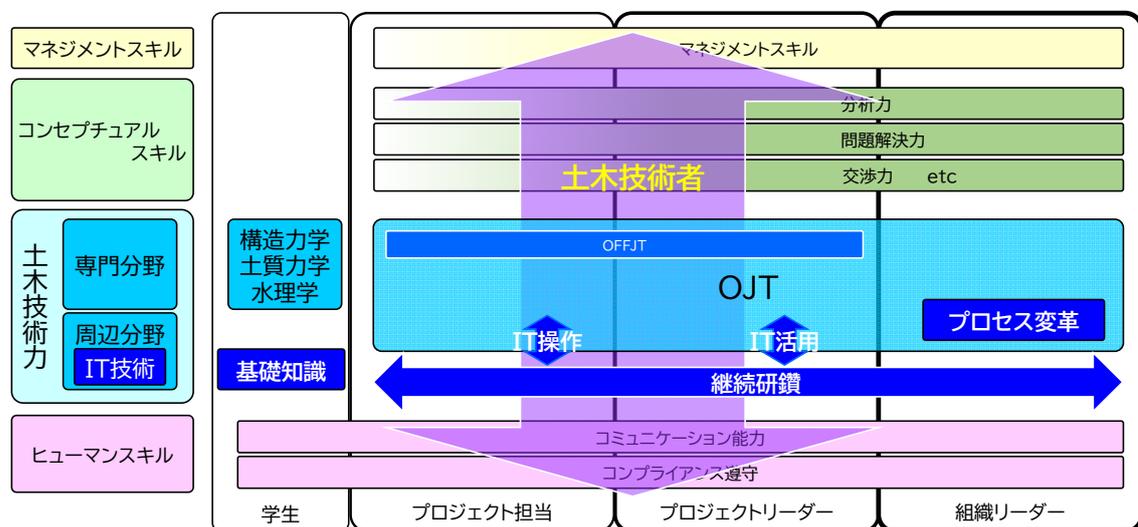


図 2.1 i-Construction 人材育成のロードマップ

図に示すように、大学等の学生からプロジェクト担当・リーダーと役職（横軸）が変わっていき、それによって求められる土木に関する専門的技術力やマネジメント能力等のスキル（縦軸）が変わってゆく。ICT については、基本的に学生の間は一般的に多用途に活用できる基礎技術を学び、そして土木技術者になった後は、土木技術力の一つに ICT を位

置づけ、リカレント教育の一環として継続的に研鑽を行っていく。この際、業務に関連する専門分野の ICT (BIM/CIM や GIS, 空間情報など) を学ぶことが一般的である。もちろん、ICT だけでなく、いわゆる「三力」のような土木工学の基盤的技術力の研鑽や、コミュニケーション能力などのヒューマンスキル、問題解決力などのコンセプチュアルスキル、マネジメントスキルなども同時に習得する必要がある。また、職務での経験・責任が大きくなっていくことで、高度なことを行う必要性が出てくるため、最初は決められた ICT を使うだけでよかったのが、ICT を取捨選択、工夫して活用して問題解決を行う能力（場合によっては開発する能力）が求められる。さらに責任が大きくなると、建設プロセスそのものの変革（digital transformation）まで立案する能力が重要となる。

ここで示した能力のうち、特に ICT については、土木工学分野における教育プロセスでは歴史的に重視されてこなかったが、今後、i-Construction の普及・敷衍にともない重要性が向上している。そこで本 WG では ICT の技術習得に重点を置いて調査を行った。

2.1.2 i-Construction 人材育成の体系

図 2.1 のロードマップに従えば、i-Construction を活用する人材育成において、ICT 等の各ツール等を扱う「操作スキル」、ユースケースに応じて各ツールを使い分ける「活用能力」を取得することが目標となる。ここに、ツール（BIM/CIM・IoT）、育成環境（ソフトウェアベンダー主催の講習会や企業内の OJT）を含めた i-Construction に関する人材育成の基本的な構図を下記に示す。また、下表に育成環境の具体例を示す。

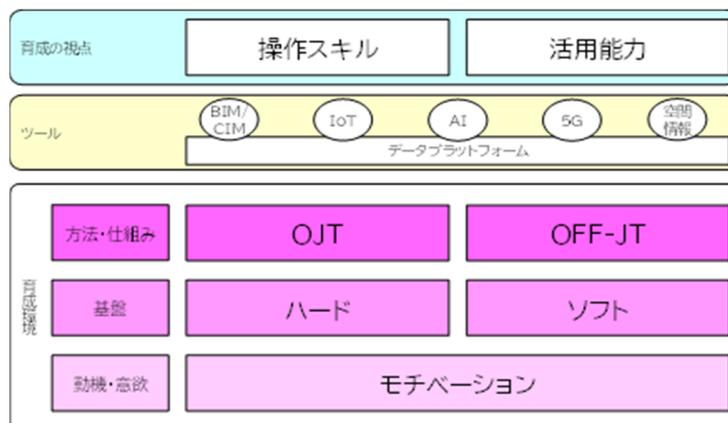


図 2.2 i-Construction 人材育成の基本的な構図

表 2.1 育成環境の具体例

方法・ 仕組み	OJT	・国交省の BIM/CIM 原則化に伴う活用業務，工事にて実務を通じた経験学習
	OFF-JT	・国交省やソフトウェアベンダー主催の BIM/CIM 講習会 ・各企業が実施する ICT 施工等の e ラーニング
基盤	ハード	・国交省 DX 実験フィールドの活用 ・先進的測量器具を用いた学生実習
	ソフト	・国交省 DX データセンターの活用 ・BIM/CIM，CAD ソフトウェアの実習
動機・ 意欲	モチベーシ ョン	・最新の DX 技術が体験できる DX パーク（関東地整 建設技術展示館）

2.2 i-Construction 人材育成プログラムの事例

2.2.1 発注者

(1) 発注者の現状

一口に「発注者」といっても様々な組織があり，幅広い業務を担っている。すなわち，建設行政を推進する上での各種施策や計画・予算を司る立場，公共事業に関わる設計業務や工事を発注・監督する立場，出来上がった施設を維持管理する立場など，多岐に渡っている。

発注者における i-Construction の導入は，案件毎に契約先となる，協力業者の提案する技術を活用するケースが多い。また，地域の保守現場等では，労働力不足が顕著に生じており，i-Construction 技術の効果である「安全・生産性・労働力不足などの改善」に期待がかけられている。このような状況を踏まえ，発注者ならではの人材育成システムが求められている。

なお，本 WG には道路行政に携わる委員がいなかったため，電源開発株式会社の事例紹介となる旨，あらかじめ言及しておく。なお，2.2.4 で国土交通省提供の横断型の講習会については紹介してあるので，必要に応じてご参考いただきたい。

(2) 取り組み事例

① 電源開発株式会社の事例

【実施体制】

発注者として，以下の4点の技能取得が求められていると想定されている。

・基礎的な ICT

例えば ICT を用いた機械施工を実施する際，その施工プロセスが妥当であるか，土木技術者の視点で良否を判断する必要がある。i-Construction の加速化により，そのプロセス

については多様化していくものと推定されるが、本来注視すべき構造物の品質管理に資する検討が抜け落ちることの無いよう注意しなければならない。そのためには、土木技術者としての知見も重要となる。

・発注に係わる i-Construction の知見

発注時においては、発注者側で考えられる ICT 機器の使用等を含めた最適な施工や保守運用計画を立案の上で費用を積み上げ、予算化することとなる。この過程において、業界の i-Construction, ICT に係る知識がなければ、適切な施工計画の立案を行うことが出来ない。

・BIM/CIM 活用によってもたらされる効果についての評価力

競争入札にて工事等の発注を行った際には、入札額だけではなくパートナーとなる協力会社の BIM/CIM 活用等によってもたらされる効果についても評価できる力量が必要となる。各プロセスにおけるメリット（得られる効果）と共に、デジタル化に伴う情報管理等の対策についても併せて評価できる知見が必要である。

・施工時の柔軟な ICT 導入のための理解力

技術進展の著しい i-Construction の取組みにおいて、施工中に新知見を採用する機会も多分に想定される。このような中で、協力会社と共に i-Construction のレベルを高めていくためには、発注者の立場として、協力会社が提案する新知見に柔軟に対応するための理解力が必要である。

【プログラム内容】

電源開発で行っているのは、技術研修と情報・経験共有である。

建設段階での i-Construction の活用や、計測データの活用についての概論は社内の土木技術研修の中で学習する機会を設けており基礎的な事項の学習の場としている。電源開発では、設備の効率的な点検実施のために、ドローンの活用を推進しており、そのためドローン教育に係る環境整備を進めている。初級者向けのカリキュラムの立案や、ある程度の運用の経験がある社員に対しての法的事項の再教育及び新たなデータ活用の方法や自律飛行について学習する機会を設け、発注者における基礎的技術の理解に役立てようとしている（図 2.3）



図 2.3 ドローン研修実施状況

また近年、新規の大規模開発案件は必ずしも多くはないため、i-Construction 技術の活用実績を共有する取り組みについても行われている。例えば、建設工事中には i-Construction 技術活用の様子が確認できるが、竣工後はその効果・状況については現場で見る・知ることが出来ないケースが多い。従って、プロセスの見直しにより得られた便益について、記録化し、情報や経験を業界内で共有する取り組みを進め、i-Construction を推進させている。

(3) まとめ

【現状と傾向】

発注者は、i-Construction 技術を自ら構築するというよりは、受注者の提案する技術を受け入れ、活用していく機会が多いことから、提案された技術を如何に理解し、評価できるかという能力が必要となる。日進月歩である i-Construction 技術について、広く情報を入手し、発注者の立場として、最もニーズに見合った手法を選択できるかが事業の成果に大きな影響を与えることとなる。ただし、新しい技術を受け入れる立場として、過去の実績にとらわれて技術を選択・限定化するようなことは、受注者の新たな技術開発の伸び代や、発注者自らの成長の機会を失うことにも繋がることから、常に間口を広く構え柔軟に対応・選択する力が必要となる。

【課題】

今後、ますます i-Construction 技術を発展させていくためには、i-Construction 技術の提供者である受注者が如何に活発に技術開発を行い、効率的・効果的な仕組みを作り出すことが出来るかということが重要と考える。そのためには、適度な競争環境が業界全体に作られることが好ましい。

一方で、新たな技術によりもたらされるデータや、それを活用するソフトウェア等が競争環境下であまりにも多様化・乱立化すると、発注者としては契約する受注者毎に大きく異なる対応を要求されることになる。このため、発注者側として、i-Construction の技術開発により得られるデータで何を目指しているのかを受注者側と共有し、ある程度の技術開発の枠組みや共通ルールのようなものを業界内で定め、発注者・受注者共に恩恵を得られるように取り組みを進めていくことが今後の課題である。

2.2.2 受注者：ゼネコン

(1)ゼネコン業界の現状

ゼネコン分野における i-Construction の導入は、大きく「現場支援」、「技術支援」および「作業支援」に分類されると考える。それぞれに求められる視点は、大きく下記の 5 つに区分されると考えられ、それぞれの視点に基づいた新たな取り組みが進められている。

①経済性管理 (工期・工程, 利益, 品質 など)

- ②安全管理 (労務災害防止, トラブル防止 など)
- ③人的資源管理 (人員削減, 教育 など)
- ④情報管理 (情報漏洩, 機密保持 など)
- ⑤社会環境管理 (環境負荷低減, サステナビリティ など)

その中で挙げられる問題として、ゼネコン分野全体で必要とされるニーズが明確ではなく、現場ごと、組織ごとに求めるニーズが異なるために、明確な基準やマニュアル等がないことである。そのため、各社が各々で技術開発・導入、それに伴う教育を行っているのが現状である。以下に前田建設工業および大林組の事例を挙げるが、それぞれ有益な取り組みである一方、相違点もあり、統一されていないことがわかる。

(2)取り組み事例

① 前田建設工業の事例

【実施体制】

社内への ICT 導入のため、以下のような体制図を描いている。この体制図を実現するために、プログラムに示すような多様な教育・研修制度の構築を行っている。また、現場への ICT ツール導入については、積極的に導入を行う現場とこれまでのやり方から変化を拒む（コストや職員の手間等の増加による影響を恐れて）現場の双方が存在しており、ICT ツールの導入に対しても格差が生じている状態にあった。そこで、新たに”ICT 経費”という制度を導入し、各作業所より ICT ツール導入のための経費として徴収することを義務化した。この制度を活用しないと損をする状況を反強制的に作り出し、積極的に ICT ツールを導入する環境、そしてそれにより職員の実務活用経験を増やす環境を整備した。

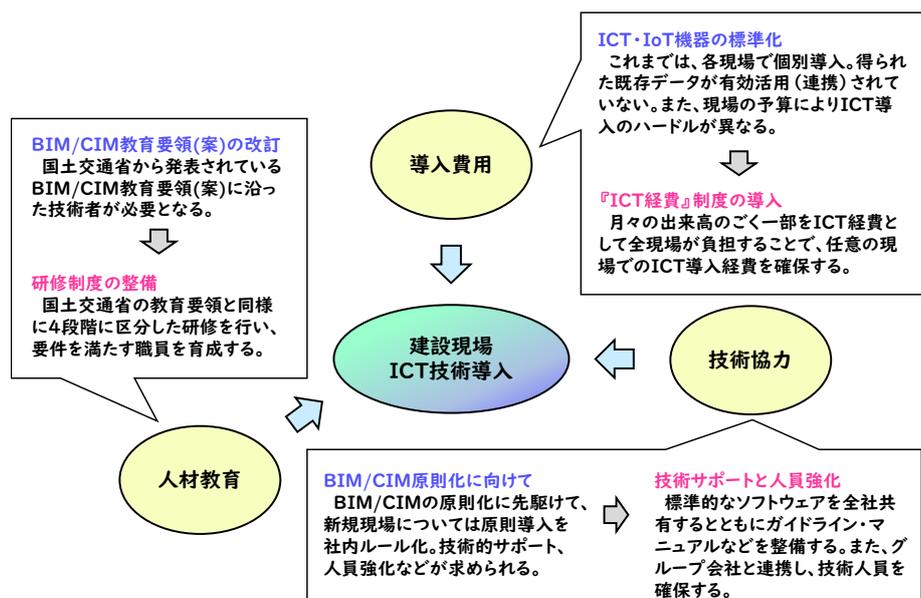


図 2.4 ICT 技術導入体制

【プログラム内容】

ゼネコン分野で汎用的にかつ任意の組織で導入が進められているものとして、BIM/CIM による施工が挙げられる。国土交通省 BIM/CIM 推進委員会で示されている体系ピラミッドを基に、技術者レベルに合わせて4レベルの研修内容を定義している。このうち、レベル1については e-learning, レベル2については各本支店での研修を実施している。

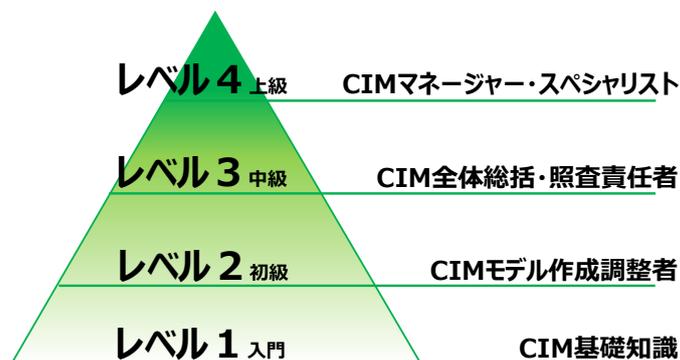


図 2.5 BIM/CIM 教育の基本体系図

- レベル 1：BIM/CIM 入門編であり、全職員が基本用語や導入事例について受講し、基礎知識を習得する。また、BIM/CIM モデルを閲覧ができ、打合せ協議や対外説明にて活用できる人材を育成する。受講は e-learning による Web 受講にて実施。
- レベル 2：小規模な集合研修を各本支店にて実施する。研修内容は Civil3D 等の各ソフトウェアの基本操作であり、BIM/CIM モデルの作成・編集、施工計画などにて活用できる人材を育成する。
- レベル 3：BIM/CIM 導入に当たっての計画書の作成、管理方法、発注者のニーズに基づいた展開方法等を習得する。BIM/CIM 活用をマネジメントでき、現場の特性に応じた課題解決ができる人材を育成する。
- レベル 4：各事業所の BIM/CIM 活用工事に関する統括的にマネジメントできる人材を育成する。

また、全社的な ICT, BIM/CIM 導入のためのガイドラインおよびマニュアルを作成・更新し、全社展開している（例えば「BIM/CIM 活用ガイドライン（社内向け）」、「MG/MC ガイドライン」、「点群データ活用ガイドライン」など）。これらは職員が適宜参考にすることができ、実践力向上に寄与している。

② 大林組の事例

【実施体制】

施工段階において i-Construction を進める人材を育成するため、3D データを施工に活用

することを主目的に、ICT 活用の教育・研修を行っている。また、以下の図のような、①デジタルコンシェルジュの派遣、②個別依頼に基づく教育、③自主学習コンテンツの提供を通じた ICT ツールの現場導入支援も行い、現場職員への ICT ツール利用の教育を行っている。職員へのハンズオンの教育により、初めて使うツールでも現場への定着ができるようになってきている。

使うきっかけを提供（共通）

①デジタルコンシェルジュ派遣	<ul style="list-style-type: none"> 現場立ち上げ時のICTツール導入支援 現場・施工管理ツール（施工計画作成、写真管理、帳票作成等）や現場コミュニケーションツール等の初期設定や使い方説明等 現場の通信環境、ネットワーク構築、情報共有フォルダ作成等、ICTツール利用環境の整備の支援 デジタルコンシェルジュ（ICTツールを中心としたデジタル技術の専門家）を現場に直接配置し、現場職員に代わって現場へのICTツール導入を主導、更に現場職員へのICTツール利用の教育
----------------	---

使うきっかけを提供（個別のニーズ対応）

②支店/現場毎の個別依頼に基づく教育	<ul style="list-style-type: none"> 個別のニーズに応じてICTツールを提案し導入を支援 ICTツールを活用した現場管理や情報共有について現場に代わって発注者へ説明 本社ICT専門部署による一元管理で、ICT技術に関する情報・ノウハウの集約、社内展開、関連部署と連携した迅速なICT技術導入支援を実施
--------------------	---

ちょっとした時間に復習や予習

③教育コンテンツ	<ul style="list-style-type: none"> イントラ等で事例を紹介
----------	---

図 2.6 ICT ツール導入支援

【プログラム内容】

大林組で行っているプログラムは、以下の記述、および図 2.7 のように①若年層対象の集合研修、②個別依頼に基づく教育、③自主学習のためのコンテンツ提供、に分類される。

①若年層対象の集合研修

集合研修では、入社から 3 年目までの職員を対象として、ICT 土工を例に、デモンストラーションや、機械の仕組み、国の基準など要素技術や基礎知識の習得を行っている。

②個別依頼に基づく教育

知識を有していても、実践するまでのハードルが高いことから、使うきっかけを提供するため、支店別や現場別の個別依頼に基づく教育に力を入れている。個別教育では、研修対象者が直面している工種や ICT 施工の内容を対象に、3D モデルの活用方法などを少人数制で個別にプログラムを組んで教育している。手間がかかる教育であるが、実際に使うきっかけを提供しないと職員のスキルアップに繋がらないため、最も力を入れている方法である。

③自主学習のためのコンテンツ提供

さらに、隙間時間に個人で復習できるように、自主学習のためのコンテンツ提供として、ICT 活用事例の紹介動画や操作マニュアル等の整備を行っている。

基礎知識の習得

①若年層の集合研修	<ul style="list-style-type: none">・ ICT土工について、新入社員・2年目・3年目研修1年目 要素技術（UAVやスキャナ）のデモ2年目 要素技術の詳しい説明（UAVの社内運用規準、ICT建機の仕組みなど）3年目 ICT活用工事について（国交省基準、ガイドラインなど）の紹介
-----------	--

使うきっかけを提供

②支店/現場毎の個別依頼に基づく教育	<ul style="list-style-type: none">・ 現場工種やICT施工の内容、3Dモデルの活用方法等に応じて個別に教育内容をカスタマイズして行う（1週間単位/リモート/少人数）・ 現場がやりたいことをピンポイントで支援、すぐに業務に役立つ＝使ってもらうことに注力・ 土木の3Dモデリングの基本、現場での活用方法、等々
--------------------	---

ちょっとした時間に復習や予習（今後予定）

③イントラ教育コンテンツ	<ul style="list-style-type: none">・ 基本的な3D-CADおよび点群処理などのモデリングに関するアプリケーションソフトの操作方法、ICTやBIM/CIM活用事例紹介等を動画のコンテンツとして整備・ 動画コンテンツで気軽に好きな時間に視聴、学びのきっかけを提供・ 操作マニュアル、CAD標準等もあわせて整備し、動画視聴後の復習や参考資料として活用
--------------	---

図 2.7 ICT 活用の教育・研修

(3)まとめ

【全体の傾向】

ここで調査した両社とも、Off-JT の研修を着実にやりながらも、現場導入支援の重要性について強く認識していることがわかった。両社とも、現場に ICT 活用を定着させ、職員のスキルアップを図るためには、触るきっかけづくりをすることがより重要と考えた支援プログラムになっている。また、これらの支援により ICT を一旦導入するとその後の定着率は高いことが分かった。また、両社の教育プログラムは方向性を同一にするものの、内容自体には相違点が多いことも見て取れた。

【課題】

上述のように ICT ツールの利便性を活用する方向での教育システムやガイドラインを制定する一方で、ICT ツールの導入に伴い生じる可能性がある課題について、以下のように考えられている。

①ICT ツールを導入することによる技術力の低下

ICT ツールの利便性により、技術的判断が不要になるケースを見極める必要がある。ボタンを押すだけで結果が出る、計画書や報告書が作成されるなど人員削減、高付加価値な作業に伴い、職員が“エンジニア”から“オペレーター”になることを避ける。

②ICT ツール導入効果の検証

ICT ツールの導入による効果について定量的な評価をどのように実施するかが課題である。工程や工期、工事費などの経済性で評価するトレードオフの効果は比較的容易であるが、他の取り組みや技術との相乗効果（シナジー効果）や教育への貢献程度など定量的な評価が難しい項目に対して、評価軸をどのように設定するかが課題である。

また、今後を見据えた動きについても検討が進められている。ゼネコン業界においても、上述のように徐々に ICT 施工や i-Construction に対する積極的な取り組みが進められており、DX や AI など新たなステップへの動きも徐々に見えてくる。これらの動向に伴い、建設業界の各分野でも従来の業務範囲を拡大する動きがみられる。これらの流れに対して、ゼネコンとしての着目点、新たな取り組みの方針などを模索するとともに、スピード感を有した対応が必要あると考えられる。



図 2.8 各分野の業務範囲の拡大

2.2.3 受注者：建設コンサルタント

(1) 建設コンサルタント業界の現状

i-Construction が急速に進められる中、事業プロセス全体に係わる建設コンサルタントが担う役割は多岐に渡る。その中でも i-Construction における情報管理の基盤となる BIM/CIM については、国土交通省で 2023 年度までに小規模を除く全ての公共工事において原則適用することとしており、建設コンサルタントとしては BIM/CIM に対応できる体

制を早急に整えることが喫緊の課題になっている。こうしたインフラ分野全体での急激なデジタル化に対応するため、デジタルデータに関する知識やロボット・AI等の革新技術に関する知識等、幅広い知見を有して、それを活用していく能力が必要になっている。

ここでは、上記背景を踏まえて、建設コンサルタントで実施されている教育事例を紹介し、今後の方針の参考としたい。ただし、独自調査を含むため、社名は伏せている。

(2) 取り組み事例

① C社の事例

【実施体制】

社内に専門部署（BIM/CIM 推進センター）を設置し、各部署のフォローを行うとともに、管理技術者研修やハンズオン研修を実施することで、社内での人材育成を進めている。

ただし、上記の研修で学べるのは基本的に国土交通省の BIM/CIM 活用業務に対応するための知識であり、デジタルデータの革新技術を活用していこうと考える技術者は個人的な活動により、社外から積極的に情報を収集し、学習している。

【プログラム内容】

C社では対象者別に研修プログラムを組むことで、求める能力を以下のように区別した上で、表 2.1 のような研修プログラムを設定している。

- 管理技術者
 - ・設計後の活用を考慮し、国土交通省の要求に応じたモデル作成を指示できる能力
 - ・国土交通省で出される要領等を理解する能力
- 若手・中堅技術者
 - ・設計段階の効率化に向けて、3次元データを”活用”する能力
- オペレータ
 - ・国土交通省の要求に応じたモデル作成ができる能力

表 2.1 研修プログラム

研修名	対象者	研修プログラム
管理技術者研修	管理技術者	国土交通省の施策や BIM/CIM 活用業務の対応方法等について習得する。
中堅・若手研修	若手・中堅	BIM/CIM ツールの機能を把握して業務に必要なモデル作成をオペレータに指示するとともに、3次元 CAD を用いて業務に活用し、業務の効率化を図れるように基本操作を習得する。
オペレータ研修	オペレータ	BIM/CIM 業務をサポートするオペレータに対し検討のベースモデルの作成や、作成したモデルを統合し、成果品として完成させる技能を習得する。

② D社の事例¹

【実施体制】

国土交通省の CIM 試行業務をはじめ、いち早く 3次元への取り組みを開始しているが、特定の社員・部署での実施にとどまり、全社一体となった取り組みとなっていなかったことを受けて、専門部署（CIM 推進室）を立ち上げて社内での推進に努めている。

一方で、CIM 推進室では実際の業務を実施するわけではないため、設計現場との連携を図る必要があり、各部署に 1~2 名兼務者を配置する実施体制をとって推進している。また、表 2.2 のような資格制度を設定することで、技術レベルを担保しながら学習意欲の促進を狙っている。

【プログラム内容】

現場で活用するための方策として以下のような取り組みを実施している。

- 個人への学習支援
 - ・ソフトウェアの習得のための勉強会を 2 ヶ月に 1 回程度実施
 - ・合宿形式での集合研修を年 1 回実施
 - ・e-Learning サイトを構築
- 全社へ向けた啓蒙
 - ・CIM 成果報告書の作成
 - ・CIM 成果報告会を年 2 回開催
 - ・CIM 資格制度

表 2.2 CIM 資格制度

資格区分	資格の内容
CIM マネージャー	組織内で CIM 業務全般を理解し、CIM 業務の管理技術者を担当できる能力を有する者
CIM コーディネーター	業務の各工種に CIM の考え方を適用し、モデルの作成、使用するデータの管理、コーディネートを担当できる能力を有する者
CIM インストラクター	講習会・ハンズオンの講師として、CIM 知識を社内外に普及する能力を有するもの
CIM モデラー	業務で使用できるモデルの作成を行う能力を有するもの

¹ 建設マネジメント 2019.9

③ E社の事例²

【実施体制】

専門部署として CIM 推進室を設置するとともに、CIM インストラクターを各部門に配置し、各部門が自立して、問題を解決できる体制を構築している。

【プログラム】

職種で限定せずに、新入社員全員を対象に研修を実施してきた結果、全社員の半数程度は受講経験がある状況にある。

- 3次元 CAD 研修
 - ・対象を新入社員全員+既存社員として開催
 - ・研修テキストは自社で作成し、毎年更新
- CIM 塾
 - ・各部門の技術者が1~2週間指導を受けながら業務をこなすトレーニングを実施
 - ・一般職の職員も含めて開催
- CIM マネジメントミーティング
 - ・CIM 担当者が所属部門の取組状況を報告
 - ・CIM による生産プロセスの高度化・効率化、課題・解決策等を議論
 - ・CIM に関する最新動向を共有

④ F社の事例³

【実施体制】

社内に3次元推進の組織はなかったが、若手技術者の「自分でチームを作りたい」との声から社内での取組活動を始め、当該技術者を中心として社内にデータマネジメントの考え方を浸透させている。

【プログラム】

社内の3次元チームの支援により、業務内における3次元化を推進していくとともに、BIM/CIM を蓄積したデータから必要な情報を活用できるツールと捉えて様々な取組を実施している。

その1つとして、ベテラン技術者の暗黙知を形式知に置き換え、蓄積していく手段として BIM/CIM のデータベースを活用し、膨大な暗黙知データの中から最適解を導く仕組みの開発も行っている。

(3)まとめ

【全体の傾向】

² <https://built.itmedia.co.jp/bt/articles/2001/06/news035.html>

³ 出典：<https://www.kensetsunews.com/web-kan/622764>

建設コンサルタントでは、3次元への取り組み時期は様々ではあるが、国土交通省の方針に対応する形で進めていく必要性から、「図 2.2 i-Construction 人材育成の基本的な構図」にある OJT を中心とした教育プログラムを策定している会社が多くみられ、BIM/CIM 活用業務を進めるための基礎的な研修と技術者同士の情報共有の場をセットした上で、実務を通じて技術力を磨かせようとする傾向がみられる。

一方で、国土交通省が進める BIM/CIM にとらわれずに、デジタルデータに関する知識やロボット・AI 等の革新技術に関する知識等を習得しようとする場合には、モチベーションの高い技術者が OFF-JT の活動を通じて個別に学習している傾向が強いと考えられる。

【課題】

建設コンサルタントでは、国・地方公共団体から発注される BIM/CIM 活用業務に対応することが今後必須事項であることから、業務に対応するための 3次元設計に関する知識をトップダウンにより教育している傾向が強く、「図 2.1 i-Construction 人材育成のロードマップ」に示すプロジェクトマネージャーまでの OJT を含めた教育プログラムを策定している会社は大手コンサルを中心に多い。

一方で、i-Construction の目的は「建設現場の生産性向上」であり、受注する業務仕様書に沿った取組に対応するだけではなく、それ以外の業務外プロセスにおいても AI や ICT を活用した生産性向上を図っていくことが重要である。そういった対応については技術者個人が自主的に身に付けていくボトムアップ的なアプローチになっており、そのアプローチ方法はそれぞれの技術者が自身の能力・人脈に合わせて実施しており、「図 2.1 i-Construction 人材育成のロードマップ」に示すプロセス変革を実現する組織リーダーまでのプロセスを体系化することができていないという課題が挙げられる。

2.2.4 横断型（発注者・受注者の双方が対象）

(1)横断型講習会開催の背景

建設業界では担い手の高齢化や若い世代の入職者不足が進む一方で、社会資本の整備は必要不可欠である。このため生産性向上を目的として i-Construction を始め、建設業界の IT 化が進められているところである。

今後 IT 化が進みデジタルを前提とした建設生産プロセスで活躍する人材の育成を目的とした教育プログラムについて、受発注者の枠を設けない講習事例として確認したプログラムの概要について事例を紹介する。

(2)事例（建設業未経験者タイプ）

①建設業入門オンラインセミナー（ハタコンサルタント株式会社）⁴

異業種から建設業への入職者や経験の浅い方へのサポートを目的としてオンライン形式

⁴ 出典：<https://hata-web.com/>

にて開催している講習である。

(a) 対象者

建設業未経験者、別業界からの転職者、建設業界内定者、経験の浅い技術者

(b) 目標

未経験者や経験の浅い方が建設業界での経験不足から感じる業界への違和感を、現場の仕組みなどを知ることによって早期に軽減し、業界への定着を図り、現場の即戦力化とすることを目標としている。

(c) プログラム

研修プログラムは、全10項目から構成されており、建設に関する基礎知識だけでなく、建設業に興味を持ってもらいやすい項目が盛り込まれており、参加者のモチベーション向上につながりやすい内容となっている。

受講者からの声として、「業界への理解が深まった」、「職人とのコミュニケーション方法がわかった」、「不安が解消された」が挙げられており、建設業界への入職のハードルを下げることに繋がっていることがわかる。

〈研修プログラム〉

- ①建設業ってなんだろう
- ②難しい建設用語を学ぶ
- ③様々な建設機械の名前と役割
- ④「建設業法」がわかると業界がわかる
- ⑤現場の安全と衛生を知って身を守ろう
- ⑥建設業の深い話
- ⑦建設業で本当にあった心あたたまる物語
- ⑧建設業界の仕組みとビジネス（建設業の役割と概要、建設ビジネスの仕組み、工種と業種でわかる土木業の基本、工種と業種でわかる建築業、建築設備業の基本）
- ⑨あると役立つ資格と活用方法
- ⑩建設業の未来

②i-Construction スペシャリスト養成講座（土木・建築全般編）（ストラテジクスマネジメント株式会社）⁵

建設業界の未経験者や初心者に向けた無料のオンライン講習である。

(a) 対象者

建設業未経験者、土木業界を目指している方、業界に興味がある方

(b) 目標

⁵ 出典：<https://specialist.kensetsu-ict.com/course/03jv3sua01/>

業界未経験の方に対して、業界の仕組みや工事の種類、仕事の内容、資格や建設機械などの建設業界の基礎知識を習得することを目標としている。

(c) プログラム

研修プログラムは4章構成で、建設業界における基礎知識と具体工事事例の紹介が主となり、建設業界で働いていくイメージを持ちやすい内容となっている。

〈研修プログラム〉

第1章：土木とは

- ・ 仕事内容・他業種との違いの理解
- ・ 業界で求められる人材像の把握

第2章：土木工事を始めるためには

- ・ 工事の種類・職種・関係組織の理解
- ・ 土木工事の全体像の把握

第3章：土木工事で行うこと

- ・ 現場の作業内容・安全管理の理解
- ・ 自身が働くイメージの習得

第4章：必要な資格や建設機械について

- ・ 職種別で必要になる資格の紹介
- ・ 建設機械の概要の理解

③ 厚生労働省・FORUM8：建設 ICT マスター養成講座

建設 ICT マスター養成講座は、土木・建設業界の IT 化に対応した人材育成をテーマとして、知識やスキルの更新など、生涯を通じて様々な形で学び直すことでキャリアアップやキャリアチェンジを目指すものである。

(a) 対象者

建設業者に限らず建設 ICT の知見・スキルによるレベルアップを目指す技術者、他分野から土木業界へ参入を志す社会人、土木建設業界を目指す学生

(b) 目標

今後 IT 化が求められる建設業界の中で、建設業界において活躍できる、多様な人材を育成することと、他分野で活躍する人材が建設業界に就職する架け橋になることを目標としている。

(c) プログラム

研修プログラムは、オリエンテーション・導入編・基礎養成編・応用編の4部構成であり、講習後は技術の応用力や、VR を活用した効果的なプレゼン方法の習熟度を確認する試験として、「建設 ICT マスター認定試験」を実施している。

〈プログラム〉

➤ オリエンテーション：

- ・土木建設業界のビジネスの仕組み，今後の展望の共有

導入編：

- ・まちづくりや土木業界に必要な人材について
- ・VR シミュレーション技術の適用効果や3DVR 活用プロジェクトの事例
- ・BIM/CIM の基本

➤ 基礎養成編：

- ・土木業界のソフトウェア動向
- ・VR, CG ソフトを活用したモデリングの技術の習得
- ・設計計算，解析，積算など，CIM の実務を想定したソフトウェアの活用技術の習得

➤ 応用編：

- ・実践的な人材のニーズについて
- ・VR 活用提案
- ・合意形成プレゼン実習
- ・設計・計画・施工シミュレーション実習
- ・仮想プロジェクトによる合意形成
- ・ファシリテーション技術の習得

(3)事例（建設業経験者タイプ）

①国土交通省：BIM/CIM 教育要領（案）⁶

国土交通省が BIM/CIM 教育要領に関する知識や技術を有する人材の育成及び人材の活用を目的とし，知識体系や学習目標を示したものである⁷。

(a) 対象者

工事，業務に携わる全ての受発注者

(b) 目標

学習目標は「入門」，「初級」，「中級」，「上級」と設定し，「初級」を当面の普及目標に定めている。

〈学習目標〉

➤ 入門：

- ・「BIM/CIM 活用ガイドライン」に使用している用語を理解できる。
- ・建設分野の課題及び BIM/CIM の意義と自身が担当する実務との関わりを理解できる。

➤ 初級：

⁶ 「国土交通省 BIM/CIM ポータルサイト」

<http://www.nilim.go.jp/lab/qbg/bimcim/bimcimtraining.html#spec02>

⁷ 「BIM/CIM 教育要領（案）」（国土交通省）

<https://www.mlit.go.jp/tec/content/001410135.pdf>

- ・ BIM/CIM に関する基礎的な技術として、3次元 CAD の基本的な操作方法を習得する。
- ・ 「BIM/CIM 活用ガイドライン」を理解し、自身が担当する実務において BIM/CIM 活用項目を設定することができる。また、授受する資料等を確認することができる。
- 中級：
 - ・ BIM/CIM に関する技術として、3次元 CAD を利用した操作方法を習得する。
 - ・ 「BIM/CIM 活用ガイドライン」に従い、担当する実務を効率化することができる。
- 上級：
 - ・ BIM/CIM に精通するとともに、関連する複数の実務を含めて効率化することができる。
 - ・ BIM/CIM に関する適切な指揮、指導を行うことができる。

(c) プログラム

国土交通省の研修プログラムでは、どのような知識が必要かを、対象者別・レベル別で整理しており、各組織における人材育成において、実施目的や対象者のレベルに応じて、適切に組み合わせることが必要であるとしている。

BIM/CIM 教育要領（案）における入門・初級・中級プログラムの概要を以下に示す。

〈研修プログラム〉

- 入門：
 - ・ 建設分野の課題と BIM/CIM
 - 建設分野を取り巻く課題
 - BIM/CIM 全般（概要、先進諸国・国交省の取組み、基準要領）
 - ・ BIM/CIM の技術的な体系
 - 計測と測量
 - 地盤の 3次元モデリング
 - 構造物の 3次元モデリング
- 初級・中級：プログラム項目は同じだが、学習内容は初級と中級とで異なる。
 - ・ BIM/CIM の利活用の体系
 - 公共調達 [発注者における BIM/CIM 実施要領（案）] ※初級のみ
 - プロセス監理 [発注者における BIM/CIM 実施要領（案）]
 - 測量・地質・土質調査 [BIM/CIM ガイドライン（共通編）]
 - 設計・施工 [BIM/CIM ガイドライン（各編）]
 - 維持管理 [BIM/CIM ガイドライン（共通編）]

②九州地方整備局：ICT 施工 e ラーニング⁸

九州地方整備局では、インフラ DX を推進する取り組みの一環として、ICT 施工に関する普及促進と人材育成を目的として、パソコンやスマートフォン、タブレットなどで受講可能なオンライン講習「ICT 施工 e ラーニング」を公開している。

(a) 対象者

ICT 施工についての初学者、未経験者

(b) 目標

受講対象者が ICT 施工について、基礎的な知識を習得することを目標としている。

(c) プログラム

研修プログラムは、全 11 章・87 科目からなり、1 科目あたり 2～3 分の動画を視聴後に小テストを受験する形式になっている。講習は CPDS 認定プログラムであり、全ての科目を受講後は CPD 申請可能な受講証明書が発行される。

〈プログラム〉

1 章：i-Constuction の概要と ICT 施工

2 章：ICT 施工導入による変化

3 章：衛星測位

4 章：3 次元計測技術①

5 章：3 次元計測技術②

6 章：3 次元設計技術

7 章：ICT 建機の施工技術①

8 章：ICT 建機の施工技術②

9 章：3 次元出来形計測技術

10 章：3 次元データの検査・納品

11 章：ICT の施工のまとめ

③ i-Construction スペシャリスト養成講座 (i-Construction 基礎概論) (ストラテジクスマネジメント株式会社)⁹

出典：<https://specialist.kensetsu-ict.com/course/1e0oj5onp4go/>

ICT 施工の知識や技術を習得する人に向けたオンライン講習である。

(a) 対象者

従来施工経験のある経営者・管理者・現場担当の方で、i-Construction について初めて学習する人・今後取り組みたい人

⁸九州地方整備局 出典：<http://www.qsr.mlit.go.jp/ict/>

⁹出典：<https://specialist.kensetsu-ict.com/course/1e0oj5onp4go/>

(b) 目標

i-Construction の概要や必要性を理解し、国が進める ICT 施工における基礎知識の習得を目標としている。

(c) プログラム

研修プログラムは 6 章構成で、i-Construction に必要とされている人材のニーズや ICT 施工の実務的な要点を理解する内容となっており、参加者が ICT 施工を導入する動機付けにつながるプログラムとなっている。

〈研修プログラム〉

第 1 章：i-Construction 概要

- ・ i-Construction の取組・背景を理解
- ・時代に求められる人材像の把握

第 2 章：ICT 施工基礎概論

- ・ ICT 施工の実施状況＋具体的な実施内容の把握

第 3 章：ICT 施工作業工程の内容と要点 測量

- ・「測量」の要点を理解

第 4 章：ICT 施工作業工程の内容と要点 設計

- ・「設計」の要点を理解

第 5 章：ICT 施工作業工程の内容と要点 施工

- ・「施工」の要点を理解

第 6 章：ICT 施工作業工程の内容と要点

- ・「国土交通省出来形管理要領」の要点を理解

(4)まとめ

【全体の傾向】

横断型の講習会としては、今後建設業界で計画・設計・工事・管理などの建設生産・管理システム全体でデジタル化された場合に業界で活躍するために必要となる”建設・IT の基礎知識”について習得する内容が多く、対象は建設業界だけでなく他業種からの参加を想定している講習もある。

“基礎知識“は、体験・OJT ベースとなっている点が複数事例の共通項と言え、給与等のインセンティブが動機を下支えしている。

全体の傾向として、分野を絞った応用技術を習得するプログラムではなく、多岐に渡る分野それぞれの基礎的な内容について、対象者別・レベル別に合わせた研修プログラムとしている講習が多くみられる。

【課題】

現状の横断型講習では基礎的なプログラム内容が多く、「図 1.5 i-Construction 人材育成のロードマップ」で示すヒューマンスキル・土木基礎技術力等を OFF-JT で習得できる

場になっており、他業界から建設業界に移りたいと考えている人や他業界のことを学びたい建設技術者（ボトムアップの思考を持つ技術者）が学習する場としては有効であるが、講習数自体が少ないという課題がある。

また、応用的な研修プログラムも少ないため、プロジェクトリーダーや組織リーダーとして活躍するのに資する講習については今後整備していく必要がある。他業界を含めた人材育成のためには横断型講習は有効であるが、i-Construction 人材を育成するためにはプログラム内容を充実させる必要がある。

2.3 他業界の ICT 人材育成事例

2.3.1 ICT 企業の実例

(1) グーグル・ジャパン

2019 年から「AI for Japan」と題して、「AI 人材育成支援」、ビジネスや社会課題解決に向けた「AI 活用促進、国内の AI 研究への貢献を目的に、研究助成金をはじめ、フェロシップ・インターンシッププログラム、さらに教材・ツールを提供するプログラムを新設した。また、開発者を対象に、機械学習の初心者からエキスパートまで幅広いトレーニングを提供している。未来の AI 人材を育成する施策として、小学 5 年生～中学生を対象にした教材を公開していて、教員の先生方が簡単に AI の仕組みや開発を授業に取り入れることができる内容となっている。

また、「AI 活用促進」として、機械学習プラットフォーム TensorFlow のオープンソース化に加え、Google Cloud AutoML, Cloud TPU, Cloud AI API などの各種 AI 製品をはじめとするツール、トレーニング、サポートを Google Cloud を通じて開発者や事業者を提供している。Google の AI や機械学習エキスパートと協力してビジネスを革新するための Advanced Solutions Lab (ASL) を開設、日本中の企業が AI によるビジネス上の課題解決に取り組めるよう、積極的なコラボレーションを行っている。ASL の事例として、大阪ガスのコンサルサービスとの学びを経て IoT 分析基盤を構築した。最先端のクラウド・AI 技術で都市ガスインフラを支えている。この事例は、まず ICT について専門性の高い人材を育成し、そして実際のソリューションを行うというものであり、効果が出るまで長期的でコストも大きい。しかし、そのような人材は特定のソリューションに特化した人材ではないため、業務の継続的な変化にも対応でき、持続的な企業改善が見込めるといふ事例である。

(2) Microsoft

デジタルトランスフォーメーション推進に向けた人材育成に注力する役職として、チーフラーニングオフィサー（CLO）を設けた。

① 顧客企業の人材育成

顧客企業に直接スキル育成プログラムを提供するために、Azure テクニカルトレーナーおよびトレーニングプログラムマネージャーというポジションを新設し、このトレーナー

とマネージャーが顧客企業のコンサルタントとなり、どの程度の技術スキルを持った人材をどの部署に何人育成するかといったことを計画した上でトレーニングを行っている。また、幅広い学びの場を提供するため、新たなラーニングプラットフォームとして「Microsoft Learn」を公開した。ここでは、Azureをはじめとするマイクロソフトのさまざまな技術に関する学習コンテンツを用意、初心者から上級者まで幅広く学習できるようにしている。

② 社内人材の育成

各自の役割に応じて習得すべきスキルを個別に設定、トレーニングコースを提供している。その中で、テクニカルなスキルだけでなく、営業担当者が学んでおくべきクラウド時代のライセンス形態やセキュリティ対策などのソフトスキル、マネージャーにとって役立つコーチングなども含めたマネジメントスキルのトレーニングも含まれている。また、2019年9月より木曜を Learning Thursday と定め、毎週木曜に1時間の学習時間を設けるようにした。また、毎月最終木曜日は Monthly Learning Day として、学習時間を5時間に定めて、社員に他の活動より優先し研鑽の時間を確保するよう求めている。社員の間では自発的に、資格ごとにラーニングサークルを設け、勉強会を実施したり報告し合ったりといったことが行われている。

(3) 学ぶべきポイント

ICT 企業のコンセプトとして着目したいのは以下の2点である。長期的な効果

- オンラインでの幅広い教材、トレーニングコースの提供
- 実際のビジネス案件で、機械学習エキスパートと協力してスキルを向上させるインターンシッププログラムを提供する
- 技術を着実に習得することで、業務が変わっても対応可能とする

2.3.2 製造業の事例：ファクトリーサイエンティスト（FS）協会¹⁰

FS 協会は、その活動の目的として以下の5点を掲げている。

- ①合宿や通信・遠隔講座により、新たなファクトリーサイエンティストの育成を行う。
- ②FS の認知度や地位を向上させるため、資格化やセミナーを始めとした啓蒙活動を行う。
- ③中小製造業全体の活性化に向けて、デジタル化による中小企業の課題解決や、新たな経営支援に資するための研究活動を行う。
- ④FS の普及自体がもたらす社会的メリットを、日本の産業競争力向上や、人材育成の観点から発信する。
- ⑤将来的な活動方法、及び活動内容について議論・研究を行い、行政・民間を問わない関係者の巻き込みによる日本全国・ひいては海外への拡大を目指す。

¹⁰ 出典：<https://www.factoryscientist.com/about>

これらのように整理された5点の目標は、i-Constructionに係わる人材育成の観点からも参考になる。また、FS協会が身につけさせることを目指す3つのスキルを図2.9に示す。

特に、データに着目した上で、データマネジメント力、データサイエンス力、データエンジニアリング力の3つのスキルに分割している。DXを進める上ではデータの扱いは極めて重要とされており、そういった点では、これもグーグルジャパンの例と同様に、まず基礎的な能力を育成した上で、それぞれのファクトリーでその力を活用するという流れとなっている。これらは、2.2の土木分野での実例と異なるが、このような取り組みのパターンもありえるという実例として紹介した。

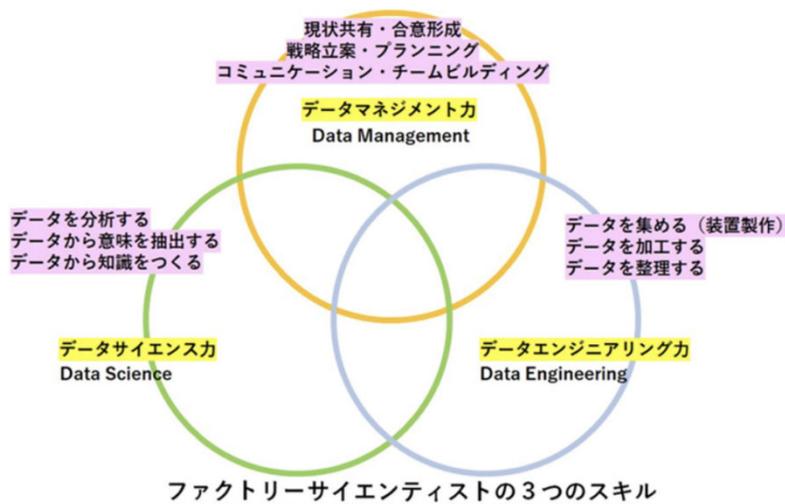


図 2.9 教育スキル

3 教育機関における i-Construction 教育

3.1 日本の土木系高等教育機関における i-Construction 教育

日本国内の土木系高等教育機関で i-Construction に関連する教育を行っている機関として、東京大学大学院工学系研究科社会基盤学専攻/精密工学専攻の事例を挙げる。座学として「i-Construction システム学特論」、演習として「i-Construction システム学特別演習」という科目が提供されている。i-Construction システム学特論では、最適化の考え、抑えておくべき数理・物理、建設機械のロボティクスの制御や自動化、センシング技術、システム開発論、システムインテグレーションなどが講義される。そしてそれを受けて、i-Construction システム学特別演習では、実際に自分でラジコン建機を自動化するプログラムを作成し、そして施工計画立案を行い、実際に模擬工事を行うという演習となっている(図 3.1)。また、模擬工事現場の様子を図 3.2 に示すが、計画時、施工時、いずれも網羅的な知識および大幅な創意工夫が要求されるプログラムとなっている。しかし、このような事例は日本国内の土木系高等教育機関では大変少ない。

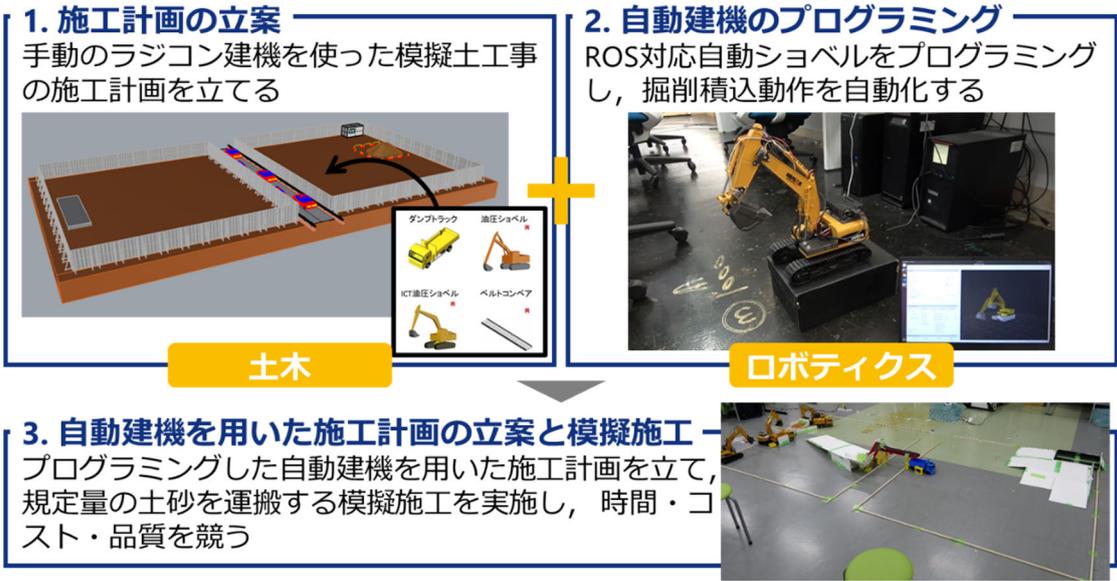


図 3.1 演習プログラムの構成

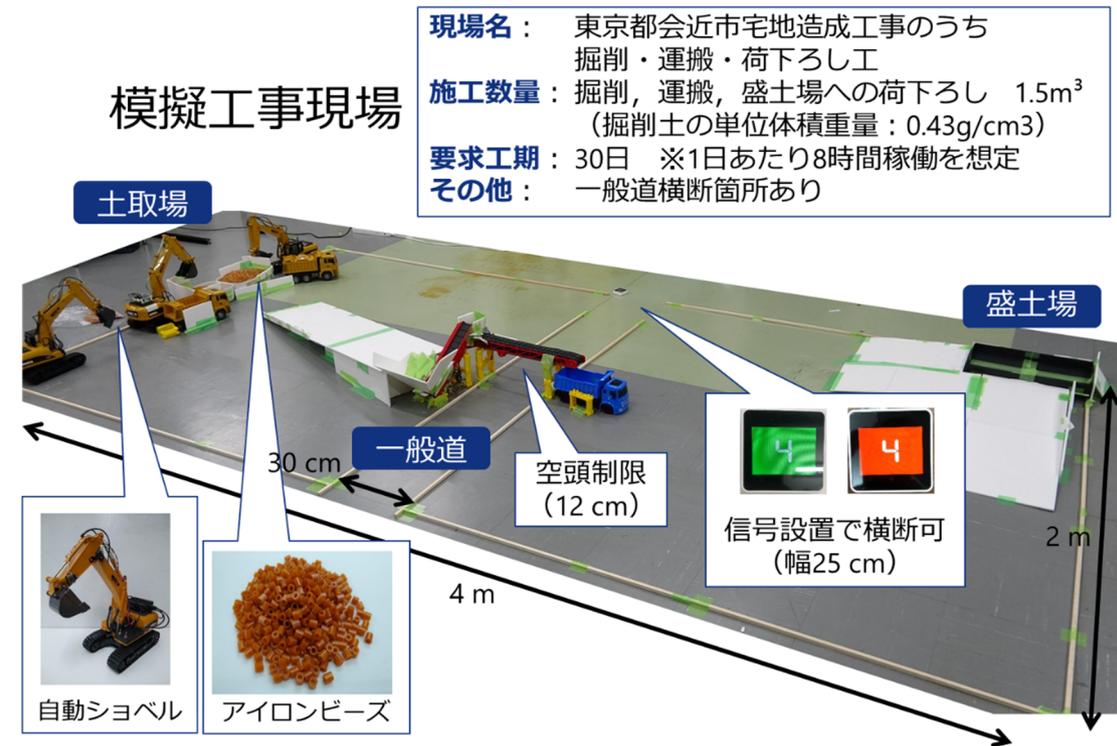


図 3.2 模擬工事現場

また、他の土木系高等教育機関でも行われているが、ここでは他分野の事例として、東京大学工学部精密工学科の事例を示す。精密工学科では「RT（ロボテック、Robot Technology）と PT（プロテック、Production Technology）で社会をデザイン」をキャッチ

フレーズとして、社会のニーズにこたえ、社会の実問題を解決することが可能な人材の教育を目標としている。精密工学科のカリキュラムは、機械物理・情報数理・計測制御の基礎工学を土台として、精密工学の柱であるメカトロニクス・設計情報・生産の3分野を中心に構成されている（図 3.3）。2年後半から3年にかけての専門科目では、基礎工学の学修をふまえ、豊富な演習を交えて領域工学の知識と方法論を徹底的に習得する。そして3年夏休みのインターンシップ、その後の輪講や工場見学を経て4年進級と同時に研究室に配属され、1年をかけて卒業研究に取り組む。

	基礎工学	領域工学	先端分野
講義	機械物理 機械の動きの基礎となる力学や、材料の性質について学びます。	メカトロニクス メカトロニクスの要素からシステム、基礎から応用まですべてカバーします。	生体 先端的なバイオエンジニアリングの概要や、その基礎についての講義です。
	情報数理 プログラミングとアルゴリズム、また演習付きの数学の講義で基礎を固めます。	設計情報 設計で使われる、最適化やデータ処理など、情報工学の応用分野を学びます。	人工物 ロボティクスの基礎や、さらに進んだ人とモノとのかわりについて学びます。
	計測制御 機械の動きをセンシングして、思い通りに動かすための工学です。	生産 製品のデザインの基礎と、製品を作るためのさまざまな技術について学びます。	社会 企業技術者からの講義や工場見学などを行い、社会の現場について学びます。
実習 演習	設計演習・基礎演習 最新の装置を使ったミニプロジェクトで、精密工学の楽しさを体験します。	実践演習・シミュレーション演習 さまざまな課題について自らの創意工夫で実験を行い、問題解決の基本を学びます。	卒業論文 指導教員の下で1年間、専門性の高い課題について研究を行い、論文発表します。

図 3.3 精密工学科のカリキュラム¹¹

最初に述べた i-Construction 人材の定義である「土木に関する専門技術と ICT 技術を持ち合わせ、適切に組み合わせることで課題解決ができ、かつこれらの原動力となる高いモチベーションを維持できる能力を持つ人材」のうち、精密工学科では特に ICT 技術・課題解決能力についての教育を行っている。

ICT については、「精密数理 I・II・III」や「数理計画と最適化 I・II」などの座学・演習講義で ICT の基礎的な技術を学ぶとともに、「プログラミング基礎 I・II」や「プログラミング応用 I・II」などでプログラミング技術を習得し、「シミュレーション演習」では ICT 技術を用いた問題解決の方法を体験・学習する。また、i-Construction の問題解決で重要となる専門知識については「画像処理工学」や「ロボット工学」で学習する。特に「画像処理工学」や「ロボット工学」などでは、i-Construction での実例を交えて解説を行うことで、学習した内容がどのように実社会で活かされているかを知ることを目指しており、出口としての i-Construction を強く意識した内容になっている。なお、ICT 技術の専門家を養成するための高度な専門知識を提供するのではなく、ICT 技術を俯瞰的に眺めるための基礎知識を中心とした教育プログラムになっている点が特徴である。

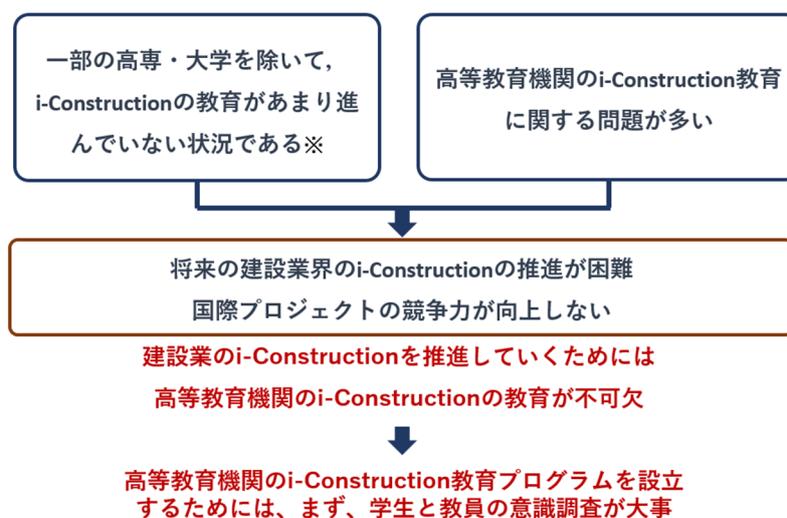
¹¹ 出典：<http://www.pe.t.u-tokyo.ac.jp/undergrad/curriculum.html>

また、社会に貢献できる人材の輩出が、精密工学科に脈々と受け継がれてきたスピリットであり、i-Construction 人材の重要なマインドの部分である「高いモチベーションを維持できる能力を持つ人材」の教育につながるものと考え、**「凄い技術を作るだけでは不十分であり、社会に貢献しなければ意味がない」「人にとって使いやすく、社会の役に立ってこそその技術」**などの考え方を強く意識して、教育を行っている。この点は見習うべき点でもある。

3.2 BIM/CIM・i-Construction 教育に関する土木系高等教育機関アンケート調査

3.1 にいくらか事例を述べたが、大学・高専等の高等教育機関の i-Construction の教育に関する現状は、理想的であるとは言い難く、一部の高専・大学を除いて、i-Construction の教育があまり進んでいない状況である。まずハード面に関しては、i-Construction の授業を担当できる教員が圧倒的に不足し、i-Construction の研究室・研究環境の整備も少ないという課題がある。ソフト面では、i-Construction の教育標準・目標指標がないため、導入が難しく、i-Construction の授業科目の計画・内容を定めることもほとんどできていない。つまり、高等教育機関での i-Construction に関する教育意識は依然として希薄であると言わざるを得ない。

このままでは将来の建設業界の i-Construction の推進が困難となり、国際プロジェクトの競争力が向上しない可能性がある。したがって、建設業の i-Construction を推進していくためには、大学等教育機関における i-Construction 教育の充実化が不可欠である。i-Construction 教育プログラムを確立するためには、まず、学生と教員の i-Construction に関する意識を明らかにすることが重要であると考えられる（図 3.4）。次節の 3.2.1 では、土木系高等教育機関の教員の BIM/CIM・i-Construction 教育についてのアンケート調査結果を示す。



※3.2 の調査結果によって、BIM/CIM 教育を実施している割合は大学で 1 割強、高専で 2 割である

図 3.4 意識調査の重要性

3.2.1 アンケート調査の目的

BIM/CIM, i-Construction に関する技術習得は、学校を卒業した就職後、OJT, 自己研鑽による場合が多い。一方、基本的な知識を学校教育において学ぶことは、その後の習得に大きな効果をもたらすことから、学校教育における期待は大きいものと考えられる。一部教育機関においてはこれらに関するカリキュラム導入が行われている例もあるが、全体として、BIM/CIM・i-Construction に関する教育の実態や教員の意識は明らかになっていない。これらの状況を明らかにするため、土木系高等教育機関の教員に対し、以下のような BIM/CIM, i-Construction についてのアンケート調査を行った。

3.2.2 調査項目の設定

調査は大きく分けて 5 つの設問項目から構成されており、全体の設問数は 49 問である。

①高等教育機関及びコースの属性に関する設問

教員が所属する高等教育機関及びコースの属性について尋ねた。高等教育機関の種類や高等教育機関名・学部学科名・コース名、教員の指導分野や JABEE 認定の有無、学生数や教員数などについて問う設問とした。

②BIM/CIM 及び i-Construction の認識に関する設問

教員が BIM/CIM と i-Construction をどの程度知っているか、また、BIM/CIM や i-Construction の土木業界での活用に対する教員の意見を問う設問とした。

③BIM/CIM 教育に関する設問

教員が所属する高等教育機関のコースでの BIM/CIM 教育の現状や教員自身の BIM/CIM 教育に対する意見について尋ねた。

④i-Construction 教育に関する設問

教員が所属する高等教育機関のコースでの i-Construction 教育の現状や教員自身の i-Construction 教育に対する意見について尋ねた。

⑤高等教育により育つと考える土木技術者像に関する設問

教員が所属する高等教育機関のコースでの高等教育により育つと考える土木技術者像について尋ねた。卒業生の専門性や活躍の場、卒業生が特に持つべき能力などについて、教員の意見を問う設問とした。

3.2.3 認識調査概要

調査対象は土木系学科を有する大学 89 校 (129 コース)、大専 1 校 (1 コース)、高等専門学校 28 校 (28 コース) である。アンケート調査の期間は 2021 年 11 月 26 日(金)から 2021 年 12 月 10 日(金)である。

アンケートの実施方法は以下の通りである。

- ・実施要項と質問を郵送し，質問の回答は Google フォームで行った
- ・郵送の宛名は「総務 カリキュラムご担当者様」とし，大学総務より教員へ転送してもらう形式をとった
- ・アンケートは記名で行い，あくまで教員の個人的見解を求めた
- ・各高等教育機関で3名程度アンケートに協力してもらえるよう依頼した
- ・構造系，水理系，土質系，交通・計画系，環境系の各指導分野の教員に協力してもらえるよう依頼した。

教員単位，教育機関単位，コース単位でのアンケートの回収状況を以下の表に示す。

表 3.1 アンケートの回収状況

アンケートの回収状況			
	教員単位	教育機関単位	コース単位
配布	474名	118校	158コース
回収	119名	48校	56コース
回収率	25.1%	40.7%	35.4%

※教員単位の回収数、回収率には高等教育機関名が不明の2部を含まない

3.2.4 調査結果の概要

全体の詳細な調査結果については付録に記載することとして，ここでは概要の説明を行う。まず，アンケート結果によると，BIM/CIM，i-Construction の認知度は7割，9割という結果が得られ，低くない認知度であることがわかった（図 3.5, 3.6）。

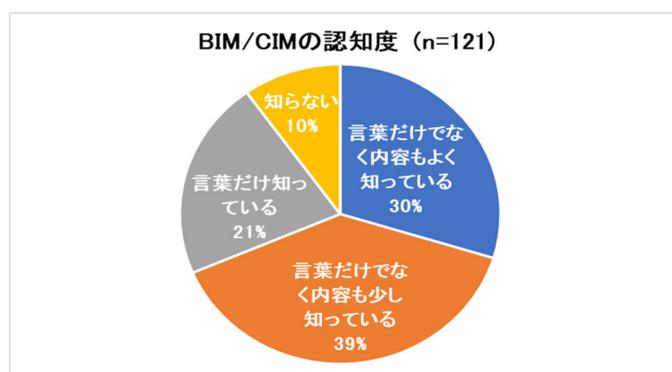


図 3.5 BIM/CIM の認知度

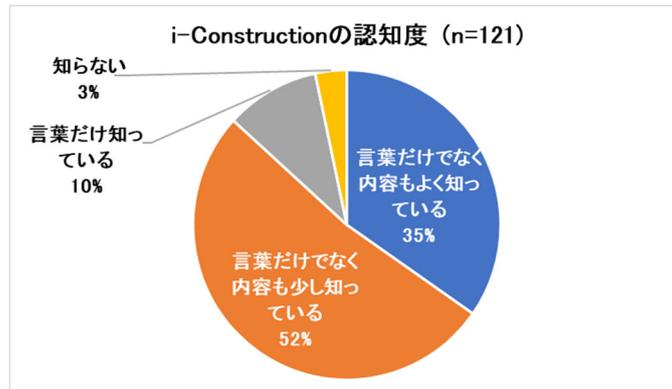


図 3.6 i-Construction の認知度

一方、BIM/CIM 教育を実施している割合は大学で 1 割強、高専で 2 割となっており、その内容も CAD がメインで (図 3.7)、授業での BIM/CIM ソフトの導入はごく一部にとどまっていることが明らかとなった。今後の導入意識についても高専では 5 割を超えているものの大学では 3 割強で、多くが「状況をみて考えたい」と考えている (図 3.8)。導入課題としては教員確保、指導方法があげられている (図 3.9)。教員確保について、多くの大学では、非常勤教員に頼らざるを得ない状況である。このことは教育のみならず、大学における研究の推進という観点からも考えていかねばならない大きな課題である。また指導方法についても、体系化が行われていないこともあり、授業科目として立ち上げることに難しい現状にある。表 3.2 のアンケートの、「教員がいないから」「指導内容がわからないから」という回答にもそれは現れている。しかしその一方で、表 3.3 からわかるように、教育機関としてその社会的必要性は一定程度理解されている。これはつまり、指導内容が明らかになれば指導したいという希望を持つ教育機関が多いことを意味している。

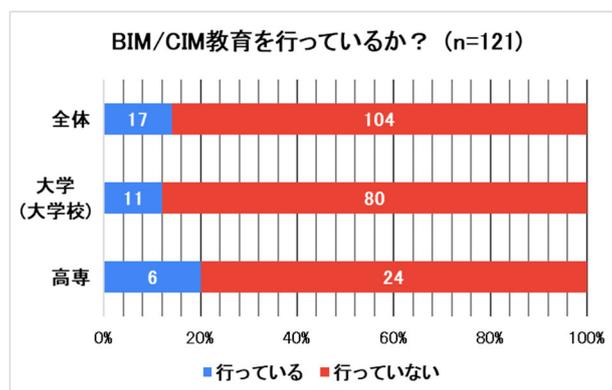


図 3.7 BIM/CIM 教育を行っているか

表 3.2 BIM/CIM 教育で扱っている内容(延べ数)

BIM/CIM教育で扱っている内容(延べ数)	
項目	件数
CAD (3次元CAD・3次元モデルを含む)	8
点群処理	3
BIM/CIMソフトを用いた3次元モデル	2
GIS	2
概要・導入事例の説明	2
BIM/CIMソフトの支援ツール	1
ソフトウェア間のデータ連携	1
CG	1
外部講師の講演	1
デジタルツインの説明	1
空間情報処理の基礎	1
画像処理の基礎	1
3次元計測	1
サイバーフィジカルシステム	1
環境デザイン演習	1

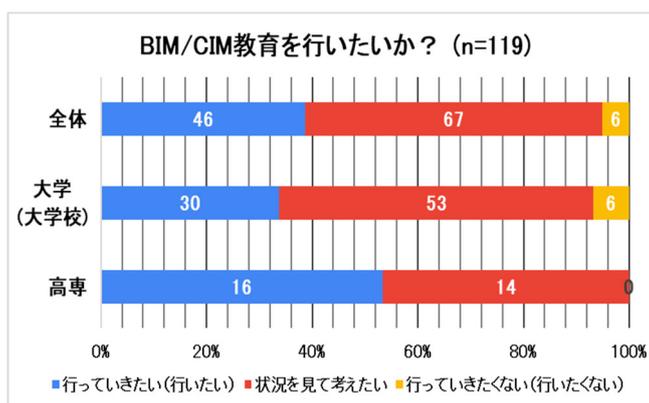


図 3.8 BIM/CIM 教育を行いたいか

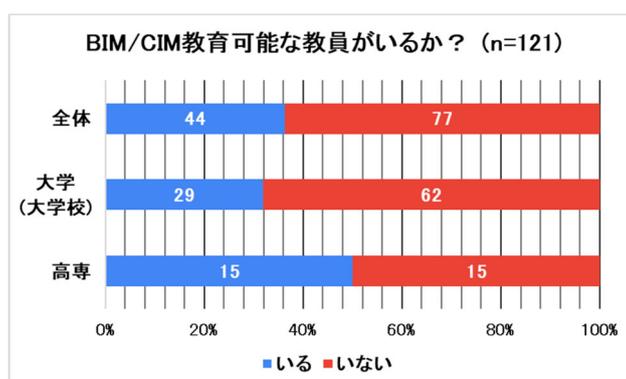


図 3.9 BIM/CIM 教育可能な教員がいるか

表 3.3 BIM/CIM 教育を「状況を見て考えたい」と回答した教員の理由(述べ数)

BIM/CIM 教育を「状況を見て考えたい」と回答した教員の理由(延べ数)

国公立大学の教員		私立大学の教員		高等専門学校の教員	
理由	件数	理由	件数	理由	件数
必要性や重要性を感じるから	14	社会で活用される(されている)から	2	教員がないから	3
社会で活用される(されている)から	7	必要か見極めたいから	2	必要性や重要性を感じるから	2
教員がないから	5	必要性や重要性を感じるから	1	社会で活用される(されている)から	2
指導環境の整備(経済的問題も含む)が難しいから	4	指導内容が分からないから	1	指導内容が分からないから	2
使えるようになるべきだから	4	研究段階だから	1	基礎学問を重視するべきだから	2
社会やOBOGから要望があるため	3	基礎学問を重視するべきだから	1	指導環境の整備(経済的問題も含む)が難しいから	1
必要があれば行いたいと思うから	2	分からない、不明	2	社会やOBOGから要望があるため	1
情報技術の活用が重要だから	2			他の情報教育との兼ね合いがあるから	1
時間が足りないから	2			技術の変化を見たいから	1
必要か見極めたいから	2			必要があれば行いたいと思うから	1
指導内容が分からないから	2				
負担が大きくなるから	1				
研究段階だから	1				
基礎学問を重視するべきだから	1				
教育効果があると思うから	1				
教育への移行は早いと思うから	1				
国や地域との連携が必要だから	1				
多くの学生が受けるべきか不明	1				
分からない、不明	5				

i-Construction については、大学で 4 割、高専で 7 割と BIM/CIM に比べると教育実施割合は高いが、大学での今後の導入意識は 4 割にとどまっていて、「行いたくない」との回答もあり、教員の考え方によるばらつきが大きいものと考えられる。

BIM/CIM 教育の分担のあり方を高等教育・企業教育・独学と分類して尋ねたが、全体で平均すると、高等教育 3 割、企業教育 5 割、独学 2 割となっていて、平均的には、高等教育機関における教育の比重は、企業教育に次ぐものと考えられており、全体としてはその重要性は認知されているといえる。なお、導入の実施割合、今後の意向は大学より高専が高く、大学の中でも、多くの現場技術者を輩出している大学の方が高い傾向となっており、教育機関の特性に合わせた対応が必要になるとと思われる。

今後、高等教育機関における BIM/CIM、i-Construction 教育を推進するためには、まず、その役割を明確化した上で、教育コンテンツや指導方法の標準化・充実及び教員の育成環境等の課題を解決する必要がある。

3.3 海外の大学における i-Construction 教育

3.3.1 各国の ICT 教育状況と教育プログラム

BIM / CIM の革新の下で、従来の 2 次元 (2D) 図面は、徐々に 3 次元 (3D) の表現に置き換えられている。これらの変更に適応するには柔軟で適切なカリキュラムが必要である。現在、建設・建築業界の期待と政府からの要請に基づいて、世界中の多くの教育機関が BIM を高等教育システムに組み込む方法を調査している。世界的に活躍している BIM 教育者と研究者は、BIM をさまざまなコースと組み合わせる、コンテキストと組み合わせる実装する、BIM 学習用のオンラインコースを設定するなど、BIM / CIM 教育イニシアチブの開発に重点を置いている。特に海外では、特に BIM / CIM の場合、学生の知的および技術的な準備次第で就職時の需要が変わるため、将来の産業ニーズに備えるために、BIM を大学のカリキュラムに組み込むことが重要なタスクとなっている。本節では、そのような

海外教育機関の BIM コースの概要を調査し、日本の建設業界の将来のニーズを満たす情報通信技術開発のための教育体制を提案することを目的とする。以下の表は、各国の ICT 教育状況と教育プログラムについて調査を行った結果である。

表 3.3 各国の ICT 教育状況と教育プログラム¹²

国	ICT 教育状況	教育プログラムの例
アメリカ	<ul style="list-style-type: none"> 多くの国で、業界レベルでの BIM の意識が高まっていない 2002 年から始まった。 82% が BIM で正式な教育を提供している。 BIM 研究に関しては、一般調達 (General Services Administration: GSA) は、国際不動産組織、CAD/BI でテクノロジーセンター、建設工学研究所と協力して、BIM ソフトウェアとシステムをサポートする。 	フロリダ大学 <ul style="list-style-type: none"> 学部生のコース (BSc) 建設技術 建設方法実践 建設プロジェクトマネジメント <ul style="list-style-type: none"> 修士のコース (MSc) デザインビルドデリバリー方法 建設現場開発 建設プロジェクトデリバリー 高度国際建設研究 など ペンシルバニア州立大学 <ul style="list-style-type: none"> ビルディング情報モデリング 実行計画 など
イギリス	<ul style="list-style-type: none"> 業界のニーズと高等教育機関で BIM トレーニングを実現する手段として、機能がある BIM アカデミックフォーラム (BAF) は 2011 年に設立された。例えば、教員リソースの調査・調達、BIM 教育状況把握、BIM の普及戦略設定、BIM 意識調査などの役割がある。 	ロフボロー大学 <ul style="list-style-type: none"> BIM の原則 (MSc) アプリケーション開 (MSc) 設計管理統合 BIM (MSc) など ロンドン大学 <ul style="list-style-type: none"> データ分析 (MSc) エンジニアリング測 (MSc) 地理空間プログラミ (MSc) BIM の応用 (MSc) リアリティキャプチャと高精度 3D センシング (MSc)
オーストラリア	<ul style="list-style-type: none"> オーストラリアは、Transport for NSW (TfNSW) が、デジタルエンジニアリングを促進する原動力としての機能がある。 Australian BIM Academic Forum (ABAF) は BIM 関連のカリキュラム基準を引き上げ、研究に基づいた BIM 教育を促進することにより、学生がより高く一貫したレベルでの能力を獲得することを目指す 50% の大学が BIM プログラムを注目すべき取り組みとして捉える。 	<ul style="list-style-type: none"> BIM 関連の短期コースは、設計およびエンジニアリング、コンサルタントプロジェクト管理者、およびその他の多くの関連する職業にも活用されている。 大学で BIM 関連の科目の中で、BIM ドキュメント (80%) と 3D モデリング (77%) は、BIM トレーニングの最も人気のある分野である。

¹² NATSPEC Construction Information BIM Education-Global-2022 update report

シンガポール	<ul style="list-style-type: none"> ・シンガポールの建築建設庁(BCA)には、統合デジタル配信「Integrated Digital Delivery (IDD)」のトレーニングプログラムがある ・IDD は、デジタルデザイン、デジタルファブ리케이션、デジタル構築、デジタルアセットの配信、及び管理の 4 つの領域をカバーしている。 ・IDD は 10 ヶ月間フルタイムのコースで、卒業生は、BIM コーディネーターや BIM マネージャー等スペシャリストになる。 	<p>シンガポール国立大学</p> <ul style="list-style-type: none"> ・プログラミング方法 (BSc) ・ハードエンジニアリングの基礎知識 (MSc) ・建設プロジェクトマネジメント (MSc) ・建設デジタル設計(MSc) ・大学の継続教育とトレーニングは 49 時間のコースで、7 時間が BIM に関するデジタル変換の教育がある。
香港	<ul style="list-style-type: none"> ・香港大学の学院で統合プロジェクトデリバリー(MSc in Integrated Project Delivery)がある ・このプログラムはテクノロジーとイノベーション、プロジェクト実行計画、プロジェクト情報管理、情報技術と変化、統合プロジェクトデリバリーのための調達、イノベーションとプロセス等講義があり、5D BIM ラボのチュートリアルと実践者のケーススタディも行っている ・統合プロジェクトデリバリーを実践に理解するために、毎年若い発注者(30-40 歳)とワークショップを行っている 	<p>香港大学</p> <ul style="list-style-type: none"> ・テクノロジーとイノベーション ・プロジェクト実行計画 ・プロジェクト情報管理 ・イノベーションとプロセス ・統合プロジェクトデリバリーのための調達
フィンランド	<ul style="list-style-type: none"> ・ buildingSMART フィンランドには 140 を超える企業メンバーがおり、教育、建築、都市計画がすべて稼働している。 ・ KIRAHub という組織の目的は、オープンで相互運用可能な情報管理エコシステムと、構築された環境のための調和のとれたプラクティスを実施作成することである。 ・ フィンランドは国内共通の BIM 要件があり、インフラの BIM データ交換のためのフィンランドの LandXML データベースも作成した。 ・ フィンランドの多くの地域では、高専が、研究、開発、教育、トレーニングプロジェクトにおいて、企業、公共部門の発注者に BIM を導入している。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ BIM 教育のための最初のフィンランドの教科書は「建設現場での BIM」を活用する。 ・ 大学と高専技術専門大学では、BIM ベースの設計と BIM 原則に関するプロジェクト管理を行っている。

ノルウェー	<ul style="list-style-type: none"> ・ buildingSMART プロフェッショナル認定プログラムは、2023 年に実施される。buildingSMART Norway には 140 以上のメンバー組織があり、AEC 業界の総売上高の 25% を占めている。 ・ 建築および建設業界における BIM 能力に対する市場のニーズの高まりにより、専門教育の必要性が高まっている。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ ノルウェーの建築および土木工学があるすべての大学は、BIM とデジタル化に関するコースを提供しており、これらのコースのいくつかには、カリキュラムの正式な一部としてオープンデジタル buildingSMART 標準が含まれている。 ・ ノルウェー科学技術大学 (NTNU) は、スタンフォード専門能力開発センターと共同で VDC 認定プログラムを設立した。 ・ BuildingSMART Norway (bSN) は、毎年 250 人以上の学生が参加する学生 BIM セミナーをサポートしている ・ BIM の関連では、毎年約 50 の学士論文と修士論文が実施され、bSN メンバが業界パートナーとして活動する。
スウェーデン	<p>スウェーデンの BIM アカデミーグループ：2018 年秋にスウェーデンの BIM ベーシックを定義するイニシアチブが開始された。BIM ベーシックの構造は継続的に開発されており、スマートビルドの分野における研究開発の国家戦略に情報を提供する。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 303 校すべてのカリキュラムに、テクノロジープログラムを含む CAD 関連の実践的な学習目標を掲げている。 ・ BIM 関連の知識の教育は、モデリング、情報転送、視覚化の技術的な焦点から、BIM とのコラボレーション、要件管理、組織戦略による管理関連の割り当てで補完されるようになった。
スイス	<ul style="list-style-type: none"> ・ BIM・CIM の教育内容に関する、各大学の教育焦点が違う。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ チューリッヒ科学技術大学 (ETH) はブロック研究グループと国立デジタルファブリケーション研究センターを運営している ・ 先端科学の大学：BIM の学部課程と継続教育を提供している。 ・ スイス北西部の応用科学芸術大学のデジタル建設研究プログラムは、VDC (vision design construction) の統合に明確な優先順位がある。 ・ ルツェルン応用科学芸術大学：デジタル建設・建築技術と構造工学に焦点を当てている。 ・ ラッパースウィルのイースト大学：buildingSMART 認定プログラムを含む module BIM 基礎教育を行っている。

3.3.2 国外と国内の i-Construction の教育プログラムのギャップ

3.2 での調査・分析の結果により、高等教育機関の全体で i-Construction 教育が行われている割合は約半分であった。国内は、いわゆる三力と呼ばれる土木工学の基盤的講義が重点的に行われている場合が非常に多い一方で（注記しておくが、それが悪いというわけでは決してない）、i-Construction に関する理論と実践の両方を開講している高等教育機

関はほとんどなかった。また、i-Construction に関する研修やインターンシップが少なく、i-Construction に触れる機会が少ないことも国外事例と比較した場合の問題点として挙げられる。その結果、教員および学生の i-Construction への意識が向上せず、図 1.5 のロードマップでの ICT の基礎習得のボトルネックとなる。

その結果として、継続的・本質的な ICT 習得がうわべだけのものとなり、建設業界の発展が国外に後れを取ることが危惧される。これらを回避することが、我が国の i-Construction の教育の推進、ひいては建設業界の発展に繋がると考える。

3.3.3 海外事例から得られる教育体制・教育プログラムの示唆

海外の事例では、政府・ゼネコンが主導的に、明確な教育フレームワークを構築し、また IT 企業と緊密に協力しているものが多かった。その一方で、海外事例の弱みとしては、地元の建設会社に BIM を適用するための具体的なフレームワークがないことが挙げられる。日本は地域の建設会社において ICT の活用事例が増えており、ICT は地域の建設業界発展においても重要な役割を担っている。そこで、海外の事例を参考に、日本で BIM の発展について、二つのパターンを示す(図 3.10)。

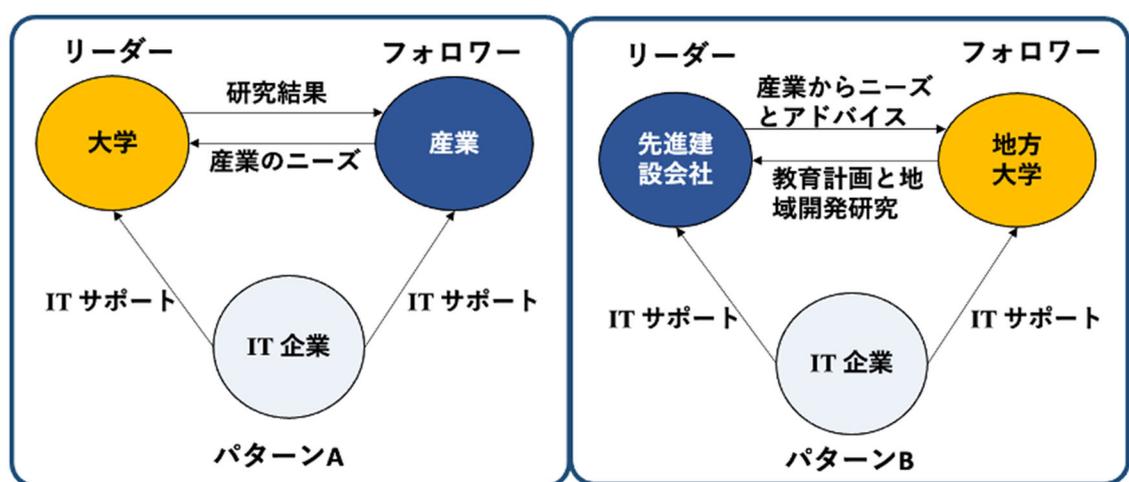


図 3.10 日本の大都市圏と地方の ICT 発展パターン

パターン A は海外のようなパターンであり、大都市を想定している。大学は BIM 実装の初期段階で業界をリードし、他の先進国からのアドバイス、研究結果、経験を共有する役割を担う。パターン B は地域での ICT 活用を促進するための枠組みである。地元の先進的な建設会社は、地元の建設会社のニーズを満たしつつ、地元の大学のアドバイザーとしての役割を果たすことができる。

このような類型を意識しながら人材育成・産官学連携を行うことは重要であるが、課題は多い。例えばパターン A の場合、そもそも BIM に関して、建設業界の現状を理解しながら、かつ他国の状況を把握しながら、適切な研究を行い、建設業界に反映できる大学の研

究者はほぼ存在しない。パターン B については、適切な教育を提供している高等教育機関が少ないことが 3.2 のアンケートからもわかっている。また、これは両方のパターンで共通することであるが、高等教育機関側は企業ニーズの把握が必ずしもできていない。さらに、2 章の調査からも、IT 企業によるサポートを受けている事例というのはほとんど存在しないことも見えてきた。これらを解決するためには、

- ・適切な教育を行うための教育カリキュラムの標準化/教科書の作成
 - ・高等教育機関・建設業界の積極的な連携（インターンや出前講義なども含む）
 - ・IT 企業への建設業界ニーズの明示
 - ・高等教育機関の研究者を積極的に巻き込むための研究課題化
- など、様々なプロセスが今後必要になると考えられる。

4 ボトムアップ人材育成・教育型

2 章では、主に組織・企業が、所属する個人に技術を習得させる方法について、3 章では国内外の大学での教育プロセスについての事例調査を行った。これらはいわばトップダウン的なアプローチと言える。一方で、意欲のある個人が、自主的に技術を身に付けていく、いわばボトムアップ的なパターンもあり、それについて本章で述べる。4.1 節は、プログラミング言語を例とした ICT 技術の習得方法であり、i-Construction とは直接関係ないものの、自学自習を目指す技術者には参考になり得る資料である。4.2 節は、地場の建設会社が、独自に必要な ICT 技術をどのように身につけていったかの好事例紹介である。

4.1 ICT 技術の例としてのプログラミング言語の習得方法

ここでは、ICT 技術の一例としてプログラミング言語の習得法について以下に述べる。ICT 技術はその幅が非常に広く、i-Construction の枠組みで活用可能な技術も多岐に渡る。これら全てについて自主的な習得方法を述べていくのは難しいため、この事例を取り上げた。ただ、あくまでも一例とはいえ、プログラムは ICT 技術の基本となるものであり、またそれゆえにその学習法は他の ICT 技術の習得にも一定の参考になるものである。

プログラミング言語はその種類が非常に多く、マイナーなものまで含めれば約 9000 存在すると言われている。その中で、主に用いられているのは 50 にも満たないが、それでもなおどの言語から学びはじめるかというのを決めるのは難しい。ただし、プログラミング間で共通する事項は多く、ある言語で学んだことが別の言語を学ぶ際に無駄になるということはない。また、学んでいくうちに、何から学び始めるのがよいかということがわかることも多いため、選択で時間を使わず、先延ばしせず、とりあえず学び始めることが最適解となることが多い。これはプログラミング技術に限らず、ICT 技術一般で言えることでもある。

また、学び方も近年多様になってきた。例えば以下の表 4.1 に学習方法とそのメリッ

ト・デメリット、コストについて記載する。

表 4.1 プログラミング言語の学習方法

	メリット	デメリット	コスト
書籍	<ul style="list-style-type: none"> ・学ぶべきことが体系的に記載されていることが他の媒体より多い。 ・情報量が多い。 ・比較的安価である。 ・後に調べ物（リファレンス）として活用できる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・新しい情報に更新されていないことが多い。 ・わからない時に質問することができないケースがほとんど。特に細かいミスをしていても気付かないケースが多くなる。 	技術書は一冊2000円程度から
動画 (Udemy, YouTube など)	<ul style="list-style-type: none"> ・実際に人が解説しているのので分かりやすい。 ・文字+言葉+動画という形式は頭に入ってきてやすい。 ・無料、あるいは比較的安価である。 	<ul style="list-style-type: none"> ・情報を絞って解説しているため、細かいことについてはわからないことが多い。 ・あらかじめ講座の内容を確認できないため、あたりはずれがある。玉石混淆である。 ・後から部分的に聞き返すことや、わからなくなった場所を探して戻るのが困難。つまり、調べ物として活用ができない 	無料のものが多い。有料の動画では、1項目あたり約1000円から10000円程度から。
体験型オンラインサービス (Progate など)	<ul style="list-style-type: none"> ・気楽にはじめられ、また開発環境を準備する必要もない。 ・安価、あるいは無料でスタートできる。 ・実際に体験するため、習得スピードが早い。 ・特に初歩的な段階では「真似を」することが重要となるため、そのような需要に合っている。 	<ul style="list-style-type: none"> ・あくまでも初歩的な段階のみしか準備されない。 ・わからない時に質問することができないケースがほとんど。 	無料～1項目あたり1000円程度
オンライン個別指導 (MENTA など)	<ul style="list-style-type: none"> ・学習中に不明な点を質問して解答が得られる。 ・先行して知識・技術を持つ技術者から、学習の方針などについても示唆が得られる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・教える人によって力量の違いがあり、選ぶのが難しい。 ・わからないところを聞くというスタンスが基本であるため、自学自習、自作が基本となっている。 	1回1000円程度、月数千円程度から。
スクール	<ul style="list-style-type: none"> ・実際に人が解説しているのので分かりやすい。 ・集団で学ぶことになるため、モチベーション低下を防ぐ効果がある。 ・指導してもらいながら、仕事へのサポートを受けられることもある。 ・自分に必要な知識が明確でそれがスクールで提供されることがわかれば効果的 	<ul style="list-style-type: none"> ・高額となる。 ・集団講義となるため、自分に適切なレベルのコースを受けられるとは限らない。 	数十万程度

このように多様な媒体が存在し、それぞれにメリットとデメリットがある。これは他のICT習得の際でも同様である。そこで、一旦どのような学習方法が存在するかをわかる範

囲で整理することは、技術習得時の問題解決に非常に役に立つため、重要である。
 また、プログラミング言語の学習においては、「毎日少しずつでも学習時間を確保する」
 「業務に関連させて、作りたいものを決める」「勉強中の段階から、業務で用いてみる」
 「詰まっても先に進む」「近い興味を持つ人を探す」といった留意点もよく挙げられ、こ
 れも同じくその他の ICT 習得の際でも重要な点である。

4.2 地域建設会社の ICT 教育事例

4.2.1 事例 1：徳島県（株）大竹組¹³

徳島県の大竹組は早くから LandXml(土工 3D)と TS-Xml(路側構造物 3D)や「杭ナビ」
 など ICT を活用している。未経験の若手社員であっても単独測量が可能となり、作業のス
 ピードアップ化も図られている。最も困難であった技術者の休日取得も、若手社員とのワ
 ークシェアリングにより解消中である。大竹組において ICT が有効に活用され、生産性向
 上が実現されている理由は、社員への特別教育にある。大竹組の教育方法の特長は、以下
 のように整理される。

教育対象：未経験・土木知識がない若手社員たち

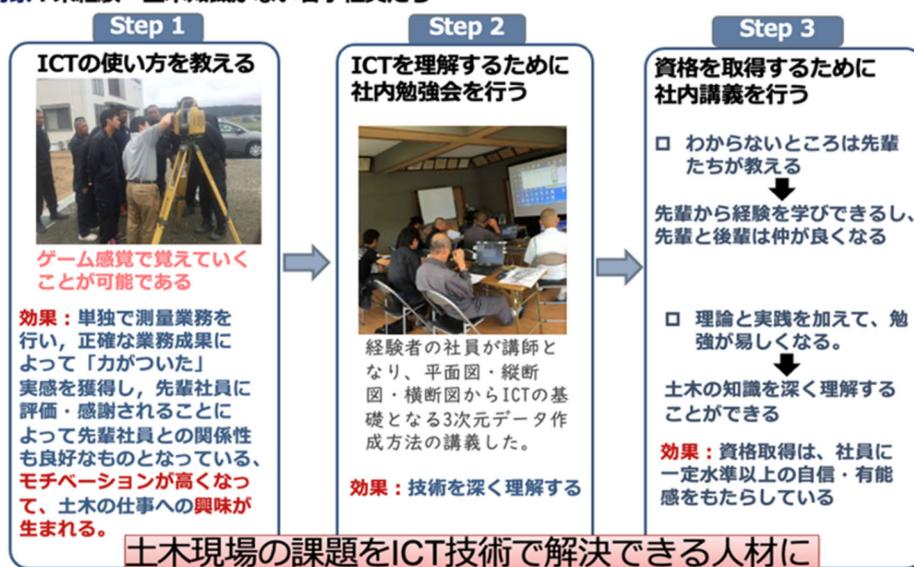


図 4.1 大竹組の ICT 教育方法

このような教育プロセスで、多くの社員が高い内発的動機付けを感じていると考えられる。特に若手社員は、スマホ操作感覚で実施できる測量業務に高い内発的動機付けを感じている。若手社員は単独で測量業務を行い、正確な業務実施によって「力がついた」実感を獲得し、先輩社員に評価・感謝されることによって、先輩社員との関係性も良好なものとな

¹³ 2020 年から 2022 年の調査結果

っている。このように、自社業務で必要なことを楽しみながら学ぶというのは、特に地方の建設業者にとっての成功パターンの一例である。

4.2.2 事例2：北海道（株）砂子組¹⁴

株式会社砂子組は、人材育成を目的として、ICT技術の導入、会社基準の確立、様々な実務課題解決のための研究と結果の論文化、業務効率のカイゼンについて、社をあげて取り組んでいることで知られている。その中で、ICT 施工推進室は大きな役割を果たしており、文系出身、あるいは土木出身でない社員の育成にも成功している。以下はそのような社員への聞き取り調査の結果である。

表 4.2 砂子組で ICT 教育に関する聞き取り調査結果

社員	性別	入社前	i-construction の時代の中で、様々な IT ハード機器・ソフトを導入されています。新しい技術の習得に際して、不安はなかったのでしょうか。	これらの投資・導入後、お仕事に取り組む気持ちに変化はありましたか。	お仕事で大切にしていることは何でしょうか。
A	女	文系	土木分野の知識がないし、3次元モデルリングができないという不安があった。上司からの励ましで、まず頑張ろうという気持ちを出せました。3次元モデルの作り方については、社内研修で学ぶ。わからない所は先輩や上司にしっかり教えをもらう。	3次元モデルができた時、とても達成感があって、引き続きやりたいと感じました(モチベーションが高くなった)	コミュニケーション
B	男	土木ではない	新しい技術の習得に際して、不安はありましたが、元々興味を持っていた分野でもあったので、成功も失敗も含めて楽しく知識向上に向けて頑張っています。上司、部下や部署間のつながりが強く風通しが良い。色々な事にチャレンジさせてくれる社風なので、いつでも相談できる。	現場に配属になっていた頃よりも色々な方と接する機会が増えました。コミュニケーションだけでなく、様々な面で考え方を改めなくてはいけないと感じています。自分の業務を通じて ICT の分野で周りをサポートしていきたい。	コミュニケーション
C	男	土木ではない	建設業とは全く無縁の勉強をしていたため、全く雰囲気がつかめずに不安でした。ICT に関しても、やったことのないことをやることは不安ですが、やってみたら意外と問題なく使えるので一歩踏み出す勇気が大切だと思います。社内研修や先輩から教えられることが、とても役に立ちました。	内容の共有がスムーズとなり、仕事の効率化につながったと思う。 楽しいというよりも、人生をより楽しむ方法として仕事があると考えています。	チャンスは必ずやってくる と信じること。
D	男	土木ではない	ヘリオスという 3D 積算ソフトを使っていますが、操作に習得できるかどうか不安がありました。 いろんなことに挑戦させてくれる環境があるところから、自分も挑戦したい。社内研修でちゃんと勉強、復習します。	土工事や躯体の数量拾いの精度の向上と時間短縮に繋がった。 導入前は躯体の数量拾いをするのは億劫でしたが、導入後は億劫ではなくなりま	面倒なことから逃げない (結構忘れがちになります が・・・)

¹⁴ 2018 年の調査結果

		ソフトに関してわからないことをまとめて、上司と先輩に相談します。	した。 なかなか楽しい。	
--	--	----------------------------------	-----------------	--

大竹組の事例と砂子組の事例に代表されるが、ICT を効果的に活用している地域建設会社は、図 4.2 のように、ICT の出前授業を実施し、給料も評判も良く、人材育成に力を入れているなどの特徴がある。若者がこのような建設会社に興味を持つことは自然な事であると思われる。ただし、社員の中には、土木の知識がない、ICT を使うことへの不安を持つ者もいる。社員の不安を減らすために、上司や先輩はいつも励まし、わからないところもいつでも上司と先輩に相談できる雰囲気がある。社員たちは ICT を使いこなし効率的に業務を遂行することができた時、達成感を感じ、モチベーションが高くなる。そのことによって、社員たちは次のステップに挑戦する勇気も出てくる。両社は、業務で必要となる技術を容易に理解し、それを楽しく支え合って身につける環境を構築し、結果として、組織全体が発展している好例であると考えられる。

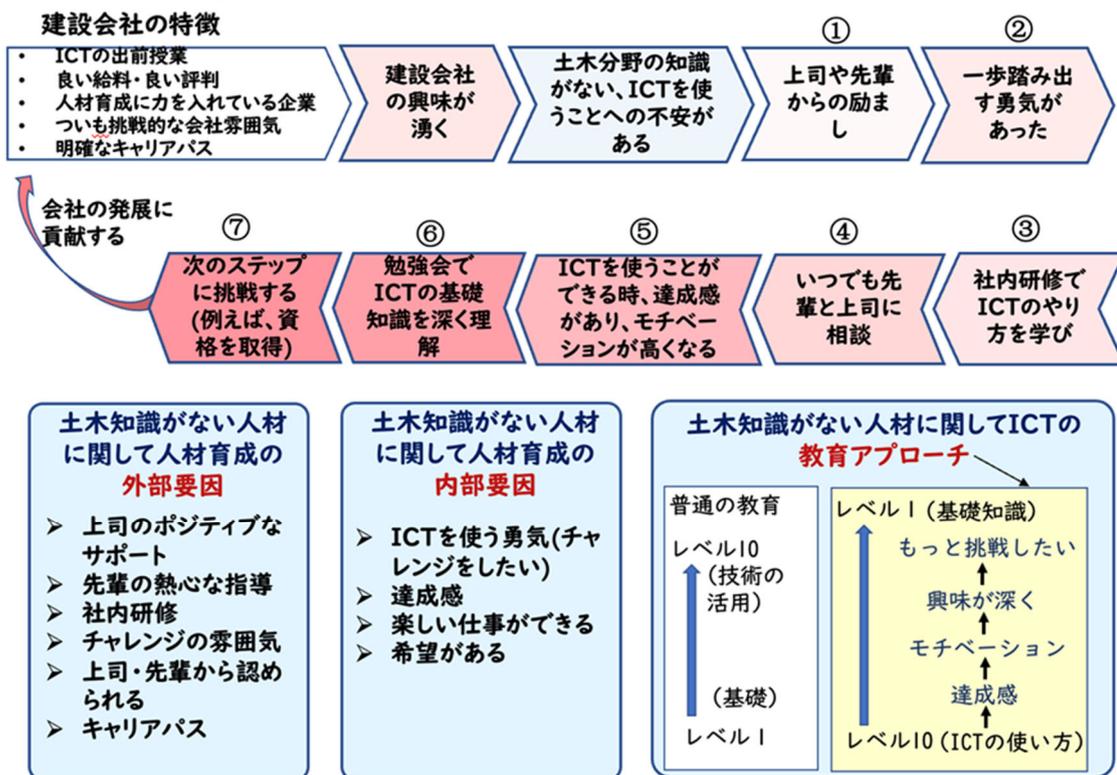


図 4.2 土木知識がない人材が ICT を学ぶプロセスの一例

5 人材育成・教育の効果の測定

前節までの検討によって、建設業人材育成におけるグランドデザインを踏まえた様々な取組が示されてきた。こうした各種取組の効果を挙げるために、いわゆる PDCA サイクルとし

て計画 (Plan) , 実施 (Do) , 検証 (Check) , 改善 (Action) といったシステムを構築することも考えられる. その際, 教育・研修の内容がどの程度身に付いており, 応用していくことができるかについて検証することも必要となる. 以下では, 先行研究を整理して検討の視点を抽出した後, i-Construction に関する人材育成プログラムを分類整理して, その後に当てはまりを検討する.

5.1 先行研究の整理

教育の効果に関しては, 教育研究の領域において, 幅広いエビデンススペースの分析のメタ研究から, 9つの原理が提唱されている¹⁵. 他方, これらは一般的な学習教育が中心のものであり, i-Construction の職能・人材育成・教育への応用の点では, こうした原理を直接の指針とするよりも, 参照する要素としておくことが有益と考えられる (これら要素は付録で取りまとめている). また, 建設マネジメント研究における職能・人材育成・教育に関連した研究として, 土木学会論文集 F4(建設マネジメント)において, 2006年1月以降の論文を「職能」「人材」「教育」のキーワードで検索したところ, それぞれ, 0, 13, 8件の検索結果が認められた(全検索結果は付録にまとめている). このうち, 教育効果の視点を含めた研究としては, 特に, 宮原・堤^{16,17}の手法が, ここでの議論に適用することが可能であり, 実際的で有益であると考えられる. すなわち, 両論文で用いられている「ブルーム・タキソノミー」の枠組みの人材育成手法の分類整理は i-Construction の職能・人材育成・教育において, 特に, グランドデザインの実現に向けた戦略的な取組における力点の置き方を探る上で一つの視点を提供するものとなると考えられる.

5.2 分類整理と体系化の仮説

ブルーム・タキソノミーとは, ブルームらによって開発された教育目標の行動・認知過

¹⁵ ジョン・ハッティ・グレゴリー・イエーツ『教育効果を可視化する学習科学』(2020)北大路書房、京都

¹⁶ 宮原史・堤盛人 2020「戦略的な人材育成の実現に向けた道路橋を維持管理する技術力の解明の試みーブルームタキソノミーの応用ー」土木学会論文集 F4 (建設マネジメント)、Vol.76,No.1,14-28

¹⁷ 宮原史・堤盛人 2020「道路橋を維持管理する技術力の解明の試みー支援ツールの活用に着目してー」土木学会論文集 F4 (建設マネジメント)、Vol.76,No.2,I_132-I_145

程の側面を分類する枠組みで、アンダーソンらによって改定がなされてきた^{18,19,20}。この枠組みを応用し、技術力の構成要素に関し、道路管理者に対して行った技術指導事例から分類整理したもの、支援ツールを活用する技術力を整理したもの、といった様々な検討がなされている。なお、付録で知識次元と認知過程次元をまとめている。これらを踏まえて、i-Construction の職能・人材育成・教育関連の取組をこの枠組みに位置付けて、整理することが考えられる。その上で、それに対応した人材育成手法が採られているか、グラウンドデザインを達成するために必要な人材育成の重点を考えることができる。

このためには、これまでの i-Construction 人材育成の取組が知識次元と認知過程の次元との行列において、各種取組の位置付けを適切に行うことが求められる。この WG での検討では WG 参加者の報告と議論に基づいて、位置付けと分類結果の集計を行っている。

5.3 事例への視点(要素)の当てはまりと再整理

ここでは、これまでの節で解説されている各種 BIM/CIM 教育の取組を検討する。ここでベンチマークとして、国土交通省の BIM/CIM 教育要領を用いる。それとの対比でそれ以外の各種人材育成手法の位置付けを検討する。主観的に位置付けるだけでは、その位置付けの説明が難しくなることから、単語の使用状況から知識・認知の位置付けを検討する。すなわち、国土交通省 BIM/CIM 教育要領のパワーポイント資料での全文章に用いられている用語を単語ごとに区分して、そこで用いられている動詞が認知過程の種類のどの分類に当てはまるかを整理している。この主たる結果の概要が次の表となる。これらは、第1章が入門、第2章が初級、第3章が中級、というような位置づけとなっている。

¹⁸ Bloom, B.S. 1956. Taxonomy of Educational Objective. Handbook I: Cognitive Domain , David McKay

¹⁹ Anderson, L.W., Krathwohl, D.R., Airasian, P.W., Cruikshank, K.A., Mayer, R.E., Pintrich, P.R., Raths, J. and Wittrock, M.C. 2000. Taxonomy for learning, Teaching, and Assessing: A Revision of Bloom's Taxonomy of Educational Objectives,. Lngman

²⁰ 文部科学省「次期学習指導要領等に向けたこれまでの審議のまとめ補足資料」
https://www.mext.go.jp/content/1377021_4_2.pdf、スライド 100

表 5.1 単語区分

第1章		第2章		第3章		
サ変名詞	動詞	サ変名詞	動詞	サ変名詞	動詞	
1 設計	65 向ける	6 測量	53 用いる	14 活用	174 行う	34
2 建設	50 除く	6 計測	50 示す	13 設計	99 応じる	14
3 実施	45 図る	6 作成	28 行う	10 実施	90 基づく	11
4 施工	43 含める	5 取得	22 応じる	8 作成	84 図る	10
5 工事	36 得る	5 設計	22 含む	8 確認	78 示す	8
6 活用	34 含む	4 調査	22 求める	7 工事	51 求める	6
7 推進	32 係る	4 活用	20 持つ	6 計画	48 用いる	6
8 検討	27 指す	4 表現	20 異なる	5 施工	45 引き継ぐ	5
9 適用	26 取組む	3 位置	16 合わせる	5 協議	38 踏まえる	5
10 作成	24 進める	3 横断	13 準じる	5 管理	33 係る	3
11 測量	21 基づく	2 管理	13 組み合わせ	5 検討	32 見込む	3
12 管理	18 挙げる	2 出力	13 比べる	5 関係	30 考える	3
13 検査	16 込む	2 縦断	12 描く	5 発注	30 合わせる	3
14 協議	15 持つ	2 使用	11 付ける	5 記載	27 生じる	3
15 生産	15 組み合わせ	2 対応	11 加える	4 測量	23 置く	3
16 導入	13 測る	2 機能	10 測る	4 照査	22 戻る	3
17 向上	12 遅れる	2 入力	10 立ち入れる	4 共有	21	
18 研修	11 目指す	2	沿う	3 担当	19	
19 整備	11		限る	3 受注	18	
20			作る	3		
			重ね合う	3		
			貼る	3		
			要する	3		

パワーポイント資料第 1 章で用いられているサ変名詞（後ろに「する」を付けて動詞化される）は、設計する、実施する、施工する等、事実を説明するものが多く、動詞は向ける、含める、含む等記憶と理解を中心とするものが多い。第 2 章では、測量する、計測する、調査する等行為行動を説明することが多く、動詞は用いる、示す、行う等理解と応用が多い。第 3 章では、活用する、設計する等行為の集合が多く、動詞は行う、応じる等応用と分析が多い。これらを踏まえ、ブルーム・タキソノミーの構造における知識次元と認知過程次元のマトリクスに関して、以下の図 5.1 のように、入門～上級まで位置づけた。

		認知仮定次元					
		記憶する	理解する	応用する	分析する	評価する	創造する
知識次元	事実的知識	入門					
	概念的知識		初級				
	手続的知識			中級			
	メタ認知的知識				上級		

図 5.1 認識・知識次元モデル

入門で左上の 2 つのセルをカバーすることが意図されていると位置付ける。次に、初級ではその右下の 2 つのセルをカバーすることが意図されており、中級ではその更に右下の 2 つのセルをカバーすることが意図されているのではないかと考えられる。また、こうした位置付けから類推すると、これまで明らかになっていない上級ではその更に右下の 2 つのセルをカバーする教育が意図されているのではないかと推測される。

これと対比する形で、個別の事例での教育への取組の位置付けを見ていく。ゼネコンの事例で見ると、2.2.2 で 2 社の事例が挙げられている。前田建設工業の事例に基づいて位置付けを見ると、レベル 1 は入門編として左上の 2 つのセル、レベル 2 は初級編としてその右下の 2 つのセル(理解して、応用する)、レベル 3 として、その右下のセル 2 つに更に評価まで含めたものがカバーされるものが目指されていると考えられる。このほか、ICT ツールの導入が行われており、別途理解と応用が強く勧められている。

		認知仮定次元					
		記憶する	理解する	応用する	分析する	評価する	創造する
知識次元	事実的知識	レベル 1					
	概念的知識		レベル 2				
	手続的知識		ICT ツールの導入	レベル 3			
	メタ認知的知識						

図 5.2 認識・知識次元モデル (前田建設工業の事例)

2.2.2②では大林組が挙げられている。大林組のヒアリングに基づいて位置付けを見ると、ヒアリング結果イメージで、「モチベーション」は応用・分析・評価(使うきっかけを提供し、ちょっとした時間でできるようにする)で、「土木技術者としての技術力」は左上

の2つのセル（基礎知識の習得）、「BIM/CIM,ICT ツールの活用」はその右下の2つのセル（個別での使うきっかけ、理解・応用）、「マネジメント力」は分析と評価を示す（現場の課題として現場のきっかけの分析・評価）と位置付けられる。

		認知仮定次元					
		記憶する	理解する	応用する	分析する	評価する	創造する
知識次元	事実的知識	技術力					
	概念的知識		ツール活用				
	手続的知識				マネジメント		
	メタ認知的知識			モチベーション			

図 5.3 認識・知識次元モデル（大林組の事例）

また、研修の全体像ではないが、徳島県大竹組の事例(4.2.1)は、Step1 が左上セル 2 つ、Step2 がその右下セル 2 つ、Step3 がその右下セル 2 つと考えられる。北海道砂子組の事例(4.2.2)では、左上セル 2 つは行われており、その右下の2つのセルまでは（応用する）なされていると考えられる。ICT を学ぶプロセスとしてこの左上2つのセル、その右下のセル、そしてモチベーション（右下までは行かず左下のセル 2 つ程度）の繰り返しのプロセスがなされているのではないかと考えられる。

		認知仮定次元					
		記憶する	理解する	応用する	分析する	評価する	創造する
知識次元	事実的知識	大竹組 Step1					
	概念的知識	砂子組	大竹組 Step2				
	手続的知識			大竹組 Step3			
	メタ認知的知識	砂子組繰り返し					

図 5.4 認識・知識次元モデル（大竹組、砂子組の事例）

すなわち、大竹組の社内講義・理論と実践で応用と分析が手続的知識として定着するものを示している。また、砂子組の繰り返しの取組はモチベーションとチャレンジをさせる意味から記憶・理解を身に付け・メタ認知としてテクニックを使えるだけでなく、それを文脈と条件についての適切な知識を含む認知的課題に関する知識として用いることができる段階

まで進めるものとして位置付けられる。

次に、3.2の高等教育機関へのアンケート結果を位置づけると以下のようになる。

		認知仮定次元					
		記憶する	理解する	応用する	分析する	評価する	創造する
知識次元	事実的知識	今後必要となるから					
	概念的知識	社会のニーズ		先進事例として			
	手続的知識			取り組んでいる			
	メタ認知的知識	建設業に就職するきっかけ					

図 5.5 認識・知識次元モデル（高等教育機関アンケートから）

ここでは、建設業に就職するきっかけに関して、大学生に文脈的な情報を提示することでインセンティブを醸成するものとなっていること、また今後の必要性に関しては、重なるところもあるが、高専での考え方、学生数が多い私立大学での考え方は個人の考え方に依存している面があることから知識の記憶面・理解面に位置付けることができる。さらに、社会のニーズについては、OJT に対応すれば良いとする意見もあった。先進事例は概念的知識・手続的知識に関する応用や分析まで進められている。

また、特筆すべきものとして、3.1で示した東京大学 i-Construction システム学特別演習が挙げられる。そこでは、i-Construction のシステムを模擬的に利用し、演習を通して体感することで i-Construction システム学を習得することが目的とされており、内容としては、自動建機を用いた施工計画の立案と模擬工事の実施として、例えば、模擬環境において掘削、運搬、敷均を行うことを想定がなされ、工事の全自動化を目指し、用意された模型自動建機や各種センサ等を使って、施工計画を立案が行われている。加えて、模型自動建機をプログラミング、必要に応じて新しい自動建機を考案、開発、模擬工事を実施までがなされており、早さ、品質、計画通り実施できたか等を評価がなされる、これは、これまでの位置付けの中で若干手薄であった部分の知識次元の評価と想像を身に付けるための取組と位置付けることができる。すなわち、次のとおり位置付けることができる。

		認知仮定次元					
		記憶する	理解する	応用する	分析する	評価する	創造する
知識次元	事実的知識						
	概念的知識						
	手続的知識						
	メタ認知的知識						

図 5.6 認識・知識次元モデル（東京大学 i-Construction 特別演習の事例）

ここでは、新技術をいかに現場に取り入れるかを学ぶことのために、自動建機の模型を使って実習が行われることから、i-Construction の評価と現場での発想への創造が慣用されるものとなると考えられる。したがって、卒業研究的な取組を超えて、現場での課題を解決するための i-Construction の活用に向けた実践的な手法となっていると考えられる。

5.4 認知知識次元モデルから見えてくるもの

ここまでの認知・知識次元モデルをまとめたものを以下の図に示す。例えば育成プログラム設計者がこのマトリクスを活用するケースを考えると、このマトリクスのどの位置が行いたい育成であり、そしてその位置にある既存の取り組みを参考にする、ということが考えられる。また、より大局的に見た場合、このマトリクスで薄い部分、を埋めようとする取組こそが i-Construction の職能・人材育成・教育関連で求められる取組となっている部分となるとも考えられる。すなわち、ICT ツールの導入によって、事実的知識、概念的知識、手続的知識、メタ認知的知識といった知識の種類のいずれにおいても、その中で評価し、創造するといった認知過程での対応が更に必要となると考えられる。これは、宮原(2020)でも述べられていたとおり、大学教育でも特に卒業研究で取り組むべき高次の認知過程に対応するものである。

この領域は、通常教育・研修のプログラムだけでは対応が難しく、知識を伝え、メタ認知で動機付けを図るとともに、それらの応用・分析・評価を身に付けるための努力に加え、そこに付加価値を創造するための取り組みが人材育成で必要とされていることが指摘できる。こうした領域に取り組むための一つのモデルケースが東大 i-Construction 特別演習であり、現場の問題を解決するための発想力を実践的に育成するやり方が一つの重要な例となっていると考えられる。しかしこの項目は実行可能な内容が幅広にあると思われ、今後さらにこの位置に該当するケースが出てくることが重要である。

		認知仮定次元					
		記憶する	理解する	応用する	分析する	評価する	創造する
知識次元	事実的知識	特に段階を踏んだ導入研修等			ICTツールの導入・習熟		
	概念的知識	ツールの習熟に向けた取組等					
	手続的知識	ボトムアップにつ		現場の状況に応じた実践			
	メタ認知的知識	ながるインセンティブの刺激		マネジメントも含めた総合的対応			

図 5.7 認識・知識次元モデルのまとめ

6 結論と提案

本章では、i-Construction の人材育成において、あるべき姿（目標）を定めることが重要とした上で、そのためにはグランドデザインを描き、具体的な人材像に落とし込むべきとした。そして、i-Construction を推進するためのあるべき体制及び i-Construction 人材像として図 6.1 を提示した。

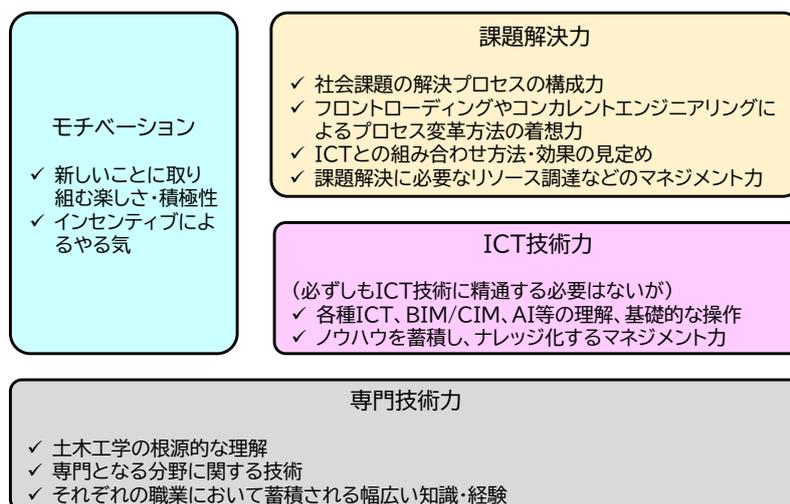
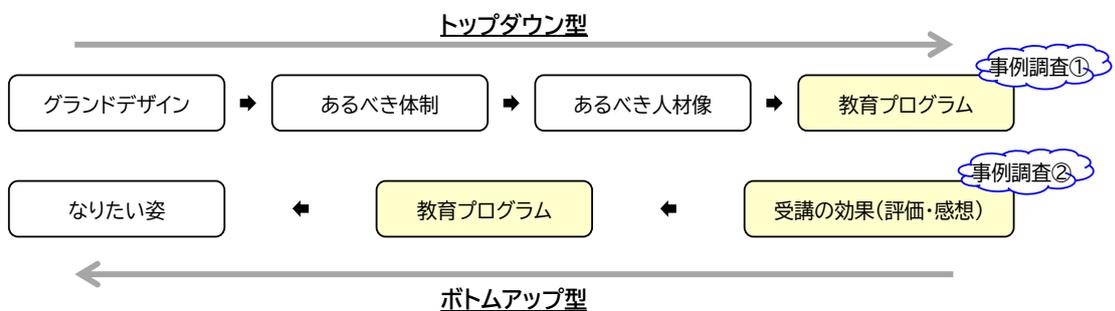


図 6.1 当 WG が提示する i-Construction 人材像（再掲）

その上で、i-Construction 人材の育成方法、取り組みに関する着眼点、留意事項を提言すべく各種事例調査とアンケート調査を行った。事例調査は、あるべき姿から導かれる『トップダウン型』の教育プログラム（第 2 章の事例調査①）と個人にスポットを当てた『ボト

『ムアップ型』の教育プログラムと効果（第4章の事例調査②）の視点で行った。本WGが調査した事例を表6.1に一覧する。



※着色した範囲が調査対象

図 6.2 事例調査の視点

表 6.1 本WGが調査した事例一覧

		概要	主催
トップダウン型 (事例調査①)	a)	BIM/CIM 教育要領 (知識体系や学習目標の提示)	国交省
	b)	建設 ICT マスター養成講座	厚生労働省
	c)	ICT 施工に関する e ラーニング	国交省
	d)	知識やスキルの習熟度に応じた BIM/CIM 教育・研修制度の内容, ICT 導入におけるインセンティブ	大手建設会社
	e)	デジタルコンシェルジュと称する現場への ICT ツール導入時の支援策	大手建設会社
	f)	新入社員から3年間は座学中心, 4年目以降は実践的な学習カリキュラムで“学ぶ文化”の醸成を目指す取組み	大手建設会社
	g)	業務で担うべき役割に必要な知識や技量を教育する BIM/CIM 研修プログラム	コンサルタント
	h)	人工知能, 機械学習に関する人材育成計画	他業種
	i)	精密工学における大学教育	大学
	j)	高等教育機関 (大学, 大学校, 高専) に対する BIM/CIM 教育に関するアンケート調査	大学
	k)	海外の大学における BIM に関する教育プログラムや取り組み内容	大学
ボトムアップ型 (事例調査②)	l)	土木知識がない若手社員の ICT 施工習得方法 その1	地域建設会社
	m)	土木知識がない若手社員の ICT 施工習得方法 その2	地域建設会社
	n)	建設業界未経験者への講習事例 その1	コンサルタント
	o)	建設業界未経験者への講習事例 その2	コンサルタント
	p)	土木技術者で i-Construction 未経験者に対する講習事例	コンサルタント
その他調査	q)	教育目標の行動・認知過程の分類化	研究論文

6.1 グランドデザイン（案）の提案

ここでは、あるべき人材像が持つべき能力を定めるためのテンプレートとして、図 6.3 のグランドデザイン（案）を提案する。本グランドデザインを提案するにあたり、下記の事項が重要との議論に至った。

- ✓ 数年あるいは 10 年程度のスパンで、自らの組織がなりたいと考える姿（図中では”あるべき建設事業”と記載）を念頭に置き、その姿を実現するために必要なことを設定する”バックワードデザイン”が特に重要
- ✓ あるべき体制では、あるべき建設事業を実施するために組織全体として持つべき能力を設定し、その能力を最大限発揮するための人員構成を設定する
- ✓ その際、現状の組織体制から大幅な変更を余儀なくされることも想定され、その実現性からあるべき体制が歪められないようにすることが肝要
- ✓ 持つべき能力は、あるべき体制が持つべき能力をその人員構成に応じて役割と併せて割り振ることで、具体的な人材像が設定できる
- ✓ この時、組織規模が大きすぎると、具体的な人材像に落とし込みにくくなる可能性があるため、組織規模の適切性は常に念頭に置く必要がある
- ✓ 以上を実現するためには、組織内の文化・風土の変革に向けた意識改革・仕組みづくりを並行することが重要（トップから変わる、キーパーソンによるコアづくり）

本提案では、最右列に高等教育（大学、大学校、高専）のあるべき姿も併せて示した。現状において、高等教育において i-Construction や BIM/CIM に関する教育プログラムが構築されている例は稀有だが、今後社会全体で建設生産性を高めていくことが重要であることを鑑み、提案に加えた。本テンプレートを各組織におけるグランドデザインの策定に活用頂きたい。

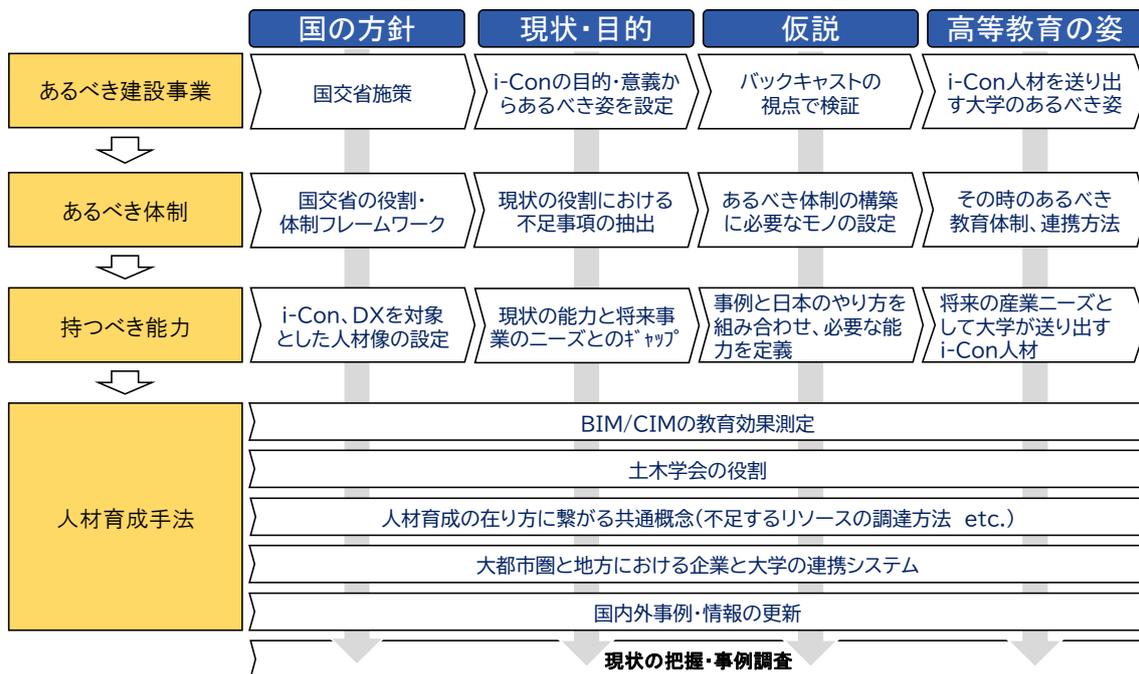
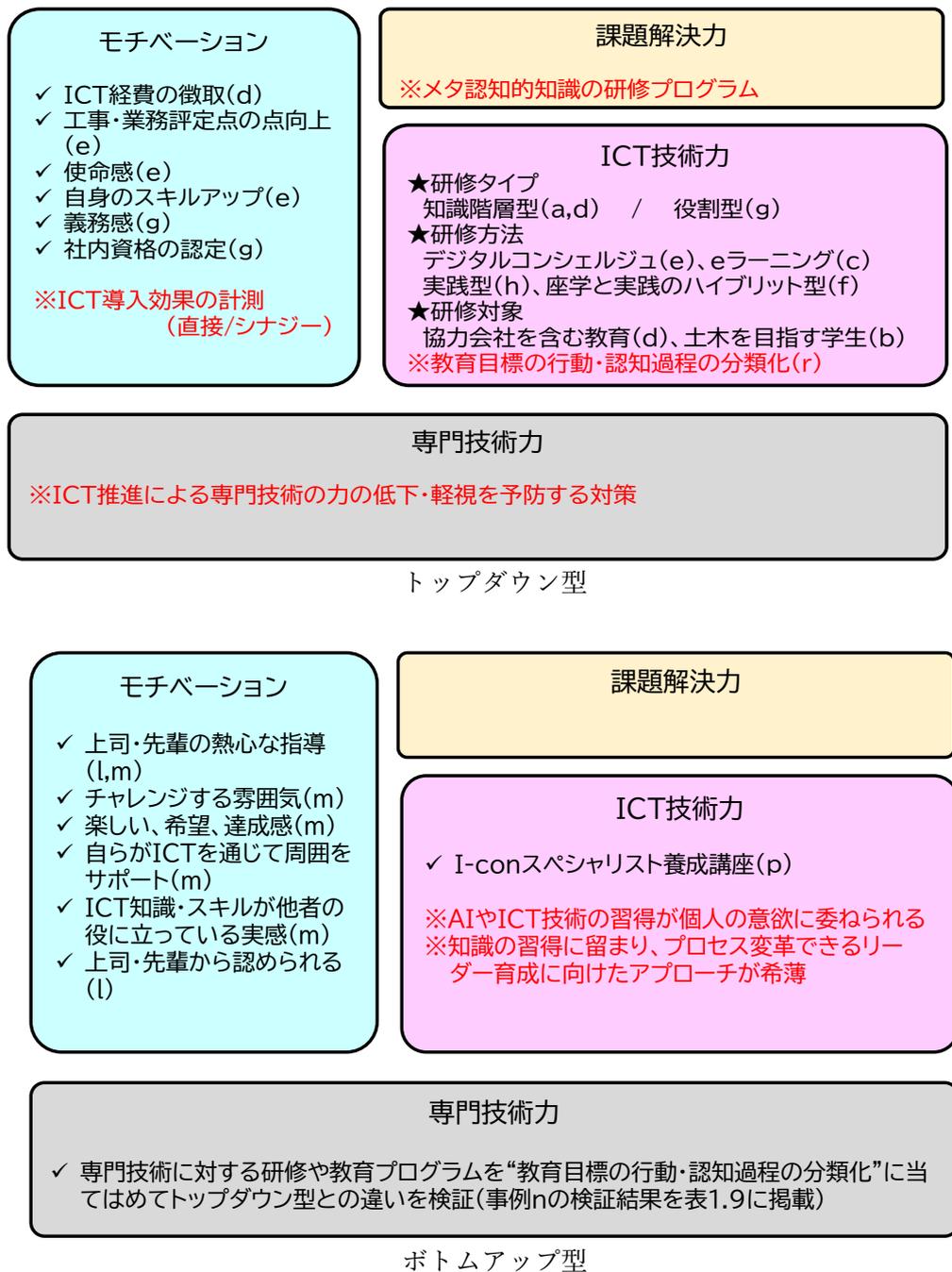


図 6.3 グランドデザインのテンプレート (案)

6.2 i-Construction 人材の育成に関する着眼点, 留意事項

i-Construction 人材像として3つの能力と環境整備が必要であることを示した(図1.4)。そこで、調査した事例のポイントを当該人材像に当てはめ、特長や留意すべき点などを体系的に整理することとした。ここでは、“専門技術力”は従来から汎用している土木技術の育成あることから、その要諦は他の文献などに譲ることとし、“ICT 技術力”、“課題解決力”及び“モチベーション”に関する着眼点と事例調査によって浮かび上がった留意すべき課題に言及する。また、これをトップダウン型とボトムアップ型のそれぞれについて整理することで違いを明らかにし、改めて i-Construction 人材の育成に必要なことを提言する。



※赤字は、留意すべき課題

図 6.4 i-Construction 人材の着眼点 (図中の括弧内は表 6.1 の事例番号)

事例 n 「建設業界未経験者への講習事例その 1」における教育プログラムを、図 6.5 のように「教育目標の行動・認知過程の分類化」に当てはめてみた結果、左上から右下に階段状になっていることが確認された。これは、土木技術者の教育プログラムの分類と同様であり、“トップダウン型”と“ボトムアップ型”で専門技術力の育成手順に特筆する違いはないと考えられ

る。

図 6.5 事例 n (建設業界未経験者への講習事例) の教育プログラムの分類

		認知仮定次元					
		記憶する	理解する	応用する	分析する	評価する	創造する
知識次元	事実的知識	①②					
	概念的知識		③④				
	手続的知識		⑤⑥⑦		⑧⑨⑩		
	メタ認知的知識						

※表中番号は事例 n のカリキュラムで下記を指す。

①建設業ってなんだろう、②難しい建設用語を学ぶ、③様々な建設機械の名前と役割、④「建設業法」がわかると業界がわかる、⑤現場の安全と衛生を知って身を守ろう、⑥建設業の深い話、⑦建設業で本当にあった心あたまる物語、⑧建設業界の仕組みとビジネス(建設業の役割と概要、建設ビジネスの仕組み、工種と業種でわかる土木業の基本、工種と業種でわかる建築業、建築設備業の基本)、⑨ あると役立つ資格と活用方法、⑩建設業の未来

次に、BIM/CIM 教育に対する高等教育に対する現状認識 (アンケート結果) を図 6.6 と表 6.2 に取り纏めた。また、先進的に BIM に取り組んでいる 9 ヶ国の教育プログラムの特長を表 6.3 に取り纏めた。

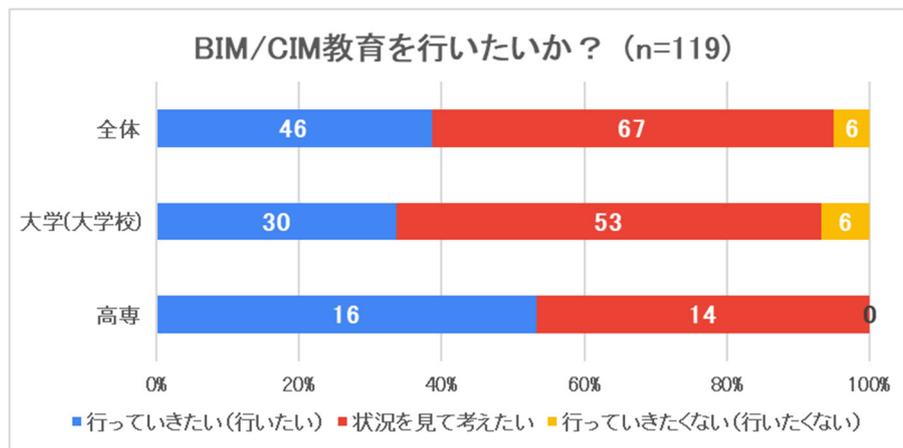


図 6.6 BIM/CIM 教育に対する意識

表 6.2 BIM/CIM 教育に対する意見（トップ3）

肯定的意見	否定的意見	特徴的な意見（但し少数意見）
今後必要となる	指導環境や指導内容が困難	学科のカリキュラムの必要を感じない
企業や社会からのニーズに対応	社会人で身につければよい	実務で必要となる技術
社会で活用されている	基礎教育を重視	学術的開拓の余地がない

表 6.3 海外における BIM 教育プログラム

BIM 教育プログラムの概要	国名
Revit を使用した建物の設計	アメリカ
10 カ月フルタイムのトレーニングコース 情報管理に関するプログラミングの学習	シンガポール
発注者とのワークショップ	香港
技術測量、地理空間プログラム、BIM の適用、リアリティキャプチャ、精密 3D センシングなどの教育コース	イギリス
国内共通の BIM 要件と BIM 教育のための BIM 教科書の活用	フィンランド
全ての大学で BIM とデジタル化に関するコースの提供 Building SMART Norway による BIM セミナー	ノルウェー
全ての高等学校で CAD 関連の実践的学習	スウェーデン

日本の大学では、大学では基礎的学問を教育するという主旨の意見が散見される一方で海外の教育プログラムでは、実践的な教育を積極的に取り入れていることが伺える。特に、ノルウェーやスウェーデンのように全ての学校で同様の教育コースを取り入れている国があるなど、教育機関全体のコンセプトが設定されていることが伺える点が特徴と思われる。

ここまでの議論を踏まえ、i-Construction 人材育成のフレームワークやカリキュラム、体制構築の際に意識しておくべき点について、【i-Construction 人材に関する提言】として以下にまとめた。人材育成は複雑で、考えておくべきことは多く、さらに i-Construction の守備範囲の広がりに伴い増えていくとも考えられるため、以下で網羅できているとは考えていない。ただ、少なくともこのような着眼点を蓄積・整理しておくことが今求められていることであり、そのための一里塚となるものである。

【i-Construction 人材に関する提言】

- ✓ 育成プログラムには、知識階層型と役割型があるが、知識レベル（階層）と全うすべき役割との関係を明らかにすることで、育成プログラムがより充実・明解になる
- ✓ 場所を選ばずに学習が出来る e ラーニングのような工夫も有効である

- ✓ 課題解決能力の教育に、メタ認知的知識の研修プログラムを構築することは有効な一手法と思われる
- ✓ ICT 技術力の養成や ICT 技術の進展に対する反動で、専門技術力の低下や軽視が懸念されることであり、ICT 技術力と専門技術力の養成は常に両立させることが肝要である
- ✓ 新たなことに挑戦することになるため、教育の効果を計測できる手法の組み込みがモチベーション維持に有効である
- ✓ 異業界からの参入者の教育について、土木技術者に対する育成手法と顕著な違いは見られない
- ✓ トップダウン型の育成は座学・研修が中心になっている事例が多い反面、ボトムアップ型では座学に実践がセットになっている事例が多く見られ、知識と実践の密接性がポイントと言える
- ✓ 特に、ボトムアップ型の事例では、実践した後に座学（知識習得）を行う手順としている点が特長的である
- ✓ ここでのポイントは、上司・先輩の支援が手厚く行われており、実践の導入がスムーズにしている点だと思われる
- ✓ 土木技術者が i-Construction 人材となるためのモチベーションは、使命感・義務感や資格などのインセンティブが主体である一方、異業界からの参入の場合、上司・先輩の認知や他者の役に立っているといったエンゲージメントが顕著になっている
- ✓ トップダウン型の教育においても、エンゲージメントに着眼した育成システムを組み込むことが、より実効性の高い育成に繋がると考えられる

6.3 土木学会への提言

上記の【i-Construction 人材に関する提言】の提言内容は、産官学が協同して取り組むことで更に効果を発揮する。例えば、OJT に代表される業務と技術習得の密接な連携は「産」、技術の評価と方向性・環境の構築は「官」、様々な業務に活用できる共通基盤的な ICT 技能の開発・習得は「学」といったような分担はそれぞれの本領である。しかしこの中でも特に、3.2 のアンケートからも見えてくるように、大学における BIM/CIM 教育、i-Construction 教育についての課題は多い。BIM/CIM 教育が可能な教員がいるかどうか、という観点での図 3.9 のアンケートでは半数弱の教育機関において「いる」という回答であったが、これらはいくまでも例えば UAV の使い方の指導や事例紹介などといったような個別的な講義にとどまり、体系立てて教えることのできる教育機関は本 WG が調べた限りほとんど存在しない。表 3.3 のアンケートの、「教員がいないから」「指導内容がわからないから」という回答にもそれは顕れている。しかしその一方で、表 3.3 や図 3.8 からわかるように、教育機関としてその社会的必要性は一定程度理解されている。つまり、指導内容が明らかになれば指導したいという希望を持つ教育機関が多いことを意味している。

そのような背景を考えると、BIM/CIM 教育、i-Construction 教育の体系化は望まれる

内容の1つである。ただし、表 6.4 の「OJT で学ぶべき」という意見もそうであるが、少なくとも現状では、産官学の間で、何を学ばよいかという共通認識が取れていない。このような状況下では、大学側だけでの体系化は、独りよがりになり、恐らくは役に立たないものが出来上がってしまう。そこで、産官学が集まる土木学会で、組織的に議論を行い、BIM/CIM 教育、i-Construction 教育の体系化を行うべきであると本 WG は考える。その際、例えば産は実際の教育ニーズの明確化、官は現場の提供や国土交通行政の方針提示、学は基盤技術の確立と教育者育成方法の提示といったように、適切な分担を行いながらも、相互で情報交換を積極的に行うような形が望ましい。

表 6.4 i-Construction 教育を「行っていきたくない(行いたくない)」と回答した教員の理由(延べ数)

i-Construction教育を「行っていきたくない(行いたくない)」と回答した教員の理由(延べ数)			
国公立大学の教員		私立大学の教員	
理由	件数	理由	件数
社会人になってからの企業教育(OJT)で教えれば良いから	1	普遍的な内容を教育すべきだから	1
学科のカリキュラムとして必要を感じないから	1		
基礎学問を重視すべきだから	1		

また、BIM/CIM、i-Construction は、近年発展が著しい ICT 技術と関連が深い。そのため、示方書のように定期的な改訂が必然的に要求される。そのような組織的な動きを行うことを考えても、土木学会が母体となって上述のような体系化を行うことが望ましい。こうして土木学会を中心としてまとめられた情報は、ICT 業界を含む他業界に属する会社・個人が、新たに土木業界、i-Construction に参入するためにはどのようなことが求められているか、取り組み方や成果物の要件などを知るために有効である。

また、「学術的開拓の余地があるとは思えない」というアンケートの意見もあった。この意見と関連するが、高等教育機関の研究者が BIM/CIM、i-Construction に関する研究について、ややもすると積極的に取り組んでいないように見えるのは、成果、すなわち論文になりづらいというのも一因であると思われる。工学として必要である BIM/CIM、i-Construction に対して成果になりづらいということそのものが課題であり、例えばこういった内容の論文が成果になるようなシステム、あるいは土木学会論文集としての対応、新たな論文集の立ち上げなどが求められると考えられる。

6.4 結論

i-Construction の実質化のためには、現状よりも、技術者の質、量を大幅に向上させる必要があることは論を俟たず、すなわち人材育成が決定的に重要となっている。そこで本 WG では、i-Construction の人材育成において、あるべき姿(目標)を定めることが重要とした上で、そのためにはグラウンドデザインを描き、具体的な人材像に落とし込むべきとした。

その上で、発注者・受注者・教育機関における現状の i-Construction に関する取り組みの整理と、他分野における状況の整理を行った。その結果、大まかな方向性についての合意は得られているものの、現状ではまだ個々の事業者が個別に取り組んでいる状況であることもわかった。例えばブルーム・タキソノミーの人材育成の枠組みの、認識・知識次元モデルと照らし合わせると、必ずしも網羅的に人材育成プログラムが構成されていない状況や、今後充実させるべきプログラムについてなど様々な含意を得ることができた。その上で、【i-Construction 人材に関する提言】として 6.2 に i-Construction 人材育成のフレームワークやカリキュラム、体制構築の際に意識しておくべき点についてまとめた。

また、上記のように、現状では i-Construction に関する教育は、個々の大学や企業、発注者が個別にバラバラに行っている状況にある。それは、個々の大学や企業、発注者の事情に応じた教育プログラムを組めるという良い面もあるが、共通している部分について整理、共有できるほうが望ましいという考え方もある。体系的に整理する枠組み、また進化の早い ICT に合わせて更新していく枠組みが必要であり、土木学会のような産官学が参画する機関が主体となって進めることが理想的である。そのような共通化された部分が整理されていれば、例えば i-Construction を会社に取り入れたいにも関わらずどのように取り組みをはじめればよいかわからない建設会社にとって、参入障壁が非常に低くなる。また、個人が学ぶ際にもよい道標となることが期待できる。

このように、本 WG では、様々な主体（企業、教育機関、行政、学会、個人 etc）が、人材育成について考える際に必要となる考え方、情報についてまとめ、そして提言を出すことができた。これをもって報告とする。