

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 8 月 7 日現在

機関番号：32619

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2016

課題番号：15K14088

研究課題名(和文)建設技能労働者の処遇改善のための日本型5D-BIMの諸元に関する研究

研究課題名(英文) Study on specifications of 5D-BIM aimed for the improving the treatment of construction skilled workers.

研究代表者

蟹澤 宏剛(kanisawa, hirotake)

芝浦工業大学・工学部・教授

研究者番号：00337685

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、5D-BIMを活用して、建築生産システムにおける技能労働者の役割と位置づけを明確化し、適切な評価と処遇を得るための要件整理を目的としたものである。本研究の成果は、まずは、近年の研究事例が少なかった新しい米国ユニオンの機能について、賃金の決め方、能力評価手法、教育訓練プログラム等について網羅的に考察を行ったことである。その上で、5D-BIMの関係に着目した日米の生産システム、プロジェクトマネジメントの差異を整理し、日本型建築生産システムとBIMシステムの間が存在する矛盾の解決方策として、3Dオブジェクトの分割・合成によるオブジェクトクラスの再定義という新しい視座の考察をおこなった。

研究成果の概要(英文)：This research aims to clarify the role and position of skilled workers in the building production system by making use of the function of 5D-BIM, thereby to rearrange the requirements for obtaining appropriate evaluation and treatment. The result of this research is to comprehensively examine the wage determination method, the ability evaluation method, the education and training program, etc. about the function of the new US Union which had few research cases in recent years. In addition, we investigated the utilization situation of 5D-BIM in the United States and examined the differences between Japanese and US building production system and project management system. As a technical point of view, we examined object classes in detail.

研究分野：建築社会システム

キーワード：BIM ユニオン IPD 5D-BIM 労働協約 技能者

### 1. 研究開始当初の背景

(1) 我が国の建設産業では若年者の入職者が他産業と比較して大きく減少傾向にあり、近い将来の災害対応やインフラの維持・更新に支障が出ると懸念されている。国土交通省や建設業界は、建設技能者の処遇改善を中心とした対策に取り組んでいるが、大半の建設技能者が請負契約である以上、賃金や保険料率の正確な把握が難しい状況にある。

(2) 近年、米国では、5D-BIM を利用した、各種工事のコスト目標設定、設計の進捗に合わせたコスト内訳の詳細化、労務と工程に関する情報の一元化を基軸としたマネジメントが普及し始めており、その活用が技能労働者の適正な処遇とユニオン制度の維持に寄与している。しかし、日米の契約やマネジメント方式は異なるので、そのギャップを埋める技術的解決策を 5D-BIM を中心としたソフトウェアに具現化する必要がある。

### 2. 研究の目的

(1) BIM (Building Information Modeling) を実費精算型の労務計画・管理・支払いのプラットフォームと位置づけ、ユニオンとも連携して運用されている米国の事例をベンチマークし、技能労働者の処遇の適正化に向けた方策を技術的側面から考察し、問題解決の糸口を提示することを目的とする。

(2) 主として、日米の契約やマネジメント方式の違いを埋める技術的解決策を 5D-BIM を中心としたソフトウェアに具現化するための要件を整理する。

### 3. 研究の方法

(1) 米国における 5D-BIM と労務マネジメントの関係や実態を具体的に調査する。それが日本の慣習と異なる点を 5D-BIM の関係に着目して日米の違いを比較・考察する。特に、ユニオンに由来した技能労働者の処遇、契約と支払いに関するマネジメントと情報の処理過程に注目をする。

(2) 日本型建築生産システムと現段階の BIM システムの間に存在する矛盾を解決するために、3D オブジェクトの分割・合成によるオブジェクトクラスの再定義に関する方法を研究する。さらに、工程計画情報をジオメトリの形状制御のパラメータとして利用するための諸要件を研究する。

(3) 日本の建築生産システムにおいて、GMP 付きコストプラスフィー方式の採用やユニオンの成立に関する可能性を研究する。このような仕組みを実現するために必要となる積算・コスト情報の粒度やその段階的な精緻化の方法についても米国の調査事例を参考として考察をする。

### 4. 研究成果

(1) 米国における BIM と労務マネジメントの関係や実態—ユニオンに着目して—

ミズーリ州セントルイスにある訓練校 (St. Louis Carpenters' Joint Apprenticeship Program : CJAP) と建設業者団体 (Associated General Contractors of Missouri : AGCMO)、ワシントン DC にある米連邦政府一般調達局 (General Services Administration : GSA) と建築仕様書学会 (Construction Specifications Institute : CSI) ワシントン DC、ボストン、サンフランシスコの設計事務所と建設現場にて、ヒアリングおよび施設、機器の調査を実施した (2015 年 9 月 7 日~10 日、2016 年 10 月 31 日~11 月 4 日)。

#### 1) 建設技能者の育成プログラム

セントルイスでは技能者階級を General Foreman (統括職長)、Foreman (職長)、Journeyman (一人前)、Apprentice (見習い) と 4 階級に区分する。CJAP は、Apprentice から Journeyman への昇級を目的としたプログラムである。このプログラムは①訓練校の授業：1 週間 (座学 25%・実技実習 75%) と②企業の現場での OJT : 3 カ月間で構成される。①と②の 1 組が「UNIT」、2 回の UNIT が「Stage」、9 つの Stage で構成され、プログラムの修了に約 4 年半を要す。CJAP は、Journeyman には、ある程度の ICT リテラシーが必要と考え、カリキュラムに Word や Excel、CAD に加え、BIM の概念を教える授業を設けている。また、Stage-9 の授業は選択方式で、トータルステーションを利用した墨出しを教える授業も用意されている。

#### 2) Union Worker の賃金

雇用者から Union Worker への支払いは、Wage (賃金: 技能者の手取り) と Benefit (法定福利費等) のパッケージである。雇用者は、ユニオンにパッケージで労務費を支払い、ユニオンは技能者の代わりに Benefit を州や連邦に支払い、Wage を技能者に支払う。パッケージの労務費は、Union Worker が non-Union Worker の約 2 倍である。ただし、州政府によっては公共工事で Union Worker の使用を義務付けている場合もある (例えばカリフォルニア州)。そのようなプロジェクトでは、発注者がユニオンと協議して Union Worker の労務費を決定する。そのため建設会社では、建設技能者の労務マネジメントに取り組みなくてはならない。

#### 3) 建設現場の ICT 化

ワシントン DC やサンフランシスコの現場では、大型ディスプレイが現場内に配置され、いつでも図面や BIM モデルを画面上で確認できるようになっていた (KIOSK 端末)。建設技能者自らが KIOSK 端末を操作して施工内容を確認しているという。また、ヘルメットに内蔵された非接触センサ (RFID) で入退場管理を試行し、精度の高い労務費管理を

目指している現場もあった。

AGC の本部では、技能者の能力向上および現場監督や職長への昇級を支援するコースを提供している。その中には、BIM、Lean Construction、Project Management 等があり、それらをいくつか受講することでマネジメントと ICT を複合的に理解できる。

#### 4) コストマネジメントの視点

GSA、カリフォルニア州を基盤とするゼネコン Webcor 社に CM@Risk 方式と CM/GC 方式のプロセスについてヒアリングをした。CM@Risk 方式と CM/GC 方式は、元下請契約方法の違いを除き、設計段階でゼネコンが CM 業務を委託契約し、施工段階に元請けとして施工管理を担うという点で同じである。基本設計前半 (Concept Design or Schematic Design) の段階で、発注者は CM であるゼネコンに VE (Value Engineering) やプレコンストラクションを業務委託し、事業予算を作り込む。CM は、VDC (Virtual Design Construction) と 5D-BIM ソフトウェアを利用して工事価格を提示する。この時点では、GSA が UNIFORMAT II - GSA REVISED VERSION、Webcor 社が参加したプロジェクトでは MasterFormat を利用して CM が官積算をし、発注者が値入をする。続く基本設計後半 (Design Development) の段階は、先の予算を Target Price (目標価格) として、それ以下となるように基本設計を完成させる。実施設計 (Construction Document) に移る目安は、CM@Risk が設計全体の完成度の 35%、CM/GC 方式が 50% とされ、70% に達したワークパッケージから順次、サブコントラクターを入札で決め、建設コストを確定させていく。

#### 5) 5D-BIM の関係に着目した日米の違い

【基本設計に対する目標価格の設定】米国では CM の知見を踏まえながら精度の高い概算見積りを作成し、発注者の事業計画に基づく予算と擦り合わせながら目標価格を設定する。日本の場合は発注者の事業計画に基づく予算 = 目標価格を前提条件として建物の仕様 (グレード) を設定する。

【目標価格における労務費と取扱い】米国では発注者とユニオンの調整で技能者の労務費 (Wag + Benefit) が決められるため、その内容が目標価格に組み込まれる。そのため、材工分離の官積算が求められ、5D-BIM を利用するメリットが高い。日本では法定福利費を別途掲載した標準見積書式が定着しつつあるが、それが提出されるのは元下請問の調達時点である。したがって、目標価格の段階では労務費が確定しておらず、5D-BIM を利用するメリットを見出しにくい。

【技能労働者の処遇の適正化に向けて】米国では技能労働者の処遇の品質をユニオンが教育による技能レベルの担保と併せてコントロールできるため、発注者やゼネコンは、それを所与として建設価格を設定しなくて

はならない。したがって、建設工事における投入人数の削減をプロジェクトの早い段階から検討しなくてはならず、その業務を支援するツールとして 5D-BIM が利用されている。日本では、賃金が雇用者の自由裁量であるため、基本設計で技能者の投入人数を考慮することの意義を見出しにくく、技能労働者の処遇の適正化は、週休 2 日や適正工期で確保しようとする流れにある。

(2) 日本型建築生産システムと BIM システムの間に存在する矛盾の解決 - 3D オブジェクトの分割・合成によるオブジェクトクラスの再定義に着目して -

#### 1) BIM システムの課題

BIM モデルを施工計画で活用する事例が増えているが、通常の BIM モデルは、柱、梁など「部位」のオブジェクトを組み合わせたモデルのため、多様なパターンの「構法」が存在する施工計画に直接使えるモデルではない。プレキャストコンクリート (PCa) 構工法を例とすれば、米国は、柱・梁などの部位と PCa 部品が一致しているため 5D-BIM を用いて様々な施工計画を検討することが可能である。日本は柱の上部と梁の端部を組み合わせた部品を用いたり、パネルゾーンを現場で打設したりする場合など、部位と PCa 部品が対応しない場合が多いそのため、その組み合わせや分割を決めてから施工検討用の BIM モデルを作成するのが一般的だが、それは 5D-BIM を用いた施工計画の検討と相いれない。

#### 2) オブジェクトクラスの再定義

本研究では、構法という形状を計画する法則性が存在すると考え、その法則性をアルゴリズムとして、設計モデルから構法モデルを自動生成するプログラムのプロトタイプを作成し、それに工法の情報を加える「BIM による構工法計画手法」を提案する。具体には、柱と梁の接合部分を柱と梁から分割させるタイプとし、その部分を別途用意したオブジェクトで置き換える。この構法モデルの接合部・柱・梁の各々に、プレキャストコンクリートか現場打ちコンクリートかなど工法の情報を属性として入力すれば、5D-BIM でオブジェクト毎に材料や労務・揚重機など工法に値する情報を定義し、1 つの構法モデルから多様な構工法計画を検討できる。この方法を用いれば、設計の早い段階の設計モデルを用いて施工計画を 5D-BIM で検討することが容易となり、技能者の投入人数を考慮した設計を支援する技術的解決方策となる。

#### 3) 構法モデル自動生成のプロトタイプ

本研究では、BIM ソフトウェア (Autodesk 社: Revit) と、それと連携するアルゴリズム・プログラミングツール (Dynamo) を用い、設計モデルの情報を Dynamo で読み取り、部位分割の演算結果を Revit に戻し、

構法モデルを自動生成する仕組みを構築した。以下に、「柱頭・梁端部一体型」の接合部オブジェクトの配置を中心に詳述する。

- i. Revit で作成した設計モデルから読み取った柱の平面配置情報を、Z 軸方向に階高 H で階数 n 回分複写して、接合部中心点の三次元座標リストを得る。
- ii. 各層の座標軸を演算し、「梁 2 本」を配置する 4 隅の点をリスト化する。
- iii. 各層の座標値を利用して、建物の中心点リストを層毎に作成する。各層の中心点から 4 隅の点に向かうベクトルを直行化して「梁 2 本」の向きを判断する「判断座標系」を作成する (図 2)。次に「梁 2 本」の向きを自動判断し、4 隅の点に「梁 2 本」オブジェクトを自動配置する。
- iv. 配置した「梁 2 本」オブジェクトの柱部分と梁部分の断面寸法は、設計モデルから読み取った柱と梁の断面寸法を自動入力し、「梁 2 本」オブジェクトを完成させる。
- v. 「梁 2 本」と同じ考え方で、「梁 3 本」「梁 4 本」の接合部オブジェクトの自動配置・寸法自動調整を行う。

#### 4) 研究成果

接合部オブジェクトは、梁部分のあるなしを制御することで「柱頭・梁端部一体型」と「パネルゾーン現場打ち型」を、同じプログラムで配置できる。したがって、図 1 のごとく、1 つの設計モデルから、2 種類の構法モデルを自動生成できた。

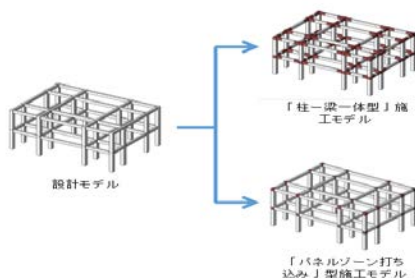


図 1 自動生成した構法モデル

(3) 日本の建築生産システムにおける、GMP 付きコストプラスフィー方式の採用やユニオンの成立に関する可能性

#### 1) 積算・コスト情報の粒度

BIM 先進国である米国において、建物の部位やシステムにコードを割り当て BIM や業務に関連する標準的な書式と共に活用することによって情報処理の生産性が向上している。本研究では、ワシントン DC に所在する CSI で入手した情報を元に、米国で取り組みが進められている産業の基盤となるコード体系である OmniClass 全体についてその構成と活用の構想を紐解くことにより、建設プロジェクトを取り巻く情報のコード化がどの様な影響を及ぼすのか考察し、ICT 化が進む建設産業において情報処理の効率化を

目指すことを目的とする。

OmniClass は建設産業において「情報の整理、ソート、検索、関連するアプリケーションの編成」を目的に、建設業にまつわる情報に対して数字によるコードを割り当て包括的にまとめあげた分類システムである。この分類システムはかつてより米国で使用されていた部分別分類 UniFormat、工種別分類 MasterFormat、製品分類 EPICなどを元とした 15 種類のテーブルで構成されている。

15 のテーブルは、4 つに分類できる。1 つ目は建物の機能や形状、含まれるスペースの分類など建物のエンティティに関するもので Table11 から 14 が該当する。2 つ目は建物の要素部分となるひとまとまりのシステムや製品、あるいは材料の組み合わせや作業の結果として生成される建物の構成要素を表すもので、Table21 から 23 が該当する。3 つ目はプロジェクトに参加する人物の職業や組織の役割、あるいはタスクを完了するのに必要な事業の項目やフェーズなど、プロジェクトのプロセスとリソースに関するもので Table31 から 36 が該当する。4 つ目のグループは上記らの情報に属性を与え特徴づける属性付加のグループであり Table41 と 49 がそれに該当する。各テーブルはそれぞれに目的があり独立して使用できる一方で、テーブル同士を組み合わせ合わせた使用も想定されている。

CSI の Greg 氏によれば OmniClass の全てのテーブルをプロジェクトにおいて使用した例は、OmniClass による情報処理システムを限定的条件でテストしたパイロットプロジェクトが、民間と公共で各 1 例あるだけという。しかし、従来、積算に活用されてきた UniFormat や仕様書の作成で活用されてきた MasterFormat を下地とした Table21 Elements や Table22 Work Results は多くの主体から使用されている。その一方で使用主体が建物全体を分類することによって解決される情報管理のニーズがない Table11 や 12 のような分類はあまり価値を伸ばさないであろうということであった。

表 1 OmniClass の 15 種類のテーブル

表No	テーブル名	表No	テーブル名	表No	テーブル名
11	Construction Entities by Function	22	Work Results	34	Organizational Roles
12	Construction Entities by Form	23	Products	35	Tools
13	Space by Function	31	Phases	36	Information
14	Space by Form	32	Services	41	Materials
21	Elements	33	Disciplines	49	Properties

#### 2) 情報の段階的な精緻化の方法

OmniClass の Table21 Elements、Table22 Work Results、Table23 Products の分類は Autodesk 社の BIM ソフト Revit に実装されている。例えば Revit で扱うファミリには最初から Table23 のコードが割り当てられており、そのファミリが該当する製品 (Product) が定義されている。また、オブジェクト属性

のアセンブリコード、キーノートには、それぞれ Table21 と Table22 の項目を選択して機能 (Elements) と材料 (Work Results) を付与できる。図 2 は「金網の筒を空調システムの給気口として適用した物体」を対象に分析をした例である。このような特注品を単一の分類システムで定義することはできないが、複数の分類コードを組み合わせることで容易に定義できる。また、製品・機能・材料の情報を設計の進捗に応じて順次与えることは、情報の段階的な精緻化と同じ意味であることを明らかにした。



暖房システム	21-04 00 00	Services
	21-04 30	Heating, Ventilation, and Air Conditioning
	21-04 30 20	Heating Systems
スチール仕様	22-05 00 00	Metals
	22-05 59 00	Metal Specialties
給気口	23-33 00 00	HVAC Specific Products and Equipment
	23-33 49 00	HVAC Ductwork
	23-33 49 23	Grilles
	23-33 49 23 15	Supply Air Grilles

図 2 分類コード分析事例

### 3) 分類コードと積算・コスト情報の粒度

例えば、Table23 Products は、ひとまとまりの実態を定義する分類コード体系で、23-13 35 00 : 架構のプロダクト > 23-13 35 11 : 構造体の架構 > 23-13 35 11 13 : 柱-床構法 > 23-13 35 11 13 11 : 柱、という具合に階層化されている。GSA ではこの階層を「Cost Breakdown Structure」と呼ぶそうである。GSA ではその階層がそのまま見積り書式として利用される。多くの場合、企画設計段階に Level 3 の項目で官積算や精算レベルの見積書を作成するが、このような業務を支える仕組みが米国には整っている。例えば、米国のユニットプライスに対する価格情報誌である「RSMMeans Assemblies Cost Data」は、Table23 に元になっている Uniformat の階層で章立てし、掲載されている項目に Uniformat Level 3 の番号を採番している。Level 4 の項目で実績データを蓄積していれば、Level 3 の部位レベル、Level 2 の工事部分レベル、Level 1 の歩掛り単価レベルへと価格をまとめ、分析することが可能であると GSA では述べていた。

### 4) 考察

Table21~23 は、BIM モデルの詳細度と未関係に入力できる。然るに、企画設計の段階で部位別のコストを把握できていれば、予算内に建設コストを納めていく設計のマネジメントは十分に可能である。その理由を書きに延べる。

第 1 に、各 Table の元になっている分類コードが業界標準なので、様々な立場の技術者が

利用するソフトウェアで利用できる。

第 2 に、原価分析を視野に入れた階層構造を成しているため、発注者・設計者・施工者が各々見積りした内容を比較しやすい。

第 3 に、現場施工の部位、メーカーの製品、設備機器などを共通したコード体系で一意に特定できる。

第 4 に、BIM モデルを詳細に作り込まなくても日本の概算寄りは精度の高いコストを把握でき、発注者が目標価格を検討しやすい。第 5 に、部位別積算の考え方を導入すれば、早い段階での見積りと同時にライフサイクルコスト (LCC) を算出できる。

## 5. 主な発表論文等

[学会発表] (計 4 件)

① 横貝拓哉・蟹澤宏剛・志手一哉・安藤正雄：米国ユニオンにおける建設技能者の教育・訓練、評価、処遇のシステムに関する研究 建設現場の実態調査，日本建築学会大会（広島）学術講演，2017.8

② 横貝拓哉，蟹澤宏剛，志手一哉，安藤正雄，「米国ユニオンにおける建設技能者の教育・訓練、評価、処遇のシステムに関する研究—セントルイス及び周辺地区の事例—」，日本建築学会，第 32 回建築生産シンポジウム論文集，pp.263-268，2016.7

③ 林晃士，田澤周平，井上淳，志手一哉，蟹澤宏剛，安藤正雄，「米国における BIM を活用した民間発注者主導のプロジェクト運営に関する研究」，日本建築学会，第 32 回建築生産シンポジウム論文集，pp.169-174，2016.7

④ 田澤周平，林晃士，志手一哉，蟹澤宏剛，安藤正雄，「米国建築産業における BIM に関連する標準・制度に関する研究」，日本建築学会，第 32 回建築生産シンポジウム論文集，pp.133-138，2016.7

[その他]

ホームページ等

ArchifutureWeb 「パラメトリック・ボイス」連載にて

1) 志手一哉 「米国における建築技能者の先進訓練マシンと BIM」 2015.10.08 : <http://www.archifuture-web.jp/magazine/54.html>

2) 志手一哉 「米国で進む ICT とコード体系による生産性向上」 2016.12.08 : <http://www.archifuture-web.jp/magazine/164.html>

3) 志手一哉 「米国で進む ICT とコード体系による生産性向上 Part2」 2017.01.19 : <http://www.archifuture-web.jp/magazine/176.html>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

蟹澤宏剛 (KANISAWA Hirotake)

芝浦工業大学，工学部，教授

研究者番号：00337685

(2) 研究分担者

志手一哉(SHIDE Kazuya)

芝浦工業大学, 工学部, 准教授

研究者番号 : 60505353

安藤正雄(ANDO Masao)

東京大学, 生産技術研究所, 特任研究員

研究者番号 : 80110287

(4) 研究協力者

田澤周平(TAZAWA Shuhei)

竹中工務店