

令和 6 年 6 月 20 日現在

機関番号：21301

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2023

課題番号：19K04641

研究課題名（和文）社会インフラ設計支援のための知識・知恵のマネジメントシステムの研究

研究課題名（英文）Research of Knowledge/Wisdom Management System for Supporting Civil Infrastructure Design

研究代表者

蒔苗 耕司（Makanae, Koji）

宮城大学・事業構想学群・教授

研究者番号：10295404

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：近年、BIM/CIMを中心に建設生産の情報化が進展する反面、設計段階で求められる知識・知恵のマネジメントに関する研究はまだ発展途上である。本研究では道路設計を対象に、これまでの研究で定義した情報のピラミッドモデルを適用し、設計過程での配慮や工夫、意思決定における設計者や事業者の思考情報を格納できる情報モデルの構築を行った。既存の道路設計プロセスを対象にしたフロー分析を行い、情報連鎖構造の存在を明らかにするとともに、そのプロセスはセクショニングによる再帰構造として定義することができること、それぞれの設計段階は地形・地質・環境等を入力、幾何構造を出力とした関数として表現できることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

建設事業の中でBIM/CIMによる設計情報のデジタル化が急速に進展する中で、知識マネジメントに関する研究はまだ発展途上にある。本研究ではBIM/CIMの中で設計者の知識・知恵を蓄積するためのモデルを示すものであり、今後の技術継承を進める上で重要な手法を提供している。また情報フロー分析に基づく設計プロセスモデルの定義はアルゴリズムに基づく自動設計実現の可能性を示すものであり、今後のさらなる発展が期待できる。

研究成果の概要（英文）：In recent years, while the informatization of construction production has progressed, mainly through BIM/CIM, research on the management of knowledge and wisdom required at the design stage is still in its infancy. In this study, the pyramid model of information defined in previous studies is applied to road design, and an information model that can store information on the considerations and innovations in the design process and the thinking of designers and operators in decision-making is constructed. A flow analysis of the existing road design process was carried out to clarify the existence of an information chain structure and to show that the process can be defined as a recursive structure based on sectioning and that each design stage can be expressed as a function with topography, geology and environment as inputs and geometric structure as outputs. The results show that the design phase can be expressed as a function of input geomorphology and output geometry.

研究分野：土木情報学

キーワード：知識マネジメント BIM/CIM ライフサイクルマネジメント 道路設計 建設プロジェクト

### 1 . 研究開始当初の背景

近年、建築分野を中心に実用化が進む BIM ( Building Information Modeling ) を社会インフラへの適用に適用しようとする取り組みが国際的に進展している、例えば BIM の国際的な標準化団体 buildingSMART は社会インフラ部会を設置し、道路・鉄道等の設計情報モデルの標準化を進めている。各国でも BIM 導入に向けた取り組みが活発化しており、日本でも国土交通省を中心に、BIM/CIM ( Building / Construction Information Modeling and Management ) による 3 次元モデルと ICT を活用した建設生産システムの高度化を急いでいる。土木計画学分野でも、土木学会土木計画学委員会の下、3 次元モデル活用に関する研究小委員会が設立される等、理論的・実証的な研究が進められてきた。

このように BIM/CIM を中心として建設生産の情報化が進展する反面、設計段階で求められる知識や知恵のマネジメントに関する国内での研究はほとんど行われていない。BIM/CIM の根幹となる情報モデルは、部材毎の形状情報とそれに付随する材料等の属性情報から構成され、設計情報はこのモデルに格納され次工程に受け渡されていく。一方、社会インフラの設計は、様々な制約条件の下での設計者の試行錯誤、事業者・住民等を含めた意思決定等、人間の思考に基づき行われる。思考の過程は現状の設計過程では「報告書」に記述されるが、BIM/CIM の情報モデルとは分離されて CD-ROM 等の媒体により倉庫に保管され、後の工程からそれらを顧みることにも難しくなる。これらの人間の思考に関わる情報 ( 思考情報 ) をそのまま棄却して良いのであろうか。このような観点から、本研究は「人間の思考情報を BIM/CIM の中に入れ込み、それらから知恵・知識を形成するためにはどのような仕組みを創るべきか、またそれをどのように活用していくべきか」という問いを核心とするものである。

### 2 . 研究の目的

研究代表者は、過去の研究[1]において建設生産過程における情報構造を「ピラミッドモデル」として表現した。このモデルでは生成される全ての情報がリンクを通じて実空間の実体に接続されるが、現実の設計過程をミクロに見た場合には、実体に接続されることなく棄却される情報が存在する。

道路の路線設計を例にすれば、起終点を結ぶ複数のルート候補が試行錯誤的に導き出され、様々な指標に対する優劣評価がなされ、最終的な意思決定でルートが確定する。この過程において設計者の知識や知恵が最大限に発揮されるが、次工程に受け渡される設計情報には最終決定されたルートの幾何形状等の物理的情報に限定され、選定経緯や設計者の知恵や工夫等の情報は含まれない。しかし、これらの情報は、インフラ災害時や更新時に活用できるとともに、技術継承においても有用な情報である。

本研究では、ピラミッドモデルの情報の分岐点で行われる「意思決定」に注目し、意思決定の過程を含む情報を格納できる概念モデルを構築し、設計経緯や工夫等の情報を BIM/CIM の一部として情報モデルに格納・蓄積していく手法を明らかにする。

### 3 . 研究の方法

本研究では、主たる対象インフラを「道路」とし、設計者の思考情報や意思決定情報を格納する情報モデルの構築を行うとともに、現実の道路設計事例を基に情報連鎖構造の分析を行うとともに、それに基づく道路設計プロセスモデルの構築を行うものとし、以下のプロセスで研究を進める。

#### (1) 建設分野での情報マネジメントに関する動向分析

文献調査等に基づき、国内及び海外での設計情報のモデル化及び情報マネジメントに関する動向調査を行う。

#### (2) 意思決定情報を格納できる知識情報格納モデルの構築と検証

意思決定の過程を含む情報コネクタを Swelling of Knowledge ( SOK : 知識のふくらみ ) とする概念モデルを定義するとともに、既存の道路設計プロセスを対象として情報モデルの情報分析を行う。

#### (3) 道路線形上に知識情報を格納可能な情報モデルの構築

距離程で管理される道路線形上に、コントロールポイントの影響範囲を記録するとともに、設計者による配慮や工夫が行われた区間を記録できる仕組みを構築する。

#### (4) 知識情報を格納し得る道路設計プロセスのモデル化

現実の道路設計プロセスのフロー分析により情報連鎖構造を明らかにするとともに、知識情報を格納し得る道路設計プロセスモデルの構築を行う。

#### 4. 研究成果

##### (1)建設分野での情報マネジメントに関する動向分析

文献及び国際会議等により情報マネジメントに関する研究動向調査を行った。

1980年代以降、抽象的な概念に基づき構築される製品情報のモデルの開発が進み、標準化規約STEP (Standard for the Exchange of Product Model Data; ISO 10303) が策定された。また建築分野の標準モデルとしては、buildingSMART International による IFC (Industry Foundation Classes) が標準的な情報モデルとしての地位を得て国際標準化されており (ISO 16739), 多くのCADソフトウェアにも実装され、BIM普及の源流となっている。土木分野での適用は遅れていたが、土木分野への展開も進み、2024年までにIFC4.3-4.4として橋梁、道路、港湾と水路、鉄道、トンネル等のモデルが標準化の段階に到達している。国内でも2023年には国土交通省がBIM/CIMの原則適用を開始している他、高速道路各社や鉄道会社等の交通事業者もその導入に積極的に動き出している。

BIMの普及が進む中で、BIMを対象とした情報マネジメントの標準化が求められ、2013年に英国がPAS1192を発行、それをベースに2018年には国際規格ISO19650が策定された。ISO19650は建築物、土木構造物のライフサイクルにおける情報マネジメント指針であり、多くの関係者が参加するプロジェクトにおけるデータ管理の標準的な方法と手順を示している。

このようにBIM/CIMを中心に建設生産の情報化が進展する反面、知識マネジメントに関する研究は現在でもまだ遅れている状況にある。BIMに基づく知識マネジメントの重要性はいくつかの研究で指摘されているが[2]、最近の研究でもWang and Meng[3]が指摘するように発展途上にあり、特に道路設計に関連した知識マネジメントに関する研究はほとんど行われていない。

##### (2)意思決定情報を格納できる知識情報格納モデルの構築と検証

著者は文献[1]において、建設生産プロセスにおける情報構造を、抽象から具体的に接続するピラミッドモデルとして表現した(図-1)。このモデルでは、生成される全ての情報はリンクを通じて必ず実空間の実体に接続される。しかし生産プロセスをミクロに見た場合、実体に接続されることなく棄却される情報も存在する。道路設計を例にすれば、路線選定において、起終点を結ぶ複数の路線が候補として挙げられ、それぞれについて仮の設計作業がなされる。そして、候補路線について、様々な要素に対する優劣評価に基づき、意思決定がなされ、選定された1つの候補のみが次工程へと引き継がれる。この意思決定の経緯は報告書には記述されるが、情報構造物には残らない。しかし、この意思決定には人の知識・知恵が最大限に活用されており、その根拠(なぜこの路線が選定されたのか)は、複数のライフサイクル間での情報活用を考えた場合に有用なものとなり得る。インフラを対象とした情報マネジメントでは、データと情報だけでなく、知識・知恵を蓄積・形成する仕組みが必要であり、本研究では情報コネクタを有する概念モデルをベースとした。それぞれのコネクタは、複数の選択肢を有する知識のふくらみ (swelling of knowledge) として表現でき、このふくらみの中に、いずれか一つの選択肢を選ぶ意思決定の仕組みが含まれている(図-2)。これらの意思決定の仕組みを蓄積し、そこから経験則を導くことにより、知恵を構築する仕組みを作り出すことができる。

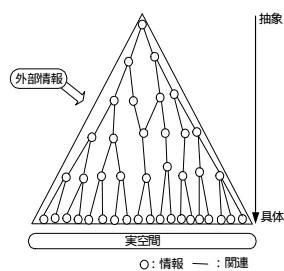


図-1 情報ピラミッドモデル

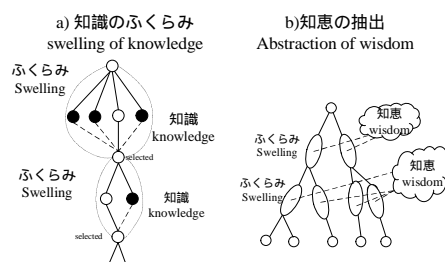


図-2 知識・知恵を含む情報コネクタモデル

道路幾何構造設計における知識構造モデルを解明するため、既存の道路設計プロセスを対象に情報フロー分析を行った。分析対象とした道路は、山形県内の大規模山岳道路である一般国道112号線「月山道路」である。当該道路は延長30.9km、5つのトンネルと36の橋梁を有し、1981年に完成している。道路建設プロセスは、国土交通省工事事務所発行の工事記録「月山道路工事誌」を基に行い、設計に関連する事項を設計情報として抽出し、情報の階層構造(ヒエラルキー)を簡単に示すことができるマインドマップを用いて表現することとした。図-3に分析結果の一部を示す。記録は明治前期に行われた前世代の建設プロセスを包含している。この分析により、現実の道路設計プロセスにおける情報ピラミッド構造の存在を明らかにした。

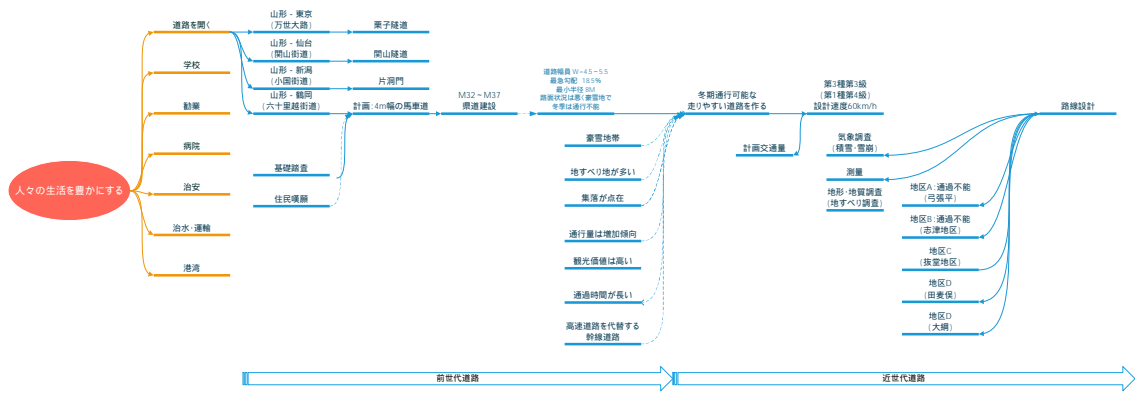


図-3 月山道路を対象とした道路設計プロセスの分析

### (3) 道路線形上に知識情報を格納可能な情報モデルの構築

道路の路線選定では、自然条件や社会条件による制約をコントロールポイントとして、諸条件を満たす、あるいは影響が最低限になるような最適な路線を導き出す。路線選定段階での設計対処(ノウハウ)を蓄積していくためには、道路中心線形となる曲線を構成する線形要素に対して、それらの情報を紐づけていく必要がある。道路設計では、一般的に道路中心線の距離程が基軸であり、対処情報も距離程に対して紐づけていくことが望まれる。しかし、路線選定段階では基軸の形状自体が定まらず、それに伴い距離程も変動する。図-4に路線選定プロセスの例を示す。設計道路の起終点を定めることにより、1本の直線が路線として定義できるが、実際には地形等の制約により曲線となり、道路延長は直線の場合に比べて長くなる。また例に示すように、トンネルや橋梁を用いた場合には、地形面に沿った場合に比べて延長は短くなる。本研究では、このような距離程の変動を解決する手法として、路線延長に影響を与える対処が生じるごとに、距離程変換テーブルを作成し、対処情報と紐づける手法を示した。

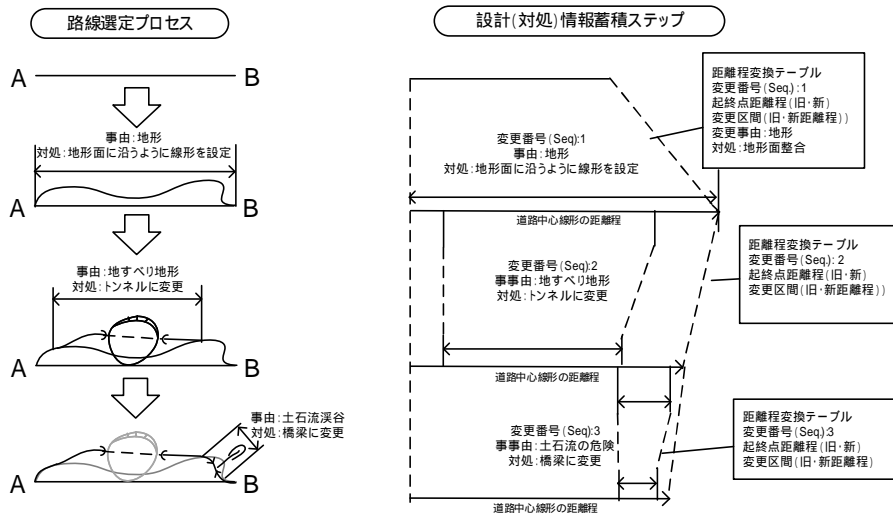


図-4 路線選定と設計(対処)情報蓄積プロセス

### (4) 知識情報に基づく道路設計プロセスのモデル化

(2)の「月山道路」の設計事例はデジタル情報を伴わない紙ベースでの設計が行われたものであるが、本研究ではBIM/CIMの適用を考慮した情報フロー分析を行っている。分析により得られた設計プロセスモデルを図-5に示す。設計プロセスは、概念設計、概略設計、基本設計、再帰的設計の4つの段階に分類でき、各段階で人間の知的活動の機能を包含する。

概念設計段階では、設計基準に基づいて道路ルートの基本情報(出発地、目的地、経由地)と道路のサービスレベルを決定する。関数  $f_1$  は、地域や交通状況、地理情報などの統計分析に基づき、出発地、目的地、経由地を出力する。

概略設計段階では、実際の道路位置と断面構成の基礎となる情報を定義する。関数  $f_{2HA}$  は地形モデルに基づいて概略道路線形を定義し、関数  $f_{2C}$  はサービスレベルに基づき断面形状を定義する。基本設計は、より詳細な地形、地質、環境情報に基づき、関数  $f_3$  を使用して道路の基本形状

を定義するプロセスであり，前プロセスと同様に，幾何構造はパラメータに基づき定義される．この段階で道路用地が決定し，その後は順次，用地買収が進められる．再帰的設計段階では，構築された道路線形上で構造物の種類毎に道路横断面が求められ，個々の構造物ごとに設計が実行される．形状は，機能  $f_{4E}$  の土工， $f_{4B}$  の橋梁， $f_{4T}$  のトンネルなど，構造別のパラメータを使用して構築される．

以上に説明したように，道路設計プロセスは設計者の思考プロセスの関数として考えることができ，設計オブジェクト  $Obj$  は式(1)により表すことができる．

$$Obj = f_n (\text{地形, 地質・環境, パラメータ(設計条件)}) \quad (1)$$

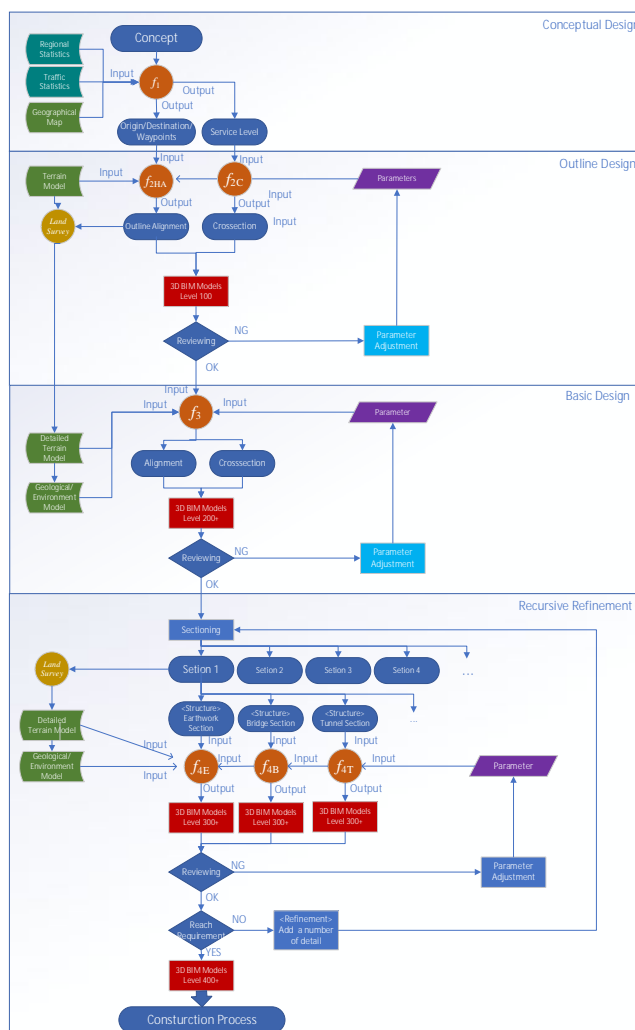


図-5 情報フロー分析に基づく道路設計プロセスモデル

今後は，提案手法に基づいた設計システムと知識蓄積モデルの構築を進めていく必要がある．また本研究では，山岳道路をケーススタディとしたが，より様々なステークホルダーが複雑に係わる都市部の道路も対象としたモデルの検証を進めていく必要がある．さらに，知識獲得のモデル化を進めるために，より多くの実験と分析を行う必要がある．設計プロセスの中での設計者の知識獲得プロセスを明らかにするとともに，蓄積された情報から知識や知恵を生み出すための研究が必要である．

< 引用文献 >

- [1] 蒔苗耕司：土木における情報の意義と役割，土木学会論文集 F, Vol. 64, No. 2, pp.148-162, 2008.
- [2] Fruchter, R., T. Schrottenboer, and G. P. Luth.: "From building information model to building 644 knowledge model." In Proceedings of International Workshop on Computing in Civil Engineering, 380-389. Austin, Texas: ASCE, 2009.
- [3] Wang, H., Meng, X.: BIM-supported knowledge management: Potentials and expectations. Journal of Management in Engineering, 37(4), 04021032-1 - 04021032-13, 2021.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 3件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Makanae Koji	4. 巻 1
2. 論文標題 Development of Knowledge Information Model for Highway Route Design	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Advances in Information Technology in Civil and Building Engineering	6. 最初と最後の頁 479 ~ 486
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-031-35399-4_35	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 蒔苗 耕司	4. 巻 19
2. 論文標題 BIM/CIM による設計情報のデジタル化と情報・知識マネジメントへの展開	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 総研レポート / 建設物価調査会総合研究所 編	6. 最初と最後の頁 15-22
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 富井 建, 蒔苗 耕司	4. 巻 75
2. 論文標題 建設プロジェクトのシステムアーキテクチャモデルとその応用	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 土木学会論文集F3 (土木情報学)	6. 最初と最後の頁 I_132 ~ I_140
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejcei.75.2_I_132	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Tatsuru Tomii, Koji Makanae, Raj Kapur Shah	4. 巻 -
2. 論文標題 Application and Analysis of System Architecture Model for Construction Project	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceeding of the 4th International Conference on Civil and Building Engineering Informatics	6. 最初と最後の頁 411-417
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 富井 建, 蒔苗 耕司	4. 巻 44
2. 論文標題 建設プロジェクトへのシステムアーキテクチャモデルの適用	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 土木情報学シンポジウム講演集	6. 最初と最後の頁 281-284
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計7件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 Koji Makanae
2. 発表標題 Development of Roadway Geometric Design Process Model for Knowledge Management
3. 学会等名 The 5th International Conference on Civil and Building Engineering Informatics (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Koji Makanae
2. 発表標題 Development of Knowledge Information Model for Highway Route Design
3. 学会等名 19th International Conference on Computing in Civil & Building Engineering (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 早川健太郎, 黒台昌弘, 蒔苗耕司
2. 発表標題 映像処理とKPIを用いた建設マネジメント手法
3. 学会等名 土木学会土木建設技術発表会2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 蒔苗 耕司, Mohamed Abdulrahman, 須田 清隆, 可児 憲生, 後藤 辰男
2. 発表標題 土木工事の4次元CIM管理のためのVR点群可視化システムの開発
3. 学会等名 土木学会令和3年度全国大会第76回年次学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 富井 建, 蒔苗 耕司
2. 発表標題 建設ライフサイクルにおける情報のフローモデル
3. 学会等名 令和2年度土木学会第75回年次学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 富井建, 蒔苗耕司
2. 発表標題 BIM/CIMとGIS統合のためのデータ連携
3. 学会等名 地理情報システム学会東北支部2020年度研究交流会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 蒔苗耕司
2. 発表標題 BIM/CIMにおける設計技術継承のための知識情報蓄積モデルの提案
3. 学会等名 令和元年度土木学会全国大会第74回年次学術講演会
4. 発表年 2019年



〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------