

令和 3 年 5 月 31 日現在

機関番号：12501

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2020

課題番号：18K13886

研究課題名（和文）構法知識と多様な部品表現による建築情報モデルとそのデータベースに関する研究

研究課題名（英文）Representation of Parts in Building Information Modeling Using Database and Building System Knowledge

研究代表者

加戸 啓太（KADO, Keita）

千葉大学・大学院工学研究院・助教

研究者番号：60727379

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,000,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、建築を構成する部品は三次元モデル上において様々な表現を取るということを前提に、建築物を部品と構法知識の集合として扱うための手法について考察した。まず、部品間に生ずる関係性を可視化することを行った。この結果から、部品が再帰的な親子関係を形成しながら表現を変えていくことに着目し、それを管理するためのデータベースの試作を行った。続いて、ビジュアルプログラミングを用い構法をアルゴリズム的に記述することを行った。これらを用いることで、部品間の関係性とそれらに適用された構法知識を管理しつつ三次元モデリングが行えることを確かめた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ボリュームとして表現された部品がより詳細な表現に編集される、あるいは、一つの部品が次の工程で複数の部品に分割されるなど、三次元モデル上において、建築を構成する部品は様々な表現を取り得る。このように、部品は様々な表現を取りうるという性質を有するが、表現の変化に伴い部品のIDが変わりうることでBIMにおける情報の紐付けを難しくしている。本研究は、このような問題意識から、部品に生ずる再帰的な親子関係を管理すること、部品に行われる操作をアルゴリズム的に記述した構法の適用として扱うことで、建築物を様々な表現を有する部品と構法知識の集合として扱うことを試みたものである。

研究成果の概要（英文）：In various applications of three-dimensional (3D) models in the life cycle of a building, the building parts are depicted using various representations. For example, the part represented as abstracted volume shapes will be edited into a more detailed part. It might have different detail patterns for comparing several ideas. In some cases, the part is deconstructed into several parts or, conversely, merged into a group.

The aim of this study is to consider building parts and building system representation that manages the parent-child-like relationship mentioned above. The results are summarized as follows.

First, the relationship between parts comprising a quadruped gate designed using a traditional building system were visualized as a network of dimensions, part classes, and instances. Second, a database system for managing the relationships was developed. Third, the methodology was evaluated by generating a detailed 3D model using 3D CAD and a 3D modeler.

研究分野：建築情報、建築構法、三次元モデリング

キーワード：三次元モデル 伝統木造構法 アルゴリズムックデザイン 部品管理

## 1. 研究開始当初の背景

建築構法とは、一言でいえば建築の構成方法に関する知識である。申請者は構法的な知識を、ひとまず建築を構成する部品の性質と、それで構成される部位の性質と整理し、特に伝統木造建築を対象にコンピュータ言語による知識ベース化を試み、三次元モデルを併用した知識表現とする取り組みを行ってきた。例えば、伝統木造建築における五つ半割の三つ斗組の部位は、その性質を記述した部位構成の知識に基づき、大斗や肘木といった部品に展開されるという親子関係で表されることになる。この関係を独自に用意したビジュアルプログラミング言語によりアルゴリズムとして可視化することも行った<sup>1)</sup>。

他方、建築のライフサイクルに着目すると、三次元モデル上で抽象的にボリュームとして表現された部品がより詳細な表現に編集されることや、壁が具体の材、例えば石膏ボードや柱など、に展開されるように、ある工程では一つの要素として扱われていた部品が次の工程では複数の要素に分割されることもある。複数の案に分岐して比較されることもあれば、逆に、簡単のためにグループのように一つの部品として結合されて扱われるなど、部品一つとっても様々な表現を取り得ることがわかる。

さて、部品は様々な表現を取りうるという性質は、**BIM: Building Information Modeling** における情報の紐付けを難しくしているといえる。三次元モデル内での ID が異なるものは別の部品として扱われ、工程が進むに伴い部品の表現が変わり、それに伴い ID が変わると、元の部品に紐付いていた情報は揮発してしまうからである。三次元モデルないしそれをオーガナイズする三次元 CAD は、部品は様々な表現を取りうるという性質をサポートしていることが求められる。

## 2. 研究の目的

本研究では、これまでに述べた問題意識を背景に、建築を構成する部品は三次元モデル上において様々な表現を取るということを前提に、建築物を部品の集合として扱うための手法について考察することを行う。部品に行われる様々な操作を、構法をアルゴリズム的に記述した構法知識の適用と位置づけ、部品間の関係性とそれらに適用された構法知識の管理を行う手法を実現することも目的に含める。対象とする建築の構法は、これまでの研究における蓄積の多い木造建築とする。

## 3. 研究の方法

以下の A~C に示すサブテーマに整理し研究を行った。

- A) 扱うべき部品の性質に関する考察
- B) データベースのスキーマ設計と実装
- C) 構法の知識化・アルゴリズム化

まず、「A) 扱うべき部品の性質に関する考察」では、各々の部品形状をシステムティックに決定する性質を持ち合わせる建築構法について、その入力となる寸法などのパラメータから部品が設計され、これらが組み合うことで建築が構成されるまでの流れを可視化することを試みた。C/C++による三次元モデリングシステム（図 1 左）上に寸法（Variable）、部品断面（Section）、三次元形状（Shape）、部品の雛形（Part）や具体の部品（Instance）

といった建築を構成する要素（図 1 右）についてクラスを実装し、これらを用いプログラミングを行うことで三次元モデルとその内部において生ずる要素間の関係性をネットワークとして可視化する仕組みを開発した。可視化されたネットワークおよび三次元モデリングの結果から、以降で扱うべき構法知識について考察を行った。

「B) データベースのスキーマ設計と実装」では、部品に対する操作を「変更」・「分岐」・「分割」・「結合」の四つに整理し、これらを履歴として記録することで部品 (ID) に紐付く情報を適切に管理できるようなデータベースのスキーマを考察した。

「C) 構法の知識化・アルゴリズム化」では、A)を通した考察 (4.1.にて後述する)、市販の三次元モデリングソフトウェア (Rhinceros) に用意されるビジュアルプログラミング環境 (Grasshopper) に高い実用性が確認できたこと、およびこれと建築向け三次元 CAD (ArchiCAD) を高度に連携する機能が提供されたことなどを理由に、三次元 CAD (ArchiCAD) と三次元モデリングソフトウェア (Rhinceros/ Grasshopper) を用いた検討を行った。

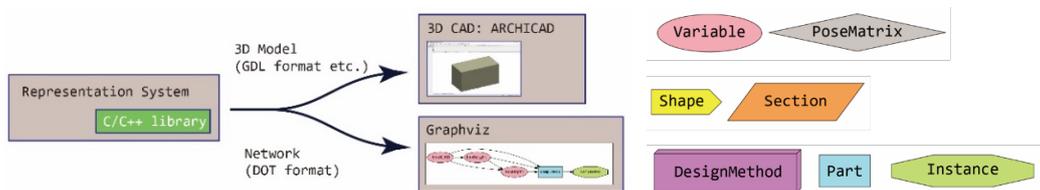


図 1 扱うべき部品の性質に関する考察で用いた三次元モデリングシステムの概要

## 4. 研究成果

### 4. 1. 扱うべき部品の性質に関する考察 (A)

実装した三次元モデリングシステムを用い、四脚門の三次元モデリングを行い、寸法と部品雛形の関係ネットワーク (図 2)、部品間の関係ネットワーク (図 3) を得た。前者は寸法から他の寸法が導き出され、部品雛形に入力されることで部品形状をはじめとした部品雛形から実体化される部品の性質が決定される様子が表され、後者では部品について、配置が

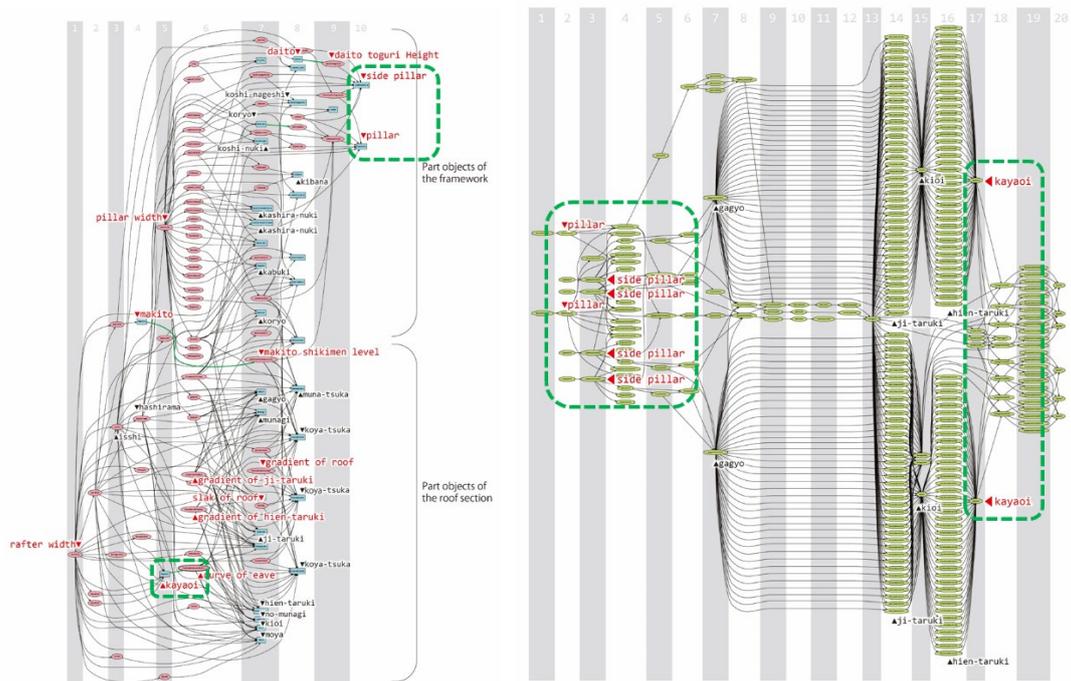


図 2 寸法と部品雛形の関係ネットワーク 図 3 部品間の関係ネットワーク

決定されるための依存関係と接続関係が表されている。なお、可視化に用いたソフトウェアにより、ノード（要素）はブランチ（関係、ネットワークのエッジ）ができるだけ交錯しないよう配置されている。

二つのネットワークから、寸法、部品雛形と部品に関する関係を整理すると、寸法と部品雛形では軸部、屋根部によらず複雑な関係を有し、加えて、要素の配置される順に着目すると、垂木の幅を起点に各寸法が導かれ、部品雛形では屋根部から軸部の順に、部品では軸部から屋根部へと決定されていくという構成をもつことがわかる。ある程度の部品の集合を取り出す際の切れ目を決めることの難しさが示唆された。

一方、ここでの試行において、部品雛形のクラスについては明快で簡潔な整理を行うことができた。部品雛形は入力された寸法から形状を決定する設計法（Design Method）と他部品との接続関係を扱う対象部品の名称（key）と位置姿勢（Pose Matrix）のペアをもって三次元モデル化に必要な性質を有すると整理できる。設計法には他部品との接続のための継手仕口に関する記述は含めておらず、このことにより部品雛形内で閉じた（部品雛形外の要素と関係を持たない）状態にできることが確認できた。以上から、本研究ではここでいう設計法に当たる寸法から部品形状を決定する手順、そして、ここで扱わなかった継手仕口などの納まり形状を決定する手順を「C）構法の知識化・アルゴリズム化」において対象とすることとした。

#### 4. 2. データベースのスキーマ設計と実装 (B)

先述のように部品に対する操作を「変更」・「分岐」・「分割」・「結合」に整理した。具体的には、直方体で表された部品に継手仕口などのディテールが加えられるなどの操作は「変更」、案として幾つかの表現が行われる操作を「分岐」、一つであった部品が複数の部品に展開される操作を「分割」、逆に一つに纏められる操作を「結合」とした。

部品に対しこれらの操作を行う場合、部品の ID が新たに割り振られることもあるため、これらにより生ずる部品の ID をトレースすることを考えた。これが適切に行われることで、部品表現の変化を履歴として追うことができ、かつ、何れかのタイミングで部品（の ID）に紐付けられた情報との対応も適切に管理を続けることができる。

データベースの該当部分を抜粋したスキーマを図 4 に示す。部品 A が部品 B と C に分岐する場合は関係テーブルに異なる操作 ID を与えつつ記録し、部品 C が部品 D と E に分割される場合は同一の操作 ID と共に記録する。

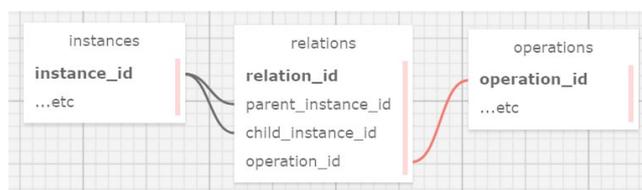


図 4 部品管理のスキーマ

#### 4. 3. 構法の知識化・アルゴリズム化 (C)

構法の知識化・アルゴリズム化 (C)は、ArchiCAD と Rhinoceros/ Grasshopper の連携機能である Grasshopper-ARCHICAD Live Connection を用いた法起寺三重塔の三次元モデル化を通して検討を行った。Grasshopper-ARCHICAD Live Connection では、図 5 に示すようなオブジェクト編集が可能である。

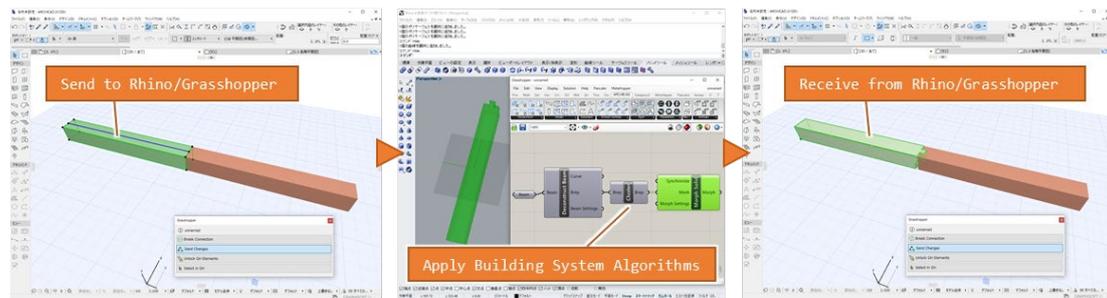


図 5 Grasshopper-ARCHICAD Live Connection での連携下でのオブジェクト編集の例

オブジェクト編集の過程においては、編集後（図 6 右）の部品には部品 ID が新たに割り振られ、1. で示したように別の部品として扱われてしまうことで、紐つけた情報が適切に扱えない状態となる。この問題に対し、4. 2. に示したデータベースにより部品 ID の関係を管理することで、「変更」・「分岐」・「分割」・「結合」の何れかの操作が加わった同じ部品の異なる表現であることが記録できることを確かめた。一方、各表現における形状の管理については検討の余地が残った。③として ArchiCAD に返される形状は三角形メッシュであるが、繰り返し操作を行うことを考えれば②での編集に多用される境界表現（B-Reps: Boundary Representations）の方が好ましい。データベースにおいて境界表現で記述した形状データを記録しておき、編集時に復帰するなどの方法が考えられ、引き続き検討を行うことを計画している。

構法知識をアルゴリズムとして記述することは、Grasshopper を用いた。部品形状を決定する手順については、斗や肘木、茅負などの曲線を有する部品についてケーススタディを行い、何れも問題なく記述できることを確かめた。部品の設計法に共通する技法（例えば秤肘木の曲線を描く技法など）についてもアルゴリズムを再利用できることを確かめた。Grasshopper では、Rhinoceros 上でドローイングした補助線などをアルゴリズムに取り入れることができ、部品の装飾部の形状表現も行い易かった。継手仕口などの納まり形状を決定する手順についても、幾つかの継手仕口のアルゴリズムを試作し、適切に動作することを確認した。どちらの手順においても、適用した構法知識の種別をデータベースの操作テーブルに記録する。これにより部品間の関係性がどういった構法知識の適用によって生じたか蓄積していくことができる。

#### 4. 4. まとめ

本研究では、建築を構成する部品は三次元モデル上において様々な表現を取るということを前提に、建築物を部品と構法知識の集合として扱うための手法について考察した。まず、部品間に生ずる関係性を可視化することを行った。この結果から、部品が再帰的な親子関係を形成しながら表現を変えていくことに着目し、それを管理するためのデータベースの試作を行った。続いて、ビジュアルプログラミングを用い構法をアルゴリズム的に記述することを行った。これらを用いることで、部品間の関係性とそれらに適用された構法知識を管理しつつ三次元モデリングが行えることを確かめた。

参考文献 1： 加戸、他、ビジュアルプログラミングによる斗栱部の部品・部位表現に関する研究、日本建築学会計画系論文集、第 82 巻 第 742 号、pp. 3259-3268、2017. 12

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 馬可嘉、堀江周平、加戸啓太、平沢岳人
2. 発表標題 伝統木造建築の精緻なデジタルアーカイブ作成とその活用に関する研究 その1
3. 学会等名 日本建築学会大会(東海)、学術講演梗概集、(社)日本建築学会、2021.9
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 堀江周平、馬可嘉、平沢岳人、加戸啓太
2. 発表標題 伝統木造建築の精緻なデジタルアーカイブ作成とその活用に関する研究 その2
3. 学会等名 日本建築学会大会(東海)、学術講演梗概集、(社)日本建築学会、2021.9
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大谷星輝、中村優介、寺内ひなの、高橋洋祐、林真那、加戸啓太、平沢岳人
2. 発表標題 伝統木造建築の制作を通じたマルチツールロボットシステムの開発 その1 複数人による協働を想定したWebベースシステムの概要
3. 学会等名 日本建築学会大会(北陸)、学術講演梗概集、(社)日本建築学会、2019.9
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 寺内ひなの、大谷星輝、中村優介、高橋洋祐、林真那、加戸啓太、平沢岳人
2. 発表標題 伝統木造建築の制作を通じたマルチツールロボットシステムの開発 その2 制作に関する情報の部材単位での管理手法
3. 学会等名 日本建築学会大会(北陸)、学術講演梗概集、(社)日本建築学会、2019.9
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中村優介、大谷星輝、寺内ひなの、高橋洋祐、林真那、加戸啓太、平沢岳人
2. 発表標題 伝統木造建築の制作を通じたマルチツールロボットシステムの開発 その3 マルチツールロボットの開発と制作の実践
3. 学会等名 日本建築学会大会(北陸)、学術講演梗概集、(社)日本建築学会、2019.9
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 加戸啓太、平沢岳人
2. 発表標題 伝統木造建築の寸法体系のネットワークによる表現に関する研究
3. 学会等名 第41回情報・システム・利用・技術シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Keita Kado and Gakuhiro Hirasawa
2. 発表標題 Two-Way Cooperation of Architectural 3D CAD and Game Engine
3. 学会等名 International Conference on Virtual Reality Continuum and its Applications in Industry (VRCAI 18) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Keita Kado Gakuhiro Hirasawa
2. 発表標題 Three-Dimensional Model and Network-Based Representation of Traditional Japanese Wooden Building System
3. 学会等名 Proceedings of the 24th International Conference of the Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA) 2019 (国際学会)
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
---------	---------