

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 25 日現在

機関番号：12501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420626

研究課題名(和文) 伝統木造構法に関する知識ベースの実装

研究課題名(英文) Knowledge representation for Japanese traditional wooden structure

## 研究代表者

平沢 岳人 (HIRASAWA, Gakuhiro)

千葉大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：30268578

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は伝統木造構法に関して宣言的に記述した知識ベースで表現することであった。最も複雑に部品が交錯し設計・施工が難しいと思われる屋根隅部を取り上げ、構法知識の記述を試み、成功した。得られた知識ベースから精緻なスケール模型を制作する実証試験もおこなった。これには汎用の産業用6軸腕型ロボットを改造した加工機を用い、実際の木材を切削して制作した。およそ100点に及ぶ部品を出力し組み合わせることで、屋根隅部のディテールを正確に再現することが出来た。1/5スケールの模型はこの手法の実大建築物への適用可能を示唆する足る成果である。

研究成果の概要(英文)： This research focused on how to represent Japanese traditional wooden structure knowledge with declaratively expression. I tried to write knowledge for a roof corner which may be most difficult to design and build, owing to its complicated assembly of parts. The demonstration to produce a precise scale model with the knowledge database was also tried. I made more than one hundred parts with cutting real wood by the processing machine that originally remodeled the 6 axis arm type robot. After that I succeeded to reproduce the detail of the roof corner part with putting the parts together. This 1/5 scale model is precise enough to suggest that the knowledge database is available in the real construction project.

研究分野：建築構法

キーワード：伝統木造構法 知識表現 幾何学 ロボット加工 ビジュアルプログラミング

### 1. 研究開始当初の背景

建築分野でのコンピュータ利用は年々盛んになっているが、建築構法の知識を記号処理可能な形で記述した研究成果はなく、今後の建築設計・施工でのコンピュータの有効活用を図るためには、建築構法の知識をコンピュータによる記号処理が可能な形式でデータベース化することが望まれる。

### 2. 研究の目的

(1) 構法が他に比較して複雑な伝統木造構法に対し知識表現を試み、建築構法の知識のデータベース化手法を検討する。特にディテールが複雑な屋根隅部の構法を対象として採りあげ、知識表現を試みる。これは、最も複雑な納まりの知識表現が可能であれば、他の納まりに関しても適用可能と推定されるからである。

知識表現はコンピュータによる記号処理が可能な形であることを必須の条件とする。また、これらをデータベースに蓄積し、他の応用システムからの利用を容易にする。構法知識をデータベースで管理するものを、以後構法知識ベースと呼ぶことにする。CAD などから構法知識ベースを参照することにより、これまで以上に質の高い建築設計・施工が可能になる。

(2) 屋根隅部を対象とした構法知識ベースの有効性を検証するため、実物にできるだけ近いスケールでの模型を制作する。3D プリント等の安易な造形装置に頼らず、実建築と同様に素材として木材を用いることとする。構法知識ベースに従って木材を切削して必要な部品全てを制作し、最終的にはこれらの部品を組み上げて精緻な模型とする。

伝統木造構法の部材には曲面部も多数含まれ、特別な訓練を経ていない者には制作は困難である。小刀や彫刻刀により制作できたとしても、正確な寸法での切削は不可能である。

そこで、木材の切削には、独自に開発したロボット加工機を用いることとした(図1)。ロボット加工機には、構法知識ベースと連携したCADシステムを用いて事前に設計しておいた屋根隅部の部材個々の三次元の形状情報を入力する。ロボット加工機は、丸ノコ、角鑿、鑿、エンドミルの4種類の刃物を装備したツールを適宜選択装着し、ロボットコントローラーからのオンライン操作で木材のワークを切削する。

実大での検証が理想的であったが、ロボット加工機の可動範囲の制限から、模型のスケールを1/5と設定した。1/5スケールならば、伝統木造構法における継手・仕口に関してスケールに起因して発生する強度的な対応のための改変は生じない。つまり、実大建築と同様の形状に切削することが可能であり、この模型は、構法知識ベースの実建築への適用可能性を示すのに十分であるといえる。

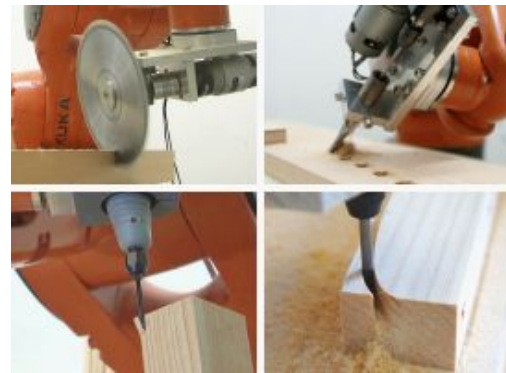


図1 オリジナルロボット加工機

### 3. 研究の方法

(1) 研究の前半においては、知識表現を述語論理によるものとし、具体的には Prolog 言語を用いることで記号処理可能なものとして実装した。また、知識記述対象としては伝統木造構法においても最も複雑である屋根隅部を取り上げた。

述語論理による知識表現は、知識共有の観点からは優れているといえないため、データベースへの知識の永続化と並行して、図的な表現を用いた構法知識の記述へと移行した。図2の右側に示すように、ノードとアークを用いた直感的に理解しやすい図表限形式を採用し、また、図的に表現された知識をデータベース内部では関係モデルで表現した。これにより、直感的でありながら知識の永続性が保証され、かつ、クライアント・システムを限定しない、知識ベースを構成することができた。

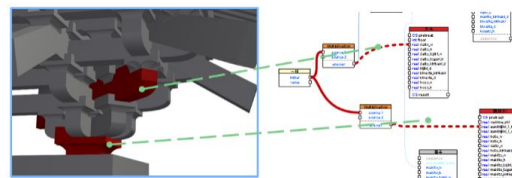


図2 木割りによる寸法体系の表現

(2) 複数種類のCADシステムから構法知識ベースを参照することで、フロントエンドのシステムに依存せず、横断的に、構法知識を活用できることを確かめた。(図3)

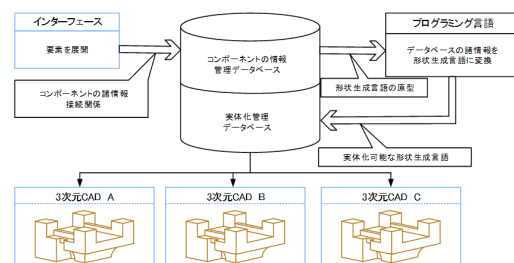


図3 知識ベースの活用

クライアントのCADシステムとして接続を試行したのは、ArchiCAD、FreeCAD、SketchUp、OpenSCADである。構法知識ベ

ースとの接続に関しては個々の CAD 毎にカスタマイズが必要であるが、構法知識ベースとしては同一のものを参照して利用できることを確かめた。

(3) 1/5 スケールの模型を実際の木材を切削して制作し、この知識ベースが正しいことを検証した。切削には独自に開発したロボット加工機を用いた。

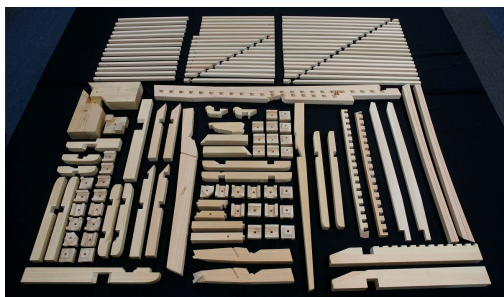


図4 屋根隅部全部材一覧

図4に屋根隅部の全部材一覧を示す。これらにおいては、伝統木造構法に特徴的な継手仕口を正確に再現している。また、屋根部の特徴として、そりと転びのある部材があり、また、それらが留めで納められるなど複雑で繊細なディテールがあげられる。このため、曲面部を含む部品も多数あるが、実建築のプロポーションを損なわないように図1に示したロボット加工機を用いて正確に木材を切削できた。図5は図4の部品をすべて組み上げた実証模型である。

図5では、伝統木造建築の複雑で美しい屋根隅部が正確に再現されている。この模型の制作により、複雑な伝統木造構法屋根隅部であっても、実用的な構法知識ベースを実現でき、また、多くの構法はこれに比較すれば単純なので、今回の構法知識ベースの構築手法が一般的に有効であることが確認できた。



図5 屋根隅部 1/5 スケール実証模型

#### 4. 研究成果

研究を完遂したことにより、初期の目的を達成し以下の成果を得た。

- 1) 建築構法の知識をデータベース化し CAD 等、コンピュータソフトウェアから活用可能であることを、具体例を持って示した。
- 2) 図的な表現で構法知識を記述することを可能にした。図的な表現では、構法知識の共有化の観点から優れていることを具体例を持って示した。
- 3) 独自に開発したロボット加工機を用いて知識ベースに基づいた部品加工をおこない、構法に忠実に対象部位を実現できた。この模型により、構法知識ベースが実用的かつ有益であることを確認した。

#### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計3件)

(1)高林弘樹、元池遼、加戸啓太、平沢岳人、多関節ロボットによる木材加工におけるツールパス生成に関する研究、日本建築学会技術報告集、第22巻、第51号、pp.813-816、2016.6、査読有、(doi未確定)

(2)高林弘樹、元池遼、加戸啓太、平沢岳人、多関節ロボットによる伝統木造構法の部品加工に関する研究、日本建築学会技術報告集、第22巻、第50号、pp.331-334、2016.2、査読有、doi:10.3130/aijt.22.331

(3)加戸啓太、高林弘樹、田中智己、平沢岳人、継手仕口による納まりのプログラム言語を用いた記述に関する研究、日本建築学会技術報告集、第21巻、第49号、pp.1297-1300、2015.10、査読有、doi:10.3130/aijt.21.1297

〔学会発表〕(計6件)

(1)戸田勇登、佐藤清貴、青野敏紀、高林弘樹、加戸啓太、平沢岳人、ビジュアルプログラミングによる伝統木造の構法表現に関する研究 その1、日本建築学会大会(九州・福岡県・福岡市)、学術講演梗概集、(社)日本建築学会、2016.8.25、

(2)佐藤清貴、戸田勇登、青野敏紀、高林弘樹、加戸啓太、平沢岳人、ビジュアルプログラミングによる伝統木造の構法表現に関する研究 その2、日本建築学会大会(九州・福岡県・福岡市)、学術講演梗概集、(社)日本建築学会、2016.8.25

(3)高林弘樹、元池遼、加戸啓太、平沢岳人、マルチツールロボットによる伝統木造構法の部品加工に関する研究 その1、日本建築学会大会(関東・神奈川県・平塚市)、学術講演梗概集、(社)日本建築学会、2015.9.4

(4)元池遼、高林弘樹、加戸啓太、平沢岳人、マルチツールロボットによる伝統木造構法の部品加工に関する研究 その2、日本建築学会大会(関東・神奈川県・平塚市)、学術講演梗概集、(社)日本建築学会、2015.9.4

(5)元池遼、會田健太郎、高林弘樹、加戸啓太、平沢岳人、マルチツールロボットによる伝統木造構法の部品加工に関する研究 その3、日本建築学会大会(関東・神奈川県・平塚市)、学術講演梗概集、(社)日本建築学会、2015.9.4

(6)加戸啓太、高林弘樹、田中智己、平沢岳人、継手仕口のプログラム言語による記述とその管理に関する研究、日本建築学会大会(関東・神奈川県・平塚市)、学術講演梗概集、(社)日本建築学会、2015.9.4

〔図書〕(計 件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

○取得状況(計 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.hlab-arch.jp/>

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

平沢 岳人 (HIRASAWA, Gakuhito)  
千葉大学・大学院工学研究科・教授  
研究者番号：30268578

### (2)研究分担者

### (3)連携研究者