

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

○加戸 啓太*¹ 平沢 岳人*²

キーワード：伝統木造構法 知識表現 ネットワーク 三次元モデル パラメトリックモデリング

1. はじめに

伝統木造建築は、その設計方法が匠明などに代表される体系的な設計方法によって整理されていることが知られている。これらでは、垂木の幅と垂木同士の間隔である一枝、ないし柱幅を基準とし、それとの比率により各部材の断面を定めている。部材が組み合う際の位置も同様に、他の部材の寸法との関係によって導くことができる。

筆者らは、このような伝統木造構法のパラメトリックな性質に着目し、伝統木造建築を構成する部品や部位（ここではいくつかの部品の集合を意味する）をパラメトリックな雛形としてプログラミング言語により実装することで、三次元モデル化しデジタルアーカイブとする研究を継続的に行っている。前報¹⁾では、この構法を表現することを目的としたビジュアルプログラミングについて、斗拱部を対象に考察し、独自のビジュアルプログラミング言語を実装した。このなかでは：

- ・ 寸法を決定し、墨付けを行い、加工するといった大工仕事と三次元形状表現のためのアルゴリズムを対応させること
- ・ 他の部材と組み合うときの位置関係を部品の性質として扱うこと

の二点に着目し、ビジュアルプログラミングのコンポーネントを定義し、部品の雛形を表現した。加えて、この部品の雛形を用い、斗拱部の部位構成を例に、寸法が決定され、それを入力に部品雛形により部品の形状が定まり、そのインスタンスとして部品が組み上がるといった構成のビジュアルプログラミングにて表現することを行った（図1）。

さて、上記のビジュアルプログラミングでは、部品寸法などの変数（variable）は基準となる寸法（公開変数、parameter）ないし他の変数を入力として定まり、形状や他の部品との相対的な位置関係を部品の性質として示す部品の雛形（class）はいくつかの公開変数、変数を入力として定まるといったような整理が行われている。部品のインスタンス（part）についても同様に部品の雛形と他部品のインスタンスとの接続を入力とし、形式的な表現が行われている。このように、伝統木造建築と体系的な設計法に関連する要素をモデル化し形式的に表したものをノードとすることで、その構法をネットワークとして表せないかと考えた。本報では、この着想に基づき、伝統木造建築の伝統的な設計法をネットワークとして知識表現しようという試行について報告する。

2. 研究概要

本稿では、伝統木造構法による楼門を対象に研究を行う。この三次元モデル化およびネットワーク表現は、伝統的な設計法の解説書である「大工寺ひな形」²⁾に基づき行う。この解説書は、「増補初心伝」と墨書きされた古文書をベースに、他の工匠による技法を取り入れつつ、現代の大工向けに整理、編集されたものである。古文書そのものの記述に基づいて研究を行うことも価値があると思われたが、その解説や細部など情報の不足する部分を補う作業に膨大な工数が掛かることが予想できたため、解説書を参考にする方針をとった。図2は解説の一例である。各部材の断面寸法が垂木寸法との比率で規定されている。同様に、各

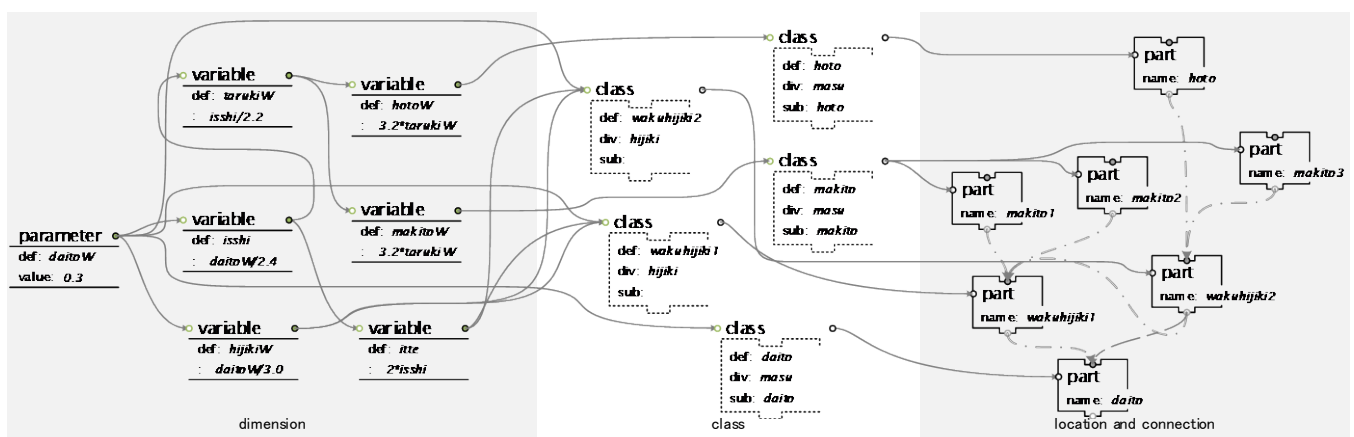


図1 前報（VPLシステム）による斗拱部の表現

部材を取りつける位置も垂木寸法によって定まる柱間ないし他の部材の断面寸法との関係式によって導けることがわかる。

三次元モデル化およびネットワーク表現のための知識表現システムの構成は図3の通りである。前述のVPLシステムを構築した際のC/C++クラスライブラリを通常のテキストプログラミングから呼び出す方法で行う。C/C++クラスライブラリには、楼門の三次元モデル化、およびネットワークとしての表現に向けて、扱う部品種別が増えるため、これらをより合理的に扱うことのできる構成とする拡張、三次元モデル化アルゴリズム上において生じたやり取りを各クラスにおいて依存関係として記録できるよう拡張、の二点を行う。拡張したC/C++クラスライブラリを用いながらプログラムを記述し、実行すると、GDL (gsm)形式^{注1}の三次元モデルに加え、DOT言語^{注2}で記述されたネットワーク（グラフ）が出力される。ネットワークはGraphviz^{注3}を用い可視化する。VPLのC/C++クラスライブラリを通常のテキストプログラミングから呼び出すというのは、VPLシステム開発時のデバック環境と近い状態である。今のところ計画していないが、VPLシステムをアップデートすることも可能である。

VPLではプログラムの記述そのものがネットワークのような表現となるため、この提案システムは遠回りのようにも見えるが、ネットワークとして出力（可視化）する要素を切り替え分析するといったことが行いやすいようなこの方針をとった。汎用の三次元モデリング用VPLでは、本研究で扱いたい伝統木造建築を構成する要素を形式的に扱うことが難しいという点、一方で伝統木造構法の表現に向け試作したVPLシステムは、あくまで検証用のものであり規模の大きな建築の適したものではない点も理由として挙げることができる。

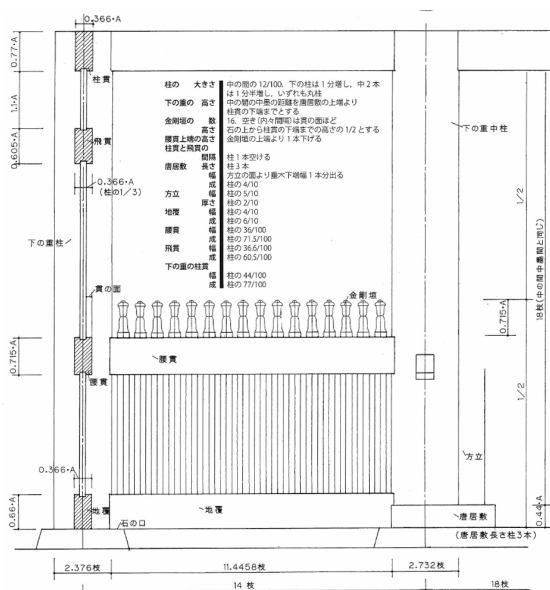


図2 解説書による初重軸部周囲の寸法体系注

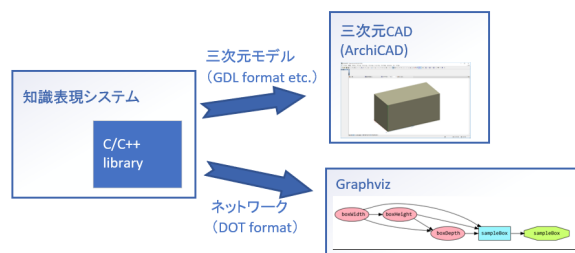


図3 知識表現システムの概要

3. 知識表現システム

知識表現システムの実装にあたってC/C++クラスライブラリに用意したクラスは以下に示す8クラスに大別できる。ネットワークは図4に示すようにクラスに対応するノードとそれらを繋ぐブランチで表現される。各クラスの役割とこれらによる三次元モデル化について以下簡単に説明する。なお、過去のVPLシステムとそれに関連する報告では、部品の形状と振る舞いを表現する部品雛形をClassとしていたが、プログラミングにおけるクラスと紛らわしいため、本稿では（図1を除き）部品雛形をPart、部品の実体をInstanceとしている。なお、Vertexノードについては内部の計算において用いられるが、今回の試行においてはそれに姿勢を加えたPoseMatrixクラスの並進成分として表現したほうが合理的なケースが多かったため可視化からは省略してある。

- ・ 寸法などを表現する Variable クラス
- ・ 三次元頂点を表現する Vertex クラス
- ・ 位置姿勢を表現する PoseMatrix クラス
- ・ 平面形状を表現する Section クラス
- ・ 三次元形状を表現する Shape クラス
- ・ 設計法を表現する DesignMethod クラス
- ・ 部品の雛形を表現する Part クラス
- ・ 部品の実体を表現する Instance クラス

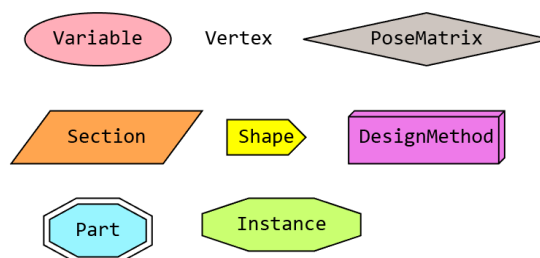


図4 各クラスを表すノードの凡例

- ・ Variable, Vertex, PoseMatrix

楼門では垂木の幅を基本に各部材の寸法が決定されていく。このような寸法関係を含め、数値として表される要素を表現するのが Variable クラスである。内部では、名称と計算式、計算結果（値）、計算に必要な他の要素の情報を依存関係として保持している。例えば、垂木幅と柱径の関係は、図5上に表示プログラムとなり、これから図5

下のようなネットワークができる。Vertex クラスでは Variable クラスのメンバを3個持つことで三次元頂点やベクトルを、PoseMatrix クラスでは12個持つことで、座標変換行列を表現する。

・ Section, Shape, DesignMethod

Section クラス、Shape クラス、DesignMethod クラスは、Part クラス内部において部品の形状を表現するために用いる。Section クラスの表現する平面形状は、部材を設計する際の作業平面における断面の形状を意味し、Shape クラスでは、これと断面を掃引する際の長さを意味する Variable を入力とする。DesignMethod クラスは、部材の設計法を表現するものである。もとの木材の形状を意味する一つの Section と、そこから加工によって切り取られる任意の数の Shape と PosesMatrix のセットを入力とする。図6は円柱の設計法を例に、これらのクラスによる関係性を示したものである。円柱の径 (hashiraR) によって断面 (workSection) が決まり、これと円柱の高さ (hashiraH) によって元となる木材の形状 (workShape) が表される。これとその姿勢 (workPoseMatrix、ここでは単位行列) のセット (pair) によって円柱の設計法が表される。図7は斗の設計法の例である。斗の場合、下部に斗繰と呼ばれる円柱状の加工があるため、これらの加工が四つの Shape と PoseMatrix のセットで表現されている。なお、本研究では、部品と部品が接合される際の納まり形状はこれらの定義に含めていない。

・ Part, Instance

Part クラスではそこから実体化される部品の形状を表現するため、一つの DesignMethod を持つ。加えて、他部品と接続する際に振る舞いを表現するために、部品の取り付けられる箇所の識別子 (接続識別子) と PoseMatrix のセットを任意の数持つ。このような構成となるため Part クラスは、DesignMethod、PoseMatrix を定義するために必要となる Variable を入力とすれば良い。部品の実体を表現する Instance は、その部品の雛形である Part と、その部品が組み付く相手となるいくつかの Instance およびその接続識別子が入力となる。

これらのクラスを用い、楼門の礎石 (plinth) に下の重側柱がのった様子を三次元モデル化すると、図8のような

```
RegVariable(tarukiW, 0.06);
RegVariable(tarukiH, 1.2 * tarukiW);
RegVariable(isshi, tarukiW + tarukiH);
RegVariable(chuouma, 18 * isshi);
RegVariable(hashiraR, (12 / 100) * chuouma);
```

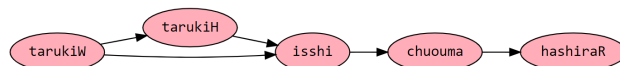


図5 垂木幅と柱径の関係

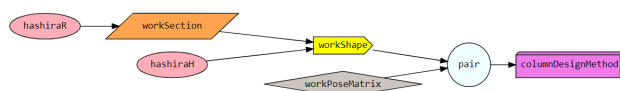


図6 円柱の設計法における関係性

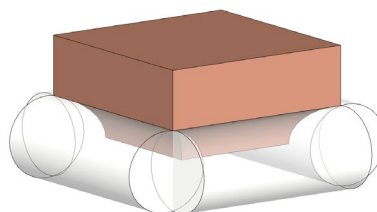
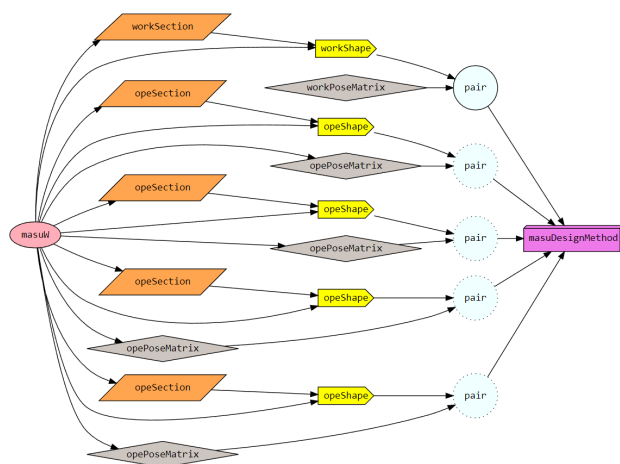


図7 斗の設計法における関係性

ネットワーク表現が得られる。ここでは、垂木幅 (tarukiW) をもとに関連する部材の寸法が定まりながら礎石と下の重側柱の部品雛形が定義され、その実体が配置される様子が可視化されている。

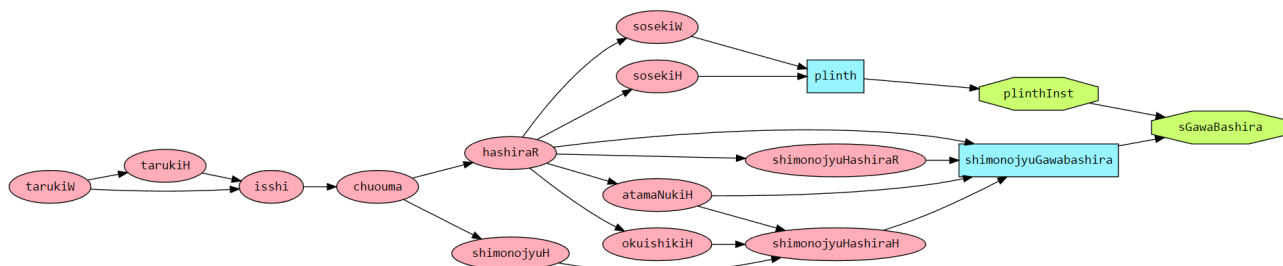


図8 楼門における礎石と下の重側柱に関連する要素のネットワーク表現

4. 楼門の一部のネットワーク表現と考察

図9に示す楼門の一部における、寸法と部品雛形の関係性を知識表現システムにより可視化したものが図10である。左側はネットワークを左から右に向かう階層レイアウトとしたもの、右側はばねモデルによりレイアウトしたものである。階層レイアウトからは、寸法体系が垂木幅を始点としていること、それから計算される柱径がハブのようになっていることが示されている。一方、下の重側柱や中柱の部品雛形は他の部品雛形が定まって以降決定されることがわかる。ばねモデルによるレイアウトでは、各部品雛形と寸法を繋ぐブランチが作用し、部品雛形がクラスタリングされていることがわかる。伝統木造建築を構成する部材は、部品の性質、具体的にはその形状や他の部品との接続関係の決定に要する寸法によっても整理できる可能性が示唆された。

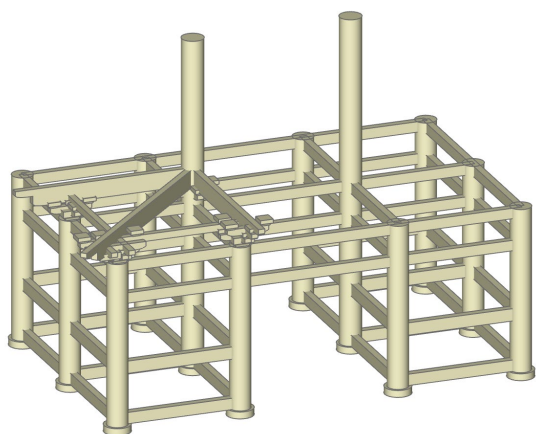


図9 楼門の一部

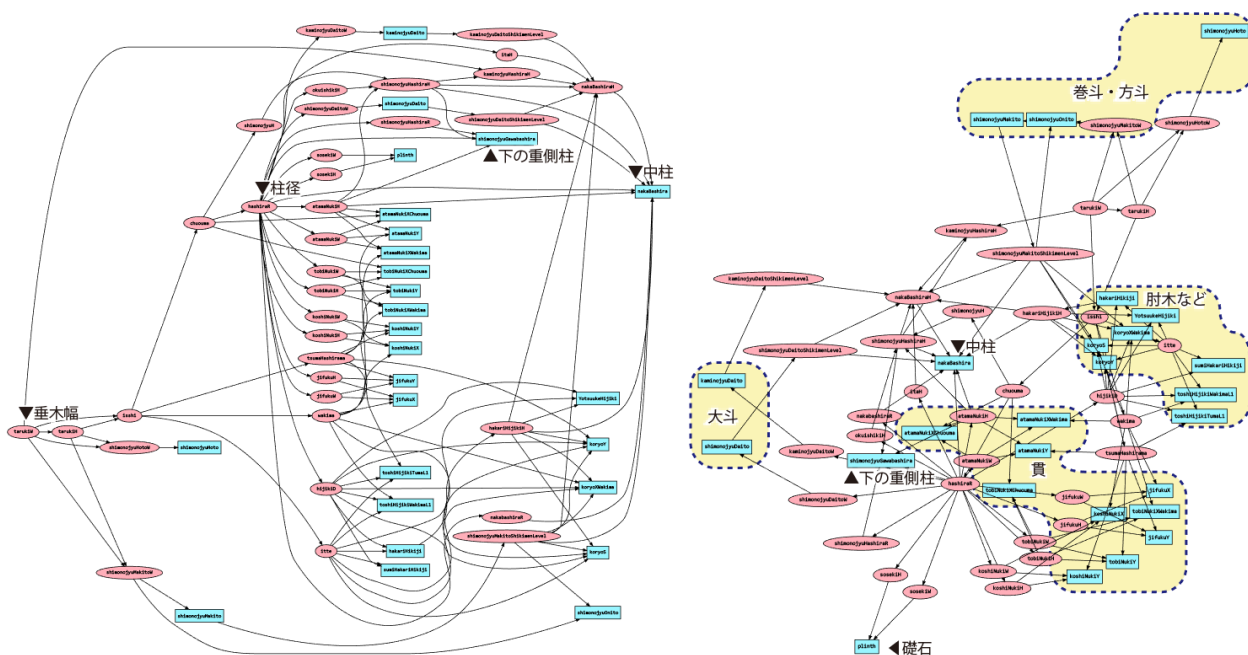


図10 図9に示す範囲の楼門の寸法と部品雛形に関するネットワーク表現 左：階層レイアウト、右：ばねモデルによるレイアウト

5. まとめ

伝統木造建築の三次元モデル化およびネットワーク表現を目的とした知識表現システムについて、概要およびその出力として寸法および部品雛形のネットワーク表現を示した。伝統木造構法の知識表現の一形態としての可能性について、楼門全体の三次元モデル化を進めつつ引き続き考察していくことを予定している。

なお、本研究は科学研究費補助金（18K13886）によるものである。記して感謝の意を表する。

[注釈]

- 注1. 建築用三次元 CAD である ArchiCAD (Graphisoft 社) 付属のオブジェクト記述言語。
- 注2. ネットワーク (グラフ) 状のデータ構造を記述するための言語。
- 注3. DOT 言語で記述された構造を可視化するためのオープンソースのツールパッケージ。
<https://www.graphviz.org/> (2018-10-01 アクセス)
- 注4. 参考文献2より抜粋した。

[参考文献]

- 1) 加戸、他：ビジュアルプログラミングによる斗拱部の部品・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
- 2) 富樫：大工 寺ひな形、理工学社、2004
- 3) Jungdae Park: BIM-Based Parametric Design Methodology for Modernized Korean Traditional Buildings, Journal of Asian Architecture and Building Engineering, vol. 10 no. 2, pp. 327-334, 2011.11

*1 千葉大学大学院 助教 博士 (工学)

*2 千葉大学大学院 教授 工博