図による推論を考慮した建築の空間構成の記述方法 および類似事例検索への適用

A METHOD OF DESCRIPTION THE COMPOSITION OF ARCHITECTURAL SPACE BY DIAGRAMMATIC REASONING AND ITS APPLICATION

曹 波*, 林田和人**, 渡辺仁史***

Bo CAO, Kazuto HAYASHIDA and Hitoshi WATANABE

In this paper, in order to understand and analysis the differentiate and similarity features of composition of architectural space, a method of describe the composition of architectural space by using Diagrammatic Reasoning and a distinction methods of the similarity of composition of architectural space are proposed. As a application, the proposed methods are introduced to our recently developed supporting system which is based on Case-Based Reasoning for design thinking processing to enhance retrieve of similarity of the space status for the design case.

Keywords: Composition of Architectural Space, Room Planning, Diagrammatic Reasoning, Case-Based Reasoning, Similarity

建築空間構成, 室配置, 図による推論, 事例ベース推論, 類似性

1. はじめに

建築の空間構成を中心とする建築設計では、図を主要な思考手法とすることは最も基本的なことである。そのため、設計思考支援のための知的CADシステムを構築するには、製図作業という図による問題解決ではなく、設計過程における図による空間思考を支援する問題解決こそが重要で不可欠である。

人工知能および情報処理の研究分野では、今まで知識表現の手段として、主に言語的表現を用いてきたが、空間が問題対象である場合には、人間の思考過程を純粋に言語的表現だけを使った論理的な過程としてモデル化するのでは不十分であり、問題解決能力にも限界があることが指摘されてきた。しかし近年、人工知能の分野で図を積極的に活用し、図形の表現方法および図形を対象とする推論を行う問題解決方法に関する研究という「図による推論(Diagrammatic Reasoning)」への関心が高まっている^[1]。図による推論の研究は空間推論、幾何推論、類推、視覚的プログラミング、画像理解などの研究と密接な関わりを持ちながら進められている。それらの研究は基礎的な研究だけでなく、各々の分野で応用面の研究も進められている。

一方、建築設計の分野でも、人工知能と情報処理の技術手法を用いた図の形態研究について幾つかがあげられる。太田は建築計画的

に意味のある空間の単位Sとその相互関係Lを機能図として、生活機能と建築空間の相互関係の表現を述べた^[2]。近年服部は住宅プランのn-LDKのように、記号化された建築の空間構成を記述する形式言語(生成文法)を提案し、その図形記述言語の可能性を述べた^[3]。青木は建築空間分析のためのスキーマグラマーによる一連の研究において、建築設計における図式性の概念の重要性を議論して、文法規則やその導出過程そのものが建築形態の特徴や意味を反映したものとなるという視点で、スキーマグラマーという概念とこれに基づく空間分析方法を提案した^[4]。さらに、SALという建築平面記述言語で平面構成を機械的に記号列で表記する方法を提案し、その文法を満足する平面かどうかを判定するパーズング方法を述べ、与えられる平面を規定している文法を構成する方法を示した^[5]。

本研究では、建築空間の差異と類似性という特徴を理解し把握するため、従来の形式文法による空間構成の記述方法とは異なり、建築の空間記述の簡素さおよびそのシステム化の実現的な容易さの面を考え、図による推論という問題解決方法を用いて、新たな建築の空間構成の記述方法およびその空間の類似性の判別方法を提案する。さらに、これらの方法を、著者らが近年研究を行っている事例ベース推論による設計支援システムに導入し、設計事例の空間の類似性に関する類似検索機能を拡張することについても述べる。

* 早稲田大学理工学総合研究センター 客員研究員・工博

** 早稲田大学理工学総合研究センター 客員講師・工博

*** 早稲田大学理工学部建築学科 教授・工博

Visiting Research Fellow, Advanced Research Institute for Science & Engineering, Waseda Univ., Dr. Eng.

Visiting Research Lecturer, Advanced Research Institute for Science & Engineering, Waseda Univ., Dr. Eng.

Prof., Department of Architecture, School of Science & Engineering, Waseda Univ., Dr. Eng.

2. 問題対象の定義

建築の空間構成は寸法という単純な幾何学的関係だけではなく、基本空間の方位、用途、機能、行動などの意味という関係をもっている。建築設計の初期段階においては、建築の室の機能と位置などの相互関係を思考することが重要で、室の具体的な寸法を決定する前の段階であると考えられる。つまり、室の寸法が少し違っていても、室の機能と位置関係が同じなら、思考過程にあまり影響しないものと考えられる。図1に示すように、Aは初期設計時の室単位空間の位置関係を示している。Bは、線で結ばれた二室の間に直接通路があり、初期設計時の室単位空間の間に相互連結関係があることを示している。CはAとBに基づく最終設計案で、具体的な寸法を付けた図面である。建築設計についての上記の考え方と図式化（図1）は参考文献^{[9][10]}に基づいている。

図1. 室の機能と位置関係図

本論文では、このような室配置という空間構成を問題対象とする場合に、空間の寸法を具体的に表現せず、室空間の機能や連結関係などの意味を重点とする記述方法及び評価方法を考える。

ここで問題を記述するため、次の概念を説明する。

建築空間とは常識的な意味で、建物の外部形態とその内部空間の単位、種類およびその相互関係からなるものである。建築の空間構成を理解する視点も、その規模、距離関係、隣接、用途、行動上の意味など多いが、その中で本論文では、建物内部の室の用途、室の隣接関係、および通路の連結関係に着目する。これらの概念は次のように定義する。

隣接関係とは、室と室が空間的に接しているという空間の単純な位置関係である。

連結関係とは、室と室の間がドアなどにより、直接通行の可能性を持つ関係である。

また、この隣接および連結関係を総称する場合には、接続関係と示す。

以上の背景をもとにして、本論文では、建築空間の機能、接続関係に着目し、建築の空間構成についての空間記述方法、およびその空間に関する類似性の判別方法を示す。さらに、設計事例の空間の差異を求めることによって、それらの方法を、設計事例の類似検索を行うことに適用する。

3. 空間構成の記述方法

前章で議論した建築の空間構成という問題対象の記述を簡略化して表現するために、次の条件を前提にして空間構成の記述方法を考える。

- 1) 住宅の室配置を問題対象とする。
- 2) 常識的な意味の室を単位空間として、その形状は矩形として考える。
- 3) 空間の具体的な寸法は表現しない。
- 4) 室の機能、室の隣接と連結関係という空間関係を評価要素とする。

以上を前提として、次に示すような記述方法で空間構成を定義する。

$$S = (\Sigma, V, A, P)$$

ただし、

Σ : 建築の空間構成における常識的な意味の室という具体的な単位空間の集合である。

V : 室の種類の集合である。単位空間の室の種類は次のように定義する。ある室空間は必ず一つの室類型に属する。

B : 私室

L : 居間

W : 洗面、浴室、便所

DK : 台所、食堂

H : 玄関ホール

A : 室空間の隣接と連結関係を記述する関係関数の集合である。これらの関係関数は次のように定義する。

$Above(x, y) : x \in \Sigma, y \in \Sigma \text{ 且つ}$

室 x が室 y の上にあるという二つの室空間の隣接関係。

$Left(x, y) : x \in \Sigma, y \in \Sigma \text{ 且つ}$

室 x が室 y の左にあるという二つの室空間の隣接関係。

$Move(x, y) : x \in \Sigma, y \in \Sigma \text{ 且つ}$

室 x と室 y の間に直接通行の可能性を持った連結関係。ここで、この関数の二つのパラメータの順番には関係がない。つまり、

$$Move(x, y) = Move(y, x)$$

P : A で定義した関係関数により、指定した条件をすべて満たす関係関数の集合である。

上述の空間記述方法を解説するため、図2の室配置を例として具体的に説明する。図2の()外の符号を室名とし、()内の符号を室の類型とする。太い記号「—」は、二室の間に通路があることを示す。

図2の空間構成を $S1$ とし、その構成要素は $\Sigma1, V1, A*, P1$ からなる。ここで A^* は、前述した空間構成 S にある A 要素と同じである。図2は $x1, x2, x3, x4, x5, x6$ という6つの室空間によって構成される室配置である。各室の類型については、 $x1$ 室は玄関ホール、 $x2$ 室は台所と食堂、 $x3$ 室は洗面と浴室と便所、 $x5$ 室は居間、 $x4$ と $x6$ 室は私室である。各室の間の隣接関係と連結関係は、 $Above(x, y)$ 関数が3つ、

図2. 室配置の例(S1)

Left(x,y) 関数が4つ、Move(x,y)が6つからなる。この空間構成の記述S1を図3に示す。

```

S1 = { Σ1, V1, A*, P1 }
Σ1 : { x1, x2, x3, x4, x5, x6 }
V1 : B = { x4, x6 }
      L = { x5 }
      W = { x3 }
      DK = { x2 }
      H = { x1 }
P1 : {
  Above(x1,x4) Above(x2,x5) Above(x3,x6)
  Left(x1,x2) Left(x2,x3) Left(x4,x5) Left(x5,x6)
  Move(x1,x2) Move(x1,x5) Move(x2,x3)
  Move(x2,x5) Move(x2,x6) Move(x4,x5)
}

```

図3. 空間構成S1の記述

4. 空間の類似性の判別

設計者にとって、空間の差異と類似性を把握することは建築空間を設計していく上で重要である。しかし、異なる建築空間の差異と類似性に対して、その評価尺度は極めて曖昧で、体系化された方法がないのが現状である。本論文では、建築の室という空間の差異を判別するため、前に述べた室空間の類型と、それらの隣接関係と連結関係に着目した評価尺度を考える。

ここで解説のために、もう一つの空間構成S2を例として、次の図4に示す。

図4. 室配置の例(S2)

図4に対応する空間構成S2を次の図5に示すが、その構成要素はΣ2, V2, A*, P2からなる。ここでA*は、前述した空間構成S1にあるA要素と同じである。図4の室配置はy1,y2,y3,y4,y5,y6から構成される。各室の類型については、y1室は台所と食堂、y2室は玄関ホール、y3室は洗面と浴室と便所、y5室は居間、y4とy6室は私室である。各室の間の隣接関係と連結関係は、Above(x,y)関数が3つ、Left(x,y)関数が4つ、Move(x,y)が6つからなる。

```

S2 = { Σ2, V2, A*, P2 }
Σ2 : { y1, y2, y3, y4, y5, y6 }
V2 : B = { y4, y6 }
      L = { y5 }
      W = { y3 }
      DK = { y1 }
      H = { y2 }
P2 : {
  Above(y1,y4) Above(y2,y5) Above(y3,y6)
  Left(y1,y2) Left(y2,y3) Left(y4,y5) Left(y5,y6)
  Move(y1,y2) Move(y1,y4) Move(y1,y5)
  Move(y2,y5) Move(y3,y5) Move(y5,y6)
}

```

図5. 空間構成S2の記述

4.1 室の類型の評価

評価方法として、前に述べた記述方法を用いて記述されている二つの建築空間構成のS1とS2における室という単位空間の構成集合(Σ1, Σ2)の間のすべての室について、同じ類型の室を照合する。照合した結果により、次の計算式を用いて室の類型の類似度を求める。

$$\text{室の類型の類似度} = 1 - \frac{\sum_{k=1}^5 [\psi(S_i, U_k) - \psi(S_j, U_k)]^2}{\sum_{k=1}^5 [\psi(S_i, U_k) + \psi(S_j, U_k)]^2} = 1 - \frac{\gamma}{\zeta} \quad \text{<式1>}$$

ただし、関数 $\psi(S_i, U_k)$ は、空間構成 S_i についての室の類型 U_k に属する室の数である。ここで、 S_i と S_j は異なる二つの空間構成であり、 U_k は前に定義した室類型 $V = \{B, L, W, DK, H\}$ の要素である。この式により、同じ類型の室が多い場合には式の値が1に近くなり、同じ類型の室が少ない場合には0に近くなる。つまり、室の類型の類似度は0から1までの値となる。

例とする空間構成S1とS2の場合に、室類型の類似度計算は次のようになる。

$$\begin{aligned} \gamma &= (\psi(S1, B) - \psi(S2, B))^2 + (\psi(S1, L) - \psi(S2, L))^2 \\ &\quad + (\psi(S1, DK) - \psi(S2, DK))^2 + (\psi(S1, W) - \psi(S2, W))^2 \\ &\quad + (\psi(S1, H) - \psi(S2, H))^2 \\ &= (2-2)^2 + (1-1)^2 + (1-1)^2 + (1-1)^2 + (1-1)^2 \\ &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \zeta &= (\psi(S1, B) + \psi(S2, B))^2 + (\psi(S1, L) + \psi(S2, L))^2 \\ &\quad + (\psi(S1, DK) + \psi(S2, DK))^2 + (\psi(S1, W) + \psi(S2, W))^2 \\ &\quad + (\psi(S1, H) + \psi(S2, H))^2 \\ &= (2+2)^2 + (1+1)^2 + (1+1)^2 + (1+1)^2 + (1+1)^2 \\ &= 32 \end{aligned}$$

$$\text{室の類型の類似度} = 1 - \gamma / \zeta = 1 - 0/32 = 1$$

4.2 室の接続関係の評価

室の接続関係は、位置の隣接関係と通路の連結関係を含む。その

評価方法として、前に述べた空間構成の記述方法を用いて記述されている二つの建築空間構成の関係関数集合の間で、全ての構成関数の照合を行う。その照合過程では、照合されるそれぞれの関数を構成する室の類型が同じ種類かどうかを比較する。

照合規則を、次のように隣接照合規則と連結照合規則に分けてそれぞれを示す。任意の空間構成 S1 と S2 の場合には、次のように定義される。

・隣接照合規則：

もし、S1の関数Above(x,y) $x,y \in \Sigma 1$ 且つ $x \subset v1, y \subset v2$

S2の関数Above(a,b) $a,b \in \Sigma 2$ 且つ $a \subset v3, b \subset v4$

且つ $v1=v3, v2=v4, v1,v2 \in V1, v3,v4 \in V2$

則：関数Above(x,y)と関数Above(a,b)は照合する。

ここで、 $x \subset v1$ はx室がv1型であることを示す。次の解説でも同じ意味である。

もし、S1の関数Left(x,y) $x,y \in \Sigma 1$ 且つ $x \subset v1, y \subset v2$

S2の関数Left(a,b) $a,b \in \Sigma 2$ 且つ $a \subset v3, b \subset v4$

且つ $v1=v3, v2=v4, v1,v2 \in V1, v3,v4 \in V2$

則：関数Left(x,y)と関数Left(a,b)は照合する。

室の隣接の類似度を、これらの照合規則によって、次の計算式を用いて求める。

$$\text{室の隣接の類似度} = 2 M_L(S1, S2) / (N_L(S1) + N_L(S2)) \quad \text{<式2>}$$

ただし、

$N_L(Si)$ は空間構成Siの関数集合Piに含まれる隣接関係関数の数

$M_L(S1, S2)$ はS1の関数集合P1とS2の関数集合P2に含まれる隣接関係関数の間の照合数

この式により、隣接関係関数の照合数が多い場合には式の値が1に近くなり、照合数が少ない場合には0に近くなる。つまり、室の隣接の類似度は0から1までの値となる。

・連結照合規則：

もし、S1の関数Move(x,y) $x,y \in \Sigma 1$ 且つ $x \subset v1, y \subset v2$

S2の関数Move(a,b) $a,b \in \Sigma 2$ 且つ $a \subset v3, b \subset v4$

且つ $v1=v3, v2=v4, v1,v2 \in V1, v3,v4 \in V2$

則：関数Move(x,y)と関数Move(a,b)は照合する。

室の連結の類似度を、これらの照合規則によって、次の計算式を用いて求める。

$$\text{室の連結の類似度} = 2 M_M(S1, S2) / (N_M(S1) + N_M(S2)) \quad \text{<式3>}$$

ただし、

$N_M(Si)$ は空間構成Siの関数集合Piに含まれる連結関係関数の数

$M_M(S1, S2)$ はS1の関数集合P1とS2の関数集合P2に含まれる連結関係関数の間の照合数

この式により、連結関係関数の照合数が多い場合には式の値が1に近くなり、照合数が少ない場合には0に近くなる。つまり、室の連結の類似度は0から1までの値となる。

以上の照合規則および計算式を解説するため、前に定義した空間構成のS1とS2を例として説明する。図6には隣接照合過程を示す。

図6の両側にある関数リストは空間S1と空間S2を構成する隣接関係の関係関数集合である。この二つの関数集合の間において、点線で繋いでいる関数が照合することを示す。線で繋がっていない関数は、照合できないことを示す。照合の結果により室空間の隣接の類似度は次の結果となる。

$$M_L(S1, S2) = 3$$

$$N_L(S1) = 7$$

$$N_L(S2) = 7$$

$$\text{式2によって、室の隣接の類似度} = 2 * 3 / (7 + 7) = 3/7$$

図6. 隣接照合過程

図7には連結照合の過程を示す。図6の隣接照合過程のように、図7の両側にある関数リストは空間S1と空間S2を構成する連結関係の関係関数集合である。この二つの関数集合の間において、点線で繋いでいる関数が照合することを示しており、線で繋がっていない関数は照合できないことを示す。

図7. 連結照合過程

照合の結果により室空間の連結類似度は次の結果となる。

$$M_M(S1, S2) = 5$$

$$N_M(S1) = 6$$

$$N_M(S2) = 6$$

$$\text{式3によって、室の連結の類似度} = 2 * 5 / (6 + 6) = 5/6$$

5. 類似事例の検索への応用

著者らは近年、事例ベース推論による設計支援システムに関する研究を行なっているが¹⁰⁾、建築設計は模倣から始まって新たな建築空間を創造する過程という視点から、本システムでは設計案に対して類似している既存設計事例から、設計手法および設計解を取得するという問題解決方法を考えている。

前報の文[11]中に述べた事例ベース推論システムの問題解決方法は図8のように、設計条件が与えられた時に、その設計条件の特徴に従って、事例ベースから設計問題にもっとも類似している事例を取り出すという方法である。ここでは、利用者は類似事例の設計解

と設計手法などを用いて新しいイメージを発想するという設計支援過程を想定している。その事例ベース推論過程において、設計の条件を記述する属性特徴を照合対象と考えて類似事例を検索していたが、設計事例の図面に関する類似性については言及していない。

図8. 事例による設計支援システムの枠組み

そこで本論文では、前に述べた空間構成の記述方法およびその空間の類似性の判別方法を事例ベース推論による設計支援システムに導入し、設計案と既存の設計事例の間における建築空間の類似性を求めることによって事例の類似検索を行う。以下、システムの実行過程を具体的に解説する。図9に示すのは、提案した方法により図による推論を考慮した類似事例の検索過程である。なお、図9と図10では、設計案をS1、設計事例をS2として説明している。

1) 建築の空間構成の定義

まず、設計案に対して、利用者がシステムのインタフェースを通して、画面で設定しながら、その空間構成を定義する（図9のA）。

具体的には、まずシステムが9または16個の単位空間のテンプレートを提供する。次に利用者は、設計案の室の機能、隣接、連結関係に従って、このテンプレートの単位空間を選択し、選択した単位空間に対してシステム画面のメニューから室のタイプを選び、また単位空間の間の境界線をクリックすることによって、通路を設定する。図10では、深い色の6つの単位空間が室に設定され、それぞれの室の機能、通路関係が設定されている状態である。

2) 空間記述の生成

定義した空間構成に対して、システムが前述した空間記述方法を用いて、システム画面の空間構成から内部記述形式に変換し、空間の室に対してその室のタイプ集合、関係関数を生成する（図9のB）。また、関係関数の生成の際に、空間構成の整合性に関する検証も行う。例えば、玄関を空間の真中に配置した場合には、システムがその整合性を自動的に判断する。

3) 関係関数の照合

設計案と設計事例の関係関数集合に対して、システムの推論エンジンが、前述した隣接照合規則と連結照合規則を用いて関係関数の照合を行う（図9のC）。

4) 類似度の計算

関係関数を照合した結果に基づいて、前述した空間の類似性の判別方法を用いて、与えられた設計条件に従って作成した設計案の空間形態と、事例ベースに保存されている事例の空間形態との類似度を求める（図9のD）。これは空間のタイプ類似度、隣接類似度、連結

図9. 図による推論を考慮した類似事例の検索過程

類似度からなり、問題解決に役立つ程度を判断してそれぞれに重みづけをして、計算された類似度を合計する。つまり、次の式4に示す類似度の計算方法を用いて、設計案と設計事例との空間の類似度を求めるのである。

$$\text{空間の類似度 } R = \sum_{i=1}^3 W_i \cdot R_i / 3 \quad \text{＜式4＞}$$

R1: 室のタイプ照合に関する類似度

R2: 室の隣接照合に関する類似度

R3: 室の連結照合に関する類似度

Wi: Riに対する特徴重み

さらに、事例の類似度の計算については、文[11]中において、設計案と設計事例の一般特徴に対して事例の類似度の計算方法を述べたが、ここでは、設計事例の空間特徴を考慮した事例の類似度の計算方法を次のように述べる。

$$\text{総合類似度} = \left[\left(\sum_{i=1}^n W_i * M_i \right) + W * R \right] / \sum_{i=1}^n M_i + 1 \quad \text{<式5>}$$

ただし、 W_i は設計案の一般特徴の第 i 特徴に対する重みであり、 W は空間の類似度の重みである。 M_i は設計案と設計事例の第 i 特徴に関する照合度であり、設計案の特徴が事例の特徴と照合する場合には1、照合しない場合には0と定義される。ここで n は設計案の一般特徴の数である。 R は、式4により求められた設計案と設計事例の空間の類似度である。

本システムでは、利用者が設計案の特徴について、問題解決に役立つ程度を判断して重みづけをすることができる。そして、システムが設計案と設計事例とを照合する上で、それらの重みを用いて上述の類似度の計算式で事例ベースにある各事例との類似度を計算し、類似度が高い候補事例を選ぶ。つまり、利用者が設定した重みにより、問題解決に役立つ類似事例が選ばれるのである。

図10. システム画面

6. まとめ

本論文では、建築空間の差異と類似性という特徴を理解し把握するため、室の配置を問題対象とする建築空間構成の記述方法、および室空間の類型と接続関係を中心とする評価方法を述べた。さらに、これらの方法を、文[11]で開発を行っている事例ベース推論による設計支援システムに導入し、空間の類似性に関する類似検索機能を拡張することについても述べた。これらの概念を実際のシステムに実装することにより、提案した方法の有用性を明らかにすることができた。

本論文では図による推論を考慮した建築の空間記述方法および空間の評価方法を示すことが主要な目的であり、解説をわかりやすくするため、空間の記述方法に関してもっとも基本的なものを解説し、空間構成の例についても単純な建築空間を例とした。しかし、本論文で提案した空間記述方法は容易に拡張することができる枠組みである。これらの点について、以下のように補充説明を行う。

室の類型については、私室、居間、(洗面、浴室、便所)、(台所、食堂)の5つに分類しているが、本記述方法では、別の分類でも可能な仕組みとなっているため、様々な視点から分類すれば複雑な空間構成が記述できる。例えば、浴室、便所を別の類型にすることも可能で、また、廊下や階段を一つの類型として扱うことも可能

である。

関係関数については、設計初期の建築イメージを発想する段階においては、建築空間の機能、位置、移動関係が重要であり、また提案方法を解説しやすくするという理由で、その関係を記述できるもっとも基本的な関係関数のAbove, Left, Moveを選んで提案方法を解説した。しかし、関係関数を拡張すれば、複雑な空間構成を記述することが可能である。

また、空間構成の記述方法の要素Pには、関係関数の論理的組合せが含まれるべきであるが、今回論文を解説しやすくするため、論理的組合せの内容に言及していない。空間構成の整合性については、利用者が定義した空間構成を内部記述形式に変換する際に、システムが空間の整合性の検証を行っているが、検証できない部分については、空間記述レベルおよび推論過程での整合性の判断方法を考える必要がある。これらの問題点を今後の課題として検討したいと考えている。

参考文献

- [1]特集「図による推論」, 人工知能学会誌, Vol.9 No.2, 1994
- [2]岩崎由美: 図による推論と定性推論, 人工知能学会誌, Vol.9 No.2, pp.183-189, 1994
- [3]中谷善雄: 図による推論の研究の最新動向, 人工知能学会誌, Vol.9 No.2, pp.210-215, 1994
- [4]開一夫、安西祐一郎: 空間的関係の推論と学習, 人工知能学会誌, Vol.9 No.2, pp.205-209, 1994
- [5]池邊陽(主査): 設計方法III, 日本建築学会建築計画委員会, 1974
- [6]服部孝生: 建築の空間構成を記述する形式言語(生成文法)の可能性, 日本建築学会計画系論文集, No.446, pp.89-97, 1993
- [7]青木義次, 大佛俊泰: スキーマグラマーによる空間分析の方法論と都市プランへの応用ー建築空間分析のためのスキーマグラマーに関する研究 その一、日本建築学会計画系論文集, No.446, pp.99-109, 1993
- [8]青木義次: 建築平面記述言語と空間構成解析方法, 日本建築学会計画系論文集, No.494, pp.153-159, 1997
- [9]黒沢和隆: 住宅平面計画へのパターン分析手法の適用性に関する研究, 日本建築学会計画系論文報告集, No.381, pp.90-99, 1987
- [10]黒沢和隆: 動線条件から平面構成パターンを導く図法を用いた住宅平面型のパターン分析手法, 日本建築学会計画系論文報告集, No.392, pp.41-50, 1988
- [11]曹波, 渡辺仁史: 事例ベース推論による設計初期段階における思考過程の支援システムに関する研究, 日本建築学会計画系論文集, No.496, pp.255-261, 1997

(1999年6月8日原稿受理, 1999年12月9日採用決定)