

氏 名	蘇 劍 鳴
授 与 学 位	博士 (工学)
学 位 授 与 年 月 日	平成18年3月24日
学位授与の根拠法規	学位規則第4条第1項
研究科, 専攻の名称	東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 都市・建築学専攻
学 位 論 文 題 目	周辺環境を重視した3次元室配置手法に関する研究
指 導 教 員	東北大学教授 三橋 博三
論 文 審 査 委 員	主査 東北大学教授 三橋 博三      東北大学教授 吉野 博 東北大学教授 植松 康      東北大学助教授 野村 希晶

## 論 文 内 容 要 旨

本研究は、現在コンピュータが単なる製図道具として普及し、利用されている建築意匠設計分野において、コンピュータの演算力そのものを生かして、設計初期段階において有効な発想支援システムの構築を目指すものである。平面構成過程に必要なユニット群の組み合わせ問題と捉え、その組み合わせパターン（以下、「配列」と呼ぶ）を解として導く室配置問題に新たな視点から取り組んでいる。様々な量的・質的価値が入り交じった建築平面を生成するにあたり、採光・プライバシーなど建築の性能に大きな影響を与える周辺環境を設計条件として設定し、平面計画案を効率的に絞り込んで設計者に提示する実用的な3次元室配置システムを開発した。

本論は、第1章（研究の背景と目的）、第2章（既往の研究）、第3章（研究の方法）、第4章（システムの構成手法）、第5章（3次元室配置生成結果）、第6章（結論）によって構成されている。以下、各章の概要と結論について述べる。

### 第1章 研究の背景と目的

第1章では、コンピュータの歴史と建築分野における全般的な利用方について述べると共に、建築CADシステムの利用の実態を重点的に考察し、その問題点を明らかにした。同時に、その原因を探り、建築設計のプロセスおよび設計行為の特徴という視点から、コンピュータによる建築デザイン支援の困難性を分析した。その背景を踏まえて、本研究の目的と研究の位置づけを明確にした。

建築の分野において、コンピュータ技術は設計、研究、生産などあらゆる方面に導入され活用されてきているのに対し、建築意匠設計分野においては、コンピュータは製図道具や、プレゼンテーション道具として用いられており、建築設計そのものを支援するツールとは未だなっておらず、建築意匠設計分野での新たなコンピュータ活用法の提案が求められていると思われる。

コンピュータに人間の知的活動を代替させようとする考え方は、人工知能研究という形でコンピュータの黎明期から発展してきた。建築意匠設計への適用が期待された技術としてはエキスパートシステムがあるが、問題解決型システムとして設計型のエキスパートシステムは未だ有効なものが開発されていない。

建築設計そのものを支援するツールとしてコンピュータシステムが実用化されていない原因の1つは、現行の建築CADシステムが作図作業の効率化を中心に開発されてきたためもともと設計思考支援に向いていないこと、もう1つは、コンピュータによる建築デザイン支援のフレームにおいて、問題定義、解生成、解検証についてそれぞれ難点があることである。

上記のコンピュータによる建築デザイン支援の困難性に対して、本研究では、独自の格子状マトリクス方式を用いた連結型の3次元モデルにより、数理的な評価値のみによる一義的な配列の評価によって室配置の最適化を求めるという手法を用いずに、採光・プライバシーなど建築の性能に大きな影響を与える周辺環境と室ユニットの関係を設計条件として、建築機能・性能評価値の低い配列を棄却するという方法で、多様かつ実用的な3次元配列を生成するシステムの構築を目指すこととした。設計者が検討可能な数の実用的な3次元配列を設計者に提示することにより、設計初期段階における設計者の思考を支援する室配置システムを提案することが本研究の目的である。

コンピュータを設計支援に用いる本研究の基本的な姿勢は、コンピュータが設計者の代わりに設計プロセス全体を遂行するものではなく、コンピュータが有する短時間での膨大な量の数学的演算力と人間が得意とする総合的判断力のそれぞれの能力を補完しあうことにより、建築意匠設計の効率化と質の向上に資するべきである、というものである。

## 第2章 既往の研究

第2章では、国内と海外におけるコンピュータを用いた建築関連の研究論文のレビューを行い、これまでに開発された室配置システムを中心に考察して、その問題点を明らかにした。

研究レベルでコンピュータを設計そのものの支援ツールとして利用しようとする試みは1960年代から行われ、設計者の思考を支援するツールの開発に関する研究や、設計者間の協調設計システムに関する研究などが報告されている。設計者の思考支援に関する研究を細分すると、室配置問題に関するもの、知的CADに関するもの、3次元モデリングシステムに関するものなどがある。これらの研究のうち、本研究に特に関連が深いと考えられる、設計者の思考支援システムの開発に関する研究、中でも室配置問題に関する研究について詳細に取り上げた。

室配置問題に関するものは、室や通路などの配置をコンピュータで自動的に処理し、室関係・日照などの一定の条件に適合するパターンのみを抽出するシステムに関する研究であり、2次元、3次元共に研究が進められてきた。室配置問題とは、建築設計における平面構成過程を、必要なユニット（一般的には室）群の組合せ問題へと還元して、その組合せによる配置パターンを解として導こうとするものである。これまでの研究は、ユニットを配置する方法という観点から連結型と分割型に、また、ユニットを平面上で表現する方法という観点から格子状マトリクス方式と直交座標方式にそれぞれ分類することができる。

それぞれの研究において解決すべき共通の課題はコンピュータによる建築デザイン支援の困難性と関わっているものが多い。それは、問題解決としての建築設計のプロセスにおける3つの部分、すなわち問題定義、解生成（室配置問題では配列生成）、解検証（室配置問題では配列評価）並びに3次元空間配置の中にある。本章で明らかにした既往のシステムの課題の要約を以下に示す。

### (1) 問題定義：

- ・ 建築平面構成をユニット間の関係だけで記述するのは不完全である。
- ・ 多様で個別の設計条件に柔軟に対応できる条件設定の機能はほとんどない。

### (2) 配列生成：

- ・ 配置単位となるユニットについて、ユニットの変形による膨大な組み合わせ数を制限するため、予め室ユニットの形状を決めている。
- ・ 室ユニットの全体構成関係が考慮されていないため、配列全体としての空間構成について架構性が欠如している。

### (3) 配列評価：

- ・ 室配置の最適化について、無限の条件の中で一つの最適解を求めるのは困難である。
- ・ 周辺環境の諸要素と室ユニット、配列との関係性の評価が十分に考慮されていない。

### (4) 3次元室配置：

- ・ 多層階建物としての上下方向の架構性および上下階層の室ユニット間の機能関係性が十分に考慮されていない。

## 第3章 研究の方法

第3章では、システムの設計理念を明確にした上で、研究の方法および3次元室配置システムを構築するための手法を述べるとともに、本研究で用いている用語の定義および本システムの要素、前提条件、入力条件の説明を行った。

コンピュータによる建築デザイン支援の困難性と既往研究の共通的な課題を踏まえ、有効な室配置システムを構築するため、コンピュータと人間がそれぞれ得意とする領域を生かすこと、設計者に提供する配列結果が多様であること、生成結果の利用上の実用性があること、具体的な設計条件に対する柔軟性があること、システム操作が簡便であること、をシステムの備えるべき特徴として明確にした。

上記の5つの特徴を備える室配置システムを開発するため、以下の4つの方法について述べた。

- (1) 実際の形を持たない室ユニットから構成されるトポロジカルな基本パターンを導入し、室ユニット相互の隣接関係を表すトポロジカルな配列を得る手法を用いた。これは、建築の平面構成という過

程を、コンピュータによる室ユニットのトポロジカルな組み合わせと設計者による形態操作とに二分し、それぞれを得意とするコンピュータと人間に振り分けることによって、その質を高めようとする方法である。本システムでは、多様な条件と要求に対応できる柔軟性、生成された配列を修正して実際の建築平面に応用する際の利便性、生成された配列の実用性、建物の類型に対する適合性から、 $3 \times 3$ の格子状マトリクスを用いたトポロジカルなパターンを平面の基本構成とした。これにより、室ユニットの形状を予め決めなければならないという課題を回避し、平面配列の架構性に欠けている課題を対処した。

- (2) 周辺環境と建物の関係を考慮しながら配列の評価を行うために、室の採光・プライバシー、並びに室ユニットの基本機能を保つのに必要な寸法に基づいて、各室ユニットの建築的属性を分類した。それらの属性と周辺環境との相互関係によって評価基準を定め、生成された配列を評価することで、実用性の高い配列を獲得するものとした。
- (3) システムに具体的な設計条件に対する柔軟性を持たせるために、室ユニット間の連結条件と室ユニットの特定位置条件という二種類の限定配置条件設定を導入した。この方法によって、設計者が様々な要求条件を整理し限定配置条件に変えて、システムに指定できるようになる。
- (4)  $3 \times 3$ 格子状マトリクスの基本パターンに基づき生成された各階平面配列を組み合わせることによって建物全体の立体構成を行い、周辺環境および各階の垂直方向の関係による建物全体の採光・プライバシー・上下機能関係性・上下面積対応関係性の評価を行うことにより、単なる平面の積み重ねではない3次元的な建築の室構成を生成する方法を用いた。

本研究では、配列を生成する建物の用途として一階から三階までの戸建て住宅を対象としている。配置単位は室ユニットである。一般的な戸建て住宅に対応させるため、寝室、居間、台所、などのほか、階段室、庭、吹抜けも室ユニットとして採用している。周辺環境として敷地方位（東、西、南、北）、敷地の隣接要素（建物、空地、小道、大通り）、敷地寸法をシステムに導入した。システム操作の利便性を追求するため、周辺環境、室ユニットなどの要求条件の入力は全て GUI ベースのダイアログウィンドウとして設計した。

#### 第4章 システムの構成手法

第4章では、配列の生成のアルゴリズム並びに配列の建築機能・建築性能の評価方法、評価基準、結果の出力などシステムの構成および室配置手法を述べるとともに、システムのデータ構造について述べている。

システムのフローは、初期条件入力 ⇒ 各階室条件入力と平面配列の初期生成 ⇒ 各階平面性能の要求設定と評価 ⇒ 限定配置条件の入力と評価 ⇒ 建物全体性能要求設定と3次元配列の生成・評価 ⇒ 結果の出力、という順に設計している。システム全体は設計条件の入力部分、配列生成と評価の計算部分、計算結果の表示部分の3つの部分から構成されている。

- (1) 設計条件の入力部分では、建物の立地条件（敷地の方位、境界条件、寸法）、階数、各階室条件（室名、室数、室面積）などをシステム計算開始の必要な初期値として設けている。生成された配列の性能を評価するため、平面性能要求値（採光とプライバシー）、建物全体性能要求値（採光・プライバシー・上下機能関係性・上下室面積対応関係性）および限定配置条件（特定の室間の連結条件、特定の室配置の方位条件）を条件として導入した。また、室ユニットの建築的属性の分類も設定可能な条件にした。
- (2) 配列生成と評価の計算部分では、入力条件に基づき、各室ユニットおよび各階平面配列の組み合わせを全て探索するという方法で平面配列および3次元配列を生成させながら、平面配列の機能・性能の評価、限定配置評価、3次元配列の性能評価を行い、評価値の高い配列を獲得するという室配置のアルゴリズムを採用した。

平面配列機能評価は、平面配列が各室間の機能関係成立条件、道路アクセス条件および敷地の収まり条件を満たしているかどうかを判断するようにした。

平面配列の性能評価に関しては、分類された各室ユニットの採光とプライバシーに関する建築的属性を基本に、外的な立地条件と内的な隣接室条件を取り入れた上で、各階平面配列を構成している各室ユニットに対して採光とプライバシーの満足状態を調べ、その度合を数値で表し、設計者が指定された採光とプライバシー性能要求値とを比較するという方法を用いた。

建物全体性能の評価は4つの項目から構成される。建物全体の採光性能の評価では、平面配列の上

階による遮光の影響を取り入れ 3 次元配列の採光評価を行う。建物全体のプライバシー性能の評価にあたっては、3 次元配列を構成する各階平面配列のプライバシー性能の評価値の平均値を建物全体の評価値として使用する。上下機能関係性の評価は、建物各階の室ユニット間の機能関係性を縦方向の妥当性で評価することにした。上下室面積対応関係性の評価は、建物各階の室ユニット間の面積関係を縦方向で比較して、建物全体の構造上の架構性を評価することとした。

- (3) 計算結果の表示部分では、室面積なしの単純なトポロジカル配列の図形形式表示、室ユニット面積と敷地寸法のある配列の図形形式表示、各入力条件および生成された配列のテキスト形式の表示および 3 次元配列結果の全体性能の統計の表示 4 つの形式で表示できるようにした。

プログラムは C++言語を用いて記述されており、基本的にクラス単位でデータ構造となっている。

## 第 5 章 3 次元室配置生成結果

第 5 章では、システムの有用性を検証するため、本研究で採用した手法のいくつかについて、条件を変更させた上で計算を実行し、生成結果を比較・考察した。また、生成される配列と実作との比較、及び生成される配列をもとにした平面図の試作によって、生成される配列の有効性の検証を行った。その結果、本システムによる生成結果は各条件や要求に対応しつつ、戸建て住宅の平面として実現可能なものとなっており、本システムは設計の初期段階における設計者の思考支援システムとして有効なものであることが確認された。

## 第 6 章 結論

第 6 章は、本研究で得られた結果をまとめ、本研究の結論を述べると共に、今後の展望として本システムの考え方及び構築手法を新しく他の建物用途に対応させるための方法について述べた。

本研究の成果として、以下のようなことがあげられる。

- (1) これまでの研究において、膨大な組み合わせ数を回避するために室ユニットの形状を予め決めておくという方法に代えて、トポロジカルな基本パターンを導入し、室ユニットの具体的な形状を考慮しないことにより生成配列数が膨大になるという問題を回避し、多様な平面計画案を獲得できた。
- (2) 室配置と周辺環境との関係への配慮不足という課題に対して、各室ユニットの採光、プライバシーに対する要求および室機能ごとの最小寸法に基づいた建築的属性を各室ユニットに与えることによって、それらの属性と周辺環境との相互関係から、建築平面性能を評価し、設計者が処理できる範囲でより価値の高い配列を提示した。
- (3) 無限条件の中で最適解を求めることが困難であるという課題に対して、1 つの最適解を求めずに、配列の機能評価と性能評価を通じて、評価値の高い配列の集合を獲得し設計者の思考を支援することを可能にした。
- (4) 限定配置条件を導入することによって、特殊な要求条件のある場合や、人間が予め設計判断を下したい場合に、設計者の意図的な考え方を取り入れ、具体的な設計条件として指定できる機能をシステムに持たせることができた。
- (5) 配列の架構性の欠如という課題と、3 次元空間配置における上下階層の室ユニット間の機能関係性が十分に考慮されていないという課題に対して、3×3 の格子状マトリクスに基づき、配列全体の架構性を維持しながら、周辺環境および各階の垂直方向の関係による建築全体の採光・プライバシー・上下機能関係・上下面積対応関係性などの評価を行うことによって、立体的なモデルを構築し、実用的な 3 次元配列が生成できた。

# 論文審査結果の要旨

本研究は、設計初期段階に有効な発想支援システムの構築を目指して、平面構成過程に必要なユニット群の組み合わせ問題として捉え、その組み合わせパターンを導く室配置問題に新たな視点から取り組んだもので、全編6章よりなっている。

第1章は序論であり、本研究の背景と目的について述べている。

第2章では、コンピュータの建築設計行為への利用、とりわけ室配置問題を中心とする設計者の思考支援システムの開発に関する既往の研究について調査し、研究課題を明確にした。

第3章では、本研究で開発するシステムの設計理念と研究方法を明確にすると共に、用いられる用語の定義や前提条件等を示した。本システムでは、多様な条件と要求に対応できる柔軟性、生成された配列を修正して実際の建築平面に応用する際の利便性、生成された配列の実用性、建物の類型に対する適合性から、 $3 \times 3$ の格子状マトリクスを用いたトポロジカルなパターンを平面の基本構成にして、室ユニットの形状を予め決めなければならないという既往のシステムの課題を回避し、平面配列の架構性に欠けている課題にも対処した。

第4章では、3次元室配置パターン生成のアルゴリズムとその評価方法、結果の出力などについて述べている。

第5章では、提案システムの有用性を検証するために、様々な条件の下に計算を実行し、生成結果を比較・考察した。その結果、本システムは設計の初期段階における設計者の思考支援システムとして有効であることが確認された。

第6章は結論である。

以上、要するに本論文は、様々な量的・質的価値が入り交じった建築平面を生成するにあたり、採光、プライバシーなどの、建築性能に大きな影響を与える周辺環境を設計条件として設定し、平面計画案を効率的に絞り込んで設計者に提示する実用的な3次元室配置システムを開発したものである。特に建築の平面構成という過程を、コンピュータによる室ユニットのトポロジカルな組み合わせと設計者による形態操作とに二分し、それぞれを得意とするコンピュータと人間に役割を振り分けることによって、その質を高めようとする方法を示した点で、建築学の進展に寄与するものである。

よって、本論文は博士(工学)の学位論文として合格と認める。