

氏名（本籍） まつ かわ しょう へい 松川昌平（石川県）
学位の種類 博士（工学）
学位記番号 甲第924号
学位授与の日付 平成29年3月18日
学位授与の要件 学位規則第4条第1項該当
学位論文題目 建築設計プロセスの進化論的枠組みにおける
アルゴリズムック・デザインのプロトタイプ
構築に関する研究

論文審査委員 （主査）教授 宇野 求
教授 郷田 桃代 教授 今本 啓一
教授 倉渕 隆 教授 高橋 治
教授 伊藤 香織 教授 岩岡 竜夫
慶応義塾大学大学院 理工学研究科
開放環境科学専攻 准教授 岸本 達也

論文内容の要旨

本論文は、近年進展しつつある「アルゴリズムック・デザイン」という建築の設計プロセスに関する基礎的研究である。建築設計プロセスに関する研究は、建築の工業化を背景として60年代に盛んに行われたが、その後70年代には一旦下火となった。しかしながら、95年以降の建築の情報化を背景として再び盛んに研究がなされてきており、今一度各種設計プロセスを総合的に研究することは、70年代に指摘された設計プロセス論の限界を情報テクノロジーによって乗り越え得る可能性があるという意味で現代的な意義があると考えられる。

本論文の目的は2つある。1つ目の目的は、(1)アルゴリズムック・デザインとその他の各種設計プロセスを「進化論的枠組み」という同じ枠組みの中に位置づけることを通して、それらの共通点や相違点を明らかにすることである。設計プロセスの分類に関する既往研究としては、C. アレグザンダーの『形の合成に関するノート』やJ.C. ジョーンズの『デザインの手法』、そして日本建築学会の設計方法小委員会編の『設計方法』パンフレットシリーズなどにおいて様々な方法が提案されているが、本論文では、それらコンピュータ導入以前の設計プロセスと共に、コンピュータ導入以後の設計プロセス——アルゴリズムッ

ク・デザイン、パラメトリック・デザイン、バイオメティック・デザインなど——も含めて、同じ枠組みの中で総合的に分類を行っている点に新規性がある。また、各種設計プロセスにおける情報の流れに着目し、グラフ理論を用いたフローグラフとして設計プロセスを図式化することで、様々な環境に適合した建築物がどのように生成されているのかそのメカニズムを出来る限り定量的に明らかにしようとしている点に大きな特徴がある。

2つ目の目的は、(2)上記枠組みに基づいてアルゴリズムック・デザインを定式化し、その基礎的なシステムモデルとして「アルゴリズムック・デザインのプロトタイプ」を構築し、椅子や住宅のデザインへの工学的な応用可能性を示すことである。住宅へ応用する際には、与条件を満たした諸室の隣接関係を自動的に求める室配置問題を解くことが不可欠かつ重要である。本論では、2次元長方形分割図の列挙アルゴリズムを3次元へと拡張し、逆探索法を用いることができる範囲において3次元直方体分割図を列挙するアルゴリズムを提案している。室配置の基礎的なモデルとなる3次元直方体分割図に関しては、未だ漏れも重複もない列挙アルゴリズムは知られておらず、アルゴリズムック・デザインの住宅への応用可能性を示す上で要となる3次元直方体分割図を列挙するアルゴリズムの妥当性を詳細に検討した点が本論の主な成果である。

以上を踏まえ本論は大きく2部構成からなる。第1部(第2章～第5章)では目的(1)を、第2部(第6章～第11章)では目的(2)を扱う。すなわち本論において、第1部はコンピュータ導入前後の設計プロセスを総合的に俯瞰するための理論的な枠組みを提示した設計プロセス論の概論である。第2部はその枠組みに基づく幾つかの設計実験を試みるとともに、アルゴリズムック・デザインの住宅への応用可能性を示す上で要となる「逆探索法を用いた直方体分割図の列挙アルゴリズム」を適用した部分を核にケーススタディを詳細に展開する。

以下各章の概略を述べる。

第1章では、本論におけるアルゴリズムック・デザインを提示し、本論全体の背景や目的について論じる。第1部、第2章では、最も単純化された設計プロセスのダイアグラムからスタートし、そのダイアグラムを、様々な理論を考察しながら書き換えていくことで、各種建築設計プロセスを位置づけるための「進化論的枠組み」を提案する。第3章では、第2章で提案した「進化論的枠組み」から演繹的に予想される帰結としてグラフ理論を用いた建築設計プロセスのフローグラフを導出する。第4章では、第一世代から第九世代までの各種設計プロセスを「進化論的枠組み」の中に帰納的に位置づける。また各種設計プロセスのフローグラフを作成することにより、様々な環境に適合した建築物がどのように生成されているのかそのメカニズムを明らかにすることを試みる。第5章では、各種設計プロセスのフローグラフをもとに分類を行い、それらの共通点や相違点を考察し、第1部の小結を述べる。第2部、第6章では、アルゴリズムック・デザインのフローグラフをもとに、生成のフェイズ、評価のフェイズ、高適化のフェイズという3つのフェイズに分けて、アルゴリズムック・デザインの定式化を試みる。第7章では、第6章の定式化をもとに、アルゴリズムック・デザインのプロトタイプを構築する。第8章では、椅子のデザインへの工学的な応用可

能性をケーススタディによって示す。第9章では、住宅のデザインへの工学的な応用可能性をケーススタディによって示す。第10章では、アルゴリズム・デザインの住宅への応用可能性を示す上で要となる「逆探索法を用いた直方体分割図の列挙アルゴリズム」についての開発と検証とを行い、その妥当性を詳細に論じる。第11章では各種ケーススタディについて考察し、第2部の小結を述べる。最後に第12章では本論全体の結論を記し、今後の課題と展開について述べる。

以上から、アルゴリズム・デザインとその他の各種設計プロセスを「進化論的枠組み」の中に位置づけることを通して、生成のフェイズ、評価のフェイズ、最適化のフェイズのいずれのフェイズにもアルゴリズムを用い、それらのフェイズを繰り返すことによって情報環境内で建築の試行錯誤を行っているという点が、他の設計プロセスにはないアルゴリズム・デザインの特異性であることが明らかとなった。また、アルゴリズム・デザインのプロトタイプを構築し、いくつかの限定的な条件の範囲ではあるが椅子や住宅への工学的な応用可能性を示すことができたことから、本論の目的は達成されたと結論付けている。

以上

論文審査の結果の要旨

本論文は、近年進展しつつあるアルゴリズム・デザインという建築の設計プロセスに関する基礎的研究である。建築設計プロセスに関する研究は、建築の工業化を背景として1960年代に盛んに行われたが1970年代には一旦下火となった。しかしながら、1995年以降現在に至るまで、建築設計におけるコンピュータの日常的な活用と設計情報化を背景として、建築設計プロセスに関する研究は再び盛んに行われるようになってきた。建築設計分野におけるコンピュータの導入前後を通して設計プロセス論を総合的に研究することは、情報技術によって、かつて指摘された設計プロセス論の限界を乗り越える可能性を探求する点で今日的な意義がある。

本論文の目的は2つある。1つ目の目的は、(1)アルゴリズム・デザインとその他の各種設計プロセスを「進化論的枠組み」という同じ枠組みの中に位置づけて論じ、それらの共通点や相違点を明らかにすることである。設計プロセスの分類に関する既往研究としては、C. アレグザンダーの『形の合成に関するノート』やJ. C. ジョーンズの『デザインの手法』、そして日本建築学会の設計方法小委員会編の『設計方法』パンフレットシリーズな

どにおいて様々な方法が提案されているが、本論文では、それらコンピュータ導入以前の設計プロセスと共に、コンピュータ導入後の設計プロセス——アルゴリズムック・デザイン、パラメトリック・デザイン、バイオメティック・デザインなど——も含めて、同じ枠組みの中で総合的に分類を行っているところに独自性と新規性が認められる。そして、各種設計プロセスにおける情報の流れに着目しフローグラフとして設計プロセスを図式化することで、様々な環境に適合した建築物が生成されるメカニズムを定量的に示し、明確な設計プロセスの類型化を可能な限り試みている点に特徴がある。

2つ目の目的は、(2)上記枠組みに基づいてアルゴリズムック・デザインを定式化してその基礎的システムモデルとしてアルゴリズムック・デザインのプロトタイプを構築し、椅子や住宅のデザインへの工学的な応用可能性を示すことである。住宅のデザインに応用する際には、与条件を満たした諸室の隣接関係を自動的に求める室配置問題を解くことが不可欠かつ重要であり、本論では、2次元長方形分割図の列挙アルゴリズムを3次元へと拡張し逆探索法を用いることができる範囲において3次元直方体分割図を列挙するアルゴリズムを提案している。室配置の基礎的なモデルとなる3次元直方体分割図に関しては、漏れも重複もない列挙アルゴリズムは知られておらず、アルゴリズムック・デザインの住宅への応用可能性を示す上で要となる3次元直方体分割図を列挙するアルゴリズムの妥当性を詳細に検証した点が本論の主な成果である。

以上を踏まえ、本論は大きく2部構成からなる。

第1部(第2章～第5章)では目的(1)を、第2部(第6章～第11章)では目的(2)を扱う。すなわち本論において、第1部はコンピュータ導入前後の設計プロセスを総合的に俯瞰するための理論的な枠組みを提示した設計プロセス論の概論である。

第2部はその枠組みに基づく幾つかの設計実験を試みるとともに、アルゴリズムック・デザインの住宅への応用可能性を示す上で論の要となる「逆探索法を用いた直方体分割図の列挙アルゴリズム」を適用した部分を核にケーススタディを詳細に展開する。

以下、各章の概略を述べる。

第1章では、本論におけるアルゴリズムック・デザインを定義し、本論全体の背景、問題意識、目的について論じている。

第1部、第2章では、既往研究について概観し、実環境、設計者の研究、社会環境、情報環境について考察を加え、各種建築設計プロセスを位置づけるための「進化的枠組み」を設定

している。

第3章では、第2章で設定した「進化論的枠組み」から演繹的に予想される帰結としてグラフ理論を用いた建築設計プロセスのフローグラフを導出している。

第4章では、第一世代から第九世代までの各種設計プロセスを「進化論的枠組み」の中に帰納的に位置づける。また各種設計プロセスのフローグラフを作成することにより、様々な環境に適合した建築物がどのように生成されているのかそのメカニズムを明らかにしている。

第5章では、各種設計プロセスのフローグラフをもとに分類を行い、それらの共通点や相違点を考察し、第1部の小結としている。

第2部、第6章では、アルゴリズムック・デザインのフローグラフをもとに、生成のフェイズ、評価のフェイズ、最適化のフェイズという3つのフェイズに分けて、アルゴリズムック・デザインの定式化を試みている。

第7章では、第6章の定式化をもとにアルゴリズムック・デザインのプロトタイプを構築している。

第8章では椅子のデザインへの工学的な応用可能性をケーススタディによって示している。

第9章では住宅のデザインへの工学的な応用可能性をケーススタディによって示している。

第10章では、逆探索法を用いた直方体分割図の列挙アルゴリズムについて詳細に分析を行い、アルゴリズムック・デザインの住宅への応用可能性を示す上で要となるアルゴリズムについての開発と検証を行い、その妥当性を詳細に論じている。

第11章では、第7章で構築、第8章、第9章で行ったケーススタディについてまとめの論考を行い第2部としての小結を述べている。

第12章では本論全体の結論を記し、今後の課題と展開について述べている。

次に、本審査の経過と論文の修正について概要を記す。

第1回審査会では、本論の構成と用語について詳細な質疑が行われた。建築設計プロセス論として論点が多岐に亘るために論旨が読み取りにくいので、第一部と第二部の構成および序論と結論を中心に修正を加え論文全体の構図を明確にすることが求められた。第一部と第二部との関係の明確化を図ることが修正意見として出され、全体としてのキーコンセプトおよび論理的展開をわかりやすく明解にした一貫性のある論述に推敲することなどの修正意見があった。

第2回審査会では、第1回審査会で指摘された全体構成について修正を施すとともに、世代、プロセス、遺伝子などの用語の定義の修正、注と参考文献のリストの充実、またを明確にした記述に変更したことが著者から示された。

第3回公開発表会では、前2回の審査会で出された修正意見について吟味して細部の修正を行い、また、全体構成を整えた。その結果、第一部は、「進化論的枠組み」を設定した上で、その

枠組みのもとでコンピュータ導入前後双方の建築設計プロセス論を論じた概論として位置付けた。第二部は、アルゴリズムック・デザインのフローグラフをもとに、生成のフェイズ、評価のフェイズ、最適化のフェイズという3つのフェイズに分けて、アルゴリズムック・デザインの定式化を試み、その定式化をもとにアルゴリズムック・デザインのプロトタイプを構築実験的なケーススタディを重ね、とくに逆探索法を用いた直方体分割図の列挙アルゴリズムについて詳細に検討し開発と検証を行う構成とした。以上の修正が加えられ一貫性のある発表が行われた、

第4回審査会では、審査過程で修正すべきとされた箇所についてすべて修正がなされ、論理的展開の明確化が図られ一貫性のある論述に改善されていると判断された。

以上、本論文は、まず、アルゴリズムック・デザインをこれまでの設計プロセス論を「進化的枠組み」の中に位置づけてその特徴を示し、その枠組みのもとにアルゴリズムック・デザインのプロトタイプを構築している。その上で、アルゴリズムック・デザインを適用した設計実験のケーススタディによって椅子、住宅ほかの設計への建築学的応用可能性を検証、とくに住宅への応用可能性を示す上で要となる逆探索法を用いた直方体分割図の列挙アルゴリズムについて詳細に分析検証を行った。本論文は、建築設計分野におけるアルゴリズムック・デザインを発展させるための新たな知見を開示しており、博士（工学）の学位論文として十分に価値あるものと認められる。