

## 平成18年度科学研究費補助金（基盤研究（S））研究終了報告書

◆記入に当たっては、「平成18年度科学研究費補助金（基盤研究（S））研究終了報告書記入要領」を参照してください。

ローマ字		KATO SHINSUKE					
①研究代表者名氏		加藤 信介			②所属研究機関・部局・職		東京大学・生産技術研究所・教授
③研究課題名	和文	CFDの逆問題解析に基づく室内温熱・空気環境の最適設計システムの開発					
	英文	Development of Optimal Indoor Environment Design System Based on CFD Analysis					
④研究経費金額単位：千円	平成13年度	平成14年度	平成15年度	平成16年度	平成17年度	総合計	
	38,000	19,000	14,300	9,500	9,500	90,300	
⑤研究組織（研究代表者及び研究分担者） *平成18年3月31日現在							
氏名	所属研究機関・部局・職	現在の専門	役割分担（研究実施計画に対する分担事項）				
加藤 信介	東京大学・生産技術研究所・教授	建築環境工学	最適設計論理の作成、設計システムのプロトタイプ作成				
村上 周三	慶応大学理工学部・教授	建築環境工学	最適設計論理の作成、設計システムのプロトタイプ作成				
大岡 龍三	東京大学・生産技術研究所・助教授	建築環境工学	CFD室内環境総合評価システムの作成				
黄 弘	東京大学・生産技術研究所・助手	建築環境工学	最適設計システムプロトタイプの修正				
⑥当初の研究目的（交付申請書に記載した研究目的を簡潔に記入してください。）							
<p>本研究は、室内温熱・空気環境解析シミュレーションの逆変換法を用いる総合的な室内の温熱・空気環境の設計システムの構築を目的とする。室内の環境性状を設計目標値に最大限近似させるための室内の物理的な境界条件を求める手法、すなわち逆問題解析による環境の自動最適化設計システムの開発を行う。</p> <p>解析システムに解析結果と設計目標の差異を入力条件にフィードバックすることにより、設計目標とする環境を最適に実現する条件を求める手法を開発する。そのため：</p> <p>①環境設計の目標(実現されるべき室内温熱環境)の階層構造を解明する。</p> <p>②室内温熱・空気環境CFD シミュレーション手法を開発する。</p> <p>③環境設計の操作要因の階層構造を解明する。</p> <p>④段階②で得られた目標値からの差に対し、環境設計の操作要因を変更する論理構造を作成する。</p> <p>⑤以上①～④により環境シミュレーションの逆問題による最適環境設計のプロトタイプが求まる。</p> <p>⑥様々な例題にこのプロトタイプを適用し、その性状を解析して将来の環境自動設計(環境の自動最適化)システムのプロトタイプを完成させる。</p>							

⑦研究成果の概要（研究目的に対する研究成果を必要に応じて図表等を用いながら、簡潔に記入してください。）

本研究では図1に示した研究成果を上げた。具体的には：

① 設計行為のモデル化を行った：

環境設計における設計目標の階層構造の解明や設計プロセスの階層構造の解明、設計過程におけるフィードバックシステムの構築などにより設計者の設計行為のモデル化を行った。

② CFDによる室内温熱・空気環境総合解析システムの構築を行った：

室内における不均一な温度場、速度場、放射場、湿度場に対して、対流・放射・湿気輸送のCFD連成解析により各制御要素の室内環境への寄与などを定量的に評価する。

③ 最適化評価システムを開発した：

室内環境最適設計のための数量化評価手法を開発した。また、多目的最適化問題に対してパレート解集合から選好解を選択するための多目的意思決定論理を提示した。

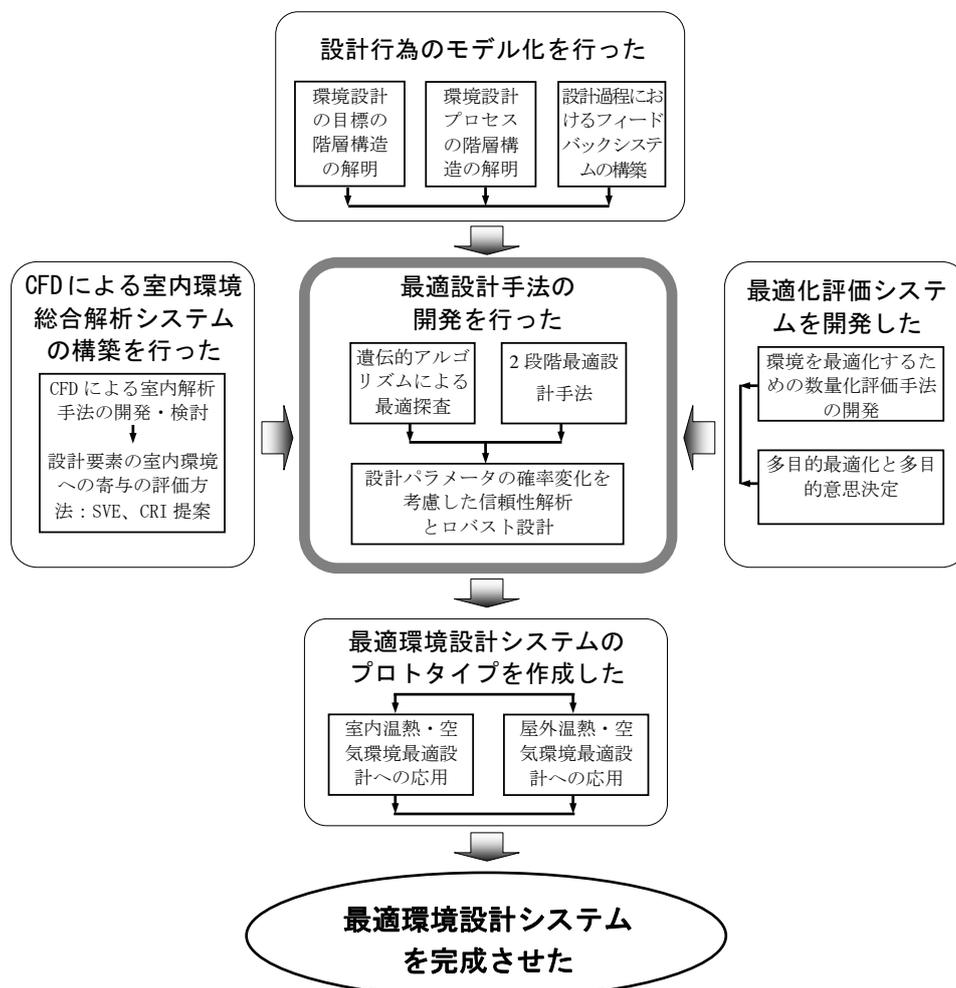
④ 最適設計手法の開発を行った：

逆問題解析を効率的に行うため、遺伝的アルゴリズム（GA）を導入した。CFDの逆解析は、CFD結果を入力の変更によりフィードバックさせて繰り返し計算により求めるが、この過程にGAを導入することにより逆解析を効率的に行う。このGAを用いた最適探索における計算負荷を低減するために、更に2段階型最適設計手法を開発した。また設計変数の確率変化を考慮した信頼性設計やロバスト設計手法を導入した。

⑤ 最適設計システムのプロトタイプを作成した。

上記①～④で開発した最適設計システムのプロトタイプは室内・屋外温熱環境最適設計に適用し、その有効性を検討した。

⑥ 最適設計システムを一応完成させた。



⑧特記事項 (この研究において得られた独創性・新規性を格段に発展させる結果あるいは可能性、新たな知見、当該研究分野及び関連研究分野への影響等、特記すべき事項があれば記入してください。)

本研究の独創性・新規性は下記の4点がある。

- ① 室内環境において、人体に快適な環境条件から、それを実現する適切な空調・建築条件を求める室内環境の逆変換手法の提案。
- ② 環境設計における設計目標の階層構造の解明や設計プロセスの階層構造の解明、設計過程におけるフィードバックシステムの構築により設計者の設計行為のモデル化。
- ③ 多目的最適化と多目的意思決定手法の導入。
- ④ 設計変数の確率変化を考慮した信頼性設計とロバスト設計手法の組み込み。

ここで、上記の独創性・新規性から今後発展させる可能性や関連研究分野への影響は以下の4点と考えられている。

#### ①本研究で提案された逆解析手法を都市・建築環境に関連する他の分野への適用

本研究で提案された設計目標から設計目標を達成するための環境条件を求める逆解析手法は室内温熱環境に限らず、都市・建築環境に関連する他の分野にも適用できる。例えば、都市・建築の安全性の観点から、都市・建築の環境・安全を正確に予測できるシミュレーションにより災害を発生した時に、建築安全目標を満たせる防災設計を求める。このような逆解析手法により建築の防災設計の信頼性やロバスト性を飛躍的に向上させる。

#### ②多目的最適化設計システムを室内環境・安全分野や都市・建築環境分野への展開

本研究では室内温熱・空気環境を主な内容として研究を行ったが、室内環境の最適化に関しては温熱・空気環境の目標だけではなく、室内汚染物質対策、災害を発生した時の安全性、省エネルギーや経済性などの目標も考慮しなくてはならない。更に、室内環境と都市・建築環境は人間活動により密接に繋がっており、この都市・建築環境を最適化するためには、建築環境工学の視点に限らず、都市計画、建築設計、構造、経済など分野に関わる様々な要因や設計目標を統合的に取り扱う必要がある。そこで、多目的最適化の観点から、本研究で開発された最適設計システムを室内環境・安全や都市・建築環境分野へ展開することは非常に重要である。

#### ③環境設計における階層構造の考え方を複雑な多目的最適化問題への応用

②に示した複雑な多目的最適化問題に対して、同時に検討する設計パラメータや設計目標が多くなることにより、i) 最適探索空間が膨大となり、最適解の探索効率には大きな影響を与える、ii) パレート最適解集合も大きくなり、設計者の意思決定は困難となる、などの問題点が生じる。このような問題を解決するための1つ方法として、複雑な多目的最適設計問題に対する、本研究で提案された環境設計の階層構造に対して各階層の主な設計目標を明確にすることにより、最適設計手法に階層構造の考え方を導入することが有効ではないかと考えられる。

#### ④信頼性設計とロバスト設計手法の適用

本研究で提案した環境変数の確率変化を考慮した信頼性設計とロバスト設計手法は都市・建築環境設計に適用することは極めて意義がある。都市・建築環境は様々な諸環境要素（例えば気象、人間活動、都市空間等）により形成され、これらの決定要素の不確定性により大きく変化している。従って実に有効的な都市・建築環境の最適設計手法として信頼性設計とロバスト設計手法を組み込みすべきと考えられる。

本研究の今後の課題として強く浮び上がったものに、この最適設計を行う基礎となるデータベースの構築がある。多目的の最適化を複数の環境シミュレーションで矛盾なく行うためには、対応する建物、物理環境、その他を包含する統合的なデータベースが必要となる。今後、今回作成した最適設計を実用化させるためにも、この統合されたデータベースの構築の検討を進める必要がある。

⑨研究成果の発表状況 (この研究費による成果の発表に限り、学術誌等に発表した論文(掲載が確定しているものを含む。)の全著者名、論文名、学協会誌名、巻(号)、最初と最後のページ、発表年(西暦)、及び国際会議、学会、特許等の発表状況について記入してください。なお、代表的な論文3件に○を、また研究代表者に下線を付してください。)

2001年

1. 金泰延、加藤信介、村上周三  
遺伝的アルゴリズムとCFDを組み込んだ室内温熱環境の2段階型最適設計手法の開発  
日本建築学会大会学術講演梗概集、D2,pp.771-772、2001
2. 加藤信介、金泰延、村上周三  
室内温熱環境のCFD逆問題解析による最適設計手法の開発 遺伝的アルゴリズムを組み込んだ2段階型最適設計  
空気調和・衛生工学会学術講演解講演論文集、pp.69-72、2001
3. 金泰延、加藤信介、村上周三  
室内温熱環境のCFD逆問題解析による最適設計手法の開発 遺伝的アルゴリズムを組み込んだ2段階型最適設計  
第15回数値流体力学シンポジウム、pp.162、2001

2002年

4. 小野寛也、村上周三、金泰延、加藤信介  
CFDとGAを用いた室内温熱環境の最適設計手法の開発 季節条件を考慮した放射冷暖房ハイブリット空調方式の最適設計  
日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.677-680、2002
5. 菅健太郎、金泰延、加藤信介  
室内温熱環境の最適設計における多目的問題に関する研究 日照・日射を考慮した窓面最適設計における考察  
空気調和・衛生工学会学術講演解講演論文集、pp.517-520、2002
6. 小野寛也、加藤信介、金泰延、菅健太郎、村上周三  
CFDとGAを用いた室内温熱環境の最適設計手法の開発 その2 最適化評価要素としての季節の重み関数に関する検討  
空気調和・衛生工学会学術講演解講演論文集、pp.505-508、2002
7. 大野茂、森川泰成、大黒雅之、庄司研、加藤信介、金泰延  
設計プロセスの階層構造を考慮した最適空調設計支援システム その1 最適空調設計支援システムの概要  
空気調和・衛生工学会学術講演解講演論文集、pp.509-5012、2002
8. 庄司研、大黒雅之、大野茂、森川泰成、加藤信介、金泰延  
設計プロセスの階層構造を考慮した最適空調設計支援システム その2 CRIによる温熱環境予測と冬期空調条件の最適化  
空気調和・衛生工学会学術講演解講演論文集、pp.513-516、2002
- ⑨ 金泰延、加藤信介、村上周三  
CFD連成解析を用いた室内温熱環境の最適設計システムの開発 第1報 最適設計手法の原型作成とその応用  
空気調和・衛生工学論文集、No. 84, pp.53-60、2002

2003年

- ⑩ 金泰延、加藤信介、村上周三  
CFD連成解析を用いた室内温熱環境の最適設計システムの開発 第2報 遺伝的アルゴリズムを組み込んだ2段階型最適設計  
空気調和・衛生工学論文集、No. 90, pp.85-92、2003
11. 陳宏、大岡龍三、加藤信介  
遺伝的アルゴリズム(GA)を用いた屋外温熱環境設計のための樹木の最適配置に関する研究  
日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.611-612、2003
12. 菅健太郎、加藤信介  
多目的遺伝的アルゴリズムによる室内温熱・光環境の最適化 その1 設計における意思決定支援システムの開発  
日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.1035-1036、2003
13. 李廷淮、菅健太郎、加藤信介  
多目的遺伝的アルゴリズムによる室内温熱・光環境の最適化 その2 最適解探索のケーススタディー  
日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.1037-1038、2003

- ⑨研究成果の発表状況 (この研究費による成果の発表に限り、学術誌等に発表した論文(掲載が確定しているものを含む。)の全著者名、論文名、学協会誌名、巻(号)、最初と最後のページ、発表年(西暦)、及び国際会議、学会、特許等の発表状況について記入してください。なお、代表的な論文3件に○を、また研究代表者に下線を付してください。)
14. 大野茂、森川泰成、大黒雅之、庄司研、加藤信介  
設計過程の階層構造を考慮した室内環境最適化手法に関する基礎的研究 その1 室内環境最適化の概要  
日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.1059-1060、2003
  15. 庄司研、大野茂、森川泰成、大黒雅之、加藤信介  
設計過程の階層構造を考慮した室内環境最適化手法に関する基礎的研究 その2 空調用センサー配置最適化の結果  
日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.1061-1062、2003
  16. 陳宏、大岡龍三、加藤信介  
対流・放射連成解析と遺伝的アルゴリズム(GA)を用いた樹木の最適配置による 屋外温熱環境の改善に関する研究  
空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集、pp.729-732、2003
  17. 小野寛也、村上 周三、加藤信介、伊香賀俊治  
オフィス空調設計における季節別要因の重要度重み付けの階層分析  
空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集、pp.485-488、2003
  18. 李廷淮、加藤信介、宋斗三、金泰延  
室内温熱環境の最適設計手法に関する研究 GAとCFDによる自然換気併用ハイブリッドシステムの最適設計  
空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集、pp.509-512、2003
  19. 菅健太郎、加藤信介  
多目的遺伝的アルゴリズムによる室内温熱・光環境の最適化 その3 -MOGA sによるパレート解探索精度・効率の検討-  
空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集、pp.517-520、2003
  20. 金泰延、加藤信介、村上周三  
CFD連成解析を用いた室内温熱環境の最適設計システムの開発 遺伝的アルゴリズムを組み込んだ2段階型最適設計  
第18回生研NSTシンポジウム講演論文集、pp.49-54、2003
  - 21. 大野茂、森川泰成、大黒雅之、庄司研、加藤信介、金泰延  
設計過程の階層構造を考慮した室内環境最適化手法に関する基礎的研究 第1報 階層構造の概要とCRIを用いた室内温熱環境最適化  
空気調和・衛生工学会学術論文集、No. 88, pp.115-123、2003 (第43空気調和・衛生工学会賞)
  22. 大野茂、森川泰成、大黒雅之、庄司研、加藤信介、金泰延  
設計過程の階層構造を考慮した室内環境最適化手法に関する基礎的研究 第2報 最適手法を用いた空調制御用センサ位置の検討  
空気調和・衛生工学会学術論文集、No. 91, pp.47-54、2003 (第43空気調和・衛生工学会賞)
  23. 菅健太郎、金泰延、加藤信介  
室内温熱環境の最適設計における多目的問題に関する研究 日照・日射を考慮した窓面最適設計における考察  
生産研究、pp.91-95、2003
  24. 李廷淮、加藤信介  
GAとCFDによる自然換気併用ハイブリッド空調システムの信頼性最適設計  
第17回数値流体力学シンポジウム、F3-2, 6pp、2003
  25. 陳宏、大岡龍三、加藤信介  
対流・放射連成解析と遺伝的アルゴリズム(GA)を用いた建物の最適配置による屋外温熱環境の改善に関する研究  
第17回数値流体力学シンポジウム、F3-3、2003

⑨研究成果の発表状況 (この研究費による成果の発表に限り、学術誌等に発表した論文(掲載が確定しているものを含む。)の全著者名、論文名、学協会誌名、巻(号)、最初と最後のページ、発表年(西暦)、及び国際会議、学会、特許等の発表状況について記入してください。なお、代表的な論文3件に○を、また研究代表者に下線を付してください。)

2004年

26. 陳宏、大岡龍三、加藤信介  
対流・放射連成解析と遺伝的アルゴリズム(GA)を用いた屋外温熱環境の最適設計手法に関する研究  
屋外温熱環境設計のための樹木の最適配置、  
日本建築学会環境系論文集、No.576、pp.65-71、2004
27. 陳宏、大岡龍三、加藤信介  
対流・放射連成解析と遺伝的アルゴリズム(GA)を用いた屋外温熱環境設計のための建物最適配置に関する研究  
生産研究、56巻1号、pp.5-10、2004
28. 李廷淮、加藤信介  
GAとCFDによる自然換気併用ハイブリッド空調システムの信頼性最適設計、生産研究56巻1号、  
2004
29. 陳宏、大岡龍三、加藤信介  
多目的遺伝的アルゴリズム(MOGAs)を用いた樹木の最適配置による屋外環境の最適化に関する研究  
日本建築学会大会学術講演梗概集、D-1、pp.719-720、2004
30. 李廷淮、加藤信介  
GAとCFDを用いた最適設計に関する研究(その2) 環境変動に対するアクティブ・パッシブ制御の最適設計  
日本建築学会大会学術講演梗概集、D-1、pp.1051-1052、2004
31. 小野寛也、村上周三、加藤信介、伊香賀俊治、森川泰成  
オフィス空調設計における季節別要因の重要度重み付けの階層分析 その2 ビルオーナーの立場での評価  
日本建築学会大会学術講演梗概集D-1、pp.897-898、2004
32. Jeong Hoe Lee, Shinsuke Kato  
Optimization of Hybrid Air-conditioning System with Natural Ventilation by Genetic Algorithm and Computational Fluid Dynamics、ROOMVENT 2004、5pp、2004
33. Shinsuke Kato, Jeong Hoe Lee  
Optimization of Hybrid Air-conditioning System with Natural Ventilation by GA and CFD  
25th AIVC Conference, Ventilation and Retrofitting、6 pp、2004
34. 李廷淮、加藤信介  
GAとCFDを用いた最適設計に関する研究 (その3) 環境変動に対するパッシブ・アクティブ制御の最適設計  
空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集、pp.1159-1162、2004
35. 陳宏、大岡龍三、加藤信介  
多目的遺伝的アルゴリズム(MOGA)を用いた屋外環境設計のための樹木の最適配置に関する研究  
空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集、pp.1091-1094、2004
36. 陳宏、大岡龍三、加藤信介  
CFD解析と遺伝的アルゴリズム(GA)を用いたピロティの最適配置による屋外温熱環境の改善に関する研究  
第18回風工学シンポジウム、Vol. 18、pp.87-92、2004

2005年

37. 木雄介、村上周三、加藤信介、河合浩志  
環境共生建築における室内環境ロバスト最適化設計、ロバスト性の概念整理と自然通風型オフィスの事例研究  
日本建築学会大会学術講演梗概集、D-1、pp.965-966、2005
38. Hong Chen, Ryoza Ooka, Shinsuke Kato  
Study on Optimum Arrangement of Pilotis for Design of Pleasant Outdoor Wind Environment using CFD Simulation and Genetic Algorithms(GA)  
The Sixth Asia-Pacific Conference on Wind Engineering (APCWE-VI)、11pp、2005

⑨研究成果の発表状況 (この研究費による成果の発表に限り、学術誌等に発表した論文(掲載が確定しているものを含む。)の全著者名、論文名、学協会誌名、巻(号)、最初と最後のページ、発表年(西暦)、及び国際会議、学会、特許等の発表状況について記入してください。なお、代表的な論文3件に○を、また研究代表者に下線を付してください。)

39. 鈴木雄介、村上周三、河合浩志、加藤信介、伊香賀俊治  
環境共生住宅における室内環境の多目的最適設計、pp.1093-1096、2005  
空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集
40. Shengwei Zhu, Shinsuke Kato, Shuzo Murakami, Tatsuya Hayashi  
Study on inhalation region by means of CFD analysis and experiment  
Building and Environment、Volume 40, Issue 10、pp.1329-1336、2005
41. Hong Chen, Ryoza Ooka, Shinsuke Kato  
Study on Optimum Design Method for Pleasant Outdoor Thermal Environment Using Genetic Algorithms (GA) and Coupled Simulation of Convection, Radiation and Conduction  
4th International Symposium on New Technologies for Urban Safety of Mega Cities in Asia(USMCA 2005)
42. 加藤信介、梁禎訓  
複数の吹出・吸込がある室内におけるCFDによる着目吹出口の空気齢および吸込口の空気余命の分布性状解析  
空気調和・衛生工学論文集、No.98、pp.11-17、2005
43. 梁禎訓、加藤信介  
CFD解析による大開口吹出のパーソナル空調における呼吸空気質の検討  
空気調和・衛生工学論文集、No.106、pp.21-30、2006
44. 松田美由紀、加藤信介、梁禎訓  
CFD解析によるワイドカバー型パーソナル空調使用時における呼吸空気質に関する検討  
空気調和・衛生工学論文集、No.106、pp.31-40、2006

2006年

45. Ken Shoji, Shigeru Ohno, Yasushige Morikawa, Masayuki Oguro, Shinsuke Kato  
An Indoor Thermal Climate Optimization Technique by Accounting for a Layered Structure of Design Process,  
Technical Paper, ASHRAE Winter Meeting、2006 (to be published in ASHRAE Transaction)