

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2007～2009

課題番号：19360257

研究課題名（和文） 建築設計製図のための熱環境設計支援プログラムの開発

研究課題名（英文） Development of education program of architectural thermal design using 3D-CAD compatible thermal simulation

研究代表者

梅干野 晁（HOYANO AKIRA）

東京工業大学・大学院総合理工学研究科・教授

研究者番号：50108213

研究成果の概要（和文）：

本研究は、建築設計と熱環境に関する知識を有する学生を育てるために、数値解析を用いた熱環境の設計製図の授業プログラムを開発する。そのために、授業を行う上で必要となる可視化教材や数値解析を用いた演習授業、設計課題などの開発を行った。その教材をもとに授業プログラムを構築した上で、大学の建築学科に所属する学生を対象に授業を実施し、アンケート等により、授業プログラムの有用性について検討を行った。

研究成果の概要（英文）：

An education program was developed for architectural students to be the designers which have the knowledge about not only architectural design but also outdoor thermal environment. Therefore, several education material, such as instruction material that expressed the thermal environment visually, and design practice material using numerical simulation, were created. Then, the education program consisted of these education materials. The availability of the education program was examined to implement the education program for college students majoring architecture.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	4,300,000	1,290,000	5,590,000
2008年度	4,600,000	1,380,000	5,980,000
2009年度	5,000,000	1,500,000	6,500,000
年度			
年度			
総計	13,900,000	4,170,000	18,070,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学・建築環境・設備

キーワード：建築環境・設備、設計製図、設計教育、設計支援、シミュレーション、熱環境、3D-CAD

1. 研究開始当初の背景
近年、都市ヒートアイランド現象に代表

される都市の熱環境悪化問題が深刻化しつつあり、その緩和・抑制手法として熱環

境設計の具現化が求められている。そのためには、建築を設計する主体である建築家やコンサルタントが、環境への意識、更には知識を持つための建築設計教育が必要であると考えられる。

そこで、建築家を志望している学生に対し、設計製図に環境設計教育を導入し、環境に対する感性を高め、かつ環境に興味を持ってもらうことが求められていると認識したことが本研究の着想に至る大きな動機である。

2. 研究の目的

設計教育において、意匠・計画系だけでなく構造・材料そして環境といった分野を含めた新たな教育の実現を目指し、本研究では、まず設計製図授業に熱環境設計手法に関する知識を取り入れ、設計を支援できる授業プログラムを開発することを目的とする。具体的には以下の5項目について明らかにする。

(1) 設計製図における熱環境教育手法を提案するために、熱環境設計を行う上で必要となる熱的知識について整理し、可視化教材、設計課題の作成の枠組みの構築を行う。

(2) 可視化教材として、熱環境の実態や建物の空間形態等との関連性等を理解しやすく伝えるためのビジュアルな情報の整備及び教育素材の開発を行う。

(3) 上記(2)で開発した可視化教材を用い、数値解析を用いた演習や設計製図を取り入れた授業プログラムを作成する。

(4) 上記(3)で作成した教育教材を小規模の授業において試用し、その有用性を検討し、授業プログラム及び教育教材に関する改良・改善を行う。

(5) 上記(4)で改良を行った授業プログラムを大学の授業に適用し、その有用性を検討する。

3. 研究の方法

本研究は、下記の(1)～(5)の手順により研究を行う。

(1) 設計製図における熱環境教育内容の枠組みの構築

屋外熱環境に配慮した設計を行う上で必要となる知識の検討を行い、その中で主要な環境構成要素である建物構成材料、空間形態、植栽配置といった面から分析する。それぞれの環境に対する影響及び特性、また複雑に絡み合う環境構成要素間の関係を整理し、分類する。その結果をもとに、教育内容の枠組みを構築する。

(2) 可視化教材の開発

(1)で整理・分析した熱環境設計における知識をもとに、わかりやすい可視化教材を作成する。表現方法としては主に表面

温度に着目し、必要に応じて表面温度の他に大気への顕熱負荷を表す指標であるヒートアイランドポテンシャル(HIP)、生活空間の熱快適性を示す指標である平均放射温度(MRT)、建築外表面の受熱日射量などを組み合わせることを検討し、データの可視化及び三次元化、アニメーション(空間・時間変化)を用いることで感覚として理解しやすい形で提示する。

(3) 授業プログラムの構築

授業プログラムとして、以下の2つ授業形式をもとに、熱環境の設計製図のための授業プログラムを構成する。

①講義・演習の授業

(2)で作成した、可視化教材をもとに、

(1)で整理した熱環境設計における重要な知識を養うための、講義型の授業を行う。その上で、その知識の定着を促すため、3D-CAD対応熱環境シミュレータを用いた演習を行う。

②設計製図の授業

熱環境設計に関する設計課題を与え、学生が3D-CAD対応型屋外熱環境シミュレータを用い試行錯誤を行いながら設計を進める授業を行う。

(4) 小規模な授業を通じた授業プログラムの実施と改良および改善

3D-CAD対応熱環境シミュレータを用いた設計製図の実習を行う上で問題点を抽出するために、シミュレータを用いた演習形式の講義の実践を行った。具体的には、3～10人程度の3D-CAD対応熱環境シミュレータを使用した経験のない大学生を対象に、ツールの使い方を15分程度説明したあと、シミュレータを用いて戸建て住宅の設計を行い、その熱環境を評価するという授業を3回行った。アンケートなどにより、学生に対してどのような点を意識したか、意識するようになったかなどの授業の効果を確認するとともに、シミュレータの使用感についても抽出する。その結果を踏まえて、教育効果の評価と共に教材の課題点を抽出し、教育素材及び授業プログラムの改善・改良を行う。

(5) 大学生を対象とした授業を通じた検証

(4)で改良を行った、授業プログラムを基に、大学生に対して授業を行う。具体的には、金沢工業大学建築系学部3年生13名を対象として、熱環境シミュレータを用いた建築環境設計教育を授業(90分×4回)を行った。1回目の授業では班分けと設計課題の提示を行い、2・3回目はそれぞれ前半が講義、後半はシミュレータ演習という形式とした。4回目は各班が設計課題を発表し、講評と討論を行った。最後に、授業外にシミュレータ

を用いながら設計課題をを行った。設計課題は「熱環境を考慮した大学キャンパスの改修・改築」とした。

なお今回、教育効果を確認するため、シミュレータに触らず、計算結果をスライドで説明するにとどめた班（2班、計5名）を設けた。また、シミュレータを使って演習を行った学生の一部（2名）は、全4回の授業後、5時間×2回程度の課外演習を行い、設計案をシミュレータで評価し、設計の改善に取り組んだ。各授業の間には、小テストやアンケートを行い、授業を進めるにあたり、知識が付いているか確認する。

4. 研究成果

(1) 設計製図における熱環境教育内容の枠組みの構築

設計製図における熱環境設計教育内容の枠組みを検討するため、筆者らが開発した3D-CAD対応熱環境シミュレータを用いて、設定した建物モデル及び実在市街地を解析対象として気象条件、建築材料、空間形態、都市緑化が都市・建築外部空間の表面温度形成等に及ぼす熱的影響の特徴を分析した。

その結果、例えば、材料の日射反射率と熱容量の違いが、大気への顕熱負荷を表す指標であるヒートアイランドポテンシャル（HIP）に与える影響として、木造住宅のように熱容量が比較的小さい建物から構成されている対象地（街区）ではHIPの立ち上がりが高く日中のHIP値が大きい、夜間のHIPは小さくなる一方で、RC造建物のように熱容量が比較的大きい場合のHIPは日中低く、夜間が高い傾向となるといったものがみられた。

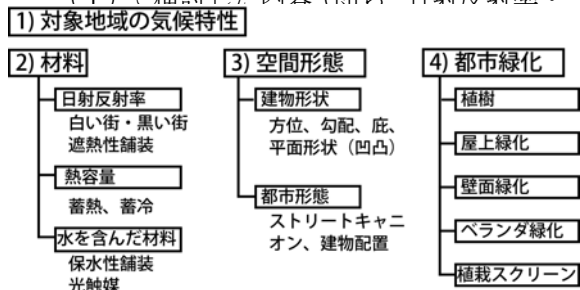
また、都市緑化については、同様に3D-CAD対応熱環境シミュレータを用いて、都市・建築外部空間の表面温度形成などに及ぼす熱的影響の特徴を分析した。特に、ここでは緑化の中でも熱環境調整効果が大きく期待できる樹木を取り上げた。特にここでは、環境設計に重要となる剪定や季節変化による日射遮蔽効果について検討した。その結果、剪定により枝葉を減らすと、日射透過率が大きく変化することがわかった。この日射透過率の違いは、樹陰部の表面温度の差として大きく現れるため、熱環境設計を行う上で、維持管理を踏まえることが重要であることが分かる。

以上の検討によって熱環境設計における重要な熱的知識を整理・分類した。都市・建築熱環境設計を行う際に考慮すべき主要な要素として、ア. 対象地域の気候特性、イ. 都市・建築空間を構成する材料、ウ. 空間形態、エ. 都市・建築緑化の4項目に分類することができる（図1）。材料及び空間形態は表面温度形成に大きく影響を及ぼす要素であり、緑化は表面温度上昇を抑制する手法と

して効果的な要素であり、これらは、熱環境だけでなく、デザインパラメータとして重要な要素である。

(2) 可視化教材の開発

(1)で検討した内容（即ち、日射反射率・



水性舗装による冷却効果とその持続性、都市・建築緑化の熱環境改善効果、空間形態の違いによる効果の違い) について、可視化教材の開発として都市・建築外部空間の表面温度形成等に及ぼす熱的影響の特徴を理解しやすい形で提示するために、シミュレーション結果を表現する図表、静止画像・動画(アニメーション)などを用いて、ビジュアルな教育素材として利用可能な可視化資料を作成した。

例えば、日射反射率に関しては、日射反射率に関する原理、原則(図2(a))から、図2(b)に示すように、実際の都市において、日射反射率を変化させたときに表面温度分布に与える影響(空間的、時間的な変化を、画像やアニメーションを用いて説明)、さらに熱環境に大きく影響する要素(日射反射率、熱容量、日影割合等)の総合影響度を把握できる都市街区のヒートアイランドポテンシャルチャートを作成(図2(c))するなど、原理から実際の設計に利用できるような知見を整理した可視化教材を作成した。

(3) 授業プログラムの構築

(2)で作成した可視化教材を基に、授業プログラムを作成した。熱環境設計のための教育を行うには、材料の特性や熱環境対策手法についての知識をつけ建築デザインとの関係を理解するとともに、実際に設計の中で熱環境を検討できるような授業プログラムが必要となる。そのため、下記の2つの授業内容を設定した(図3)。

①熱環境設計に関する講義とシミュレータを用いた演習

屋外熱環境設計を行う上では、材料の特性や熱環境対策手法の効果に関する物理的な意味をふまえた知識が必要である。そこで、熱環境に関する物理現象を解説するとともに熱画像など用いながら、設計とのつながりを説明する講義を行う。

その上で、講義を行った内容についてシミュレータを用いて演習を行う。具体的には、実在する街区を対象に、色の明るい材料と暗い材料を用いたときに、表面温度がどのように変化するかなどについて、学生にシミュレータを操作させながら考察を行なわせ、講義の内容を定着させていく。

②シミュレータを用いた熱環境設計に関する設計製図の課題

熱環境に配慮した設計課題を設定し、設計の過程で3D-CAD対応熱環境シミュレータを用い、熱環境の予測評価を行いながら、設計を進めていく授業を行う。設計を進める上では、意図する熱環境が形成されるようにシミュレータを用いて数回にわたる試行錯誤を行い、必要があれば教員から助言を与える。

具体的な授業の流れとしては、最初に、熱

環境設計の設計課題を出し、その時点の知識で熱環境設計を行を行わせる。そうすることで、その後の講義や演習の授業の内容となる熱環境緩和手法やそれらが熱環境に与える影響について、自分の設計案を例に考えることができるようになり、より具体的なイメージを持つと考えられるからである。次に①の可視化教材による講義と3D-CAD対応熱環境シミュレータを用い演習で基礎知識をつけ、②のシミュレータを用いた設計製図を行い熱環境設計を行う。このように、講義と設計課題と連動させることで、講義の内容を積極的に吸収しようとする動機につながると考えられる。

(4) 小規模な授業を通じた授業プログラムの実施と改良および改善

少人数の授業を実施した結果、15分程度の説明で、簡単な操作は可能となるものの、本人が考えているデザイン通りにモデルを作成していくには、時間が短すぎるのが分かった。そのため、ツールのインターフェイスの改良や操作に関してサポートしながら演習を進めていく必要がある。また、学生が一から計算モデルを作成すると、モデルの作成ミスが発生する可能性が非常に高くなり、**熱環境設計に関する講義・設計演習**

講義形式

熱環境設計に関する知識をつける

- 都市空間、建築空間に形成される熱環境の実態の解説
ex) 熱画像、測定結果
- 熱環境に関する物理現象や物性についての説明
ex) 表面の熱収支、分光反射率等
- 数値解析を用いたパラメトリックな影響の検討や表面温度分布の日変化の解説
ex) 日射反射率の違い、空間形態の違い、日変化のアニメーション等

た。そのため、演習や設計課題を行う際には、細かな建物の設計を行わず、建物の配置や部分的な変更（例えば、庇の追加など）、材料の変更、植栽、緑化を行えるような計算モデルを作成し、その制限の中で設計課題を実行するように教材の改良を行った。

また、授業の感想としては、この講義を通して、熱環境設計に興味を持ったという感想が見られたため、演習による講義が有効であることが示唆された。

(5) 大学生を対象とした授業を通じた検証

建築学科の学生に対して、(4)で修正した授業プログラムを実施した(図3)。授業の実施と同時に、教材および授業の有効性そして改善点を把握、さらに知識の定着度を確保するため、知識・意識アンケートと小テストを行った。また課外演習として、シミュレータを用いた設計課題を行い、インタビュー形式のヒアリング調査を行った。それらの結果の一部を、シミュレータ演習の感想を中心に表1に示す。

実際にシミュレータを使って表面温度を算出することは、概ね学生にとって新鮮であり、興味を引くものであることが分かった。しかしながら、想定以上に計算時間が掛かり、授業時間内に計算が終わらない、あるいは考察の時間が取れない回があり、事前に十分に準備をして作成した計算モデルでもPC等の環境の違いで問題が生じており、改善の余地が見受けられた。アンケート中には、一から計算モデルの作成を行いたいとの声も見えており、短時間で容易にモデルが作成できるインターフェイスの開発が望まれる。

また、授業外にシミュレータで設計案を計算した学生は、自身が提案した熱環境改善手法の効果が定量的に示されることの有意性を感じていた。また、熱環境を予測・評価することにより設計の仕方が変わってくるとのコメントもあった。計算モデルの設定が難しく、計算がうまく回らないことがあり、シミュレータの操作性も課題として挙げられる。

(6) まとめ

本研究では、従来、定性的な議論しか行われなかった環境設計の設計製図において、基礎知識をつける可視化教材の開発や数値解析を用いた演習・設計製図を行い、定量的に評価しながら設計を課題を行う授業プログラムの提案を行い、その有用性を検討した。

今後の課題として、多くの大学の設計製図の授業へ展開するために、授業の講義マニュアルの作成やさらに自由度の高い設計を課題を行うためにシミュレータの操作性の向上などが挙げられる。



(a) シミュレータ演習の説明



(b) 計算結果の考察



(c) 設計課題の発表

図4. 授業風景

表1. アンケート、ヒアリング結果の一例

シミュレータ演習の感想 (アンケートによる自由記述) (カッコ内はこちらで加筆した)	<ul style="list-style-type: none"> ・建物の温度変化が見れておもしろかった。 ・シミュレータを用いた授業は新鮮で、自分で操作することで、(熱環境の)違いもわかりやすく、とても良い授業だった。 ・シミュレータを使いこなせるようになりたいと思った。 ・木の大きさによってはあまり意味(熱環境改善効果)がないことがわかった。
設計案の表面温度をシミュレータで算出した感想 (課外活動をした2名にヒアリング)	<ul style="list-style-type: none"> ・緑地の温度が低いのは、定性的にでも分かるが、計算により、数値として分かる。設計の仕方も変わってくると思う。 ・これまで木を植えれば効果があるだろうと漠然としか考えていなかった。今回シミュレータを使って、木を植えれば、どのような効果があるのか分かった。木の大きさや木を植える場所によって効果が変わること
シミュレータの操作性 (同上のヒアリング)	<ul style="list-style-type: none"> ・エラーで計算が回らないことが多かった。 ・CADを普段よく使っているが、シミュレータは操作方法が多少違っていて、慣れるのが難しかった。
その他 (同上のヒアリング)	<ul style="list-style-type: none"> ・演習で、シミュレータに触るのは面白いが、時間が足りなかった。急いでやっているので、何を目的でやっているのか分かりづらい。 ・簡単な形状の建物で良いので、一から自分で建物を作って、計算を回してみたかった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 1 件)

①熊倉永子、梅干野晁、中大窪千晶、3D-CAD対応熱環境シミュレータのための樹木モデルの基礎的検討-街づくりのための環境設計支援ツールの開発-、環境管理学会誌、68巻、11-19、2009、査読有り

〔学会発表〕(計 10 件)

①熊倉永子、梅干野晁、中大窪千晶、樹木の環境調整効果を活かした街づくりのための緑化支援システムの開発 その1 緑化支援システムの枠組みの提案、日本建築学会大会、2009.08.28、東北学院大学

②中大窪千晶、梅干野晁、熊倉永子、樹木の環境調整効果を活かした街づくりのための

緑化支援システムの開発 その2 緑化支援システムの枠組みの提案、日本建築学会大会、2009.08.28、東北学院大学

③Maiko Ishikawa、Akira Hoyano、Kazuaki Nakaohkubo、Eiko Kumakura、Planning and evaluation of urban green space for thermally comfortable environment in the station square -Numerical analysis using 3D CAD -based thermal environment simulator-、The 7th International Conference on Urban Climate、2009.06.29、Yokohama、Japan

④中大窪千晶、梅干野晁、何江、3D-CAD 対応熱環境シミュレータを用いた熱環境設計のための教育教材の開発に関する基礎的研究、日本ヒートアイランド学会第3回全国大会、2008.08.23、名古屋工業大学

⑤Koichiro Takahashi、Jiang He、Akira Hoyano、Development of a numerical simulation system to evaluate the cool-spot effect in residential areas、The 9th International Symposium on Building and Urban Environmental Engineering、2008.07.09、Hong Kong、China

⑥Eiko Kumakura、Kazuaki Nakaohkubo、Akira Hoyano、Development of the simulation tool for architectural design using the effects of plants、The 9th International Symposium on Building and Urban Environmental Engineering、2008.07.08、Hong Kong、China

⑦Jiang He、Akira Hoyano、Development of a combined simulation system for assessment of the urban/built environment、The 9th International Symposium on Building and Urban Environmental Engineering、2008.07.08、Hong Kong、China

⑧Hanae Ichimura、Jiang He、Akira Hoyano、Parametric study on the thermal effect of spatial form and solar reflectance and heat capacity of buildings - Aimed at designing a comfortable and less-impact built environment -、24th International Conference on Passive and Low Energy Architecture、2007.11.23、Singapore

⑨中村彰宏、市村花恵、何江、梅干野晁、熱環境シミュレーションを用いた建築・都市熱環境設計のための評価手法に関する研究 その1 (土地利用・空間形態・構成材料と表面温度との関係)、日本ヒートアイランド学会第2回全国大会研究発表会、2007.08.25、立教大学

⑩市村花恵、何江、梅干野晁、熱環境シミュレーションを用いた建築・都市熱環境設計のための評価手法に関する研究 その2 (評価手法の提案及びその有用性の検討)、日本ヒ

ートアイランド学会第2回全国大会研究発表会、2007.08.25、立教大学

[その他] (計 1 件)

総説

①梅干野晁、何江、市村花恵、白い街・黒い街とヒートアイランド現象～表面温度のシミュレーションを通して～、日本ヒートアイランド学会誌、2巻、4-9、2007

6. 研究組織

(1) 研究代表者

梅干野 晁 (HOYANO AKIRA)

東京工業大学・大学院総合理工学研究科・教授

研究者番号：50108213

(2) 研究分担者

何江 (JIANG HE)

東京工業大学・大学院総合理工学研究科・特任准教授

研究者番号：00401571

浅輪 貴史 (ASAWA TAKASHI)

東京工業大学・大学院総合理工学研究科・准教授

研究者番号：50361796

中大窪 千晶 (NAKAOKUBO KAZUAKI)

東京工業大学・大学院総合理工学研究科・助教

研究者番号：30515143

村上 暁信 (MURAKAMI AKINOBU)

筑波大学・システム情報工学研究科・講師
研究者番号：10313016

垂水 弘夫 (TARUMI HIROO)

金沢工業大学・環境・建築学部・教授
研究者番号：70163706

円井 基史 (MARUI MOTOFUMI)

金沢工業大学・環境・建築学部・講師
研究者番号：80508341