

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 15 日現在

機関番号：32613

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22360239

研究課題名（和文）ゼロエネルギー建築設計のためのシミュレーション技術の拡充と活用

研究課題名（英文）Application and extension of the simulation technology for the design of zero energy buildings

## 研究代表者

宇田川 光弘（UDAGAWA MITSUHIRO）

工学院大学・建築学部・教授

研究者番号：00133314

研究成果の概要（和文）：ゼロエネルギー建築の設計や性能評価に建築熱環境・エネルギーシミュレーションを活用するための研究を行った。1）既に、ソーラー建築などで使用実績のある汎用建築熱環境・エネルギーシミュレーションツール EESLISM を基礎として、太陽電池一体集熱器（PVT 集熱器）、蓄熱装置、ヒートポンプなどの要素機器の計算モデルおよび冷暖房負荷、給湯システムの制御などについて計算法を拡充した。2）ソーラー改修住宅、ローコストゼロエネルギー住宅などを事例として、設計や性能評価への活用方法を示した。また、熱帯地域の無冷房建築への適用についても検討した。

研究成果の概要（英文）：In order to apply to the design and the performance evaluation of zero energy buildings, the energy and thermal environment simulation technology was studied. 1) Based on EESLISM that has been used for the simulation of many solar buildings, the simulation models of PVT collectors, heat storage units and heat pumps were developed for the detailed simulation. 2) The extended EESLISM was used for the design and evaluation of the renovated solar houses and the low cost zero energy houses. In addition the possibility of no cooling buildings in a tropical area was studied.

## 交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	6,400,000	1,920,000	8,320,000
2011年度	4,100,000	1,230,000	5,330,000
2012年度	3,100,000	930,000	4,030,000
年度			
年度			
総計	13,600,000	4,080,000	17,680,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築環境・設備

キーワード：環境設備計画、省エネルギー、太陽熱利用、太陽光発電、室内環境、熱負荷、シミュレーション、性能評価

## 1. 研究開始当初の背景

(1) ゼロエネルギー建築とシミュレーション

ン

ゼロエネルギー建築は、建物において熱、

光、各種機器の運転などのために必要なエネルギーを全て太陽エネルギーなどの自然エネルギーで賄う建築と定義される。通常、建物では電気、ガス、灯油などの主に化石燃料起源のエネルギーにより、暖房、冷房、給湯、調理などの熱負荷および照明や建物内での使用機器などの電力負荷を賄っている。ゼロエネルギー建築は、このような熱負荷、電力負荷を全て自然エネルギーで賄う建築である。完全なゼロエネルギー建築は、エネルギー自立建築と呼ばれることもあり、電力、ガス、灯油など建物外部からのエネルギー供給無しに、自然エネルギーのみで年間の熱負荷、電力負荷を賄うものである。ネットゼロエネルギー建築は、年間の熱負荷、電力負荷の積算値と自然エネルギーで供給される熱や電力の年間積算値とが均衡することを目標としたものである。エネルギー自立建築は本来のゼロエネルギー建築といえるが、長期、短期についての大規模な蓄熱、蓄電システムが必要である。本研究では、実用化を期待する観点からネットゼロエネルギー建築を取り上げ、設計や性能評価に不可欠なシミュレーション技術の拡充と活用に関する研究を行う。

## (2) 国内外の研究動向

ゼロエネルギー建築についての情報は国内外で多く、インターネットで検索すると2万件程度が見られる。多くは、太陽エネルギー利用によりエネルギー使用量や光熱費、二酸化炭素排出量の削減を目標としたものである。歴史的なゼロエネルギー住宅として、1975年デンマーク工科大学の実験住宅がある。これは暖房、給湯の熱負荷を全て太陽熱で賄うことを目標としたものである。また、1992年には、ドイツのブラウンフッカー研究所のエネルギー自立建築の実証実験がある。これは、太陽光発電、太陽熱利用と燃料電池による完全なエネルギー自立を目標としたものである。また、2009年からはIEA/SHCでのネットゼロエネルギー共同研究も行われた。また、高断熱住宅に太陽光発電の導入を基本とすれば住宅に必要なエネルギー全てをネットゼロとすることも可能であり、このようなネットゼロ住宅は日本の住宅メーカー数社から提案されている。

## 2. 研究の目的

ゼロエネルギー建築の設計と性能評価にシミュレーションの活用を図ることにより、ゼロエネルギー建築の合理的な設計法、性能検証法を確立することが研究目標である。

これまでに宇田川を中心として開発してきた建築環境・エネルギーシステムシミュレーションツールEESLISMを拡充、検証し、ゼロエネルギー建築の設計と性能評価への活

用を図る。

### (1) 詳細シミュレーション手法の拡充と検証

ゼロエネルギー建築においては、室内環境や熱負荷の変動をより詳細、正確に把握する必要がある。また、太陽熱利用量や太陽光発電量についても建築設備一体化の効果や熱負荷、電力負荷との変動との関係など、従来設備を用いる建築よりも正確な把握が必要である。このような理由から、これまでのシミュレーションツールを拡充、検証し、更に詳細なシミュレーションモデル、ツールを作成する。

### (2) 設計と性能評価へシミュレーションの活用

設計への利用：ゼロエネルギー建築の建築・設備システムの総合的設計にシミュレーションを利用し、環境性能、エネルギー性能を予測し、利用条件に対応する設計を支援する。

性能評価への利用：回帰式ではなくシミュレーションモデルを構築しパラメータを実測から推測する方法の可能性を検討する。室温やシステム内の温度等や電気、ガスなどのエネルギー使用量、売電量は比較的容易に計測される。このような計測データをシミュレーションへの入力としてシミュレーションを行えば、システムの運転状況、設計目標到達の検証が可能となる。

## 3. 研究の方法

ネットゼロエネルギー建築の設計、性能評価にシミュレーションを活用するための研究であるが、シミュレーションモデルの作成、改良、検証に関わる理論的研究とともに、シミュレーションモデルの検証も必要である。このため、検証用の実験データ、実測データを収集するための実験研究も必要である。

研究内容は2つに分類される。

(1) これまでに筆者らが構築し、多くのシミュレーション事例があるEESLISMを拡充する。EESLISMにおけるシミュレーションモデル構造を基礎として、ゼロエネルギー建築でのシミュレーションに活用できるよう、システム構成要素モデルを開発、改良、拡充および検証を行った。

(2) ゼロエネルギー建築の建物対象は、研究対象としうる設計事例が比較的多い点および室内環境、暖房、冷房、給湯など設備機器の使用状況やエネルギー使用量などの詳細測定が実施し易い点を考慮して住宅を主たる対象とした。実際の住宅における測定を行い、シミュレーションで得られる建築性能、

設備性能の評価が、測定データに1基づく評価とどの程度一致するかを検証し、シミュレーションツールが、ゼロエネルギー建築の設計や性能評価への適用が可能であることを示した。

#### 4. 研究成果

ゼロエネルギー建築の設計と性能評価にシミュレーションの活用を図ることにより、ゼロエネルギー建築の合理的な設計法、性能検証法を確立することを目的として研究を行った。主な成果は以下のとおりである。

##### (1) ゼロエネルギー建築のシステム技術およびシミュレーション手法の拡充と検証

① 空調時の室温と熱負荷の計算モデルに関して、工学院大学KTC実験室の空調実験システムを用いて、実験を行った。2室の実験室で測定した冷房時の室負荷、空調機負荷、非空調時室温について、シミュレーション結果とほぼ一致することを確認した。さらに、実験結果から室内空気分布の影響を考慮する室熱負荷、空調機負荷計算モデルを作成、検討した。この結果、吹出し空気のバイパスモデルを使用することによりシミュレーションによる室温および空調機負荷の再現性が向上することを示した。

② 屋根一体型集熱器の計算モデルについて、空気式集熱器、太陽電池一体型集熱器を取り上げ検討した。太陽エネルギー利用システムとして、全外気式集熱システムを想定し、ネットゼロエネルギー住宅に適用する場合の予備集熱器、太陽電池一体型集熱器およびガラス付集熱器について、測定値とシミュレーション値を比較した。予備集熱器、ガラス付集熱器については集熱量、また太陽電池一体型集熱器については集熱量・発電量について、比較を行った。この結果、シミュレーションモデルの妥当性が検証された。

③ 砕石蓄熱、容器入水蓄熱、躯体内蓄熱などの蓄熱方式について計算モデルを作成、シミュレーションで試算した。また、太陽熱暖房給湯システムで使用される空気-水熱交換器、蓄熱槽内蔵熱交換器についての計算モデルについて検討し、熱媒流量の変化を熱交換有効率に関連させるモデルを作成した。

④ ヒートポンプの計算モデルについて、ルームエアコンおよびヒートポンプ給湯機についてモデルの作成を行った。熱負荷と機器の設定温湿度および外気条件とから電力使用量、COPを求める計算モデルを作成し、検討した。ヒートポンプ給湯器については、運転時の外気温度変化によるCOPの変動を反映させるモデルを作成した。

⑤ ヒートポンプ空調機、特にマルチパッケージ型空調機については、定格効率と実運転時の効率に相当差があることが知られてい

る。このため、多数の事例について長期連続測定を行った。この結果、低負荷時には定格効率よりかなり低い効率で運転されていることが確認された。この結果は、ヒートポンプの計算モデル改良に用いる。

⑥ 調湿機能のある内装パネルを試作し、室内熱環境や熱負荷シミュレーションに必要なデータを得るため性能試験を行った。

##### (2) システム性能評価、設計へのシミュレーションの適用

① 樹木や周囲環境の影響を考慮する建築熱負荷シミュレーション手法を提案し、室内熱環境や暖房・冷房負荷に与える影響について年間シミュレーションにより検討した。シミュレーションにおいて、周囲環境の影響を考慮するには、周囲環境のデータ入力の特長が重要である。拡張されたEESLISMでは、周囲環境の中でデータ入力を3次元画像表示で確認する機能があるが、この機能についても検証し、確実な周囲条件データ入力法であることを検証した。

② 密集住宅地におけるネットゼロエネルギー住宅について、太陽光発電、太陽熱給湯を設置した住宅についてシミュレーションによる性能予測を行い、都心の密集住宅地でもネットゼロエネルギー住宅は可能であることを示した。

③ 太陽熱利用・太陽光発電住宅の設計におけるシミュレーションの適用例を示した。太陽熱利用や太陽光発電を設置と建物の断熱改修を行う4戸の改修住宅について、改修前および改修後の室温および暖房・冷房・給湯の熱負荷、一次エネルギー使用量、CO2排出量などをシミュレーションにより比較し、改修の効果を定量的に示した。4戸のうち1戸については、太陽電池一体型集熱器を設置するためネットゼロエネルギー住宅となることを予測した。また、2戸のローコスト新築住宅をネットゼロエネルギー住宅とするための建物断熱仕様、暖房・冷房・給湯の省エネルギー対策、太陽電池設置面積などをシミュレーションを用いて検討した。この検討結果に基づいて、2戸のネットゼロエネルギー住宅が設計、建設された。

④ 3戸の太陽熱利用改修住宅における約1年間の実測データとシミュレーション結果との比較により、シミュレーションによる再現性を検討した。屋根一体型空気式太陽熱集熱器、集熱器併用太陽光発電パネル、給湯用蓄熱槽、床下蓄熱などシステム構成機器の計算モデルの検討とともに、住宅全体のシミュレーション結果も検討し、実測データを概ね再現できることを検証した。3戸のうち1戸については、ネットゼロエネルギーが達成できることも検証した。

⑤ ベトナムのホイアン市に、建設された環

境共生建築型店舗併用住宅について実測を行い、蒸暑地域の開放的な建築における室内環境、エネルギー使用量を測定した。測定データにより熱帯都市郊外におけるゼロエネルギー建築の可能性について分析を行うとともに、シミュレーション方法を検討した。なお、この建物では、バイオジェルフィルターによる汚水処理も行っており、小容量の太陽光発電を用いれば給湯、排水処理も含めた、ゼロエネルギー建築となることが期待されることを示した。

⑥ 冷房ゼロエネルギー住宅のための基礎研究として、太陽熱利用デシカント冷房システムの可能性について検討した。デシカント除湿器、気化冷却器の計算モデルの作成および太陽熱除湿・冷房システムとしての性能の検討を行った。

⑦ EESLISMを太陽熱給湯システムの詳細な実測データの再現性についても検討し、太陽熱利用システムの性能評価やシステム設計に利用できることを検証した。

⑧ 日射遮蔽や通風に配慮した低層集合住宅の居住者行動の室内環境改善効果を実測、シミュレーションにより検討し、居住者行動のパッシブ性能向上への効果を検証した。

なお、本研究で、拡充、改良を行い、設計や性能評価に使用してきたシミュレーションプログラムEESLISMは、WEBサイトで公開し、広く関係者の利用に供している。

## 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 26 件)

- ① 宇田川光弘、ソーラー建築とスマートコミュニティに向けた新時代、太陽エネルギー、査読無、214号、3-7、2013
- ② 宇田川光弘、盧炫佑、楠崇史、Study on renovation to solar houses with air collector Part1 House T -Renovation to the net zero energy house, Proceedings of EuroSun 2012, 査読有, Topic 3, 8ページ, 2012
- ③ 盧炫佑、宇田川光弘、楠崇史、Study on renovation to solar houses with air collector Part2 House N -Renovation of the typical two storied house, Proceedings of EuroSun 2012, 査読有, Topic 3, 6ページ
- ④ 樋口佳樹、宇田川光弘、楠崇史、山田貴弘、吉田晃、Design and Verification of an Environmentally Symbiotic Building in the Tropical City, Proceedings of ZEMCH 2012

International Conference, 査読有, 2012,92-101

- ⑤ Dhamne, K., Rohatgi, A., 野口昌良、樋口佳樹、宇田川光弘、Examining cost-effectiveness of PV/T MVHR systems applied to Scottish House, Proceedings of ZEMCH 2012 International Conference, 査読有, 2012, 584-606
- ⑥ Kyosuke Yamada, Tatsuo Nobe, Annual performance of VRF system measured with Probe Insertion Method, Healthy Buildings 2012 Proceedings, 査読有, 2012, CD-R 7E.9, 6ページ
- ⑦ Mayu Sekino, Yusuke Nakajima, Research on the environment and lifestyles in an environmental friendly housing using natural materials, AIUE 2012 in Taipei, International Conference on Sustainable & Smart, Community Development, Proceedings, 査読有, 2012, 315-320
- ⑧ 野口昌良、樋口佳樹、宇田川光弘、Jun-Tae Kim, Billy Kirkwood, Calibrating the impact of a photovoltaic thermal mechanical ventilation heat recovery system on the delivery of net zero-energy housing in Scotland, Solar Building Skins, Conference Proceedings of the 6th ENERGY FORUM, 査読有, 2011, 113-117
- ⑨ 野部達夫、芳賀裕輔、中村北斗、田中光太郎、木口雅之、プローブ挿入法によるマルチパッケージ型空調機の運用時性能評価法、日本建築学会環境系論文集、査読有、2011、927-933
- ⑩ 樋口佳樹、宇田川光弘、佐藤誠、盧炫佑 User Friendly Tool to Use Text Base Input Data for Solar Building Simulations、Proceedings of Solar World Congress 2011, 査読有, 2011, 8ページ
- ⑪ 野口昌良、樋口佳樹、宇田川光弘、Billy Kirkwood, Comparative Analysis of Low and High Efficient PV Roof Air Heating Capacity for Zero Energy Home Builders' Design Decision Making, Proceedings of Solar World Congress 2011, 査読有, 2011, 11ページ
- ⑫ 楠崇史、宇田川光弘、平柳奏、的場靖代、盧炫佑、佐藤誠、Simulation study on a net zero energy house with solar air collectors, Proceedings of Solar World Congress 2011, 査読有, 2011, 11ページ
- ⑬ 平柳奏、宇田川光弘、的場靖代、楠崇史、佐藤誠、盧炫佑、Simulation models of

- building integrated collectors and PV modules, Proceedings of Solar World Congress 2011, 査読有, 2011, 9ページ
- ⑭ 的場靖代、宇田川光弘、楠崇史、平柳奏、盧炫佑、Simulation study on the heat storage systems combined with air collectors, Proceedings of Solar World Congress 2011, 査読有, 2011, 9ページ
- ⑮ 樋口佳樹、宇田川光弘、佐藤誠、密集住宅地におけるゼロエネルギーハウスの可能性に関する検証、太陽エネルギー、有、査読有、201号(37-1)、2011、31-39
- ⑯ 成田有沙、宇田川光弘、楠崇史、大場康司、Evaluation of a solar house with air collector system using measurement and simulation, Proceedings of EuroSun 2010, 査読有, 2010, Topic 3-40, 7ページ
- ⑰ 大場康司、宇田川光弘、楠崇史、成田有沙、Evaluation of a solar space and domestic hot water heating system with water type of collector, Proceedings of EuroSun 2010, 査読有, 2010, Topic 3-41, 7ページ
- ⑱ 樋口佳樹、宇田川光弘、戸建住宅の室温および熱負荷に対する樹木の影響 周囲環境を考慮した住宅の熱負荷シミュレーションに関する研究 その3、日本建築学会環境系論文集、査読有、Vol.75-657、2010、953-959
- ⑲ 宇田川光弘、佐藤誠、樋口佳樹、Simulation of building integrated solar energy systems using EESLISM, Proceedings of Renewable Energy 2010, 査読有, 2010, O-At-2-1, 4ページ
- ⑳ 樋口佳樹、宇田川光弘、佐藤誠、Design and performance prediction of a zero energy house, Proceedings of Renewable Energy 2010, 査読有, 2010, O-At-2-5, 4ページ

[学会発表] (計 55 件)

- ① 楠崇史、宇田川光弘、盧炫佑、空気集熱式ソーラー改修住宅を利用した EESLISM の検証、太陽エネルギー学会、2012年11月9日、北九州国際会議場
- ② 樋口佳樹、楠崇史、宇田川光弘、山田貴弘、吉田晃、環境共生建築における外壁の熱性能と排水処理性能の検証ーホイアンにおける店舗併用住宅の環境設計と計測 その2ー、太陽エネルギー学会、2012年11月9日、九州国際会議場
- ③ 宇田川光弘、EESLISMによるソーラー建築のシミュレーション、日本太陽エネルギー学会 シミュレーション技術講演会 (招待講演)、2012年11月1日、東京工業大学キャンパスイノベーションセンター
- ④ 平柳奏、宇田川光弘、楠崇史、的場靖代、盧炫佑、空気集熱式ソーラー住宅のシミュレーションによる改修性能予測 その1 長久手 N 邸、日本建築学会大会、2012年9月13日、名古屋大学
- ⑤ 的場靖代、宇田川光弘、楠崇史、平柳奏、盧炫佑、空気集熱式ソーラー住宅のシミュレーションによる改修性能予測 その2 高崎 T 邸、日本建築学会大会、2012年9月13日、名古屋大学
- ⑥ 楠崇史、宇田川光弘、平柳奏、的場靖代、盧炫佑、空気集熱式ソーラー住宅川崎 T 邸の改修性能、日本建築学会大会、2012年9月13日、名古屋大学
- ⑦ 須田礼二、宇田川光弘、吉永美香、坊垣和明、奥宮正哉、太陽熱利用の環境価値化に向けた研究 その3 EESLISM シミュレーションによる実証、2012年9月13日、名古屋大学
- ⑧ 樋口佳樹、宇田川光弘、楠崇史、山田貴弘、吉田晃、熱帯都市住居における環境共生建築の性能評価ーホイアンにおける店舗併用住宅の設計と計測ー、日本建築学会大会、2012年9月13日、名古屋大学
- ⑨ 関野茉祐、木藤宏美、中島裕輔、自然素材を用いた郊外型コーハウジングにおける室内環境と住まい方に関する研究 (その1) 夏期における室内環境評価とパッシブ手法の活用法検討、日本建築学会大会、2012年9月13日、名古屋大学
- ⑩ 小川哲史、今成岳人、野部達夫、田辺新一、久保木真俊、丹羽勝巳、大宮政男、中小既築ビルにおける再生可能エネルギーを活用した ZEB 化の実証 (第3報: 回収後1年間のエネルギー消費実績の概要)、日本建築学会大会、2012年09月12日、名古屋大学
- ⑪ 楠崇史、宇田川光弘、盧炫佑、佐藤誠、ソーラー改修住宅を利用した EESLISM の検証ーT 邸の暖房期のシミュレーションー、空気調和・衛生工学会、2012年9月6日、北海道大学
- ⑫ 宇田川光弘、A Short Story of Solar House 'Toward zero energy house'、ZEMCH 2012 International Conference (招待講演)、2012年8月22日、Glasgow School of Art (英国)
- ⑬ 平柳奏、宇田川光弘、楠崇史、的場靖代、盧炫佑、シミュレーションによる空気集熱式ソーラー改修住宅の性能評価 その1 長久手N邸、日本太陽エネルギー学会、2011年9月21日、稚内総合文化センター
- ⑭ 的場靖代、宇田川光弘、楠崇史、平柳奏、盧炫佑、シミュレーションによる空気集

熱式ソーラー改修住宅の性能評価 その2 高崎N邸、日本太陽エネルギー学会、2011年9月21日、稚内総合文化センター

- ⑮ 平柳奏、宇田川光弘、楠崇史、的場靖代、建築外皮一体太陽熱集熱器及び太陽電池における建築設備シミュレーション、空気調和・衛生工学会 平成23年度大会、2011年9月16日、名古屋大学
- ⑯ 宇田川光弘、佐藤誠、樋口佳樹、EESLISMによる建築一体型設備システムのシミュレーション、日本建築学会大会、2011年8月23日、早稲田大学
- ⑰ 樋口佳樹、宇田川光弘、ゼロエネルギー住宅のシミュレーションによる設計と評価、日本建築学会大会、2011年8月23日、早稲田大学
- ⑱ 樋口佳樹、宇田川光弘、橋場保則、ローコスト・ゼロエネルギーソーラーハウスの提案、日本太陽エネルギー学会、2010年11月5日、日本大学工学部
- ⑲ 楠崇史、宇田川光弘、平柳奏、成田有沙、KTCを利用したEESLISMの検証(第9報)給気風量を用いたバイパス風量比率の算出方法、空気調和・衛生工学会、2010年9月1日、山口大学吉田キャンパス
- ⑳ 成田有沙、宇田川光弘、楠崇史、空気式太陽熱暖房給湯住宅のシミュレーション、空気調和・衛生工学会、2010年9月2日、山口大学吉田キャンパス

[図書] (計1件)

田中俊六、宇田川光弘、斎藤忠義、大塚雅之、秋元孝之、田尻睦夫、最新建築設備工学 改訂版、井上書院、2010、327 ページ (33-43, 68-73, 101-122)

[その他]

EESLISMのダウンロードサイト

<http://ees.arch.kogakuin.ac.jp/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

宇田川 光弘 (UDAGAWA MITSUHIRO)  
工学院大学・建築学部・教授  
研究者番号：00133314

### (2) 研究分担者

なし

### (3) 連携研究者

野部 達夫 (NOBE TATSUO)  
工学院大学・建築学部・教授

研究者番号：40338273

中島 裕輔 (NAKAJIMA YUSUKE)  
工学院大学・建築学部・准教授  
研究者番号：20329139

### (4) 研究協力者

佐藤 誠 (SATO H MAKOTO)  
工学院大学客員研究員、佐藤エネルギー  
リサーチ (株)・代表取締役  
盧 炫佑 (ROH HYNWOO)  
工学院大学客員研究員、OMソーラー (株)  
技術部・部長  
樋口佳樹 (HIGUCHI YOSHIKI)  
工学院大学客員研究員、日本工業大学・  
准教授  
野口 昌良 (NOGUCHI MASAYOSHI)  
工学院大学客員研究員、グラスゴー美術  
学校・准教授  
山田貴宏 (YAMADA TAKAHIRO)  
ビオフォルム環境デザイン室代表  
廣田桂子 (HIROTA KEIKO)  
岐阜県立森林文化アカデミー・准教授  
楠 崇史 (KUSUNOKI TAKAFUMI)  
工学院大学大学院研究生