

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3日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21360276

研究課題名（和文） 分散エネルギーシステムを中核とした再生可能エネルギー導入最適化設計ツールの開発

研究課題名（英文） Development of Optimal Design Tool of Distributed Energy System for Utilization of Renewable Energy

研究代表者

大岡 龍三（OOKA RYOZO）

東京大学・生産技術研究所・教授

研究者番号：90251470

研究成果の概要（和文）：

分散エネルギーシステムの導入は、再生可能エネルギーや未利用エネルギーの利用を促進し、地域エネルギーネットワークの効率的な運用の実現が期待される。コジェネレーションに基づいた分散エネルギーシステムは、発電時の排熱を有効利用することで高い省エネルギー性能を示す可能性がある。しかし、機器や運用の適切な組み合わせなくしては、期待された性能を実現することはできない。そこで本研究では、遺伝的アルゴリズム（Genetic Algorithm, GA）を用い、分散エネルギーシステムの最適計画手法の開発を行った。

研究成果の概要（英文）：

Distributed energy system is expected to enlarge the usage of renewable energy or unused energy effectively, or to raise energy efficiency working as local energy network. Distributed energy system based on cogeneration system has high potential of energy saving due to utilizing waste heat from power generator effectively. However, unless the appropriate combination of machinery and operation is conducted, the expected performance is not achieved. In this study, we developed the optimal design method for the distributed energy system using genetic algorithms (GAs).

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	5,900,000	1,770,000	7,670,000
2010年度	4,300,000	1,290,000	5,590,000
2011年度	4,300,000	1,290,000	5,590,000
年度			
年度			
総計	14,500,000	4,350,000	18,850,000

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：建築設備・最適計画手法・再生エネルギー

1. 研究開始当初の背景

(1) 分散エネルギーシステムによる再生可能エネルギーの導入可能性

CO₂排出削減目標達成に向けた取組みが急務である状況において、太陽光や風力、バイ

オマス等の再生可能エネルギー、各種排熱や温度差エネルギー等の未利用エネルギーの積極的導入は必然である。しかしながら、これらのエネルギーは地域に広く薄く分布する傾向にあり、効率的な利用は容易ではない。

これらの問題に対して、分散エネルギーシステムを中核とした地域エネルギーネットワークは、散在する再生可能エネルギー・未利用エネルギーの効率的な面的利用が期待できる。特に、分散エネルギーシステムの一形態であるオンサイト型の電熱併給システムは省エネルギー効果等が期待される他、自然条件に左右される再生可能エネルギーの供給不安定性を補完するシステム運用が可能となることから、地域のエネルギー利用の柔軟性、信頼性の向上、地域性を活かした事業展開が期待できる。研究代表者である大岡らは、「複合密集市街地更新における分散型エネルギーシステムの導入に関する研究その3 分散型エネルギーシステム導入に伴う市街地の屋外温熱環境に対する影響分析」（日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1, pp.521-522, 2005）において、屋外温熱環境の視点から分散型エネルギーシステムの市街地導入に向けた研究に取り組んできた。

(2) エネルギーシステム構成要素の多様化

建築環境・設備分野において省エネルギー・CO₂排出量削減を目指した研究活動が多く取組まれており、特に、設備機器単体においては、研究開発による機器単体の高効率化、及びCO₂排出量削減が実施されている。しかしながら、過大設計に起因する低負荷運転の発生など、システムを構成する機器群の効率的運用が実現されなければ、かえってエネルギー消費が増大することも報告されている。特に、複数の機器や建物が関連する分散エネルギーシステムにおいては、需要と供給の収支は複雑を極め、最適計画が困難となる。これらの課題を克服するためには、エネルギーシステム設計者が実務において効率的に最適計画を行うことができる最適計画手法（最適設計手法）が必須である。研究代表者である大岡は、「遺伝的アルゴリズムを用いた都市・建築設備のエネルギーシステム最適設計手法の開発」（日本建築学会環境系論文集 No.620, pp.43-50, 2007）において、総合的なエネルギーシステム最適計画手法の基礎を構築した。

2. 研究の目的

本研究は、都市部に分散配置された発電拠点から電力と熱を併供給する分散エネルギーシステムを中核とした再生可能エネルギー導入（図1）の拡大可能性に着目し、遺伝的アルゴリズムを用いたエネルギーシステム最適計画手法を拡張した「再生可能エネルギー導入最適化設計支援ツール」の開発に取り組むものである。

本研究で対象とする分散エネルギーシステムは、複数の建物間のエネルギー需給バランスを最適化し、システム構成およびシステム運用計画の最適化を行う。複数の建物群で構

成される分散エネルギーシステムの計画は、システム全体に組み込まれる膨大な機器が対象となり、考慮すべき評価要素を総合的に達成する計画は極めて実現困難である。特に、電力需要だけでなく熱需要に対しても効果的な運用を求められることが多い。本研究では、エネルギーシステム設計における設備機器の機種・容量・台数分割の選定から、構築されたエネルギーシステムの運用計画までの、総合的な最適化を図る計画手法の開発に取り組んだ。最適化手法の一つである遺伝的アルゴリズム手法（Genetic Algorithms, GA）を適用し、建築環境・設備分野と数値最適化分野における研究蓄積の積極的利用による、新たな計画手法の確立を目指した。本研究成果は、建築環境・設備分野および数値最適化分野の両分野の発展に寄与し、新たな応用研究分野の創出が期待できる。

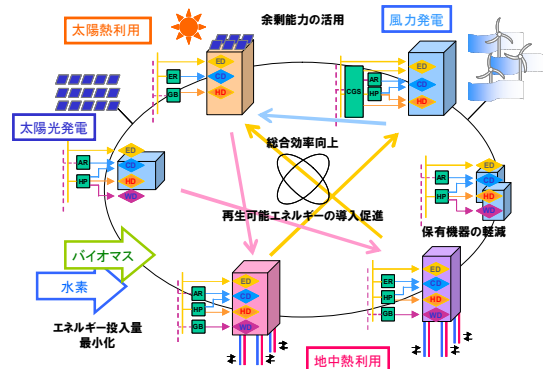


図1. 分散エネルギーシステムを中核とした再生可能エネルギー導入のイメージ

3. 研究の方法

主に、以下の5つの研究課題について取り組んだ。「遺伝的アルゴリズムを用いた分散エネルギーシステム最適計画手法の開発その1 建物単体のシステム最適計画」（エネルギー・資源学会第24回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス, 2008, 他4題）において建物単体の新築計画を対象とした最適計画手法として開発を完了している最適化モデルに対し、課題1) 関連機器データベース構築、課題2) 多目的最適化モデル拡張、課題3) 二次側システム最適化モデル拡張、課題4) 再生可能エネルギー最適化モデル拡張、課題5) 建物間エネルギー融通最適化モデル拡張を行った。

4. 研究成果

(1) エネルギーシステム機器情報データベース構築

実務適用を目指す最適化モデルには、機器情報が不可欠である。既存の最適化モデルでは、市場で入手可能な熱源機器の能力ラインナップ、およびその機器性能情報を整備した。

機器性能については、機器データはメーカーカタログ値および省エネ法に基づく CEC/AC 計算プログラム「BECS/CEC/AC for Windows」((財) 建築環境・省エネルギー機構)の機器データベースの値を参照している。本研究を進めるにあたり、「再生可能エネルギー利用機器の性能情報」、および「対象機器のコスト情報」を入手し、データベースを構築する必要がある。データベース構築にあたっては、専門メーカーのカタログ情報、技術資料の提供が不可欠であり、空調メーカーとの共同研究経験の多い大岡、加藤が担当した。特に、コジェネレーションやガス燃熱源機器については、研究協力者の市川氏(東京ガス株式会社)から技術的協力を得ながら取組んだ。

(2) コストを考慮した多目的最適化モデル拡張

現状開発を完了した最適化モデルは、投入される一次エネルギー消費量最小化を目的関数として最適化する「単目的最適化問題」である。しかし、機器の台数分割によって効率化が図られる場合、過大な設備が選択されることが懸念され、非現実的な解が最適解として選出されてしまう恐れがある。この課題を克服するために、経済性を含めた「多目的最適化問題」を解く必要があった。本研究課題では、トレードオフ関係にある複数の目的関数に対して優秀な解群「パレート最適解群」を効率的に導くことができる多目的 GA (Multi-Objective Genetic Algorithm ; MOGA) を適用し、コスト計算を行うプログラムを作成と、前述のデータベースとの連成を行った。

(3) 二次側システム最適化モデル拡張

現状開発を完了した最適化モデルは、各エネルギー需要は実建物を計測したデータを統計的に処理し提供されている原単位を用いている。実務適用を踏まえると、原単位を用いた最適計画は、計画対象の建物の設計と条件が少ない段階でも検討可能である長所がある。しかし、原単位を用いる場合、建物用途と建物規模しか条件として設定することができず、建物外壁性能や居住者の生活パターンの考慮、二次側設備を含めた最適化、室内側での自然エネルギー活用や建物性能の向上など、熱源二次側の技術適用を考慮した最適化を検討することができない。この課題を克服するため、最適化モデルの改良が必要であった。

本研究課題では、エネルギーシステムのうち、既存の最適化モデルにおいて開発が完了している一次側熱源機器(冷凍機、ボイラ、ヒートポンプなど)の最適化に加え、熱負荷計算モデルとして汎用性の高いプログラム TRNSYS と連成させることにより、各室の熱負荷に対処する二次側熱源(ファンコイルユニット、エアハンドリングユニットなど)を含めた空調設備全体の最適化に取組んだ

(4) 再生可能エネルギー最適化モデル拡張

現状開発を完了した最適化モデルで扱う機器は、ガスおよび電力を投入資源とする熱源機器が主であり、非化石燃料を用いる機器は太陽光発電パネルのみである。本研究課題では、再生可能エネルギーを用いる機器を検討対象に加え、検討街区に潜在する再生可能エネルギーの活用を検討できる最適化モデルの拡張に取組んだ。再生可能エネルギーは、太陽光、太陽熱、地中熱、風力、バイオマスを対象とし、計算モジュールを作成した。

このうち、地中熱利用については、「大都市における基礎杭を利用した地中熱空調システムの普及・実用化に関する研究」(NEDO エネルギー使用合理化技術戦略の開発 平成 15 年 10 月～平成 18 年 3 月)の研究課題において地中熱移動シミュレーションモデル開発について成果を挙げている。最適化モデルと上記の地中熱利用モデルを連成し、地中熱利用を含めたエネルギーシステムの最適化に取組んだ。

(5) 建物間エネルギー融通最適化モデル拡張

本研究課題では、再生可能エネルギー導入に際して課題となる、システム全体の効率向上、自然条件の変動による供給不安定への対応という課題に対して有効性が期待される分散エネルギーシステムを計画するために、開発中の最適化モデルを拡張し、建物間エネルギー融通モデルの開発に取組んだ。

ここでは、プロトタイプとして建物用途の異なる 2 棟の建物(事務所ビルと集合住宅)間でのエネルギー融通を想定し、2 棟が保有するシステム全体の最適計画と、その最適運用についてケーススタディを行った。検討に際し、以下の 6 ケースを設定した(図 2)。

- Case1a : 建物単体を対象としたエネルギーシステム最適化(事務所)
- Case2a : 建物単体を対象としたエネルギーシステム最適化(集合住宅)
- Case1b : 単体最適化のエネルギーシステムを連結した運用最適化(事務所)
- Case2b : 単体最適化のエネルギーシステムを連結した運用最適化(集合住宅)
- Case1c : 建物間エネルギー融通最適化(事務所)
- Case2c : 建物間エネルギー融通最適化(集合住宅)

図 3 に、一次エネルギー消費量の比較を示す。建物単体最適化(Case1a, 2a)に比べ、建物間エネルギー融通ケース(Case1b, 2b)は 5.0%のエネルギー消費量削減につながる結果を得た。さらに、エネルギー融通するシステム全体の最適化(Case1c, 2c)を導くと、6.2%削減となる結果を得ることができ、2 棟全体の最適化により、さらなる削減効果が期待できることがわかった。また、設備設計者による経験的決定ケースと比較すると、エネルギー

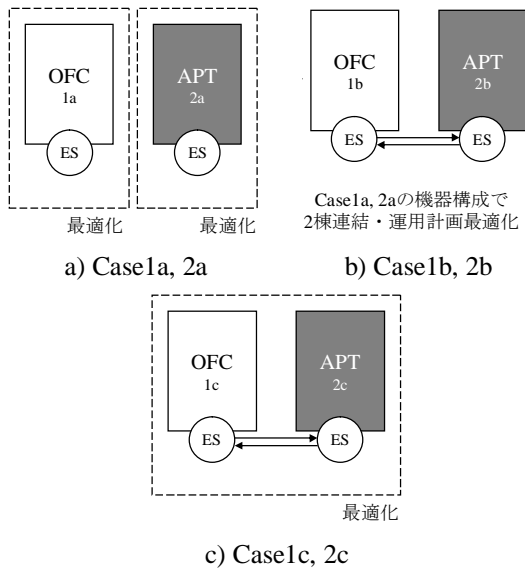


図 2. 建物間エネルギー融通最適化に関するケーススタディの検討ケース

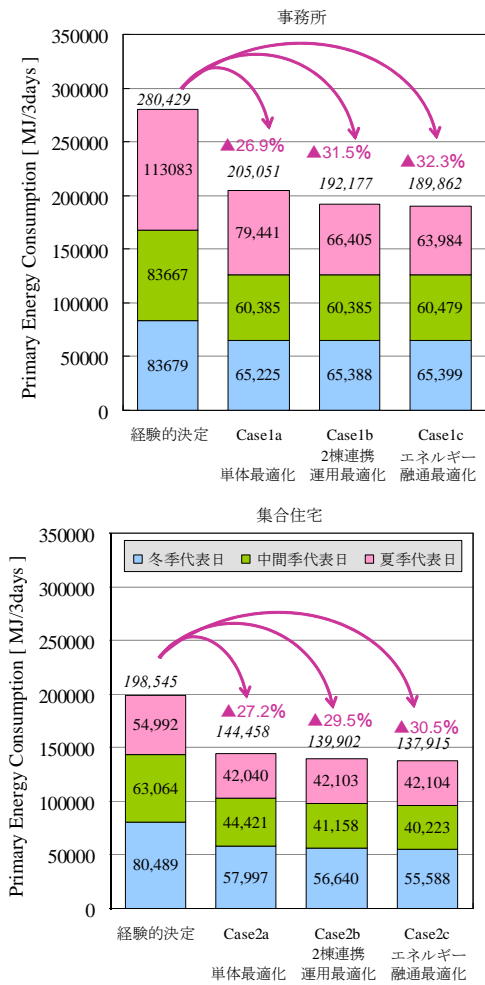


図 3. 建物間エネルギー融通最適化に関するケーススタディの一次エネルギー消費量

一融通最適化ケースは、30%程度の一次エネルギー消費量削減効果を見込むことができる結果を得た。

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 3 件)

- ① 加用現空、大岡龍三、遺伝的アルゴリズムを用いた建物間熱融通に関する最適計画モデルの開発、日本建築学会環境系論文集、査読有、76 巻 662 号、2011、pp. 419-424、DOI: 10.3130/aije.76.419
- ② 加用現空、大岡龍三、多目的遺伝的アルゴリズムを用いたエネルギー消費と経済性に関する熱源最適計画、日本建築学会環境系論文集、査読有、75 巻 654 号、2010、pp. 735-740、DOI: 10.3130/aije.75.735
- ③ 加用現空、大岡龍三、複合街区における分散エネルギーシステムの面的活用に関する GA 最適化、日本建築学会環境系論文集、査読有、75 巻 649 号、2010、pp. 297-304、DOI: 10.3130/aije.75.297

[学会発表] (計 4 件)

- ① 加用現空、大岡龍三、市川徹、工月良太、清幹広、複合街区における分散エネルギーシステムの面的活用に関する GA 最適化、空気調和・衛生工学会学術講演会、2009.09.17、熊本
- ② 加用現空、大岡龍三、遺伝的アルゴリズムを用いた分散エネルギーシステム最適計画手法の開発(その 5)、日本建築学会大会、2009.08.29、仙台
- ③ Genku Kayo, Ryozo Ooka, Methodology to Design Optimal Building Energy System using Genetic Algorithms, ESDev2009, 2009.08.16, Abbottabad, パキスタン
- ④ Genku Kayo, Ryozo Ooka, Application Multi-Objective Genetic Algorithm for Optimal Design Method of Distributed Energy System, Building Simulation 2009, 2009.07.27, グラスゴー, スコットランド

[その他]

ホームページ

<http://venus.iis.u-tokyo.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大岡 龍三 (OOKA RYOZO)

東京大学・生産技術研究所・教授

研究者番号： 90251470

(2) 研究分担者

加藤 信介 (KATO SHINSUKE)
東京大学・生産技術研究所・教授
研究者番号： 00142240

(3) 連携研究者

なし