分散型エネルギーシステムの経済的な運転最適化モデルの構築
と北九州学研都市におけるケーススタディECONOMIC OPTIMIZATION MODEL FOR OPERATION OF DISTRIBUTED ENERGY SYSTEM
AND CASE STUDY ON KITAKYUSHU SCIENCE AND RESEARCH PARK IN JAPAN

楊 涌 文*, 高 偉 俊**, 阮 応 君***, 韋 新 東****, 渡 辺 俊 行*****

Yongwen YANG, Weijun GAO, Yingjun RUAN,

Xindong WEI and Toshiyuki WATANABE

This paper presents a model of a distributed energy system, which was introduced in Kitakyushu Science and Research Park, in order to evaluate the energy saving and operating characteristics of the distributed generation system. We analyzed the effects of fuel price and equipment efficiency on the operation time, running cost and energy saving. The increase of electricity price and decrease of gas price will increase the attractiveness of distributed energy resource. According to the load function of the system, the energy-saving, environmental improvement will have a maximum value at its optimal operating time. Compared with heat recovery efficiency, power generation efficiency has more influence on the energy saving and CO₂ reduction when the total efficiency of system is fixed.

Keywords: Distributed energy system, GAMS, Environment evaluation, Energy saving, Economy

地域分散型エネルギーシステム, GAMS, 環境性, 省エネルギー性, 経済性

1. はじめに

世界的なエネルギー消費量の急増に伴い、エネルギー資源の枯渇化や地球環境問題への関心が高まるなか、省エネルギー、CO₂排出量の削減などの様々な観点からエネルギー利用のあり方が問われている。このような背景の下、分散型エネルギーシステムが新しいシステムとして導入されつつある。しかし、それらのシステムの導入に際しては、個々の機器効率が高いものの、それらの機器で構成されたシステム及びその運用を全体で見た場合、全ての導入事例において、必ずしも省エネルギー性、経済性及び環境保全性が高いとは言えない。それらの原因、理由としては、計画設計段階での支援システムの無さ、初期投資決定過程でのライフサイクル的視点の欠如、運転管理時のデマンドサイドへの配慮の欠如等が指摘できる。

分散型電源の分析評価システムについてはアメリカでもいくつかあり、例えばワシントン州立大学 ENERGY PROGRAM が開発した分散型システム分析ソフトウエア HEATMAP はそのひとつである¹⁾。HEATMAP は導入しようとする分散型電源およびコージェネレーションシステムプラントの最適な容量、運転スケジュール、ネットワーク内パイプのサイズまで決定することができる。さらに熱の搬送システムを決め、コスト全体及び環境性などの予測ができる。しかし、これは導入しようとするシステムと技術がある程度確定し、その評価を行うというシナリオである。用途別、規模別の建物に対して技術の最適化はできない。

日本における分散型電源やコージェネレーションに関する研究は省エネルギー性、環境性に関する評価が多く、現実的に顧客にとっての経済性に関する評価は少ない。しかし、これは分散型電源導入を推進し、普及させる重要な部分であることは言うまでもない。そのような中、空調調和・衛生工学会が販売している評価プログラム CASCADE²⁾ はホテルや病院など5種類の建物用途の負荷データを内蔵しており、環境性、省エネルギー性と経済性を総合的に評価できる。しかし、汎用的なソフトとしてデータは平均的なものであり、気象条件や地域性による各地域負荷の違いが考慮されておらず、平日と休日のタイプ別による区別がなく、ピーク時の負荷も把握できない。ピーク時の負荷が各月のピーク時負荷も直接電力契約量を決定し、コージェネレーションの導入によりピークカットができ、さらに導入側の電力購入コスト削減につながるので、評価する際重要だと思われるが、現実にはほとんど考慮されていない。

また、山口容平らは2棟間の分散型電源システムの省エネルギー性と経済性を検討しており^{3) 4)}、また、東京大学の奥田英信らの『P15-07 マイクロガスタービンの性能試験に基づくコージェネレーションシステムの導入評価』⁵⁾ はマイクロガスタービンの負荷特性を考慮し、最適化手法を用いて年間エネルギーコスト最小化した場合コージェネレーションの最適運用方法を示し、経済性と環境性について考察している。

以上、分散型電源ならびにコージェネレーション導入に関する評

* 北九州市立大学大学院 博士後期課程

** 北九州市立大学・西安交通大学・吉林建築工程学院
教授・工博

*** 九州大学大学院 外国人特別研究員・工博

**** 吉林建築工程学院・北九州市立大学 教授・工博

***** 九州大学人間環境学研究院 教授・工博

Ph. D. Candidates, The Univ. of Kitakyushu, M. Eng.

Prof., The Univ. of Kitakyushu, Xi'an Jiaotong Univ., Jilin Archit. and Civil Eng. Institute,
Dr. Eng.

Special Researcher, The Univ. of Kyushu, Dr. Eng.

Prof., The Univ. of Kitakyushu, Jilin Archit. and Civil Eng. Institute, Dr. Eng.

Prof., The Univ. of Kyushu, Dr. Eng.

図1 モデルのコンセプト

表1 パラメータの設定

符号	項目	単位
Z_{cost}	総コスト	円
E_{Load}	対象の電力負荷	kJ
E_{Load}^{Max}	電力負荷のピーク値	kW
E_{PS}^{MAX}	電力供給システムの発電定格容量	kW
E_{BYE}	買電量	kJ
E_{BYE}^{MAX}	系統電力契約容量	kW
E_{PS}^{IN}	電力供給システムの電力供給量	kJ
E_{Use}	電力契約料金	kW
C_{Ele}^{Month}	電力基本料金	円/kW
C_{Ele}^{Vol}	電力従量料金	円
H_{Load}	対象の熱負荷 (冷房、暖房、給湯)	kJ
Q_{HS}^{IN}	熱供給システムのエネルギー投入量	kJ
Q_{CGS}^{IN}	CGSシステムのエネルギー投入量	kJ
Gas_{Use}	ガス契約量	m ³
C_{Gas}^{Month}	ガス定額基本料金	円/月
C_{Gas}^{Vol}	ガス従量単位料金	円/kJ
C_{Gas}^{Con}	ガス流量基本料金	円/kJ
$C_{m^3}^H$	m ³ あたりの熱量	kJ/m ³
η_{CGS}^E	CGSシステムの発電効率	%
η_{HS}^H	熱供給システムの熱利用効率	%
$InMeRate$	設備投資利率	%
$Life$	設備使用年数	年
$SerCost$	人工費、維持管理運転費	円

価ツールが数多く存在するが、デマンドサイドから導入のメリットと最適な技術選択、システム設計がまだ十分に行われていない。

このような背景の下、本研究では地域分散型エネルギーシステムについて経済性の観点から、最適な分析モデルを構築して運転最適化に関する検討を行っている。筆者らの従来研究^{6),7)}において、企画段階においてマイクログリッドのような地域エネルギーインフラ又は建築設備システムへの導入を検討する際、事業主体にとって最も経済的な電源・熱源機器選択を短時間で行うための解析プログラム開発を目的として、アメリカローレンス・バークレー国立研究所によって開発している分散型エネルギー資源顧客導入モデル^{8),9)}を

改良し、日本における各種建物、電気、ガスなどエネルギー供給料金システム、用途別建物の熱、電負荷、および分散型電源および冷暖房技術などの情報を調査・整備する上、分散型エネルギーシステムを最適に構築する支援ツールを開発している。

そこで、本報では、分散型エネルギーシステム（主にコージェネレーションシステム）の最適化モデルの考え方を述べ、モデルの目標関数を構築する。その一例として、北九州における学術研究都市を対象としてシステム現状及び市場情報を考慮し、数値計算プログラミング言語（GAMS）^{注1)}を用いて、分散型エネルギーシステム最適な運転管理モデルを構築する。さらに、経済的な最適化を前提とした場合、電気・ガス料金、年間運転時間及び機器効率の増減に伴い、運転コストへの影響を明らかにし、最適な運転時間を求めると同時に、システムのエネルギー消費量及びCO₂の排出量を推計する。

2. 分散型エネルギーシステムの最適化モデル

2.1 モデルのコンセプト

地域分散型エネルギーシステムを導入するため、その地域の特徴（建物側需要、熱、電力負荷）、現在の分散型技術及び投資行為を総合的に判断した上で、決めなければならない。図1に示すように、本モデルではデマンドサイド需要、市場情報（電気・ガス料金等）及び技術情報（コージェネレーション、太陽光発電等）を総合的に配慮して、経済性のある技術選択及び運転方法の最適化を求める。

2.2 モデルの仮定条件

本報は運転コストを最小化する最適な運転状態を求めるため以下のような仮定を行う。

- ①分散型エネルギーシステムの導入利益は電気・ガス代の削減である。
- ②電力の余分がない。従って系統電力に売電のための技術制限を考慮していない。
- ③発電したものはすべて地区に消費すること。その以外のユーザに売電はしない。
- ④需要が供給より大きい場合、一定の契約の下、系統電力から買電することができる。
- ⑤同じ技術の異なる容量による供給の信頼性、質及び運転費用のスケール経済性を考慮しない。

2.3 目標関数

上述の仮定による分散型エネルギーシステムの費用関係を以下の式で表すことができる。

$$\text{Minimum } Z_{cost} =$$

$$\begin{aligned}
 & \sum_{k=HS+PS} \left[\underbrace{InMe \times (1 + InMeRate)^{Life} + Life}_{\text{①}} \right] + \underbrace{SerCost}_{\text{②}} \\
 & + \underbrace{\sum_i \sum_j [E_{BYE}(i, j) \times C_{Ele}^{Vol}(i, j)] + \sum_m [E_{Use}(m) \times C_{Ele}^{Month}(m)]}_{\text{③}} \\
 & + \sum_{k=HS} \sum_i \sum_j Q_k^{IN}(i, j) / C_{m^3}^H \times C_{Gas}^{Vol}(i, j) \\
 & + \underbrace{\sum_m C_{Gas}^{Month}(m) + \sum_m [Gas_{Use}(m) \times C_{Gas}^{Con}]}_{\text{④}}
 \end{aligned} \quad 1)$$

式1は目標関数で、システムの全体費用を最小化にする。式の項目（費用）は以下の四つから構成される。①初期投資、②人件費・

運転費用、③系統電力から買電費用（従量料金+基本料金）、④分散型エネルギーシステムのガス使用量費用（従量料金+基本料金+契約料金）となっている。i, m は月、j は時刻、k は技術である。

k 個技術（機器）の組み合わせに対して、上記の式を用いて、それぞれ計算すれば、どの技術の組み合わせが最も経済的であることが分かるが、技術（機器）の数が限定される場合、計算可能であるが、多くの技術または変化するデマンドサイド（需要家建物側）の需要から最適解を求める場合には、ほぼ不可能になる。本報では、代数的演算用プログラミング言語 GAMS を用い、構築したモデルを通じて最適な運転データをシミュレーションする。

2.4 制約条件

供給側及び需要側における電力及び熱供給に関して、以下の条件を満たさなければならない。

$$\sum_i \sum_j E_{load}(i, j) \leq \sum_i \sum_j E_{BYE}(i, j) + \sum_{k=PS} \sum_i \sum_j E_k^{IN}(i, j) + \sum_{k=CCS} \sum_i \sum_j Q_k^{IN}(i, j) \times \eta_k^E \quad (2)$$

$$\sum_i \sum_j H_{load}(i, j) \leq \sum_{k=HS} \sum_i \sum_j Q_k^{IN}(i, j) \times \eta_k^H \quad (3)$$

$$E_{Load}^{MAX} \leq \sum_{k=PS} E_k^{MAX} + E_{BYE}^{MAX} \quad (4)$$

式2では、電力需要量と供給量のバランスで、式3では、熱需要量と供給量及び系統電力買電のバランスである。式4は、仮定②に併せて、分散型発電需要は自家発電容量及び系統電力契約容量より低いことを制限している。

2.5 モデルの実行フローチャート

図2はモデルの構造及び計算フローを示している。日本における各種建物、電気、ガスなどエネルギー供給料金システム、用途別建物の熱、電負荷、分散型電源および冷暖房技術などの情報をまず調査・整備する必要がある。その上でモデルを実行して最適化を行い、各類型別建物の時刻別エネルギー消費パターンを前提とした分散型電源導入の最適化するシナリオを構築し、システムの評価を行う。

エネルギー料金は各地域における電力、ガス会社の業務利用料金を用い、各種分散型電源および冷暖房設備の情報については製造業者や販売業者から調査によって明らかにする。技術データは容量、効率、初期投資とメンテナンスコスト等が含まれる。その他、分散型電源の導入にかかわる補助金や税金など財政的な情報も必要となる。

このように必要なデータを収集してモデルに入力し、運行することにより、対象建物に対してもっとも経済的で、省エネルギー、低環境負荷の技術選択及び運転管理ができる。

本報では、そのフローチャートを基に、GAMS 言語を利用して目標関数及び制約条件によって最適なモデルを構築している。

3. 学術研究都市における地域エネルギーシステムの概要

3.1 システムの概要

北九州学術研究都市（図3）では、地域分散型エネルギーシステムとして、燃料電池、ガスエンジン及び太陽電池等新エネルギーシステムを導入している。電気を供給すると共に、排熱を回収し吸収式冷水装置を通じて、北九州学術研究都市の建物に熱供給をしている。システムの仕様は表2に示す。

デマンドサイドの需要等を計測するため、1時間ごとに電力メー

図2 モデルの計算フロー

図3 北九州学術研究都市の運転モデル

表2 システムの仕様

設備システム	天然ガスコージェネレーション設備		太陽光発電設備	
形式	燃料電池（リン酸型）	ガスエンジン	多結晶シリコン（屋上設置）型	単結晶シリコン（建材一体）型
設備容量	200KW	160KW	129.6kW	23.4kW
発電効率	40.0% (100%発電時)	28.7% (100%発電時)	0.133	0.072
熱回収効率	20.0% 90℃温水 20.0% 50℃温水	47.7% 90℃温水	なし	
ガス消費量	43.3Nm ³ /h 都市ガス13A	44.1Nm ³ /h 都市ガス13A	なし	
運転管理	電主熱従・燃料電池優先 24時間通年連続運転		24時間通年連続運転	
排熱利用設備	排熱利用型ガス炭冷温水発生機 貯湯槽 暖房用熱交換機		なし	

ターから記録したものをを用いる。排熱利用効率を分析するための各機械の温水出入り口の温度差及び流量を1時間ごとに計測し、出入り口の温度差に流量をかけて、排熱量及びその利用量を予測する。

3.2 システムの運転状況に関する概要

3.2.1 電力消費状況

北九州学術研究都市における電力状況は図4に示される。図を見ると、電力総量を考えれば、冷暖房を行っている夏季と冬季に山があり、なお、夏季のほうが冬季より消費量が大きい。電力供給割合として、燃料電池、ガスエンジン、太陽光発電と購入電力量はそれぞれ大体35%、13%、3%、49%である。燃料電池は3月22～28日に運転していなかった。以外には毎日約4.35MWhの発電量で安定に

運転している。ガスエンジンの場合、基本的に8:00~22:00に運転し、発電量は約2.3 MWh/日である。現状として太陽光発電の発電量は少ない。

3.2.2 熱消費及び熱利用状況

排熱利用の変化は図5に示している。図を見ると、排熱利用総量は4314.36 GJ。その中、44.8%はガスエンジンによって、55.2%は燃料電池によって提供された。冷暖房時間に、ガスエンジンの排熱利用量はその時全体排熱利用量の約半分を占めている。しかし、中間期に利用された排熱の93%以上は燃料電池が提供している。

4. ケーススタディにおけるデータベースの整備

4.1 デマンドサイド

システムを検討するために、建物の年間の時刻別各種負荷(電力、冷房、暖房、給湯負荷等)が必要である。本報では、2003年の北九州学術研究都市における負荷実測計算値を8760hのデータとして入力し、デマンドサイド需要を満たす分散型エネルギーシステムの最適な運転を探る。

4.2 市場情報

エネルギー料金は各地域の電力、ガス会社のホームページから調べて、料金データベースを作成する。図6、7には九州地域電力¹⁰⁾とガス¹¹⁾の料金体系を示している。北九州学研都市では、電力について、業務用季節別電力契約を採用している。基本料金以外に夜間電力料金、ピーク電力料金はそれぞれあり、ピーク従量料金は約13.4円/kWhに対し、夜間従量料金は5.7円/kWhとなっている。シミュレーションでは電力の従量料金は半減から倍増した場合、分散型エネルギーシステム(本報ではガスエンジン)を運転したほうがよいかをモデルを用いて分析する。

ガス料金体系は図7に示す。基本料金には定額基本料金、流量基本料金、最大需要期基本料金が分かれ、その上従量料金として基準単位料金がある。電力料金と同様、基準単位料金だけ変化させて、その影響を分析する。

4.3 技術情報

本報では北九州学術研究都市における分散型エネルギーシステムに対して検討を行っている。表2に導入された設備情報を示している。燃料電池の設備容量は200kW、ガスエンジンの設備容量は160kW、太陽光発電容量は約150kWとなっている。システムの運転では電主熱従で、燃料電池優先運転をしている。運転上で燃料電池が24時間通年連続運転をしている。ガスエンジンが2002年では24時間運転をしていたが、当研究等により、2003年では朝8時から夜22時まで運転となっている。本ケーススタディでは、燃料電池を24時間運転とし、ガスエンジンの運転状況だけについて分析する。ガスエンジン効率に関しては、発電効率と排熱回収効率をそれぞれ30%~45%まで変化させて、その省エネルギー効果等を評価する。なお、太陽光発電については2003年の実績値を採用する。

4.4 ケース設定

本報は三つのケースを設定して検討を行う。

- ①ケース1: 料金の増減に伴い、ガスエンジンの年間運転時間の変化を検討する。
- ②ケース2: ケース1よりガスエンジンの年間運転時間と省エネルギー性、環境性及び経済性の関係を検討する。

図4 電力総量変化

図5 排熱利用状況

図6 電力会社・業務用季節別電力料金契約¹⁰⁾

図7 ガス会社・トータルエネルギーシステム契約第一種¹¹⁾

図8 従来型エネルギーシステム

- ③ケース3: ガスエンジンの効率の変化によって、省エネルギー性、環境性及び経済性の増減を検討する。

比較のために、従来エネルギー供給システムは図8に示される。従来のシステムでは、温熱はボイラーと熱交換機、冷熱は吸収冷水機を用いて、地域冷熱需要を供給する。

5. 北九州学術研究都市現状システムにおける運転状況に関するシミュレーション及び結果分析

5.1 電気料金・ガス料金とガスエンジンの年間運転時間

図9は電力従量料金が変化した場合、年間電気及びガス等の運転費用を最小とするガスエンジンの運転時間の積算値を示す。計算結果から、現行料金ではガスエンジンの最適な運転時間は約4,132時間

図9 電気料金増減とガスエンジンの運転時間

図10 ガス料金増減とガスエンジンの運転時間

図11 料金両方の増減とガスエンジンの運転時間

図12 ガスエンジンの運転時間と省エネルギー性

図13 ガスエンジンの運転時間とCO₂削減率

である。現在北九州学術研究都市環境エネルギーセンターでは、ガスエンジンの運転時間は8時から22時までとなっている。現状の年間運転時間は4,745時間で、ほぼ最適な運転時間に近い。夜間電力料金(図6)は昼間の半額となっているため、経済性から見た場合、22時以降翌朝8時までガスエンジンは運転しないほうがよい。

電力料金が上がると、分散型エネルギーシステムの競争力が増していく。例えば、電気料金が5%値上がりすると、ガスエンジンの最適な運転時間は5,801時間まで延びる。20%値上がりすると、運転時間は6,774時間となる。現在のシステムでは、電気料金が倍にならないと、ガスエンジンを24時間運転することは不経済である。

逆に(図10)、電気料金が値下がりすると、分散型エネルギーシステムの導入は厳しくなる。40%値下がりすると、ガスエンジンシステムを導入しても、運転するほど電気代が高くなる。

ガス料金も同様な結果だが、ガス料金が60%値下がりしないと、ガスエンジンの年中運転が経済ではない。60%値上がりすると、初期投資を考え、ガスエンジンを使わないほうがよいという結論になる。

更に、電気料金とガス料金の両方が増減する場合に、図9の上に電気料金が40%増、40%減の二ケースを加え、その影響を図11に検討する。図11に示すように電気料金とガス料金が同時に40%増(B)の場合に現状ケースに比較して、運転時間の変化がないことがわかった。また同時に40%減(A)の場合に、現状に比べて運転時間が約2000時間増加することとなった。従って、燃料(電気・ガス)料金が同時減少する場合には、ガスエンジンの普及には有利であると推測ができる。

5.2 ガスエンジンの運転時間と省エネルギー性、環境性及び経済性

省エネルギー性、環境性を分析する場合、それらの電力、都市ガスの一次エネルギー換算値、およびCO₂排出原単位は九州地区電力・ガス会社の公表値を参照し設定した²⁾。

現行料金体系の下で、ガスエンジンの運転時間と省エネルギー性の関係を図12に示す。ガスエンジンの運転時間の増加により、省エネルギー性が上がるが、約4000時間に越えると、逆に省エネルギー

図14 ガスエンジンの運転時間と経済性

図15 ガスエンジンの効率と省エネルギー性

図 16 ガスエンジンの効率と CO₂削減率

性が下がる。その原因は負荷特性により、多くの時間帯では、排熱が十分に利用されていないと考えられる。省エネルギー性から見た最適な運転時間は約 4,333 時間である。

環境性に関しては、CO₂削減率を図 13 に示す。省エネルギー性と同様ではあるが、通年連続運転の場合、CO₂が増加してしまうこともある。

経済性も省エネルギー性と同様である。図 14 から見た経済性のある運転時間は約 4500 時間である。

5.3 ガスエンジンの効率と省エネルギー性、環境性

ガスエンジンの発電効率及び排熱効率と省エネルギー性の関係を図 15 に示す。一般論として、効率が上がれば、省エネルギー性が大きい。今回のケースでは、発電効率が排熱効率より省エネルギー性への影響は大きい。例えば、同様にガスエンジンの総効率は 80% とする。発電効率 45%、排熱効率 35% のケースは発電効率 30%、排熱効率 50% のケースより 6.7% の省エネルギー性がある。CO₂削減率(図 16)も同様な結論を得られる。

6. 結論

「オンサイト方式」の自家発電は電力市場の自由化で順調に増え、2020 年電力市場の 10% 強に達すると予測している。10% に達した場合、発電だけで約 1.5 兆円規模の市場が生まれる。熱供給とあわせると、その倍以上の市場が期待できる。国策として、分散型電源の研究は単に機器の開発だけではなく、それらの機器を受ける市場の開拓に必要な技術ツールに力を入れるのは焦眉の急である。

本報では、その試みとして、先ず分散型エネルギーシステムにおける経済的な運転最適化モデルの構築をしてみた。さらに構築されたモデルを用いて、北九州学術研究都市を対象に、エネルギーシステム内部(機器効率)・外部(電気・ガス料金)に存在する要素がシステムの運転状況および経済性、環境性、省エネルギー性への影響を分析した。得られた結果を以下にまとめる。

現状システムにおいて、現状電力・ガス料金体系では、ガスエンジンの最適な運転時間約 4,132 時間である。現在北九州学術研究都市環境エネルギーセンターでは、ガスエンジンの運転時間は 8 時から 22 時までとなっている。年間では 4,745 時間で、ほぼ最適な運転時間に近いことが分かった。

電力料金が上がり、ガス料金が下がると、分散型エネルギーシステムの競争力が増していく。本モデルを用いて、最適な運転時間を決めることができる。

運転時間による環境性や省エネルギー性への影響では、変換点(最適解)が存在することが分かった。変換点の前では、分散型システムの運転によって、従来型システムに比較すると、環境性や省エネ

ルギー性が増すが、その後では、逆に下がる。

現状システムにおいて、ガスエンジン効率の変化が省エネルギー性及び環境性に影響を与えるが、発電効率の変化は熱効率の変化より影響が大きいことが分かった。

今後の課題として、機器の部分負荷特性のデータベースを構築し、また計測データのない場合、外気温度特性等を考慮した負荷計算手法を確立する必要がある。また、本研究で開発したツールを用いて、技術選択や他の地域における分散型エネルギーシステム(燃料電池、太陽光発電またはその複合等)の運転状態の評価を行い、地域分散型システムの導入を促進していきたい。

謝辞

本研究のモデル構築に際して、アメリカローレンス・バークレー国立研究所のマニー博士、周南博士に多大なご協力を頂いた。なお、本研究の一部は平成 17 年度科学研究費補助金基盤研究 C (課題番号 17560535、代表高偉俊)を受けて実施したものである。ここに感謝の意を表す。

注

- 注 1) GAMS とは、一般的な(general)、代数的演算用の(algebraic)モデル構築用プログラミング言語(modeling system)である。その特長として、①反復計算に強い。②データの配列(行列)に適応している。データの並びで自動的に配列のサイズが決まり、データを格納してくれる。③各種の解法ルーチン(Solver)が豊富である。多くの最適化ツールが含まれるため、自分で解法のプログラムを書く必要がない¹²⁾。

- 注 2) 一次エネルギー(換算)値、および CO₂排出原単位^{13)~14)}

電力一次エネルギー換算値	9.42MJ/kWh
都市ガス 1 3A 一次エネルギー換算値	46MJ/m ³
九州地区電力の CO ₂ 排出原単位	0.309kg-CO ₂ /kWh
都市ガス 1 3A の CO ₂ 排出原単位	2.15kg-CO ₂ /m ³

参考文献

- 1) 阮応君, 高偉俊ほか、地域エネルギーシステムにおけるエネルギー及び環境特性に関するシミュレーション, 2003 年度(東海)日本建築学会大会学術講演会, 529-530, 2003
- 2) 空気調和・衛生工学会、都市ガスによるコージェネレーション評価プログラム CASCADEIII, 2003
- 3) 山口容平ら: CGS による廃熱供給ネットワークの研究・その 2、第 22 回エネルギー・資源学会研究発表会講演論文集, pp123-128
- 4) Yohei Yamaguchi: Development of District Energy System Simulation Model Based On Detailed Energy Demand Model, Eighth International IBPSA Conference, Eindhoven, Netherlands, pp1443-1450, 2003
- 5) 奥田英信、笠木伸英ら: P15-07 マイクロガスタービンの性能試験に基づく CHP システムの導入評価、日本機学会、No. 02-7、第 8 回動力・エネルギー技術シンポジウム講演論文集, pp 43-46, 2002
- 6) 高偉俊, 周南, 阮応君, 西田勝, 分散型エネルギーシステムの導入ツール DER-CAM モデル 地域分散型電源・熱源及び供給システムの統合化に関する研究(その 3)、2004 年度(北海道)日本建築学会大会学術講演会, D-2 分冊, p. 1349
- 7) 楊涌文, 阮応君, 高偉俊, GAMS を用いた分散型エネルギーシステムの最適化モデル E-GAMS 研究、地域分散型電源・熱源及び供給システムの統合化に関する研究(その 10)、2005 年度(近畿)日本建築学会大会学術講演会, D-2 分冊, p. 1375
- 8) Marnay, C., R. Blanco, K. Hamachi, C. Kawann, J. Osborn and F. Rubio, Integrated Assessment of Dispersed Energy Resources Deployment, LBNL-46082, June 2000
- 9) Marnay, C. and G. Venkataraman., Microgrids in the Evolving Electricity Generation and Delivery Infrastructure, LBNL-59544, February 2006
- 10) 九州電力業務用季別電力契約については http://www.kyuden.co.jp/agreement_rate_gyomukijia を参考してください。
- 11) 西部ガストータルエネルギーシステム契約については http://www.saibugas.co.jp/ryokin/yakkan/s_010.pdf を参考してください。
- 12) GAMS については <http://www.gams.com/> を参考してください。
- 13) 九州電力株式会社、一次エネルギー換算値及び CO₂ 排出原単位の公表値については <http://www.kyuden.co.jp> を参考してください。
- 14) 西部ガス株式会社、一次エネルギー換算値及び CO₂ 排出原単位の公表値については <http://www.saibugas.co.jp> を参考してください。

(2007 年 4 月 10 日原稿受理, 2007 年 8 月 20 日採用決定)