

Lawrence Berkeley National Laboratory

Lawrence Berkeley National Laboratory

Title

Optimum model-E-GAMS for Distributed Energy System by Using GAMS Method

Permalink

<https://escholarship.org/uc/item/99f637zn>

Authors

Yang, Yongwen

Gao, Weijun

Ruan, Yingjun

et al.

Publication Date

2005-05-31

GAMS を用いた分散型エネルギーシステムの最適化モデル化及びケーススタディ

○楊 涌文 (北九州市立大学)
 阮 応君 (北九州市立大学)
 Chris Marnay (LBNL 国立研究所)

正会員 高 偉俊 (北九州市立大学)
 周 南 (LBNL 国立研究所)
 玄 姫 (北九州市立大学)

1. はじめに

文献¹⁾では、アメリカローレンス・バークレー国立研究所は分散型エネルギー資源顧客導入モデル (Distributed Energy Resources Customer Adoption Model、略して DER-CAM と呼ぶ) を紹介したが、いずれも気象条件やエネルギー価格体系等の違いがあるため、日本市場を考慮した技術ツールが求められている。本研究では最適化ツール GAMS を用いて、地域分散型エネルギー最適化ツールを構築することを目的とする。本報では、北九州学術研究都市環境エネルギーセンターを対象にツールの構築を試みする。また、そのモデルを利用して、電気料金・ガス料金及び機器効率による分散型エネルギーシステムの運転状況への影響を分析する。

2. GAMS 概要

GAMS²⁾ 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。FORTRAN の DO ループや C の for ループでは、初期値、終値、増分を指定し、for (i=1; i<=n; i++) {.....} などとして復計算を実行しなければならないが、GAMS は半自動的に実行してくれる。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め、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を含まれ、自分で解法のプログラムを書く必要がない。

3. 最適化コンセプト

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 (デマンドサイド需要、熱、電力負荷)、現在にある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 (燃料料金、電気料金等) 及び技術情報 (コジェネレーション、太陽光発電等) を総合的に配慮して、最適化を求める。

4. 分散型エネルギーシステムの最適化モデル

本報では、北九州学術研究都市環境エネルギーセンターにあるシステムを対象とし、最適化モデルを試みとする。

北九州学術研究都市 (図 2) では、地域分散型エネルギーシステムとして、燃料電池 (200kW)、ガスエンジン (100kW) 及び太陽電池 (150kW) 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。

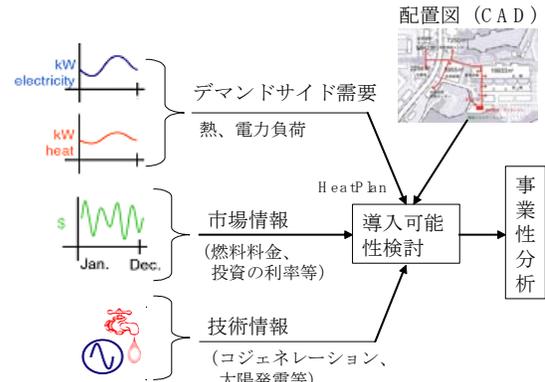


図 1 E-GAMS のイメージ図

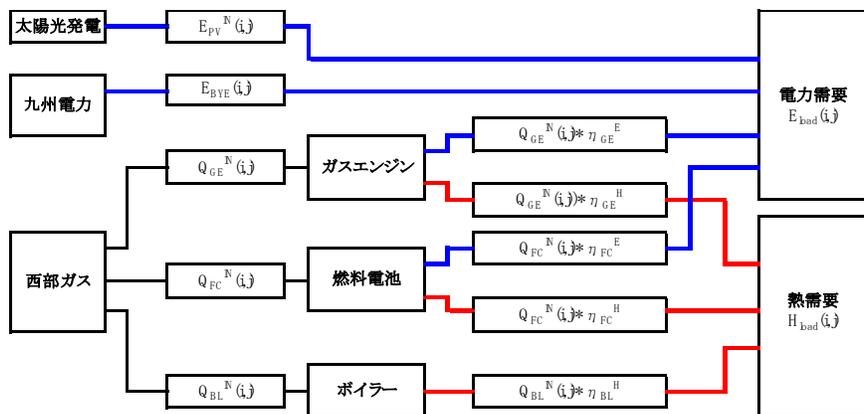


図 2 九州学術研究都市環境エネルギーセンターにおける E-GAMS モデル

4.1 仮説

- ① 分散型エネルギーシステムを導入する利益は電気・ガス代の削減である。
- ② 電力の余分がない。従って、系統電力に売る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北九州学術研究都市に消費すること。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 設備の価格及び性能はメーカーにより提供する。償却年数以内には設備の劣化を考慮しない。また、設置、認可及びその他のコストは初期投資の中に考慮しない。
- ⑥ 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。

4.2 目標関数

図2に示すような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。

$$\begin{aligned}
 \text{Minnum Zcost} = & \underbrace{\sum_{GE+FC+BL+PV+Other} [InMe \times (1 + InMeRate)^{life} \div life]}_{\text{①}} + \underbrace{SerCost}_{\text{②}} \\
 & + \underbrace{\sum_i \sum_j [E_{BYE}(i, j) \times C_{Ele}^{Vol}(i, j)] + \sum_m [E_{Use}(m) \times C_{Ele}^{Month}(r)]}_{\text{③}} \\
 & + \underbrace{\sum_i \sum_j [Q_{GE}^{IN}(i, j) + Q_{FC}^{IN}(i, j) + Q_{BL}^{IN}(i, j)] \times C_{Gas}^{Vol}(i, j)}_{\text{④}} \\
 & + \underbrace{\sum_m C_{Gas}^{Month}(m) + \sum_m [Gas_{Max}(m) \times C_{Gas}^{Con}]}_{\text{④}}
 \end{aligned}$$

式1は目標関数で、システムの全体費用を最小化する。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は時刻である。

4.3 制約条件

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。

$$\sum_i \sum_j E_{load}(i, j) \leq \sum_i \sum_j E_{BYE}(i, j) + \sum_i \sum_j Q_{GE}^{IN}(i, j) \times \eta_{GE}^E + \sum_i \sum_j Q_{FC}^{IN}(i, j) \times \eta_{FC}^E + \sum_i \sum_j E_{PV}^{IN}(i, j) \quad 2)$$

$$\sum_i \sum_j H_{load}(i, j) \leq \sum_i \sum_j Q_{GE}^{IN}(i, j) \times \eta_{GE}^H + \sum_i \sum_j Q_{FC}^{IN}(i, j) \times \eta_{FC}^H + \sum_i \sum_j Q_{BL}^{IN}(i, j) \times \eta_{BL}^H \quad 3)$$

$$E_{load}^{MAX} \leq E_{GE}^{MAX} + E_{FC}^{MAX} + E_{BL}^{MAX} \quad 4)$$

表1 符号リスト

符号	項目	単位
H_{load}	対象の熱負荷(冷房、暖房、給湯)	kJ
E_{load}	対象の電力負荷	kJ
Q_{GE}^{IN}	ガスエンジンのエネルギー投入量	kJ
η_{GE}^E	ガスエンジンの発電効率	%
η_{GE}^H	ガスエンジンの排熱効率	%
Q_{FC}^{IN}	燃料電池のエネルギー投入量	kJ
η_{FC}^E	燃料電池の発電効率	%
η_{FC}^H	燃料電池の排熱効率	%
Q_{BL}^{IN}	ボイラーのエネルギー投入量	kJ
η_{BL}^H	ボイラーの熱効率	%
E_{BYE}	買電量	kJ
E_{PV}^{IN}	太陽光発電量	kJ
E_{Max}	買電契約量	kW
E_{Load}^{Max}	電力負荷のピーク値	kW
E_{PV}^{Max}	太陽光発電定格容量	kW
E_{FC}^{Max}	燃料電池発電定格容量	kW
E_{GE}^{Max}	ガスエンジン発電定格容量	kW
C_{Ele}^{Month}	電力基本料金	円/kWh
C_{Ele}^{Vol}	電力従量料金	円
Gas_{Max}	ガス契約量	m ³
C_{Gas}^{Con}	ガス流量基本料金	円/kJ
C_{Gas}^{Month}	ガス定額基本料金	円
C_{Gas}^{Vol}	ガス従量単価料金	円/kJ
SerCost	人工費、維持管理運転費	円

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

5. 計算条件概要

5.1 システム設定

北九州学術研究都市では、地域分散型エネルギーシステムの中に、燃料電池(200kW)は、立ち上がり時間が時間かかるために、24時間運転をしている。ここでは常数として扱う。また、太陽電池の発電量は2003年の実績値を採用する。本研究では、電気料金・ガス料金及びガスエンジン(160kW)効率の変化によるガスエンジンの最も経済的な運転時間やそれによってどのぐらい省エネルギー、経済性及

びCO2が削減されるかについてシミュレーションする。

5.2 電力・熱需要の設定

本報では、2003年の負荷実測計算値を8760hのデータとして入力し、デマンドサイド需さ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。

5.3 電気料金・ガス料金及びガスエンジン効率の設定

電気料金は九州電力を参照して、図3のような料金体系となっている。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、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）が運転したほうがよいかをE-GAMSモデルで分析する。

ガス料金体系は図4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。

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。

6. シミュレーション結果分析

6.1 電気料金・ガス料金とガスエンジンの運転時間及び経済性

夜間電力料金は昼間の半額となっているため、経済性から見た場合、10時以降8時までガスエンジンは運転しないほうがよい。

図5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。現行料金ではガスエンジンの最適な運転時間は約4,132時間で、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。

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%値上げすると、ガスエンジンの最適な運転時間は5,801時間まで上がる。20%値上げの場合、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、電気料金が値下げると、分散型エネルギーシステムの導入は厳しくなる。40%値下げると、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%値下げしないと、ガスエンジンの年中運転が経済ではない。60%値上げると、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。

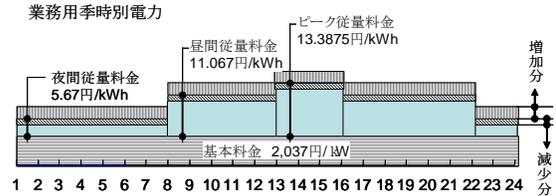


図3 電力料金体系

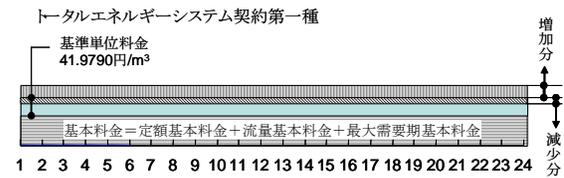


図4 ガス料金体系

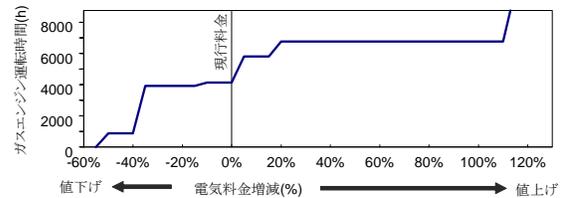


図5 電気料金増減とガスエンジンの運転時間

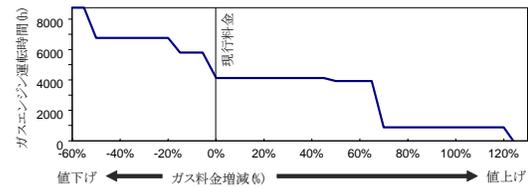


図6 ガス料金増減とガスエンジンの運転時間

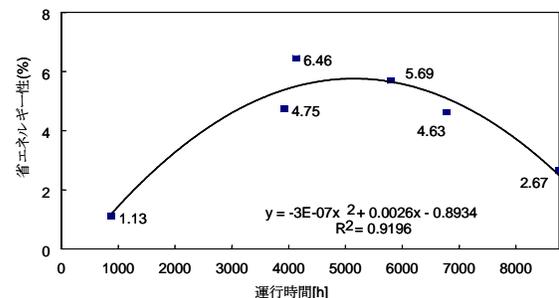


図7 ガスエンジンの運転時間と省エネルギー性

6.2 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

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7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時間に超えると、逆に省エネルギー性が下がる。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ると考えられる。省エネルギー性から見た最適な運転時間は図6から約4,333時間である。

環境性に関しては、CO₂削減率を図8に示す。省エネルギー性と同様ではあるが、年中運転の場合、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9から見た経済性最良の運転時間は約4500時間である。

6.3 ガスエンジンの効率と省エネルギー性、環境性及び経済性

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は図10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30%は発電効率30%、排熱効率50%より6.7%の省エネルギー性がある。CO₂削減率(図11)も同様な結論を得られる。

7. 終わりに

本報ではGAMS理論を利用して、分散型エネルギーシステムの最適化モデルを構築することを試みた。また、E-GAMSモデルを用いて、北九州学術研究都市環境エネルギーセンターにおけるガスエンジンの最も経済的な運転パターンを探ってみた。今後さらに多くのケースを検討し、モデルの改善をしていきたい。

参考文献

1. 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、D-2分冊、p.1349
2. <http://www.gams.com/>
3. 業務用季別電力
http://www.kyuden.co.jp/agreement_rate_gyomukijia
4. トータルエネルギーシステム契約、

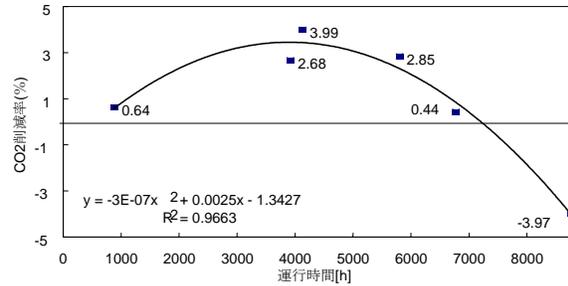


図8 ガスエンジンの運転時間とCO₂削減率

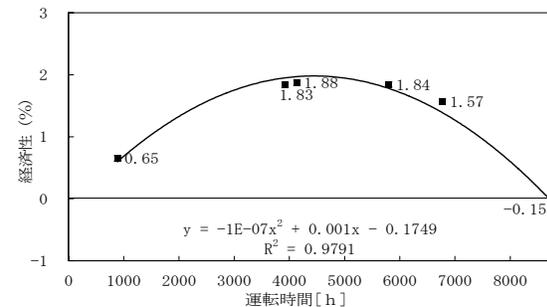


図9 ガスエンジンの運転時間と経済性

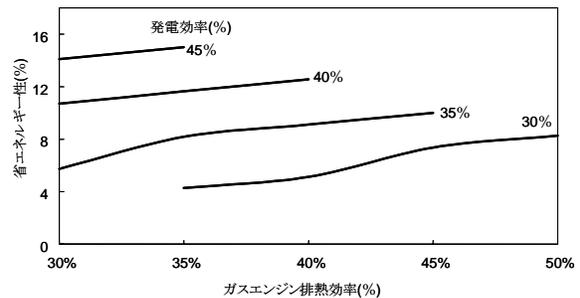
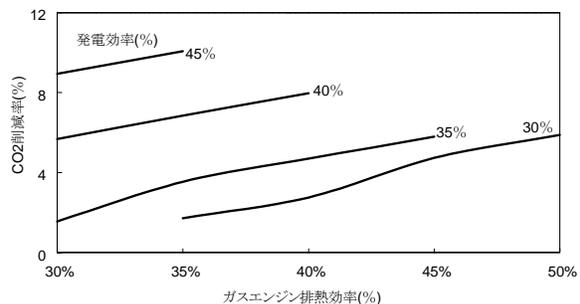


図10 ガスエンジンの効率と省エネルギー性



http://www.saibugas.co.jp/ryokin/yakkan/s_010.pdf

【謝辞】

本研究は平成17年度笹川科学研究助成金(17-269、代表阮応君)及び平成17年度科学研究費補助金(基盤C17560535、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。