

最適化手法を用いたエネルギーシステム設計  
 - 事務所ビルにおける一次エネルギーおよび CO<sub>2</sub> の最小化 -

Design of energy system using optimization method

- Minimization of primary energy and carbon dioxide using optimization method -

盛野 幸一 (東京ガス(株))

細野 英之 (東京ガス(株))

Kouichi MORINO

Hideyuki HOSONO

Technology Research Institute Tokyo Gas Co. Ltd.

We have developed optimization calculation software to resolve the most energy saving system which meets the energy demand of commercial building. The present study, we design the best energy supply system for business office building under gas system constraint, electric system constraint and non system constraint. As a result, in the case of 42% generating efficiency of CGS, the optimum system under non constraint could reduce the primary energy consumption 5.9% or 14.2% comparing to gas constrained or electric constrained system.

1. はじめに

2005年2月の京都議定書発効に伴い、2008年から始まる第一約束期間が切迫している。各分野において、温室効果ガス排出に対する取り組みが活発化している。しかし、我が国の現状は基準年(1990年)と比較して2004年度で7.4%の増加となっており、約束削減分と合わせて13.4%の削減を実現しなければならず、非常に厳しい状況となっている。特に、エネルギー起源 CO<sub>2</sub> に限った場合の「業務その他部門」は、基準年比で+37.9%と驚異的に増加しており、早急かつ効果的な対策が必須である。

このような状況において、業務建物のエネルギー設備設計に「省エネルギー」の概念を加えることは非常に重要なことである。そこで、本研究では建物のエネルギー需要データを基に、負荷を満たす様々な機器構成で最も投入一次エネルギーが小さくなる組み合わせを算出するプログラムを作成した。本発表では事務所ビルデータを用いて投入一次エネルギーの最小化計算を行い、ガスシステム・電気システムとの比較を含め、結果を報告する。

なお、当プログラム開発においては、株式会社数理システムの最適演算ソフト NUOPT を使用した。

2. 条件設定

一次エネルギー最小化プログラムの概念図を Fig.1 に示す。建物のエネルギー需要は電力・冷房(冷水)・暖房(温水)・給湯・蒸気とし、目的関数である商用電力・都市ガスの投入一次エネルギーを最小にすべく機器選定を行う。商用電力の投入一次エネルギーは、電気事業連合会発表の平成15年度需要端効率36.9%を基に、LHV基準40%とし、受電量を0.4で除した値を用いた。一方、

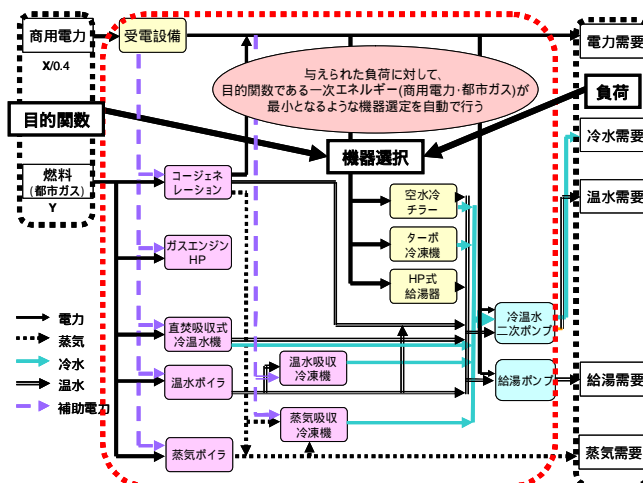


Fig.1 概念図

コージェネレーションシステム(以下 CGS と略す)の発電効率は LHV 基準で 42%、38%と変化させた。CGS の総合効率は 60%上限とし、総合効率から発電効率を差し引いた分を利用可能排熱量とした。排熱は蒸気・温水いずれの状態でも取り出し可能とする。また、ガスヒートポンプ(以下 GHP と略す)とターボ冷凍機においては部分負荷効率を考慮し、Table 1 に示す値で計算した。

Table 1

	25%	50%	75%	100%
GHP	1.30	1.35	1.37	1.35
ターボ冷凍機	4.00	5.40	5.93	5.81

本報告での研究対象用途は、自社庁舎ビルとした。建物負荷データは、「事務所ビルの建物負荷データの標準データ作成に関する検討」<sup>1)2)</sup>内、自社庁舎ビルの電力・冷

房・暖房時刻別原単位を用い（給湯・蒸気需要は年間を通して無し）延床面積 30,000 m<sup>2</sup>と仮定し算出した。システム構成条件は、Table 2 に示す 3 パターンにて計算を行った。

Table 2

	ガスシステム	電気システム	最適システム
電力需要	受電+CGS発電	受電	最適構成
空調需要	ガス空調	電気空調	(ガス・電気不問)

### 3. 結果および考察

#### 3-1. CGS 発電効率 42% ケース

CGS 発電効率 42%において、システム構成条件を Table 2 に示す 3 パターンで変化させ、計算を行った。グラフ中に示される電力需要とは、建物内で使用される電灯・動力の合計値であり、空調電力は含まない。そのため、電気空調が稼動する場合、電力需要と電力空調分の合計量を供給しなければならない。以下に各システムにおける計算結果を述べる。

ガスシステムにおいて、夏期平日の電力需要に対して選択された機器構成と時刻別運転パターンを Fig.2 に、冷水需要に対して選択された機器構成と時刻別運転パターンを Fig.3 に示す。ガスシステムでは、受電するより一次エネルギー消費量が少ない CGS が電力需要に沿って発電し、排熱で蒸気吸収式冷凍機（COP1.5）を動かすパターンとなっている。ただ、利用可能排熱量が投入エネルギーの 18%上限と小さい為、9~18時の冷水高負荷時間帯において蒸気吸収冷凍機は冷水需要の 50%程度の供給に止まり、不足分は GHP 運転により補っている。一方、24~7時の冷水需要が小さい時間帯においては、CGS 投入一次エネルギーの 7.2~13.1%（総合効率 49.2~55.1%）、平均 9.9%（総合効率 51.9%）程度しか排熱利用されていない。ガスシステムでは、夏期平日 24 時間で消費する総一次エネルギー量は 149.8GJ となった。

電気システムにおいて、夏期平日の電力需要に対して選択された機器構成と時刻別運転パターンを Fig.4 に、冷水需要に対して選択された機器構成と時刻別運転パターンを Fig.5 に示す。電気システムでは、冷水需要をターボ冷凍機により生成し、電力需要と合わせて受電を行うパターンとなっている。電力負荷の高い昼間時間帯においてターボ冷凍機も運転する為、投入電力（電力需要 + 電気空調分）のピーク電力値は電力需要のピーク値と比較して 21.7%増加している。電気システムでは、24 時間で消費する総一次エネルギー量は 164.2GJ となり、ガスシステム比 9.6%増となった。

最適システムにおいて、夏期平日の電力需要に対して選択された機器構成と時刻別運転パターンを Fig.6 に、

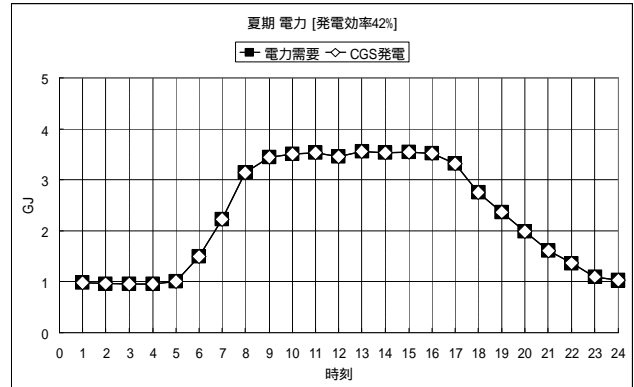


Fig.2 ガスシステム電力需給バランス (発電効率 42%)

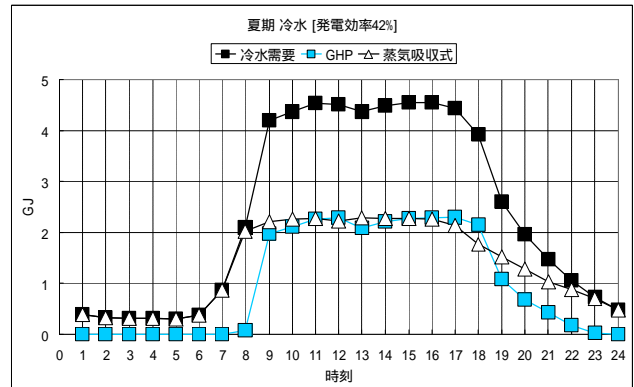


Fig.3 ガスシステム冷水需給バランス (発電効率 42%)

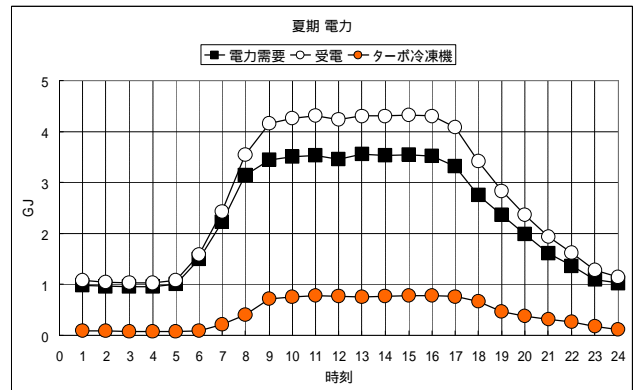


Fig.4 電気システム電力需給バランス

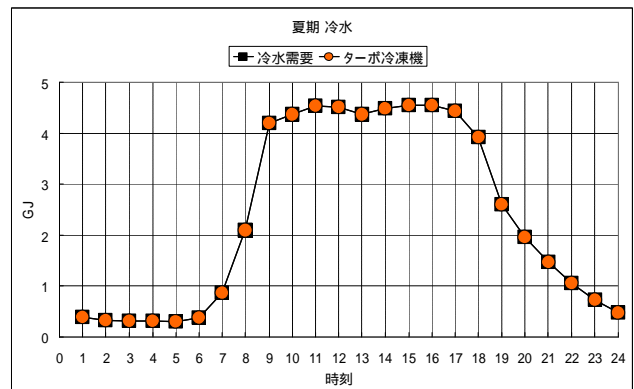


Fig.5 電気システム冷水需給バランス

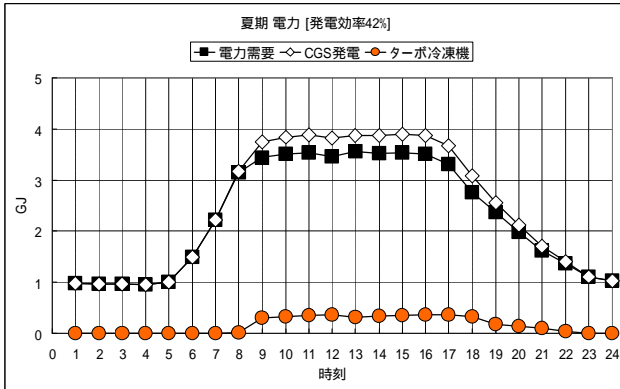


Fig.6 最適システム電力需給バランス (発電効率 42%)

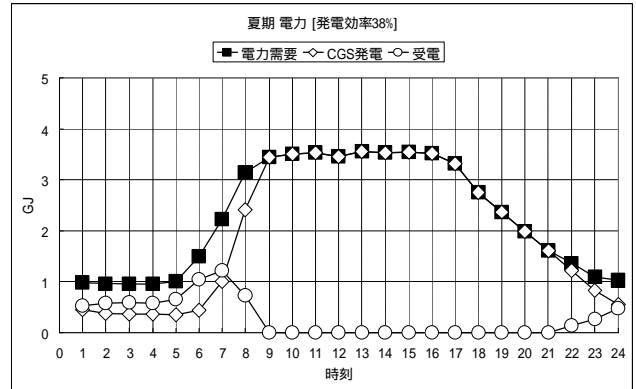


Fig.8 ガスシステム電力需給バランス (発電効率 38%)

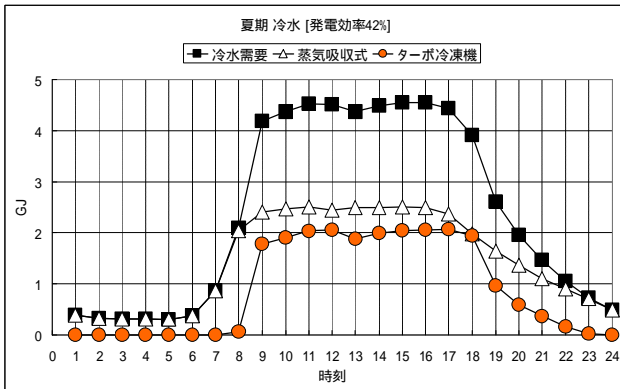


Fig.7 最適システム冷水需給バランス (発電効率 42%)

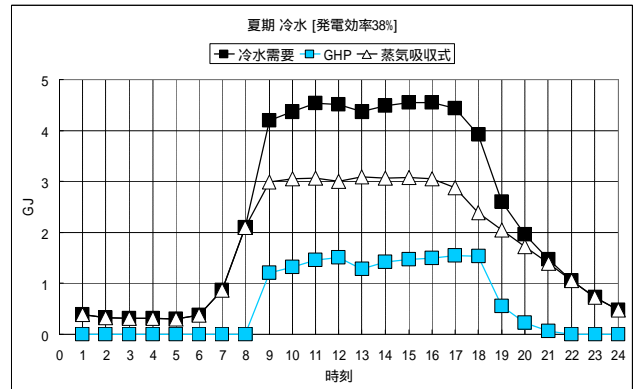


Fig.9 ガスシステム冷水需給バランス (発電効率 38%)

冷水需要に対して選択された機器構成と時刻別運転パターンを Fig.7 に示す。最適システムでは冷水需要が小さい時間帯では CGS が電力需要に沿って運転し、8~23 時の冷水高負荷時間帯では最も効率が良いターボ冷凍機による供給不足分の補充運転を行っている。ターボ冷凍機が消費する電力も CGS が供給するため、上述のガスシステムより CGS は高出力で運転を行う。その為、供給蒸気量が増加し、結果蒸気吸収式冷凍機の出力が増加となり、ガスシステムの GHP と比較してターボ冷凍機の冷水需要に占める割合は小さくなっている。最適システムでの夏期平日 24 時間で消費する総一次エネルギー量は 140.9GJ となり、ガスシステム比で 5.9%、電気システム比で 14.2%の省エネルギーとなった。

### 3 - 2 . CGS 発電効率 38%ケース

CGS 発電効率 38%において、システム構成条件を Table 2 に示すガスシステム、最適システムの 2 パターンで変化させ、計算を行った。電気システムに対しては、CGS 発電効率を変更しても影響を与がなく、同一の結果となるため計算は省略した。

ガスシステムにおいて、夏期平日の電力需要に対して選択された機器構成と時刻別運転パターンを Fig.8 に、冷水需要に対して選択された機器構成と時刻別運転パターンを Fig.9 に示す。ガスシステムでは、冷水需要の小

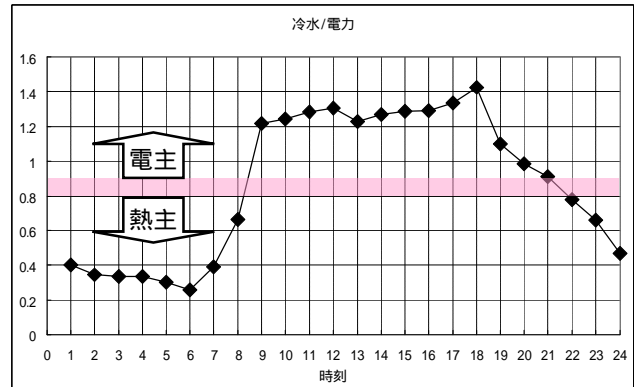


Fig.10 電熱需要割合による CGS 運転 (ガスシステム)

さい 22~8 時においては冷水需要に沿って CGS が運転し、同時に満たさなければならない電力需要の内、CGS 発電だけでは不足する分を受電により供給していることがわかる。逆に、冷水需要の大きい 9~21 時においては、電力需要に合わせて CGS が運転し、同時に満たさなければならない冷水需要の内、蒸気吸収式冷凍機だけでは不足する分を GHP により補っている。この CGS の電主熱主運転切り替えは、供給電力 (電力需要 + 電気空調分) と熱需要の比率に依存していると考えられる。Fig.10 に熱需要を供給電力で除した電熱需要割合の時刻別データを示す。切り替えが起こる 21 時と 22 時の電熱需要割合をそれぞれ算出すると、0.91、0.78 となっており、計

算上の閾値 0.87 と一致していることがわかる。また、ガスシステムでの夏期平日 24 時間で消費する総一次エネルギー量は 155.8GJ であり、電気システム比 5.1%の省エネルギーとなった。

最適システムにおいて、夏期平日の電力需要に対して選択された機器構成と時刻別運転パターンを Fig.11 に、冷水需要に対して選択された機器構成と時刻別運転パターンを Fig.12 に示す。最適システムでは、ガスシステムと同様に冷水需要の少ない 22～8 時においては熱主運転を行い、CGS 発電だけでは不足する分を受電により補っている。一方、冷水高負荷時間帯の 9～21 時においては、CGS 発電電力を用いてターボ冷凍機を動かし、冷水需要をバランスよく満たす運転となっている。電熱需要割合の時刻別データを Fig.13 に示す。冷水高負荷時間帯において、ターボ冷凍機の運転による供給電力の増加により、ガスシステムと比べて電熱割合の低下が見られるが、電主熱主運転切り替えが起こる数値は同値である。最適システムでの 24 時間で消費する総一次エネルギー量は 150.6GJ となり、ガスシステム比で 3.3%、電気システム比で 8.3%の省エネルギーとなった。

#### 4. まとめと今後の課題

本稿では自社庁舎ビルの電力・冷房・暖房需要データを用いて、投入一次エネルギーが最小となる組み合わせを算出し、考察を行った。CGS の発電効率が電力会社からの受電端効率を上回る場合、電力需要と電気空調分の合計値に追従して CGS の運転を行い、下回る場合は電力需要と電気空調分の合計値と熱需要のバランスにより CGS の運転パターンが決定されることを確認した。今後、ガスエンジン等の部分負荷効率や台数制御、設置面積の要素を取り入れ、より現実に即した条件での算出も可能としたい。また、太陽光など再生可能エネルギーも含め、究極の一次エネルギー最小化・省 CO<sub>2</sub> 化のエネルギーシステム設計技術を開発していく。

#### 参考文献

- 1) 細野英之他: 事務所ビルの建物負荷データの標準データ作成に関する検討、日本建築学会大会学術講演梗概集、15-16 (2006)
- 2) 天然ガスコージェネレーション計画・設計マニュアル 2005、日本工業出版

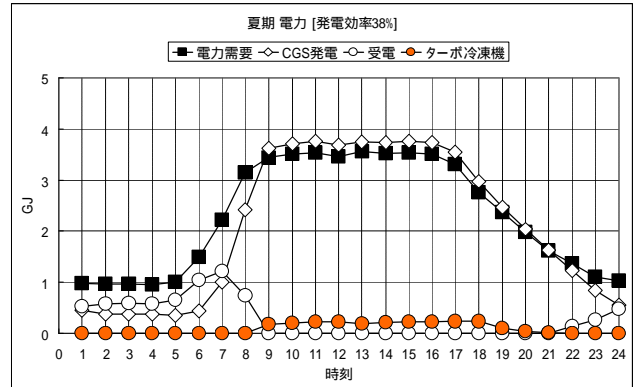


Fig.11 最適システム電力需給バランス (発電効率 38%)

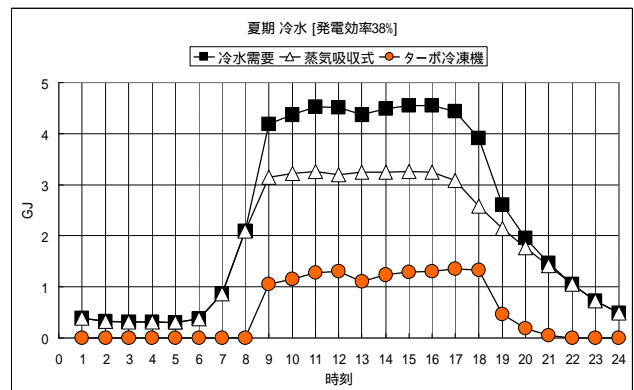


Fig.12 最適システム冷水需給バランス (発電効率 38%)

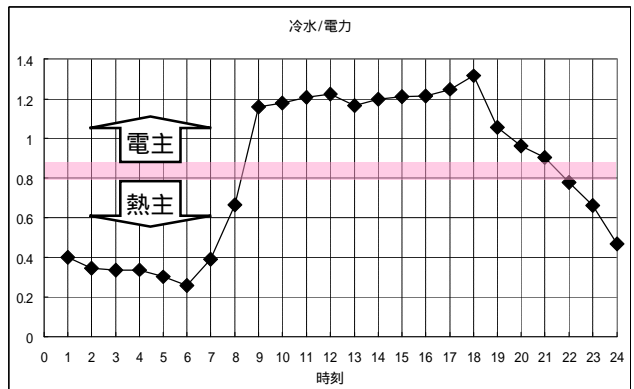


Fig.13 電熱需要割合による CGS 運転 (最適システム)