系統連系コージェネレーションシステムに関する調査研究

リゾートタイプホテルにおける時刻別運転データの分析と検討

SOME CONSIDERATIONS ON COGENERATION SYSTEM WITH
SYSTEMS-INTERCONNECTION

Analyses of hourly operating data of one resort-type hotel

垂水弘夫*, 久保猛志**

Hiroo TARUMI and Takeshi KUBO

This paper reports the results of analyses of hourly operation data of a cogeneration system installed in one resort-type hotel. Some results of analyses are: 1) Proportion of generated power and commercial power in electric power usage was clarified, and 2) An useful information for increment of generator was presented using the relationship between capacity of generator and the rate of operation.

Keywords : cogeneration system, systems-interconnection, resort-type hotel

コージェネレーションシステム, 系統連系, リゾートタイプホテル

1. はじめに

わが国のコージェネレーションシステムに関し, 商用電力との系統連系が一般に認められるようになったのは, 1986年8月の通商産業省資源エネルギー庁通達¹⁾以来であり, 1990年8月の時点において系統連系を行っている民生用コージェネレーションは, 少なくとも115件に達している。これは全数538件の約2割に相当する。1990年1~8月に限ってみると, 稼働開始数は114件であり, 内容の明らかな89件中およそ4割に相当する34件が系統連系を実施するに至っている^{2), 3)}。

しかし, これらの系統連系コージェネレーションシステムの稼働実態に関する報告は, 年間のエネルギー使用量の増減に言及する程度で, 時刻別運転データに基づく分析例はほとんど見当たらないのが現状である。

そこで本調査研究では, 商用電力と系統連系を行っているコージェネレーションシステムを有するリゾートホテルを対象として, システムの稼働開始前後の約1年間の時刻別運転データを調査し, 使用電力量に占める受電および発電電力量の内訳等を中心に解析を行うとともに, 得られた結果を基に, 発電設備の増設に関する検討資料として, 発電設備容量と稼働率の関係を推定する方法を示したので報告する。

なお, 上述した系統連系を実施している115件の民生用コージェネレーションシステムのうち, 発電容量と契約電力の両方の値が判明している77件についてみると, 総発電容量の約26600kWに対して商用電力との契約電力は709000kWとなっており, 量大使用時における自家発電の割合は, 平均で3割程度となっている³⁾。

2. 調査の概要

2.1 調査目的

本調査の目的は, 系統連系民生用コージェネレーションシステムの運転データ例の解析を通じ, 比較的負荷変動の大きい民生部門において, 逆潮流の無い状態で系統連系を行った場合の発電および受電に関する運用状況を数量的に明らかにし, もってエネルギー有効利用システムであるコージェネレーションシステムの建築への適用拡大に資する点にある。

2.2 調査対象施設と調査方法

調査対象としたリゾートタイプホテルは, 静岡県伊東市に立地し, 総客室数191で延床面積は38400m²である。当該ホテルでは, ディーゼルエンジンを駆動源とする発電容量600kWのコージェネレーションシステムを1989年7月より導入し, 契約電力を1450kWから850

* 金沢工業大学工学部建築学科 助教授・工博

** 金沢工業大学工学部建築学科 教授・工博

Assoc. Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Engineering, Kanazawa Institute of Technology, Dr. Eng.

Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Engineering, Kanazawa Institute of Technology, Dr. Eng.

kWに引き下げるとともに、回収排熱を温泉水の加熱に用い、ほぼ1年経過後の実績として、導入以前の年間電気料金の約30%に相当する経費削減を達成している。

調査は、運転日報に記載されたデータの入力・分析によった。調査項目は次の5項目であり、調査対象期間は1988年1月1日から1990年6月27日のほぼ2年半である。このうち、発電電力量およびエンジン燃料使用量については、1989年7月13日以降の記録が残されている。

- 1) 発電電力量 (kWh/h)
- 2) 受電電力量 (kWh/h)
- 3) エンジン燃料使用量 (l/h)
- 4) A館ボイラ燃料使用量 (l/h)
- 5) B館ボイラ燃料使用量 (l/h)

なお、A館は客室を主体とした建物であり、一方、B館は複数の大浴場から成っている。

2.3 調査対象施設の設備概要

図-1に、電力および熱需要に対応する設備の系統図を示し、表-1に、電気設備、空調設備ならびに温泉関係設備の概要を掲げた。電気設備としては、上述したとおり600kWのコージェネレーション設備と、850kWの受電設備等を有している。商用電力からの引込みは3相3線6.6kVの1回線である。逆潮流の無い系統連系を行っている関係上、最少でも85kW（舞台使用時）

図-1 電力および熱需要と設備システムの構成

表-1 設備の概要

電 気 設 備			
1) コージェネレーション設備			
・発電機容量	600 kW	×	1台
・ディーゼルエンジン	870 PS	×	1台
2) 受電設備			
・契約電力	850 kW		
・業務用自家発補給電力	600 kW		
・変圧器容量	3,100 kVA		
・商用電力	3相3線 6.6 kV		
3) 非常用発電設備			
・容量	340 kVA	×	1台
	33 kVA	×	1台
空 調 設 備 (A館)			
1) 温熱源			
・蒸気ボイラ	2.5 t/h	×	2台
・温水ボイラ	200 Mcal/h	×	2台
2) 冷熱源			
・圧縮式冷凍機	150 USRT	×	1台
	100 USRT	×	3台
	22 kW	×	1台
・吸収式冷凍機	300 USRT	×	1台
温 泉 関 係 設 備 (B館)			
1) コージェネレーション設備			
・温泉水熱交換器	380 Mcal/h	×	1台
2) 従来設備			
・温水ボイラ	630 Mcal/h	×	1台
	400 Mcal/h	×	2台
	250 Mcal/h	×	1台

153 kW)は商用電力から受電し、残りの電力需要に対しては極力コージェネレーションシステムによる自家発電で賄うという運用形態を取っている。随時監視発電所であり、選択遮断装置の設置により自家発電の単独運転を可能とし、単独運転中の商用電力との同期投入も行える。

また、空調設備としては、温熱源に蒸気および温水ボイラ、冷熱源に圧縮式および吸収式冷凍機がある。

温泉関係設備に掲げた温水ボイラ(B館に設置)は、コージェネレーションシステムの導入以前より温泉水の加熱用として使用されていたものであるが、現在はコージェネレーションシステムからの回収熱利用(熱交換器380 Mcal/h)によって、最も小容量の250 Mcal/hの温水ボイラが稼働している程度である。排熱回収はジャケット水および排気ガスの双方から行っており、温泉用貯湯槽を有するため、回収熱すべてを温泉加熱に利用している。

3. 調査結果

3.1 運転データ日別値の経年変化

まず、コージェネレーションシステムの稼働前後の電力量および燃料使用量の変化をとらえるため、調査対象期間にわたり、5調査項目の日別値をグラフ化した。

(1) 電力量

図-2は、受電電力量と発電電力量の経年変化を示している。使用電力量全体でみると、夏期に冷房需要によるピーク（25 000 kWh/日程度）が現れるパターンを毎年繰り返しているが、コージェネレーションシステムの稼働後の受電と発電の内訳をみると、受電は夏期のピーク時で10 000 kWh/日を超えるものの、中間期および冬期ではほぼ3 000～4 000 kWh/日の範囲にあり、発電電力量の半分程度となっている。

(2) 燃料使用量

図-3は、A館およびB館ボイラ燃料使用量、エンジン燃料使用量の経年変化をプロットしたものである。図にはA館ボイラ燃料使用量をベースとして描き、それにB館ボイラ燃料使用量を加えた変化を記し、コージェネレーションシステム稼働後はさらにエンジン燃料使用量を加えて描いている。

コージェネレーションシステム稼働後の変化としては、温泉水加熱用であったB館ボイラの燃料使用量が極めて小さくなったこと、ならびに冷房需要に対応する圧縮式（電動ターボ）冷凍機への電力供給のため夏期にエンジンが高い負荷状態で運転され、通年でみて夏期の燃料使用量のほうが冬期よりも大きくなったこと、などが指摘できよう。

一方、コージェネレーションシステムの稼働前後で変化のみられないものとして、A館ボイラ燃料使用量が挙げられる。客室等の暖房需要に対応して冬期にピークが現れるほか、吸収式冷凍機の運転により8月にも小さなピークがみられる。

3.2 システム稼働前後のエネルギー使用量

表-2は、コージェネレーションシステムについて運転データの得られた1989年7月13日から1990年6月27日までと、これに対応する1年前の期間について、

図-2 使用電力量の経年変化（1988年1月1日～1990年6月27日）

図-3 燃料使用量の経年変化（1988年1月1日～1990年6月27日）

図-4 発電電力量および受電電力量の月別時刻変動パターン

表—2 電力および燃料使用量の期間別比較

	1988.7.13～ 1989.6.27	1989.7.13～ 1990.6.27	増減率 (%)
受電	$4.230 \times 10^6 \text{ kWh}$	$1.634 \times 10^6 \text{ kWh}$	-61.4
発電	—	$3.082 \times 10^6 \text{ kWh}$	—
A館ボイラ	$0.368 \times 10^6 \text{ kWh}$	$0.371 \times 10^6 \text{ kWh}$	0.8
B館ボイラ	$0.234 \times 10^6 \text{ kWh}$	$0.029 \times 10^6 \text{ kWh}$	-87.6
エンジン	—	$0.843 \times 10^6 \text{ kWh}$	—

各データ項目ごとに集計した結果である。システム稼働後、受電電力量は約 61 % 減少しているが、発電電力量を加えた使用電力量全体では 50 万 kWh 程度（1 割強に相当）の増加傾向となった。

また、燃料使用量については、A 館ボイラ燃料使用量がほとんど変化していないのに対し、温泉水加熱用の B 館ボイラ燃料使用量がおよそ 88 % の減少を示した。システム稼働後のエンジン燃料使用量を加えた全体では、ほぼ 2 倍の使用量となった。

3.3 発電および受電電力量に関する時刻変動の月別パターン化

図—4 は、発電および受電電力量を月別に平均した時刻変動パターンを、1989 年 7 月～1990 年 6 月について示したものである。上半分に発電電力量を、また下半分に受電電力量をプロットし、平均値のほか、線分の長さで標準偏差を表した。稼働開始直後の 7 月は、データのあばれが大きくなっているものの、8～9 月の日中には発電機が定格運転されている様子がみられる。他の季節でも百数十 kWh/h 程度を受電しているほかは、積極的に自家発電を行っており、日中において定格のほぼ 2/3 以上の出力で運転されている。中間期、冬期の 19 時および 20 時台の受電電力量がやや大きくなっているのは、舞台終了時の照明装置消灯に伴う急激な使用電力量低下を見越して、逆潮流が発生しないよう制御している結果である。

4. 発電容量に対応する発電電力量と稼働率の推定

システムが順調に稼働し、実績を上げている状況下においては、発電容量の増大が検討課題となってくる。

ここでは、当該ホテルの現状における電力需要パターンと発電・受電に関する制御の下で、発電容量が増大した場合の発電電力量と稼働率（発電電力量／（発電容量×時間数））の推定を行った。

4.1 推定モデルの基本構成

発電容量に対応する発電電力量を算定するに当たり、以下の考え方、段階から成る推定モデルを作成した。

1) 使用電力量は、発電容量に左右されない。

2) 「時間当たり使用電力量が何 kWh/h に達した場合に、コージェネレーションシステムが稼働を開始するか」という条件設定については、時刻別データの分析結果を用いる。

3) 発電電力量および受電電力量の集計は、時刻ごとに行い、2) で得られた一定レベルの使用電力量までは受電、一定レベルを超えた使用電力量では受電と発電の併用で、発電容量まではなるべく自家発電を優先し、現在の運用形態を反映させたものとする。

4) 算定結果のうち、発電容量 600 kW の場合の発電電力量および稼働率を現状値と比較し、有効性の検討とする。

4.2 時間当たり使用電力量と発電・受電の内訳

上述したごとく、発電容量に対応する発電電力量の推定のためには、任意の量の電力需要が発生した場合の発電と受電の分担割合を、現在行われているシステム制御の結果として、明確にする必要がある。

図—5 は 1989 年 7 月 13 日から 1990 年 6 月 27 日までの 350 日間の使用電力量について、時間当たり使用電力量を 50 kWh/h 単位でランク分けし、データの存在した 100 kWh/h 以上 1 500 kWh/h 未満の範囲で、各ランク別の出現時間数、発電電力量および受電電力量を示したものである。発電電力量は、時間当たり使用電力量が 500～650 kWh/h の範囲の時に 30 万 kWh を超える単一のピークを形成している一方で、受電電力量についてみると、時間当たり使用電力量が 200～300 kWh/h、450～600 kWh/h の範囲にある際に 10 万 kWh を超えるなど、複数のピークを有している。

図—6 は、図—5 のランク別発電および受電電力量を出現時間数で除して、時間当たり平均値として表したものである。発電電力量は、使用電力量の増大に伴い発電

図—5 時間当たり使用電力量ランクに基づく発電および受電電力量（1989 年 7 月 13 日～1990 年 6 月 27 日の通算値）

図—6 時間当たり使用電力量ランクに基づく発電および受電電力量 (出現時間数で除した平均値)

機の定格運転に相当する 600 kWh/h に漸近する。また、受電電力量は、発電機が本格的に稼働する前のランクである使用電力量 200~300 kWh/h の範囲において 200 kWh/h を超えるピークを形成した後、使用電力量 700 kWh/h 程度までは増大分を発電機が負担することから、130 kWh/h 程度の受電電力量ではほぼ一定し、これより大きな値の使用電力量ランクでは、発電機の容量で需要を賄い切れなくなるため、契約電力 (850 kW) の近辺まで使用電力量の増大分とほぼ線形関係を保って単調に増大している。

以上のデータ分析の結果、発電容量に対応する発電電力量の推定モデルの条件を、時間当たりの使用電力量に基づいて以下のとおり定めた。

- 1) 使用電力量 250 kWh/h 未満は、すべて受電。
- 2) 使用電力量 250 以上 300 kWh/h 未満では、受電電力量を 213 kWh/h とし、残りを発電。
- 3) 使用電力量 300 kWh/h 以上、(自家発電容量+134) kWh/h 未満では、受電電力量を 134 kWh/h とし、残りを発電。
- 4) 使用電力量が (自家発電容量+134) kWh/h 以上では、発電電力量を自家発電容量相当分とし、残りを受電。

4.3 発電容量に対応する発電電力量と稼働率の推定結果

図—7 に、自家発電容量を 300~1 200 kW の範囲で 100 kW 刻みで変化させた場合の算定結果を示した。自家発電容量が大きくなるに従い、発電電力量は増大、受電電力量は減少の傾向を示すものの、商用電力からの一定量の受電により、特に 600~800 kW を超える辺りからは自家発電容量の増大分ほどには発電電力量が増大しなくなることが明らかとなった。また、稼働率については、現在の発電容量である 600 kW を超える場合には、

図—7 自家発電容量に対応した発電電力量と稼働率の推定値

0.6 を下回ることとなる。

なお、本モデルによる発電容量 600 kW での発電電力量および稼働率は、各々、 3.095×10^6 kWh, 0.614 であるのに対し、算定期間 (1989 年 7 月 13 日~1990 年 6 月 27 日) の実際の発電電力量および稼働率は、 3.082×10^6 kWh, 0.612 (表—2 参照) であり、ほぼ一致していると判断した。

5. おわりに

本報告をまとめると、

- 1) 系統連系コージェネレーションシステムの実施例を対象に、稼働前後ほぼ 1 年間ずつの運転データを把握した。
- 2) 逆潮流無しの系統連系下での、通年月別の発電・受電に関する時刻別変動パターンを示した。
- 3) 時間当たり使用電力量と発電・受電の分担割合に関するデータ分析を基に、発電容量に対応する発電電力量と稼働率の推定を行った。

となる。

謝 辞

富士商事 (株) の加藤正夫氏ならびに (株) タクマの稲積 充氏には、データの入手および分析について、ご協力と有益なご助言を頂戴致しました。ここに記して謝意を表す次第です。

参考文献

- 1) 日本コージェネレーション研究会、コージェネレーションの系統連系技術要件ガイドライン解説書, pp. 73~80, 1986.11
- 2) 日本コージェネレーション研究会、コージェネレーションシステム導入実績表 (1991 年版), 1991.3
- 3) 日本コージェネレーション研究会、内部資料による

(1991 年 8 月 22 日原稿受理, 1992 年 2 月 12 日採用決定)