

家庭用コージェネレーションシステムに関する一考察

第1報：電力・熱負荷の特徴

岡本 整^{*1}、森本 泰弘^{*1}、伊藤 高根^{*2}

Consideration on Cogeneration Systems for Residential Use

Part 1: Characteristics of Electric and Heat Demand

by

Sei Okamoto^{*1}, Yasuhiro Morimoto and Takane Itoh^{*2}

(Received on 30, September 2005 & accepted on 3, February 2006)

Abstract

In this paper, we describe the features of the electric and heat demand in a domestic cogeneration system. Actual load demands measured in domestic houses in Hiratsuka City are compared with typically used load data in an analysis of a hotel, a hospital, an office building and a domestic house. The following conclusions are obtained. (1) The load change in a residential house is large and quick, especially in heat demand. (2) The load pattern of a residential house is not expressed sufficiently by data with a 1-hour interval and the analysis with these data overestimates the effects of introducing a cogeneration system. (3) Load demand data with a 1-minute interval is necessary for more detailed analysis of a cogeneration system.

Keywords: Home cogeneration system, Electric demand, Heat demand, Load pattern, Heat/Electric ratio

1. まえがき

地球温暖化防止に関連し京都議定書が批准され、あらゆる部門での省エネルギー化を目指したエネルギーシステムの見直しが必要である。特にエネルギー消費量が増大の一途を辿っている民生部門の省エネルギー化が重要である。中でも家庭部門においては電力需要の増大が著しく、また全エネルギー消費に対する熱需要の割合も大きい。そこで、電気も熱も有効に利用できるコージェネレーションシステム(CGS)の導入が期待されているが、CGSを家庭に導入する上でCO₂削減効果が顕著に現れる程度にするには、多くの家庭で導入される必要がある。今までにも多くの家庭用 CGS が検討されてきたが、各家庭で実測されたデータが少ないこともあり、大半は電力及び熱負荷データを適当に仮定し、この結果が一般的な CGS にも適用できるかのような扱いがされている場合が多い。しかしながら、家庭の負荷は設置地域、家族構成、住宅構造、住宅規模により、同じ家庭でも日によってその負荷特性は大幅に異なる可能性があり、当然負荷特性は CGS 導入効果に大きく影響を及ぼすものと思われる。特に、従来の検討では、電気および熱負荷を比較的大きな建物と同様に1時間ごとの平均需要量として表したものを使っている例がほとんどであるが、家庭用負荷の時間変動は激しく、特に熱需要変化の実態はまったくこのような扱いでは再現できない可能性がある。

そこで、まず家庭の電力及び熱の需要量を実測把握し、家庭用の電力および熱負荷特性を明らかにする必要がある。鈴置ら⁽¹⁾は3世帯を対象に、温水需要データの実測を行っており、これらのデータ

とともに CGS に関する種々の有益な検討を行っているが、電力負荷の実測は行っていない。そこで本研究では、前田ら⁽²⁾が茅ヶ崎において実測したデータをもとに、先ず家庭用の電力および熱負荷特性を明らかにすることとした。

2. 電力および熱需要の特徴

今回の検討で用いる負荷実測データは神奈川県茅ヶ崎市にある戸建住宅2戸(A宅、B宅)と集合住宅2棟(C棟、D棟)に対して2001年に実測されたもののうち、2月、4月、7月、9月、12月の各月2週間分のデータである。今回の検討では戸建住宅A宅と集合住宅C棟を用いる。一般的に CGS の検討では、1年を冬期、中間期、夏期と分類し、各季節の代表月を設定して検討を行う。そこで、今回の検討では、冬期は12月、中間期は4月、夏期は7月とした。また、従来 CGS 導入効果が大きいとされるホテル・病院・事務所の負荷データ、ならびに住宅用負荷データとして、空気調和・衛生工学会発行の書籍⁽³⁾に示されている標準負荷パターンを用いた(以下、住宅用負荷データのことを標準住宅パターンと呼ぶ)。

2.1 標準負荷パターンの負荷特性

先にも述べたようにこれまで行われてきた CGS の検討では、電力及び熱負荷データを1時間ごとの平均需要量として扱っている。そこでまず、電力・熱需要が多く比較的 CGS の導入がし易いとされるホテル・病院・事務所における負荷を1時間ごとの需要量を用いて検討する。Fig.1からFig.6は季節ごとのある1日の1時間ごとの標準負荷パターンから算出した電力及び熱の需要比率(その時刻の需要量/1日の総需要量)を%で表したものである。

* 1 工学研究科機械工学専攻博士課程前期

* 2 工学部機械工学科教授

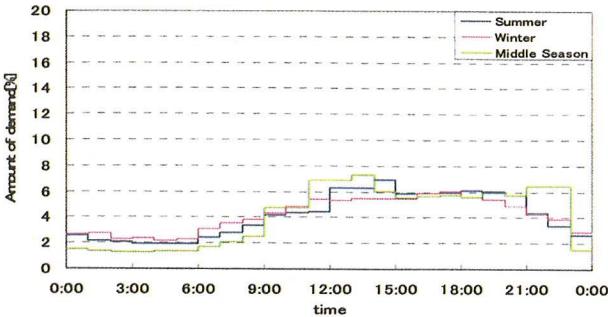


Fig.1 Relative Electric Demand(Hotel)

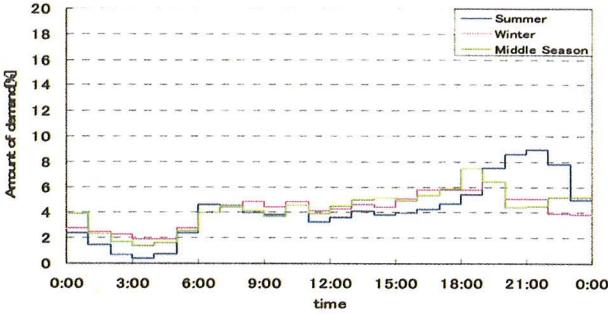


Fig.2 Relative Heat Demand(Hotel)

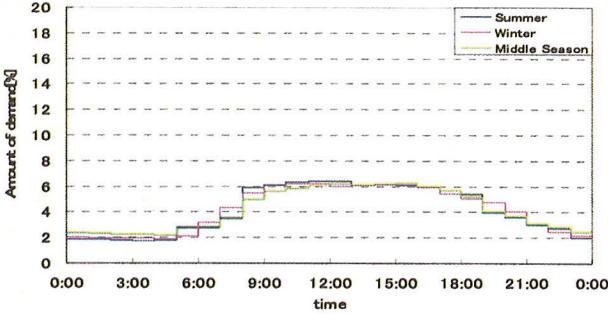


Fig.3 Relative Electric Demand(Hospital)

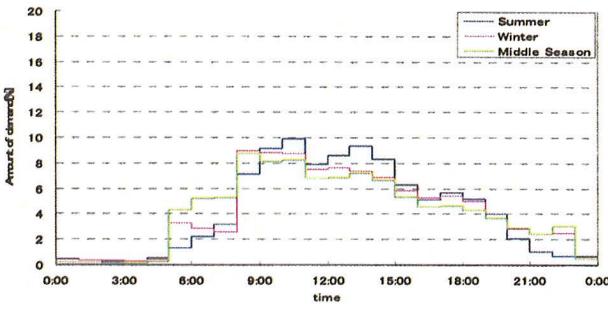


Fig.4 Relative Heat Demand(Hospital)

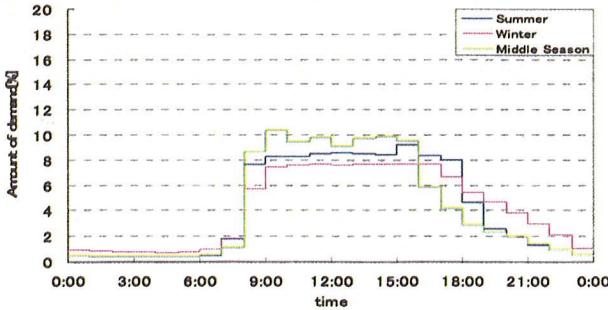


Fig.5 Relative Electric Demand(Office)

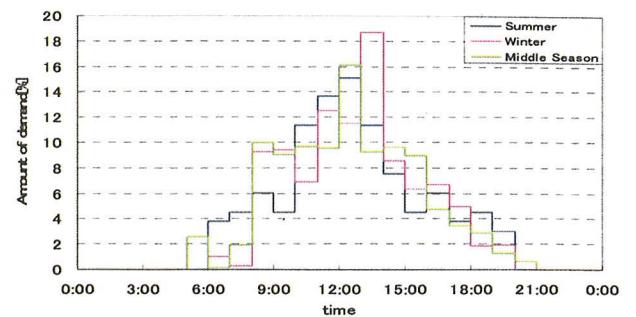


Fig.6 Relative Heat Demand(Office)

病院や事務所においては夜間の使用量はほぼ無いものの、どの負荷データにおいても電力需要の多い時間には熱の需要も多い結果となっている。また、季節別の需要においてもそれほど差異は無く、1年を通じて似たような負荷パターンを示す。Fig.6 の事務所の時間別熱需要では、季節によって需要比率にかなり変化が見られるが夏期に熱需要量が増大する原因は冷房であり、冬期に増大するのは暖房使用によるものと考えられる。

2.2 住宅別負荷パターン

次に一般的に CGS 検討に用いられる標準住宅の負荷データと実測された負荷データについて比較する。戸建住宅 A 宅と集合住宅 C 棟の負荷データを標準住宅と同様に 1 時間間隔の需要比率に換算して示す。Fig.7 から Fig.12 は標準住宅・戸建住宅・集合住宅の 1 時間間隔における電力及び熱需要の比率である。一般的に CGS 検討で用いられる標準住宅の負荷パターンは戸建住宅や集合住宅に比べ、時間別における需要量のばらつきは小さいことがわかる。さらに、電力需要量の多くなる時間帯には熱需要量も多くなり、前節で述べたホテル等の負荷パターンの傾向とよく似ていることが分かる。

Fig.11 及び Fig.12 の集合住宅の電力・熱需要では、31 戸の総需要を平均した値であるので、時間別による差異はそれほど大きくない。

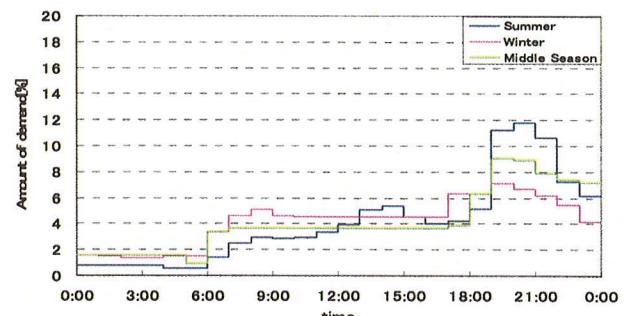


Fig.7 Relative Electric Demand(Standard house)

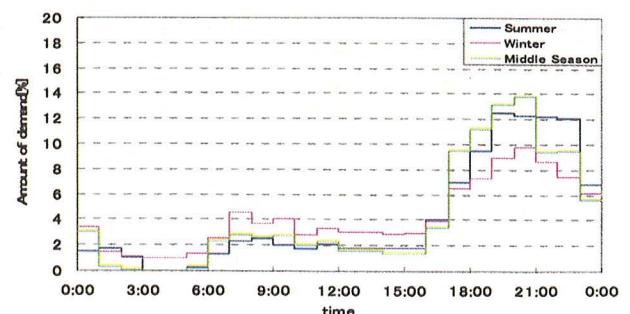


Fig.8 Relative Heat Demand(Standard house)

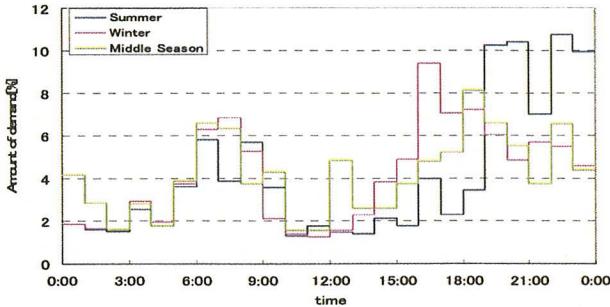


Fig.9 Relative Electric Demand(Detached house)

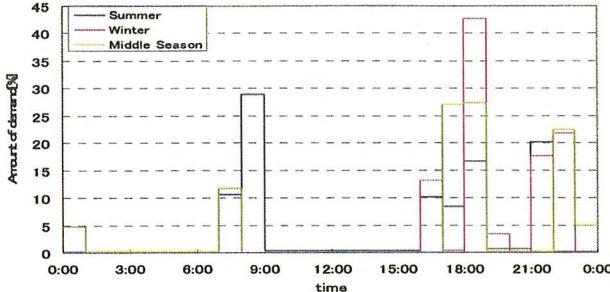


Fig.10 Relative Heat Demand(Detached house)

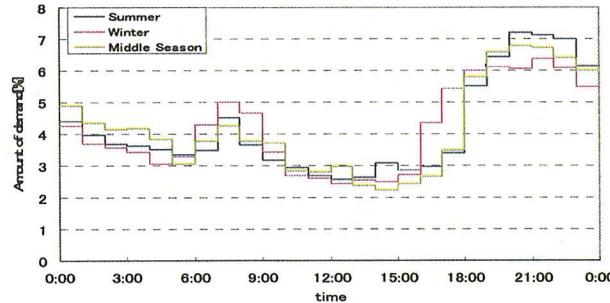


Fig.11 Relative Electric Demand(Housing complex)

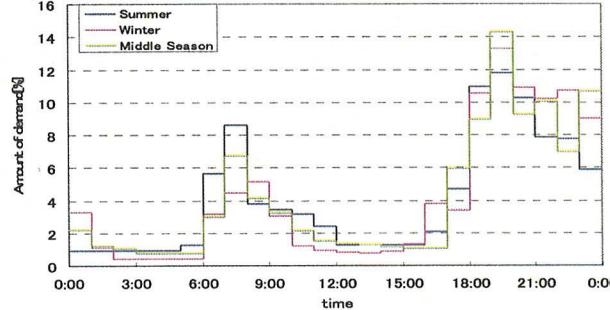


Fig.12 Relative Heat Demand(Housing complex)

しかしながら、電力需要では午前中の需要が比較的多く、熱需要においては午前 8 時前後の時間帯に比較的大きなピークが存在するなど標準住宅とは多少異なった結果であることが分かる。戸建住宅においては Fig.9 ならびに Fig.10 に示したように、標準住宅や集合住宅と比べるとかなり異なることが見て取れる。Fig.9 の電力需要比率においては、季節ごとに電力需要時間帯に大きな違いを生じている。さらに熱需要は Fig.10 に示されているように、幾つかの限られた時刻のみにパルス状に発生していることが分かる。熱需要は集合住宅と同様、朝と夕方に大きなピークが存在し、冬期においては夕方 6 時から 7 時の間の 1 時間に、1 日の 4 割以上の熱需要がある。

3. 電気需要と熱需要の相関関係

次に、電気と熱の使用量に対する相関について検討する。電力と熱を同時に利用する CGS においては、使用する原動機の熱電比特性と合っていることが望まれる。この熱電比を検討する上で重要なのが、電気および熱需要の相関関係である。Fig.13 から Fig.15 にそれぞれ夏期、冬期、中間期の代表月、代表日 1 日の 1 時間ごとの需要量を元に、横軸に相対電力使用量、縦軸に相対熱使用量をとりプロットした。ここに分母の E_m 、 Q_m はそれぞれ電力および熱の 1 日使用量の年間平均値であり、この年間平均値に対してどの程度負荷がばらついているかを示している。それぞれのグラフには病院、A 宅、C 棟および住宅用標準パターンの値がそれぞれプロットされている。ここで、前章でも述べたように、病院、ホテルおよび事務所などは電力需要が増大すれば熱需要も増大しており、その意味ではほぼ同じ傾向であるので、ここでは病院のデータのみを比較することとした。また、これらのグラフにおいて各プロット点と原点とを結ぶ直線の傾きはいわゆる熱電比に比例する事になるからこのグラフは熱電比のばらつき具合も同時に示していることになる。

まず、病院の標準負荷パターンを見ると、どの季節においても電力需要の割合が増大すると熱需要の割合も増加する傾向にあり、電力需要と熱需要には強い相関があり、これより熱電比は比較的狭い範囲で利用されていることがわかる。また熱負荷も 2 以上となる時間帯は殆ど無く、1 日を通して安定した需要があることを示している。このことが病院に対する CGS の導入が効果的となる要因の一つと思われる。次に住宅用標準パターンについての熱需要は多い場合で 3 倍

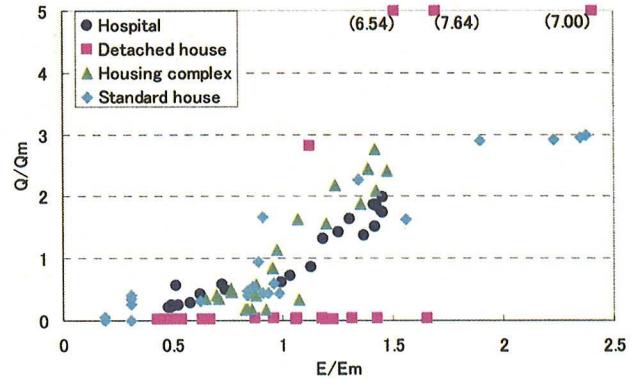


Fig.13 Distribution of Heat and Electric Relative Demand (Summer)

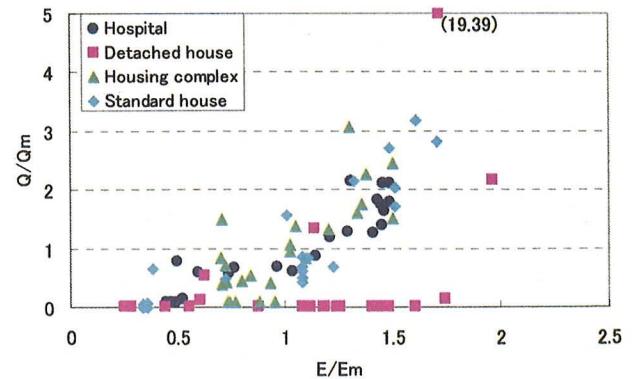


Fig.14 Distribution of Heat and Electric Relative Demand (Winter)

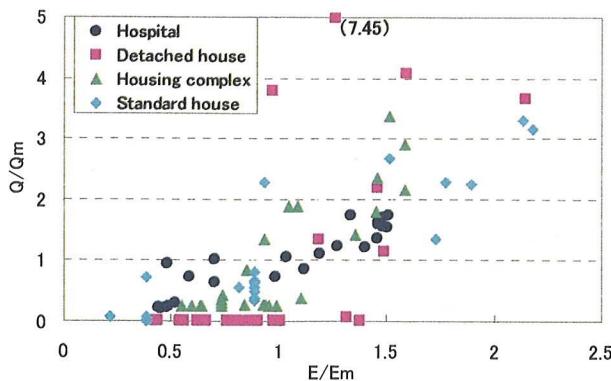


Fig.15 Distribution of Heat and Electric Relative Demand (Middle Season)

度であり、しかも電力需要量の増大に伴って熱需要量も増加する傾向にあり、熱と電気の需要量の相関は病院ほどではないにしても比較的強い。集合住宅のC棟については、熱はそれほど使わないにもかかわらず電気は使用するという時間帯が比較的多くなる傾向にあり、負荷状態のばらつきはより大きくなっているが、概ねある範囲には収まる傾向にある。これに対して、戸建住宅の場合には、どの季節においても、点のばらつきがきわめて大きく、電力は使うが熱を殆ど使わない時間帯や熱だけ突出して多く使用する時間帯があるなど、相関関係は無いといえるほどで極めて大きな範囲で使用されていることがわかる。特に冬期においては、Fig.14から平均値と比べ20倍に近い熱が必要となる時間帯もある。

このように、1時間毎のデータで見ても戸建住宅は負荷変動の激しさ、電力と熱の変動範囲の大きさなどは予想以上に大きく、実際の使用状況により近い1分間隔のデータで見る場合には、さらにこの傾向は大きくなる事は明らかである。したがって、従来用いられてきた1時間間隔のパターンや、標準パターンとして用意されているデータとともにCGSの導入効果の検討をし、判断することは果たして妥当であるか大いに疑問が残る。一次エネルギー削減効果のように年間の積分値で評価する指標にはそれほど大きな影響は出ないかもしれないが、瞬間の需要を満足させるための設備容量には何らかの影響があるものと思われる。

4. 1分間隔負荷パターン

戸建住宅と集合住宅における時刻別パターン(1分間隔のデータとして表示)の違いについて、Fig.16からFig.22にA宅およびC棟の代表日の例を示す。なお、C棟における需要量は、総需要量を2001年4月20日、7月20日、12月19日現在入居していた家庭の世帯数で割った一世帯分のものである。電力及び熱とともに、今回計測したどの家庭においても、使用量と使用時間はかなり違うものの、概ねこれらの図に表された使用パターンが代表的なものである。主な傾向として、先ず電力需要については、朝6時から9時までと、18時から22時までの間にまとまった需要があり大きな山が来るが、これ以外の時間帯においても常にある程度の需要が存在する。次に熱需要については、朝と夕方に山が来るのは同じであるが、それ以外の時間帯の需要は極めて少ない。戸建住宅の場合はこれらの一般的な傾向はあるものの、実際の負荷の発生状況は電気も熱も幾つかの鋭いパルス状の変動となって発生する点が集合住宅との大きな違いである。また、Fig.7および8に示した1時間間隔の標準住宅の負荷

パターンは従来の解析でよく使用されているものであるが、実際の戸建住宅の負荷変動とは大幅に異なっていることが分かる。

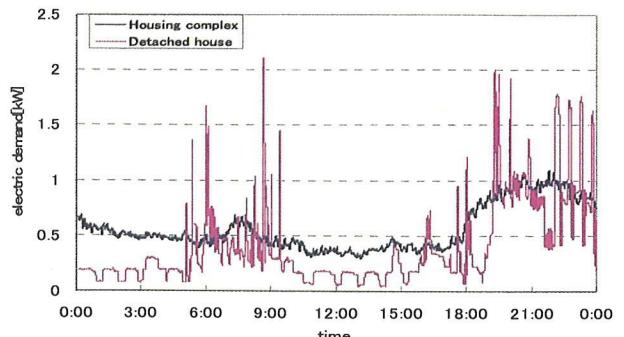


Fig.16 Electric Demand at every 1 minute (Summer)

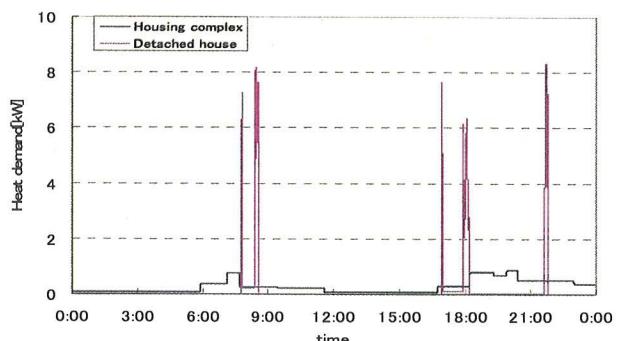


Fig.17 Heat Demand at every 1 minute (Summer)

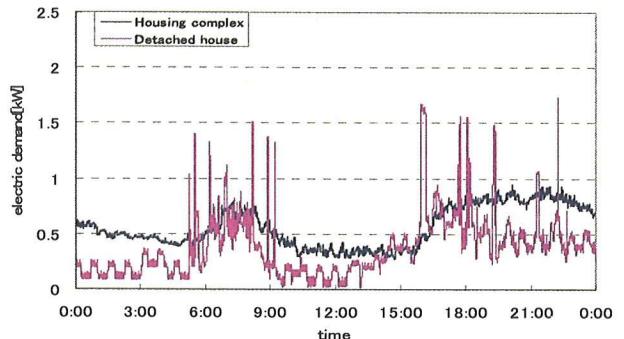


Fig.18 Electric Demand at every 1 minute (Winter)

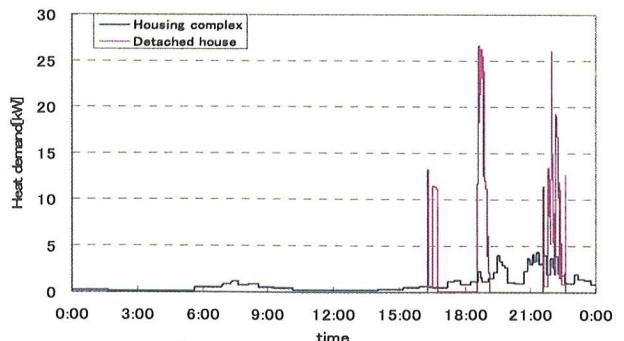


Fig.19 Heat Demand at every 1 minute (Winter)

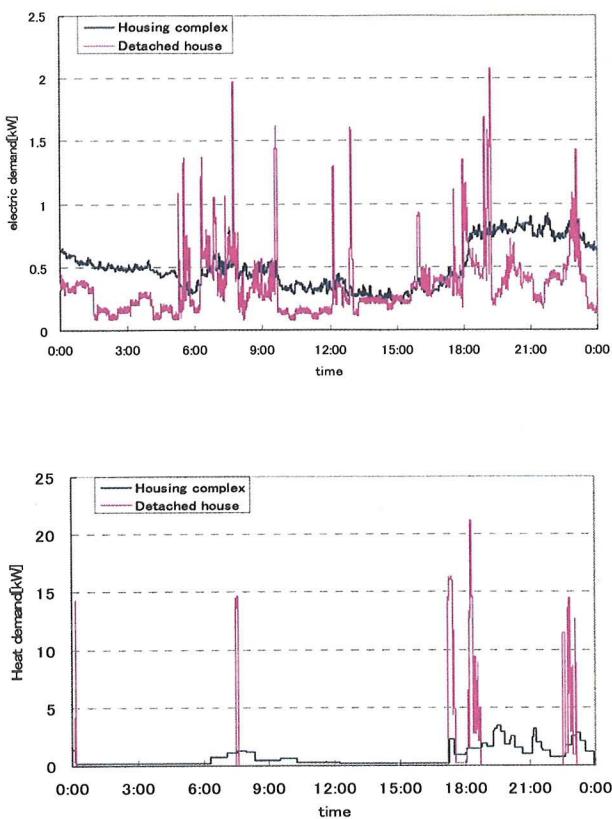


Fig.21 Heat Demand at every 1 minute
(Middle Season)

集合住宅の場合では、個々の家庭の使用量と使用時間は様々であるが平均化されているため、戸建住宅と違い1日を通して突出した需要量も無く、比較的平坦な需要変化となっている。

以上より、一分間隔のデータから見ると、戸建住宅と集合住宅とは負荷の時間変動は大幅に異なることが判る。また、参考にした標準住宅の1時間間隔のパターンは実際の戸建住宅の1分間隔のパターンとも平均化された集合住宅のパターンとも異なることがわかる。

5. 計測時間間隔による負荷パターンの違い

従来の検討においては、殆どの場合1時間間隔の負荷パターンをもとに解析が行われてきているが、Fig.16からFig.21に示したとおり、実際の負荷変動はかなり激しく、特に戸建住宅の熱負荷の変動は到底1時間間隔のデータではその特徴を再現できない。そこであらためて計測時間間隔の違いによる負荷パターンの違いを調べた。戸建住宅の場合をFig.22からFig.27に示す。電力、熱需要量とともに1分間隔と1時間間隔とを比べるときわめて大きな差異が生じており、特に熱需要は、使用する時間帯のみに大きな需要がパルス状に発生するが、1時間間隔の負荷パターンではまったくこの状況は表現できていない事は明らかである。

まず電力需要であるが、どの季節においても最大電力使用量は1分間隔では2kW程度である。しかしながら、1時間間隔の平均値としで見ると、夏期において最大電力使用量は1kWを超えるものの、冬期・中間期においては1kWを超える時間帯は無いことが分かる。

これによって最大電力使用量を1時間間隔の平均値で表すことによって2倍以上の差異を生じることになる。さらにFig.26の中間期の電力需要においては、1分間隔の電力需要の最大使用量は19時以降にあるが、1時間間隔では19時以前に起こるという最大値の時間的差異を生じる結果となる。

次に熱需要であるが、電力需要よりさらに顕著な差異が生じている。夏期では熱需要最大使用量は1分間隔で8kW強の使用量に対し、1時間間隔では1kW強ということになる。最大使用量の発生する時刻に関しても1分間隔では夜の9時以降に起こるのに対して、1時間間隔では朝の8時以降ということになる。冬期において最大使用量は1分間隔では26kW強に対して、1時間間隔では8kW強となっている。最大使用量発生時刻は同じ時間帯にあるが、最大使用量が3倍以上も差がでてしまうことになる。また中間期の最大熱需要量においては、1分間隔で21kWあるのに対して、1時間間隔では4kW強と5倍程度、需要量に開きが生じてしまう結果となる。このように従来より用いられてきた1時間間隔の負荷データは、本来必要な需要量を正確に反映しているとは言えず、家庭用CGSを検討する時に、場合によっては、誤差の大きい結果を招くことが大いに懸念される。

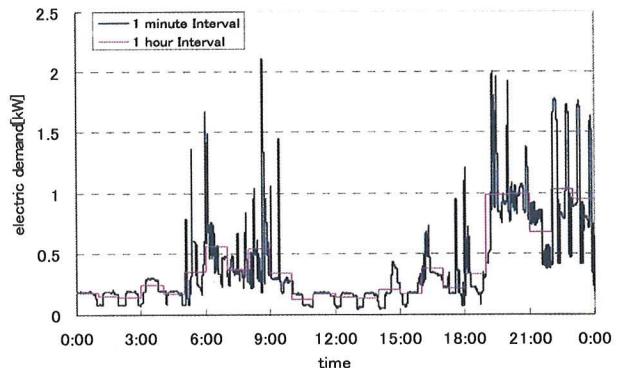


Fig.22 Comparison of Load Pattern with Time Interval of Measurement (Electric Demand, Summer)

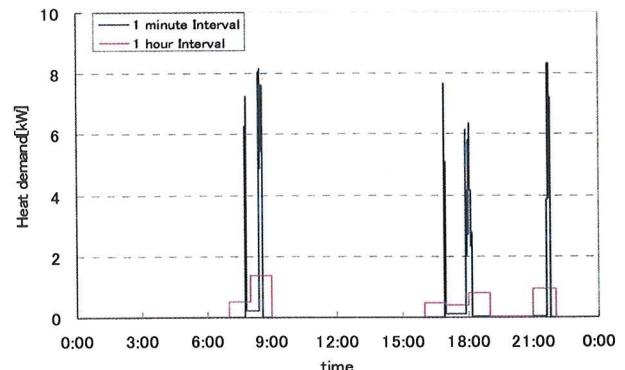


Fig.23 Comparison of Load Pattern with Time Interval of Measurement (Heat Demand, Summer)

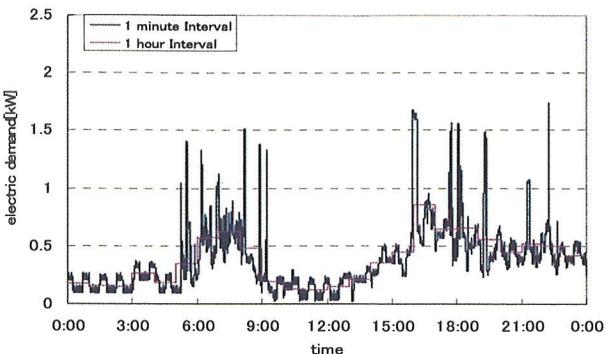


Fig.24 Comparison of Load Pattern with Time Interval of Measurement (Electric Demand, Winter)

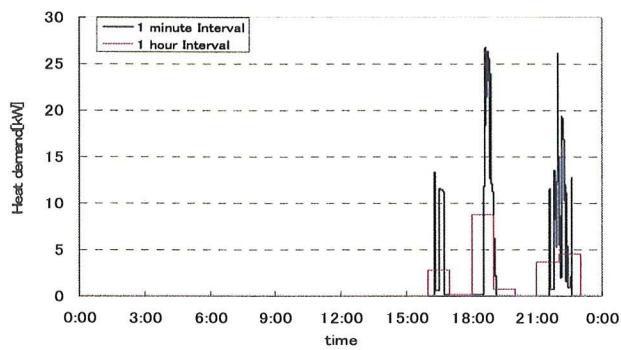


Fig.25 Comparison of Load Pattern with Time Interval of Measurement (Heat Demand, Winter)

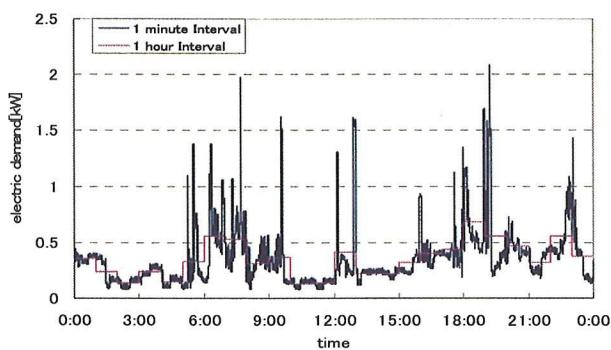


Fig.26 Comparison of Load Pattern with Time Interval of Measurement (Electric Demand, Middle Season)

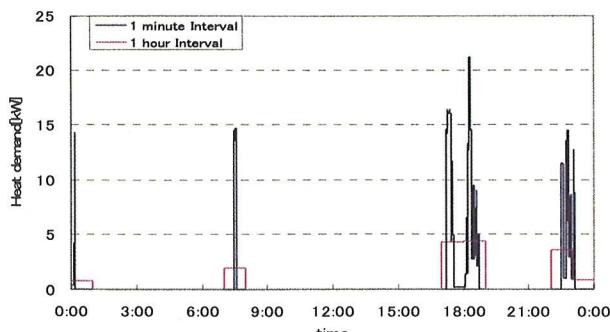


Fig.27 Comparison of Load Pattern with Time Interval of Measurement (Heat Demand, Middle Season)

6. まとめ

従来より CGS の検討で用いられてきた 1 時間間隔の負荷データは、実際の家庭で実測された 1 分間隔の負荷需要量とは大きく異なる結果となった。特に熱需要において戸建住宅では、熱使用量がパルス状に発生し、使用する時間帯と使用しない時間帯の二分化が見られた。これに対して集合住宅・標準住宅・病院等の熱需要は、使用量は大きく変化するものの程度の需要が常に存在していることが分かる。それぞれの電力と熱の相関関係においても集合住宅・標準住宅・病院は電力需要が増えることによって熱需要も増大傾向にあるので、ある程度両者の相関関係がある形となるが、戸建住宅においては、熱需要が全く無い時間帯が多く存在するため、電力需要が多くなっても必ずしも熱需要が増大するという結果にはならなかった。今回、負荷の特徴を検討した結果、

- (1) 従来より CGS 導入効果が高いと言われてきたホテル・病院・事務所では、電力及び熱需要が常に存在し、電力需要の増大とともに熱需要も増大することから、CGS を適用する場合には、CGS に用いる原動機や補助システムの熱電比とをマッチングさせることによって、比較的容易に効果的な CGS の運転を行うことが可能であると考えられる
- (2) 集合住宅においては多くの戸数が存在するため、電力及び熱需要量が結果的に平均化された負荷パターンとなり、CGS を検討するうえでは、1 時間間隔での負荷データで検討を行っても大きな誤差を生じることは無い
- (3) 戸建住宅においては負荷需要の変動が大きく、1 時間間隔の平均化された負荷データを用いると、最大使用量及び最大使用量時刻を見誤る恐れがあり、1 時間間隔では効果があると判断された CGS を導入しても、実際には最大使用量に対処できないケースが生じる可能性がある(貯湯槽の容量、原動機の容量、補助システムの選定等)

今後、家庭用 CGS の検討を行う上では、これらの事を考慮し、さらに多くの実測負荷データを分析する必要がある。また、戸建住宅に CGS を導入する場合には、従来より効果があると判断された運転方法やシステム機器では、十分な効果が得られない可能性がある。したがって、負荷変動の大きさ、電力と熱の相関関係が大きく変動することを考慮した新たなシステムの検討や運転方法の工夫・検討が必要と思われる。

参考文献

- 1) 鈴置保雄ほか 3 名、温水需要の実測に基づく住宅用コーチェネレーションシステムの経済性評価、電気学会論文誌 B、Vol.123, No.12, Page1513-1521(2003.12)
- 2) RC185 ガスター・ガス・燃料電池利用小型分散エネルギーシステムに関する研究分科会、日本機械学会、Page155-179(2003.06)
- 3) コーチェネレーション評価プログラム、空気調和・衛生工学会