

1. ガス消費量とコスト

衣笠キャンパスのガス料金構成(2006年度)を図1に示す。ガスエネルギーコストの56%は基本料金が占め、従量料金を上回る。これは、衣笠キャンパスが大口需要家であるため従量料金単価が安くなっているからである。また、この基本料金の中で最も高い割合を占める項目は、流量基本料金である。およそ、基本料金の49%、全ガスコストの28%を占める。

流量基本料金とは、1時間(60分)単位で使用可能な最大ガス量を契約上に決め、この量に単価を掛けた金額で、毎月基本料金の一部として請求される。これは、電気であれば、30分単位で使用可能な電力量を元に決められる契約電力に対して請求される基本料金と同類のものである。

電気の契約電力は、電力の30分デマンド契約としてよく知られ、もしこれを超過すると違約金を支払わなければならないうえ、その後の契約量も上げられてしまう。そこで需要家の多くは、電力デマンド監視・制御システムなどを導入して、超過しないように細心の注意を払う。

一方、ガスに関してのデマンド契約とも言える流量基本契約についてはどうであろうか。おそらく、ほとんどの需要家は意識していないであろう。この流量基本契約量の一般的な決め方は、設置されているすべてのガス機器の定格ガス消費量合計値の80~90%程度の量で決められることが多い。

しかし、空調設備をはじめとするガス機器のガスの同時消費率が、定格ガス消費量合計値の80%以上となるような建物は、極めて少ないと思われる。そして、需要家は電気のようにデマンドを意識して管理することがないため、この“多すぎる”初期の契約量のまま見直されることなく契約が継続されているケースがほとんどであろう。

このような観点から、ガスについても電気と同様にガスデマンド監視・制御システムを導入し、ピーク値をコントロールすることが望ましいと考えた。ピーク値のコントロールは、単にコスト削減というだけでなく、エネルギー利用の平準化という意味でも重要である。

そこで、衣笠キャンパスにおいて、このガスデマンド監視・制御システムを図書館棟の空調設備として採用されているガスヒートポンプエアコン(以後、GHPと呼ぶ)空調システムに対して試験的導入を行い、その効果を検証した。

2. 導入内容

2-1. 対象設備

衣笠キャンパスの図書館棟(地下1階、地上4階、延床面積4517m²)の熱源設備は、2007年度の改修工事により、水冷チラーおよびボイラーから、三洋電機製のGHPにリニューアルされた。表1にその設置GHPリストを示す。

表1に示す全てのGHPの冷房定格ガス流量の合計値である623.8kWをNm³/h換算すると48.8m³/hである。

この三洋電機のGHPは、三洋電機以外のメーカーの制御システムとRS485通信で接続可能な通信アダプタを商品ラインナップとして持っている。今回の改修工事にはこの装置

が導入された。そのため、既存中央監視システム(アレフネット製)が、GHPシステム側の制御情報の入出力を行うことができるようになった。この入出力情報を用いて、中央監視システムにより、ガスデマンド制御を行えるようにした。

2-2. GHP 運転制御方法

2-1で示したように、三洋電機製のGHPオプション装置である通信アダプタを介すると、中央監視システムとGHPシステムとの間で、以下に示す情報の取合いが可能になる。

①中央監視システムからGHPシステムへの出力情報

⇒ GHP 運転出力上限設定値

②GHPシステムから中央監視システムへの入力情報

⇒ GHP 単体別ガス消費量計量値

図2にシステム図を示す。

①の中央監視システムからGHPシステムへの運転出力上限値を与えることにより、GHPの運転出力制限が行える。例えば、中央監視システムがGHPに対して、運転出力上限値を70%と出力すれば、GHPは現在負荷が定格能力の70%を超えていたとしても、GHPの運転出力は70%までしか出力しないようになる。

また、②の中央監視システムに取り込まれるGHP単体別ガス消費量値から、以下の計算により、GHPの現在の運転出力値の推定値を求める。

$$Y = (F_{\text{gmv}} \times 60 / T) / A \times 100$$

ここで

Y : GHP 現在運転出力[%]

T : 移動平均間隔 (=30[min])

F_{gmv} : 現在時刻から移動平均間隔T[min]さかのぼった時刻までの累積ガス消費量[m³]

A : GHPの定格ガス消費量[m³/h]

(定格運転時のガス消費量であり、定数)

GHPの現在の運転出力値よりも低いGHP運転出力上限設定値を中央監視システムから与えることで、GHPガス消費量を意図的に下げることが可能となる。ただし、上限設定値は、51%未満の値を与えるとGHPは強制的にサーモOffの状態となり、エンジン停止してしまう。従って、停止させない範囲で制御を行うには、51%以上としなければならない。

2-3. GHPガスデマンド制御

(1)ガスデマンド監視

電気のデマンド制御を行う場合に30分単位(電力デマンド時限)で電力量の計量監視を行う必要がある。ガスデマンド制御を行う場合にも同様に、ガス消費量を60分単位(ガスデマンド時限)で計量監視(以後、ガスデマンド監視と呼ぶ)する必要がある。ガスデマンド監視概要を図3に示す。ガスデマンド監視は、時限のスタートから経過した時間までのガ

ス消費量(以後、現在デマンド値と呼ぶ)を元に、60分の時限終了時点の予測ガスデマンド量を予測し、これが目標ガス消費量(以後、目標ガスデマンド量と呼ぶ)を超過するかどうかを監視する機能である。超過判定後の処理は、デマンド監視時限スタートからの経過時間により、次の4段階の処理となる。

- ① 時限スタートから軽警報監視開始時間(T1)まで
⇒ 不感帯で警報発報もしない
- ② T1から中警報監視開始時間(T2)まで
⇒ 警報発報のみを行い、制御は行わない
- ③ T2から重警報監視開始時間(T3)まで
⇒ デマンド制御の第1,2ステップ処理(後述)
- ④ T3から時限終了まで
⇒ デマンド制御の第3ステップ処理(後述)

(2)ガスデマンド監視

最初に、制御フローを図4に示す。制御動作の基本は、予測ガスデマンド量が目標ガスデマンド量を超過する分を、2-2で示した運転出力上限設定値を現在の運転出力値(Y)よりも少しずつ下げることにより、強制的にガス使用量を下げる。予測ガスデマンド量を3分ごとに再計算し、それが超過している場合は、現在の運転出力値から設定出力変化幅($\Delta X[\%] = 5\%$)下げた上限設定値を与える。例えば、現在運転出力(Y)が84%であれば、与える出力上限設定値は79%(=84-5)という具合である。次の予測再計算の結果も依然として超過予測される場合は、現在運転出力値に対し、さらに $\Delta X\%$ 下げた出力上限設定値を与える。これを繰り返すことで、予測ガスデマンド量が目標ガスデマンド量以下になるようにする。このとき、運転出力上限設定値の段階的引き下げの限度をデマンド監視時限スタートからの経過時間により、Step1からStep3の3段階に分けている。この各Stepの内容について表2に示す。

Step1では運転出力上限設定値の引き下げ限度を高めにし、この下限値までの範囲内でのみ段階的に削減していく。Step2では、GHPのエンジンを停止させないための最低値である51%を引き下げ限度とし、この範囲内で削減していく。そして、Step3では引き下げ限度を50%以下まで許可する。つまり、50%以下を出力することで、強制的にエンジンを停止(ガス消費量0)させることまで許可する。このように3段階に分けた意図は、時限スタートからの経過時間が短い間は、できるだけ室内環境を悪化させないように配慮し、時限(60分)終了に近づくに従い、目標デマンド量の超過を回避のために、ガス消費量を大きく削減させることができるようにしている。

また、GHP系統によっては、運転出力制限を加えることができない系統、運転出力制限は行ってもよいがエンジンを停止(空調能力=0、ガス消費量=0)させることまではすべきでない系統などもあると考えられる。そこで、表3に示すよう

に、デマンド制御対象外にするGHPを優先度“0”、51%以上の範囲のみで制御するGHPを優先度“1”、51%未満すなわち、エンジンを停止させることまで許可して制御するGHPを優先度“2”というように、GHP系統別にどこまで制御できるかを区分して設定できるようにしている。

3.効果検証

「2 導入内容」で示したガスデマンド制御導入目的は、60分ガスデマンド量(1時間単位のガス消費量)を設定した目標ガスデマンド量以下に制御することで、

- 流量基本契約量(1時間当たりの最大消費量)を削減すること
- トータルガス使用量(日積算ガス消費量)の削減を行うこと

の2つである。

今回導入したガスデマンド制御が、冷房運転時に上記2つの観点でガス消費量の削減機能が果たされるかについて、検証実験を行った。ここで、ガスデマンド制御は、ガス消費量抑制のために、GHPのエンジン出力を強制的に制限することになるので、室内環境悪化はある程度容認されるという前提で利用されなければならない点に注意が必要である。しかし、室内環境悪化に関しては無制限に悪化させてもよいということになれば、全てを停止するのが最大の効果ということになってしまう。従って、今回の検証実験では、地球温暖化に伴う環境省のクールビズ対策の目標室内温度である28°Cを超えないことを境界条件とし、その範囲内でガス消費量抑制が達成されるかについて検証を行うことにした。検証実験は、2008年の盛夏期において、

- (1) 図書館利用者数ピーク期の制御有効日と無効日の結果比較(7月下旬の試験期)
- (2) 図書館利用者数通常期の制御有効日と無効日の結果比較(8月上旬の試験期後)

の2パターンで行った。

(1)図書館利用者ピーク期の検証実験

冷房期の利用者数ピーク期は、前期試験が実施される7月下旬である。この期間における実験対象日は、制御有効日を7月22日、無効日を7月23日とした。この2日間は共に平日で、外気温度がほぼ同様に推移しており、利用者数も試験期であるため両日とも席に空きがないほど多数の利用者があった。このように、検証実験実施の両日は、周囲条件は、ほぼ同等と考えてよい。また、制御有効日の目標ガスデマンド設定値は、45m³とした。これは、この時期で制御を無効にした場合の最大デマンド値(1時間ガス消費量のピーク値)が、概ね55m³前後であったため、その82%の45m³を設定値とした。この両日のガス消費量推移についての比較結果を図5に示す。

図5をみると、制御無効日のデマンドピーク値が58m³で

あるのに対し有効日は 47m^3 であり、 11m^3 (16%) 削減された。また、日積算消費量に関しても、制御無効日が 694m^3 に対して、有効日は 599m^3 となり、 95m^3 (14%) 削減された。

次に、この両日の各階室内温度環境推移の比較を図 6(1F)、図 7(2F)、図 8(3F)に示す。

室内温度に関して、制御有効日は無効日に比べて、1F では $0.2\sim 0.8^\circ\text{C}$ 上昇、2・3F では全時間帯で約 1.0°C 上昇しており、GHP 運転出力制限によるデマンド制御が温度環境を悪化させていることは明白である。しかし、かろうじて室内温度 28°C 以下は維持できているため、許容範囲内と判断してよいと考える。

次に、GHP の運転出力値の推移についても確認しておく。比較システムとして、1F インテリアシステムの GHP と 3F ペリメータシステム GHP を対象とし、各々図 9 と図 10 に出力推移比較図を示した。この結果、制御有効日に関しては、周期的に運転出力が下がっており、本制御がうまく作動していることがわかる。

(2) 図書館利用者通常期の検証実験

次に、図書館利用者が減り、通常の利用状況となった 8 月上旬における検証実験結果を示す。この期間における実験対象日は、制御有効日を 8 月 7 日、無効日を 8 月 6 日とした。この 2 日間についても共に平日で、外気温度推移も夕方を除くとほぼ同様であった。利用者数も両日も閑散とした試験期以外の概ね通常時の人数であった。従って、この検証実験実施両日も、周囲条件はほぼ同等と考えてよい。制御有効日の目標ガスデマンド設定値は、 36m^3 とした。これは(1)の場合と同様に、この時期で制御を無効にした場合のデマンド値(1 時間ガス消費量のピーク値)が、概ね 44m^3 前後であったため、その 82% の 36m^3 を設定値とした。この両日のガス消費量推移についての比較結果を図 11 に示す。図 11 をみると、制御無効日のデマンドピーク値が 43m^3 であるのに対し、有効日は 36m^3 であり、 7m^3 (16%) 削減された。また、日積算消費量に関しても、制御無効日が 431m^3 に対して有効日は 401m^3 となり、 30m^3 (7%) 削減された。

次に、室内温度状況についての比較を図 12(1F)、図 13(2F)、図 14(3F)に示す。

これらをみると、室内温度は各階とも、制御有効日と無効日でほぼ同じ温度であることがわかる。つまり、ガスデマンド制御による室内温度環境への影響は、小さかったと判断できる。

4. 今後の課題

GHP に対して運転出力上限値を変化させながらガス消費量を抑制する今回導入したガスデマンド制御の効果検証を、盛夏期において、図書館利用者数がピークとなる 7 月下旬

と、利用者数が通常となる 8 月上旬の各時期に行った。その結果について「3 効果検証」で示した。ここで得られた知見を以下にまとめる。

- 1) 今回導入したガスデマンド制御を用いると、最大 1 時間ガス消費量(最大ガスデマンド量)、日積算ガス消費量ともに抑制することが可能になる。ピークデマンド量は、概ね目標値に追従させることができる。
- 2) ガスデマンド制御による GHP ガス消費量抑制に伴い、室内温度環境の悪化は避けられない。しかし悪化したとしても、室内温度環境許容範囲内(冷房時: 28°C 以下 / 暖房時: 20°C 以上など)に留める必要がある。このとき、デマンド制御の目標値(目標ガスデマンド量)の設定が重要となり、制御により環境許容範囲内となるように、この設定値を決める必要がある。

上記の 1) で述べたように、本ガスデマンド制御自体はうまく作動することが確認できた。しかし、ガスデマンド制御の運用で重要なことは、上記の 2) で示したように、室内温度環境を悪化許容範囲内となるように目標ガスデマンド量の設定値が決められるかどうかである。今回実施した 2 回の実験検証では、この目標デマンド量の設定を、各期間(7 月下旬と 8 月上旬)において、デマンド制御を無効にしたときに発生する最大デマンド量の 82% 程度の値とした。その結果、8 月上旬期に関しては、制御を有効にしたことによる室内温度環境への影響は小さかったが、7 月下旬期では室内温度環境が許容限度近辺まで悪化した。今回比較実験を行ったのはこの 2 つの時期だけであるが、年間を通じて様々なパターンの外気条件と図書館利用者数の組み合わせが存在するため、熱負荷発生パターンは多岐にわたる。従って、今後の課題としては、外気温湿度状況や利用者数に応じた、ガスデマンド制御の最適な目標値(目標ガスデマンド量)の設定を動的に決めるための制御法の検討と開発を行う予定である。

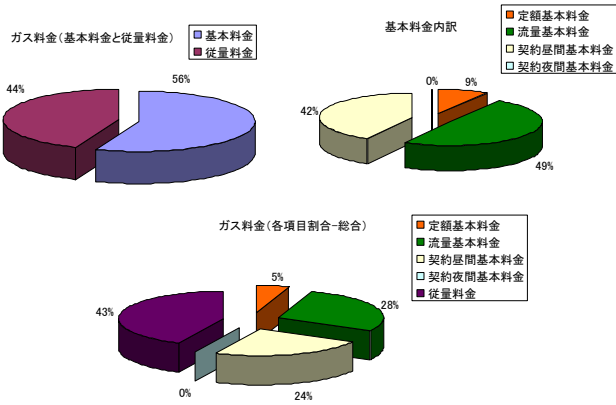


図1 ガス料金の構成(2006年度)

表1 図書館GHPリスト

室外機系統	冷房能力 [kW]	暖房能力 [kW]	冷房定格ガス流量 [kW]	暖房定格ガス流量 [kW]
GHP-1-1	45.0	50.0	34.2	36.8
GHP-1-2	71.0	80.0	58.3	62.6
GHP-1-3	45.0	50.0	34.2	36.8
GHP-1-4	56.0	63.0	41.2	45.3
GHP-2-1	45.0	50.0	34.2	36.8
GHP-2-2	35.5	40.0	26.7	29.8
GHP-2-3	45.0	50.0	34.2	36.8
GHP-2-4	45.0	50.0	34.2	36.8
GHP-2-5	45.0	50.0	34.2	36.8
GHP-2-6	45.0	50.0	34.2	36.8
GHP-4-1	45.0	50.0	34.2	36.8
GHP-4-2	56.0	63.0	41.2	45.3
GHP-4-3	56.0	63.0	45.7	48.3
GHP-4-4	56.0	63.0	45.7	48.3
GHP-4-5	56.0	63.0	45.7	48.3
GHP-4-6	56.0	63.0	45.7	48.3
合計	802.5	898.0	623.8	670.6

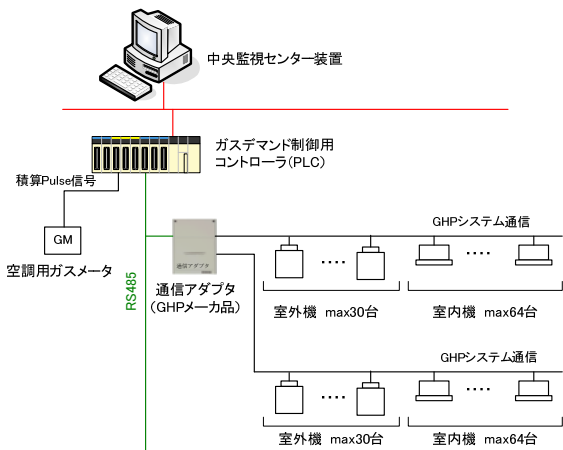


図2 中央監視システムによるGHP制御システム

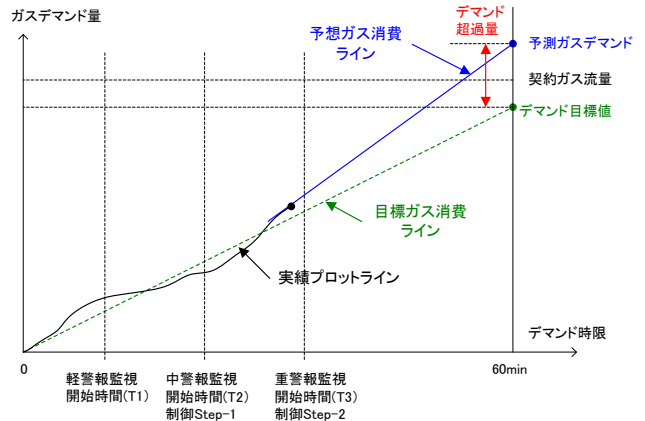


図3 ガスデマンド監視概要

表2 デマンド制御ステップ

制御Step	制御方法
Step1	GHP運転上限出力値をエンジン停止しない範囲で行われる制御で、各GHPごとに設定される最低出力値までの範囲での運転上限出力を行う段階。
Step2	GHP運転上限出力値をエンジン停止しない範囲で行われる制御で、Step-1の各GHPごとに設定される最低出力値を無視し、運転上限出力51% (GHP停止限界値) まで出力する段階。
Step3	GHP運転上限出力値をエンジン停止させることを許す段階。すなわち、運転上限出力値を50%以下(例えば、30%)を出力して、GHPを強制停止させる。

表3 GHP制御優先度設定種別

優先度	内容
0	制御対象外
1	室外機制御出力限界(51%まで)の制御
2	制御出力限界(50%以下)の制御=室外機サーモオフ

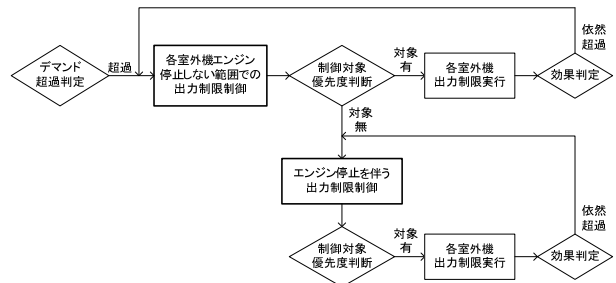


図4 ガスデマンド制御フロー図

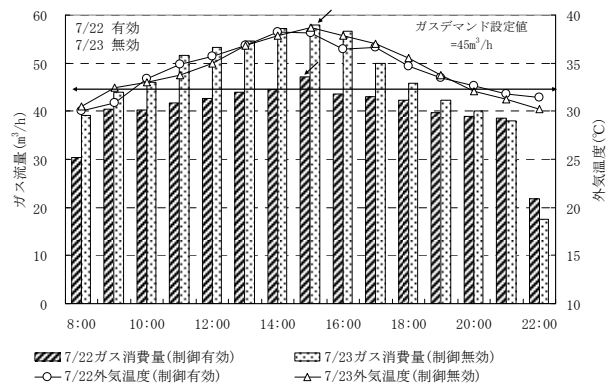


図5 利用者数ピーク期のガス消費量推移比較 (7/22 制御有効, 7/23 制御無効)

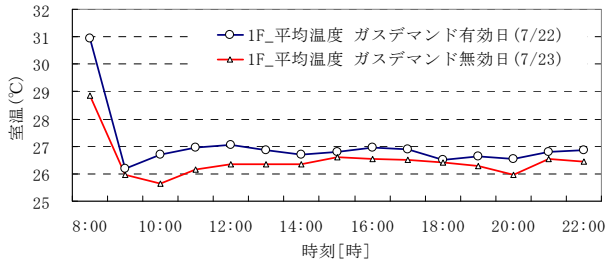


図6 ピーク期の室内温度環境比較 (1F)

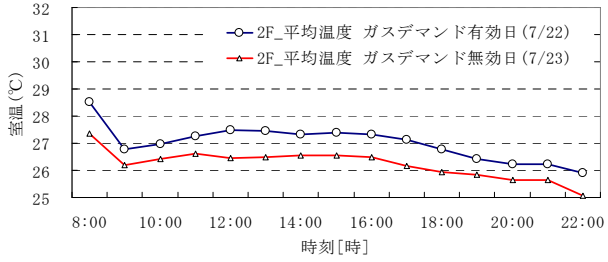


図7 ピーク期の室内温度環境比較 (2F)

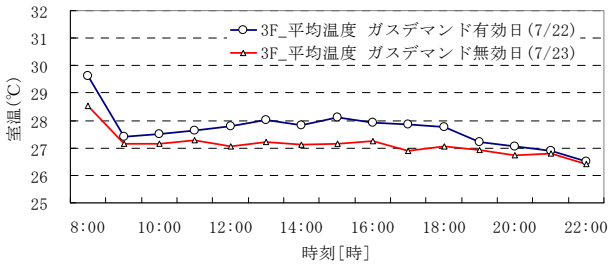


図8 ピーク期の室内温度環境比較 (3F)

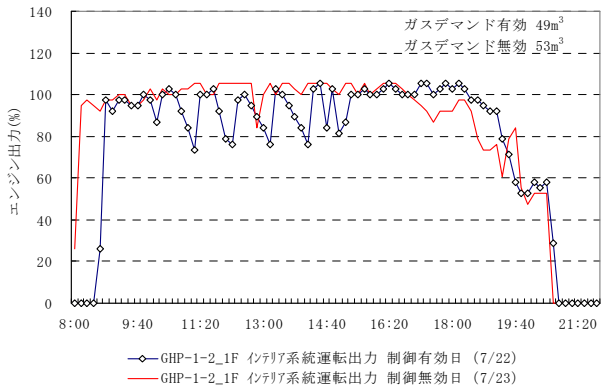


図9 1F インテリア系統 GHP 運転出力推移比較

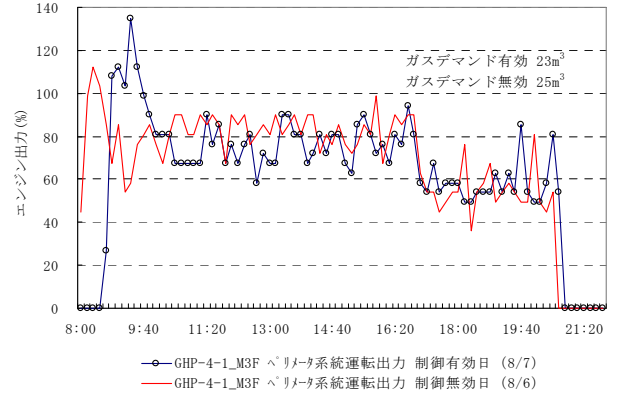


図10 3F ペリメータ系統 GHP 運転出力推移比較

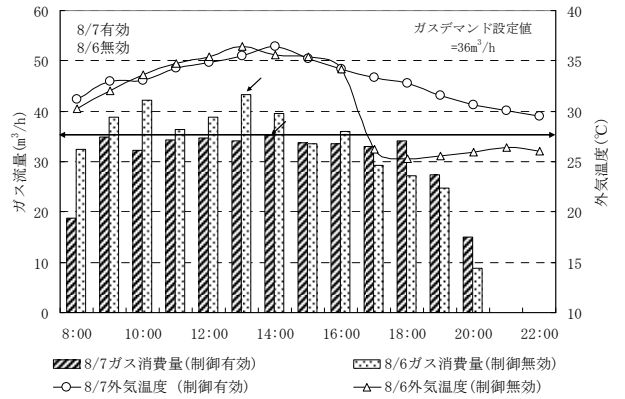


図11 利用者数通常期のガス消費量推移比較 (8/6 制御無効,8/7 制御有効)

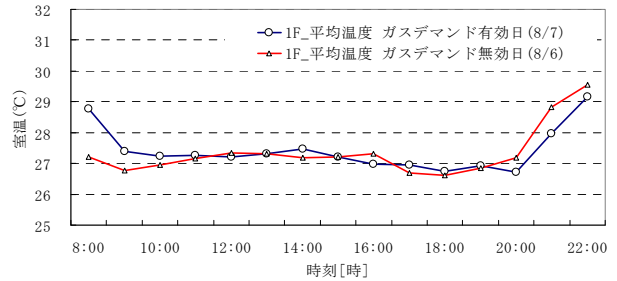


図12 通常期の室内温度環境比較 (1F)

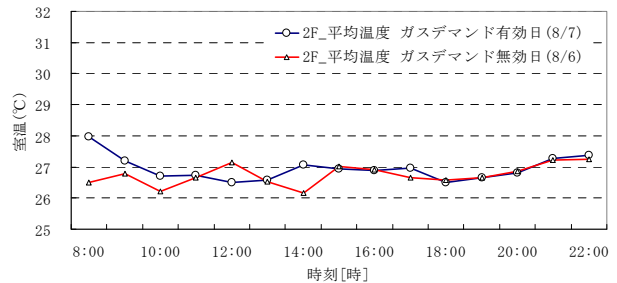


図13 通常期の室内温度環境比較 (2F)

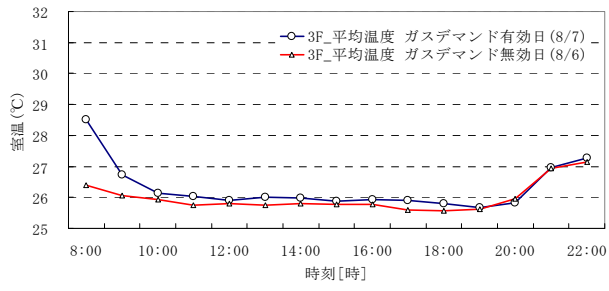


図 14 通常期の室内温度環境比較 (3F)