

熱・電気を統合したデマンドレスポンスの検討（その2）

CHP-based Demand Response for controlling Heat Load Profile

杉本 一郎*・安芸 裕久**

Ichiro Sugimoto

Hirohisa Aki

Japan has decided to open the retail power market by 2016 and the retail city gas market by 2017. In Japan, residential fuel cells, as micro-CHPs, have been released since 2009 and installed over 100,000 sets at the end of 2014. Within the institutional design of electric power market, Negawatt power, the use of Demand Response (DR) is expected to play a new role in electric power on the demand side.

In this paper, we set up a concept of Negawatt Gas, the use of DR on city gas, and propose a CHP-based DR mechanism for controlling the heat load profile of an apartment house which is equipped with a micro-CHP and a smart gas meter in each dwelling. Removing the operational constraints from CHPs, an electricity consumption process is suggested, which works automatically, a reverse power flow in the apartment house or shifts the energy by the acts of residents.

Keywords : demand response, heat load profile, combined heat and power

1. まえがき

東日本大震災とそれに伴う東京電力福島第1原子力発電所の事故を契機に、日本の電力需給は逼迫した状況にあり、政府ではそれを打開するための政策の一つとして、電力システム改革が進められている。まず2013年11月13日に、電気事業法の第1弾改正として、「2015年を目途とした広域系統運用機関の設立」が国会において成立した¹⁾。次に2014年6月11日に、第2弾改正として、「2016年を目途とした電気の小売業への参入の全面自由化」が国会で成立した²⁾。さらに政府は第3弾改正として、2015年の通常国会には「送配電部門の法的分離」の法案の提出を予定している。これと並行して経済産業省では、発電事業・小売電気事業・送配電部門・広域的運営推進機関の詳細な制度設計について議論が行われている³⁾。その議論の中では、卸電力市場の活性化のために、小売電気事業者・アグリゲータ等が売り手となる「デマンドレスポンスを活用したネガワット取引」が提案され、需要家サイドによる新たなエネルギー需給施策として、ネガワット取引のためのガイドラインの策定が検討されている⁴⁻⁵⁾。

近年米国などでは、夏期や冬期の電力需給を維持するために、需要家に対して電力需要の抑制を促すインセンティブ制度としてデマンドレスポンス (Demand Response) が定

着している。特に、外部のオペレータ・アグリゲータ等からの要請に基づき、需要家機器を自動的に制御する自動化デマンドレスポンス (ADR: Auto Demand Response) は、2000年初頭から実証研究が始まり⁶⁾、2010年にはその手法が確立してインタフェースの標準化が行われ⁷⁾、その抑制推定電力は卸電力市場や容量市場でネガワット (Negawatt) として取引されている⁸⁾。

一方日本では、家庭の電力・熱需要を自家で賄う小型コージェネレーション設備として、2009年6月に戸建住宅向けの定置用燃料電池 (以下、FCと略す) が商品化され、2014年6月末までの5年間で累計9.3万台以上が設置・導入されている⁹⁾。また2014年4月には集合住宅向けのFCが商品化され、各戸の住宅設備として新築分譲マンションへ導入されている¹⁰⁾。

本研究では、1棟100戸未満の規模の集合住宅を対象に、各戸に集合住宅向けFCが装備され、棟屋全体で系統電力と都市ガスが一括連系する「集合住宅モデル」を設定し、電力および都市ガスの小売事業者・アグリゲータ等からの電力量・都市ガス量の抑制要請に対応して、一括受電点／一括供給点からみた棟屋全体の電力負荷プロファイル／熱負荷量をFCの余剰能力を利用して制御する「熱・電気を統合したデマンドレスポンス」について検討を行っている。

本稿は、第1報の「電力負荷プロファイルの制御機構」¹¹⁾に続く第2報と位置付け、各戸のFCを利用した「熱負荷量の制御機構」について報告する。本稿では序章として、第1報の電力負荷プロファイルの制御機構と熱消費シフト

*株式会社エネルギー・生活科学研究所
〒537-0024 大阪市東成区東小橋2丁目10番26号
E-mail ichiro@energy-and-humanlife.com

**独立行政法人産業技術総合研究所 エネルギー技術研究部門
〒305-8568 茨城県つくば市梅園1-1-1 つくば中央第二事業所

行動について概説する。次に、電力におけるデマンドレスポンスによるネガワット取引の概念を、都市ガスに適用した「都市ガスの総量抑制によるネガワット取引」の仕組みを想定する。そしてこの前提に基づき、小売ガス事業者・アグリゲータ等からの都市ガス量の抑制要請に対応して、集合住宅各戸のFCを利用した「熱負荷量の制御機構」と、各FCの稼働（排熱回収）を促進する「電力消費シフト行動」を提案する。

2. 電力負荷プロファイル制御機構と熱消費シフト行動¹⁰⁾

集合住宅モデルとして、1棟100戸未満の規模で、各戸に住宅設備としてFCが設置され、棟屋全体で系統電力と都市ガスが一括連系し、各戸のFCと電力・ガスのスマートメータはインターネットと常時接続されている、集合住宅を設定する。また各戸の居住者は、電力と都市ガス両方を販売・供給する小売事業者またはアグリゲータ等と一元的に契約しているものとする。

この集合住宅モデルにおいて、小売事業者・アグリゲータ等からの電力量抑制の要請に対応する「棟屋単位の電力デマンドレスポンス」（以下、DR-Eという）は、以下に示す電力負荷プロファイルの制御機構と熱消費シフト行動の連携により達成することが可能となる。

2.1 電力負荷プロファイルの制御機構

集合住宅モデルの各戸のFCが通常時に自家のエネルギー需要に則して稼働している場合（以下、通常モードという）、系統電力側からみた一括受電点での棟屋全体の電力負荷プロファイル（LOAD(E)_{POI} (kW)）は、式(1)に示すように、各戸の電力需要（DEMAND (kW)）からFCの発電出力（CHP_{NORMAL} (kW)）を差し引いた電力値を全戸数で合計した値となる。

$$LOAD(E)_{POI}(t) = \sum_{i=1}^N (DEMAND_i(t) - CHP_{NORMALi}(t)) \quad (1)$$

ここでNは棟屋内の全戸数を表す。

小売事業者・アグリゲータ等からの電力量抑制の要請に対して、棟屋全N戸の内M戸の居住者が同意し、M台のFCがその余剰能力を棟内に逆潮流させてデマンドレスポンスを実行する場合（以下、DR-Eモードという）、棟屋全体の電力負荷プロファイル（LOAD(E)_{POI-DR} (kW)）は、式(2)に示すように、通常モードの棟屋全体の電力負荷プロファイルからM台のFCの余剰電気出力（CHP_{DR} (kW)）を差し引いた値となる。

$$LOAD(E)_{POI-DR}(t) = \sum_{i=1}^N (DEMAND_i(t) - CHP_{NORMALi}(t)) - \sum_{j=1}^M CHP_{DRj}(t) \quad (2)$$

ただし、FCの自家需要のための発電出力（CHP_{NORMAL}）と余剰電気出力（CHP_{DR}）の合計は、FCの定格発電容量（P_{max} (kW)）以下に制限される。

つまり、系統電力側からみた一括受電点での棟屋全体の電力負荷プロファイルは、各戸に設置されたFCの定格発電容量の範囲内で制御できることがわかる。なおDR-EモードのFCは、自律群制御（例えば、予備力補完制御¹²⁾）によって余剰電気出力を自律的に調整する。

また、集合住宅モデルにおける棟屋全体の取引単位時間当たりの電力抑制量、即ちネガワット取引量（NEGAWATT_{EP} (kWh)）は、現行の卸電力市場（スポット市場）と同様の取引単位時間（30分単位）とみなすと、式(3)に示すように、FCの余剰電気出力の30分積分値となる。

$$NEGAWATT_{EP}(30min) = \sum_{j=1}^M \int_{30min} CHP_{DRj}(t) dt \quad (3)$$

2.2 熱消費シフト行動

上述の電力負荷プロファイルの制御機構は、各戸のFCが電力量抑制の要請期日と時間帯（例えば、夏期8月5日の13:00 - 17:00の4時間）に発電容量のみの制約下で確実に稼働することを前提としている。そのためには、FCがDR-Eモードで稼働する期日・時間帯に、FCの排熱回収タンク（貯湯槽）に十分な空き容量が必要となる。つまり、DR-Eモード開始時点での貯湯槽の保有熱量がFCの稼働時間を律速する主な要因となる。

そこで、FCの稼働制約を取り除き一定時間以上の稼働（発電）を担保する「熱消費シフト行動」を提案する。熱消費シフト行動は「自動化による熱消費シフト」と「人為的な行動による熱消費シフト」に分けられる。自動化による熱消費シフトは、居住者の在・不在に関わらず、DR-Eモード開始時点で排熱回収タンク（貯湯槽）が自律的に貯蔵温水を浴槽に注湯する操作である。また人為的な行動による熱消費シフトは、DR-Eモードの時間帯において居住者による浴槽への注湯行為（風呂入浴）またはシャワー入浴行為が該当する。

表1に、熱消費シフト行動の浴槽への注湯操作（風呂入浴）とシャワー入浴によって、夏期と冬期でFCの稼働が担保される時間を示す。

表1より、浴槽への注湯（自動注湯操作または風呂入浴行為）の熱消費シフト行動は、電力需給が逼迫しかつ給水温度の高い夏期・昼間においても、4時間以上のFCの稼働（発電）を担保できることがわかる。以上の電力負荷プロファイルの制御機構と熱消費シフト行動の連携により、各戸のFCを利用した棟屋単位の電力デマンドレスポンスが確実に達成できる。

表 1 熱消費シフト行動による FC の最低稼働時間

(上：風呂入浴 下：シャワー入浴)

(風呂) (最低設定温度)		
季節・期間	夏期	冬期
給水温度	25℃	5℃
注湯温度	37℃	37℃
注湯量	180 L	180 L
FC稼働時間 (h)	4.2 h	6.6 h
(シャワー)		
季節・期間	夏期	冬期
給水温度	25℃	5℃
シャワー温度	39℃	42℃
シャワー量	65 L	65 L
FC稼働時間 (h)	1.6 h	2.7 h

3. ネガワット・ガス取引の仕組み

現在経済産業省では、電力システムの改革と同様に、都市ガスシステムの改革のためのガス事業法の改正について議論が進められている。その改正内容は「ガス小売の全面自由化」「LNG 基地の開放」「ガス導管事業の分離」等であり、まず 2015 年の通常国会には、ガス事業法改正の第 1 弾として「2017 年を目途とするガス小売事業の全面自由化」の法案が提出される予定となっている¹³⁾。

この法案が国会で成立し施行された場合、2017 年以降は電気・都市ガスの小売が共に全面自由化され、小売事業者が一般家庭に「電気と都市ガスをセットで販売し供給する」という形態が一般的になると考えられる。また、コージェネレーションを有する業務用需要家や各戸に FC が設置されている集合住宅モデルでは、小売事業者にとって電気と都市ガスは互換性のあるユーティリティと見なすことができる。つまり、2017 年以降のエネルギー小売事業者は、電気と都市ガスだけでなく、需要家の所有設備やエネルギー消費形態も勘案し付加サービスも合わせて、様々なユーティリティを提供する業態になると予想される。

このようなエネルギー小売事業者にとっては、電気における「デマンドレスポンスを活用したネガワット取引」と同様の考え方を都市ガスに適用した、「ガス総量抑制によるネガワット取引」も考えられる。都市ガスの小売りは制度上では「1 時間単位の同時同量」を要求されるが、電気と異なり都市ガス（ガス体）は貯蔵が容易なため、電気ほど短時間内（30 分単位）の複雑な需給調整を必要とせず、大容量の貯蔵設備が使用可能なら、都市ガスの需給調整は日単位の総量管理となる。よって、都市ガスのデマンドレスポンスとは「特定の期間において 1 日単位で対象とする需

要家の需給総量を計画値より抑制すること」と定義される。

2014 年 11 月時点では、電気のネガワット取引の制度設計は審議中であるが⁴⁾、将来的にはスポット市場と同様の方式が採用されると予想される。また、都市ガスのネガワット取引（ネガワット・ガス取引という）は、上記の議論を踏まえると「電気の先渡定型市場」と同様の取引形態が想定される。

表 2 に、電力と都市ガスの市場での想定されるネガワット取引の概要を示す。

4. 熱負荷量の制御機構

第 2 章で設定した集合住宅モデルにおいて都市ガス系は、都市ガス網からスマートガスメータ（メインメータ）を介して棟屋全体に一括供給され、戸別にスマートガスメータ（サブメータ： G_{meter} ）を介して FC (G_{CHP})・補助熱源機 (G_{boiler})・ガスコンロ (G_{cook}) に供給される。また温水系は給湯と暖房の用途に分かれ、給湯温水は排熱回収タンクの温水と補助熱源機（給湯補助熱源）から供給され、暖房温水は補助熱源機（暖房熱源）によって生成される。

図 1 に、集合住宅モデルにおける棟屋内と住居内の都市ガス系・温水系の構成（例）を示す。

第 3 章の議論から都市ガスの需給調整を日単位（24 時間）の総量管理とすると、ガス小売事業者が集合住宅モデルに供給する 24 時間の都市ガス供給量 ($Supply_G$ (kWh)) と一括供給点での都市ガス総量 ($LOAD(G)_{P01}$ (kWh)；熱負荷量という) は等しく、通常モードでは各戸の熱負荷量 (G_{meter}) は FC (G_{CHP})、補助熱源機 (G_{boiler})、ガスコンロ (G_{cook}) の各熱負荷量の総和となり、棟屋全体では式 (4) のように表される。

表 2 電力と都市ガスのネガワット取引の概要（筆者推定）

○ネガワット取引（電気）

取引形態	卸市場取引（スポット市場）
取引商品	30分単位抑制電力（1-8単位時間帯）
取引期間	受け渡し前日 - 1時間前
価格決定	シングル・プライス・オークション方式
最低取引単位	抑制電力 50 kWh/単位（スポットの1/10）

○ネガワット・ガス取引（都市ガス）

取引形態	先渡定型市場
取引商品	1日単位抑制都市ガス総量（1-4単位期間）
取引期間	受け渡し1ヶ月前 - 受け渡し前日
価格決定	ザラバ方式
最低取引単位	抑制都市ガス総量 2,400 kWh/単位

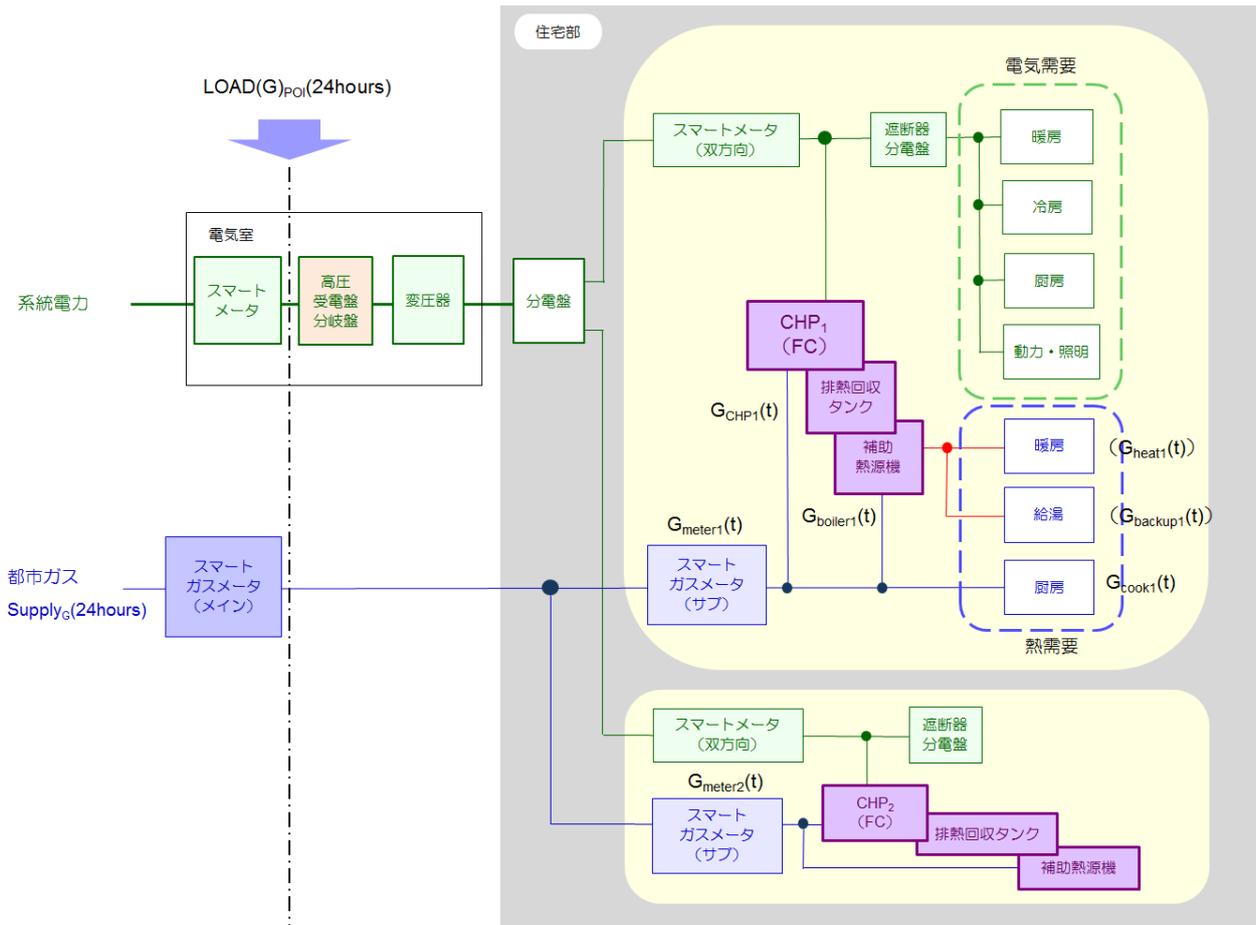


図1 集合住宅モデルにおける棟屋内と住居内の都市ガス系・温水系の構成（例）

$$Supply_G(24hours) = LOAD(G)_{POI}(24hours)$$

$$= \sum_{i=1}^N \int_{24hours} G_{meter}(t) dt$$

$$= \sum_{i=1}^N \int_{24hours} (G_{CHP}(t) + G_{boiler}(t) + G_{cook}(t)) dt \quad (4)$$

ここで N は棟屋内の全戸数を表す。また、補助熱源機の熱負荷量は用途からみると、給湯補助熱源と暖房熱源に分解される ($G_{boiler}(t) = G_{backup}(t) + G_{heat}(t)$)。

「棟屋単位の都市ガス総量のデマンドレスポンス」(以下、DR-G という) は、後段に示す FC の自律群制御 (DSS-熱主制御) で FC が主要な給湯需要に則した温水を生成する時間帯のみ毎日定格出力で運転開始-停止を行い (以下、DSS という: Daily Start and Stop), 熱負荷量を制御することによって可能となる。

小売事業者・アグリゲータ等からの都市ガス総量抑制の要請に対して、棟屋全 N 戸の内 M 戸の居住者が同意し、M 台の FC が熱主制御の DSS 運転を行い、デマンドレスポンスを実行する場合 (以下、DR-G モードという)、棟屋全体の熱負荷量 ($LOAD(G)_{POI-DR}$ (KWh)) は、式 (5) に示すように、通常モードの棟屋全体の熱負荷量から M 台の FC の停止時間

帯の都市ガス消費量 (推定量) を差し引いた値となる。

$$LOAD(G)_{POI-DR}(24hours)$$

$$= \sum_{i=1}^N \int_{24hours} (G_{CHP_i}(t) + G_{boiler_i}(t) + G_{cook_i}(t)) dt$$

$$- \sum_{j=1}^M \left(\int_0^{T_{daily-start}} G_{CHP_j}(t) dt + \int_{T_{daily-stop}}^{24} G_{CHP_j}(t) dt \right) \quad (5)$$

ここで、 $T_{daily-start}$ は運転開始時刻、 $T_{daily-stop}$ は運転停止時刻を表す。

つまり、都市ガス網からみた一括供給点での棟屋全体の熱負荷量は、各戸に設置された FC の稼働時間帯を制限することにより制御できることがわかる。また集合住宅モデルにおける棟屋全体の都市ガス抑制総量、即ちネガワット・ガス取引量 ($NEGAWATT_G$ (kWh)) は、式 (6) に示すように、FC が停止時間帯に「通常モードの計画稼働」を行った場合の都市ガス消費量 (推定量) が相当する。

$$NEGAWATT_G(24hours)$$

$$= \sum_{j=1}^M \left(\int_0^{T_{daily-start}} G_{CHP_j}(t) dt + \int_{T_{daily-stop}}^{24} G_{DER_j}(t) dt \right) \quad (6)$$

5. 自律群制御 - DSS-熱主制御

通常モードのFCは、自家のエネルギー需要の履歴から翌日の運転計画を策定し、当日の電気需要に則して発電出力を調整して稼働する。通常モードで稼働中のFCが小売事業者・アグリゲータ等から都市ガス総量抑制の要請を受けると、翌日の基準時刻からDR-Gモードに切り替わり、「24時間単位の熱負荷量を低減する」自律群制御を実行する。その制御の一例として、FCが自律的に棟屋全体の熱負荷量（抑制量）をモニタして熱主電従のDSS運転を行う制御が挙げられる（以下、DSS-熱主制御という）。

DSS-熱主制御は以下に示す手順で、FCの運転時間帯（開始時刻・終了時刻）を設定し24時間稼働する。その結果棟屋全体の抑制量が要請量に達していない場合には、翌日の運転時間帯を短縮し熱負荷量を低減する。

- 1) FCはDR-Gモードの基準時刻から「翌日24時間の給湯需要予測」に基づき、定格発電出力で熱生成することを前提に運転時間帯を設定して、それ以外の時間帯は停止する。
- 2) FCは設定した時間帯に定格発電出力で運転する。これは次章で述べる「電力消費シフト行動」により、定格発電出力での運転が可能となる。
- 3) FCは当日24時間の棟屋全体の熱負荷量（抑制量）実績をモニタして、翌日24時間はより熱負荷量の低減が必要かどうかを自律的に判定する。
- 4) より低減が必要な場合には、FCは運転開始時刻に最も近い時間帯の熱需要（予測）を除外し運転時間帯を再設定（短縮）して稼働する。
- 5) DR-Gモードの期間中、FCは同様の手順を繰り返す。

DSS-熱主制御では、FCは定格発電出力で運転することにより最も効率よく熱生成を行い、給湯需要の予測に基づき運転時間帯を設定（短縮）して運転することにより、排熱回収タンクの温水は貯湯時間を短くすると共に、当日24時間で使い切る。逆に不足分の熱負荷量は給湯補助熱源から供給されるが、居住者は都市ガス総量抑制の要請に同意しているため、DR-Gモードの期間中はその規範から熱負荷量の追加について限定的になると推定される。

6. 電力消費シフト行動

電力消費シフト行動とは、FCが排熱回収（熱生成）を最も効率よくかつ最も有効な時間帯に行うために、FCの定格発電出力に値する電気需要を創出する機器操作または行為・行動であり、自動化による電力消費と人為的な行動による電力消費に分類される。

• 自動化による電力消費

FCの運転時間帯において居住者が不在の場合は、その時

間帯の電気需要は深夜・早朝と同等の電力消費となり、通常FCの発電出力は定格の半分以下に抑えられる。そのような場合には、棟屋内の他家または共用部の電気需要を自動的に充当しFCを定格発電出力で運転する。つまり、DR-Gモードの運転時間帯においてFCは自動的に発電出力を定格まで上げて、定格発電出力と自家電気需要の差（以下、余剰電気出力という）を棟屋内に逆潮流させる。また棟屋内逆潮流による電力消費は、居住者が在宅の場合でも人為的な行動による電力消費を補完する方法となる。

• 人為的な行動による電力消費

FCの運転時間帯において居住者が在宅の場合は、人為的な電力消費シフト行動が要求され、機器の使用時間帯シフトと機器のエネルギーシフトに分類される。

機器の使用時間帯シフトの具体例として、「家事のPMシフト行動」が挙げられる。これは冬期・中間期において、居住者が朝食後午前中に行う家事行動（食器洗い・乾燥、洗濯・乾燥、掃除等）を昼食後の午後の時間帯にシフトし、この時間帯の電気需要をFCの定格発電出力以上に増加させる行為である。

次に機器のエネルギーシフトの具体例として、「暖房のエネルギーシフト行動」が挙げられる。これは冬期において、居住者が昼間の時間帯の暖房を都市ガスによる温水床暖房から電気エアコンによる温風暖房にエネルギーシフトして、熱負荷量を低減し電気需要を増加させる行為である。

DR-Gモードにおいて、FCが1日の最大給湯需要（風呂注湯）のためにDSS-熱主制御で稼働する連続運転時間は、冬期の場合でも（給水温度 = 5℃）排熱回収効率等の仕様⁹⁾から8.5時間程度と算定される。よって、冬期の最大給湯需要時刻が夕刻とすると、電力消費シフト行動はその直前の時間帯に8.5時間継続する必要がある。居住者が不在の場合は、棟屋内逆潮流による電力消費によりFCの定格発電出力とその運転時間は担保され、居住者が在宅の場合は、家事のPMシフト行動、暖房のエネルギーシフト行動および棟屋内逆潮流により、FCの定格発電出力と運転時間は担保される。

7. まとめ

本稿では、熱・電気を統合したデマンドレスポンスの検討の第2報として、第1報と同様の集合住宅モデルを設定して、ネガワット・ガス取引に供されるFCを利用した熱負荷量の制御機構と、FCの自律群制御の具体的な手法としてDSS-熱主制御を示した。さらに、FCがDSS-熱主制御で排熱回収（熱生成）を最も効率よくかつ最も有効な時間帯に行うために、電力消費シフト行動として自動化による電力消

費と人為的な行動による電力消費の方法を例示した。また FC の運転時間帯が最も長くなる冬期の場合でも、電力消費シフト行動により FC は定格運転（最大発電出力）を維持できることを確認した。

集合住宅の棟屋単位の電力デマンドレスポンスと同様に、ネガワット・ガス取引に資する、棟屋単位の都市ガス総量のデマンドレスポンスを実現する、熱負荷量の制御機構と電力消費シフト行動を提案した。

参考文献

- 1) 経済産業省；電気事業法の一部を改正する法律（平成 25 年 11 月 13 日 国会成立）
- 2) 経済産業省；電気事業法等の一部を改正する法律（第 2 弾改正）（平成 26 年 6 月 11 日 成立）
- 3) 経済産業省 HP；総合資源エネルギー調査会 基本政策分科会 電力システム改革小委員会 制度設計ワーキンググループ
http://www.meti.go.jp/committee/gizi_8/18.html#seido_sekkei_wg（アクセス日 2014. 11. 5）
- 4) 経済産業省；ディマンドリスポンスについて - 新たな省エネのかたち -，総合資源エネルギー調査会 省エネルギー・新エネルギー分科会 省エネルギー小委員会（第 6 回）配布資料（平成 26 年 10 月 21 日）。
- 5) 経済産業省；ネガワット取引の活用について，総合資源エネルギー調査会 基本政策分科会 電力システム改革小委員会 制度設計ワーキンググループ（第 9 回）配布資料（平成 26 年 10 月 30 日）
- 6) M. A. Piette, et.al. Field Demonstration of Automated Demand Response for Both Winter and Summer Events in Large Buildings in the Pacific Northwest, LBNL-6216E, December 2012.
- 7) OpenADR 2.0 Profile Specification B Profile, Updated 07-01-2013, Revision Number: 1.0, Document Number: 20120912-1, OpenADR Alliance.
- 8) Assessment of Demand Response and Advanced Metering Staff Report 2012, Federal Energy Regulatory Commission, December 2012.
- 9) コージェネレーション・エネルギー高度利用センター HP；エネファームメーカー販売台数
http://www.ace.or.jp/web/works/works_0090.html
（アクセス日 2014. 11. 19）
- 10) 東京ガス HP；マンション向けエネファーム、誕生
http://www.ace.or.jp/web/works/works_0090.html
（アクセス日 2014. 10. 10）
- 11) 杉本，毛笠；電力負荷プロファイルを制御するための熱・電気を統合したデマンドレスポンスの検討，第 9 回新エネルギー技術シンポジウム一般講演論文集，E-4，2014 年 3 月 7 日。
- 12) 石川，杉本，安芸，近藤，前田，石井；エネルギーネットワークにおける FC 連携制御手法の検討，エネルギー・資源学会第 23 回研究発表会講演論文集，2004 年 6 月。
- 13) 経済産業省 HP；総合資源エネルギー調査会 基本政策分科会 ガスシステム改革小委員会 第 12 回議事要旨。