

医療施設街区の熱電併給システムによる 省エネルギー効果の推定

野田圭祐¹・盛岡 通²・尾崎 平³・小川 栞⁴

¹学生会員 関西大学大学院 理工学研究科 (〒564-8680大阪府吹田市山手町3丁目3番35号)
E-mail: k209877@kansai-u.ac.jp

²正会員 関西大学教授 環境都市工学部 (〒564-8680大阪府吹田市山手町3丁目3番35号)
E-mail: tmorioka@kansai-u.ac.jp

³正会員 関西大学准教授 環境都市工学部 (〒564-8680大阪府吹田市山手町3丁目3番35号)
E-mail: ozaki_t@kansai-u.ac.jp

⁴非会員 関西大学 環境都市工学部 (〒564-8680大阪府吹田市山手町3丁目3番35号)

医療施設は、事務所ビル等の業種と比べ、エネルギー消費量が多く、また、滅菌用の蒸気消費量や洗浄を主とした給湯の使用量も多いため、熱需要が多い特徴を持つ。本研究では、省エネ効果の推定に必要な医療施設の電力および給湯の時刻別プロファイルを推定するモデルを構築し、特定機能病院と一般病院、商業施設を含む医療中心の街区におけるエネルギーマネジメントとして、電力の一括受電および熱電併給システム(CGS)の導入による電力、給湯のエネルギー削減効果について推定を行った。その結果、商業施設と医療施設のピーク電力の生起時刻に大差がないため、一括受電のみによる最大電力需要の削減効果は小さいが、日平均熱需要を賄う規模のCGSの導入は、最大電力需要を約3割、1次換算によるエネルギー(電熱)消費量を1割程度削減できることを示した。

Key Words : *energy demand profile simulation, combined heat and power system, energy consumption in hospitals*

1. 緒論

東日本大震災以降、これまでの域外に大規模集中型の電源施設を確保し、中央制御型で運営管理する方式から、消費地に近い所での再生可能エネルギー電源の導入、あるいは熱需要が見込まれる施設およびその周辺を含めた街区へのコージェネレーションシステム(以下; CGS)の導入等、供給側と需要側が連携し、双方向で需給バランスを良好に保つスマートなエネルギーシステムが求められている。

東京や横浜など都市エネルギー戦略を提示した地方府の構想でも、大規模な熱需要を有する施設にはコージェネレーションシステムのような電熱併給型の分散型電源を配置し、都市における自立性の高い電源の確保やエネルギー効率の向上が試みられていて、総じて、電熱を合体したエネルギー負荷の平準化が求められる。

事例としては、横浜市の南区総合庁舎の移転(2016年1月予定)に併せ、近接する市立大学附属市民総合医療センターにCGSを設置し、建物間に自営線を布設し、病

院から庁舎に特定供給による電力供給が予定されている。とりわけ、病院・福祉施設等の医療、介護施設においては、非常時対応の系統以外の独立した電源を確保し、機能を維持できるよう備えておく必要がある。

本研究では、現在計画されているA市の医療施設を中心とした街区におけるエネルギーマネジメントとして、筆者らがこれまでに構築したエネルギープロファイルモデル¹⁾を基に、電力の一括受電およびCGSを導入した場合の省エネルギー効果を推定することを目的とした。さらに、エネルギーマネジメントによる費用効果についても簡易的な試算を行った。

2. エネルギー需要推定の推定方法

(1) エネルギー需要プロファイルモデルの構造

a) モデル概要

本研究では、商業施設および医療施設のエネルギー需

要を推定する。推定モデルの構造は、既往研究¹¹⁾にて発表したものと同様であり、人々の活動の変動幅を考慮するため、営業開始時刻と終了時刻の平均と標準偏差を与え、100回のモンテカルロシミュレーションの期待値によりエネルギー需要を推定する。モデルは、電灯機器（100V、OAや照明機器）の電力需要推定、動力機器（200V、空調）の電力需要推定、給湯の熱需要推定の3つのサブルーチンで構成される。

b) 電力需要の推定方法の概要

電力需要の算定は、OAや照明機器などの電灯機器と空調の動力機器に分けて推計を行った。電灯機器による電力需要は、業種別機器別の延床面積当たりの電力需要原単位⁸⁾を設定し、積和することで求めた。

空調需要について、室内の熱量は、外気温、建物の断熱性能、空調の影響を受けると仮定し、30分毎の熱量の平衡計算を逐次行い、空調による電力消費量を算定した。病院については、医療機器としてCT、MRI、X-rayなどの医療機器について、空気調和・衛生工学会の資料より機器毎の消費電力⁹⁾と各機器の1回あたりの稼働時間¹⁰⁾を設定し、稼働時刻は省エネセンターの実測プロフィール¹¹⁾を参考とした。

c) 給湯需要の推定方法の概要

熱需要は給湯の需要についてのみ考慮し、空気調和衛生工学会が公開している業種別の単位延床面積当たりの給湯需要原単位¹²⁾を設定し、給湯使用量、給湯時温度と常温の水温差から熱需要を推定する。

3. 医療施設街区への熱電併給システムによる効果の推定

(1) 対象街区の設定

本研究で対象とする街区の模式図を図-1に示す。対象街区は2街区から構成される3つの建物群からなる。特定機能病院（以下の図表では特定病院と表記）が立地する街区の面積は約3.1ha、特定機能病院の床面積は115千㎡である。一般病院と商業施設が立地する街区の面積は約2.6ha、延床面積はそれぞれ38千㎡、20千㎡である。なお、建物床面積は、計画中的のものであり、病院内の床用途（外来や病棟等）および商業施設のテナント種別は未定のため、病院の用途別の床面積は、現存の病院を参考とし、商業施設の用途別床面積は仮想的に設定した（表-1）。また、各カテゴリーの始業時刻、終業時刻を表-2のように設定した。本研究で使用した電力消費量⁸⁾、給湯使用量¹²⁾の原単位を表-3、4に示す。

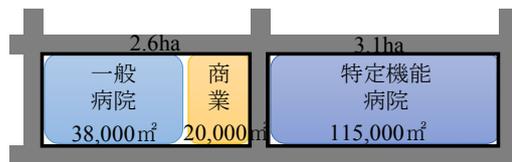


図-1 対象街区の模式図

表-1 対象病院・商業施設の用途別床面積比率

	特定病院		一般病院		商業施設	
	比率	比率	比率	比率	施設	比率
一般病棟	23%	34%			レストラン	25%
専門病棟	4%	0%			喫茶店	25%
外来	3%	3%			物販	50%
中央手術	12%	19%				
診療	7%	10%				
機械室	6%	5%				
医療事務	7%	7%				
厨房	1%	3%				
共用	7%	12%				
研究所	27%	0%				
物販	1%	5%				

表-2 各カテゴリーの始業・終業時刻

	特定病院		一般病院	
	開始時刻	終了時刻	開始時刻	終了時刻
一般病棟	6:00	20:00	8:00	20:00
専門病棟	6:00	20:00	-	-
外来	8:30	17:00	8:00	17:00
中央手術	9:00	20:00	9:00	20:00
診療	9:00	17:00	9:00	17:00
機械室	8:30	19:00	8:00	19:00
医療事務	6:00	23:30	6:00	23:00
厨房	5:00	20:00	5:00	20:00
共用	8:00	20:00	8:00	20:00
研究所	5:00	22:00	-	-
物販	8:30	18:00	8:45	18:00

	商業施設		
	開始時刻	終了時刻	休憩時刻
レストラン	11:00	22:00	15:00
喫茶店	11:00	22:00	15:00
物販	10:00	20:00	-

表-3 電力消費原単位

業種	カテゴリー	電力消費原単位									
		照明 W/㎡		空調 W/㎡		OA機器 W/㎡		冷凍機 W/㎡		その他 W/㎡	
		ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF
病院	特定機能	20	10	20	10	5	2			10	5
	一般病院	20	10	20	10	5	2			10	5
	研究所	20	10	20	10	5	2			10	5
商業	レストラン	30	3	30	2	1		30	30	20	5
	喫茶店	30	3	30	2	1		30	30	20	5
	物販	30	3	30	2	1		30	30	20	5

表-4 給湯使用量原単位

業種	カテゴリー	給湯使用量原単位				
		給湯温度 ℃	水温 ℃	使用量 (l/人・日)	使用時間 (h)	時間最大使用量 (㎡/㎡・h)
病院	特定機能	60	20	75	10	0.00227
	一般病院	60	20	60	10	0.00182
	研究所	60	20	50	10	0.00152
商業	レストラン	60	20	5	7	0.00022
	喫茶店	60	20	3	7	0.00013

(2) 本研究で検討するエネルギーマネジメント

a) エネルギーマネジメントのケース設定

本研究で対象としたエネルギーマネジメントシステムの概念図を図-2に示す。Case0は、電力、ガスともに系統から供給され、かつCGSも一括受電もないケース（現状）、Case1は、一括受電の効果を評価するため、電力の受電方式を一括受電とするケース（一括受電）、Case2は、CGSの効果を評価するため、単独受電でかつ、CGS導入ケース（CGS）、Case3は、一括受電とCGSの複合効果を見るケース（一括受電&CGS）とした。

b) 対象としたエネルギーマネジメントの特徴

一括受電のメリットは、電力料金を低減できることである。街区単位で電力契約を行うことにより、各ビルで電力契約を行うよりも、契約電力を低減でき、かつ高压電力契約から特高電力契約となると、単価も安くなるため、基本料金が低減できる。電力消費量は単独受電でも、一括受電でも同じであるが、高压電力と特高電力の契約の違いにより単位料金が異なるため、特高電力契約の方が電力料金は安くなる。

一方、一括受電のデメリットは、特高トランスが必要であり、今回のように街区単位で電力を供給する場合には敷地間の電力自営線の敷設や制御システムが必要となるため、初期費用が生じる。

CGSは、熱電併給システムのため、入力エネルギーの20~45%を電気エネルギーとして取り出すと共に、40~50%を排熱として有効利用でき、70~85%の総合効率を得ることができる。一方、系統電力の場合、発電・送電ロスなどにより1次エネルギー換算の効率は40%弱のため、効率が悪い。そのため、CGSは初期費用は高額であるが、その総合効率の高さにより一定の熱需要が見込まれる場合には常時運転として活用でき、発電による自家消費による省エネ効果が得られる。また、天然ガスあるいは重油によるCGSの場合は、非常時の電源としても利用できるメリットがある。そのため、病院等における導入実績は多い。

c) CGSの運転方法と規模

CGSの運転方法は熱主運転とした。熱主運転の場合、熱需要が電力需要を上回る場合にはじめて自家消費以上の電力（融通できる電力）が生まれる。今回はCGSの出力規模を日平均の熱需要としたため、いずれの時間帯においても自家消費以上の発電を得ることができないため、施設間の電力の融通は行わないとした。今後、CGSの規模、運転方法を変えて評価する必要がある。なお、今回は、出力規模370kw、800kwのものを複数台設置するとし、発電効率は41%、排熱効率は34%とした。

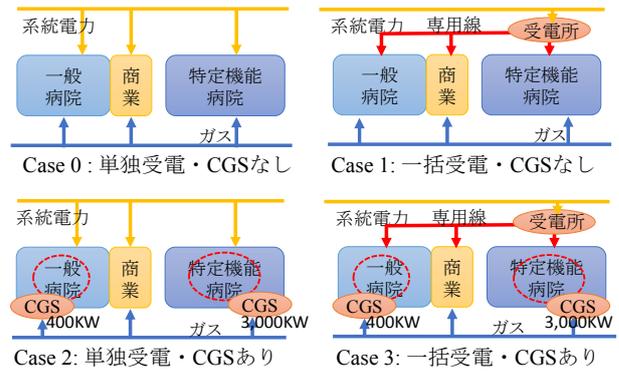


図-2 検討ケースの模式図

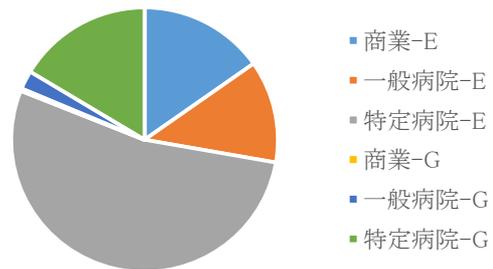


図-3 単独受電 (Case0) の場合の熱電比

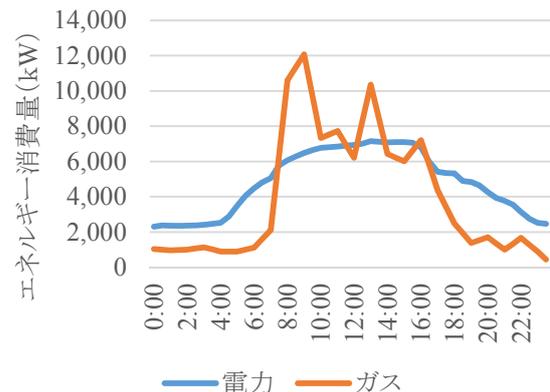


図-4 特定基幹病院の電力、ガス消費量(Case0)

(4) エネルギー消費量および最大電力削減効果

a) エネルギー消費量の削減効果

Case0における1日の熱電比を図-3に示す。図中のEは電力消費量、Gはガス消費量を意味する。熱電比は2.8であり、電力需要の方が高い。また、施設別では、特定機能病院の電力が53%、ガスが16%と約7割が特定機能病院によるエネルギー需要である。

また、特定機能病院のエネルギープロファイルを図-4に示す。ここでは、CGSの出力規模との比較のため、表示単位をkWで示す。CGSにより発電した電力を他施設に融通するためには、給湯需要が電力需要を上回る必要がある。図-4では7:30~11:00、12:30~14:00の時間帯が該当する。しかしながら、本研究では熱主運転のベースロード運転を意図し、出力規模を日平均給湯需要程度の

3,000kWとしたため、同時間帯ではフル稼働で発電しても、電力需要が6,000kW以上のため、全量自家消費されてしまい、他施設への融通はできない。

この結果から2つの示唆が得られた。第一は、医療施設の熱需要は、空調需要の高まる時間帯に高いため、CGSによる電力エネルギーの削減が見込めること、第二は街区単位でエネルギーセンターを構え、住宅など夕方の熱需要が高い用途も含めた街区マネジメントを行い、CGSの出力規模を拡大することで、空調需要の高まる8時、14時頃に電力の融通が可能であることが示唆された。

次に、各ケースのエネルギー消費量を図-5に示す。なお、エネルギー消費量はすべて一次エネルギー換算後の値である。一括受電のみでは、エネルギー消費量が削減されないため、Case0と1およびCase2と3のエネルギー消費量は同量である。今回の条件設定では、CGSの導入により一次エネルギー換算で約10%のエネルギー削減効果が見込まれることを示した。

b) 最大電力需要の削減効果

最大電力需要の削減効果の算定結果を図-6に示す。

今回の医療施設と商業施設による街区形成では、いずれも14時前後の電力需要が最大となるため、一括受電による最大電力の平準化効果はほとんど得られない。

一方、CGSを導入した場合、一定の熱需要を持つ医療系施設では、CGSの発電により電力需要量の一部をまかなえるため、最大電力需要の削減効果が得られる。今回の条件では最大電力需要を2割程度低減できた。

4. エネルギーマネジメント費用の試算

これまで一括受電およびCGSによる省エネ効果、最大電力需要の削減効果は算定したが、実現可能性を検討するためには併せて経済性の評価が必要である。今後、より精緻な費用計算は行いが、ここでは簡易的な方法により、一括受電ならびにCGSの導入により追加的に必要となる費用と、それらの導入による省エネ効果から得られるエネルギー（電気・ガス）料金の算定を行った。

(1) 評価対象範囲と使用原単位

一括受電、CGS導入に伴う費用として表-5を評価対象とした。なお、CGSの耐用年数は15年（16年目にリプレイス）、それ以外は30年とした。各単価はエネルギーカンパニーの提供資料より引用した。各ケースの導入条件を表-6に示す。ここで、Case1とCase3においてCase3の特別高圧トランスの規模が小さい理由は、Case3はCGSの併用により、最大電力需要が低減できるためである。

また、エネルギー費用の単価については、表-7の値を用いた（関電、大阪ガスのHPより）。各ケースの契約種別を表-8に示す。

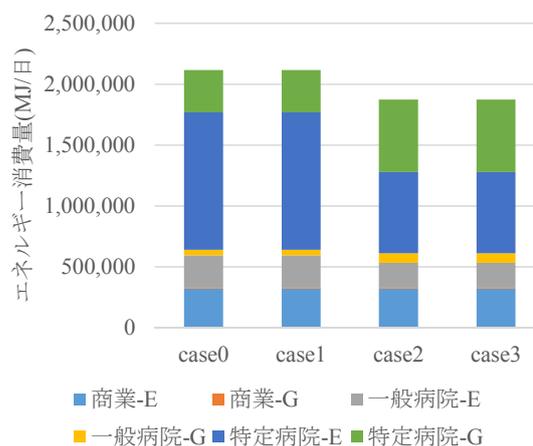


図-5 各ケースのエネルギー消費量の算定結果

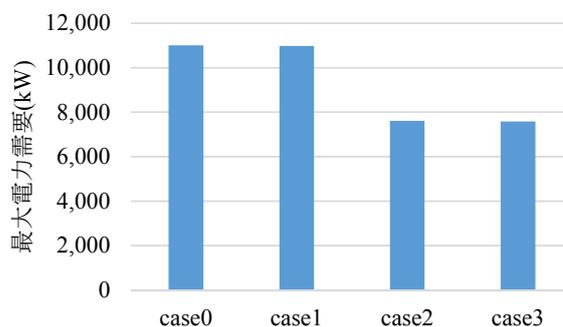


図-6 最大電力需要の比較

表-5 一括受電、CGS導入費の概算単価

費目	単価
一括受電	
特別高圧トランス増設費	130千円/KVA
専用線布設費	20千円/m
制御システム	50,000千円/一式
CGS	
建設費(ガスコジェネ)	120千円/kW

表-6 一括受電、CGS導入費の概算単価

	Case0	Case1	Case2	Case3
一括受電				
トランス	-	+4000KVA	-	+2000KVA
専用線	-	500m	-	500m
制御	-	一式	-	一式
CGS				
一般病院	-	-	400kW	400kW
特定病院	-	-	3,000kW	3,000kW

(2) 年間のエネルギー消費量

本研究で算定したエネルギー消費量は、夏期の最大日の結果であり、年間を通したエネルギーの算定は行っていない。エネルギー消費に伴う費用算定には年間のエネルギー消費量が必要であり、本来であれば、年間解析を行った上でエネルギー消費量を算定すべきであるが、本研究では、最大需要日に対する変動係数を設定し、簡易的に算定した。

電力について、変動に大きな影響を与えるのは空調需要であることから、過去の事務所ビル等の計測結果¹⁾を

もとに商業施設，一般病院，特定機能病院の電力需要特性を勘案し，変動係数をそれぞれ0.5, 0.7, 0.85とし，ガスについては，エネルギーカンパニーの提供資料をベースに，いずれの施設の変動係数も一律0.85とした。

(3) エネルギーマネジメント費用の試算結果

各ケースの費用を算定した結果(図-7)，1年当たりの導入費とエネルギー消費に伴う費用では，圧倒的にエネルギー費用に伴う費用の方が高い。その割合は Case1(一括受電のみ)では99%，Case2(CGS),3(一括受電&CGS)では，共に95%程度である。

次に，費用削減効果について，Case0(単独受電)とCase1(一括受電)の比較より，わずかにCase1の方が総費用は安価であるが，ほとんど差はない。これは電力料金の契約形態が高圧から特高になることにより，費用を低減できるが，今回の3施設の一括受電による電力需要の平準化効果がほとんどないため，その効果は小さい。したがって，割引率を無視した計算では，導入費用をエネルギー料金削減費用で賄えるが，評価期間30年に対して，回収可能期間(エネルギーペイバックタイム)は約28年である。

一方，CGSの効果について，Case0とCase2(単独受電&CGS導入)を比較すると，総費用を1割程度削減できる。これはCGSのガス消費に伴う料金の増加よりも，発電による自家消費に伴う電力消費の削減効果の方が大きいためである。そのためCase2のエネルギーペイバックタイムは約9年であり，比較的早期に導入費用を回収できる。

また，一括受電とCGSの併用(Case2)の効果は，Case1とCase2の単純な積み上げではなく，CGSの併用により，トランス設置費用をやや軽減できる効果も働き，Case2よりも，さらに削減効果が大きく，そのエネルギーペイバックタイムは約8年である。

5. 結論

本研究では，省エネ効果の推定に必要な医療施設の電力および給湯の時刻別プロファイルを推定するモデルを構築し，特定機能病院と一般病院，商業施設を含む医療中心の街区におけるエネルギーマネジメントとして，電力の一括受電およびCGS導入による電力，給湯のエネルギー削減効果ならびに費用削減効果について推定を行った。本研究により得られた主な知見を以下に示す。

- 1) 医療施設の熱需要は8時，14時頃と一般に空調の電力需要が高くなる時間帯に高い。そのため，CGSを導入することでピーク電力削減につながる事が示唆された。

表-7 エネルギー費用の単価

■電力		
契約種別	高圧電力AL	特高電力A
基本料金単価(円/kW)	1,733.40	17.77
電力料金単価(円/kWh)	17.77	16.36
■ガス		
契約種別	時間帯別A	コージェネA
定額基本料金(円/月)	925.00	17,043.00
流量基本料金(円/m ³ ・月)	1,192.32	896.40
最大需要期基本料金(円/m ³ ・月)	0.00	1.36
単位料金(円/m ³)	118.25	98.40
電気料金算定方法 基本料金単価×契約電力(デマンド電力)×(185-力率)/100 +電力料金単価×使用電力量 (今回は力率を100と設定)		
ガス料金算定方法 定額基本料金 +流量基本料金単価×契約最大時間流量 +最大需要付き基本料金単価×契約最大需要月使用量 +単位料金(従量料金単価)×使用量		

表-8 各ケースにおけるエネルギー費用の契約種別

	Case0	Case1	Case2	Case3
電力				
商業施設	高圧電力AL	特高電力A	高圧電力AL	特高電力A
一般病院	高圧電力AL		高圧電力AL	
特定病院	特高電力A		特高電力	
ガス				
商業施設	時間帯別A	時間帯別A	時間帯別A	時間帯別A
一般病院	時間帯別A	時間帯別A	コージェネA	コージェネA
特定病院	時間帯別A	時間帯別A	コージェネA	コージェネA

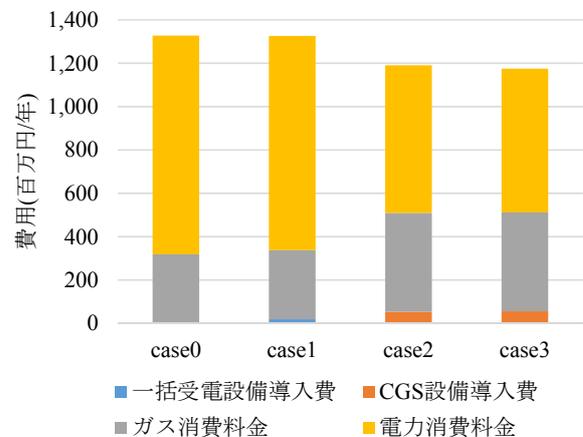


図-7 エネルギーマネジメント費用の算定結果

- 2) 今回の商業施設と医療施設の組合せによる一括受電による最大電力需要の削減効果はほとんど得られなかった。一方でCGSは，医療施設が一定の熱需要を必要とするため，熱主運転による廃熱，電力の利用により，ベースロード電源として運用でき，今回のケースでは最大電力需要を2割程度，エネルギー消費量を1割程度削減できた。
- 3) 一括受電とCGS導入費および電力，ガスの消費に伴う費用を試算した結果，一括受電のみの導入では，今回の3施設の場合，費用削減効果はあまり得られな

いが、CGSと一括受電を併用することにより、総費用を1割程度削減できることを示した。また、比較的早期に導入費を回収できる見込みがあることを示した。

本研究では、CGSの出力規模を一定としたため、自家消費以上の発電が行えず、電力融通を行うマネジメントの評価には至らなかった。今後、CGSの規模、運転方法を変えて電力融通を行った場合の評価も行う予定である。

また、費用計算については試算に留まっており、誤差が大きい可能性もあるため、今後、CGSの導入費や年間のエネルギー消費量の算定方法を改善し、割引き率も考慮した計算を行う予定である。

謝辞：本研究を遂行するにあたりご協力頂いた関係各位に厚く御礼申し上げます。本研究は環境研究総合推進費（1E-1202，研究代表者：北詰恵一）の助成を得て行った研究であり、関西大学 先端科学技術推進機構 健康まちづくりのためのソーシャルデザイン研究グループの活動の一環である。

参考文献

- 1) 尾崎平, 盛岡通, 野田圭祐: 中小事務所ビルの実測に基づく電力プロファイルの特性と推定モデルの構築 - 電力需要に与える建物特性, 就業特性を考慮して-, 環境情報科学論文集, Vol.28, pp.107-112, 2014.
- 2) 尾崎平, 盛岡通, 野田圭祐: 非住宅建築物を中心とした街区群のエネルギーマネジメントに関する一考察, 第49回土木計画学研究発表会, (CD-ROM), 2014.
- 3) 山口徹也, 森川雄貴, 盛岡通, 尾崎平: 事業所の購買電力抑制と電力負荷平準化を目的とした太陽電池・蓄電池組合せシステムの費用効果算定モデルの構築, 土木学会論文集 G, Vol.68, No.6, pp.229-236, 2012.
- 4) 森川雄貴, 野田圭祐, 盛岡通, 尾崎平: 街区地区レベルで

の太陽電池・蓄電池を用いた電力負荷平準化による費用効果算定モデルの構築, 土木学会論文集 G (環境), Vol.69, No.6, pp.II_239-II_249, 2013.

- 5) Taira OZAKI, Tohru Morioka and Keisuke Noda: Cost-Benefit Performance of Photovoltaics and Battery Storage Systems to Secure Load Leveling and Peak Shaving in City Block, First International Conference on Energy and Indoor Environment for Hot Climates, (ROMpp.1-7), 2014
 - 6) 野田圭祐, 盛岡通, 尾崎平: 世帯属性別の電力需要の再現モデルの開発 - 外出・帰宅・就寝行動の時間幅を考慮して -, 土木学会論文集 G (環境), Vol.70, NO.5, pp.I_147-I_156, 2014.
 - 7) 野田圭祐, 盛岡通, 尾崎平: 街区群特性を考慮した電力需要プロファイルの作成と考察 - 神戸市を対象として -, 環境システム研究論文発表会講演集, Vol.42, pp.89-96, 2014.
 - 8) 資源エネルギー庁: 平成 22 年度エネルギーに関する年次報告 (エネルギー白書), 2011.
 - 9) 空気調和・衛生工学会: 建築設備集成 医療・福祉, p.275, オーム社出版, 2009
 - 10) MEDICAL EQUIPMENT LIST FOR TYPICAL DISTRICT HOSPITAL < http://www.who.int/medical_devices/survey_resources/medical_devices_by_facility_provincial_hospitals_kenya.pdf >, 2015.2.2 参照
 - 11) 省エネルギーセンター: 病院の省エネルギー < <http://www.eccj.or.jp/hospital/index.html> >, 2014.12.10 参照
 - 12) 空気調和衛生工学会, 給水給湯設備, 各種建築物給湯量: <http://ebw.eng-book.com/pdfs/46490963f6ab08802bae12d116d64be0.pdf>
- (2015. 4. 25 受付)

ANALYSIS OF ENERGY SAVING USING COMBINED HEAT AND POWER SYSTEM IN URBAN DISTRICT CONSISTING OF HOSPITALS AND COMMERCIAL BUILDINGS

Keisuke NODA, Tohru MORIOKA, Taira OZAKI and Shiori OGAWA