地理条件を考慮した商業・業務街区における コージェネレーションシステムの面的普及効果の推定

ESTIMATION FOR AREA SPREAD EFFECT OF CO-GENERATION SYSTEM IN COMMERCIAL AND BUSINESS AREAS ACCORDING TO GEOGRAPHIC CONDITIONS

上野 貴広^{*1}, 崔 榮晋^{*2}, 高橋 賢太郎^{*3}, 住吉 大輔^{*4}

*Takahiro UENO, Youngjin CHOI, Kentaro TAKAHASHI
and Daisuke SUMIYOSHI*

This paper describes development of co-generation system model in individual building and district co-generation, and the effect analysis by the diffusion of co-generation system in Japanese business area.

1. Developed model in this paper calculated co-generation system operation at 5-minute interval. And it contain heat supply piping length, transport power, piping heat loss in district heating and cooling calculation.
2. The estimating of co-generation system spread effect confirmed the energy saving effect of reverse power flow permission and the demand aggregation by district co-generation in Japanese business area.

Keywords : Co-generation system, Power demand, Heat demand, Reverse power flow, District co-generation

コージェネレーションシステム, 電力需要, 熱需要, 逆潮流, 地域熱電供給

1. はじめに

日本政府は 2018 年に策定した新しいエネルギー基本計画¹⁾の中で分散型エネルギーシステム構築の重要性を説き、その推進を発表した。パリ協定を代表とする世界的な省エネ化および脱炭素化の潮流、また 2011 年の東日本大震災や 2018 年の北海道胆振東部地震による国内の電力供給制約の顕在化から、我が国のエネルギー需要の相当部分を占める都市部においても分散型エネルギーシステムの構築が求められている。

コージェネレーションシステム(以下、CGS)は分散型エネルギーシステムの一つであり、燃料から電力と熱を生産し供給するシステムで、主に非住宅建築物に導入されている^{注1)}。政府は、本システムを電力と熱の同時利用によってエネルギーを最も効率的に活用可能な方法の一つとしており、その一層の普及推進や、供給エネルギーの面的利用である地域熱電供給(District co-generation: 以下、DCG)による高い省エネルギーの実現を図っていくとしている¹⁾。

都市における CGS の導入効果に関しては、これまで様々な既往研究で推定や測定が行われている。大西ら²⁾、海野ら³⁾は大型施設

への託送や売電による逆潮流を考慮して、CGS による DCG 導入の省エネルギー効果を検討した。また名古屋⁴⁾は地域冷暖房の事例調査による要因分析を基に CGS の評価手法を提案した。佐土原ら⁵⁾は東京都区部における各地域への CGS 導入に関して地域規模のエネルギー需要特性から検討している。加用ら⁶⁾は遺伝的アルゴリズムを用いて、複数建物における CGS に基づく分散型エネルギー供給設備の最適化を行った。工月ら⁷⁾は CGS や再生可能エネルギーによる自律分散型ネットワークの事業性評価手法を提案した。高ら⁸⁾は一連の研究から、実測データを基に CGS を含む分散型エネルギー供給設備の経済性なども考慮した最適化モデルを開発している。

一方で、これらの研究では非住宅建築物のエネルギー需要は 1 時間以上の間隔で測定、推定されている。実際には非住宅建築物の需要は時々刻々と変動しているため、需要に追従して稼働する CGS の導入効果の詳細な把握、および DCG による地域のエネルギー需要集約効果の検討には、より細かい時間間隔の非住宅建築物の需要に基づく必要がある。また現状の系統電力への逆潮流は、CGS の発電単価に電力の買い取り単価が見合っていないため、現実に即した検

^{*1} 九州大学大学院人間環境学府空間システム専攻
大学院生・修士(工学)／日本学術振興会特別研究員 DC

^{*2} 九州大学エネルギー研究教育機構 助教・博士(工学)

^{*3} 九州大学大学院人間環境学府空間システム専攻 大学院生

^{*4} 九州大学大学院人間環境学府 准教授・博士(工学)

Grad. Student, Graduate School of Human-Environment Studies, Kyushu Univ., M.Eng. /
JSPS Research Fellow

Assist. Prof., Kyushu University Platform of Inter-/Transdisciplinary Energy
Research, Dr.Eng.

Grad. Student, Graduate School of Human-Environment Studies, Kyushu Univ.

Assoc. Prof., Faculty of Human-Environment Studies, Kyushu Univ., Dr.Eng.

討を行うにはコストを考慮する必要がある。CGS の DCG としての導入による省エネルギー効果についても、実建物の地理条件まで含めて各建物に CGS を導入する場合との比較による定量的評価、また大規模 DCG の最適な配置にはまだ十分な知見がない。

そこで本報では、様々な特性をもつ商業・業務地域を対象に、各地域の全非住宅建築物における 5 分間隔のエネルギー需要を基に、CGS 普及による省エネルギー効果を推定し、現実的な範囲で逆潮流の設定を変更しながら、各設定で省エネルギー効果を最大にした際の CGS 容量や運転設定、電力需要のピークカット効果を明らかにし、これらに逆潮流が与える影響を確認する。また実際の建物の地理情報システム(以下、GIS)データを基に、熱供給時の搬送動力や熱損失を考慮しながら、DCG としての CGS 導入による省エネ効果を明らかにし、建物単体への導入による効果との比較から、その定量的な差を示す。さらに DCG の供給範囲を変更することで、DCG の導入規模の違いがそれぞれの地域へ与える影響の有無を確認し、商業・業務街区における CGS および DCG 活用の知見を得る。

2. DCG としての CGS 応答の設定

まず、CGS の挙動を 5 分間隔で再現するモデル(以下、CGS モデル)を構築した。次に、CGS による DCG を導入する際に必要ないくつかの項目を CGS モデルに追加することで、CGS による DCG を 5 分間隔で再現するモデル(以下、DCG モデル)を構築した。

2.1 CGS モデルの作成

モデルの構築には既往プログラム CASCADEIII⁹⁾を参考にした。同プログラムは各月の代表日に 1 時間間隔で CGS の挙動を再現し、年間の省エネルギー効果を算出するプログラムである。CGS モデルとの計算時間間隔の差や既往研究の成果を考慮して、いくつか同プログラムから計算を変更している。代表的な変更点を以下に示す。

1. 電力需要追従運転時にも逆潮流を行えるように設定する
2. 逆潮流量の上限を設定可能にする
3. 発電可能時間帯を 24 時間に固定する
4. 需要に対する発電の追従遅れ¹⁰⁾を表現するため、追従運転時は 5 分前の需要を追うように設定する

構築したモデルの有効性を検証するため、オフィスビル(ピーク電力需要 93.8kW)を対象に逆潮流を行わない条件の下で、容量 2 ケース×運転設定 2 ケースの計 4 ケース計算し、計算結果を CASCADE III と比較した。計算には CGS モデルには各月代表日の 5 分間隔エネルギー需要を、CASCADE III にはその 1 時間積算値を入力し、機器効率などは同一に設定した。

計算結果を表 1 に示す。35kW1 台(ピーク電力需要に対して一般的な容量)の場合は、上記変更点から多少の差は生じているが CGS モデルは CASCADE III の計算結果とほぼ等しい。一方で、35kW2 台の場合では CASCADE III との発電量の差が 1 台の場合から増加しており、特に電力需要追従時は CASCADE と 7%差が生じている。これは CGS モデルが細かい需要変動を捉えたためである。図 1 に 35kW2 台での電力需要追従運転における 9 月代表日の電力需要と両プログラムの発電量計算値の推移を示す。CASCADE III の値は 1 時間値を 12 等分したものであるが、実際に大容量の CGS を導入する場合には CGS モデルの計算結果のように電力需要の変動を受け CASCADE III の 1 時間間隔での計算結果よりも発電量が小さくなる

と考えられる。またこの結果から、CGS の安定的な稼働にはエネルギー需要の集約によって需要変動の幅を小さくすることが有効であると考えられる。

2.2 熱供給配管長の計算

DCG モデルでは熱源設置建物から需要家建物への熱供給を、冷水と温水を熱交換器(交換効率: 1.0 [-])および熱供給配管を通して供給することで行う。この配管の長さを各建物の GIS データにある緯度と経度を用いて計算した。国土地理院は地球の楕円を考慮して 2 地点の経緯度から全地球規模での距離計算が可能な手法を公開している¹¹⁾。しかし本報の計算では 2 地点の距離が 1 街区内と小さいこと、mm 単位の厳密さを必要としていないことから、より簡易に座標間の距離を計算できる理科年表の計算式¹²⁾を用いた。また、配管が建物間の直線距離を結んで設けられることは少ないため、2 地点の経度差と緯度差それぞれに基づく距離を足し合わせた長さを配管長と設定し、実際の長さに近づくようにした。

2.3 熱搬送動力、熱損失の計算

熱搬送動力については、搬送消費電力 P[kW]を既往研究¹³⁾に倣いポンプ効率を 60%として下記の計算式から設定した。また既往研究¹³⁾では圧力損失が 400[Pa/m]以下になるように管径を設定していたことから、本研究でもそれに倣って流量線図から管径を設定した。流速が 2.5[m/s]¹⁴⁾程度になるように管径を設定したところ、十分な容量の CGS なら圧力損失を 400[Pa/m]以下にできることを確認した。熱供給配管 1m における搬送動力を以下の式(1)に示す。

$$W_{pump} = \frac{P \cdot Q_{pump} \cdot 10^3}{\Delta t \cdot c \cdot p \cdot E_{pump} \cdot 3.6 \cdot 10^6} \quad (1)$$

ここで、 W_{pump} : 熱供給配管 1m における搬送動力[kWh/m], P : 単位長さあたりの圧力損失 [Pa/m] (=400), Q_{pump} : 熱損失を含めた搬送熱量[MJ], Δt : 往還温度差[K] (=10), c : 比熱[kJ/kg・K] (=4.217), p : 密度[kg/m³] (=1000), E_{pump} : ポンプ効率[-] (=0.6)

また、熱供給配管からの熱損失については、参考文献¹⁵⁾を基に、式(2) および式(3) より管内の流体から外部への熱損失量 Q_{loss} を算

Table 1 Comparison of simulation result between CASCADE III and CGS model

			Power follow-up			Heat follow-up		
			Power	Heat	Gas	Power	Heat	Gas
35kW×1	CASCADE	GJ	425	386	1117	311	283	828
	CGS model		418	380	1098	309	273	819
	Difference	%	-2	-2	-2	-1	-3	-1
35kW×2	CASCADE	GJ	704	645	1883	454	415	1234
	CGS model		653	598	1756	472	417	1266
	Difference	%	-7	-7	-7	4	1	3

Fig. 1 Power demand and generation on representative day in Aug.

出した。なお、配管内側の表面熱伝達率はヌッセルト数、レイノルズ数の公式(式(4)、式(6))及びディタス・ペルターの式(式(5))¹⁶⁾を用いて求めた。また冷温水の物性値は参考文献¹⁷⁾から設定した。図2に想定した熱供給配管の断面図を示す。

$$Q_{\text{loss}} = \frac{t_{\text{in}} - t_{\text{out}}}{R} \quad (2)$$

$$R = \frac{1}{2\pi} \left\{ \frac{1}{r_0 \alpha_1} + \frac{1}{\lambda_0} \ln \left(\frac{r_1}{r_0} \right) + \frac{1}{\lambda_1} \ln \left(\frac{r_2}{r_1} \right) + \frac{1}{r_2 \alpha_2} \right\} \quad (3)$$

$$\alpha_1 = \frac{Nu \cdot k}{d} \quad (4)$$

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^n \quad (5)$$

$$Re = \frac{V \cdot d}{\nu} \quad (6)$$

ここで、 Q_{loss} ：熱供給配管 1m における熱損失 [MJ/m]、 t_{in} ：配管内温度 [°C] (=冷水:10, 温水:60), t_{out} ：周囲温度 [°C] (=24), R ：配管の貫流熱抵抗 [mK/W], r_0 ：円管の内半径 [m], α_1 ：配管内側の表面熱伝達率 [W/m²K], λ_0 ：円管の熱伝導率 [W/mK] (=16), r_1 ：円管の外半径 [m], λ_1 ：保温材の熱伝導率 [W/mK] (=0.0035), r_2 ：保温材の外半径 [m] (=r₁+0.1), α_2 ：配管外側の表面熱伝達率 [W/m²K] (=9), Nu ：ヌッセルト数 [-], k ：熱伝導率 [W/mK], d ：円管の直径 (=水力直径) [m] (=2×r₀), Re ：レイノルズ数 [-], Pr ：プラントル数 [-], n ：ディタス・ペルターの式におけるプラントル数の乗数 [-] (=冷水:0.4, 温水:0.3), V ：流速 [m/s] (=2.5), ν ：動粘性係数 [m²/s] (=冷水:1.304, 温水:0.474)

これらの式を用いて管径を変更しながら熱損失を計算した。結果を表2に示す。想定した熱供給配管径の範囲内では、熱供給配管 1m における熱損失は非常に小さい。よって熱供給配管 1m における熱損失をどの管径でも同じ値(冷水: -0.004, 温水:0.015)と設定した。

2.4 逆潮流可能電力量の制限

CGS の発電単価および電力の買い取り単価を考慮して、現実的に逆潮流^{注2)}が可能な範囲を設定した。式(7)は CGS のガス 1 m³あたりの発電における金銭的収支 C_{total} [円/m³] を表している。本報における CGS の排熱は温水のみで排出される^{注3)}ので、 C_{total} を、ガス 1 m³ から得られる発電収入と、温水からの熱供給を代わりに代替機器が行う場合のガス料金とを足し合わせた金額から、ガス単価を引いた値とした。また発電収入は発電による系統からの電力購入の削減額と、系統への売電額との合計とした。式(7)から、最も電力の供給に余裕ができる中間期において、冷房に排熱を供給する場合^{注4)}の逆潮流可能量を求め、これを年間の設定値とした。式内における電力単価、CGS のガス単価はそれぞれ対象地域の料金表¹⁸⁾¹⁹⁾から設定した。売電単価は参考文献²⁰⁾を基に、九州地域の平均単価 5 円と全国の最高値である 9 円の 2 パターン用意し、それぞれで C_{total} がマイナスにならないように逆潮流量を検討した。計算結果から、損をせずに逆

Fig. 2 Cross sectional view of heat supply piping

Table 2 calculation result of heat loss for heat supply piping

Pipe diameter	A	200	300	400	500
Cold water	MJ/m	-0.002	-0.003	-0.004	-0.004
Hot water		0.007	0.010	0.012	0.015

潮流が可能な割合を、5 円の場合は対象時刻における電力需要の 12%、9 円の場合は 28% と 2 パターン作成して以降の検討を行った。

$$C_{\text{total}} = E_{\text{power}} \cdot Q_{\text{gas}} \cdot (1 - x) \cdot C_{\text{power}} + E_{\text{power}} \cdot Q_{\text{gas}} \cdot x \cdot C_{\text{reverse}} + \left(\frac{E_{\text{heat}} \cdot E_{\text{ex}}}{E_{\text{sub}}} - 1 \right) C_{\text{gas}} \quad (7)$$

ここで、 C_{total} ：CGS のガス 1 m³あたりの発電における金銭的収支 [円/m³]、 E_{power} ：定格発電効率 [-] (=0.405), Q_{gas} ：ガス 1 m³あたりのエネルギー [kWh/m³] (=45/3.6), x ：発電に占める逆潮流の割合 [-], C_{power} ：電力 1kWh あたりの単価 [円/kWh] (=12), C_{reverse} ：逆潮流による売電単価 [円/kWh] (=5), E_{heat} ：定格排熱効率 [-] (=0.36), E_{ex} ：冷房への排熱交換効率 [-] (=0.7), E_{sub} ：補助熱源のガス燃焼効率 [-] (=1.3), C_{gas} ：ガス単価 [円/m³] (=70)

3. 全体エネルギー供給システムの開発

本報では CGS を含む全体エネルギー供給システムとして CGS、補助熱源、貯湯タンク・給湯ボイラ(以下、給湯機器)を対象地域内の各非住宅建築に設置し、5 分間隔で各設備機器の応答を計算する手法を開発した。図3に例として CGS を 4 台導入した場合の本手法の熱供給フローを、図4に DCG として CGS を 4 台導入した場合の需要家への熱供給フローを示す。また、表3に図3および図4における各熱源機器の効率^{9)注5)}を示す。本章では本手法の計算フロー(図5)における各手順の詳細と使用データについて述べる。

3.1 データ入力

まず初めに各非住宅建築の建物用途(事務所、医療、商業、宿泊、飲食、学校の 6 用途)、延床面積、CGS の設置有無や運転方法を外部データから入力する。その後 5 分間隔のループ計算に入り、ループの初めに対象時刻、対象建物の電力需要および暖房、冷房、給湯の各熱需要を外部データから入力する。以降のそれぞれの設備機器ステップごとに各設置建物の機器応答を計算する。

3.2 CGS 応答

CGS 応答では、CGS モデルおよび DCG モデルを用いて、建物単体用の CGS と DCG 用の CGS を応答させる。5 分前の追従対象需要が CGS1 台あたりの定格容量(電力需要追従なら定格発電量、熱需要追従なら定格排熱量)の 50% を超えている場合は CGS を稼働させる。なお、CGS の発電電力は CASCADEⅢの計算と同様に、

CT : Cooling tower, CGS : Co-generation system, RHA : GeneLink, HEX : Heat exchanger, HWS : Hot water supply system

Fig. 3 Piping flow of four CGS

Fig. 4 Piping flow of four CGS as DCG

Table 3 Efficiency of heat source equipment in CGS model

Heat source equipment	Operation mode	Efficiency [-]
CGS	Rated power generation	0.405
	Rated exhaust heat	0.360
	Cooling (exhaust heat)	0.700
Genelink	Cooling (gas)	1.300
	Heating (gas)	0.880
Heat exchanger	Cooling, Heating, Hot water	1.000

Fig. 5 Calculation flow of total energy supply system

CGS 補機や熱搬送用ポンプといったエネルギーシステムの設備機器の電力需要も賄うこととした。追従する電力需要は設備機器の分も含めた 5 分前の電力需要に、この需要に対する逆潮流可能量を加えた値とした。また DCG 用の CGS では、追従する需要を電力需要、熱需要とともに、同一供給グループ内における全非住宅建築の各需要の合計値とした。逆潮流量が制限値を超える時は、逆潮流量が

制限値となる負荷率で CGS を運転する。逆潮流不可の場合はこの制限値が 0%のため逆潮流が起きない。発電、排熱における効率曲線は、既往研究²¹⁾を基に全機器で等しく以下の式(8),(9)を用いた。

$$E_{l, power} = (A_p \cdot L_{cgs}^2 + B_p \cdot L_{cgs} + C_p) / 100 \cdot E_{power} \quad (8)$$

$$E_{l, heat} = (A_t \cdot L_{cgs}^2 + B_t \cdot L_{cgs} + C_t) / 100 \cdot E_{total} - E_{l, power} \quad (9)$$

ここで、 $E_{l, power}$ ：負荷率 1 における発電効率[-]、 A_p ：発電効率曲線における 2 次の係数[-] (電力追従:7.2, 熱追従:11.8)、 L_{cgs} ：CGS 負荷率[-]、 B_p ：発電効率曲線における 1 次の係数[-] (電力追従:8.2, 熱追従:0.7)、 C_p ：発電効率曲線における定数項[-] (電力追従:84.6, 熱追従:87.5)、 E_{power} ：定格発電効率[-] (=0.45)、 $E_{l, heat}$ ：負荷率 1 における排熱効率[-]、 A_t ：総合効率曲線における 2 次の係数[-] (電力追従:-14.4, 熱追従:-7.6)、 B_t ：総合効率曲線における 1 次の係数[-] (電力追従:43.6, 熱追従:32.4)、 C_t ：発電効率曲線における定数項[-] (電力追従:70.8, 熱追従:75.2)、 E_{total} ：定格総合効率[-] (=0.85)

排熱の供給優先順位は 1:冷房、2:暖房、3:給湯とした。また冷房は排熱投入型吸収冷温水機(以下、ジェネリンク)(効率:0.7 [-])、暖房および給湯は熱交換器(交換効率:1.0 [-])を介して各需要に供給されると設定した。さらにジェネリンク投入可能排熱量のジェネリンク定格能力値(表 4)に対する割合は、CASCADEⅢと同様に^{注 6)}ジェネリンク負荷率に応じて変化するように設定した(図 6)。投入排熱量が足りない場合、ジェネリンクでガスを消費(COP:1.3[-])して全ての冷房需要を賄う。なお、DCG 用の CGS におけるジェネリンクの定格値は、熱を供給する全建物の定格値を合計したものとした。

3.3 補助熱源応答

補助熱源応答では CGS 稼働後に残っている暖房熱需要を補助熱源で処理し、そのガス消費量を計算する。補助熱源は冷房と同様ジェネリンク(暖房・ガス焚き時 COP:0.88[-])を全建物で使用する。

3.4 給湯機器応答

給湯機器応答では建物の給湯需要に応じて貯湯タンクからの出湯やボイラによる加熱を行う。貯湯タンクの各建物用途の容量原単位を表 5 に示す。これらは参考文献²²⁾を基に、時刻あたりのピーク給湯需要を貯湯できるように作成した^{注 7)}。なお、事務所建物には貯湯タンクを設定せず、給湯ボイラのみを用いて給湯を行う。また貯湯タンクは有効貯湯量を貯湯槽容量の 70%とし、有効貯湯量が 0 になった際に給湯ボイラを用いてタンクへの給湯を行うよう設定した。

3.5 一次エネルギー消費量計算

一次エネルギー消費量計算では各建物における CGS の電力供給分を差し引いた電力需要、および各設備のガス使用量から各一次エネルギー消費量を計算し、建物ごとに合計する。なお、熱搬送動力といった設備機器の電力需要は CGS 設置建物が負担することとした。また、逆潮流電力による削減も計算するため、建物によっては一次エネルギー消費量がマイナスになる時刻も生じる。電力需要の一次エネルギー変換係数[MJ/kWh]は昼間(8 時～22 時)を 9.97、夜間(22 時～8 時)を 9.28 とした。

4. 商業・業務街区における最適導入形態の検討

本報の計算対象地域は福岡県福岡市から設定した。九州地方は大規模 PV 発電の出力抑制が行われるなど再生可能エネルギー増加が困難になってきており、都市部での省エネ、創エネ推進による需給調整がより一層求められている。そこで九州地方で最大、日本全国でも 5 番目に大きい人口を有する市区町村である福岡市から、複数の商業・業務地域を選び、それぞれの地域における CGS 普及の省エネルギー効果を推定した。

4.1 対象地域の設定

地域冷暖房の事業成立条件の 1 つに 1 ヘクタール当たりの熱需要密度の高さが挙げられている¹⁴⁾ことから、DCG としての CGS の導入効果にも熱需要密度が大きな影響を与えると考えられる。そこで

Table 4 GeneLink capacity intensity [MJ/m²h]

	Office	Hospital	Store	Hotel	Restaurant	School
Intencity	28.99	33.05	35.17	26.57	45.13	26.49

Fig. 6 Limit for exhaust heat amount of GeneLink

Table 5 Capacity intensity of hot water tank [MJ/m²]

	Office	Hospital	Store	Hotel	Restaurant	School
Intencity	0.00	0.13	0.10	0.27	1.04	0.11

Table 6 Floor area ratio and rank of small areas in target areas

Area	A		B		C		D			E					F		
Small area	1	2	1	2	1	2	1	2	3	1	2	3	4	5	1	2	3
Floor area ratio[－]	4.29	4.17	3.36	2.59	1.71	2.39	1.80	2.47	1.36	0.89	0.30	0.77	0.33	0.48	0.44	0.38	0.40
Rank[－]	3	4	6	9	20	12	17	10	26	46	218	62	184	119	133	162	153

Table 7 Characteristics of target areas

	Area[m ²]	Number of business building [-]	Total Gross floor area[m ²]						Floor area ratio [-]
			Office	Hospital	Store	Hotel	Restaurant	School	
A	383513	302	646016	28358	935444	0	11336	0	4.23
B	301566	252	355682	668	323560	167794	3193	27045	2.91
C	311525	440	209368	7270	315595	89930	13018	5865	2.06
D	429885	270	482512	1903	275878	35257	7365	34334	1.95
E	361307	302	116303	8974	41300	9763	3700	13398	0.54
F	347565	203	121767	2132	19645	0	1814	0	0.42

福岡市の全 1154 の小地域を対象として、熱需要密度に関連する尺度として非住宅建築物の容積率の市内順位を基準に、地域面積が 35 万 m²程度^{注 8)}になるように 6 つの小地域群を選び、これらを本報の計算対象地域 A～F 地域とした(表 6)。各地域の非住宅建築物の構成、および建築容積率のまとめを表 7 に示す。また各対象地域の 100m メッシュ区分における建築容積率を図 7(a)～(f)に示す。A 地域は容積率が高く、また地域全体に高容積率のメッシュ区分が分布している。B 地域は駅前のため他の地域より宿泊施設の割合が大きい。C 地域は低層の建物が多いため、建物数の割には容積率が低い。D 地域は C 地域と同程度の容積率だが、全体的に西寄りに建物が集まっている。E 地域および F 地域は容積率が他地域と比べ小さいため、エネルギー需要の集約効果が小さくなると考えられる。

4.2 各地域における非住宅建築物のエネルギー需要データの作成

既報で開発した需要推定手法²³⁾を用いて、各地域の非住宅建築物の 5 分間隔電力需要と暖房、冷房、給湯の各 5 分間隔熱需要データを作成した。この推定手法には乱数と確率分布が含まれているため、1 回 1 回の計算で各需要が変わる。しかし実建物の分析から確率分布を作成しているため、計算結果はどれも現実起こり得るものと考えられる。そこで乱数によって最も大きく影響を受ける年間エネルギー需要に注目し、以降の検討には各地域の 100 回の計算結果の中から、地域合計年間需要量における 100 回の平均値との差が、4 つのエネルギー用途の平均で最も小さかった計算結果を用いた。

図 8(a)～(d)に各地域の代表週における非住宅建築物 1 m²あたりのエネルギー需要密度と、サンプルとして A 地域で平均的な事務所建物(5 階建、延床面積 3,653 m²)の 1 m²あたりのエネルギー需要密度を示す。どのエネルギー用途も、平日は C 地域以外のエネルギー需要密度が同程度である。C 地域は延床面積が小さい商業施設の割合が多いため、実データを基に既報で開発した需要推定手法では需要密度が高くなる。また需要の変動については、どの地域もサンプル建物と比較すると小さくなっている。これは需要の集約により変動が平準化されたからだと考えられる。

表 8 に各地域の年間エネルギー需要量を示す。建築容積率が大きい地域ほど各エネルギー用途の年間エネルギー需要量が多い。C 地域の給湯エネルギー需要は建築容積率を考慮すると大きい、これは C 地域に給湯のエネルギー需要原単位が大きい飲食用途の建物が多く立地しているためである。

Fig. 7 Floor-area ratio of target areas in 100m mesh

Fig. 8 Estimation of weekly energy demand density for target areas and sample building

4.3 各建物単体における CGS 普及効果の推定

CGS を導入する場合、一般的には発電容量をピーク電力需要の 20%～40%程度とし、逆潮流は行わずに電力需要に追従して運転させる²⁴⁾。しかし、現在の CGS と系統電力との連結は一般的には逆潮流が可能なものとなっており、逆潮流が行われていない理由は売電による経済メリットが得られないことが多いためである。そこで、今後の分散型エネルギーシステムとしての CGS の普及を踏まえ、逆潮流の採否も考慮して各建物の最適な設定でコージェネレーションシステムを普及させた際に、地域全体でどれだけの省エネルギー効果が期待できるかを検討した。

検討ケースを表 9 に示す。CGS の定格発電容量は 3 ケース設定し、建物の延床面積に応じて各ケースの容量を変更した。建物ごとに CGS の容量 3 ケース×台数 5 ケース×運転モード 2 ケースの計 30 ケースを、逆潮流可能量が電力需要の 0%、12%、28%の 3 パターン検討し、各パターンで最も年間一次エネルギー消費量が小さかったケースを地域ごとに最適ケースとしてまとめ、以下の式(10)で最適ケースの年間一次エネルギー消費量削減率^{注9)}を計算した。

$$R_{best} = \frac{C_{def} - C_{best}}{C_{def}} \cdot 100 \quad (10)$$

ここで、 R_{best} ：最適ケースの年間一次エネルギー消費量削減率[%]、 C_{def} ：CGS を設置しなかった場合の地域合計年間一次エネルギー消費量[MJ]、 C_{best} ：最適ケースの地域合計年間一次エネルギー消費量[MJ]

逆潮流可能量による最適ケースへの影響を表 10 にまとめる。逆潮流なしの最適ケースでは多くの建物の運転設定が電力需要追従運転であった。これは CGS の発電効率が系統の効率を上回っているため、熱をある程度捨てても電力需要を賄った方が CGS の省エネルギー効果が高くなるためであり、この運転は従来の考え方と一致している。しかし逆潮流可能量の増加によって、台数の増加などから CGS の合計設置容量が増加する建物が出現し、逆潮流可能量が電力需要の 28%までになると A～D 地域では地域内の 30% 以上の建物の最適容量が増加した。また逆潮流可能量の増加によって熱追従運転の発電制限に余裕ができた結果、A～D 地域では宿泊施設や飲食店といった熱需要の大きい建物を中心に、地域内の数%程度の建物で最適な運転設定が電力追従運転から熱追従運転に変更された。なお、E、F 地域はほか 4 地域と比べ影響を受けた建物の割合が小さいが、これは E、F 地域の非住宅建築のほとんどが小規模であるため、逆潮流可能量の増加によるこれらの建物の発電ポテンシャルへの影響が CGS の容量と比べて小さいためである。

逆潮流可能量の増加によって合計 CGS 容量や運転設定が変更された建物を抽出し、一次エネルギー消費量削減率を逆潮流不可の場合の最適ケースと比較することで、各建物で逆潮流可能量の増加によってどれだけの省エネルギー効果が向上したのかを計算した(図 9)。どの地域でも平均して逆潮流可能量が 12%では 1 ポイント、28%では 3～4 ポイント省エネ効果が増加した。また 28%の場合は各地域で 5 ポイント以上省エネ効果が増加している建物がある。

表 10 および図 9 の結果から、CGS 普及時に系統電力への逆潮流を採用し、現実的な逆潮流量を設定することで、多くの建物でより省エネ効果が高い CGS 容量や運転方法を計画できると考えられる。

各最適ケースにおける地域全体の計算結果を図 10 に示す。逆潮流を行わない場合、CGS を各建物に適切な容量普及させることで、14～16%程度地域の一次エネルギー消費量を削減させた。また逆潮

Table 8 Annual energy demand of target areas

			A	B	C	D	E	F
Total energy demand	Power	GWh	365	184	181	164	37	24
	Cooling		827	414	400	378	83	57
	Heating	TJ	241	132	137	110	27	15
	Hot water		203	142	186	110	40	18

Table 9 Cases of CGS in individual buildings

	Capacity [kW]		Number [-]	Operation mode [-]	Reverse power[%]
	GFA < 20000㎡	GFA ≥ 20000㎡			
1	5	100	1	Power following	0
2	35	700	2	Heat following	12
3	100	1200	4	—	28
4	—	—	6	—	—
5	—	—	8	—	—

Table 10 Comparison with 0% of Building settings in best case

		A	B	C	D	E	F
Total capacity increasing	12%	24.2	17.1	14.5	11.9	6.9	7.9
	28%	41.8	35.4	33.8	30.5	13.0	18.2
Operation changing from power to heat	12%	8.2	6.7	6.9	3.8	1.7	1.3
	28%	5.7	4.3	4.4	3.0	1.5	1.3

Fig. 9 Reduction rate of primary energy consumption from 0% of changed buildings in Best case

Fig. 10 Reduction rate of primary energy consumption for Best case in individual buildings

流可能量を 12%、28%と増加させていくにつれ、地域全体の削減率が約 1 ポイントずつ向上した。逆潮流可能量を 28%とした場合の 6 地域合計の削減効果(=2,349TJ)は CGS を設置しなかった場合の C 地域の年間一次エネルギー消費量(=2,175TJ)と同程度である。

最適ケースにおける地域合計電力需要のピークカット効果を図 11 に示す。逆潮流を行わない場合、CGS を各建物に適切な容量普及させることで、ピーク電力需要を 20～40%にまで抑えられることを確認した。また、逆潮流可能量の増加によってピークカット効果が増加しており、逆潮流可能量が 28%になると F 地域を除く全地域で 10 ポイント以上ピークカット効果が増加している。ピーク時刻に関しても全地域のピーク時刻が 8 月の昼間から、CGS の設置によって 12 月や 2 月といった冬期の夕方や夜間、朝方へと変更された。

これらの結果から、年間一次エネルギー消費量の削減と電力需要のピークカットのどちらに対しても、CGS の逆潮流可能量の増加が有効であると言える。

4.4 DCG としての CGS 普及効果の推定

続いて DCG として最適な設定で CGS を普及させた際にどれだけの省エネルギー効果が期待できるかを検討した。検討ケースを表 11 に示す。逆潮流可能量を実現が比較的容易な設定である電力需要の 12% までとして、前節の最適容量を参考に、地域全体の需要を賄えるように CGS の容量、台数ケースの範囲を設定した、また地域ごとの熱源設置位置を 1 つ、2 つ、4 つの 3 パターン設定し(図 12)、それぞれのパターンで地域内全ての建物が含まれるようにエネルギー供給グループを作成し、各グループで 70 ケースの検討を行った。

各グループにおける CGS の最適容量を表 12 にまとめる。容積率の大きな地域ほど最適容量が大きく、また B 地域では図 7(b)から北東の方が南西よりも容積率が大きいので、2 グループにおいてナンバー 1 の最適容量(3,800×8)の方がナンバー 2 の最適容量(2,000×8)よりも大きいといったように、地域内の容積率の分布の偏りが各グループ内の CGS 最適容量の分布にも影響している。

各グループにおける合計 CGS 容量と、各建物単体での最適設定における逆潮流可能量が電力需要の 12% の場合の合計 CGS 容量の比較を表 13 に示す。合計 CGS 容量が各建物単体の場合よりも小さくなった結果と、各建物単体の場合よりも大きくなった結果が半々となったが、これはケース検討間の容量幅が数千 kW と大きいのである。容量の検討ケース数を増やし、ケース検討間の容量幅を数百 kW 程度に小さくすることで、全地域で各建物単体の場合よりも合計 CGS 容量が小さくなると考えられる。

地域全体の一次エネルギー消費量削減率を図 13 に示す。各建物単体での最適設定における逆潮流可能量が電力需要の 12% の場合の省エネ効果(図 10)と比較して、全地域、全グループで省エネ効果が大きくなった。これは電力需要、熱需要のどちらかが小さいと、発電への制限や排熱の大気への放出といった余剰供給が発生するが、エネルギー需要の集約によって各需要の変動が平準化されたことで CGS の発電が安定し、余剰供給の発生を減らしたためであり、その効果は熱搬送時の損失や動力の電力消費による増エネを上回ることを確認した。また、建物用途構成や建築密度の分布などがそれぞれ異なるにもかかわらず、全地域でグループ間における削減率の差は小さい。この結果と表 13 から、商業・業務地域への DCG 普及において、一次エネルギー消費量に関しては、対象地域を分割して、それぞれ対象建物群の各最適 CGS 容量を合計した値の 90~100% の容量の CGS を導入していけば、その省エネ効果が対象地域に DCG をまとめて導入する場合とほぼ等しくなることが期待できる。

地域合計電力需要のピークカット効果を図 14 に示す。全地域、全グループでピーク電力需要が 85~90% にまで減少した。また、全地域でグループ間におけるピークカット効果の差が小さいことを確認した。ピーク時刻に関しても全地域、全グループのピーク時刻が冬期の夕方や夜間、朝方へと変更された。

またこれらの計算結果から、DCG としての CGS 普及効果の方が、同じ逆潮流可能量における各建物単体の場合の CGS 普及効果よりも、年間一次エネルギー消費量およびピーク電力需要の削減量が全地域、全グループで大きいことを確認できる。

Fig. 11 Peak cut rate of power demand for Best case in individual buildings

Table 11 Cases of CGS in DCG

	Capacity [kW]	Number [-]	Operation mode [-]	DCG group [-]
1	100	1	Power following	1
2	700	2	Heat following	2
3	1200	4	-	4
4	2000	6	-	-
5	3800	8	-	-
6	5200	-	-	-
7	9600	-	-	-

● : CGS set point □ : CGS energy supply area 1,2,3,4 : Area number

Fig. 12 Image of DCG group

Table 12 Best CGS capacity of target areas in DCG

Area number	A	B	C	D	E	F
1	-	9600*8	5200*8	5200*8	1200*8	700*4
2	1	5200*8	3800*8	3800*6	1200*8	700*6
	2	5200*8	2000*8	3800*6	700*8	100*6
	1	3800*8	2000*8	1200*8	700*2	100*6
4	2	2000*8	1200*8	2000*6	700*8	100*1
	3	2000*8	1200*8	2000*8	700*4	100*1
	4	3800*8	1200*8	2000*8	100*8	700*2

Table 13 Comparison of Best CGS capacity between individual buildings and DCG [kW]

	A	B	C	D	E	F
Individual buildings	86350	43095	42985	39635	10405	6890
1group	76800	41600	41600	41600	9600	2800
DCG 2group	83200	46400	45600	40000	9800	3400
4group	92800	44800	47200	42400	10600	2200

Fig. 13 Reduction rate of primary energy consumption for the Best case in DCG

5. おわりに

本報では既往プログラムや参考文献を基に CGS の応答モデルを構築し、特性の異なる商業・業務地域の推定需要データから、逆潮流可能量や CGS の普及形態の違いによる省エネルギー効果やピー

Fig. 14 Peak cut rate of power demand for the Best case in DCG

クカット効果の差を推定した。得られた知見を以下に示す。

- 1) 既往プログラムを基に 5 分間隔で CGS の応答を計算するモデルを構築し、その精度を確認した。また参考文献などを基に熱供給配管長、搬送動力、配管熱損失などを組み込んだ DCG としての CGS モデルを構築した。
- 2) 建物単体における CGS 普及による省エネルギー効果の推定では、CGS の発電における金銭的収支がマイナスにならない範囲で逆潮流を可能とした結果、逆潮流可能量の増加によって多くの建物で最適容量が増加し、また一部の建物の最適運転が変更され、それらの変更された建物における省エネルギー効果が向上した。
- 3) 建物単体における CGS 普及による省エネルギー効果について、地域全体としては、逆潮流を可能としたことで逆潮流を行わない場合よりも 1~3 ポイント多く地域合計年間一次エネルギー消費量を削減できることを明らかにした。また逆潮流を行わない場合でも、地域合計電力需要のピークを 60~80%程度削減できることを確認した。
- 4) CGS による電力供給と、吸収式熱源機などを用いた排熱利用による熱供給を行う DCG の省エネルギー効果の推定では、建物単体における CGS 普及時よりも地域合計年間一次エネルギー消費量や地域合計電力需要のピーク、さらに地域の合計導入 CGS 容量を削減できることを明らかにした。また、ある程度エネルギー需要が大きな地域であれば、DCG の規模は年間一次エネルギー消費量の削減効果にほとんど影響しないことを明らかにした。

今後は蓄電池や蓄熱槽といった蓄エネルギー設備のモデルを構築し、本報のモデルと組み合わせることで、対象地域全体で電力の需給バランス調整を行うバーチャルパワープラント(VPP)の効果検討を行う。また住宅についても 5 分間隔の需要推定プログラムや供給設備モデルを開発し、組み込むことで都市全体におけるエネルギー供給設備の最適化手法の構築を目指す。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP17K14773 および JSPS 特別研究員奨励費 JP18J12025 の助成を受けた。記して謝意を表す。

注

- 注 1) 参考文献²⁵⁾によると、民生・産業用における直近 10 年分の設置台数は非住宅建築が 5138 台、産業用が 1014 台、集合住宅が 111 台となっている。
- 注 2) 本報における DCG モデルでの供給対象建物への電力供給は、CGS の発電量はそれに係る電力負荷で決まるため、電力負荷追従運転を行うために電力を一括受電し、自営線内で電力を供給するように想定している。この供給方法における系統への逆潮流について、系統電力会社へのヒアリングから、現状の計算対象地域における送電線で技術的に可能なことを確認している。また、本来であれば系統への逆潮流による供給電力が電力供給グル

ープ内の建物で使われたかは、特定することが困難だが、どこかの建物で使われ、その電力需要を削減していることは間違いのないため、その分をグループ内の供給として計上している。また電力系統は 1φ3W の下流側の系統と 3φ3W の上流側の系統があり、1φ3W~3φ3W 間の変圧の際に電力損失が発生するが、本報ではこの電力損失を計算対象外としている。

- 注 3) CGS の排熱利用は温水のみの利用と蒸気・温水併用の 2 通りあるが、本報のジェネリックは温水利用を想定していること、また 5kW~6000kW の容量範囲で、蒸気および温水同時供給とほぼ同効率で、温水のみの供給が可能な CGS が存在しているため²⁶⁾、排熱利用は温水のみの利用で検討した。
- 注 4) 本報では各建物用途の基準となるエネルギー需要変動スケジュールを固定しているため、非住宅建築物では中間期に暖房は行われませんが、給湯需要は発生する。しかし、給湯に CGS の排熱を供給する場合は、熱交換器(=交換効率 1.0)を介して供給されるため、同じ排熱量で冷房にジェネリック(=交換効率 0.8)を介して供給するよりも多くのエネルギー需要を賄える。また給湯における代替機器の効率(=0.8)も冷水供給時(=1.2)よりも悪くなるため、給湯に CGS の排熱を供給する場合は CGS のコストメリットの上昇によって冷房に供給する場合よりも逆潮流可能割合が増加する。ここでは CGS の金銭的収支に関して、条件が最も悪くなる場合で年間の逆潮流可能割合を求めているため、中間期の冷水供給の場合で年間逆潮流可能割合を検討した。
- 注 5) 本報では、CGS やジェネリックといったガス機器の効率を、全て高位発熱量基準で記載している。また、高位発熱量に対する低位発熱量の比率[-]を 0.9 として、各ガス機器の効率を設定した。
- 注 6) 本報における排熱投入運転時のジェネリックは CGS の排熱投入量が最も大きくなるように、常に全設置台数を同負荷率で動かすように想定しているため、実質的に 1 台で動いているのと同じことになる。またジェネリックのガス焚き運転時の効率については、CASCADEⅢの計算と同様に、負荷率に関わらず一定としているため、容量や台数が計算に影響しない。
- 注 7) 簡易化のために、本報における貯湯タンク内の水温は常に 60℃以上に保たれていると想定し、熱量を単位として計算を行った。
- 注 8) 参考文献²⁷⁾に記載されている熱源設備を主な熱源とした地域冷暖房導入事例の供給区域面積が 10 万㎡~60 万㎡だったため、この中間値を取って本報の計算対象地域の面積を 35 万㎡程度と設定した。
- 注 9) 本報で対象とした地域内の非住宅建築はそのほとんどが中小建物であり、その多くはビル用マルチ空調を採用していると考えられるため²⁸⁾、本報では CGS を設置しなかった場合の非住宅建築における空調機器をすべてビル用マルチ空調として検討した。

参考文献

- 1) Agency for Natural Resources and Energy: Trade and Industry: The 5th Strategic Energy Plan, 2018.07
資源エネルギー庁: 第 5 次エネルギー基本計画, 2018.07
- 2) Onishi Hiroyuki, et al: STUDY ON THE EFFECTIVENESS OF INTRODUCING A COGENERATION SYSTEM TO THE DISTRICT HEATING AND COOLING PLANT CONSIDERING SENDING GENERATED ELECTRICITY TO THE PUBLIC FACILITIES, Journal of Architecture, Planning and Environmental Engineering (Transactions of AIJ), Vol.65, No.532, pp.57-64, 2000.6
大西 裕之, 他: 発電電力の自治体諸施設への託送を考慮した地域冷暖房施設へのコージェネレーションシステム導入の有効性に関する研究, 日本建築学会計画系論文集, Vol.65, No.532, pp.57-64, 2000.6
- 3) Umino Hiroshi and Ishifuku Akira: EVALUATION ON D.H.C. SYSTEMS COMBINED WITH COGENERATION SYSTEM ON THE ASSUMPTION OF THE REVERSE POWER SUPPLY ACCEPTED : Case study of cogeneration system with gas turbine, Journal of Architecture, Planning and Environmental Engineering (Transactions of AIJ), Vol. 59, No.456, pp.53-62, 1994.2
海野 洋, 石福 昭: 電力逆潮流を前提としたコージェネ地域冷暖房のシステム評価に関する研究 : ガスタービンコージェネのケーススタディー, 日本建築学会計画系論文集, Vol. 59, No.456, pp.53-62, 1994.2
- 4) Nagota Tomoji, et al: A STUDY ON EVALUATING ENERGY CONSERVATION EFFECT OF DISTRICT HEATING AND COOLING SYSTEM : Factor analysis based on the data of 123 plants and the verification of CGS evaluation method, Journal of Environmental Engineering (Transactions of AIJ), Vol. 72, No.613, pp.87-93, 2007.3
名古田 知志, 他: 地域熱供給システムの省エネルギー性評価に関する研究 : 全国 123 プラントのデータを基にした要因分析と CGS 評価手法の検討, 日本建築学会環境系論文集, Vol.72, No.613, pp.87-93, 2007.3

- 5) Sadohara Satoru: A STUDY ON SELECTING THE PROMOTION AREAS FOR DISTRICT COGENERATION IN TOKYO 23 WARDS, Journal of Architecture, Planning and Environmental Engineering (Transactions of AIJ), Vol. 60, No.468, pp.47-54, 1995.2
佐土原 聡, 他: 東京都区部におけるコージェネレーション導入地区の選定に関する研究, 日本建築学会計画系論文集, Vol. 60, No.468, pp.47-54, 1995.2
- 6) Kayo Genku and Ooka Ryoza: GA OPTIMIZATION FOR DISTRIBUTED ENERGY SYSTEMS IN COMPLEX BUILDING BLOCKS, Journal of Environmental Engineering (Transactions of AIJ), Vol. 75, No.649, pp.297-303, 2010.3
加用 現空, 大岡 龍三: 複合街区における分散エネルギーシステムの面的活用に関する GA 最適化, 日本建築学会環境系論文集, Vol. 75, No.649, pp.297-303, 2010.3
- 7) Kuzuki Ryota, et al: STUDY ON BUSINESS SCHEME OF A COMMUNITY-LEVEL DECENTRALIZED AND SELF-RELIANT ENERGY NETWORK: Allocation of co-benefits among stakeholders and feasibility evaluation by use of social-economic internal rate of return, Journal of Environmental Engineering (Transactions of AIJ), Vol. 80, No.708, pp.169-176, 2015.2
工月 良太, 他: 地域レベルの自立分散型エネルギーネットワークの事業スキームに関する研究: ユースタークホルダー間のコベネフィットの配分と社会経済的内部収益率に基づく事業性の評価ー, 日本建築学会環境系論文集, Vol. 80, No.708, pp.169-176, 2015.2
- 8) Gao Weijun, et al: RESEARCH ON TECHNOLOGY CHOICE METHOD FOR DISTRIBUTED ENERGY RESOURCE, Journal of Environmental Engineering (Transactions of AIJ), Vol.75, No.650, pp.389-395, 2010.4
高 偉俊, 他: 分散型エネルギー技術の選択手法及びその利用に関する研究, 日本建築学会環境系論文集, Vol.75, No.650, pp.389-395, 2010.4
- 9) The Society of Heating, Air-Conditioning and Sanitary Engineers of Japan: “Toshigasu niyoru kojenereshonn hyoka puroguramu : CASCADE III “, 2013.12
空気調和・衛生工学会: 都市ガスによるコージェネレーション評価プログラム : CASCADE III, 2013.12
- 10) Zheng Tian, et al: Research on Improvement of Performance Evaluation Method about Cogeneration System for Building (5th Report) Analysis of characteristics about start-stop and auxiliary machines of Cogeneration System, Summaries of Technical Papers of Annual Meeting, Architectural Institute of Japan, Environmental Engineering-II, pp.1409-1410, 2018.7
鄭 浩, 他: 業務用コージェネレーション設備の性能評価手法の高度化に向けた調査 その5 起動停止特性と補機動力特性分析, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 環境工学-II, pp.1409-1410, 2018.7
- 11) Geospatial Information Authority of Japan: Technical Report of the Geospatial Information Authority of Japan, B5-No.19, pp.3-9, 2016.4
国土地理院: 国土地理院技術資料, B5-No.19, pp.3-9, 2016.4
- 12) National Astronomical Observatory of Japan, Chronological Scientific Tables 2018, pp.592-593, 2017.11
国立天文台: 理科年表 平成 30 年, pp.592-593, 2017.11
- 13) Nagai Takeshi: STUDY ON SMART HEAT GRID (SHG) IN COOPERATION WITH EXISTING DISTRICT HEATING AND COOLING, Journal of Environmental Engineering (Transactions of AIJ), Vol. 82, No.737, pp.673-683, 2017.7
永井 猛: 既存の地域冷暖房と連携したスマートヒートグリッド (SHG) に関する研究〜SHG の中心的な技術要素「熱ルータ」の技術確認も含めて〜, 日本建築学会環境系論文集, Vol. 82, No.737, pp.673-683, 2017.7
- 14) Japan District Heating & Cooling Association: “Chiiki reidambo gijutsu tebikisho kaiteidai4han “, pp.31 and pp.97, 2013.11
都市環境エネルギー協会: 地域冷暖房技術手引書 改訂第 4 版, pp.31 および pp.97, 2013.11
- 15) The Society of Heating, Air-Conditioning and Sanitary Engineers of Japan: “kukichowasetsubi keikakusekkeino jitsumuno chishiki kaitei3han“, pp.113, 2010.11
空気調和・衛生工学会: 空気調和設備 計画設計の実務の知識 (改訂 3 版), pp.113, 2010.11
- 16) Dittus F.W. and Boelter L.M.K.: Heat transfer in automobile radiators of the tubular type, International Communications in Heat and Mass Transfer, Volume 12, Issue 1, pp.3-22, 1985.2
- 17) Association of German Engineers: “Kucho dambo eisei setsubi no keisan zuhyo“, pp.16, 1990.12
ドイツ技術者協会建築設備部会: 空調・暖房・衛生設備の計算図表, pp.16, 1990.12
- 18) KYUSHU ELECTRIC POWER: “Gyomuyodenryoku A ryokimmenyu“, (online), available from <
http://www.kyuden.co.jp/agreement_rate_gyomua_h26_5.html > (accessed 2019-02-26)
九州電力: 業務用電力 A 料金メニュー, (online), available from <
http://www.kyuden.co.jp/agreement_rate_gyomua_h26_5.html > (参照 2019-02-26)
- 19) Saibugas: “Totaru enerugi shisutemu keiyaku ryokinhyo fukuoka・kitakyushu“, (online), available from <
http://www.saibugas.co.jp/home/rates_business/menu/pdf/45mj_11.pdf > (accessed 2019-02-26)
西部ガス: トータルエネルギーシステム契約 料金表 福岡・北九州, (online), available from <
http://www.saibugas.co.jp/home/rates_business/menu/pdf/45mj_11.pdf > (参照 2019-02-26)
- 20) Agency for Natural Resources and Energy: “dennetsu kyokyu (kojiene) suishin shiryoshu“, 2012.09
資源エネルギー庁: 電熱供給(コージェネ)推進室資料集, 2012.09
- 21) Sakaguchi Yuichi, et al: Development of Performance Evaluation Method about Cogeneration System for Buildings -Development of Simulation Program and Sensitivity Analysis-, AIJ Kyushu Chapter Architectural Research Meeting, Vol.55, pp.345-348, 2016.3
坂口 雄一, 他: 業務用コージェネレーションシステムの性能評価手法の開発 - シミュレーションプログラムの開発と感度解析 -, 建築学会九州支部研究報告, Vol.55, pp.345-348, 2016.3
- 22) The Society of Heating, Air-Conditioning and Sanitary Engineers of Japan: “kyuhaisui eisei setsubi keikaku sekkei no jitsumu no chishiki kaitei2han“, pp.64, 2001.11
空気調和・衛生工学会: 給排水衛生設備計画設計の実務の知識 改訂 2 版, pp.64, 2001.11
- 23) Ueno Takahiro, et al: ESTIMATION FOR ENERGY DEMAND FLUCTUATION IN COMMERCIAL AND BUSINESS AREA BY MONTE CARLO SIMULATION, Journal of Environmental Engineering (Transactions of AIJ), Vol.84, No.757, pp.291-301, 2019.3
上野 貴広, 他: モンテカルロシミュレーションを用いた商業・業務街区における需要変動の推計, 日本建築学会環境系論文集, Vol.84, No.757, pp.291-301, 2019.3
- 24) The Society of Heating, Air-Conditioning and Sanitary Engineers of Japan: “Toshigasu kojenereshonn shisutemu no keikaku・sekkei to unnyou “, pp.36-37 and p.40, 2015.3
空気調和・衛生工学会: 都市ガスコージェネレーションの計画・設計と運用, pp.36-37 および p.40, 2015.3
- 25) Advanced Cogeneration and Energy Utilization Center Japan: “Kojenereshon hakusho 2018“, pp.213-214, 2018.12
コージェネレーション・エネルギー高度利用センター: コージェネレーション白書 2018, pp.213-214, 2018.12
- 26) “Kurin enerugi henshubu”: “Tennen gasu kojenereshon kiki deta “, pp.10-51, 2018.4
クリーンエネルギー編集部: 天然ガスコージェネレーション機器データ 2018, pp.10-51, 2018.4
- 27) Japan District Heating & Cooling Association: “Chiiki reidambo gijutsu tebikisho kaiteidai4han “, pp.38-51, 2013.11
都市環境エネルギー協会: 地域冷暖房技術手引書 改訂第 4 版, pp.38-51, 2013.11
- 28) Takamura Shiori, et al: DISTRICT ELECTRICITY DEMAND PREDICTION UNDER LARGE DIFFUSION OF PHOTOVOLTAICS AND ENERGY SAVING TECHNOLOGY, Journal of Environmental Engineering (Transactions of AIJ), Vol.77, No.680, pp.805-811, 2012.10
高村 しおり, 他: 太陽光発電と省エネルギー技術の大規模導入を考慮した地域電力需要の将来推計, 日本建築学会環境系論文集, Vol. 77 No. 680, pp.805-811, 2012.10

ESTIMATION FOR AREA SPREAD EFFECT OF CO-GENERATION SYSTEM IN COMMERCIAL AND BUSINESS AREAS ACCORDING TO GEOGRAPHIC CONDITIONS

Takahiro UENO^{*1}, *Youngjin CHOI*^{*2}, *Kentaro TAKAHASHI*^{*3}
and Daisuke SUMIYOSHI^{*4}

^{*1} Grad. Student, Graduate School of Human-Environment Studies, Kyushu Univ., M.Eng. / JSPS Research Fellow

^{*2} Assist. Prof., Kyushu University Platform of Inter/Transdisciplinary Energy Research, Dr.Eng.

^{*3} Grad. Student, Graduate School of Human-Environment Studies, Kyushu Univ.

^{*4} Assoc. Prof., Faculty of Human-Environment Studies, Kyushu Univ., Dr.Eng.

This paper describes development of co-generation system (CGS) model in individual building and District co-generation (DCG), and the effect analysis by the diffusion of CGS in Japanese business area. Developed model in this paper calculated CGS operation at 5-minute interval. And it contain heat supply piping length, transport power, piping heat loss in DCG calculation. The estimating of CGS diffusion effect confirmed the effect of reverse power flow permission and the demand aggregation by DCG in Japanese business area.

11st chapter describes a background of this paper. The city in Japan needs to construct distributed energy supply systems. And CGS is considered to be one of effective distributed energy systems, but the details of its spread effect has yet to be clarified. Therefore, we developed a CGS operation model in urban scale to the effect analysis by the diffusion of co-generation system in Japanese business area.

2nd chapter indicates the development of CGS model. We made a CGS model based on past programs. This model calculated CGS operation in 5-minute interval. And it also considered heat supply piping length, transport power, piping heat loss in DCG calculation.

3rd chapter is the development of a total energy supply system. In order to develop this system including CGS, This paper combined CGS, multi air conditioning, hot water storage tank and hot water supply boiler. This system operates each facility model in 5-minute interval and calculates annual primary energy consumption of each non-residential buildings in target area.

4th chapter describes case studies. We analyzed six areas with different characteristics of located buildings. Pre-stage of the analysis estimated the 5-minute power demand and each heat demand for cooling, heating and hot water supply of each non-residential building in these target areas. Moreover, we analyzed dozens of calculation results of each area in two case studies and confirmed the energy saving effect of reverse power flow permission and the demand aggregation by DCG in Japanese business area.

5th chapter is conclusion. It summarizes the main points so far and shows future issues.

(2019年4月9日原稿受理, 2019年10月7日採用決定)