マイクログリッドおよび地域冷暖房より構成される
複合システムの環境適合性評価樋口 恭弘^{*1}, 中山 亮^{*2}, 齋藤 篤史^{*3}, 松村 恵理子^{*4}, 千田 二郎^{*5}Environmental evaluation of a combined system composed of
micro grid and district heating and coolingYasuhiro HIGUCHI^{*1}, Ryo NAKAYAMA^{*2}, Atsushi SAITO^{*3},
Eriko MATSUMURA^{*4} and Jiro SENDA^{*5}^{*1,*2} Graduate School of Doshisha Univ. Dept. of Mechanical Engineering
1-3 Tatara Miyakodani, Kyotanabe-shi, Kyoto 610-0321, Japan^{*3} TOYO Architects and Engineers office
638 Shichikannon-cho, Rokkaku, Karasuma-dori, Nakagyo-ku, Kyoto 604-8162, Japan^{*4,*5} Doshisha Univ. Dept of Mechanical Engineering
1-3 Tatara Miyakodani, Kyotanabe-shi, Kyoto 610-0321, Japan

Received 4 September 2014

Abstract

Co-generation system and district heating and cooling system have been applied to urban areas to realize a low-carbon society. However, CO₂ emissions from operation division including commercial buildings are still on the increase. Hence researches of micro grid have been conducted as one of the countermeasures to realize a low-carbon society. Here, it seems that the district heating and cooling system is operated effectively under the urban site micro grid network. Thus in this report, a combined system composed of micro grid network and district heating and cooling was investigated to minimize CO₂ emissions with a variation of a combination of energy saving systems. The combined system in this study interconnected 3 commercial-scale utility customers with different electric demands and thermal demands. In addition, a conventional energy supply system and district heating and cooling were selected as subjects of comparison with the combined system. Furthermore, 4 kinds of heat-to-power ratio were set by changing the total floor space of each building. In these conditions, annual CO₂ emission from each energy supply system was simulated by using a numerical software GAMS/BARON. The calculated CO₂ emission was compared with one another in each heat-to-power ratio.

Key words : Co-generation, Energy management, Energy saving devices, District heating and cooling, Energy conversion, Low carbon society

1. 緒 言

大型需要家の低炭素化を図るため、コージェネレーションシステム（以下：CGS）の導入や地域冷暖房（以下：DiHC）の適用が進められている(山田, 荒井, 2011),(名古屋他, 2007),(本田他, 1999). しかしながら, 業務部門からの CO₂ 排出量は未だ増加の傾向にある(JCCCA, 2013). そのため, マイクログリッド(以下: MG)の研究が対策の一つとして進められている(坂東他, 1999), (Marnay, et al., 2008). 実際に MG を適用する場合, 既に DiHC が導入されている地域を選定することで, MG の形成は社会的および経済的に容易となると考えられる(坂東他, 2010). MG および DiHC より構成される複合システム（以下: MG-DiHC）においては, DiHC のみを適用した場合と異なり電力の融通が可能となる. そのため, より大型の CGS を導入することで, 発電効率の向上が期待され

No.14-00448 [DOI:10.1299/transjsme.14-00448], J-STAGE Advance Publication date : 12 June, 2015

^{*1} 正員, 同志社大学大学院 理工学研究科 (〒610-0321 京都府京田辺市多々羅都谷 1-3)^{*2} 学生員, 同志社大学大学院 理工学研究科^{*3} (株) 東洋設計事務所 (〒604-8162 京都府京都市中京区烏丸通六角下ル七観音町 638)^{*4} 正員, 同志社大学^{*5} 正員, フェロー, 同志社大学

E-mail of corresponding author: duo0566@mail4.doshisha.ac.jp

る。したがって、MG-DiHC の適用により CO₂ 排出量の削減が可能であると考えられる。しかしながら、MG-DiHC の適用による CO₂ 削減量は、地域における需要形態の差異を原因の一つとして変化すると考えられる。そのため、MG-DiHC を適用する地域の差異が CO₂ 削減量に与える影響を把握し、地域の特徴(熱電比が大きい若しくは小さい、またはエネルギー融通を行う若しくは行なわないという点)に合致したエネルギー供給を可能とし、CO₂ 排出量を最小化できるエネルギー供給システムを構築する必要がある。

そこで本報においては、熱電比の変化に着目することで MG-DiHC の環境適合性を評価した。本報の MG-DiHC は、需要形態の異なる 3 種の需要家を対象に熱および電力の融通を行う。また MG-DiHC の評価を行うため、比較対象として従来型および DiHC を想定した。本報では従来型においては、各需要家に設置した機器の出力および系統電源により、熱および電力の需要を個別に賄った。DiHC においては熱のみを融通することとした。また、それぞれの需要形態における各需要家の面積を変化させることで、熱電比を 4 種類(0.8, 1.0, 1.2, ならびに 1.4)決定した。上記の条件のもと、数値計算ソフトである GAMS/BARON の使用により、各熱電比における CO₂ 排出量を最小化し、機器の運用を最適化した。その結果得られた、従来型および DiHC に対する MG-DiHC の CO₂ 削減率を熱電比ごとにそれぞれ比較した。なお、MG-DiHC の経済性の評価については今後の課題とした。

2. 解析条件

2・1 大型需要家

本報では大型需要家としてオフィス、ホテル、および店舗を想定した。想定した各需要家における季節毎の電力、給湯、暖房および冷房の需要を図 1 に示す。なお、1 年を夏季、冬季、および中間季の 3 種類に区分した。夏季を 6-9 月、冬季を 12 および 1-3 月、中間季を 4, 5, 10, ならびに 11 月とした(日本エネルギー学会編, 2008a)。また、3 つの需要家のうち面積が最も大きい需要家をプラントとした。プラントに設置する機器はガスエンジン発電機 (以下: GE), ガスボイラ (以下: GB), 吸収式冷温水機 (以下: ACH), 熱交換器 (以下: HE), および貯湯タンク (以下: HC) とした。また従来型においては、プラントを設定しないこととした。

2・2 エネルギー供給形態

2・2・1 従来型

従来型の概略図を図 2 (a) に示す。従来型においては、熱需要を各需要家に設置した機器の出力により個別に賄った。さらに、電力需要は系統電源により賄われた。そのため、GB および ACH は各需要家に導入される。一方、GE はいずれの需要家にも導入されないものとした。

Fig.1 Heat and electricity demand in office, hotel, and store by each season (total floor area = 10,000m²) (The Japan Institute of Energy, 2008a)

2・2・2 地域冷暖房

DiHCの概略図を図2 (b) に示す。図2 (b) はホテルをプラントとした場合の一例である。DiHCにおいては、熱の融通のみが行われる。そのため、需要家全体の熱需要は熱輸送用の配管(総延長 1000[m])を介して、プラントにおける機器によって賄われた。さらに、プラントの電力需要をGEからの出力および系統電源により賄うこととした。プラント以外の需要家における電力需要は系統電源のみで賄われた。

2・2・3 複合システム

MG-DiHCの概略図を図2 (c) に示す。図2 (c) はホテルをプラントとした場合の一例である。本報のMG-DiHCにおいては、熱および電力が融通される。そのため、需要家全体の熱需要はプラントにおける機器の出力により賄われた。さらに、需要家全体の電力需要を、プラントに導入したGEからの出力および系統電源により賄うこととした。図3にMG-DiHCの各熱電比における1時間毎の電力需要を示す。さらに、図4に各熱電比における電力需要の最大値に対する最小値の比を示す。図3および図4においては電力需要の最大値に対する最小値の比の増大に伴い、電力需要量のピーク値が減少し、夜間から早朝(20:00-翌8:00)における電力需要量が増加することが示されている。

2.2.1-2.2.3節に述べた従来型、DiHC、およびMG-DiHCの各条件を表1にまとめる。なお、本報においては、結果の一般性を考慮したため、自然エネルギーを導入した系を対象としないこととした。

(a) Conventional system

(b) DiHC

(c) MG-DiHC

Fig. 2 Schematic diagram of Conventional, DiHC, MG-DiHC systems

Fig.3 Demand of electricity in summer

Fig.4 Ratio of minimum to maximum of electricity demand in MG-DiHC

Table 1 Analysis conditions of MG-DiHC, DiHC, and conventional system

	Energy interchange		Heat-to-power ratio [-]		
	Electricity	Heat	Office	Hotel	Store
Conventional system	×	×	0.77	1.51	0.94
DiHC	×	○			
MG - DiHC	○	○			

2・3 需要形態

本報において想定した解析条件を表2に示す．いずれの解析条件においてもホテル，オフィス，ならびに店舗における年間の電力需要量および熱需要量の和を80 GWhとした．また，熱電比の差異によるCO₂排出量を評価するため，各需要家の面積を変化させることで4種類の熱電比を決定した．この熱電比は式 (1) に定義したMG-DiHCにおける熱電比 $HE_{MG-DiHC}$ である．さらに，DiHCにおける需要家全体の熱需要をDiHCのプラントにおける電力需要で除した値である，正味の熱電比 HE_{DiHC} を式 (2) に定義する．加えて，図5に HE_{DiHC} の変化を示す．

$$HE_{MG-DiHC} = \frac{\sum_{i=s,w,m} \left\{ \sum_{j=plant, destination} \sum_{l=1}^{24} (HWD_{i,j,l} + SHD_{i,j,l} + SCD_{i,j,l}) \cdot n_i \right\}}{\sum_{i=s,w,m} \left\{ \sum_{j=plant, destination} \sum_{l=1}^{24} (ED_{i,j,l}) \cdot n_i \right\}} \quad (1)$$

$$HE_{DiHC} = \frac{\sum_{i=s,w,m} \left\{ \sum_{j=plant, destination} \sum_{l=1}^{24} (HWD_{i,j,l} + SHD_{i,j,l} + SCD_{i,j,l}) \cdot n_i \right\}}{\sum_{i=s,w,m} \left\{ \sum_{l=1}^{24} (ED_{i,j,l}) \cdot n_i \right\}} \quad (2)$$

$HE_{MG-DiHC}$: MG-DiHCにおける熱電比[-], HE_{DiHC} : DiHCのプラントにおける正味の熱電比[-], i : 季節 s (summer), w (winter), m (middle), j : plant, destination, l : 時刻 1-24 [hour], n : 日数 122 (summer), 121 (winter), 122 (middle) [day], ED : 1時間毎の電力需要[kWh], HWD : 1時間毎の給湯需要[kWh], SHD : 1時間毎の暖房需要[kWh], SCD : 1時間毎の冷房需要[kWh]

2・4 機器特性

本報において使用した機器の仕様を表3および表4に示す．まず，本報のGEはCGSとして稼働した．GEの部分負荷運転は30 %の負荷率まで継続される．図6に定格発電効率および定格排熱回収効率を1とした場合の部分負荷効率を示し，GEの定格発電効率は，図7に示したように発電容量の増加とともに向上するものとした(日本エネルギー)

Table 2 Analysis conditions of each case

	Annual demand [GWh]	Heat-to-power ratio [-]	Area [m ²]				Plant
			Office	Hotel	Store	Total	
Case 1	80	0.8	271464	8829	1461	281754	Office
Case 2		1.0	65352	36002	100021	201375	Store
Case 3		1.2	35259	90807	56202	182268	Hotel
Case 4		1.4	6772	135677	22750	165199	Hotel

Table 3 Specifications of GE and GB

Device	Power generation [kW]	Generating efficiency [%] (HHV)	Heat recovery and heat output [kW]	Exhaust-heat recovery efficiency [%] (HHV)
Gas engine (GE)	210 - 9600	30.3 - 41.9	219.1 - 5133.9	18.9 - 42.1
Gas boiler (GB)			100 - 1000	94.6

Fig.5 Heat-to-power ratio in DiHC

Table 4 Specifications of ACH, HE, pipes, and HC

Absorption chiller heater (ACH)	cooling	output [kW]	351 - 3420
		COP [-]	1.45 (only exhaust heat) 1.34 (only city gas)
	heating	output [kW]	234 - 2280
		COP [-]	0.88 (only city gas)
Heat exchanger (HE)	Efficiency	[-]	0.9
Hot-water cylinder (HC)	Heat loss	[-/hour]	0.99
Pipe	Efficiency	[-]	0.9(to destinations) 1.0(to plant)

Fig.6 Relation between rated electric outputs of GE and rated efficiency

Fig.7 Relation between rated electric outputs of GE and rated efficiency

ギー学会編, 2008b). 一方, GEの排熱回収効率は発電容量の上昇とともに減少する. 加えて, 異なる発電容量のGEは導入されないものとした. また, GEの起動には補機動力AGEIを用いており, 式(3)のようにGEの定格出力の一次式で定義することとした(日本エネルギー学会編, 2008c). 次に, ACHが暖房運転を行う場合, 排熱を回収しないものとした. また, HCの効率は0.99 [-/hour]である(坂東他, 2008). ポンプでの熱輸送においては, プラントへ1kWhの熱供給を行なう際に0.095 [kWh], プラント以外の需要家へ熱供給を行なう際に0.189[kWh]の電力を消費するものとした(西島製作所, 2012), (佐藤, 高田, 1993). DiHC用の配管の効率はプラント以外の需要家に熱輸送する際は0.9とし, プラントへ供給する際に1.0とした.

$$AGEI_{i,j,k,m,t} = (0.0461 \cdot GEMEO_k + 2.3882) \cdot GESW_{i,j,k,m,t} \cdot GEEX_{j,k,m} \quad (3)$$

2・5 CO₂排出係数

本報では原子力発電が現在稼働していないことを考慮し, 文献(電気事業連合会, 2012a,2012b,2012c)を参考に系統電源のCO₂排出係数を0.62 kg-CO₂/kWhとした. また, 都市ガスのCO₂排出係数および高位発熱量を, それぞれ 2.08 kg-CO₂/m³ならびに 44.8 MJ/Nm³とした.

3. 解析および評価手法

3・1 解析手法

本報では, 数値計算ソフトである GAMS/BARON の使用により目的関数を最小化させる機器の運用方法を求めた. 目的関数を各熱電比における年間のCO₂排出量とした. また, 変数を1時間毎の電力購入量, 機器の入出力, 機器の定格出力, GEのon-off, および機器の台数とした. 目的関数である年間のCO₂排出量を式(4)に示す. 電力購入, GE, GB, およびACHの使用によるCO₂排出量を式(5) ~ (8)にそれぞれ示す.

$$CO2_k = SUMEUA_k \cdot EEC + (SUMGEI_k + SUMGBI_k + SUMACHI_k) \cdot GEC \quad (4)$$

$$SUMEUA_k = \sum_{i=s,w,m} ((\sum_{l=1}^{24} EUA_{l,k}) \cdot n_{i,k}) \quad (5)$$

$$SUMGBI_k = \sum_{i=s,w,m} (\sum_{l=1}^{24} \sum_{m=1}^{GEN} (GEI_{l,m,k} \cdot GESW_{l,m,k} \cdot GEEX_{m,k}) \cdot n_{i,k}) \quad (6)$$

$$SUMGBI_k = \sum_{i=s,w,m} (\sum_{l=1}^{24} \sum_{m=1}^{GBn} (GBI_{l,m,k} \cdot GBEX_{m,k}) \cdot n_{i,k}) \quad (7)$$

$$SUMACHI_k = \sum_{i=s,w,m} (\sum_{l=1}^{24} \sum_{m=1}^{ACHn} (ACHI_{l,m,k}^{fsh} + ACHI_{l,m,k}^{fsc}) \cdot ACHEX_{m,k}) \cdot n_{i,k} \quad (8)$$

CO₂: 年間のCO₂排出量[kg-CO₂/year], k : エネルギー供給形態 MG-DiHC, DiHC, Conventional, SUMEUA: 年間の電力購入量[kWh], EEC: 電力のCO₂排出係数[kg-CO₂/kWh], SUMGEI: 年間のGEへの投入熱量[kWh], m :

台数[-], $SUMGBI$: 年間のGBへの投入熱量[kWh], $SUMACHI$: 年間のACHへの投入熱量[kWh], GEC : 都市ガスのCO₂排出係数[kg-CO₂/kWh], EUA : 購入電力量[kWh], GEI : GEへの投入熱量[kWh], $GESW$: GEの電源on-offを示す0-1変数, GE_n : GEの台数[-], $GEEX$: GEの有無を示す0-1変数, GBI : GBへの投入熱量[kWh], $GBEX$: GBの台数の有無を示す0-1変数, GB_n : GBの台数[-], $ACHI_{fSH}$: 暖房運転時のACHへの投入熱量[kWh], $ACHI_{fSC}$: 冷房運転時のACHへの投入熱量[kWh], $ACHEX$: ACHの台数の有無を示す0-1変数, ACH_n : ACHの台数[-]

電力, 給湯, 暖房, および冷房の需要に関する制約条件を式 (9) ~ (12) にそれぞれ示す. ただし, $l=1$ のとき, $l-1=24$ となる. また, 式 (9) において $k=MG-DiHC$ の場合, 添え字 j を無視する. さらに, 式 (9) ~ (12) において $k=MG-DiHC$ または $DiHC$ の場合も添え字 j を無視する. また, $k=Conventional$ または $j=destination$ の場合, GE に関する全ての変数は0となる.

$$ED_{i,j,k,l} = \sum_{m=1}^{GE_n} (GEO_{i,j,k,l,m} \cdot GESW_{i,j,k,l,m} \cdot GEEX_{j,k,m}) + EUA_{i,j,k,l} - (PI_{i,j,k,l} + \sum_{m=1}^{GE_n} (AGEI_{i,j,k,l,m})) \quad (9)$$

$$HWD_{i,j,k,l} \leq \left(\sum_{m=1}^{GE_n} (GEHO_{fHW} \cdot GESW_{i,j,k,l,m} \cdot GEEX_{j,k,m}) + \sum_{m=1}^{GB_n} (GBO_{fHW} \cdot GBEX_{j,k,m}) \right) + (-HCA_{fHW} + HCEf \cdot HCA_{fHW_{i,j,k,l-1}}) \cdot PEf \quad (10)$$

$$SHD_{i,j,k,l} \leq \left(\sum_{m=1}^{GE_n} (GEHO_{fSH} \cdot GESW_{i,j,k,l,m} \cdot GEEX_{j,k,m}) + (-HCA_{fSH} + HCEf \cdot HCA_{fSH_{i,j,k,l-1}}) \cdot HEEf \right) + \sum_{m=1}^{ACH_n} (ACHI_{fSH} \cdot ACHSHGEf \cdot ACHEX_{j,k,m}) \cdot PEf \quad (11)$$

$$SCD_{i,j,k,l} \leq \left(\sum_{m=1}^{GE_n} (GEHO_{fSC} \cdot GESW_{i,j,k,l,m} \cdot GEEX_{j,k,m}) + (-HCA_{fSC} + HCEf \cdot HCA_{fSC_{i,j,k,l-1}}) \cdot ACHSCEf \right) + \sum_{m=1}^{ACH_n} (ACHI_{fSC} \cdot ACHSCGEf \cdot ACHEX_{j,k,m}) \cdot PEf \quad (12)$$

GEO : GEによる電力への出力[kWh], PI : ポンプへの電力投入量[kWh], $AGEI$: GEの補機動力[kWh], $GEHO_{fHW}$: GEによる給湯への出力[kWh], GBO_{fHW} : GBによる給湯への出力[kWh], HCA_{fHW} : 給湯用のHC内における熱量[kWh], $HCEf$: HCの効率[-], PEf : 配管の効率[-], $GEHO_{fSH}$: GEによる暖房への出力[kWh], HCA_{fSH} : 暖房用のHC内における熱量[kWh], $HEEf$: 熱交換器の効率[-], $ACHSHGEf$: ガス焚きにより暖房運転を行う場合のACHの効率[-], $GEHO_{fSC}$: GEによる冷房への出力[kWh], $ACHSCEf$: 排熱回収により冷房運転を行う場合のACHの効率[-], HCA_{fSC} : 冷房のHC内における熱量[kWh], $ACHSCGEf$: ガス焚きにより冷房運転を行う場合のACHの効率[-]

3・2 評価手法

本報ではMG-DiHCの評価を行うため, CO₂削減率を定義した. 従来型およびDiHCに対するCO₂削減率を式 (13) および式 (14) に示す. また, 電力需要に対するGEの寄与率を式 (15) により定式化した.

$$CO2RC = 1 - \frac{CO2_{k=MG-DiHC}}{CO2_{k=Conventional}} \quad (13)$$

$$CO2RD = 1 - \frac{CO2_{k=MG-DiHC}}{CO2_{k=DiHC}} \quad (14)$$

$$CR_k = \frac{\sum_{i=s,w,m} \sum_{j=plant,destination} \sum_{m=1}^{Gen} \sum_{t=1}^{24} (GEE O_{i,j,k,m,t} \cdot GESW_{i,j,k,m,t} \cdot GEEX_{j,k,m,t})}{\sum_{i=s,w,m} \sum_{j=plant,destination} \sum_{k=MG-DHC,DHC} \sum_{m=1}^{Gen} \sum_{t=1}^{24} (ED_{i,j,k,t} + PI_{i,j,k,t} + AGEI_{i,j,k,m,t})} \quad (15)$$

CO_2RC : 従来型に対する MG-DiHC の CO_2 削減率[-], CO_2RD : DiHC に対する MG-DiHC の CO_2 削減率[-], CR : 電力需要に対する GE の寄与率[-]

4. 結 果

まず, 解析から得られた MG-DiHC, DiHC, および従来型における年間の CO_2 排出量を図 8 に示す. 図 8 より, MG-DiHC ならびに従来型において, CO_2 排出量は熱電比の増加に伴い低下した. しかしながら, DiHC における年間の CO_2 排出量は, 熱電比 0.8 から 1.2 においてほぼ横ばいとなった. 次に, MG-DiHC の適用による CO_2 削減率を評価するため, 従来型および DiHC に対する CO_2 削減率を式(13)および式(14)より求めた. 図 9 に熱電比の差異が MG-DiHC の CO_2 削減率に与える変化を示す. 図 9 より従来型に対する CO_2 削減率は, 熱電比 1.4 の場合において最大となった. しかしながら, 熱電比が 0.8 から 1.2 に増加する際, 従来型に対する CO_2 削減率は減少した. また DiHC に対する MG-DiHC の CO_2 削減率は, 熱電比 1.2 の場合において最大となった. 以上の CO_2 排出量ならびに CO_2 削減率に対し, 主に GE の容量, 運転時における負荷, および運転計画が影響を及ぼすと考えられる. そのため, 熱電比および各エネルギー供給形態における GE の発電容量の関係を図 10 に示す. 図 10 より熱電比が 1.2 の場合, MG-DiHC および DiHC における GE の発電容量は最小となった. また, 式(15)より GE の電力需要に対する寄与率を算出した. 図 11 に MG-DiHC ならびに DHC における GE の電力需要に対する寄与率を熱電比ごとにそれぞれ示す. さらに図 11 に MG-DiHC および DiHC における GE の寄与率の差を併せて示す. 図 11 に示されるように, MG-DiHC における GE の電力需要に対する寄与率は DiHC に比べ大きくなった. また,

Fig.8 Yearly CO_2 emissions from MG-DiHC, DiHC, and conventional system

Fig.9 Effect of heat-to-power ratio on ratios of CO_2 reduction obtained from installation of MG-DiHC

Fig.10 Relation between rated electric outputs and heat-to-power ratio

Fig.11 Contributing ratio of GE for electricity demand

MG-DiHC および DiHC における寄与率の差は、熱電比 1.2 の場合において最大となった。また図 12 に熱電比 0.8 および熱電比 1.0 の場合における 1 時間ごとの電力の需給をまとめた。図 12 の電力の需給は、いずれも顕著な傾向を示した冬季の結果である。なお、図 12 における正味の電力需要は、元の電力需要量にポンプの消費電力ならびに GE の補機動力を加えた値である。

Fig 12 Demand and supply of electricity in MG-DiHC (season = winter)

5. 考察

5・1 熱電比の変化が従来型に対する CO₂削減率に与える影響

本節においては、熱電比の変化が MG-DiHC の従来型に対する CO₂削減率に与える影響を考察するため、熱電比の変化に伴う需要形態の変化、GE の定格出力の変化、および GE の電力需要に対する寄与率に着目した。

5・1・1 熱電比 1.4 の場合

まず第 4 節に述べたように、熱電比 1.4 の場合において従来型に対する CO₂削減率は最大となった。この原因の 1 つとして、電力需要の平準化が挙げられる。図 3 および図 4 に示されたように、熱電比の増加に伴い電力需要の平準化が促進された。特に熱電比 1.4 の場合において、電力の最大値に対する最小値の比は 0.3 を上回った。そのため、1 台の GE を 24 時間稼働させることが可能となったと考えられる。したがって、図 11 に表されたように、熱電比 1.4 の場合において電力需要に対する GE の寄与率が最大となったと考えられる。以上より、熱電比 1.4 の場合において、電力需要の大半を GE により賄うことが可能となったため、MG-DiHC の従来型に対する CO₂削減率は最大となった。

5・1・2 熱電比 0.8 から 1.2 の場合

次に、熱電比が 0.8 から 1.2 に増加した場合に関して考察を行う。熱電比 0.8 および熱電比 1.0 の場合、図 10 にまとめたように比較的大型の GE が MG-DiHC に導入された。さらに、GE の規模を比較すると、熱電比 1.0 の場合において GE の定格出力は最大となった。ここで GE における負荷率の下限および電力需要の変動に着目する。まず、電力需要が定格出力の 30 % 以下となる場合、GE は発電を停止する。次に、熱電比 1.0 の場合、図 3 または図 12 に示されるように、電力需要が熱電比 0.8 の場合と比較して 19 時から 20 時にかけて急激に減少した。そのため図 12 に示したように、熱電比 1.0 の場合における購入電力量が増加すると考えられる。以上の理由から熱電比 1.0 における CO₂削減率は減少したと考えられる。また熱電比 1.2 の場合、図 3 に示されたように、熱電比 0.8 および熱電比 1.0 の場合に比べ電力需要の平準化が進行した。しかしながら、図 4 の電力需要の最大値に対する最小値の比は 0.18 であった。そのため図 10 から確認されるように、比較的小規模な GE が導入された。GE の発電効率は、図 7 のように定格出力の低下に伴い減少する。したがって、熱電比 1.2 の場合、GE の稼働による CO₂排出量が増加したと考えられる。以上を理由として、熱電比 1.2 の場合において、従来型に対する CO₂削減率が最小となったと考えられる。

5・2 熱電比の変化がDiHCに対するCO₂削減率に与える影響

本節においては、熱電比の変化がMG-DiHCのDiHCに対するCO₂削減率に与える影響を考察するため、熱電比の変化に伴う需要形態の変化およびGEの電力需要に対する寄与率の変化に着目した。

図9に示したように、熱電比が1.2の場合において、DiHCに対するCO₂削減率は最大となった。原因の1つとして、DiHCの購入電力量がMG-DiHCと比較して大きくなったことが考えられる。まず、図11に示したMG-DiHCに対するGEの寄与率の差に着目する。図11から確認されるように、熱電比1.2の場合においてGEの寄与率の差は最大となった。DiHCは需要家間における熱融通のみを可能とするため、プラントに導入されたGEによる電力供給はプラントに対してのみ行われる。特に熱電比1.0および熱電比1.2の場合、表2からプラント以外の需要家による電力需要が他の熱電比に比べ大きくなったと考えられる。したがって、MG-DiHCと比較してDiHCにおける購入電力量が増加したと考えられる。また、5.1.2項において述べたように、MG-DiHCにおけるGEの電力需要に対する寄与率は、熱電比1.0の場合に比べ熱電比1.2の場合において大きくなった。そのため、熱電比1.2の場合、MG-DiHCにおける電力購入量がDiHCと比較して最も小さくなったと考えられる。以上を理由として、熱電比1.2の場合において、DiHCに対するCO₂削減率が最大となったと考えられる。

6. 結 言

本報では、従来型およびDiHCに対するMG-DiHCのCO₂削減率を熱電比ごとに比較した。以下に本報で得られた知見を示す。

- (1) 熱電比1.4の場合において、電力需要の最小値が最大値の30%以上となったため、GEの大型化および電力需要に対する寄与率の増加が促進された。その結果、従来型に対するMG-DiHCのCO₂削減率は最大となる。
- (2) 熱電比1.2の場合におけるGEの発電容量は比較的小規模となった。その結果、GEの発電効率が低下したため、従来型に対するMG-DiHCのCO₂削減率は最小となる。
- (3) 熱電比1.2において、DiHCの購入電力はMG-DiHCと比較して最大となったため、DiHCに対するMG-DiHCのCO₂削減率は最大となる。

文 献

- 坂東茂, 浅野浩志, 徳本勉, 塚田龍也, 緒方隆雄, 事務所ビルと集合住宅を組み合わせたマイクログリッドにおけるガスエンジンの最適運用計画と電力貯蔵装置の容量設計, JSME annual meeting, Vol.7(1999), pp.175-176.
- 坂東茂, 松崎勝久, 浅野浩志, 柳井崇, 笹嶋賢一, 木下守弘, 沼田茂生, 徳本勉, 緒方隆雄, 都心部における複数地域冷暖房地区のエネルギー面的利用に関する研究報告 第1報 複数地域冷暖房地区のマイクログリッド化における事業性検討スキームの開発, 日本エネルギー学会誌, Vol. 89, No. 7(2010), pp. 658-664.
- 坂東茂, 渡辺裕己, 浅野浩志, 辻田伸介, 電力・熱負荷特性がマイクログリッドにおける電源システム機器容量設計に与える影響について, 電気学会論文誌B, Vol.128, No.1 (2008), pp.67-73.
- 本田輝幸, 林徹夫, 龍有, 野村幸司, 入部真武, 八木敏明, 地域冷暖房の最適熱源計画に関する研究: (その1) 地域冷暖房導入による機器容量の減少と地域導管の熱損失(環境工学), 日本建築学会九州支部報告, Vol.38, No.3(1999), pp.253-256.
- JCCCA, 日本の部門別二酸化炭素排出量の推移, available from <http://www.jccca.org/chart/chart04_05.html>, (参照日 2013年12月01日).
- Marnay, C., Venkataramanan, G. Stadler, M. and Siddiqui, A.S., Optimal Technology Selection and Operation of Commercial-Building Microgrids, Power Systems, IEEE Transactions Vol.23, No.3 (2008), pp.975-982.
- 名古田友志, 下田吉之, 水野稔, 地域冷暖房の個別熱源システムに対する省エネルギー性の検証-コージェネレーションシステムを利用した吸収ボイラ方式システムのシミュレーション評価-, 空調調和・衛生工学会論文集, Vol.118, No.1(2007), pp.37-47.
- 佐藤良男, 高田勉, 省エネルギー技術実践シリーズ 改訂/ポンプ-選り方とシステムの改善-, 省エネルギーセンター, (1993), pp.6-7.

- 電気事業連合会, 電源別発電電力量構成比, available from <http :
//www.fepc.or.jp/about_us/pr/sonota/_icsFiles/afieldfile/2012/06/13/kouseihi_2011.pdf>, p.1, (参照日 2012a 年 11
月 14 日).
- 電気事業連合会, 電気事業における環境行動計画, available from < http :
//www.fepc.or.jp/environment/warming/environment/pdf/2012.pdf>, p.5, (参照日 2012b 年 11 月 14 日).
- 電気事業連合会, FEPC INFOBASE, available from < http://www.fepc.or.jp/library/data/infobase/pdf/infobase2011.pdf>,
p.37 (参照日 2012c 年 11 月 12 日).
- (社)日本エネルギー学会編, 天然ガスコージェネレーション計画・設計マニュアル, 第 6 版(2008a), pp.64-69, 日本
工業出版株式会社.
- (社)日本エネルギー学会編, 天然ガスコージェネレーション計画・設計マニュアル, 第 6 版(2008b), pp.238-281, 日
本工業出版株式会社.
- (社)日本エネルギー学会編, 天然ガスコージェネレーション計画・設計マニュアル, 第 6 版(2008c), pp.260-280, 日
本工業出版株式会社.
- (株)西島製作所, MMK/MML 高圧多段タービンポンプ, available from
<http://www.torishima.co.jp/jp/pdf/products/mmk-mml.pdf>, pp.1-12, (参照日 2012 年 8 月 29 日).
- 山田修平, 荒井純一, インバータ電源と同期発電機で構成するマイクログリッドの運転特性, 工学院大学研究報
告, Vol.111, No.10(2011), pp.53-58.

References

- Bando, S., Asano, H., Tokumoto, T., Tsukada, T. and Ogata T., Optimal operation planning of gas engines and optimal sizing
of battery capacity in a microgrid consisting of an office building and an apartment, JSME annual meeting, Vol.7(1999),
pp.175-176(in Japanese).
- Bando, S., Matsuzaki, K., Asano, H., Yanai, T., Sasajima, K., Kinoshita, M., Numata, S., Tokumoto, T. and Ogata, T.,
Feasibility study of network-based energy use among multiple district heating and cooling areas (report 1) Scheme
development of profitability analysis of a microgrid consisting of multiple district heating and cooling areas, Journal of
the Japan Institute of Energy, Vol.89, No.7(2010), pp.658-664(in Japanese).
- Bando, S., Watanabe, H., Asano H. and Tsujita, S., Impacts of Various Characteristics of Electricity and Heat Demand on the
Optimal Configuration of a Microgrid, IEEE Transactions on Power and Energy, Vol.128, No.1(2008), pp.63-73(in
Japanese).
- Honda, T., Hayashi, T., Ryu, Y., Nomura, K., Iribe, M. and Yagi, T., Chiiki reidanbou saiteki netsugen keikaku ni
kansurukenyu :(sono 1) chiiki reidanbou dounyu niyoru kikiyouryou no gensho to chiikidoukan no
netusonshitsu(kankyo kougaku), Nihon kenchiku gakkai kenkyu houkoku kyushushibu.2 kankyoukei, Vol.38(1999),
pp.253-256 (in Japanese).
- JCCCA, Nihon no bumonbetsu nisanakatanso haishutu ryo no suii, available from <http :
//www.jccca.org/chart/chart04_05.html >, (accessed on 01 December, 2013) (in Japanese).
- Marnay, C., Venkataramanan, G. Stadler, M. and Siddiqui, A.S., Optimal Technology Selection and Operation of
Commercial-Building Microgrids, Power Systems, IEEE Transactions Vol.23, No.3 (2008), pp.975-982.
- Nagota, T., Shimoda, Y. and Mizuno, M., Comparison Study on Energy Conservation Effect between District Heating and
Cooling System and Individual Heat Source System : Simulation Evaluation of Co-Generation system Incorporated
Absorption Chiller & Boiler System, Transactions of the Society of Heating, Air-Conditioning and Sanitary Engineers of
Japanol.118, No.1(2007), pp.37-47(in Japanese).
- Sato, Y. and Takada, T., Ponpu: Erabikatatoshisutemunokaizen(1993), pp.6-7, The Energy Conservation Center in Japan(in
Japanese).
- The Federation of Electric Power Companies of Japan, Power Generation Composition by Source, available from < http :

[//www.fepc.or.jp/about_us/pr/sonota/_icsFiles/afieldfile/2012/06/13/kouseihi_2011.pdf](http://www.fepc.or.jp/about_us/pr/sonota/_icsFiles/afieldfile/2012/06/13/kouseihi_2011.pdf)>, p.1 (accessed on 14 November, 2012a) (in Japanese).

The Federation of Electric Power Companies of Japan, Denki jigyou niokeru kankyou koudou keikaku, available from < [http : //www.fepc.or.jp/environment/warming/environment/pdf/2012.pdf](http://www.fepc.or.jp/environment/warming/environment/pdf/2012.pdf) >, p.5 (accessed on 11 November, 2012b) (in Japanese).

The Federation of Electric Power Companies of Japan, FEPC INFOBASE, available from < [http : //www.fepc.or.jp/library/data/infobase/pdf/infobase2011.pdf](http://www.fepc.or.jp/library/data/infobase/pdf/infobase2011.pdf)>, p.37, (accessed on 12 November, 2012c) (in Japanese).

The Japan Institute of Energy, Cogeneration plan and design manual(2008), pp.64-69, JAPAN INDUSTRIAL PUBLISHING CO., LTD(in Japanese).

The Japan Institute of Energy, Cogeneration plan and design manual(2008), pp.238-281, JAPAN INDUSTRIAL PUBLISHING CO., LTD(in Japanese).

The Japan Institute of Energy, Cogeneration plan and design manual(2008c), pp.260-280, JAPAN INDUSTRIAL PUBLISHING CO., LTD(in Japanese).

TORISHIMA, MMK/MML Horizontal multistage ring section pump, available from <<http://www.torishima.co.jp/jp/pdf/products/mmk-mml.pdf>>, pp.1-12, (accessed on 29 August, 2012) (in Japanese).

Yamada, S. and Arai, J., Operation characteristic of microgrid composed of inverter power source and synchronous generator, Research reports of the Kogakuin University, Vol.111, No.10(2011), pp.53-58(in Japanese).