

Study on the Residence of Environment Coexistence Model Energy System (Electric Interchange of the Virtual-Micro Grid for Doshisha Yamate)

Tsukasa HORI*¹, Hajime SEKI *¹, Megumi FUJIKAWA*², Jiro SENDA*³

(Received January 9,2008)

In this study Virtual-micro grid has been proposed to investigate CO₂ emission, running cost and energy supply ratio. This system assumes that electric power is virtually made to supply each other by buying or selling from system power. It assumed that the system power and commercial line are used instead of a battery and self-employed line. The virtual-micro grid is intended for stand-alone resistance, and research influence of CO₂ emissions and running cost changing of combination of CGS and photovoltaics(PV). It also makes CO₂ emissions and running cost to decrease. The residence built CGS and PV are able to supply electricity in the grid. Furthermore, as power generation ratio of CGS increasing, CO₂ emissions and running cost is to reduce in the change of total efficiency of CGS.

Key words : Virtual-micro grid, Cogeneration System, Photovoltaic, CO₂ emission, Running cost, Stand-alone resistance

キーワード : 仮想マイクログリッド, コージェネレーションシステム, 太陽光発電, CO₂ 排出量, 運用コスト, 戸建住宅

環境共生型エネルギーシステムの住宅地適合研究

同志社山手地区を対象とした仮想マイクログリッドの電力融通

堀 司 *¹, 関 元 *¹, 藤川 めぐみ *², 千田 二郎 *³

1. はじめに

地球温暖化の原因とされる二酸化炭素(CO₂)の排出量および化石燃料の消費量は年々、増加傾向を示している。特に民生分野における増加率は著しい。そのため、エネルギーの有効利用および化石燃料に変わる新エネルギーが急務となっている。

これら問題点の解決策として太陽光発電, 風力発電, コージェネレーションシステム(CGS)および燃料電池といった分散型電源が挙げられる。太陽光および風力といった自然エネルギーはCO₂排出量削減に最も有効な手段の一つである。また, CGSおよび燃料電池といった新エネルギーはエネルギーを有効利用する観点から注目されている⁽¹⁾。しかしながら, これら分散型電源を単独で使用するのではなく地域全体でシステムを

構成するエネルギーシステムが重要である。

本研究では, CO₂排出量の増加率が最も高い民生部門に着目し, 環境共生型エネルギーシステムの住宅地適合を目的とした。本報では, 環境共生型エネルギーシステム実現の第一歩として, マイクログリッドに比べ電力供給の安定化および初期コスト削減を狙う仮想マイクログリッドの提案を行なう。仮想マイクログリッドは同志社山手地区⁽²⁾を対象とし, 導入前におけるCGSおよび太陽光発電の設置によるCO₂排出量および運用コストの削減効果について確認する。次に, 仮想マイクログリッド導入後のCO₂排出量, 運用コストおよび電力自給率を解析し, このシステムがCO₂排出量および運用コストを削減する可能性について検証する。

*¹ Department of Mechanical and Engineering, Graduate School of Doshisha University, Kyoto

*² Department of Mechanical and Systems Engineering, Doshisha University, Kyoto

*³ Department of Mechanical and Engineering, Doshisha University, Kyoto.

Tatara Miyakodani 1-3, Kyotanabe-shi, Kyoto, 610-0321 Japan E-mail: senda@mail.doshisha.ac.jp

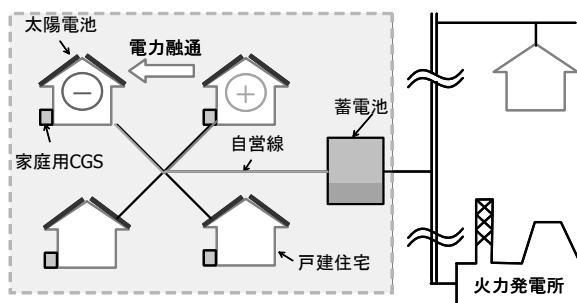


Fig.1 Schematic diagram of micro grid

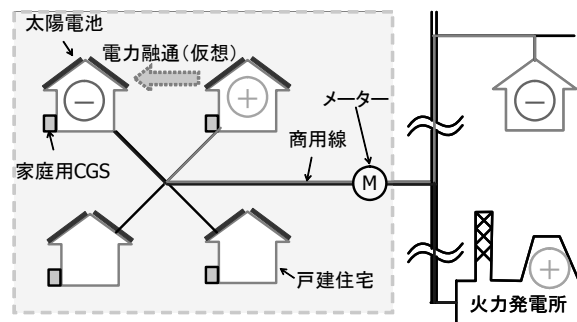


Fig.2 Schematic diagram of virtual-micro grid

2. 仮想マイクログリッド

図1に示すような従来のマイクログリッドは複数の電力需要家が存在する一定地域内において分散型電源を組み合わせ、ネットワーク内で電力供給を行なうシステムである。また、マイクログリッドの導入により安定した電力供給、電力の地域自給や送電損失の回避が可能となる。しかし、現時点では分散型電源の発電効率が低い傾向にあることから、電力の完全な地域自給は困難である。また、自営線や蓄電池といった設備導入による初期コストが多くなる問題が生じる。さらに、電力の安定を図るために住宅と公共・商業施設をネットワーク化することも初期コストが増大する要因となっている。本研究で提案する“仮想マイクログリッド”は戸建住宅のみを対象とし、既存の電力系統および商用のエネルギー変換器を活用する。これによって、電力の安定化を図ると同時に、導入コストおよび環境負荷の低減効果を狙うシステムである。

図2に仮想マイクログリッドの模式図を示す。グリッドの対象は戸建住宅とし、各戸建住宅にはCGSおよび太陽光発電といった分散型電源を設置し、既存の電線を用いて各戸建住宅をネットワーク化する。CGSおよび太陽光発電による余剰電力は既存の電線を使用して、各家庭への電力融通を行なう。ネットワーク内で電力供給量が需要を超過した場合は各戸建住宅の余剰電力を系統電源へ逆潮流し、売電する。電力が不足した際には各戸建住宅に系統電源から電力を買電する。

Table 1 Specifications of residence type

Type	heat supply	electric power supply
A	Gas boiler	System electric
B	CGS+Gas boiler	System electric
C	CGS+Gas boiler	PV +System electric

(PV: Photovoltaic generation)

Table 2 Specifications of CGS system

Fuel	City gas 13A
Output of Power generation [kW]	1.0
Heat output [kW]	3.25
Electricity efficiency [%]	20
Heat recovery efficiency [%]	65
Total efficiency [%]	85

これらのことを行なうことにより地域内で仮想的に電力を融通したことになる。

3. 解析条件および方法

3.1 住宅型式別のエネルギー供給方法

仮想マイクログリッド内において表1に示すような3つの住宅型式を設け、比較および検討を行なった。まず、住宅型式Aは発電設備がなく、電力と熱の供給源は系統電源および都市ガス給湯器から供給される住宅である。住宅型式Bは住宅型式AにCGSを導入した住宅型式であり、電力および熱供給源は系統電源とCGSからそれぞれ供給される。住宅型式Cは住宅型式AにCGSおよび太陽光発電を導入した住宅型式である。電力および熱供給源はCGSから、電力供給は太陽光発電から供給される。なお、仮想マイクログリッドを導入しない場合は太陽光発電の余剰電力を優先的に売電する。仮想マイクログリッドを導入した場合、余剰電力は系統電源への逆潮流あるいは各戸建住宅に対して電力融通を行なう。

3.2 CGSおよび太陽光発電の運用・解析方法

CGSの仕様を表2に示す。CGSの発電電力は1.0 [kW]である。発電効率および熱回収効率はそれぞれ20 [%]、65 [%]、総合効率85 [%]である。熱需要がCGSのみで賄えない場合は効率95 [%]の都市ガス給湯器を使用する。なお、CGSは1.0 [kW]一定負荷で稼働しているため、電気需要が1.0 [kW]未満の場合において、余剰電力が生じる。ここで、CGSの運転方法は熱主運転を採用し、温水タンクの熱量が0にならない

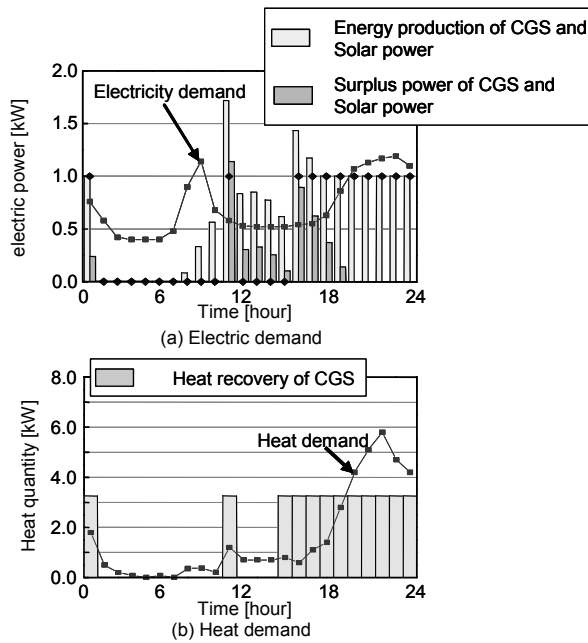


Fig.3 Operation condition of CGS and PV

solar panel capacity [kW]		4.0
Loss on solar cell [%]	Feb.	6.0
	May	9.0
	Aug.	12.0
Loss of Power conditioner [%]		5.5
Other loss[%]		5.0

ように CGS を稼働させた。これは、図 3 に示されているように、一般住宅では熱需要のほうが電力需要に比べ大きいためである。

太陽光発電の仕様を表 3 に示す。一戸当たりの太陽光発電量は太陽光発電システム評価技術の研究開発から 2 月、5 月、8 月の京都府南部における各時間の日射量データを使用し、以下の式より算出した。

$$E = S \times (1 - \alpha) \times P \quad (1)$$

ここで、E は発電量 [kWh]、S は日射量 [kWh/m²] および P はパネル容量 [kW] とし、パネル容量は 4.0 [kW] とした。また、α は損失合計を示しており、一般的な太陽電池の損失データを用いた⁶⁾。

3.3 CO₂ 排出量および運用コスト

本研究で使用した 2 月、5 月、8 月の 1 日の電力需要および熱需要の計測値を図 4 に示す。これらの値は京都府南部に位置する関西文化学術研究都市内のニュータウンで行なわれた計測結果を適用している⁴⁾。冬季の代表月を 2 月、中間期を 5 月、夏季を 8 月とした。

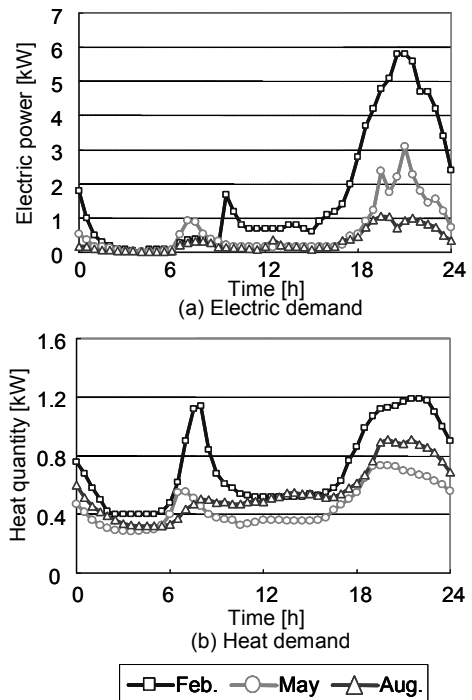


Fig.4 The season of electric demand and heat demand

Electricity consumption per month	unit	Energy charge [yen]
~15kWh	One customer	306.60
15~120kWh	1kWh	18.13
120~300kWh	1kWh	23.32
300kWh~	1kWh	24.65

運用コストの算出には各住宅型式の系統電力使用量と都市ガス使用量に電力料金および都市ガス料金をそれぞれ乗じて算出した。電力、都市ガスの一般使用料金および CGS 利用におけるガス料金はそれぞれ表 4、5、6 に示す料金表に基づいて行なった。なお、料金表は関西電力⁶⁾、大阪ガス^{6a)}の料金表を参照した。CGS および太陽光発電から生じる余剰電力の売電価格は買電価格と同等とした。CO₂ 排出量の算出には系統電力使用量および都市ガス使用量に CO₂ 原単位を乗じることにより求めた。系統電力の CO₂ 排出原単位には火力平均排出係数 0.69 [kg-CO₂/kWh]⁸⁾ および全電源排出係数 0.36 [kg-CO₂/kWh]⁸⁾、都市ガスの CO₂ 排出原単位には 2.21 [kg-CO₂/kWh]⁹⁾ をそれぞれ使用した。なお、系統電源および都市ガスの一次エネルギー換算値にはそれぞれ 9.83、45.0 [MJ/m³] を用いた。

4. 解析結果および考察

4.1 CO₂ 排出係数の影響

仮想マイクログリッドの評価を行なう前に CO₂ 排出係数の違いによる CO₂ 排出量の影響を調べた。図 5

Table 5 Energy charges of the City Gas

Type	Gas consumption per year	Customer charge [yen/month]	Energy charge [yen/m ³]
A	0~20m ³	724.50	153.60
	20~50m ³	1210.00	129.33
B	50~200m ³	1376.00	126.01
	200~500m ³	3130.0	117.24
C	500m ³ ~	6470.00	110.56

Table 6 Energy charges of the city gas on cogeneration system

during the applicable	Type	Gas consumption per month	Customer charge [yen/month]	Energy charge [yen/m ³]
Summer (Apr.~Nov.)	A	0~20m ³	724.50	151.48
		20m ³ ~	2450.0	65.21
Winter (Dec.~Mar.)	B	0~20m ³	724.50	151.48
		20~50m ³	1210.0	127.21
	C	50m ³ ~	3980.0	73.61

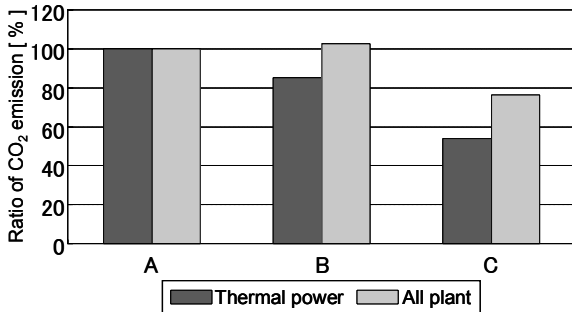
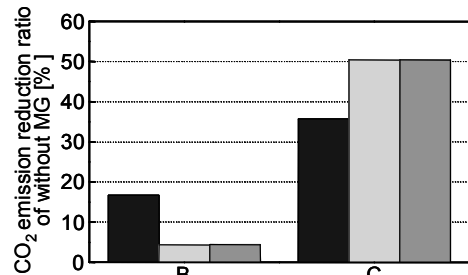


Fig.5 Ratio of CO₂ emission without virtual-micro grid

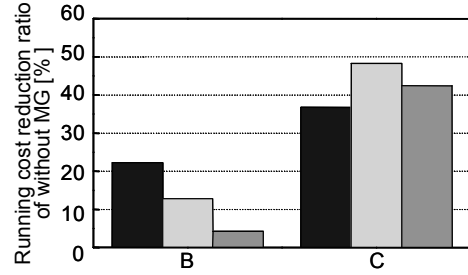
に住宅型式 A が排出する CO₂ の量を基準とした他の住宅型式の CO₂ 排出割合を示す。図 5 より、いずれの住宅型式においても火力平均係数の方が全電源排出係数より CO₂ 排出割合が低いことが分かる。さらに、住宅型式 B に着目すると、全電源排出係数から算出した CO₂ 排出割合は 100 % を超えており、全電源排出係数を用いて CGS を適切に評価することは困難である。これに伴い以後の考察に関しては火力排出係数を用いることとした。

4.2 CGS および太陽光発電が CO₂ 排出量および運用コストに及ぼす影響

図 6 に仮想マイクログリッド導入前において季節を変化させた場合の CO₂ 排出量および運用コスト削減率を示す。仮想マイクログリッド導入前の削減率は各住宅形式における CO₂ 排出量および運用コストの削減量を住宅型式 A から算出された CO₂ 排出量および運用コストで除いた値である。これは火力排出係数により解析した結果である。図 6 より住宅型式 B では冬季において最も削減率が大きいことが確認できる。ここで、一日の CGS の発電電力量と余剰電力量の関係を図 7 に示す。β は CGS の発電電力量に対する余剰電力量の割合である。図 7 から β の値が冬季において 21 %



(a) CO₂ emission



(b) Running Cost

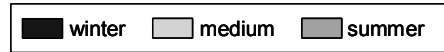


Fig.6 Effect of season on CO₂ emission and Running cost reduction ratio w/o virtual-micro grid

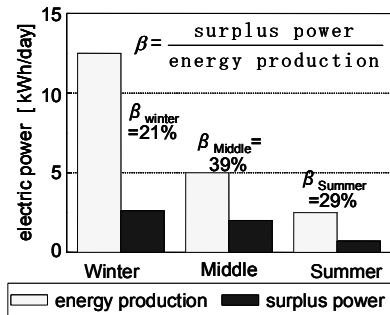


Fig.7 Energy production and surplus power of CGS

と最も小さい。これは、CGS の発電電力を最も有効に利用していることがわかる。したがって、冬季において、CGS の発電電力を戸建住宅内で多く供給できたため、住宅型式 B における冬季の削減率が大きくなったと考えられる。次に、図 6 より住宅型式 C において住宅形式 B と比べいずれの季節においても CO₂ 排出量および運用コストの削減率は増加した。ここで、一日の電力需要と太陽光発電の余剰電力量の関係を図 8 に示す。なお、γ は電力需要に対する太陽光発電量の割合である。図 8 より、いずれの季節においても余剰電力が発生している。このことから、太陽光発電から生じる余剰電力を有効に利用したために CO₂ 排出量および運用コストの削減率が住宅型式 B より増加したと考えられる。

住宅型式 C に着目すると、CO₂ 排出量および運用コストの観点から中間期で最も大きな削減効果が得られた。これは図 8 の γ 値が中間期で最も高く、太陽光発

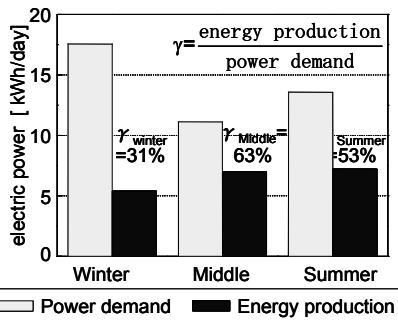


Fig.8 Power demand and energy production of PV

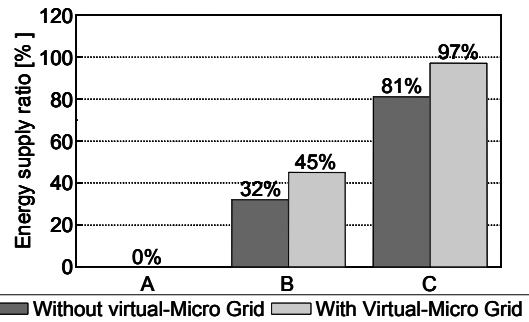
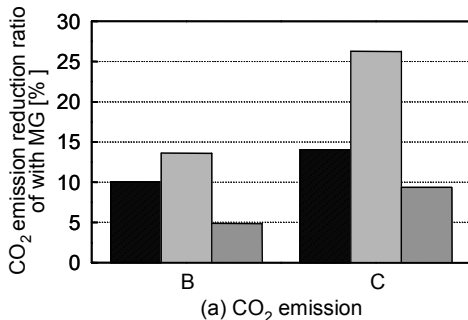
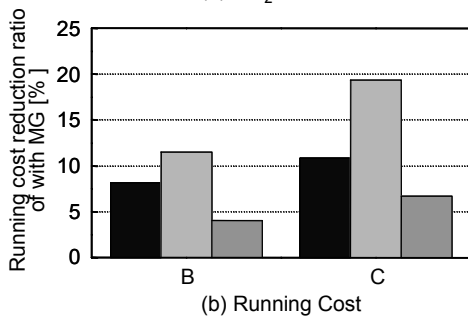


Fig.10 Energy supply ratio without and with virtual-micro grid



(a) CO₂ emission



(b) Running Cost

Fig.9 Effect of season on CO₂ emission and Running cost reduction ratio with virtual-micro grid

電による余剰電力の割合が最大となることがわかる。このことを考慮すると、CGS に比べて太陽光発電の方が CO₂ 排出量および運用コストの削減効果に大きく影響を及ぼしたと考えられる。したがって、住宅型式 C では太陽光発電の余剰電力の割合が CO₂ 排出量および運用コストの削減効果に大きく影響を及ぼしたため、中間期において最も削減効果が得られた。

4.3 仮想マイクログリッド導入による CO₂ 排出量および運用コストの影響

図 9 に仮想マイクログリッド導入後において季節を変化させた場合の CO₂ 排出量および運用コスト削減率を示す。仮想マイクログリッド導入後の CO₂ 排出量削減率は仮想マイクログリッド導入後の CO₂ 排出量および運用コストの削減量を仮想マイクログリッド導入前の CO₂ 排出量および運用コストで除いて求めた。図 9 より CO₂ 排出量削減率は住宅型式にかかわらず中間期においてもっとも高いことが示されている。これは、

図 7, 8 より中間期の余剰電力量の割合が最大であることから、仮想マイクログリッド導入による CGS および太陽光発電の余剰電力が有効に利用され、中間期における削減率が大きくなったと考えられる。

以上のことから、仮想マイクログリッドを導入することによって、中間期における余剰電力が有効に利用され、CO₂ 排出量と運用コストの削減効果が最も得られた。また、仮想マイクログリッド導入によりいずれの季節においても余剰電力を有効利用できたことが確認できた。

4.4 仮想マイクログリッドがエネルギー供給割合に及ぼす影響

仮想マイクログリッドの系統電源からの独立性を判断するため供給割合について検討した。マイクログリッド導入後のエネルギー供給割合を図 10 に示す。マイクログリッドを導入することによって、エネルギー供給割合が住宅型式 B では 13 [%], 住宅型式 C では 16 [%]増加していることがわかる。特に住宅型式 C においては、ほぼ全ての電力を仮想マイクログリッド内で供給することがわかった。

4.5 CGS の発電効率および総合効率が CO₂ 排出量および運用コストに及ぼす影響

分散型電源の高効率化を想定し、総合効率と発電効率が CO₂ 排出量および運用コスト削減に及ぼす影響を検証した。

CGS の総合効率と発電効率を変動させた場合の住宅型式 B の CO₂ 排出量および運用コストの計算結果を図 11 に示す。図 11 より、仮想マイクログリッド導入前では総合効率および発電効率が増加するに従い CO₂ 排出量および運用コストは減少する。これは CGS の総合効率が増加することでエネルギーが有効利用されたと考えられる。また、図 12 に CGS の総合効率と発電効率を変動させた場合の住宅型式 B の季節ごとの稼働率を示す。図 12 より発電効率の増加に従って、

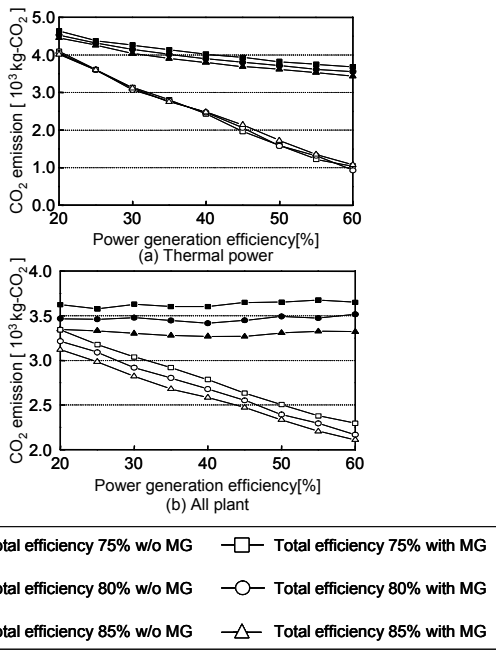


Fig.11 Effect of CO2 emission and running cost by power generation efficiency of CGS

稼働率が増加する。このことから発電効率の増加につれ稼働率は増加するため CGS の CO₂ 排出量および運用コストは削減したと考えられる。

一方、仮想マイクログリッド導入後においては総合効率の増加が CO₂ 排出量および運用コストに影響を及ぼさなかった。ここで、総合効率の増加につれ投入熱量は減少する。つまり、総合効率の増加に従い CO₂ 排出量および運用コストの削減率は増加する。また、図 12 より総合効率の増加につれ稼働率は減少し余剰電力の電力量は減少する。このことから、総合効率の増加に従い CO₂ 排出量および運用コストの削減率は減少する。以上のことから CGS の投入熱量と余剰電力の電力量による CO₂ 排出量および運用コストの削減効果が相殺した。したがって、仮想マイクログリッド導入後において、総合効率の増加が CO₂ 排出量および運用コストに影響を及ぼさないと考えられる。

次に、仮想マイクログリッド導入前後における CGS の発電効率を変化させた場合の比較を行なった。図 11 より、CGS の発電効率が増加するにつれ、仮想マイクログリッド導入前後における CO₂ 排出量および運用コストの差が大きくなった。これは、図 12 より CGS の発電効率に従って CGS の稼働率が増加する。このことから CGS から生じる余剰電力量が増加すると思われる。したがって、電力需要に対する余剰電力の割合が増加するため仮想マイクログリッド前後において CO₂ 排出量および運用コストの差が増大したと考えられる。

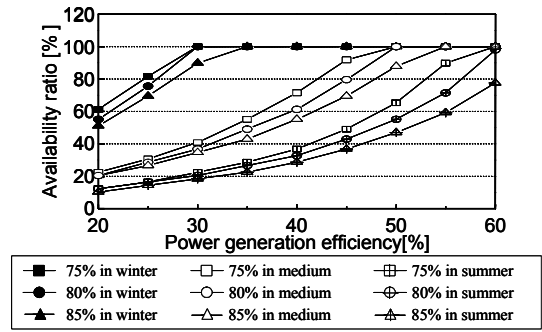


Fig.12 Availability ratio of CGS

5. 結 言

本研究では、仮想マイクログリッドの提案を行ない、仮想マイクログリッド導入による CO₂ 排出量および運用コスト削減の可能性を検証した。

- (1) 仮想マイクログリッドを導入しない場合、余剰電力の割合が CO₂ 排出量および運用コストに大きく影響を及ぼす。
- (2) 仮想マイクログリッド導入した場合、いずれの季節においてもエネルギーの有効利用が可能となり、特に中間期において、最も効果が得られた。
- (3) 太陽光発電を導入することで電力供給量が増加し、ほぼ全ての電力を仮想マイクログリッド内で供給することがわかった。
- (4) 仮想マイクログリッド導入前では CGS の総合効率の増加に従って、エネルギーが有効に利用され CO₂ 排出量および運用コストは削減できた。また、発電効率の増加につれ稼働率は増加するためいずれの総合効率においても CO₂ 排出量および運用コストは削減できる。
- (5) 仮想マイクログリッド導入後において発電効率の増加につれ、CGS の稼働率が増加するため CO₂ 排出量および運用コストは削減できた。また、発電効率の増加につれ稼働率の増加が大きくなる総合効率の低い CGS が CO₂ 排出量および運用コストを削減する。

本研究は、文部科学省学術フロンティア推進事業「次世代ゼロエミッション・エネルギー変換システム」の支援を受けた。ここに記して謝意を表す。

6. 参考文献

- (1) 同志社山手ホームページ,
<http://d-yamate.ur-net.go.jp/index.jsp>
- (2) 浅野浩志, “ホロニック・エネルギーシステム”, 日本機械学会誌, Vol.108, No.1045, pp.54-55, (2005)

- (3) 太陽光発電システム評価技術の研究開発,
<http://www.pvsystem.net/>
- (4) 佐野史典, “住宅用用途別エネルギー消費日負荷曲線の推定—関西文化学術研究都市における計測調査報告(その1)—”, エネルギー・資源, Vol.24, No.5, pp.50-56, (2003)
- (5) 関西電力従量電灯 A 料金表,
<http://www.kepco.co.jp/home/ryoukin/2-6-h18.html> (2006)
- (6) 大阪ガス一般ガス料金表,
<http://home.osakagas.co.jp/price/ippan/index.html>, (2006)
- (7) 大阪ガス家庭用 CGS 料金表,
<http://home.osakagas.co.jp/price/otoku/otoku/01-home-eco.html>
- (8) 大阪ガスグループの環境行動：購入電力の削減によるCO₂排出削減量の算定,
<http://www.osakagas.co.jp/kankyo/gas/co2.html>
- (9) 東京ガスエネルギーフロンティア,
http://home.tokyo-gas.co.jp/userguide/userguide_06.html
-