

## 1. はじめに

現在、既存の地域エネルギーシステム（以下、地域ES）は、全国の半分強の導入地区が供給開始から20年以上経過し、システムのリニューアルの課題が顕在化している。リニューアルの際には、自立分散電源としてコジェネレーションシステム（以下、CGS）導入が省エネや災害時自立等の点で期待される。さらに地域ESは、将来の都市再開発によるエネルギー負荷特性変化及び設備システムの再構成の課題に直面すると考えられる。そこで、図1に示す研究目的・研究手法で研究を行う。

## 2. 対象地域・システム概要

本研究ではみなとみらい二十一熱供給（以下、DHC）を対象とし、対象建物はDHCの需要家全てとする。その建物延床面積を表1に示す。総延床面積の約半分を業務施設が占めており、業務用途のエネルギー消費が地域の総量に最も影響を及ぼすと考えられる。

DHCシステムの運転再現を「ENEPRO21<sup>[註1]</sup>」で行う。冷熱・温熱負荷はDHCの製造熱量データから算出し、電力負荷は既往文献<sup>[1][2]</sup>の電力負荷原単位から算出する。各負荷を図2<sup>[註2]</sup>に示す。DHCの機器構成を表2に示す。運転計画はDHCの実際の計画に基づき設定する。但し、シミュレーション再現時に実績値との乖離が見られた5～9月に関しては、冷水製造実績データを確認し、独自に運転順位を設定した（表3）。以降で検討する配管構成ケースを表4に示す。

## 3. 既存地域ESへの自立分散電源導入効果の検討

### 3.1 シミュレーション概要

現在のDHCへのCGS導入効果を検証するため、ENEPRO21で年間計算を行う。街区の電力ピーク負荷(89,409kW)の20%～80%間の4つのCGS容量を設定（表5）し、効果を比較する。CGSはガスエンジン（発電効率49.0%、温水回収率13.1%、蒸気回収率14.4%）を用いる。CGS排熱の利用フローを図3に示す。

### 3.2 省エネルギー性検討

年間シミュレーションで求めた導入CGS容量毎の

研究目的①：自立分散電源導入が地域にもたらす付加価値の定量評価

●研究手法

【3章】MM21DHCへCGS導入がもたらす間接的便益を考慮した費用対効果検証

研究目的②：エネルギー面的利用の視点から環境的に優れた開発シナリオの提案

●研究手法

【4章】MM21DHCの効率向上となる隣接空地の用途誘導とCGS導入の効果検証

【5章】既存DHCに対し多様な街区条件をもった新設需要家の用途誘導の効果検証

図1 研究フロー

表1 建物用途別延床面積 [m<sup>2</sup>]（下段は占有率）

住宅	商業	医療	文化	娯楽	業務	宿泊	合計
518,500	477,895	34,500	173,898	39,488	1,555,076	347,443	3,146,800
16.5%	15.2%	1.1%	5.5%	1.3%	49.4%	11.0%	100%

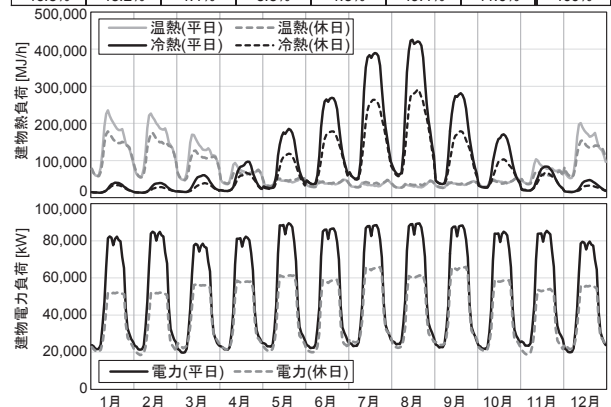


図2 地域エネルギー負荷（時刻別・月別）

表2 システム機器構成

冷水	[RT]
ターボ冷凍機	31,160
吸収冷凍機	28,000
ヒートポンプ(蓄熱用)	1,800
蒸気	[t/h]
低圧ボイラ	120.6
高圧ボイラ	120

表3 冷水運転計画（上位3位）

順位	1位	2位	3位
5.9月平日	ターボ冷	ターボ冷	ターボ冷
13-16時	9000RT	9000RT	18000RT
6-8月平日	ターボ冷	吸収冷	ターボ冷
8-13時, 16-21時	15000RT	17000RT	12000RT
6-8月平日	蓄熱放熱	ターボ冷	吸収冷
13-16時	17600kW	9000RT	28000RT
その他	ターボ冷	吸収冷	ターボ冷
	27000RT	28000RT	41600RT

表4 配管構成ケース

ケース	既存エリア	新設エリア
Case1	蒸気配管・冷水配管・(自営線)	蒸気配管・冷水配管・(自営線)
Case2		蒸気配管・冷水配管・(自営線)
Case3		温水配管・冷水配管・(自営線)

表5 設定ケース 導入機器容量

容量ケース（電力ピーク比）	20%	40%	60%	80%
CGS 定格発電出力	18,200kW	36,400kW	54,600kW	70,200kW
ジェネリンク 定格冷房能力	17,580kW	35,160kW	52,740kW	59,772kW

※CGSは5,200、7,800kWモデルを組合せ

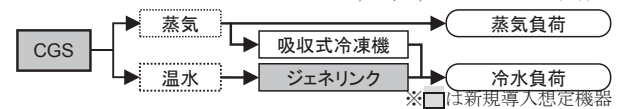


図3 CGS排熱利用フロー

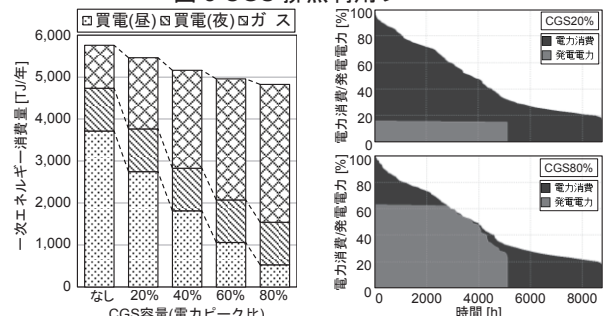


図4 一次エネルギー消費量

図5 電力累積負荷曲線

Study on Installation and Development of Self-reliance Power for Present Regional Energy System

Kohki TAKAHASHI (Supervisor: Satoru SADOHARA, Satoshi YOSHIDA, Keiko INAGAKI)

Keywords: Regional Energy System, Combined Heat and Power, Non-Energy Benefit, Urban Renewal

同時に、CGS 容量増加により顕著となる余剰蒸気発生対策として、発生時一時的に吸収式冷凍機（以下、AR）の優先順位を引き上げる検討を行った。図 6 より、AR を優先稼働させることで、電力消費は抑えられるが、ボイラの追焚によってガス消費量が増加し、全体でエネルギー増加となった。図 7 より、AR への蒸気投入量のうち、CGS 排蒸気分が 7 割程度以上を占めればエネルギー削減となるため、追焚ボイラ分を抑える運転調整を行うか、余剰蒸気が発生しないよう使い道を考えることが望ましい。

### 3.3 費用対効果検討

本研究の費用対効果（以下、B/C）では、CGS の導入コストに対する光熱費削減（直接的便益、以下 EB）に加え、CGS が地域にもたらす間接的便益（以下、NEB）を算出し評価する。NEB は、既往研究<sup>3)</sup>を参考に表 6 の項目について算出する。B/C の算出式を図 8 に示す。また、c1.(表 6)を考慮する場合、エネルギー供給停止時の電力供給を想定し、自営線敷設を検討する。そのコストを、配線距離当たりの原単位<sup>註 3)</sup>を用いて算出する。未開発地に CGS を設置し、全需要家へ供給する（図 9）場合、配線総延長距離は 21.2km、総コストは 3,664 [百万円]である。

CGSを含むコスト一覧を表7に示す。図10より、NEBを加算すると、各ケースの経済効果は1.8~2倍となる。図11より、「EB+NEB」のB/Cは、「EBのみ」に対し、40%以上で有利となる。これは、容量増加によるb1.、c1.(表6)の増加が影響している。60%で最大(2.24)となり、80%で僅かに低下する。

#### 4. 地域 ES 需要家の用途誘導による省エネ効果検討

## 4.1 シミュレーション概要

本章では、現在の DHC へ新設エリアを連携させた場合の省エネ効果を評価する(表 4-Case2)。加えて、新設エリアに蒸気配管の代わりに温水配管を敷設し、限定的に CGS 排温水を直接利用するシステム(表 4-Case3)を構築し、効果検証を行う。新設エリアはみなとみらい 21 内の開発事業者未定地とし、その総延床面積は設定容積率最大の 984,000m<sup>2</sup> とする(既存エリアの 31%)。新設エリアの街区モデルを表 8 に示

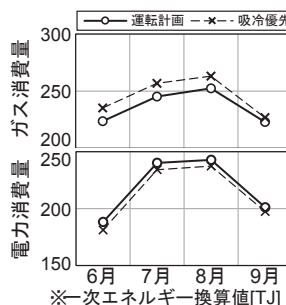


図6 月別エネルギー消費  
(CGS60%、運転方法毎)

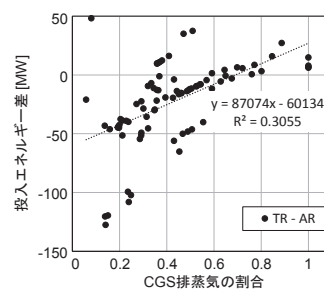


図 7 投入エネルギー差  
(ターボ冷-AR)

表 6 考慮する NEB 項目

大項目	小項目	影響を与える指数
a. 環境価値創出	a1. CO2削減効果	CO2削減量
b. 地域経済への波及	b1. 事業設備投資の波及効果	初期コスト
	b2. 街区ESP事業の波及効果	事業運営費
c. リスク回避	c1. 地域のBCLPへの貢献	CGS容量

$$\frac{\text{EB のみ} : \text{B/C} = \frac{EB}{C_{cgs} / t + C_{cgs}}}{\frac{\text{EB+NEB}}{EB + NEB} : \text{B/C} = \frac{(C_{cgs} + C_{grid}) / t + C_{cgs}}{EB + NEB}} = \begin{pmatrix} EB: \text{直接的便益} [\text{円/年}] \\ NEB: \text{間接的便益} [\text{円/年}] \\ C_{cgs}: \text{CGS 導入コスト} [\text{円}] \\ C_{grid}: \text{CGS 維持費} [\text{円/年}] \\ C_{grid}: \text{自営線敷設費} [\text{円}] \\ t: \text{法定耐用年数}^{(註4)} [\text{年}] \end{pmatrix}$$

図 8 費用対効果 算出式



図9 自営線配線イメージ

表7 コスト一覧

CGS容量	20%	40%	60%	80%
CGS導入コスト [百万円]	2,730	5,460	8,190	10,530
CGS維持費 [百万円/年]	27	55	82	105
自営線敷設費 [百万円]	3,664	3,664	3,664	3,664

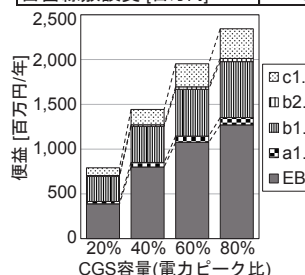


図 10 CGS 導入による便益

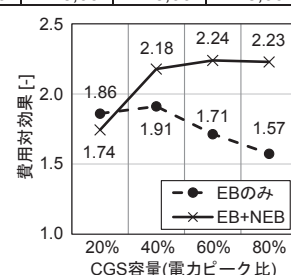


図 11 CGS 導入の B/C

表 8 新設エリアの街区モデルとエネルギー負荷原単位

街区モデル	街区区内建物用途構成	年間エネルギー負荷		
		冷熱	温熱	電力
A (同街区構成)	既存街区と同様の構成	295.1	188.2	133.6
B (住宅地)	集合住宅 <sup>[1]</sup> ・商業施設 <sup>[1]</sup> =90%:10%	120.1	269.2	64.0
C (宿泊施設)	宿泊施設 <sup>[2]</sup> 100%	332.7	440.4	194.4
D (データセンター)	データセンター <sup>[1]</sup> ・業務 <sup>[2]</sup> =25%:75%	1751.0	68.0	655.4

※単位は、熱負荷は[MJ/m<sup>2</sup>年]、電力負荷は[kWh/m<sup>2</sup>年]

※街区 B・C・D の熱負荷には、搬送熱ロス 10%を上乗せする

$$\text{システム COP [-]} = \frac{Qe + Qc + Qh}{Ee + Eg}$$

*Qe*: 電力負荷(二次) [J/yr]

*Qc*: 冷熱負荷 [J/yr]

*Qh*: 温熱負荷 [J/yr]

*Ee*: 電力消費量(一次) [J/yr]

*Eg*: ガス消費量 [J/yr]

図 12 システム COP 算出式

す。近年、高い需要があり、大きな冷却能力を必要とするデータセンター機能を街区 D に設定した。街区 A と比較し、街区 B・C は温熱負荷が、街区 D は冷熱・電力負荷が大きい。CGS 容量は、新設エリアを含む地域全体の電力ピーク負荷の 20～80%を設定する。

#### 4.2 検討結果

新設エリアの既存地域 ES への引入れ効果を検証するため、システム COP を比較する。システム COP の算出法を図 12 に示す。図 13 より、同じ CGS 容量の場合、年間 COP は Case2-D が最大となる。街区 D の大きな冷熱負荷を、DHC のターボ冷凍機(定格 COP =5.93)でまかなっているためである。また、CGS 導入によりどの容量でも COP は向上するが、総じて Case2-D の上昇率は全街区モデルの中で最も小さく、CGS 導入による省エネ効果が小さい。図 14 より、Case2-D で最も CGS 容量が増加した際に余剰蒸気が生まれている。これは、街区 D は温熱負荷が比較的小さいことが原因であると考えられる。そこで、図 6 で述べたように、ボイラ追焚を極力抑える運転で AR を活用すれば、余剰蒸気も軽減し、より省エネ効果が表れると考えられる。

次に、温水利用システムの効果検証を行う。図 15-(b)より、ENEPRO21 上では、排温水はジェネリンクで利用され残った熱が温水利用される仕様となっている。そこで、冬期あるいは年間で温水利用できるようジェネリンクの運転を抑制するパターン分けを行う(表 9)。●印の無い月は、図 15-(c)の利用フローをとる。Case2 に対する Case3 のエネルギー削減率を図 16 に示す。ほぼ全ケースで、①→②(冬期にジェネリンク無)で削減率が増加し、②→③(夏期もジェネリンク無)で削減率が減少している。また、最も Case3 の恩恵を受けるのは街区 C であり、最も効果が小さいのは街区 D である。図 17 に日別のエネルギー消費量を示す。冬期にジェネリンクを運転しないことで、温熱負荷に対するボイラのガス消費量が減少し、エネルギー削減となる。一方、夏期にジェネリンクを抑制すると、冷凍機や低压ボイラの負担が増え、冷熱負荷に対してエネルギー増加となる。上記の分析より、温水利用システムは、冬期でより有効であることが確認できた。また、温熱負荷が大きい住宅・宿泊で効果が大きく、冷熱負荷が大きいデータセンターで効果が小さいことがわかった。

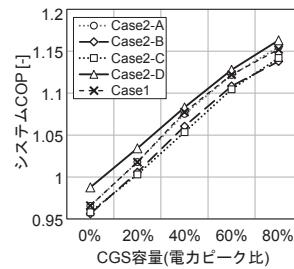


図 13 システム COP

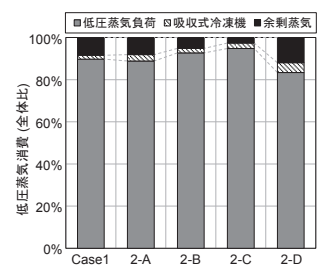


図 14 年間蒸気消費(CGS80%)

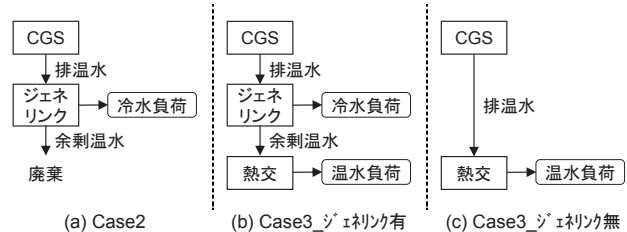
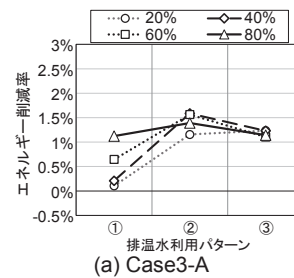


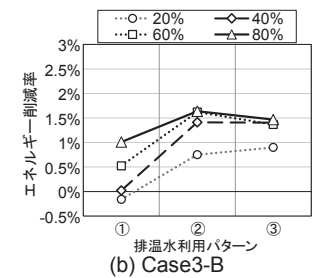
図 15 CGS 排温水利用フロー 比較

表 9 温水利用パターン

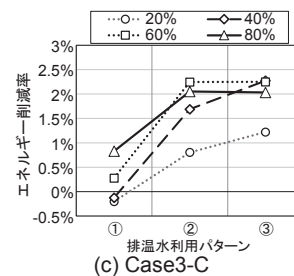
	温水利用	ジェネリンク運転 [月]											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
①	○	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
②	○					●	●	●	●	●			
③	○												



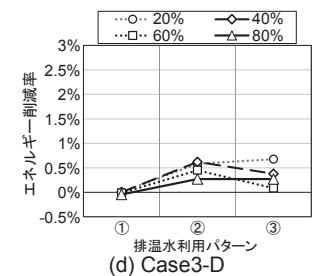
(a) Case3-A



(b) Case3-B



(c) Case3-C



(d) Case3-D

図 16 温水利用を行うことによるエネルギー削減率

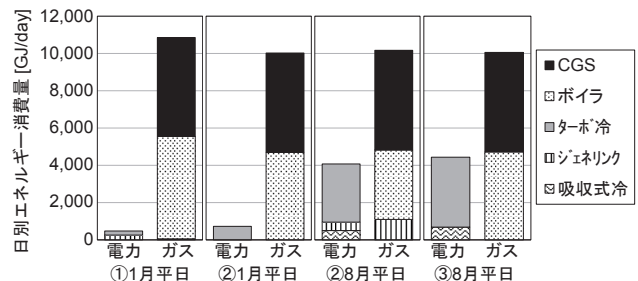


図 17 日別エネルギー消費量 (Case3-A\_CGS40%)

表 10 条件設定\_5章検討

配管構成ケース	Case2		Case3			
	(A) 既存エリアと同構成	(B) 住宅	(C) 宿泊施設	(D) データセンター		
建物用途構成						
延床面積比 (新設/既存)	31% (前章と同比)		100%	200%		
CGS容量 (電力ピーク比)	なし	20%	40%	60%	80%	



## 5. 地域 ES 間連携に際する高効率化検討

### 5.1 シミュレーション概要

地域 ES は近年、供給建物の拡大、地域 ES 間連携などの事例が増加している。本章では、様々な条件下で既存・新設エリアの地域 ES 間の連携による効果を検証する。既存エリアは DHC のシステムを対象とし、新設エリアは表 10 に示す条件を設定し、ENEPRO21 で年間シミュレーションを行う。熱源機器の容量は、延床面積比に合わせ増加させた。

### 5.2 街区モデル評価

**街区 B・C** 図 18 より、街区 A より COP は劣り、延床面積比の増加で差は広がるが、街区 C は CGS 容量増加による COP の向上率が街区 A より大きい。

**街区 D** 図 18 より、全ケースで最もシステム COP が高いことがわかる。但し、延床面積比が 100% より大きくなると、COP の上昇率は大きく低下する。図 19 より、冷熱負荷の増加によって、AR の負担が大きくなることが影響している。

### 5.3 配管構成間の比較評価

図 18 より、CGS を導入した全ケースで Case2 より Case3 の効率が高い。前章で述べた通り温熱負荷が大きい街区 B・C で効果が大きい。街区 B は、延床面積比が大きくなるにつれ温水利用効果は大きくなる。しかし、街区 C は延床面積比 100% でその効果は最大となった。図 20 より、宿泊施設の温熱負荷の増大によって、CGS の排熱で賄える割合が下がったことが影響している。

## 6. まとめ

本研究では、既存地域 ES の更新と将来のニーズへの対策の提案や、その効果の検討結果について述べた。得られた知見を以下に記す。

- 1) 地域 ES への CGS の導入は、災害時自立を考慮した自営線敷設の対策の経済効果を定量的に表すことで、採算性が向上する結果が得られた。
- 2) 近年、高い需要のあるデータセンターをみなとみらい 21 の未開発地の 1/4 に誘導することで、DHC のシステム COP が向上した。その延床面積を増加させた場合、さらに COP は向上するが、一定の比率以上で排温水が不足し、効果は頭打ちとなる。
- 3) 新設エリアに対し、CGS 排温水の限定的な直接利用システムの省エネ効果を検証し、冬期に有効であることが確認でき、温熱負荷の大きい用途で特に効果が大きいことがわかった。

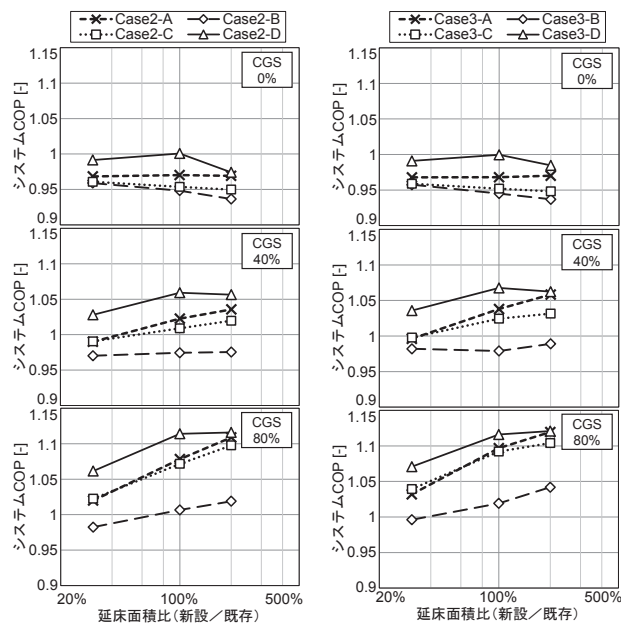


図 18 延床面積比とシステム COP の関係

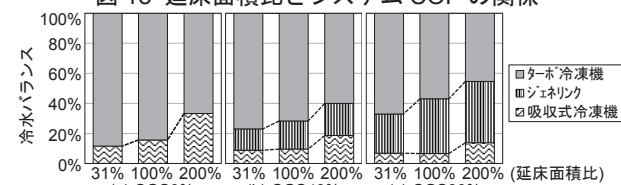


図 19 延床面積比と年間冷水バランスの関係 (Case2-D)

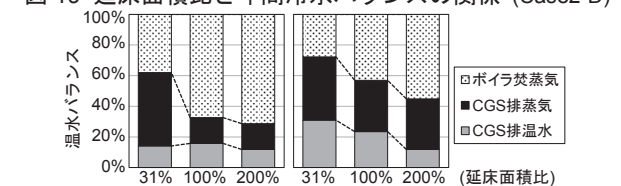


図 20 延床面積比と年間温水バランスの関係 (Case3-C)

地域 ES の効率向上のために CGS 導入は期待されるが、実現可能性検討として NEB 指標の拡大や信頼性向上、各地域独自の NEB の評価を行う必要がある。また、蒸気・温水の 2 種類の排熱を最大限に活用するため、各地域の負荷特性や配管構成、そして運転計画も含め、適切に設計することが望ましい。

### 謝辞

本研究において、みなとみらい二十一熱供給(株)より実績データ等の資料を頂きました。また、東京ガス(株)工月氏・大塚氏より技術資料提供及び研究に関する貴重なご意見・ご指摘を頂きました。ここに感謝の意を表します。

### 註釈

- 註1) 熱源システムの運転再現を行うシミュレーションソフト。(製造元: (株)E.I エンジニアリング)
- 註2) 6~8 月の冷熱負荷は、平日日それぞれさらに 2~3 パターンに細分化しシミュレーションに入力する。
- 註3) 一般的な電気工事を想定し、送電容量(電力ピーク負荷から求める)によって設定した原単位。(技術資料提供: 東京ガス(株))
- 註4) 法定耐用年数は、CGS・自営線ともに 15 年とする。

### 参考文献

- [1] 都市ガスによるコージェネレーションシステム計画・設計と評価, 空気調和・衛生工学会, 1994
- [2] 地域熱供給システムの設計のための各種建物用途別熱負荷原単位の作成, 都市エネルギー協会, 平成 26 年度自主研究成果報告書
- [3] 高橋ほか, 地球環境未来都市研究 その 23 自立分散電源導入の間接的便益を踏まえた経済性評価の試行, 日本建築学会大会学術講演梗概集(九州), p987-988, 2016.8
- [4] 太田ほか, 再生可能エネルギーを利用した熱源水ネットワークに関する研究(第 5 報)建物別負荷原単位及び未利用エネルギーデータの整備, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, p273-276, 2015.9