

東京都における自立分散型電源の導入拠点の構築に関する研究 —官公庁施設と厚生医療施設を対象としたCGSの導入—

Study on Plants Installation Possibility of Distributed Self-reliance Power in Tokyo
- Mainly About CGS into Administration Office & Medical Facilities and Welfare -

崔錦丹¹, 佐土原聡², 吉田聡³, 稲垣景子⁴

Jindan CUI¹, Satoru SADOHARA², Satoshi YOSHIDA³ and Keiko INAGAKI⁴

¹横浜国立大学環境情報学府 博士後期課程

Graduate School of Environment and Information Sciences, Yokohama National University, Ph.d Candidate

²横浜国立大学都市イノベーション研究院 教授

Faculty of Urban Innovation, Yokohama National University, Professor

³横浜国立大学都市イノベーション研究院 准教授

Faculty of Urban Innovation, Yokohama National University, Associate Professor

⁴横浜国立大学都市イノベーション研究院 特別研究教員

Faculty of Urban Innovation, Yokohama National University, Research Associate

This research described the plants installation possibility of distributed self-reliance energy-mainly about Co-generation system (CGS), selecting Tokyo as research area. In this study, firstly we selected facilities installed CGS which need the most power in dealing with immediately after disaster, like as Government Administration Office, Medical Facilities and Welfare. Then according to the survey on energy supply equipment and electricity demand of building, we determined the capacity of CGS and calculated the exhaust heat from CGS. The main point of this research is not only strengthening the electricity supply of their own line, but delivering the exhaust heat to surround buildings which are over 3,000 square meters for effective using. The maximum generation capacity that can be deployed to 2 facilities is 177.08 MW, without reaching the goal of 500 MW. And maximum rate of energy saving of CGS is 0.45%, CO₂ emission reduction rate is 0.38%.

Keywords: distributed self-reliance energy, CGS, exhaust heat, Tokyo

1. 研究背景と目的

日本は地震が発生しやすく、近年地震発生に対する危惧が高まってきている。地震が発生した際に困るのは都市インフラの破損等によるエネルギー供給の停止であるが、そのうち電力の供給停止が災害対応に多くの支障を及ぼし、二次災害を引き起こす可能性がある。特に電力の安定供給が求められる施設は非常時の電力を確保するため、自立電源と系統電力連係による多重化が必要と考えられる。ただし、近年工場などをはじめとする施設では生産等の施設機能の継続性が強く求められ、非常時のための自立分散電源として常用コージェネレーションシステム（以下CGS）を導入する機会が多いが、発電時の排熱を平常時にうまく使えていない事例も多い。このような非常時の自立性確保のために導入される常用のCGSはイニシャルコスト、ランニングコスト（点検、オーバーホール含む）も高いことか

ら、平常時の排熱の有効利用がうまくできなければ、経済性の問題にも直面するため、いずれ運転を休止し、機器更新はしないなど、系統電力のみに依存する旧来の状況に戻る可能性がある。それは電力自立性を高め、施設機能の継続を図るという目的が長期的に達成できないことにつながる。以上を踏まえ、平常時に排熱を有効に活用することで経済的な運用が可能な、常用・非常用兼用の自立分散型電源を導入し、自立電源の確保による非常時の施設機能の継続を可能とし、平常時には省エネルギー性、経済性を確保することが望まれる。

本研究では、備蓄量の限られた重油による自家発電機や非常時のみの発電を目的とする非常用自家発電機ではなく、都市ガスを燃料とし平常時にも使用することができる常用・非常用兼用CGSを自立分散電源と想定する。CGSは発電の同時発電排熱利用で1つのエネルギー熱源から電力と熱2つのエネルギーを生産するため、エネルギー利用効

率が高く、コスト低減にも貢献する。都市ガス供給導管^{注1)}の耐震性評価を実施し、(社)日本内燃力発電設備協会の認定を受けることで、常用CGSを防災電力用の非常用自家発電機として兼用することが可能となっている¹⁾。兼用CGSは、平常時には、電力消費を賄えるとともにCGSからの排熱をうまく利用して熱消費(冷暖房等に使う)の全部あるいはある程度カバーでき、当該建物の熱消費が少ない中間期には余剰の排熱を配管で周辺の建物に配って熱の面的利用も実現できる。非常時にも平常時と同様に運転させ、連続的な電力供給を保障する。

2011年、大規模な電力需給逼迫に見舞われたのをきっかけに、国はCGSの設備費やメンテナンスフィーの一部を補てんする補助金制度を開始し、休止CGSの再開を促進している。同年12月、東京都では「2020年の東京」計画を発表した²⁾。この計画を支えるプロジェクトの一つとして「東京産電力300万kWを創出する」ために、自立・分散型電源の拡充として、民間の力を最大限活用し、CGSによる発電50万kWを新たに導入する計画が提出された。

以上を踏まえて本研究では地域に分散して立地している公共施設のうち、災害等緊急時に特に優先的に重要機能の維持が求められる施設において、分散型電源の設置が有効と考えられることから、官公庁施設と厚生医療施設をCGS導入対象として、市部を含めた東京都全域で排熱を有効に利用できるCGS導入の拠点を把握し、導入可能な容量を計算すると共に排熱の有効利用により期待できる省エネルギー・省CO₂率を把握することを目的とする。

2. 事例紹介と既往研究

大規模な再開発時にCGSを導入し、災害に強い街づくりを目指している常用と非常用併用事例が都内にある。2007年3月に開業した東京都港区の東京ミッドタウンの地下では出力900kWのガスエンジンCGSが2台稼働している。このシステムの発電効率39.9%、排熱利用効率33.0%、総合効率は72.9%であり、電力消費の15%程度を賄っている。もう一つの事例として、東京都港区の六本木ヒルズがあるが、ここではさらに自立性を高めた災害に強い地域を目指している。7台のガスタービン発電機を稼働させており、発電出力は合計38,660kWに達する。このシステムの発電効率は35.4%、排熱利用を含めた総合効率は74.6%である。六本木ヒルズの特徴は、CGSで周辺施設の電力と熱も賄い、東京電力の送電線と系統連係しているが、あくまでもガス供給が停止した場合の予備という位置づけである³⁾。

CGS導入に関する既往研究で、張瑤らは首都圏において建物の粗密を評価する指標と太陽エネルギー導入可能性を評価する指標を挙げて首都圏を類型化して分散型エネルギー導入拠点を抽出して、その省エネルギー性を分析した⁴⁾。朱向科らは本社機能を持つ建物において非常時のエネルギー供給の備えについて自家発電設備の有無、機種、容量、燃料等にアンケート調査を行った⁵⁾。また、元アンナらは非常時に避難場所として機能を持つ施設が集中している地域を対象に、防災性を備え地域自立性を考慮した分散型エネルギー供給システムの導入のランドデザインについて研究を行った⁶⁾。本研究の特徴は参考文献5)のアンケート調査で非常用自家発電所有率が100%である官公庁施設と厚生医療施設を対象に、都市全域で常用・非常用兼用のCGS導入拠点を把握し、その排熱利用による省エネルギー

ー・省CO₂性まで合わせて評価することである。

3. 研究のフロー

都市計画基礎調査データの建物現況データにより、東京都の建物は主に官公庁施設、教育文化施設、商業施設、厚生医療施設、事務所、宿泊・遊興施設、住宅等の用途に分けられる。以上の施設のうち、災害等緊急時に優先的に重要機能の維持が求められる施設として、発災直後から対策、情報、データ提供等の重要業務を行う官公庁施設と医療機器に頼っている患者と災害での負傷者に対応する厚生医療施設が最も重要と考え対象としてとり挙げた。対象とする官公庁施設、厚生医療施設が自ら導入するCGSの経済性を排熱利用によって確保し、長期的に施設のエネルギー自立、機能継続性を図るため、CGSの排熱を無駄なく有効に活用できるように周辺建物群の熱消費密度が高い官公庁施設と厚生医療施設を抽出する。官公庁施設と厚生医療施設の電力需要と東京全域の熱消費密度によってCGS導入施設およびCGS排熱有効活用地域を把握し、対象とする官公庁施設、厚生医療施設において、平常時の電力消費量のピーク値を賄える常用CGSを導入するケースと、既存の非常用自家発電設備を常用CGS化するケースに分けて導入できるCGSの容量を推計し、CGSからの排熱を計算して周辺の建物の熱消費量とマッチングして省エネルギー・省CO₂率(熱のみ)を算出する。

詳細な研究の流れは、

ステップ1: 排熱を有効に利用できるCGS導入拠点を抽出するために地理情報システム(以下GIS)を用いて250mメッシュ単位^{注2)}で東京都全域の建物に対する熱消費密度と東京都全域の官公庁施設と厚生医療施設に対する電力消費密度を把握する。また、面的な広がりの特徴を検討するため、1メッシュではなく3×3メッシュ(4章で説明)単位で熱消費密度を把握する。

ステップ2: 電力消費密度と熱消費密度両方が高いメッシュ(電力消費密度:0.25GW/ha以上^{注3)};熱消費密度:4.2TJ/ha以上^{注4)})が9つ以上が集まっているエリアを抽出して、CGS導入拠点の候補とする。

ステップ3: 首都圏1都3県の官公庁施設と厚生医療施設に対して建物のエネルギー発電設備の概要についてアンケート調査を行い、発電容量の契約電力に対する割合を把握する。

ステップ4: 平常時の電力消費量のピーク値を賄える常用CGSを導入するケースと、既存の非常用自家発電設備を常用CGS化するケース(ステップ3の結果)に分けてCGSの容量を決め、発電効率と排熱回収効率を用いてCGSの排熱量を算出し、余剰の排熱を面的利用しやすいと考えられる周辺3,000m²以上^{注5)}の建物に配り、排熱を分配するエリアをマッチングする(熱需給バランスを検討して供給対象建物を抽出する)。

ステップ5: 熱消費密度が高いところの官公庁施設と厚生医療施設をCGS導入する拠点とし、最終的には東京都全域で官公庁施設と厚生医療施設に対するCGS導入による総発電可能量を把握し、東京都の目標と比較する。またエリアのCGS導入前のエネルギー消費量に対する省エネルギー・省CO₂率と、導入可能な拠点すべてにCGSを導入して削減できるエネルギー量とCO₂量を算出し、東京都全域での省エネルギー・省CO₂率を評価する。

4. 東京都全域の官公庁施設と厚生医療施設の面的広がり特性把握

(1) 東京都の官公庁施設と厚生医療施設の電力消費密度の特性

官公庁施設と厚生医療施設を CGS の導入対象建物としたため、これらの用途の建物の電力消費密度を把握した。東京都都市計画地理情報システムデータの都市計画基礎調査・建物現況データ^{注6)}の建物用途別延床面積データを用いて、GIS により官公庁施設と厚生医療施設を抽出して 250m メッシュ単位^{注2)}で官公庁施設と厚生医療施設別延床面積をまとめ、用途別電力消費原単位^{注7)}をかけ合わせて電力消費量を計算した。また、都市計画土地利用面積に対する電力消費密度を把握し、0.25GWh/ha・年^{注3)}を基準値として、その倍数で 6 分類した。図 1 により、黄色 (0.25GWh/ha・年) 以上のところが東京都全域に大きく広がっており、高電力消費密度であるところは散在している。面的に広がったエリアの連続性を明確にとらえるため

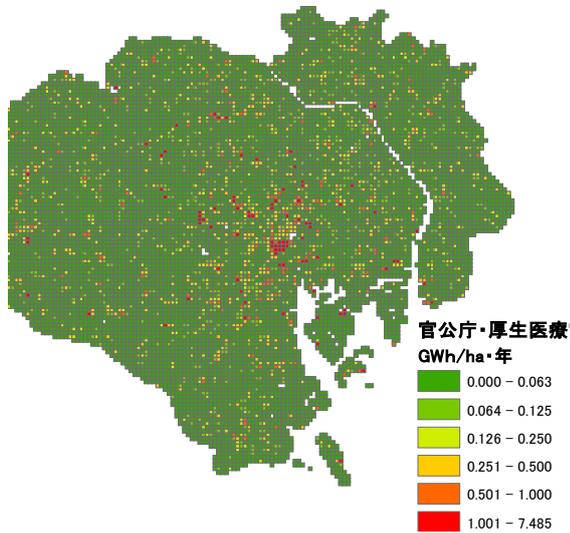


図1 250mメッシュ単位での電力消費密度

に、3×3 メッシュおよび 5×5 メッシュ単位で周辺メッシュも含めた平均値を中央のメッシュに与えるようにし、マップ化した。結果を示す図 2 と図 3 において、高密度などところのクラスターが明確に浮かび上がった。9 メッシュ値を平均化したものの方が、面的広がり特性がよく現れ、25 メッシュの平均値ではクラスターが大きすぎ、あるいは値が均らされて面的広がり特性の拠点を把握しづらいため、9 メッシュの平均値の図によって熱消費密度特性を把握するようにした。

図 2 より、東京都心部、新宿、国分寺市に鮮やかなクラスターがあることがわかる。

(2) 東京都全域の熱消費密度の特性

分散型電源である CGS の導入は災害時の自立した電力確保という点で重要であるが、平常時には発電時に排熱を有効に活用して省エネルギーに貢献するシステムであることも必要である。そのため、熱消費密度の地理的分布を把握した。GIS を用いて 250m メッシュ単位^{注2)}で東京都全域

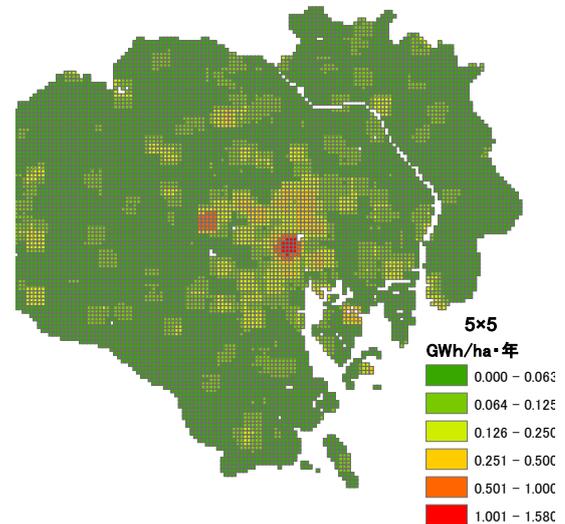


図3 5×5メッシュ単位での電力消費密度

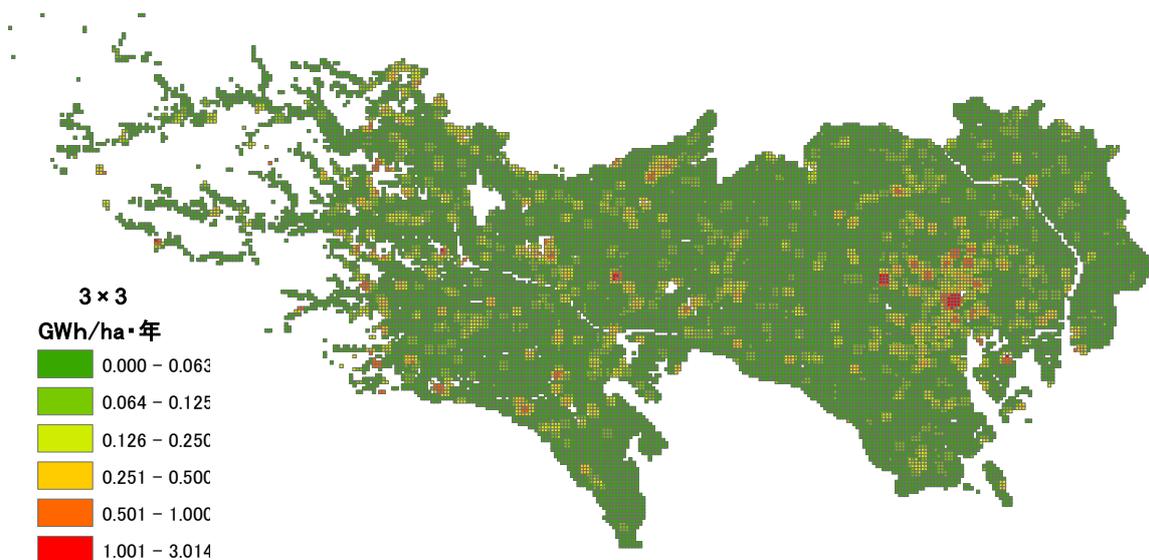


図2 3×3メッシュ単位での電力消費密度

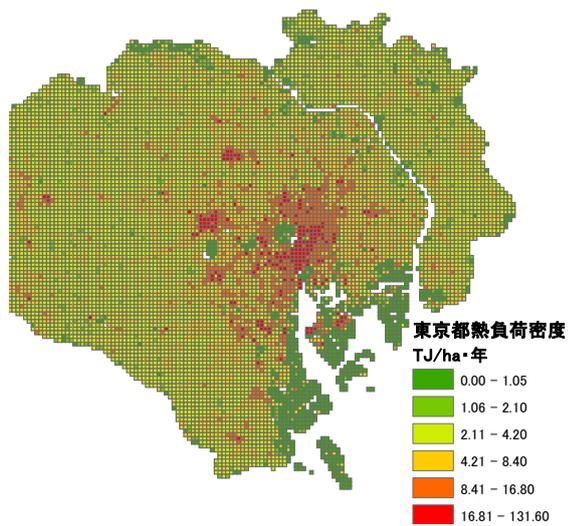


図4 250mメッシュ単位での熱消費密度

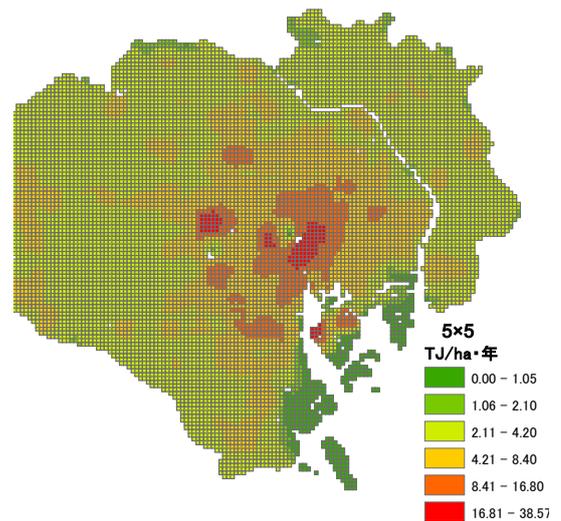


図6 5x5メッシュ単位での熱消費密度

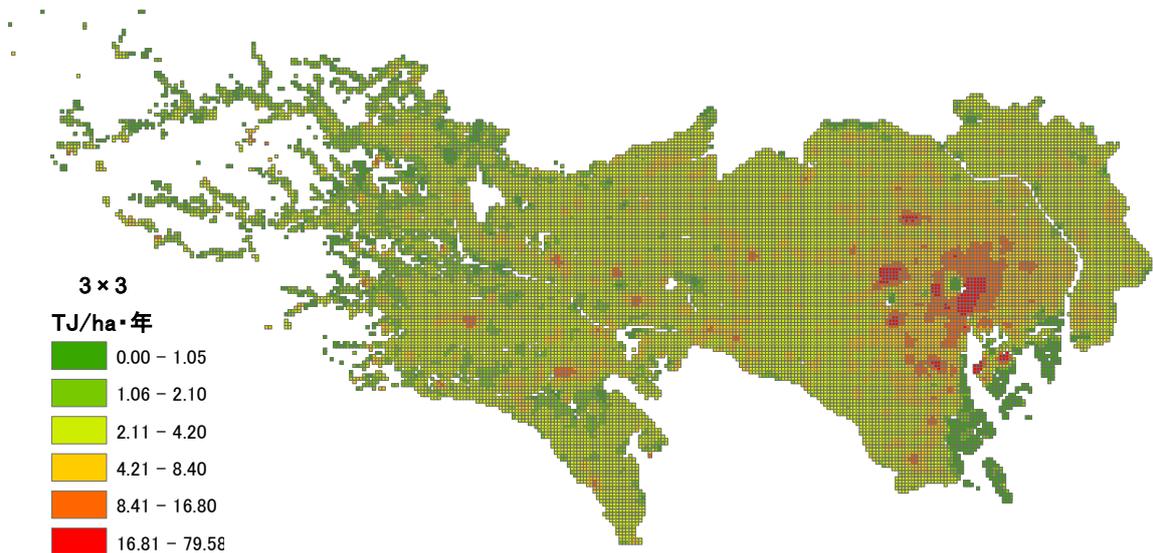


図5 3x3メッシュ単位での熱消費密度

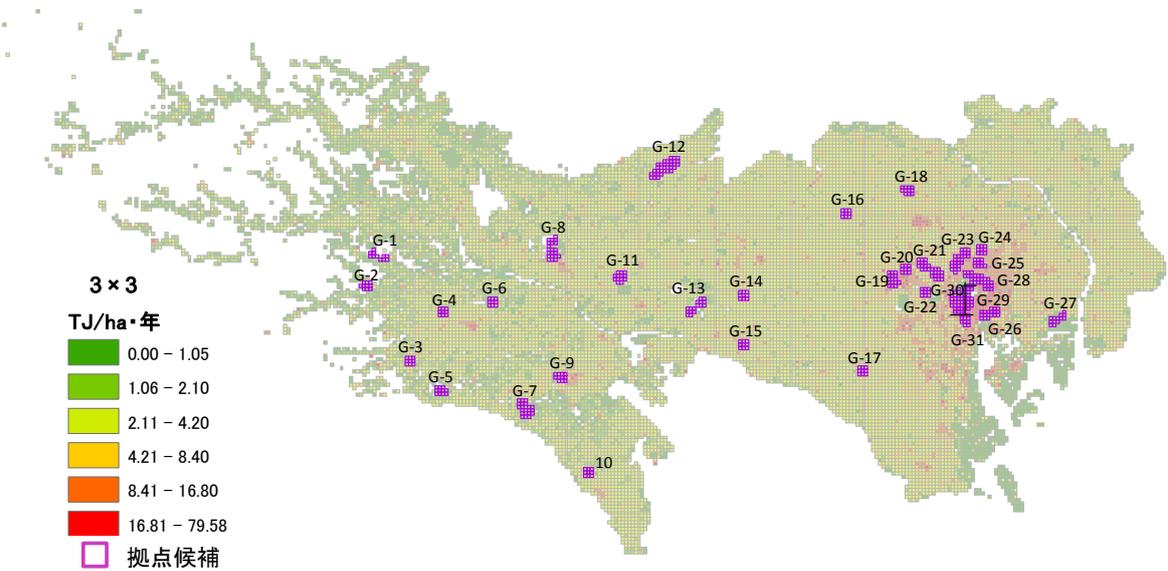


図7 分散型電源の設置拠点候補地

の建物の用途と延床面積をまとめ、用途別熱消費原単位^{注7)}を掛け合わせて熱消費量を計算した。また、都市計画土地利用面積に対する熱消費密度を把握し、4.2TJ/ha・年^{注4)}を基準値として、その倍数で6分類した。図4により、黄色(4.2TJ/ha・年=1Tcal/ha・年)以上のところが高密度エリアで、東京都全域に大きく広がっていることがわかり、オレンジ色(8.4TJ/ha)以上のところは東京都心部に集中している。ただ、面的広がりエリアを明確に区切ることが難しいので、面的広がり連続性を定量的に把握するために、電力消費密度の把握と同様に3×3メッシュおよび5×5メッシュ単位で周辺メッシュも含めた平均値を、中央のメッシュに与えるようにし、マップ化した。結果を示す図5と図6において、高密度などところのクラスターが明確に浮かび上がった。そして、9メッシュの値を平均化したものの方が、面的広がりクラスターがよく現れ、25メッシュの平均値ではクラスターが大きすぎ、あるいは値が均らされて面的広がり把握しづらいため、9メッシュの平均値の図によって熱消費密度特性を把握するようにした。

図5により東京都心部と新宿、池袋、品川、渋谷周辺の熱負荷密度が高いことが分かる。また、調布市、武蔵野市、府中市、立川市、多摩市、八王子市等にも8.4TJ/ha以上のところが見られる。

(3) 熱と電力消費密度の重ね合わせによる分散型電源の設置拠点

図2と図5を合わせてみると、電力消費密度が高いところはほぼ熱消費密度も高いことが分かる。本研究では官公庁施設と厚生医療施設の電力消費密度0.25GW/ha・年以上^{注3)}、かつ熱消費密度4.2TJ/ha・年以上^{注4)}のメッシュが9メッシュ以上のクラスターになっているエリアを抽出し、これらの中の官公庁施設と厚生医療施設をCGSの導入拠点とした。官公庁施設と厚生医療施設に対するCGSの導入拠点候補が図7に示すとおり、合計31カ所となった。

5. エネルギー設備に関するアンケート調査

官公庁施設と厚生医療施設^{注8)}における自家発電設備等電気設備やガス設備の整備状況を把握し、それを自立型電源常用CGS容量設定に活用するため、首都圏1都3県(東京都、神奈川県、千葉県、埼玉県)の都県庁、市役所、区役所庁舎と災害拠点病院を対象にアンケート調査を実施した。調査概要を表1に示す。

一部の区役所を除く官公庁施設と全ての病院で自家発電設備を整備している。自家発電設備の発電容量(複数機ある場合はその合計)の各建物の契約電力に対する割合は、都県市区官公庁施設で平均60.4%(900kW)、災害拠点病院で平均66.6%(1,800kW)であった。建物竣工年との関係を図8に示す。なお、常用の発電設備がある場合、契約電力に自家発電設備の発電容量を加算した。また、複数の建物からなる場合、最も古い建物の竣工年を代表値とした。

新しい官公庁施設ほど発電容量の電力消費量に対する割合が高く、1997年以降に竣工した8庁舎では80%を超え、平均103%になった。病院は近年建て替えが進んでいるが、新しいほど割合が高いとは限らない。例えば、敷地内に研究教育施設や寮がある病院では、全建物を非常時の電力供給先とする必要はないため割合が比較的低い等、病院毎に構成建物が異なることが理由と考えられる。

表1 調査概要

	都県庁・市庁舎	区役所庁舎	災害拠点病院	
調査期間	H19年10-11月	H20年4-5月	H22年10月-H23年5月	
調査対象	八都県市	東京 政令市	134	
回収数	8	19	34	78
回収率	100%	82.6%	82.9%	58.2%
調査項目	建物概要/エネルギー・給水設備の概要/防災対策/エネルギー・水消費量			

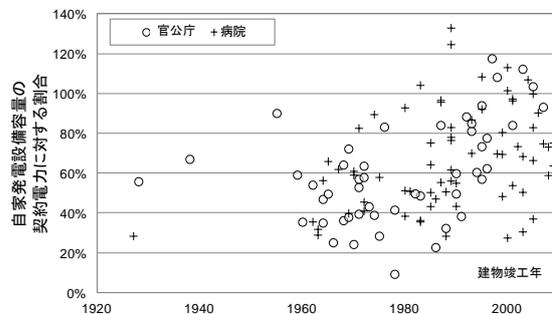


図8 自家発電設備容量の契約電力に対する割合と建物竣工年との関係

また、区役所の約1割と病院の約4割で常用自家発電機を有しているもの、残りは非常用自家発電機で普段は利用されていない。

都市ガスの受け入れに関して調査した結果、災害拠点病院のうち高圧または中圧が49%、中圧・低圧併用が37%、低圧のみが14%であった。都県市庁舎は約8割が中圧であるのに対し、区役所では7割以上が低圧であった。全施設で中圧ガス導管に接続できるとは限らないが、本論文では、中圧ガス導管に接続できる環境にあると仮定して、CGSを導入することによる効果を検討する。

6. 排熱の有効利用と常用CGSの容量の決定

本研究では分散型電源としてガスタービンCGS^{注9)}を導入するとし、CGSの発電効率は0.35、排熱回収効率は0.45とし、24時間運転すると設定する。図9はCGS導入主体と排熱供給のイメージ図である。官公庁施設と厚生医療施設が自ら自立分散電源としてのCGSを導入する。また、CGSの発電排熱を周辺地域で有効利用するための地域熱供給は、エネルギーサービス事業者が事業主体となることを想定する。エネルギーサービス事業者は、主に官公庁施設や厚生医療施設に導入されたCGSからの余剰排熱(導

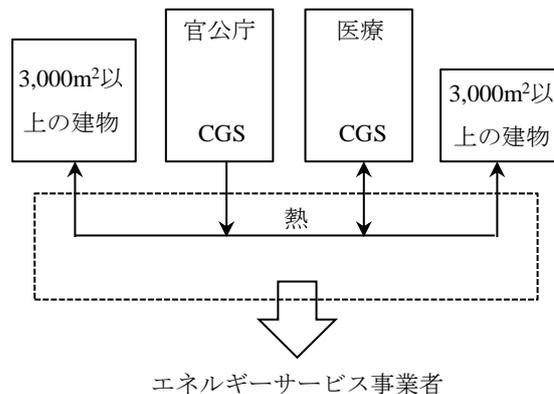


図9 CGS導入主体と排熱供給イメージ

入施設内での利用を除く余剰排熱)を購入し、地域内の熱供給対象建物に供給する。不足熱量に関しては、エネルギーサービス事業者が熱源機器を設置して対応する。

以降、平常時の電力消費量のピーク値を賄える常用 CGS を導入とするケースと、既存の非常用自家発電設備を常用 CGS 化するケースを検討した。

(1) 平常時の電力消費量のピーク値を賄える常用CGSを導入とするケース

図8より1997年以降に竣工した8官公庁施設は、電力消費量に対する発電設備の容量が約100% (約103%) であるため、まず、CGS容量を電力消費量の100%を賄えるとして設定して検討した(ピーク)。

a) 官公庁施設と厚生医療施設の用途の熱消費量とCGSによる排熱量の検討

用途別熱消費原単位^{注7)}を用いて官公庁施設(業務用途)と厚生医療施設(医療用途)の面積当たりの時刻別熱消費量と電力消費ピークの100%をCGSの容量とした排熱量を推計した。

図10は厚生医療施設の間中期、夏期、冬期別^{注10)}の面積当たりの時刻別熱消費量と排熱量を示している。図10より、厚生医療施設の場合は熱消費量が多く、通年CGSによる排熱量を厚生医療施設建物自体が使い切れる。図11は官公庁施設の間中期、夏期、冬期別の面積当たりの時刻別熱消費量と排熱量を示している。官公庁施設の場合は、排熱量と比べ熱消費量が少ない。つまり、業務用途の電力消費量が多く、特に中間期にはCGS排熱量が大量に余る。そこで中間期をもとにCGSの余剰排熱量を周辺の面的利用しやすい3,000m²以上^{注5)}の建物(距離に近いものから順に)に供給して、排熱量を全て使い切るように熱供給エリアを決定することとした。

b) 排熱の有効利用のエリアマッチング

CGSからの余剰な排熱を周辺3,000m²以上^{注5)}の建物に配るエリアのマッチング方法を示すために図7からランダムに官公庁施設と厚生医療施設の用途が混在しているクラスターG-21地域を抽出して代表ケースステディを行った。

まず、クラスター内の官公庁施設と厚生医療施設を抽出

して、延床面積と用途別熱・電力消費原単位を用いて時刻別電力消費量と時刻別熱消費量を計算した。また、年間最大時刻別電力消費量にもとにCGSの容量を決め、CGSの発電効率(0.35)と排熱回収効率(0.45)も用いて発生する時刻別排熱量を算出した。また、時刻別排熱量で官公庁施設と厚生医療施設内で使う熱量を引き、余剰排熱を算出した。周辺の3,000m²以上^{注5)}の建物の用途と延床面積をまとめ、用途別熱消費原単位を掛け合わせて時刻別熱消費量を計算して余剰排熱量と比較した。4月の排熱を使い切るような範囲まで排熱を配ると想定して、距離に近い順に建物を選び、それを行った。

図12はG-21地域の詳細なマップであり、紫色で表示しているのは官公庁施設や医療施設、緑色で表示しているのは周辺の3,000m²以上の建物、青色で表示しているのはG-21クラスター以外の3,000m²以上の建物である。

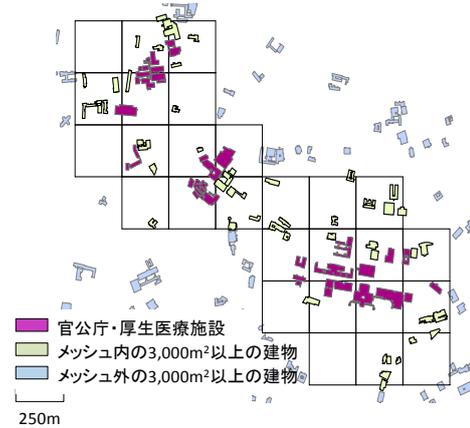


図12 G-21の詳細なマップ

官公庁施設・厚生医療施設に災害時の自立電源としてガスタービンCGSを導入し、CGSからの排熱を周辺の3,000m²以上の建物に供給利用する時の熱量および周辺建物を含めた熱消費量を図13に示す。図13で水色で表示しているのは官公庁施設の時刻別熱消費量であり、薄緑色で表示しているのは厚生医療施設の時刻別消費量である。

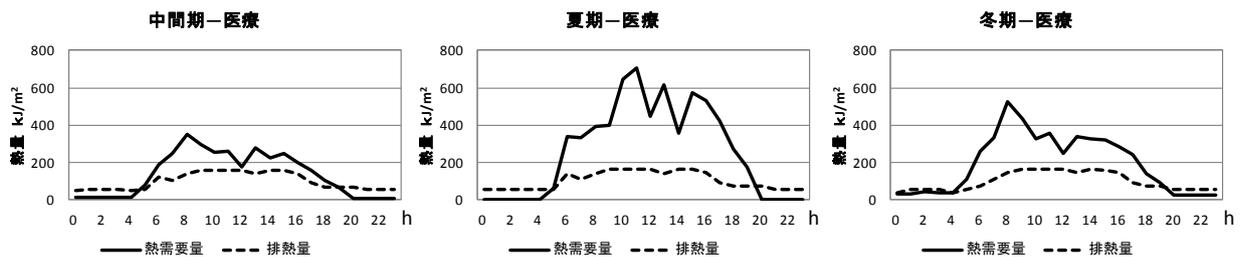


図10 医療施設の各期の時刻別熱消費量と排熱量(平常時)

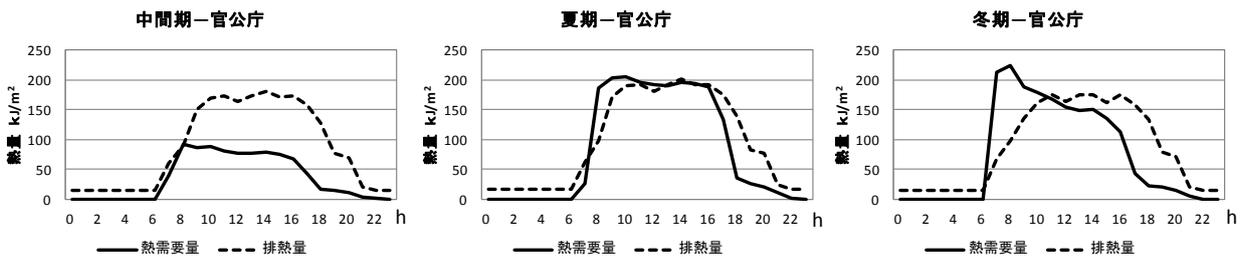


図11 官公庁施設の各期の時刻別熱消費量と排熱量(平常時)

他は周辺の 3,000 m²以上^{注5)}の建物の用途ごとの時刻別熱消費量の合計であり、黒線は CGS からの時刻別排熱量を示している。そこで中間期、夏期、冬期の代表月として各 4 月、8 月、1 月の熱消費量と排熱量を取り上げた。夏期（8 月）と冬期（1 月）は官公庁施設・厚生医療施設の熱消費量が大きく、排熱量の約 2 倍であるが、中間期（4 月）には電力消費量と比べて熱消費量が相対的に少ないため、官公庁施設・厚生医療施設だけの熱利用では排熱量が若干余る。その結果、中間期には G-21 のメッシュ中の 3,000m²以上の建物全てに供給すると余剰排熱をちょうど使い切ることができた^{注11)}。

他のクラスターも同じように排熱の有効利用のマッチングを行う。

(2) 既存の非常用自家発電設備を常用・非常用兼用 CGS 化するケース

契約電力量を電力消費量のピーク値と捉え CGS の容量を決定することとし、5 章のアンケート調査結果に基づく「自家発電設備容量の契約電力に対する割合」より、原単位から求めた官公庁施設の電力消費量のピーク値の 60.4%、病院の電力消費量のピーク値の 66.6%をそれぞれ設備容量とした。

a) 官公庁施設と厚生医療施設の熱消費量とCGSによる排熱量の検討

まず、用途別熱消費原単位^{注7)}を用いて官公庁施設（業務用途）と厚生医療施設（医療用途）の床面積当たりの時刻別熱消費量と、官公庁施設の場合は電力消費ピークの 60.4%、厚生医療施設の場合は電力消費ピークの 66.6%を CGS の容量とした排熱量を推計した。

アンケート調査によると非常用のために約 6 割程度発電できる容量の発電機を持っている。既存の非常用自家発

電設備を CGS 化することを想定すると、CGS による排熱量も 6 割程度まで下がり、余剰の熱量も少なくなる。前述したピークに合わせて容量を決めたケースと同じように医療用途は用途自体の熱消費量が大きいため年間排熱を全部使い切ることができる（図 14）。また、官公庁施設の場合は余剰の排熱は少ないが、中間期に余っていることが分かる（図 15）。

b) 排熱の有効利用エリアのマッチング

電力消費量を全部賄えるようにした際と比較するため、G-21 クラスターを抽出して同じエリアのマッチング方法でケーススタディを行った。余剰な排熱が少ないため、分配できる建物の数も少なくなった。4 月（中間期）を基準として排熱が余らない範囲まで熱を配る。その結果、図 16 に示すように、官公庁施設で余る排熱を近い順に周辺の建物に供給すると 4 月の排熱を使い切れるようになった^{注11)}（たまたま官公庁施設の周辺に厚生医療施設があって厚生医療施設に供給すると排熱を使い切れた）。

(3) 導入できる CGS の総容量と CGS 導入による省エネルギー率・省 CO₂ 率

各クラスター中の官公庁施設と厚生医療施設を抽出して、延床面積と用途別電力消費原単位を用いてそれぞれの時刻別電力消費量を計算した。また、電力消費量のピーク値を賄える CGS を導入した場合は 2 用途の年間最大時刻別電力消費量の合計値を CGS の容量と、既存の非常用自家発電設備を常用 CGS 化した場合には官公庁施設と厚生医療施設の自家発電設備の容量の契約電力に対する割合をかけた合わせた合計値を CGS の容量とした。結果を表 2 に表した。

表 2 より、東京都の官公庁と厚生医療施設に対する 31 か所のクラスターに導入できる CGS 総容量は 177.08MW、東京都全域の建物に対して導入できる CGS 総容量は

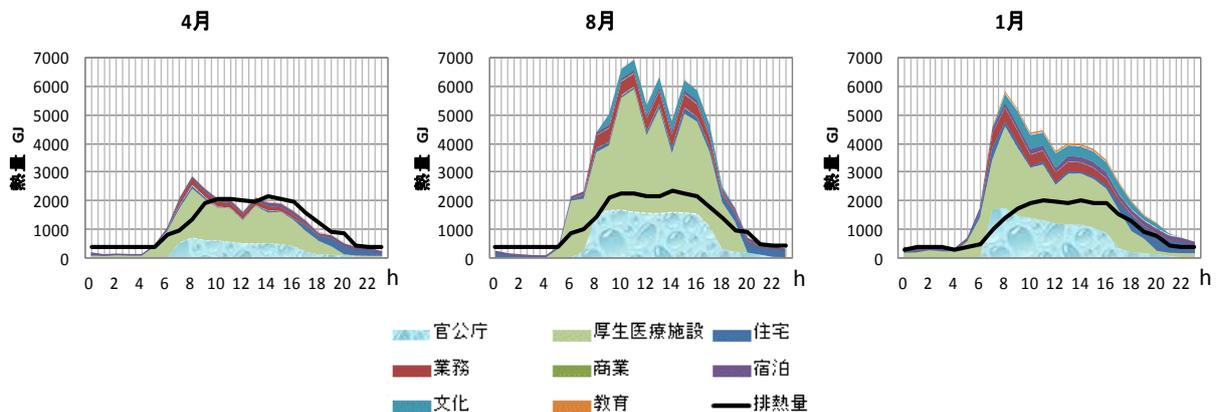


図 13 G-21 の排熱量と周辺建物の用途別の熱消費量（平常時）

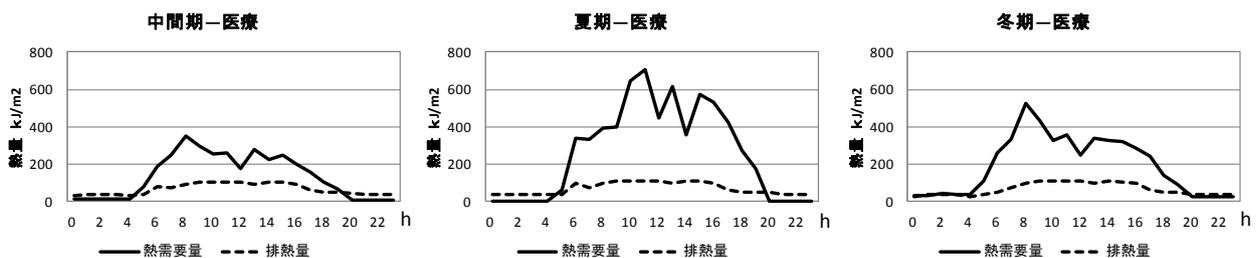


図 14 医療施設の各期の熱消費量と排熱量（非常時）

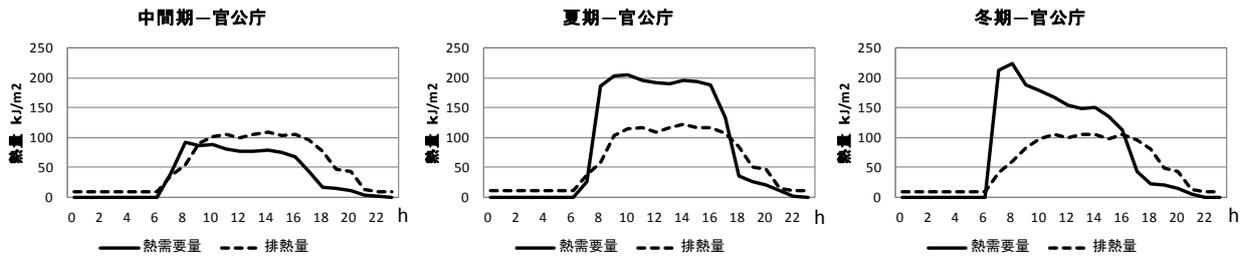


図 15 官公庁施設の各期の熱消費量と排熱量 (非常時)

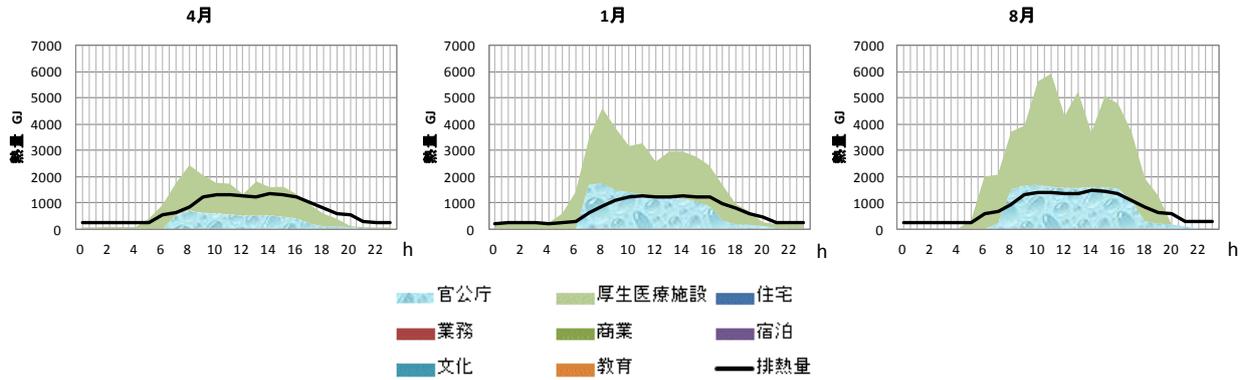


図 16 G-21の排熱量と周辺建物の用途別の熱消費量 (非常時)

11625.82MW (東京都全域の建物の時刻別最大電力消費量の合計) で, 災害の電力自立性を向上するために導入できる CGS 総容量は東京都全域の 1.52% である。

また, 表 2 には各クラスターに対して上述の 2 つのケースについて, CGS 導入による省エネルギー率と省 CO₂ 率を表している。各クラスターの省エネルギー率と省 CO₂ 率は式[1]から式[8]を用いて計算した。電力消費量のピーク値を賄える CGS を導入した場合は, 東京都全域に対する年間省エネルギー率は 0.45%, 省 CO₂ 率は 0.38%, 既存の非常用自家発電設備を常用 CGS 化した場合は, 東京都全域に対する年間省エネルギー率は 0.29%, 省 CO₂ 率は 0.24% となった。

$$\eta_E = \frac{Q_{CGS前} - Q_{CGS後}}{Q_{T,CGS前}} \dots \dots \dots [1]$$

- η_E: 省エネルギー率 %
- Q_{CGS前}: 各クラスターの排熱を供給できる範囲の CGS 導入前のエネルギー消費量 GJ/年
- Q_{CGS後}: 各クラスターの排熱を供給できる範囲の CGS 導入後のエネルギー消費量 GJ/年
- Q_{T,CGS前}: 各クラスターの CGS 導入後のエネルギー消費量 (全ての建物) GJ/年

$$\eta_C = \frac{C_{CGS前} - C_{CGS後}}{C_{T,CGS前}} \dots \dots \dots [2]$$

- η_C: 省 CO₂ 率 %
- C_{CGS前}: 各クラスターの排熱を供給できる範囲の CGS 導入前の CO₂ 排出量 t/年
- C_{CGS後}: 各クラスターの排熱を供給できる範囲の CGS 導入後の CO₂ 排出量 t/年
- C_{T,CGS前}: 各クラスターの CGS 導入前の CO₂ 排出量 (全ての建物) t/年

$$Q_{CGS前} = W_P / 0.366 \times 3.6 + W_P / 0.35 \times 0.45 / 0.9 \dots \dots [3]$$

W_P: 各クラスターの CGS 導入による発電量 MWh/年

- 0.366: 系統電力の一次エネルギー換算係数
- 0.9: ガスの一次エネルギー換算係数
- 0.35: ガスタービン CGS の発電効率
- 0.45: ガスタービン CGS の排熱回収効率
- 3.6: 単位換算係数 GJ/MWh

$$Q_{CGS後} = W_P / 0.35 \times 3.6 \dots \dots \dots [4]$$

- 0.35: ガスタービン CGS の発電効率
- 3.6: 単位換算係数 GJ/MWh

$$C_{CGS前} = W_P \times 0.374 + W_P / 0.35 \times 0.45 \times 0.051 \dots \dots [5]$$

- 0.374: 電力の CO₂ 排出原単位 t/MWh^{注12)}
- 0.051: ガスの CO₂ 排出原単位 t/GJ

$$C_{CGS後} = W_P / 0.35 \times 0.45 \times 3.6 \times 0.051 \dots \dots \dots [6]$$

- 0.35: ガスタービン CGS の発電効率
- 0.051: ガスの CO₂ 排出原単位 t/GJ
- 3.6: 単位換算係数 GJ/MWh

電力消費量のピーク値を賄える CGS を導入とするケース:

$$W_P = A_0 \times I_0 + A_M \times I_M \dots \dots \dots [7]$$

- A₀: 各クラスターの 3,000m² 以上の官公庁施設の延床面積 m²
- A_M: 各クラスターの 3,000m² 以上の厚生医療施設の延床面積 m²
- I₀: 官公庁施設の電力消費原単位 kWh/m²・年
- I_M: 厚生医療施設の電力消費原単位 kWh/m²・年

既存の非常用自家発電設備を常用 CGS 化するケース:
 $W_P = (A_0 \times I_0 + A_M \times I_M) \times \varepsilon \dots \dots \dots [8]$
 ε: 自家発電設備容量の契約電力 (電力消費ピーク) にする割合
 官公庁施設: 60.4%; 厚生医療施設: 66.6%

表 2 で厚生医療用途のみの地域では、厚生医療用途で CGS 排熱を使い切れる。また、業務と医療用途が混在している地域と業務用途のみの地域では周辺の建物熱負荷密度が高いほうが CGS 余剰排熱を受け入れられる建物多いため、CGS 導入可能性が高い。

表 3 に延床面積別検討した導入可能な電力量を表す。表 3 より東京都全域の全ての官公庁施設・厚生医療施設に導入した場合は 790.31MW、3,000 m² 以上の官公庁施設・厚生医療施設のみを対象にした場合 455.77MW、10,000 m²

以上の官公庁施設・厚生医療施設のみを対象にした場合 237.48MW となった。また、31 か所の地域のみを対象として、電力消費量のピーク値を賄える CGS を導入した場合は官公庁施設には 92.59MW (全域の官公庁施設の 29.3%)、厚生医療施設には 84.49MW (全域の厚生医療施設の 17.8%)、既存の非常用自家発電設備を常用 CGS 化した場合は官公庁施設には 55.94MW (全域の官公庁施設の 17.7%)、厚生医療施設には 54.26MW (全域の厚生医療施設の 11.4%) の CGS 導入容量となった。

表 2 CGS 容量と排熱の有効利用による省エネルギー率

クラスター	周辺熱負荷密度 (TJ/ha)	用途	CGS容量 (MW)		平常時100%を賄うCGS導入した場合		既存の設備容量を常用CGS化した場合		平常時100%を賄うCGS導入した場合		既存の設備容量を常用CGS化した場合	
			平常時100%を賄うCGS導入した場合	既存の設備容量をCGS化した場合	CGS導入により削減する一次エネルギー量 (TJ/年)	CGS導入により削減できるCO ₂ 排出量 (千t/年)	CGS導入により削減する一次エネルギー量 (TJ/年)	CGS導入により削減できるCO ₂ 排出量 (千t/年)	CGS導入により削減できる省エネルギー率 (%)	CGS導入により削減できる省CO ₂ 率 (%)	CGS導入により削減できる省エネルギー率 (%)	CGS導入により削減できる省CO ₂ 率 (%)
1	6.35	医療のみ	1.00	0.67	23.41	1.87	15.59	1.24	16.09	30.60	10.71	20.38
2	6.62	医療のみ	0.91	0.61	21.46	1.71	14.29	1.14	14.71	27.96	9.80	18.62
3	6.16	医療のみ	1.46	0.97	33.29	2.65	22.17	1.77	10.42	19.89	6.94	13.25
4	3.59	官公庁のみ	1.55	0.94	27.77	2.21	16.77	1.34	9.19	17.97	5.55	10.85
5	7.34	医療のみ	0.22	0.15	5.13	0.41	3.41	0.27	7.37	14.22	4.91	9.47
6	5.66	医療のみ	1.55	1.03	36.30	2.89	24.18	1.93	12.21	23.29	8.13	15.51
7	6.50	医療のみ	4.17	2.78	97.68	7.78	65.05	5.18	13.03	24.93	8.68	16.60
8	2.97	混在	4.82	0.93	87.98	7.01	53.63	4.27	19.05	37.32	11.61	22.75
9	8.54	医療のみ	3.77	2.51	88.39	7.04	58.86	4.69	11.24	21.64	7.49	14.41
10	5.28	医療のみ	2.47	1.64	57.83	4.61	38.51	3.07	10.70	20.55	7.13	13.69
11	9.34	医療のみ	6.80	4.53	159.22	12.69	106.04	8.45	14.66	27.94	9.76	18.60
12	6.11	医療のみ	11.18	7.44	261.69	20.85	174.28	13.89	13.13	25.01	8.75	16.66
13	5.45	混在	4.34	2.84	95.61	7.62	62.73	5.00	12.76	24.42	8.37	16.02
14	7.07	医療のみ	3.63	2.42	85.02	6.77	56.62	4.51	12.91	24.70	8.60	16.45
15	9.34	医療のみ	2.91	1.94	68.08	5.42	45.34	3.61	6.14	11.93	4.09	7.95
16	6.19	官公庁のみ	2.46	1.49	44.36	3.53	26.79	2.13	6.28	12.29	3.79	7.42
17	6.31	医療のみ	2.66	1.77	62.30	4.97	41.49	3.31	9.32	17.95	6.21	11.95
18	8.10	混在	4.97	3.24	108.94	8.68	71.37	5.69	10.26	19.80	6.72	12.97
19	32.34	混在	10.28	6.32	193.51	15.42	119.57	9.53	3.68	7.14	2.27	4.41
20	16.32	混在	2.47	1.60	53.52	4.26	34.91	2.78	3.15	6.15	2.06	4.01
21	6.83	混在	16.46	10.33	169.54	13.51	107.08	8.53	6.68	12.97	4.22	8.19
22	7.65	医療のみ	2.36	1.57	55.73	4.44	37.12	2.96	1.61	13.91	1.07	9.26
23	11.30	混在	8.81	5.51	172.99	13.79	108.75	8.67	16.12	9.81	10.14	6.17
24	10.43	混在	4.00	2.65	91.31	7.28	60.63	4.83	8.51	16.37	5.65	10.87
25	16.19	医療のみ	4.86	3.24	112.06	8.93	74.63	5.95	6.17	12.00	4.11	7.99
26	12.24	混在	6.39	4.12	136.10	10.85	88.26	7.03	5.23	10.24	3.39	6.64
27	3.39	混在	5.94	3.70	115.60	9.21	72.43	5.77	21.20	41.18	13.28	25.80
28	16.52	官公庁のみ	9.17	5.54	164.04	13.07	99.08	7.90	2.81	5.56	1.70	3.36
29	10.34	官公庁のみ	20.74	12.53	371.19	29.58	224.20	17.87	15.49	30.51	9.35	18.43
30	9.83	混在	20.14	12.24	366.96	29.24	223.50	17.81	9.82	19.35	5.98	11.79
31	14.81	混在	4.59	2.95	96.93	7.72	62.63	4.99	4.57	8.97	2.95	5.80
SUM	-	-	177.08	110.20	3463.90	276.04	2209.94	176.11	-	-	-	-
東京都	-	-	11625.82	-	761349.8	73171.69	-	-	0.45	0.38	0.29	0.24

表 3 延床面積別検討した導入可能な電力量

MW	全域	3,000m ² 以上	10,000m ² 以上	31か所のクラスター (平常時100%を賄うCGS導入した場合)	31か所のクラスター (既存の設備容量を常用CGS化した場合)
官公庁	316.01	200.80	118.73	92.59 (29.3%)	55.94 (17.7%)
医療	474.30	254.97	118.76	84.49 (17.8%)	54.26 (11.4%)
合計	790.31	455.77	237.48	177.08 (22.4%)	110.20 (13.9%)

* ()内の値は全域に対する割合である。

注：全域、3,000m²以上、10,000m²以上の結果は平常時電力需要 100%を賄う CGS を導入した場合の値である。

7. まとめ

本研究では、自立性を向上させる分散型電源のうち主に CGS の面的導入に関する研究として、東京都の官公庁施設・厚生医療施設を対象に、CGS 導入拠点を検討し、常用

CGS 導入による省エネルギー性・省 CO₂性を評価し、以下の結果を得た。

(1) 自家発電設備に関するアンケート調査を通じて、自家発電設備の発電容量の各建物の契約電力に対する割合は、

都県市区官公庁施設で平均 60.4% (900kW) ,災害拠点病院で平均 66.6% (1,800kW) であり,1997 年以降に竣工した 8 官公庁施設は,契約電力に対する発電設備の容量が約 103% (約 100%) であった。

(2) 熱消費密度が高いところの官公庁施設と厚生医療施設を CGS 導入拠点として,エリアの用途構成と周辺熱消費密度を用いて導入する場所を判断する。

① 医療用途は熱消費量が多く,CGS からの排熱量を有効利用できる。

② 官公庁施設では中間期に余剰の排熱量が貯まるため,排熱を受け取る建物が必要である。したがって当該建物が建つエリアおよび周辺の熱消費密度が高ければ (4.2TJ/ha・年以上^{注4)}) CGS 導入の可能性が高い。

(3) 電力自立性を向上するために導入できる常用 CGS 容量は本検討の結果では東京都全域の需要の 1.52% である。

(4) 官公庁施設と厚生医療施設の電力消費量のピーク値を賄える CGS を導入した場合は,東京都全域に対して災害の電力自立性を向上するための CGS 導入による年間省エネルギー率は 0.45%,省 CO₂率は 0.38%,削減できる CO₂排出量は 276.04 千 t/年,既存の非常用自家発電設備を常用 CGS 化した場合は,東京都全域に対する年間省エネルギー率は 0.29%,省 CO₂率は 0.24%,削減できる CO₂排出量は 176.11 千 t/年となった。

(5) 東京都全域の全ての官公庁施設・厚生医療施設に導入した場合の CGS 容量は 790.31MW,3,000 m²以上の官公庁施設・厚生医療施設のみを対象にした場合 455.77MW,10,000 m²以上の官公庁施設・厚生医療施設のみを対象にした場合 237.48MW となった。31 カ所の地域のみを対象として,電力消費量のピーク値を賄える CGS を導入した場合は官公庁施設には 92.59MW (全域の官公庁施設の 29.3%) ,厚生医療施設には 84.49MW (全域の厚生医療施設の 17.8%) ,既存の非常用自家発電設備を常用 CGS 化した場合は官公庁施設には 55.94MW (全域の官公庁施設の 17.7%) ,厚生医療施設には 54.26MW (全域の厚生医療施設の 11.4%) の CGS 導入容量となった。2 ケースとも導入できる CGS 総容量は東京都が目標としている 50 万 kW には達しなかった。今後水再生センター,高層ビル・本社ビル,駅,ホテル等への導入検討も期待される。

本研究結果より,災害 (商用停電) 時にも自立性の確保が求められる官公庁施設や厚生医療施設のオーナーに対し,自立分散電源として信頼性が高い CGS 導入することでエネルギーの自立性を確保し,かつ,CGS 排熱の有効利用が可能であれば経済性が向上し,省エネルギー・省 CO₂が図られることと,エネルギーサービス事業者に対し,地域冷暖房などエネルギー面的利用を計画する際の CGS 導入可能性と排熱の有効利用による省エネルギー・省 CO₂の効果を示すことができる。さらに,都市計画関係者に対し,自立分散型電源としての CGS 導入拠点と導入可能な CGS の総容量,またそれにより削減できる CO₂排出量を提示し,東京都全域においてエネルギーの自立性確保を目指したまちづくりのための企画参考資料として活用可能と考える。

これを踏まえると,自立分散型電源として CGS を導入する場合,導入施設周辺地域で CGS 排熱を有効に活用できることが重要であり,地域で排熱を有効利用可能な地域熱供給インフラの整備が必要であるといえる。

本研究では都市ガス導管が中圧ガス導管として CGS と接続するものと想定してケーススタディや省エネルギー性の分析を行った。ただし,現状の官公庁施設や災害拠点病

院の一部の自家発電機には低圧ガス導管で接続されており,必ずしも都市ガスの安定供給は確保されていない状況である。今後,耐震性能の高い都市ガス導管の敷設状況をふまえた検討が必要であり,あわせて,都市ガス導管の耐震性能の一層の向上が求められる。

補注

(1) 一般的に中圧ガス供給導管は耐震性に優れており,供給信頼性が高いと言われている。阪神・淡路大震災において被害が極めて軽微で,都市ガス導管は大きく変形したもののガス漏れの発生もなく,東日本大震災においても完全に被害受けなかったわけではないが,低圧ガス導管に比べて被害率は非常に低く,液状化による被害はなかった^{7) 8)}。

(2) 面的利用に適応する地域面積として本研究では地域エネルギー特性を取りやすい 250m メッシュの大ききで熱消費密度と電力消費密度を把握した。

(3) 官公庁施設の通常の勤務時間: 8:00~17:00 (合計 9 時間,昼間休みも含む,土,日曜日休) ; 1 年間約 52 週

2 人で 1 台パソコンを使うと設定; 通常のパソコンの消費電力は 200W と設定; 1 人の勤務面積は 3×3=9m² と設定;

1m² 時間当たりの電力消費量=200/(3×3×2)=11W/m²・h
年間 1ha 当たりの電力消費量

= {11×10⁹×(52×5×9)} / 10⁴ = 0.257GWh/ha・年
約 0.25 GWh/ha・年を基準値と使用する。

医療用途と業務用途の年間電力消費原単位は比較的近い値であるため医療用途も 0.25 GWh/ha・年を基準値とした。

(4) 参考文献 9) では熱負荷密度を地域冷暖房導入地区の選定の際のキー・ファクターとし,熱負荷密度指数 1.0Tcal/ha・年 (4.2TJ/ha・年) 以上の地区を大気汚染防止効果,経済効果を目的とした導入地区そのまま選定する手法が提案された。本研究では熱消費密度を 4.2 TJ/ha を基準値としてその半分あるいは倍数で 6 つに分けて,4.2 TJ/ha・年以上のところを高熱消費密度と認められた。本研究では地域冷暖房の導入可能性が高い熱消費密度が高い地域を抽出しているため CGS 導入とその排熱利用の実現可能性は高い。

(5) 参考文献 10) で,暖房等の熱消費が高いか,または高くなると予想される地域等において,地域冷暖房の立案とプラントベースの確保に協力するよう要請しており,重油換算で 300L/日以上熱エネルギー消費が見込まれる約 3,000 m²以上の延床面積を持つ建築物の所有者または管理者は地域冷暖房に加入するよう努めなければならないことを規定している。本研究では面的利用ができやすいと考えられる建物の規模について,地域冷暖房システムの指数を参考した。

(6) 都市計画基礎調査・建物現況データは,東京都の区部は平成 18 年のデータ,市部は平成 19 年データである。

(7) 本研究で用いた建物用途別エネルギー消費原単位

	住宅	医療	業務	商業	宿泊	娯楽	文化	教育
暖房	71	335	209	75	494	180	360	239
給湯	201	862	54	96	1298	268	0	0
冷熱	75	515	297	360	272	293	180	92
電力	46	185	170	291	133	200	63	55

(暖房・給湯・冷房: MJ/m²・年; 電力: kWh/m²・年)

出典: 参考文献 11)

(8) 本アンケート調査には厚生医療施設の中災害拠点である大規模な病院を対象とし,対象数を抑えるため福祉施設や老人ホーム等は対象外とした。

(9) CGS にはガスタービン CGS とガスエンジン CGS の 2 種類があるが,本研究では冷却水循環システムが不要のため災害の時順調に使用できるガスタービン CGS を設定して,通常発電率と排熱率を参考とした。

(10) 本研究での中間期の値は 4 月,5 月,10 月,11 月の平均値であり,夏期の値は 6 月,7 月,8 月,9 月の平均値であり,冬期の値は 12 月,1 月,2 月,3 月の平均値である。

(11) 図 8 (図 11) の 4 月のグラフに排熱が全部使い切られる範囲まで配るのに若干ギャップがある。それは昼間に超える排熱

量を蓄熱してギャップが出ている時間帯に使用することを考えるためである。

- (12)参考文献 12) により,東京電力株式会社の 2010 年度の調整後 CO₂ 排出係数を用いた。

参考文献

- 1) 日本内燃力発電設備協会ホームページ
<http://www.nega.or.jp/business/02.html> 参照
- 2) 「2020 年の東京」ホームページ,2012.7.27 参照
http://www.chijihon.metro.tokyo.jp/tokyo_of_2020/index.html
- 3) 日経エコロジーレポート,2011.7.27 参照
<http://eco.nikkeibp.co.jp/article/report/20110725/106980/>
- 4) 張瑤他：首都圏における CGS 導入を契機とした地域分散型エネルギーシステムの導入可能性と効果の評価に関する研究,日本建築学会大会学術講演梗概集,D-1,P751~752,2009.8
- 5) 朱向科他：建物における非常時のエネルギー供給の備えに関する研究,地域安全学会梗概集 (14) ,P23~26,2004.5
- 6) 元アンナ他：東京都区部における分散型エネルギー供給システムのグラウンドデザインその 3—地域の自立性を考慮したグラウンドデザイナー—,日本建築学会大会学術講演梗概集,P 697~698,2006.9
- 7) 小川安雄：阪神・淡路大震災の教訓を生かす—3 ガス施設被害と復旧,電気学会電学誌,116 巻,2 号,P76~78,1996.
- 8) 総合資源エネルギー調査会他：東日本大震災における都市ガス供給の災害対策検討報告書,2012.
- 9) 日本建築センター：都市における地域冷暖房の建設技術に関する研究,日本建築センター,1974.3
- 10) 東京都公害防止条例逐条解説,東京,公人社,1972.
- 11) 日本地域冷暖房協会：プロジェクト 2010 日本全国地域冷暖房導入可能性調査,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システム計画・設計と評価,1994.
- 12) 日本環境省ホームページ,2012.1.17 参照
<http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=14702>
平成 22 年度の電気事業者ごとの実排出係数・調整後排出係数等の公表について,

(原稿受付 2012.9.8)

(登載決定 2013.1.13)