

低炭素社会の実現に向けた  
技術および経済・社会の定量的シナリオに基づく  
イノベーション政策立案のための提案書

社会システム編

**新しいエネルギー変換・貯蔵機器技術、未利用  
熱源およびビル省エネルギー技術の導入と技術  
特性を明示した都市分散エネルギーシステムの  
在り方に関する研究**

平成 30 年 1 月

**A Study on Urban Distributed Energy System Design Including  
New Energy Conversion and Storage Systems, Unused Heat Sources,  
and Net Zero Energy Building Technologies**

Strategy for Social System

Proposal Paper for Policy Making and Governmental Action  
toward Low Carbon Societies

**国立研究開発法人科学技術振興機構  
低炭素社会戦略センター**

LCS-FY2017-PP-18

## 概要

民生部門、特に東京のような大都市部における商業・事業所ビルの省エネルギー化は、低炭素社会実現に向けた大きな課題であることはよく知られている。ここでコージェネレーションシステム(CGS)、太陽電池などの分散型エネルギーシステムは、空調エネルギー需要の増加に対応する技術としての期待が大きい。近年、ネットゼロ・エネルギー・ビル(ZEB)の概念が普及しつつあり、また新型ヒートポンプ(HP)技術の向上により、過去歴史がありつつもあまり実装には顧みられなかった地中熱や河川熱などのいわゆる未利用エネルギー源が再注目され、導入事例も増えつつある。しかしながら、これらの新技術の寄与が経済性、環境性においてどの程度のものなのかなどの定量的評価はまだ行われていない。

本提案では、これらの動向を踏まえ、ビル単位のエネルギーフローモデルの開発を行い、シミュレーションにより、地域におけるこれらの新技術および未利用熱源の寄与の効果を定量的に評価する。ここでは、東京都江東区湾岸エリアに3棟の大型商業・事務所ビルを想定し、まず暖房・冷房・給湯・一般電力需要を推計する。次いで、ここに外気駆動の従来型 AC 駆動の HP と次世代型 DC インバータ駆動の HP、地中熱利用 HP、河川熱利用 HP、CGS、太陽電池の導入を想定し、コストと CO<sub>2</sub> 排出がどの程度削減可能かを様々な導入シナリオで比較する。ここで、HP の成績係数(COP)は部分負荷率で大きく変化することが知られている。また地中熱と河川熱利用には東京都の調査データと地理的条件を考慮した。地中熱利用では HP の COP は 5-6 となり在来型大気熱利用の COP(4-5)を上回ると同時に、部分負荷特性も変化する。そこで、本研究では定式化にあたってこれらの機器の運転特性の非線形性を明示的に扱うこととした。ZEB 技術としてダブルスキン導入の有無を比較検討した。

主な結果として、本研究で想定したパラメータ設定の下で、地中熱利用は費用の 10%削減、ダブルスキンを含むすべての技術導入では総費用は 7.7%削減、CO<sub>2</sub>排出量は 8.5%削減可能となった。

今後の課題として、新技術と未利用熱源の潜在性は大きいと同時に、それらを引き出すにはミクロレベルでの需要や熱源賦存量の調査、天候条件の加味などの詳細化が必要なこと、また EV との連携や ICT の活用による省エネルギー化が鍵となることが示唆された。

## Summary

It is well understood that conservation of energy in the civilian sector, especially in the office and commercial buildings in the Tokyo metropolitan area, is one of the key issues towards the low carbon society. The distributed energy technologies including CGS and photovoltaics are expected to meet the increasing air-conditioning demands.

Recently, the concept of the net Zero Energy Building (ZEB) and related technologies have been proposed. Unused thermal sources such as rivers and underground heat are being revisited thanks to the progresses in heat pump (HP) technologies. Since the economic and environmental contributions of these new energy technologies and new energy sources have yet to be clarified, the quantitative evaluation of these factors is a major topic at present.

Based on these trends, the present study developed an energy flow model, on a unit building basis, and used simulations to quantitatively evaluate the effects of the contribution from these new technologies and as-yet-unused heat sources. We looked at three commercial and office buildings in the Tokyo area, and firstly evaluated the energy demand for room cooling, room heating, hot-water supply and general electricity. We then developed an energy technology flow model including new energy technologies such as DC-inverter controlled heat-pumps which have almost constant COP in the low capacity utilization duration. Utilization of the unused thermal energy of rivers and the underground heat provided high COP, reaching around 5-6, while the COP of ambient based conventional equipment was 4-5. Our model formulated the COP as a function of capacity utilization rates using non-linear optimization. As a net Zero Energy Building technology, we also included double-skin walls for heat insulation.

The simulation results showed that the utilization of underground heat reduced the total cost by 10% and that all new technologies including ZEB could reduce total cost by 7.7% and CO<sub>2</sub> emission by 8.5%.

The study indicated that the contribution of new energy sources as well as new energy facilities is substantial and that investigating demand and heat availability on a micro level, and a detailed breakdown of the additional influence of climate conditions, along with energy saving through collaboration with EV and ICT application are key to realizing the maximum potential of these technologies.

## 目次

### 概要

1. 提案の背景と目的.....	1
1.1 提案の背景 .....	1
1.2 提案の目的 .....	1
2. 対象建物 .....	1
3. 省エネ技術 .....	2
3.1 ZEB 技術 .....	2
3.2 地中熱ヒートポンプについて .....	3
3.3 河川熱利用 .....	6
3.4 従来型 HP と次世代型 HP の運転特性 .....	6
4. 本研究で想定するモデル.....	6
4.1 モデルのフロー.....	6
5. シミュレーションと結果.....	8
5.1 シミュレーションケースの設定 .....	8
5.2 シミュレーション結果 1 : 地中熱価格変動による導入容量の感度分析 .....	8
5.3 シミュレーション結果 2 : 費用と CO <sub>2</sub> 排出のケース別結果比較 .....	9
5.4 結果のまとめと考察.....	10
6. 今後の課題と展望.....	10
7. 政策立案のための提案.....	11
参考文献.....	11

## 1. 提案の背景と目的

### 1.1 提案の背景

日本は、1970 年代の石油危機を契機に省エネが進み、エネルギー消費を抑制しつつ経済成長をしてきた。その経済成長により GDP は 2.5 倍に増加したにもかかわらず産業部門のエネルギー消費量は 2 割近く減少した。しかし、民生部門は業務部門が 2.9 倍、家庭部門が 2.0 倍と大きく増加している。業務部門についてみると、床面積当たりのエネルギー消費量は近年横ばいから改善傾向にある。かつては、エネルギー消費量のシェアが大きな部門は、ホテル・旅館や事務所・ビルであったが、近年では、事務所・ビルや卸・小売業のシェアが大きくなってきた。事務所・ビルのエネルギー消費量に関しては、照明・コンセント、空調でおよそ 80%を占めている。そこで、照明・コンセント、空調に対して、重点的に対策を行うことが必要不可欠である。

日本は、地球温暖化問題への対策としてパリ協定を批准し、2050 年に炭素排出の 80%削減を公約した。この協定の実現には、都市部の低炭素社会の実現が不可欠であり、このためには①エネルギー源の脱炭素化、他方で②生活の質を低下させないような省エネルギー策、の需給両面からの変革が必要である。

この変革を支えるための要素技術や調査も近年充実しつつある。供給サイドでは太陽光発電や風力発電など再生可能エネルギーの低コスト化、二次電池、燃料電池の低コスト化は著しい。また、ヒートポンプ(以下、HP)の成績係数(以下、COP)<sup>1)</sup>と運転特性の向上により、これまで顧みられなかった河川熱や地中熱などの未利用熱源の空調利用も経済性が望めるようになった。需要サイドでは、特に都市部でのビジネスの集中傾向から再開発が進められており、ZEB(Net Zero Energy Building)に象徴されるビルの省エネ技術が注目されつつあり、実際、政府はエネルギー基本計画において、2030 年までに新築建築物の平均で ZEB を実現する目標を設定している[1]。

ここで、これらの技術は、需要や気象条件の変動に対して効果も変動する点が重要である。また電気自動車や需要家間の連携のような範囲の拡大も全体的な効率性に影響が大きい。そのためこれら技術の寄与を定量的に評価するには、時間軸・空間軸とも細分化したモデル評価が必要となる。

### 1.2 提案の目的

本提案では、都内のオフィスビルを対象とし、空調需要、一般電力需要、給湯需要を推計したうえで、モデル構築により、HP については機器の部分負荷運転特性<sup>2)</sup>を考慮しつつコジェネレーション、外気利用ヒートポンプに加え、地中熱・河川熱利用ヒートポンプ、太陽光発電の利用可能性、ZEB 技術としてのダブルスキンを対象技術とした場合の環境性・経済性の視点からの最適な設備導入と運用をモデル開発により評価する。これにより、新しいエネルギー技術の潜在的な効果が評価されるとともに、本モデルフレームにより対象とするビルの需要特性、今後の各技術のコスト変化、気候条件により効果がどのように変化するかも計算可能となる。

## 2. 対象建物

本研究では、対象建物として江東区豊洲にある表 1 の延床面積の 3 棟の大規模オフィスビルを想定する。これに伊香賀ら[2]によるオフィスビル用途別エネルギー需要原単位データを乗じて用途別エネルギー需要の推計を行う。用途として照明・動力等一般電力需要、冷房需要、暖房需要、給湯需要を想定する。この各需要データは、夏ピーク (3 日)、夏平日 (63 日)、冬平日 (130 日)、

<sup>1)</sup> 冷房あるいは暖房用に供給されたエネルギーと駆動用のエネルギーの比。エネルギー変換効率に相当するが HP では直接電力を熱エネルギーに変換するわけではないので 100%を大きく超えることも通常である。

<sup>2)</sup> 機器の定格以下での運転をいう。通常、定格運転よりは効率が低下する。

中間期平日（65 日）、夏休日（26 日）、冬休日（52 日）、中間期休日（26 日）の 7 季節、24 時間で構成した。想定したビル 1～3 合計の電力照明需要、冷房需要、暖房需要の推計結果を図 1、2、3 に示す。

表 1 本研究で想定した建物データ

ビル	延床面積
1	80,493 m <sup>2</sup>
2	88,364 m <sup>2</sup>
3	131,000 m <sup>2</sup>

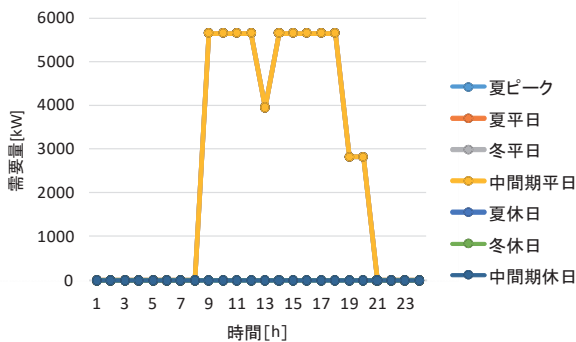


図 1 ビル 1～3 の合計電力照明需要

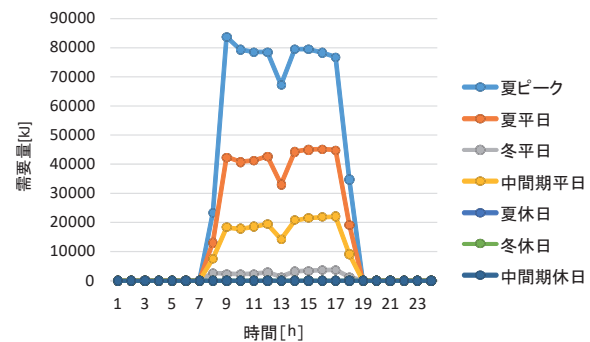


図 2 ビル 1～3 の合計冷房需要

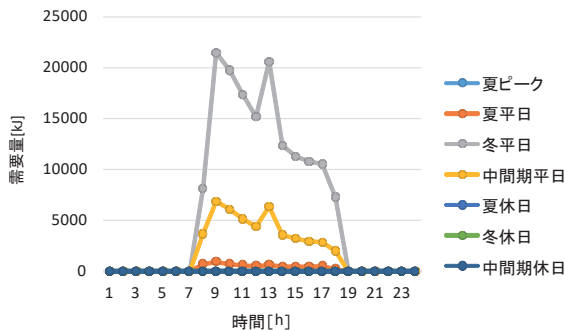


図 3 ビル 1～3 の合計暖房需要

※休日の需要はすべて無視でき、平日のみ需要が発生と想定。

### 3. 省エネ技術

#### 3.1 ZEB 技術

ZEB とは、快適な室内環境を保ちながら、高断熱化・日射遮蔽、自然エネルギー利用、高効率設備により、できる限りの省エネルギーに努め、太陽光発電等によりエネルギーを創ることで、年間で消費する建築物のエネルギー量が大幅に削減されている建築物と定義される。ZEB 技術には、ダブルスキン（図 4）、作業対象物と作業者周辺に照明や空調を絞るタスク・アンビエントシステム、再帰反射フィルム、地中熱利用システム、屋上緑化、太陽光発電などがあげられる。本提案では図 4 に示すダブルスキンを取り上げた。文献[3]によればこの技術により暖房負荷 17%、冷房負荷 13%削減することができるかとされている。

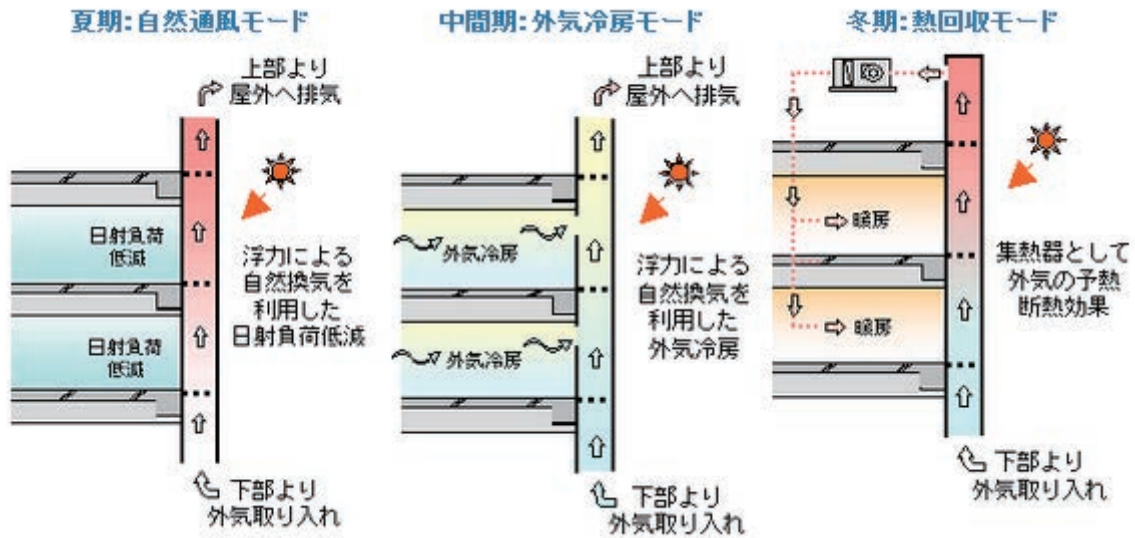
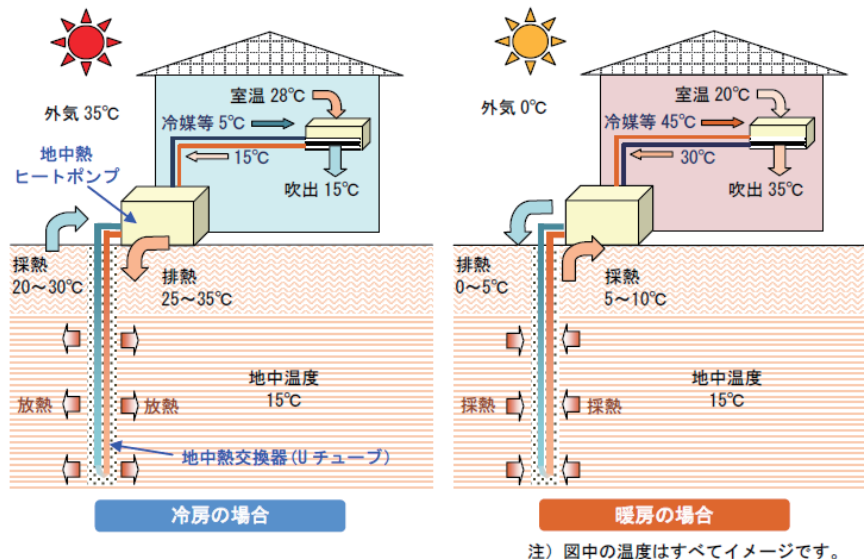


図4 ダブルスキン技術の構成

### 3.2 地中熱ヒートポンプについて

地中熱は、季節、昼夜を問わず、安定して利用することができる。地中熱ヒートポンプは、暖房時には外気より高い温度、冷房時には外気より低い温度の熱を使うので高効率の運転が可能である。そのため、CO<sub>2</sub>排出削減やコスト削減を行うことができ、近年急速に普及が進んでいる。地中熱ヒートポンプは設置費用に加え、掘削費もかかるが、普及により費用は大幅に低下している。図5に横浜市発表資料による地中熱ヒートポンプシステムの例を示す。



注) 図中の温度はすべてイメージです。

図5 地中熱ヒートポンプの方式と例[4]

地中熱をオフィスビルに適用した例として、都心の一番町笹田ビルがある。この導入例では、地中熱交換機を 75m 深度のものを 8 本埋め込み、採熱し、冷暖房に使用した。暖房、冷房を使用した時の成績係数 (COP) はそれぞれ 3.6、5.8 であった[5]。その時の空調の電力消費量の比較を図 6 に示す。空気熱源と地中熱源を比べた時、年間を通して省エネ率が 49%と報告されている。暖房よりも冷房の場合のほうが省エネ効果が高い。

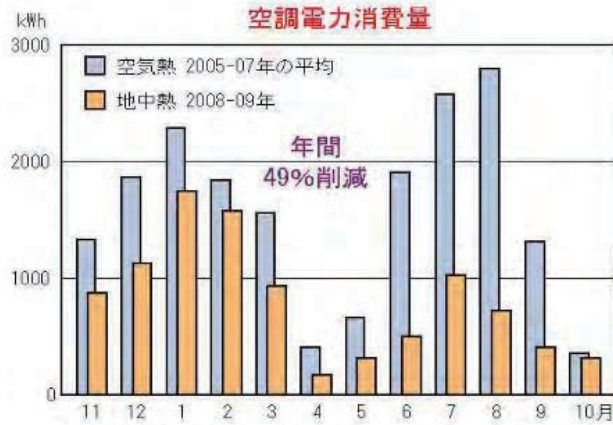


図 6 地中熱源ヒートポンプと空気熱源ヒートポンプの電力消費量の比較[4]

地中熱利用では部分負荷が低くなると COP は高くなる性質を持つ。地中熱の場合の外気温と部分負荷率に対する COP の関係を図 7 に示す[6]。

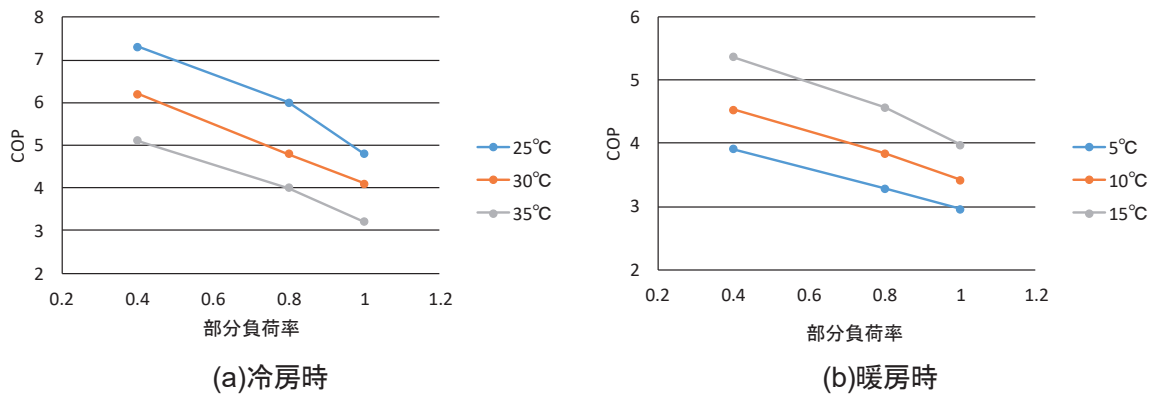


図 7 地中熱 HP の外気温と部分負荷率に対する COP 変化 ([6]データより作成)

地中熱は地表から採熱管を打ち込んで採取する。地中熱資源が豊富にあれば、同じ熱量を採取するのに少ない採熱管数ですむ。採熱管一本あたりで採取できる熱は打ち込む深さに依存して増える。地中熱源の利用可能量は採熱管を打ち込む本数と深さで決まる。もし地中熱が高密度で深くまで存在していれば、より多くの熱を同じ地表面積から採取でき、すなわち潜在性が高いといえる。地中熱分布の潜在性として東京都は図 8 に示すような地中熱ポテンシャルマップを公開している。この図では、赤に近いほど地中熱の潜在性が高いことを示す。



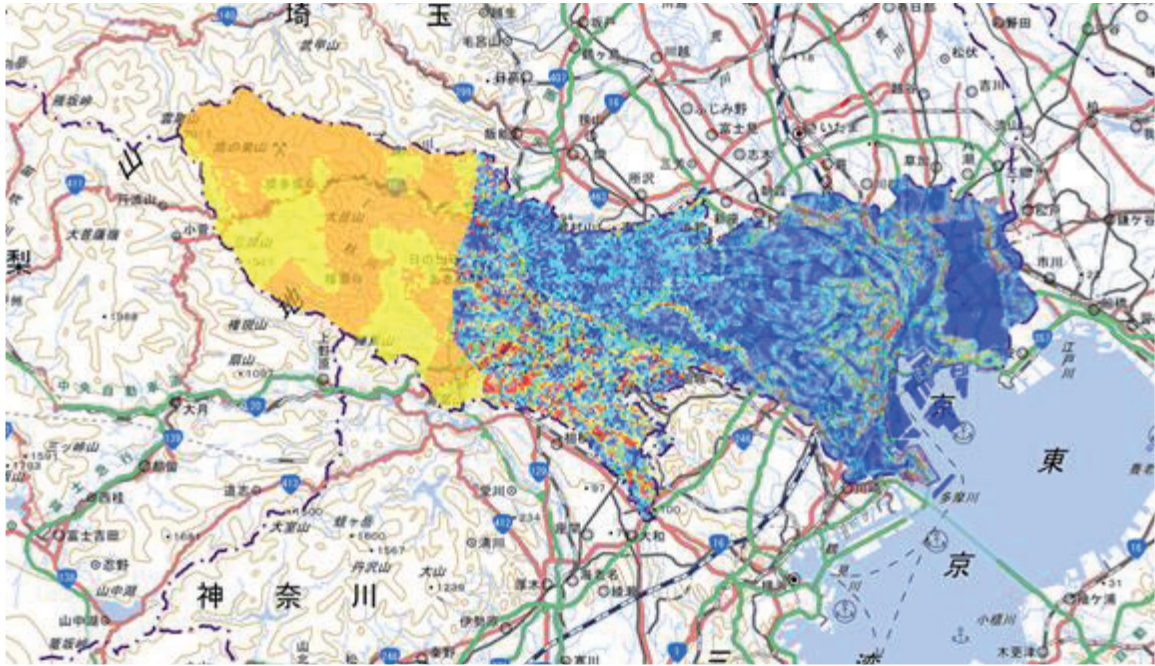


図8 東京都地中熱ポテンシャルマップ[7]

この図から、地中熱の分布は局地性が高く導入には十分な事前調査が必要なが示唆される。例えば、江東区では、図9のように地域分布の偏りが大きい。本提案では年間平均放熱量310W/m、採熱管長20mとし赤色の地域で6mごとに採熱管を導入すると設定した。地中熱利用の設備費については大岡[5]による評価がある。これによると、従来型の180kWHPによると10,159千円に対し、新工法によるとHPは30%容量を縮小でき、工費全体では12,369千円の削減となる。電力消費の低減による可変費低減とCO<sub>2</sub>排出削減により得失が決まることになる。

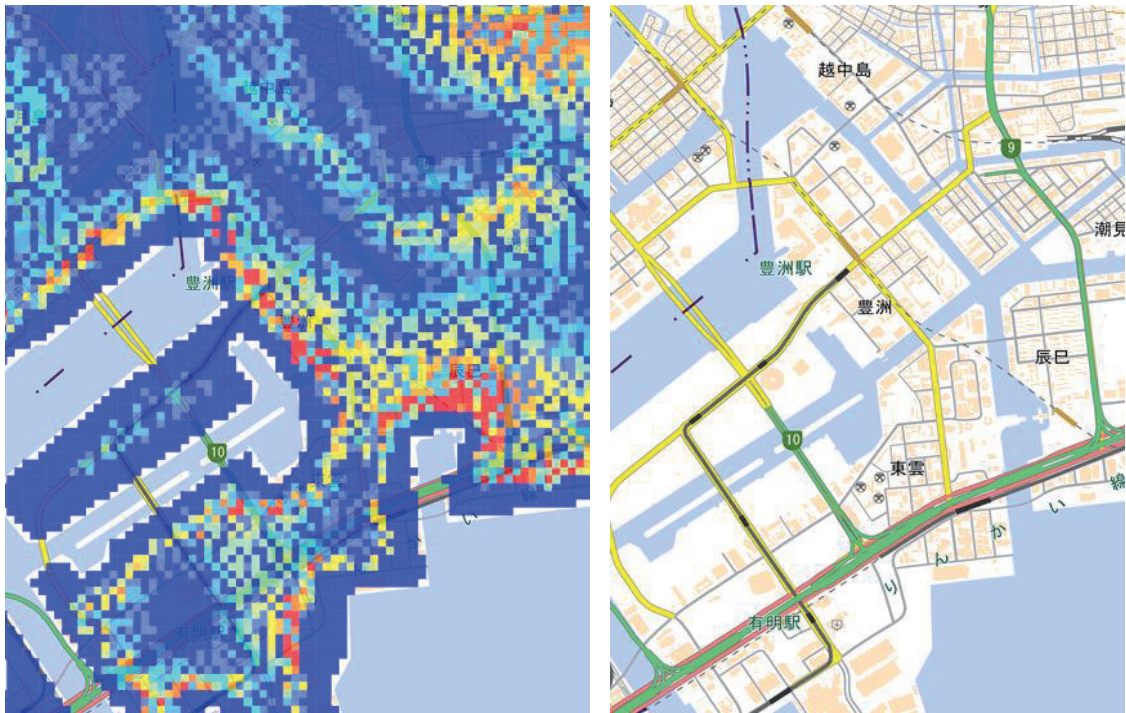


図9 江東区における地中熱分布の局地性（赤：潜在性大、青：潜在性小）[7]

### 3.3 河川熱利用[8]

河川熱も地中熱と同様、温度の安定した熱源の利用により COP 向上を実現する。箱崎地域では、隅田川の流量の約 1% を利用し、利用温度差を冬期にはマイナス 3 度以内、夏期は 5 度以内とすることで放流が許可されている。箱崎では河川熱利用によって、COP が冷水製造時で約 0.8、温水製造時で約 1.1 ほど向上する。東京では利用潜在性は高いが、堤防や道路により配管が遮られると、コスト高と熱輸送損失の増大を招く。

### 3.4 従来型 HP と次世代型 HP の運転特性

近年、空調や照明の高効率化が進んでいる。空調では、従来のものは部分負荷率が低下するほど COP が低下するため、ゆとりのある空調設備を導入すると省エネルギー性が損なわれる傾向があった。しかし次世代型（DC インバータ駆動方式）では、部分負荷率が 60% 以上でほぼ平坦となり、冷房時には 100% 以下で最大となることもある[9]。従来型 HP（AC 駆動方式）と次世代型 HP について外気温と部分負荷率に対する COP の関係を冷房と暖房それぞれ図 10、図 11 に示す。従来の多くのモデル研究では、基本的に COP を一定として評価するか、あるいは運転の ON-OFF 状態を[0,1] 2 値変数で表現することが多かった。本提案では、部分負荷と COP の関係に 2 次関数をあてはめモデルに適用する。本研究では、この 2 次関数の当てはめにより、部分負荷特性と COP の関係をより現実的に表現でき、かつ新技術と既存機器の差異を明示できるようになった。

なお、部分負荷率の下限値を明示的に導入するには、非線形性に加え整数 2 値変数の導入が必要となる。これは一般にモデルの求解および最適解の安定性も著しく困難とするので、ここでは導入していない。ただし現在の HP は 20% 程度の低い負荷率でも運転可能なため、この近似の影響は小さいと考えられる。

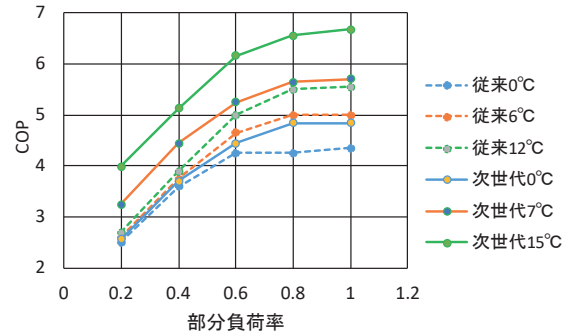
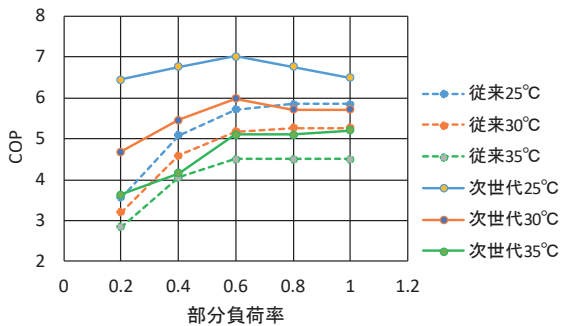


図 10 外気温と部分負荷率に対する COP（冷房）

図 11 外気温と部分負荷率に対する COP（暖房）

## 4. 本研究で想定するモデル

2 章で推計したエネルギー需要に対し、3 章で与えた未利用熱源の潜在性および機器の運転特性を考慮してエネルギーフローモデルを構築し、技術の最適導入を評価する。

### 4.1 モデルのフロー

図 12 に本研究で想定するモデルのフローを示す。従来型のエネルギー機器（買電による従来型 HP またはガス吸収式冷凍機の選択による冷熱供給と、同 HP またはガスボイラ・ガスヒータによ

る暖房供給の選択) に新しい空調用エネルギー機器としてのコージェネレーション(CGS<sup>3)</sup>による冷房・暖房供給および一般電力供給、次世代型 HP による冷房・暖房供給、地中熱・河川熱+HP による冷房・暖房供給)、さらに太陽光発電 (以下、PV) による電力供給と余剰電力の売電を扱う。それぞれの機器の設備容量と前述の 7 季節 24 時間ごとの運転を変数として含む。また、HP の COP は上記のように部分負荷率の 2 次関数で与える。評価関数は基本的に費用最小化による。

各エネルギー機器設備に導入上限制約を与え、コストや CO<sub>2</sub> 排出量の差を見ることで、従来型設備からの新型設備導入による効果や、従来型設備導入を制約することで新型エネルギー機器導入による省エネルギー性、CO<sub>2</sub> 排出削減と総コスト間のトレードオフ関係あるいは補完的関係の有無を見ることができる。さらに、COP を定数とした場合の解と本提案のように設備利用率の関数とした場合の差を見ることで運転特性を明示的に考慮することの影響も評価可能となる。

主な制約式は、①各機器のエネルギー入出力バランス、②(設備 k の時刻 t の出力) ≤ (設備 k の容量) となる運転制約、③可変費および固定費合計コスト計算式、および④CO<sub>2</sub> 排出算出式である。評価関数として、ここでは③の年間総費用最小化を用いている。本モデルでは、3.2 章、3.4 章で述べた HP の部分負荷特性を 2 次関数で表現し、全体を非線形最適化問題として定式化した点に特徴がある。また、ビル間の熱輸送が可能な場合の計算も行っている。機器の主要なパラメータ設定値を表 2 に示す。これらは様々な文献や実績報告から抽出したものであるため、必ずしも最新のデータでない点に注意が必要であり、技術データベースの整備は今後の大きな課題となっている。また、実際の大規模ビルはオフィス以外の店舗等も含むことが多く、需要もより詳細な調査を必要とする。

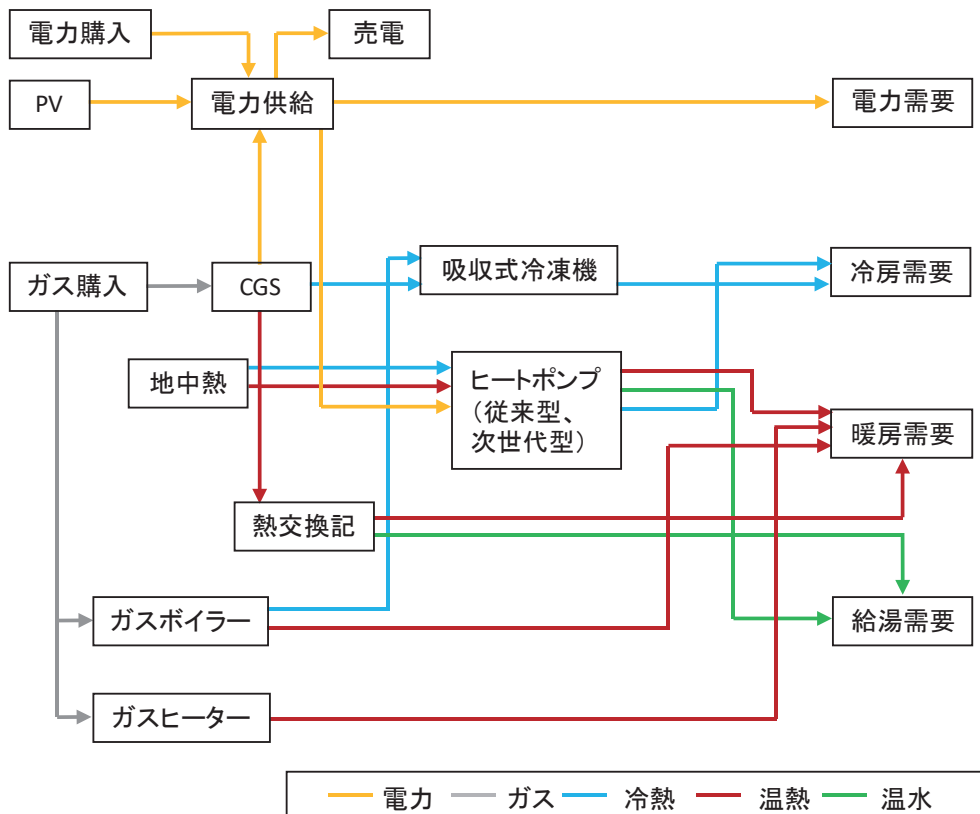


図 12 エネルギーフロー

<sup>3)</sup> 燃料電池やガスエンジン、ガスタービンによる自家発電とその際の排熱を暖房や給湯などに利用するシステム

表 2 主要な機器パラメータ

	Efficiency	Cost
CGS	0.4 (elec. power) 0.45 (heat utilization)	30 (thousand yen/kW)
Boiler	0.95	3.2 (thousand yen/kW)
Ambient air HP	4.7(cooling COP) 3.1 heating COP 3.0 (hot water COP in winter) 4.7 (hot water COP in others)	50.3 (thousand yen/skw) 32.6 (thousand yen/kW)
River heat HP	5.2 (cooling COP) 4.2 (heating COP)	62.8 (thousand yen/kw)
Underground heat HP	6.0 (cooling COP) 4.3 (heating COP)	68.7 (thousand yen/kw)
Gas heater	0.9	10.6 (thousand yen/kW)
Absorption refrigerator	0.7	21.4 (thousand yen/kW)
PV	0.13	3.94 (thousand yen/m2)

## 5. シミュレーションと結果

### 5.1 シミュレーションケースの設定

本研究では、設定した期間を 2015 年とし、シナリオを以下の 7 パターンに設定した。Case0～Case3 は費用最小化の際 HP の運転特性は考慮せず表 2 の値を用い、Case4～Case7 については図 6、9、10 により 2 次関数により内生的に COP を導いている。

- Case0：従来型機器のみ
- Case1：PV
- Case2：PV、CGS
- Case3：PV、CGS、ダブルスキン
- Case4：PV、CGS、次世代型空調システム
- Case5：PV、CGS、ダブルスキン、次世代型空調システム
- Case6：PV、CGS、次世代型空調システム、地中熱ヒートポンプ
- Case7：PV、CGS、ダブルスキン、次世代型空調システム、地中熱ヒートポンプ

### 5.2 シミュレーション結果 1：地中熱価格変動による導入容量の感度分析

地中熱は設備以外に掘削費用および管理費用がかかるが、3.2 章では設備費のみで年経費は与えられない。そこでまず、地中熱の価格を変動させたときのヒートポンプの導入容量変化をシミュレートする。結果を図 13 に示すが、13 円/kWh 以上になると地中熱は全く導入されず 12 円/kWh 以下だと、地中熱のみが導入された。ここでは地中熱は 12 円/kWh で利用可能なものとして計算を行う。

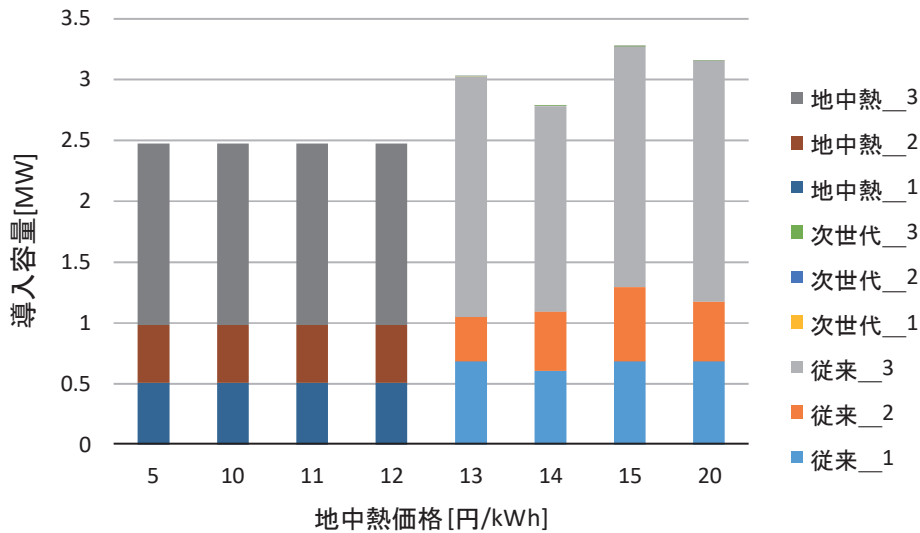


図 13 地中熱価格変動における導入容量：\_\_以下の数字はビルの表 1 の 3 棟のビル

### 5.3 シミュレーション結果 2：費用と CO<sub>2</sub> 排出のケース別結果比較

ここでは、各ケースにおける 3 棟のビル全体の総費用と CO<sub>2</sub> 排出削減率の変化を図 14、図 15 に示す。また運転パターンの一例として Case-6 の夏休日におけるビル 3 の冷房用 HP の冷熱供給と COP 変化をそれぞれ図 16、図 17 に示す。

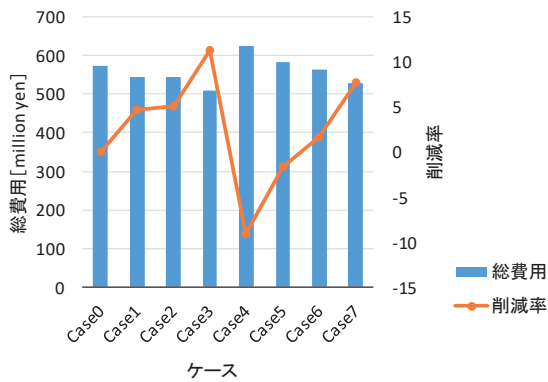


図 14 ケースごとの 3 つのオフィスの総費用

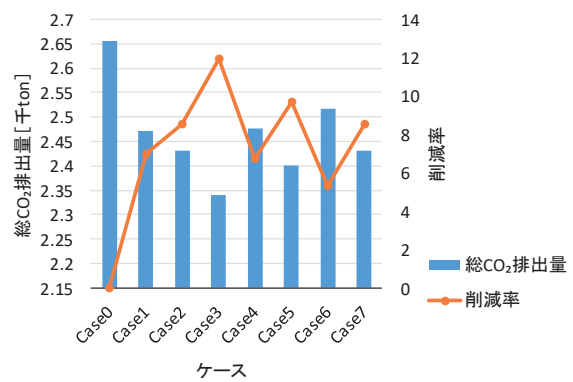


図 15 ケースごとの CO<sub>2</sub> 排出と削減率

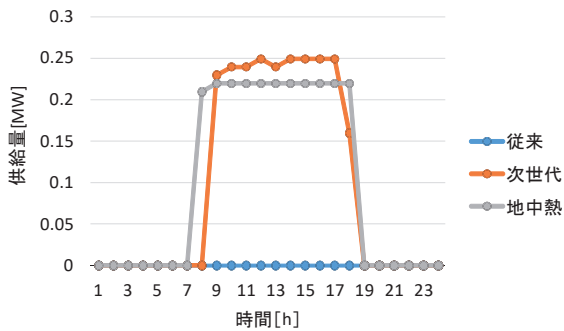


図 16 Case6 の夏休日のビル 3 における冷房へのヒートポンプからの冷熱供給量

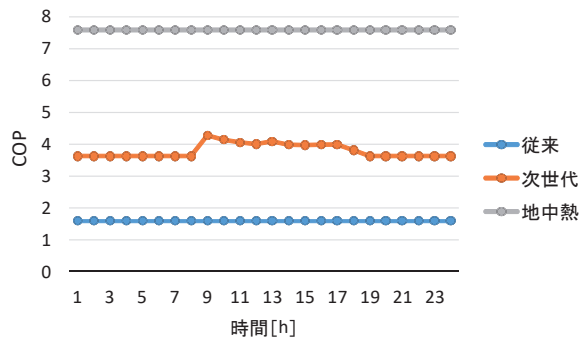


図 17 Case6 の夏休日のビル 3 における冷房の COP

## 5.4 結果のまとめと考察

シミュレーションの結果、機器の導入で平均 4.5%ほどのコスト削減をすることができた。

部分負荷と COP を考慮に入れた Case4 以降は部分負荷特性を考慮しない Case1-3 よりは費用が増えており、運転特性を無視すると費用削減効果が過大に評価されることが分かる。地中熱を用いた Case6、Case7 はコストを削減することができている。このように、運転特性を明示化しない場合、コスト評価に明らかな影響を及ぼすことが分かる。

Case6 と Case7 の比較では、ダブルスキンを導入して冷暖房需要を減らしたにもかかわらず費用がかえって増える結果となった。これは、地中熱の導入の減少が理由と思われる。CO<sub>2</sub>に関しては、機器の導入で 11%ほど削減できた。

従来型機器のみで構成される Case0 と比較すると、地中熱ヒートポンプは費用を 10%削減した。

BAU との比較ではダブルスキンは 6.5%の費用削減と 3.7%の CO<sub>2</sub> 排出削減を示す。次世代型空調機等を組み合わせた結果、総費用は 7.7%削減、CO<sub>2</sub>排出量は 8.5%削減可能となった。今回の評価は一つの試算であり、コストのみに着目して CO<sub>2</sub> 排出削減にインセンティブを与えていない。それでも未利用エネルギー利用と次世代型 HP 機器の導入がコスト最小化に際し CO<sub>2</sub> 排出削減を同時に果たしている点は、これらのさらなる普及が低炭素社会に大きく貢献することを示したものと考えられる。

## 6. 今後の課題と展望

本提案では、江東区の 3 つのオフィスビルを想定し、地中熱や河川熱の利用可能性や HP の運転特性の明示的導入、さらに ZEB 技術としてダブルスキンを取り上げ、経済性・環境性評価を行った。未利用エネルギー利用と次世代型 HP 機器の導入がコスト最小化に際し CO<sub>2</sub> 排出削減を同時に果たせることが示されている。ことに HP 技術の進展は未利用エネルギー利用に大きく貢献した。同時に、COP を一定とするモデルが楽観的な評価をする状況も示された。

しかしながら、現段階の本研究にはいくつかの限界がある。まず、推計された需要と実態との乖離が不明である。文献[2]の原単位法はベンチマークとして広く用いられるものであるが、新規建設の都内の大規模オフィス・商業施設混在のビルでは工法やデザイン、テナントの配置により当然需要は変わると予想される。さらに、現状では夏季、中間期、冬季の平日および休日にピークを加えた 7 季節しか扱っていないため、天候の違いによる需要の変化は扱われていない。需要の想定と推計は第一の大きな限界となっている。次に、機器コストの設定の問題がある。評価には様々な文献値を用いているが、必ずしも最新の時点の値ではない。

以上を踏まえると、本提案の今後の課題と展望は、以下のようにまとめられる。

まず、新技術の潜在性の最大限の発揮には、地理的条件、ミクロな需要調査、天候条件を加味したシミュレーションが必要となる。地中熱・河川熱の評価に見られるよう、エネルギー利用機器技術の進展は、従来悲観的に評価されがちであった熱源の利用に再度光を与えるものである。同時に、利用可能性の地域性の詳細な調査がなければ寄与が過大な評価となる恐れがある。

第 2 に、都市部の民生用エネルギー需要に対する電力消費と CO<sub>2</sub> 排出の削減のためには、個別エネルギー技術開発だけでなく、未利用熱源の潜在性、需要者間の連携などのエネルギーシステムとしての拡大と連携によるシナジー効果が効果的かつ不可欠であると考えられる。

第 3 に、ZEB 技術のようなエネルギー需要の削減技術の評価には建設コストと電力費用および CO<sub>2</sub> 排出の削減だけでなくエネルギー機器の特性と合わせた全体的な視点が必要であり、これによりさらなるシナジー効果がありうる。例えば、ビルの省エネには ICT の活用によるエネルギー管理システムも開発されているが、この効果もまだ考慮されていない。

今後さらに、電気自動車(EV)との連携可能性に範囲を広げ、さらなる ICT との連携による地域移動の把握、EV 充電への課金方法等への拡大が重要となる。

以上から、今後の開発方向性として、新技術の包括的なデータベースの整備、技術のボトルネック等の定量的なシミュレーション評価が低炭素社会の実現へ向けての重要な鍵となろう。

## 7. 政策立案のための提案

東京都を例として、大型ビルの空調用エネルギー需要を賄う手段として、近年の HP 技術の進展を具体的に反映することで地中熱や河川熱などの未利用エネルギー利用を再評価した。また ZEB 技術の定量的評価を試みた。これらの技術は、CO<sub>2</sub> 排出削減だけでなく経済性からも効果が期待できるものであった。他方、その効果は地理的条件や需要のパターンとも依存する。

以上を踏まえ、政策立案のために以下の提案を行う。

- (1) 都市部における未利用エネルギー源は、HP などエネルギー利用機器が進展した現代においては、低炭素社会実現のための大きな潜在性を持つ。これらの未利用エネルギー源は、過去、費用的に見放された技術であるが再評価されるべきである。
- (2) これらのエネルギー源は局所的に賦存しているため、利用に備え、詳細な利用可能性調査を事前に整備すべきである。
- (3) 都市部の民生部門の省エネルギーと低炭素化のためには様々な技術オプションがあるが、これらが効果を発揮するためには、それらの技術オプションの好ましい組み合わせの追求が必要である。そのためには、需要サイドについても季節性や天候影響を踏まえた調査がなされねばならない。
- (4) 今後、EV との連携や ICT との連携によるさらなる相乗効果が期待できる。それらの定量的評価のための標準的なツールの開発が望まれる。

## 参考文献

- [1] 経済産業省 資源エネルギー庁, ZEB ロードマップ検討委員会における ZEB の定義・今後の施策など, [https://sii.or.jp/zeb26r/file/siryo\\_1.pdf](https://sii.or.jp/zeb26r/file/siryo_1.pdf) (閲覧日 2017.1.23).
- [2] 伊香賀他, 集合住宅を対象とした温暖化防止対策とその削減効果(その 1) 研究目的と東京各地の冷暖房負荷解析, エネルギー資源学会第 20 回研究発表会講演論文集, 2001.
- [3] 庄司研, 樋渡潔, ダブルスキンを用いた事務所ビルの自然換気による省エネルギー効果に関する基礎的研究, 大成建設技術センター報第 38 号, 2005.
- [4] 横浜市建築局保全推進課泉区区政推進課, 平成 24 年 6 月 14 日横浜市記者発表資料, <http://www.city.yokohama.lg.jp/izumi/16press/pdf/24.06.14-chichunetsu.pdf> (閲覧日 2017.12.18).
- [5] 大岡龍三, 関東の地中熱利用, [http://www.geohpaj.org/old\\_information/doc/ohoka.pdf](http://www.geohpaj.org/old_information/doc/ohoka.pdf) (閲覧日 2017.1.23).
- [6] 環境省, ゼネラルヒートポンプ報告書(概要), <http://www.env.go.jp/policy/etv/pdf/list/h27/052-1502a.pdf> (閲覧日 2016.12.23).
- [7] 東京都環境局地球環境エネルギー部, 東京地中熱ポテンシャルマップ, [http://www.kankyo.metro.tokyo.jp/energy/renewable\\_energy/ne2/tichumap/index.html](http://www.kankyo.metro.tokyo.jp/energy/renewable_energy/ne2/tichumap/index.html) (閲覧日 2016.12.20).
- [8] 杉本由美子, 環境と建築 第 04 回: 未利用エネルギーの有効活用, 東京都建築士事務所協会発行コア東京, 2008.
- [9] ダイキン工業株式会社, ダイキン空気の技術 インバータ, [http://www.daikin.co.jp/air/tech/inverter/summary/index.html?ID=air\\_tech](http://www.daikin.co.jp/air/tech/inverter/summary/index.html?ID=air_tech) (閲覧日 2017.11.1).

---

低炭素社会の実現に向けた  
技術および経済・社会の定量的シナリオに基づく  
イノベーション政策立案のための提案書

社会システム編

新しいエネルギー変換・貯蔵機器技術、未利用  
熱源およびビル省エネルギー技術の導入と技術  
特性を明示した都市分散エネルギーシステムの  
在り方に関する研究

平成 30 年 1 月

**A Study on Urban Distributed Energy System Design Including  
New Energy Conversion and Storage Systems, Unused Heat Sources,  
and Net Zero Energy Building Technologies**

Strategy for Social System,  
Proposal Paper for Policy Making and Governmental Action  
toward Low Carbon Societies,  
Center for Low Carbon Society Strategy,  
Japan Science and Technology Agency,  
2018.1

国立研究開発法人科学技術振興機構 低炭素社会戦略センター

---

本提案書に関するお問い合わせ先

- 提案内容について・・・低炭素社会戦略センター 上席研究員 森 俊介 (Shunsuke MORI)
- 低炭素社会戦略センターの取り組みについて・・・低炭素社会戦略センター 企画運営室

〒102-8666 東京都千代田区四番町5-3 サイエンスプラザ4階  
TEL : 03-6272-9270 FAX : 03-6272-9273 E-mail : lcs@jst.go.jp  
<https://www.jst.go.jp/lcs/>

© 2018 JST/LCS

許可無く複写・複製することを禁じます。  
引用を行う際は、必ず出典を記述願います。

---