

S-3 脱温暖化社会に向けた中長期的政策オプションの多面的かつ総合的な評価・予測・立案
手法の確立に関する総合研究プロジェクト

3. 都市に対する中長期的な二酸化炭素排出削減策導入効果の評価

(8) 都市への対策導入における各主体間の協力・競合関係の総合評価とシミュレーション (第Ⅰ期
平成 16~18 年度)

地域冷暖房とコジェネの導入による削減効果 (第Ⅱ期平成 19~20 年度)

東京理科大学 理工学部経営工学科

森 俊介

日本工業大学 工学部システム工学科

石田 武志

<研究協力者> 東京理科大学

理工学部経営工学科

大蔵 将史

平成16~20年度合計予算額 13,315千円

(うち、平成20年度予算額 2,497千円)

※上記の合計予算額には、間接経費 3,073千円を含む

[要旨] 京都議定書の発効と地球温暖化問題への実効性ある取り組みが重視される中、民生部門、特に都市部での住宅と業務用建物の CO₂ 排出削減の手段の重要性とその効果に注目が集まっている。その手段として、ガス小型発電と廃熱利用により総合的なエネルギー効率向上を目指すコジェネレーションの導入と、集中型発電設備の効率性を主張するヒートポンプの双方に期待が寄せられている。しかしその CO₂ 削減ポテンシャルは需要パターン、機器特性、温度特性に依存するところが大きい。本研究において、平成 16 年度は、基本フレームの確立と地域エネルギーモデルの構築を行い、平成 17 年度は具体的に宇都宮市への適用を行った。平成 18 年度は、この方法を札幌市および那覇市に適用し、気候特性の異なる日本の 3 都市 17 区に対して適用を行い、日本全体を通じた日本の各市町村の CO₂ 排出削減ポテンシャルは人口密度、経済活動に基づく業務用ビルの全建物床面積に対する比率により、日本全体ではおよそ 18.6%の排出削減ポテンシャルのあることを導いた。平成 19 年度は、さらにこの研究に 3 方向の拡張を加え、環境省脱温暖化プロジェクトが提示した日本の将来のライフスタイルと経済・産業に関する姿を描いた 2 つの将来シナリオに対し、どのような CO₂ 排出削減の姿が描れるかの評価を行った。第 2 に、大型商業施設と住宅に対し、新しい太陽熱利用空調設備がどのような効果を持ちうるかの評価を行った。さらに第 3 に電力品質の向上及び省エネルギーのための分散エネルギーのネットワークについて、各需要家に設置された分散電源を隣接需要家間で連動運転することによる省エネルギー可能性及び最適用途構成の条件を、モデル化し分析を行った。

平成 20 年度は、地域分散エネルギーと大規模集中型電気事業者の相互影響を視野に加え、広域評価を東京電力管内の 38 地域に適用しモデリングを行った。ここで費用最小化と CO₂ 排出最小化について、需要家と事業者が異なる重み付けで行動する場合の組み合わせに関して定量的評価を行い、コスト重視-CGS/HP なしのケースから比べると、最大約 28%の CO₂ 削減ポテンシャルのあることが示された。

[キーワード] 地域特性、機器特性、非線形混合整数計画モデル、太陽熱利用空調、分散エネルギー

ネットワーク

1. はじめに

近年における我が国のエネルギー消費の中で、民生部門と運輸部門においては温暖化対策が急がれながらもエネルギー消費はなお増大の傾向が著しい。地球温暖化対策として CO₂ 排出削減のために熱電併給発電(コージェネレーション)システム(以下 CGS)や太陽光発電システム(以下 PV システム)、CO₂ ヒートポンプ給湯機(以下 CO₂HP)などの省エネルギー技術の導入効果が期待されている。CGS は地域冷暖房(以下 DHC)として導入すれば、熱輸送を通じて総合的なエネルギー利用効率の向上が期待されている。また、太陽エネルギーの利用に期待があるが、PV システムはコスト上導入に限界があった。近年、太陽熱を吸湿に用い、室内の潜熱を室外に排出することで空調効果を効率化するデシカント空調も注目されている。しかしこれらの機器はそれぞれが異なる特性を持ち、効果は導入対象のエネルギー需要に依存する。例えば、CGS は発電廃熱の有効利用により省エネルギーを実現するシステムであるが、廃熱が有効利用できない時間帯のエネルギー利用効率は低い。

近年分散エネルギーのネットワーク化の試みが各所で検討・実施され、一部で実証試験等も始められているが、一般に自然エネルギーの出力安定性の問題がある。そこで分散エネルギー間で電力や熱の融通を行い、新エネルギーを組み合わせ制御するシステムすることで安定供給と省エネ性を両立させる試みがあるが、その最適な設計手法の検討は未だ十分に進んでいない状況である。また従来の研究は建物あるいは地域単位での評価にとどまり、日本全体でのポテンシャル評価を具体的な機器構成モデルの積み上げにより行った例はない。

本研究では、平成 16 年度にまず基本フレームの確立と地域エネルギーモデルの構築を行い、平成 17 年度は具体的に宇都宮市への適用を行った。平成 18 年度に宇都宮市、札幌市、那覇市という気候特性の異なる日本の 3 都市 17 区に対して最適導入と運用モデルを適用し、気候特性、需要家構成の異なる 17 地域における一貫した CO₂ 排出削減ポテンシャルを見いだした。これを日本全体に拡張適用した場合、およそ 18.6%の排出削減ポテンシャルを導いた。

平成 19 年度はさらに環境省脱温暖化プロジェクトが提示した日本の将来の 2 つの将来シナリオにおける CO₂ 排出削減評価を行い、大型商業施設と住宅に対し、新しい太陽熱利用空調設備がどのような効果を持ちうるかの評価を行った。さらに、上記分散エネルギーのネットワークにおける分散電源の隣接需要家間での連動運転の効果をモデル化し分析を行った。

平成 20 年度は、地域分散エネルギーと大規模集中型電気事業者の相互影響を、これまでに開発したモデルを東京電力管内の 38 地域に適用することによって解析した。また分散電源の隣接需要家間での連動運転の効果を評価を具体化した。

2. 研究目的

本研究では、過去の研究によって開発されたモデルシミュレーションをもとに、日本全体の CO₂ 排出削減ポテンシャル導入効果評価の将来予測をおこなう。さらに、本研究で開発したモデルと枠組みをもとに、太陽熱利用空調機器の夏季の冷房時期における削減効果を大型商業施設と住宅を対象に評価する。

また分散エネルギーネットワークの地域最適導入手法として、分散電源の隣接需要家間での連動運転効果をとその条件をモデル構築する。

次いで、需要家の行動は、当然ながら電気事業者の電源構成にも影響すると考えられることから、電気事業者と需要家に適用した。ここで、各需要家と、営利企業である電気事業者では行動の基準が異なることが想定される。そこで、費用最小化とCO₂排出最小化の相対的ウェイトが両者で異なることをモデルに組み入れ、行動の基準によりどのように結果が異なるかの評価を目的とする。

3. 研究方法

(1) GISによる17地域への分散エネルギーシステム導入評価と全国への適用

1) 17地域建物用途別床面積データとエネルギー負荷の推計

本研究ではこのGIS(Geographic Information System)のデータを用いて建物用途別床面積の推計を行う。対象地域は札幌市、宇都宮市、那覇市から、各々複数地域を設定する。札幌市および宇都宮市における対象地域は図1、図2のように設定する。図3にGISから抽出しまとめた対象地域の延床面積データを示す。各建物のエネルギー負荷について、まず用途別需要4種(冷房・暖房・給湯・電力)について、各々7期(冬季・夏季・中間期の各々平日・休日と夏季ピーク)24時間帯で推計を行う。季節設定は地域ごとに異なるため表1のように設定する。家庭用の負荷は先行研究^[1]に従い推計した。

表1 季節と日数の設定

	夏季ピーク	夏季平日	中間期平日	冬期平日	夏季休日	中間期休日	冬期休日
札幌	3	66	68	133	23	24	48
宇都宮	3	84	85	85	35	37	36
那覇	3	163	83	0	78	38	0

業務負荷に関しては、事務所、商業、ホテルを対象とし、日建設計伊香賀氏によるビル用途別エネルギー需要原単位データ^[2]を用いる。図4、図5に札幌市を例に、家庭用と事務所要の電力需要原単位推計値を示す。



図1 札幌市対象地域



図2 宇都宮市対象地域

図6のフローに従い建物用途別床面積データと建物用途別負荷データを各々掛け合わせることによ

り、地域別エネルギー需要を求める。図7に例として豊平区の夏平日における時刻別電力需要を示す。図8は同じ豊平区の用途別需要を推計したものである。

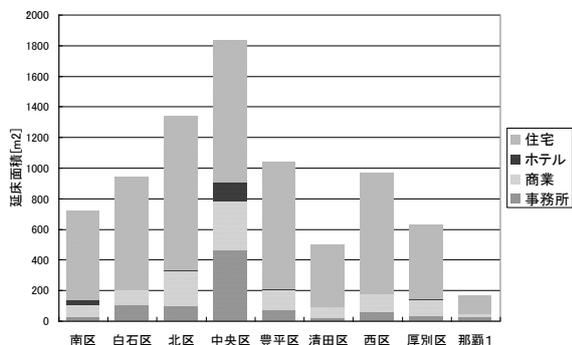


図3 延床面積データ

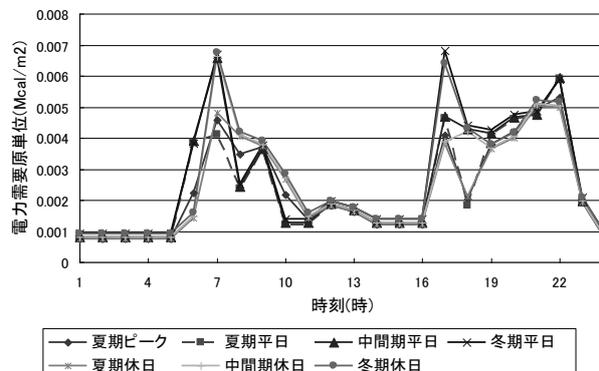


図4 札幌市電力需要原単位(家庭用)

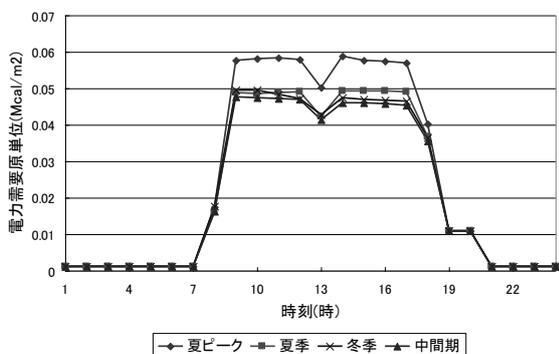


図5 札幌市電力需要原単位(事務所)

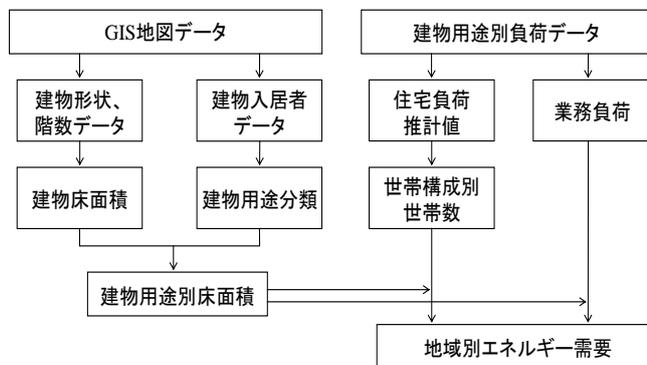


図6 モデルの評価フロー

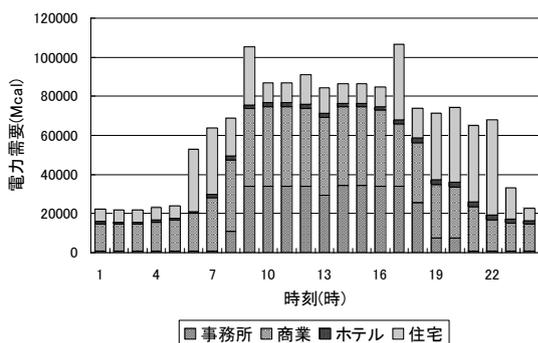


図7 時刻別電力需要(豊平区・夏平日)

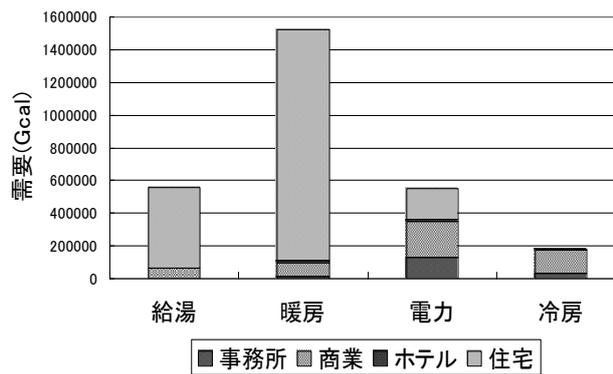


図8 年間用途別需要(豊平区)

2) 東京電力管内 38 地域のエネルギー需要

1) と基本的に同様の方法を表2に示す東京電力管内1都8県38地域に適用することで地域別の需要家種別・用途別エネルギー需要を求める。

表 2 地域の分類

東京	特別区	多摩地方			
千葉	西地域	東地域	中央地域	南地域	
栃木	県北地域	県東地域	県西地域	県央地域	県南地域
神奈川	横浜川崎地域	県央地域	横須賀三浦地域	湘南地域	足柄上地域
	西湘地域	県北地域			
静岡	伊豆地方	東部地域			
埼玉	中央地域	西部地域	東部地域	北部地域	
山梨	峡中地域	峡東地域	峡西地域	峡南地域	県東地域
茨城	県央地域	県北地域	鹿行地域	県南地域	県西地域
群馬	中毛地区	西毛地区	北毛地区	東毛地区	

3) 全国および環境省脱温暖化プロジェクト将来の CO₂ 排出削減ポテンシャルの推計

まず、地域民生用エネルギー排出削減モデルを開発し、これに基づいて、札幌、宇都宮、那覇 17 地域の削減ポテンシャルをもとに、我が国南北に共通する傾向を抽出する。次いで、将来の環境省脱温暖化プロジェクトのシナリオ世帯構成をもとに、排出削減ポテンシャルを推計する。

(2) 民生用最適エネルギー需給システムのモデリング

本研究で基本となるモデルは、平成 18 年度に構築した分散型最適エネルギー需給システムモデルである。このモデルは、図 9 のように中央に配置された冷房・暖房・空調・そのほか電力需要を与える、これを賄うための最適な分散エネルギーシステム(図右側)または売電とガスによるグリッド型エネルギー供給(図左側)からの最適なエネルギーシステム機器導入と運用を計算するものである⁽³⁾。図 10 あるいは図 11 にあるよう、機器のミクロな運転特性、特に部分負荷特性や ON-OFF 特性、あるいは HP の外気温による成績係数の依存性などが非線形混合整数計画法により表現されている⁽⁴⁾。

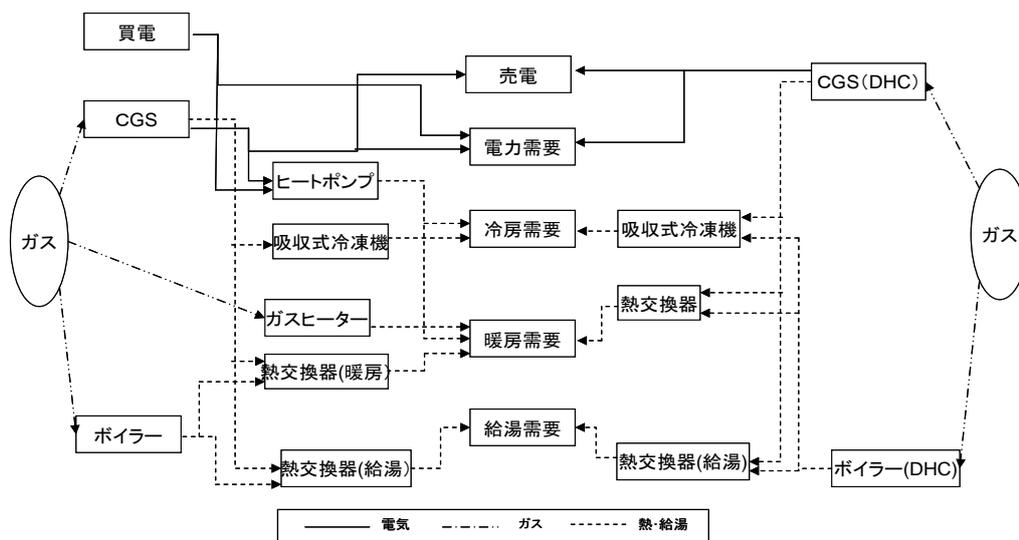


図 9 エネルギーフロー

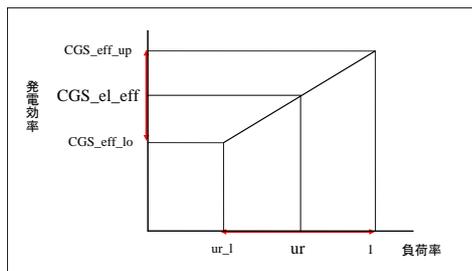


図 10 CGS 部分負荷特性

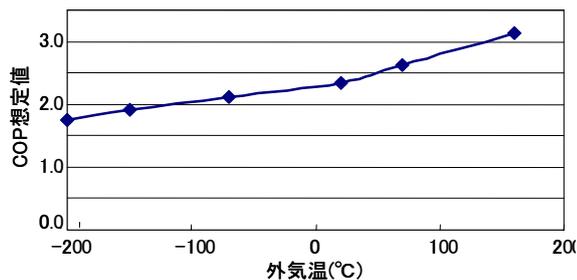


図 11 外気温とHPのCOPの関係

目的関数は CO_2 排出最小化またはコスト最小化とする。主要な式の一部を以下に示す。

CGS 容量の制約式

$$x_g(r,k,i,j) \times cgs_el_ef(r,k) \leq x_cap(r,k) \quad (1)$$

ガスヒーター容量の制約式

$$g_hr(r,c,i,j) \times g_hr_eff \leq g_hr_cap(r,c) \quad (2)$$

ガスボイラー容量の制約式

$$g_hw(r,c,i,j) + g_abs(r,c,i,j) \times g_bo_eff \leq g_bo_cap(r,c) \quad (3)$$

給湯の購入容量

$$D_hr_im(r,c,i,j) + D_hw_im(r,c,i,j) \leq HW_tr_cap(r,c) \quad (4)$$

冷水の購入容量

$$D_c_im(r,c,i,j) \leq CW_tr_cap(r,c) \quad (5)$$

CGS からの電力販売量の制約式

$$x_c_ex(r,k,i,j) \leq x_g(r,k,i,j) \times cgs_el_ef(r,k,i,j) \quad (6)$$

電力需要のバランス式

$$y(r,c,i,j) + x_g(r,c,i,j) \times cgs_el_ef(r,c) + x_c_im(r,c,i,j) - x_c_ex(r,c,i,j) \\ = D_eo(r,c,i,j) + HP_cr(r,c,i,j) + HP_hr(r,c,i,j) \quad (7)$$

ガス需要のバランス式

$$gas_d(r,c,i,j) = x_g(r,c,i,j) + g_hw(r,c,i,j) + g_abs(r,c,i,j) + g_hr(r,c,i,j) \quad (8)$$

CGS の熱需要のバランス式

$$x_g(r,c,i,j) \times cgs_ht_ef(r,c) \times cgs_hx_ef(r,c) \geq \\ c_h_hw(r,c,i,j) + c_h_rh(r,c,i,j) + c_h_rc(r,c,i,j) \quad (9)$$

室内冷房需要のバランス式

$$\begin{aligned}
 D_rc(r, c, i, j) \leq & \\
 Absc_cr(r, c, i, j) \times COP_c_Abs(c) + HP_cr(r, c, i, j) \times COP_c_hp & \quad (10) \\
 + D_c_im(r, c, i, j) \times ht_eff &
 \end{aligned}$$

室内暖房需要のバランス式

$$\begin{aligned}
 D_rh(r, c, i, j) \leq & \\
 c_h_rh(r, c, i, j) + HP_hr(r, c, i, j) \times COP_h_hp + g_hr(r, c, i, j) \times g_hr_eff & \quad (11) \\
 + D_hr_im(r, c, i, j) \times ht_eff &
 \end{aligned}$$

(3) CO₂ 排出削減ポテンシャルと日本全体への適用手順

札幌から那覇までの 17 地域における業務建物の割合に対する CO₂ 削減率を図 12 に示す。

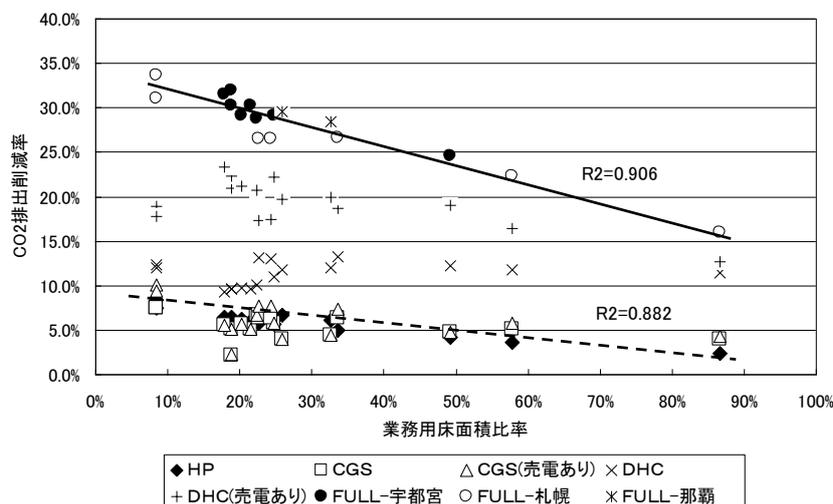


図 12 業務建物の割合と CO₂ 削減率の関係

この図から、CO₂ 排出削減ポテンシャルに直結する指標として、業務用建物面積の比率が重要であることが示された。そこで、この分布をモデル化する。まず、図 13、14 に実際の宇都宮市の市街地中心からの距離と、建物面積密度の関係を示す。次に、この面積密度を中心部からの距離の関数として当てはめる。具体的には、以下の式で表す。なお()内は t-値である。

$$\begin{aligned}
 \ln(Drs(x)) = 12.952 - 3.053x^{1.8} & \quad \ln(Dbs(x)) = 13.310 - 4.46x^{1.3} & (12) \\
 (140.8) \quad (32.2) \quad R^2 = 0.988 & \quad (53.9) \quad (-15.8) \quad R^2 = 0.95
 \end{aligned}$$

$Drs(x)$: 住宅建物面積密度 $Dbs(x)$: 業務建物面積密度

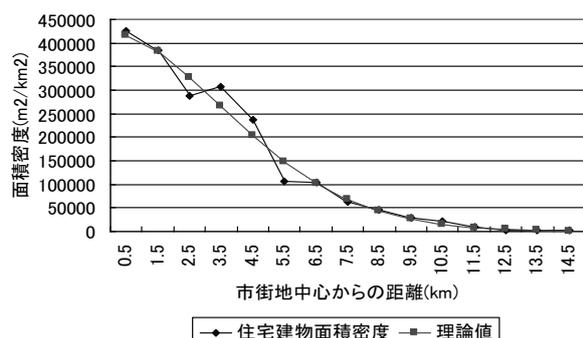


図 13 住宅建物面積密度の
市街地中心部からの距離の変化

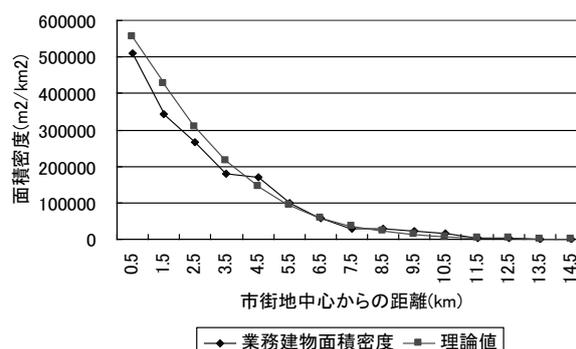


図 14 業務建物面積密度の
市街地中心部からの距離の変化

市街地中心からの距離を 0.5km ごとの区間に区切り、円環面積と上記の式より、区間ごとの住宅建物面積・業務建物面積・業務面積比率を求める。表 3 に結果を示す。表 3 より中心からの距離が 8.5km ~9.5km において業務面積比率が最小となり、その後増加に向かうことがわかる。

表 3 区間ごとの業務面積比率

中心からの距離(km)	業務建物面積密度(理論値)(m²/km²)	区間面積(km²)	業務建物面積(m²)	住宅建物面積(m²)	業務面積比率
0.5	555197.4	0.79	436051	326583	0.57
1.5	427133.8	6.28	2683759	2395187	0.53
2.5	308569.6	12.57	3877597	4114412	0.49
3.5	213638.2	18.85	4026981	4999647	0.45
4.5	143066.2	25.13	3595642	5113434	0.41
5.5	93175.4	31.42	2927190	4655094	0.39
6.5	59234.5	37.70	2233086	3870617	0.37
7.5	36857.3	43.98	1621066	2981790	0.35
8.5	22492.7	50.27	1130604	2147294	0.34
9.5	13484.6	56.55	762535	1454263	0.34
10.5	7952.3	62.83	499660	930278	0.35
11.5	4618.4	69.11	319204	563919	0.36
12.5	2643.9	75.40	199349	324756	0.38
13.5	1493.2	81.68	121967	178042	0.41
14.5	832.5	87.96	73234	93077	0.44
15.5	458.5	94.25	43217	46465	0.48
16.5	249.6	100.53	25096	22177	0.53
17.5	134.4	106.81	14355	10130	0.59
18.5	71.6	113.10	8095	4433	0.65
19.5	37.7	119.38	4505	1860	0.71

これを日本のその他の地域に適用する。まず市の面積の平均半径で正規化し、正規化距離と面積密度の割合の関係が一定と仮定する。さらに市の人口密度が高ければ、住宅建物面積密度も比例的に高いと考える。また、経済活動指標が高ければ、業務建物面積密度も高いものとする。本研究での経済活動指標は、市区の人口 1 人当たりの小売商品販売額とする。これにより、業務用建物面積と住宅面積の比率が変わる。この手順は、気候が大きく異なる地点に一貫して見いだされた傾向の適用であるとは言え、解析した地域数や宇都宮市の結果の全国への拡張、加重指標など、今後検証の必要な課題を多く残している。しかしながら、機器の運転特性やエネルギー用途別需要から一貫した手順で

広域の潜在的 CO₂ 排出削減率を推計する方法として、従来にないものであると考えられる。

(4) 環境省脱温暖化プロジェクトに基づく将来予測の方法

1) 日本全体の CO₂ 排出削減率の推計

環境省脱温暖化プロジェクトでは、今後の人口減少のもとで、多くの人々が都市での効率性と利便度の高い生活を志向する「シナリオ A」と、郊外での地産地消を志向する生活の社会「シナリオ B」の2種類を設定している⁽⁶⁾。今回、次の2点の仮定を導入し推計を行う。

- ① 県の人口が減少すれば、人口密度が合わせて低下するとする
- ② 人口が β に減少した後の地域 CO₂ 排出削減率を、 $d = 1 - (1 - x)\beta$ とする。x は CGS 等による潜在削減率である。

2) 太陽熱利用による民生用建物の CO₂ 排出削減効果の評価

① 対象建物と太陽熱利用技術

近年の都市開発により、ショッピングモールは複数の店舗を集約し大型化する傾向がある。このような施設では来客数が多く、空調用需要が特に多い。また人が多いため発熱源と同時に除湿に注意が必要となる。他方、一般住宅でも省エネルギー設備に対する関心も上がりつつある。

これまで、太陽熱利用はもっぱら給湯に限られてきた。これに対し、シリカゲルなど除湿剤を用い太陽熱を乾燥に利用する図8のデシカント空調^[6]は、太陽熱を除湿に利用するもので、低コストかつ HP の負担の低減効果が期待されている。本研究では日射量データをもとに、デシカント空調と PV の効果を前述のモデルの拡張により評価を行う。拡張されたモデルフローは図16のように構成される。除湿の効果を明示的に扱うため、空調負荷を潜熱負荷と顕熱負荷に明示的に分けて推計し、それぞれに独立に HP の成績係数を設定する。

本研究で例として用いるショッピングモールと住宅を表4および図17に示す。

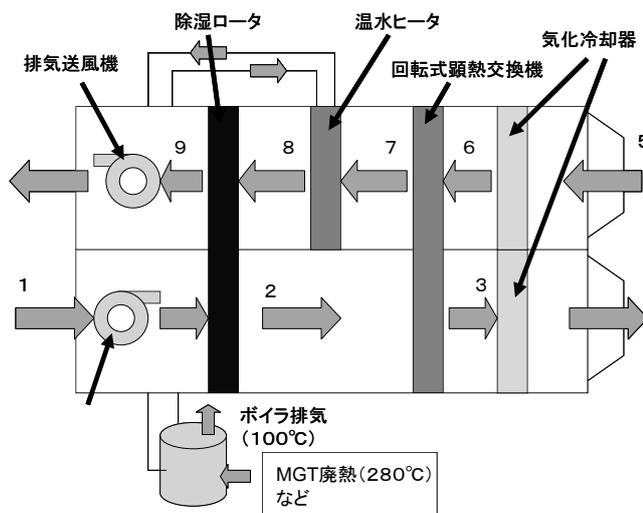


図15 デシカント空調システムの構成

表4 本研究で用いる大型ショッピングモールの建物データ

延床面積(m ²)	店舗面積(m ²)	屋根面積(m ²)
144517	42021	36129.25

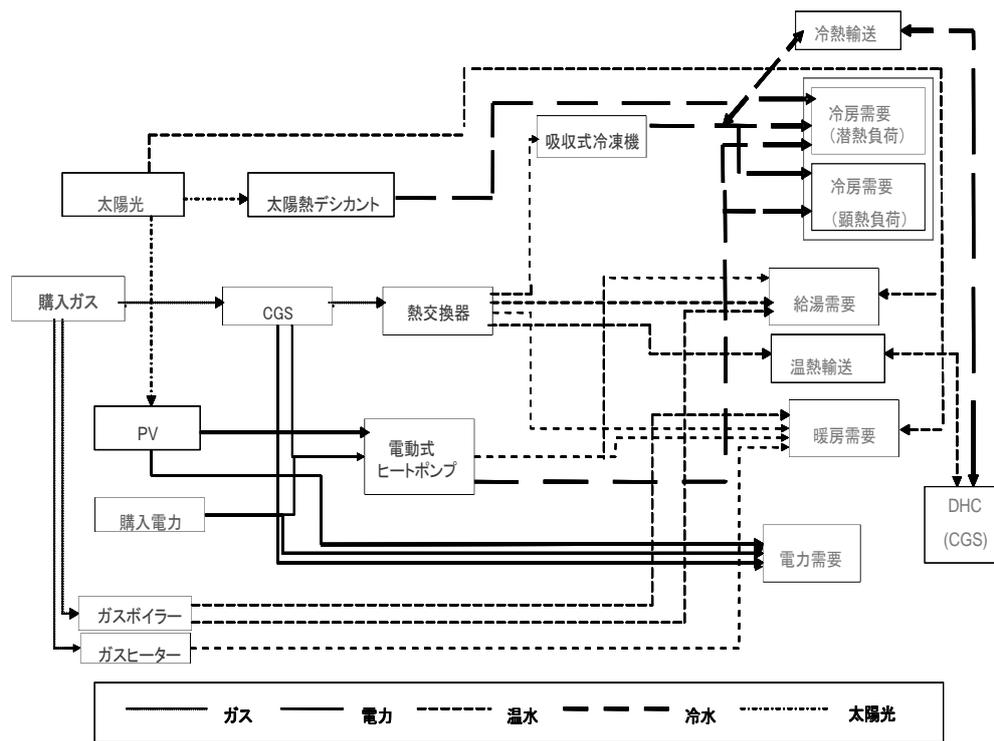


図 16 本研究で用いるモデルのフロー

ここには、テナントとして、ファッション関係の店舗 (約 5200 m²)、その他の店舗 (約 3500 m²)、スーパーマーケット (約 1800 m²) が存在する。本研究では顕熱比 (SHF) を 0.85 と定めた。

住宅として、建築学会の住宅用標準モデル^[7]を用いる。グラスウール 24K (50 mm) を断熱材として用いた総 2 階、5LDK の物件である。屋根の種類は寄棟屋根とした。

この建物に、表 5 の家族構成を設定する。エネルギー需要は、生活時間調査に基づき設定する。また外気温と日射量の地域差を見るため、住宅に関しては東京と大阪で比較を行うこととする。

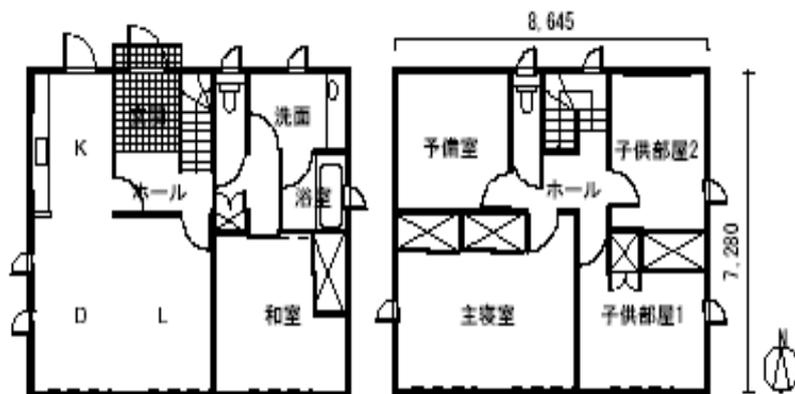


図 17 標準住宅平面図

表5 設定する家族構成

家族構成			
男勤め人	家庭婦人	子供1	高齢者(女)
男勤め人	家庭婦人	子供1	子供2
男勤め人	女勤め人	子供1	子供2

② エネルギー需要

電力とエネルギー負荷の推計結果を、商業施設の場合に図18-図19に、住宅の場合を図20-図21に示す。このように、世帯構成によるエネルギー需要の差は冷房のみでも明確に表れる。したがって、太陽熱利用の効果は両者で異なることが予想される。

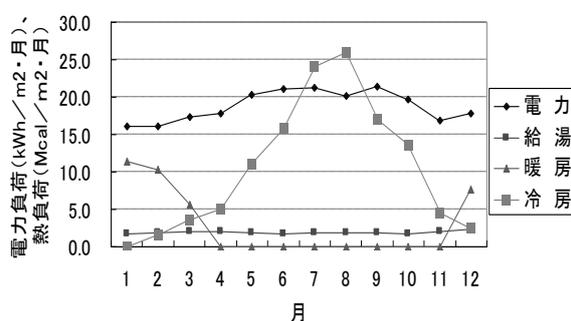


図18 店舗における月間の電力・熱負荷の標準値

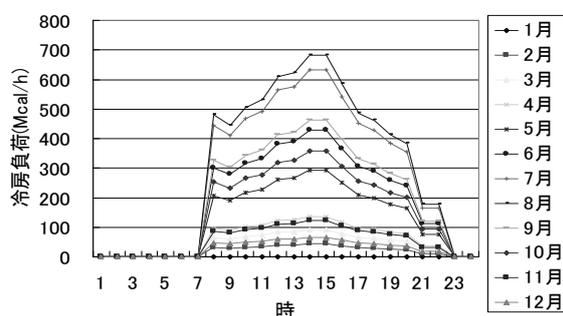


図19 商業施設の月別・時間別冷房負荷推計値

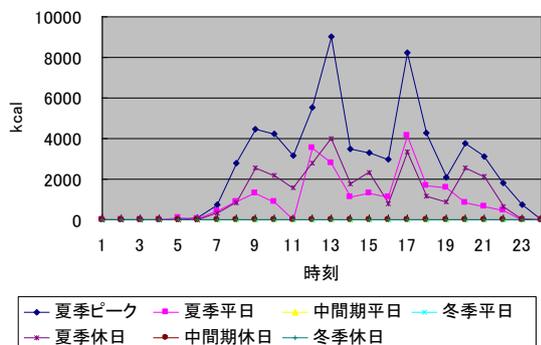


図20 冷房需要推計値(東京・家庭婦人世帯)

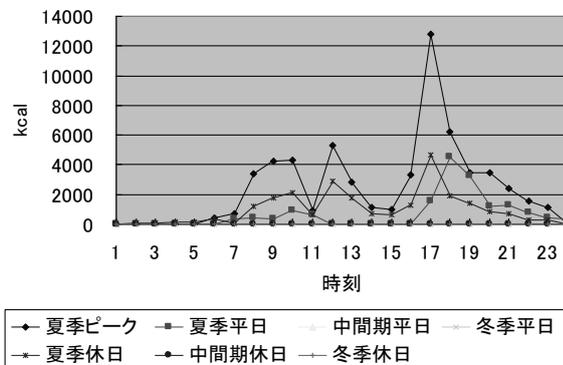


図21 冷房需要推計値(東京・女性勤め人世帯)

③ モデルの定式化

本研究で用いるモデルは、基本的に図8のエネルギーバランス式および変換バランス式からなるフローモデルに、潜熱と顕熱に対する空調機器の定式化を加えたものである。拡張した式を以下に示す。

$$D_{rc_A}(c, i, j) = SHF(i, j) * D_{rc_Flr}(c, i, j) \quad (13)$$

$$D_{rc_B}(c, i, j) = (1 - SHF(i, j)) * D_{rc_Flr}(c, i, j) \quad (14)$$

$$COPS(i, j) = -0.0257 * T_{mprt}(i, j) + 1.0497 \quad (15)$$

$$D_{rc_BP}(i, j) = D_{rc_B}("DHC", i, j) - Solar_HT(i, j) * COPS(i, j) \quad (16)$$

SHF：空気中における顕熱比

$D_{rc_A}(c, i, j)$ ：各階ごとの冷房負荷中の顕熱負荷[Mcal/h]

$D_{rc_B}(c, i, j)$ ：各階ごとの冷房負荷中の潜熱負荷[Mcal/h]

COPS(i, j)：太陽熱駆動デシカント空調システムの潜熱除去効率[-]

$T_{mprt}(i, j)$ ：外気温度[°C]

$D_{rc_BP}(i, j)$ ：DHC が稼動した後の冷房負荷中の潜熱負荷[Mcal]

Solar_HT(i, j)：太陽熱供給容量[Mcal/h]

3) 東京電力管内 38 地域の分散型エネルギーシステムと大規模集中電源の相互影響評価

① モデルの構成

本研究では、CGS 導入モデルと電気事業者の発電構成モデルの 2 段階評価を行う。まず需要者に対する CGS、DHC の導入評価及びエネルギーネットワークの評価を行う。表 6 に設備データを示す。

表 6 設備データ

CGS発電効率	0.35	CGSの吸収式冷凍機COP	0.7
CGS熱利用効率	0.45	DHCの吸収式冷凍機COP	0.7
CGS熱交換器率	0.9	ガス暖房効率	0.9
DHC発電効率	0.35	ガス給湯器効率	0.9
DHC熱利用効率	0.45	ヒートポンプ暖房COP	5
DHC熱交換器率	0.95	ヒートポンプ冷房COP	4.5
DHCガスボイラー効率	0.95	温水冷水熱効率	0.8
DHC逆潮流送電効率	0.96	ガスCO ₂ 排出量原単位	0.0608

この CGS モデルで求めた買電力量に前述の産業用電力需要を加えたものを東京電力の電力需要とする。第 2 段階では、この需要に対する電気事業者の最適な電源構成を事業者モデルで求める。発電技術にはガス火力、ガス複合発電、石油火力、石炭火力、原子力、再生可能エネルギーの 6 種を想定した。表 7 には各発電方式の設備データを示す。

表 7 各発電方式の設備データ

	ガス火力	ガス複合発電	石油火力	石炭火力	原子力	再生可能エネルギー
CO ₂ 排出量 (tC/Mwh)	0.1279	0.1061	0.1773	0.2266	0	0
建設コスト (百万円/Mw)	110	130	120	280	310	500
発電原価 (千円/Mwh)	4.0	3.2	5.0	2.5	2.0	1.0

②モデルの定式化

本評価モデルの定式化は、基本的に前述のモデルと同様のエネルギーフローからなり、各構成機器の入出力エネルギーバランス式からなる。ここでは、電気事業者についての定式化を示す。

$$D_e_UTL(r, i, j) = \sum_g X_gen(r, g, i, j) + \sum_g other(r, g, i, j) \quad (17)$$

$$\sum_r X_gen(r, g, i, j) \leq XC_gen(g) \quad (18)$$

$D_e_UTL(r, i, j)$: r 地域 i 期 j 時間帯の電気事業者からの受電量

$X_gen(r, g, i, j)$: r 地域 i 期 j 時間帯の電気事業者の g 発電設備からの受電量

$Other(r, g, i, j)$: r 地域 i 期 j 時間帯のその他電力需要

$XC_gen(g)$: 電気事業者の g 発電設備の設備容量

r 地域 CGS の費用

$$\begin{aligned} Cnsm_cost(r, C) = & \\ & x_cap(r, c) \times x_FC + g_hr_cap(r, c) \times gh_FC \\ & + g_bo_cap(r, c) \times gb_fc + HP(r, c) \times HP_FC \\ & + absc_cap(r, c) \times abs_fc + HX(r, c) \times HX_FC \\ & HW_tr_cap(r, c) + CW_tr_cap(r, c) \times HTR_FC \\ & + \sum_i \sum_j (gas_VC(c) gas_d(r, c, i, j) + y(r, c, i, j) \times y_prc(r, i, j) + (x_c_im(r, c, i, j) \\ & + x_c_ex(r, c, i, j)) \times x_prc(r, i, j) + (D_c_im(r, c, i, j) \\ & + D_hr_im(r, c, i, j) + D_hw_im(r, c, i, j) \\ & \times HTR_VC \times i_hours(i) \times j_days(j)) \end{aligned} \quad (19)$$

r 地域 DHC の費用

$$\begin{aligned} DHC_cost(r) = & \\ & x_cap(r, "DHC") \times d_FC + D_gbo_cap \times gb_fc + absc_cap(r, "DHC") \times abs_FC \\ & + HX(r, "DHC") \times HX_FC + \sum_i \sum_j (gas_VC(r, "DHC") \times gas_d(r, "DHC", i, j) \\ & + x_c_ex(r, "DHC", i, j) \times s_prc(r, i, j)) \times i_hours(i) \times j_days(j) \end{aligned} \quad (20)$$

電気事業者(東京電力)の総費用

$$T_Cost = \sum_g G_FC(g) + \sum_g \sum_i \sum_j G_VC(g) \times X_gen(r, g, i, j) \times i_hours(i) \times j_days(i) \quad (21)$$

$G_FC(g)$: 発電設備 g の固定費。 $XC_gen(g)$ に固定費用係数を乗じたものとして定義される。

$G_VC(g)$: 発電設備 g の可変費

なお、その他発電設備は外生的に与えられるので、最適化からは除かれる。

上式の費用係数を CO_2 排出係数に置き換えることで CO_2 排出量が得られる。ここでは総費用と CO_2 排出量の重みづけ和(1)式を目的関数とする。

$$\begin{aligned} T_OBJr(r) = & \text{wgt_CO2_r} * (\text{DHC_CO2}(r) + \sum_c \text{Cnsm_CO2}(r,c)) \\ & + (1 - \text{wgt_CO2_r}) * (\text{DHC_Cost}(r) + \sum_c \text{Cnsm_Cost}(r,c)) \end{aligned} \quad (22)$$

$$\text{(電気事業者)} \quad T_OBJ = \text{wgt_CO2} * T_CO_2 + (1 - \text{wgt_CO2}) * T_Cost \quad (23)$$

T_OBJ : 目的関数

T_CO₂ : 各需要家及び DHC の CO₂ 排出量

T_Cost : 各需要家及び DHC の総コスト

wgt_CO₂ : 重み付け係数 (0 < wgt_CO₂ < 1)

本モデルでは、2 段階の最適化を行う。まず、需要家は自らの熱需要及び電力需要に対し、(22)式の評価関数により最適な設備導入と運用を行う。これによって、電気事業者に対する電力需要が定まる。電気事業者、各需要家の需要合計と産業用電力需要の合計に対して最適な電源計画と運用を決定する。ここで、需要家と電気事業者では最適化の目標が異なっており、(23)式のコストと CO₂ 排出に対する重みが異なることになる。

4) 都市街区におけるマイクログリッド等の分散エネルギーネットワーク評価モデルの構築

都市街区における業務建物群と住居群を考え、このうち大規模建物 2 棟 (床面積 16,529m² のホテル、床面積 8,850m² の事務所ビル) に業務用ガスエンジン CGS を、住宅 87 戸に家庭用太陽光発電システム (PV) を導入した場合を考えた。

検討対象の概要を図 22 に示す。CGS、PV を個別に導入した場合 (ケース a) の効果に対して、各需要家を電力線ネットワークや熱配管 (給湯配管) で結んだ場合 (ケース b) の省エネルギー効果の推計を行った。さらに最も省エネルギー効果が高くなる業務ビル規模と住宅数の組合せの最適化計算を行った。

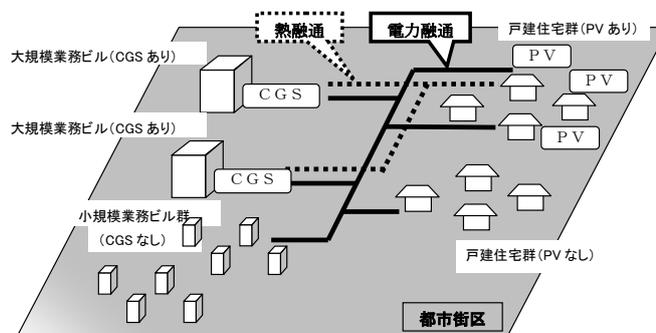


図 22 分散電源ネットワークの検討対象の概要

4. 結果

(1) GIS による 17 地域への分散エネルギーシステム導入評価と全国への適用

1) 17 地域データに基づく全国 CO₂ 排出削減ポテンシャルの推計

札幌から那覇までの 17 地域における業務建物の割合に対する 図 1 2 の CO₂ 削減率を用いる。本研究では、日本全国の 950 市町村に対し、人口密度、経済活動指標をもとにして、CO₂ 排出削減率の推計を行った。例えば、千葉県では CO₂ 削減率は鴨川市の 16.9% から花見川区の 31.5% まで様々な値となっていることがわかる。またこれらを各市町村の面積で加重平均を取ることで、県あるいは全国の削減ポテンシャルの推計を行った。さらに、CO₂ 削減率を市区の面積で加重平均することにより、

各都道府県の CO₂ 削減率を求めた。表 8 より秋田県の 15.9%から東京都の 30.4%まで様々な値となり、日本全体の CO₂ 削減率の推計値を求めることができた。また、日本全体で集計した場合、CO₂ 排出削減ポテンシャルは 18.6%となった。

表 8 都道府県別 CO₂ 削減率推計結果

	CO ₂ 削減率		CO ₂ 削減率		CO ₂ 削減率
北海道	16.4%	石川県	18.0%	岡山県	18.0%
青森県	17.3%	福井県	17.4%	広島県	18.5%
岩手県	15.8%	山梨県	17.8%	山口県	17.9%
宮城県	18.6%	長野県	17.8%	徳島県	17.9%
秋田県	15.7%	岐阜県	16.3%	香川県	21.8%
山形県	16.9%	静岡県	21.0%	愛媛県	18.7%
福島県	18.1%	愛知県	23.8%	高知県	16.6%
茨城県	20.9%	三重県	19.2%	福岡県	24.4%
栃木県	18.0%	滋賀県	19.6%	佐賀県	19.6%
群馬県	20.7%	京都府	18.9%	長崎県	19.1%
埼玉県	25.5%	大阪府	30.4%	熊本県	18.4%
千葉県	21.7%	兵庫県	19.8%	大分県	16.8%
東京都	30.8%	奈良県	22.3%	宮崎県	17.3%
神奈川県	29.8%	和歌山県	18.5%	鹿児島県	17.8%
新潟県	17.3%	鳥取県	18.6%	沖縄県	21.9%
富山県	18.3%	島根県	16.1%	全国平均	18.5%
				最小値	15.7%
				最大値	30.8%

2) 環境省脱温暖化プロジェクト2シナリオによる将来の CO₂ 排出削減ポテンシャルの推計

3-3 に述べた方法で、脱温暖化プロジェクトの将来人口シナリオをもとに CO₂ 排出削減ポテンシャルを推計する。結果を表 9 と表 10 に示す。この数字を見ると、きわめて大きな削減ポテンシャルが存在するように見える。しかし、今回示した削減率は 2000 年基準のものであり、人口の減少が基調となっている点に注意が必要である。

また、A シナリオの方が削減率が高い。これは、もともと潜在削減率の高い都市部への人口の集中が、CGS や地冷等を効率的に用いたことを示唆するものと考えられる。

(2) 太陽熱利用による民生用建物の CO₂ 排出削減効果の評価

まず、大型商業施設の場合の CO₂ 排出削減効果をコスト最小化と併せて比較した結果を以下に示す。

シミュレーションのために、機器の導入ケースを 4 種類に設定した。

[1] 対策無し

[2] 太陽光利用機器導入

[3] CGS+太陽光利用機器導入

[4] CGS+DHC+太陽光利用機器導入

以下に、各ケースにおける評価結果を示す。

1) CO₂ 最小化の場合

結果を図 2-3 に示す。CO₂ 最小化の場合、CO₂ は最大約 62.8%削減されたが、コストは約 6.8 倍増加した。これは、全ケースにおいて PV システムが屋根面積全体を占めたためである。その時の PV 発電量を図 2-4 に示す。

表9 シナリオ A およびシナリオ B に対する日本の潜在的県別 CO₂ 排出削減率

	シナリオA						シナリオB						
	2000	2010	2020	2030	2040	2050	2000	2010	2020	2030	2040	2050	
北海道	16.38%	18.86%	23.59%	30.23%	38.12%	46.15%	北海道	16.38%	18.04%	20.27%	24.43%	30.47%	36.92%
青森県	17.34%	21.92%	29.24%	37.54%	46.26%	54.66%	青森県	17.34%	20.43%	22.68%	26.28%	31.58%	37.44%
岩手県	15.76%	20.27%	27.48%	35.52%	43.75%	51.62%	岩手県	15.76%	18.85%	21.35%	25.03%	29.96%	35.12%
宮城県	18.62%	18.92%	20.30%	23.54%	28.28%	33.73%	宮城県	18.62%	18.66%	20.10%	23.28%	28.00%	33.04%
秋田県	15.66%	22.11%	31.07%	40.55%	49.84%	58.39%	秋田県	15.66%	20.61%	24.48%	29.43%	35.55%	41.84%
山形県	16.89%	21.94%	29.50%	37.40%	45.44%	53.18%	山形県	16.89%	20.49%	23.23%	26.63%	31.23%	36.19%
福島県	18.07%	21.60%	27.79%	34.71%	42.25%	49.82%	福島県	18.07%	20.15%	21.51%	23.80%	27.69%	32.24%
茨城県	20.86%	22.19%	26.68%	32.79%	40.06%	47.49%	茨城県	20.86%	21.18%	22.78%	26.30%	31.62%	37.33%
栃木県	18.00%	18.65%	22.60%	28.18%	35.11%	42.40%	栃木県	18.00%	17.80%	19.70%	23.59%	29.21%	35.18%
群馬県	20.66%	21.70%	26.19%	32.09%	39.00%	46.06%	群馬県	20.66%	20.78%	22.86%	26.66%	31.92%	37.46%
埼玉県	25.46%	23.47%	24.30%	27.68%	32.99%	38.73%	埼玉県	25.46%	23.16%	24.11%	27.79%	33.29%	38.89%
千葉県	21.69%	19.79%	21.12%	24.96%	30.52%	36.42%	千葉県	21.69%	19.50%	21.17%	25.67%	31.71%	37.69%
東京都	30.78%	27.85%	29.12%	32.14%	36.34%	40.74%	東京都	30.78%	28.06%	32.31%	38.90%	45.74%	51.95%
神奈川県	29.82%	26.87%	27.67%	30.52%	34.85%	39.59%	神奈川県	29.82%	26.66%	28.42%	32.73%	38.14%	43.43%
新潟県	17.32%	20.90%	27.34%	34.66%	42.44%	50.01%	新潟県	17.32%	19.64%	22.06%	25.67%	30.61%	35.78%
富山県	18.28%	21.35%	27.86%	35.47%	43.54%	51.24%	富山県	18.28%	20.25%	23.49%	28.21%	34.11%	40.01%
石川県	18.02%	20.19%	25.65%	32.45%	40.15%	47.72%	石川県	18.02%	18.98%	20.69%	23.95%	28.94%	34.23%
福井県	17.39%	20.11%	26.04%	32.83%	40.23%	47.66%	福井県	17.39%	18.77%	20.41%	23.15%	27.32%	31.99%
山梨県	17.80%	20.05%	25.39%	31.64%	38.63%	45.88%	山梨県	17.80%	19.03%	21.50%	25.14%	30.12%	35.59%
長野県	17.77%	19.69%	25.09%	31.39%	38.12%	44.94%	長野県	17.77%	18.72%	21.53%	25.61%	30.55%	35.64%
岐阜県	16.31%	18.26%	23.87%	30.91%	38.65%	46.39%	岐阜県	16.31%	16.99%	18.63%	21.99%	26.87%	32.21%
静岡県	21.03%	21.86%	26.35%	32.53%	39.77%	47.19%	静岡県	21.03%	20.86%	22.49%	26.13%	31.40%	37.09%
愛知県	23.81%	21.61%	21.85%	24.16%	28.16%	32.88%	愛知県	23.81%	21.34%	21.88%	24.57%	28.81%	33.38%
三重県	19.22%	20.43%	24.14%	29.34%	35.61%	42.28%	三重県	19.22%	19.87%	22.48%	26.69%	32.16%	37.91%
滋賀県	19.65%	17.27%	18.42%	21.24%	25.55%	30.49%	滋賀県	19.65%	17.01%	19.22%	23.76%	29.45%	35.09%
京都府	18.93%	19.90%	21.83%	25.80%	31.16%	36.45%	京都府	18.93%	18.43%	19.78%	23.49%	28.56%	33.43%
大阪府	30.40%	30.81%	31.62%	34.42%	38.63%	43.00%	大阪府	30.40%	30.96%	33.34%	37.39%	42.51%	47.38%
兵庫県	19.80%	19.56%	21.63%	25.51%	30.65%	36.23%	兵庫県	19.80%	19.30%	21.74%	26.11%	31.62%	37.14%
奈良県	22.30%	25.13%	30.87%	38.01%	45.80%	53.22%	奈良県	22.30%	23.97%	25.99%	29.69%	34.98%	40.39%
和歌山県	18.50%	23.54%	31.32%	39.59%	48.00%	55.88%	和歌山県	18.50%	22.10%	25.03%	28.83%	33.95%	39.28%
鳥取県	18.65%	21.38%	26.64%	32.88%	39.69%	46.43%	鳥取県	18.65%	20.33%	22.56%	26.08%	30.74%	35.45%
島根県	16.14%	21.09%	28.49%	36.41%	44.32%	51.68%	島根県	16.14%	19.75%	22.81%	26.77%	31.65%	36.41%
岡山県	17.96%	19.69%	24.55%	30.63%	36.57%	43.11%	岡山県	17.96%	18.68%	20.71%	24.19%	28.94%	33.60%
広島県	18.49%	19.76%	22.29%	26.63%	32.42%	38.58%	広島県	18.49%	19.21%	20.33%	23.00%	27.38%	32.07%
山口県	17.88%	22.52%	30.06%	38.54%	47.15%	55.11%	山口県	17.88%	21.19%	24.37%	28.91%	34.69%	40.43%
徳島県	17.89%	21.83%	28.59%	36.16%	44.11%	51.76%	徳島県	17.89%	20.70%	23.95%	28.40%	33.99%	39.71%
香川県	21.76%	24.35%	30.08%	36.82%	44.10%	51.18%	香川県	21.76%	23.35%	26.19%	30.39%	35.71%	41.09%
愛媛県	18.71%	22.22%	28.66%	36.09%	44.00%	51.68%	愛媛県	18.71%	20.94%	23.24%	26.85%	31.87%	37.18%
高知県	16.57%	20.80%	27.81%	35.64%	43.73%	51.28%	高知県	16.57%	19.81%	23.98%	29.37%	35.67%	41.66%
福岡県	24.43%	23.94%	25.42%	28.58%	33.12%	38.03%	福岡県	24.43%	23.69%	25.45%	29.06%	33.97%	38.85%
佐賀県	19.56%	22.55%	28.02%	34.27%	41.27%	48.40%	佐賀県	19.56%	21.17%	21.99%	23.72%	27.13%	31.21%
長崎県	19.06%	23.44%	30.37%	38.09%	46.35%	54.51%	長崎県	19.06%	21.88%	23.42%	26.04%	30.50%	35.78%
熊本県	18.38%	20.62%	25.56%	31.59%	38.37%	45.29%	熊本県	18.38%	19.56%	21.32%	24.40%	28.86%	33.67%
大分県	16.81%	19.90%	26.13%	33.49%	41.43%	49.20%	大分県	16.81%	18.72%	21.25%	25.25%	30.67%	36.32%
宮崎県	17.32%	20.17%	25.89%	32.87%	40.56%	48.24%	宮崎県	17.32%	18.76%	19.79%	22.31%	26.55%	31.31%
鹿児島県	17.79%	21.06%	26.36%	32.50%	39.32%	46.22%	鹿児島県	17.79%	19.93%	21.75%	24.68%	28.99%	33.63%
沖縄県	21.93%	17.37%	16.38%	17.04%	19.54%	23.52%	沖縄県	21.93%	16.34%	12.96%	11.61%	12.35%	14.26%
全国	22.56%	22.77%	25.81%	30.47%	36.14%	42.18%	全国	22.56%	22.22%	24.28%	28.25%	33.27%	38.61%

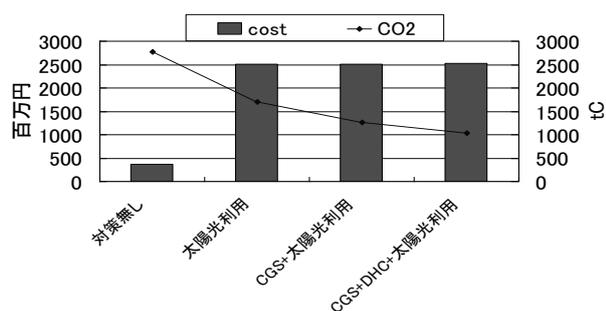


図 23 各ケースのトータルコスト及び CO₂ 排出量

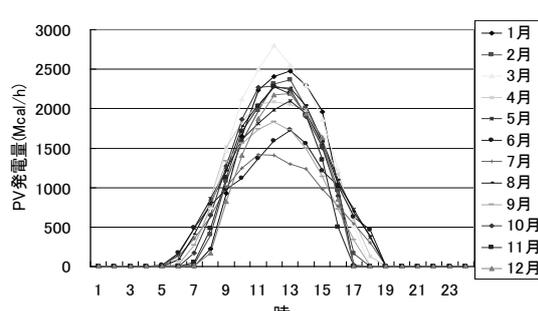


図 24 大型商業施設に導入された PV 発電量

2) 総費用最小化の場合

トータルコストと最小化の結果を図 25 に示す。費用と CO₂ の両方が削減されたことから CGS および DHC の導入はコスト、CO₂ 削減の双方に対して有効であることが言える。シナリオ [4] の場合には、各階の CGS は導入されず、DHC による供給のみとなった。DHC から各階へ熱輸送を行なったほうがコス

トを削減することができると考えられる。

3) 環境性と経済性の比較

環境性、経済性両者のトレードオフをみるため目的関数の CO₂ の重み付けを変化させた分析を行った。代表例として、[4]における結果を図 26 に示す。

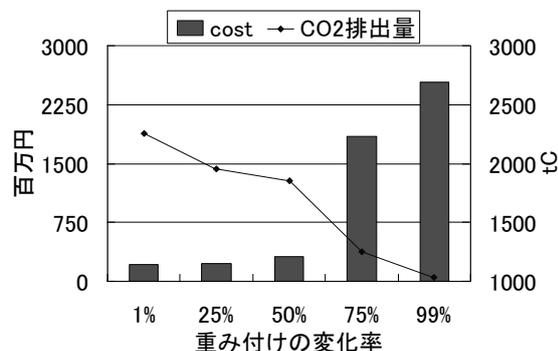
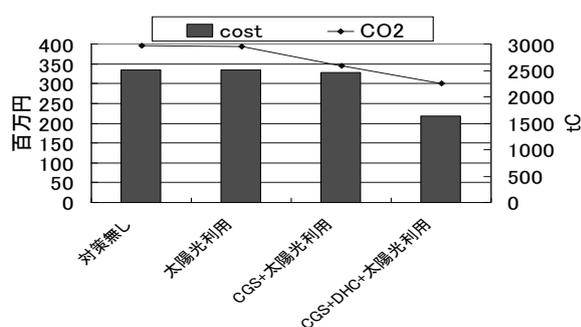


図 25 各ケースの総費用及び CO₂ 排出量 図 26 CO₂ の重み付けに対する環境性、経済性の推移

多くの CO₂ 削減を目的とする場合、PV システムは有効であるが、CO₂ 削減コストは非常に高くなる。また、集熱パネルも約 200 m² 導入された。その場合の太陽熱駆動デシカント空調機における冷房潜熱負荷削減量を図 27 に示す。このように、太陽熱駆動デシカント空調機の効果は明確に表れている。

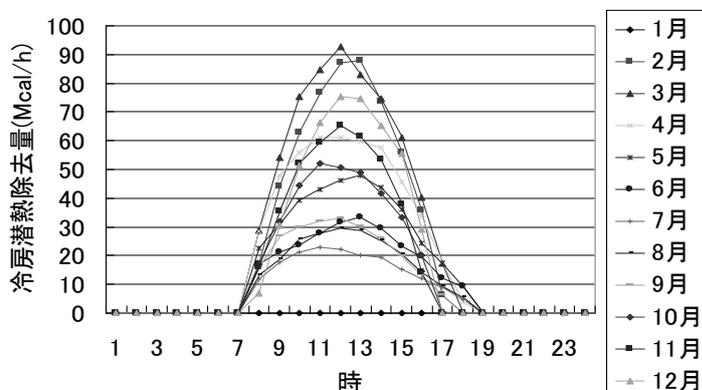


図 27 太陽熱駆動デシカント空調機における冷房潜熱負荷除去量

4) 住宅における太陽熱利用空調機の効果

ここでは、年間エネルギーの削減効果を示す。ケースとして、屋根を太陽熱利用にするか太陽光発電に用いるかについて、傾向を見やすくするためここでは表 10 のような設定を行う。

結果を以下に示す。図 28、図 29 は年間を通したエネルギー消費量を示している。case0 と比較した場合、全ての case においてエネルギー消費量は削減される。また case2 の削減量が最も多い。しかし、世帯構成毎に比較すると、東京では高齢者では約 1500Mcal のエネルギーの削減に対して、家庭婦人では約 1400Mcal、女勤め人では約 870Mcal と世帯構成によってエネルギーの削減量には差が生じる。

表 10 集熱板と集光板の面積設定

	case0	case1	case2	case3	case4
集熱板面積(m ²)	0	0	8.62	17.24	25.86
集光板面積(m ²)	0	25.86	17.24	8.62	0

これは、本研究においては蓄熱、蓄電を考慮に入れておらずエネルギーを削減できる時間が日中に限定されているため、日中の行動パターンの違いが導入効果に差を生んだと考えられる。

次に、図 30、図 31 において CO₂ の排出量の変化を比較する。この場合も一律に case2 が優れており、また地域、世帯構成による導入効果の差も示される。住宅においては太陽光発電と太陽熱利用には最適な導入シェアの存在が明確に示された。

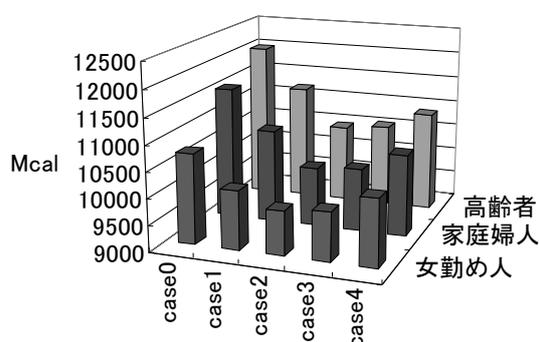


図 28 年間総エネルギー消費量(東京)

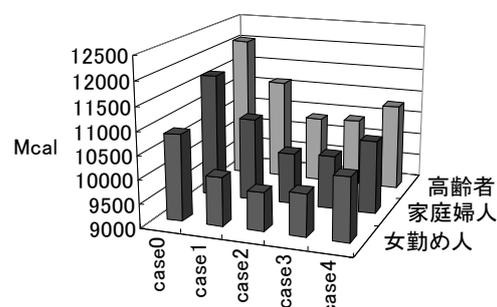
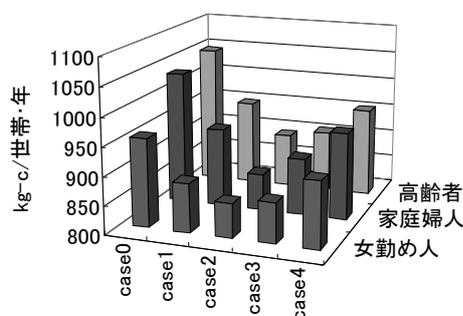
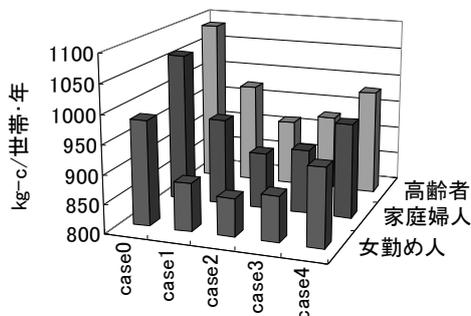


図 29 年間総エネルギー消費量(大阪)

図 30 年間総 CO₂ 排出量(東京)図 31 年間総 CO₂ 排出量(大阪)

(3) 東京電力管内 38 地域の分散型エネルギーシステムと大規模集中電源の相互影響評価

ここでは以下の Case0 から case4 までの 5 通りのシミュレーションケースを設定した。

Case0 : CGS, DHC なし

Case1 : CGS のみ導入, DHC なし

Case2 : CGS 導入, DHC 導入可能

Case3 : CGS 導入, DHC 導入可能, DHC 間の電力融通あり

Case4 : CGS 導入, DHC 導入可能, DHC 間および電気事業者への電力供給あり

需要家モデルと発電構成モデルそれぞれが(1)式の目的関数を持つので、その組み合わせでシミュレーション結果が得られる。以下にシミュレーション結果の例を示す。各ケースには(需要家側のCO₂排出量重み)_(事業者側のCO₂排出量重み)を付記している。case0 と case4 を比較する。両者が費用最小化を目指す場合、図32で事業者コストが4.4%、CO₂排出量が5.6%削減され、図33では総コストが3.4%、総CO₂排出量が3.9%削減された。0.99_0.1ケースでは図34のように事業者コストが5.3%、CO₂排出量が8%削減、全体では図35のように総コストが3.6%、CO₂排出量が7%削減された。0.99_0.99ケース全体では図36のように総コストは1.6%、総CO₂排出量は6.7%削減された。ここで、重みが異なればCase0の基準排出量も変化する点に注意が必要である。このため、削減率は重みの大小関係と直接対応しない。

図37、図38はcase4時の重み別の総費用、CO₂排出量をまとめて示したものである。図37で最小値と最大値を比べると、総費用は約13%増加した。

CO₂排出量は図38グラフにあるよう需要家側、事業者側のCO₂排出量重みが0に近づくにつれ増加する。最小値と最大値を比べると約26%も増加していることがわかる。

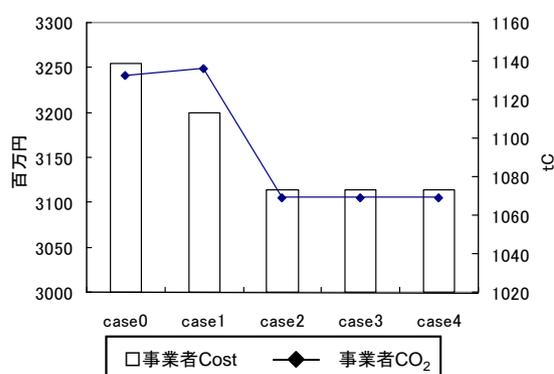


図32 0.1_0.1 事業者の総費用、CO₂排出量
(需要家総費用最小+事業者の総費用最小)

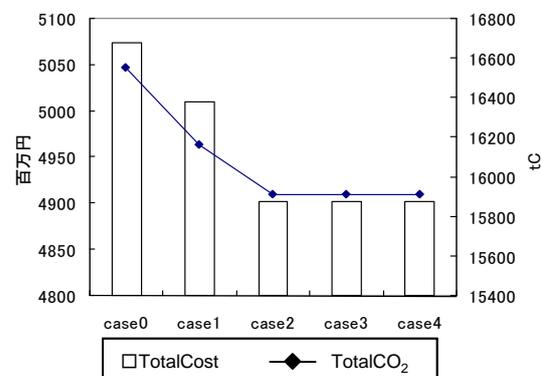


図33 0.1_0.1 モデル総費用、総CO₂排出量
(需要家総費用最小+事業者の総費用最小)

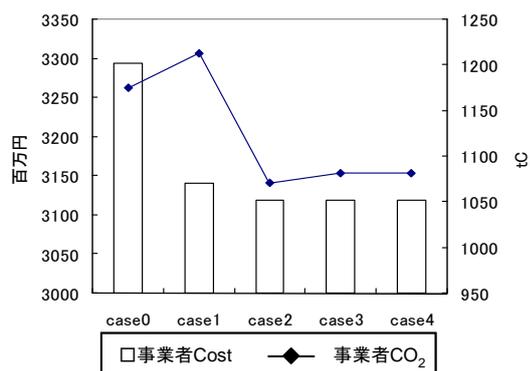


図34 0.99_0.1 事業者の総費用とCO₂排出量
(需要家CO₂最小+事業者総費用最小)

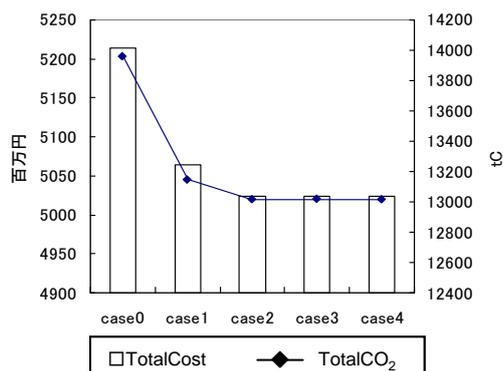


図35 0.99_0.1 総費用とCO₂排出量
(需要家CO₂最小+事業者の総費用最小)

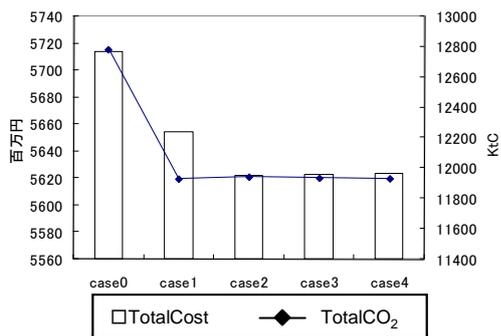


図 36 0.99_0.99 モデル全体の総費用，CO₂排出量
(需要家 CO₂ 最小+事業者の CO₂ 最小)

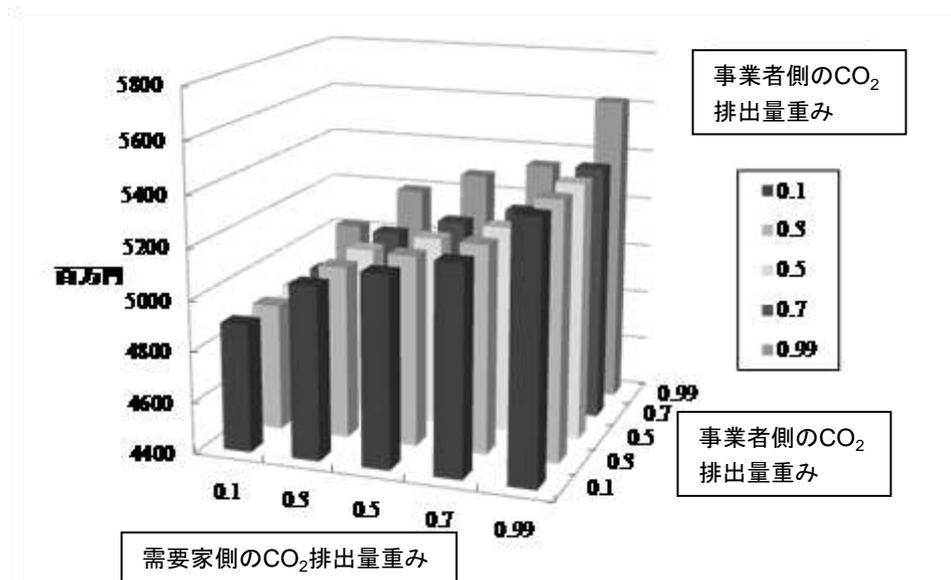


図 37 case4 時の(需要家側の CO₂ 排出量重み)_(事業者側の CO₂ 排出量重み) 別の総費用

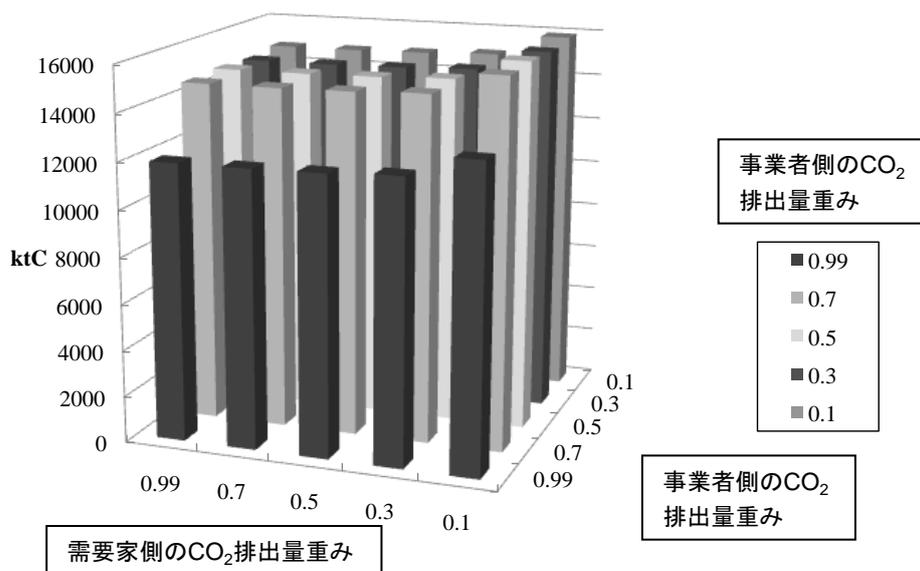


図 38 case4 時の(需要家側の CO₂ 排出量重み)_(事業者側の CO₂ 排出量重み) 別の CO₂ 排出量

(4) 都市街区内におけるマイクログリッド等の分散エネルギーネットワーク評価モデルの構築

表 11 に結果を示す。ケース b はケース a に比べ、1.9%の省エネルギーが可能であり、地区内から系統に売電される電力を最小化するという条件を追加した場合は 1.8%の省エネルギーとなった。さらに地区内により多くの住宅が存在したと仮定し、エネルギー融通する住宅数を増加させた場合の地区に供給される一次エネルギー削減率の計算を行った。結果を図 39 に示す。これより地区内から系統に売電される電力を最小化した場合は、4350 戸程度の PV 設置住宅とエネルギー融通をした場合に、もともと街区に供給される一次エネルギー削減率が大きくなり、CGS、PV の余剰電力を地区内で最大限利用できることがわかった。

表11 業務建物と住宅のエネルギー融通による街区全体のエネルギー消費量

ケース	エネルギー融通	CGS最適容量 (kW)		街区の一次エネルギー (TJ/年)	街区のCO ₂ 排出量 (t-CO ₂ /年)	系統への売電量 (MWh/年)	
		建物グループ1	建物グループ2				
ケースa	エネルギー融通なし	1台目	249	327	453	18,797 [28,104]	5,464
		2台目	896	474			
		合計	1,145	801			
ケースb	エネルギー融通あり	1台目	534	0	444	18,674 [26,846]	4,898
		2台目	1,409	843			
		合計	1,944	843			
ケースc	エネルギー融通あり 売電最小化	1台目	523	0	445	18,669 [26,917]	0
		2台目	1,350	689			
		合計	1,872	689			

※[]内の数値は、火力発電平均のCO₂排出係数を用いた場合。

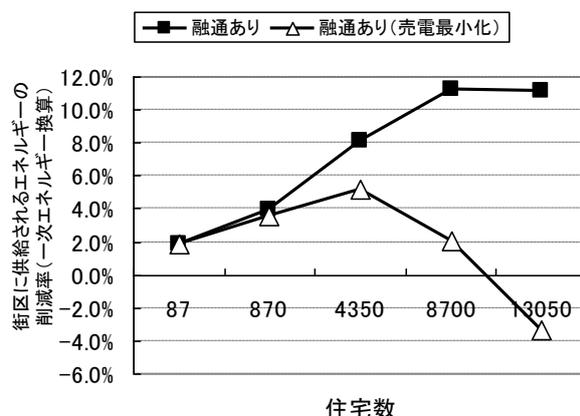


図 39 エネルギー融通を行う住宅数を变化させた場合の省エネルギー効果

(5) 結論

本研究では、まず GIS を用い札幌・宇都宮・那覇の地域需要を推計し、分散型電源の導入評価を行った。またその結果の、建物構成と CO₂ 削減率の関係をパターン化し、気候特性、面積等が異なっても、CO₂ 排出削減ポテンシャルは、業務用床面積比率に対して共通性のある関係を見出した。さらに、業務用および家庭用建物床面積密度と中心からの距離の関係式を利用し評価を広域に拡大する評価手法を示した。これを日本全体の 950 市町村区に拡大し CO₂ 削減ポテンシャルの推計を行ったところ日本の各県では 15.9%(秋田県)から 30.4%(東京都)まで削減ポテンシャルが広がる推計を得た。また、日本全体では 18.6%のポテンシャルがあると推計された。

本研究では、上記の値はなお試算の域を出ないものの、今後分析対象地域を拡大しても本手順は

同様に適用可能であり、それによりさらに精度の高い評価が可能となるものと考えられる。

次いで、この結果を環境省脱温暖化プロジェクトの2つの将来シナリオのCO₂排出削減ポテンシャルを試算した。結果、シナリオAで日本全体で2000年の22%から2050年で42%、シナリオBでも38%の削減ポテンシャルが示された。ただし、この背景には人口減少があることなど、留保条件がつく。

さらに、新しい太陽エネルギー利用機器であるデシカント空調機の導入効果を大規模商業施設と一般住宅用建物に対して行った。この結果、住宅用においては、世帯のライフスタイルに依存するものの、世帯構成によらず最適なPVと太陽熱利用機器の導入割合が存在することが示された。

本研究では、これを東京電力事業地域を38地域に分類し、分散型エネルギーシステムの導入と電気事業者との相互影響評価を行った。この結果、いずれの場合もCGS、DHCの導入は費用、CO₂排出を削減した。具体的にはcase0とcase4を比較すると0.1_0.1の場合、172百万円及び639KtC(2343KtCO₂)、0.99_0.99の場合、91百万円及び850KtC(3116KtCO₂)の削減である。本研究により、地域への分散エネルギー導入の積み上げと地域全体的な電気事業者の発電構成を一体化する手順が可能となった。

また、分散エネルギーネットワーク評価モデルの構築においては、モデル開発により地域分散エネルギーネットワークの省エネルギー面での最適な構成を検討するための基礎モデルの構築、具体的な街区での評価が実施できた。

5. 本研究により得られた成果

本研究では、まず単独の需要家を対象とする場合のCGS導入によるCO₂排出削減効果を、機器特性の部分負荷特性に着目して混合整数非線形計画法で表現するモデル開発を行い、宇都宮市、札幌市、那覇市をさらに細分化した17地域に対して適用し評価を行った。この結果から、CO₂排出削減ポテンシャルと業務用床面積比率の間に、気候条件のことなる地域に対して一貫した関係のあることを見出した。これをさらに日本の950市町村に適用することで、建物部門の潜在的なCO₂排出削減ポテンシャルの推計を行なった。

次いで、これまでの結果を踏まえ、環境省脱温暖化プロジェクトの2つの将来シナリオがどのようなCO₂排出削減ポテンシャルを意味するかを求めた。また、新たな再生可能エネルギーの我が国の特性に適した利用可能性として、潜熱除去のためのデシカント空調機器の評価を、大型商業施設及び一般家庭を対象に評価し、導入の意義を確認した。さらに、分散エネルギーネットワーク評価モデルの構築においては、街区レベルで複数の需要家間で分散エネルギーをネットワークしたときの省エネルギーの可能性、最適な需要家構成の導出を評価する数理計画モデルの構築を行った。

また、分散型エネルギーシステムが広域的に導入された場合の、電気事業者のような大規模集中電源との相互関係を、やはり地域エネルギー需要への分散型エネルギーシステム導入の積み上げにより解析するモデル評価を行った。

さらに、分散エネルギーネットワーク評価モデルの構築においては、街区レベルで複数の需要家間で分散エネルギーをネットワークしたときの省エネルギーの可能性、最適な需要家構成の導出を評価する数理計画モデルの構築を行った。このモデルによりマイクログリッド等の地域分散エネルギーネットワークの省エネルギー性の面において最適な構成評価のツールが開発できた。

(1) 科学的意義

本研究では、日本全体では2000年時点の世帯数と人口密度に対し22.4%の削減が推計された。この結果を環境省脱温暖化プロジェクトの2つの将来シナリオがどのようなCO₂排出削減ポテンシャルを

意味するかを求めた。これは、現在の議論の大きなテーマである CO₂ 排出削減の可能性に関する一つの材料を適用したものと考えられる。重要な点は、本研究はマイクロレベルの削減効果を評価するモデルでありながら、個別評価にとどまらず、日本の全体の推計につなげた点にある。もちろん、現在の発電構成と機器特性に基づくものであるため、発電構成や機器の技術進歩がさらなる CO₂ 排出削減を生むと期待できるが、それらが相乗効果となるかあるいはむしろ相殺的になるかは今後の課題である。ただし、HP の場合は、発電部門の CO₂ 排出原単位の低下がそのまま評価につながるものと言える。

第二の太陽エネルギー利用の新たな可能性の評価は、開発された新しい機器がどれだけの導入の意義を持つかを明示した点に意義があると考えられる。特に、従来の冷房機器ではもっぱら温度設定のみが評価されてきた。しかし、現実の快適性は、除湿によって体感されるところも大きい。デシカント空調機は、潜熱を太陽光エネルギーを用いて除去するものであるため、需要の上昇する夏季ほど効果も上がる特性があり、今後の都市エネルギーと CO₂ 削減評価には寄与の可能性が大きいことが示された。

第三の分散型エネルギーシステムの広域的導入と電気事業者の相互影響では、これまで重要視されながら個別建物や特定地域への導入事例からでは統合化が困難であった分散型エネルギーシステムの総合的寄与に対するモデリングを提案し、東京電力管内 1 都 8 県 38 地域に対してこの方法を適用した。これらの検討は今後分散電源ネットワークの普及規模や導入可能性を考える場合に有効な知見になると考えられる。

第四としての分散エネルギーネットワーク評価モデルの構築においては、街区レベルで複数の需要家間で分散エネルギーをネットワークとしたとき、省エネルギー効果が高くなる業務ビル用途規模・構成と住宅数の組合せの最適化計算を行ったが、これらの検討は今後分散電源ネットワークの普及規模や導入可能性を考える場合に有効な知見になると考えられる。

(2) 地球環境政策への貢献

地球環境対策として、民生部門特に住居・業務用建物部門への対策はこれまで基礎となるデータの不足から個別的な対策技術の提案にとどまっており、たとえば CGS や HP などの分散型エネルギーシステムが日本全体にどのように貢献するかについての評価例はきわめてマクロレベルでしかなされていなかった。このため、機器の運転特性や需要の分布・機構依存性などを考慮した評価はなされていない。本研究により、政策の効果はより具体性をもって示されたものと考えられる。

本研究の成果は、グループ全体として京都議定書発効以降のわが国の CO₂ 排出削減目標策に寄与するとともに、一部は政府間気候変動パネルの評価に反映されるよう努める。

6. 引用文献

- 1) 伊藤純一, 森本慎一郎, 森俊介: 「GIS による地域エネルギー需要推計及び CGS, HP, PV 導入評価」, 第 22 回エネルギーシステム・経済・環境カンファレンス, pp. 387-390, 2006
- 2) 伊香賀俊治, 近本智行, 永瀬修: 「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・資源学会大会学術講演論文集, 2001
- 3) S. Mori, J. Ito, T. Ishida, and S. Morimoto: “A GIS-based Model for the Assessment of Energy and Environmental Contributions of Distributed Energy Systems”, Managing Environmental

Knowledge (Klaus Tochtermann and Arno Scharl (eds.)), Proc. of the 20-th International Conference on Informatics for Environmental Protection, Shaker Verlag, Aachen, pp.107-114, 2006

- 4) 石田 武志, 森 俊介:「地域の気候特性を考慮した業務建物における空調機器の容量・稼動条件決定モデルに関する研究」, 電気学会論文誌 C, 125(10), pp.1522-1529, 2005
- 5) 独立行政法人 国立環境研究所:「脱温暖化 2050 プロジェクト」
http://2050.nies.go.jp/index_j.html
- 6) ヒートポンプ・蓄熱センター:「デシカント空調システム」, 2006
- 7) 宇田川光弘:「標準問題の提案 住宅用標準問題」, 日本建築学会環境工学委員会熱分科会第 15 回シンポジウム, 1986

7. 海外との協力

本項目には、特記事項はない。

8. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文 (査読あり)>

- 1) S. Mori, J. Ito, T. Ishida, and S. Morimoto: “A GIS-based Model for the Assessment of Energy and Environmental Contributions of Distributed Energy Systems”, Managing Environmental Knowledge (Klaus Tochtermann and Arno Scharl (eds.)), Proc. of the 20-th International Conference on Informatics for Environmental Protection, Shaker Verlag, Aachen, pp.107-114, 2006
- 2) Shunsuke Mori, Shogen Koike and Takeshi Ishida: “An Analysis of Regional Energy Demand and an Assessment of Potential CO2 Emission Reduction in Japan using GIS”, Environmental Informatics and Systems Research, Shaker Verlag, Aachen, 1, pp.459-463, 2007
- 3) 石田武志, 森 俊介:「都市街区内におけるマイクログリッド等の分散エネルギーネットワーク評価モデルの構築」, エネルギー・資源学会誌, 29(1), (電子ジャーナル), 2008
- 4) 石田武志:「業務建物に導入される地球温暖化対策の相互効果評価モデルの構築」, 環境情報科学論文集, 21, pp.625-630, 2007
- 5) 石田武志:「建設・運用・廃棄時を考慮した業務建物の環境負荷評価モデルの構築」, 土木学会論文誌G, 63(4), pp.366-375, 2007
- 6) Takeshi Ishida and Shunsuke Mori: “Integrated Assessment Model for Urban Energy Network System”, Environmental Informatics and Industrial Ecology - 22th International Conference on Informatics for Environmental Protection, pp.132-141, 2008, ISBN 978-3-8322-7313-2, Shaker Verlag, Germany
- 7) 森 俊介, 石田武志, 小池祥元, 大蔵将史:「分散型エネルギーシステムによる CO2 排出削減効果の地域性評価と広域評価 - GIS によるマイクロ評価と広域評価拡張への予備的考察」, 環境科学会誌, 2009, (印刷中)

<その他誌上発表（査読なし）>

（なし）

（2）口頭発表（学会）

- 1) Shunsuke Mori , Junichi Ito , Takeshi Ishida and Shinichiro Morimoto: “A GIS-based Model for the Assessment of Energy and Environmental Contributions of Distributed Energy Systems”, Managing Environmental Knowledge (Klaus Tochtermann and Arno Scharl (eds.)), the 20-th International Conference on Informatics for Environmental Protection, pp.107-114, Shaker Verlag, Aachen, Graz, Austria, September 6, 2006
- 2) 小池祥元, 石田武志, 森俊介: 「GIS を用いた日本の地域別エネルギー需要の推計及び CGS・DHC 導入効果」, 第 23 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集, pp. 13-16, 虎ノ門パストラル, 2007 年 1 月 25 日
- 3) Shunsuke Mori , Shogen Koike and Takeshi Ishida: “An Analysis of Regional Energy Demand and an Assessment of Potential CO₂ Emission Reduction in Japan using GIS” , EnviroInfo 2007, Sep., pp.12-14, 2007, Warsaw, Poland
- 4) 大塚 薫, 森 俊介, 大蔵将史: 「家庭用エネルギー需要に対する地用エネルギー利用技術の導入効果」, 第 27 回エネルギー・資源学会研究発表会講演論文集, pp. 309-312, 大阪国際交流センター, 2008 年 6 月 6 日
- 5) 大蔵将史, 森 俊介, 児玉昭雄: 「大型商業施設における CGS および太陽エネルギー利用機器の設備構成の検討」, 第 27 回エネルギー・資源学会研究発表会講演論文集, pp. 277-280, 大阪国際交流センター, 2008 年 6 月 6 日
- 6) Takeshi Isida and Shunsuke Mori: “Integrated Assessment Model for Urban Energy Network System” , Environmental Informatics and Industrial Ecology 22th International Conference on Informatics for Environmental Protection, Sep.10-12, 2008, Leyphana University of Lueneburg, Germany

（3）出願特許

なし

（4）シンポジウム、セミナーの開催（主催のもの）

なし

（5）マスコミ等への公表・報道等

なし

（6）その他

なし