

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

(7) 地域冷暖房とコジェネの導入による削減効果

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

[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。昨年度まで、地域の個別建物・機器の特性を地域の詳細なエネルギー需要の推計と合わせ機器導入による CO₂ 排出削減評価を行ってきた。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のばらつきから大きく変化するものの、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 方向の拡張を加える。一つは、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 排出削減の姿が描かれるかの評価を行った。二つ目は、温暖化対策として以前から注目されながらもなかなか評価に含められなかった太陽熱利用空調設備である。本年度は、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 3 つ目として、電力品質の向上及び省エネルギーを両立させる試みとして、一部で実証試験も始められている分散エネルギーのネットワークについて、最適導入手法の検討の第一段階として、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。

[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、夏の冷房よりも冬の暖房の効率化が優先される欧州とは異なり、我が国においては夏季の冷房用空調エネルギーの削減が問題となる。そのため、太陽エネルギーの利用は、効果が大きいと期待されているが、従来の 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るに至っている。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ことが広く知られている。例えば CGS は、発電の際の廃熱を有効利用することで省エネルギーを実現するシステムであるが、廃熱を有効利用できない時間帯は、CGS による発電は電気事業者による発電に比べ効率は低い。

また、近年分散エネルギーのネットワーク化により、電力品質の向上及び省エネルギーを両立させる試みが各所で検討・実施され、一部で実証試験等も始められている。一般に自然エネルギーは出力が安定しない等、系統側に影響を与えるという課題を抱えている。この課題を克服するために、分散エネルギー間で電力や熱の融通を行い、変動電源である自然エネルギーとその他の新エネルギーを適切に組み合わせ、これらを制御するシステムを開発することにより、需要地域内で安定した電力・熱供給を行うことを可能とするものである。現状では、地域の電熱需要の状況や、導入可能な分散電源の状況などをふまえて、分散エネルギー源ネットワーク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と考えられる。さらに、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。

昨年度はこのような視点から札幌、宇都宮、那覇の 17 地域に対し機器特性を考慮したモデル構築とそのシミュレーションをもとに、日本の全体的な CO₂ 削減ポテンシャル評価を試みた。本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 排出削減の姿が描かれるかの評価を行った。また本年度は、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、電力品質の向上及び省エネルギーを両立させる試みとして、一部で実証試験も始められている分散エネルギーのネットワークについて、最適導入手法の検討の第一段階として、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。

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、CO₂ 排出削減のキーテクノロジーとして近年注目されている太陽熱利用空調機器が夏季の冷房時期においてどれだけの削減効果を持ちうるかを、先ず大型商業施設と住宅を対象に評価する。さらに、分散エネルギーネットワークの最適導入手法の検討として、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、最適手法により導出するモデル構築を目的としたものである。

3. 研究方法

- (1) 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

まず、昨年度開発した地域民生用エネルギー排出削減モデルに基づいて、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。

1) 民生用最適エネルギー需給システムのモデリング

本年度の研究で基本となるモデルは、昨年度まで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。このフローとその特徴をまず簡単に紹介する。

このモデルは、図 1 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と、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⁽¹⁾。図 2 あるいは図 3 にあるよう、機器のマイクロな運転特性、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⁽²⁾。

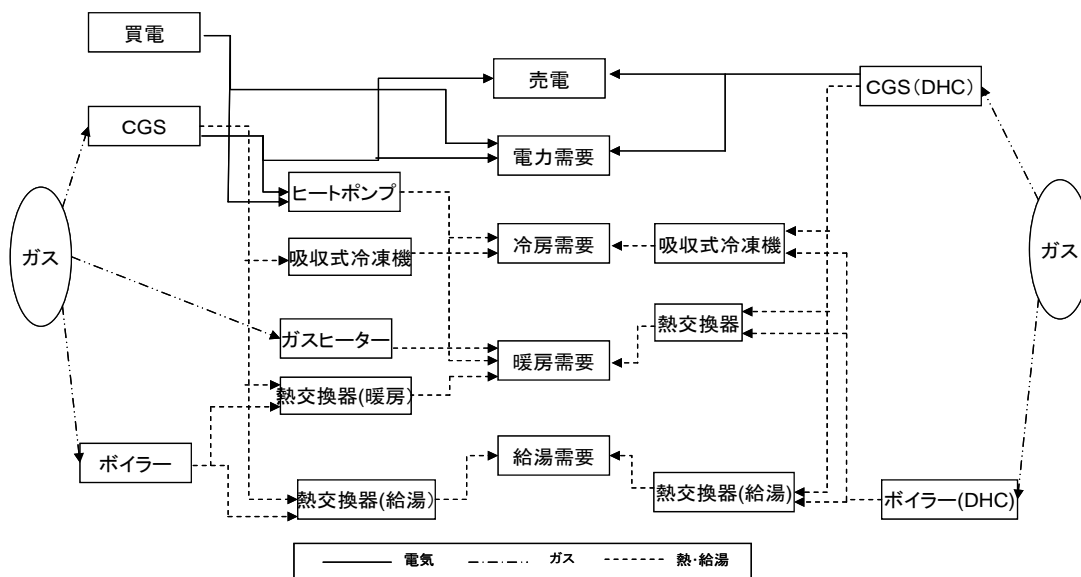


図 1 エネルギーフロー

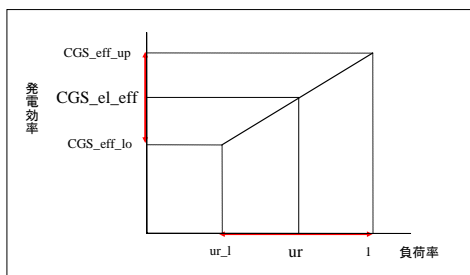


図 2 CGS 部分負荷特性

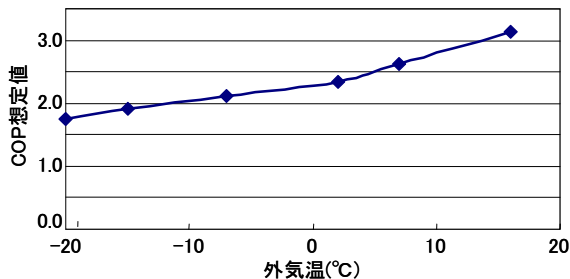


図 3 外気温と HP の COP の関係

目的関数は CO₂ 排出最小化またはコスト最小化とする。

2) エネルギー需給データ

基本となる各地域のエネルギー需給は、GIS(Geographic Information System)を用いた各地域の建

物床面積データおよび用途データに基づく。さらに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^[3]に従い推計した。

表 1 季節と日数の設定

	夏期ピーク	夏期平日	中間期平日	冬期平日	夏期休日	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

このフローを図 6 に示す。

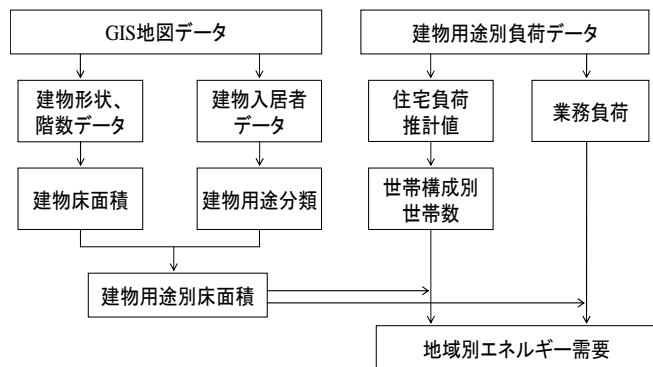


図 6 モデルの評価フロー

3) CO₂ 排出削減ポテンシャルと日本全体への適用

昨年度の成果である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 7 に示す。

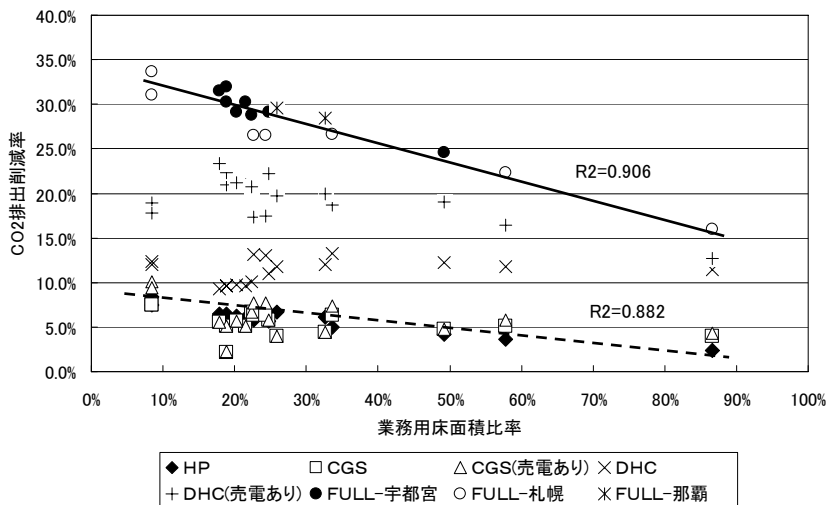


図 7 業務建物の割合と CO₂ 削減率の関係

平成 18 年度は、この関係を日本の 950 市町村に適用し、表 2 の結果を得た。これから秋田県の 15.9% から東京都の 30.4%まで様々な値となる、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 18.5%となった。

表 2 都道府県別 CO₂ 削減率推計結果

	CO2削減率		CO2削減率		CO2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%

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

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 (別名どらえもん社会)」と、郊外での地産地消を志向する生活の社会「シナリオ B (別名 サツキとメイの社会)」の 2 種類を設定しており、そのもとで物流、都市、交通、IT、産業とエネルギーなど多方面の分野の定量評価と政策ロードマップ構築を行っている⁽⁴⁾。

ここで与えられた人口のシナリオをベースとし、次の仮定に基づき推計を行う。

今回の仮定は、次の 2 点である。

- ① 県単位の人口シナリオを県内各都市に一律に適用すること、人口が減少すれば、人口密度が合わせ

て低下する、すなわち $D_t = D_0 \left(\frac{P_t}{P_0} \right)^\alpha$ とする。ただし、今回は $\alpha=1$ 、すなわち人口が減っても都市

面積は変わらないものとした。なお、業務用建物面積も同様に考える。

- 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。ことに、

立地条件の良い郊外ではその傾向が際立っている。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。また人は発熱源だけでなく、水分を放出する源でもある。このため空調に関しては、除湿に注意が必要となる。

他方、一般住宅でも温暖化対策の高い要請が認知されるに従い、自治体の補助金などと合わせ、省エネルギー設備に対する関心も上がりつつある。

前述のように、我が国では暖房需要以上に冷房需要が重要な用途であるが、最も身近な太陽熱利用はこれまで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。このデシカント空調は CGS など分散型エネルギーおよび全電化ハウスのようなグリッド依存型エネルギー設備のいずれとも共存可能である。

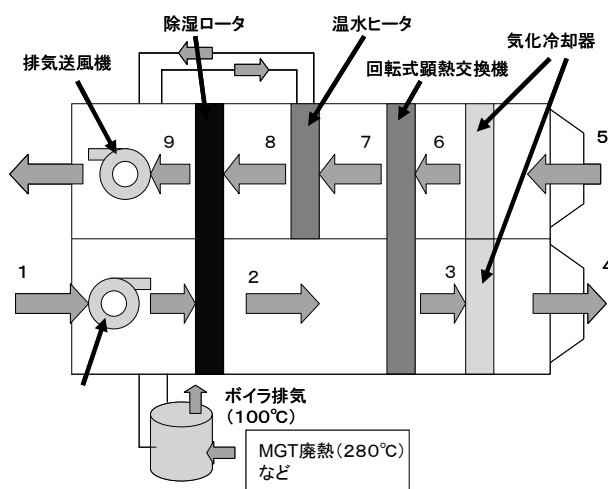


図 8 デシカント空調の仕組み

本研究では、大型商業施設と一般住宅に対し、日射量データをもとに、デシカント空調と PV がそのように貢献しうるかを、先に述べた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 9 のように構成される。

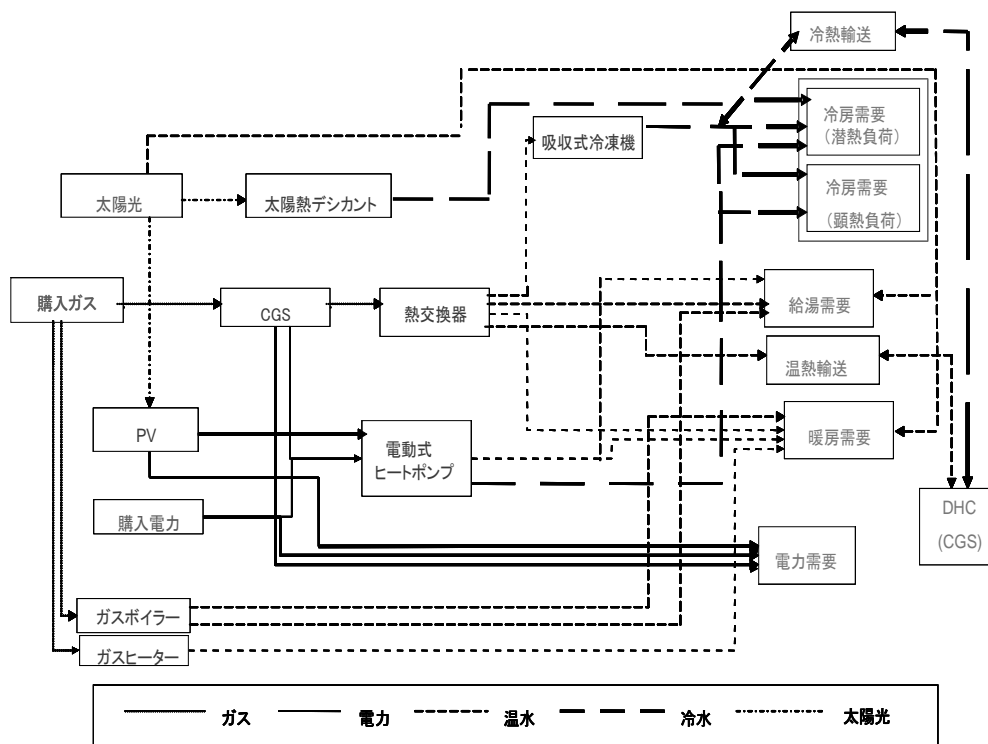


図 9 本研究で用いるモデルのフロー

これまでのモデルとは異なり、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 3 および図 10 に示す。

表 3 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

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)、サービス・カルチャー・その他の店舗(約 3500 m²)、スーパーマーケットや食品売場(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 4 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。

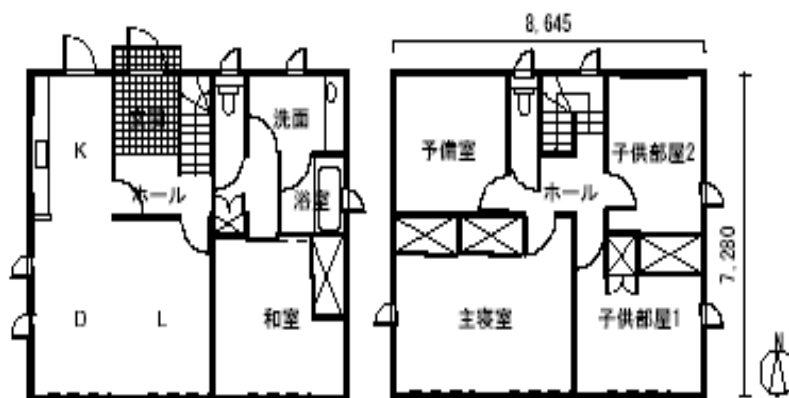


図 10 標準住宅平面図

表 4 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 11-図 12 に、住宅の場合を図 13-図 14 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。

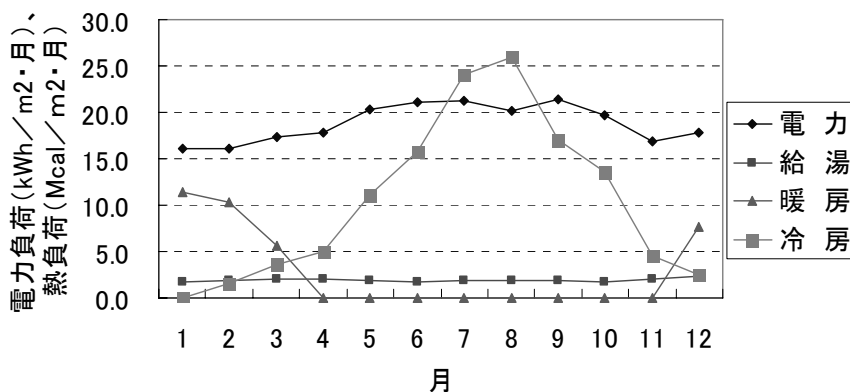


図 11 店舗における月間の電力・熱負荷の標準値

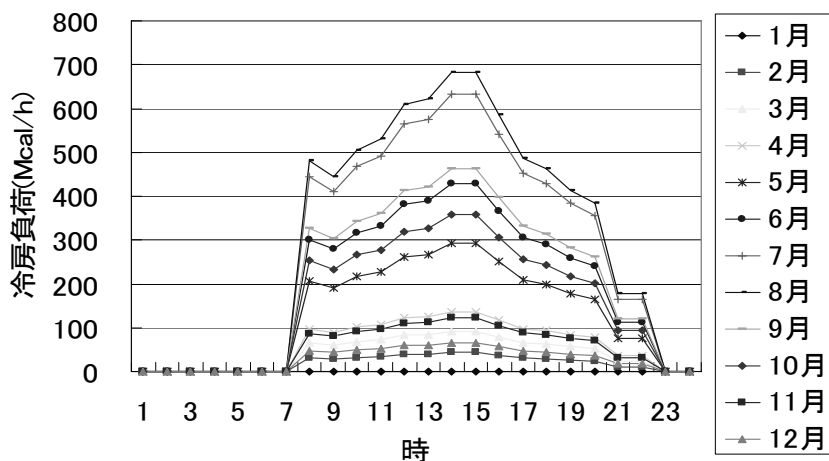


図 12 商業施設の月別・時間別冷房負荷推計値

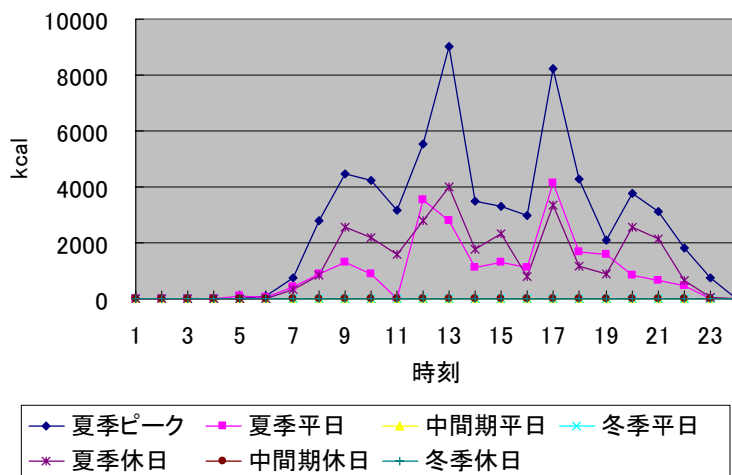


図 13 冷房需要推計値(東京・家庭婦人世帯)

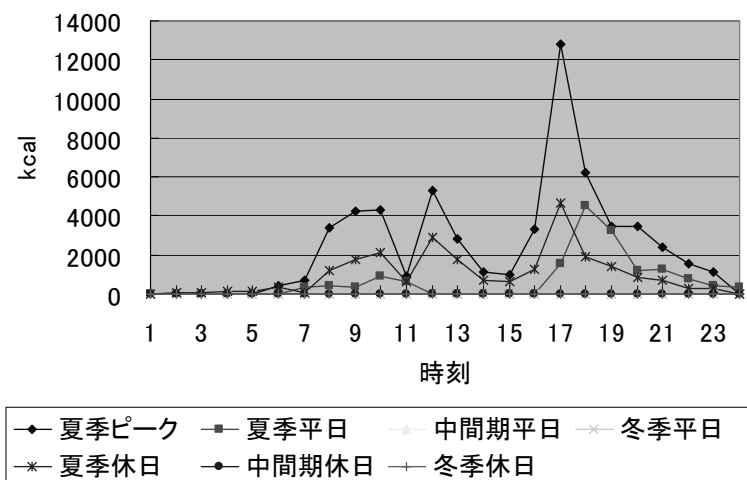


図 14 冷房需要推計値(東京・女性勤め人世帯)

3) モデルの定式化

ここでは、これまでに開発したモデルの相違点である潜熱と顕熱に対する空調機器の定式化について述べる。本研究で新たに拡張した式を以下に示す。

$$D_rc_A(c, i, j) = SHF(i, j) * D_rc_Flr(c, i, j) \quad (1)$$

$$D_rc_B(c, i, j) = (1 - SHF(i, j)) * D_rc_Flr(c, i, j) \quad (2)$$

$$COPS(i, j) = -0.0257 * Tmp\text{r}t(i, j) + 1.0497 \quad (3)$$

$$D_rc_BP(i, j) = D_rc_B("DHC", i, j) - Solar_HT(i, j) * COPS(i, j) \quad (4)$$

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[-]

$Tmp\text{r}t(i, j)$ ：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) 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 15 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。CGS、PV の相互の余剰電力量を考慮したうえで CGS の設備容量・運転パターンを最適化することにより一層の省エネルギーとなる容量決定、運転条件の導出を行うことが可能となった。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。

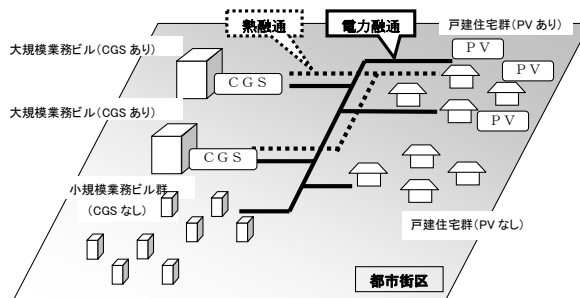


図 15 分散電源ネットワークの検討対象の概要

4. 結果

(1) 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—(1) 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 5 と表 6 に示す。

表 5 シナリオ A に対する日本の潜在的県別 CO₂ 排出削減率

	シナリオA					
	2000	2010	2020	2030	2040	2050
北海道	16.38%	18.86%	23.59%	30.23%	38.12%	46.15%
青森県	17.34%	21.92%	29.24%	37.54%	46.26%	54.66%
岩手県	15.76%	20.27%	27.48%	35.52%	43.75%	51.62%
宮城県	18.62%	18.92%	20.30%	23.54%	28.28%	33.73%
秋田県	15.66%	22.11%	31.07%	40.55%	49.84%	58.39%
山形県	16.89%	21.94%	29.50%	37.40%	45.44%	53.18%
福島県	18.07%	21.60%	27.79%	34.71%	42.25%	49.82%
茨城県	20.86%	22.19%	26.68%	32.79%	40.06%	47.49%
栃木県	18.00%	18.65%	22.60%	28.18%	35.11%	42.40%
群馬県	20.66%	21.70%	26.19%	32.09%	39.00%	46.06%
埼玉県	25.46%	23.47%	24.30%	27.68%	32.99%	38.73%
千葉県	21.69%	19.79%	21.12%	24.96%	30.52%	36.42%
東京都	30.78%	27.85%	29.12%	32.14%	36.34%	40.74%
神奈川県	29.82%	26.87%	27.67%	30.52%	34.85%	39.59%
新潟県	17.32%	20.90%	27.34%	34.66%	42.44%	50.01%
富山県	18.28%	21.35%	27.86%	35.47%	43.54%	51.24%
石川県	18.02%	20.19%	25.65%	32.45%	40.15%	47.72%
福井県	17.39%	20.11%	26.04%	32.83%	40.23%	47.66%
山梨県	17.80%	20.05%	25.39%	31.64%	38.63%	45.88%
長野県	17.77%	19.69%	25.09%	31.39%	38.12%	44.94%
岐阜県	16.31%	18.26%	23.87%	30.91%	38.65%	46.39%
静岡県	21.03%	21.86%	26.35%	32.53%	39.77%	47.19%
愛知県	23.81%	21.61%	21.85%	24.16%	28.16%	32.88%
三重県	19.22%	20.43%	24.14%	29.34%	35.61%	42.28%
滋賀県	19.65%	17.27%	18.42%	21.24%	25.55%	30.49%
京都府	18.93%	19.90%	21.83%	25.80%	31.16%	36.45%
大阪府	30.40%	30.81%	31.62%	34.42%	38.63%	43.00%
兵庫県	19.80%	19.56%	21.63%	25.51%	30.65%	36.23%
奈良県	22.30%	25.13%	30.87%	38.01%	45.80%	53.22%
和歌山県	18.50%	23.54%	31.32%	39.59%	48.00%	55.88%
鳥取県	18.65%	21.38%	26.64%	32.88%	39.69%	46.43%
島根県	16.14%	21.09%	28.49%	36.41%	44.32%	51.68%
岡山県	17.96%	19.69%	24.55%	30.63%	36.57%	43.11%
広島県	18.49%	19.76%	22.29%	26.63%	32.42%	38.58%
山口県	17.88%	22.52%	30.06%	38.54%	47.15%	55.11%
徳島県	17.89%	21.83%	28.59%	36.16%	44.11%	51.76%
香川県	21.76%	24.35%	30.08%	36.82%	44.10%	51.18%
愛媛県	18.71%	22.22%	28.66%	36.09%	44.00%	51.68%
高知県	16.57%	20.80%	27.81%	35.64%	43.73%	51.28%
福岡県	24.43%	23.94%	25.42%	28.58%	33.12%	38.03%
佐賀県	19.56%	22.55%	28.02%	34.27%	41.27%	48.40%
長崎県	19.06%	23.44%	30.37%	38.09%	46.35%	54.51%
熊本県	18.38%	20.62%	25.56%	31.59%	38.37%	45.29%
大分県	16.81%	19.90%	26.13%	33.49%	41.43%	49.20%
宮崎県	17.32%	20.17%	25.89%	32.87%	40.56%	48.24%
鹿児島県	17.79%	21.06%	26.36%	32.50%	39.32%	46.22%
沖縄県	21.93%	17.37%	16.38%	17.04%	19.54%	23.52%
全国	22.56%	22.77%	25.81%	30.47%	36.14%	42.18%

表 6 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B					
	2000	2010	2020	2030	2040	2050
北海道	16.38%	18.04%	20.27%	24.43%	30.47%	36.92%
青森県	17.34%	20.43%	22.68%	26.28%	31.58%	37.44%
岩手県	15.76%	18.85%	21.35%	25.03%	29.96%	35.12%
宮城県	18.62%	18.66%	20.10%	23.28%	28.00%	33.04%
秋田県	15.66%	20.61%	24.48%	29.43%	35.55%	41.84%
山形県	16.89%	20.49%	23.23%	26.63%	31.23%	36.19%
福島県	18.07%	20.15%	21.51%	23.80%	27.69%	32.24%
茨城県	20.86%	21.18%	22.78%	26.30%	31.62%	37.33%
栃木県	18.00%	17.80%	19.70%	23.59%	29.21%	35.18%
群馬県	20.66%	20.78%	22.86%	26.66%	31.92%	37.46%
埼玉県	25.46%	23.16%	24.11%	27.79%	33.29%	38.89%
千葉県	21.69%	19.50%	21.17%	25.67%	31.71%	37.69%
東京都	30.78%	28.06%	32.31%	38.90%	45.74%	51.95%
神奈川県	29.82%	26.66%	28.42%	32.73%	38.14%	43.43%
新潟県	17.32%	19.64%	22.06%	25.67%	30.61%	35.78%
富山県	18.28%	20.25%	23.49%	28.21%	34.11%	40.01%
石川県	18.02%	18.98%	20.69%	23.95%	28.94%	34.23%
福井県	17.39%	18.77%	20.41%	23.15%	27.32%	31.99%
山梨県	17.80%	19.03%	21.50%	25.14%	30.12%	35.59%
長野県	17.77%	18.72%	21.53%	25.61%	30.55%	35.64%
岐阜県	16.31%	16.99%	18.63%	21.99%	26.87%	32.21%
静岡県	21.03%	20.86%	22.49%	26.13%	31.40%	37.09%
愛知県	23.81%	21.34%	21.88%	24.57%	28.81%	33.38%
三重県	19.22%	19.87%	22.48%	26.69%	32.16%	37.91%
滋賀県	19.65%	17.01%	19.22%	23.76%	29.45%	35.09%
京都府	18.93%	18.43%	19.78%	23.49%	28.56%	33.43%
大阪府	30.40%	30.96%	33.34%	37.39%	42.51%	47.38%
兵庫県	19.80%	19.30%	21.74%	26.11%	31.62%	37.14%
奈良県	22.30%	23.97%	25.99%	29.69%	34.98%	40.39%
和歌山県	18.50%	22.10%	25.03%	28.83%	33.95%	39.28%
鳥取県	18.65%	20.33%	22.56%	26.08%	30.74%	35.45%
島根県	16.14%	19.75%	22.81%	26.77%	31.65%	36.41%
岡山県	17.96%	18.68%	20.71%	24.19%	11.82%	16.00%
広島県	18.49%	19.21%	20.33%	23.00%	27.38%	32.07%
山口県	17.88%	21.19%	24.37%	28.91%	34.69%	40.43%
徳島県	17.89%	20.70%	23.95%	28.40%	33.99%	39.71%
香川県	21.76%	23.35%	26.19%	30.39%	35.71%	41.09%
愛媛県	18.71%	20.94%	23.24%	26.85%	31.87%	37.18%
高知県	16.57%	19.81%	23.98%	29.37%	35.67%	41.66%
福岡県	24.43%	23.69%	25.45%	29.06%	33.97%	38.85%
佐賀県	19.56%	21.17%	21.99%	23.72%	27.13%	31.21%
長崎県	19.06%	21.88%	23.42%	26.04%	30.50%	35.78%
熊本県	18.38%	19.56%	21.32%	24.40%	28.86%	33.67%
大分県	16.81%	18.72%	21.25%	25.25%	30.67%	36.32%
宮崎県	17.32%	18.76%	19.79%	22.31%	26.55%	31.31%
鹿児島県	17.79%	19.93%	21.75%	24.68%	28.99%	33.63%
沖縄県	21.93%	16.34%	12.96%	11.61%	12.35%	14.26%
全国	22.56%	22.22%	24.28%	28.25%	33.27%	38.61%

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大きい。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 や地域冷暖房システムのように電力や熱エネルギーを融通しあうシステム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 16 に示す。CO₂ 最小化の場合、対策無しに比べて 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 17 に示す。

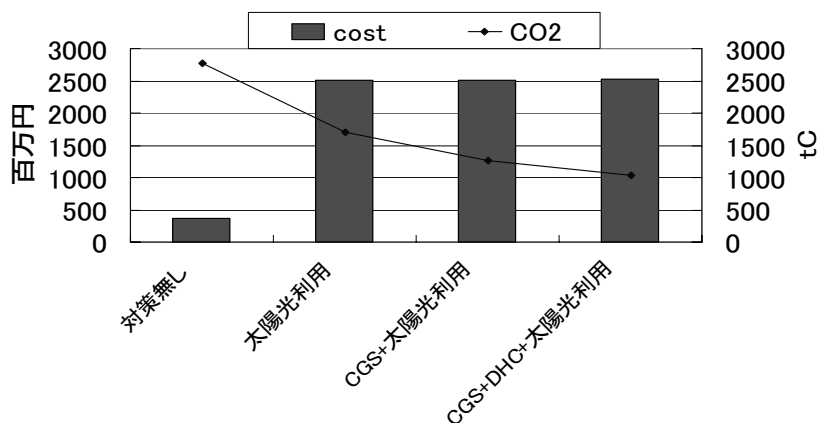


図 16 各ケースのトータルコスト及び CO₂ 排出量

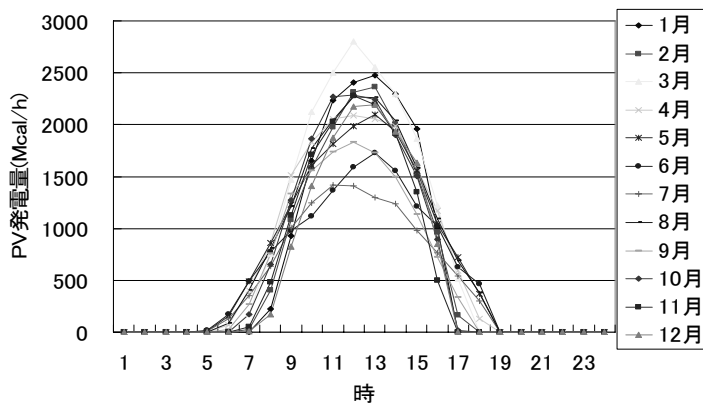


図 17 大型商業施設に導入された PV 発電量

2) トータルコスト最小化の場合

トータルコストと最小化の結果を図 18 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。

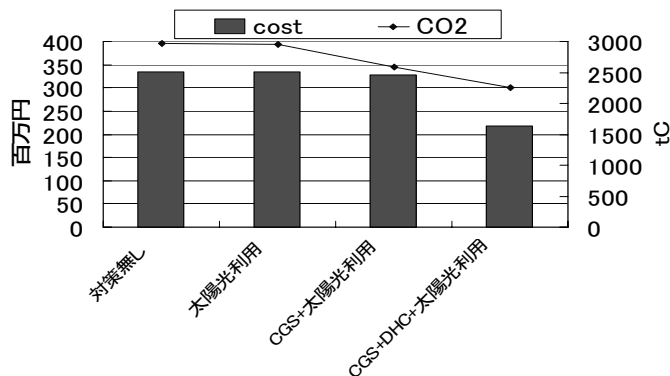


図 18 各ケースのトータルコスト及び CO₂ 排出量

シナリオ[4]の場合では、各階の CGS は導入されず、DHC による供給のみとなった。このことから 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 19 に示す。

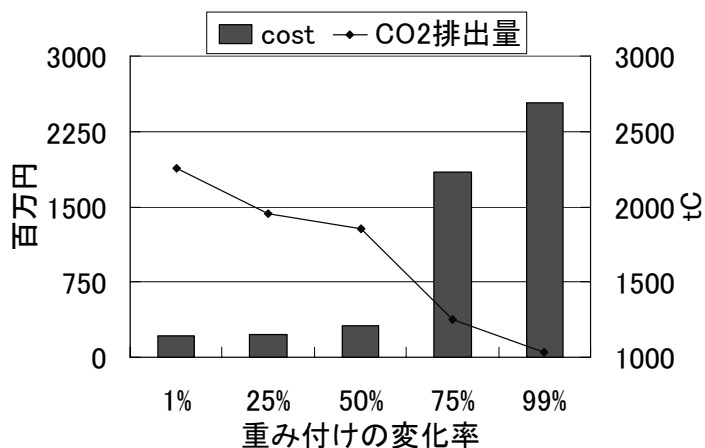


図 19 CO₂ の重み付けに対する環境性、経済性の推移

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 20 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。

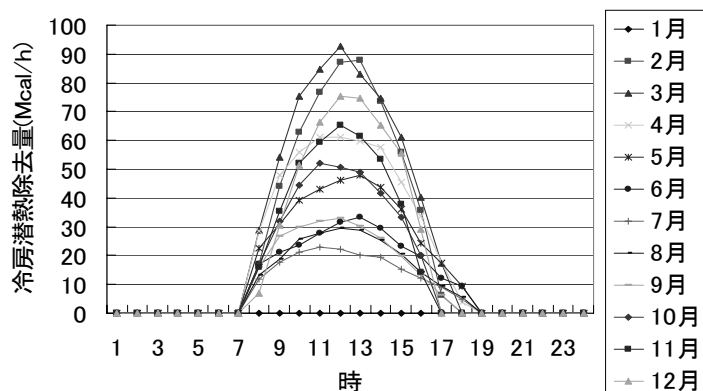


図 20 太陽熱駆動デシカント空調機における冷房潜熱負荷除去量

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 7 のような設定を行う。

表 7 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

結果を以下に示す。図 21、図 22 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ており、一律して case2 の削減量が一番多くなっている。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。

これは、本研究においては蓄熱、蓄電を考慮に入れていないため、エネルギーを削減できる時間が日中だけと限定されてしまっている。そのため日中の行動パターンの違いによって太陽エネルギー技術の導入効果に差が出来てしまっていると考えられる。

次に、図 23、図 24 において CO₂ の排出量の変化をひかくする。この場合も一律に case2 が優れていることが分かる。しかし、地域差、世帯構成によって、導入効果に差が生じている様子がうかがえる。このように、住宅においては、太陽光発電と太陽熱は適切なシェアで導入するのが最適であることが明確に示される。

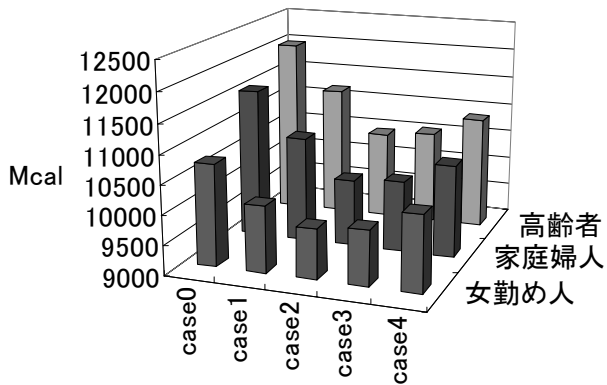


図 21 年間総エネルギー消費量(東京)

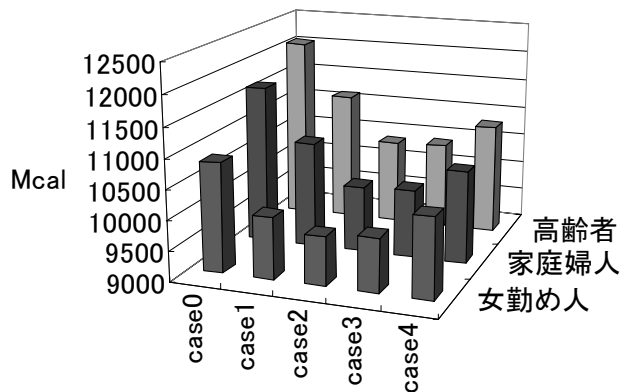


図 22 年間総エネルギー消費量(大阪)

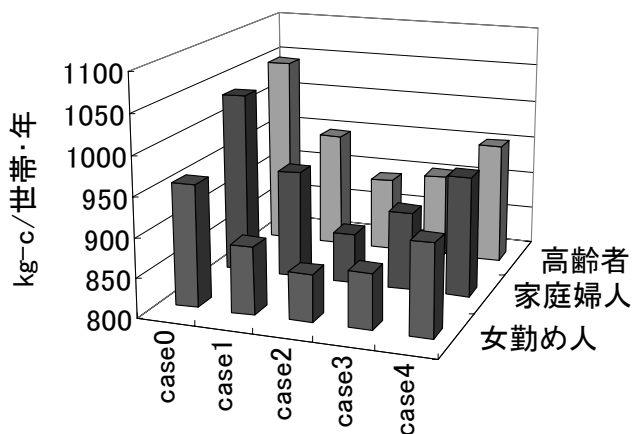


図 23 年間総 CO₂ 排出量(東京)

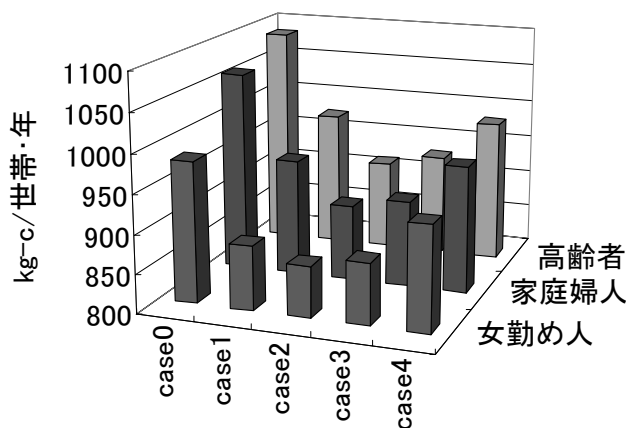


図 24 年間総 CO₂ 排出量(大阪)

(3) 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

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 (図 25)。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 P V 設置住宅とエネルギー融通をした場合に、もっとも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、P V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。

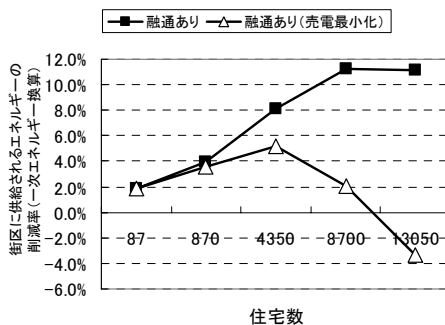


図 25 エネルギー融通を行う住宅数を変化させた場合の省エネルギー効果

(4) 結論

本研究では、昨年度までに構築したモデルの結果を利用することで、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。この結果は、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、なにより人口の減少があることと、また人口の減少に伴い電源構成が変化すれば、最適な CO₂ 排出削減の危機構成もまた変化するという留保条件がつくことに注意し

なければならない。

さらに、新しい太陽エネルギー利用として、潜熱除去に注目するデシカント空調機の導入効果の評価を、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、冷房需要の重みの大きい我が国においては、商業施設、一般住宅ともに大きな効果のあることが示された。住宅用においては、当然ではあるがその効果は世帯のライフスタイルに依存するものとなるものの、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。

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。

本研究では、電源構成との相互関係の分析、データの制約から詳細な分析対象地域が限定されたため、これらの結論は日本全体の定量的評価とするには、限界が残る。しかし本研究手順はデータが広く利用可能になった場合に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。

5. 本研究により得られた成果

平成 16 年度は、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った。さらに日本の主要 7 地域における効果の差を評価した。さらに、意思決定プロセスに利用するために分散計算機環境でのシミュレーションツールの開発を行った。これを受け、平成 17 年度はさらに前者の空調機器特性の具体的な表現を持つモデルを拡張し、特に地域における需要家の分布を考慮した上で、CGS あるいは HP 導入による省エネルギーや CO₂ 排出削減評価を行うシステムの構築を行った。これにより、需要家の分布が東京などの大都市に比べると比較的狭い範囲で変化する宇都宮市において、GIS データをもとに中央都市街区および周辺の住居・業務混合地域における導入効果を評価した。さらに、この結果を地域全体に拡張し評価する手順を構築した。

平成 18 年度は、さらにこの方法を札幌、那覇という日本の南北端の都市に適用し、さらに宇都宮の結果とあわせると、CO₂ 排出削減ポテンシャルと業務用床面積比率の間に地域を貫く一つの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。

平成 19 年度は、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。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を検討するためのツールの基礎ができたと考えられる。

(1) 科学的意義

昨年度の本研究の成果をもとに、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。本年度は、まず、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、本研究はミ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化したとき、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, 387-390, 2006
- (2) 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, 107-114, 2006
- (3) 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), 1522-1529, 2005

(4) 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

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, S. Koike1 and T. 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, 459-463, 2007
- 2) 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
- 3) 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, 625-630, 2007
- 4) 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」, 土木学会論文集G, 63(4), 366-375, 2007

<その他誌上発表(査読なし)>

なし

(2) 口頭発表(学会)

- 1) S. Mori, S. Koike1 and T. Ishida, " An Analysis of Regional Energy Demand and an Assessment of Potential CO₂ Emission Reduction in Japan using GIS", EnviroInfo 2007, Warsaw, Poland, 12-14, 2007

(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