

課題名	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		
課題代表者名	花木啓祐（東京大学大学院工学系研究科都市工学専攻）		
研究期間	平成16-20年度	合計予算額	128,700千円（うち20年度 19,000千円） ※上記の合計予算額には、間接経費29,703千円を含む

研究体制

- (1) 都市シナリオの設定と二酸化炭素削減量統合評価（東京大学）
- (2) 都市エネルギー供給由来の二酸化炭素排出評価と変革による削減効果（東京大学）
- (3) 都市建築物由来のエネルギー消費と変革による削減効果（慶應義塾大学、（株）日建設総合研究所）
- (4) 都市への燃料電池と太陽電池導入によるエネルギー削減効果（成蹊大学（平成16～17年度）、信州大学（平成18～20年度））
- (5) 都市圏におけるモビリティ由来のエネルギー消費と変革による削減効果（東京大学（16-18年度））
- (6) 都市系バイオマスと未利用エネルギーの活用によるエネルギー削減効果（東洋大学（平成20年度））
- (7) 都市における需要変化にともなう増発二酸化炭素排出量変化（東京大学（平成16～18年度））
地域間物流に伴う二酸化炭素排出の変化（東京大学（平成19～20年度））
- (8) 都市への対策導入における各主体間の協力・競合の総合的評価とコミュニケーション（東京理科大学（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（東京理科大学、日本工業大学（平成19～20年度））
- (9) さまざまな主体の知識共有のための統合ツール開発（東京大学）

I. 戦略課題S-3-3の全体構成

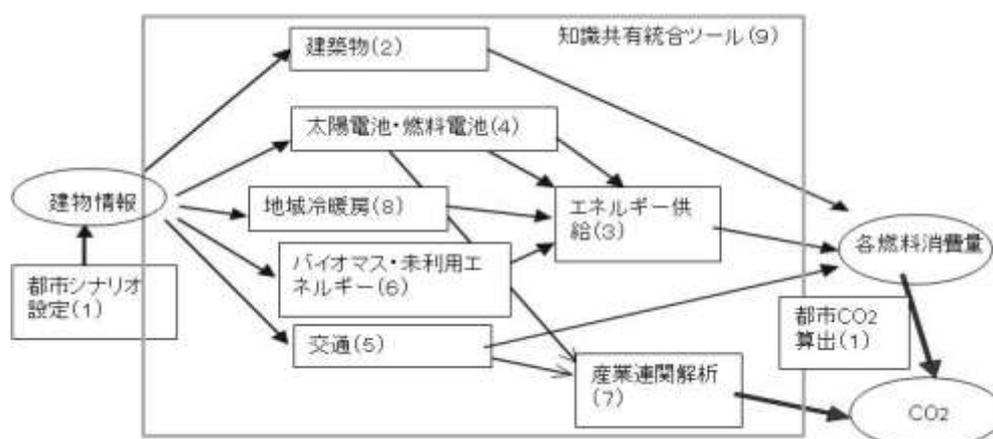


図1 本戦略課題における各分担テーマの相互関係（カッコ内の数字はテーマ番号を示す）

本課題においては、都市活動によって排出される二酸化炭素の排出削減を図るために、現状の解析を元にして将来を予測し、また対策導入の効果を把握する。都市に対する対策はそれぞれが完全に独立したものではなく、相互に関連が強いので、これらをチームとして共同で解析するために図1のような協力体制をとった。

都市シナリオを設定し（テーマ1）、それに基づいて都市内の活動である建築物におけるエネルギー消費（テーマ2）、交通由来のエネルギー消費（テーマ5）を解析する一方で、都市内での分散エネルギー源である太陽電池（テーマ4）、エネルギー消費の効率化を達成する地域冷暖房・コ

ジェネ（テーマ8）、バイオマスと未利用エネルギーの活用（テーマ6）について解析を行う。これらの都市内のエネルギー消費、またエネルギー生産がエネルギー生産に与える効果（テーマ3）を求めるとともに産業連関分析によって（テーマ7）物流由来の二酸化炭素を求める。これらを統合的に用いて都市由来の二酸化炭素を求める（テーマ1）。これらは相互に関係を持つので知識共有の統合ツールを用いて連携を高める（テーマ9）。

これらの研究者は、工学領域の中でも多様な専門分野に属しており、従来の個別研究では共同研究が行われてこなかったであろうが、都市活動から排出される二酸化炭素を排出の原因、エネルギー消費削減技術、再生可能エネルギー生産、電力供給、都市構造という多様な面から統合的に検討するために研究組織を構成している点が本研究課題の特徴である。

II. 本研究により得られた科学的成果

1. 全体としての成果

都市から発生する二酸化炭素の削減策には多様な技術が存在している。その技術は供給側と需要側の両者があり、また都市自身の対策もある。これらの対策については、従来は学問的に統合的なアプローチがとられておらず、個別の対策評価に留まる場合が多かった。本研究では多様な分野でありながら共通の理解を有する研究者が緊密に連携をとることによって、統合的な解析に関して成果を挙げることができた。

本研究の成果は国内外の学会、講演会において紹介し、また平成20年9月には環境科学会のシンポジウム「低炭素都市に向けた多面的アプローチ」において研究紹介と議論を行った。

2. テーマ毎の成果

(1) 都市シナリオの設定と二酸化炭素削減量統合評価

本研究では、さまざまな対策が都市に導入された際の効果は都市側の条件によって異なる、という定性的な推論を定量的なデータによって裏付けることを可能にしたものである。とりわけ、緻密な都市内のデータと網羅的で都市全体の活動を表現する情報を組み合わせることを提案している点は、実際の情報の入手可能性と低炭素都市の研究の基礎として重要である。

都市内の活動度分布の解析については、従来組み合わせられていなかった既存のデータベースを組み合わせ、都市内部の建物における用途別床面積を最大限推定する試算をおこなった。その結果、依然として現実には及ばない点は残るが、既存のデータベースを元にして都市における二酸化炭素排出削減策導入効果解析の基礎データになることを示した。

都市構造の変化に対する解析においては、交通面での優位性が指摘されるコンパクト都市において期待できる建物由来の二酸化炭素排出削減、再生可能エネルギー生産について成果を得た点は今後の研究につながる重要な知見である。

(2) 都市エネルギー供給由来の二酸化炭素排出評価と変革による削減効果

家庭部門におけるCGSやHPの導入効果は、その有無による限界削減費用の差異は比較的小さいことが分かった。一方、PHEVの普及に関しては、CO₂排出量削減効果の絶対量は比較的大きく、充電のための電力需要量増加による発電部門での限界削減費用の上昇幅は、CCSなどの大規模な実施により電力のCO₂排出原単位の削減が実現できれば、小さく抑制できる可能性があることわかった。

関東地方のPVの1年分の出力を気象観測データから10分間隔の時系列で推計し、太陽光発電容量に応じた電力貯蔵の必要量などを明示的に考慮した大規模最適電源計画モデルを構築し、太陽光発電の導入が電源構成に与える影響を解析した。その結果、火力発電所の出力調整能力が高ければ、電力貯蔵設備の導入はそれほど大規模に行う必要はなく、経済的な負担もそれだけ少なくなる可能性があることが明らかとなった。

(3) 都市建築物由来のエネルギー消費と変革による削減効果

全ライフステージ（建設、運用、改修、解体）を対象とした業務用建築（事務所ビル、商業施設、医療施設、教育施設、宿泊施設、その他）、住宅起因CO₂排出量の超長期予測モデルを開発した。複数の都市に省エネルギー対策を導入した場合のエネルギー消費量削減のポテンシャルを求めた。次に中期解析に用いる建築物の更新サイクルの検討を対象都市に対して行うと共に、省エネ型の技術の普及を予測し、これらを建築物のエネルギー消費モデルに組み込んだ。さらに社会情勢の変化に伴う業務用建築、住宅の変化シナリオを作成し、エネルギー消費量、CO₂排出量を求めた。これにより、わが国の建築分野における温室効果ガス削減目標の達成に向けた地球環境政策の判断材料を提供できるようになった。

(4) 都市への燃料電池と太陽電池導入によるエネルギー削減効果

太陽光発電量は気象条件により影響を受けるため、本研究では、日射量だけでなく、気温も考慮したモデルにより、都道府県別の太陽光発電量をより正確に推定した。また、発電コストやコスト・ペイバック・タイム、エネルギー・ペイバック・タイムの地域差も明らかにした。CO₂排出削減コストについては、太陽光発電に代替される発電方式によって異なることを示し、さらに、電力会社間の電源構成の違いによる発電コスト、CO₂排出原単位を考慮することにより、CO₂排出削減コストの地域差を明らかにした。さらに、技術革新や生産規模の拡大に伴う太陽光発電システムのコスト低下による、CO₂排出削減コストの低減の可能性を明らかにした。また、大量導入を可能にするための蓄電池併設システムを提案し、LCA評価を用いたコスト最小化のための蓄電池容量の決定手法を示すとともに、蓄電池コストの削減目標についても示した。

(5) 都市圏におけるモビリティ由来のエネルギー消費と変革による削減効果（16-18年度のみ）

ロードプライシング政策に関して、従来厳密な検討があまり行われてこなかったエリア課金の評価を行える、トリップチェーンベースの非加算経路コストを考慮したネットワーク均衡モデルを提案した。これを沖縄本島に適用することにより、エリア課金とコードン課金の下での消費者余剰、最適課金額、CO₂排出量の相違を明らかにした。

個人の居住地と勤務地を適切に入れ替えることのみによって通勤時間と通勤目的の自動車交通に起因するCO₂排出量の削減をねらう職住最適再配置政策について、ネットワーク配分手法を適用し、混雑現象を考慮して分析できるモデルを提案した。これを東京都市圏、宇都宮都市圏、沖縄県に適用し、いずれの都市圏においても通勤目的の自動車からのCO₂排出量が34～39%削減しうることを示した。

(6) 都市系バイオマスと未利用エネルギーの活用によるエネルギー削減効果

都市から発生するバイオマス資源について全国レベルで長期にわたって厨芥や汚泥の発生量を予測している例はこれまでなく、貴重な結果が得られた。また、木質バイオマスについては、住宅、紙、エネルギーといったさまざまな木質の利用シナリオを一元的に解析し、かつライフサイクルにおけるCO₂排出削減量を評価できるモデルを開発した。清掃工場の廃熱利用ポテンシャルについては、全国の工場を対象として周辺熱需要を考慮してそのポテンシャルを解析した事例は本研究が初めてである。既存の地理情報を効率よく利用しながら全国を対象とした推計を行っており、同様のアプローチは他の未利用エネルギーに拡張しうるものと考えられる。下水熱のポテンシャルについては、これまで利用可能温度を一律に仮定した形での評価しか行われていなかったが、本研究で開発したモデルでは下水温度による機器の効率の変化などまで考慮に入れており、初めて現実的な利用可能ポテンシャルの評価に成功したとも言える。このように、都市系のバイオマスあるいは未利用エネルギーの活用によるエネルギー削減効果をより現実的に評価するためのいくつかの手法を構築した。

(7) 地域間物流に伴う二酸化炭素排出の変化

物流は消費活動ならびに産業活動に由来して発生するものであるが、物流を消費活動と産業活動の連関を明示的に扱う分析は既往の研究ではなされていない。本研究では産業連関表と地域間の物流データを接続することにより、消費活動ならびに産業活動によって物流が発生する機構を定式化する手法（物流産業連関分析）を提案した。さらに提案した手法によって日本全体の年間の物流量を地域別、最終需要別に算出し、実績の物流統計値との比較を行い、本手法の妥当性を検証した。交通機関手段変更による二酸化炭素排出削減の評価は従来個別の輸送に対しては行われていたが、地域間の物流量の変化と合わせて将来を予測した研究はなく、これらの点は従来の研究にない新しい方向を示すものである。

(8) 地域冷暖房とコジェネの導入による削減効果

ミクロレベルの地域の個別建物・機器特性とエネルギー需要の推計を統合してコジェネレーションと全電力化によるヒートポンプ導入のCO₂排出削減評価を行った。宇都宮市、札幌市、那覇市への最適導入と運用モデルを適用し、これを日本全体に拡張適用した。さらに太陽熱利用空調設備の効果について評価を行い、デシカント空調との組み合わせの優位性を示した。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考慮し、費用最小化とCO₂排出最小化について、需要家と事業者の行動の定量的評価を行い、最大約28%のCO₂削減ポテンシャルのあることを得た。

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を検討し、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。

(9) さまざまな主体の知識共有のための統合ツール開発

様々な技術や政策オプションを自立的かつ分散的に研究している専門家が持つ知識をインターネット上で更に有効に共有し統合化・構造化するため、「ウェブ・ベース協調基盤」を構築した。この基盤に基づいて、DOMEと呼ばれるモデル統合ソフトウェアを用いて、各部門で作成された個別数値計算モデルを統合し、部門間相互作用を評価する手法を開発した。各モデルは、本研究チームの異なるメンバーによりそれぞれ構築されたもので、統合することを考慮して作成されたものではないが、DOMEを用いることにより、個別モデルでは得られない部門間相互作用や時系列の評価を可能にした。最後に、さらに多くの関連知識を統合化するため、コンピュータ処理可能の意味記述手法とそれに伴う様々な最先端情報技術を用いて、脱温暖化社会に関連する専門知識のウェブ・ベース共有・探索・統合基盤を開発した。特に、「脱温暖化社会に向けた中長期的政策オプションの知識表現言語」としてのオントロジーを開発し、EKOSS (Expert Knowledge Ontology-based Semantic Search) システム上に脱温暖化社会に関連するシナリオや個別技術の専門知識を記述した。そして、その専門知識の記述のもとで、意味的な知識統合化の可能性を検討した。

III. 成果の地球環境政策への貢献

1. 全体としての成果

本研究成果の対外的な発信として、最終年度の平成21年2月に小冊子「低炭素都市の実現へ向けての解析」（30 ページ、カラー版）を制作・印刷し、配布すると共に脱温暖化2050プロジェクトのホームページからダウンロードを可能にした。この小冊子は研究成果の専門的な詳細を記述するものというよりは、都市の温暖化対策に実際に携わる行政関係者、実務者を意識しつつ研究者に対しても概要を示すように努めたものである。

2. テーマ毎の成果

(1) 都市シナリオの設定と二酸化炭素削減量統合評価

本研究で開発した手法は、国あるいは地方自治体が都市の単位で二酸化炭素削減の方策を立案する際に有効な手法となりうる。とりわけ、二酸化炭素の将来の削減の解析を可能にするための情報、またコンパクトシティを実現した際の効果についての研究成果は短期および長期の施策に有用である。現時点で本研究の成果が直接的に環境政策に用いられてはいないが、本研究は常に政策面での貢献を意図して行われており、今後成果が活用されることが期待される。

(2) 都市エネルギー供給由来の二酸化炭素排出評価と変革による削減効果

家庭・業務部門などの電力の需要側と供給側の両者の関係は、実際の都市への政策導入の際には重要であるにもかかわらず、関連する主体が異なることもあってこれまではその連携が検討されてこなかった。本研究は横断的な施策が必要であることを示しており、今後成果が活用されることが期待される。

(3) 都市建築物由来のエネルギー消費と変革による削減効果

建築物は民生部門における大きな二酸化炭素排出源になっているため、本研究の成果は政策に資するところが大きい。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。

(4) 都市への燃料電池と太陽電池導入によるエネルギー削減効果

太陽電池の導入はわが国の大きな課題である。気象条件や代替される発電方式の発電コスト、CO₂排出原単位を考慮することにより、太陽光発電の発電コスト、CO₂排出削減コストが地域によって大きく異なることを明らかにした。また将来太陽光発電システムのコスト低下によりCO₂排出削減コストが著しく低下することを示した。これらの結果から、よりCO₂排出削減コストの低い地域から導入を促進し、コストの低下を待って、よりCO₂排出削減コストの高い地域へと導入を拡大するなど、太陽光発電の導入シナリオを提示した。また、太陽光発電の大規模導入を可能とするために、蓄電池を併設した比較的低コストなシステムを提案した。

(5) 都市圏におけるモビリティ由来のエネルギー消費と変革による削減効果（16-18年度のみ）

交通量モデルの部分について、施策評価に適用可能な方法を構築することが出来た。家族類型別世帯数と人口の推計結果から人流の発生・集中交通量を推計する手法を開発した。物流の発生・集中交通量推計モデルへの土地利用データの導入などと合わせれば、実際の施策に有効に活用できると考えられる。

(6) 都市系バイオマスと未利用エネルギーの活用によるエネルギー削減効果

本研究で得られた結果だけでなく、CO₂削減効果のさまざまな解析手法は国のみならず各自治体のレベルにおいても具体的な政策を検討・実施していくうえで有効なものと考えられるため、学術誌

や学会などでの研究発表、さまざまな委員会や審議会における検討の場、などを通じ、今後成果の広報・普及に努める。

(7) 地域間物流に伴う二酸化炭素排出の変化

物流産業連関分析によって、最終需要品目別の1単位の消費に誘発される物流を求め、輸送機関別のCO₂排出原単位を用いて、CO₂排出量に換算した。これにより、最終消費と物流によるCO₂排出の関係が明らかになり、物流分野におけるCO₂排出削減対策を評価できる枠組みを作成できた。この枠組みを用いて、輸送距離の削減対策（地産地消の促進）、輸送手段の低炭素化（鉄道や海運へのモーダルシフト）のCO₂排出削減効果を推計した。潜在的なCO₂削減量として、地産地消の物流構造となることで年間最大4340万t、鉄道・海運にモーダルシフトすることで年間最大4720万tの削減ポテンシャルがあるとの推計結果を得た。

(8) 地域冷暖房とコジェネの導入による削減効果

民生部門における地域分散エネルギーあるいはHPを中心とする全電力化による我が国全体のCO₂排出削減の寄与については、これまで技術や需要特性を反映した評価がなされてきたとは言えない。本研究により、はじめて個別建物から広域的効果を一貫した方法で評価する手段が得られ、またそれを評価することができた。さらにコストとCO₂排出削減のトレードオフに関しても、導くことが可能となった。

(9) さまざまな主体の知識共有のための統合ツール開発

「ウェブ・ベース協調基盤」の改善とコンテンツの作成により、有用な専門知識を共有するツールができた。そして、DOMEのモデル統合環境を用いて、様々な数値計算モデルやデータベースをウェブ上に繋げ、脱温暖化社会のシナリオを総合的に評価することに使用できる統合モデルを作成する手法の適用可能性を検討した。

このウェブ・ベース協調基盤とオントロジーは、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・立案を行うための有効な知識リソースになると考えられる。また、温暖化対策の政策立案に利用できる有用なツールになり、研究成果を基に、プロジェクト内外の専門家の知識共有と統合を支援する協調基盤ができると考える。

IV. 研究概要

1. はじめに

わが国の二酸化炭素排出量の動向を見ると、交通、業務、家庭部門の伸びが著しく、これらの部門への対策がわが国の二酸化炭素排出量削減の成否を握っている側面が非常に大きい。これらの二酸化炭素排出のほとんどは都市の場において生じているものであり、それは都市活動や都市構造と深い関係がある。二酸化炭素削減対策としては、エネルギー消費量の削減を図る技術、再生可能エネルギーを始めとして供給エネルギーの炭素強度を下げる技術があり、その開発が進んでいる。しかし、これらの技術による二酸化炭素の削減可能量の推定に当たっては、技術のみを取り出して行う評価ではまったく不十分であり、実際に都市に導入された状況を想定して推定を行うことが必要である。とりわけ、複数の対策が同時に導入される場合には、対策相互の相殺効果、電力需要変化に伴う系統電力の炭素強度の変化など、複雑な問題が存在しており、これらを考慮せずに技術評価を行うと対策効果の過大評価につながる。本研究は、対策技術適用の場であり、また将来の社会的な変化が端的に現れる都市を対象にした対策効果の解析を行うものである。

都市活動に由来する二酸化炭素排出を解析し、わが国全体としての削減策を検討するためには、都市の規模と都市構造、気候条件など、個々の都市の相違点に着目する緻密な解析の一方で、網羅的に全国を評価することも重要となり、本研究もその点に留意して実施した。

2. 研究目的

本研究では都市に対して取られるさまざまな対策間の相互関係を考慮した統合解析を現実の都市の場に対して適用することによって、都市単位での実際の削減可能量を推定することを目的とする。気候条件、人口規模、都市活動の内容が異なるわが国の複数の都市を対象にして、技術開発の動向を織り込んだ2020年までの削減可能量と、2050年での削減可能量を、複数の社会経済的なストーリーラインシナリオ毎に算出し、またそれらの実現に当たっての都市側の主体間の協力の必要性を示すことを最終目的とする。とりわけ、2050年に対しては削減目標を設定し、その実現のために必要な都市における対策とその組み合わせを明らかにすることを目標とする。今後人口減少が開始するわが国にあって、それぞれの都市の活動度がどのように変化するかは温室効果ガスの排出量を大きく左右する要因であるが、また確実な予測を行うことは困難であり、将来のシナリオを設定し

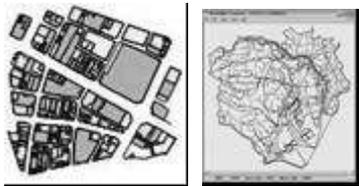
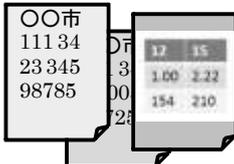
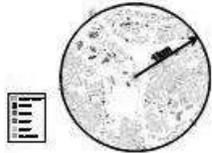
て温室効果ガスの排出量予測と対策の効果を評価していくことが必要である。本研究では、実際の都市におけるそれぞれの対策の間に相互関連があることを重視し、各分担サブテーマ間の整合性、相互関連を重視して研究を行う。

3. 研究の方法及び結果

(1) 都市シナリオの設定と二酸化炭素削減量統合評価

対象とする地域と検討する対策に対応して解析のスケールも異なり、従って必要な情報も異なる。とりわけ、一つ一つの建物や土地利用の情報である地理情報システム(GIS)を用いた解析は、都市の内部でのそれらの建物や土地利用の分布が支配的な因子となる場合に有効である。たとえば、熱需要が異なる建物群を対象に行われる地域冷暖房は、建物間の距離と熱需要の量によってCO₂削減効果が異なる。一方、個別の建物への対策のように、それぞれの効果を都市全体、あるいは県全体として合算するような場合、分布を伴うような情報は不要であり、またかえって解析を難しくする。これらを、まず表1のように整理した。

表1. 面的情報と数値統計情報の使い分け

	面的情報（建物・土地利用の分布）	数値統計情報（建物・土地利用の量）
基礎情報	地理情報システム(GIS)に基づく解析 	建物用途と建物数・床面積の数値情報 
解析の規模	街区単位	市町村単位・県単位
解析例	ごみ焼却熱利用地域冷暖房の効果  都市内廃棄物のバイオマス利用	建物のエネルギー性能改善、太陽電池 

上記で述べた詳細な分析を行う際には、国内のすべての都市に対して解析を行うことが困難な場合が多い。そこで、地理的な条件、規模などが異なるモデル都市を選定しとりわけ、札幌、宇都宮、那覇を中心に更に踏み込んで具体的な研究を行った。

まず宇都宮市に対して、都市計画基礎調査建物現況調査（以下、建物現況調査とする）、電話帳データおよび市街地地図を用い、建物内の用途別床面積を推定した。これらのデータをマッチングさせることによって建物の用途と床面積を推定した。

この方法を用いて、札幌市、宇都宮市、那覇市における建物民生由来のエネルギー需要およびその二酸化炭素排出量の空間分布を計算した。

次に、都市のコンパクト化の解析を宇都宮市を例にとり行った。将来の宇都宮市域の人口分布について、中央密集シナリオ（図3、宇都宮駅周辺を中心に業務施設・商業施設・集合住宅を密集させ、人口密度を高くする）、平坦シナリオ（図4、宇都宮市の各町丁目の人口密度が同じになると仮定し、宇都宮市全体に人口や様々な施設が分散した都市シナリオ）、均等減少シナリオ（現在の都市の構造が2050年まで維持される都市シナリオ）を想定して二酸化炭素排出量の推定を行った。一人当たりの温室効果ガス年間排出量においても、同様に中央密集シナリオ>平坦シナリオ>均等減少シナリオとなった。

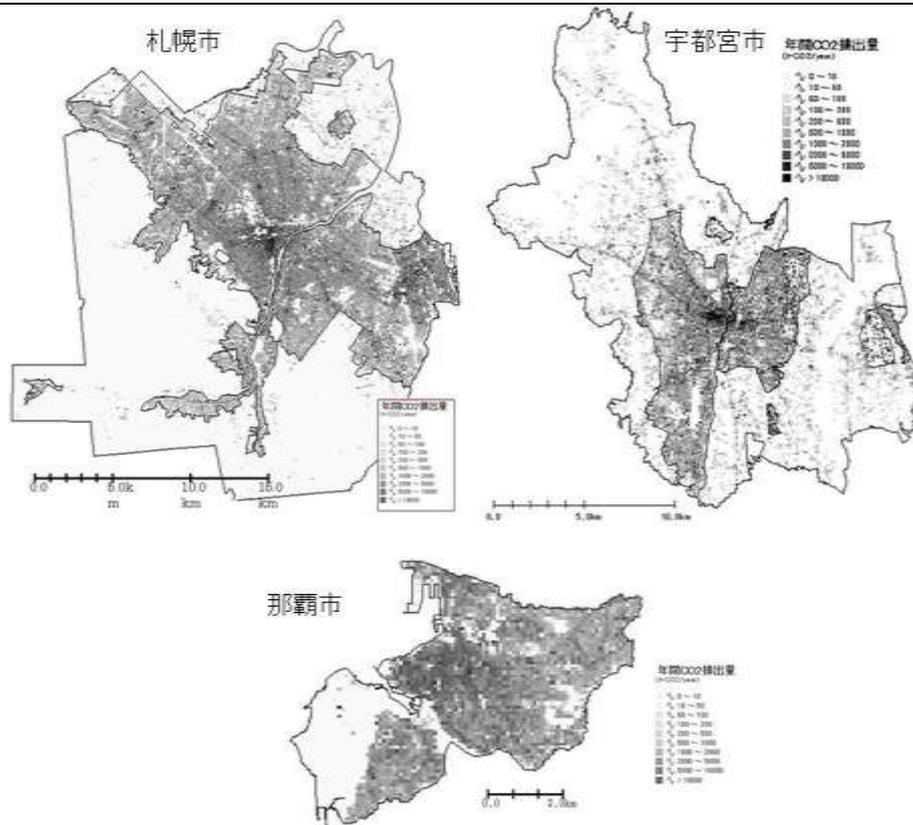


図2 札幌市、宇都宮市、那覇市における建物部門からの年間二酸化炭素排出量分布
(100mメッシュで表示し、図中枠内は市街化区域を表す)

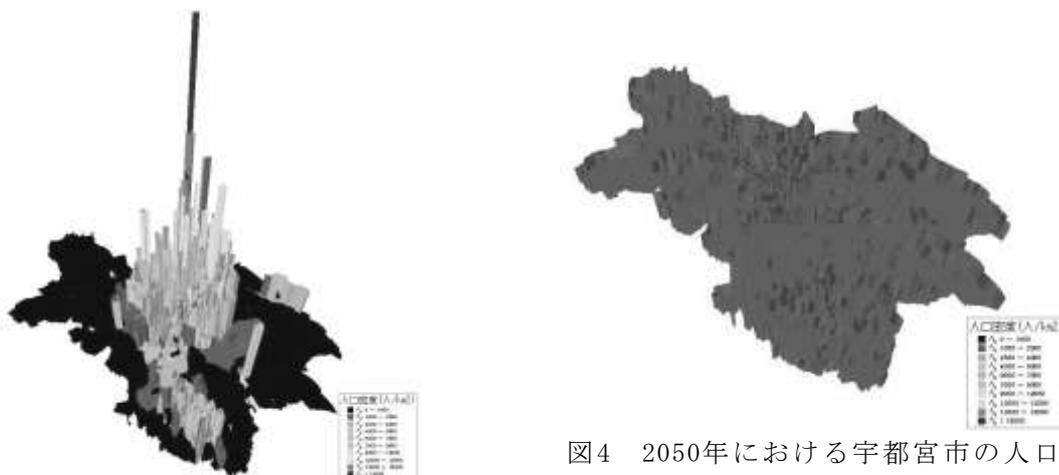


図3 2050年における宇都宮市の
人口密度（中央密集シナリオ）

図4 2050年における宇都宮市の人口密
度（平坦シナリオ）

(2) 都市エネルギー供給由来の二酸化炭素排出評価と変革による削減効果

最適電源構成モデルを線形計画問題として定式化した。時間解像度は7季節24時間帯であり、原子力、石炭、石炭ガス化複合（IGCC）、LNG、LNG複合、石油、揚水、一般水力、地熱（外生値）の各種発電技術を考慮し、わが国の9地域別の電力需給構造の差異や地域間での電力の経済融通やCCSも考慮した¹⁾。発電部門からのCO₂を2050年までに2005年比70%削減する場合の発電電力量と、発電部門からのCO₂排出量の推移をそれぞれ図5に示す。なお、ここではCO₂の海洋貯留が可能と仮定したが、その可否は別途検討が必要である。

2050年の発電部門と運輸部門（自動車）、都市ガス（家庭給湯+CGS）からのCO₂排出量を図6に示す。無対策ケース以外では、発電部門からのCO₂排出量を2005年比70%削減する排出制約を課している。HPやCGSの運用は、家庭における人間の行動を乱数でモデル化し、47都道府県別・20世帯類型別に確率動的計画法に基づいて行われるものとした。HPやCGSを導入した場合は、都市ガス起源のCO₂排出量の変化分で上限値を補正した発電部門のCO₂排出制約を課している。また、PHEV

が蓄電池の充電エネルギーのみで 30km の走行が可能と想定し、道路交通センサスによるトリップ長と発生交通量の調査結果に基づいて、全自動車に PHEV になったものとし、電力で代替可能となる液体燃料量を推計した。PHEV に関しては、その導入の有無によって発電部門の CO₂ 排出制約の上限値を変化させることはせず、ガソリン等の燃料起源の CO₂ 排出量の削減は、発電部門の削減に追加的に行われるものとした。また、図 6 には、それぞれのケースでの発電部門での限界削減費用も示す。

発電部門の CO₂ 排出量削減には、図 6 に示すように CGS の貢献が無視できない結果となった。CGS や HP の導入効果は、効果が家庭部門に限定されるため、量的にはそれほど大きくはない。なお、HP の導入ケースでは限界削減費用が若干安価となる状況が見て取れる。これは系統電力の CO₂ 排出原単位が、CCS の大規模実施などによって小さくなっていることが背景にある。PHEV の普及に関しては、CO₂ 排出量削減効果の絶対量は比較的大きく、充電のための電力需要増加による発電部門での限界削減費用の上昇幅もそれほど大きくはないという結果となった。ただし、ここでは、HP、CGS、PHEV の導入コストは、解析対象には含まれていない点に注意が必要である。

太陽光発電の過剰出力を適宜遮断すれば、太陽光発電設備の設置場所の地域的な広がりによる「ならし効果」と系統内の火力発電所の負荷追従運転により、経済性の観点からは、追加的な蓄電設備はほとんど不要であることが推測される。

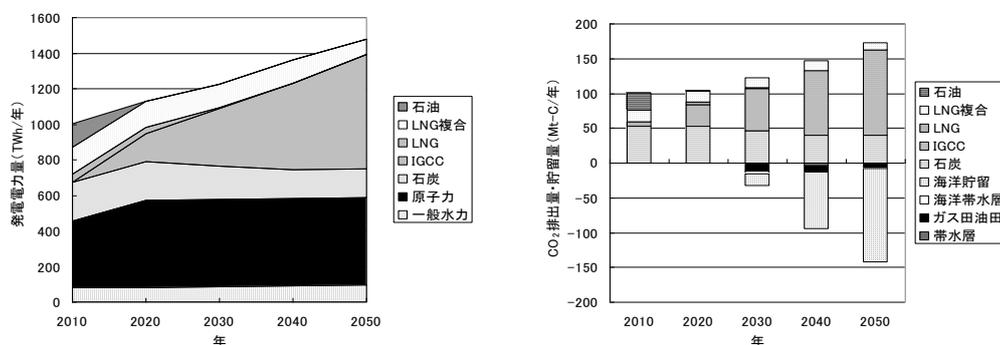


図5. 日本全体のCO₂排出量削減時の発電電力量（左）とCO₂排出量・貯留量（右）の試算結果

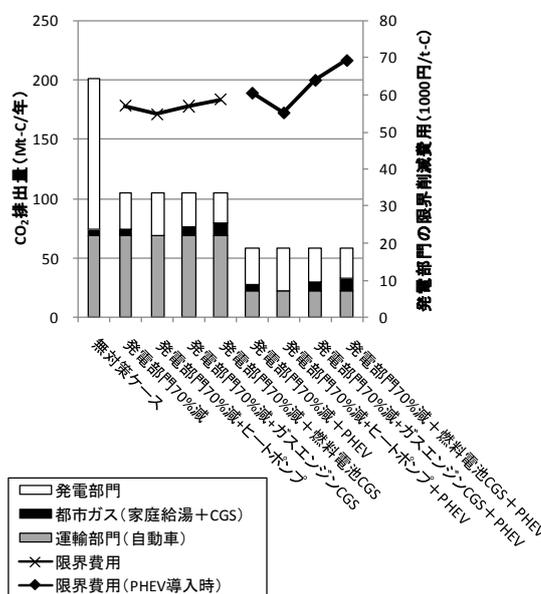


図6. CO₂排出量と限界削減費用（全国2050年）

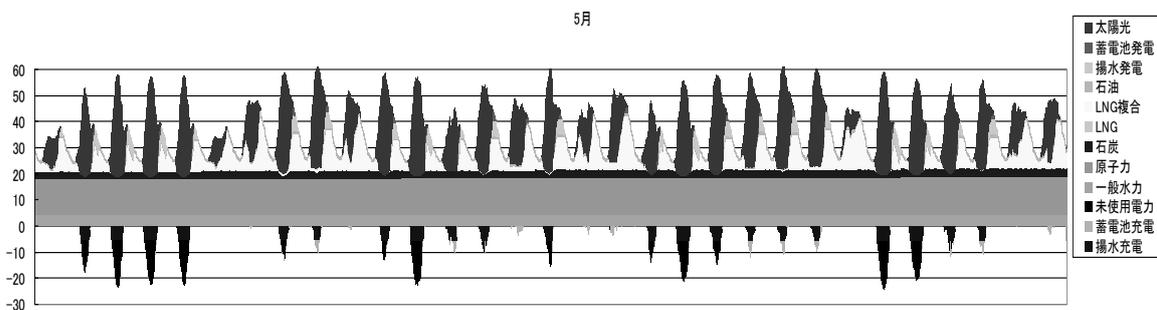


図7. 2007年の5月の電力供給の様子（縦軸単位：GW）

(3) 都市建築物由来のエネルギー消費と変革による削減効果

本研究では、業務建築や住宅の運用に伴うエネルギー消費と、それらの建設や改修、解体に伴う誘発環境負荷を予測する手法の開発、また、これに基づきCO₂排出量削減目標の達成に向けたシナリオを提示する。前者の対策には、断熱性能の向上、省エネ型設備の導入などがある。さらにライフスタイルの変更も検討対象とする。後者は、長寿命化やエコマテリアルの採用などがある。また、建築物は、ライフサイクルが長いために、都市内のすべての建築が更新されるまでに数十年以上かかること、都市計画的には建物規模の誘導が可能であること、家族構成・住宅面積・就業人口比率・勤務時間などのストーリーラインによって影響を受ける社会的な要因が大きいことなどの特徴を有する。研究ではまず、これらの複雑な要素を考えずに複数の都市に導入した場合のエネルギー消費量削減のポテンシャルを求める。次に中期解析に用いる建築物の更新サイクルの検討を対象都市に対して行うと共に、省エネ型の技術の普及を予測し、これらを建築物のエネルギー消費モデルに組み込む。さらに社会情勢の変化に伴う業務用建築、住宅の変化シナリオを作成し、エネルギー消費量、CO₂排出量を求める。

H16～17年度は、住宅の運用段階を対象とした「住宅のエネルギー消費量とCO₂排出量の都道府県別マクロシミュレーション手法」を開発した。H18年度は、事務所ビル起因CO₂排出量の予測モデルを開発し、H19年度は、このモデルを全用途の業務用建物（事務所ビル、商業施設、医療施設、教育施設、宿泊施設、その他）に拡張した。H20年度は、住宅の建設・改修・解体起因CO₂排出量予測モデルを開発した。H16～17年度の成果である住宅の運用段階の予測モデルと併せ、住宅のライフサイクルを通じた予測が可能となった。また、予測は未来社会像として、シナリオA（都市集中型社会）、シナリオB（地方分散型社会）、シナリオM（シナリオAとBの中間）を設定し、電力部門の対策として、電力のCO₂原単位が2005年以降変化しないシナリオと経済産業省の超長期エネルギービジョンに基づくシナリオを想定して行った。業務用建築起因CO₂排出量の予測結果を図8、9、12に示す。2050年のCO₂排出量は、2005年比で最大79%削減できることがわかった。また、住宅の建設・改修・解体起因CO₂排出量の予測結果を図10、13に示す。2050年のCO₂排出量は、2005年比で54%削減できることがわかった。そして、住宅の運用起因CO₂排出量の予測結果を図11、14に示す。2050年のCO₂排出量は、2005年比で最大65%削減できることがわかった。

以上より、わが国の建築部門のCO₂排出量の2050年までの予測が可能となり、温室効果ガス削減目標の達成に向けた検討が可能となった。

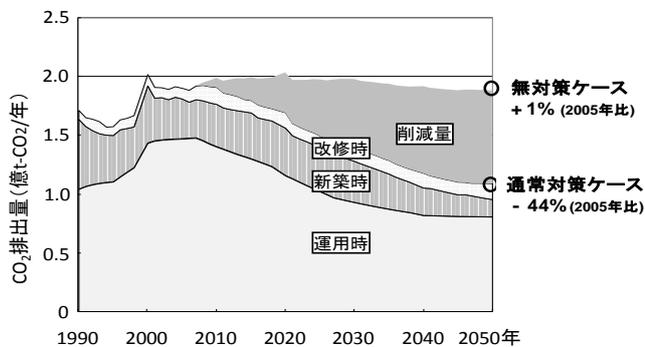


図8 全国の業務用建築起因CO₂排出量
（シナリオM、電力対策無）

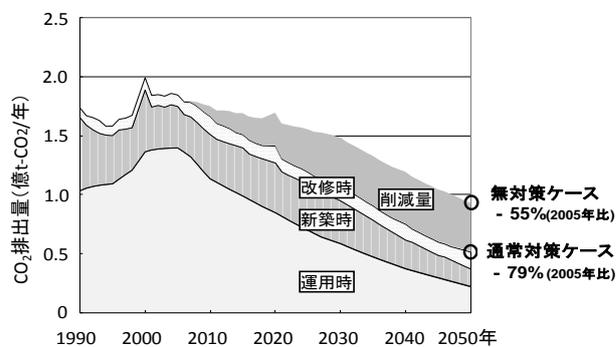


図9 全国の業務用建築起因CO₂排出量
（シナリオM、電力対策有）

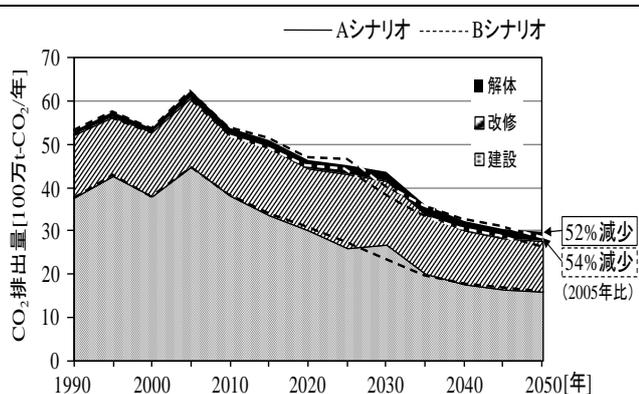


図10 全国の住宅の建設・改修・解体起因CO₂排出量 (無対策ケース)

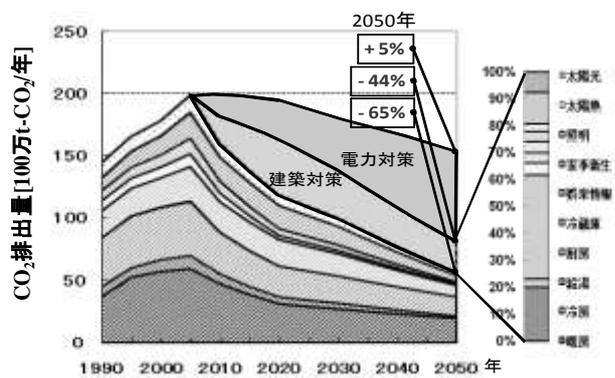


図11 全国の住宅の運用起因CO₂排出量 (シナリオM)

CO₂排出量[千万t-CO₂]

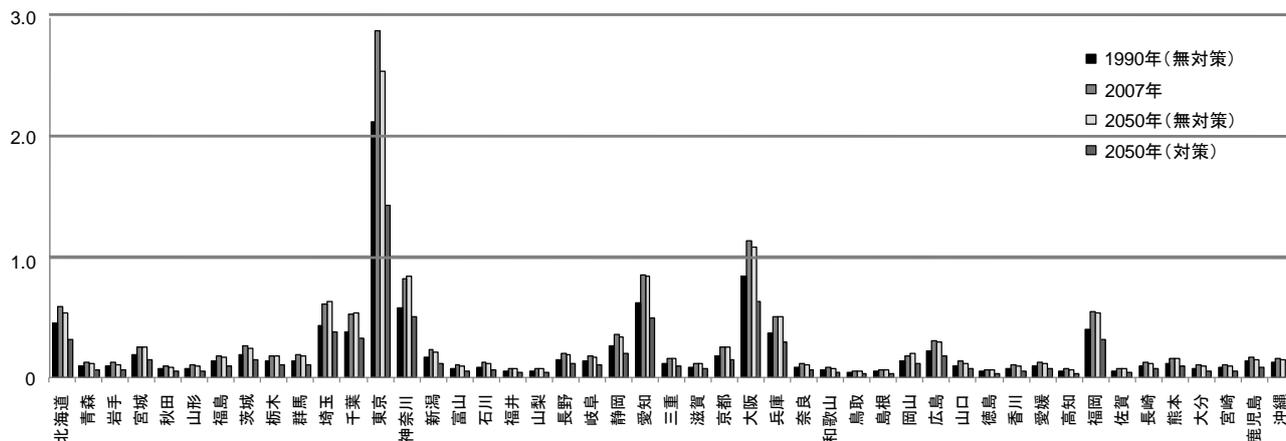


図12 都道府県別の業務用起因CO₂排出量 (シナリオM、電力対策無)

[100万t-CO₂]

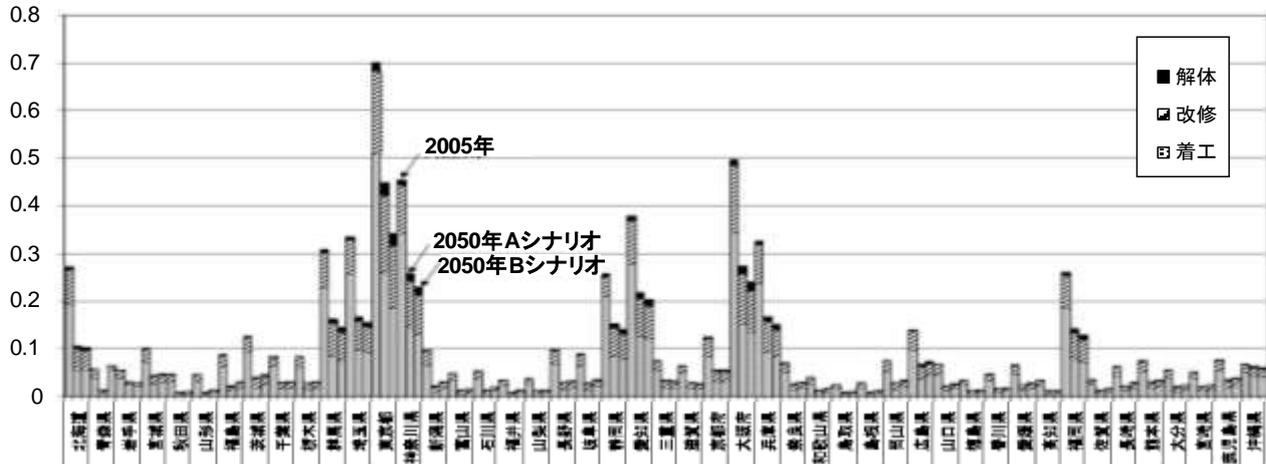


図13 都道府県別の住宅の建設・改修・解体起因CO₂排出量 (無対策ケース)

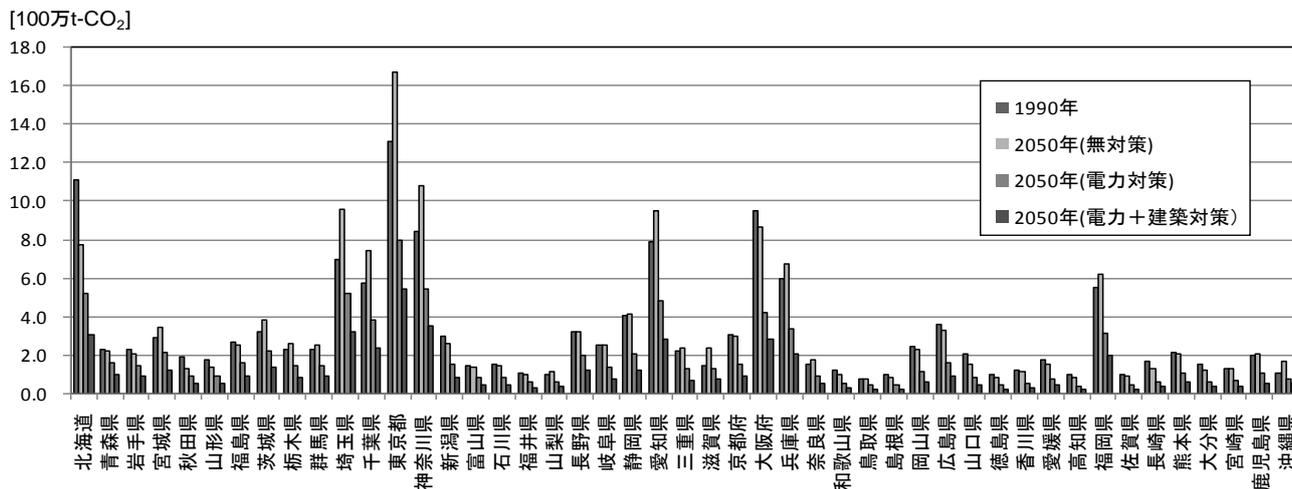


図14 都道府県別の住宅の運用起因CO₂排出量（シナリオM）

（4）都市への燃料電池と太陽電池導入によるエネルギー削減効果

低炭素社会の実現に向けて、民生部門のCO₂排出を削減することは急務である。その一つの手段はCO₂排出原単位の小さいエネルギー源への代替であり、太陽電池はその有力な候補である。本研究では、都市への太陽光発電の導入ポテンシャルを評価し、中長期的な導入シナリオを描き、大規模導入への方策の提案、および導入によるCO₂削減効果、削減コストの評価を行った。

宇都宮市と札幌市を対象とした解析の結果、利用可能な建物の屋根面積を全て利用することにより、各都市での電力需要の1.8倍、1.1倍の電力を太陽光発電により賄えることが示された。

NEDOの導入目標に基づき、都道府県別の太陽光発電の導入量を2050年まで予測した（図15）。全体として、2050年の太陽光発電による発電シェアは40%まで増加し、住宅の屋根のみに設置した場合、日本全国の屋根面積の約60%が太陽電池で覆われると予測された。また、都道府県別にみると電力消費に対する太陽光発電の供給割合は地域によって大きく異なり、鹿児島で82%と最も大きく、大阪で33%と最も小さくなった（図16）。

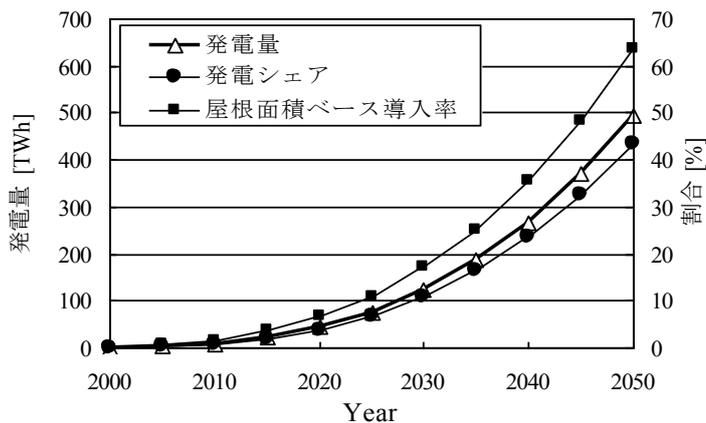


図15 PV発電量、発電シェアおよび設置面積割合の推移

太陽光発電の導入を検討する場合、しばしば既存の系統電力との発電コストの比較が行なわれるが、他の温暖化対策との比較ではCO₂排出削減コストが重要な指標となる。

電力会社の電源構成が不変とした場合、全国平均のCO₂排出削減コストは約95,000円/t-CO₂と推定された。しかし、石油火力または石炭火力を代替すると仮定した場合、平均CO₂排出削減コストはそれぞれ43,000円/t-CO₂と37,000円/t-CO₂となった。また、CO₂排出削減コストは地域によって大きく異なり、技術進歩、生産規模拡大による発電コストの低下によって地域差はさらに拡大する傾向が示された。このことより、太陽光発電の導入はCO₂排出削減コストが低い地域から優先的に進め、技術進歩、生産規模拡大によるコストの低下が達成されるにつれ、よりCO₂排出削減コストが高い地域へと拡大するなどの戦略的な導入シナリオが、太陽光発電の導入促進のために有効であると示唆された。

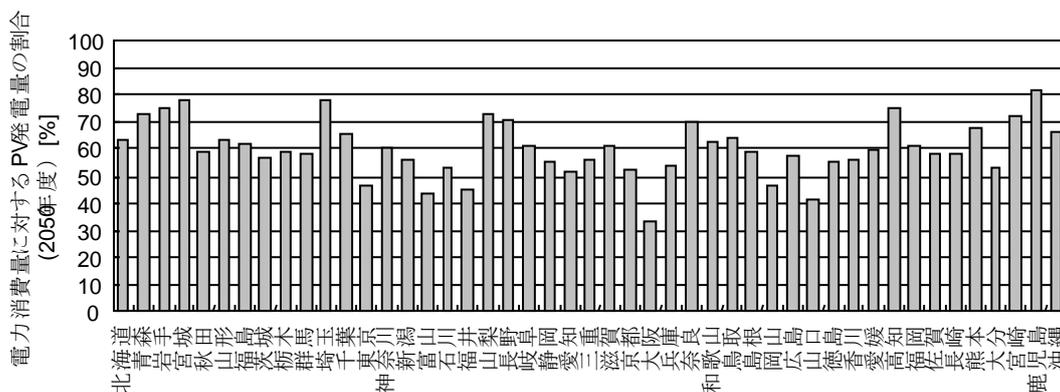


図16 電力消費量（2004年度）に対するPV発電量（2050年度予測値）の割合

表2 各太陽光発電システムの投入エネルギー、発電コスト、CO₂排出原単位

	①系統連系逆潮流あり (PV発電容量：3.5kW)	②独立型・蓄電池併設 (PV発電容量：3.5kW)		③系統連系逆潮流なし・蓄電池併設 (PV発電容量：2.0kW)	
		蓄電池現状コスト (100円/Wh)	蓄電池将来コスト (12円/Wh)	蓄電池現状コスト (140円/Wh)	蓄電池将来コスト (12円/Wh)
System cost [yen/W]	277	1020	366	343	344
Energy payback time [y]	0.89	2.3	2.3	2.5	1.5
CO ₂ payback time [y]	1.5	5.5	5.5	4.3	3.1
Cost payback time [y]	11	85	31	37	19
発電コスト [yen/kWh]	18	131	47	57	29
CO ₂ 排出原単位 [g-C/kWh]	7.5	28	28	21	15

太陽光発電の大規模導入を可能にする手段として蓄電池の併用に着目し、蓄電池を併設した「完全独立型」と「系統連系逆潮流なし」の二つのシステムについて発電コスト、CO₂排出原単位を評価した。宇都宮市の気象条件を使用し、「完全独立型」では購入電力量がゼロとなる蓄電池容量を求め、「系統連系逆潮流なし」では、発電コストが最小となる蓄電池容量を求めた。それぞれのシステムについてのLCA結果を表2に示す。解析の結果、蓄電池製造コストが現状の約10分の1まで低下したとしても、発電コストは現在の系統電力の数倍程度にしか低減できない。一方、「系統連系逆潮流なし」では、太陽電池容量と蓄電池容量の間に最適な組み合わせがあり、蓄電池コストが現状の10分の1程度まで低下すれば、系統電力に匹敵する発電コストになり、太陽光発電量も有効に利用され、太陽光発電の大規模導入を可能にする有望なシステムであることが示された。

(5) 都市圏におけるモビリティ由来のエネルギー消費と変革による削減効果（16-18年度のみ）

本研究は、都市圏におけるモビリティ由来のエネルギー消費と変革による削減効果を分析する手法の構築及びその手法による評価を行うことを目的とするもので、以下の成果を得た。

①ロードプライシング政策に関して、従来厳密な検討があまり行われてこなかったエリア課金の評価を行える、トリップチェーンベースの非加算経路コストを考慮したネットワーク均衡モデルを提案した。これを沖縄本島に適用することにより、エリア課金とコードン課金の下での消費者余剰、最適課金額、CO₂排出量の相違を明らかにした。

具体的には、平成11年道路交通センサスデータからトリップチェーンデータを作成し、トリップチェーン単位の需要関数を設定して、本モデルを適用した。那覇市都心部を仮想的な課金区域とし、日単位で計算した。

課金額と都市圏全体でのCO₂排出量の関係を両課金方式で比較したものを図17に示す。いずれの課金方式においても、消費者余剰が最大となる最適課金の状況下におけるCO₂排出量の削減率は約1%という結果になっている。コードン課金の場合は、課金額の増加につれて削減効果が頭打ちとなっている。これは、コードン課金下では課金対象とならない地域内内トリップが増加するため、削減効果が打ち消されるためである。また、CO₂排出量を最小化するという観点から最適なコードン課金額を設定するとすれば、その額は約600円であることも読み取れる。

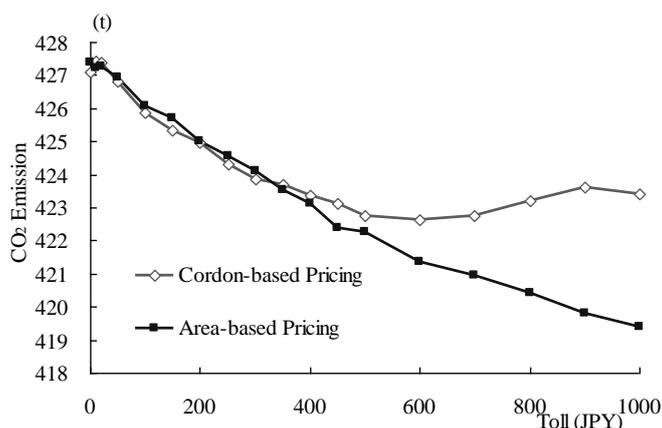


図17 コードン課金とエリア課金の比較：課金額と都市圏全体のCO₂排出量

②個人の居住地と勤務地を適切に入れ替えることのみによって通勤時間と通勤目的の自動車交通に起因するCO₂排出量の削減をねらう職住最適再配置政策について、ネットワーク配分手法を適用し、混雑現象を考慮して分析できるモデルを提案した。

東京都市圏・宇都宮都市圏・沖縄県を対象に、職住最適配置下における自動車による平均通勤時間ならびに通勤目的自動車からのCO₂排出量を計算し、現状のそれと比較した結果を表3に示す。3つの対象地域は条件が異なるが、そのいずれにおいても平均通勤時間にして2～3割、CO₂排出量にして3～4割の減少が見込まれることが分かる。

表3 職住最適配置による通勤目的自動車CO₂排出量の削減効果

都市圏	シナリオ	平均通勤時間	CO ₂ 排出量
東京	現状	41.24分	1,804 t
	最適	31.65分 (-23%)	1,192 t (-34%)
宇都宮	現状	30.43分	149.5 t
	最適	21.69分 (-29%)	94.0 t (-37%)
沖縄	現状	24.66分	146.0 t
	最適	17.70分 (-28%)	88.8 t (-39%)

(6) 都市系バイオマスと未利用エネルギーの活用によるエネルギー削減効果

1) 都市湿系バイオマスによるバイオガス製造ポテンシャルの解析

厨芥や下水汚泥などの都市における湿系バイオマスからバイオガスを製造することを想定し、エネルギー利用ポテンシャルを推定した。この解析では、将来の社会経済状態の変化を考慮し、現在から2050年までの推定を日本全体を対象として行った。

具体的には、家庭系の厨芥、事業系の厨芥、汚水処理からの汚泥量をそれぞれ将来の人口変化を考慮して推定し、厨芥の分別回収率とバイオガス生産への利用状況について仮定をおいて利用可能量を算出した。メタン発生量を予測し、将来の発電効率をふまえたうえで、発電可能量を算出した。

その結果、発電量は2050年において約3,700 GWh程度となった。本研究においてエネルギー回収量は各シナリオにおいて地域差が存在するものの、2005年時点における電力およびガス供給を代替すると仮定した場合、二酸化炭素換算で年間約184万tを削減できることがわかった。

2) 木質資源のエネルギー利用ポテンシャルの解析

木質資源からバイオエタノールを製造し、エネルギー利用する場合のポテンシャルを解析した。この解析でも将来の社会経済状態の変化を考慮し、現在から2050年までの推定を日本全体を対象として行った。また、競合する住宅や製紙部門での政策シナリオも取り入れた解析を実施した。さらに早生樹を用いたより積極的なエネルギー利用を想定して解析を実施した。

具体的には、日本全体でのさまざまな政策シナリオを評価するフレームを構築し、住宅、製紙、木質エネルギー部門においてさまざまな政策シナリオを設定し、LC CO₂排出量の変化を求めた。

その結果、図18に示すように、バイオエタノールの活用政策が2050年において最もCO₂排出削減効果が大きくなった。また、各部門における個別の政策実施ではなく複数の政策を同時に実施するこ

とによる影響も評価した。住宅耐用年数延長の政策シナリオは住宅部門においてCO₂排出削減効果（約16.5百万t）があるが、同時にバイオエタノール活用政策を実施することによって、木質エネルギー部門におけるCO₂排出削減効果がバイオエタノール活用政策のみの約26百万tと比較して約27.5百万tへ大きくなることが分かった。最もCO₂排出削減効果が大きい政策シナリオは、住宅耐用年数延長とバイオエタノール活用の政策を組み合わせたものであり、2050年のCO₂排出削減量は約44.0百万tと推計され、1990年の日本全国CO₂排出量の約4%に相当すると試算された。

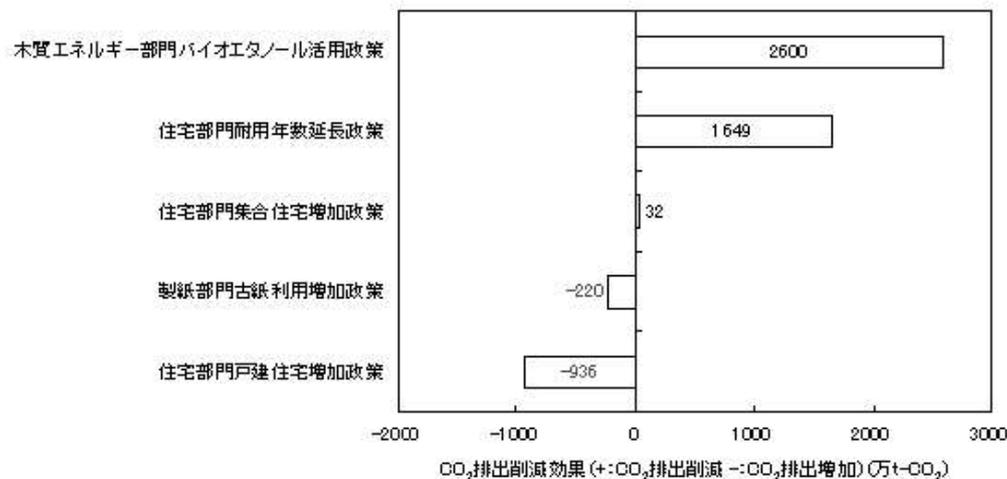


図18 個別の政策実施による2050年のCO₂排出削減効果

3) 清掃工場廃熱の地域冷暖房システムへの利用ポテンシャルの解析

清掃工場排熱を対象として、横浜市および全国の清掃工場において地域冷暖房システムにより利用した場合のCO₂排出削減ポテンシャルを推定した。

具体的には、まず焼却排熱の賦存量と、清掃工場周辺の焼却熱供給先として利用可能量の大きい業務および家庭部門の建物熱需要を推定した。また、熱供給に必要な配管の敷設によるCO₂排出量(LC CO₂)を考慮し、利用可能排熱量と周辺建物熱需要のバランスから地域冷暖房導入により削減されるCO₂排出量を推定した。横浜市における解析では、周辺熱需要の推定にあたっては個々の建物の情報を用いた。一方、全国における推定では、国勢調査や事業所統計などのメッシュ統計データから1kmメッシュごとに熱需要を推定した。

全国の清掃工場を対象とした解析結果を図19に示す。配管長原単位が最も小さい低密を想定した場合のCO₂排出削減量が最大となり、その削減量は280万t-CO₂/yrであった。これは2005年の日本全体のCO₂排出量の0.22%を占める値であった。また、本研究において削減の対象として考える民生部門に対するCO₂削減量の比率については、家庭部門と業務その他部門を合わせた民生部門の2005年度におけるCO₂排出量は4億1200万t-CO₂であるので、ここで得られた解析結果は民生部門からのCO₂排出量の0.68%を占めるという結果を得た。

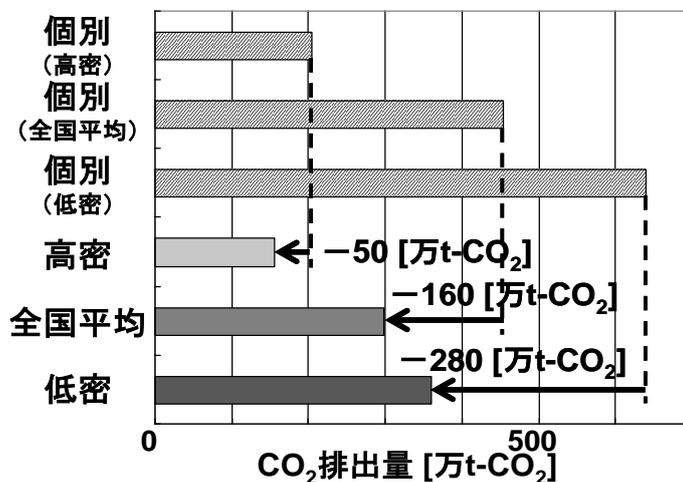


図19 日本全体の最大CO₂削減量 [t-CO₂/yr]

4) 下水熱を用いた地域冷暖房システムの導入効果の解析

都市内に広く存在している下水熱を用いた地域冷暖房システムの導入効果の解析を東京都区部を対象として実施した。ここでは、DHCプラントシミュレーションモデルと、下水流量と温度を計算する下水幹線シミュレーションモデルの2つのモデルを開発し、東京都区部の建物情報を利用して同地域に適用し、東京都区部において下水熱を最も効率よく利用した場合にどの程度CO₂が削減されるかについて推定した。

各処理区のうち、もっとも熱需要が大きい芝浦処理区では59の地区に下水熱DHCを導入することによりこれらの地区に通常のDHCを導入した場合より年間50千tのCO₂排出を削減できる。これは当該地区の民生部門CO₂排出量推定値の約0.70%に相当し、この時のCO₂排出削減コストは平均すると約9.5千円/t-CO₂であると試算された。都区部全体では320の地区に下水熱DHCを導入することにより約137千t-CO₂/yrのCO₂を削減できるポテンシャルがあることが分かった。これは、東京都区部の民生部門のCO₂排出量の推定値の0.54%であった。

(7) 地域間物流に伴う二酸化炭素排出の変化

本研究は産業連関表と地域間の物流データを接続することにより、消費活動ならびに産業活動によって物流が発生する機構を定式化する手法（物流産業連関分析）を用いて、地産地消の社会によるCO₂削減可能性や、海運・鉄道へのモーダルシフトによるCO₂削減可能性を評価した。図20, 21, 表4に結果を示す。

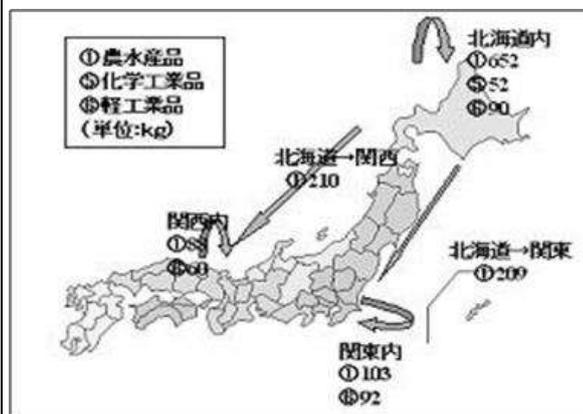


図20 北海道における農水産品1t生産による派生物流

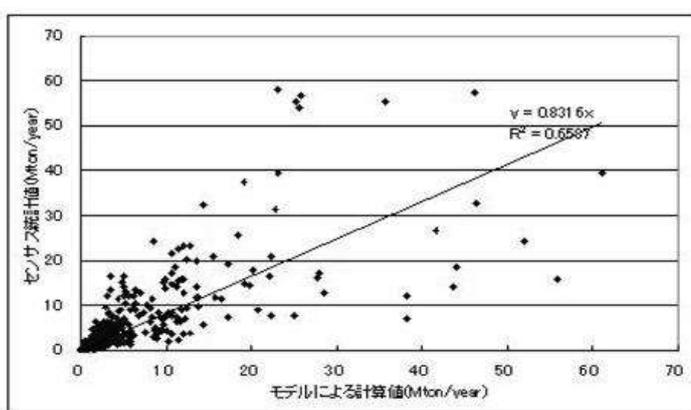


図21 都道府県間年間物流量のモデルによる計算値と実績値の比較

各年における研究成果を以下にまとめる。H16年度は地域産業連関分析をおこなうことで、誘発二酸化炭素排出量を最終需要別に定量化し、運輸部門におけるCO₂排出量の削減が大きな効果を持つことが示唆された。この結果を踏まえたH17年度は都市間の貨物物流に着目し、需要変化に伴って誘発される貨物物流におけるCO₂排出量を評価した。物流の波及に注目した地域間の物流構造の新しい計算手法の基礎部分を提案した。H18年度には前年度に提案した計算手法を精査し、物流連関分析として体系化した。H19年度は分析手法の妥当性を検証した。実績とモデルの整合性は、本研究の信頼性を担保する上で、重要な意義がある。各種の修正を経て、物流全体の総量は物流センサスによって公表されている都道府県間の輸送量の実績と推定値が概ね合致した。これらの結果は昨年度に示したシナリオ別の脱温暖化社会における物流分野でのCO₂削減ポテンシャルの推定結果の妥当性を担保するものといえる。H20年度は手法を最適化問題に応用し、輸送距離の削減対策（地産地消の促進）、輸送手段の低炭素化（鉄道や海運へのモーダルシフト）のCO₂排出削減効果を推計した。潜在的なCO₂削減量として、地産地消の物流構造となることで年間最大4340万t、鉄道・海運にモーダルシフトすることで年間最大4720万tの削減ポテンシャルがあるとの推計結果を得た。

表4 目的関数別のCO₂排出量、輸送コスト、輸送時間の比較

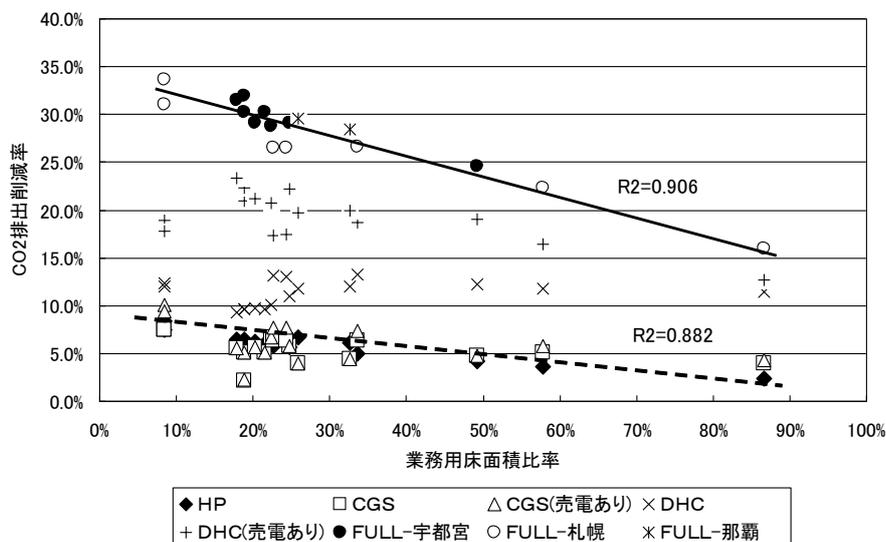
現在の比較対象	CO ₂ 排出量	輸送コスト	輸送時間	現在の比較対象	CO ₂ 排出量	輸送コスト	輸送時間
最適化の目的関数				最適化の目的関数			
CO ₂ 排出量	57.5%	47.9%	92.9%	CO ₂ 排出量	53.8%	69.4%	122.7%
輸送コスト	60.6%	44.1%	92.5%	輸送コスト	55.7%	65.4%	139.2%
輸送時間	74.9%	54.6%	67.0%	輸送時間	520.9%	206.0%	62.8%

(操作変数:地域間輸送量)

(操作変数:輸送機関の利用率)

(8) 地域冷暖房とコジェネの導入による削減効果

民生部門、特に都市部での住宅と業務用建物においては、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。そのため、個別建物あるいは特定地域の評価に焦点を当てた従来の研究では、温暖化対策評価に必要な広域的な評価に結びつけることが困難であった。そこで本研究では、ミクロレベルの地域の個別建物・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排出削減評価を行ない、これを我が国全体を含む広域評価につながるシステムモデルの構築と評価を行った。まず平成18年度は、宇都宮市、札幌市および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、建物の用途別面積に基づく需要パターンを考慮した上で分散型エネルギーシステムとHPの最適導入と運用モデルを適用し、これらの地域における一貫したCO₂排出削減ポテンシャルの関係を見いだした。(図22)

図22 17地域における業務建物の割合とCO₂削減率の関係

さらに、この関係を日本全体に適用する。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Aシナリオ、Bシナリオ2つの将来シナリオに対し、都市集中型と郊外分散型社会におけるCO₂排出削減評価を行った。この結果、人口の減少とあいまって2050年では2000年基準としてAシナリオで42%、Bシナリオでは38.6%の削減ポテンシャルを得た。さらに温暖化対策として近年注目の高まった太陽熱利用空調設備について、大型商業施設と住宅に対し評価を行った。一例として、住宅の場合に表1のPVと太陽熱集光パネル導入設定ケースを設定すると、東京高齢者、家庭婦人、共稼ぎ世帯などいずれの場合でも太陽光発電と太陽熱集光パネルを適度に組み合わせる場合に最も高いCO₂排出削減効果を導いた。これは他地域でも同様であった。これにより、CO₂削減の観点からPV単独よりも除湿を組み合わせるデシカント空調との

最適な組み合わせが示された。

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（図23）。

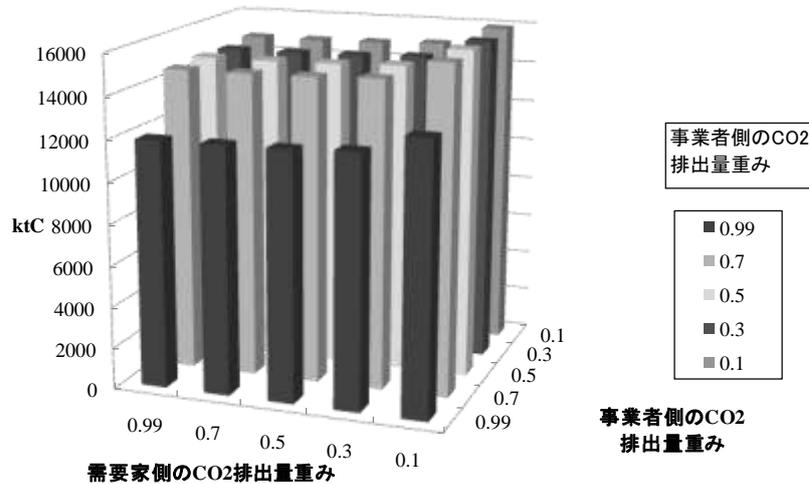


図23 Case-Fullにおける需要家側のCO₂排出量重みと事業者側のCO₂排出量重みの組み合わせ別のCO₂排出量変化

都市街区内における分散エネルギーネットワーク評価モデルの構築

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おり、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、コージェネレーションシステム（CGS）等の新エネルギーを適切に組み合わせ、需要地域内で安定した電力・熱供給を行うことを可能にする「分散エネルギーのネットワーク化」の検討が各所で実施されている。しかし地域の電熱需要の状況や、分散電源の導入条件などを踏まえた分散エネルギーネットワークの最適な設計手法の構築は十分に進んでいない状況である。本研究は、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融通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を、非線形計画法により導出するモデル構築を行ったものである。

実在する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24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。非線形混合整数計画法によるモデルを構築し、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。

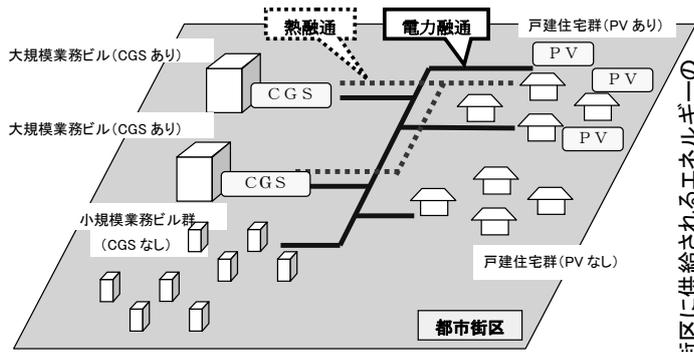


図24. 分散電源ネットワークの検討対象の概要

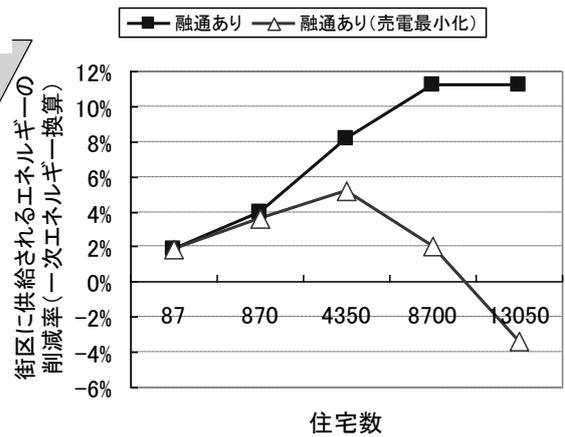


図25. エネルギー融通を行う住宅数を変化させた場合の省エネルギー効果

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PV設置住宅とエネルギー融通をした場合に、街区に供給される一次エネルギー削減率が最大となり、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。

(9) さまざまな主体の知識共有のための統合ツール開発
プロジェクトの目標に向けて、「ウェブ・ベース協調基盤」を設計し、構築してきた。

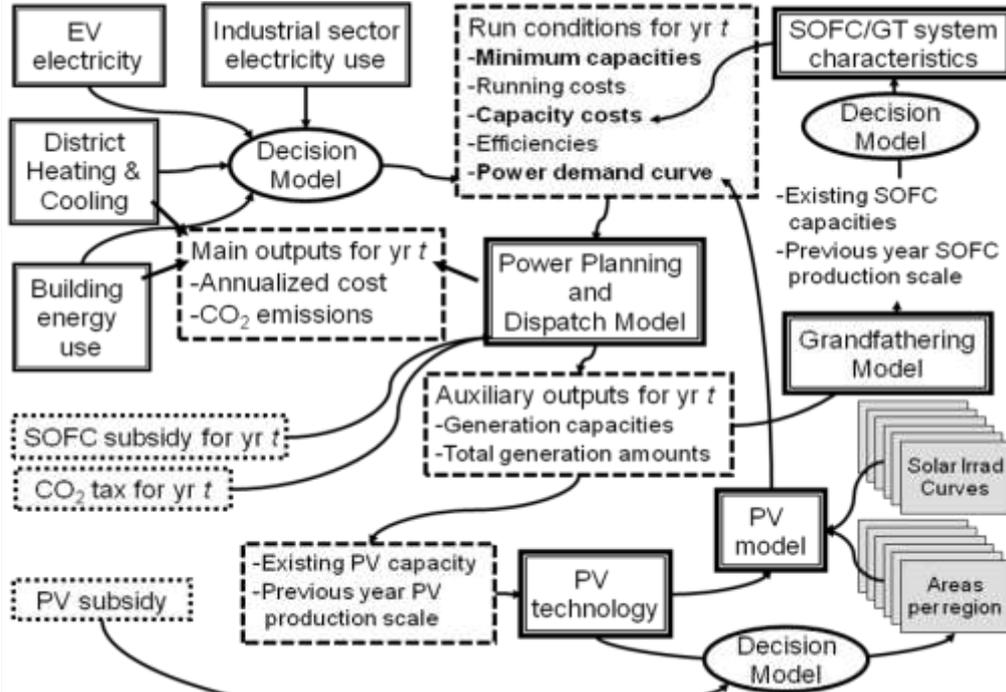


図26: 都市の需要を満たす発電に伴うCO₂排出削減のための複数技術・政策オプションのフィードバック(正と負)を検討するための、数値計算モデルのシステム図

Knowledge Model for technologies [activity] [object] [event] [substance] [mechanism] and scenarios of Low Carbon Societies

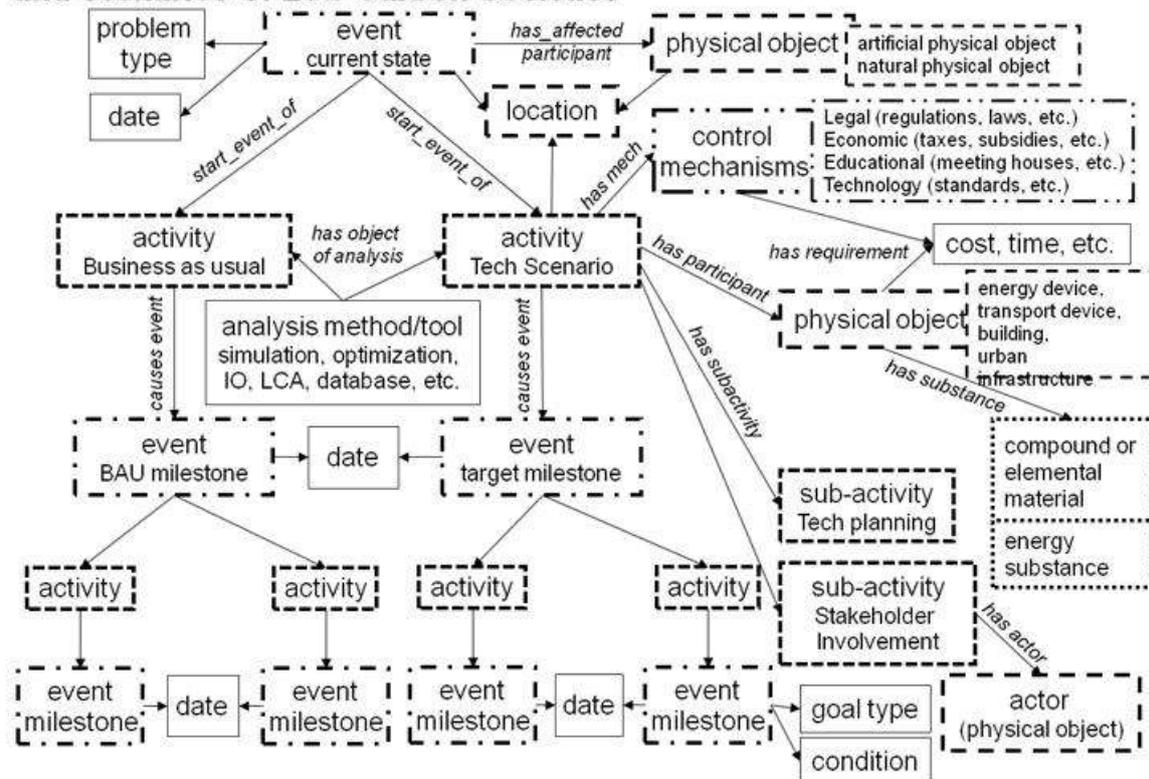


図27：SCINTENGオントロジーにおけるシナリオ概念化のナレッジモデル

平成16年度は、「CO₂テックテーブル」と呼ばれる研究者間の知識共有のためのウェブ・ツールを構築した。平成17年度は、DOMEを用いて、数値計算モデルをウェブ上で外部から操作できるインタフェース作成を行った。そして、図26に示すように、電源構成モデルと電力需要を削減するための住宅・建物省エネルギー対策モデルの統合を行った。平成18年度は、その統合モデルを用いて、国内の地域別の計算を行い、国内CO₂排出量を計算することができることを示した。平成19年度は、数値計算モデルや専門知識をさらにインターネット上における有効な共有を実現するため、ウェブ・ベース専門知識の共有基盤であるEKOS27に示す「脱温暖化社会に向けた中長期的政策オプションの知識表現言語」としてのオントロジーを開発した。平成20年度は、オントロジーをさらに改善し、そしてEKOSSを用いて、「低炭素社会に向けた12の方策」の都市対策に関連するシナリオと、都市対策サブグループのメンバーが書いた脱温暖化社会の達成に関連する学術論文の研究内容を表現する「semantic statement」を作成し、それに基づく意味論的な統合化を検討した。

4. 考察

5年間の研究期間の当初は地理情報システムを用いた都市内の緻密な解析に力を置いて研究を開始し、中規模都市である宇都宮市に加えて、札幌市、那覇市に対して集中的に研究を進めた。しかしながら、一方で日本全体としての二酸化炭素の排出削減の把握の必要性が研究としても高まった。同じ方法の緻密な解析を100程度存在する日本の都市圏に適用することも検討したが、データの入手可能性、必要とされる労力、S-3のシナリオチームの人口データなどの入手可能性、これらの都市圏でカバーしきれない地域も存在することから、網羅性を重視して都道府県単位の解析を行った。対象とするテーマによっては緻密な解析を全国に拡大して解析するためのステップ自身を解析によって求めた。

これらの研究から、都市の研究に対しては緻密な手法と網羅的・包括的な手法の両者を適切に組み合わせることの重要性があらためて明らかになった。

5. 研究者略歴

テーマ代表者：花木啓祐

1952年生まれ、東京大学工学部卒業、工学博士。現在、東京大学大学院工学系研究科教授

主要参画研究者

- (1) : 花木啓祐 (同上)
- (2) : 藤井 康正
1965年生まれ、東京大学工学部卒業、博士(工学)。横浜国立大学工学部助教、現在、東京大学大学院工学系研究科原子力国際専攻教授
- (3) : 伊香賀俊治
1959年生まれ、早稲田大学理工学部卒業、博士(工学)。東京大学生産技術研究所准教授、(株)日建設計環境計画室長、現在、慶應義塾大学理工学部教授
- (4) : 林 立也
1973年生まれ、早稲田大学理工学部卒業、東京大学大学院工学系研究科修了、博士(工学)。現在、(株)日建設計総合研究所、主査研究員
- (5) : 高橋伸英
1971年生まれ、東京大学工学部卒業、博士(工学)。現在、信州大学繊維学部准教授
- (6) : 原田昇
1955年生まれ、名古屋大学卒業、工学博士。現在、東京大学大学院工学系研究科教授
- (7) : 荒巻俊也
1968年生まれ、東京大学工学部卒業、博士(工学)。現在、東洋大学国際地域学部国際地域学科教授
- (8) : 吉田好邦
1968年生まれ、東京大学工学部卒業、博士(工学)。現在、東京大学大学院新領域創成科学研究科准教授
- (9) : 森 俊介
1953年生まれ、東京大学工学部卒業、工学博士。現在、東京理科大学理工学部教授
- (10) : 石田 武志
1966年生まれ、東京理科大学工学部卒業、博士(工学)。現在日本工業大学工学部講師
- (11) : スティーヴン・クレイネス
1969年生まれ、Oberlin College卒業、工学博士。現在、東京大学総括プロジェクト機構准教授

6. 成果発表状況 (本研究課題に係る論文発表状況。)

(1) 査読付き論文

- 1) 池上貴志、荒巻俊也、花木啓祐：「下水熱利用地域冷暖房システムの戦略的導入による環境負荷低減効果の解析」, 環境システム研究論文集, 33, 121-127, 2005
- 2) 伊香賀俊治、三浦秀一、外岡豊、下田吉之、小池万理、深澤大樹：「住宅のエネルギー消費量とCO₂排出量の都道府県別マクロシミュレーション手法の開発」, 日本建築学会技術報告集第 22号, 263-268, 2005.12
- 3) 石田 武志、堂脇 清志、森 俊介：「経済性制約下における業務建物の最適 CGS 導入決定支援システムの構築」, 電気学会論文誌 B, Vol.125, No. 4, 373-380, 2005.4
- 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・稼働条件決定モデルに関する研究」, 電気学会論文誌 C, Vol.125, No.10, 1522-1529, 2005.10
- 5) Maruyama, T. and Harata, N.: Difference between area-based and cordon-based congestion pricing: Investigation by trip-chain-based network equilibrium model with non-additive path costs, Transportation Research Record, 2006.
- 6) 古川雄一、円山琢也、原田昇：「ロードプライシング実施時の貨物輸送の変化に関する研究」, 土木学会論文集, No. 807/IV-70, 11-20, 2006.1
- 7) 石井暁、花木啓祐：「川崎市下水処理場における有機性食品廃棄物を利用したエネルギー回収および二酸化炭素削減ポテンシャルの推定」, 環境システム研究論文集, 34, 443-453, 2006
- 8) 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.)), Proc. of the 20-th International Conference on Informatics for Environmental Protection, PP.107/114, Shaker Verlag, Aachen, 2006
- 9) 伊香賀俊治：「住宅および事務所ビルにおける温暖化対策の 2050 年までの予測」, 地球環境, 12(2), 191-199, 2007

- 10) 荒巻俊也、石井暁、園田隼也、加用千裕、花木啓祐：「廃棄物バイオマスの利用ポテンシャルの将来予測と温室効果ガス排出削減効果の解析～都市湿系バイオマスと建設発生木材を対象として」, 地球環境, 12(2), 201-207, 2007
- 11) 池上貴志、荒巻俊也、花木啓祐：「ライフサイクルインベントリ分析による下水熱利用地域冷暖房システム導入効果の解析」, 土木学会論文集 G, 64(2), 96-106, 2008
- 12) 加用千裕、荒巻俊也、花木啓祐：「木質資源フローに着目した温室効果ガス排出削減政策シナリオ評価フレームの構築」, 土木学会論文集 G, 64(3), 207-220, 2008
- 13) 河上裕美、荒巻俊也、花木啓祐：「日本全国の清掃工場を対象とした排熱利用地域冷暖房システムによる CO₂ 排出削減ポテンシャルの推計」, 環境システム研究論文集, 36, 87-95, 2008
- 14) 加用千裕、荒巻俊也、花木啓祐：「炭素ストック変化を考慮した森林資源のエネルギー活用による実質 CO₂ 削減効果の長期予測」, 土木学会論文集 G, 64(4), 336-346, 2008
- 15) 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
- 16) 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, 2007.11
- 17) Shunsuke Mori, Shogen Koike1 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, Vol.1, PP.459/463, Shaker Verlag, Aachen, Sep. 2007
- 18) 吉田好邦, 金山真之, 松橋隆治：「選好分析による住宅用太陽光発電の普及可能性評価」, 日本太陽エネルギー学会誌, 34 巻, 1 号, 47-54, 2008
- 19) Yoshikuni YOSHIDA and Ryuji MATSUHASHI: "Analyzing the Environmental Effect of Greening the Automobile Tax System in Consideration of Consumers' Preferences", Journal of Environmental Information Science Vol.36, No.5, 81-86, 2008
- 20) 石田武志：「分散エネルギーネットワークによる CO₂ 削減と非常用電力供給の両立の可能性の検討」, 日本建築学会総合論文誌 (日本建築学会), 第 6 号, 111-116, 2008.2
- 21) 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, Vol.29, No.1, 8-14, 2008
- 22) 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, ISBN 978-3-8322-7313-2, Shaker Verlag, Germany, 132-141, 2008
- 23) 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 によるミクロ評価と広域評価拡張への予備的考察」, 環境科学学会誌, 2009, 印刷中
- 24) 池上貴志、荒巻俊也、花木啓祐：「東京都区部への下水熱利用地域冷暖房システム導入による二酸化炭素排出削減可能量の評価」, 土木学会論文集 G, 印刷中