

課題名	1E-1105 低炭素社会を実現する街区群の設計と社会実装プロセス
課題代表者名	加藤 博和(名古屋大学大学院環境学研究科 都市環境学専攻都市持続発展論講座)
研究実施期間	平成23～25年度
累計予算額	143,647千円(うち25年度44,199千円) 予算額は、間接経費を含む。
本研究の キーワード	低炭素社会、街区群、環境アセスメント、まちづくり、資源循環、未利用エネルギー、エネルギーインフラ、4d-GIS、マルチベネフィット、デマンドレスポンス

研究体制

- (1)低炭素街区群のデザイン方法論と推進する技術・制度システム(名古屋大学)
- (2)低炭素街区群を支えるエネルギー・資源循環システム(国立環境研究所)
- (3)低炭素街区群を支えるインフラシステム(名古屋大学)
- (4)低炭素街区群を支える建築システム(慶應義塾大学)
- (5)低炭素街区群形成の地域展開方策(地球環境戦略研究機関)

研究概要

1. はじめに(研究背景等)

日本では高度経済成長期に始まった急速な都市化により、古くからの中心市街地・集落から郊外へと人口拡散が進んできた。その結果、既成市街地の魅力低下、都市を維持・管理するインフラ・建物維持費用の急増、環境負荷増大が課題となっている。今後は多くの都市で人口が減少することが予想され、低密度な都市構造のままでは環境的、経済的に一層非効率となることが懸念される。その打開策として、集約型都市構造への転換を掲げる自治体が増えつつある。その基本的な考え方は、環境的にも経済的にも非効率な地区から、利便性の高い都心・近郊部へと人口や都市機能の集約を進めるものである。しかし、マクロ的な都市構造を踏まえ、人口集約地区をどのようにデザインしそれを実現していくべきかについては、議論が十分なされてこなかった。

一方、現在国内で進められている低炭素施策は、建築・エネルギー・設備・交通といった要素技術を個別に検討しているものがほとんどである。しかし、それらを寄せ集め的に普及させていった結果として低炭素社会が実現されるわけではない。各種要素技術・制度の低炭素性能は、適用される状況に伴って変化する。現在の都市・地域において、すべての要素技術が性能を十分に発揮しうる状況が成立している保証はなく、逆に各要素の組み合わせ方によっては、単独導入の単純合計より効果が大きくなったり小さくなったりする。そこで近年では、ITやセンシングの技術を活用してエネルギー利用の全体効率化を図る「スマートシティ」が注目されている。しかし、都市構造を変更しないままではインフラや人・物の移動、局地環境といったCO₂排出量に大きな影響を及ぼす要素がそのままとなり、大幅な低炭素化には至らない。したがって、要素技術・制度と空間デザインが相乗効果によって全体の低炭素性能を高めるようなシステム設計と、それをより円滑にする都市構造への移行戦略の実施が必要不可欠である。

以上に述べたように、都市政策と環境技術との連関効果を議論し、実際の空間構成(建築物・インフラ・技術の配置)をシステムとして機能させる具体的方法を取り込んだ設計(デザイン)を確立し普及させていくためには、都市のようなマクロスケールでも、建築や技術といったミクロスケールでもない、中間(メソ)の「街区群」のスケールで統合的に低炭素施策の検討を進めることが適当である。また、その対象として、既往研究でよく取り上げられている新規開発地区の低炭素デザインにとどまらず、既成市街地を徐々に変更する方法やその方向性を提示する必要がある。



図1 街区群スケールでの低炭素政策検討のあり方

2. 研究開発目的

本研究では、既成市街地の、低炭素化を支援する評価設計システムを「街区群」(町丁目～小学校区)というメソスケールを対象として構築するとともに、実現方策の社会実装プロセスを提示することを目的とする。この方法論は、以下の要件を満たす。

- 1) 高い利便性・快適性を低費用で確保しながら、着実に環境負荷を低減し、街区群スケールでの低炭素性能をバランス良く向上させていく空間の形成を目指す。そのため、低炭素性能を評価する上では、単にCO₂排出量(環境面)が小さいだけでなく、居住者が享受する生活の質:QOL(社会面)、市街地を維持するための費用(経済面)から包括的な評価(Triple Bottom Line:TBL)を行うことができる。
- 2) 対象とする低炭素施策は、資源循環やエネルギーシステム(ST2)、熱・電力インフラシステム(ST3)、建築システム(ST4)、そして空間デザイン、交通システム(ST1)であり、これらの発揮する機能を有機的・統合的に評価できる。
- 3) 既成市街地を対象とするため、目標年次だけでなく、そこまでのプロセスを提示することが重要である。そのため、対象街区群における建築物の状況や世帯構成の変化、各種要素技術の動向を動学的に捉え、40年間でいかなる変更を順次進めるべきかを時系列で評価し、示すことを可能とする。
- 4) 低炭素街区群実現に向けた住民参画・地域合意を得るための受容性向上を意識し、街区群の具体的な物理形状と展開される生活生産活動の態様をヴィジュアルに分かりやすく示す。
- 5) 名古屋都市圏(20km圏)を対象に、行政・地域住民との連携によるケーススタディを実施し、方法論の妥当性・有効性を検証することを通じて、日本全体における低炭素街区群構築に向けた一般解を導出することを可能にする。

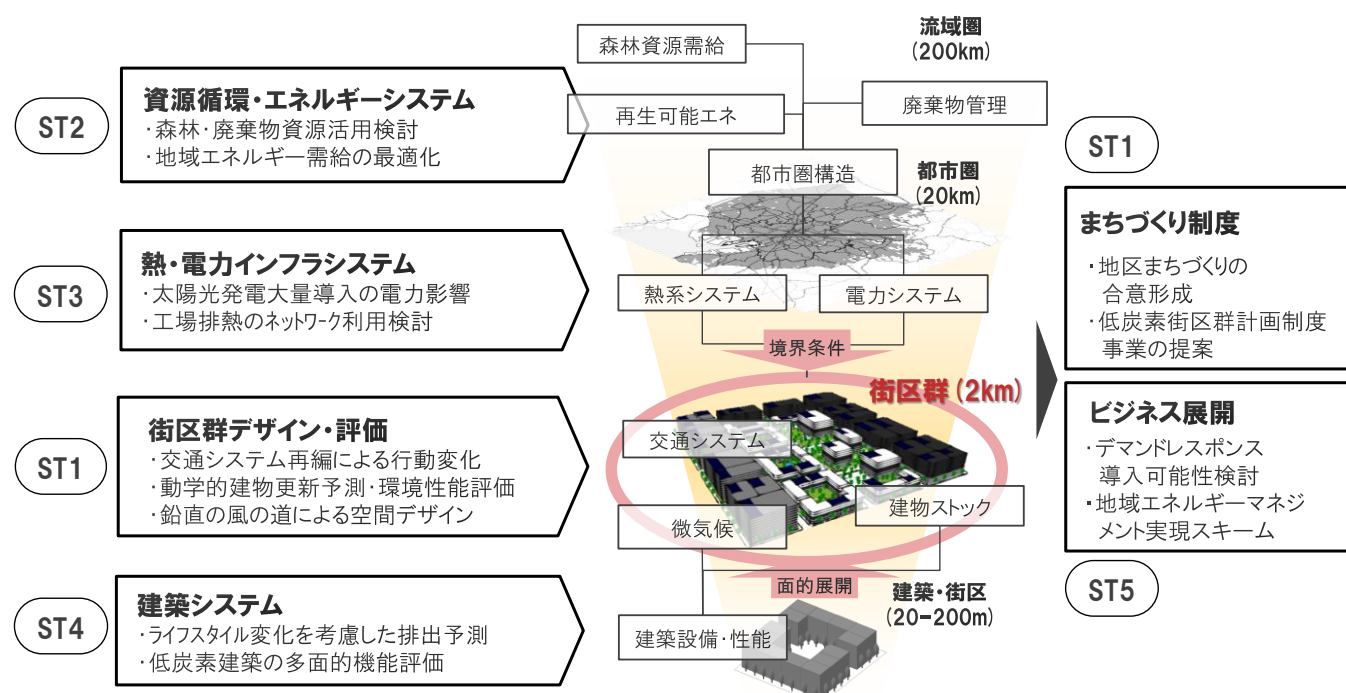


図2 研究の全体構成

3. 研究開発の方法

(1) 低炭素街区群のデザイン方法論と推進する技術・制度システム

既存市街地の低炭素街区群への転換を進めるため、その設計を支援する低炭素性能評価システムを構築する。このシステムは、既存の環境アセスメントツールで実現できていないアウトカム指標による評価や時系列での評価、環境技術と空間デザインの相互関係を包括するものとした。

評価システムを構成するサブモデルとして、1) 寿命変化を考慮した建物更新シミュレーション、2) ライフスタイルと住宅性能を考慮したエネルギー需要推計モデル、3) 鉛直の風の道を考慮した暑熱環境シミュレーション、4) 街区群デザインによる交通行動予測モデル、5) 地区物流環境負荷推計モデル、6) トリプルボトムライン評価モデルの6つを構築し、交通インフラ、土地利用と空間デザイン、世帯構成それぞれについて低炭素なデザインのあり方を検討した。

そのうえで、各サブモデルと他STにおいて検討された技術モデルとを統合し、低炭素性能評価システムを構築するとともに、図3に示す対象地域内の複数のケーススタディ街区群において、施策パッケージの検討を行った。

さらに、低炭素まちづくりの社会への実装を検討するため、ケーススタディ街区群の1つである長者町地区において地区のまちづくり活動を支援する中で、ボトムアップによる低炭素まちづくり実現の方策について検討を行った。

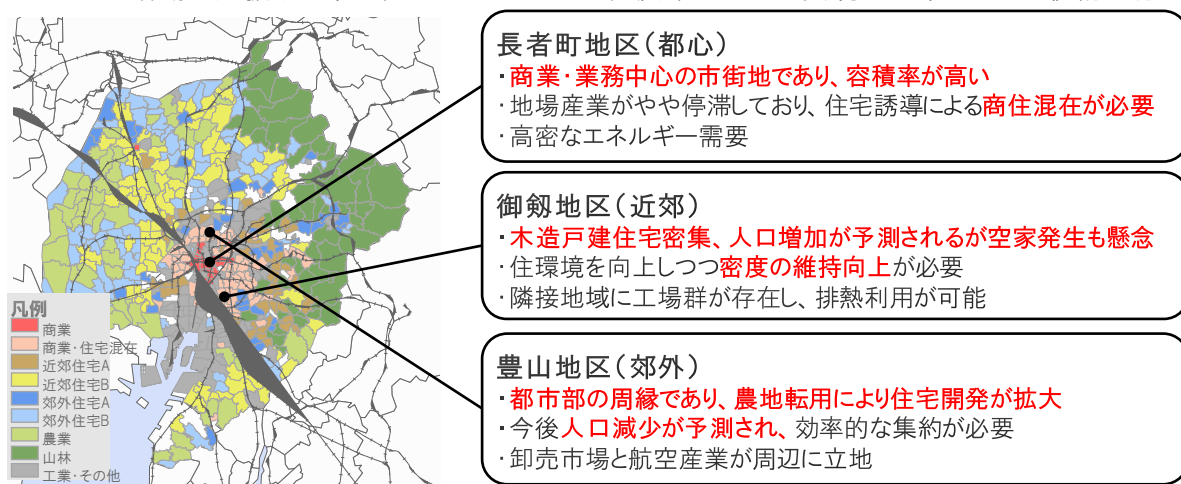


図3 ケーススタディ街区群の概要

(2) 低炭素街区群を支えるエネルギー・資源循環システム

低炭素街区群を支える資源・エネルギー循環のシステムの効率向上を実現するため、資源・エネルギーに関する施策効果を定量的に評価するモデル群を開発し、地域特性に応じた資源・エネルギー循環システムを設計するための方法論を整備した。具体的には、1) 土地被覆条件によるエネルギー消費量を算出する都市キャノピー・ビルエネルギー連成モデル、2) 産業・民生活動から排出される廃棄物の循環プロセスを評価する資源循環プロセスモデル、3) 街区群スケールでの再生可能・未利用エネルギー活用のポテンシャル評価モデル、4) 森林資源のバイオマス活用を検討する森林管理プロセスモデル、の4つのモデルを開発し、地域特性に応じて廃棄物や木質などの資源と、各種エネルギーを統合的に設計することを可能とした。

(3) 低炭素街区群を支えるインフラシステム

低炭素街区群を支える熱・電力インフラシステムの構築を検討するため、未利用・再生可能エネルギーのポテンシャルと課題把握、街区群連携方策を検討するとともに、建物を含むインフラストックのデータベースを構築した。

電力インフラに関しては、都市部で積極的に導入可能な太陽光発電システムについて、世帯構成と移動距離による地区別の電力需要量を算出したうえで、各街区群における太陽光発電設置可能量を算出し、変電所エリアごとに望ましい土地利用配分を検討した。熱インフラについては、製造業の工場、電力・ガス、清掃部門を対象に、立地している企業の業務別数と、アンケート調査より推定された排熱推定式を用いて、4次地域メッシュごとの排熱量と民生部門におけるエネルギー消費量を推定した。推計した排熱量を用いて、街区群ごとの利用可能排熱量と利用方法について検討し、ST1の街区群検討における与条件を整理した。

インフラストックのデータベースの構築においては、住宅地図や航空写真、空間情報データを統合することにより、過去からの建築物ストック・フロー量の推移を時系列で分析可能な4d-GISを構築した。また、構築した4d-GISを用いて対象地域における建築物ストック・フローの推計と、建物更新シミュレーション(ST1)のパラメータ推定を行った。

(4) 低炭素街区群を支える建築システム

低炭素社会を実現する最適な建築物のストック形成に向けて、建築物から排出されるCO₂排出量の推計、および建築物を低炭素化させた時の需要家に享受されるマルチベネフィットを考慮した費用便益手法を検討した。特に、

東日本大震災以降に注目されている「非常時における業務生活継続(BLCP: Business and Life Continuity Plan)」と生活者の健康増進効果を、アンケート調査等から経済的便益として評価した。評価したマルチベネフィットとCO₂排出量の推計結果を踏まえて、対象地域の建築物を低炭素化させた場合における費用便益分析を実施し、マルチベネフィットを考慮した場合における投資回収年数を算出した。

(5)低炭素街区群形成の地域展開方策

ST1～4で検討された低炭素街区群の形成方策を実現するためには、ST1で検討されたまちづくり的な手法とともに、個々の施策をビジネスとして展開していくためのモデルが必要である。そのため、ST5では住民に対するアンケート調査及び事業者・行政へのヒアリング調査を実施し、新しいエネルギービジネスの受け入れ可能性を調査するとともに、低炭素施策を普及しうるビジネスモデルについて整理を行った。さらに、デマンドレスポンス制度導入によるエネルギー需要特性の変化を街区群単位で算出し、今後、電力の小売自由化等により導入検討が予想される地域エネルギーセンターの実現可能性を検討した。

4. 結果及び考察

(1)低炭素街区群のデザイン方法論と推進する技術・制度システム

前述した各サブモデルを開発し、それらを用いて街区群の低炭素化を実現する交通システムや空間デザインのあり方を検討したうえで、3つのケーススタディ街区群において、施策パッケージとその低炭素性能の評価を行った。

一例として、都心街区群における提案を図4に示す。業務や商業利用が多いことから、エネルギーシステムは熱・電力融通システムを採用した。空間デザインについては共同建て替えとゾーニング、カーシェアを導入することでオープンスペースを確保し、共同更新と下層階への商業集約、共同配送の導入と歩道拡幅など限られた空間を活用することで、物流交通と旅客交通のグリーン化、さらには屋外の暑熱環境改善が可能である。

図5に、上記提案のTBL評価結果を示す。建築技術のみを導入した場合、CO₂排出量は24%減にとどまる。しかし、提案施策パッケージの導入を行った場合、65%の削減が期待できる。特に空間デザインの改善は、直接的な建物エネルギー消費で10%削減できるほか、他の分野への相乗削減効果が期待でき、さらにQOL値増加、市街地維持費用削減も可能となった。このように開発した低炭素性能評価システムを用いた施策検討により、単体施策の寄せ集めではなく、限られた都市空間を相互補完する統合的な施策パッケージの提案が可能となった。

さらに、これらの提案について、実際にまちづくりの現場で情報として提示し、地域で「低炭素地区会議」を組織してもらい、地域住民とともに具体的な取り組み検討を行っている。その結果、ボトムアップ型のまちづくりにおいて本研究で開発した低炭素性能評価システムの活用可能性が確認でき、共通認識形成や担い手確保などの課題が抽出できた。



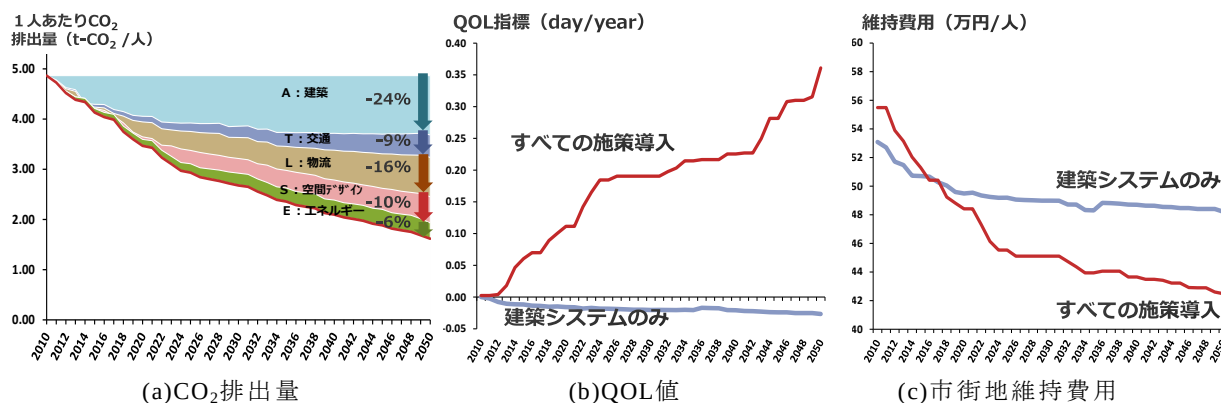


図5 都心ケーススタディ街区群(名古屋市中区錦二丁目・長者町地区)におけるトリプルボトムライン評価結果

(2) 低炭素街区群を支えるエネルギー・資源循環システム

CO₂排出量を削減しつつ、ヒートアイランドを緩和する街区群の建物構成や建築物のエネルギーシステムを検討するための都市キャンपी・ビルエネルギー連成モデルを用いたシミュレーションを実施した。その結果、事務所街区群は木造住宅街区群と比較して気温日変化幅が小さいという結果が得られた。これは建物の熱容量が大きいことや、夜間の放射冷却抑制などによるものであり、モデルによるヒートアイランド現象の特徴再現が確認できた。また、街区群全体の緑化や高アルベド化などの対策による効果を推計した結果、CO₂削減効果が得られるとともに、緑化による気温低下効果も夏季日中で0.1℃程度生じることが明らかとなった。

一方、廃棄物循環プロセスを検討した結果、リサイクル製品のエンドユーザーへの地理的近接性が、施設稼働率の高さに貢献している可能性を明らかにした。さらに、循環資源によって循環圏の大きさや環境改善効果が異なること、資源循環施設の事業特性は立地地域特性によって異なることを明らかにした。以上を踏まえて、低品位資源を含めたリサイクル率向上を図るため、リサイクル拠点の集約設置(スマートリサイクル)による効果を検討したところ、CO₂排出量は規模によらず大幅に削減が可能となること、処理費用はそれを構成する収集費用と拠点費用のトレードオフにより、街区群の密度に応じて拠点の最適空間配置が求められることが明らかとなった(図6)。

エネルギーポテンシャル評価モデルでは、街区群単位で熱・電力エネルギーの需要量、および再生可能エネルギー・未利用エネルギーの供給可能量を算定することができる。エネルギー需給グラフ算定によって、各地域のエネルギー需給特性に応じたエネルギーシステム整備方針を検討する根拠情報を得ることが確認できた。さらに、ネットワークの整備コストと(主に熱の)エネルギーの距離低減の関係から、個々の街区群におけるシステム設計の検討を可能とした。

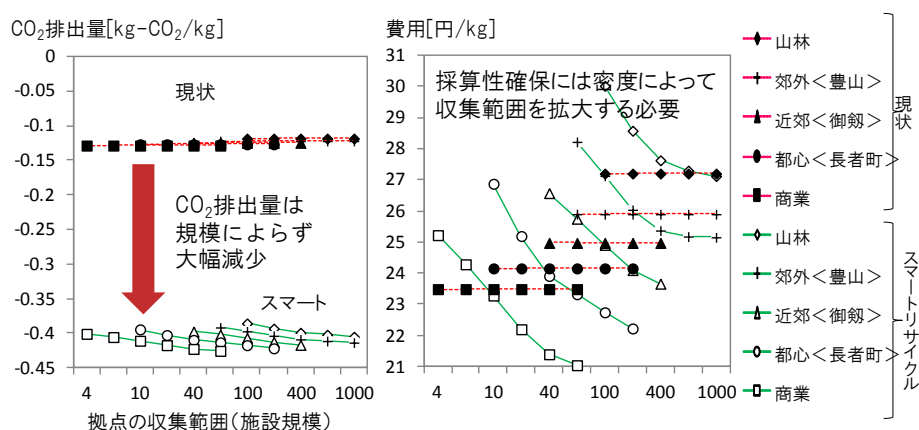


図6 スマートリサイクルによるCO₂排出量、処理費用変化の評価結果

(3) 低炭素街区群を支えるインフラシステム

今後、街区群のエネルギー需給や交通システムのあり方に大きな影響を及ぼすと予想される、太陽光発電と電気自動車の大量普及について、電力インフラへの影響を検討する方法論を開発した。名古屋市を対象とした分析の結果、太陽光発電大量普及に伴って、多くの郊外地域では日中に複数街区群に電気を供給する変電所の単位で逆流電力が発生すること(図7)、ただし郊外でも戸建住宅面積比が0.4以上の場合には逆流電力が発生しないことが示された。このことから、街区群内を用途混在型にすることや、異なる土地利用特性の街区群を近く

に配置することにより、逆潮流電力の影響を低減できる可能性が明らかとなった。

また、工場排熱活用のための熱系インフラの検討を行った結果、愛知県全体で排熱量ポテンシャルが79.77[万TJ/year]となり、推計された民生部門のエネルギー消費量37.76[万TJ/year]の約2倍にあたることが明らかとなった(図8)。特に名古屋市や豊橋市などの人口集中地域においては排熱も大きく、熱需要も大きいことから、排熱ポテンシャルを十分に活用できる可能性がある。しかし、低温熱の割合も大きいこと、需要と供給の位置が離れていることから、現状の熱回収、輸送技術では全体でも最大でも1割の活用にとどまることが明らかとなった。具体的な街区群での活用策として、住宅団地と大工場が隣接する愛知県知多市の朝倉地区におけるケーススタディで、トランスヒートコンテナによる排熱輸送による、住宅団地での熱授受の可能性を検討し、大幅なCO₂削減が実現できることを示した。

一方、CO₂の長期的な排出に影響を与える、インフラストックの時系列空間データベース(4d-GIS)構築を行った(例:図10)。これを用いた試算によって、近年の建築物集約化・高層化にともないRC造建築物が増加し、マテリアルストック量は増加傾向にあり、長者町地区では1961年時に47.5万トンであったストックが、2010年に2.6倍となったことがわかった。このストック増加分が2030年頃から建て替えにより廃棄物となることから、今後廃棄物量が大幅に増加し、連動して建替えによるCO₂発生が生じることが示された。また、4d-GISデータベース整備により、建物更新シミュレーションの構築や低炭素技術導入検討において、土地の履歴に関する歴史的変遷や建物更新のしやすいなどの基礎データ分析が可能となった。

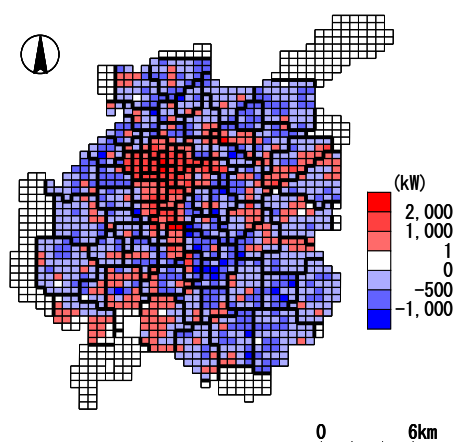


図7 太陽光発電普及時の11時台における電力需給
(名古屋市)

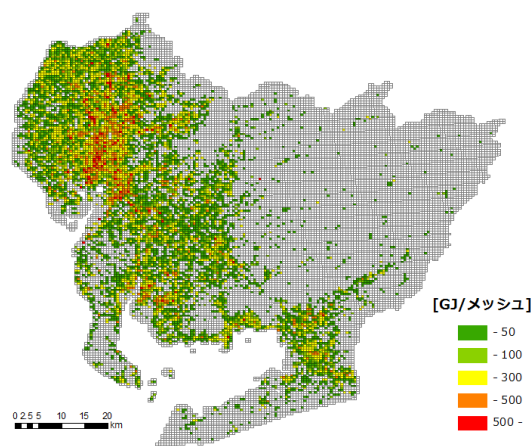


図8 工場排熱ポテンシャル
(愛知県)

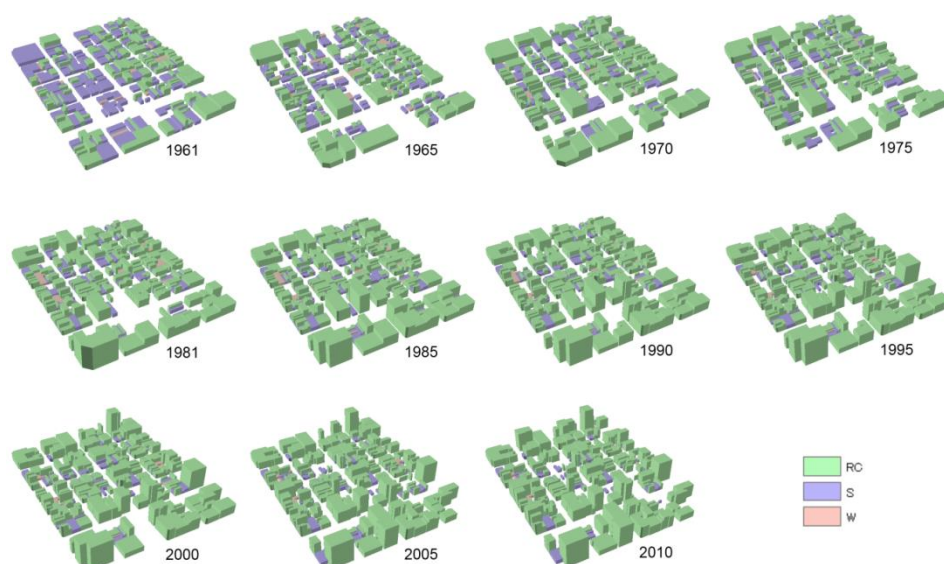


図9 長者町地区における4D-GIS建物構造データ整備結果

(4)低炭素街区群を支える建築システム

低炭素街区群を構成する建築物としてどのようなものがふさわしいかを検討するために、高断熱化を中心とした低炭素化と、建築タイプの変更による環境性能の向上によるCO₂排出量変化を長者町地区で推計した(図10)。その結果、床面積が1.5倍以上となるが、現状趨勢型は1.4倍程度の上昇、中層中庭型や高層タワー型はそれよりも10%程度小さくなり、CO₂排出量削減効果が明らかとなった。

また、建築物の低炭素化がもたらすマルチベネフィットの検討として、東日本大震災以降注目されている計画停電・突発的な停電・節電要請といった「非常時における業務生活継続(BLCP: Business and Life Continuity Plan)」の経済的便益を評価した。居住者を対象に、停電や節電要請を回避するための支払意思額を、アンケート調査によって把握するとともに、企業経営者を対象に、業務継続性能の高いオフィスビルへの追加賃料割合[%]についても調査した。

これに加え、光熱費削減以外の健康増進効果や生産性向上効果を含めたマルチベネフィットを用いて、低炭素施策導入による費用便益評価を行った結果、長者町地区では、中層中庭型では7.1年、高層タワー型では5.6年となり、単に光熱費削減のみを考慮する場合と比較して大幅に投資回収年数が小さくなることが明らかとなった(図11)。このことは建築物低炭素化の普及可能性を明確にしており、今後の建築物低炭素化の促進における提供情報として活用できる。

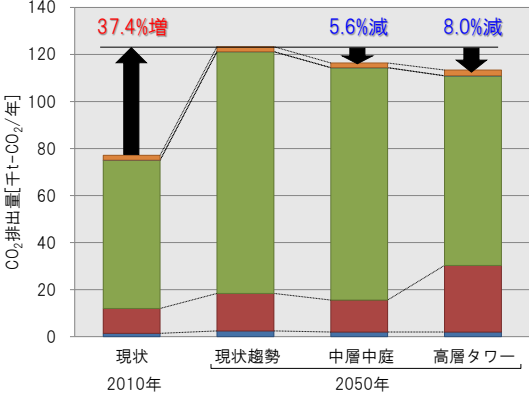


図10 CO₂排出量評価結果

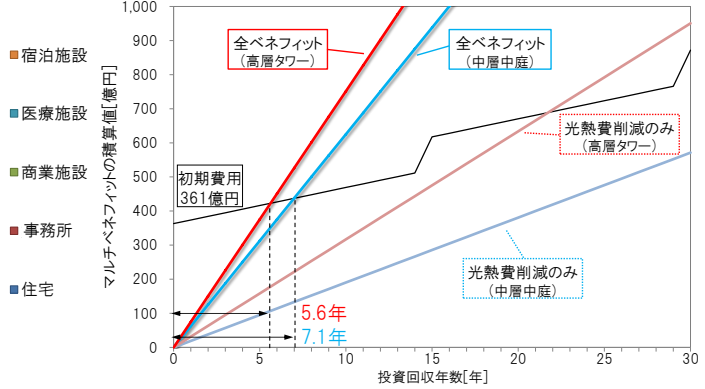


図11 投資回収年数の評価結果

(5)低炭素街区群形成の地域展開方策

低炭素街区群形成施策を実現するビジネスモデルを検討するため、住民・事業者へのアンケート・ヒアリング調査を実施した。住民への調査から、半数以上が分散型電源や再生可能エネルギーを追加負担ありでも導入賛成としていることが明らかとなった。また、今後展開可能性の高いビジネスモデルとして、屋根貸し事業、デマンドレスポンス事業、地域エネルギー会社(図12)などのモデルを抽出し、それぞれ事業スキームと実現に向けてのロードマップ(図13)を整理した。

さらに郊外部を対象に、地域エネルギー会社によって実現されるデマンドレスポンス事業によるピーク電力削減効果を検討した。その結果、ファミリー世帯の多い郊外でピーク低減効果が大きく、設備投資額を削減できる可能性が明らかとなった(図14)。

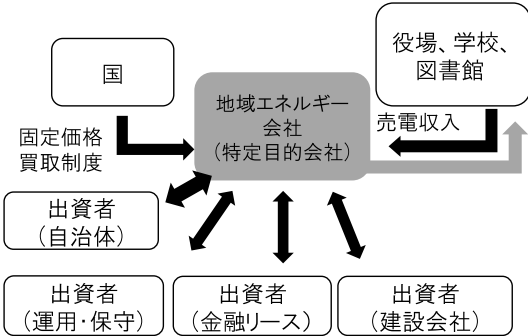


図12 地域エネルギー会社の事業スキーム

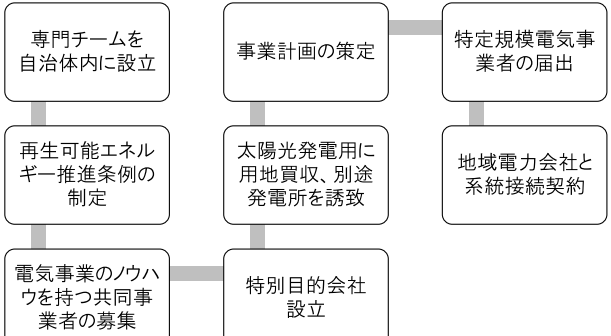


図13 地域エネルギー会社実現のロードマップ

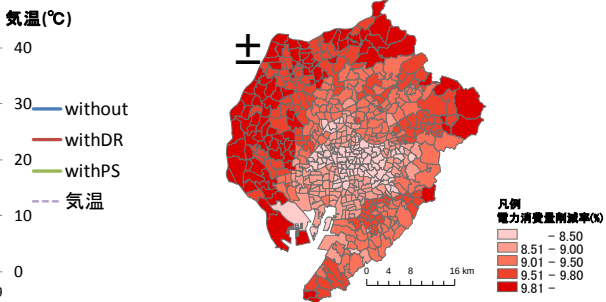
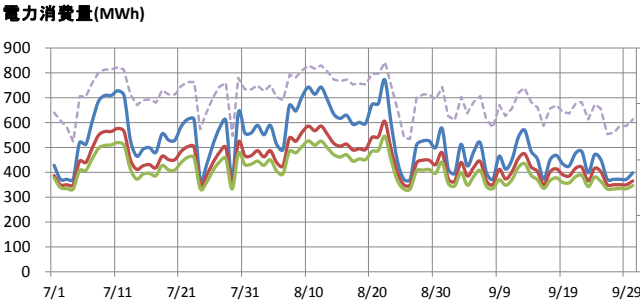


図14 夏季DR導入による日別(左)および街区群別(右)ピーク(14時台)電力削減効果

5. 本研究により得られた主な成果

(1)科学的意義

- 1) 既成市街地を長期的な低炭素化目標(Backcasting)に向かって徐々に再構築(Transition)していく方策を検討するための街区群環境性能評価システムを構築した。これまで国内外で開発されてきた街区群スケールでの低炭素性能評価システムは、新規もしくは再開発事業を対象とすることがほとんどであったが、本システムでは既成市街地を対象として、その長期的な移り変わりをシミュレートしながら漸次新しい技術を導入する事業に対応しており、国土全体の低炭素化促進に資する方法論となっている。また、街区群単位での立体的な空間デザインやそれを規定する都市計画的手法が、建物内のエネルギー利用はもとより、風の道や居住者交通行動、物流交通など、街区群内の諸活動全体に影響を及ぼす仕組みを組み込んだ点も新規性がある。
- 2) 通常、地域住民や地権者が中心となったまちづくりにおいては、長期的な将来像を踏まえた構想や、「低炭素」のような直接的影響を感じづらいものは取り上げられにくかった。本研究では「低炭素」をテーマとして街区群レベルでの長期的な将来像と取り組みを住民参加で検討することに成功しており、さらなる展開のための課題抽出も行っている。これは、今後の環境まちづくりに対する新たな展開の可能性を示すものであり、先進性が高い。
- 3) 産業プロセスの特性分析をもとに、その排熱エネルギーの空間特性を明らかにした。都市活動との連携を踏まえた地域エネルギーシステム設計を可能とし、さらに環境改善効果を算定することで、都市産業共生を含めた地域の資源・エネルギー循環計画の評価システムを構築することができた。
- 4) これまで地域レベルで定量化されてこなかった太陽光発電大量普及時の逆流問題について、配電用変電所の電力供給範囲を想定することにより、逆流が郊外地域において多く発生すること、住宅と商業施設の最適配置によって改善できることが明らかとなり、街区群デザインにおけるスマートグリッドの導入方法に示唆を与えることができた。
- 5) 4d-GISによって、地区の変遷を過去から将来にかけて詳細に把握することが可能となり、それを用いて建物更新に伴う廃棄物量や更新のしやすさ、そしてそれに伴うCO₂排出量変化を定量化することが可能となった。
- 6) これまで定量的には検討できなかった、建築物低炭素化技術導入による防災や健康などへの効果を明らかにし、それも含めたマルチベネフィットによって建築物低炭素化の費用対効果を示すことが可能となった。

(2)環境政策への貢献

＜行政が既に活用した成果＞

- 1) 環境省「地方公共団体実行計画(区域施策編)策定マニュアルに関する低炭素化手法(地区・街区関係)の検討会」および「地域循環圏の推進方策検討会」において情報提供を行った。さらに、環境省の中央環境審議会循環政策部会に研究成果に基づく提案が反映された。
- 2) 内閣府地域活性化統合本部「環境未来都市および環境未来都市推進ボード」の検討において、低炭素型街区群評価手法として情報を提供した。
- 3) 国土交通省が実施する「まち・住まい・交通の創蓄省エネルギー化モデル構築支援事業」において研究代表者がアドバイザーを務め、本研究の知見を活かした提案を行った。具体的には、薩摩川内市や柳川市において環境配慮型の公共交通やスマートグリッド実証等に関する助言や提案を行い、構想に反映した。
- 4) 名古屋市が2011年に策定した「低炭素都市なごや戦略実行計画」の検討に研究代表者および研究分担者が委員・部会メンバーとして加わり、本研究成果をもとに、都市構造変更、既成市街地を対象とした低炭素モデル、交通システムの低炭素化について提案し、事業計画に盛り込んだ。
- 5) 「低炭素都市なごや戦略実行計画」の主要事業である「低炭素モデル地区」の公募要領策定において、研究代表者が委員を務めた。さらに、本研究成果をもとに、対象事業を用途混合型とすること、事業周辺地区との調和、CO₂削減目標値などについて助言し、要領に反映した。また、モデル地区選定に、本研究で開発したシステムを活用することになっている。
- 6) 先行ケーススタディ地区の1つである名古屋市中区錦二丁目(長者町)におけるまちづくりの実践の場で本研究による知見を紹介し、今後展開される街区再開発の検討の参考にしてもらうとともに、低炭素地区会議の発足と運営を支援し、低炭素まちづくりへの理解促進を図った。また、合わせて名古屋市の募集する「低炭素モデル地区」への応募準備を支援した。(応募はH26年度に行う予定である。)
- 7) 東日本大震災の被災自治体である福島県・新地町において、本研究プロジェクトで構築したエネルギー計画支援モデルを援用し、復興まちづくり計画における環境・エネルギー施策策定の支援を行った。

＜行政が活用することが見込まれる成果＞

- 1) 本研究で開発された街区群環境性能評価システムは汎用的なものであり、またケーススタディ結果についても一般化して整理を行っている。今後、自治体や地域の関係者が低炭素まちづくりを展開していくうえで将来像

やロードマップを検討する際に、多様な地域で活用が期待される。

6. 研究成果の主な発表状況

(1) 主な誌上発表

<査読付き論文>

- 1) Hirano Y. and Fujita T.: Energy, Vol.37, No.1, pp.371-383, (2012)
“Evaluation of the impact of the urban heat island on residential and commercial energy consumption in Tokyo”
- 2) Ohnishi S., Fujita T. and Fujii M.: Journal of Cleaner Production, Vol.33, pp.217-225, (2012)
“Evaluation of the impact of the urban heat island on residential and commercial energy consumption in Tokyo”
- 3) 森田紘圭, 加藤博和, 村山顕人, 柴原尚希, 林良嗣: 都市計画論文集, Vol.48, No.3, pp.1071-1076, (2013)
「クオリティ・ストックの実現に向けた街区群の動学的更新・評価モデルの構築—名古屋市中区錦二丁目地区を対象として—」
- 4) 戸川卓哉, 藤田壮, 谷口知史, 藤井実, 平野勇二郎: 土木学会論文集G(環境), Vol.69, No.6, (環境システム研究論文集第41巻), pp. II_401-II_412, (2013)
「長期的な土地利用シナリオを考慮した地域エネルギー資源活用策の評価手法」
- 5) 田中健介, 早川容平, 奥岡桂次郎, 杉本賢二, 谷川寛樹: 土木学会論文集G(環境), Vol.69, No.6, II_25-II_34, (2013)
「都道府県における建築物・社会基盤施設の経年マテリアルストック推計に関する研究」
- 6) 森田紘圭, 杉本賢二, 加藤博和, 村山顕人, 飯塚悟, 柴原尚希, 林良嗣: 土木学会論文集D3 (土木計画学), Vol.69, No.5, pp. I_297-308, (2013)
「4D-GISを用いた地区統合環境性能評価モデルの構築」
- 7) 杉本賢二, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹: 環境情報科学学術研究論文集, Vol.27, pp.85-90, (2013)
「PALSARを用いた建築物の空間分布に関する研究」
- 8) 藤崎浩太, 伊香賀俊治, 川久保俊, 富越大介: 日本建築学会技術報告集, Vol.19, No.41, pp.231-236, (2013)
「直接的/間接的便益の提示が高断熱住宅の普及に与える影響のモデル化」
- 9) 富越大介, 伊香賀俊治, 川久保俊, 藤崎浩太: 日本建築学会技術報告集, Vol.19, No.42, pp.655-660, (2013)
「居住者行動とエネルギー使用量の分析に基づく省エネ行動提案ツールの構築」
- 10) Sharifi A. and Murayama A.: Building and Environment, vol.72, pp.243-258, (2014)
“Neighborhood Sustainability Assessment in Action: Cross-Evaluation of Three Assessment Systems and Their Cases from the US, the UK, and Japan”

他、合計20編

<査読付論文に準ずる成果発表>

- 1) Imura H. and Kikusawa I.: Journal of Contemporary Asia (to be published, 2012)
“Low-Carbon and Eco-Cities in Japan: Searching for Local Energy Solutions in the Shadow of a Nuclear Crisis”

(2) 主な口頭発表(学会等)

- 1) Hirano Y., Ohashi Y., Kikegawa Y., Kondo H., Genchi Y. and Fujita T.: 19th International Congress of Biometeorology, Auckland (2011)
“Numerical Simulation of Urban Heat Island Mitigation by Using a Coupled Urban-Canopy and Building-Energy Model”
- 2) 戸川卓哉, 森田紘圭, 後藤良太, 加藤博和, 林良嗣: 第20回地球環境シンポジウム, 京都大学桂キャンパス, (2012) 平成25年度土木学会・地球環境優秀講演賞
- 3) Goto R., Togawa T., Morita H., Kato H.: the 10th International Conference on EcoBalance, Yokohama, Japan, (2012)
“A Study in Reconstruction Design of City Blocks by Low Carbon Performance Evaluation System”

- 4) Kato T., Kumazawa S., Suzuoki Y., Honda N. Koaizawa M., and Nishino S.: International Conference on Renewable Energy and Power Quality (ICREPQ'12), Santiago de Compostela, Spain (2012)
“Evaluation of Short-cycle Power Output Fluctuation of High-Penetration Photovoltaic Power Generation Systems using Multi-Points Insolation Data”
- 5) Beck A., Gregory B., Murayama A., Pineo H., Storer L., Allen E.: EcoDistricts Summit 2012, Portland, USA, (2012)
“Neighborhood Certification Around the Globe: Challenges and Prospects” (panel discussion)
- 6) 藤崎浩太, 伊香賀俊治, 加藤博和, 川久保俊, 富越大介: 第8回日本LCA学会研究発表会, 立命館大学びわこ・くさつキャンパス, (2013)
「街区群の低炭素化が居住者・執務者に与えるマルチベネフィット評価」
- 7) Togawa T., Fujita T., Taniguchi T., Hirano Y. and Fujii M.: 7th International Society for Industrial Ecology Biennial Conference, Ulsan, Korea, June 25th -28th (2013)
“Evaluation. model for regional energy management system to support low carbon urban planning”
- 8) Fujii M., Fujita T., Ohnishi S., Dong L. and Togawa T.: 7th International Society for Industrial Ecology Biennial Conference, Ulsan, Korea, June 25th -28th (2013)
“Study on an energy-efficient recycling system of household organic wastes for building sustainable recycling system”
- 9) 杉本賢二, 森田紘圭, 谷川寛樹: 環境科学会2013年会, 静岡市, (2013)
「名古屋都市圏を対象とした未利用エネルギーポテンシャルの検討」
- 10) 田中健介, 奥岡桂次郎, 杉本賢二, 谷川寛樹: 環境科学会2013年会, 静岡市, (2013),
環境科学会2013年会 修士課程学生の部 優秀発表賞(富士電機賞)
「低物質社会に向けた資源蓄積量の生産性に関する研究」
- 11) 青柳淳之介, 杉本賢二, 谷川寛樹: 第41回環境システム研究論文発表会, 九州大学, (2013)
第41回環境システム研究論文発表会 優秀ポスター賞
「名古屋市中心部の4d-GISの構築によるマテリアルストック分析」
- 12) 高野剛志, 森田紘圭, 中村一樹, 加藤博和, 林良嗣: 平成25年度土木学会中部支部研究発表会, 岐阜大学, (2014) 平成25年度土木学会中部支部優秀研究発表賞
「居住-移動統合分析に基づく低炭素地区デザイン手法の検討」

他、合計116編

7. 研究者略歴

課題代表者: 加藤博和

名古屋大学工学部卒業。博士(工学)。名古屋大学大学院工学研究科助手を経て、現在、名古屋大学大学院環境学研究科准教授

研究分担者

1) 林良嗣

名古屋大学工学部卒業。工学博士。東京大学工学部助手、講師、および名古屋大学工学部助教授を経て、現在、名古屋大学大学院環境学研究科教授および交通・都市国際研究センター長。世界交通学会(WCTRS)会長。

2) 藤田壮

東京大学工学部卒業。博士(工学)。大阪大学大学院工学研究科助手、助教授、東洋大学工学部教授等を経て、現在、国立環境研究所社会環境システム研究センター長。

3) 成瀬一郎

名古屋大学工学部卒業。博士(工学)。豊橋技術科学大学工学部助教授、教授、および名古屋大学大学院工学研究科教授を経て、現在、名古屋大学エコトピア科学研究所教授。

4) 伊香賀俊治

早稲田大学理工学部卒業。博士(工学)。東京大学助教授、株式会社日建設計環境計画室長を経て、現在、慶應義塾大学理工学部教授。

5) 井村秀文

東京大学工学部卒業。工学博士。環境省企画調整局課長補佐、横浜市公害対策局課長、九州大学工学部助教授、教授および名古屋大学工学部教授を経て、現在、地球環境戦略研究機関シニア・フェロー。横浜市立大学特任教授。

1E-1105 低炭素社会を実現する街区群の設計と社会実装プロセス

(1) 低炭素街区群のデザイン方法論と推進する技術・制度システム

名古屋大学

大学院環境学研究科 都市環境学専攻 加藤 博和・林 良嗣・飯塚 悟・村山 顕人

<研究協力者>

名古屋大学 森田 紘圭・高野 剛志・橋本 一輝（平成24～25年度）・Ayyoob Sharifi（平成23～25年度）・戸川 卓哉（平成23年度）・鈴木 雄三（平成23年度）・永田 斎記（平成23年度）
加藤 隆矢（平成23～24年度）・後藤 良太（平成24年度）・金岡 芳美（平成24年度）

平成23～25年度累計予算額：51,398千円

（うち、平成25年度予算額：17,197千円）

予算額は、間接経費を含む。

[要旨]

本研究課題は、エネルギーやインフラ、建築、交通など多様な分野における低炭素施策を街区群スケールで統合的に検討するシステムを開発することが目的である。本サブテーマではまず、街区群の空間デザインや交通に関する施策を取り上げ、その解析ツールを開発した。さらに、他のサブテーマにおいて検討した多岐にわたる要素技術を統合し、街区群の環境性能をCO₂排出量のみならず街区群のQOL（Quality Of Life）や維持費用も含めたTBL（Triple Bottom Line）によって総合的に評価できるシステムを開発し、名古屋都市圏における異なる地域特性をもつケーススタディ街区群を対象に、低炭素デザインと施策パッケージを検討した。その結果、1)容積率の高い都心地区においては、複数の建物が共同で用途混在型更新を行うことがQOL向上に大きく効果を及ぼすこと、2)空き家の発生が懸念される近郊地区においては、低未利用地の集約化がQOL向上に寄与すること、3)農地転用型の郊外地区においては、人口減少とともに居住地集約を進めることがCO₂排出量削減に効果的であること、が明らかとなった。さらに、4)いずれの街区群においても低炭素技術導入のみの導入はCO₂排出量削減への貢献は期待できる一方、QOL減少や市街地維持費用増大を招く可能性があり、空間デザインと合わせて検討することが必要不可欠であることが明らかとなった。

さらに以上の検討をもとに、低炭素まちづくりの実現方法を、行政による支援制度とまちづくりの現場の2つの側面から検討を行った。その結果、名古屋市が実施する「低炭素モデル地区」制度のフレームに本研究の知見から得られた知見が生かされ、その評価に開発したシステムも活用されることとなった。さらに、都心地区におけるまちづくり協議会において情報提供や取り組み検討支援を行うことで、低炭素まちづくりのモデルケースを創出することが可能となった。

[キーワード]

低炭素社会、街区群、トリプルボトムライン、暑熱環境、まちづくり

1. はじめに

日本では1950～70年代の高度経済成長期における急速な都市化により、面的開発やスプロール化が進行し、古くからの中心市街地・集落から郊外へと人口の拡散が進んできた。その結果、既成市街地の魅力低下、都市を維持・管理するインフラ・建物維持費用の急増、環境負荷の増大が課題となっている。さらに、今後は多くの都市で人口が減少することが予想されており、低密な都市構造のままでは、環境的にも経済的にもより一層非効率となることが懸念される。

その打開策として、いくつかの自治体では集約型都市構造への転換を掲げている。その基本的な考え方は、スプロール化が進んだ環境的にも経済的にも非効率な地区から、利便性の高い都心・近郊部へと人口や都市機能の集約を進めるものである。しかし、人口を集約する地区をどのようにデザインしそれを実現していくべきかについては、議論が十分なされていない。

また、国内において近年進められている低炭素まちづくりに関する事例では、建築・エネルギー・設備・交通といった各分野での要素技術・制度の研究開発が進められている。しかし、現段階においてはこれらの要素技術それぞれを個別検討しているにすぎず、それらを寄せ集め的に普及させていった結果として低炭素社会が実現される保証はない。各種要素技術・制度の低炭素性能は、適用される状況に伴って変化する。すべての要素技術が性能を十分に発揮しうる状況が成立している保証はなく、むしろ相互に矛盾している場合も考えられる。逆に、各要素を組み合わせることによって、単独導入の単純合計より大きな効果を発揮することもある。したがって、要素技術・制度が全体の低炭素性能を高めるようなシステム設計を行うことが重要となる。

幅広い都市政策やそれらの連関効果を議論し、実際の空間構成（建築物・インフラ・技術の配置）をシステム全体として機能させる方法を空間的、具体的に展開するためには、都市のようなマクロスケールではなく、また建築や技術といったミクロスケールでもないその中間（メソ）スケールである「街区群」のスケールで検討を進めていくことが求められる（図(1)-1）。



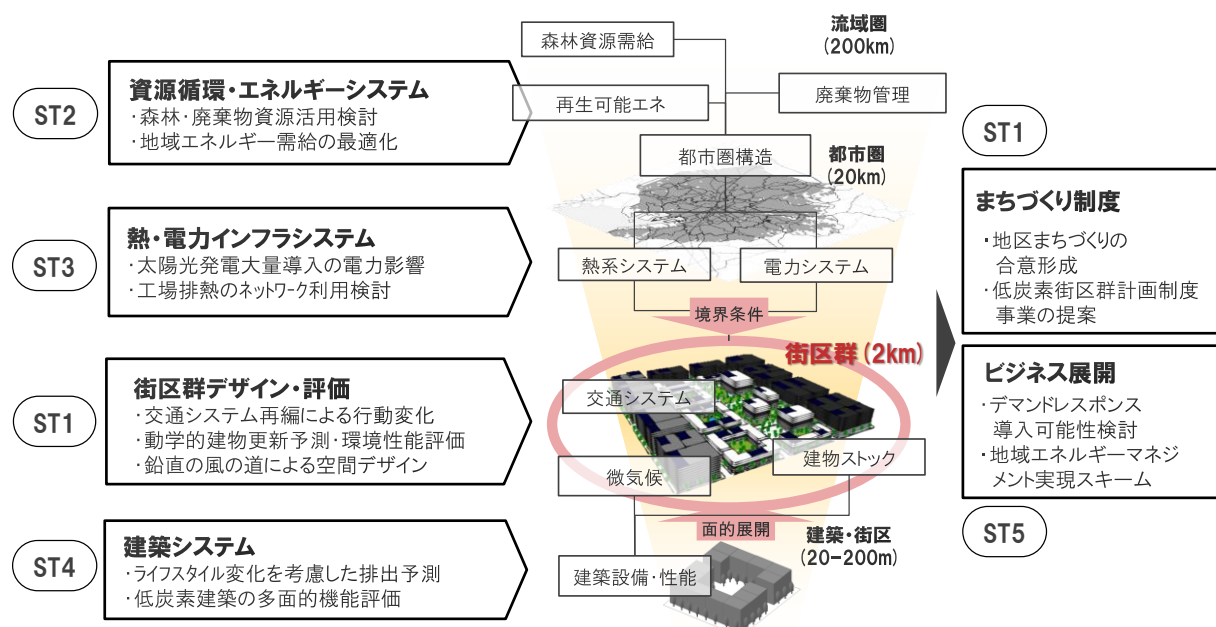
図(1)-1 街区群スケールでの研究の必要性

2. 研究開発目的

本研究では、マクロ・ミクロ双方の課題を同時に扱え、社会的・地理的な一体性を担保するメソスケール「街区群」の空間範囲（町丁目～小学校区）において、低炭素化の検討を支援する評

評価デザインシステムを構築するとともに、実現方策の社会実装プロセスを提示することを目的とする（図(1)-2）。この方法論は、以下の要件を満たす必要がある。

- 1) 低炭素社会を着実に進めるため、高いアメニティを確保しながら、着実に環境負荷を低減し、地区レベルでの環境性能をバランス良く向上させていく空間の形成を目指す。そのため、低炭素性能を評価する上では、単にCO₂排出量（環境面）が小さいだけでなく、居住者が享受する生活の質：QOL（社会面）、市街地を維持するための費用（経済面）から包括的な評価（TBL）を行うことができるシステムとする。
- 2) 対象とする低炭素施策は、資源循環・エネルギーシステム（ST<サブテーマ>2）、熱・電力インフラ（ST3）、建築システム（ST4）、そして本STが担当する空間デザイン、暑熱環境、交通システムであり、これらが有機的、統合的に機能する状況を含め、評価できるシステムを開発する。
- 3) 目標年次だけでなく、そこまでのプロセスを検討するため、対象街区群における建築物の状況や世帯構成の変化、各種要素技術の動向を動学的に捉え、40年間でいかなる変更を順次進めるべきかを時系列で評価し、提示することを可能とする。
- 4) 低炭素型空間構造実現に向けた住民参画・地域合意を得るための受容性向上を意識し、具体的な街区群の物理形状と展開される生活生産活動の態様をヴィジュアルで分かりやすく示す方法論を提示する。
- 5) 名古屋都市圏（20km圏）及びを对象に、行政・地域住民との連携によるケーススタディを実施することを通じて、日本全体における低炭素街区群構築に向けた一般解を導出する。



図(1)-2 研究の全体構成とST1の位置づけ

3. 研究開発方法

既存市街地において将来の段階的な低炭素街区群形成を支援する評価デザインシステムを構築するため、まず、(1)低炭素まちづくりに資する施策メニューや先進事例、すでに開発されている

街区群の環境アセスメントツール（EAT）を整理し、その課題と本研究が目指す評価システムの基本的考え方を整理した。次に、(2)建築物更新や交通、暑熱環境などを予測するサブモデルと、街区群の性能を環境面だけでなく社会面、経済面も含めて評価するTBL評価システムを構築するとともに、他STの開発したモデルと統合し、街区群の低炭素性能評価システムを開発した。さらに、(3)開発したモデルを名古屋都市圏のケーススタディ街区群に適用し、将来予想されるリスクの把握と、街区群の低炭素化のための施策パッケージを検討した。最後に、提案した低炭素街区群の在り方を実現するための手段として、都市計画的手法とまちづくり的手法に着目し、社会実装の制度と合意形成のあり方について検討した。

（１）先進事例と課題の整理

１）低炭素まちづくりに資するメニューの整理

まず、低炭素街区群を実現するためのデザイン方法論と制度・技術システムの概要を明らかにするため、近年の都市計画分野の学術的・実務的議論を網羅的に把握し、目指すべき都市シナリオのイメージを整理した。その上で、日本の環境政策と事例から、実際に導入されている、あるいは導入が検討されている環境技術を抽出し、導入の効果、タイミング、複数の環境技術の関係性等を整理した。その上で、本研究のケーススタディ地区の１つである名古屋市錦二丁目・長者町地区の16街区を対象に導入可能性を検討した。

２）既存の地区開発に対する環境性能評価ツールの整理と課題

街区群単位でのまちづくりの環境性能評価を行う枠組みについて、LEED for Neighborhood Development、CASBEE-まちづくり、BREEAMをはじめとした世界各国の7つの環境アセスメントツールについて、その枠組みを整理した上で、それらの評価方法、項目について比較分析を行うことで、これからの課題を抽出した。また、LEED、CASBEE、BREEAMそれぞれにおいて高評価であった地区を取り上げ、各ツールによるクロス評価を行うことで、街区群レベルの環境アセスメントツールが持つ地域性について明らかにした。

３）米国Ecodistrictsの事例と低炭素まちづくりの課題

米国オレゴン州ポートランドは、米国の中でも常に革新的なまちづくりを展開している都市の１つで、環境負荷の大きい自動車依存型の都市構造から、路面電車の駅を中心とする地区や都心部に密度の高い複合市街地に転換することに力を注いでいる。最近では、2009年にポートランド市議会によって設立された非営利組織「ポートランド・サステナビリティ機構（Portland Sustainability Institute、以下「PoSI」）」が、"We Build Green Cities."というスローガンの下、地区（district）スケールのハード及びソフトのプロジェクトを通じて環境負荷の小さい都市をつくる「エコディストリクト」の取り組みを進めている。本研究では、既成市街地における低炭素まちづくりの先進事例として、この地域を取り上げ詳細な情報と課題を収集した。

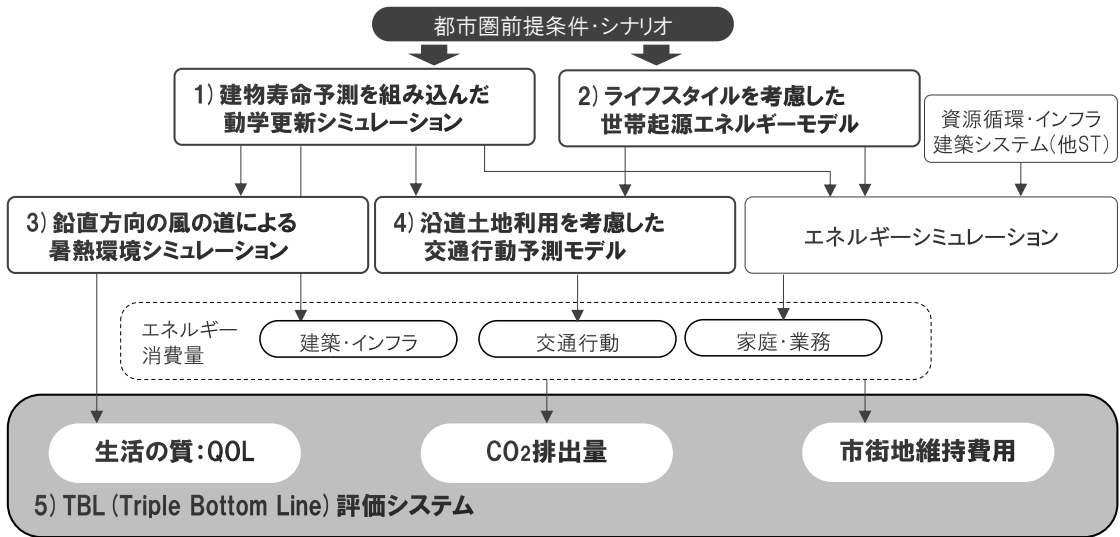
特に国際会議EcoDistricts Summitへの毎年の参加により、ポートランドにおけるEcoDistrictsの取り組み状況や手法、世界の類似の取り組み状況を継続的、連続的に把握するとともに、本研究のケーススタディ地区の１つである長者町地区における取り組みについて講演した（2011年）。さらに、日本のCASBEE-まちづくり、英国のBREEAM Communities、米国のLEED-NDをはじめとす

る世界の地区スケールの持続性評価手法の特徴と世界標準化の可能性に関する議論に参加し、街区群レベルでの環境評価のあり方とこれからの課題について議論を深めた。

（２）低炭素性能評価システムの構築

前節で明らかとなった課題を踏まえ、既成市街地を対象とした街区群の低炭素性能評価システムを構築した。システム構築においては、既成市街地でのまちづくり活動支援を前提としており、1)構想段階から検討できるようアウトプット指標（何に取り組んでいるか）ではなくアウトカム指標（何が達成できるか）で評価を行うこと、2)施策導入（計画）による効果を時系列で把握できること、3)他STで検討された環境技術と空間デザインの双方による関連効果を把握できること、4)建築単位でも都市単位でもない街区群スケールに対応したモデル構築、に留意した。

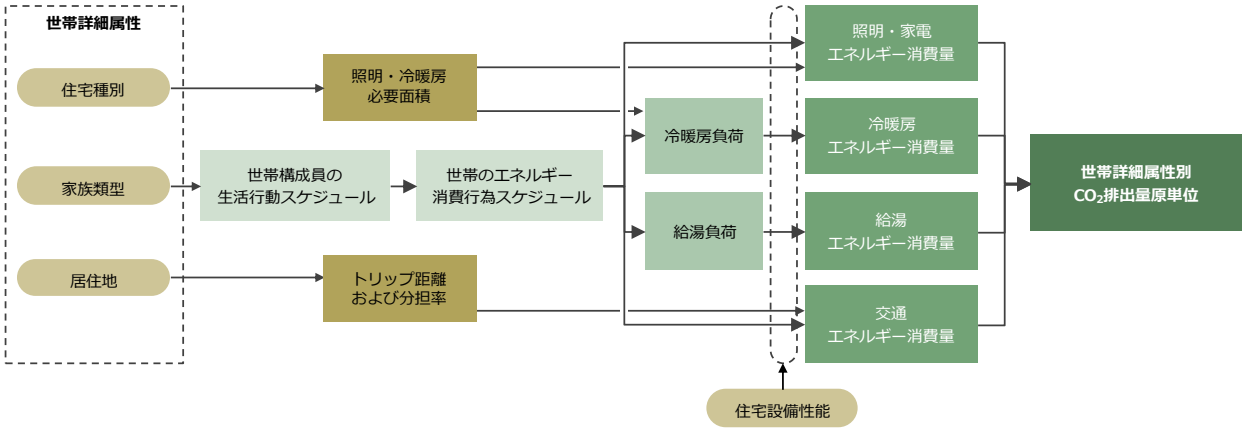
構築したシステムの全体構成を図(1)-3に示す。システムは全体で6つのサブモデルからなる。本研究では街区群スケール評価に適合するように5つのサブモデルを新たに構築し、システムを構成した。



図(1)-3 街区群の低炭素性評価システムの全体構成

1) 世帯属性とライフスタイルを考慮したエネルギー需要量推計モデルの構築

低炭素地区構築のための中心的施策として、地区内のエネルギーを融通し共有化する方策が検討されている。街区群の居住世帯特性や将来の世帯構成、ライフスタイル変化とエネルギー融通施策の効果をより正確に把握するため、地区内に居住する世帯のライフスタイルや家族構成によって異なる世帯別エネルギー消費量を算出するモデル（図(1)-4）を構築した。具体的には、社会生活基本調査から得られる個人のライフステージ別生活スケジュールから、住宅内および交通で使用するエネルギー消費量を時間帯別、用途別に求めるモデルである。さらにこのモデルを用いて、家族構成9分類、住宅タイプ8分類、利用交通機関3分類、居住地域43分類からなる約9,000パターンの世帯属性に応じた時間帯別エネルギー原単位データベースを構築し、加えて将来普及拡大が見込まれるテレワークやネットショッピング、シェアハウスなどといった未来型のライフスタイルによるCO₂排出量と生活費用、QOLそれぞれの変化を分析した。



図(1)-4 エネルギー需要量および消費量推計モデルの全体構成

2）社会的寿命を考慮した建物更新シミュレーションの構築

建築物が将来どのように変化するかを時系列で予測するため、建築構造による減失率関数と、建築物性能の向上や周辺環境の改善に伴う寿命変化を織り込んだ建物更新シミュレーションを構築した。具体的には、建築物性能や周辺環境による影響が建物の物理的寿命を低減させるものと想定したうえで、0から1までの値をとるものとして建物寿命への影響係数を設定した。その上で、住宅メーカーやコンサルタント、行政を対象とした建物寿命への影響因子に関するアンケート調査結果から、建物寿命への影響係数を推定した（表(1)-1）。更に既存建物減失後の開発動向については各地区のトレンドから、シナリオで与えるものとした。

構築されたモデルを用いて、建物単体だけでなく、街区群全体で低炭素まちづくりを実施することによる建物寿命の変化とそれに伴う資源消費量・CO₂排出量に対する影響を明らかにした。

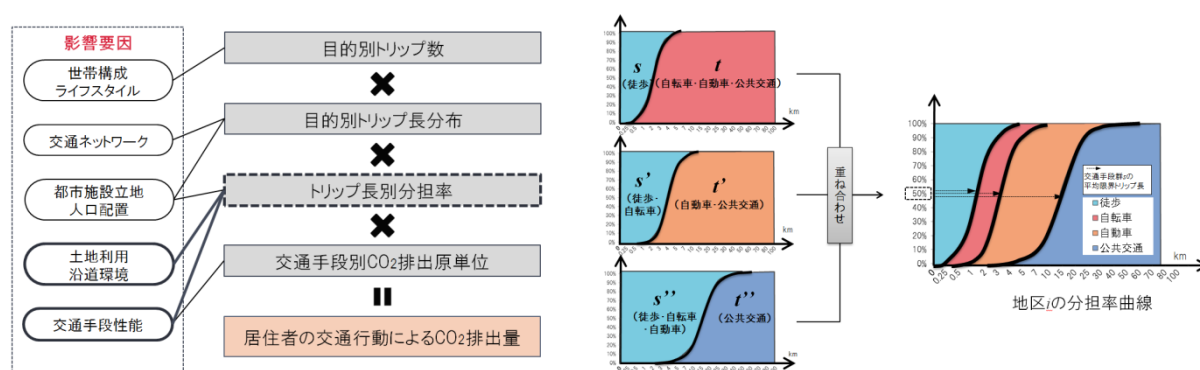
表(1)-1 建物寿命影響係数に係る項目と重み

影響要因		定量指標	影響度	本研究における設定値
建物	利用柔軟性	容積率消化率	0.065	容積率に対する建築容積の比率。
		用途転換構造	0.103	対象地域内はリノベーションが多いことから、既存RC造及び新築建物を1とし、それ以外を0とした。
	居住快適性	日照時間	0.100	各建物に対する日照時間。日照シミュレーションにより、8時間～0時間の間で基準化した。
	安全安心性	耐震性能	0.209	新耐震基準を目安とし、1983年以前の建築を0、1983年以降及び新築建物を1とした。
	環境調和性	断熱性能(Q値)	0.195	旧省エネ法(1980年)以前を0、改正(2009年)以降を1として基準化した。
	バリアフリー性	バリアフリー設計	0.083	ハートビル法(1994年)以前を0、それ以降および新築建物を1とした。
	維持管理水準	維持管理実施率	0.245	2010年以降は維持管理水準が充足しているものとし、それ以前の建築年数との割合とした。
周辺環境	利用柔軟性	容積率消化率	0.125	街区群全体の容積率に対する建築容積の比率。
	居住快適性	オープンスペース率	0.101	対象地域面積に対するオープンスペース(歩道、公園、公開空地等)割合。30%を1として基準化した。
		景観調和性	0.156	街区群内の最多建築物タイプ(形式および用途)が占める敷地面積を街区群全体面積で除した。
	安全安心性	隣棟間隔	0.336	建築構造別の延焼限界距離(RC造:3m、木造:6m)への充足率により基準化した。
	環境調和性	地区エネ技術導入	0.197	熱融通やカーシェアの導入比率。
	バリアフリー性	街路バリアフリー設計	0.085	道路に対する歩道設置率。

3）沿道環境と断面構成を考慮した交通機関分担率の予測モデル構築

端末側の交通施策導入による交通行動変化を予測するため、沿道環境や歩道、自転車道の整備、自動車・自転車のシェアリングシステムなどによる利用交通手段の分担率変化を予測するモデル

を開発した（図(1)-5）。沿道環境や地区交通インフラの状況によって距離に応じた利用交通手段が変化する（より遠くまで徒歩で移動する、より近くから公共交通を利用する など）と想定した上で、街区群デザインが各交通手段の距離一分担率曲線に内生化したモデルを構築した。構築したモデルを用いて名古屋都市圏を小学校区別に分析することで、各街区群の特性や立地に応じて効果的な交通施策を明らかにするとともに、ケーススタディ街区群において詳細分析を行い、交通CO₂排出量の観点から望ましい街区群の空間デザインについて提案を行った。



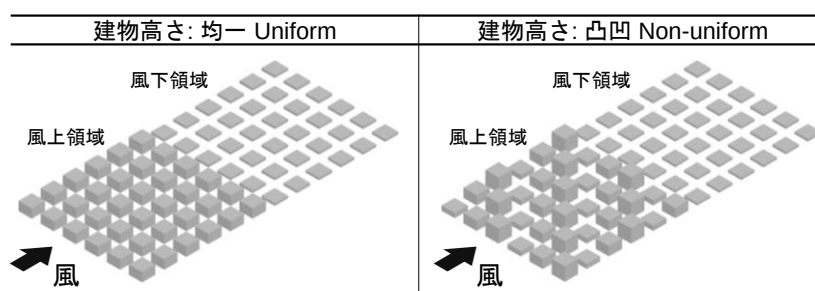
図(1)-5 交通行動予測モデルの基本的考え方（左）と分担率曲線の概要（右）

ICT進展によるネットショッピング増加や、居住・業務地域の集約（高層化）など、将来の低炭素まちづくりやライフスタイル変化への影響が大きい地区物流についても、CO₂排出量・集配送時間・道路使用時間による評価モデルを構築した。物流に関する統計調査（中京都市圏パーソントリップ調査—物流調査）をもとに、加減速やアイドリング、エレベーターなどの詳細な交通挙動から各指標を算出するモデルとし、配送車両の性能や配送方式のほか、都市の空間構造による違いが明らかにできるものとした。構築したモデルをもとに、都心のケーススタディ街区群における地区物流によるCO₂排出量と道路使用時間の変化を分析し、物流の観点から望ましい配送方式と都市構造について提案を行った。

4) 「鉛直の風の道」による暑熱環境変化シミュレーションの構築

鉛直（高さ）方向の乱流拡散や移流を活用した「風の道」導入に関する検討をCFD（Computational Fluid Dynamics：計算流体力学）シミュレーションを用いて行った。本研究ではまず、1)平均建物高ささと建物高さの凸凹度合（標準偏差）の2つをパラメータとした鉛直方向の風の道の導入が街区群居住域の温熱環境に及ぼす影響を検討した上で、2)建物からの人工排熱を考慮し、鉛直方向の風の道の導入と人工排熱位置の組み合わせが街区群居住域の温熱環境に及ぼす影響を検討した。

解析対象として、街区ブロックモデル（複数の建物を1つの塊としてまとめたブロックモデル）群を前後に並べて「風上領域」と「風下領域」の2つを設定し（両領域ともに水平600 m×600 mの大きさ：図(1)-6参照）、その周辺に均一高さ（10 m）の街区ブロックモデル群を設置した。検討ケースを表(1)-2、表(1)-3に示す。



図(1)-6 風上領域・風下領域の建物配置

表(1)-2 検討ケース①（風上領域の建物条件）

ケース名	Case 30-U	Case 30-N8.2	Case 30-N16.3
建物高さ	30 m	20 m, 30 m, 40 m	10 m, 30 m, 50 m
平均建物高さ	30 m	30 m	30 m
凸凹度合	0 m（均一高さ）	8.2 m	16.3 m
ケース名	Case 40-U	Case 40-N8.2	Case 40-N16.3
建物高さ	40 m	30 m, 40 m, 50 m	20 m, 40 m, 60 m
平均建物高さ	40 m	40 m	40 m
凸凹度合	0 m（均一高さ）	8.2 m	16.3 m
ケース名	Case 50-U	Case 50-N8.2	Case 50-N16.3
建物高さ	50 m	40 m, 50 m, 60 m	30 m, 50 m, 70 m
平均建物高さ	50 m	50 m	50 m
凸凹度合	0 m（均一高さ）	8.2 m	16.3 m
ケース名	Case 60-U	Case 60-N8.2	Case 60-N16.3
建物高さ	60 m	50 m, 60 m, 70 m	40 m, 60 m, 80 m
平均建物高さ	60 m	60 m	60 m
凸凹度合	0 m（均一高さ）	8.2 m	16.3 m

表(1)-3 検討ケース②（風上領域の建物条件）

ケース名	Case 0	Case 1	Case 2	Case 3
建物高さ	30 m	20 m, 30 m, 40 m	20 m, 30 m, 40 m	20 m, 30 m, 40 m
平均建物高さ	30 m	30 m	30 m	30 m
凸凹度合	0 m（均一高さ）	8.2 m	8.2 m	8.2 m
人工排熱量	420 W/m ²	420 W/m ²	280 W/m ² , 420 W/m ² , 560 W/m ²	1,260 W/m ²

5) トリプルボトムライン評価システムの開発

街区群の環境性能を総合的に評価するため、単にCO₂排出量だけでなく、社会的側面や経済的側面からの評価も加えたトリプルボトムライン（TBL）評価システムを開発した。具体的な評価指標として、環境的側面はCO₂排出量、経済的側面は市街地維持費用、社会的側面は評価街区群に居住する住民の享受する生活の質（QOL）を設定し、将来にわたって1年ごとに指標を算出できる仕組みとした。CO₂排出量および市街地維持費用については、住宅や業務におけるエネルギー消費、交通活動、建築物やインフラの建設、維持管理、廃棄に伴い生じる資源消費を対象とし、前述した各モデルから算出されたエネルギー消費量、資源消費量にCO₂排出原単位及び費用原単位を乗じることで算出するものとした。QOL値については、居住地区における環境の物理量とそこに居住する個人の主観的な価値観によって決定されるとし、その構成要素を交通利便性、居住快適性、安

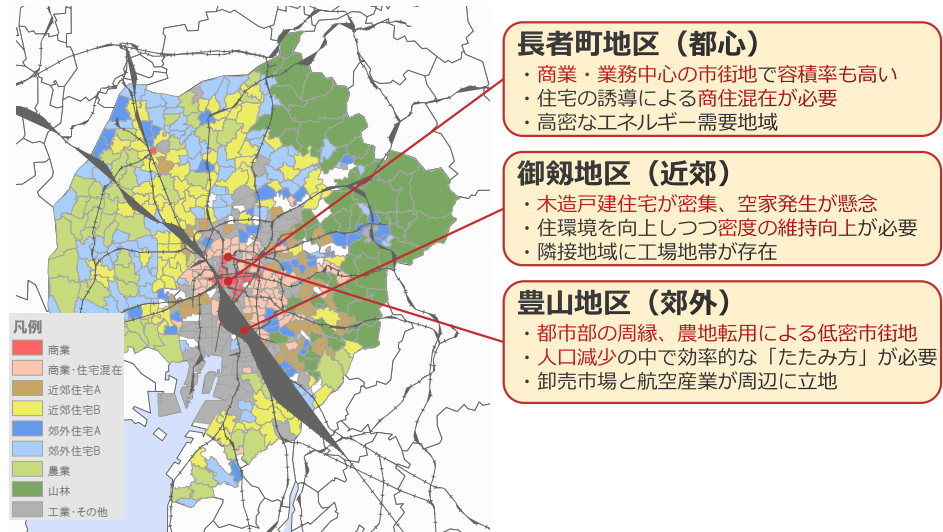
全安心性の3分類として、それに属する24指標を独立性と施策による感度を重視して選定した（表(1)-4）。この指標に、アンケート結果によって求められる居住者の価値観を表す重みを乗じたものの総和をQOL値と定義した。なお、重みパラメータ算出には、住民アンケート調査をもとにコンジョイント分析により推定した。具体的には、アンケートで住民に2つの属性プロファイルを有する居住地を示し、どちらがより好ましいかの選好結果を取得した上で、ロジットモデルを仮定してパラメータを最尤推定法により特定した。アンケートにおいて各居住地の地震による死亡リスクを合わせて提示することで、各要素と生存年数との相対的な重みを推定することができるようにしており、QOL値を医療分野において多くの適用事例がある「生活の質により調整された生存年数（Quality Adjusted Life Year：QALY）」の単位に統合して用いることができる。

表(1)-4 QOL評価項目一覧

分類	評価要素	評価項目			
		指標①	指標②	指標③	指標④
AM 快適性	居住環境快適性	住宅の広さ	住宅の静けさ	身近な緑の多さ	日あたりのよさ
	周辺環境快適性	生活のしやすさ	街並みの美しさ	周辺の緑の多さ	夏季の過ごしやすさ
AC 利便性	都市交通利便性	通勤のしやすさ	通学のしやすさ	通院のしやすさ	買い物のしやすさ
	地区交通利便性	自転車の使いやすさ	歩きやすさ	公共交通の使いやすさ	自動車の使いやすさ
SS 安全性	防災機能性	地震被害リスク	火災被害リスク	洪水被害リスク	救急医療機会
	減災機能性	物資の調達しやすさ	水の調達しやすさ	エネルギーの調達しやすさ	避難所の確保しやすさ

（3）名古屋都市圏モデル街区群を対象としたケーススタディ

前節で開発したモデルを用いて、都心、近郊、郊外の異なる地域特性を持つケーススタディ街区群において、将来街区群デザインの検討を行った（図(1)-7）。各街区群のデザイン検討においては、モデルの有用性確認を異なった視点から行うとともに、地区別の整備方針について代替案を検討し、それぞれの案について2010年からの1年単位でのまちづくりのプロセスを示したうえで、その動向をQOL、CO₂排出量、ライフサイクルコストを時系列で評価し、その有効性を提示した。



図(1)-7 各ケーススタディ街区群の位置

（４）低炭素街区群の社会実装

ケーススタディ街区群の1つである名古屋市中区錦二丁目長者町地区は、第二次世界大戦後に発展した繊維問屋街を中心とする16街区である。産業構造の変化や長引く不況により、繊維問屋の機能が低下し、空きビルや時間貸し駐車場が増加する中、近年、国際芸術祭あいちトリエンナーレの舞台になった影響で芸術活動が盛んになるなど、地区の状況が大きく変化しつつある。こうした前向きな変化の背景には、2004年3月に地区の地権者・事業者らが設立した錦二丁目まちづくり連絡協議会とそれを支援するNPO法人まちの縁側育くみ隊、様々な専門家の活動があり、研究分担者の村山も2008年度以降、専門家として錦二丁目長者町のまちづくりを支援してきた。そこで、本研究では2011年4月に錦二丁目まちづくり連絡協議会（2013年に「錦二丁目まちづくり協議会」に名称変更）によって採択された「これからの錦二丁目長者町まちづくり構想（2011-2030）」の策定過程を整理するとともに、その後現在に至るまで「アートとまちの融合」、「都市の木質化」、「長者町家」、「産業振興」、「地区計画」、「自然エネルギー利活用」、「公共空間デザイン部会」の7つのプロジェクトチームがまちづくり構想の実現に向けた実践活動を支援した。

特に7つのプロジェクトチームの取り組みを連絡調整する「まちづくり企画会議」に加え、2013年4月に各プロジェクトチームの取り組みのうち「低炭素」に関わるものを束ねた「低炭素地区会議」を設置し、研究分担者の村山が会議座長として「低炭素地区」の理念や手法の共有、名古屋市の「低炭素モデル地区」への応募準備のための支援を行った。

4．結果及び考察

（１）先進事例と課題の整理

1）低炭素まちづくりに資するメニューの整理

まず、日本各地で導入が計画されている環境技術に関する簡易なデータベースを構築した結果、環境技術として12項目、43のメニューがあげられた。

（表(1)-5）現在、太陽光発電やコージェネレーションをはじめとした個別設備による「エネルギー効率」の向上に関する計画が最も多く、屋外環境の快適性向上に関する施策、エネルギーネットワーク系の施策など、建物単体でもインフラ単体でもない、街区群全体の「空間デザイン」に関する施策はほとんど検討されていない。研究では風の道や緑化など屋外環境に関する施策効果が検討されており、今後どのように単体技術と空間デザインとを組み合わせていくかが課題となることが明らかとなった。

表(1)-5 施策メニューの一例

		周辺影響	
		あり	なし
合意	不要	・太陽光発電 ・照明のLED化 ・HEMS ・コージェネシステム ・高効率給湯器 ・太陽熱利用システム ・高気密・高断熱工法 ・高反射率化、遮熱化	・ルーバー ・屋上緑化、壁面緑化 ・住まいの長寿命化 ・パッシブデザイン
	必要	・街路灯のLED化 ・未利用エネルギー供給 ・地域エネルギー融通 ・スマートグリッド	・プラグインハイブリッド車充電 ・木材の地産地消 ・建設副産物リサイクル ・保水ブロック・保水性塗装 ・コミュニティサイクルシステム ・カーシェアリング ・エネルギーマネジメントシステム ・地域のコミュニティ形成 ・風の道 ・緑地の創出・集約

2) 既存の地区開発に対する環境性能評価ツールの整理と課題

街区群を対象とした国内外の既存の環境アセスメントツールの課題を抽出するため、ツール間の比較を行った結果、ツールによって重視する傾向が大きく異なることが明らかとなった（表(1)-6）。それによって、同じ街区群（開発）でも環境評価が大きく変動する。日本で開発されたCASBEE-まちづくり（CASBEE-UD）に着目すると、他の指標と比較して環境面に関する指標の重みが高く、一方で住宅やコミュニティの快適性に対する配慮や経済効果、人材育成など現在の社会問題について扱えない。また、特に混在利用など土地利用や立地に対する重みづけが小さく、空間デザインに対する配慮が小さい特徴があることが明らかとなった。更に、LEED-ND、BREEAM、CASBEE-UDそれぞれで評価の高かった地区について、他のツールを用いてクロス評価を行った結果、1つの指標で得点が高くても、その他の指標では評価が大きく異なることが明らかとなった（表(1)-7）。CASBEE-UDにおいて評価の高い越谷レイクタウンであっても、既成市街地から大きく離れていることや、土地利用の混在が十分でないことから、その他の指標では評価が低い。

これらの評価の違いは、各国の価値観の違いによるものと整理することができる一方、1つのツールを活用することは街区群の多様な開発のあり方の可能性を狭めてしまう懸念があることも明らかとなった。また、いずれのツールも新規開発によるものであり、既成市街地の段階的な更新には対応していない点も課題として挙げられた。

表(1)-6 環境アセスメントツールに含まれる指標数の分野別割合

Indicators		Percentage of the frequency of indicators falling under each theme													
		LEED-ND		ECC		BREEAM		CASBEE-UD		HQE2R		Ecocity		SCR	
Resource and environment	Water	14	33	11	33	3	23	13	41	7	26	3	26	4	17
	Energy	9		4		6		9		7		15		6	
	Materials, ecosystem etc.	10		18		14		19		12		8		8	
Transportation			9		12		19		10		7		15		8
Social	Affordable housing	2	9	1	15	2	11	0	6	2	45	3	15	4	26
	Inclusive community	0		3		3		0		5		3		2	
	Safety, well-being, network etc.	7		11		6		6		38		9		20	
Economic	Local jobs and economy, etc.		2		2		8		0		5		6		15
Location and site			11		14		5		3		2		6		4
Pattern and design	Mixed use	2	31	1	23	2	32	0	40	2	15	3	32	4	25
	Green infrastructure, access, etc.	29		22		30		40		13		29		21	
Innovation	Accredited professionals	2	5	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	5
	Innovation	3		1		2		0		0		0		5	

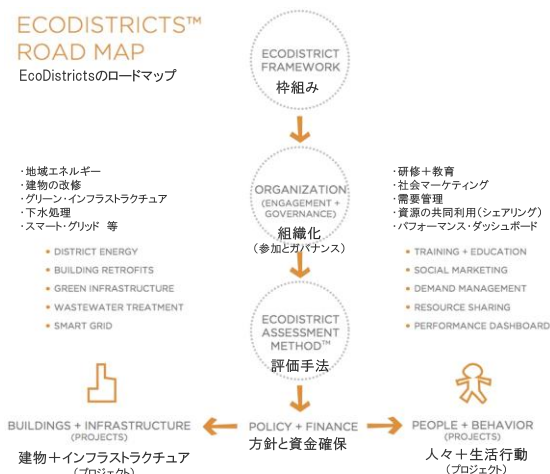
表(1)-7 LEED-ND、BREEAM、CASBEE-UDによるクロス評価結果

districts	Assessment tools		
	LEED-ND	BREEAM	CASBEE-UD
Hoyt-yards	Platinum(first)	Very good(third)	Very good(second)
Mediacity UK	Gold(second)	Excellent(second)	Very good(second)
Koshigaya Lake town	Silver(third)	Good(fourth)	Excellent(first)

3) 米国Ecodistrictsの事例と低炭素まちづくりの課題

既成市街地における低炭素化事例として、ポートランド市における事例とその仕組みについて視察するとともに、同市で開催されたEcoDistricts Summitにおける意見交換から各国共通のこれからの低炭素まちづくりにおける課題を抽出した。

ポートランド市におけるEcoDistrictsは、地区スケールの低炭素まちづくりに焦点を絞り、住民、地権者、ディベロッパー、電力・ガス等供給者、市役所等の協働の下、地区の持続可能性を加速させるハード及びソフトの諸施策を展開しようとしている。地区は、改革を実現するのに十分な小ささ、同時に、効果を発揮させるのに必要な大きさを持つと認識されており、Ecodistrict形成を新しい経済エンジンとして位置づけている点も新しい。具体的な5つのパイロット地区（いずれも既成市街地）においては、1)地区の組織化、2)地区の評価とプロジェクトの提案、3)プロジェクトの実現可能性の評価、4)プロジェクトの企画・開発・実施、5)地区のモニタリングという枠組みの下（図(1)-8）、建物やインフラストラクチャに関わるハードウェアと人々や生活行動に関わるソフトウェアを統合的に扱っている。具体的には、グリーンビルディングなどの単体技術だけでなく、スマートグリッド、雨水の貯留と活用、グリーンストリート、ゼロ廃棄物プログラム、自動車の共同利用、自転車専用レーン、歩道の改善、都市農業、パブリックアート、多様な公共交通手段など、街区全体でのトータルデザインを進めている（図(1)-9）。



図(1)-8 EcoDistrictsのロードマップ



図(1)-9 具体的な取り組み事例

EcoDistrictsを多様な主体の協働で推進支援するツールとして、EcoDistricts Toolkitが整理されている。キットには、1)既成市街地の地区に関わる多様な主体を組織化する際に母体となりうる統治構造の長所・短所を整理したガバナンスモデル、2) EcoDistrictsが目指す目標と目的が整理するパフォーマンス分野、3)分野毎に、建物やインフラストラクチャに関わるハードウェアと人々や生活行動に関わるソフトウェアのプロジェクトを包括的に整理したプロジェクトパレット、4) 地区毎に選定したプロジェクトの効果をパフォーマンス分野に照らし合わせながら評価し、また、プロジェクトの実現可能性を技術、資金、費用対効果、マネジメント、リーダーの肩入れ、利害関係者の理解・協力といった視点から評価した結果を整理するパフォーマンス及び実現可能性マトリックス、の4つが含まれており、単に計画評価だけでなく、運営を含むプロジェクト全体を支援するツールとしてこれまでの環境アセスメントツールとは異なった性格を有している。

EcoDistricts Summitでは、前節で整理した地区スケールの持続性評価手法の特徴と世界標準化の可能性、今後の展望に関する議論を行った。本研究の成果（前節）をもとに、7つの代表的な近隣地区の持続性評価ツールの課題として、1)ボランティア・ベースで実践されているものであり行政制度化されていないこと、2)持続可能性の社会的、経済的、制度的側面を取り扱うことにうまく対応できていないこと、3)重み付け、点数化、順位付けにあいまいさと欠点があること、多くの評価ツールは地域への適応と参加の仕組みがないことを提示した。また、地区持続性評価手法の今後についての議論では、1)評価手法をオープンシステムにすること、2)新開発から既成市街地再生に対応する必要があること、3)それぞれの国や都市によって状況が異なるため世界標準化は難しいこと、等が議論された。

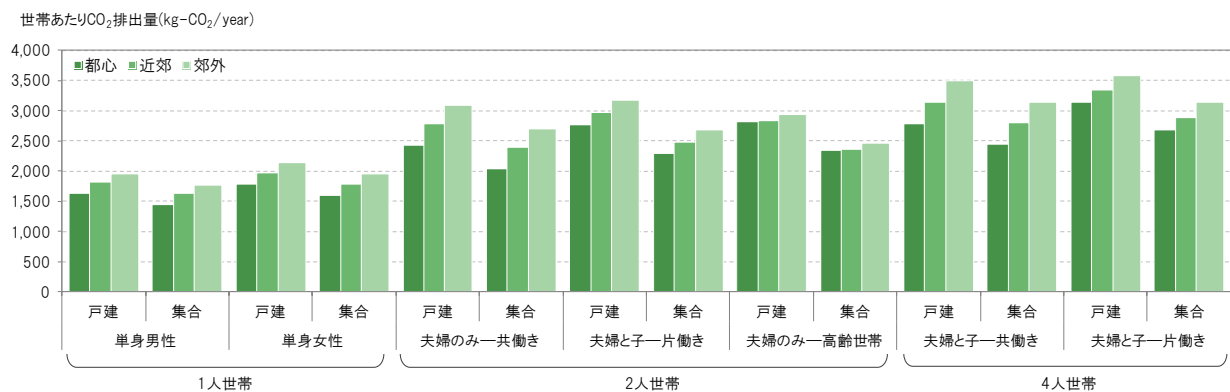
（２）低炭素性能評価システムの構築

以上の課題を踏まえ、本研究においては、低炭素街区群形成を既成市街地に展開するための設計、評価を支援する低炭素性能評価システムを構築した（図(1)-3）。本節では6つのサブモデルの概要およびモデル別の施策検討結果を以下に示す。

1) 世帯属性とライフスタイルを考慮したエネルギー需要量推計モデルの構築

個人の生活スケジュールを基に、世帯エネルギー消費量、CO₂排出量算出モデルを構築し、対象地域内約9,000通りの世帯についてエネルギー消費量、CO₂排出量データベースを構築した。

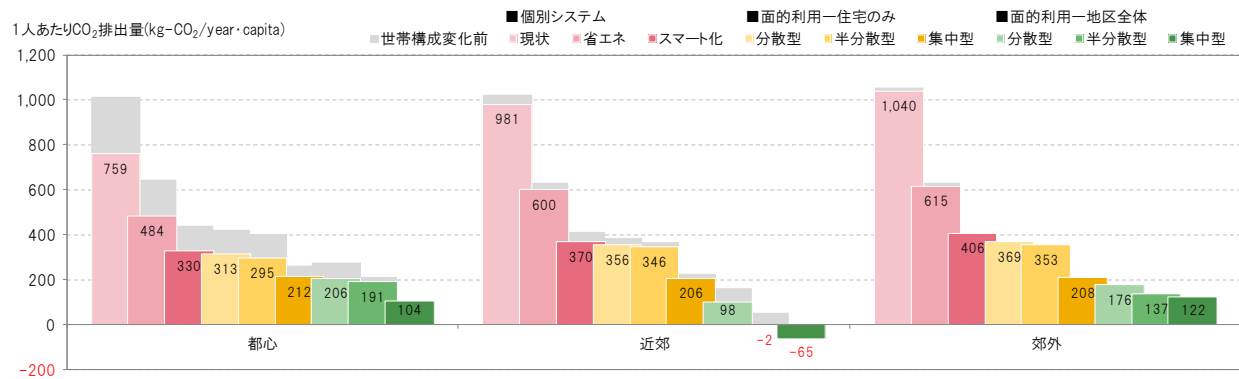
世帯属性ごとの比較（図(1)-10）では、世帯人員が多い方が照明や冷暖房など共有して使用できる機器が多いことから、1人あたりのエネルギー消費量は大幅に削減できることが明らかとなった。また、同様の世帯人員であっても、生活スタイルが異なることでCO₂排出量は変化することが明らかとなった。例えば、共働き夫婦であれば日中住宅を空けることから冷暖房機器等の使用が削減できる一方、高齢者世帯では日中のエネルギー消費量が多い。同様に、時間帯別のエネルギー消費量も大幅に異なることから、これらのデータベースを需要原単位として用いることで、地区内でのエネルギー融通等についても詳細な分析が可能となる。



図(1)-10 世帯類型ごとの世帯あたりCO₂排出量

同様のモデルを用いて、ケーススタディ街区群3地区を対象に、エネルギーシステムの変化やライフスタイルの変化に伴うCO₂排出量削減効果の比較を行った。現状では都心、近郊、郊外でほとんどCO₂排出量に差がないが、住宅のスマート化を行う場合には郊外のほうが削減効果が大きいこ

と、さらに商業・業務とのエネルギー連携を図った場合には都心と近郊の削減効果が大きくなるなど、街区群の土地利用・世帯構成とシステムとの相互関係によって削減効果が大きい組み合わせが異なることが明らかとなった。さらに都心において単身世帯のシェアハウス居住、近郊において集合・戸建住宅のミスマッチ解消、郊外においてテレワーク導入を行った場合の分析(図(1)-11)では、シェアハウス化やミスマッチ解消のCO₂削減効果が大きい一方、テレワーク導入においては電気自動車普及後にはかえってCO₂排出量が増大する懸念があることが明らかとなった。

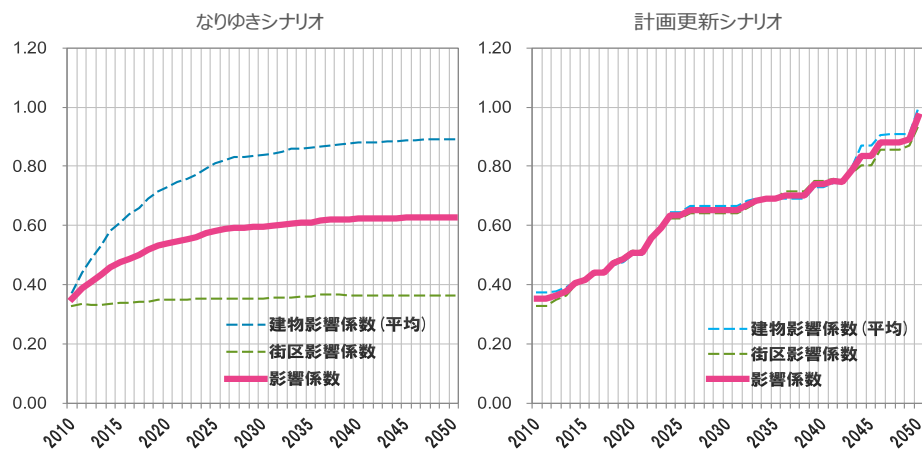


図(1)-11 居住地によるテレワーク、ネットショッピング導入によるCO₂排出量の変化

2) 社会的寿命を考慮した建物更新シミュレーションの構築

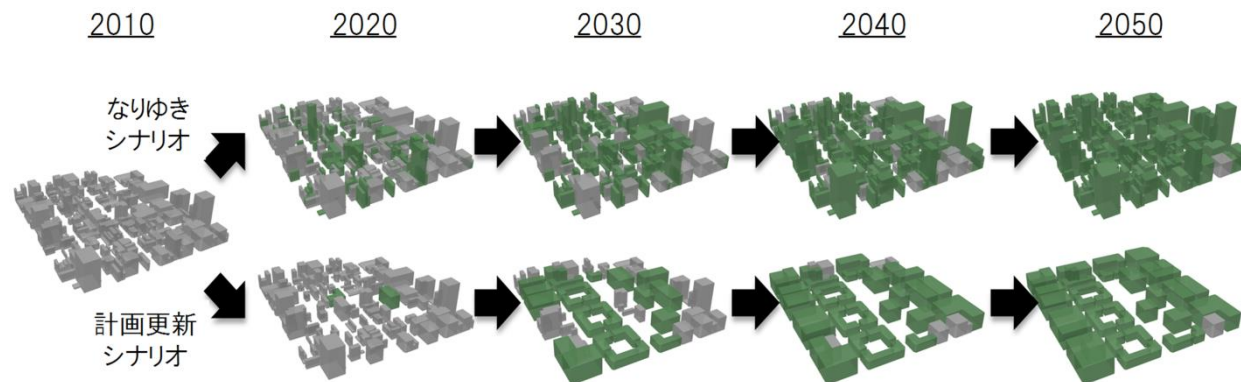
社会的寿命と1年単位の建物滅失率を考慮した建物更新シミュレーションを構築し、都心のケーススタディ街区群における2つのケース（建築物のみが更新される場合と街区群全体で低炭素まちづくりを進める場合）について、建築物寿命とそれによる資源消費量変化を把握した。

それぞれのケースにおける寿命への影響係数（0～1）の変化を図(1)-12に示す。新築建物の性能は向上すると想定しているため、どちらのケースも寿命は増加する。しかし、なりゆきの場合、建築性能は向上しても、周辺環境は変化しないことから、2050年においても実際の寿命は物理的寿命の6割程度であることが予測された。その一方、計画的に低炭素まちづくりを進める場合には、オープンスペースや防災機能が街区群全体で向上することから、個々の建物の寿命は物理的寿命に漸近することが明らかとなった。

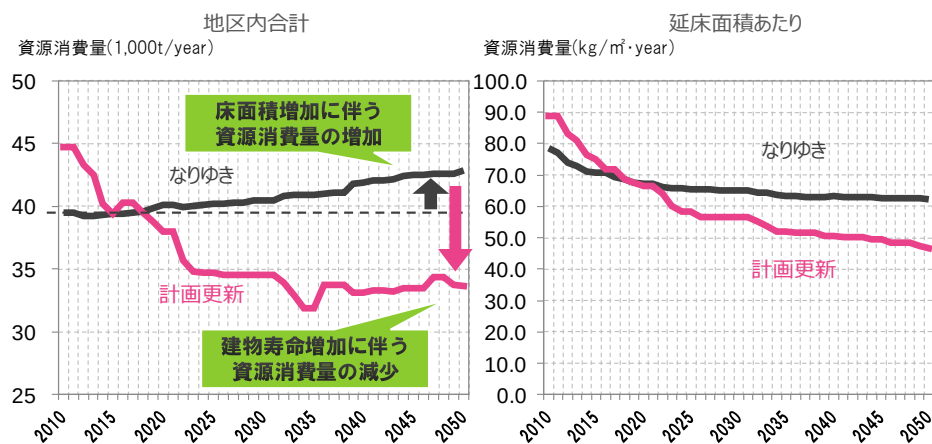


図(1)-12 社会的寿命への影響係数の変化

建物シミュレーションの結果を図(1)-13に、建物の建設・維持管理・廃棄に必要な資源消費量の推移を図(1)-14に示す。なりゆきのままでは、建て替えとそれによる容積率増加により、建物高さがこれまで以上に乱雑になるが、計画更新を行った場合には容積率のコントロールや共同更新により調和の高い市街地が形成される可能性がある。また、1年あたりの総資源消費量はなりゆきのままでは床面積増加に伴い増加する可能性がある一方、計画更新では建物寿命が延長するため1年あたりの資源消費量は低下する。以上により都市計画的な規制が建物寿命を延長させ、建設にかかる資源消費とCO₂排出量を減少させる可能性があることが明らかとなった。



図(1)-13 建物更新シミュレーション結果（長者町地区、10年間隔での表示例）



図(1)-14 資源消費量の変化（左：総資源消費量、右：延床面積あたり消費量）

3）沿道環境と断面構成を考慮した交通機関分担率の予測モデル構築

名古屋都市圏の居住者（1,000サンプル）へのアンケート調査をもとに、交通手段（群）ごとの分担率曲線を、各説明変数を含んだロジットモデルを仮定した上で、最尤法を用いて推定した。

パラメータの推定結果を表(1)-8に示す。徒歩での最大移動距離を増加するためには、沿道に立ち寄れる場所（飲食店や公園など）の配置、街路樹の増加および樹冠の拡大、歩道の整備が効果的であることが明らかとなった。また、自転車の最大移動距離は、自転車道の設置や電動アシストの普及等、自転車の利便性向上による施策のほか、カーシェアリングの普及によっても増加が期待できる、鉄道やバスの利用についてはサービスレベル向上のほか、駅やバス停までの距離が大きく利用距離に影響しており、バス停の再配置や、駅周辺への居住地の集積（駅そば居住）が公共交通利用増加に大きく寄与することが明らかとなった。

表(1)-8 交通機関分担率予測モデルのパラメータの推定結果

(1) 徒歩／自転車・自動車・公共交通				
	変数	パラメータ	t値	徒歩の平均限界トリップ長との関係
①	歩道幅(m)	1.22.E-01	2.90	+240m/歩道幅1m整備
②	沿道風景(%)	6.31.E-03	4.42	+120m/立ち寄れる場所整備0%→10%
③	緑(街路樹)の広がり(%)	5.66.E-03	3.59	+110m/街路樹整備0%→10%
④	坂道の多さ(m)	-1.17.E-02	-3.66	-230m/高低差10m
⑤	目的地までの距離(km)	-5.14.E-01	-23.0	—
⑥	徒歩(固有変数)	7.66.E-01	5.75	—

(2) 徒歩・自転車／自動車・公共交通				
	変数	パラメータ	t値	徒歩・自転車の平均限界トリップ長との関係
①	自転車道の設置状況(dummy)	0.437	7.79	+1.5km/自転車道の設置
②	坂道の多さ(m)	0.0187	-6.66	-670m/高低差10m
③	自転車の性能(%)	0.738	6.56	+2.6km/電動アシスト率50%
④	自動車の利用方法(dummy)	-0.101	-8.24	-360m/自家用車を自由に利用可能
⑤	目的地までの距離(km)	-0.279	-20.2	—
⑥	徒歩・自転車(固有変数)	0.907	8.87	—

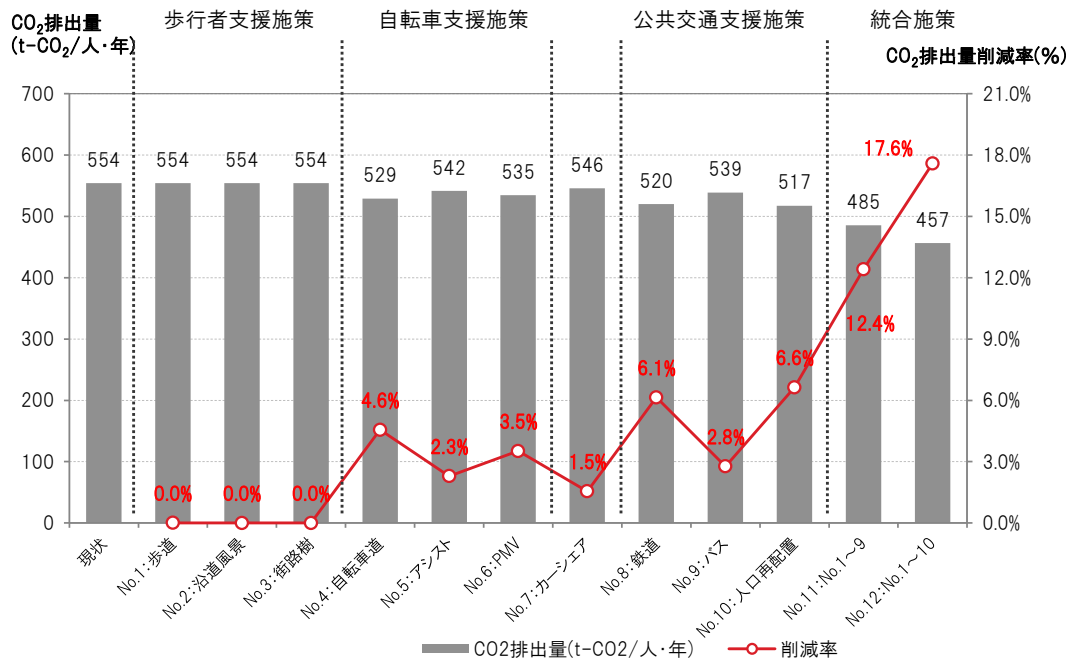
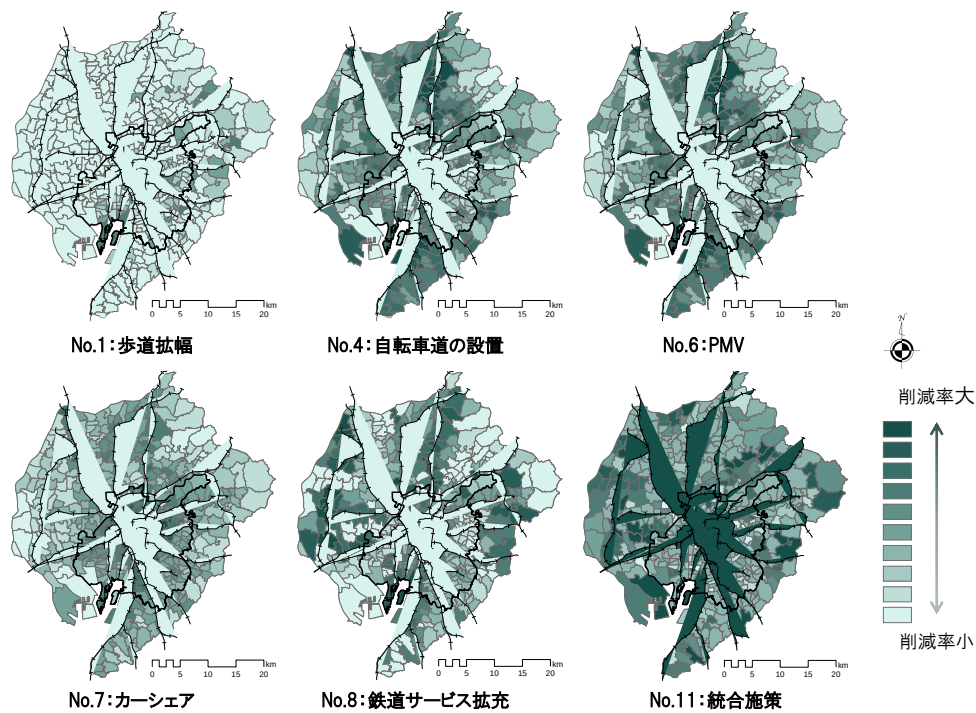
(3) 徒歩・自転車・自動車／公共交通				
	変数	パラメータ	t値	公共交通の平均利用開始トリップ長*との関係
①	自動車の利用方法(dummy)	-0.142	-11.6	+3.4km/自家用車を自由に利用
②	最寄りの公共交通機関(鉄道dummy)	0.176	3.14	-4.3km/最寄りの公共交通が鉄道
③	最寄りの公共交通のサービス水準(分)	-0.0580	-10.3	-1.4km/待ち時間1分短縮
④	最寄りの公共交通機関までの距離(km)	-0.455	-12.1	+11km/1km遠くなる
⑤	目的地までの距離(km)	0.0413	3.46	—
⑥	公共交通(固有変数)	0.0251	0.22	—

(4) 公共交通選択時における端末交通手段(徒歩・自転車/自動車)				
	変数	パラメータ	t値	徒歩・自転車の平均限界トリップ長との関係
①	歩きやすさ	0.0635	1.52	+80m/歩道幅1m整備
②	自転車の利用しやすさ	0.0857	1.38	+110m/自転車道の設置
③	坂道の多さ	-0.0238	-7.57	-310m/高低差10m
④	コミュニティサイクルシェア	0.111	1.78	+140m/コミュニティサイクルを利用可能
⑤	最寄りの公共交通機関までの距離	-0.779	-33.8	—
⑥	徒歩・自転車(固有変数)	2.45	22.7	—

構築したモデルを用いて、名古屋都市圏を対象に各施策の分析を行った結果を図(1)-15に示す。

歩行者支援に関する施策では、徒歩によるトリップ数が微増するものの、徒歩トリップの距離が短いこと、多くが自転車からの転換となることから、CO₂排出量への影響は小さい。一方、自転車支援施策（自転車道整備やアシスト自転車の普及等）を実施した場合では、最大4.6%の削減可能性が期待できる。これは、自転車の利用距離増加が自動車の代替を促すことによるものである。これらの地区交通施策を組み合わせることで12.4%、更に人口再配置（駅そば居住）を実施することで最大17.6%の交通起源CO₂排出量削減が期待できる。

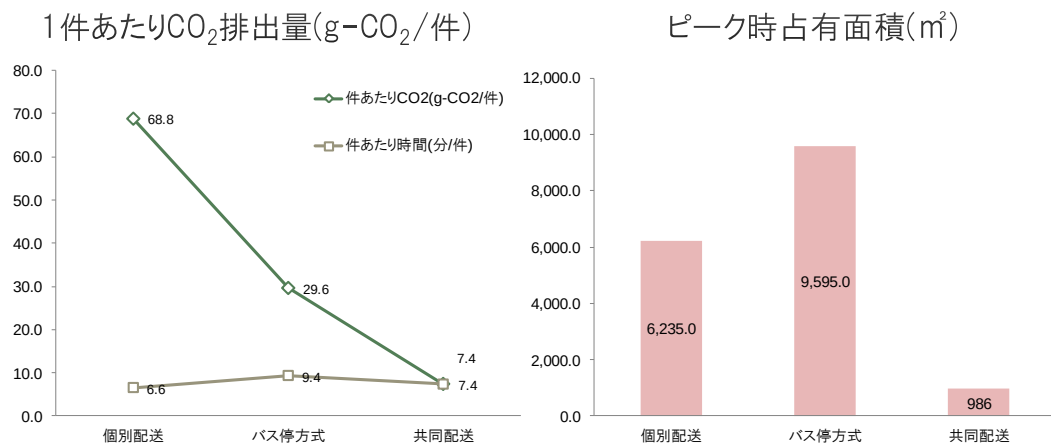
上記施策を街区群単位で実施した場合の感度分析結果を図(1)-16に示す。徒歩やカーシェアを導入した場合においては都心のほうが、鉄道サービス向上では鉄道沿線が、自転車では鉄道沿線や郊外のCO₂削減効果が大きい。同じ施策量でも、各街区群の立地や、現在のトリップ特性（トリップ長分布）により施策効果が異なり、街区群の特性に合った街区群レベルでの交通施策実施により、交通起源CO₂削減に効果的なデザインが検討できる。

図(1)-15 各交通施策の実施によるCO₂排出量削減効果図(1)-16 各交通施策の実施による街区群別CO₂排出量削減効果

上記の旅客交通に加えて、特に都心において影響の大きい地区物流交通についても、空間構造や配送方式による物流起源CO₂排出量、所要時間、路上占有面積の施策評価を実施した。

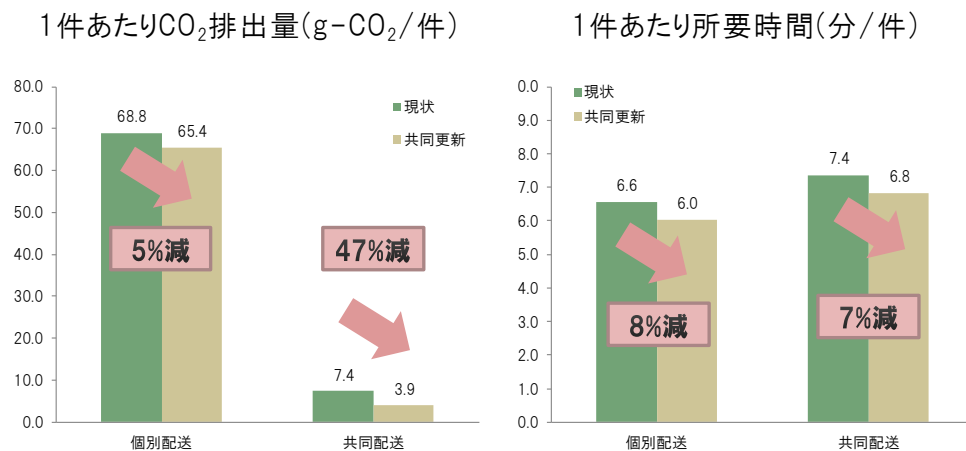
まず、都心のケーススタディ街区群を対象に現状の物流システムと同様に事業所単位でトラックによる荷物配送（ストップ・アンド・ゴー）を行った場合、CO₂排出量は68.8g-CO₂/件、ピーク

時の物流車両による道路占有面積は6,000㎡程度となった（図(1)-17）。これに対して、配送方式を変更した場合、バス停方式（あらかじめ貨物車を止める場所を決め、台車で配送する方式）では、CO₂排出量減少と路上占有面積増加、共同配送（地区内の1か所に異なる配送業者同士の荷物を集約し、自転車等で一括に配送する方式）では、CO₂排出量の大幅減少に加え路上面積減少が期待できることが明らかとなった。物流車両による路上占有面積が減少すれば、歩道やオープンスペース整備用地を確保することが可能となり、合わせて旅客交通の減少も期待できる。



図(1)-17 配送方式の違いによるCO₂排出量・ピーク時占有面積の違い

街区群の空間構成による影響（図(1)-18）では、現状のとおり個々の建物で業種が決まっている場合においては、高い建物が増加するほどエレベーター使用によるCO₂排出量や所要時間増加が懸念される。しかし、建物の共同化と用途複合化により下層階に業務・商業用途を集約することが可能となれば、エレベーター利用の削減によりCO₂排出量と所要時間ともに削減することが可能となる。以上により、街区群内における立体的な用途配置が物流交通によるCO₂排出量にも影響を与え、低炭素な物流方式も効率性と低炭素性を支援することが明らかとなった。



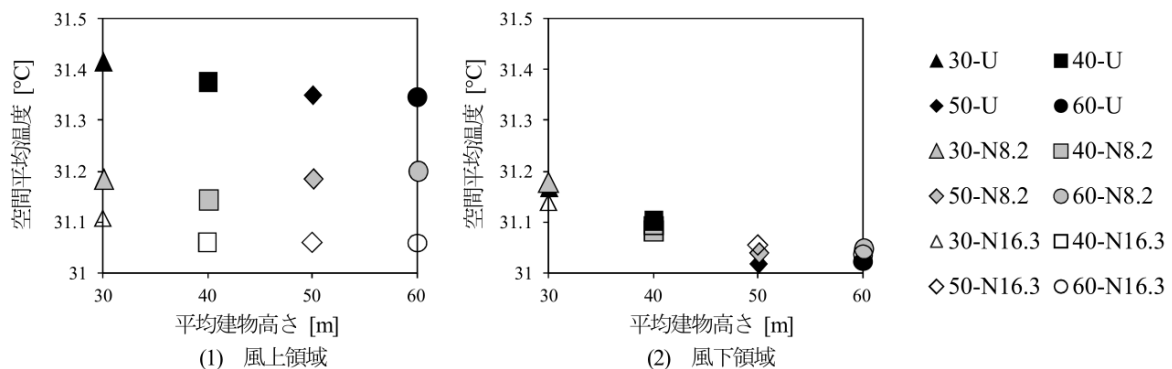
図(1)-18 空間構成の違いによるCO₂排出量・所要時間の違い

4) 「鉛直の風の道」による暑熱環境シミュレーションの構築

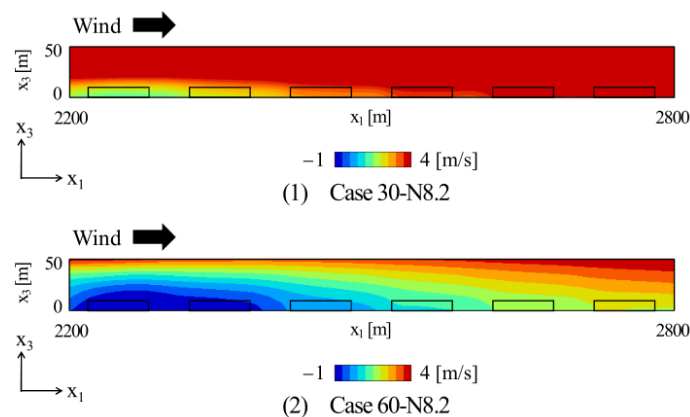
「鉛直の風の道」による夏季屋外気温改善効果を明らかにするため、先行ケーススタディ地区を対象に、建物の鉛直方向のデザイン（平均高さとはらつき）および排熱方法による屋外気温の挙動変化について検討を行った。

平均高さとはらつきを変化させた場合における居住域（高さ2.5m以下）の空間平均温度を図(1)-19に示す。風上領域では、同じ平均建物高さの場合、建物高さの凸凹度合が大きくなるほど温度が低下し、凸凹度合の差が最大となる-N16.3のケースと-Uのケースを比較すると、その差は平均建物高さ30m、40m、50m、60mにおいてそれぞれ0.31℃、0.32℃、0.29℃、0.29℃である。この結果から、平均建物高さの違いが及ぼす影響は小さく、その凸凹度合が大きいほど屋外気温の改善効果は大きいことが明らかとなった。

風下領域では、全体的に風上領域の平均建物高さが高くなるほど温度が低下している。風上領域の結果とは逆に、建物高さの凸凹度合よりも平均建物高さの影響が大きい。これは、個々の建物の影響よりも風上領域全体の影響を大きく受けるためである。図(1)-20は、Case 30-N8.2とCase 60-N8.2における風下領域の主流方向平均風速成分の鉛直分布（高さ8.75 m）を示したものである。両者を比較すると、平均建物高さが大きいCase 60-N8.2ではCase 30-N8.2に比べて、風速が負となる循環流域がより後方に拡大している。風上領域全体の平均建物高さが高くなると居住域よりも大きな循環流域が形成されるため、地表面からの熱が居住域上空へ排出されることから、風下領域の居住域平均温度が低くなるメカニズムとなっている。

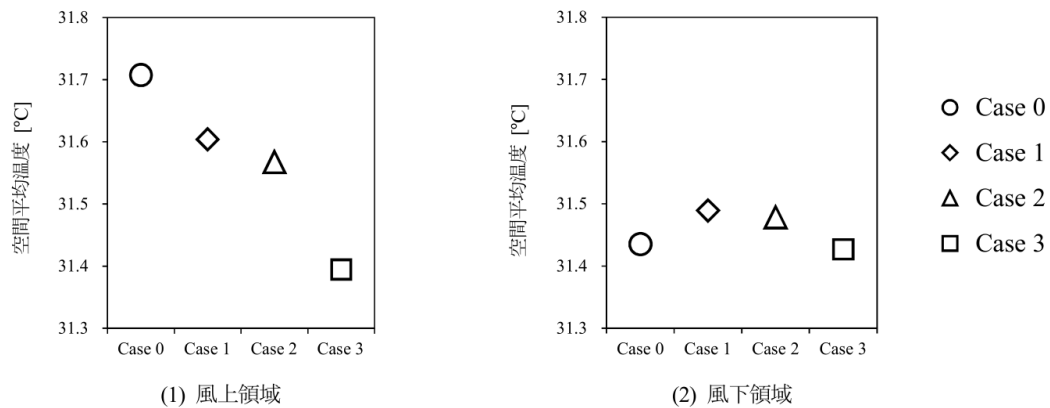


図(1)-19 居住域平均温度

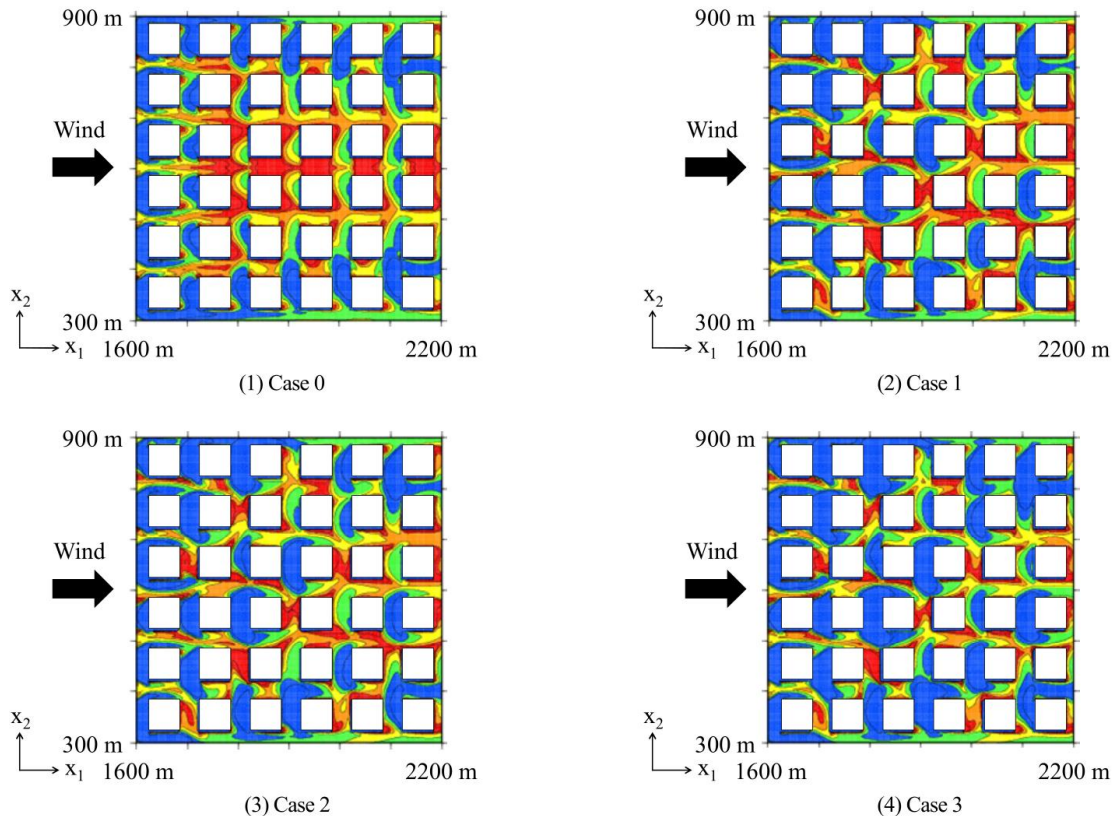


図(1)-20 風下領域における主流方向平均風速成分の鉛直分布（主流横断方向中心位置）

人工排熱位置による居住域（高さ2.5m以下）の空間平均温度を図(1)-21に示す。人工排熱位置による影響では、3種類（高さ20 m、30 m、40 m）の街区ブロックモデルから同じ人工排熱（420 W/m²）を排出しているCase1と、各街区ブロックモデルの容積に応じて人工排熱量を変化させたCase2の差は小さく、0.04℃の温度差である。一方、人工排熱を1番高い街区ブロックモデル（高さ40 m）の屋上面に集約したCase3の結果は、Case1、Case2よりも温度が低く、Case1との温度差は0.21℃である。人工排熱をより高い位置から排出することが居住域の温熱環境改善に効果的である。これは、地区内に将来的に地域エネルギーセンター等を整備する場合において、より高層の部分への設置がヒートアイランド現象の緩和に寄与することを示唆している（図(1)-22）。



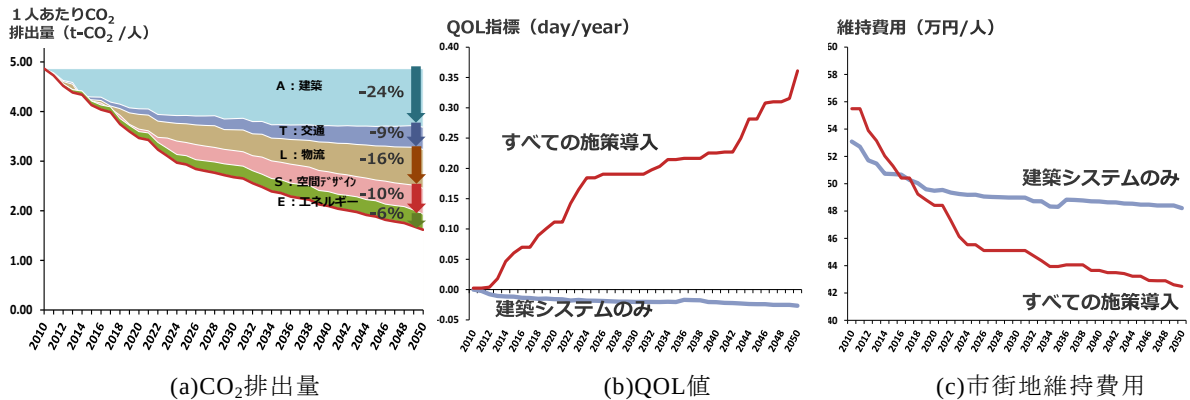
図(1)-21 居住域平均温度



図(1)-22 風上領域における温度の水平分布（高さ1.825 m）

図(1)-23 長者町地区における施策パッケージ

図(1)-24に提案した施策パッケージを導入した場合におけるトリプルボトムラインの評価結果を示す。建築物に対する単体技術のみを導入した場合、対象地域では商業・業務の割合が大きいことから、CO₂排出量は24%減にとどまる。しかし、街区全体での施策パッケージの導入を行った場合、全体で65%の削減が期待できる。特に空間デザインの変更に伴う削減については、直接的な建物のエネルギー消費で10%削減できるほか、前述のとおり交通や物流等にも影響しているため、建て替えのコントロールによる削減効果は小さくない。また、QOL値については、なりゆきのままでは建物の高層化、乱雑化により低下する懸念がある一方、計画的な更新を進めれば現状より大幅に改善が期待できる。また、市街地維持費用についてもなりゆきよりも削減効果は大きい。

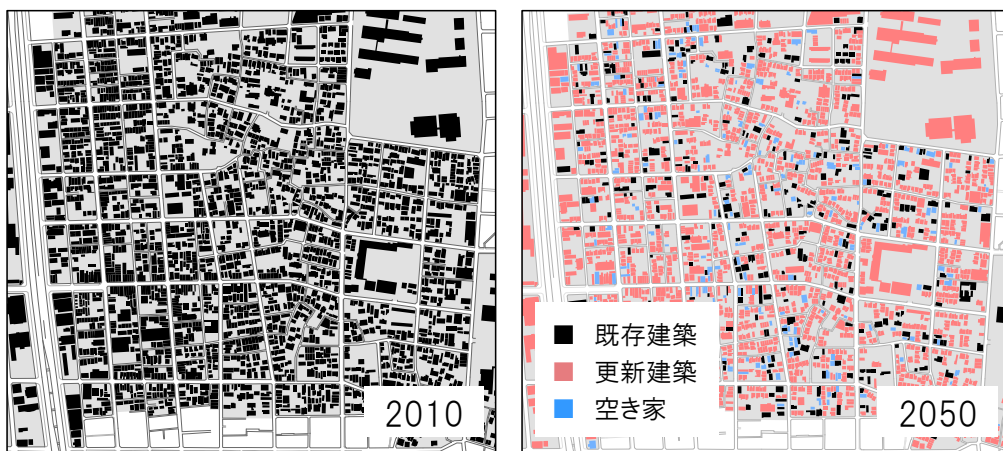


図(1)-24 長者町地区におけるトリプルボトムライン評価結果

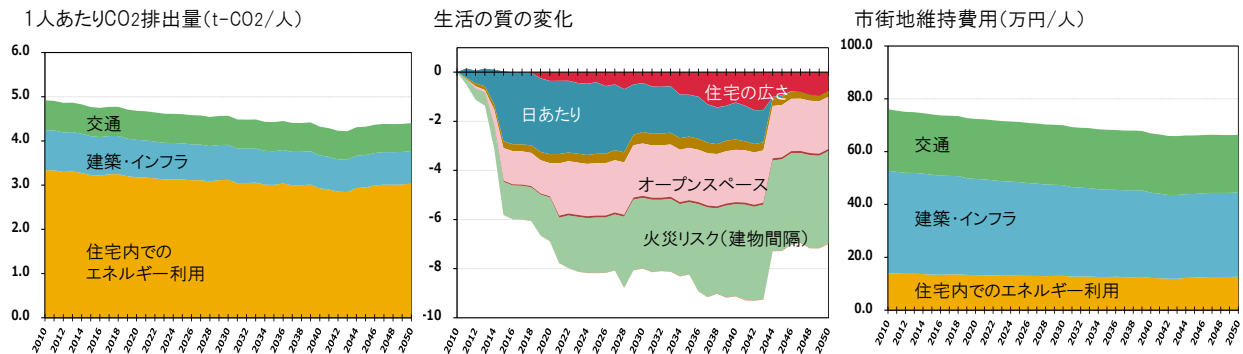
2) 近郊街区群（御劔地区）における施策検討と提案

木造戸建て密集地である近郊街区群（御劔地区）においては、なりゆきのまま市街地が変化する場合における課題の抽出と、その対応策導入による効果、さらには技術導入と空間デザインの相互効果を検討した。

なりゆきのまま建物更新が進んだ場合における街区群の変化を図(1)-25に、トリプルボトムライン指標値の推移を図(1)-26に示す。なりゆきのまま建物更新が進んだ場合、ミニ開発による建て詰まりと空き家の増加により、火災リスクの増加やオープンスペース、陽当たりが低下し、現在よりもQOL値が低下する懸念がある。一方、CO₂排出量や費用は微減する。

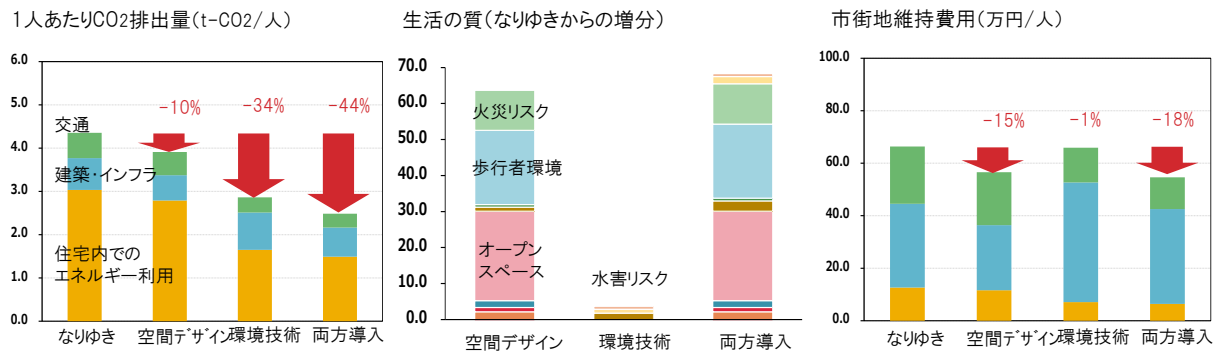


図(1)-25 なりゆきシナリオにおける御劔地区の市街地変化



図(1)-26 なりゆきシナリオにおける御劔地区のトリプルボトムライン評価結果（2010～2050年）

導入する低炭素施策として環境技術のみ（住宅設備、エネルギー融通および工場排熱利用）を積極導入した場合（図(1)-27）、CO₂排出量は34%減少するものの、QOLはほとんど変化しない。市街地維持費用についてもエネルギー消費量の削減分の費用が設備投資分と相殺するため、ほぼ変化しない。一方で、空間デザインに関する施策を導入した（空き家減失、住宅ミスマッチ解消、オープンスペース集約化、交通対策）を講じた場合にはCO₂排出量は10%程度の減少にとどまるものの、QOLの増加や費用削減が期待できる。CO₂排出量が低いだけでなく、魅力が高く、維持費用のかからない市街地形成には空間デザインの再編が必要不可欠であり、今後、全国各地で増加する空き家発生地区では、空き家や駐車場の管理による低未利用地の有効利用がQOL向上だけでなく、ヒートアイランド現象緩和や旅客交通のグリーン化に有効であることが明らかとなった。

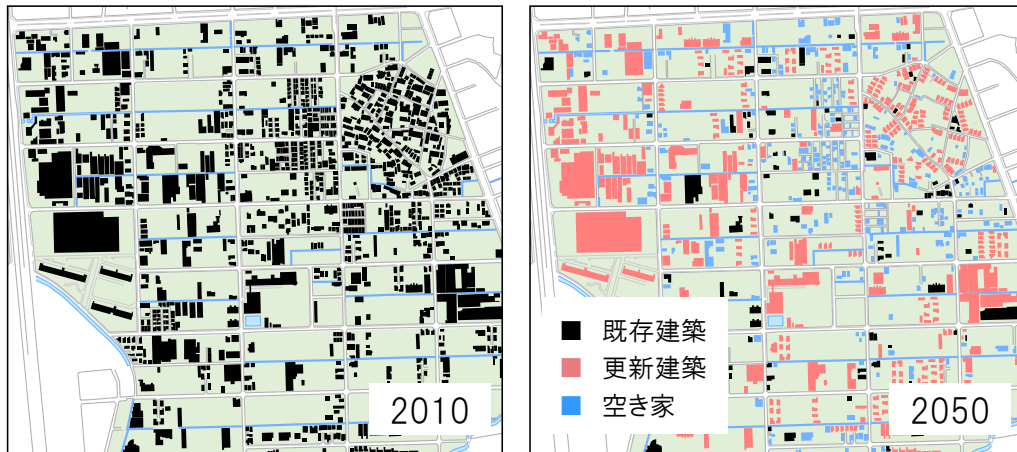


図(1)-27 対策導入時のトリプルボトムライン評価結果（御劔地区、2050年次）

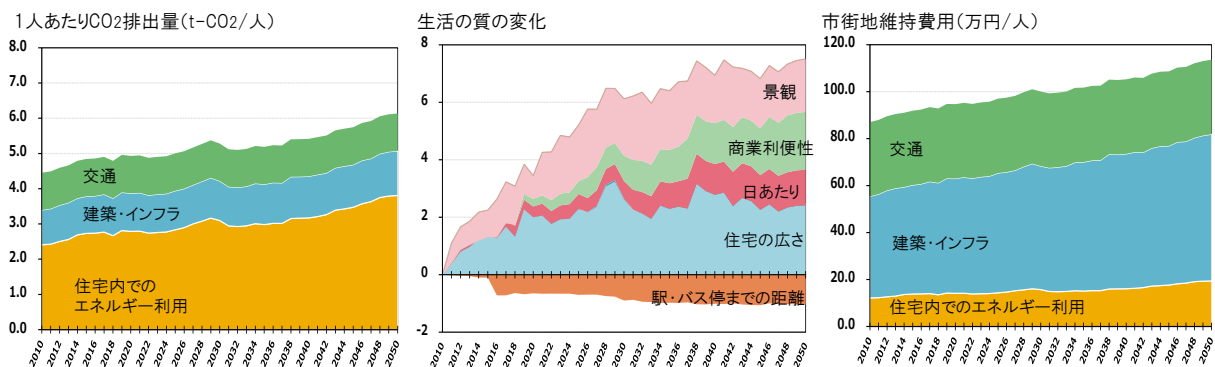
3）郊外街区群（豊山地区）における施策検討と提案

農地転用により市街地が拡散してきた郊外地区（豊山地区）においては、なりゆきのまま市街地が変化する場合における課題の抽出と、土地利用再編方針による効果の違いを検討した。

なりゆきのまま建物更新が進んだ場合における街区群の変化を図(1)-28に、トリプルボトムライン指標値の推移を図(1)-29に示す。なりゆきのまま建物更新が進んだ場合、農地転用が外側に広がる一方でスプロール初期の市街地が空き家化することから、現在よりも市街地がまだらに拡散する可能性がある。これによりQOL値は増加する可能性がある一方で、CO₂排出量、市街地維持費用は1人あたりのインフラ維持管理増加等によりともに30%以上増加することが明らかとなった。

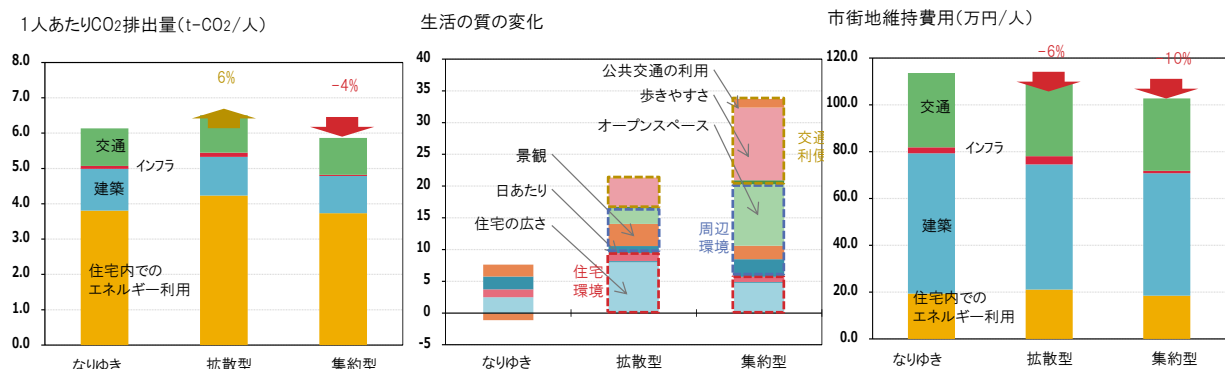


図(1)-28 なりゆきシナリオにおける豊山地区の市街地変化



図(1)-29 なりゆきシナリオにおける御劔地区のトリプルボトムライン評価結果（2010～2050年）

施策分析として広い敷地を持つ住宅を展開した場合（拡散型）と、建て替えに応じて徐々に住宅立地地区を集約した場合（集約型）の比較分析（図(1)-30）を行った。その結果、QOL値はどちらも向上するが、拡散型では住宅の快適性が、集約型では周辺環境の快適性と交通の利便性が増加した。また、CO₂排出量や市街地維持費用は集約型では減少し、拡散型では増加することが明らかとなった。さらに、近隣の卸売市場からの廃棄物を発電利用した場合についても検討を行った結果、拡散型と集約型でCO₂排出量と費用の削減効果に5%程度の差があることが明らかとなった。地域エネルギー導入にはインフラネットワークの追加的な整備が必要である。郊外地区においては、これらの導入には地区内での小さな土地利用集約が必要不可欠であることが示唆された。



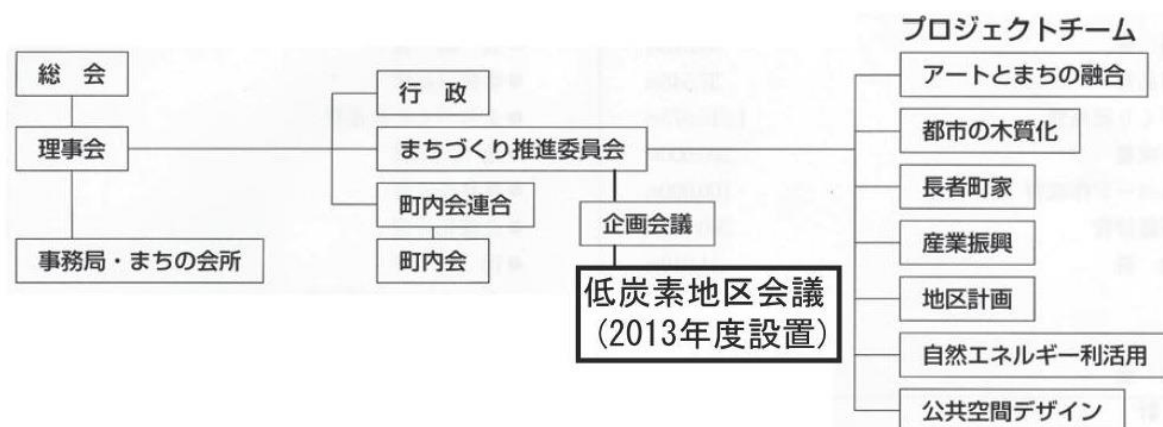
図(1)-30 土地利用転換後のトリプルボトムライン評価結果（豊山地区、2050年次）

（４）低炭素街区群の社会実装

社会実装のアプローチでは、名古屋市中区錦二丁目長者町の低炭素地区会議（図(1)-31）の支援を通じて、普及のための課題と合意形成のための方法論について検討を行った。特に25年度は、名古屋市の「低炭素モデル地区」への応募準備等を念頭に、先進事例の情報提供と議論、理念や方法の共有のためのチラシ作成、取り組み検討支援を行った。

情報提供では、米国オレゴン州ポートランド市のEcoDistrictsや長久手市公園西駅環境配慮型まちづくり基本計画の勉強と討論を通じて「低炭素地区」の理念や手法を共有した。さらに「低炭素地区」の理念や手法理解を深めるために、「安全なまちを”しなやかに”つくる：錦二丁目のレジリエントな低炭素地区への取り組み」と題するチラシ（図(1)-32）を作成し、錦二丁目長者町で既に展開されている「低炭素」に関わる取り組み（都市の木質化プロジェクト：山林と都市をつなぐ木質化推進・公的空間活用と憩いの空間創出、自然エネルギーの街なか利活用推進、長者町マルシェ構想：地産地消と安全野菜、おもてなしベンチプロジェクト：長者町ビジターセンター設置、長者町ハニカム計画＋ビル屋上の木質化、公共空間デザインプロジェクト：自動車中心から歩行者中心へ・通りの再整備イメージ）を掲載した。

名古屋市の「低炭素モデル地区」への応募準備のための取り組み検討では、応募要項に沿って、駅そば生活、くるま、すまい（住宅・建築物）、地域エネルギー、風水緑陰の5分野の環境技術を含む取り組み内容を検討し、その取り組み数に基づくスコアシートを作成した。なお、取り組み内容は、公共空間を舞台とする小さなプロジェクトや再開発事業への期待（住宅、各種施設）といった錦二丁目長者町のまちづくりの範囲（16街区）からの要請と、再開発事業としてのスキームや再開発事業のまちへの貢献といった錦二丁目7番街区市街地再開発準備組合（2013年1月設立）の範囲からの要請を統合化するものと理解されている。これらの取り組みを通じて、今後、低炭素まちづくりを広く進めていくためには、1)低炭素まちづくり推進への理解と賛同（「低炭素」という分かりにくい用語の言い換え）、2)総合的なまちづくりの中での「低炭素」の位置づけ、3)取り組みのモニタリング（まちづくり目標達成指標の見える化）、4)担い手の育成（特に次世代を担う若者の参加とアクション）、5)二酸化炭素排出量の定量化等が課題であることが明らかとなった。



図(1)-31 作成したチラシと案内文

安心なまちを“しなやかに”つくる 錦二丁目のレジリエントな低炭素地区への取り組み NISHIKI 2 IN TRANSITION TOWARD A RESILIENT COMMUNITY

錦二丁目まちづくり協議会 低炭素地区会議

このご案内は、錦二丁目が始まった「安心なまちを“しなやかに”つくる」いくつかのプロジェクトを紹介し、錦二丁目における今後の「低炭素地区」の形成に向けた取り組みの方向性を示すものです。

「長者町」の名で知られる繊維問屋街を中心とする名古屋市中区錦二丁目では、錦二丁目まちづくり協議会が、2011年4月に策定した「これからの錦二丁目長者町まちづくり構想（マスタープラン）」（2011-2030）」の実現に向け、7つのプロジェクト（アートとまちの融合、都市の木質化、長者町家、産業振興、地区計画、自然エネルギー利活用、公共空間デザイン）を進めています。協議会内に2013年7月に設置された低炭素地区会議は、これら7つのプロジェクトを「低炭素」「レジリエンス（復元力・しなやかさ）」、「トランジション（転換）」といったキーワードで束ね、まちづくりの方向性をより明確にしながら、多主体の連携をさらに進め、まちづくり構想を強力に推進するものです。

2011年12月に名古屋市が策定した「低炭素都市なご戦略実行計画」の重点施策の1つに「風土を生かした『低炭素モデル地区』の形成」があり、錦二丁目が始まっているプロジェクトのねらいと合致します。錦二丁目のような既成市街地では、スクラップ＆ビルドの大規模都市開発とは異なり、できることを少しずつ実行しながら街のハード及びソフトの環境をしなやかに転換していくアプローチが重要です。ここで大事にしたいのは、「自然環境との共生」と「生活文化の継承」で、これは、まちづくり構想の方針の1つである「つながり共生文化」を具体化することでもあります。

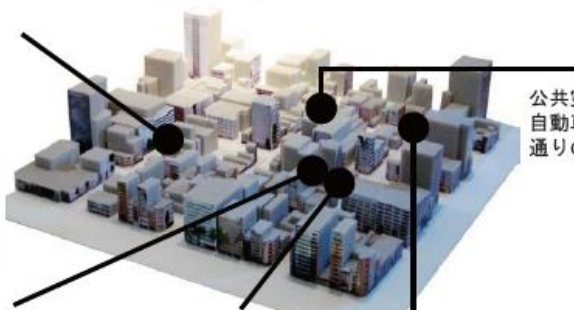
【マスタープランと低炭素地区構想の関連】



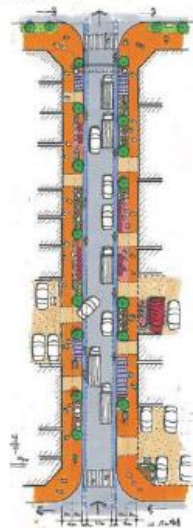
【マスタープランと低炭素地区構想の関連】



都市の木質化プロジェクト 山林と都市をつなぐ木質化推進 公的空間活用と憩いの空間創出



公共空間デザインプロジェクト 自動車中心から歩行者中心へ 通りの再整備イメージ



自然エネルギーの 街なか利活用推進



長者町マルシェ構想 地産地消と安心野菜



おもてなしベンチproject 長者町ビジターセンター設置



長者町ハニカム計画 +ビル屋上の木質化



錦二丁目まちづくり協議会

〒460-0003 名古屋市中区錦2-13-1 宮本ビル4F 「まちの会所」
Tel/Fax 052-201-9878 <http://www.kin2machi.com/>

図(1)-32 作成したチラシと案内文

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

- 1) これまで世界各国で開発されてきた環境アセスメントツール（7システム）について、その適用性と特性、限界について横断的なcritical reviewを行った。ツールごとの特性と限界を明確化することで、今後のアセスメントツール開発課題や既存ツールの望ましい活用方法について、研究者や実務者の参考となる情報提供を行った。
- 2) 既成市街地を長期的な低炭素化目標（Backcasting）に向かって、時系列的に（Transition）再構築するための環境性能評価システムを構築した。これは従来国内外で開発されてきた再開発事業を対象とした環境アセスメントツールよりも、既成市街地を対象とした事業への適用可能性が高い。また、街区群単位での立体的な空間デザインやそれを規定する都市計画的手法、建物内のエネルギー利用だけでなく、風の道や居住者の交通行動、物流交通など街区群の活動全体に影響を及ぼす仕組みを明らかにした。
- 3) 「鉛直方向の風の道」は夏季の暑熱環境緩和策の1つとして注目を集めているが、その効果的な導入方法や気温低減量に関して十分な知見はなかった。本研究は、特に街区の空間構成の違いによる温熱環境改善効果への影響を定量的に明らかにしたものであり、低炭素性にも配慮したヒートアイランド現象の解決策として都市計画的手法が提案できる。
- 4) これまで住民が中心となったまちづくりにおいては、長期的な将来像を対象としたものや、「低炭素」という直接的な影響が伝わりづらいものは取り上げられづかった。本研究では「低炭素」をテーマとして地区レベルでの長期的な将来像と取り組みを住民参加で検討することに成功しており、さらなる展開のための課題抽出も行っている。これは、今後の環境まちづくりに対する新たな展開の可能性を示すものであり、先進性が高い。
- 5) 時系列的なデザイン変化とその環境評価を複数の街区群で実施した研究はほかに類を見ない。メソスケールでの解析を行ったことから、これまでの都市計画研究では見えてこなかった詳細な将来市街地変化やそのリスク、望ましい対策効果を明らかにできた。具体的には以下のような知見があげられる。
 - ① 都心地区では、敷地の再統合が行われなかった場合、開発圧力が高まることで建物高さのバラつき、駐車場の増加などにより居住性が大幅に低下する。対応策として、複数建物での用途混在型更新を進め、敷地内を工夫することの建物配置がQOL向上とCO₂排出量削減に効果的である。
 - ② 近郊地区においては、人口増加期と建物滅失期のずれにより、低未利用地が増加する一方、火災リスク増加や緑地減少が発生し、土地利用のミスマッチが生じる。対応策として、計画的な空家除却と低未利用地の集約化が、QOL向上とCO₂排出量削減、費用削減に効果的である。また、人口密度を高密に保つことで、工場排熱などの未利用エネルギー活用も効率的となる。
 - ③ 郊外地区においては、農地転用が進む一方でスプロール初期の地区が低利用化し、インフラ維持更新によるCO₂排出量と市街地維持費用増加が懸念される。この対策には、建て替えを利用した地区レベルでのコンパクト化がQOL向上とCO₂排出量削減に効果的である。また居住地区の集約化はEMS導入時の採算性向上に必要不可欠である。

（２）環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

- 1) 国土交通省が実施する「まち・住まい・交通の創蓄省エネルギー化モデル構築支援事業」において研究代表者がアドバイザーを務め、本研究の知見を活かした提案を行った。具体的には、薩摩川内市や柳川市において環境配慮型の公共交通やスマートグリッド実証等に関する助言や提案を行い、構想に反映した。
- 2) 名古屋市が2011年に策定した「低炭素都市なごや戦略実行計画」の検討に研究代表者および研究分担者が委員・部会メンバーとして加わり、本研究成果をもとに、都市構造変更、既成市街地を対象とした低炭素モデル、交通システムの低炭素化について提案し、事業計画に盛り込んだ。
- 3) 「低炭素都市なごや戦略実行計画」の主要事業である「低炭素モデル地区」の公募要領策定において、研究代表者が委員を務めた。さらに、本研究成果をもとに、対象事業を用途混合型とすること、事業周辺地区との調和、CO₂削減目標値などについて助言し、要領に反映した。また、モデル地区選定に、本研究で開発したシステムを一部活用する。
- 4) 自治体職員を対象に本研究の成果をもとにしたセミナーを実施し、低炭素まちづくりにおいて地方行政担当者の理解促進に努めた。環境部局だけでなく、健康や教育、都市計画、財政局等の職員も対象とし、横断型施策の必要性、他分野への波及効果等について部局相互の理解醸成に努めた。なお、意見は職員へのアンケート結果により確認している。
- 5) 次世代の低炭素対応型都市田園計画制度のイメージを制度設計・運用に展開する際のポイントとして整理し、名古屋都市圏の多くの政策担当者が読む雑誌（アーバン・アドバンス）に掲載した。
- 6) 対象地域である名古屋市の行政各部局やUR都市機構からなる研究会を開催し、本研究の成果である街区群低炭素性能評価モデルとケーススタディ地区への適用結果を表現することで、将来の低炭素まちづくりに対する提案を示すとともに、今後の社会実装への展開を議論し、意識醸成と課題共有を図った。
- 7) 先行ケーススタディ地区の1つである錦二丁目長者町におけるまちづくりの実践の場で本研究による知見を紹介し、今後展開される街区再開発の検討の参考にしてもらうとともに、低炭素地区会議を発足支援し、低炭素まちづくりへの理解促進を図った。また、合わせて名古屋市の募集する「低炭素モデル地区」への応募準備を支援した。（応募はH26年度に行う予定である。）

以上の通り、ST1では、国、地方自治体、実務担当者、地元関係者それぞれに対して研究成果をもとにした政策支援を行った。それと同時に各関係者の意見を他関係者や研究内容にフィードバック、橋渡しするように努め、政策貢献のための大きな役割を担った。

<行政が活用することが見込まれる成果>

- 1) 本研究で開発された環境評価システムは汎用的なものであり、またケーススタディ結果についても一般化して整理を行っている。今後、他の地域において自治体や地域の関係者が低炭素まちづくりを展開していくうえで将来像やロードマップを検討する際に多様な地域

で活用が期待される。

- 2) 本STでは特にライフスタイル、暑熱環境、交通行動、建築更新と都市計画や空間デザインについての分析を行い、更にはそれらの知見を整理している。今後、人口減少社会における都市計画の見直しにおいて、これらの知見が行政担当者に活用されるものと考えられる。
- 3) 先行ケーススタディ地区（長者町）における低炭素まちづくりは、今後も引き続き支援を行い、他の低炭素まちづくりのモデルケースとなるよう今後も支援を行う予定である。その場合には、まだ事例の少ない成功例として、既成市街地における低炭素まちづくりの先進事例（ベスト・プラクティス）として他のまちづくりの参考となることが期待される。

6. 国際共同研究等の状況

- 1) 世界交通学会（World Conference on Transport Research Society：WCTRS、世界67か国約800名が在籍）において、研究分担者の林が会長、研究代表者の加藤がSpecial Interest Groups（SIGs）のうちF2 ”Transport and Environment”の共同議長を務めており、世界各国の低炭素まちづくりや低炭素交通の研究動向と課題について意見交換を行っている。今後も引き続き本研究成果や日本の取り組み状況をPRするとともに、知見や課題共有を進めていく予定である。
- 2) Neighborhood Certification Around the Globe: Challenges & Prospects（EcoDistricts Summitにおける国際パネルディスカッション、2012年10月25日、米国オレゴン州ポートランド）において、世界各国の低炭素まちづくりの実務者（下記参照）と課題や展開について議論を行った。これらのメンバーとは継続的に情報、意見交換を行っており、研究成果の国外へのPRと研究内容へのフィードバックを実施している。

《実施メンバー》

- Adam Beck, Exec. Director, Market Development & Sustainable Communities, Green Bldg Council of Australia, Sydney, Australia
 - Bert Gregory, FAIA, Chairman & CEO, Mithun, Seattle Washington and San Francisco, California
 - Akito Murayama, Associate Professor, Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, Nagoya, Japan
 - Helen Pineo, BREEAM Communities Manager, London , UK
 - Lisa Storer, SITES Program Coordinator, Austin Texas
 - Moderator: Eliot Allen, AICP, LEED AP-ND, Principal, Criterion Planners, Portland Oregon
- 3) ドイツのライプニッツ生態都市・地域開発研究所のStefanie Rößler博士、Clemens Deilmann教授、Stefan Dirlich博士との研究交流を行っている。2013年5月に研究分担者の村山が同研究所を訪問・情報交換、2013年10月の1E-1105国際会議にDirlich博士を招聘した。今後、国立環境研究所Global Carbon ProjectのAyyoob Sharifi博士を含め、共同研究を模索している。

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文(査読あり)>

- 1) Togawa T., Mimuro A., Kato H., Hayashi Y., Nishino S. and Takano T.: Journal of Society for Social Management Systems 2011, pp.362-369, (2011)
"Evaluation, Post-Disaster Reconstruction and Improvement Management from QOL Standards in Disasters"
- 2) Sharifi A., Nagata I., Murayama A.: Journal of International City Planning, pp.703-713, (2012)
"The potential of "CASBEE for urban development" for delivering sustainable communities: A case study from the "Koshigaya Lake Town" planning experience"
- 3) 戸川卓哉, 加藤博和, 林良嗣: 土木学会論文集D3(土木計画学), Vol.68, No.5, I_383-I_396 (2012)
「トリプルボトムライン指標に基づく小学校区単位の地域持続性評価」
- 4) Togawa T., Hayashi Y., Kato H., Morita H., Goto R.: General Proceedings of the 13th World Conference on Transport Research, USB(2404), (2013)
"An Evaluation Method for Smart Urban Quarters in Terms of QOL and CO₂ Efficiency"
- 5) Morita H., Sugimoto K., Kato H., Murayama A., Iizuka S., Shibahara N. and Hayashi Y.: CUPUM (Computers in Urban Planning and Urban Management), USB, (2013)
"Environmental Performance Evaluation of District Using 4D-GIS"
- 6) 森田紘圭, 金岡芳美, 加藤博和, 柴原尚希, 林良嗣: 土木学会論文集G(環境), Vol.69, No.5, pp.I_33-I_43, (2013)
「個人の生活スケジュールを考慮した低炭素技術導入によるCO₂排出量への影響分析」
- 7) 森田紘圭, 加藤博和, 村山顕人, 柴原尚希, 林良嗣: 都市計画論文集, Vol.48, No.3, pp.1071-1076, (2013)
「クオリティ・ストックの実現に向けた街区群の動学的更新・評価モデルの構築—名古屋市中区錦二丁目地区を対象として—」
- 8) 森田紘圭, 杉本賢二, 加藤博和, 村山顕人, 飯塚悟, 柴原尚希, 林良嗣: 土木学会論文集D3(土木計画学), Vol.69, No.5, pp.I_297-308 (2013)
「4D-GISを用いた地区統合環境性能評価モデルの構築」
- 9) Sharifi A. and Murayama A.: Building and Environment, vol.72, pp.243-258, (2014)
"Neighborhood Sustainability Assessment in Action: Cross-Evaluation of Three Assessment Systems and Their Cases from the US, the UK, and Japan",
<http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.11.006>
- 10) Sharifi A. and Murayama A.: Journal of Environmental Planning and Management, (2014)
"Viability of Using Global Standards for Neighbourhood Sustainability Assessment: Insights from a Comparative Case Study", <http://dx.doi.org/10.1080/09640568.2013.866077>

＜査読付論文に準ずる成果発表＞

特に記載すべき事項はない。

＜その他誌上発表（査読なし）＞

- 1) 村山顕人：アーバン・アドバンス，Vol.56，pp.12-19，（2011）
「名古屋における次世代の都市計画のイメージ」
- 2) 加藤博和，戸川卓哉，森田紘圭：日本LCA学会誌，Vol.8，No.3，pp.265-271，（2012）
「解説 都市・地域の持続可能性評価の方法論（特集：持続可能な世界へのLCAの貢献）」
- 3) 林良嗣，森田紘圭：不動産研究，Vol.55，No.3，pp.3-12，（2013）
「少子高齢化と気候変動に適応した都市空間の診断と実現戦略—クオリティ・ストック&スマート・シュリンク—」

（２）口頭発表（学会等）

- 1) 戸川卓哉，加藤博和，林良嗣：第44回土木計画学研究発表会（秋大会），岐阜大学，（2011）
「トリプルボトムラインに基づく小学校区単位の地域持続性評価」
- 2) 戸川卓哉，加藤博和：第7回日本LCA学会研究発表会，東京理科大学野田キャンパス，（2012）
「低炭素社会を実現する街区群再構築デザインの評価システム」
- 3) 戸川卓哉，杉本賢二，加藤博和，林良嗣：平成23年度土木学会中部支部研究発表会，信州大学長野キャンパス，（2012）
「低炭素技術・施策のシステムの導入可能性の検討を目的とした街区群類型化」
- 4) 芹沢洋史，戸川卓哉，森田紘圭，加藤博和，林良嗣：平成23年度土木学会中部支部研究発表会，信州大学長野キャンパス，（2012）
「街区群単位での低炭素性能評価システムの構築」
- 5) 戸川卓哉，加藤博和，林良嗣，芹沢洋史：第45回土木計画学研究発表会（春大会），京都大学吉田キャンパス，（2012）
「低炭素性能評価システムによる街区群再構築デザインの検討」
- 6) 永田斎記，宮田将門，村山顕人，Ayyoob Sharifi：第45回土木計画学研究発表会（春大会），京都大学吉田キャンパス，（2012）
「低環境負荷型地区開発の計画・デザインの分析—越谷レイクタウンとサウスイースト・フォールス・クリークを事例として—」
- 7) 鈴木雄三，宮田将門，村山顕人：第45回土木計画学研究発表会（春大会），京都大学吉田キャンパス，（2012）
「地区まちづくりにおける環境技術の導入可能性に関する研究」
- 8) 加藤隆矢，飯塚悟，ブイマンハー：第45回土木計画学研究発表会（春大会），京都大学吉田キャンパス，（2012）
「最大建物高さが街区スケールの風環境に及ぼす影響評価シミュレーション」
- 9) 森田紘圭，戸川卓哉，加藤博和，飯塚悟，村山顕人，林良嗣：日本環境共生学会第15回（2012年度）学術大会，九州市立大学国際環境工学部，（2012）
「低炭素社会実現を支援する街区群評価・デザインシステムの提案」

- 10) 戸川卓哉，加藤博和，林良嗣，森田紘圭：日本環境共生学会第15回（2012年度）学術大会，
九州市立大学国際環境工学部，（2012）
「環境・経済・社会のトリプルボトムラインに基づく持続可能な都市空間構造の検討」
- 11) 戸川卓哉，森田紘圭，後藤良太，加藤博和，林良嗣：第20回地球環境シンポジウム，京都大
学桂キャンパス，（2012） 平成25年度土木学会・地球環境優秀講演賞受賞
「低炭素性能評価システムを用いた街区群再編プロセスの検討」
- 12) ブイマンハー，飯塚悟，加藤隆矢，伊藤奨：2012年度日本建築学会大会，名古屋大学，（2012）
「ベトナム首都ハノイにおける屋外暑熱環境改善のための街区モデルの検討」
- 13) 森田紘圭，戸川卓哉，加藤博和，村山顕人，飯塚悟，林良嗣：第46回土木計画学研究発表会
（秋大会），埼玉大学，（2012）
「低炭素まちづくりを支援する街区群評価・デザインシステムの提案」
- 14) Goto R., Togawa T., Morita H., Kato H.: the 10th International Conference on EcoBalance,
Yokohama, Japan, 2012
"A Study in Reconstruction Design of City Blocks by Low Carbon Performance Evaluation System"
- 15) Beck A., Gregory B., Murayama A., Pineo H., Storer L., Allen E.: EcoDistricts Summit 2012,
Portland, USA, 2012
"Neighborhood Certification Around the Globe: Challenges and Prospects" (panel discussion)
- 16) 森田紘圭，杉本賢二，加藤博和，柴原尚希：第8回日本LCA学会研究発表会，立命館大学び
わこ・くさつキャンパス，（2013）
「社会的寿命」を考慮した建物に係る資源消費量のライフサイクル推計」
- 17) 金岡芳美，森田紘圭，加藤博和：第8回日本LCA学会研究発表会，立命館大学びわこ・くさ
つキャンパス，（2013）
「生活行動スケジュール分析による世帯のCO₂排出量推計」
- 18) 石田千香，森田紘圭，加藤博和，林良嗣：平成24年度土木学会中部支部研究発表会，愛知工
業大学八草キャンパス，（2013）
「人口・施設配置を考慮した都市サービス提供費用の推計」
- 19) 後藤良太，森田紘圭，加藤博和，柴原尚希，林良嗣：平成24年度土木学会中部支部研究発表会，
愛知工業大学八草キャンパス，（2013）
「街区群の低炭素性能評価システムの既成市街地再構築への適用」
- 20) 後藤良太，森田紘圭，高野剛志，加藤博和，林良嗣：第47回土木計画学研究発表会（春大
会），広島工業大学，（2013）
「街区群環境性能統合評価モデル構築と既成市街地の計画的更新への適用」
- 21) 森田紘圭，向後高明，服部哲幸，高野剛志，加藤博和：第47回土木計画学研究発表会（春
大会），広島工業大学，（2013）
「居住地域特性を考慮した住宅省エネ改修の導入可能性検討」
- 22) 橋本一輝，飯塚悟，加藤隆矢：第47回土木計画学研究発表会（春大会），広島工業大学，
（2013）
「鉛直方向の建物携帯デザインが街区群の温熱環境・風環境に及ぼす影響評価」
- 23) 橋本一輝，飯塚悟，ブイマンハー：2013年度日本建築学会大会，北海道大学，（2013）

「鉛直方向の風の道を活用する街区形態の検討（その 3）鉛直方向の建物形態パラメータが街区内部居住域の温熱環境・風環境に及ぼす影響評価」

- 24) 橋本一輝，飯塚悟，玄英麗：日本流体力学会年会 2013，東京農工大学，（2013）
「鉛直方向の建物形態パラメータが街区群の温熱環境・風環境に及ぼす影響評価」
- 25) 森田紘圭，金岡芳美，加藤博和，柴原尚希，林良嗣：第48回土木計画学研究発表会（秋大会），大阪市立大学杉本キャンパス，（2013）
「家族類型と住宅性能を考慮した小学校区別世帯起源CO₂排出量の将来推計」
- 26) 杉本賢二，森田紘圭，谷川寛樹：第48回土木計画学研究発表会（秋大会），大阪市立大学杉本キャンパス，（2013）
「愛知県を対象とした排熱量の推定とその活用」
- 27) 高野剛志，森田紘圭，加藤博和，林良嗣，加知範康：第48回土木計画学研究発表会（秋大会），大阪市立大学杉本キャンパス，（2013）
「個人属性を考慮した生活環境質に対する価値意識の違いに関する基礎的考察」
- 28) 石田千香，森田紘圭，大西暁生，中野綾子，井村秀文，川原志郎，荻原朗，加藤博和：第9回日本LCA学会研究発表会，芝浦工業大学豊洲キャンパス，（2014）
「デマンドレスポンス制度導入による夏季エネルギー消費量変化の推計」
- 29) 高野剛志，森田紘圭，中村一樹，加藤博和，林良嗣：平成25年度土木学会中部支部研究発表会，岐阜大学，（2014）平成25年度土木学会中部支部優秀研究発表賞
「居住-移動統合分析に基づく低炭素地区デザイン手法の検討」
- 30) 柴田達矢，森田紘圭，高野剛志，加藤博和，柴原尚希，林良嗣：平成25年度土木学会中部支部研究発表会，岐阜大学，（2014）
「自然資本のもたらすQOL向上への影響の定量評価」

（3）出願特許

特に記載すべき事項はない。

（4）シンポジウム、セミナー等の開催（主催のもの）

- 1) 不確実な未来に向け、名古屋のまちづくりはどう舵を切るか？～超高齢社会が地球温暖化と巨大災害に備える方法とは～（2012年11月11日、名古屋大学ES総合館1階・ESホール、観客約100名）
- 2) 低炭素で魅力的なまちの実現に向けて—2050年の名古屋を構想する（2012年12月2日、名古屋大学環境総合館1階・レクチャーホール、観客約100名）
- 3) 環境・文化芸術まちづくりへの処方箋～低炭素・アート・豊かな暮らし～（2013年9月22日、愛知芸術文化センター12F アートスペースA、観客約150名）
※名古屋大学グローバルCOEプログラム 「地球学から基礎・臨床環境学への展開」 および
あいちトリエンナーレとの共催協力（運営協力及び登壇者7名中3名が本研究課題分担者）
- 4) DESIGNING LOW-CARBON BLOCKS- Technology and Planning -（2013年10月5日、名古屋大学環境学研究科1Fレクチャーホール、観客約100名）
- 5) 自治体職員向け連続セミナー「これからの低炭素まちづくりの発想と実践」（2013年10月22

日・11月7日、名古屋市役所、観客述べ約200名)

- 6) 地球にも人にもやさしい持続可能なまちをめざして—低炭素街区群デザインの新展開—
(2014年1月25日、名古屋大学ES総合館1階・ESホール、観客約180名)

(5) マスコミ等への公表・報道等

- 1) 中京テレビ「週刊☆コダワリタイム」(2011年7月17日)
- 2) NHK「クローズアップ現代 わが町を身の丈に～人口減少時代の都市再編～」
(2013年10月21日・22日)

(6) その他

- 1) 平成25年度土木学会・地球環境優秀講演賞受賞, (2013)
戸川卓哉, 森田紘圭, 後藤良太, 加藤博和, 林良嗣: 低炭素性能評価システムを用いた街区群再編プロセスの検討
- 2) 平成25年度土木学会中部支部優秀研究発表賞, (2014)
高野剛志, 森田紘圭, 中村一樹, 加藤博和, 林良嗣: 居住-移動統合分析に基づく低炭素地区デザイン手法の検討

8. 引用文献

特に記載すべき事項はない。

（２）低炭素街区群を支えるエネルギー・資源循環システム（国立環境研究所）

独立行政法人国立環境研究所

藤田壮・平野勇二郎・藤井実・中根英昭（平成23年度）

<研究協力者>

独立行政法人国立環境研究所 大西悟・大場真（平成23年度）・戸川卓哉（平成24・25年度）

高知工科大学 中根英昭（平成24・25年度）

平成23～25年度累計予算額：33,540千円

（うち、平成25年度予算額：10,062千円）

予算額は、間接経費を含む。

【要旨】

低炭素街区群を構築するために、その中での活動を支える資源・エネルギー循環のシステムの効率向上が不可欠である。そのためには、各街区群における資源・エネルギーの消費量を削減するとともに可能な限り環境負荷の少ない方法で資源・エネルギーを供給できるシステムを構築する必要があり、関連する様々な施策を総合して検討することが重要である。長期的に都市・地域の空間構造をエネルギー・資源循環に適したものへと誘導するためには、都市計画や地域計画と連動した議論も必要である。以上の観点に基づき、本サブテーマでは、資源・エネルギーに関する施策効果を定量的に評価するモデル群を開発し、地域特性に応じた資源・エネルギー循環システムを設計するアプローチを検討した。その結果、1)街区群内での空調負荷軽減策や屋上緑化によるエネルギーCO₂軽減効果の定量評価、2)地域に賦存する未利用・再生可能エネルギーの活用や資源循環による効率化を実現するシステム構築を検討するモデルの開発、を可能とした。

【キーワード】

地域エネルギーシステム、廃棄物、森林バイオマス、産業共生、都市計画

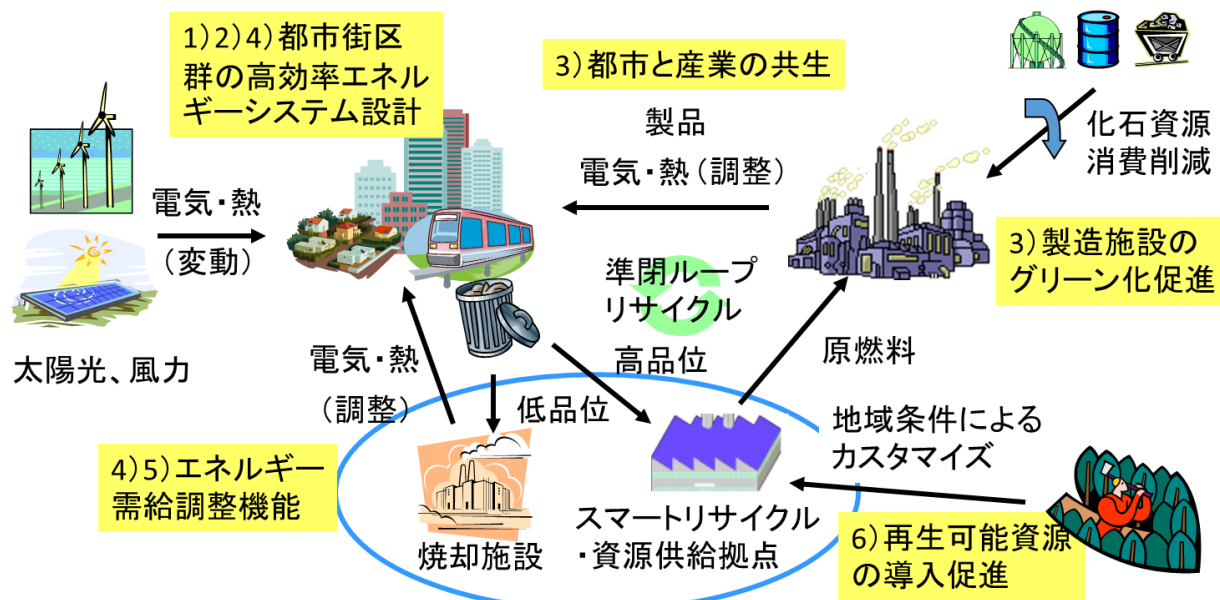
1. はじめに

低炭素で持続可能な社会を実現するためには、都市・地域における社会・経済の活動レベルを一定の水準以上に維持しつつ、資源・エネルギーの利用効率を向上させることが不可欠である。そのためには、個別の要素技術の進歩と普及はもとより、それぞれのエネルギー・資源の需給の分布特性等の地域特性に応じた技術・施策メニューを選定するプロセスを構築し、枯渇性エネルギーの消費量を削減する必要がある。また、産業街区群からの排熱利用や森林との連携等を前提とした、より広い視点からの資源・エネルギー循環システムの検討も必要である。以上のような、資源とエネルギーの循環に関する模式的関係を図(2)-1に示す。

一方、日本の人口は、2050年には1960年代の水準にまで減少すると予測されている。同時に少子高齢化により人口構成も大きく変化する。特に地方都市では、減少しつつある人口を巡って、地域間の競争が激化することも考えられるため、安定した雇用と地域の定住人口を確保する計画

も重要である。特に、今後、その重要性が増すと考えられる、エネルギー施策を中心として、環境負荷の低減という視点に留まらず、地域の持続性への影響を総合的に見越し、それらを定量的に評価する検討もある必要がある。

したがって、社会・経済的な背景に対応しつつ、地域に存在するエネルギー・資源のポテンシャルを活用した長期的ビジョンにもとづく、低炭素で持続可能な都市・地域を設計する必要がある。



図(2)-1 低炭素街区群構成を支えるエネルギー・資源循環システムの構成

2. 研究開発目的

低炭素都市の実現のためには、都市を構成する要素である各街区群における特性を考慮して、社会・経済活動を維持しつつエネルギー・資源の消費をできるだけ抑制するとともに、必要となるエネルギー・資源を環境負荷が少なくかつ低コストとなる方法で供給するシステムの構築が必要である。さらに、2050年程度を見越した目標を達成するために、長期的な空間構造や技術革新を考慮した議論も必要である。このため、関連する施策は多岐にわたり、施策間の整合性が保たれた政策パッケージの提案が重要である。そこで、本研究では、都市・地域におけるエネルギー・資源循環システムを対象とし、関連する一連のモデル群を構築し、施策・技術の導入方策や導入効果について検討し、地域特性に応じた適切な施策パッケージを設計するためのフレームワークを構築する。

具体的には、エネルギー・資源循環の効果を定量的に推定できるモデルを開発し、地域の特性に応じた施策パッケージを選定するプロセスを構築する。そのために、GISを活用した地域の将来ビジョンの計画を支援するモデル、類型ごとの街区群におけるエネルギー管理施策を評価できるモデル、および、エネルギー供給システムの低炭素効果を推計可能なモデルを開発する。

なお、不安定な再生エネルギーを大幅に街区群に導入した場合、天候等の影響によりエネルギー供給システムの安定性が損なわれることが懸念される。したがって、エネルギー・資源の量的な充足度のみではなく、安定性についても検討する。

3. 研究開発方法

(1) 地域特性に応じた将来ビジョン設計モデル

長期的な観点から環境・エネルギー施策を議論する場合、土地利用変更により人口密度を高めるとともに、エネルギー需要集約によりエネルギー利用効率を上昇させることや、熱エネルギーの需給主体を近接立地させることにより地域熱供給事業等のエネルギー関連施策の効果を高めることが可能となる。したがって、都市計画・土地利用計画の観点も含めた複合的な視野からのエネルギー関連の施策パッケージの検討が必要である。しかしながら、地域空間構造は、環境・エネルギー以外の様々な要因に規定されており、また、現時点での土地利用の状況が将来に渡って影響を与える。したがって、ここでは、地域の実態情報を収集しGIS空間データベースを構築するとともに、小地区単位での人口コーホートモデルを開発し、地域の代替的な将来ビジョンのデザイン手法を構築した。

(2) 街区群単位での省エネルギー技術・施策の評価

街区群スケールでの各種の空調負荷軽減策による冷房用エネルギー・CO₂排出削減効果を評価するため、建築物の熱負荷や空調によるエネルギー消費量、気温変動を予測する都市キャノピー・ビルエネルギー連成モデルCM-BEMを構築し、シミュレーションを試みた。モデルは、街区の平均建物幅、平均建物間隔、鉛直方向の建物密度分布などから、均一な街区形状が連続している状況を鉛直1次元の多層モデルで表現した局地気象モデルである。ビルエネルギーを空調負荷から計算し、都市キャノピーモデルに組み込むことで外気とのインタラクションも含めた空調負荷計算が可能である。対象街区群として事務所街区群、耐火造住宅街区群、木造住宅街区群を取り上げ、解析を行った。

さらに、事務所ビル街区における屋上緑化を対象とし、蒸発散のために必要な水量を考慮してヒートアイランド緩和効果とCO₂削減効果を評価した。まず、都市キャノピー・ビルエネルギー連成モデルCM-BEMを用いて、屋上緑化によるヒートアイランド緩和効果や冷房エネルギーのCO₂削減効果のシミュレーション評価を行った。次に、屋上面熱収支の計算結果から得られた潜熱フラックスから蒸発散のために必要な水量を算出した。また、その水量を水道水による散水より供給した場合に生じるCO₂排出量を計算し、冷房エネルギーのCO₂削減効果とのバランスから、屋上緑化のCO₂削減効果を明らかにした。また、これらの計算結果から、水量とヒートアイランド緩和効果やCO₂削減効果との関係を分析した。

(3) 産業拠点のエネルギー・資源循環システムのデザイン

地域スケールでの資源循環事業について、利用拠点となるエコタウンに立地する資源循環施設を対象とした重回帰分析を行い、資源循環機能の空間特性を明らかにした。そのうえで、廃棄物の発生分布や、リサイクル製品・回収エネルギーの需要分布など地域特性を統合的に提示する地域廃棄物データベースを構築した。また、素材産業が有する幅広い循環技術の選択肢について導入条件を整理し、需給バランスの検討、素材産業との連携、都市活動との連携を踏まえたシナリオ設計と環境改善効果の算定を行うことで、都市産業共生を含めた地域での資源循環の計画と評価を行うシステムを構築した。

産業連携効果の検討を行う基盤として、人口分布、立地産業の操業データ、都市サービス施設

の操業データ、ロジスティック網データ、地域産業連関表、自治体の統計データなどからなるデータベースを構築する。次に、データベースを基に、GISを用いたSynergy Network Analysis等を実施することで、物質・エネルギーの流れを可視化する。このことにより、利害関係者間での議論を活発化させ、将来シナリオの設計を支援することが可能となる。利害関係者間の議論を経た将来シナリオを定義したうえで、LCAやMFAを用いた低炭素性指標の評価を行う。また、算定システムでは、物質・エネルギー転換を実現する企業の製造プロセスについて、循環資源や排熱の代替性および製造フローへの影響を考慮したモデルを組み込み、各主体の製造、処理フローの変化も内挿することが可能な構造となっている。

（４）再生可能エネルギー・未利用エネルギー供給システムの検討

地域の空間特性に基づく合理的な対策パッケージの選定と各施策の導入適地を決定するための分析手順および基準ルールの検討を行った。評価対象の対策は、太陽光発電システム、分散型エネルギー供給システム（コージェネレーションシステム）、産業排熱利用システムの3つのエネルギー供給側の施策に加えて、エネルギー需要集積・負荷平準化を目的とした立地集約・用途複合化対策等の土地利用関連施策を考慮した。省エネルギー技術や低炭素施策のうち、街区群単位での導入によって個別導入よりも効率化しうる効果に着目した。こうした効果は建物用途や建物密度、街区の組み合わせなどに依存するため、街区群類型に応じて効果発生の程度を明らかにし、それに基づいて最適設計のプロセスを提示した。

（５）循環資源活用によるエネルギー供給システムの検討

街区群スケールでのエネルギー需要量や太陽光・太陽熱などの再生可能エネルギー供給量は変動が大きいため、循環資源が保有するエネルギーを臨機応変に活用することで需給のアンバランスを補完するシステムを提案した。具体的には、1)一般ごみからの有機系資源回収による動脈産業向けの燃料化、2)ごみ焼却炉における余熱回収と地域熱供給、3)厨芥の分別による焼却ごみ低位発熱量の向上及びメタン発酵による都市ガス生産、を効率的に組み合わせることで、再生可能エネルギーを大幅に街区群に導入した場合にも熱・エネルギー需給を安定化するシステムを検討した。天候によらず運転可能な焼却炉の性質と、熱需要が少ない際には資源化し動脈産業で利用すること、更に一部の厨芥の利用による循環資源利用効率のベースアップを組み合わせ、エネルギー需給を平準化し、低炭素化が高い費用対効果で実現できるシステムを検討した。

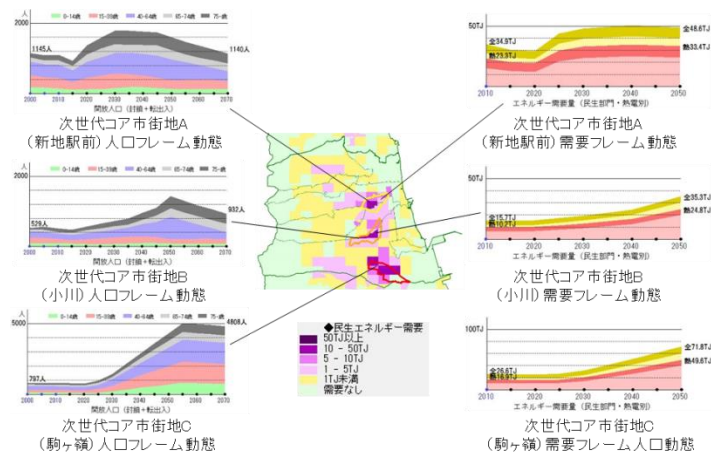
4．結果及び考察

（１）地域空間特性を考慮したシナリオデザインシステム

ここでは、福島県・新地町を対象に、人口と雇用に着目し将来の地域シナリオに関する検討事例について述べる。新地駅周辺地区は区画整理事業が進められ、次世代コア市街地として最も優位な状況にあるが、必ずしも一極集約が相応しいとは限られるものではない。人口台帳調査で近年、最も自発的に増加している地区は他に存在しており、また産業排熱等エネルギー施設の恩恵を受けてゆける立地もある。駅前の整備に注力し過ぎることなく、少し緩めてでも後者2地区を育てていく選択肢は在り得る。図(2)-2は、3地区に小さく分けてスタートし、少しずつ、新規産業の育成・誘致と雇用の増強を進めながら、産業と居住に利用できる土地面積を再配分して、人口・

雇用・産業規模（施設面積）を数値バランス上で発展を重ねていくフレーム構築例を示している。

一方、自治体で人口減少に歯止めを掛けたいという一種の規範的な価値観を達成していくためのフレーム設定法を検討した。新地町を対象に、一つの人口集約拠点を想定した最もシンプルな逆算フレームのシミュレーションである。集約拠点では出生率を年々高めつつ増加ノルマの不足分を雇用増加に伴う転入者で補うことを想定する。出生率向上ペースを実現できれば、2070年頃には、ほぼ外部転入に頼らず現状の人口規模（8,000人）で持続することが可能となる。

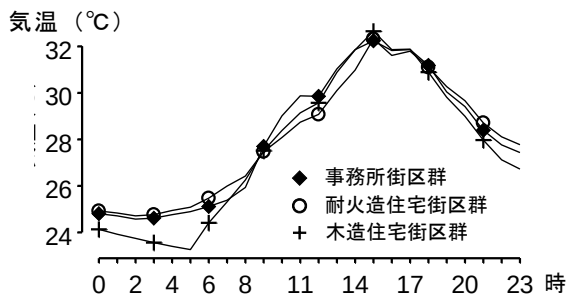


図(2)-2 検討フレーム案に基づく人口動態・エネルギー需要動態

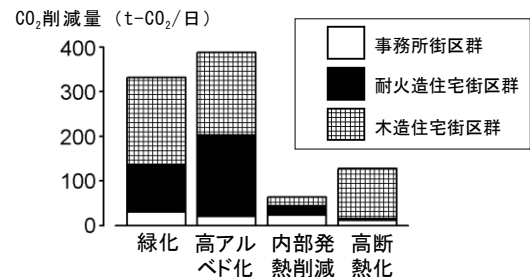
（２）街区群における省エネルギー技術・施策の評価

都市キャノピー・ビルエネルギー連成モデルCM-BEMを用いたシミュレーションによる、典型街区群の地上気温および室内熱収支の計算結果を図(2)-3に示す。事務所街区や耐火造住宅街区は木造住宅街区と比較して気温日変化幅が小さく、特に夜間の気温が高めになっている。これは建物の熱容量が大きいことや、天空率が小さいために夜間の放射冷却が抑制されることなどによるものであり、一般的なヒートアイランド現象の特徴が再現されている。

次に、緑化（建物表面の60%と道路の20%に導入）、高アルベド化（建物表面の60%に導入）、内部発熱削減（機器発熱の20%を削減）、高断熱化（次世代省エネ基準相当）の導入効果を評価した。川崎市を対象としてCO₂削減効果を算定したところ、今回の計算条件では緑化や高アルベド化で300～400[t-CO₂/日]の削減効果が得られる結果となった（図(2)-4）。



図(2)-3 典型街区群における気温の計算結果



図(2)-4 各施策導入によるCO₂削減効果

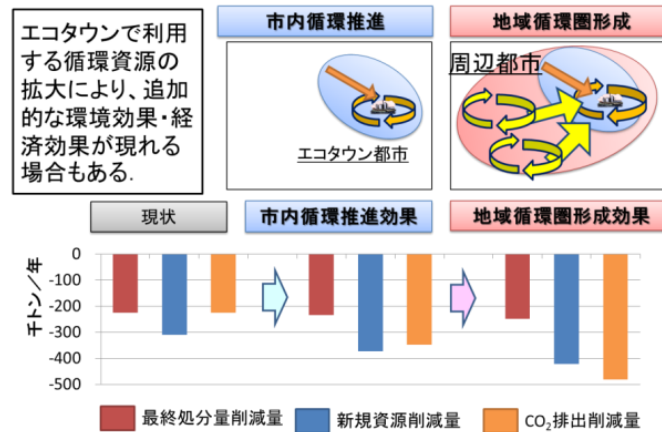
屋上緑化のヒートアイランド緩和効果を評価した結果、本研究の計算条件では屋上緑化を大規模導入した場合の気温の低下は最大で 0.13°C 程度であった。また、この気温低下効果と蒸発散量との関係を明らかにした。次に、屋上緑化の CO_2 削減効果を評価した。特に本研究では冷房エネルギーによる CO_2 削減と散水による CO_2 排出の両方を踏まえて評価したところ、表面温度低下による直接的な効果では前者の方が明らかに大きく、屋上緑化を導入した建物では CO_2 削減効果が得られることが示された。ただし外気を経由した間接的な効果では潜熱負荷する効果が大きく生じたため、周辺建物への影響については今後さらに検討が必要である。

本研究で想定した標準的な計算条件に加えて、屋根の断熱性や屋上緑化部位の蒸発効率を変更した計算条件を想定し、同様の検討を行なった。この結果、各計算条件で水量とヒートアイランド緩和効果および CO_2 削減効果との関係が示された。なお、本研究では標準条件では屋上緑化面の蒸発効率を0.2と設定したが、これはセダム植栽において日中は散水せずに計測した値であるため、散水された屋上緑化としては控えめな値である。したがって、実際には散水量を増やすことによってより大きな効果が得られると考えられる。

(3) 産業拠点のエネルギー・資源循環システムのデザイン

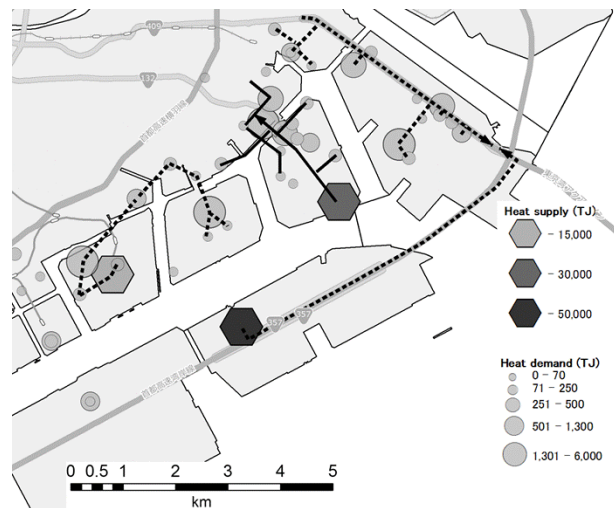
高品質な循環資源の利用拠点である循環施設の特性について重回帰分析を行った結果、地域供給率が施設稼働率と有意な正の相関を持つことを明らかにし、リサイクル製品のエンドユーザーへの地理的近接性が、施設稼働率の高さに貢献している可能性を明らかにした。さらに、循環資源によって循環圏の大きさや環境改善効果が異なること、資源循環施設の事業特性は立地地域特性によって異なること、素材産業が日本のエコタウンにおける循環システムの中核を担っていることを明らかにした。さらにエコタウン対象工業団地内での産業間の物質循環（地区内の産業共生）に加え、周辺都市などからの一般廃棄物を利用した物質循環（都市共生）が実現していることを見出した。

川崎・横浜地域で資源循環シミュレーションを行った（図(2)-5）。セメントを活用する地域の資源循環システムでは、産業地区における廃棄物および副産物の交換で CO_2 削減量が $78\text{kt-CO}_2/\text{year}$ となり、非循環型と比べ9.2%削減となった。さらに、都市部の一般廃棄物の利用による CO_2 削減量は $137\text{kt-CO}_2/\text{year}$ となり、非循環型と比較して16.2%の削減ポテンシャルがあることが明らかとなった。新規資源消費量や最終処分量の削減についても定量的に解析した。鉄鋼産業を中核とした地域での資源循環では、産業地区における廃棄物および副産物の交換や周辺都市も含めた一般廃棄物の活用で CO_2 削減量は $331\text{kt-CO}_2/\text{year}$ となり、非循環型と比較して4.2%削減が可能となった。なお、セメント産業および鉄鋼産業の活用した資源循環システムは、川崎市および横浜市の合計排出量の0.85%（2005年度）にあたり、大きなポテンシャルをもつことを明らかにした。



図(2)-5 環境改善効果の算定結果

以上の分析より、ケーススタディの対象とした川崎市臨海部における廃棄物・副産物循環は、他の先端都市と比較しても量が多い一方、排熱利用は、一部に限られていることが明らかになった。一方、川崎市臨海部には、多量の排熱が廃棄されていることが報告されているため、将来シナリオとして、産業間および産業・民生間の排熱ネットワークを検討する意義は大きい。以上の検討結果に基づき、現在稼働中のスチームネット川崎の熱エネルギー供給範囲が拡大した場合について、その低炭素効果のシミュレーションを実施した。道路ネットワーク等を考慮し、各発電所と需要先をユーティリティで結んだシナリオの設計例を図(2)-6に示す。まず、現況のスチームネット川崎の需要を賄う割合を保ち、利用先を発電所から3km以内に位置する42社に拡大した場合、さらに企業での需要を賄う割合を3%、5%と増加した場合を想定し、エネルギー需給をシミュレートした。結果として、川崎スチームネットの排熱利用割合を臨海部に展開すると、約2,300TJの熱量を共有できる可能性があり、CO₂換算では年間16.1万t-CO₂の削減につながる。さらに排熱利用量／需要量を増加させると40万t-CO₂以上の削減につながる可能性があることが明らかになった。

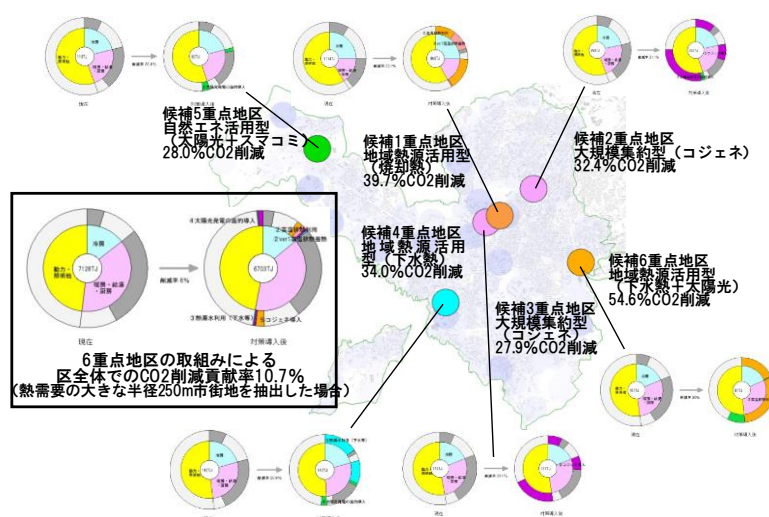


図(2)-6 産業間排熱ネットワークシナリオの設計例

(4) 再生可能エネルギー・未利用エネルギーのポテンシャル検討

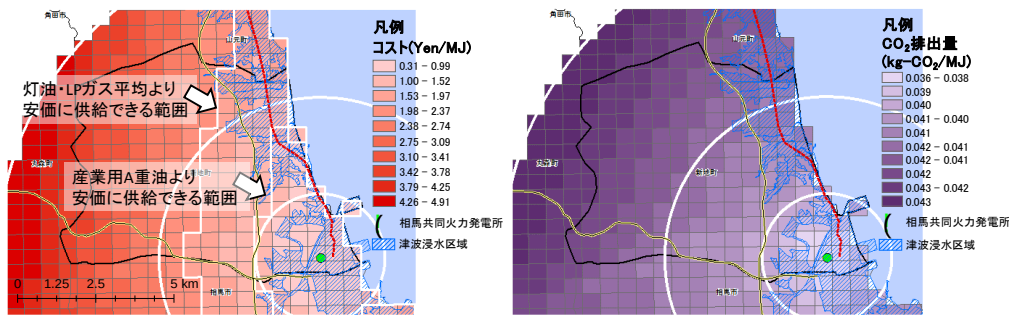
太陽光や自然エネルギー、高温・低温の地域の賦存熱の立地分布から、地域でのエネルギー供給能力とその分布情報を定量化し、月別、時間帯別の熱電需要量とそのパターンを推計することによって、需給分布特性に応じた技術・施策メニューを選定するプロセスを構築した。

街区群単位で、熱エネルギー（冷暖房と給湯）と電力エネルギー（動力・照明等）の需要量と再生可能エネルギー・未利用エネルギーの供給可能量を算定した。詳細空間情報を考慮して自然エネルギーや利用可能な賦存熱の地域のエネルギー供給ポテンシャル量と、施設の用途ごとに標準的なエネルギー需要強度を設定して、エネルギー需要量図と施策実施効果を二重構造の円グラフ（エネルギー需給グラフ）で提示した結果を図(2)-7に示す。街区群ごとのエネルギー需給グラフを算定することによって、それぞれの地域エネルギーの需給特性に応じた整備方針を検討する根拠となる情報を得ることができる。



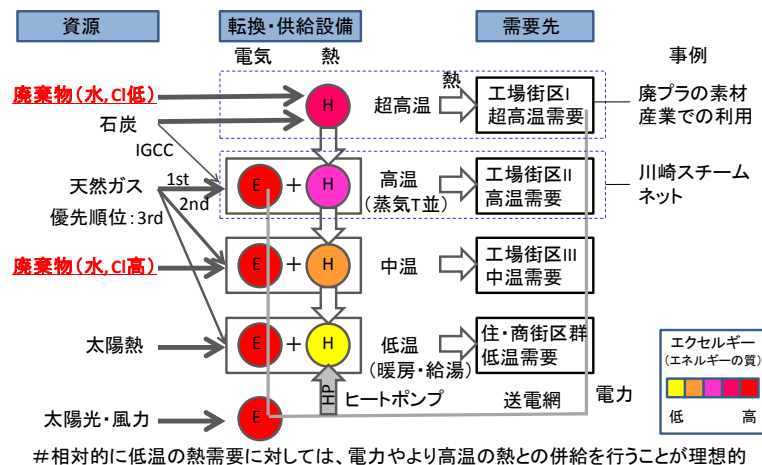
図(2)-7 街区群単位でのエネルギー需給推計結果

次に、火力発電所を例として産業排熱からの単位エネルギー量あたりの供給コストおよびCO₂排出量の空間分布を推計した結果を図(2)-8に示す。コストポテンシャルに関しては、インフラ建設コストが発電低下量・搬送動力に起因する部分と比較して、大きく寄与するため距離に対して増加していく傾向がある。一方、CO₂排出ポテンシャルに関しては、発電低下量に起因する部分が大きいいため、コストと比較して、距離に依存せず一定の値を維持する傾向を示す。その結果、コストポテンシャル分布からは、重油・灯油・ガス等による代替的なエネルギー供給方法よりも低い価格で供給できる範囲が特定できる。一方、CO₂排出ポテンシャル分布については一様に0.04 (kg-CO₂/MJ) 程度と推計されており、重油・灯油・ガス等の代替エネルギー源のCO₂排出原単位が0.06~0.07 (kg-CO₂/MJ) 程度であることから、概ね火力発電所より10km圏内に収まる本研究のケーススタディエリア内においては全域で地域エネルギー供給システム導入時にCO₂排出削減効果が期待できることになる。推計したポテンシャルマップにより、街区群ごとの特性に応じたエネルギーシステムの設計が可能となる。

図(2)-8 コストとCO₂排出ポテンシャルの推計結果

(5) 循環資源活用によるエネルギー需給調整機能の検討

街区群スケールでの資源循環の高効率化については、循環資源の原料や燃料としての質の観点から、高品質（高発熱量、低塩素）、低品質（低発熱量、高塩素）のそれぞれについて、街区群における効率的なエネルギーシステムの全体像と比較しながら、その適切な利用システムをデザインした（図(2)-9）。



図(2)-9 資源・エネルギーの質を考慮した電力・熱エネルギー利用システム設計方針

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

- 1) 街区群スケールでの各種の空調負荷軽減策の冷房用エネルギーの削減効果とその CO₂ 排出削減効果を、都市キャノピー・ビルエネルギー連成モデルを用いて算定する方法を開発した。それを用いて、水の蒸発散を考慮した屋上緑化策の冷房用エネルギーの削減効果とその CO₂ 排出削減効果を算定した。
- 2) 産業排熱など地域に賦存している熱の有効利用や、多種の需要家による負荷パターンの平滑化、設備機器導入時のスケールメリットなど、街区群単位での導入が個別導入よりも効率化・非効率化する効果に着目し、それを定量評価するモデルを構築することができた。

- 3) 産業プロセスの特性を分析することで排熱エネルギーの空間特性を明らかにした。都市活動との連携を踏まえた地域エネルギーシステム設計を可能とし、さらに環境改善効果を算定することで、都市産業共生を含めた地域の資源・エネルギー循環計画の評価システムを構築することができた。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

- 1) 環境省「地方公共団体実行計画（区域施策編）策定マニュアルに関する低炭素化手法（地区・街区関係）の検討会」および「地域循環圏の推進方策検討会」において情報提供を行った。さらに、環境省の中央環境審議会循環政策部会に研究成果に基づく提案が反映された。
- 2) 内閣府地域活性化統合本部環境未来都市および環境未来都市推進ボードの検討において、低炭素型街区群評価手法として情報を提供した。
- 3) 東日本大震災の被災自治体である福島県・新地町において、本研究プロジェクトで構築したエネルギー計画支援モデルを援用することで復興まちづくり計画における、環境・エネルギー施策策定の支援を行った。

<行政が活用することが見込まれる成果>

- 1) 地域の自然エネルギーや賦存熱の立地分布から、エネルギー供給能力とその分布を定量化し、技術・施策メニューを選定する手法を行政の検討会に提供し、地域資源の利用や技術対策の組合せによる低炭素効果を算定できる情報を提供する目途が立った。
- 2) GHG アカウンティングにおける Scope ごとの差異について定量評価し、企業等の排出削減努力を促進する上で、サプライチェーンにまたがる間接的な発生量を考慮する Scope3 による評価の優位性を示した。

6. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない。

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文（査読あり）>

- 1) 平野勇二郎， 藤田壮：土木学会論文集G（環境）， Vol.67, No.5, I_103-I_111 （2011）
「事務所ビルのエネルギー消費量へ及ぼす気候条件の影響の分析」
- 2) 平野勇二郎， 孫穎， 酒井広平， 早渕百合子， 藤田壮：環境情報科学論文集 25, pp.305-310 （2011）
「各種統計データを用いた民生業務部門エネルギー消費原単位の詳細評価」
- 3) Hirano Y.,Fujita T. : Energy,Vol.37,No.1,pp.371-383 (2012)
“Evaluation of the impact of the urban heat island on residential and commercial energy consumption in Tokyo”
- 4) Ohnishi S.,Fujita T.,Fujii M. : Journal of Cleaner Production,Vol.33,pp.217-225 (2012)

“Evaluation of the impact of the urban heat island on residential and commercial energy consumption in Tokyo”

- 5) 戸川卓哉, 藤田壮, 谷口知史, 藤井実, 平野勇二郎: 土木学会論文集G (環境), Vol.69, No.6, (環境システム研究論文集第41巻), pp. II_401- II_412 (2013)
「長期的な土地利用シナリオを考慮した地域エネルギー資源活用策の評価手法」
- 6) 大西悟, 藤田壮, 藤井実, Dong Liang, 戸川卓哉: 土木学会論文集G (環境), Vol.69, No.6, (環境システム研究論文集第41巻), pp. II_227- II_237 (2013)
「産業都市での地区内熱供給による環境改善効果の評価システム」
- 7) 平野勇二郎, 藤井実, 藤田壮: 環境科学会誌, 26 巻 4 号, pp.388-396 (2013)
「エネルギー利用効率のポテンシャル評価に関する考察と事務所ビルにおける評価事例」
- 8) 平野勇二郎, 稲葉陸太, 酒井広平, 早渕百合子, 大迫政浩: 環境科学会誌, 26 巻 5 号, pp.430-439 (2013)
「民生業務部門における業種別エネルギー消費量の詳細推計」
- 9) Dong H.,Ohnishi S.,Fujita T,Geng Y.,Fujii M.,Dong L. : Energy,Vol.64,pp.277-286 (2014)
“Achieving carbon emission reduction through industrial & urban symbiosis: a case of Kawasaki”
- 10) Dong H.,Geng Y.,Fujita T.,David A. Jacques : Energy,
<http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2014.01.065>(on line), (In Press)
“Three accounts for regional carbon emissions from both fossil energy consumption and industrial process”
- 11) 大西悟, 藤田壮, 藤井 実, 戸川卓哉, Dong Liang : 日本LCA学会誌 (投稿中)
「地域循環による各主体のGHGアカウンティングへの影響分析」
- 12) 大西悟, 藤田壮, Dong Liang, 藤井実 : 環境共生 (投稿中)
「都市と産業の共生に向けた研究のこれまでの流れと今後の展開」
- 13) Togawa T.,Fujita T.,Dong L.,Fujii M.,Ooba M : Journal of Cleaner Production (投稿中)
“Feasibility Assessment of Power Plant Source Waste Heat to Plant Factory Considering Spatial Configuration”

<査読付論文に準ずる成果発表>

特に記載すべき事項はない。

<その他誌上発表(査読なし)>

特に記載すべき事項はない。

(2) 口頭発表(学会等)

- 1) 平野勇二郎, 孫穎, 藤田壮: 環境科学会2011年会, 関西学院大学 (2011)
「川崎市における冷房の省エネルギーとそのCO₂削減効果の数値シミュレーション」
- 2) 平野勇二郎, 藤田壮: 第19回地球環境シンポジウム, 茨城大学 (2011)
「事務所ビルのエネルギー消費量へ及ぼす気候条件の影響の分析」
- 3) Ooba M., Fujita T., Mizuochi M., Murakami S., Wang Q-X., Kohata K. : The 18th Biennial

Conference of International Society for Ecological Modelling, Beijing (2011)

“Biogeochemical forest model for evaluation of ecosystem services (BGC-ES) and its application in the Ise Bay basin”

- 4) 平野勇二郎, 孫穎, 酒井広平, 早渕百合子, 藤田壮: 第25回環境研究発表会, 日本大学学会館 (2011)
「各種統計データを用いた民生業務部門エネルギー消費原単位の詳細評価」
- 5) Ooba M., Fujita T., Mizuochi M., Kato H., Togawa T., Miyata M.: ECO-MATES 2011, Osaka (2011)
“Sustainability Analysis for Regional Wood Biomass Cycle in the Ise Bay Basin, Japan”
- 6) Hirano Y., Ohashi Y., Kikegawa Y., Kondo H., Genchi Y., Fujita T.: 19th International Congress of Biometeorology, Auckland (2011)
“Numerical Simulation of Urban Heat Island Mitigation by Using a Coupled Urban-Canopy and Building-Energy Model”
- 7) Ooba M., Fujita T., Mizuochi M., Kato H., Togawa T., Miyata M.: International Symposium on EcoTopia Science 2011 (ISETS'11), Nagoya (2011)
“Evaluation of forest ecosystem services in the Kushida River basin using a process-based ecological model”
- 8) 平野勇二郎, 稲葉陸太, 酒井広平, 早渕百合子, 大迫政浩: 第28回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス, 砂防会館 (2012)
「日本におけるサービス産業のエネルギー消費構造分析」
- 9) 平野勇二郎: 第28回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス, 砂防会館 (2012)
「オフィスビルにおけるエネルギー消費量の外気温条件に関する検討」
- 10) 大西悟, 藤井実, 藤田壮: 第45回土木計画学研究発表会, 京都大学吉田キャンパス (2012)
「産業拠点地区を中核とする地域循環圏形成による低炭素効果」
- 11) 平野勇二郎, 藤田壮: 第45回土木計画学研究発表会, 京都大学吉田キャンパス (2012)
「都市・街区群スケールのヒートアイランド緩和とCO₂排出削減のシミュレーション」
- 12) 平野勇二郎, 藤田壮: 第31回エネルギー・資源学会研究発表会, 大阪国際会議場 (2012)
「都市街区を対象とした冷房エネルギー削減策とそのCO₂削減効果」
- 13) Hirano Y., Ohashi Y., Ihara T., Fujita T., Kikegawa Y., Kondo H.: 8th International Conference on Urban Climates (2012)
“Evaluation of Urban Heat Island Mitigation and CO₂ Reduction Effects”
- 14) 平野勇二郎, 藤田壮: 第20回地球環境シンポジウム, 京都大学桂キャンパス (2012)
「都市街区スケールでの冷房エネルギー削減によるCO₂削減効果の数値シミュレーション」
- 15) Ohnishi S., Fujita T., Fujii M.: The Third International Society of Industrial Ecology Asia-Pacific Meeting (2012)
“Evaluation System for Regional Circulation Centered Around Energy Intensive Industry”
- 16) 孫穎, 宮寺哲彦, 平野勇二郎, 藤田壮: 環境経済・政策学会2012年大会, 東北大学川内北キャンパス (2012)
「グリーンサプライチェーンマネジメントと企業パフォーマンスの因果関係分析」

- 17) 大西悟, 藤田壮, 藤井実, 戸川卓哉, Dong Liang : 第8回日本LCA学会研究発表会, 立命館大学 びわこ・くさつキャンパス (2013)
「地域循環による各主体のGHG アカウンティングへの影響分析」
- 18) 戸川卓哉, 藤田壮, 藤井実, 平野勇二郎, 大西悟, Dong Liang : 日本環境共生学会第16回地域シンポジウム, 日本大学駿河台キャンパス (2013)
「産業排熱の利用可能性に基づく土地利用・エネルギー計画支援システム」
- 19) 戸川卓哉, 藤田壮, 平野勇二郎, 藤井実, 大西悟 : 第47回 土木計画学研究発表会 (春大会), 広島工業大学 (2013)
「火力発電所を核とした地域エネルギー供給システムの低炭素性評価」
- 20) Ohnishi S., Dong H., Fujita T., Dong Liang, Fujii M. : 7th International Society for Industrial Ecology Biennial Conference, Ulsan, Korea, June 25th -28th (2013)
“Emergy analysis in an eco-industrial area: The case of Kawasaki Eco Town, Japan”
- 21) Togawa T., Fujita T., Taniguchi T., Hirano Y., Fujii M. : 7th International Society for Industrial Ecology Biennial Conference, Ulsan, Korea, June 25th -28th (2013)
“Evaluation. model for regional energy management system to support low carbon urban planning”
- 22) Hirano Y., Togawa T., Fujii M., Fujita T. : 7th International Society for Industrial Ecology Biennial Conference, Ulsan, Korea, June 25th -28th (2013)
“Numerical Simulation of Cooling Energy Savings and CO₂ Reduction Effects in Urban Districts”
- 23) Fujii M., Fujita T., Ohnishi S., Dong L., Togawa T. : 7th International Society for Industrial Ecology Biennial Conference, Ulsan, Korea, June 25th -28th (2013)
“Study on an energy-efficient recycling system of household organic wastes for building sustainable recycling system”
- 24) 平野勇二郎, 藤田壮, 戸川卓哉, 孫穎 : 平成 25 年度空気調和・衛生工学会大会, 信州大学長野 (工学) キャンパス (2013)
「民生業務門における業種別エネルギー消費量のマクロ推計」
- 25) 平野勇二郎, 谷川寛樹, 戸川卓哉, 藤田壮, 孫穎 : 環境システム研究論文発表会, 九州大学伊都キャンパス (2013)
「事務所ビル街区における屋上緑化の蒸発散量とそのヒートアイランド緩和効果およびCO₂削減効果のシミュレーション評価」
- 26) 平野勇二郎, 谷川寛樹, 藤田 壮, 藤井 実, 戸川卓哉 : 第 50 回環境工学フォーラム, 北海道大学学術交流会館 (2013)
「屋上緑化を導入した低炭素ビルにおけるCO₂削減効果の数値シミュレーション」
- 27) 平野勇二郎, 戸川卓哉 : 日本建築学会大会, 北海道大学 (2013)
「家庭部門におけるCO₂排出量推定モデル」

(3) 出願特許

特に記載すべき事項はない。

(4) シンポジウム、セミナーの開催 (主催のもの)

特に記載すべき事項はない。

(5) マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない。

(6) その他

特に記載すべき事項はない。

8. 引用文献

特に記載すべき事項はない。

（３）低炭素街区群を支えるインフラシステム

名古屋大学

エコトピア科学研究所

成瀬 一郎

大学院工学研究科 電子情報システム専攻 加藤 丈佳・小林 敬幸

大学院環境学研究科 都市環境学専攻 谷川 寛樹

<研究協力者>

名古屋大学 杉本 賢二

平成23～25年度累計予算額：28,975千円

（うち、平成25年度予算額：7,945千円）

予算額は、間接経費を含む。

〔要旨〕

低炭素社会を実現するためには、個別街区群における低炭素化に加え、複数の街区群とインフラシステムが連携して相乗効果を発揮する必要がある。そこで、名古屋都市圏を対象にインフラおよび建築物ストックの時系列・空間分布データベースであるくわ4d-GISを構築し、それを用いて街区群の低炭素化に向けた施策として、太陽光発電システム(PVS)導入、および工場地域街区群から発生する排熱の活用を検討し、導入効果とその課題を示した。

PVS導入に適する郊外戸建住宅と都心集合住宅について、世帯構成および居住、交通行動による電気自動車普及効果の分析を行った。その結果、都心から十数km圏内の地域であれば、都心並みに分散集中化した街区群を形成することで、自動車利用が多い大家族家庭においても郊外戸建住宅へのPVS導入が省エネに大きく寄与することがわかった。一方、PVS導入により発生する逆潮流電力が、多くの郊外地域において年間発電量の1%以上になるものの、住宅と商業施設の最適配置によって逆潮流を減らせる可能性が明らかとなった。

加えて、愛知県を対象として製造業工場からの排熱量と、民生部門におけるエネルギー消費量を4次地域メッシュ単位で推計し、排熱の授受検討に資する空間分布データベースを構築した。近隣データベースを活用して、知多市朝倉団地をケーススタディとして検討を行い、工場の排熱を団地内の家庭において台所や風呂などの給湯として利用することによる省エネ効果を推計し、それを実現するためのインフラ整備について提案を行った。

また、4d-GISを活用し、建築物として蓄積している建設資材投入量を明らかにすることで、建物更新に伴う廃棄物量と、それに伴うCO₂排出量の推計を可能とした。4d-GISはサブテーマ1で実施した将来の空間再構築・低炭素技術導入シミュレーションの際に必要な地域特性や、建物更新のしやすさについてデータを提供する。

〔キーワード〕 地域間連携、太陽光発電システム、未利用エネルギー、4d-GIS、マテリアルストック・フロー分析

1. はじめに

日本政府は温室効果ガスの排出量を2050年に1990年比で80%削減することを目標とした中長期ロードマップを策定しているが、このような高い目標を達成するためには、各要素技術の導入や効率を向上させることだけではなく、複数の街区群とインフラシステムが連携して相乗効果を発揮する必要がある。ただし、その際には単なる技術の寄せ集めではなく、技術の各街区群が有する特性である、都市圏全体からみた産業構造や人口分布など空間構成（建築物・インフラ・技術の配置）を考慮した技術導入や制度検討を行わなければならない。

以上の背景から、本サブテーマは、低炭素街区群の目指すべき空間構造のデザイン、エネルギー・資源循環システムを、高質の生活生産活動を支える形で実現するために、街区群を含む都市・地域レベルでのインフラの配置及びネットワークの最適化を行い、その上で低炭素なエネルギー・資源・廃棄物等の移動を実社会でいかに実現していくべきかを明らかにする。具体的には、各インフラにどのような機能を持たせることが必要なのか検討し、都市または国全体でのインフラストックが提供する機能と低炭素街区群が必要とするインフラの機能を整理し、その上で資源やエネルギーの需給を実現するインフラシステムを提示する。

2. 研究開発目的

名古屋都市圏の街区群において低炭素化技術を導入する際に効果的な組み合わせパターンの検討と、物質ストック・フロー量の推計と建物変遷を追うための時系列空間情報データの整備を行った。具体的には、太陽光発電システム(PVS)導入、および工場地域街区群から発生する排熱の活用について検討することにより、技術導入による効果とその課題について示した。また、4d-GISの構築により、低炭素技術を導入する際に必要となる地域特性として活用される、土地の履歴に関する歴史的変遷や建物更新のしやすさを示した。

（1）太陽光発電システム導入による実質的省エネ性とその影響評価

省エネ・低炭素化のために、郊外の戸建住宅を中心として太陽光発電システム（PVS）の大量導入が期待されている。一方で、都市計画の観点からは、コンパクトシティを構築することで通勤や買物が短距離化し、省エネ・低炭素性の高い中高層集合住宅が増加することによって冷暖房・照明負荷の削減による効果が期待されている。また、PVSが大量導入されることにより、配電系統単位での供給過剰である逆潮流電力による電圧上昇などの影響が懸念されており、様々な対策が検討されているものの、より本質的な対策のためには、電圧を制御しやすくするように配電系統の供給範囲を再編することが重要である。さらに、長期的な視点からは需要家の配置を変えるなどPVS大量導入に適した都市空間を構築することが有効である。

そこで、郊外戸建住宅にPVSが導入されることによる影響評価として、世帯による住宅規模の違い及び居住地域による日常行動における移動距離違いを考慮した、郊外戸建住宅へのPVS導入の実質的な省エネ効果について検討を行った。また、逆潮流電力による影響を軽減する対策として、配電用発電所の電力供給範囲を想定することにより最適な都市空間配置を明らかにした。

（２）工場地域街区群から発生する未利用エネルギー量の推計と地域間連携の検討

温室効果ガス削減に向けた省エネ技術やエネルギー供給システムが検討されており、加えて、東日本大震災後の供給エネルギーの不安定化や電力料金の値上げにより、自然エネルギー開発促進や省エネルギー化推進への動きが活発になっている。このような省エネ・低炭素社会を実現するためには、電気自動車や太陽光発電システムの導入など、家庭や建物レベルでの要素技術だけでは目標を達成することは困難であるため、地域間の連携とインフラシステムが連携して相乗効果を発揮する必要がある。

一方、最近になって工場からの排熱や地下水・河川水などの温度差エネルギーなど、これまで捨てられていた未利用エネルギーの活用が注目を集めている。未利用エネルギーの賦存量は民生部門のエネルギー消費量に匹敵するほどであるが、現在のところ、利用可能量に対する導入実績量は大きくなく、さらなる導入に向けて熱源と需要の地理的条件を組み合わせた検討の余地がある。また、未利用エネルギーの活用には熱導管や輸送機など供給インフラの整備は必要であるが、産業立地など既存の都市構造を大きく変化させることなく、省エネ効果を得られる有用な施策であるといえる。

以上の背景から、愛知県内の大きな排熱を有する製造業の工場、電力・ガス、清掃部門を対象に、立地している企業の業務別数と、アンケート調査より推定された排熱推定式を用いて、4次地域メッシュごとの排熱量と民生部門におけるエネルギー消費量を推定した。また、推計した排熱量を用いて、民生部門における排熱利用のケース事例として、住宅団地における導入とその課題について検討を行った。

（３）4d-GISの構築による建築物ストック・フロー量と建物更新の時系列分析

現在の社会は大量の物質が、建築物や道路、橋梁といった社会インフラの形で国土に蓄積しており、そこから生み出されるサービスを享受して社会経済活動が行われている。しかし、投入されたコンクリートや鉄、木材といった物質は、社会インフラが耐用年数を迎え取り壊されることにより、廃棄物として排出される。今後の循環型社会の形成に向けて、社会インフラの整備・更新を含む社会経済活動において使用される資源の量とその挙動を把握する手法としてマテリアルストック・フロー分析(Material Stock and Flow Analysis; MSFA)が有効である。MSFAによって物質循環の各段階において生じる環境負荷を推計することができるため、より効率的で持続可能な物質利用の検討可能である。

また、近年整備が進んでいる空間情報データを用いることにより、統計データのように集計単位にとらわれない分析が可能であり、長期的な各構造物の視覚化だけでなく、任意の空間解像度での物質ストック量の推計を行うことができる。加えて、街区群に低炭素技術を導入する際に必要となる地域特性として、建物更新のしやすさを数値化することができる。

本研究では、名古屋市都心部の中区錦二丁目、および名古屋城周辺地域を対象地域として、過去からの建築物ストック・フロー量の推移を時系列で分析することを目的として、住地図や航空写真、空間情報データを統合することにより、4d-GISを構築した。また、構築した4d-GISを用いて対象地域における建築物ストック・フロー量の推計を行った。

3. 研究開発方法

(1) 太陽光発電システム導入による実質的省エネ性とその影響評価

1) 郊外戸建住宅へのPVS導入による実質的省エネ性の評価

表(3)-1に示す6種類の世帯を検討対象とし、図(3)-1に示す名古屋都市圏の50地域に居住することを想定し、世帯別・居住地域別の居住と交通に関するエネルギー消費量を推計した。50地域はパーソントリップ(PT)データの中ゾーンに対応し、図(3)-1の同心円の中心点(名古屋市中区役所)から5km圏内を都心地域(計9地域)、5km圏外の地域を郊外地域(計41地域)とし、都心地域に居住する場合はPVSなしの集合住宅に、郊外地域に居住する場合はPVS付きの戸建住宅に居住すると想定した。

また、それぞれの世帯について、居住に関する一次エネルギー消費量 E_R 、交通に関する一次エネルギー消費量 E_T 、PVSからの電力供給量を一次エネルギーに換算した E_{PVS} をそれぞれ算出・集計することにより、以下の式(3.1)により各世帯に対して外部から供給すべき年間の一次エネルギー供給量 E [MJ/年]を居住地域別に算定した。

$$E = E_R + E_T - E_{PVS} \quad (3.1)$$

居住エネルギー消費量 E_R は、NHK国民生活時間調査等に基づき世帯構成別に算定された延床面積と居住エネルギー消費量の関係から推計した。また、交通エネルギー消費量 E_T については、

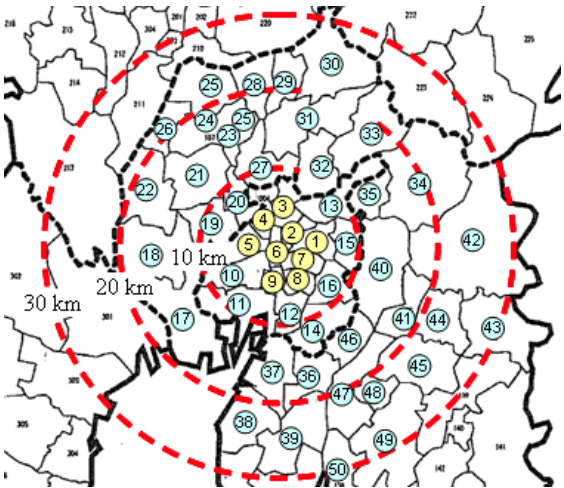
$$E_T = \sum_i \sum_j \sum_k c_i \cdot D_{ij} \cdot P_{ijk} \cdot L_j \cdot e_k \quad (3.2)$$

により算定される。ここで、 c_i ：目的 i の年間合計移動回数[回/年]、 D_{ij} ：目的 i 別の移動先区分 j の割合、 P_{ijk} ：目的 i ・移動先区分 j 別の利用交通機関 k の割合(交通機関分担率)、 L_j ：移動先区分 j 別の移動距離[km]、 e_k ：交通機関 k 別のエネルギー消費原単位[MJ/km]、をそれぞれ表す。交通エネルギー消費量については居住エネルギー消費量との整合性のため、NHK国民生活時間調査を用いて目的別(買い物、通院、飲食、通勤)の移動回数を想定した。また、移動先区分の割合と交通機関分担率は平成13年PT調査に基づき想定している。

PVSからの電力供給量については、延床面積の0.5倍を屋根面積と仮定し、その40%に効率が0.15kWp/m²のPVSが導入されるとした。また、1kWあたりの年間発電電力量をIEA法により水平全天日射量を傾斜角30度の傾斜面日射量に変換し、システム効率80%と系統電力の受電端効率36%を考慮して、年間一次エネルギー量を11.8GJ/kWと想定した。

表(3)-1 世帯構成員及び住宅に関する想定

世帯分類	構成員	延床面積[m ²]		PVS容量[kW]
		都心集合	郊外戸建	
1b	女勤め人	35	103	3.1
2b	男勤め人、主婦	53	118	3.5
3b	男勤め人、主婦、小学生	57	123	3.7
4b	男勤め人、主婦、小学生、中学生	61	126	3.8
5b	男勤め人、主婦、小学生、中学生、高校生	78	144	4.3
6b	男勤め人、主婦、小学生、中学生、高校生、高齢者	95	170	5.1

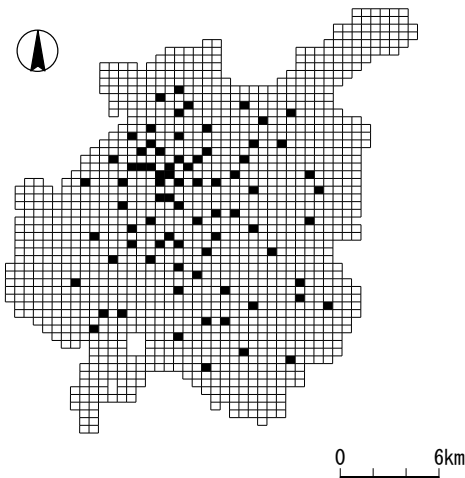


図(3)-1 検討対象とする50地域

また、郊外地域において街区群の分散集中に関する想定として、現状の街区群構成（ケース0）に加え、ケース1：PT調査における集計単位である基本ゾーン単位での分散集中化、ケース2：中ゾーン単位での分散集中化について考慮した。これにより、郊外地域においても現状の都心地域と同様にそれぞれの拠点を中心として住宅密度を高めることができれば、自動車利用回数の多い大家族の場合にもPVS導入の省エネに貢献できると考えられる。

2）配電用変電所の電力供給範囲想定に関する検討

中部電力HPより得た配電用変電所の住所より位置する4次メッシュを特定し、そのメッシュと隣接する8メッシュの合計電力の昇順に変電所に番号付けをする。図(3)-2に名古屋市に存在している配電用発電所の場所について示す。また、電力需要は住宅・業務施設の延床面積に電力需要原単位を乗じることにより、4次メッシュごとに365日分の1時間値を算出した。番号付けには名古屋市の合計電力需要が年間で最大となる7月の平日15時の値を使用した。



図(3)-2 名古屋市内の配電用変電所の位置

68	66	33	29	28	30	34	70	72
67	65	31	26	25	27	32	69	71
53	48	21	10	9	11	22	58	63
51	46	16	5	1	6	19	56	61
50	45	15	3		4	18	55	60
52	47	17	7	2	8	20	57	62
54	49	23	13	12	14	24	59	64
75	73	41	36	35	37	42	77	79
76	74	43	39	38	40	44	78	80

■：配電用変電所

図(3)-3 メッシュ検索順番

電力供給範囲の想定には、配電所を中心として図(3)-3に示す番号付けによって決定した。変電所番号の昇順に周囲のメッシュを、変電所を起点として反時計回りで検索し、変電所の供給範囲に加える。ただし、探索したメッシュが他の変電所の供給範囲に想定されていた場合には供給範囲には加えない。そして、予め設定した一変電所の最大供給範囲（変電所の周囲81メッシュ（4.5km四方））に達するまで計算を繰り返す。ただし、変電所の供給範囲となったメッシュ群に隣接する全メッシュが他の変電所の供給範囲に加えられていた場合、その変電所に関する追加メッシュの探索を終了する。以上の手順により電力供給地域を想定した。

（２）工場地域街区群から発生する未利用エネルギー量の推計と地域間連携の検討

図(3)-4に排熱量と消費量の推計フローについて示す。排熱量は対象となる愛知県の4次地域メッシュ(500mメッシュ)ごとに集計された事務所・企業統計に関する地域メッシュ統計と、各業種の排熱要因を用いて推計される。以下では、排熱量の推計方法と、推計に用いたデータについて説明する。排熱量推計の対象となる業種は表(3)-2に示す、生産過程において大きな排熱を有する製造業に加えて、ガス、電力、清掃部門(ごみ焼却)の15業種である。

業種ごとの排熱量の推定式として、省エネルギーセンター(2001)¹⁾により、アンケート調査より作成された推定式を用いた。この調査では、排熱が10[Tcal/year]以上発生することが想定される主要業種の工場と清掃工場を対象として約1000事業所にアンケートを行い、その結果を排熱種類・量・質について整理したものであり、その結果より工場単位で排熱を推計する式を作成している。なお、この調査では、排熱は「工場内で既に利用され、工場外に放出されている最終排熱で、外部利用の可能性のある温度域」(省エネルギーセンター, 2001¹⁾)と定義されており、以下で推計する排熱量は同じ工場内でさらに利活用するといった用途は想定していない。また、総量に対する排熱種類（ガス、温水、固体）と温度別比率も掲載されていることから、排熱量だけでなくその質についても推計することが可能である。

排熱推定式では業種*i*の事業所における排熱量 E_i は、

$$E_i = a + bX_i \quad (3.3)$$

として推計される。ここで、 X は生産要因のうち排熱に関する要素(以下、排熱要因)であり、 a と b はそれぞれ排出係数である。表(3)-2に業種別の排熱要因と係数について示す。排熱要因は各業種の従業員数や購入エネルギー、生産額といった要因のうち、排熱量と最も相関性が高かったものが用いられており、石油は従業員数、清掃はごみ焼却量であり、それ以外の業種では購入エネルギーである。なお、購入エネルギーについては、排熱推定時に用いていた「石油等消費構造統計表」が調査終了により最新のデータが利用できないため、事業所ごとのエネルギー消費原単位を用いて算出した消費エネルギー量として代替している。

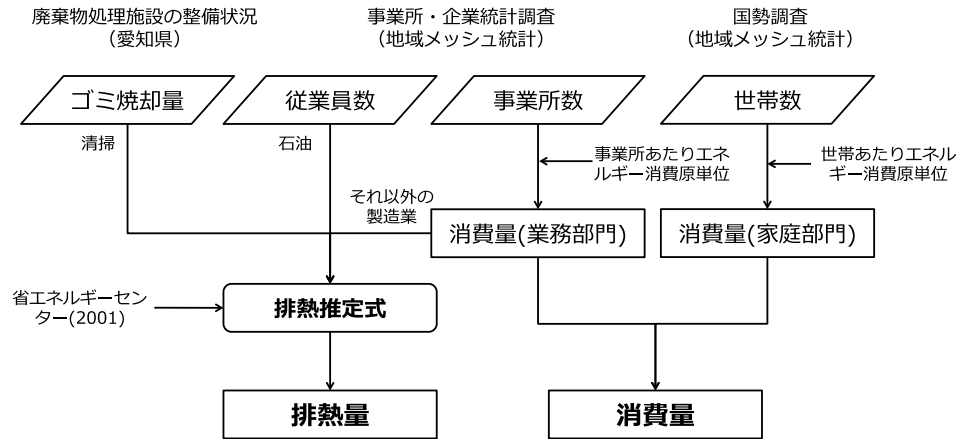
表(3)-2 業種別排熱推定式の排熱要因と排熱係数

業種	排熱要因 ^{注)}	排熱係数	
		a	b
1.食料	購入エネルギー	0.075	5.9
2.繊維	購入エネルギー	0.122	3.4
3.紙パ	購入エネルギー	0.071	34.7
4.化学	購入エネルギー	0.082	20.7
5.石油	従業員数	1.170	-43.1
6.窯業	購入エネルギー	0.135	-9.3
7.鉄鋼	購入エネルギー	0.047	52.8
8.非鉄	購入エネルギー	0.186	6.3
9.機械	購入エネルギー	0.144	2.8
10.電気	購入エネルギー	0.157	3.3
11.輸送	購入エネルギー	0.175	5.5
12.ガス	購入エネルギー	0.075	3.8
13.電力	購入エネルギー	0.056	65.6
14.清掃	ごみ焼却量	0.482	9.8
15.他	購入エネルギー	0.121	1.6

注) 購入エネルギー(単位：Tcal)、従業員数(単位：人)、ごみ焼却量(単位：千 トン)

従業員数と消費エネルギーの算出には「事務所・企業統計に関する地域メッシュ統計(以下、地域メッシュ統計)」を用いた。この地域メッシュ統計は、平成18年事業所・企業統計調査において調査された事業所の所在地情報から各事業所を同定し、メッシュ単位ごとに集計した統計である。この統計では地域メッシュごとに産業業種別の従業員数と事業所数が含まれている・なお、メッシュ統計による業種の分類は産業連関表などで用いられる区分であり、排熱推定式の業種とは若干異なるため、対応する業種区分に統合・整理している。また、清掃のごみ焼却量は、愛知県による「一般廃棄物処理事業実態調査」より、焼却場の所在地住所と焼却量をポイントデータとして抽出し、所在地住所を用いたアドレスマッチングにより該当する地域メッシュコードに分配した。

民生部門（家庭+業務部門）のエネルギー消費量は、それぞれメッシュ内に含まれる世帯数、および事業所数に、住環境計画研究所(2009)²⁾による世帯あたりエネルギー消費原単位（東海地方の



図(3)-4 排熱量と消費量の推計フロー

値である、44,211[MJ/世帯]）と、排熱量を推計する際に使用した、事業所あたりエネルギー消費量原単位を乗じることにより算出した。

また、推計された排熱量と消費量データを用いて、愛知県知多市の朝倉団地をケーススタディとして排熱活用について検討を行った。同地域は名古屋市近郊にある団地を中心とした地域であるため、エネルギー消費量がある程度まとまって存在している。加えて、団地は昭和40年代に建設されたために改築が必要であり、その際に大幅な低炭素技術の導入可能性を検討することが可能である。

（３）4d-GISの構築による建築物ストック・フロー量と建物更新の時系列分析

対象地域における建築物4d-GISを、過去の住宅地図、航空写真、および住宅地図GISデータを統合することにより構築した。対象期間は、住宅地図が入手可能な1961年以降とした。以下にその作成方法について説明する。

まず、現在の建築物空間データについて、ゼンリンの住宅地図データベースである、Zmap TOWN II 2008/2009年版と、紙媒体の住宅地図の重ね合わせにより作成した。次に、それより前の年代における建築物データは、一世代後のデータを元に住宅地図と航空写真を参照して、建物や屋根の形状、あるいは住宅地図に記載されている建物名称に大きな変更があった場合には建て替えが行われたと判断した。

後述するように、建設時に投入された資源投入量である物質ストック量の推計には、建築物の構造種別に関する情報が必要となるが、Zmap TOWN IIや住宅地図にはそうした属性情報が含まれていない。構造種別の判断には、個々の建物について現地調査や固定資産課税台帳などの資料を利用することが確実ではあるが、本研究のように現存していない過去の建築物について実際に確認することは非常に困難である。

したがって、本研究では構造種別について、以下に示す建物名称と階数による条件により設定した。まず、(1)住宅地図において建物名称として、(a)寺社名が記載されている、(b)個人名が記載されているなど、木造あるいは戸建住宅が明らかな場合は「木造(W造)」、(2)木造以外の建築物で、階数が4階未満の建築物は「鉄骨造(S造)」、(3)それ以外の建築物は「鉄筋コンクリート造(RC造)」の順で決定した。なお、S造とRC造との区分を4階とする理由は、表1に示す建築着工統計調査より集計した階数・構造種別割合からわかるように、3階までは木造を除く建築物の75%がS造であるが、4-5階になるとRC造の割合の方が大きくなるためである。

また、建築物ストック量の推計手法として原単位法を用いた。原単位法は、各建築物の延床面積に、延床面積あたりに投入された建設資材投入量（以下、資源投入原単位）を乗じることにより、ストック量を推計する手法である。 t 年における建築物ストック量 MS_t は、

$$MS_t = \sum H_i \cdot I_i \quad (3.4)$$

として推計される。ここで、 H ：建築物の延床面積[m²]、 I ：資源投入原単位(kg/m²)であり、添字の i は建築物、 j は構造種別、をそれぞれ表している。

物質ストック量を推計する際に重要となる資源投入原単位は、各年代における法令で定められた耐震基準法などによってその値が異なっている。そのため、本研究では、東岸ら(2009)³⁾による、建設年代・構造種別に整備された原単位を用いることで、より実勢に近いストック量の推計を行った。東岸ら(2009)³⁾では、コンクリートやガラスなどの資材種類別に原単位が整備されているが、

本研究では建築物全体のストック量を推計するために、表(3)-3に示す建物構造別資材投入原単位を合計した値を用いた。

また、4d-GISを構築する対象範囲を、名古屋市中区錦二丁目と、名古屋城周辺地域の2地域に設定した。錦二丁目については1つの街区群にとどまるが時間解像度を高く設定できる利点がある。一方、名古屋城周辺を対象とした場合には、建築物数が多くなるため作業量が多くなるが、地域的な傾向を見ることが可能である。

表(3)-3 建物構造別資材投入原単位

構造種別	1959年	1971年	1974年	1981年	2000年
W造	369.4	443.3	443.3	450.6	487.5
S造(2階)	751.9	818.3	818.3	818.3	903.1
S造(3階)	850.9	850.9	872.8	872.8	957.6
RC造	1840.5	1843.7	1843.7	1843.7	1843.7

出典) 東岸ら(2009)

4. 結果及び考察

(1) 太陽光発電システム導入による実質的省エネ性とその影響評価

1) 郊外戸建住宅へのPVS導入による実質的省エネ性の評価

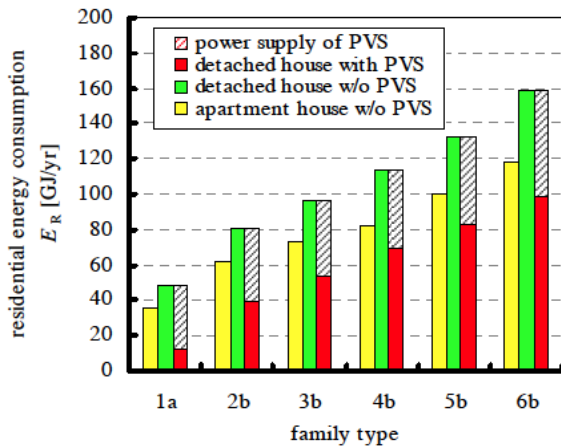
図(3)-5に世帯構成別の住居エネルギー消費量およびPVSによる電力供給量について示す。現状の街区群構成の場合、居住エネルギー消費量の計算は居住地によらず世帯人数別に決定される住宅延床面積に比例した算定となっているため、世帯人数が多いほど戸建住宅と集合住宅の差は増加するが、差の割合は世帯人数によらず30%強である。ただし、戸建住宅にPVSが導入される場合、その発電量分だけ各世帯への一次エネルギー供給量が削減されることを考慮すると、都心地域でPVSなしの集合住宅に居住するよりも、郊外地域でPVS付きの戸建住宅に居住する方が省エネとなり、特に世帯人数が少ない場合、PVS導入の省エネ効果は大きい。これは世帯人数が増えるにしたがって居住エネルギー消費量が増加するのにたいし、世帯人数によるPVS設備容量の差は小さいためである。

また、図(3)-6に、自動車としてワゴン車を用いる場合について、各地域における交通エネルギー消費量について示す。都心地域における短距離移動を除いて交通分担率はエネルギー効率が悪い自動車の割合が大きいことから、郊外地域ほどエネルギー消費量が大きくなる。それでも自動車の年間走行距離が長い豊田市西部の場合でも6人家族において80GJであり、戸建住宅に居住する場合の居住エネルギー消費量の半分程度である。さらに、エネルギー効率の良いハイブリッド車を用いると、その割合は世帯構成・地域によらずワゴン車の場合の30～40%となり大きく減少する。

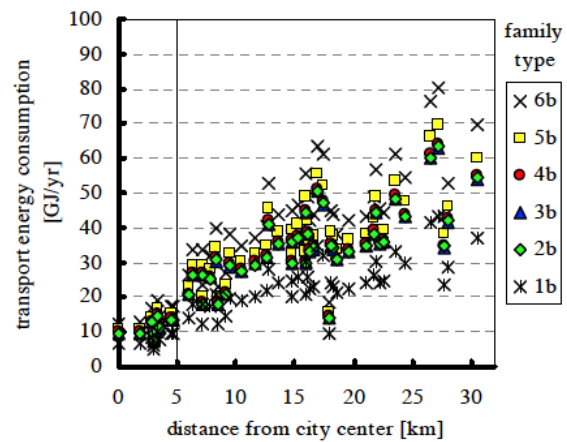
図(3)-7に式(3.1)より算出した各地域の総エネルギー消費量について、ワゴン車利用とハイブリッド車利用を想定した場合の推計結果を示す。図中の破線は都心地域におけるEの平均値を表す。世帯人数が少ない場合には交通エネルギー消費量の増加を考慮しても、郊外にPVS付きの戸建住宅居住は都心におけるPVSなしの集合住宅よりも実質的な省エネとなる。一方で、世帯人数が多くなるにしたがい、PVS付きの戸建住宅居住の方が省エネとなる地域の範囲は狭くなる。集合受託の延床面積については再検討の余地はあるものの、概して大家族の場合には、省エネの観点からは、郊外にてPVS付き戸建住宅に居住するよりも、都心にてPVSなしの集合住宅に居住するほうが良いことになる。ただし、燃費の良いハイブリッド車を用いる場合、交通エネルギー消費量の地域差は小さくなり、6人家族の場合でも郊外におけるPVS付き戸建住宅居住の方が実質的な省エネになると考えられる。

これに対して基本ゾーン単位で街区群が分散集中化するケース1では、3人家族では都心から20km圏内まではPVSなしの集合住宅居住よりもPVS付の郊外戸建住宅の方が省エネであり、4人家族以上の場合も概ね10km圏内までならPVS付の郊外戸建住宅の方が省エネである。ケース2の中ゾーン単位で街区群が分散集中化する場合には、PVS付の郊外戸建住宅居住の方が省エネとなる範囲は、書く世帯においてそれぞれ増加している。

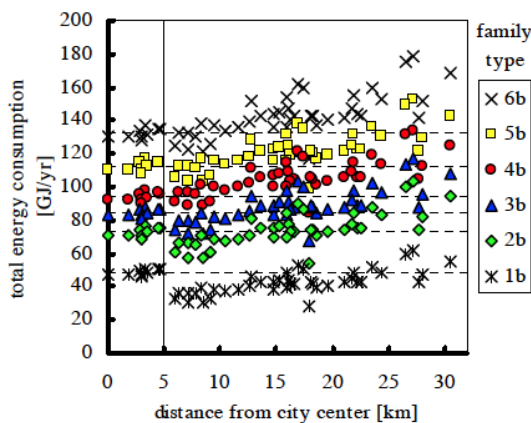
このように、都心から概ね十数km圏内の地域であれば、徒歩や自転車による買物等の日常行動が可能なように街区群を分散集中化して自動車利用を削減することで、PVS付の郊外戸建住宅居住は、都心におけるPVSなしの集合住宅居住よりも省エネとなる。日常生活に関わる交通エネルギー消費量を考慮しても郊外戸建住宅へのPVS導入が実質的な省エネ効果を得られるのであれば、都市本来の機能を損なうことなく、その効果を最大限に発揮するような大都市圏のランドデザインを考える余地があると考えられる。



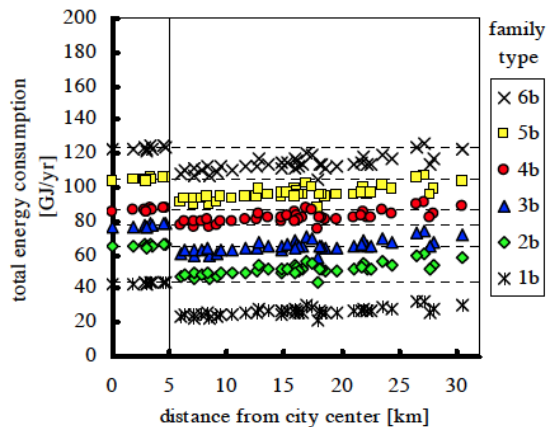
図(3)-5 世帯構成別の住居エネルギー消費量およびPVSによる電力供給量



図(3)-6 各地域における交通エネルギー消費量



(a) ワゴン車の場合

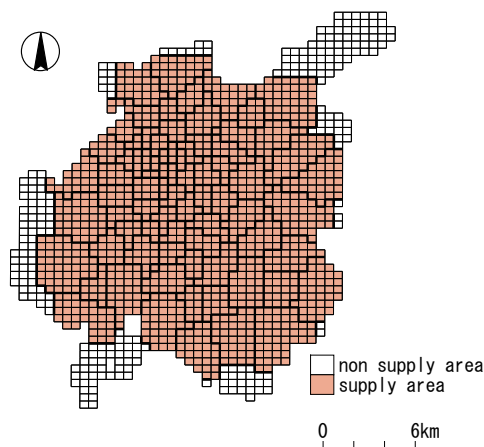


(b) ハイブリッド車の場合

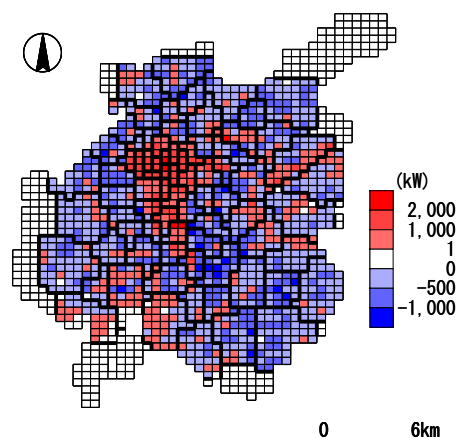
図(3)-7 各地域における合計一次エネルギー消費量

2) 配電用変電所の電力供給範囲想定に関する検討

図(3)-8に名古屋市における配電用変電所の供給範囲に関する想定結果を示す。名古屋市内の全4次メッシュのうち約83%が変電所の電力供給範囲として想定された。供給範囲に想定されなかった郊外に位置するメッシュに関しては、名古屋市の配電用変電所から電力が供給されるものと考えている。また、各変電所の供給範囲に想定されたメッシュの7月の平日15時の合計電力需要と供給メッシュ数との関係についてみると、変電所によって供給メッシュ数はばらつきもあるものの、合計電力需要は80%の変電所で10～40MWである。合計電力需要が70MW程度の変電所もあるが、電気学会地域供給システムモデルの系統Ⅱ77kV地中送電系統における配電用変電所の負荷(1～71MW)を考慮すると、概ね妥当な想定と考えている。



図(3)-8 配電用変電所の想定供給範囲



図(3)-9 ネット電力負荷の推計結果

また、図(3)-9に配電供給エリア単位での、中間期である休日の11時におけるネット電力負荷の推計結果について示す。ここで、ネット電力負荷とは電力需要からPVSによる供給量を差し引いたものであり、ネット電力負荷が負の場合には逆潮流電力が発生する。対象とした名古屋市では、都心地域では業務施設の需要が大きいことから昼間でも電力需要が大きくなっているが、多くの郊外地域において年間発電量の1%以上の逆潮流電力が発生し、最大で約20%と推計された。また、郊外エリアでも戸建住宅の延床面積比が0.4以上の場合には逆潮流電力が発生しないことから、住宅・商業施設の最適配置により、逆潮流電力を減らせる可能性が明らかとなった。

(2) 工場地域街区群から発生する未利用エネルギー量の推計と地域間連携の検討

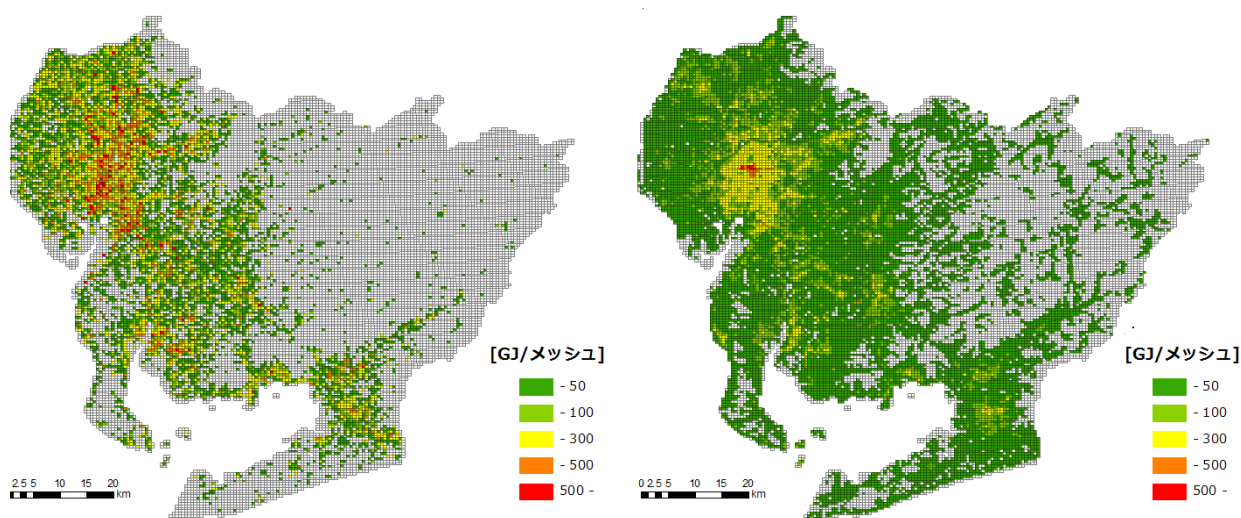
図(3)-10に、愛知県の4次地域メッシュごとに推計した排熱量と、民生部門におけるエネルギー消費量の空間分布について示す。まず、排熱量についてみると愛知県全体では排熱量ポテンシャルが79.77[万TJ/year]となり、推計された民生部門のエネルギー消費量37.76[万TJ/year]の約2倍に相当する。名古屋市や、東部に位置している豊橋市など、人口が集中している地域や、東海市や知多市など沿岸部において大きな排熱を有していることが明らかとなった。これらの地域には多くの人口が居住している都市域に加えて、化学や鉄鋼など比較的エネルギーを多く消費し、かつ一般的に排熱も大きな工場が立地していることから、排熱ポテンシャルを十分に活用できるのであれば省エネ技術として排熱利用を行うことが可能である。

また、業種別にみても、化学(19.70[万TJ/year])、鉄鋼(13.93[万TJ/year])、紙パルプ(11.35[万TJ/year])、機械(8.17[万TJ/year])、繊維(7.96[万TJ/year])の順となっている。なお、排熱の活用には需要地との距離が重要であるが、今回推計を行った愛知県では排熱源と需要地と離れているメッシュが多い傾向が見られることから、同一メッシュでのみ排熱を利用できると仮定した場合を算出すると、7.4[万TJ/year]と排熱全体の10分の1しか活用できない。このことは、排熱利用が進んでいない現状の課題と同様である。

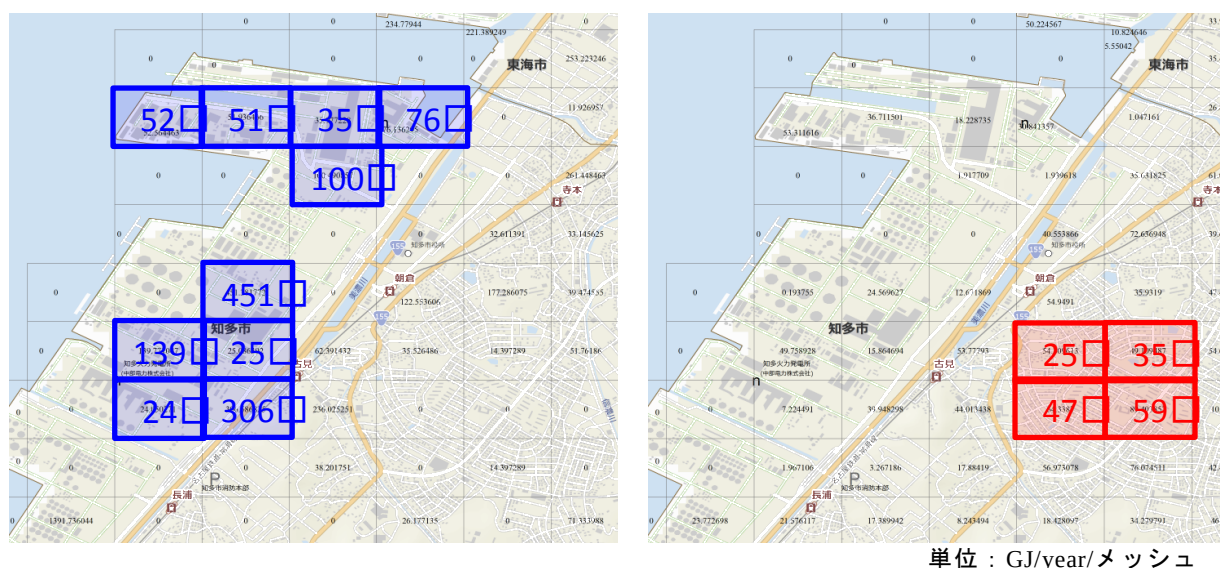
朝倉団地における排熱利用について、図(3)-11に朝倉団地周辺における排熱量とエネルギー消費

量について示す。排熱量は沿岸部に化学、機械などの大きな排熱を有する工場が立地しているため、上位10メッシュで1,459[GJ/year]の排熱ポテンシャルが存在している。また、消費量については団地であることから家庭部門が多くを占めており、該当する4メッシュで233[GJ/year]であった。総量からみれば消費量の約6倍に相当する排熱量が存在していることから、活用が期待できる。加えて、排熱の種類については、ガス：1,343.4[GJ/year]、温水：93.3[GJ/year]、固体：21.8[GJ/year]となった。また、ガスの排熱温度は、100～200度：989.2[GJ/year]、200～300度：207.0[GJ/year]、300～400度：78.1[GJ/year]、400度以上：69.0[GJ/year]、であり、多くが低温域のガス排熱であることが推計された。

これらの推計結果に加え、既存のエネルギー・熱授受に関する技術とそれを導入した場合の課題を参考として、朝倉団地において排熱活用を検討すると、(1)パイプラインなどの熱導管、(2)トランスヒートコンテナによる排熱輸送、が考えられる。前者の場合、直接需給地を結ぶため途中でのエネルギーロスが少なくなるが、現実的には配管の設置には課題があり、地上に設置する場合には土地所有者の承諾や景観の悪化となり、地中を通す場合には地下構造物との干渉を避ける必要がある。後者の場合、運営において車両や燃料などのコストが高くなるという課題があるものの、地理的条件と排熱量を考慮すると、排熱輸送により授受を行うことが現実的である。



図(3)-10 愛知県における排熱量（左）と消費量（右）の分布



図(3)-11 朝倉団地周辺における排熱量（左）と家庭部門におけるエネルギー消費量（右）

（３）4d-GISの構築による建築物ストック・フロー量と建物更新の時系列分析

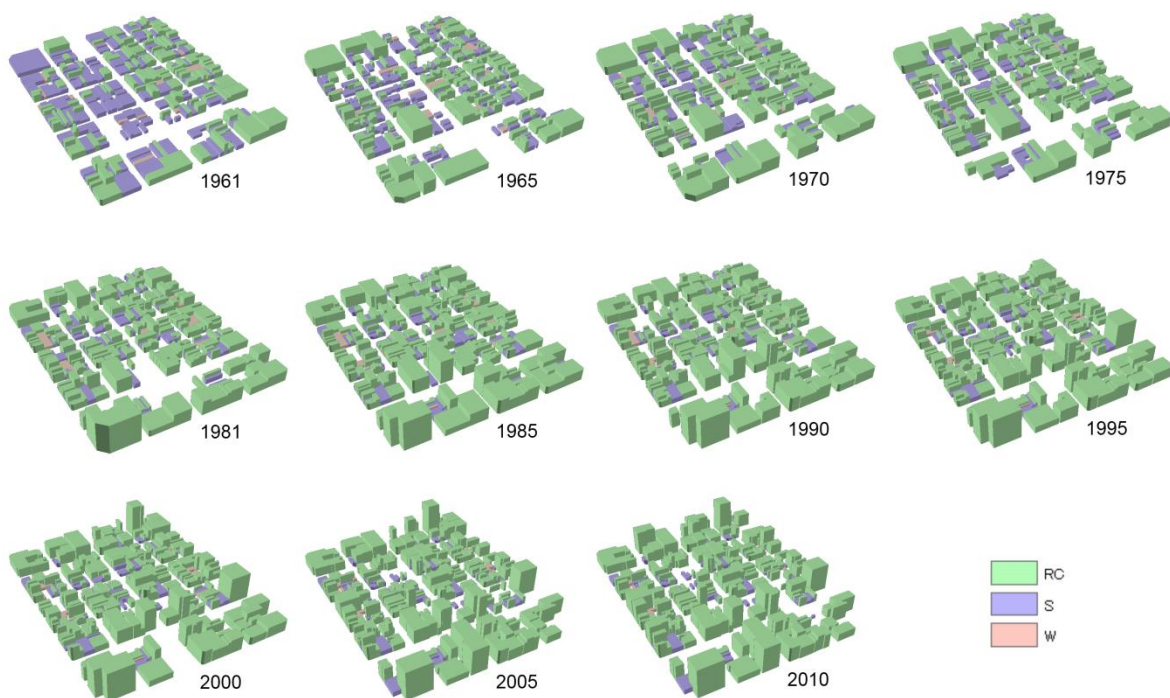
1) 錦二丁目を対象とした4d-GISデータベース

図(3)-12に建物ポリゴンを階数情報で立ち上げた3dイメージについて示す。構造種別についてみると、1960年代は鉄骨造の建築物が多く半数以上を占めていたが、それ以降は鉄筋コンクリート造の割合が大きくなり、2010年には全体の73%を占めている。また、木造は10~20棟前後で推移しており、対象期間において大きな変化が見られない。その理由として対象地域では商店兼住宅の建築物が多くあり、また古くからある寺社などが現存していることが挙げられる。一方で、建築物の総数は1980年代にやや増加したものの、全体としては減少傾向にあり、2010年には1961年の約64%である305棟となっている。こうした棟数の減少には、容積率を確保するために建物跡地を駐車場として利用することに加えて、鉄筋コンクリート造を建設する際に周辺の建物と共同で更新が行われているためであると考えられる。

4d-GISを活用することにより、各世代間で建築物差分を抽出することで、建設年代と消失年代を推定することが可能である。建築年代についてみると、新しい建設年代と比較して古いほど残存率（各年代に建設された建築物が、時間経過とともにどの程度残っているかを表す）の傾きが急である傾向がみられるが、資材投入量が少ないために、鉄筋コンクリート造よりも耐用年数が短い鉄骨造の割合が多いことで建て替え頻度が短くなっていることが、その理由として考えられる。

図(3)-13に1961～2010年までの期間における構造種別の建築物ストック量の推移について示す・対象期間において建築物ストックは一貫して増加しており、1961年には47.5万トンであったストックが、2010年には122.7万トンまで増加し、50年間で2.6倍となっている。ストックの増加要因として前述のように建物の高層化が進んだことにより延床面積が増加したことに加えて、より資材投入量を必要とする鉄筋コンクリート造数が増えたためであると考えられる。

また、図(3)-14にそれぞれの年代におけるストックの変化量について、建設によるストック増加



図(3)-12 4d-GISを用いた名古屋市中区錦二丁目の建築物群表示 (1961-2010年)

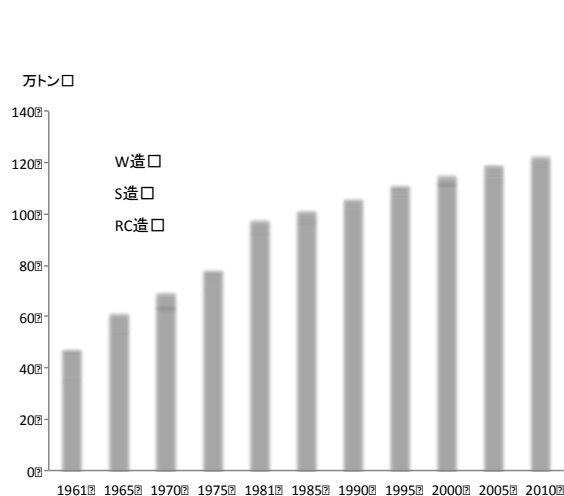
量と消失によるストック減少量とのフロー量を示す。図(3)-13に示したようにストックは増加しているが、これは減少量よりも増加量が多いことに起因している。しかし、その傾向は一様ではない。ストックの増加は1961-65年、1975-81年の大きな変化の後は減少しているが、2000年以降の2年代において15-20万トン増加している。それ以前の年代ではストック減少量はそれほど多くなく、2000年以降に増大していることから、建物更新が活発になることでストックの増加量・減少量ともに増加している。加えて、通常の商業建物の耐用年数である30年を仮定すると、同年代に増加したストックが2030年あたりから廃棄物量が増加することが推測される。

こうした、過去から現在までの建築物の変遷や耐用年数、築年数、蓄積物質ストック量を、サブテーマ1での将来シミュレーションのパラメータとして空間構造の再構築計算に利用されている。

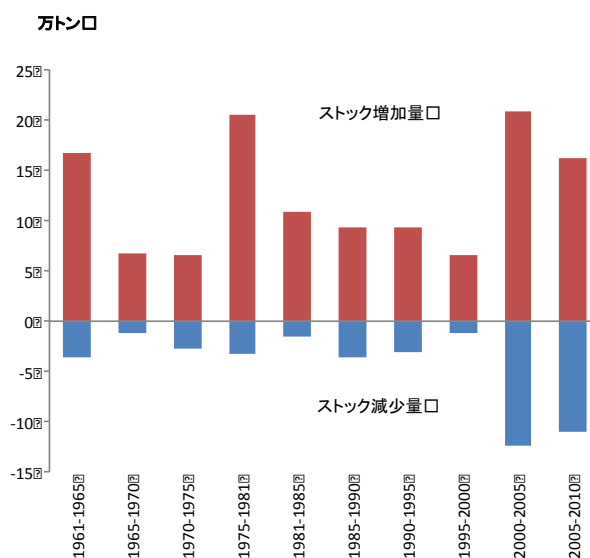
2) 名古屋城周辺地域を対象とした4d-GISデータベース

図(3)-15に錦二丁目と同様に建物ポリゴンを階数情報で立ち上げた3dイメージについて示す。対象地域の北側にあたる西区などでは、戸建住宅の割合が多いために低層階の建物が広く分布しているが、南側に位置している、名古屋駅から栄地区にかけての東西方向において高層ビルが建築されており、さらにそれが集中していることが見て取れる。低層階の戸建住宅の多い北区や西区においても2.1から2.5階まで増加しており、一方でオフィスビルなどの商業ビルが林立している中村区や中区では平均で4階を超えている。ケーススタディ地域全体としても1990年の2.4階から2.97階まで20%の高層化がみられる。

表(3)-4に対象地域におけるマテリアルストック量の推移について示す。対象地域では1990年の25.16 [百万トン]から2009年の42.76 [百万トン]までストック量が70%増加しているが、中区と中村



図(3)-13 建築物ストック量の推移



図(3)-14 建築物ストックの変化量の推移

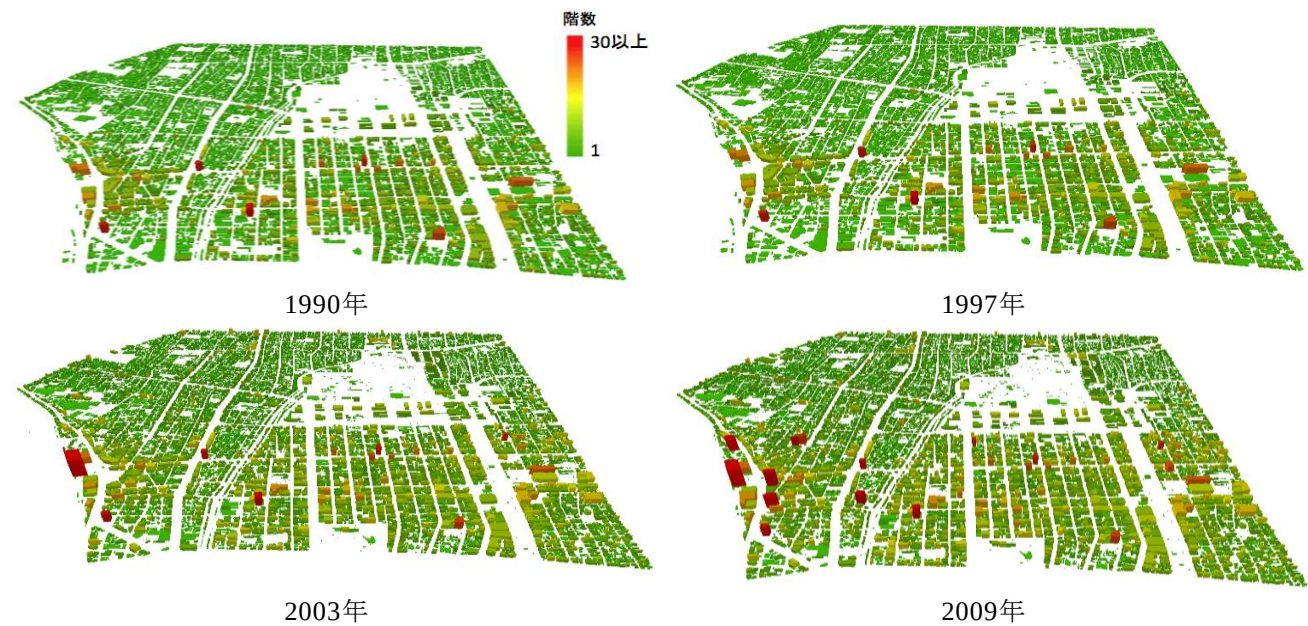
区における蓄積量の増加がその要因として挙げられる。もちろん、建物棟数の多い西区でもストック量が多くはなっているが、中区と中村区における開発によって建物が高層化し、より多くの面積あたり資材投入量を要するRC造が建築されたことがストック量の増加につながっている。

建設資材ではコンクリートがもっとも大きな割合を占めており、全体の蓄積量のうち80-85%である。これは、他の構造種別に比べて資材原単位が大きいRC造が増加したことに加えて、RC造の資材原単位の多くを占めているコンクリートの投入が増加しているためであると考えられる。また、超高層ビルの建設が都市におけるマテリアルストックに与える影響は非常に大きく、例えば、中村区における名古屋駅前に建設された、「ミッドランドスクエア (47階建)」、「セントラルタワーズ、2棟 (51.52階建)」、「スパイラルタワーズ (36階建)」は全て高さ100mを超える超高層ビルであるが、この4棟だけで物質ストック量は200万トンを超えており、中村区の合計量のうち23%を占めている。

4d-GISを用いることで、経年でのストック量の推移だけでなく、各年代間に増加、あるいは減少したストック量であるフロー量についても推計することができる。表(3)-5に東区におけるマテリアルフロー量の推移について示す。どの期間においてもストック増加量は廃棄物である減少量の3倍程度の大きさになっており、建替えや用途変更などによって建築物が滅失した以上にストック量が増加していることがわかる。しかし、増加した建物数(表中、新築棟数)と減少した建物数(表中、滅失数)を比較すると、減少分のほうが多くなっている。無くなった建築物と出来た建築物の構造種別の違いから、階数の低い木造の建物が減り、階数の大きいRC造の建物が増えることで、差し引きで建物の数が少なくなっても、ストックは大きく増加するのである。

加えて、マテリアルフローの推計により、標準的な耐用年数を想定した場合に排出される廃棄物量を推定することができる。RC造の耐用年数である30年を仮定すると、2020年ごろに、1990から1997年までの増加量のうち半数が廃棄されると推定できる。なお、日本における建築物の標準的な耐用年数が30年程度であることから、処分場の検討などを含めた廃棄物管理には、さらに長

期的な4d-GISを構築する必要がある。



図(3)-15 名古屋城周辺を対象とした4d-GISの概要 (1990-2009年)

表(3)-4 建築物マテリアルストック量の推移

単位：100万トン

	東区	北区	西区	中村区	中区	平均
1990	2.44	1.24	5.02	4.20	12.26	25.16
1997	2.87	1.51	6.02	4.96	14.62	29.99
2003	3.65	1.49	6.02	5.83	15.95	32.94
2009	4.14	1.75	7.82	8.57	20.48	42.76

表(3)-5 東区(一部地域)におけるマテリアルフロー量

年代	ストック量			建築物数	
	増加量	減少量	純増量	新築数	減失数
	(100万トン)			(棟)	
1990 ➔ 1997	0.559	0.127	0.432	172	285
1997 ➔ 2003	0.840	0.251	0.589	443	278
2003 ➔ 2009	0.718	0.214	0.503	167	280

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

- 1) PVS導入に適した郊外戸建住宅と都心地域における集合住宅地域について、世帯構成および居住、交通行動を考慮することにより、都心から十数km圏内の地域であれば、街区群を都心並みに分散集中化することで、自動車利用が多い大家族においても、郊外戸建住宅へのPVS導入は実質的な省エネに寄与することがわかった。

- 2) 配電用変電所の電力供給範囲を想定することにより、PVS導入により発生する供給余剰である逆潮流電力が、多くの郊外地域において年間発電量の1%以上の逆潮流電力が発生するが、郊外地域でも住宅と商業施設の最適配置により、その発生を減らせる可能性が明らかとなった。
- 3) 愛知県を対象として4次地域メッシュ単位での製造業工場からの排熱量と、民生部門におけるエネルギー消費量を推計することにより、排熱の授受検討に資する空間分布データベースを構築した。構築したデータベースを活用して、知多市朝倉団地をケーススタディとして連携の検討を行い、工場からの排熱を団地内の家庭において台所や風呂などの給湯として利用することにより省エネとなることがわかった。
- 4) 4d-GISを構築することにより、建築物として蓄積している建設資材投入量を明らかにすることで建物更新に伴う廃棄物量を推計することが可能となった。また、サブテーマ1での将来の空間再構築シミュレーションや低炭素技術を導入する際に必要となる地域特性として活用される、土地の履歴に関する歴史的変遷や建物更新のしやすさを明らかにした。

(2) 環境政策への貢献

特に記載すべき事項はない。

6. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文(査読あり)>

- 1) 有川美穂, 妙中佐由理, 谷川寛樹:土木学会論文集G(環境), Vol.67, pp.513-522 (2011)
「木造住宅の寿命変化による木材需給と炭素固定量への影響に関する研究 -地理情報を用いた和歌山県域でのケーススタディ-」
- 2) 奥岡桂次郎, 三宅悠介, 大西暁生, 韓驥, 白川博章, 谷川寛樹:土木学会論文集G(環境), Vol.68, No.6, II_147 - II_154 (2012)
「東海三県における建設系廃棄物の地域循環圏に関する基礎的研究」
- 3) 田中健介, 早川容平, 奥岡桂次郎, 杉本賢二, 谷川寛樹:土木学会論文集G(環境), Vol.69, No.6, II_25-II_34 (2013)
「都道府県における建築物・社会基盤施設の経年マテリアルストック推計に関する研究」
- 4) 長谷川正利, 大西暁生, 奥岡桂次郎, 戸川卓哉, 谷川寛樹:土木学会論文集G(環境), Vol.69, No.6, II_13-II_23 (2013)
「持続可能な社会へ向けたCO₂排出量及びマテリアルストック・フローの将来分析 -北陸三県の市町村を対象として-」
- 5) 杉本賢二, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹:環境情報科学学術研究論文集, Vol. 27, pp.85-90 (2013)
「PALSARを用いた建築物の空間分布に関する研究」

- 6) Morita H., Sugimoto K., Kato H., Murayama A., Iizuka S, Shibahara N. and Hayashi Y.: CUPUM (Computers in Urban Planning and Urban Management), USB, (2013)
"Environmental Performance Evaluation of District Using 4D-GIS"
- 7) 森田紘圭, 杉本賢二, 加藤博和, 村山顕人, 飯塚悟, 柴原尚希, 林良嗣: 土木学会論文集D3 (土木計画学), Vol.69, No.5, pp.I_297-308 (2013)
「4D-GISを用いた地区統合環境性能評価モデルの構築」

<査読付論文に準ずる成果発表> (対象: 社会・政策研究の分野)

特に記載すべき事項はない

<その他誌上発表(査読なし)>

特に記載すべき事項はない

(2) 口頭発表(学会等)

- 1) 早川容平, 韓驥, 谷川寛樹: 第8回環境情報科学ポスターセッション, 日本大学会館 (2011)
「経年GISデータベースを用いた道路構造物の物質量推計に関する研究」
- 2) 黒岩史, 韓驥, 谷川寛樹: 第8回環境情報科学ポスターセッション, 日本大学会館 (2011)
「標高の変化に基づく土石移動量の推計に関する研究」
- 3) 鬼頭祐介, 韓驥, 白川博章, 谷川寛樹: 第8回環境情報科学ポスターセッション, 日本大学会館 (2011)
「MSIASMを用いた地域の持続可能性評価: 日本の都道府県を対象としたケーススタディ」
- 4) 田中健介, 奥岡桂次郎, 韓驥, 白川博章, 谷川寛樹: 第8回環境情報科学ポスターセッション, 日本大学会館 (2011)
「日本全国の橋梁の物質ストックの推計に関する研究」
- 5) 有川美穂, 韓驥, 白川博章, 谷川寛樹: 第8回環境情報科学ポスターセッション, 日本大学会館 (2011)
「人工林管理と木造住宅の炭素固定効果の空間分析」
- 6) T. Imamura, T. Kato, Y. Suzuoki: 21st International Photovoltaic Science and Engineering Conference, Fukuoka, Japan, 2011
"A Study on Practical Energy Conservation of Residential Photovoltaic Power Generation System Depending on Inhabitation Areas"
- 7) 杉本賢二, 谷川寛樹: 平成23年度土木学会中部支部研究発表会, 信州大学長野(工学)キャンパス (2012)
「名古屋圏を対象とした街区レベルでのフードデザートマップ作成とその利用」
- 8) 早川容平, 奥岡桂次郎, 韓驥, 白川博章, 谷川寛樹: 平成23年度土木学会中部支部研究発表会, 信州大学長野(工学)キャンパス (2012)
「経年GISデータベースを用いた道路構造物の物質量水系に関する研究」
- 9) 黒岩史, 奥岡桂次郎, 韓驥, 白川博章, 谷川寛樹: 平成23年度土木学会中部支部研究発表会,

- 信州大学長野（工学）キャンパス（2012）
「標高の時系列変化に基づく土砂移動量の推計に関する研究」
- 10) 鬼頭祐介，韓驥，白川博章，谷川寛樹：平成23年度土木学会中部支部研究発表会，信州大学長野（工学）キャンパス（2012）
「MSIASMを用いた地域の発展傾向の評価：日本の都道府県を対象としたケーススタディ」
 - 11) T. Kato, S. Kumazawa, Y. Suzuoki, N. Honda, M. Koaizawa, S. Nishino : International Conference on Renewable Energy and Power Quality (ICREPQ'12), Santiago de Compostela, Spain, 2012
“Evaluation of Short-cycle Power Output Fluctuation of High-Penetration Photovoltaic Power Generation Systems using Multi-Points Insolation Data”
 - 12) 青柳淳之介，杉本賢二，谷川寛樹：平成24年度土木学会関西支部年次学術講演会，神戸市立工業高等専門学校（2012）
「名古屋中心街におけるマテリアルストック推計を目的とした4D GISの構築」
 - 13) 青柳淳之介，杉本賢二，谷川寛樹：第9回環境情報科学ポスターセッション，日本学会館（2012）
「マテリアルストック推計のための4D GISの構築 -名古屋市都心部を対象にしたケーススタディ-」
 - 14) 加藤丈佳，今村俊文，鈴置保雄：第31回エネルギー・資源学会研究発表会，大阪国際会議場（2012）
「住宅規模および交通行動の違いを考慮した住宅用太陽光発電システムの実質的省エネ効果の地域性～住宅地域の分散集中化の影響～」
 - 15) 加藤丈佳，小林敬幸，谷川寛樹，成瀬一郎：第45回土木計画学研究発表会，京都大学吉田キャンパス（2012）
「郊外街区群の分散集中化による住宅用太陽光発電システムの実質的省エネ性向上」
 - 16) 黒岩史，奥岡桂次郎，杉本賢二，谷川寛樹：第40回環境システム研究論文発表会，和歌山大学システム工学部（2012）
「標高の時系列変化に基づく人為的な土砂移動量の推計に関する研究 -大阪府岬町におけるケーススタディ-」
 - 17) 杉本賢二，谷川寛樹，成瀬一郎，加藤丈佳，小林敬幸：第45回土木計画学研究発表会，京都大学吉田キャンパス（2012）
「名古屋圏を対象としたエネルギー消費の推計と街区群設計に関する検討」
 - 18) 杉本賢二，谷川寛樹，成瀬一郎，加藤丈佳，小林敬幸：日本環境共生学会第15回学術大会，北九州市立大学ひびきのキャンパス（2012）
「名古屋都市圏における未利用エネルギー活用に関する検討」
 - 19) 杉本賢二，谷川寛樹，森田紘圭，加藤博和：第46回土木計画学研究発表会，埼玉大学（2012）
「4d-GISによる都心街区群における建築物ストック量の時系列分析 -名古屋市中区錦二丁目を対象として-」
 - 20) K. Sugimoto, H. Tanikawa, H. Morita and H. Kato: 3rd Joint Workshop between Nagoya University and Beijing Normal University (2012)
“Time-Series Analysis of Building Material Stock Using 4d-GIS”

- 21) 青柳淳之介, 杉本賢二, 谷川寛樹: 平成24年度土木学会中部支部研究発表会, 愛知工業大学 (2013)
「マテリアルストック推計を目的とした4D GISの構築 -名古屋市都心部を対象としたケーススタディ-」
- 22) 黒岩史, 奥岡桂次郎, 杉本賢二, 谷川寛樹: 平成24年度土木学会中部支部研究発表会, 愛知工業大学 (2013)
「標高変化に基づく人為的な土砂移動量の推計に関する研究 -関西国際空港二期事業に伴う土砂採取地を対象としたケーススタディ-」
- 23) 岡崎奈津子, 奥岡桂次郎, 韓驥, 白川博章, 谷川寛樹: 平成24年度土木学会中部支部研究発表会, 愛知工業大学 (2013)
「各都道府県における木材需給バランスと炭素固定量のシナリオ分析」
- 24) 高木溪太, 早川容平, 奥岡桂次郎, 杉本賢二, 谷川寛樹: 平成24年度土木学会中部支部研究発表会, 愛知工業大学 (2013)
「レジリエントな国土デザインのための環境情報可視化システムの構築」
- 25) 清水亮, 梁涵璋, 奥岡桂次郎, 杉本賢二, 谷川寛樹, 松野泰也: 平成24年度土木学会中部支部研究発表会, 愛知工業大学 (2013)
「PALSAR データを用いたマテリアルストックの推計」
- 26) 田中健介, 奥岡桂次郎, 杉本賢二, 韓驥, 白川博章, 谷川寛樹: 平成24年度土木学会中部支部研究発表会, 愛知工業大学 (2013)
「マテリアルストックの充実による地域の産業ごとの生産性変化に関する研究」
- 27) 早川容平, 杉本賢二, 韓驥, 白川博章, 谷川寛樹: 平成24年度土木学会中部支部研究発表会, 愛知工業大学 (2013)
「日本全国の社会基盤を対象とした経年ストックGISデータベース構築に関する研究」
- 28) 北山隼, 栗本宗明, 加藤丈佳, 鈴置保雄: 電気関係学会東海支部連合大会, 静岡大学浜松キャンパス (2013)
「地域メッシュ統計に基づく配電用変電所の電力供給範囲想定に関する一検討」
- 29) 杉本賢二, 青柳淳之介, 谷川寛樹: 第47回土木計画学研究発表会, 広島工業大学五日市キャンパス (2013)
「4d-GISによる建築物マテリアルストック・フロー分析-名古屋市中心部を対象としたケーススタディ-」
- 30) 高木溪太, 奥岡桂次郎, 杉本賢二, 谷川寛樹: 第47回土木計画学研究発表会, 広島工業大学五日市キャンパス (2013)
「マルチレイヤーシステム型の環境・防災情報可視化システムの構築」
- 31) 奥山聡俊志, 田中健介, 鬼頭祐介, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹: 平成25年度土木学会関西支部年次学術講演会, 大阪市立大学杉本キャンパス (2013)
「社会基盤の拡充による資源投入に対する生産性への影響評価」
- 32) 黒田将平, 清水亮, 奥岡桂次郎, 杉本賢二, 谷川寛樹: 平成25年度土木学会関西支部年次学術講演会, 大阪市立大学杉本キャンパス (2013)
「リモートセンシングを用いた建築物面積の推計方法の検討」

- 33) 光崎貴洋, 石原和弥, 奥岡桂次郎, 杉本賢二, 谷川寛樹:平成25年度土木学会関西支部年次学術講演会, 大阪市立大学杉本キャンパス (2013)
「TMR指標を用いた建築副産物の質を考量したリサイクル性評価-和歌山市中心部を対象としたケーススタディ-」
- 34) 杉本賢二, 森田紘圭, 谷川寛樹:環境科学会2013年会, 静岡県コンベンションアーツセンター (2013)
「名古屋都市圏を対象とした未利用エネルギーポテンシャルの検討」
- 35) 田中健介, 奥岡桂次郎, 杉本賢二, 谷川寛樹:環境科学会2013年会, 静岡県コンベンションアーツセンター (2013)
環境科学会2013年会 修士課程学生の部 優秀発表賞(富士電機賞)
「低物質社会に向けた資源蓄積量の生産性に関する研究」
- 36) 吉田圭介, C. Rassarin, 奥岡桂次郎, 杉本賢二, 谷川寛樹:環境科学会2013年会, 静岡県コンベンションアーツセンター (2013)
「標高変化に基づく人為的な土砂移動量の推計に関する研究-和歌山県和歌山市加太地区のケーススタディ-」
- 37) 奥山聡俊志, 奥岡桂次郎, 杉本賢二, 谷川寛樹:環境科学会2013年会, 静岡県コンベンションアーツセンター (2013)
「社会基盤の拡充による労働生産性への影響評価」
- 38) 高木溪太, 奥岡桂次郎, 杉本賢二, 谷川寛樹:環境科学会2013年会, 静岡県コンベンションアーツセンター (2013)
「マルチレイヤー型の環境情報可視化システムの構築」
- 39) 光崎貴洋, 奥岡桂次郎, 山末英嗣, 谷川寛樹:環境科学会2013年会, 静岡県コンベンションアーツセンター (2013)
「GISを用いた建設副産物のTMR指標による品質を考量したリサイクル性評価-和歌山市中心部を対象としたケーススタディ-」
- 40) 杉本賢二, 森田紘圭, 加藤博和, 谷川寛樹:日本環境共生学会第16回(2013年度)学術大会発表論文集, 99-104 (2013)
「4d-GISによる建築物ストック・フロー量の時系列分析-名古屋市中区錦二丁目を対象として-」
- 41) 高木溪太, 杉本賢二, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹:日本環境共生学会第16回(2013年度)学術大会, 豊橋技術科学大学 (2013)
「南海トラフ巨大地震における建築物ロストストックの推計」
- 42) 奥岡桂次郎, 大西暁生, 白川博章, 谷川寛樹:第21回地球環境シンポジウム, 東北大学青葉山キャンパス (2013)
「低物質・低炭素型都市圏構築に向けた最適な人口規模と人口分布の検討」
- 43) 奥岡桂次郎, 大西暁生, 谷川寛樹:第41回環境システム研究論文発表会, 九州大学伊都キャンパス (2013)
「コンクリート塊の地域循環圏に関する将来分析」
- 44) 吉田圭介, 杉本賢二, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹:第41回環境システム研究論文発表会, 九

州大学伊都キャンパス (2013)

「標高の時系列変化に基づく人為的土砂移動量の動態推計-大阪府岬町におけるケーススタディ-」

- 45) 青柳淳之介, 杉本賢二, 谷川寛樹: 第41回環境システム研究論文発表会, 九州大学伊都キャンパス (2013) **第41回環境システム研究論文発表会 優秀ポスター賞**

「名古屋市中心部の4d-GISの構築によるマテリアルストック分析」

- 46) 杉本賢二, 森田紘圭, 谷川寛樹: 第48回土木計画学研究発表会, 大阪市立大学 (2013)
「愛知県を対象とした排熱量の推定とその活用」

- 47) 杉本賢二, 高木溪太, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹: CSIS DAYS 2013, 東京大学柏キャンパス (2013)

「南海トラフ地震による津波被害が想定される建築物ストック量の推計」

- 48) 長谷川正利, 奥岡桂次郎, 大西暁生, 谷川寛樹: 第10回環境情報科学ポスターセッション, 日本大学会館 (2013)

「建築物と道路の建設・維持管理における資材投入原単位の定量化」

- 49) 光崎貴洋, 杉本賢二, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹: 第10回環境情報科学ポスターセッション, 日本大学会館 (2013)

「総物質関与量を用いたコンクリート塊の循環利用の評価」

- 50) 奥山聡俊志, 奥岡桂次郎, 杉本賢二, 谷川寛樹: 第10回環境情報科学ポスターセッション, 日本大学会館 (2013)

「土石系資源のマテリアルストック・フロー分析に用いる基板情報の整備」

- 51) K. Okuoka, Y. Kito, T. Fishman and H. Tanikawa: 21st International Input-Output Conference, Kitakyushu, Japan, 2013

“Estimation of Inter-regional Human Time Input”

- 52) K. Okuoka, T. Fishman and H. Tanikawa: ISIE 2013 7th International Society for Industrial Ecology Biennial Conference, Ulsan, Korea, 2013

“A Study on Population Distribution and Optimal Size of Urban Area from the Aspect of Material Intensity per Person using the Virtual Urban Area Model”

- 53) K. Sugimoto, K. Okuoka, K. Takagi and H. Tanikawa: ISETS 2013, Nagoya, Japan, 2013

“Estimation of Lost Material Stock of Building Due to the Nankai Trough Earthquake”

- 54) 奥山聡俊志, 奥岡桂次郎, 杉本賢二, 谷川寛樹: 平成25年度土木学会中部支部研究発表会, 岐阜大学 (2014)

「土石系資源の物質ストック及び物質フローに関する基板情報の整備」

- 55) 吉田圭介, 杉本賢二, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹: 平成25年度土木学会中部支部研究発表会, 岐阜大学 (2014)

「標高変化と統計による土石異動の推計に関する研究」

- 56) 光崎貴洋, 杉本賢二, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹: 平成25年度土木学会中部支部研究発表会, 岐阜大学 (2014)

「総物質関与量を用いたコンクリート塊リサイクル評価に関する研究」

- 57) 青柳淳之介, 杉本賢二, 谷川寛樹: 平成25年度土木学会中部支部研究発表会, 岐阜大学 (2014)

「4d-GISによる名古屋市中心部におけるマテリアルストック・フロー分析」

- 58) 長谷川正利, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹, 大西暁生: 平成25年度土木学会中部支部研究発表会, 岐阜大学 (2014)

「建築物と道路の建設・維持管理における経年資材投入量の推計」

- 59) 田中健介, 奥岡桂次郎, 杉本賢二, 谷川寛樹: 平成25年度土木学会中部支部研究発表会, 岐阜大学 (2014)

「建築物・交通系インフラの付帯設備を対象とした建設資材投入原単位の推計」

(3) 出願特許

特に記載すべき事項はない

(4) シンポジウム、セミナー等の開催（主催のもの）

特に記載すべき事項はない

(5) マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない

(6) その他

- 1) 環境科学会2013年会 修士課程学生の部 優秀発表賞（富士電機賞）（2013）
田中健介, 奥岡桂次郎, 杉本賢二, 谷川寛樹: 低物質社会に向けた資源蓄積量の生産性に関する研究.
- 2) 第16回日本環境共生学会ポスター優秀発表賞（2013）
高木溪太, 杉本賢二, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹: 南海トラフ巨大地震における建築物ロスストックの推計
- 3) 第27回環境研究発表会ポスターセッション学生の部 学術委員長賞（2013）
光崎貴洋, 杉本賢二, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹: 総物質関与量を用いたコンクリート塊の循環利用の評価
- 4) 第41回環境システム研究論文発表会 優秀ポスター賞（2013）
青柳淳之介, 杉本賢二, 谷川寛樹: 名古屋市中心部の4d-GISの構築によるマテリアルストック分析

8. 引用文献

- 1) 省エネルギーセンター: 広域エネルギー利用ネットワークシステムの開発 エネルギーシステム設計技術の調査 工場群のエネルギーシステムに関する調査研究 平成12年度成果報告書, 2001.
- 2) 住環境計画研究所: 2009年版家庭用エネルギーハンドブック, 省エネルギーセンター, 2009.
- 3) 東岸芳浩・稲津亮・内藤瑞枝・谷川寛樹・橋本征二: 都市構造物における経年的資材投入原単位の推計に関する研究, 第19 回廃棄物学会研究発表会講演論文集, pp.147-149, 2008.

（４） 低炭素街区群を支える建築システム

慶應義塾大学

大学院理工学研究科 開放環境科学専攻 伊香賀 俊治

<研究協力者>

慶應義塾大学 藤崎浩太・富越大介（平成23・24年度）・川久保俊（平成23年度）

平成23～25年度累計予算額：13,254千円

（うち、平成25年度予算額：3,972千円）

予算額は、間接経費を含む。

〔要旨〕

建築物単体と都市の中間に位置する街区群のスケールに着目し、街区群内の建築物を低炭素化させた場合の、街区群におけるCO₂排出量を推計した。さらに、建築物を低炭素化させた時に、街区群内の居住者や企業に享受されるマルチベネフィットを金額に換算し、費用便益を評価した。

東日本大震災以降に注目されている「非常時における業務生活継続（BLCP: Business and Life Continuity Plan）」というマルチベネフィットを経済的便益として評価した。居住者を対象に、停電や節電要請を回避するための電気料金への1日あたりの追加料金[円/(日・世帯)]をアンケート調査した結果、計画停電・突発的な停電・節電要請を全て積算し平均すると、2,976[円/(世帯・年)]となった。また、企業の経営者を対象に、業務継続性能の高いオフィスビルへの追加賃料割合[%]をアンケート調査し、回答者の勤め先の所在地の平均募集賃料(共益費込)[円/(月・坪)]を掛け合わせて、追加賃料[円/(月・坪)]を算出した結果、平均値は753.1[円/(月・坪)]となった。

続いて、CO₂排出量の推計のケーススタディを行った結果、長者町地区では、現状趨勢型に対し、中層中庭型は5.6%、高層タワー型は8.0%削減し、御劔地区では、現状趨勢型に対し、中層中庭型は8.3%削減しており、街区群内の建築物を低炭素化させることで、CO₂排出量を削減できることがわかった。

最後に、費用便益評価のケーススタディを行った結果、長者町地区では、光熱費削減以外のベネフィットも考慮することで、中層中庭型では7.1年、高層タワー型では5.6年となり、御劔地区では、光熱費削減以外のベネフィットも考慮することで、20.6年となり、投資回収年数が短縮されていることが確認できた。このことから、街区群内の建築物を低炭素化させることの実現可能性が明確となった。

〔キーワード〕

アンケート調査、仮想的市場評価法、非常時における業務生活継続（BLCP）、マルチベネフィット、費用便益評価

1. はじめに

人間活動を構成する産業、運輸、民生といった各部門における低炭素化が求められている中、民生部門は、ライフスタイル、ワークスタイルが多様化する一方で、生活水準、経済活動を阻害しないことが求められる等の理由から低炭素化が進まず、対応が急務である。民生部門における低炭素化に向けた既往研究の多くは、評価対象のスケールを建築物単体、もしくは都道府県や市区町村規模とするものが主であった。しかし、建築物単体スケールでは建築物間や街区等の面的な取り組みが評価できず、都市スケールでは全体的な評価に留まり、実装する際に具体的な取り組みの検討が困難といった課題がある。

2. 研究開発目的

本研究では、建築物単体と都市の中間に位置する街区群のスケールに着目し、街区群内の建築物の性能を向上させた場合の、街区群におけるCO₂排出量の変化量を推計する。さらに、建築物の性能を向上させた時に、街区群内の居住者や執務者に享受される便益として、一般的に認知されている光熱費削減に加え、健康維持増進、知的生産性向上、非常時における業務生活継続といったマルチベネフィットを金額に換算し、費用便益を評価する。これにより、街区群内の建築物の性能を向上させる意義が明確となり、民生部門における低炭素化の実現の一助になると考える。

3. 研究開発方法

本研究では、東日本大震災以降に注目されている「非常時における業務生活継続(BLCP: Business and Life Continuity Plan)」というマルチベネフィットを経済的便益として評価した。続いて、対象地域における住宅用建築物ならびに業務用建築物から排出されるCO₂排出量を推計した。さらに、評価した非常時における業務生活継続等のマルチベネフィットとCO₂排出量の推計結果を踏まえて、同対象地域を低炭素化させた場合の費用対便益を評価した。以下に、それぞれの研究開発方法をまとめる。

(1) 非常時の生活継続の経済的便益の評価

本研究における、非常時の生活継続の定義は、コージェネレーションシステムや太陽光発電器などの分散型電源の設置により、停電や過度の節電要請を回避し、需要家の生活機能の維持をすることとした。

また、非常時の生活継続の評価は、仮想的市場評価法(CVM: Contingent Valuation Method)を用いて、経済的便益として評価した。仮想的市場評価法とは、非市場財の経済価値を計測する手法であり、政府が指針を策定している。本研究における、非常時における生活継続の経済的便益は、調査より得られる停電や節電要請を回避するための電気料金への1日あたりの追加料金[円/(日・世帯)]とした。費用便益評価を行う際は年間あたりに換算する必要があるため、この追加料金に365[日/年]と停電や節電要請の発生確率[-]を掛け合わせ、さらに計画停電、突発的な停電、節電要請のそれぞれについて積算することで年間の追加料金[円/(年・世帯)]として算出した。計画停電、突発的な停電、節電の発生確率を表(4)-1に示す。なお節電要請の発生確率は、東京電力管内において夏期に供給予備率が5%を下回った回数が10年に2回であったため、10年に2回、7~9月の平日63日に節電要請が発生すると仮定した。

追加料金[円/(年・世帯)]

= 追加料金[円/(日・世帯)]×365[日/年]×発生確率[-]

※計画停電、突発的な停電、節電要請のそれぞれについて追加料金を算出し積算

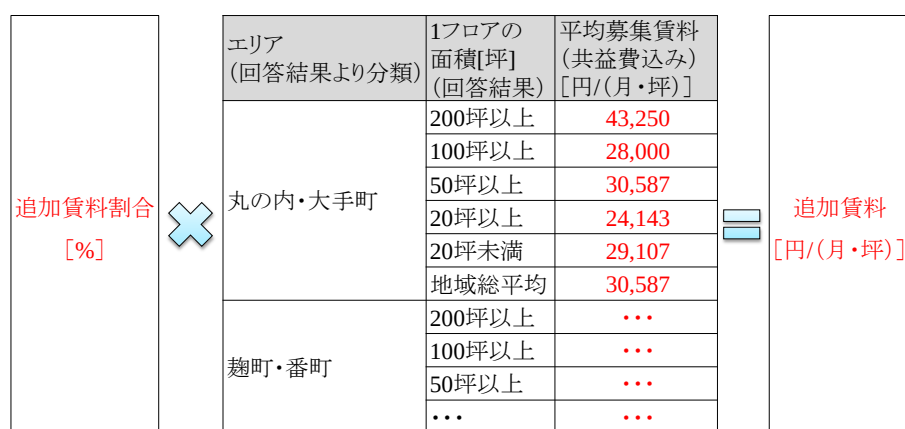
表(4)-1 停電・節電要請の発生確率

項目	発生確率[-]	備考
計画停電	0.057	風水害や雪害、人為的事故による一時的な停電を発生確率とした
突発的な停電	0.0087	震災等による長時間の供給停止の発生確率とした
節電要請	0.035	63[日/年]×0.2[回/年]÷365[日/年]

(2) 非常時の業務継続の経済的便益の評価

本研究における、非常時の業務継続の定義は、コージェネレーションシステムや太陽光発電器などの分散型電源の設置により、停電や過度の節電要請を回避し、需要家の業務の継続をすることとした。

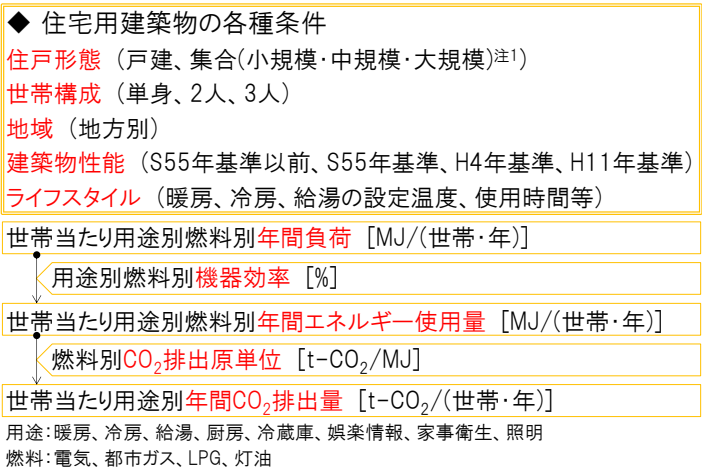
また、非常時の業務継続の評価は、仮想的市場評価法(CVM: Contingent Valuation Method)を用いて、経済的便益として評価した。仮想的市場評価法とは、非市場財の経済価値を計測する手法であり、政府が指針を策定している。本研究における、非常時における業務継続の経済的便益は、インターネットアンケート調査より得られる業務継続性能の高いオフィスビルへの追加賃料割合[%]と、回答者の勤め先のオフィスビルの所在地の平均募集賃料(共益費込)[円/(月・坪)]を掛け合わせて算出される追加賃料[円/(月・坪)]とした。図(4)-1に追加賃料の算出イメージを示す。



図(4)-1 追加賃料の算出イメージ

(3) 街区群におけるCO₂排出量の推計

図(4)-2に住宅用建築物のCO₂排出原単位の推計フローを示す。先行研究を参考に、各種条件(住戸形態、世帯構成、地域、断熱性能、ライフスタイルにおける、世帯当たり用途別燃料別年間負荷を推計した。さらに、機器効率、CO₂排出原単位を反映し、各種条件における世帯当たり用途別年間CO₂排出量を算出しデータを整理した。本推計で設定した、ライフスタイル、機器効率、CO₂排出原単位を表(4)-2、表(4)-3、表(4)-4に示す。



図(4)-2 住宅用建築物のCO₂排出原単位の推計フロー

表(4)-2 ライフスタイルに係る諸条件の設定

		給湯				空調 ^{※2}			
		シャワー		浴槽		冷房		暖房	
		使用頻度 [日/週]	設定温度 [℃] ^{※1}	使用頻度 [日/週]	設定温度 [℃] ^{※1}	使用時間 [時間/(日・台)]	設定温度 [℃]	使用時間 [時間/(日・台)]	設定温度 [℃]
断熱性能: 低 (H11年基準以外)	夏	3.04	41.8	4.54	44.9	5.91	25.2	6.64	23.6
	冬	0.810	42.5	6.59	46.5				
断熱性能: 高 (H11年基準)	夏	3.35	40.7	4.27	43.4	5.90	26.5	6.44	22.6
	冬	0.781	41.6	6.56	45.0				

※1 配管からの熱損失考慮した設定温度

※2 空調は2台ある場合を想定し計算

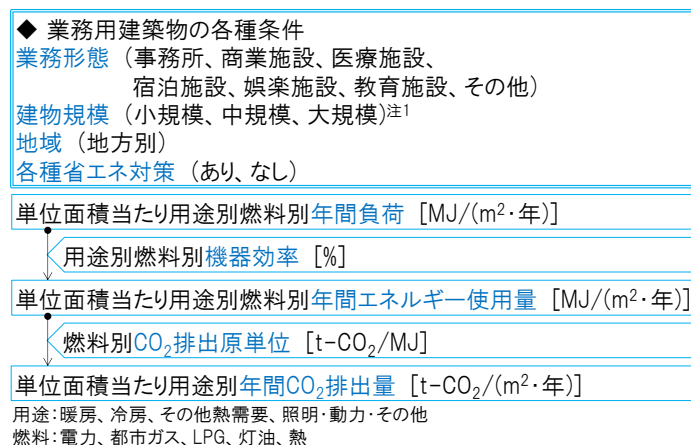
表(4)-3 住宅用建築物の機器効率[-]

	暖房	冷房	給湯	その他
電力	3.00	3.00	0.800	1.00
都市ガス	0.800	-	0.800	-
LPG	0.800	-	0.800	-
灯油	0.800	-	0.800	-

表(4)-4 CO₂排出原単位[g-CO₂/MJ]

電力(中部電力)	131
都市ガス	50.1
LPG	59.1
灯油	67.9
熱	57.0

続いて、図(4)-3に業務用建築物のCO₂排出原単位の推計フローを示す。DECCデータを用いて、先行研究を参考に、各種条件(業務形態、建築物規模、地域、躯体・窓の断熱化の有無)における、単位面積当たり用途別燃料別年間負荷を推計した。さらに、住宅用建築物と同様の手順で、各種条件における、単位面積当たり用途別年間CO₂排出量を算出しデータを整理した。本推計で設定した、機器効率を表(4)-5に示す。なお、CO₂排出原単位は、住宅用建築物と同値を用いた。また躯体・窓の断熱化が「あり」の場合は、暖房負荷を52%削減するとした。



図(4)-3 業務用建築物のCO₂排出原単位の推計フロー

表(4)-5 業務用建築物の機器効率[-]

	暖房	冷房	熱需要	その他
電力	2.52	3.77	0.900	1.00
都市ガス	0.800	1.20	0.800	-
LPG	0.800	1.20	0.800	-
灯油	1.20	1.20	0.800	-
熱	1.00	1.00	1.00	-

整理した各種条件における年間CO₂排出原単位に、想定する街区群内の住宅用建築物の世帯数、業務用建築物の延床面積を掛け合わせて積算することで、街区群における年間CO₂排出量の推計が可能となる。

(4) 低炭素街区群におけるマルチベネフィットを考慮した費用便益評価

建築物の低炭素化に伴う追加費用と、建築物の低炭素化により享受されるマルチベネフィットを金額に換算した値を、住宅、業務用建築物それぞれについて設定した。追加費用は、設備投資費用と維持管理費用を想定した。マルチベネフィットは、住宅用建築物は光熱費削減、健康維持増進、非常時の生活継続、業務用建築物は、光熱費削減、知的生産性向上、非常時の業務継続を想定した。光熱費削減分は、CO₂排出量を推計する際に算出している用途別燃料別年間エネルギー使用量の削減分に、燃料別価格を掛け合わせて積算することで算出した。本推計で設定した、燃料別価格を表(4)-6に示す。追加費用とマルチベネフィットは、既往研究を参考に表(4)-7に示す値を設定した。

表(4)-6 各燃料の価格[円/MJ]

	住宅	業務
電力	5.94	3.98
都市ガス	3.47	1.33
LPG	6.77	3.97
灯油	2.36	1.86
熱	-	6.45

※ 集合住宅(大規模)は
業務用の価格、
業務(小規模)は
住宅用の価格で計算

表(4)-7 追加費用とマルチベネフィットの設定条件

■追加費用

住宅	設備投資費用	戸建集合共通:150 万円/世帯
業務	設備投資費用	業務形態共通:5 万円/m ²
共通	維持管理費用	設備投資費用の3%[円/年](15年ごとにリプレイスで設備投資費用の30%)

■マルチベネフィット

共通	光熱費削減	年間光熱費の差から算出 [円/年]
	健康維持増進	戸建集合共通:10,266 円/(人・年)
住宅	生活継続	戸建集合共通 単身世帯:1,779 円/(世帯・年)、 2人世帯:2,906 円/(世帯・年)、3人世帯:2,906 円/(世帯・年)
業務	知的生産性向上	業務形態共通:3,630 円/(m ² ・年)
	業務継続	事務所:2,008 円/(m ² ・年)、商業施設:1,558 円/(m ² ・年) 医療施設:1,432 円/(m ² ・年)、宿泊施設:1,208 円/(m ² ・年)

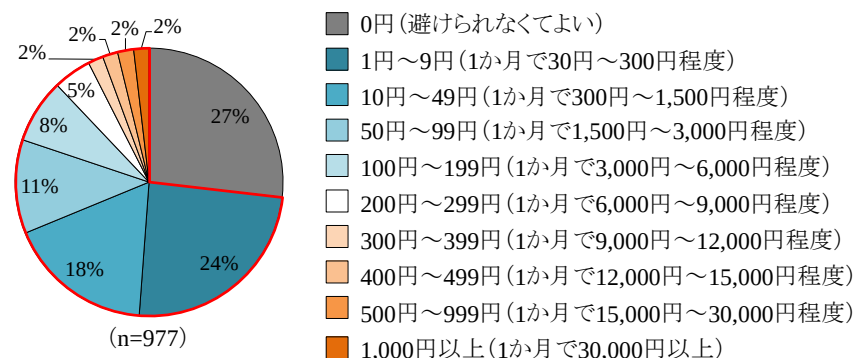
4. 結果及び考察

(1) 非常時の生活継続の経済的便益の評価

図(4)-4に計画停電を回避するための追加料金、図(4)-5に突発的な停電を回避するための追加料金、図(4)-6に節電要請を回避するための追加料金を示している。

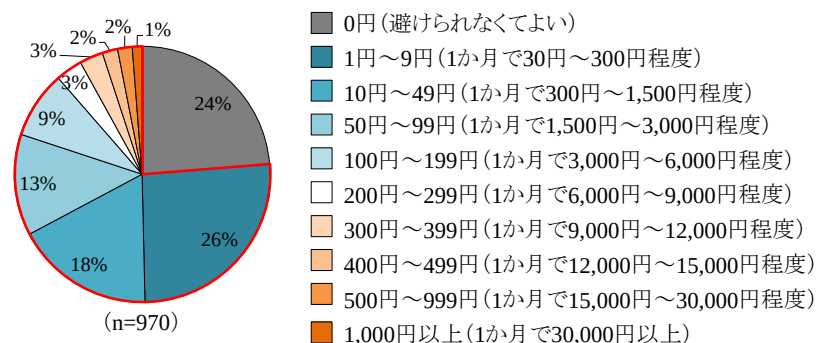
計画停電を回避するための追加料金については、0円と回答した27%以外の73%において、追加料金を支払ってもよいと回答している。突発的な停電を回避するための追加料金については、0円と回答した24%以外の76%において、追加料金を支払ってもよいと回答しており、計画停電の調査結果よりもやや割合が多くなっている。節電要請を回避するための追加料金については、0円と回答した30%以外の70%において、追加料金を支払ってもよいと回答しており、停電の調査結果に比べて割合が少なくなっている。

通常の電気代に追加料金を支払えば、「計画停電（想定できる停電）」を回避し、設備・機器の使用不可による不満を全て解消できるとします。
 その際、1日あたりいくらまで支払うことができますか。
 実際に支払うことを想定した上で、お答えください。



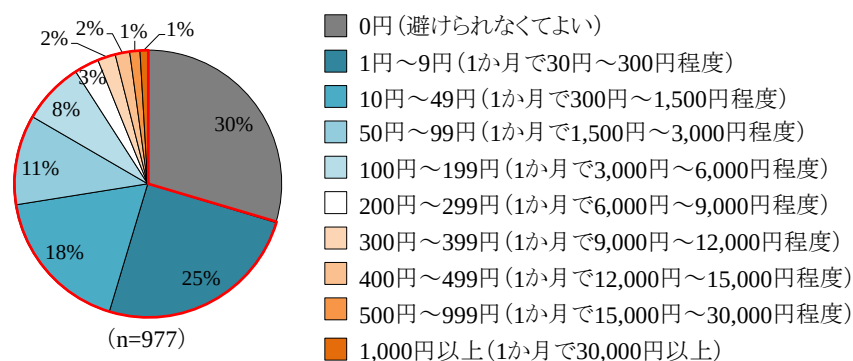
図(4)-4 追加料金(計画停電)

通常の電気代に追加料金を支払えば、「想定できない突発的な停電」を回避し、設備・機器の使用不可による不満を全て解消できるとします。
 その際、1日あたりいくらまで支払うことができますか。
 実際に支払うことを想定した上で、お答えください。



図(4)-5 追加料金(突発的な停電)

通常の電気代に追加料金を支払えば、「節電」を回避し、設備・機器の日常的な使用制限による不満を全て解消できるとします。
 その際、1日あたりいくらまで支払うことができますか。
 実際に支払うことを想定した上で、お答えください。



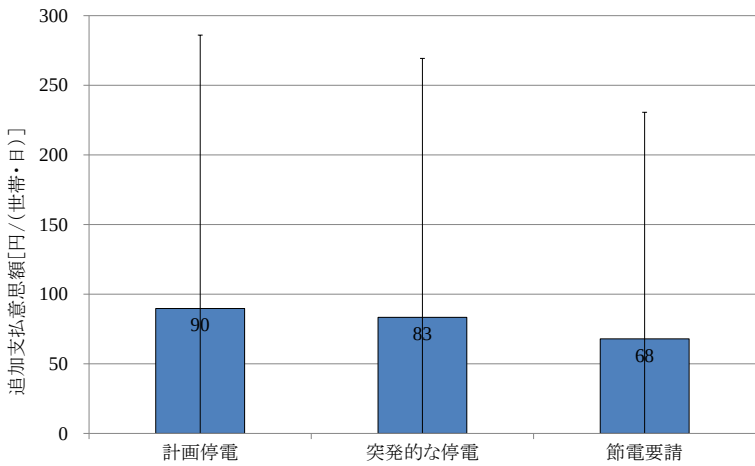
図(4)-6 追加料金(節電要請)

前項の調査結果を踏まえ、停電や節電要請を回避するために支払うことができる電気代への追加料金〔円/(世帯・日)〕から、非常時における生活継続の経済的便益を算出する。経済的便益を算出するにあたり、選択肢の中央値の追加料金を代表値として用いる。表(4)-8に設定した代表値を示す。

表(4)-8 追加料金の代表値

選択肢	代表値〔円/(世帯・日)〕
0円(避けられなくてよい)	0
1円～9円(1か月で30円～300円程度)	5
10円～49円(1か月で300円～1,500円程度)	30
50円～99円(1か月で1,500円～3,000円程度)	75
100円～199円(1か月で3,000円～6,000円程度)	150
200円～299円(1か月で6,000円～9,000円程度)	250
300円～399円(1か月で9,000円～12,000円程度)	350
400円～499円(1か月で12,000円～15,000円程度)	450
500円～999円(1か月で15,000円～30,000円程度)	750
1,000円以上(1か月で30,000円以上)	1250

この追加料金の代表値を用いて、計画停電、突発的な停電、節電要請のそれぞれにおいて、追加料金を平均した結果を図(4)-7に示す。計画停電は平均で90〔円/(世帯・日)〕、突発的な停電は平均で83〔円/(世帯・日)〕、節電要請は平均で68〔円/(世帯・日)〕となった。計画停電と突発的な停電の値に大きな差はみられなかったが、節電要請については停電の結果に比べ、低い傾向がみられた。

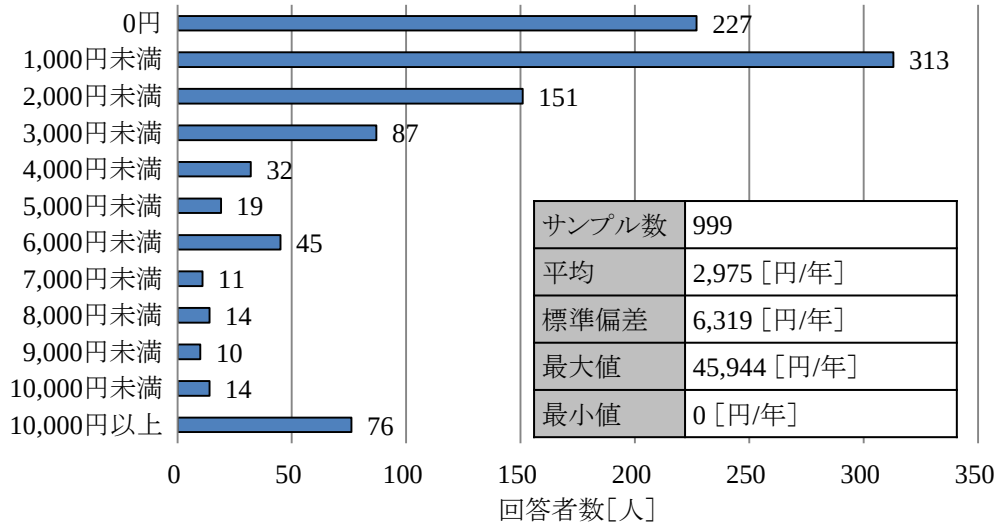


図(4)-7 追加料金の比較

この結果を踏まえ、さらに前章で述べた停電や節電要請の発生確率から、年間あたりの追加料金を算出し、全サンプルにおいて平均した結果を表(4)-9に示す。計画停電は1,843〔円/(世帯・年)〕、突発的な停電は266〔円/(世帯・年)〕、節電要請は867〔円/(世帯・年)〕、計画停電・突発的な停電・節電要請を全て積算し平均すると、2,976〔円/(世帯・年)〕となった。また図(4)-8に追加料金の積算値の頻度分布を示す。2,000〔円/(世帯・年)〕未満を回答するサンプルが多く得られる結果となった。

表(4)-9 追加料金の算出結果

項目	追加料金[円/(世帯・年)]
計画停電	1,843
突発的な停電	266
節電要請	867
積算値	2,975



図(4)-8 追加料金の頻度分布

続いて、生活継続の経済的便益に影響のある項目を抽出するため、計画停電の回避のための追加料金、突発的な停電の回避のための追加料金、節電要請の回避のための追加料金、積算した追加料金と各種項目について相関分析を行った。その結果を表(4)-10に示す。有意な傾向がみられた項目のSpearmanの順位相関係数のみ示す。

相関分析より各追加料金に影響している項目は、延床面積、電気代、ガス代、世帯人数、世帯年収であった。このことから、人数の多い世帯、エネルギーの消費が多い世帯、経済的にある程度ゆとりのある世帯において、追加料金が大きくなると考えられる。また、計画停電については給湯・冷蔵庫・家事衛生・照明、突発的な停電については給湯・家事衛生、節電要請については給湯・厨房・冷蔵庫・家事衛生・照明の想定される不満度が高いほど追加料金が大きくなる傾向がみられた。突発的な停電は給湯や家事衛生といった生活する上で重要な設備のみ傾向がみられたが、計画停電や節電要請については給湯や家事衛生のほかに、厨房や冷蔵庫、照明といった設備についても傾向がみられており、給湯や家事衛生に比べて重要度の低い設備について関係があることが明らかとなった。

表(4)-10 相関分析の結果

項目	計画停電	突発的な停電	節電要請	積算した追加料金
延床面積(n=734)	.116**	.096**	.088*	.098**
電気代(n=880)	.162**	.159**	.147**	.163**
ガス代(n=750)	.121**	.113**	.126**	.127**
光熱費(電気代+ガス代)(n=747)	.189**	.177**	.182**	.190**
経験した計画停電1回あたりの時間(n=665)	.098*	-	-	.075
経験した計画停電の合計時間(n=665)	.090*	-	-	.073
突発的な停電の経験回数(n=665)	-	.081*	-	.092*
経験した突発的な停電1回あたりの時間(n=665)	-	-.050	-	-.089*
休日の在宅時間(N=999)	-.076*	-.043	-.050	-.090**
計画停電時に想定される給湯の不満度(n=965)	.100**	-	-	.095**
計画停電時に想定される冷蔵庫の不満度(n=975)	.082*	-	-	.078*
計画停電時に想定される家事衛生の不満度(n=978)	.109**	-	-	.100**
計画停電時に想定される照明の不満度(n=976)	.097**	-	-	.092**
突発的な停電時に想定される給湯の不満度(n=965)	-	.138**	-	.141**
突発的な停電時に想定される家事衛生の不満度(n=974)	-	.087**	-	.066*
節電要請時に想定される給湯の不満度(n=967)	-	-	.083**	.092**
節電要請時に想定される厨房の不満度(n=972)	-	-	.079*	.046
節電要請時に想定される冷蔵庫の不満度(n=975)	-	-	.085**	.056
節電要請時に想定される家事衛生の不満度(n=973)	-	-	.087**	.069*
節電要請時に想定される照明の不満度(n=972)	-	-	.109**	.094**
今後住み替える際の住宅の安全性の重要度(N=999)	.061	.071*	.016	.044
今後住み替える際の地域の施設の重要度(N=999)	.052	.070*	.057	.057
今後住み替える際の自治体の取り組みの重要度(N=999)	.076*	.043	.045	.059
今後住み替える際の地域のブランドの重要度(N=999)	.097**	.057	.112**	.098**
現在の住宅の価格の満足度(N=999)	.058	.042	.066*	.060
現在の住宅の間取りの満足度(N=999)	.034	.045	.065*	.050
世帯人数(N=999)	.082**	.097**	.058	.091**
高齢者の人数(N=999)	.110**	.098**	.084**	.099**
幼児の人数(N=999)	.047	.070*	.045	.057
世帯年収(n=829)	.127**	.126**	.096**	.129**
等価所得(n=829)	.093**	.087*	.075*	.093**

さらに、相関分析の結果を踏まえて生活継続の経済的便益に影響のある項目を比較するため、計画停電の回避のための追加料金、突発的な停電の回避のための追加料金、節電要請の回避のための追加料金と各種項目について重回帰分析を行った。なお、目的変数を各追加料金、説明変数を相関分析で有意な傾向がみられた項目としている。変数選択の方法はステップワイズ法とした。

表(4)-11に計画停電の回避のための追加料金を目的変数として重回帰分析を行った結果を示す。追加料金に与える影響度を比較するため標準偏回帰係数の値を比較すると、ガス代が最も追加料金に影響を与え、次いで等価所得、休日の在宅時間、計画停電時に想定される家事衛生の不満度となった。このことからエネルギーの消費や収入が多く、停電時に想定される設備の不満度が高い世帯ほど、計画停電の回避のための追加料金が高くなる結果となった。また、休日の在宅時間については負の関係となっており、在宅時間が短いほど追加料金が大きくなる結果となった。これは、在宅時間が短いほど自分以外の家族の面倒をみるできないため計画停電の回避の意識が高かったものと考察される。

目的変数:計画停電の回避のための追加料金

説明変数:相関分析で有意な傾向がみられた項目

変数選択:ステップワイズ法

サンプル:648(説明変数の項目で不明と回答した者が除外されたためサンプルが減少)

表(4)-11 重回帰分析の結果(計画停電)

	偏回帰係数	標準 偏回帰係数	有意確率	偏回帰係数95%信頼区 間	
				下限	上限
ガス代	0.282	0.237	p<0.01	0.166	0.399
等価所得	2.648	0.165	p<0.01	1.076	4.220
休日の在宅時間	-2.010	-0.132	p<0.01	-3.489	-0.531
計画停電時に想定される 家事衛生の不満度	17.459	0.124	p<0.05	3.824	31.094
定数	-211.350	-	p $\geq$ 0.05	-2,130.548	1707.849

$R^2=0.130$, ANOVA p<0.01

同様に表(4)-12に突発的な停電の回避のための追加料金を目的変数として重回帰分析を行った結果を示す。追加料金に与える影響度を比較するため標準偏回帰係数の値を比較すると、光熱費が最も追加料金に影響を与え、次いで突発的な停電時に想定される家事衛生の不満度、等価所得となった。傾向としては計画停電時とほぼ同様であるが、計画停電に比べ、設備の不満度の影響が大きくなっており、突発的な停電時は不満の解消がより重視されることが示唆された。

目的変数:突発的な停電の回避のための追加料金

説明変数:相関分析で有意な傾向がみられた項目

変数選択:変数減増法

サンプル:647(説明変数の項目で不明と回答した者が除外されたためサンプルが減少)

表(4)-12 重回帰分析の結果(突発的な停電)

	偏回帰係数	標準 偏回帰係数	有意確率	偏回帰係数95%信頼区 間	
				下限	上限
光熱費(電気代+ガス代)	0.010	0.139	p<0.01	0.003	0.018
突発的な停電時に想定される 家事衛生の不満度	2.535	0.136	p<0.05	0.595	4.475
等価所得	0.246	0.105	p<0.05	0.001	0.490
定数	-151.232	-	p $\geq$ 0.05	-350.741	48.277

$R^2=0.054$, ANOVA p<0.01

同様に表(4)-13に節電要請の回避のための追加料金を目的変数として重回帰分析を行った結果を示す。追加料金に与える影響度を比較するため標準偏回帰係数の値を比較すると、光熱費が最も追加料金に影響を与え、次いで等価所得、節電要請時に想定される冷蔵庫の不満度となった。計画停電や突発的な停電とほぼ同様の傾向がみられ、エネルギーの消費や収入が多い世帯ほど、節電要請の回避のための追加料金が高くなる結果となった。設備の不満度については、停電時に比べ影響度が低い傾向にあり、節電要請時の不満はある程度許容されるものと考察される。

目的変数: 節電要請の回避のための追加料金

説明変数: 相関分析で有意な傾向がみられた項目

変数選択: ステップワイズ法

サンプル: 647 (説明変数の項目で不明と回答した者が除外されたためサンプルが減少)

表(4)-13 重回帰分析の結果(節電要請)

	偏回帰係数	標準 偏回帰係数	有意確率	偏回帰係数95%信頼区 間	
				下限	上限
光熱費(電気代+ガス代)	0.011	0.156	p<0.01	0.005	0.017
等価所得	0.291	0.124	p<0.01	0.093	0.489
節電要請時に想定される 冷蔵庫の不満度	2.034	0.103	p<0.05	0.370	3.698
定数	-148.765	-	p≥0.05	-306.656	9.126

続いて、追加料金の支払いの有無に影響のある項目を比較するため、計画停電の回避のための追加料金の支払いの有無、突発的な停電の回避のための追加料金の支払いの有無、節電要請の回避のための追加料金の支払いの有無と各種項目についてロジスティック回帰分析を行った。なお、目的変数を各追加料金の支払いの有無、説明変数を相関分析で有意な傾向がみられた項目としている。変数選択の方法は重回帰分析と同様のステップワイズ法とした。

表(4)-14に計画停電の回避のための追加料金の支払いの有無を目的変数としてロジスティック回帰分析を行った結果を示す。追加料金の支払いの有無に与える影響度を比較するため調整オッズ比の値を比較すると、計画停電時に想定される家事衛生の不満度が最も追加料金の支払いの有無に影響を与え、次いで計画停電時に想定される給湯の不満度、経験した計画停電1回あたりの時間、電気代となった。このことから計画停電時に想定される設備の不満度が高く、計画停電を多くの時間経験している世帯ほど追加料金を支払う傾向がみられた。

目的変数: 計画停電の回避のための追加料金の支払いの有無

説明変数: 相関分析で有意な傾向がみられた項目

変数選択: ステップワイズ法(ただし、統計ソフトの都合上、分析対象となるサンプル数を可能な限り確保するため、投入する変数を有意確率を参考に選別した)

サンプル: 568 (説明変数の項目で不明と回答した者が除外されたためサンプルが減少)

表(4)-14 ロジスティック回帰分析の結果(計画停電)

	係数	調整 オッズ比	有意確率	調整オッズ比 95%信頼区間	
				下限	上限
計画停電時に想定される 家事衛生の不満度	0.013	1.013	p<0.01	1.006	1.021
計画停電時に想定される 給湯の不満度	0.013	1.013	p<0.01	1.005	1.021
経験した計画停電 1回あたりの時間	0.004	1.004	p<0.05	1.001	1.008
電気代	0.000	1.000	p<0.05	1.000	1.000
定数	-1.217	0.296	p<0.01	-	-

χ^2 検定 p<0.01,判別の中率 76.8%, Hosmer-Lemeshowの適合度検定 p $\geq$ 0.05

表(4)-15に突発的な停電の回避のための追加料金の支払いの有無を目的変数としてロジスティック回帰分析を行った結果を示す。追加料金の支払いの有無に与える影響度を比較するため調整オッズ比の値を比較すると、今後住み替える際の地域施設の重要度が最も追加料金の支払いの有無に影響を与え、次いで高齢者の人数、突発的な停電時に想定される家事衛生の不満度、突発的な停電時に想定される給湯の不満度となった。このことから地域施設の重要性に対する意識、突発的な停電時に想定される設備の不満度が高い世帯や高齢者のいる世帯ほど追加料金を支払う傾向がみられた。

目的変数: 突発的な停電の回避のための追加料金の支払いの有無

説明変数: 相関分析で有意な傾向がみられた項目

変数選択: ステップワイズ法(ただし、統計ソフトの都合上、分析対象となるサンプル数を可能な限り確保するため、投入する変数を有意確率を参考に選別した)

サンプル: 572(説明変数の項目で不明と回答した者が除外されたためサンプルが減少)

表(4)-15 ロジスティック回帰分析の結果(突発的な停電)

	係数	調整 オッズ比	有意確率	調整オッズ比 95%信頼区間	
				下限	上限
今後住み替える際の 地域施設の重要度	0.395	1.485	p<0.01	1.188	1.856
高齢者の人数	0.294	1.341	p<0.05	1.000	1.798
突発的な停電時に想定される 家事衛生の不満度	0.015	1.015	p<0.01	1.008	1.022
突発的な停電時に想定される 給湯の不満度	0.010	1.010	p<0.05	1.002	1.018
定数	-1.953	0.142	p<0.01	-	-

χ^2 検定 p<0.01,判別の中率 76.9%, Hosmer-Lemeshowの適合度検定 p $\geq$ 0.05

表(4)-16に節電要請の回避のための追加料金の支払いの有無を目的変数としてロジスティック回帰分析を行った結果を示す。追加料金の支払いの有無に与える影響度を比較するため調整オッズ比の値を比較すると、高齢者の人数が最も追加料金の支払いの有無に影響を与え、次いで節電要請時に想定される冷蔵庫の不満度、節電要請時に想定される給湯の不満度となった。高齢者のいる世帯や節電要請時に想定される設備の不満度が高い世帯ほど追加料金を支払う傾向がみられた。

目的変数：節電要請の回避のための追加料金の支払いの有無

説明変数：相関分析で有意な傾向がみられた項目

変数選択：ステップワイズ法（ただし、統計ソフトの都合上、分析対象となるサンプル数を可能な限り確保するため、投入する変数を有意確率を参考に選別した）

サンプル：728（説明変数の項目で不明と回答した者が除外されたためサンプルが減少）

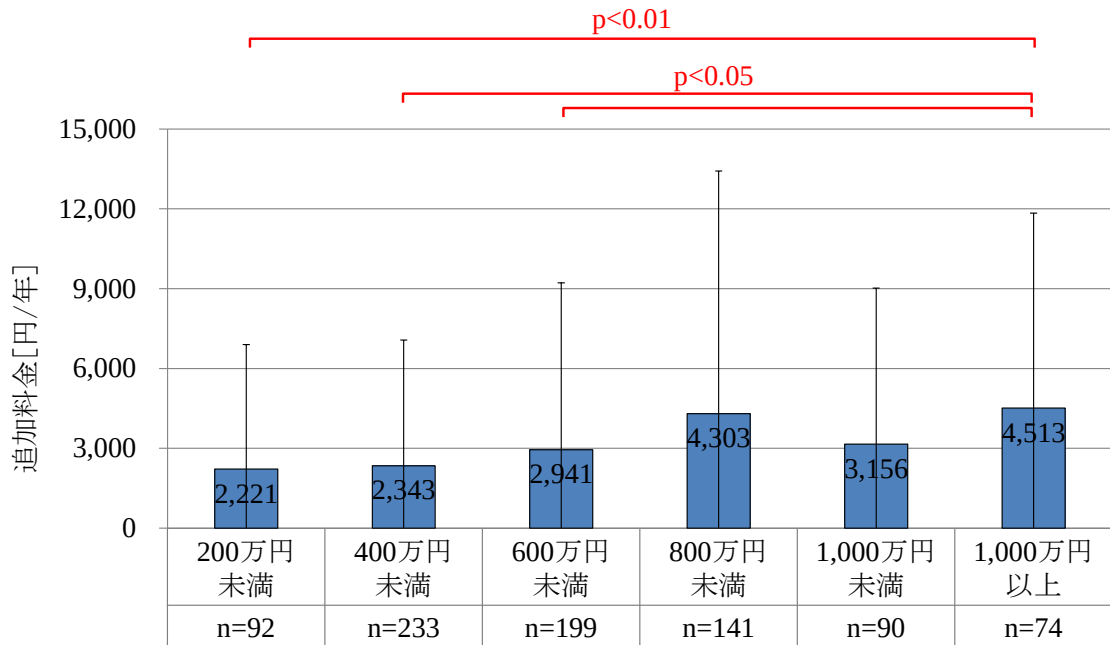
表(4)-16 ロジスティック回帰分析の結果（節電要請）

	係数	調整 オッズ比	有意確率	調整オッズ比 95%信頼区間	
				下限	上限
高齢者の人数	0.271	1.311	p<0.05	1.023	1.682
節電要請時に想定される 冷蔵庫の不満度	0.016	1.016	p<0.01	1.010	1.022
節電要請時に想定される 給湯の不満度	0.008	1.008	p<0.05	1.001	1.015
定数	-0.585	0.557	p<0.05	-	-

χ^2 検定 p<0.01,判別的中率 71.7%, Hosmer-Lemeshowの適合度検定 p $\geq$ 0.05

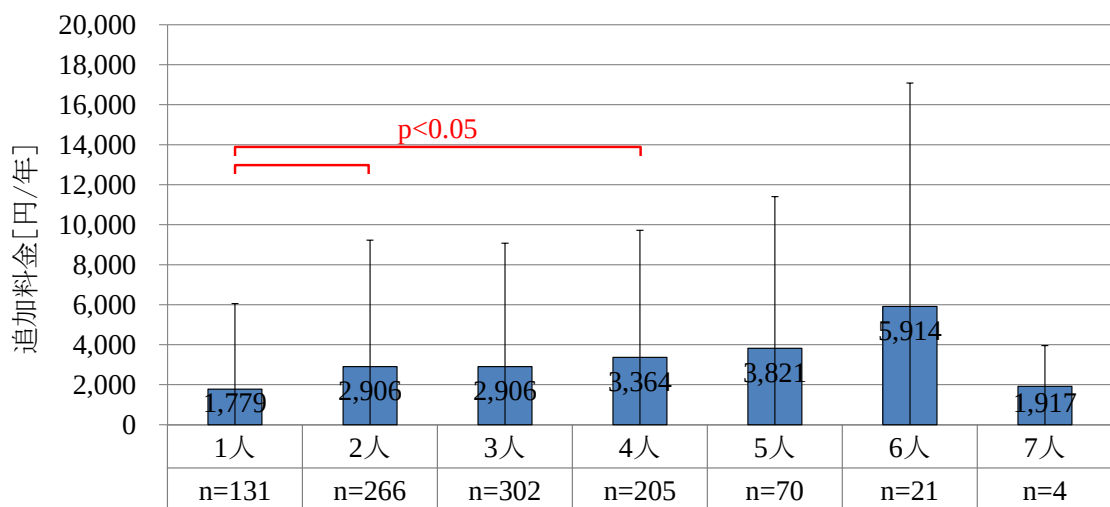
最後に、相関分析や回帰分析の結果を踏まえて、生活継続の経済的便益の属性による比較を行った。計画停電・突発的な停電・節電要請の全てを積算した追加料金に対して、世帯年収・世帯人数・世帯構成・居住地・居住形態・電気代・ガス代を比較した。なお、群の間に有意差があるかについて検討するため、クラスカル・ウォリスの検定を行った。

図(4)-9に世帯年収別に追加料金の積算値を比較した結果を示す。年収が多い世帯ほど、有意に高い追加料金となる傾向がみられた。これは年収が多い世帯ほど、経済的なゆとりがあるためであると考察できる。



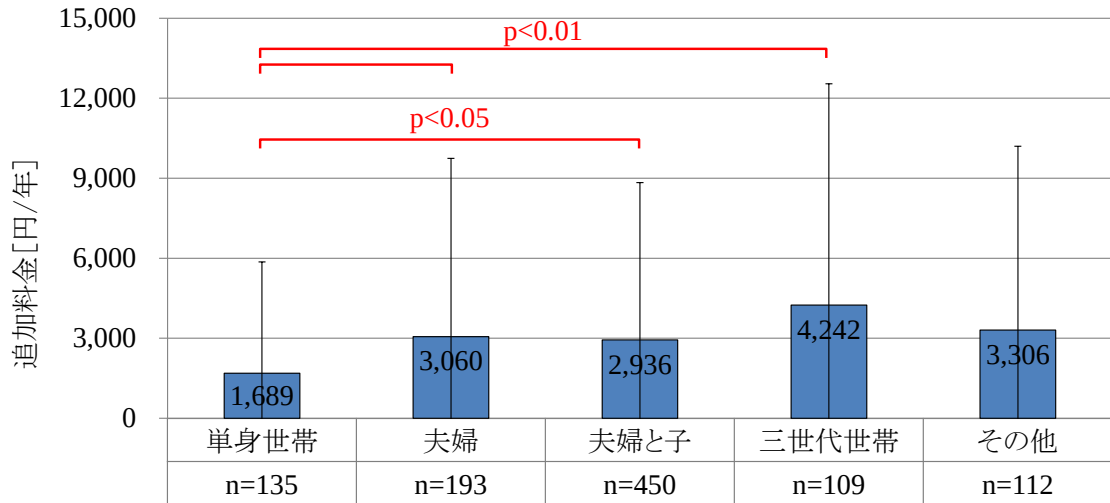
図(4)-9 世帯年収別の比較

続いて、図(4)-10に世帯人数別に追加料金の積算値を比較した結果を示す。人数が少ない世帯ほど、有意に低い追加料金となる傾向がみられた。これは人数が多い世帯ほど、停電や節電要請による設備や機器の使用不可による影響を被るためであると考察できる。



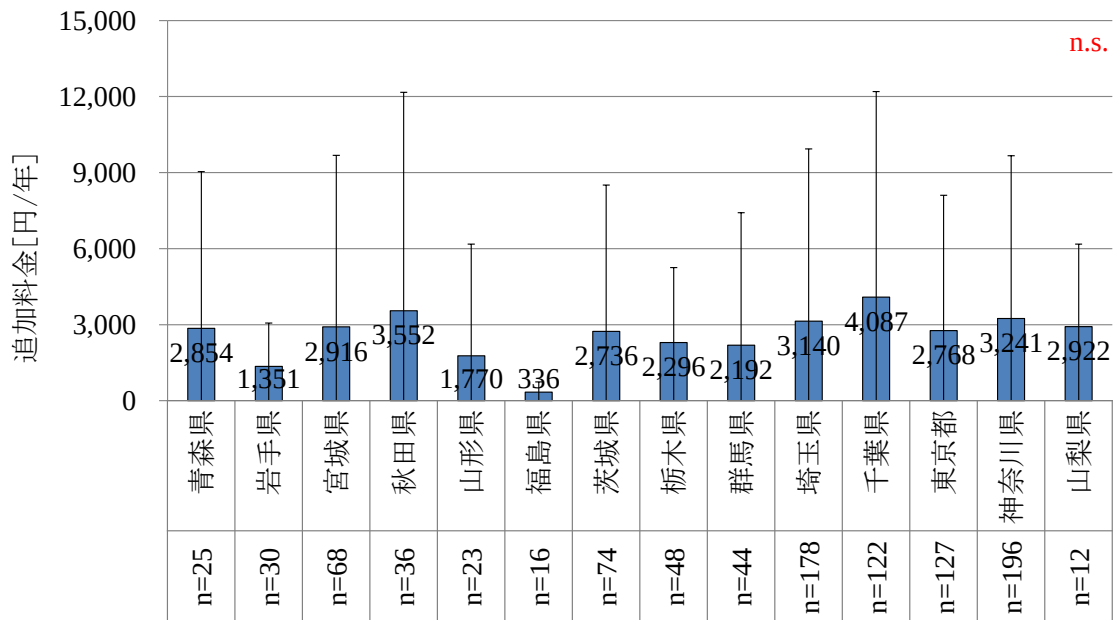
図(4)-10 世帯人数別の比較

次に、図(4)-11に世帯構成別に追加料金の積算値を比較した結果を示す。単身世帯において、有意に追加料金が低い傾向がみられた。



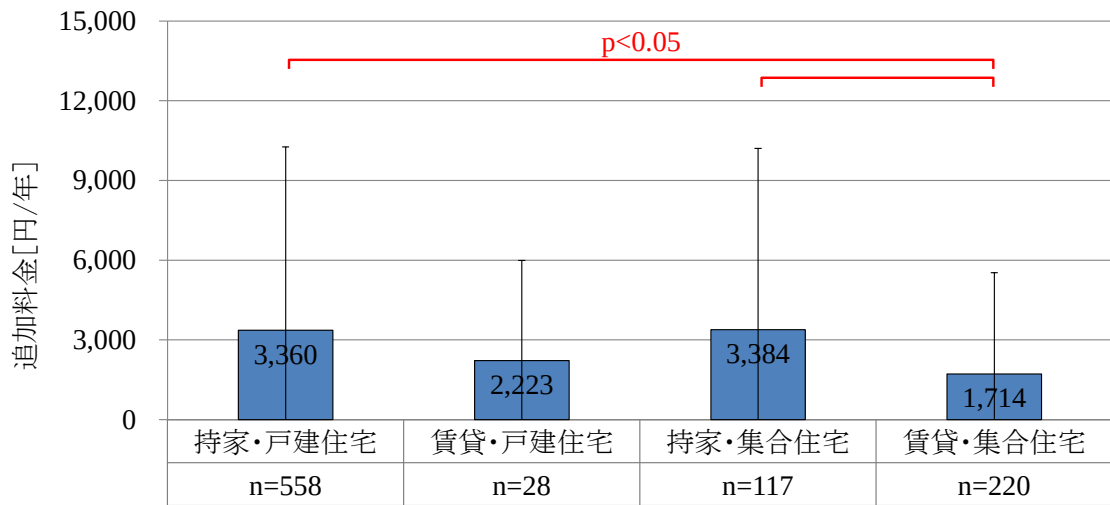
図(4)-11 世帯構成別の比較

続いて、図(4)-12に居住地別に追加料金の積算値を比較した結果を示す。有意差はみられなかったが関東地方在住の方が追加料金は高い傾向がみられた。この理由として関東地方在住者は他の地域に比べ収入が多いことが考えられる。



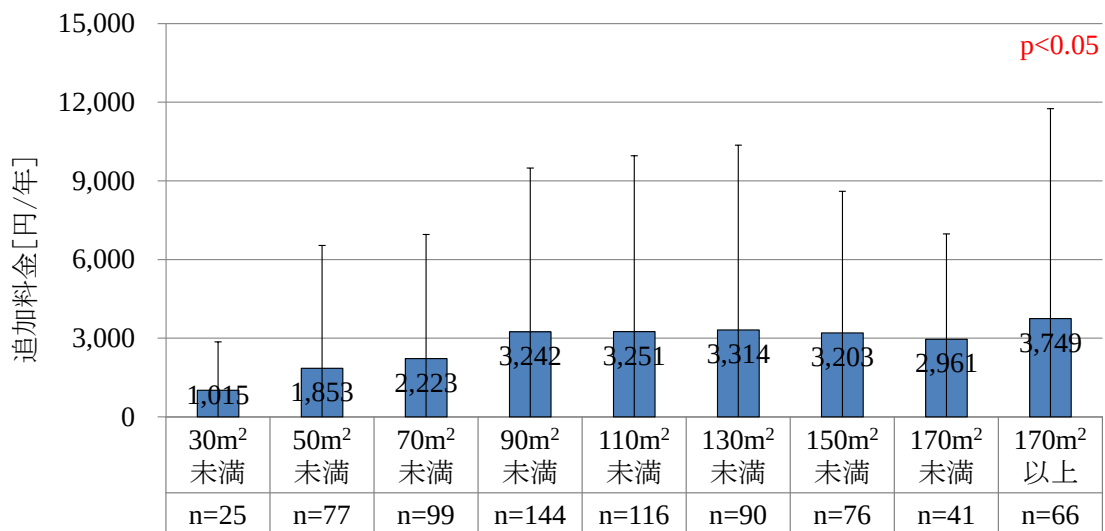
図(4)-12 居住地別の比較

次に、図(4)-13に居住形態別に追加料金の積算値を比較した結果を示す。賃貸・集合住宅において、有意に追加料金が低い傾向がみられた。単身世帯が多いためであると考えられる。



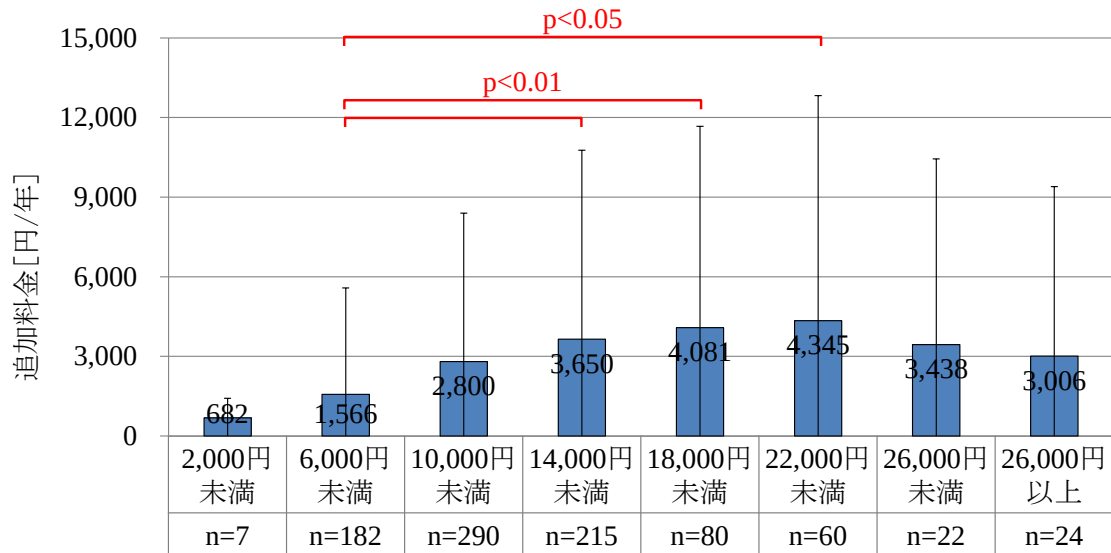
図(4)-13 居住形態別の比較

続いて、図(4)-14に延床面積別に追加料金の積算値を比較した結果を示す。延床面積が大きい世帯ほど、追加料金が低い傾向が有意にみられた。これは、収入が多い、世帯人数が多い、エネルギーの消費が多いといったことが理由として考えられる。



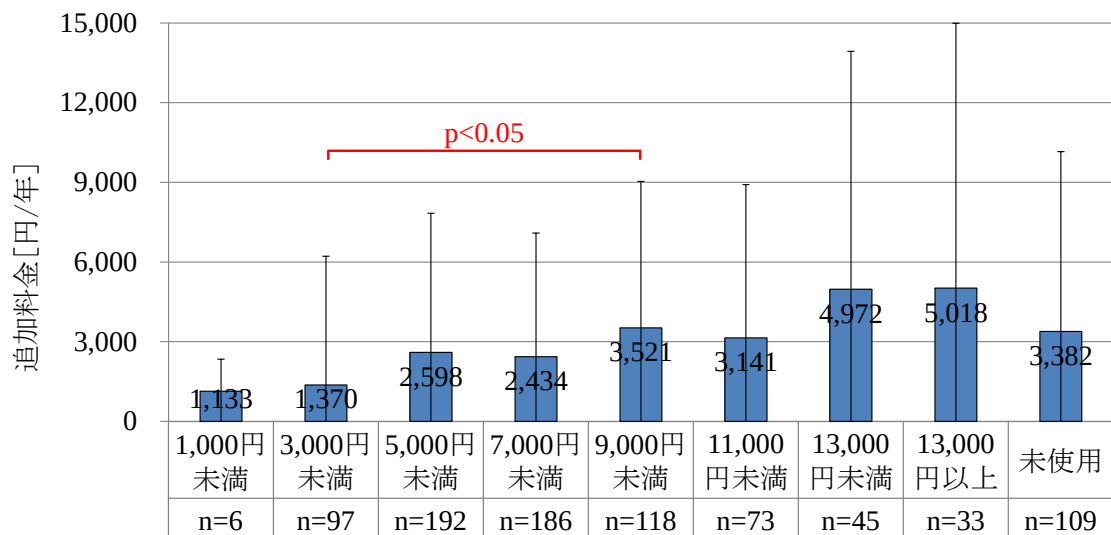
図(4)-14 延床面積別の比較

次に、図(4)-15に電気代別に追加料金の積算値を比較した結果を示す。電気代の低い世帯ほど、追加料金が低い傾向がみられた。これは、収入が低い、世帯人数が少ない、エネルギーの消費が少ないといったことが理由として考えられる。



図(4)-15 電気別の比較

最後に、図(4)-16にガス代別に追加料金の積算値を比較した結果を示す。ガス代の低い世帯ほど、追加料金が低い傾向がみられた。これは、収入が低い、世帯人数が少ない、エネルギーの消費が少ないといったことが理由として考えられる。

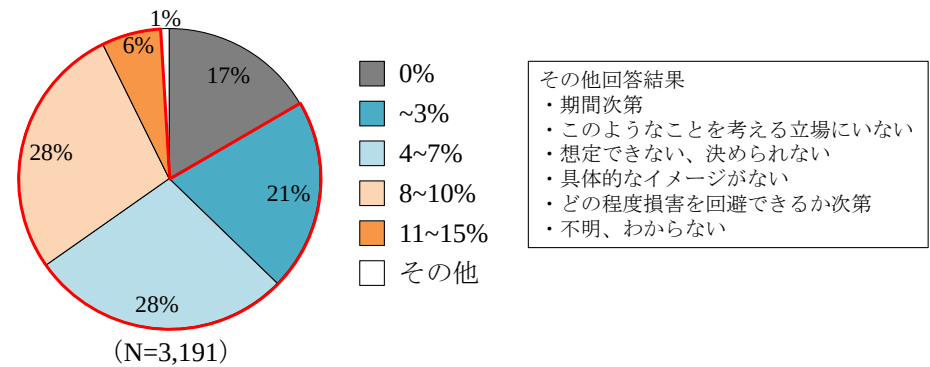


図(4)-16 ガス別の比較

（２）非常時の業務継続の経済的便益の評価

図(4)-17に追加賃料割合の調査結果を示す。追加賃料を支払うと回答した者は82%を占める結果となった。また、1～3%が21%、4～7%が28%、8～10%が28%を占める結果となった。

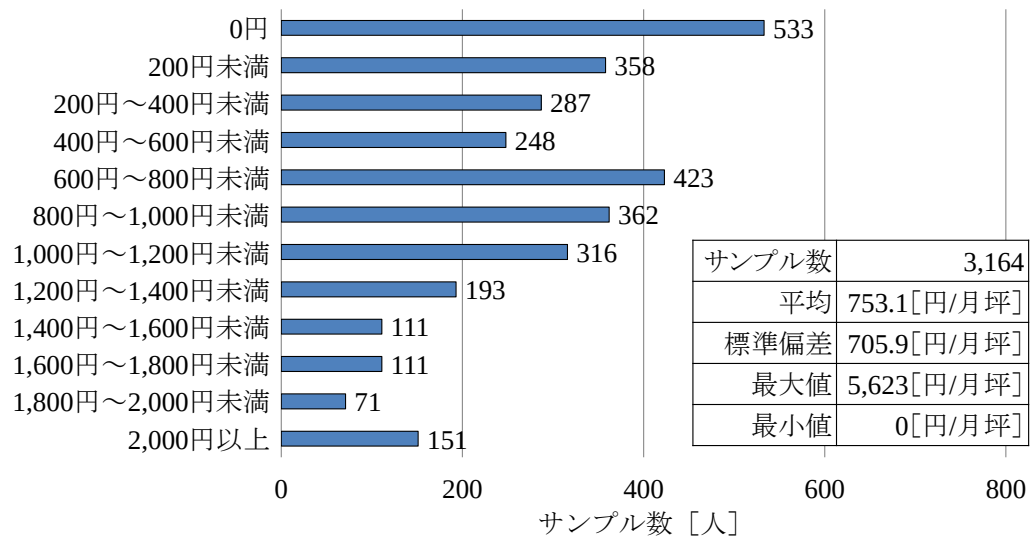
業務継続性能の高いオフィスビルに入居することで、
「停電や過度の節電要請」が発生した場合でも、
全ての設備・機器の維持が可能となり、損害を回避できます。
このとき、賃料に追加料金が必要となる場合、
1ヶ月あたりの賃料の何%の追加料金まで支払うことができますか。



図(4)-17 追加賃料割合の調査結果

続いて、非常時の業務継続の経済的便益(追加賃料[円/(月・坪)])の算出結果を、図(4)-18に度数分布として示す。追加賃料割合[%]をその他と回答したサンプルについては除外している。

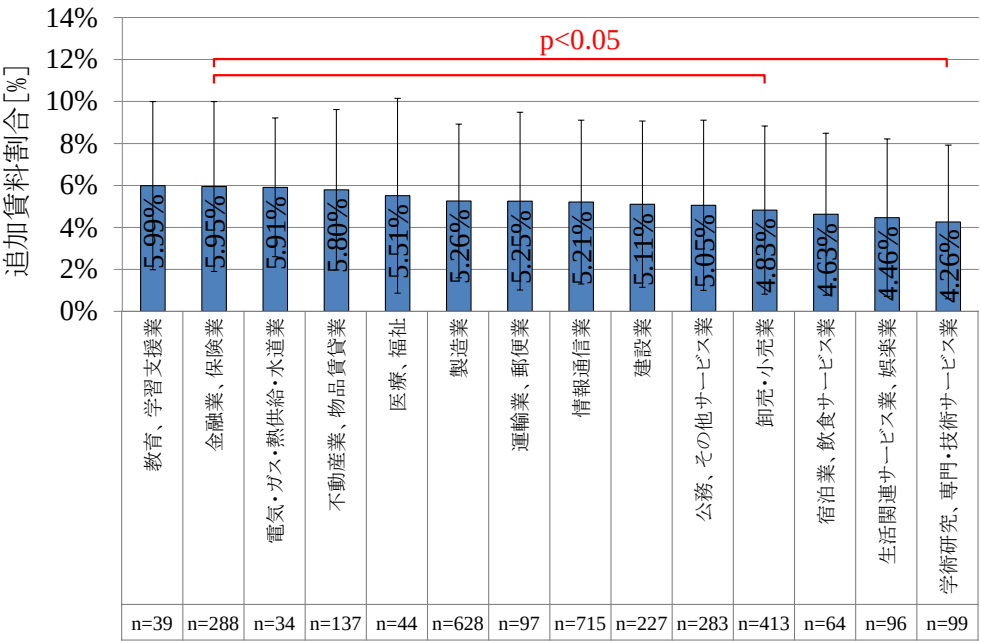
追加賃料[円/(月・坪)]は、0円と回答した533sを除く、2,631s(83%)において、追加賃料を支払うという結果となり、非常時における業務継続の経済価値があることが確認できた。平均値は753.1[円/(月・坪)]、標準偏差は705.9[円/(月・坪)]、最大値は5,623[円/(月・坪)]となった。



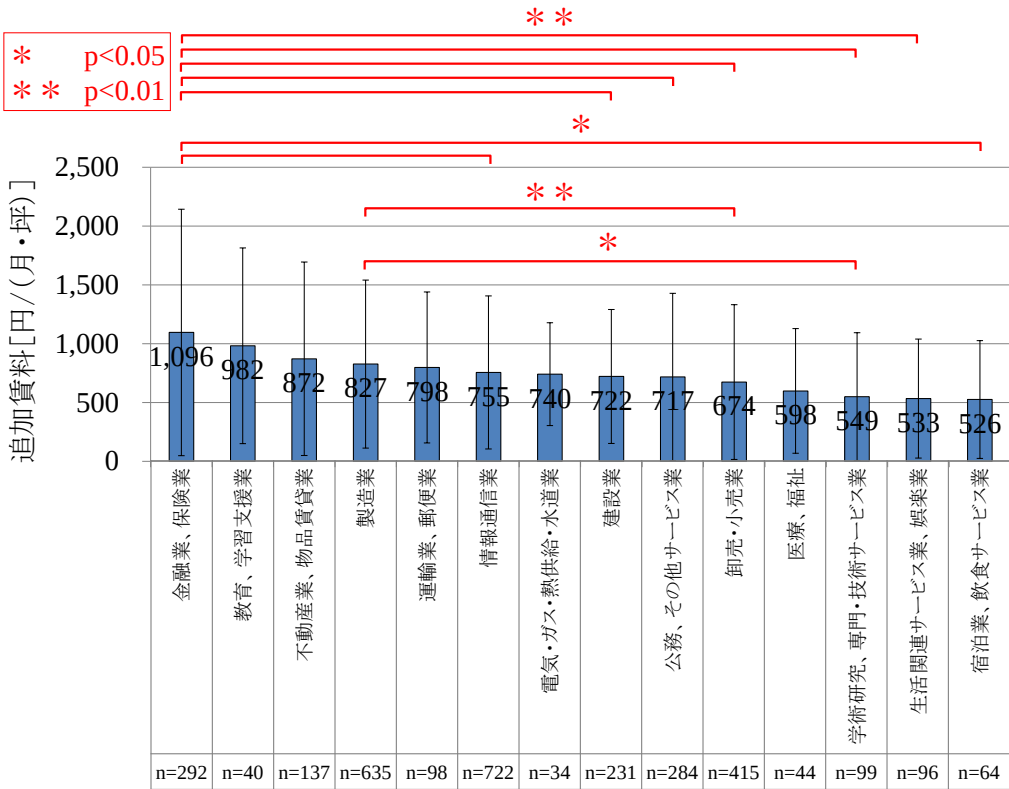
図(4)-18 追加賃料の算出結果

次に、業務継続の経済的便益の属性による比較を行った。追加賃料割合、追加賃料に対して、業種、オフィスの機能を比較した。なお、群の間に有意差があるかについて検討するため、クラスカル・ウォリスの検定を行った。

図(4)-19に業種別に追加賃料割合を比較した結果、図(4)-20に追加賃料を比較した結果を示す。追加賃料割合に関しては、金融業・保険業が卸売・小売業、学術研究、専門・技術サービス業に対して有意に割合が高い傾向がみられた。一方で、追加賃料に関しては、金融業・保険業、製造業において、追加賃料が有意に高い傾向が確認でき、追加賃料割合よりも差が顕著にみられた。この理由として、追加賃料を算出する際に用いた平均募集賃料によるものと考えられる。東京23区は他のエリアに比べ賃料が高く、それに伴い追加賃料も高くなるため、東京23区を勤め先とする回答者が多く集まる群は、追加賃料が高くなるといえる。そのため、追加賃料割合と追加賃料で業種の並び順が大きく異なったものと考えられる。

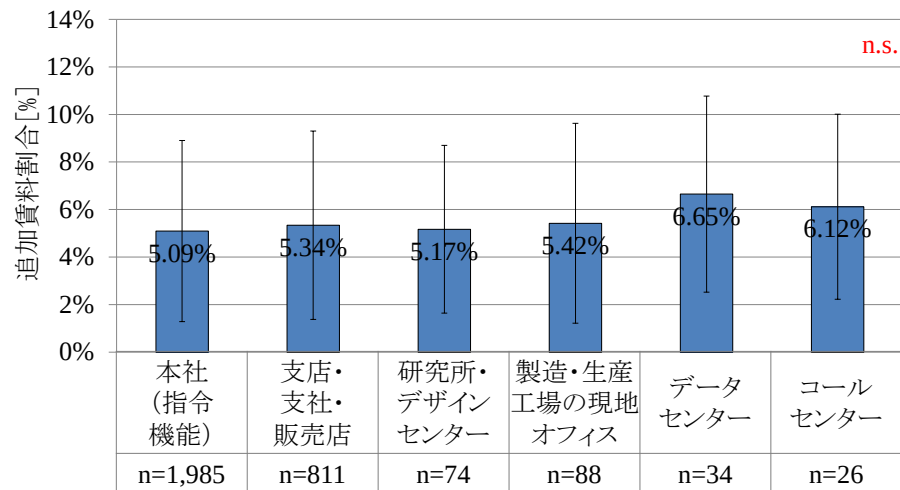


図(4)-19 業種別の比較(追加賃料割合)

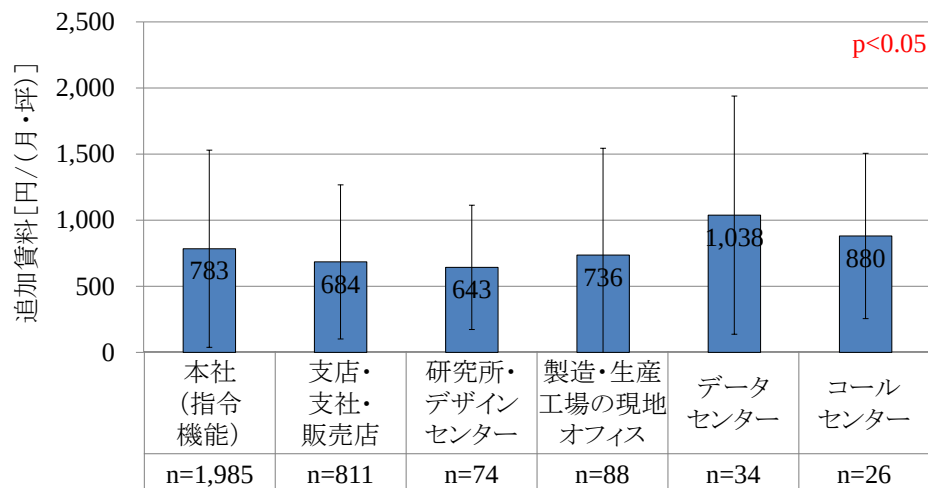


図(4)-20 業種別の比較(追加賃料)

続いて、図(4)-21にオフィスの機能別に追加賃料割合を比較した結果、図(4)-22に追加賃料を比較した結果を示す。追加賃料割合に関しては、データセンターやコールセンターにおいて、やや高い傾向がみられたものの有意な差は確認できなかった。一方で追加賃料に関しては、オフィスの機能別で有意な差がみられ、本社や製造・生産工場の現地オフィスが支店・支社、研究所よりも、追加賃料がやや低い傾向がみられた。また、データセンターやコールセンターは追加賃料が高い傾向が確認でき、業務継続の必要性が高いと考えられる。



図(4)-21 オフィスの機能別の比較 (追加賃料割合)



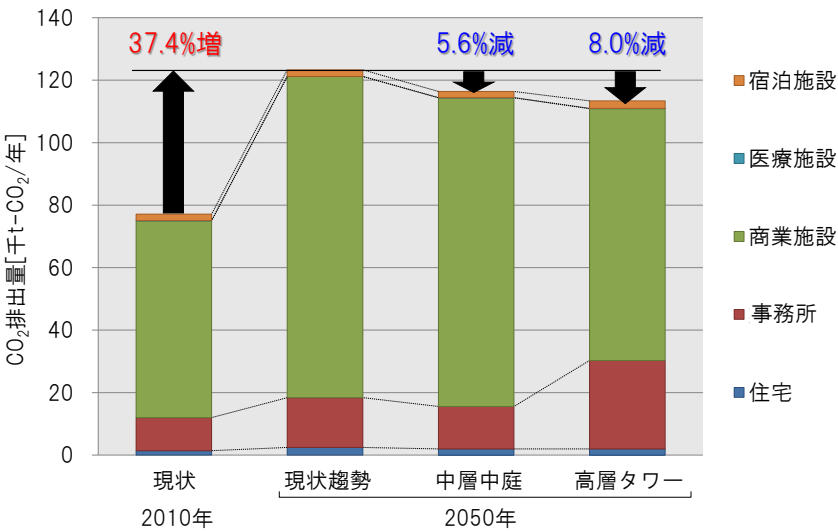
図(4)-22 オフィスの機能別の比較 (追加賃料)

（3）街区群におけるCO₂排出量の推計

研究対象地域である名古屋市の長者町地区(都心居住区・商業地)と御劔地区(木造密集・住商混在・工場近接)においてケーススタディを行った。表(4)-17に設定した長者町地区の世帯数と延床面積、図(4)-23に長者町地区におけるCO₂排出量の推計結果を示す。結果をみると、2010年の現状に対し、2050年の将来における現状趨勢型は37.4%増加している。これは、将来における世帯数、延床面積が、現状より増加したためである。一方、現状趨勢型に対し、中層中庭型は5.6%、高層タワー型は8.0%削減しており、街区群内の建築物を低炭素化させることで、CO₂排出量を削減できることがわかった。

表(4)-17 長者町地区における世帯数と延床面積

	住宅:世帯数(集合のみ)[世帯]			業務:業務形態別延床面積[m ²]			
	単身	2人	3人	事務所	商業施設	医療施設	宿泊施設
2010年(現状)	182	126	0	182,254	283,893	1,429	13,872
2050年(将来)	108	250	133	274,421	381,539	648	14,054

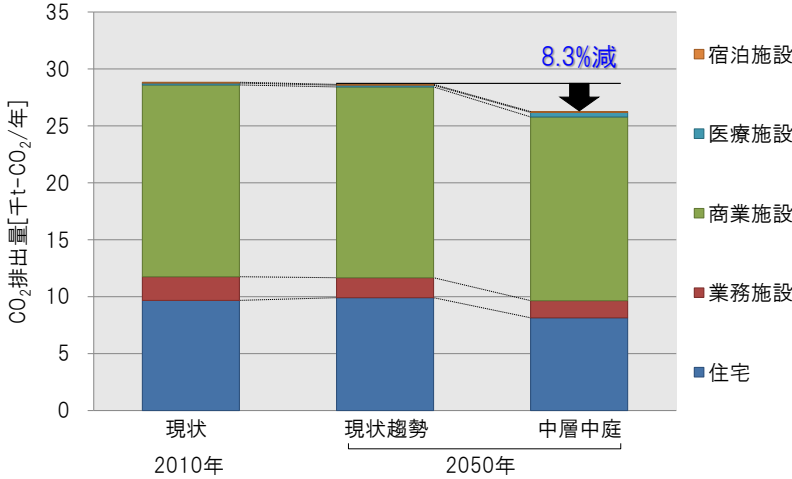


図(4)-23 長者町地区におけるCO₂排出量の推計結果

続いて、表(4)-18に設定した御劔地区の世帯数と延床面積、図(4)-24に御劔地区におけるCO₂排出量の推計結果を示す。結果をみると、2010年の現状に対し、2050年の将来における現状趨勢型はあまり変化していないことがわかる。これは、将来における世帯数、延床面積が、現状とほとんど変化がないためである。一方、現状趨勢型に対し、中層中庭型は8.3%削減しており、街区群内の建築物を低炭素化させることで、CO₂排出量を削減できることがわかった。

表(4)-18 御劔地区における世帯数と延床面積

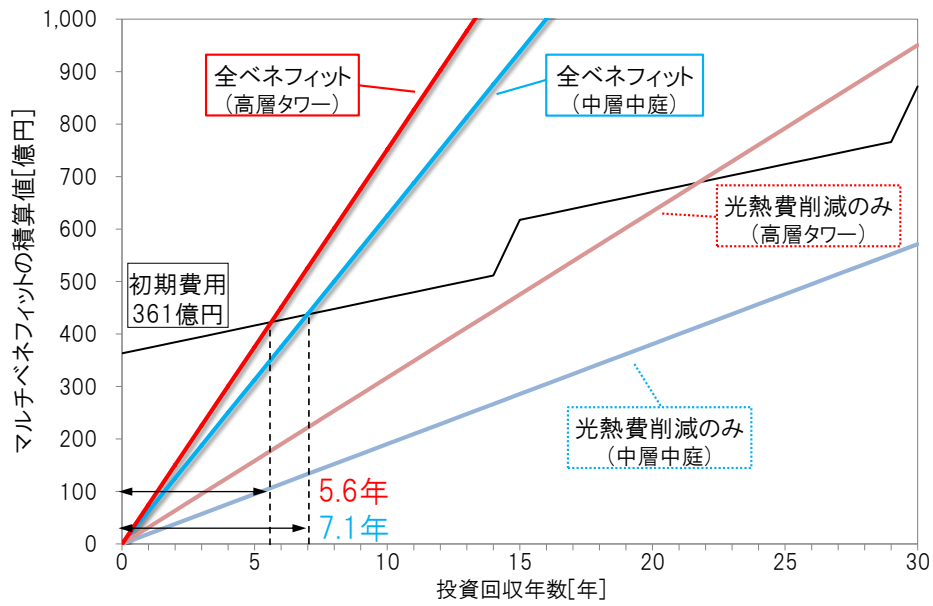
	住宅：世帯数[世帯]						業務：業務形態別延床面積[m ²]			
	単身		2人		3人		事務所	商業施設	医療施設	宿泊施設
	戸建	集合	戸建	集合	戸建	集合				
2010年 現状	505	780	716	359	714	485	35,738.6	75,910.8	512.8	5,217.0
2050年 将来	110	1165	362	833	1,345	155	30,215	75,427	513	5,217



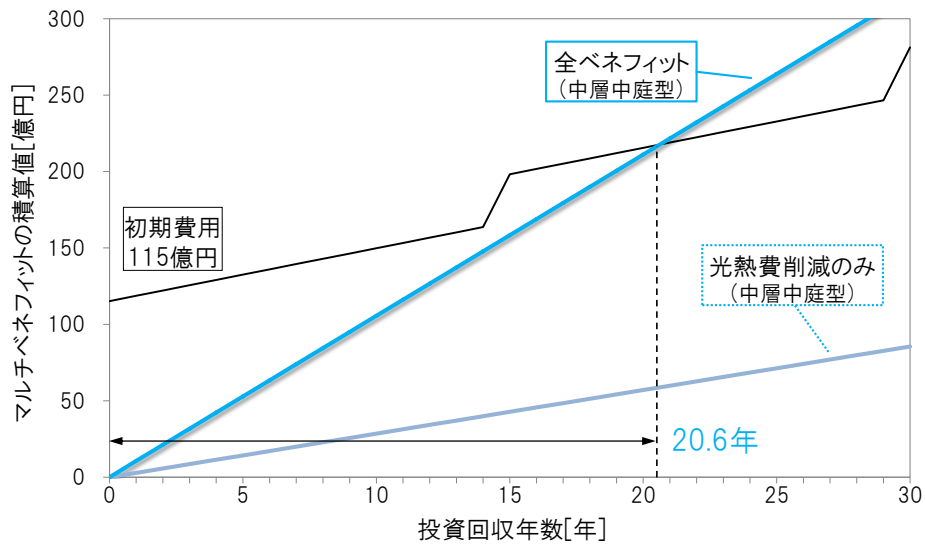
図(4)-24 御劔地区におけるCO₂排出量の推計結果

(4) 低炭素街区群におけるマルチベネフィットを考慮した費用便益評価

評価した非常時における業務生活継続等のマルチベネフィットとCO₂排出量の推計結果を踏まえて、研究対象地域である名古屋市の長者町地区(都心居住区・商業地)と御劔地区(木造密集・住商混在・工場近接)の費用便益評価を行った。図(4)-25に長者町地区の費用便益評価の結果、図(4)-26に御劔地区の費用便益評価の結果を示す。長者町地区では、一般的に認知されている光熱費削減のみでは、どちらのケースも20年以上かかる結果となったが、光熱費削減以外のベネフィットも考慮することで、中層中庭型では7.1年、高層タワー型では5.6年となり、投資回収年収が大きく短縮されることを確認できた。また、御劔地区においても同様に、光熱費削減のみでは、投資を回収することが困難となる結果となっているが、光熱費削減以外のベネフィットも考慮することで、20.6年と投資回収年数が短縮されていることが確認できた。このことから、街区群内の建築物を低炭素化させることの実現可能性が明確となった。



図(4)-25 長者町地区における費用便益評価の結果



図(4)-26 御劔地区における費用便益評価の結果

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

- 1) 追加料金[円/(世帯・年)]は、計画停電が 1,843[円/(世帯・年)]、突発的な停電が 266[円/(世帯・年)]、節電要請が 867[円/(世帯・年)]、計画停電・突発的な停電・節電要請を全て積算し平均すると、2,976[円/(世帯・年)]となった。
- 2) 相関分析より各追加料金に影響している項目は、延床面積、電気代、ガス代、世帯人数、世帯年収であった。このことから、人数の多い世帯、エネルギーの消費が多い世帯、経済的にある程度ゆとりのある世帯において、追加料金が大きくなると考えられる。
- 3) 重回帰分析の結果より、エネルギーの消費や収入が多く、停電時に想定される設備の不満度が高い世帯ほど、計画停電の回避のための追加料金が高くなる結果となった。
- 4) 重回帰分析の結果より、光熱費が最も突発的な停電の回避のための追加料金に影響を与え、次いで突発的な停電時に想定される家事衛生の不満度、等価所得となった。傾向としては計画停電時とほぼ同様であるが、計画停電に比べ、設備の不満度の影響が大きくなっており、突発的な停電時是不満の解消がより重視されることが示唆された。
- 5) 重回帰分析の結果より、光熱費が最も節電要請の回避のための追加料金に影響を与え、次いで等価所得、節電要請時に想定される冷蔵庫の不満度となった。計画停電や突発的な停電とほぼ同様の傾向がみられ、エネルギーの消費や収入が多い世帯ほど、節電要請の回避のための追加料金が高くなる結果となった。設備の不満度については、停電時に比べ影響度が低い傾向にあり、節電要請時の不満はある程度許容されるものと考察される。
- 6) ロジスティック回帰分析の結果より、計画停電時に想定される設備の不満度が高く、計画停電を多くの時間経験している世帯ほど計画停電の回避のための追加料金を支払う傾向がみられた。
- 7) ロジスティック回帰分析の結果より、地域施設の重要性に対する意識、突発的な停電時に想定される設備の不満度が高い世帯や高齢者のいる世帯ほど突発的な停電の回避のための追加料金を支払う傾向がみられた。
- 8) ロジスティック回帰分析の結果より、高齢者のいる世帯や節電要請時に想定される設備の不満度が高い世帯ほど節電要請の回避のための追加料金を支払う傾向がみられた。
- 9) 追加賃料[円/(月・坪)]は、0 円と回答した 533s を除く、2,631s(83%)において、追加賃料を支払うという結果となり、非常時における業務継続の経済価値があることが確認できた。平均値は 753.1[円/(月・坪)]、標準偏差は 705.9[円/(月・坪)]、最大値は 5,623[円/(月・坪)]となった。
- 10) 街区群における建築物起因の CO₂ 排出量の推計モデルを構築した。想定する街区群内の住宅用建築物の世帯数、業務用建築物の延床面積を掛け合わせて積算することで、街区群における年間 CO₂ 排出量の推計が可能となった。
- 11) CO₂ 排出量の推計のケーススタディを行った結果、長者町地区(都心居住区・商業地)では、現状趨勢型に対し、中層中庭型は 5.6%、高層タワー型は 8.0%削減し、御劔地区(木造密集・住商混在・工場近接)では、現状趨勢型に対し、中層中庭型は 8.3%削減しており、街区群内の建築物を低炭素化させることで、CO₂ 排出量を削減できることがわかった。

- 12) 費用便益評価のケーススタディを行った結果、長者町地区(都心居住区・商業地)では、光熱費削減以外のベネフィットも考慮することで、中層中庭型では7.1年、高層タワー型では5.6年となり、御劔地区(木造密集・住商混在・工場近接)では、光熱費削減以外のベネフィットも考慮することで、20.6年となり、投資回収年数が短縮されていることが確認できた。このことから、街区群内の建築物を低炭素化させることの実現可能性が明確となった。

(2) 環境政策への貢献

- 1) 対象地域の名古屋市で開催された自治体職員対象のセミナーにおいて、本研究の成果の一部を発表し、低炭素まちづくりの必要性和その方針について情報提供を行った。

6. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない。

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文(査読あり)>

- 1) 藤崎浩太, 伊香賀俊治, 川久保俊, 富越大介: 日本建築学会技術報告集, Vol.19, No.41, pp.231-236 (2013)
「直接的/間接的便益の提示が高断熱住宅の普及に与える影響のモデル化」
- 2) 富越大介, 伊香賀俊治, 川久保俊, 藤崎浩太: 日本建築学会技術報告集, Vol.19, No.42, pp.655-660 (2013)
「居住者行動とエネルギー使用量の分析に基づく省エネ行動提案ツールの構築」

<査読付論文に準ずる成果発表> (対象: 社会・政策研究の分野)

特に記載すべき事項はない。

<その他誌上発表(査読なし)>

特に記載すべき事項はない。

(2) 口頭発表(学会等)

- 1) 藤崎浩太, 伊香賀俊治, 江口里香, 柳井悠希, 富越大介: 平成24年度建築学会関東支部研究発表会, 建築学会会議室・建築会館ホール (2012)
「新築住宅購入者への費用便益提示による高断熱住宅普及率予測モデルの開発」
- 2) 藤崎浩太, 伊香賀俊治, 富越大介, 川久保俊: 第45回土木計画学研究発表会, 京都大学吉田キャンパス (2012)
「街区群の低炭素性能向上に向けた住宅ストック形成に関する研究」
- 3) 藤崎浩太, 伊香賀俊治, 加藤博和, 川久保俊, 富越大介: 第8回日本LCA学会研究発表会, 立命館大学うわこ・くさつキャンパス (2013)
「街区群の低炭素化が居住者・執務者に与えるマルチベネフィット評価」

- 4) 藤崎浩太，伊香賀俊治: 第47回土木計画学研究発表会，広島工業大学五日市キャンパス (2013)

「停電時の生活継続効果が居住者にもたらす経済的便益の評価」

- 5) 藤崎浩太，伊香賀俊治: 2013年度日本建築学会大会，北海道大学 (2013)

「計画停電時の生活継続効果が居住者にもたらす経済的便益の評価」

- 6) 藤崎浩太，伊香賀俊治: 平成25年度空気調和・衛生工学会大会，信州大学長野（工学）キャンパス (2013)

「計画停電と節電の回避に対する居住者の意識変化の時系列分析」

(3) 出願特許

特に記載すべき事項はない。

(4) シンポジウム、セミナー等の開催（主催のもの）

特に記載すべき事項はない。

(5) マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない。

(6) その他

特に記載すべき事項はない。

8. 引用文献

特に記載すべき事項はない。

（５） 低炭素街区群形成の地域展開方策

横浜市立大学

（公財）地球環境戦略研究機関 井村秀文

中野綾子・スダルマント・ブディ・ヌグロボ ・アンドレアス・イエガー（平成 25 年度のみ）

片山秀文・渡未 絢・杉野誠（平成 24 年度のみ）

前田利蔵・菊沢育代（平成 23 年度のみ）

<研究協力者>

東京都市大学（公財）地球環境戦略研究機関フェロー 大西暁生（平成 25 年度のみ）

自然エネルギー財団 木村啓二（平成 24 年度、平成 25 年度）

川崎市環境総合研究所 荻原朗（平成 24 年度は地球環境戦略研究機関、平成 25 年度から現職）・

川原志郎（平成 25 年度のみ）

平成 23～25 年度累計予算額：18,946 千円

（うち、平成 25 年度予算額：5,023 千円）

予算額は、間接経費を含む。

[要旨]

低炭素街区群形成の舞台は都市あるいは地域であり、施策推進の主役となるのは地方自治体と、そこに居住する住民、そこでビジネスを展開する企業である。このため、低炭素街区群形成に向けて地域レベルで展開されている施策の成功例と、そこにおける様々なステークホルダーの役割と貢献に着目し、その成功例をより多くの地域に普及させるための方策を明らかにするために、以下の研究を実施した。

- 1) 地域における都市・環境政策とエネルギー政策の統合による低炭素街区群実現方策の検討
低炭素街区の形成には、空間的広がり波及、時間的展開に着目した目標設定と政策づくりが求められる。本研究では、街区群を構成する建物・インフラ等のストックの低炭素化と、エネルギーフローの低炭素化の両面から、具体的な施策の現状を分析するとともに、地域における都市・環境政策とエネルギー政策のさらなる統合に向けた施策について考察した。
- 2) 低炭素社会に向けた新たなエネルギー・ビジネスの動向と類型
電力事業に関する規制緩和等の制度変革にともない、既存の地域電力会社以外の企業が電力供給事業に参入する動きが活発化し始めた。また、自治体においては、こうした企業の取り組みを積極的に支援したり、自治体自身がビジネスに参入したりする動きもある。低炭素街区群づくりにおける新ビジネスの可能性とその取り組みを主導する企業、自治体、官民連携の役割を分析した。
- 3) 東日本大震災後の市民の意識・行動変化の現状
市民は、電力等のエネルギーの消費者であり、また、新たなエネルギー・ビジネスが対象として狙う顧客でもある。このように重要な役割を持つ市民の省エネ意識の現状を把握した。

施策、ビジネス、市民参加の三つの観点から検討した結果、地域の条件に合わせて再生可能エネルギー利用と省エネルギー努力を拡大するために、自治体・企業・市民の協働により、低炭素化、高い生活の質（QOL）向上、費用削減を同時に達成する事業とそれを後押しする施策が、事例の中から確認された。

[キーワード]

低炭素街区、電力制度改革、固定価格買い取り、新エネビジネス、デマンドレスポンス

1. はじめに

本研究開始の直前、2011年3月11日に発生したのが東日本大震災であった。この震災は原子力発電所の事故を引き起こし、その結果、同年夏には東日本を中心に全国的に電力供給不足が生じた。この事態は、低炭素社会形成の取り組みにも大きな影響をもたらすことになった。特に、原発の安全性と電力の安定供給をめぐる議論から、再生可能エネルギーの買い取り制度や発電分離等の電力事業に関する規制緩和・制度改革に関する議論が進み、地域における再生可能エネルギーの開発・利用の動きが活発化した。これは、電力の供給・小売事業に多様な企業が参入する動機となり、電力料金上昇を受けた消費者の省エネルギーへの関心の高まりとも連動して、低炭素街区群づくりに大きな影響をもたらす可能性を持つ多様なビジネスが登場してきている。これらのビジネスが単発ではなく、恒常的に継続しながら他地域にも展開されるための方策を明らかにすることが今後有益である。

2. 研究開発目的

本研究全体としては、日本においてCO₂排出量2020年25%減、2050年80%減を達成するため、「街区群」という空間スケールでの低炭素化を支援する評価デザインシステムを構築するとともに、実現方策の社会実装プロセスの提示を行うことを目的としている。本サブテーマ5においては、低炭素街区群実現に取り組む行政による施策展開プロセス、および新たなエネルギー・ビジネス展開のスキームを提示することを目指す。

3. 研究開発方法

（1）地域における都市・環境政策とエネルギー政策の統合による低炭素街区群の実現

低炭素街区の形成を進めるためには、地域の構造によって規定される、施策影響の空間的広がり波及、時間的展開に着目しなければならない。まず、低炭素街区群づくりの施策を、ストックの低炭素化の取り組みと、フローにおける低炭素化の取り組みに分けて検討した。ストックの低炭素化とは、設備や建物といった一度建設されると長期間にわたって利用されるものについて、エネルギー効率の高いもの、あるいは再生可能エネルギーを利用するものに置き換えていくことを意味する。他方で、フローにおける低炭素化とは、エネルギーの利用方法を節約する利用・運用の仕方に変えていくこと、あるいは購入する電力に占める再生可能エネルギー由来の電力の比率を高めていくことを意味する。この整理に基づいて、ストックおよびフローの両面で、低炭素化に向けて先駆的な取り組みを進める事例の特徴と成果を文献より調査した。

また、国や自治体における都市計画、エネルギー関連制度の分析と相関関係を整理するとともに、「都市計画」や「地球温暖化対策地方自治体実施計画」など自治体レベルでの施策の相互関連性を分析した。東京都、北九州市、横浜市等で実際に導入された計画、規制等の施策に関する資料を収集するとともに、ヒアリング調査や現地視察を行い、その内容を分析した。

（２） 低炭素社会に向けた新たなエネルギー・ビジネスの動向と類型

今後発展が見込めるビジネスモデルとして、太陽光発電のための屋根貸し、デマンドレスポンス、自治体による地域電力公社を取り上げた。それぞれを「自治体主導型」、「企業主導型」、「官民連携型」の３つに類型化し、それぞれの特性と今後面的な広がりを持って展開するために有効と思われる方策について考察した。具体的には、以下の調査を行った。

- 1) 再生可能エネルギーの固定価格買い取り制度によって売電事業が活発化していることから、近年脚光を浴びるようになった「屋根貸し太陽光発電事業」および「デマンドレスポンス」を実施あるいは検討している民間事業者のインタビュー調査を行った。
また、下記（３）で実施したウェブによるアンケート調査の結果をサブテーマ 1 に提供することによって、名古屋都市圏における電力価格による消費者行動の変化を把握し、デマンドレスポンス導入によるエネルギー消費量の削減効果を分析した。
- 2) 自治体が主導して電力供給を行うビジネスモデルに着目し、まず欧米における事例について、文献調査によってその成果と特徴を調査した。ドイツや米国（カリフォルニア州）では、地方自治体がエネルギー・ビジネスに直接参画してきた歴史があり、低炭素都市形成のビジネスモデルもそれを背景に構築されている。こうした事業背景と特性を明らかにするために、サクラメント市（米国）、オースティン市（米国）、ミュンスター市（ドイツ）について調査した。次に国内でも同じようなビジネスモデルを普及させるために、設立に至るまでの具体的なプロセスを地域エネルギー公社へのヒアリングを通して明らかにした。日本の場合はまだ少ないが、長野県飯田市における「おひさま進歩エネルギー株式会社」や小田原市における「ほうとくエネルギー株式会社」、そして群馬県中之条町における「一般財団法人中之条電力」等、注目されている事例を取り上げた。

（３） 東日本大震災後の市民の意識変化、行動変化の現状

2011・12・13年の夏（7-9月）の市民の節電・省エネの意識と行動を、横浜市、川崎市、名古屋市、北九州市の一般市民 4,000 名を対象としたウェブ調査を通して把握し比較した。2011 年度と 2012 年度は、震災後の消費行動として省エネ家電買い替え、太陽光発電・太陽熱温水器の購入意欲などを中心に質問したが、2013 年度は「デマンドレスポンス」に対する市民や事業者の社会受容性についても調査した。

4. 結果及び考察

（１） 地域における都市・環境政策とエネルギー政策の統合による低炭素街区群の実現

1) 都市によるエネルギー消費構造の特性

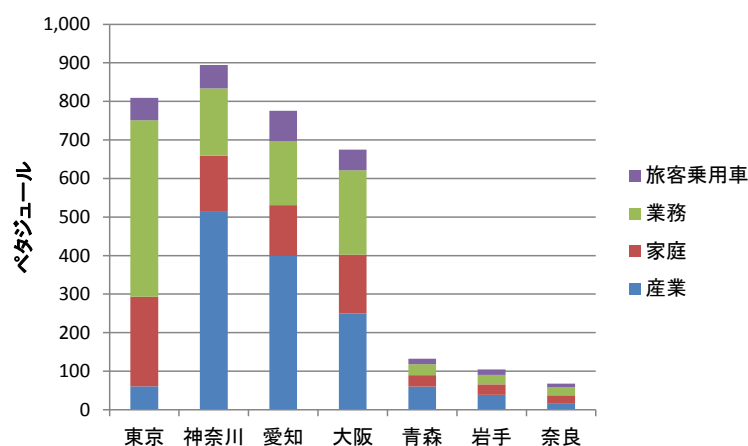
資源エネルギー庁が公表している都道府県別エネルギー消費統計のデータ¹⁾によると（図(5)-1）、2010年度の東京都のエネルギー消費量は、約809ペタジュールである。これをエネルギー消費の少

ない幾つかの県と比較すると、同年度の青森県の6.1倍、岩手県の7.8倍、奈良県の12.0倍にあたる。他の大都市をかかえる府県（神奈川県や大阪府、愛知県）も同様にエネルギー消費量は極めて多い。これは、2つの側面から見ることができる。第一に、人口が多いために、必然的に家庭部門におけるエネルギー消費量が多いこと、そして家庭に対して行われる公共サービスや商業サービス等の提供のために、業務部門が集積し、それらのエネルギー消費が大きくなっていく。第二に、製造業をはじめとして産業活動が活発であるため、それに関わるエネルギー消費が大きくなっていく。

第一の側面について特徴的なのが東京都である。東京都は人口が1,320万人(2011年度)と極めて大きいのに加えて、オフィスや商業施設が集積しており、それによって業務部門のエネルギー消費が突出して多い。都のエネルギー消費の85%が業務部門と家庭部門で消費されている。

他方で、第二の側面が強く出ているのが神奈川県である。神奈川県は、人口が906万人(2011年度)と東京都よりも少ないが、総エネルギー消費量は、東京都よりも大きい。これは製造業が集積していることによって、産業部門のエネルギー消費量が突出して多くなっていることによる。神奈川県の産業部門のエネルギー消費量は、県全体のエネルギー消費量の約57%にのぼる。

このように、一口に地域や都市といっても、人口集積地、商業・オフィス集積地、工業集積地などの構造によってエネルギー消費のパターンは大きく異なる。



図(5)-1 都道府県別エネルギー消費量(2010年度)

2) ストックの低炭素化に向けた先駆的施策

東日本震災後、電力分野の市場環境が大きく変わることになった。すなわち、再生可能エネルギー電力の固定価格買い取り制度の導入によって、再生可能エネルギー導入が経済的に見合う投資環境が整ってきた。また、電力市場の自由化に向けた法整備も進み始めた。それによって今後、多様な事業者等の新規参入も期待され、消費者に多様な選択肢・サービスが用意される可能性がある。こうした市場環境の変化は、低炭素街区群づくりにとって追い風となりうる。特に、民間企業がエネルギービジネスに新規参入する動きを、低炭素街区群づくりにうまく組み込んでいく必要がある。

本研究ではまず、低炭素街区群づくりの施策を、ストックの低炭素化の取組と、フローの低炭素

化の取組に分けて検討し、先駆的な取組みを進める事例についてそれぞれ検討している。

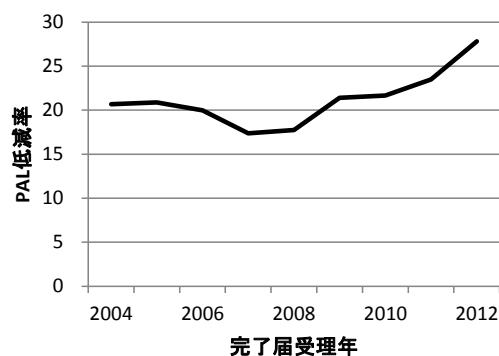
ストックの低炭素化は大きく分けて、再生可能エネルギー利用機器の導入と設備・建物の省エネ化に分類できる。多くの都市では、これまで再生可能エネルギー導入に対して補助金制度や低利融資制度の導入を図ってきた。また、自治体自身が保有する市庁舎や学校等の公共建物への設備・機器設置も進められている。しかし、こうした政策は、自治体の財政に依存することもあり、当然制約がある。このため、初期需要創出のための時限的な施策と位置づけられ、都市全体のストックを大幅に入れ替える効果は限られている。近年、財政的手段に頼るのではなく、規制的手段あるいは規制緩和を活用した再生可能エネルギー導入促進施策が登場してきた。具体的には、建築規制の分野において、自治体が独自の政策展開を見せ始めている。

省エネ建築の推進については、国レベルでは「省エネ法」に基づいて、床面積が2,000㎡以上の建築物については省エネ措置を届け出ることが義務付けられ、措置の内容が不十分な場合は指示・公表・命令が行われる。床面積が300㎡以上の建築物については省エネ措置の届出のみが義務付けられ、措置の内容が不十分な場合は勧告が行われる。これらの措置は、所管の地方自治体に提出される。この制度の問題点としては、建築物に一定の省エネ措置が義務化されているわけではなく、届出義務が課されているのみであることが指摘できる。つまり、著しい措置の不足がない限り、一定の省エネ達成が担保されない仕組みとなっている。

いくつかの自治体は、規制的手段に踏み込んで建築物の低炭素化に向けた動きを始めている。例えば、東京都では大規模建築物の省エネ基準の強化および義務化に踏み切った。

a 東京都と建築物環境計画書制度

東京都は、「東京都建築物環境計画書制度」²⁾を創設している。この制度では、「エネルギー使用合理化」、「資源の適正利用」、「自然環境の保全」、および「ヒートアイランド現象の緩和」という4分野について、建築主に環境配慮を義務付けている。とりわけ、2010年度から床面積1万㎡以上のものについては、一定の省エネ基準を満たすことを義務付けている。その結果、新築、増築される建築物の省エネ性能が向上しつつある(図(5)-2)。



図(5)-2 東京都大規模建築物の平均年間熱負荷係数（PAL）低減率の推移³⁾

これは明らかに政策導入の効果と言える。ただ、こうした義務化については、現状では他の自治体に広がっていない。この建築物に対する環境規制について自治体ごとにどのような考え方の

違いがあるのか、あるいは、こうした規制を実施する際に、自治体が何を障害と考えているのかといった点はより詳細に調査しておく必要がある。

b 再生可能エネルギー導入の検討義務

このほかには、新たに建築物を建設する場合、あるいは改築・増築する場合に、再生可能エネルギー導入の検討を義務付ける方法がある。

東京都、横浜市などでは、大規模な建築物の建築主に対して、新しく建築物を建設する場合、太陽エネルギーあるいは再生可能エネルギーの導入を検討するよう義務付けている。

横浜市では、2010年4月より、延べ床面積2,000㎡以上の建築物新築・増改築計画をもつ建築主に対して、太陽エネルギー等の利用設備の導入検討の義務を課している⁴⁾。この制度においては、太陽光発電と太陽熱利用機器については、必ず検討を実施しなければならないこととされた。検討結果は、導入検討報告書として作成し、提出を義務付けられている。導入に至らない場合には、その理由も記載することとされている。横浜市は、本制度を5年程度継続して行い、徐々に導入比率を上げていく計画である。

横浜市に続いて、東京都は、2010年6月から、建築物環境計画書制度を強化する方法で、再生可能エネルギーの導入検討義務を課している²⁾。対象は、延床面積5,000㎡以上の新築・増築の建築物である。建築主は、その建築物に再生可能エネルギーが導入可能かどうかについての「物理的検討」を行う。太陽光発電の場合、設置を想定する場所で日照が十分に得られるかどうか、設備の荷重に耐えるかなどが検討条件になる。その上で、導入可能性があり、建築主に導入意思がある場合「詳細検討」として、想定される発電量やそれに伴って削減される環境負荷、経済性が検討される。このような検討を経て導入を見送る場合には、その理由を付記することになっている。

このように、建築主に対して再生可能エネルギー導入の検討義務を課すことによって、建築主は再生可能エネルギーの導入を現実的に迫られることになる。これまで、建築主に相当の導入意欲がなければ検討さえされない状況であったものから、一歩改善されたといつてよい。しかし、実際のところ建築主に対してどれほどの導入インセンティブにつながっていくかは、注意深く見ていく必要がある。

こうした検討義務制度からさらに踏み込んで、京都市では、京都市地球温暖化対策条例を改正し、その第41条において、特定建築物を新築する建築主に再生可能エネルギー利用設備の設置義務と地域産木材の利用義務を課した⁵⁾。本制度は、2,000㎡以上の建築物(特定建築物)の新築・増改築の際には、「熱量に換算して年間30,000メガジュール以上の再生可能エネルギーを利用すること(京都市地球温暖化対策条例施行規則平成24年3月22日改正)」が義務付けられた。30,000メガジュールは、電力量換算で3,125kWh程度であり、太陽光発電の場合であれば3kW程度の設備でよいことになる。標準的な住宅用太陽光発電システムが4kW程度であるから、住宅よりも小さな設備で義務達成が可能になることになる。これについては、2,000㎡の大規模建築物に対する規制水準として適切かどうかという議論はある。しかし、民間の建築物に対する再生可能エネルギーの利用義務付けは先駆的であり、それ自体は極めて画期的なことである。

地球温暖化対策は、国レベルのエネルギー政策にとっての重要な課題である。しかし、これまで国の規制による制約があるために地方自治体には施策の自由度が少なく、地域が目指す温室効

果ガス排出削減の目標達成が進まない懸念があった。そこで、上記のように、地球温暖化対策を独自に進める自治体が先駆的に独自の基準を導入しているケースが見られる。他方で、こうした自治体独自の取り組みには限界もある。というのも、自治体ごとに建築環境基準が違いすぎると、建築環境規制がある自治体では、建築物が建てにくくなり、規制がない自治体では建築物が建てられやすくなることが懸念される。そうすると、規制がある自治体は経済的に損失を被る可能性がある。多くの自治体ではこうした懸念のため、独自の建築環境規制の導入をためらっている。逆に言えば、こうした規制があっても依然として建築需要が高い都市のみがこうした規制導入が可能であり、そうでない都市はなかなか難しいと言える。この問題をどのようにクリアしていくかが今後の重要な課題である。

3) フローの低炭素化に向けた先駆的施策

北九州市は、工業都市であり、かつて激甚な公害被害を経験している。これに対応するため、企業と公害防止協定を締結し、公害の緩和に努力してきた歴史があった。

同市は、政府の「次世代エネルギー・社会システム実証」プロジェクトに応募し、選定地域のひとつとして選ばれた。北九州スマートコミュニティ創造事業のマスタープランを2010年8月に策定し、事業を開始した。この事業では、北九州市八幡東区東田地区をととして、新エネルギー導入強化、建築物・構造物の省エネシステム導入、地域エネルギーマネジメントシステムによるエネルギーの効率的利用、交通システム等社会システムの整備などにより現状より更に25%の省エネ効果を獲得し、北九州市内の標準的な街区との比較でCO₂削減50%超を実現する」としている。

a 地域節電所の取り組み

北九州市八幡東区東田地区では、エネルギーフローにおける低炭素化のために、地区全体のエネルギー需要管理の仕組みとして「地域節電所」を導入している。この地区は新日本製鐵の自営電力線を利用して電力供給を行う特定供給エリアになっており、地区の一般家庭230世帯、50事業所の電力需要を賄うために天然ガスコージェネレーションを基幹電源として、そこに太陽光発電や風力発電を組み合わせることで電力供給を行っている。電力需給をバランスさせるためには、需要側と供給側のバランスが必要になる（同時同量の達成）。そのためのシステムを「地域節電所」と呼んでいるのである。

この地域節電所では、単に電力需要に合わせて供給力を増やすというだけではなく、節電を促進するための仕組みを導入している。具体的には、ダイナミック・プライシングと呼ばれ、時間帯によって電気料金を変えることで消費者に電力消費量を調整してもらう仕組みである。この仕組みを導入しているのは、一般家庭127世帯である。69世帯では料金を変動させないかたちとしている。

2012年度においては、一般家庭向け電気料金を5段階に分けて設定している。通常時（レベル1）では、昼間15円/kWhで、朝と夕方が10円/kWh、夜間6円/kWhという設定にしている。ダイナミック・プライシングは、夏季の13時～17時と冬季の8時～10時と18時～20時の時間帯のみに適用される。レベル2では、昼間の時間帯の電気料金を50円/kWhに設定し、最も需給が逼迫した時に発せられるレベル5になると150円/kWhに設定している。

適用される料金レベルは、前日および当日の朝にスマートメーターを通じて通知される。各家

庭では、スマートメーターを通じて、家庭内タブレット表示機に表示されるようになっている。このダイナミック・プライシングの仕組みを導入することで、一般家庭においてもピークカットが実現している。2012年7月～9月のダイナミック・プライシングの事業成果を見ると、ピークタイムに需給状況に応じて価格を上昇させることで、50円/kWhのときには9% 150円のときには13%の程度のピークカットが実現した⁶⁾。

北九州市においては、こうした地域節電所で、供給管理システムおよび需要誘導システムを導入することによる新しい電力需給システムの可能性を追求している。同市は、ここでの実験を通じて、地域エネルギー政策の構築を検討しているとされている。さらに、同市における地域エネルギー政策の焦点は、温暖化対策に加えて、地域を支える視点から安定・安価なエネルギー確保の要素も加えられてきている。こうした視点を折り込みながら、地域エネルギー政策という形で政策形成を行っていくとされている。

b 地域節電所の可能性と課題

問題は、こうした一地区での取り組みを全市的に広げていけるかどうかである。この点については2つの課題がある。第一に、全市で取り組む場合のシステム設計をどうするかである。現状は、新日本製鐵の自営線を用いた特定供給を行っているが、この枠組みでは全市に広げることにはできない。自営線を独自に敷設するのは極めて費用高であり、費用効率的ではないからである。解決策の1つとしては、地域独自の特定規模電気事業者（PPS:「新電力」とも呼ばれる）を立ち上げ、自ら地域内外から電力を調達し、市内の電力消費者に販売する方法がある。この仕組みであれば、電力会社の送電線に対して使用料（託送料金）を支払えば、電力会社の送電網を利用して、顧客に電力販売が可能である。こうした事業スキームにまで発展できれば、地域内での自立的なエネルギー供給システムの構築も可能である。

第二に、市民(住民および事業者等)の参画と協働の機運をどう高めていくかである。市全体への波及のためには、どういうエネルギーシステム設計を行うかという問題に加えて、住民と事業者がどう関わっていくかという問題がある。

エネルギーの利用の仕方は、エネルギーの消費者である住民のライフスタイルや消費行動、事業者の生産・事業活動のあり方と密接に関係する。ダイナミック・プライシングなどを活用した地域節電所の仕組みが節電行動を促すために有効であることが示唆されているものの、実際に現在の電力料金メニューとダイナミック・プライシングが選択可能になった場合に、ダイナミック・プライシングに対してより多くの魅力を感じるのか、あるいは現在の電気料金を選好するのかといった点についても検討する必要がある。さらには、消費者がより大きな魅力を感じる電気料金の仕組みとはどういったものなのかについて、さらに検討していかなければならない。

節電所という概念には、電力という商品を売るという事業モデルを、電力によって得られる空調・給湯等のサービスあるいはそれから得られる快適性を売るという新しい事業モデルに転換する非常に重要な意味が込められている。消費者が最終的に求めているのは電力ではなく、それから得られるサービスである。こうして、供給者と消費者が協力しあって省エネを実行しエネルギー利用効率を高めて、より少ないコストで高いサービスを実現することを目指した「ネガワット」という概念も生まれている。

（２） 地域におけるまちづくり・環境・エネルギー関連施策の統合的推進

１）計画レベルでの統合

地域レベルにおいては、まちづくりと環境に関する施策は相互に不可分な関係になるまでに深化している。低炭素街区群づくりにおいては、これにエネルギー関連施策も加えたより一層統合的な枠組みが必要である。エネルギー施策への地方自治体の関与はこれまで限られていたが、近年、国からの働きかけもあり状況は変わってきている（図(5)-3）。

	街づくり・環境	エネルギー
国	「都市計画法」（国土交通省） 「建築基準法」（国土交通省）	「電気事業法」（資源エネルギー庁） 「地球温暖化対策の推進に関する法律」（環境省） 「京都議定書目標達成計画」（環境省）
都道府県	「都市計画区域マスタープラン」	
市町村	「市町村マスタープラン」 ・「まちづくり条例」 ・「環境基本条例」 ・「福祉のまちづくり条例」 ・「緑の環境づくり条例」等	「地球温暖化対策地方公共団体実行計画」 ・「再生可能エネルギー利用を促進する条例」等



図(5)-3：異なる行政レベルにおける「まちづくり・環境」と「エネルギー」関連計画

国が制定した「地球温暖化対策の推進に関する法律」や「京都議定書目標達成計画」などにより、地方自治体は気候変動政策上でも大きな役割が期待されている。地方自治体が定める「地球温暖化対策地方公共団体実行計画」は計画期間に達成すべき温室効果ガスの排出抑制目標を設定し、その目標を達成するために実施する措置の内容を定めているが、排出抑制等を行うための施策として「再生可能エネルギー」、「コンパクトシティの実現」などを取り上げる市町村は多い。これを効果的に推進するためには、まちづくり関連の条例や計画にかえ、「エネルギー」に関連したものを積極的に策定し、これら関連施策を統合していかなければならない。

２）施策レベルでの統合

多くの自治体が、「地球温暖化対策地方公共団体実行計画」の中に、再生可能エネルギーの導入、省エネルギーの促進、交通機関の利用の促進、緑化推進、廃棄物等の発生抑制等の施策を盛り込んでいる（表(5)-1）。同時に、「市町村マスタープラン」にもこれらの施策を盛り込む自治体が増えている。例えば横浜市では、コンパクトシティの実現、環境にやさしい交通の整備、横浜グリーンバレーの推進などが、両方の計画に盛り込まれ、市役所内の組織面でも両者一体で推

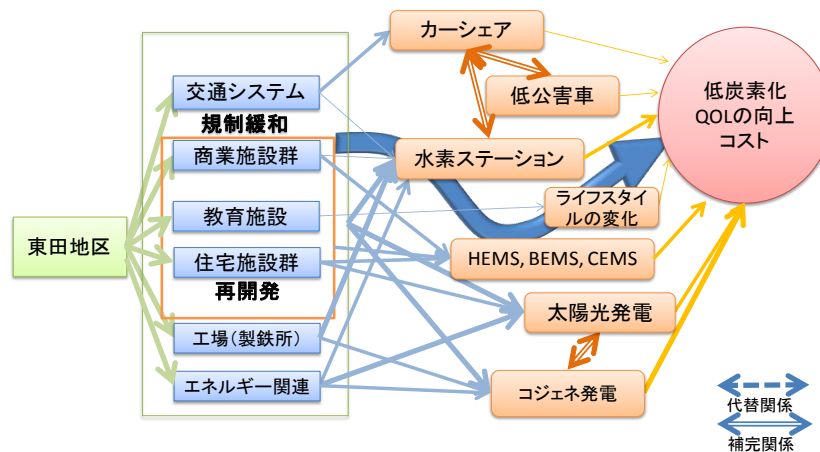
進するための本部が設置されている。政令指定都市では「地球温暖化対策地方公共団体実行計画」と「市町村マスタープラン」の両方で掲げる施策に多くの共通項目が見られるのは横浜市、川崎市、名古屋市、神戸市の4都市である。他都市でも、今後両者の連携を強める余地がある。

市町村における計画とその内容	都市の数
政令指定都市のうち「実行計画」を策定した都市	16
上述の都市のうち「マスタープラン」に低炭素都市の理念の記述がある	11
上述の都市のうちマスタープランの中で、「省エネルギー」、「再生可能エネルギー」関連施策に言及している	7
「地球温暖化対策地方公共団体実行計画」と「市町村マスタープラン」の両者に共通施策あり	4

表(5)-1： 政令指定都市における「市町村マスタープラン」と「地球温暖化関連計画」

上述のように同じ施策を複数の計画の中に盛り込むことで相互連携を図る一方で、個別施策レベルでの一体性を強化することが重要である。低炭素街区群の実現のためには、当該街区で実施されるあらゆる事業を効果的に組み合わせる必要があるからである。学校や福祉施設の屋根には太陽光発電装置が設置できるし、住宅やマンションは断熱性能向上等による環境配慮型（スマートハウス）にできる。道路には自転車専用レーンが設置できる。さまざまな施策・事業は相互に補完・代替しあい、組み合わせによって相加的あるいは相乗的な効果を発揮する。こうした相互関係を考慮することで、全体として低炭素化を実現することができる。

図(5)-4 は北九州市八幡東区の東田地区の例である。ここでは、新日本製鐵工場跡地の有効活用のため、地域活性化を目指した経済基盤の整備（スペースワールドやホテル建設等）に着手してきた。2004年以降にさまざまな特区が認定されるとともに、これまで培ってきた産業の知恵を広範囲に活かしながら、低炭素街区群を構成するさまざまな技術の実証試験が行われている。ここで不可欠なのは、さまざまな施策・事業の有機的連携であるが、既存の法律（「都市計画法」「建築基準法」「電気事業法」等）による規制がその阻害要因になっている場合が多い。例えば、工場で生産した電力を民生用に直接売電することができないのは大きな障害である。このため、実際の事業実施においては、さまざまな法律の規制に適合する必要がある。その困難が大きい場合には、規制緩和の対象となる特区の指定が有効である。実際、東田地区のいくつかの事業は特区制度を用いた規制緩和によって可能になっている。また、東京都では、特区指定により、容積率の嵩上げと緑地率の増加を図ることで大手町の森を形成する構想を進めている。これまで日本の国家戦略として規制緩和の対象となった計画は2000以上も存在するが、特区申請数が近年では少なくなっている。今後新たに発動される国家戦略特区が、低炭素街区づくりにどのような効果を持つかが注目される。



図(5)-4 低炭素施策体系の整理（北九州市八幡東区・東田地区）

ここで、当然のことながら、財源が担保されなければ事業は実現しない。日本では近年、再生可能エネルギー導入に対する補助金制度や低利融資制度が設置され、複数の官庁から自治体に助成が行われている。例えば、1995年以降、自治体は「地域新エネルギー・ビジョン」を策定することで、経済産業省が所管する独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）から支出される新エネルギー事業用の補助金を原資に、再生可能エネルギー及び省エネルギーへの投資を加速させている。また、環境省も先導的低炭素・循環自然共生創出事業の予算を計上している（2014年度新規）。さらに、2002年の省エネ法の改正により、建築物の設計及び施工に係わる指導・助言などの権限が国から地方自治体へ委譲され、前述の東京都のように建築物の省エネ基準を独自に設ける自治体が現れている。

3）低炭素街区づくりの新たな協働プラットフォーム

現在の日本では、人口減少と高齢化のため、郊外での新規都市開発事業は減少しており、低炭素街区群づくりの対象となるのは既成市街地であることが多い。これには、既成市街地の再開発にあわせて大規模な面開発として実施するケースと、比較的小規模な建替え等の事業を積み重ねる中で時間をかけて進めるケースがある。上で紹介した東田地区は、大規模な面的再開発事業として実施された代表的な例である。こうした大規模な事業の場合、事業計画を主導するのは自治体であることが多いが、自治体予算で全ての事業を行うには困難が大きい。地域主体の自立的な取り組みとするには、民間企業と市民の参加が必要である。そこで、北九州市では、地域節電所の実証実験を進めるにあたり「北九州スマートコミュニティ推進協議会」を設立した。これには電力、ガスの他にIT、通信、不動産、金融等幅広い分野から70程度の事業者や市民グループ、大学関係者が参加し、北九州市との協働で事業を進めている。ここで、事業のプランづくりは自治体主導で進んでも、事業への投資については民間企業が参加し、ビジネスとして採算が取れる形で運営される必要がある。また、後述するデマンドレスポンスやダイナミック・プライシングのような事業は、顧客となる住民のライフスタイルや消費行動に関わるので、その理解と協力が不可欠である。東田地区では、実証実験に住民が参加する仕組みをつくることで、市民自身により少ないエネルギー消費によって高い生活の質（QOL）を求める動機づけを与え、関係者の協働を促進している。また、地域の土地の多くが民間企業一社の所有地（工場跡地）であったため、

その土地を管理・運営する不動産会社が、節電所運営の中心となっている。これは、低炭素街区群づくりのための協働プラットフォームの例として注目される。

北九州市の事例は、既成市街地の再開発計画に合わせて、行政、企業、市民の連携がうまくいった例であるが、現実はこの事例ばかりではない。名古屋市中区の長者町では、以前繁栄していた繊維問屋街を再生する動きの中で、地域で事業を継続している土地所有者・企業経営者のグループが低炭素まちづくりに関心を示している。この場合には、築年数の古い建物等の既存ストックの更新のための息の長い取り組みが必要である。他方、大都市の鉄道駅周辺などでは、ビルの建て替えや高層化にあわせて、エネルギー関連設備の更新も進む動きにある。地区でまとまった熱需要があれば、地域冷暖房等の最新技術が導入される可能性が高い。これに合わせて、周辺のマンション・アパートの住民を顧客としたデマンドレスポンス等のビジネスも成立しやすくなる。しかし、大都市の場合、住民は利便性を求めてマンション・アパートを購入するものの、行政や企業と協働して街づくりに参画する動きは弱い恐れがある。本研究が実施したウェブ調査によれば、大都市 横浜市及び川崎市では町内会などの地域活動に回答者の 23%しか参加していない。地方の中小都市の場合には、自治体と地元の企業、市民の連携プラットフォームは生まれやすいものの、資金力を持った投資主体が自治体以外には見当たらないという問題をかかえている例が多い。

（３） 低炭素社会に向けた新たなエネルギー・ビジネスの動向とその類型

１） 震災後における電力システム改革と低炭素ビジネス

エネルギー供給事業は、多くの場合民間が主体となって展開しながらも公益性の高い事業として、国の責任において供給義務や料金規制が課せられている。歴史的経緯からサービスの提供は基本的に寡占市場であり、競争強化による効率性の改善や料金低下を目的とした電力制度改革が何度か実施されてきたものの、大きな変革は困難であった。

これまでは地域の寡占的な電力事業者が発電→送電→各建物への配電まで一貫して電力を提供する垂直統合型モデルが規制省庁の監修の下でエネルギー供給を担い、大規模発電施設が火力と原子力を主熱源として発電していた。しかし、2011 年以來、原子力発電に対する国民の不安は払拭されず、燃料費の高騰と電力料金の引き上げ、国のエネルギー政策の見直し議論が続いている。2014 年 2 月現在における国のエネルギー基本計画政府案では、原子力を常時一定量の発電を続ける「ベース電源」として再開させながら、再生可能エネルギー導入とエネルギー効率向上などにより原発依存度は「可能な限り低減させる」方針ではないかと観測されている。つまり、電源構成については、原子力発電に代わる電源として、火力発電などの基幹電源に加え、地域に分散的に賦存する太陽光、風力、地熱、バイオマス等のいわゆる再生可能エネルギーを取り入れた分散型発電システムが積極的に活用される見込みである。また、エネルギー効率については、建築物内の消費電力を効果的に抑制する仕組みが模索されている。こうした動きは、電力供給と電力小売に新たなビジネスチャンスをもたらし、低炭素街区づくりへの新規ビジネス参入が促進される可能性がある。

2011 年以前の日本のエネルギーの需給構造とエネルギーサービス関連ビジネスは技術・社会の両面で制度化・構造化、つまりロックイン（lock-in）されていたが、震災という外的ショックが加わることで新たな主体が登場し、新たな技術革新とビジネスモデルのフェーズへと移行（“トラ

ンジッション”）しつつあるといえよう。ここでは、「低炭素街区」形成に向けた動きを牽引する主体（「担い手」）と、その動きを面的に拡大し得るビジネスモデルについて検討する。

2) 低炭素街区群づくりへのビジネス参入

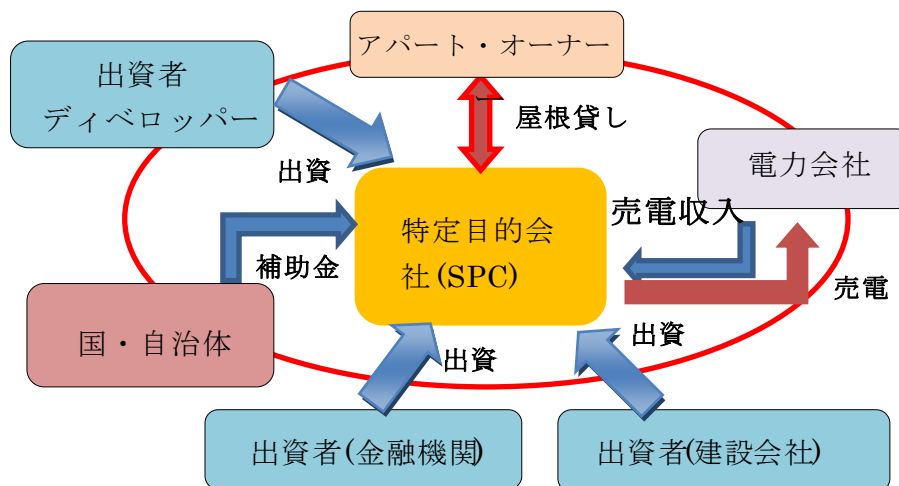
再生可能エネルギーあるいは省エネルギー技術を利用した新たなビジネスは、低炭素街区群づくりと密接に関連しており、具体的な施策展開の突破口となる役割も期待される。ただし、そのビジネス展開には、多様な担い手が関係しているため、成功の鍵は合意形成の成否に左右される。ここでは、主導的役割を果たす担い手によって「企業主導型」「自治体主導型」及び「官民連携型」の3つの類型に整理し、各事例の現状と将来について考察する。なお、インタビュー調査によって入手したビジネスモデルの詳細については企業内情報が多いため、事業者名はA B C…社のように匿名で記す。

a 屋根貸しサービス

屋根貸しサービスとは、住宅や建物の所有者が屋根部分を他者に貸与し、賃借する側は、そこに取り付けられた太陽光発電システムなどから得られた電力を「固定価格買取制度」を活用して（平成24年7月から再開）売電することで利益を得るビジネスモデルである。これは、「自治体主導型」と「企業主導型」の2つに分けられる。

「自治体主導型」：産業振興の目的から多くの自治体が公共施設の貸し出しを公募し、直接太陽光発電事業者に貸与している。県有施設であれば、本研究が行った2014年1月の文献調査では、47都道府県のうち、少なくとも18の県が貸し出している。また、公共施設以外にも広げるために例えば東京都や神奈川県は屋根の借り手と貸し手をマッチングするサービスを提供している。

「企業主導型」：民間事業者として率先して進めているのが、賃貸アパート大手のA社と、電力事業に最近参入した電気通信事業者B社である。特にA社においてはディベロッパーとして施工した賃貸アパートの保有者に売電収入が確実に獲得できる投資案件として太陽光発電システムの導入を薦めた。A社は、その結果として発生する請負工事から利益を得ることができたので、リスクの少ないビジネスモデルであった。しかし、資金に余裕があるアパートの保有者が太陽光発電システムの施工コストを捻出するビジネスはやがて一巡するため、A社は金融機関や建設会社と共に発電事業を行う特定目的会社（SPC）を設立し、SPCが売電収入を得ている。ディベロッパー、金融機関、建設会社など本来、異分野の担い手が発電事業に関わっているのが特徴となっており、上述の自治体主導型との対比からは「企業主導型」に分類される。



図(5)-5：屋根貸しによる太陽光発電事業の一例

今後、本ビジネスモデルが普及するためには、固定価格買い取り制度や投資減税などの経済的インセンティブが継続されることが前提となる。また、地方自治体が、例えば、特定地域において新たに施工される建物を対象として「一定規模以上の建物に再生可能エネルギー利用設備の設置義務」を導入することで、より制度を固定化し不動産保有者が否応なく太陽光発電システムを取り入れる仕組みも有効であろう。これは、前述のストックの低炭素化に該当する。京都市で実施されており、特定地域における低炭素づくり施策を都市計画に組み込むための有効な方法である。

b デマンドレスポンスサービス事業

2000年代に入って、再生可能エネルギー等の分散型電力の供給が全体として安定的に行われる仕組みとして登場したのが「デマンドレスポンス」と「スマートグリッド」である。スマートグリッドは、IT技術等を活用して、主に技術面から電力需給の効率的な調整を行おうとするのに対して、デマンドレスポンスは、電気料金による需要調整を目指している。一社独占の電力供給体制では、デマンドレスポンスによって新しいビジネスが生まれる可能性は小さいが、電力小売が自由化を契機として新たなビジネスが展開され始めた。つまり、電力の供給者と需要者（消費者）の間に介在して、電力の購入原価（卸売価格）と販売価格（小売価格）の時間変動特性を利用して利益を生み出すビジネスが成立する可能性が生まれた。

デマンドレスポンスサービスを行っているN社の例では、電力会社からの要請に基づいて、前日に顧客にメールが送られ、それに対応して節電した家庭には、20円/kWが提供される仕組みである。同社が実験的に行った成果では、2~5割の世帯で対応し、対応者は、前日比30%程度の削減を行ったことがわかった。こうした取り組みは、中小企業や中小ビルを集めてエネルギーマネジメント管理を行う「ネガワットアグリゲート」の仕組みを通じても実現できる

デマンドレスポンスで提供する経済的インセンティブには、①夏期の昼間などの需要がピークのときの料金を高く、夜間は安く設定して、ピーク削減（ピーク・カット）を実現する時間帯別

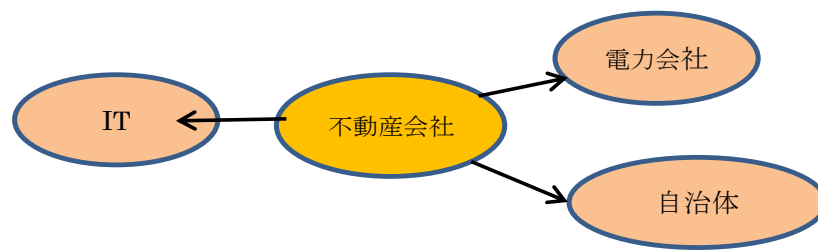
サービスの方法と、②電力抑制に応じる対価（インセンティブ）として買物券などの省エネポイントを提供することによって電力消費行動を操作する方法の2つが採用されている。

本サービスのビジネスモデルとしては、「官民連携型」と「企業主導型」の両方がある。

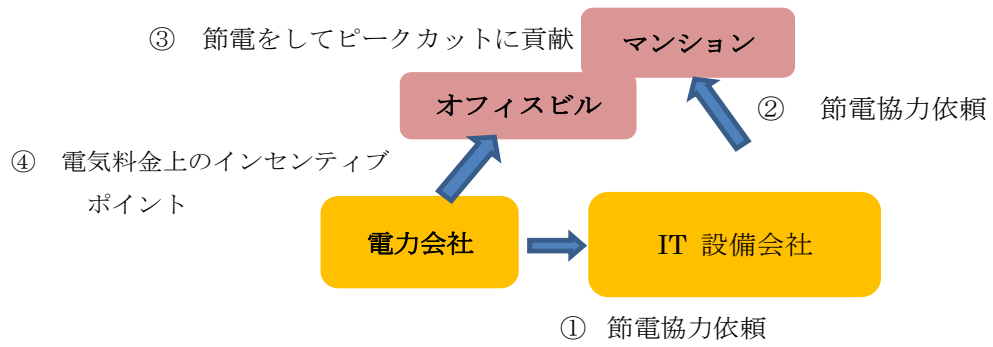
「官民連携型」：既に紹介した北九州市東田地区のダイナミック・プライシングは官民連携で発足した事業の代表例である。東京都及び横浜市も、2013年度にデマンドレスポンスの普及促進を図るために、共同で実証事業を実施する事業者を公募した。他方、経済産業省は官民の協働プラットフォームを設立することで、世界市場を見据えながら現在は未成熟な技術がいずれ国際標準となるよう政治的、財政的に支援するインキュベータとしての役割を担っている。これには、不動産会社、IT企業、エアコンメーカーなどこれまで電力事業を異分野と捉えていた新たな業種から多くの企業が参加している。

「企業主導型」：デマンドレスポンスを提供するビジネスモデルのうち、特異な例は新電力C社である。同社は国や自治体と組むことなく、2013年から、IT設備会社と共同で電力供給先の集合住宅やオフィスビルに本格的にサービスを提供している。売電が事業目的であるはずのC社がこのようなサービス事業を展開するのは、電力事業への新規参入時に課された厳しい条件のためである。新電力は、系統利用全体の需給調整を可能にするため、「30分同時同量」の実現という厳しい条件を求められているが、新電力の調達先のひとつである卸電力取引所での取引量は小売市場全体の0.6%（2010年度）に過ぎないため、不足分を補うには地域の電力会社が定めた高いペナルティ料金（インバランス料金）の支払いが必要となっている。例えば、電力会社ではなく自治体保有の発電所から調達する方法も考えられるが、その多くは電力会社との随意契約となっており、新電力に提供する電力の余裕はない。また新電力が発電所を自ら建設するには長い年月を要するため、供給能力を増強する手段は限られている。ただし、電力システム改革により規制緩和が実現し、卸電力取引所へ一般電気事業者から供出される新電力の供給量が増えて、新電力の使い勝手のいい卸売電力市場が形成された場合、同じビジネスモデルが引き続き継続されるか否かは不透明である。

C社の場合、東京エリアの新築マンションや事務所・工場を対象としている。マンション居住者には省エネポイントサービス及び時間帯別料金サービスの両方を提供している。省エネポイントは同社が提携する施設（遊園地、水族館）などが利用できる割引クーポンで外出を促進し、ピーク時間帯の電力消費を抑制している。サービス提供先の居住者が幼い子供をもつ家庭が多いことから人気が高い。ポイントと時間帯別料金サービスを併用することで効果的に節電を実施している。他方、事務所や工場では需要がピークの時間帯に電力使用が低くなるように年間を通して業務スタイルを変えられる業態は限られるので、省エネポイントサービスのみ提供している。他にBEMSの自動制御機能を活用しながら、事前に客先と決められた節電範囲（照明が消えるなど）で、自動的に遠隔でビルの電力使用を調整している。



図(5)-6：北九州市の地域節電所



図(5)-7：C社のデマンドレスポンスサービス

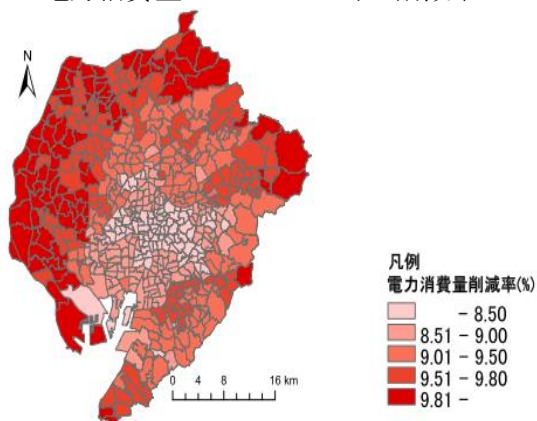
事例研究： 名古屋都市圏におけるデマンドレスポンスの普及実現性

本研究で取り上げたビジネスモデルのうち、デマンドレスポンス事業の普及実現可能性をサブテーマ1と一緒に名古屋都市圏において考察を進めた。

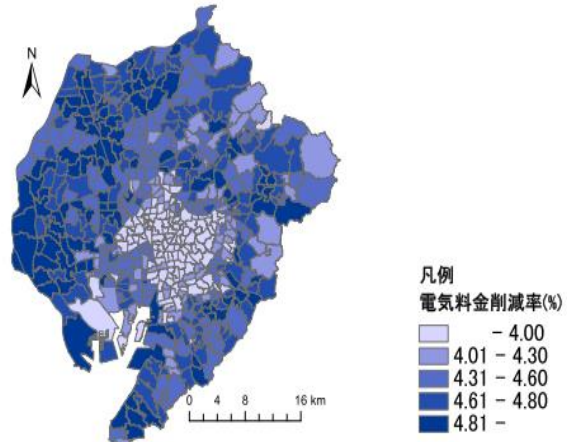
結果：名古屋都市圏の都市周縁部では家族世帯が多いため、昼間においても人が居る（残っている）家庭が多い。従ってデマンドレスポンスやピークシフトといった行動変化を選択する世帯が比較的多く、消費量の削減率が大きくなった。他方、都市圏の中心部では、単独世帯など有業者が比較的多く居住しているため、消費量の削減率があまり高くない。このことから、デマンドレスポンスの効果を考える場合、世帯の属性に合わせた空間的な特徴を考慮することが重要であることが示唆された（図(5)-8）。

普及策：今後広く名古屋都市圏でデマンドレスポンスを普及するためには、まず都市周縁部で省エネ建築の推進が重点的に展開されるよう都市計画を整備する必要がある。よって、具体的な地区を市町村マスタープラン上で特定並びにプランが担保されるよう関連条例を策定し、更に名古屋市の「地球温暖化防止地方公共団体実行計画」に記述するなど、行政、事業者そして地域住民の賛同を得られるよう、新技術の認知度を上げる懇談会などのプラットフォームを形成する道筋を作っていくことが重要である。

電力消費量の withDR 時の削減率



電気料金の withDR 時の削減率



※「withDR」とはデマンドレスポンス導入時に節電行動のみを行うと想定した場合を意味する。

図(5)-8：名古屋市のデマンドレスポンスによる消費電力削減効果

前提：デマンドレスポンスサービス導入による世帯起源エネルギー消費量の推計では、まず通常時における世帯属性（世帯人数や就業状況から設定した12属性）ごとの生活行動スケジュールについては社会生活基本調査の結果をもとに、空気調和衛生工学会のSCHEDULEプログラムを用いて設定した。そして、サブテーマ1の方法を用いて生活行動に応じた冷房負荷や照明・家電エネルギー消費量を時間帯ごと、1日ごとに算出した。また、デマンドレスポンスサービス制度導入時においては、その日の気温に応じてピーク時間電力料金を設定（通常時の2~10倍に設定）し、ウェブ調査により得られた電気料金変化に伴う行動変化を、世帯属性別の生活行動スケジュールに組み込んだ。

c 地域電力公社

i. 海外の自治体とエネルギー企業の関係

ドイツや、アメリカのいくつかの州では、低炭素都市形成に向けて、自治体と電力会社との緊密な協力関係（資本関係も含め）が形成されている例が数多くある。その 1 つの典型が、管内の都市自治体が資本出資する公社方式である。例えば、ドイツのミュンスター市が所有しているミュンスター都市公社は、市議会で策定した環境政策目標に基づき、環境局や都市計画局とともに、具体的な目標達成の手段・方法について協議し、エネルギー料金体系を含めて都市のエネルギーシステムを構築している。この場合、自治体が気候政策を策定すれば、当該自治体が保有する電力会社は、その政策が掲げる目標実現のためのプログラムを実施しなければならない。これを根拠として、電気料金等を通じた直接の政策影響を行使しやすい。こうした構造になっているため、都市の低炭素政策の実行能力が向上し、政策手段の選択肢も広がっている。

ii. 政策に基づく低炭素化エネルギープログラムの形成

上記のように自治体とエネルギー・セクターが資本関係にあることで、自治体有する環境政策目標の達成のために様々なエネルギープログラムの実施が可能となっている。ミュンスター市、オースティン市、サクラメント市の 3 都市のエネルギー公社における再生可能エネルギーおよび省エネに関する主なプログラムを整理したのが表(5)-2 である。

	ミュンスター都市公社	オースティン・エネルギー ⁸⁾	サクラメント電力公社 (SMUD) ¹⁰⁾
再生可能エネルギー	✓ 市内での風力や太陽光、バイオマス発電プロジェクト ✓ 顧客参画型の地域太陽光投資プログラム (1.1MW) ✓ 発電電力は市内に供給	✓ 供給電力の 10% (2011 年) は再生可能エネルギー電力 ✓ ソーラー払戻 ✓ グリーン・チョイス	✓ 供給電力の 20% (2011 年) は再生可能エネルギー電力 ✓ 顧客向けに、100%、もしくは 50%再生可能エネルギーの電力の選択可能 ✓ ソーラーシェアプログラム
省エネ	※市が政策を実施	✓ 省エネ設備導入払戻金 ✓ グリーン住宅評価システム ✓ 制御可能な温度計によるデマンド削減プログラム ✓ エネルギー・スター・プログラムなど	✓ 省エネ設備導入払戻金 ✓ 自発的緊急削減プログラム ✓ エネルギー管理システム

表(5)-2：海外の電力公社の再生可能エネルギー・省エネに関する主なプログラム

再生可能エネルギーに関しては、サクラメント電力公社のように、月額僅かな追加料金で再生可能エネルギー電力を選択できるメニューを用意しているケースや、より直接的に顧客が再生可能エネルギー利用を選択できるようなサービスを展開しているケースがある。ミュンスター都市公社のように、顧客が市内の太陽光発電事業に出資し、その利益を得るとともに、その電力を利

用できる例もある。また、サクラメント電力公社の場合は、「ソーラー・シェア」という画期的なエネルギー・サービスを提供している⁹⁾。これは、顧客が月額参加料を支払うことで、地域の太陽光発電ファームからの電力の一部を自らの太陽光発電設備による発電分とみなすことができるものである。顧客は、その発電分で毎月の電気消費量を相殺することができる。月額参加料は、500W の太陽光発電設備につき、10.75 ドル/月である。

省エネに関しては、オースティン・エネルギー社やサクラメント電力公社の場合、顧客が省エネ型の電力設備や住宅を導入した時には一定額の払戻金を提供している。オースティン・エネルギー社は、さらに、住宅の省エネ性能を評価する制度も導入しており、研修を受けた建築士や建設業者が評価する仕組みになっている。これは、払戻金制度と連動しており、評価を受けた上で、適切な省エネ対策をアドバイスしてもらい、それに基づいて省エネ対策を行うことで払戻金の提供を受けることができる。

また、デマンドレスポンスのプログラムも充実している。オースティン・エネルギー社では、顧客は制御可能な温度計（冷暖房の温度を設定できて自動的にスイッチを入れたり切ったりする装置）を無料で受け取り設置できる。その代わり、同社は、夏の午後に、顧客のエアコンの運転をほかと合わせてサイクル運転する。また需給が逼迫した日の午後 3 時～7 時の時間帯にはエアコンを 30 分毎に 10～15 分止めるといった遠隔操作を行い、電力消費の上昇を抑える。

このように、欧米の自治体では、その環境政策目標に基づいて、自治体が有する電力企業を用いて、再生可能エネルギー供給サービスや省エネ・サービスを提供し、政策目標達成を目指している。

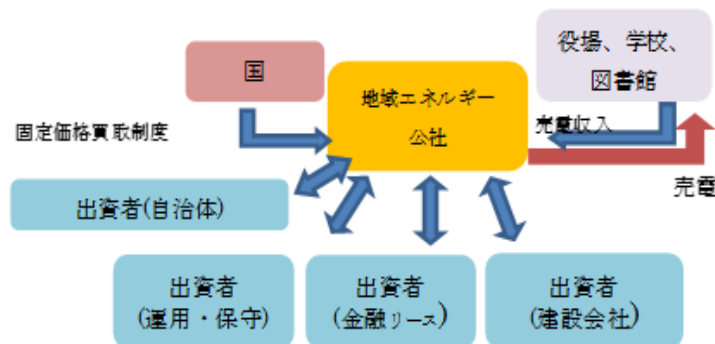
iii. 日本の事例：自治体との協働による再生可能エネルギーの地域普及モデル

日本国内でも自治体と地域の民間事業者が資本関係あるいは協働により、再生可能エネルギーの普及モデルを構築する事例がみられる。長野県飯田市における「おひさま進歩エネルギー株式会社」や小田原市における「ほうとくエネルギー株式会社」、そして群馬県中之条町における「一般財団法人中之条電力」がそれである。

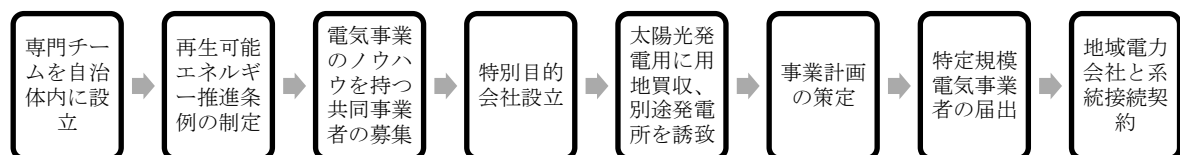
これらの地域普及のモデルの共通点としては、(i) 地方自治体が低炭素社会形成に向けて積極的に取り組んだこと、(ii) 地域に事業の担い手の核となる人材や主体が存在したこと、(iii) 事業形成に向けた再生可能エネルギー事業の専門家や金融機関のサポートがあったこと、および (iv) これら 3 者がうまく協働し得たことが大きな推進力となっていること、などが挙げられる。

特に 2013 年秋に設立された群馬県中之条町が資本出資する中之条電力の場合、脱原発とエネルギーの地産地消を掲げる町長の強いリーダーシップの下で、町長直轄チームであるエネルギー対策室が取組んでいる。さらに、この事業を推進するために「再生可能エネルギー推進条例」をまず制定し、再生可能エネルギーの活用を町内の基本方針とした。次に図(5)-9 及び(5)-10 に示すように、再生可能エネルギー事業の運用・保守のノウハウを持つ共同事業者や地元金融機関、建設会社の資本参加によって、法制上利益配分できない組織として「一般財団法人中之条電力」を設立し「特定規模電気事業者」の届出を規制官庁に提出の上、収益は地域に全て還元しながら低炭素社会、あるいは脱原発に向けて積極的に取り組もうとしている。資金調達はリース契約を基本としている。キャッシュフローを事前に計算し、17 年で償却、固定価格買い取り制度の有効期間である 20 年の残り 3 年は再リース、その後、固定資産は無償で町のものになるような仕組みをつ

くり、さらに自治体が損失を被らないよう極力保険をかけることで自然災害や電力制度変更へのリスクヘッジを進めるなど、周到に検討している。田畑にメガソーラを設置するなど太陽光発電の取組が他に先行して始まっており、小水力や木質バイオマスなど地産地消の発電とそれを契機とした産業振興を目指している。



図(5)-9：中之条電力の組織図



図(5)-10：中之条電力設立の流れ

3) ビジネスモデルの3類型 ～特徴のまとめ～

ビジネスモデルの3つの類型を担い手により「企業主導型」、「自治体主導型」そして「官民連携型」として分類した。ここに、それぞれの類型の特徴をまとめる。

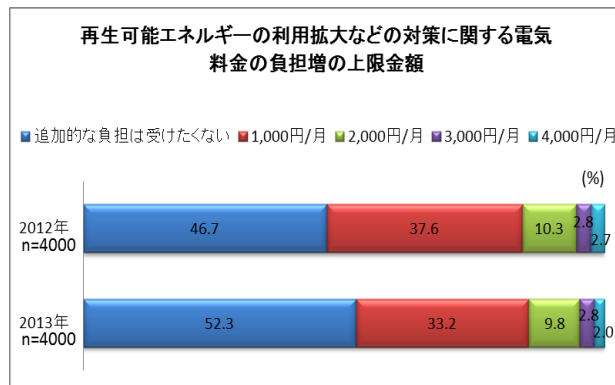
企業主導型：本類型では「屋根貸しビジネス」や「デマンドレスポンス」で見た通り、先見性のある企業が自発的に既存の計画や施策、立地条件に適したビジネスを展開している。サービス対象地域を拡大し面的な広がり確保するためには、不動産所有者の間の合意形成がいずれの場合も課題となる。その場合はビジネスを促進する経済的なインセンティブ（投資減税など）や規制の導入（ある一定規模以上の建築物には再生可能エネルギーの発電設備設置を義務化、省エネルギー設備の設置義務化）が有効となるため、行政の関与が必要となる。また特定地区に限定して上記規制を設定する場合は市町村マスタープランを活用することもできよう。

官民連携型：北九州市等のスマートコミュニティ事業に見られるように新技術や新規事業の研究開発と実用化、市場形成や産業構造の変革を促進する場合に有効である。行政（国、地方）、学識経験者、地域住民、そして事業者が議論する知識プラットフォームを設け、実証実験を繰り返しながら産業を興していき、ビジネスモデルの形成・決定プロセスにおいて行政がゆるやかな形で主導しながらも実質的には水平的な機能分担関係にある多様な担い手が連携するパターンが多い。

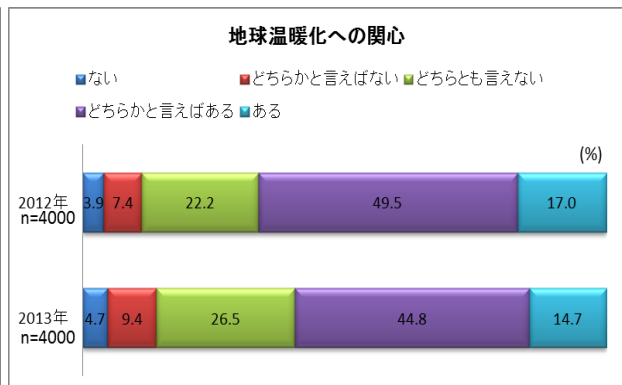
自治体主導型：地域電力公社の例で見られるように本類型の形成・決定プロセスにおいて、首長がトップダウン的に単独で主導するか、行政が単独で主導するケースが多く、ノウハウの不足を補うために、専門知識を持つ担い手の参加が必要となる。さらに、絵に描いた餅となりがちな首長の計画を担保するためには、低炭素都市形成に関連する条例制定も効果的であろう。本類型は、自治体自身の強い主導によって成立するので、自治体が推進する低炭素街区群実現のためには極めて有効な方法となる。

（４） 東日本大震災後の市民の意識変化、行動変化の現状

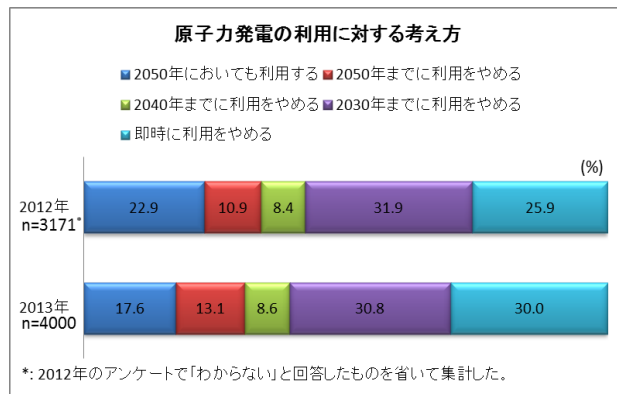
ウェブ調査を通して震災と原子力発電所事故を契機とした国及び地域における制度改革や低炭素型まちづくりを促進する政策に対する市民の認知と態度を知り、施策を決める行政プロセスへの参加意思の有無、今後の低炭素都市づくりの市場の有無、市民の資金負担許容額等を把握した。



図(5)-11：ウェブ調査結果①

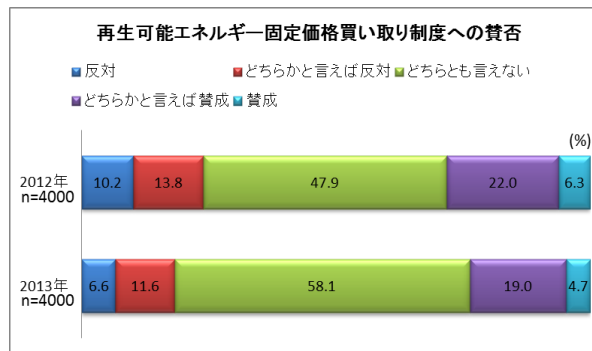


図(5)-12：ウェブ調査結果②

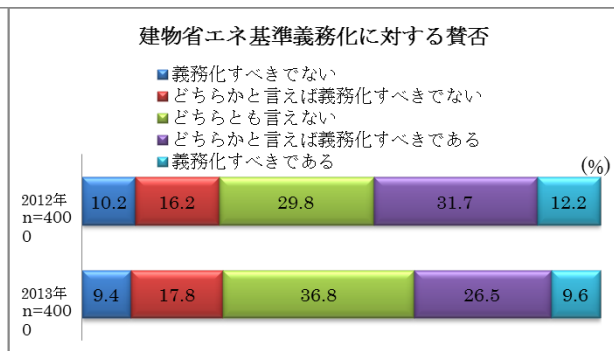


図(5)-13：ウェブ調査結果③

横浜市、川崎市、名古屋市そして北九州市の4地域の20歳から69歳の男女個人、合計4,000件を対象に実施したところ、2012年には調査対象者のうち65.8%が地球温暖化への関心を示しており、原子力発電と化石燃料による発電も減らすために、再生可能エネルギーの利用を大幅に拡大するなどの対策を遂行するためには追加の費用負担を受け入れる姿勢を過半数は示している。（図(5)-11 および(5)-12）他方、震災から2年が経過した2013年に入ると、地球温暖化論議よりもむしろ原子力発電の代替エネルギー（再生可能エネルギー）としての役割が重視され



図(5)-14：ウェブ調査結果④



図(5)-15：ウェブ調査結果⑤

(図(5)-13)、再生可能エネルギーの資金負担許容額、かつ固定買い取り価格制度への関心は多少減少しているものの(図(5)-14)、社会はある程度認知していると言えよう。

但し、エネルギー使用量を抑制するために住宅やビルなど全ての新築建物に対し高い断熱性等の省エネルギー基準を2020(平成32)年度までに義務付ける日本政府の方針(建築物の省エネルギー基準)は追加コストが発生するため市民から受け入れられず(図(5)-15)、時間の経過に伴い益々低くなる傾向にあった。更に社会受容性を高めるためには行政の役割、つまり国・自治体を介した情報提供・情報開示が必要である。

(5) 結論

震災後、日本の電力供給システムは、火力・原子力に依存した大規模集中型システムから、地域の条件に合わせて再生可能エネルギーの利用と省エネルギーの努力を拡大することによって、分散型システムを加味する方向へと転換し始めている。この動きは、地域における低炭素まちづくりにも大きな影響を及ぼしつつあり、国レベルでも地域レベルでも、「環境」「都市」と「エネルギー」に係る諸施策の統合が進行している。特に、地域では、国に先駆けて様々な先駆的施策を実施する例が見られる。

多くの自治体が、自らが所有・管理する施設に率先して新技術を導入しつつある。また、東京都、京都市等では、独自の先駆的な環境規制を導入することによって、街区群を構成する建物・インフラ等のストックの低炭素化とエネルギー・フローの低炭素化を図っている。

行政が一方向的に施策を決定するのではなく、ステークホルダーである企業や市民の意向をくみ取りながらデザインすれば重層的な低炭素街区群づくりが可能となる。北九州市、横浜市等では、国からの資金助成も得つつ、市行政、企業、市民が協働するプラットフォームをつくり、低炭素街区群形成につながる施策を推進している。北九州市の「地域節電所」の概念は、電力という商品売るのではなくエネルギーサービスを売るという新しいビジネスモデルを提示している。ダイナミックプライシング(デマンドレスポンスの一形態)、ネガワットといった考えが登場し、企業と市民の協働によって低炭素化、高い生活の質(QOL)向上、費用削減を同時に達成する有力なモデルとなっている。

低炭素街区群の実現には、そのイニシアティブを誰が取るかによって、自治体主導、民間主導、官民連携に分類することができる。いずれの場合も事業の持続性確保のためには、市場メカニズムに従って民間企業がビジネス展開できるような事業形態が生まれる必要がある。こうしたビジ

ネスとしては、上述のデマンドレスポンスの他に太陽光発電のための屋根貸し、地域電力公社といったモデルが既に動き始めている。それらがビジネスとして拡大し、低炭素街区群づくりに大きな効果を発揮するかどうかは、再生可能エネルギーの買い取り制度が太陽光発電装置導入を促進したように、電力をめぐる規制緩和等の制度改革の今後の動向に大きく左右される。エネルギー基本計画の再生可能エネルギー導入目標が上がれば、中央政府の方針に従いより多くの自治体が建築物の省エネ基準の導入、再生可能エネルギー導入義務の制定に動く可能性がある。

日本では、地域独占の大規模な電力会社が電力供給の主役であったため、ドイツや米国とは異なり、自治体自身が電力事業者となるという例は見られなかった。しかし、飯田市や中之条町等の自然エネルギー源に恵まれた地方の小都市や町村において、自治体主導による地域電力公社が事業を行う動きが見られる。採算性等の面で、このモデルが日本の大都市でも成立し得るかどうかには疑問があるものの、地方においては地域内での自立的なエネルギー供給システムを実現する方法として注目されている。大都市において「環境」「都市」と「エネルギー」に係る自治体の諸施策の統合が進行するなかで、諸外国同様、都市部でも展開するための方策を検討していく必要がある。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

東日本大震災とその際の原因事故を経験した日本において、電力をめぐる規制緩和等の制度変革が都市、環境、エネルギー関連の諸政策の統合化に果たした役割を分析した。特に、地域レベルでの低炭素街区づくりに及ぼした影響を分析した。北九州市で展開されている地域節電所が提示している新しいエネルギービジネスモデルについて考察するとともに、低炭素街区づくりに大きく貢献する可能性を持つ新たなビジネスの可能性を検討した。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

川崎市や横浜市などの地方自治体、自動車メーカーや不動産開発などの民間事業者、横浜市立大学や東京都市大学などの専門家とともにワークショップを開催し、本研究での知見をもとにこれからのスマートシティ政策の課題と展開について議論した。

<行政が活用することが見込まれる成果>

国内外の新たなエネルギービジネスモデルのベストプラクティスを調査し、その方法と課題および実現に向けたロードマップを作成した。これは今後各地域で広げていくために活用していくものである。

6. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない。

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文（査読あり）>

特に記載すべき事項はない。

<査読付論文に準ずる成果発表>

- 1) Imura H. and Kikusawa I.: Journal of Contemporary Asia (to be published, 2012)
“Low-Carbon and Eco-Cities in Japan: Searching for Local Energy Solutions in the Shadow of a Nuclear Crisis”

<その他誌上発表（査読なし）>

- 1) 片山秀史：月刊 Business i. ENeco（株式会社日本工業新聞社），No.528，pp.62-63，（2012）
「『建物の熱診断』を用いてオフィスビルを省エネ」
- 2) Katayama H. and Nakamura H. : IGES. Policy Paper - Lessons Learnt from Triple Disaster in East Japan, (2012)
“Community based Low-carbon Policy Scenarios - Through the Practices of Energy Effective Usage after Triple Disaster in Japan”
- 3) 杉野誠：日本不動産学会 100 号，（2012）（forthcoming）
「低炭素型建物の実現における経済学的考察」
- 4) 中村秀規：IGES Policy Report, 9, （2012）
「震災後のエネルギー制度改革・市場と市民の態度」
- 5) Katayama H., Onogawa K.: IGES Policy Paper - Lessons Learnt from Triple Disaster in East Japan, 2012. （2012 年 6 月に出版，Rio+20 にて配布）
“The power-saving behavior of the residential sector in the wake of the Great East Japan Disaster”
- 6) IGES and Yokohama City University: IGES Conference Report, PMO-2012-01, (2012)
“YCU-IGES Joint Seminar on Low-carbon and Smart Cities”
- 7) 井村秀文：環境共生，Vol. 22，pp.3-14，（2013）
「低炭素都市づくりを再考する：原発事故後の混乱から」
- 8) IGES，横浜市立大学，東京都市大学，川崎市：IGES Conference Report，GC-2012-03，（2013）.
「低炭素都市づくりの知識プラットフォーム：低炭素社会にむけた転換の力学—ライフスタイル変革及び都市におけるエネルギー需給に焦点をおいて—」第 2 回研究会報告書

(2) 口頭発表（学会等）

- 1) 片山秀史：第 20 回日本エネルギー学会大会，関西大学千里山キャンパス，（2011）
「『標準的な家庭』を基にした家庭の省エネ（節電）評価の可能性」
- 2) 大庭みゆき，片山秀史：第 20 回日本エネルギー学会大会，関西大学千里山キャンパス，（2011）
「エネルギー消費に影響する気温に関する補正方法考察」

- 3) 片山秀史：《日本経済の再設計―震災を越えて》復興への具体策作り、産官学の力を結集―実学発想による社会環境資本を求めて、日本経済新聞社東京本社ビル、（2011）
「世帯から地域のエネルギー・マネジメント」
- 4) 片山秀史，大庭みゆき，井村秀文：第 7 回日本 LCA 学会研究発表会，東京理科大学野田キャンパス，（2012）
「標準的な家庭による消費エネルギー評価の検討―街区群低炭素化カルテのためのライフサイクル・モニタリングに向けて―」
- 5) 渡未絢：第 7 回日本 LCA 学会研究発表会，東京理科大学野田キャンパス，（2012）
「低炭素社会の構築と環境教育―低炭素社会構築に向けた環境教育の果たす役割―」
- 6) 渡未絢，片山秀史：日本環境共生学会第 15 回(2012 年度)学術大会，北九州市立大学国際環境工学部，（2012）
「低炭素街区群に向けた施策成立過程の変遷-北九州市を事例として-」
- 7) 木村啓二，中野綾子，荻原朗，井村秀文：第 47 回土木計画学研究発表会，広島工業大学五日市キャンパス，（2013）
「低炭素都市形成にかかる政策とビジネスモデルの可能性と課題について」

（３）出願特許

特に記載すべき事項はない。

（４）シンポジウム、セミナーの開催（主催のもの）

- 1) ISAP2011(持続可能なアジア太平洋に関する国際フォーラム)特別ランチセッション：エネルギー管理における地域の智慧（2011 年 7 月 26 日，パシフィコ横浜カンファレンスセンター，観客 150 名）
- 2) IGES-横浜市立大学共同セミナー：低炭素都市・スマートシティ（第 1 部）（2011 年 7 月 26 日，パシフィコ横浜カンファレンスセンター，観客 120 名）
- 3) IGES-横浜市立大学共同セミナー：低炭素都市・スマートシティ（第 2 部）（2011 年 7 月 27 日，パシフィコ横浜カンファレンスセンター，観客 100 名）
- 4) 低炭素都市づくりの知識プラットフォーム：低炭素社会にむけた転換の力学，第 2 回研究会（2013 年 12 月 7 日（IGES，横浜市立大学，東京都市大学，川崎市共催））

（５）マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない。

（６）その他

特に記載すべき事項はない。

8. 引用文献

- 1) 資源エネルギー庁：都道府県別エネルギー消費統計
- 2) 東京都環境局：建築物環境計画書制度，2013，URL (<http://www7.kankyo.metro.tokyo.jp/building/>)

- 3) 東京都環境局：建築物環境計画書制度；建築物の断熱性能と省エネ性能の一覧，2013，URL (http://www7.kankyo.metro.tokyo.jp/building/list/danene_list.html)
- 4) 横浜市(2010 年)「再生可能エネルギー利用設備の導入検討マニュアル」
- 5) 京都市:地域産木材の利用及び再生可能エネルギー利用設備, 2013, URL (<http://www.city.kyoto.lg.jp/tokei/page/0000161140.html>)
- 6) 北九州市：電力料金を変え，節電，省エネ行動をうながす，Japan Smart City Portal, 2012, URL (<http://jscp.nepc.or.jp/index.shtml>)
- 7) Austin Energy (2013) Austin Energy Annual Performance Report
- 8) McCabe, Joseph and Jon Bertolino, (2007) Solar Shares Business Model
- 9) SMUD (2012) SMUD 2011 Annual Report

Design and Implementation Process of Building Blocks for Realizing Low Carbon Society

Principal Investigator: Hirokazu KATO

Institution: Nagoya University

Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya-city, Aichi 464-8603, JAPAN

Tel: +81-52-789-2773 / Fax: +81-52-789-1454

E-mail: kato@genv.nagoya-u.ac.jp

Cooperated by: National Institute for Environmental Studies (NIES),
Keio University, Institute for Global Environmental Strategies (IGES)

[Abstract]

Key Words: Low carbon society、 Building blocks、 Environmental impact assessment、 Urban planning、 Resource circulation、 Non-used energy、 4d-GIS

The research aims to build up a methodology for analyzing a set of countermeasures to shift the existing urban and rural areas to low carbon and sustainable form. We integrate “building blocks” as meso-scale between the city as macro-scale and buildings or technologies as micro-scale. Afterwards we perform evaluation, and design integration and transition strategies, taking spatial structure and time dynamics into account. We also show the process of countermeasures in realizing low carbon building blocks. Detailed contents are as follows:

1) The final outcome of this research is to get the building blocks’ spatial form which ensures high amenity and low carbon emissions. Therefore, we developed the system which can evaluate Triple Bottom Line (TBL) indicators: Quality Of Life (QOL) as a social aspect, urban area maintenance cost as an economic one and life cycle CO₂ emissions as the environmental one.

2) Low carbon countermeasures treated by our system are various. They contain energy systems, heat and electricity infrastructure, building and urban space design and passenger/freight transport system.

3) The system deals with not only the future urban form but also time serial situations of buildings, households’ future and various individual technologies on the way to goal. It can evaluate and propose long-term “road map” of each countermeasure for transition to low carbon building blocks.

4) Necessity of higher awareness of inhabitants for comprehensive participation and consensus within the blocks requires a methodology for presenting detailed physical forms and production/life situation understandably. We make 4d-GIS database (spatial and time-serial) and visual presentation system, and try it for stakeholders’ discussion in real field successfully.

5) Case studies of the system to some building blocks in Nagoya metropolitan area propose detailed sets of solution for transition to low carbon and sustainable area, and also offer general solutions to other areas.

6) Several business models with the development of low carbon building blocks are discussed. Our analysis especially designates the feasibility and effects of demand response project managed by local energy corporations in suburban areas. Combination of the project and reorganizing of building blocks is recommended to realize low carbon areas.

Our system for evaluating low carbon performance of building blocks is very original and generic for analyzing various areas. Some areas including the city of Nagoya discuss in applying it in the direction of urban planning for achieving a low carbon society.