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

森田 紘圭[1]・戸川 卓哉[2]・加藤 博和[1]・村山 顕人[3]・飯塚 悟[3]・林 良嗣[4]

[1]正会員　名古屋大学大学院　環境学研究科（〒464-8603 名古屋市千種区不老町）
E-mail:hmorita@urban.env.nagoya-u.ac.jp

[2]正会員　国立環境研究所　社会システム研究センター（〒305-8506 茨城県つくば市小野川16-2）

[3]非会員　名古屋大学大学院　環境学研究科（〒464-8603 名古屋市千種区不老町）

[4]フェロー　名古屋大学大学院　環境学研究科（〒464-8603 名古屋市千種区不老町）

都市と街区の間の空間スケールである「街区群」の単位で低炭素性能を評価・デザインするモデルシステムを開発し，それを用いて目指すべき街区群デザインの具体的な導出と，ヒートアイランド現象の分析，トリプルボトムライン（TBL）によって低炭素性能を包括的に評価するための方法論を提示した．名古屋市都心部の中区錦二丁目長者町地区を対象として詳細な空間データベースを構築し，ケーススタディを実施した結果，本研究で提案するプロセスデザインを実施することで，マクロな都市構造の目標とミクロなまちづくりの課題解決を同時に達成することが可能となること，都市全体のCO_2排出量を削減しつつQuality of Life（QOL）を高めるためには，建物単独での技術導入だけでなく，街区群全体での計画的な更新が求められることが明らかとなった．

Key Words : *Low Carbon City,DistrictPlanning, Quality of Life, Wind Environment*

1. はじめに

低炭素社会を実現する方向性の一つとして，集約型都市構造への転換が注目されている．その基本的な考え方は，費用的にも環境的にも非効率な地区から効率的な地区へ集約を進めるものであるが，集約する地区をどのようにデザインするかについては，その実行可能性や有効性を決定する重要な要因であるものの議論は必ずしも十分ではない．また，個々の地区はそれぞれ地区特有の課題――例えば，空き家や空き地の発生，ヒートアイランド現象など――を抱えており，これらの課題を解決しながら都市圏全体として集約型の都市構造を実現することが求められる．

他方，太陽光発電や電気自動車等を中心に，エネルギーや建築，交通などの分野において，低炭素社会実現に資する要素技術の発展が進んでおり，それを集中的に配備した街区や建築物のスマート化に関する技術開発が日本においても進められている．例えば経済産業省では，次世代エネルギー・社会システム実証地域を4つ（横浜市、豊田市、北九州市、けいはんな（京都府）），次世代エネルギー技術実証地域として7つの地域を選定した上で，地域に応じた様々な技術の実証事業を展開している[1)]．しかし，これらの地域実証は，既存市街地を前提とした単独の技術導入であるか，新たな市街地開発であり，既存市街地の今後の更新過程を考慮した普及展開を視野に入れたものとはなっていない．今後も低炭素技術の導入を売り物とした市街地開発が進むことが想定されるが，現在より市街地を拡大すれば，結果として既存市街地の衰退を招き，その地区の非効率化をもたらす可能性を孕んでいる．そのため，地域の低炭素化と都市構造の集約を同時に達成していく必要があり，各技術をどのように組み合わせることが効率的であるか，あるいは各技術がその性能を十分に発揮できるための都市構造とは何かを既存の建築物の更新時期に合わせて検討する必要がある．

本研究では，集約型都市構造等の議論が進む「都市」と，各技術の開発や導入が進められている「建築」「街区」の間の空間スケールとして，関連の深い複数街区を一体として扱う「街区群」に着目し，その低炭素化実現を支援する評価・デザインシステムを提案する．具体的には，あらかじめ現在開発が進められている低炭素技術のデータベースを作成した上で，対象街区群における

2050年までの建築物の更新状況を予測し，将来のまちづくりに合致した低炭素技術を組み合わせ導入していくことを考えて街区群をデザインするプロセスを提案する．提案したデザインについて，都心部における大きな課題であるヒートアイランド現象を「鉛直方向の風の道」からシミュレートし，さらに各活動におけるCO_2排出量や費用，生活の質を評価できるモデルを開発する．開発したモデルを用いて，名古屋市の都心地区を対象としたケーススタディにより，将来的に人口の集約を進める街区群が目指すべきデザインを検討し，低炭素性能を評価することで，将来まちづくりのあり方に示唆を与える．

2. 本研究における評価・デザインシステムの視点

都市の低炭素性能を評価する方法はこれまでも国内外で研究・開発が進められてきた．日本のCASBEE-まちづくり[2]や北米のLEED for neighborhood development[3]，英国のBREEAM[4]が代表例である．これらは，地区デザインを決定する上で想定される居住性能や環境性能について，詳細なチェックリストを設けて評価・認証する仕組みであり，実際の開発計画の許認可や格付けと連動している点で大変有効に機能している．しかし，これらは計画・設計レベル――つまり，開発・施策実施が決定している段階――で適用されることが想定された評価システムであるため，個々の技術導入やデザイン上の配慮などの設計上の配慮事項を中心としており，その結果としてもたらされるアウトカムの把握ができない．

また，既存市街地における長期的な導入・更新を検討する上では，将来一時点における開発の結果のみならず，そこに至るまでのプロセスの評価も重要である．将来のある一時点における低炭素性能が優れていても，そこに至るまでのプロセスによっては，一時的に居住地としての魅力が大きく損なわれ，居住者の引き戻しが困難となる可能性や，プロジェクト期間全体における累積CO_2排出量が結果として大きくなる可能性も懸念される．

これらの課題を踏まえ，本研究においては，1)各施策をどの段階で行うべきか，それらをどのように組み合わせるべきか，といった判断をアウトカムの観点から可能とするとともに，2)低炭素性能を時系列的に評価することが可能となるシステムを構築する．

3. 街区群評価・デザインシステムの構築

(1) システムの全体構成

本研究で開発される街区群評価・デザインシステムの全体構成を**図-1** に示す．システムは，1)街区群内の時系列的な建物更新をデザインする「低炭素街区群プロセスデザイン」，2)都心部におけるヒートアイランド現象を解析する「暑熱環境シミュレーション」，3)街区群の低炭素性能を社会・経済・環境の観点からそれぞれを評価する「トリプルボトムライン（TBL）[5]評価」の各サブシステムから構成される．

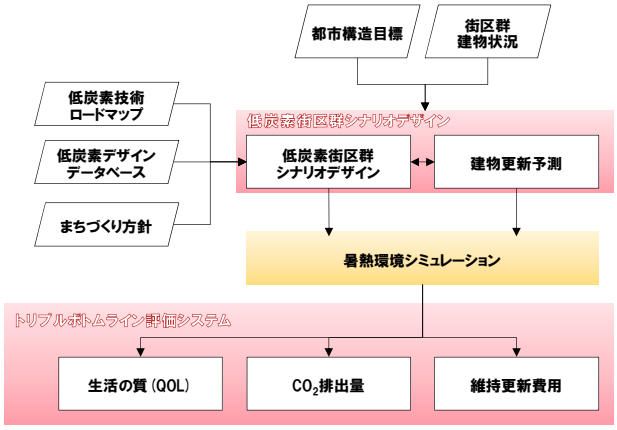

図-1 評価・デザインシステムの全体構成

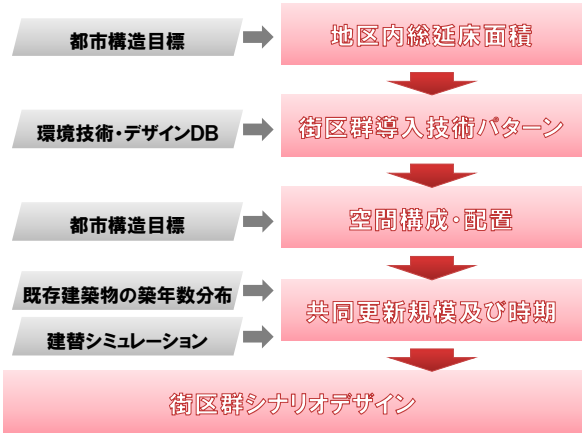

図-2 街区群プロセスデザインの概要

(2) 低炭素街区群プロセスデザイン

a) 環境技術・デザインデータベース

低炭素街区群をデザインする上で必要な施策や技術，デザインに関する様々なメニューを，既往の評価システム（前出）で高評価を得られた開発事例，自治体等で実施・検討されている事業内容から整理[6)7)]した．また，将来的に技術革新が予想されている技術について，既往の技術ロードマップ等[8)9)10)]から動向を整理（**表-1**）し，各技術の導入タイミングを検討できるものとした．

表-1 低炭素技術DBの一例

技術	性能指標	2010年	2050年
太陽光発電	発電効率	16%	40%
燃料電池CGS	発電効率	32%	40%
建物断熱性	Q値	1.9	1.0
電気自動車	電費	10km/kWh	12km/kWh
LED	発光効率	100 lm/W	200 lm/W
エアコン	COP(冷／暖)	4.0/6.0	8.0/12.0

b) 街区群プロセスデザイン

マクロな都市構造の目標とミクロなまちづくりの方針を同時達成するための，時系列的なデザインプロセスを構築した（図-2）．まず，都市構造の目標（収容すべき人口）を達成するために対象街区群において供給が必要となる総延床面積を導出した後，地区において適用が可能な用途別容積率別の街区デザインと低炭素技術を，まちづくり方針と適合するように配置した．その後，現況建物の築年数分布から，共同更新を実施する単位と時期の設定により，街区群全体の空間構成と更新プロセスを決定した．

c) 建物更新シミュレーション

既存建物の更新予測において，個別に建替時期を特定することは困難であるため，モンテカルロ法を利用した更新予測モデルを構築した．具体的には，小松ら[11]が算出した，築年数aを説明変数とする建物構造cの残存率関数$R_c(t,a)$から，t年において建物iが残存している確率$P_{i,c}(t,a)$を式(1)のとおり算出し，1年ごとのシミュレーションを実施することで，地区内の建物更新状況を表現するモデルとした．

$$P_{i,c}(t+1,a+1)=R_c(t,a)\cdot P_{i,c}(t,a) \quad (1)$$

(3) 暑熱環境シミュレーションモデル

前節に従って設定した街区群デザインについて，「鉛直方向の風の道」をCFD（Computational Fluid Dynamics：計算流体力学）シミュレーションにより解析するモデルを構築した．解析条件は飯塚らの先行研究[12]に従い，単位は1/4街区(50 m(x_1)×50 m(x_2)×各高さ)毎の建物ブロックで表現する解析モデルとした（図-3）．

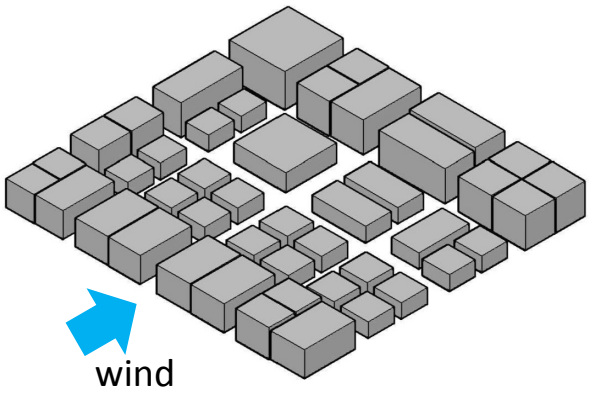

図-3 1/4建物ブロックモデルのイメージ

(4) トリプルボトムライン評価

a) 生活の質（QOL）評価

居住者が居住地から享受できる都市サービスを，「生活の質（QOL：Quality of Life）」指標によって評価する．QOL指標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，その構成要素を加知ら[13]を参考に，「居住環境向上機会（**AM**：Amenity）」と定義した（表-2）．

この**AM**に，居住者の価値観を表す重み**w**を乗じたものをQOL値と定義し，式(2)のとおり定式化した．

$$QOL=f(\mathbf{w},\mathbf{AM}) \quad (2)$$

重みパラメータ**w**は，コンジョイント分析により推定した．具体的には，住民アンケート調査によって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の最尤推定により**w**を特定した．なお，アンケート調査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，**AM**の各要素と生存年数との相対的な重みを推定した．これによって，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)」[14]の単位に統合して用いることができる．

表-2 各AM要素の概要

機能	環境要素	評価内容	測定指標
空間使用性	私的空間	住宅のゆとり	1人あたり占有延べ床面積
	公的空間	街路の柔軟性	ln(飲食店･商店数)
景観調和性	公的空間	街並みの連続性	第一建築タイプ面積割合
自然環境性	私的空間	敷地内の緑	緑地占有性
	公的空間	屋外の開放感	オープンスペース率
局地環境性	私的空間	日あたりのよさ	平均日照時間
	公的空間	外の過ごしやすさ	8月の外気温度

b) CO_2排出量評価

環境面では，対象地区内で生活・維持管理に必要な活動を行うことに伴う，ライフサイクル全体でのCO_2排出量を評価の対象とする．具体的には，インフラや建物の建設から廃棄までの各段階におけるCO_2排出量$E^b_{CO_2}$，民生（家庭，業務）におけるCO_2排出量$E^e_{CO_2}$，交通活動におけるCO_2排出量$E^t_{CO_2}$を対象とし，標準的な設計や統計データによるそれぞれの原単位[15][16]から，式(3)により算出するものとした．

$$E_{CO_2}=E^b_{CO_2}+E^e_{CO_2}+E^t_{CO_2}=\sum_x\sum_l e^b_{x,l}\cdot X_{x,l}+\sum_y e^e_y\cdot A_y+\sum e^t_z\cdot L_z \quad (3)$$

ここで，$e^b_{x,l}$：インフラ・建物種別xの段階l（建設，維持管理，廃棄）における単位量あたり CO_2 排出量，e^e_y：民生におけるエネルギー種別yの単位量あたり CO_2 排出量，e^t_z：交通機関zのトリップ 1km あたり CO_2 排出量，$X_{x,l}$：各インフラ・建物の段階lの存在量，A_y：エネルギー種別ごとの使用量，L_z：対象地区内において発生する交通機関別年間トリップ長.

このうち，エネルギー消費量については，各建物における低炭素技術の内容によって，値が大きく変わることが想定されるため，建物用途（業務・商業・住宅等）とエネルギー需要用途（冷暖房，給湯，電力）ごとのエネルギー需要特性[17]から，建物別に時間別月別エネルギーシミュレーションを実施することでA_yを算出した.

c) 維持更新費用評価

経済面では，対象地区内での活動に伴ってライフサイクル全体で発生する費用を評価の対象とする．CO_2排出量と同様に，インフラや建物の建設から廃棄までの各段階における費用C^b，民生（家庭，業務）における費用C^eを対象とし，原単位を整理したうえで[18)19)20)]，式(4)により算出するものとした.

$$C = C^b + C^e = \sum_x \sum_l c^b_{x,l} \cdot X_{x,l} + \sum_y c^e_y \cdot A_y \quad (4)$$

ここで，$c^b_{x,l}$：インフラ・建物種別xの段階l（建設，維持管理，廃棄）における単位建設・存在量あたり費用，c^e_y：民生におけるエネルギー種別yの単位活動量あたり費用.

3. 名古屋都心部を対象としたケーススタディ

(1) 対象地域の概要

構築したモデルシステムを用いて，名古屋市の都心に位置する長者町地区（中区錦二丁目）を対象に，ケーススタディを実施した．長者町地区は，古くは繊維問屋として栄えたが、近年においては産業構造の変化によって減少し，一方でスモールビジネスや飲食店，マンションが増加している．小さな敷地に建物がひしめき合っていることから，居住しやすい状態とはなっていない．今後，名古屋市が集約型都市構造を目指していく上では，居住地としても望ましい状態への転換が求められている.

(2) 再構築デザインプランの立案

分析を行う上では，2050 年まで現在の建物がそれぞれ自由に建替を行う a)「なりゆきシナリオ」と，**図-4** に示す街区群プロセスデザインを通じて設定された b)「共同更新シナリオ」の 2 ケースを設定した.

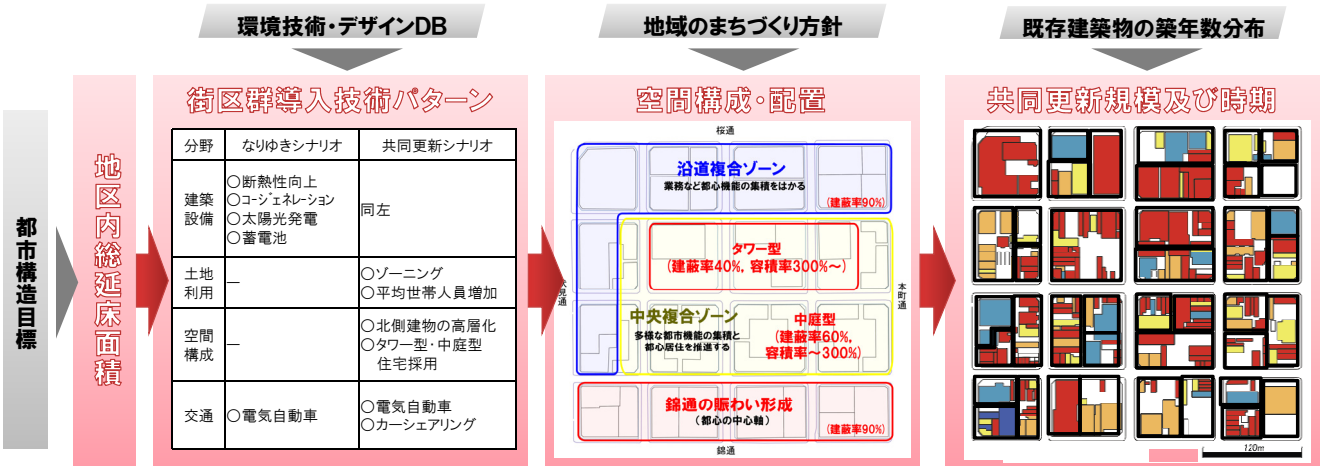

図-4 共同更新シナリオの計画プロセス

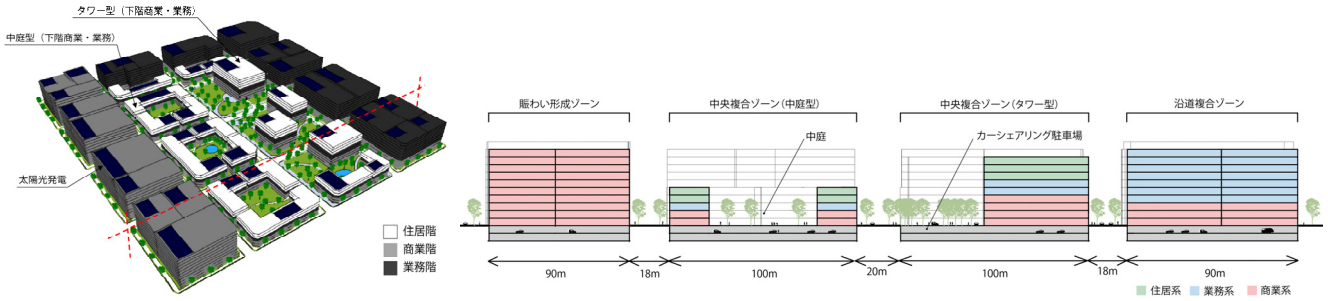

図-5 共同更新シナリオの計画イメージ（俯瞰図及び立面図）

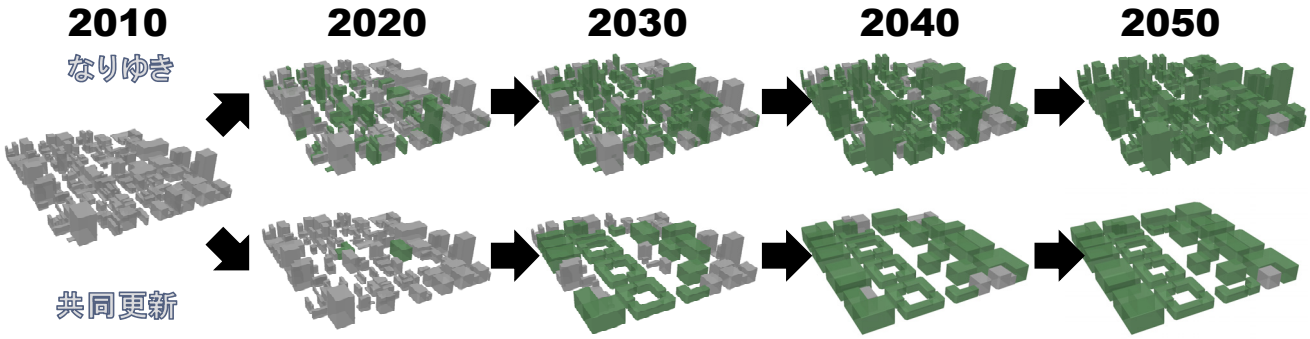

図-6 建物更新の予測結果(10年単位)

①2050年までに集約型都市構造へ移行するための目標として，世帯数は2010年比で1.8倍，就業者人口は1.4倍を設定した．

②導入する環境技術・デザインを対象地域の現状や街づくり方針から選定した．但し，建築物や交通単体に導入できる技術については，なりゆきシナリオでも同様とした．

③対象地域のまちづくり方針に従い，幹線道路の面する南北西の外側街区（9街区）に商業・業務用途，中心部（7街区）に住商混在の用途を配した．また，住商混在地域においては，必要な延床面積から，容積率300%以下を中庭型（4.5街区），300%を超える建物をタワー型（2.5街区）として計画した．

④築年数の近い建物は最少1/4街区の単位で，共同で更新されるものと想定した．更新時期は，予定敷地内の過半数の建物が滅失した時とした．

以上により共同更新シナリオ（図-5）を設定し，2050年までの計画的な建物更新が行われるものとした．

(3) 建物更新の予測結果

各シナリオにおける10年間隔での建物更新予測結果を10年間隔で示した一例を図-6に示す．なりゆきシナリオでは，更新後も同一の場所に建物が建設されるため，40年を通じて段階的に建替が発生する．また，限られた敷地で現在以上に延床面積を確保することが必要であるため，現在以上に建物のボリュームにばらつきが発生し，凹凸の大きい空間構成となる可能性が懸念される．一方，共同更新シナリオでは，まとまった敷地を確保するために一定の時期を要することから，2020年までの10年間においては建物の滅失のみが発生し，2020年から2030年頃にかけて建物の更新が集中することが予測された．

(4) 暑熱環境シミュレーションの結果

暑熱環境シミュレーション結果（夏季の日中）を図-7に示す．なりゆきシナリオでは，建物が不規則に並んでいるため，風通しが悪く，高温となっている部分が分散

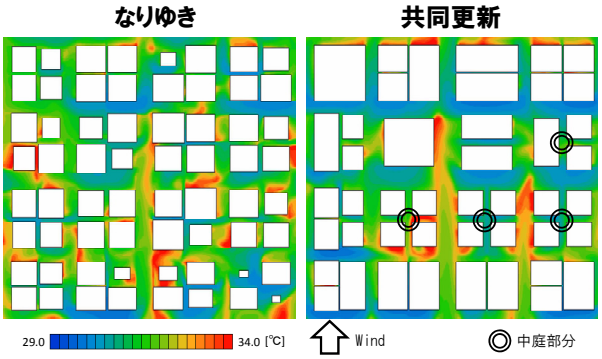

図-7 居住域（X_3=1.75）における気温分布の比較（夏季日中）

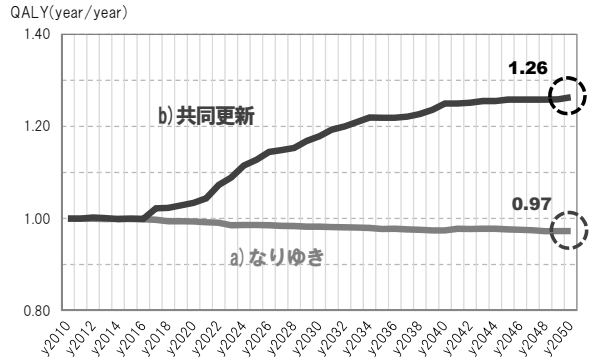

図-8 QOL値の推移(2010年～2050年)

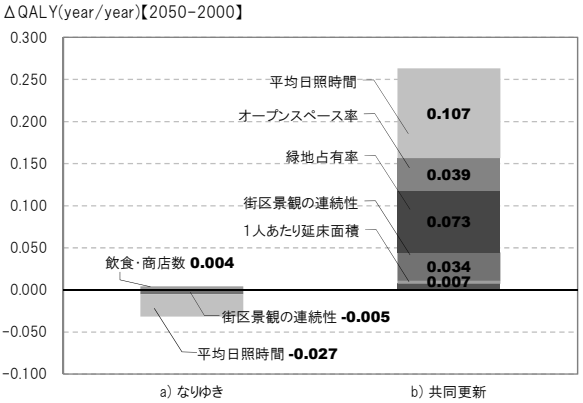

図-9 QOL値増減の内訳(2050年，各シナリオ)

している．一方，共同更新シナリオにおいては，北側の屋外空間においては温度が低下しており，鉛直方向の風を導いている．また，中庭部分の気温が周辺の屋外環境よりも1℃ほど低下しており，より過ごしやすい屋外空間が形成されている．

(5) 低炭素性能の評価結果

a) 生活の質（QOL）の算出結果

なりゆきシナリオ，共同更新シナリオのQOL算出結果を図-8に示す．2010年値を1.00としたとき，なりゆきシナリオでは徐々に低下し，2050年には0.97となる一方，共同更新シナリオでは2020年頃から大幅に向上し，2050年には1.26となる．

2050年における2010年比でのQOL増減の内訳を図-9に示す．なりゆきシナリオにおけるQOL低下は，特に街区景観の連続性，日照時間による影響が大きく，無秩序な更新が，街区群全体の住みよさを損なうことに大きく影響している．一方，共同更新シナリオでは，計画的な空間構成によりオープンスペースや緑の確保，景観，日照時間が向上した．

b) CO_2排出量の算出結果

2010年時，及びなりゆきシナリオ，共同更新シナリオの2050年時の1人あたりCO_2排出量算出結果（業務・建設部門を除く）を図-10に示す．民生や交通では低炭素技術の導入により，なりゆきシナリオにおいても大幅なCO_2排出量の減少が期待でき，2010年と比較して民生で約56%，交通においては約85%が削減できる．さらに，共同更新することで，用途混在と共同更新によるエネルギー需要の平準化・効率化，カーシェアリングの導入などにより，なりゆきシナリオから更に約8%（両部門計）削減できる．インフラや住宅建設，維持管理により発生するCO_2排出量は，地区内人口の増加と土地利用の効率化（延床面積あたり人口の増加）により，1人あたりCO_2排出量が減少している．全体で，2010年からなりゆきシナリオで60%，共同更新シナリオで65%の削減が期待できる．

次に，2010年から2050年にかけての1人あたりCO_2排出量の推移を図-11に示す．なりゆきシナリオにおいては，2050年に向かってなだらかにCO_2排出量が減少傾向となっている一方，共同更新シナリオでは，建物の滅失が先行する2020年まではCO_2排出量が増加し，その後急激にCO_2排出量が減少する．そのため，40年間の総CO_2排出量では共同更新のほうが大きくなっている．

c) 維持更新費用の算出結果

シナリオ別の維持更新費用（業務・建設部門を除く）算出結果を図-12に示す．CO_2排出量と同様の傾向で推移しているが，各シナリオ間での2050年次の費用のばらつきは大きく，なりゆきシナリオと共同更新シナリオとで1万円近くの差がみられる．

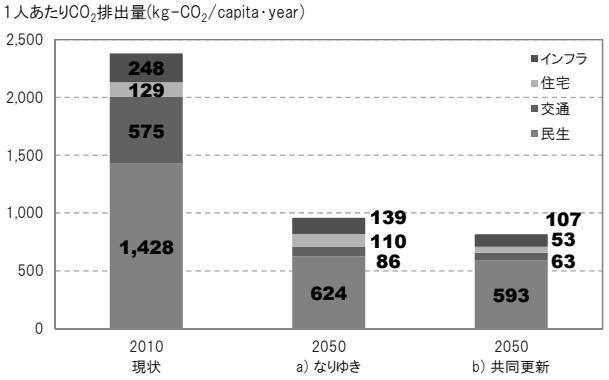

図-10　シナリオ別の1人あたりCO_2排出量比較結果

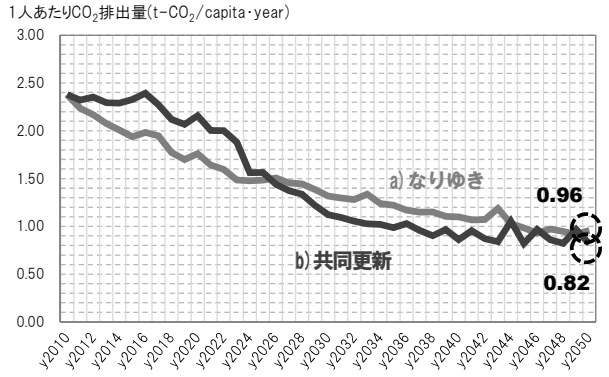

図-11　1人あたりCO_2排出量の推移(2010年～2050年)

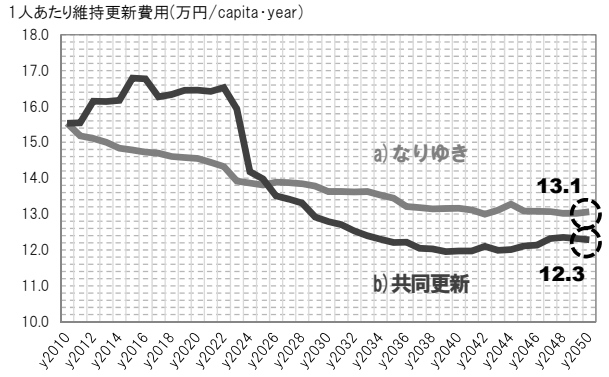

図-12　1人あたり維持更新費用の推移(2010年～2050年)

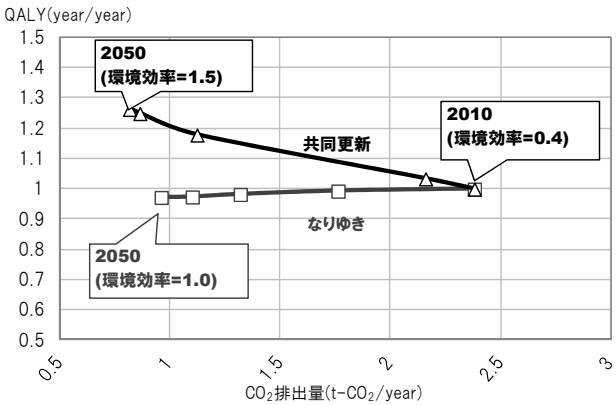

図-13　環境効率の変化(2010年～2050年)

d) 環境効率の推移

シナリオ別のCO_2排出量1単位で得られるQOL値（環境効率（year/t-CO_2））の推移を**図-13**に示す．2010年時においては0.4（year/t-CO_2）程度であるのに対し，なりゆきシナリオでは1.0であり，QOL値は低下しているものの，それを上回るCO_2排出量の低下により，約2.5倍の向上が期待できる．QOL値が向上している共同更新シナリオの環境効率は1.5であり，現状の約3.8倍に向上する．

4. おわりに

本研究では，既存街区群に対して，築年数などの実データから建物更新を予測するとともに，暑熱環境シミュレーションを取り込んで，TBLの観点から評価するモデルを構築した．これにより，既存街区群を計画的に低炭素化するためのプロセスデザインが可能となった．

また，ケーススタディにより得られた知見は以下のとおりである．

- 築年数データを詳細に把握することで，比較的更新時期の近い建物を抽出することが可能となり，共同更新・開発のための計画を検討しやすくなる．
- 高度利用地区においては，敷地ごとの建替よりも，住商混在を前提とした街区単位での共同更新を実施したほうが，高層階への居住地確保による住民のQOL向上，エネルギー利用の平準化と効率化によるCO_2排出量や費用削減，カーシェアリング導入によるCO_2排出量削減が可能となる．
- 中庭式建築の導入により，ヒートアイランド現象の発生しやすい都心部の屋外空間においても，周囲よりも気温が1℃程度低いオープンスペースの創出が期待できる．
- 共同更新を実施する場合，一時的な未利用地の増加，建替時期の集中が予想され，街区全体での計画的な更新プロセスの立案が重要となる．

今後は，都心地区以外の地域（地方中心市街地，近郊市街地，郊外市街地）において，同様の検討を実施することで，各地域に応じた適切なまちづくりの一般解を導出する必要がある．その際には，空き家・空地の発生，敷地の分割，廃棄物処理とマテリアルフローを含めた評価，ライフスタイルの変化の反映など，本システムの更なる拡張を実施する必要がある．

謝辞：本研究は環境省地球環境研究推進費 E-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」を受けて実施した．ここに記して謝意を表する．

参考文献

1) 経済産業省：次世代エネルギー・社会システム協議会（第１４回）‐配付資料，2012. http://www.meti.go.jp/committee/summary/0004633/014_haifu.html
2) 日本サステナブル・ビルディング・コンソーシアム（建築物の総合環境評価研究委員会）：CASBEE-まちづくり評価マニュアル，建築環境・省エネルギー機構，2007.
3) The U.S Green Building Council Inc.：LEED 2009 for Neighborfood Development，2011.
4) BRE Global Ltd.：BREEAM Refurbishment Domestic Buildings Technical Manual SD5072-1.0，2012.
5) John E.：Cannibals with Forks，New Society Publishers，1998.
6) 永田斎記，宮田将門，村山顕人，Ayyoob Sharifi：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・フォルス・クリークを事例として-，土木計画学研究，講演集，Vol.45，CD-ROM(95)，2012.
7) 鈴木雄三，宮田将門，村山顕人：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-，土木計画学研究，講演集，Vol.45，CD-ROM(96)，2012.
8) 経済産業省：Cool-Earth エネルギー革新技術計画，2008.
9) 新エネルギー・産業技術総合開発機構：NEDO 次世代自動車用蓄電池技術開発ロードマップ 2008，2009.
10) 新エネルギー・産業技術総合開発機構：太陽光発電ロードマップ（PV2030+），2009.
11) 小松幸夫，加藤裕久，吉田倬郎，野城智也：わが国における各種住宅の寿命分布に関する調査報告，日本建築学会計画系論文報告集，No.439，p.101-110，1992.
12) 加藤隆矢，飯塚悟，Bui Manh Ha：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，土木計画学研究，講演集，Vol.45，CD-ROM(98)，2012.
13) 加知範康，加藤博和，林良嗣：汎用空間データを用いて居住環境レベルの空間分布を QOL 指標で評価するシステムの開発，都市計画論文集，Vol.43-3，pp.19-24，2008.
14) 加知範康，加藤博和，林良嗣，森杉雅史：余命指標を用いた生活環境質（QOL）評価と市街地拡大抑制策検討への適用，土木学会論文集 D，Vol.62 No.4，pp.558-573，2006.
15) 産業環境管理協会：JLCA-LCA データベース，2007.
16) 後藤直紀，柴原尚希，加知範康，加藤博和：都市域縮退策による環境負荷削減可能性検討のための推計システム，第 16 回地球環境シンポジウム講演集，pp.97-102，2008.
17) 柏木孝夫，日本エネルギー学会：天然ガスコージェネレーション計画・設計マニュアル 2008，日本工業出版，2008.
18) 国土交通省：建築着工統計調査，2011. http://www.mlit.go.jp/statistics/details/jutaku_list.html
19) 国土交通省：不動産市場データベース，2010. http://tochi.mlit.go.jp/tocchi/fudousan_db/index_03300.html
20) 環境省：生活排水処理施設整備計画策定マニュアル，2007.