

24. 建設物の製品連鎖マネジメントの戦略的シナリオの設計と評価

THE DESIGN AND EVALUATION OF STRATEGIC SCENARIO FOR PRODUCT-CHAIN-MANAGEMENT OF BUILT ENVIRONMENTS

藤田 壮*・村野 昭人*・盛岡 通*

Tsuyoshi FUJITA・Akito MURANO・Tohru MORIOKA

ABSTRACT ; The accumulation of the urban structure accompanied by economic growth brings a great environmental impact to a city and a nation as a construction by-product after the time lag about a half-century. In Japan, the quantity of the waste discharged from construction industry reaches about 100 million ton, and it is expected that their by-product will increase sharply in the near future by demolition of structures built at the high economic growth age. This has been a serious environmental subject also in many cities of developing countries including Asia where the rapid urbanization accompanied by economical development progresses from the end of the 20th century. Therefore, it is pressing need to promote recycling of a higher rank more and to construct circulated society.

The authors present the material-product chain management system of construction stocks from national scale viewpoint. Hierarchical recycle system for built environments are proposed. Secondly, authors focus on the urban scale recycling system for construction materials. Finally, planning scenarios and options for ecologically efficient urban environments and estimation systems are also presented.

KEYWORDS ; Product-Chain-Management, Eco-efficiency, Construction Waste, GIS

1 はじめに

都市政策の進展とともに都市の公共施設に対する社会の需要は変化してきた。戦災とその直後の自然災害により都市のストックを失った状況下で復興をスタートした終戦直後期には産業復興を最大の社会的命題として、民間企業による生産とその輸送を支えるための鉄道施設が港湾施設が最優先として整備された。さらに重工業を主体とする製造業の復活が軌道に乗った 1950 年代から 60 年代にかけては、都市圏域では工業化にともない増加した都市人口を受け入れる居住施設および生活基盤の整備が急速に進められた。70 年代から 80 年代に入って、都市における施設需要は生活水準を高める病院や大学などの公共施設や、下水処理場やごみ処理場などの環境基盤施設へ社会的需要が移り、これらの施設が相次いで整備された。一方で、60 年代以降に制定されてきた一連の全国総合開発計画では「過大都市の防止」と「地域格差の解消」が主要な目標としてあげられ、新産業都市をはじめとする政策的な都市整備が進められることによって産業施設と生活施設への都市の需要の発生と変化は京浜、阪神をはじめとする大都市圏から、全国の各都市にまでほぼ一律に波及した。80 年代後半からのいわゆるバブル経済の好景気下では、民間資本による都市更新とともに、潤沢な税収入を支えに、積極的な官民事業者による都市開発の整備とともに文化施設やレクリエーション施設など新たな都市施設の整備が進められた。この時期には、バブル期の特殊条件でのみ成立していた施設需要の右肩上がり成長が将来も続きうるという楽観的な見通しのなかで、長期的な需要動向や立地条件の調査を

* 大阪大学大学院工学研究科環境工学専攻 Dept. of Environmental Eng., Graduate School of Engineering, Osaka University

おこなうことなく、臨海部の産業用地の都市的利用への転換や郊外部における住宅地開発などが進められた。

半世紀以上に及ぶ膨大な都市ストックの蓄積の結果、20 世紀の末には建設工事現場から発生する建設廃棄物量が約 1 億トンに達し、これは全産業廃棄物量の 4 分の 1 を占めている。しかも近い将来には、これまで建設された大量の構造物の解体に伴い、大量の廃棄物が発生することが見込まれる。この状況は日本特有の都市環境の課題としてではなく、近年工業化とともに都市化が急速に進行しつつあるアジアをはじめとする発展途上国に共通する地球的な広がりを持つ課題として、緊急に対策を取ることが求められる。

建設廃棄物を削減する手段として、すでにコンクリート塊やアスファルト・コンクリート塊を路盤材や埋め戻し材として再利用することが行われている。しかし、膨大な建設ストックに対処するには副産物の製品と資材としての特性を活かして再活用の用途を選定する適正なリサイクルを進めることが必要であり、そのためには建設ストックの効率的な再資源化と循環利用を可能にする都市基盤を整備するとともに、長期的には環境効率の高い都市構造に誘導する戦略的な政策の立案とその評価に基づく意思決定が必要となる。

本論では、第一に建設ストックから発生する副産物を特性に応じて利用を区分するカスケードリサイクルシステムについての議論を整理する。第二に、長期的な都市構造を描く中で都市の環境効率を高めるための代替的政策の計画と評価のシステムを提案する。

2 建設物の製品連鎖マネジメント

2. 1 建設資材の代謝構造

多層的なリサイクルのチャンネルを用意して、生産や消費に伴って発生する副産物や廃棄物の特性を可能な限り活用するカスケードリサイクルを行うことにより、社会での財やサービスの生産と消費を維持しつつ、発生する環境負荷を低減することができる。階層となるリサイクルのチャンネルとして、製品としてのリユース、製品を構成する部品を活用する部品リサイクル、物理的構造や化学的組成を活かすマテリアルリサイクル、さらにエネルギー源として再利用するサーマルリサイクルが存在する。発生する副産物の物質および製品としての特性を活かして、できる限り上位の段階でのリサイクルを行うことにより、製品連鎖全体での環境負荷の発生量を削減する(図1)。

建設ストックの中でもっとも大きな重量を占めるコンクリートについての階層的なリサイクルチャンネルを表1に示す。建築物のサービス利用に伴って発生する環境負荷の小さな、環境効率の高い循環型社会を形成するには、建設廃棄物の特性に応じて、より高い水準のリ

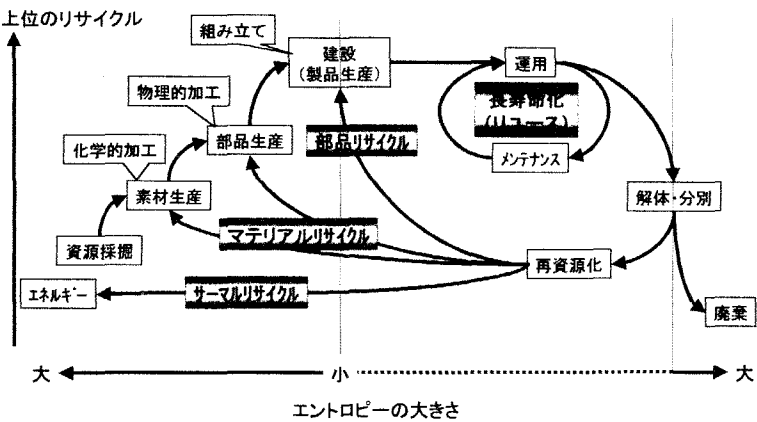


図1 カスケードリサイクルの概念図

表1 廃棄コンクリートのカスケードリサイクルチャンネル

種類	概要	技術・施策
リユース	建設物の機能的および設備的なフレキシビリティを高めて、構造物の社会的寿命を延ばす	・維持、補修、改修による長寿命化 ・メンテナンスを容易にする部品のユニット化、メンテナンススペースの確保
部品リサイクル	易解体設計の制度化などによって、建設廃棄物の資材としてのリサイクルをおこなう	・建築物での用途可変性を高めるスケルトンビルディングと内装・設備インフィルを分離する建築計画の採用 ・リユース型鋼構造部品化の技術開発と設計基準
マテリアルリサイクル	(クローズド・ループ) 建築構造物→建築構造物	・高品質のコンクリート用骨材としての再利用 ・再生骨材を利用する高強度コンクリート製品の開発
	(オープン・ループ) 建築構造物→砕石・非構造物	・砕石としての道路路盤材への利用 ・捨てコン、土間コンの骨材利用

サイクルチャンネルに再資源化するカスケードのリサイクルシステムを整備することが望ましい。ただしリユースや部品リサイクルが実現するには、解体される建築物にあらかじめ環境配慮型設計が導入されている必要があり、これは今後の都市建設と施設更新の際に有効となる。

すなわち、これから建設される新規の構造物については部品や資材の再利用を考慮した易解体設計やフレキシブル・インフィルなど環境配慮型設計を社会制度として導入することによって、建設ストックの循環効率を高める重要な社会戦略となりうる (図 2)。一方で、循環利用の配慮がなされずに、

すでに設計・施工されてきた、高度経済成長期から 1990 年代にかけての建設ストックについては、建設物の機能が急速に劣化することが見込まれる 21 世紀前半に、建設廃材のマテリアルストックおよび建設部品としてのリサイクルをできる限り促進する政策を取り入れることが重要な社会戦略となる。そのためには、マテリアルリサイクルを進める逆流通の社会基盤、制度基盤を構築することが必要となる。

2.2 都市におけるカスケードリサイクルの空間システム

鋼材などの有価物に加えて、再資源化可能なコンクリート・アスファルト・木材を解体の現場で分別回収することにより、市場化されていない資材についても技術的には再資源化利用が可能となる。一方、建設廃棄物の再資源化施設までの逆輸送や再資源化資源の供給情報提供等の面で、社会的な仕組みの整備が進んでいない状況下では、新規資源に比べて再資源化資源の価格競争力が低いことが現状である。いたずらにリサイクルの目標値を設定するのみならず、建設廃棄物の再資源化の社会コストを低減する基盤づくりが緊急の課題となる。

現状の都市構造では、大都市の解体や施工の現場では、都市区域で発生した建設資材は外縁部または郊外の中間処理施設やストックヤードに持ち込まれたあと、別の施工現場の需要に応じて再び都市中心部に輸送されることが通常となっている。例えば大阪市の 1997 年度の実績では、建設副産物のうち 40%は市外の施設に運ばれており、市内の処理施設についてもそのほとんどは臨海部や東部、南部の郊外に立地している。現状の土地利用条件では逆流通などの建設物の循環利用の静脈サイドで大きな社会費用が必要となっている。したがって、環境配慮型設計によりコンクリート製品の再利用を進める建築設計段階での社会的誘導策や再生骨材などリサイクル製品の供給情報提供システムなどの構築と合わせて、可能な限り逆輸送と再資源化製品の順輸送の距離を小さくするクローズドリサイクルの空間基盤整備により、建設物の循環マネジメン

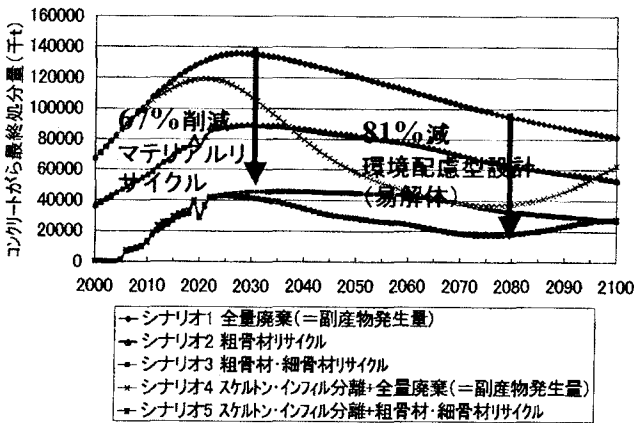


図 2 シナリオ別 CO₂削減効果の推移

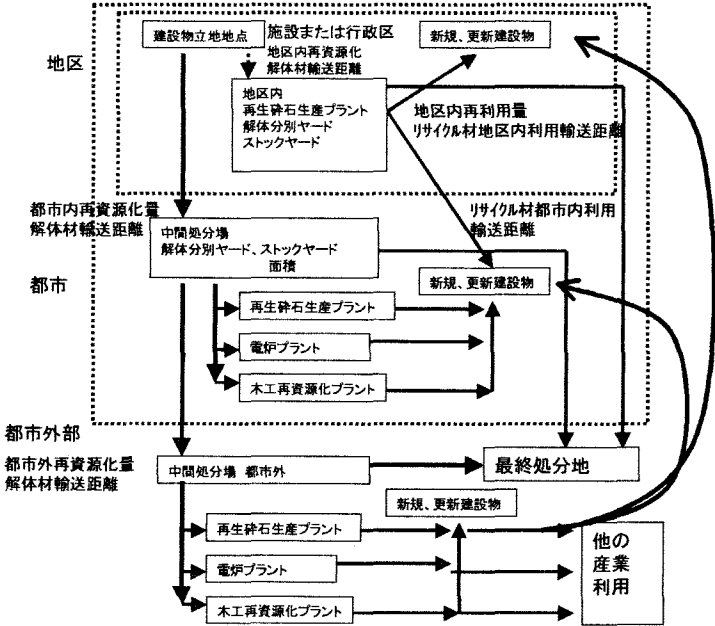


図 3 建設廃棄物の階層的リサイクルフロー

トの社会的なフィージビリティを高めることのぞましい。コンクリート塊などの建設廃棄物のクローズドリサイクルを可能にする空間基盤システムは、建設物の発生する地区単位での廃材のストック空間と再資源化施設を整備することと、都市スケールでその基盤を整備することについて、現状の都市外での処理と処分のシステムとの比較でその環境改善効果が議論される必要がある。地区・都市・都市外部の階層的なリサイクル拠点の整備と、廃棄物・再資源化資材の流れを図3に示す。

大阪市の臨海部に再資源化施設を建設してコンクリートのマテリアルリサイクルの効果を試算した結果では、技術的には大阪市全体でコンクリート構造物にかかわる廃棄物の最終処分量の 1/3 が削減できるとともに、コンクリート構造物に起因するライフサイクルの CO₂ 排出量でも 12.3%削減できることが明らかになった。ただし、碎石の新規資源や廃棄物の最終処分費用などが現状の価格条件のもとでは経済的に成立するリサイクルは限定的であるが、新規資源と最終処分コストが現状の 2 倍程度の水準まで上昇することにより、廃棄物、CO₂削減ともに 4.1%、2.1%の優位な削減効果を持つことが明らかになった。

3. 循環型の都市基盤の計画および評価システム

都市の循環効率を高めるには、すでに建設され立地している都市構造物のストックを考慮するとともに、数 10 年の長期的な機能寿命を前提とした上で、多様な都市環境政策を組み合わせた代替的なオプションを設計したしてそれぞれの導入効果をできる限り定量的に評価することが必要となる。さらに、水、物質、エネルギーの供給基盤や交通基盤についての代替的な整備オプションとあわせて、都市スケールの立地構造や土地利用特性を低環境負荷型に誘導する政策オプションの効果を同時に検討対象とする統合的な計画と評価の視点が求められる。

都市の施設立地を誘導して土地利用構造を制御する都市集積更新のマネジメントのシナリオとしては、開発を抑制する地区と規制を緩和する地区の分布を規定することによって、機能寿命を超える施設の更新を現状と同じ場所でおこなうシナリオ、あるいは都心に誘導することによって一極型のコンパクト構造に導くシナリオ、多極型のコンパクト構造に導くなどのシナリオを描くことができる。

環境施策オプションの対象として、地域熱供給システム、建設廃棄物再資源化システム、新規公共交通システム、緑地整備をオプション施策として設定して、土地利用側のマネジメントのシナリオと組み合わせた施策オプションの導入による効果の評価をおこなう。都市集積更新のマネジメントのシナリオと環境改善施

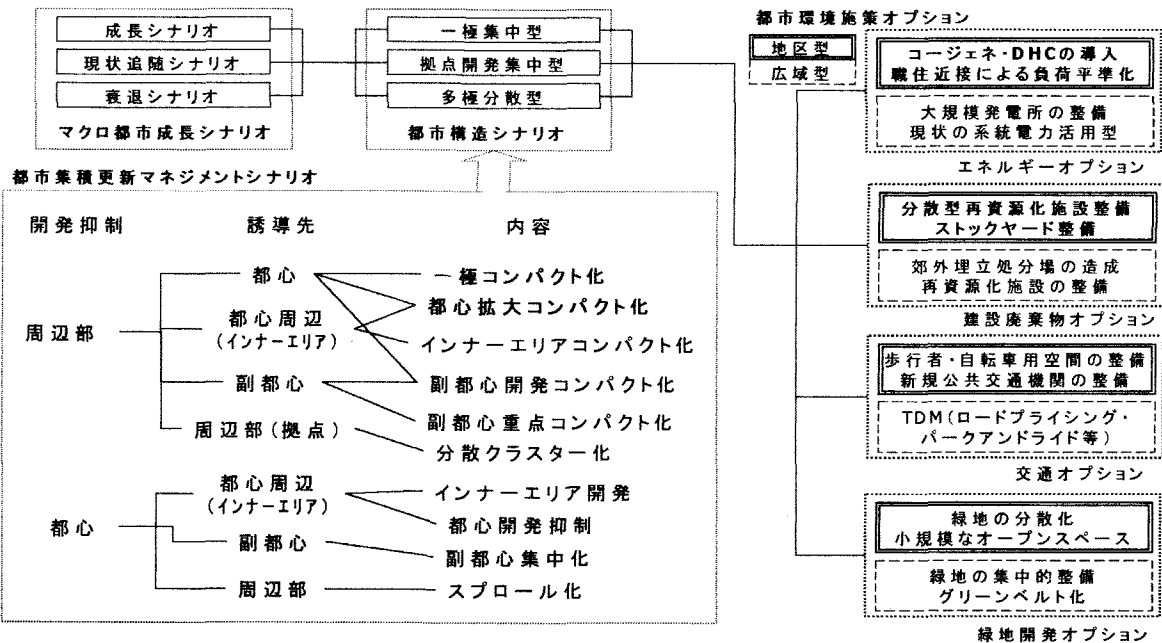


図4 都市更新マネジメントシナリオと環境施策のオプション

表 2 シミュレーションにおける都市集積更新マネジメントのシナリオ設定

名称	概要
①現状維持シナリオ	現在の床面積の分布構成を維持するシナリオ。基本的に床面積の移転は発生せず、マクロな床面積需要の変化のみが反映される。
②一極コンパクト化シナリオ	既存都心地区であるに床面積を集中させるシナリオ。容積率の上限を緩和して、都心の業務系の床面積をさらに集積させ、住宅も都心部に移転させる。
③副都心開発コンパクト化シナリオ	既存都心へのコンパクト化を図る一方で、副都心（南港など）へも床面積を集中させ、都市構造を多極化させるシナリオ。②と同様に業務系・住宅床を都心部へ移転させる。
④都心拡大コンパクト化シナリオ	都心の周辺部の比較的高密でない地区を高層化するシナリオ。梅田や本町付近に業務系の床面積を移転させ、住宅については都心の周辺に移す。比較的高密度な地区の範囲が都心の外側に拡大する。
⑤多極分散（クラスター化）シナリオ	新たな副都心を形成させ、12程度の都市核を持つ都市構造を形成するシナリオ。都心から業務床が分散流出する。低密な市街地が広く形成される。

策オプションの構成を図4に示す。また、表2に大阪市における予備的なケーススタディにおける、将来的な都市集積更新の5つのシナリオを示す。この詳細については別稿で報告予定である。

長期的に持続可能な都市政策の代替案を評価するために、都市環境改善の政策オプションを定量化するための定式化を行い、将来の土地利用変化に対応した算定を行うためにコーホート型のストック更新のモデルを構築する。さらに評価対象の環境負荷としてはライフサイクルのCO₂と建設廃棄物の最終処分量を取り上げる。建築物更新量算定サブシステムで解体・着工（建設）床面積量を算定し、それを制御するシステムである都市集積更新マネジメントサブシステムでは国土スケールでのマクロ人口予測をもとに都市全体の成長を規定するシナリオ、および建築物延床面積の分布や容積率を規定する都市集積更新のシナリオから地区毎の床面積需要量を決定する。一方施策オプション導入サブシステムでは、建築物の空間データ等を各施策オプションの導入条件として設定し、最終的にはストック床面積量とCO₂、廃棄物最終処分量などの原単位を乗じて環境負荷発生量を算定する。なお空間データの利用、空間解析、および結果の表示にはGIS（地理情報システム）を利用する（図5）。

大阪市の500mメッシュデータを用いた都市集積更新の異なるシナリオについての100年後の施設立地の予測結果の出力例を図6に示す。ここでのシナリオ①、②、③は表2に対応する。

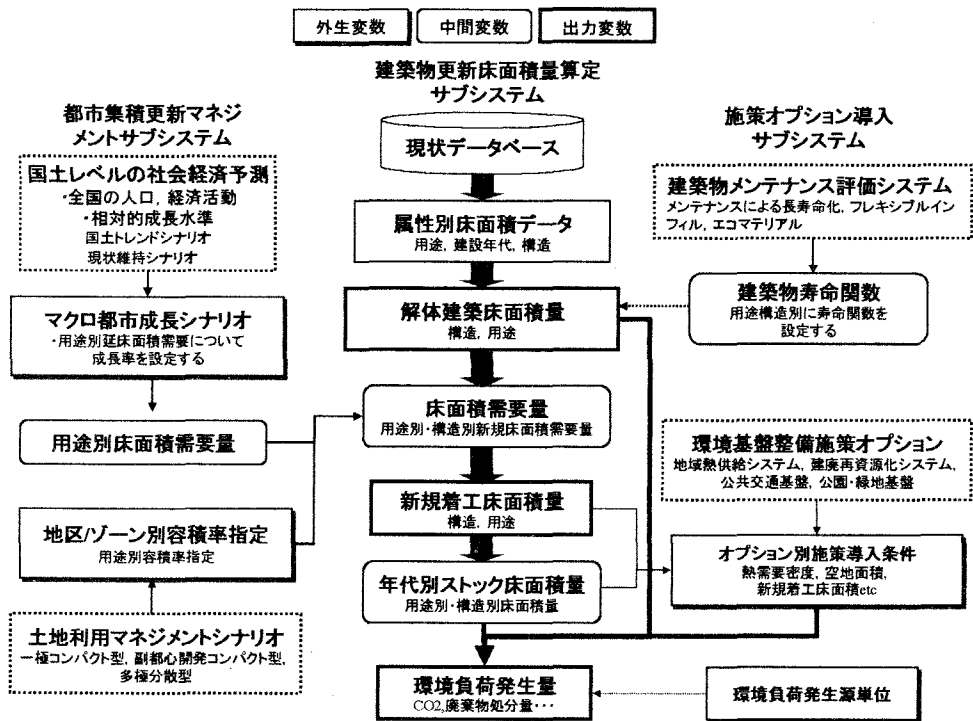


図 5 計画評価システムの全体フレーム

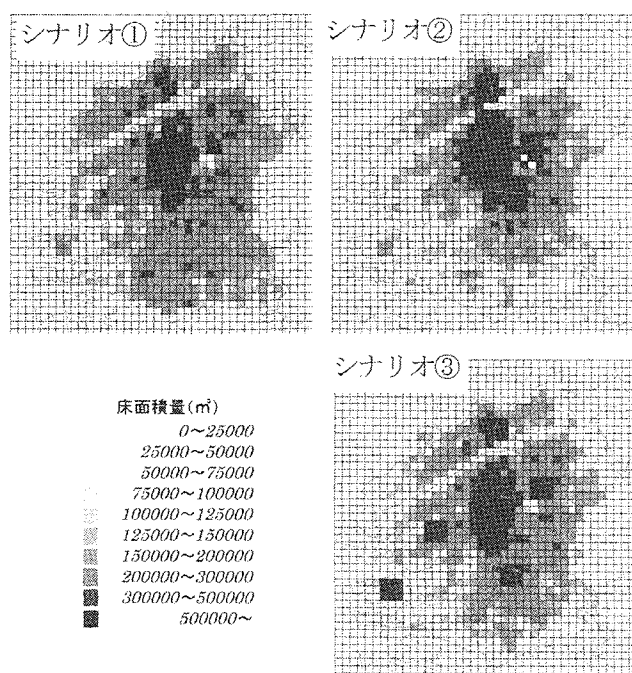


図 6 シナリオ別の建築物の延床面積(2095)

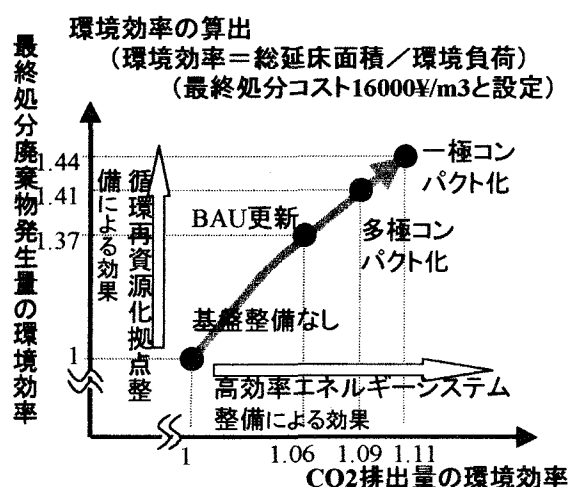


図 7 シナリオ別の環境効率改善効果

大阪市におけるケーススタディで地域地域熱供給システム，建設廃棄物再資源化システムを環境施策オプションとして導入した場合の環境改善効果の算定結果を図7に示す。現状の都市構造で環境改善施策を導入することに比べて，都市ストックの機能劣化にともなう施設更新の際に計画的にコンパクトシティ化に誘導することにより，高い環境効率を得られることが明らかになった。これは中心部の熱需要が高まることにより地域熱供給システムの導入対象面積が拡大すること，およびコンパクト化都市を実現する都市周縁部でのダウンゾーニングにより生じた空地に分散型の物質再資源化利用施設を整備することによる効果による。

謝辞

本研究は科学技術振興事業団戦略的基礎研究推進事業（CREST）の「社会実験地での循環複合体のシステム構築と環境調和技術の開発」（研究代表 盛岡通）の一環として行われ，研究を進めるに当たりその支援を得た。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 総合的建設副産物対策 平成 12 年度版，建設副産物リサイクル広報推進会議，2000
- 藤田壮，盛岡通，小岩真之：建設物の木材に関する製品連鎖マネジメントによる都市の代謝効率改善評価，第 8 回地球環境シンポジウム講演論文集，pp106-113，2000
- 藤田壮，村野昭人，盛岡通：建設構造物の都市空間における製品連鎖マネジメントシステムの計画と評価，第 4 回エコバランス国際会議講演集，pp. 387-390，2000
- 藤田壮，盛岡通，徳永拓：建設物の製品連鎖マネジメントによる環境負荷削減効果の検討，環境システム研究論文集，vol28，pp. 47-54，2000
- 村野昭人，藤田壮，盛岡通，小岩真之：都市構造物の製品連鎖マネジメントのシステム構築とケーススタディ評価，環境システム研究論文集，vol29,2000（投稿中）
- 藤田壮，徳永拓，盛岡通：都市における持続可能な土地利用と基盤整備の計画と評価システム，投稿予定。