

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

藤田 壮¹・盛岡 通²・徳永 拓³

¹正会員 工博 大阪大学大学院助教授 工学研究科環境工学専攻 (〒562-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1)

²正会員 工博 大阪大学大学院教授 工学研究科環境工学専攻 (〒562-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1)

³学生会員 大阪大学大学院 工学研究科環境工学専攻 (〒562-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1)

日本の都市では高度経済成長期に建造された膨大な建設ストックが、21世紀の前半に一齐に更新の時期を迎える。それに伴う膨大な建設廃棄物の循環利用は、新規資源の希少化や最終処分場の社会的コスト上昇のもとで緊急の課題となる。本研究では建設構造物の主要資材であるコンクリートを取りあげ、建設廃コンクリートのリサイクルパスのフレームを示すとともに、国土スケールの建設物資材のマテリアルフロー分析を通じて、現状の社会システム下でのコンクリート廃棄物のリサイクル特性を明らかにする。さらに大阪市を対象に、都市と地区単位で分散型の廃コンクリートの循環利用を実現することによる環境負荷削減効果を試算し、それにもとづく政策設計への知見を示す。

Key Words: *Product Chain Management, Industrial Ecology, Hierarchical Recycle System, Life-Cycle Assessment, Environmental Impact Reduction*

はじめに

日本の都市では20世紀の後半の50年に急速に都市構造物のストックが増大した。戦後の復興から高度経済成長にかけての住宅、ビル、インフラなどの構造物は量的充足などの使命から、循環型社会として備えるべき仕様とはほど遠いものであった。長もちさせる工夫よりは右肩上がりの新規着工、新規設置のビジネスが優先され、長く使いこなすことが有利になる制度や文化を育むことなく現在に至っている。住宅やオフィスビルも短期寿命型となり、資源消費や環境負荷の排出などで環境への過大なインパクトを与える状態となっている。一方で、日本の活力の源泉とされてきた若年人口の労働力供給をはじめとする経済活動の推進要素は、21世紀の初頭には明らかな安定あるいは停滞期を迎える。このため、都市インフラを良好な状態に維持する資金を確保するとともに、都市構造物とインフラを環境共生型に組み換えてゆくことを都市のシステムとして組み立てることが重要となる。

合理的な社会の選択としては、できるだけ広い都市政策のメニューから、代替的な政策シナリオを設計して、国民の合意を形成しうる最適な組み合わせを選択することが必要となる。都市での活動に伴ってぎわめて大量の

二酸化炭素が発生しているが、都心部で提供される様々なサービスは大都市圏域に広域に波及しており、その環境負荷を抑制することを都心の立地主体のみに帰することは現実的な選択肢としての社会的合意を得ることは容易ではない。工業製品の分野では、供給側にライフサイクルで発生する環境負荷を抑制する責任を求める拡大生産者責任の原則(Extended Producer's Responsibility)が産業社会の共通認識として定着しつつあり、都市環境政策の領域でも、情報の非対称性や事前対応効果の面から、従来以上に源流の対策すなわち供給側に、同様な責任分担の原則をもって社会マネジメントを設計することが要請されている。

さらに、国土空間には、特に大都市圏において、高度成長期を通じて膨大な都市構造物ストックが集積されており、2000年からの半世紀に一齐に更新の時期を迎える。都市構造物の解体に伴い発生する建設廃棄物のうち約85%は非木造構造物によるもので、中でも廃コンクリートがその90%を占めており、付随する鋼材と合わせて95%を構成する¹⁾。鉄鋼については電炉鋼としての再生の技術開発に見通しがついており、一次製品との価格競争のみが残る主要な課題となっている一方で、建設廃棄物全体の3/4を占める廃コンクリートについては路盤材

としての限定的なりサイクル利用しか、現時点では再利用が実現していない。したがって循環型の環境資源マネジメントを都市政策として展開するメニューの技術開発についての検討が今後の重要な課題となる。

持続可能な社会の形成が最も重要な社会テーマの一つと位置付けられた 90 年代に、産業社会では産業エコロジー (Industrial Ecology) の論理フレームの構築とその実現に向けての検討が進んだ。副産物再利用の用途を高水準に維持する産業エコロジーは、環境配慮型の生産と設計システム (Design for Environment ; DfE) やリバー・ロジスティクスというかたちですでに現実の産業システムとしての実用化の局面を迎えている。そこでは、リユース、マテリアルリサイクル、サーマルリサイクルという序列や優先順位を持ったリサイクルの選択肢が用意されている。しかし一方で 21 世紀に大量に発生することが避けられないコンクリート瓦礫を汎用的な骨材やセメント原料に再生利用する技術の開発は着手されればかりであり、鉄鋼や木材などその他の建設資材に比較しても多段的なりサイクル技術は未だ実用化の水準には達していない。また都市政策の領域では、都市活動から発生する排出物を処理する末端技術 (End of Pipe Technology) への関心にとどまらず、活動の源にも目を向けることが必要である。建物単位では、環境負荷の小さな建築物をめざす環境配慮設計の試みは見られるが、さらに進んで街区や地域、都市のスケールで環境負荷の発生を抑制する環境配慮型都市計画についての検討が課題となる。

本研究では第一に産業エコロジーの主要な概念である製品連鎖のカスケードリサイクルの概念を整理して、建設構造物の主要資材であるコンクリートにおけるカスケードのリサイクルパスを提示する。第二に、国土スケールの建設物資材のマテリアルフロー分析を通じて、現状の社会システム下での廃コンクリートのリサイクル特性を、他の主要資材との比較のうえで述べる。第三に、コンクリートについてカスケードのリサイクルパスを実現する社会システムを描いた上で、大阪市を対象に、都市と地区単位で分散型での廃コンクリートのリサイクルを実現することによる環境負荷削減効果を試算する。

1. 建設物資材のカスケードのリサイクルシステム

(1) カスケードのリサイクルシステムの概念

物質の循環利用については 3 R (Reduce, Reuse, Recycle) や、リサイクルでもサーマルリサイクルとマテリアルリサイクルを区別する理念などが提示されている。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には、多元的なりサイクルのパ

表-1 カスケードのリサイクルパスとクローズ循環とオープン循環

	クローズドループ循環 製品連鎖の系内での副産物の再資源化利用	オープンループ循環 製品連鎖の系の外での副産物の再資源化利用
リユース	修理や補修により廃棄物を製品として再利用するプロセス	副産物の形質、強度を製品生産に活かす再利用
部品リサイクル	副産物の形質、強度などの物性特性を活かして部品や製品の部品として再利用するプロセス	副産物の物理化学的特性を活かして、他の製品の材料として再利用するプロセス
物理化学的マテリアルリサイクル	副産物の原材料の特性を活かして、物理化学的な加工を加えて製品の素材として再利用する	副産物の物理化学的な加工を加えて副産物を他の製品の素材として再利用するプロセス
サーマルリサイクル	副産物の原料とする熱エネルギーを製品生産工程で活用する	副産物の原料とする熱エネルギーを外部の産業主体に提供する

スを用意して、生産や消費に伴って発生する副産物や廃棄物の特性をできるだけ活用するリサイクルを行うことが有効となる。Allenby が「total industrial ecology cycle」で示すように¹⁾、生産のライフサイクルで異なるステージに移行するためには必ず資源とエネルギーが必要となることから、できるだけ発生と再利用の近い段階でリサイクルを進めることによって、リサイクルによる環境負荷削減の効果を大きくすることができる。リサイクルのパスとしては、製品としての再利用、製品の素材を活用してのパーツリサイクル、物理的構造や化学的組成を生かして再生品化する物理化学的マテリアルリサイクル、さらにエネルギー回収施設で電気や熱源として再利用するサーマルリサイクルという段階的なカスケードのプロセスがあり、同じ副産物をできるだけ上位で再利用することにより複数サイクルでのリサイクルが可能になり、環境効率が高くなる。

さらに、リサイクルのステージ毎に、同じ製品の連鎖 (Product Chain) で閉じて再利用する選択と当該の製品連鎖の外部で再利用されるプロセスがある。前者はクローズドループのリサイクル、後者をオープンループリサイクルと呼ぶ。クローズドループのリサイクルが循環形成上有利となることは次の理由による。第一に副産物が生産・加工段階で発生する場合は再資源化施設が敷地内に立地することにより、輸送に関する費用を節減できる。第二に製品の循環効率を管理指標として用いることがで

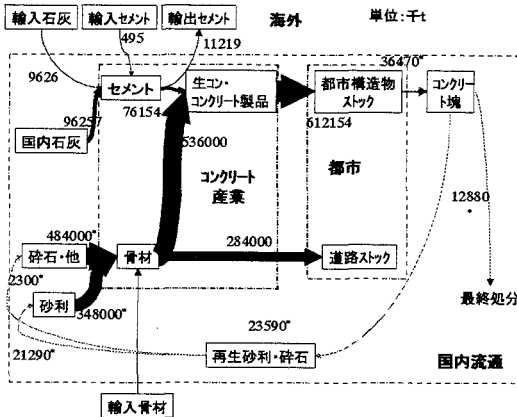


図-1 国土でのコンクリートの代謝構造 (1997年度) ^{4) 9) 10)}

きる。第三に動脈ロジスティクスの設備と情報を活かす静脈システムを構築するコストが節約できる。表1にカスケードのリサイクルのクローズド循環とオープン循環の理念を整理する⁹⁾。

(2) 建設廃コンクリート資材のリサイクル特性

1997年度のコンクリート製品のマテリアルバランスを図1に示す。発生した廃コンクリートの60%強が再生砕石として道路建設に再利用されているが、廃コンクリートとして発生している物質量は、骨材とセメントの合計として投入されている量の約6%にすぎない。現在も国土におけるコンクリートの物質ストックがなお増大しているにもかかわらず、建設構造物のコンクリート系の廃棄物がほとんど砕石あるいは非構造型のコンクリート骨材として利用されている現状にあるといえる。次に建設廃材のうち木材と鉄鋼を廃コンクリートと比較するため、各資材の物質代謝フローをもとに3つの資材についてそのリサイクルの現状を比較した結果を表2、表3、表4に示す。(この算定の詳細については別稿⁹⁾を参照) 木材はその多くが燃焼炉の燃料として再利用されている状況であり、今後より上位の再利用、部品リサイクル、マテリアルリサイクルを可能にするための環境配慮設計(DfE)、逆流通システム、効率的な分別技術の確立、都市内のストックヤードの確保などが社会的に重要となる。鉄鋼については比較的高い水準でマテリアルリサイクルが行われているが、DfEの導入などにより建設資材としての部品再利用を進めることや、建設製品のプロダクトチェーン上でのリサイクルを促すことによる逆流通コストの低減をはかることが必要になる。一方コンクリートは、建設構造物を更新する製品連鎖上でのリサイクルのパスが社会的に整備されているとはいえない状況にあり、現実に新たなストックの蓄積をはかるに下回る量的水準

表-2 建設廃棄木材のカスケードリサイクル (1992年度) ⁹⁾

	クローズド	オープン
再利用	1.4%	-
マテリアルリサイクル	-	-
物理・化学的リサイクル	-	35.6%
廃棄	63.0%	-

表-3 建設廃棄鋼材のカスケードリサイクル (1997年度) ^{10) 11)}

	クローズド	オープン
再利用	-	-
マテリアルリサイクル	-	93.0%
物理・化学的リサイクル	-	-
廃棄	7.0%	-

表-4 建設廃棄コンクリートのカスケードリサイクル (1997年度)

	クローズド	オープン
再利用	-	-
マテリアルリサイクル	-	64.7%
物理・化学的リサイクル	-	-
廃棄	35.3%	-

しかりサイクルが進められていない。産業廃棄物の削減という命題に応えるためにも、量的に大きな割合を占めるコンクリート系建設廃棄物の循環形成に取り組むことは重要な課題であり、建設構造物の解体と新規建設の更新の製品連鎖上でのリサイクルを進める施策の整備が急務となる。

すなわち廃コンクリートのリサイクルでは、現在広く実践されている砕石としての路盤材などへの再利用は、コンクリート製品としての特性の再活用という視点からは、最も効率の低い再利用パスといえる。21世紀に入り、発生が不可避である建築物のコンクリート製品についても、他の工業製品での取り組みと同様に、プロダクトチェーン全体での多層的なりサイクルの代替的パスを用意して循環形成を図ることが必要となる。

表5に、建設コンクリート廃棄物の階層的なりサイクルパスを提示する。上段のパスは下段のパスに比べて副産物の物質特性を生かしたりサイクル手段であり、再資源化製品の単位サービス量を入手するために必要な追加資材投入量や追加エネルギーの投入量が小さいことは明らかである。

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、建設副産物の特性に応じて、より上位のリサイクルパスにより再資源化することを含めた、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。再利用やパーツリサイクルの実現にはあらかじめ環境配慮型設計を導入している建築物である必要があり、今後の都市更新の政策に導入されるべき戦略となる。一方で環境に対する配慮

表－5 建設コンクリート廃棄物のカスケードリサイクルパス⁽¹⁾⁽¹⁾

種類	リサイクルパスの概要	技術・手法
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、建造物の社会的寿命を延ばす。	・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 ・内装、設備インフィイルを分離する建築計画の採用 ・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る建設副産物の資材としてのリサイクル。	・リユース型鋼構造部品の技術開発と設計基準 ・高品質プレキャストコンクリート部品の開発とスラブ材などのリサイクル利用
マテリアルリサイクル（クローズドループ） 建築構造材→建築構造材	物理的あるいは化学的加工を加えて、建築構造物の解体資材を構造材として再利用する。	・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
マテリアルリサイクル（オープンループ） 建築構造材→砕石・非構造材	物理的加工によって廃コンクリートを砕石化することによる品質のばらつきを前提としたダウンリサイクル	・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

がなされずに設計・施工された高度経済成長期の建築物が一斉に更新時期を迎える 21 世紀前半では、むしろクローズドの構造材としての利用を促進することが望まれる。次章では、建設物のコンクリートを再び建設物として利用するクローズドのリサイクルシステムのフレームを検討し、大阪市におけるケーススタディからその環境負荷削減効果と実現性について検討する。

3. コンクリートのマテリアルリサイクル・システムの大阪市におけるケーススタディ

(1) 都市におけるカスケードリサイクルの空間システム

建設省および各自治体の指導により、建設物の解体や施設更新の際に、スクラップ鋼材などの有価物の他に、副産物の再資源化製品の流通市場が成立していないコンクリート、アスファルト、木材などについても現場での

分別回収が定着しつつある。一方で、現状ではリサイクル資源を利用する循環型のシステムは一次資源を利用するシステムに比べて、経済的に不利な状況にある。これは以下の理由に起因する。

- ① 再資源化のための技術は開発途上にあり、一次資源と比較してもリサイクル資源化のコストが高くなること。
- ② 建設副産物の発生とそのリサイクル製品に関する需要供給の情報をやりとりする社会的仕組みが存在していないこと。
- ③ 再資源化施設が、副産物の発生地点であると同時に建設資材の需要地点でもある都市中心部から遠隔な地域に整備されていることが多いため、逆輸送とリサイクル製品の供給に伴う輸送コストが大きいこと。

ゆえに持続可能な建設副産物リサイクルシステムを形成するには、バージン資源と再資源化資源の価格競合を含む、建設副産物の再資源化の社会コストを低減する基盤システムづくりが緊急の課題となる。技術とプロダクトチェーンの情報マネジメントシステムについては、建設リサイクルの義務化により、比較的短期間のうちにコスト削減が可能になることが期待される。それに対して、再資源化施設の立地を含めたりサイクルの空間システムの整備は、都市計画や港湾計画との連携が必要である。土地利用ゾーニングや開発事業により循環形成の社会基盤として、適切な立地を実現するまでには、10 年単位の期間がかかることが通常であり、循環形成の空間マネジメントの客観的論拠を提示することはきわめて重要であると判断される。

現実に大都市圏の解体と施工の現場では、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後、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廃棄物のうち、約 40% は市外の施設に運ばれており、市内での処理についても副産物の中間処理施設のほとんどは臨海部や東部、南部の郊外に立地している。特に、廃コンクリートからの再資源化物の単位重量あたりの利用価値が他の産業廃棄物に比較するときわめて小さいことから、リサイクル骨材の利用を促す社会的誘導策と合わせて、できるだけ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が、循環形成の上で重要な施策となる。コンクリートと建設廃材のクローズドのリサイクルを可能にする空間基盤システムについては、建設物の発生する地区単位で廃材のストック空間と再資源化施設を整備するシステムと、都市スケールでその基盤を整備するシステムを構想して、現状での処理と代替システムとの比較を通じてその環境改善効

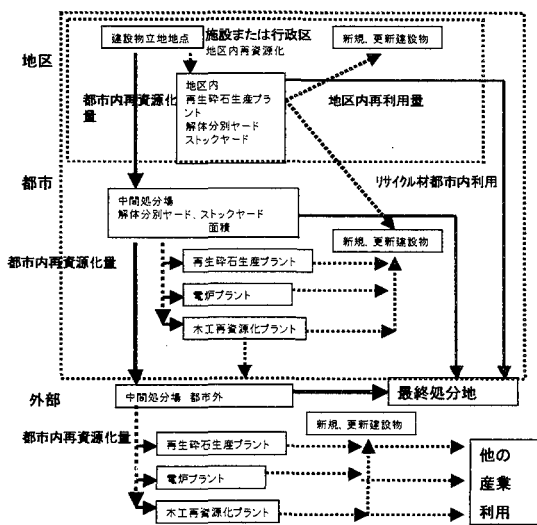


図-2 都市における建設廃材の再資源化拠点と物質フロー

果を議論する必要がある。地区と都市、都市外部の階層的なりサイクル拠点の整備とその廃棄物から再資源化資材の流れを図2に示す。次項では大阪市を対象に廃コンクリートの分散型のクローズドリサイクルを実現することの環境負荷削減効果を、将来の施設更新を設定した上で試算する。

(2) 大阪市における建設廃材の発生予測と分散型リサイクルによる環境改善効果の試算

大阪市の着工統計データ¹⁰⁾から各建築物の寿命を一律に50年と設定して解体建築物の総床面積を5年毎に算出し、これに資材消費量の原単位¹¹⁾を乗じて年度別の建設廃棄物発生予測量を算出した。ここでは建築物の更新時に同じ機能と規模の施設が建設されることを仮定している。図3に大阪市における2010年から35年間の建設廃棄物の発生量を示す。コンクリート廃棄物の再資源化については、近年建設会社等で実証化研究の進んでいる、構造体への適用が可能である高品質の再生粗骨材技術製造の水準から、コンクリートの重量比40%を再生粗骨材として利用できるものとする¹⁰⁾。コンクリートのリサイクルについてはその素材特性から、技術開発に伴う再資源化効率の改善よりも、回収して再資源化資材を供給する逆流通プロセスと再資源化施設の立地による影響が大きいと判断して、廃コンクリートの再利用と処分について3つのシナリオを設定する。具体的には都市外部での処理によるシナリオ1、都市内に数カ所の再資源化とストックの拠点を整備するシナリオ2、さらに行政区毎に

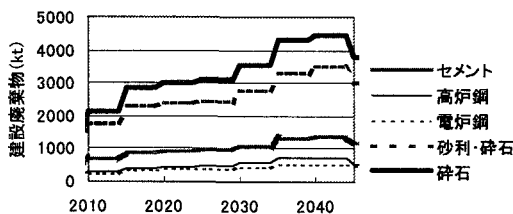


図-3 大阪市内から発生する建設廃棄物の予測量

再資源化施設を整備するシナリオ3を想定して、それぞれのシナリオでの長期間での発生環境負荷の削減を算定する。シナリオ1では現在の建設廃棄物の処理状況を考慮して、市外の近郊2ヶ所の処分場に輸送して埋め立て処分することを想定する。シナリオ2は今後大量に発生することが見込まれるコンクリート廃棄物を外部に搬出することなく、都市の内部で最終的に受け入れるシナリオであり、大阪市の臨海部の沖合3ヶ所にコンクリートの再資源化施設を整備することを想定する。シナリオ3では、建設物の解体更新に伴い副産物が発生して、同時に資材需要が生まれる都市の地区単位で、コンクリートの循環形成を図るシナリオを想定し、各区の周縁部に再資源化施設を整備するものとする。(表6)

現状の技術水準や新規骨材の市場動向を予測した上で、これら再資源化施設の都市内立地の事業採算性についての検討は別稿¹⁰⁾にて報告する予定である。なおシナリオ2,3ではともに新規建設物の骨材需要は、都市内から発生した廃コンクリートを骨材として再生利用し、不足量については新規骨材を利用するものとする。また再資源化されないコンクリートについては、シナリオ1と同様に市外の最終処分地に搬送するものとする。

表-6 シナリオ別の廃コンクリートのリサイクルプロセス

	再処理のプロセス	再資源化施設
シナリオ1	廃棄物を市外の最終処分場(2カ所)までトラックで輸送する。	尼崎市、堺市
シナリオ2	廃棄物を市内の再資源化施設(3カ所)により再利用する。残渣については市外の最終処分地に搬送する。(再資源化率40%)	舞州、南港、淀川
シナリオ3	廃棄物を区内で再利用する。残渣については市外の最終処分地に搬送する。(再資源化率40%)	各区の周縁部

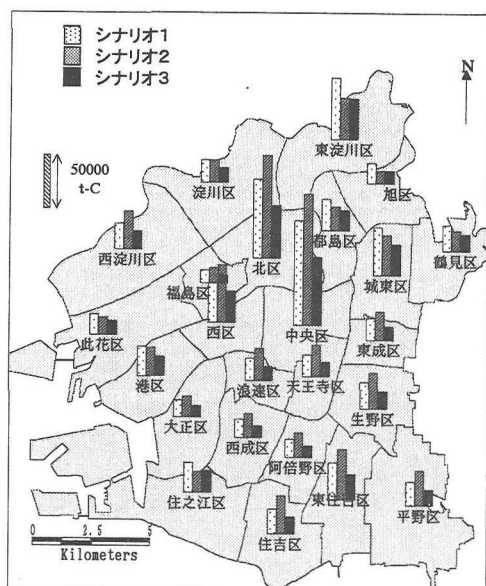


図-4 廃コンクリートの輸送に伴う CO₂ 排出予測のシナリオ別比較 (2010-2045)

各ケースともに建設廃コンクリートの発生は行政区毎に算定して、区の中心から最も近い処理場・再資源化施設を選択して、経路は主要道路を任意に選択してルートを決し、最終的な輸送距離は GIS (Mapinfo) の近畿圏主要道路データを用いて算出した。輸送に伴う消費エネルギー量・CO₂ 排出量の原単位は文献¹¹⁾を用いた。なお再資源化骨材以外の一次資材はすべて都市外から搬入するものとして、一律に 60km の輸送距離を設定した。

3つの異なるスケールでコンクリートリサイクルシステムを整備するシナリオ 1, 2, 3 について、2010 年から 35 年間における廃コンクリート輸送に伴う区別の CO₂ 排出量を図 4 に示す。臨海部に位置する行政区では分散型リサイクル拠点を整備するシナリオ (シナリオ 3) の環境負荷削減の効果が相対的に小さい一方で、北区や中央区などの都心周辺区では、大規模な業務施設の更新を 21 世紀の前半に迎えるため、分散型の再資源化拠点を整備することによる環境負荷削減効果がきわめて大きいことが確認された。

図 5 に骨材の生産・輸送と廃コンクリート輸送に起因する CO₂ 排出量を示す。コンクリートの再資源化施設の整備については、分散型で整備するシナリオ 3 が、現状水準と比較して 37% の CO₂ 排出量を削減する一方で、再資源化施設を大阪市の臨海部に立地させる場合 (シナリオ 2) は、その削減効果が 10% にとどまることが明らかになった。

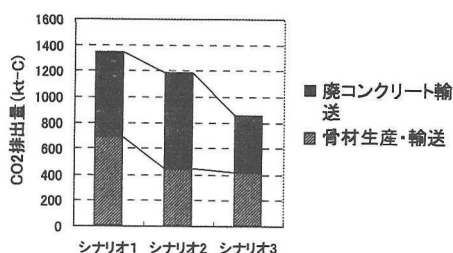


図-5 骨材の生産・輸送と廃コンクリート輸送に伴う CO₂ 排出予測のケース別比較 (2010-2045)

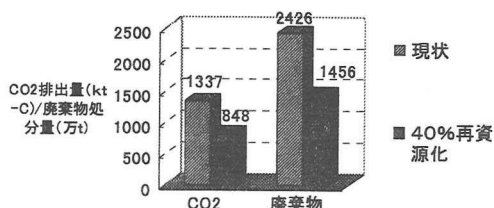


図-6 廃コンクリートの再資源化による輸送 CO₂ および 廃棄物最終処分量の比較 (2010-2045)

図 6 にコンクリートの分散型再資源化システム (シナリオ 3) の適用に伴う CO₂ 排出量および廃棄物処分量の削減効果を示す。再資源化による廃棄物削減量は、大阪市の産業廃棄物埋め立て処分量 (平成 3 年度) の 5.4 年分、大阪湾フェニックス計画の尼崎・泉大津処分場における計画処分量の 30.3% に相当する。またコンクリートの再資源化の効率を向上させることによって、最終処分廃棄物量を削減できるのとはほぼ同程度の割合で CO₂ 排出量の削減を実現できることがわかる。

4. 結論と今後の研究課題

建設資材の循環形成に向けての製品連鎖マネジメントの検討を通じて得られた知見は以下の通りである。

- ① 産業エコロジーの理念を都市構造物に展開し、循環形成を実現するための建設資材の多層的なカスケード・リサイクルシステムについてそのフレームを提示した。
- ② 20 世紀の後半に建設された都市構造物が一斉に更新されることにより発生する大量の解体廃棄資材に対応するには、特にコンクリートのマテリアルリサイクルの技術システムと、その再資源化製品の利用を促す社会システムを構築することが急務である。
- ③ コンクリートの再資源化拠点の整備については、都市の内部に分散立地させることにより、輸送に伴う

環境負荷の削減が可能であることを定量的に示した。今後は他の主要な建設廃材である鉄鋼と木材についても同様な試算を行うほか、次の項目を研究課題とする。

- ① 将来的な技術革新を考慮して再資源化過程の経済的費用を算定することにより、新規資源との価格競争性を確保するための再資源化資材の生産過程におけるプロセス設計条件を明らかにする。
- ② 都市内に再資源化施設を整備することの機会費用を考慮して、将来の都市更新を規定する条件を幅広く設定した上で、分散型物質マネジメント拠点の社会的フィージビリティを定量的に明らかにする。
- ③ 分散型立地を誘導する技術要素、経済要素、制度要素を組み合わせる代替的な環境改善シナリオを設計した上でその費用便益、環境効率の算定により、最適な社会のバス設計を行う。

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。また本研究での建設廃棄物のマテリアルフロー作成にあたっては、(株)大林組の漆崎氏他による研究成果を利用させて頂いた。ここに深く感謝いたします。

参考文献

1. 盛岡通編：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，CREST 中間報告書，pp.151-184，2000

2. Graedel, T.E., Allenby, , 後藤弘訳：産業エコロジー，トッパン，1996
3. 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，地球環境シンポジウム講演論文集，2000，pp106-113，2000
4. セメント協会：セメントハンドブック，1999
5. (社)日本建設産業協会：建材統計要覧，1999
6. (社)日本砂利協会：骨材需給表，1995
7. 建設副産物リサイクル広報推進会議：総合的建設副産物対策，1999
8. 林野庁：林業統計要覧，林野庁：新たな林業木材政策の基本政策，地球社，1995 ほか
9. 鉄源協会：鉄源年報第 10 号，1999
10. 通産省：鉄鋼統計年報，1998
11. 鉄鋼流通情報社：鉄鋼生産実績推定表，1997
12. 土木学会コンクリート委員会：コンクリートライブラリー 96 資源有効利用の現状と課題，土木学会，pp.89-pp.140
13. 日本建築学会サステナブル・ビルディング小委員会：サステナブル・ビルディング普及のための提言，日本建築学会，pp.45-pp.54
14. 大阪市統計局：大阪市統計書昭和 25 年～平成 7 年度版，1950～1995
15. Fujita T. ,Morioka T. , Murano A. : Life Cycle Estimation of CO2 Emission from Urban Districts and its Application for Urban Environmental Management”, *Journal of Global Environment Engineering*, Vol. 6
16. 竹中工務店：北九州エコタウン，実証研究センターにおける建設廃棄物リサイクル技術の実用化開発，1999
17. 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 5 回エコバランス国際会議講演集（印刷中）
18. 田頭直人，鈴木勉，内山洋司：都市インフラストラクチャー整備のライフサイクル分析，電力中央研究所報告，1997

Product Chain Management of Building Materials and

Estimation of Environmentally Improvement Effect

The Compact City theory is drawing attention in the city planning in recent years. One of the purposes of its concept is to reduce various types of environmental impacts from cities, such as carbon dioxide (CO₂) and solid waste generation. A large number of buildings and facilities constructed in rapid economic growth decades after World War Two are supposed to face abrupt finish from both of social demand and physical function standpoints. This paper focuses on estimating environmental effects to develop decentralized building waste recycle systems, which are planned, based on the Industrial Ecology Strategy. Larger environmental improvement effects particularly in downtown districts are evaluated through simulation study for Osaka City.