

近未来のセメント需要と セメント産業における廃棄物・副産物利用

橋本 征二¹・河井 紘輔²・藤井 実³・加用 千裕⁴
稲葉 陸太⁵・南斉 規介⁶・田崎 智宏⁷・大迫 政浩⁸

¹正会員 独立行政法人国立環境研究所 主任研究員 (〒305- 8506 つくば市小野川16- 2)

E-mail: hashimoto.seiji@nies.go.jp

²正会員 (独)国立環境研究所 ポスドクフェロー (〒305- 8506 つくば市小野川16- 2)

³(国)名古屋大学 エコトピア科学研究所 講師 (〒464-8603 名古屋市千種区不老町)

⁴正会員 (独)国立環境研究所 ポスドクフェロー (〒305- 8506 つくば市小野川16- 2)

⁵(独)国立環境研究所 特別研究員 (〒305- 8506 つくば市小野川16- 2)

⁶(独)国立環境研究所 主任研究員 (〒305- 8506 つくば市小野川16- 2)

⁷正会員 (独)国立環境研究所 主任研究員 (〒305- 8506 つくば市小野川16- 2)

⁸(独)国立環境研究所 循環技術システム研究室長 (〒305- 8506 つくば市小野川16- 2)

近未来 (2030年頃まで) におけるセメント需要の推計を行い、セメント産業における廃棄物・副産物利用の今後の可能性について基礎的検討を行った。その結果、(1) 建築物の寿命や着工建築物の非木造比が今後も変わらず、土木構造物への投資額が2007年のレベルで維持されるとしても、2030年において2000年比18%程度の需要減少が推計された。また、建築物の長寿命化や木造化、土木構造物への投資額の減少を仮定すると、最大で45%程度の需要減少が推計された。(2) 2007年度のセメント産業における廃棄物・副産物の利用量約3000万トンを、今後減少が推計されるセメント需要のもとで維持するとした場合には、セメント1トンあたりの廃棄物・副産物の利用量を最大で約640kg/t-セメントまで増加させる必要がある。この値はトップランナー企業が受け入れている約530kg/t-セメントを大きく上回る量である。

Key Words : material flow analysis, cement industry, waste management, recycling, nonrenewable

1. はじめに

循環型社会形成推進基本法の循環型社会の定義 (第2条) によれば、循環型社会の目的は、天然資源の消費を抑制し、環境への負荷をできる限り低減することにある。この法律のもとに定められた循環型社会形成推進基本計画においては、日本の物質フローの入口、循環、出口の3つの断面に対して指標と数値目標が定められた。このうち、「資源生産性」という入口の指標は、天然資源の消費の抑制という循環型社会の目的に対応するものであるが、入口の天然資源消費量を少なくすることは、結果的に出口の環境負荷量を少なくすることにもつながるため、環境負荷の低減という循環型社会のもう一つの目的にも対応する指標となっている。また、再生可能資源の適正な利用拡大が望まれているなかで、第二次基本計画においては、天然資源等消費量に占めるバイオマス系資源の比率をモニターすることが定められた。

このようなことから、筆者らは非再生可能資源使用量

の削減を優先的な目標としながら、循環型社会への移行を効率的に進めるための方策について、以下の恒等式を用いつつ検討を行っている¹⁾。

非再生可能資源使用量

$$= \text{活動量} \times \frac{\text{新規製品量}}{\text{活動量}} \times \frac{\text{原燃料使用量}}{\text{新規製品量}} \times \frac{\text{非再生可能資源使用量}}{\text{原燃料使用量}} \quad (1)$$

ここで、「活動量」とは、社会が利用する製品やサービスなどの量で、ライフサイクルアセスメントで言えば機能に相当するものである。住宅の延床面積 (m²)、人の移動量 (人×km/年)、手提げ袋の使用回数 (回/年) などの単位量で表現される。これらの活動は、複数の手段によって実現可能であり、より豊かな将来に向かって増える場合も減る場合もありうる。

「新規製品量/活動量」は、目的となる活動 (機能)

一単位を達成するために必要となる新規製品量である。この値を小さくすることができれば、左辺の非再生可能資源使用量を減らすことができる。例えば、製品の長期使用・再使用やシェアリングなどが、活動量あたりの新規製品量を減らす手段である。

「原燃料消費量／新規製品量」は、新規製品一単位を生産する際、使用する際に必要となる原燃料の量である。同じくこの値を小さくすることが、左辺を小さくすることにつながる。例えば、生産工程における歩留まりの向上や省エネ、製品の小型化やエネルギー効率改善、容器包装の簡素化・軽量化などが、新規製品量あたりの原燃料使用量を減らす手段になる。

「非再生可能資源使用量／原燃料使用量」は、原燃料使用量に占める非再生可能資源の比率を表す。再生材料の利用やバイオマス資源の利用がこの比率を下げることに繋がる。

本稿は、近未来（2030年頃まで）における建築物および土木構造物の新規需要に関するシナリオ、非再生可能資源使用量を減らす対策の導入に関するシナリオをもとにセメント需要の推計を行い、セメント産業における廃棄物・副産物利用の今後の可能性について基礎的検討を行ったものである。

2. 方法

(1) 近未来の活動量の推計方法

建築物については、近未来に必要となるストック量（ m^2 ）を活動量として推計した。住宅用については一般世帯数の推移、工場・倉庫用については鉱工業指数の推移、その他用については第3次産業就業者数の推移をベースに、それぞれについて次式により推計した。各パラメータの説明およびその基準ケースにおける設定については表-1を参照されたい。

$$A_{bh}(t) = H(t) \times N(t) \times F_{bh}(t) \quad (2)$$

$$A_{bf}(t) = IIP(t) \times F_{bf}(t) \quad (3)$$

$$A_{bo}(t) = P(t) \times E(t) \times T(t) \times F_{bo}(t) \quad (4)$$

土木構造物については、活動量の適正な水準（必要となる土木構造物のストック量）が設定しにくいいため、下記のように新規製品量（土木構造物への投資額）をシナリオとして与えることとした。

(2) 近未来の新規製品量の推計方法

建築物については、寿命を迎え解体される建築物を考慮した上で、活動量としてのストック量を満たすように

建築物の着工需要が生まれることとした。次式は、住宅の例である。各パラメータの説明およびその基準ケースにおける設定については表-1を参照されたい。

$$C_{bh}(t, a) = (A_{bh}(t+1) - A_{bh}(t) + D_{bh}(t)) \times a_{bh}(t) \quad (5)$$

$$D_{bh}(t) = \sum_a \sum_\tau (S_{bh}(t, \tau, a) - S_{bh}(t+1, \tau, a)) \quad (6)$$

$$S_{bh}(t+1, \tau, a) = S_{bh}(t, \tau, a) \times \frac{R_{bh}(t+1-\tau, a)}{R_{bh}(t-\tau, a)} \quad (7)$$

ここで、

$$A_{bh}(t) = \sum_a \sum_\tau S_{bh}(t, \tau, a) \quad (8)$$

$$C_{bh}(t, a) = S_{bh}(t+1, t, a) \quad (9)$$

である。また、建築物の構造aとして、木造、鉄骨鉄筋コンクリート造、鉄筋コンクリート造、鉄骨造を想定した。

土木構造物については、近未来における投資額をシナリオとして与えた。将来の建設投資については様々な資料がある。例えば、国土交通省は、建設副産物排出量の将来予測を行う過程で将来の建設投資の予測を行っており、長期および短期の投資トレンド等に基づき、年率-2%、±0%、+2%の3つの伸び率を想定している²⁾。また、厚生労働省は、水道の更新需要について検討する過程で、将来の水道への投資について、厳しい財政状況を勘案して伸び率年±0%、-1%の2つのケースを想定している³⁾。さらに、(財)建設経済研究所は、建設投資等の中長期予測を行っているが、政府建設投資の規模は、最終的には政策判断により決定されることから、需要サイドからの予測は必ずしも適切でないとして、複数の変化率を設定している⁴⁾。これらの幅は2020年度までで平均して年率±0%から-1%に相当する。以上のようなことから、本稿では、伸び率±0%を基準ケースとし、これに加えて-2%と+2%の2つのケースを設定した。また、土木構造物の工事種として、公共土木13種（治山治水、農林水産、道路、港湾・空港、下水道・公園、災害復旧、土地造成、鉄道・軌道・自動車交通、電信・電話・郵政、電気・ガス、上水道・工業用水道、維持・補修、その他）、民間土木10種（えん堤・水力発電、鉄道、土地造成・埋立、埠頭・港湾、道路、送配電線路等、管工事、ゴルフ場建設、構内環境整備、その他の土木）を想定した。

(3) 近未来のセメント需要量の推計方法

建築物、土木構造物の新規建設に必要な資材消費原単位⁵⁾を用いて、セメント需要量を推計した。建築物については4種類の構造別、土木構造物については公共土木13種類、民間土木10種類の工事種別に、それぞれ異なる原単位を用いた。

表-1 パラメータとその基準ケースにおける設定

パラメータ		単位	基準ケースにおける設定
$A_{bf}(t)$	工場・倉庫用建築物のt年期首におけるストック量	m^2	過去：「固定資産の価格等に関する概要調査」による実績 ⁶⁾ に非課税分を補正。近未来：(3)式による推計。
$A_{bh}(t)$	住宅用建築物のt年期首におけるストック量	m^2	過去：「固定資産の価格等に関する概要調査」による実績 ⁶⁾ に非課税分を補正。近未来：(2)式による推計。
$A_{bo}(t)$	その他用建築物のt年期首におけるストック量	m^2	過去：「固定資産の価格等に関する概要調査」による実績 ⁶⁾ に非課税分を補正。近未来：(4)式による推計。
$a_{bh}(t)$	t年に新築される住宅用建築物の構造aの比率	—	過去：「建築統計年報」による実績 ⁷⁾ 。近未来：2007年実績を仮定。
$C_{bh}(t, a)$	構造aの住宅用建築物のt年における着工量	m^2	過去：「建築統計年報」による実績 ⁷⁾ 。近未来：(5)式による推計。
$D_{bh}(t)$	住宅用建築物のt年における解体量	m^2	過去・近未来：(6)(7)式による推計。
$E(t)$	t年における就業率	—	過去：「労働力調査年報」による実績 ⁸⁾ 。近未来：2005年実績を仮定。
$F_{bf}(t)$	t年における鉱工業指数あたり工場・倉庫用建築物のストック量	$m^2/—$	過去：「鉱工業指数年報」の鉱工業指数 ⁹⁾ と「固定資産の価格等に関する概要調査」の工場・倉庫延床面積 ⁶⁾ から求まる実績。近未来：2005年実績を仮定。
$F_{bh}(t)$	t年における住宅戸数あたり住宅用建築物のストック量	$m^2/戸$	過去：「住宅土地統計調査」の住宅戸数 ¹⁰⁾ と「固定資産の価格等に関する概要調査」の住宅延床面積 ⁶⁾ から求まる実績。近未来：1983年～2003年実績から外挿。
$F_{bo}(t)$	t年における第3次産業就業者数あたりその他用建築物のストック量	$m^2/人$	過去：「労働力調査年報」の第3次産業就業数 ⁸⁾ と「固定資産の価格等に関する概要調査」の住宅、工場・倉庫以外の延床面積 ⁶⁾ から求まる実績。近未来：2005年実績を仮定。
$H(t)$	t年における一般世帯数	世帯	過去：「国勢調査」による実績 ¹¹⁾ 。近未来：国立社会保障・人口問題研究所による推計 ¹²⁾ 。
$IIP(t)$	t年における鉱工業指数	—	過去：「鉱工業指数年報」による実績 ⁹⁾ 。近未来：2005年実績を仮定。
$N(t)$	t年における一般世帯あたり住宅戸数	戸/世帯	過去：「国勢調査」の一般世帯数 ¹¹⁾ と「住宅土地統計調査」の住宅戸数 ¹⁰⁾ から求まる実績値。近未来：2003年実績を仮定。
$P(t)$	t年における人口	人	過去：「国勢調査」による実績 ¹¹⁾ 。近未来：国立社会保障・人口問題研究所による推計 ¹³⁾ 。
$R_{bh}(t-\tau, a)$	構造aの住宅用建築物の新築からt- τ 年経過した時点での残存率	—	小松らによる推計 ¹⁴⁾¹⁵⁾ 。
$S_{bh}(t, \tau, a)$	τ 年に建築された構造aの住宅用建築物のt年期首におけるストック量	m^2	基準年（鉄骨鉄筋コンクリート造については1990年，その他の構造については1987年）：小松らが $R_{bh}(t-\tau, a)$ を推計する際に用いたデータを利用して推計 ¹⁶⁾¹⁷⁾ 。基準年以降：(7)(9)式による推計。
$T(t)$	t年における第3次産業就業割合	—	過去：「労働力調査年報」による実績 ⁸⁾ 。近未来：「日本21世紀ビジョン専門調査会報告書」を参考に仮定 ¹⁸⁾ 。

(4) 非再生可能資源使用量の削減対策

本稿では、建築物の長寿命化（2030年にかけて建築物の平均寿命を徐々に1.2倍まで延長）と建築物の木造化（鉄筋コンクリート造および鉄骨造の2階建以下の新築を2030年にかけて徐々に全て木造に変更）を想定した。建築物の長寿命化は、(1)式の「新規製品量/活動量」を小さくするための対策であり、(7)式のパラメータ

$R_{bh}(t-\tau, a)$ を変更するものである。また、木造化は(1)式の「非再生可能資源使用量/原燃料使用量」を小さくするための対策であり、(5)式のパラメータ $a_{bh}(t)$ を変更するものである。

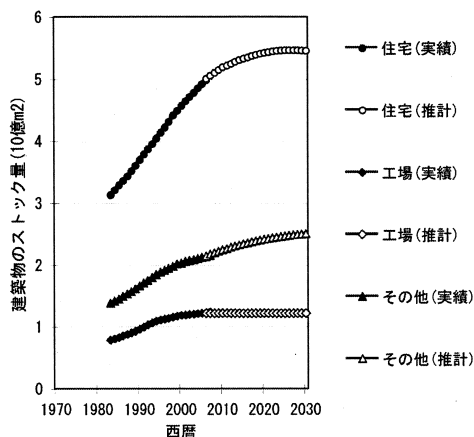


図-1 建築物のストック量の実績と推計結果

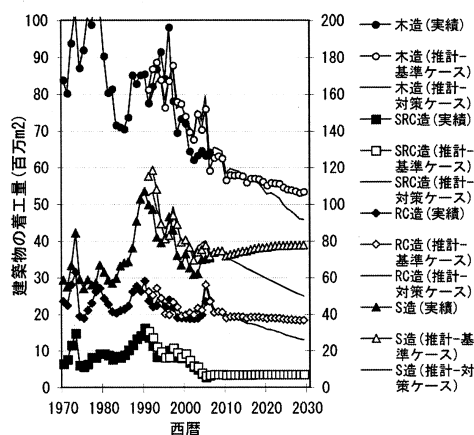


図-2 建築物の着工量の実績と推計結果（木造は左軸，SRC造，RC造，S造は右軸）

3. 結果と考察

(1) 近未来の活動量の推計結果

一般世帯数の減少（人口の減少）によって建築物用途の約70%を占める住宅の戸数はある時期から減少に転じるものの、住宅一戸あたりの延床面積が増加傾向にあることから、図-1に示すように2030年頃までは住宅のストック量は増加するものと推計された。また、工場・倉庫については鉱工業指数を一定と仮定しているため一定、その他の建築物については、第3次産業就業者数の増加により建築物ストック量も増加するとの推計結果となった。

(2) 近未来の新規製品量の推計結果

建築物については、図-2に示すように、基準ケースにおいて、鉄骨造（S造）が微増傾向、鉄骨鉄筋コンクリート造（SRC造）、鉄筋コンクリート造（RC造）が横ばい傾向、木造が微減傾向となり、建築物全体としての着工量はほぼ現在の水準を維持するものと推計された。長寿命化と木造化を導入する対策ケースではいずれの構造でも減少傾向となった。木造化においては、S造から木造への代替が主に起こるため、長寿命化の効果と合わせてS造で大きな減少傾向を示した。

土木構造物については、図-3に示すように、その投資額が年率2%で上昇するケースと2%で減少するケースを想定している。2つのケースで2030年頃の投資額が大きく異なるものになることが分かる。

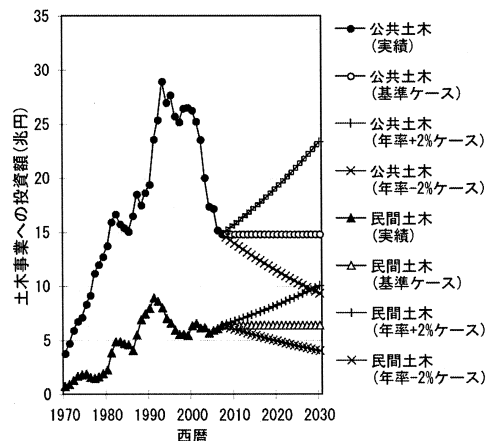


図-3 土木構造物への投資額の実績と設定

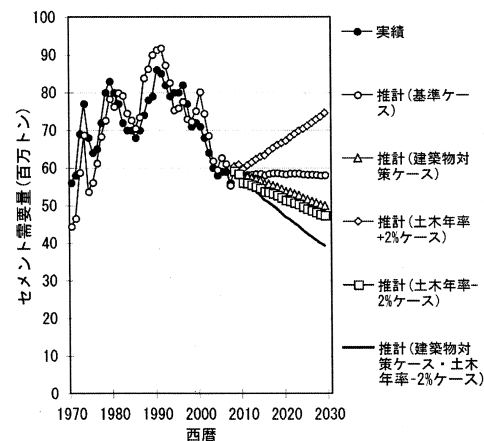


図-4 セメント需要量の実績（内需）と推計結果

(3) 近未来のセメント需要量の推計結果

2030年頃のセメント需要量（内需）は、図-4に示すよ

うに、3900万トンから7400万トンと推計された。建築物の寿命や着工建築物の非木造比が今後も変わらず、土木構造物への投資額が2007年レベルで維持される基準ケースでも、2030年において2000年比18%程度の需要減少が推計されるが、建築物の寿命が今後2030年までに徐々に1.2倍になり、木造の比率が高まる建築物対策ケース、土木構造物の投資額が年率2%で減少する土木年率-2%ケースでは、それぞれ30%、33%程度の需要減少が推計される。さらに、建築物対策ケースと土木年率-2%ケースが合わさった場合には、45%程度の需要減少も想定されうる結果となった。

(4) セメント産業における廃棄物・副産物利用の検討

上記のセメント需要の推計結果とセメント産業における廃棄物・副産物利用の実態をもとに、近未来のセメント産業における廃棄物・副産物利用の可能性について検討した。

2007年度のセメント産業における廃棄物・副産物利用は約3000万トンであるが、仮に今後のセメント需要のもとでこの利用量を維持するとした場合、セメント1トンあたりの廃棄物・副産物の利用量がいくらである必要があるかを見たものが図-5である。2007年度の廃棄物・副産物の利用量（原単位）は436kg/tセメント（18社、32工場平均）であるが¹⁹⁾、今後セメント需要が減少する土木年率-2%ケースや建築物対策ケース・土木年率-2%ケースでは、それぞれ約550kg/tセメント、約640kg/tセメントまで廃棄物・副産物利用を進める必要が生じる。前者は、現在のトップランナー企業が受け入れている約530kg/tセメントを少し上回る量であるが、後者はそれをさらに大きく上回る量である。

図-5にあるように、これまで高炉スラグや石炭灰の利用量が大きな比率を占めてきているが、これらの利用量は高炉セメントやフライアッシュセメントの今後の生産量に影響を受けることになる。また、石炭灰や汚泥・スラッジはセメントの原料である粘土の代替物として利用されているが、この利用量は限界に近づいているとされる。今後、さらに廃棄物・副産物の利用量を増加させるためには、石灰石代替となる廃棄物・副産物の受け入れを促進することが必要になるが、現状では酸化カルシウムを多く含む廃棄物・副産物は限定的である。

このようなことから、現状の廃棄物・副産物の利用量（原単位）が大幅に上昇することを期待するのは難しい。仮に今後も現状の利用量（原単位）が維持されるとすると、土木年率-2%ケースや建築物対策ケース・土木年率-2%ケースでは、2030年の廃棄物・副産物の受入量がそれぞれ2500万トン、2000万トン程度となる。このような状況を想定した廃棄物管理の検討も今後行っていく必要がある。

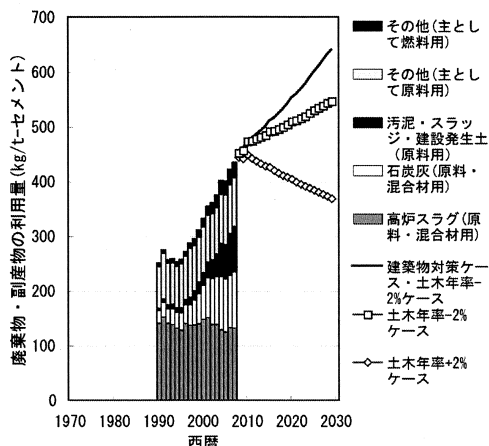


図-5 廃棄物・副産物の利用量（原単位）の実績と2007年度の利用総量を維持するために必要な近未来の利用量（原単位）の推計結果

4. おわりに

本稿では、近未来（2030年頃まで）における建築物および土木構造物の新規需要に関するシナリオ、非再生可能資源使用量を減らす対策の導入に関するシナリオをもとにセメント需要の推計を行い、セメント産業における廃棄物・副産物利用の今後の可能性について基礎的検討を行った。その結果、以下の結論を得た。

- (1) 建築物の寿命や着工建築物の非木造比が今後も変わらず、土木構造物への投資額が2007年のレベルで維持されとしても、2030年において2000年比18%程度の需要減少が推計された。また、建築物の長寿命化や木造化、土木構造物への投資額の減少を仮定すると、最大で45%程度の需要減少が推計された。
- (2) 2007年度のセメント産業における廃棄物・副産物の利用量約3000万トン、今後減少が推計されるセメント需要のもとで維持するとした場合には、セメント1トンあたりの廃棄物・副産物の利用量を最大で約640kg/tセメントまで増加させる必要がある。この値はトップランナー企業が受け入れている約530kg/tセメントを大きく上回る量である。

参考文献

- 1) 藤井実，稲葉陸太，南斉規介，田崎智宏，橋本征二，大迫政浩，森口祐一：循環型社会形成のための要因分解と脱物質化の諸対策の検討，第10回廃棄物学会研究発表会講演論文集，pp.71-73，2008

- 2) 国土交通省：建設副産物排出量の将来予測，
<http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/region/recycle/pdf/fukusanbutsu/genjo/yosoku.pdf>
- 3) 厚生労働省：水道ビジョン（案） 参考資料 1，
<http://www.mhlw.go.jp/topics/bukyoku/kenkou/suido/vision2/vision2.html>
- 4) (財)建設経済研究所：建設投資等の中長期予測—2010年度及び2020年度の見通し—，
http://www.rice.or.jp/other_report/pdf/etc/tyuutyouki050913.pdf
- 5) 国土交通省：建設資材・労働力需要実態調査
- 6) 自治省：固定資産の価格等に関する概要調査
- 7) 国土交通省：建築統計年報
- 8) 総務省：労働力調査年報
- 9) 経済産業省：鉱工業指数年報
- 10) 総務省：住宅土地統計調査
- 11) 総務省：国勢調査
- 12) 国立社会保障・人口問題研究所：日本の世帯数の将来推計（全国推計）（2008年3月推計），
<http://www.ipss.go.jp/pp-ajsetai/j/HPRJ2008/t-page.asp>
- 13) 国立社会保障・人口問題研究所：日本の将来推計人口（平成18年12月推計），
<http://www.ipss.go.jp/pp-newest/j/newest03/newest03.asp>
- 14) 小松幸夫，加藤裕久，吉田卓郎，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—1987年固定資産台帳に基づく推計，日本建築学会計画系論文報告集，第439号，pp.101-110，1992
- 15) 小松幸夫，加藤裕久，三橋博巳：東京4区における事務所建築のストック調査と寿命推計，日本建築学会計画系論文報告集，第465号，pp.123-132，1994
- 16) 橋本征二，寺島泰：建築物解体廃棄物の発生予測，廃棄物学会論文誌，11(5)，pp.271-279，2000.9
- 17) Hashimoto, S., H. Tanikawa, and Y. Moriguchi: Where will the large amounts of materials accumulated within the economy go? - A material flow analysis of construction minerals, Waste Management, Vol.27, No.12, pp.1725-1738, 2007
- 18) 日本21世紀ビジョンに関する専門調査会：新しい躍動の時代—深まるつながり・ひろがる機会—，2005
- 19) (社)セメント協会：セメントハンドブック，(社)セメント協会

DEMAND FOR CEMENT IN THE NEAR FUTURE AND USE OF WASTES AND BYPRODUCTS IN CEMENT INDUSTRY

Seiji HASHIMOTO, Kosuke KAWAI, Minoru FUJII, Chihiro KAYO,
Rokuta INABA, Keisuke NANSAI, Tomohiro TASAKI, and Masahiro OSAKO

We estimated demand for cement in the near future (until 2030) and discussed potential use of wastes and byproducts in cement industry. (1) The demand for cement was estimated to be reduced by about 18% below 2000 level in 2030 even if no changes in future building lifetimes, non-wooden building ratio to total new building, and infrastructure investments are assumed. The largest demand reduction by about 45% was estimated if extension of building lifetime, promotion of wooden building, and reduction of infrastructure investments were assumed. (2) Wastes and byproducts use in cement industry need to be increased to 640kg/t-cement if current 30 million tons of wastes and byproducts use is targeted under the estimated reduction of cement demand in the future. This value is much more than 530kg/t-cement, which is the highest achievement in Japanese cement companies.