

# リサイクル政策の経済評価について 一般廃棄物セメント資源化の費用便益分析

(改訂版, 2007年12月5日)

望月俊哉<sup>1</sup>・細江宣裕<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 修士(政策研究) 神奈川県環境農政部大気水質課 (〒231-8688 神奈川県横浜市中区日本大通1)

<sup>2</sup> 博士(経済学) 政策研究大学院大学准教授 (〒106-8677 東京都港区六本木7-22-1. nhosoe@grips.ac.jp)

現在、廃棄物処分場の逼迫が課題となっている。対策として、3県で廃棄物焼却灰をセメントの材料とする試みが行われている。この手法によるリサイクルの効果について、環境価値も考慮に入れた費用便益分析によって分析するのが本稿の目的である。分析の結果、先進事例のうち2例では純便益が生じていること、また、神奈川県で同様のリサイクル事業を実施した場合、純便益が生じる可能性が高いことがわかった。

**Key Words:** cost benefit analysis, incineration ash, cement, recycling

## 1. はじめに

### (1) 最終処分場の逼迫とリサイクルの必要性

平成13年度の日本の廃棄物発生量は5,210万tに達し、このまま同量の発生量が続くとすると、最終処分場の残余年数は一般廃棄物で12.5年、産業廃棄物で4.3年と予想されている。この処分場の逼迫問題に対して、廃棄物の発生を抑制し、リサイクルを推進する政策的な取り組みが必要とされている。瓶・缶・PETボトル等に関してはリサイクルが定着してきた一方で、一般廃棄物のリサイクル・処理については、焼却後に埋め立てられる焼却残渣量が全国で565万tと大量(最終処分場への処分量の57%)であることから、廃棄物処理において残された課題となっている。

現在、一般廃棄物の焼却残渣は、最終処分場における埋立か、溶融によるリサイクルのいずれかの方法により処理が行われている。埋立については上述のとおり残余年数の逼

迫という課題がある。特に首都圏地域では、処分場適地が確保できず自区域内に処分場を所有しない団体(市町村、清掃組合等)が多いため、遠方の県外埋立業者に処分を委託することもしばしばである。こうした処理による財政負担は大きい。また、区域外からの一般廃棄物の搬入に課税するといった事例も見られるように、埋立処分先の自治体も搬入に慎重な姿勢を示しつつあり、長期的に安定した処理方法を確立しなければならない、という課題もある。

溶融処理とは、灰溶融炉で焼却残渣を完全燃焼させて無機物を溶融して冷却し、スラグ(路盤材等に利用されるガラス状の固体)とする処理である。溶融は、各団体が焼却施設に溶融炉を設置したり、民間の溶融業者に処理を委託したりする方法で行われている。埋立処理からリサイクルへ転換するために、環境省は焼却炉更新の際に溶融炉の設置を求めている。しかし、溶融炉の建設・運

表-1 一般廃棄物焼却残渣のセメント資源化事業の概要

地域	山口県	埼玉県	千葉県	東京都多摩地域
事業開始年	平成14年度	平成13年度	平成13年度	平成18年度
場所	山口県周南市	埼玉県熊谷市	千葉県市原市	東京都西多摩郡 日の出町
運営主体	山口エコテック(株)	太平洋セメント(株)	市原エコセメント(株)	東京たまエコセメント(株)
製品	セメント原料	セメント原料	エコセメント	エコセメント
処理能力	50,000t/年	63,000t/年	62,000t/年	-
全量/一部	全量セメント化	一部セメント化 (県内発生量の26%)	一部セメント化 (県内発生量の25%)	全量セメント化
対象地域	山口県全域 (下関・宇部市以外)	埼玉県内 21市町・組合	千葉県内 25市町・組合	東京都多摩地域 26市町
委託単価	主灰: 22,000円/t 飛灰: 32,000円/t	主灰: 22,500円/t 飛灰: 60,000円/t 流動床灰: 50,000円/t	主灰: 35,000円/t 飛灰: 58,000円/t 流動床灰: 42,000円/t	-
備考	エコタウン補助金: 13億5200万円		エコタウン補助金: 52億円	計画

営、溶融処理の民間委託、いずれの場合でも、溶融化に伴う財政負担は非常に大きい。また、スラグは販路が十分ではなく、約半分しかリサイクルされていない。

その一方で、埋立や溶融以外の方法として、セメント会社を中心とした民間事業者により、焼却残渣をセメント製造の原料としてリサイクルする取り組みが全国4箇所で行われている(表-1)。既に受け入れが始まっている3箇所(山口県、埼玉県、千葉県)の事例では、セメント資源化事業者が、一般廃棄物処理を行う各団体から、処理委託料とともに焼却残渣を引取り加工して、セメント原料(或いはセメント)として出荷している。資源化された焼却残渣全量が有効利用されるので埋立が生じないという特徴があり、優れた処理方法として有望視されている。

## (2) 費用便益分析とその環境価値への拡張

こうしたリサイクルを前提とした処理方法は、財政負担の軽減に貢献する以外に、環境にもやさしいという二重の配当をもたらす。ただ

し、国・地方ともに厳しい財政運営を迫られている以上、リサイクルに要する費用を無視することはできない。また、リサイクル活動自体が発生させる環境負荷も考えられるため、環境政策のための社会的費用と便益の大小について吟味なしにリサイクルが無条件に許容されるものではない。最終的に、環境価値を含めた社会的費用と便益を定量化したうえで、利用可能な選択肢を比較衡量する必要がある。

本研究では、セメント資源化の社会的価値を検証することを目的として、現在セメント資源化を行っている3つの事例を対象に事後評価を行う。最後に、同様の手法を用いて、最終処分場が逼迫している神奈川県において、同様にセメント資源化を行った場合の事前評価を行う。ここでは、廃棄物処理・リサイクルに関するあらゆる政策費用と政策効果を幅広く網羅し、長期的な観点も交え、経済価値で評価し比較することが可能な費用便益分析の手法を用いた。分析にあたっては、資源化工場の環境負荷など、リサイクルの過程から発

生する外部性も考慮に入れて、環境面での影響も経済価値に換算し費用便益項目として加えて算出した総合的な社会的純便益を計測する。なお、先行研究の中では、このような要素を満たす総合的な費用便益分析モデルが存在しなかったため、新たな政策評価モデルを作成する必要がある。この分析手法の検討は第2章で行っている。

### (3) 分析結果の概略

このモデルを用いて分析を行った結果、セメント資源化を行う3箇所の先進事例のうちセメント生産地域での2箇所においては、社会的純便益が発生していることがわかった。この2つの事例では、セメント資源化による社会的費用が、埋立処理が回避できることによる便益を上回っているものの、灰溶融処理が回避可能となる便益と、二酸化炭素排出削減などの環境便益が発生することから、最終的なリサイクルの効果としては、社会的純便益が発生している。

セメント生産地域ではない神奈川県において安価なセメント資源化技術を採用して同様のリサイクル事業を行った場合、処理事業への参加自治体・団体の組合せを最適化することにより、社会的純便益が生じる可能性が高いことが明らかになった。

## 2. 分析の手法

廃棄物のリサイクルは、新たなリサイクル費用が発生する一方で、埋立等の最終処分費用が縮減できるという経済的效果があり、また、環境負荷のような外部性も増減させる。そのため、正しいリサイクルの価値を測るには、内部費用・便益を網羅しつつ、外部費用・便益まで包括的に検討する必要がある。そこで、本研究ではリサイクルが社会的に望ましい

ものか総合的に判断するための社会的費用・便益モデルを作成することとした。

表-2 セメント資源化における費用便益項目の検討

植田モデルの費用便益項目	本稿における費用便益項目
<b>再生資源を用いた場合の社会的費用</b>	
リサイクルのための収集費用	(新たな収集が発生しない)
選別・加工費・リサイクル工場までの輸送費	セメント資源化工場への処理委託・輸送費
再生資源の加工に伴う環境負荷	リサイクルと輸送に伴う環境負荷
<b>廃棄物処理・処分の社会的費用減少による便益</b>	
処理・処分のための収集の減少	(新たな収集が発生しない)
廃棄物処理の減少	灰溶融処理が不要となる便益
処理に伴う環境負荷の減少	輸送・埋立・灰溶融処理に伴う環境負荷の減少
最終処分が減少	埋立処理等が不要となる便益
埋立処分地による自然環境破壊の回避	(定量的分析が困難なため省略)
<b>天然資源の使用に伴う社会的費用減少の便益</b>	
天然資源の節減	(僅少なため省略)
天然資源加工による環境負荷減少	石灰石利用の減少による環境負荷減少
天然資源採掘による環境負荷減少	(定量的分析が困難なため省略)

### (1) リサイクル政策評価モデル

#### a) 費用便益分析のフレーム

費用便益分析は、公共投資・課税・補助金・規制などの政策が、社会に及ぼす影響を貨幣価値で計測し、政策効果(便益)が政策費用を上回るか否かによって、政策の妥当性を判断する分析手法である。リサイクルの社会的費用便益分析を取り扱った先行研究は、後述するように幾つか存在するが、植田(1992)<sup>1)</sup>は次のモデルを提案している。

リサイクルによる純便益

= 廃棄物処理・処分の社会的費用回避

+ 天然資源を用いた場合の社会的費用回避

- 再生資源を用いた場合の社会的費用

植田モデルの詳細は表-2の「植田モデルの費用便益項目」の列のとおりまとめられる。ここでは、リサイクルによる廃棄物の流れの変化に伴う費用と便益の発生が網羅されており、本研究ではこのモデルを基礎に分析を行うこととした。

#### b) 費用便益項目の抽出

一般廃棄物の焼却残渣の流れは、セメント資源化の有無によって大きく異なる。焼却残渣はセメント資源化されない場合には、(1)市町村や清掃組合など一般廃棄物処理を行う各団体が所有する自己処分場に埋め立てられるか、(2)県外の埋立事業者に埋立を委託されるか、(3)民間の再資源化事業者(熔融処理が多い)に処理を委託されるか、(4)自団体が所有する灰熔融炉で熔融処理されるか、のいずれかの処理がなされる場所であった。

セメント資源化を行うことによってこうした埋立や灰熔融などの処理が回避され、その社会的費用が減少する。また、リサイクル産出物のセメント原料が石灰石を代替して、その分だけ天然資源の使用に伴う社会的費用が減少する。その一方で、各地からセメント資源化工場まで輸送され、加工を経て、セメント原料として製造ラインへ投入されている。その過程で、処理委託費や輸送費などの新たな社会的費用が発生している。

植田モデルを参考に、セメント資源化の費用便益項目を設定した(表-2)。ここでは、植田モデルの費用便益項目と本研究におけるセメント資源化の費用便益項目とを対照させている。費用は焼却残渣をセメント資源化することに伴う社会的費用とし、便益は焼却残渣をセメント資源化しなかった場合に発生する社会的費用の削減という便益 (1)現行の廃棄物処理に伴って発生していた社会的費用の削減と、(2)セメント製造に天然資源を用いた場合の社会的費用の削減という2つの便

益の合計 として。

なお、セメント資源化による新たな収集は発生しないため、その費用は考慮する必要がない。埋立処分地や天然資源採掘等による自然環境破壊の損失は、定量的な分析が困難であるため、対象外とした。また、セメント資源化により節減された天然資源の費用は、定量的な分析が困難であり、かつ僅少と考えられるため捨象した。

#### c) リサイクル政策評価モデルの特徴

本研究で作成したリサイクル政策評価モデルは次の5つの特徴を有する。第1点は、一般廃棄物焼却残渣の廃棄物処理・セメント資源化に関する全ての行政費用と便益のデータを実証的に分析し定量化することにより、セメント資源化が社会的純便益をもたらしているか否かを判断できることである。第2点は、長期的な廃棄物処理政策(焼却残渣の熔融化等)に係る行政部門の施設整備費用、運営費用も考慮に入れた検討ができることである。第3点は、廃棄物の輸送、加工等、リサイクルに伴う廃棄物の流れの変化が環境に及ぼす影響を、価値項目として導入し、総合的な社会的便益を判断ができることである。第4点は、仮定や原単位が、推計結果を大きく左右する可能性がある項目(最終処分場の使用価値、環境価値に関する外部費用単価、行政部門の施設整備費用、運営費用など)については、感度分析ができることである。第5点は、処理委託費や輸送費、輸送距離等について一定の仮定を置いたうえで、各団体のセメント資源化量の組み合わせなどについて、様々なパターンでシミュレーションすることにより、リサイクル化の事前評価を実施し、異なった条件でのリサイクル実施の比較検討が可能となっていることである。

第3章で示すセメント資源化事業の分析結果を先取りして言えば、第2点及び第3点の

項目を考慮するか否かによって、社会的純便益が正となったり、負となったりする事例があり、総合的に適正な判断を下すうえで重要な項目であることが分析の結果わかった。

#### d) 先行研究について

本研究で使用するモデルの作成にあたり、植田(1992)<sup>1)</sup>におけるモデルを基準とし、セメント資源化事業に敷衍し、費用便益項目を設定した。本研究と同様にリサイクル事業の費用便益分析を対象とした先行研究としては、セメント資源化等のリサイクル事業を対象とした経済産業省(2003)<sup>2)</sup>、日本政策投資銀行(2003)<sup>3)</sup>、厚生省(2000)<sup>4)</sup>による分析が、またリサイクル事業の費用便益分析に環境価値の視点を導入しているものとして、安田(2001)<sup>5)</sup>による分析があげられる。セメント資源化の便益項目として、処分場建設費や灰溶融にかかる費用などの広い範囲の行政費用を計上している点、埋立処理から灰溶融処理への転換といったような処理方法の時系列な変化を便益算出に取り入れている点、リサイクルに伴うCO<sub>2</sub>の増減といった環境価値を貨幣価値に換算し内部化を試みている点などが、こうした先行研究の特徴としてあげられる。

しかしながら、厚生省(2000)<sup>4)</sup>や安田(2001)<sup>5)</sup>では輸送の過程から発生する環境負荷が考慮されていないなど、費用便益項目の設定に過不足がある。また、日本政策投資銀行(2003)<sup>3)</sup>では、セメント資源化しない場合、平成19年から分析対象の全市町村が焼却残渣の全量を溶融処理するという極端なシナリオを設定しており、このシナリオのために便益が過大に算出されるなど課題も残っている。本研究において作成したモデルでは、こうした過誤・欠落を補いかつ、セメント資源化特有の費用便益項目を考慮することで、新たな分析手法を提示し、適正な社会的純便益を算出することを意図した。

#### (2) 行政費用・行政便益

以下では、セメント資源化の費用便益分析について、行政費用、行政便益という行政に影響を及ぼす項目と、環境費用、環境便益という環境負荷に関する項目に分けて、その内容と算出方法について説明する。そこで用いた行政費用・便益に関する実績値(焼却残渣量や各種廃棄物処理費用など)は、セメント資源化実施団体等への筆者調査による。

ところで、一般に、行政費用・便益以外にもリサイクルを行う(民間)事業者の利潤も社会的便益として考慮する必要があるが、現実には民間事業者の収支に関する情報開示はない。そこで本稿では、この利潤はゼロないし、エコタウン補助金(後述)の受け取りと等しいだけの赤字が発生しているものと想定する。

#### a) 行政費用:セメント資源化工場への処理委託費、輸送費用等

##### ・ 処理委託費

各地のセメント資源化の事例では、各団体が民間事業者(セメント会社及び関連会社)に資源化を委託しており、処理委託費は、焼却残渣の種類ごとに単価が決められている。

焼却残渣は主灰、飛灰、流動床灰の3種類に分けられる。主灰とは、ストーカ炉(ごみを火格子で炉内を移動させながら燃焼させるタイプの炉:最も普及しているタイプ)で燃焼後に残る燃え殻であり、飛灰とは排気から集塵機等により捕集される煤塵である。発生量の比は概ね、主灰3に対して飛灰1の割合である。流動床灰とは、流動床炉(廃棄物を砂とともに炉内で浮遊させて燃焼を行うタイプの炉)から排出される焼却残渣である。

##### ・ 補助金

山口県と千葉県の実例では、事業開始にあたって国のエコタウン補助金が事業者に対して支出されたので、実績値を計上した。

- ・ 施設整備費

セメント資源化の開始にあたって、各団体の焼却施設の中で、灰出し設備を設置している場合があり、各団体の実績値を計上した。

- ・ 輸送費

各団体からセメント資源化工場へ、主灰は10tダンプ車、飛灰はジェットパック車で輸送される。その際に3,000-6,000円/t程度の輸送費が生じており、実績値を計上した。

- b) 行政便益:埋立処理等と灰溶融処理が不要となる便益

セメント資源化が行われなかった場合、事業期間を通じて、自己処分場や県外委託での埋立や他の民間事業者への再資源化等、他の手段による処理が行われるところであった。セメント資源化によって不要となるこうした処理費用を推定し、行政便益とした。行政便益は、資源化されない場合の他の処理方法による処理量を想定し、処理単価との積で求める等の手法によった。処理単価は、実績値または筆者のアンケート調査による。

【埋立処理等が不要となる便益】

埋立処理等が不要となる便益は、自己処分場の使用回避便益、県外埋立回避便益、埋立経費節減便益、他の資源化回避便益の各項目別に、セメント資源化されない場合に想定された処理量に単価を乗じて求めている。処理量は、現状の処理量をもとに、セメント資源化分を按分して計算する。単価に関しては以下で個別に議論する。

- ・ 自己処分場の使用回避便益

自己処分場を持つ団体が、資源化によって処分場の使用を免れることにより発生する便益である。ここで、単価となる自己処分場使用価値(処分場の帰属価値)の設定が費用便益分析の結果を左右する重要な問題となる。大きく2通りの考え方があり、ひとつは現有処分場の建設費用を用いてトン当たり処分費用

を計算する方法である。いまひとつは、現時点で新規に処分先を確保するために必要な費用から計算する方法である。どちらが正しいのかは一概には言えないが、一般的に前者より後者のほうが高価になる傾向にある。これは、実際に各々の施設に支払った行政コストを表しているとはいえ、前者が数年から数十年前の建設費用をストックの再評価なしに計算に用いているからである。ストックの再評価なしに過去の建設費用を用いることに問題があるので、ここでは現時点で新規に埋立先を確保するのに必要な単価を用いる。

なお、社会的便益を算出するうえでの代替手法の単価は、本来は限界費用であるべきである。しかし、処分場の建設・運営は自治体が直営で行っているため、市場による価格づけが行われない。また、処分場建設費に占める固定費用・変動費用も不明確であるため、限界費用の把握は困難である。このため、自己処分場の使用価値を求める場合は、平均費用に該当する建設単価等によって代替した。具体的には、山口県の事例では新規処分場の近年の建設単価(31,000円/t)を、埼玉県・千葉県のように処分場確保が困難な地域では各県の県外埋立委託平均単価(埼玉:35,484円/t、千葉:32,157円/t)を使用した。なお埼玉県では、県営処分場(建設単価18,000円/t)に埋立委託している焼却残渣があるため、県営処分場への埋立委託が想定される処分量に関してはこの単価を用いた。

- ・ 県外埋立回避便益

現在、埼玉県、千葉県、神奈川県といった首都圏では、自地域内に焼却残渣処分場を確保できず、発生量の22%(埼玉県)から41%(千葉県)を県外埋立業者への委託により処理している。この委託単価は、各団体の実績単価を用いており、概ね30,000-40,000円/tである。

- ・ 埋立経費節減便益

埋立を行う際には輸送費用、焼却残渣の無害化処理(重金属類の固定等)の経費が必要となる場合もある。この処理単価は、実績値を用いた。

- ・ 他の資源化回避便益

事例とした3県のうち2県では、セメント資源化により、民間溶融事業者への資源化委託料を減少させることができたと考えられる。この処理単価は、実績値を用いた。

【灰溶融処理が不要となる便益】

現在、焼却炉新設・更新の際には、厚生省通達により溶融固化施設を建設し、焼却残渣を溶融スラグへリサイクルする必要がある。ただし、これには例外規定があり、焼却残渣の100%をセメント資源化している団体は、溶融固化施設の設置が不要となるため、灰溶融炉の建設費・運営費が不要となる便益が発生する。便益が発生する時点は、焼却炉の更新時期(建設後耐用年数 25 年が経過する時点)以降であると想定した。

- ・ 灰溶融炉建設回避便益

灰溶融炉建設回避により節減された建設費用を灰溶融炉建設回避便益とし、焼却炉更新予定年度に計上した。灰溶融炉は、通常焼却炉の付帯設備であるために、その単独の建設費用は明らかでない。そのため、焼却炉の規模から焼却炉全体の建設費用を推定し、その一定割合を灰溶融炉の建設費とした。ここでは、広島市中工場の事例(灰溶融炉建設費 46 億円/焼却炉建設費 360 億円 = 12.7%)を用いた。

なお、焼却炉容量(t)(X)と焼却炉建設費(千円)(Y)の関係は、廃棄物処理編集委員会(2004)<sup>6)</sup>の平成 13-15 年度のストーカ炉の取引価格(千円)と焼却炉の容量(t)(サンプル数 24)のデータから推定した。

$$\ln Y = 12.297 + 0.64944 \ln X$$

(57.162) \*\*      (13.577) \*\*

$$R^2 = 0.8934 \quad ( ) \text{内は} t \text{値を示す}$$

\*\* は、1% 有意を示す

- ・ 灰溶融炉運営回避便益

灰溶融炉を建設せずに済めば、同時にその運営費が必要なくなるので、この便益を灰溶融炉運営回避便益とし、当該団体の年間発生焼却残渣量(t)と灰溶融処理単価の積を建設予定年度以降に計上した。なお、処理単価(43,040 円/t)はアンケート調査における埼玉県 A 市の実績値である。

また、現在灰溶融炉を保有してそれを運転して処理を行っている団体でも、灰溶融処理をとりやめ、セメント資源化に切り替えることによって、灰溶融炉の運営費を節減できる。この節減分もセメント資源化量に応じて考慮した。

- ・ その他

灰溶融処理により発生したスラグの有効利用率は、エコスラグ利用普及研究会のホームページ<sup>7)</sup>にあるデータを参考に有効利用率 50%とした(ただし、その売却収入は僅少であるため捨象した)。残りの 50%が、セメント資源化されず埋立処理されたと考えられる。セメント資源化により、この埋立が回避されたので、ここでも最終処分場の使用回避便益、県外埋立回避便益、埋立費用節減便益(ただし、スラグの輸送費相当分のみ)が発生している。これについても、【埋立処理等が不要となる便益】にて説明した手法で算出し、自己処分場の使用回避便益等の項目に計上した。

(3) 環境費用・環境便益

セメント資源化によって生じる外部効果として、(1)リサイクル及びそのための輸送に伴う環境費用、(2)埋立・灰溶融等のセメント資源化

以外の処理が減少し、またセメント生産に投入されるはずであった天然原料の採掘・輸送が減少したことに伴う環境負荷発生プロセスの減少による環境便益が考えられる。一般にこうした環境への負荷としては、地球温暖化・大気汚染・騒音等が考えられる。環境費用・便益は、市場で取引されない外部費用・外部効果であり、基本的には焼却残渣量や輸送量など環境影響負荷の増減量にCO<sub>2</sub>等の発生原単位(焼却残渣 1tを処理・輸送する際に発生するCO<sub>2</sub>等の量)を乗ずることによりCO<sub>2</sub>発生量を推定し、更にその排出に伴う環境への影響を考えた外部費用単価(CO<sub>2</sub>を1t削減するために必要な費用)を乗じて金銭評価する。多くの場合に問題となるのは、この外部費用単価である。測定方法や影響を受けると考えられる範囲について不確実さや不明確さが残る。そこで、本稿では先行研究に基づいて、その外部費用単価を算出可能なもの(CO<sub>2</sub>、PM10)について計上した。

表-3 加工等による環境費用、環境便益

環境負荷の発生過程	環境負荷	発生原単位 (CO <sub>2</sub> ・t/t)	原単位推定方法
費 セメント資源化工程から発生	CO <sub>2</sub>	山口: 0.139	設備容量等から筆者推定
		埼玉: 0.0842	佐野他(2002) <sup>8)</sup> の原単位
		千葉: 0.000	通常のセメント製造時と排出量が同じ
埋立後の焼却残渣から発生	メタン (CO <sub>2</sub> 換算)	0.3409	佐野他(2002) <sup>8)</sup> の原単位
便益 セメント製造の工程から発生	CO <sub>2</sub>	0.3059	
灰溶融処理から発生	CO <sub>2</sub>	山口: 2.145 埼玉・千葉: 1.773	単位あたりエネルギー消費量から筆者推定

・ 加工による環境負荷、埋立・石灰石投入減少・灰溶融処理の回避による環境便益

セメント資源化に伴う環境負荷増加による環境費用、環境負荷削減による環境便益は次式により求めた。CO<sub>2</sub>発生原単位は、表-3のとおりである。また、外部費用単価は先行研究(表-4)から、低位(219 円/t)、中位(7,020 円/t)、高位(53,212 円/t)と考えられるが、ここでは中位値による分析の結果のみを示す。

$$\text{焼却残渣量の増減量(t)} \times \text{CO}_2 \text{発生原単位(CO}_2 \cdot \text{t/t)} \times \text{外部費用単価(円/CO}_2 \cdot \text{t)}$$

表-4 CO<sub>2</sub>外部費用単価についての先行研究と推定値

分析者	外部費用 (円/CO <sub>2</sub> ・t)	分析手法	備考	出所
Nordhaus	219			
Maddison	243-252			
Peck & Teisberg	360-420	限界便益分析	産業革命前の2倍のCO <sub>2</sub> 濃度の際の損害額を基準に、CO <sub>2</sub> を1t削減することによって回避される損害額(*)	IPCC第3作業部会(1997) <sup>9)</sup> (**)
Fankhauser & Pearce	684			
Ayres & Walter	900-1,050			
劉・安田	2,000	限界費用調査	発電部門でのCO <sub>2</sub> 固定費用	劉・安田(1999) <sup>10)</sup>
岩倉他	2,037-2,624	仮想評価法	温暖化対策基金への支払意思額	岩倉他(2000) <sup>11)</sup>
Cline	228-4,620	限界便益分析	同上(*)	同上(**)
森田	7,020	限界費用調査	京都議定書目標を達成するための限界費用	森田(1999) <sup>12)</sup>
国連	14,000	AJプロジェクト平均値	国連気候変動枠組条約に基づく共同実施活動プロジェクト平均値	環境省(2002) <sup>13)</sup>
Hohmeyer & Gartner	53,212	損害費用法	自然災害による死亡等の損害を積算	兒山・岸本(2001) <sup>14)</sup>

・ セメント資源化への輸送負荷による環境費用、県外等への輸送減少による環境便益

セメント資源化に伴う輸送増加による環境費用、県外等への輸送減少による環境便益は表-5の項目について次式により求めた。



輸送量(t・km)の増減量×輸送量当たり CO<sub>2</sub>(または PM10)外部費用単価(円/t・km)

表-5 輸送量増減による環境費用と便益

項目	増減した環境負荷発生プロセス	外部費用単価(円/t・km)	
		CO <sub>2</sub>	PM
費用	各団体からセメント資源化工場への輸送の発生	高位 14.93	高位 19.98
	セメント資源化工場からセメント会社への輸送の発生(山口のみ)	中位 1.97	中位 14.10
	県外埋立業者への輸送減少	低位 0.06	低位 8.52
便益	他の再資源化業者への輸送減少		

輸送量は実績値を用い、輸送量当たり CO<sub>2</sub>(または PM10)外部費用単価は兎山・岸本(2001)<sup>14)</sup>によった。CO<sub>2</sub> 外部費用単価は3通り仮定できるが、本稿では中位値による分析結果のみを示す。

#### (4) 評価期間、割引率、評価基準

評価対象期間は、セメント製造設備の法定耐用年数である13年間とし、その間の費用便益の現在価値を計算した。(割引率は、国土交通省(2002)<sup>15)</sup>を参考に4%とした。)セメント資源化事業の評価を行う際には、現在価値の純便益(B - C)を考える一方、異なった事例間や、異なった条件でのシミュレーション結果の間の比較の際には、現在価値の費用便益比(B/C)を使用した。

### 3. 先進事例の事後評価と神奈川県における実施の事前評価

第2章で構築したモデルを用いて、一般廃棄物焼却残渣のセメント資源化が既に稼働している3つのプロジェクトについて事後評価を行った。また、同様の事業を神奈川県で行っ

た場合を想定して事前評価を行った。

#### (1) 先進事例の事後評価

計算の結果(図-1, 2, 3)、一般廃棄物焼却残渣のセメント資源化により、山口県・埼玉県の事例においては、社会的純便益が得られているが(山口県 33 億円、埼玉県 110 億円)千葉県においては、純便益はマイナス(千葉県 40 億円)となっていることがわかった。セメント資源化による社会的純便益の主要な原因がどこにあるのかを以下で検討する。

##### a) 処理委託費・輸送費等の負担

図-1, 2, 3を比較すると、千葉県の事例では、特に処理委託費・補助金・施設整備費の負担が大きい。これらの行政費用の現在価値単価は、山口県・埼玉県がt当たり単価28,000円台であるのに対して、千葉県では42,598円となっている。この理由としては、山口県・埼玉県では、焼却残渣を無害化(脱塩素)するための加工に特化し、セメント原料を製造しているのに対して、後者では無害化だけではなくセメント(エコセメント)を製造するためにエコセメント工場の初期投資額がかかっているからである。また、千葉県の場合、塩素除去を工程の最終段階に近い焼成工程で行うために、プラント全体の損傷が激しく修繕費用がかさむという処理技術上の問題もある。

##### b) 埋立処理等が不要となる便益

どの事業においても、埋立処理等が不要となる便益が、3種類の便益の中でも最も大きな比率を占めている。特に首都圏では、自己処分場使用価値が高いためにこの傾向が強い。このことは、リサイクルの直接的効果として、通常期待されるところである。しかし、それだけではセメント資源化に伴う行政費用(処理委託費、補助金、施設整備費、輸送費)に見合わない。

##### c) 灰溶融処理が不要となる便益

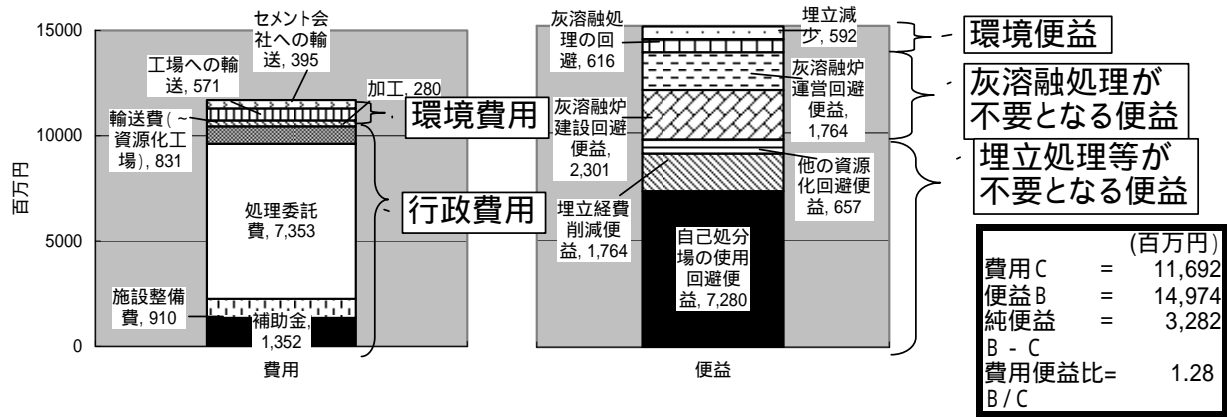


図-1 山口県:セメント原料化事業の費用便益

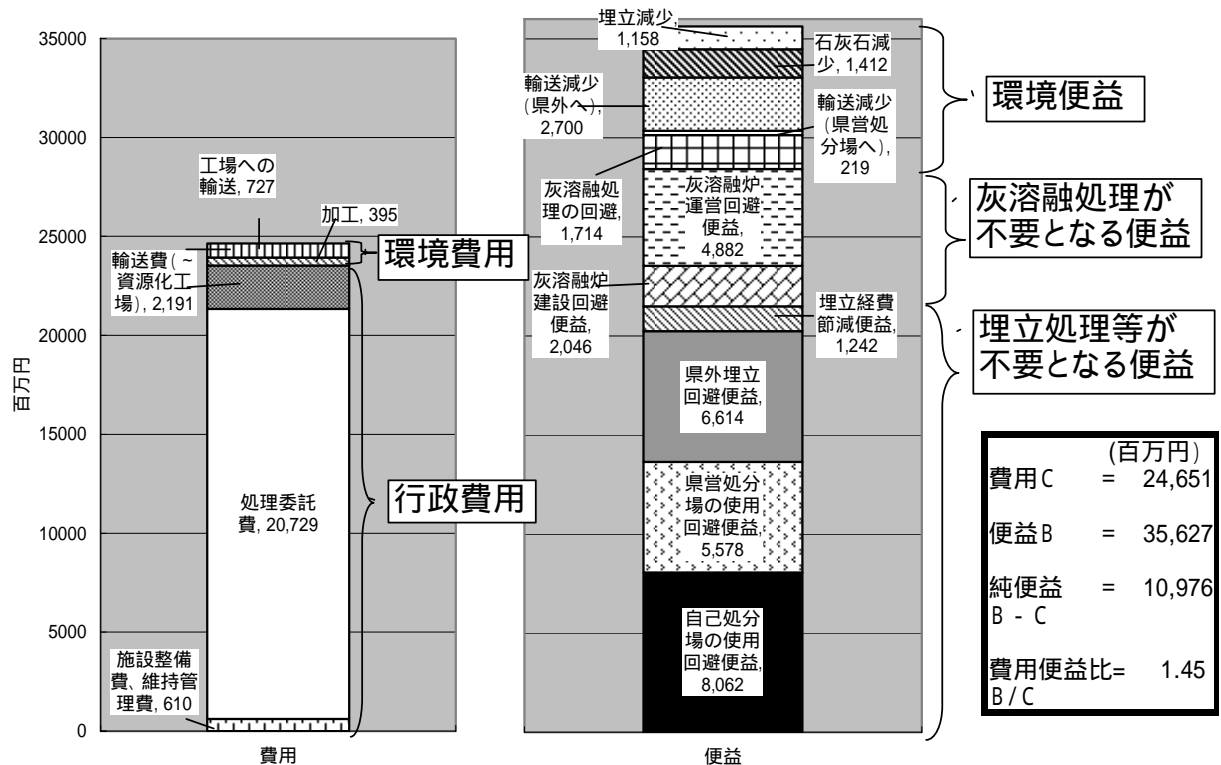


図-2 埼玉県:セメント原料化事業の費用便益

セメント資源化には、前項の埋立等が回避できる便益に加えて、灰溶融処理が不要となる便益がある。通常であれば焼却炉更新の際に灰溶融炉を設置することが求められているが、100%セメント資源化している団体は不要となる。このため、灰溶融炉の建設費・運営費が縮減され、さらに灰溶融炉から生じる環境負荷が回避される便益が発生する。また、現在、灰溶融炉を保有している団体も、焼却残渣をセメント資源化すれば、その分の運営費等が縮減される便益が発生する。

図-1、図-2 に示されるように、山口県及び埼玉県の事業では、埋立処理等が不要となる便益に、灰溶融処理費用(建設・運営費用)が不要となる便益が加わり、この時点で費用を上回る。灰溶融処理が不要となる便益が発生するのは、(1)処理量の100%をセメント資源化しており、かつ、評価対象期間中に焼却炉の更新時期を迎える団体と、(2)現在灰溶融処理を行っている団体に対象が限られる(両者の合計は全体の約半分)がその影響は大きく、便益全体の24-32%(灰溶融処理の

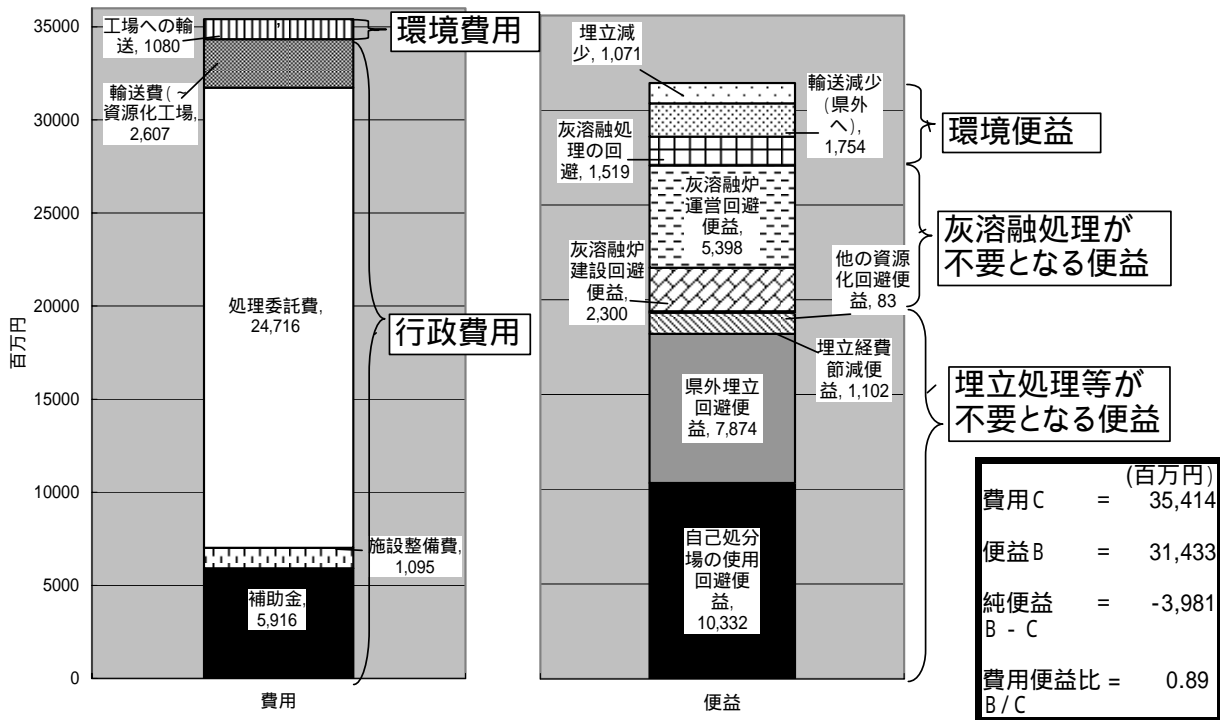


図-3 千葉県:エコセメント事業の費用便益

回避による環境便益を含む)を占めている。

d) 環境面での影響

セメント資源化は、県外埋立委託のための輸送などによる環境負荷を減少させる一方で、加工や輸送による新たな環境負荷を発生させる。環境政策としてのセメント資源化が、別な側面で環境へ大きな悪影響を及ぼしているとするれば本末転倒である。分析の結果は、埼玉県と千葉県では、事業による環境費用を環境便益が上回ることを示し、セメント資源化による社会的純便益を更に大きくすることがわかった(図-1, 2, 3)。

表-6 は各事例の費用便益を示した図-1, 2, 3のうち、環境費用、環境便益を抜き出して細目別に表示したものである。各ケースの環境面での費用便益のうち、輸送による費用便益が占める比率が最も大きい。各々の費用・便益項目の大小は、セメント資源化工場と各団体の焼却施設の距離、県外埋立への依存度などの地域固有の条件に依存する。埼玉と千葉のケースでは、環境面だけを抜き出した場合でも、純便益が正になる。山口のケースでは、工場やセメント会社への輸送に関連した環境費用がかさんだために、

環境面での純便益は負になっているものの、その大きさは目立つほどのものではない。

表-6 セメント資源化事業期間中の環境費用と環境便益

単位: 百万円			
山口県	環境費用	環境便益	
工場への輸送	571	埋立減少	592
年間処理量	セメント会社への輸送 395	石灰石減少	-
27,747t	加工 280	輸送減少(県外)	-
総処理量		輸送減少(県営処分場)	-
360,711t		灰溶融処理の回避	616
	<b>費用合計 1,246</b>	<b>便益合計 1,208</b>	
		<b>環境純便益 -38</b>	
埼玉県	環境費用	環境便益	
工場への輸送	727	埋立減少	1,158
年間処理量	セメント会社への輸送 -	石灰石減少	1,412
63,000t	加工 395	輸送減少(県外)	2,700
総処理量		輸送減少(県営処分場)	219
819,000t		灰溶融処理の回避	1,714
	<b>費用合計 1,122</b>	<b>便益合計 7,203</b>	
		<b>環境純便益 6,081</b>	
千葉県	環境費用	環境便益	
工場への輸送	1,080	埋立減少	1,071
年間処理量	セメント会社への輸送 -	石灰石減少	-
62,000t	加工 -	輸送減少(県外)	1,754
総処理量		輸送減少(県営処分場)	-
806,000t		灰溶融処理の回避	1,519
	<b>費用合計 1,080</b>	<b>便益合計 4,344</b>	
		<b>環境純便益 3,264</b>	

## (2) 神奈川県における焼却残渣セメント資源化の可能性とその事前評価

山口県・埼玉県はセメント製造工場が立地しており、既存のセメント工場におけるリサイクル製品(セメント原料)の使用を前提とした事業が可能である。一方、千葉県ではセメント工場が存在しないためにエコセメント技術を選択したが、その設備費は大きく純便益を引き下げている。

それでは、神奈川県のようなセメント生産をしていない地域で、一般廃棄物焼却残渣をセメント資源化することは社会的損失を伴うであろうか。手段としては2通り考えられる。1つは、山口県・埼玉県の事例のように、設備投資負担の小さい普通セメント原料化によるリサイクル技術を活用することである。ただし、その際には他県のセメント生産地域までの輸送費と輸送による環境負荷が追加的費用としてかかる。また、2つ目は千葉県の事例のように、県内にエコセメント工場を1つ作ることである。

横浜市・川崎市は安価な埋立処理が可能な処分場(及び埋立権)を有する一方で、その他の神奈川県内の市町村では、埼玉県・千葉県と同様に埋立処分場が逼迫した結果、平成15年度の焼却残渣量の30%を県外埋立、23%を民間事業者による再資源化に依存しており、リサイクルの推進が政策課題となっている。そこで、上記の2つの選択肢について、神奈川県において同様のリサイクルを行う場合を考えて事前評価を行う。神奈川県から見ると、最も近いセメント生産地は埼玉県であるので、前者の場合には、そこまでの輸送が必要になる(埼玉タイプ)。後者の場合には、エコセメント工場を新たに建設することになる。建設地の選択は、それ自体大きな問題になりうるが、ここでは神奈川県中央部と想定する(千葉タイプ)。

	焼却残渣発生量(t)	全量セメント資源化した場合の費用便益比		セメント資源化量(t)	焼却炉更新年
A市	1,431	2.36	費用便益比の高い団体が100%セメント資源化	1,431	H20
B市	5,334	2.34		5,334	H20
C市	2,915	2.20		2,915	H20
D町	1,385	2.22		1,385	H20
E町	807	2.05		807	H27
F町	983	1.97		983	H20
G市	14,784	1.86		14,784	H20
H市	8,752	1.81		8,752	H20
I組合	8,885	1.62		8,885	H20, 22
J市	16,580	1.62		16,580	H20, 21
K組合	1,188	1.33		1,188	H21
L市	35,127	1.47	0	H20	
M組合	9,094	1.25	0	H21	
N市	9,883	1.21	0	H24	
O町	1,588	1.21	0	H27	
P組合	3,419	1.13	0		
Q市	10,912	1.12	0		
R町	1,908	1.07	0		
S市	10,614	1.05	0		
T村	95	1.00	0		
U市	11,280	0.94	0	H25	
V組合	626	0.93	0		
W組合	2,711	0.91	0		
X町	2,656	0.60	0		
合計	162,957		63,044		

セメント資源化を行う団体

図-4 セメント資源化団体の選択: 埼玉タイプの場合

## a) シミュレーションの条件設定

想定したセメント資源化事業の年間処理容量(63,000t)は、神奈川県(横浜市・川崎市を除く)の焼却残渣の年間発生量(162,957t)よりも小さいので、どの団体がどれだけセメント資源化事業に参加するかを想定する必要がある。ここでは、団体別に仮にその焼却残渣発生量の全量をセメント資源化した時に達成できる費用便益比を考え、セメント資源化事業の処理容量(63,000t)に達するまで、その費用便益比が高い順番に焼却残渣発生量を積み上げる方法で参加する団体を想定する(図-4)。このとき、埼玉タイプの技術を選択した場合では11団体、千葉タイプでは10団体が対象となり、全体の費用便益比が最大となる。この他に、県内の全市町村が協調し全団体が均等に参加するパターン等も考えられるが、これは各団体の灰溶融処理設備の建設費を削減することができずに明らかに非効率であるた

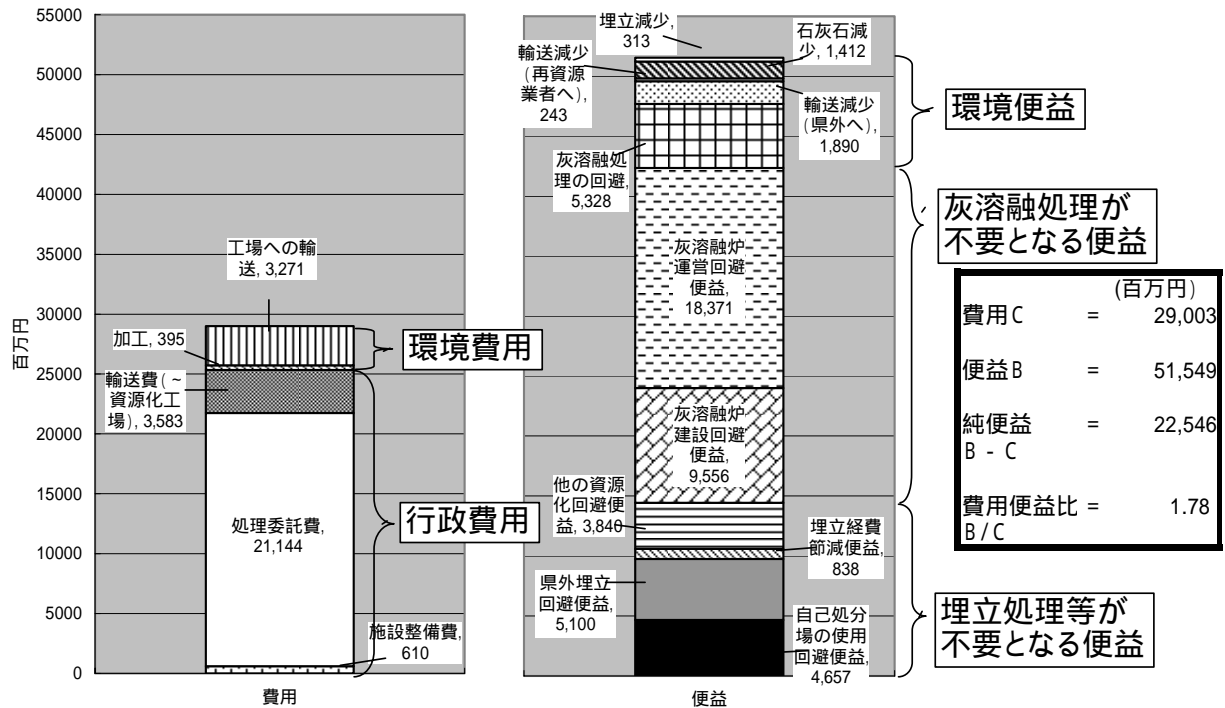


図-5 神奈川県: 埼玉タイプでの費用便益

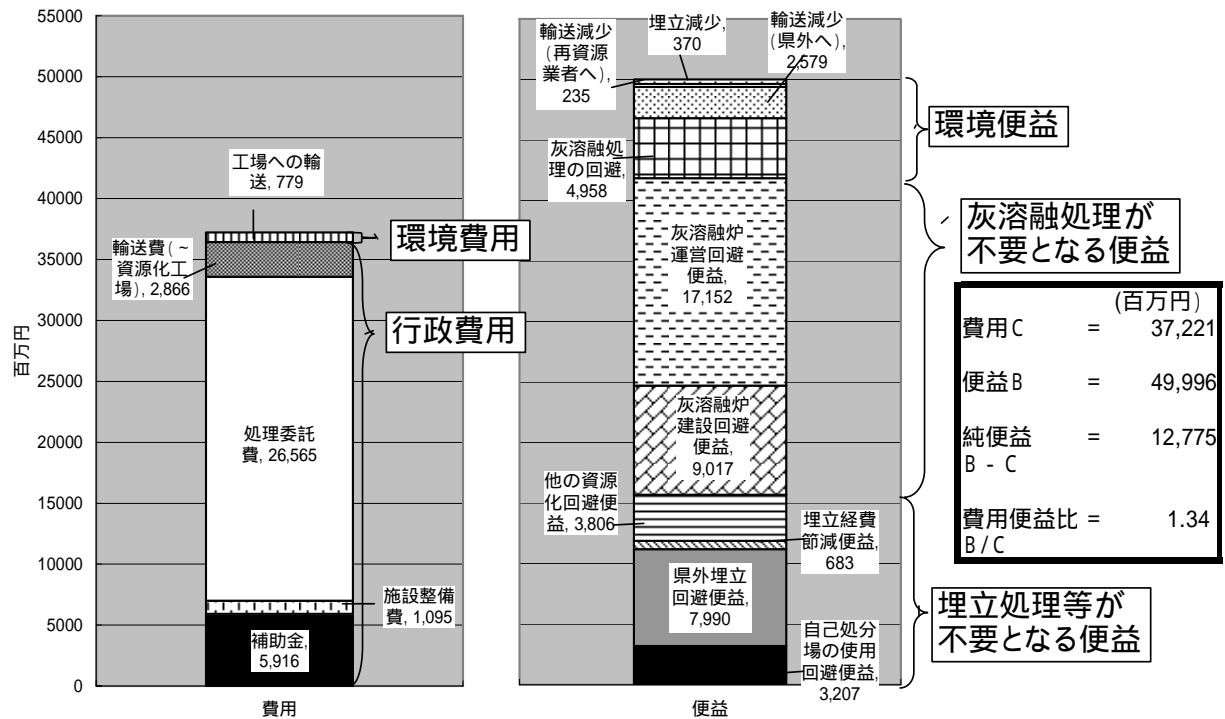


図-6 神奈川県: 千葉タイプでの費用便益

め、ここでは議論しない。

b) シミュレーションの結果

シミュレーションを行った結果、図-5、図-6のとおりとなった。この結果から、次の2点が明

らかとなった。第1点目は、埼玉タイプ(普通セメント原料化)と千葉タイプ(エコセメント)のどちらの場合でも、正の純便益が期待できるが、前者の便益がより大きいことである。この差は

主に費用項目により説明される。図-5 と図-6 の費用面を比較すると、普通セメント原料化は、エコセメントに比して、埼玉県までの輸送費と環境負荷が大きいものの、処理委託費・補助金等の行政費用が、エコセメントに比べて大幅に小さい(千葉タイプの約 8 割)。したがって、神奈川県でセメント資源化を行ううえで、輸送にかかるコスト等を考慮したとしても、埼玉県まで輸送して行う普通セメント原料化の方が、地元で行うエコセメント化よりも有利であることがわかった。

第 2 点目は、環境面では埼玉タイプ、千葉タイプどちらでも純便益が生じることである。シミュレーションの結果、いずれにおいても環境面での純便益が発生するとわかった。千葉タイプでは、上で示したように行政費用はかさむものの埼玉タイプに比較すると輸送に関する環境費用が大幅に少なくなるため、相対的に環境面での純便益は大きい。

#### 4. 結語

##### (1) 主要な結果

一般廃棄物焼却残渣については、廃棄物の適正な処理と循環型社会形成のためという政策目的から、埋立及び溶融処理を中心とする方針で処理が行われている。それは財政面では高い負担を必要とするが、環境面での必要性を理由として実施されている。しかし、国・地方ともに厳しい財政状況の中、環境的価値をいたずらに重視することは許されないし、環境保護を推進しようとして別の環境問題を悪化させるわけにもいかない。科学的で冷静な意思決定のための判断材料が求められている。

本研究では、費用便益分析によるリサイクル政策の経済評価モデルを構築し、一般廃棄物焼却残渣の処理方法の一つであるセメ

ント資源化について、先進事例の事後評価と、神奈川県で同様の事業を行った場合の事前評価を行った。その結果、セメント資源化は行政費用の面で埋立処理よりも負担が大きい一方で、灰溶融処理が不要となること、地球温暖化などの環境面での効果があがることから、埼玉県、山口県で行われている普通セメント原料化のような低コストのセメント資源化技術を採用すれば、社会的純便益が生じることがわかった。また、エコセメント化の場合でも、埋立処理にかかる費用や更新を控えた焼却施設の存在など潜在的な費用便益の有無といった地域性次第では、社会的純便益が生じる可能性があることもわかった。また、この種のリサイクルは環境面においても効果を与えており、セメント資源化による社会的純便益を生み出していることがわかった。

また、神奈川県(横浜市及び川崎市を除く)に関する事前評価の結果からは、リサイクルされた焼却残渣を普通セメントの原料として受け入れることが可能なセメント工場が当該県にない場合でも、セメント資源化によって社会的純便益を生みだすことが可能であることがわかった。さらに、地球温暖化等の環境的側面からも、セメント資源化は効果的であることがわかった。

##### (2) 今後の課題と展望

本研究では、セメント資源化しない場合には、これまでよく利用されてきた焼却炉であるストーカ炉に灰溶融炉を併設する形で溶融化すると仮定した。しかし、近年、溶融化技術の進歩により、ガス化溶融炉の設置も増えていることから、技術的選択肢としてガス化溶融炉を対象とした同様の分析も考えられる。

灰溶融施設に関わる費用を節約するためには、焼却残渣の 100% をセメント資源化することが最も効果的である。しかし、この選択に

は将来的にセメント会社がセメント資源化事業から撤退した場合に、セメント資源化を委託している団体が焼却残渣の処理に困窮するリスクが伴う。実際、平成12年に、福井県敦賀市の民間埋立事業者が違法な処分により事業停止処分を受けるという事件があった。埋立を委託していた市町村が代替引取り先を探すために3ヶ月を要した。こうしたリスク要因についても配慮することが考えられる。

謝辞：本研究の元となったものは、望月の政策研究大学院大学におけるポリシー・プロポーザル論文である。学内における報告会での多数の有益なコメントに感謝の意を表したい。あわせて、現地調査に当たってご協力いただいた関係機関、企業の皆様に深く感謝する。もちろん、本稿中の意見やあり得べき誤りは、ひとえに筆者2名に帰すべきものであり、ほかのいかなる組織・個人のものでもない。

#### 参考文献

- 1) 植田和弘：廃棄物とリサイクルの経済学，有斐閣，1992
- 2) 経済産業省：エコタウン補助事業に関する事後評価書，2003
- 3) 日本政策投資銀行：市原エコセメントプロジェクトの評価，2003
- 4) 厚生省：廃棄物処理施設整備事業に係る費用対効果について，2000
- 5) 安田八十五：ペットボトルのリサイクルシステムに関する評価と政策分析，廃棄物学会論文誌，Vol. 12 No. 5, pp. 229-234, 2001
- 6) 廃棄物処理編集委員会：ごみ焼却施設の発注動向，環境施設，No. 88, 92, 96, 2002-2004
- 7) エコスラッグ利用普及研究会，エコスラッグ情報コーナー(ホームページ)，  
<http://www.jsim.or.jp/ecosurag/ekozyouhou.htm>
- 8) 佐野奨・市川牧彦・中村朋道・福原吉和・松藤敏彦・田中信壽：灰水洗技術によるセメントへの都市ごみ焼却灰有効利用と二酸化炭素削減，第23回全国都市清掃研究発表会講演論文集，pp. 168-170, 2002
- 9) IPCC第3作業部会：地球温暖化の経済・政策学，中央法規出版，1997
- 10) 劉庭秀・安田八十五：一般廃棄物を用いた固形燃料化システムの有効性の評価，廃棄物学会論文誌，Vol. 10 No. 2, pp. 67-76, 1999
- 11) 岩倉成志・石田東生・林山泰久・根橋輝・堀健一：複数のCVサーベイに基づく地球温暖化の社会的費用原単位の試算，運輸政策研究，Vol. 2 No.7, pp. 2-11, 2000
- 12) 森田恒幸：地球温暖化と経済，安成哲三・岩坂康信(編) 岩波講座地球環境学3: 大気環境の変化，第6章，pp. 249-279, 岩波書店，1999
- 13) 環境省：環境会計ガイドライン，2002
- 14) 兒山真也・岸本充生：日本における自動車交通の外部費用の概算，運輸政策研究，Vol. 4 No. 2, pp. 19-30, 2001
- 15) 国土交通省：公共事業評価の費用便益分析に関する技術指針，2002

Economic Evaluation of Recycling Projects  
- Cost-Benefit Analysis of Projects to Recycle Waste Incineration Ash for Cement Production -

Toshiya Mochizuki, Nobuhiro Hosoe

The shortage of disposal sites for waste incineration ash is one of the main concerns of many municipal governments in Japan. Three projects have been initiated to recycle this ash for producing cement, thereby reducing the need for disposal sites. We carry out a cost-benefit analysis of such recycling projects considering environmental externalities. Our results suggest that two of three actual recycling projects are socially beneficial and that a hypothetical project with similar technology would also be beneficial for municipal governments in Kanagawa Prefecture.