

セメント産業における都市ごみ焼却灰利用の持続性検討のためのプロトタイプモデルの構築

内海秀樹¹・吉崎仁志²・松井三郎³

¹正会員 工博 京都大学助手 地球環境学堂 地球親和技术学廊 (〒606-8501 京都府京都市左京区吉田本町)
E-mail: utsumi@eden.env.kyoto-u.ac.jp

²工修 環境省総合環境政策局環境保健部 (〒100-8975 東京都東京都千代田区霞ヶ関 1-2-2)

³正会員 Ph.D 京都大学教授 地球環境学堂 地球親和技术学廊 (〒606-8501 京都府京都市左京区吉田本町)

本稿では、セメント産業による都市ごみ焼却灰利用システムを対象にし、その持続性を検討するためのモデルの構築について述べた。地方自治体およびセメント産業において都市ごみ焼却灰の利用を行う背景、そして、モデル化手法としてエージェントベースモデリングを採用する理由について記述している。

構築されたモデルは、エージェントとして、焼却処理場、最終処分場、セメント会社、石灰石採掘会社、土木建設会社の5種類を設定し、それぞれのおかれている環境を認知した上で取引や契約を行う。その結果、比較の基準とする焼却灰を利用しない状態で、競争原理による価格や利潤の抑制や適正在庫率の維持等、モデルの基本的挙動について確認することができた。セメント再利用を行う際の挙動についての分析が次の課題である。

Key Words : sustainability, MSW combustor ash, agent-based modeling, recycling society, cement, reinforcement learning, the principle of competition

1. 研究背景および目的

昨今、各々の地方自治体にとって、最終処分場の新規建設は困難であり、その延命に腐心している一方、他方では、都市ごみ焼却灰をセメント原料として用いる技術が開発され、セメント産業は、都市ごみ焼却灰の有効な委託先として期待されている。しかし、セメントの総需要量は、公共事業の削減により年々減少している。地方自治体と都市ごみ焼却灰受け入れ契約をしているセメント会社は、生産量を維持する必要がある、供給過多や価格低下を止めることが困難である。ここに挙げたような制約が、都市ごみ焼却灰の持続的再利用システムに影響を与えると考えられる。

このような背景を受け、本研究の最終目的は、地方自治体とセメント会社を中心とした都市ごみ焼却灰の利用システムを対象として、モデルを作成し、持続的なシステムの維持を行うための必要条件や政策的手段の示唆を行うことにある。

2. 一般廃棄物焼却灰再利用における自治体とセメント産業

(1) 自治体の焼却灰の最終処分についての現状

a) 一般廃棄物の最終処分についての現状

一般廃棄物の最終処分量は、年々減少している(図-1)^{1)~6)}。しかし、最終処分単価[百万円/千t]は、都道府県別では開きが大きい、全国平均では、図-2に

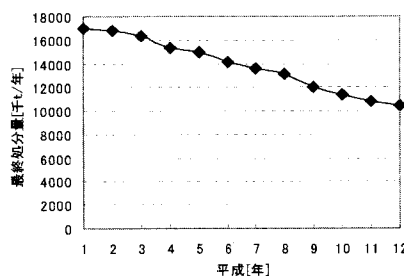


図-1 一般廃棄物の最終処分量の推移

示すように高騰している。新規の最終処分場について規模[m³]と、単位容量あたりの発注金額[億円/m³]の関係は⁷⁾、図-3のように対数近似が比較的よく当てはまり、施設の規模が大きいくほど建設費用の単位容量あたりの投資効率は向上が、最終処分場の新規確保は年々困難になっている状況が指摘されている。

b) 焼却灰の発生の現状

我が国では、以前から減量化・減容化・安定化の観点から一般廃棄物の処理は、焼却に依存している割合が高く、現在ではさらに、ごみ焼却施設から排出されるダイオキシン類が、社会問題になった事を受け、全連続炉への移行が進められた。さらに焼却灰中のダイオキシン類を適正に処理するため、焼却灰を熔融固化するなどの高度処理を行うことが推奨され、高温燃焼と焼却灰の熔融固化を一体化したガス化熔融炉が次世代

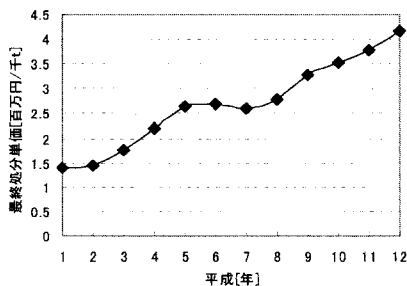


図-2 一般廃棄物の最終処分単価の推移（全国平均）

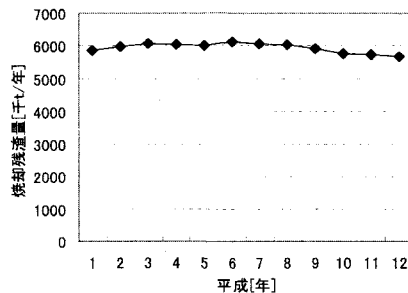


図-4 焼却灰の発生量の推移

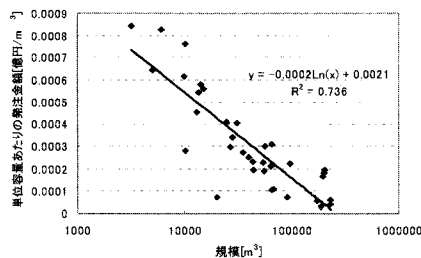


図-3 最終処分場建設時の発注金額と最終処分場規模との関係

型技術として注目されている。焼却灰（主灰、飛灰を含む）の発生量は、図-4に示すように、ほぼ一定で推移しており^{4)~6)}、先述した最終処分場の現状を考え合わせると、最終処分場への焼却灰の搬入は困難になりつつある状況が伺える。

c) 焼却灰の再利用と再生製品の需要先

焼却灰は、路盤材やブロック等の骨材や、レンガ、土木建築資材等に再利用されるが、近年新たにセメントの原材料として用いる技術が開発された⁸⁾。また、焼却灰を熔融して生成した熔融スラグの用途は、路盤材やアスファルト舗装用の骨材、コンクリート骨材、埋め戻し材、インターロッキングブロックなどの二次製品、レンガ、タイル、フラワーポット等であり⁹⁾¹⁰⁾、いずれも土木建設業での需要に大きく依存している。

(2) セメント産業の一般廃棄物焼却灰受入事業

a) セメント産業による廃棄物受入

セメントは、原料の主成分がカルシウム、珪素、アルミニウム、鉄、マグネシウムであり、主原料が天然産であるため自然界に存在する様々な微量成分も含んでいる¹¹⁾¹²⁾。ゆえに、廃棄物や副産物に存在する種々の微量成分も、許容範囲内であれば品質および製造工程でも支障はない。高炉スラグや、石灰石、廃タイヤ、廃プラスチック等が既に利用され、これら自体は、高温処理、無害化され CO_2 以外、最終的にはセメント成分の一部になる。この特徴から、セメント産業は鉄鋼業界、

電力業界等から各種産業廃棄物や副産物の処理を請け負ってきた実績があり、2003年度では、約2,700[万t]を使用し、セメント1[t]当たりの使用量は、375[kg]に達している¹³⁾。

b) 都市ごみ焼却灰のセメント原材料化技術

灰水洗システム 灰水洗システムとは、既存のセメント工場で、都市ごみ焼却灰をポルトランドセメントの原材料として利用するシステムを指す。都市ごみ焼却灰中の塩素濃度は、主灰で0.4~3%、飛灰で10~20%であり、そのままでは、JIS規格で定めている上限値を満たせない。そこで、飛灰に含まれる塩素の大部分が水溶性の化合物であるため、これを大量の水で洗い流し、脂溶性の塩素が約半分である主灰は、異物除去のみでそのまま原料として用いることで、JIS規格（上限塩素濃度200[ppm]）に適合したセメントを製造することができる¹⁴⁾。ただし、塩素成分の制約上、利用できる都市ごみ焼却灰は、原料の3%程度である²²⁾。

エコセメント エコセメントとは、経済産業省が定義している「都市ごみ焼却灰を主原料として、少なくとも廃棄物を半分以上使用して製造されるセメント」の事であり¹⁵⁾、一般名称である。エコセメントには、普通型エコセメントと速硬型エコセメントの2種類がある¹⁶⁾。普通型エコセメントは、都市ごみ焼却灰に大量に含まれている塩素を、製造工程中で除去し、普通ポルトランドセメントに近いレベルにまで引き下げ、ほぼ同様の品質にしたものである。その用途は、コンクリートとして鉄筋構造物を始め地盤改良材等、幅広く使用できる。速硬型エコセメントは、都市ごみ焼却灰に大量に含まれる塩素をセメント鉱物の構成物質として積極的に利用したもので、緊急工事やコンクリート製品に利用されるが、鉄筋を腐食するため、無筋コンクリート分野でのみの利用に留まる。

c) セメントの生産と販売の現状

近年の公共事業の見直しや不況による設備投資の減少の影響で、セメントの国内需要は減少の一途をたっており、セメントの生産量と販売量（国内販売量と総販

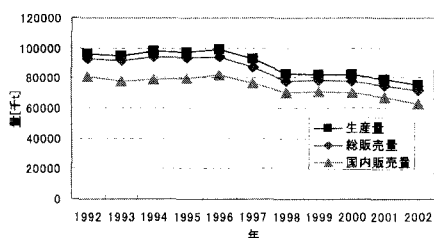


図-5 セメントの生産量と販売量の推移

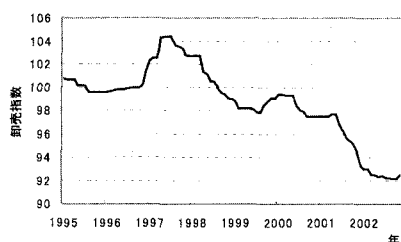


図-6 セメント価格の推移

売量)は減少傾向にあり(図-5)、価格も低下し続けている(図-6)。2003年度の場合、生産量73,508[千t]に対して輸入量が831[千t]であり、この傾向は、少なくとも1994年度から続いていることから、輸入の増加ではなく、国内需要の減少が生産量と販売量の減少の主要な原因であると考えられる。

(3) 自治体とセメント産業の契約

a) 契約事例

灰水洗システム 一般廃棄物の最終処分量の40%を県外に依存し、当システムの開発の契機となった「彩の国倍プラント化計画」を構想した埼玉県¹⁷⁾、実証試験を経て平成14年度は、最終処分量の約1/4に相当する63,000[t/年]を委託している熊谷市¹⁸⁾、経済産業省のエコタウン事業では、北海道と山口県がそれぞれ20,000[t/年](予定)、50,000[t/年]を委託する計画がある¹⁹⁾²⁰⁾。
エコセメント 千葉県では、エコタウン事業の一環として平成9年12月から民間企業が事業化し平成13年春から開業した。製造能力は、エコセメント11[万/t・年]であり、都市ごみ焼却灰を約6[万t]受け入れ、埋立処分量の20%を削減するとされている²¹⁾¹⁶⁾²²⁾。また、平成9年7月には、東京都環境局の発案で、多摩市町村が検討した結果これを受け入れ事業化を始めた。平成17年度末から稼働予定で契約期間は20年である²³⁾。

b) 地方自治体とセメント会社との契約における課題

都市ごみ焼却灰の受け入れには、専用の設備が必要となり、設備投資の回収のため一定期間、一定量以上の受け入れの継続を行う必要がある。しかし、契約当初

は採算が見込める事業であっても、需要が減少し、セメントの減産を行う必要がある場合でも受け入れている都市ごみ焼却灰を処理・利用してセメントを製造し続けなければならない、長期的な視点では経営を圧迫することが考えられる。現に、セメント業界では、セメント需要の減少と価格の低迷を受けて、セメントの一斉減産とそれに伴う価格の上昇を狙っているが、都市ごみ焼却灰を受け入れている大企業が減産を行えず、結果として業界の団結を困難にしている。この現象が放置されれば、過剰供給と低価格化がセメント産業を圧迫し、再利用システムが成立しなくなる危険性が考えられる。

3. エージェントベースモデルの概要

(1) エージェントベースモデルの特徴

エージェントとは、「環境」(後述)の状態を知覚し、「環境」の状態に合致した行動を起こすことによって「環境」に影響を与えることができる自立的主体と定義される。環境とは、あるエージェントを取り巻くものの総称を指し²⁴⁾²⁵⁾、水環境や自然環境等のみではなく、経済状態や空間状態(他のエージェントの位置関係)、他のエージェントそのものも指す広い概念である。エージェントベースモデルは、①エージェントの行動はエージェントが決定する、②均衡状態に至るまでに時間がかかる、③前提の変更、試行錯誤が容易である、④ミクロ構成要素・マクロ構成要素を同一のモデルで表現でき、両面を分析できる等の特徴がある。しかし、これらの代償として、目的とするマクロ現象からの帰納的な解法を持ち合わせておらず、その多様性故にシミュレーション試行の度に異なる結果になり解析が困難になるという特徴を持っている。

(2) 既存研究にみられる特徴

a) 時間単位としてのStep

エージェントベースモデルでのシミュレーションは、Step(「期」ともいう)という概念に沿って進行する。これは、各エージェントが1回ずつ行動をするための時間単位であり、各Step毎に全エージェントにランダムに行動の権限が渡され、当該エージェントが意思決定に基づく行動をし、それら全てが行動を終えると次のStepへと進む。既存研究にてStepと実際の時間単位との対応を明確にしているものは殆どなく、「いつ」当該現象が生じるかというよりは、むしろ、エージェント間で個別に結ばれた関係の帰結による全体としてのシステムの推移を観察することに重きを置いている。

b) 多様性と不確実性

空間的多様性や時間的多様性を認めるため、その結果も多様になる場合が多い。将来は不確実で、微少の

揺らぎが将来を大きく変えるという考え方をしており、複雑系科学のカオス理論にも通じている。この性質ゆえに、1回のシミュレーション試行の結果のみで結論を導くことは通常行われず、50回、100回とシミュレーションを繰り返して、全試行を通じて現れた支配的な特徴を観察したり、確率的に議論することが通常行われる。従って、先の特徴と併せて、定量的分析を行うことはなされず、定性的な分析を行うために用いられる。

(3) エージェントの学習

エージェントが、環境を認知し、よい意思決定を経て行動するには、学習をすることが効果的である。エージェントに学習させる方法は、「教師つき学習」と「教師なし学習」とがある。「教師つき学習」は、最適な行動パターンが既知の場合に用いられ、それをエージェントに学習させる手法である。それに対して「教師なし学習」は、最適な行動パターンが未知の場合に用いられ、それをエージェント自身に模索させる方法である。後者の代表的な手法として「強化学習」があり、エージェントのとった行動に対して強化信号といわれる報酬（正負ともにあり得る）を与え、エージェントにより大きな強化信号を模索させる²⁶⁾²⁷⁾。本研究では、強化学習のうちで、学習途中でもできるだけ大きい報酬を得続けるために経験を分析し、修正を重ねる経験強化型の強化学習を採用し、クラシファイアシステムによってエージェントの学習を実装した。

4. セメント産業の焼却灰利用モデル

(1) 設計指針

本研究の対象は、「セメント製造業のセメント製造販売と地方自治体の廃棄物処理、およびそれらを結ぶ地方自治体・セメント製造業間の都市ごみ焼却灰の取引」である。焼却処理場、最終処分場は、地方自治体が複数を管理している場合や、複数の地方自治体が1つを管理している場合があるため、個々のそれを意思決定主体とするよりも、個別の施設単位で意思決定を行う方が、一部事務組合等を考える場合にも、より簡便であるため、施設毎にモデル化を行った。他方、セメント会社は、1つの工場のみを持つと仮定している。さらに、セメント会社の経営戦略を表すために、その供給行動、値付けに、クラシファイアシステムを採用した。また、都市ごみ焼却灰の購入によってセメント会社は、原材料コストを削減することができるため、焼却処理場との受入契約を締結するか否かを吟味する。締結した場合、契約を必ず守るものとし、都市ごみ焼却灰の受入によって生産量が制約されるというリスクを負う。エージェントとして設計する必要があるものは、焼却

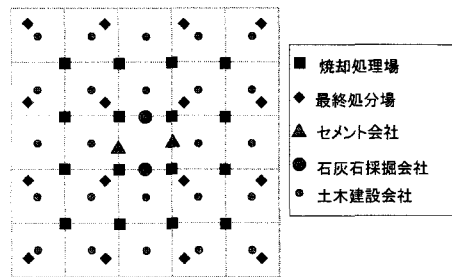


図-7 各エージェントの空間配置

処理場、最終処分場、セメント会社、土木建設会社、石灰石採掘会社の5種類である。以後、単にこれらの名称を用いた場合、それらはモデル内のエージェントを指す。

(2) モデルの設定

a) エージェント数と空間配置

現実社会では、セメント製造業は36工場、石灰石採掘業は87事業所（うちセメント製造業近隣は60事業所）、焼却処理場は1715カ所、最終処分場は1536カ所存在する。セメント会社の数は、競争社会を実現できる最低限の数として2個体とし、独占状態での試行の場合は、1個体とした。セメント会社から離れて立地している石灰石採掘会社については、取引は殆ど存在しないとみなし、専属の取引のみに対応するための十分な数としてセメント会社と1対1で対応させた。焼却処理場は、セメント会社の近隣、遠方、中距離を表現でき、空間に偏りなく配置できる数として16個体としている。最終処分場については、焼却処理場と同数の16個体とした。土木建設会社は、空間的に偏りなく配置するために24個体とした。

セメント会社と石灰石採掘会社を近辺、かつ、中央に配置し、それらを取り巻くように焼却処理場と最終処分場、そして土木建設会社を配置した（図-7）。

b) モデル上の時間

セメント原材料の購入や、製品の製造等の意思決定の時間単位が、1Stepに相当していることを述べたが、本モデルでは、現実でのセメントの市場価格調査が1ヶ月に3回行われており、価格設定は、これを参考に行われていると仮定し10日を1Stepに対応させ、1年を40Stepと概算した。これをもとに、シミュレーションの試行Step数は、セメントの原材料の一つとなる石灰石の国内における可採年数を参考にし、50年、すなわち2,000Stepを試行Step数とした。現実の地方自治体とセメント会社との契約期間は、10年～20年であり、また、都市ごみ焼却灰受入用の設備投資については、実例から2～3年で行われているため、それぞれ、500Step、

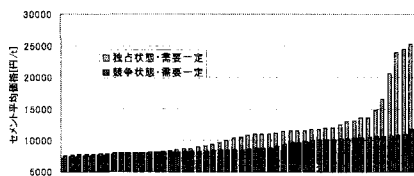


図-8 需要一定の場合における独占状態と競争状態での価格分布の比較

100Stepと設定した。また、セメント会社の経営戦略は、1年に一度見直されるものとし、40Step 毎に行った。

5. シミュレーションの結果と考察

(1) モデルの検証方法

今後の研究の比較対象となる都市ごみ焼却灰のセメント原料化が行われないシナリオを考える。量的な指標として一般廃棄物および焼却灰が搬入される最終処分場の1試行後の数、セメント会社に関して、独占状態よりも競争状態のもとでの価格や利潤の低下および適正在庫率の維持について検証を行う。

(2) 最終処分場の1試行後の数

最終処分場の数は、全ての試行において1焼却処理場あたり5カ所の合計80カ所であった。ごみの発生量および減量率を同一にしているため、焼却を行うことによって減量化を図り、発生した焼却灰を最終処分場へ埋め立てる本シナリオでは、試行毎に結果が変化することはなく、妥当な結果が得られている。

(3) セメント会社の独占状態と競争状態での価格および利潤の差

一般的には独占状態よりも競争状態にあるときの方が製品が低下すると認識されているが、本節では、この現象の再現性について検証する。図-8は、需要一定の場合における独占状態と競争状態でのセメント平均価格の分布である。セメント平均価格とは、2,000Stepの各段階で提示された価格の平均値であり、この値が大きいほど、各Step毎に提示されたセメント価格が高価であったことを示す。この結果によると、おおよそ、50回のうちの約2/3の試行では、独占状態の方が競争状態よりも高い価格をつけている。独占状態でみられるような、極端に高騰している状態は競争状態下では生じなかった。残りの約1/3の試行では、あまり差はみられず独占状態でも平均的には、低価格で推移していることも明らかになった。よって、価格については、独占状態よりも競争状態の方が、競争の原理が働き価格が低めに抑えられることが確認できた。次に需要一定の場合における独占状態と競争状態での利潤分布の比較に

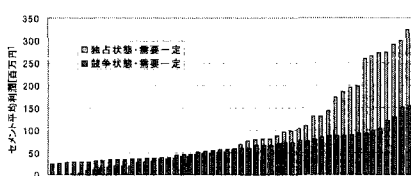


図-9 需要一定の場合における独占状態と競争状態での利潤分布の比較

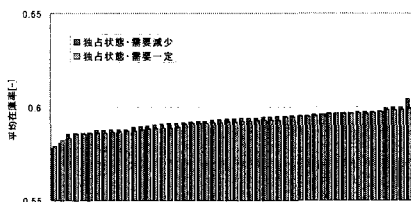


図-10 セメント会社独占状態における平均在庫率の分布

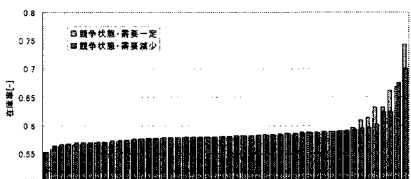


図-11 セメント会社競争状態における平均在庫率の分布

ついて図-9に示す。セメント平均利潤とは、2,000Stepの各段階で得た利潤の平均値であり、この値が大きいほど、各Step毎に得た利潤が大きいことを意味する。約1/2の試行で、独占状態に比較して、競争状態の方が利潤が少ないことがわかる。ただし、競争状態でも利潤の大きい試行もあり、この場合は、寡占状態になっていたと考えられるが、これらは、エージェントを増加させることによってより競争状態に近づけることができると思われる。残りの約1/2の試行では、競争状態の方が、独占状態よりも利潤をあげている試行もあり、単純には比較できないが、経営戦略の学習過程で独占状況下でありながら、利潤をあげる経営戦略が選ばれなかったと思われる。利潤については、さらなる分析が必要であると考えられる。

(4) セメント会社による適正在庫率の維持

セメント会社の独占状態および競争状態における平均在庫率の分布を、図-10、図-11にそれぞれ示す。平均在庫率とは、2,000Stepの各段階で、各Stepの期末ストック量を当該Stepでの供給量で除したものを、2,000Stepにわたり平均をとったものである。セメントの場合、適正在庫率は、0.6といわれており、モデルの値の推移状況を確認する。独占状態下においては、適

正在庫率の範囲で推移していると考えてよい。競争状態では、需要一定時も需要減少時もほぼ同様の水準でとどまっている。平均在庫率が、特に高いいくつかの試行は、一方のセメント会社が在庫を抱えたまま倒産し、その在庫量が計上された事による。よって、都市ごみ利用が行われない状態では、需要一定時も減少時も、適正在庫率を維持していることがわかる。

6. 結論

本稿では、都市ごみ焼却灰の利用についての持続性の検討を行うためのモデルを試作した。都市ごみ焼却灰利用に関して、地方自治体およびセメント産業の背景、および、モデリング手法としてエージェントベースモデリングを適用する必要性について述べ、焼却灰利用を行わない場合でのモデルの基本的挙動について検証を行った。

その結果、試行終了後の都市ごみ最終処分場の総数が同じであること、独占状態よりも競争状態においてセメント価格が抑制されており、競争原理が作用していること、セメント会社は適正在庫率を維持していることが確認された。

今後は、焼却灰を利用するシナリオについて、シミュレーションを行い、当該システムが持続的に維持されるための条件について検討する予定である。

参考文献

- 1) 厚生省:一般廃棄物処理事業実態調査 - 平成7年度版 -
- 2) 厚生省:一般廃棄物処理事業実態調査 - 平成8年度版 -
- 3) 厚生省:一般廃棄物処理事業実態調査 - 平成9年度版 -
- 4) 厚生省:一般廃棄物処理事業実態調査 - 平成10年度版 -
- 5) 厚生省:一般廃棄物処理事業実態調査 - 平成11年度版 -
- 6) 厚生省:一般廃棄物処理事業実態調査 - 平成12年度版 -
- 7) 産業タイムズ社:一般廃棄物処理施設発注一覧 - 平成12年度版 -
- 8) 藤吉秀昭:都市ごみ焼却灰の有効利用技術-欧州視察を踏

まえた最新事情, 資源環境対策, Vol.39, No.2, pp.30-35,2003.

- 9) 大阪府:大阪府ごみ処理広域化計画, pp.188-208,1999
- 10) 志垣政信:絵とき廃棄物の焼却技術, オーム社,pp.118-146,2000
- 11) 上森順正:廃棄物活用の優等生!セメント産業(上), 環境施設, No.63, pp.82-92,1996
- 12) セメント協会:自主行動計画, http://www.jcassoc.or.jp/Jca/Image/Uj_03_030.pdf
- 13) セメント協会:セメント産業における廃棄物・副産物の活用, http://www.jcassoc.or.jp/Jca/Image/Uj_03_020.pdf
- 14) 太平洋セメント:灰水洗システム 技術説明, <http://www.taiheiyo-cement.co.jp/zero-hai/haisuisen/tec/frameset.tec.html>
- 15) 河浦正樹:一般廃棄物焼却灰の再生利用事業について, 月刊廃棄物, 2001-6, Vol.27, No.314, pp.16-21, 2001
- 16) 山本由里子:廃棄物のセメント資源化技術・その最前線, セメント・コンクリート, No.665, Aug.2002, pp.9-17, 2002
- 17) 太平洋セメント:灰水洗システム 埼玉県ごみ問題の現状と対策, <http://www.taiheiyo-cement.co.jp/zero-hai/haisuisen/saitama/frame-sai.html>
- 18) 太平洋セメント:灰水洗システム 熊谷工場, <http://www.taiheiyo-cement.co.jp/zero-hai/haisuisen/jigyoka/j-b.html>
- 19) 北海道:エコランド北海道 21プランの概要, <http://www.pref.hokkaido.jp/kseikatu/ks-khhts/recycle.2/eco.town/eco-tawn-plan/eco-land21-plan.PDF>
- 20) 岡野朝美:地域特性を活かした「ゼロ・エミッションプラン」とハード・ソフトを両面から推進する「エコタウンプラン」, 月刊廃棄物, 2001-10, Vol.27, No.320, pp.41-45, 2001
- 21) 小沢一之:エコセメント製造施設と直接溶融施設で、県内全域の埋立処分量の23%を削減する, 月刊廃棄物, 2001-10, Vol.27, No.320, pp.24-27, 2001
- 22) 福原吉和:都市ごみ焼却灰のセメント資源化技術, 都市と廃棄物, Vol.31, No.5, pp.76-87, 2001
- 23) 東京都三多摩地域廃棄物広域処分組合, <http://www.tokyo-shobunkumiai.com/>
- 24) 出口弘:複雑系としての経済学-自律的エージェント集団の科学としての経済学を目指して-, 科技連出版社, pp.1-33, 2000
- 25) 服部正太, 木村香代子:人工社会-複雑系とマルチエージェント・シミュレーション-, 構造計画研究所, pp.14-20, 1999
- 26) 山本秀一:環境経済システムの計算理論, 創草書房, pp.27-124, 2003
- 27) 電気学会, GA・ニューロを用いた学習法とその応用調査専門委員会:学習とそのアルゴリズム-ニューラルネットワーク・遺伝アルゴリズム-強化学習-, 森北出版, pp.86-101, 2002

THE PROTOTYPE MODEL TO EVALUATE THE SUSTAINABILITY OF MSW COMBUSTOR ASH RECYCLING SYSTEM BY CEMENT INDUSTRY

Hideki Utsumi, Hitoshi Yoshizaki, Saburo Matsui

The purpose of this study is to develop the prototype model to evaluate the sustainability of municipal solid waste combustor ash recycling system by means of Agent-Based Modeling. It is described the background of recycling the ash implemented in some municipalities and cement companies, using Agent-Based Model to analyze the system. The model has five kinds of agents. There are incinerators, landfill sites, cement companies, limestone mining companies and construction companies. Each agent trades and contracts other agents depending on their circumstance. At the result of this study, we could confirm the price curb caused by the principle of competition among cement company agents and the maintenance of proper inventory ratio by cement company agents in this model under the scenario without using municipal solid waste combustor ash that is the standard one to compare other scenarios.