

廃粘土瓦リサイクルシステムの導入による 環境負荷低減効果の評価

山口 耕太¹・蒲原 弘継²・後藤 尚弘³・稲吉 辰夫⁴

¹ 非会員 豊橋技術科学大学 学生 エコロジー工学系 (〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘 1-1)

² 非会員 豊橋技術科学大学 学生 エコロジー工学系 (同上)

³ 正会員 豊橋技術科学大学 准教授 エコロジー工学系 (同上)

E-mail: goto@eco.tut.ac.jp

⁴ 非会員 高浜工業株式会社 技術統括部 (〒444-1302 愛知県高浜市八幡町 2 番地 1)

本研究では、現在検討が進められている廃粘土瓦リサイクルシステムの導入による環境負荷低減効果をライフサイクルアセスメントの手法を用いて評価することを目的とした。環境負荷の項目は、エネルギー消費量、CO₂排出量、NO_x排出量、SO_x排出量、廃棄物発生量とした。インベントリ分析の結果、廃粘土瓦リサイクルシステムの導入によってエネルギー消費量と CO₂排出量が増加し、NO_x排出量、SO_x排出量、廃棄物発生量は減少することが示された。次に、被害算定型環境影響評価手法(LIME)を用いて、それぞれの環境負荷の項目を統合化して評価した。その結果、廃粘土瓦リサイクルシステムの導入により、統合化された環境負荷は低減されることが明らかになった。

Key Words: waste clay roof tile, recycle, life cycle assessment, LIME

1. はじめに

粘土瓦は最も多く使用されている屋根材で日本の屋根材シェアの 42.6%を占めており、年間約 10 億枚が生産されている¹⁾。循環型社会形成推進基本法制定に伴い建設リサイクル法やグリーン購入法などの法律が制定され、建設廃棄物のリサイクルが推進されている。しかしながら、建設リサイクル法において、コンクリートやアスファルトなどの特定建設資材の再資源化は義務付けられたが、特定建設資材ではない屋根瓦には再資源化が義務付けられておらず、現状ではそれらは主に埋立て処分されている状況にある。

現在、廃棄されている屋根瓦（以下、廃瓦）のリサイクルとして、廃粘土瓦粉とバージン粘土を 1 : 1 の割合で混合したものを原料に再生瓦を作る検討が進められている。しかしながら、リサイクルにより埋立て処分量を抑制することは可能であるが、リサイクルの工程においても相応のエネルギーを必要とするため、かえって環境負荷を増大させてしまう可能性がある。よって、製品の製造工程及びリサイクル工程におけるエネルギー消費や環境負荷排出の実態を把握して、定量的にリサイクルシステム導入の効果を評価する必要がある。そこで、本研究では、再生瓦の製造による環境負荷低減効果を明らかにすることを目的とした。

2. 研究方法

再生瓦の製造による環境負荷低減効果は、ライフサイクルアセスメントの手法^{2,3)}に基づき、粘土瓦製造システムと再生瓦製造システムの環境負荷を比較することにより明らかにした。まず、各システムのインベントリ分析を行い、次に、その結果を、被害算定型環境影響評価手法(LIME)を用いて各環境負荷を統合化し評価を行った。

(1) 研究対象と前提条件

本研究では、日本で生産される粘土瓦の 6 割を占める三州瓦を対象とした。評価する環境負荷の項目は、廃棄物発生量、エネルギー消費量、CO₂排出量、NO_x排出量、SO_x排出量とした。次に、本研究で想定した粘土瓦製造システムと再生瓦製造システムを図-1 に示す。再生瓦は瓦 1 枚につき、廃粘土瓦粉 1.7kg とバージン粘土 2.6kg から作られる。そこで、粘土瓦製造システムと再生瓦製造システムの提供する機能を統一するため、評価する機能単位を「瓦 1 枚の製造と 1.7kg の廃粘土瓦の処理」とした。また、バージン粘土は三河粘土、山土、水鏡粘土の 3 種類の粘土を用いて作られている。配合割合は採掘された粘土の状態により少しずつ変わってくるが、ここではその配合割合を「三河粘土 : 山土 : 水鏡粘土 = 2 : 5 : 3」とした。

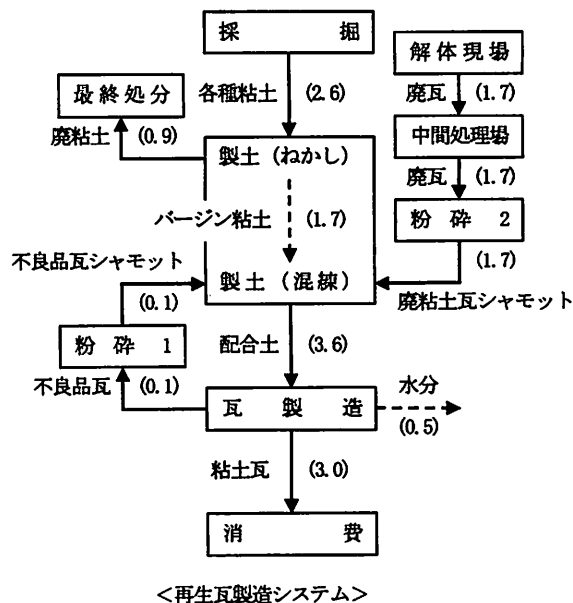
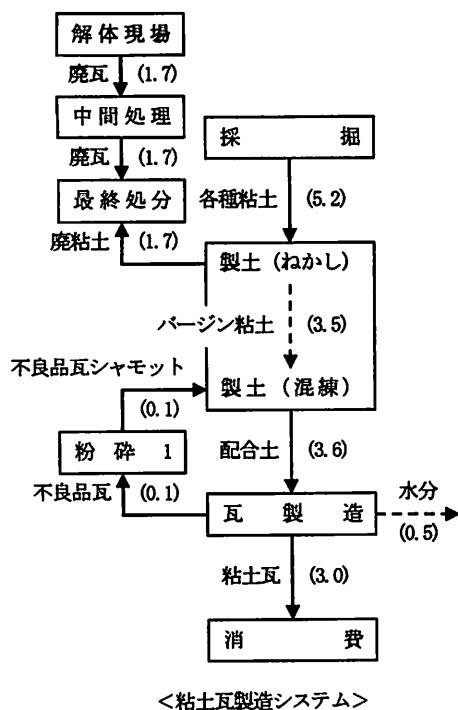


図-1 粘土瓦製造システムと再生瓦製造システムの概略
(単位は瓦を1枚製造するために必要な粘土，粘土瓦，廃粘土瓦の量，kg/枚)

粘土瓦製造システムでは瓦1枚あたり52kgの原料が採掘され，製土，瓦製造の工程を経て消費地へ運ばれる。一方の再生瓦製造システムでは，瓦1枚あたり，26kgの原料と，解体現場から中間処理，粉砕の工程を経て得られた廃瓦の粉砕物1.7kgにより再生瓦が製造される。両システムとも，瓦製造で発生した不良品瓦を粉砕し再び製土工程で利用するものとした。両システムにおいて，採掘では，愛知県安城市にて三河粘土，同県豊田市猿投山にて山土を採るものとした。水簾粘土はコンクリート処理の際にでる産業副産物であり，岐阜県笹原町から引き受けるものとした。次に，製土，瓦製造，粉砕1，粉砕2の工程は愛知県高浜市にある工場で行われるものとした。さらに，廃瓦の発生する解体および中間処理は愛知県名古屋市，最終処分は愛知県東海市をそれぞれ想定した。最終処分方法は，現在，ほとんどの廃瓦が処理されている方法である埋立てとした。

(2) インベントリデータの収集

インベントリデータは，図-1の各工程に関連する工場や企業などへアンケート調査や，ヒアリング調査，文献調査を行い収集した。

a) 採掘

山土と三河粘土の採掘の工程は，積載重量9トンのブルドーザー1台と積載質量10トンのダンプトラック2台，バケット容量0.8m³のバックホウ3台をそれぞれ6時間使って採掘を行い，その結果310トンの粘土を採掘するという条件とした。その情報を基に，使用する重機の燃費を文献⁹から入手し，化石燃料の消費量を求めた。

b) 製土

工場は愛知県高浜市に位置し，水簾粘土の精製，三河粘土，山土の集積，不純物の除去（電磁気），一次粉砕（ロールクラッシャー），混練，不純物の除去（金属探知機），二次粉砕（ロータリークラッシャー）の工程を経て，バージン粘土と不良品シャモットや廃粘土シャモットを混合・精製し，配合土をつくる。粘土瓦製造用の配合土は，3%の不良品瓦シャモットと97%のバージン粘土を混ぜ合わせたものである。再生瓦製造用の配合土は，3%の不良品瓦シャモットと50%の廃粘土瓦シャモットと47%のバージン粘土を混ぜ合わせたものである。

・水簾粘土の精製 ヒヤリングより推計

ボイラーで水簾粘土の水分を 30%から 20%に乾燥する。ボイラーの効率は 55%であり、灯油のエネルギーが 37[MJ/l]として算出した。

・三河粘土と山土の集積 ヒヤリングより推計

バケット容量 2.1 m³, 燃料使用量 39 l/h のバックホウ 2 台と積載重量 25t, 燃料消費量 20 l/h のダンプトラック 2 台で作業を行い、6 時間で 1900[t]の粘土を採掘できるとした。

・不純物の除去（電磁気）カタログ値

処理能力 107[t/h], 消費電力は、0.021[Wh/kg].

・一次粉碎（ロールクラッシャー）カタログ値

粉碎機の所要電力は 220kW であり、処理能力は 65[t/h]である

・混練 カatalog値

装置の所要電力は 45[kW], 処理能力は 20[t/h].

・不純物の除去（金属探知機）カタログ値

所要電力は 200[kW]であり、処理能力は 34[t/h]

・二次粉碎（ロータリークラッシャー）カタログ値

粉碎機の所要電力は 3.7[kW], 処理能力は 10[t/h]である。

c) 瓦製造

工場は高浜市にあり、ここで原料供給、成形工程、乾燥工程、施釉工程、台車積工程、焼成工程、台車降工程、製品検査、梱包の工程を経て粘土瓦および再生瓦が製造される。データの収集はアンケート調査による。瓦製造工場では、粘土の 2%の量の釉薬を使用しているが、釉薬はカットオフした。

d) 粉碎 1

工場は高浜市にある。ここで、不良品瓦を粉碎して不良品シャモットを製造する。

e) 粉碎 2

工場は高浜市にある。ここで廃瓦を 10 μmまで粉碎したものが廃粘土瓦シャモットである。使用する粉碎機は、

粉碎 1 で使用するものとは別の装置を用いる。この装置の環境負荷は 158[Wh/kg]である。

f) 解体

解体現場を愛知県名古屋市のとした。

g) 中間処理

中間処分場は解体現場の周辺にあり、ここでは廃瓦を一時的にストックしておく場所である。本研究では、積み下ろし作業等にかかる環境負荷は考慮していない。

h) 最終処分

最終処分場は愛知県東海市にあり、ここで粘土瓦および再生瓦の製造にともなう廃棄物が埋立処分される。埋立てに関わる環境負荷は和田ら⁹⁾が調査した埋立て作業時の軽油消費量に表-1 の原単位を乗じて算出した。

i) 輸送

輸送には 10 トントラックを使用するものと仮定した。輸送距離を算出するために、goo 地図のルートガイドを使用した。粉碎 1 と粉碎 2 は同じ敷地内で行われるので、粉碎としてまとめた。本研究では製造までを評価したので、瓦製造から消費地までの輸送は考慮していない。

- ・水簾粘土の採掘から製土工場：63.3km
- ・山土の採掘から製土：52.7km
- ・三河粘土の採掘から製土工場：13.5km
- ・製土から瓦製造：1.1km
- ・瓦製造から粉碎：1.5km
- ・粉碎から製土：1.8km
- ・解体現場から中間処理：17.7km
- ・中間処理から最終処分：25.0km
- ・中間処理から粉碎：40.4km
- ・製土から最終処分：21.0km

表-1 使用した原単位

	単位	エネルギー消費量(MJ)	CO ₂ 排出量(kg)	NO _x 排出量(g)	SO _x 排出量(g)	文献
灯油	(l)	36.7	2.5	3.32	0.155	6
軽油	(l)	38.2	2.64	19.8	2.04	6
都市ガス	(m ³)	41.1	2.15	4.24	0.0346	6
電力	(kWh)	4.8	0.481	0.0678	0.0379	7
10[t]トラック	(km)	10.9	0.754	5.66	0.583	8
工業用水	(m ³)	1.2	0.123	0.0164	0.0097	9

(3)各環境負荷算出のための原単位

表1の環境負荷原単位を乗じることで各環境負荷を求めた。化石資源の原単位は独立行政法人 国立環境研究所地球環境センター⁹⁾から、電力の原単位は中部電力⁷⁾から引用した。輸送に関する原単位は社団法人 プラスチック処理促進委員会⁸⁾のデータより 10tトラックの燃費を 3.5km/l として算出した。工場で使用する工業用水の使用に係る環境負荷は、社団法人 産業環境管理協会⁹⁾の電力使用原単位にエネルギー使用に伴う環境負荷原単位を乗じて算出した。

(4)統合化

CO₂、NO_x、SO_xなどの環境負荷項目が地球温暖化・大気汚染・酸性化などの環境問題にどの程度の影響を与えるかは等しくないので、そのまま比較することは出来ない。そこで、本研究は各環境負荷項目をひとつの指標で比べるために Life-cycle Impact Assessment Method based on Endpoint Modeling (以下 LIME) という評価手法を用いて環境負荷指標の統合化を行った。LIME における環境負荷総量は CO₂、NO_x、SO_xなどの環境負荷排出量に統合化係数¹⁰⁾を乗ずることによって算出できる。LIME の統合化係数には 3 種類の統合化係数があるが、本研究ではコンジョイント分析により得られた無次元統合化係数を用いた。

地球温暖化に寄与するのは CO₂ 排出、酸性化および都市域大気汚染に寄与するのは NO_x と SO_x、資源消費に寄与するのは、軽油、灯油、天然ガス、電気である。使用した統合化係数表に電気がなかったため中部電力の CSR 報告書より計算した。また、統合化係数表に載

本研究では、化石燃料等の使用量にっていた化石燃料資源は石炭、原油、天然ガスのみであったので、重油、軽油、灯油については原油の統合化係数を代用した。LNG、LPG に関しては天然ガスの統合化係数を用いて統合化を行った。廃棄物に関しては、ガラス陶磁器くず(産業廃棄物)の統合化係数を用いて統合化した。粘土の消費に関しては、統合化係数がなかったので評価していない。

3. 結果及び考察

(1)環境負荷項目の比較

粘土瓦製造システムと再生瓦製造システムの各環境負荷の比較を図-2 から図-5 に示す。再生瓦製造システムの導入によってエネルギー消費量および CO₂ 排出量は増加したが、一方で、NO_x および SO_x の排出量は減少する結果となった。これは、再生瓦製造システムでは、NO_x および SO_x の排出量が軽油より少ない電力の消費量が増大するためである。

各工程のエネルギー消費および CO₂ 排出量をみると、両瓦ともに瓦製造工程の値が大きいことが分かる。また、再生瓦では使用済み瓦の粉碎工程の値が大きいことがわかる。現在、各地で窯業製品をリサイクルしようとする活動が盛んである。製造工程に多くのエネルギーを消費する点、使用済み製品の粉碎に多くのエネルギーを消費する点は、どの窯業系リサイクルにも共通する特徴であるといえよう。

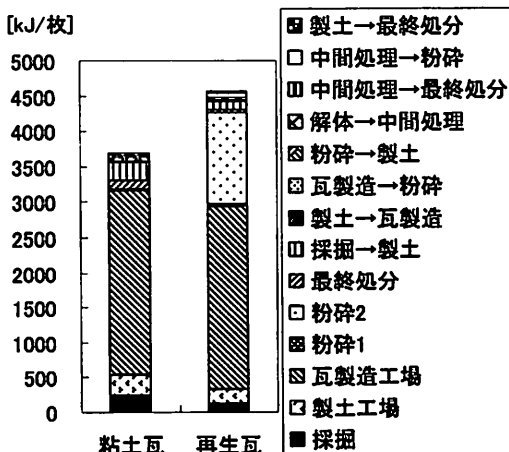


図-2 エネルギー消費の比較

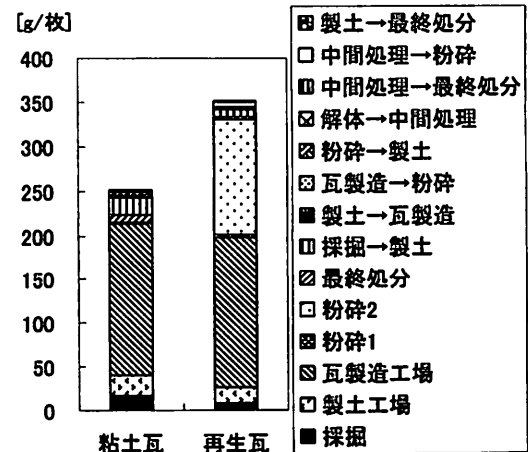


図-3 CO₂排出量の比較

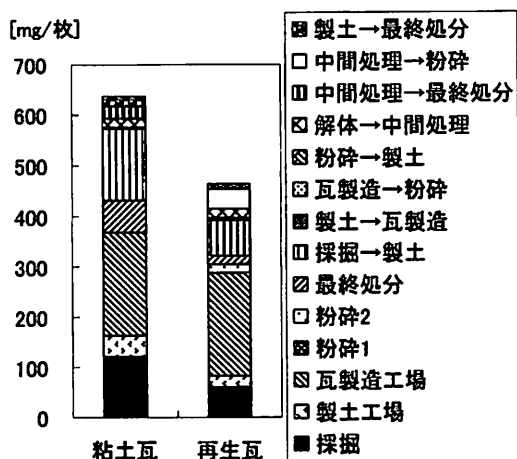


図-4 NOx 排出量の比較

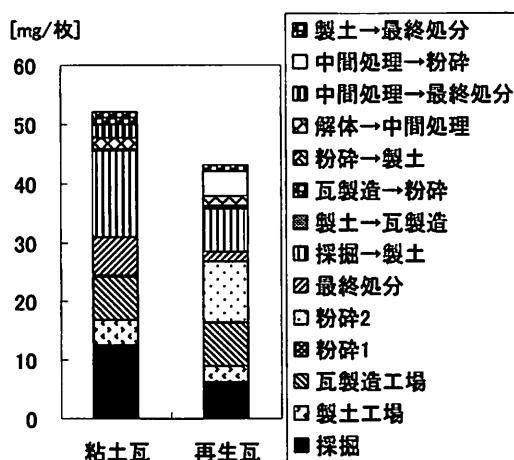


図-5 SOx 排出量の比較

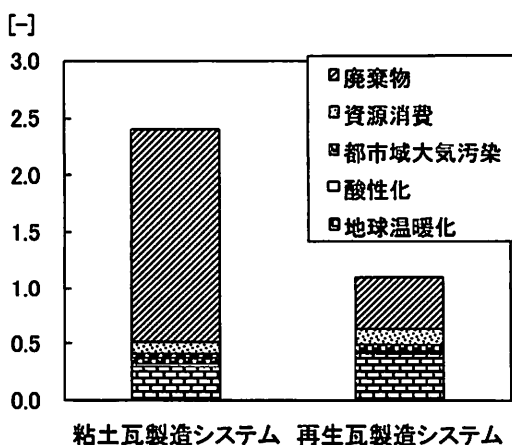


図-6 統合化の結果

(2)統合化の結果

統合化の結果を図-6に示す。再生瓦製造システムの導入によって、地球温暖化および酸性化に対する環境影響は増加するが、その一方で、廃棄物の低減効果が優れているため、全ての環境影響を統合化すると、再生粘土瓦製造システムは従来の粘土瓦製造に比べて優位であることが示された。

4. おわりに

本研究では廃粘土瓦を利用して再生瓦を製造するリサイクル導入による環境負荷低減効果をライフサイクルアセスメントの手法に基づいて分析し評価した。その結果、瓦製造の各工程でのエネルギーの消費量が明らかになった。再生瓦製造システムの導入によりエネルギー消費とCO₂排出量は増大するが、NOx排出量とSOx排出量、廃棄物発生量は減少する。これらの環境負荷を統合化すると、LIMEによる評価では環境負荷が低減することが示唆され、今後は再生瓦製造システムを積極的に導入していくべきだという結論に至った。このリサイクルをより定着させるために、企業が再生瓦製造システムを採用した場合に伴う人件費等コストの増減や消費者の需要を調べるのが望ましい。

謝辞：本研究は、地域新生コンソーシアム研究開発事業（粘土瓦再生循環システムの構築）の支援を受けた。また研究を進めるにあたり、アンケート調査にご協力を頂いた愛知県陶器瓦工業組合様、(株)神清様をはじめ関係者各者に、この場を借りて厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 住宅金融公庫, 平成14年度住宅・建築主要データ2003.
- 2) 環境情報科学センター, ライフサイクルインベントリー分析の手引き, 化学工業日報社, 1998.
- 3) 稲葉 敦, LCAの実務, 社団法人 産業環境管理協会, 2005
- 4) 日本建設機械化協会, 建設機械等損料表 平成19年度版2008.
- 5) 和田安彦, 三浦浩之, 中野加都子, LCAにおけるリサイクルと廃棄物処理・処分の評価手法とその適用, 土木学会論文集, No.539, II-35, p.155-165, 1996.
- 6) 独立行政法人 国立環境研究所 地球環境センター, 産業連関表による環境負荷原単位データブック, 2002.0
- 7) 中部電力, 環境報告, 事業活動と環境負荷(2006年実績) 2007.
- 8) 社団法人 プラスチック処理促進委員会, プラスチック製品の使用量増加が地球環境に及ぼす影響評価報告書, 1993.
- 9) 社団法人 産業環境管理協会, 製品等ライフサイクル環境影響

EVALUATION OF ENVIRONMENTAL IMPACT REDUCTION EFFECT BY INTRODUCTION OF CLAY ROOF TILE RECYCLING SYSTEM

Kota YAMAGUCHI, Hirotugu KAMAHARA, Naohiro GOTO
and Tatsuo INAYOSHI

This study purposed to evaluate environmental impact reduction effect by introduction of clay roof tile recycling system which is developing now, by applying life cycle assessment. Environmental loads were selected energy consumption, CO₂ emission, NOx emission, SOx emission and waste emission. As a result of inventory analysis, energy consumption and CO₂ emission were increased, and NOx emission and Sox emission and waste emission were decreased, by introduction of clay roof tile recycling system. Furthermore, they were evaluated to integrate each environmental loads by using Life-cycle Impact Assessment Method based on Endpoint Modeling(LIME). The result showed that integrated environmental loads would be decreased by introduction of clay roof tile recycling system.