

特集 健康な地球・健康な人間・健康な材料

## 耐火物の LCA データ\*

畠 田 文比古\*\*

## 1 はじめに

耐火物の LCA データと聞いて、「何だそれは」と思われた方は LCA (life cycle assessment) をよくご存知か、あるいは LCA をご存知ない方であろう。表題を「耐火物の LCA データ」とさせていただいたが、この言葉の意味は実にあいまいである。

LCA とは、物のゆりかごから墓場までの環境への影響を数値評価する手法である。したがって、LCA を実施した結果をさして LCA データとよぶことがある。その一方で、LCA に用いるデータを LCA データとよぶこともある。後者は、正しくは LCI (life cycle inventory) データと呼ばれる。ここで述べる耐火物の LCA データとは、LCI データのことである。

筆者は、残念ながら、耐火物の LCA を実施したことがない。実は、LCA を実施できるだけの知識もない。そんな筆者ではあるが、LCA プロジェクトに参加する機会を得て、4年半にわたり耐火物の LCI データを集めたので、ここにその結果の概要を報告する。LCA をご存知ない方には何かのご参考になると思う。

## 2 LCA とは何か

## 2.1 ゆりかごから墓場まで

LCA とは、原材料の採取から製造、使用および廃棄に至るすべての過程をとおして、製品が環境に与える負荷の大きさを定量的に整理、評価する手法である<sup>1)</sup>。こういわれても LCA をご存知ない方は、頭に LCA のイメージを浮かべることはできないであろう。世の中、LCA の概念だけが先行して、具体像が遅れている。ISO 14040:1997「環境マネジメント—ライフサイクルアセスメント—原則及び枠組み」の序文に、つぎのような記述がある。

「この規格は、LCA がまだ開発の初期段階にあると

の認識に立っている。影響評価など一部の LCA 技法の構成段階は、相対的にまだ揺らん期にある。」

この規格が制定されてすでに5年以上経過したが、LCA の手法はまだ確立されたとはいいがたく、普及もこれからというのが実情である。

耐火物の例をあげて LCA 的な考え方を説明する。耐火物は、定形耐火物と不定形耐火物とに分類される。定形耐火物とは耐火れんがのことであり、不定形耐火物とは、流込み材、吹付け材、耐火モルタルなど、出荷時に形が定まっていない耐火物のことである。オイルショック後の一時期、不定形耐火物は焼成耐火れんが(以下この節では「耐火れんが」という)と比較して省エネルギー的であるといわれたことがある。理由は、製造時に焼成過程がないためである。しかし、不定形耐火物は耐火れんがと比較して耐用性が低いために、より高級な原料が使用されていた。高級な原料とは、天然原料に対する合成原料、焼結原料に対する熔融原料などである。つまり、不定形耐火物は、製造段階では省エネルギーであるが、原料の製造段階まで遡ると一概にそうとはいえない。さらに、使用、廃棄の段階まで考慮した、ライフサイクル全体で環境への影響を評価しなければ正しい判断はくだせない。各段階での環境影響要素に関して、耐火れんがと不定形耐火物とを比較して図1に示す。

図中の二重円でかこんだ項目は環境負荷が大きい要素である。その理由を示すとつぎのとおりである。

## 1) 原料の製造

耐火れんがは、焼成過程で焼結によって強度が得られる。これに対して、不定形耐火物はアルミナセメントやケイ酸ソーダなどのバインダーを含有させて強度を得ている。これらバインダーは耐火物にとって不純物であり、高温での性能を劣化させる原因となる。そのため、不定形耐火物はより高級な原料を使用して高温性能の劣化を補っている。高級原料とは合成原料や熔融原料をさし、天然原料や焼結原料と比較して原料製造段階でのエネルギー消費が大きい。

\* LCA Data for Refractories

\*\* Fumihiko HATAKEDA

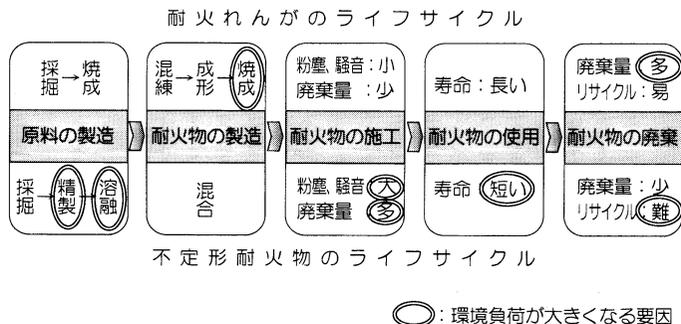


図1 耐火れんがと不定形耐火物との環境負荷比較

## 2) 耐火物の製造

製造段階では、不定形耐火物は原料を混合、袋詰めして出荷される。これに対して耐火れんがは、混練、成形、焼成など多くの工程があり、特に焼成工程では千数百度の高温処理のため、燃料の消費のみならずCO<sub>2</sub>(二酸化炭素)、NO<sub>x</sub>(窒素酸化物)、SO<sub>x</sub>(硫黄酸化物)など環境負荷物質を含んだ排ガスが発生する。

## 3) 耐火物の施工

窯炉への施工にあたって、耐火れんがはそのまま、あるいは少量のモルタルを介して積みあげられる。これに対して不定形耐火物は、施工現場で水と混合され、流込みあるいは吹付けて使用される場合が多い。そのため、不定形耐火物の施工では、粉塵、騒音、混練装置の洗浄汚水などが発生しやすい。また、水と混合された材料は再使用できないために廃棄処分される。

## 4) 耐火物の使用

使用時の寿命を比較した場合、前述の理由から不定形耐火物の方が短命なのが一般的である。寿命が短いということは使用量が多くなることであり、原料の採掘から製造段階までの環境負荷の総量が増加することになる。

## 5) 耐火物の廃棄

不定形耐火物はつぎたし補修が可能であり、耐火れんがと比較して解体くずの発生を抑制できる。一方、解体くずのリサイクルを考えると、バインダーなどの不純物が少ない耐火れんがのほうがリサイクルが容易で、廃棄物の発生を抑制できる。

このように考えていくと、耐火物の環境負荷を評価するには原料の採掘から製造、使用、廃棄まで、すべての過程の環境負荷を考慮しなければ意味がないことがお分かりいただけるであろう。

## 2・2 LCAの手法

手法を理解するために、CO<sub>2</sub>の排出量に関して耐火物のLCAを考えてみる。もちろん、断片的で仮想的なLCAであることをことわっておく。

手順はおおむねつぎのようになる。

- 1) 製品のライフサイクルを明らかにする。
- 2) 各段階でのCO<sub>2</sub>排出量を調査する。
- 3) 調査データを集計し、結果をまとめる。

こう書くと、さほど大変な作業ではないように思えるが、これがなかなか大変である。とくに2)の調査は容易なものではない。たとえば製造段階までのCO<sub>2</sub>排出量について何を調査すべきかを例示するとつぎのとおりとなる。

### 1) 工場からの直接的排出

- ① 焼成炉、ボイラーなどからの排出。
- ② 工場内で使用する車両からの排出。

などがあげられる。ちなみに、人の呼吸による排出は対象としない。なぜなら、人はどこにいても呼吸するので、耐火物の製造に起因するものではないと考える。

### 2) 原料、資材の使用に起因する間接的排出

- ① 原料・資材の採掘、運搬、加工時の排出。
- ② 原料・資材の製造設備を製造する際の排出。
- 3) 燃料、エネルギーの使用に起因する間接的排出

- ① 燃料・エネルギーの採掘、運搬、製造時の排出。
- ② 燃料・エネルギーの製造設備を製造する際の排出。

### 4) 製造設備に起因する間接的排出

- ① 耐火物の製造設備を製造する際の排出。
- ② 耐火物の製造設備を製造するための設備、機械を製造する際の排出。

など、耐火物の製造段階までのLCAを実施するには、関連するさまざまな資材、設備のデータが必要になる。これらのデータをLCIデータと呼ぶ。この関

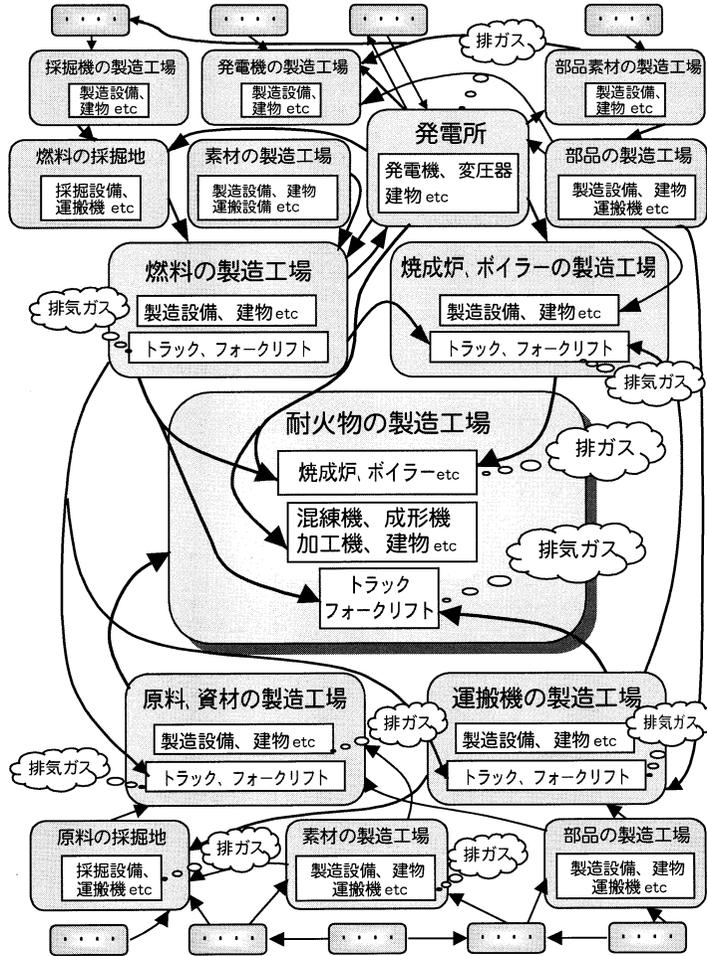


図2 耐火物の製造に関連する物およびエネルギーの流れ

係を模式的に示すと図2のようになる。

LCAを厳密に行うには無限のつながりを追ってLCIデータを調査しなければならないが、それは不可能である。そこで、結果への影響度を考慮して調査範囲を決めることになる。たとえば、原料については使用比率の累積が99 massパーセントまでというふうに決めればよい。このように範囲を決めて調査し、集計して耐火物製品1 kgあたりのCO<sub>2</sub>排出量を求める。

### 2・3 何のためのLCAか

LCAを実施する場合には、どういう目的で何を評価するかを決めておかなければ、必要なデータさえわからない。たとえば、地球温暖化への影響を評価するならば、CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>(メタン)、N<sub>2</sub>O(亜酸化窒素)などの温室効果ガスについて調査しなければならない。耐火物と流込み材とで排出量を調査、集計すれば、

地球温暖化防止のためにどちらが好ましいかを比較できる。また、排出量が多い項目を調べれば、削減を検討するための基礎資料とすることもできる。

しかし、ただ漠然と環境への影響を比較するためにLCAを実施しても意味が無い。LCAを実施する場合には、どういう目的で何を評価するかを最初に決めておかなければならない。

### 3 LCAプロジェクト

LCAを実施するには、その製品に使用される素材、部品のLCIデータが必要である。身近な例として、自動車には鉄鋼製品が使用されている。窓にはガラスもある。したがって、自動車のLCAを行うには鉄鋼やガラスの製造、搬送段階までのLCIデータが必要である。ところが、鉄鋼もガラスも製造段階で耐

火物を使用している。つまり、耐火物の LCI データがなければ、厳密な意味で自動車の LCA は実施できないのである。(図 3)

このように考えると、代表的な工業製品の LCI データを整備することは、LCA の普及とレベルアップのために有効で、しかも必要なことである。

経済産業省は、1998 年から 5 年計画の国家プロジェクトとして「製品等ライフサイクル環境影響評価技術開発」(通称 LCA プロジェクト)を発足させた。目的は、日本において共通使用できる、1) LCA 手法、2) LCA データベース、3) ネットワークシステムの開発である。このプロジェクトは、NEDO(新エネルギー・産業技術総合開発機構)からの委託を受けて(株)産業環境管理協会が事務局となり、図 4 に示すように三つの研究会に分かれて活動した。

インベントリ研究会は、製品が使用される段階までのいわゆる動脈系を対象とする WG-1 (working group-1) と、廃棄段階のいわゆる静脈系を対象とする WG-2 (working group-2) とに分れる。WG-1 には国内 22 工業会が参加し、製品・素材・エネルギーの LCI データを収集した。耐火物協会もこの研究会に参加し、耐火物の LCI データを調査、収集した。

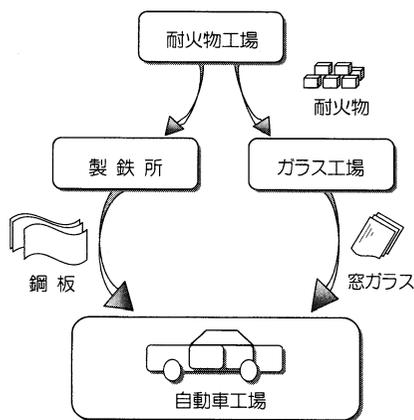


図 3 自動車の LCA にも耐火物の LCI データが必要

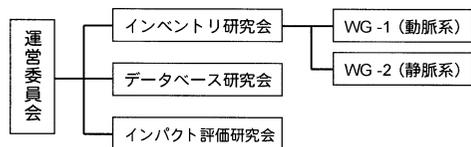


図 4 LCA プロジェクトの組織概要

## 4 耐火物の LCI データ

### 4・1 対象範囲

先にも述べたように、調査範囲を決めることは重要である。データの対象範囲が不明確では、比較評価ができないので利用価値は無いに等しい。耐火物の LCI データの対象範囲は、製造段階のみとした。また、対象製品は、焼成耐火れんが、不焼成耐火れんが、不定形耐火物の 3 種、およびそれらを生産量で加重平均した耐火物の計 4 種とした。

### 4・2 LCI 入力データ

入力データとは、製造段階で使用されるエネルギー、原料、資材、設備などのデータである。耐火物の LCI データには、エネルギーとして電力や重油など、原料としてマグネシアクリンカーや耐火粘土など、設備として成形で使用するプレス用金型を取り上げた。おもな LCI 入力データを表 1 に示す。プレス用金型は、代表各社の調査データである。その他はいずれも、統計データを基に消費量を耐火物生産量で除した値である。たとえば、焼成耐火れんがを 1 kg 製造するには、マグネシアクリンカーが 150 g 使用されることを示している。もちろん、これらの値は平均値であって、実際には耐火物の材質や製造条件によって原料の種類や燃料の消費量は大きく異なる。

表 1 から、製造段階での重油消費量が耐火物の種類によって大きく異なることが分かる。また、原料の使用比率も焼成と不焼成とは差がある。たとえば、不焼成耐火れんがでは、マグネシア・カーボン質の生産比率が高いためにマグネシアクリンカーの値が大きくなっている。

表 1 耐火物の LCI 入力データ

入力項目	焼成耐火れんが	不焼成耐火れんが	不定形耐火物
電力/kWh·kg <sup>-1</sup>	0.28	0.30	0.05
重油/l·kg <sup>-1</sup>	0.15	0.06	0.002
マグネシアクリンカー/kg·kg <sup>-1</sup>	0.15	0.55	0.16
耐火粘土/kg·kg <sup>-1</sup>	0.12	0.02	0.19
溶融アルミナ/kg·kg <sup>-1</sup>	0.02	0.09	0.13
ろう石/kg·kg <sup>-1</sup>	0.34	0.01	0.01
プレス用金型/g·kg <sup>-1</sup>	2.2	0.9	—

LCAを行うには、これら入力項目の一つ一つについて、製造段階に投入されるまでのLCIデータを調査、集計しなければならない。たとえば、重油の消費に起因する環境負荷は、重油の使用段階で発生するCO<sub>2</sub>やNO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>などに限らず、重油が採掘、輸送、精製されて使用場所に搬入されるまでの環境影響も考慮しなければならない。したがって、LCAを実施するには、重油を採掘して耐火物工場に搬入するまでのLCIデータも必要である。

#### 4・3 LCI出力データ

出力データとは、製造段階で発生するものが製造場所から外に排出される量の情報である。たとえばCO<sub>2</sub>、懸濁物質など大気・水域に排出される環境負荷物質や、副産物、廃棄物などの情報を、耐火物製品1kgあたりの量で示す。

大気に排出する環境負荷物質として、温室効果ガス(CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>Oなど)およびNO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, ばいじんを調査した。水域への環境負荷として懸濁物質, BODおよびCOD, 副産物および廃棄物として、鉄スクラップ, ガラスくずおよび陶磁器くず<sup>2)</sup>を調査した。表2におもなLCI出力データを示す。

なお、CO<sub>2</sub>については燃料の種類別の排出係数<sup>3)</sup>, CH<sub>4</sub>およびN<sub>2</sub>Oについては炉の種類別の排出係数<sup>4)</sup>を用いて排出量を推定した。NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>については実測値を基本としつつ、燃料使用量データからの推定値も参考にした。廃棄物は、たとえば、焼成耐火れんがが1kg製造当たりの埋立て処分量が27gであることを示している。

表2を基に製造段階における環境負荷を耐火物製品3種で比較すると、CH<sub>4</sub>を除いて、焼成耐火れんががもっとも大きく、ついで不焼成耐火れんが、不定形耐火物の順となる。しかも、その差は大きい。入力データにおいても同様の傾向がある。評価項目は限定

的ながら、これらのデータから製造段階の環境負荷を定量的に比較することも可能である。ただし、これらのLCIデータは、耐火物のLCAを実施するためのものではなく、耐火物を使用して製造される製品・素材のLCAを実施するためのものであることをことわっておく。耐火物のLCAを実施するには、対象とする耐火物製品(たとえば、○○工場で製造される△△質耐火れんが)のLCIデータを用いなければならない。

#### 5 おわりに

ここで紹介した耐火物のLCIデータは、耐火物を使用して製造される製品・素材のLCAを実施するためのものである。

耐火物は、生石灰はもとより、金属、ガラス、セメントなど各種工業製品の製造のほか、廃棄物処理炉にも使用されている。LCIデータの提供によって、耐火物を使用して製造される製品やプロセスのLCAに少しでも貢献できれば幸いである。

#### 文 献

- 1) ㈱日本機械工業連合会編, “ISO14040 シリーズ対応 企業のためのLCAガイドブック”, 日刊工業新聞社(2001) p. 1.
- 2) 廃棄物の処理及び清掃に関する法律施行令第二条の七.
- 3) 平成14年度温室効果ガス排出量算定検討会 エネルギー・工業プロセス分科会報告書(燃料), 環境省温室効果ガス排出量算定方法検討会(2002) p. 5, 61, 123.
- 4) 平成14年度温室効果ガス排出量算定検討会 エネルギー・工業プロセス分科会報告書(各種炉分野), 環境省温室効果ガス排出量算定方法検討会(2002) p. 16, 22.

#### 筆者紹介

畠田文比古 耐火物協会環境安全対策委員会委員長

1976年東京工業大学工学部無機材料工学科卒, 同年品川白煉瓦(株)入社, 1999年耐火物協会環境安全対策委員会委員, 2000年委員長, 現在に至る。

連絡先 〒104-0061 東京都中央区銀座7-3-13 (耐火物協会)

(2003. 5. 29 受付)  
(2003. 7. 7 受理)

表2 耐火物のLCI出力データ

出力項目	焼成耐火れんが	不焼成耐火れんが	不定形耐火物
CO <sub>2</sub> /g·kg <sup>-1</sup>	450	230	12
CH <sub>4</sub> /g·kg <sup>-1</sup>	0.000	0.067	0.005
N <sub>2</sub> O/g·kg <sup>-1</sup>	0.006	0.002	0.000
NO <sub>x</sub> /g·kg <sup>-1</sup>	3.4	0.29	0.01
SO <sub>x</sub> /g·kg <sup>-1</sup>	1.8	0.38	0.01
廃棄物/g·kg <sup>-1</sup> (ガラス・陶磁器くず)	27	12	8.1