

— 経常研究 —

低温焼成磁器製品「湯飲み」の ライフサイクルにおける環境負荷の定量化

陶磁器科 河野 将明・吉田 英樹
山口 英次・小林 孝幸・梶原 秀志

要 約

本研究では、日用食器の環境負荷量を定量化するため、磁器製湯呑みをモデルケースとしてカーボンフットプリント（CFP）を用いて、ライフサイクルアセスメント¹⁾（LCA）手法によりCO₂排出量の算定を行った。

算定は原料調達、生産、流通、使用維持、廃棄・リサイクルに至るまでのライフスタイル全体を通して排出される温室効果ガスの排出量をCO₂に換算して行った。その算定に必要なデータを得るため、製造工程で使用する電気、ガス、水道の使用量に加え、陶土や釉薬等の原材料、梱包に使用するビニールやクッション材等の資材も対象として調査した。さらに、原材料や資材の仕入先、製品の販売先までの輸送距離、製品を家庭で使用する時の洗浄や乾燥にかかる電気、ガス、水道の使用量も対象とした。これらのデータを用いて算定が迅速にできるソフトの開発も合わせて行い、製品のCO₂排出量を求めた結果、ライフサイクル全体のCO₂排出量は7.4kgとなった。この算定結果により、家庭用食器として初めてCFP製品の認定を受け、ソフトの有効性も検証された。

キーワード：家庭用食器、環境負荷量、ライフサイクルアセスメント、CO₂排出量、カーボンフットプリント

1. はじめに

地球温暖化対策のため、温室効果ガスであるCO₂の排出量削減が国際的に重要な課題となっており、企業活動においては、CFPにより商品やサービスの原材料調達から廃棄・リサイクルに至るまでのライフサイクル全体を通して排出される温室効果ガスの排出量をCO₂に換算して、商品やサービスに分かりやすく表示する取り組みが行われている²⁾。

日本では、大手スーパーやメーカーがこの活動に取り組んでおり、CFPの認定を受けた自社製品を環境配慮製品として消費者にPRしている^{3)・4)}。たとえば、日本生活協同組合連合会では、衣料用粉末洗剤、食品包装用ラップフィルム、ロースハムなど56商品（2013年12月現在）についてCFP認定⁵⁾を受け、CFPを通じて消費者とのコミュニケーションを進めている。

これまで、国内でCFP認定を受けた商品は、「衣

料品関連」、「印刷関連」、「オフィス関連」、「食品関連」、「土木・建築関連」、「生活用品」、「その他産業用」に分類され、CFP宣言認定製品とし多数登録されている。この中には、業務用の陶磁器製食器はあるが家庭で使用する家庭用食器はなく未開拓の状況にある。

一方、企業が自社製品のCFP認定を受けるためには、製品のライフサイクルにおけるCO₂排出量を計算し、その計算結果が適正かどうか第三者による検証を受け、承認される必要がある。そのCO₂排出量の計算過程の項目は非常に多岐にわたり詳細であるため、多くの日数と労力を必要とする。そのため、家庭用食器を製造する中小企業が独自にCFPによるCO₂排出の算定を行うことはきわめて困難である。

そこで本研究では、環境に配慮した陶磁器製品作りの支援を目的として、陶磁器製品のCFPの算出と迅速に計算できるソフトの開発を行った。

2. 評価方法

2.1 CFP算定の対象製品

当センターでは、これまでに未利用の天草低火度陶石を利用した素材により、従来の1300℃焼成より100℃低い1200℃焼成した低温焼成磁器の開発を行ってきた⁶⁾。表1に示す仕様で開発した湯飲みをCFP算定対象製品とした。

2.2 磁器食器湯飲みのCO₂排出量の算定するためのデータ収集方法

磁器食器湯呑みの環境負荷量は、カーボンフットプリント算定・表示試行事業において2010年9月8日公表された対象製品の中で「食器(陶磁器製品および合成樹脂製品)」の商品種別算定基準⁷⁾(PA-AQ-02、以下PCRと略す)を利用して行った。

各段階のプロセスのうち、PCRで一次データ⁸⁾の取得が規定されたプロセスおよび一次データ取得が可能であったプロセスについては当センターでデータ収集を行った。たとえば、製造工程で使用する電気、ガス、水道の使用量に加え、陶土や釉薬等の原材料の使用量、梱包に使用するビニール袋やクッション材等の資材も対象とし、さらに、原材料や資材の仕入先、製品の販売先までの輸送距離などもデータを収集した。これ以外のプロセスについては、CFPコミュニケーションプログラム(一般社団法人産業環境管理協会)が公開しているCFP算定用二次データ⁹⁾から該当する数値を二次データとして引用した。

2.3 原料調達段階のCO₂排出量の算定

この段階で収集した主要なデータは、陶土メーカ

ーから陶土を調達する輸送距離、製品の成形に用いる陶土量、石膏メーカーから石膏原料を調達する輸送距離、原型、捨て型、使用型を製作するために必要な石膏量と製作した型の寿命、下絵付加飾に使用する絵具を調達する輸送距離、絵付けするための使用量、釉薬をメーカから調達する輸送距離、製品の施釉に使用する釉薬の量、製品を梱包する資材を調達する輸送距離、梱包に用いる資材の重量である。これらのデータを基にこの段階のCO₂排出量を求めた。その排出量の計算は、陶土の輸送を例に挙げると、原材料の輸送では、トンキロ(tkm)法により、次の式1より求めた。

$$\text{輸送量(tkm)} \times \text{トラック輸送(10トン車:積載率62\%)} = \text{CO}_2 \text{ 排出量} \quad (\text{式1})$$

陶土の購入先から当センターまでの輸送距離¹⁰⁾を導出し、トラック輸送はPCRシナリオを使用した。輸送量の例として、求めた陶土輸送量の計算式は式1-1に示す。

$$\begin{aligned} [\text{陶土輸送量}] & 1.14 \times 10^{-3} \text{tkm} = \\ & ([\text{陶土投入量}] 1.82 \times 10^{-1} \text{kg} \times [\text{陶土輸送距離} \\ & (\text{購入先} \Rightarrow \text{長崎県窯業技術センター})] 6.3 \text{km} \times \\ & [\text{単位変換(kg} \rightarrow \text{t)}] 1.00 \times 10^{-3}) \end{aligned} \quad (\text{式1-1})$$

2.4 生産段階のプロセスとCO₂排出量の算定

湯飲みを生産するときのプロセスを図1に示す。

生産に関する工程では利用した装置の電力や水道、ガス使用量からCO₂排出量を求めた。また、石膏ロス(石膏型製作における余分な石膏)、陶土

表1 湯飲み製品の仕様

製品の的外観写真	項目名称	内 容
	製品名称	低温焼成磁器食器湯飲み
	使用用途	日用食器
	材 質	磁器
	製品サイズ	外形7.52cm、高さ7.75cm
	製品最小充填容積	344cm ³
	製品重量	0.14kg
	最終製品個数	150個

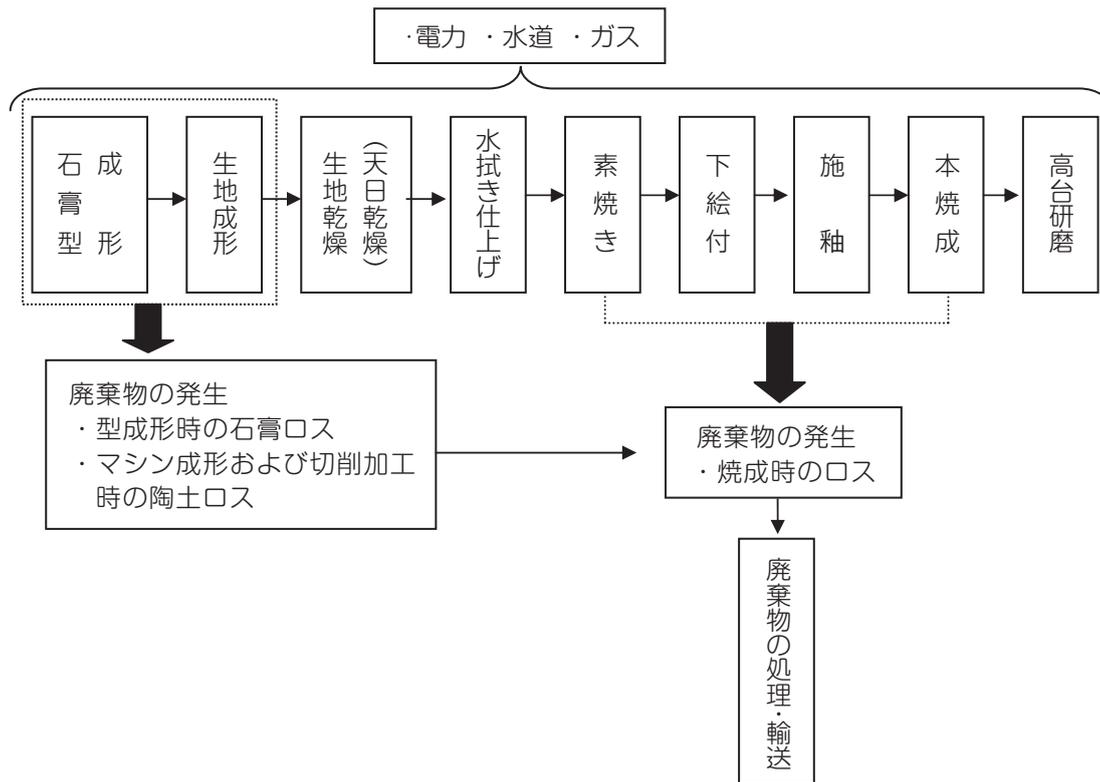


図1 湯飲みを生産するときのプロセス

ロス（成形や切削における余分な陶土や不良品）、焼成時のロス（焼成における不良品）などの廃棄物を埋立て処理場まで輸送するために排出されるCO₂量を求めた。

この段階における主なCO₂排出源となる項目として、電力、水の使用やガスの燃焼によるCO₂排出がある。電力消費にともなうCO₂排出について、たとえば、石膏型を作る際に真空攪拌機の使用や素焼き焼成プロセスでの電気炉の使用がある。電力を使用する装置でのCO₂排出量の算定は、機械装置の個々の電力消費量が実測できるもの(ア)、製品の製造時に使用する機械の定格電力と稼働時間(イ)に分けて行った。それぞれを式2、3に示す。

(ア) 実測した電力消費量にともなうCO₂排出量

$$= \text{機械装置の電力消費量実測値} \div \text{製品の製造個数} \times \text{排出原単位} \quad (\text{式2})$$

(イ) 定格電力と稼働時間にともなうCO₂排出量

$$= \text{各機械・設備の定格電力値} \times \text{負荷率} \times \text{稼働時間} \div \text{製品個数} \times \text{排出原単位} \quad (\text{式3})$$

ここでの負荷率は、一般的に定格電力の算定では個々の機械の負荷率が判明しないことが多いため、過小評価を回避するために100%として計算を実施した。

ガス消費は本焼成プロセスにおけるガス窯であり、窯のCO₂排出量は式4で算定した。ガス使用量は今回の製品を1200℃の温度で8時間50分還元焼成したときの実測値を使用した。ガスの比重は日本LPガス協会ノルマルブタン比重値を使用した。

ガス消費にともなうCO₂排出量

$$= \text{ガス窯の実測ガス使用量} \div \text{製品の製造個数} \times \text{排出原単位} \quad (\text{式4})$$

水の消費にともなうCO₂排出は、石膏型製造、釉薬、絵具に水を使用することで発生する。これらの原料に対する水の使用量は、実測値により式5で算定した。

水の消費にともなうCO₂排出量

$$= \text{製品1個あたりの水使用量} \div \text{製造歩留まり} \times \text{排出原単位} \quad (\text{式5})$$

2.5 流通段階のCO₂排出量の算定

製造現場から消費者の手元に届くまでの輸送に係るプロセスを図2に示す。磁器湯呑みは窯業技術センターで製造し、毎年4月29日から5月5日まで開催されるはさみ陶器まつり会場でモニター販売した。製品を製造した当センターから販売先までの実測の輸送距離¹⁰⁾と輸送物の重量（製品と梱包資材）、輸送にはライトバンを用い積載率を75%として式1よりCO₂排出量を算定した。

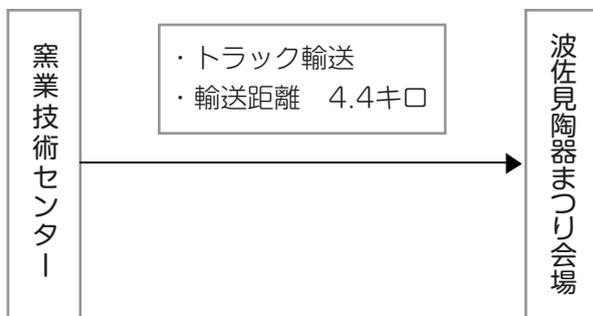


図2 湯飲みの流通段階の輸送プロセス

2.6 使用維持段階のCO₂排出量の算定

製品は消費者が使用するため、使用維持段階のデータ収集は困難である。そのため洗剤、水、燃料、下水処理の使用量は、食器1回の洗浄・乾燥にともなうCO₂排出量の2次データを用い、製品想定使用回数を1000回として算定した。

2.7 廃棄・リサイクル段階のCO₂排出量の算定

この段階でのCO₂排出量は、使用済み製品の廃棄輸送量、使用済み梱包材などの焼却処理量、使用済み製品埋立処理量、使用済み製品リサイクル準備量、使用済み梱包材PE燃焼量の5つの要素を基に算定した。

使用後の製品の廃棄量やリサイクル量のようなデータは、収集することが困難であるため、PCRシナリオを利用した。例として、廃棄物輸送、廃棄物処理・リサイクル、廃棄物中の炭素燃焼について、それぞれ式6、7、8よりCO₂排出量を求めた。

$$\text{廃棄物輸送にともなうCO}_2\text{排出量} = \text{輸送量} \times \text{排出原単位} \quad (\text{式6})$$

$$\text{廃棄物処理・リサイクルにともなうCO}_2\text{排出量} = \text{製品1個あたりの廃棄物重量} \times \text{排出原単位} \quad (\text{式7})$$

$$\text{廃棄物中の炭素燃焼にともなうCO}_2\text{発生量} = \text{製品1個あたりの廃棄物中の炭素重量} \times \text{排出原単位} \quad (\text{式8})$$

2.8 陶磁器製食器のCFP算定ソフトの開発

CFP算定ソフトは、CFPホームページ内で公開されているCFPtool ver. 3.0β¹¹⁾をもとに、2.1から2.7項の内容を網羅したものをマイクロソフト社エクセルソフトで算定できるように開発した。

3. CFP算定結果

陶磁器製品のライフサイクルにおける各段階のCO₂排出量を求めた結果と成果品としてのCFP認定登録製品と算定ソフトについては、以下のとおりである。

3.1 原料調達段階のCO₂排出量

この段階でCO₂排出量の算定に必要なデータ項目数は、30であった。それは製品を得るために必要な陶土や釉薬の使用量をはじめ、陶土を包む梱包資材や焼成時に製品と棚板が固着しないように敷くアルミナ粉やさらには製品を梱包する資材の量まで含み、さらにそれぞれの入手先から当センターまでの輸送によるCO₂排出量まで及んでいる。今回の製品において、この段階で必要としたデータ項目数は12であり、CO₂排出量を求めた結果、この段階は、0.13kgとなった。

3.2 生産段階のCO₂排出量

この段階での算定に必要なデータ項目数は42であった。そのうち今回の製品では21のデータ項目を用いた。水、電力、ガスを使用したプロセスでのCO₂排出算定の例をそれぞれ以下に記す。

水を用いた例として、成形された半製品の水拭き仕上げ装置がある。この装置のタンクに入れる水の量を製品個数で配分して水拭き仕上げ時の水の使用

量を割り出し、このプロセスのCO₂排出量を算出した結果は7.9×10⁻⁵kgであった。

電力を用いた例として、素焼きプロセスの電気炉がある。このプロセスでのCO₂排出量の算定にあたり、稼働時間を実測し式3による、定格電力と稼働時間から使用電力量を割出した。さらに電気炉に素焼き製品を積載できる最大積載個数で割って1個あたりの電力使用量を算出した。その結果、このプロセスでのCO₂排出量は、0.39kgであった。

ガスを用いた例として、本焼成プロセスのガス窯がある。このプロセスでのCO₂排出量の算定は、式4より稼働時間のガス使用量の実測値に窯の最大積載個数から1個あたりのガス使用量を算出した。そして、本焼成積載個数と製品個数から製品1個あたりのガス使用量を算出した。このプロセスでのCO₂排出量は、0.53kgであった。

CO₂排出量が多い焼成プロセスにおいて、焼成温度の違いによるCO₂排出が違いを見積もったところ、焼成温度が1300℃から1200℃にすることでCO₂排出削減効果は17%であった。

3.3 流通段階のCO₂排出量

この段階での輸送プロセスにともなうCO₂排出量は、4.53×10⁻⁴kgであった。図2に示すように販売先が限定されているため、CO₂排出量は容易に算定できた。

一般的な製品は、産地問屋から消費地問屋を経て最終的には販売店舗に輸送される。輸送にともなうCO₂排出量は、販路が限定されていれば輸送距離のデータを収集できるが、多岐にわたる場合は収集が困難であるため、PCRで規定されている輸送シナリオで求めることになる。

3.4 使用維持段階のCO₂排出量

この段階でのCO₂排出量は、製品の洗浄、乾燥にともなうものであるが、実測することは困難であるため、PCRで規定されているシナリオを用いて求めたところ、5.78kgとなった。

3.5 廃棄・リサイクル段階のCO₂排出量の算定

この段階でのCO₂排出量は、使用済み製品の廃棄輸送量、埋立処理量、リサイクル準備量、梱包材(ポリエチレン素材)の燃焼量を求めた。廃棄輸送量の輸送距離のみ実測値を使用し、その他はPCRで

規定されているシナリオを用いた。それぞれのCO₂排出量の差は見られなかったが、ポリエチレン素材のような石油由来の製品はその燃焼によるCO₂排出量も算定に考慮する必要がある。

3.6 各段階のCO₂排出量の評価

各段階のCO₂排出量(kg)を表2に、その排出量の割合を図3に示す。

対象製品の使用維持段階のCO₂排出量が約80%を占め、製品の生産段階がほぼ残りを占める結果となった。この結果から、使用維持段階のCO₂排出量を削減できれば製品のCO₂排出量はさらに減らすことができる。言い換えれば、洗浄に使用する水の量が少なく、乾燥しやすい食器の開発が、新たな製品開発の課題である。

表2 各段階におけるCO₂排出量

CO ₂ 排出量(kg)	段 階					合 計
	原料調達	生産	流通	使用・維持 ^{※)}	廃棄・リサイクル	
	0.13	1.4	0.00045	5.8	0.011	7.4

※) 製品の想定使用回数1000回

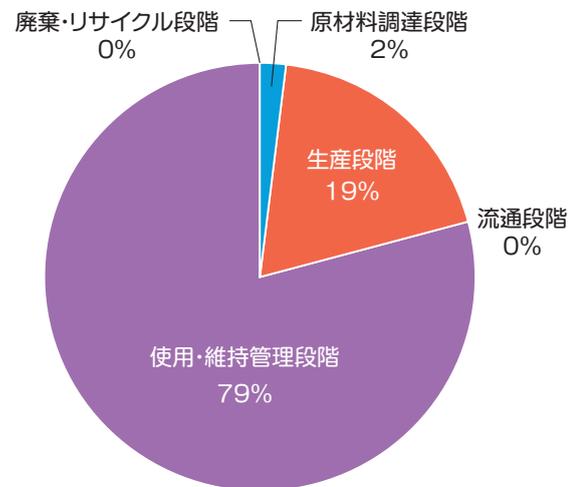


図3 各段階のCO₂排出量から求めた湯飲みのライフサイクル全体のCO₂寄与率

3.7 CFP宣言認定製品¹²⁾までの流れ

3.1から3.6までの各段階のCO₂排出量を算定した結果について、CFP検証¹³⁾を受けた結果、CO₂排出量を算定した「低温焼成磁器湯飲み」は、家庭用食器としては国内で初めて、一般社団法人産業環境管理協会からCFP宣言認定製品の承認を受けた。承認を受けた製品のパッケージ等には、図4のようなCFPマークを付与することができ、他の製品との差別化が図られるようになった。

3.8 CFP算定ソフト

県内の陶磁器製造業者が、自社製品のCO₂排出量を容易に「見える化」できるように、CFP算定ソフトを開発した。このソフトは製品に必要なデータを入力すると、簡単にCO₂排出量の算定ができ迅速にCFP申請書類ができるようにした。このソフトの開発には、装置の調査からデータ収集、CFPの算定と申請、合格まで約4ヶ月を要した。総入力数は79項目あり、県内の陶磁器製造に関連する項目は、ほぼ網羅したソフトに仕上げた。

4. まとめ

対象製品のライフサイクルを5つの段階に分けてCFPに基づくCO₂排出量の算定を行った。得られた結果は次の通りである。

対象製品のCO₂排出量を算定するにあたり、実測データをなるべく用いる方がデータベースのデータを利用するよりCO₂排出量は小さくなる。

CFPの仕組みを利用してCO₂排出を定量的に評価した結果は、各段階のプロセスを省力化を目指すだけでなく、各プロセスの効率性を見直すことに役立てられる。

家庭用食器では国内で初めてCFP宣言認定製品となり、CFPマークを対象製品に貼付することでできた。このことにより、CFP算定ソフトの有効性が検証できた。

CFP算定ソフトにデータを入力することで、陶磁器製品に関するCO₂排出量を迅速に算定できる。

今後はこのソフトを県内陶磁器産地に普及させ、環境に配慮した製品作りを支援していく。

用語説明および文献

- 1) ライフサイクルアセスメント (LCA) とは、Life Cycle Assessmentの略称。商品又はサービスの原材料調達から廃棄・リサイクルに至るまでのライフサイクル全体を通しての環境負荷を定量的に算定する手法。
- 2) 日本では経済産業省および関係省庁がパイロットプログラムとして「カーボンフットプリント制度施行事業（平成21年度～23年度）」を実施した。その後、社団法人 産業環境管理協会（現在、一般社団法人 産業環境管理協会）が「カーボンフットプリントコミュニケーションプログラム」として平成24年度から運用している。
- 3) 「2020年に向けた環境政策」日本生活協同組合連合会p6

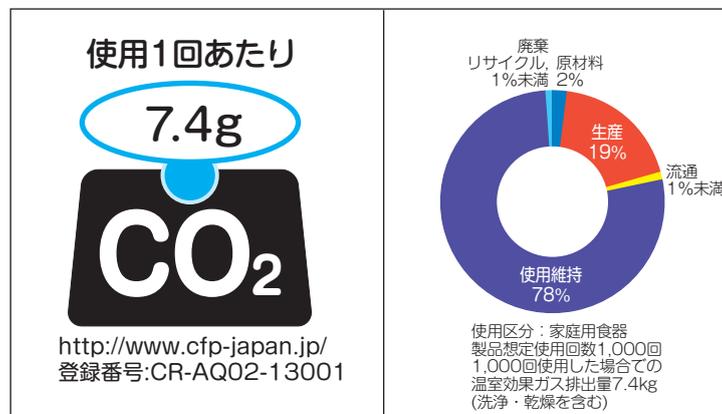


図4 CFPマーク

- 4) <http://www.topvalu.net/brand/csr/carbon.html>
- 5) <http://www.cfp-japan.jp/info/index.php>
- 6) 長崎県窯業技術センター研究報告、p46(2011)
- 7) 商品別算定基準 (PCR) とは、(Product Category Rule) の略称。商品やサービスの種類ごとに CFP算定における定義、各種算定条件 (算定範囲、収集するデータの種類、カットオフ、配分、シナリオ)や表示方法が記載された基準のこと。算定には「食器 (陶磁器製品および合成樹脂製品)」のPCRを用いた。
- 8) 一次データとは、製品システム内において、直接的な測定から得た、または、最初の情報源における直接的な測定に基づいた計算から得た、単位プロセス又は活動の定量化された値のこと。
- 9) CFPコミュニケーションプログラム (一般社団法人産業環境管理協会) CFP算定用二次データ
- 先<http://www.cfp-japan.jp/calculate/verify/data.html>
- 10) MapFan(<http://www.mapfan.com/>)
- 11) 現在、非公開 <http://www.cfp-japan.jp/faq/>
- 12) CFP宣言認定製品とは、CFP検証に合格し、CFP宣言認定製品として認められた製品のこと。
- 13) CFP検証とは、CFPコミュニケーションプログラムにおいて、算定された数値に対して第三者が数値検証を行い、開示される環境負荷情報に対する一定の信頼性を担保されること。

附記

陶磁器製食器のCFP算定は、平成24年度に(株)アットグリーンに委託して行ったものである。