

# 【課題名】製造プロセスの省エネルギー化によるCO2低排出型陶磁器製造技術の開発・実証(委託)

【代表者】三重県工業研究所窯業研究室 西村正彦

【実施年度】平成30～令和2年度

## (1)課題概要

### ①【課題の概要・目的】

陶磁器・セラミックス製品は、その製造工程において、乾燥や焼成に多くのエネルギーを必要とし、多量のCO2を排出している。本課題では、製造工程の簡略化のためのバイオマス由来原料と陶磁器素材の複合化および本焼成温度の低温化のための各種陶磁器素材の開発により、**陶磁器の焼成プロセスのCO2排出量を最大で40%削減する技術開発・実証**を行った。

本事業は、陶磁器製造業を実証企業とし、大学と公設試が連携し、三重県の四日市萬古焼をモデルにCO2低排出型陶磁器産地の創出を行い、低炭素社会の実現を目指すものである。本技術を陶磁器産地が集積する中部圏、更には全国へと普及させることにより、新規市場・雇用の創出、地域の活性化につなげる。

### ②【技術開発の内容】

#### ○重要な開発要素

#### A1.【CNF等の活用による素焼きレス化技術】

CNF(セルロースナノファイバー)等を用いて陶磁器成形体の高強度化(3点曲げ強度:5 MPa以上)を行い、素焼き工程を省略することを可能とした。添加剤の種類と添加量を詳細に検討した結果、CNFを0.4-0.5 wt.%添加することで、目標とする成形体強度を得ることができた。加えて、より安価なCMC(カルボキシメチルセルロース)でも高強度化を達成し(添加量:0.1 wt.%)、実用的な添加剤を見出した。実用化レベルに令和2年度到達。

#### A2.【低温焼成化技術】

四日市萬古焼の本焼成温度を従来よりも50-100℃低温化させる技術開発を行った。開発済の磁器を除き、耐熱陶器、紫泥急須、陶器について、原料調合を最適化することにより、1150℃以下で製造可能な陶磁器素材を開発した。開発した素材は、すべて、従来品と同程度以上の特性、感性的要素(光沢、風合いなど)を有していた。

実用化レベルに令和2年度到達。

#### B. 開発要素のシステム統合と、C. その実証

通常の陶磁器製造プロセスに則り、各開発要素がそれぞれ実装されるため、システム統合に向けた課題はないと考えられた。

本課題で提案したCO2低排出型陶磁器製造技術の実証では、システムの導入に伴う作業効率、製造設備、コストへの影響や課題を抽出するとともに、CO2排出削減効果を検証した。新たな陶磁器素材や技術の導入によりノウハウの蓄積が必要であるが、従来の製造技術・設備で陶磁器製品の製造が可能であり、コスト面でも課題は見当たらなかった。本システムを導入することにより、素焼きおよび本焼成プロセスにおけるガス消費由来のCO2排出量を**30.2-41.7%削減**できることを実証した。また、原材料調達～製土～製品製造までのプロセスを評価範囲としたLCAによって、製品製造プロセスにおけるガス消費由来のCO2排出量が最も影響が大きいこと、海外からの原土輸送やCMCの添加による影響は小さいことを明らかにした。

### ③【システム構成】

一般的な陶磁器の製造工程

原料調合

成形

乾燥

素焼き

施釉

本焼成



本課題で提案するシステム



低温焼成対応陶磁器原材料

5 MPa以上

素焼きレス化

低温焼成化  
(▼50-100℃)



焼成プロセスの革新により、合計CO2 **40%**削減

### ④【技術開発の目標・リスク】

#### ○想定ユーザ・利用価値:

想定ユーザは陶磁器製造・関連企業である。本技術は、多量のCO2を排出する陶磁器・セラミックス産業界での低炭素化への取り組みに対して、選択肢を提供することができる。本技術は、焼成炉や成形機など新たな設備投資の必要性やコスト増はなく(わずかな原料コスト増は燃料コスト減で十分相殺可能)、その導入に大きな支障は見当たらない。

#### ○目標となる仕様及び性能:

#### A1.【CNF等の活用による素焼きレス化技術】

安価な添加剤を用いて、陶磁器成形体の強度を5 MPa以上とする。また、鑄込み成形にも対応できるように、CNF等を含有するスラリー調合を確立する。

#### A2.【低温焼成化技術】

従来と同程度以上の特性を有し、1150℃以下で焼成可能な陶磁器素材を開発する。具体的には、以下の性能を満たす素材を開発する。

<耐熱陶器> 熱膨張係数:  $2.5 \times 10^{-6}/K$ 以下、強度: 20 MPa以上

<紫泥急須> 熱膨張係数:  $6.0 \times 10^{-6}/K$ 以下

<陶器> かさ密度:  $2.0 g/cm^3$ 以下、吸水率: 7%以下、強度: 40 MPa以上

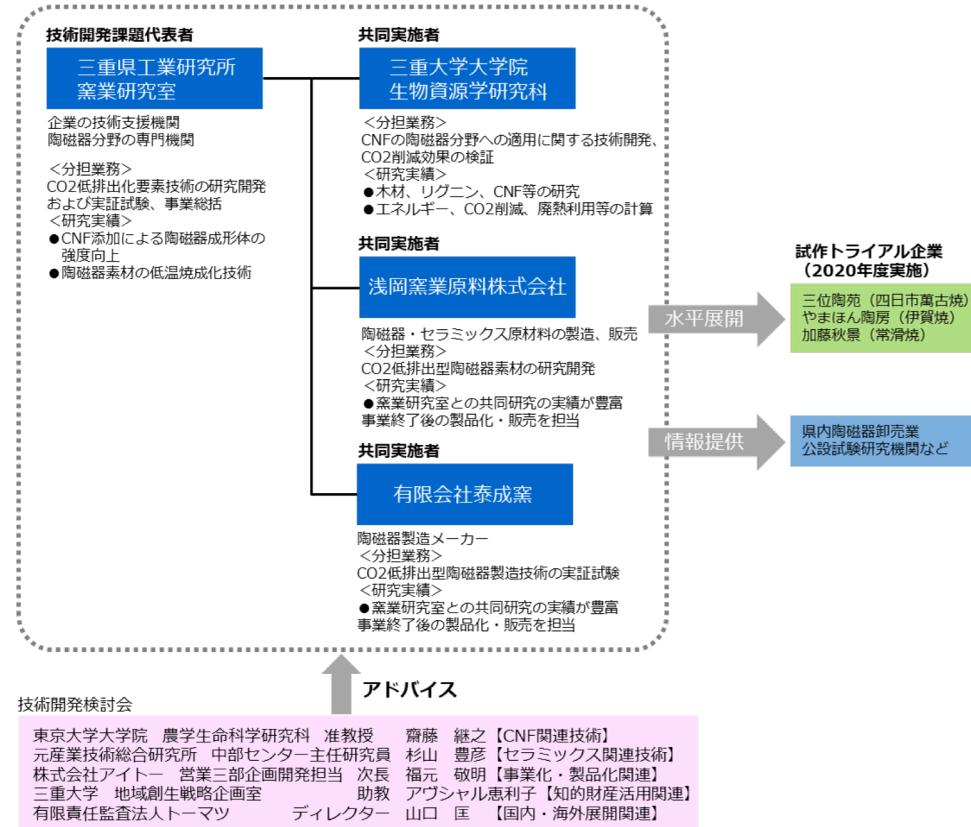
#### B, C.【システムの統合と実証】

本システムの導入に伴うCO2排出削減効果の検証を行うとともに、製造環境、コスト面への課題を抽出し、その解決策を検討する。また、他産地でのシステム導入トライアルを実施し、普及の可能性を検討する。

#### ○開発工程のリスク・対応策: 特になしと考えられる。

## (2)実施計画等

### ①【実施体制】



### ②【実施スケジュール】

	2018年度	2019年度	2020年度
A1 :CNF等の活用による 素焼きレス化技術	14350千円	28900千円	26850千円
A2 :低温焼成化技術	4300千円	6300千円	7950千円
B,C :CO2低排出型陶磁 器製造技術の実証およ びCO2削減効果の検証	1425千円	1780千円	2890千円
その他経費	3011千円	5547千円	5504千円
合計	23086千円	42527千円	43194千円

### ③【事業化・普及の見込み】

#### ○事業化計画

事業化を担う主たる事業者	浅岡窯業原料株式会社、陶磁器製造・関連企業
--------------	-----------------------

本課題は、企業、大学、公設試験研究機関との同一地域内の取り組みであり、実証データの共有や課題解決を迅速に行うことができ、事業化を推進できる。

- ・2019年ー2020年(実証期間中)にプロトタイプを上市
- ・2021年までに、本技術により開発された陶磁器素材を製造メーカーに供給し、最終製品(エコプロダクト)を販売開始

#### ○事業展開における普及の見込み

本技術が事業化し、製造される製品は従来の流通ルートに則り、現有の販売チャネルを通して消費者に販売する。陶磁器製造業者は、エコアクション21の認証取得やカーボンフットプリント等CO2削減対応製品という政策支援を受けつつ、普及を進める。

- ・対象市場: 国内および海外(ASEAN諸国等)の陶磁器市場
- ・導入コスト目標: 陶磁器素材の価格は従来の+15%以内とし、燃料費及び人件費の削減により、最終製品の製造原価を削減する。

(例)耐熱陶器素材: 9.2万円/t以下 (従来品の価格: 8万円/t)

#### ○年度別販売見込み

【提案時当初計画】 ※実施期間中における分科会等で計画変更が認められた場合等はその設定値

年度	2021	2025	2030
目標技術シェア(%)	30	40	50
目標製造品出荷額(億円)	180	250	300
国内陶磁器市場規模(億円)	600	630	660

#### 【現時点見込み】

現時点見込みの年次は固定

年度	2021	2023	2030	2050
目標技術シェア(%)	1	3	10	20
目標製造品出荷額(億円)	6	18	65	160
国内陶磁器市場規模(億円)	600	612	650	800

#### ○普及におけるリスク(課題・障害)

- ・コロナ禍による経済活動の鈍化
- ・CNFの価格、安定供給体制の構築
- ・低炭素生活スタイルの熟成(商品購入時の意思決定における環境配慮の重要性等)

### (3)技術開発成果

#### ①【これまでの成果】

- ・ CNFやCMCの添加により陶磁器成形体の高強度化を達成し、素焼きレス化を実現するとともに、実用的な鑄込み成形用スラリーの調合を確立した。
- ・ 原料調合の最適化により耐熱陶器、急須、陶器の低温焼成化を達成し、商用レベル(~150 kg)の陶土を製造した。
- ・ 素焼きレス化技術と低温焼成化技術を統合した陶磁器製造プロセスにおいて、CO2排出量を30.2-41.7 %削減できることを実証した。

#### ②【エネルギー起源CO2削減効果】

【提案時当初計画】 ※実施期間中における分科会等で計画変更が認められた場合等はその設定値

開発品(CO2低排出型陶磁器製造技術)を用いて、焼成炉(容量2m <sup>3</sup> )により製品を製造する場合のCO2削減量(t-CO2/回)	0.192
開発品(CO2低排出型陶磁器製造技術)の法定耐用年数	-----

年度	2025	2030
単年度CO2削減量(万t-CO2/年)	154	162
累積CO2削減量(万t-CO2)	1,190	1,983
CO2削減コスト(円/t-CO2)	9.14	5.49

#### 【現時点見込み】

開発品(CO2低排出型陶磁器製造技術)を用いて、焼成炉(容量2m <sup>3</sup> )により製品を製造する場合のCO2削減量(t-CO2/回)	0.192
開発品(CO2低排出型陶磁器製造技術)の法定耐用年数	-----

現時点見込みの年次は固定

年度	2021(販売開始年度を記載)	2023	2030	2050
単年度CO2削減量(万t-CO2/年)	0.003	0.017	0.591	1.169
累積CO2削減量(万t-CO2)	0.003	0.023	0.720	14.311
CO2削減コスト(円/t-CO2)	600	103	2.9	1.5

#### ③【成果発表状況】

- ・ 雑誌「材料」2021年12月号、久米ほか、“カルボキシメチルセルロース(CMC)を用いた低温焼成磁器グリーン体の高強度化”
- ・ 第88回紙パルプ研究会(2021年6月23-24日)、野中ほか、“カルボキシメチルセルロースを添加した低温焼成磁器成形体のデジタル画像関連法による解析”
- ・ 日本セラミックス協会第33回秋季シンポジウム(2020年9月2-4日)、橋本ほか、“CNFを添加した坯土を用いた鑄込み成形用スラリーの調製”
- ・ 日本セラミックス協会第33回秋季シンポジウム(2020年9月2-4日)、新島ほか、“石灰石を用いた高強度な軽量陶磁器素地の開発”
- ・ 陶業時報2021年4月1日、“三重県工業研究所窯業研究室など CO2を最大4割削減する技術を発表”

その他、学会発表9件、三重工研研究報告書5件、産業界への紹介18件など積極的に成果発表を実施。

#### ④【技術開発終了後の事業展開】

##### ○量産化・販売計画

- ・ 2021年度に、四日市萬古焼企業にて本技術を用いた陶磁器製品の製造・販売を開始。
- ・ 2023年までに、三重県陶磁器製造業界への本技術の普及を推進。
- ・ 2030年を目処として、中部圏(愛知、岐阜)への展開を図り、本技術を用いた陶磁器製品の製造・販売を瀬戸焼や美濃焼産地で実施。
- ・ 2050年を目処として、全国陶産地への展開を図り、本技術を用いた陶磁器製品の製造・販売を他産地で実施。

##### ○事業拡大シナリオ

年度	2021	2023	2030	2050(最終目標)
陶磁器製品の製造販売開始	→			
三重県陶磁器業界への普及		→		
中部の陶磁器業界への普及			→	
全国の陶磁器業界への普及				→

##### ○シナリオ実現上の課題

- ・ 事業化を進めるに伴い顕在化する課題の対応
- ・ ノウハウの蓄積に要する時間、コストの不確かさ
- ・ 製造プロセスの変更に伴う心理的要因(抵抗)の解消
- ・ 他産地への事業展開に向けた連携体制の構築 等

## ○参考資料1 CO2削減効果について

本課題では、CO2低排出型陶磁器製造技術を開発したため、以下の条件でCO2排出削減量を実測し、削減効果を算出した。

【焼成炉および容積】ガス炉(容積 2 m<sup>3</sup>) ※陶磁器製造業で用いられる平均的な規模の炉

【燃料】プロパンガス

【従来の焼成温度および燃料使用量】素焼き: 800℃(プロパンガス使用量: 40 kg)、本焼成: 1200℃(プロパンガス使用量: 120 kg)

【本技術を導入した際の焼成温度および燃料使用量】素焼き: なし(プロパンガス使用量: 0 kg)、本焼成 1150℃(プロパンガス使用量: 96 kg)

本技術を用いて、陶磁器製品を製造する場合、プロパンガス削減量は64 kg(素焼きレス化技術: 40 kg、低温焼成化技術: 24 kg)となり、

これをCO2排出削減量に換算すると、192 kgとなる(本事業が実施されない従来のプロセスに対して40 %のCO2排出削減量に相当)。

したがって、開発品(CO2低排出型陶磁器製造技術)を用いて、焼成炉(容量2m<sup>3</sup>)により製品を製造する場合のCO2削減量は、0.192(t-CO2/回)となる。

また、本技術使用時のコストは、陶磁器素材の種類によって異なる原材料コスト、人件費、設備の減価償却費など算出が困難なものを除いた燃料コストを用い、削減コストを算出した

【燃料コスト】17,280円(96 kg×180 円/kg)

### ○販売開始年(2021年)時点の削減効果 (試算方法パターン その他)

- ・四日市萬古焼の年間焼成回数(焼成炉保有台数×年間稼働日数): 150 台×100日 = 15,000 回
- ・本技術の四日市萬古焼業界への普及率: 1 %
- ・本技術の年間焼成回数: 150 回/年
- ・年間CO2削減量: 0.192 (t-CO2/回) × 150 回/年 = 28.8 (t-CO2/年) = 0.003 (万t-CO2/年)
- ・CO2削減コスト: 17,280 円 ÷ 28.8 (t-CO2/年) = 600 円

### ○2023年時点の削減効果 (試算方法パターン その他)

- ・四日市萬古焼および伊賀焼の年間焼成回数(焼成炉保有台数×年間稼働日数): 150 台×100 日 + 50 第×50 日 = 17,500 回
- ・本技術の三重県内陶磁器業界への普及率: 5 %
- ・本技術の年間焼成回数: 875 回/年
- ・年間CO2削減量: 0.192 (t-CO2/回) × 875 回/年 = 168 (t-CO2/年) = 0.017 (万t-CO2/年)
- ・CO2削減コスト: 17,280 円 ÷ 168 (t-CO2/年) = 103 円

### ○2030年時点の削減効果 (試算方法パターン その他)

三重県内陶磁器業界に本技術が普及し、さらには中部圏の陶磁器産地(瀬戸焼や美濃焼)の技術シェアを10%取得できたと仮定する。

- ・本技術の普及に伴う三重県陶磁器業界の年間CO2削減量: 0.192(t-CO2/回) × 17500 回/年 = 3,360 (t-CO2/年) = 0.336 (万t-CO2/年)
- 平成31年度工業統計より、岐阜県および愛知県の食卓用・ちゅう房用陶磁器製品出荷額は2,499,838 万円であり、三重県の330,472 万円より、約7.6倍である。
- ・本技術の中部圏への普及(10 %シェア獲得)に伴う年間CO2削減量: 3,360 (t-CO2/年) × 7.6 × 0.1 = 2,554 (t-CO2/年) = 0.255 (万t-CO2/年)
- ・2030年の年間CO2削減量: 0.336 (万t-CO2/年、三重県) + 0.255 (万t-CO2/年、中部圏) = 0.591 (万t-CO2/年)
- ・CO2削減コスト: 17,280 円 ÷ 5914 (t-CO2/年) = 2.9 円

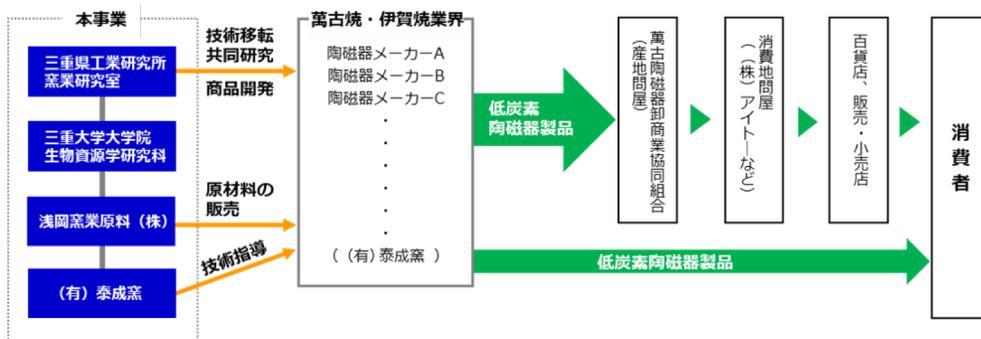
### ○2050年時点の削減効果 (試算方法パターン その他)

三重県内陶磁器業界に本技術が普及し、さらには全国の陶磁器産地の技術シェアを20%取得できたと仮定する。

- ・本技術の普及に伴う三重県陶磁器業界の年間CO2削減量: 0.192(t-CO2/回) × 17500 回/年 = 3,360 (t-CO2/年) = 0.336 (万t-CO2/年)
- 平成31年度工業統計より、三重県を除く全国の食卓用・ちゅう房用陶磁器製品出荷額は4,096,349 万円であり、三重県の330,472万円より、約12.4倍である。
- ・本技術全国への普及(20 %シェア獲得)に伴う年間CO2削減量: 3,360 (t-CO2/年) × 12.4 × 0.2 = 8,333 (t-CO2/年) = 0.833 (万t-CO2/年)
- ・2030年の年間CO2削減量: 0.336 (万t-CO2/年、三重県) + 0.833 (万t-CO2/年、全国) = 1.169 (万t-CO2/年)
- ・CO2削減コスト: 17,280 円 ÷ 11,693 (t-CO2/年) = 1.5 円

# ○参考資料2 事業化計画について

## ○事業化の実施体制およびロードマップ



- ・本課題は、早期の技術移転を見据え、陶磁器製造企業、原料陶土供給企業、三重大学、三重県工業研究所が連携し、実証データの共有や課題解決を共に実施した。
- ・本技術は、焼成炉や製造機器など新たな設備投資が必要なく、これまでの技法を適用して陶磁器坯土や製品を製造することが可能。
- ・陶磁器製品は、従来の流通ルート、既存の販売チャンネルで消費者に供給可能。

	事業最終年度				
	2020	2021	2023	2030	2050
①ニーズ・市場動向	株式会社アイトー見本市出展 (2021.2月と7月) 陶磁器業界との意見交換会実施				
②コスト計算	原材料コスト、 燃料コストの算出	商品開発コストの検討			
③商品開発	(有)泰成窯での 試作品開発	開発した陶磁器陶土の製造・販売開始	商品開発を 実施中 (4件)		
④三重県陶磁器 業界への普及 (フェーズI)	成果発表会等を実施	販売開始、展示会等の出展 (情報発信)			
⑤中部圏の陶磁器 業界への普及 (フェーズII)					情報発信、技術の普及
⑥全国の陶磁器 業界への普及 (フェーズIII)					情報発信、技術の普及

### ●市場動向の調査



株式会社アイトー2021年商談会に出展し、  
参加者(バイヤー)から意見を収集  
→商品開発に反映

### ●コスト計算

- ・開発した陶磁器素材の原料コスト増は、1000円/トンであり、本技術の導入に伴う燃料コスト減で十分に賄うことが可能。
- ・新商品開発のコストは別途必要となる(従来も同様)。
- 従来の製品価格以上で事業採算性を確保できる。

### ●現在取り組んでいる商品開発(4件)

- ・(有)泰成窯、株式会社アイトー、プロダクトデザイナー、三重県工業研究所が連携
- ・異業種企業、石膏型製造企業、四日市萬古焼企業、三重県工業研究所が連携
- ・四日市萬古焼企業と三重県工業研究所が連携
- ・株式会社アイトー、四日市萬古焼企業(3社)、三重県工業研究所が連携
- うち1社で2021年度中の商品化・販売を目指す。

### ●普及

まずは三重県内への普及(フェーズI)を進め、陶磁器産地が集積する中部圏への普及(フェーズII)を強く意識し、積極的な情報発信を行う。

## ○参考資料3 その他

○提案するCO<sub>2</sub>低排出型陶磁器製造プロセスで得られた試作品例



### ○他分野への展開

本課題で開発した高強度・軽量陶器は、2020年9月の学会発表以降、国内の衛生陶器メーカー2社から関心を示され、個別面談を実施した。食器以外に、トイレや洗面器具などへの展開がなされれば、大きなCO<sub>2</sub>排出削減効果が期待できる。今後も引き続き、情報交換を行いながら、技術の普及を図る。



日本セラミックス協会HPより

## CO2排出削減対策技術評価委員会による終了課題事後評価の結果

- ・ 評価点 7. 2点（10点満点中。（10点：特に優れている、8点：優れている、6点：問題ない、4点：多少問題がある、2点：大きな問題がある））

### ・ 評価コメント

#### [評価された点]

- セルローズナノファイバー(CNF)等を用いて磁器以外にも耐熱陶器、紫泥急須、陶器の陶磁器成形体の高強度化と低温焼成化を実現する技術開発を計画どおり着実に実施し、陶磁器の製造プロセスにおいて製造コストの課題なしに最大40%のCO2排出削減率を達成し、実際の陶磁器製造において本技術を実証・確立したことは評価できる。
- 多くの商品開発を進めており、事業拡大・普及に向けた取り組みにも進捗が見られ、評価できる。

#### [今後の課題]

- 事業展開における普及の見込みにおいて、提案時の年度別販売見込みと現時点の見込みに大きな乖離がある。その原因を明らかにし、事業化の第1ステップとして地域内で本技術を確実に普及させることが必要である。
- 本技術をより広く普及させ有効なCO2排出削減に繋げるためには、さらなるコスト削減が必要であり、そのためには安価な添加剤を探すことも課題の一つである。
- 開発した技術は比較的小型の製品製造プロセスにおけるものという点で、比較的容易に水平展開しやすいように思われるが、窯元にはそれぞれ職人的なノウハウが存在する。CNF等の調合方法などを個別に検討することが、開発技術の普及拡大には必要である。また製造事業者ごとに考え方に相違がある可能性があり、コストや品質への影響、低炭素化による付加価値などの多様な情報を適切に伝えていく戦略も必要である。

#### [事業化に向けたコメント]

- 前述のように個々の製造事業者によって製造工程・考え方の相違があり、それらが普及に向けた障壁となることも考えられる。そのため他地域への展開に向けて、実績作り、脱炭素プロセスとしてのPR等も含めた戦略が必要となる。
- 他分野への展開としてトイレ、洗面器具等の可能性が記載されているが、陶磁器製品は他にも多くあると思われる。市場開拓の調査分析を継続してほしい。
- 消費者、特に若い世代の気候変動への関心は高まっており、従来品とほぼ同じ価格で販売できるならば、CO2排出量が4割減に出来ることは差別化要素になる。産地としてこの点を訴求し、流通・販売先と協力して低炭素な陶器の普及を進めることで、産地側の関心もより高まると考えられる。