

## セラミックス製品の LCA 解析評価と低環境負荷プロセスの開発

蔵島 吉彦

名古屋工業大学 セラミックス基盤工学センター  
〒507-0071 岐阜県多治見市旭ヶ丘10-6-29Life Cycle Assessment (LCA) Study of Ceramic Products  
And Development of Green (Reducing the Environmental Impact) Processes

Yoshihiko Kurashima

Ceramics Research Laboratory, Nagoya Institute of Technology  
10-6-29, Asahigaoka, Tajimi, 507-0071, Japan

Ceramic products have been developed as various kinds of active devices to make use of the characteristics of their electromagnetic, optical and mechanical properties. However, the complexity of the production processes increases in order to get the more sophisticated functions and to keep the stability of the mass production. For example, high purity and fine particles are required as a raw powder material and various kinds of organic binders are necessary to form extremely precise products. In addition, higher temperature is necessary for firing operations, and the furnace must be controlled in various kinds of atmospheres during the sintering process. With the evolution and development of ceramics products, more organic binder material is used, and the electric power and the heat energy to produce ceramics are also increased.

On the other hand, the efforts toward environmental improvements, reduction of CO<sub>2</sub> emissions and control regulation of the chemical materials including PRTR (Pollutant Release and Transfer Register), are promoted. Economic society systems should aim for the efficient usage of energy and resources and adapt resource recycling practices centered on the 3R (Reduce, Reuse and Recycle) system.

This time, LCA (Life Cycle Assessment) analysis of the high voltage insulator production process was made as an example of the general-purpose ceramics products. Based on the result, some case studies will be reported which are the ordinary steam recovery system and new concepts of "Co-production" and "Energy pump" to reduce emissions of CO<sub>2</sub> and the enhancement of energy efficiency.

## 1. はじめに

## 1) セラミックスの可能性と課題

今日、産業界をリードしてきた基盤素材産業に加え、自動車、IT機器のように製品個体として差別化された機能（高機能製品、高付加価値製品）がグローバル化の巨大市場において経済動向のリーディングロールを担う状況にある。

セラミックス製品（産業）の可能性として、セラミックスの基本的な特徴である安価で長期の耐久性を示すことを生かしたケイ酸塩ベースの構造体、容器としてセメント、ガラス、陶磁器が生産されてきたが、近年セラミッ

クスの基本的特性としての長期耐久性、耐熱性に加え、他の金属、有機材料にはない電気的、光学的、機械的に優れた機能を付加した能動素子又は機能製品が開発され世界的な規模で生産されている。

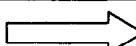
今後、アルミナ質をベースにする「ニューセラミックス」更には無機物質固有の特化した機能と高精度の形状付与とを合わせた各種酸化物、炭化物、窒化物又は複合材料をベースとする機能性セラミックス「ファインセラミックス」として情報通信、資源エネルギー機器、精密機械、医療化学等の新規製品産業への発展が期待される。

表-1に現在までのセラミックス機能材料と応用素子と製品例を示した。

表-1. セラミックス機能材料と応用素子

機能	無機物質	応用素子	機能	無機物質	応用素子
<b>電磁気的機能</b>			<b>機械的機能</b>		
(1)高絶縁性	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	集積回路基板	(1)研磨・研削	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , B <sub>4</sub> C	研磨材・砥石
(2)誘電性	SiC, C	放熱性絶縁基板	切削	TiN, TiC	切削工具
(3)圧電性	BaTiO <sub>3</sub>	高容量キャパシタ	(2)高強度	Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> , SiC	高強度・耐熱性 (エンジン部品)
(4)焦電性	Pb(Zr <sub>x</sub> , Ti <sub>1-x</sub> )O <sub>3</sub>	着火素子	<b>光学的機能</b>		
(5)軟磁性	ZnO	弾性波遅延素子	(1)蛍光性	Y <sub>2</sub> O <sub>2</sub> S	蛍光体 (ブラウン管)
(6)硬磁性	Pb(Zr <sub>x</sub> , Ti <sub>1-x</sub> )O <sub>3</sub>	赤外線検出素子	(2)透光性	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	透光性 (Naランプ)
(7)半導性	Zn <sub>1-x</sub> Mn <sub>x</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	演算素子	(3)光反射性	TiN	耐熱性金属特性
	γ-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	磁気テープ	(4)導光性	SiO <sub>2</sub>	光通信ケーブル
	SrO・6Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	磁石	<b>生化学機能</b>		
	ZnO-Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	電圧安定素子 (バリスター)	(1)骨材代替	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Ca <sub>3</sub> P <sub>3</sub> O <sub>12</sub>	人工歯・人工骨
	BaTiO <sub>3</sub>	抵抗発熱素子	(2)担体性	SiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	酵素・触媒担持
(8)イオン導電性	β-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	固体電解質			

表-2. セラミックス産業の発展と環境負荷（高機能化と環境負荷）

製品	汎用セラミックス	ニューセラミックス	ファインセラミックス	環境負荷
	陶磁器 (セメント・ガラス)	触媒担体 透明アルミナ管 β-アルミナ	基板 圧電素子 セラミックヒーター エンジン部品	
化学組成	カルシア-シリカ系 アルミナ-シリカ系	コーディエライト質 アルミナ質	ジルコニア質 チタ化ケイ素 炭化ケイ素 (非酸化物)	
原料	天然原料	工業原料 合成原料	高純度原料 微粒化 微粉化	有機物使用量の増大
粉体調整	天然カオリン 水溶媒 脱水・乾燥	凝集沈殿(ゾル-ゲル法) 再結晶化 有機結合剤 (有機物、金属塩)	有機溶媒-脱脂 粉体乾燥 有機可塑媒、共沈法、気相合成	
成形 (乾燥)	土練・切削成形法 ロクロ成形	押出成形法 鑄込成形法	7インスチックプレス法 (乾式、湿式) ドクターブレード法 射出成形 カレンダー法	高圧化 印加動力の増大
焼結温度	1200~1300°C 酸化(大気開放)	1400~1500°C 還元雰囲気	1600~1650°C 1800~2000°C 不活性雰囲気(N <sub>2</sub> , Ar <sub>2</sub> ) 強還元雰囲気(H <sub>2</sub> )	印加熱エネルギーの増大
		 環境負荷、特に印加エネルギーの増大		

2) セラミックス産業の発展と環境負荷(高機能化と環境負荷)

各種機能性セラミックスの進化の過程とその生産プロセス(原料調整・成形・焼成)の変化を表-2に示した。

原料は天然原料から合成原料へかつ高純度化、微細化へと高度化し従来のセラミックス原料である天然カオリンの可塑性に代わって各種の有機結合剤、可塑剤を助剤として添加することとなり、有機物への依存度が高まってきた。

成形工程においてもアイソスタティックプレス法、鋳込成形法、射出成形法と高圧化し成形に必要な印加動力が増大してきている。

最終の焼成操作においては、焼結操作の前段階として前述の添加された有機助剤のガス分解に伴う排ガス処理、主にはアルデヒド類、フェニル基の熱分解無害化処理が必要となり完全分解に必要な800~900℃昇温の為の新たな熱エネルギーが必要となる他、多くの素子は高機能発現の為に高純度化し、焼結温度はよりその無機物の融点に近づくこととなり操炉温度は表-2に示す様、一層高温化し印加する熱エネルギーは大幅に増大する。

また、焼成雰囲気としては、真空、低圧、還元雰囲気、更にはH<sub>2</sub>炉の如く強還元雰囲気、N<sub>2</sub>、Ar<sub>2</sub>を用いた不活性雰囲気、加圧炉等機能発現の為にエネルギー消費を伴う雰囲気制御が必要となる。

セラミックス、特に機能性セラミックス生産においては添加助剤としての有機物のガス化対策と原料から粉体調整、成形、焼成に渡って増大する熱エネルギー・電力エネルギーに由来するCO<sub>2</sub>の排出削減が重要な環境負荷低減への課題となる。

下にその他の環境負荷も合わせ現在低環境負荷に向けて各方面で取り組まれている技術開発課題を列記する。

低環境負荷に向けての技術開発課題

- |                                |  |
|--------------------------------|--|
| 1. 有機添加剤(溶媒)                   | ○調整剤(有機物)ー緩衝剤(液)、解こう剤、凝集剤、可塑剤、粘結剤(結合剤)、粒成長剤、沈殿剤、潤剤       |
| ➡                              | 無機系への変換ー無機バインダー及びそのプロセス開発                                |
| 2. 有機系分解ガス処理                   | ○熱分解(再加熱)処理ー800~900℃×2sec(×O <sub>2</sub> rich)<br>高温熱分解 |
| ➡                              | 触媒による低温熱分解   |
| 3. 高温焼結操作                      | ○高温操作に伴うCO <sub>2</sub> 発生                               |
| ➡                              | 低温焼結法の開発   |
| 4. 釉薬、顔料、添加剤中の重金属(Pb, Cr, Ni)類 | ○無害安定化   |
| ➡                              | リサイクル化も含め長期評価データ   |

2. セラミックス産業に対する社会的要望(環境規制)

1) 環境規制の動向

環境規制は国内主要基幹産業の地域に特化集約化された公害対策として1960年代に公害対策基本法として開始された。

その後1970年代の二度にわたる石油危機克服の為、エネルギー対策基本法が施行され各種の省エネ対策が主に製造業を中心として取り組まれた。

その後、社会の電化、モダリゼーション等の進展を始めとする高度化に伴い、人(生物)を取り囲む環境その

ものの維持、改善に向けて1990年代に環境基本法が制定された。

しかし、環境の悪化は地球規模で進行しオゾン層の破壊、地球温暖化など顕著な現象として現れ始め、世界的な規模での対策が必要となってきている。

この対策としては、従来の省資源、省エネという削減対策では解決されず、特に日本国において各種製造業を経済の基幹とする国状において今後の産業の拡大、更には生産規模の拡大に対し資源・エネルギーの循環再利用が必須となった。

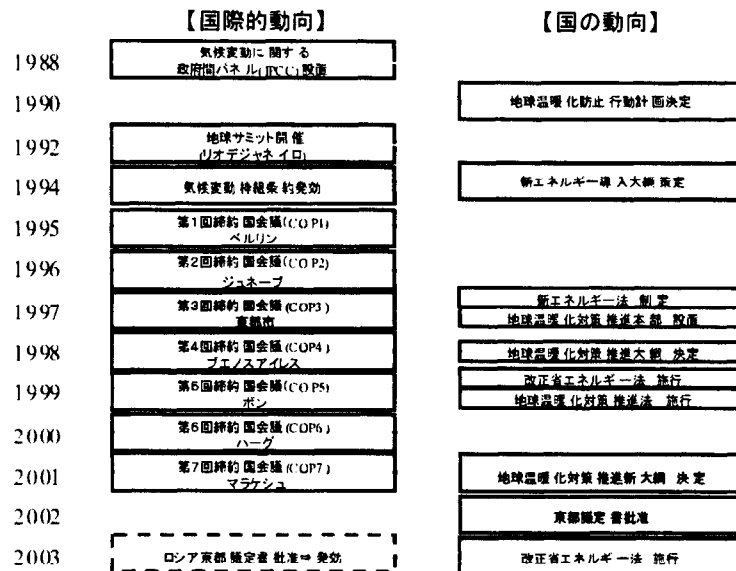
また今日、地球規模の環境規制、例えばCO<sub>2</sub>排出抑

セラミックス産業の環境規制

○日本の環境規制(環境関連法)の動向

- ・公害対策基本法(67)  
大気汚染防止法(68)  
水質汚濁防止法(70)
- ・廃掃法(70)
- ・オゾン層保護法(81)
- ・エネルギー政策基本法
- ・環境基本法(93)  
省エネ・リサイクル法(93)  
家電リサイクル法(98)  
DXN類対策特別措置法(99)  
PRTR法(99)
- ・地球温暖化対策推進大綱(1)
- ・循環型社会形成推進基本法(0)  
資源有効利用促進法(00)  
建設資材資源化法(00)  
容器・包装リサイクル法(00)  
食品リサイクル法(00)  
自動車リサイクル法(04)  
グリーン購入法(00)  
PCB廃棄物特別措置法(00)  
改正廃掃法(01)  
改正省エネ法(01)  
フロン回収破壊法(01)  
水質基準見直し(01)  
大気基準見直し(01)
- ・地球温暖化新大綱(2)
- ・土壌新法(02)
- ・都市環境規制強化(03)

CO<sub>2</sub>排出規制に向けての国際的動向と対応状況



制、化学物質管理削減（PRTR法）は大きな国際貿易障壁、一種の関税障壁となりうる為、社会経済システムそのものを変革する必要があり2000年循環型社会形成推進基本法が制定され資源有効利用促進法に代表される各種リサイクル法が施行された。

一方、CO<sub>2</sub>抑制に関しては政府が中心となり1998年地球温暖化対策推進大綱に続き2002年地球温暖化新大綱となり経産省及び経団連を中心とする産業界が中心となり具体的な実施に向けて準備がなされつつある。

環境問題は従来の有害物質に対する個別の処理対策から社会経済システムそのものを変革し取り組まなければならない国家的な重要課題となった。

上に日本の環境規制（環境関連法）の動向とCO<sub>2</sub>排

出規制に向けての国際的動向と政府の対応状況を示す。

2) セラミックス産業界に対する要望（評価）

経産省中央環境審議会地球環境部会において各種産業におけるCO<sub>2</sub>排出状況及びその業界の評価がなされているがセラミックス業界が所属する窯業土石に対しては他の化学工業・紙・パルプ又は製造業平均からみてCO<sub>2</sub>排出原単位・エネルギー消費原単位が増大しており自主的な改善努力が要望され実報告書の上で特にアンダーラインが施されている状況にある。

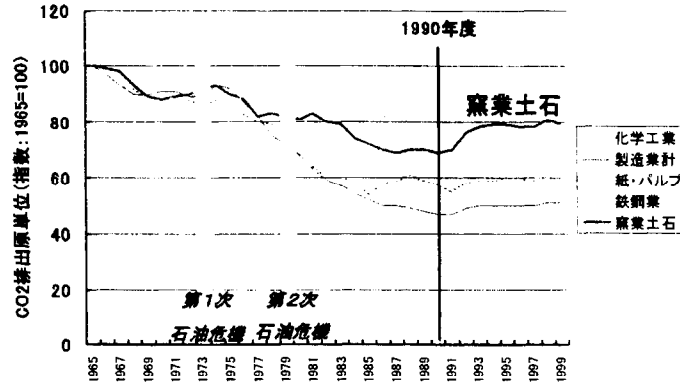
実報告のコメントと他業界との比較のグラフを列記する。

セラミックス産業界に対する要望（経産省における評価）

経産省 中央環境審議会地球環境部会 国内制度小委員会(第5回:平成13年6月)コメント

産業部門のCO<sub>2</sub>排出量は、経団連の自主行動計画による削減が求められるが、現在は電力のCO<sub>2</sub>排出原単位の改善に大きく依存している。鉄鋼、窯業土石業など製造業全般ではCO<sub>2</sub>排出原単位、エネルギー消費原単位が大幅に増大しており、自主努力による改善がほとんどみとめられない。景気後退下でのエネルギー効率の悪化は、投資回収年数の長い省エネ設備への設備投資の停滞や、生産量低下に伴う設備稼働率の低下や、製品の多品種少量生産の進展等による影響が考えられる。

経産省 中央環境審議会地球環境部会 国内制度小委員会(第5回:平成13年6月)資料



3. セラミックス製品生産のLCA解析評価

セラミックス製品の一例として国内で多量に生産されている高電圧用碍子を例にとり、碍子生産プロセスのLCA解析評価を行いCO<sub>2</sub>排出の実態と対策について既存技術またシステムである排熱蒸気回収及び蒸気発電を行った場合のCO<sub>2</sub>削減効果を示す。

表-4 に示す如く製品kg当り製品以上の4.84/3.54=1.37kg-CO<sub>2</sub>/kg-productのCO<sub>2</sub>を排出し、発生源としては乾燥及び焼成の熱操作に関わる排出比率13.2+64.3=77.5%にある。この改善の為に今回焼成プロセスにおける熱精算を行いその実態を把握する。

○

1) 碍子生産プロセスのLCA解析評価

(1) 碍子(懸垂碍子、生産量(口内)約16000~20000トン/年)

○高絶縁性と高強度を併せ持ち、長期に渡る耐久性を持つ製品

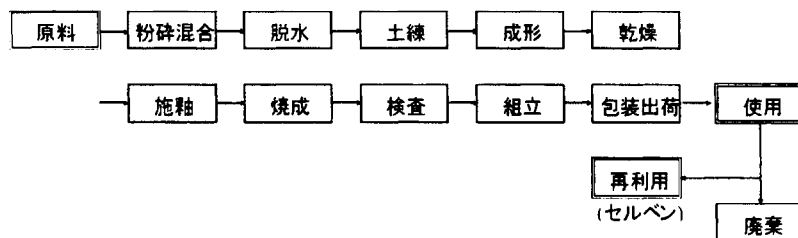
開気孔ゼロ→電気絶縁性、耐長期腐食性

開気孔率ミニマム(一桁レベル)→機械強度

○原料→陶石、長石、珪砂、アルミナ、粘土

○焼成後の化学組成及び結晶組成→SiO<sub>2</sub>:40~60wt%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:35~55wt%  
Quartz:2~10wt%, Mulite:15~20wt%  
Corundum:15~40wt%

(2) 碍子生産プロセス



## (3) 磚子LCA解析と評価

## ・実績値一表-3

120KN懸垂磚子:16099トン/年生産時

工程		粉碎混合	脱水	土練	成形	乾燥
電力	10 <sup>4</sup> kwh	249.8	65.6	108.1	147.3	93.2
LNG	Nm <sup>3</sup>				46169.0	
軽油	Kl				87.0	
蒸気	ton		759.0		819.0	15562.0

工程		施釉	焼成	検査	組立	包装出荷	計
電力	10 <sup>4</sup> kwh	46.2	340.7	48.7	140.7	21.5	1261.8
LNG	Nm <sup>3</sup>						46169.0
軽油	Kl		4815.0				4902.0
蒸気	ton	65.0		171.0	6551.0	88	24015.0

・製品1個あたりのCO<sub>2</sub>排出量一表-4

・120KN懸垂磚子重量-3.54kg

・ユーティリティ使用量-(例) 電力(kwh/個)=電力(実績値10<sup>4</sup>kwh)÷(16099×1000)÷3.54/個・CO<sub>2</sub>負荷-電力:0.42kg-CO<sub>2</sub>/kwh, LNG:2.347kg-CO<sub>2</sub>/kwh, 軽油:2.64-CO<sub>2</sub>/l, 蒸気:0.162kg-CO<sub>2</sub>/kg

工程		粉碎混合	脱水	土練	成形	乾燥
電力	kg-CO <sub>2</sub>	0.23	0.06	0.10	0.14	0.09
LNG	kg-CO <sub>2</sub>				0.2	
軽油	kg-CO <sub>2</sub>					
蒸気	kg-CO <sub>2</sub>		0.03		0.03	0.55
kg-CO <sub>2</sub>	(%)	0.23(4.8)	0.09(1.9)	0.10(2.0)	0.19(3.9)	0.64(13.2)

工程		施釉	焼成	検査	組立	包装出荷	計
電力	kg-CO <sub>2</sub>	0.04	0.31	0.04	0.13	0.03	1.17(25.0)
LNG	kg-CO <sub>2</sub>						0.02(0.4)
軽油	kg-CO <sub>2</sub>		2.80				2.80(57.9)
蒸気	kg-CO <sub>2</sub>			0.01	0.23		0.85(17.6)
kg-CO <sub>2</sub>	(%)	0.04(0.8)	3.11(64.3)	0.05(1.0)	0.35(7.2)	0.03(0.6)	4.84(100)

4. 焼成プロセスにおけるCO<sub>2</sub>排出削減対策

(炉熱効率向上)

1) 焼成プロセスの熱精算結果を図-1に示す。

焼成プロセスに用いられている大型連続炉は炉長約150mの国内最大規模のトンネル窯であり図-2に示す如く長年の実績に基づき熱効率改善に向けたガス流れを施されたものであるが、熱効率22%となり多くの熱エネル

ギーが拡散されている。

2) 排熱回収(蒸気回収・蒸気発電)による総合的熱効率向上

CO<sub>2</sub>排出削減に向けて他の産業界で既に多くの適用されている蒸気回収・蒸気発電を用いた場合のケーススタディーを行った結果を図-3に示す。

結果が示す如く、従来技術のカスケードタイプの蒸気回収を適用しても既に予熱帯で製品の昇温に利用された

後の顕熱であり回収蒸気量としても多くはない。また蒸気発電の部分も利用できる温度域と蒸気回収量から高い効率での発電を望むことは難しく、CO<sub>2</sub>排出抑制の効果

的な対策とはなり得ず、根本的な解決の為に新たな技術開発が必要となる。

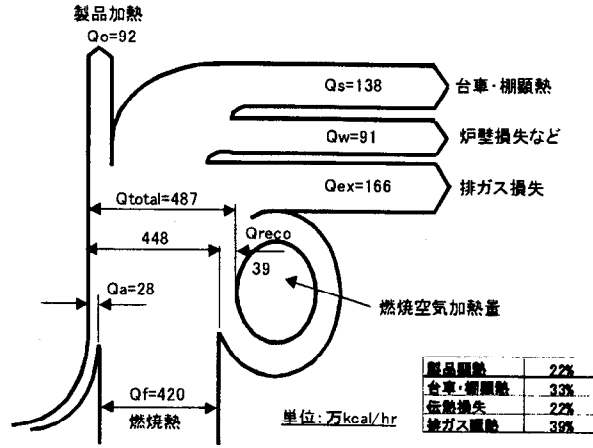


図-1 熱精算

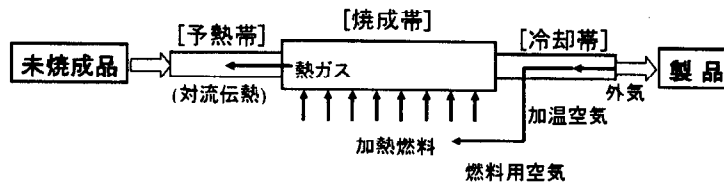


図-2 トンネル窯構造

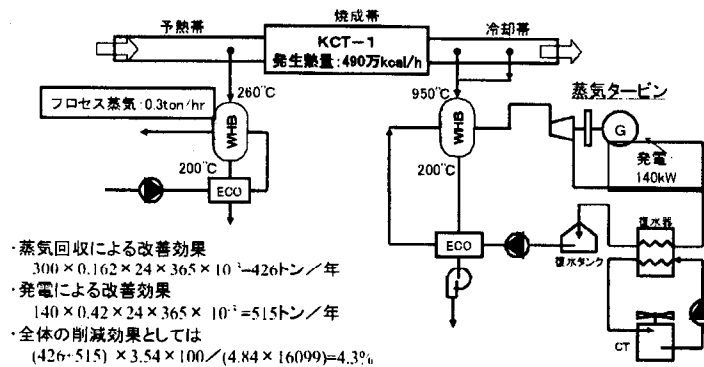


図-3 蒸気生成・蒸気タービン発電

5. ニューコンセプト“コプロダクション” & “エネルギーポンプ” のシステム開発

1) セラミックス製品生産に伴う CO<sub>2</sub> 発生要因として今回のLCA解析が示す如く、焼成プロセスに用いられる燃料と原料調整及び成形プロセスを含む全工程で消費される動力（電力）に依存している。CO<sub>2</sub>発生抑制に対しては焼成プロセスで用いられる燃料のエネルギー利用率・熱効率を向上させることが第一ではあるが、多くの工業界同様、加熱炉、焼成炉の設備寿命は長く、かつ設備額も高額であり、またその製品品質を保証する操炉の安定性制御性確保の為に容易に熱効率向上を主目的に炉本体及び制御を含めたシステム全体を再建設する事は難しく、新たな発想に基づく燃料と電力を合わせた総合的な削減思想が必要となる。

今回、熱効率向上として従来の手法である

- ・バーナー効率…燃焼種に最適なバーナー形式と燃焼条件
  - ・加熱効率…高温のバーナー火炎及び燃焼ガスからの熱伝達最適条件
  - ・熱損失の削減…炉体耐熱断熱構造及び材質の選定
- の他に、排ガス顕熱、炉壁損失等の主要な排熱を再利用し使用する燃料量の削減を計る従来法と異なる新たな価値（例えば水素又は電力）を持つ product を生産する

“コプロダクション” の思想を基にカスケードタイプの排熱利用から700~1000℃の温度域を利用し燃料(LNG)を水素化(水蒸気改質)することによる効果を検討した。

これらは一種のケミカルヒートポンプであり言い換えれば“エネルギーポンプ”という概念と思われる。

コプロダクションシステムのフローを図-4に示す。

このシステムの特徴は

- ・炉本体の膨大な熱容量から安定した中温域300~1000℃の熱量を水素化反応に供給することができ、従来のCH<sub>4</sub>の炭化発生を抑制できる。
- ・昇温・昇圧された改質ガスを水素分離膜にて高度な分離性能を負うことなく一部を燃料電池へ供給する。
- ・改質ガスの大半は焼成帯の燃料として利用する。

言い換えれば水蒸気改質に関しては水素化率は低位でよくかつ分離膜の性能も従来レベルで燃料電池耐久性を損なうことのない条件下で運転することが特徴である。

2) ケーススタディー結果

図-4のフローに基づき焼成炉への供給燃料を490×104 kcal/Hと一定として、改質率効率η=70%，燃料電池効率η=63%として焼成炉排熱利用率η<sub>ex</sub>を0.3~0.9まで変化させた結果を表-5に示す。排熱利用率η<sub>ex</sub>を0.5~0.7とすることから現行に比べ20~30%のCO<sub>2</sub>排出を削減することが可能と思われる。

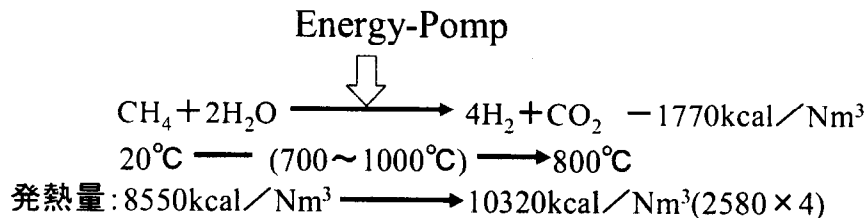
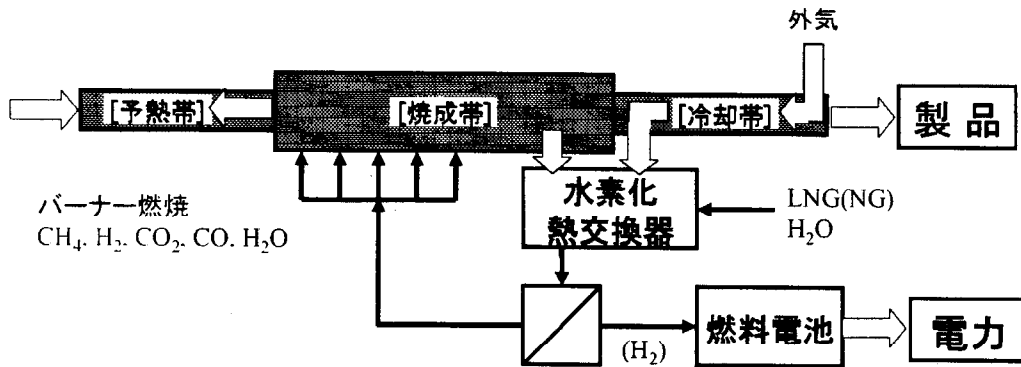
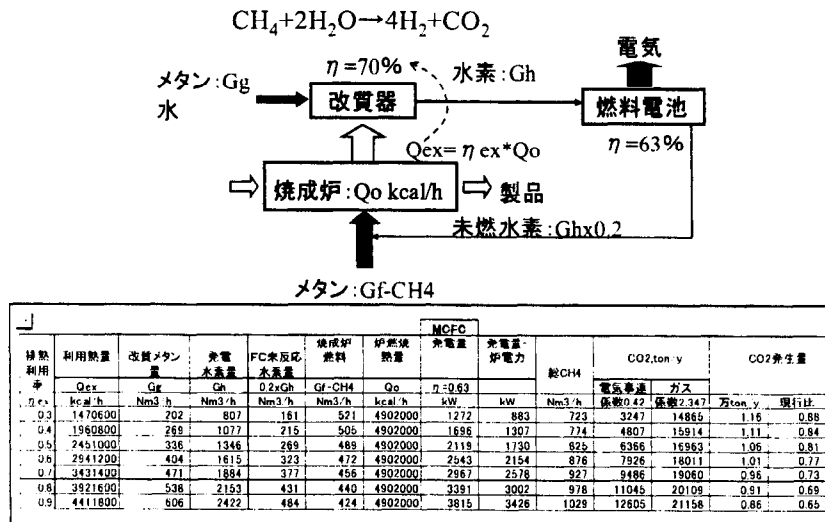


図4 Co-Production



表-5 焼成炉排熱利用/水蒸気改質+燃料電池発電 (コプロダクション)



6. おわりに

セラミックス産業におけるCO<sub>2</sub>発生削減に対しては主要な発生源である焼成プロセスの燃料エネルギー効率を改善し排熱を有効利用することと、生産プロセス全体での電力利用率を改善することであるが、前述のケーススタディーから明らかなように従来法ではこれからの時代と社会からの要望に対して十分に対応できない。

今回提案した新たな低環境負荷プロセスとして一種のケミカルヒートポンプ、エネルギーポンプ”を実現することにより可能性が見出された。

これは現在広く叫ばれている水素化社会への一つのアプローチと思われる。セラミックス焼成排熱を利用し焼成燃料(LNG, NG, PG)を改質する効果を再度列記してみる。

- 1) メタンの水蒸気改質はエクセルギー変化が前述の如く相当に大きく4モルの水素へとエネルギー向上し熱出力として約30%増大する。これに必要な温度域と熱量が幸い多くのセラミックの焼成温度に対し冷却工程を中心に中温域の700℃前後が放熱量として多量にあることから、従来の燃料電池に比べ水蒸気改質の為に20~30%を自己消費するシステムに比べエネルギー効率面で大きなメリットとなる。
- 2) コプロダクションとして燃料電池を用いて電力を生み出すことは、従来のガスエンジン、小型タービンを用いた発電効率25~35%、更にはスケールメリットを生かした大型集中発電効率40~50%超える燃料電池のシステムにもよるが50~60%の発電効率を生かせ、かつ小型のシステムとしても十分に効率を発揮できる。
- 3) 高い水素化率及び分離性能を必要とせず未反応のメタン又は副生ガスは焼成炉用燃料ガスとして用い、かつ高濃度化するH<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>は焼成の為に熱伝達効率の向上に繋がる。更には残留するH<sub>2</sub>の燃焼はメタン燃

焼のエクセルギー損失22%に比べ、大幅に低い13%のエクセルギー損失であり熱効率向上に繋がる。

このエネルギーポンプシステムを実現する上で重要な技術課題はセラミックス焼成炉と水蒸気改質器とを融合させリアクター化し排熱利用率ηexを向上させることにある。

今後、焼成炉の構造に適合しかつ焼成炉寿命と同一の機器寿命を発現できる改質管及びその構造と制御方法について基礎実験、ベンチ実験とステップを踏まえ開発していく予定である。

参考文献

- 1) 堤敦司 “エネルギーと物質のコプロダクションによる革命的省エネルギー技術の理論と展開” 金属 Vol.71 (2001) No.11
- 2) 藤邪雄, 田中純 “製鉄プロセス顕熱利用高効率水素製造技術開発” (COGプロジェクト)全体概要 JRCM NEWS No.187
- 3) 小関和雄 “国内外の水素エネルギー施策” エネルギー・資源 Vol.24 No.6 (2003)
- 4) 吉田邦夫 “水素経済は日本の救世主となり得るか” エネルギー・資源 Vol.24 No.6 (2003)
- 5) 第3回コプロワークショップ “コプロダクションによる革新的省エネルギーと新産業創生” 科学技術振興事業団 2003年11月5日
- 6) 地球温暖化対策推進大綱 地球温暖化対策推進本部 平成14年3月19日
- 7) 日本化学会編 “機能性セラミックスの設計” No.37 1982年
- 8) 社団法人窯業協会 “セラミックス製品の製造プロセス” 1984年 — 粉末調整と成形 —