

平成10年度 新規リサイクル製品等関連技術開発事業
新エネルギー・産業技術総合開発機構委託

CO₂排出抑制型廃ガラス高度利用システムの研究開発

成 果 報 告 書

平成11年3月

クリスタルクレイ株式会社

目次

1	CO ₂ 排出抑制型廃ガラス高度利用システムの研究開発及び成果の概要	
1.1	実施計画の細目	1
1) 目的		1
2) 研究開発の概要		1
3) 平成10年度実施内容		2
4) 研究場所		3
1.2	委託期間	4
1.3	実施計画日程	4
1.4	研究体制	5
1.5	平成10年度の研究成果の概要	6
	Summary	7
2	A. LCA設計された廃ガラス再資源化供給システム技術の研究開発	
2.1	緒言	9
2.2	研究開発の成果	9
1) 既存技術の調査		9
2) 各種要素技術の研究		10
3) 実証試験設備の概要		12
4) 試験結果		13
5) その他の研究結果		19
2.3	目的に照らした達成状況	26
3	B-1. 陶長石の人工合成に関する研究開発	
3.1	緒言	27
3.2	研究開発の成果	27
1) ソーダ石灰ガラスの相平衡		27
2) ガラス-炭酸カルシウム-水酸化アルミニウム系試験		29
3) 水酸化アルミニウムと粘土の添加効果		30
4) 人工長石化仮焼条件の検討		33
5) 人工長石の緻密化挙動		34
3.3	目的に照らした達成状況	38

4	B-2. 廃ガラスの水熱固化材料への利用に関する研究開発	
4.1	緒言	39
4.2	研究開発の成果	39
1)	実験	39
2)	結果	40
4.3	目的に照らした達成状況	45
5	B-3. エコガラスブロックの製造に関する研究開発	
5.1	緒言	47
5.2	研究開発の成果	47
1)	エコガラスブロック試作	47
2)	問題抽出と課題設定	48
5.3	目的に照らした達成状況	49
6	B-4. 多機能ハイブリッド素材を用いた環境調和システムの研究開発	
6.1	緒言	51
6.2	研究開発の成果	51
1)	軽量タイルの開発	51
2)	透水性ブロックの開発	54
6.3	目的に照らした達成状況	56

1 CO₂排出抑制型廃ガラス高度利用システムの研究開発及び成果の概要

1.1 実施計画の細目

1) 目的

循環型リサイクル社会を実現するためには、廃ガラス利用のマテリアルリサイクルを促進し、CO₂削減、資源の有効活用を進める必要がある。

再生品の原料としての廃ガラスに要求される品質は、粒度組成・異物の混入率であり、これらは再生商品ごとに異なる。一方、現状の粉砕システムは水洗浄、多段粉砕が主流で、粒度による収率にも偏りが大きく、需要に見合う供給ができず大きな問題となっている。例えば、タイル等の窯業原料を調整する場合には粒度分布が最も重要で、タイルの強度と形状は、素地を構成する粒子の粒度分布によって大きな影響を受ける。また、陶磁器製品の性質は、骨格となる珪石の粒度によって大きく影響され、その粒度分布のコントロールが重要である。

そこで、本研究開発では、廃ガラスを再生商品に要求される粒度組成に分級して、全てが原料として低コストで供給され、かつCO₂排出量・消費エネルギーの少ない供給システムの開発を目的とする。さらにそのシステムによって破砕・分級されたガラスカレットの利用技術として、陶長石の人工合成、廃ガラスの水熱固化材料への利用、エコガラスブロックの製造及び多機能ハイブリッド素材を用いた環境調和型システムを開発することを目的とする。

2) 研究開発の概要

A. LCA 設計された廃ガラス再資源化供給システム技術の研究開発

- ①洗浄水を使わない乾式システムでの数 μ mmレベルの高効率粉砕が可能な微粉砕システムの技術開発
- ②多段粉砕によらず、一段粉砕にて目標粒度を達成でき、かつ耐久性に優れた粉砕機の開発
- ③紙・金属等との分離、選別可能な異物分離、品質評価技術開発
- ④製品別の必要粒度範囲に調整する粒度分布調整技術開発

B-1. 陶長石の人工合成に関する研究開発

- ①廃ガラス、廃アルミナ等を出発原料にしたときの粉砕・混合プロセス技術開発
- ②用途（タイル、衛生陶器、食器等）ごとの調合、合成炉、合成条件最適化のための製造プロセス技術開発
- ③合成後、原料として利用するための粉砕・分級技術開発
- ④人工陶長石の原料としての特性評価技術

B-2. 廃ガラスの水熱固化材料への利用に関する研究開発

- ①廃ガラス・水酸化カルシウム系のオートクレーブ処理による固化技術開発
材料強度発現のための調合・オートクレーブ処理条件の最適化
- ②廃ガラス、水酸化カルシウムを出発原料としたときの混合、乾式プレス成形等の原料調製、成形

技術開発

- ③材料使用後リサイクルするための粒度・調合最適化技術開発
- ④使用空間部位における耐久性評価

B-3. エコガラスブロックの製造に関する研究開発

- ①溶解性が良くガラスブロックの性能に影響を及ぼさない廃カレットのカレットサイズやカレット率の検討
- ②廃カレットの使用率を高めても、性能の良いガラスブロック作製の製造条件並びに性能評価技術の確立
- ③リサイクルガラスブロック、エコガラスブロックの特性評価、信頼性評価技術の確立

B-4. 多機能ハイブリッド素材を用いた環境調和システムの研究開発

- ①軽量ガラス骨材と少量の粘土質原料（ガラス粉）を用いた造粒体製造技術開発
- ②材料の機能、強度発現のための調合最適化設計
- ③材料の機能、強度発現のための製造プロセスの最適化設計
- ④機能評価と実環境システム設計・評価

3) 平成10年度実施内容

A. LCA 設計された廃ガラス再資源化供給システム技術の研究開発

- ①高効率粉砕の研究（粉砕機の改良）
- ②高効率乾燥の研究（乾燥特性の把握）
- ③高効率分級の研究（篩分機の研究）
- ④異物除去の研究（風力選別の研究）

上記①～④についての試験計画、各種調査、社内試験、設備調整、現地試験、報告書作成等

B-1. 陶長石の人工合成に関する研究開発

- ①粉砕・混合プロセス技術開発
- ②用途（タイル、衛生陶器、食器等）ごとの調合、合成最適化のための製造プロセス開発
- ③合成後の利用粉砕・分級技術開発
- ④特性評価研究

上記①～④についての試験計画、各種調査、社内試験、設備調整、現地試験、報告書作成等

B-2. 廃ガラスの水熱固化材料への利用に関する研究開発

- ①廃ガラス・水酸化カルシウム系のオートクレーブ処理による固化技術開発
材料強度発現のための調合・オートクレーブ処理条件の最適化
- ②廃ガラス、水酸化カルシウムを出発原料としたときの混合、乾式プレス成形等の原料調製、成形技術開発
- ③材料使用後リサイクルするための粒度・調合最適化技術開発

④使用空間部位における耐久性評価

上記①～④についての試験計画、各種調査、社内試験、設備調整、現地試験、報告書作成等

B-3. エコガラスブロックの製造に関する研究開発

①溶解性が良くガラスブロックの性能に影響を及ぼさない廃カレットのカレットサイズやカレット率の検討

②廃カレットの使用率を高めても、性能の良いガラスブロック作製の製造条件並びに性能評価技術の確立

③リサイクルガラスブロック、エコガラスブロックの特性評価、信頼性評価技術の確立

上記①～③についての試験計画、各種調査、社内試験、設備調整、現地試験、報告書作成等

B-4. 多機能ハイブリッド素材を用いた環境調和システムの研究開発

①軽量ガラス骨材と少量の粘土質原料（ガラス粉）を用いた造粒体製造技術開発

②材料の機能、強度発現のための調合最適化設計

③材料の機能、強度発現のための製造プロセスの最適化設計

④機能評価と実環境システム設計・評価

上記①～④についての試験計画、各種調査、社内試験、設備調整、現地試験、報告書作成等

4) 研究場所

A. LCA 設計された廃ガラス再資源化供給システム技術の研究開発

川崎重工業株式会社 環境装置第二事業部	千葉県八千代市上高野 1780 番地
東陶機器株式会社 タイル・建材事業部	岐阜県土岐市下石町字西山 304-701
多治見工業株式会社 恵那工場	岐阜県瑞浪市釜戸町 2100 番地
クリスタルクレイ株式会社 ましこ工場	栃木県芳賀郡益子町大字塙字上西谷 3721-6
クリスタルクレイ株式会社 つくば工場	茨城県稲敷郡新利根町伊佐津字富士台 7-2

B-1. 陶長石の人工合成に関する研究開発

株式会社イナックス 建材技術研究所	愛知県常滑市久米字鎗場 36 番地
クリスタルクレイ株式会社 ましこ工場	栃木県芳賀郡益子町大字塙字上西谷 3721-6

B-2. 廃ガラスの水熱固化材料への利用に関する研究開発

株式会社イナックス 建材技術研究所	愛知県常滑市久米字鎗場 36 番地
クリスタルクレイ株式会社 ましこ工場	栃木県芳賀郡益子町大字塙字上西谷 3721-6

B-3. エコガラスブロックの製造に関する研究開発

日本電気硝子株式会社 開発推進室	滋賀県大津市晴嵐 2-7-1
クリスタルクレイ株式会社 ましこ工場	栃木県芳賀郡益子町大字塙字上西谷 3721-6

B-4. 多機能ハイブリッド素材を用いた環境調和システムの研究開発

東陶機器株式会社 タイル・建材事業部
 株式会社イナックス 建材技術研究所
 クリスタルクレイ株式会社 ましこ工場
 クリスタルクレイ株式会社 つくば工場

岐阜県土岐市下石町字西山 304-701
 愛知県常滑市久米字鎗場 36 番地
 栃木県芳賀郡益子町大字埜字上西谷 3721-6
 茨城県稲敷郡新利根町伊佐津字富士台 7-2

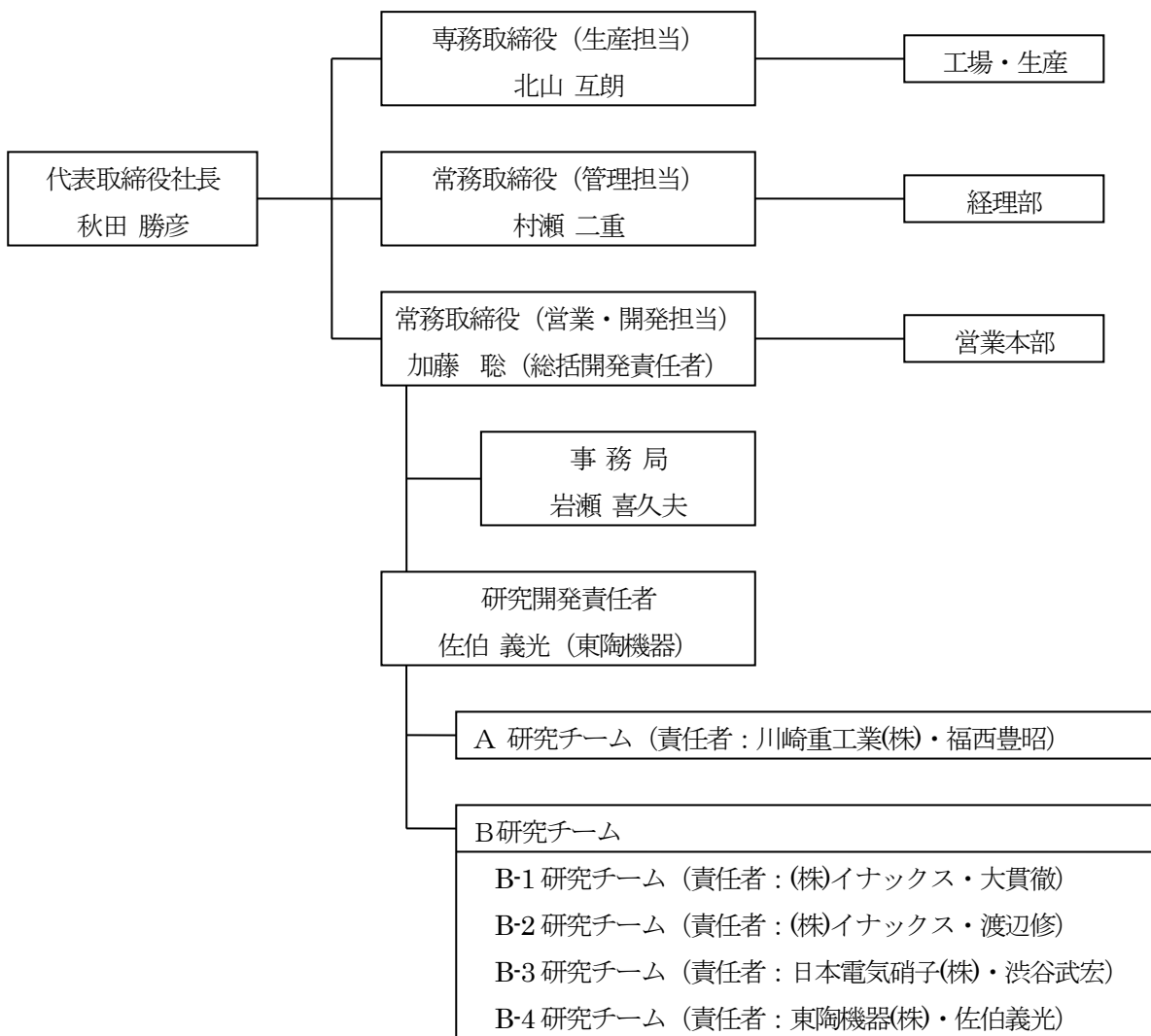
1.2 委託期間

契約締結日から平成 11 年 3 月 31 日まで

1.3 実施計画日程

研究開発項目	年 月		平成 10 年				平成 11 年		
	9	10	11	12	1	2	3		
A. LCA 設計された廃ガラス再資源化供給システム技術の研究開発	→								
B. 用途開発	→								
1. 陶長石の人工合成に関する研究開発	→								
2. 廃ガラスの水熱固化材料への利用に関する研究開発	→								
3. エコガラスブロックの製造に関する研究開発	→								
4. 多機能ハイブリッド素材を用いた環境調和システムの研究開発	→								

1.4 研究体制



1.5 平成10年度の研究成果の概要

期間（平成10年11月9日～平成11年3月31日）

A LCA設計された廃ガラス再資源化供給システム技術の研究開発

- ・研究設備を使用して粉砕、異物分離の基本研究を実施した。（基本データの収集）
- ・検査機器の調整とサンプルテストを実施した。
- ・粉砕設備、分級設備を用いて効率的な供給システムの研究を行った。
- ・異物分離の精度向上試験を行った。
- ・原料の受入基準の策定を行った。

B-1 陶長石の人工合成に関する研究開発

- ・廃ガラス・水酸化アルミニウム系において結晶化挙動を検討し、陶長石合成の最適条件として配合は廃ガラス(60%)・水酸化アルミニウム(40%)、仮焼については1000℃では5時間以上、1100℃では1時間以上保持する必要があることを見いだした。
- ・上記人工陶長石の溶化挙動を検討し、天然陶長石と類似した挙動を示すことを確認した。

B-2 廃ガラスの水熱固化材料への利用に関する研究開発

- ・Gパウダー・消石灰・石膏3成分系においてクラックのない高強度水熱固化体が得られることがわかった。
- ・耐候性試験用として、Gパウダー・消石灰・石膏系でサンプル(110×110×15mm)を調製した。

B-3 エコガラスブロックの製造に関する研究開発

- ・溶解性が良くガラスブロックの性能に影響を及ぼさない廃カレットのカレットサイズやカレット率の検討を行った。
カレットサイズは5～10m、カレット率60～80%を基本とし、ガラス材質の高温粘性を下げるため20～40%の組成調整を行うことにした。
- ・廃ガラスの使用率を高めた性能の良いガラスブロックの製造条件並びに性能評価技術を確立するため、坩堝形式により240kg/potにて、190mm角の試作品（伊吹）の溶融試験を行った。

B-4 多機能ハイブリッド素材を用いた環境調和型システムの研究開発

- ・基本素材組成の最適調合を確立するための検討を行った。
- ・基本製造プロセスを確立するため、軽量タイル・透水ブロックの試作を行った。
- ・環境調和機能の試験室レベルでの評価及び効果の確認とLCA評価の検討を行った。
- ・次年度以降は実用化検討が中心となるため、生産技術・設備の検討及び製品の実使用・実環境での評価、効果の確認を推進する。

Project Entrusted by NEW ENERGY AND INDUSTRIAL TECHNOLOGY
DEVELOPMENT ORGANIZATION (NEDO)

“Development for an Advanced Application System for Glass Waste
with CO₂ Emission Reduction”

*Summary (term:1998 November 9 ~ 1999 March 31)

A. Investigation and development of a supplying system for glass waste as recycled resources with LCA design

- Basic research into pulverizing and separation from a foreign subject.
- Regulation and sample tests of inspection equipment were done.
- Effective supplying system was investigated into pulverizing, classification facilities.
- Test which improves the precision of separation from foreign matter was taken.
- Standard of acceptance for raw materials had been drawn up.

B-1 Investigation and development of artificial synthesis of feldspar and pottery stone mixture

- It was found that the optimum conditions for synthesizing feldspar and pottery stone mixture artificially were 60% of glass waste and 40% aluminum hydroxide as the batch composition and more than 5 hours at 1000°C or over one hour at 1100°C as the calcination condition in glass waste- aluminum hydroxide system.
- Then it was recognized that vitrification behavior of artificial synthesis of feldspar and pottery stone mixture obtained by above process was similar to natural one.

B-2 Investigation and development of utilization to hydrothermally solidified materials of glass waste

- It was found that strong hydrothermally solidified material without crack could be obtained from G powder, slaked lime and plaster.
- For weathering test, some specimens (110x110x15mm) were prepared from G powder, slaked lime and plaster.

B-3 Investigation and development of manufacture of eco-glass block

- Size and percentage of bottle glass cullet waste which is mixed with glass raw materials had been tested in order to get good melting condition for making eco-glass blocks.
From 5 to 10 mm of cullet size and from 60 to 80 % of cullet percentage had been made clear good condition for melting good glass.
- One batch melting by 240 kg had been carried out under the above cullet condition in order to judge good melting condition or not for making eco-glass blocks.

B-4 Investigation and development of an environmentally friendly system using multi-functional hybrid material.

- Light tile and block experimental had been done to set the basic manufacturing process.
- Investigation had been done to establish best preparation of basic material composition.
- Value or effect at the level of the system conformed to environment laboratory was confirmed besides LCA value had been considered.
- From the following year, mainly utility will be discussed, therefore manufacturing technique, production facilities and effect will be checked.

3 B-1. 陶長石の人工合成に関する研究開発

3.1 緒言

廃ガラス(混みカレット)をタイル、衛生陶器など陶磁器製品の原料として使用することを考える場合、従来使用されてきた天然の長石の代わりとして使用することが妥当と考えられる。しかしながら、天然長石に比べてガラスは熔融温度が低いため、陶磁器製品を製造する条件(焼成温度)が大きく異なることが容易に予想できること、また衛生陶器や食器などタイルに比べてより複雑な形状の製品に適用できるかどうか、はなはだ不安がある。

このような状況を踏まえ、タイル以外にその用途を拡大することで廃ガラスのリサイクルの促進に繋げるために、ガラスにある成分を添加することにより陶磁器の原料としてより使いやすいものにするには意義のあることと考える。

ここではガラスに Ca、Al 成分を添加し、天然の長石の構成成分である鋳物を加熱することにより析出させ、長(陶)石が合成できるかどうかについて検討した。

3.2 研究開発の成果

1) ソーダ石灰ガラスの相平衡

表 3-1 に廃ガラスカレットの成分を示すが、組成的にはソーダ石灰ガラスであることがわかる。

Table3-1 Chemical composition for glass in mass%.

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	Ig-loss	Total
70.0	2.1	0.2	12.0	0.4	1.0	14.0	0.0	0.3	100.0

これを単体で加熱したときの構成相の変化を図 3-1 に示す。構成相の確認は理学電気製粉末 X 線回折 (RAD-IIA) を用いて行った。加熱前(Blank)には 15~40 度(2θ) にブロードなピークが見られるだけで、非晶質であることがわかる。これを 800°C で加熱すると石英(quartz, SiO₂)、クリストバライト(cristobalite, SiO₂)、デビトライト(devitrite, Na₂O·3CaO·6SiO₂)、ワラストナイト(wollastonite, CaO·SiO₂)の結晶が析出していることがわかる。これを 1000°C まで加熱温度を上昇させると析出していた結晶のほとんどが消失してしまうことがわかる。この変化については図 3-2 に示す相平衡図により説明ができる。図中に示した●印がガラスの組成に相当する点であるが、これは NC₃S₆(devitrite, Na₂O·3CaO·6SiO₂)領域であり、1000°C 程度で NC₃S₆ が初晶として晶出する。温度が低下するにつれて液相からは次第に NC₃S₆ が抜けていくので液相組成は NC₃S₆ の組成点と G を結ぶ直線に沿って変化して、QP 線上に達する。ここで NC₃S₆+溶融物+トリジマイト(Tridymite, SiO₂)の反応によって、トリジマイトを晶出し始める。さらにその後、P→O と進むにつれて NC₃S₆ および SiO₂ を晶出し続けて O に達する。この間にトリジマイト→石英の転移がある。O に達したとき溶融物→NS₂+ NC₃S₆+石英の反応によって新しく NS₂ を晶出する。この反応のために溶融物が消費し尽くされると、液相が消滅して全体は NS₂、NC₃S₆、石英の 3 物質の混晶となって、ついに相平衡の移動は停止する。実際に得られた結晶はこの変化により晶出すると考えられるものとは異なるが、これはあくまでも完全な平衡状態での変化であり、完全な平衡状態を得るためにはきわめて長い時間が必要であること、トリジマイトが不安定な結晶であること、NC₃S₆ で CS(wollastonite, CaO·SiO₂)領域に近接した部分では、初晶が NC₃S₆ ではなく CS またはトリジマイトが準安定相として晶出する可能性が高いことなどから図 3-1 に得られた構成になったものと考えられる。またこの変化は高温からのものであるが、加熱する場合でもガラスの場合には急

冷することにより非晶質にしていることから時間と温度を与えることにより本来の構成に変化していくものと考えられる。

2) ガラス-炭酸カルシウム-水酸化アルミニウム系試験

ガラス単体の変化については把握できたが、これに天然長石の構成成分を析出させるために炭酸カルシウムおよび水酸化アルミニウムを添加してその析出結晶相について検討した。

実験に用いた炭酸カルシウムは岐阜県大垣市産のものを、水酸化アルミニウムは昭和電工製ハイジライト H-42 を用いた。これらはほぼ理論組成に近いものである。これらを所定の割合に混合し、電気炉を用いて 1000°C で 1 時間加熱し、構成相の変化を調べた(図 3-3)。図よりガラス-CaCO₃-Al(OH)₃ 系のガラス含有量が 50% 以上の領域では次の 4 つの領域に分けられることがわかる。

- I : ワラストナイト領域
- II : ワラストナイト-ネフェリン領域
- III : ワラストナイト-ライム領域
- IV : ワラストナイト-ネフェリン-ゲーレンナイト領域

炭酸カルシウムを添加していくとワラストナイトの生成量は増えていくものの、10% で既にライムが析出して来る。これは炭酸カルシウムが加熱により脱炭酸して生成するもので、ガラスとは反応していないことを示していることから炭酸カルシウムの添加は得策でないと判断できる。また炭酸カルシウムの添加は加熱により大量の CO₂ ガスを発生させることにもなり、やはり得策とは考えにくい。

一方、水酸化アルミニウムを添加することにより、成分中に Al₂O₃ を含有するネフェリン(nepheline) が生成するようになる。また水酸化アルミニウムと炭酸カルシウムを同時に添加した場合にはネフェリンに加えてやはり成分中に Al₂O₃ を含有するアノーサイト(anorthite) が生成する。これらは長石族に当たる鉱物であり、ガラス単体より陶磁器用原料としてより使用しやすいものになることが期待される。

以上のことから、炭酸カルシウムの添加は得策ではないと判断し、水酸化アルミニウムの添加量等について詳細に検討していくこととする。

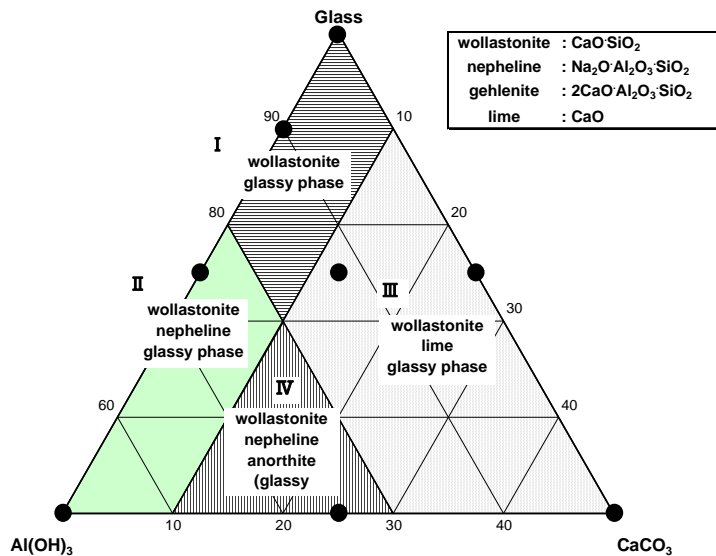


Fig.3-3 Phase compositions calcined at 1000°C.

3) 水酸化アルミニウムと粘土の添加効果

ガラスに水酸化アルミニウムを添加することにより 1000°C程度で加熱する際にガラスとの反応性の高い Al₂O₃ 成分を加えるてやることで、長石成分を生成させられることがわかったが、そのような Al₂O₃ 源としてはカオリナイト(kaolinite)も使用できる可能性があること、陶磁器の製造にはカオリナイトを主成分とする粘土が欠かせないことから、水酸化アルミニウムと粘土との構成を変化させて構成鉱物等の確認を行った。表 3-2 に水酸化アルミニウムと蛙目粘土(愛知県瀬戸市産)の化学組成を示す。蛙目粘土の構成鉱物はカオリナイトと石英であり、反応性の高い Al₂O₃ 源としては水酸化アルミニウムと比べると Al₂O₃ 成分は少ない。

Table3-2 Chemical compositions for Al(OH)₃ and Gaerome clay in mass%.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	Ig-loss	Total
Al(OH)₃	0.0	65.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	34.6	100.0
Gaerome Clay	52.8	30.7	2.1	0.2	0.3	1.9	0.3	0.7	11.1	100.1

これらを表 3-3 に示す配合で調製し、30mm φ x5mm の形状に一軸加圧成形し、電気炉を用いて焼成後、粉末 X 線回折による構成鉱物の確認等を行った。

Table3-3 Batch compositions in mass%.

	No.1	No.2	No.3	No.4
Glass	50	50	50	50
Al(OH)₃	0	10	30	50
Gaerome Clay	50	40	20	0
Total	100	100	100	100

その結果を図 3-4 及び図 3-5 に示す。ここで構成相の割合は相対的なものであり定量性はない。処理温度が 1000°C ではワラストナイト、ネフェリン、アノーサイトの他にクリストバライト、クオーツが検出され、クリストバライト、クオーツ、ワラストナイトは粘土が多いほど増える傾向があり、逆にネフェリンは減少する傾向が見られる。温度が 1100°C になるとワラストナイト、ネフェリン、クオーツはほとんど消滅し、アノーサイト、クリストバライトだけが検出される。またアノーサイトの生成量は 1000°C よりも増え、水酸化アルミニウムが多い方が多いことがわかる。1200°C では 1100°C に比べてアノーサイトが減少し、ガラス相が増えていくことがわかる。

この時の供試体の吸水率、収縮率、嵩密度の変化を図 3-6、3-7、3-8 にそれぞれ示す。水酸化アルミニウムの添加量が 0% の場合には温度の上昇と共に緻密化が進行し、1000°C で吸水率がほとんど 0% となりその際に大きな収縮(10~11%)を伴って焼き締まってしまい、1100°C 以上では嵩密度と収縮率の低下が見られることから、焼き膨れ現象が起こっていることがわかる。それに対し、水酸化アルミニウムが添加されると吸水率の低下ならびに嵩密度、収縮率が高くなりにくくなっていくことから、緻密化が起きにくくなっていくことがわかる。さらに水酸化アルミニウム 10% 添加の場合には 1200°C で吸水率が 0% 近くに低下するものの、嵩密度が 1.9g/cm³ とかなり低いことから閉気孔を多く有する軽量の磁器が得られる可能性のあることがわかる。Ca 成分が加熱時にカオリナイトなどの SiO₂、Al₂O₃ 成分と反応してアノーサイトを生成する際には大きな体積膨張を伴うことがわかっている。従ってガラスの熔融による緻密化と同時にアノーサイト生成により、このような現象が起こったものと考えられる。また 900°C における嵩密度および吸水率の結果から水酸化アルミニウムの添加を多くするほど成型時の充填が悪くなることがわかる。

以上のことから、ガラス-水酸化アルミニウム-粘土を調合し焼成すると、アノーサイト生成に伴う体積膨張のため、緻密な焼結体が得られないことがわかった。従って、予めガラスと水酸化アルミニウムを混合して加熱して長石化することを次に検討する。

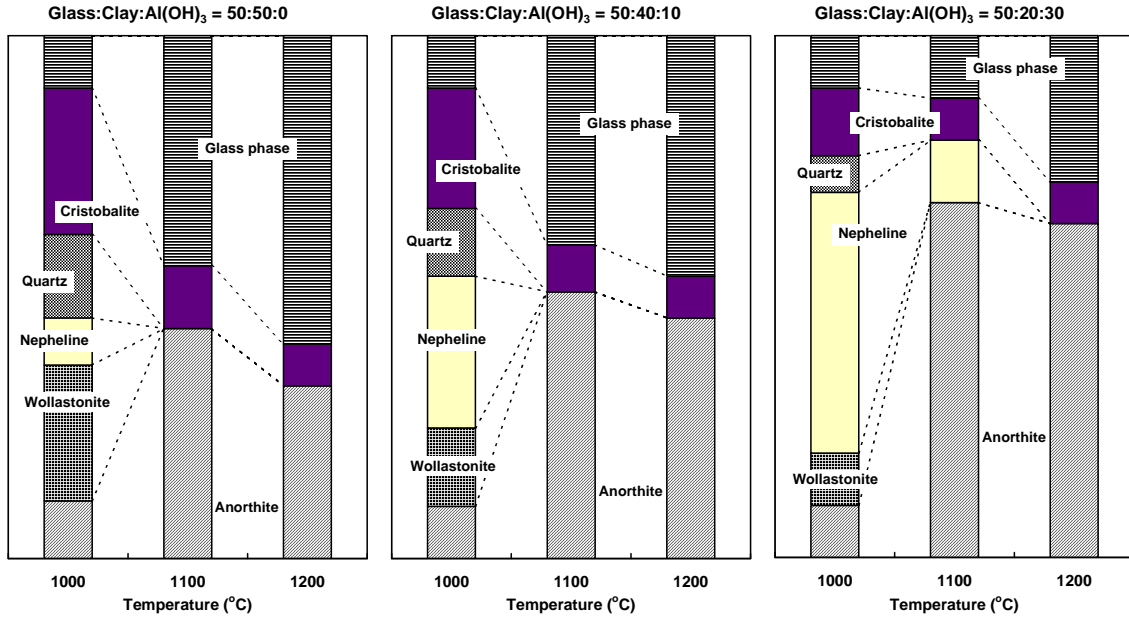


Fig.3-4 Phase compositions for Glass-Clay-Al(OH)₃ system.

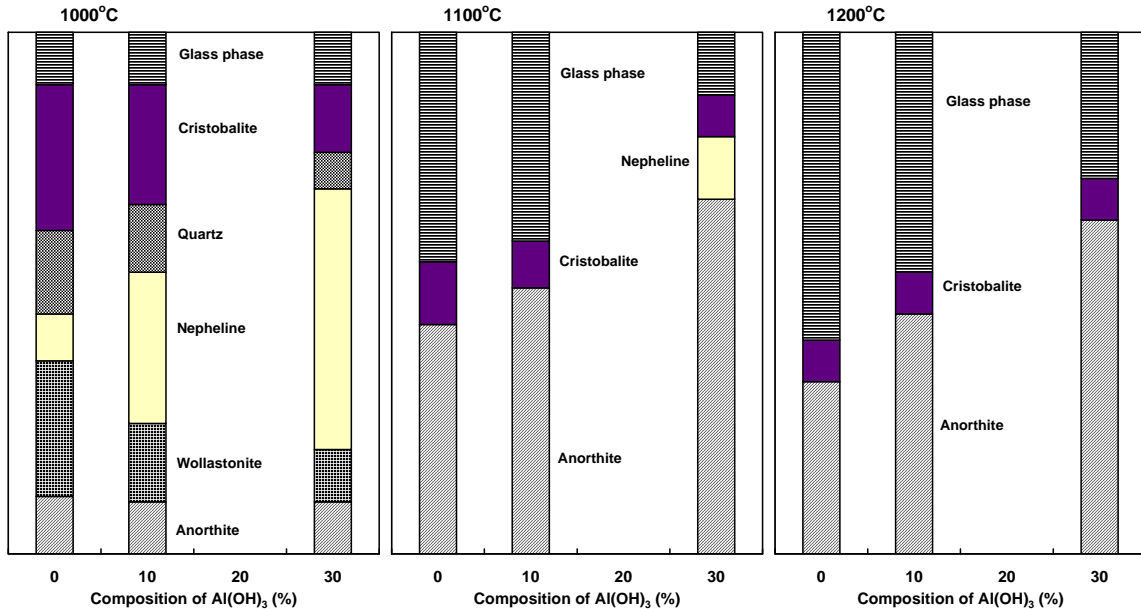


Fig.3-5 Phase compositions for Glass-Clay-Al(OH)₃ system.

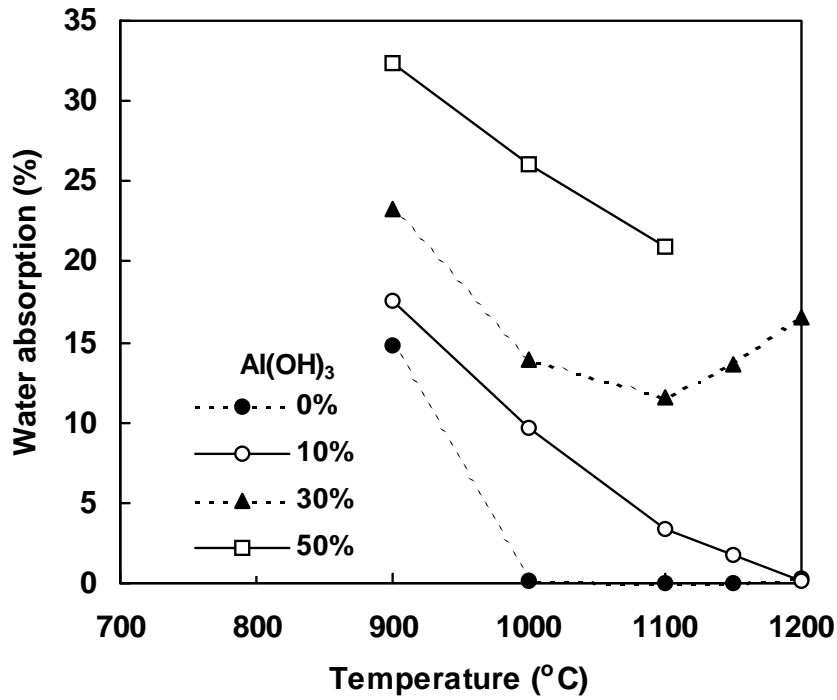


Fig.3-6 Change in water absorption as a function of temperature.

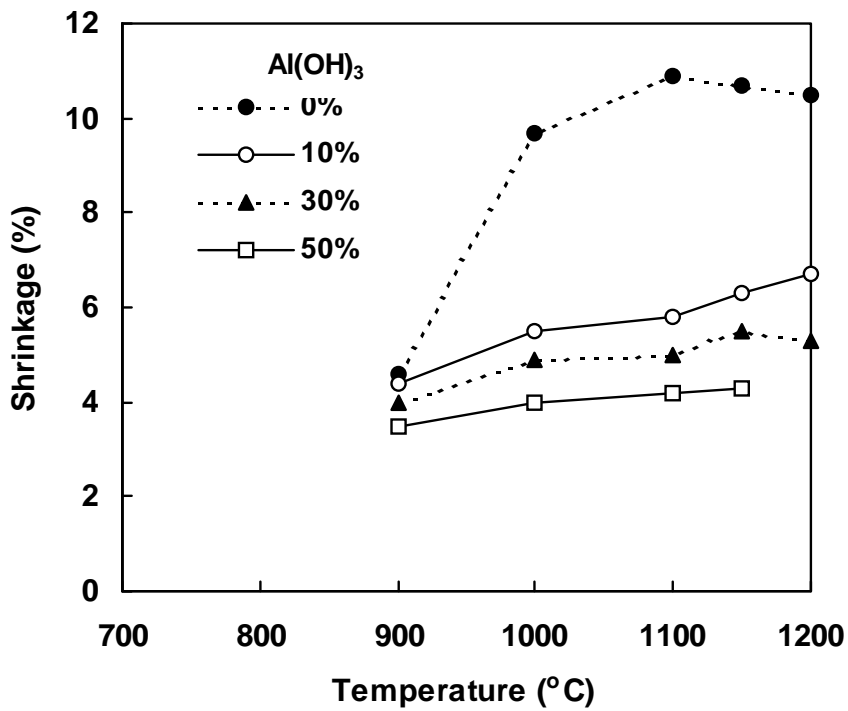


Fig.3-7 Change in shrinkage as a function of temperature.

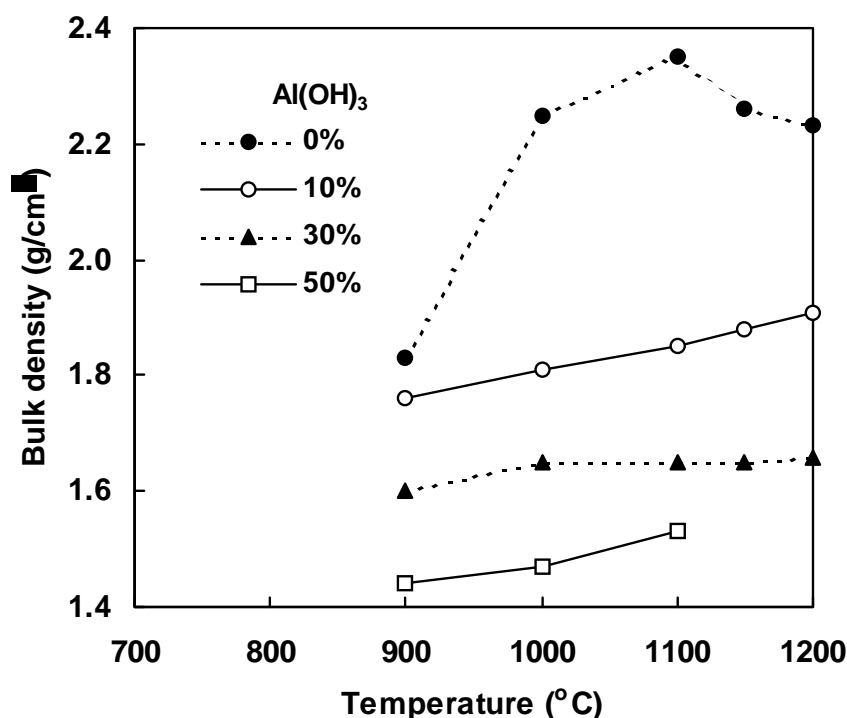


Fig.3-8 Change in bulk density as a function of temperature.

4) 人工長石化仮焼条件の検討

ガラスと水酸化アルミニウムとを混合して仮焼することにより長石化させるのに最も有効な条件を見出す検討を実施した。ガラスと水酸化アルミニウムの割合を 80:20 と 60:40(質量分率)の2水準調製し、仮焼条件として、温度は 800°C~1100°C、その時の保持時間を 1~10 時間の間で変化させて検討した。ガラス-水酸化アルミニウムの割合 60:40 の時の結果を図 3-9 に示す。800°Cではネフェリンとワラストナイトが僅かに生成するのに対し、900°Cでアノーサイトが生成し始め、1000°Cではワラストナイトが減少してアノーサイトの生成量が増加していき、1100°Cではほぼ平衡に達していることがわかる。即ち温度が高くなるほど、また保持時間が長くなるほど生成量が多くなり、しかもアノーサイト量が多くなることがわかる。

また配合割合が 80:20 の場合には傾向としては同じであるが、1000°C、5h の仮焼においても析出した相はワラストナイトだけで析出量も僅かであり、60:40 の 800°Cで仮焼した時よりも生成量が少なかったことから、Al(OH)₃ の配合割合としては 20%では不十分であり、40%程度にする必要があると考えられる。

以上のことから、人工長石化のための最適条件として

ガラス-水酸化アルミニウムの配合割合は 60:40(質量分率)である

仮焼条件は 1100°Cで 1 時間保持することまたは、1000°Cで 5 時間保持すること

であることがわかった。

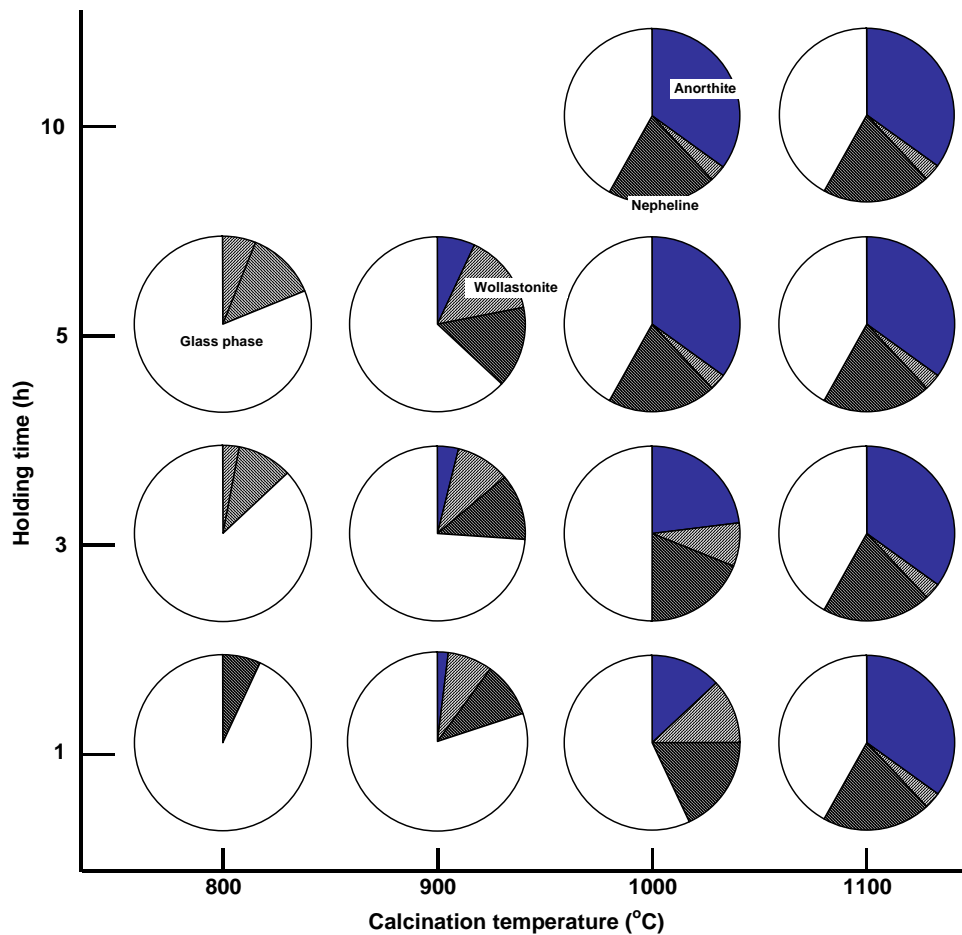


Fig.3-9 Change in phase composition with calcination condition in GP(60%)-Al(OH)₃(40%) system.

5) 人工長石の緻密化挙動

以上の検討により得た人工長石の緻密化挙動を天然長石と比較した。用いた人工長石はガラス-水酸化アルミニウム配合比 60-40(質量分率)、仮焼条件 1000°C、5h で得たものであり、比較として用いた天然長石は愛知県瀬戸市産サバ脱鉄長石であり、両者の組成を表 3-4 に示した。ここで人工長石の組成はガラスと水酸化アルミニウムの組成を割合に応じて乗じ、灼減(Ig-loss)を減じることで算出した。この両長石 66.7%と蛙目粘土 33.3%を配合し、一軸加圧成形(30MPa)の後、電気炉を用い各種温度で焼成した。また比較として同一の組成になるようにガラス、水酸化アルミニウム、粘土を配合したものについても用意した。

Table3-4 Chemical compositions for synthetic and natural feldspar in mass%.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	Ig-loss	Total
Synthetic	48.9	31.9	0.1	8.4	0.3	0.7	9.8	0.0	0.0	100.0
Natural	78.0	12.5	0.1	0.7	0.0	6.0	2.3	0.0	0.3	99.9

焼成温度に対する収縮率、吸水率、嵩密度と見かけ密度との関係を図 3-10、3-11、3-12、3-13 にそれぞれ示す。ここで仮焼していないガラス-水酸化アルミニウム-粘土系を Reference として表示した。これらの図より以下のことがわかる。

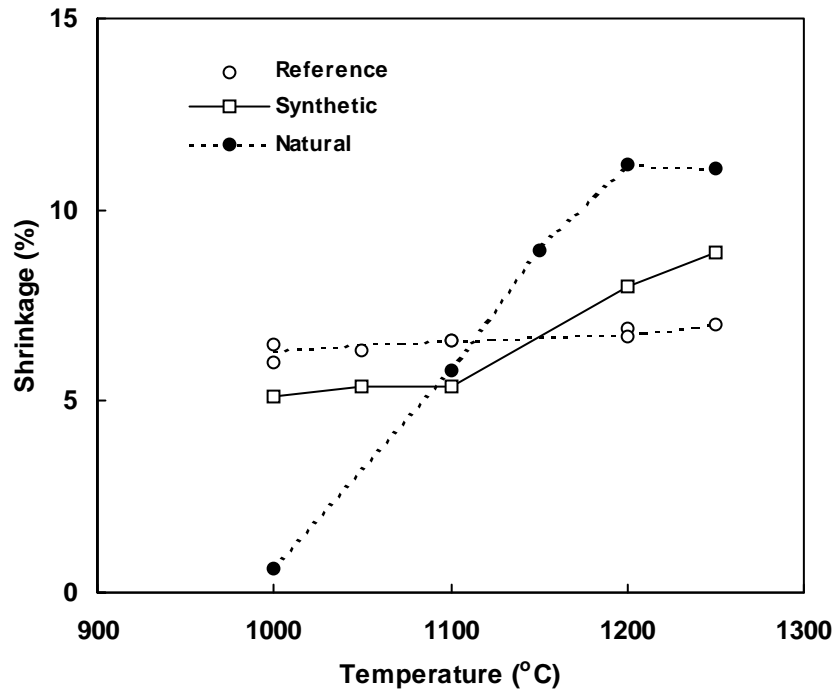


Fig.3-10 Change in shrinkage as a function of temperature in synthetic and natural feldspar system.

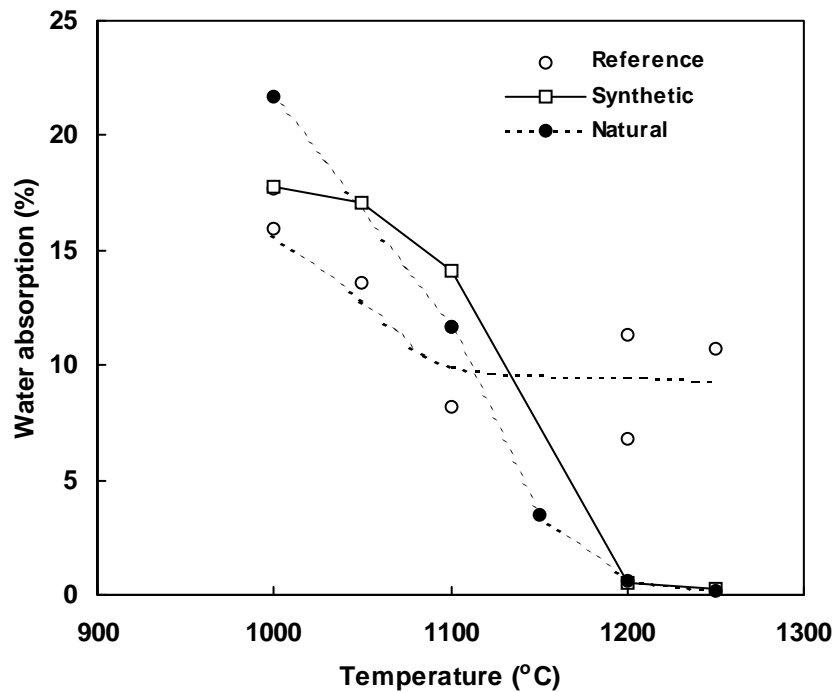


Fig.3-11 Change in water absorption as a function of temperature in synthetic and natural feldspar system.

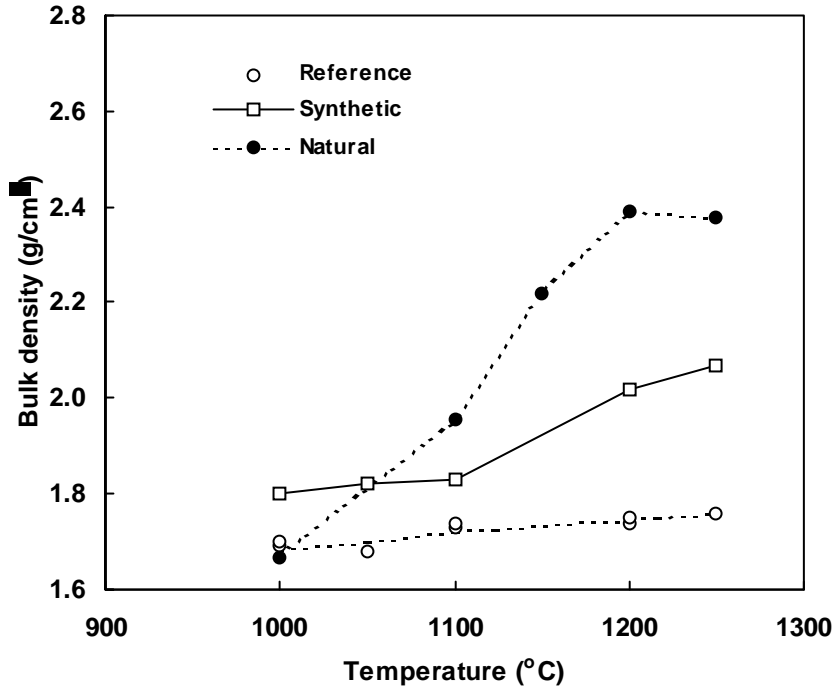


Fig.3-12 Change in bulk density as a function of temperature in synthetic and natural feldspar system.

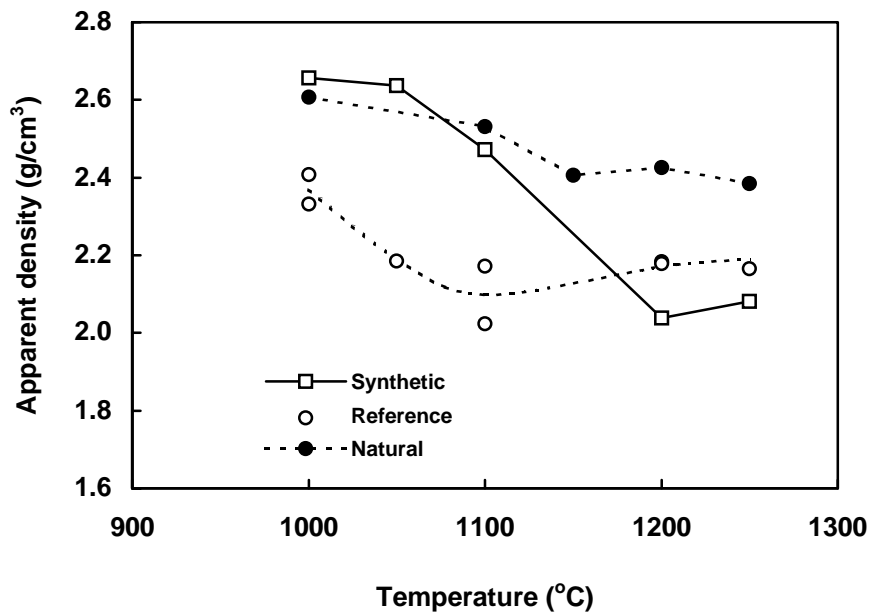


Fig.3-13 Change in apparent density as a function of temperature in synthetic and natural feldspar system.

- ・天然長石素地は 1000°C においてはほとんど収縮しておらず、1100°C 以上で収縮が起こっている。
- ・人工長石系未仮焼品では 1000~1250°C の温度範囲でほとんど収縮率に変化がない。
- ・人工長石系仮焼品では 1100°C 以上で収縮率が変化している。
- ・天然長石素地は 1200°C 以上で緻密化している。
- ・人工長石系は天然長石素地と同様に 1200°C 以上で磁器化しているが、未仮焼品は 1100°C 以上で吸水率が 10% 程度から変わらない。
- ・嵩密度の変化は収縮率の変化とほぼ同等の変化を示す。
- ・天然長石素地の見かけ密度はあまり低下せず、緻密化した時点で約 2.4g/cm³ であるのに対し、人工長石系では 2.1 g/cm³ 程度になる。
- ・未仮焼品では 1100°C で既に 2.1 g/cm³ 程度に低下してしまう。

またこの時の構成相の変化について図 3-14 に示す。仮焼系は 1000°C では石英、アノーサイト、コランダム(α -Al₂O₃)の組み合わせであり、温度が高くなるに従って石英が消失し、コランダムが若干増加している。一方、非仮焼系では 1000~1100°C で仮焼時に生じる結晶が析出し、1200°C では仮焼系とほとんど同じ構成になる。従って非仮焼系において 1100°C 以上で吸水率が低下せず、焼き締まりが進行しなかったのは、前述したようにアノーサイトが生成する際に伴う体積膨張のためであると考えられる。

さらに仮焼系、非仮焼系ともに生成が認められたコランダムは系内より Al₂O₃ 成分が余剰となり生成したものと考えられることから、長石合成時において水酸化アルミニウムの配合割合を 40% より少なくすることが可能であると判断される。

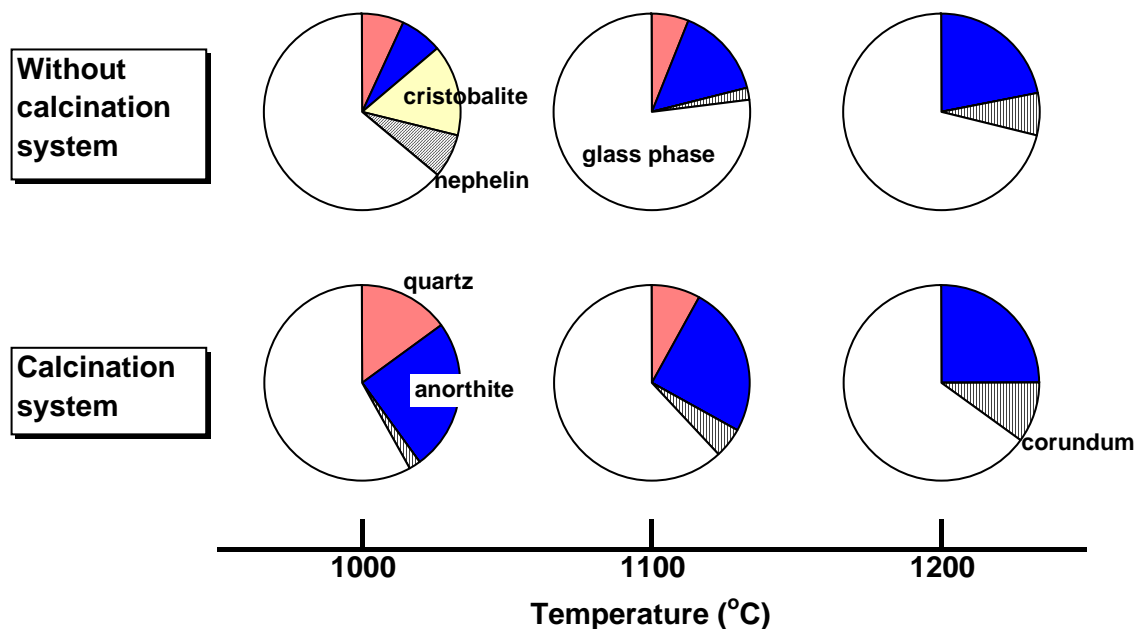


Fig.3-14 Change in phase composition.

3.3 目的に照らした達成状況

廃瓶込みガラスカレットの陶磁器原料としての有用性を向上させるため炭酸カルシウムと水酸化アルミニウムを添加して人工的に長石化させることを検討し、以下の結論が得られた。

- ①長石を合成するためには水酸化アルミニウムの使用が有効であり、炭酸カルシウムはあまり有効ではない。
- ②ガラス-水酸化アルミニウム-粘土の系において仮焼せずに配合した場合には、緻密化が進行せず、予め仮焼することにより長石化することが必要である。
- ③長石合成条件としてはガラス-水酸化アルミニウムの配合比を 60:40(質量分率)とし、仮焼条件として少なくとも 1000℃で 5 時間または、1100℃で 1 時間保持することが必要である。但し、粘土との配合試験より水酸化アルミニウムの配合比はもう少し少ない方が良い可能性が示唆された。

以上の結果を踏まえ、今後は供試体の形状を大きくし、確認ができなかった項目、例えば焼成荷重軟化試験などについて検討を加え、陶磁器原料として人工長石化することがガラス単体で使用する場と比較してどのようなメリットがあるのかについて検討していく。

また大型タイル、衛生陶器や食器などの応用についても検討する。

4 B-2. 廃ガラスの水熱固化材料への利用に関する研究開発

4.1 緒言

水熱処理による固化技術は高温・高圧の飽和水蒸気下で Lime や消石灰などのカルシウム成分と quartz などの珪酸成分が反応し、珪酸カルシウム水和物を生成させることにより、断熱材や ALC 等の建材の製造に広く用いられている。この方法は高温で焼成するプロセスを経て製造される他のセラミックス材料に比べて相対的にエネルギーを必要としないため、地球温暖化防止が叫ばれている現在有望な製造方法であると考えられる。珪酸カルシウム材料として代表的なものとして tobermorite やゾノトライトがあるが、通常これらの合成にはかなり純粋な珪酸原料が出発物質として使用されている。

この水熱固化材料の原料として珪酸質原料の代わりに廃ガラスカレットが使用できればサイクルに貢献するばかりか、地球環境に優しい材料となりうると考えられる。よって廃瓶ガラスカレットが珪酸質原料として使用可能かどうかを検討した。

4.2 研究開発の成果

1) 実験

廃瓶ガラスカレットの成分を表 4-1 に示すが、組成的にはソーダ石灰ガラスであることがわかる。また表中には置換対象として検討した不純物として長石、緑泥石やマイカなどの粘土鉱物を不純物として含有する珪石(栃木県日瓢鉱業産)の分析結果も示した。

Table4-1 Chemical composition for glass and silica stone in mass%.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	Ig-loss	Total
glass	70.0	2.1	0.2	12.0	0.4	1.0	14.0	0.0	0.3	100.0
Silica stone	81.1	8.5	4.2	0.2	1.1	2.2	0.2	0.4	2.0	99.9

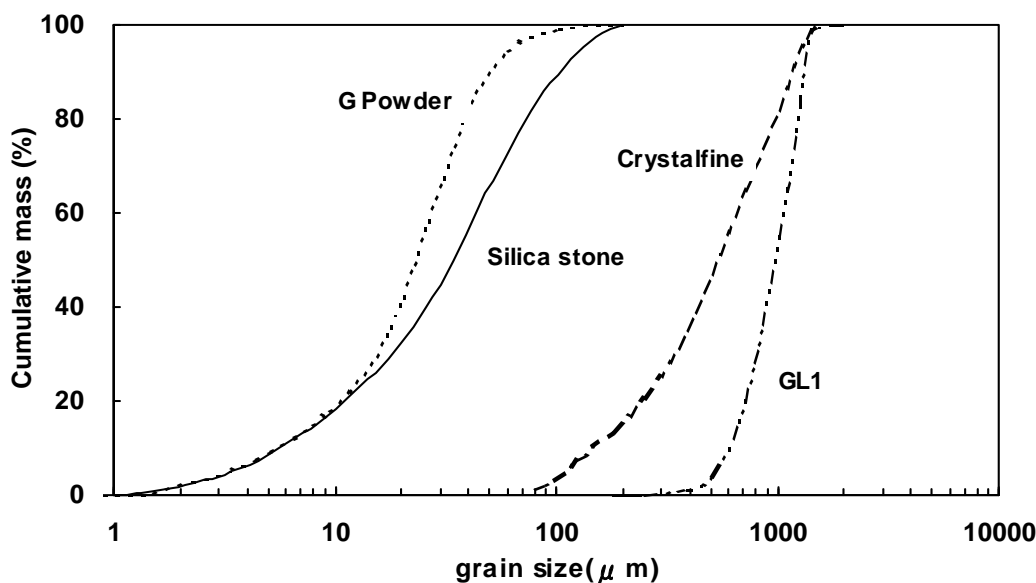


Fig.4-1 Particle size distribution for silica stone.

廃瓶ガラスカレット(クリスタルファイン、G パウダー)とそれを利用して製造した軽量骨材(G ライト 1、2、3号)および珪石の粒度分布を図4-1に示す。測定は堀場製作所製レーザー回折式粒度分布測定機(LA-500)を用いて行った。珪石とクリスタルファインの粒度分布はほぼ同じであることがわかる。

これらを消石灰と所定の配合に調製し、含水率を約7%に調整した後、高圧油圧プレスにより110x110x15mmの形状に一軸加圧成形し、オートクレーブにて180℃で6時間養生した。養生終了後、80℃で48時間乾燥し、曲げ強度、嵩密度を測定した。尚、嵩密度については試料の質量を3方向の寸法より求めた体積で除して求めた。

2) 結果

①珪石-G パウダー置換試験

図4-2に珪石をGパウダーに置換した時の曲げ強度の平均値と最大値の変化を、図4-3には嵩密度と充填率の変化を示す。Gパウダーに置換するにつれて曲げ強度(平均値)は20%までは向上するが、それ以上置換率が高くなると低下してしまうことがわかる。但し、置換率40%以上の試料には成形時にラミネーションが発生しているものが見られ、特に80%以上ではすべての試料にラミネーションの発生が見られた。従って強度の低下はこのラミネーションによるものと推定し、それぞれの置換率における曲げ強度の最大値を比較してみた。強度の最大値は置換率が高くなるほど高くなっていることがわかる。

嵩密度についてはGパウダーに置換するに従って低下していくことがわかる。Gパウダーと珪石では真比重が異なるために嵩密度が低下した共考えられるため、充填率の変化についても検討したが、やはりGパウダーに置換するに従って充填率は低下していることがわかった。よってGパウダーを使用すると成形性が低下し、充填の悪化やラミネーションの発生など成形時に問題が生じることがわかった。

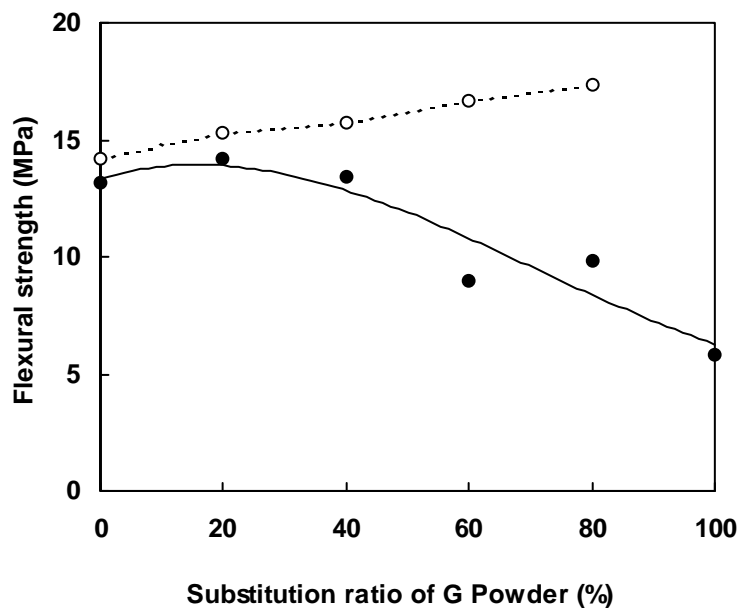


Fig.4-2 Change in flexural strength as a function of substitution of G powder.

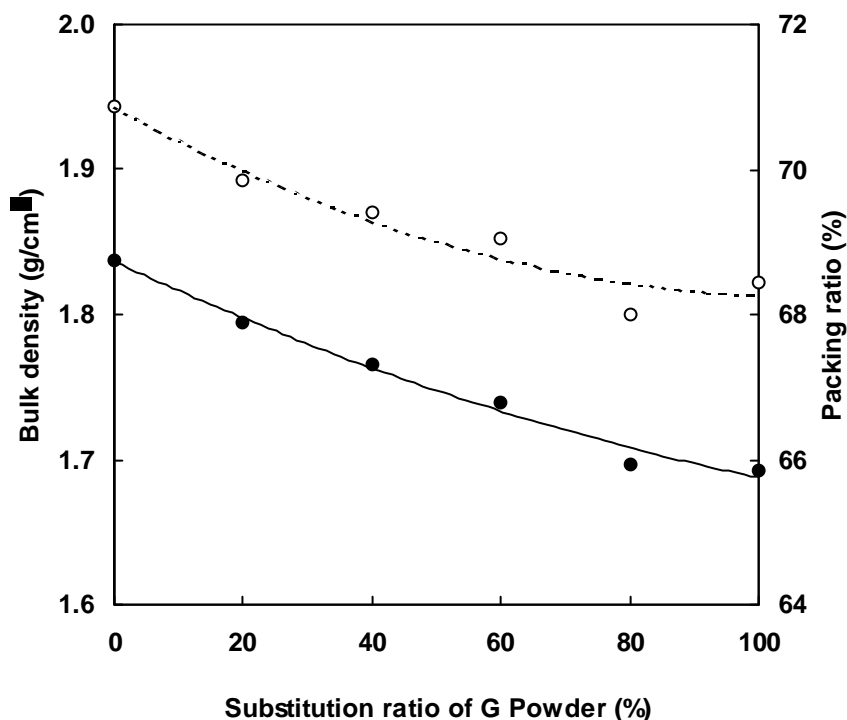


Fig.4-3 Change in bulk density and packing ratio as a function of substitution of G powder.

②粗粒成分添加効果

成形時の充填を上げてラミネーションの発生を抑制させるため粗粒成分を添加する検討を行った。この粗粒成分としてクリスタルファインとGライト1号を用いた。

しかしながらクリスタルファインを使用した系においてはいずれの調合もオートクレーブ養生後に膨張し、クラックが発生してしまい強度、嵩密度など物性測定ができなかった。

次にクリスタルファインの代わりにGライト1号(GL1)を用いて同様の試験を実施した。表4-2および図4-4に曲げ強度と嵩密度の変化を示す。嵩密度は当然ではあるがGL1が増えるほど低下するが、曲げ強度は消石灰の配合量が増えるほど低下するという結果となった。

この結果を確認するために、Gライト1号を30%に固定し、消石灰とGパウダーの比率の変化に対する曲げ強度と嵩密度の変化を図4-5に示す。嵩密度は消石灰が増えるに従って僅かではあるが低下する傾向を示す。曲げ強度は消石灰が10%程度で極大値を示し、それ以上消石灰を増やしていくと強度は低下してしまう。これはガラス(GパウダーおよびGライト1号)中にはCaO成分が12%存在しており、これがCa源としてC-S-H化合物の生成に寄与しているためと考えられる。

充填を上げて成形時のラミネーションについては抑制することができたものの、クリスタルファインではオートクレーブ養生後に膨張し、クラックが発生してしまい、Gライト1号ではGライト1号自体の密度が低いため成形体の嵩密度が低下してしまい、クラック等の発生は見られないものの曲げ強度が5MPa程度の固化体しか得られないことがわかった。

Table4-2 Results of bulk density and flexural strength in GP-GL1-Ca(OH)₂ system.

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ca(OH) ₂	(%)	15	15	15	15	25	25	25	35	35	15	10	5
GP	(%)	55	40	25	10	45	30	15	35	20	55	60	65
GL1	(%)	30	45	60	75	30	45	60	30	45	30	30	30
Bulk density	(g/cm ³)	1.35	1.32	1.31	1.29	1.35	1.32	1.27	1.34	1.29	1.35	1.34	1.37
Flexural strength	(MPa)	4.72	4.30	4.66	5.52	3.38	3.51	3.74	3.55	2.99	3.98	5.02	3.60

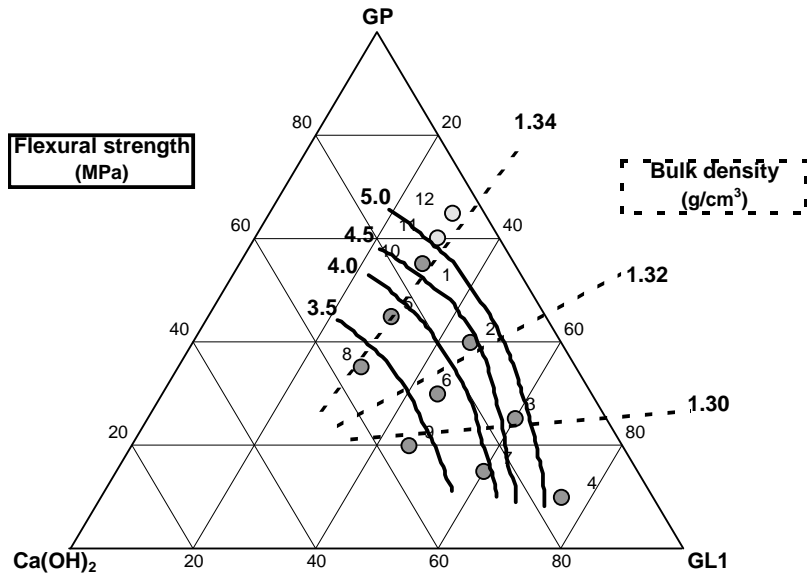


Fig.4-4 Variation of flexural strength and bulk density in GP-GL1-Ca(OH)₂ system.

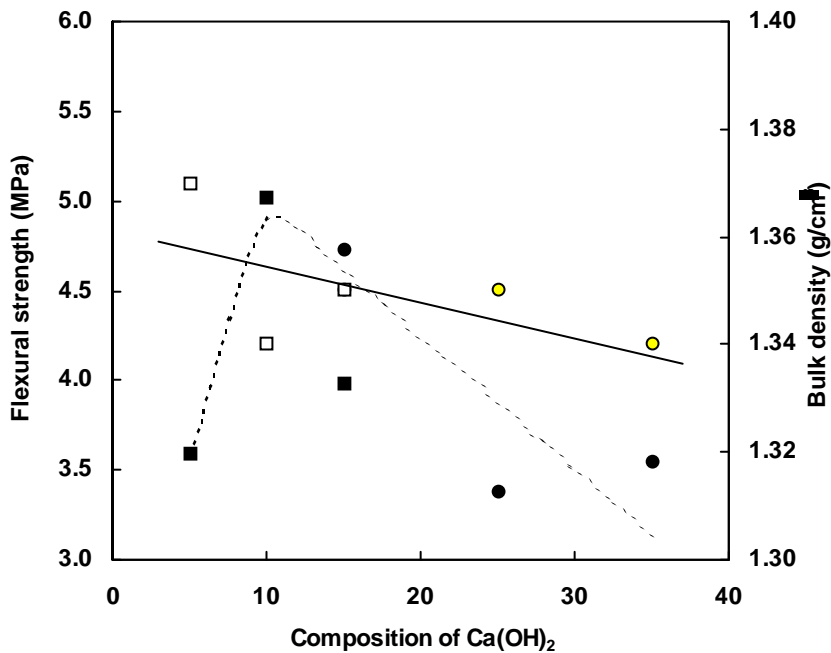


Fig.4-5 Change in bulk density and flexural strength as a function of composition of Ca(OH)₂.

③石膏添加試験

これまでの実験ではガラスを用いては高い強度を有する固化体が得られてはいないため、その他の配合系で固化する可能性を検討するため G パウダー-消石灰-石膏(CaSO_4)系で試験を検討した。

実験は G パウダー-消石灰系で、配合比 80-20 に石膏を添加する方法と、20%の消石灰を石膏に置換していく方法で図 4-6 に示すような調合を調製し、実施した。

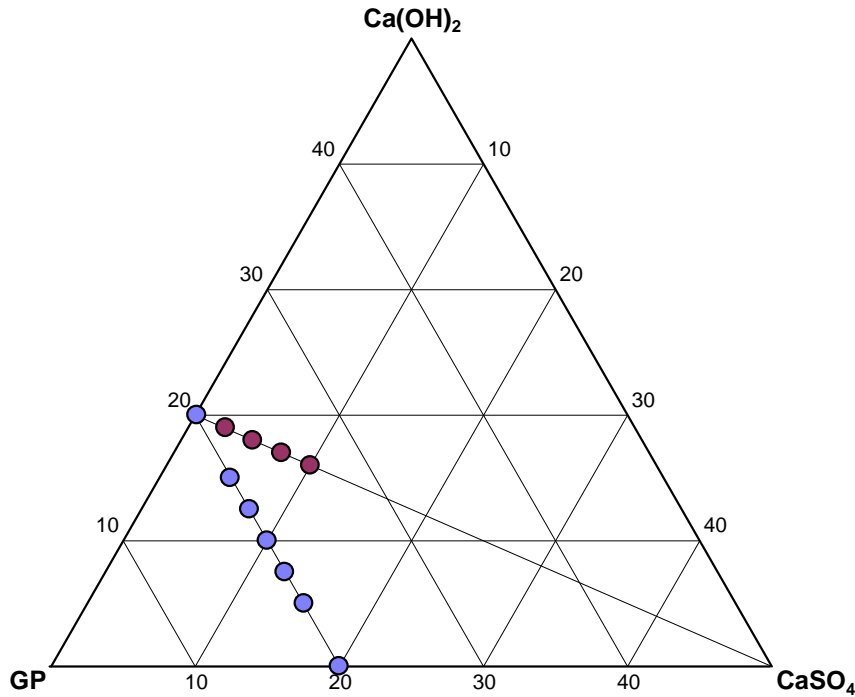


Fig.4-6 Batch compositions in GP- $\text{Ca}(\text{OH})_2$ - CaSO_4 system.

図 4-7 及び 4-8 に結果を示す。石膏を添加しない場合は先に示したように微細なクラックのために強度のバラツキが非常に大きい、石膏を添加するに従って 10%までは強度の平均値はほとんど差が見られないものの、強度の極小値またはバラツキ(σ)が小さくなることがわかる。石膏の添加量が 10%以上になると曲げ強度自体が低下してしまうことがわかる。

以上より、石膏の添加は固化体の強度バラツキを低下させるのに有効で 10%の添加が最適であると判断でき、その時に曲げ強度が 10MPa 以上の固化体が得られることがわかった。

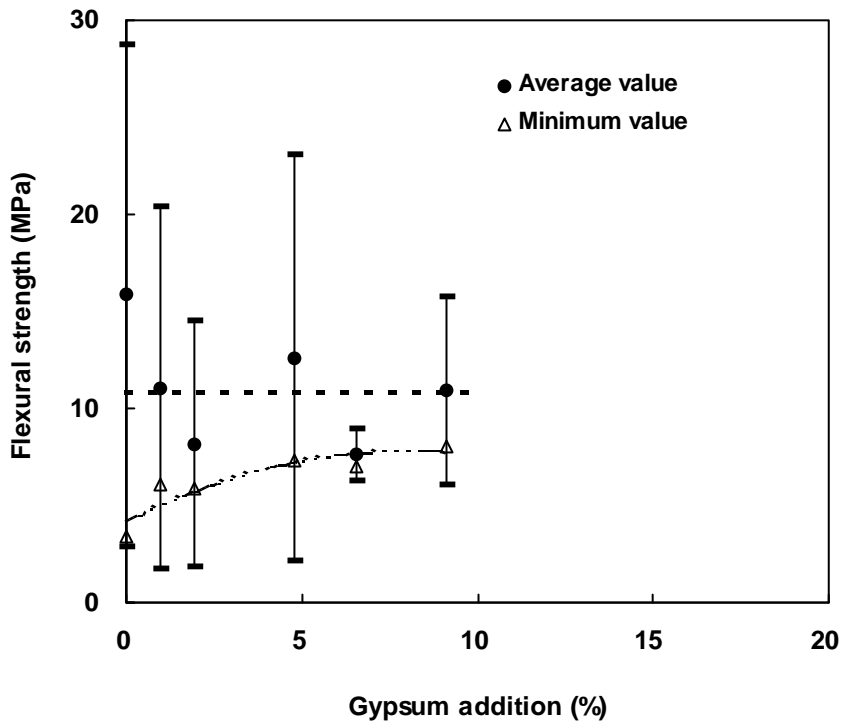


Fig.4-7 Change in flexural strength as a function of gypsum addition.

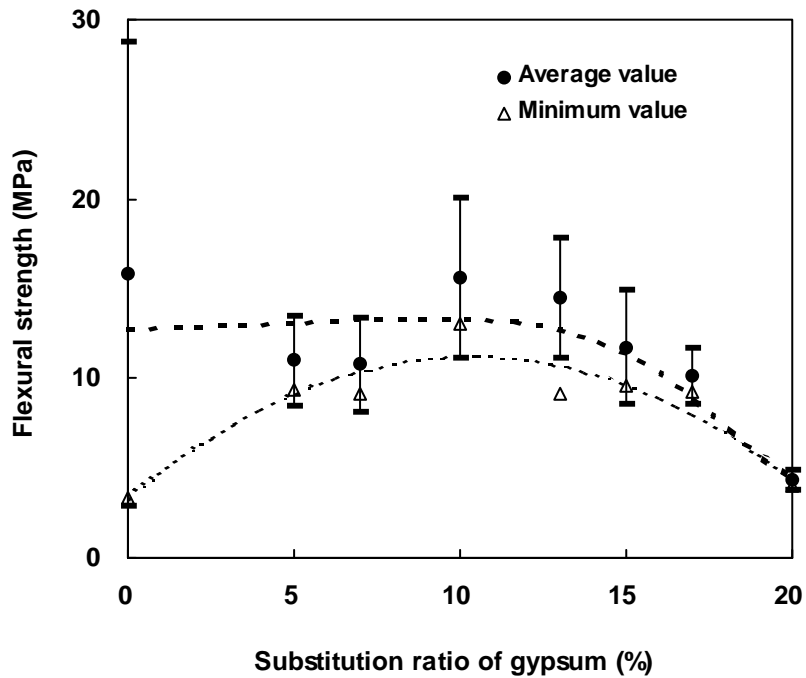


Fig.4-8 Change in flexural strength as a function of substitution ratio of gypsum .

4.3 目的に照らした達成状況

廃瓶ガラスカレットのリサイクルを促進するために水熱固化体としての利用可能性について検討した。その結果、廃瓶ガラスカレット-消石灰の系では

ラミネーションの発生(G パウダー)

クラックの発生(クリスタルファイン)

クラック、ラミネーションの発生はないが低密度化による曲げ強度の低下(G ライト 1 号)

のように満足な固化体が得られなかった。

しかしながら、廃瓶ガラスカレット-消石灰の系に石膏を添加することにより、曲げ強度 100kgf/cm²以上の固化体が得られることがわかった。

これまでの結果から、G パウダー、クリスタルファイン等、廃ガラスだけでは満足な固化体が得られず、石膏を添加することで何とか固化体を得ることができた。今後はこの固化体を用いて暴露試験を行い、建築材料としての可能性を検証する。

また G パウダー、クリスタルファインの利用において固化体が得られなかった原因として図 4-1 に示したように粒度分布の影響が考えられる。研究開発設備の導入がなされ種々の粒度分布を有する試料が得られるようになったことから、粒度分布を変えることによりクラック等の発生が防げるかどうかの検討についても実施する予定である。

5 B-3. エコガラスブロックの製造に関する研究開発

5.1 緒言

ガラスブロックは、採光、断熱、遮音等の機能性に優れ、多彩なパターン、サイズ、色展開が図れる建材として需要を開拓してきている。本テーマの目標は、廃ガラスを出発原料の一部であるカレットとして使用したガラスブロックの再商品化を図ることである。特に、現在のガラスブロックと同等の性能を有し、エコ製品として相応した廃ガラスの使用量を増加させたエコガラスブロックの製造を研究開発するものである。

研究開発の技術要素として以下の項目が上げられる。平成10年度は、カレット置換目標を50%以上として基本調合及び基本的な製造条件の範囲設定を目指した試作検討を実施した。

- ①溶解性が良くガラスブロックの性能に影響を及ぼさない廃ガラスカレットのカレットサイズとカレット置換率の検討
- ②廃ガラスの使用率を高めても、性能の良いガラスブロックの製造条件及び性能評価技術の確立
- ③エコガラスブロックの特性評価、信頼性評価技術の確立

5.2 研究開発の成果

廃ガラスのカレットサイズ・組成の調査分析を実施し、第1段階としてのカレット置換率を設定しラボ試作を実施した。試作品の基本物性を評価し、問題点の抽出と解決のための課題設定を終了した。

1) エコガラスブロック試作

廃ガラスを選別、粗砕し、原料の一部のカレットとしてエコガラスブロックを試作した。表5-1に試作条件を示す。また、表5-2に試作品の特性評価結果及び図5-1にエコガラスブロック試作品を示す。

表5-1 試作条件

ガラスブロック形状	・190mm角
使用ガラス組成	・廃ガラスカレットサイズ 5～10mm ・標準ガラスブロック製品組成をベースとして 廃ガラス置換率 80%
熔融条件	・240Kg/Pot X 2Pot

表5-2 エコガラスブロック試作品の特性評価結果

評価項目	目標値	試作エコガラスブロック	標準ガラスブロック
圧縮強度	4.4N/mm ²	合格	合格
冷熱抵抗強度	温度差 40℃以上	合格	合格

表5-2よりエコガラスブロックの機械的強度や耐サーマルショック性は、通常ガラスブロックと遜色ない特性が得られると期待できる。



図 5-1 エコガラスブロック試作品（外観：濃いエメラルドグリーン）

2) 問題抽出と課題設定

エコガラスブロック試作結果より次の様な問題点が明らかとなった。

- ・従来の標準ガラスブロック組成に比較して、廃ガラスカレットのカレット置換率を高めると溶融ガラスの粘性が高く、泡切れ及びプレス成形性が低下する。
- ・廃ガラス込みカレットの使用では、緑色への着色傾向が強くなる。
- ・気泡混入による製品の熱割れ発生の恐れがある。

明らかになった問題点の解決を検討し、下記の課題を設定した。

- ①溶融ガラスの粘性を適正にするための最適カレット置換率の検討
- ②溶融ガラスの粘性を適正にする補正バッチの検討
- ③溶融ガラスの泡切れを良くするための溶融条件の検討
- ④緑色への着色レベルを薄くするための使用カレットの種類とカレット置換率の検討

課題設定後の試作検討では、込みガラスカレット、茶瓶カレットを使用し、60%のカレット置換率であれば、泡切れが良く溶融可能な条件範囲があることが判明した。

5.3 目的に照らした達成状況

初年度目的として、エコガラスブロックの試作に使用する廃ガラスカレットについては、ラボ試作評価で下記の結果を得た。

- ① 廃びんガラスのカレットサイズは、5～10mm が適当である。
- ② 泡切れの良い溶融ガラスを得るためには、カレット率は 60%程度が妥当である。
- ③ 着色ガラスびんのカレットを使用したときは、カレット率が 60%であっても、試作エコガラスブロックの着色は強すぎる。

次年度は、製品実用化に向けた試作推進及び物性・特性の評価推進を図る。具体的な検討項目は下記の通りである。

- ① 溶融ガラスの粘性とプレス作業条件を最適化する廃びんガラスカレット率と補正バッチ組成の検討
- ② 溶融ガラスの泡切れを良くするための溶融条件の検討
- ③ 着色廃びんガラスカレットを使用する場合、試作エコガラスブロックの着色レベルを下げる材料設計の検討
- ④ 歩留まり良くエコガラスブロックを製造する最適プレス加工条件の検討

6 B-4. 多機能ハイブリッド素材を用いた環境調和システムの研究開発

6.1 緒言

廃ガラスを原料とした再商品の利用拡大のためには、単に商品素材への廃ガラス利用率を高めるだけでなく、市場ニーズに合致した機能を有した差別化商品に仕上げるのが重要である。

省エネ・環境保全への関心が高まる中、タイル・ブロック等の窯業製品には、以下の様な機能が求められている。

- ・軽量性（輸送コスト低減、施工作業性の向上）
- ・透水・保水性（歩行安全、ヒートアイランド現象抑制、雨水再利用）
- ・吸音性（騒音対策）
- ・断熱性（省エネ促進）など

本テーマの目標は、タイル・ブロック等の窯業製品を廃ガラスの高度利用を図ると共にこれらの機能を兼ね備えたものにするための技術開発及び機能効果の LCA 的な評価技術開発を図ることである。

研究開発の技術要素として以下の項目が上げられる。平成 10 年度は、基本調査及び基本的な製造条件の範囲設定を目指した試作検討を実施した。

- ①軽量ガラス発砲骨材(G ライト)と少量の粘土質原料・ガラス粉(クリスタルファイン)を用いた造粒体製造技術
- ②材料の機能、強度発現のための調合最適化設計
- ③材料の機能、強度発現のための製造プロセスの最適化設計
- ④機能評価と実環境システム設計・評価

6.2 研究開発の成果

基本材料となるガラス粉(クリスタルファイン)、軽量ガラス発砲骨材の粒度・組成調査を実施し軽量タイル、透水ブロックとしての適切な粒度範囲、添加バインダー組成の設定後、ラボ試作を実施した。試作品の基本物性及び機能評価を実施した結果、目標を満足するものが得られた。

1) 軽量タイルの開発

- ・G ライトの粒径・粒配の検討

従来のセラミック軽量体は、タイル、瓦、碓子屑等を粉碎整粒したメインとなる骨材と少量のガラス質フラックス(融点が低い)を混合、成形、焼成して作られている。廃ガラスの高度利用を目指す目的から G ライト及びフラックス成分組成を表 6-1 に示した様に設定した。

表6-1 基本調合

原材料	期待作用	調合比率
Gライト	成形体の骨材	70%
フリット	熔融結合材 (接着作用)	20%
ベントナイト	保形材 (焼成前の形状保持)	10%

軽量タイルのポイントは、Gライトを破壊せず、成形強度を保持することであり、Gライトの粒径及び粒配による軽量タイルの物性に及ぼす影響を中心に試作検討した。Gライトを各種の粒径、粒配に調整後、表6-1に示した基本調合となる様フラックスを混合・被覆し、乾式加圧成形機にて成形、その後乾燥・焼成を実施した。表6-2及び図6-1に試作検討結果を示す。

表6-2 Gライトの粒径・粒配調整の軽量タイル物性への影響

Gライトの粒径[mm]及び粒配[%]			嵩比重 [-]	吸水率 [%]	曲げ強度 [N/cm ²]	外 観
0.15~ 0.3	0.30~ 0.7	0.70~ 1.2				
100			1.30	0.30	1666	良好
70	30		1.29	0.39	1623	やや良好
50	50		1.25	0.68	1542	Gライトの破裂発砲有り
30	70		1.22	1.34	1414	Gライトの破裂発砲有り
	100		1.19	2.82	1274	Gライトの破裂発砲有り
		100	1.05	3.42	836	Gライトの破裂発砲多数有り

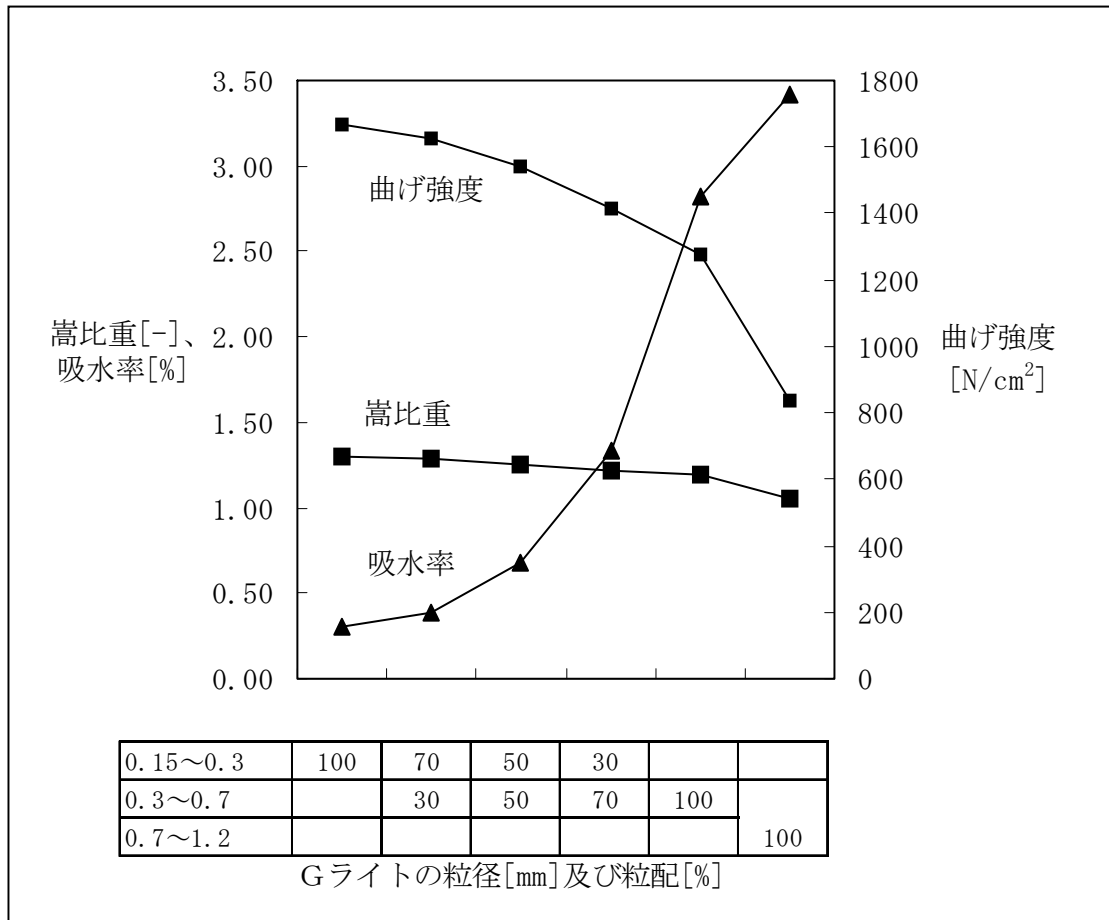


図6-1 Gライトの粒配調整における軽量タイル物性値

表6-2及び図6-1より、Gライトの少粒径調整品ほど緻密化が進行し、強度の増大及び低吸水化を示す。一方、大粒径調整品ほど低嵩比重化(軽量化)を図れるが、曲げ強度低下、吸水率の増大及びGライトの内部気泡破裂による外観欠点を招くことが判明した。

したがって、軽量タイルの骨材としてのGライト粒径は0.15～0.3mmが最適である。

・基本的な製造プロセスの検討

通常タイルの製造プロセスをベースに軽量タイルの製造プロセスを検討した。図6-2に製造プロセス及び構造状態のモデルを示す。前述したGライトの粒径・粒配の影響を検討した試作結果より、各工程の条件範囲を設定した。この製造プロセスでのポイントは、Gライトにフラックスを混合・被覆する工程である。今回までは、ラボ用乾式混練機にて試作を実施したが、大量処理する実機レベルでの均一混合・被覆が今後の課題である。

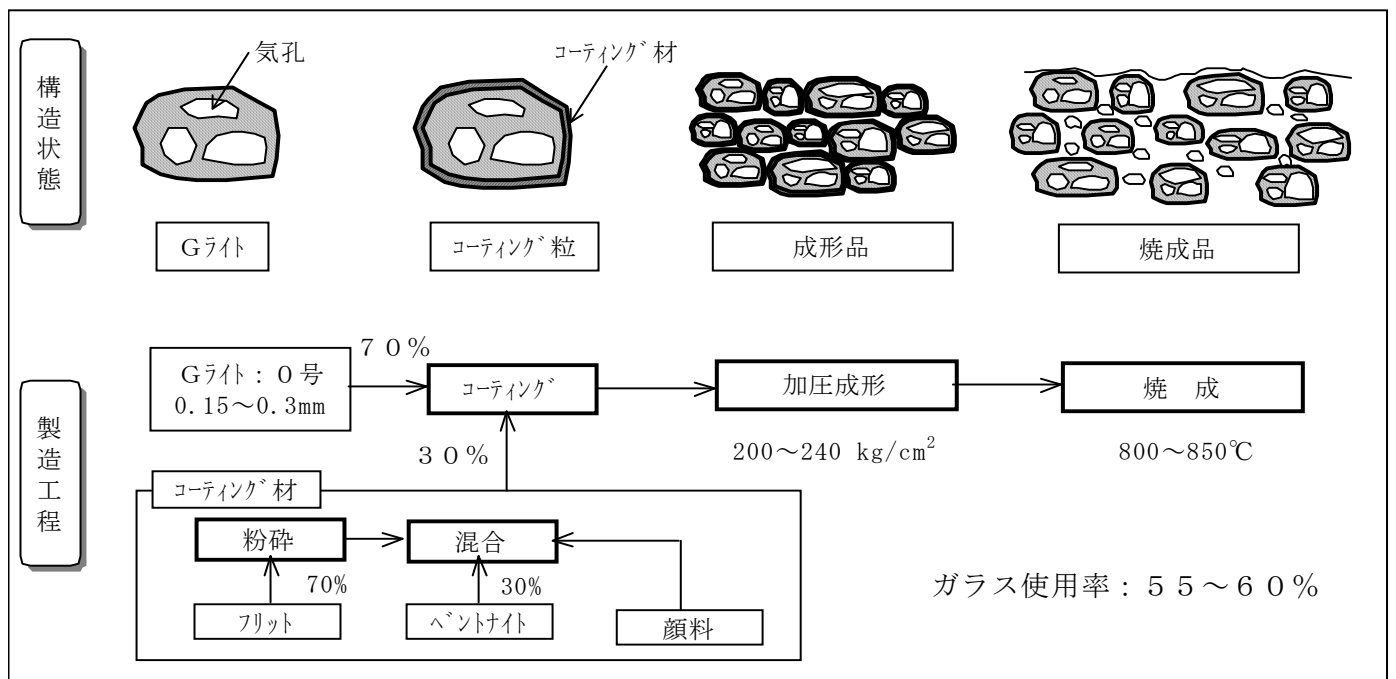


図6-2 軽量タイル製造プロセス及び構造状態モデル

・軽量タイル試作品評価

ラボ試作品の品質評価結果を表6-3に示す。製造条件の最適化が今後の課題ではあるが、目標とした品質を満足したものが得られている。一方、軽量化・断熱性の実使用環境下での効果及びLCA的な評価についても今後詳細な検討を進める。

表6-3 軽量タイルの品質評価

品質項目	目標値	試作品	通常磁器タイル
嵩比重	1.4以下 (30%軽量)	1.3	2.0～2.4
曲げ強度[N/cm ²]	1500以上	1800	2000
吸水率[%]	1.0以下 (低汚染)	0.4	0.1～0.6
熱伝導率[W/m・K]	0.5以下 (50%断熱)	0.55	1.1～1.3
耐滑り性[BPN]	40以上 (床材の場合)	55	40以上

2) 透水性ブロックの開発

・基本調合の検討

透水性・保水性を確保すると共に軽量であることは材料内の連通孔が多くなり強度的に弱くなる方向にある。したがって、機能と材料強度共に満足する調合、製造プロセス設計が重要である。骨材として各種粒径のGライト及び廃ガラス粒を使用し、フラックス成分との調合試験を実施した。表6-4に示した調合で原料を乾式混合し、振動プレス成形、焼成を実施した。表6-5に試験結果を示す。透水性インターロッキングブロックの基準、曲げ強度 $300\text{N}/\text{cm}^2$ 以上、透水係数 $0.1 \times 10^{-1}\text{cm}/\text{s}$ 以上を最低達成目標とした場合には、今回試作したGライト・ガラス粉を骨材とした骨材体積：フラックス体積が80：20の調合であれば、満足する結果が得られた。しかし実用での耐久性を考慮するとガラス粉(2～4mm)：フラックス体積が80：20或いはガラス粉(1～3mm)：Gライト2号：フラックス体積が50：30：20の調合が最適と考えられ、今後、製造安定性、品質、価格面より調合範囲を詳細検討し決定する。

表6-4 透水性ブロック調合表

期待作用	原材料	調合比率
成形体の骨材	Gライト(2、3号) ガラス粉(1～4mm)	成形体体積比率 70～90%
フラックス (保形・接着作用)	セメント フリット ワラストナイト	成形体体積比率 10～30%

表6-5 調合試験結果

	1	2	3	4	5	6	7	8
ガラス 4～2.36mm	80	85	56					
ガラス 2.36～1.4mm				80				
ガラス 4～2.8mm					50	50		
ガラス 2.8～1mm							50	50
Gライト 3号			24		30		30	
Gライト 2号						30		30
バインダー	20	15	20	20	20	20	20	20
透水係数 (cm/sec)	2.59×10^{-1}	6.29×10^{-1}	3.96×10^{-1}	3.19×10^{-1}	4.04×10^{-1}	1.84×10^{-1}	1.54×10^{-1}	2.04×10^{-1}
曲げ強度 (N/cm ²)	614.0	393.0	354.0	411.0	330.0	382.0	533.0	485.0

・基本的な製造プロセスの検討

図6-3に製造プロセス及び構造状態のモデルを示す。この製造プロセスでのポイントは、軽量タイルと同様に骨材にフラックスを混合・被覆する工程である。また、透水機能を発現する粒間空隙を残存させて所望形状に成形する工程も重要となる。今回の検討では、通常ブロックで使用する乾式成形機から振動成形機に変更し、満足する品質を得た。今後、大量処理する実機レベルでの製造条件の範囲設定及び品質・生産性の確認を推進する。

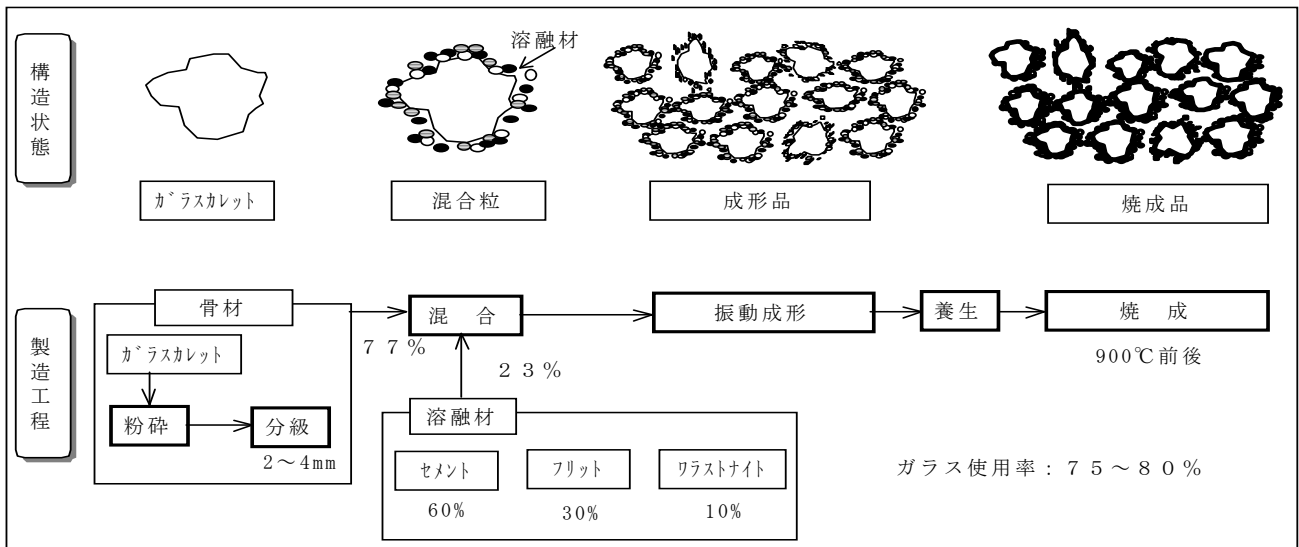


図6-3 透水性ブロック製造プロセス及び構造状態モデル

・透水性ブロック試作品評価

ラボ試作品の品質評価結果を表6-6に示す。透水性インターロッキングブロックの基準を満足する試作品は得られたが、透水性能、強度等の耐久性と軽量化を兼ね備えたものを目指し、調合の最適化及び製造条件の詳細検討が今後の課題である。また、実使用環境下での効果及びLCA的な評価についても今後詳細な検討を進める。

表6-6 透水性ブロックの品質評価

品質項目	目標値 (ILB 基準値)	試作品-1※	試作品-2※
透水係数[cm/s]	0.2以上 (0.01以上)	0.26	0.21
保水係数[L/m ²]	5.0以上	10.8	11.2
曲げ強度[N/cm ²]	500以上(300以上)	614	485
嵩比重	1.8以下：25%軽量	1.7	1.5

※試作品-1 ガラス粉：フラックス=80：20調合

試作品-2 ガラス粉：Gライト：フラックス=50：30：20調合

6.3 目的に照らした達成状況

初年度目的として、基礎的材料設計及び基本的な製造プロセスの検討については、軽量タイル、透水性ブロックのラボ試作評価まで実施し、下記の結果を得た。

- ①ガラス粉、軽量ガラス発砲骨材(Gライト)、フラックスの基本的な調合範囲を設定できた。
- ②ラボ試作レベルで原材料調合工程→混合・被覆工程→成形工程→焼成工程の基本的な製造プロセスの設定及び条件範囲を明確にした。
- ③目標とした基本物性及び機能を満足する試作品ができた。

次年度は、製品実用化に向けた試作推進及び物性・機能の評価推進を図る。具体的な検討項目は下記の通りである。

- ①原材料調合、製造条件の最適化及び製造プロセス・設備仕様の検討
- ②物性・機能の信頼性試験（耐久性、安全性の確認）
- ③実使用環境下での機能効果の確認（フィールド試験）
- ④LCA評価検討（LC-CO₂低減効果の各段階での評価）

新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO)
平成10年度 委託事業

「CO₂排出抑制型廃ガラス高度利用システムの研究開発」

平成11年3月 発行

編集・発行

クリスタルクレイ株式会社

〒116-0013

東京都荒川区西日暮里5-11-11 大日ビル3F

電話 03 (3891) 0021

FAX 03 (3891) 0024