

# シラスバルーン

## ーその開発から事業化・利活用までー

木村邦夫、陣内和彦 九州工業技術試験所 資源開発部

### 要 旨

南九州を始め全国に分布する火山ガラス質堆積物を原料として製造される微細シラスガラス球状体「シラスバルーン」は、当時の特別研究「火山噴出物の有効利用技術に関する研究開発」の中から生まれた成果の一つであり、昭和 45 年（1970 年）に筆者らにより開発され、昭和 49 年（1974 年）に特許登録（特許第 737479 号）された。特許出願後、間もなく数社で企業化（工業生産）に成功し、九州工業技術試験所が命名したシラスバルーンの商品名で出荷・販売されることとなった。その後、順調に生産量が増加し、国内 10 数社で数多くの銘柄が生産され、年間生産量は約 2 万トンに達し、現在まではほぼ変わらない。

VSI（火山珪酸塩工業）研究会<sup>1)</sup>の前身の日本シラス工業懇話会は、昭和 50 年（1975 年）、創生期のシラスバルーン製造に携わった企業の情報交換の場として設立された。研究会に移行後、バルーン部会ではシラスバルーンに関する調査・研究、関連会員の情報交換を行い、産業技術総合研究所の研究情報データベース「火山ガラス質堆積物の産状と利用」<sup>2)</sup>の構築にも協力した。

シラスバルーンの開発から事業化と併行して、原料となるシラス中の火山ガラスを詳細に分析し、また、光学顕微鏡下部にセットした加熱ステージを用いて加熱発泡状態を観察することにより、その発泡機構を明らかにし、「発泡機構モデル」を提案した。また、研究開発の進展と共に、海外研究協力、超微粒・高強度のシラスバルーンの開発、酸化チタンを被覆したシラスバルーンの開発とそれを用いた環境浄化などの研究開発を行った。さらに、企業や研究機関におけるシラスバルーンを利用した関連製品の開発も活発に行われ、数多くの新製品を生み出すことに貢献した。

### 1. はじめに

台風や集中豪雨によるがけ崩れ災害の元凶となっていたシラスを工業原料として利用するための研究開発が、九州工業技術研究所の資源開発部がスタートした時に、最初の特別研究テーマとして取り上げられた。研究体制は資源開発部員 20 名の半数以上の多様な専門分野のメンバーからなるプロジェクト研究であった。

この中で、シラスバルーンはシラスをはじめとする天然の火山ガラス質堆積物を原料として、約 1,000℃で急速加熱することにより得られることを見出し、昭和 45 年（1970 年）に特許出願した（発明の名称：微細中空ガラス球の製造法）。特許出願の後、新聞発表したところ、技術情報の問い合わせと共に 200 以上の会社や大学などからサンプル提供依頼

を受けるなど、驚くほどの注目を集めることとなった。更に、本格的な利用試験・研究開発のためには、相当量のまとまったサンプルが必要であり、間もなく数社の企業で量産化技術を確立し、企業化に成功した。当初の製品は九州工業技術試験所（現、産業技術総合研究所九州センター）が命名したシラスバルーンの名称で出荷された。その後、特許は昭和 49 年（1974 年）に登録（特許第 737479 号）された。シラスバルーンは、順調に生産量が増加し、国内約 10 社において、各社特長的な製品を製造し、それぞれの銘柄（商品名）で販売されることとなった。

以下に、研究開発の背景・経緯、開発当初の研究開発、その後展開した研究、企業による工業生産と工業利用の研究開発事例などについて述べる。

## 2. 研究開発の背景・経緯

この項は文献 3) の シラス火山灰の工業材料として活用<sup>3)</sup> から部分的に引用して記述する。

台風が来ると大きな被害を出し、農作物作物には不利な土壌として、シラスは南九州の貧困の元凶であると目されていた。昭和 38 年九州工業技術試験所が創設されるにあたり、その設立委員（通産省、地元学界、地元財界の各代表及び初代所長）によって、「この役に立たないシラスを活用し工業材料とすることにより、地元の役に立つ」ことが試験所の重要な役割の一つであると決定された。

当時シラスの研究に国内外で一部の研究が行なわれてはいたが、それほど魅力ある結果は得られていなかった。従って、この決定は成算というよりはむしろ使命感の勝ったものであったと言える。これに基づいて、昭和 41 年に同所に資源研究部が発足し、初代部長として黒岩忠春氏が迎えられた。氏はこのプロジェクトを開始するに当って原料シラスの選鉱から様々な処理のためのプラント設計、製作、実際の処理工程、出来た材料を用いての各種工業材料の製作、そして試験に至る全てを一貫して行うことの重要性を主張した。その結果、鉱山、冶金、機械、化学工業、応用化学、土木、建築という、それぞれ違った分野から計 19 人の研究者が集められてこのプロジェクトチームに参画することとなった。

彼らはシラスの工業的な応用の可能性のある用途を詳細に検討し、目ぼしいものより次々と実際の原料から始めて装置を含む全てのプロセスを自分達で設計し、最終製品を作り出して行った。更に、各々の研究者はシラスそのものの性状や分布の研究を始めとして各段階の研究を並行して行なうという二本立ての研究方法が採られた。このようにして多くの製品が作られては試験されて行くのであるが、その殆んどはやはりそれほど彼らを勇気付けるものではなかった。しかし乍らこれらの結果は充分予想されたことでもあり、更に彼らはつぶさに研究を積み重ねていったのであった。

こんな中から特に有望な用途として浮かび上って来たのが軽量建材や無機繊維等であり、シラスという火山灰が日本中に広く分布し、非常に安価であるためにこれから大きく伸びる資源として注目を集めるに至ったのである。

シラスバルーンの発見はこのような雰囲気の中で出て来たものである。諫山幸男課長の

指導の下でシラス粒子の熱処理試験をしていた二人の若い研究者（木村邦夫氏、陣内和彦氏）は、高温で非常に短時間の熱処理を試みている内に、ある日容器の中にキラキラと光る真珠のような小さな粒がシラス灰に代わって沢山生成しているのを見出したのである。これはシラスのガラス成分中に含まれる水分の気化・膨張に伴ってガラスが中空球になったものであった。原料の選別と加熱処理を得意とするこのチームはただちにこのシラスバルーンを効率よく製造出来るプロセスを開発することに成功した。

従来もこのような微少中空球を作ることは色々な意図でなされていたが、複雑なプロセスを経るために高価でその用途も限られたものであった。しかし乍ら、天然原料から作るシラスバルーンは格段にコスト安である。この利点を最大限に活用して、このグループはバルーンを実際に応用するために他の無機質、有機質の材料との複合化に着手し、このグループの多様な技術を持つ人的構成をフルに利用して短期間の間にこのバルーンを充填した複合材料が多彩な分野に有効に用いることを実証していったのである。この安価で軽いバルーンを充填した材料は合成木材や新しい土木・建築材料として従来の製品に代わりうるのみならず、不燃性や保温断熱性、遮音性など新時代の要求に応えられるものとして期待され、企業化が進められた。

### 開発後の生産状況

上記のような経緯でシラスバルーンが開発され、企業化にも成功し、九州工業技術試験所が命名したシラスバルーンの商品名で出荷され始めた。その後、順調に生産量が増加し、現在、国内約 10 社で数多くの銘柄が生産され、多分野・多方面で使用されている。その年間生産量は約 2 万トンまで増え、現在もほぼ変わらない。

### 3. 開発当初の技術開発内容及び利用研究等

この項では文献 4) の シラスバルーンについて<sup>4)</sup> から主に引用する。

#### はじめに

微細中空ガラス球は、プラスチックや金属その他の工業材料に混ぜられて、非常に高性能の複合材となる。微細中空ガラス球は、容積比重が極めて小さく、不燃物で融点が高く、熱伝導率が小さく、低誘電性であり、無害、不活性でガス発生がない、あるいは、樹脂マトリックスの機械加工性が向上する等々の特殊な性能を有するので、その用途は多方面にわたり、シラスバルーン開発当初、その需要も急速に伸びようとしていた。

従って、微細中空球の製造法もいくつか開発されていた。その一つにアメリカのエマーソン・カミング社の硼珪酸ソーダ・ガラスを主成分とするマイクロバルーンが製造されていたが、製造工程が複雑で、製品も非常に高価であったため、微細中空ガラス球の有する優れた特性の利用は、その価格に見合うだけのごく狭い範囲に限られていた。（図 1 参照）

筆者らは、南九州に広く分布する酸性火山噴出物の一種であるシラス（火山ガラス質堆積物）（表 1 参照）を炭鉱廃水の濾過助剤として利用する方法ならびに回収された濾過ケ

ーキ（瀘滓）から人工軽量骨材を製造する方法に関する試験研究を行っていたが、その途上、シラス微粒子を1,000℃前後で1分以内の短時間熱処理することによって微細中空ガラス球が得られることを見出した。

そこで、急遽その製造法を確立すべく、原料の粒度、熱処理条件、および発泡成分の究明など、シラスから微細中空ガラス球を収率良く製造するための検討を行った。

得られたものはエマーソン・カミング社のマイクロバルーンに比べ外観はやや劣るが、強度、熔融点および吸湿性などの点で優れていることが判明し、何よりもはるかに安価に製造できることと、シラス類似のものが国内外のいたるところに産するので、その後の多量生産と相まって広汎な利用可能性が期待されるものであった。

なお、シラスから得られた微細中空ガラス球を“シラスバルーン（Shirasu-Balloons）”と呼ぶこととした。以下、シラスバルーン製造のために行なってきた実験の一部と製品の物性などを紹介し、複合材料としての使用可能性について簡単にふれることにする。

## シラスバルーンの製造

シラスバルーン製造工程の概略を図1に示すが、エマーソン・カミング社のマイクロバルーン製造工程に比べかなり単純なものであることがわかる。

得られた製品は図2に示す通り。製造工程における選鉱処理は天然産出物を工業材料として供給する場合に必要なもので、この場合は原料となる火山ガラスの含有割合を大にするための湿式比重選別が主体になる。

シラスバルーンの粒度は熱処理により直径が約2倍の大きさになり、粗粒の場合は単一中空球とならず内部に隔壁を有する多泡体となる。一方、微粒子では発泡しにくく、炉内融着の原因となるので、通常は40-500μmの粒度範囲が望ましいとした。

表1 シラスの化学組成および鉱物組成（wt%）

| No.              |                                | 1                  | 2                  | 3           | 4                   |
|------------------|--------------------------------|--------------------|--------------------|-------------|---------------------|
| 成分<br>および<br>組成  | 採取地<br>および<br>種類               | 鹿児島県<br>鹿屋市<br>古江町 | 鹿児島県<br>鹿屋市<br>古江町 | 鹿児島県<br>谷山町 | 鹿児島県<br>曽根郡<br>志布志町 |
|                  |                                | 二次堆積<br>軽石層        | 大隅降下<br>軽石層        | 入戸<br>軽石層   | 大隅降下<br>軽石層         |
| 化<br>学<br>成<br>分 | SiO <sub>2</sub>               | 70.36              | 69.44              | 68.78       | 70.10               |
|                  | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 13.16              | 13.59              | 14.26       | 13.66               |
|                  | FeO                            | 1.41               | 1.44               | 1.63        | 1.61                |
|                  | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.92               | 0.79               | 0.99        | 0.28                |
|                  | CaO                            | 2.58               | 2.65               | 2.79        | 3.93                |
|                  | MgO                            | 0.62               | 0.32               | 0.38        | 0.49                |
|                  | Na <sub>2</sub> O              | 3.20               | 3.71               | 3.26        | 3.47                |
|                  | K <sub>2</sub> O               | 2.95               | 3.48               | 2.86        | 2.29                |
|                  | TiO <sub>2</sub>               | 0.32               | 0.23               | 0.28        | 0.32                |
|                  | MnO                            | 0.06               | 0.08               | 0.07        | 0.07                |
|                  | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0.02               | 0.01               | 0.01        | 0.02                |
|                  | H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>  | 1.04               | 0.76               | 0.98        | 0.85                |
|                  | H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>  | 3.49               | 2.93               | 3.25        | 3.99                |
| 合 計              | 100.13                         | 99.43              | 99.54              | 101.08      |                     |
| 鉱<br>物<br>組<br>成 | 火山ガラス                          | 66.31              | 70.26              | 58.83       | 52.35               |
|                  | 長石・石英                          | 31.11              | 27.73              | 38.04       | 44.42               |
|                  | 紫蘇輝石・<br>磁鉄鉱・<br>その他           | 2.58               | 2.01               | 3.13        | 3.23                |
|                  | 合 計                            | 100.00             | 100.00             | 100.00      | 100.00              |

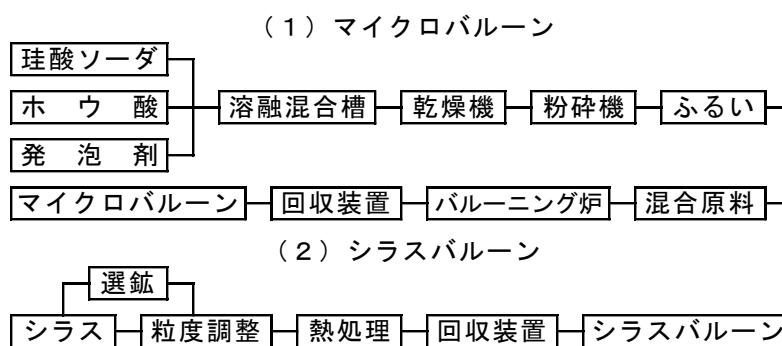
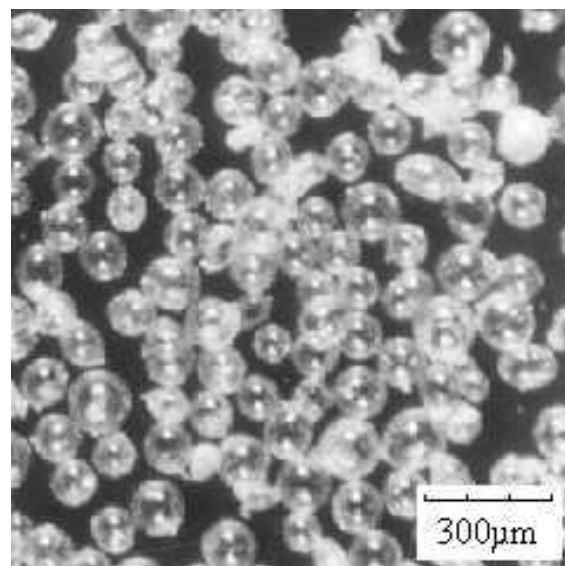


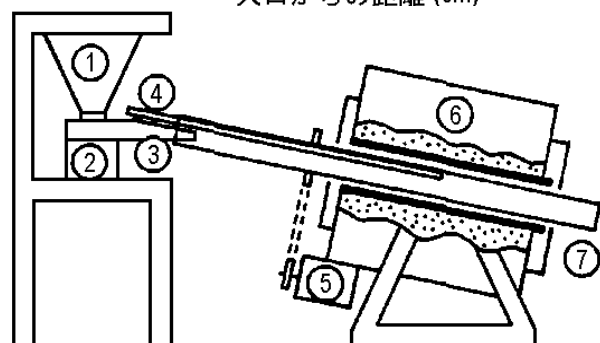
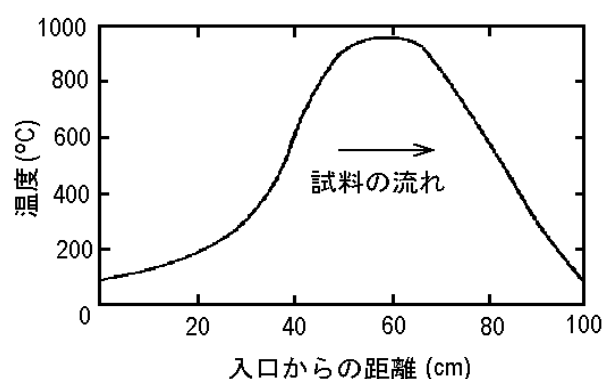
図1 バルーン製造工程図

また、極端な瞬間熱処理では、外部開放型の気泡を含む多泡体を生じる傾向があるので、ある程度の予熱が必要である。そこで供給試料全体を均一に熱処理してバルーンの品位と生成率の向上をはかるために、**図 3** に示すような電熱型回転管状炉を試作した。回転管として内径 42mm、長さ 1,000mm の磁製燃焼管を用い、勾配 20°50、回転速度 11rpm、平均滞留時間 54~64 秒として熱処理を行なったところ、ほぼ所期の目的が達成された。もつとも、原料の種類、性状、目的とする製品の性質品位などにより、それぞれ最適熱処理条件を決定する必要がある。シラス中のバルーン生成源となる鉱物成分（発泡成分）を知ることができれば、それを濃縮することによって同一炉によるバルーン生成率を向上することができ、熱損失も少なくすむことになる。そこで、発泡成分を究明するために比重 1.8 以下、1.8~2.2、2.2~2.4、2.4 以上の比重別に分離したシラスを用いてバルーン製造試験を行なってみたところ、比重 2.4 以上の試料は極めてバルーン生成率が悪いのに対し、比重 2.4 以下の全ての試料はバルーン生成率が約 90%という良好な結果が得られた。また、シラスは比重 2.4 の重液によって重い方に結晶質、軽い方に火山ガラスが分離できることが明らかにされているので、発泡成分は火山ガラスであることが判った。

一般に、多孔質な火山岩や火山灰はパーライトの原料としては使用できないと言われており、シラスはそれに相当するが、シラス中の火山ガラスは、 $H_2O$  含有量に基づく天然ガラスの分類では真珠岩に属するものであり、その発泡機構も黒曜岩や真珠岩からパーライトを生成する場合と同様に考えて良いと思われる。つまり、原料がある温度で熔融軟化すると同時にガスを発生し、熔融物はそれを取込むのに十分な粘性と表面張力を有する場合に、発泡物の生成が起ると考えられる。そして天然ガラスの場合、揮発性成分は大部分が水分であると言われており、高温熔融時まで残留する有効な水分量が直接発泡性に寄与することになる。



**図 2** シラスバルーンの実体顕微鏡写真



①ホッパー、②振動フィーダー、③入口、④熱電対、⑤モーター、⑥電気炉、⑦出口

**図 3** 電熱型回転管状炉概略図

火山ガラスは粒子の外観により、透明なガラス片状体、発泡体と不透明な微粒状集合体、針状集合体、あるいはこれらが組合わさったものなど数種に分類できるが、このうち透明なものが発泡し易くバルーン生成に寄与する点大きい。バルーン原料として工業的に火山ガラスを濃縮分離するには、先ず粉碎と篩分によってある粒度以下にしたものを湿式サイクロンやテーブル選別機により分級し、重質物として結晶質鉱物を除去し、次に磁力選鉱によって脱鉄を行なえば、効果的であることがわかった。特に磁力選鉱によって褐鉄鉱等の着磁鉱物粒子を含有する難発泡性の針状集合体あるいは微粒集合体火山ガラス粒子が除去できることは興味深いことであった。そして、このような選鉱処理したものを原料とした場合は約 90%のバルーン生成率を得ることができた。

シラス類似のものは日本各地に産出するので、鹿児島県を中心に、宮崎県、熊本県および北海道に産する同質の火山噴出物を原料として、バルーン製造試験を行なってみた。その結果、表 2 に示すようにいずれもバルーン生成をみた。本実験では選鉱処理を行わずに古江産二次堆積シラスに関する最適条件にて焼成を行なったのでいくらか低い生成率を示すものもある。また、原料の産地によりそれぞれバルーン生成のための最適条件があるので、これらは前もって明らかにしておかなければならない。

表 2 シラス産地別によるシラスバルーン生成率（粒度：74～297 $\mu$ m）

| 呼 称   | 産 地         | 火山ガラス含有率<br>(wt%) | 結晶水量<br>(wt%) | 生成率<br>(wt%) | 見掛比重 | 色   |
|-------|-------------|-------------------|---------------|--------------|------|-----|
| 垂 水 A | 鹿児島県垂水市蛸迫   | 71.61             | 2.04          | 39.82        | 0.47 | 淡褐色 |
| 垂 水 B | 鹿児島県垂水市蛸迫   | 80.88             | 2.21          | 41.64        | 0.46 | 〃   |
| 垂 水 C | 鹿児島県垂水市寺田   | 84.48             | 2.21          | 58.79        | 0.4  | 〃   |
| 古 江   | 鹿児島県鹿屋市古江町  | 81.27             | 2.44          | 51.06        | 0.41 | 〃   |
| 鹿 屋   | 鹿児島県鹿屋市獅子目  | 84.11             | 2.29          | 45.61        | 0.59 | 〃   |
| 志布志 A | 鹿児島県曽根郡志布志町 | 82.95             | 2.48          | 52.44        | 0.57 | 〃   |
| 志布志 B | 鹿児島県曽根郡志布志町 | 82.48             | 2.3           | 63.17        | 0.5  | 〃   |
| 谷 山   | 鹿児島県鹿児島市谷山町 | 77.56             | 2.81          | 62.98        | 0.38 | 〃   |
| 青 砂   | 鹿児島県始良郡隼人町  | 88.04             | 5.12          | 68.71        | 0.62 | 淡黄色 |
| 都 城   | 宮崎県都城市大岩戸   | 78.02             | 3.01          | 58.75        | 0.52 | 淡褐色 |
| 熊 本   | 熊本県玉名郡南関町   | 68.68             | 2.91          | 25.29        | 0.75 | 淡灰色 |
| 北 海 道 | 北海道千歳市      | 82.46             | 2.83          | 12.29        | 0.75 | 淡桃色 |

熱処理後のシラスバルーンの回収は、水中投入後攪拌し、浮上したものを分離採取する方法と、ある粒度範囲に整粒したものを空気分級する方法とがある。シラスバルーンの回収装置として堅型空気分級機を試作した。この装置を用い熱処理工程を通過したシラスを 75～105 $\mu$ m、105～149 $\mu$ m、149～210 $\mu$ m、210～297 $\mu$ m、297～420 $\mu$ m、および 74～149 $\mu$ m、149～297 $\mu$ m、297～59 $\mu$ m に篩分けたものを試料として分離試験を行なった。その結果、細粒範囲ではシラスバルーン分離が困難で、粗粒になる程分離が容易であり、149～297 $\mu$ m 程度の間粒度では粒度範囲が狭い方が良好な分離結果が得られ、297 $\mu$ m 以上の粗粒範囲ではかなり広い粒度範囲で分離が可能であることが明らかになった。また、熱処理物の整粒したものでは、空気分級により分離比重を 1.0 以下にすると、水中分離の場合



よりも軽比重で形の良いシラスバルーンが回収できた。

また、シラスバルーンを多方面の工業分野に供給するためには、原料処理と熱処理などの調整によって生成するバルーンの強度、形、色、粒度などの諸物性を自由にコントロールする方法を明らかにする必要がある。同時に、原料とするシラスの種類、産地あるいは処理粒度などの変化に対応できる製造方法も確立しなければならない。

### シラスバルーンの諸物性

上述のように、シラスバルーンはその原料と製造条件によってある程度の品位や特性が変化するが、代表的な例として、古江産二次堆積シラスを粒度 74～297 $\mu\text{m}$  に調整したものを、前記の回転管状炉にて焼成し、水中に投入して浮上分離、乾燥し、再び粒度調整して得られたシラスバルーンに関して測定したいくつかの物性について記すことにする。

化学成分は表 3 の A 試料に示す。原料の製造条件を変えた B、C 試料もほとんど同一であることが判る。また、シラスバルーンの比重を表 4 に示すが粗粒になる程小さくなる傾向がある。これらを含めて、シラスバルーンとエマーソン・カミング社の一般工業用マイクロバルーン IG-101 と諸物性の比較を表 5 に示す。これからわかるように、マイクロバルーン IG-101 に比べシラスバルーンの優れた性質は、組成がアルミニウムシリケートで一般に耐酸、耐アルカリ性であり、耐熱性に優れ、吸湿量が小さいことなどである。なお、シラスバルーンの粒度は、原料の粒度によるコントロールと熱処理後の篩い分けなどによる調整が可能である。しかし、微細中空ガラス球は多くの優れた性質を持っているが、壁厚のうすい中空球であるため、剪断力に対してはかなり弱いことが使用上の難点である。

なお、シラスバルーンの製造研究は継続中であり製品性能も向上途中にあるので、これらがシラスバルーンの定格値ではない。

表 3 シラスバルーンの化学組成 (wt%)

| 成 分                            | A 試料   | B 試料   | C 試料  |
|--------------------------------|--------|--------|-------|
| Ig. loss                       | 1.55   | 1.07   | 1.52  |
| SiO <sub>2</sub>               | 76.23  | 76.85  | 76.57 |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 13.58  | 13.79  | 13.46 |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 1.39   | 1.29   | 1.22  |
| TiO <sub>2</sub>               | 0.12   | 0.05   | 0.03  |
| MnO                            | 0.06   | 0.04   | 0.02  |
| CaO                            | 0.76   | 0.87   | 0.78  |
| MgO                            | 0.12   | 0.19   | 0.20  |
| Na <sub>2</sub> O              | 3.69   | 3.49   | 2.73  |
| K <sub>2</sub> O               | 3.90   | 3.56   | 3.05  |
| Total                          | 101.40 | 101.20 | 99.58 |

A 試料: 74～297 $\mu\text{m}$ に篩分けたシラスを原料としたシラスバルーン

B 試料: 149 $\mu\text{m}$ 以下に粉碎したシラスを原料としたシラスバルーン

C 試料: A 試料の原料をサイクロンで分級した時のオーバーフローを原料としたシラスバルーン

表 4 シラスバルーンの見掛比重と容積比重

| 粒径範囲                  | 見掛比重  | 容積比重  |
|-----------------------|-------|-------|
| 74～149 $\mu\text{m}$  | 0.687 | 0.324 |
| 149～297 $\mu\text{m}$ | 0.465 | 0.217 |
| 297～590 $\mu\text{m}$ | 0.389 | 0.138 |

註) 見掛比重はベックマン空気比較式比重計による測定値、容積比重は容器最密充填容積に対する重量比

表5 シラスバルーンとマイクロバルーンとの比較

| 品 目                | シラスバルーン                  | マイクロバルーンIG101 |
|--------------------|--------------------------|---------------|
| 外 観                | 白色～淡褐色粉末                 | 白色粉体          |
| 組 成                | アルミニウムシリケート              | ホウ珪酸ソーダ       |
| 見掛け比重 (—)          | 0.39～0.69                | 0.33          |
| 容積比重 (—)           | 0.14～0.32                | 0.22          |
| 粒径範囲 (μm)          | 20～600                   | 10～250        |
| 平均粒径 (μm)          | 150                      | 65            |
| 粒子壁厚※ (μm)         | 6～14                     | 2             |
| 軟化開始温度 (°C)        | 900～1,000                | 480           |
| 融 点 (°C)           | 1,200～1,300              | 760           |
| 熱伝導度 (Kcal/m・h・°C) | 0.07                     | 0.056         |
| 比較強度 (50%破壊静水圧)    | 80～100kg/cm <sup>2</sup> | —             |
| 吸湿量24時間 (wt%)      | 0.08                     | 2.8           |

※バルーンの見掛け比重と壁の真比重より求めた平均値

### シラスバルーンの工業的利用に関する試験研究

緒言にも述べた如く一般に微細中空ガラス球は、軽量、不燃性で融点が高い、熱伝導率が小さい、誘電性である、無毒、不活性でガス発生がない、樹脂マトリックスの機械加工性が良い等々の優れた特性を有することからシラスバルーンも各種の用途、特に複合材料としての応用が広く考えられる。

シラスバルーンを充填材とし、これに対する結合材の選び方でさまざまな複合体ができる。また充填材としてガラス繊維等の他種充填材を混用して、曲げ、引張り強度を向上させ、複合効果を大幅に高めることも考えられる。結合材には、プラスチックやアスファルト、カーボンおよびゴムなどの有機質、セメント、石こう、水ガラス、セラミックス、金属などの無機質が考えられる。

プラスチックとシラスバルーンとの複合では、合成木材や新建材の開発がひとつの焦点となる。すなわち、現在使用されている新建材の欠点である高価格、低い耐炎性、燃焼時の煙や有毒ガスの発生、あるいは強度不足を解決し、これまでにない軽量、耐熱、保温、遮音性を大きくし、火災安全性を補足強化することが望まれるところである。

これには、樹脂の選定、配合、混練、成型等の製造工程条件、表面処理効果等が重要な役割をするものと思われる。現在、シラスバルーンを充填材とした場合について、繊維高分子材料研究所と九州工業技術試験所との共同研究が進行中であり、シラスバルーンはかなりの高温（約 1000°C）に耐え、混練、成型過程の破壊も少なく、複合材の絶縁性も向上することなどが明らかになっている。また、これまでにアメリカでは、合成木材が商業ベースで生産され、需要も伸びており、我が国でも 2、3 の会社でシラスバルーンを用いて釘打ち、鋸引きなどの加工ができる製品の試作に成功している。

また、合成ゴムの充填材として、シラスバルーンを混用すれば、弾力性を殆んど担わずに軽量化でき、工場で数多く使用されているコンベヤ用大巾ベルトの重量低減にも役立つものと思われる。

有機系複合材料としては、この他、カーボン系のものがあり、当所の化学部において軽



量、高強度の断熱、遮音、電波シールド材などの試作実験が行なわれた。

さらに、セメント系、炭酸カルシウム系（人造軽量大理石）、ALC 系等の複合材料に関する研究は目下、当所の資源開発部の特別研究として実施中であり、実験室的あるいは小規模試験においては成功しているが、今後、さらにその拡大規模試験に入る予定である。

金属との複合材としては現在シラスバルーン-アルミニウム系複合材料（SBAC）が大きくクローズアップされており、今後の発展が期待されるものの一つである。当所の機械金属部における試験研究の結果、以下に述べるような事柄が明らかになっている。

- （１）複合材料の比重は、 $1.14 \sim 1.35 \text{ g/cm}^3$  である。アルミニウムの比重の約半分以下で、マグネシウムより軽い。最密充填を行なえば、75%までできるから比重を 1 以下になしうる。反面充填比を 75%以下に任意選定すれば比重を比較的自由にコントロールできる。
- （２）強度はアルミニウムに比べて、比引張強度は約 40%低下するが、比圧縮強度はほとんど同等である。シラスバルーンの大きさと混合割合を変えることによって、複合材料の強度をコントロールできる。
- （３）気泡アルミに比較すると、シラスバルーンによる空隙分布は安定しており、均質な材料が得られる。また材料内部空隙の形は球形であり、同一空隙率（比重）での強度はこれより大きい。
- （４）複合材料の保温性、遮音性が良好である。
- （５）フィラーが分散した組織であるので、内部摩擦が大きく、減衰能が大きく、防震性にすぐれている。
- （６）材料外周が金属層であり、耐蝕性に優れ、外観が美しい。
- （７）材料の機械的加工性が良好である。
- （８）複合材料の製造法が簡単で、任意形状および大きいものも製作可能である。

シラスバルーン-アルミニウム系複合材料は以上のような特長から、広い需要分野があり、例えば、建材（内壁、間仕切り、ドア、天井板、外装材）、航空機（胴体、床板、座席、隔壁、ドアなど）、海洋開発用機械（浮力材、外壁）、事柄（ドア、内壁、座席）、その他家電機器、カメラボディー等々への応用が考えられる。

また、シラスバルーンの表面処理、たとえばこれは既に技術的に成功しているが、カーボンコーティングを行ったり、その他の高融点材料によるコーティングを行ったり、無電解メッキ処理を施すことなどによって、アルミニウム以外の高融点材料との複合化を計る予定である。

以上述べたものの他にも、今までにない新しい複合材料の開発が可能であろうし、シラスバルーン単体としての利用法も数多く考えられるが、紙面の都合で省略する。

## **本章のまとめ**

以上、開発当初の研究開発とシラスバルーンの応用可能性に関する試験研究について記したが、当時は微細中空ガラス球が新しい複合充填素材として、多方面において取り上げられたので、その製造法も種々考案、検討されていた。前記エマーソン・カミング社のマ

マイクロバルーン以外に、シティ・サービス社のカーボン質マイクロバルーン、アメリカ PPG 社の CELRAMIC あるいはイギリスでは火力発電所のフライアッシュから分離採取されているセノスフェア (Cenosphere) などがあった。ここで述べたシラスバルーンに関しては、若干の問題点の解決と製品性能の向上を計る必要はあったが、我が国至る所に産出するシラス類似の酸性火山噴出物を原料として簡単な工程によって安価に製造できることと、他の微細中空ガラス球にない優れた特性を有するので、多分野における画期的な利用研究が行なわれ、その後の多方面における有効利用が期待された。

#### 本章の参考文献

- (1) 高須：化学経済、〔11〕、56-60 (1970)
- (2) 諫山、陣内、古賀：九州鉱山学会誌、37,7,〔3〕、120-126 (1969) または、九州工業技術試験所報告〔2〕 85-91 (1969)
- (3) 木村、陣内、諫山：窯業協会誌 80〔2〕、84-91 (1972)
- (4) 陣内、木村、脇元、菱刈：日本鉱業会九州支部秋季例会講演要旨集、51-55(1970)
- (5) 陣内、木村、諫山：日本鉱業会九州支部秋季例会、講演要旨集、14-16 (1971)
- (6) 木村、陣内、諫山：日本鉱業会九州支部秋季例会、講演要旨集 17-19 (1971)
- (7) 本田、黒岩：MOL [5],1-6 (1971)
- (8) 諫山、木村、陣内：工業材料 19〔8〕、84-89 (1971)
- (9) 本田、徳広、長田、北原、秋山、上野：金属〔6.15〕 57-60 (1971)

#### 4. 開発後の研究展開

##### 加熱発泡機構モデル

前項では、開発当初の技術を解説したが、その後、参考文献 6) ～19) に記載するような種々の研究開発を行った。中でも、文献 12) の「シラス中の火山ガラスの加熱発泡性について、木村邦夫、浜野健也、窯業協会誌、84〔2〕 71-75 (1976)」では、シラス中の火山ガラスを詳細に分析、また、光学顕微鏡下部にセットした加熱ステージを用いて加熱発泡状態を観察 (図 4 参照) し、両者の結果を基に、その発泡機構を明らかにし、発泡機構モデル (図 5 参照) を提案した。この発泡機構モデルは、企業のホームページやシラスバルーンに関連する学会発表や講演会等で引用されている。

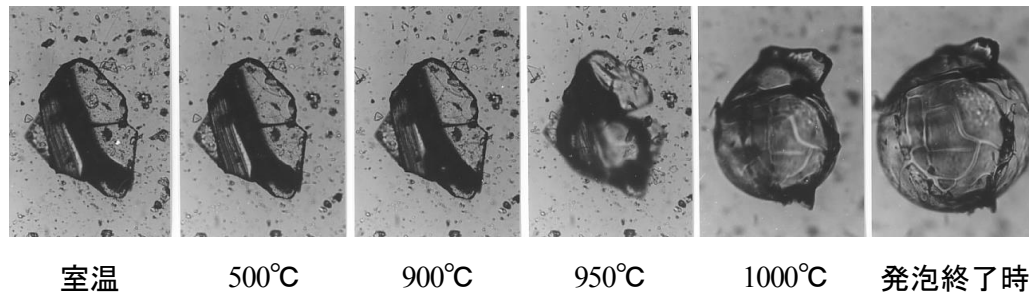


図4 加熱ステージによる観察

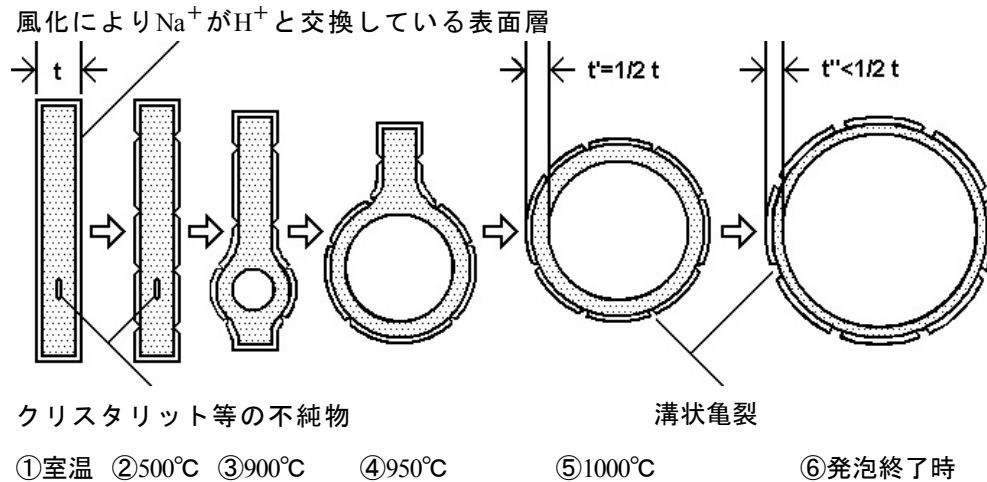


図5 発泡機構モデル

①火山ガラス質堆積物に含まれる火山ガラス自然粒を加熱すると、②約 500℃で表面層の H イオンが粒子外に拡散し、収縮のため表面に亀裂が発生する。③約 900℃になると、Na イオンの濃度勾配があるため、粒子の内部が表面層より先に軟化し、クリスタリットやマイクロポアなどの異物を核として気泡が発生し、両端はひれ状になる。④約 950℃では、表面層は Na イオンが少ないため硬いので、粒子の端面付近に気泡が発生しても、気泡は内部のひれ状の方向に膨張を続け、⑤約 1,000℃になると、表面の硬い層が発泡体の表面層となり、また、表面層だけ硬いので球形となり、⑥表面層の亀裂の部分を両側に広げるような形で膨張する。

#### 海外協力<sup>15)</sup>

シラスバルーンに関連する海外技術協力として、1973 年～1976 年の 3 年間、インドネシアのバンドンにある国立建築研究所と共同研究を行い、研究者の交互訪問研究を行った。当所からは、毎年 1～2 ヶ月現地に研究者を派遣して、シラス類似資源の試料採取、加熱発泡試験等を行い、インドネシア産の火山ガラス質原料からもシラスバルーンと同様なものが製造できることを明らかにした<sup>15)</sup>。しかし残念ながら、インドネシアにおいては企業化までには至らなかった。

## 超微粒、高強度シラスバルーンの開発 <sup>22,23)</sup>

これまでに開発したシラスバルーンは樹脂やセメントなどと混練して複合材料を製造する場合、せん断力に対する強度が弱く破壊しやすいと言う欠点を有するので、超微粒で高強度のシラスバルーンの開発研究を行った。この研究では、粉碎試料を 5~10 $\mu\text{m}$  に分級した火山ガラス微粒子を水熱処理した後、約 1,000℃で短時間の熱処理を行うことで、超微粒、高強度のシラスバルーンを得る技術を開発したが、コストアップがネックとなり企業化を断念した。

次いで、上記と同じ火山ガラス微粒子の表面にアルミナ水和物を被覆する技術を開発し、同様の熱処理を行うことにより、超微粒、高強度のシラスバルーンが得られることを明らかにした <sup>24)</sup>。この技術を基に、技術指導した企業において、パイロットプラントを構築し、試作製品を用いて市場開拓を行った。しかしながら、販売価格と製造原価がほぼ均衡し、企業としてのメリットが見いだせないと言う結論に達し、企業化が見送られた。

## 酸化チタンを被覆したシラスバルーンを用いた環境浄化 <sup>28,30,32,33,34,36,37)</sup>

酸化チタンを被覆した微細中空球を、油が浮いている湖沼・河川・海の浄化に利用出来る報告は既になされていた。この場合、酸化チタンは、微細中空体に熱処理を含む被覆処理を行っている。筆者らは、前記のアルミナ水和物を被覆する技術を応用し、原料に酸化チタン水和物を被覆し、1回の加熱処理で発泡と同時に被覆酸化チタン水和物の酸化チタンへの変性を行うとともに、その結晶サイズを 10nm 以下に制御し、高強度で白色度に優れ、かつ良好な光触媒機能を有する酸化チタン被覆シラスバルーンを効率よく製造する方法を開発し、これを用いた環境浄化実験を行った。

## 5. 企業におけるシラスバルーン関連製品の開発

### 5. 1 シラスバルーンを骨材とした CFRC<sup>38)</sup>

鹿島建設技術研究所が開発した製品について、文献 38)から引用して概要を紹介する。

#### 1) はじめに

昭和 61 年 3 月、東京赤坂に完成した ARK・HILLS のシンボルの建築物となった ARK 超高層事務所ビル（森ビル）の外装カーテンウォールには、わが国で初めて炭素繊維補強コンクリート（CFRC）製軽量カーテンウォールが全面的に適用され（32,000m<sup>2</sup>）話題となった。この CFRC カーテンウォールでは骨材としてシラスバルーンが使用され（けい砂との併用）、気乾比重 1.35 という構造設計上の軽量化条件を満足させている。

一般に建築材料や部材に要求される性質には、力学的性質の他に耐久性、寸法安定性、耐熱耐火性、断熱性及び軽量化などがあり、これら諸要求条件に対して、CFRC の場合は、力学的性質に関しては炭素繊維（CF）の混入率や CF の強度を変化させることにより、かなりの範囲の要求条件を満足させることが可能である。また、部材の寸法安定性に関する要求条件に対してはオートクレーブ養生法の採用で対処が可能である。しかし、耐火性、

断熱性、軽量化といった条件に対しては、ARC-CFRC カーテンウォールを含めて、これまでの全ての物件でシラスバルーンの混入量を変化させて対処してきた。

以下に、シラスバルーンを骨材とする軽量CFRCの国内外での適用事例について概説する。

## 2) CFRC 開発と実用化の経緯

鹿島建設では昭和 55 年から CFRC の研究開発に着手し、早くも昭和 57 年にはイラク国バクダッド市に建設したイラクアルシャヒードモニュメントの大型ドーム（鉄骨造、高さ 40m）の外装タイル打込み軽量パネルとして世界で初めて、この CFRC を大量施工（1 万  $\text{m}^2$ ）した。

この外装タイルパネルの開発では骨材の全量をシラスバルーンとすることにより、気乾比重 1.00（オートクレーブ養生）の CFRC を実現し、パネル重量を  $60\text{kg}/\text{m}^2$ （タイルの重量  $33\text{kg}/\text{m}^2$  を含む）という超軽量化を可能とした。また、バクダッド市の厳しい高温低湿環境下でも優れた耐久性と寸法安定性を有する新素材として施主のバクダッド市の建設関係者から高い評価を得た。

その後国内で、この軽量 CFRC を赤坂ツインタワービル（ATT）の内装タイル打込みパネルや、鹿島建設本社第 3 棟の柱型永久型枠、明治生命柏ビルの空調用窓台、筑波科学博の住友館シンボルマークや CFRC フリーアクセスフロア等に適用して製造・品質管理等のノウ・ハウを蓄積してきたが、これらの生産・施工実績を基に ARC 超高層ビルへの適用に踏み切った（図 6、図 7 参照）。

## 3) ARC-CFRC カーテンウォール

ARC 事務所棟 CFRC カーテンウォールの仕様及び性能は以下の通りである。

- ①標準寸法：幅 1.47m，高さ 3.76m（ $4.55\text{m}^2$ ）
- ②重量：1t（CFRC の気乾比重 1.33）
- ③耐風圧力： $630\text{kgf}/\text{m}^2$
- ④層間変位への追従性：1/120（ $\pm 32\text{mm}$ ）

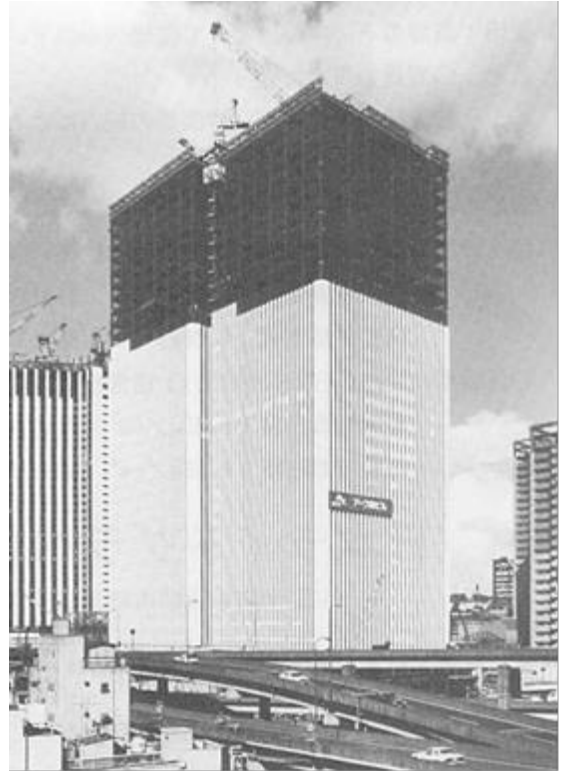


図6 建築中のARC超高層事務所棟

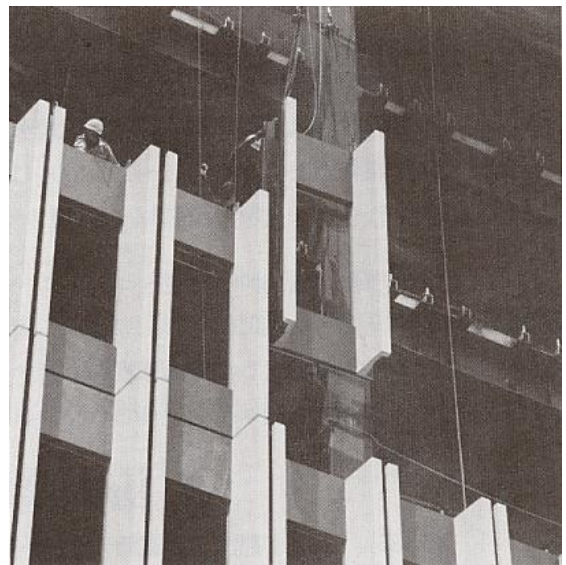


図7 CFRCカーテンウォールの取付け



⑤耐火性：外壁耐火 1 時間（認定取得済み）

この軽量 CFRC カーテンウォールの採用により、従来の軽量 1 種コンクリート（気乾比重 1.85）製カーテンウォールを使用した場合に比べて、基準階で外壁重量を 60%低減でき、地震荷重も 12%低減することが可能となった。このような CFRC の軽量化と断面積の減少により、ビル躯体への取付け作業がタワークレーンではなく 2t の電動ホイストで可能となり、取付け作業の効率化が図られた。

## 5. 2 シラスバルーン紙を用いた浸漬型熱電対保護紙管<sup>39)</sup>

高知県紙業試験場と株式会社赤尾による共同研究の成果を、文献 39)を要約して記す。

### 1) はじめに

耐熱用途の紙としては無機質アスベストペーパー、ガラスペーパー等が作られており、また耐熱紙管はこれらの紙を使った紙管と陶管等が使用されているが、アスベストは発ガン性の問題があり、一方陶管等は高価、高重量、難加工性など問題点が多い。そこで、軽量化と安価及び作業性を改善することを目的として、シラスバルーンを利用することにより、シラスバルーン紙及び耐熱用紙管の製造法を確立した。

### 2) 原 料

シラスバルーン紙用原料としては、木材パルプ及び古紙パルプ、シラスバルーン、カオリンを用い、紙管用原料には、シラスバルーン紙，無機接着剤，シラスバルーン，カオリン等填料を用いた。

### 3) シラスバルーン紙の製造

原料処理：原料のパルプは離解後 CSE700ml 程度に叩解、古紙は難離解性物が多いので、ビーターの歯を当て、離解及び叩解を行った。このパルプ液にシラスバルーン、カオリン、エポキシ系紙力増強剤、アクリルアミド系紙力増強剤、凝集剤等を添加し、シラスバルーン等填料的の定着を強める紙料とした。

抄 紙：小型円網抄紙機、及び大型パイロットマシンによる抄紙テストを行った。それぞれの装置に適合する試料の調整を行うと共に、装置の操作条件を選ぶことにより、定着率が良好で高い歩留まりでシラスバルーン紙の製造が可能であることを確認した（**図 8** 参照）。

### 4) シラスバルーン紙の物性

小型円網抄紙機で抄紙した場合、シラスバルーン単品でもシラスバルーン紙への定着率は良好であり、本

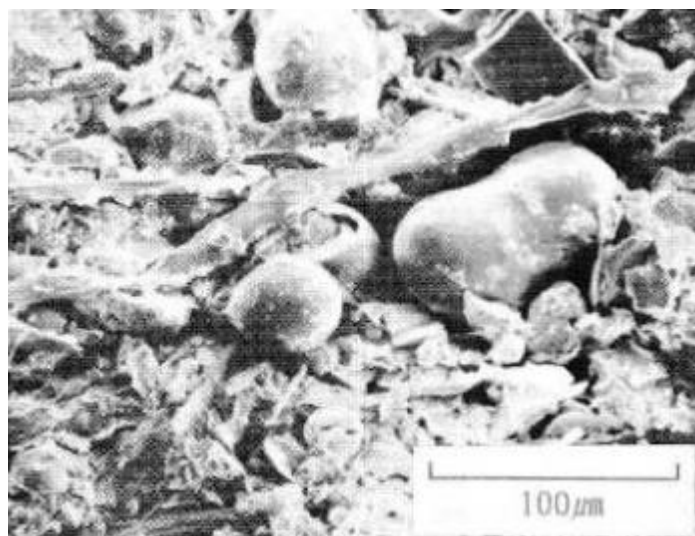


図8 シラスバルーン紙のSEM写真



機はプレス装置がないので、紙厚は坪量 150g/m<sup>2</sup> 程度で 400～430 $\mu$ m の嵩高となり、シラスバルーンの粒子が多く入ることにより紙厚も厚くなった。

大型パイロットマシンにより抄紙した場合は、平板状カオリン等も加えた事や、プレス圧やタッチ圧が大きく、また、サクションで強制脱水を行うため、紙厚は 220～270  $\mu$ m 程度に薄くなり、紙の密度は上昇した。

使用したシラスバルーンは耐熱、断熱の特性を有しているが、パルプ分は有機物であり、しかも有機のバインダー、紙力増強剤、定着剤が入っているので、このままでは耐熱用途には直接使用は出来ないところがある。

従って、紙管製造に際しては耐熱性と断熱効果を高めるため、調整されたシラスバルーンが配合された無機接着剤を塗付し、紙管を製作した。

## 5) 耐熱断熱紙管について

### 紙管加工

シラスバルーン紙をテープ状にスリットし、コアを作る。今回のラングストン機械巻きに必要な引っ張り強度も十分であった。紙管製造は通常使用する機械を利用し、接着剤としては、酢ビに代えて無機接着剤を使用し、シラスバルーン紙に含浸さすと共に、表面上塗付して紙管巻きを行った。この時、付着量を調整するために接着剤の粘度を上げる必要があり、シラスバルーンやカオリン等の填料を加える必要がある。

巻き上がった紙管は所定の長さにカットして乾燥した。乾燥は歪や形くずれを少なくするため自然乾燥を行った。更に、積層された紙と接着剤が十分セラミック化しておれば耐熱並びに断熱両方の効果が発揮される。

### 耐熱紙管の電気炉焼成試験

溶鉱炉中の金属溶融体の温度は 1,450～1,600℃の高温であり、温度測定は熱電対を金属溶融体中に 10 秒程度浸漬し行われる。しかし、当場の電気炉の最高使用温度が 1,150℃のため、1,150～1,000℃で耐熱試験を行った。つまり、現在使用されているアスベスト紙管と同等以上の耐熱・断熱効果があれば、溶鉱炉試験も可能性があると考えられ、実炉テストの焼成状態を参考として電気炉による焼成条件を設定し、焼成試験を行なった。

その結果、手巻き加工紙管ではセラミックス層（シラスバルーン層）が 4 層以上であれば内部の紙管中芯は無傷で使用可能と考えられた。また実炉試験と電気炉試験の焼成程度を比較すれば今後試作品の初期テストは電気炉試験で評価が出来ると考えられた。

この結果から機械巻による耐熱断熱紙管を製造し、実炉試験を行った。今回は 1450℃の溶鉱炉の中に 12 秒間浸して測温テストを行い耐熱・断熱効果の評価を行った。機械巻紙管は 6 層巻きとしたが、第 6 層から内部は無傷であった。尚これらのバルーン紙及び無機接着剤については 4 件の特許出願中である。

謝辞：この研究開発に際して御協力をいただいた九州工業技術試験所、鹿児島県工業技術センター、株式会社シラックスウ関博光氏、株式会社セラミックス総合開発の竹中基博氏の方々に対し感謝の意を表します。

### 5. 3 シラス発泡体のロックウールボードへの利用<sup>40)</sup>

大建工業株式会社で開発された製品の開発について、文献 40)から抜粋して以下に記す。尚、この製品は「ダイライト」の商品名で同社の主力建材製品として出荷されている。

#### はじめに

当工場の主力製品は湿式抄造法によるロックウールボードであるが、原材料としてはロックウール以外に種々の改質を目的として軽量充填材を使用する。そこで私は、九州に無尽蔵にあるシラスが何とか利用できないかと考え、当時、九工試の諫山先生をお訪ねし、種々ご教示を戴いた。その頃はシラスの発泡体として製品化されていたものはシラスバルーンなど数も少なく、要求に合致するものもなかったのもので、先生からご紹介戴いた先などからシラスを種々取り寄せ、焼成してみたがやはり思うようなものは得られなかった。

それでもシラスへの思いは捨て切れず、その後別な目的で充填材として使い始めていた未発泡のシラス粉の入手先より、白い粒の揃ったシラスがあるとの朗報を得、早速取り寄せて焼いてみたところ、比重 0.1 前後の白い発泡体を得られた。まさかと自らを疑ったような次第であった。

現地調査や焼成確認を重ね、安定して要求を満たし得ることが判ったので、本格採用することにした。1984 年のことである。わが社ではこのシラス発泡体を「SR-F」と呼称することとした。

以下に、シラス発泡体 (SR-F) のロックウールボードへの利用について述べる。

#### ロックウールボードへの軽量充填材の使用目的と品質要件

1)使用目的は次の通り。

- ・軽量化
- ・ボードの剛性「張り」の付与：ロックウールの空隙を軽量充填材で充填し硬度を上げる。
- ・表面模様付け適性の向上：表面にトラバーチン模様などの陥没模様や、エンボス模様を施した時、シャープな模様が得られる。

2)要求品質を以下に示します。

- ・水中での分散性が良く、ロックウールとよく混ざること。
- ・保水性が低いこと（乾燥負荷が低い）。
- ・ボードの比重を上げないこと。
- ・ロックウールボードの白さを損なわないこと。
- ・安いこと。
- ・質と量が安定していること。

等々である。

3)ロックウールボードへのパーライトの使用と課題

ロックウールボードは比重 0.25～0.5 であるので、充填材としてはできるだけ軽い方がよい。ただし、あまり軽いと充填材の強度が弱くなり、ボードの剛性の低下や混練時の充

填材のツブレなどの支障を生ずる。これらのことから、これまでは嵩比重 0.07～0.11 程度のパーライトを使用してきたが、これには次のような欠点があった。

- ・粒度分布が粗く、充填効果が低い。発泡倍率が低くて硬い粒子が混入しており、ロックウールボード同志のこすれの際、キズが入り易い。粒子が開放型の多泡体で、水を抱き易く、乾燥負荷が大きい。等々である。

#### 自社製発泡シラス「SR-F」の特長

SR-Fには以下のような特長があることがわかった。

- ・粒度分布がパーライトより細く充填効果が高い。
- ・他社シラスバルーンより軽い。色も白い。
- ・水分散性がパーライトより良い。

#### ロックウールボードへの軽量充填材「SR-F」の使用

##### 1)使用結果の評価

前記の使用目的、軽量化やボードの剛性の付与などを達成し、更に、発泡状態が揃っていて硬い粒子が少なく、粒子が閉鎖型の多泡体であるため、保水性が低く乾燥負荷が小さい、等々の特長を有しており、これまでのパーライトの欠点がすべて解消した。

##### 2)原料および運搬方法

原料は鹿児島県内産の二次シラスであるが、輸送コストを下げるため、海上輸送でバラ積みとし、岡山港より水切りし、そのまま工場へ持ち込むこととした。これにより、パーライトの輸送コストに対し大幅なコストダウンとなった。

##### 3)焼成について

焼成は堅型炉で行っており、ロックウールボード製造設備に直結している。当初は原料の供給、燃焼、風速等について定常状態を得るためのバランスが思うようにとれず能力も上がらなかったが、現在は目標通り 600ト/月の能力となっている。グレードは1タイプなので、極めて生産効率が高く、さらに原料が揃っているので歩留も高く、これらが生産コストを大きく下げている。

#### SR-Fを利用したロックウールボードの用途

主に、ビル、住宅用の天井および内壁であり、全国的に販売されている。

#### 最後に

シラスは無尽蔵であり、自然淘汰を受けて安定した状態で眠っている。これらを目的に応じて選別、事業化してスケールアップを図れば、生産アップ、輸送手段の変更、消費地での発泡などにより、大幅なコストダウンが可能であり、他の発泡体に十分立ち打ちできると考えられ、シラス発泡体産業は今後ますます発展、拡大するものと確信している。

末筆になりましたが、SR-Fの開発に際し、多大なご教示を戴いた諫山先生をはじめ、九州工業技術試験所、地場企業の方々に対し感謝の意を表します。

#### 5. 4 シラス発泡体（シラスバルーン）を利用した OA フロア <sup>41)</sup>

株式会社シラックスウが他社と共同で開発した製品を文献 41)から抜粋して記す。

##### はじめに

シラスの発泡体が工業技術院九州工業技術試験所にて開発されて、すでに 20 年になる。この間、用途開発は、国内資源であり膨大な賦存量があるといった利点を生かすべく展開してきたが、新しい素材であるがため、新規市場開発は幾多の苦節があった。しかしここ数年来、手不足や 3K と称する労働環境に対しての改善・合理化策として資材等の軽量化が急速に進みつつある。

こうした背景の下、シラス発泡体は手軽に軽量化ができると同時にコスト低減といった特徴が認識されてきた。シラス発泡体による軽量化 OA フロアについて紹介したい。

##### シラス発泡体「シラックス」とは

シラックスの化学組成は、ケイ酸 68～75wt%アルミナ 13～16wt%が主成分で、Fe, Ca, Na, K, Mg の酸化物をそれぞれ 1～3wt%含んでいる。製品の品種は、粒径別に分け、平均粒径 20～200 $\mu$ m の領域と 0.3～3.5mm の大粒がある。比重は 0.1～0.5 の範囲で調整が可能である。

##### OA フロアへの応用

近年、オフィスオートメーション機器の急速な進歩に対応した、機器配線のシステム化を可能とする床構造を持った OA フロアが急速に伸びている。また OA フロアの材質も金属、樹脂、木製やセメント系そして各々の材料の複合化等多種多様であるが、最終商品設計の目標は不燃性と軽量化であると言われている。ここではシラックスとセメントの軽量モルタルによる軽量化の応用例として 2 重床方式の軽量化パネルの例を述べる。

鋼板床パネル（注入タイプ）：表裏面が鋼板成形のコアにシラックス・セメントモルタルを注入したサンドウィッチ構造の板である。物性値を次ページに示す（表 6、表 7 参照）。

現在セメント系の OA フロアは、500mm 角パネルの比重は 2.4 であり、シラックスとセメントを混合することによって、必要強度内で比重を 1.4 まで容易に軽量化ができた。このシラックスとセメント成形体の特徴として次のことが言える。

表6 OAフロアの物性

|                        |                       |                |        |
|------------------------|-----------------------|----------------|--------|
| 寸 法                    | 500x500x25mm          | 500x500x23.2mm |        |
| 重 量                    | 8.6 kg                | 6.9～7.3 kg     |        |
| 表・裏面材                  | 鋼板                    | 鋼板(亜鉛メッキ)      |        |
| 内 部 材                  | 軽量モルタル                | 軽量モルタル         |        |
| 中央集中加重 (300 kg/50φ加圧板) |                       |                |        |
| たわみ量                   | 2.0 mm以下              | 2.0 mm以下       |        |
| 最大荷重                   | 1500 kg以上             | 1000 kg以上      |        |
| 使用しているシラックスのグレード       |                       |                |        |
| シラックス                  | 粒 径                   | 比重             | 吸水率    |
| PB-20, 40              | 0.3～3.5mm<br>平均 1.2mm | 0.22           | 8wt%以下 |

表7 OAフロアの強度

500×500mm

|  |            |
|--|------------|
|  | → 鉄板       |
|  | → シラックスボード |
|  | → 鉄板       |

両面の素材：鉄板 SPHC t=0.8mm

芯 材：シラックスボード 厚さ20mm

接 着 剤：エポキシ樹脂 250g/m<sup>2</sup> 塗布

| ボード重量 | 中央集中加重(kg) | 変位量(mm) |
|-------|------------|---------|
| 6.5kg | 300        | 0.68    |
|       | 400        | 0.94    |
|       | 500        | 3.62    |

- ①シラックスは独立気泡のバルーン分が多く、少量の添加で軽量化ができる。また、セメントとの配合割合を変えるだけで成形体の比重を 0.3～1.6 まで自由に調整できる。
- ②シラックスパネルは軽く、一日当りの施工面積が倍になり、施工単価が安くなり、トータルのコストダウンになる。
- ③切断・釘打ちが容易で加工性に優れている。
- ④成形は、流動性がよく型枠鑄込みでフリーサイズの大形物も可能であり、プレス成形することによって強度は上がる。
- ⑤製品の熱伝導率は  $0.1\sim0.4\text{kcal/m}\cdot\text{h}\cdot^{\circ}\text{C}$  である。
- ⑥防音・防振性が付与される。
- ⑦数ミクロンから数ミリまでの粒径の組み合わせで用途に応じて低比重でも強度が出る。

## 5. 5 シラスバルーンを利用した軽量紙粘土<sup>42)</sup>

株式会社シラックスウが他社と共同で開発した紙粘土を文献 42) から抜粋して記す。

### はじめに

学校教材用として古くから粘土が使われているが、この粘土は使われているベースの素材によって、土粘土・油粘土・紙粘土・プラスチック粘土等に分類される。多種粘土の中でも、粘土造形品が学校教材に限らず趣味手芸の分野等、広い範囲にわたり使われ始めたのは、紙粘土を軽量化したシラスバルーン利用の「軽量紙粘土」の開発・販売によるものと言っても過言ではない。軽量紙粘土は今までの粘土に比べ、まず軽いこと、次に造形しやすいこと、乾燥ひび割れないこと、着色が自由であること等の特性があり、粘土業界の大きな飛躍の一端を担った素材だと思われる。

また、シラスバルーン業界にとっては、未だ確固たる用途を見いだせなかった時代に、バルーンの特徴をよく掴んだ製品として、バルーンの量産化と展開に寄与した製品でもあったことは特筆すべきことである。しかし、粘土も新しいものが開発され、素材もその都度変遷し、造形にとってより機能的な粘土が開発されている。

### 各造形用粘土の特性

**土粘土**：各地に産出する土粘土は、教材粘土の原点である。自然の感触を味わいながら、且つ、自由な表現ができる。石膏での形取り鑄込み等の原型もあらゆる表現ができる。欠点としては、子供達の完成した作品は脆く、水彩絵の具等着色することができず、色彩の表現が困難である。また、継続的に粘土状のまま保存・管理することが困難である。このため油粘土の開発がなされた。

**油粘土**：主な成分は機械油、石鹼、無機質粉末等である。四季を通して硬軟がなく、また、土粘土より表現が自由にでき、いつでも手ごろに使用されるために、教材・文具・手芸等に使用されている。欠点としては、夏、冬等の寒暖により手に付いたり、機械油の酸化によって臭いが強くなる等がある。

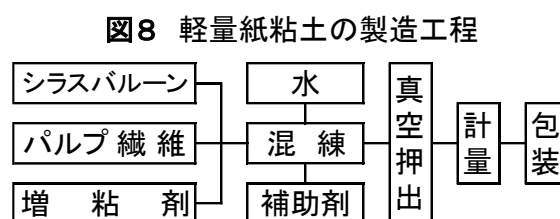
**従来型紙粘土**：主な成分は炭酸カルシウム、パルプ繊維、無機質増粘剤（ベントナイト等）

である。土粘土の欠点を補うもので、白色であり、パルプの繊維を混入することにより、人形等の造形時に瓶などの芯材が利用でき、ひび割れが比較的少なく、かつ水彩絵の具及びニスの使用が可能となり、色彩の表現が自由になった。さらに、繊維補強した形になり、造形品に強度があり、持ち運びができるようになった。欠点としては、若干ひび割れが生じることと、作品が重いこと等がある。

**シラスバルーン軽量紙粘土**：主な成分はシラスバルーン、パルプ繊維、有機質増粘剤である。従来の重い粘土を改良したものがシラスバルーン混入の軽量紙粘土である。これで作られた作品は、従来の粘土より細工が細かく表現でき、芯材を使用してもひび割れが生じない。水彩絵の具での着色も自由になり、落としても割れない。粘土メーカーとしては運賃コストが低くなった。作品もブローチ、教材、文具、手芸等、広範囲にわたり作品化されている。また、有機質増粘材（化学糊）の使用によって、土粘土の感触がなくなった。これは、今後の改良すべき問題点と思われる。

### 軽量紙粘土の製法

図8の製造工程により製造されている。混練した後に寝かし（熟成）をすると、後工程の作業がスムーズに行き、電力費の低減に役立つ。真空押出の時、十分な脱気を行うと寝かしが省略でき、また、手に付き難くなる。



### 軽量紙粘土の生産量

昭和 52～53 頃から開発され、年々着実に伸びていたが、昭和 60 年をピークに下降し始めた。ピーク時は、月産約 550～650 トンと推測される。

ここ 2～3 年前から、手芸分野の落ち込みと、学校の週休 2 日制導入等による教材の落ち込み等により、ピーク時の 1/4～1/5 程度ではないかと推察される。現在は、プラスチック粘土が伸びている。

### 今後の展望

粘土の多様化も含め、素材の開発、新素材の導入等、新しい粘土が開発されていくと思われるが、いずれにしても、軽量化といった機能性を持たせるとき、シラスバルーンに期待されるものは大きい。今後のバルーンには、色度及び粒度の安定が要求される。また、特に白色バルーン、微粒子バルーンが開発されれば、より以上の利用価値があるので、市場自体の落ち込みをクリアーすべく、バルーンメーカー共々研究して行かなければならない課題である。



## 6. VSI（火山珪酸塩工業）研究会<sup>1)</sup>

創生期のシラスバルーン製造に携わった企業の情報交換の場として日本シラス工業懇話会が昭和 50 年（1975 年）に設立された。VSI（火山珪酸塩工業）研究会は、昭和 60 年（1985 年）10 月に、日本シラス工業懇話会から移行発足した。

昭和 61 年（1986 年）6 月には、東京において総会に引き続き第 1 回特別講演会を開催した。昭和 62 年（1987 年）3 月には、同じく東京において第 1 回 VSI 研究講演会を開催し、10 月には、研究会の季刊誌 VSI ニュースを創刊した。また、平成 3 年（1991 年）5 月には、第 1 回現地研究会を開催し、充実した本研究会活動となった。

シラスバルーンが企業化されて 20 年を経過した時期、その用途も、建材、塗料、紙粘土など多岐にわたっており、工業原料・素材として、一定品質規格のものが安定供給されることが強く求められるようになった。

そこで、研究会では平成 3 年末に「シラスバルーンの JIS 制定の要望調書」を通商産業省工業技術院標準部に提出した。審査を経て、研究会が原案作成の委嘱を受けることになった。平成 4 年 5 月、研究会内に標準規格委員会を設置し、平成 4 年 8 月の本委員会、9 月、11 月の分科会、平成 5 年 1 月の本委員会を経て、3 区分のかさ密度（タップ充填）と 12 区分の粒度の組み合わせからなる「シラスバルーンの標準規格案」が作成された。

この標準規格案は、日本工業規格として認知されるのが最善と考えられるが、最近の国際化、ISO 規格との関連性等の問題もあり、工業技術院標準部は、このままの形での日本工業規格への提案は困難であるとの考えを示した。そこで、平成 7 年 5 月の研究会総会において「VSI 研究会規格」として提案し、承認された。

VSI ニュースは、通巻 50 号を機に VSI 研究会会報に衣替えした。毎年開催してきた講演会並びに現地研究会は、平成 19 年（2007 年）まで継続した。この間、研究会の運営並びに各種行事に参加された多くの会員各位に謝意を表します。

平成 19 年（2007 年）以降、関連研究者並びに会員の減少に歯止めがかからない現状から、平成 20 年度総会において、本研究会活動の縮小に関する VSI 研究会会則の変更を提案し、総会後の特別講演会・現地研究会、VSI 研究講演会等の行事を休止した。冊子版会報は通巻 90 号で休刊し、通巻 91 号（2009 年 4 月発行）から電子版 VSI 研究会会報に移行した。種々の行事並びに冊子版会報発行の休止に伴い、会費の請求を平成 21 年度から停止し、平成 21 年度及び平成 22 年度の研究会運営経費は、有志の善意による運営協力金（寄付）の名目で協力頂きました。有志各位に謝意を表します。この 2 年間の研究会活動は、ホームページ内の特許情報の更新、電子版会報の編集・掲載等の活動に移行して今日に至っている。しかしながら、本研究会を維持するための人材並びに経費に関する環境は厳しく、研究会会報通巻 100 号の発行を機に会報の発行を含めた本研究会活動を休止せざるを得ないという結論に達した。研究会のホームページは、事務局（ケイ・エム・アール）の協力のもと、閲覧可能の状態に残し、お問い合わせ等に対応している。

## 7. 火山性ガラス質材料工業会

前記の5.3で紹介したシラス発泡体のロックウールボードを開発した大建工業株式会社が発起人となり、平成7年3月に設立された。シラスバルーン関連企業が主な構成会員となって、「火山性ガラス質複層板」のJIS規格の制定に関わり、平成12年12月20日に告示された。

## 8. 考察と総括

以上記したように、シラスの有効利用に関する国の研究所におけるプロジェクト研究の中から、新素材「シラスバルーン」の開発に成功し、幸いにも企業による量産化に結びつき、予想外のいろいろな分野への利用展開がなされてきた。何故このように上手く研究開発から事業展開までが出来たのか、その要因について、若干考察してみたい。

① 先ずは、プロジェクト構成メンバーが異分野の研究者からなり、効果的な連携・協力体制がとられたことではないだろうか。2. 研究開発の背景・経緯にも記すように、プロジェクト遂行に関わる多分野にまたがる構成メンバーが、お互いに知らない知識や情報の交換ができる立場にあり、各自の課題解決に必要な助言や協力が得られた。同時に、相互に刺激し合って新しい発想も生まれる環境にあったように思われる。

特に、シラスバルーンの開発においては、本稿を執筆した二人が主として携わったが、専門分野は陣内が選鉱技術、木村が加熱・焼成技術を得意分野とし、両者の緊密な協働が成果に結びついた要因の一つと考えられる。シラスを選鉱学的に見直し、火山ガラスと結晶質に分けること、更に火山ガラス粒子を形状別に分けることにも成功し、シラスに含まれる火山ガラス粒子を詳細に特定できたことがシラスバルーンの原料の選定に役立った。一方で、火山ガラス粒子の加熱焼成による最適発泡条件を決定するために、限られた研究予算の中で、使用目的に合致する連続加熱炉の設計を行い、有効・有用なデータを取得するスキルも必須であった。

② 次に、実験中の些細な現象を見逃さなかったことと、確認すべきことはすぐ実行することも大事であった。二人は、多孔質のシラスを選炭排水のろ過助剤として使用し、そのろ過ケーキを加熱焼成して人工軽量骨材を製造する研究をしていた。その際、未焼結物を廃棄するため水中に投げ入れた時に、水に浮いている細かな白い粒子を見逃さなかった。拡大観察してみると、まさに中空球状粒子であった。一方、粒度毎に分けたシラス粒子を更に比重毎に分離する作業の最中に、水に浮く粒子群を実体顕微鏡で観察したときに、数は少ないが、細かい中空の球状粒子を見つけていた。

そこで、上司から微細中空球状粒子の開発要請を受けたとき、二人は即座に、シラスから製造できることを確信し、更に、シラス粒子を適温で加熱すれば発

泡するのではと考え、すぐに、電気炉で加熱焼成してみたところ、見事に成功。平らな白金皿にばら撒いたシラス粒子が、きらきらと輝く微細な発泡球状粒子に変身していた。これがシラスバルーン開発研究のスタートであった。

③ 研究開発を通じて、現場、現物、原点の「3ゲン主義」にこだわったことも、まともな研究成果につながった一つの理由ではないかと考えている。私達が先ず拘ったのは、国内各地とインドネシアのシラス産地に自ら出掛け、自分の目で観て触れて調査し、研究用のサンプルも自身で採取したことである。研究室に持ち帰った「自分のサンプル」については、誰かに依頼して入手した「他人のサンプル」よりも、強い愛着の気持ちを感じ、自身で取り組む実験や調査研究も前向きで充実したものになったように思われる。

④ ①にも述べたように、事を成すには多分野の協力が必須要件である。シラスガラスの発泡機構の解明、原料特性の解析と適正原料の決定、量産化技術の確立、焼成炉の設計と工業生産、更には、シラスバルーンの利用技術や新製品の開発から販売まで、まさに産学官にまたがる多くの方々による惜しみない協力と支援があって、はじめてこれまでの仕事が成し遂げられたものであることを忘れてはいけない。

⑤ 更には、新素材や新技術の提案に対して、その事業化を担当する企業サイド・産業界の強い熱意と積極的な取り組みがあったことが、本格的な事業化までに結びついた重要な要因であったと思われる。その具体的な証左の一つとして、非常に限られた特殊な技術分野・産業分野にも拘わらず、シラスやシラスバルーンを世に出すために立ち上げたシラス工業懇話会や VSI 研究会が継続的に且つ円滑に運営し活動できたことである。それぞれの会に関わった者として、所要の役割を果たすことができたことを有り難く思う次第である。

## 9. 結びに代えて

① 本稿ではシラスバルーンの開発研究の初期の段階から事業化されて世の中に認知されるまでについて記述した。然るに、その後も超微細粒シラスバルーンの開発や新規な利活用製品の開発が継続されており、洗顔料、断熱・保温塗料、窓ガラスの洗浄剤など、興味深い製品が開発され、販売されている。これらの情報については、鹿児島県工業技術センターのホームページから入手可能であるので、興味のある方は閲覧して頂きたい。

② 資源小国と言われるわが国において、シラスをはじめとする火山噴出物（火山ガラス質堆積物）は膨大に賦存する未利用資源の一つである。しかも、シラスからは、シラスバルーン以外にも多くの製品が開発されている。衆知を集めて、新たな発想と研究手法を導入することにより、更なる可能性が広がるものと考えられる。シラスの有効利用に関する研究開発は、これからも継続的に取り組んで欲しい重要なテーマの一つであると考えられる。

③ 思いもよらない結果として、一つの技術開発に成功した。自分達が生み出した技術がいろいろな発展・展開をみせたり、その製品が多方面に活用されて新製品・新技術を生み出す。このような波及効果を見ることにより、あらためて研究成果が実社会の役に立つことの喜びを感じる次第である。

## 10. 謝辞

本文に記したように、「シラスバルーン」の研究開発事業の遂行に当たっては、多くの方々にご協力とご支援をいただいた。本来ならば、ここに御名前を記して謝意を表すべきところですが、既に故人となられた方も含めて、その数があまりにも多いので、十分に網羅することが出来ません。従って、勝手ながら、全ての方々の記名を省略させていただきながら、衷心より深甚の謝意を表す次第です。

## 参考文献・資料：

- 1) VSI（火山珪酸塩工業）研究会ホームページ <http://www.kumin.ne.jp/vsi/>
- 2) 火山ガラス質堆積物の産状と利用データベース <http://www.kumin.ne.jp/vsi/vglass/>
- 3) シラス火山灰の工業材料として活用－首尾一貫した最終責任のとれる組織－九州工業技術試験所、わが国の技術革新の源泉（昭和 50 年度工業技術院技術評価委託調査報告）財団法人政策科学研究所、26-28（昭和 51 年 3 月）
- 4) シラスバルーンについて、木村邦夫，九州工業技術，[19] 9-14（1972）
- 5) 炭鉱廃水の急速濾過とケーキの有効利用、諫山幸男、陣内和彦、木村邦夫、選炭、19 [99] 34-42（1969）
- 6) シラスバルーン、諫山幸男，陣内和彦，木村邦夫，工業材料，19 [8] 84-89（1971）
- 7) シラスを原料とする微細中空ガラス球（シラスバルーン）について、木村邦夫、陣内和彦、諫山幸男、窯業協会誌、80 [2] 84-91（1972）
- 8) シラスの有効利用に関する選鉱学的研究（第Ⅲ報）－シラスの磁選による脱鉄試験について－、陣内和彦，木村邦夫，諫山幸男，古賀義明，浮選，[48] 33-42（1972）
- 9) シラスバルーン、諫山幸男，陣内和彦，木村邦夫，工業材料，21 [8]（1973）
- 10) シラスバルーン原料としての軽石流の適性について、木村邦夫、陣内和彦、諫山幸男、日本鉱業会誌，90 [1031] 39-44（1974）
- 11) シラスバルーンの密度と強度の測定について、木村邦夫，陣内和彦，諫山幸男，粉体工学会誌，12 [9] 513-518（1975）
- 12) シラス中の火山ガラスの加熱発泡性について、木村邦夫，浜野健也，窯業協会誌，84 [2] 71-75（1976）
- 13) シラスの分離回収ならびにその有効利用、諫山幸男，陣内和彦，木村邦夫，浮選，21 [23] [3]（1976）

- 14) シラスバルーン、木村邦夫, 化学工業, 30 [7] 88-92 (1979)
- 15) インドネシア産火山ガラスの性状とその加熱発泡性について、木村邦夫, 陣内和彦, 立山 博, 窯業協会誌, 89 [4] 208-215 (1981)
- 16) シラスバルーン、陣内和彦, 木村邦夫, 工業材料, 29 [3] 30-34 (1981)
- 17) 火山ガラスの風化による変化と加熱発泡性について、立山博, 木村邦夫, 陣内和彦, 恒松絹江, 粘土科学, 22 [1] 1-10 (1982)
- 18) シラスに含まれる火山ガラスの粒子形状によるガラス構造の変化と加熱発泡性、木村邦夫, 立山博, 陣内和彦, 恒松絹江, 窯業協会誌, 90 [9] 503-510 (1982)
- 19) 北海道産火山灰の加熱発泡体原料としての適性について、木村邦夫, 陣内和彦, 立山博, 恒松絹江, 日本鉱業会誌, 98 [1137] 1117-1122 (1982)
- 20) 空気脈動によるシラスバルーンの乾式分離について、木村邦夫, 陣内和彦, 立山博, 恒松絹江, 日本鉱業会誌, 99 [1145] 561-566 (1983)
- 21) シラスバルーンー火山ガラス質堆積物を原料とする微細中空ガラス球状体ー、木村邦夫, FRAGRANCE JOURNAL, [10] 101-103 (1990)
- 22) 水熱処理したシラス粉碎物を原料とする微粒シラスバルーン、木村邦夫, 陣内和彦, 立山博, 日本セラミックス協会学術論文誌, 99 [12] 1240-1244 (1991)
- 23) 超微粒化に展望を見いだすシラスバルーン、木村邦夫, 神尾典, 工業材料, 42 [15] 117-121 (1994)
- 24) シラス微粒中空ガラス、木村 邦夫, 工業材料, 45 [7] 102-106 (1997)
- 25) Fabrication of New Porecelain Bodies in the System of Glass Microspheres-Quartz-Aluminous Cement, Weon-Pil TaiI, Kunio Kimura, Hiroshi Tateyama, Noriyuki Yamada and Kazuhiko Jinnai, Journal of Ceramic Society of Japan, 107 [1] 8-14 (1999)
- 26) Tetra-n-Butoxy Titanium からの加水重合体の加熱分解法による酸化チタン被覆中空シラス球状体の開発、李尚勲, 木村邦夫, 申大容, 太源弼, 資源と素材, 115 [2] 107-110 (1999)
- 27) 微粒シラスバルーン原料としての大分県玖珠地方に産する火山ガラス質堆積物の性質 木村邦夫, 太源弼, 陣内和彦, 資源と素材, 115 [6] 443-447 (1999)
- 28) Preparation of TiO<sub>2</sub>-Coated Hollow Glass Microspheres from Titania-Hydrate-Coated Fine Volcanic Glass, Dae-Yong Shin, Kunio Kimura, Journal of Ceramic Society of Japan, 107 [9] 775-779 (1999)
- 29) 火山噴出物（シラス）の工業的な高度利用について、陣内和彦, 木村邦夫, 資源処理技術, 46 [4] 230-237 (1999)
- 30) 酸化チタン被覆シラスバルーン、木村邦夫, 工業材料, 48 [11] 35-38 (2000)
- 31) VあるいはWをドーピングした TiO<sub>2</sub>被覆中空シラス球の製造と光触媒の特性、柳然太, 木村邦夫, 資源と素材, 118 [3,4] 206-210 (2002)

- 32) 酸化チタン被覆微細中空ガラス球状体の開発とそれを用いた環境浄化に関する研究、木村邦夫、安部英一、恒松絹江、陳運法、柳然太、KITEC INFORMATION, [200] 3-9 (2003)
- 33) 酸化チタン被覆微細中空ガラス球による海苔加工海水の浄化、木村邦夫、工業材料, 51 [7] 68-71 (2003)
- 34) 光触媒による水浄化技術－酸化チタン被覆微細中空ガラス球を用いた海苔加工海水の浄化－、木村邦夫、吉田章、恒松修二、JETI (Japan Energy & Technology Intelligence), 51 [2] 60-62 (2003)
- 35) 特許 第 2857365 号 微細中空ガラス球状体の製造方法
- 36) 特許 第 3234893 号 酸化チタン被覆微細中空ガラス球状体の製造方法
- 37) 特許 第 3600855 号 酸化チタン被覆微細中空ガラス球状体の製造方法
- 38) シラスバルーンを骨材とした CFRC、秋浜繁幸、VSI (火山珪酸塩工業) 研究会ニュース, 2 [4] 4-5 (1987)
- 39) シラスバルーン紙を用いた浸漬型熱電対保護紙管、岡崎峯夫、林幸男、赤尾宏、VSI (火山珪酸塩工業) 研究会ニュース, 5 [3]、5-8 (1990)
- 40) シラス発泡体のロックウールボードへの利用、篠塚昌毅、VSI (火山珪酸塩工業) 研究会ニュース, 5 [4] 2-3 (1990)
- 41) シラス発泡体と OA フロア、関博光、VSI (火山珪酸塩工業) 研究会ニュース, 7 [2] 6-7 (1992)
- 42) シラスバルーンを利用した紙粘土、関博光、VSI (火山珪酸塩工業) 研究会ニュース, 8 [2] 10-11 (1993)

#### 著者略歴：

木村 邦夫 (<http://www.kumin.ne.jp/vsi/kmr/>)

昭和 19 年 10 月 生まれ

昭和 40 年 3 月 国立久留米工業短期大学 金属学科 卒業

昭和 40 年 3 月 九州大学 工学部 技術員 (冶金学教室)

昭和 43 年 1 月 工業技術院 九州工業技術試験所 資源開発部 第 2 課に転任

昭和 48 年 9 月 東京工業大学 工業材料研究所 国内留学

昭和 48 年 11 月 工業技術院長賞 (工業技術院 25 周年記念表彰)

「シラスバルーンの製造に関する研究」

昭和 59 年 7 月 東京工業大学 論文博士 (工学)

「火山ガラス質堆積物による加熱発泡体の製造に関する研究」

平成 10 年 10 月 九州工業技術研究所 ファイン素材部 粉体プロセス研究室長

平成 12 年 4 月 科学技術庁長官表彰 (第 25 回研究業績者表彰)

「機能性微粒中空ガラスフィラーの創製の研究」

平成 14 年 4 月 独立行政法人 産業技術総合研究所 基礎素材研究部門 環境浄化複合材料研究グループ長

平成 17 年 3 月 定年退職

平成 17 年 4 月 サステナブルマテリアル研究部門 OB 研究員（産業技術総合研究所 契約職員）

平成 18 年 4 月 佐賀県知的所有権センター 嘱託職員（知的所有権アドバイザー）

平成 23 年 5 月 佐賀県知的所有権センター 退職

著書等（論文題目の掲載誌名と巻号頁は、<http://www.kumin.ne.jp/vsi/kmr/> に記載）

国内外学協会誌（筆頭執筆、非筆頭）：53 編

九州工業技術研究所報告（筆頭執筆、非筆頭）：51 編

その他技術誌等（単独執筆、筆頭執筆、非筆頭）：61 編

特許等（発明の名称と登録番号等は<http://www.kumin.ne.jp/vsi/kmr/> に記載）

登録特許（発明者）：69

#### 陣内 和彦

生年月日 1939年10月24日（長崎県諫早市）

#### 学 歴

1964年3月 九州大学工学部採鉱学科卒業

1966年3月 九州大学大学院工学研究科鉱山工学専攻修士課程修了

1975年1月 工学博士（九州大学）

#### 職 歴

1966年8月 通商産業省工業技術院九州工業技術試験所入省

1982年4月 同上 資源開発部第2課長

1985年1月 同上 研究企画官

1986年7月 同上 資源開発部長

1991年10月 鹿児島県工業技術センター所長

1994年6月 通商産業省工業技術院九州工業技術研究所所長

1999年7月 九州大学先端科学技術共同研究センター教授（副センター長）

2003年4月 九州大学知的財産本部アドバイザー（～2015年3月）

2003年4月 中国上海交通大学客座教授（～2006年3月）

2003年4月 福岡県中小企業振興センター特定相談員（現任）

2003年6月 九州電力株式会社総合研究所顧問（～2010年3月）

2009年11月 福岡大学研究推進部客員教授（現任）

2015年4月 九州大学学術研究・産学官連携本部アドバイザー（現任）



表彰・褒章

1975年11月 工業技術院長賞（工業技術院25周年記念表彰）  
1988年4月 第47回注目発明（科学技術庁）（特許第1585022号）  
1989年4月 第48回注目発明（科学技術庁）（特許第1692946号）  
1992年4月 第51回注目発明（科学技術庁）（特許第1740014号）

2006年5月 日本セラミックス協会功労賞

2009年11月 秋の叙勲：瑞宝中綬章

主な研究課題 風化花崗岩の性状と工業利用、火山噴出物（シラス）の有効利用、  
低品位天草陶石の有効利用、  
産学連携による新産業の創出と地域振興システム

著 書（分担執筆）3編、学術論文 100報、特許取得 60件、その他

|                |
|----------------|
| 受理日：2016年3月23日 |
|----------------|