

シラスとその繊維

井本立也*

南九州一円に広く堆積するシラスはこれまで住民の邪魔物でしかなかった。そのシラスを工業的に利用する試みは、これまで数多く行なわれてきている。その中で、シラスを主原料とする耐アルカリ性ガラス繊維の開発は、いよいよ工場生産されるにいたった。これらのいきさつについて、紹介することにする。

1. シラス

日本語でシラスといえば、3つある。一つは小さな魚、関西では「ちりめんじゃこ」とよぶもの。2つには、うなぎの稚魚。そして最後はここにとりあげる白色砂状の火山噴出物である。もっとも、しいていえば、たとえば遠山の金さんのお白洲もある。この火山からでたシラスはむろん俗語だが学術語としても使われる。



図1 南九州地区シラス分布

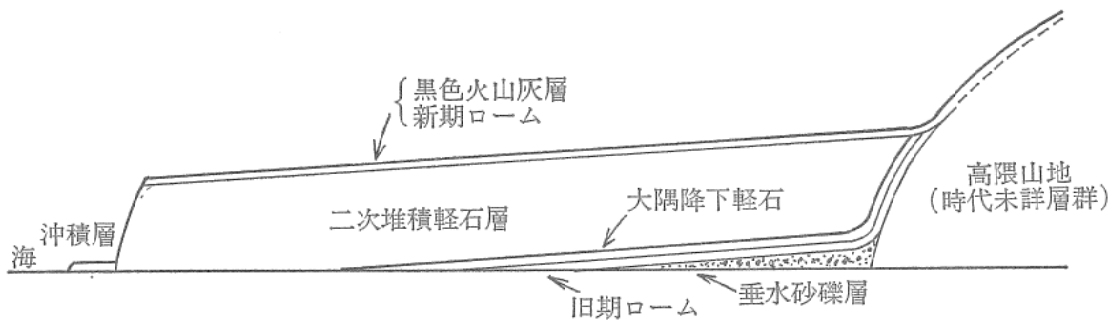


図2 垂水台地模式断面図

* 井本立也 (Tatsuya IMOTO), 日本パルカー工業(株), 常務取締役, 工学博士, レオロジー, 反応工学

英語で書いても SHIRASU である。

さて鹿児島ではシラスをつぎのように定義している¹⁾。「南九州に広く分布する軽石流（軽石凝灰角礫岩）、降下軽石層およびこれらの二次堆積層で、第3紀末から第4紀にかけて、始良火山と阿多火山などから噴出したもの」。これには若干の説明が必要だろう。

まず軽石流。これは「岩漿（magma）が高熱のまま火口から放出される場合、多量のガスと混じって、高速度で斜面を流下するので、岩漿の細粉は上昇ガスとともに渦を生じ、一種のエマルジョンの状態をつくる。遠方からは雲が流下するように見えるので“熱雲”とよばれる²⁾。降下軽石はむろん火口から飛上ってから降ってきたもの。二次堆積は後世に河川その他で下流に流され堆積したものであろう。

始良火山は現在の鹿児島湾の桜島以北、阿多火山は同じく南部にあったもの（図1）で、噴火ののちカルデラとして陥没し、湾となっている。つまり、いまの薩摩・大隅の両半島は往昔の外輪山にあたる。なお桜島は、ずっと後世に出現したものらしい。

今日南九州におけるシラスの推定堆積量は約3000億トンに及び、うち鹿児島県本土面積の約50%（海拔300m以下の地表なら80%以上）、宮崎県面積の約20%を、おおっている³⁾。そのシラス層の厚みはむろん場所によって異なるが、大体数十m、最高で150mといわれている。図2⁴⁾に、垂水市付近の模式断面図をしめす。二次堆積軽石層としめしてあるところがシラス層である。

その上に、黒色火山灰層とあるのは、鹿児島で“ボラ層”あるいは“コラ層”と称せられるものだが、これは桜島や霧島火山の噴火にともなう降下軽石の堆積層である。

シラスの化学成分を表1、鉱物成分を表2にしめす。これからシラスの大部分が非晶質のガラスであり、またかなりの鉄分を含有していることがわかる。

2. シラスの社会的影響

まず表3をみられたい。これはほんの一地点の粒度分析にすぎないが、10メッシュより粒の

表1 シラスの化学組成¹⁾ (wt%)

成分	産地	吉田町	垂水市	志布志町	枕崎市
SiO ₂		73.01	71.34	70.82	72.54
TiO ₂		0.15	0.20	0.24	0.28
Al ₂ O ₃		12.84	13.62	14.02	12.56
Fe ₂ O ₃		0.03	0.61	0.95	} 2.03
FeO		1.56	1.29	1.40	
MnO		0.08	0.08	0.07	0.08
MgO		0.44	0.46	0.52	0.48
CaO		1.92	1.80	1.90	1.96
Na ₂ O		3.80	3.26	3.30	3.30
K ₂ O		3.17	2.34	2.90	2.54
P ₂ O ₅		0.24	0.19	0.05	0.02
H ₂ O(+)		2.09	3.66	3.64	2.60
H ₂ O(-)		0.56	0.97	0.96	0.36
Total		99.89	99.82	100.77	99.75

表2 鉱物成分¹³⁾ (wt%)

	鹿児島県 田上	東市来町 江口の浦
ガラス	78.24	77.18
斜長石・石英	20.04	20.23
紫蘇輝石	1.38	1.39
普通輝石	0.005	0.10
角閃石	0.057	0.17
磁鉄鉱	0.315	0.36

表3 シラス（軽石流発泡部）の粒度組成
〔鹿児島市草牟田町電停協採取¹⁴⁾〕

粒度 (メッシュ)	10 メッシュ 残	10	40	60	80	100	150	200	250	300	10 メッシュ 通過 分計
%	27.5	26.4	10.2	1.7	8.3	12.1	2.9	1.9	3.7	4.9	72.5

大きいものが27.5%。40メッシュ以下では約54%をしめている。ということは、シラス層がいかにか水の通過性が大きいかを示している。

水がよく通るということは、つまりは田畑の漏水過多（これは米作の場合、いわゆる「秋落ち現象」といわれるもので、米作不適となる）および、豪雨時の浸食とがけなどの崩壊、ひいては山津波を意味している。この災害は大なり小なり毎年おこっており、死傷者を出している。

昭和13年10月15日の大隅地方では、死者行方不明あわせて454名という大災害が生じた⁴⁾。

また昭和52年6月には鹿児島市内で豪雨のため山崩れがあり、民家15軒が埋まり、14人が死亡、崖下の日豊本線と国道10号線は復旧に約10日間を要した。

豪雨だけではない。地震でもくずれる。昭和36年2月の日向灘地震では震度4の垂水・志布志地区で、崖に平行して地割れをして崩れ、昭和43年2月のえびの地震でも、あちこちで山崩れをおこし大災害となった⁴⁾。

このような災害のほかに、上にふれた米作不適も大きな社会的影響を与えてきた。幕藩時代において、米作が僅少であることは、藩財政窮乏につながる。島津藩が鎖国の禁をおかして密貿易を行ってきたのは、そのためであろうし、幕末にいたって、外国の文化と工業とを、いち早く輸入し、製鉄・紡績を中心とする原初的コンビナートを建設したのも、そのまたの結果であった。さらにその文化にともなう外国事情の情報輸入は、明治維新の原動力になっていった。

いささか「風が吹けば桶屋がもうかる」のたぐいめいているが、しかしシラスが近代国家成立の一因となったことは、とにかく興味のあることである。

それはともかく、これらからして、シラスは鹿児島にとって、県民にとって大きな邪魔物である。このシラスを何とか逆に利用する方法はないものか、という動きがおこるのも必然である、そしてそれは戦後のことであった。

3. シラスの工業的利用

シラスを工業的に利用する研究は、ほとんどが鹿児島大学(鹿大)、鹿児島県工業試験場(鹿工試)および九州工業技術試験所(九工試)で行なわれてきている。以下その主なものを簡略紹介しておこう。

鹿大。まず昭和26年ごろ、福島らはシラス中の軽石を軽量骨材として利用する研究を完成し、その後最盛期には2~3万トン/月も使用された。現在は1万トン/月ぐらいらしい¹¹⁾。また島田ら⁶⁾は昭和40年以降、主として建材への利用を研究し、シラスを主原料とし、セメン

トや石灰その他無機資源を混和した各種の焼結体、とくに白色タイルの試作を行ない、さらにシラス窒化物の研究をつづけている。

竹下ら⁵⁾も同じ頃から、シラスを各種プラスチックに混入した軽量化強化複合材料を試作するとともに、建材としてエポキシシラスバルーンモルタルの開発を行ってきている。

一方隅元ら⁷⁾はシラスゼオライトの合成を行ない、吸着・汚過剤としての利用をまとめあげている。

九工試。ここでの研究は本年初頭に総合的に発表された¹¹⁾。まずシラスバルーンは、最高1000℃までシラス微粉を加熱することによって得られる中空ガラス微少球であるが、この製法、プロセスおよび利用についての研究はほとんどこの九工試で行なわれたとって過言でない。このバルーンは昭和52年に520トンも生産され、軽量骨材として利用されたが、輸送費の関係で、パーライトのような競合品に押され、最近では若干生産減となっている。

しかし、九工試ではこのバルーンをアルミニウムのような低融点金属溶融体中に分散させ、冷却固化した複合材を開発した。shirasu-balloon-aluminium-compositeの頭文字をとったSBACは軽量不燃の建材として将来性があるものといえよう。

またシラスの結晶質部分の微粉とアルミニウム粉とを窒素気流中で1400~1500℃で5~10時間焼結反応させたのち、さらに1600℃に再焼結すると、超耐熱材料としてのサイアロン(Si-Al-O-N)ができ上る。世界的なサイアロンブーム¹⁷⁾の中で、特長ある存在であろう。

一方、シラスを作用するガラス繊維の製造研究も大々的に行なわれた。九工試では、酸化亜鉛ないし酸化ジルコニウムを添加して、耐アルカリ性を向上させるというもので、後述の鹿工試のシラス繊維とことになっている。

鹿工試、図3参照¹⁰⁾。昭和26年以来、野元堅一郎(元場長)、藺田徳行ら⁸⁾⁹⁾により、シラスを原料とする赤レンガ、シラスタイル、シラスガラス製品、シラス繊維など他種にわたる応用製品が試作されてきている。このうち、シラス繊維は、シラスにドロマイト($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$)

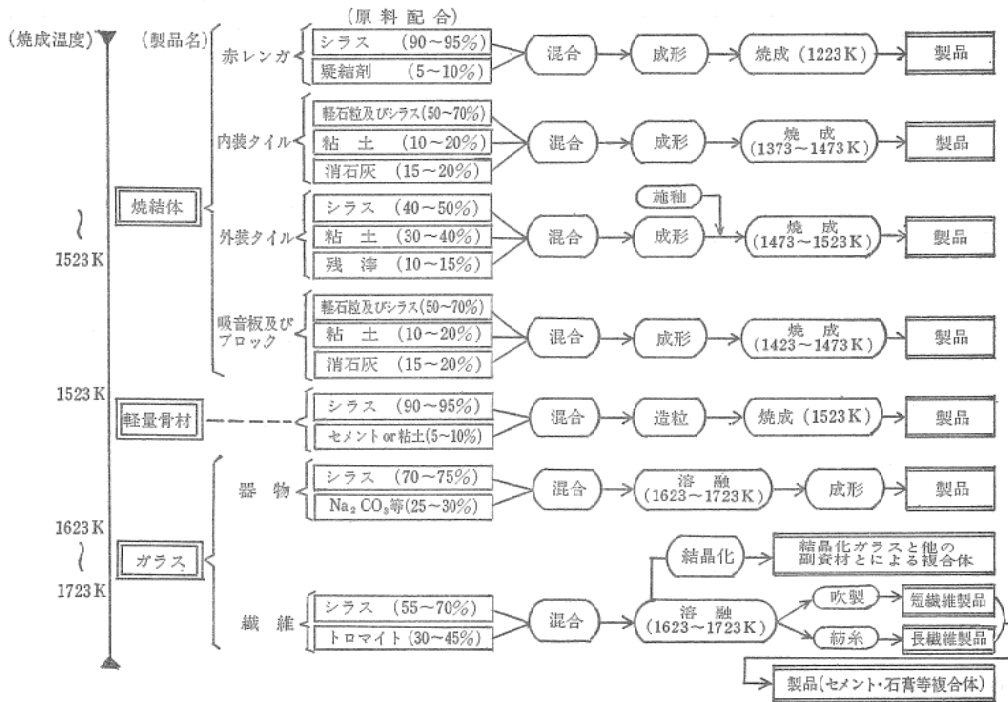


図3 鹿工試におけるシリカ利用¹⁰⁾

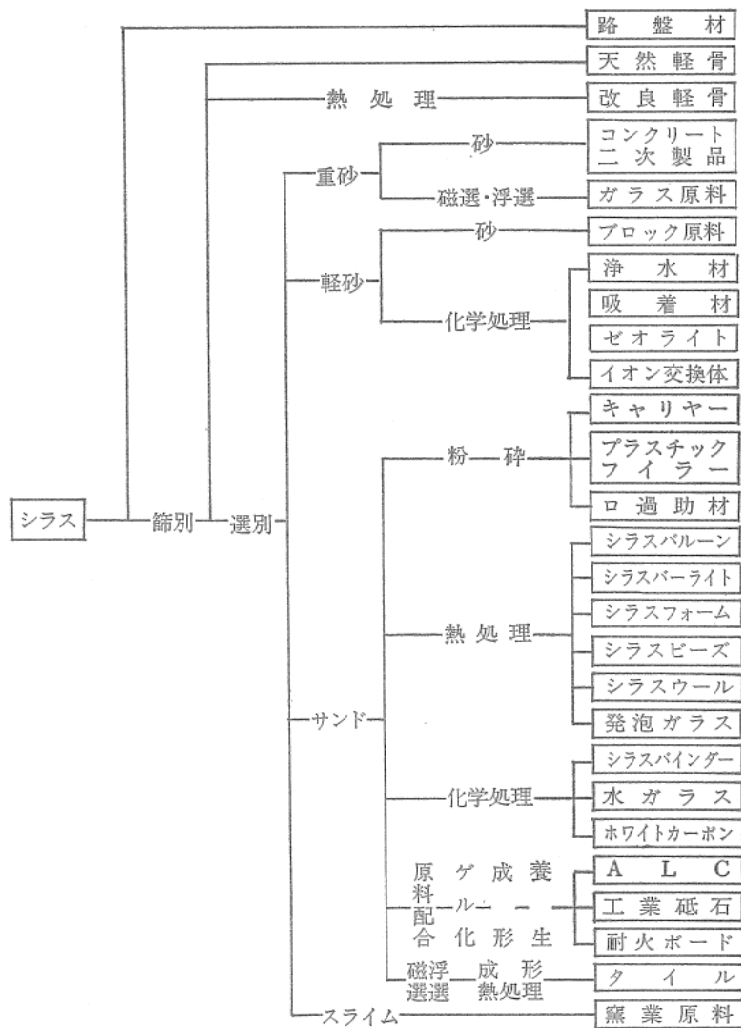


図4 シリカの工業利用¹¹⁾

を適量加えて熔融紡糸することにより、耐熱耐アルカリ性繊維となることが明らかとなり、日本特許633210号となっている。

以上のほか、大阪工業技術試験所の上野 力氏はシラス粉に廃油薬あるいは適当な発泡剤を加えて焼結し、ひじょうに軽い結晶化発泡ガラスを試作している。またシラス粉をガラスの研磨材に使うところまでできているようである。

これらを総合すると、図4のように工業利用用途を整理することができる。その詳細はここには省略させて頂く。

4. シラス繊維の製造

上述の鹿工試の特許の実施権を得た当社は、その後新技术開発事業団より開発委託を受けることとなり、昭和50年当初より開発にかかった。この委託は短繊維のウールを製造するものであったが、昭和52年末に同事業団より成功認定をうけた。

しかし短繊維の用途が予期に反して僅少であることから、長繊維の開発に移行し、本年春にいたり、漸くその発売に漕ぎつけるにいたった。この商品名を「ミネロン」という。

この長・短両繊維の製造のフローシートは図5のごとくである。

まず各種粉体原料を連続的に秤量混合し、熔融炉に投入する。この炉は連続式電気炉である。つまり熔融ガラスが電気伝導性を有し、かつジュール熱のみずから発熱することを利用するわけである。重油燃焼炉の熱効率が6~8%であるのに比し、電気炉は設計および規模により異なるが20~35%の効率をもち有利であるからである。

熔融ガラスを数mm径の孔から流下させ、これに1~2マッハの空気流をあてると、ちりちり

になって短繊維となる。これを空気吹製とよぶが、われわれの経験では平均繊維径8 μ m以下のものをつくるのが難しかった。そのため空気のかわりに、火焰を吹きつける、いわゆる火焰吹製法を用いた。これにより平均繊維径を3 μ m以下にすることができた。ただしこの場合は熔融ガラス流にあてるのではなく、一たん冷却した細棒に火焰を吹きつける。それだけ熱的に不利であり、コスト高となる。

一方長繊維の場合は、熔融ガラスの温度を±5℃の範囲内に調節しつつ、やはり2mm径程度の細孔から流出せしめ、これを急速に冷却してつくる。その際冷却と同時に集束剤をロールで塗布しつつ、ワインダーで巻きとる。この細孔はふつう204ケの倍数だけあり、白金—ロジウム板にとりつけられている。だからこれらを一本のストランドにするためには、集束剤(ポリマーのエマルジョン)を塗布する必要がある。さらにまた巻きとったケーキは、あと乾燥炉で水分を蒸発させ、ポリマーをキュアする。そのあと、ストランドをさらに合糸して巻き直しロービングにしたり、あるいは適当長に切断してチョップド・ストランドにしている。

長繊維の径は、細孔径、流出流量、温度、捲取速度(1500~4000m/min)などによって異なり、ふつう12~18 μ mであるが、操作条件がきまれば、ほぼ一定値をとる。

ところで細孔内を熔融ガラスが流動するときは大ざっぱながらハーゲン・ポアズイユの式に従う。もっとも同式に出てくる孔径の4乗に流量が比例するという点で、4乗ではなくも少し小さい値になるともいわれている。

それはとにかくとして、この細孔内流動の際のガラス熔融体の粘性係数は10⁸ポイズが最適とされている。そのときの温度が紡糸温度なの

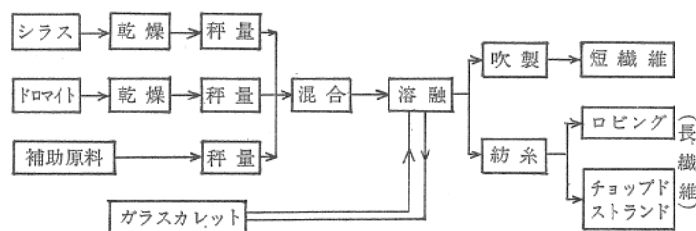


図5 「ミネロン」製造フローシート

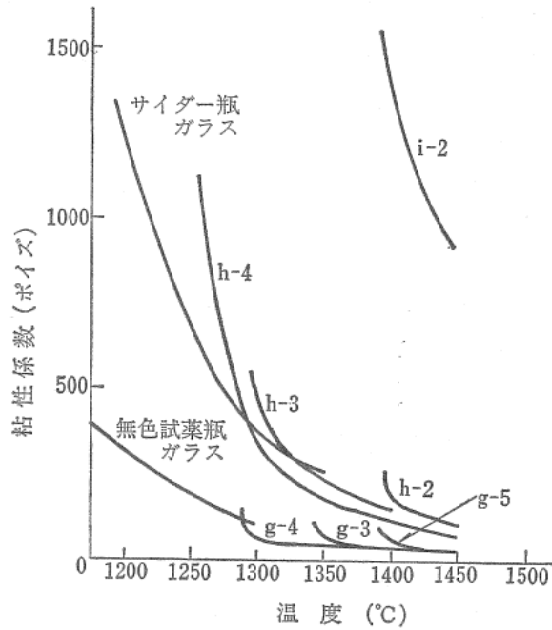


図6 下記組成の各種ガラス熔融体の粘性係数と温度との関係⁸⁾

	CaO	MgO	SiO ₂
g-3	20	20	60
g-4	30	10	60
g-5	40	0	60
h-2	10	20	70
h-3	15	15	70
h-4	20	10	70
i-2	10	10	80

であるが、熔融温度との関係が操業上とくに重要である。シラスにドロマイトだけを加えた場合の両者の関係を図6にしめす。むろん、組成によって、この粘度—温度曲線が変るが、図の中ではh-3あるいはh-4の組成が操作しやすいものである。

またガラスは熔融したまま放置すると結晶化し、いわゆる失透する。結晶化がおこれば吹製も紡糸もできない。この失透のおこる最高温度を液相温度というが、つまり長繊維では液相温度と紡糸温度との間隔が広いほど紡糸しやすいことになる。これを目安として、ガラス組成を決定してゆくわけであり、したがってまた、そのためには、図5に記入したように、何らかの補助原料が必要となってくるわけである。

5. シラス繊維の性質

真比重、長短により組成を異にするため、

265~278の間となる。

引張強さ。まず短繊維の単繊維の引張強さは繊維径にほぼ反比例するが、3μmの場合、大体300 kg/mm²である。長の単繊維は、短よりも強く350 kg/mm²ぐらいである。しかし集束したものは弱く100 kg/mm²ほどになる。

ヤング率。長短ともにほぼ7000 kg/mm²。耐熱性。h-3やh-4組成の短繊維は800°C付近まで加熱されると、徐々に透輝石(diopside, CaO・MgO・2SiO₂)結晶が生成する。その結晶ができたものの性質を表4にしめすが、結晶

表4 透輝石焼結体のおもな性質⁸⁾

	900°C 焼結	1000°C 焼結
焼成収縮率 %	5.0	5.3
吸水率 %	0.1	0.07
圧縮強さ kg/cm ²	1320	1580
表面硬度(モース)	7~8	7~8
曲げ強度 kg/cm ²	300	450

化にともない硬くなる。しかも透輝石の融点はほぼ1200°Cであるから、それまでは繊維の形を保持する。その意味では耐熱性があるといえる。しかし強度は落ちる。もっとも強度がおちても、伝熱性が低いから耐火材として、ゆうに役立つ。

また長繊維(ミネロンL)は透輝石結晶を発生しないが、それでも表5にみるように、ふつうのガラスよりは耐熱性が高い。

表5 耐熱性

種類	安全使用温度限界°C	最高使用温度限界°C
ガラスウール	350	400
石綿	450	500
ミネロンL	600	700
ロックウール	600	720
ミネロンS	900	1200
セラミックファイバー	1000	1250

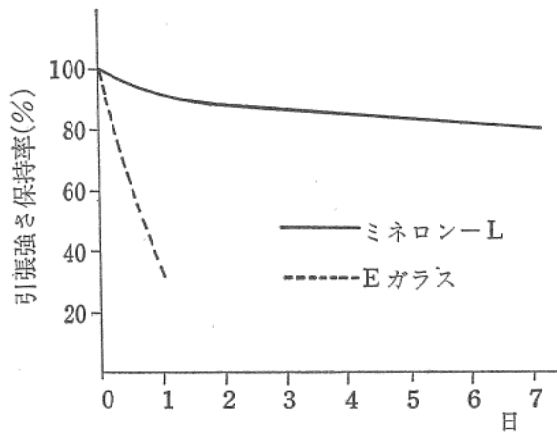


図7 80°Cのセメント上澄液(普通ポルトランドセメント1kgに水4ℓを加えた上澄液 pH=12)に浸漬したものの強度劣化

耐アルカリ性. シラス繊維の特長は耐アルカリ性にある. 図7にその一実験例をしめす. ふつうのEガラス繊維にくらべて, はるかにすぐれている. このことは, この繊維がいわゆる GR C¹⁵⁾ (glassfiber reinforced concrete) に使えることをしめしている.

6. シラス繊維の用途¹²⁾

当社がシラス繊維の開発にふみきった最大の動機は, これを石綿の代替物にすることにあつ

表6 「ミネロン」の形状と用途

◇ 短繊維

形状: 層状綿, 充填綿, ブランケット, ストリップ, フェルト, ウェットフェルト紙, 成形品, 紡織品, etc.

用途: 断熱材, 耐火被覆, ガス沔過材, パッキング材, シール材, 吸音材, 保冷材, 充填材, ダクトや湯道の内張, 触媒担体, ライニング, etc.

◇ 長繊維

形状: ロービング (hard type, soft type) chopped strand (" ")

用途: GRC 製品各種 (混合成形法に問題がある) 抄造品各種, スレート, ガラスペーパー, パルプセメント板, 石膏ボード, ケイカル板, モルタル用ドライミックス, etc.

た. 周知のように, 石綿はそのすぐれた耐薬品耐熱性のために, 広範囲の独占的用途を有してはいるが, 最近の値上りと環境規制(わが国では特定化学物質等障害予防規則——いわゆる特化則)のため, 早晚代替物にとってかわられてゆく命運にある.

このことを逆からみれば, このシラス繊維はこれまでの石綿と同じ用途をもつことになる. 表6にその主な用途をかかげる.

しかし, まだテスト販売に入ったところなので, 今後どの用途が本命になるのかは, わかっていない.

そして爾今, 大方のご指導やご叱正を得, ますます高品位で広範囲利用のものに, 発展していくことを望んでいる次第である.

文 献

- 1) 鹿児島県企画部, 「シラスの地質学的分類」(1967年3月); 「シラスについて」(1964).
- 2) 波多江信廣, 「シラスについて」.
- 3) 日本産業技術振興協会, 技術資料, No.79, 「シラスパルーン応用開発成果発表会資料」(1974. 12. 5).
- 4) 上田通夫, 鹿児島大学工学部研究報告, No.11, 17; No.13, 81 (1971); No.14, 47 (1972).
- 5) 竹下寿雄ほか, 同上, No. 5, 103 (1965); No. 6, 61 (1966); No.11, 1 (1969); No. 12, 9 (1970); No.13, 61 (1971).
- 6) 島田欣二ほか, 同上, No. 7, 29, 39, 44 (1967); No. 9, 33, 37 (1968); No. 10, 33 (1968); No. 11, 7 (1969); No. 12, 5 (1970); No. 13, 51 (1971); No. 14, 55 (1972); No. 15, 53 (1973).
- 7) 隈元実忠ほか, 同上, No.16, 59 (1974).
- 8) 野元堅一郎, 藺田徳幸ほか, 鹿工試報, No. 14, 51 (1968); No.15, 1 (1969); No. 19, 89 (1972); No. 21, 21, 24 (1974).
- 9) 野元堅一郎, 九州鉱山学会誌, 35(1)85(1967); パルカーレビュー, 21 (1) 15 (1977).
- 10) 柳ヶ瀬勉, 金属学会報, 17 56 (1978).
- 11) 工業材料, 27, 86 (1979).
- 12) 井本立也, 工業材料, 24 (6) 55 (1976).
- 13) 種子田定勝, 九大理紀要, 地質, 6 (2) (1957).
- 14) A. J. Majumdar, J. F. Ryder, J. Glass Tech., 9 (3) 78 (1968).
- 15) A. Neville "Fiber Reinforced Cement & Concrete" (The Construction Press, 1975).
- 16) 井本立也, パルカーレビュー, 19(9) 1 (1975); 20 (1) 2 (1976); 20 (11) 5 (1976).
- 17) 日経メカニカル, 4月30日号, 76 (1979).