

ガラス用珪砂の現状と将来

The Present State and Future of Glass Sand

遠 藤 孝 恵*

Takayoshi Endo

1. まえがき

今回シリーズ特集〔明日を支える資源(12)〕として表題のテーマによる執筆のご依頼を受けたが困ったことが一つある。それは資源としての〔珪砂〕と〔ガラス用珪砂〕との区分けにあった。そこで主成分である珪酸分(SiO_2)の純度により区分せざるを得ないと考え、一般的に言う〔珪砂〕は法定鉱物としての(SiO_2)70%以上とし〔ガラス用珪砂〕は精製工程を経ても良く(SiO_2)95%以上のものを指すことと定義した。

2. ガラス用珪砂の資源と生産の現状

2.1 資源

ガラス用珪砂の資源について大別すると石英(SiO_2)の結晶細粒である天然珪砂と珪石を粉砕して砂粒状にした人造(粉砕)珪砂に分けられる。天然珪砂を更に細分すると海浜または砂丘に堆積している石英の丸い粒子からなる海岸砂と花崗岩の風化した地域に沈積した粘土質砂岩から得られる水洗珪砂とがある。

国内における天然珪砂としては山形県の遅谷珪砂、最上珪砂、福島県の相馬珪砂、愛知県の陣屋珪砂、大畑珪砂、岐阜県の土岐珪砂、原珪砂、島根県の温泉津珪砂が挙げられ特に愛知県の陣屋珪砂、大畑珪砂が「ガラス用珪砂」の大きな資源とされている。次に人造(粉砕)珪砂としては静岡県の珪化岩を粉砕加工した宇久須珪砂がある。

一方海外資源としてオーストラリアのケープフラタリー珪砂、フリーマントル珪砂、韓国珪砂、中国珪砂、マレーシアのサラワク珪砂、ブルネイのブルネイ珪砂があり殆んどが天然珪砂の海岸砂である。資源的には非常に大きくケープフラタリー珪砂がその中で1番の出産量をはこっている。

表1 珪砂の用途別使用量

用途	昭和40年	昭和45年	昭和50年	昭和58年
板ガラス	820千t	1,192千t	993千t	1,150千t
ガラス製品	690	1,090	1,319	1,860
合計	1,510	2,282	2,312	3,010

2.2 生産の現状

(1) 生産量

珪砂生産量は略消費量に等しいので表1に示す。

板ガラス用としては消費量に波はあるものの近年8年間で20%の伸び率であり年間伸び率は2~3%である。これに比しガラス製品は、板ガラス同様な基準で見ると8年間で40%の伸び率であり年間になると5%の伸び率で板ガラスに比し約2倍の伸びを示している。これは住宅に関連する要素を持つ板ガラスとOA機器等の要素を持つガラス製品との需要差が影響されたものと考えられる。

(2) 生産工程

国内に於ける天然珪砂は主として花崗岩の風化による粘土質砂岩から精製する水洗珪砂であるため生産工程は複雑である。代表的な生産工程は、採掘原鉱を水で攪拌、水洗して粘土を除去する。除去した粘土はフィルタープレスで脱水し水簾粘土として回収する。一方珪砂の方は湿式回転篩にかけ、その篩上品はコンカルミルで粉砕し振動篩で篩分けを行い篩下品は次工程へ、篩上品はコンカルミルへ戻し再粉砕をし振動篩で再度篩分けを行う。言いかえるとコンカルミルと振動篩との閉回路工程で粉砕・整粒される。整粒された珪砂は、テーブル選鉱機又は湿式磁選機を通して含鉄鉱物を除去して製品となる。先の粘土を除去した湿式回転篩の篩下品はテーブル選鉱機又は湿式磁選機を通して含鉄鉱物を除去して製品とする。又この製品を更にロータリードライヤーで乾燥し、さらにチューブミルで粉砕し袋詰めとしてガラス用細粉を作る生産工程もある。図-1は資源も豊富な愛知県瀬戸市陣屋地区の

* 東海工業株 参与・工務部長

〒100 東京都千代田区丸の内1-4-2 東銀ビル12F

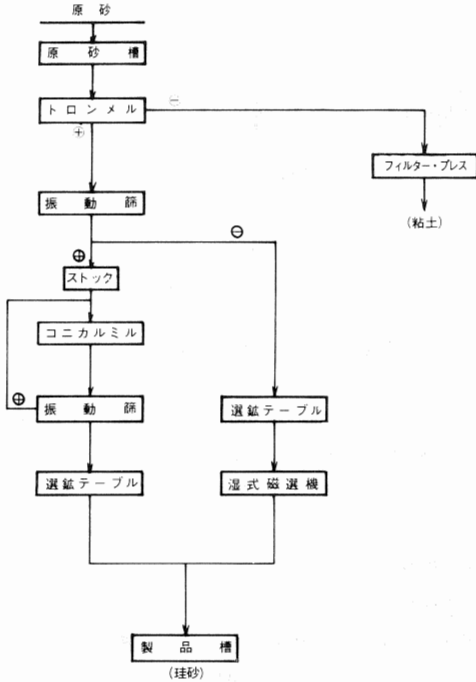


図-1 陣屋珪砂A社工程図

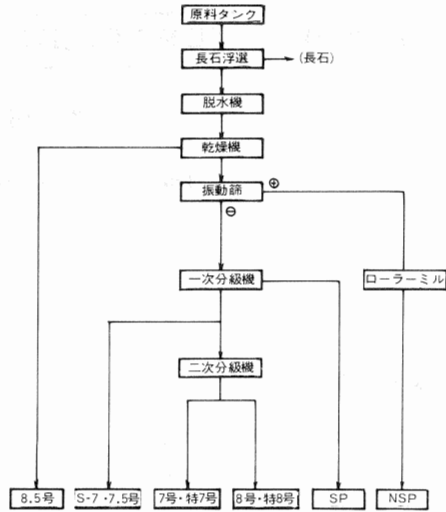


図-3 大畑乾燥珪砂工程図

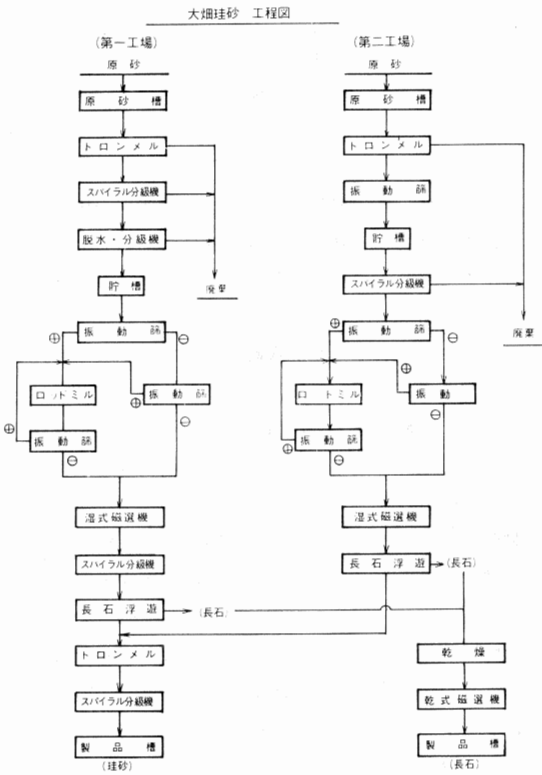


図-2 大畑珪砂工程図

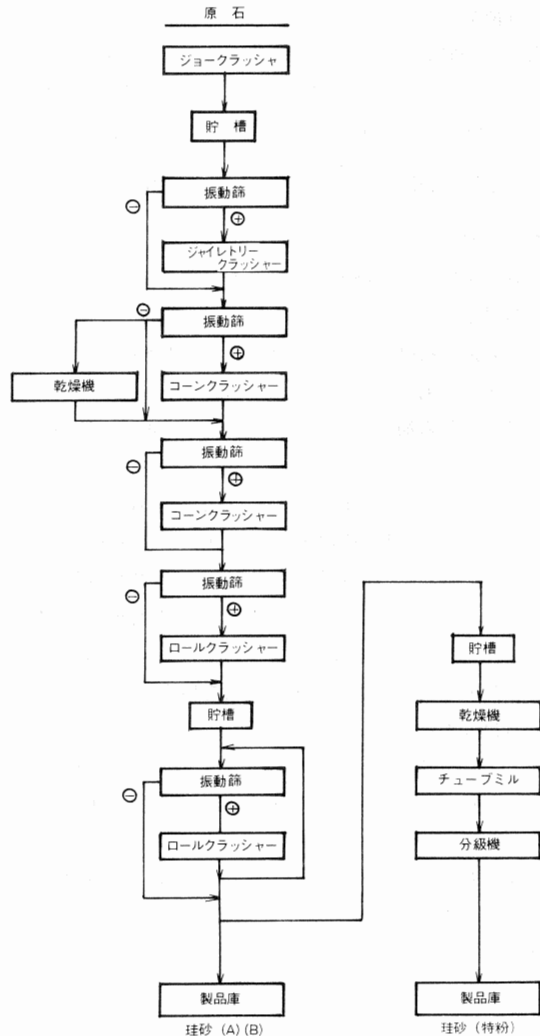


図-4 伊豆珪砂工程図

原鉱を使用したA社の生産工程図である。採掘原鉱は粘土層とレキ層をはさんで高品位珪砂層が2層になったものである。特に回収された粘土は陶磁器用として活用されている外にレキはバラスとして建材用に利用されている。珪砂は原鉱当りに換算すると50%前後である。図-2、-3は浮遊選鉱を生産工程に取り入れた東海工業名古屋事業所の工程図と乾燥珪砂工程図である。採掘原鉱は石英のほか長石、雲母、粘土及びイルメナイト等の含鉄鉱物を含有している。そのため生産工程は、さきの陣屋珪砂生産工程より複雑であるが整粒までは殆んど同一な工程である。含鉄鉱物の除去は湿式磁選機により、残った石英、長石を浮遊選鉱により分離し、より高品位珪砂の生産を行っている。

又併用して出来る長石の活用もあり、更に乾燥する生産工程を持ちガラス製品の生産も併用出来る態勢をととのえている。珪砂は原鉱当りに換算すると50%+で陣屋珪砂と略同様である。つぎに人造(粉碎)珪砂の生産工程は一般的に珪石を乾式で粉碎して整粒するもので図-4で示す。珪石であるため品質はすでに「ガ

表2 珪砂中のFe₂O₃許容限度

ガラスの種類	Fe ₂ O ₃ の許容限度
窓ガラス一般ガラス器具	0.1 %
光学ガラス・クリスタルガラス	0.001
食卓用ガラス	0.02
鏡板ガラス・厚板磨ガラス	0.06
殺菌灯・紫外線透過ガラス	0.001
白ビンガラス	0.05
色ビンガラス	0.02

ラス用珪砂」のもので粉碎・整粒のみの単純生産工程である。たゞし塊状の原鉱のため粉碎工程が粗粉碎中砕と細粉碎と順次行われる。終りに海外珪砂は天然珪砂の海岸砂であるため生産工程は整粒と脱鉄工程と言う1番シンプルな生産工程で珪砂が生産される。

3. 品質

ガラス用珪砂は主成分のSiO₂の他にAl₂O₃, Fe₂O₃, K₂O, Na₂O, CaO, MgO, TiO₂等の成分を含有している。特にFe₂O₃はガラスを着色させるため表2に

表3 珪砂品位一覧表

品名	粒度	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O + K ₂ O	用途
陣屋珪砂	500μ以下	97.0%	1.9%	0.09%	1.0%	板ガラス・一般ガラス
大畑珪砂	500μ以下	98.5	0.5	0.04	0.2	板ガラス・高級ガラス
大畑乾燥珪砂7号	200~75μ	99.0	0.4	0.04	0.2	特殊ガラス
“ 特7号	“	99.0	0.2	0.025	0.1	“
“ 7.5号	“	99.0	0.3	0.04	0.2	“
“ 8号	100~60μ	99.0	0.3	0.04	0.2	“
“ 特8号	“	99.0	0.2	0.02	0.1	“
“ NSP	100μ以下	99.0	0.4	0.04	0.2	“
“ S-7	200~75μ	99.0	0.2	0.02	0.1	“
大畑珪砂GW	500μ以下	95.0	2.2	0.04	2.0	一般ガラス
伊豆珪砂(A)	840μ以下	97.0	1.2	0.09		板ガラス・一般ガラス
“ (B)	“	95.0	2.0	0.15		一般ガラス
“ (特粉)	44μ以下	97.0	1.2	0.09		特殊ガラス
温泉津珪砂	840μ以下	95.0	2.8	0.2	1.9	一般ガラス

表4 海外天然珪砂品位

成分	ケープフラタリー珪砂	フリーマントル珪砂	サラワク珪砂
SiO ₂	99.9 %	99.6 %	99.8 %
Al ₂ O ₃	0.04	0.18	0.06
Fe ₂ O ₃	0.01	0.02	0.01
CaO	0.01	0.04	—
MgO	0.01	0.01	—
Ig. loss.	0.08	0.25	0.11

表5 海外天然珪砂粒度

粒度	ケープフラタリー珪砂	フリーマントル珪砂	サラワク珪砂
+500 μ	3.0%	45.0%	— %
~297	10.0	37.8	3.4
~210	28.0	13.6	26.8
~105	58.0	3.6	58.6
~105	1.0	0	11.2

示す様に用途に応じて珪砂中の Fe_2O_3 の許容限度が異なっている。従って前述の生産工程より得られたガラス用珪砂一覧表を表3で示す。

一方海外天然珪砂の品質を表4、表5に示す。国内珪砂に比して良質である。

4. 操業概説

ガラス用珪砂が「鉱山」から製品になるまでの操業を課題を含めて概説したい。国内の「鉱山」は表土、珪砂、粘土、珪砂と言う様な順序で構成され珪砂層は2～3層である。層の厚さは30m程度の所が多く層内でも場所により純度が異なって存在している。「鉱山」は鉱物であるので鉱山保安法にのっとり通商産業省鉱山保安監督部の監督下にあり指導・指示に従って採掘しているため、世間的に乱掘と言われる採掘は実施していない。次に採掘法であるが殆んどが露天階段採掘法のトラック運搬方式による採掘操業で行われているが、出鉱量も多く階段ベンチ巾も使用重機の大型化で広がって来ている。それに伴ない表土の排土・粘土の採掘も逐次多量に採掘されて来ている。従って採掘としては開発と出鉱のバランスを考慮した方式を取ることが急務である。どちらかと言うと開発計画が出鉱計画より早目早目に進んでいけば問題も少ないのであるがその様なゆとりのある計画はなかなか難しく少し早めるのが精一杯である。ひとたび計画が遅れはじめると「鉱山」は資源はあっても予定の出鉱量の採掘は出来ない状況となり、当然のことながら予定採掘コストは達成出来ない。これの要因としては採掘跡地への埋戻し計画が誤ったか予定に対する量の違いによるものである。この様に「鉱山」を採掘するに当っては開発・出鉱がいかに関連があり、どちらか1つに問題が生じても大事に到るので常に配慮している。

一方採掘場は広範囲の面積が開発されているが雨水の処理が問題になる。採掘場には必ず沈砂池がありそこで処理して排水しているのが現状で排水には排水基準があり、PH、S.S(汚濁物質質量)が規制されている。従って沈砂池は採掘規模に応じた容積がないと必ずいずれかの規制基準値を越えてしまう。そこで現実には切羽内に排水路を設けそれを集約した沈砂池に導入して常時監視管理している。そうすれば雨期又は一時的な豪雨に対しても排水路を経て沈砂池に入り切羽の崩壊の防止も出来、後々の作業にも支障をきたすことがない。要は常日頃から保安の遵守をすればいかなる対応にも応じられる態勢は出来ると考えている。特

に記したい問題として挙げたいのは採掘跡地対策である。やはり掘った跡地は排土で埋戻しを行い、平坦にし植樹・植草をして自然に戻すようにする。即ち結果は自然崩壊につながる様な環境にすることは出来ないし、採掘跡地は当初開発時から利用の計画を持つことが必要である。

次に運搬については、採掘場から工場へ、工場から製品出荷する二つの方式がある。ここでは前者を述べ、後者の方は生産工程を経て出来る製品の運搬であるので工程の所で述べたい。採掘場は一般に人家の少ない土地にあるが工場周辺になると人家も多くなり道路も略完備されて来た。従って公害問題の解決が急務である。運搬は殆んどがダンプトラックによる運搬のため次の諸点が挙げられる。

- a. 積荷の過載
- b. スピード違反
- c. 騒音

過載については指導の下に殆んど少なくなった。その外にシート掛けの完全実施等行っている。原砂運搬時によく道路にこぼしているのが見られる特にカーブの所に目立って多い。これは過載が主原因であり、採掘重機(ショベルローダー)の大型化に起因するのではないかと考えている。次にスピード違反であるが作業上採掘は昼間のみ、工場操業は最高24時間作業が可能であるため、その使用量を確保するため運搬回数の増加が余儀なくされこれに起因することが多い。ダンプトラックを増加させれば問題ないが運搬コストを考えると多少の無理が生じるためと考えている。終りに騒音の問題であるがこれは工場までの間一般道路を利用するとき生じることで特に不連続なダンプトラック運行によることが多い。即ちある時は一時的にダンプトラックが集約され運行し、ある時は殆んどが運行されない状況の繰返しとなるため人々に与える影響が多い。これの解消には時間調整をすることにより1時的な解消は出来るが本格的な対策にならない。

第3に生産操業に入るがここでの課題は次の点が挙げられる。

- a. 合理的工程改善
- b. 省エネ対策
- c. 騒音対策
- d. 輸送対策

合理的工程改善については工程のフローとしての複雑化生産量増加に伴う工程の複数化が主たる要因である。現状生産コストの増加は上述の2点につきると考

えて、それぞれの改善に珪砂生産業者が検討に検討を続けている。フローの複雑化はどの様な原砂にも対応出来る処理方式を樹てる基本概念に立ち、過剰とも思われる設備を設けている。常に次工程に送る品位を考慮しつつの事象であるが水の影響も大きく、全体的に結果は考えているものより悪い傾向になりがちである。併せて一つ一つの機械類への輸送はベルトコンベヤー・バケット・エレベーター又はサンドポンプ等で送っている。消耗度合の長所・短所を見て適切な配置はなされているが未だ充分とはいへきれない。次に複雑化は、生産技術の改善を取り入れず、同一課定をふまえ増設し生産量増加を計った。これは結果的には批判を受けるが、実績もあるフローであれば危険性を少なくする一論理であろう。次に省エネ対策で特に電気使用量、燃料にある。電気使用量は使用機器の種類により大差があるので充分考慮せねばならないが、水による作業のため主要動力の増加がそのまゝ製造コストにはねかえって来ている。燃料は使用量でありコストのはねかえりも電力同様である。この様に必要なものは不可欠であるが、一工夫あっても良いのではないか。

総括的見地に立てば一歩一歩省エネに対しての実施を心掛けなければいつまで経っても解決が出来ない現状である。従って管理を通して前向きに対応している。次の騒音対策であるが工場の立地により異なるが近年になって周辺の都市化の発展・工業団地の進出にあわせ工場の環境整備の強化が叫ばれて来た。発生源は各種使用の粉碎機であり、一般に規制値の低い環境に工場が立地されており、粉碎機を別棟にして防音施設をする様にして騒音を規制値に入れている。特に乾式粉碎工程を実施している工場では特に防音施設の強化した対応をしているのが現状である。終りに輸送対策であるが、工場は大半が内陸部にあるため、需要工場には陸上輸送又は海上輸送、陸上・海上の併用輸送を行っている。方式としてはダンプトラック・平ボティトラック・船の輸送であるが「鉱山」の採掘場の公害で述べた様に陸上輸送では同一の問題があり対策も更に湿式の生産工場では脱水を充分にすることで水の道路への撒きちらし、ダンプ全体のシート掛けでの粉じん飛散等の防止につとめている。輸送にはほかに大きな課題としてコストの削減であり、特に陸上輸送の対策が急務である。

品質について、品位成分では $\text{SiO}_2 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ は特に配慮せねばならないと説明したが、その他 Al_2O_3 も SiO_2 との関連で忘れられない成分でもある。こゝでは管理

面について現況の対応にふれてみたい。

通常・品位面では原砂品位の良し悪しに拘らず製品の標準品位を安定して作らなければならない。同時に品位のバラツキを小さくすることも必要である。これには原砂中に含まれる珪砂と付随する粘土の量比が常に異なるため水洗の管理を強化し分離効率を高めることによって、珪砂の純度を高め製品品位の安定をはかることである。バラツキ問題については一定給鉱をすることにより工程内物量が一定になりバラツキを小さくする。他方工程のチェック頻度を多くし得た結果を確認すると同時に結果にもとづく対応の処理を早くする様心掛けている。

5. 将来について

ガラス用として使用されている珪砂は、大半が国内珪砂でまかなわれているが、需要の伸びは従来の様な伸び率でゆくことはなく現状の横這い又は鈍化の傾向ではないかと推測される。その中であって需要と生産の間には買手市場の傾向にあり、特に最近貿易の自由化・円高により海外のガラス用珪砂もクローズアップされて来た。国内珪砂業者も世界に視野をひろげて対応しなければならぬ時期に来ているし、派生する諸問題の早期解決をする急務がある。

ここで悲観的にならず将来が明るい業界であるためには偏りにユーザー・ニーズにこたえられる製品を作ることが一番と考えている。それには具体的事項として次のことが挙げられる。

- a. コストの低減
- b. 品質管理の強化

この2点について概述する。

5.1 コストの低減

コストの低減は一ヶ所のみで低減で解決出来ることは既に解決されており、全工程で夫々低減しなければ目的の達成は望めまい。まず採掘出鉱作業工程でみると天然珪砂に付随して粘土があり、この利用は陶磁器又は耐火煉瓦用に供せられているが両業種共不況下にあり多くの期待は望めない。然らば他の業種の使用又は加工による開拓により販路拡大は計ることに努める。さすれば採掘時の横持ち数量減・開発費の削減につながる。たゞ一長一短があり、総ての「鉱山」には当てはまらないと思われるが試行錯誤を繰返して利用へつなげる努力が必要である。珪砂についても切羽内ブレンドを実施しどの層も不安なく出鉱出来る様な態勢にすれば可採掘量も増加しひいてはコストの低減につな

がる。他方採掘コストの大半は重機によるものと考え、消耗部品・修繕費の低減策をねる必要がある。例として材質の変更・アワーメーターの強制化・その他が挙げられる。採掘コストもこの様に一つ一つ解析することにより何分の低減も期待出来るようになる。

次に製造工程では、湿式を採用しているので水洗・分離・粉碎・整粒・脱鉄（精製）の5工程で形成されるが、こゝでは水を使用するため歩留にコストに影響する要因となる。水による分離には濃度管理が必要で濃度を高めると微細珪砂は粘土と一諸に流出し、歩留低下につながる。そのためにも原砂を定量供給し、水の流量も定量化すればこの問題は解決する。粉碎では過粉碎を防ぐため次工程の整粒（振動篩）効率が最適条件で作業している様給鉱することが必要である。又次工程移行時には必ず水を運ばない様にするのも一考である。次に工程の改善であるが現状把握なくして改善することは危険で完全に把握することが急務である。併せて改善提案も一つの施策として挙げられる。省エネについては現状の所で述べたが未だ工程内の輸送の方式の変更等日常気の付く箇所が多いので意欲的な取り組み方の徹底をはかることにつける。

終りに物流費の低減であるが一般には他業者との関連も含んでおり、一朝一夕にはいかないが運行の改善がコスト低減につながる。船による物流では需要家の港湾施設にマッチした積載量の船で運搬することにより低減出来る場合もある。

5.2 品質管理の強化

品質管理強化の目的としては製品の安定化をはかることによりユーザー、ニーズにこたえられる。

一方安定化をはかるための不可欠な管理手法でもある。このことにより工程の改善・提案も多く仕事への意欲的向上が望め更に人の協調性が出てくる。この様にして職場全体で一つの目的に向かって進めるので良いと考えているが短兵急な進め方は望ましくない。常に

5W2Hの繰返しにより、より高度な結果が得られる。残念な事ながら実体は未だの感もあり今後の期待をもちたい。

以上2点については主にユーザー・ニーズに対してであるが、内部的にも実施しなければならないことがある。今迄は主に現有する工程をふまえての低減をはかる問題の対策であったが、もっと視野を広げて全体的対応施策を述べたい。現状は人による工程の管理であり、技術は日ごとに進歩している。既に事務関係ではOA(オフィスオートメーション)が導入され省力化が進んでおり、効果は徐々にあるが挙がっている。従って工程の方も早急にFA(ファクトリーオートメーション)を考え、導入態勢に入りたいが、多々障害があり一遍に態勢を取ることが出来ない。しからば一步一步取り入れられる工程から導入すべきであろう。珪砂業界は零細な企業が多いが、時代に即応して改善を施行しなければ取り残されコストの低減は出来ず斜陽への道を歩まねばならない。FAについては今は花形の導入かも知れないが少数の人員で工場の運営が出来・合理化対策の一環として大いに飛躍することであろう。

6. あとがき

ガラス用珪砂の生産量は近年伸び率が鈍化の傾向になり、重ねてガラスの多品種製造に伴ない原料珪砂もそれに対応した品質の製品を生産している。その中において資源の有効利用・公害対策・工場に於けるコスト低減等の課題が出て時点時点その解決に努めている。他方海外資源の導入の可能性もあり、国内珪砂需要は減少する傾向になるのではないかと心配している。

これらを想定して概説した積りであったが筆たらずのため満足出来ない点があったが方向付けは出来たと考えている。