

23 ケイ素 (Si)

23 ケイ素(Si)

23.1 マテリアルフロー分析

ケイ素(シリコン)の原料は珪石(SiO_2)で、地球表層部に最も多く存在する酸素に次いで2番目に多いと言われており、その資源量・埋蔵量は非常に多い。ただし、工業用金属シリコンの生産に利用できる良質の珪石は、限定された地域でのみ採掘されている。

珪石は電気炉で精錬され、金属シリコンとなり、その最終用途は電子機器・通信機器用等の半導体、太陽電池部材、シリコン樹脂、アルミニウム添加剤、鋼材添加材、炉剤・機械部品等幅広い。現在日本では珪石からの精錬は行われておらず中間製品は全て輸入である。

中間製品としては金属シリコン、合金鉄系シリコン、炭化物の3種に分けられる。金属シリコンは半導体・太陽電池用部材の高純度金属シリコンと化学品・アルミ添加剤に用いられる低品位金属シリコンに分類される。合金鉄系シリコンは脱酸剤及びシリコン添加剤として用いられる。

炭化ケイ素は硬度が大きく、科学的にも安定なことから耐火・研磨剤として使用される。最近の用途としてはファインセラミックスにおいても重要な位置を占め、窒化ケイ素とともに高温構造材の代表的な材料となっている。その他ハイテク分野では半導体製造装置の拡散炉部材であるライナーチューブ、プロセスチューブ、ボード類、更に新しくSiCウエハ(単結晶)を用いた半導体デバイスがある。

この他ケイ素材料用途としては珪石そのものを SiO_2 のまま材料として使うガラス及び窯業分野がある。

2008年の金属シリコン輸入量は単結晶高純度シリコン(4N以上)が前年比7%増、多結晶高純度シリコン(4N以上)も22%増、通常品位金属シリコン(4N未満)は240,683tと前年比▲4.5%となった。この通常品は、2004年の市況高騰時に主要ユーザーであるアルミ業界が手当てを多くしたが、在庫調整が終わり、通常の需要を反映したものである。

高純度シリコンは、金属シリコンと塩素とを反応させ四塩化ケイ素(ガス化)とし、これを蒸留して純度の高い製品を得る。集積回路などの半導体素子に使用する超高純度のケイ素(純度11N以上)(SEG-Si)は、上記の高純度シリコンからさらにFZ(フローティングゾーン)法などのゾーンメルティングやCz(チョクラルスキー)法などの単結晶成長法による析出工程を経ることで製造される。

太陽電池には、半導体グレードほどの高純度は必要なく、7N程度の純度で済み、また多結晶でもよい。太陽電池用(ソーラーグレード)シリコン(SOG-Si)の製造法は半導体級のプロセスを簡略化した方法が多い。ソーラーグレードシリコンの市場規模は増加しつつあり、2008年、単結晶-Si(半導体用、太陽電池用)生産量8,361tに対し多結晶シリコン(太陽電池用)生産量は10,700tとなっている。金属シリコンの輸入価格推移を図1に示す。近年急騰している。

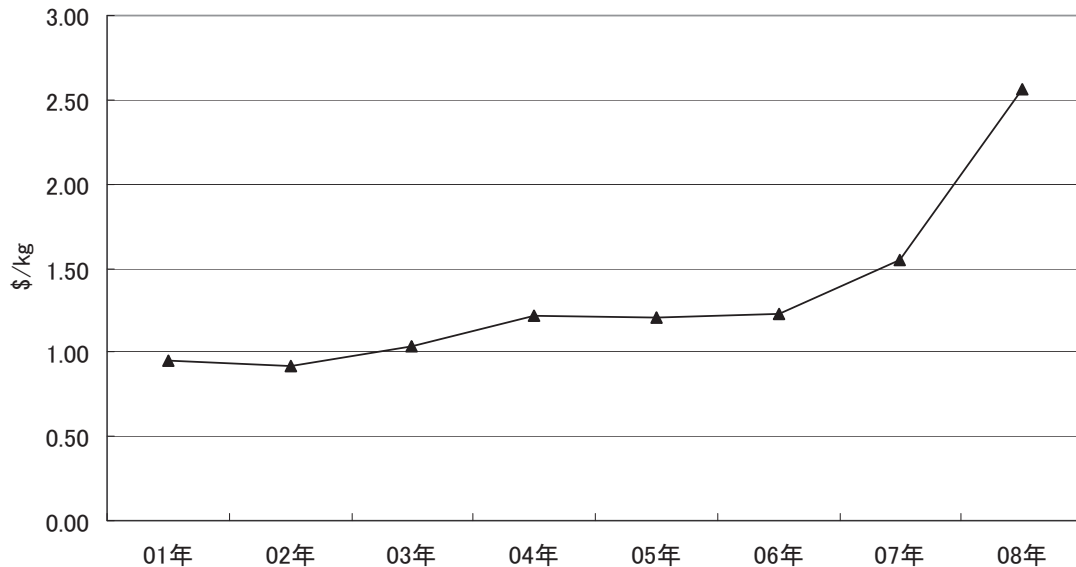


図1 金属 Si の輸入価格推移

金属シリコンの輸出は、2008年、4N以下のグレードのもの1,177t、4N以上のもの8,364tであった。どちらも主に中国、台湾向けである。

合金鉄系シリコンの需要は粗鋼生産の高水準に支えられて堅調であった。2008年のフェロシリコン輸入量は612,299tと前年比約9.8%増加した。これは市況高騰時に鉄鋼各社が手当てを多くし、その後の在庫調整も一段落し、大目ではあるが好況を反映した通常購入に落ち着いたためと思われる。シリコマンガンの輸入量も0.8%増となった。

中国での金属シリコン、フェロシリコンは生産に必要な原料の珪石、コークス(石炭)、電力等の原材料から製品まで一貫した国内生産体制が出来上がっている。また電気炉を利用するので他金属関係精錬業と比較して公害問題も非常に少ない。品質も年々向上してきており海外で使用される分野も広がっている。またコストの重要な部分を占める電力コストの面で沿海部工場は順次閉鎖され電力料金の安い内陸部工場が主体となっている。一方、中国国内の金属シリコンの需要は急拡大しており同国からの輸出余力が今後大幅に減少することも考えられる。

合金鉄関係ではこの他に、2008年中国他からシリコクロムが6,319tと少量輸入されているが、これは低炭素フェロクロム用原料である。

2008年の炭化ケイ素の輸入量は116,570tと前年比23%の大幅増であった。炭化ケイ素輸入における中国のシェアは前年と同様の96%となった。国内メーカーの生産量は不明だが約10,000t程度だと思われる。国内メーカーはより高級品、より高度な技術が要求されるファインセラミックス分野、半導体関連分野に傾注し、低価格品は輸入品に高品質な特性を要求されるものは国産品にと、それぞれ棲み分けがなされるものと思われる。。

表 1 日本のシリコン系中間製品の輸入量

単位：マテリアル t、括弧書きは純分 t

	2005	2006	2007	2008
高純度単結晶金属シリコン(4N 以上)	4,509 (4,509)	4,755 (4,755)	5,591 (5,591)	5,967 (5,967)
高純度多結晶金属シリコン(4N 以上)	8,494 (8,494)	8,641 (8,641)	9,501 (9,501)	11,553 (11,553)
その他金属シリコン (4N 未満)	222,851 (222,851)	238,276 (238,276)	252,025 (252,025)	240,683 (240,683)
フェロシリコン	486,689 (365,017)	543,401 (407,551)	557,810 (418,358)	612,299 (459,224)
シリコマンガ	234,412 (35,162)	273,933 (41,090)	350,635 (52,595)	353,296 (52,994)
炭化ケイ素(国内生産)	10,578 (8,462)	10,000 (8,000)	10,000 (8,000)	10,000 (8,000)
炭化ケイ素(輸入)	94,532 (75,626)	90,812 (72,650)	94,631 (75,705)	116,570 (93,256)
合計	1,062,053 (720,119)	1,169,864 (780,984)	1,280,193 (821,775)	1,350,368 (871,677)

出典：工業レアメタル 2009、日本貿易統計、他

中間生産物に係る我が国の主要生産者並びに生産品目は次のとおりである。

表 2 中間生産物に関する主要生産者及び生産品目

主要生産者	生産品目
信越半導体	シリコンウェハ
SUMCO	シリコンウェハ
日本電工	シリコマンガ、フェロシリコン
中央電気工業	シリコマンガ
神戸製鋼所	シリコマンガ
JFE スチール	シリコマンガ、シリコンウェハ

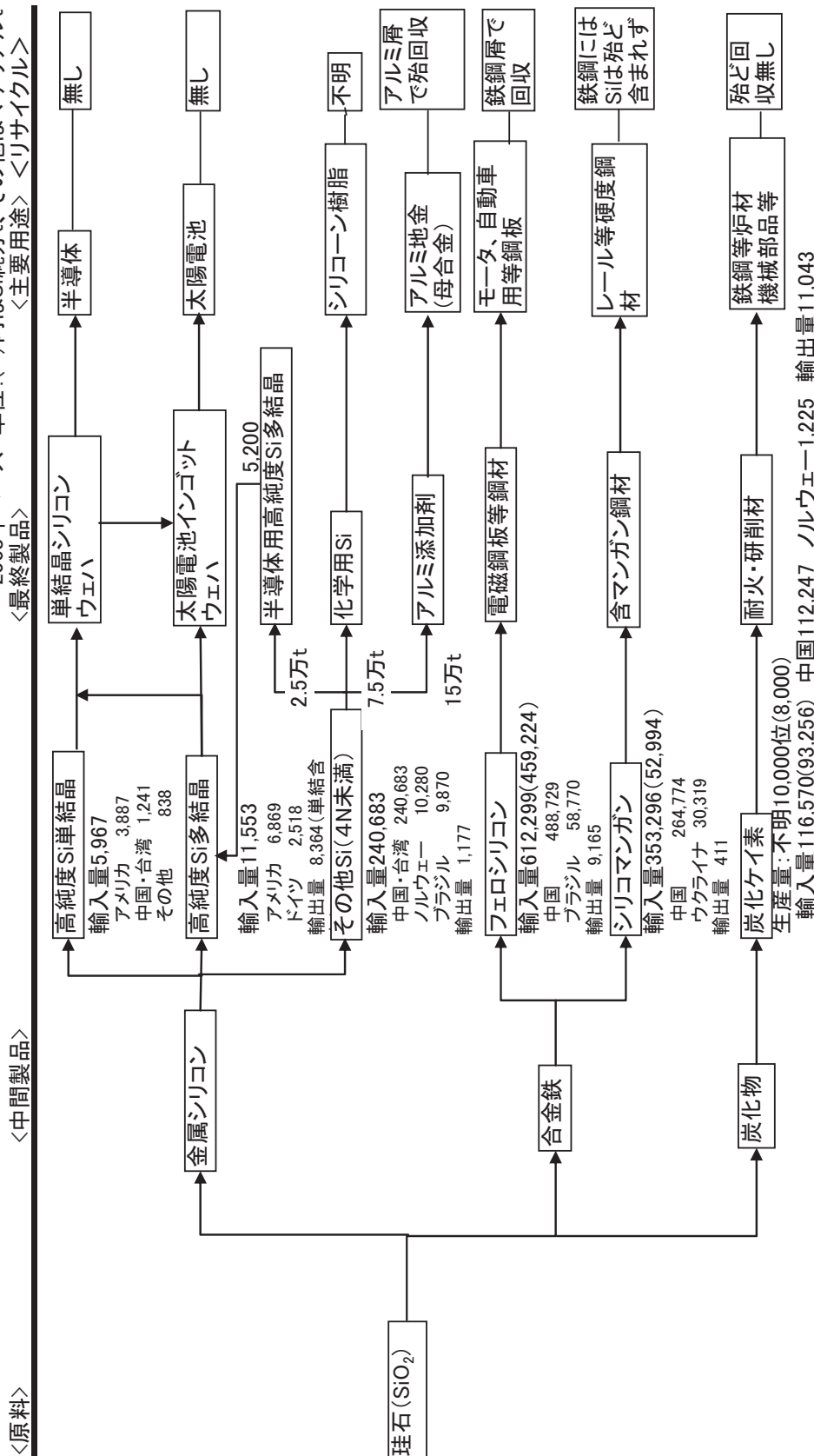
出典：各社ウェブサイト

23. 2 リサイクルの現状と評価

- ①高純度金属シリコンは単結晶・多結晶共に高価なこともあり加工工程での発生スクラップは基本的に全て回収される。特に多結晶金属シリコン・スクラップの受け皿として太陽電池インゴットウェハの用途が確立されている。
- ②シリコン樹脂の回収は不明であるが未だそのリサイクルシステムは確立されておらずこれからの課題と思われる。
- ③アルミ地金・鉄鋼用シリコン(電磁鋼板等)は基本的に鋼屑(鉄スクラップ)として回収されているが電磁鋼板のシリコン含有(Si含有量：2～4.5%)は寧ろ普通鋼材としては不純物扱いとされるところもあり、有効利用という面では未だ問題が残されている。
- ④炭化ケイ素から作られる炉材・機械部品等の使用済製品からの回収はその効率性の面からほとんど行われていないと思われる。

ケイ素 (Si)

2008年ベース 単位:()内はSi純分t、その他はマテリアル
 <最終製品> <主要用途> <リサイクル>



1. 鉱石埋蔵量(Reserves): N.A.(USGS:MCS 2009)
 2. 換算率 フェロシリコン:75% シリコマンガン:15% 炭化ケイ素:80%
 3. 出典: 工業レアメタル2009、合金鉄年鑑、日本貿易統計、他

ケイ素(Si)

リサイクルの現状

主な応用製品	利用形態	使用済みの存在形態		リサイクル形態		リサイクルの現状 評価(A~G) (注③)	備考 (注④)
		形態	量(注①) (t)	リサイクルの実態	リサイクルの率 リサイクル率 (注②)		
単結晶シリコン ソルゲル	半導体	廃棄パソコン、廃 棄家電等	不明	無し	不明	E	工程スクラップ は回収
太陽電池イン ゴットウエハ	太陽電池	廃棄ソーラ	不明	無し	不明	E	
化学用 シリコーン	シリコーン樹脂	シーラント等	不明	不明	不明	E	産業廃棄物と して処理されて いると思われる
電磁鋼板等	モータ・自動車用鋼板 等	鉄鋼屑	不明	鋼材として回収	不明	B	シリコン分(含 有率2%位)とし てでなく、鉄鋼 屑として回収
硬度鋼材	レール等	鉄鋼屑	不明	鋼材として回収	不明	G	シリコン分は回 収対象外
耐火・研磨剤	炉材・機械部品等	産業廃棄物	不明	無し	不明	E	

注 ①の量の単位：
()は使用量純分
その他は発生量純分

②リサイクル：
()内は推定耐用年数
その他は実リサイクル量

③現状評価

- A. 応用製品が消耗品である
- B. 添加物として使用されている
- C. リサイクルの流通システムがない
- D. 効果的なリサイクル技術がない
- E. 経済性がない
- F. 需要開発が十分になされていない
- G. その他

④リサイクルのボトルネック
と、解決の難易度
毒性、保管の危険性の有無等