

## 1.需給動向

### 1-1.世界の需給動向

ケイ素(Siliconシリコン)は、酸素に次いで2番目に多い元素で、資源量・埋蔵量は非常に多い。ケイ素はその多くが二酸化ケイ素(シリカ、 $\text{SiO}_2$ )の形で存在し、古くから研磨剤や耐火材、ガラスの原料として使用されている。また、鋼材の添加剤として、製鉄工程では電気炉において鉄1tあたり約4kg前後のケイ素が使われる。ケイ素合金として製鉄の脱酸素剤に用いられるほか、ケイ素を混ぜた鋼板(ケイ素鋼板)は、うず電流による損失が少なくなるため変圧器などに使われている。その他に、鉛レス黄銅にも添加される。一方、重要な用途として、半導体や太陽電池などの電子材料、また種々のシリコン(Silicone:ケイ素樹脂)の原料でもある。

ケイ素の原料は二酸化ケイ素で、自然界では石英や水晶の形で存在している。硅砂は石英を成分とする砂であり、珪石は石英が主体の鉱石である。珪石の用途としては、建材、土木用の他に、フェロシリコン等の鉄鋼材料などがある。硅砂は鑄造用、建材用、研磨用(サンドブラスト)、流動床炉用流動媒体、耐火物原料、窯業、絶縁体、製鋼用などの用途がある。日本でも各地で珪石・硅砂が得られたが、輸入鉱石に押されて多くの鉱山が閉山した。しかし、今でも愛知県、山形県などで産出されている。日本産もガラスの原料として使われているが、不純物のより少ない海外産に依存している状況となっている。

珪石に含まれるケイ素を合金材料として使うためには、珪石に炭素材、鉄源を加えて電気炉で処理し、フェロシリコンやシリコマンガンを得る必要がある。また、純度が求められる工業用原料にするために、はじめに二酸化ケイ素を還元して金属シリコン(純度4N以下)を得る必要がある。なお金属シリコンは、半導体、電子部品、太陽電池、シリコン、アルミ合金添加剤など幅広く使用されているが、金属シリコンの原料となる珪石として、カルシウムやアルミニウムなどの不純物の少ないものが求められており、限られた地域でのみ採掘されている。加えて、珪石からフェロシリコンやシリコマンガンを、また金属シリコンを得るには電気炉において大量の電力を消費すること、発生する不純物の処理なども必要であることから、現在では、ボーキサイトからのアルミの製造と同様に、電力の安価なところで還元し、フェロシリコン、シリコマンガンを、金属シリコンとして輸入している。シリコマンガンは、国内でも生産されている。

金属シリコンは、硅石( $\text{SiO}_2$ )を還元、精製して、ケイ素の純度を高めたものである。純度の低い金属シリコンは、アルミ合金の添加材として使われる。半導体や太陽電池グレードのシリコンを得るには、金属シリコンを塩素化してトリクロロシラン( $\text{SiHCl}_3$ )を生成、精製したガスを水素還元して高純度金属シリコンを得る。

高純度金属シリコン(具体的には多結晶シリコン)の製造工程からガス状物質の四塩化ケイ素(Silicon tetrachloride; STC)が副生される。これを蒸留精製した高純度四塩化ケイ素は、合成石英ガラスの原料となる。合成石英ガラスは、金属不純物が少なく、光透過性が高いことから、光ファイバーや半導体製造時のフォトマスクなどに使われる。さらに、四塩化ケイ素ガスを酸水素炎中で高温加水分解させて製造(燃焼法)した微粉末が乾式シリカである。乾式シリカは、工業用材料として、ゴムの補強剤、塗料等の粘度調整剤、半導体ウエハの研磨剤(CMP、ケミカルメカニカルポリッシング)、医薬品添加剤、農薬・肥料等のフィラーなどの用途がある。乾式シリカは、燃焼法の他にアーク法でも製造されている。なお、乾式シリカとは別に湿式シリカと呼ばれるものがある。湿式シリカの用途は、乾式シリカに比べて表面シラノール基が多いことを特徴として、樹脂の透明性・耐水性・補強性を改良する目的で使用される。例えば、ホワイトカーボンと呼ばれるタイヤゴムの充填剤である。

一方、ケイ素を含む有機化合物であり、潤滑油、シーラント、コーティング材、食品、化粧品などの様々な用途をもつシリコンの基本的な製法は、金属シリコンを塩化メチルと加熱反応させ、その反応物を蒸留によって精製する。得られたシラン類(シロキサン:  $\text{Si-O-Si}$ 結合(シロキサン結合)を持つもので、シランの重合体)を、加水分解あるいは重合させ、また反応精製することで、様々な形態(オイル、ゴム、樹脂等)のシリコンが得られる。

世界のシリコン(シリコンアロイ(FeSiなど)と金属シリコン(純度4N以下))生産量を表1-1、図1-1に示す。なお、世界のシリコンの需要に関する公開データはない。

2016年の生産量は前年比94%の7,200千tであった。2014年までの生産量は堅調に増加を続けてきたが、2015年、2016年は減少傾向となっている。

世界生産の64%を占める中国ではエネルギーコスト、環境コストの低さやスケールメリットを武器とした価格競争力を打ち出してきた。しかしながら、図1-1に示すように、世界の生産量は減少に転じており、特にブラジル、中国での生産量減少が顕著であり、最大供給国の中国のシェアが、低下している。この中国における生産量減少の理由として2014年～2015年頃までの供給過剰の後の調整及び2016年度第4四半期からの環境監査の強化による生産抑制等が要因と考えられる。

なお、シリコン原料である珪石の鉱山資源は現時点で十分な埋蔵量を有し、当面は資源枯渇の問題は発生しないものと考えられる。

表 1-1 世界のシリコン(シリコンアロイ(FeSi など)、低純度金属シリコン(4N 以下))生産量

単位：純分千t

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	16/15比	構成比
中国	3,300	4,000	4,310	4,920	4,780	5,050	5,200	5,500	5,000	4,600	92%	64%
ロシア	635	605	537	643	647	733	733	700	747	747	100%	10%
米国	155	164	139	176	326	383	365	373	411	396	96%	6%
ノルウェー	221	235	301	303	297	339	362	332	375	380	101%	5%
フランス	164	112	66	127	164	174	130	130	121	121	100%	2%
ブラジル	265	259	224	224	225	225	230	154	117	100	85%	1%
南ア	149	154	116	137	142	132	84	84	84	84	100%	1%
スペイン	78	-	-	-	-	-	-	81	81	81	100%	1%
ブータン	-	-	-	-	61	61	54	72	78	78	100%	1%
アイスランド	74	73	81	74	78	75	75	75	75	75	100%	1%
マレーシア	-	-	-	-	-	-	-	-	68	68	100%	1%
ウクライナ	109	99	98	127	98	78	96	92	59	64	108%	1%
インド	39	40	59	66	68	70	86	86	60	60	100%	1%
カナダ	66	72	53	52	50	55	60	52	54	54	100%	1%
ベネズエラ	61	61	54	50	46	53	48	-	-	-	-	-
カザフスタン	68	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
マケドニア	39	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
その他	180	288	266	394	383	349	359	379	300	300	100%	4%
合計	5,590	6,160	6,310	7,290	7,370	7,770	7,880	8,110	7,630	7,200	94%	100%

出典：United States Geological Survey「Mineral Commodity Summaries SILICON」 World Production

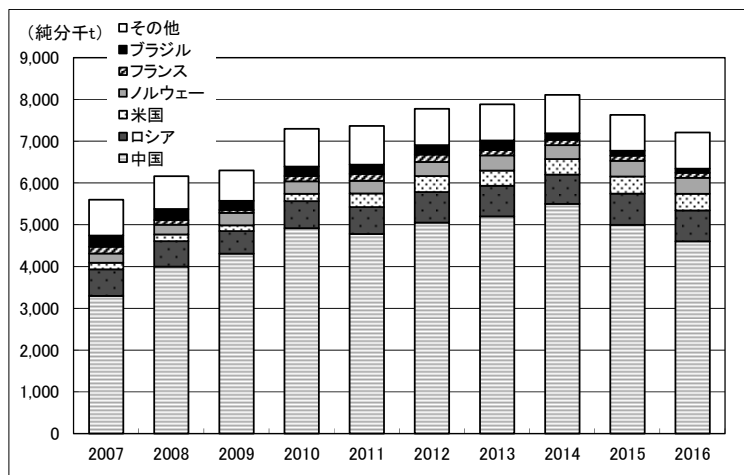


図 1-1 世界のシリコン(FeSi・低純度金属シリコン(4N 以下))生産量

### 1-2.国内の需給動向

ケイ素の国内需給を表 1-2 に示す。2016 年の国内供給量は前年比 99%の 674,857t であった。

国内で消費される工業用ケイ素は、ほとんどが加工された素材(金属シリコン、シリカ、フェロシリコン、シリコマンガなど)の形で輸入されている。特に、半導体やシリコン、アルミ合金添加剤に用いられる金属シリコン(低純度、4N 以下)は、その全量が海外から輸入されたものである。

製鋼用も含めたケイ素の需要量は、前年比 102%の 353,130t であった。

需要のうち、高純度多結晶シリコンの生産量(生産のためにケイ素が消費されたと考える。)と製鋼用シリコマンガ消費量については、生産動態統計(鉄鋼・非鉄金属・金属製品統計)に記載されているデータがある。この製鋼用シリコマンガ消費には、国内生産シリコマンガと輸入シリコマンガが含まれていると考えられる。なお、金属シリコン(低純度、4N 以下)及び炭化ケイ素の国内需要に関しては公式な統計が無い。そのため、表 1-2 のデータには金属シリコン(低純度、4N 以下)や炭化ケイ素の需要量は反映されていない。また、製鋼用 FeSi 消費量は 2014 年より統計から除外された。そのため、2014 年以降の製鋼用 FeSi 消費量については、2013 年の特殊鋼生産量に対する FeSi 消費量割合を、特殊鋼生産量に乗じて算出している。

表 1-2 ケイ素の国内需給

		単位: 純分t										
		2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	16/15比
供給	輸入 <sup>1)</sup>	858,442	909,060	494,948	823,896	801,744	693,086	673,051	746,457	684,037	674,857	99%
	合計	858,442	909,060	494,948	823,896	801,744	693,086	673,051	746,457	684,037	674,857	99%
需要	金属シリコン※	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	うち高純度多結晶シリコン	7,364	7,471	8,633	6,806	12,133	10,964	8,000	7,263	8,855	9,774	110%
	うちシリコン	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	うちアルミ添加剤	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	製鋼用FeSi消費	277,366	290,033	220,913	290,828	279,513	251,451	258,175	266,636	247,192	253,272	102%
	製鋼用シリコマンガ消費	48,741	49,900	35,534	38,609	37,799	38,116	42,885	46,616	44,150	41,229	93%
	炭化ケイ素※	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	小計	333,471	347,404	265,080	336,244	329,445	300,532	309,059	320,515	300,197	304,276	101%
輸出 <sup>1)</sup>	46,778	47,724	42,184	55,454	52,963	43,659	52,782	46,011	46,065	48,854	106%	
合計	380,249	395,129	307,264	391,698	382,408	344,191	361,841	366,525	346,263	353,130	102%	
供給-需要	478,194	513,931	187,684	432,198	419,336	348,895	311,209	379,932	337,775	321,727		

出典: 1)財務省貿易統計

その他の統計は、経済産業省生産動態統計年報鉄鋼・非鉄金属・金属製品統計、日本フェロアロイ協会資料

なお、2014年以降の製鋼用FeSi消費量については、2013年の特殊鋼生産量に対するFeSi消費量割合を、2014年以降の特殊鋼生産量に乗じて算出している。

輸出入にはシリカ、金属シリコン(高純度金属シリコン(多結晶シリコン、単結晶シリコン)、低純度金属シリコン、合金鉄(FeSi、シリコマンガ)、炭化ケイ素が含まれる

純分換算率: 金属シリコン100%、FeSi75%、シリコマンガ15%、炭化ケイ素80%

※内需には、上記の表に示されたFeSiやシリコマンガなど鉄鋼向けの合金鉄需要以外にも、金属シリコンとしての半導体・太陽電池、樹脂、アルミ添加剤としての需要と、炭化ケイ素としての耐火・研削剤としての需要がある。しかし、金属シリコン及び炭化ケイ素における国内需要に関しては公式的な統計がないため、上記の内需にはその分が計上されていない。

新金属協会によると、2016年の多結晶シリコンの国内生産量は9,774t(半導体向けで、太陽電池向けは除く)であり、前年比110%となった。単結晶シリコンの国内生産量は前年比104%の8,408tで、半導体市場の好調に伴うシリコンウエハ市場の成長により、3年連続で8,000t台を維持した。なお、半導体用のシリコンウエハ(製品)については、その製品形態や使われ方からウエハになった段階で重量ではなく数量(面積)で集計されている。そのため、ウエハの生産量に対して重量ベースでどのくらいのケイ素が使用されているかを算出することは極めて難しい。

金属シリコン(低純度)はアルミ合金添加剤としても使用されている。国内のアルミニウム合金用として使われる金属シリコン(低純度)は主に中国から輸入されるものが多い。

現在、国内で使用されるFeSiの全量が海外から輸入されたものである。2016年の製鋼用FeSi消費量は前年比102%の253,272tで、製鋼用シリコマンガ消費量は同比93%の41,229tであった。

## 2.輸出入動向

### 2-1.輸出入動向

ケイ素の輸出入数量を表 2-1、図 2-1、図 2-2 に示す。

2016 年のケイ素全体の輸入量は前年比 99%の 674,857t、同輸出量は前年比 106%の 48,854t であった。

輸入の内訳をみると、金属シリコンの中では単結晶シリコンが前年比 140%、多結晶シリコンは前年比 147%と大幅に増加した。低純度金属シリコンの輸入量は前年比 96%と減少傾向を示し、金属シリコン全体では前年比 101%となった。

高純度シリコンの輸出は前年比 115%と増加したが、低純度金属シリコンの輸出量は前年比 84%と減少した。過去 10 年で最多の輸出量であったのは、2013 年である。この年は国内大手メーカーの海外工場立ち上げに伴いマレーシア向け輸出量が大幅に伸びた特別なケースであった。

なお、高純度金属シリコンには多結晶シリコンと単結晶シリコンがあるが、輸出に関しては、財務省貿易統計上ではこれらは区別されていない。

金属シリコン以外の状況を見ると、ファインセラミックス原料や、ガラス、食品添加剤、化粧品、医薬品などに幅広く用いられているシリカの 2016 年の輸入量は前年比 97%の 42,315t で、輸出量は前年比 102%の 18,367t であった。シリカには湿式シリカと乾式シリカがある。湿式シリカは珪酸ソーダの水溶液を中和してシリカを析出したもので、ゴム補強やインクの増粘などで使用される。乾式シリカは四塩化ケイ素を高温の窯の中で反応させたもので、シリコンゴムの充填剤や半導体ウエハ研磨、医薬品添加剤などとして使用される。乾式シリカについては、多結晶シリコンの原料を造る工程で原料となる四塩化ケイ素が得られるために、多結晶シリコンの生産量に影響される。

合金鉄である FeSi の輸入量は前年比 96%の 323,858t と減少、一方、輸出量は前年比 115%と増加した。シリコマンガンの輸入量は前年比 100%の 39,399t、これに対応する製鋼用シリコマンガンの消費量(表 1-2)は前年比 93%の 41,229t となった。

炭化ケイ素の輸入量は、前年比 106%の 56,098t と増加した。炭化ケイ素は、主に耐火物である炭化ケイ素煉瓦として使用され、その需要の大部分は焼却炉や製鉄炉であるため、これらが建設されるタイミングで多く出荷されるが、建設需要が無ければ販売量も少ないなど、需要には大きな波がある。

表 2-1 ケイ素の輸出入数量

単位: 純分t

		2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	16/15比		
素材	シリカ (二酸化ケイ素)	輸入	44,667	45,382	30,145	45,819	46,846	42,757	43,896	46,459	43,779	42,315	97%	
		輸出	24,254	22,407	17,988	19,995	18,672	16,672	14,349	16,635	17,935	18,367	102%	
	金属シリコン	高純度 (4N以上)	輸入	15,092	17,520	17,985	19,914	25,175	20,976	20,614	24,849	21,824	31,887	146%
			輸出	6,778	8,364	8,496	12,169	11,825	12,782	15,024	13,761	11,618	13,357	115%
		多結晶	輸入	9,501	11,553	12,123	15,048	19,666	17,996	16,192	20,500	17,854	26,320	147%
			輸出	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		単結晶	輸入	5,591	5,967	5,863	4,866	5,509	2,980	4,423	4,349	3,970	5,567	140%
			輸出	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	低純度 (4N以下)	輸入	252,025	240,683	146,980	214,993	228,711	182,805	169,925	189,639	188,471	181,299	96%	
		輸出	1,665	1,177	874	646	527	753	11,490	1,224	2,477	2,080	84%	
	小計		輸入	267,118	258,203	164,965	234,907	253,886	203,781	190,539	214,487	210,295	213,186	101%
			輸出	8,442	9,540	9,370	12,815	12,351	13,535	26,514	14,985	14,095	15,438	110%
合金鉄	FeSi	輸入	418,358	459,225	239,578	417,252	379,657	361,400	349,232	382,821	337,695	323,858	96%	
		輸出	5,762	6,881	5,186	8,488	7,269	6,611	6,276	6,588	6,761	7,788	115%	
	シリコマンガ	輸入	52,595	52,994	22,135	40,088	38,011	37,249	42,492	45,622	39,424	39,399	100%	
		輸出	3.6	61.7	6.5	8.1	12.0	7.5	9.9	12.5	8.3	11.7	142%	
炭化ケイ素	輸入	75,705	93,256	38,125	85,830	83,344	47,900	46,891	57,068	52,844	56,098	106%		
	輸出	8,316	8,834	9,634	14,147	14,659	6,833	5,633	7,791	7,266	7,250	100%		
合計		輸入	858,442	909,060	494,948	823,896	801,744	693,086	673,051	746,457	684,037	674,857	99%	
		輸出	46,778	47,724	42,184	55,454	52,963	43,659	52,782	46,011	46,065	48,854	106%	
		輸入-輸出	811,665	861,336	452,764	768,442	748,782	649,427	620,269	700,446	637,972	626,003	98%	

出典: 財務省貿易統計

純分換算率: シリカ(二酸化ケイ素)47%、金属シリコン100%、FeSi75%、シリコマンガ15%、炭化ケイ素80%

※素材はシリカ(二酸化ケイ素)、金属シリコン(多結晶シリコン、単結晶シリコン、低純度4N以下シリコン)、FeSi、シリコマンガ、炭化ケイ素による。

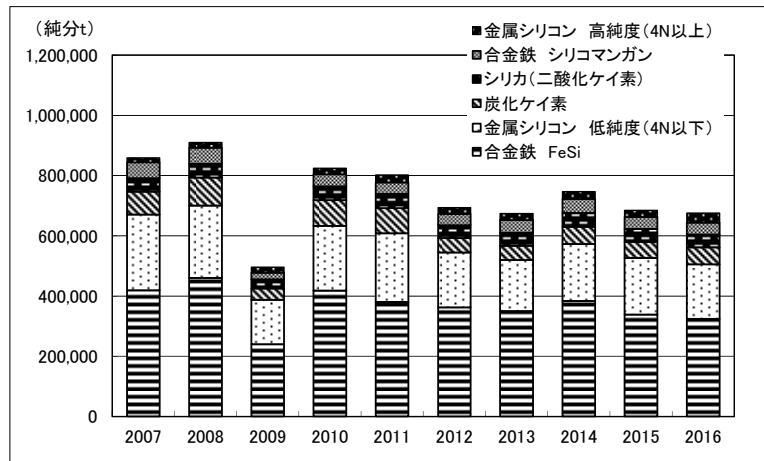


図 2-1 ケイ素の輸入数量

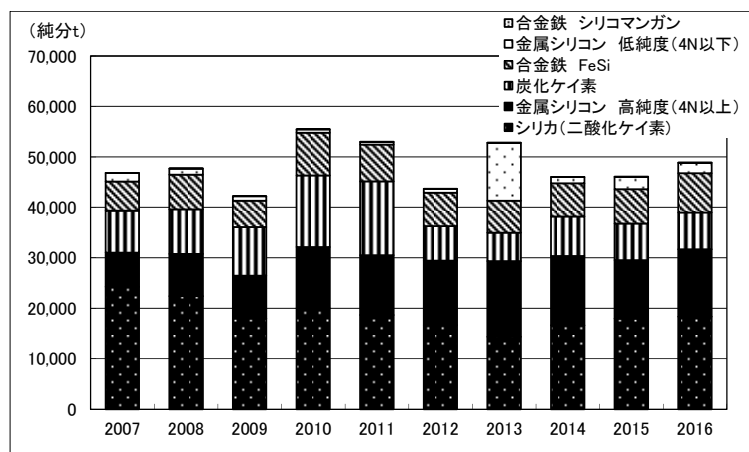


図 2-2 ケイ素の輸出数量

## 2-2.輸出入相手国

### 2-2-1.シリカ(二酸化ケイ素)

シリカの輸出入相手国を表 2-2、図 2-3、図 2-4 に示す。

2016 年の主要輸入相手国は、中国、台湾、タイで、この上位 3 か国で全体の 92%を占める。最大の輸入相手国である中国からの輸入量は全体の 65%に達しており、過去の輸入量における中国比率は上昇傾向が続いていたもののこの 2 年は減少傾向に転じている。2016 年の国別の輸入量の変化をみると、中国が前年比 99%と前年並み、台湾が同 127%、タイが同 63%となり、全体では同 97%と減少した。また、2006 年には輸入量の 19%を占めていた韓国であるが、為替レートの影響により、2012 年から減少し 2016 年は全体の 2%まで下降した。

これらの国からの輸入量が多い理由は、もともと中国産及び台湾産のシリカ価格が安かったことに加え、太陽電池市場が拡大した 2010 年～2011 年に中国、台湾の多結晶シリコンメーカーが増強した設備が、2012 年～2013 年に相次いで立ち上がり、この分の稼働率を確保するため多結晶シリコンを増産した結果、副産物を原料とするシリカの生産量も拡大し、この分の需要を確保するため価格攻勢をかけたことが影響している。さらに、中国産の品質が従来に比べ上昇したことで他国産との品質差がなくなり、競争力が高まった。

輸出相手国は中国、韓国、台湾、米国が中心。日本から輸出するのはコロイダルシリカなど特殊な高付加価値品であり、相手国が自国内での調達に難しいものが中心となる。輸出シリカの多くは、金属シリコンより製造した乾式シリカであると考えられる。日本で生産している乾式シリカは、高い特性を有しており、競争力がある。中国向けには湿式シリカを供給するというケースも増えているとみられる。

表 2-2 シリカ(二酸化ケイ素)の輸入相手国

		2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	16/15比	構成比
輸入	中国	19,105	20,988	12,669	21,273	23,915	24,224	27,644	29,012	27,911	27,603	99%	65%
	台湾	4,873	4,254	3,077	4,598	5,190	4,803	5,600	6,088	6,315	8,033	127%	19%
	タイ	5,607	5,444	4,070	4,741	4,873	4,857	4,502	4,672	5,277	3,314	63%	8%
	米国	3,084	817	1,867	2,353	2,123	1,946	1,908	1,693	699	726	104%	2%
	韓国	8,152	7,655	5,449	7,660	6,765	3,998	1,390	2,385	1,698	717	42%	2%
	その他	3,845	6,224	3,013	5,193	3,980	2,928	2,853	2,609	1,879	1,922	102%	5%
	合計	44,667	45,382	30,145	45,819	46,846	42,757	43,896	46,459	43,779	42,315	97%	100%
輸出	中国	7,012	6,167	6,026	6,366	6,008	5,348	4,620	5,539	6,180	7,052	114%	38%
	台湾	2,842	2,151	1,913	2,378	2,973	2,422	2,201	3,101	3,504	2,806	80%	15%
	韓国	5,463	6,323	4,664	4,693	3,472	3,017	2,664	2,650	2,854	2,640	93%	14%
	米国	793	817	798	1,101	1,038	1,111	1,101	1,145	1,053	1,122	107%	6%
	タイ	1,504	1,571	570	630	691	783	636	710	888	997	112%	5%
	シンガポール	2,000	1,433	839	980	858	817	737	882	901	938	104%	5%
	マレーシア	2,365	1,953	1,638	2,073	1,476	1,272	864	706	773	907	117%	5%
	トルコ	522	508	472	525	533	375	463	730	529	8	2%	0%
	その他	1,754	1,485	1,067	1,249	1,623	1,528	1,063	1,171	1,253	1,897	151%	10%
	合計	24,254	22,407	17,988	19,995	18,672	16,672	14,349	16,635	17,935	18,367	102%	100%

出典：財務省貿易統計

純分換算率：シリカ(二酸化ケイ素)47%

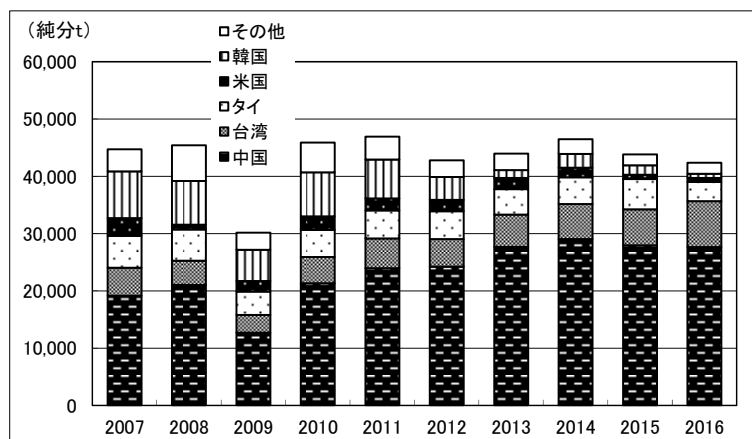


図 2-3 シリカ(二酸化ケイ素)の輸入相手国

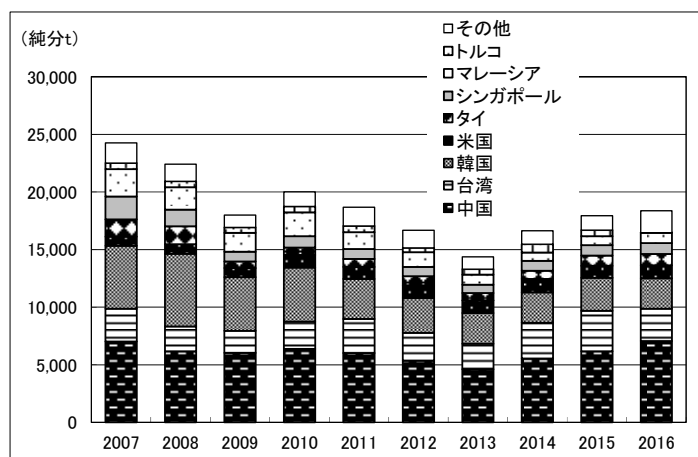


図 2-4 シリカ(二酸化ケイ素)の輸出相手国

### 2-2-2.多結晶シリコン

多結晶シリコンの輸入相手国を表 2-3、図 2-5 に示す。

2016 年における輸入相手国の構成比は米国が 63%、ドイツが 17%、台湾が 15%であり、この上位 3 か国で全体の 95%を占める。過去 10 年の国別構成比について、米国が 2012 年をピークに 70%を占めていたが、台湾が増えたため米国の割合は徐々に下がっている。しかし、米国からの輸入量は増加傾向にある。一方、台湾からの輸入量が 2013 年から急増しているが、もともと台湾の多結晶シリコンは太陽電池向けが中心で、日本国内の太陽電池市場拡大の恩恵を受けた影響が大きい。なお、中国からの輸入量のほぼ全量が太陽電池向けである。

国別の輸入状況を見ると、米国が前年比 152%、ドイツが同 134%、台湾が同 148%と増加した。2015 年における“その他”の輸入量が多いが、このうち 312tはマレーシアである。

表 2-3 多結晶シリコンの輸入相手国

		2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	16/15比	構成比
輸入	米国	5,108	6,869	6,961	9,360	12,131	12,515	10,891	13,345	10,971	16,680	152%	63%
	ドイツ	2,098	2,518	2,933	2,716	3,076	3,361	3,121	3,591	3,385	4,521	134%	17%
	台湾	506	325	564	688	244	30	1,469	2,241	2,761	4,077	148%	15%
	韓国	10	91	32	298	1,915	1,369	14	180	60	564	941%	2%
	中国	173	35	15	143	232	4	242	93	16	461	2905%	2%
	英国	1,284	1,502	1,384	1,726	1,992	682	449	985	333	0	0%	0%
	その他	322	213	234	117	76	34	6	65	328	16	5%	0%
	合計	9,501	11,553	12,123	15,048	19,666	17,996	16,192	20,500	17,854	26,320	147%	100%

出典：財務省貿易統計  
純分換算率：金属シリコン100%

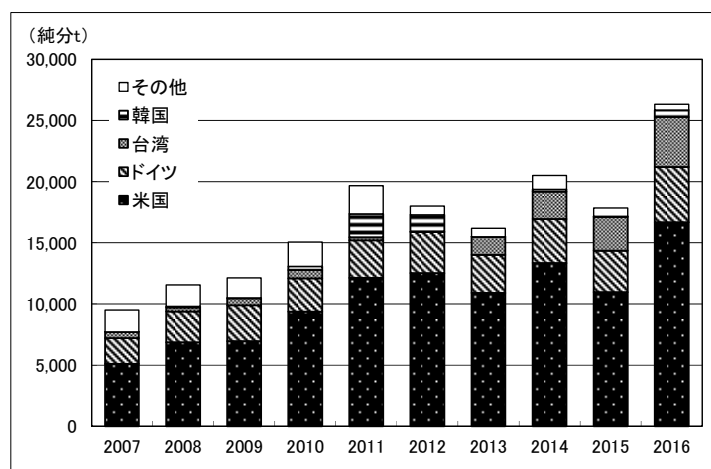


図 2-5 多結晶シリコンの輸入相手国

### 2-2-3.単結晶シリコン

単結晶シリコンの輸入相手国を表 2-4、図 2-6 に示す。

輸入の主要相手国は米国、台湾、中国等であり、輸入相手国の構成比は米国 66%、台湾 10%、中国 7%となった。2015 年まではシリカや多結晶シリコンに比較し、特定国への集中度は高く分散していたものの 2016 年の輸入量の大幅増加で再び米国に大きく依存する構造となっている。

2016 年の国別輸入状況は、主要相手国である米国が前年比 288%、台湾が同 83%、中国が同 48%となり、全体では前年比 140%と増加した。

表 2-4 単結晶シリコンの輸入相手国

		単位: 純分t										16/15比	構成比
		2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016		
輸入	米国	3,858	3,887	3,878	2,437	2,546	899	1,668	1,727	1,268	3,647	288%	66%
	台湾	434	612	228	529	448	667	666	430	661	547	83%	10%
	中国	828	620	317	489	1,046	819	946	860	817	393	48%	7%
	韓国	103	448	664	766	1,146	286	182	227	261	276	106%	5%
	ノルウェー	97	114	377	265	48	4	10	150	299	264	88%	5%
	ドイツ	76	87	184	37	31	120	763	820	436	254	58%	5%
	その他	195	199	215	343	244	186	186	134	228	186	82%	3%
合計		5,591	5,967	5,863	4,866	5,509	2,980	4,423	4,349	3,970	5,567	140%	100%

出典: 財務省貿易統計  
純分換算率: 金属シリコン100%

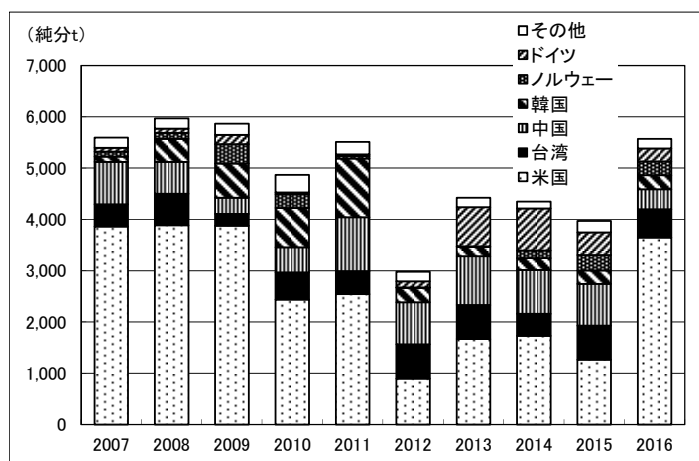


図 2-6 単結晶シリコンの輸入相手国

### 2-2-4.低純度金属シリコン

低純度金属シリコンの輸出入相手国を表 2-5、図 2-7、図 2-8 に示す。

輸入については中国への依存度が非常に高く、2016 年は全体の 91%を占める。一方で、中国以外の輸入相手国は、年によって輸入量の増減が激しいことが特徴的である。その中でも、過去の輸入量推移で一時減少傾向を示し、価格競争力に勝る中国にシェアを奪われたとみられていたブラジルや豪州が高い伸びを示している。

2016 年は豪ドルの通貨安により、中国品との価格競争力が上昇し、豪州からの輸入が伸びたと推察される。ブラジルについては、2014 年～2015 年の途中まで温水と水力発電設備の不具合による電力不足で工場稼働率が低下していたものが回復したためと考えられる。

輸出については、輸出相手国上位のポーランドが前年比 79%、台湾が同 198%、イタリアが同 80%であり、全体では同 84%に減少した。

なお、2013 年のマレーシア向け輸出量が一時的に増加したのは、国内大手メーカーの海外工場立ち上げに伴い日本から原料を輸出した影響である。



表 2-5 低純度金属シリコンの輸出入相手国

単位: 純分t

		2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	16/15比	構成比
輸入	中国	230,614	216,149	122,659	196,444	196,470	147,857	151,294	180,535	177,830	164,934	93%	91%
	ノルウェー	9,855	10,280	-	7,825	10,354	9,392	5,061	4,175	5,201	5,263	101%	3%
	豪州	1,301	211	1,757	340	1,719	1,794	612	211	2,614	4,931	189%	3%
	ブラジル	6,479	9,870	10,218	6,729	10,567	11,476	4,940	1,980	1,000	4,560	456%	3%
	南アフリカ	1,900	2,800	2,162	1,720	4,440	4,504	3,360	1,400	700	660	94%	0%
	韓国	61	0	5	37	2	206	1	83	193	221	115%	0%
	タイ	-	-	-	44	521	3,241	2,300	4	254	200	79%	0%
	フランス	480	320	341	600	760	800	881	964	354	140	40%	0%
	ドイツ	41	40	30	54	75	98	88	66	74	124	167%	0%
	台湾	354	90	0	0	1	61	100	60	74	40	54%	0%
	スウェーデン	70	80	6	33	83	22	43	60	112	25	23%	0%
	ラオス	-	160	-	120	120	260	140	100	-	-	-	-
	カザフスタン	-	-	-	-	132	40	1,000	0	-	-	-	-
	その他	872	683	9,802	1,047	3,467	3,055	104	0	65	200	309%	0%
合計	252,025	240,683	146,980	214,993	228,711	182,805	169,925	189,639	188,471	181,299	96%	100%	
輸出	ポーランド	0	0	0	16	0	2	144	648	1,296	1,026	79%	49%
	台湾	944	145	173	133	15	90	91	128	361	715	198%	34%
	イタリア	-	-	-	1	-	158	281	98	209	168	80%	8%
	オランダ	30	80	1	81	22	41	7	104	44	58	133%	3%
	タイ	41	45	27	37	44	18	37	43	19	24	129%	1%
	米国	57	46	10	34	60	174	148	45	41	24	59%	1%
	韓国	254	186	240	87	120	47	26	78	273	23	8%	1%
	中国	281	585	366	117	184	197	417	11	12	22	182%	1%
	ドイツ	-	30	-	20	25	-	10	35	14	10	69%	0%
	香港	1	25	30	83	13	0	74	22	22	-	-	-
	マレーシア	3	3	0	20	2	20	10,238	4	173	-	-	-
	その他	54	31	27	17	41	5	17	7	13	11	82%	1%
	合計	1,665	1,177	874	646	527	753	11,490	1,224	2,477	2,080	84%	100%

出典: 財務省貿易統計

純分換算率: 金属シリコン100%

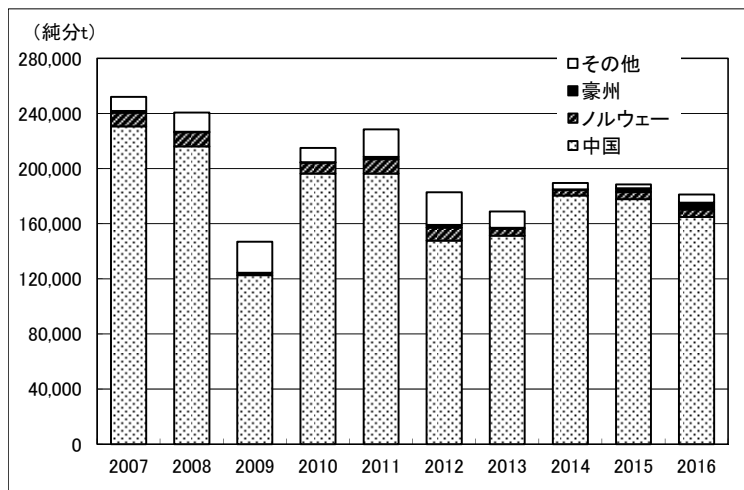


図 2-7 低純度金属シリコンの輸入相手国

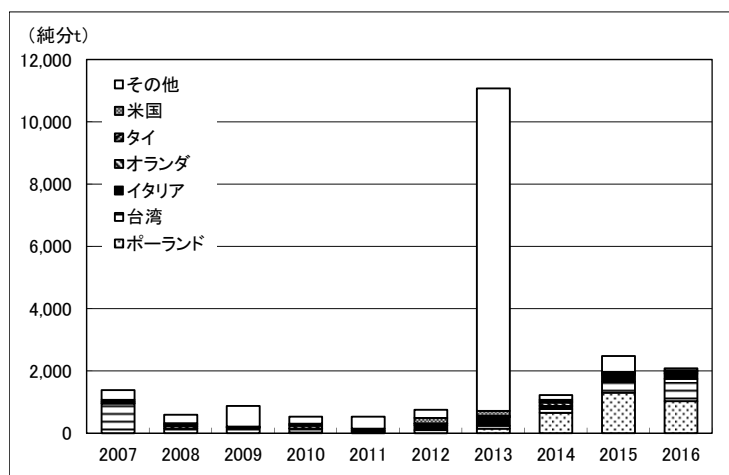


図 2-8 低純度金属シリコンの輸出相手国

2-2-5.炭化ケイ素

炭化ケイ素の輸出入相手国を表 2-6、図 2-9、図 2-10 に示す。

2016 年における輸入量相手国の構成比は中国が全体の 91%を占め、次いでベトナムの 6%、ノルウェー、スペイン、ドイツの 1%である。過去 10 年の構成比をみると、中国が 9 割以上を占めており輸入依存度が高い。

中国は日本と近く物流期間も一週間程度であるが、欧州、南米などの相手国は距離が遠く、例えばブラジルから輸入する場合は物流期間が 2 か月かかるといった地理的な問題がある。また、急な注文に対する対応力という点でも中国は優位性があり、現時点では中国からの輸入に頼らざるを得ない。しかし、中国の比率は 2014 年の 96%から 2016 年は 91%と若干下がっている。

輸出における相手国の構成比はハンガリーが 48%、ポーランドが 15%、メキシコが 12%、韓国が 6%である。10 年前の主要な輸出相手国は台湾、米国、韓国であったが、2011 年頃からこれらの国への輸出货量が減少傾向であり、2016 年についてはハンガリーが前年比 87%と減少し、ポーランドが前年比 119%と増加している。また近年、メキシコが輸出相手国として登場しており、前年比で 12 倍(1262%)と急増している。

表 2-6 炭化ケイ素の輸出入相手国

		2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	16/15比	構成比
輸入	中国	72,514	89,798	37,187	83,710	79,557	45,295	45,153	54,692	49,242	50,846	103%	91%
	ベトナム	-	16	-	-	32	96	24	298	1,579	3,116	197%	6%
	ノルウェー	1,097	980	31	133	553	162	225	363	618	452	73%	1%
	スペイン	272	272	144	336	433	397	405	475	440	422	96%	1%
	ドイツ	517	557	251	336	456	243	269	352	336	401	119%	1%
	米国	280	352	102	200	199	206	138	186	149	193	129%	0%
	ブラジル	998	1,194	228	562	399	377	318	424	224	186	83%	0%
	インド	-	-	-	65	187	116	67	148	164	164	100%	0%
	台湾	16	64	149	228	368	122	52	64	42	91	218%	0%
	チェコ	-	-	-	-	512	368	128	32	32	-	-	-
	その他	10	22	33	259	649	518	113	35	18	228	1294%	0%
	合計	75,705	93,256	38,125	85,830	83,344	47,900	46,891	57,068	52,844	56,098	106%	100%
	輸出	ハンガリー	954	784	269	1,137	1,672	1,595	1,732	2,926	3,982	3,460	87%
ポーランド		243	383	1,310	1,416	1,549	1,063	1,220	1,694	944	1,123	119%	15%
メキシコ		-	-	-	-	-	-	-	3	67	846	1262%	12%
韓国		1,165	1,623	2,671	3,021	4,013	1,913	966	1,401	809	429	53%	6%
米国		1,482	1,336	879	1,472	1,626	767	457	450	365	339	93%	5%
中国		469	375	287	253	152	210	282	147	159	252	158%	3%
マレーシア		609	652	384	777	960	414	246	226	262	218	83%	3%
台湾		1,854	1,634	901	1,126	724	229	240	416	181	108	59%	1%
その他		1,540	2,048	2,933	4,946	3,963	641	490	527	496	474	96%	7%
合計		8,316	8,834	9,634	14,147	14,659	6,833	5,633	7,791	7,266	7,250	100%	100%

出典：財務省貿易統計  
純分換算率：炭化ケイ素80%

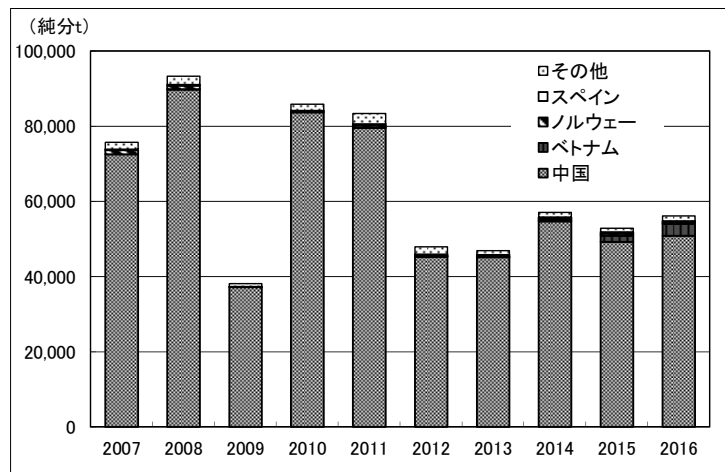


図 2-9 炭化ケイ素の輸入相手国

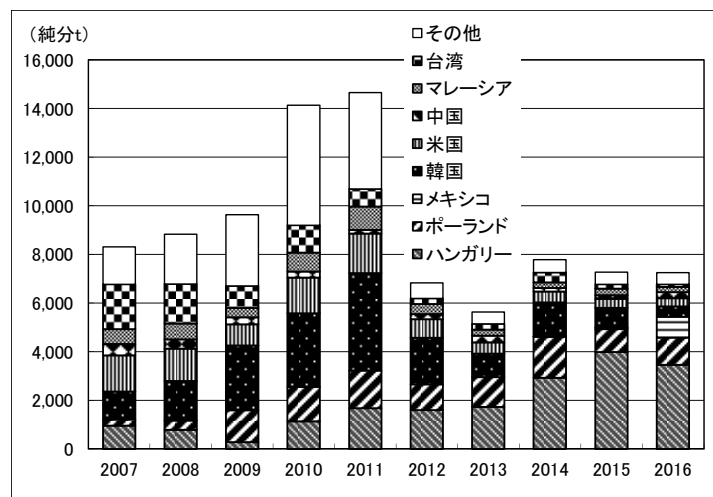


図 2-10 炭化ケイ素の輸出相手国

### 2-2-6 フェロシリコン (FeSi)

フェロシリコンの輸出入相手国を表 2-7、図 2-11、図 2-12 に示す。

2016 年の主要輸入相手国は中国、ロシア、マレーシア、ブラジルであり、その構成比は中国が 40%、ロシアが 32%、マレーシア、ブラジルが 10%である。10 年前は中国比率がおおよそ 8 割を占めていたが、2009 年から下降傾向である。輸入動向としてはロシアに加えてマレーシア、アイスランド、台湾などからの輸入量が増加傾向にあるため、中国以外に輸入ソースを探求しているものと推測される。

2016 年の主要な輸出相手国はタイ、韓国、インドネシア、台湾など、アジア地域が中心となっている。主要国の構成比はタイが 44%、韓国が 27%、インドネシアが 13%、台湾が 8%となっている。その中でも、輸出量は韓国向けが前年比 133%、インドネシア向けが 143%と伸びた。

表 2-7 フェロシリコンの輸出入相手国

		2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	16/15比	構成比
輸入	中国	330,784	366,547	138,089	288,237	233,029	212,478	200,144	223,373	189,519	129,014	68%	40%
	ロシア	24,780	36,482	41,664	65,916	65,007	68,818	83,142	80,992	76,479	104,228	136%	32%
	マレーシア	-	-	-	2	-	-	-	211	7,239	33,130	458%	10%
	ブラジル	53,768	44,078	46,895	41,997	47,062	46,884	37,778	45,330	34,595	30,992	90%	10%
	アイスランド	3,655	3,231	2,417	5,919	8,041	4,821	7,531	7,813	8,214	10,131	123%	3%
	ノルウェー	1,818	4,061	5,299	4,200	8,095	4,955	3,951	5,616	9,285	8,072	87%	2%
	台湾	-	-	-	-	447	3,094	1,615	1,968	3,052	4,215	138%	1%
	ベトナム	0	0	0	180	3,246	7,886	7,524	10,874	4,588	942	21%	0%
	韓国	30	515	0	179	748	1,488	1,871	2,345	850	388	46%	0%
	その他	3,523	4,312	5,213	10,623	13,982	10,976	5,675	4,298	3,873	2,747	71%	1%
	合計	418,358	459,225	239,578	417,252	379,657	361,400	349,232	382,821	337,695	323,858	96%	100%
輸出	タイ	967	1,483	1,815	3,270	3,540	3,604	3,512	3,625	3,321	3,444	104%	44%
	韓国	1,530	1,649	903	1,508	1,187	619	731	534	1,554	2,069	133%	27%
	インドネシア	1,767	2,271	1,499	2,003	1,107	1,157	844	1,187	735	1,049	143%	13%
	台湾	222	388	394	799	462	430	558	662	535	600	112%	8%
	シンガポール	430	439	375	420	450	390	450	390	360	360	100%	5%
	ベトナム	18	67	17	72	98	57	43	54	123	116	94%	1%
	メキシコ	4	4	-	8	23	42	29	66	55	65	118%	1%
	その他	823	581	184	408	403	312	110	70	78	85	109%	1%
	合計	5,762	6,881	5,186	8,488	7,269	6,611	6,276	6,588	6,761	7,788	115%	100%

出典：財務省貿易統計  
純分換算率：フェロシリコン75%

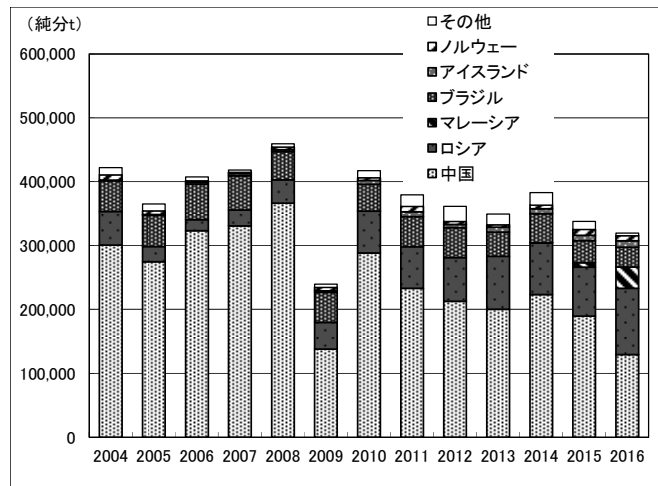


図 2-11 フェロシリコンの輸入相手国

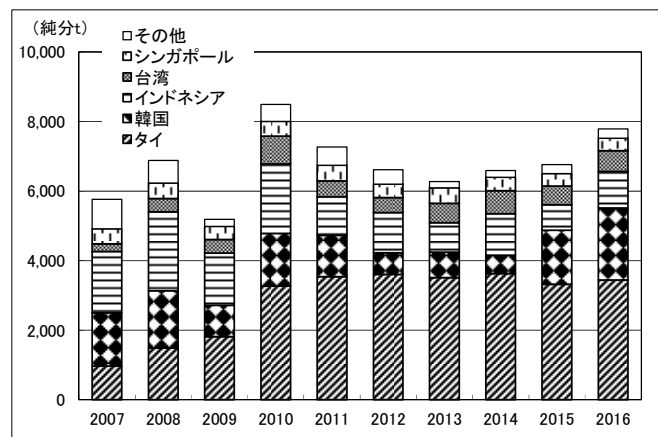


図 2-12 フェロシリコンの輸出相手国

2-2-7.シリコマンガン(SiMn)

シリコマンガンの輸出入相手国を表 2-8、図 2-13 に示す。

2008 年以前は中国からの輸入が最も多く、輸入量全体の約 6~8 割を占めていた。中国の内需増加、輸出関税の引上げなどにより、中国からの輸入が 2009 年以降激減し、2014 年以降についてはゼロである。2010 年以降は中国に代わってインドやベトナム、カザフスタン、ウクライナからの輸入が増えた。2016 年における輸入量は前年並みで、輸入相手国の構成比はインドが 40%、ベトナムが 19%、カザフスタンが 13%、豪州が 10%である。また、国別の輸入量をみると、ウクライナが前年比 321%、南アフリカが同 265%、豪州が同 147%と増えている。

表 2-8 シリコマンガンの輸出入相手国

		2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	16/15比	構成比
輸入	インド	2,415	4,335	5,824	18,265	19,309	21,265	24,893	24,683	19,413	15,903	82%	40%
	ベトナム	198	575	2,620	2,509	1,722	2,394	4,520	6,441	7,394	7,667	104%	19%
	カザフスタン	3,668	2,851	1,557	5,364	6,474	6,283	6,711	6,256	5,585	4,935	88%	13%
	豪州	-	-	220	290	532	292	123	730	2,714	3,979	147%	10%
	ウクライナ	1,941	4,548	1,980	3,857	3,198	1,236	1,587	2,902	554	1,780	321%	5%
	南アフリカ	108	331	674	944	629	83	66	541	564	1,494	265%	4%
	韓国	-	-	-	2,145	3,225	3,194	1,919	1,078	812	1,039	128%	3%
	インドネシア	-	-	-	303	438	807	1,558	2,035	1,314	708	54%	2%
	ガボン	-	-	-	-	-	-	-	-	-	645	-	2%
	ブラジル	-	-	-	-	-	-	-	-	-	545	-	1%
	フランス	-	-	-	105	332	302	227	302	119	-	-	-
	中国	43,778	39,716	8,159	4,452	924	263	36	0	-	-	-	-
	その他	487	638	1,100	1,856	1,229	1,129	853	653	954	705	74%	2%
	合計	52,595	52,994	22,135	40,088	38,011	37,249	42,492	45,622	39,424	39,399	100%	100%
輸出	台湾	3	8	6	8	11	7	9	12	6	8	125%	64%
	インドネシア	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	18%
	ベトナム	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	13%
	タイ	0	3	0	0	1	0	1	1	1	1	67%	5%
	その他	0	51	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-
合計	4	62	6	8	12	8	10	13	8	12	142%	100%	

出典：財務省貿易統計  
純分換算率：シリコマンガン15%

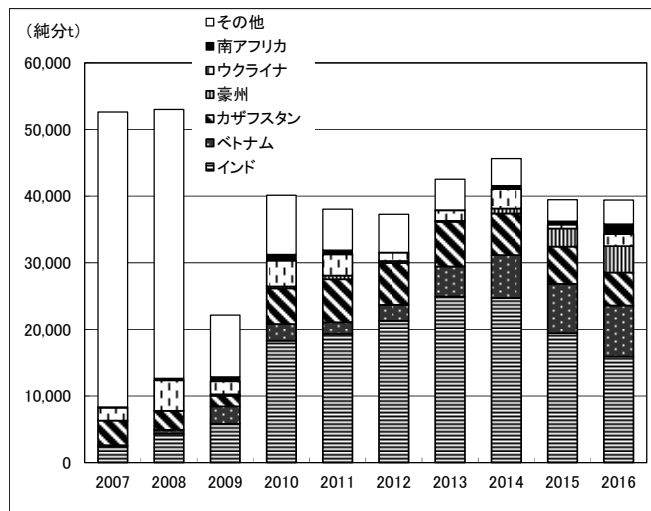


図 2-13 シリコマンガンの輸入相手国

2-3.輸出入価格

ケイ素の輸出入価格を表 2-9、図 2-14、図 2-15 に示す。

2016 年は単結晶シリコンの輸入価格が前年比 75%に下落し、シリカが輸入価格、輸出価格ともに前年よりより上昇し、低純度金属シリコンと炭化ケイ素の輸出価格が上昇した。それ以外の素材は輸入価格、輸出価格ともに前年を下回った。単結晶シリコンの主要用途は半導体ウエハや太陽電池である。価格決定においては、特に半導体ウエハ向けで、ユーザーであるデバイスメーカーの発言権が強いため、材料メーカーが価格を下げざるを得ず、輸出価格、輸入価格ともに下がってきているという状況があった。需給バランスから見ると、主要生産者側の供給に過剰感があるために、このような状況が続いてきたが、近年は半導体の好調により、供給過剰感はなくなったものの、パワー半導体が好調のため、輸入インゴットがこれまでの 300mm から 200mm へとシフトしているという事情から単価が下がっている。

表 2-9 ケイ素の平均輸出入価格

		2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	16/15比		
素材	シリカ (二酸化ケイ素)	輸入	1.3	1.5	1.6	1.6	1.7	1.7	1.7	1.4	1.5	104%		
		輸出	4.2	4.9	5.2	5.8	6.8	7.5	7.1	6.0	5.8	6.2	107%	
	金属シリコン	高純度 (4N以上)	輸入	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
			輸出	94.9	156.2	82.6	70.1	72.0	48.4	37.9	38.0	34.0	32.0	94%
		多結晶	輸入	75.2	80.2	73.4	63.2	59.5	48.2	49.4	47.2	42.9	38.2	89%
			輸出	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		単結晶	輸入	158.8	151.8	108.0	115.4	111.1	115.4	83.9	92.2	92.6	69.7	75%
			輸出	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	低純度 (4N以下)	輸入	1.6	2.6	2.2	2.5	3.0	2.7	2.2	2.4	2.2	1.8	82%	
		輸出	23.8	87.8	64.4	47.3	52.2	57.5	5.0	19.0	15.9	16.6	105%	
	合金鉄	FeSi	輸入	1.0	1.6	1.4	1.5	1.7	1.6	1.5	1.4	1.2	85%	
		シリコマンガ	輸入	1.4	2.2	2.2	2.3	3.1	3.0	2.5	2.4	2.2	2.1	95%
	炭化ケイ素	輸入	1.0	2.1	1.2	1.4	1.3	1.2	1.1	1.1	0.9	0.8	86%	
輸出		2.5	1.6	3.0	3.1	3.3	3.1	2.5	2.3	2.0	1.9	95%		
	輸入	1.4	2.1	2.1	2.3	2.6	2.0	1.7	1.7	1.6	1.4	92%		
	輸出	4.9	4.9	5.1	5.5	6.1	6.5	5.5	5.1	4.2	4.3	102%		

出典：財務省貿易統計

※輸出入価格は貿易統計の貿易額を財務省による年間平均為替レートにより米ドルベースに換算し、年間平均価格を示した。

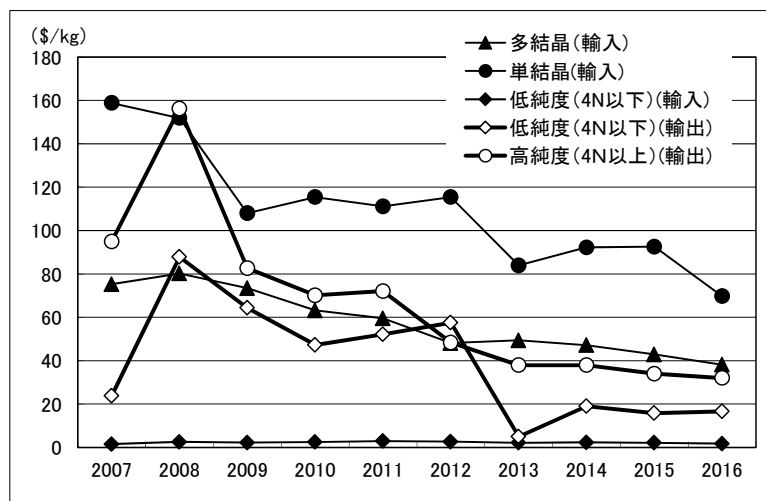


図 2-14 ケイ素(金属シリコン)の平均輸出入価格

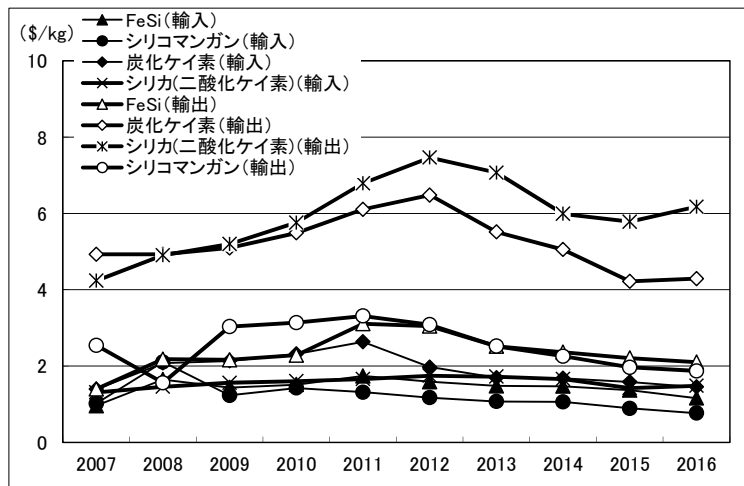


図 2-15 ケイ素(シリカ、合金鉄、炭化ケイ素)の平均輸出入価格

### 3.リサイクル

ケイ素のリサイクル率を以下のように定義し、表 3 に示す。

2016 年のケイ素のリサイクル率は 0%であった。国内のケイ素のリサイクル量は限定的であり、そのほとんどが工程内リサイクルである。例えば、太陽電池シリコンウエハの場合、加工工程で発生したスクラップは基本的に全量シリコンウエハの製造工程で再利用されている。また、半導体メーカーの製造工程で発生するシリコンウエハのスクラップは、太陽光発電用の原料またはアルミ合金添加剤としてごく少量がリサイクルされている。また、一部セメント原料として利用されている部分がある。

一方、ケイ素は最終製品からケイ素成分を回収し再利用するシステムはまだ確立されていない。例えば、半導体や太陽電池、シリコン樹脂などにおいては、技術的な問題ではなく、コスト的に合わないため最終製品からのリサイクルは行われていない。アルミ地金、鉄鋼用に使われたケイ素は基本的に屑(鉄、アルミスクラップ)として回収されているが、この回収スクラップに含まれるケイ素成分は普通鋼材の製造では不純物としてみなされるため、リサイクルには至っていない。さらに、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も、その効率性の問題からリサイクルはほとんど行われていない。

例外的に回収・リサイクルが行われているのが、半導体ウエハを生産する際の位置決めで使用されるダミーウエハである。ダミーウエハの生産量・回収量は統計数字などがなく、詳細は不明である。半導体工場ではウエハサイズを変更するタイミングで全てのラインで位置決めをやり直すため、大量のダミーウエハが使用されるが、サイズ変更が無ければダミーウエハの使用は少量である。ダミーウエハの需要はウエハサイズの変化に合わせて波がある。

リサイクル率	$= (\text{使用済み製品からのリサイクル量}) / (\text{見掛消費})$
見掛消費	$= (\text{国内生産}) + (\text{素材の輸入}) - (\text{素材の輸出})$

※素材はシリカ(二酸化ケイ素)、金属シリコン(単結晶シリコン、多結晶シリコン、低純度 4N 以下シリコン)、フェロシリコン、

シリコマンガン、炭化ケイ素の合計値

※国内生産には使用済製品のリサイクル(マテリアルリサイクル)を含む

表3 ケイ素のリサイクル率

単位: 純分t

			2012	2013	2014	2015	2016
見掛消費	国内生産	生産	0	0	0	0	0
		回収	0	0	0	0	0
	輸入(素材)－輸出(素材)		649,427	620,269	700,446	637,972	626,003
	合計①		649,427	620,269	700,446	637,972	626,003
リサイクル量	回収②	0	0	0	0	0	
リサイクル率	②／①	0%	0%	0%	0%	0%	

出典: 財務省貿易統計



4.マテリアルフロー

ケイ素のマテリアルフロー(2016年)

