

レニウム Re

【用途】 耐熱用スーパーアロイに使用される希少金属

レニウムは地殻中の存在量が非常に小さい金属ではあるが、重要な金属である。レニウムは、高温での耐クリープ性が強いという特性から、ジェットエンジンのタービンブレード用ニッケル基スーパーアロイ添加剤として利用される。また無鉛ガソリン製造時の改質反応触媒として、さらに電子部品用として、熱電対、ヒーター、フィラメント等に利用されている。

【特性】

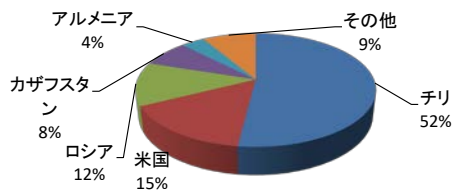
- ・性質がマンガン、タングステンに似ている
- ・融点が 3,100°C を超え金属中タングステンに次いで 2 番目に高い
- ・密度が金属中 4 番目に大きい

【資源国と消費国】

[国名、構成比(%)] (数値は純分ベース、2017 年世界計)

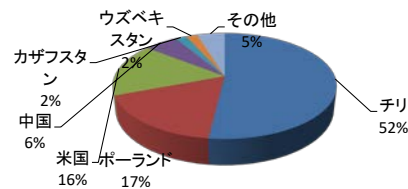
国別埋蔵量 (合計 2,500t)

出典: USGS2018

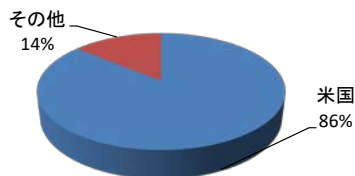


国別鉱石生産量 (2017 年合計 52t)

出典: USGS2018

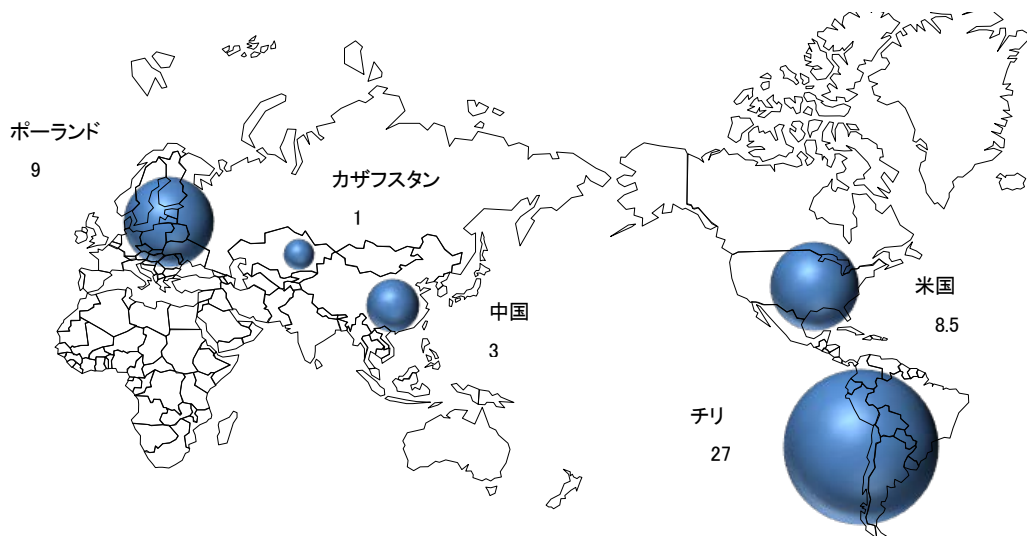


レニウムの世界需要 (2014 年合計 59.3t) 出典: Roskill2015



【世界の主要レニウム鉱石生産国】レニウムはモリブデン精鉱に含まれ、チリ、ポーランド、米国が 3 大生産国

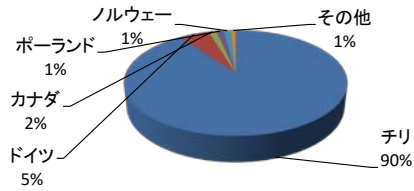
国名、国別生産量 (t、2017 年間値)、出典: USGS2018



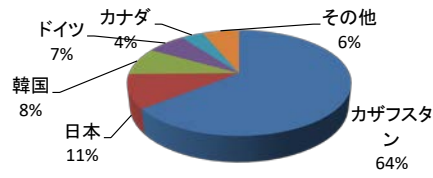
【貿易概況】 出典:Roskill2015

■世界

レニウム地金主要輸出国(米国の輸入相手国)
(2014年合計 17.47 t)



過レニウム酸アンモニウム主要輸出国(米国の輸入相手国)
(2014年合計 4.51 t)



レニウム地金主要輸入国

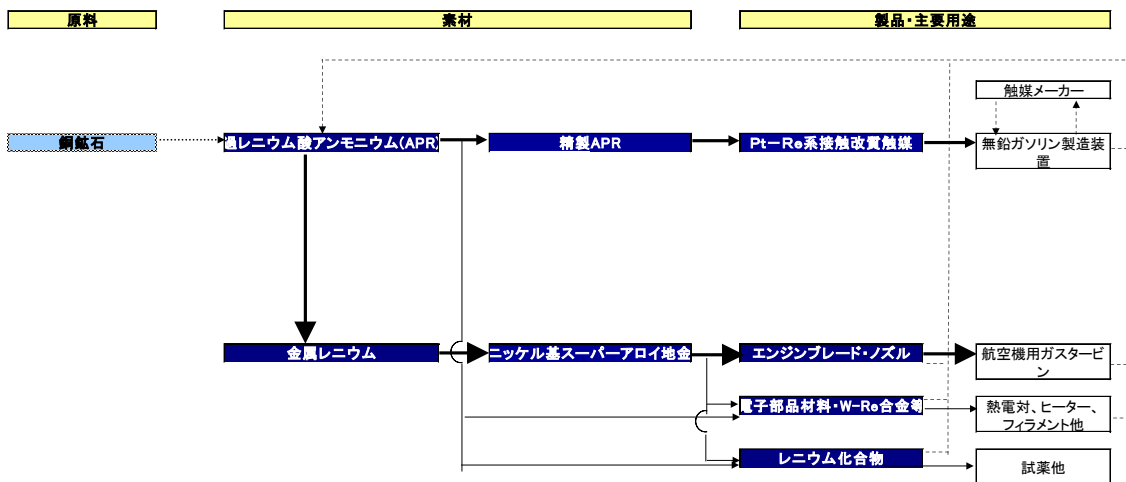
レニウム地金の輸入量についてはレニウムだけの統計はないが、米国が多くの部分を輸入していると推定される。

レニウムは単独での貿易統計はないが、最大消費国(世界の約8割)である米国の主要輸入相手国と、最大供給国(世界の約半分)であるチリの主要輸出相手国を見ることで、大まかな世界の貿易状況が見て取れる。

■日本

日本には、レニウム単独の貿易統計はない。

【鉱石から製品まで】 出典:財務省貿易統計、非鉄金属等需給動態統計



【概要】

- ・レニウムは銅・モリブデンの副産物として生産され、2017年の世界のレニウム生産量は52t(純分)であった。
- ・2017年の国内のレニウム需要量はエンジンのタービンプレード用、触媒用その他を合わせて、2.0~2.5tと推定される。
- ・レニウムの価格は2008年に急騰し、その後低下が続き、2017年の価格は2008年の急騰以前の価格に近い。従来、レニウムを3%含有するタービンプレードが使用されていたが、レニウム価格の上昇に対応して、レニウム1.5%のタービンプレードが開発され、使用されている。
- ・今後、世界のエンジンの生産量は増加すると見られるが、レニウム需要はタービンプレード中のレニウム含有量の増減の影響を受ける。

1. 特性・用途

レニウムは銀白色を呈し、高温では揮発性の酸化レニウム(Re_2O_7)となる。融点は $3,180^\circ\text{C}$ で、金属元素の中では2番目に高く、密度も 21.02gcm^{-3} で、単体としては4番目に高い。レニウムの硬さはモース硬度が7と硬く、弾性率も高い。高強度、高耐食性で電気抵抗が大である。耐クリープ性に優れるとともに、優れた触媒活性等を有する。

レニウムは、硫化銅鉬、モリブデナイト(斑岩銅鉬床のモリブデン精鉬)などの鉬石に微量含まれており、世界的には主に銅、モリブデンの副産物として回収されている。レニウムの生産量は銅やモリブデンの生産量に影響を受ける。地殻存在量が 0.0005ppm と小さいのに対し、主原料であるモリブデナイトの場合、レニウムは $250\sim 700\text{ppm}$ 程度含有されているとみられる。

レニウムとして、金属レニウム及び過レニウム酸アンモニウム(以下、APR)が使用されている。レニウムは市場が非常に小さいとみられるが、重要度の高い金属である。金属レニウムの主な用途は、ジェットエンジンのタービンプレード・ノズル用ニッケル基スーパーアロイ添加剤であり、APRの主な用途は、ガソリン製造用のアルミナ担持触媒である。

モリブデン精鉬に随伴する硫化レニウムは、モリブデン精鉬の酸化焙焼時に酸化揮発し、 SO_2 ガス相に移行するが、ガス洗浄時に液相に溶解する。APRを得るには、この溶液をアンモニア性溶液で逆抽出して晶出させる方法と、硫化沈殿して濃縮、酸抽出し、アンモニア性溶液で中和し晶出させる方法がある。そして、金属レニウムは、APRを水素ガスで還元させることにより得られる。

ニッケルベースのスーパーアロイは、航空機のエンジン素材に多く使われるが、同合金にレニウムを添加することで、高温特性が改善され、ジェットエンジンの燃焼効率を上げることができる。このため、1998年頃からガスタービンプレード・ノズルへのレニウム合金の利用が増加してきた。

ガソリン製造では、アルミナ担体に白金とレニウムを担持した触媒が無鉛ハイオクタン価ガソリン製造の接触改質触媒に使われているが、1980年代半ばに触媒連続再生プロセスが開発されて以来、新規触媒需要は減少し、レニウムの触媒市場は漸減傾向にある。

レニウム合金(タングステン・レニウム)は、医療用X線ターゲット、テレビのカソードヒーターワイヤ線、自動車用特殊耐震電球フィラメントなどに用いられる。

金属レニウムは熱的特性を生かし熱交換器などの化学プラント部品に使われているほか、最近では、超硬工具用タングステンやモリブデン合金にレニウムを添加することで特性向上を図ることも検討されている。(参照:レアメタルハンドブック2016)

2. 需給動向

2-1.世界の需給動向

世界の金属レニウムの需給推移を表2-1、図2-1に示す。2017年の世界のレニウム生産量は、前年からわずかに増加の52.0tとなった。2015年以降のレニウムの回収量及び需要量については公表データがない。

2017年のレニウム需要量は、公表された統計値が存在しないが、例年並みの50~60tと推定されている。

表 2-1 世界のレニウム需給

単位: 純分t

		2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	17/16比	構成比	
供給	生産量 ¹⁾	チリ	27.6	25.0	25.0	27.0	27.0	25.0	25.0	26.0	27.0	27.0	100%	52%
		ポーランド	-	-	4.7	6.0	6.0	7.5	7.6	8.9	9.0	9.0	100%	17%
		米国	7.9	5.6	6.1	8.6	7.9	7.1	8.5	7.9	8.4	8.5	101%	16%
		ウズベキスタン	-	-	-	3.0	5.4	5.5	0.9	1.0	1.0	1.0	100%	2%
		カザフスタン	7.7	3.0	2.0	3.0	3.0	2.5	0.3	1.0	1.0	1.0	100%	2%
		その他	13.30	12.62	9.40	3.10	3.30	1.30	2.40	1.20	5.16	5.50	107%	11%
		小計①	56.5	46.2	47.2	50.7	52.6	48.9	44.7	46.0	51.6	52.0	101%	100%
	回収量 ²⁾	ドイツ	3.4	3.0	3.2	3.4	3.4	3.3	3.0	-	-	-	-	-
		米国	3.0	2.5	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	-	-	-	-	-
		カナダ	1.2	1.5	2.0	2.5	2.0	1.2	1.8	-	-	-	-	-
		エストニア	0.5	0.5	1.0	1.0	1.0	0.8	0.5	-	-	-	-	-
		その他	1.8	1.7	1.9	2.3	2.5	2.5	2.0	-	-	-	-	-
	小計②	9.9	9.2	11.1	12.2	11.9	10.8	10.2	-	-	-	-	-	
	合計①+②	66.4	55.4	58.3	62.9	64.5	59.7	54.9	-	-	-	-	-	
需要 ²⁾	スーパーアロイ	45.1	42.5	41.1	42.0	43.1	44.0	46.3	-	-	-	-	-	
	改質触媒	6.0	5.5	5.7	6.0	6.0	5.9	6.1	-	-	-	-	-	
	その他触媒(GTL等)	6.0	3.0	3.8	3.0	2.5	2.5	2.4	-	-	-	-	-	
	その他	4.5	4.0	4.5	5.0	5.0	4.5	4.5	-	-	-	-	-	
	合計	61.5	55.0	55.0	56.0	56.5	56.9	59.3	-	-	-	-	-	

出典: 1) United States Geological Survey「Mineral Commodity Summaries2018 RHENIUM」

※ウズベキスタンは2010年以前はその他に含まれる

※四捨五入により、各国の生産量合計値と合計値が合致しない場合がある。

2) 出典: Roskill「Rhenium: Global Industry Markets & Outlook 9th Edition 2015」

World: Estimated secondary production of rhenium 2004to 2014

2015年、2016年、2017年の回収量、需要のデータはない。

2017年生産量その他に、中国(3.0)を含む

※GTL=Gas To Liquids(ガス・ツー・リキッド)

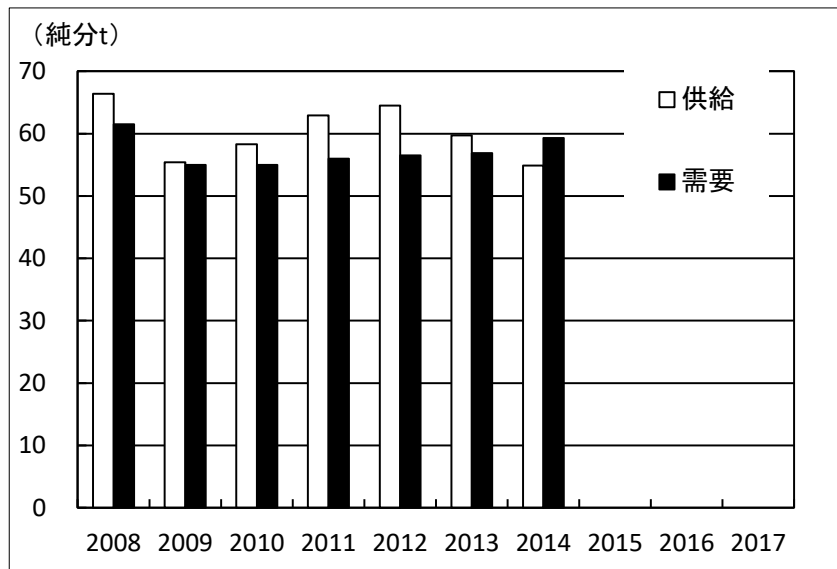


図 2-1 世界のレニウム需給

(1) 銅・モリブデンの副産物としての生産量

供給量のうち、銅・モリブデンの副産物としてのレニウム生産量は前年から微増の52.0tであった。国別生産量を図 2-2 に示す。主要生産国のうち、最大の生産地であるチリは、前年並みの27t、第2位のポーランドが前年と同じ9.0t、第3位の米国も前年並みの8.5tであった。なお、銅及びモリブデンの上位生産

国であるチリの生産が、世界全体の 52%を占めている。

チリには、世界最大のモリブデン鉬石精製会社である Molibdenosy Metales S.A.,(以下 Molymet 社)がある。Molymet 社はレニウムの世界生産量のうち高いシェアを占めており、レニウム市場において非常に重要な存在となっている。

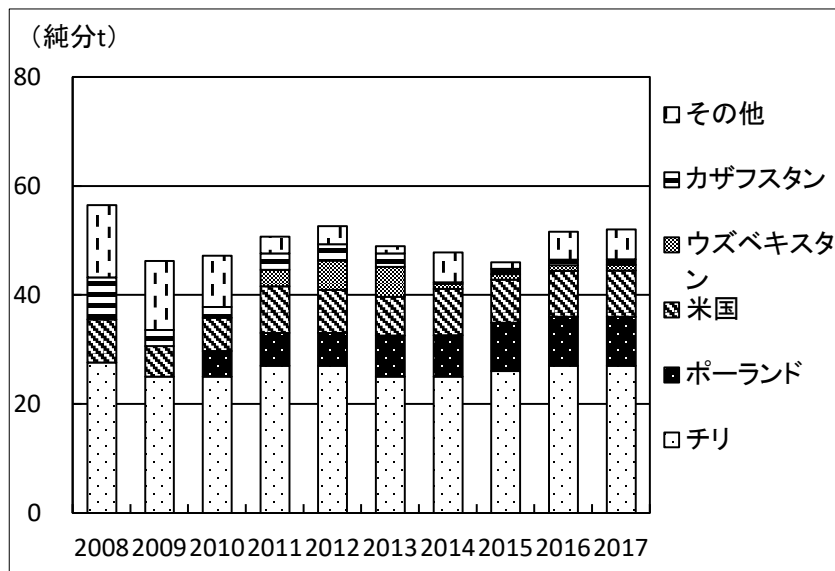


図 2-2 国別のレニウム生産量

(2)触媒やスーパーアロイ等からの回収生産量

国別のレニウム回収量を図 2-3 に示す。供給量のうち、スーパーアロイ、使用済み触媒からのレニウム回収量は、2015 年以降の統計値が存在しない。

2007 年～2008 年はレニウム価格の高騰(需要増)の影響により、スーパーアロイ等からのレニウム回収が活発化していた。しかし、回収量が増加したことで供給過剰となり、価格の低下傾向が続いていることから、2013 年以降の回収量は減少した。

世界のレニウムの主要回収企業はドイツの W. C. Heraeus 社や H.C. Starck 社(2018 年、JX 金属が全株式を取得)、米国の Gemini industries 社、カナダ Maritime House Metals 社(Molycorp より買収) 等である。

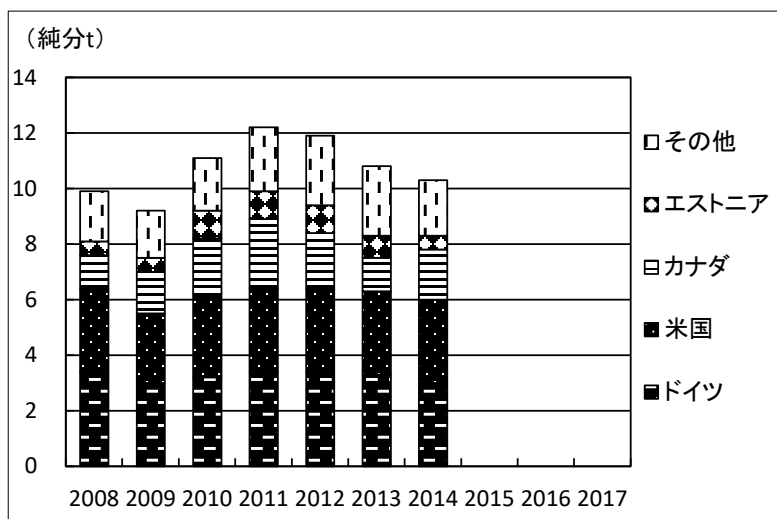


図 2-3 国別のレニウム回収量

(3)需要量

レニウムは航空機のタービブレードに使用されている。

2008年以降のレニウム価格の高騰以降、レニウムの需要は後退した。その後、第2世代スーパーアロイ(レニウム含有量3%)より、レニウム含有量を低減(約1.5%)したスーパーアロイが開発され、利用されている。

2017年の世界のレニウム需要は、統計値が存在しないが、50~60tと推計されている。旅客機需要が伸びると言われているが、Re需要はさほど伸びていない。

2-1-1.米国の需給動向

世界のレニウム需要の多くを占める米国の需要を表2-2に示す。2017年の米国のレニウム需要量は前年比106%の42.6tと増加した。消費構成は2013年以降変わらず、ガスタービン向けが最も多く80%を占める。そのほか触媒が15%、その他が5%を占める。

表 2-2 米国のレニウム需要

												単位:t	
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	16/15比	構成比	
米国消費	ガスタービン	36.1	26.0	32.8	29.5	34.1	24.3	23.5	27.8	28.2	34.1	121%	80%
	触媒	10.3	7.4	9.4	8.4	9.7	6.9	6.7	7.9	8.1	6.4	79%	15%
	その他	5.2	3.7	4.7	4.2	4.9	3.5	3.4	4.0	4.0	2.1	53%	5%
	小計	51.5	37.1	46.9	42.1	48.7	34.7	33.5	39.7	40.3	42.6	106%	100%
世界供給量		66.4	55.4	58.3	62.9	64.5	59.7	54.9	-	-	-	-	-
米国消費率		78%	67%	80%	67%	76%	61%	-	-	-	-	-	-

出典：米国消費：United States Geological Survey「Mineral Commodity Summaries RHENIUM」Consumption, apparent

世界供給量：USGS及びRoskill「Rhenium: Global Industry Markets & Outlook 9th Edition 2015」

※その他：熱電対(W-Re)、電気接点、電子部品(ターゲット材)、ヒーター、フィラメント、質量分析器など(米国)。

※米国消費の内訳であるガスタービン、触媒、その他の数値はUSGSの報告に記載された米国消費の合計値と各用途の構成比から算出した。

2-2.国内の需給動向

日本のレニウム需給や、レニウムの主要需要先であるガスタービン用ニッケル基耐熱合金市場に関する統計・情報はない。

表2-3に世界の主要エンジンメーカーの航空用エンジン生産(売上)高シェアを示す。2017年の航空用エンジン生産高は対前年微増である。

2015年まで、国内のレニウム需要量を、米国のレニウム需要量に日本の航空機エンジン生産量(売上)の米国の航空機エンジン生産量(売上)に対する比率を掛けて推算していた。しかしながら、米国で生産されるエンジンの売上とレニウム需要の比率と、日本で生産されるエンジンの売上とレニウム需要の比率に相関はなく、従来の推定方法を使用することに無理があるため、この方法での推定は実施しない。参考までに表2-4に日本の航空機エンジン生産(2016年及び2017年)のデータを示す。

レニウムの国内需要はタービブレード、触媒・その他を合わせ、2.0~2.5t程度と推計される。

表 2-3 世界の主要エンジンメーカーの航空機用エンジン生産(売上)高シェア

		(US\$ mil.)										
		2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	17/16比
米国	GE	19,239	18,728	17,619	18,859	19,994	21,911	23,990	24,660	26,261	27,375	104%
	UTC (P&W)	12,965	12,577	12,935	13,430	13,964	14,501	14,508	14,082	14,894	16,160	109%
	Honeywell	5,800	5,000	4,726	5,659	6,184	6,764	10,221	9,235	9,171	9,156	100%
	小計	40,012	38,314	37,290	39,959	42,154	45,189	50,733	49,992	52,342	52,691	101%
英国	RR	15,052	14,114	15,179	12,519	14,022	14,454	14,665	13,700	12,527	13,907	111%
フランス	SNECMA	5,366	6,032	5,575	6,322	6,296	7,833	8,625	8,427	8,209	9,435	115%
	Turbomeca	1,508	1,323	1,245	1,238	1,447	1,577	1,680	1,530	1,247	1,234	99%
	小計	6,874	7,355	6,820	7,560	7,743	9,410	10,305	9,957	9,456	10,669	113%
ドイツ	MTU	3,988	3,626	3,584	4,079	4,342	4,698	4,743	4,918	5,236	5,367	103%
イタリア	Avio	1,979	1,960	2,321	2,408	2,657	1,710	0	0	0	0	-
スウェーデン	Volvo Aero	1,131	1,019	1,070	979	770	0	0	0	0	0	-
日本3社		3,643	3,481	3,614	4,242	4,475	4,398	4,425	4,573	5,491	5,671	103%
合計		70,670	67,889	67,868	69,736	74,150	78,116	82,857	81,124	83,035	88,305	106%

出典：日本航空宇宙工業会「航空宇宙産業データベース(平成29年7月)」世界主要エンジンメーカーの航空エンジン生産(売上)高シェア
 Avi SpAは2014年にGEに統合(～2012年は€ mil, 2013年は\$ mil.)
 Volvo Aeroは2013年にGKNに統合(～2012年はKrona mil.)
 日本3社の数値は日本全体のエンジン生産額(本体、部品、修理の合計)(暦年)
 ※日本3社(IHI, KHI, MHI)。

表 2-4 日本の航空機エンジン生産(2016年及び2017年)

	2016					2017				
	億円		構成比 (計)	防衛省 比率	前年比 (計)	億円		構成比 (計)	防衛省 比率	前年比 (計)
		内防衛省					内防衛省			
ターボジェット発動機	193	193	3%	100%	247%	131	131	2%	100%	68%
ターボシャフト発動機	49	49	1%	100%	114%	23	23	0%	100%	48%
その他	2	2	0%	100%	-	7	5	0%	63%	291%
発動機部品	4,980	638	83%	13%	108%	5,380	482	85%	9%	108%
修理	744	275	12%	37%	95%	795	160	13%	20%	107%
合計	5,968	1,156	100%	19%	108%	6,337	801	100%	13%	106%

出典：経済産業省機械統計

3.輸出入動向

3-1.輸出入動向

APR や金属レニウムの輸出入は行われているが、レニウムは単独の HS コードがない。金属レニウムの場合、輸入はレニウム、ガリウム、ハフニウム、ニオブと、輸出はレニウム、インジウム、ガリウム、ハフニウム、ニオブと共に統計が行われている。

金属レニウムは、ガスタービン向けの需要が増加した際にスポット的に輸入が行われていると推定される。

APR の場合、オキソ金属酸塩及びペルオキソ金属酸塩のその他のもの(輸入:HS コード 2841.90090、輸出:HS コード 2841.90000)として、他の品目と統合されている。その数値の殆どがレニウム以外と推定されるため、数値の掲載は割愛する。

3-2.価格動向

輸出入数量と同様の理由により貿易統計から輸出入価格の動向を把握できないが、レニウムペレット(99.99%)と APR(触媒グレード)の価格動向を表 3、図 3 に示す。

2007 年～2008 年にかけて、レニウムは需給のタイト化が懸念され、価格が上昇傾向にあった。その後需要が緩んだことや、回収品からの生産量増加に伴い、レニウム価格は 2009 年以降 2017 年まで下がり続けている。2017 年のレニウム価格は 2007 年にレニウム価格が高騰する以前の価格に近い。

表3 レニウムの価格動向

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Reペレット(99.99%)	10,400	7,500	4,720	4,670	4,040	3,160	2,980	2,670	2,030	1,530
APR(触媒グレード)	10,300	7,580	4,630	4,360	3,990	3,400	3,080	2,820	2,510	1,550

出典：United States Geological Survey 2018「Mineral Commodity Summaries RHENIUM」

※Average price per kilogram of rhenium in pellets or catalytic-grade ammonium perrhenate, from Metal Bulletin.

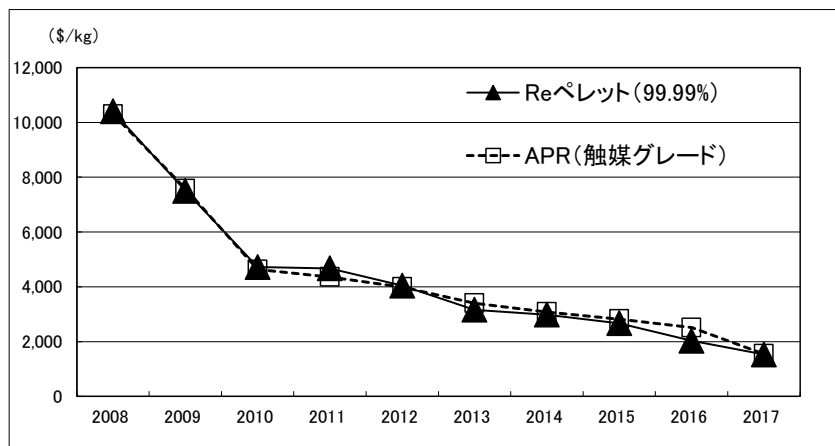


図3 レニウムの価格動向

4.リサイクル

レニウムのリサイクル率は以下の定義により推計すると表4の通りである。統計から把握可能なリサイクル数量は触媒からの回収のみであるが、2014年以降は計上されておらず、レニウムのリサイクル率(計算値)は0%となった。

一般的に、使用済み触媒から溶解・加水分解などにより回収されたレニウムは過レニウム酸アンモニウムとして再度触媒向けで利用される場合と、地金として他の用途で利用される場合の2つがある。

レニウムの主用途である航空機用高圧タービンは、民間機の場合、定期点検等で一定量の廃棄品が発生するが、その多くはエンジンメーカーが認定している再生メーカー(米国、英国など)が回収し、国内にはほとんど出回らなかった。

海外の白金-レニウム系接触改質触媒のリサイクルでは、主に白金を回収し、副産品として、レニウムが回収される。触媒からの回収企業として、ドイツのW.C.Heraeus社、米国のGemini Industry社がある。

リサイクル率	$\text{= (使用済み製品のリサイクル量) / (見掛消費)}$
見掛消費	= 国内市場 (推計最大値)

※レニウムの場合、貿易統計から見掛消費が算出できないため、見掛消費に代えて表1-4の国内市場(推計最大値)を分母としている。

表4 レニウムのリサイクル率

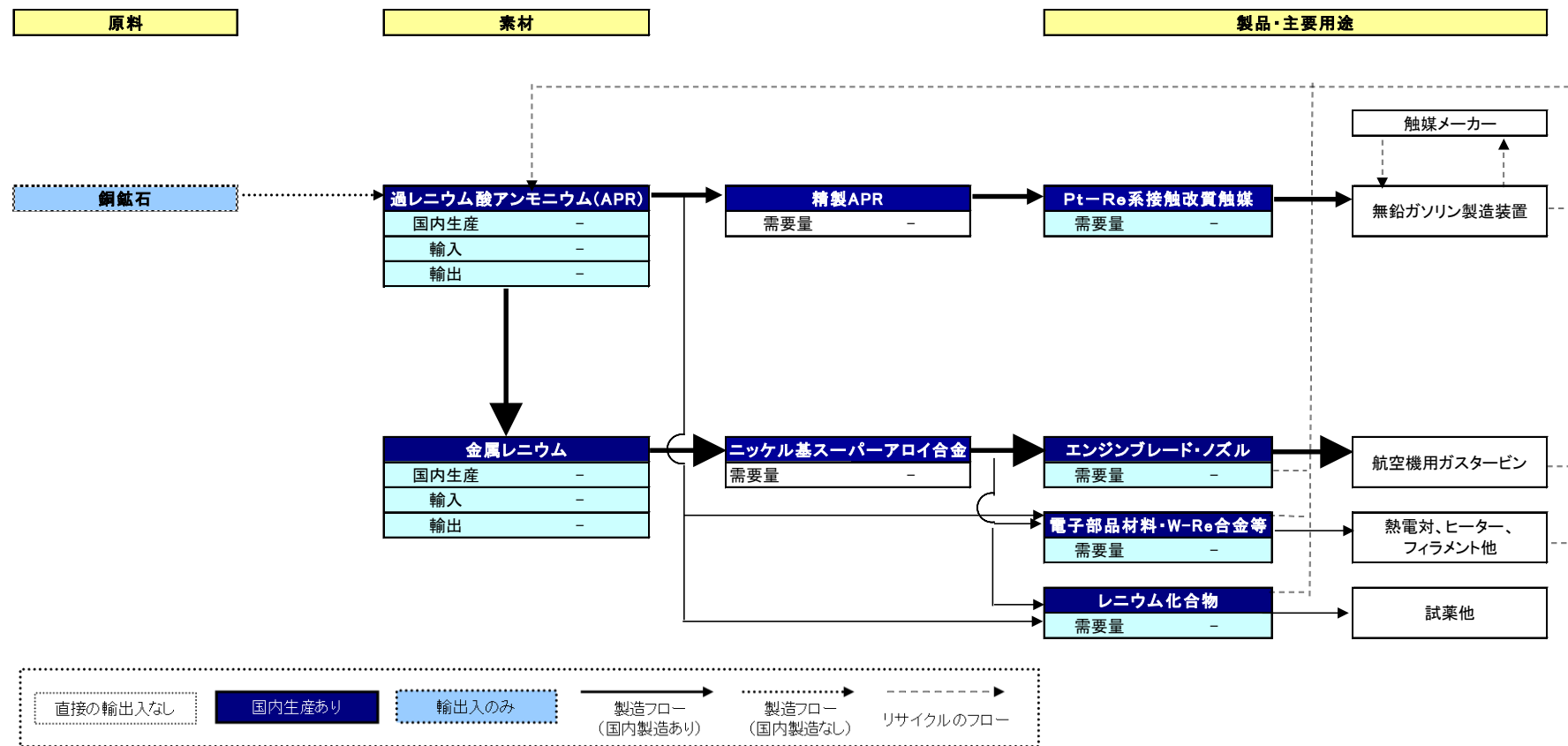
区分	内訳	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
国内生産	生産	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	②リサイクル ¹⁾	0.33	0.06	0.00	0.49	0.34	0.23	0.00	0.00	0.00	0.00
	合計	0.33	0.06	0.00	0.49	0.34	0.23	0.00	0.00	0.00	0.00
見掛消費(①国内市場) ²⁾		4.03	3.11	3.73	3.87	4.00	3.41	3.57	-	-	-
リサイクル量(②リサイクル) ¹⁾		0.33	0.06	0.00	0.49	0.34	0.23	0.00	0.00	0.00	0.00
リサイクル率(②/①)		8.3%	2.0%	0.0%	12.6%	8.45%	6.77%	0%	-	-	-

出典：1) 触媒資源化協会「触媒資源化実績報告書」

2) 表1-4日本のレニウムの需要合計値

5.マテリアルフロー

レニウムのマテリアルフロー(2017年)



※製品の需要量＝国内で生産又は国内に輸入された素材の需要量であり、製品の輸出入量は考慮していない。

純分換算率: APR69.4%

注)「-」: 生産・需要量が不明。輸出入量の記載がない。「0(ゼロ)」: 四捨五入して表の最小単位未満である。

