

## 39 ハフニウム (Hf)

## 39. ハフニウム(Hf)

### 39.1 マテリアルフロー分析

ハフニウムはジルコニウム鉱石中に存在し、ジルコニウムの副産物として生産される。ジルコニウム生産の1~2%程度の生産量になると想定すると、現在の世界のハフニウム金属生産量は100t/年前後と推定される。

ジルコニウム鉱石中のハフニウムの分離は、有機溶媒抽出法と蒸留法が代表的な方法である。有機溶媒抽出法では、ハフニウムのチオシアン酸イオン錯体がケトンとチオシアン酸の混合物中に選択的に抽出される性質を利用して分離する。蒸留法は、ジルコニウムとハフニウムの四塩化物の昇華温度差を利用して分離する。

我が国では原材料として金属ハフニウムを輸入している。現在の世界のハフニウムの需要と供給のバランスは均衡状態にあると推測される。

金属ハフニウムを原材料として、精製金属ハフニウム、超合金、ハフニウムカーバイド、ハフニウムナイトライド等が生産される。

精製金属ハフニウムは原子炉制御棒、ニッケル系超合金はジェットエンジン及びガスタービン、ハフニウムカーバイドは切削バイト、プラズマアークノズル、プラズマ電極、高温用セラミック等に利用されている。また、光ファイバーの材料等にも適用される。現状の用途としては、原子炉用、特殊合金用、電子・光学機器用の順に多いと推定される。各用途の状況は以下の通りである。

- 原子炉制御棒

ハフニウムは熱中性子吸収断面積が大きいことから、原子力発電所や原子力潜水艦の沸騰水型原子炉(BWR)の制御棒に使用されている。ハフニウム制御棒の消耗サイクルは3~4年といわれている。なお、BWR 制御棒用のハフニウムの代替品にはボロン粉があるものの、ボロンの消耗サイクルは1年程度とハフニウムに比べ短い。

- ジェットエンジン及び発電用ガスタービン

ジェットエンジンや発電用ガスタービンに使用されるニッケル系超耐熱合金の製造の際に、微量のハフニウムが添加される。

- 半導体集積回路

ハフニウムの酸化膜は誘電率が高いことから、半導体集積回路のゲート電極材料の1つとして検討されている。ただし量産化の可能性、PVD 法か CVD 法のいずれの成膜方法を採用するかなど現段階では不透明である。PVD 法で量産化された場合、トン単位での需要が期待される。

- その他

プラズマアーク金属切断用のノズル、プラズマ電極(炭化ハフニウム、窒化ハフニウム)、高温用セラミックなどに使用される。他には、電子機材(白熱灯のフィラメント、高圧放電管、真空管用ゲッター)、写真用フラッシュバルブ等の用途もある。光ファイバーにはフッ化ハフニウムとして使用される。また超硬工具材料のハフニウムニオブカーバイドにも使用される。耐食材として化学プラントに使用されることもある。

工作機械用としては、金属材料などの切断のためのスローアウェイチップ(刃)として使用される。形状は正方形、正三角形、菱形などで、通常のサイズは一辺が10-15mm、厚さが3-5mmである。主要組成はタングステンカーバイド、チタンカーバイド、タンタルカーバイドなどであり、ハフニウムは添加物として使用されており、含有率は通常は1%以下で、稀に2-3%のものがある。

最近では、ハフニウムはプラスチックなどの透明材料の表面を強くするという点で注目されてきている。バイクの風防やヘルメットのシールドなどの表面を透明なセラミックスであるハフニウムで覆うことで、傷が付きにくくなり、水をはじく性質もある。

ハフニウムの需給については公式統計が無いため、表のとおり2006年の推定値が唯一である。

表1 ハフニウムの国内需給

単位:純分 kg

年	2001年 (3月調査)	2004年	2005年	2006年
輸入(金属ハフニウム)	5,000	2,170	1,520	2,300
需要				
金属ハフニウム	3,770	1,090	1,270	2,050
原子炉制御棒	2,970	650	1,170	1,950
その他	800	440	100	100
スーパーアロイ	1,200	1,060	240	240
ハフニウムカーバイド	30	20	10	10
需要計	5,000	2,170	1,520	2,300

出典:日本メタル経済研究所

現在、我が国には中間生産物の生産者はおらず、我が国企業による海外投資も行われていない。

### 39.2 リサイクルの現状と評価

原子炉制御棒として利用された使用済み品は、放射性廃棄物として収集・保管される。放射能が消滅するまで長期の保管が必要となり、事実上、リサイクルは不可能である。

また、ジェットエンジン及び発電用ガスタービン用の高温材料ニッケル系合金では、ハフニウムの含有率が低く、リサイクルはされていないと思われる。工作機械用に利用された使用済み品も、ハフニウム含有率が小さく、リサイクルの対象となっていない。

最近開発された第3世代の高温材料イリジウム・ハフニウム合金は、ハフニウムの含有率が高く、加えてイリジウムも高価な貴金属であるので、今後、実用化されればリサイクルされる可能性があると思われる。

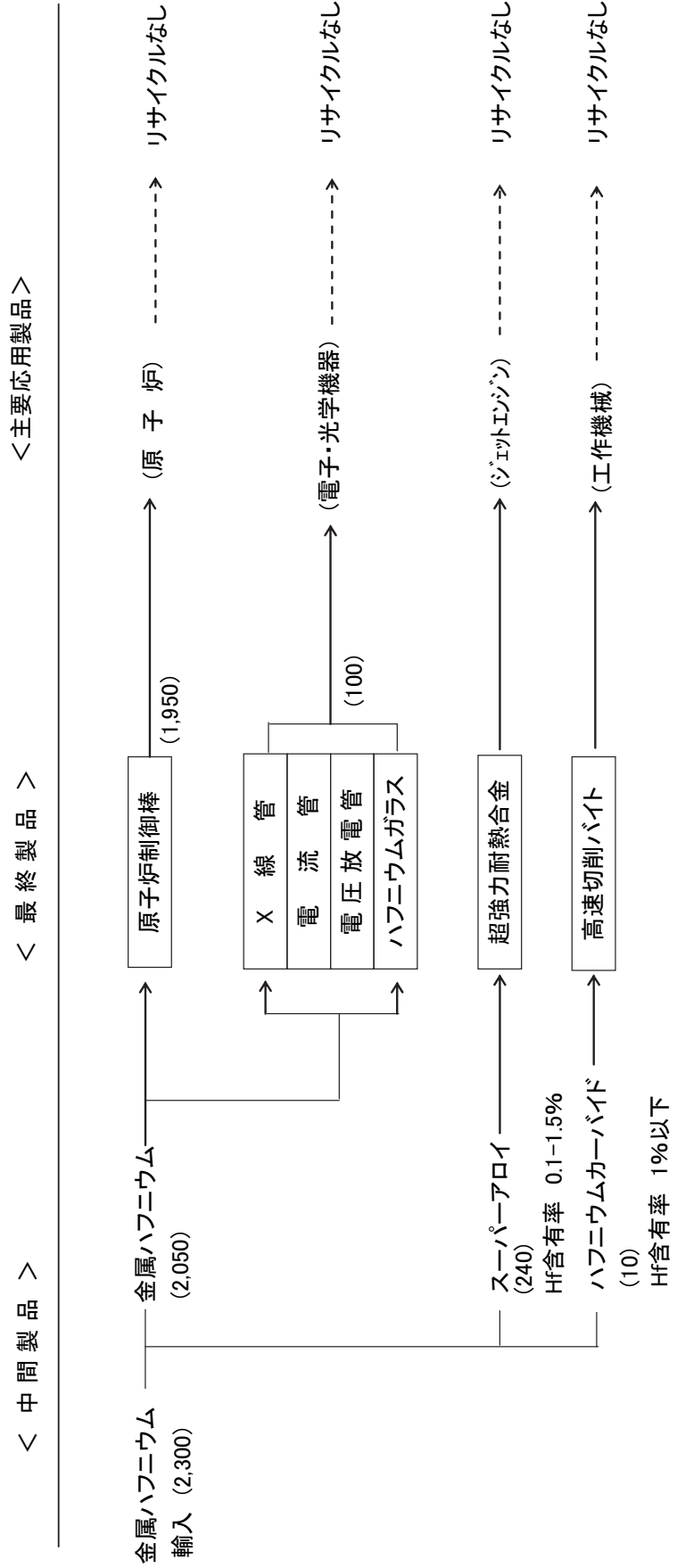
半導体集積回路用については、現時点ではまだ材料として検討段階であるが、今後、PVD法で量産化された場合、使用済みターゲットのリサイクルは重要な課題となる。

プラズマ電極として使用されるものは、炭化ハフニウム、窒化ハフニウムなどハフニウム含有率が高いと思われる材質ではあるが、リサイクルの実態は不明である。

以上のとおり、ハフニウムのリサイクルは行われていないが、将来は価格次第でリサイクル対象となる製品や合金も出てくると考えられる。

## ハフニウム(Hf)

2006年ベース  
量の単位:( )内はHf純分kg



1. 鉱石埋蔵量 (Reserves): HfO<sub>2</sub> 660千t (USGS: MCS 2010)
2. 数値等は2006年の推定値

ハフニウム(Hf)

リサイクルの現状

2009年ベース

主な 応用製品	利用形態	使用済み品の存在形態・量		リサイクル形態			リサイクル現状評価 (A~G)(注③)	備考 (注④)
		形態	量 (注①)	リサイクルの実態	リサイクルのサイクル (注②)	リサイクル率		
原子炉	制御棒	金属(詳細不明)	(1,950)	リサイクルなし	—	0%	C, G	放射性廃棄物として収集、貯蔵
電子・ 光学機器	X線管 電流管 電圧放電管 ハフニウムガラス		(100)	リサイクルなし	—	0%	B, E	
ジェットエンジン ガスタービン	エンジン部材 ニッケル合金 (Hf含有率 :0.1-1.5%)	スクラップ	(240)	リサイクルなし	—	0%	B, E	
工作機械	ハフニウムカーバイト (Hf含有率 :1%以下)	一辺10-15mm, 厚さ3-5mmのチップ状 の正方形/正三角形/ 菱形状	(10)	リサイクルなし	—	0%	B, E	

(注)①量の単位:

( )内の使用量純分 kg  
その他は発生量純分 kg  
数値は2006年

②サイクル

( )内は推定使用年数  
その他は実リサイクル年数

③現状評価:

A. 応用製品が消耗品である  
B. 添加剤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など