

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(ジルコン及びバデライト)中に存在し、原子力用ジルコニウム精錬過程の副産物として生産される。典型的なジルコンには、ジルコニウムとハフニウムをそれぞれ 50:1 の割合で含有するとされる。世界の原子力用ジルコニウム生産は、約 7,000t と推定され、金属ハフニウムはその 1.5~2%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 120t/年前後と推定される。

鉱石中のハフニウムをジルコニウムから分離するには、工業的に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。

国内では金属ハフニウムの生産は行われておらず、全量輸入に依存している。

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ド、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使用される。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。

・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、量産化にあたり、スパッタリングターゲット材による PVD 法かハフニウムの塩化物などの化合物による 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。

・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。

・工作機械

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。

・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(炭酸ハフニウム、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、超硬工具材料の

ハフニウムニオブカーバイドとして使用される。また、耐食材として化学プラントに使用されることもある。

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、水を弾く性質もある。

ハフニウムの国内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

	2001年3月調査	2004年	2005年	2006年	2007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。

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。

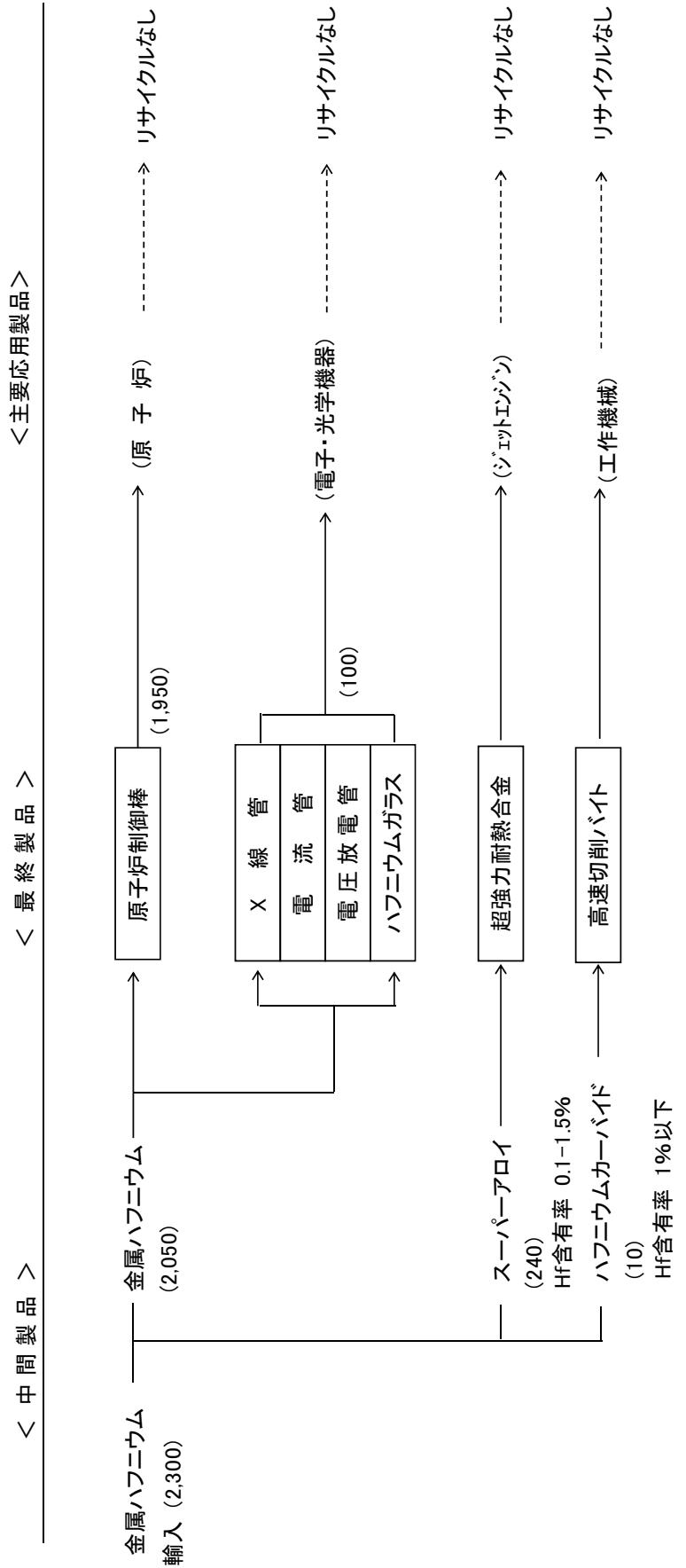
ジェットエンジン及び発電用ガスタービン用の高温材料ニッケル系合金では、ハフニウムの含有率が低いことからリサイクルはされていないと思われる。最近開発された第 3 世代の高温材料イリジウム・ハフニウム合金は、ハフニウムの含有率が高く、加えてイリジウムも高価な貴金属であるので、今後、実用化されればリサイクルされる可能性があると思われる。

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、ハフニウム対象となっていない。

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)のマテリアルフロー(2010)

2006年ベース
量の単位:()内はHf純分kg



ハフニウム(Hf)

リサイクルの現状

2006年ベース

主 なる 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	リサイクルの率 (注②)		
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ド (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	(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