

# カーボンニュートラルに向けた フッ素系温室効果ガスの分解と SDGsに向けたフッ素の再資源化

電力用絶縁ガス:  $\text{SF}_6$   
冷媒用フロンガス: HCFC, HFC  
半導体産業用PFCガス:  $\text{NF}_3$

名古屋工業大学 大学院工学研究科  
電気・機械工学専攻 教授  
安井 晋示

## 温暖化係数(GWP)

- ✓ 二酸化炭素を基準(1)にして、ほかの温室効果ガスがどれだけ温暖化する能力があるか表した数字。
- ✓ すなわち、単位質量(例えば1kg)の温室効果ガスが大気中に放出されたときに、一定時間内(例えば100年)に地球に与える放射エネルギーの積算値(すなわち温暖化への影響)を、CO<sub>2</sub>に対する比率として見積もった値

SF <sub>6</sub>	23,900
HCFC (CHClF <sub>2</sub> )	10,900 (オゾン層破壊)
HFC (CH <sub>2</sub> FCF <sub>3</sub> )	1,300
NF <sub>3</sub>	17,200

# サーキュラーエコノミー(循環経済)

汚泥として埋設処分

現状技術

国内資源

炭酸カルシウム(鉱山)

炭酸カルシウム

開発技術

フッ素原料(CaF<sub>2</sub>)  
(純度97%以上)

フッ素系産業製品

各種フッ素産業用途

- ・フッ素樹脂、ゴム
- ・ガラス・レンズ
- ・フッ素表面処理加工
- ・塗料
- ・鉄鋼
- ・フロン類
- など

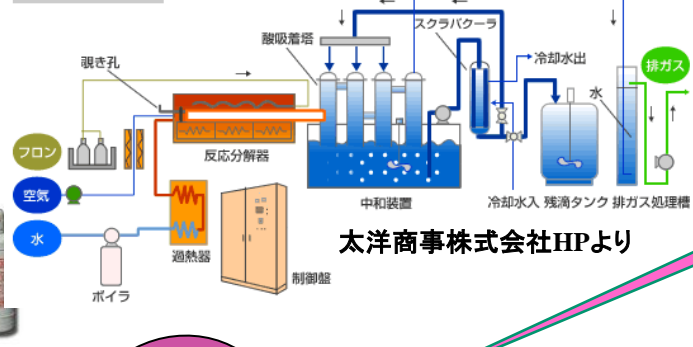
回収量  
2万トン-CaF<sub>2</sub>/年  
(世界の生産量:450万トン/年)

全量輸入海外資源

フッ素原料(CaF<sub>2</sub>)  
(純度97%以上)

燃焼分解処理後

フロン分解フロー図



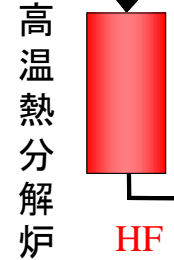
電力用絶縁ガス:SF<sub>6</sub>  
冷媒用フロンガス:HCFC, HFC  
半導体産業用PFCガス:NF<sub>3</sub>

フッ素系廃棄ガス

電気加熱による循環資源化プロセス

フロン類  
水蒸気  
空気

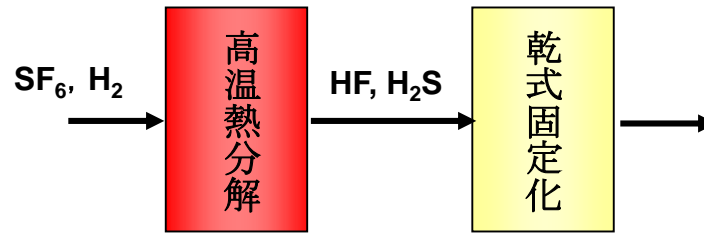
HFガスへの水素化還元処理



低温(200°C)気固反応によるCaF<sub>2</sub>への再生

CaF<sub>2</sub>(再資源化)

# フッ素系ガス再資源化処理システムのコンセプト



高温分解プロセス (1,000~1,200°C程度)      低温固定化プロセス (200~300°C程度)

水素化還元

乾式気固反応

開発した技術の特長

技術的な特長

プロセスの特長

システムの特長

電気加熱分解技術

- 早い処理速度が達成可能
- エネルギー効率が低い
- 排ガスがほとんど出ない

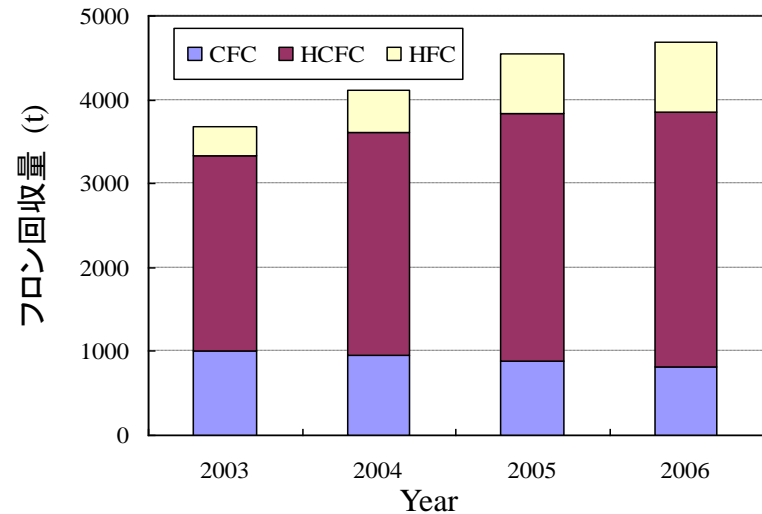
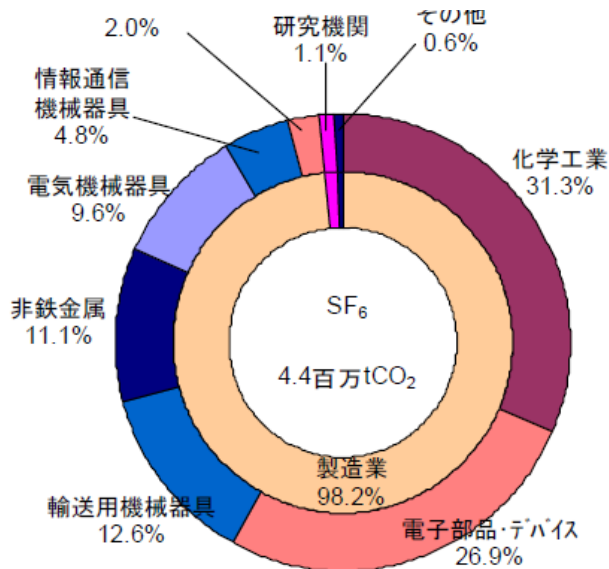
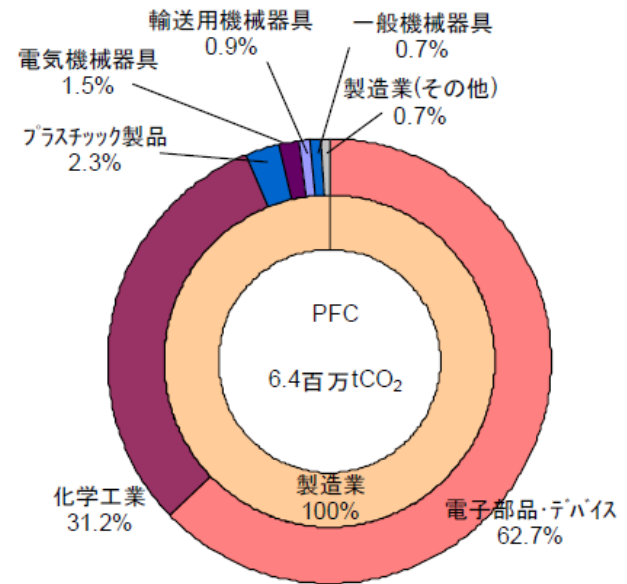
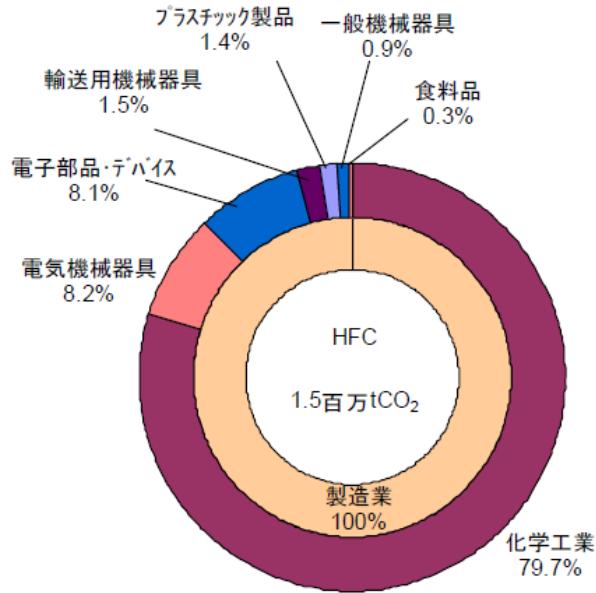
低温乾式固定化技術

- 再資源化が極めて容易
- 腐食性のフッ酸を扱わない
- HFガスの腐食性が極めて低い

- オンサイト処理(移動式)も可能なコンパクトな設備
- 環境に優しいシステム
- 生成物の純度が高く(97%以上), 原料と同じ
- 設備構成が容易(腐食対策が簡易:SUSが使用可)

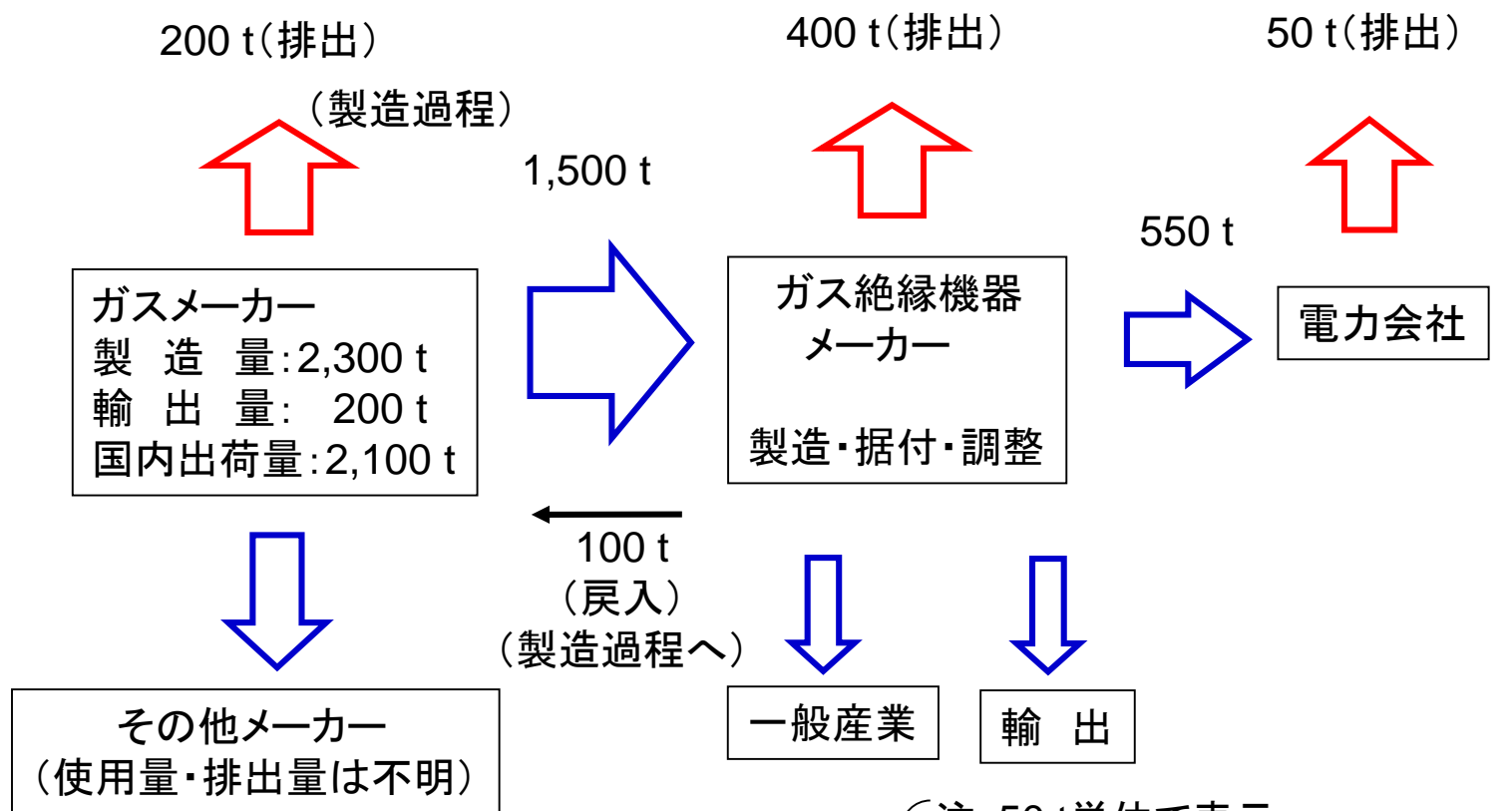
# フロン系ガスの排出量と回収量 (2006)

経済産業省資料



# SF<sub>6</sub>ガス年間使用量と排出量

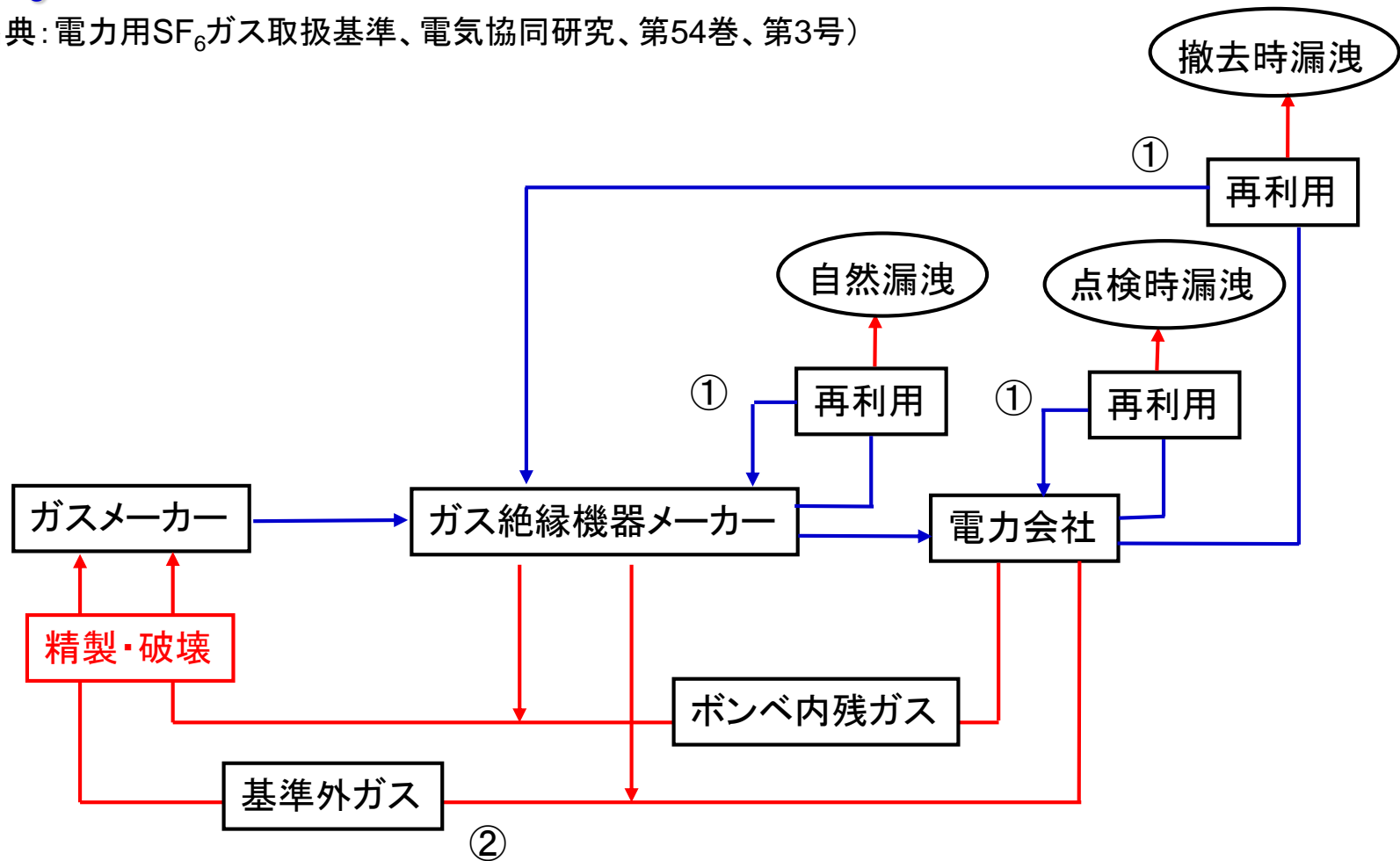
(出典: 電力用SF<sub>6</sub>ガス取扱基準、電気協同研究、第54巻、第3号)



注: 50 t単位で表示  
在庫の増減などにより流通量  
には100 t程度の幅あり

# SF<sub>6</sub>ガスリサイクルフロー

(出典: 電力用SF<sub>6</sub>ガス取扱基準、電気協同研究、第54巻、第3号)

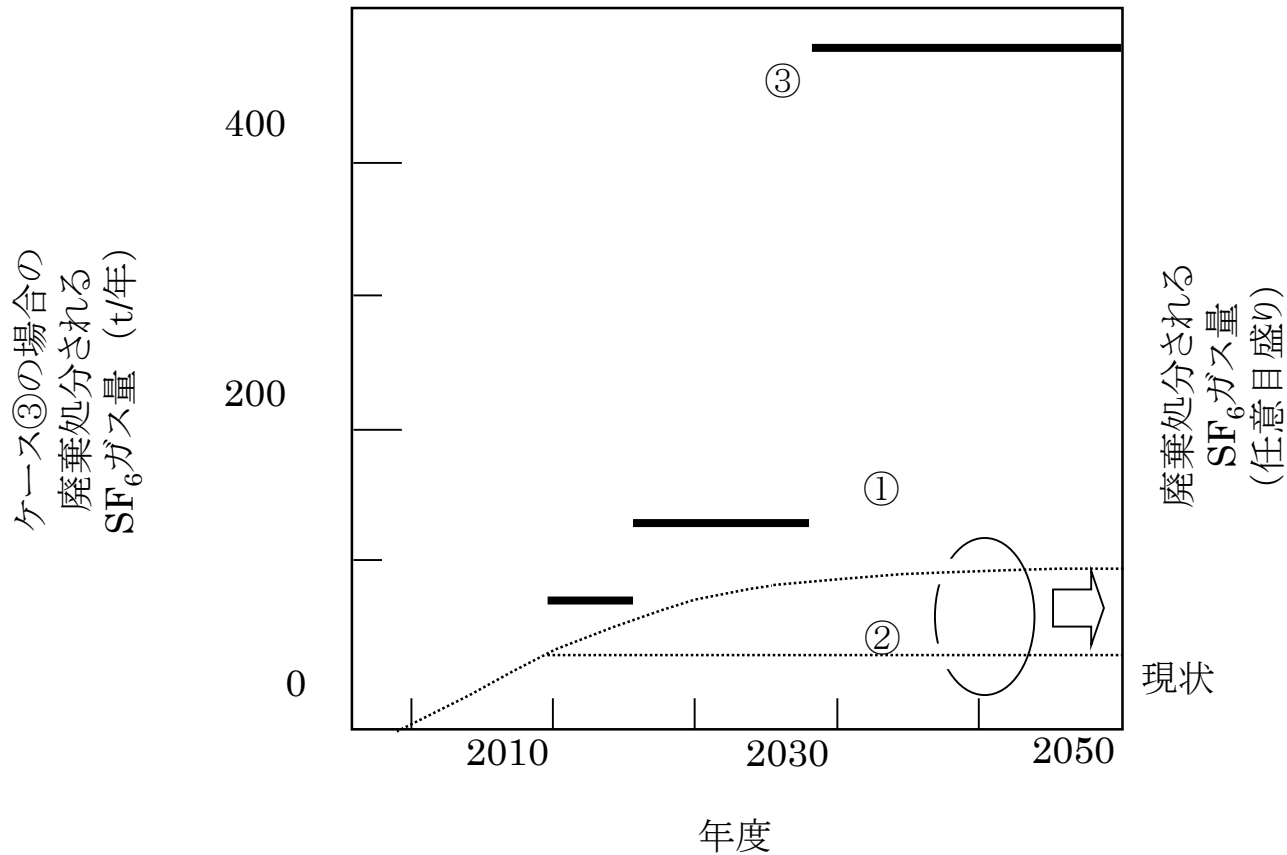


- ①リサイクル基準を満たした使用済みガスは、基本的には再利用を図る。
- ②使用済みガスがリサイクル基準を満たさない場合には、ガス製造メーカーでの再精製又は破壊処理の要請を行う。

# 次世代SF<sub>6</sub>レス変電所導入により期待されるSF<sub>6</sub>保有量の減少と廃SF<sub>6</sub>ガス量の予測

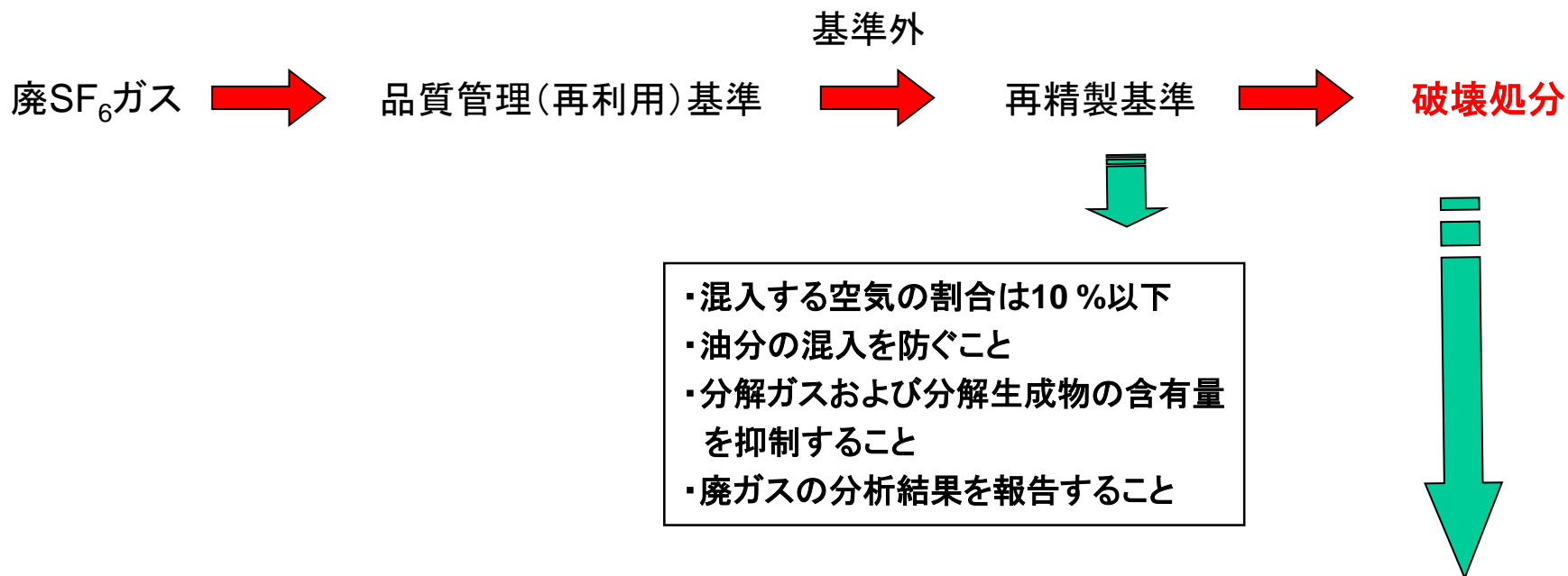
(参考資料:全固体変電所の提案:電中所調査報告W00047,2001)

- ① 現状技術
- ② 新設分に脱SF<sub>6</sub>機器採用ケース
- ③ 新設・更新分に脱SF<sub>6</sub>ガス機器採用ケース





# 廃SF<sub>6</sub>ガスの現状



## SF<sub>6</sub>破壊処理技術の現状

### 実用化技術 (フロンの破壊処理設備を転用)

#### ・液中燃焼法

メタン、空気、水蒸気とともにSF<sub>6</sub>を1,350℃以上の高温下で燃焼破壊する。排ガスは湿式で処理され、汚泥などの産業廃棄物が発生する。年間十数トンのSF<sub>6</sub>が破壊処理されている。

### 研究開発段階

#### ・薬剤加熱処理法

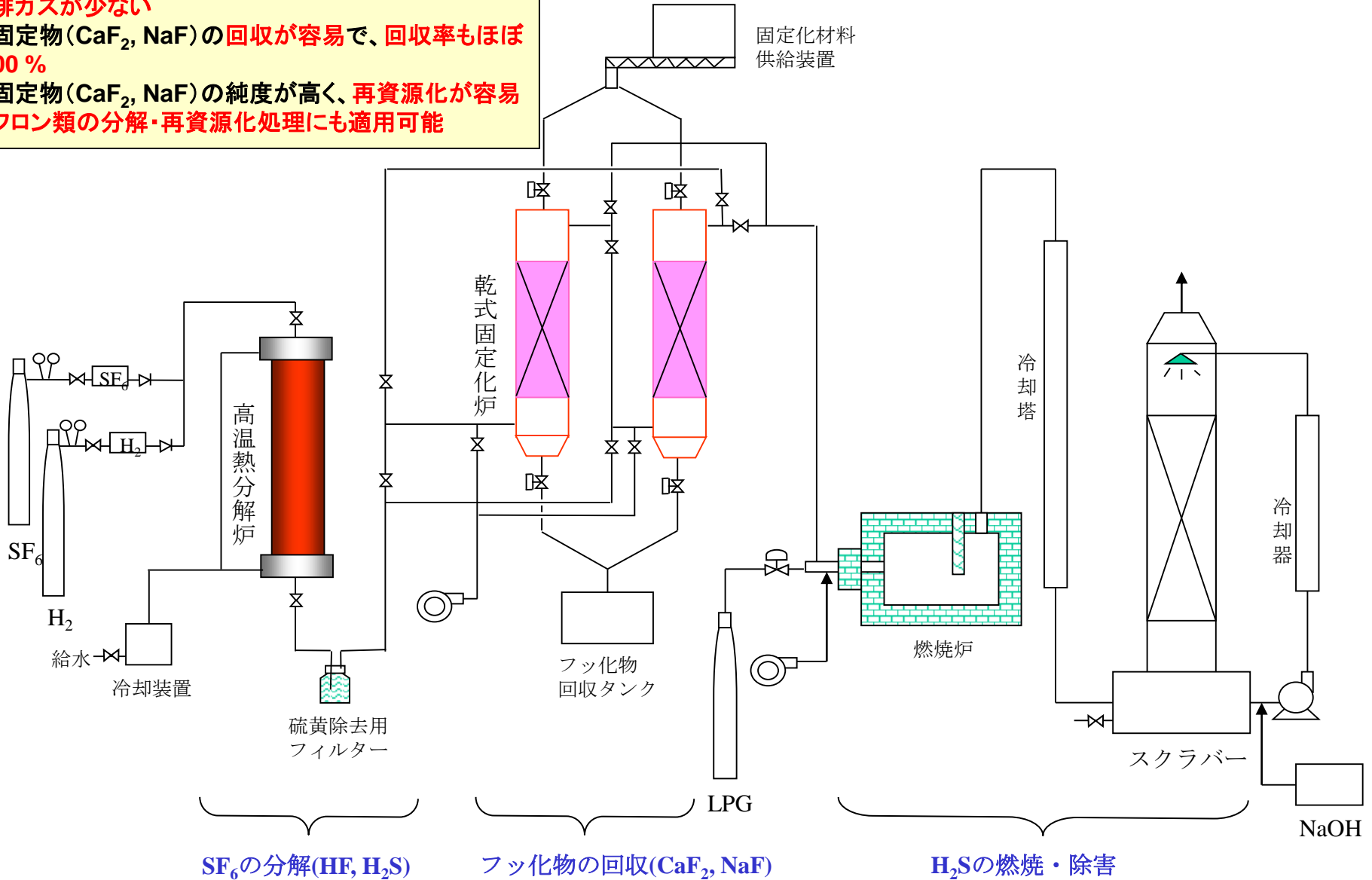
処理コストが高いなどの理由により稼動していない。

#### ・触媒法

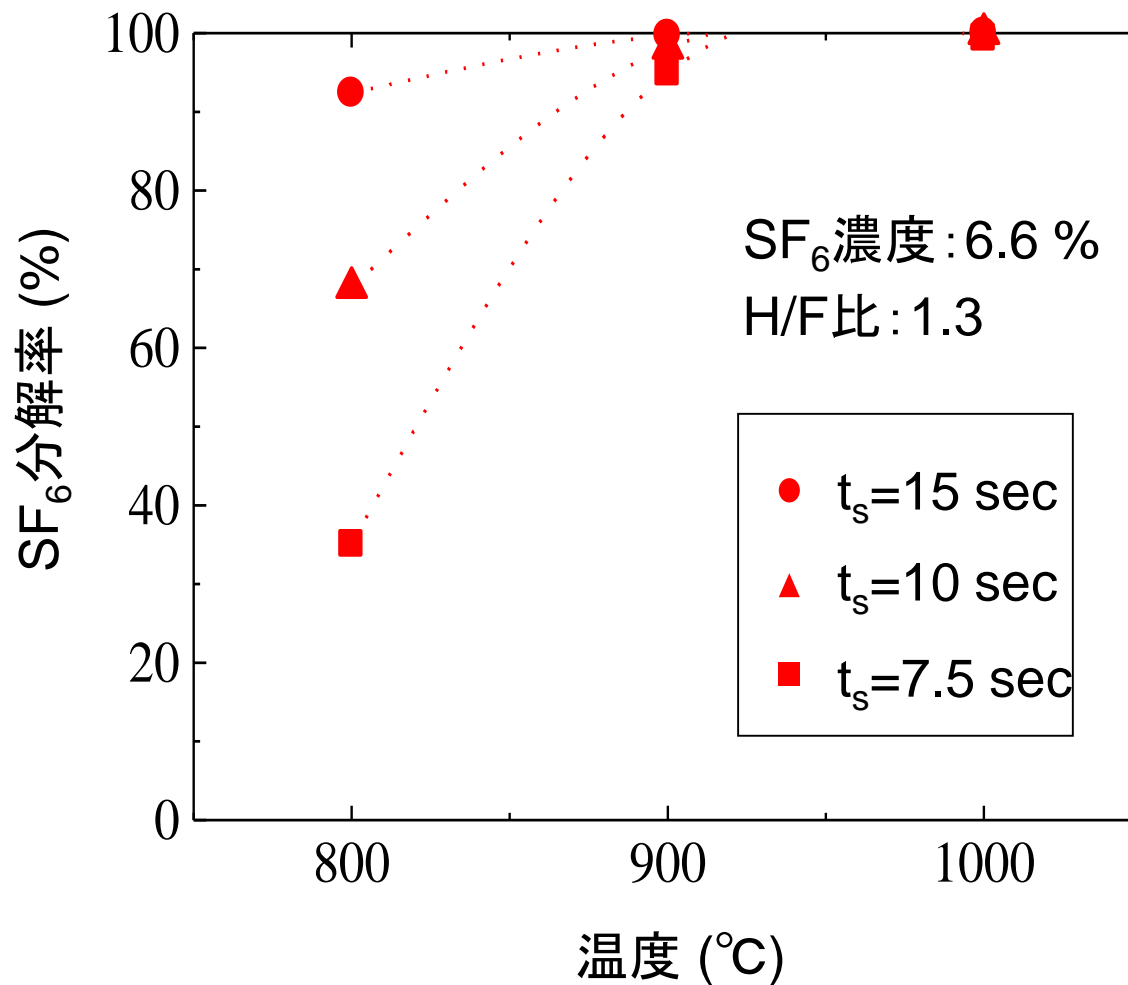
処理能力が小さいという課題が残されている。

# SF<sub>6</sub>ガス分解・乾式再資源化処理システム

- ・オンサイト処理(移動式)も可能なコンパクトな設備
- ・必要な処理量に対応した処理システム設計が可能
- ・排ガスが少ない
- ・固定物(CaF<sub>2</sub>, NaF)の回収が容易で、回収率もほぼ100%
- ・固定物(CaF<sub>2</sub>, NaF)の純度が高く、再資源化が容易
- ・フロン類の分解・再資源化処理にも適用可能



# SF<sub>6</sub>ガスの高温熱分解特性の解明 — 実験結果 —



# SF<sub>6</sub>ガスの高温熱分解特性の解明

# — 分解反応速度解析 —

## 分解反応速度解析



(1次の反応速度式)

$$-r_A = k \cdot C_{A0}$$

(積分形)

$$k\tau = (1 + \varepsilon_A) \cdot \ln\left(\frac{1}{1 - x_A}\right) - \varepsilon_A x_A \equiv F(x)$$

$k$  : 分解反応速度定数 (1/s)

$\tau$  : 滞留時間 (s)

$\varepsilon_A$  : (=  $\delta \times y_0$ )  $\delta=2$ ,

$y_0$  : SF<sub>6</sub>のモル分率 (-)

$x$  : 分解反応率 (-)

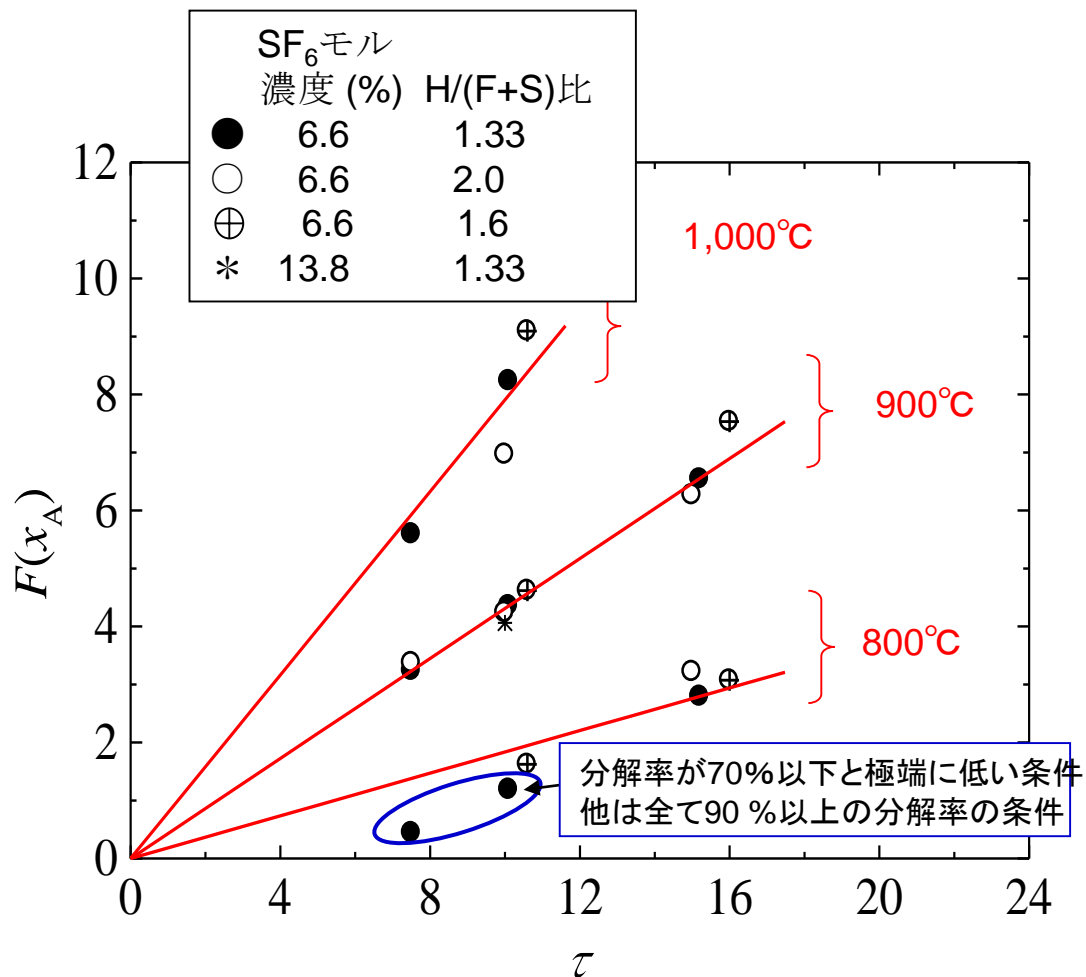


図  $F(x_A)$  対  $\tau$  のプロット

# SF<sub>6</sub>ガスの高温熱分解特性の解明 — 反応速度定数 —

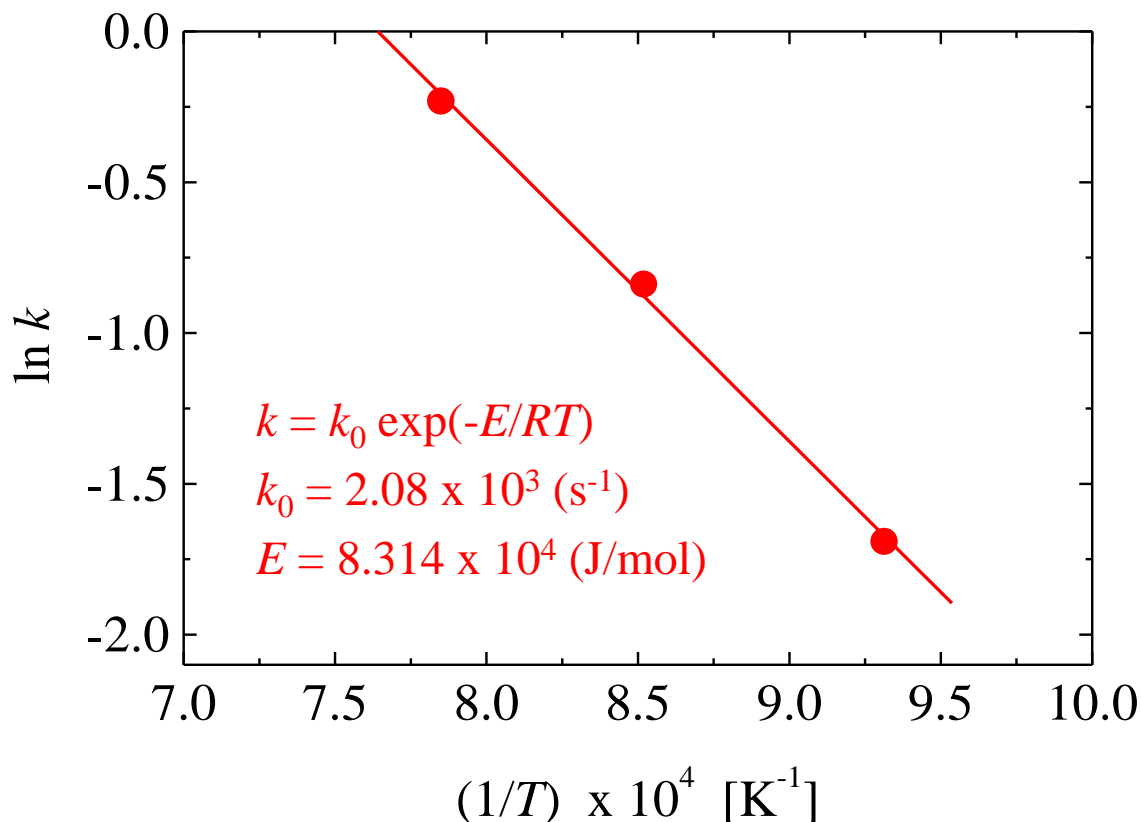


図 反応速度定数のアレニウスプロット

# SF<sub>6</sub>ガスの高温熱分解特性の解明 – 反応管の設計式 –

## 分解反応管の設計式

$$V = \frac{F_{A0}}{k} \left\{ (1 + \varepsilon_A) \ln \left( \frac{1}{1 - x_A} \right) - \varepsilon_A x_A \right\}$$

$$k = k_0 \exp(-E/RT)$$

$$\left( \begin{array}{l} k_0 = 2.08 \times 10^3 \text{ (s}^{-1}\text{)} \\ E = 8.314 \times 10^4 \text{ (J/mol)} \end{array} \right)$$

$V$  : 反応管体積 (m<sup>3</sup>)

$F_{A0}$  : SF<sub>6</sub>ガスの処理量 (m<sup>3</sup>/s)。

$k$  : 分解反応速度定数 (1/s)

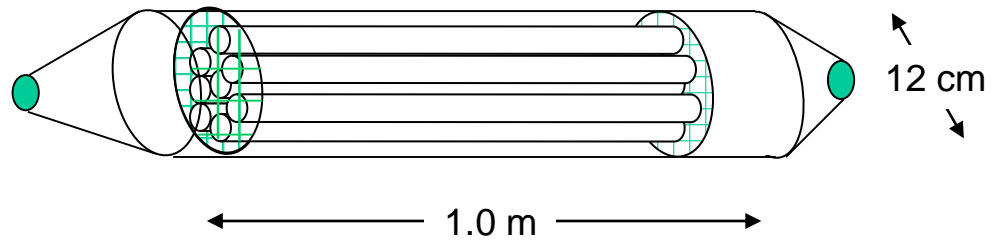
$\varepsilon_A$  : (=  $\delta \times y_0$ )  $\delta=2$ ,  $y_0$ : SF<sub>6</sub>のモル分率 (-)

$x$  : 分解反応率 (-)

## SF<sub>6</sub>ガス処理量: 1 kg/h

処理量			SF <sub>6</sub> 濃度	反応管温度 $T$ (°C)	反応速度定数 $k$ (s <sup>-1</sup> )	反応率 $x_A$ (%)	反応管体積 $V$ (L)	反応管長さ (内径2cmφ) $L$ (m)
SF <sub>6</sub>	H <sub>2</sub>	合計 $F_{t0}$						
(L/min)	(L/min)	(L/min)	(%)	(°C)	(s <sup>-1</sup> )	(%)	(L)	(m)
2.6	10.2	95.1	20	800	0.1865	99.99	56.0	178
2.6	10.2	95.1	20	1,000	0.8063	99.99	15.4	49
2.6	10.2	95.1	20	1,200	2.3426	99.99	6.1	19

## 分解反応管イメージ図



多管型分解反応器(1,200 °C)

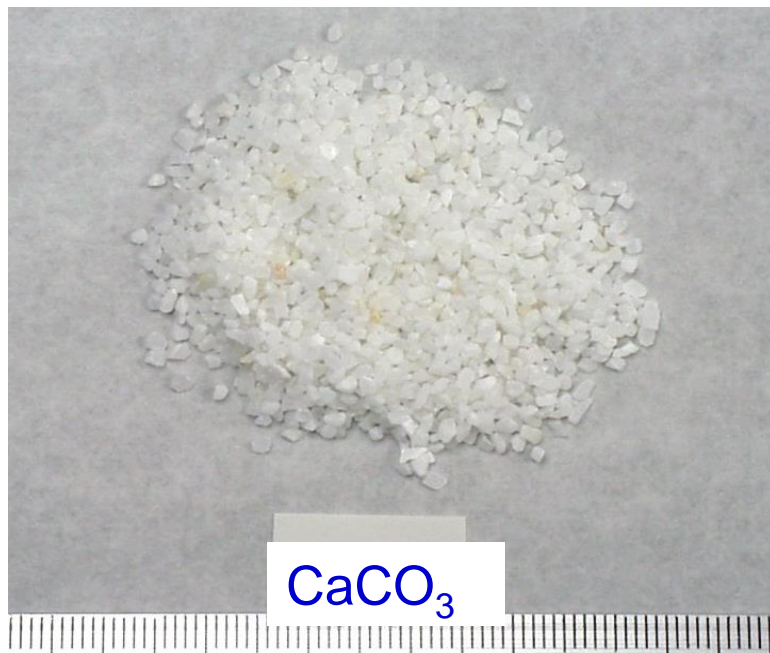
## 固定化材料の選定

- ・化学的に安定であること（取り扱いが容易）
- ・安価であること
- ・粒状であること（圧損が少ない）

炭酸カルシウム（寒水石）

粒度：1.18～2.00 mm

嵩密度：1.39 g/cm<sup>3</sup>



重ソー（造粒品）

粒度：1.18～2.36 mm

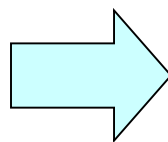
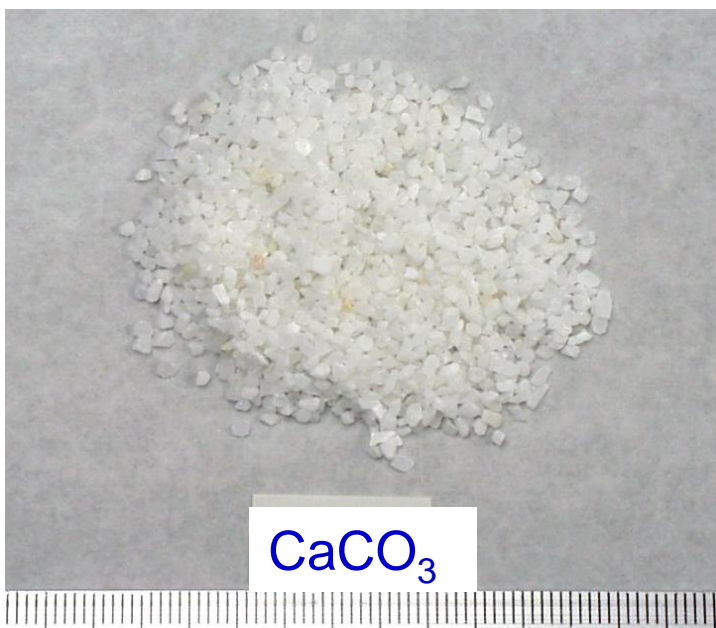
嵩密度：1.16 g/cm<sup>3</sup>



# 固定化生成物の性状

固定化材料: 炭酸カルシウム ( $\text{CaCO}_3$ )

反応性ガス	固定化反応条件					固定化生成物の分析結果			
	固定化材料の重量 (g)	反応温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	空塔速度 (cm/s)	充填層高 (mm)	SV ( $\text{h}^{-1}$ )	回収量 (g)	フッ化物の純度		
							$\text{CaF}_2$ (wt%)	S分 (wt%)	未反応分 (wt%)
HF, $\text{H}_2\text{S}$	100	200	4.5	90	1860	78.7	97 %up	0.1 %未満	-
HF, $\text{SO}_x$	40	400	5.0	35	1550	32.9	95 %up	2 %未満	3 %未満

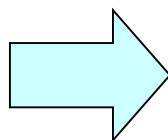




# 固定化生成物の性状

固定化材料: 重ソー (NaHCO<sub>3</sub>)

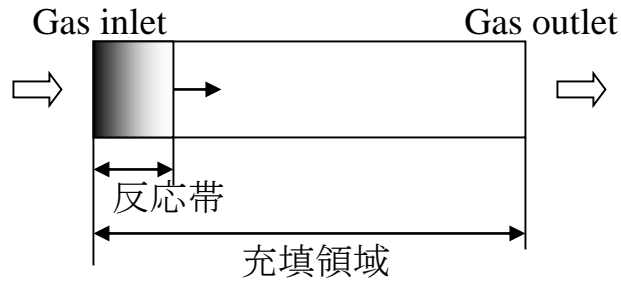
反応性ガス	固定化反応条件					固定化生成物の分析結果			
	固定化材料の重量 (g)	反応温度 (°C)	空塔速度 (cm/s)	充填層高 (mm)	SV (h <sup>-1</sup> )	回収量 (g)	フッ化物の純度		
							NaF (wt%)	S分 (wt%)	未反応分 (wt%)
HF, H <sub>2</sub> S	135	300	3.0	160	680	67.6	<b>97 %up</b>	0.1 %未満	-
HF, SO <sub>x</sub>	70	400	5.0	85	735	41.6	<b>71.4</b>	28.6 (Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	-



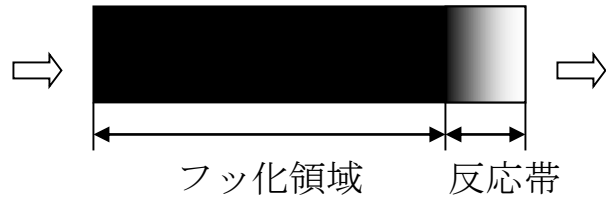
安井、他：「SF<sub>6</sub>ガスの高温熱分解特性と分解生成ガスの乾式固定化」、化学工学論文集 Vol.30 No.2 pp.194-199 (2004).

# SF<sub>6</sub>分解ガスの固定化特性の解明 — 固定化反応管の設計条件 —

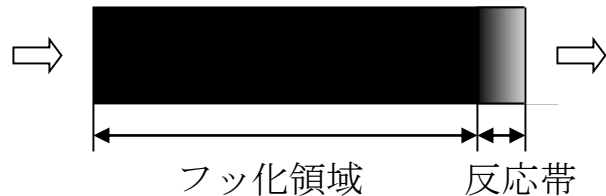
1. 反応帯が形成されて移動を開始する時間( $t=t_{MS}$ )



2. HFガスの破過する時間( $t=t_B$ )

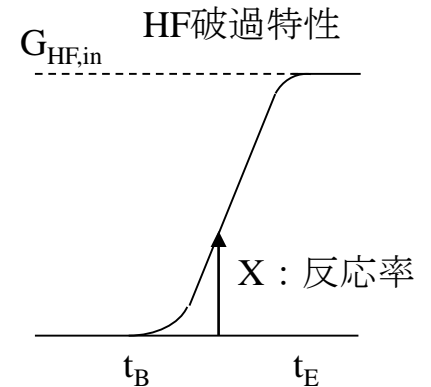
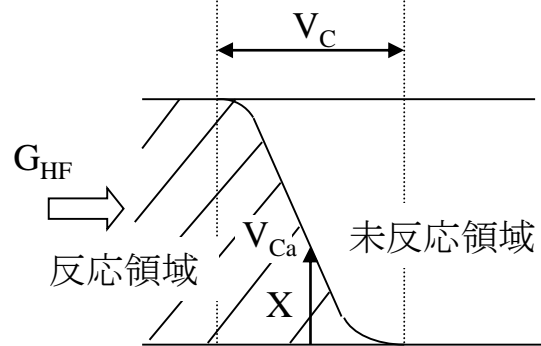
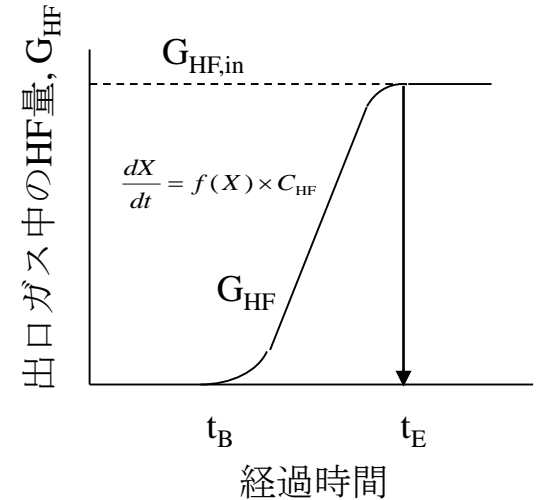


3.  $t_B < t < t_E$



固定床反応のモデル

破過特性



反応帯体積の算出法

$$V_C = \frac{G_{HF} \cdot \tau}{b \cdot Q}$$

$G_{HF}$  : フッ素の流入量(mol/min)

$\tau$  : 破過時間(min) ( $=t_E - t_B$ )

$b$  : 量論係数

$Q$  : 固定化材料のHF吸収容量(mol/m<sup>3</sup>-bed)

安井、他：「SF<sub>6</sub>ガスの分解・乾式再資源化システムにおける固定化反応管体積の概算法」、化学工学論文集 Vol.32 No.3 pp.303-309 (2006)

# SF<sub>6</sub>分解ガスの固定化特性の解明 —反応管の設計—

## 反応帯体積V<sub>C</sub>

$$V_C = \frac{G_{HF} \cdot \tau}{b \cdot Q_{Ca}}$$

G<sub>HF</sub> : フッ素の流入量(mol/min)  
 b : 量論係数  
 Q : 固定化材料のHF吸収容量(mol/m<sup>3</sup>-bed)  
 τ : 破過時間(min) (=t<sub>E</sub>-t<sub>B</sub>)

$$V_C = \alpha \cdot G_{HF}$$

α : 設計係数 (m<sup>3</sup> min/mol)

## 固定化反応条件と設計係数

固定化反応条件					破過特性		
固定化材料の種類	反応温度(°C)	空塔速度(cm/s)	充填層高(cm)	SV(h <sup>-1</sup> )	破過時間	反応帯体積	設計係数
					τ(min)	V <sub>C</sub> (cm <sup>3</sup> )	α(m <sup>3</sup> min/mol)
CaCO <sub>3</sub>	200	4.5	9	1860	38	23	1.21 x 10 <sup>-3</sup>
CaCO <sub>3</sub>	200	2.8	9	1200	26	15	0.83 x 10 <sup>-3</sup>
CaCO <sub>3</sub>	300	2.8	9	1200	23	14	0.73 x 10 <sup>-3</sup>
NaHCO <sub>3</sub>	300	3.0	16	680	11	15	0.77 x 10 <sup>-3</sup>

吸収容量 : Q<sub>Ca</sub>:15.7 mmol/cm<sup>3</sup>-bed, Q<sub>Na</sub>:14.2 mmol/cm<sup>3</sup>-bed

安井、他 : 「SF<sub>6</sub>ガスの分解・乾式再資源化システムにおける固定化反応管体積の概算法」、化学工学論文集 Vol.32 No.3 pp.303-309 (2006)

## 実用機の設計

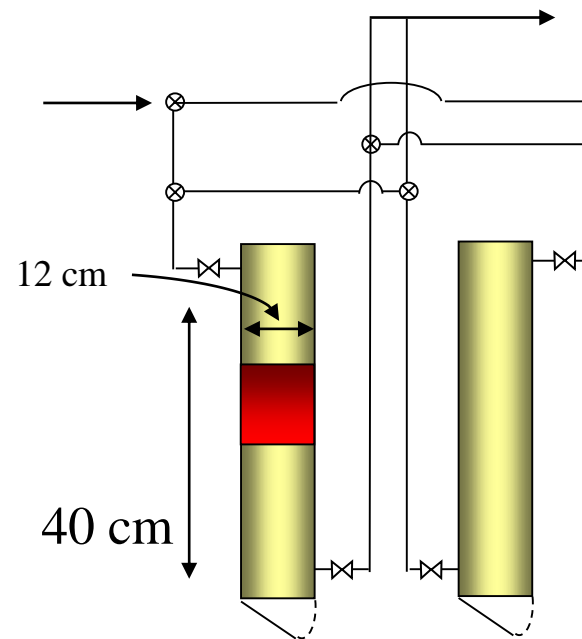
(SF<sub>6</sub>処理量 : 1 kg/h)

G<sub>HF</sub>=0.7 mol/min

α= 1.2 x 10<sup>-3</sup> (u=4.5 cm/s, T=200°C)

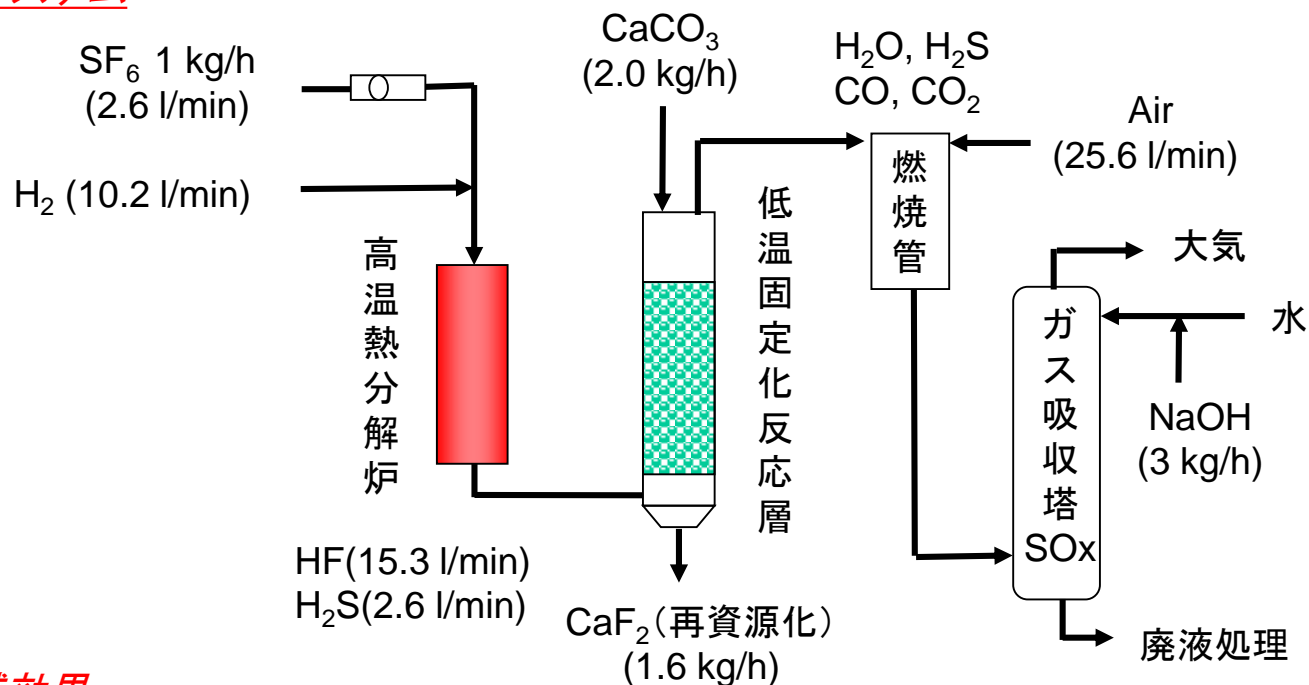
V<sub>C</sub>= 843 cm<sup>3</sup>

反応帯幅: 7 cm (d=12cm)



# 再資源化処理システムのケーススタディー

## モデルシステム



安井、他：平成15年度二酸化炭素削減等地球環境産業技術研究開発／地球環境産業技術に関わる先導研究／温室効果ガスの破壊・固定化・再資源化に関する基礎研究（最終報告）、新エネルギー・産業技術総合開発機構受託研究報告No.100002606 (2004-3).

## CO<sub>2</sub>削減効果

SF<sub>6</sub>の破壊処理で生じるCO<sub>2</sub>量 (SF<sub>6</sub>の処理量: 1 kg/h)

項目	使用量	CO <sub>2</sub> 換算値	CO <sub>2</sub> 相当量 (kg/h)
SF <sub>6</sub>	0.1 g/h	23,900 kg/kg	2.39
水素	55 g/h	0.79 kg/kg	0.04
炭酸カルシウム	2 kg/h	0.45 kg/kg	0.9
苛性ソーダ	0.56 kg/h	1.03 kg/kg	0.58
電力	7 kWh	355 g/kWh	2.49
合計			6.4

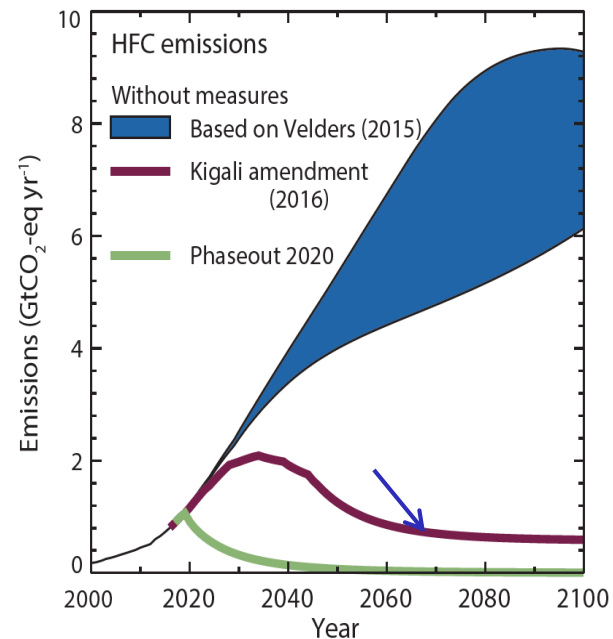
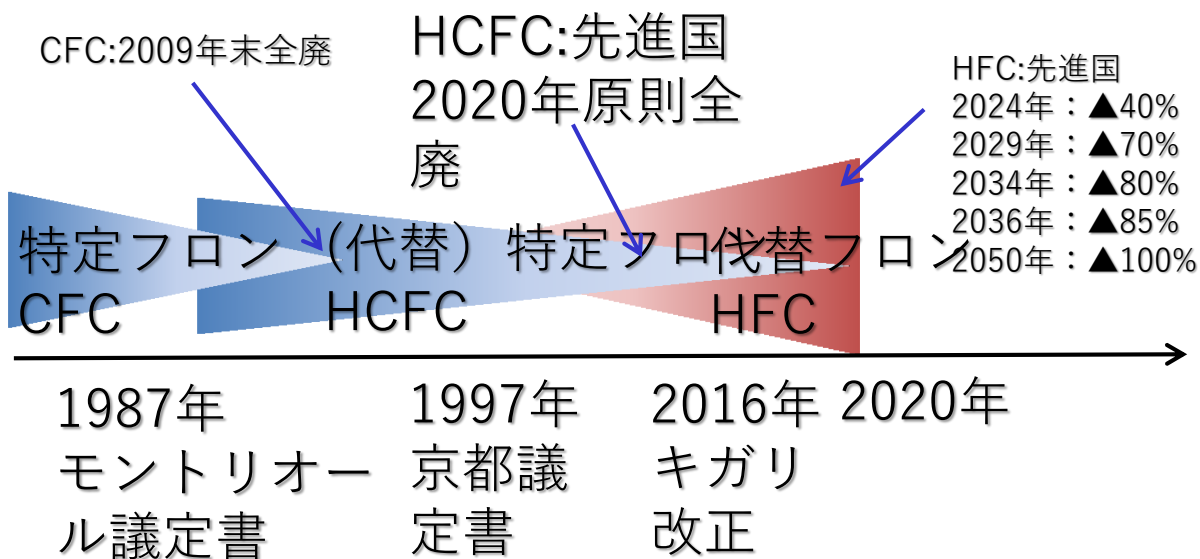
## 用役費用

項目	用役量	単価	処理費用 (円/kg)
水素	55 g/h	4 円/g	220
炭酸カルシウム	2 kg/h	70 円/kg	140
苛性ソーダ	0.56 kg/h	120 円/kg	67
電力	7 kWh	14 円/kWh	98
合計			525

SF<sub>6</sub>の破壊処理に伴うCO<sub>2</sub>削減量: 23,894 kg/h (削減率: 99.97%)

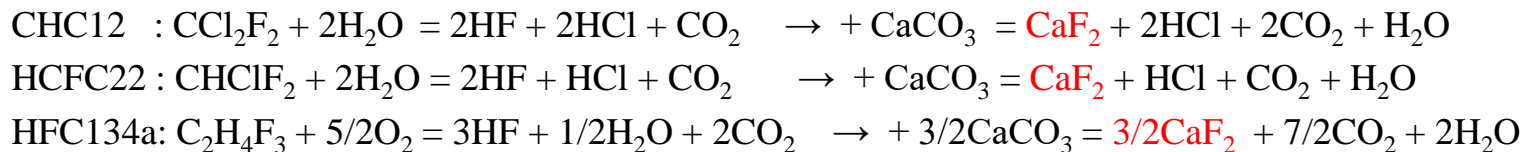
# フロン(CFC, HFC, HCFC)の問題: 堅牢性

経済産業省資料



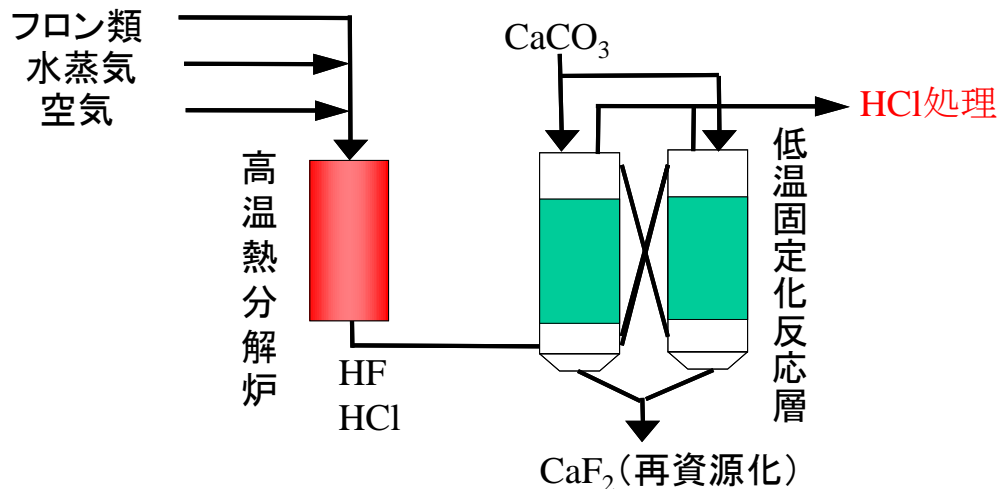
- 冷媒フルオロカーボンの需要は今後も増加。エアコンは今後30年間にわたり、1秒に10台の販売ペースで増加。100ヶ国以上の国がフルオロカーボン対策に関する目標を持っていない。
- HFCを規制対象に追加したキガリ改正が行われたが、**市中ストックに対する回収・処理等の措置を講じなければ、排出量は2030年頃に約20億トン-CO<sub>2</sub>まで増加。**
- 市中ストック(日本)2020年: **450百万トン (CO<sub>2</sub>換算)**
- 排出 (CO<sub>2</sub>換算) 2019年: 49.7百万トン; 2030年: 21.6万トン

# フロン類の分解・再資源化処理システム



## 処理システム

## 特徴



1. フロン類を水蒸気と空気で分解し、分解ガスを安価な炭酸カルシウムと反応させて、乾式で蛍石(CaF<sub>2</sub>)として再資源化する。
2. 分解ガスを200°Cの低温で乾式処理することでHFとHClの分離が可能
3. 回収フッ化物の純度が高く、再資源化可能(純度97%以上)
4. 固定化生成物が粒状で回収可能

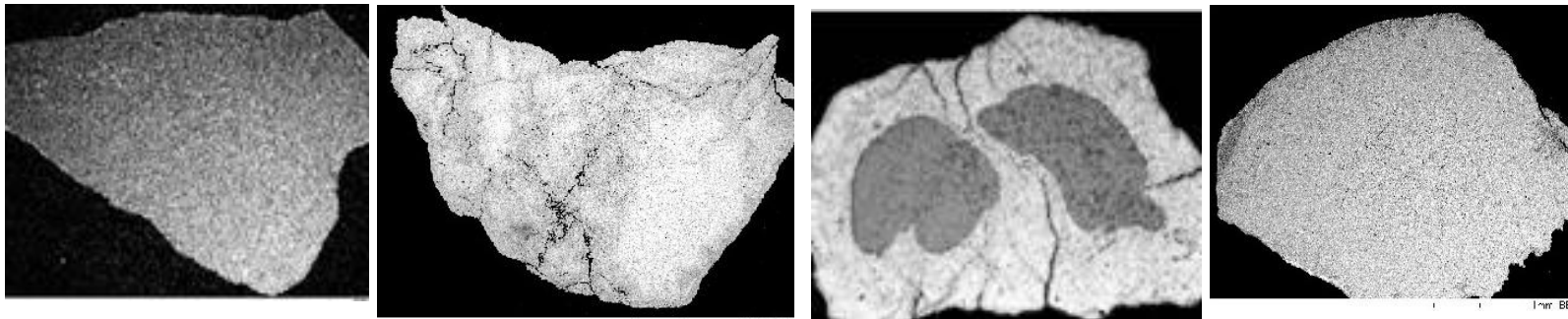


# 炭酸カルシウムとHFガスとの気固反応特性

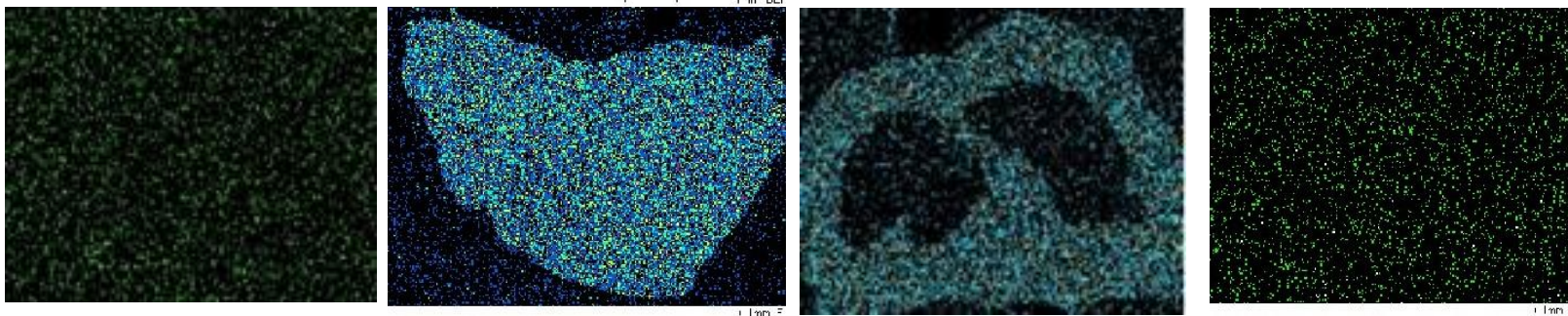
1 mm

$\text{CaCO}_3$

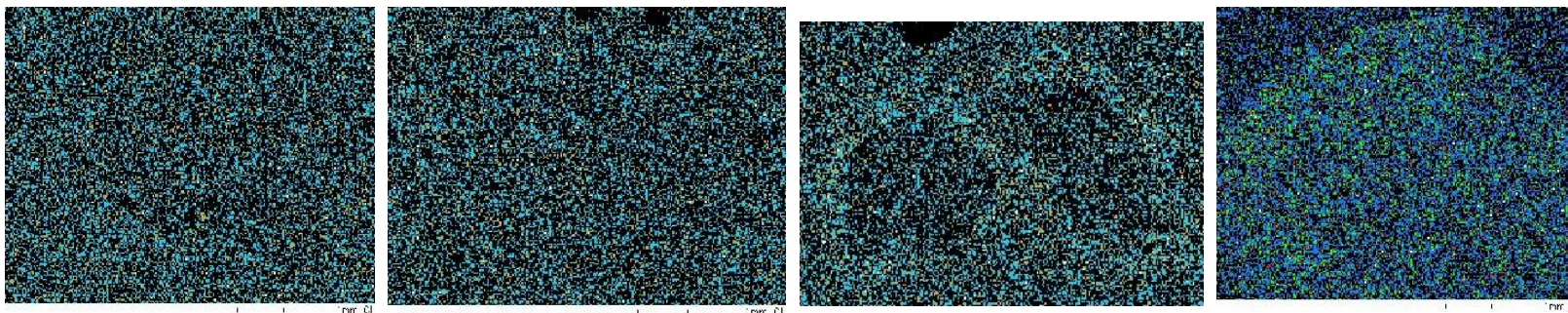
組成像



フッ素



塩素



未反応

上部

中部

下部

# 廃棄物を発生させないゼロエミッション型のフロン再資源化処理システム

国内で年間約15万トン輸入されているフッ化水素などの原料となる蛍石 (CaF<sub>2</sub>) は、全世界生産量の半分以上である330万トン／年が中国で生産されており、我が国は中国やメキシコなどの海外から全量輸入している。

排出量 2万トン-フロン／年 = 排出量 3.5~25億トン-CO<sub>2</sub>／年

汚泥として埋設処分

フッ素原料  
(蛍石:CaF<sub>2</sub>)

フロン類



回収率

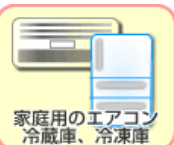
現状  
40%

目標  
70%

炭酸カルシウム鉱山)



炭酸カルシウム



フロン類  
水蒸気  
空気

高温熱分解炉

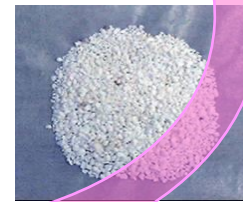
HF  
HCl

CaCO<sub>3</sub>

低温固定化反応層

HCl処理

フッ素原料  
(蛍石:CaF<sub>2</sub>)



回収量  
2万トン-CaF<sub>2</sub>／年  
(世界の生産量:450万トン／年)

CaF<sub>2</sub>(再資源化)

各種フッ素産業用途

- ・フッ素樹脂、ゴム
- ・ガラス・レンズ
- ・フッ素表面処理加工
- ・塗料
- ・鉄鋼
- ・フロン類  
など



# 半導体産業で使用されるフロン系ガス(PFC)

工 程	対象物	機能性ガス
CVD		SiH <sub>4</sub> , B <sub>2</sub> H <sub>6</sub> , PH <sub>3</sub>
CVD炉内の クリーニング	(プラズマ)	HCl, Cl <sub>2</sub> , C <sub>2</sub> F <sub>6</sub> , C <sub>3</sub> F <sub>8</sub> , NF <sub>3</sub>
	(ノンプラズマ)	ClF <sub>3</sub>
各種膜や金属 配線等の エッチング	Si	HCl, HBr, Cl <sub>2</sub> , CHF <sub>3</sub>
	SiO <sub>2</sub>	CF <sub>4</sub> , CHF <sub>3</sub> , C <sub>2</sub> F <sub>6</sub> , C <sub>3</sub> F <sub>8</sub> , CO
	Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	HCl, SF <sub>6</sub> , C <sub>2</sub> F <sub>6</sub> , C <sub>3</sub> F <sub>8</sub>
	Al	BCl <sub>3</sub> , Cl <sub>2</sub> , CF <sub>4</sub> , CHF <sub>3</sub>
	Mo	CF <sub>4</sub> , SF <sub>6</sub>
	W	CF <sub>4</sub> , SF <sub>6</sub>
	Ti	BCl <sub>3</sub> , Cl <sub>2</sub>

Per-Fluoro Compoundの略。

半導体産業で使用されているPFCにはCF<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>, C<sub>3</sub>F<sub>8</sub>のカーボン系とその他にSF<sub>6</sub>, ClF<sub>3</sub>, NF<sub>3</sub>などがある

ClF<sub>3</sub>, NF<sub>3</sub>など有害なガスもあるが多くは無害である。

しかしながらPFCはCO<sub>2</sub>の数千～数万倍の地球温暖化係数を持ち、地球温暖化防止の観点から早急に排出量の削減が求められる。

## 半導体産業におけるニーズ

代替ガスの開発  
排水処理を伴わない乾式処理技術

1997年12月 COP3 京都議定書(国別削減目標)

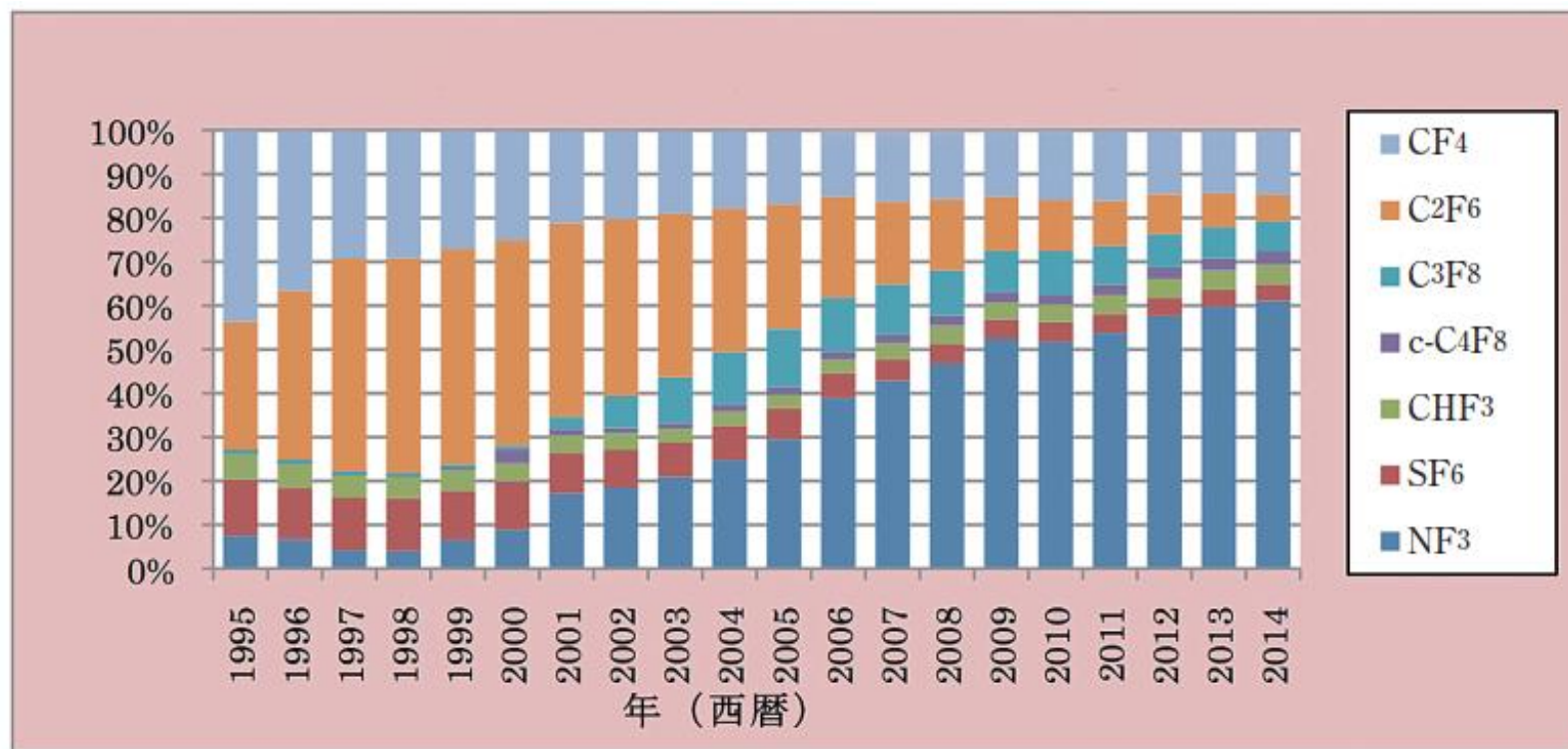
1999年 4月 WSC

PFC等の7ガスを2010年までに1995年実績より10%以上削減(自主削減目標)

2011年12月 COP17

日本は2013年以降は京都議定書の延長期間に参加せず、削減義務は負わないが、自主的な削減に努める。

# PFCの種類別排出量



平成31年JEITA半導体環境委員会資料

# PFCガスの処理技術と課題

- ・そのまま大気中へ放出されている

→PFCの排出量削減のためには処理装置が必要である

- ・燃焼や熱分解させた後、湿式法により産業廃棄物として処理される

→国の排水基準が厳しくなっているため、湿式法では排ガスを処理した後の排水処理が大変である

- ・燃焼や熱分解させた後、触媒や吸収材料により吸着し産業廃棄物として処理される

→処理後の吸収材料は産業廃棄物として捨てられている



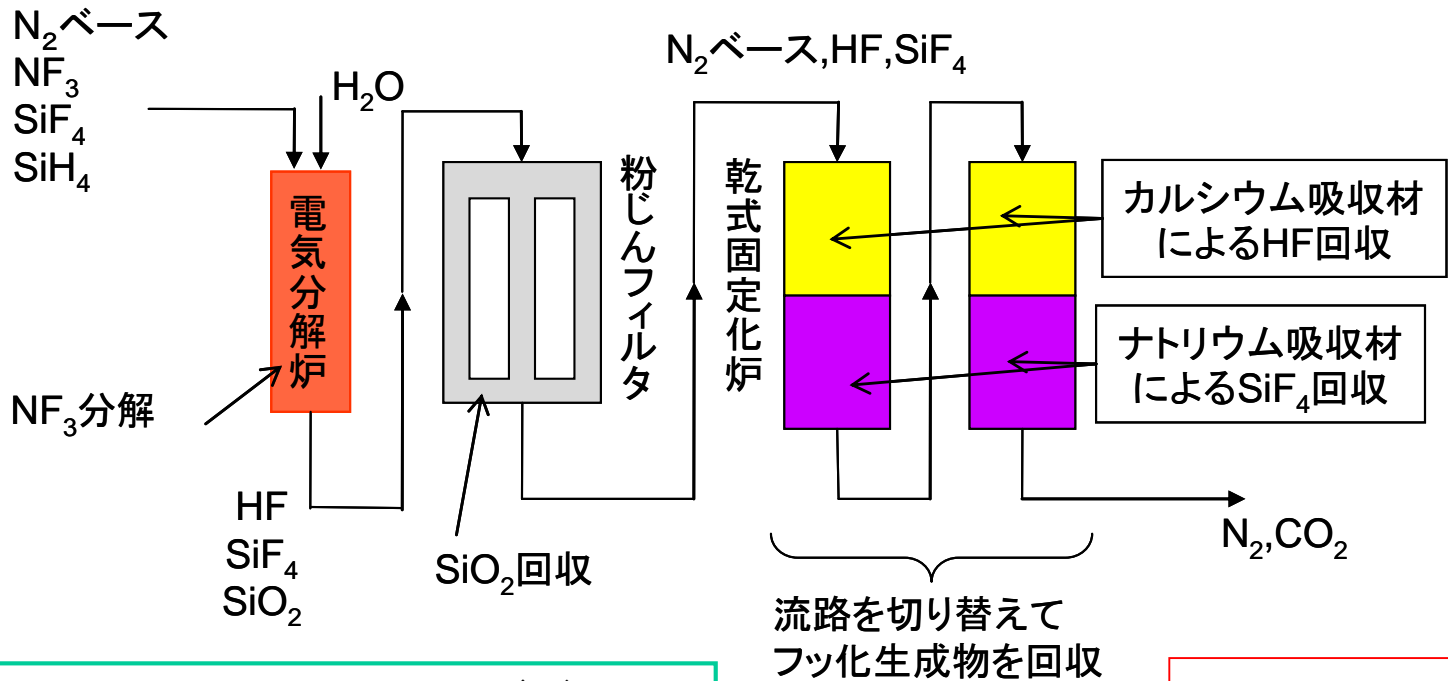
- ◆排水処理が不要な乾式処理が望まれる。
- ◆可能であれば、再資源化が望ましい。

# 開発した処理システム

処理条件:

300 L/min  
3%  $\text{NF}_3$   
0.5%  $\text{SiH}_4$   
 $\text{N}_2$ -base

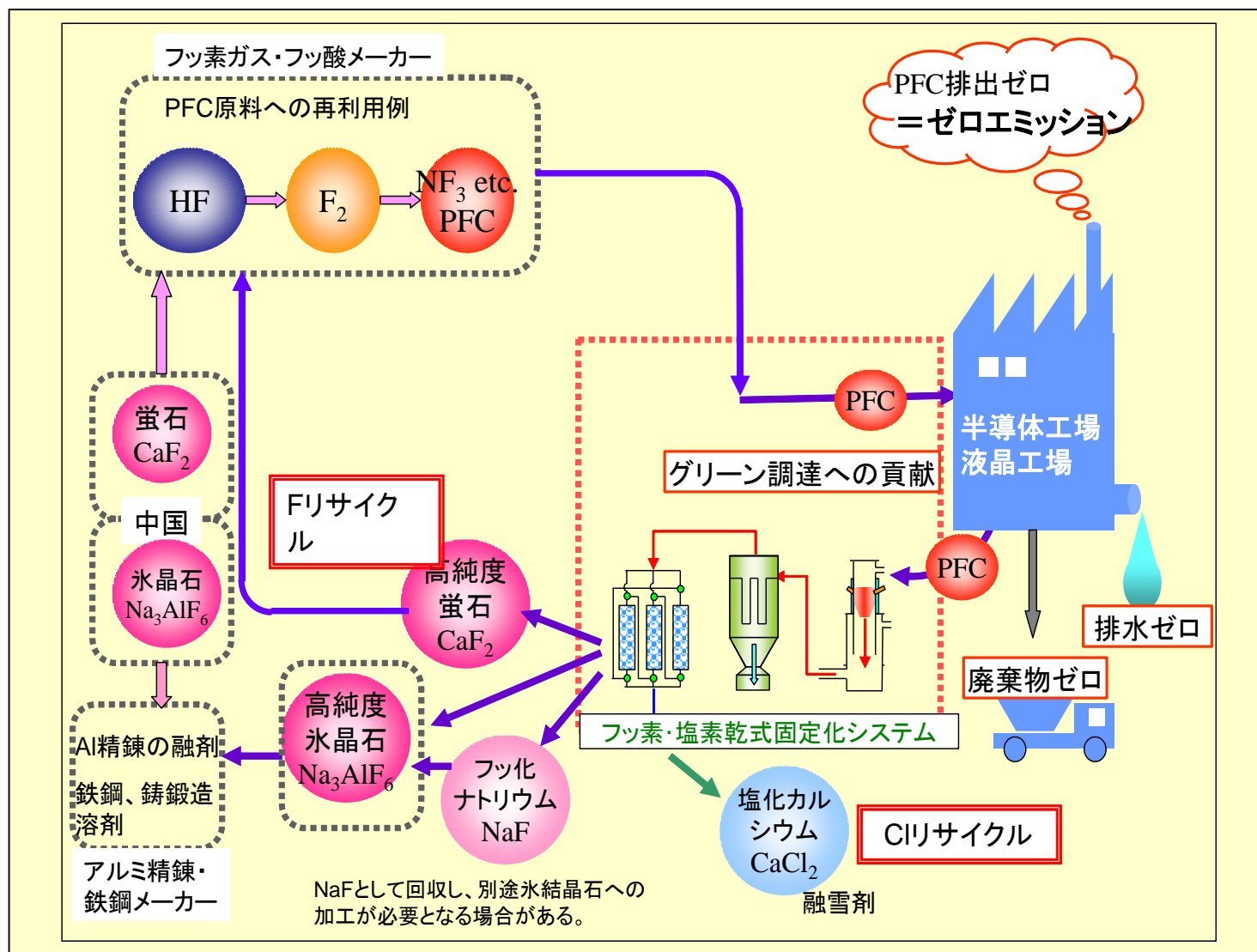
複数のエッチングマシンから真空ポンプで排出されるガスを大気圧環境下で分解し、固定化して再資源化する。



成膜用のモノシラン( $\text{SiH}_4$ )とクリーニングガス( $\text{NF}_3$ )が交互に排出される。また、それに伴い、 $\text{SiF}_4$ も生成される。

Dry system  
No waste  
No waste water

# 開発したPFCガスの再資源化処理システム



# 研究現場発

名古屋工業大学大学院  
工学研究科情報工学専攻准教授

安井 晋示



フッ素は、エアコンや冷蔵庫の冷媒用として使用されるフロンガスや、フッ素樹脂などの様々な工業製品に使用されている。これらに含まれるフッ素は、蛍石(フッ化カルシウム)を原料として得ら

る。嵩むことと、そもそもの原料である蛍石の費用が安いことから、再資源化システムの導入が困難な状況が続いていた。

そうした中で、光学レンズメーカーでは、光学結晶材料の原料と

## 温室効果ガスからのフッ素資源の回収

### 光学レンズ材料に利用

れている。しかしながら、蛍石は天然資源として国内には存在せず、中国やメキシコからの全量輸入に頼っている。さらに、フロンガスは、オゾン層の破壊や地球温暖化を引き起こす原因物質となるため、大気への放出を極力低減する必要がある。



人工合成蛍石

なる蛍石の安定的な調達課題となっていた。高性能なカメラや天体望遠鏡に使用される蛍石レンズの原料となる蛍石は、フッ素原料としての蛍石よりも不純物濃度が少ない特徴がある。この蛍石も中国からの全量輸入に頼っているが、品質のバラツキや価格変動が激しいなど、安定的な調達に課題があった。

岩谷産業株式会社と上田石灰製造株式会社との共同研究によって、反応させる炭酸カルシウムの純度を高めて、不純物の極めて少ない蛍石を合成した。この蛍石を原料として製造したレンズが天然資源の蛍石を用いた場合よりも優れた光学特性を示すことを発見した。高純度の蛍石は、レンズ以外の分野にも注目されており、天然資源に依存しない高純度蛍石の安定供給が実現できる。

当研究室では、冷媒用のフロンガスや、半導体製造工程で使用されるフッ素系のガスからフッ素を回収して、原料の蛍石に戻す技術を開発した。開発した技術は、フロンガスをフッ化水素ガスに転換して、国内資源として安価に入手できる炭酸カルシウムと反応させることで天然資源と同じ純度の蛍石として再生する。

この技術の実用化には、フロンガスの回収業者や半導体製造工場などにフッ素の再資源化システムを導入する必要がある。しかしながら、再資源化システムに費用が

# 超高純度蛍石への再生

炭酸カルシウム鉱山)

炭酸カルシウム



フッ素原料(蛍石:CaF<sub>2</sub>)



純度97%



純度99.95%



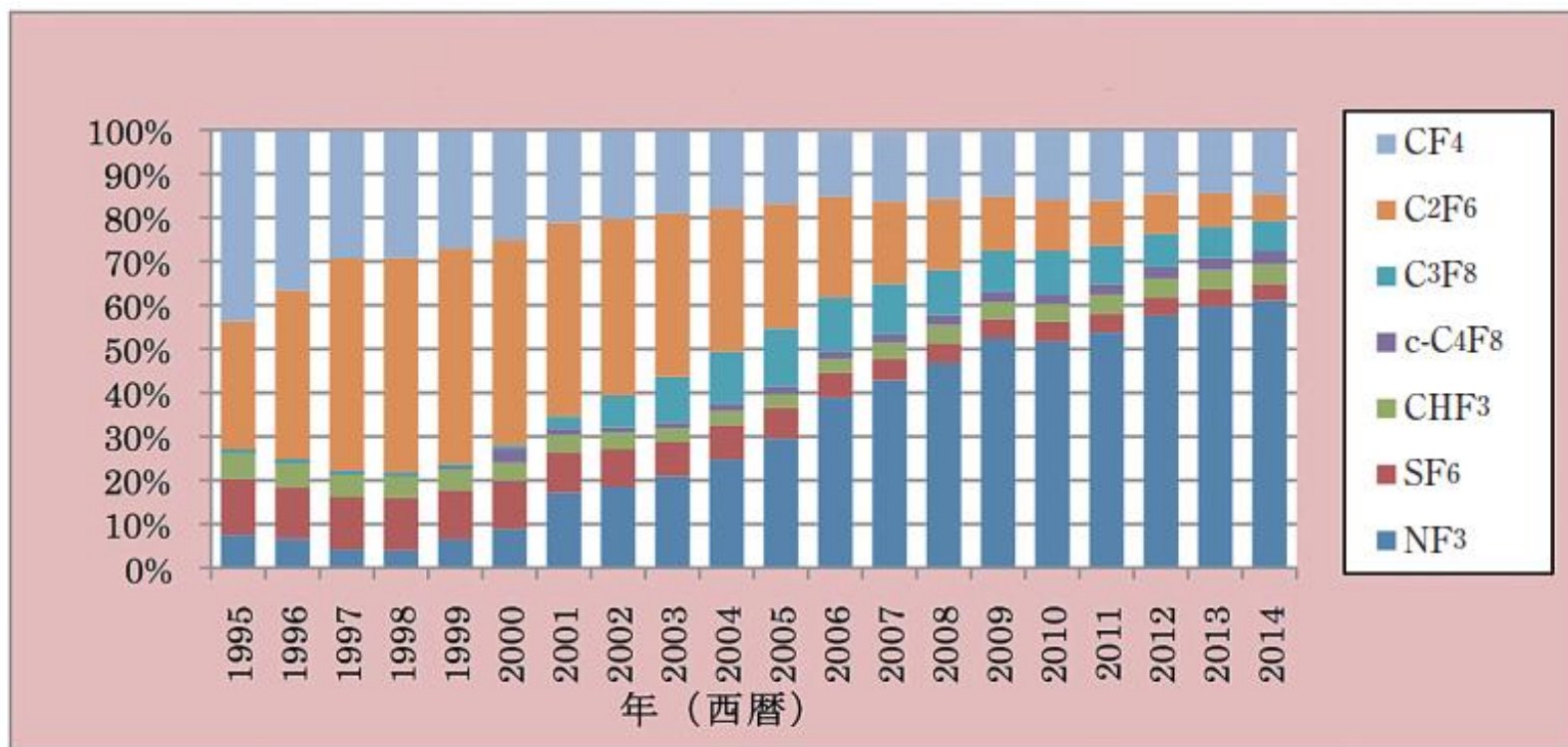
高純度光学結晶(蛍石レンズ)

### 各種フッ素産業用途

- ・フッ素樹脂、ゴム
- ・ガラス・レンズ
- ・フッ素表面処理加工
- ・塗料
- ・鉄鋼
- ・フロン類
- など



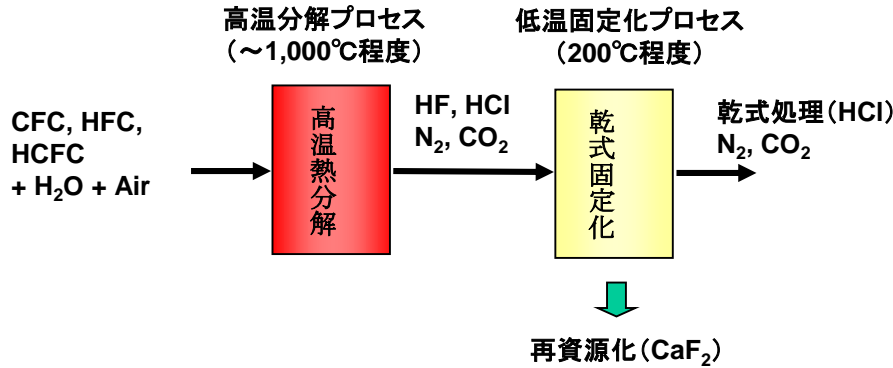
# PFCの種類別排出量



平成31年JEITA半導体環境委員会資料

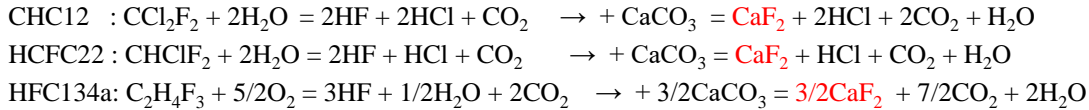
# CF<sub>4</sub>のプラズマ分解処理技術

フロン類を高温で熱分解し、反応性の高い分解生成ガスを低温で乾式固定化して、再資源化する処理技術



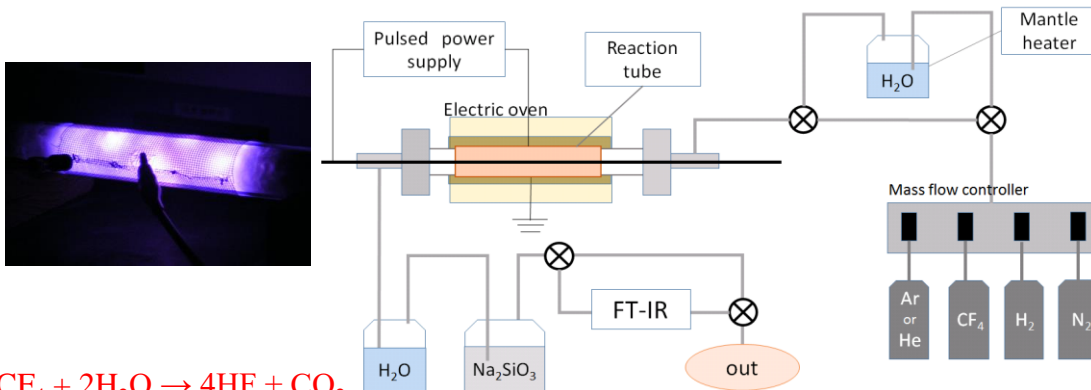
## 技術的な特長

- ・フロン類の分解を水を空気のみで行う。
- ・フロン類の分解と再資源化、排ガス処理を全て乾式で行う。
- ・HFガスをドライ状態で扱うため、腐食対策が容易
- ・固定物(CaF<sub>2</sub>)の回収が容易で、回収率もほぼ100%
- ・固定物(CaF<sub>2</sub>)の純度が高く、再資源化が容易
- ・全ての冷媒用フロン類(CFC,HCFC,HFC)の再資源化が可能



冷媒用フロン類は、1000°C程度で容易に熱分解が可能

半導体産業では低濃度のCF<sub>4</sub>がN<sub>2</sub>に搬送されて排出される。  
CF<sub>4</sub>の水蒸気熱分解では、1500°Cで滞留時間5秒以上が必要  
アルゴンガスに水蒸気を添加してプラズマ処理する



金澤優太, 森雄哉, 安井晋示: 大気圧低温プラズマによるCF<sub>4</sub>分解特性, 化学工学会第45回秋季大会 XF301, (2013.9) 岡山大学

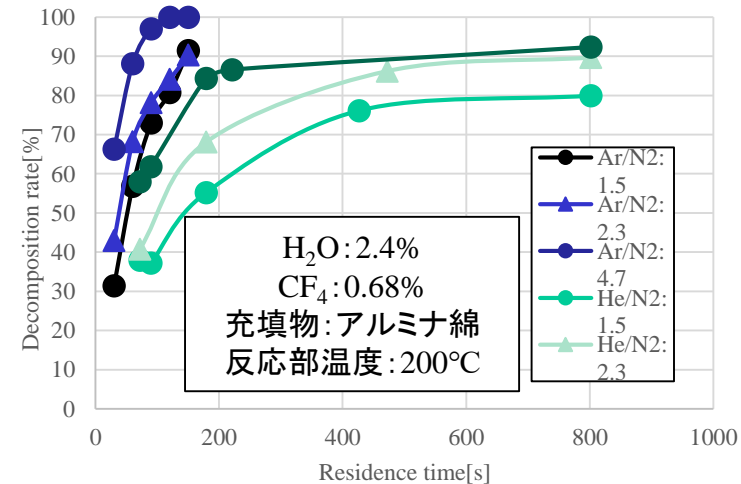
炭酸カルシウム(原料)



蛍石(純度95%以上)



安井晋示:「フッ素含有ガス分解処理装置、及びこれを用いたフッ素化合物回収方法」、特願2004-313207、(H16.10.28) 特許4698201



アルゴンプラズマを用いることで、200°C程度で分解可能



# 関連特許

1. 安井晋示、天川正士、中山稔夫、布川信：「排ガスからフッ素成分を選択的に除去する方法」、特願2002-344379号、(H14.11.27) 特許4518460
2. 安井晋示：フッ素含有ガス分解処理装置、及びこれを用いたフッ素化合物回収方法」、特願2004-313207、(H16.10.28) 特許4698201
3. 荘所正、安井晋示：「フッ素回収方法およびその装置」、特願2009-174847(平成21年7月28日) 特許 5651306 (2014/11/21)
4. 小池国彦，井上吾一，荘所正、竹内章浩，安井晋示：「排ガス処理装置及び排ガス処理方法」，特願2011-085291，(平成23年4月7日)
5. 中島 健太郎，小池 国彦，真鍋 俊樹，橋本幸治，木藤千尋，安井晋示「蛍石の製造方法、蛍石製造用造粒物、蛍石及び光学用蛍石単結晶」特願 2 0 1 4 - 1 5 1 5 7 4 (平成 2 6 年 7 月 2 5 日) 特許証「蛍石の製造方法」第 6407604 (平成30年9月28日)