

## <概要>

放射性廃棄物の減容（体積を小さくすること）は、物理的・化学的な安定化とともに貯蔵や処分における負担を軽減する上で有効であり、固体状のものについては従前から圧縮や焼却による処理が行われてきた。近年では、減容及び安定化の両面で優れている処理方式として溶融による処理技術が開発され、我が国でも導入が進められている。

## <更新年月>

2015年03月

## <本文>

放射性廃棄物に限らず、廃棄物の減容（体積を小さくすること）は、それを管理する上で有効な手段であり、産業廃棄物や生活廃棄物の分野でも様々な取り組みが行われている。放射性廃棄物の大半を占める低レベル放射性廃棄物（以下「廃棄物」という。）は、できるだけ再利用を図るとともに減容することが、貯蔵中の負担や処分に関する費用を軽減する上で有効と考えられている。表1に、減容について圧縮法、焼却法及び溶融法を比較して示す。

### 1. 圧縮法

圧縮の方式には、廃棄物を収納するドラム缶の内部において圧縮する方式と、あらかじめ圧縮機で円筒形など一定形状に圧縮成形しドラム缶に充填する方式がある。加圧力は低・中圧縮と呼ばれる5～200トンのものが大半を占めていたが、近年では2,000トン級の高圧縮装置の採用が進み、国内でも原子力発電所等で稼働している。

### 2. 焼却法

焼却法には様々な方式があり、燃焼の様態から燃焼に十分な空気を供給して積極的に燃焼させる過剰空気燃焼式と、低酸素濃度の高温雰囲気下で廃棄物を熱分解させ、発生するガスに空気を吹き込んで燃焼させる熱分解ガス化燃焼式がある。また、炉の形式から固定炉床、可動炉床、流動床がある。焼却能力としては15～300kg/hのものがほとんどである。排ガスの処理には、セラミック等の無機材料をろ過材とする高温フィルタのほか、バグフィルタ、サイクロン、排気冷却器、HEPAフィルタ、排気洗浄塔（スクラバ）などがあり、目的に応じて適宜な選択と組合せが行われる。大半の焼却設備は、廃棄物を焼却して灰として取り出すものであるが、高温で焼却するとともに灰を溶融してガラス質の粒子（グラニュール）にする高温焼却炉も国内の原子力発電所に導入されている。

### 3. 溶融法

不燃性廃棄物に関して、近年、さらに高い減容安定化効果をもつ溶融処理技術が開発され、国内の一部では実規模施設が整備されて実用運転に入っており、今後さらに導入が進むと考えられている。

#### (1) 誘導溶融

電磁誘導の原理を利用した溶融法である。周期的に変化する磁力（交流磁界）の中に置かれた金属などの導電性物体に、渦電流が発生し、その一部が熱エネルギーに変わる。この熱によって廃棄物などの被加熱物を加熱し溶融するもので、直接法と間接法がある。図1に誘導溶融の原理を示す。誘導溶融は、加熱のためのガスや燃焼を伴わないので排ガスの量が少なく、設備全体を小型化できる特長がある。間接法である「インキャン式誘導溶融設備」は国内の複数の原子力発電所に導入されている。図2に炉の構造概要を、図3に加熱の状況を示す。廃棄物の材質の影響を受けにくいこと、溶融物を別の容器に移し替える（出湯）作業が不要なこと、設備が単純で小型化できることなどが特長としてあげられる。

## (2) プラズマ溶融

高温のプラズマガスを廃棄物に吹き付けて加熱する方法である。プラズマガスの温度は3,000℃を超え、中心部では15,000℃に達するともいわれる。ガスには空気、窒素、アルゴンなどが用いられる（「作動ガス」とも呼ばれる）。プラズマを発生させる金属製の筒をプラズマトーチと呼び、電極は水で冷却される。2つの電極の一方を溶融対象廃棄物とするなどトーチの外に持つものを移行式、電極を2つともトーチ内に持つものを非移行式という。これらの概要を [図4](#) に示す。

これまでに実用化されているプラズマ式の溶融炉には、回転炉と固定炉がある。回転炉は、移行式・非移行式併用のプラズマトーチを備え、耐火物を内張した円筒形の炉（タブ）に被加熱物を入れ、回転させながらプラズマで加熱して溶融する。これは回転している廃棄物にプラズマアークを吹き付ける方式であり、廃棄物を一様に加熱できる長所がある。この炉は米国で開発され、スイスのZWILAG [中間貯蔵施設](#) や日本原子力発電敦賀発電所に導入されている。[図5](#) に設備の概要を示す。

## (3) マイクロ波溶融

マイクロ波（波長の短い電波）を被加熱材にあてて、原子又は分子を振動させ相互間の摩擦によって発熱させる方法である。廃棄物の内部から発熱させるので効率は高いが、マイクロ波を反射する金属を多量に含む被加熱材には適さない。この方式は、日本原子力研究開発機構大洗研究開発センターにおいて放射性廃棄物の焼却灰の溶融処理設備として稼働している。溶融の状況を [図6](#) に示す。

## 4. 海外の溶融処理等の状況

ドイツ、スウェーデン、フランス、米国では、再利用を目的とした金属廃棄物の溶融処理が工業規模で行われている（[表2](#) 及びATOMICA「低レベル放射性廃棄物の再利用技術 (05-02-02-08)」を参照）。ステンレス鋼や炭素鋼等の廃材を主な対象とし、それぞれの国の放射能レベル基準に従って区分した後、溶融処理によってインゴット、鋼管、レールなどに作り替え、原子力施設等の限定された範囲での再利用や、一般鋼材と同様の非限定的な再利用を図っている。これら鋼材の溶融炉は、工業用の高周波誘導炉がほとんどである。[図7](#) にドイツのSiempelkamp社における溶融処理の状況を示す。近年では、溶融処理の範囲はアルミニウム、銅などの非鉄金属にも広がられている。米国のオークリッジにあるEnergy Solutions社の廃棄物処理センターでは、20トン炉の高周波誘導溶融炉が稼働している。この処理センターでは、5,000トン級の超高压縮装置を用いて固体廃棄物を約1/6に減容する処理を行っている（[図8](#) 参照）。

金属以外の廃棄物の溶融処理の例は少ないが、スイスでは、アールガウ州に建設した放射性廃棄物の集中処理と中間貯蔵を行うZWILAG中間貯蔵施設に、プラズマ焼却・溶融設備を整備して試運転を行っている。この設備は、スイス国内の原子力発電所、医療機関、研究機関等で発生する廃棄物の減容、安定化のために使用される。また、ロシア国営廃棄物処理機関RADONのモスクワ科学工業協会には、廃棄物を焼却してその焼却灰をスラグ（ガラス状の固形物）化する焼却炉とプラズマ溶融炉の複合設備が整備された。

## 5. 日本原子力研究開発機構の減容処理施設の例

日本原子力研究所（現 日本原子力開発機構 原子力科学研究所）に、低レベル放射性廃棄物の減容処理を行う「高減容処理施設」が2003年2月に完成した。この施設は、タンク等の大型廃棄物を解体し材質別に仕分けする解体分別保管棟と、廃棄物を溶融や高压縮によって減容する減容処理棟で構成される。[図9](#) に高減容処理施設における廃棄物処理フローを示す。減容処理棟には、高压圧縮装置、金属溶融設備、焼却・溶融設備といった減容処理設備のほか、予め廃棄物を材質別に分別する前処理設備等が設置されている。高压圧縮装置は約2,000トンの圧縮力を有し、原子炉施設の解体などで発生する換気ダクトや鋼管を約1/3に減容できる。[図10](#) に2,000トン級縦型高压圧縮装置と減容の状況を示す。

金属溶融設備は、圧縮対象外の金属廃棄物を高周波誘導により約1,500℃の高温で溶融し、廃棄物を約1/6に減容できる。[図11](#) に金属溶融設備と焼却・溶融設備の概要を、[図12](#) に遠心鑄造法により溶融スラグから試作した容器を示す。焼却・溶融設備は、難燃物を焼却する焼却炉と、焼却灰やガラス、コンクリート片など金属以外の不燃物を溶融するプラズマ溶融炉を組み合わせたもので、廃棄物を約1/3に減容できる。[図13](#) にプラズマによる溶融状況を示す。

（前回更新：2009年2月）

## <関連タイトル>

[原子力発電所からの放射性廃棄物の処理 \(05-01-02-02\)](#)

[再処理施設からの放射性廃棄物の処理 \(05-01-02-03\)](#)

<参考文献>

- (1) 原子力産業会議：放射性廃棄物管理-日本の技術開発と計画（1997年7月）、p.19-68
  - (2) 原子力環境整備促進・資金管理センター：放射性金属の再利用について、No.47（1998年12月）
  - (3) 石田秀人：スイスにおける放射性廃棄物・処分の最新事情、RANDEC・欧州原子力調査団に参加して（その1）、（2003年1月11日）、日本電機工業会
  - (4) S. A.D mitriev etc. : "PLASMA PLANT FOR RADIOACTIVE WASTE TREATMENT" WM'01 Conference, Feb.25-Mar.1, (2001)
  - (5) US Army Corps of Engineers Internet Publishing Group : No. EM 1110-1-4002, Guidance for Low-Level Radioactive Waste and Mixed Waste Treatment and Handling, Jun 30 1997
  - (6) Siempelkamp社ホームページ :
  - (7) 日本ガイシ株式会社ホームページ : <http://www.ngk.co.jp>
  - (8) 東洋エンジニアリング株式会社ホームページ :
  - (9) Energy Solutions社ホームページ : <http://www.energysolutions.com/>
  - (10) socodei社ホームページ :
  - (11) Studsvik社ホームページ :
-

# 表1 圧縮法、焼却法及び溶融法の比較

項目		圧縮法	焼却法	溶融法
設備の基本構成		圧縮機、油圧発生機(油圧ポンプ、制御弁等)、監視・制御装置	焼却炉又は溶融炉、排ガス処理設備(高温フィルタ、排気冷却器、高性能フィルタ、排気洗浄塔、排風機等の選択・組合せ)、監視・制御装置	
主な対象廃棄物		固体廃棄物全般(主に金属、ガラス等の無機材質、ビニル、プラスチック類)	可燃性固体廃棄物(紙、布、木材、ビニル、ポリエチレン、プラスチック等)(一部で有機溶剤の混焼)	不燃性固体廃棄物(金属、ガラス、陶磁器、コンクリート片、焼却灰等)
減容効果		低・中圧縮1/3~1/6 高圧縮1/3~1/18	1/40~1/100	ほぼ真密度に減容
使用ユーティリティ		電力(一部は作動油冷却水使用)	電力、補助燃料、圧縮空気(一部は冷却水、排ガス洗浄薬剤を使用)	電力(消費量大)、冷却水、圧縮空気(一部は排ガス洗浄薬剤を使用)
運用上の特徴	運転・制御	起動、停止	短時間で可能	起動時の予熱、停止時の冷却の時間が必要
		制御操作	操作が単純(制御の自動化が容易)	操作が複雑(制御の自動化が高額)
		主要制御項目	圧縮機油圧、内部圧力	系統内各部の圧力と温度(焼却設備では燃焼空気量、排気洗浄塔では液のpHと流量)を常時制御
	廃棄物の分別		基本的に分別不要	原則的に分別が必要
	二次廃棄物	排ガス廃液	ほとんど発生しない	排ガス発生量大 排ガス発生量中 排ガス洗浄塔を設けたものは廃液を発生
		メンテナンス廃棄物	少量(構成機器数が少なく、汚染範囲が狭い)	多量(構成機器数が多く、汚染範囲が広い)
メンテナンス		簡易	複雑	
最終処分の形態		セメント等による充填固化体	セメント等の固化材料による均一固化体又は溶融による溶融固化体	溶融固化体(高密度、高強度、化学的安定性大、耐浸出性大)
設備の建設費		低額	高額	
運転・維持費		低額	高額	

下記の出典をもとに作成した。

[出典](社)原子力産業会議:放射性廃棄物管理－日本の技術開発と計画、(1997年7月)、p68

## 表2 諸外国の主な溶融処理施設

施設	型式	対象物	炉容量	製品
socodei社 溶融施設 (フランス)	高周波誘導炉	炭素鋼 ステンレス鋼	4トン	低レベル処分専用の廃棄物容器
Studsvik社 溶融施設 (スウェーデン)	高周波誘導炉	炭素鋼 ステンレス鋼	3トン	インゴット
	高周波誘導炉	アルミニウム	1トン	インゴット
Siempelkamp社 CARLA溶融施設 (ドイツ)	高周波誘導炉	炭素鋼 ステンレス鋼 アルミニウム 銅、鉛	3.2トン	インゴット 遮へいブロック 廃棄物容器
Energy Solutions社 溶融施設 (米国)	高周波誘導炉	炭素鋼 ステンレス鋼 アルミニウム	20トン	インゴット 遮へいブロック 廃棄物容器強化鋼材

下記の出所及び各社カタログをもとに作成した。

【出所】 socodei社ホームページ：<http://www.socodei.fr/en/waste-processing/waste-collection/>

Studsvik社ホームページ：<http://www.studsvik.com/en/>

Siempelkamp社ホームページ：<http://www.siempelkamp.com/index.php?id=2284&L=1>

Energy Solutions社ホームページ：<http://www.energysolutions.com/>

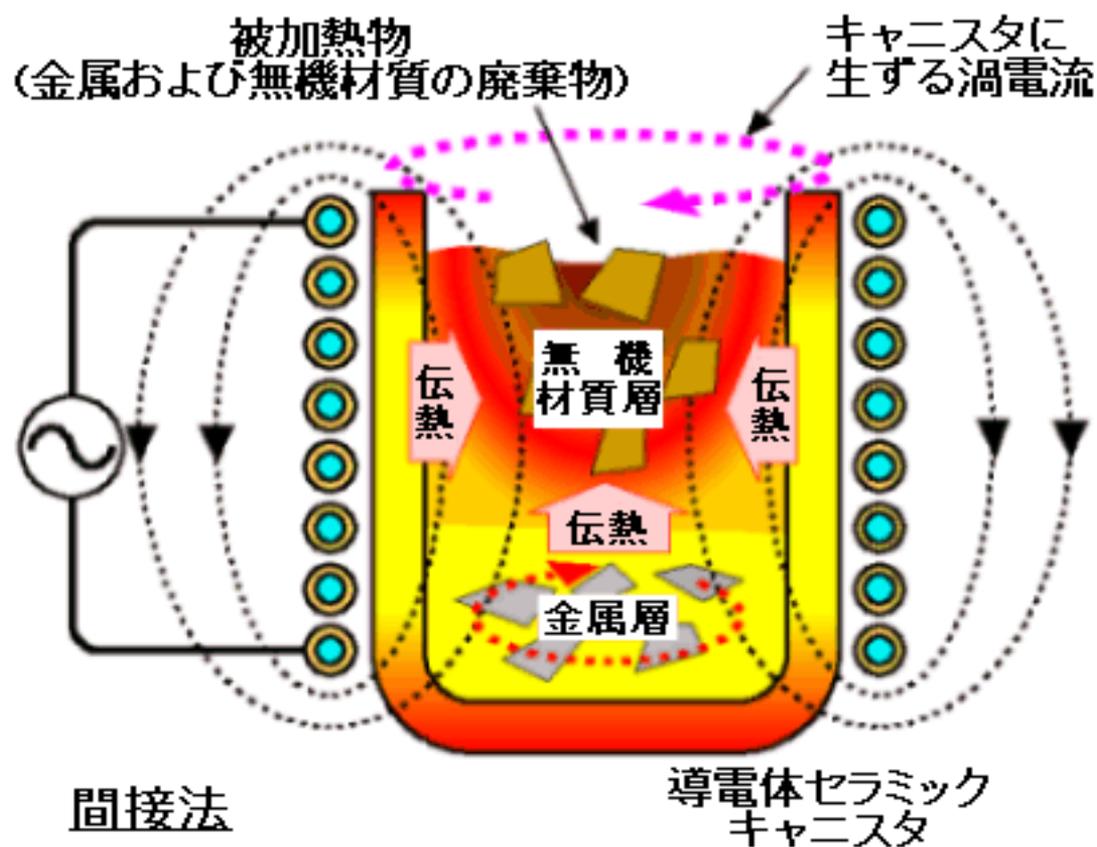
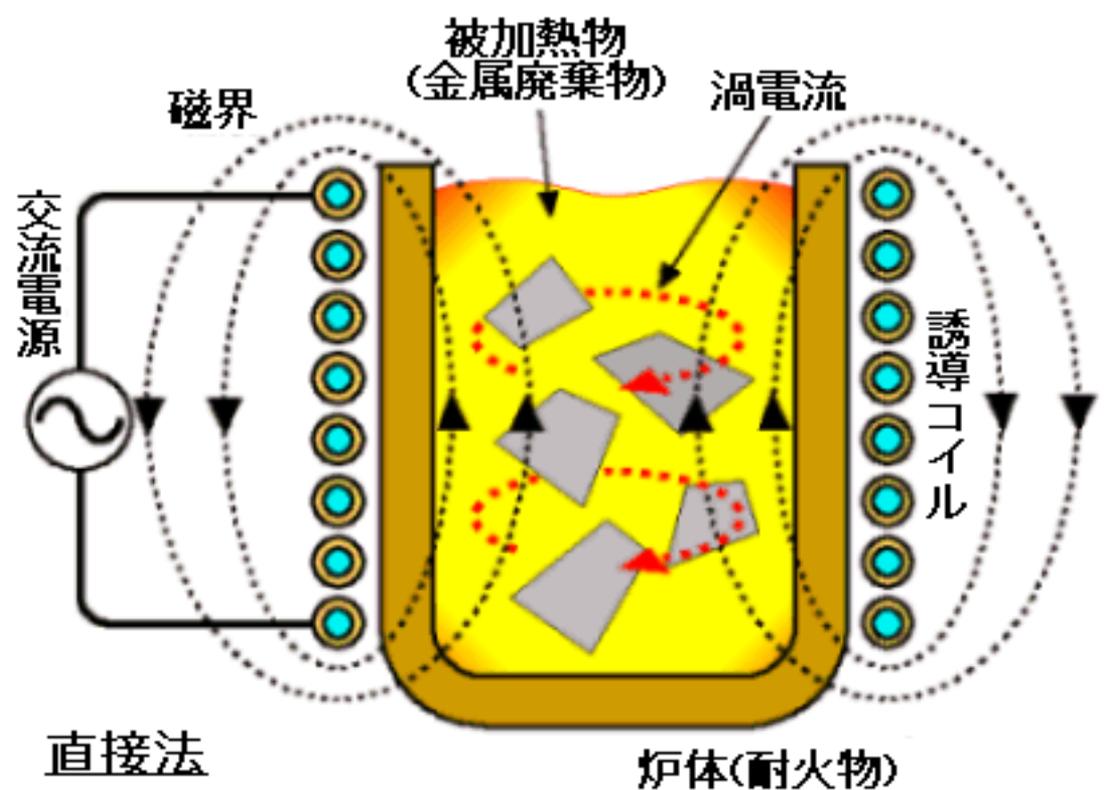


図1 誘導溶融の原理

[資料提供] 日本原子力研究所(現 日本原子力研究開発機構)

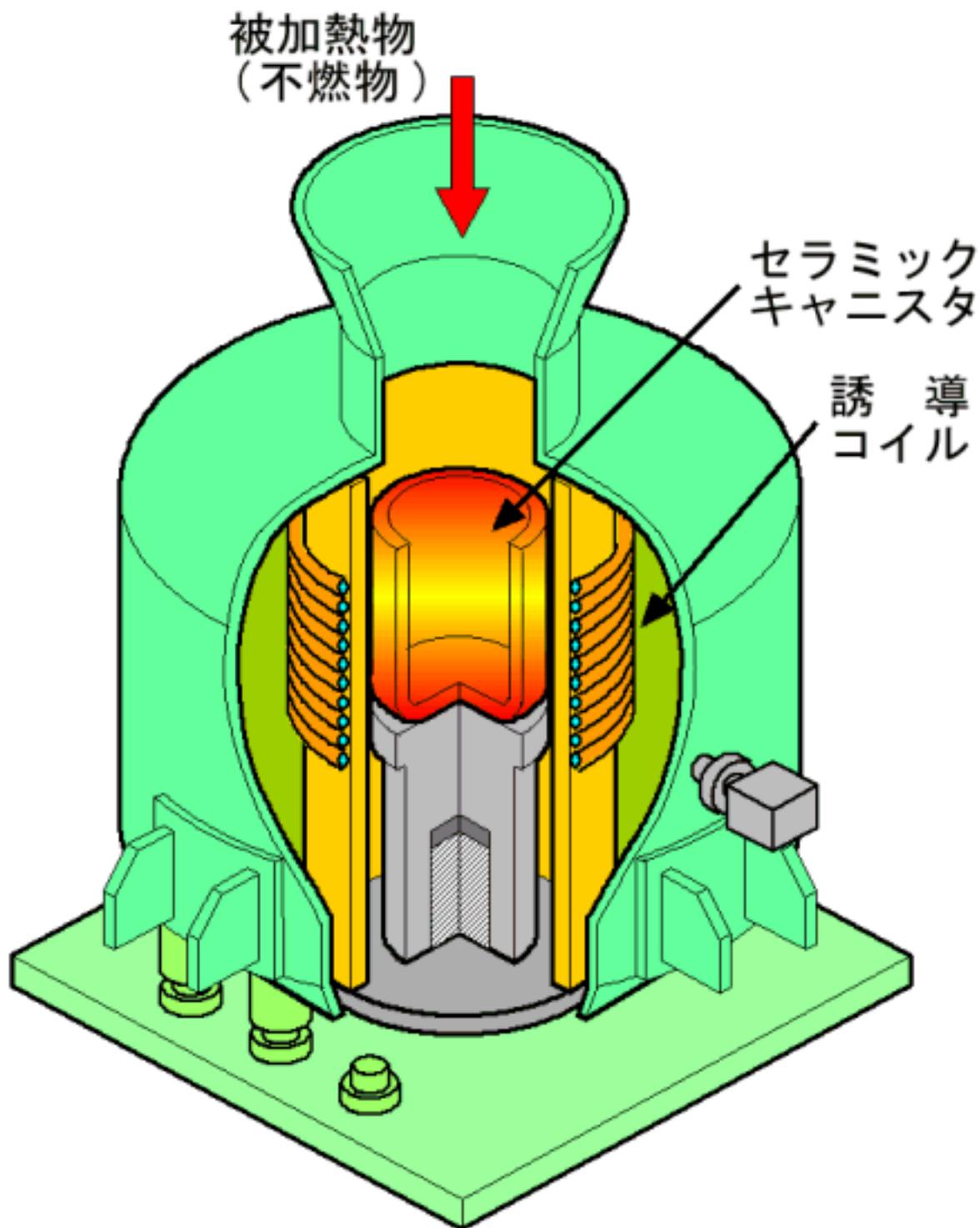


図2 インキャン式誘導溶融炉の概要

[資料提供]日本ガイン株式会社、<http://www.ngk.co.jp>



図3 インキャン式誘導溶融における  
キャニスタの加熱状況

[資料提供]日本ガイシ株式会社、<http://www.ngk.co.jp>

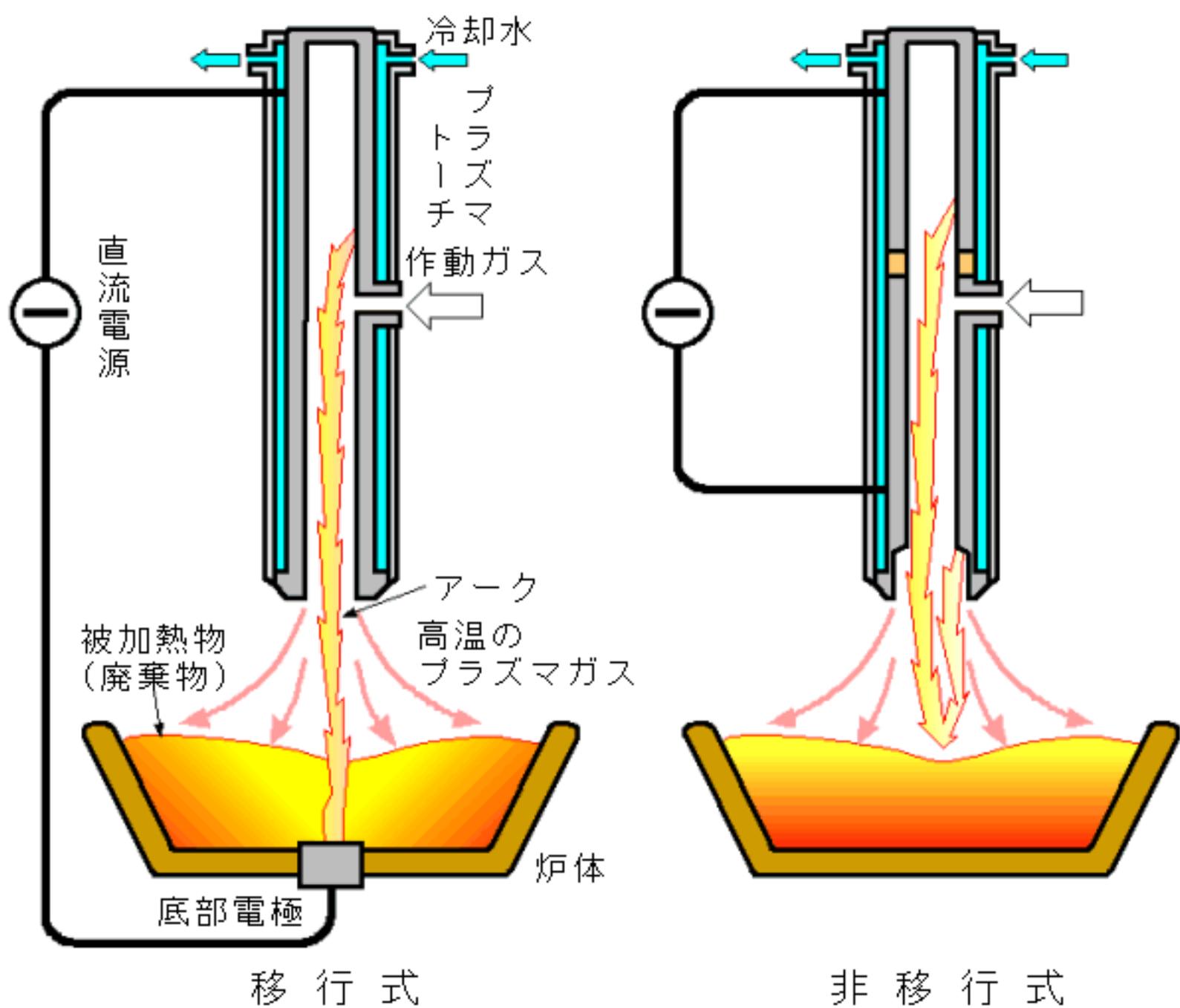


図4 移行式及び非移行式のプラズマトーチの概要

[資料提供] 日本原子力研究所(現 日本原子力研究開発機構)

# プラズマトーチ

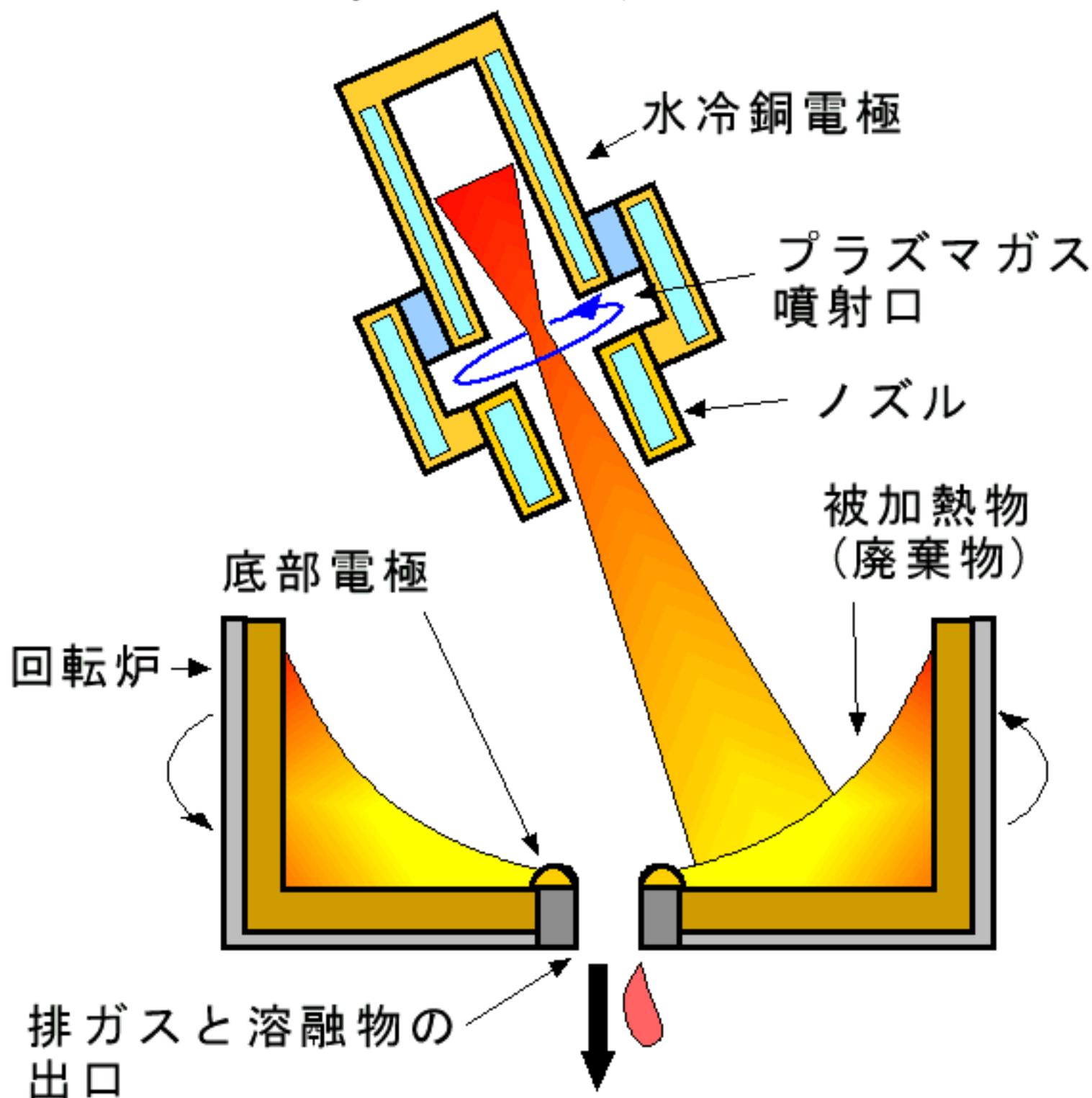


図5 プラズマ式回転炉の概要

下記の出所をもとに作成した。

[出所] US Army Corps of Engineers(USACE): <http://www.usace.army.mil>



図6 マイクロ波溶融による焼却灰の溶融状況

[資料提供]日本原子力研究所(現 日本原子力研究開発機構)

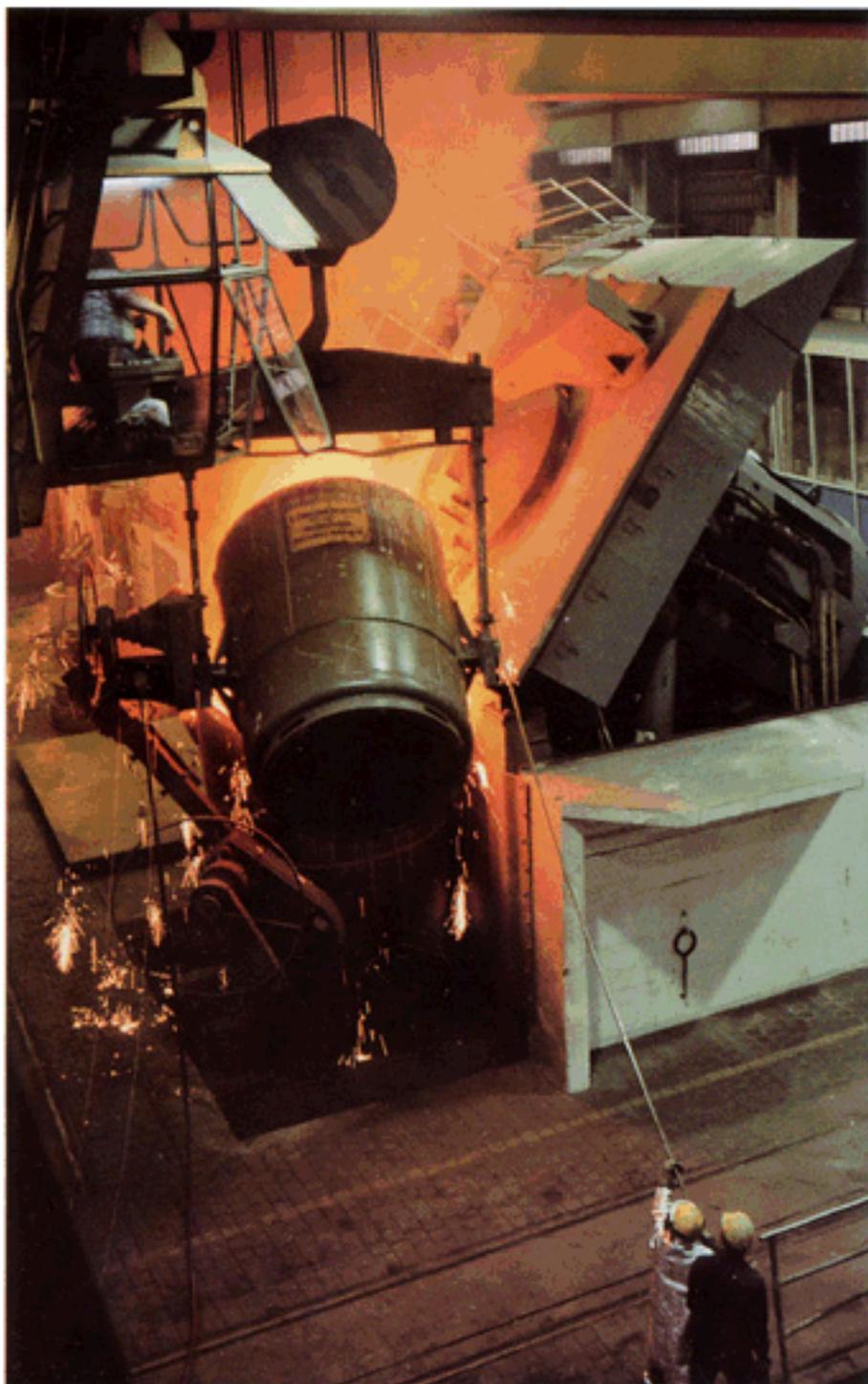
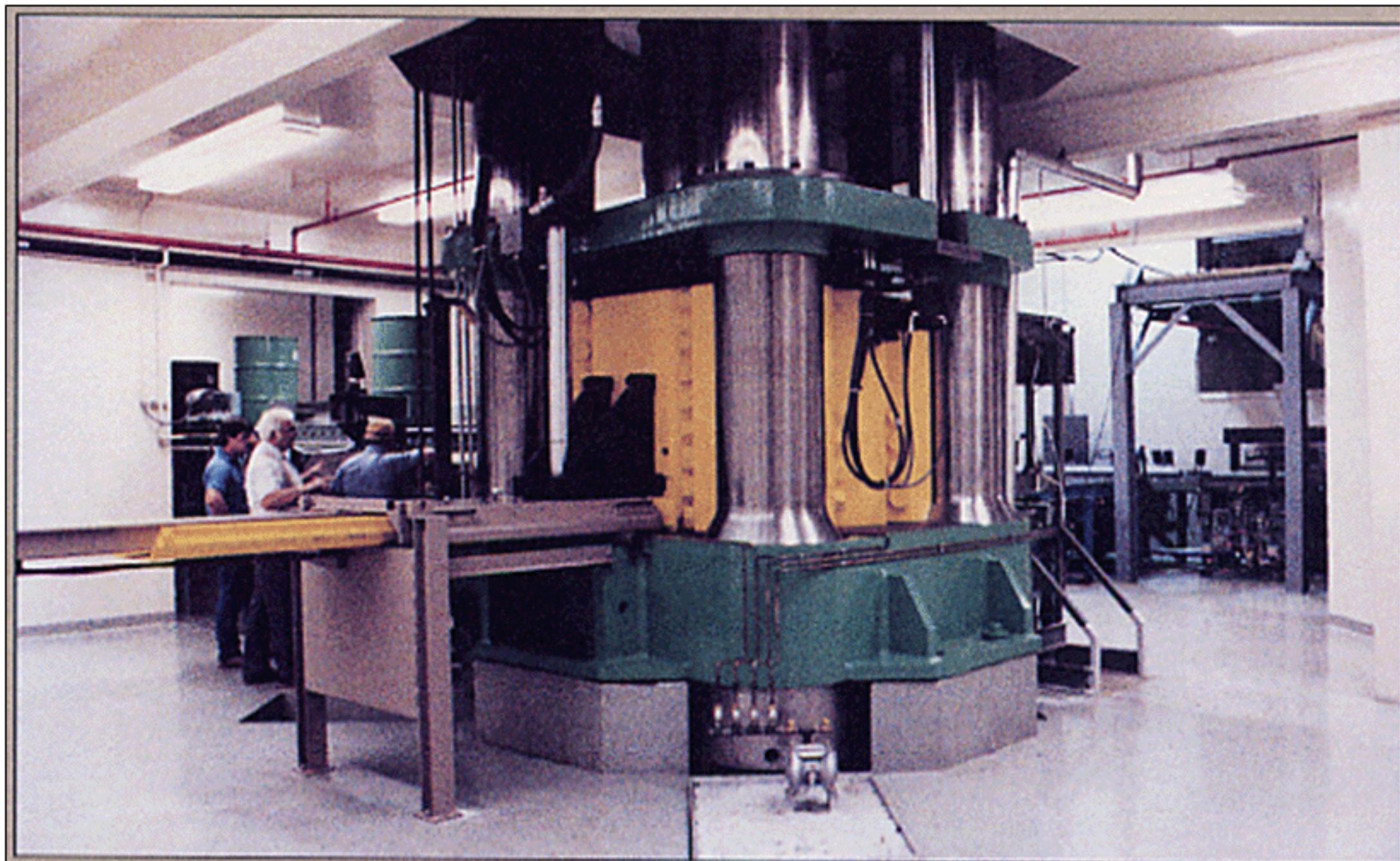


図7 SIMPELKAMP社における  
金属廃棄物の溶融処理

[出典] SIMPELKAMP社パンフレット



**図8 Energy Solution社の超高压圧縮装置**  
(4,500トン、ドラム缶と約 $1\text{m}^3$ ボックスに適用、減容率:約 $1/6$ )

[出典] Energy Solution社のパンフレット

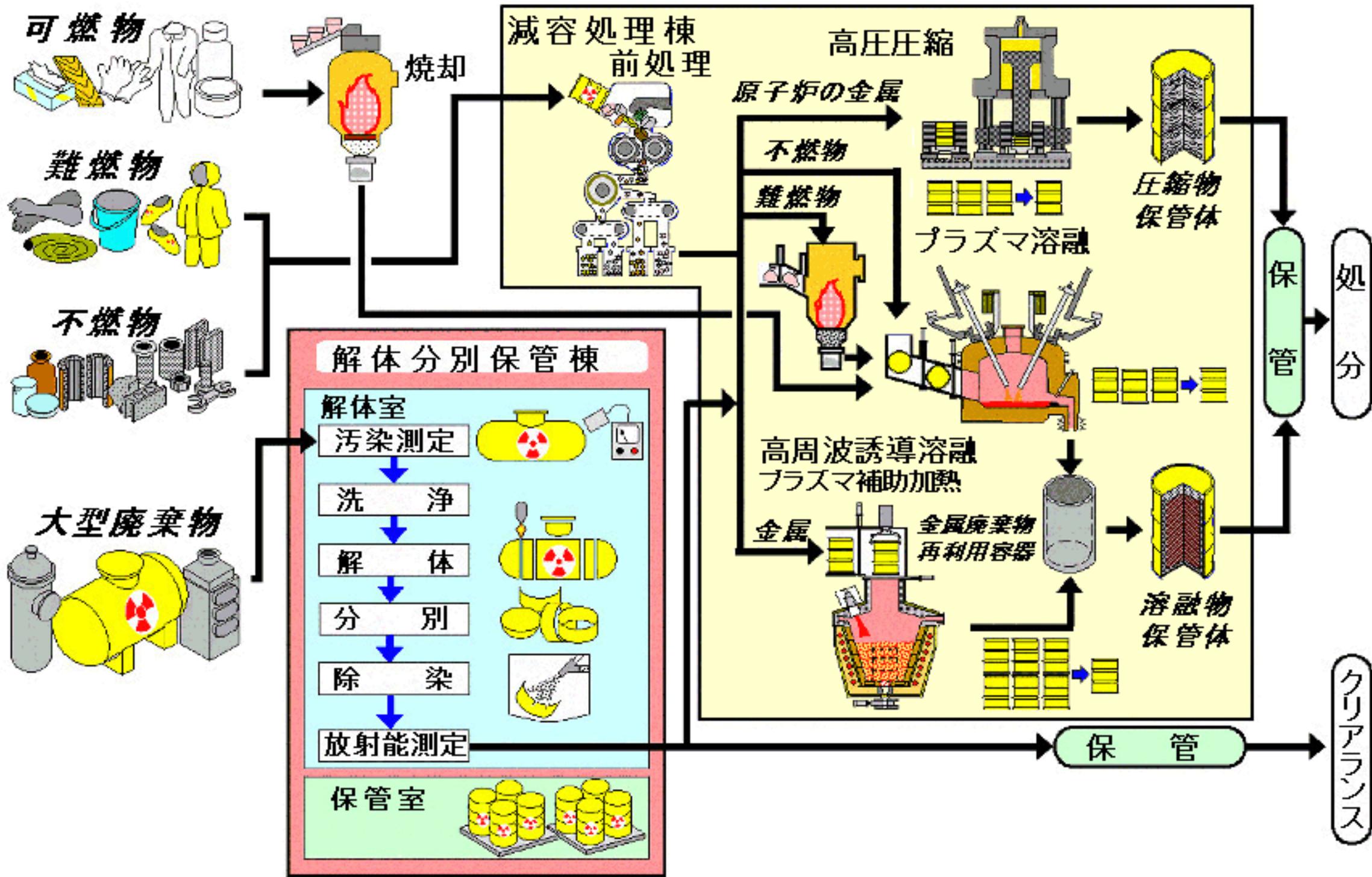


図9 高減容処理施設における低レベル廃棄物の処理フロー

[資料提供] 日本原子力研究所(現 日本原子力研究開発機構)



2000トン級縦型高圧圧縮措置  
(能力:約10m<sup>3</sup>/日)

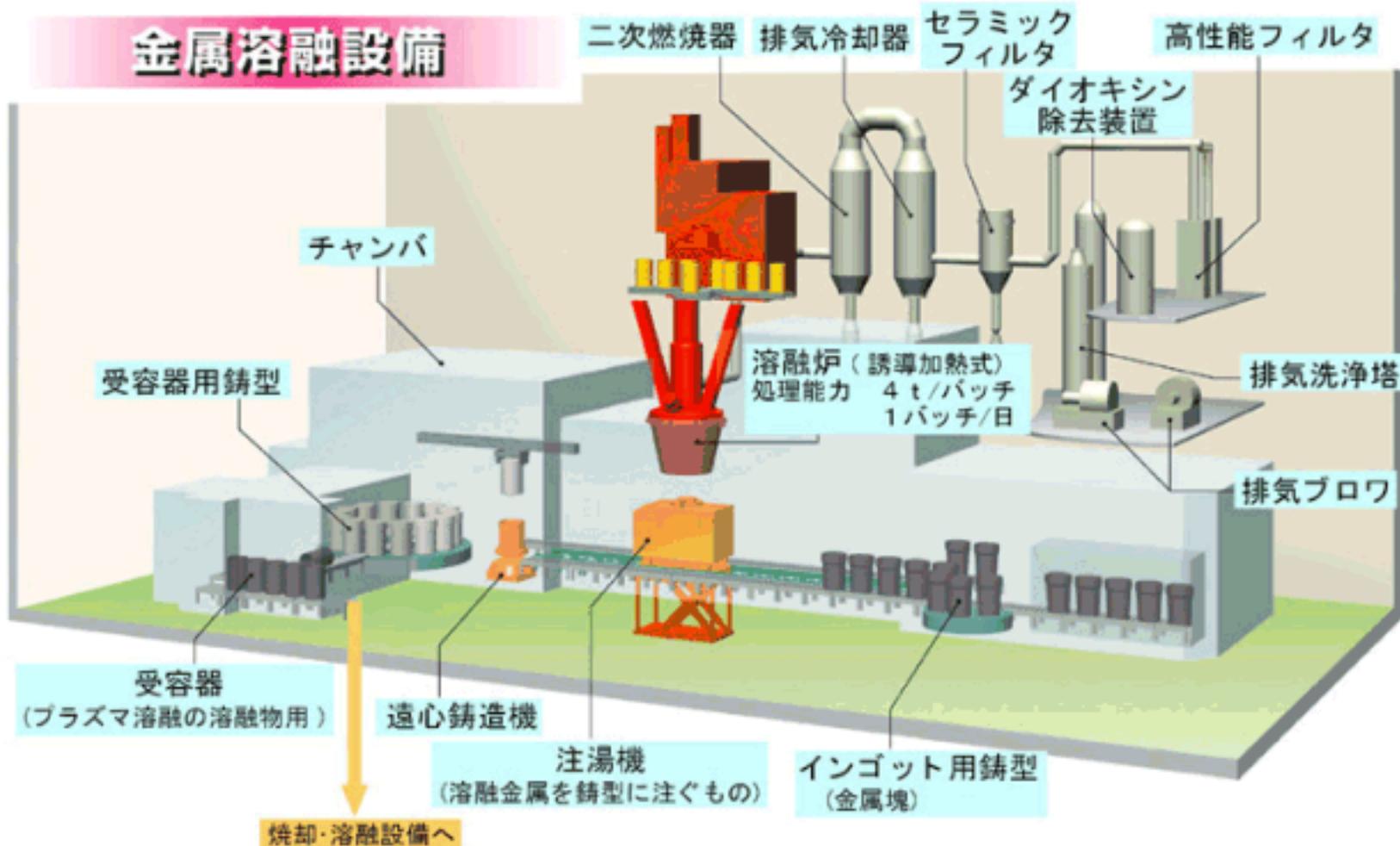


減容効果

## 図10 日本原子力研究開発機構の縦型高圧圧縮措置

[出典] 日本原子力研究所(現 日本原子力研究開発機構)パンフレット

# 金属熔融設備



# 焼却・熔融設備

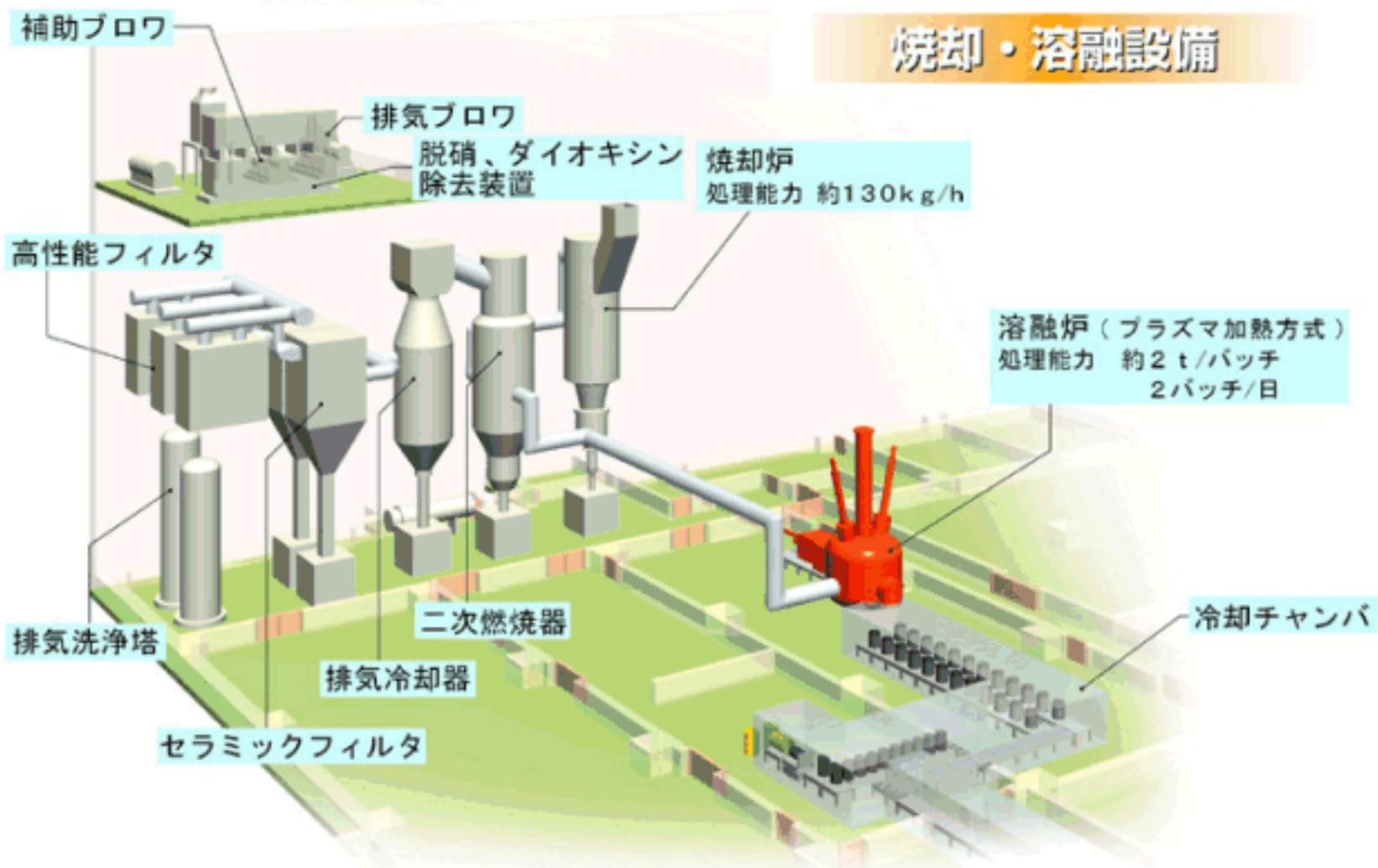


図11 金属熔融設備及び焼却・熔融設備の概要

[資料提供] 日本原子力研究所(現 日本原子力研究開発機構)



**図12 試作した金属廃棄物再利用容器**

[資料提供] 日本原子力研究所(現 日本原子力研究開発機構)



## 図13 プラズマによる溶融状況

[資料提供]日本原子力研究所(現 日本原子力研究開発機構)