

No.7

# デコミ ニュース

第7号

## 目次

1. フランス SOCODEI 社の金属リサイクル及び  
焼却施設稼働へ … 1
2. ドイツにおける放射性金属廃棄物の再利用の現状  
— 顆粒鋼材入りキャスク — … 3
3. 原子力施設解体におけるドイツの切断技術の現状 … 5
4. フランス政府スーパーフェニックスの  
デコミッションング許可を承認 … 10

RANNDIQC

(財)原子力施設デコミッションング研究協会

# 1. フランス SOCODEI 社の金属リサイクル及び焼却施設稼働へ

フランスの放射性廃棄物の技術基準は、原子炉施設の安全規制に定められ、これに基づき放射性廃棄物管理国家機関 (ANDRA) が廃棄体に関する承認、処分施設への受入れおよび処分を実施している。

1992年7月にフランス政府は、放射性廃棄物から有用物質を抽出することおよび最終廃棄物のみ埋設するという法律を制定した。これを受け、EDFとCOGEMAの出資により設立された産業廃棄物処理会社 (SOCODEI) は、マルクール原子力センター近隣にセントラコ (CENTRACO) とよばれる集中低レベル放射性廃棄物処理センターを建設した。このセンターには金属溶融設備 (高周波誘導炉、4,500t/年、溶融金属の鑄造により減容比10) と焼却設備 (アフターバーナー付2段燃焼炉、可燃性固体廃棄物3,500t/年、液体廃棄物1,500t/年、燃焼後で灰とすることにより減容比20) が完成し、前者は1997年、後者は1998年末に稼働した。なお、セントラコでは、運転、保守、解体で発生する放射性廃棄物を自国のみならず外国からも受入れている。

金属溶融施設では、まず金属廃棄物を炭素鋼、SUS鋼、非鉄金属に仕分けし、非金属の廃棄物は焼却設備へ移送するため、金属と区別し、貯蔵される。溶融炉は炭素鋼およびSUS鋼用に設計され、1,600℃で運転される。なお、放射性スラッグは、溶融金属を金型に注入する前に除去する。非鉄金属溶融は平均5%まで許容されるが、その許容割合は将来溶融炉のタイプを変更することにより可能になる。

また高周波誘導溶融炉は、ガスの放出は少なく、図1に示すように廃棄系に高性能フィルタなどを設けることにより放射性物質の放出を非常に少なくしている。さらに、均質のインゴットが抽出される利点がある。

溶融金属は、鑄型によるインゴットの鑄造、または遠心機で管に製造される。前者のインゴット鑄造の場合16時間以内に800℃から40℃まで冷却後200ℓ、1.5tの標準キャスク製造に使用される。

管製造の場合は、図2に示すリサイクルプロセスのように溶融金属を2分割の管型キャスクの遠心機にかけ巾3.0cmから10.0cm、800℃で抽出され、冷却トンネル内で冷却され製造される。管はワイヤーソーで切断される。これらは、非汚染の円板内に管を封入してコンクリートキャスク内に装填される。または、溶接により400ℓドラム缶となる。

焼却炉は、通常の産業廃棄物のものと同一で固体可燃物で620kg/h、液体廃棄物で300kg/hの処理能力がある。

一方、セントラコ施設への廃棄物受入れ濃度は、ANDRAの浅地層処分基準と同じで以下のようになっている。

金属廃棄物 (平均)	$\alpha$ 核種汚染	: 1Bq/g 以下
	$\beta$ $\gamma$ 核種汚染	: 200Bq/g 以下
可燃 (固体) 廃棄物 (平均)	$\alpha$ 核種汚染	: 1Bq/g 以下
	$\beta$ $\gamma$ 核種汚染	: 1,000Bq/g 以下
液体廃棄物 (平均)	$\alpha$ 核種汚染	: 1Bq/g 以下
	$\beta$ $\gamma$ 核種汚染	: 2,500Bq/g 以下
混合廃棄物 (最大)	$\alpha$ 核種汚染	: 370Bq/g 以下
	$\beta$ $\gamma$ 核種汚染	: 20,000Bq/g 以下

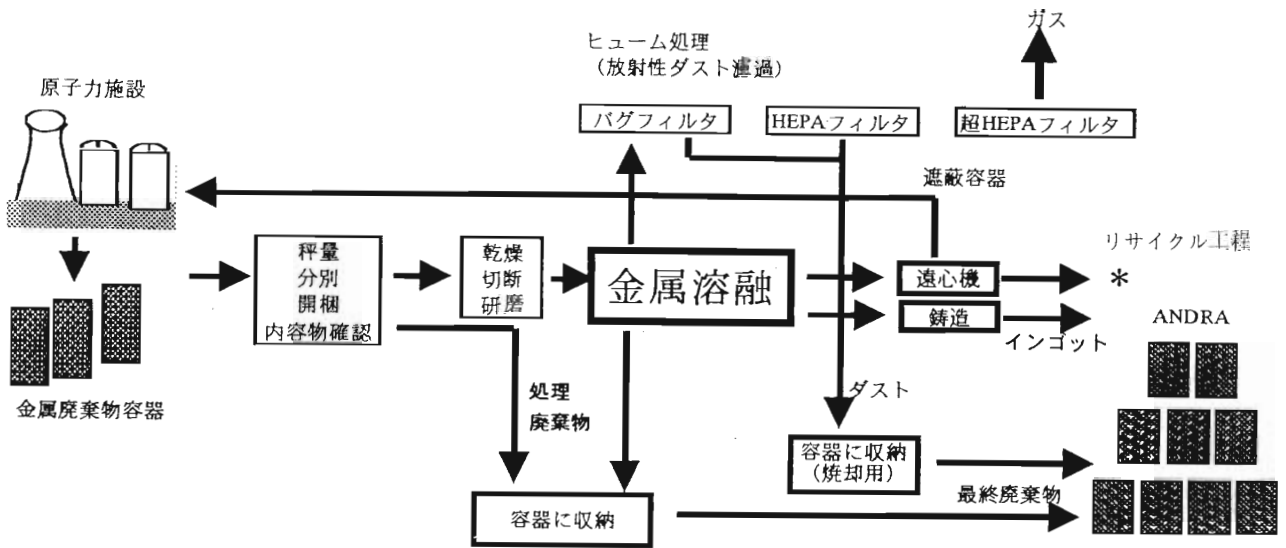


図1 溶融工程

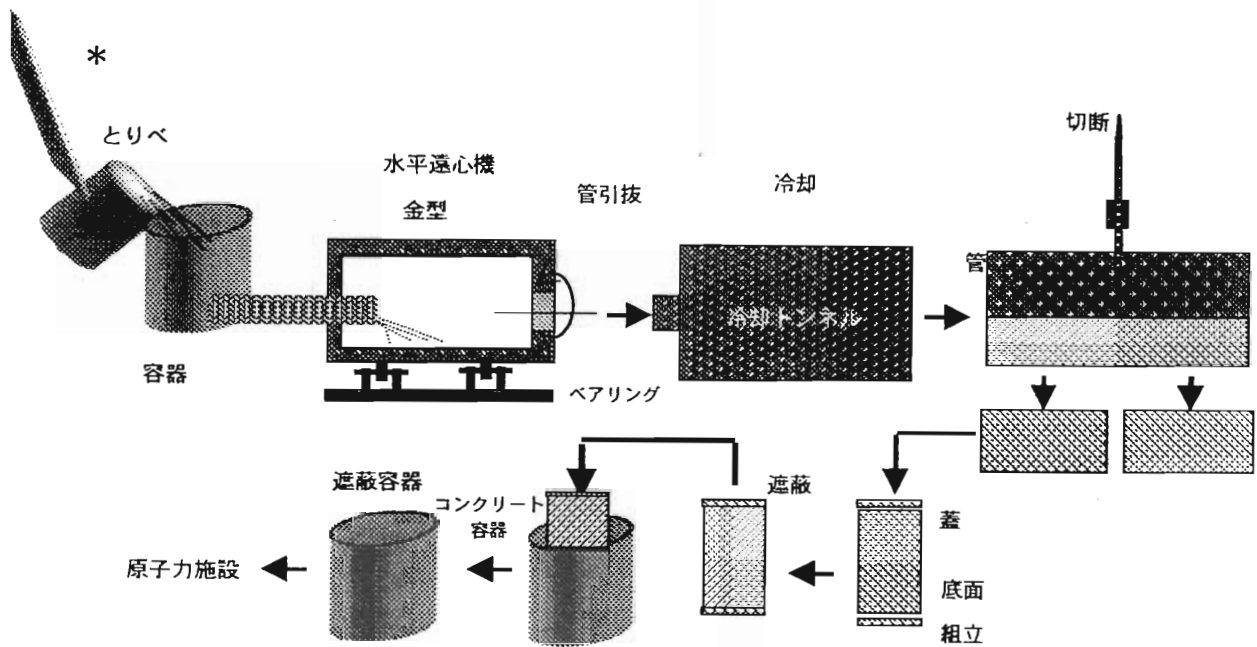


図2 リサイクル工程

《参考資料》

- (1) The 5th International Nuclear Conference on Recycling, Conditioning and Disposal (RECOD98), Nice, France, October 25-28, 1998  
SOCODEI MELTING & RECYCLING & INCINERATION FACILITIES J.F.GREPPO

## 2. ドイツにおける放射性金属廃棄物の再利用の現状

### － 顆粒鋼材入りキャスクー

原子力施設を解体するときには、放射能レベルの比較的高いものから低いものまで幅広く分布した解体廃棄物が短期間に大量に発生する。この発生したものを単に廃棄物として処分するのではなく、資源を最大限に活用して最少量の廃棄物を残し、極力資源をリサイクルするという観点から解体廃棄物の再利用技術の開発がドイツでは精力的に実施されてきている。

ドイツでは、金属廃棄物を放射能レベルにより区分し除染または溶融して再利用する方針が出され、1987年SSK（放射能障害防止委員会）が処分制限解除の勧告に基づき鉄、鋼材低レベル放射性物質に関する許可基準を決定した。1993年には、これを非鉄金属への適用まで拡大した。また放射性廃棄物再利用施設は、国の認可制になっている。

ドイツ国内における廃棄物再利用システムを関係機関を合わせて図1に示す。

Simpelkamp社（SGG）では、唯一認可された民間の放射性金属廃棄物溶融施設（CARLA）を有し、ドイツの独占的な放射性廃棄物管理会社であるGNS社を經由して原子力発電所の運転、補修および廃止措置から発生する放射性金属廃棄物を受入れ、1989年から専用炉（3.2t中周波誘導炉）を設置し運用している。1996年までに、約10,000トンの汚染レベルの低い金属を溶融し、廃棄物処分容器（MOSAİK）遮蔽材などを製作して、再利用している。

#### 〈顆粒鋼材入りキャスクの開発〉

SGG社では遮蔽用の重コンクリートに混入して密度を高める鉄鉱石の代わりに解体金属廃棄物のステンレス鋼を溶融し、顆粒化（granules）する技術を、また、顆粒鋼材入りキャスク製造技術をコンクリート遮蔽製造の専門会社であるボッシェル社と協力して開発した。

ステンレス鋼の場合、NiとCrを含有しているため材料特性が悪くなり、高品質の铸造品の製作が困難となるため、その代わりとして顆粒化（直径1～8mmの球）し、重コンクリートの骨材として使用した。低レベル放射性廃棄物輸送のGSC-2009コンクリート遮蔽容器を1998年から実用化している。コンクリート中の鋼材の割合は約50W/oで、密度は2.4g/cm<sup>3</sup>～4.0g/cm<sup>3</sup>で、圧縮強さは65Mpaと普通のコンクリートよりも強くなっている。IAEA基準の1.2m落下試験もクリアされ、また鋼材に含まれている<sup>3</sup>Hや<sup>14</sup>Cの放射能も低濃度で問題としないとしている。写真1及び2にコンクリート中に均質に混入された鋼材および製作された容器を示す。

今後の応用としては、次のものが考えられる。

- ・ GSC400（400l用顆粒鋼材入り遮蔽コンテナ）
- ・ 特殊コンテナ
- ・ 遮蔽要素材
- ・ 基盤材
- ・ 重コンクリート構造材

上記の放射性金属廃棄物を原子力施設のコンクリート構造材へリサイクルすることは、経済性及び環境の観点から有効であると評価されている。

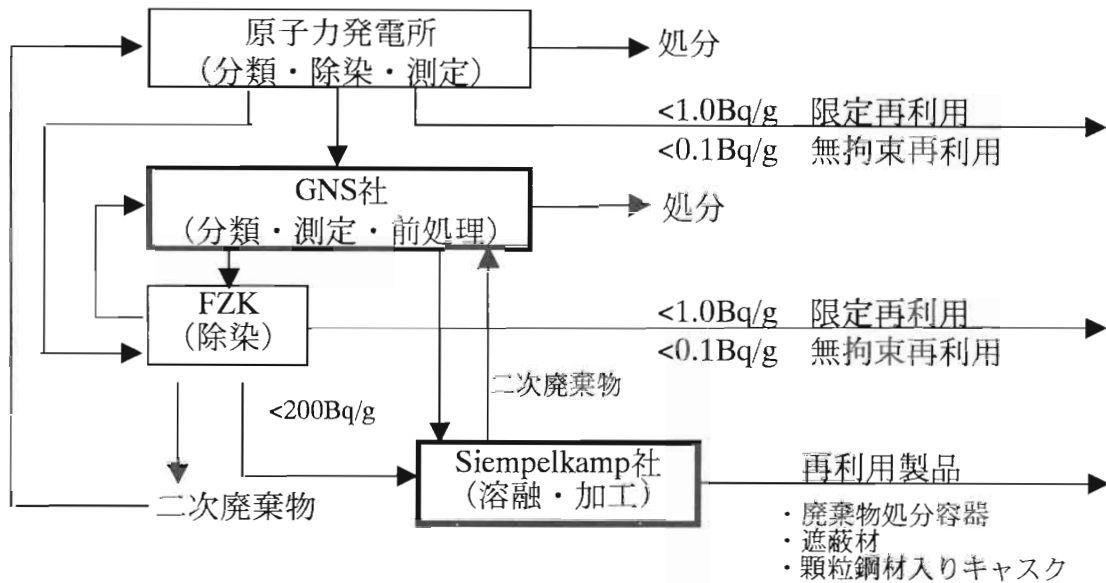


図1 ドイツ国内における廃棄物再利用システムと関連機関

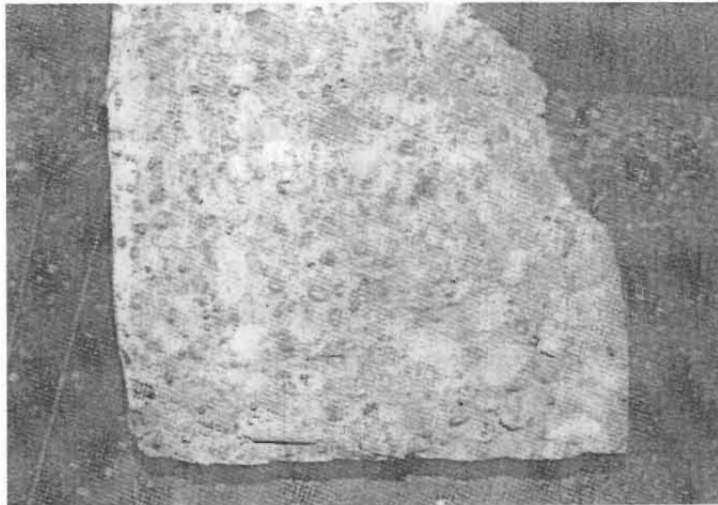


写真1 コンクリート中に均質に混入された顆粒鋼材



全高 : 1,460mm  
 外径 : 1,060mm  
 内径 : 650 - 670mm  
 内容積 : 0.325m<sup>3</sup>  
 総重量 : 2,750kg

写真2 顆粒鋼材入りキャスク (200ℓ, GSC200)

《参考資料》

(1) The 5th International Nuclear Conference on Recycling, Conditioning and Disposal (RECOD98), Nice, France, October 25-28, 1998

HEAVY CONCRETE SHIELDINGS MADE OF RECYCLED RADIOACTIVE STEEL D.HOLLAND

デコミニュース, No.7 (1999年2月)

### 3. 原子力施設解体におけるドイツの切断技術の現状

原子力施設解体における切断技術の開発にあたっては、切断能力、遠隔操作性、作業者の放射線被ばく、切断粉塵やドロス等の副次生成物の発生量及びその汚染拡大防止対策などを考慮して幅広く進められている。ドイツで進められている切断技術の開発状況及び使用実績等について紹介する。表1に水中切断技術の比較評価を示す。

#### 1. 熱的切断技術

##### (1) 放電加工切断 (EDM : Electro-discharge machining)

放電加工切断は、複雑形状で肉厚の薄い炉内構造物の切断には適しており、切断ヘッド部は小型で種々の金属を切断できるが、切断速度は非常に遅く、放射化イオンが多量に発生するためイオン交換装置が必要である。電極に銅、タングステン／銅合金及びCFC (Carbonfibre reinforced graphite) を使用し、電圧、電流、パルス率等をパラメーターとしてモックアップ試験を実施した結果、タングステン／銅合金が電極の摩耗も少なく比較的好結果を示した。

実績としては、DETEC社がVAK原子力発電所の炉内構造物(給水リング)の切断に使用している。切断で微粒子(8 $\mu$ m)が発生しその回収装置が必要ではあるが、複雑形状機器の切断や切断スペースを考慮する場合は適用する価値はある。

##### (2) 接触式アーク金属切断 (CAMC : Contact Arc Metal Cutting)

CAMCは、図1に示すように電極を切断対象物に接触させ、小さな接触面に大電流(約4000A)を流し急膨張させて、切断対象物を蒸発させてイオン化し、アークによりさらに金属を溶断する。溶けた金属は、水ジェットで吹き飛ばされる。実績としては、グンドレミンゲン原子力発電所の気水分離器や炉心シュラウドの切断がCAMCで行われた。

現在、電極をできるだけ薄くし、切断幅を小さくしてドロスや発生ガスを低減させるための技術開発、消耗の少ない電極材料の開発、切断状況を良く監視できるようにするための水浄化設備の開発等が進められている。この切断技術は、最近重要視されてきている。

##### (3) プラズマアーク切断

同切断工法は、ステンレス鋼の切断に有効でプラズマトーチ自体も小型・軽量であるため、遠隔操作により水中で狭い場所にも適用できることから、原子力施設の解体では広く多用されている工法である。切断にあたっては、空気汚染を起こす恐れがあることから、換気装置が併用されている。

グンドレミンゲン原子力発電所では、プール内にターンテーブルを設置し、そのターンテーブル上に出力100kWの遠隔操作プラズマアーク切断機を載せ、炉内構造物であるスチームドライヤーや気水分離器の切断を実施した。また、MZFR原子炉では、熱遮へい体や減速材タンクの切断等をプラズマアークで行った。

##### (4) YAGレーザー切断

YAGレーザー切断は、トーチ部以外は管理区域以外に設置することができ、切断幅も狭くドロス等の副次生成物が少ない上に、光ファイバーによりフレキシブルなパワー電送が可能である。アシストガスにより水が攪拌されるため切断粉塵等の回収には、強い吸引力があり、1 $\mu$ m程度のフィルターを備えた回収装置が必要である。

原子力施設解体におけるレーザー切断技術取得のため、2kW-Nd-YAG レーザを使用し、上部グリッド切断のためのモックアップ試験を実施した。切断速度により、副次生成物の発生状況に変化が見られた。

## 2. 機械的切断技術

### (1) 鋸 (Saw)、グラインダー、鋏 (Shear) 等による切断

これら機械的切断工法は、水中で簡単に適用でき、エアロゾル等の発生もなく、副次生成物の回収も簡単なストレーナを備えた装置で行えるなどの利点がある。

空気作動式のレスプロソーは、簡単に取り扱えるよう支持機構や排気空気の排出方法を改良し、直径57mm程度の配管切断及び非常用炉心冷却系のスプリンクラー・リングや炉心上部のチムニー等の炉内構造物切断に使用されている。

2つの鋸が逆回転する構造の2重切断鋸 (Twin-cutter saw) は、板厚10mm程度までのステンレス切断が可能であるが、汚染区域で鋸の刃を研ぐことができないことから、グローブボックス外部構造物の切断等に使用されている。また、グンドレミンゲン原子力発電所のスチームドライヤーや上部グリッド等の解体に、弓のこ (Hacksaw) がプラズマアーク切断のバックアップとして使用された。

VAK原子力発電所の高放射化された上部グリッドプレートの切断には、水中グラインダー切断装置が使用された。切断幅は2mm以下で、燃料エレメントの切断装置を改良しており取扱いも簡単である。厚さ8mm、長さ130mmの板厚切断に要する時間は1.5分で、切断速度は、7cm/min程度である。

VAK原子力発電所の熱遮へい体上部の切断に、粉碎切断 (Milling cutting) 装置が使用され、グンドロミンゲン原子力発電所やVAK原子力発電所の制御棒の切断には油圧鋏 (Hydraulic shear) が使用されて、それぞれ好結果が得られている。VAK原子力発電所の炉心上部のチムニーの切断には、空気作動式ニブラを水中用に改良し使用されている。この切断幅は12mmで、切断切粉も簡単に回収されている。

### (2) アブレッシブ・ウォータージェット切断

同切断工法は、切断ヘッド部が小さく遠隔操作性も良く、切断性能も優れているが、2次廃棄物として発生するコンクリートや研磨剤を含む廃液処理に難がある。ドイツにおいても技術開発を進めており、1分当たり1~1.5Kgの研磨剤の消費量による切断速度は、板厚50mmで40mm/minであり、板厚140mmの金属板まで切断している。実績としては、VAK原子力発電所の解体において、コールドテストで確認した後、複雑な作業スペースの条件下で炉心シュラウドを切断している。

### (3) アイスソーイング (Ice-sawing) 切断

熱交換器や蒸気発生器等の切断には、Ice-sawing技術が開発された。この切断方法は、蒸気発生器等に水を張り、-15℃程度まで温度を下げ凍結させた状態で鋸切断を行うもので、放射性エアロゾルの発生防止、切断対象であるチューブの振動防止、放射線被ばくの低減、汚染拡大防止、ソーブレードの冷却効果等数多くのメリットがある。短所としては、冷温空気を吹き付け凍結するのに長時間要することである。



グンドレミンゲン原子力発電所では、大型のバンドソーを使用したIce-sawing切断工法で、直径2.2 m、高さ8.8 mの蒸気発生器を11分割に切断した。一回の輪切りに要する時間は、約8時間であった。Ice-sawingを使用した3つの蒸気発生器の切断に関する主要関連データを表2に示す。

また、グンドレミンゲン原子力発電所の炉内構造物の概念を図2に、それらの解体に適用した技術（CAMCを除く）を表3に示す。

《参考文献》

- ・ IMechE CONFERENCE TRANSACTIONS, Int. Con. on NUCLEAR DECOMMISSIONING '98, ※ Selected German experiences with dismantling techniques. ARNOLD Detec GmbH, Alzenau, German
- ・ WM '98 Proceedings, DECOMMISSIONING PROJECTS in KRB A and VAK N. Eickelpasch VAK, Kahl, Germany
- ・ RADWASTE January 1997, Lessons Learned by Dismantling Two German BWRs Norbert Eickelpasch, Helmut Steiner and Detlef Schmidt
- ・ WM '98 Proceedings, State of the art of thermal and hydraulic cutting techniques for decommissioning tasks in nuclear industry. Prof. Dr.-Ing. Germany

表1 ドイツにおける水中切断技術の比較評価※

切断技術		切断切粉サイズ	2次廃棄物	長 所	短 所
熱 的 切 断	放電加工 (EDM)	1.0 ~ 50 μ m	10 ~ 40(kg/m <sup>3</sup> )	あらゆる金属に適 用、ヘッド部・小	イオン交換装置 HEPA フィルター
	レーザ	~ 100 μ m	5 (kg/m <sup>3</sup> )	ヘッド部・小	アシストガス 正確な位置決め
	プラズマ	0.1 ~ 3.0 mm	20 ~ 40 (kg/m <sup>3</sup> )	ヘッド部・小	アシストガス 正確な位置決め
機 械 的 切 断	グラインダー	0.1 ~ 1.0 mm	10 ~ 35 (kg/m <sup>3</sup> )	あらゆる材質に適 用、	グラインダーの交 換作業
	鋸、粉碎切断	1.0 ~ 5.0 mm	10 ~ 35 (kg/m <sup>3</sup> )	副次生成物の回収	正確な位置決め
	ニブラ	10 mm	96 (kg/m <sup>3</sup> )	副次生成物の回収	同一対象物のみの 連続切断
	ウォータージ ェット	1.0 ~ 500 μ m	切粉：8 kg 研磨剤：750 kg	あらゆる材質に適 用、ヘッド部・小	HEPA フィルター



表2 Ice-sawing 切断技術によるグンドレミンゲン蒸気発生器の切断データ

	蒸気発生器 No.2	蒸気発生器 No.1	蒸気発生器 No.3
重量 (Mg)	64		
放射能インベントリ	10 <sup>12</sup> Bq		
冷凍に要する期間 (週)	26	12	6
準備 (時間)	5000	4200	3700
解体 (時間)	1300	1300	1100
解体後の処理 (時間)	2700	1800	1600
集積被ばく線量 (mSv)	181	160	116
無拘束解放 (Mg)	45		
溶融 (Mg)	4		
最終貯蔵 (Mg)	15		

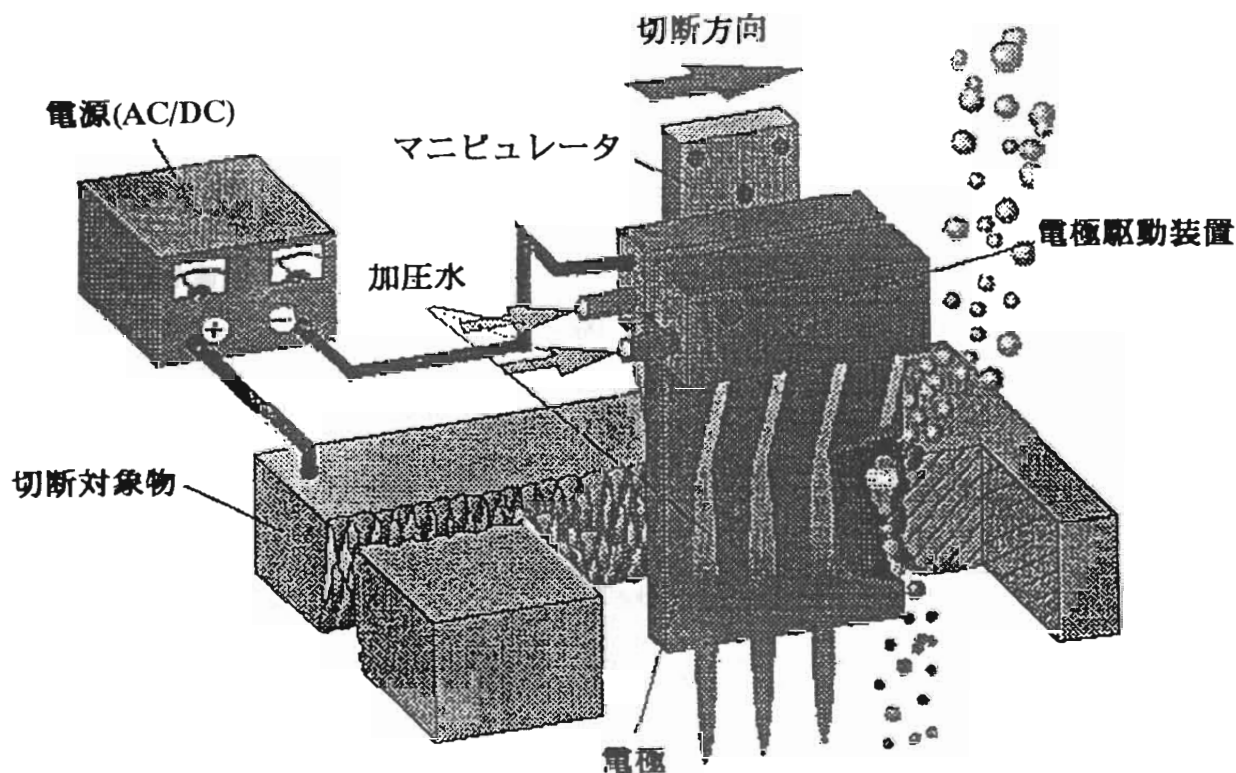


図1 接触式アーク金属切断 (CAMC) による切断概念

表3 グンドレミンゲンにおける炉内構造物の切断機器

炉内構造物	重量 (Mg)	放射エネルギー Co-60 (Bq)	適用切断技術
スチームドライヤ	7.1	8.5 E 10	プラズマ、弓のこ
気水分離器	13.5	1.7 E 13	プラズマ、CAMC、弓のこ
給水スパーチャ	0.3	3.0 E 05	弓のこ
上部グリッド	1.3	1.1 E 15	プラズマ、弓のこ
炉心シュラウド	16.0	6.7 E 15	プラズマ、CAMC、弓のこ
下部グリッド	1.4	1.3 E 14	プラズマ、弓のこ

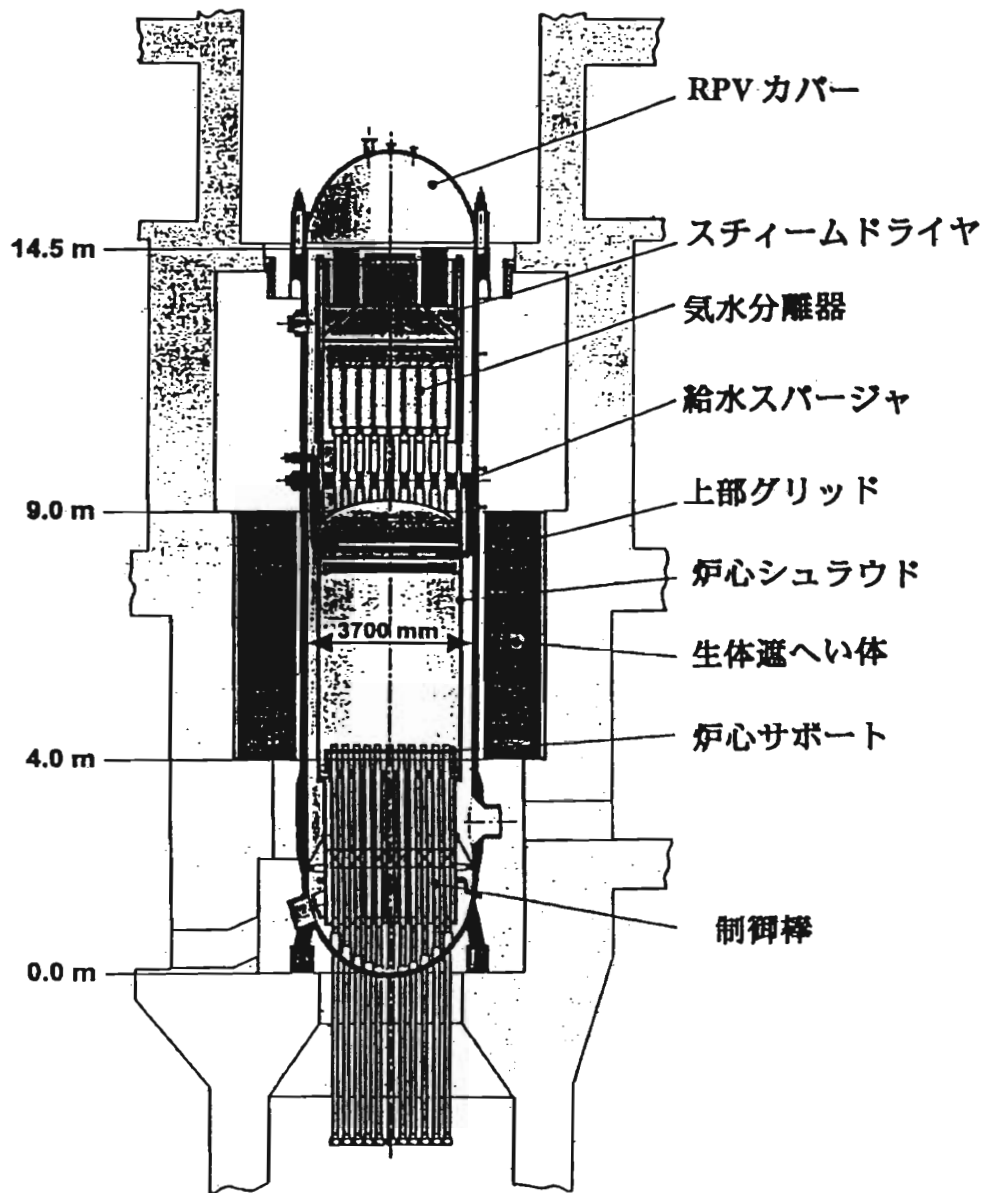


図2 グンドレミンゲンの原子炉圧力容器と炉内構造物の断面図

## 4. フランス政府スーパーフェニックスのデコミッショニング許可を承認

フランスの高速増殖炉スーパーフェニックス（電気出力124万kW）のデコミッショニングを許可する政令（デクレ）にジョスパン首相が1998年12月30日署名し、長期間のデコミッショニングの第1段階が公式に開始されることになった。この署名は1998年2月の閉鎖決定に基づくものである。デコミッショニング許可発行の直前に、フランス電力庁（EDF）は、スーパーフェニックスを建設、所有していた国際共同体NERSAの国外資本49%を、イタリア、ドイツ、ベルギー、イギリスの電力会社から1フランで買い取り、単独株主になった。デコミッショニングの全責任はEDFが負う。デコミッショニング全コストは165億フラン（約30億USドル、約3,300億円）と推定されている。

デコミッショニングの第1フェーズは、炉心から364体の燃料及び233体のブランケット燃料を取出す作業であり、1999年7月に開始され2001年に終了する予定である。この作業を行うために、炉心の燃料プールの中のナトリウムを液状に維持することが必要であり、原子炉容器と安全容器の間に加熱ケーブルを設置する。取出した使用済み燃料は同じサイトに1985年に既に建設済みの貯蔵施設に保管される。炉心燃料には約4.8トンのプルトニウムが含まれているが、使用済み燃料の再処理方針はまだ決まっていない。

燃料取出し後の大きな業務は1次貯蔵プール及び中間冷却系から約4,800トンのナトリウム、さらに他のタンクや系統に貯蔵中のナトリウム700トンを取り出して、化学的に安定な状態に処理することである。この作業は少なくとも2005年までかかると思われる。12月30日に署名されたデコミッショニング許可によって、EDFは安全上不必要で核燃料物質を取扱わない機器等の解体を開始することが可能になった。発電機器、補助建屋、上記発生器建屋がこれに含まれる。

今回の政令に含まれる作業範囲以外は、新たな政令によって承認を受けた後作業が行われる。

スーパーフェニックスの従業員は、1998年当初の700人弱から約480人に減少した。燃料取出しには400人～450人必要であるが、次のナトリウム抜き取り作業時には260人～310人に減少される。その後の本格的デコミッショニング時には、さらに180人まで減少するものと見られている。

### 《参考資料》

- ・ Late News , Nuclear News , February 1999
- ・ WORLD NEWS, Nuclear Europe Worldscan 1-2/1999

### 《関連記事》

- ・ 「フランス政府スーパーフェニックス閉鎖を決定」、デコミニユース第3号（1998年3月）

デコミニュース 第7号

発行日 平成11年2月26日

発行 財団法人 原子力施設デコミッション研究協会

〒319-1111 茨城県那珂郡東海村舟石川 821-100

電話：029-283-3010 Fax：029-287-0022

©

ホームページ：<http://www1.sphere.ne.jp/randec/>