

<概要>

原子炉施設のコンクリート構造物は堅牢で、**生体遮へい**体などは壁が厚く一部は**放射化**あるいは**放射能**汚染している。このため、これらの構造物の**解体**には放射性粉塵等の発生が少なく、作業員の**放射線**被ばく及び二次廃棄物の発生を極力抑制できる解体技術が必要となる。適用されているコンクリート構造物の解体技術には、機械的衝撃法、ワイヤーソー等の研削法、火薬による制御爆破工法を利用した方法などがある。

<更新年月>

2010年11月

<本文>

原子力発電所のコンクリート構造物は、耐震性などに対する配慮から壁が厚く、かつその中にある鉄筋も密に配置されているため、一般構造物と比較して堅牢な構造となっている。

コンクリート構造物のうち、解体が最も困難な構造物は、放射化している生体**遮へい**である。この生体遮へいは、**原子炉圧力容器**を取り囲んで放射線を遮へいする機能が要求されることから非常に分厚い断面構造になっており、炉心に近い部分は¹⁵²Eu、⁶⁰Co等で放射化している。解体際には粉塵の発生を抑えたり、遠隔操作を取り入れるなどして作業者の放射線被ばくを極力抑えるための配慮が必要となる。また、**放射性物質**が付着あるいは浸透した（放射能汚染）部分のコンクリート構造物の解体では、気中で切断あるいは破碎せざるをえないが、粉塵の発生を抑え、さらに粉塵回収装置の活用が不可欠である。

解体時に発生するコンクリート廃棄物は、全廃棄物（1,100MWe級の**BWR**の場合で約54万トン、**JPDR**の場合で約2.5万トン）の約90%を占め、そのほとんどが放射能のない廃棄物（**非放射性廃棄物**）と考えられている。このことから、コンクリート中の放射能レベルに応じた合理的な区分解体あるいは汚染部分の除去を行い、放射性廃棄物の発生量を低く抑えることが重要となる。

コンクリート構造物の解体技術・機器としては、ダイヤモンドワイヤーソー、ダイヤモンドカッター等による研削によるもの、火薬による衝撃圧を利用したもの、機械的破碎・割裂によるものなど**表1**に示すように種々の技術及び機器が存在する。

このうちのいくつかについて、解体の基本条件、すなわち、

- a) 放射性物質を拡散させない、
 - b) 作業員の放射線被ばくを必要最小限にする、
 - c) 二次廃棄物（使用済みブレード、排液など解体によって副次的に発生するもの）を含め放射性廃棄物の発生をできる限り抑制する、
- という観点からその特徴を示せば、一般的には次のように言える。

ブレーカー（圧縮空気や油圧を用いたノミの往復運動による衝撃を利用した道具）など機械的衝撃によるものは、一般コンクリート構造物の解体に実績を有し、操作が手軽で、ある程度の遠隔操作も可能である。その反面、破碎片が不定形となってその処理が煩雑となるとともに、粉塵の発生が多く、また計画したとおりに対象構造物を選別解体すること、内部の鉄筋等を切断することも困難となる。

ダイヤモンドカッター（円板状切断刃）及びダイヤモンドコアビット（円筒状切断刃）などを用いた研削による機械的切断技術は、切断装置の遠隔操作化が容易である、鉄筋コンクリート構造物を一樣な大きさ及び形状で撤去できるため粉塵の発生が抑制されるという利点はあるが、装置が大型化するという欠点がある。

ダイヤモンドワイヤソーによるブロック解体工法は、放射化レベルの高い領域の解体を遠隔操作で行うことができ放射性の粉塵等の発生が少なく、あるいは二次廃棄物の発生が少ない技術であることから（財）原子力研究バックエンド推進センター等で開発が行われた（[図1](#)、[図2](#)参照）。

また、火薬を用いた爆破技術は一度に広い領域を解体でき作業効率がよい反面、多量の粉塵の発生や騒音及び振動を伴う。

以上のように、それぞれの技術にはその原理に起因した利点と欠点があり、解体対象物に応じた技術・機器の選択が解体の安全性と費用の低減の面から必要である。

（1）JPDR生体遮へい体の解体

JPDRの生体遮へい体の厚みは炉心部で3mであり、また、その内部には鉄筋及び冷却配管等が埋設されている他、内側の表面は鋼板によって覆われている。このため、コンクリート構造物の解体技術・機器の開発は、解体の困難な生体遮へい体の炉心側を、遠隔操作により解体を行うこととし進められた。

JPDRの解体実地試験においては、上述の生体遮へい体の特徴を考慮し、解体範囲と適用解体技術について、機械的切断技術、水ジェット切断技術、制御爆破技術、熱的切断技術を開発対象に、撤去作業の遠隔操作化に重点をおいた技術・機器の開発が進められた。

遮へい体の実際の解体では、切断時の粉塵発生による[作業環境](#)への影響あるいは切断片の処理の問題等から熱的切断技術の適用は見送られ、高放射化部には機械的切断技術とジェット切断技術が、放射化レベルの低い部分及び非放射化部には制御爆破技術が選定され（[図3](#)参照）、解体実地試験を通じてこれらの技術の有効性が確認された。

機械的切断技術は、[図4](#)に示すように、円板状ダイヤモンドカッター（直径約1m）及び円筒状ダイヤモンドコアビット（直径約15cm）による切断と穿孔を組み合わせ、遮へいコンクリートを扇型のブロック状に切断、撤去してしまおうというものである。切断装置は穿孔、切断、切断片の撤去まで遠隔操作化が図られており、作業員の被ばく低減に配慮されている。本技術は、対象物を計画した切断線に沿って撤去可能なことから、コンクリート中の[放射能濃度](#)に応じた解体を可能とする。

JPDRに適用した制御爆破による生体遮へい体の解体手順を[図5](#)に示す。この制御爆破は、低爆速で破壊作業の小さい爆薬を用い、解体予定部以外へのクラックの発生を極力少なくして計画した範囲のみを爆破解体するもので、解体効率も比較的高いのが特徴である。

（2）米国のフォート・セント・ブレインのコンクリート製原子炉容器の解体

高温ガス炉であるフォート・セント・ブレインの原子炉容器は、炉心下部に12基のモジュール型蒸気発生器を内蔵し、生体遮へいを兼ねた高さ32m、外形15m、側壁厚さ3mのプレストコンクリート製である。原子炉容器の放射化領域の解体は、ダイヤモンドワイヤソーによりブロック状にして撤去した（[図6](#)参照）。

（3）ドイツのグンドレミンゲンの生体遮へいの解体

グンドレミンゲン（KRB-A）生体遮へいの厚さは1.3mで放射化レベルの高い領域は、ダイヤモンドワイヤソーを用いブロック状に解体し撤去した。（[図7](#)参照）。

（4）米国のトロージャンの生体遮へいの解体

トロージャンでは、生体遮へいをポーラクレーンの上に設置した遠隔操作システム搭載のキャタピラー付改造重機により、油圧式掘削ハンマー、油圧式せん断機を用いて機械的衝撃により解体した（[図8](#)参照）。

（前回更新：2003年1月）

<関連タイトル>

[解体に伴う廃棄物の処理・処分の方法 \(05-02-01-07\)](#)

[原子炉解体技術に関する最近の動向 \(05-02-02-09\)](#)

[JPDRの解体（1992年度以降） \(05-02-04-10\)](#)

<参考文献>

（1）横田光男・今野孝昭：「原子炉解体技術開発の現状－3. 解体工法・解体機器」、原子力工業、32巻、第7号、1986、pp.71-79

（2）日本原子力研究所：「原子炉解体技術開発とJPDR解体実地試験」（パンフレット）、平成元年3月

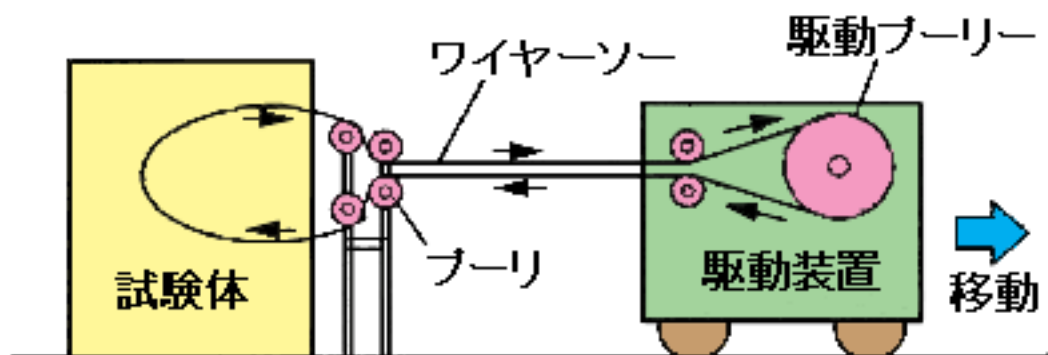
- (3) 横田光男：「JPDRの解体技術」、エネルギーレビュー、1987.6、pp.7-11
 - (4) 笠井芳夫：「コンクリート構造物の解体と再利用」、デコミッショニング技報、No.1、1989、pp.1-6
 - (5) H. Nakamura, T. Narazaki and S. Yanagihara : Cutting Technique and System for Biological Shield, Nuclear Technology, Vol.86, pp.168-178, 1989
 - (6) K. Kozawa, M. Kan, S. Yanagihara and K. Fujiki : The Progress of the JPDR Dismantling Activities : Dismantling the Biological Shield Concrete Controlled Blasting, ASME/JSME Nuclear Engineering Joint Conference, Volume 2, pp.821-826, 1993
 - (7) Vincent F. Liker : “Decommissioning of Fort ST. VRAIN”, デコミッショニングシンポジウム—安全な廃止措置に向けて—要旨集、RANDEC研究協会（1996年11月）
 - (8) 宮坂靖彦、他：JPDR解体実地試験の概要と成果、日本原子力学会誌 Vol.38、No.7（1996）
 - (9) 宮尾英彦、他：ワイヤソーによる構造物切断技術開発（その2）、デコミッショニング技報、第20号（1999年8月）
 - (10) 宮坂靖彦：原子力施設デコミッショニングにおける最近の解体技術動向、デコミッショニング技報、第25号（2002年3月）
 - (11) 清木義弘：JPDR解体実地試験—放射線遮蔽体の解体撤去、デコミッショニング技報、第14号（1996年8月）
 - (12) Helmut Steiner : “Practical Experience in Decommissioning KRB-A Plant, Gundremmingen, Germany”, DD&R 2005
 - (13) Chris Futric : “Demolition of Structures by Rubblization at Trojan Plant and San Onofre Nuclear Generation Station Unit 1”, Sepctrum 2002.
 - (14) 伊藤 章、鳥居和敬：第3回廃止措置技術-コンクリート解体／はつりの技術動向、原子力学会誌、Vol.51、No.10（2009）
-

表1 コンクリート構造物の解体工法の概要

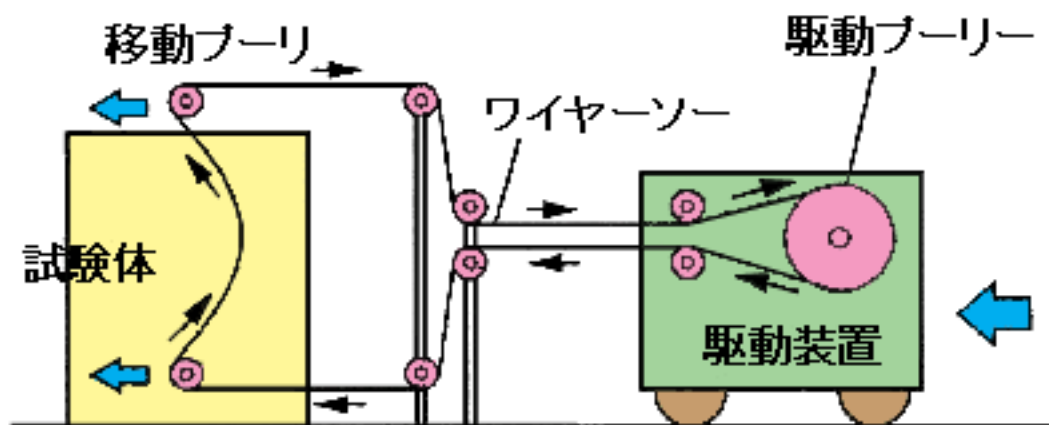
| 原理 | 方法 | 名称 | 概要 | 備考 |
|----|----|---------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|
| 研削 | 擦り | ワイヤーソー | ダイヤモンド砥粒が付いたワイヤーをエンドレスに回転させ切断 | コアボーリング等と併用する |
| | | コアボーリング | ダイヤモンド砥粒が付いた円盤状の刃等を回転させて円筒状にくり抜く | 連続することで切断させる |
| | | ディスク・カッター (カッター) | ダイヤモンド砥粒が付いた円盤状の刃等を回転させて切断 | |
| | 衝突 | アグレッシブ・ウォーター ジェット (水ジェット) | 研磨材を混入した高圧水によって切断 | |
| 溶融 | 熱 | 火炎ジェット | 灯油と酸素の混合ジェットの炎によって溶融切断 | |
| | | テルミット | 鉄やアルミの合金線に酸素を噴射炎による溶融切断 | |
| | | レーザ | レーザの熱による溶融切断 | |
| 破壊 | 打撃 | ブレーカ | ノミ状の工具を振動打撃させて破砕 | |
| | 圧砕 | 圧砕機 | コンクリートを掴み、掴んだ圧力で破砕 | |
| | 爆破 | 制御爆破 | 影響範囲や方向を制御し、孔に爆薬を挿入し爆破の圧力で破砕 | 飛散防護対策、爆破後の二次破砕が必要、火薬取り扱い許可が必要 |
| | 割裂 | バースタ | 孔にジャッキ状の治具を入れ、ジャッキの伸びによる圧力で破砕 | |
| | | 静的破砕剤 | 孔に徐々に膨張する薬剤を入れ、薬剤の膨張により割裂 | |
| | | 電磁誘導/直接電通 | コンクリート中の鉄筋に電流を発生させ、鉄筋の熱影響により割裂 | |

下記の出典を参照して作成した。

【出典】 伊藤 章、鳥居和敬：第3回廃止措置技術-コンクリート解体/はつりの技術動向、原子力学会誌、Vol.51, No.10 (2009)、p.761



引張り切断



押し切り切断

図 1 ワイヤソー装置概念図

【出典】 宮尾英彦、他：ワイヤソーによる構造物切断
技術開発 (その2)、デコミッションング技報、
第20号 p. 37 (1999年8月)

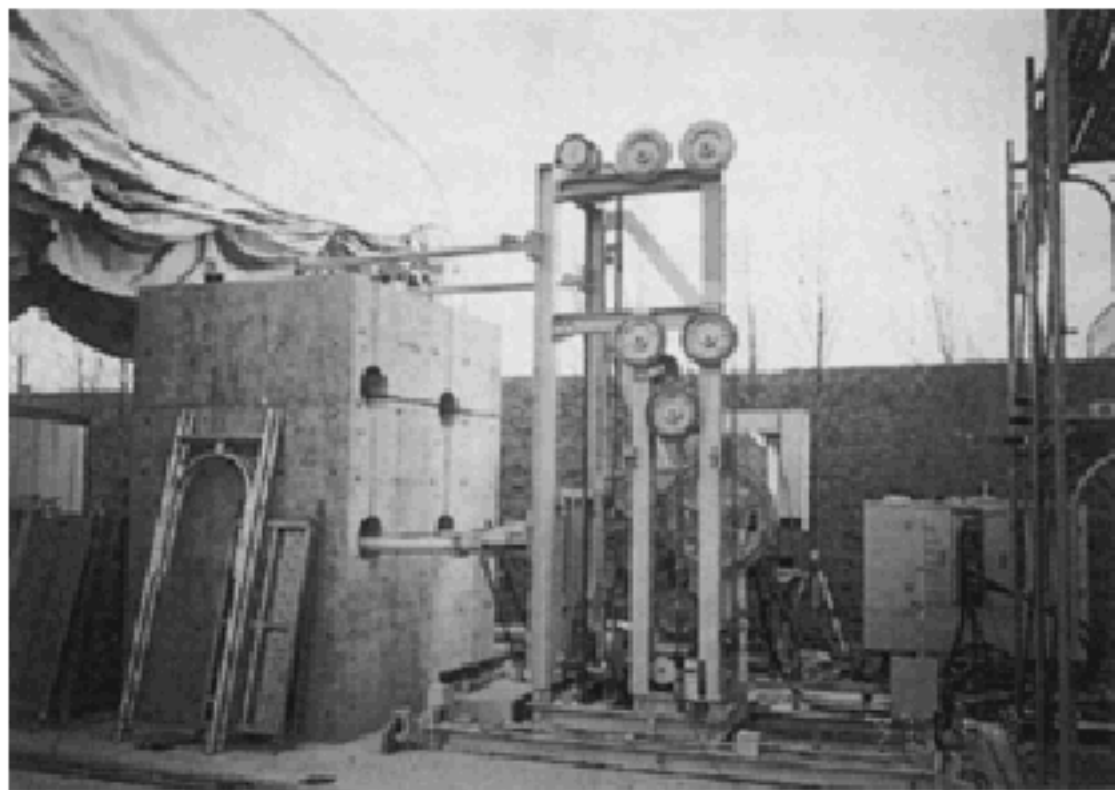


図2 ワイヤソー装置による コンクリート構造物切断試験

【出典】宮尾英彦、他：ワイヤソーによる構造物切断
技術開発(その2)、デコミッションング技報
第20号 p.44(1999年8月)

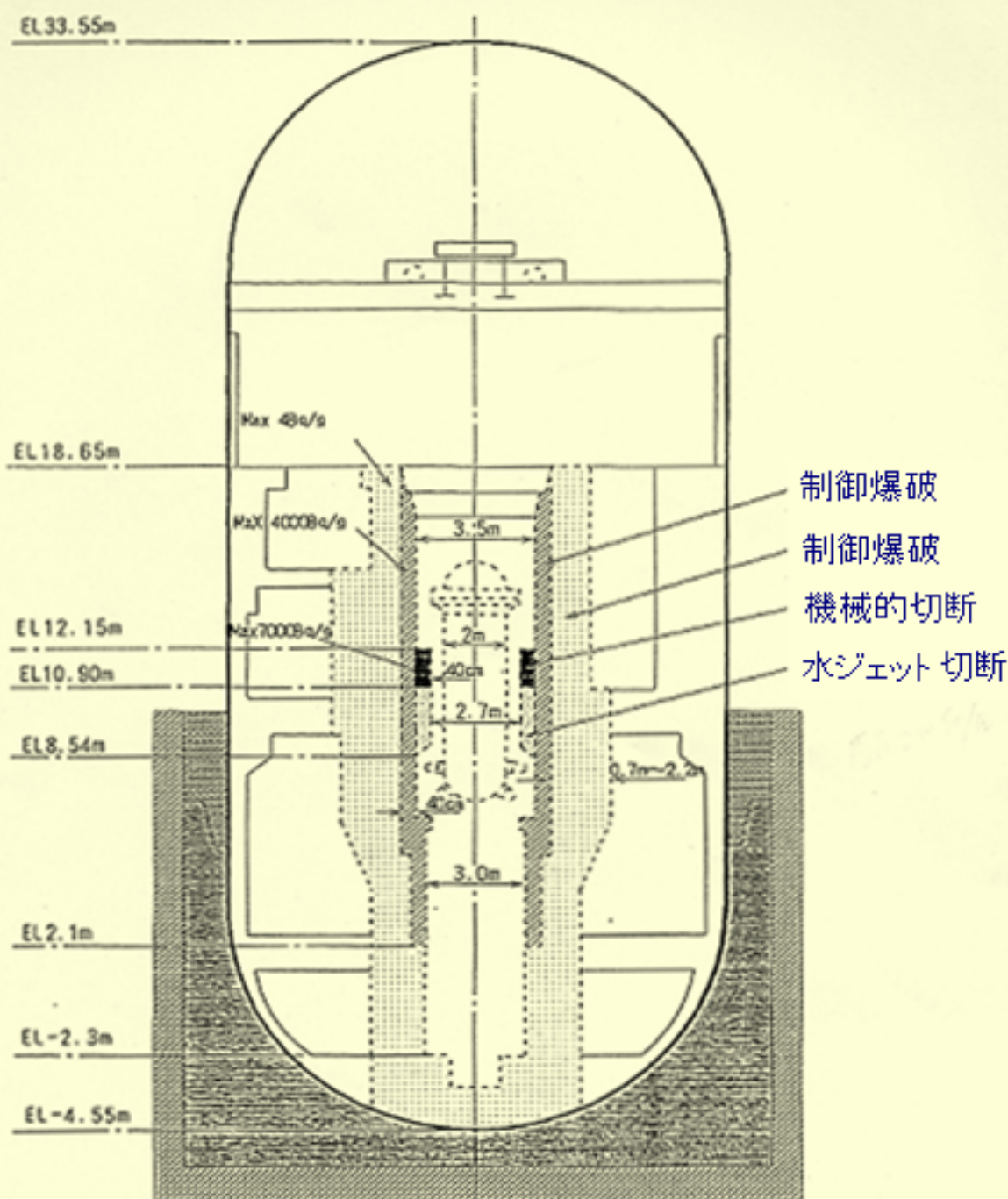
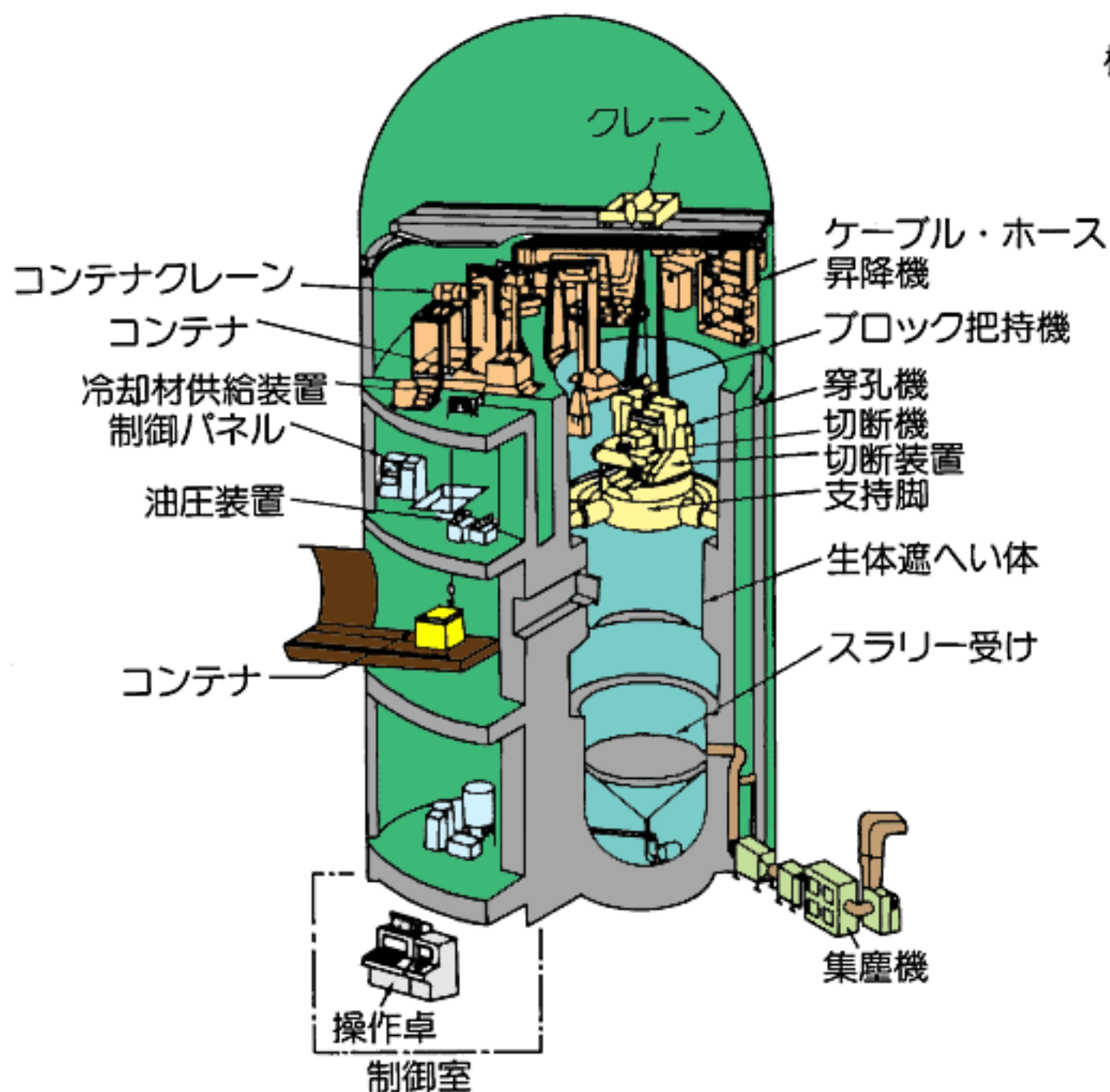
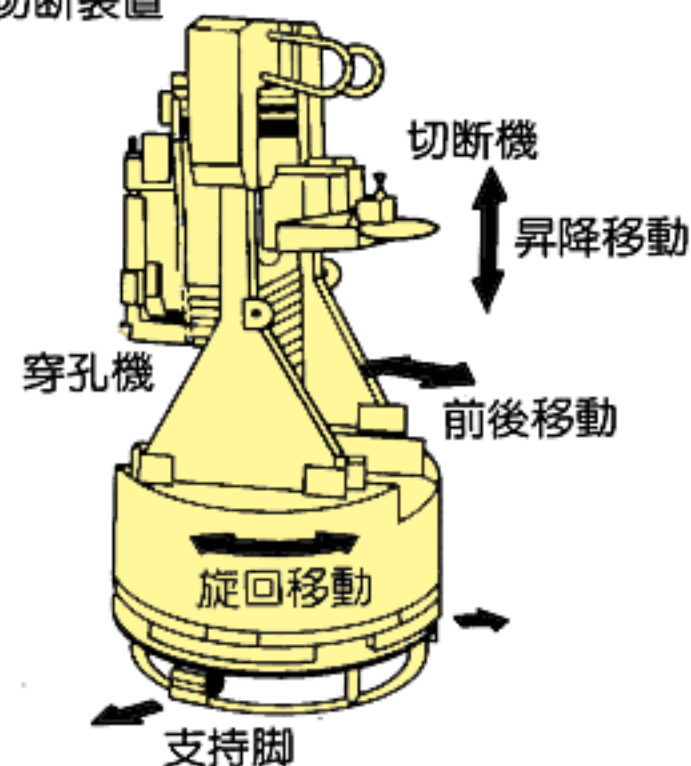


図3 JPDR原子炉遮へい体の解体範囲と適用解体技術

[出典] 清木義弘：JPDR解体実地試験－放射線遮蔽体の解体撤去、
デコミッショニング技報、第14号(1996年8月), p34, Fig1.



機械的切断装置



| | |
|---------|--------|
| 高さ | 5.0m |
| 外径 | 2.55m |
| 重量 | 15ton |
| 切断荷重 | 300kg |
| 支持脚数 | 3 |
| 昇降ストローク | 1050mm |
| 前後ストローク | 1430mm |
| 旋回角度 | 380° |

図 4 機械的切断装置による生体遮へい体の解体

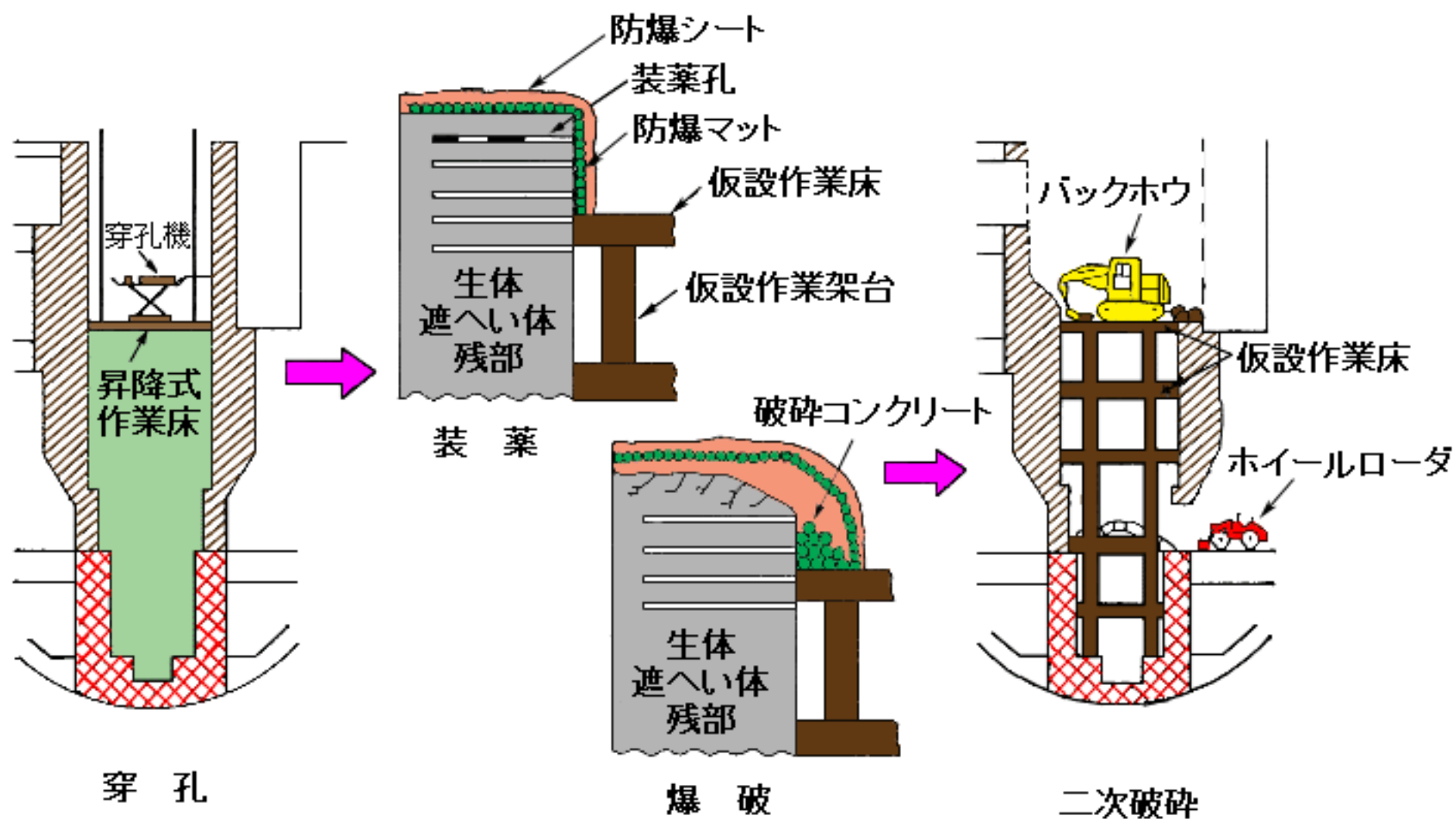
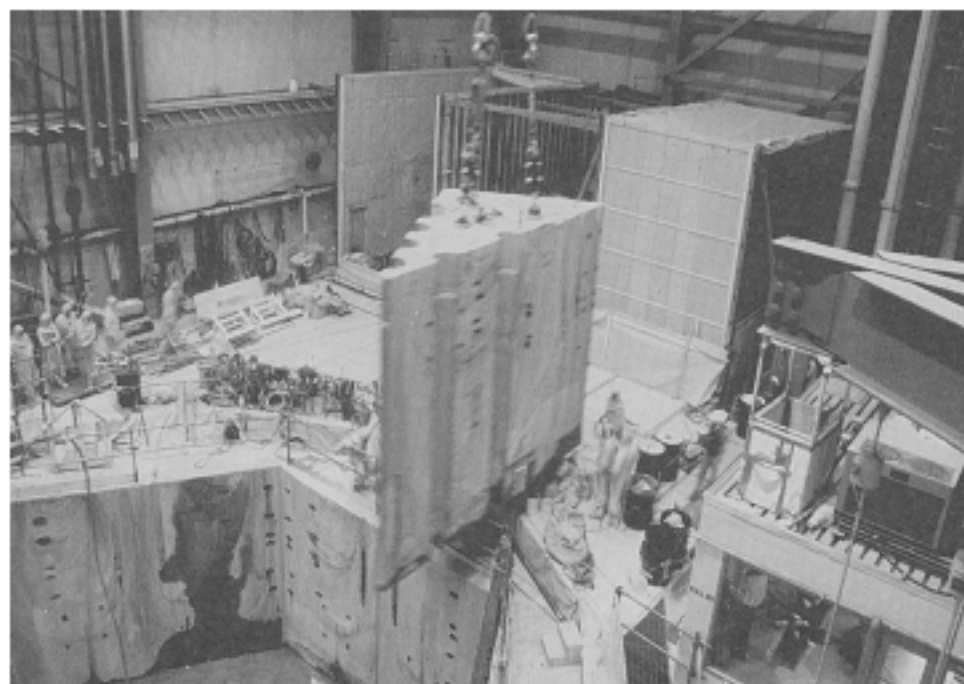
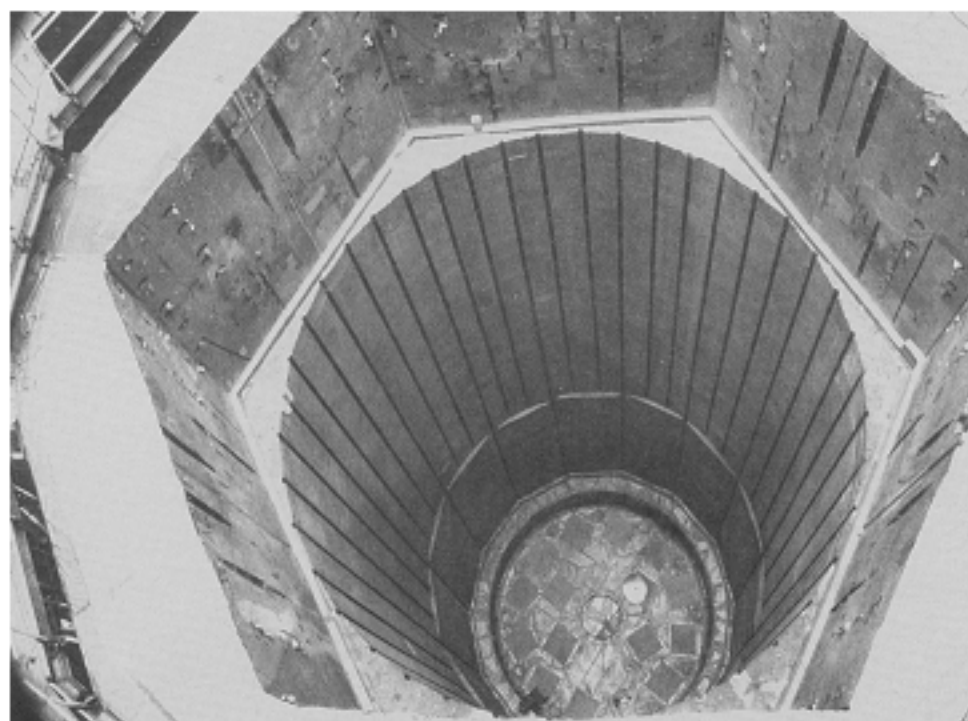


図 5 制御爆破工法によるJPDR生体遮へい体の解体手順

[出典]小澤 一茂：生体遮へい体の解体撤去、原子力工業、第42巻 第12号、p.19(1996)



コンクリート製容器上部4.5mの
解体ブロック撤去の様子



放射化領域をワイヤーソーによる
解体ブロック撤去後の内側の状態

**図6 (米)Fort St. VRAIN (高温ガス炉)原子炉コンクリート製容器の
ブロック解体撤去**

[出典] Vincent F. Liker: , “Decommissioning of Fort ST. VRAIN”, デコミッショニングシンポジウム
ー安全な廃止措置に向けてー要旨集、RANDEC研究協会(1996年11月) ,Fig2, Fig.8

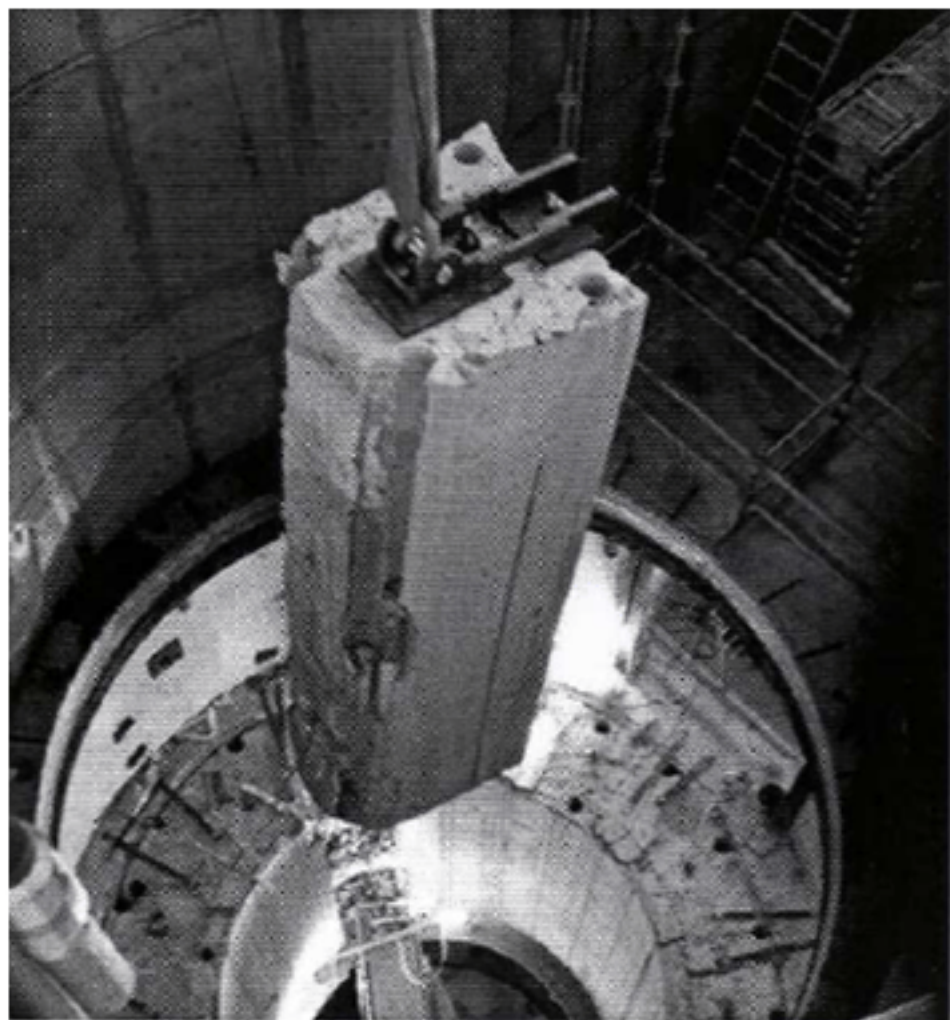


図7 (独)グンドレミンゲン(KRB-A)生体遮へい内側部分の
ブロック解体撤去

[出典] Helmut Steiner: "Practical Experience in Decommissioning KRB-A Plant,
Gundremmingen, Germany", Fig.15, DD&R 2005



ポーラクレーン上に設置した遠隔操作システム搭載のキャタビラー付改造重機による解体作業の様子



油圧式掘削ハンマー



油圧式せん断機(先端)

図8 (米)トロージャン発電炉生体遮蔽解体・撤去の実施例

[出典] Chris Futric : "Demolition of Structures by Rubblization at Trojan Plant and San Onofre Nuclear Generation Station Unit 1", Sepctrum 2002.