

(解説)

原子力施設の廃止措置と金属再利用

Decommissioning of Nuclear Facilities and Metal Recycling



中山 準平*¹
Junpei NAKAYAMA



加藤 修*²
Osamu KATOU

A metal recycling approach can reduce the volume of wastes generated from nuclear facility decommissioning projects. In Sweden, Studsvik AB. has been accepting large metal components and treating them for metal recycling since 1987. In Japan, we have developed some technologies to be used for metal recycling. Now Kobe Steel and Studsvik are jointly studying how to apply our experience and technologies to nuclear facility decommissioning projects in Japan.

ま え が き = 原子力施設の廃止措置（いわゆる「廃炉」）では解体工事に伴い大量の廃棄物が発生するためその処分が課題となる。中でも金属廃棄物は放射性物質が除去されていれば金属素材とすることができるため、再利用することが合理的である。欧米では金属再利用が事業化され本格的に行われている。当社は金属再利用を事業化しているスウェーデンのスタズビック社と連携して日本での金属再利用について様々な研究をしている。

本稿では、スウェーデンの金属再利用の現状と当社における取り組みを紹介する。

1. 廃止措置と廃棄物の関係

原子力施設の廃止措置では、解体作業において短期間に大量の廃棄物が発生する。廃止措置を円滑に進めるためには、発生した廃棄物が作業場所に滞留しないよう効率的に搬出することが求められる。廃止措置で発生する廃棄物は金属と非金属に大別される。さらに、金属廃棄物は、配管や鉄筋のような単純／小型な物以外に、蒸気発生器や熱交換器、タービン、タンク等の大型金属機器がある。これら大型金属機器に共通する特徴は、寸法が大きく嵩（かさ）張る点にあり、解体作業現場や事業用地に滞留した場合は広いスペースを占有され、解体作業自体が滞る可能性がある。また、寸法を小さくすると金属では切断作業に手間がかかるため人的負担も無視できない。このため、廃棄物の中でも金属廃棄物の搬出・処分は廃止措置における重要な検討課題である。

2. 金属再利用

金属廃棄物の処分方法として最も注目されるのは再利用である。金属廃棄物は、放射性物質の濃度が規制値以下であれば「廃棄物」ではなく有価な「スクラップ」と

なり、金属原料として様々な製品に作り変えることができる。したがって、可能な限り再利用されることが合理的である。

一方、放射性物質で汚染された金属は、放射性物質を除去したうえで、放射性物質が規制値以下であることを検認する必要がある。このような放射性物質の管理技術は原子力事業者側には確保され共有されている一方で、金属を受け入れる金属製造業者側には広く理解されているとはいえない。汚染された経緯のある金属の再利用が世界的に見ても思うほど進んでいないのは、そうした事情があるものと考えられる。したがって、金属再利用が広く普及するためには、放射性物質の管理技術と金属製造技術という異なる技術分野が連携する必要があり、それが実現できる環境を整備することが極めて重要になる。

3. スウェーデンに学ぶ¹⁾

スウェーデンは、原子力施設で発生する金属廃棄物を積極的に再利用している国として知られている。例えば、原子力発電所設備の更新計画を承認するに当たって、撤去した設備の再利用計画の提出も求めており、金属再利用が計画の一部に組み込まれている程である。このような取り組みが成立する大きな要因は、金属廃棄物を引き取ってクリアランスレベル（放射性物質としての扱いが不要な廃棄物に区分されるレベル）まで除染する専門の事業者がスウェーデン国内に存在することにある。

そうした事業者であるスタズビック社は1987年に大型金属機器の除染事業を立ち上げ、現在では年間5,000トンの大型金属機器を受け入れて除染を行っている。同社の技術は長年の操業実績によって安全性が実証されてい

*¹ エンジニアリング事業部門 原子力・CWD本部 復興プロジェクト部 *² エンジニアリング事業部門 原子力・CWD本部 原子力プロジェクト部

るため、スウェーデン国外の原子力事業者からも注文を受けるようになってきている。この事業の成功のポイントは、放射性物質を管理する技術を保有するだけでなく、高品質な金属素材を生産する技術も整備している点にある。金属を円滑に流通させるためには、その種類(鉄鋼、合金、アルミ、銅、鉛)によって分別する技術や各々の品質を確認するノウハウが必要となる。スタズビック社では、大型金属機器の構造や含有する金属の構成に適した解体・分別技術を試験、開発し、エンドユーザのニーズにマッチした金属素材を提供するよう努力している。これによってスウェーデンの金属再利用は順調に進んでいる。

4. スタズビック社の金属再利用方式

スタズビック社は、スウェーデンのニショピン市にある自社施設の中で大型金属機器の再利用事業を推進している。この施設は本来原子力研究施設であるため、放射線管理設備や放射線業務有資格者を完備していることが特徴である。

大型金属機器は、原子力施設においてプラントから切り離されてスタズビック社に搬出される(図1)。プラント側(以下、本章においては顧客という)で実施する作業は、開口部を密封し、表面線量率測定等の搬出前検査を行うだけであるため速やかに撤去でき、廃止措置が円滑に推進できる。スタズビック社の敷地には専用の港があり、スウェーデン国外の原子力施設からでも船で直接搬入することができる(図2)。

再利用施設内に搬入された大型金属機器は内部が入念



図1 原子力プラントから切り離された蒸気発生器^{*1)}

Fig.1 A steam generator removed from a nuclear power plant^{*2)}



図2 船から陸揚げされる蒸気発生器^{*1)}

Fig.2 Steam generator unloaded from vessel^{*2)}

に除染される。この除染は、再利用対象部位の放射性物質を取り除くことに加えて、再利用作業従事者の被ばく低減も目的としている。このため、蒸気発生器の伝熱管のように、除染しにくく再利用に適さない部位も積極的に除染して放射能濃度を低減している。除染が不適切であれば汚染を清浄な部位に広げてしまうリスクが生じることから、スタズビック社では、試験研究を繰り返して性能検証した多様な専用機材(図3)を駆使して熟練した作業員が除染を行う。したがって、原子力発電所等で顧客が非日常作業として実施する除染に比べて、非常に効率的かつ確実なものである。なお、除染で取り除かれた放射性物質は慎重に回収され、ドラム缶等に収納されて顧客に返還される。これは、有害物の最終処分責任が発生者、すなわち顧客側にあるという国際ルールが遵守されているためである。このように、スタズビック社の除染技術は、効果的かつ信頼性が高いため海外の顧客からの依頼が絶えない。

除染された大型金属機器は小片に解体され、金属種別ごとに分別された後、金属溶融炉に投入されて化学成分が一定の金属の塊(インゴット)に加工される。金属溶融炉としては3.5トンの高周波誘導炉が2基設置され、溶融する金属の種別によって最適な組成の耐火物を使い分けられる(図4)。製造されたインゴット(図5)は、厳密な放射性物質検査と品質チェックを経て金属材料メーカーに搬出され、スウェーデン国内で様々な金属製品として再利用される。



図3 蒸気発生器専用の除染装置^{*1)}

Fig.3 Decontamination equipment for steam generators^{*2)}



図4 金属溶融炉^{*1)}

Fig.4 Metal melter^{*2)}



図5 インゴット^{*1)}
Fig. 5 Ingots^{*2)}

5. わが国及び当社の金属再利用技術の取り組み

わが国では、原子力発電試験炉JPDRを用いた解体実地試験が日本原子力研究所(現日本原子力研究開発機構)において1986年より行われた。当社は、本プロジェクトにおいて金属再利用を研究するための溶融炉を納入した。

さらに当社は、このプロジェクトへの参加をきっかけに現在に至るまで、原子力施設内における金属の再利用技術に関して、溶融メカニズムに基づいた除染技術、及び耐火物の保守・補修時の被ばく低減技術を開発してきた。例えば、金属に付着した放射性物質のうち、ウラン等の一部の放射性核種は溶融すると金属から分離する性質があり、この性質を熱力学計算と実験により追求して金属除染技術として確立した。また、耐火物に放射性物質が蓄積する課題についても、耐火物を使わない溶融炉であるコールドクルーシブルインダクションメルタ(CCIM)の開発を行い実用化した。その波及効果として不純物が少ないインゴットの製造技術を確認した²⁾(図6)。

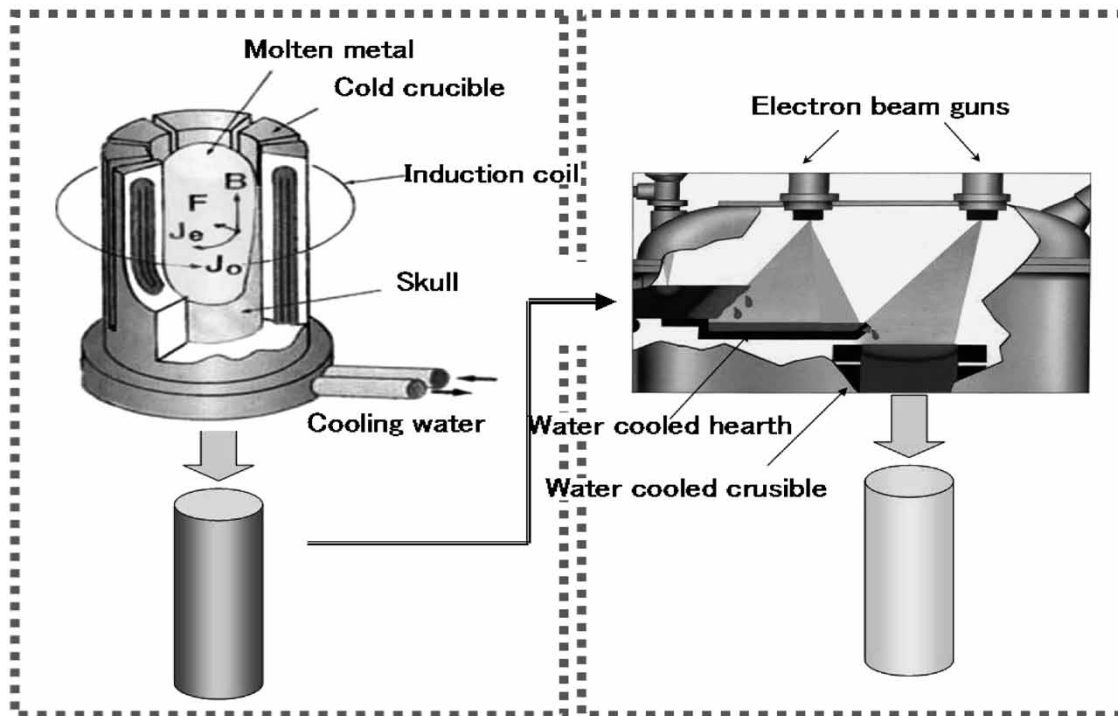


図6 耐火物を用いない溶融炉
Fig. 6 Melters with no refractory

6. スタズビック社との連携

上述のように原子力施設内の金属再利用については一定の技術を確認できたが、原子力施設で放射性物質として扱う必要のないほどの低レベル(クリアランスレベル以下)の金属については、原子力施設外での再利用となることから社会的な受容性の確保が課題となる。そこでまず、諸外国の事例とその歴史背景の調査と併せて、世界で最も先進的なスタズビック社と連携して社会環境の整備に関わる検討を開始した。

スタズビック社の成功経験として特筆すべき点は、元は国立の原子力研究機関であったことから、まずテストケースから始め、単純な対象物から漸次複雑な物へと開発と改善を継続する地道な運営スタイルであった。このように、時間を費やして実績を積み重ねる中で金属業界の理解が深まり、信頼が強化されてきた。そして現在では、イギリスで同様の事業を展開できる状況になっている。そこで当社においても、スタズビック社の実績をベースに、廃止措置で発生する金属廃棄物の再利用について様々な環境整備や製品形態の可能性を検討してきた。

7. 大型金属機器を輸送する方法の検討

スウェーデンでは、原子力施設で解体撤去された大型金属機器をスタズビック社に輸送し(図7)、専門家が専用の機材を用いて除染・分別する方式によって金属再利用が円滑に行われている。この再利用方式ではまず、大型金属機器がサイト間で輸送できることが必須である。このため、当社及びスタズビック社は、論文や講演会等を通じてスウェーデンの実施状況を紹介し、大型金属機器の国際輸送が安全に行われている事実を国内外に広く伝えている。この間、蒸気発生器等の大型金属機器



図7 蒸気発生器の輸送^{*1)}
Fig. 7 Transportation of steam generator^{*2)}

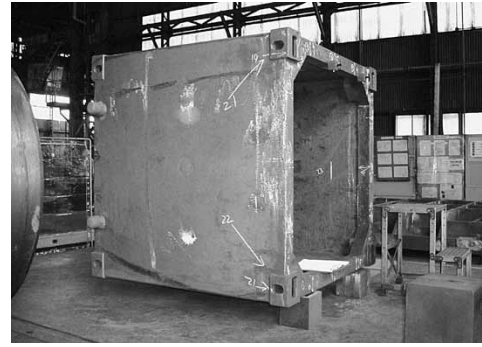


図8 铸造した廃棄物容器
Fig. 8 Waste container made by iron casting

を輸送するための助言文書が国際原子力機関（IAEA）により作成されており，国際輸送の円滑化に向けた環境整備が進められている。

8. 再利用製品の開発

再利用を円滑に行うためのもう一つのポイントは，金属の発生量と需要のバランスから最適な再利用製品を選択することにある。当社では，原子力施設の解体で発生する金属の物量を推定した結果，放射性廃棄物を処分する容器として再利用することが最適であると評価し，処分容器の製造法を検討している。

処分容器の製造方法には，圧延した板材を溶接で接合して組み立てる方法と，溶解した金属を型枠に流して一気に成型する方法がある。前者の場合，材料の溶接性が重要となり，材料に含まれるリンや硫黄等の化学成分をいかに低減するかが技術的課題になる。後者では，いかにして細かい部位を成型するかという成型技術が課題になる。

図8は，一般市場の金属スクラップ（炭素鋼）を使って試作した廃棄物容器の一例である。製造方法としては鑄造法を用いた。鑄造法は溶接等の組み立て作業なしに最終形状に仕上がるため，同一の物品を大量に製造する

のに適している。この例では容器の上部金物まで一体で成形することができ，スクラップの配合を管理すれば細かい部品まで一定の品質で鑄造できることが実証できた。

むすび＝大型金属廃棄物を除染して再利用する方法は，廃止措置を円滑に進めるうえで大きなメリットがあると考えられる。当社は，この方法を日本において実現するために必要な技術検討を行っている。

金属再利用を円滑に進めるためには，技術の整備のみならず再利用に関する社会的な理解が不可欠であることがスウェーデンの経験から学び取ることができる。スウェーデンの実績を参考に，放射性物質の管理技術者と金属製造技術者が連携して一体的に運営する理想的な事業環境が整備されることが望まれる。

参考文献

- 1) J. ローレンツェン. 欧州における放射性金属廃棄物のフリーリリース. 原子力学会誌. 2004, Vol.46, No.9, p.26.
- 2) 中山準平ほか. 次世代原子力システム用超高純度合金EHP[®]. R&D神戸製鋼技報. 2009, Vol.59, No.2, p.95.

※1) 写真提供：スタズビック社

※2) Photo：©Courtesy of Studsvik