



保障措置封じ込め・監視用超音波 封印の開発

早川 剛 細馬 隆* B.C. d'Agraves*²
倉上 順一*³ 秋葉 光徳*⁴

東海事業所再処理工場
* 東海事業所プルトニウム燃料工場製造加工部
*² 欧州連合共同研究センターイスプラ研究所
*³ 東海事業所技術開発推進部
*⁴ 核物質管理部

資料番号：95-2

Development of Ultrasonic Seal for Containment and
Surveillance of Safeguards

Tsuyoshi Hayakawa Takashi Hosoma* B.C. d'Agraves*²
Junichi Kurakami*³ Mitsunori Akiba*⁴

(Tokai Reprocessing Plant, Tokai Works

* Plutonium Fuel Production Division, Tokai Works

*² EC, Joint Research Center, Ispra

*³ Technology Development Co-ordination Division Tokai Works

*⁴ Nuclear Material Control Division)

プルトニウム粉末の輸送容器に適用するための封印の開発を行った。本封印は、英国セラフィールド再処理工場の使用済燃料貯蔵プールで査察に使用されている超音波封印と同じ原理を用いている。超音波封印は、封印本体（容器への取り付け機構を含む）と封印の読みとり装置および解析装置から構成され、封印の固有性と健全性を査察の現場で確認することが可能である。また一部で用いられている電子封印と比較して封印への電力供給が不要であり衝撃等の外力や過酷な環境にも強い特徴を持つ。この封印は、内部の固体素子に組み込まれた固有性の情報と健全性の情報を超音波を用いて読みとるもので、超音波の性質上、空気中で使用するためには、超音波の伝送経路の改良が必要であった。また輸送中の振動等に対する信頼性を高めるとともに、開梱作業および査察官による検認を遅滞無く実施できるよう、輸送容器に適した取り付け機構の開発が必要であった。さらに、輸送容器は一度に100基以上が使用される場合があるため、コスト低減も大きな課題であった。本技術開発では、これらの課題に対し、内部に水を満たす方式の読みとり装置の開発、独自の取り付け機構の開発、部材形状の簡素化等を行い、電源が不要で低コストの封印を開発することができた。

1. はじめに

動力炉・核燃料開発事業団(PNC)では、プルトニウム粉末の輸送容器(FS47)内の核物質の封じ込め・監視の高度化を図ることを目的として、EC Joint Research Center (欧州連合共同研究センター：以下JRCと記す) イスプラ研究所と共同で、FS47に適用する封印の開発を行っている。FS47は高さ約2 m(上部緩衝体を含む)のBU-F型輸送容器であり、重量は約1.5tである¹⁾。FS47の外観を写真1に示す。

プルトニウム粉末の輸送は厳しい核物質防護のもとに実施されており、輸送後はプルトニウム取扱施設内に速やかに搬入されるとともに、保障

措置の目的で、核物質量の測定および検認が非破壊装置により速やかに実施される。これにより輸送中に核物質の欠損が生じなかったことが確認される。

一方、封印は、輸送容器の開梱が輸送中に生じなかったことを直接知ることのできる方法として重要である。封印には開梱が確実に検知できる性能および開梱以外の振動や衝撃等によって封印に異常が生じない性能とともに、適時性の観点から、封印の健全性と固有性の確認が査察の現場で可能であることが求められる。また輸送は長期間にわたる場合があり、封印には高い信頼性が求められる。

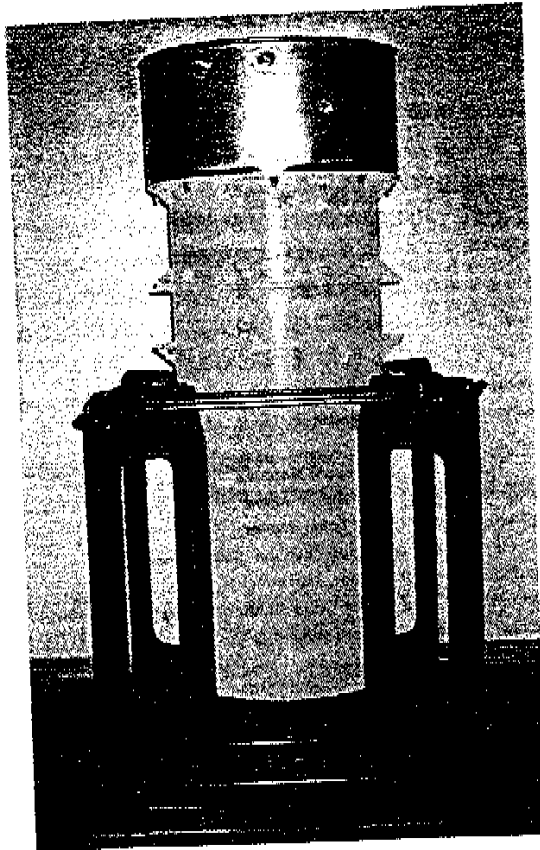


写真1 FS47の外観

本技術開発は、JRCが開発し英国燃料公社(BNFL)のセラフィールド再処理工場の燃料貯蔵プールにおいて水中に置かれた使用済燃料貯蔵容器(MEB)に対して定常的に査察に使用されている超音波封印をFS47に適用しようとするものである²⁾。

2. 超音波封印について

超音波封印は、そもそも新燃料集合体に取り付けられ使用済燃料として取り出されるまでの間、原子炉において燃料が燃焼中においても適用可能な封印として開発が始められ、実際に半年～2年間、炉に装荷しての試験も行われ良好な結果が得られた³⁾。次いでこの技術はMEBに適用され、査察に定常的に使用されるに至っている。

この封印は、現在査察に広く用いられているE型封印が査察現場では健全性の確認ができないのに対し、健全性の確認が査察の現場で可能である。また一部で用いられている電子封印(VACOSS等)と比較して封印への電力供給が不要であり衝撃等

の外力や過酷な環境にも強い特徴を持つ。この超音波封印はIAEAとEURATOMによる査察に約300本が使用されており、さらに500本が追加製作中である。このように超音波封印の性能は実証段階にある³⁾。MEBに取り付けられた超音波封印と読みとり装置の概念図を図1に示す。

この封印は、封印ボルト(Sealing Bolt)と呼ばれ、MEBの蓋を本体に取り付けるためのボルトの一部を置き換える形でMEBに取り付けられている。封印ボルトの形状は、通常に取り付けボルトとほとんど同じである。MEBはプールに貯蔵されており、したがって封印の読みとりも水中で行われる。このため長いロッドの先に取り付けられた専用の読みとり装置を用いて封印の読みとりを行う。読みとり装置は、封印ボルトの先端に読みとり装置を正しい角度で装荷するための治具(Adapter)、超音波振動子(Transducer)、超音波振動子を回転させるヘッド(Reading head)から構成される。

超音波封印の機能は、(1)Identity function:固有のID番号を持ち読みとれること、(2)Locking function:封印を破壊することなく取り外せないこと、(3)Integrity function:健全性を読みとれること、に大別される。

(1)については、内部に空孔をランダムに配置した固体素子を用い、固体素子表面から超音波を入射させその反射波を読みとることにより、固有性の情報を得ている。固体素子には可動部は無く小型(直径約1.4cm高さ約1cm)であり、封印ボルト

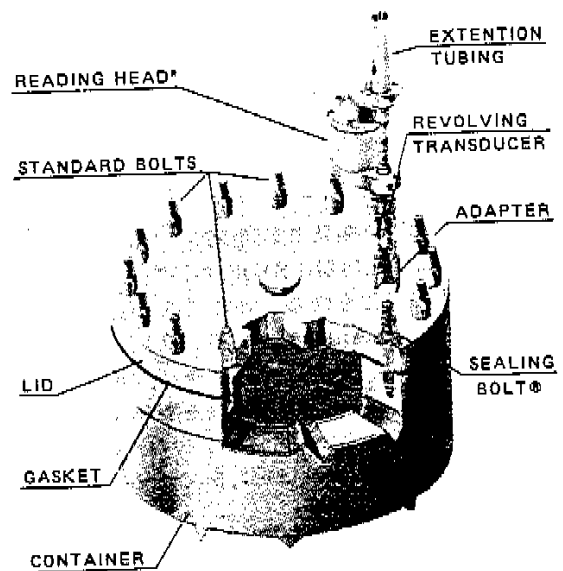


図1 MEBに取り付けられる超音波封印(概念図)

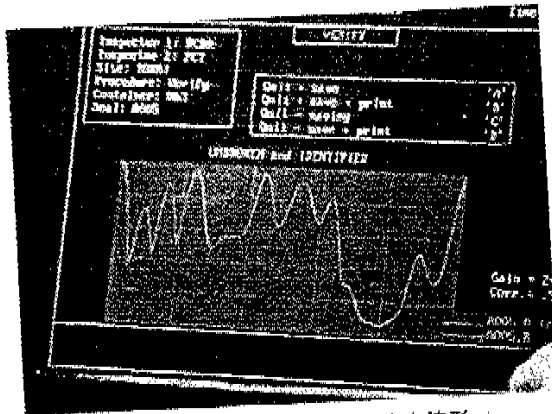


写真2 超音波封印からの出力波形

トの頭部に組み込まれている。

(2)については、封印を取り外そうとすれば封印ボルトの一部の部材がMEB側に一時的に残り、この部材によって固体素子の一部が引っ張られて破断する構造となっている。

(3)については、固体素子表面から超音波を入射させその反射波を読みとることにより、固体素子の変形の有無を検知する。

MEBは水中に置かれているため、超音波振動子/読みとりヘッド-固体素子間の空間には水が満たされ超音波の伝達には問題がない。読みとりヘッドからの反射波信号は解析装置により写真2に示すような波形として描かれ、この波形の形状から固有性と健全性を読みとることができる。

3. 開発の課題および経緯

超音波封印をFS47に適用するためには以下のような課題があった。

まずFS47はフランスおよび日本の安全審査を受けており、輸送容器の形状および寸法を変えることなく超音波封印を取り付け可能な機構の開発が必要であった。取り付け機構については、MEBが貯蔵目的であるのに対しFS47は輸送が目的であるため振動等に対する信頼性を高めることが必要である。また目的地に到着後は速やかに施設に搬入するため、開梱作業および査察官による検認を遅滞無く実施できるよう作業性に対する配慮が必要であった。

またFS47は空気中で取り扱われる。超音波の性質上、空気中で使用するためには超音波の伝達経路に水を満たす必要があり、読みとり装置の改良が必要であった。さらに、輸送容器は一度に100基以上が使用される場合があるため、コスト低減

も大きな課題であった。

開発は平成5年2月より開始され、フィージビリティスタディ(平成5年12月終了)、基本設計および性能確認(平成7年5月終了)を経て、製作設計と製作が行われた。今後、IAEA、EURATOMへの本封印の提案が検討されている。

4. 開発の内容

4.1 封印本体および取り付け機構

開発は、まず取り付け機構の設計から開始された。最初、FS47の本体と緩衝体を結合するボルトを置き換える形状の封印(封印ボルトと同じ方法)が検討されたが、ボルト締めは発送側で自動運転により行われるためこの方式は断念した。

次いで、上部緩衝体を本体に取り付ける際の位置決めピン(直径1.6cm、長さ約5cm)に取り付ける方法を検討した。ピンは緩衝体に固定されており、輸送容器本体のカラーに設けられた穴を通して緩衝体の反対側に突き出ている。ピンには小孔(直径6mm)が設けられている。図2にピンと緩衝体および容器本体の関連を示す。そこで、ピンに設けられた小孔を利用して封印を取り付けることとした。

封印を小孔にクランプする機構は種々考案されたが、封印取り付け後は開梱以外の方法では分解できないようにする必要がある。このためすべての部材を、封印と本体カラーの接触面側から順次組み立ててゆくように設計した。

また輸送中に取り付け機構に小異物が入った場合、開梱時に封印が正常に取り外せなくなることが予想される。開梱作業を速やかに行うためには、このような場合でも封印を切断することなく速やかに処置できることが望ましい。このため部材の形状を単純化するとともに形状に制限を設

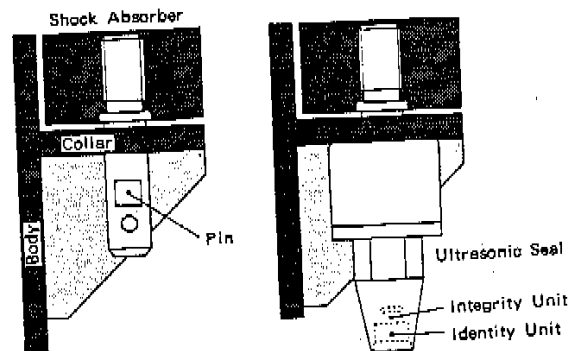


図2 超音波封印の取付け状況

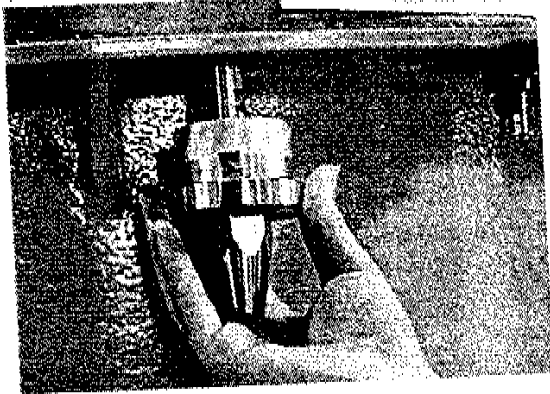


写真3 超音波封印本体

け、封印と本体カラーの接触面に向かって細くなる形状の部材は用いなかった。

またピンの長さを実測した結果、長さに大きなばらつきがあることがわかった。この場合最も短いピンに合わせて設計すると、封印と輸送容器本体カラー部との間に数mmもの隙間を生じるため、輸送中の振動に対し封印の固定が不十分となる。そこで封印の長さを調整可能とする機構を付加して封印を輸送容器本体カラー部に密着できるようにし、かつ封印取り付け後は緩まないよう設計した。

また部材形状が複雑であると、加工組立調整および検査に時間を要しコスト上昇を招くほか、不具合も発生し易い。このため部品形状はできるだけ簡素化した。

封印本体の形状を写真3に示す。

4.2 読みとり装置

FS47は空気中で取り扱われるため、超音波の伝達経路に水を満たす改良を行った。すなわち、超音波振動子/読みとりヘッドと封印の間の空間に結合された小型の水タンクを取り付け、このタンクの容量を変えることにより封印との空間に水を満たすようにした。

このとき、水量が不足すると正常な反射波が得られない。そこで水量が適正であるかどうかを解析装置側で反射波の強度から読みとり、測定前に適正な水量であるかどうかをチェックできるようになっている。

また読みとり装置はMEBの場合と異なり、査察官が手で保持することとなる。そこで片手で封印に装着可能なよう全体の小型・軽量化をはかった。また測定中は保持しなくてすむよう、マグネットにより封印と読みとり装置を結合するよう設計



写真4 封印読取装置の装着作業

した。

読みとり装置の封印への装着作業を写真4に示す。

4.3 解析装置

読みとり装置の小型・軽量化に対応して、解析装置もラップトップ型のコンピュータに内蔵され、小型・軽量化された。解析装置を写真5に示す。

読みとり装置および解析装置は可搬型であり、査察官は査察の現場で封印を固定するとともに封印が取り外されなかったことを確認できる。

5. 開発成果の評価

5.1 デモンストレーション

封印を実際にFS47に装着してのデモンストレーションが平成6年10月と平成7年5月に東海事業所にて実施された。

平成6年のデモンストレーションでは、E型封



写真5 出力波形解析装置 (可搬型)

印による実際の査察手順に沿って封印をFS47のピンに取り付けた後に取り外し、取り付けおよび取り外し作業が正常に実施可能であることを確認した。取り外した封印はイスプラ研究所に持ち帰って固有性の確認および破壊状態の確認が行われ、封印として正常に機能していることが確認された。またFS47の施設への搬入場所と搬入手順の確認が行われた。

平成7年のデモンストレーションでは、封印をFS47のピンに取り付けた後に東海事業所構内にてトラックによる輸送試験を行い、封印を取り外す前後に読みとり装置および解析装置を用いて確認を行った。一部の封印についてはハンマーによる衝撃を与え、また別の封印については超音波が入射する面に傷を付け、それらの影響を調査した。その結果、開封以外の要因では異常は生じないことが確認された。また封印の読みとりから解析結果の判定までの時間は5分未満であり、すべての作業を通じて作業性に問題がないことも確認された。

5.2 コスト

封印本体（取り付け機構を含む）のコストは、

VACOSS封印の1/3～1/4と試算されている。プルトニウムの粉末輸送では100基以上のFS47が同時に使用されるため、低コスト化の効果は顕著である。

6. おわりに

上記の開発およびデモンストレーションを通じて、今回開発した封印は封じ込め・監視用機器として信頼性/有効性が高いことが確認できた。本封印は査察用機器として十分利用可能であると考えられることから、今後、科学技術庁、IAEA、EURATOMへの提案を検討している。

参考文献

- 1) 動力炉・核燃料開発事業団パンフレット「プルトニウムの海上輸送について」。
- 2) 早川、他「プルトニウム輸送容器への超音波封印技術の適用方法の開発」第15回核物質管理学会日本支部年次大会論文集(1994)。
- 3) B.C. d'Agraves, et. al "Ultrasonic Sealing Techniques Developed by JRC-ISPRA and their Applications to the safeguards of nuclear fuel" 第15回核物質管理学会日本支部年次大会論文集(1994)。