

ナトリウム中ルースパーツ回収装置の試作及び基礎試験

Trial fabrication and basic test of a recovery device for loose parts in liquid sodium

原子力機構	上田 雅司	Masashi UEDA	Non Member
原子力機構	石黒 貴寛	Takahiro ISHIGURO	Non Member
服部鉄工	服部 終始	Syushi HATTORI	Non Member
服部鉄工	服部 司	Tsukasa HATTORI	Non Member
(株)NESI	白濱 卓馬	Takuma SHIRAHAMA	Non Member

Abstract: Sodium-cooled fast reactors need special maintenance technologies such as remote maintenance, under sodium viewer etc., because sodium is opaque, chemically active and the maintenance works must be performed in high temperature. To acquire basic knowledge for remote maintenance technology in liquid sodium, a trial product of recover device for loose parts was fabricated and tested in sodium. The positions of loose parts were approximately estimated by using ultrasound, and the parts were recovered by the device successfully.

Keywords: Loose parts, Fast Reactor, Sodium, Under Sodium Viewer, Remote Maintenance

1. 緒言

高速炉の冷却材として使われるナトリウムは、熱を伝えやすいこと、沸点が高く運転中の圧力が低いこと、構造材料との共存性が良いこと等の優れた性質がある一方で、万一のトラブル時には、ナトリウムが不透明かつ化学的に活性であること、炉停止中にも約200℃で予熱する必要があること等から、高速炉特有の遠隔保守技術が必要となる。例えば、原子炉容器内でルースパーツ（脱落部品等）が発生した場合、液体ナトリウム中でその位置を特定し回収する技術は確立していない^[1]。

本研究では、高速炉の遠隔保守技術開発の一環として、ナトリウム中でルースパーツを回収するための回収機構を試作し、基礎的な試験を実施した。

2. ルースパーツ回収機構

不透明なナトリウム中では、ルースパーツの正確な位置を特定することが困難であるため、正確な位置合わせを必要としない回収機構が望ましい。また、200℃の耐熱性及び炉心近くで使用するための耐放射線性が必要であり、装置が故障した場合でも確実に炉外に取り出せること、装置自体からルースパーツを生じさせないことも重要である。これらの点を要求事項として、可能な限り単純かつ堅牢な構造を検討した。

当初は、多指ロボットハンドや吸引・吸着式を候補と

したが、前者は機構や制御が複雑であり、変形した部品等あらゆる形状に対応することが困難であること、後者は回収可能な寸法／重量が制限されることが予想された。

検討の結果、要求条件を満足する方法として、多数のロッドでルースパーツを挟む方式を考案した。その動作原理を Fig.1 に示す。

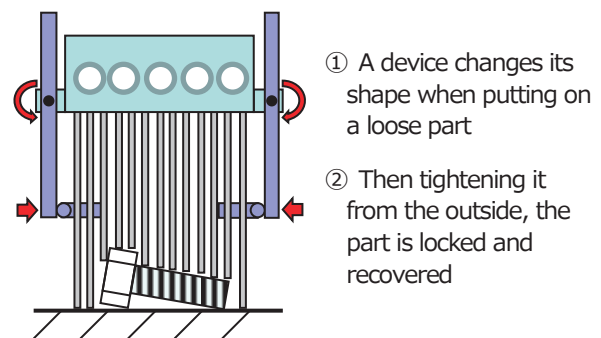


Fig.1 Mechanism of a recover device

多数のロッドが一定間隔で円筒状に束ねられており、各ロッドは上下にスライドする構造としている。上方からルースパーツにロッドを押し付けると、干渉したロッドは上方にスライドし、ルースパーツの形状に沿って凹みができる。その状態で外側からロッドを締め付けると、ルースパーツを固定することができる。ロッドの締め付けは、回収機構の上方に取り付けたエアシリンダを動力源とし、リンクを介して駆動する方式とした。また、軸受の隙間でナトリウムが固着し、動作を阻害することがないように、可動側・固定側ともに軸と軸受のクリアラン

連絡先：上田雅司、〒919-1279 福井県敦賀市白木1丁目、日本原子力研究開発機構 敦賀総合研究開発センター E-mail: ueda.masashi@jaca.go.jp

スを大きくし、固着しにくい構造とした。その他、構造材料には、耐熱性やナトリウムとの共存性に優れるステンレス鋼を使用した。

試作した回収機構を用いて、水中で模擬ルースパーツの把持性能を確認したところ、様々な形状の部品を容易に固定することができ、かつ、ロッドが届く範囲であれば正確な位置合わせをせずに回収することが可能であった。さらに、同時に複数の部品を固定することができ、ワッシャーのように薄い形状の物体を把持することも可能であった。試作した回収機構と水中試験の様子を Fig.2 に示す。

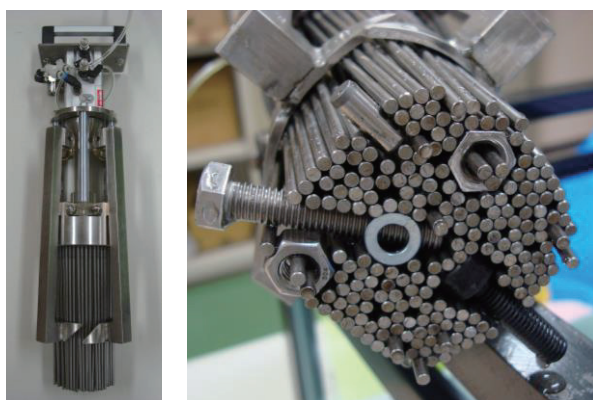


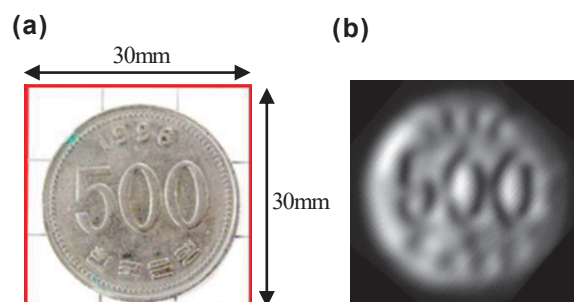
Fig.2 A prototype recover device and its performance test in water

3. 超音波によるナトリウム中の可視化

ナトリウム中でルースパーツを回収するためには、まず、不透明なナトリウム中でルースパーツの概略位置を把握する必要がある。ナトリウム中を透視（可視化）する方法としては、超音波による方法が検討されており、多チャンネルのアレイ型プローブと開口合成法を組み合わせた技術開発が進められている^{[2][3]}。今回の試験では、より簡便な方法として単一チャンネルの超音波探触子（ジャパンプローブ製 PWB5C10N）を使用し、超音波を送受信しながら探触子を平面的に走査することで、エコーの到達時間と強度からナトリウム中にある物体の形状を推定する方法とした。

ただし、通常の超音波探触子は耐熱性の問題で 200℃ のナトリウム中では使用できないため、高温物体に対する超音波の送受信方法として一般的な導波棒（バッファローッド^{[4][5]}）を用いることにした。通常、棒形状の物体を介して超音波の送受信を行うと、棒の側面でモード変換した超音波が「遅れエコー」として観測され計測の妨げになる。この「遅れエコー」を抑制する方法として、テ

ーパ形状の棒を使用することや棒の側面にクラディングを施すことが有効とされている。今回の試験では、直径 20mm、長さ 200mm のステンレス棒を用い、遅れエコーを抑制するため、ロッドの側面に厚さ約 2mm のクラディングを施した。バッファローッドを用いてナトリウム中のコインを可視化した例を Fig.3 に示す。



**Fig.3 Under sodium visualization using ultrasonic technique with a buffer rod:
(a) A photo of a 500 won coin,
(b) Ultrasonic image of the coin**

4. ナトリウム中でのルースパーツ回収試験

ナトリウム工学研究施設（福井県敦賀市）のグローブボックス試験設備（Fig.4 以下、GB）を用いて、液体ナトリウム中でルースパーツの回収試験を行った。不活性ガス雰囲気の中には、容積約 30 リットルのナトリウムポットと電動ステージが設置されており、ナトリウムを使った実験を安全かつ容易に実施することができる。



Fig.4 A glove box apparatus with a sodium filled pot

本試験では、模擬ルースパーツをナトリウムポット内の受皿（深さ約 200mm）上に置き、回収機構と超音波探触子・バッファローッドを電動ステージに取り付けた。ナトリウム中試験で使用した回収機構は、電動ステージの荷重制限を満足するため、ロッドの太さ及び長さを見直すとともに、エアシリンダをより離れた位置に取り付け、

ワイヤーを介して駆動できるように改良することで、把持性能を維持しながら大幅な軽量化 (6.5kg→2.8kg) を達成した。

試験では、はじめに電動ステージで超音波探触子・バッファーロッドを走査しながらナトリウム中で超音波を送受信し、ルースパーツの概略位置を推定した。次に、位置情報に基づいて回収機構をルースパーツの上方に移動させた後、ナトリウム中に下ろし、受皿上でロッドを締付けて回収の可否を確認した。なお、今回は基礎試験であることから、受皿には単純形状の平板を用いた。

試験の結果、今回模擬ルースパーツとして用意したボルト (M8、長さ 30mm) 及びピン (直径 6mm、長さ 13mm) について、超音波による可視化および回収機構部による回収が可能であることを確認した (Fig.5, 6)。

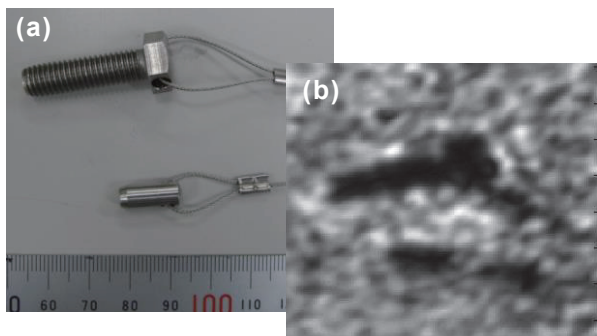


Fig.5 Equivalent of loose parts (hexagon bolt : M8 x 30mm, axle pin : dia.6 x 13mm)
(a) A photo of loose parts
(b) Ultrasonic image of the parts

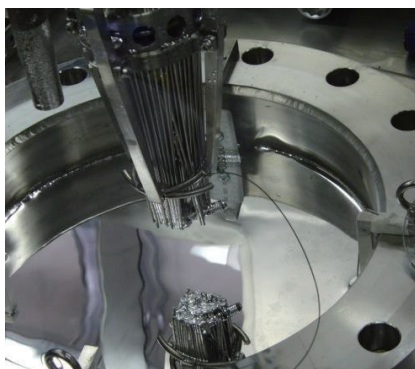


Fig.6 Recover device after picking up a loose part

5. 結言

200°Cの液体ナトリウム中で、模擬ルースパーツの回収試験を行い、①超音波によりナトリウム中でルースパーツの概略位置を把握できること、②試作した回収機構により模擬ルースパーツを回収できることを確認した。これにより、回収手順および回収機構の基本構造の妥当性

を確認できた。今後は、複雑形状・狭隘部での回収方法や、液面から深い場所での回収等、より実機に近い条件で試験を行い、本技術の有効性を確認していく。

謝辞

本研究では、長岡技術科学大学の井原郁夫教授にバッファーロッドの設計及び試験方法に関する有益な助言をいただきました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- [1] 芦田他、“ナトリウム冷却型高速炉の原子炉容器内観察・補修技術の開発(7) (2)高速実験炉「常陽」でのルースパーツの探索計画と回収技術開発”、日本原子力学会「2012年春の年会」C10
- [2] A. Tagawa and T. Yamashita, “Development of real time sensor for under sodium viewer”, Proceedings of 19th International Conference on Nuclear Engineering, ICON19-43187 (2011)
- [3] 武石他、“高速増殖実証炉に向けた保守技術開発 (2) ナトリウム中検査装置の開発 (体積目視検査装置の開発) ”、日本原子力学会「2010年秋の大会」P44
- [4] 井原、“高温物体の超音波センシングとその展望”、非破壊検査第64巻2号(2015)
- [5] C. K. Jen, “Experimental evaluation of clad metallic buffer rods for high temperature ultrasonic measurements”, NDT&E International 33, pp.145-153 (2000)