

PS-20 福島第一原子力発電所廃炉に向けた水中デブリ探査技術の開発

海洋リスク評価系 * 鎌田 創, 加藤 道男, 西村 和哉

1. はじめに

東京電力ホールディングス福島第一原子力発電所（以下1F）の廃炉は、「事故によって発生した放射性物質に起因するリスクを継続的に下げること」を基本方針としている。これらの重要なリスク源として原子炉格納容器(以下PCV)内に残存した燃料デブリがある。燃料デブリは、原子炉の炉心溶解によって、核燃料と原子炉構造材等が溶けて混ざり合った状態のものをいう。PCV内の燃料デブリは、冷却水の注入等の暫定措置によって極めて安定な状況にあることがPCV内のXe-135ガス濃度監視結果からわかっている。しかし、PCV内が大量の放射性物質によって汚染されており、作業者が容易に近づけないため、内部状況を知ることが非常に困難である。そのため、地震や津波による構造材の損傷具合がわからないこともあり、不確定要素が非常に大きいことから、中長期的な観点から早急に取り出し作業に取り掛かるべきものとなっている。取り出し作業において、作業員が安全に取り出すためには、PCV内の燃料デブリの分布状況と炉内線量率分布を把握し、それを踏まえた工程を策定することが最も重要である。そこで、本研究では、燃料デブリ取り出し作業で最も重要である燃料デブリ分布状況を把握するために、音響探査装置を用いた燃料デブリ形状の探査方法を開発した。

2. 水中デブリ探査装置

本研究では、PCV内で冠水した燃料デブリを探査する方法として、水中ロボット（ROV）に音響探査装置を搭載した燃料デブリ探査する手法を開発した。

2.1 水中ロボット

以前海技研は、長岡技術科学大学、日本原子力研究開発機構、英国ランカスター大学、英国マンチェスター大学と日英国際共同研究を実施し、その一環で共同開発した廃炉作業用ROVのAVEXISにソナーを搭載することとした。図1に外観を示すが、AVEXISは、直径15cm、長さ35cmのアクリルの円筒に制御基盤を封入した形式である。今回は、PCV内にアクセスできるような内径100mmのアクセスポートを通過できるように寸法となっている。5個のスラスターを配備し、前後左右上下方向への自由度を持たせてある。水密はOリングでとってある。制御基盤としては、RasBerryPi™規格の電子基盤をのせ、プログラムによって動作を制御できる。このAVEXISの原型は、英国セラフィールド施設の廃止措置のために設計・製作され、施設の内部調査に使用された実績を持っている¹⁾。

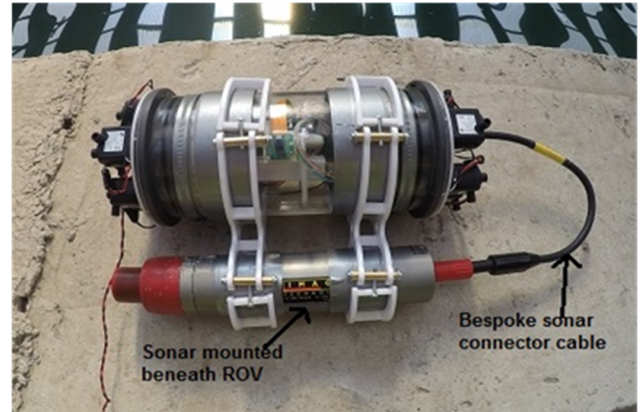


図1 本研究で用いたROVとソナー

2.2 音響探査装置

本研究では、燃料デブリと疑われる対象物の3次元形状を、ソナーによって測定する。この手法の利点は、対象物に近づかなくてよく、機器への放射線被ばくによる故障を回避できることである。本研究では、パイプの検査に使われる回転型ソナー831Lを使用した。この831Lソナーの寸法は直径61mm、長さ343mmの長さであり、回転速度毎秒1.4度で音響ビームを放出し、反射した音響ビームを受波器で受信する形式である。周波数は2.25MHzであり、分解能は数cmを実現できるようになっている。

3. 水槽試験

ソナーを原子炉格納容器内で用いる際、大きなノイズとして考えられるのが、壁面、壁面と音波が多数回衝突して、多重散乱することで形成されるゴースト像がある。このゴースト画像の影響の度合いを調べるために、図2に示した小型の水槽(幅2m、奥行き1m、深さ0.9m)に原子炉格納容器壁面実寸1/6の模擬体を入れた試験と、図3に示すような直径5m深さ10mの水槽を使用した試験を実施した。



図2 小型水槽試験の様子

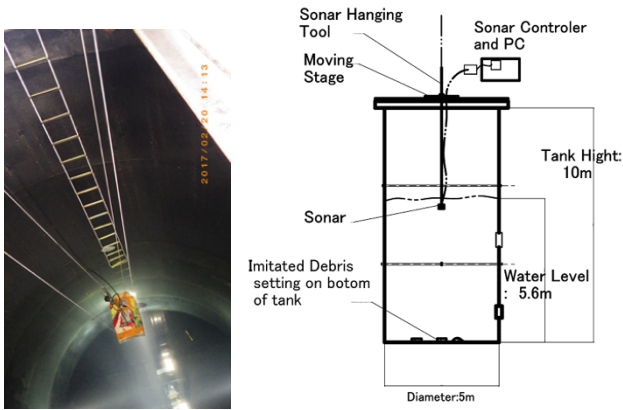


図3 大型試験水槽試験：左の写真が試験の様子，右の図が水槽の寸法と試験概要を示す。

探査試験に用いた供試体は，ステンレス製直方体ブロック，燃料デブリ模擬形状試験体の2種類を用意した。ステンレス製直方体ブロックは，縦10 cm，横20 cm，高さ5 cmの寸法で，溝なし，溝3 mm，溝8 mmの3種類である。また，燃料デブリ模擬試験体は，銅スラグを混錬し，山なりに整形したものである。図4にデブリ模擬試験体の写真を示す。

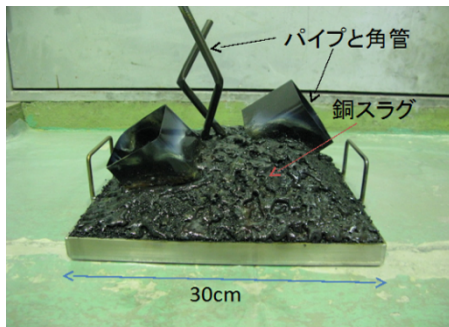


図4 燃料デブリ形状模擬試験体

試験方法としては，供試体を水槽底面に配置し，底面とソナーを一定距離（小型水槽では0.9 m，大型水槽では5.5 m）に保持しながら，ソナーで供試体上をスキャンするようにした。

4. 試験結果

4.1 小型水槽における試験

ステンレスブロックを置いた際の試験結果を図5に示す。

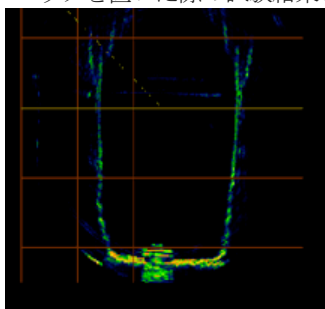


図5 小型水槽にてステンレスブロックを置いた際のソナー画像

壁面，底面の形状が出ており，底面中央付近にステンレスブロックの像が得られた。底面と壁面の多重散乱によってステンレスブロック下部にゴーストが現れている。また，燃料デブリ形状模擬試験体のソナー画像を図に示すが，多重散乱により，ゴースト画像が観測できた。

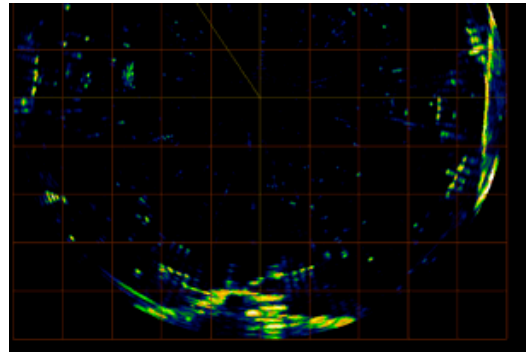


図6 燃料デブリ形状模擬試験体を底面に配置した際のソナー画像

小型水槽での試験条件，つまりソナーから底面までの距離が距離が1 m程度まで近づいた場合，水槽の壁面，底面からの多重散乱によりゴースト画像が現れることがわかった。

4.2 大型水槽における試験

大型試験水槽で燃料デブリ形状模擬試験体を配置した際の結果を図7に示す。この図から，多重散乱がなく，明確に試験体の構造を把握できているのがわかる。

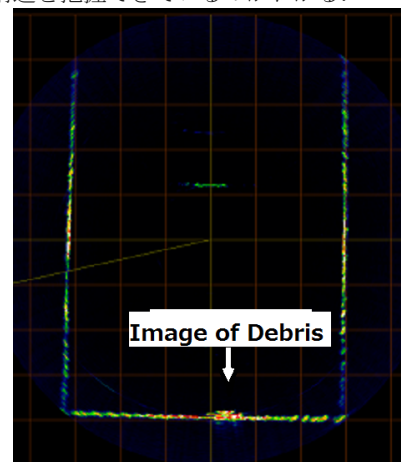


図7 水槽底面に燃料デブリ形状模擬試験体を配置した際のソナー画像。

まとめ

本研究では，2種類の水槽と2種類の試験体によりソナー画像を取得した。これらから原子炉格納容器の直径程度の距離5 m程度を保てばデブリの形状が把握できることがわかった。

参考文献

- 1) A. Griffiths, A. Dikarev, P. R. Green, B. Lennox, X. Poteau, and S. Watson, "AVEXIS Aqua Vehicle explore for in-situ sensing," *IEEE Robotics and Automation Letters*, 1 (2016), pp. 282–287.