

レーザーを使って炉心を調べる

デブリの元素組成分析まで可能に

事故を起こした東京電力(株)福島第一原子力発電所（1F）の炉心の状況はどうなっているのか。放射線量が強いいためそれを調べることは簡単ではなく、そのような今は正確



にはわかっていません。これを調べるために原子力機構は、レーザーモニタリングを使った方法の技術開発を進めています。この方法は強い放射線にも耐えられるとともに、炉心の中にあるデブリの元素成分を調べることができるのが特徴です。廃炉現場での利用が期待されています。

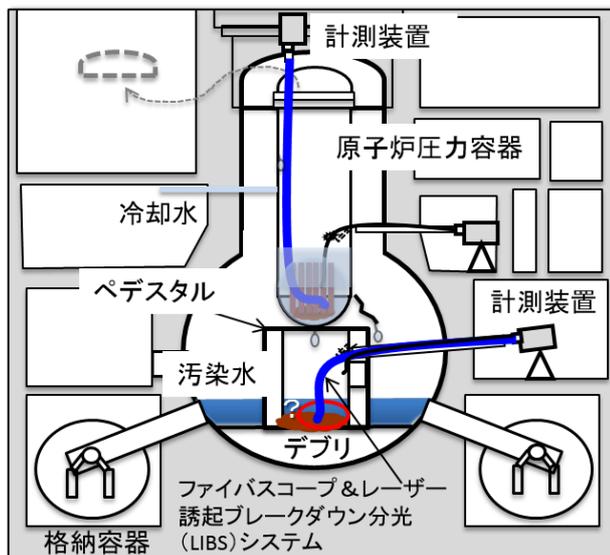
今回はこの技術開発に携わっている廃炉国際共同研究センターの若井田育夫さんに、その最新の状況について聞きました。

廃炉国際共同研究センター
燃料デブリ取扱・分析ディビジョン
若井田 育夫 グループリーダー

－ 1Fの本格的な廃炉を進めるためには、原子炉の中がどうなっているかを調べる必要があります。現時点ではどこまでわかっているのでしょうか。

東京電力や国際廃炉研究開発機構 (IRID) などは炉心の中を調べるために特別のロボットを開発し、1Fの中にロボット数台を投入しました。これによってデブリの上に位置する格納容器ペDESTAL外周部分の画像や温度、線量などがわかりました。しかし、デブリそのものをとらえるまでには至っていません。

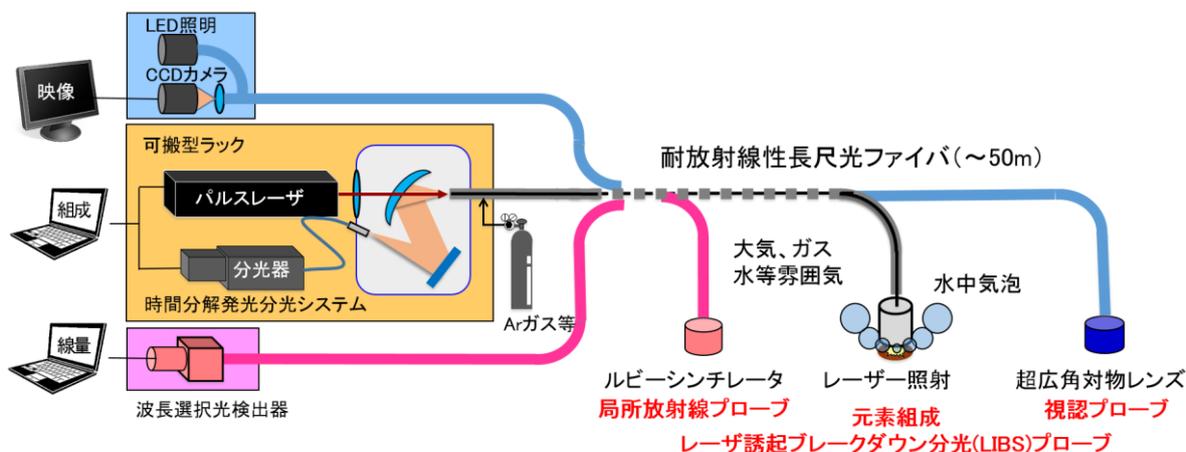
一方、東京電力や高エネルギー加速器研究開発機構などは1F近くの建屋近くに宇宙線ミュオンを測定する装置を置き、そこから得られたデータを解析しました。その結果、デブリなどの密度の高い物質が圧力容器の炉心部には存在しないことが推定されることがわかりました。間接的な評価ですが、何もわからない状況に比べると、事実としての重みがあります。しかしこの方法では、どのような素性のデブリなのかを推測することは困難で、デブリの位置や形状を間接的に推測することしかできません。



炉内検知の概略図

－若井田さんらが取り組んでいるレーザーモニタリングとは、どんな方法なのでしょう。

私たちが開発している炉内を調べる装置は、巨大な胃カメラのようなものです。炉内に送り込む長い光ファイバの先端に、レーザー光をデブリに照射するためのレンズ、カメラのレンズ、放射線により発光するシンチレータを備え、これを放射線レベルの低い私たちの手元に置いたレーザー発振器、検出器やTVカメラなどにつなぎます。ファイバの先端



開発中の炉内レーザーモニタリング・内部観察プローブ

で得られた光観測信号は、光のまま光ファイバを経由して手元の機器まで送られるので、放射線の影響を受けずに観測できるわけです。

この装置の特徴は、強い放射線に耐える性能と、たとえ水中であっても物質の元素が何であるかを判別できることです。その場の映像や放射線がどのくらいのレベルかを調べることも可能です。

また、1Fのデブリは圧力容器や格納容器の中にあるため、デブリのようすを調べる装置をデブリの近くまで到達させることは簡単ではありません。しかし、光ファイバを束にしたものの太さは数ミリ程度なので、柔軟性があり、比較的簡単に装置をデブリの近くまで到達させることができると考えています。

ーそのしくみをもう少し詳しく説明してください。

胃カメラで言えば先端のカメラにあたる部分を、プローブと呼びます。このプローブは、3つの部品からなります。一つ目はファイバスコープで、CCDカメラがLEDに照らされた対象物の映像を映し出します。二つ目は主要なプローブで、レーザーを利用した元素組成分析プローブです。デブリなどの対象物に対してここからパルスレーザーをレンズで集光して照射すると、それによって対象物の一部が蒸発し、プラズマが発生します。それにとまう原子発光を集めて光のまま分光器に送り、どのような光の成分があるかを観測することで元素組成分析を行います。三つ目は放射線プローブで、放射線により発光するシンチレータからの発光量を光検出器で測定し、対象物の放射線量を測ることができます。

これらのデータは全て光信号として長さ数十メートルの光ファイバを経由して伝送されます。この光ファイバは、大洗研究所の常陽の炉内観測のために開発されたもので、強い放射線にも耐えるようにヒドロキシ(OH)基の成分をまぜて、放射線の影響を受けにくくしたものです。

ー光ファイバの細さと先端部にある元素組成分析プローブが、この装置の目玉ですね。

光ファイバは大変細く柔軟性があり、長いものが製作可能なので、炉心の中にもぐり込ませやすいし、デブリの近くまで到達させることもできます。ただし、そのファイバを入れるためには、ロボット技術と組み合わせて開発する必要があります。また、カメラだと見た様子がわかりますが、レーザー光を使った元素組成分析プローブだと、デブリなどの対象物の成分が何であるか、例えば、含有成分に鉄が多いのかあるいはウランが多いものなのかという組成がわかります。それが、取り出したデブリのその後の対処方法にも役立つこととなります。(右は水中の対象物を分析する同様の装置の試作品)



水中対応可搬型ファイバ伝送
レーザー誘起ブレイクダウン
分光(LIBS)装置の試作

—どんな成果が期待できますか。

デブリがどこにあるのか、さらにはデブリが何でできているのかがわかります。ウラン酸化物と酸化ジルコニウムをさまざまな組成比で混ぜて焼き上げ、デブリを模擬したものを作りました。これを水中の環境下におき、この方法で調べたところ、この模擬デブリに含まれるウランとジルコニウムの組成比を分析できることがわかりました。さらにアブレーション共鳴分光法という手法を併用すれば、対象物の同位体分析もできることがわかりました。

この方法を用いれば、まず、構造物なのか、核燃料物質成分が多いのか、など、デブリの状況が炉内のその場で評価できます。これは、デブリ取り出し計画の具体策の立案に重要な情報を与えます。また、取り出そうとしているデブリなどの対象物の元素組成比がわ



レーザー窓、光ファイバ導入端子を増設し、
レーザー分光用グローブボックスとして改修している。

かれば、炉から取り出す段階でその対処方法や分別回収が可能となります。さらに、デブリ回収後においても、残存物の確認に利用できると考えられます。廃炉の初期段階から終了段階まで、さまざまな場所でこの技術が役に立つ可能性があります。

—課題は何でしょう。

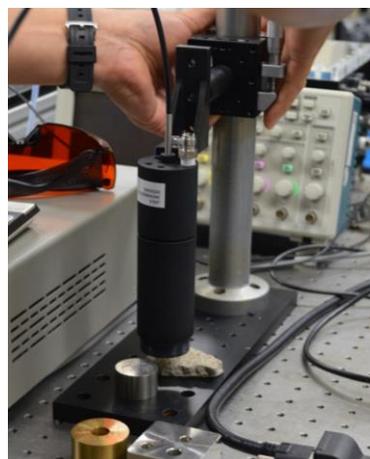
光ファイバを炉心の目的地まで運ぶためには、ロボット技術が必要です。また、レーザーを使ったこの方法では、対象物の表面の分析しかできません。これについては、福島研究基盤創生センターで、遠隔操作とレーザーを使ったデブリ切断に関する研究をしていますから、その技術と組み合わせれば、対象物へアクセスすることや切断面を分析することで内部組成の把握などが実現でき、課題が克服できると考えています。

ーこの技術は1F用に開発されたものですか。

いいえ。この技術の基本的な部分は文部科学省の原子力システム研究開発事業の委託事業として、平成17年から手がけてきたものです。レーザー光を使って、核分裂生成物やマイナーアクチノイドなどの長寿命核種を含んだ放射線レベルの高い次世代の核燃料物質を、非接触で直接、遠隔でしかも迅速に検査・分析する方法を見出すために始まったものです。この次世代燃料は、高速増殖炉での新しい核燃料サイクルで必要となるだけでなく、長寿命の核廃棄物を高速炉や加速器駆動核変換炉で燃やして寿命の短い核種に核変換するための技術開発でも使われるものです。

震災後、1Fの事故に対応するため、このレーザー分析法を中心に、放射線レベルの極めて高い常陽の炉内のようすを調べる耐放射線性光ファイバの技術と、量子ビーム研究センターでの光ファイバ利用レーザー機器開発技術とを結合することで、この技術が育っていきました。このような基礎基盤技術はさまざまな局面に適用することができるものの、その技術開発にはかなりの時間を要します。長期的な展望に立ってそれらの技術を開発していくことが重要だと考えます。

廃炉国際共同研究センターの活動により、原子力損害賠償・廃炉等支援機構（NDF）やIRID、東電廃炉カンパニーと協力して研究開発を進める窓口が開かれました。その結果、1Fの廃止措置当時者との距離が急速に狭まり、この技術を炉内だけでなく、炉外でも活用する利用方法が提案されるなど、注目されるようになりました。できるだけ早い時期に現場投入ができるよう調整を進めているところです。



試作品の分析ヘッド



元素組成分析の
発光スペクトル観測例

TOPICS 福島 No. 70

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 福島研究開発部門 福島事業管理部

〒960-8031 福島県福島市栄町 6-6 NBF ユニックスビル 1階

TEL : 024-524-1060 FAX : 024-524-1073 HP : <http://fukushima.jaea.go.jp/>