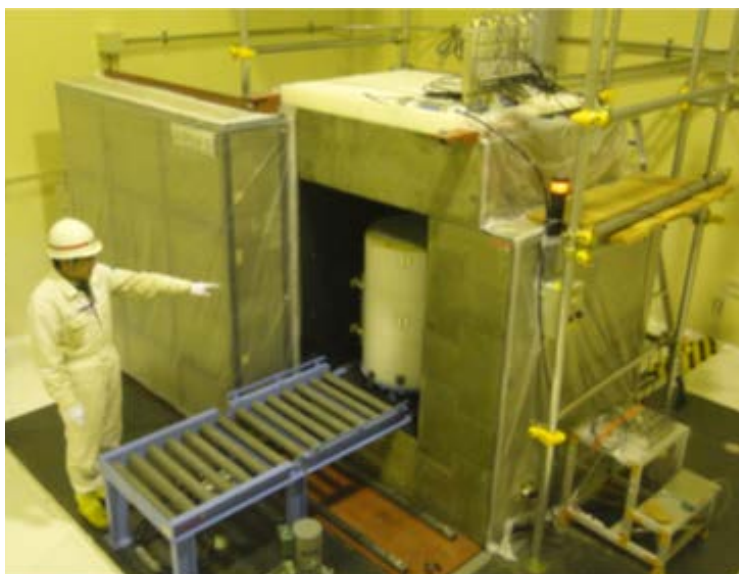


## 解説： 核燃料物質管理のための革新的高感度センシング技術の開発



廃棄物ドラム缶内の核燃料物質量を非破壊で測定するために開発して実運用した装置  
(特許技術)

原子力施設からは操業及び廃止措置時に廃棄物が発生します。それらの廃棄物の一部には核燃料物質が含まれている可能性があります。原子力事業者は、核燃料物質を計量して在庫管理をすることが義務付けられているため、それら廃棄物についても核燃料物質を高い精度で計量する必要があります。計量の方法は、廃棄物が収納されたドラム缶を開封せずに放射線（ガンマ線や中性子）による非破壊測定で行います。実際の廃棄物のドラム缶の中身は図 1 に示す様な多種多様の解体物などが不均質に封入され、そこに核燃料物質が不均質に混在しています。このため、このような様々な状態のドラム缶を中身が未知のまま、開封せずに迅速に非破壊で小さな誤差で測定することは非常に難しく、それを可能とする技術の確立が望まれていました。原子力基礎工学研究センターでは、混在物による測定への阻害要因を排除し、ドラム缶内に含有する微量の核燃料物質を短時間かつ小さな誤差で計量できる非破壊測定技術を世界に先駆けて開発しました。



図 1 原子力施設から発生する解体物などを詰めた放射性廃棄物ドラム缶  
(左：ドラム缶外観、中：金属系内容物の例、右：コンクリート系内容物例)

本測定技術は、原子力基礎工学研究センターが独自に開発した高速中性子直接問かけ法をベースとするものです。高速中性子直接問かけ法の原理・装置概略図を図2に示します。高速中性子をドラム缶外から照射して核燃料物質から発生する核分裂中性子を検出器で計数し、開発した方法（後述）で核燃料物質量を求めます。高速中性子直接問かけ法は、ドラム缶のような大きな測定対象物でも内部の核燃料物質の位置による感度差が小さく、測定時間が10分程度と短く、かつ高感度という他の非破壊測定技術より優れた特長があります。他の一般的な非破壊測定手法としてパッシブガンマ線法やパッシブ中性子法があります。これらの手法は、廃棄物に含有する核燃料物質から発生するガンマ線（パッシブガンマ線法）もしくは中性子（パッシブ中性子法）を計測するもので、計測システムは比較的簡単という特長がありますが、ガンマ線、中性子とも金属、コンクリート、ウエス等の物質の種類により減衰率が異なるため廃棄物の種類毎に検量線を必要とします。このため、廃棄物が未知でかつ複数の種類の廃棄物が混在するドラム缶等を測定する場合、誤差が大きくなるという問題点があります。さらに、廃棄物に含有する核燃料物質が微な場合には測定時間が数時間必要になるという問題があります。

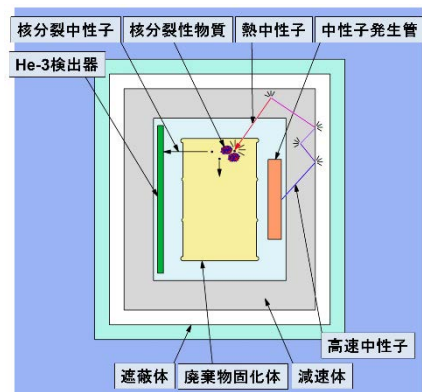


図2 原理と装置の概略図（高速中性子をパルス状に照射して核分裂中性子を計測する装置）

本開発では以下に示す要素技術を開発することで、多種多様な廃棄物に対する非破壊測定を実現しました。なお、本開発には図3に示す実証装置を用いました。

- ①：高速中性子を用いた照射手法、及び構造内内面に熱中性子吸収体を取り付けるなどの測定構造体を工夫することで、核燃料物質の位置補正を不要としました。この手法によりドラム缶内の核物質位置に影響を受けない測定を実現し、更に計測精度が飛躍的に向上できました（ $\pm 250\% \Rightarrow \pm 20\%$ ）。
- ②：実際に計測されるデータのイメージは図4のようになり、照射中性子と核分裂中性子の積算値となります。高精度な測定には核分裂中性子のみを選別する必要があります。本開発では、非線形最小自乗法分析ソフトウェアを独自に開発し、核分裂中性子のみを理論値に近い値で選別することに成功しました。核分裂中性子成分の減衰定数の逆数は中性子消滅時間と呼ばれ、その消滅時間も同ソフトウェアにより分析可能としました。
- ③：中性子消滅時間とウラン単位質量当たりの核分裂中性子に相関があることを見出しました（図5参照）。この相関を用いることで、廃棄物の種類が不明でも、中性子消滅時間を用いた一つの補正式（図5に示す直線）と図4に示す核分裂中性子総数だけで核燃料物質量を容易に計測できる技術を確立しました。



図3 核燃料物質計量技術実証装置（茨城県東海村に設置）

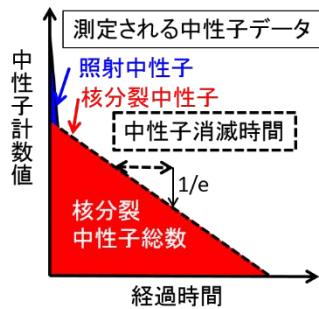


図4 中性子の計測値と中性子消滅時間の関係

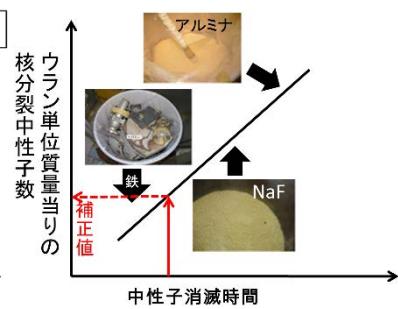


図5 新しい補正手法（1つの較正式で核燃料物質量を導出する方法）

本非破壊測定技術は多種多様な放射性廃棄物ドラム缶を、開封せずに迅速かつ小さな誤差での非破壊測定を実現するものであり、従来手法に比べて革新的なものです。本開発で完成した装置は、原子力規制庁から計量管理用装置として認められ、廃止措置中の施設の実廃棄ドラム缶(1,802 缶)の計量管理に使用され、廃止措置の加速に貢献しました。

**主要特許：** 特許第 6179885 号「核分裂性物質量の測定方法、及び測定装置」

**主要論文：** 「高速中性子直接問かけ法による実廃棄物ドラム缶のウラン量非破壊測定システムの実用化研究」日本原子力学会和文論文誌、vol. 15、p115～127、2016 年 04 月発表

**開発グループのホームページ：**

[原子力基礎工学研究センター 核工学・炉工学ディビジョン](#)  
[原子力センシング研究グループ](#)