

ガンマ線による核物質非破壊検知システムの開発

○大垣 英明¹、紀井 俊輝¹、堀 利匡¹、増田 開¹、三澤 毅¹、卞 哲浩¹、高橋 佳之¹、八木 貴宏¹、羽島 良一²、早川 岳人²、神門 正城²、静間 俊行²、大東 出²、小瀧 秀行²、林 由紀雄²、Christopher Angell²
(京都大学¹、日本原子力研究開発機構²)

装置の特徴

港湾施設等において、隠匿された核物質を D-D 中性子源を用いた中性子システムで高速スクリーニングし、さらに単色のガンマ線の核共鳴蛍光散乱を用いて、ウラン 235 やプルトニウム 239 等の核物質を同定する装置

開発の概要

本事業で開発する核物質検知装置は、IEC 中性子源を用いた高速スクリーニングシステムと、マイクロトンからの電子ビームとパルス圧縮を行なったレーザービームとの衝突によるガンマ線を用いる、精密核物質同定システムからなる。

開発課題としては、小型中性子源の高出力化と中性子計測法の開発が高速スクリーニングシステムには必要であり、精密核物質同定システムにはガンマ線源の高収量化とガンマ線測定器の開発が必要である。ここでは高速スクリーニングシステムに使用する中性子源の開発状況と、精密核物質同定システムに用いるガンマ線源の開発状況に関して中心的に述べる。

本装置に使用する中性子源は、小型でしかも放射性物質を含まない D-D 核融合を用いる IEC 放電型中性子源である。この中性子源は、基本的には球形の接地陽極とその中心に設置されたグリッド状の球形陰極とから成り、両電極間の放電で生成された重水素 D イオンは中心に向かって加速されてエネルギーを得て、他の D との衝突により核融合反応を起す。印加電圧が高くなれば、イオンのエネルギー増加にともない核融合反応率が増加し、中性子発生量が増加する。これまでの IEC 装置では、中心の球形グリッド状陰極への電圧導入端子の存在により、電位分布の球対称性が損なわれ、印加高電圧が 80kV に制限されていた。そこで、5 段電圧導入端子を考案し、190 kV の電圧印加を達成した。これに伴い中性子の発生量が上昇し 140kV の電圧で、中性子強度 2.7×10^7 n/sec を得ている。最終目標値は 10^8 n/sec であり、190kV の高電圧印加により、この目標値は容易に達成可能である。中性子による核物質探知における最大の課題は、中性子照射により核物質から発生する二次中性子と、照射したプローブ中性子とを如何に区別して計測するかにある。原子力分野で知られていた従来の計測法では、本装置に要求される高速スクリーニング性能が得られないので、新しく、改良中性子炉雑音解析法を開発し、0.25kg の高濃縮ウランを用いて検知できることを実証した。

一方のガンマ線源では、加速器からの高エネルギー電子ビームに高強度レーザーを衝突させることで発生することができる、準単色ガンマ線源（レーザー逆コンプトンガンマ線）を用いる。核物質の同定には、同位体の同定が不可欠であり、これは、X 線を用いる

透過検査装置や蛍光X線装置では不可能である。本装置では核共鳴蛍光散乱を用いて同位体の同定を行う。これは、測定対象となる原子核固有の励起エネルギーに等しいガンマ線が照射されると、核共鳴蛍光散乱が発生し、入射したエネルギーに等しいエネルギーが入射角とは異なる角度に放出される現象を利用し、核共鳴蛍光散乱ガンマ線を計測することで目的の同位体の存在と量を知ることができる。しかしながら、従来型のガンマ線源は、不要なエネルギーのガンマ線が殆どであり、この方式での核物質検知は非常に困難である。そこで、本装置では準単色ガンマ線を発生させ、高SN比での検知を可能にしている。一方この方式では大型の加速器が必要になるため、装置の小型化が重要なポイントになる。本装置では、小型な電子加速器であるマイクロトロン加速器を用いる。現在までに、プロトタイプマイクロトロンを用いて、ガンマ線の発生に成功している。

核物質の検知に関しては、先に述べたように高速スクリーニングシステムは、大量のコンテナに対し核物質の有無をスクリーニングするのみで、核物質の検知はガンマ線を用いた精密核物質同定システムによって行う。これらのシステムは交互の線源が発生するバックグラウンドを避けるため、別棟の施設に設置する。また、ガンマ線を用いた精密核物質同定システムの測定速度、及び中性子高速スクリーニングシステムの位置検知能力から、これら2つの検知システムの間、ガントリータイプのX線透過装置をおき、高密度物質が隠匿されている可能性のある場所を特定する。図に本装置の全体図を示す。システムは40mx20mの敷地に收容され、被検査コンテナは4台並列で高速スクリーニング施設に導かれる。この検査の結果、疑わしいコンテナのみ、精密核物質同定システム施設に導かれる。

当日は、核物質検知の原理、中性子発生装置等の開発状況並びに、今後の研究について発表する。

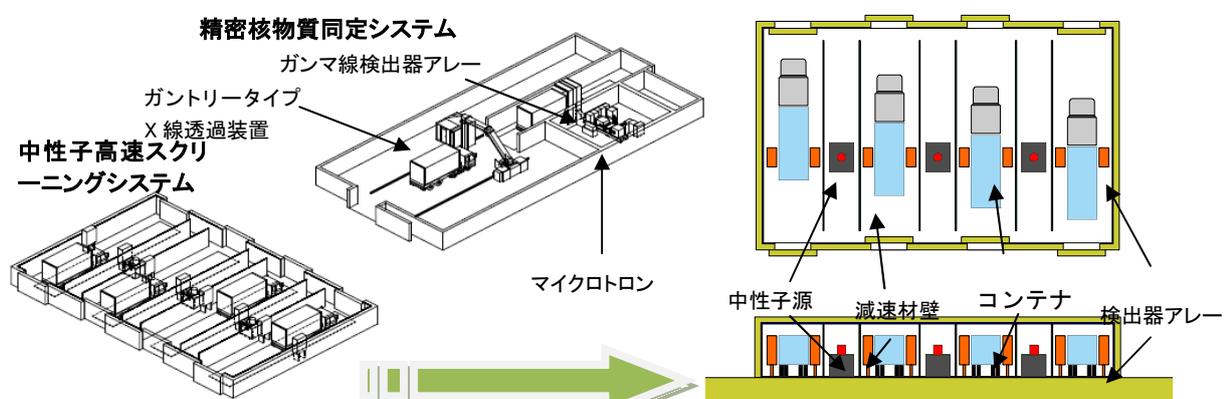


図 核物質検知システムの全体図 (左) と中性子高速スクリーニングシステムの構成 (右)