

## 研究開発課題別中間評価結果

- 1 . 研究開発課題名：地雷探査用高度化即発ガンマ線分析システムの開発
- 2 . 研究代表者名：井口哲夫（名古屋大学 工学研究科・量子工学専攻 教授）
- 3 . 研究概要

地中に埋設された地雷探査において、直接地雷中の爆薬探知を狙い、中性子を利用した即発ガンマ線分析手法を適用する。本手法は爆薬の主要構成元素である窒素を、その中性子捕獲反応で生成される 10.8MeV 高エネルギーガンマ線の計測により、地雷の有無および埋設位置を遠隔・非破壊・選択的に検知するものである。本研究ではコンパクト（コッククロフトワルトン型）加速器中性子源（重水素（D）-重水素（D）核融合反応利用）の中性子発生率向上と高性能化を図るとともに、高効率でエネルギーと入射方向情報が同時に取得できる高機能な即発ガンマ線検出器を開発し、両者のシステムインテグレーションおよび精密なシミュレーション計算と組み合わせることで、高精度な地雷探査に適した（高い探知率と低い誤認率を両立できる）スマート中性子センサー・システムを構築する。最終的には、地雷被埋設国等における実証試験に供しうる技術を開発し、地雷被埋設国等の地雷処理機関(政府機関、国際機関、NGO 等)に提供することを目標としている。

可搬型加速器中性子源において、従来（市販）のペニング型イオン源に代わり、ヘリコン波プラズマイオン源を新たに採用したところ、DD 核融合反応の中性子発生率について、2 桁の向上を達成した。また、高圧電源、加速電極構造、ターゲット冷却・除熱系の改良により、コンパクト化、軽量化、メンテナンス性等について、屋外環境使用へ向けた機能向上を図った。

一方、高機能な即発ガンマ線検出器システムとして、爆薬中に豊富に含まれる窒素と中性子の捕獲反応で放出される 10.8MeV ガンマ線のエネルギーと入射方向を同時測定可能な BGO シンチレータベースのマルチコンプトンガンマカメラを新規に開発した。

さらに、実際に想定される種々の環境条件で、土壤内に埋設された地雷爆薬中の各種元素から中性子捕獲反応により放出される即発ガンマ線に対する検出器応答を精密シミュレーション計算により評価する。これにより上記高機能即発ガンマ線検出器から同時に得られる大量の計測情報とのパターンマッチングについて、ニューラルネットワーク等を用いた知的信号処理（情報融合）を行うことで、測定環境を考慮に入れつつ、迅速かつ正確な地雷探知を可能とするスマートセンサー化を図っている。

具体的には、パッケージ化された多重同時信号読み出し回路系を含む高エネルギーガンマ線入射方向検出器のフルシステムを製作するとともに、マルチコ

ンプトンガンマカメラの原理に基づき、効率的な高エネルギーガンマ線入射方向の逆推定手法を開発してきた。また、試作した検出器システムについて、電子蓄積リングの準単色高エネルギー光子発生装置を用いた検出器応答の較正・評価を行った。また、即発ガンマ線検出器システムの S/N 比（地雷探知率と誤認率）をできるだけ定量的に評価し、ガンマ線検出器に対する中性子遮蔽の最適化に関して実験的な検討を行うため、予備的な総合性能基礎試験を実施しており、平成 18 年度のインテグレーション、屋外試験に向けた準備研究も順調に進められている。なお、中性子源の開発については一時期中断があったが、平成 17 年度末時点では目標仕様に未達であった中性子発生率に関しても、平成 18 年 6 月までの中性子発生実験において目標を達成する見込みである。

#### 4 . 中間評価結果

##### 4 - 1 . 研究開発の進捗状況と今後の見込み

名古屋大学井口教授のもと、産学官連携で研究開発が進められてきた。H18 年度には参画企業をものづくりの要として、短期的研究開発課題で製作した大型のクレーン型アクセス車両 AMS( Advanced Mine Sweeper )へのセンサー・システムの搭載を進める。平成 17 年度までの活動では、高速データ収集ユニット製作進捗に 2 ヶ月程度の遅れがあったが、平成 18 年度には挽回可能である。一方、中性子源については若干の遅れがあり、必要な中性子発生率を 18 年度早期に達成することに注力する。その他の開発項目については、ほぼ計画通り順調に開発が進んでいる。今後は、屋外での試験を行うための許可申請などを進め、より現実に近い環境での性能検証に取り組んでいくことが望まれる。

##### 4 - 2 . 研究開発成果の現状と今後の見込み

本研究開発は、特にマルチコンプトンガンマカメラを用いた研究が国際的観点から見ても独創的であり、ガンマ線の飛来方向を同定する新規手法の実現が期待される。

このガンマ線の飛来方向を同定する BGO シンチレータをスタックしたセンサーの開発は、シミュレーションおよび基礎実験による基本性能検証を終え、平成 18 年度は屋外での性能実証を目指している。特に、多重信号処理システムの高速化および高機能実現のためのソフトウェア開発を行うとともに、耐環境筐体および中性子源とのインテグレーションの設計検討に着手しており、屋外の過酷な環境下でも動作可能な試作機の製作を進めている。

#### 4 - 3 . 今後の研究に向けて

製作された試作機は日本国内での性能試験により評価を行い、実用的で費用対効果の高いシステムであることが認められれば、地雷被埋設国などの要請に基づき更なる性能検証と改造を行うことが望ましい。

#### 4 - 4 . “国から通知された目標” に向けての展望

“国から通知された目標” である「地雷（火薬）自体の物性値に着目し、地雷探査過程（いわゆるレベル 2）又は地雷除去確認過程（いわゆるレベル 3）のサーベイにおいて対人地雷を確実、簡易かつ迅速に探知可能なセンシング技術の開発」に該当し、対人地雷中の TNT や RDX 等の爆薬そのものを特定する研究である。対人地雷に含まれる 100g 前後の爆薬の存在を検知するためには十分な強度の中性子発生率の確保が必須である。センサー・システムについては、爆薬有無の同定のみならず、その大方の位置も特定できるため、レベル 3 のみならず、レベル 2 の地雷探知作業への応用も期待できる技術となっている。

#### 4 - 5 . 総合的評価

センサー・システムについては、中性子による従来の地雷探知とは異なるガンマ線の飛来方向を同定する独創的な研究開発が順調に進められている。目標仕様の達成見込みは得たものの中性子源のさらなる性能改善、特に安定運転のための解析を行うことが急務であり、今後 1~2 ヶ月で中性子源としての加速器を改良し、 $10^8$  オーダーの強度を安定して発生できるようにすることが重要である。参画企業の役割が大きく、研究チーム内における密接な連携を強く希望する。中性子源の安定化の見込みが立たない場合は、中性子源の開発については中断し、センサー・システムの完成に集中的に注力するなどの対策が必要となる。