

## 研究開発課題別事後評価結果

- 1 . 研究開発課題名：SQUID - NQR 地雷化学物質探知技術開発
- 2 . 研究代表者名：糸崎 秀夫（大阪大学 大学院基礎工学研究科 教授）
- 3 . 研究内容及び成果

本研究は物質内部の電界勾配を利用した核四極共鳴（NQR; Nuclear Quadrupole Resonance）特性に着目し、地中の対人地雷に含まれる爆薬（化学物質）を探知することを目的とした。一般的な爆薬の NQR 共鳴周波数はラジオ波帯であるため、検出装置として誘導コイルを用いるほか、このような低周波の電波に対して高感度な超伝導量子干渉素子（SQUID; Superconducting QUantum Interference Device）の使用も検討した。地雷中の化学物質を探知する装置としてこれらを総合した NQR システムを開発する研究を行った。

まず、地雷に多く含まれる爆薬である TNT (Tri-Nitro Toluene) と RDX (Research Department Explosive) について、励起に必要な磁束量を評価するとともに、屋外計測時の環境ノイズ量を複数の地点で評価し、その結果をもとにプローブ設計を行った。共鳴周波数 3.410MHz の爆薬 RDX を探知対象として、コイル線に耐電圧性、シールド性能に優れた同軸線を用い、さらにそれをグラジオメータ化することで環境ノイズ低減性能に優れた探知プローブを作製することに成功した。このプローブは、低損失かつ高耐圧の真空可変コンデンサと組み合わせることで、高い感度を持ちながらも 10～15cm 程度先にある試料に十分な強度の励起磁束を照射することができ、また、-24dB の環境ノイズ低減性能を実現した（送信信号は、瞬時電力 1.5kW、パルス幅 0.1ms、パルス間隔 1ms 程度の強電力パルス）。一方、共鳴周波数 0.850MHz 前後の TNT を対象とする探知コイルは、もともとの NQR 信号が弱いこともあり、高感度で小型軽量の探知コイルに十分な電波シールド性能を持たせることにまだ成功していない。本研究の開始当初使用していた NQR 計測装置は、高さ 2m の実験ラック 1 台をほぼ占有する大型の装置であり、防塵防水等の対策もなかったため、地雷探知のために屋外で持ち運ぶことは困難であった。また、この装置には帯域が広く拡張性が高いという特徴があったが、NQR 地雷探知の対象は RDX および TNT に限られているため、広帯域性よりも狭帯域内で高い感度を優先させて装置の小型化を進めた。まず、可搬性向上のため、一つの筐体内に NQR 計測に必要な全機能をまとめ上げた小型の NQR 計測装置を試作した。さらに、屋外地雷探知への対応を考えて、筐体に防塵防水対策を施した NQR 地雷探知装置を 2007 年度に開発した。この装置は、TNT および RDX に特化した計測シーケンスおよび送受信機を組み込んでおり、計測をコントローラで制御することが可能である。本体外寸も幅 350mmx 奥行 250mmx 高さ 180mm まで小型化している。

作製した NQR 探知機の性能を評価するため、試料として非爆化した RDX および非爆

化したTNTを開発した。これは、爆薬粒子を緩衝材でくるむことで爆発しないように調製したものであり、国内火薬メーカーの協力を得て開発した後、経済産業省より探知実験での使用許可を得た。2007年に、この非爆化した爆薬を使用して技術実証試験を行い、RDXについては高い探知率が達成可能であることを実証した。具体的には100gのRDXについて、深さ10cmまでに埋められた場合は探知率100%、また深さ15cmまでに埋められた場合は探知率88%で探知することができた。一方、TNTについては、NQR方式で探知困難な理由（NQR緩和時間<sup>注1)</sup>の長さ）を明確に突き止めることに成功したものの、現状では探知機として機能するレベルに至っていない。しかしながら、TNTが探知困難となるメカニズムを解明したことで、今後、その対策を講じることができる可能性を示唆した。

このNQR地雷探知機を東京工業大学 広瀬チームが開発したバギー・システムGryphonと統合し、遠隔走査でNQR計測による地雷探知を行うことができる地雷探知車両を完成させた。この探知システムは、5cm程度の深さに埋めたRDX100gを1分以内に探知可能であることを、2007年9月7日の名古屋大学の公開屋外試験で実証した。5年間の技術開発を通じて、爆薬の種類は現状RDXに限定されるものの、防塵防水対策を施し、小型で可搬性に優れ、小型のコントローラで簡単に操作することが可能なNQR探知装置の開発に成功した。

#### 4 . 事後評価結果

##### 4 - 1 . 技術開発目標の達成度

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探知する研究である。

実爆薬を用いた基本性能試験や非爆化した爆薬を用いたブラインド・テスト方式による技術実施試験を行い、探知部にSQUIDは使われなかったものの、探知性能としてはRDXについて当初の目標通りの成果を上げることが出来た。アクセス・プラットフォームとなるGryphonとのインテグレーションでは、地雷探知作業の将来の無人化に向けてのシナリオを検討出来るレベルまで開発が進み、そのデモンストレーションを実施することが出来た。耐久性や防塵・防水性能に関しては、地雷被埋設国等における技術実証試験にも適用出来るレベルに到達したと考える。しかしながら、世界に埋設される地雷の多くはTNTを主としたものであり、TNTについての探知性能が目

---

注1) 緩和時間は2種類あり、T1は核スピンの励起磁場のエネルギーを吸収してから、それを放出して平衡状態へ戻るまでの時間を表し、短いほど計測に有利である。また、T2は、励起された核スピンの放出する信号の持続時定数であり、これが長い物質ほど、安定して信号を放出し続けるため、計測は容易である。TNTとRDXの(T1, T2)は、それぞれおよそ(数秒, 0.3ms程度)、(0.1秒以下, 1ms程度)となっている。

標に達しなかったことは地雷探知機としては大きな課題を残した。また、SQUID 方式による高感度化については、並行して研究開発を実施した、より簡便な構造の誘導コイル方式の性能を超えることが出来なかった。

また、東京工業大学が担当したセンサ搭載用バギー・システム Gryphon は、アクセス・プラットフォームとしてのセンサの搭載および走査能力に関する高い汎用性や、過酷な環境下での耐久性等が実証された。

#### 4 - 2 . 得られた研究開発成果の科学技術への貢献度

NQR を利用した対人地雷探知装置は、従来の金属探知機による地雷探知の作業工程で問題となっている金属くずによる誤探知について爆薬自体を探知可能とすることでこれを解消し、地雷除去の効率を大幅に改善出来る可能性を十分に有している。爆薬として TNT と RDX について検討し、TNT に関しては NQR 緩和時間の問題から地雷探知に十分な性能を達成出来なかったが、RDX については探知率や探知に要する時間等の基本性能について実用に近いレベルを達成した。アンテナ構造、信号処理方法等の検討により、実用化に向け、さらなる研究開発を発展継続させることが望ましい。また、TNT に対する取り組みの中で NQR 緩和時間等の探知感度に関する指標を見出したことで、NQR 方式により探知が容易な物質とそうでない物質を区別する基準が出来た。このことは、麻薬やその他の不正・危険物質等の探知に NQR 方式を応用展開していく上で重要であり、今後、空港や港、大衆の集まる場所等のセキュリティ向上のための研究として社会に貢献していくことが期待される。

Gryphon は、金属探知機、地中レーダ (GPR) 、そして NQR 探知装置等、さまざまなセンサを搭載し、これまで数々のフィールド試験に参加してきた。そして、クロアチアやカンボジア等の過酷な環境下での試験においても、その役割を完遂した。この実績を考えれば、Gryphon は地雷探知除去の分野では植生除去等にも適応可能であり、その他、様々な過酷な環境下での作業の無人化へ向けた応用研究に、これまでの成果を展開していくことが出来る。

#### 4 - 3 . 総合コメント

TNT や RDX 等爆薬化学物質の同定を目指し、RDX については 30g から 100g 程度の少量であっても、地下 10 ~ 15cm に埋設されたものの検出に短時間で成功した。TNT は緩和時間の影響により十分な探知性能を達成することが出来なかったが、地雷探知のためには TNT の探知を実現することが非常に重要であり、TNT の化学構造と緩和時間の関係を総合的に研究し、その検出性能を向上させることが望まれる。またこの研究は、地雷探査のみならず安全安心のための危険物探知等に広く応用可能な技術であり、今後、様々な物質に対する NQR 方式での探知可能性について体系的な整理を期待する。

バギー・システム Gryphon については、センサに関する知識を深め、独自のセンサ・システムとバギー・システムの有機的な統合を進めていくことが望まれる。そのようなセンサ・システム技術は、他分野への応用も十分に期待出来るものであり、日本のロボット・プラットフォーム技術の高さに関する評価を確固たるものとしていくことを望む。