

SQUID-NQR 地雷化学物質探知技術開発

大阪大学・教授 糸崎秀夫

1. はじめに

対人地雷の検出には、金属探知器や地中レーダなどが利用されています。しかし、これらの検出装置は、金属などの対象物のみを検出するため、爆発物自体の存在を確認することができません。したがって、検出の誤認をする可能性があります。一方、地雷の爆発物を化学的に検知すれば、誤認の可能性は大幅に低減することが期待できます。

本研究では、物質特有の核四極共鳴(NQR)という現象に着目して、SQUID と呼ばれる超高感度磁気センサを組み合わせることにより、対人地雷に含まれる爆発物の化学物質の同定を行う SQUID-NQR 検出装置の開発を目指します。

2. NQR 地雷化学物質探知の原理

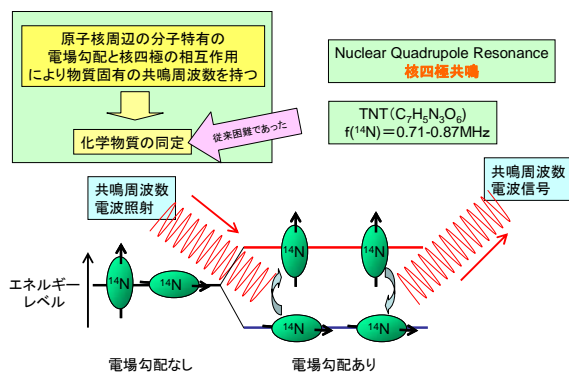


図1 NQR の原理

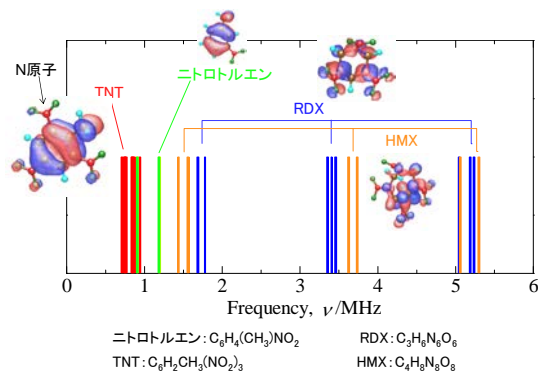


図2 典型的な爆発物の NQR スペクトル

窒素核(^{14}N)のように $1/2$ より大きいスピンを持つ原子核は、核四極モーメントを持ちます。この原子核を持つ物質内部に電場勾配が存在すると、縮退していた核のエネルギーが分裂し、ある特定の周波数の電磁波を照射すると核四極共鳴 (NQR : Nuclear Quadrupole Resonance) と呼ばれる吸収を示し、共振周波数の電波信号が物質から発信されます(図1)。この共振周波数は物質に固有であり、この共振波を測定することにより特定の化学物質の検出が可能となります。一般的な地雷爆薬の窒素核のNQR共振周波数は図2に示したように、ラジオ波帯 (500kHz~数MHz程度) であり、検出用の誘導コイル、超高感度磁気センサであるSQUID (超伝導量子干渉素子) によって検出することができます。このように、NQRは核周辺の電場勾配を利用するため、核磁気共鳴 (NMR) のような磁石が不要となり、装置の小型化が可能になります。

また、このラジオ波は浸透性が高いため、地中に埋まった地雷からの化学物質の漏洩がなくても検出が可能です。

3. NQR 地雷化学物質探知装置

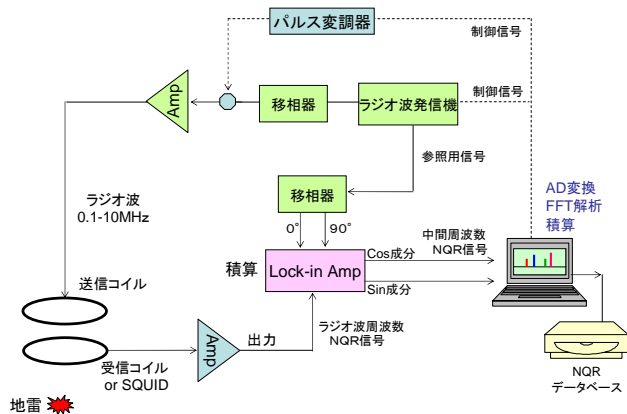


図3 NQR 測定系のブロックダイアグラム

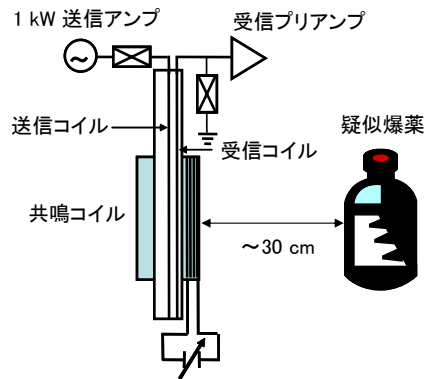


図4 3コイル式センサーコイル

地雷化学物質探知のための NQR 測定装置を設計し、図3のような構成の装置を試作しました。NQR 信号を得る方法には、連続波法 (CW 法) とパルス法がありますが、本装置には短時間で信号を得ることができるパルス NQR 法を採用しました。ラジオ波送信アンテナコイル、受信アンテナコイルを図4のようにデザインし、共鳴コイルによって周波数の同調をとり、さらに環境雑音除去対策としてロックイン検出器を用いることによって、環境ノイズに埋もれてしまっている地雷化学物質固有の NQR 信号周波数を選択的に検出することができます。

4. 密閉された特定化学物質からの NQR 信号の検出

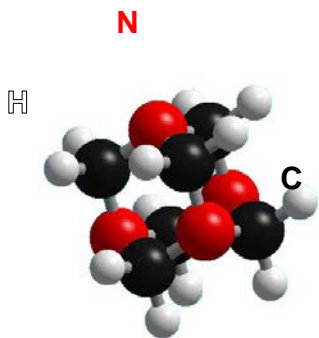


図5 地雷爆薬原料物質
ヘキサメチレンテトラミン(HMT)

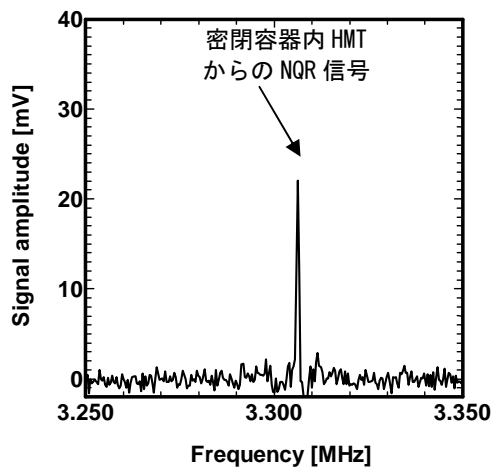


図6 NQR スペクトル

実際のNQR信号の確認には図5に示した、地雷爆薬ヘキソゲン (RDX: $C_3H_6N_6O_6$) の原料物質である、ヘキサメチレンテトラミン (HMT: $C_6H_{12}N_4$) を用いました。HMTのNQR周共鳴ピークはRDXと同様の周波数帯にあり、実験用の疑似爆薬物質として使用できます。実際に 500gのHMTからのNQR信号を高速フーリエ変換 (FFT) して得られた共鳴ピーク信号を図6に示します。この場合のHMT粉末試料はプラスチックの密閉容器に入っていますが、容器を通して化学物質の検出が可能であることがわかります。

5. NQR 信号のリモート検出

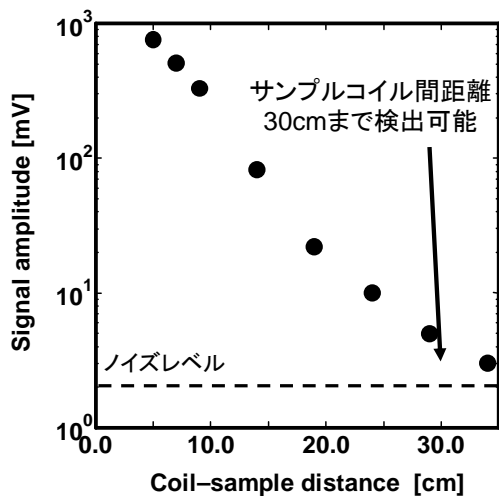


図7 リモート検出用アンテナコイルによる NQR 信号強度の距離依存性

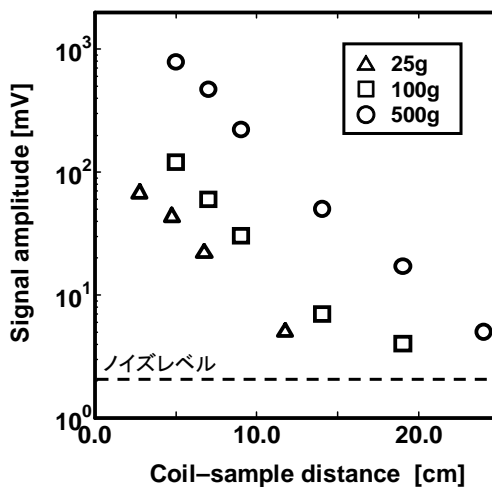


図8 NQR 信号の HMT 重量依存性

対人地雷は深さ数 10cm 程度以内の深さに埋設されているため、センサを離れた位置からのリモート検出を行うことが必要です。図 7 にリモート検出用アンテナコイルを使用した場合の HMT500g からの、NQR 信号強度の距離依存性を示します。シールド環境下ではありますが、30cm の距離からの信号を検知していることがわかります。重量が減少すると信号強度は弱くなってゆきますが、図 8 に示したように 25g でも 10cm 以上の距離からの信号検出ができています。今後は、さらにアンテナの感度を向上させ、ノイズ対策も施すことによって、フィールドで実地使用可能な地雷検知装置の開発を目指します。

6. おわりに

これまでに、プラスチック爆弾の爆薬物質であるヘキソーゲン (RDX) の疑似物質ヘキサメチレンテトラミンを 30cm 以上離れた距離から検出することに成功し、NQR を用いたリモートセンシングの可能性が見えてきました。

今後は、センシングコイルおよび検出システムのさらなる高感度化や、微分コイルやシールド技術を導入した環境雑音の除去技術の開発を推進するとともに、電子機器の小型化をはかり、野外使用が可能なシステムの構築を目指します。SQUID に関しても、測定条件の要素検討をさらに行い、最適化条件での信号検出の実現へ向けて研究を進めます。