

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2008～2009

課題番号：20710133

研究課題名（和文）核四重極共鳴を用いた爆発物遠隔探知のための感度向上技術の開発

研究課題名（英文）Sensitivity Improvement in Nuclear Quadrupole Resonance for Explosive Detection

研究代表者

近内 亜紀子（KONNAI AKIKO）

独立行政法人 海上技術安全研究所 海洋リスク評価系 研究員

研究者番号：80425751

研究成果の概要（和文）：

本研究においては、核四重極共鳴（NQR）を用いた爆発物遠隔探知の性能向上を目的として、NQR 信号受信感度向上および NQR 信号強度の増強を目的とした。NQR 信号受信方法の感度向上としては、微弱磁場計測方法として近年注目されている原子磁力計およびインダクション磁気センサを NQR に適用することを試み、それぞれを適用する場合の課題を抽出した。NQR 信号強度の増強としては、対象物質内に含まれる水素原子核に磁場をかけて生成させたプロトン分極を、交差緩和を利用して NQR 核へ移動させることによる NQR 信号強度の増強を試みた。はじめに対象物質中のプロトンを分極させた後に NQR 信号を測定することで、効率的な検知が可能であることが示された。

研究成果の概要（英文）：

We aimed to increase in performance of explosive detection technique using NQR, especially improvement of the detection sensitivity and increase of the NQR signal intensity. For the sensitivity improvement, we tried to apply the several techniques known as high-sensitive magnetometer to NQR explosive detection. Their applicability and the issues were revealed. To increase NQR signal intensity, we increased the nuclear spin polarization degree in nitrogen nucleus using Zeeman splitting in proton. We measured the time dependence of NQR signal intensity and indicate the possibility to increase in performance of the explosive detection by NQR.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,700,000	810,000	3,510,000
2009年度	200,000	60,000	260,000
年度			
年度			
年度			
総計			

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会システム工学・安全システム

キーワード：爆薬検知、核四重極共鳴、二重共鳴、原子磁力計

### 1. 研究開始当初の背景

我々は、研究開始前までの研究において、代表的なプラスチック爆薬である RDX が手荷物中に隠匿された場合に、RDX 中に含まれる窒素原子核の共鳴の一種である核四重極共鳴 (Nuclear Quadrupole Resonance: NQR) を用いて、RDX を検知する技術を開発した。RDX 結晶中の窒素原子核は、3~5.2 MHz 程度の NQR 周波数を持ち、我々の開発した検出コイルを用いた受信系での信号取得が可能であった。開発した受信系は、物質から放出される高周波磁場をコイルの起電力に変換し電気信号として集録するものであった。しかしながら、爆薬には更に低い NQR 周波数をもつ物質もあり、検出コイルに生じる起電力は磁束の時間微分に比例するため、低周波数領域の高周波磁場を検知するには不向きであることが自明であり、実際低周波数領域に NQR 周波数を持つ物質の遠隔検知は、開発した装置では難しいことが認識されていた。したがって、低周波数領域に NQR 周波数を持つ物質であっても、高速に検知できる方法の開発が求められていた。

### 2. 研究の目的

本研究は、低周波数においても感度の良い高周波磁場検出方法を NQR 信号取得に適用することで、低い周波数領域に NQR 周波数を持つ爆薬 (例えば、TNT、PETN 等) の検出を可能にすることを目的に、実施された。具体的に検討された検出方法は、原試磁力計、インダクション磁気センサである。一方で、対象物質から放出される NQR 信号を増強する方法として、水素原子核の磁化による交差緩和を利用した方法を検討した。

### 3. 研究の方法

低周波数領域に NQR 周波数を持つ物質として、p-トリニトロトルエンを試料として用いて計測を行った。

DC~数 kHz の低周波領域の磁場検出にて用いられているインダクション磁気センサを NQR 計測に用いることを試みた。インダクション磁気センサとしては同じ動作原理を持つトランスインピーダンス回路として DHPCA-100 (FEMTO) を用いた。その緒元を以下に示す。

Transimpedance (Gain) Switchable from  
1 x 10<sup>2</sup> to 1 x 10<sup>8</sup> V/A  
Bandwidth from DC up to 200 MHz  
Upper Cut-Off Frequency Switchable to  
1 MHz, 10 MHz or Full Bandwidth  
Switchable AC/DC Coupling  
Adjustable Bias Voltage for Use with  
External Photodetectors  
Local and Remote Control of All Main

### Functions

NQR 信号は一般に非常に微弱である。それは、四極子相互作用により分裂している対象原子核の基底準位差が僅かであり、熱平衡状態でボルツマン分布に従う核スピンの偏極度が小さいことに起因している。従って、何らかの方法で対象原子核の偏極度を高めてやれば、NQR 信号強度が高くなることが期待される。我々は、試料中に共存する NMR 核 (例えば、水素原子核であるプロトン <sup>1</sup>H) に強静磁場を掛けることで基底エネルギー準位を Zeeman 分裂させ大きな分極を作りその緩和時に起こる準位交差により、窒素原子核のスピンの偏極度を高め、NQR 信号強度の増強を実現することを試みた。その原理図を図 1 に示す。

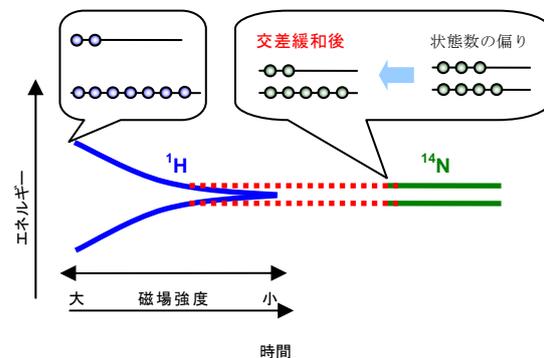


図 1 交差緩和による NQR 信号強度増強

プロトン磁化のための磁気回路として、写真 1 に示す対向型ネオジウム磁石装置を製作した。磁石ギャップ幅は 3 cm であり、中心磁場は 5250 Gauss である。対向磁石面積は、10 cm×11 cm である。作製した対向型磁気回路の外観を図 2 に示す。



図 2 対向型磁気回路の外観

試料としては、ガラスサンプルに封入したジメチルナイトラミン DMN 7 g を用いた。ガラスサンプルに銅線コイルを直巻きしたものである。

#### 4. 研究成果

初年度においては、NQR 装置計測制御プログラムの信号処理部分のアルゴリズム変更を行い、NQR 測定装置の高速化を実現した。また、FPGA (Field Programmable Gate Array) を用いた IF トランシーバによる高速化も検討した。

原子磁力計の基礎実験としては、カリウムセルを用いた原子偏極実験を行い、カリウム原子気体のレーザー励起による発光を確認した。さらに、偏光度測定体系として、偏光ビームスプリッターとフォトディテクターを用いた偏光度測定体系を製作し、フォトディテクター計測・解析プログラムを作成し、計測した光出力を平均値として表示し時間変化を継続的に測定可能としたが、NQR 信号を検出することは出来なかった。

一方で、別の高感度磁場計測方法として知られる、インダクション磁気センサを NQR 計測に適用することを試みた。

インダクション磁気センサは、広帯域に感度を持つため、入力インピーダンスが 0 となる直列共振回路を狭帯域フィルタとして併用いることが有効であることを確認した。p-ニトロトルエンを模擬した同じ周波数信号源を用いた実験体系とその結果を、図 3 に示す。

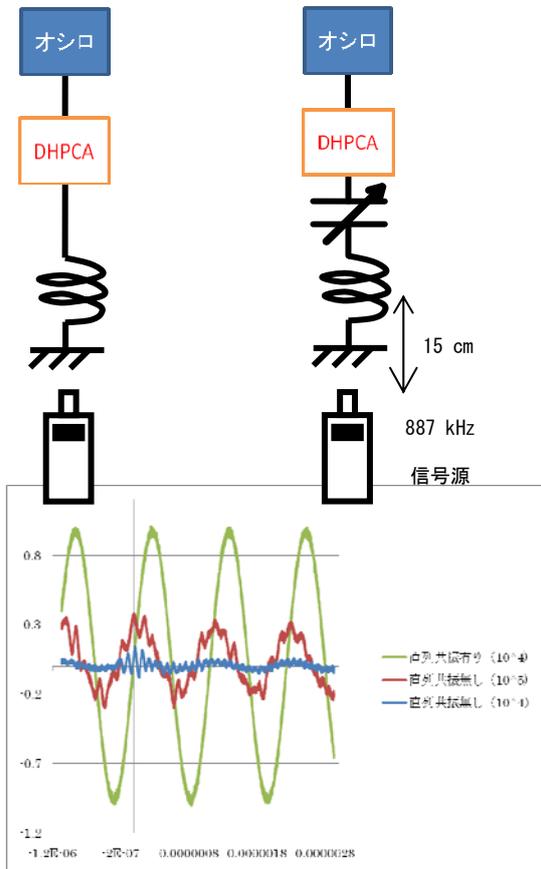


図 3 直列共振の有無における感度比較

受信系にコイルを用いない場合、試料への高周波磁場送信は従来通りコイルで行うため、送信中に受信系に大強度の磁場が掛からないよう受信系を切断する必要がある。そのため、FET を用いた高速切り替え方法を検討した。

NQR 信号自身を増強する方法としては、対象試料中に共存するプロトン等の NMR 核のゼーマン分裂からの緩和を用いる方法を検討した。3000 Gauss にて DMN 試料を磁化した後の NQR 信号強度の時間変化を図 4 に示す。

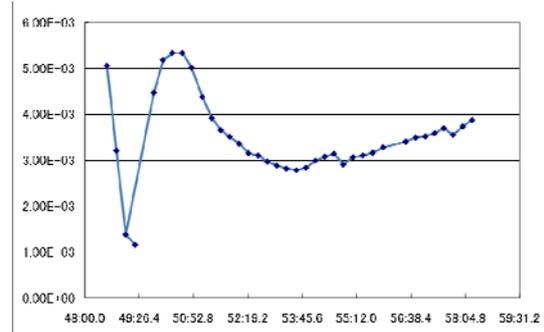


図 4 DMN 磁化後の NQR 信号強度の時間変化

磁化による NQR 信号強度増加と単調減少を予測したが、交差緩和の起こる時間に依存して NQR 信号強度が変化することが確認された。この結果から、特定物質検知の際にも、磁化による NQR 信号強度特性を利用することで、効率的な検知が可能であることが示された。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)  
 Temperature dependence of nonequivalent potential wells for pyridinium ion reorientation in pyridinium tetrachloroiodate(III), PyHICl<sub>4</sub>, studied by <sup>1</sup>H-<sup>14</sup>N nuclear quadrupole double resonance  
 J. Seliger, V. Zagar, T. Asaji, A. Konnai, *Magn. Reson. Chem.* Vol. 46 Issue 8, p756-760 (2008)

[学会発表] (計 1 件)  
 核四重極二重共鳴による PyHICl<sub>4</sub> 結晶中の陽イオン再配向ポテンシャルの温度依存性の評価  
 近内亜紀子、浅地哲夫、J. Seliger、V. Zagar  
 第 2 回分子科学討論会

[図書] (計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況（計0件）

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

出願年月日：

国内外の別：

○取得状況（計0件）

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

取得年月日：

国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

近内亜紀子 (KONNAI AKIKO)

**海上技術安全研究所 海洋リスク評価系  
研究員**

研究者番号：80425751

### (2) 研究分担者

無し

### (3) 連携研究者

浅地哲夫 (ASAJI TETSUO)

日本大学大学院・総合基礎科学研究科・教授

研究者番号：40133128