# 科学研究費補助金研究成果報告書

平成 21 年 6月 24 日現在

研究種目:若手研究(B) 研究期間:2007 ~ 2008 課題番号:19760614 研究課題名(和文) 10.8MeVガンマ線対生成反応を利用した新しい測定原理に基づく 地雷探査機の開発 研究課題名(英文) A Feasibility Study of a New Landmine Detector Based on Pair Creation Generated by 10.8MeV Gamma-Ray 研究代表者 天造 秀樹(TENZOU HIDEKI) 詫間電波工業高等専門学校 電子工学科・講師 研究者番号:90353333

#### 研究成果の概要:

本研究では検出器中の対生成反応に着目し、従来のように各イベントに対してエネルギース ペクトルを測定することに加え、対生成による生じた e-,e+の飛跡も捕らえることで入射 γ 線エ ネルギーと飛来方向を推定し、より正確に爆薬の有無や位置を探索する検出器を開発すること にある。従来の方式とは異なり、様々な元素がある屋外でも真のイベントのみを測定できるの で、土壌中の爆薬を速やかに正確に発見することが期待できる。

### 交付額

(金額単位:円)

	直接経費	間接経費	合 計
2007年度	2, 100, 000	0	2, 100, 000
2008年度	800, 000	240, 000	1, 040, 000
年度			
年度			
年度			
総計	2, 900, 000	240, 000	3, 140, 000

研究分野:工学

科研費の分科・細目:総合工学・原子力学 キーワード:原子力計測

#### 1. 研究開始当初の背景

従来の地雷の探知には主に金属探知機が用いられているが誤探知が多く、地雷による反応は1000回に1回ともいわれている。また、 地中レーダー方式では、土壌の湿度に大きく 影響され、また対人地雷と似た形の石や異物が埋まっている場合では判別が困難となる 欠点を持つ。近年、可搬型の強力なDD核融 合中性子源が開発されたことで地雷探査方 式が大きく変化しつつある。現在は京都大学 の吉川らの研究により108n/sの2.45MeV中 性子を生成できる。この中性子を熱化させ、 地雷爆薬中の窒素に照射することで、その爆 薬中から N(n,  $\gamma$ )反応により放出される 10.8MeV  $\gamma$ 線を測定することで地中の地雷 探査を行う。自然界に窒素は地雷のような形 以外では土壌中において高い数密度で存在 することは無い。また、自然核種が中性子捕 獲により放出する  $\gamma$ 線のエネルギーも最大 でも 5MeV 程度であることから窒素からの 10.8MeV 捕獲  $\gamma$ 線を正確に測定することが 地雷の位置を探査する上で非常に重要とな る。

しかしながら、従来の方法では 10.8MeV

γ線のエネルギーが非常に高く、検出器中で 全エネルギーピークとなるイベントが少な いこと、それに対して土壌中に含まれる多く の他の元素からのバックグラウンドとなる γ線を生成していることから、測定の際には バックグラウンドの弁別・低減が実用化に向 けて大きな問題となっている。

図1にシステムの概念図を示す。本研究で は検出器中の対生成反応に着目し、従来のよ うに各イベントに対してエネルギースペク トルを測定することに加え、対生成による生 じた e-,e+の飛跡も捕らえることで入射γ線 エネルギーと飛来方向を推定し、より正確に 爆薬の有無や位置を探索する検出器を開発 することにある。



図 1 地雷探査システムの概念図

2. 研究の目的

本研究は対生成反応を利用して爆薬中窒素との N(n,  $\gamma$ )反応により放出される 10.8MeV  $\gamma$ 線の飛来方向を測定することで 従来よりも高精度に地雷を特定するための 地雷探査機を開発することを目的とした研究である。

3. 研究の方法

研究の目標はタイミング調整したシンチ レーターS1,S2を上下に配置して同時計 測を行い、10.8MeV  $\gamma$ 線をこの検出器に入射 させて対生成による電子・陽電子の飛跡を確 認する。

(1) 検出器の動作原理

新しい対生成飛来方向検出器の概念図を図 2に示す。新しいこの方式は対生成により生 じた電子・陽電子の飛跡を測定することで地 雷の位置を測定するものである。入射した 10.8MeV 高エネルギー y線のうち、シンチレ ーターS1で対生成が起こったとする。シン チレーターS2では対生成により生じた電 子・陽電子のエネルギーを測定する。S1と S2からのロジック信号で同時計測し、この出 力信号をトリガーとして2次元ドリフトチ ェンバーDC1~3のスタート信号とする。ドリ フトチェンバーでは荷電粒子の飛跡を 200 μ mの測定誤差内で捕らえる。アノード位置を 工夫することで同時刻に通過した荷電粒子 の個数と位置を判定する。1次元のドリフト チェンバーを90度直交させて配置し、2次 元位置検出器とさせる。偶発イベントや検出 器外に生成粒子がエスケープするイベント はこれらで除去する。これら三層のドリフト チェンバーの位置情報から生成角度θとγ 線入射方向がわかる。生成角度θからも入射 エネルギーを推定することで偶発イベント を大幅に低減できる。





図 2 対生成飛来方向検出器の構造

図 3 計測システム

(2) DAQ システムの開発

NIM モジュール回路において波形処理を行 い、HOSHIN 社の CAMAC クレートコントローラ ーとADCモジュールを使用してアナログ 波形をディジタル化し、パソコンで計測する DAQ プログラムを開発する。

(3) 1次元ドリフトチェンバーの試作 飛跡上に生成する電離電子のドリフトを 確認するための動作確認用のドリフトチェンバーを試作する。同時刻に生成する陽電子 と電子の2つの飛跡を検出するためにアノ ードを対で配置し、各アノードで最も早くド リフトしてきた電離電子のドリフトタイム を計測する。

(4) シンチレーター S1, S2
同時計測用のシンチレーター S1, S2 のエ
ネルギー・キャリブレーションは当研究室が
持つ RI 線源を用いて行う。

4. 研究成果

研究では小型のドリフトチェンバーを開 発し、プリアンプを介してパルスを観測する ことには成功したが、印可電圧上昇に伴うノ イズパルスの影響が大きく、その原因はドリ フトガスの不純物混入にあると考えている。 その一方で、シンチレーターの形状に工夫を 凝らすことで土壌中の他の元素から生じる γ線を弁別する技術も考案した。実験と並行 して、γ線や電子・陽電子の散乱をシミュレ ーションできる EGS4 を用いて検出器の入射 角度依存性を調べる研究を行った。また、図 4 に示すような近似体系に対して中性子輸送 計算コード PHITS を用いて土壌中での中性子 の散乱の影響を調査し、遮へい材や土壌水分 を考慮した熱中性子の分布についての検証 を行った。



## 図 4 地雷探知で想定される中性子源と反 射材を含む体系とその近似体系

(1)EGS4

EGS4 を用いて、Pair Track Spectrometer を構成する飛跡検出部内での電子・陽電子の 散乱についてシミュレーションを行った。位 置検出器を3層以上組み込むことを考え物理 的なスペースの確保とドリフトガスの種類 やガス層の厚さによる電子・陽電子の散乱を 調査した。その結果、材質による散乱を小さ くするために、ヘリウム、アルゴンの中で散 乱が小さかったヘリウムをドリフトガスと した。ガスの厚さによる散乱では、物理的ス ペースを確保しつつ、電子・陽電子の散乱の 70%程度が位置検出器の測定誤差内である のでガス層の厚さを 8cm とすることにした。 また入射エネルギーが 1MeV の場合、ガス層 の厚さ8cmを通過するときに散乱によって大きく方向を変化させてしまうことから本検出器での飛来方向の測定には難しいと考えられる。そのため、ガス層を8cmにした場合の飛跡検出が可能な電子・陽電子の生成エネルギーは3~7MeVであると思われる。

S2 のエネルギースペクトルと同時に通過 した荷電粒子を考慮したがスペクトルの半 値幅は 3.9MeV もあり、実用性には問題があ った。そこで、S1 と S2 の付与エネルギーを 合計することで改善されるではないかと推 測してEGS 4により検証を行った。S1 と S2 の全付与エネルギースペクトルを図 5 に 示す。ドリフトチャンバーからの同時刻に通 した荷電粒子の個数を考慮しない場合が (A)、同時刻にドリフトチェンバー面を 400  $\mu$ m以上離れて荷電粒子が 2 個通過した場合 が (B) である。S1 と S2 のエネルギーを足し 合わせることにより S1 内での散乱の影響を 低減することができた。



図 5 S1でのエネルギー付与を考慮した 検出器のエネルギースペクトル

(2) 試作したドリフトチェンバー

ドリフトチャンバー部の外装にはシール ド対策、ガスケットがあり、アルミ材質とい う点から TAKACHI の BDN16-26-9 を使用した。 これにガスバルブ(10x8-3/8)、BNC、Pre-AMP 電源端子をガスシールド加工して取り付け た。その他の端子も取り付け部からガスが漏 れないように、エポキシ系接着剤のアラルダ イトを使用して端子の裏側を固めた。

(3)PHITS を用いた土壌内熱中性子束分布の シミュレーション

PHITS を用いて土壌中の熱中性子分布を評価した。1keV以下の中性子を熱中性子とみなし、地雷が埋設されている 20cm 以下の熱中性子を有効中性子として解析した。反射材63%厚さを4.3cmと評価した。また、土壌中の水分量1%につき約0.4%効率が増加し、50%の水分量で20.3%熱中性子が向上することが

わかった。等方中性子源の上部に反射材を設置し、反射材の厚みを変化させたときの土壌 中の熱中性子の分布の変化を評価した。全方 向に放出される中性子を考慮するため、中性 子源の直下よりxy平面状において半径 30cm以内、および深さ20cm以内の中性子の、 入射数に対する割合を有効中性子率とする 反射材の厚さwを0から400cmまで変化させ 計算を行ったときの有効中性子率を

に示す。指数関数でフィッティングしたとき、反射材 63%厚さを 4.3 cm と評価した。

土壌中の水分量を0%から50%の間で推移さ せ、熱中性子の分布を評価した。反射板の影響は考慮せず、入射中性子は原点から2軸方 向へのペンシルビームとした。ただしペンシ ルビーム中性子のみを考慮するため深さ 20cm 以内の熱中性子の入射数に対する割合 を有効中性子率とする。



図 6 試作したドリフトチェンバー検出器



図 7 反射材の厚さに対する効率の関係

5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計1件)
①堀瀬友貴、<u>天造秀樹</u>、宮武巧、Phoswich
型地雷検出器の計測システムの開発、第14
回高専シンポジウム in 高知、2009年1月、
査読無し

〔産業財産権〕○出願状況(計2件)

名称:窒素含有化合物の検知方法および装置

発明者:<u>天造 秀樹</u>、宮武 巧 権利者:独立行政法人国立高等専門学校機構 種類:特許 番号:特願 2007-214103 出願年月日:平成 19 年 8 月 20 日 国内外の別:国内

名称:窒素含有物質検知 発明者:<u>天造 秀樹</u>、宮武 巧、近藤 晃充 権利者:独立行政法人国立高等専門学校機構 種類:特許 番号:特願 2008-81960 出願年月日:平成 20 年 3 月 26 日 国内外の別:国内

○取得状況(計0件)

〔その他〕 ①ホームページ等 http://150.15.80.156/web/tenzou-lab

②<u>天造秀樹</u>、新しいy線飛来方向検出技術による埋設爆薬等の短時間探知、国立高等専門学校における環境技術・研究事例集 No. 42、2008 年 10 月

③技術説明会における発表・展示 <u>天造秀樹</u>、対生成反応を利用した爆薬の埋設 位置探知技術、科学技術振興機構(JST)新技 術説明会、2008 年7月25日

④展示会出展

<u>天造秀樹</u>、A Feasibility Study of a New Landmine Detector Based on Pair Creation、 Korea Electronics Show 2007 、2007 年 10 月9日

6. 研究組織

(1)研究代表者
天造 秀樹 (TENZOU HIDEKI)
詫間電波工業高等専門学校 電子工学科・
講師
研究者番号:90353333