

審査の結果の要旨

氏名 李基羽

本論文は空港での手荷物検査装置として開発された X 線源、950 keV X-band 加速器とディテクターである 2 段シンチレータアレイの内容がメインになっている。研究の目標は既存の手荷物検査装置より幅広い範囲で物質を識別できる物を作るのであって具体的には高い原子番号物質、つまり核物質を識別できる装置を目指している。それが実現できるためには高エネルギーの X 線が必要で従来の X 線管では届かない領域である。電子加速器は電子の衝突点から最大、電子の運動エネルギーまでの制動複写 X 線が出るので高エネルギー X 線源として適切である。今回使われた 950 keV X-band 加速器は 250 kW の低パワーで小さいので電力を供給する電源装置も小型になる。全体のシステムは他の X-band 加速器に比べ非常に小さい、 $1 \times 1 \times 1 \text{ m}^3$ を目指している。950 keV 加速器は加速器中でもそんなに高くないエネルギーの X 線を出している。しかし 950 keV 以下の X 線発生装置は管理区域を定める必要がなくさらに大きい遮蔽体で囲まなくてもよいという長所を持っている。950 keV 加速器はこういう長所があるため、このエネルギーでなるべく検査物質範囲を広げるのが本研究に与えられた課題でもある。X 線管の場合、最近の検査装置は 100~200 keV が主流になっている。このエネルギーでは有機物質、金属、液体を大まかに識別することしかできなく高い原子番号の物質である核物質の識別は難しい。950 keV X 線は X 線管より高い X 線を発生していて金属を細かく識別することができる。1 MeV 以上の高エネルギー級の加速器はコンテナのような大型検査装置としては用いられてきたが 1 MeV 位の加速器を手荷物検査装置の X 線源は今までなかった発想である。この研究を機に小型加速器の産業への拡大を期待がもたらせている。実験ではアルミ、鉄、鉛の識別を図った。ここで鉛は核物質を模擬した物で原子番号が 82 である。この研究では 2 色 X 線による物質識別法を採用している。通常はお互い異なる X 線分布を持つ二つの X 線をターゲットサンプルに 2 回照射することが多いが本研究では X 線は 1 回だけ照射してもディテクター側を 2 段シンチレータにして各シンチレータから異なる透過率を持つ二つの X 線画像を得る方法を選んだ。今回開発された 2 段シンチレータは高エネルギー X 線に適した特殊なデザインをしていて、その具体的な寸法は Monte carlo シミュレーションの結果に基づいて求めた。シンチレータの材料を選べる段階ではフォトダイオードが使用できる波長のシンチレ

ータ光を出す CsI, CdWO₄ を採用した。CsI 結晶は発光効率が高いがエネルギー吸収率や検出率が低いため、低エネルギー X 線用として 2 段シンチレータの前方に置いた。これは前の CsI で多くの X 線が取れてしまうことを防ぐためである。でも発光効率が高いので少ない X 線量でもシンチレータ光の量は増やせることができる。後ろには CdWO₄ を置いて高エネルギー X 線用として用いた。CdWO₄ は密度が高くて X 線吸収率や検出率が CsI より勝る。CsI 部から抜け出して来た高エネルギー X 線をなるべくすべて吸収するため後方には CdWO₄ が適切である。2 段シンチレータには他にも工夫が加えていて高エネルギー X 線検出器として特殊な構想を持っている。これは共同研究した IHI 検査計測社が特許として申し込んでいる。

実験では厚さ 5, 10, 15, 20, 25 mm の Polyethylene や Polyvinyl chloride 中性子隠蔽材の中に厚さ 10 mm の鉄と鉛サンプルを入れて X 線撮影を行い、得られた CsI と CdWO₄ 画像を用いて画像再構成をしてサンプルの原子番号情報が分かる画像を作った。その結果によると polyethylene 隠蔽材の場合、原子番号の実験値と理論値の違いが鉄は 3 ~ 10、鉛は 2 ~ 5 の差を見せた。Polyvinyl chloride 隠蔽材の場合、鉄と鉛それぞれ 9 ~ 12 と 1 ~ 3 の差を見せた。画像データにノイズ画像が現れたり、解像度が 2 mm であったりする問題があったが元々の目的である中性子隠蔽材の中の鉄と鉛の識別はできた。これで中性子で検出できない場合、つまり核物質が中性子隠蔽材の中にある場合でも 950 keV の X 線で識別することができると考えられる。世界各国で加速器を用いた 2 色 X 線物質識別研究が行っているが π と $\pi/2$ mode の加速管を持つ手荷物用 950 keV X-band 加速器は珍しい。それに特殊な構造を持つ 2 段シンチレータディテクターは手荷物検査システムの新たな標準になることが期待される。最近では 2 段シンチレータの改善を求めてチャンネルピッチサイズを 1 mm まで縮小、1 チャンネルあたり 1 フォトダイオード構造導入、コリメータ幅を 2 mm まで狭くするなどアップグレードされたシステムが作製され、評価、実証できた。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。