

20 超低被ばくデジタルX線撮像装置の製品化研究

平山明宏, 福地雄介, 熱田稔雄

1 目的

兵庫県立工業技術センター(以下、工技センター)が保有している超低被ばくデジタルX線撮像装置(LDX: Low Dows X-ray)は、X線検出部にロシアBudker物理学研究所が開発したマルチイオンチェンバー方式のX線検出器(以下、MIC)を用いており、超低被ばく($4\mu\text{Sv}/\text{回}$)で立位の人体の透過画像を得ることができるが、我が国においては実用化されていない。

X線撮像装置に係る要望としては、工業用途以外にも、交通事故・災害時の救命医療などの急を要する疾患のX線全身撮像診断、いわゆる救急医療診断用X線撮像装置の開発が挙げられる。特に、災害現地での使用も考慮して、小型・軽量化、運転の簡便化、撮像時間の短縮化、被ばく量の低減、更に負傷部の詳細な情報を得ることが要求される。また、これらの要求は、工業用としての使用においても合致する。

そこで本研究では、LDXを医療用、工業用X線撮像装置として製品化を図るべく、このLDXの優れた性能に、CT化(二次元断層画像化、三次元立体画像化)とX線検出器の高性能化(高感度化、高精細化)といった新たな技術改良を加えることにより、超低被ばくX線CT撮像装置の基本設計の確立を目指していく。しかしMICを含め、ガス検出器をX線CTに利用した例はまだ無いので、CT用としての最適化設計が必要となる。本報告では、LDX方式によるX線撮像装置のCT化、X線検出器の高性能化に係る技術開発を中心に報告する。

2 保有するLDXについて

工技センターが保有するLDXは、図1に示すようにX線発生装置、駆動装置、検出器、制御及び画像処理PCから構成されている。X線発生装置から発生したX線はスリットで一次元のファンビームに成形され、人体に照射される。人体を透過したX線は検出器にて電気信号に変換されてPCで画像化される。X線源、スリット、検出器が同期して上下駆動して人体をスキャン撮影することで2次元画像を得る。なお、X線検出器は図2に示すように、密封容器にXeガスを封入し、容器の上下に電極を設けたものである。容器内に入射されたX線は容器内のXeガスに衝突し電子とイオンに分離する。容器内の電極に電圧を印加すると、分離した電子とイオンは電極に引き寄せられて電極間に電流が流れる。この電極毎の電流値を計算機で読み取りX線量を算定する。

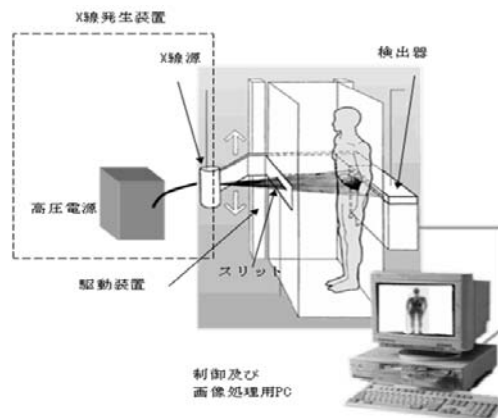


図1 保有する超低被ばくデジタルX線撮像装置(LDX)の構成図

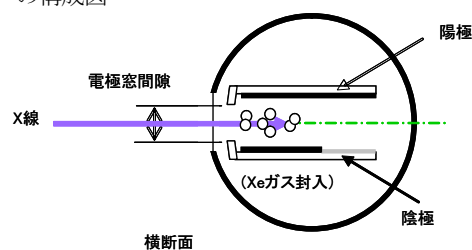


図2 X線検出器の構成図

3 LDXのCT化

MICをX線検出器として有するLDXの場合、被写体を回転させながら撮像する手法により、低被ばくのX線CT撮像の実現が期待できる。そこで、本研究では、被写体を回転させる回転台テーブルの開発を行いMICと組み合わせることで、低被ばくの断層撮影を可能とするシステムを実現した。図3に開発したLDX用の回転台テーブルを示す。さらに、LDXシステムと回転台テーブルを用いて撮像した被写体の透過像からCT画像を得るには、CT像へ再構成する専用のソフトウェアが必要となるため別途開発した。本システムを用いて実際に上半身ファントムを撮像した二次元断層画像ならびに三次元画像を図4に示す。



図3 LDX用の回転台テーブル

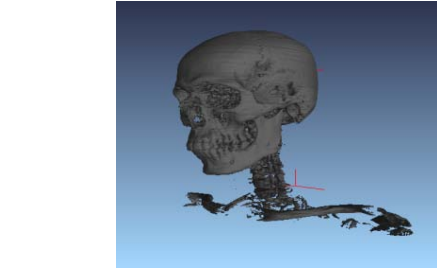
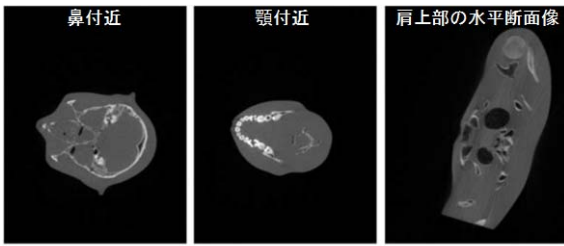


図4 LDX-CTで撮像した上半身ファントムの2次元断層画像と三次元画像

4 X線検出器の高性能化

検出器のさらなる高感度化を目指すため、現行のMICに代わって、ガス増幅作用を持つガス放射線検出器の使用を検討した。ガス放射線検出器は、MICと同様に入射粒子線が検出器内のガスを電離する作用を使うが、陽極付近に非常に高い電場をかけており、電離電子が陽極付近に達すると、ドリフト電子自身が強電場で加速され、周囲のガスを電離する。この作用により、電極からは元の電離電子と比べて大きな電荷を検出することが可能となり、条件によっては元の電子の数百倍から数十万倍の電荷の検出が可能である。この検出器の種類はいくつかあるが、本研究では、本事業の参画メンバーである神戸大学の越智氏が2000年に谷森達氏(当時はいずれも東京工業大に所属)と発明された微細加工技術を用いたマイクロピクセルチェンバー(μ -PIC)¹⁾の使用を検討し、開発を行うこととした。

この μ -PICの構造を、図5に示す。厚さ 100μ 程度の両面基板を用い、表面(緑色の部分)に陰極が配置される。この陰極の穴に囲まれる形で陽極が配置され、裏面に繋がっている。さらに、 μ -PIC基板の上方にはドリフト電極面が配置してあり、これと基板の間はAr等希ガスをベースにしたガスで満たされている。

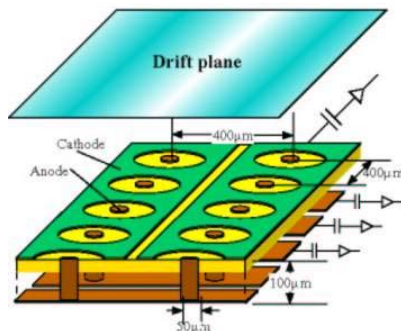


図5 μ -PICの構造

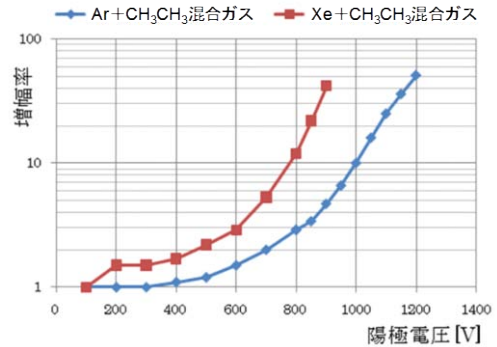


図6 μ PICの陽極印加電圧に対するガス増幅率

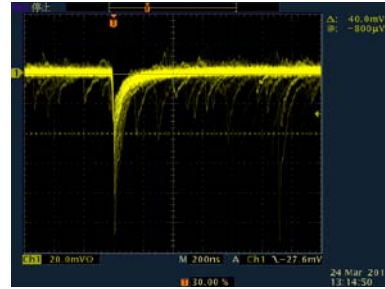


図7 X線入射に対応するパルス信号

LDXの検出器として μ -PICを用いる上では、高圧のXeガス中で十分なガス増幅作用が行われ、入射X線に対応するパルス信号を読み出せるかどうかを検証する必要がある。図6にX線照射時にドリフト電極へ流れた電流及び陽極へ流れた電流を観測することにより、ガス増幅率を推定した結果を示す。なお、ガスの種類としては、Xeガスとこれまでに実績のあるArガスを用いた。ガス増幅の行われていない、陽極電圧の十分に低い状況($V_a=100V$)の状態を増幅率1としている。Arガスでは、陽極電圧900V、Xeガスでは1200Vまでが、安定に動作できる限界であり、これ以上の電圧では、陽極と陰極の間で放電が生じ、動作不安定になった。この結果、これらの最高増幅率は、40~50程度であった。

図7は、入射X線に対応するパルス信号を電荷有感型アンプを介してオシロスコープにて観測した結果である。この図はXeガス使用時、陽極電圧を1200Vとした時のものである。これに見られるように、5気圧のXeガスを用い、イオンチェンバーではなく、ガス増幅を用いることで、個々のX線粒子を信号パルスとして観測することに成功した。

5 結論

工技センターで保有するMICによるLDXをベースとして、X線CT撮像を可能にする技術開発に成功した。さらに、これまでのMICに代わる検出器として、微細電極構造を持ったガス増幅型検出器、 μ -PICを用いたものを提案し、試作と試験を行った。この結果、X線吸収特性に優れた高圧のキセノン環境下での動作に成功し、X線検出器の高性能化の可能性が示された。

参考文献

- 1) 小石悟史,越智敦彦,永吉勉,谷森達,永江知文,中村美玲,日本物理学会講演概要集,55,13,(2000).

(文責 平山明宏)(校閲 福地雄介)