

多関節駆動系を有するデジタルX線装置の ノイズ低減に関する研究

井 尻 和 夫*

〔要 旨〕

医療現場では、各種のX線投影が一般的に使用されているが、X線照射による患者への負担が大きく、人体への影響を軽減した装置の開発が求められている。

A社において「CCDを用いたX線断層投影装置」（以下 X線装置と云う）の原型試作が行われ、「臨床的画像評価：解剖学的指標の視覚評価」が実施された結果、良好な評価が得られたので、実用化に向けた試作開発が進められることとなった。

A社が製品化を目指した実用化試作の過程で、当センターは制御系と昇圧用インバータの小型化に伴うシステム全体のノイズ問題の再評価を行い規格に適合させるためのノイズ低減方法を確立することを支援し、A社において目標としたX線装置の実用化試作が完了した。

緒 言

医療現場では、各種のX線投影が一般的に使用されているが、X線照射による患者への負担が大きく、人体への影響を与えないで体内の境界面や異常箇所を検査・診断するための微弱X線の使用による被爆線量の低減や、赤外線を利用した装置の開発が求められている。

A社が原型試作した画像投影にX線装置の「臨床的画像評価：解剖学的指標の視覚評価」では、患者被爆線量の低減と、画像処理により安定した画質の生成、観察目的にあった画質の画像を生成など、従来のフィルム画像投影装置に比して多くの利点があることが確認されたので製品化を前提とした実用化試作を進めることとなった。

本研究では、実用化試作の過程で、従来機の制御系とX線管に供給する高圧電源の昇圧用インバータの小型化に伴うシステム全体のノイズ問題の再評価を行いノイズ低減の方法を検討し対策方法を

確立した。A社において目標としたX線装置の実用化試作が完了したのでその成果を報告する。

2. 実験方法

2. 1 試作装置のノイズ発生原因

従来のX線断層投影装置は、上下駆動、回転駆動、回転楕円補完、X線管球ユニットの微小回転、フィルムカセットの水平移動の5つの可動部からなる典型的な多間接ロボットの構造となっており、各駆動系とパワー制御系が隣接して配置されているために、多くのノイズ問題を内包している。主なノイズ問題から見た特徴的な構造として次のようなことが考えられる。

- ① 各駆動系の架台のグラウンドインピーダンスが高い。
- ② 各パワー制御回路に供給する電源は、並列接続され高周波インピーダンスが高い。
- ③ 信号・制御線も主回路基板から各制御基板まで放射状に配線され高周波インピーダンスが高い。

*：研究開発課 専門員

④ X線管に供給する電力が大きく昇圧型インバータのスイッチングノイズが高い。

⑤ 商用電源の引き込み線と操作ユニットの接続線が長い。

これらの構造は、各駆動系の架台と接続ケーブルが差動モードと共通モードの電磁波ノイズの放射アンテナとして作用し、多関節ロボット装置に共通する特有のノイズ問題となっている。

実用化試作を進めたX線装置では、X線管球ユニットの微小回転部とフィルムカセットの水平移動部が無く、従来のフィルム法の装置に比して1/2程度にX線量と供給電力が抑制され、架台の小型・軽量化が図られた。

これと連動して、パワー制御系と昇圧型インバータを中心とした回路網の小型・小電力化を実現するための各ユニットの最適化とノイズ対策の検討を行った。

2. 2 ノイズ対策方法

ノイズ対策は、多関節ロボット装置特有の共通したノイズ問題の解決とパワー制御回路網のノイズ対策を次のような視点で整理し対策方法を決定した。

ノイズ対策の視点

① 多関節の駆動系とその架台全体の不完全接地は、それ自身が放射源を形成する。

対策：各駆動系の架台間を接続しているGND線の高周波インピーダンスを下げると共に、GND接続点を分散しGND電流の集中を抑制する。

② コモンモードのノイズ対策は高コストの対策となる。

対策：パワー制御系と昇圧型インバータの回路系は、ノイズ発生箇所近傍でのノーマルモードのノイズ対策を優先して実施し、

コモンモードノイズ対策の負担を軽減する。

③ 配線網のクロストークと差動モード放射は、配線網の配置変更で大きな抑制効果が得られる。

対策：電源、制御線の伝送経路と、フィルターの入出力間は、極力分離すると共に、伝送線路の差動モード放射を形成するループを作らない。

④ ケーブルのオープン端やハイインピーダンス線路は、定在波発生の元凶となる。

対策：操作ユニットや有接点スイッチを持つ配線網は、共通モード放射を形成するので、シールド、GND補強を行うと共に、ケーブル長に依存した定在波の発生を抑制する。

試作開発された装置のノイズ対策を進める上で、装置の主回路基板とパネルスイッチを実装した制御・表示ユニット以外の多関節駆動系とその制御ユニット、パワーインバータユニットは、プラスチックケースでカバーされており、この構造を前提としたノイズ発生源に極力近い回路部でのノイズ対策方法を検討した。

2. 3 ノイズ問題解決のための評価試験

ノイズ対策のための評価試験は、CISPR-11の無線妨害特性の測定規格に基づく試験装置を用いて、医用X線投影装置の個別規格の限度値に対して-10dBのマージンを確保することを目標に、放射電磁界測定と雑音端子電圧測定を繰り返し行い、ノイズの発生原因とその伝送路を特定してノイズの特徴を評価し、必要な対策を実施した。

また、IEC-1000シリーズのイミュニティ試験については、次の各試験を実施し、必要な改良を行った。

静電気放電試験	IEC-1000-4-2規格
高速トランジェントバースト試験	IEC-1000-4-3規格
放射電磁界イミュニティ試験	IEC-1000-4-4規格
雷サージ試験	IEC-1000-4-5規格
伝導電磁界イミュニティ試験	IEC-1000-4-6規格

ノイズ対策評価試験時の放射電磁界測定と雷サージ試験時の試験配置を写真1、写真2に示す。

3. 実験結果及び考察

3. 1 ノイズ対策評価

実用化試作されたX線装置が、X線管球に電圧・電流：80KV、8mAの電力を供給してX線を照射している時の放射電磁界測定の結果を図1a、図1bに示す。何れも、ピーク検波モードによる測定結果である。

図1の結果から、制御用CPUのクロックに起因したデジタル回路系の放射ノイズレベルを、限度値の-10dB以上に抑制できたことを示している。

また、駆動系のパルスモータドライバーとパワーインバータのスイッチングノイズ回路の高調波ノイズについては、ノイズ発生箇所近傍でのノーマルモードのノイズ対策を優先して実施し、共通モードノイズ対策の負担を軽減する方法で対策を実施したことによって、VERTICALの45MHz以上の帯域で約-10dB以上に抑制できた。30~45MHzの帯域では5~7dBのマージンに得られた、この値については、本来QP検波モードによる測定評価をする必要があるが、X線照射時間が限られており測定できなかった。

電源線に漏洩してくるスイッチング電源とパワーインバータ回路で発生する0.15~30MHz域の伝



写真1 放射ノイズ対策のための評価試験の試験配置

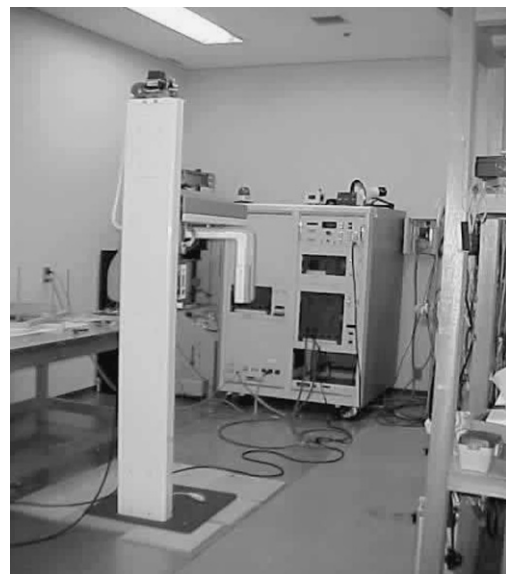


写真2 雷サージ試験の試験配置

導性ノイズについては、500KHz以上の帯域では、-20dB以上の良好な結果を得た。150~500KHz域では、-8dB以上の結果を得た。

イミュニティ対策については、電源と画像データや通信回路のフィルターとGNDラインの補強を行うことによって、IEC-1000-2~6の全ての試験において良好な動作を確認できた。

3. 2 改良試作した装置の効果

製品化を前提として試作されたX線装置は、X線画像のデジタル化特有の処理機能によって、以下に示す効果を医療従事者に提供が可能となった。

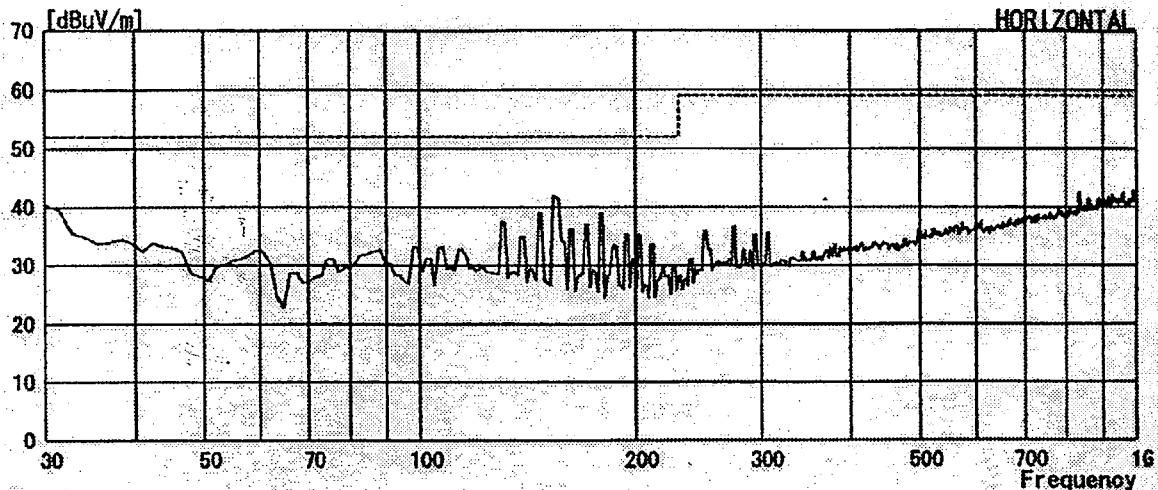


図1 a 放射電磁界測定結果 (HORIZONTAL、b : VERTICAL)

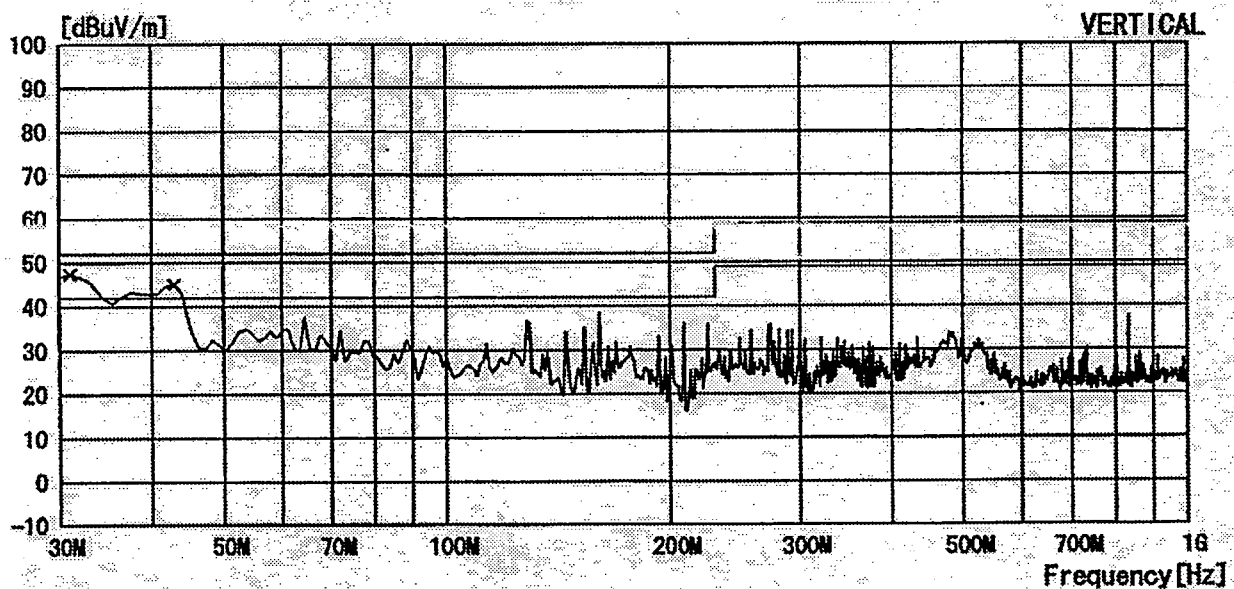


図1 b 放射電磁界測定結果 (VERTICAL)

- | | |
|---|---|
| <p>① 明るさ、コントラスト処理機能は、投影画像の部分的な濃度差を適正に補正し、より適切な画像情報を提供できる。</p> <p>② X線像の縮小、拡大機能は、観察部位を特定して表示できる。</p> <p>③ X線画像の白、黒反転表示ができる。この機能は、X線画像本来の表示画像では、部位形状の診断時に画像を見やすくできる。</p> <p>④ X線画質の劣化無しに長期間に渡り、画像保管ができる。</p> <p>⑤ 投影終了から画像表示までの時間を約3分30</p> | <p>秒(1枚)間短縮できる。</p> <p>また、試作したX線装置は、以下に示す効果を患者へ提供することが可能となった。</p> <p>① 投影照射線量がフィルム法と比較して約1/2に抑制でき、患者への負担を軽減できる。</p> <p>② CRTモニタに表示されたX線画像の拡大、コントラストの調整操作により、インフォームドコンセプト時の理解を促すことできる。</p> <p>医療機関に対しては、以下の効果を提供することが可能となった。</p> <p>① フィルム診断時に必要であったシャウカステ</p> |
|---|---|

ンが不要となった。

- ② 現像機が不必要になり、現像液、定着液の廃液処理と経費が不要となった。
- ③ フィルムの保管が不要になり、保管スペースと経費が削減できる。

4. 結 言

試作されたX線装置は、有効なノイズ対策を実現することによって放射電磁界測定と雑音端子電圧測定の結果が限度値に対して十分なマージンを確保することができた。

また、イミュニティ対策においても、規格で定められた全てのイミュニティ試験に対して良好な動作を確認できた。これらの結果は、X線装置の

実用化試作を完了したことを示しており、製品化が可能となった。

試作したX線装置は、X線画像のデジタル化特有の処理機能によって、患者へのX線照射量を1/2に軽減すると共に、画像処理により安定した画質の生成、観察目的にあった画質の画像を生成など、従来のフィルム画像投影装置に比して多くの利点を医療従事者、患者、医療機関に対して提供することが可能にすることができた。

今後は、触診方法による断層軌道を決定する操作や、供試体の初期劣化などを診断するための赤外線応用の可能性について検討して行く予定である。