

# FPD 搭載デジタルイメージングシステム VersiFlexの開発

Development of FPD-combined Digital Imaging System "VersiFlex"

清水 正巳 Masami Shimizu  
久芳 明 Akira Kuba  
鹿島 信義 Nobuyosi Kashima

北 寿一 Toshikazu Kita  
石黒 隆 Takashi Ishiguro

株式会社日立メディコ XRシステム本部

動画像に対応できるフラットパネルディテクタ(以下FPD)の開発に伴い、FPDを搭載してそのメリットを生かすFPDイメージングシステムを開発した。大視野FPDのメリットを生かし多目的な用途に対応するため、システムのプラットフォームをCアームテーブルとし、画像処理装置にはフラットパネル用インターフェースボードおよび周辺ソフトを開発することにより、従来装置を上回る汎用性と高画質化を図った。システム的にもフォトタイムレス自動露出制御方式や波尾遮断パルス透視、被曝低減フィルタ内蔵式FPD専用X線絞りなどの新機能を開発して、世界で初めて大視野FPDを搭載したCアームテーブルシステム「VersiFlex<sup>1)</sup>」を完成した。

With the advance of development of the Flat Panel Detector(hereafter called "FPD") compatible with movie-imaging, we developed an FPD Imaging System which is equipped with and enhances the advantages of FPD. As the platform of the system, a C-arm R/F table was selected to utilize best the advantages of the large field-of-view FPD and also to cope with its multi-purpose use. Coverage of use wider than that of conventional systems as well as high image quality were realized by developing interface board and its peripheral software in the movie-image processing unit for accepting FPD. We developed such new functions as photo-timerless automatic exposure control method, wavetail cut-off pulsed fluoroscopy and FPD-exclusive X-ray collimator incorporating patient-exposure reduction filter, and completed the world's first C-arm table system "VersiFlex<sup>1)</sup>" equipped with a large field-of-view FPD.

Key Words: R/F, IVR, FPD, Fluoroscopy, C-arm table

## 1. はじめに

フラットパネルディテクタ(以下FPD)の性能が向上し、X線透視すなわち小線量の動画像への適用においても従来のイメージンテンシファイア(以下I.I.)とテレビカメラの組合せによるX線映像装置に遜色なく臨床適用が可能となり、われわれはFPDの持つ特長を最大限に生かすことのできるX線透視撮影システムを開発を行った。

本システムの仕様を決定するにあたり配慮したポイントは次の2点である。

- (1) 視野40cm×30cmの大型FPDを搭載し、その大視野という特長から消化管、腹部IVRを中心に整形領域から血管造影に至るまで、広範囲な臨床に適用できる多目的システムを構築する。
- (2) 大視野にもかかわらず薄型でコンパクトなFPDの特長を生かし操作性の向上や術者のワーキングスペースの拡大を図る。

われわれは開発するシステムに大型FPDのメリットを生かすことができ、かつ臨床適用範囲の広いCアームテーブルシステムを選択した。

Cアームテーブルシステムのベースとしたのは2001年10月に開発したSF-VA2000(Prius-C<sup>2)</sup> Ergo)である。SF-VA2000は機能向上のため32ビットCPUをCアーム本体制御に採用し、回路の小型化、アダプターボックスの廃止および干渉制御、サーボ軸制御の精度向上を図るとともに、非接触センサ(セーフティアシスト)を製品化し安全性・操作性の向上を図ったものである。今般、FPDシステム化を行うに際しての主な開発項目は、テレスコピック方式FPD保持機構と天板上下動・支柱上下動のストローク延長、FPD用非接触センサ、FPDの空冷機構、FPD用大視野補償フィルタ付きX線可動絞りである。

また、FPDへのシステム側の対応にはDR画像処理装置(Clavis)におけるFPD対応画像処理機能と画像処理ソフトを開発した。これらの画像処理機能に関してガンセンター中央病院において2001年10月より主に消化管造影検査における臨床試用を行い<sup>1)2)</sup>、また腹部および下肢の血管造影検査について大阪市立大学附属病院で2002年1月より臨床試用を行った<sup>3)</sup>。両施設から得た評価を元に改良を加え、FPD対応DR

装置DR-2000Fとして完成させた。X線制御装置においても、FPDでのX線条件の最適化を図るため独自の自動X線条件設定機構を開発し、さらに波尾切断パルス透視を搭載して被曝低減も実現した。

## 2. VersiFlexの概要

次のコンセプトを重視し開発した。

- (1) 世界初となる 低線量での透視、撮影が可能なFPD搭載フルデジタルシステム
- (2) 大視野FPDの広い視野による撮影画像の視認性の向上と、撮影回数削減による低被曝化
- (3) SID(Source Imagereceptor Distance)ストローク拡大による広い術者スペースと、天板高さ49cmの被検者にやさしいシステム
- (4) フォトタイマーレス最適撮影条件設定、波尾切断パルス透視およびダイナミックレンジ圧縮等による透視・撮影画質の高水準化と被曝低減

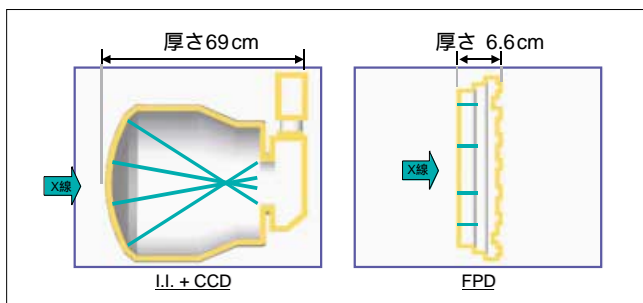
図1にVersiFlex<sup>1</sup>の外観を示す。



図1：VersiFlexの外観

## 3. FPDの特長

FPDは従来のI.I.に比較してX線を直接電気信号に変換する構造上の差により、図2のような特長を有する。すなわち、



	I.I. + CCD (IV-12HTH)	FPD
視野	円形、歪みあり	矩形、歪みなし
磁気の影響	有	無
寿命	真空管のため劣化しやすい	半永久的
質量	54kg	29kg
厚さ	69cm	6.6cm

図2：FPDの特長

視野においては従来のI.I.が円形であり、入力面が球面で真空管の構造から画像に歪を生じるのに対し、FPDは視野が矩形で歪がない。またFPDは周囲の磁気の影響を受けず、寿命も半永久的である。さらに質量・厚さ寸法においてもI.I.+TVカメラに対して大きなメリットを持つ。

## 4. 主要開発項目

### 4.1 FPD搭載機構とSID拡大

I.I.+TVカメラを搭載するCアームテーブルと比較して、FPDはその高さ(厚さ)が1/10以下なので、同じCアーム半径のままでSIDを拡大できるメリットを有する。この特徴は特に映像装置をテーブルの下側にポジショニングするAP位の場合天板を低く設定できるので、術者がカテーテル操作などを行うときの使い勝手に大きく貢献する。ところが映像系の搭載機構を従来のままとすると、図3のように搭載機構部の高さ(大きさ)が障害となりFPDの薄型のメリットを生かしきれない。そこで搭載機構部にテレスコピック方式を採用し、伸縮する構造としたことにより従来構造にあった搭載機構部の突出部を無くし、最大SID1200mm(従来は1100mm)でかつAP位での最低天板高690mmを実現した(図4)。

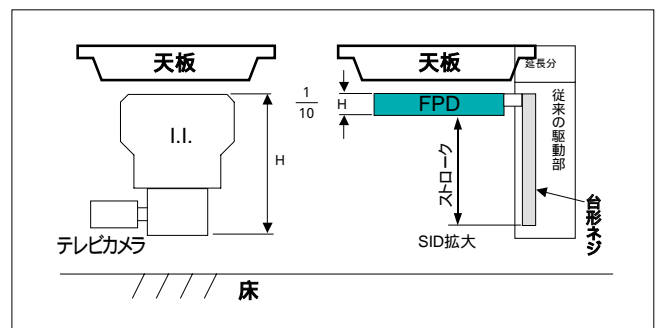


図3：I.I.とFPDによる寸法比較

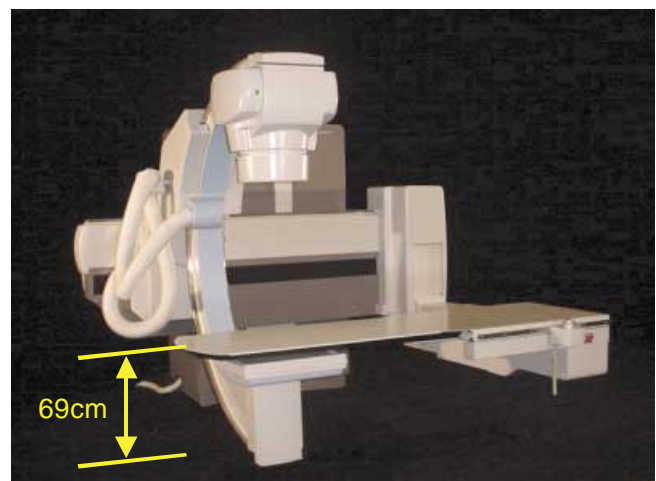


図4：AP位における天板高

### 4.2 最低天板高49cmの実現

被検者にやさしいシステムを狙うコンセプトから天板の高さを低くし、車椅子やストレッチャからの乗り降り容易にするため、支柱と天板の上下動作のストロークを延長し、図5のように、被検者乗降時の天板高49cmを実現した。

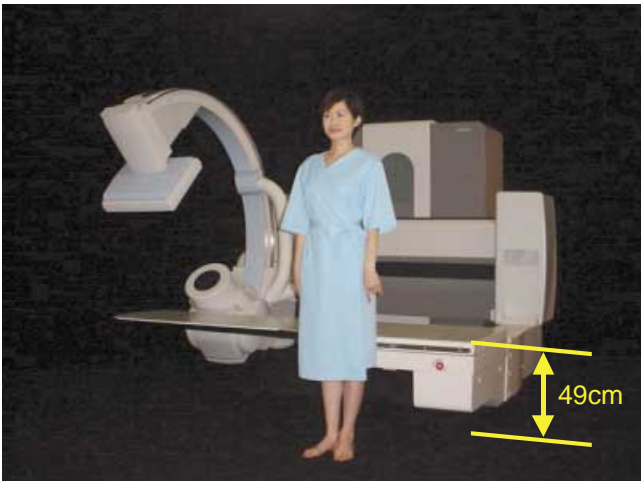


図 5 : 被検者乗降時の天板高さ

#### 4.3 非接触センサ(セーフティアシスト)の搭載

従来からの安全機構であるタッチセンサ、ソフトウェアによる衝突防止機構に加え、本システムではX線絞り前面とFPD周囲に非接触センサを搭載した。非接触センサは、センサと被検者(人体)が接近した場合、その間の静電容量変化を検出して装置の動作を減速・停止し衝突を防止するものである。非接触センサ無しのシステムの場合、被検者との衝突を避けるために天板上に被検者を仮想した低速動作領域(被検者ゾーン)を設定し、この領域内にCアームが干渉した場合強制的に装置の動作をスローダウンさせ安全性を確保していた。しかし低速動作領域は、被検者の安全のためにかなり大きめに設定されていたため、実際に被検者との距離がまだ十分広くとも低速動作になってしまい、深いアンギュレーションを採るときなど被検者に映像装置を接近させたい場合の操作性を悪化することがあった。

本システムでは、非接触センサを搭載したことにより被検者との接近を検出できるので、あらかじめ低速動作領域を従来より狭くすることができ、安全性の向上を図るとともに、迅速な位置決めなどの操作性もより向上した(図6)。

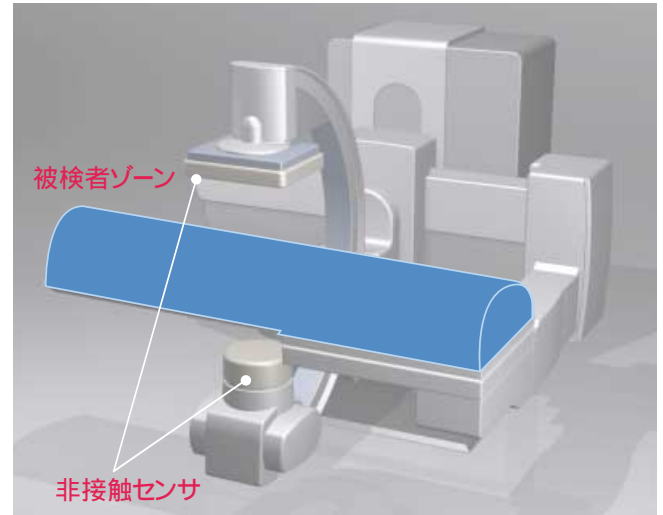


図 6 : 非接触センサと被検者ゾーン

#### 4.4 FPD用フロントエンド部

##### (1) 全体構成

図7に FPD 対応 DR 画像処理装置のハードウェア構成を示す。現行装置 DR-2000X 同様、撮影部・透視部・画像処理部に大別される。

FPD 画像の取り込みは現行装置の撮影部に FPD 画像収集インターフェースを付加することにより可能となる。フラットパネルシステムは FPD 本体と本体制御を行うコマンドプロセッサで構成され FPD 画像はコマンドプロセッサと FPD 画像収集インターフェース間のデータ転送によって取り込まれる。

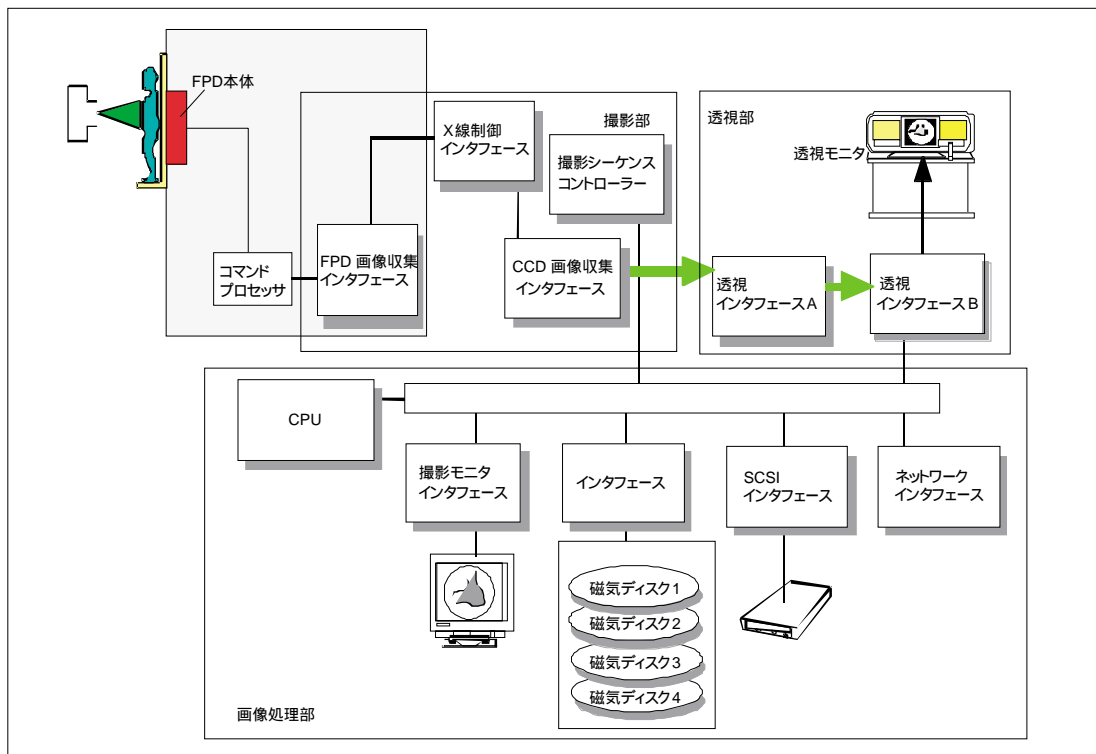


図 7 : 画像処理部の全体構成

## (2) FPD画像収集インターフェース

FPD画像はFPDインターフェース回路を介してFPD画像収集インターフェース内の画像メモリに一旦収集される。次いで、その画像が読み出され、テーブルを通し、CCD\_IF変換回路にてインターフェース変換され、画像収集インターフェースへ出力される。画像メモリは2面構成で画像収集インターフェースへ転送中でもFPDからの画像収集が可能で、高速に画像を取り込むことができる。メモリ制御部は画像回転機能を有する。画像収集制御はX線制御インターフェース間の回路によりX線曝射タイミングとの同期制御を行う。FPD画像収集インターフェースは現行装置DR-2000XのX線インターフェース基板の一部として設計し画像処理筐体内に実装可能とした。

さらにFPD画像収集インターフェースからの画像出力を従来のCCDインターフェースと同じにすることにより現行装置DR-2000Xの定評あるハードや豊富なアプリケーションソフトなどがそのまま利用可能とした。

### 4.5 フォトタイマレス自動露出制御(図8)

X線条件はX線画像の画質および被写体の被曝線量を決定する重要な要因である。X線条件には管電圧、管電流および露出時間の3つのパラメータがあり、通常これらのパラメータの値はX線自動露出によって制御・決定される。X線自動露出制御は被検者の体厚や撮影部位などの情報に基づいて適

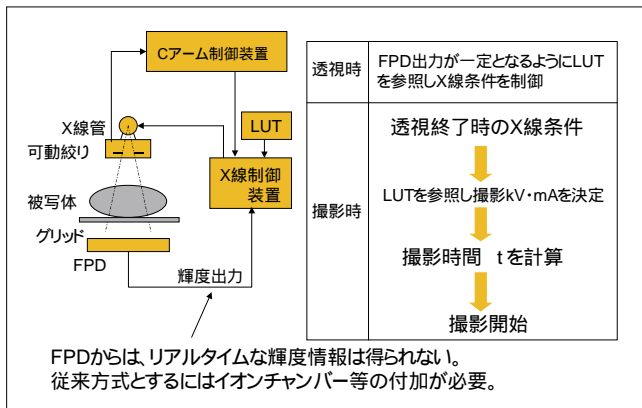


図8：フォトタイマレス自動露出制御

正なX線条件を算出し、透視および撮影のX線条件を制御する。

透視時には、X線が被検者に連続X線として照射され、X線自動露出制御ではフォトマルチューブで検出される光量=X線信号量を参照しながらX線条件を制御し、透視X線信号量を所定の条件に近づける。透視時におけるフォトタイマ方式とフォトタイマレス方式の相違点は、透視X線信号量が前者ではフォトマルチューブで間接的に計測されるに対し、後者ではFPD自身によって直接検出され、所定のマトリクスサイズ内のX線信号量をデジタルデータ平均値に変換し制御する。

撮影時においては、まず撮影時の管電圧および管電流が透視におけるX線によって決定され、続いてX線の照射が開始される。撮影は通常透視の合間あるいは直後に行われる。なお、撮影管電流に関しては、あらかじめX線管球の焦点仕様(CCDおよびFPDなどのデジタルシステムの場合、MTF低下を抑制するためにできるだけ小焦点を用いる)および許容負荷仕様により設定する。透視条件と撮影条件の関係は、あらかじめ設定された線形テーブルに記録されている。

残りの撮影時間についてフォトタイマ方式ではフォトマルチューブで検出された光量信号の積算量が所定の値に達した時点でX線照射が遮断され、撮影時間が制御される。

一方フォトタイマレス方式の場合はフォトマルチューブの役割をFPDの出力信号で置き換えることにより同様なリアルタイム制御を実現することも考えられるが、実際にはこのようリアルタイム制御は撮影時間に要求される時間精度(数ms~数十ms)に対し、FPDの信号読み出し時間(通常33ms以上)が長い実現不可能である。そこでフォトタイマレス方式では、撮影時間を撮影に先だてより精密に計算することによりフォトタイマ無しのX線条件制御を実現した。

撮影時間の計算は、SIDやX線絞りの開度、線質補償フィルタの選択情報、透視と撮影の管電圧差(X線エネルギー強度差)などを加味して撮影画像のX線信号量が透視信号強度と同一になるように行われる。

フォトタイマ方式とフォトタイマレス方式の長所および短所を表1にまとめる。フォトタイマ方式に比べてフォトタイマ

表1：フォトタイマレス方式の長所・短所

比較項目		フォトタイマ方式	フォトタイマレス方式
FPDへの対応		× 補助検出器使用不可	補助検出器不要
製品コスト		× 補助検出ユニット要 (デスクトップビューター+フォトマル回路)	補助検出器ユニット不要
透視制御時	フィードバック時間	完全リアルタイムフィードバック	FPDの最大フレームレート33ms要 *実使用上で問題ナシ
	光量制御の精度1 (非ハレーション時)	I.I.とフォトマルチューブ間のズレ有り	FPDにて直接検出
	光量制御の精度2 (ハレーション時)	I.I.<フォトマルチューブより、絶対信号量の測定可能	FPDのダイナミックレンジにより、絶対信号量範囲の測定不可
撮影制御時	直接線の影響	直接線入射による過剰反応、露出不足のケース有り	直接線入射の過剰反応無し
	透視 撮影 被検者の動き	撮影時間もフィードバック制御より問題無し	透視条件からの予測より、露出時間の不適切ケース有り
	透視 撮影 造影剤の変化	造影剤の被覆率変化に過剰に反応する	造影剤の被覆率変化に過剰に反応しない

レス方式は、X線量のフィードバックを行うための追加センサーを付加することなく安定した撮影時間制御が可能で、FPDシステムに最適なX線自動露出制御機構である。

#### 4.6 FPD用絞り装置 ZU-L5FP

大視野FPDに対応するため、専用絞りを開発した。内部構造を図9に示す。

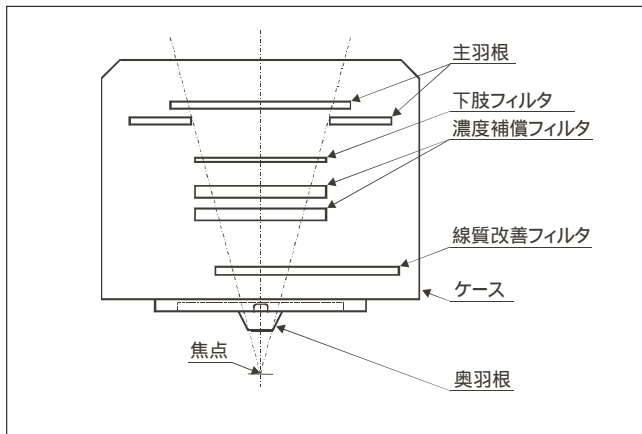


図9： FPD用絞りの内部構造

開発したX線可動絞りはFPD用にSID90cmでも視野40cmを確保した。さらに散乱線を極力抑制し、被曝低減と画質向上を図るために主羽根を最前面に配置している。

ハレーション防止用濃度補償フィルタは2枚構成で、それぞれ単独に回転および開閉が可能である。また被曝低減用線質改善フィルタを3種類具備しており、部位やモード別に自動切換えを可能とした。

一方FPDの視野サイズ(拡大モード選択)で画面上の拡大率が変わるため、絞り羽根の移動距離が同じでも拡大視野と全視野では透視像上の移動距離が異なる。このため拡大視野では動作速度を低速とし、全視野では高速とする視野サイズごとの速度可変とした。

この機能により術者が全ての視野サイズで主羽根と各フィルタの位置決めを迅速に行えるようになり、検査時間の短縮や患者の被曝線量低減へとつながられる。

#### 4.7 波尾切断パルス透視機能

近年、IVR(Interventional Radiology)が普及するなか、X線をパルス状に照射するパルス透視が普通に用いられるようになった。一方X線高電圧装置はインバータ方式の導入やスイッチング周波数の高周波化により、管電圧リブルの低減、デジタルフィードバック制御による管電圧上昇時間の高速化を図ってきたが、管電圧の波尾を積極的に遮断する機能がなく、患者の被曝、X線管の熱蓄積、透視線量制御の点で問題があった。パルス透視制御の方法としてX線管に三極管を使用する方法があるが、専用のシステムを構成する必要がある。

本システムでは専用のX線管を必要とせず管電圧の波尾を高速に下降させ、無効X線による被曝低減とX線管の負荷軽減が可能なパルス透視機能を搭載した<sup>4)</sup>。

X線管からのX線の放射を停止する期間にAnodeとCathode間の電圧(管電圧)を高速に降下させるパルス透視制御方

式について図10を用いて説明する。

インバータ式X線高電圧装置は、高周波インバータ回路の出力を高電圧変圧器にて昇圧し、昇圧された交流出力を整流する高電圧整流器と高電圧コンデンサで平滑して直流電圧を生成し、高電圧ケーブルを通してX線管に供給している。このため、高電圧コンデンサと高電圧ケーブルの静電容量に電荷が蓄えられ、その電荷の放電時間および、放電経路がX線管を経由することが管電圧を高速に降下させることを妨げている。

この問題を解決する方法として、X線管のAnode・Cathode間に高電圧半導体スイッチと電流制限用のインピーダンスとの直列回路を接続する。高周波インバータ回路が動作停止するとき上述高電圧半導体スイッチの駆動回路にスイッチ駆動信号を入力して高電圧半導体スイッチを駆動させる。高電圧コンデンサと高電圧ケーブルの残留電荷を電流制限用のインピーダンスで高速放電させ、管電圧の波尾をなくすことが可能となり、上述の問題点を解消した。

図11に波尾切断回路の有無による管電圧波形と蛍光量波形を示す。

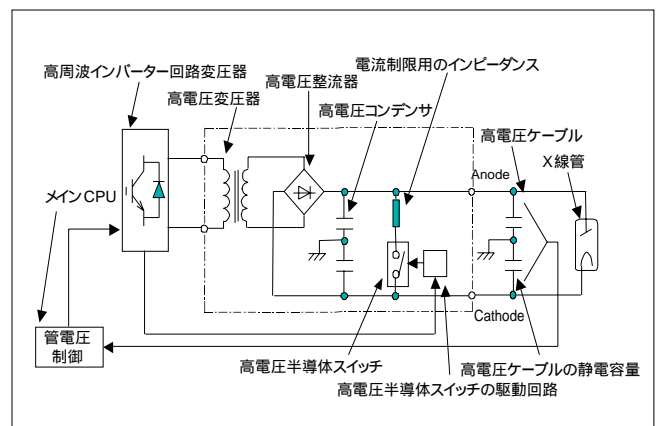


図10：波尾切断方式インバータX線高電圧装置

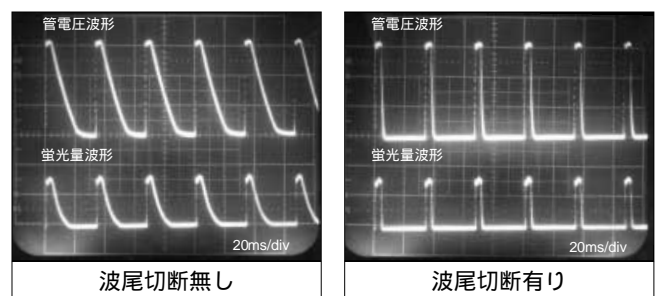


図11：パルス透視時の管電圧波形と線量波形

## 5. 画像例

以下にFPDによる撮影画像例を示す。

### (1) I.I.による画像との比較

図12はFPDとI.I.の撮影画像の比較を示す。FPD画像はI.I.の画像と比較し矩形で広い視野を持つばかりでなく、周辺においても鮮明な画像が得られる。さらに図13に示すように周辺の歪がほとんど無い。

## (2) 消化管画像例

図14に消化管のFPD画像を示す。コントラストおよび鮮鋭度とも良好で、胃部画像においては骨と胃部が明確に分離されており、下部消化管ではファインネットワークパターンが鮮明に描出されている。

## (3) 血管造影画像例

図15に血管造影のFPD画像例(DSA像)を示す。周辺まで解像度が劣化することなく鮮明に血管が描出されている。また、FPDの特長としてDSA像におけるバックグラウンドノイズのレベルが非常に低いことと、門脈などの低濃度領域のコントラストが非常に優れていることが挙げられる。

## 6. まとめ

- (1) 世界で初めて大視野FPDを搭載したCアームテーブルシステムを製品化した。
  - (2) 薄型のFPDの特長を生かし、被検者周りの空間の拡大、低天板高や非接触センサの採用などによりCアームテーブルの操作性・使い勝手の向上を図った。
  - (3) FPD用画像処理装置において、画像表示サイズの切り替えや透視ダイナミックレンジ圧縮を搭載し、大視野FPDの特長を生かすとともに広範囲な臨床への適用を可能とした。
  - (4) フォトタイムレス自動露出制御方式や大視野補償フィルタ付き絞り装置、波尾切断パルス透視機能を搭載し、現行のI.I.+ CCDカメラ方式を上回る画質性能を実現した。
- 以上のように今回開発したFPDイメージングシステムVersiFlexは、従来にない新しい価値を生むX線システムで

ある。本システムの優れた機能を多くの医療機関で活用していただき、医療の効率向上、精度向上を実現するとともにひとりでも多くの患者へ貢献できることを希望する。

今後もより良い製品をより多くのユーザーに提供できるよう努力していく所存である。

1 VersiFlex、 2 Prius-Cは株式会社日立メディコの登録商標です。

## 参考文献

- 1) 飯沼 元, ほか: 消化管造影検査におけるDigital Radiographyの進歩と将来展望. MEDIX, 37: 13-18, 2002.
- 2) 飯沼 元, ほか: デジタル消化管X線造影検査. 新医療, 334: 130-134, 2002.
- 3) 中村健治, ほか: IVR血管造影検査におけるFPDの臨床的有用性と将来展望. MEDIX, 37: 19-22, 2002.
- 4) 高野博司, ほか: 高電圧半導体スイッチによる高速パルス透視システム. 日本放射線技術学会誌, 57: 1209-1217, 2001.

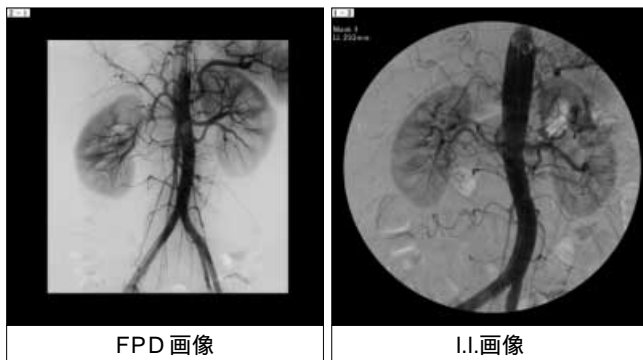


図 12 : FPD 画像とI.I.画像との比較



図 14 : FPD による消化管の画像例

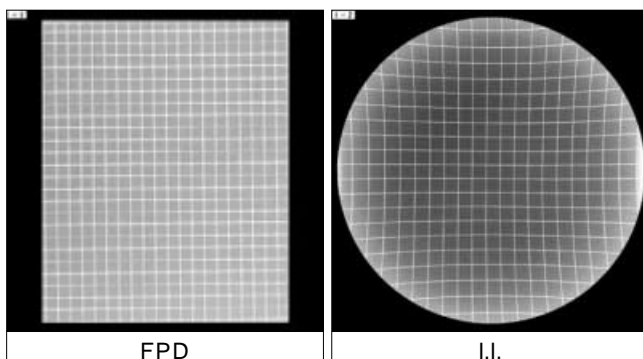


図 13 : 格子チャート画像比較

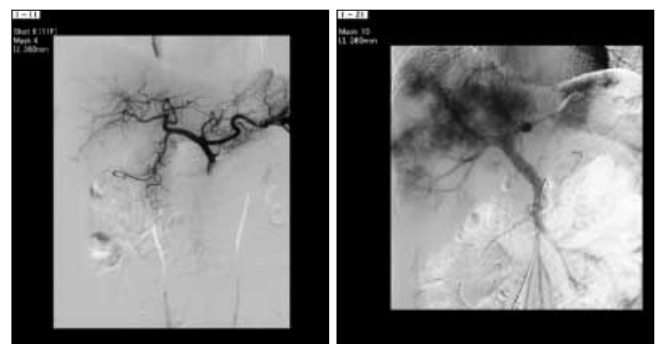


図 15 : FPD による血管造影(DSA)画像例