

FPD システムにおけるトモシンセシスの技術

（株）島津製作所 医用機器事業部技術部

柴田 幸一

1. はじめに

近年、FPD（フラットパネルディテクタ）が開発されて以来、その優れた特長を利用して様々なアプリケーションの開発に注力されてきた。中でもトモシンセシスは精細な 3D 構造を把握できることから注目が集まってきており、多くの医療施設で臨床応用が進められてきている。本稿ではこのトモシンセシス技術について概説する。

2. トモシンセシスの歴史

フィルムによる一般撮影領域での断層は一回の撮影で 1 枚の断層像しか得られないが、トモシンセシスは一回の走査で任意の断層像を得ることができ、原理的に検査時間の短縮、患者の被ばく低減に有効であるという特長を有する。トモシンセシスでは複数枚の画像を高速に連続して収集する必要があるため、高速連続撮影が可能となった DSA、II-DR が出現した 1980 年代から研究開発が加速した。1983 年～84 年、Kruger らは血管造影に適応し、臨床結果を報告するとともに、DSA の 1 つの手法である Temporal Filtering による動的なトモシンセシスに発展させた。^{1) 2)} 1991 年、曾根らは高精細 TV を用いた直線軌道断層システムにより、様々な臨床例を紹介し、トモシンセシスの有用性を報告した。報告の中ではデュアルエネルギーを用いたトモシンセシスの試行にも言及している。³⁾ 加えて曾根らは 1996 年、胸部のトモシンセシスの画質に大きな影響を与える画像フィルタリングについても報告した。⁴⁾ 2002 年には、トモシンセシス機能を有するデジタル透視撮影台が開発され、多くの施設で臨床使用が開始された^{5) 6)}。このときのトモシンセシスの再構成方法は従来からのシフト加算方式ではなくコーンビーム CT の再構成理論から発した新方法（後述）であったため、画質も優れ、トモシンセシスの実用化が可能になった。⁷⁾ 2004 年になると FPD 搭載のデジタル透視撮影台システム（図 1）が開発され、FPD の持つ優れた特性と、新しいトモシンセシス再構成方式とがマッチして、市場に広く認識されるに至った。^{8) 9)}



図 1. FPD 搭載デジタル透視撮影システム外観

3. 新しい再構成方式の開発

従来のフィルムによる断層撮影は一回のスキャンで 1 断面の画像しか取れず、いわゆる流れ像と呼ばれる障害陰影が生じていた。デジタルトモシンセシスは一回のスキャンで多くの異なった断層面を再構成するもので、また画像処理により障害陰影のない画像を提供する撮影法である。

トモシンセシスの再構成処理には、過去、シフト加算と呼ばれる手法が一般的に用いられてきた。X 線入射角度を変えながら連続撮影された一連の画像に対し、それぞれの画像を走査方向に適量

シフトし、結果を重ね合わせることで特定裁断面に焦点をあわせた断層像が得られ、画像ごとのシフト量を調整することで、任意に裁断面を変更できた。この従来の再構成法に対し、断層撮影とコーンビームCTとの類似性に注目し、平行平面式断層撮影が、コーンビームのCT走査の一部であるととらえ、CT再構成の代表的手法であるフィルタ逆投影法 (Filtered Back Projection 法:FBP法) を拡張した再構成手法が近年導入された(図2)。この方法は、平行平面式断層走査(図3)のみならず、シフト加算法では対応できない円弧断層走査(図4)にも適応が可能となるため、Cアーム形透視撮影台での断層撮影を実施できるようになるなど、将来の拡張性に優れている。

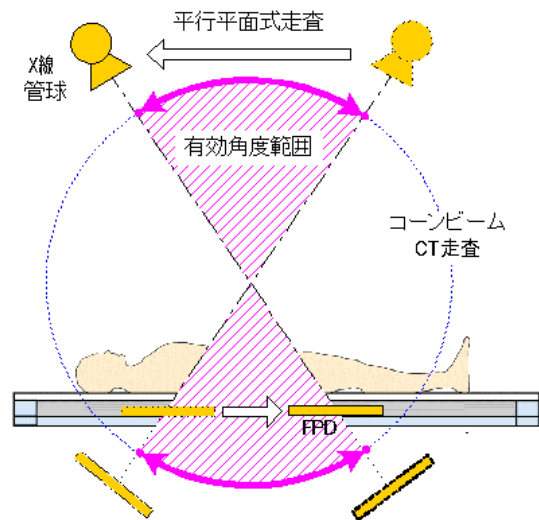


図2 断層再構成手法 (FBP 法)

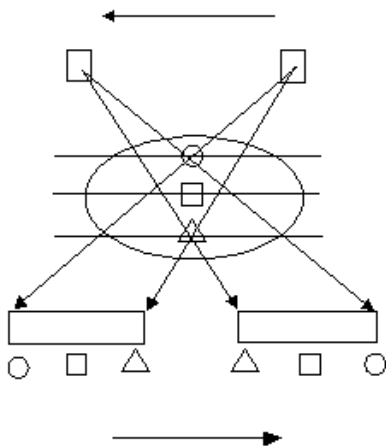


図3 平行平面断層走査

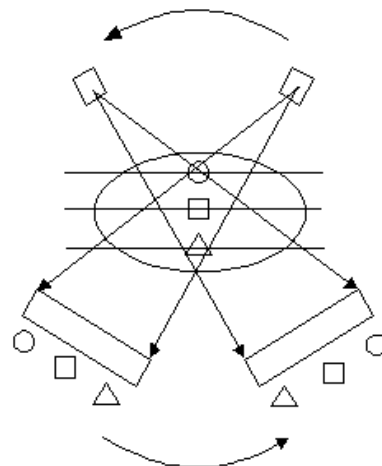


図4 円弧断層走査

コーンビームCTと比較した場合、平行平面式断層走査では、理想的な一周分のデータを得ることができず、断層像上のアーチファクト(障害陰影)となって現れることになる。従来は断層像へのフィルタリング処理によって障害陰影の低減を行っていたが、現在の手法では再構成関数の投影角度に従った調整により障害陰影の低減を行なっている。具体的には、再構成に使用されるデータのうちデータ欠損部分の割合を相対的に低下させるように、断層深さ方向(Z軸方向)に帯域の制限を行うフィルタを角度ごとに再構成関数に掛け合わせることで、角度に依存した調整を行っている。図5に再構成における有効データ部分、図6に再構成関数の例を示す。投影角度(β)の大きな投影像ほど低い周波数までカットされるようになり、データ欠損部分の割合を低下させることができる。これにより1断層面だけの再構成を行うような場合にも、深さ方向に周波数処理を行ったのと同様の効果がある画像を再構成することが可能になった。

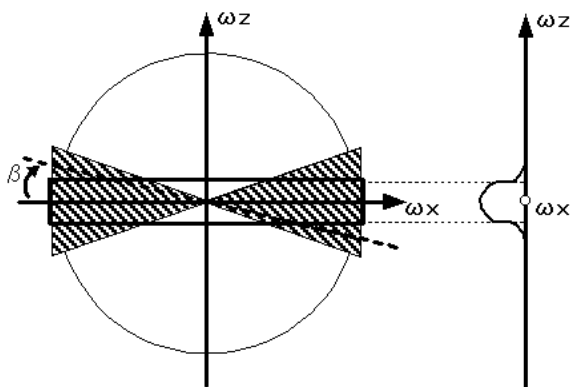


図5 再構成における有効データ部分

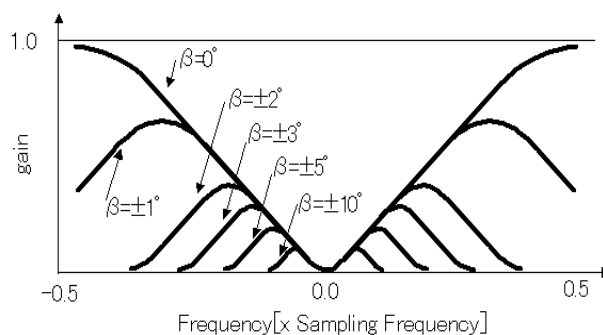


図6 再構成関数の例

4. トモシンセシスの利点

4.1 立位での撮影

図7は立位断層の例である。荷重負荷をかけた状態での膝関節にトモシンセシスを適用した例である。断層振り角度40度、断層時間9秒でX線管電圧60kVにて撮影した67フレームの投影像をもとに、断層高さ14cmから2cmまでの範囲について2mmピッチで断面像を再構成した画像の一部である。左膝関節腔の狭小化の様子が観察できる。立位で荷重負荷のかかった状態での立体的把握ができるモダリティは他にはない。

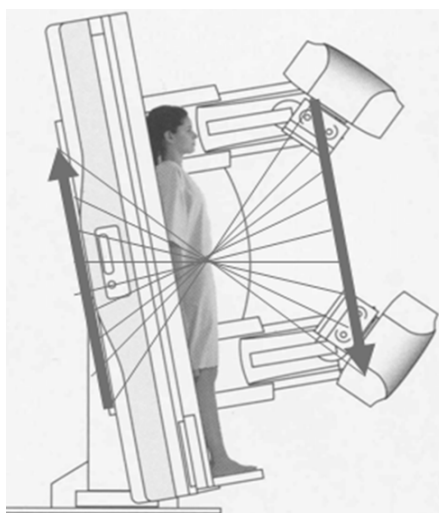


図7 膝関節のトモシンセシス画像(立位)

4.2 優れた鮮鋭度

FPDを用いたトモシンセシスは高い空間分解能を有し、その有用性についてMSCTとの比較が行われた。清水による研究では伸展固定肺標本を用いて、トモシンセシスとMSCTの画像の鮮鋭度を比較し、胸部診断におけるトモシンセシスの優位性が報告されており、¹⁰⁾RSNA2005にも報告された。またFlynn (Henry Ford Healthcare System, USA)らは膝関節の臨床評価でMRIと比較し、トモシンセシスの優位性をRSNA2006で報告した。この中では立位で膝に正当な荷重をかけるための撮影方法にも言及している。

4.3 金属アーチファクトが少ない

平野らは MSCT との比較で、MSCT およびその MPR 像に強い金属アーチファクトが生じる場合においてもトモシンセシスでは金属の影響が少ないため、金属と混在部分の断層にはトモシンセシスが有用であるとの報告を行った。¹¹⁾

5. 臨床例

図 8 は小児胸部のトモシンセシスの例である。気管支がきれいに描出されているのが分かる。トモシンセシスは原理上、画像を積分するのと同じ効果があるため、各投影像が必要以上に SN の高い画像である必要はない。従って撮影の総 X 線量は少なく、現在では標準被写体で 1mGy 程度の撮影が可能である。一般に CT 検診で 3mGy、CT 精検で 10mGy であるため、X 線被ばくは CT よりはるかに少なく、肺がん検診への可能性も十分あると考える。

図9は整形分野でのトモシンセシスの例である。骨折の例であるが、細い骨折線が明瞭に見える。一般撮影では方向合わせが必要で位置決めにかかる時間が長いのが、トモシンセシスは、正確な位置決めが不要であるのでワークフローの改善に貢献する。トモシンセシスが発売されて以来、胸部、胆嚢造影、骨折・関節炎などの整形分野に多用されてきたが、近年、他の部位にもその応用が広がってきた。

図 10 は消化管検査(注腸検査)、図 11 はアキレス腱の検査例である。アキレス腱の像ではトモシンセシスは軟部組織の描出にも優れており、将来、体組成の分析にも可能性があると評価されている。



図 8 小児胸部のトモシンセシス画像



図 9 骨折例のトモシンセシス画像

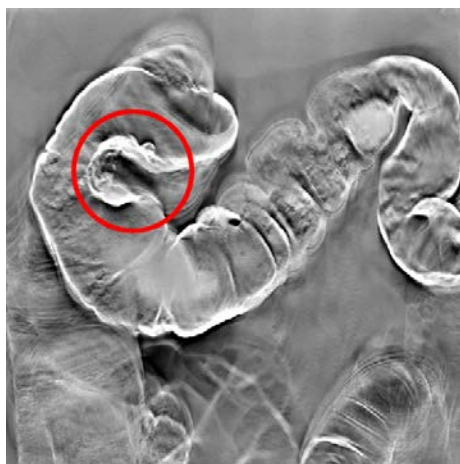


図 10 注腸検査でのトモシンセシス画像



図 11 アキレス腱のトモシンセシス画像

6. 終わりに

トモシンセシスは、研究開発の長い歴史の上に、FPDという優れたセンサと先進的な再構成アルゴリズムが融合して実用化に至ったと考える。

FPDはX線診断機器の分野に大きな変革をもたらした。その先進性のためにFPD自身の技術に注目されがちだが、実際にはFPDはシステムの一部でしかなく、FPDの能力を十分引き出し臨床的な意義を高めていくのはシステム全体である。これらのシステムに関する種々の技術をまとめ上げ、常に今後の大きな可能性を追求し、FPDを中心としたシステムを、画像診断の新しい領域にまで発展させていくことが我々医用機器メーカーの責務と考える。最後に、貴重なデータをご提供いただいた医療諸施設の皆様に深く感謝する次第である。

参考文献

- 1) Kruger RA, et al. "Dynamic Tomographic Digital Subtraction Angiography Using Temporal Filtration" Radiology 1983; 147:863-867.
- 2) Kruger RA, et al. "Tomosynthesis Applied to Digital Subtraction Angiography" Radiology 1984; 152:805-808
- 3) S. Sone, et al. "Development of a High-Resolution Digital Tomosynthesis System and Its Clinical Application" RadioGraphics 1991; 11:807-822
- 4) S. Sone, et al. "Digital Tomosynthesis Imaging of the Lung" Radiation Medicine 1996; Vol14 No.2: 53-63.
- 5) 堀地 浩光他:多目的テーブル(Sonialvision100)におけるデジタル断層撮影. Medical Now 2003; No.50: 20-23.
- 6) 橋本 理恵子他:トモシンセシス機能の有用性. Medical Now 2005; N0.55:13-17.
- 7) 工 幸博他:任意断層再構成WSの開発. 島津評論 61:127-134、2005.3
- 8) 矢野 博康:整形外科領域におけるトモシンセシスの有効利用. Medical Now 2007; No.59: 7-11
- 9) Gomi Tsutomu. "Evaluation of Digital Linear Tomosynthesis Imaging of Total Joint Arthroplasty Using an Amorphous Selenium Flat Panel Detector" 日本放射線技術学会誌 2006;Vol.62 No.7:1005-1012
- 10) 清水 健治:Sinialvision Safireにおける胸部トモシンセシスの研究. INNERVISION Vol21 No.3別刷り「Safire No.4」:8-11
- 11) 平野 浩志:フラットパネルディテクタ対応トモシンセシスの有用性. Medical Now 2005; No.57: 16-23.