

三次元化機能でX線診断治療を革新する コーンビームCT技術の開発と応用

Development and Application of Cone Beam CT Technology for Innovation of Diagnostic and Interventional Radiology with 3D Imaging Function

植田 健 Ken Ueda

馬場 理香 Rika Baba

岡部 正和 Masakazu Okabe

角村 卓是 Takayuki Kadamura

中尾 宣夫 Norio Nakao

廣田 省三 Shozo Hirota

石蔵 礼一 Reiichi Ishikura

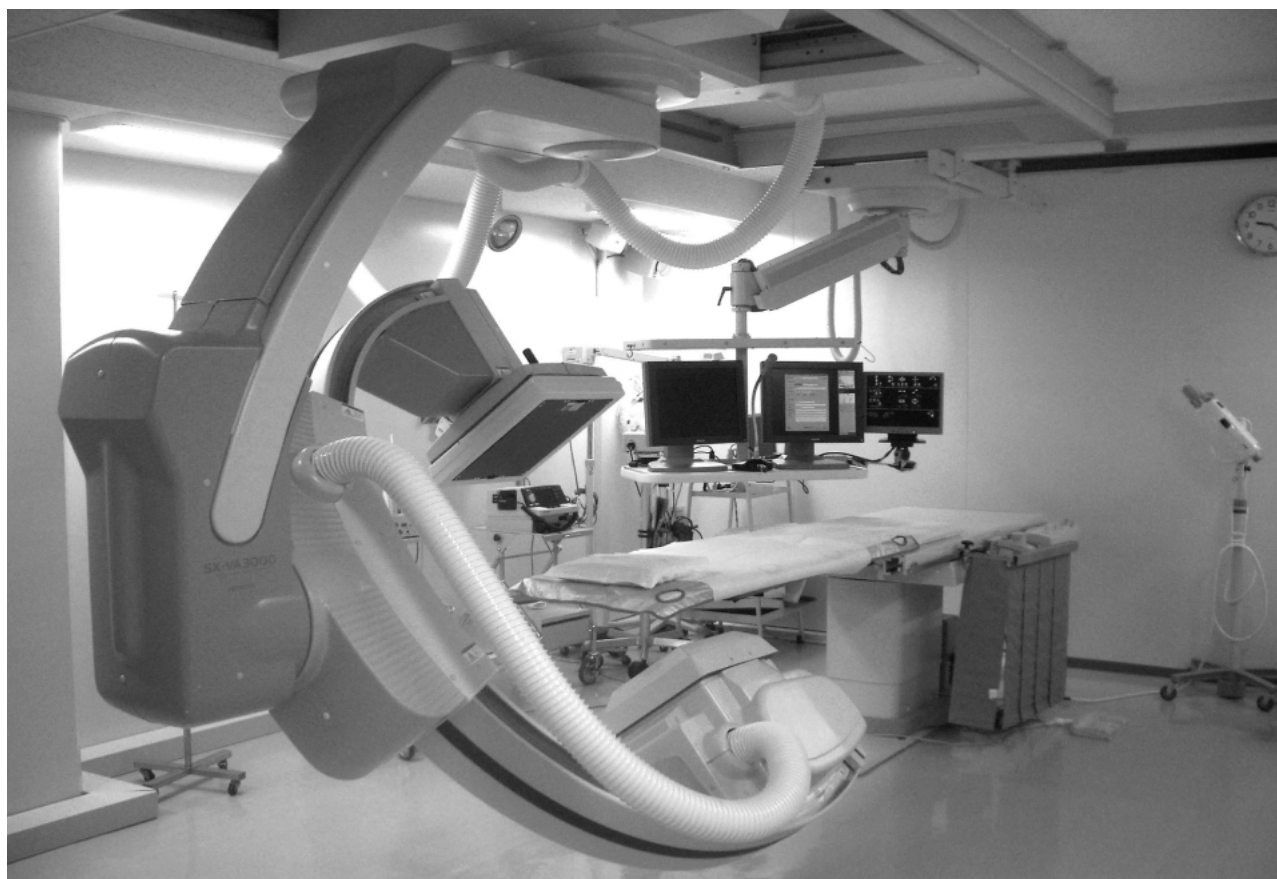


図1 コーンビームCT機能を持つ大型FPD搭載IVRシステム「Partire」(兵庫医科大学病院)

従来の透視、撮影、回転撮影、血管三次元表示機能に対して、コーンビームCT機能を付加し、IVRの現場で有用な多機能X線装置を開発した。

1. はじめに

コーンビームCT(Computed Tomography)技術はX線による三次元CT撮影を実現する新しい手法である。マルチスライスCTがファンビーム(扇状ビーム)X線を用い、撮影系の高速回転と寝台移動を併用して三次元の撮影を行うのに対して、コーンビームCTでは、コーンビーム[錐(すい)状ビーム]X線と二次元検出器を用いる1回転の撮影で、寝台移動なしで三次元の撮影を行う。コーンビームCT技術によれば、等方的で高い空間分解能を持つ三次元画像が得られる。これにより、従来のX線装置を多機能化することができる¹⁾。

今回、株式会社日立メディコのIVR(Interventional Radiology:画像診断的介入治療)システム「Partire」にコーンビームCT機能を付加する開発を行い、臨床的有効性を評価した(図1参照)。

日立グループでは、まず、コーンビームCT技術の臨床的有用性を評価するため、回転板にX線源と二次元検出器を取り付けたオープンガントリー型や、X線源と検出器は静止のまま被検者を立位または座位で回転する被検者回転型の装置を試作した²⁾。その結果、骨や肺などコントラストの高い被写体に対する高分解能三次元撮影の有用性が大きく、歯顎(が

コーンビームCTは、二次元検出器を用いる1回転の回転撮影で三次元CT画像撮影を行う技術であり、従来のX線装置を多機能化することができる。日立グループでは、試作装置による臨床的有用性評価を経て、歯科用コーンビームCTなどを実用化してきた。一方、X線透視下で検査と治療を行うIVR(画像診断的介入治療)向けのコーンビームCTが期待されていた。そこで、今回、大視野フラットパネル検出器を搭載したIVRシステム「Partire」にコーンビームCT機能を付加し、低線量、高画質、短時間で検査と治療ができる一体型装置を開発した。

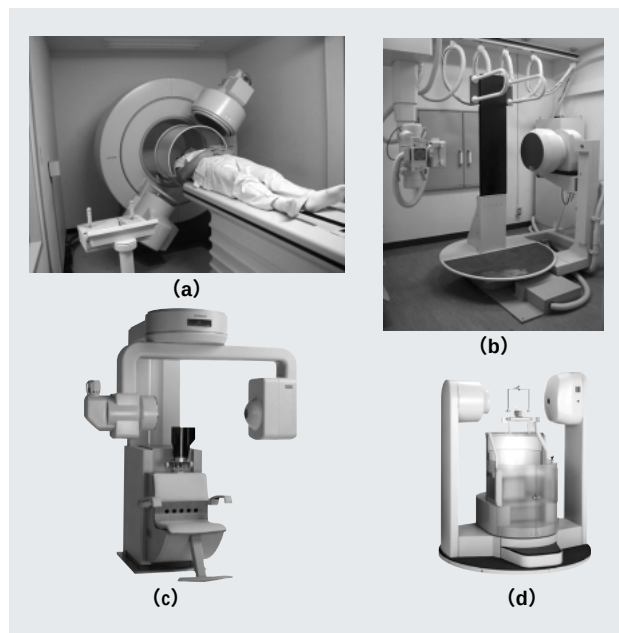


図2 コーンビームCTの種々の形態

(a)オープンガントリー型、(b)被検者回転型、(c)歯顎顔面用コーンビームCT「CB MercuRay」、(d)歯顎顔面用コーンビームCT「CB Throne」をそれぞれ示す。

く)顔面用装置、および産業用(研究用)のコーンビームCT装置が実用化された³⁾(図2参照)。

歯科用アプリケーションでは、任意方向の断面像や、多数の歯列弓横断像、およびそれに直交するパノラミック像など多様な表示が可能である(図3参照)。特に、インプラント向けの市場が急成長しており、急速な普及が期待される分野となっている。

一方、X線透視下で血管内のカテーテルを操作し、検査しながら同時に薬剤の投与や塞(そく)栓などの治療を行うIVRでは、従来のX線装置にコーンビームCT機能を付加すれば、造影CT画像の取得や目標腫瘍(しゅよう)を栄養している血管の確認が、専用のCTを必要とせず一体型装置で可能となることから、患者の負担軽減と医療の効率化につながると期待されてきた。

ここでは、IVR用X線装置に対してコーンビームCTの機能を付加する開発、および兵庫医科大学病院で行った臨床的有効性の評価について述べる。

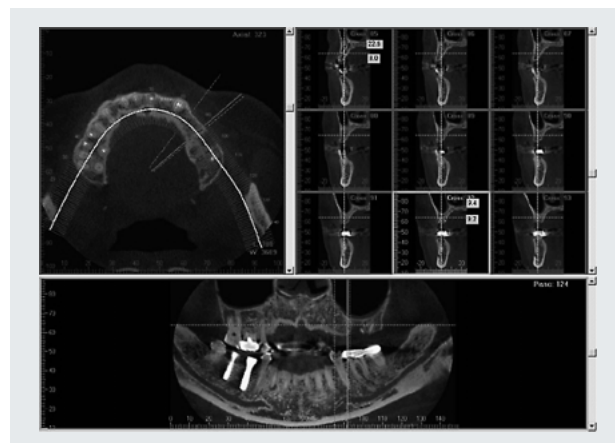


図3 歯顎顔面用コーンビームCTにおける表示の例

横断像(左上)、歯列弓横断像(右上)、パノラミック表示(下)をそれぞれ示す。

2. IVRシステム「Partire」への適用

2.1 装置構成

IVRシステム「Partire」は、天井走行式Cアームに40×30(cm)の大視野フラットパネルX線ディテクタ(以下、FPDと言う。)を搭載したIVR対応血管造影撮影装置である⁴⁾。兵庫医科大学病院におけるコーンビームCT撮影・処理・表示システムの概要を図4に示す。回転撮影におけるデータ収集時間はわずか5秒である。この間に、Cアームは200度の回転を行い、毎秒

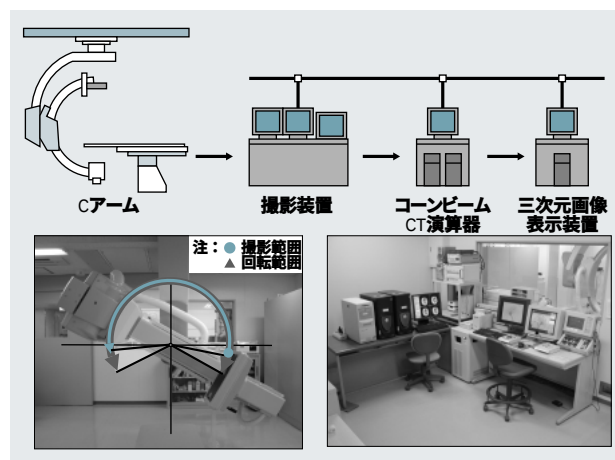


図4 IVR用コーンビームCTの構成(兵庫医科大学病院)

上段にシステムの構成、下段左に回転撮影における検出器の移動範囲、下段右に撮影操作室における撮影装置、演算器、および表示装置をそれぞれ示す。

30フレームの速度で合計150枚の投影像を撮影する。FPDからのデータ読み出しは2×2画素の同時束ね読み出しとし、画素サイズ0.194 mm, 2,048×1,536画素のFPDに対して画素サイズ0.388 mmの1,024×768画素の収集を行うことで高速撮影を可能とした。

データは全自動で処理される。撮影したデータは演算器へ自動転送し、演算によって得られた画像は、内蔵する画像表示装置で自動表示するとともに、DICOM(Digital Imaging and Communications in Medicine)仕様に標準化し、外部の三次元画像表示装置へ自動転送する。

2.2 撮影・再構成条件

コーンビームCT撮影では、あらかじめ天板および被写体なしの条件でエアデータを撮影し、そのあとで造影剤注入後の被検体の回転撮影を行う。また、造影剤の注入の前と後に被検体の回転撮影を行い、それぞれマスク像とライブ像を収集し、それらのサブトラクション像の再構成を行うことにより、造影血管だけが画像化される。標準X線条件は、X線管電圧110 kV, X線管電流250 mA, X線パルス幅5 msである。このときの回転中心線量は4.4 mRであり、通常のCTに比べて低線量である。

三次元CT画像が得られる領域は直径約235 mm, 高さ約176 mmの円柱の内部で、撮影終了から画像の自動表示までに要する時間は約2分30秒である。

3. 高画質化のための新技術

コーンビームCTにおけるデータ処理を図5に示す⁵⁾。多方向からの撮影像に対して、まず、投影補正処理として、幾つかの補正を行い、次に三次元再構成処理を行う。演算は4個のCPUを用いて並列処理される。

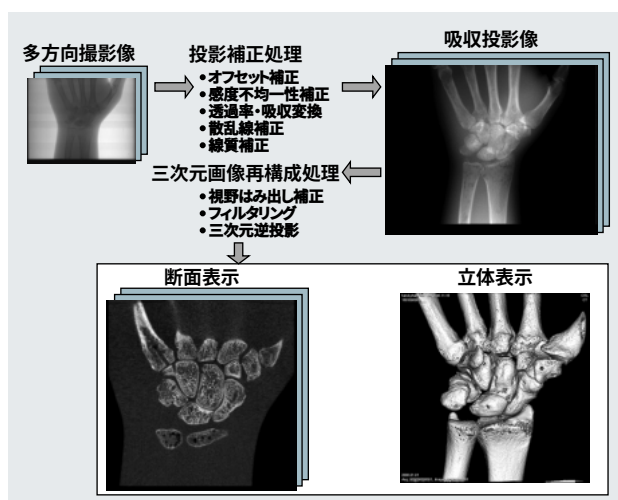


図5 コーンビームCTのデータ処理と手ファントムの画像例

画像は日立製作所中央研究所の実験装置における再構成画素ピッチ0.17 mmの撮影例である。

高画質化のために開発した技術は以下のとおりである。

(1) 大型FPD

FPDは、II-CCD(Image IntensifierとCharge Coupled Deviceの組合せ)を用いた以前の装置より、ベリンググレア(拡散光)の発生がなくコントラストの高い投影像が得られ、大型検出器でも解像度が高く、形状のひずみもない。

(2) X線フィルタの適用によるダイナミックレンジの拡大

空気領域などX線の減弱が少ない領域での検出器の飽和を防ぐため、アルミニウム製の凹面X線フィルタを適用している。これにより、投影像の値の振幅を圧縮し、相対的に検出器のダイナミックレンジを拡大している。

(3) ビームハードニング補正

X線フィルタや被検体によるX線吸収が増大するほど、X線の線質が硬くなり、吸収係数は減少するとともに、散乱線も増大する。投影補正処理においてこれらを補正し、均質なレベルの再構成画像を得ている。

(4) Cアーム軌道の補正による高解像度化

Cアームに搭載された撮影系の軌道は理想的な等速円運動からのずれがあるが、三次元画像再構成処理において、投影ごとに逆投影条件を最適化することにより、0.40 mmのバーパターンを解像する空間分解能を実現している。ノイズ低減処理を行っている臨床モードでは、0.65 mmを解像している。

4. 臨床評価

コーンビームCTの臨床評価は兵庫医科大学病院において腹部、および神経系を対象に、2006年1月末までに110例以上を行っている。

上顎洞がんのがんに対して栄養を供給している動脈に抗がん剤を注入する目的で、選択した内上顎動脈枝に造影剤を注入して撮影した画像を図6に示す。腫瘍は明瞭(りょう)に濃染されており、選択した動脈枝が腫瘍部を含んでいること

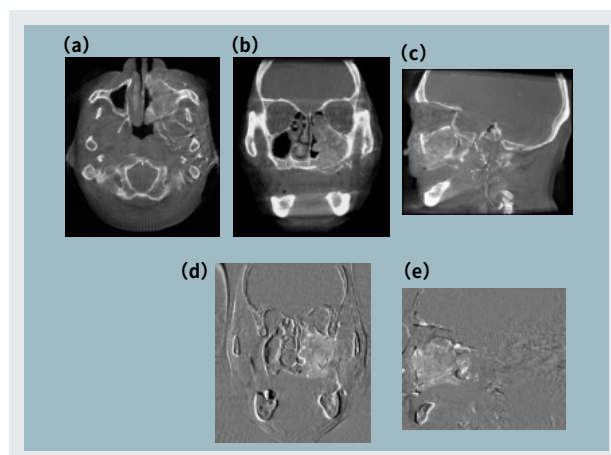


図6 上顎洞がんの画像の例

(a)横断面像、(b)冠状断面像、(c)矢状断面像、(d)冠状断・サブトラクション像、(e)矢状断・サブトラクション像をそれぞれ示す。

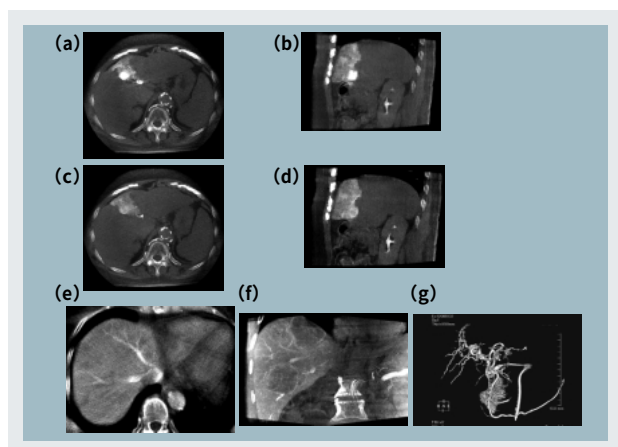


図7 腹部画像の例

(a)肝細胞がんの横断像(CTHA(CT Hepatic Arteriography)早期相), (b)同, 矢状断像, (c)横断像(CTHA後期相), (d)同, 矢状断像, (e)大腸がんの肝転移の横断像(後期相), (f)冠状断像, (g)同, 総肝動脈の三次元表示をそれぞれ示す。

が判定できる。また、造影前のデータを利用してサブトラクション像の作成も可能である。

腹部画像の一例を図7に示す。中肝動脈からの1回の造影剤注入に対し2回のスキャンを行うことにより、早期相と後期相の三次元CT像を計測できる。中・低分化型肝細胞がんの画像的特徴である早期相で腫瘍全体が濃染し、後期相では消失する様子が明瞭にとらえられている〔同図(a)～(d)参照〕。多発性肝転移の画像(後期相)には数 mm大の肝細胞がんがリング状濃染として描出されている〔同図(e), (f)参照〕。このように、肝がんの描出と質的診断に有用である。また、立体

表示により、肝動脈末梢枝まで描出され、IVR治療にも利用されている〔同図(g)参照〕。

5. おわりに

ここでは、IVRシステム「Partire」にコーンビームCTの機能を付加する開発、および兵庫医科大学病院で行った臨床評価について述べた。

コーンビームCT装置の進歩は急速で、現在は撮影速度とダイナミックレンジの向上に向けた開発を進めている。コーンビームCT技術は、IVRの適応増大、IVR施行施設の増加に寄与するため、今後、医療全体の質の改善と効率化へ貢献していくものと考ええる。また、治療装置における患者の位置決めや、超高解像度三次元撮影の実現などコーンビームCT技術はX線撮影の機能向上の手段として普及が期待される。

参考文献

- 1) 馬場:ボリュームCTイメージングが拓く新しい世界, INNERVISION, Vol.21, No.3, pp.112-117(2006)
- 2) R. Baba, et al.: Development of a subject-standing-type cone-beam computed tomography for chest and orthopedic imaging, Frontiers Med. Biol. Engng. Vol.11, No.3, pp.177-189(2001)
- 3) R. Baba, et al.: Comparison of flat-panel detector and image-intensifier detector for cone-beam CT, Comput Med Imaging Graph 26, pp.153-158(2002)
- 4) 植田, 外: PartireによるコーンビームCT画像, Medix, Vol.42, pp.34-38(2005)
- 5) R. Baba, et al.: Using a flat-panel detector in high resolution cone-beam CT for dental imaging, Dentomaxillofacial Radiology, 33, pp.285-290(2004)

執筆者紹介



植田 健
1973年日立製作所入社, 株式会社日立メディコ 技術研究所 第2部 所属
現在, X線装置技術の開発に従事



中尾 宣夫
兵庫医科大学放射線科教授
現在, 放射線医学の研究, 教育および診療に従事
医学博士
日本医学放射線学会代議員



馬場 理香
1991年日立製作所入社, 中央研究所 ライフサイエンス研究センター メディカルシステム研究部 所属
現在, X線計測技術の研究および開発に従事
日本医用画像工学会会員, 日本コンピュータ外科学会会員



廣田 省三
兵庫医科大学放射線科教授
現在, 放射線医学の研究, 教育および診療に従事
医学博士
日本医学放射線学会代議員, 日本IVR学会理事



岡部 正和
1998年株式会社日立メディコ入社, 技術研究所 第2部 所属
現在, X線装置技術の開発に従事
理学博士
日本放射線技術学会会員



石蔵 礼一
兵庫医科大学放射線科講師
現在, 放射線医学の研究, 教育および診療に従事
医学博士
日本医学放射線学会代議員



角村 卓是
1998年株式会社日立メディコ入社, 技術研究所 第2部 所属
現在, X線装置技術の開発に従事
日本放射線技術学会会員