

特集: FPDによるコーンビームCTの進歩

## 総説 直接変換方式フラットパネル検出器搭載血管造影装置を用いたコーンビーム CT; 悪性腫瘍のIVR 治療における有用性

掛田 伸吾、興梠 征典

産業医科大学 放射線科

### A cone-beam CT using angiography system with flat-panel detector of direct conversion type: usefulness for intra-arterial chemotherapy in patients with carcinomas

Shingo Kakeda, Yukunori Korogi

Department of Radiology, University of Occupational and Environmental Health School of Medicine

#### 要旨

直接変換方式フラットパネル検出器 (FPD) を用いた血管造影装置は、高分解能、広いダイナミックレンジ、検出面の矩形化、歪みがないなどの特性を持っている。これら高性能FPDなどの技術革新により、近年、血管造影装置を用いたコーンビーム CTの臨床応用が可能となった。

本稿では、肝腫瘍および頭頸部腫瘍の選択的動注療法における直接変換方式FPDを用いたコーンビーム CTの有用性について解説する。

#### Abstract

Compared with image intensifier television (II-TV) system, an angiography system using flat panel detector (FPD) of direct conversion type has several theoretical advantages such as high spatial resolution, wide dynamic range, square FOV, and real-time imaging capabilities with no geometric distortion. These recent development of FPD has made cone-beam CT imaging feasible for practical use in a clinical setting.

In this article, we review that the usefulness of cone-beam CT using direct conversion type FPD for the arterial chemotherapy procedure in patients with hepatocellular carcinoma and head and neck tumor in conjunction with conventional digital subtraction angiography (DSA).

**Key words** : flat panel detector, cone-beam CT, digital subtraction angiography, intra-arterial chemotherapy, hepatocellular carcinoma, head and neck tumor

#### はじめに

コーンビーム CTのコーンビームという名称はX線源の形状がコーン(円錐)状をしていることに由来する。我々のCアーム回転血管造影装置でも、島津製作所

との共同研究により2005年6月からコーンビームを放射するX線源を用いることにより3軸(X,Y,Z)等方向性の空間分解能を持つ再構成画像(コーンビーム CT)の作製が可能となった。過去の報告では、Cアーム回転

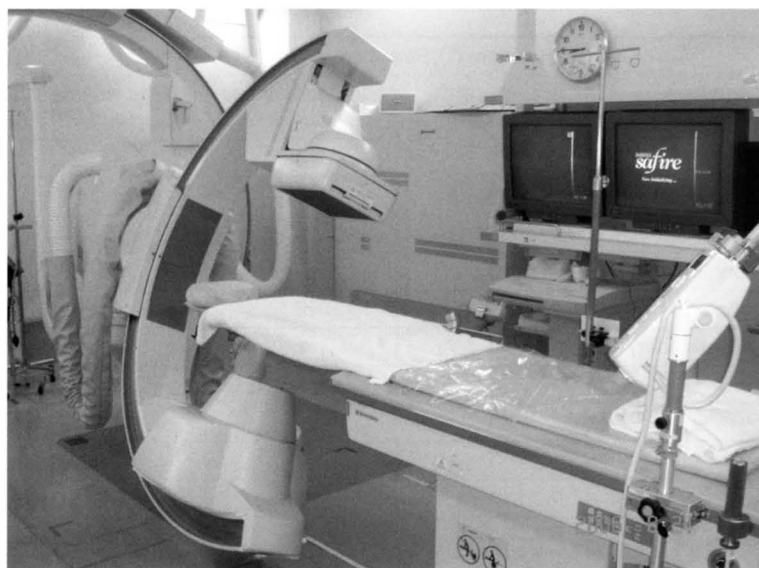


図1. DIGITEX SafireVFシステムの全景

血管造影装置を用いたコーンビーム CT の応用は骨構造など高コントラストな構造物の描出に限られてきた<sup>1,2)</sup>。我々は、この技術をIVR (interventional radiology) 領域、特に肝腫瘍や頭頸部腫瘍における選択的動注療法へ用いている。IVR 治療におけるカテーテル造影下のコーンビーム CTの有用性として、通常のdigital subtraction angiography (DSA) にコーンビーム CTを追加することで腫瘍の検出能の向上、正常組織への障害軽減や治療効果の予測などについての有用な情報が得られるなどが考えられる。ここでは、我々のIVR 治療にコーンビーム CTを使用した初期経験を中心に述べる。

### 血管造影装置

コーンビーム CTの臨床応用は、高速回転可能なCアームや高性能FPDなどの技術革新により可能となったといえる。当院では、島津製作所製血管撮影システム『DIGITEX Safire』を導入し、頭部・腹部領域の血管撮影・IVRに使用している(図1)。このシステムは、床置きCアームに直接変換方式FPDを搭載したタイプでリアルタイムDSAと3Dアンギオグラフィの撮像が可能である。FPDの仕様は、視野サイズ：12.3インチ、画素ピッチ：150 $\mu$ m、空間分解能：3.3lp/mm、入力画素数：1472 $\times$ 1472、ダイナミックレンジ：14bitであり、Cアームは3Dアンギオグラフィ撮影時には秒間60°で高速回転し、短い造影剤注入時間で撮影が可能である。

我々のシステムの特長として、直接変換方式のFPDを搭載している点が挙げられる(図2)。従来の蛍光増倍管を用いた血管造影装置では、X線入射から電気信号化まで多数の変換行程を有するため、画質の劣化や歪みが問題であった。直接変換方式FPDは、X線変換膜にアモルファスセレン (a-Se) 膜を用いており、①X線を光に変えずに直接電気信号へ変換するため散乱や情報データのロスによる画像の劣化がなく、解像度の高い鮮明な画像が得られる、②FPDシステムでは検出面が矩形であるため、辺縁部においても中心部同様の歪みのない画像を得ることができる、③ダイナミックレンジが広いため視野内に透過性の差の大きいものが存在

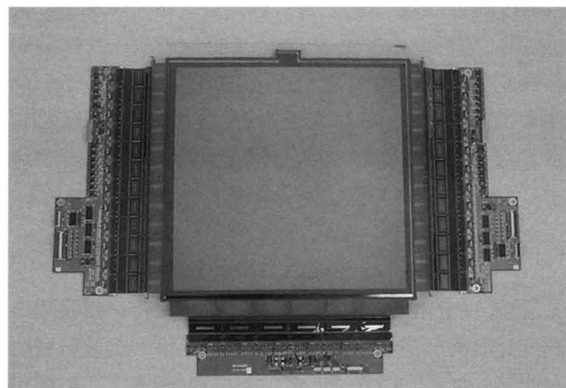


図2. 直接変換方式フラットパネル検出器

表1. Cone-beam CT angiography techniques

	Cone-beam CT Protocols			
	Location of tip of catheter	Scanning delay (sec)	Injection flow rate (mL/sec)	Total volume (mL)
Hepatocellular carcinoma	common hepatic artery	3	5	45
	proper hepatic artery	3	5	45
	left hepatic artery	3	3	39
	right hepatic artery	3	3	39
	segmental hepatic artery	1	2	12
	subsegmental hepatic artery	1	1	6
Head and Neck tumor	facial artery	1	1	11
	lingual artery	1	1	11
	maxillary artery	1	1	11
	buccal artery	1	0.5	5.5
	occipital artery	1	0.5	5.5
	ascending pharyngeal artery	1	0.5	5.5

してもハレーションが出現しにくい、などの特性を有している<sup>4)</sup>。これらの優れた特性は、高品質のコーンビームCTの作製において有効と考えられる。

### コーンビームCT

悪性腫瘍を対象としたカテーテル造影下のコーンビームCTは、回転撮影から得られたデータをワークステーションで再構成処理することで得られる。回転撮影は、3Dアンギオグラフィと同様にカテーテルを挿入した動脈から造影剤を注入する間にCアームを回転させ撮影する。この場合のCアームはトータル195°回転し、回転速度は秒間約20°である。コーンビームCTは撮影後約4分で血管造影室に近接されたモニターに表示され、医師は水平断像、冠状断像など様々な断面から病変を観察できる。なお、症例や部位により、造影剤注入のプロトコールは異なるが、主なものを(表1)に示す。造影剤は、従来のDSA撮影時の約1/3濃度を使用するため、トータル量は従来のDSAとほぼ同等である。

### コーンビームCTの被曝線量

最近、IVR手技の新たな開発・進歩に伴い長時間の高度な治療が要求され、患者および術者への被曝増加が問題となっている。我々はコーンビームCTの臨床応用に先立ち、円柱ファントムを用いて被曝線量を測定した。CTの被曝の指標であるDose length

product (DLP) を用いて、我々のコーンビームCTと通常のシングルヘリカルCTを比較したところ、コーンビームCTのDLPはシングルヘリカルCT頭部条件の約20%、腹部条件の約65%であった。

### 肝細胞癌の動注塞栓療法への応用

肝細胞癌に対するIVR治療では、治療効果を高めるための肝動脈区域枝および亜区域枝からの選択的抗癌剤動注療法や肝動脈塞栓術が広く行われている。これらの治療で十分な効果を得るためには、腫瘍血管の正確な同定と超選択的な微細血管へのカテーテルの誘導が必要である。通常の血管造影によるDSAでは三次元的構造の把握が困難なため、腫瘍血管の同定や腫瘍濃染の診断が困難な場合がある。また、術者が腫瘍血管の診断に確信が持てない場合、検査時間の延長、これに伴う被曝量と造影剤の増加につながる。

我々は肝細胞癌に対するIVR治療について、コーンビームCTを行い、IVR支援画像としての有用性を評価した。コーンビームCTの画質評価では、ほぼ全例で腫瘍濃染は明瞭に描出され(図3)、注入された造影剤の分布がコーンビームCT上で視覚化できた。IVR治療における有用性の検討では、通常のDSAにコーンビームCTを追加することで腫瘍の検出能は向上し、正常組織への障害軽減や治療効果の予測などについて有用な情報が得られた。我々の結果は、従

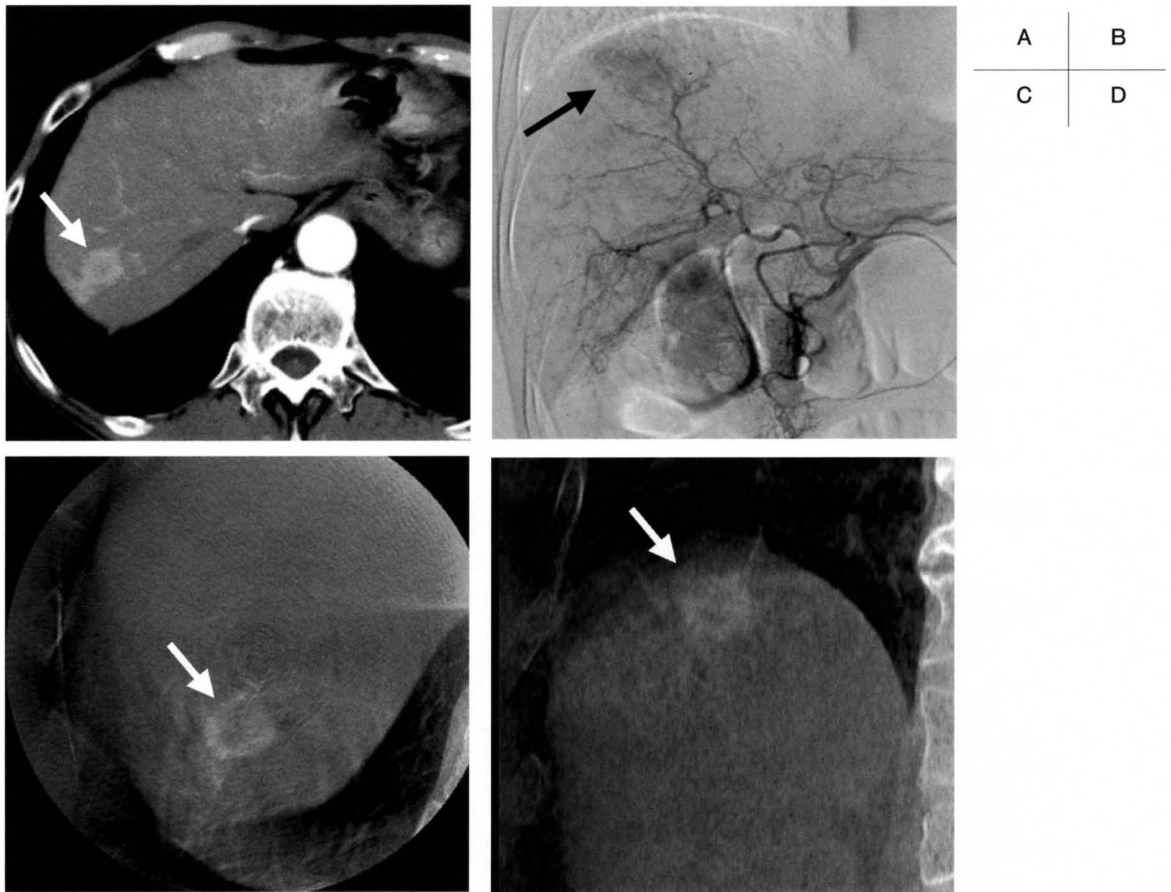


図3. 肝細胞癌の症例

- A: 血管造影前に施行された造影CT軸位断像 肝右葉ドーム下に1.5cm大の肝細胞癌を認める。  
 B: 固有肝動脈の造影で得られたDSA 肝右葉ドーム下に淡く境界不明瞭な濃染像を認める。  
 C、D: 右肝動脈上行枝から造影剤を注入して得られたコーンビーム CT軸位断像・冠状断像 従来のCTに比べてコントラストは劣るものの、腫瘍濃染が明瞭に描出されている (矢印)。

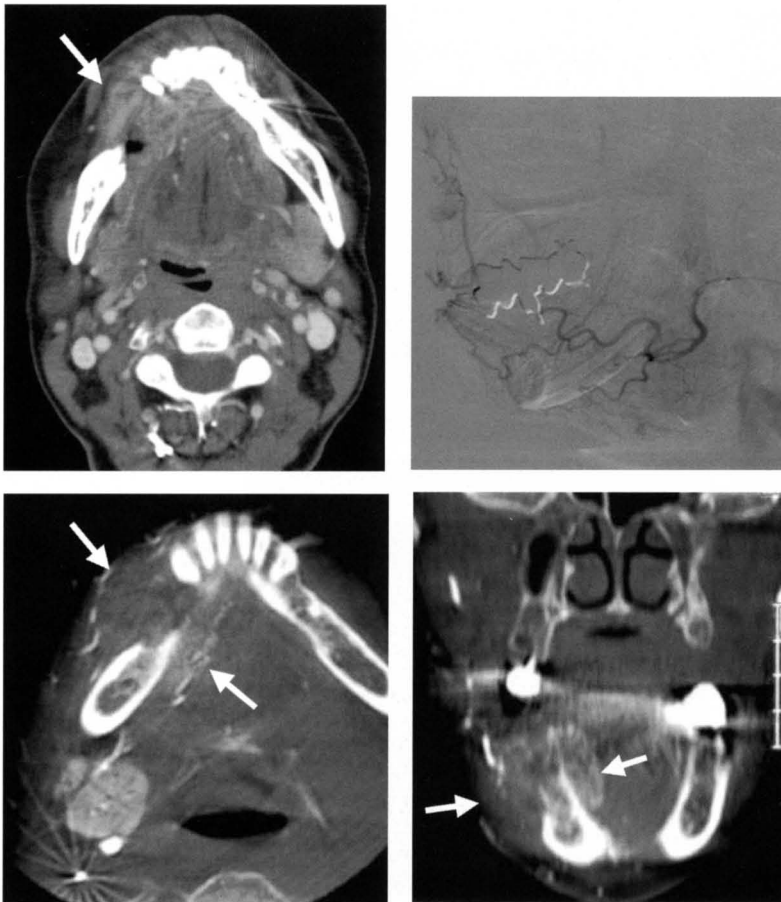
来のCTに比べてコーンビーム CTの濃度分解能は劣るものの、コーンビーム CTが肝腫瘍の選択的動注療法において有効な検査法であることを示した。

#### 頭頸部腫瘍の超選択的動注療法への応用

動注化学療法は、全身的な化学療法に比べ目的とする部位に高濃度の抗癌剤が到達するため、比較的少量で効果が期待でき、全身的な副作用を軽減できることが利点である。浅側頭動脈経由の動注化学療法は従来行われてきた手法であるが、近年はマイクロカテーテルなどTVRの発達に伴いセルジンガー法を用いた超選択的動注化学療法が普及している<sup>5-7)</sup>。我々は、頭頸部癌に対して歯科口腔外科、耳鼻咽喉科と共同で、

CDDP (シスプラチン) およびCBDCA (カルボプラチン) を用いた超選択的動注化学療法と放射線治療の同時併用療法を行っている。

頭頸部癌の超選択的動注化学療法においても腫瘍血管の同定は重要であるが、進行した頭頸部癌では動脈支配が複雑に入り組んでいる場合が多く、従来の血管造影像のみでは栄養血管の正確な同定は難しい。例えば、舌癌は通常舌動脈により栄養されるが、口腔底に進展した場合は顔面動脈からも栄養される。また、歯肉癌では、内顎動脈の分枝である下行口蓋動脈や歯槽動脈などからも栄養される<sup>8)</sup>。このような複雑な栄養血管を有す症例について、我々はインジゴカルミンを用いた色素法に加えて、コーンビーム CTによって動



A	B
C	D

図4. 骨肉癌の症例

A：血管造影前に施行された造影CT軸位断像。下顎骨右側を破壊し不均一に増強される腫瘍を認める(矢印)。

B：右顔面動脈からの造影で得られたDSA。顔面動脈が腫瘍を栄養していると思われるが、腫瘍濃染像は軽度であり、DSAのみで腫瘍栄養血管と診断するのは困難である。

C、D：顔面動脈から造影剤を注入して得られたコーンビームCT軸位断像・冠状断像。腫瘍濃染がよく描出されており(矢印)、顔面動脈が主な腫瘍栄養血管であることがわかる。このようにコーンビームCTは血管造影室に近接されたモニターに表示され、血管造影医師は軸位断像だけでなく冠状断像からも病変を観察できる。

注時の薬剤分布を確認している。

我々は、頭頸部領域におけるコーンビームCTの画質を検討した。結果は、注入された造影剤の分布がコーンビームCT上で視覚化でき、また術前のCTやMRIを参照することで腫瘍への動注薬剤の分布が予測できた。IVR支援画像としての評価では、ほとんどの症例でコーンビームCTは、通常のDSAに追加する有用な情報を与えることができた(図4)。特に、コーンビームCTは、インジゴカルミンを用いた色素法で評価困難な腫瘍深部やリンパ節転移における薬剤分布の確認、多数の栄養血管が関与する場合の動注薬剤の量と割合の決定などに有用であった。

#### IVR-CTとの比較

IVR治療においては、従来血管造影・IVR装置とCT装置を一体化したいわゆるIVR-CT装置の有用性が広く知られている<sup>9, 10)</sup>。このIVR-CT装置と比較

した場合、我々のコーンビームCTは、経済面では高い購入費用や広い設置スペースが必要ない、血管造影手技に関してはCT装置と血管造影装置との間の移動が必要ない、などの利点がある。また、前述したようにCTの被曝量の指標であるDLPは、従来のシングルヘリカルCTより少なかった。

#### おわりに

以上、コーンビームCTのIVR治療への応用について有用性を中心に述べたが、臨床応用は始まったばかりであり、脾動脈や子宮筋腫の塞栓療法など他の多くの領域・疾患への応用が可能と考える。今後の検討課題として、我々が現在使用しているFPDの視野サイズ(field of view; FOV)は12.3インチであり、躯幹部での応用を更に進めるためには、更に大きなFOVが必要である。また、コーンビームCTの撮像条件について造影剤の流入速度や撮像タイミングなど

最適化をすすめる、造影剤量の低量化についても検討する必要がある。

### 参考文献

1. Akpek S, Brunner T, Benndorf G, et al : Three-dimensional imaging and cone beam volume CT in C-arm angiography with flat panel detector. *Diagn Interv Radiol.* 11:10-13, 2005.
2. Linsenmaier U , Rock C, Euler E , et al : Three-dimensional CT with a Modified C-Arm Image Intensifier: Feasibility. *Radiology* 224:286-292, 2002.
3. El-Sheik M, Heverhagen JT, Alfke H, et al: Multiplanar reconstructions and three-dimensional imaging (computed rotational osteography) of complex fractures by using a C-arm system: initial results. *Radiology* 221:843-849, 2001.
4. Hatakeyama Y, Kakeda S , Korogi Y, et al : Intracranial 2D and 3D DSA with flat panel detector of the direct conversion type: initial experience. *Eur Radiol.* (in press)
5. Korogi Y , Hirai T , Nishimura R , et al : Superselective intraarterial infusion of cisplatin for squamous cell carcinoma of the mouth. preliminary clinical experience. *AJR Am J Roentgenol* 165:1269-1272, 1995.
6. Imai S , Kajihara Y , Munemori O , et al : Superselective cisplatin (CDDP)-carboplatin (CBDCA) combined infusion for head and neck cancers. *Eur J Radiol.* 21:94-99, 1995
7. Robbins KT , Fontanesi J , Wong FS , et al : A novel organ preservation protocol for advanced carcinoma of the larynx and pharynx. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg.* 122:853-857, 1996
8. 石井章彦、興梠征典、西村龍一、他：頭頸部領域の悪性腫瘍に対する超選択的動注療法。IVR会誌。16：24-29, 2001.
9. Hirai T, Korogi Y, Ono K, et al : Intraarterial chemotherapy or chemoembolization for locally advanced and/or recurrent hepatic tumors: evaluation of the feeding artery with an interventional CT system. *Cardiovasc Intervent Radiol.* 24:176-179, 2001.
10. Inaba Y, Arai Y, Kanematsu M, et al : Revealing hepatic metastases from colorectal cancer. value of combined helical CT during arterial portography and CT hepatic arteriography with a unified CT and angiography system. *AJR Am J Roentgenol.* 174:955-961, 2000.

ダウンロードされた論文は私的利用のみが許諾されています。公衆への再配布については下記をご覧ください。

### 複写をご希望の方へ

断層映像研究会は、本誌掲載著作物の複写に関する権利を一般社団法人学術著作権協会に委託しております。

本誌に掲載された著作物の複写をご希望の方は、(社)学術著作権協会より許諾を受けて下さい。但し、企業等法人による社内利用目的の複写については、当該企業等法人が社団法人日本複写権センター((社)学術著作権協会が社内利用目的複写に関する権利を再委託している団体)と包括複写許諾契約を締結している場合にあっては、その必要はございません(社外頒布目的の複写については、許諾が必要です)。

権利委託先 一般社団法人学術著作権協会  
〒107-0052 東京都港区赤坂9-6-41 乃木坂ビル3F FAX:03-3475-5619 E-mail:info@jaacc.jp

複写以外の許諾(著作物の引用、転載、翻訳等)に関しては、(社)学術著作権協会に委託致しておりません。

直接、断層映像研究会へお問い合わせください

Reprographic Reproduction outside Japan

One of the following procedures is required to copy this work.

1. If you apply for license for copying in a country or region in which JAACC has concluded a bilateral agreement with an RRO (Reproduction Rights Organisation), please apply for the license to the RRO.

Please visit the following URL for the countries and regions in which JAACC has concluded bilateral agreements.

<http://www.jaacc.org/>

2. If you apply for license for copying in a country or region in which JAACC has no bilateral agreement, please apply for the license to JAACC.

For the license for citation, reprint, and/or translation, etc., please contact the right holder directly.

JAACC (Japan Academic Association for Copyright Clearance) is an official member RRO of the IFRRO (International Federation of Reproduction Rights Organisations).

Japan Academic Association for Copyright Clearance (JAACC)

Address 9-6-41 Akasaka, Minato-ku, Tokyo 107-0052 Japan

E-mail info@jaacc.jp Fax: +81-33475-5619