

## 総説

腹部IVRにおけるFlat Panel Detector搭載  
Cone-beam CTの有用性の検討阿知波 左千子、廣田 省三、山本 聡、新井 桂介、小林 薫、  
前田 弘彰、安藤 久美子、石蔵 礼一、中尾 宣夫

兵庫医科大学放射線医学教室

Cone-beam CT equipped with Flat Panel Detector DSA in  
abdominal interventional radiologySachiko Achiwa, Syozo Hirota, Satoshi Yamamoto, Keisuke Arai, Kaoru Kobayashi,  
Hiroaki Maeda, Kumiko Ando, Reiichi Ishikura, Norio Nakao

Department of Radiology, Hyogo College of Medicine

## 要旨

大視野 Flat Panel Detector (以下 FPD) を搭載した天井走行 C アーム型装置 PARTIRE を用いて、回転撮影画像から Cone-beam CT 画像を生成する機能を日立メディコと共同開発し、2003年から臨床応用を行っている。腹部 IVR における CT Angio の有用性を肝腫瘍を中心に検討し、臨床画質評価、腫瘍検出能、将来の展望に関して論ずる。

## Abstract

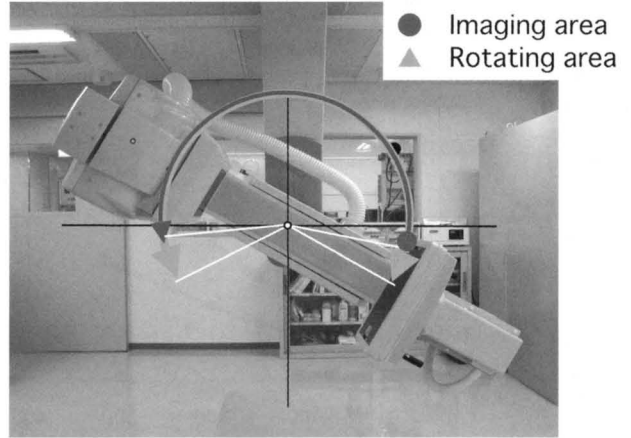
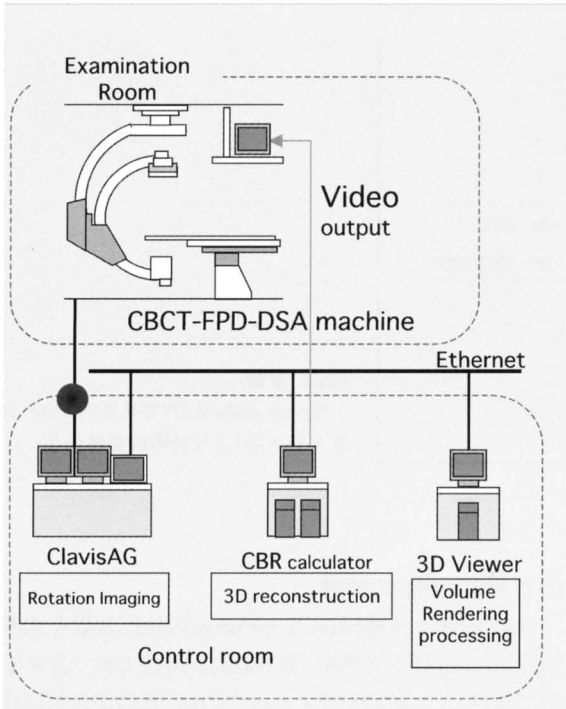
We have developed a cone-beam CT function using projection data acquired during rotation of the C-arm system (PARTIRE), with a large area flat panel detector (FPD) in cooperation with Hitachi Medical corporation. We evaluated usefulness of CT Angio using cone-beam CT for abdominal intervention and detection of hepatic tumors.

**Key words :** cone-beam CT, HCC,

## 1. はじめに

Feldkamp がコーンビーム CT (CBCT) の理論を発表して以来、多くの試みが行われてきたが<sup>1)2)</sup>、我々は日立メディコと組み、大型 (40×30cm) の Flat Panel Detector (FPD) を検出器に用いた CBCT の共同開発に成功した。体幹部では初めて臨床的に評価できる性能をもった CBCT であり、2004年4月に IVR 専用機 PARTIRE (日立メディコ) の

CBCT機能として臨床に応用可能となった。2005年に、シーメンス社も CBCT を発表し、我が国でも徐々に導入されはじめている。CBCT は、FPD搭載血管造影装置による回転 DSA で得られた情報を、volumeデータとして処理し、CT 画像を再構成する。面検出器で得られた情報は、完全な isotropic な voxel を形成することから、横断、冠状断、矢状断などの断層面が同じ情報で作成される点も画期的である。3D 表示もワーク



**Cone-Beam CT System**  
 FPD ; 40×30cm Acquisition rate :  
 30f/s, 150 projections  
 Rotation : 200° /5sec SID : 120cm,

図1. CBCTシステム

200度の回転撮影はデータ収集装置Clavis-AGにより行われる。CBCT再構成演算器は複数のCPUを用いて並列演算を行うPCベースの高速演算器でコーンビームCT再構成演算を行って3次元CT像を生成し内蔵された自動表示Viewerにスライス像を表示するとともに3D Viewerへ自動転送する。

ステーションで作成できる。この装置は血管造影装置でありながら CT が撮影できることから、省スペース、短時間撮影を可能にし、Angio CT が簡単に撮影できる利点を有する<sup>3)~10)</sup>。一般病院や手狭な Angio 室で行う IVR にとっては、極めて有用な装置である。我々の施設では2003年に FPD による CBCT 画像が撮影可能となり、臨床例を中心に経験を積み重ねている<sup>11) 12)</sup>。今回、被曝線量の検討に加えて、腹部の画像を中心に画質の評価、造影 MDCTとの腫瘍検出能の比較を中心に述べる。

## 2. コーンビーム CT (CBCT) について (図1)

血管撮影装置としては間接型の 40×30 cmの大型 FPD を搭載した回転 DSA 装置 PARTIRE を用いた。C アームは LAO 95度~RAO 105 度の 200 度を5秒で回転し、毎秒 30 フレームで、秒間 150 枚撮影する。データ収集は 2×2 の東ね読み出しを行い、画素サイズ 0.388 mmで、1024×768 画素の収集を行う。標準

の再構成処理では、収集したデータにさらに 2×2 画素加算を行って、512×384 画素のデータとして感度補正、対数変換し投影処理を行った後、視野はみ出し補正をし、Feldkamp の方法により再構成を行う。再構成できる領域は直径 235 mm、高さ 176 mmの円柱領域で、512×512 画素での再構成を行っている。再構成時間は約 2 分 30 秒である。3D 再構成は Voxar (Voxar limited) または Virtual Place (株式会社AZE)で行なった。アイソトロピックなボクセルのため、精細な冠状態、矢状断が撮像できる。また、最初のスキャンから 20 秒程度おけば、第 2 スキャンが撮像できる。この機能は、他社製品にはなく、後期相が撮像でき、濃染パターンの解析に役立つ。時間分解能が高い CT といえる。

## 3. 被曝に関する基礎的検討

線量は円柱状ファントムモデル (CTDI;φ160mm) と線量計で計測をした。Single helical CT である

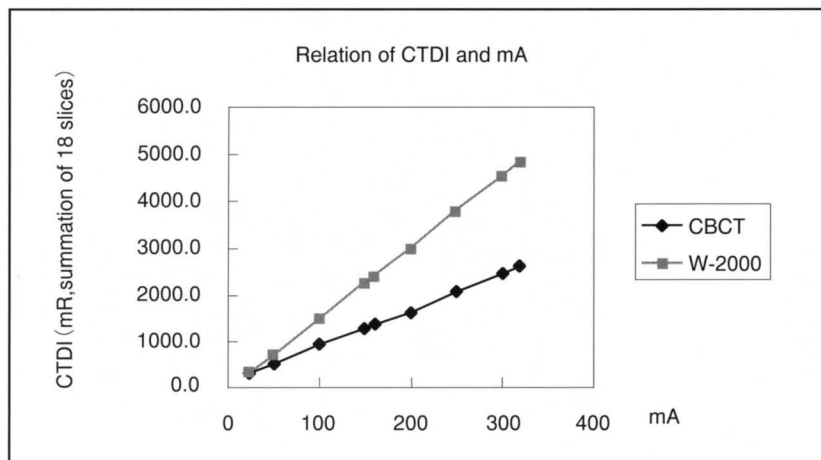


図2. 被爆

Single helical CTであるW2000(日立メディコ)より被曝線量が少ない。

W2000 (日立メディコ)より被曝線量が少ない。(図2)

#### 4. 臨床的検討

##### a) 対象及び方法

2004年9月から2006年1月までの間でコーンビームCTにてCTAPを撮影し(以後CBCTAP)、術前の経静脈性造影Multi Detector CT(以後MDCT)と比較できた肝腫瘍46例、転移性肝腫瘍6例の計52例にて検討した。術前MDCTとCBCTAPの撮影できた時期の間隔は平均39日であり、最長は84日、最短では1日後にCBCTAPを撮影している。

撮影プロトコルとして、大視野FPD搭載天井走行Cアーム型装置PARTIREにて、200度の回転角度を5秒間でプロベラ回転し、回転中に毎秒30フレームの速度で合計150枚の投影像を撮影した。その回転撮影データからコーンビームCT再構成を行った。CTAPは造影剤を2ml/秒、計45mlで30秒後に撮影し、CTAは2ml/秒、計20mlで10秒後に撮影した。

##### b) 画質評価

3人の放射線科専門医がそれぞれ5点評価で画質評価し、その評価点数平均値を求めた。肝の辺縁が追え、MDCTと同等と考えられる画質を3点とした。その評価点数平均値は2.7点であった。CBCTの画像は放射状のアーチファクトによる画質劣化が若干みられるものの、血管造影の併用でコントラストの上昇が得られ、臨床使用上問題がないレベルの画質といえる。

##### C) 肝腫瘍検出能の検討

CBCTAPと術前MDCTとの腫瘍の検出個数を比較検討した。肝腫瘍56例中、個数計測が可能であった46症例で検討した。計測不能であったのは、腫瘍が無数に存在している1例と、門脈浸潤によりCTAPで区域性のdefect像を呈した5例であり、除外した。46症例中、CBCTAPの病変数は258個、MDCTでの病変数は211個であった。

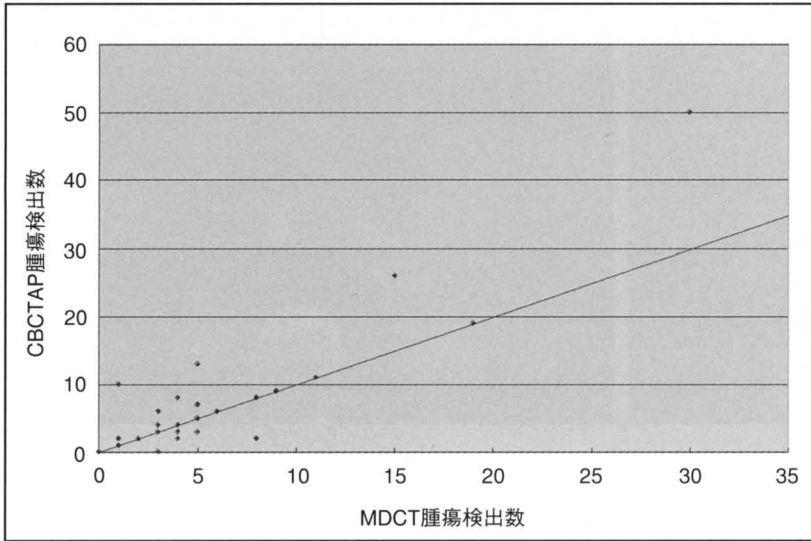
また、同一症例での腫瘍検出能の比較として、CBCTの病変数をMDCTの病変数で除した値をR (ratio:  $R = \text{CBCTの病変数} / \text{MDCTの病変数}$ )と定義し、Rが以上の時、CBCTの方が腫瘍検出能は高いとした。Rの平均値は1.4であり、 $R > 1$ であるのは12例、 $R = 1$ であるのは31例、 $R < 1$ であるのは4例であった。(図3)

CBCTAPの腫瘍検出個数は、血管造影前の経静脈性造影MDCTに比べ多く検出できた。特に、腫瘍個数が少ない症例ではほぼ同等の検出能を示したが、腫瘍個数が多くなるとCBCTAPの検出能が高く、臨床的有用性を示した。

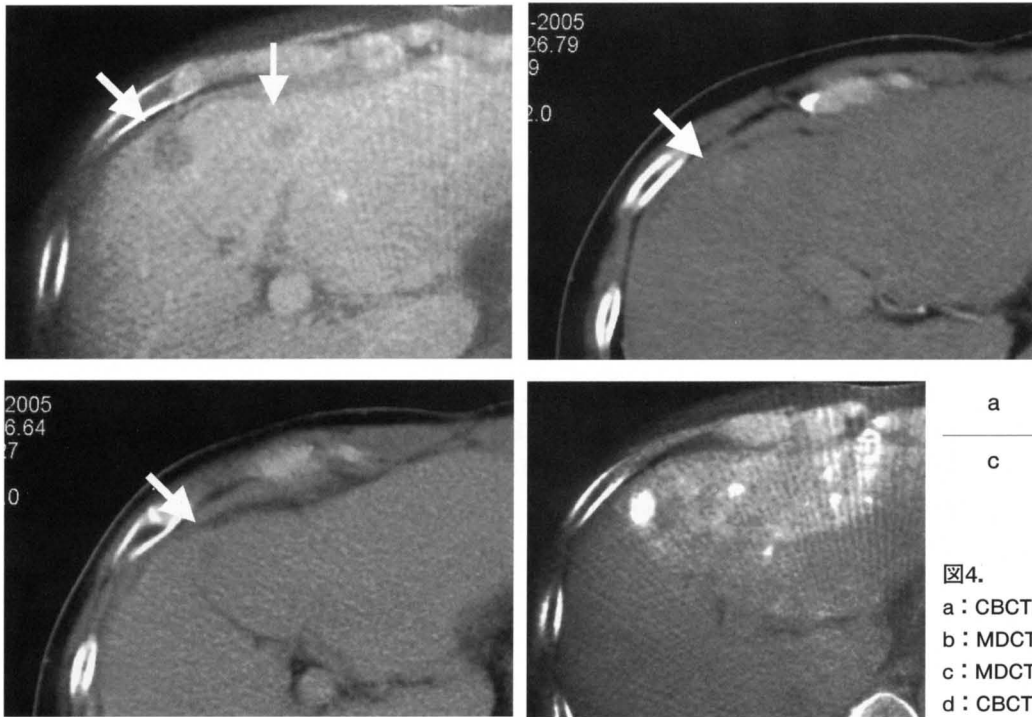
##### d) IVRにおけるCBCTの有用性

PSE 3例、B-RTO 5例、脾動脈瘤コイル塞栓術2例で検討した。

PSEで脾梗塞の範囲予測に、B-RTOではカテーテル先端位置と静脈瘤との位置関係の把握に、脾動脈瘤コイル塞栓術では、バルーン閉塞後の脾への側副路の予測に有用であった。



**図3. CBCTAPの腫瘍検出能**  
 横軸：MDCTの病変数、縦軸：CBCTAPの病変数。 $R = \text{CBCTの病変数} / \text{MDCTの病変数}$ と定義し、 $R \geq 1$ でCBCTの有用性があるとする。ラインがMDCTとCBCTAPとの病変数が同数すなわち $R=1$ のラインで、ライン上には31症例みられ、 $R$ が1以上であるのは12症例、 $R$ が1以下であるのは4症例であった。



**図4.**  
 a：CBCTAP  
 b：MDCT (early phase)  
 c：MDCT (late phase)  
 d：CBCT (post TAE)

CBCTはIVR施行中でもテーブル移動がなく、CTの撮影までの時間短縮が可能となる。そして、画像は横断像だけでなく、冠状断像、矢状断像も同時に観察でき、isotropic voxelなので、冠状断像、矢状断像ともに横断像と同等の画質を得ることができる。これはIVR施行時において有用であった。

**5. 症例提示**

**症例1:47才 男性 HCC (図4)**

MDCTでは1ヶ所しか腫瘍を検出できなかったが、CBCTAPにて2ヶ所検出できている。TAE後も2ヶ所集積している。尚、CBCTとMDCTの撮影時期の差は30日。画質評価3点。

特集：FPDによるコーンビームCTの進歩

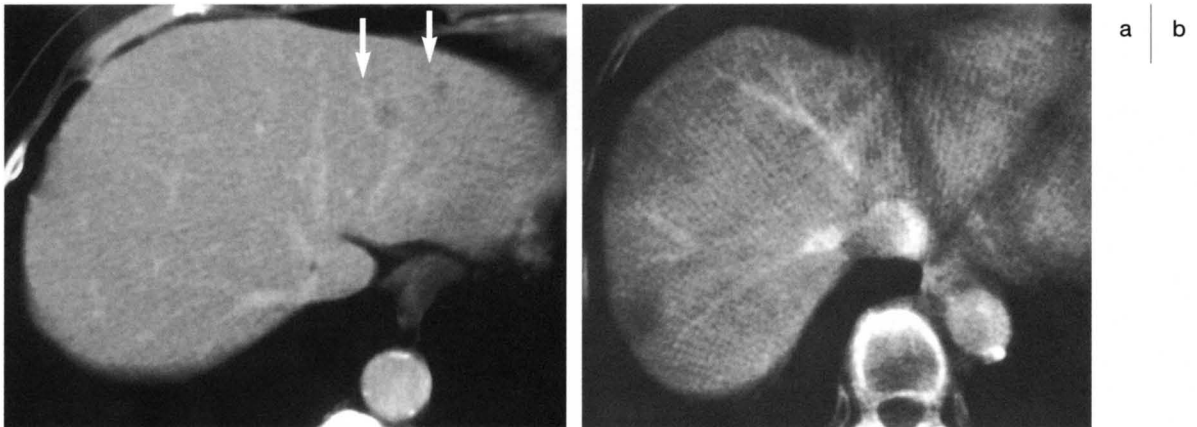


図5. a : CBCTAP, b : MDCT (late phase)

**症例2：72才 女性 転移性肝癌(図5)**

MDCTでは肝辺縁の腫瘍がはっきりしないが、CBCTAPにて肝辺縁の腫瘍が検出できている(矢印)。CBCTとMDCTの撮影時期の差は28日。画質評価3点。

**症例3：66才 男性 胃静脈瘤(図6)**

胃静脈瘤とカテーテルの関係が冠状断像でよくわかる。

**6. まとめ**

最近、Siemens社はじめ、2,3社から CBCT が発表され、にわかに IVR に対する CBCT が注目を集めてきた。その魅力は回転 DSA により C アームが 200 度回転するだけで、CT が撮影できることで、一般病院にとって設置の利点は極めて大きいと思われる。Angio を併用する Angio CT 専用装置と考えるなら、臨床的に使えるマシンとなる。CBCT はさらに、CT ガントリーが不要で省スペースであり、価格もガントリー付き CT と比べ安く、省コストであり、被曝も今回の検討結果からみられるように single ヘリカル CT より低く、テーブル移動がなく、スキャン時間が 5 秒と省時間も実現している。空間分解能も比較的高い。また、日立メディコの CBCT は 2 相の撮影が可能である。この 2 相撮影は腫瘍の質的診断に有用で、特に vascularity や、washout をみることができ、大きな長所である。一方、欠点としては、低濃度分解能が低く、また散乱線アーチファクト、streak アーチファクトという欠点があり画質の程度がやや劣ることである。今回の検討で

も、画質のスコアは 2.7 であった。しかし、腫瘍の検出能は血管造影を併用することで高くなり、経静脈造影 MDCT よりも腫瘍の検出能が高い結果を得たことは、CBCT の臨床的有用性を担保したものと考えられることができる。

再構成時間が 2 分 30 秒と長いことは短所の一つで、即時性が要求される IVR においては血管走行の判定目的ならば回転 DSA で十分である。撮像範囲が 235 mm とやや小さいことも弱点の一つに上げられる。これらの欠点は、第二世代のデータ量の多い FPD が導入されると解決されると期待されており、再構成時間の短縮も期待できる。

CBCT は省スペース、省コスト、省被曝、省時間という素晴らしい利点を有しており、今後の更なる発展が待たれる。

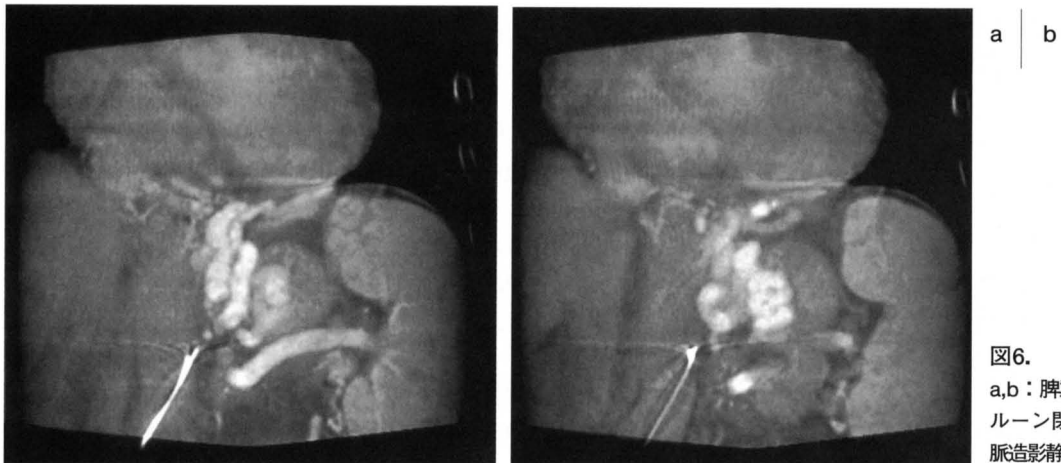


図6.  
a,b: 脾動脈起始部をバルーン閉塞させた脾動脈造影静脈相、冠状断像。

#### 参考文献

1. Feldkamp LA, Davis LC, Kress JW : Practical cone-beam algorithm. J Opt Soc. Am A6: 612-619,1984.
2. Colbeth R.E, Boyce S, Fong R. : 40×30 cm flat panel imager for angiography, R&F, and cone-beam CT applications, Proc SPIE 2001 4320: 84-102,2001.
3. Suzuki K, Ikeda S, Ueda K, et al : Development of angiography system with cone-beam reconstruction using large-area flat panel detector. Proc SPIE 2004 5368: 488-498,2004.
4. Baba R, Ueda K, Kadomura T : High-resolution FPD cone-beam CT for dental and orthopedic surgery; 351PH-p, RSNA 2002-88th Scientific Assembly and Annual Meeting, Dec 1-6, Chicago IL,2002.
5. Nikolaou K, Flohr T, Stierstorfer K, et al : Flat panel computed tomography of human ex vivo heart and bone specimens: initial experience. Eur Radiol. 15:329-33,2005.
6. Siewerdsen JH, Moseley DJ, Burch S, et al : Volume CT with a flat-panel detector on a mobile, isocentric C-arm : pre-clinical investigation in guidance of minimally invasive surgery. Med Phys 32:241-54,2005.
7. Baba R, Konno Y, Ueda K, et al : Comparison of flat-panel detector and image-intensifier detector for cone-beam CT. Comput Med Imaging Graph 26:153-8,2002.
8. Baba R, Ueda K, Okabe M : Using a flat-panel detector in high resolution cone beam CT for dental imaging. Dentomaxillofacial Radiology 33 ; 285-290,2004.
9. 植田健、岡部正和、角村卓是 他: PARTIREによるコーンビームCT画像. MEDIX vol42 ; 34-37,2004.
10. 廣田省三、中尾宣夫、石蔵礼一 他 : コーンビームCT (CBCT) の開発と臨床経験. Rad Fan (1) : 38-41, 2006.
11. Hirota S et al : Impact of cone-beam computed tomography installed with flat panel digital subtraction angiography for abdominal interventional radiology : Preliminary report 159. Abstract of CIRSE 2005, Nice, France, 2005
12. Hirota S, Nakao N et al : Cone-beam CT with Flat-panel-detector Digital Angiography System. Early Experience in abdominal interventional procedures. Carido Vasc Intervent, online published 19 September, 2006.

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