

第49回日本小児放射線学会シンポジウムより

**特集**

**CT被ばく：小児CT被ばくの現状、各CT機器メーカーの対応**

### 3. CT機器メーカーとしての小児CTへの対応

宮西佐代子

シーメンス・ジャパン株式会社 イメージング&セラピー事業本部 CTビジネスマネージメント部

#### Contributing to pediatric CT as a medical-equipment company

Sayoko Miyanishi

CT Business Management Dpt., Imaging & Therapy System Div., Siemens Japan K.K.

#### Abstract

As our first priority is reduction exposure, Siemens has made market research and development of the system, based on the concept of CARE Program (Combination of Application for Reducing Exposure). It is a multiple program, consisting of “Hardware”, “Software” and “Training”.

Reducing Exposure is also an important issue in pediatric CT. It has been recognized as an important issue as well as environmental improvement of the examination room and control of “movement” such as breathing, heart beat stop-motion in order to achieve high image quality. Siemens provides a Solution using a variety of techniques.

Siemens is the world’s largest provider of scale in health care, and we have a lineup of many clinically relevant innovations to meet the needs of CT. We believe that by providing a variety of solutions, we have a role to play in promoting the efficiency of testing and improving the quality of medical care.

**Keywords :** *CARE Program (Combination of Application for Reduction Exposure), Reduction exposure*

#### はじめに

近年、CTの技術はめまぐるしく進歩しており、それに伴い医療現場におけるCTが担う役割も非常に多岐に渡り、必要不可欠な画像診断機器となっている。その一方で、UNSCEAR (国連科学委員会)<sup>1)</sup>からの報告に代表されるとおり、医療被ばく全体におけるCTの割合が高いのも事実である。そのため、我々医療機器メーカーは単に装置の性能を向上させるだけでなく、性能を向上させながら被ばくを下げるということが重要課題となっている。

シーメンスは被ばく低減の追求を第一優先と

して、CARE Program (Combination of Application for Reduction Exposure) のコンセプトのもと、装置の研究開発および製品化を行ってきた (Fig.1)。CARE Program とは“ハードウェア”、“ソフトウェア”の両面から被ばく低減を実現し、それらを有効的に使用していただくための“トレーニング”の3本柱からなる複合的なプログラムである。

さらに、小児CTにおいては被ばく低減も重要な課題のひとつではあるが、高画質を実現するためには呼吸・心拍動・体動などの“動き”の制御や検査室内の環境整備なども重要な課題と認識している。シーメンスではこれらに対しても様々な技術を用いたSolutionを提供している。

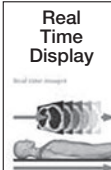
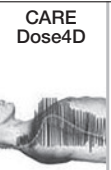
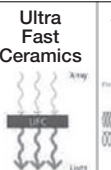
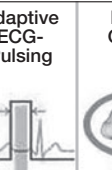
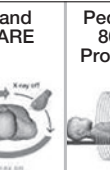
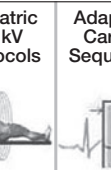
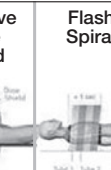
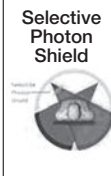
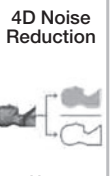
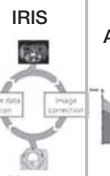
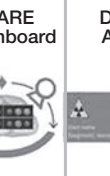
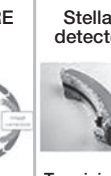
|                                                                                                                                                |                                                                                                                                          |                                                                                                                                           |                                                                                                                                  |                                                                                                                                            |                                                                                                                                         |                                                                                                                                                 |                                                                                                                                               |                                                                                                                                              |                                                                                                                                                             |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>Real Time Display</p> <p>Precise scanning</p> <p>1981</p> |  <p>CARE Dose4D</p> <p>Up to 68%</p> <p>1994</p>        |  <p>Ultra Fast Ceramics</p> <p>Up to 30%</p> <p>1997</p> |  <p>Sure View</p> <p>No penalty</p> <p>1999</p> |  <p>Adaptive ECG-Pulsing</p> <p>Up to 50%</p> <p>1999</p> |  <p>Hand CARE</p> <p>Up to 70%</p> <p>1999</p>         |  <p>Pediatric 80 kV Protocols</p> <p>Up to 50%</p> <p>2002</p> |  <p>Adaptive Cardio Sequence</p> <p>1-3 mSv</p> <p>2007</p> |  <p>Adaptive Dose Shield</p> <p>Up to 25%</p> <p>2007</p> |  <p>Flash Spiral</p> <p>&lt;1 mSv</p> <p>2008</p>                        |
|  <p>Selective Photon Shield</p> <p>No penalty</p> <p>2008</p> |  <p>4D Noise Reduction</p> <p>Up to 50%</p> <p>2008</p> |  <p>X-CARE</p> <p>Up to 40%</p> <p>2008</p>              |  <p>IRIS</p> <p>Up to 60%</p> <p>2009</p>       |  <p>CARE Analytics</p> <p>Dose Analysis</p> <p>2010</p>   |  <p>CARE Dashboard</p> <p>Monitor dose</p> <p>2010</p> |  <p>Dose Alert</p> <p>Alert for high dose</p> <p>2010</p>      |  <p>CARE kV</p> <p>Up to 60%</p> <p>2010</p>                |  <p>SAFI RE</p> <p>Up to 60%</p> <p>2010</p>              |  <p>Stellar detector</p> <p>To minimize electronic noise</p> <p>2011</p> |

Fig.1 シーメンスの被ばく低減に対する取り組み (表示パーセンテージ(%)は、自社製品比)

本稿では、代表的なシーメンスの被ばく低減技術と小児CTに対する取り組みに関して概説する。

## 被ばく低減における 小児CTへの取り組み

### 1. CARE Dose 4D

一般的なAEC (Auto Exposure Control) 機構は、本撮影前に撮るトポグラム (位置決めスキャン) を元にして管電流制御を行うが、CARE Dose 4Dはトポグラムからの情報だけでなく、撮影中にもある方向で受けた減弱のデータを180度後の出力に反映させることで線量コントロールを行っている。また、この角度調整をx-y面内で最大200ポイント行っており、減弱の大きな部位においてもより適切な線量調整が可能のため、より最適な線量コントロールが行え、画質を維持しながら被ばく低減が可能である。

### 2. CARE kV

前述で紹介した管電流の制御は既に確立された方法であるが、管電圧の制御に関しても、被検者および検査目的に応じて最適な管電圧を選択することで線量が低減できることも報告されている<sup>2,3)</sup>。しかし、CTの管電流、管電圧および画質 (造影コントラスト、ノイズおよびコントラストノイズ比: CNR) は複雑に関係しているため各被検者や

検査に個別に対応した管電圧の調節は難易度が高く、マニュアルで毎回設定をするには日常診療においては非効率である。

DefinitionシリーズにはCARE kVが搭載されている。本機能は個々の患者や臨床的適応に応じた最適管電圧を自動で設定し、同時にCARE Dose4Dによって管電流の制御を行う機能である (Fig.2)。

また、最新のSTRATON管球は上記機能に加えて70kVも選択可能となっているため (CARE Child)、さらなる被ばく低減が期待できる。

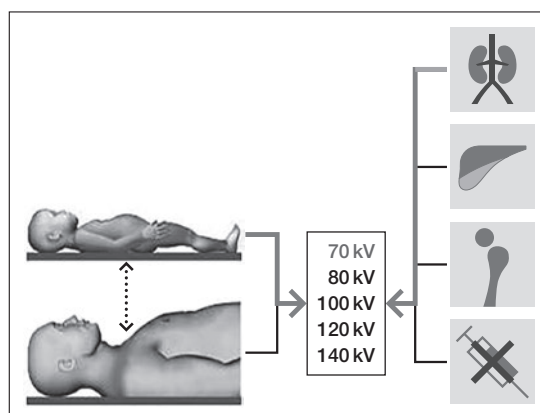


Fig.2 CARE kV

### 3. Adaptive Dose Shield

マルチスライスCTの登場から10年以上が経過し、現在では多列や検出器幅を謳ったCTが存在するが、被ばく低減の観点から考えると、これらは単純に喜べる話ではない。検出器幅より細かく管電流制御を行うことは不可能であり、過度な被ばくを助長する一因になっているだけではなく、スパイラル撮影時には画像再構成領域の前後180度分のデータ収集(X線照射)が必須であり、画像再構成領域以外にも被ばくすることになる。この割合は多列化したCT・検出器幅の広いCTほど高くなる。

Definitionシリーズに搭載されたAdaptive Dose Shieldは、2枚のコリメータブレードが独立した正確かつ高速な動作により画像再構成領域以外への被ばくを低減する。スパイラルスキャン時において開始時には非対称に開き、関心領域ではビーム幅に合わせて開放され、終了時は開始時と同様に非対称に閉じる(Fig.3)。ピッチに連動したコリメータブレードの制御は、画像再構成領域以外への不必要なX線ビームを遮断し、腹部のルーチン検査では20%以上(自社製品比)もの被ばく低減を実現する<sup>4)</sup>。

### 4. SAFIRE (Sinogram Affirmed Iterative Reconstruction)

現在のCT画像再構成において主に採用されている方法は、統計学的には近似解型に分類されるFBP (Filtered Back-projection)だが、近年のCTの発展に伴うデメリットとして検出器の多列化によるコーンビームアーチファクト、コリメーション

の狭小化によるウィンドミルアーチファクト、ガントリ回転速度の高速化による画像ノイズの増加などが存在し、FBPによる画像再構成では非常に悩ましい問題として直面している。

画像再構成法の分野で現在、注目を集めているのが、逐次近似型の画像再構成である。シーメンスではPWLS法 (Penalty Weighted Least-Square) を応用したSAFIRE (Sinogram Affirmed Iterative Reconstruction)を2010年に発表した。

SAFIREはPWLS法を応用しており、フォワードプロジェクションの過程において、焦点サイズや検出器サイズ、エックス線スペクトルなどCT装置の物理特性を加味した計算を行うことができ

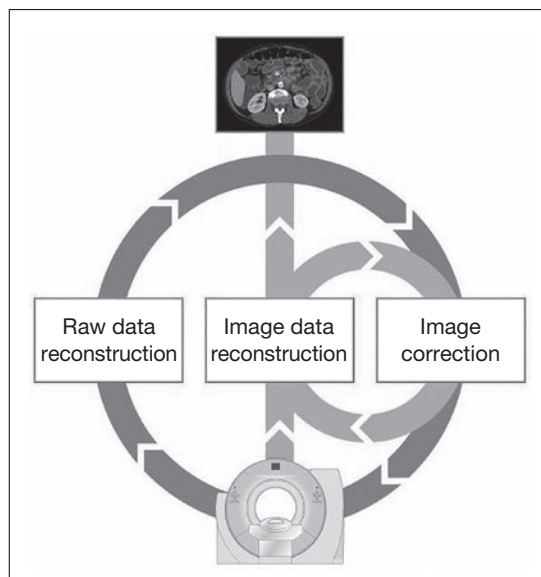


Fig.4 SAFIREの原理図

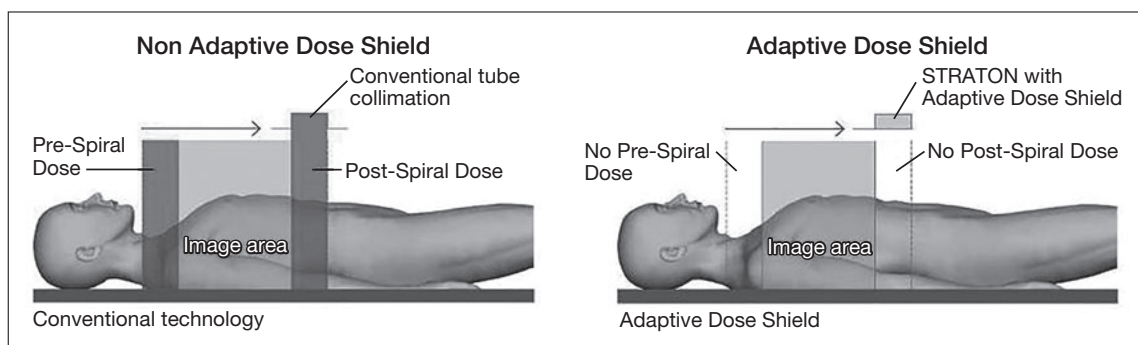


Fig.3 従来型コリメーション(左)とAdaptive Dose Shield(右)

(Correction Image), 一方で計算式としての解の安定化を図るために正規化 (Regularization) を取り入れたパートもある (Fig.4). これにより, 低線量撮影において, 単に画像ノイズを低減するだけでなく, 空間分解能の担保も実現した理想的なCT画像を作成することが可能となった. 結果としてはSAFIREを使用することにより最大60% (自社製品比) の被ばく低減を実現することが可能であり, 2011年11月に米国の政府機関であるFDA (Food and Drug Administration) の認可を得て, 被ばく低減の有効性が認められている.

## 5. Stellar Detector

シーメンスは検出器素材の開発を自社のディテクタ開発研究所で行っており, 現行の全てのCTにおいて, 感度が高く残光特性の良い検出器素材であるUFC (Ultra Fast Ceramic) を使用している. この検出器素材における発光効率は従来の2.5倍, 残光特性は250倍の能力を有しており, 被ばく低減を実現するために必要不可欠なハードウェアとして広く認知されている.

近年ではSAFIREに代表される逐次近似法による画像再構成法に注目が集まっているが, もちろん被ばく低減に対する取り組み方法は冒頭に示したとおり多岐にわたる. 被ばく低減において高い

評価と実績を有しているシーメンスでは, 次世代における被ばく低減を見据えた取り組みとして新しい検出器『Stellar Detector』 (Fig.5) を開発し, 2011年の北米放射線学会で発表し, 2012年より実機搭載を行っている.

従来のX線検出器構造ではシンチレータで入射X線の強度に比例した光に変換し, フォトダイオードで光から電気信号に変換する. 次に信号はフォトダイオードからアナログで出力されるが, この際にアナログ回路上のノイズが生じる. 特に低線量撮影の場合にはSNR低下の影響は大きく, これが線量低減にリミテーションをもたらす1つの要因となっている.

しかし, シーメンスが新しく開発した検出器 Stellar Detectorでは, アナログデジタル変換を行うADコンバータをシンチレータに直接蒸着する技術を開発し, 入射X線をデジタル信号として取り出せるICチップ化の具体化に成功した. このシーメンス独自の技術により従来の検出器に比べて大幅にノイズを低減させることで, 低線量撮影においてもSNRを担保した画像の取得が可能となった.

## 被ばく低減以外における 小児CTへの取り組み

### 1. 装置の静寂性

小児の検査において, 高画質と低被ばくを両立することも重要だが, これらを実現するためには患児が安心して検査を受けることができる環境を整えることも重要であると考えられる.

通常, CT装置はガントリ内に発生した熱はファンによる冷却, 空冷方式が一般的である. 特別なシステムが不要ではあるが, 冷却ファンによる音によって寝ている患児が起きてしまったり, 起きた状態で検査可能な患児は恐怖心を抱いてしまったりと検査に支障をきたす場合がある.

これらに対して, Definitionシリーズではガントリ内に発生した熱を直接外気と熱交換可能な水冷方式を選択することが可能なスキャナーを有している. 水冷方式の場合, 室外にチラーシステムを設置する必要があるが, ガントリ自体にファンがないため, 静寂性を担保することができる. また, ガントリ内で発生した熱は検査室内に放熱せず,

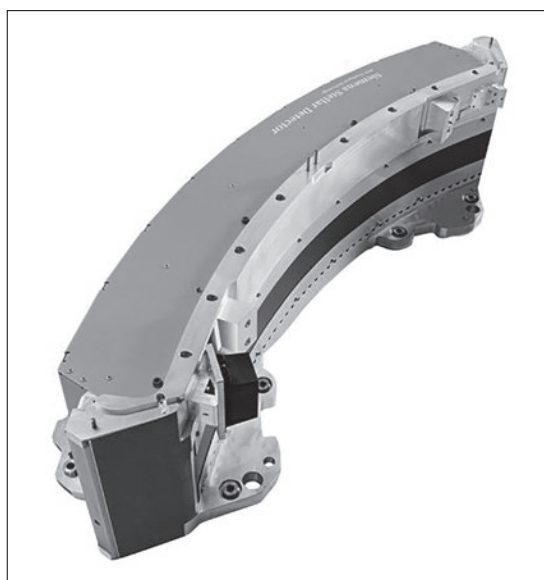


Fig.5 Stellar Detector 概観図

外気と直接熱交換するため、検査室内が高温にならないため、室内を快適な温度に設定することが可能である。検査を受ける側にとっても最適な室温に設定できるメリットはもちろんだが、検査室内の温度変化が少ない状態を保つことができるため、装置の安定稼動にも繋がるメリットもある。

## 2. 小児専用固定具

CT装置には撮影部位に応じた固定具が付属品として用意されているが、どれもが成人用のものがほとんどである。そのため、小児の検査の際には

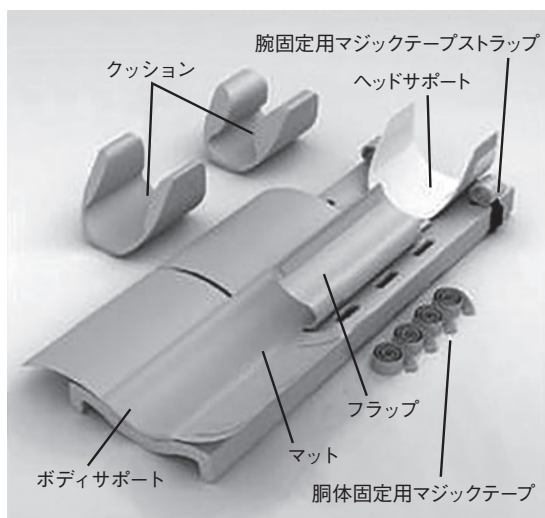


Fig.6 小児専用固定具

固定をするのに一工夫が必要で、検査を始めるまでに時間を要してしまうこともある。

しかし、当社のCT装置には小児専用の固定具 (Fig.6) が選択可能なため、簡便に固定かつ安全に検査を行うことができる。

## 3. 時間分解能の向上

小児の検査において、被ばく低減は最も重要ではあるが、高画質を実現するためには呼吸・心拍動・体動などの動きに対する制御も肝要である。

動きを制御するためには時間分解能を向上させることが最も効果的である。CTで定義される時間分解能は、x-y面内 (シャッタースピード) およびz軸方向 (テーブルスピード) の2つに分けられる。心拍動の影響にはx-y面内の時間分解能の向上が、呼吸・体動の影響にはz軸方向の時間分解能の向上が大きく寄与する。

SOMATOM CTのフラッグシップモデルであるDual Source CT (以下、DSCT)、Definition Flashはx-y面内の時間分解能は75msec、z軸方向の時間分解能は46cm/secと、ともに非常に高い時間分解能を実現しているため、DSCTだからこそ実現できた高速二重螺旋撮影が搭載されている。

Single Source CT (以下、SSCT) の場合、小児は成人のように意思疎通が可能ではないため、鎮静を行わないとクオリティの低い画像 (Fig.7a) になってしまう。鎮静下ではクオリティの高い画像

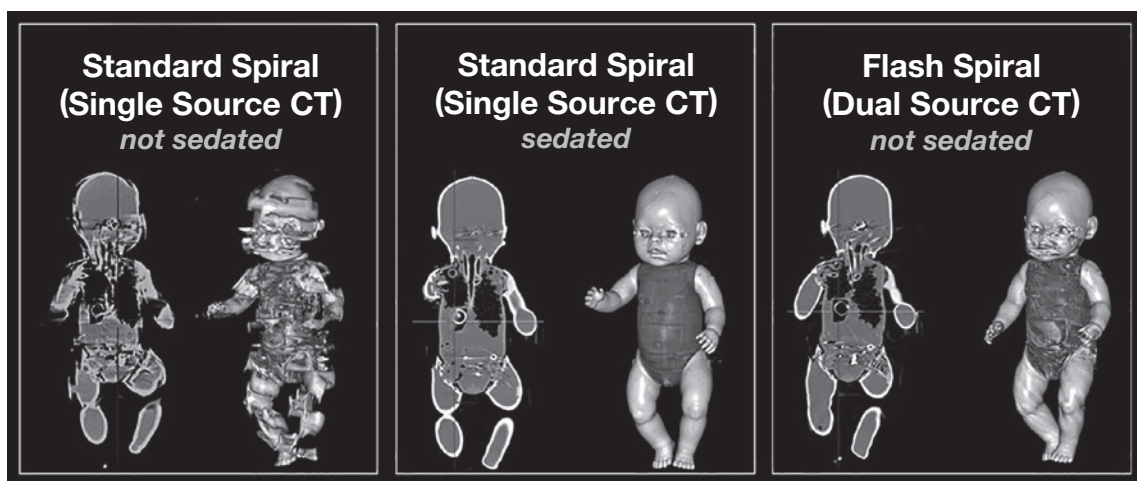


Fig.7 SSCTとDSCTの比較

a | b | c

を得ることが可能であるが (Fig.7b), 投薬のリスクが伴う。それに対してDSCTでは、鎮静を行わずともクオリティの高い画像を得ることが可能で、かつ低被ばくも実現している (Fig.7c)<sup>5, 6)</sup>。

さらに、前述のCARE Child・SAFIRE・Stellar Detectorを組み合わせることで、更なる被ばく低減の実現が期待できる。

## まとめ

シーメンスは常に被ばく低減を優先課題として取り組んでおり、その一部を本稿で紹介した。しかし被ばく低減へのアプローチは多岐にわたり、紹介しきれなかった内容も数多く存在するため、ウェブサイト [www.siemens.com/low-dose](http://www.siemens.com/low-dose) (英語) もあわせてご覧いただきたい。

また、シーメンスは医療における世界最大規模のプロバイダーであり、CTにおいては臨床ニーズに即した多くのラインナップを有している。加えて、単なる製品の提供だけではなく、今回紹介した被ばく低減技術をはじめとする医療環境にまつわる様々なソリューションの提供により、医療の質の向上や検査の効率化が推進する一役を担っていきたいと考える。

## ●文献

- 1) Mettler FA Jr, Thomadsen BR, Bhargavan M, et al : Medical radiation exposure in the U.S. in 2006 : preliminary results. *Health Phys* 2008 ; 95 : 502-507.
- 2) Siegel MJ, Schmidt B, Bradley D, et al : Radiation dose and image quality in pediatric CT : effect of technical factors and phantom size and shape. *Radiology* 2004 ; 233 : 515-522.
- 3) McCollough CH, Primak AN, Braun N, et al : Strategies for Reducing Radiation Dose in CT. *Radiol Clin North Am* 2009 ; 47 : 27-40.
- 4) Deak PD, Langner O, Lell M, et al : Effects of Adaptive Section Collimation on Patient Radiation Dose in Multisession Spiral CT. *Radiology* 2009 ; 252 : 140-147.
- 5) Lell MM, May M, Deak P, et al : High-Pitch Spiral Computed Tomography effect on image quality and radiation dose in Pediatric Chest Computed Tomography. *Invest Radiol* 2011 ; 46 : 116-123.
- 6) Han BK, Lindberg J, Grant K, et al : Accuracy and safety of high pitch computed tomography imaging in young children with complex congenital heart disease. *Am J Cardiol* 2011 ; 107 : 1541-1546.