学術 Arts and Sciences ノート

胸部CTにおける被ばく低減機構（Organ Effective Modulation）の出力線量と画質の評価

Output dose and image quality evaluation of organ effective modulation in chest CT

村松 駿

一般財団法人大原記念財団大原綜合病院　画像診断センター

Key words: breast，computed tomography，organ effective modulation，dose reduction，exposed optimization

【Summary】

We investigated output dose behavior and image quality in Organ Effective Modulation (OEM), which reduces frontal exposure in chest CTs. Our method was based on taking a water phantom and a chest phantom combined with Computed Tomography-Auto Exposure Control (CT-AEC) while using the CT Dose Profiler of a Sweden RTI Piranha Wireless X-ray Output Analyzer. We performed calculations on the dosing operation at each rotation, and determined the modulation angle, maximum dose reduction rate, and the standard deviation (SD) per rotation. We found that with OEM the modulation angle was 156°, and the maximum reduction rate was largest in the 0° direction at 52%. However, the SD of the image increased. The use of OEM in combination with CT-AEC for chest CT leads to a lower dose for breast exposure than CT-AEC alone, but the increase in image SD requires careful consideration.

【要 旨】

胸部CTにおける前面方向からの被ばくを低減する機構Organ Effective Modulation（OEM）について，出力線量の挙動と画質について検討した．方法は，Computed Tomography-Auto Exposure Control（CT-AEC）併用での条件下で，水ファントムと胸部ファントムを撮影し，Sweden RTI Piranha Wireless X-ray Output AnalyzerのCT Dose Profilerを用いて，1回転当たりの線量動作を算出し，1回転当たりの変調角度と最大線量低減率，standard deviation（SD）を求めた．その結果，OEMは，変調角度は156°，最大低減率は0°方向で最も低減し，52%であった．しかし，画像SDは上昇した．OEMをCT-AECと併用して胸部CTに使用することで，CT-AEC単独よりも乳房の被ばく線量低減につながるが，画像SDの上昇に留意すべきである．

緒　言

2007年，国際放射線防護委員会（International Commission on Radiological Protection：ICRP）の勧告で乳房の組織加重係数を0.05から0.12に引き上げたことからも[1]，胸部（computed tomography：CT）検査時に乳房の被ばく線量低減に努めることは重要であると考える．しかし，胸部CTにおいて肺野を検査対象とした場合，乳房は検査対象外ながらも，必然的にX線ビームの中に入ることになる．

そこでメーカー各社により，被写体の前面方向からの被ばくを低減する機構が開発されている．この機構に対してMatsubaraらは，Siemens Healthineers社製の前面方向の被ばく低減機構（以下，X-CARE）について評価し，体前面の出力線量を低減させることで乳房への被ばく線量は22%低減でき，防護シールドを用いるよりもノイズレベルやCT値の変化が少ない画像が得られるが，ノイズレベルを維持したまま体前面の被ばく線量を低減させるためには，体前面以外の被ばく線量を増加しなければならないと報告している[2]．また布目らは，X-CAREの出力線量の制御について評価し，総出力線量を変えることなくノイズレベルを保持するために，角度ごとにその出力線量を制御しており，被写体のサイズの違いによる制御に大きな変化がないことを報告した[3]．これらの報告は，角度ごとの出力線量については評価しているが，近年のCT装置には標準的に搭載されている（computed tomography-automatic exposure control：CT-AEC）を併用した検討ではない．臨床においてCT-AECの有用性は数多く報告されている[4)~8)]．よって，前面方向からの被ばくを低減する機構を胸部CTで使用するには，このCT-AECを併用した動作特性について確認する必要がある．

キヤノンメディカルシステムズ社製のCT装置に搭載されている（Organ Effective Modulation：OEM）は，位置決め画像から水等価厚を算出しX-Y方向とZ方向の管電流を決定するCT-AECで決定された管電流から，前面方向のみを最大60%低減させる目標で線量を算出する仕組みになっている．この機構はCT-

Shun Muramatsu

Ohara Memorial Foundation Ohara General Hospital Image Diagnostic Center

Received May 13, 2019; accepted November 29, 2019

AECと併用下でのみ使用でき，OEM未使用時と比較すると体前面部の被ばくを最大8%低減することが可能であると報告されている[9]．また変調角度は180°で，被ばく低減を目的としているため背面からのX線増加は行わない機構となっている．そのためCT-AECにおける設定（standard deviation：SD）よりも画像SDが増加することが懸念される．そこで本研究は，胸部CTにおいて，CT-AEC併用でのOEMの有無による出力線量の挙動と画質について検討したので報告する．

1．方　法

1-1　使用機器

本研究に用いたファントムは，水ファントム（32 cm），Chest Phantom N-1 LUNGMAN（京都科学製）と付属品のchest plateを用いた．それぞれ①LUNGMAN ②LUNGMAN＋chest plateとした（Fig.1）．線量計はSweden RTI Piranha Wireless X-ray Output AnalyzerのCT Dose Profilerを用いた．CT装置は，キヤノンメディカルシステムズ社製Aquilion PRIME（ver.7）である．出力線量データの解析に，Ocean（アクロバイオ：2014 professional）とExcel（Microsoft：2016）を使用した．SD計測に，ZIOSTATION2（ziosoft社製）を使用した．

1-2　検討項目

前面方向からの被ばく低減機構OEMについて，次の項目に対してOEMの有無での比較検討を行った．

1）水ファントムでの最大線量低減率
2）水ファントムでの変調角度
3）水ファントムでのSD
4）胸部ファントムでの出力線量の挙動
5）胸部ファントムでのSD

1-3　撮影条件

水ファントムの撮影条件は，管電圧120kVp，管電流はCT-AECを使用（設定SD25），ガントリー回転速度0.35s/rot，ピッチファクター0.813，撮影スライス厚0.5mm×80列とし，再構成条件は，再構成関数FC13（標準関数），再構成スライス厚5mm，再構成field of view（FOV）は32cmとした．

胸部ファントムの撮影条件は，管電圧120kVp，管電流はCT-AECを使用（設定SD10），ガントリー回転速度0.35s/rot，ピッチファクター0.813，撮影スライス厚0.5mm×80列とし，再構成条件は，再構成関数FC13，再構成スライス厚5mm，再構成FOVは32cmとした．CT-AECにおいては，水ファントム・胸部ファントムどちらもXYZ方向の管電流を変調する，キヤノンメディカルシステムズ社製のVolume EC（Volume Exposure Control）を用いた．またhelical scanの開始位置を一定にする軌道同期システムを用いて撮影した．

1-4　出力線量の測定方法

水ファントムを寝台上に置き，アイソセンター中心に設置し，位置決め画像を撮影した．その後，水ファントムを寝台上から外し，得られたCT-AECの管電流変

(a)　(b)

Fig.1　The phantom used in this study
(a) LUNGMAN　(b) LUNGMAN＋chest plate

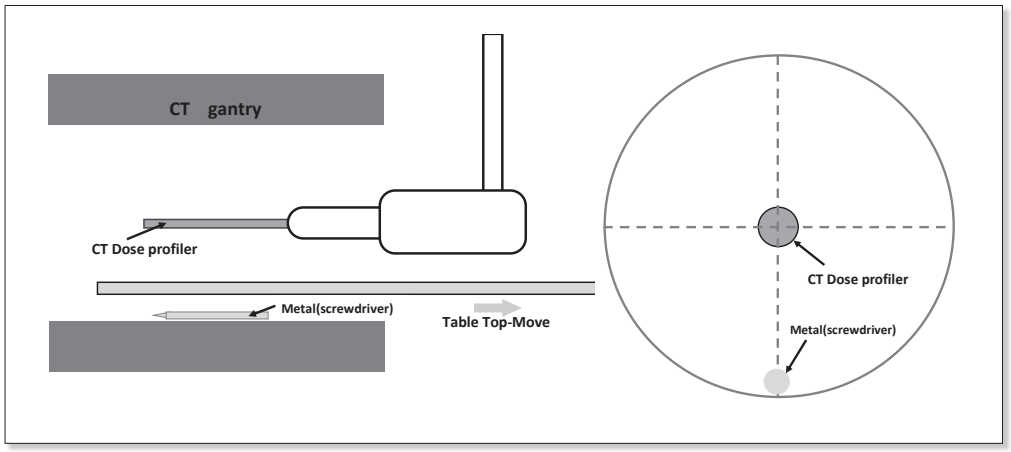


Fig.2　Method of dosimetry with CT Dose Profiler
Metal was installed in the direction at an angle of 180°.

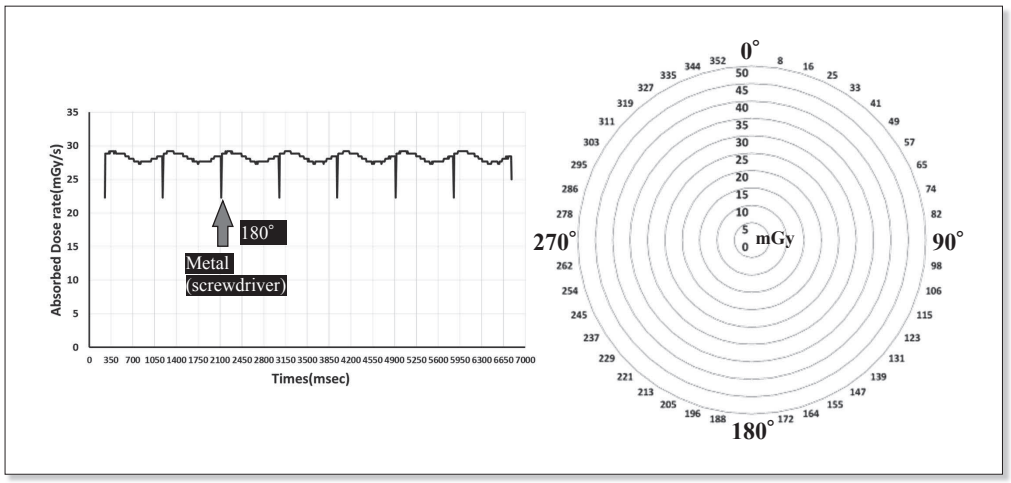


Fig.3　Dose measurement data was converted one round of data by Microsoft Excel
The intermediate point between 180° and the next 180° was set to 0°.

調を用いてPiranhaをアイソセンター中心に空中固定し，本撮影を行った．撮影時は，軌道同期システムを用いて管球の開始位置を一定にするが，回転中の管球の位置を把握するためにガントリー下（180°方向）に金属（ドライバー）を設置し撮影した（Fig.2）．取得したPiranha計測データをExcelでドライバーの位置である180°から1回転後の180°を算出し，その中間を0°として，360°の一回転データで示した（Fig.3）．

1-5　水ファントムでのOEM有無の比較評価

1-4で示した出力線量の測定法でデータを取得した．測定は，OEMの有無でそれぞれ10回撮影し，結果は各10回の平均値とした．最大線量低減率は，最も線量に差が出た角度から求めた．変調角度は，OEMの有無で線量に変化があった角度から算出した．SD

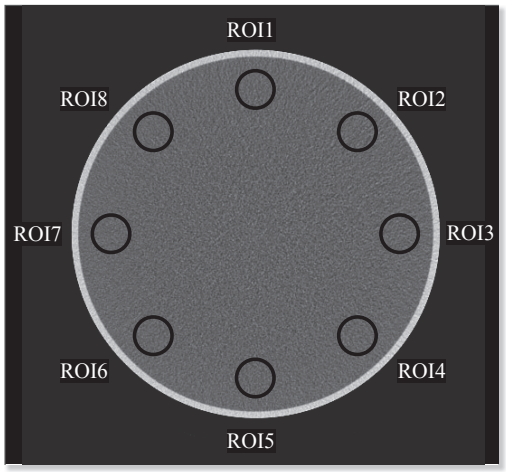
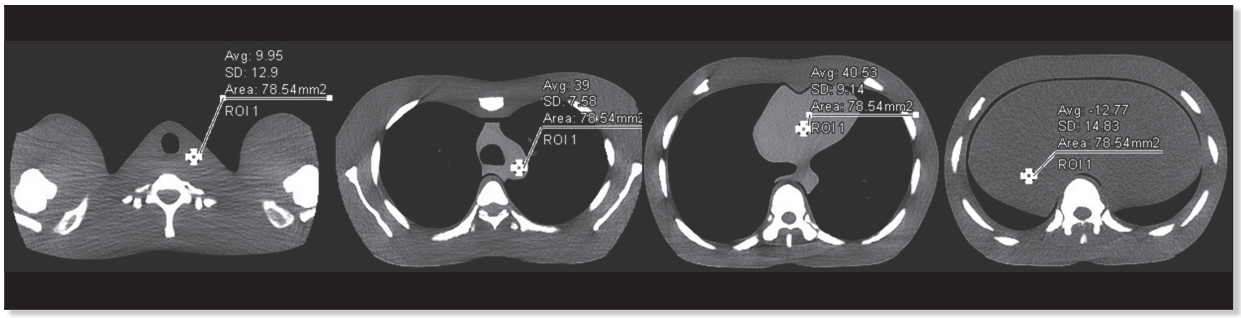
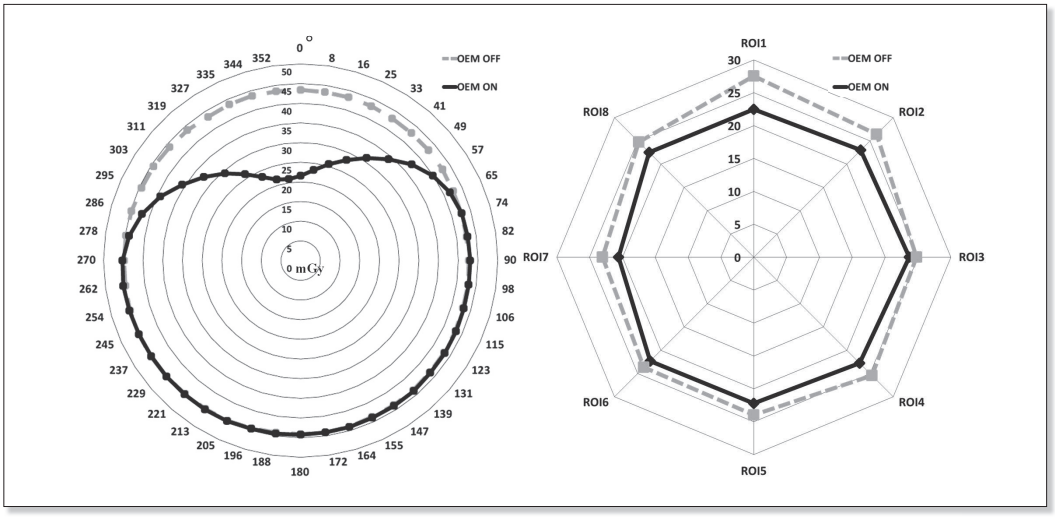


Fig.4　SD measurement method in water Phantom
A Eight points were measured at an interval of 45° inside 10mm from the edge.



(a)　(b)　(c)　(d)

Fig.5　SD measurement method in chest Phantom
(a) thyroid part　(b) aortic arch part　(c) heart part　(d) diaphragm part
Measurement was made at four points, thyroid part, aortic arch part, heart part, diaphragm part.



(a)　(b)

Fig.6　Result of OEM comparison at water phantom
(a) A dose comparison　(b) A SD comparison

計測は，辺縁から1cm内側に関心領域（region of interest：ROI）を設置し，0°から45°ごとに8点計測した．ROIの大きさは50pixelsとした（Fig.4）．

1-6　胸部ファントムでのOEM有無の比較評価

1-4で示した出力線量の測定法でデータを取得した．LUNGMAN，LUNGMAN＋chest plateとも同様の手順で行った．測定は，OEMの有無でそれぞれ10回撮影し，結果は各10回の平均値とした．出力線量は，phantomの撮影開始位置～撮影終了位置までのPiranha計測データをExcelでグラフ化し，比較した．SD計測は，胸部phantomの甲状腺部，大動脈弓部，心臓部，横隔膜レベルの肝臓部の4点を計測した．ROIの大きさは50pixelsとした（Fig.5）．

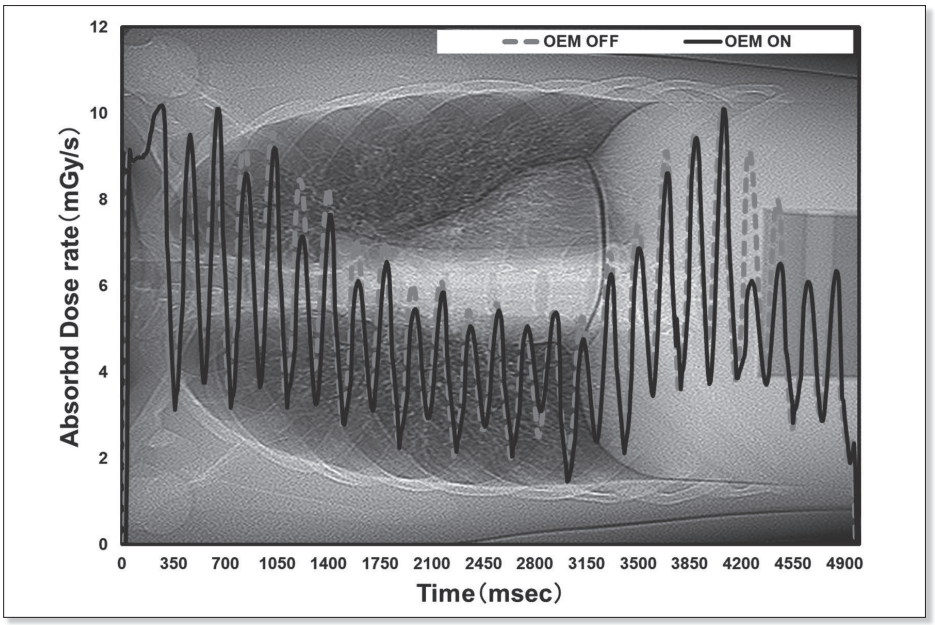
2. 結　果

2-1　水ファントムでのOEM有無の比較

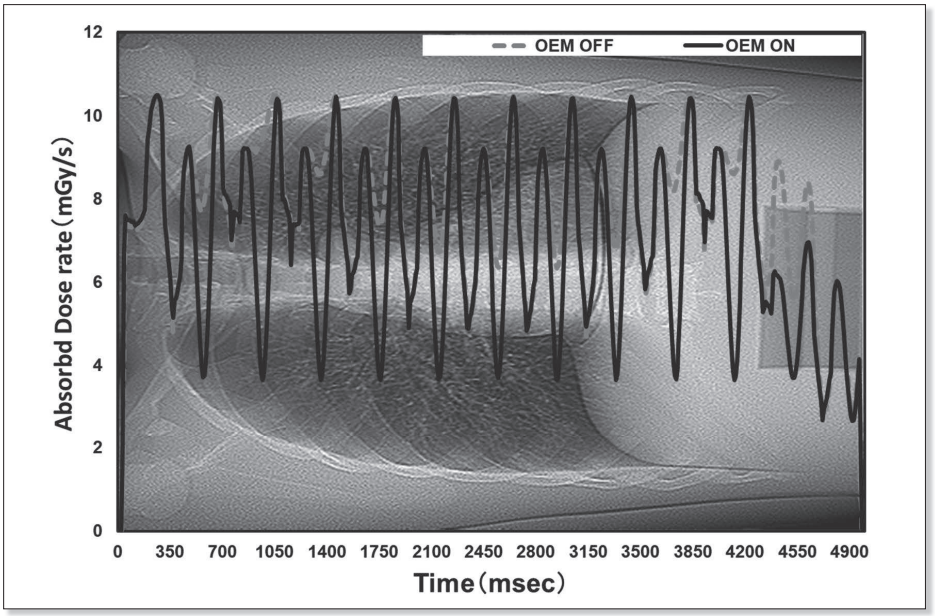
Fig.6に，水ファントムによるOEM有無の出力線量とSDの比較結果を示す．線量は，0°方向で最も低減し，43μGyから21μGyと52%程度線量が低減した．変調角度は156°であった．SD変化は，OEM有りの時は全体的にSDが高く，全体で10%上昇した．中でも0°方向においては18%上昇した．

2-2　胸部ファントムでのOEM有無の比較

Fig.7に①LUNGMAN，②LUNGMAN＋chest plateによるOEMの有無の出力線量の比較結果を，TableにOEMの有無の各計測位置におけるSDの比較結果を平均値±標準偏差で示す．LUNGMANで



(a)



(b)

Fig.7　Result of OEM dose comparison at chest phantom

（a）LUNGMAN　（b）LUNGMAN+chest plate

The larger the object, the more frequent the dose reduction in the 0˚ direction.

Table　Result of OEM SD comparison at chest phantom

At all measurement point, OEM showed high SD.

		ROI position			
		Thyroid gland	Aortic arch	heart	diaphragm
LUNGMAN					
	OEM OFF	13.4 ±0.8	5.6 ± 1.1	6.9 ± 0.7	10.3 ± 1.0
	OEM ON	15.5 ± 0.7	6.6 ± 1.1	7.6 ± 0.6	11.3 ± 1.2
LUNGMAN + chest plate					
	OEM OFF	20.4 ± 0.7	8.9 ± 0.2	9.2 ± 0.8	12.7 ± 0.9
	OEM ON	21.8 ± 0.9	9.4 ± 0.3	11.9 ± 0.8	14.7 ± 0.9

はOEMの有無で顕著な線量変化は見られなかった．LUNGMAN +chest plateでは0°方向の線量変化が顕著に見られた．SDは，被写体サイズが異なる2種類のファントムいずれにおいても，全ての計測部位でOEM有りの時の方が無しの時に比べ高いSDを示した．

3. 考　察

水ファントムの検討により，OEMは前面方向156°の管電流を低減させ，被ばく線量が減少していた．線量は，0°方向で最も低減し，52%であった．SD変化は，0°方向において最大18%の上昇を認め，全体でも10%上昇した．これは，最大線量低減率は0°方向だが，実際には156°分線量が低減しているため，前面方向のみではなく全体的なSD上昇に寄与したのではないかと考える．本研究では，全て測定箇所はアイソセンター中心で行った．臨床では，ポジショニングする担当者によって被写体が中心から寝台の高さ方向にズレる可能性があると考えられる．このような場合，X線管球から被写体入射までの距離が変わるので乳房の表面線量が変わり，本検討の結果と多少誤差が出ると考えられる．

胸部ファントムを用いた被写体サイズの違いによるOEM有り時・無し時の出力線量は，大きく変化した．LUNGMANでは，OEM有り時・無し時で線量低減すべき0°方向の出力線量に顕著な差は見られなかった．これに対し，LUNGMAN+chest plateでは，0°方向における出力線量がOEM無し時と比較し大きく低減していた．SD変化の検討では，2種類の被写体サイズにおいて，OEM有りの方が高いSD値を示した．OEMは位置決め画像から水等価厚を算出しX-Y方向とZ方向の管電流を決定するCT-AECで決定された管電流から，前面方向のみを最大60%低減させる目標で線量を算出する．本研究では，撮影の際にCT-AECを使用した．つまり被写体が大きい方が，設定SDを担保するために算出される管電流が高くなる．OEMにおける線量低減効果は低減前の管電流に依存し，その管電流が高いほど低減率が高くなると考える．本研究により明らかとなった被写体サイズによる線量低減の差はこのことが原因と考える．

高城らは，頭部CTにおけるhelical scan中のOEMの挙動を評価し，軌道同期機能を使用しない場合，ばく射1回転目で管電流が変調されないことがあることを報告した[10]．本研究では，全ての撮影で軌道同期helicalでの撮影を行った．出力線量の結果のグラフは全て10回撮影の平均値として表示したが，10回の変動係数は5%未満であった．LUNGMANでのOEM有り時・無し時の出力線量の比較グラフでは，一部OEM有り時の方が無し時と比較し出力線量が高い部分があった．過去の報告では，他社での前面方向の被ばく低減技術は，CT-AECと連動した際はX-Y方向に働くCT-AECはOFFになり，Z方向のみのCT-AECになっていることが報告されている[3]．OEM有り時のCT-AECはX-Y方向をOFFにも設定できるが，本検討では実臨床を考慮し，Z方向のみではなくX-Y方向もONにし検討した．今回，出力線量がOEM有り時の方が無し時に比べ上回った箇所は，胸部CTにおいて最も線量が低い気管分岐部から最も線量が高くなる横隔膜部に線量が上がっていく部分と考えられる．一時的にOEMの機能が動作しなくなり，被ばくを低減させながらSDを担保することが目的のX-Y方向のCT-AECが動作していたためと考える．今後，OEM有り時のCT-AECの線量動作について位置決め画像から計算された水等価厚の算出式などを参考に検討していく必要がある．また撮影範囲でのOEMの範囲設定ができれば，胸部CTにおいて，被ばく線量を低減することが望ましい乳房部分のみをOEM有り，ノイズ・ストリークアーチファクト抑制のため，線量がある程度必要となる肺尖部，横隔膜部をOEM無しとすることが可能となり，よりOEMが日常臨床で使用しやすいものと考える．しかしながら，本研究に用いたCT装置の，最も高速な回転速度0.35s/rotでもOEMは作動し，CT-AEC単独よりも乳房の被ばく線量を低減できるため有用であると考える．本研究では，ファントム検証のみであり，SD上昇が診断にどの程度影響するか検証していないことがlimitationである．

4. 結　語

OEMは，変調角度は156°であり，最大低減率は0°方向で最も低減し，52%であった．しかし，画像SDは撮影範囲全てで上昇した．OEMをCT-AECと併用して胸部CTに使用することで，CT-AEC単独よりも乳房の被ばく線量低減につながるが，画像SDの上昇に留意すべきである．

執筆に当たり，ご協力いただきました福島県立医科大学附属病院・村上克彦氏，大原綜合病院 画像診断センター・小林貴氏，および画像診断センターの皆さまにこの場を借りてお礼申し上げます．

表の説明

Table　胸部ファントムでのOEM有無のSD比較の結果
全ての計測箇所で，OEMは高いSDを示した．

図の説明

Fig.1　研究に使用したファントム
(a) ラングマン　(b) ラングマン+チェストプレート
Fig.2　CT Dose Profilerによる線量測定方法
金属を180°の方向に取り付けた．
Fig.3　線量測定データはマイクロソフトエクセルにより1回転のデータに変換された
180°と次の180°との間の中間点を0°（前面方向）に設定した．
Fig.4　水ファントムのSD計測方法
辺縁から10mm内側に45°の間隔で8点を測定した．
Fig.5　胸部ファントムのSD計測方法
(a) 甲状腺部　(b) 大動脈弓部　(c) 心臓部
(d) 横隔膜部
甲状腺部，大動脈弓部，心臓部，横隔膜部の4点を計測した．
Fig.6　水ファントムでのOEM比較の結果
(a) 線量の比較　(b) SDの比較
Fig.7　胸部ファントムでのOEM有無の線量比較の結果
(a) ラングマン　(b) ラングマン+チェストプレート
被写体が大きいほど，0°方向における線量低減がよく見られた．

参考文献

1) ICRP Publication 103: The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. 37 (2-4), 1-332, 2007.
2) Matsubara K, Sugai M, et al.: Assessment of an organ-based tube current modulation in thoracic computed tomography. J Appl Clin Med Phys, 13 (2), 3731, 2012.
3) 布目，松原，他：胸部X線CT検査における局所被ばく低減機構の出力線量の評価．日放技学誌，70 (11)，1297-1303，2014.
4) Kalender WA, Wolf H, et al.: Dose reduction in CT by anatomically adapted tube current modulation. II. Phantom measurements. Med Phys, 26 (11), 2248-2253, 1999.
5) Kalra MK, Maher MM, et al.: Strategies for CT radiation dose optimization. Radiology, 230 (3), 619-628, 2004.
6) Kalra MK, Maher MM, et al.: Techniques and applications of automatic tube current modulation for CT. Radiology, 233 (3), 649-657, 2004.
7) Funama Y, Awai K, et al.: Automatic tube current modulation technique for multidetector CT: is it effective with a 64-detector CT?. Radiol Phys Technol, 1 (1), 33-37, 2008.
8) http://www.healthcare.siemens.co.jp/computed tomography/dual-source-ct/somatom-definition-flash
9) Akai K, Kiryu S, et al.: Reducing CT radiation exposure with organ effective modulation: Aretrospective clinical study. European Journal of Radiology, (85), 1569-1573, 2016.
10) 高城，神谷，他：臓器感受性を考慮した被ばく低減機構（organ effective modulation）の使用法についての検討．日放技学誌，74 (12)，1406-1411，2018.