

## 超高精細CTにおける冠動脈STENT評価

大西圭一

桜友会 所沢ハートセンター 放射線科

## はじめに

2018年の循環器疾患診療実態調査(日本循環器学会)によると経皮的冠動脈形成術(以下、PCI)約27万件、冠動脈CT約48万件が行われている<sup>1)</sup>。近年、冠動脈疾患に対する薬剤溶出ステント(以下、DES)の進化により血管径の細かい小冠動脈に対するPCIも積極的に行われている。冠動脈STENT内狭窄に対する低侵襲性検査として冠動脈CTは期待されているものの従来CTでは空間分解能不足により3mm未満のSTENT内再狭窄は正診率が低く適応とならない<sup>2)</sup>。このような背景から当院では2018年12月より超高精細CT Aquilion Precisionを導入し、2019年10月現在1,400例の冠動脈CTを行っている。本稿では、超高精細CTにおける冠動脈STENT評価について述べる。

## 超高精細CTについて

超高精細CTは2017年に臨床導入され、30年間大きく変化しなかった空間分解能を大きく向上させたCT装置である。電界による電子ビーム収束技術により焦点サイズは0.4×0.5~1.6×1.4の6種類に選択可能、スライス厚は0.25mmが選択可能となり面内、体軸ともに空間分解能が向上した。画像再構成マトリクスサイズも512×512、1024×

1024、2048×2048の3種類選択可能となった。2018年には超高精細CTによる循環器領域の臨床応用が報告され、高木らは超高精細CTによる冠動脈CTは侵襲的冠動脈造影と比べて優れた相関関係を示し<sup>3)</sup>元山らは、従来CTと比べて石灰化病変のアーチファクトが少なく2.5mm径以上のSTENTの80%が評価可能と報告している<sup>4)</sup>。

## STENT再狭窄について

STENT留置後の再狭窄率はDESの登場により減少したが5~12%の頻度で発症するとされている<sup>5)</sup>。STENT留置後の再狭窄発症の原因としては新生内膜増殖、STENT拡張不良、STENTの破損(fracture)や変形(deformation)が知られている<sup>6)</sup>。

STENT留置後の合併症としてSTENT血栓症が挙げられる。STENT血栓症の予防のため抗血小板薬の2剤併用療法(以下、DAPT)が一般的に行われている。近年はDESの進化によりSTENT血栓症は減少傾向にあるがSTENT留置後1年以後の遅発性STENT血栓症(以下、VLST)が問題となっている。VLSTの主な原因としては動脈硬化であることが報告されている<sup>7)</sup>。

従来CTでは3mm径以上のSTENT再狭窄または慢性完全閉塞の有無しか情報として得られなかったが超高精細CTでは、VLSTのリスク因子となるステント不全(新生内膜増殖、ステント変形や破損

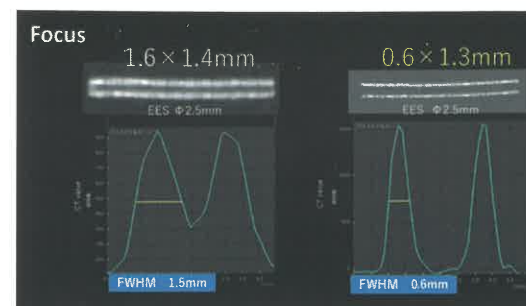


図1 焦点サイズの違いによるSTENT画像比較

従来の焦点サイズでは、幾何学的なボケの影響によりSTENTブルーミングを認め、STENT内腔の視認性が悪い。一方、焦点サイズが小さくなるとSTENTブルーミングの影響が小さくなりSTENT内腔の視認性が向上した。STENT-FWHM(1.6mm vs 0.6mm)。

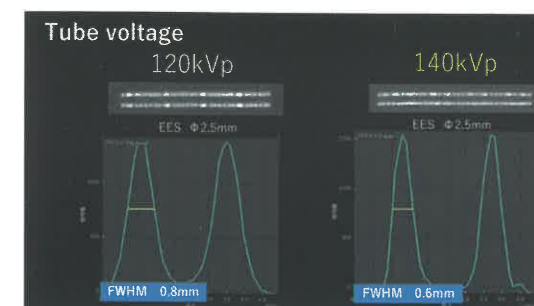


図2 撮影管電圧の違いによるSTENT画像比較

STENT内腔の視認性は材質によっても異なる。ステント近傍の新生内膜増殖の評価にはSTENTブルーミングの影響を極力抑える必要がある。120kVpに比べて140kVpがわずかにSTENTブルーミングの影響が抑えられている。STENT-FWHM(0.8mm vs 0.6mm)。

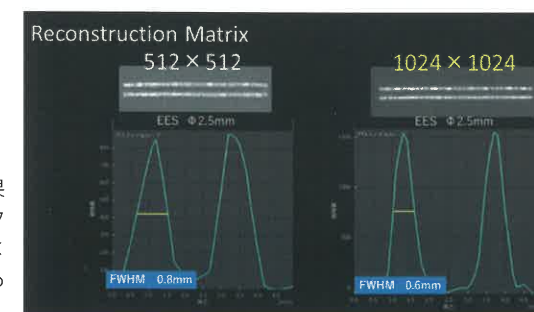


図3 再構成マトリクスの違いによるSTENT画像比較

STENTブルーミングの原因であるパーシャルボリューム効果を抑制するには体軸空間分解能(スライス厚)と再構成マトリクスが重要である。512×512マトリクスに比べ1024×1024マトリクスの方がSTENTブルーミングの影響を抑えられている。STENT-FWHM(0.8mm vs 0.6mm)。

など)が早期に診断できる可能性がある。

## 冠動脈CTの撮影条件および造影条件について

鈴木らは6つの血管ファントム(狭窄あり、狭窄なし)と3.5mm径の異なる3つのBare Metal Stent(Bx Velocity, Express2, Driver)を用い、撮影管電圧と再構成関数を変化させステント内腔の不均一性とステント内腔の視認性について報告した。

120kVpより140kVpの管電圧と骨用再構成関数がステント内腔の視認性の改善できたと報告している<sup>8)</sup>。当院でも2.5mm径のDrug-eluting STENT(SYNERGY)を用い、水槽内にSTENTを配置して、焦点サイズ、撮影管電圧、再構成マトリクス、再構成スライス厚、再構成アルゴリズムを変化させて得られたCPR画像から直交するCT値プロファイ

ルを作成しステントストラット部分のプロファイルより半値幅(以下、STENT-FWHM)を計測した。得られた結果より小焦点サイズ、撮影管電圧140kVp、再構成マトリクス1024×1024、再構成スライス厚/再構成間隔0.25mm/0.125mm、再構成アルゴリズムはMBIRが良好となり当院の撮影条件として採用した。特に石灰化病変のSTENT留置は内腔径に関わらずビームハードニングの影響で視認性が低下することがあり、アーチファクト抑制でも140kVp撮影が有効であると考えている。

各焦点では管電流およびX線曝射時間の制限を受ける。撮影条件によってはX線管 OLP(Over Load Protection)上昇によりクーリングタイムが発生し、検査スルーットの低下が懸念されるため、装置特性を理解して、検査目的に応じた柔軟な撮影条件の設定が望ましい(図1~5)。

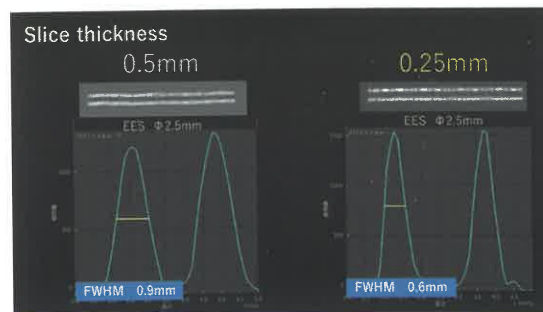


図4 再構成スライス厚の違いによるSTENT画像比較  
0.5mmスライス厚に比べ0.25mmスライス厚の方がSTENTブルーミングの影響を抑えられている。STENT-FWHM(0.9mm vs 0.6mm)。

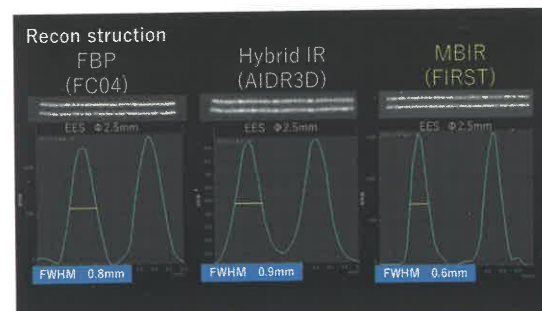


図5 再構成アルゴリズムの違いによるSTENT画像比較  
FBPと比べHybrid IRはSTENTブルーミングの影響が大きくなった。これは背景ノイズが大きくなると解像特性が悪化するという非線形処理の特徴を示している。一方MBIRはHybrid IRと比べ解像特性に優れSTENTブルーミングの影響を抑えられている。512×512マトリクスに比べ1024×1024マトリクスの方がSTENTブルーミングの影響を抑えられている。STENT-FWHM(0.8mm vs 0.9mm vs 0.6mm)。

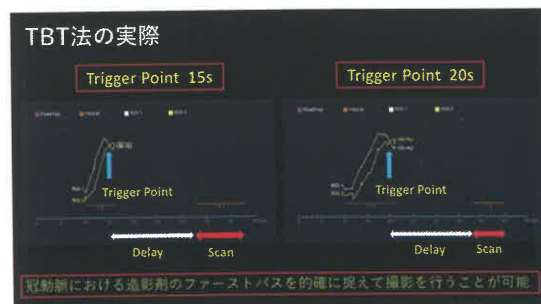


図6 TBT法の実際  
従来CTで行っていたBT法に比べ、高い精度で撮影タイミングの補正を行っている。

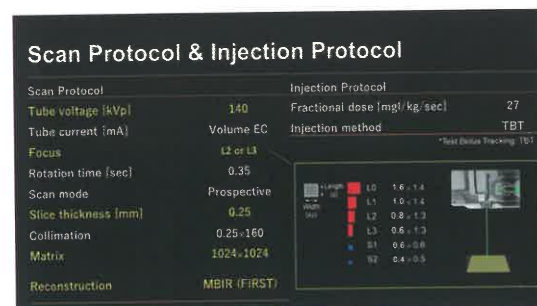


図7 当院の撮影条件および造影条件

### 冠動脈CTの造影条件について

当院ではSTENT留置症例では管電圧140kVpで撮影を行っているためFractional dose 27mgI/kg/secで行っている。CTの更新に伴い造影剤自動注入器も更新したため、撮影タイミングの補正にはTBT法を採用している(図6、7)。良好な冠動脈STENT画像を得るためにはTBT法が必須であると考えている。2018年12月以降TBT法で1000例以上経験している。今後TBT法を導入したい近隣の施設に対して見学およびトレーニング(所沢TBTトレーニング: TTBT)を随時開催している。

### STENT再狭窄評価における冠動脈CTについて

3mm径以上のSTENT再狭窄評価では多くの施設がCTで評価している現状がある。近年DESの進歩により小径STENT留置症例も増加している。表1は超高精細CTで冠動脈CTを撮影したSTENT留置症例内訳を示す。従来CTで評価が難しいとされる3mm径未満のSTENT留置が全体の約半数を示している。図8~10は同一患者による従来CTと超高精細CTでの臨床画像の比較である。従来CTと比べ超高精細CTではSTENT内腔の視認性が大きく向上している。表2は超高精細CTで

表1 2018年12月から2019年3月に行われた冠動脈CTを撮影したSTENT留置症例内訳

Stent Characteristics	
	total stent (n=311)
Stent diameter (mm)	
2.25	44
2.5	57
2.75	48
3	84
3.25	3
3.5	68
4	7

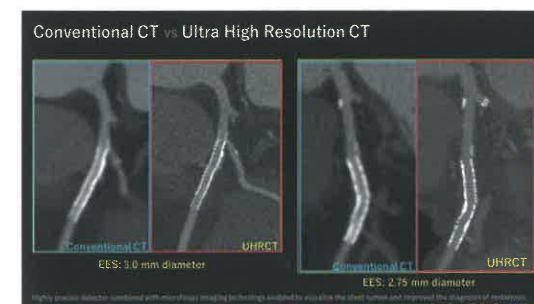


図8 同一症例による従来CTと超高精細CTの比較

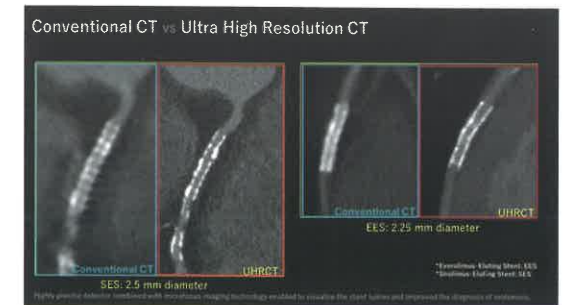


図9 同一症例による従来CTと超高精細CTの比較

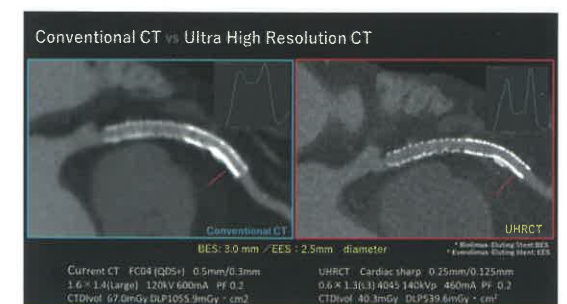


図10 同一症例による従来CTと超高精細CT比較

表2 同一症例による従来CTと超高精細CTの視覚評価

Visualizeation degree Score	Conventional CT (64Multi Slice CT)	UHRCT	P-value
2.25mm stent (N = 4) (mean±SD)	1.0±0.0	3.75±0.5	0.125
2.50mm stent (N = 21) (mean±SD)	1.19±0.4	4.48±0.51	<0.001
2.75mm stent (N = 17) (mean±SD)	2.12±0.6	4.59±0.51	<0.001

撮影されたステント留置画像と同一患者の過去従来CT画像とを循環器医師1名と放射線技師1名にて5段階の視覚評価をしてWilcoxon signed rank testで統計処理を行った。2.5mmと2.75mmでは有意に超高精細CTで視覚評価が高かった。2.25mmでは有意差が示せなかったが、症例数が少なかったことが要因と考えられ、視覚評価の平均点はUHRCTで高い傾向であった。図11~13は超高精細CTで得られた各STENT径の臨床画像で

ある。材質、STENT径に関わらず明瞭に描出されている。

### 超高精細CTの臨床的有用性

図14は超高精細CTによるSTENT fractureの症例である。VR、MIP画像は病変の位置関係の把握に適している。

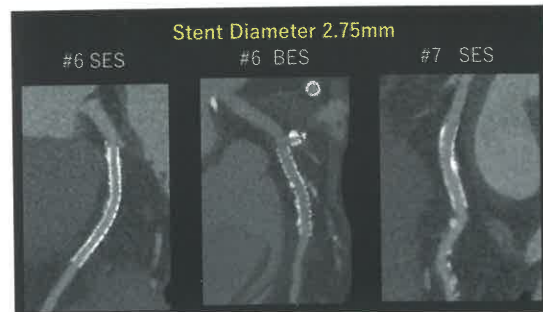


図 11 超高精細CTの2.75mm径STENT画像

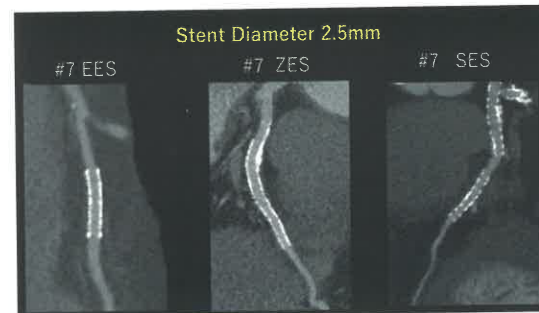


図 12 超高精細CTの2.5mm径STENT画像

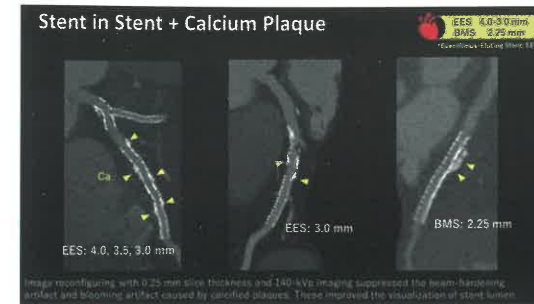


図 17 超高精細CTの石灰化プラーク+STENT画像

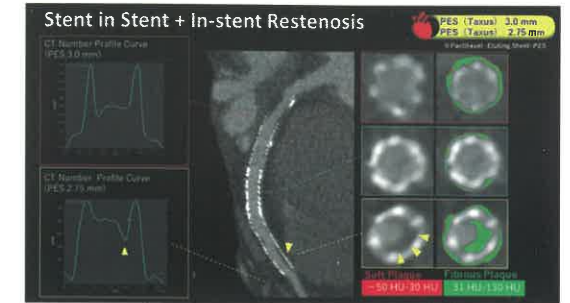


図 18 超高精細CTのSTENT再狭窄(内膜増殖)画像

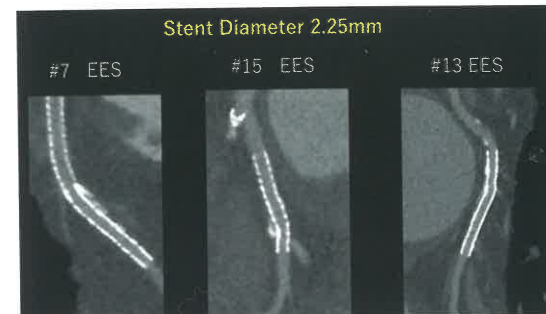


図 13 超高精細CTの2.25mm径STENT画像

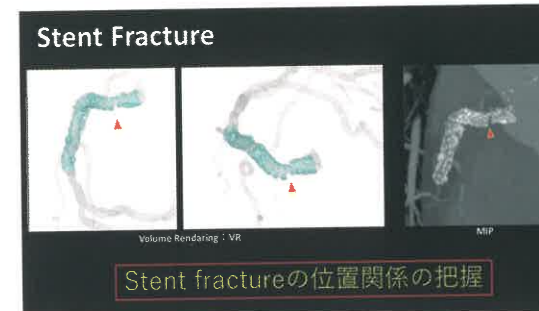


図 14 超高精細CTのSTENT fracture画像

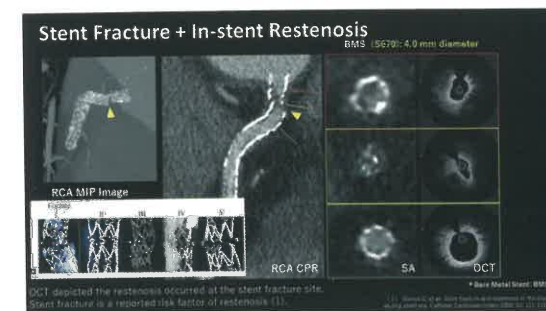


図 15 超高精細CTのSTENT fracture画像

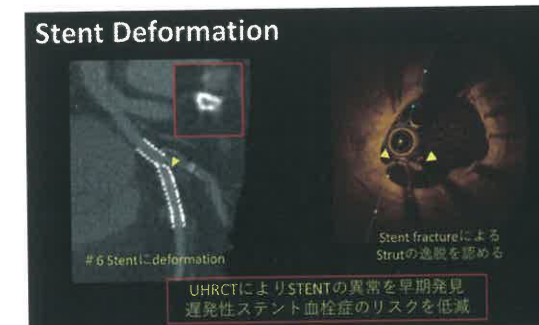


図 16 超高精細CTのSTENT deformation画像

図 15は超高精細CTによるSTENT fracture + STENT再狭窄の症例である。CPR画像でSTENT再狭窄を明瞭に描出している。CS画像とOCTと対比して、狭窄の程度を明瞭に描出している。

図 16は過去に#6と#9に2度PCI歴がある患者である。胸痛で外来受診し当日にCT施行する。#9分岐直後の#6にSTENT deformationを認めた。Strutの逸脱と周囲に血栓を認めたため#6と#9にKBTでDCB施行した。超高精細CTにより

STENTの異常を早期発見しVLSTのリスクを軽減した。

図 17は石灰化病変のSTENT留置症例である。従来CTでは視認性が悪く評価困難であったが、超高精細CTではSTENT Strutと石灰化プラークを明瞭に分離している。STENT内腔も明瞭に描出している。

図 18はSTENT in STENT症例である。STENT distalにSTENT内腔とStrutの間の低吸収域を認

め新生内膜増殖が疑われる。超高精細CTではSTENTブルーミングの影響が軽減しSTENT内プラーク性状評価ができる可能性がある。

### RSNA2019で報告

2019年12月1日から6日にかけて、第105回北米放射線学会RSNA2019: マコーミックプレイス(シカゴ)で開催され報告した。

Sunday 12:30-1:00 PM | CAS-SUA | CA Community, Learning Center Cardiac Sunday Poster Discussions CA158-ED-SUA7

TITLE: Recent Technologies in Coronary Stent CT Angiography: Impact of the Ultra High Resolution CT on Its Image Quality. Presenter: Keiichi Ohnishi

### おわりに

本稿では、STENT留置症例における超高精細CTの撮影条件および臨床の有用性について解説した。Limitationであった高度石灰化病変の評価、小径STENT再狭窄評価を診断可能にした。超高精細CTは従来CTでの空間分解能の限界を突破しCardiac Radiologyに大きなインパクトを与えた。開発から実用化されるまでキャノンメディカル株式会社の開発チームの皆さま、研究施設での開発に携わった皆さまに厚く御礼を申し上げます。心臓血

管治療施設でCTを担当する診療放射線技師として医師とメーカーのone teamで新しい価値を創造していきたい。

謝辞

今回の執筆にあたり、貴重な機会を与えていただきました耳鼻咽喉科麻生病院 宮下 宗治先生、華岡青洲記念心臓血管クリニック 山口 隆義先生に厚く御礼申し上げます。

### 参考文献

- 1) 日本循環器学会: 循環器疾患診療実態調査2018年報告書
- 2) 日本循環器学会: 慢性冠動脈疾患診断ガイドライン(2018年改訂版). [http://www.j-circ.or.jp/guideline/pdf/JCS2018\\_yamagishi\\_tamaki.pdf](http://www.j-circ.or.jp/guideline/pdf/JCS2018_yamagishi_tamaki.pdf)
- 3) Takagi H et al: Diagnostic performance of coronary CT angiography with ultra-high-resolution CT: Comparison with invasive coronary angiography. Eur J Radiol 101: 30-37, 2018
- 4) Motoyama S. et al. Ultra-High-Resolution Computed Tomography Angiography for Assessment of Coronary Artery Stenosis. Circ J 25; 82 (7) : 1844-1851, 2018
- 5) Cassese S et al: Incidence and predictors of restenosis after coronary stenting in 10 004 patients with surveillance angiography. Heart 100 (2) : 153-9, 2014
- 6) Fujii K et al: Contribution of Stent Underexpansion to Recurrence After Sirolimus-Eluting Stent Implantation for In-Stent Restenosis. Circulation 9; 109 (9) : 1085-8, 2004
- 7) Adriaenssens T et al: Optical Coherence Tomography Findings in Patients With Coronary Stent Thrombosis: A Report of the PRESTIGE Consortium (Prevention of Late Stent Thrombosis by an Interdisciplinary Global European Effort). Circulation 12; 136 (11) : 1007-1021, 2017
- 8) Suzuki S et al: Assessment of coronary stent in vitro on multislice computed tomography angiography: improved in-stent visibility by the use of 140-kV tube voltage. J Comput Assist Tomogr 31 (3) : 414-21, 2007