

シーメンス社 新型 SPECT・CT システム「Symbia Intevo」における OSCGM 法を用いた新しい画像再構成技術「xSPECT」について

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
分子イメージングビジネスマネジメント部
佐藤 伸一

1. はじめに

「xSPECT」は、Symbia シリーズのフラッグシップモデル「Symbia Intevo」に搭載され、Ordered Subset Conjugate Gradient Minimizer 法（以下：OSCGM 法）を用いた新しい画像再構成技術です。イメージフュージョンからイメージアライメントに視点を変え、CT 情報と SPECT 情報のさらなる融合を実現し、これまでにない高分解能画像、SPECT 定量化技術を提供します。この「xSPECT」の特長についてご紹介します。



シーメンス社 新型 SPECT・CT 装置
「Symbia Intevo」

2. xSPECT 画像再構成

SPECT の画像再構成は、フィルタ逆投影法から始まり、計算処理性能の向上に伴い逐次近似画像再構成が登場し、発展し続けています。近年では逐次近似画像再構成に三次元コリメータ開口補正技術が搭載され、画質向上に貢献しています。さらに SPECT・CT の登場とともに、CT 画像を用いた減弱補正によって、正確な深部画像情報が得られるようになりました。「xSPECT」は、従来のメリットに加えて、更なる高画質を実現する新たな画像再構成技術として期待されています。

「SPECT を CT のイメージフレームに揃える」これが xSPECT のコンセプトです。

現行の SPECT・CT では、減弱補正に用いる CT 画像は、SPECT 画像のボクセルサイズにダウンサンプリングされており、CT 本来の高分解能情報を SPECT の画質改善に活用されるには至っていません。

xSPECT は CT 座標系を基準として、SPECT を CT に高精度にアライメントすることで、CT データを位置合わせのために加工する必要がなく、撮像時の高分解能情報を最大限活用することが可能です。その結果、これまで以上に SPECT・CT を高精度に統合したボクセル画像再構成を実現しました（図 1）。一方で、新しい様々な補正情報を組み込むことでデータ量が膨大となり、OSEM 法などの場合、画像

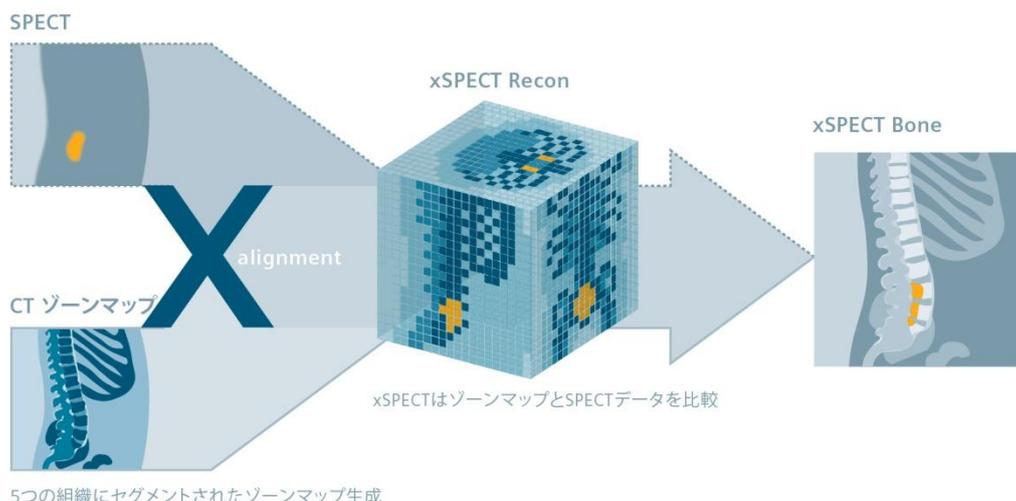


図1 xSPECT 画像再構成

再構成の収束処理に多くの時間を要することになります。これを解決するため、新しい画像再構成法として OSCGM 法を採用しました。CG (Conjugated Gradient : 共役勾配) 法には従来のメリット関数が低カウントデータのようなノイズの多い環境に適さないという課題があるため、この課題を解消するノイズ環境に強いデータモデルに修正し、その新しいメリット関数を搭載した CG 法を使用することで画像データの収束性能が大幅に向上しています。これによって複雑なデータ処理に対しても臨床で利用可能な再構成処理時間を実現しました。

3. 高分解能画像を支える SPECT 補正技術

SPECT の画像再構成においても、新しい補正技術を搭載しました (図 2)。まず、ガントリ回転時に生じるたわみ補正です。SPECT 撮像では、ガンマ線検出器が

被検者を周回し、体内から放出されるガンマ線がコリメータを通して検出されます。xSPECT では、このデータ収集時に生じる検出器回転時のたわみを並進方向 (x, y, z), 回転方向 (yaw, pitch, roll) の計 6 方向で実測したモデルデータを、補正情報として使用します。次に、コリメータ開口補正です。現行法ではコリメータ孔の幾何学的構造に応じて、ガウス分布の点拡がり関数 (PSF : Point Spread Function) を算出し、分解能補正情報として用いていましたが、xSPECT では以下の 2 点を搭載することでより正確な分解能補正を実現しています。

一点目は、点拡がり応答関数 (PSRF : Point Spread Response Function) として、低エネルギー高分解能 (LEHR) コリメータの視野全域にわたり、実測値を三次元的に展開したデータを用いる点です。

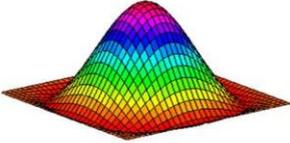
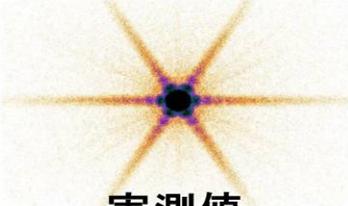
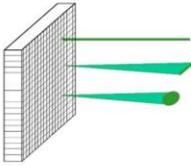
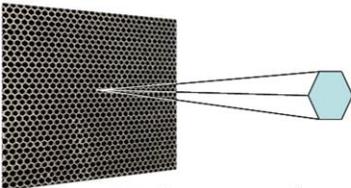
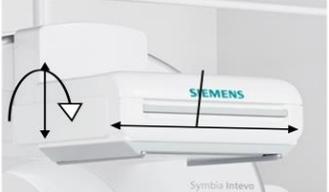
三次元点拡がり 応答関数	<p style="text-align: center;">Current</p>  <p style="text-align: center;">理論値</p>	<p style="text-align: center;">New</p>  <p style="text-align: center;">実測値</p>
コリメータ特性 (ベクトルマップ)	<p style="text-align: center;">Current</p>  <p style="text-align: center;">理想的な幾何学コリメータ</p>	<p style="text-align: center;">New</p>  <p style="text-align: center;">工場実測モデル</p>
ガントリー回転時 のたわみ(6方向)	<p style="text-align: center;">Current</p>  <p style="text-align: center;">二次元回転モデル</p>	<p style="text-align: center;">New</p>  <p style="text-align: center;">三次元回転モデル</p>

図2 高分解能画像の基礎となる最新の SPECT 補正技術

このデータにはコリメータセプタのペネトレーション応答が含まれるため、後述の定量計測の精度向上にも貢献しています。

二点目は、コリメータベクトルマップを用いたコリメータ孔の方向偏差の補正です。ベクトルマップは、コリメータ製造の過程で生じる、無数にあるコリメータ孔の方向の、実設計に対する微小な偏差をシーメンス特許技術で測定した分布情報です。

4. CT 本来の高分解能情報を活用した xSPECT Bone

骨シンチグラフィで使用する ^{99m}Tc 製剤が主に骨組織に分布することから、xSPECT 画像再構成で骨組織と非骨組織を区別するため、セグメンテーション技術を応用したアプリケーションが xSPECT Bone です (^{99m}Tc 核種, LEHR コリメータによる骨シンチグラフィ専用)。CT 画像から、空気、脂肪、軟部組織、海綿骨、皮質骨、金属の 6 つのゾーンにセ

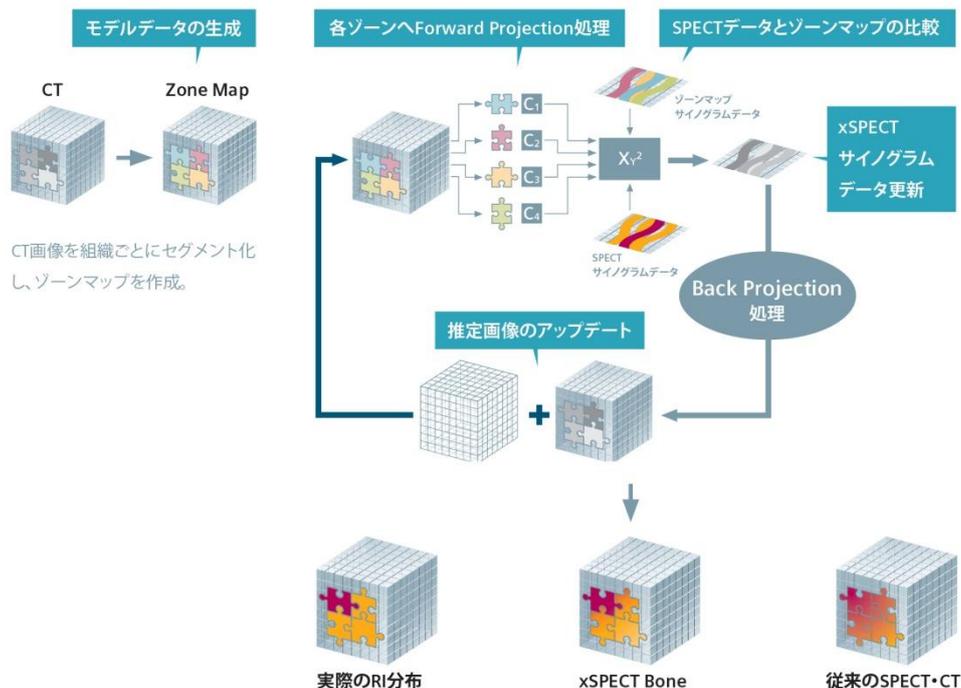


図3 xSPECT 画像再構成のプロセス (xSPECT Bone)

グメンテーション処理したゾーンマップを作成し、それらの境界情報を xSPECT 画像再構成で利用することで分解能の高い画像を提供します (図3, 図4)。画像再構成のプロセスにおいて、SPECT 推定画像をゾーンごとにフォワードプロジェクションし、投影空間で個別に扱われます。境界情報を維持した投影画像を利用することで、高分解能な骨 SPECT 画像を得ることができます。

5. SPECT 画像定量化技術 xSPECT Quant
腫瘍領域における定量計測は RI 内用療法における線量計測への適用が実施され、既に治療計画やモニタリングで応用されていますが、臨床ルーチンではプランナー画像による評価が主流です。一方で、SPECT 定量化についても様々な手法が研究・提案されていながらも手順が煩雑であることや、システムや施設特有の値になるため、標準化には様々な課題を有しています。xSPECT Quant は、高精度なアライメントと、これまでにない正確な補正をベースに、⁵⁷Co 密封点線源 (図5) を用いたシステムキャリブレーションを行います。簡便に SPECT ボクセル値を

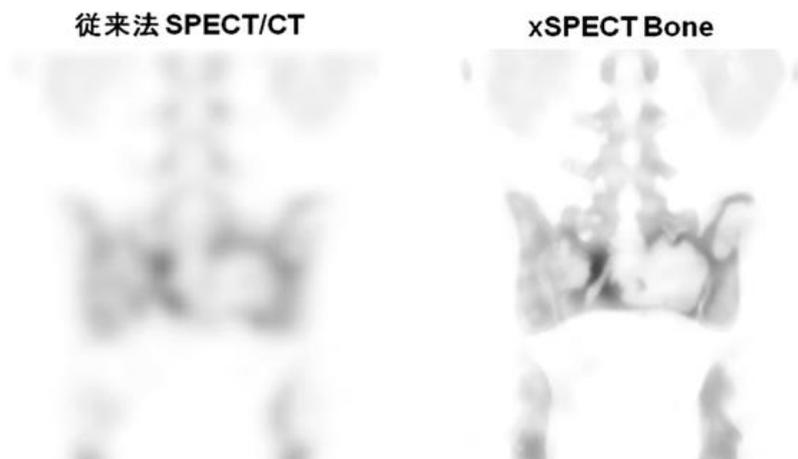


図4 xSPECT Bone 臨床例 大阪大学医学部附属病院提供

Bq/mL や SUV 単位で扱うことが可能で高精度かつ再現性の高い三次元定量画像の提供を実現しました (図6)。同線源は NIST (National Institute of Standards and Technology : アメリカ国立標準技術研究所) トレーサブルであり, トレーサビリティの不確かさは3%以内 (99%信頼区間) です。この線源を用いたシステムの校正、ドーズキャリブレーション測定により標準放射能濃度のクロスチェックが可能です。つまりは装置の定量計測値を標準化することができ、かつ、装置間で比較できる環境の整備にも貢献します。更に他施設間での定量比較も NIST トレーサブル⁵⁷Co 密封点線源と Symbia Intevo の組み合わせによって精度の高い定量計測を行うことが可能となります。現在は、LEHR コリメータを使用した



図5 NIST トレーサブル⁵⁷Co 密封点線源

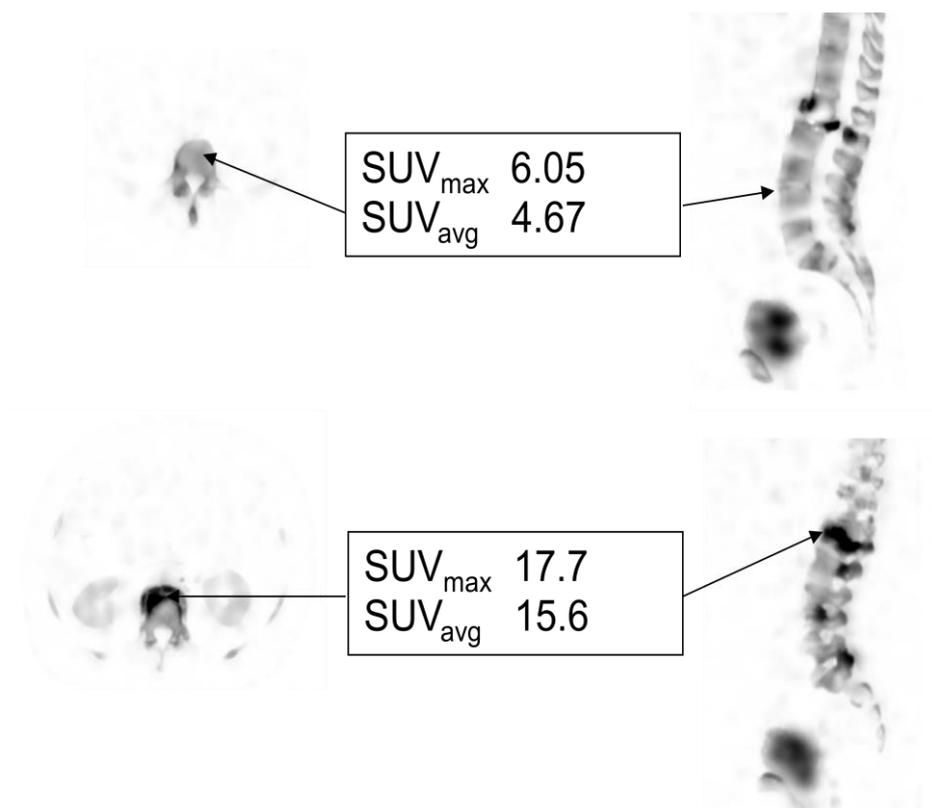


図6 xSPECT Quant (腰椎骨折症例) フリードリッヒ・アレクサンダー大学提供

^{99m}Tc イメージングにのみ対応していますが、将来の拡張性に向けた開発が行われており、更なる臨床応用が期待されています。

6. さいごに

新たな再構成技術「xSPECT」は、CTの

分解能情報を最大限活用した高分解能画像とNISTトレーサブル ^{57}Co 密封点線源を用いた定量計測を実現し、腫瘍のスクリーニングだけでなく、変性疾患の鑑別や治療モニタリング等、様々な領域への活用が期待されます。「xSPECT」による核医学診断の更なる発展に貢献します。