

平成23年度第3次補正予算戦略的基盤技術高度化支援事業

「高解像 SPECT/CT 装置の開発」

研究開発成果等報告書

平成25年3月

委託者 近畿経済産業局

委託先 株式会社 ひがしん総合研究所

目 次

第1章 研究開発の概要

- 1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標
- 1-2 研究体制
(研究組織・管理体制、研究者氏名等)
- 1-3 成果概要
- 1-4 当該研究開発の連絡窓口

第2章 本論

- 1. 装置全体の設計と評価
- 2. 検出器の開発
- 3. フルデジタル回路の開発
- 4. SPECT/CT 装置の開発
- 5. 統合化ソフトウェアの開発

第3章 総括

- 1. 3年間の研究開発成果
- 2. 研究開発後の課題・事業化展開

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

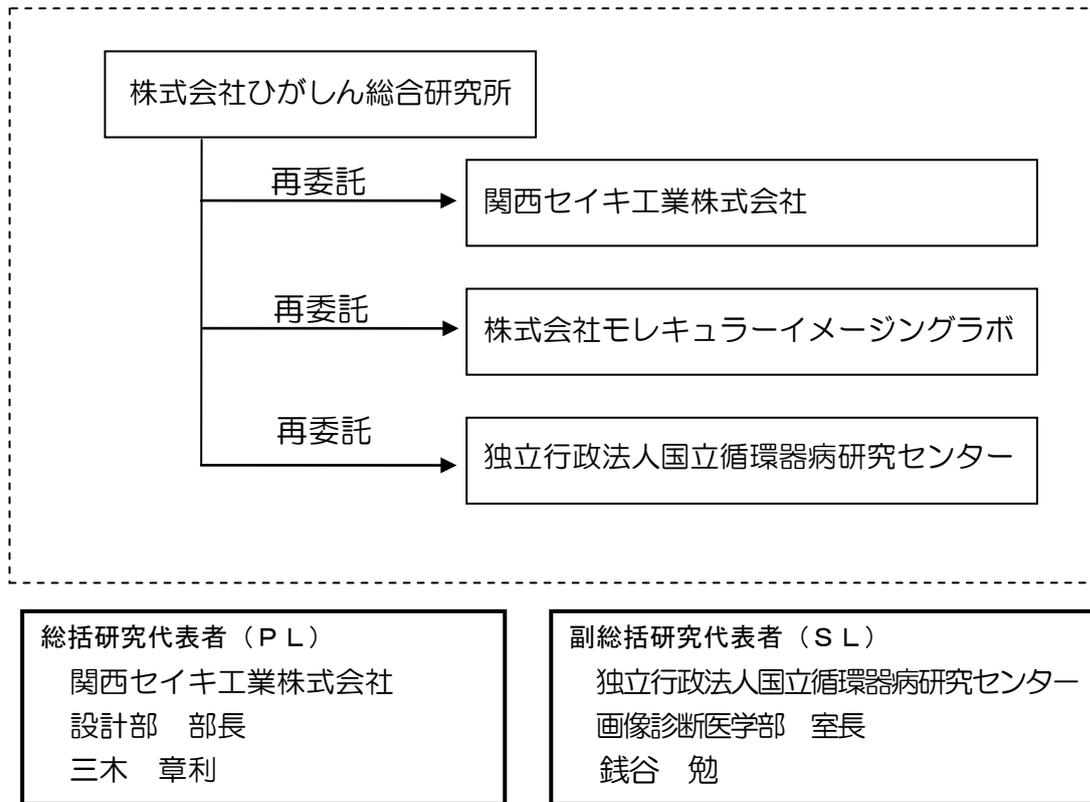
本研究開発に至るまでの研究で、高解像 SPECT/CT 装置を開発し、解像度の高い画像が得ることができたが、一方で、装置を実用化するためには解決すべき課題があることも明らかとなった。具体的には、検出感度の改善、解像度の改善、操作性や調整機構等の改良が装置実用化には不可欠である。これを踏まえ、当事業では高解像 SPECT/CT 装置の実用化を目的として、次のとおり研究開発に取り組んだ。

2台目の検出器を開発し、検出器を2台搭載することで SPECT 装置の検出感度を改善させる。また、フルデジタル検出器回路を開発し、検出器2台をフルデジタル化し、解像度を向上させる。このフルデジタル回路を搭載した高解像度検出器で、高解像度 SPECT 画像を得るために必要となる高解像度用コリメータを開発する。加えて、局所領域を拡大、超高解像度撮像のためのマルチピンホールコリメータを試作・検討する。さらには、装置の操作性向上および画質調整機構開発のために、装置に搭載されるすべての機能ソフトウェアを共通プラットフォームで作成、統合した統合化ソフトウェアを開発する。装置筐体部分に対しても、実用性を高めるため試作機の評価を踏まえ課題を見直し改良を施す。

1-2 研究体制（研究組織・管理体制、研究者氏名等）

(1) 研究組織及び管理体制

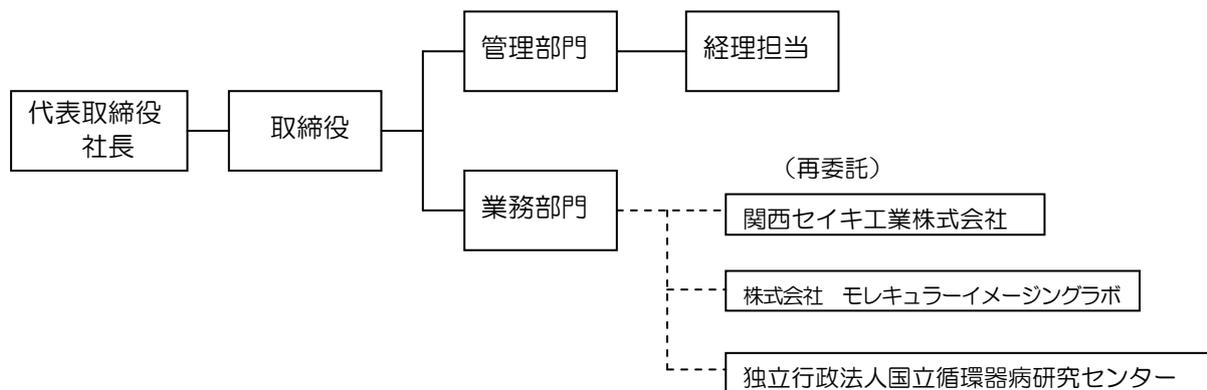
【研究組織（全体）】



【管理体制】

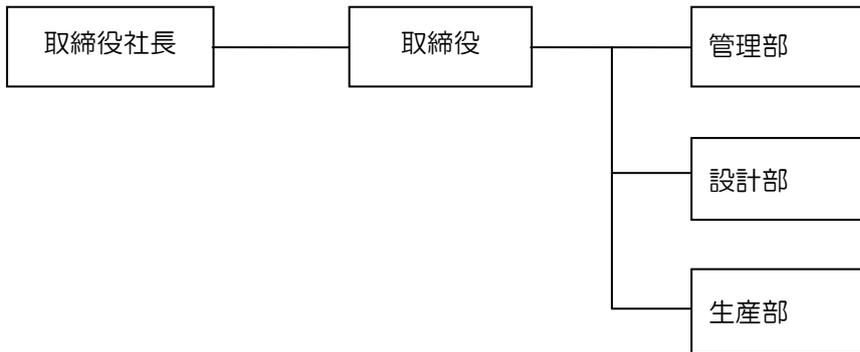
①事業管理機関

[株式会社ひがしん総合研究所]

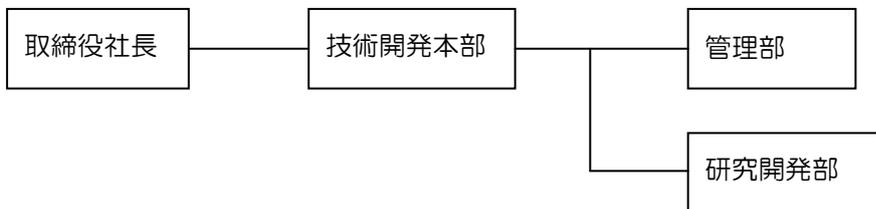


②（再委託先）

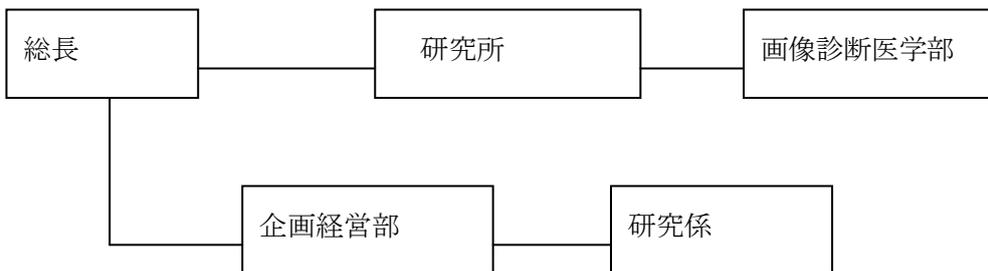
[関西セイキ工業株式会社]



[株式会社モレキュラーイメージングラボ]



[独立行政法人国立循環器病研究センター]



(2) 管理員及び研究員

【事業管理機関】株式会社ひがしん総合研究所

①管理員

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
酒井 孝司	取締役	6
山本 俊史	取締役	6

【再委託先】

① 研究員

関西セイキ工業株式会社

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
中野 誠	設計部 部長	1
三木 章利	設計部 部長	1, 2, 3, 4
垣中 増夫	設計部 課長	1, 3, 4, 5
竹本 仁一	設計部 課長	1, 2, 4
中野 史和	設計部 係長	3, 4

株式会社モレキュラーイメージングラボ

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
吉田 洋一	代表取締役	1, 2, 3, 4, 5
山本 明秀	研究開発部 社員	2, 3, 4, 5

独立行政法人国立循環器病研究センター

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
飯田 秀博	画像診断医学部 部長	1
銭谷 勉	画像診断医学部 室長	1, 2, 3, 4, 5
堀 祐樹	画像診断医学部 研究員	2, 3, 4, 5

(3) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

(事業管理機関)

株式会社ひがしん総合研究所

(経理担当者) 取締役

酒井 孝司

(業務管理者) 取締役

山本 俊史

(再委託先)

関西セイキ工業株式会社

(経理担当者) 総務部 課長

道 俊六

(業務管理者) 営業部 課長

中込 久

株式会社モレキュラーイメージングラボ

(経理担当者) 代表取締役

吉田 洋一

(業務管理者) 代表取締役

吉田 洋一

独立行政法人国立循環器病研究センター

(経理担当者) 企画経営部 研究医療課研究係長

高木 宏

(業務管理者) 画像診断医学部 室長

銭谷 勉

1-3 成果概要

SPECT 装置の検出器の感度を改善するために、2台目となる検出器を製作し、装置に追加した。これに必要な検出器回路およびパラレルホールコリメータも製作した。データ処理部分も2検出器用に対応した。ファントム撮像実験を行い、感度が2倍程度に改善することが確認できた。また、1つの検出器では16~17%だったノイズレベルが、2つの検出器を利用することで12%に抑制されており、感度改善による画質改善効果があることが確認できた。

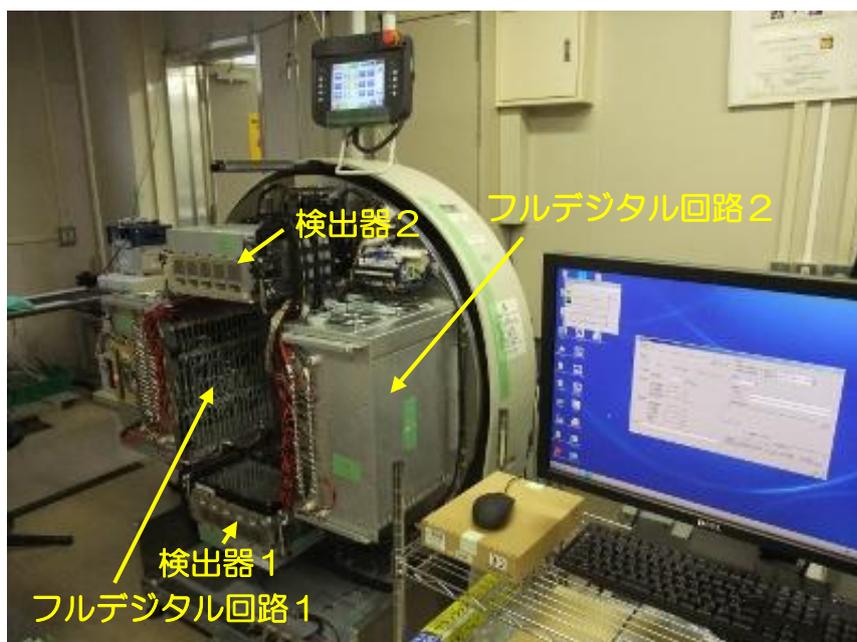
検出器2台分のフルデジタル回路を新たに開発したことで、検出器はフルデジタル化され、フルデジタル化により検出位置推定演算の最適化が可能となった。従来のアナログ回路では3.5mm程度だった検出器固有空間解像度が、2mm程度に改善できた。これにより、フルデジタル高解像度検出器2台が搭載可能となった。

この高解像度検出器で高解像度のSPECT画像を得るために必要な高解像度用コリメータを開発した。従来のコリメータと比較検討した結果、高解像度用コリメータは解像度を大きく改善することが確認され、フルデジタル検出器と組み合わせることによって、5mm程度の高い空間解像度のSPECT画像が得られることが示唆された。また、ヒト頭部局所の拡大高解像度撮像を高感度で行うためのマルチピンホールコリメータを設計・試作し、1mm程度の解像度で、シングルピンホールに比べ、感度を8倍に改善した撮像の可能性が示唆された。

SPECT 装置筐体は、フルデジタル検出器回路を搭載可能なものを新たに設計・製作し、フルデジタル検出器回路を組み合わせた高解像度検出器を搭載した。装置は、コンパクトに精度良くデータを収集できるように3次元CAD設計を行い、得られた3次元データに基づきFEM構造振動解析を実施し、位置決めに係る駆動機構の最適化設計を行った。その結果、コンパクトな、安定して動作する駆動機構にすることができた。被検者頭部の実際の撮像を想定し、位置決めを的確に行う本体とベッドの構造、頭部の挿入方法、安全機構について設計・試作した。また、実用性の高い装置を目指し、ケーブル配線、ベッド動作、ストッパー機能、操作画面、振動抑制などに関して改良を行い、安全性、品質、操作性、保守性が改善され、実用性の高い装置にできた。

SPECT 装置およびCT装置に実装される各ソフトウェア（データ収集ソフトウェア、装置制御ソフトウェア、パラメータ入力ソフトウェア、データ処理ソフトウェア、装置調整ソフトウェア）を共通のプラットフォームで作成し、これらを統合した統合化ソフトウェアを開発した。さらに、検出器のフルデジタル化に伴い、フルデジタル信号による検出位置演算処理を統合化ソフトウェアに組み込んだ。また、フルデジタル化によるデータ量の増加に対するデータ収集の高速化や、検出器の調整のためのメンテナンスソフトウェアの追加などの改良を行った結果、装置の調整も容易に行え、操作性も大きく改善し、実用的な統合化ソフトウェアが開発できた。

また、ファントム実験および生体実験を行い、SPECT画像とCT画像の融合が有効であることが確認できた。



フルデジタル検出器2台搭載高解像度 SPECT 装置

1-4 当該研究開発連絡窓口

株式会社 ひがしん総合研究所
〒581-0003 大阪府八尾市本町 2-9-17
TEL 072-923-2612 FAX 072-923-2801
E-mail : souken@ever.ocn.ne.jp

取締役 山本 俊史
取締役 酒井 孝司

半値幅を求め、空間解像度を評価した。目標である 5mm 程度の高い解像度が得られることが確認できた。

また、頭部撮像の画質を評価するために図1-2（左図、中央図）に示した 3D 脳ファントムを撮像した。3D 脳ファントムには、頭蓋骨部分に骨と吸収係数がほぼ等しいリン酸水素カリウム溶液を封入し、灰白質領域を 185MBq の Tc-99m で満たした。コリメータ面と 3D 脳ファントムの中心までの距離を 130mm とし、1 時間 SPECT 撮像した。収集した投影データは、吸収・散乱・コリメータ開口補正有りの OS-EM 法を用いて画像再構成した。図1-2 右図は、再構成した SPECT 画像である。頭部撮像において高い空間解像度で画像化できることが示唆された。

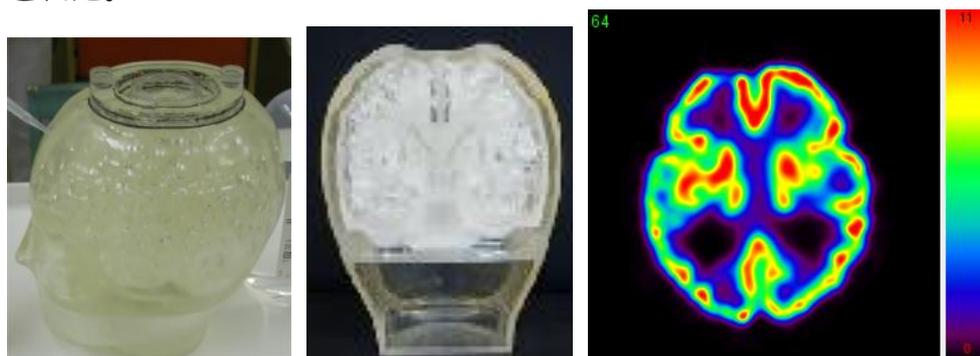


図1-2 3D脳ファントムの画像化。

（左図：ファントム外観、中央図：断面、右図：SPECT 画像）

2. 検出器の開発（独立行政法人国立循環器病研究センター、株式会社モレキュライメージングラボ、関西セイキ工業株式会社）

2-1 2台目追加検出器

2-1-1 検出器の開発

装置の高感度化のため、2台目の検出器を開発し、SPECT 装置に搭載し、2検出器システムとした。NaI シンチレータの形状は、ヒトの脳を画像化するのに適当なサイズとして面積は 25cm×15cm である。また、検出器の固有分解能は 3mm 程度の高解像度を目指し、シンチレータの厚さは一般的に 9.5mm であるのに対して 6.4mm と薄くした。ライトガイドガラスの厚さも、高解像度化を目指して臨床 SPECT 装置の 10mm~20mm に対して、3mm と薄くした。シンチレータから光を受光する光電子増倍管(PMT)は、一般の臨床用 SPECT 装置では 50mm 径や 75mm 径のものを使用しているのに対して、6mm 径のもの配列する位置感応型 PMT (Position Sensitive PMT: PSPMT) H8500 (浜松ホトニクス製、図2-1 左図)を使用した。これによって、ガンマ線検出位置が精度良く推定できると考えられる。図2-1 右図は PMT と結合された NaI シンチレータプレートである。

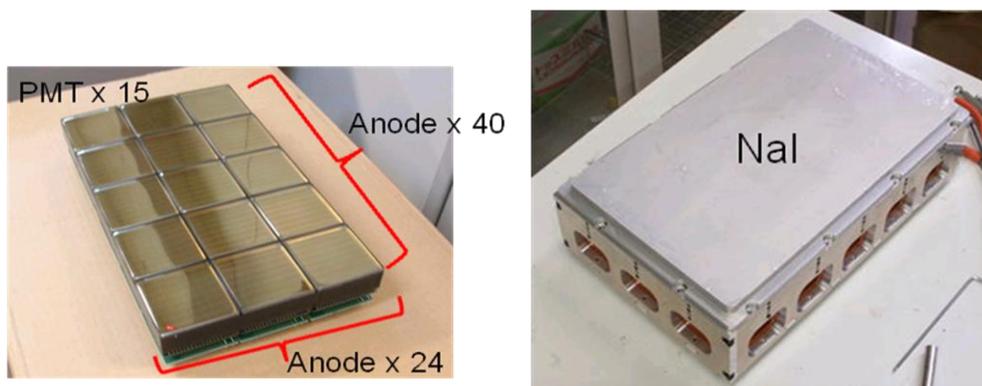


図2-1 高解像化のために利用する位置感応型光電子増倍管（PSPMT H8500、浜松ホトニクス製）（左図）。3×5に配列し、視野 250mm×150mm をカバーする。PMT と結合された NaI シンチレータプレート（右図）。

2-1-2 感度改善評価のためのファントム撮像実験

1 検出器から2検出器にすることで感度改善効果があるかを確認するために、濃度一様円柱ファントムを SPECT 撮像し、3次元画像化した。

一様の濃度の Tc-99m 溶液 5mCi で満たされた円柱ファントム（直径 160mm、高さ 150mm）を対向した2検出器を用いて、投影方向 90、1方向あたり 150秒収集、360度回転を12往復させて、約1時間撮像した。12往復したデータをすべて加算した後、OSEM 画像再構成法(subset 数 10、iteration 数 10)を用いて3次元画像を得た。画像マトリクスは 128×128 とした。

1つの検出器のデータを利用して得られた画像と、2つの検出器のデータを利用して得られた画像とのトータルカウントを比較したところ、約2倍になっており、感度が2倍程度改善されていることが確認できた。また、感度が2倍になることで、統計ノイズの抑制が期待される。統計ノイズはカウントの平方根に比例することが知られている。従って、感度が2倍になれば、2つの検出器のデータを使って得られた画像のノイズレベルと1つの検出器のデータを使って得られた画像のノイズレベルには 1.4 倍の関係が成り立つはずである。円柱ファントムの再構成画像上に関心領域 (Region of interest: ROI) を設定し、その中のカウントのばらつき (Coefficient of variance: COV=カウントの標準偏差/カウントの平均値)を調べた。検出器1のデータを使って再構成した画像では 16%、検出器2のデータを使って再構成した画像では 17%であった。それに対して、2つの検出器のデータを使って再構成した画像では 12%であった。1検出器と2検出器では COV の比は 1.33 あるいは 1.42 の関係があることが確認できた。これは、感度が2倍になったことによって、妥当な統計ノイズ抑制効果があることが確認できたことになる。つまり、ノイズ抑制による画質改善があると考えられる。

2-2 高解像度用コリメータ

2-2-1 高解像度用コリメータの開発

ヒトの頭部に対して、5 mm 以下の高解像度 SPECT 画像を得るために、検出器の高解像度化と共に、高解像度用パラレルホールコリメータを開発した。コリメータの穴径は、幾何学理論に基づいて、固有空間解像度 2 mm 程度の検出器と組み合

- ②検出器を取り付けるベースは鉛製で、ピンホール開口の部分はタングステン製である。高解像度撮像をするために高密度のタングステンを使用している。
- ③高感度撮像するため、8個のピンホールを有し、すべてのピンホールは拡大率1倍で、直径 55 mm の球内の領域を見込み、そこからのガンマ線を検出器上に独立に投影する。そのため各ピンホール角度は異なり、上下、左右対称である。
- ④直径 55 mm の球内に分布する放射性薬剤の8つの投影像がピンホールを介して検出器に映し出される。
- ⑤高解像度撮像するため、すべてピンホールの穴径は 1 mm である。
- ⑥検出器を回転させることで複数の角度の投影像を得ることができ、これらの投影像から画像再構成することで、直径 55 mm の球内の放射性薬剤の3次元分布像を高い解像度で得ることができる。

図2-3は試作したマルチピンホールコリメータである。基本性能評価を行った結果、1 mm 程度の解像度が得られ、シングルピンホールの約8倍の感度が得られることが示唆された。

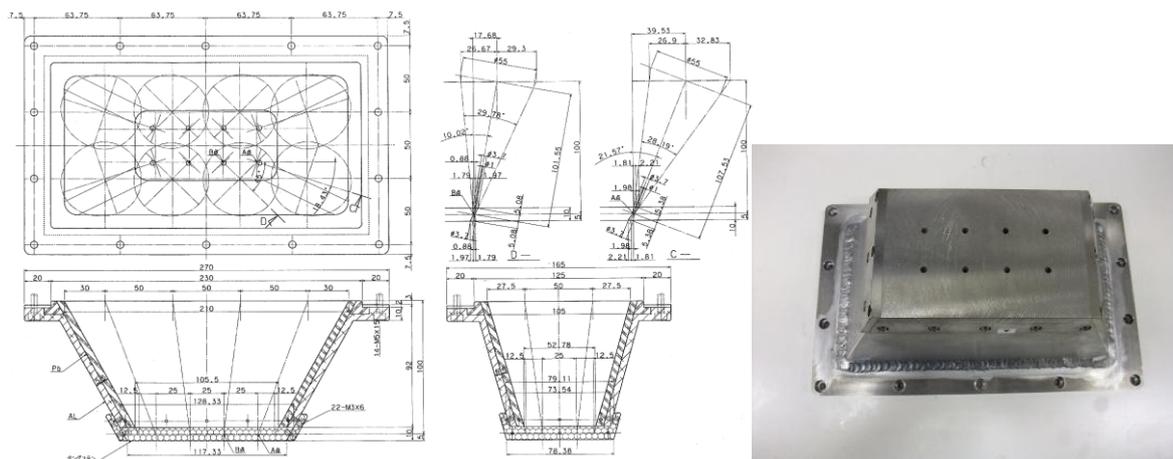


図2-3 試作したマルチピンホールコリメータ。設計図（左図）と写真（右図）。

3. フルデジタル回路の開発（株式会社モレキュラーイメージングラボ、関西セイキ工業株式会社、独立行政法人国立循環器病研究センター）

3-1 フルデジタル回路

検出器の信号をすべてデジタル信号にするためのフルデジタル回路を開発した。図3-1左図はフルデジタル化の概念図で、すべての光電子増倍管(PMT:アノード)の信号がデジタルに変換される。その結果、様々なデジタル信号処理が可能となる。図3-1右図はフルデジタル回路基板の設計図面である。図3-2左図は開発した回路基板で、図3-2右図はフルデジタル回路が検出器2台分搭載された SPECT 装置である。

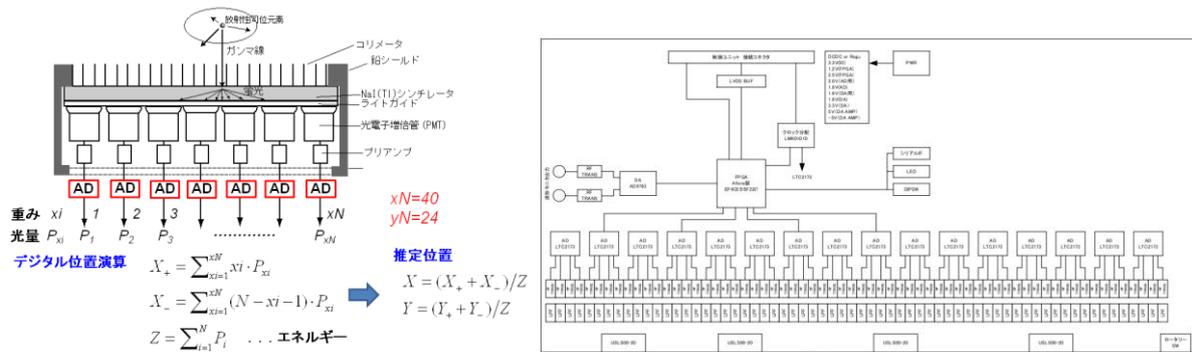


図3-1 検出器のフルデジタル化。概念図（左図）と、フルデジタル回路基板の設計図面（64ch AD 変換）（右図）。



図3-2 フルデジタル回路。基板（64ch AD 変換）（左図）と、フルデジタル回路2台搭載高解像度 SPECT 装置（右図）。

3-2 検出器空間解像度の評価

3-2-1 局所領域検出位置推定演算

フルデジタル回路によって、光電子増倍管(PMT)の全アノードの信号をデジタル信号として演算することが可能となった。位置演算の最適化が可能となる。位置演算処理方法の一つとして、図3-3 に示すような局所領域のみを信号を用いて位置演算ができる。ピーク周辺以外のノイズ成分を除去することができるため、精度良く位置を推定できることが期待される。

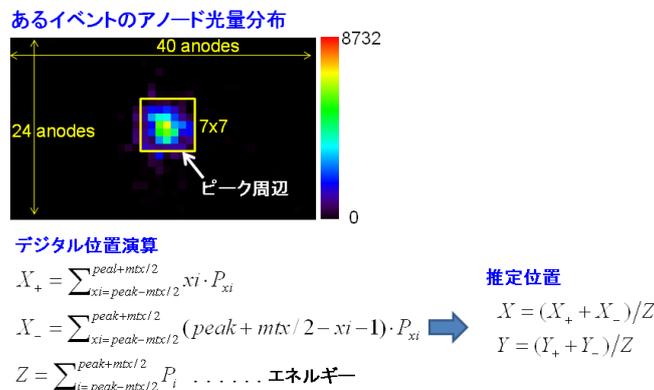


図3-3 局所領域信号のみを用いた検出位置推定演算

3-2-2 検出器固有空間解像度評価実験

30 mm 間隔で直径 1.5 mm の穴が 45 箇所 (5×9) 空いた 10 mm 厚の鉛板を検出器上に置き、3か所の穴の上に Tc-99m 線源を置いてデータを収集し、点状のプラナー画像を得た (図3-4左図)。点状画像のカウントプロファイルの半値幅を求めて空間解像度を評価した。

図3-4右図は、全 PMT を用いて位置演算して結果と、局所の PMT (5×5) のみを用いて位置演算した結果である。全 PMT では 3 mm 以上だった空間解像度が、局所の PMT 信号だけで位置演算することによって 2 mm 程度に改善した。

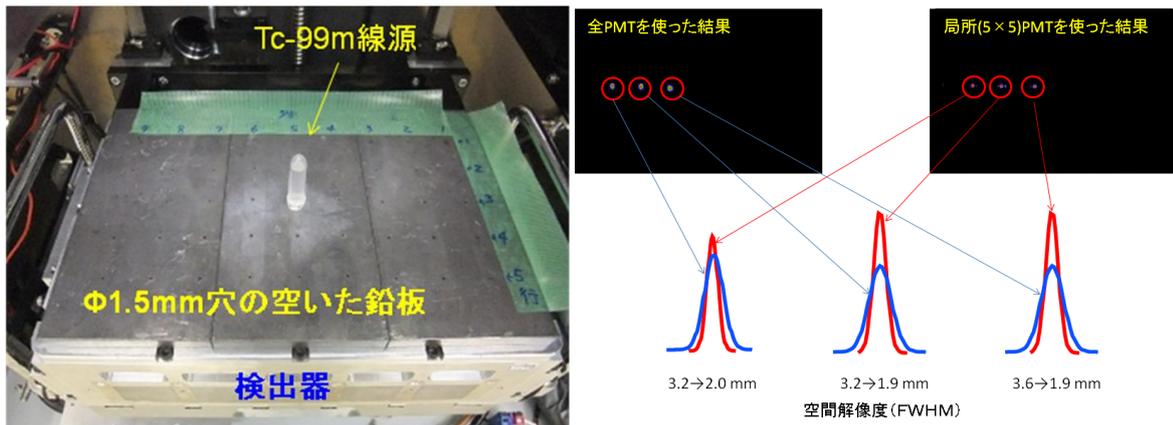


図3-4 検出器固有空間解像度評価実験。検出器空間解像度測定のためのペンシルビーム照射実験 (左図)。局所領域信号を用いた位置演算による空間解像度の改善 (右図)。

3-3 マルチライン線源ファントムによる SPECT 空間解像度の評価

開発した高解像度検出器を用いた SPECT 再構成画像における解像度を評価するために、高解像度コリメータを装着し、内径 0.8 mm、長さ 160 mm のプラスチックチューブを 25MBq の Tc-99m で満たした線線源 9 本から成る複数線線源ファントム (図3-5左図) を撮像した。コリメータ面と回転中心までの距離を 130 mm で投影データを収集した。画像再構成を行い SPECT 画像を作成し、各ライン線源に対して画像プロファイルを取り、ガウシアン関数でフィッティングさせることにより、その半値幅から各線線源の解像度を求めた。図3-5右図はマルチライン線源ファントムの SPECT 画像から空間解像度を求めた結果である。目標である 5 mm 前後の空間解像度が得られていることが確認できた。

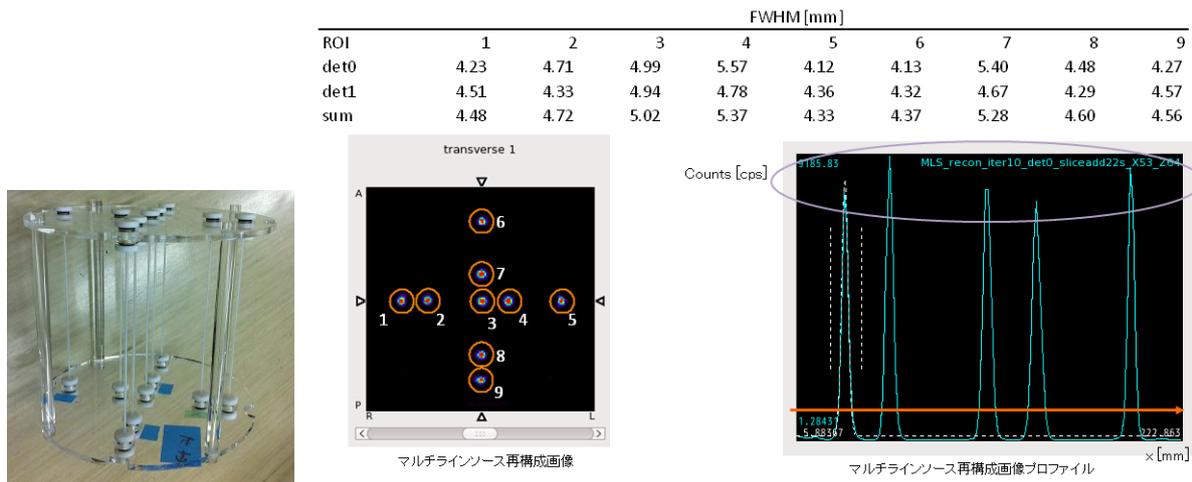


図3-5 SPECT 画像の空間解像度評価。マルチライン線源ファントム（左図）、各ライン線源の画像上の半値幅（空間解像度）（右図）。

4. SPECT/CT 装置の開発（関西セイキ工業株式会社、株式会社モレキュラーイメージングラボ、独立行政法人国立循環器病研究センター）

4-1 試作機の開発

SPECT 装置筐体は、フルデジタル検出器回路を搭載可能なものを新たに設計・製作し、フルデジタル検出器回路を組み合わせた高解像度検出器を搭載した。装置は、コンパクトに精度良くデータを収集できるように3次元 CAD 設計を行い、得られた3次元データに基づき FEM 構造振動解析を実施し、位置決めに係る駆動機構の最適化設計を行った。その結果、コンパクトな、安定して動作する駆動機構にすることができた（図4-1）。また、被検者頭部の実際の撮像を想定して、位置決めを的確に行うことを可能とする本体とベッドの構造、頭部の挿入方法および安全機構を設計・試作した。具体的には、以下のとおり試作機を開発した。

- ① 検出器の接近離反動作機構であるH軸を2セット、各検出機器からの信号を処理するデジタル回路ラック2台を回転中心部にヒト頭部挿入スペースを確保しつつ、できるだけ外径寸法が小さくまとまるように回転動作機構に配置、装置全体の大きさがコンパクトになるよう設計し、試作機を製作した。
- ② 平成23年度には検出器1台とそれに対応するデジタル回路を1セット搭載した。デジタル回路ラックは2台搭載した。平成24年度にはもう1台の検出器1台とそれに対応するデジタル回路を搭載した。
- ③ 本体設計は3次元CAD（Inventor）を使用して三次元設計を行った。この3次元データに基づき、FEM解析ソフト（COSMOS）を使用して検出器支持機構構造体のFEM構造振動解析を実施し、変形量、発生応力、固有振動モード、回転停止慣性による残留振動を確認し、必要な設計修正を行って試作機を製作した（図4-1）。
- ④ 被験者頭部の位置決めを的確に行う本体とベッドの構造、頭部の挿入方法、安全

機構について設計、試作を行った（図4-2）。

⑤ 本体は動物実験用の昇降、前後動作機能付ベッドの接続も可能な接続構造とした。

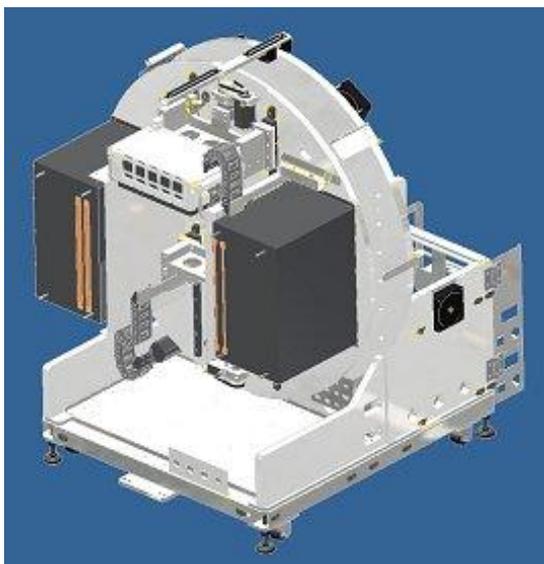


図4-1 SPECT 装置筐体。3次元設計（左図）と試作機（右図）。

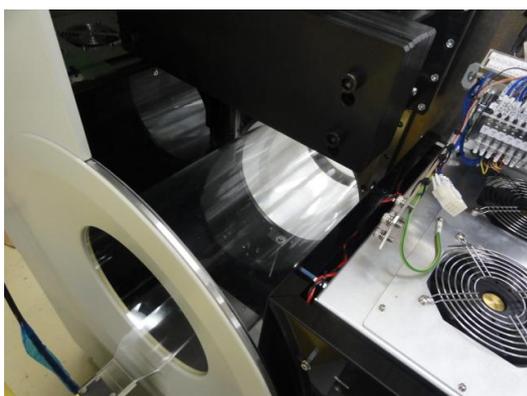


図4-2 頭部保護構造

4-2 装置の改良

実用化装置としての完成度を高めるために、製作した試作機についての評価を踏まえ、安全性、品質、操作性、保守性の観点から以下の改良を行った。図4-3は装置全体の改良設計図面、図4-4は改造した装置の全体写真である。

- ① 回転部のケーブルガイド改良（品質向上）
- ② 検出器とデジタル回路間の極細同軸ケーブル配線改良（品質、保守性向上）
- ③ ベッドマットスライド部前後動の電動化（安全性向上）
- ④ H軸メカストップ検出機能追加（安全性向上）
- ⑤ タッチパネル操作性改良（操作性向上）
- ⑥ デジタル回路ラック配線保護カバー改良（品質、保守性向上）
- ⑦ 残留振動低減（残留振動低減）

共通プラットフォーム（プログラミング言語 C#）で作成した SPECT 装置および CT 装置用の各ソフトウェア（データ収集ソフトウェア、装置制御ソフトウェア、パラメータ入力ソフトウェア、データ処理ソフトウェア、装置調整ソフトウェア）を統合する統合化ソフトウェアを設計・開発した。運用試験を実施した結果、装置の調整も容易に行え、操作性も大きく改善したことを確認できた。また、小動物および脳ファントムを用いて、SPECT 装置と X 線 CT 装置から得られた画像を合成し、重ね合わせ画像の有効性が確認できた。

5-1 SPECT 装置ソフトウェア

5-1-1 メニュー画面

各ソフトウェア（データ収集、データ処理、画像再構成、メンテナンス）はメインメニューから起動する（図5-1）。



図5-1 メインメニュー画面

5-1-2 データ収集ソフトウェア

(1) データ収集メインソフトウェア

ProSPECT 装置では、本ソフトウェアを使用して SPECT データを収集する。図5-2の GUI 画面より、データ収集および装置制御するためのパラメータを設定する。設定したパラメータに従って、データ収集装置とガントリ間で制御信号を送受信し、データ収集と装置制御の同期を図りながら、検出器からデータを収集する。

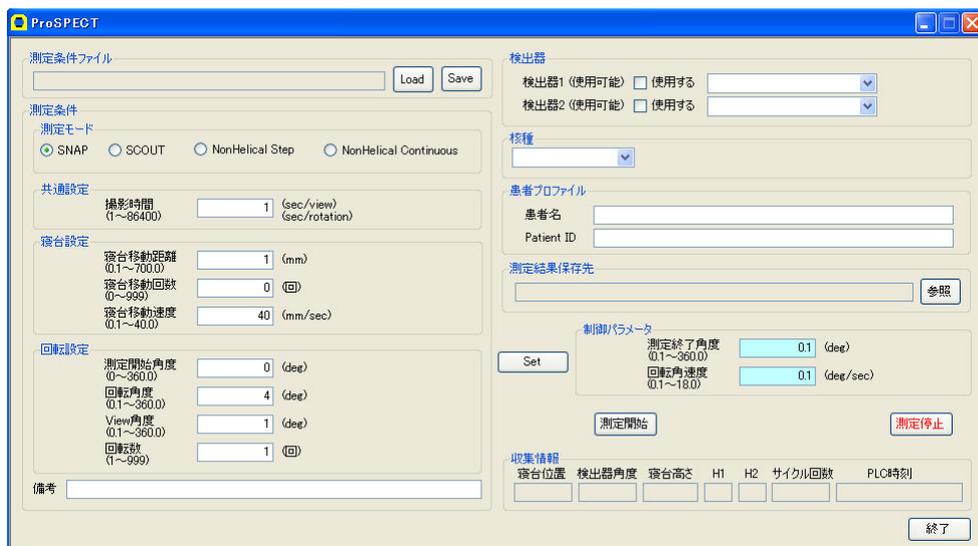


図5-2 データ収集ソフトウェア画面

(2) データ収集モニタ画面

データ収集中に、収集したデータの投影画像とエネルギープロファイルをリアルタイムに表示する(図5-3)。測定を開始すると、データ収集メイン画面の左上にモニタ画面が表示され、測定が収集すると画面が閉じる。

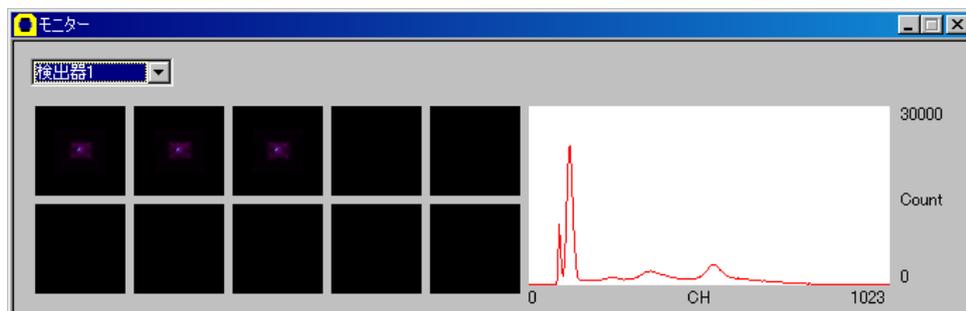


図5-3 データ収集モニタ画面

5-1-3 データ処理ソフトウェア

収集した生データは、本ソフトウェアを使用して画像再構成するための投影画像データに加工する(図5-4)。

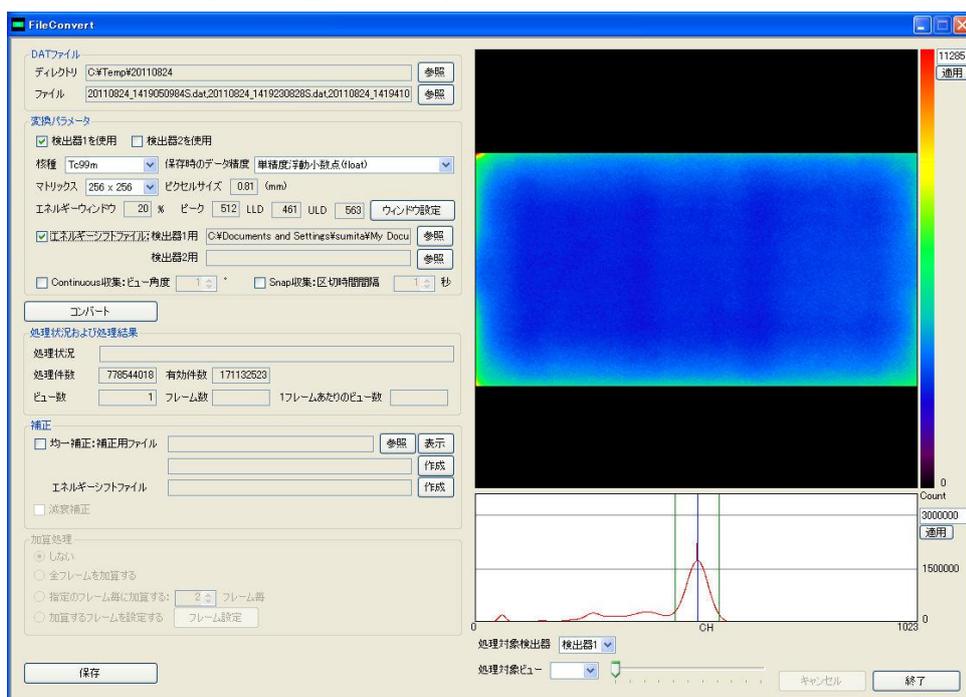


図5-4 データ処理ソフトウェア画面

5-1-4 画像再構成ソフトウェア

本ソフトウェアを使用して投影データを画像再構成して3次元画像を作成する。図5-5は画像再構成ソフトウェアのGUI画面である。

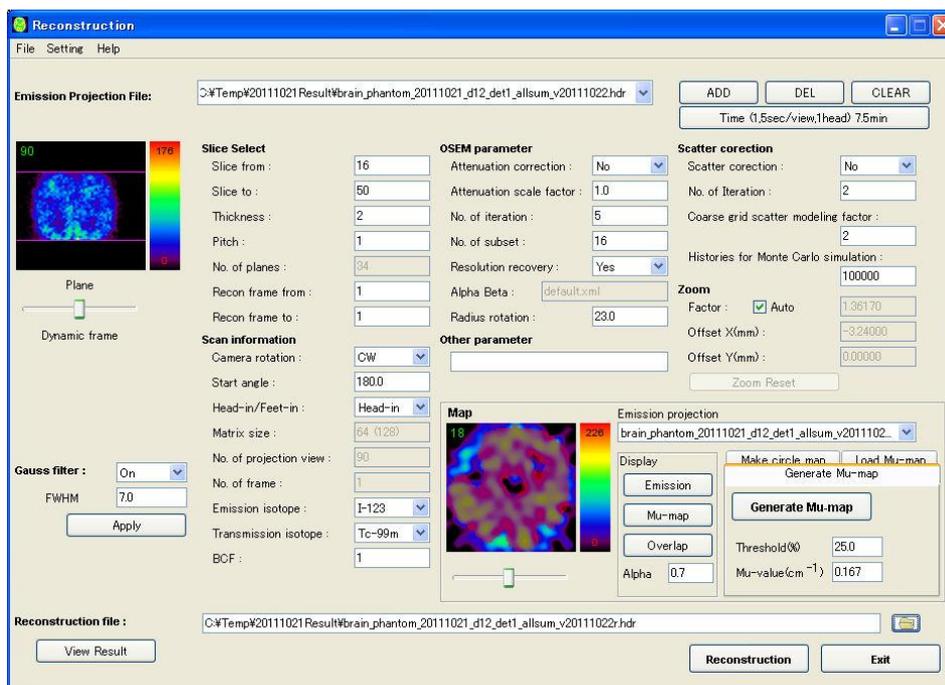


図5-5 画像再構成ソフトウェア画面

5-1-5 フルデジタル化に伴う改良

SPECT 検出器からの出力データのフルデジタル化に伴い、実用化のため統合化ソフトウェアを改良した。

(1) データ収集の高速化

検出器回路のフルデジタル化に伴い、収集するデータ量が増えるため、検出器回路一つに対してデータ収集用のスレッドを一つ割り当て、二つの検出器回路から転送されるデータを並列に収集するように処理を追加した。また、データを収集するための共有メモリのオーバーフロー防止のために、メモリからディスクに書き出す間に、検出器回路から転送されるデータをロスしないように、データをメモリからディスクに書き出すスレッドの処理を検出器回路毎に別途追加した。

(2) 検出位置演算処理の組み込み

検出器回路のフルデジタル化に伴い、統合化ソフトウェアに位置演算処理を組み込んだ。処理内容は以下のとおりである。

- 1) フルデジタル化された検出器回路から出力される 64×15 個のアノードの光の強度分布データを読み込む。
- 2) 2次元の光の強度分布に対して重心演算を行い、ガンマ線の検出位置を推定する(図3-1、図3-3)。
- 3) 光の強度分布から入射ガンマ線のエネルギーを計算する(図3-1、図3-3)。
- 4) 重心計算によって得られた位置情報、およびエネルギー情報をリストモードデータとして出力する。

5-1-6 メンテナンスプログラム

(1) 画像モニタプログラム

画像をモニタする。エネルギープロファイルを表示する。エネルギーピークを調整することができる。

(2) 光量分布画像作成プログラム

40×24 個の PMT の光量分布を画像データ (Analyze 形式) として保存する。

(3) エネルギープロファイル表示プログラム

収集したデータのエネルギープロファイルを表示する。15 個の PSPMT 毎のエネルギープロファイルを表示し、かつ、全 PMT データを使ったエネルギープロファイルを表示する。エネルギーピークチャンネルを合わせることで、15 個の PSPMT のゲインのバラツキを無くすることができる。その結果、検出器の感度ムラ低減や位置直線性が改善する。画質調整するために非常に有効なプログラムである。図5-6 左図はゲイン調整後の15個の PSPMT 毎のエネルギープロファイルである。エネルギーピークチャンネルが一致しているのが確認できる。図5-6 右図は全 PMT のデータを使って作成されたエネルギープロファイルである。ゲイン調整がされているので、プロファイルの広がっていないのが確認できる。図5-7は等間隔でペンシルビーム入射させた画像であるが、PSPMT のエネルギーピークチャンネルを合わせることで、画像の位置の直線性が改善されているのがわかる。

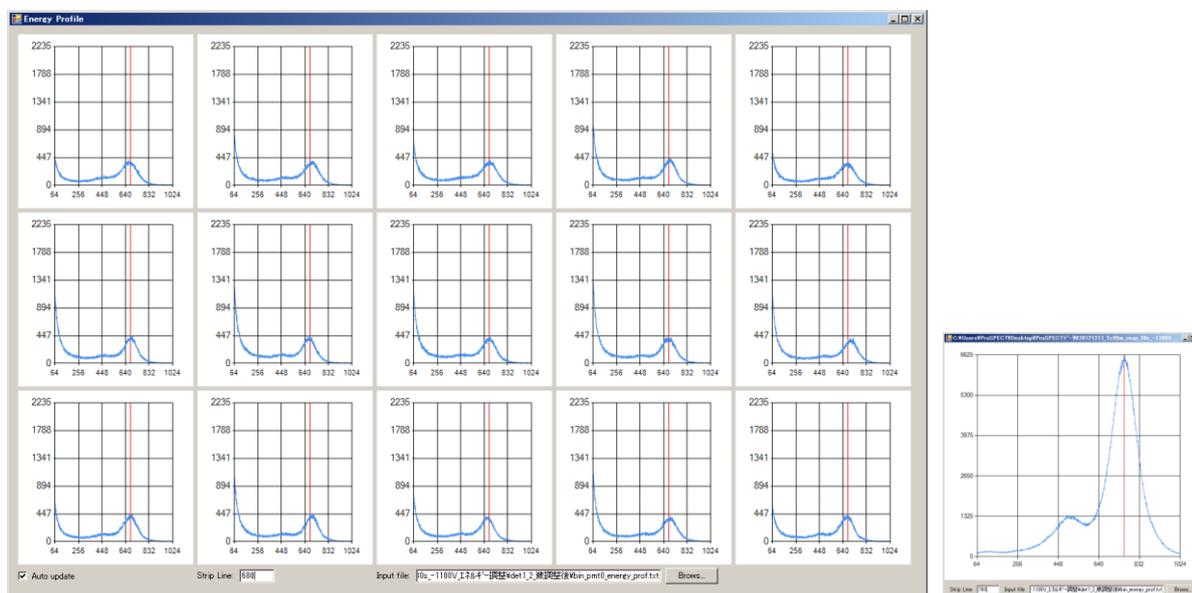


図5-6 エネルギープロファイル表示プログラム。PSPMT 毎のエネルギープロファイル（左図）、全 PMT データを使ったエネルギープロファイル（右図）。

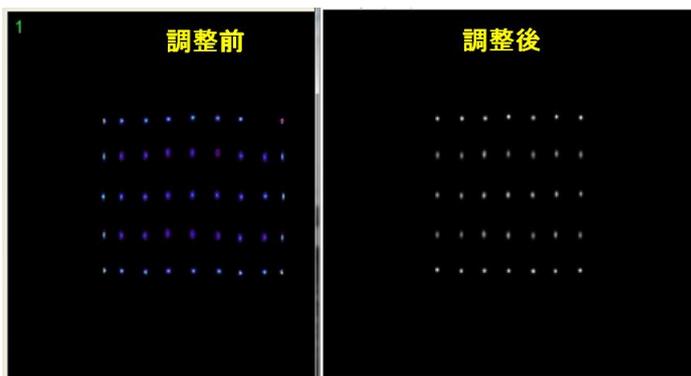


図5-7 ゲイン調整による直線性の改善

5-2 X線CT装置ソフトウェア

X線CT装置において、本ソフトウェアを使用してデータを収集する。GUI画面においてデータ収集および装置制御するためのパラメータを設定する。設定したパラメータに従って、データ収集装置とガントリ間で制御信号を送受信し、データ収集と装置制御の同期を図りながら、検出器からデータを収集する。図5-8はデータ収集ソフトウェアの画面である。

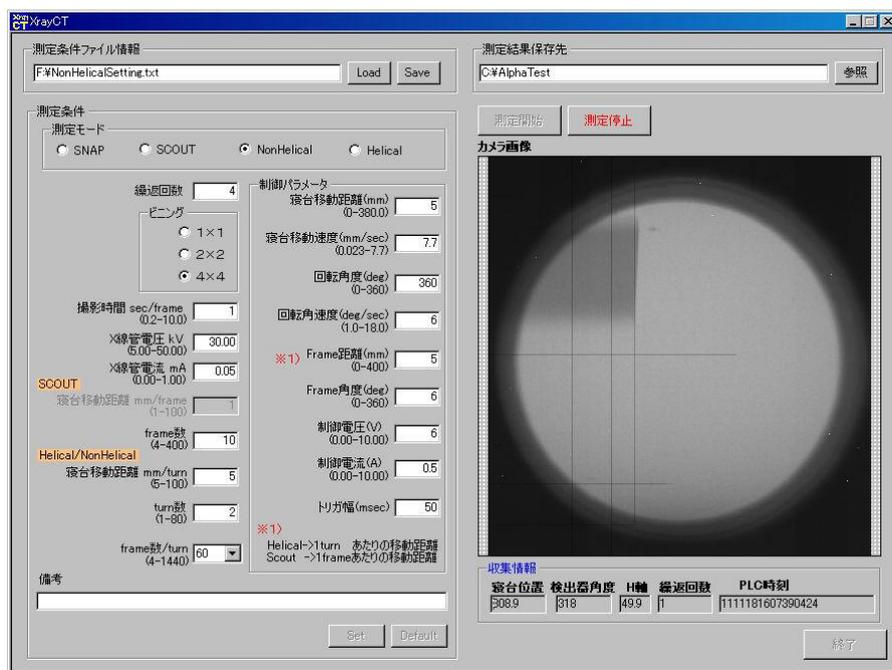


図5-8 X線CT装置データ収集画面

5-3 SPECT画像とX線CT画像の合成

ProSPECT装置で得られた画像とX線CT画像との合成の有効性を確認するために、ProSPECT装置とX線CT装置にて、ヒト脳ファントムとラット脳を撮像、SPECT画像とX線CT画像を合成した。

5-3-1 ヒト脳ファントムのSPECT画像とX線CT画像の合成

ProSPECT装置で得られたSPECT脳画像と臨床装置で得られたX線CT画像

の画像合成の有効性を、脳ファントムを用いて確認した。

3D脳ファントムには、頭蓋骨部分に骨と吸収係数がほぼ等しいリン酸水素カリウム溶液を封入した。灰白質領域を 185MBq の Tc-99m で満たした 3D脳ファントムを 1 フレーム 150 秒間で、48 フレーム、2 時間撮像した。収集した投影データ(step angle:4° , 90view)を、吸収・散乱・コリメータ開口補正有りの OS-EM 法を用いて 1 検出器の投影データを用いて画像再構成した。コリメータ面と 3D脳ファントムの中心までの距離を 130 mm とし、画像サイズ 128×128pixels、ピクセルサイズ 1.62×1.62mm²とした。同じ脳ファントムを Siemens 製臨床用 CT-SPECT 装置にて CT 撮像を行い、X 線 CT 画像を得た。

これらの SPECT 画像と X 線 CT 画像を、画像表示ソフトウェア Amide を用いて重ね合わせた。ProSPECT 装置の SPECT 画像と臨床装置の X 線 CT 画像の合成の有効性が確認できた (図5-9)。



SPECT 画像

X 線 CT 画像

合成画像

図5-9 ヒト脳ファントムを用いた ProSPECT 装置の SPECT 画像と臨床装置の X 線 CT 画像との合成 (左: ProSPECT 装置の SPECT 画像、中央: Siemens 製 CT-SPECT 装置の X 線 CT 画像、右: SPECT 画像と X 線 CT 画像の合成)

5-3-2 小動物の SPECT 画像と X 線 CT 画像の合成

動物用 X 線 CT 装置で得られた X 線 CT 画像と SPECT 画像との合成の有効性を確認するために、ラット脳を X 線 CT と SPECT で撮像した。これらの SPECT 画像と X 線 CT 画像を、画像表示ソフトウェア Amide を用いて重ね合わせた。動物用 X 線 CT 画像と SPECT 画像との合成の有効性が確認できた (図5-10)。



SPECT 画像

X 線 CT 画像

合成画像

図5-10 ラット脳の SPECT 画像と X 線 CT 画像との合成

第3章 総括

1. 3年間の研究開発成果

本研究事業では、これまで開発した頭部用高解像 SPECT/CT 装置を実用化するために、検出感度の改善、解像度の改善、操作性や画質調整機構等の改良を目的とした。

検出器を2台搭載することで臨床装置と同等の検出感度が得られた。これまでアナログだった検出器回路をフルデジタル化することで、アナログ回路では 3.5 mm 程度だった検出器固有空間解像度をフルデジタル回路によって 2 mm 程度まで改善できた。さらに高解像度用コリメータを開発し、これを高解像度検出器と組み合わせることで従来 10 mm 程度とされてきた SPECT 画像の空間解像度を 5 mm 程度まで改善することができた。生体応用や SPECT と CT の融合画像の有効性も確認できた。マルチピンホールコリメータでは局所領域ではあるが超高解像度撮像できる可能性も示唆された。

また、データ収集、画像処理、画像再構成、メンテナンスの各ソフトウェアを共通のプラットフォームで作成し統合化したソフトウェアを開発し、操作性が大きく改善、画質調整も可能となった。装置筐体も安全性、品質、操作性、保守性に関する多くの改良を行った。

感度、解像度、操作性、画質調整機構を改善し、実用的な頭部用高解像度 SPECT/CT 装置を開発することができた。

2. 研究開発後の課題・事業化展開

感度や解像度といった基本性能は本事業で実用的となったが、実際に臨床で使用するには細かい調整が必要になる。また、操作性に関しても技術者の立場で改良はできたものの、実際のユーザーレベルにまだ達していないように思われる。局所超高解像度撮像を実用化して、付加価値を付けることも有効であると考えられる。今後、臨床へ導入するための研究事業として、継続して補完研究を行いさらに開発を展開する必要があると考える。

並行して、安全性を十分に確保できたら、国立循環器病研究センターの倫理委員会へ申請をし、ヒトの撮像に応用するよう進める。また、試作機を臨床使用してブラッシュアップしてくれる医療機関を模索する。

事業化に関しては、大型の臨床装置を中小企業が製作すること自体は可能だが、販売するにはハードルが高いように思われる。そのため、装置の性能をアピールして、販売窓口となる医療機器メーカーを模索していく。あるいは、装置として販売するだけでなく、検出器などパーツとして販売することや、特許取得するなどの戦略も考えていきたい。