

PETの放射線測定技術の食品放射能検査装置への応用

(株)島津製作所 医用機器事業部技術部 副部長
井上 芳浩



【はじめに】

東日本大震災に伴う福島原子力発電所の事故により、周辺環境から放射性物質が検出され、農作物への影響が懸念された。福島県は、平成24年度産の米に対し、1000万袋以上となる全量全袋検査を実施し、食品衛生法に定める一般食品の放射性セシウムの基準値である100Bq/kg以下であることを確認することを決めた。米の全量全袋検査は、厚生労働省が定める「食品中の放射性セシウムスクリーニング法」に準拠し、1袋あたり数秒の短時間で検査可能な機器が求められた。

一方、医療機器の中で、ガンマ線を検出する装置として、ポジトロンCT装置(PET)があげられる。PETは、体内に投与された放射性薬剤から放出されるガンマ線を計測することにより、体内の薬剤分布を画像化する装置であり、高い感度や定量性が求められる。当社は、1980年代からPETの研究開発を行い、SYNETRAC(シネトラック)と呼んでいるエミッション・トランスミッション同時収集法¹⁾²⁾をはじめとして、ユニークなPET技術を有し³⁾、X線CTと組み合わせたPET/CTを含め、数々の製品を上市してきた⁴⁾⁵⁾⁶⁾⁷⁾。

上記の状況から、当社の保有するPETの放射線測定技術を米の全量全袋検査のための食品放射能検査装置へ応用した。本稿では、PET技術の応用を中心に、当社の食品放射能検査装置FOODSEYE(フーズアイ)について、技術解説を行う。

【方法】

1. PETの放射線測定技術

PETはガントリ内に放射線検出器を円状に装備し、ガントリの開口部に、寝台に乗せた人体を挿入することで、人体に投与されたPET放射性薬剤が陽電子崩壊の際に発するガンマ線を測定する(図1参照)。511keVと比較的高エネルギーのガンマ線を高感度に検出するため、放射線検出器は、BGO(ゲルマニウム酸ビスマス)などの高密度のシンチレータと光電子増倍管で構成する。測定方法は、ステップアンドシュート方式と連続収集方式がある。ステップアンドシュート方式は、体軸方向の放射線検出領域内に挿入された人体からの放射線検出(エミッション検出)を静止状態で行い、次いで寝台を放射線検出領域分、移動させ、次の部位のエミッション検出を行うことを繰り返し、全身のエミッション検出を行う。連続収集法は寝台を一定速度で連続的に移動させながら全身のエミッション検出を行う。当社のみが連続収集法を実用化している。さらに当社は、シネトラックと呼んでいるエミッション・トランスミッション同時収集法を実用化している。トランスミッション検出とは、エミッション検出から得られたデータに対し、人体の放射線吸収の補正をするための測定で、X線CTの様に、セシウム137などの放射線源を人体の周りに回転させ、データ収集を行う。当社のPETは、ガントリ内にエミッション検出器とトランスミッション検出器を並べて装備し、互いの測定に影響をおよぼさないように鉛で遮蔽している。寝台を定速度で連続的に移動させながら、エミッションは連続収集を行い、トランスミッションはセシウム137線源を回転させ、スパイラル状に収集することで、エミッション検出とトランスミッション検出を同時に行うことが可能である(図2参照)。このように当社はユニークなPET技術を保有している。



図 1 PET 装置外観

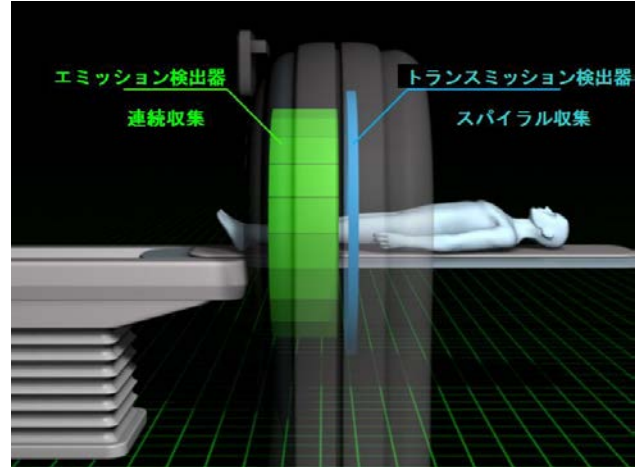


図 2 PET 内部構造

2. 食品放射能検査装置への応用

2.1 装置概要

食品中の放射能を検査する装置には、詳細検査に用いられるゲルマニウム半導体検出器など様々な形態の装置がある。本稿では、食品中の放射性セシウムスクリーニング法に準拠し、30kg米袋のまま、検査を行えるベルトコンベア式の食品放射能検査装置 FOODSEYE(フーズアイ)について説明する。図3に装置外観を示した。装置本体は、PETの様にガントリ構造として、放射線検出器を内蔵している(図4)。測定は、ベルトコンベアで米袋を装置本体に搬送し、連続的に移動させながら行う。米袋を装置本体に搬送した後、停止して測定する方式も考えられるが、検査時間を短縮するためには、連続的に移動させながら測定する方が望ましい。そのためには、後述する高感度放射線検出器とその配置やバックグラウンド放射線の遮蔽等の技術が重要となる。測定操作は簡便で、タッチパネル上の測定開始ボタンを押すだけである。測定結果は、タッチパネルの液晶画面に合否を表す○×と参考値として測定値を Bq/kg で表示する(図5)。



図 3 食品放射能検査装置外観

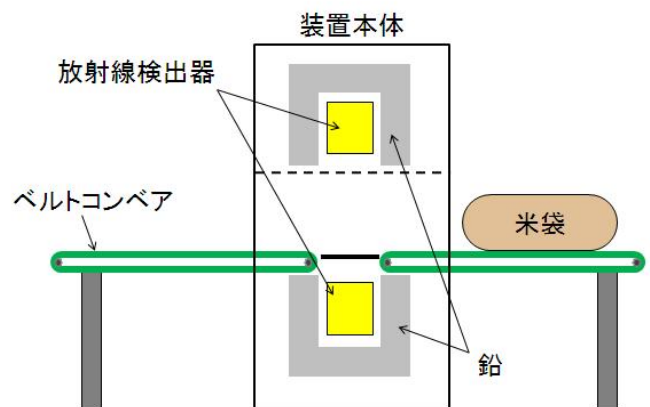


図 4 食品放射能検査装置内部構造図



図 5 測定結果の表示例

2.2 高感度放射線検出器とその配置

1袋あたり数秒の時間で測定するためには、できるだけ信号量を大きく、雑音量を小さくすることが重要である。信号量を大きくするためには、より高感度に放射線を検出することが必要である。検出対象である放射セシウムから放出される主たるガンマ線のエネルギーは、662keVなどで、PETで検出するガンマ線に近い比較的高エネルギーのガンマ線である。そこで、PETの放射線検出器の技術を応用し、食品放射能検査装置の放射線検出器はBGOシンチレータと光電子増倍管で構成した。放射線検出器に用いられることが多いNaIシンチレータの密度は約 3.7g/cm^3 と小さく、現在の市販のPETには採用されていない。BGOシンチレータは密度が約 7g/cm^3 と高く、高エネルギーのガンマ線を検出することに適している。また、効率よく放射線を検出するためには、放射線検出器の配置が重要である。放射線検出器は、できるだけ検査対象の米袋に近いことが良いため、米袋の大きさに合わせたガントリの開口や放射線検出器配置をとっている。

2.3 バックグラウンド放射線の遮蔽

短時間に測定するためのもうひとつの課題としては、より雑音量を小さくすることがある。食品放射能検査装置での測定における雑音要因として、放射線検出器に入射するバックグラウンド放射線があげられる。バックグラウンド放射線とは、宇宙線などの自然放射線および地面や土壌など環境中に存在する放射性セシウムから発生する放射線である。このバックグラウンド放射線を、できるだけ検出せず、試料からの放射線のみを検出することが課題となる。当社の食品放射能検査装置は、放射線検出器をPETのようなガントリ構造とした装置本体に内蔵し、放射線検出器の周囲を厚さ50mmの鉛で遮蔽することで、バックグラウンド計数値を低く抑えることができる。

【性能】

上述の高感度放射線検出器やその配置、バックグラウンド放射線の遮蔽の技術などにより、当社の食品放射能検査装置は、短時間に測定可能であるとともに、高い測定精度を有している。食品中の放射性セシウムスクリーニング法では、合否を判定するスクリーニングレベルは、測定のばらつきを考慮して、基準値の1/2以上、つまり米の場合は 50Bq/kg 以上に設定することが求められている。このスクリーニングレベルを基準値である 100Bq/kg に近づけられる装置が精度の高い装置である。

測定精度の確認のために、放射能濃度約 $20\sim 100\text{Bq/kg}$ の7種類の米袋について、本装置の実証機と詳細検査に用いられるゲルマニウム半導体検出器で測定を行い、測定結果を比較した。本装置では、測定時間5秒で、同一の米袋を100回繰り返し測定し、平均値、最大値、最小値を求めた。繰り返し測定においては、米袋のコンベアへの搭載位置など特に意識せず、通常の運用を想定し行った。ゲルマニウム半導体検出器での測定は、本装置で測定した同じ米袋から約2リットルの米を取り出し、1500秒の測定を行った。図6に測定結果の比較を示す。棒グラフがゲルマニウム半導体検出器の測

定結果で、棒グラフ中の数字が放射能濃度である。本装置での測定結果は、平均値、最大値および最小値をエラーバーの形で表示している。本装置の平均値はゲルマニウム半導体検出器の値とほぼ一致した。スクリーニング検査において重要な点は、本装置で得られる最小値であり、合否を判定するスクリーニングレベルは最小値よりも小さく設定されている必要がある。図6の右から2つ目のゲルマニウム半導体検出器での測定結果 96Bq/kg での本装置の最小値は、約80Bq/kg であった。本装置において、基準値 100Bq/kg に対し、スクリーニングレベルを 70Bq/kg に設定しても、10Bq/kg 程度のマージンがあり、高い測定精度を有していることがわかる。

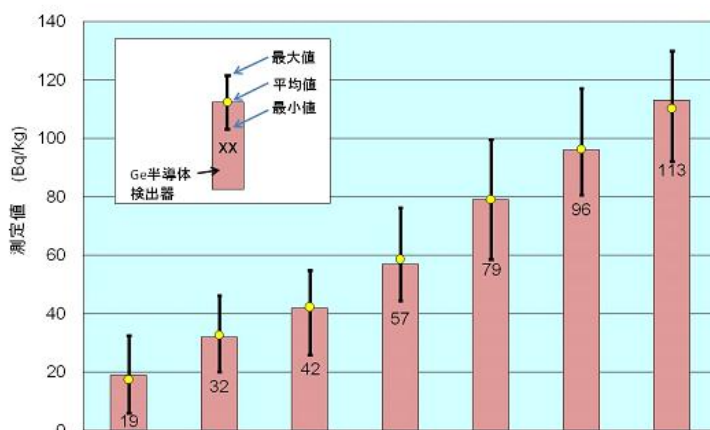


図 6 測定値比較

【おわりに】

食品中の放射性セシウムスクリーニング法に準拠し、米の放射性セシウムの全量全袋検査に対応できる食品放射能検査装置について解説した。平成24年度産の米の全量全袋検査の検査情報に関しては、「ふくしまの恵み安全対策協議会」のホームページを参照されたい⁸⁾。今後は、検査対象を米以外の食品についても、装置の改良を含め、取り組んでいく所存である。当社の保有する技術が、少しでも被災地の役に立つことができればと願っている。

最後に、装置開発に当たって、多くの方々に助言あるいは励ましをいただいたことに感謝する。特に、装置の性能検証にあたって、ご協力いただいた、みちのく安達農業協同組合関係各位に、敬意を表するとともに、深く感謝する。

【参考文献】

- 1) 佐藤友彦ほか：ポジトロンCTにおけるEmission/Transmission同時収集. 島津評論, 57, 3・4, 241-246, (2001)
- 2) Kitamura K, et al: 3D Continuous Emission and Spiral Transmission Scanning for High-Throughput Whole body PET. IEEE NSS-MIC Conf. Rec. M3-2, (2004)
- 3) 井上芳浩ほか：エミッション・トランスミッション3D同時収集機能を装備した新型PET - CTシステムと新たな撮像方法の開発. 核医学技術, 25, 3, 199-205, (2005)
- 4) 田中和巳ほか：全身用ポジトロンCT 装置 Eminence-B の開発, 島津評論, 61, 3・4, 201-207, (2005)
- 5) 今西達ほか：PET/CT 装置 Eminence SOPHIA の開発. 島津評論, 63, 3・4, 167-174, (2007)
- 6) 岡崎正人ほか：PET/CT 装置 Eminence STARGATE の開発. 島津評論, 65, 3・4, 203-210, (2009)
- 7) 水田哲郎ほか：最新 PET、PET/CT 装置の低被ばく化技術. 映像情報メディカル, 41, 13, 1354-1359, (2009)
- 8) ふくしまの恵み安全対策協議会 <https://fukumegu.org/ok/kome>