

## Ⅱ. 分 担 研 究 報 告

食品中放射性物質の検査体制の評価手法の検討

蜂須賀 暁子

## 厚生労働行政推進調査事業費補助金（食品の安全確保推進研究事業）

食品中の放射性物質等検査システムの評価手法の開発に関する研究

平成29年度研究分担報告書

研究分担課題：食品中放射性物質の検査体制の評価手法の検討

研究分担者 蜂須賀暁子 国立医薬品食品衛生研究所生化学部第一室長

### 研究要旨

福島第一原子力発電所事故後、食品中の放射性物質検査が継続的に行われているが、効率的な検査を行うには試料選定等検査計画が重要である。合理的な検査計画の策定には放射性セシウムの濃度分布を把握する必要があり、食品中放射性セシウムを簡便に評価する手法が望まれる。そこで、本研究では検査計画立案に有用と考えられる非破壊式測定機器を用いた方法に着目した。近年、生産サイドによる出荷前自主検査や住民が自家消費を目的として自家栽培した作物や採取した野生の動植物の測定に試料を破壊せずそのまま測定するための装置を用いた非破壊式放射能測定装置が開発され利用されている。このような装置による測定は、設計上想定した試料の配置や放射性物質の分布のばらつきの範囲において測定を行うことが重要となる。本研究では、検査精度の重要因子である濃度分布の評価手法について、(1) 非破壊式放射能測定装置の性能試験として非破壊式放射能測定装置の測定室内における検出効率分布の評価、及び(2) 実際に放射性セシウムで汚染した食品試料を用いた、非破壊式放射能測定装置による測定とGe 検出器を用いた公定法による測定結果との比較検討を行った。その結果、(1) については測定装置1機種につき計数効率の空間分布は、ほぼ理論通りであった。(2) については、キノコ、栗等約190検体を用いて非破壊試料と均質化試料の測定値を比較し、その結果、両者間で良好な相関が得られたが、非破壊測定では真度の低下傾向が示された。また、有意にばらつきが大きい試料や、Ge 検出器による測定結果と大きなずれがあるものが見られた。これらは試料の特徴に起因するものであることが示唆された。本結果により、装置の検出効率の形状依存の特徴を十分に把握し、変化の影響を受けにくい状況で測定を行えば、食品の汚染状況の大まかな把握には、非破壊式装置による測定は十分有効である可能性があることが示唆された。

研究協力者 山田崇裕 近畿大学原子力研究所准教授

研究協力者 曾我慶介 国立医薬品食品衛生研究所生化学部第一室研究員

### A. 研究の背景と目的

食品中の放射性物質の測定は、従来 Ge 検出器を用いた $\gamma$ 線スペクトロメトリーによる方法が一般に用いられている。環境中に存在する放射性核種を効率よく、そして正確に分

離・定量するための方法として、環境試料等の放射能分析・測定方法の基準となる「放射能測定法シリーズ」[1]が国（文部科学省及び原子力規制庁）により制定され、公定法として我が国において広く用いられている。また、

食品の試験法としては、「食品中の放射性物質の試験法について」[2]が発出され、ここには食品衛生法に基づく食品検査のための測定に関する要件が規定されている。いずれの公定法においても、従来の $\gamma$ 線スペクトロメトリーによる方法においては、測定試料中の放射性物質が適切な前処理により均一化[3]されていることが、その正確性及び信頼性の確保のために重要となる。また、食品の測定では、非可食部を取り除く必要もある。さらに、福島第一原子力発電所事故以降、食品検査の迅速化に対応するため、スクリーニング検査として必要とされる性能を規定した「食品中の放射性セシウムスクリーニング法の一部改正について」[4]が発出され、シンチレーション式スペクトロメータも検査に広く用いられるようになった。このスクリーニング法においても測定試料中に放射性物質が均一に分布していることが前提であり、その均一性の程度が測定に及ぼすばらつきを考慮した設計手法となっている。国際標準化機構が食品などに含まれる放射性物質の迅速スクリーニング法を定めた規格 ISO19581[5]も同様である。一方で、生産サイドによる自主検査においては、スクリーニングを目的に玄米のように比較的均質化を図りやすい特定の試料を対象として、試料を破壊せずそのまま測定するための装置を用いた出荷前検査が行われるようになった。また、このような非破壊式放射能測定装置(以下、非破壊式装置という。)は、様々な試料の特性に応じた測定器が開発され利用されている。さらに、住民が自家消費を目的として自家栽培した作物や採取した野生の動植物の測定に対応した測定器も開発され、試料を破碎せずそのまま測定できることから広く利用されている。このような試料を破碎して均質化せずそのまま測定する場合には、検出器の複

数化、大型化などにより試料の不均質性の影響の低減化が図られているものの、設計上想定した試料の配置や放射性物質の分布のばらつきの範囲において測定を行うことが重要となる。そこで本研究では、このような非破壊式測定における試料中の放射性物質分布の影響を評価することを目的に、非破壊式装置の測定室内における検出効率分布の評価及び実際に放射性セシウムで汚染した食品試料を用いて、破碎等の前処理をしない非破壊式装置による測定と Ge 検出器を用いた公定法による測定結果との比較を行った。

## B. 非破壊式放射能測定装置の概要

「食品中の放射性セシウム検査法」や「食品中の放射性セシウムスクリーニング法」といった公定法では、一般に図 1 (資料 1) の例に示すように 1 つの検出器を用いて、検出部を取り囲むように均質化した試料を配置し測定する。この場合、例えばよく用いられる 1L~2L 容量のマリネリ容器や 100mL 円筒上プラスチック容器 (U8 容器など) の場合、検出部と試料の幾何学的関係は、検出部表面から 1cm~5cm 程度の間試料がほぼ一様に分布していることとなり、極端な偏在がなく、ある程度の試料の均質さえ確保できれば、十分に信頼性の高い結果が得られることが見込まれる。

一方、食品中の放射性物質の測定に用いる非破壊式装置は、測定試料中の放射性物質分布が未知あるいはある程度の不均質が見込まれることを前提に、複数検出器を用いた検出器配置の工夫や検出器の大型化により、測定試料内の放射性物質分布の不均質性や測定試料の形状のばらつきの影響を低減化する措置が取られている。

### (1) 装置の種類

非破壊式装置は、主に測定対象物の種類によって次のとおり分類できる。ただし、この分類は本研究報告書における説明のためのものであり、製品規格などで定められたものではない。

分類①試料が粒状等である程度均質化されていることが想定されており、均質化のための前処理を要しない試料の測定装置。

分類②ある決まった種類の試料について、破碎・混合等の前処理を行わずそのままの形態又は出荷形態のまま測定を行う装置。

分類③様々な種類・形状の試料を、破碎・混合等の前処理を行わずにそのままの形態で測定する装置。

## (2) 各装置の特徴

(1)の分類に応じた各装置の特徴を次に示す

### 分類①

①に分類される代表的な装置に、米の全袋検査用装置(例えば、[6])がある。その例を資料2に示す。米は小さな粒状であり、公定法においても混合以外の前処理は、通常行わず測定する。本装置による測定が一般的な方法と異なる点は、一度に測定する試料の量が極端に多く、米の全袋検査の場合、一袋30kgを一度に測定する。このため試料中の放射性物質の非均質性の影響を、一般の公定法による方法との同等程度とするため、試料横方向に複数の検出器を配することで、横方向の検出効率分布の一定性を確保し、試料をベルトコンベアで流しながら測定することで縦方向に対する試料の不均質性の影響を低減化している。装置によっては、試料全体の面積を網羅するように複数の検出器を配したり、大型の検出器を用いたりする装置もある。このよ

うな装置は通常測定対象物の形状が決まっており、試料と同じ形状の標準線源により検出感度の校正を行うことで、放射能の測定が可能となる。

### 分類②

②に分類される装置は、主にある特定の種類の試料に特化した装置で、非可食部を含む水産物や箱詰めされ出荷形態にされた農産物の測定装置などがある[7]、(資料3[8])。このような装置の場合、一つの試料における放射能分布を把握し、分布の不均質性が測定に影響を及ぼさないような設計が求められる。このような場合も基本的な設計思想は、検出器の大型化などによる測定領域内の検出効率分布の一定化であり、その範囲内に試料が収まるようにすることが求められる。このように設計することで、試料自身による $\gamma$ 線の自己吸収の違いはあるが、多少形状や大きさが異なっても検出効率に影響しないことも期待できる。試料中の放射性セシウムの偏在は、測定結果に大きな影響を及ぼすことが懸念され、この対策として、大型検出器1個ではなく、小型の検出器を複数用い、偏在を検知する、検出器間のクロストークを排除し、個別的に測定するなどの対応を行っている装置もある[8][9]。また、種類は同じといっても試料形状にはばらつきがあり、個々に異なる形状の検出効率をモンテカルロシミュレーションにより求めることもある。②に分類される装置は、①に分類される装置とほぼ変わらない場合もある。この装置による測定が①と異なる点は、扱う試料の種類によっては放射能分布が不均質なものもあり、その影響を出来るだけ受けしない措置を、装置として又は手法としていかに確保するかが課題となる。

### 分類③

③に分類される装置は、主に食品中の放射

能汚染を懸念する住民向けに開発されたもので、自家消費用の自家栽培作物や採取した野生の動植物の測定に用いられているこの装置は、住民から持ち込まれるあらゆる種類の食品の種類、形状、量などを想定した設計であることが特徴である[9][10][11]。

### (3) 測定原理

$\gamma$ 線スペクトロメトリーにより食品中の放射能を測定するためには、 $\gamma$ 線のエネルギーにより検出核種を特定する必要がある、さらに放射能を定量するために $\gamma$ 線のエネルギーに対する検出感度をあらかじめ求めておく必要がある。Ge 検出器は $\gamma$ 線スペクトロメータに用いる実用の検出器としては最も優れたエネルギー分解能を有しており、天然核種から放出される $\gamma$ 線とのエネルギー弁別性や、原子力緊急時などで多くの核種を含む試料を分析する性能に優れている。一方、放射能を測定するための $\gamma$ 線のエネルギーに対する検出感度は検出効率とよばれ、これは $\gamma$ 線のエネルギーに依存する他、試料と検出器の幾何学的条件によっても変化する。即ち、試料の形状や測定位置に検出効率は依存するため、標準線源と同じ形状の容器に、標準線源と同じ容量の試料を充填し、標準線源で校正した位置と同じ位置で測定する必要がある。また、体積状の試料は、体積中の線源位置によって検出効率が異なり、体積状の標準線源によって得られる見かけの検出効率はいわば各点の検出効率の平均のようなものであることから、体積中の放射能の分布は均一であることが前提となる。

一方、非破壊式装置であっても測定の基本原理に変わりはない。先ずこれらの装置では、検出器には Ge 検出器ではなく、NaI(Tl)シンチレータや CsI(Tl)シンチレータなどが用いられている。Ge 検出器は分解能が優れてい

るが、液体窒素・電気冷却装置での冷却が必要であることなど不便な面がある。NaI(Tl)シンチレータや CsI(Tl)シンチレータのエネルギー分解能は、例えば $^{137}\text{Cs}$ の662 keV  $\gamma$ 線の場合、その半値幅は、50 keV~60 keV程度であり、Ge 検出器の場合の半値幅2keV程度と比較すると格段に劣るが、福島第一原子力発電所の事故によって放出された放射性核種のうち、半減期の短い核種はすでに減衰して無くなり、測定の対象となる核種が $^{134}\text{Cs}$ 及び $^{137}\text{Cs}$ に限定される現状においては、ほとんど問題とならない。特にこのようなシンチレーション式検出器の有利な点は、常温で使用可能であること、検出効率が高いこと、Ge 検出器と比較し安価であり、複数の検出器配置、大型化による高効率化が可能なことなどがある。このことは非破壊式装置にとっても重要となる。つまり、測定試料に対して、検出器が非常に大きい場合、線源と検出器との立体角はほぼ $2\pi$ となり、線源の位置による検出効率の変化が少なくなる。先にも述べたように $\gamma$ 線スペクトロメトリーによる放射能測定の場合は、標準線源と同じ形状の容器に同じ容量の試料を詰めて測定することで、標準線源により得た検出効率が適用でき、標準線源—検出器間の幾何学的条件と異なる測定条件になることが誤差となる。しかしながら、大型検出器を用いることで幾何学的効率を高め、線源位置による検出効率の変化を少なくすることが出来れば、試料の形状の違いや試料中の放射性物質の不均質性による検出効率の変化は小さく出来、ある程度のばらつきの幅の範囲内での測定が可能になると考えられる。さらに分類③の装置のような場合には、測定対象とする試料の種類は様々であり、たとえ試料の形状の違いや試料中の放射性物質の不均質性による検出効率の変化を小さく出

来たとしても、測定試料の検出効率を如何に正確に決定できるかが測定の信頼性の上で重要となる。これを達成するために、様々な形状の標準試料によって検出効率を求める、試料の種類によって、試料質量から試料の嵩を推定し、試料の種類別に決められた検出効率－試料嵩（質量）関数から近似的に検出効率を求める方法などがとられている。ただ、依然として試料中の放射性物質の不均質分布に対しては、その程度に幅はあるにせよ誤差を生む要因となる。例えば大きな誤差要因となりうる極端な偏在に対して、多数の検出器を組み合わせた装置により、そのうちの一つの検出器での計数率が他の検出器の倍以上計数があった場合に異常判定を出すように設計された装置もある[9]。

以上のように、非破壊式装置では、装置のハード面においては、検出器の大型化、複数検出器の使用による試料－検出器間の高立体角化によって幾何学的効率を高めることが装置の想定する試料形態及び形状と実際の試料形態及び形状の差に起因する測定誤差の軽減につながる。ソフト面では、解析手法は装置によって様々であるが、いずれの手法もいわば近似的に試料の検出効率を求めることとなり、如何に設計上想定する範囲内で実際の測定が行われるようにするか、ユーザインターフェースの設計も含めて重要となる。

### C. 実験方法

本研究においては、B.に述べた非破壊式装置の特徴や測定原理を念頭に、分類③の測定装置を用いて、(1) 非破壊式装置の性能試験として非破壊式放射能測定装置の測定室内における検出効率分布の評価、及び(2) 実際に放射性セシウムで汚染した食品試料を用いて、破碎等の前処理をしない非破壊式装置による

測定と Ge 検出器を用いた公定法による測定結果との比較検討、を行った。

(1)非破壊式放射能測定装置の測定室内における検出効率分布の評価

市販の非破壊式装置「そのままはかる NDA」(形式：AFT-NDA2 (仕様は表 1、資料 4 参照))を用いて、試料測定室内における検出器に対して水平方向 (XY 平面) 及び検出器に対して鉛直方向 (Z 方向) における  $^{137}\text{Cs}$  検出効率分布について測定により検証した。測定点は XY 平面に対して図 2 の通りとした。Z 方向については、測定室底面及び鉛直方向に底面からの高さ 0, 30, 60, 90, 150mm における分布を取得した。Z 方向の線源位置決定及び線源配置には、測定室底面の大きさに一致した厚さ 30mm のスポンジ板 (密度：約  $0.02\text{gcm}^{-3}$ ) を重ねて用いた。線源は点状の  $^{137}\text{Cs}$  密封標準線源 (日本アイソトープ協会製放射能ガンマ標準線源 線源コード：CS407,  $10\text{mm}\phi \times 6\text{mm}$ t) を用いた。

(2) 非破壊式放射能測定装置による測定と Ge 検出器を用いた公定法による比較検討

本研究では、福島県内において自家消費野菜等の放射能検査を行っている市町村測定所に住民から持ち込まれた試料のうち、非破壊式装置による測定結果が  $50\text{Bq/kg}$  以上であり、かつ持ち込んだ住民から本研究のための試料提供に同意が得られたものを用いた。図 3 にこのような試料を用いた非破壊式装置による測定と Ge 検出器を用いた公定法による比較検討の実施フローを示す。このような比較検討は、東北大学によって開発された「放射能非破壊検査装置」を用いた例がある[9]。本研究では、非破壊式装置は市町村測定所に配備されている表 1 の装置 (資料 4,5,6) を用いた。測定は 3 回、その都度試料を混合、配置換えを行って実施した。配置等の影響につ

いて検討するため、測定のと度、試料の配置の様子を写真に記録した。非破壊式装置による測定を行った試料は、福島県内の専門分析機関に設置された表 2 に示す Ge 検出器を用いて、文献[2]に準拠して放射能分析を行った。本研究においては、食品中の放射能測定のための試料前処理は、文献[3]に準じて実施した。

#### D. 実験結果及び考察

(1)非破壊式装置の測定室内における検出効率分布の評価

非破壊式装置では、検出器の直上に測定試料を配置するための測定室が設けられている。非破壊式装置「そのままはかる NDA」(形式：AFT-NDA2) によって得られた検出器直上の測定室面における検出効率分布を図 4 に示す。分布は原点での検出効率を 1 とする相対値とした。図 4 のとおり、直行する X 軸及び Y 軸において、検出効率は原点を中心としたガウス関数にほぼ近似でき、良好な対称性が確認できた。また、<sup>137</sup>Cs 点線源に対する X 軸正方向  $r$ 、Y 軸方向 0、高さ  $h$  における検出効率  $\eta(r, 0, h)$  の測定値を図 5-1 示す。ここでは、測定室底面から高さは  $h=0, 30, 60, 90, 120$  及び  $150\text{mm}$  とした。この結果のとおり、検出効率の X 軸の正方向への変化は、高さ  $h$  が高くなるに従い、各  $h$  における原点における効率に対して変化が緩やかになる。線源位置－検出器間の立体角は、 $r$  が大きくなるにつれ小さくなり、その変化率は近似的にほぼ等しく見なせることから理論と一致する結果と言える。また、同じ測定結果を図 5-2 に相対値として示す。ここでは高さ  $\eta(0, 0, 0)$  を 1 とした相対値で示した。図の通り、測定器直上から高さ  $h$  が高くなるにつれ、検出効率の変化率は小さくなる。本装置で採用されている検出器サイズは直径  $127\text{mm}$   $\phi$  である。例えば

検出器のほぼ端の位置に相当する  $r=60\text{mm}$  における検出効率の  $r=0\text{mm}$  における検出効率との比と  $h$  の関係を図 6 に示す。この図のように  $h$  が大きくなると検出効率の比は一定値に近づく。このことは、放射能測定の上で、試料の形状の違いの影響が少なくなることを意味する一方で、検出効率の絶対値は検出器からの距離が離れることで低くなるため、実用には試料－検出器の幾何学的条件を最適化する必要がある。

一方で実際の試料は体積状であることが想定されるため、測定により得られた各点の検出効率分布から、面状及び体積状の試料を想定した検出効率について検討した。検出器中央に配置した測定室底面からの高さ位置  $h\text{mm}$  における半径  $R\text{mm}$  の円盤状線源に対する効率は、点状線源で得た検出効率から次の積分値として得られる。

$$\zeta_R(r, h) = \frac{2}{R^2} \int_0^R r \cdot \eta(r, h) dr \quad (1)$$

式(1)より計算で求めた面状線源に対する検出効率を図 7 に示す。この結果に示す通り面線源に対する検出効率の線源径に対する変化は、点状線源より緩やかとなる。図 8 に半径  $30\text{mm}$ 、 $60\text{mm}$ 、 $90\text{mm}$  及び  $120\text{mm}$  の面状線源に対する検出効率の測定室底面からの高さ位置  $h\text{mm}$  との関係を示す。点線源に対する検出効率分布において考察したとおり、各大きさでの面線源に対する効率は測定室底面からの高さが増すにつれ一定値に収束する。例えばこの結果より、高さ  $150\text{mm}$  の位置における XY 平面上においては、検出効率はほぼ試料形状に依存しないことがわかった。

さらに、円柱体積状の試料に対する検出効率は、この面状線源に対する効率から次式により得られる。

$$\varepsilon(h) = \frac{1}{h} \int_0^H \zeta_R(r, h) dh \quad (2)$$

ここで  $H$  は円柱試料の高さ (mm) を表す。式(1)より計算で求めた面状線源に対する検出効率を図9に示す。このように体積状線源に対する検出効率は、円柱で考えた場合底面積と高さに依存して図9に示すような関数で表される。即ち、例えば底面積を決定できるような容器に試料を詰める場合には、試料による  $\gamma$  線の自己吸収を別途考慮する必要があるが、試料の充填高さから検出効率を求めることが出来、米、豆といった粒状物質などでは、このような関数から比較的正確に検出効率を得ることができる。ただ、実際には様々な大きさ、形状の試料を測定することとなり、想定する形状と実際の形状の誤差から生じる検出効率の誤差を出来るだけ小さくする必要があるのである。本検討の結果より、誤差を小さくするためには、底面積を広くとった場合の充填高さによる検出効率の変化は、底面積が狭い場合よりも緩やかで、有利であることがわかる。また、試料の嵩が少なく、充填高さが低い場合には、大きな誤差を生みやすく注意が必要である。

(2) 非破壊式放射能測定装置による測定と Ge 検出器を用いた公定法による比較検討  
本検討において実験に用いた試料は、非破壊式装置による各測定所においてスクリーニングレベルの 50Bq/kg を超えたものを対象とし、合計 91 試料を用いた。今回対象とした試料の種類内訳を図 10 に示す。全試料のうち、キノコ類がその約 65% を占めた。これは、本調査を 9 月～2 月にかけて実施したこと、キノコ類が比較的放射性セシウム濃度が高いと知られていることが要因と考えられる。本実験では、非破壊式装置で測定した試料は、

そのほぼ全量を前処理し、Ge 検出器を用いて放射能分析を行った。そのため、1 試料から 1～3 個の分析用 U8 容器充填試料を作成、合計 U8 試料 190 個を分析した。試料の中には、非可食部が含まれているものもあったため、Ge 検出器の測定においても非可食部も測定の対象とし、放射能濃度は非可食部を含む濃度として求めた。

図 11-1～3 にキノコ類のレギュームライトを用いた測定結果を示す。図 11-1 はすべての試料の結果を示し、図 11-2、図 11-3 は、放射能濃度範囲を狭め、図 11-1 を拡大表示したものである。図に示す通り、Ge 検出器を用いた公定法による結果と非破壊式装置による測定結果との比は、1.02 で両者の結果は良く一致した。図 12-1～3 はキノコ類のそのままはかる NDA を用いた結果を示す。こちらと同様の比は 1.09 であった。ただし、いずれの結果もレギュームライトについて 1 点、そのままはかる NDA について 3 点を外れ値として除いた結果である。FF1 については図 13 のとおり測定試料数が少なく、キノコ類の測定実績は 1 件であり、その 1 件の測定結果の比は 1.55 であった。

レギューム及び NDA の 2 種類の装置では良い相関が得られたが、詳細にデータを見ると、非破壊測定器による 3 回測定のばらつきが、壊変率に起因する統計的ばらつきと比較して極端に大きいものや外れ値を含む大きく値がずれているものが確認された。このような試料の詳細一覧を表 3 に示す。ここではキノコ類のうち、Ge 検出器による測定結果と比較し 30%以上の差が見られた試料を抽出した。本結果によると、非破壊式装置による測定結果が Ge 検出器による結果と比較して、その差が大きいだけではなく、試料番号 S17-54 を除いて、いずれも標準偏差が放射性



壊変による統計的変動よりも有意に大きくなっていることが確認できた。このことは、試料の置き方により検出効率が大きく変化する、あるいは測定への影響が大きい試料中の放射能分布の偏在や不均質があること推定される。これらの試料を写真で確認したところ、共通した特徴の一つとして、試料中の個々のキノコの大きさが大きく異なることが確認できた。このことは試料の置き方により検出効率が大きく変化したり、試料中の放射能分布の偏在や不均質性の要因となったりしうることから、本結果の大きなずれやばらつきは試料の特徴に起因するものであることが示唆された。

その他の試料の測定結果として、図 14、15 及び 16 にイノシシ肉のレギュームによる結果、NDA による結果及び FF1 による結果をそれぞれ示す。同様に図 17 (レギュームライト) 及び図 18 (そのままはかる NDA) に栗、図 19 (レギュームライト) 及び図 20 (そのままはかる NDA) にそれ以外の試料の測定結果を示す。これらは相関性の評価を行うには測定試料数が少ないが、ここのデータの特徴を見ると、例えば非破壊装置による栗の測定結果では、3 回測定の際のばらつきは、他の試料と比べ明らかに小さいことが確認できる。これは、栗が比較的大きさの揃った粒上であることから、試料の形状変化が少なく、極端な偏在がなければ均質化されやすいことによるものと推定される。

## E. 結論

本研究では、(1) 非破壊式放射能測定装置の測定室内における検出効率分布の評価、及び (2) 非破壊式放射能測定装置による測定と Ge 検出器を用いた公定法による比較検討を行った。(1) の実験において、装置が対称性のある検出効率分布を持っていることが確認できた。また、点状線源により得た検出効率

プロファイルにより、体積線源に対する効率について計算し、形状の変化や不均質の影響の軽減のためには、底面積を広くとり、試料高さを十分に確保することが有効であることがわかった。また、検出器直上付近では、検出効率の変化率が大きいので、検出器表面からある程度距離をとることが、検出効率そのものは低くなるものの、不均質の影響の低減には有効であることが分かった。(2) の実験においては、キノコの測定によって非破壊式装置の結果は Ge 検出器の結果と良好な相関関係があり、その結果はほぼ一致した。一方で、非破壊式装置は、有意にばらつきが大きい試料や、Ge 検出器による測定結果と大きなずれがあるものが見られた。これらは試料の特徴に起因するものであることが示唆された。本結果により、装置の検出効率の形状依存の特徴を十分に把握し、変化の影響を受けにくい状況で測定を行うという条件下においては、食品の汚染状況の大まかな把握などの目的には、非破壊式装置による測定も十分有効である可能性があることが示唆された。また、自主的なスクリーニング目的に活用できる可能性もあるものの、本研究結果でも過小評価の事例などが見られたように、測定の信頼性を高めるには、適用条件を測定器及び試料の特性等の把握により決定して運用されることが必要である。

## 参考文献

- [1] 文部科学省・原子力規制庁 放射能測定法シリーズ  
<https://www.jcac.or.jp/site/library/series.html> (2018/3/16 現在)
- [2] 厚生労働省, 食品中の放射性物質の試験法について, 食安発 0315 第 4 号 (2012)
- [3] 文科省編放射能測定法シリーズ 24 緊急

時におけるガンマ線スペクトロメトリーのための試料前処理法

[4] 厚生労働省,「食品中の放射性セシウムスクリーニング法の一部改正について」(2012)

[5] International Organization for Standardization , ISO19581 : 2017 , Measurement of radioactivity -- Gamma emitting radionuclides -- Rapid screening method using scintillation detector gamma-ray spectrometry (2017)

[6] 科学技術振興機構, 先端計測分析技術・機器開発プログラム 放射線計測領域成果集 2015, 複雑形状食品の放射能検査装置の開発, 高速・高感度の食品放射能検査装置と大容量標準線源の実用化開発 9-10 (2015)

[7] 石井慶造, ベルトコンベヤー式非破壊放射性セシウム汚染検査機, RADIOISOTOPES, 67, 67-73 (2018)

[8]MIRION TECHNOLOGIES, あんぽ柿用放射能測定装置 (2017)

[9] 石井慶造, 食品中の汚染検査のための放射能非破壊検査装置, Isotope News No.729, 21-27 (2015)

[10] アドフューテック株式会社, 「そのままはかるNDA」の特徴・性能について, [http://www.adfutech.com/image/pdf/Catalog\\_160108-2\\_AFTNDA2.pdf](http://www.adfutech.com/image/pdf/Catalog_160108-2_AFTNDA2.pdf)

[11] 科学技術振興機構, 先端計測分析技術・機器開発プログラム 放射線計測領域成果集 2015, 複雑形状食品の放射能検査装置の開発, 4-5 (2015)

[https://www.jst.go.jp/sentan/result/pdf/Contributing\\_through\\_Innovation\\_2015.pdf](https://www.jst.go.jp/sentan/result/pdf/Contributing_through_Innovation_2015.pdf)

## F. 研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表

なし

## G. 知的財産権の出願・登録状況

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし

表1 本研究に用いた市販の非破壊式放射能測定装置

装置名	形式	検出器の種類 及びサイズ	しゃへい 体	製造元
そのままはかる NDA	AFT-NDA2	NaI(Tl) φ 12.7x12.7cm	鉛 35～ 50mm	(株) アドフューテック
レギューム・ライ ト	FD-08Cs1000-1	CsI φ 11.0 x 2.5cm	鉛 50mm	(株) テクノエックス
非破壊式放射能測 定装置	FF1	NaI(Tl) φ 5.08x5.08cm 7本	鉛 50mm	日栄工業 (株)

表2 試験に用いた Ge 検出器の主な仕様

形式	相対効 率	分解能	校正日	製造元
GEM20-70	25.2%	1.74 keV	2017年2月 9日	米国 AMETEK 社 ORTEC <sup>®</sup>
GC2520-7500SL-2002CSL	27.5%	1.72 keV	2017年2月 9日	米国 Mirion Technologies 社 (CANBERRA)

表3

試料番号	試料名	非破壊式測定平均 (Bq/kg)	標準偏差	相対標準偏差(%)	Ge検出器測定平均 (Bq/kg)	試料質量(g)	非破壊/Ge	測定器
S17-13	マツタケ	339.8	58.2	17.1	604.9	51.3	0.56	Legume
S17-31	ヲリミキ	776.2	22.4	2.9	498.6	261.4	1.37	Legume
S17-47	ぬめりいぐち	871.2	134.9	15.5	1728.0	101.7	0.50	Legume
S17-48	はつたけ	1322.8	63.3	4.8	893.8	41.7	1.48	Legume
S17-5	コウタケ	21316.7	1868.6	8.8	11870.0	329.8	1.80	Legume
S17-17	コウタケ	442.0	55.9	12.7	311.9	52.2	1.42	Legume
S17-54	ハナイグチ	453.7	9.2	2.0	330.0	234.5	1.38	NDA
S17-32	コウタケ	4232.6	789.7	18.7	10855.6	84.8	0.39	NDA
S17-38	コウタケ	29407.9	2064.2	7.0	46200.9	48.5	0.64	NDA

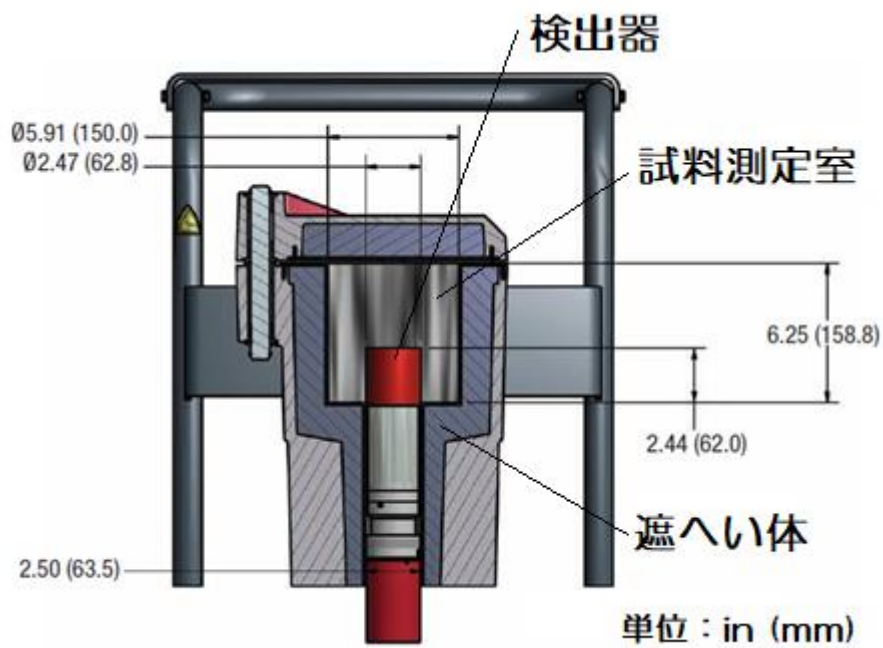


図 1 食品放射能測定装置の例 検出器周辺の断面図 (MIRION TECHNOLOGIES FoodScreen™ Radiological Food Screening System 資料 1)

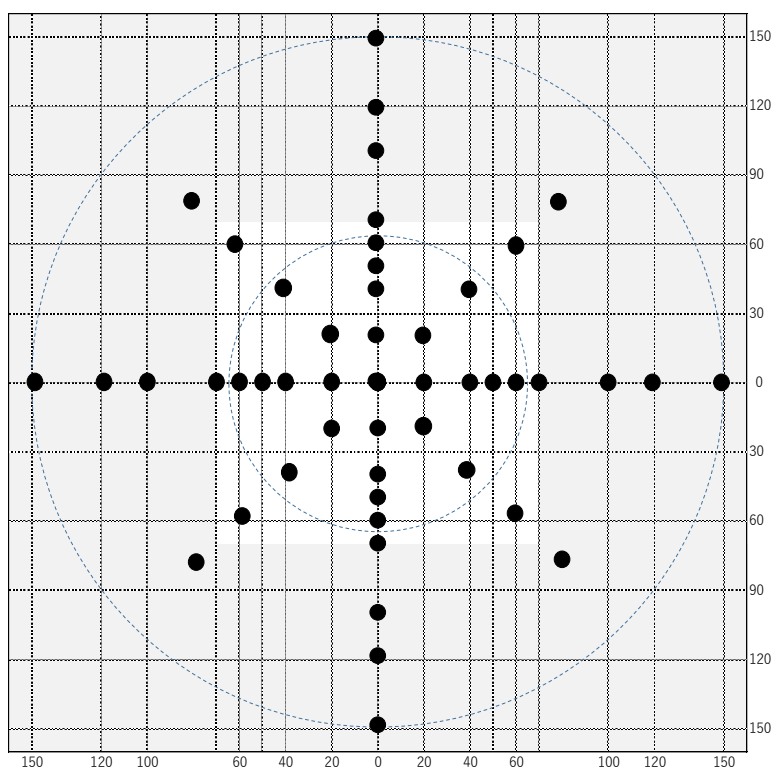


図 2 点線源による、高さ 0cm における水平面の測定点 (検出器中心を  $(x,y) = (0,0)$  とした)

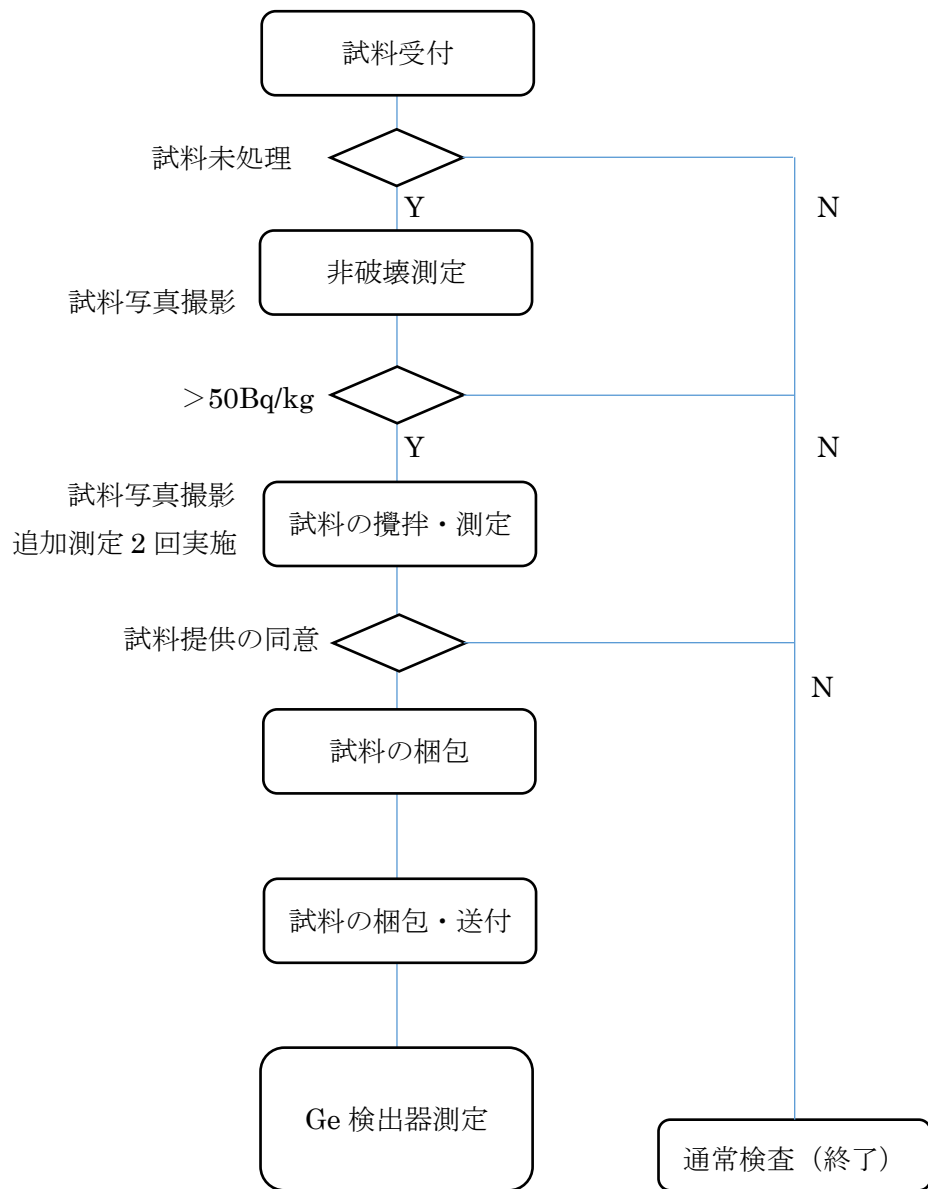


図3 非破壊式装置による測定と Ge 検出器を用いた公定法による比較検討の実施フロー

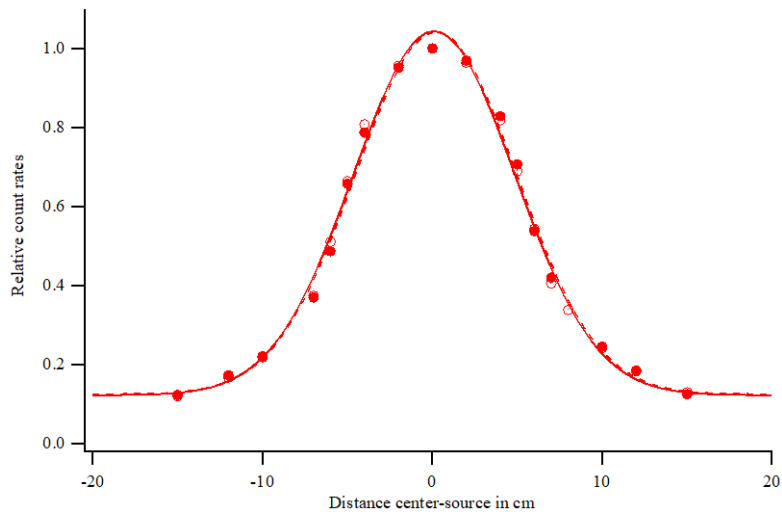


図4  $(x,y)=(0,0)$ における検出効率に対する相対検出効率 ○及び実線：X 軸, ●及び破線：Y 軸の相対検出効率及び回帰曲線（ガウス関数）

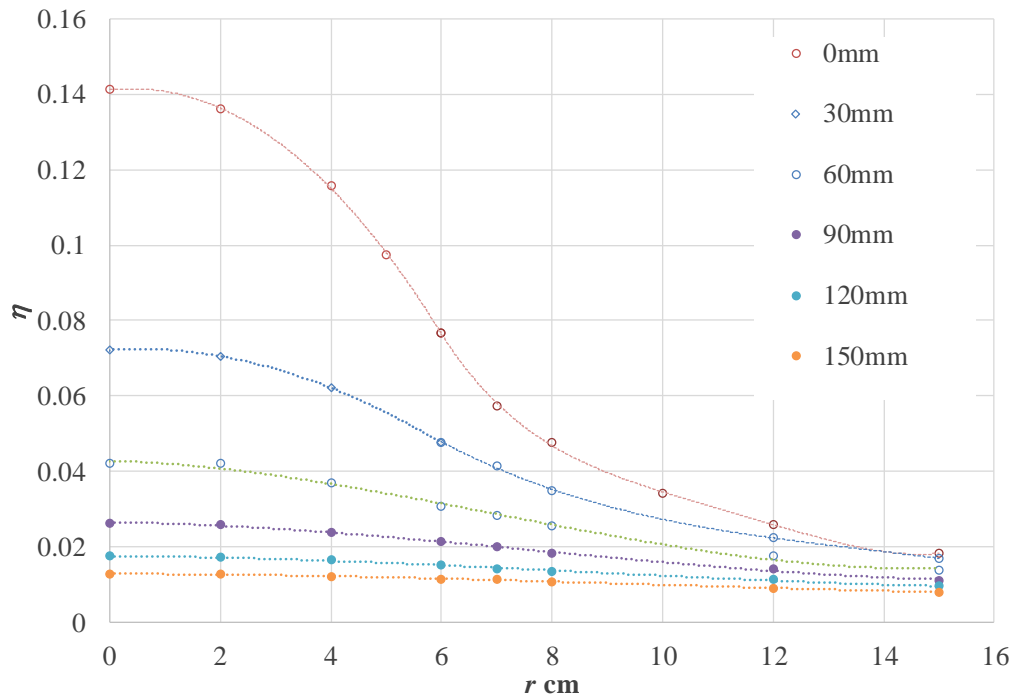


図 5-1 X 軸正方向  $r$ 、Y 軸方向 0、高さ  $h$  ( $h=0\text{mm}\sim 150\text{mm}$ ) の座標  $(r,0,h)$  における  $^{137}\text{Cs}$  点線源検出効率  $\eta(r,0,h)$ 。回帰曲線は多項式によった。

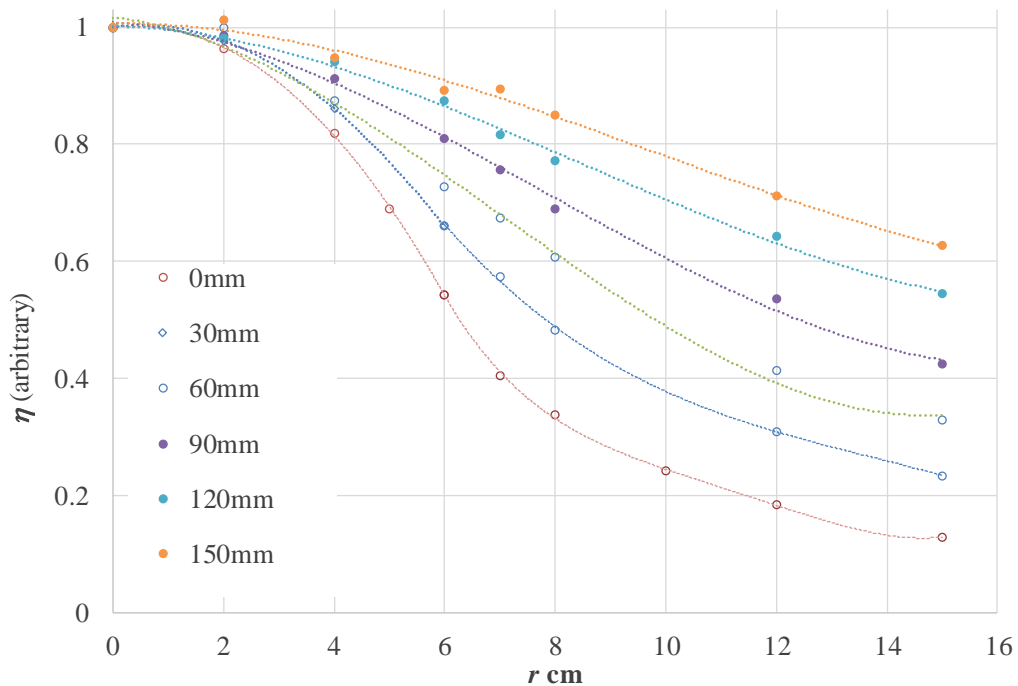


図 5-2  $^{137}\text{Cs}$  点線源検出効率  $\eta(r,0,h)$  の相対値。各高さ  $h$  における  $\eta(0,0,0)$  を 1 とし  $\eta(r,0,h)$  を相対値で表した。

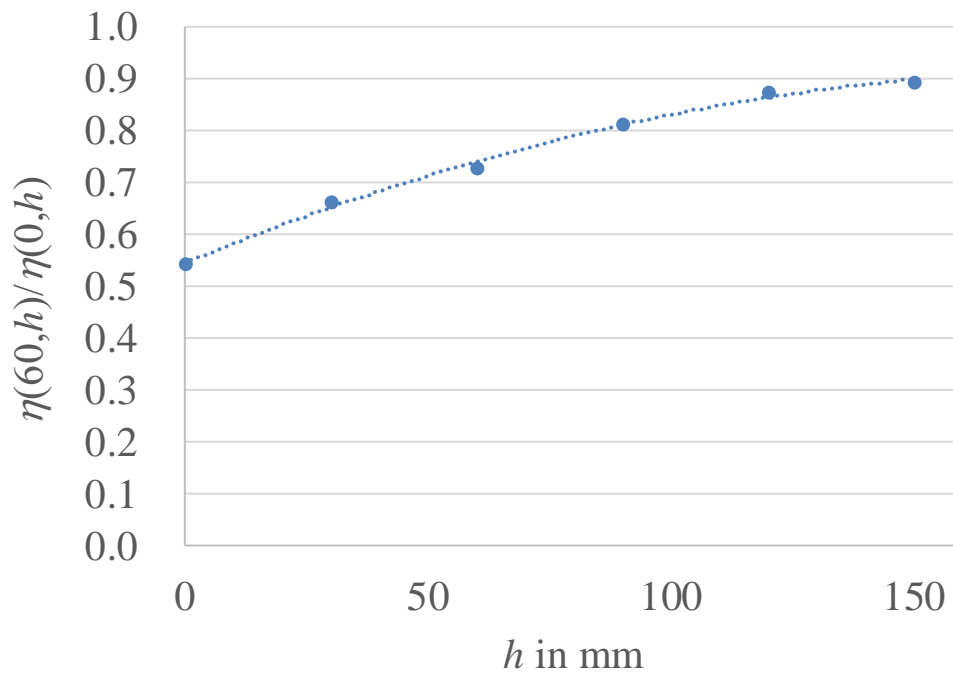


図6  $r=60\text{mm}$  における検出効率の  $r=0\text{mm}$  における検出効率との比と  $h$  の関係

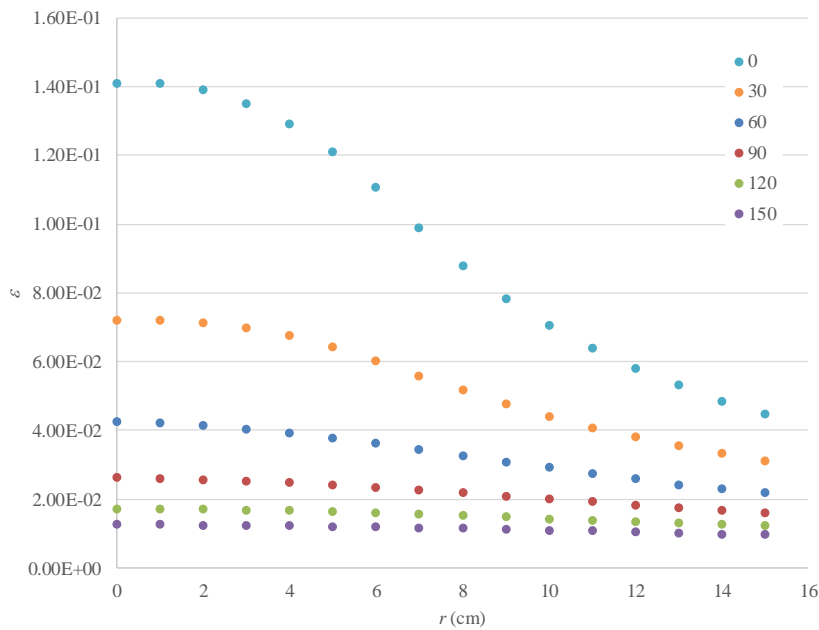


図7  $h=0\text{mm}\sim 150\text{mm}$  における  $^{137}\text{Cs}$  面線源検出効率  $\varepsilon = \zeta_R(r, h) = \frac{2}{R^2} \int_0^R r \cdot \eta(r, h) dr$



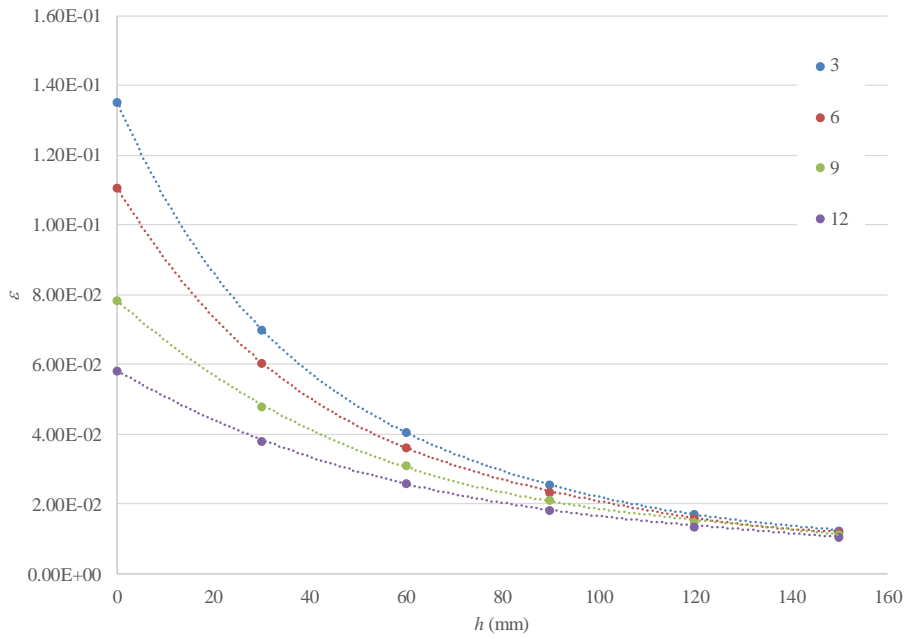


図 8  $^{137}\text{Cs}$  面線源検出効率高さ関数  $\varepsilon = \zeta_R(r, h)$

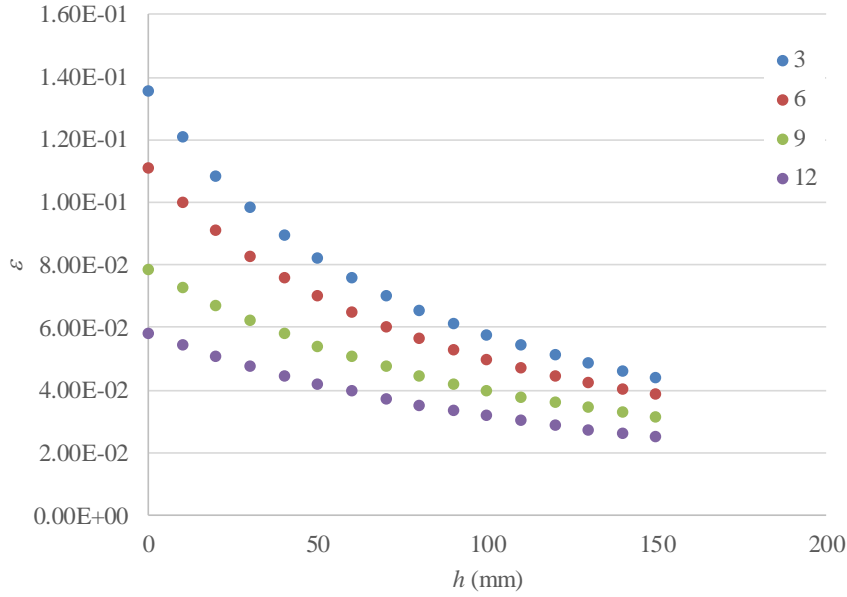


図 9 円柱体積効率  $\varepsilon(h) = \frac{1}{h} \int_0^H \zeta_R(r, h) dh$  ただし、試料による自己吸収なしと仮定

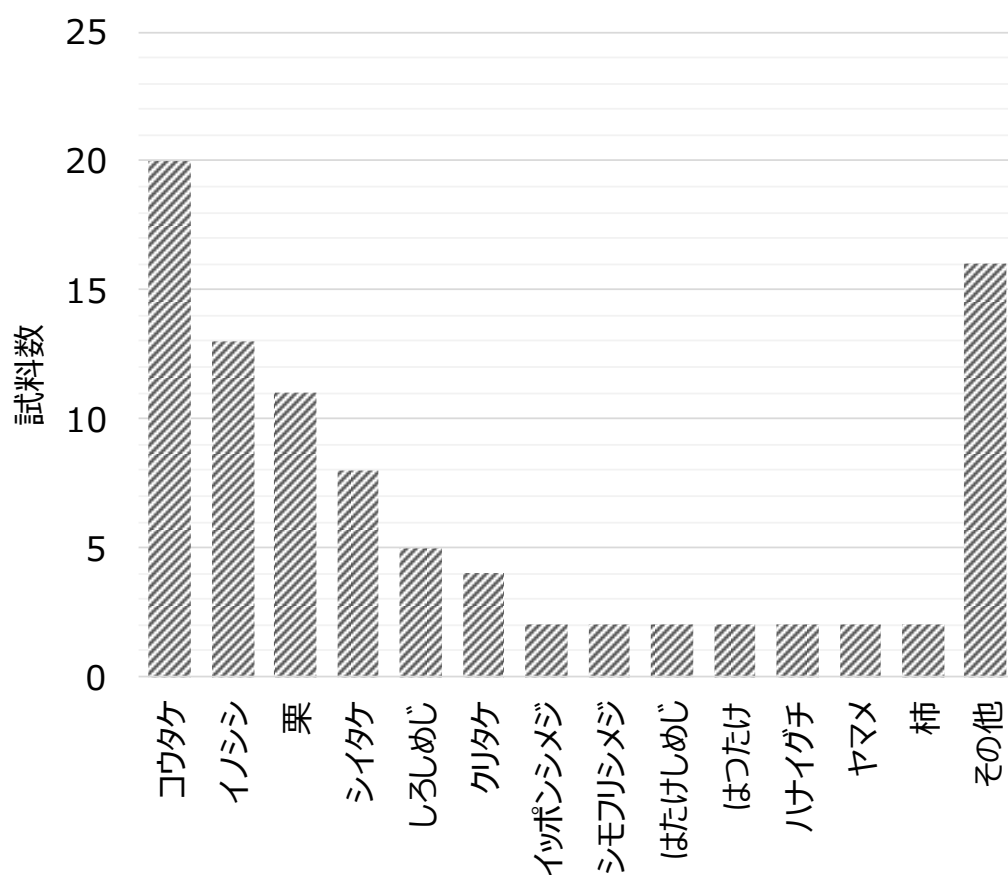


図 10 非破壊式装置による測定と Ge 検出器を用いた公定法による比較検討に用いた試料種別の内訳。イノシシ、栗、ヤマメ、柿、その他を除くものがキノコ類。

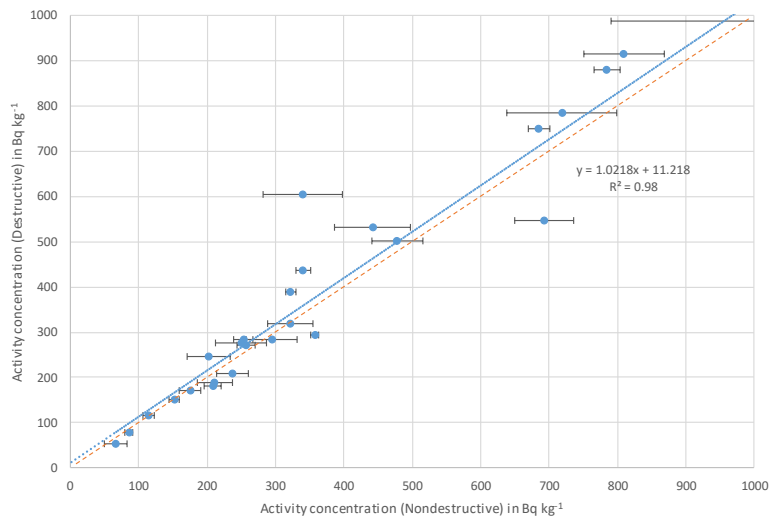
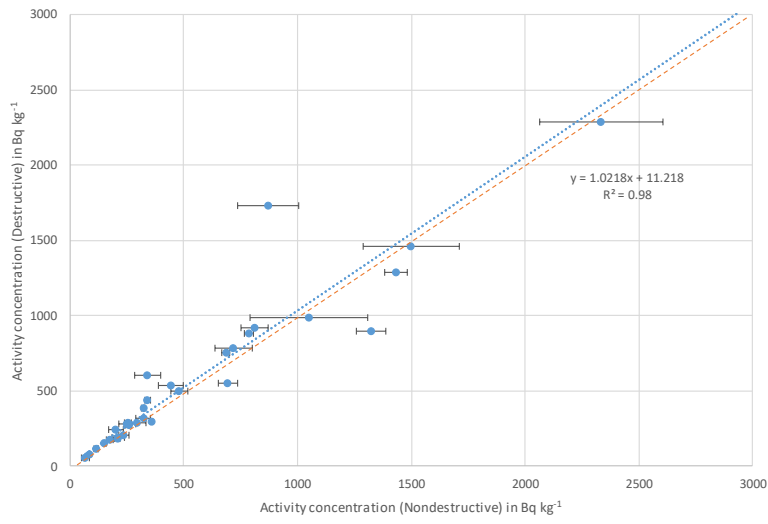
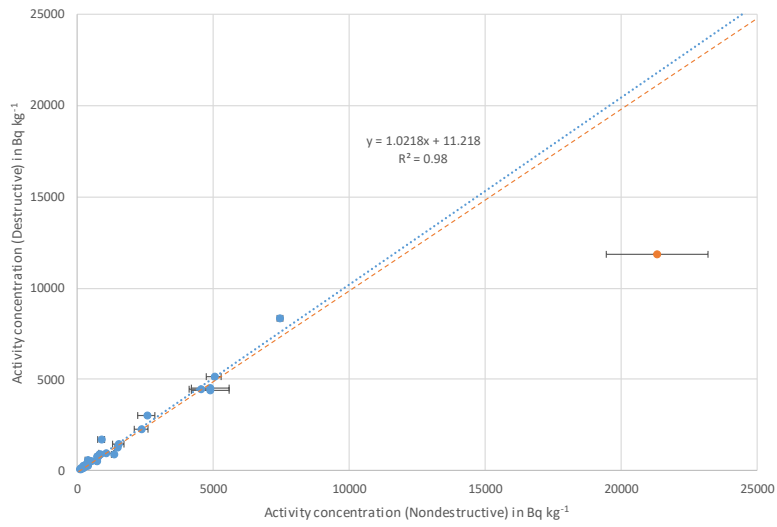


図 11-1～3 非破壊による測定値と Ge 検出器による分析結果の相関（レギュームライト）  
試料：きのこ類

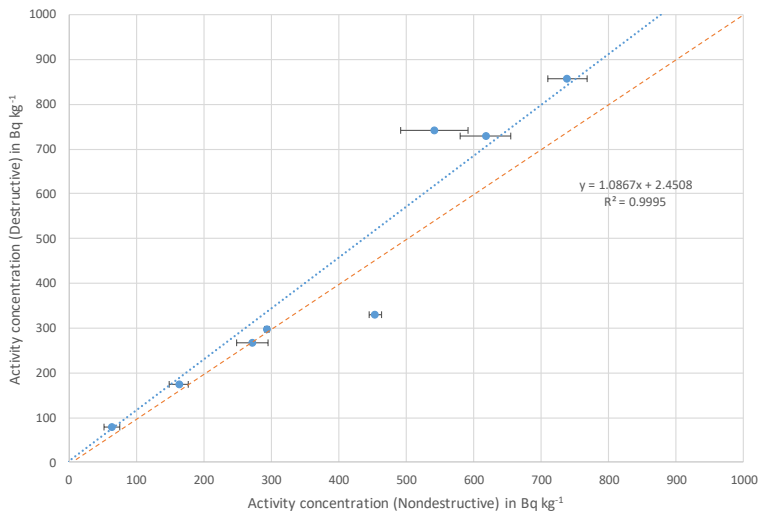
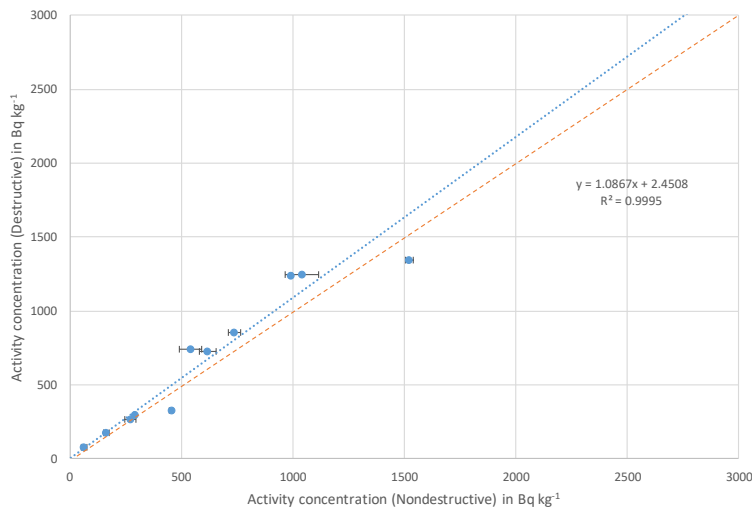
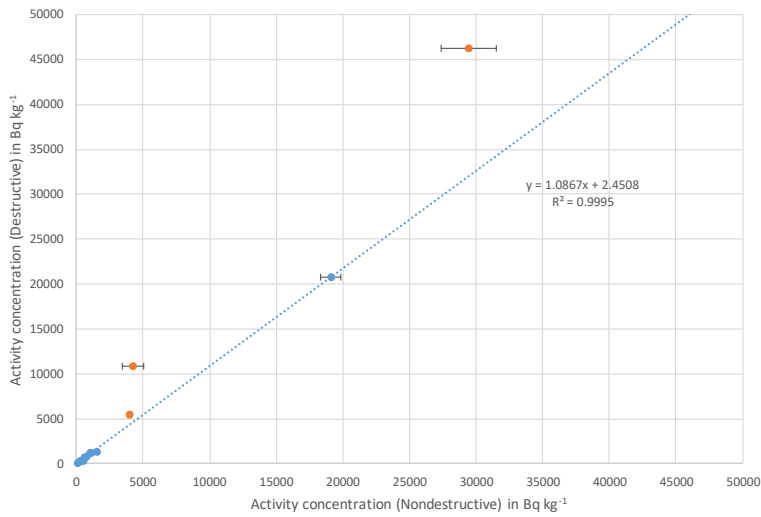


図 12-1~3 非破壊による測定値と Ge 検出器による分析結果の相関 (そのままはかる NDA)  
試料: きのこと類

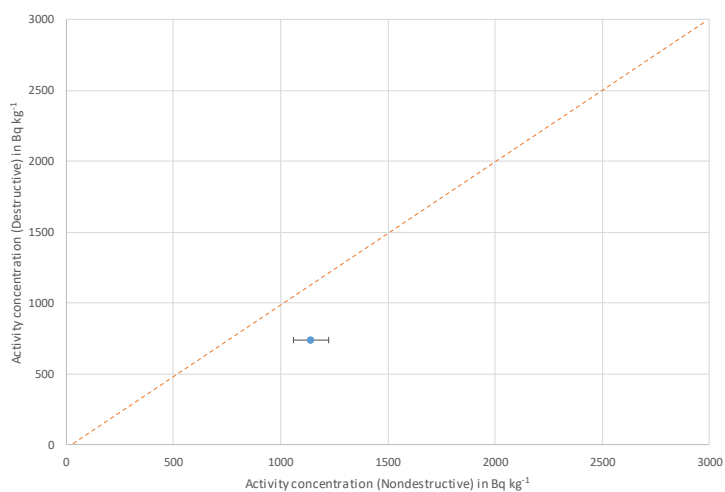


図 13 非破壊による測定値と Ge 検出器による分析結果の相関(非破壊式放射能測定装置 FF1)  
試料：きのこ類

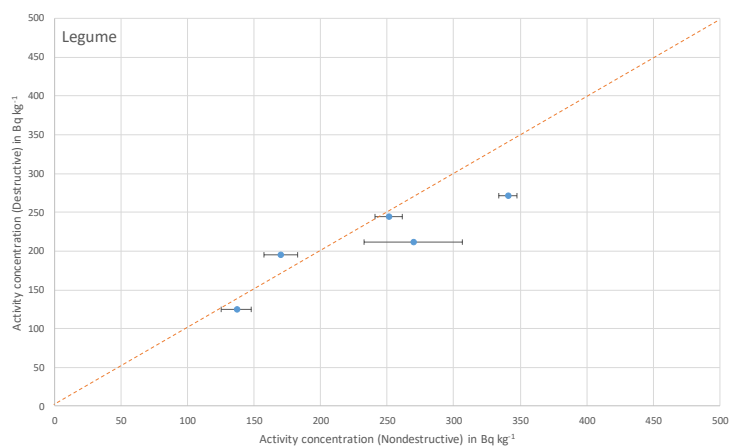


図 14 非破壊による測定値と Ge 検出器による分析結果の相関 (レギュームライト)  
試料：いのしし肉

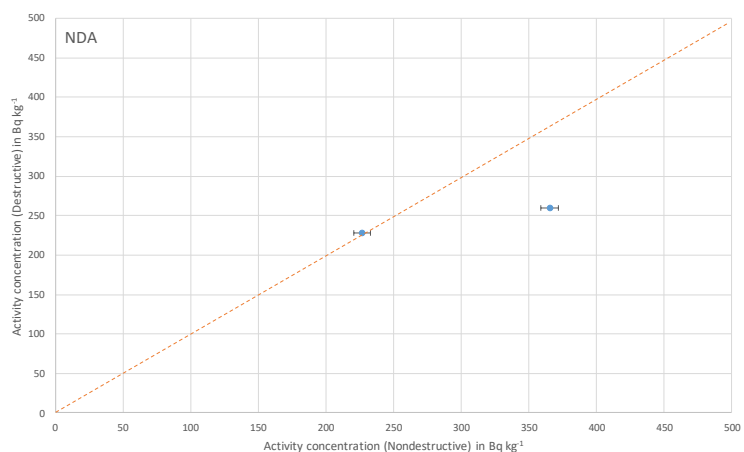


図 15 非破壊による測定値と Ge 検出器による分析結果の相関 (そのままはかる NDA) 試料: いのしし肉

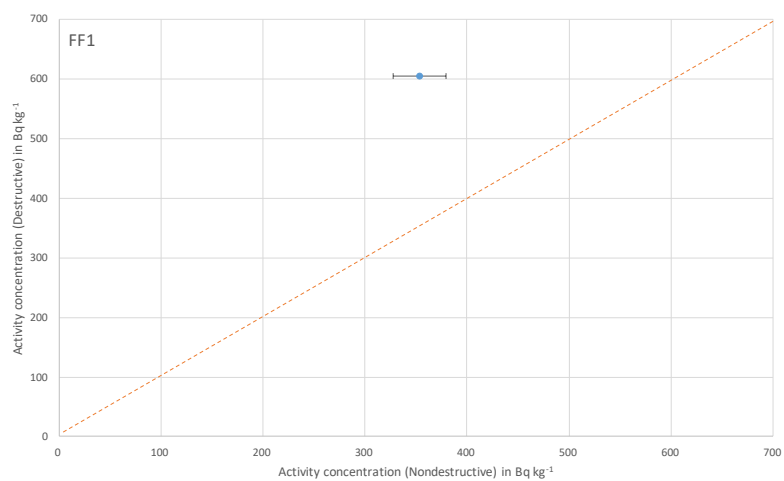


図 16 非破壊による測定値と Ge 検出器による分析結果の相関(非破壊式放射能測定装置 FF1) 試料: いのしし肉

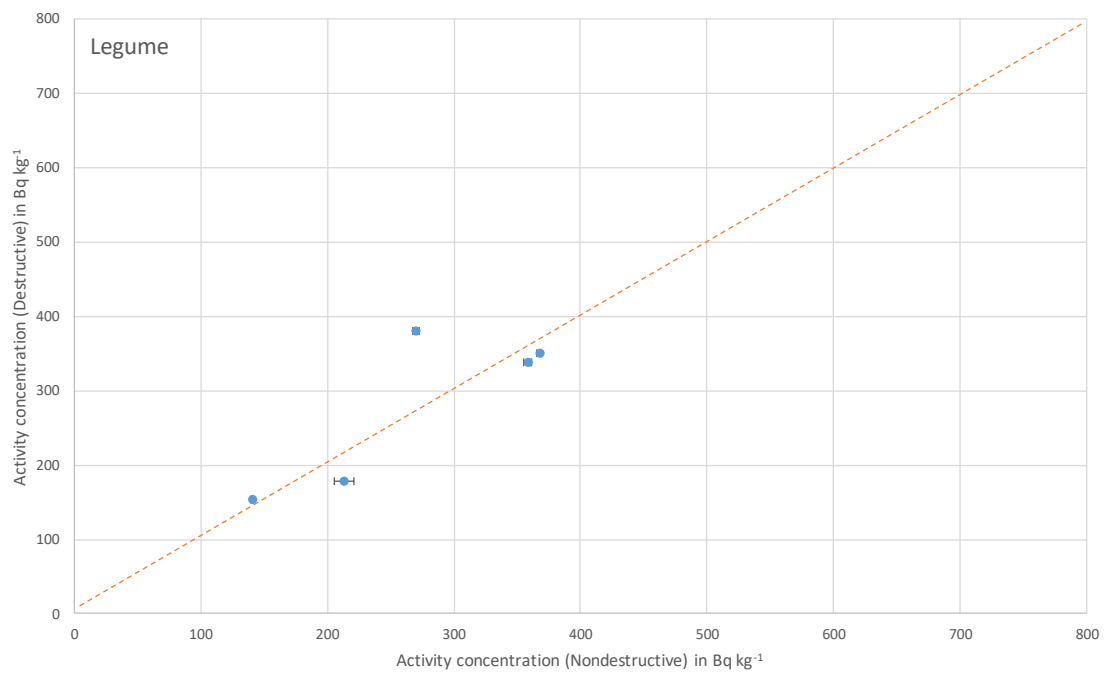


図 17 非破壊による測定値と Ge 検出器による分析結果の相関（レギュームライト）  
試料：栗

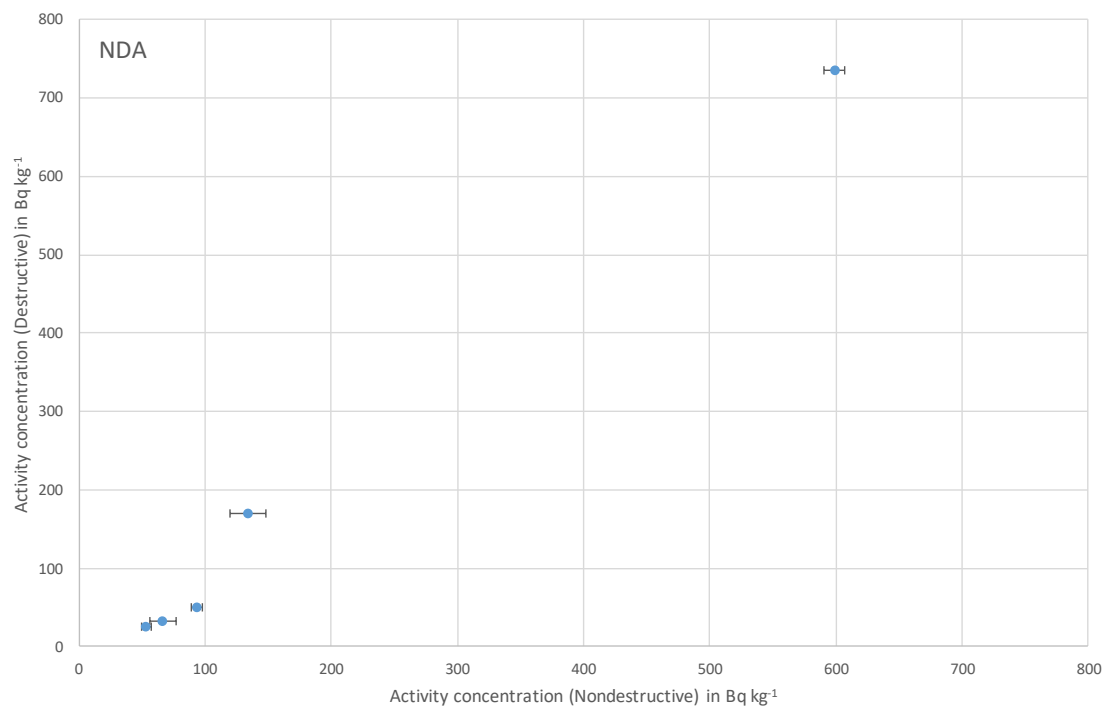


図 18 非破壊による測定値と Ge 検出器による分析結果の相関（そのままはかる NDA）  
試料：栗

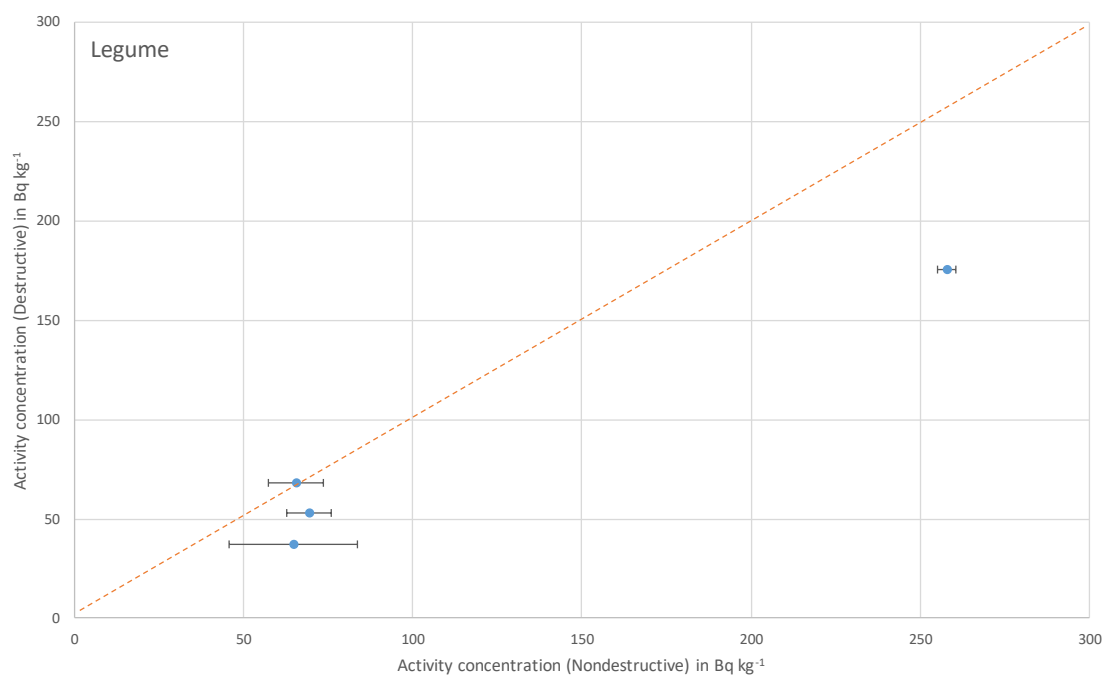


図 19 非破壊による測定値と Ge 検出器による分析結果の相関 (レギュームライト)  
試料：その他

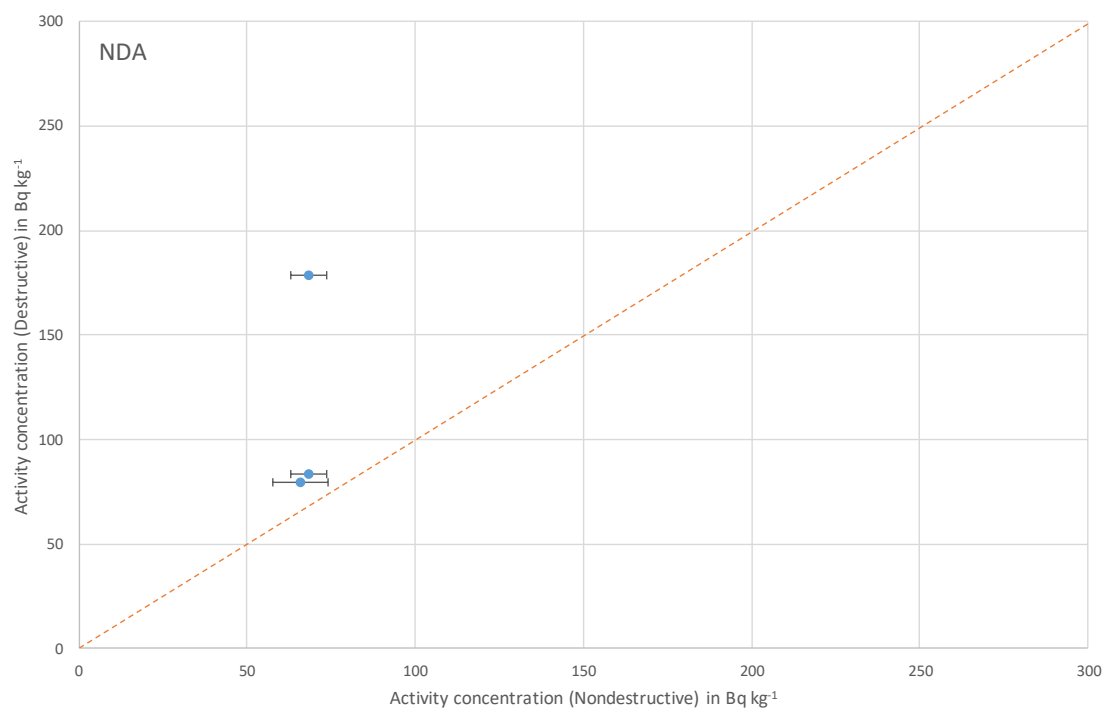


図 20 非破壊による測定値と Ge 検出器による分析結果の相関 (レギュームライト)  
試料：その他







# FoodScreen™ Radiological Food Screening System

## Features

- Rapid screening of processed or raw food products for key <sup>131</sup>I, <sup>134</sup>Cs and <sup>137</sup>Cs nuclides
- Clear, immediate indication if any nuclide-specific maximum permissible concentrations are exceeded
- Transportable using compact and wheeled detector shield
- Supports wide range of samples including 1 L Marinelli, metal food cans, beverage cans and plastic containers
- Completely battery-powered – from laptop PC's USB port
- Room temperature operation with option for temperature stabilization if measurements will be made out of doors
- Powerful Genie™ 2000 spectroscopy algorithms teamed with the intuitive Genie-FoodPro™ user interface designed specifically for this application
- Turn-key system is provided ready to count, calibrated for typical sample types in a range of common sample containers
- On-site training and/or start-up assistance available from local CANBERRA representative

\* NORM - Naturally Occurring Radioactive Material

\*\* US Patent 7,005,646 B1 and 7,049,598 B1

## Description

The CANBERRA FoodScreen Radiological Food Screening System is a complete, transportable food analyzer for quickly determining whether raw or processed food has become contaminated from a radiological event. A sample is placed into the shield, a count is initiated and a final report is generated. The report lists activity or minimum detectable activity concentrations found in the sample for the key nuclides of interest for food products: Iodine-131, Cesium-134 and Cesium-137. Based on nuclide-specific limits pre-determined by the system manager, the report will also state whether the sample is "Clean" or "Above Limit". Above limit samples may need to be investigated further in a higher resolution detector system such as the CANBERRA FoodSpec™ Radiological Food Analysis System.

The FoodScreen includes a 2 x 2 in. NaI(Tl) detector (optionally temperature stabilized), 7F7 Mobile FoodScreen Shield, a NORM\* KCl calibration check source, Osprey™ Universal Digital MCA Tube Base, industry-standard Genie 2000 spectroscopy algorithms and the Genie-FoodPro application software to streamline and simplify counting operations.

Systems are provided pre-calibrated for a variety of sample types including: water, seawater, dairy products, vegetation, grains, meat, eggs, fish, baby food, etc. Of course, the samples may be raw materials directly from the field or processed foods from a factory, export/import dock, warehouse or retail store. A wide range of sample containers is supported to accommodate both raw and canned foods.

Two different system models are available: FoodScreen and FoodScreen-Plus. The only difference between the two models is the detector. FoodScreen includes a standard 2 x 2 in. NaI(Tl) detector, while FoodScreen-Plus incorporates a patented\*\* NAIS-2x2 LED temperature-stabilized 2 x 2 in. NaI(Tl) detector. Sodium Iodide detectors tend to drift with changes in temperature, causing their spectra to broaden and making the detected nuclides more difficult to identify and quantify. Therefore, FoodScreen-Plus is optimized for use in non-air-conditioned rooms as well as field applications.



# FoodScreen Radiological Food Screening System

## Simplified Operation – No Compromise on Results

While the spectral acquisition and analysis functions are performed by the same algorithms as used in industry-standard Genie 2000 Spectroscopy Software, the FoodScreen's Genie-FoodPro user interface (Figure 1) is very intuitive with only a few key pieces of information needed to initiate a count: the sample container and the sample contents. Once these items are selected, the user simply clicks the COUNT SAMPLE button to start the acquisition and is presented with a screen to enter the Sample ID and Sample Description. Count time is preset in the system based on the nuclide-specific concentration limits. After the count is complete, a report is generated as in Figure 2 with the activity concentration and a statement as to whether the sample is contaminated or not.

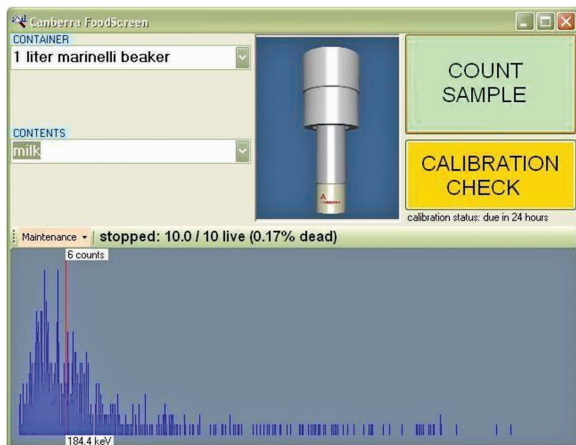


Figure 1.

<b>Sample Container:</b>	1 L Marinelli	
<b>Sample Content:</b>	Milk	
<b>Sample ID:</b>	Milk00001	
<b>Sample Description:</b>	Milk from dairy 2421	
<b>Sample Quantity:</b>	1	
<b>Sample Quantity Units:</b>	Liter	
<b>Measurement started at:</b> 13:40:21 on 11 April 2011		
<b>Counting period:</b> 600 s		
<b>Last calibration check at:</b> 11:28:55 on 10 April 2011		
<b>Activity Concentration Units:</b> Bq/L		
	<b>Activity Concentration</b>	<b>Action Level</b>
<b>Cs-134</b>	6.5	30
<b>Cs-137</b>	7.5	30
<b>I-131</b>	13.2	50
<b>Result:</b> Clean		

Figure 2.

Calibration is just as easy! Genie-FoodPro includes a wide variety of efficiency calibrations for various sample containers and their contents. Only a simple energy

calibration needs to be done to maintain the system – usually daily when in use. The user places the provided Potassium Chloride (KCl) sample on the detector and clicks CALIBRATION CHECK on the computer screen. Then, the system automatically counts for one minute and performs an energy calibration along with any needed adjustments using the naturally-occurring Potassium-40 1462 keV peak. An efficiency check is done as well to verify that the system is ready to process food samples. The calibration and check take only a few minutes, and the results are displayed on the screen and written to a log file. If the test fails, the user is instructed to check the set-up and try again. With calibration complete, the system is ready to count samples until the next calibration check at a frequency determined by the system manager.

## Wide Variety of Sample Containers and Types

FoodScreen is designed to handle virtually any food sample that will fit into the 7F7 Shield. As there is an almost infinite number of individual processed and raw food containers that could need to be analyzed, different classes of containers are grouped by size range such that valid comparison of their sample analyses to associated action levels is possible. The purpose is for Genie-FoodPro software to accommodate as many worldwide shapes and sizes of food containers as possible without making an exhaustive list for the user to select from.

The choices include a 1 Liter Marinelli beaker, a number of deli-style plastic containers and a wide variety food and beverage cans as found in food stores.

In general, the quickest counts and best results will come from counting the largest amount of sample possible. The 1 Liter Marinelli beaker shown in the upper left of Figure 3 provides the best possible results because it is one of the largest sample containers that can be used and the detector actually fits up into the bottom of the beaker such that sample surrounds the detector on top and sides. However, the FoodScreen is calibrated for samples as small as a tuna or tomato paste can.



Figure 3.

# FoodScreen Radiological Food Screening System

Marinelli Beaker					
			Reference		
1 Liter Marinelli Beaker, 2x2 NaI			GAMA & Assoc. 125G-E		

Food Cans					
Food Can Size	Inches		mm		Example cans
	Diameter Range	Height Range	Diameter Range	Height Range	
1	2.0- 2.1	3.2- 3.6	53.3 - 55.9	81.3 - 91.5	6Z (tomato paste, juice)
2	2.65 - 2.75	3.0 - 4.9	67.3 - 69.9	76.2 - 124.5	No. 1 Picnic (soup, fruit, vegetables)
3	2.9 - 3.1	4.4 - 5.6	73.7 - 78.7	111.8 - 142.2	No. 300 (baked beans, meat products)
4	3.3 - 3.6	4.5 - 5.8	83.8 - 91.5	114.3 - 147.3	No. 2 (soup, juices, fruits)
5	4.0 - 4.3	4.6 - 4.9	101.6 - 109.2	116.8 - 124.9	No. 2.5 (meats, vegetables)
6	4.9 - 5.3	5.4 - 5.8	124.4 - 134.6	137.1 - 147.3	No. 5 (tuna)
7	5.9 - 6.4	4.3 - 4.7	149.9 - 162.6	109.2 - 119.4	Large tuna can
8	2.65 - 2.75	1.4 - 1.8	67.3 - 69.9	35.5 - 45.7	No. 211 (tuna)
9	3.35 - 3.55	1.6 - 2.0	85.1 - 90.2	40.6 - 50.8	No 2 short (tuna)
10	3.9 - 4.2	2.2 - 2.6	99.1 - 106.7	55.9 - 66.0	No. 1.25 (tuna)

Beverage Cans					
Soda/Juice/Energy Drink/Beer Cans	Inches		mm		
	Diameter Range	Height Range	Diameter Range	Height Range	
Standard: 8 oz / 237 ml - 19.2 oz / 568 ml	2.59 - 2.61	3.4 - 4.7	66.0 - 66.2	88 - 188.1	
Slim/Sleek: : 6.8 oz / 200 ml - 12 oz / 355 ml	1.96 - 2.05	4.3 - 6.2	50 - 52	111.2 - 156.9	

Plastic Containers						
Containers with Lids	Inches			mm		
	Diameter (bottom)	Diameter (top)	Height	Diameter (bottom)	Diameter (top)	Height
8 oz / 237 ml	3.2 - 3.7	4.1 - 4.8	1.6 - 1.9	81.3 - 91.5	104.1 - 121.9	40.6 - 48.3
16 oz / 473 ml	3.2 - 3.7	4.1 - 4.8	2.9 - 3.2	81.3 - 91.5	104.1 - 121.9	73.6 - 81.3
32 oz / 946 ml	3.2 - 3.7	4.1 - 4.8	5.4 - 6.2	81.3 - 91.5	104.1 - 121.9	137.1 - 157.5
V-11 33oz / 975 ml	5.3	5.3	3.0	135	135	76

Figure 4.

Samples can obviously be counted as is, or the contents of smaller ones can be combined into a larger container for faster analysis. The Marinelli and deli-style containers can be used for solid or liquid foods and should be filled to the top. Solids should be packed as tightly as possible to minimize air spaces.

Figure 4 lists the various containers that can be counted by the FoodScreen system. Again, the variations in dimensions of containers from different vendors that are of the same listed volume can typically be accommodated as long as the overall shape is similar.

Typical count times needed to meet minimum detectable activities for specific containers and food types are shown in Figure 5. These examples show the benefit of using a large sample size. The goal of the FoodScreen's design was to provide the lightest and most compact system possible with a count time of 10 minutes or less for larger samples.

## Easy Set-up for Non-Experienced Users

While the FoodScreen System is easy to operate, it still needs to be versatile enough to accommodate the various requirements of users throughout the world. After a nuclear power plant radiological event, the three nuclides of most concern to regulatory bodies are Iodine-131, Cesium-134 and Cesium-137. Acceptable limits for these nuclides vary slightly from region to region. Also, limits for baby food are typically more restrictive than for other types of food.

The Genie-FoodPro software is provided with default information that may be usable as is. However, set-up parameters can be modified in its configuration file as needed by CANBERRA representatives or a knowledgeable user with the documentation provided. For quickest deployment, set-up can be done in the factory prior to shipment if required information is provided with the order. Note that a computer (laptop) must either be purchased with the system or provided by the user at time of order for factory set-up.

# FoodScreen Radiological Food Screening System

Container (Content)	Cs-137 MDA Target*	Count Time
1 liter Marinelli (Milk or Water)	20 Bq/L	4 mins
Food Can – Size 2** (Vegetables/Meat)	50 Bq/L	8 mins
350 mL Soda Can (Water)	20 Bq/L	110 mins
32 oz Plastic Container (Meat/Fish/Eggs/Grain)	50 Bq/L	20 mins

\*typical MDA targets for food screening

\*\*see table of metal food can sizes above

Figure 5.

The following changes can be made to meet regulatory requirements or make operation more efficient for the user. These modifications are usually done only once when initially commissioning the system.

- Change the action levels for  $^{131}\text{I}$ ,  $^{134}\text{Cs}$  and/or  $^{137}\text{Cs}$ .
- Change the count time for a sample type.
- Change the activity concentration units (e.g. from mBq/g to  $\mu\text{Ci/g}$ ).
- Change the mass or volume of a sample type.
- Change the generic names of the sample containers to customer-specific names.
- Remove sample containers or food types that are not required (to limit the options on the drop down menus on the main screen).

## Higher Resolution System Option

The FoodScreen System is designed for quick screening of food stuffs for the key nuclides of concern after a radiological event. Its size, weight, battery operation and portability allow it to be deployed in the field or wherever the food happens to be.

If more detailed analysis of food is required, particularly of known contaminated food, a higher resolution system employing high purity germanium (HPGe) detectors may be required. Systems such as this are typically installed in laboratories or mobile laboratories due to their size and weight, but they are capable of identifying and quantifying virtually all nuclides in a sample. CANBERRA's FoodSpec Radiological Food Analysis System, described separately, should be considered to meet these more rigorous analysis needs.

## Specifications

The FoodScreen Radiological Food Screening System consists of the following products:

- OSPREY Universal Digital MCA Tube Base.
- NAIS-2x2 NaI(Tl) LED Temperature-Stabilized Scintillation Detector (FoodScreen-Plus only).
- 802-2x2 NaI(Tl) Scintillation Detector (FoodScreen only).
- 7F7 Mobile FoodScreen Shield – with KCl Calibration Sample and Laptop Shelf.
- Genie-FoodPro Application Software.

Note: Please see the OSPREY, NAIS-2x2 and 802-2x2 product specification sheets for more detailed information.

## OSPREY Universal Digital MCA Tube Base

### INPUTS/OUTPUTS

- Standard 14-pin PMT socket and CANBERRA proprietary 8-pin socket.
- USB 2.0.
- Ethernet 10/100T.

### POWER

- Main power will be supplied by either the USB port or IEEE 802.3af-compliant Power over Ethernet (PoE).
- Power consumption USB – <2 Watt.
- Power consumption PoE – <3 Watt.

### PHYSICAL

- SIZE
  - 62 mm (2.44 in.) diameter.
  - 108 mm (4.25 in.) length.
- WEIGHT – 280 g (9.9 oz).

### ENVIRONMENTAL

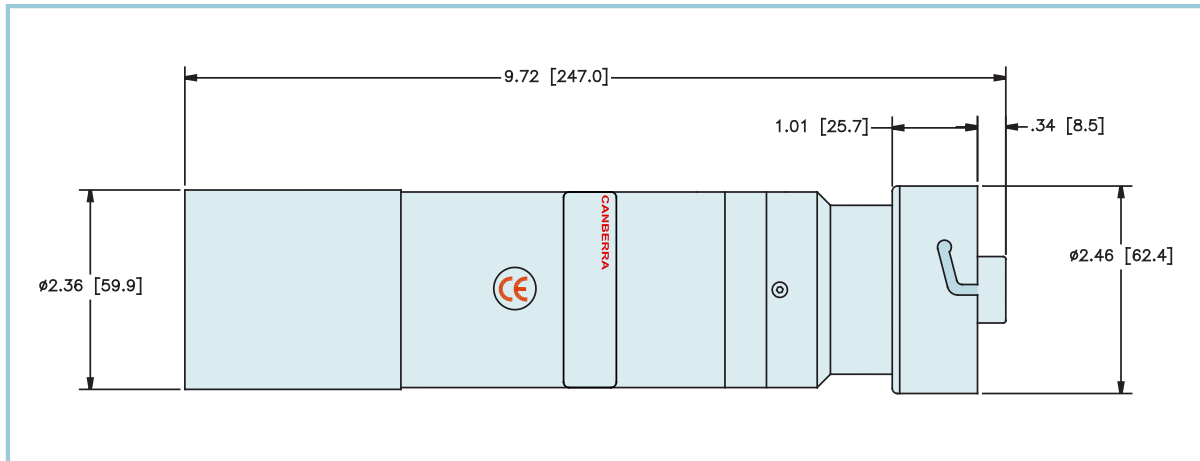
- TEMPERATURE – -10 to +50 °C (+14 to +122 °F).
- HUMIDITY – 85% non-condensing.
- Meets the environmental conditions specified by EN 61010, Installation Category I, Pollution Degree 2.

# FoodScreen Radiological Food Screening System

## NAIS-2x2 NaI(Tl) LED Temperature-Stabilized Scintillation Detector

### PHYSICAL

- SIZE – See outline drawing. Note that length from crystal cover to Osprey mating surface is 8.9 in. (227 mm).
- WEIGHT – 1 kg (2 lb 4 oz).

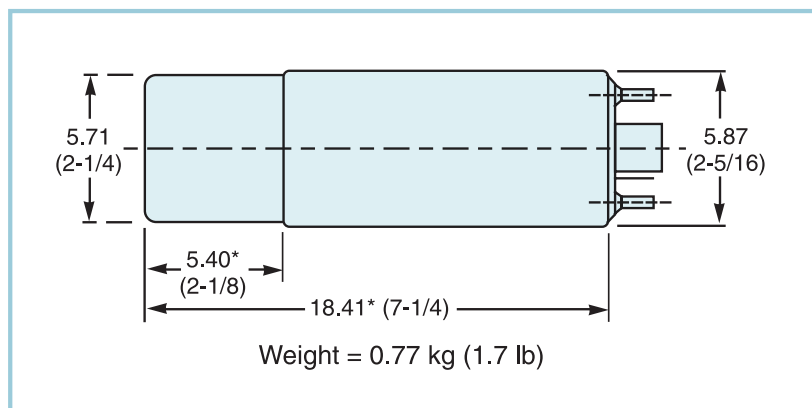


Dimensions in the Outline Drawing are in inches [mm] and are subject to change at the discretion of CANBERRA.

## 802-2x2 NaI(Tl) Scintillation Detector

### PHYSICAL

- SIZE – See outline drawing.
- WEIGHT – 0.77 kg (1 lb 11 oz).



# FoodScreen Radiological Food Screening System

## 7F7 Mobile FoodScreen Shield

### MATERIALS

- OUTER JACKET – Cast aluminum alloy – varying thicknesses.
- BULK SHIELD – 3.8-4.2 cm (1.5-1.7 in.) thick low background lead around sample.
- LINING – 2 mm (0.080 in.) 304 stainless steel.

### PHYSICAL

- SIZE – See outline drawings (mm).
- WEIGHT – 166 kg (365 lb).
- SHIPPING WEIGHT – 180 kg (395 lb).

### FINISH

- CANBERRA light grey textured epoxy.

## Genie-FoodPro Application Software

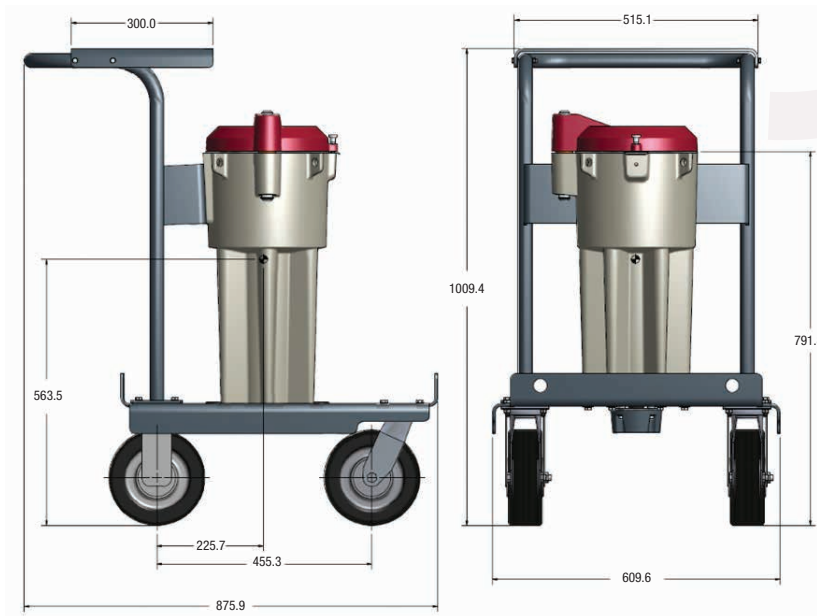
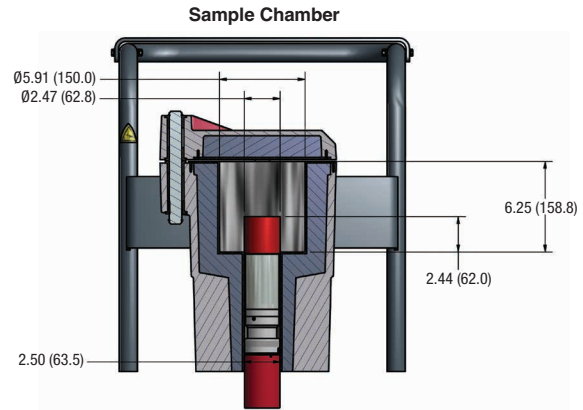
### SYSTEM REQUIREMENTS

#### Genie-FoodPro requires a personal computer with:

- 2.0 GHz Dual Core Pentium® highly recommended.
- 2 GB memory, 200 GB hard disk; CD ROM, USB.
- Integrated 10/100 Ethernet interface.
- 1024 x 768 video adapter.
- Windows® 7 (32-bit) or Windows XP Professional.

## ORDERING REFERENCES

- FoodScreen – Radiological Food Screening System with 802-2x2 Detector.
- FoodScreen-Plus – Radiological Food Screening System with NAIS-2x2 Detector.
- Order PC and optional printer separately.
- Order software installation and configuration separately.



FoodScreen, Genie-FoodPro, Osprey and Genie are trademarks and/or registered trademarks of Mirion Technologies, Inc. and/or its affiliates in the United States and/or other countries.

All other trademarks are the property of their respective owners.

©2017 Mirion Technologies (Canberra), Inc. All rights reserved.

Copyright ©2017 Mirion Technologies, Inc. or its affiliates. All rights reserved. Mirion, the Mirion logo, and other trade names of Mirion products listed herein are registered trademarks or trademarks of Mirion Technologies, Inc. or its affiliates in the United States and other countries. Third party trademarks mentioned are the property of their respective owners.

**CANBERRA**

C39444 – 02/12



## 農産物放射能測定システム (製品名: フードセーフ)



検出限界量 (セシウム137 及び 134):  
30kg米袋 25 Bq/kg : 10秒測定

### 主な仕様

#### 遮蔽体:

- 厚さ10cm鉄
- 食品用ベルトコンベア標準装備  
(部品交換が容易な構造)
- サイズ: 100H x 320L x 140mW cm
- 重量: 約 2500 kg

#### 検出器:

- 高効率 大型 ヨウ化ナトリウム(NaI)検出器採用



### 特長

- 非破壊検査式。サンプル抽出不要、30kg米袋の状態での放射能測定を実現
- 全域ガンマ線スペクトスコピー対応システム  
=> Cs<sup>134</sup>, Cs<sup>137</sup>, I<sup>131</sup>, K<sup>40</sup> など核種毎の含有量断定
- 簡単操作 (スタート、ストップ、色分けで結果表示、任意の場所に設置可能)
- 過酷な環境下でも運用可能! 気温 **-10℃~+50℃**、湿度 **<90%**、周辺放射能 **<2μSv/h**
- **桃、りんご、梨**など果樹への応用可能
- 低重心設計

キャンベラジャパン株式会社

www.canberra.com/jp/ E-mail: jp-sales@canberra.com

東京本社 TEL:03-5835-5402 FAX:03-5835-5403  
大阪営業所 TEL:06-4806-5662 FAX:06-4806-5663  
福島支所 TEL:024-525-2520 FAX:024-525-2521





## CANBERRA

# ≫ あんぽ柿用 放射能測定装置



≫ 測定下限値：25 Bq/kg以下  
スクリーニングレベル：70 Bq/kg以上\*1  
測定時間：最短80秒\*2

\*1：精密測定（測定時間延長モード）を使用した時に適用されます

\*2：測定対象の濃度や組合せ、柿の種類により異なります

### 主な仕様 と 特長

- 遮蔽体: 厚さ10cm鉄（人体に無害）
- サイズ: 143H x 90L x 110W cm
- 検出器: 32個（高効率な測定が可能）  
ヨウ化ナトリウム（NaI）検出器採用
- 電源: AC100V入力を採用
- 非破壊検査式（サンプル抽出不要）
- 簡単操作
- 蜂屋柿、平核無柿など種類毎に最適化
- 個別測定（1トレイ毎、柿1個毎）、箱毎測定に対応
- あんぽ柿以外の食品にも、対応可能！
- 全分析結果をデータベースに保管

ミリオンテクノロジーズ・キャンベラ株式会社

<http://www.canberra.com/jp/> [jp-sales@canberra.com](mailto:jp-sales@canberra.com)

東京本社 TEL:03-5835-5402

大阪営業所 TEL:06-4806-5662

## 「そのままはかるNDA」の特徴・性能について

「そのままはかるNDA」は、2014/7/1 付で日本アイソトープ協会が情報公開している「食品中の放射性セシウムスクリーニング法に対応可能な機器」の非破壊式放射能測定装置として掲載されています。

### (1) 住民ニーズへの対応(検体の量、測定時間)について

#### ・検体の量

300g～2000g までの試料が測定可能です。

自家栽培及び自家消費を目的とした食べ物は、少量のものが多く、従来式で放射能検査を依頼すると測定に必要な重量を得ることができない場合や、測定依頼をすると測定後、食べることができない場合があります。この点を本製品は改善し、最少重量、300g から分析可能といたしました。

#### ・試料の形状

測定試料の形状は、以下の4つのタイプに分類されます。

- ① 形状が変わる、自立できない小粒または粉 …… ビニール袋等に充填して測定します。
- ② 自立する柱状と仮定できる固形物 …… 柱状容器に入れて測定します。(※)
- ③ 球状の試料 …… そのまま測定します。(※)
- ④ 任意形状(その効率測定が必要) …… そのまま測定します。(※)

(※)汚染防止用サランラップやビニール袋は除きます。

#### ・測定時間

空間線量率が  $0.08 \mu\text{Sv/h}$  の環境下において、700g の試料を原形又はほぼ原形のまま測定に用いた場合、計測時間 10 分(600 秒)で放射性セシウムの測定下限値が  $20\text{Bq/kg}$  以下となります。

#### ・操作方法

住民が銀行の ATM のように一人で自家消費野菜の放射能を測定できるタッチパネル方式にしたソフトウェアも用意しています。

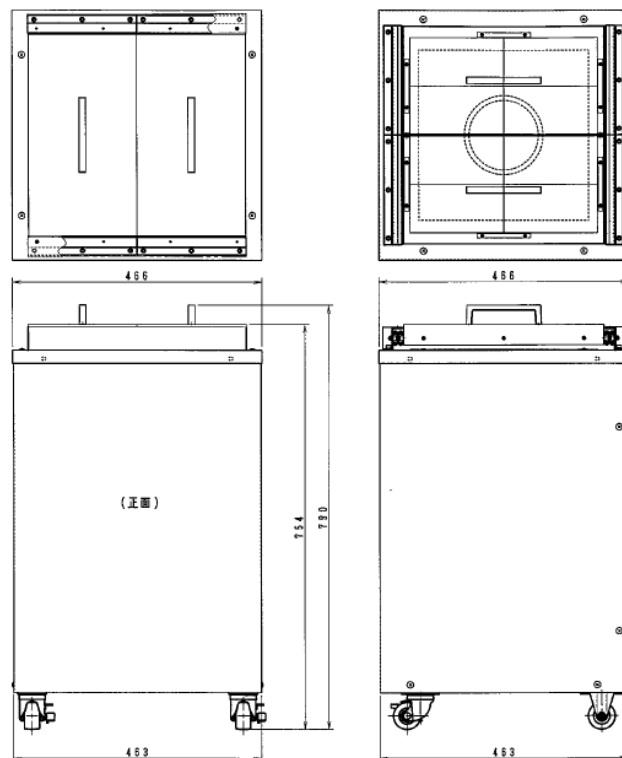
### (2) 測定装置の設置(装置寸法、重量)について

#### ・装置本体寸法

466mm(W) x 466mm(D) x 790mm(H)

#### ・重量：430kg

35mm 厚の鉛遮蔽体を有しています。  
装置は、鉛ブロックを使用した分割型  
ですので2階でも設置可能です。



(3) 操作性について

「そのままはかるNDA」の操作ソフトウェアは、2種類のソフトウェアを用意しています。

①従来型操作ソフトウェア（測定対象者：検査員）

マリネリ容器を使用する従来型(破壊式)と同様な操作ソフトウェアです。

測定所で測定試料をお預かりして検査員が測定する場合には、従来式と操作性が可能な限り同じ方が使い易いと考え、このタイプを標準装備としています。

情報入力画面には、測定者、試料分類、試料名、依頼者、依頼者住所等が入力可能です。

また、分析結果履歴が一覧できます。

②タッチパネル対話式操作ソフトウェア（測定対象者：住民）

住民が自分で測定できるように設計されたタッチパネルによる対話式操作ソフトウェアです。

①、②の操作ソフトウェアは、いつでも切替えが可能です。

従来型操作ソフトウェア	タッチパネル対話式操作ソフトウェア																
 <p>測定時間 900 秒</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>核種</th> <th>放射線濃度 [Bq/kg]</th> <th>不確か率 [%]</th> <th>検出限界値 [Bq/kg]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cs-137</td> <td>48.5</td> <td>± 7.1</td> <td>5.7</td> </tr> <tr> <td>Cs-134</td> <td>25.1</td> <td>± 5.0</td> <td>8.5</td> </tr> <tr> <td>K-40</td> <td>388.9</td> <td>± 58.0</td> <td>51.2</td> </tr> </tbody> </table> <p>セシウム合計 73.6 ± 10.7 Bq/kg</p>	核種	放射線濃度 [Bq/kg]	不確か率 [%]	検出限界値 [Bq/kg]	Cs-137	48.5	± 7.1	5.7	Cs-134	25.1	± 5.0	8.5	K-40	388.9	± 58.0	51.2	 <p>そのままはかるNDA</p> <p>測定試料種類 測定試料の種類を選択して下さい。</p> <p>強制停止 現在日時: 2014年02月18日 09時53分</p>
核種	放射線濃度 [Bq/kg]	不確か率 [%]	検出限界値 [Bq/kg]														
Cs-137	48.5	± 7.1	5.7														
Cs-134	25.1	± 5.0	8.5														
K-40	388.9	± 58.0	51.2														
 <p>そのままはかるNDA 測定: 試料ID:50190測定番号:2014-02-18-1022829</p> <p>測定時間 900 秒</p> <p>測定者 矢島 悠雄</p> <p>試料分類 米穀類</p> <p>試料名 シンママ</p> <p>試料形態 瓶状または粉状(ビニール袋、ザル使用)</p> <p>試料重量 1035 g</p> <p>試料ID 1</p> <p>コメント1 既知率 760Bq/kg</p> <p>コメント2</p> <p>依頼者 福原 瑞云</p> <p>住所</p> <p>採取場所</p> <p>※ オレンジ色での表記は必須項目です。 登録・再分析 キャンセル</p>	 <p>そのままはかるNDA</p> <p>測定中</p> <p>測定番号 201402181028</p> <p>測定時間 60 秒</p> <p>残り47秒</p> <p>強制停止 試料種類: 野菜類 試料名: はくさい 容器: 大 高さ: 10.0cm 重さ: 100g 現在日時: 2014年02月18日 10時28分</p>																
	 <p>そのままはかるNDA</p> <p>測定結果</p> <p>測定下限値 25.0 Bq/kg</p> <p>スクリーニングレベル 50.0 Bq/kg</p> <p>セシウム合計 &lt;25.0 Bq/kg</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>核種</th> <th>放射線濃度</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cs-137</td> <td>否検出</td> </tr> <tr> <td>Cs-134</td> <td>否検出</td> </tr> </tbody> </table> <p>スペクトル表示 了解</p> <p>強制停止 試料種類: 野菜類 試料名: はくさい 容器: 大 高さ: 10.0cm 重さ: 100g 現在日時: 2014年02月18日 10時28分</p>	核種	放射線濃度	Cs-137	否検出	Cs-134	否検出										
核種	放射線濃度																
Cs-137	否検出																
Cs-134	否検出																


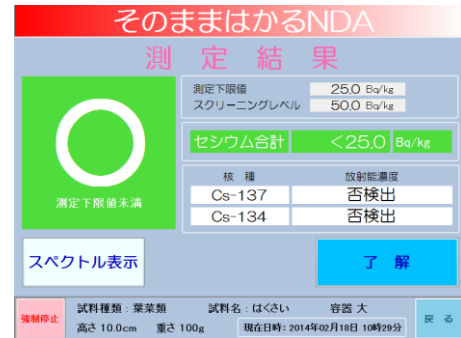
#### (4) 検査前の準備事項について

下記項目において「そのままはかるNDA」は、準備時間を短縮可能とします。

	「そのままはかるNDA」	「従来式装置」
ウォーミングアップ	電源投入後 10 分	電源投入後 30 分程度
エネルギー校正	K-40 のチェックサンプルを使用し、ピークが大幅にずれていないか確認し、調整します。	同左
バックグラウンド測定	納入時に測定した値と変化がないことをウォーミングアップ時に自動的に確認します。	手動にて毎日必要 数十分から数時間

「そのままはかるNDA」ではスペクトルから放射能濃度を計算します。ゲルマニウム半導体検出器と同様な核種分析を行います。測定スペクトルを用いて解析時に再エネルギー校正を行うため、多少のピークのズレは解析に問題ありません。

#### (5) 測定結果の表示について

従来型操作ソフトウェア	タッチパネル対話式操作ソフトウェア
 <p>放射能測定結果</p> <p>試料名: 葉菜類 - キャベツ          試料数量: 600g          セシウム合計: 73.6 ± 10.7 Bq/kg</p> <p>測定結果: Cs-137 48.5 ± 7.1, Cs-134 25.1 ± 5.0, K-40 388.9 ± 58.0, 51.2</p> <p>検出下限値: 25.0 Bq/kg</p>	 <p>そのままはかるNDA 測定結果</p> <p>測定下限値: 25.0 Bq/kg スクリーニングレベル: 50.0 Bq/kg</p> <p>セシウム合計: &lt;25.0 Bq/kg</p> <p>検出結果: Cs-137 否検出, Cs-134 否検出</p> <p>測定時間: 60.0 秒 スクリーニングレベル: 50.0 Bq/kg 検出下限: 25.0 Bq/kg</p> <p>測定結果: ○ [測定下限値未満]</p> <p>Cs合計: &lt;25.0 Bq/kg Cs-137: 否検出 Cs-134: 否検出</p>

測定番号	測定日時	試料分類	試料名称	結果	Cs合計(Bq/kg)	Cs-137(Bq/kg)	検出限界(Bq/kg)	Cs-134(Bq/kg)	検出限界(Bq/kg)
20140717101320	2014/07/17 10:13:28	米穀類	玄米: 0.95(g/cm <sup>3</sup> )	スクリーニング超過	57.0 ± 9.1	43.0 ± 7.4	10.7	13.9 ± 4.3	23.3
20140717102737	2014/07/17 10:27:37	米穀類	クヌマイ	スクリーニング超過	73.6 ± 10.7	48.5 ± 7.1	5.7	25.1 ± 5.0	8.5
20140717111945	2014/07/17 11:19:45	果菜類	ジャガイモ: 0.95(g/cm <sup>3</sup> )	測定下限界未満	<25.0		14.9		否検出
20140717113609	2014/07/17 11:36:09	その他	その他: 1.00(g/cm <sup>3</sup> )	測定下限界未満	<25.0		3.9		否検出
20140717194729	2014/07/17 19:47:29	米穀類	玄米	スクリーニング超過	55.4 ± 9.7	40.5 ± 7.0	11.1	14.8 ± 4.5	22.8
20140717154450	2014/07/17 15:44:50	果菜類	ジャガイモ	測定下限界未満	<25.0		15.4		否検出
20140718009522	2014/07/18 00:05:22	果菜類	キュウリ	測定下限界未満	<25.0		16.0		否検出
20140718100945	2014/07/18 10:09:45	果菜類	キュウリ	測定下限界未満	<25.0		11.6		否検出
20140718103224	2014/07/18 10:32:24	果菜類	キュウリ	測定下限界未満	<25.0		5.9	4.3 ± 2.4	12.0
20140718110614	2014/07/18 11:06:14	果菜類	ジャガイモ	測定下限界未満	<25.0	6.0 ± 2.4	7.7	5.3 ± 2.9	15.9
20140718141444	2014/07/18 14:14:44	芋類	ジャガイモ	測定下限界未満	<25.0		5.7	1.6 ± 1.6	11.0
20140718145034	2014/07/18 14:50:34	芋類	ジャガイモ	測定下限界未満	<25.0	3.6 ± 1.7	6.1	2.3 ± 2.0	12.8
20140718152554	2014/07/18 15:25:54	果菜類	カマキリ	測定下限界未満	<25.0	2.9 ± 1.5	5.8		否検出
20140722102925	2014/07/22 10:29:25	果菜類	キュウリ	測定下限界未満	<25.0		8.3	6.5 ± 3.3	10.8
20140722110744	2014/07/22 11:07:44	芋類	ジャガイモ	測定下限界未満	<25.0		10.4		否検出
20140722114532	2014/07/22 11:45:32	菜類	ジャガイモ	測定下限界未満	<25.0		5.6		否検出

- 従来型のソフトウェアには、分析結果一覧を表示する機能を有しています。その結果は、週別、月別等で検索することが可能です。
- また、これら一覧のデータは、CSVへ出力する機能を有しておりますので、ホームページに分析結果を掲載する際に有効な機能となります。

### (6) その他の機能

- 試料情報入力画面について

「そのままはかるNDA」従来型操作ソフトウェアの測定・試料情報入力画面には、一度入力した測定者、試料名、コメント、依頼者、住所、採取場所等は、ソフトウェアに保存され、次回からは、プルダウンリストから選択することが可能です。

- 試料室の汚染防止について

住民が自ら測定を行う場合、装置が常に正常の状態を維持していることが重要です。「そのままはかるNDA」は、試料を測定していない間、自動でスペクトル収集を行い、試料室内の汚染の有無を確認し、汚染があった場合、ソフトウェアによる注意喚起を行います。

- 天然核種の影響について

「そのままはかるNDA」は、スペクトル解析を行い、天然核種(Pb-214, Bi-214)の定性が可能となります。そのため、天然核種によるセシウム誤検出防止に対応しています。



本社：〒101-0021 東京都千代田区外神田5-6-3 殿塚ビル2F  
TEL：03-6803-0177 FAX：03-3839-0177  
URL http://www.adfutech.com

# 前処理不要！ 非破壊方式の放射性セシウム測定装置

FD-08Cs1000

## Legumes (レギューム) シリーズ

日本アイソトープ協会  
「食品中の放射性セシウムスクリーニング法に対応可能な機種」に掲載



Legumes  
(レギューム)

前処理なしでそのまま測定する放射性セシウム測定装置です。  
測定した検体をそのまま消費できますので、抜き取り検査よりも安心・安全です。

- 前処理不要で人件費や作業時間を大幅に短縮できます。試料廃棄の必要もありません。
- 最新型の日本製 CsI 検出器を搭載し、少ない試料量で高感度測定が可能です。
- レギューム・スーパーは4個の検出器を搭載。試料形状による測定時間の差を抑えられます。
- 複数検体を同時に測定しても、濃度分布で検体毎の汚染状況を把握できます。\*3
- レギューム・ライトは、約100秒の測定時間で10 Bq/kg の下限値を実現(1000g)。\*1
- 日本語ソフトウェアで簡単測定。測定結果を自動保存。
- 日本語集計印字、CSV ファイルに変換・編集・保存可能です。
- 純国産品で万全なサポート体制。機器校正(年1回以上必要)や保守点検もお任せ下さい。
- 厚生労働省「食品中の放射性セシウムスクリーニング法」に準拠。

非破壊方式 放射性セシウム測定装置 Legumes シリーズ 仕様一覧

装置名	FD-08Cs1000-4 レギューム・スーパー	FD-08Cs1000-2 レギューム・スタンダード	FD-08Cs1000-1 レギューム・ライト
測定原理	γ (ガンマ) 線分析法		
測定対象	固体・液体・粉体 (形状問いません)		
ピーク同定検出範囲	Cs-137、Cs-134 (I-131、K-40) 100keV~2000keV		
検出器	γ線シンチレーションカウンター 大型 CsI (TI) 検出器		
	4 個	2 個	1 個
計数方式/電源	デジタル計測処理/100V 1A		
エネルギー分解能	Cs-137 において 10%以内		
測定器雰囲気	大気		
LLD (検出限界値) *1 測定時間 (1000g)	25Bq/kg 以下 約 15 秒	25Bq/kg 以下 約 25 秒	25Bq/kg 以下 約 30 秒
	10Bq/kg 以下 約 75 秒	10Bq/kg 以下 約 90 秒	10Bq/kg 以下 約 100 秒
遮蔽体	鉛 50mm (30mm オプション)		
自動秤量	標準 (外部接続)		オプション
濃度分布	16 分割 (4×4) 表示	8 分割 (2×4) 表示	なし
試料室内寸	320(W)×240(D)×150(H)mm		
本体寸法	560(W)×550(D)×870(H)mm (キャスター付専用設置台含む)		
本体重量	約 750kg *2	約 720kg *2	約 680kg *2
操作部 (PC)	Windows ノート型 PC 付属 (タッチパネル入力対応 PC はオプション)		
付属品	制御解析ソフトウェア、A4 インクジェットプリンター、精度管理用試料		

\*1: LLD (検出限界値) は、弊社標準物質を用いて算出。試料形状、装置の設置環境と測定時間によって変わります

\*2: 専用架台 (キャスター付)、PC およびプリンター等を含みます。


\*3: レギューム・スーパーおよびスタンダードに搭載

内容は予告なしに変更されることがあります。

試料室	ソフトウェア			報告書
広いスペース 	条件選択画面 	結果判定画面 	濃度分布表示 	個別・CSV 

2016年8月1日改訂

<製造・販売>

 株式会社 テクノエックス

本社: 大阪市東淀川区東中島 5-18-20 〒533-0033

TEL 06-6323-1100 FAX 06-6323-7770

東京営業所: 東京都中央区八丁堀 3-17-13 〒104-0032

TEL 06-6228-3230 FAX 06-6228-3281

福島事業所: 福島県南相馬市小高区飯崎字南原 65-1 〒979-2162

TEL 0244-32-1026

e-mail info@techno-x.co.jp http://www.techno-x.co.jp

# 非破壊（まるごと）放射能測定装置

食品を刻むことなく、まるごと放射能の測定が可能  
放射性セシウムスクリーニング法に対応

非破壊放射能測定装置は、食品に含まれる放射能を非破壊で測定するという  
コンセプトで開発されました。

一般食品に対して20Bq/kg(基準値の1/4以下)を5分で測定できます。




## 特長

- ・測定試料は一般食品が対象
- ・平底容器に試料を入れ、測定ボタンを押すだけの簡単操作
- ・試料を刻むことなくまるごと測定
- ・ $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{134}\text{Cs}$ の放射能を合算測定
- ・放射能が部分的に高いものも判定



## 機 器 仕 様

製 品 名	非破壊式放射能測定装置
型 名	FF1
検 出 器	φ2×2インチ NaI(Tl)シンチレーション検出器 × 7個
分 解 能	7.3%以下 ( <sup>137</sup> Cs 662keV )
測定エネルギー範囲	200keV～2000keV
対 象 核 種	<sup>134</sup> Cs、 <sup>137</sup> Cs(オプションとして <sup>40</sup> K)
測 定 試 料	一般食品
測 定 誤 差	±14%以内 (46Bq/kg、1kgの標準試料に対して)
校 正	<sup>137</sup> Cs 及び <sup>40</sup> Kによるエネルギー校正
検 出 限 界 (放射性セシウムとして) ( <sup>134</sup> Cs、 <sup>137</sup> Cs合算値)	12Bq/kg (試料1kg、5分測定時)
不 均 一 判 定	7つの検出器により放射能分布の不均一さを判定
測 定 時 間	5分
試料計測室サイズ	幅330mm × 奥行き330mm × 高さ220mm
外 形 寸 法	約1240(W) × 720(D) × 830(H)
鉛 遮 蔽 厚	約50mm
鉛 遮 蔽 体 質 量	約600kg
質 量	約750kg
パ ソ コ ン	OS : Windows7 64Bit
印 字 データ	測定日時、放射能濃度、サンプル重量
電 源 電 圧	AC100V ±2% (50/60Hz)
消 費 電 力	1000W以下
動 作 環 境	10℃～35℃ 湿度15～80%(非結露)

 日栄工業株式会社福島工場

福島市下鳥渡字新町西33-1

TEL : 024-545-5692 FAX : 024-544-2728