

Ⅱ. 分 担 研 究 報 告

食品中の放射性物質等検査システムの評価手法の検討

山田 崇裕

平成 30 年度厚生労働行政推進調査事業 食品の安全確保推進研究事業

食品中の放射性物質検査システムの評価手法の開発に関する研究 (H29-食品-指定-012)
研究分担報告書

「食品中の放射性物質等検査システムの評価手法の検討」

研究代表者 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

研究分担者 山田 崇裕 近畿大学原子力研究所准教授

研究要旨

福島第一原子力発電所事故の影響による食品中の放射性セシウム測定について、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、

- (1) 非破壊式装置の性能試験として装置の測定室内における検出効率分布の評価、及び
- (2) 実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測定結果との比較検討、を進めた。その結果、(1) については測定装置 2 機種につき、昨年実施した 1 機種と同様に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、山菜、キノコ等約 115 検体を用いて測定値を比較し、全検体のうち 33 検体のキノコ類を用いて新たに追加した 1 機種の評価を実施した。その結果、山菜類についてもキノコ類と同様に両者間で良好な相関が得られ、非破壊測定でのばらつきや、Ge 検出器による測定結果との大きなずれが山菜類についてもキノコ類と同様の傾向が見られた。新たに追加した 1 機種のキノコ類の測定結果については、Ge 検出器による測定結果と良好な相関が得られた。また、100 Bq/kg に対するスクリーニング検査への適用性について回帰直線の予測区間による方法を用いて検討し、予測区間の上限値が 100 Bq/kg の場合の予想される試料の放射能濃度は 48 Bq/kg となり、現在の試料の前処理を想定した食品中の放射性セシウムスクリーニング法における適用条件をほぼ満足する結果となった。しかしながら、非破壊式装置測定では、いずれの機種においても Ge 検出器による測定結果と大きなずれが観測されており、スクリーニング法の準用にあたっては、試料中の放射性セシウム不均一分布が測定に及ぼす影響の評価を実際の測定条件と同一の条件下で評価し、科学的なデータの下に具体的に適用試料種の選別、測定範囲の詳細な決定を行う必要があると考えられた。

研究協力者 八戸真弓 農業・食品産業技術総合研究機構 食品研究部門食品安全研究領域
食品安全性解析ユニット長

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 γ 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 γ 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おいて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、平成 29 年度より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濃度 50 Bq/kg 超の食品試料を用いて、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証を行ってきた。その結果、非破壊式装置の検出効率の空間分布はほぼ理論通りであることを確認し、非破壊式装置と Ge 検出器との両者の比較測定結果は良好な相関が得られることが明らかとなった。一方で、非破壊測定では真度の低下傾向が観測され、さらに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。このような結果から、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ものの、個別試料の食品衛生法に定められた基準値への適合性の確認に用いるには、試料中の放射性セシウムの分布特性、形状特性などを把握し、より多くの試料を用いたさらなる検討により、測定に適用出来る試料種別や適用条件を明らかにすることが必要であると見込まれた。このような背景から、平成30年度はキノコ類と並び測定・検査のニーズが多い山菜類を検討対象とするとともに、キノコ類についてもさらに試料収集を進め測定の比較検証を行った。また、福島県において試験的利用されている1機種について新たな対象機器として本研究に用いた。

B. 非破壊式放射能測定装置の概要

本研究に用いた非破壊式装置は、自家消費の自家栽培作物や採取した野生の動植物の測定などに用いられている。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[6][7][8]。さらに、検査の効率化・合理化を目的としたこのような装置の利用も試みられている。

γ 線スペクトロメトリーにより食品中の放射能の測定を行うには測定対象となる核種の γ 線のエネルギーに対する検出効率を標準線源によって予め得る必要がある。検出効率は γ 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、検出効率は試料の形状や測定

位置に依存するため、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値であることから、体積中の放射能の分布は均一であることが前提となる。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が、一般に非破壊式装置では複数の検出器配置、大型化による高効率化が図られている。このことは非破壊式装置による測定の信頼性を確保する上で極めて重要となる。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 2π 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 γ 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。測定対象とする試料の種類は様々であり、たとえ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を小さく出来たととしても、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、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放射性セシウムの偏在に対して、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[6]。

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、非破壊式装置の特徴や測定原理を念頭に、表1に示す2機種(レギュームライト及び簡易検査装置)の非破壊式装置の性能試験として(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を行い、表1に示す4機種につ

いて(2)福島県内で採取した実試料を用いて、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「レギュームライト」(形式:FD-08Cs1000-1(仕様は表1参照))及び日立造船(株)製「簡易検査装置」(仕様は表1及び図1参照)、以下Hitz装置という。)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}Cs 検出効率分布について測定により検証した。方法は平成29年度と同様の手法とし、測定点はXY平面に対して図2の点のうち、それぞれの装置の測定室のサイズ内の点を選択して測定した。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30mm毎にそれぞれの装置の測定室の高さサイズ内について分布を取得した。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 0.02gcm^{-3})を重ねて用いた。線源は点状の ^{137}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, 10mm ϕ ×6mmt)を用いた。

(2) 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

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50Bq/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3機種（形式：AFT-NDA2、FD-08Cs1000-1又はFF1）を測定に用いた。また、福島県農林水産部林業振興課より提供されたキノコ類の試料をHitz装置の測定に用いた。Hitz装置は福島県農林水産部林業振興課が、効率的な検査の実施を目的に試運用されているものを用いた。測定は3回～5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、原則として測定の都度、試料の配置の様子を写真に記録することとした。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。昨年度非破壊式装置（そのままはかるNDA）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及び本年度取得した非破壊式装置レギュームライト並びにHitz装置のX軸方向の ^{137}Cs 点線源に対する検出効率分布を図3に示す。図3-1に示した分布は原点での検出効率を1とする相対値とした。図3-2にはX軸正方向に対する検出効率分布の絶対値を示す。図3-1のとおり、直行するX軸において、すべての装置の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。3機種の特性を比較すると、検出器の種類及びサイズがほぼ同じレギュームライトとHitz装置の特性は一致し、これら2機種よりも検出器サイズの大きいそのままはかるNDAは、検出器中心からの距離が大きくなるに従って検出効率が低下する傾向がより他の2機種と比較し緩和される上、より高い検出効率を得られた。

^{137}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Hitz装置による測定値を図4(1)示す。結果は各高さのXY面の原点における検出効率を1とした相対値で示す。図のとおり、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。図4(2)に示す昨年度取得したそのままはかるNDAのデータと比較すると、Hitz装置の検出効率のX方向への変化率はより大きい。このことは検出器サイズの違いによるものと考えられ、同一の試料を両者で測定した場合に、検出器サイズが試料のサイズに対して小さいほど形状変化や放射性セシウムの不均一分布の影響を受けやすいことを裏付ける結果となった。

(2) 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

①山菜試料

ここでは春以降に収穫された山菜類に関する結果を図5に示す。本検討ではレギュームライト及びそのままはかるNDAのそれぞれに12試料及び13試料を用いた。非破壊式放射能測定装置FF1について得られたデータは3試料に留まった。図に示す通り、キノコ類と同様にレギュームライト及

びそのままはかる NDA と Ge 検出器との両者の測定結果は良好な相関が得られ、それぞれの回帰直線 ($y=a+bx$) は、レギュームライト ($a=40.2\pm 87.8$, $b=1.15\pm 0.06$)、そのままはかる NDA ($a=-15.7\pm 37.7$, $b=0.97\pm 0.05$) であった。ただし、Ge 測定値との比が 0.7~1.3 を超えるもの及び濃度が 5000Bq/kg を超えるものは相関分析では外れ値として処理した。このような Ge 検出器の測定結果との大きな乖離は昨年度のキノコ類の測定においても観測された。Ge 測定値との比が 0.7~1.3 を超えたものは、レギュームライト及びそのままはかる NDA のそれぞれで、6 試料及び 5 試料に及んだ。これらは特定の種別の試料に見られた訳ではなく、原因究明及び傾向分析には試料の個別的な放射性セシウム分布の分析、さらに多くの試料の分析を要することが見込まれた。検査におけるこのような試料の取り扱い是非破壊式装置を用いた測定における共通的な課題であることが示唆された。

②キノコ試料

昨年度の報告でレギュームライト及びそのままはかる NDA に関する本検討結果を示した。本年度これらの装置の測定に用いたキノコ類試料は、レギュームライト及びそのままはかる NDA それぞれに対して 9 件及び 17 件であった。本年度は新たに Hitz 装置についてキノコ試料 33 検体を用いて Ge 検出器との測定結果の比較を行った。図 6 に Hitz 装置における測定値の比較結果を示す。図に示すとおり良好な相関が得られ、回帰直線 ($y=a+bx$) は、($a=33.5\pm 11.4$, $b=0.94\pm 0.03$) であった。図 7 に昨年度実施したレギュームライト及びそのままはかる NDA の測定結果[9]及び本年度実施した

Hitz 装置のそれぞれの Ge 検出器による測定結果との差の Ge 検出器による結果との比の分布を示す。これらの結果を比較すると Hitz 装置については他の 2 機種と比較し平均値で 20%程度正のバイアスが見られたが測定値のばらつきは標準偏差 0.22~0.26 でほぼ同等であった。

Hitz 測定に用いた試料の放射能濃度分布は図 8 に示すとおり本検討に用いた試料の約半数の 16 検体が 100 Bq/kg 以下であった。そこで、これらの試料によって食品衛生法に定められた基準値 100 Bq/kg に対するスクリーニング検査への適用性について回帰直線の予測区間による方法を用いて検討した。その結果を図 9 に示す。予測区間の上限値はスクリーニング法の例示に従い 99%とした。図のとおり予測区間の上限値が 100 Bq/kg の場合の予想される試料の放射能濃度は 48 Bq/kg となり、現在の試料の前処理を想定した食品中の放射性セシウムスクリーニング法におけるスクリーニングレベル 50Bq/kg 以上の条件を下回るもののほぼ適用条件を満足する結果となった。ただし、本装置を用いた試験条件は指定の容器に充填した状態によるものである。一般に非破壊式装置の場合には容器、充填量などの指定がなく、測定値のばらつき、ズレの要因は測定試料形状に対する計数効率の見積もりと試料中の放射性セシウムの不均一分布が問題となる。本試験では形状がほぼ固定された条件であるため、実際に検査に適用する際にも同様の措置をとることが前提となることに注意しなければならない。

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、レギュームライト及びHitz装置がそのままはかるNDAと同様に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。本年度評価した2機種の検出器の種類及びサイズは仕様上同じもので有り、そのままはかるNDAにおいて採用されている検出器と比較し、サイズが小さい。このことにも理論的に合致する分布差が観測された。このような異なるサイズの検出器を同じ検査に用い、同等の検査性能を確保するには、検出効率の分布を考慮し、試料を設置する範囲におけるXY平面及び高さZ方向の検出効率の最大差の許容範囲を定めておくことが有効であると考えられる。

(2)の実験においては、山菜の測定においてレギュームライト及びそのままはかるNDAの2機種の非破壊式装置の結果はGe検出器の結果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、昨年度のキノコ試料の結果と同様に非破壊式装置は、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、真度の低下傾向が観測された。また、本年度評価対象としたHitz装置によりキノコ類の測定比較を実施した。その結果、他の2機種と同様に良好な相関が得られた。さらに放射性セシウム濃度100 Bq/kg未満の試料を本装置で測定した結果を用いて、食品衛生法に定められた基準値100 Bq/kgに対するスクリーニング検査への適用性について回帰直線の予測区間による方法を用いて検討した。その結果、現在の試料の前処理を想定した食品中

の放射性セシウムスクリーニング法におけるスクリーニングレベル50Bq/kg以上をやや下回るもののほぼ適用条件を満足する結果となった。3機種のキノコ類の測定における3~5回の繰り返し測定における相対標準偏差はほぼ同等であったことから、レギュームライト及びそのままはかるNDAについても同様にスクリーニング検査への適用性について100Bq/kg未満の試料によって回帰直線の予測区間による方法によって評価すればHitz装置と同等の性能が得られることが予測される。ただし、本装置のスクリーニング法の準用にあたっては、実際の測定条件と同一の条件下でこれらの評価をするとともに、これまでの結果からも試料中の放射性セシウム不均一分布が測定に及ぼす影響の評価に基づく適用試料種の選別、測定範囲などの詳細な適用条件及び運用基準を科学的なデータによって定めることが検査の信頼性確保の観点で必須であると思われる。それぞれの装置は試料種別、量によって放射能分析に用いるパラメータを変える設計となっている。このような計算アルゴリズムを考慮し、評価基準を定める必要があると思われる。

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> (2019/3/31 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] 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)

[7] 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.adfotec.com/image/pdf/Catalog_160108-2_AFTNDA2.pdf

[8] 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

[9] T. Yamada, Keisuke Soga, Mayumi Hachinohe and Akiko Hachisuka, PERFORMANCE EVALUATION OF THE EQUIPMENT FOR MEASURING RADIOACTIVITY IN WHOLE FOODSTUFFS WITHOUT DESTRUCTIVE SAMPLE PREPARATION DEVELOPED AFTER THE FUKUSHIMA NPP ACCIDENT. *Radiation Protection Dosimetry*, ncz112, <https://doi.org/10.1093/rpd/ncz112> (2019)

F. 研究発表

1. 論文発表

[1] T. Yamada, Keisuke Soga, Mayumi Hachinohe and Akiko Hachisuka, PERFORMANCE EVALUATION OF THE EQUIPMENT FOR MEASURING RADIOACTIVITY IN WHOLE FOODSTUFFS WITHOUT DESTRUCTIVE SAMPLE PREPARATION DEVELOPED AFTER THE FUKUSHIMA NPP ACCIDENT. *Radiation Protection Dosimetry*, ncz112, <https://doi.org/10.1093/rpd/ncz112> (2019)

2. 学会発表

[1] 山田 崇裕, 蜂須賀 暁子, 曾我 慶介, 非破壊式食品放射能測定装置を食品中の放射性物質測定手法の評価 第55回アイソトープ・放射線研究発表会, 2018/7 東京

[2] T. Yamada, Keisuke Soga, Mayumi Hachinohe and Akiko Hachisuka, PERFORMANCE EVALUATION OF THE EQUIPMENT FOR MEASURING RADIOACTIVITY IN WHOLE FOODSTUFFS WITHOUT DESTRUCTIVE SAMPLE PREPARATION DEVELOPED AFTER THE FUKUSHIMA NPP ACCIDENT. 9th International Conference on High Level Environmental Radiation Areas, 2018/9 Hirosaki, Japan

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(Tl) 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)
簡易検査装置	—	CsI(Tl) ϕ 11.0 x 2.5cm	鉛 50mm	日立造船 (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®
GC2520- 7500SL- 2002CSL	27.5%	1.72 keV	2017年2月9日	米国 Mirion Technologies 社 (CANBERRA)



図1 日立造船（株）製 簡易検査装置の外観

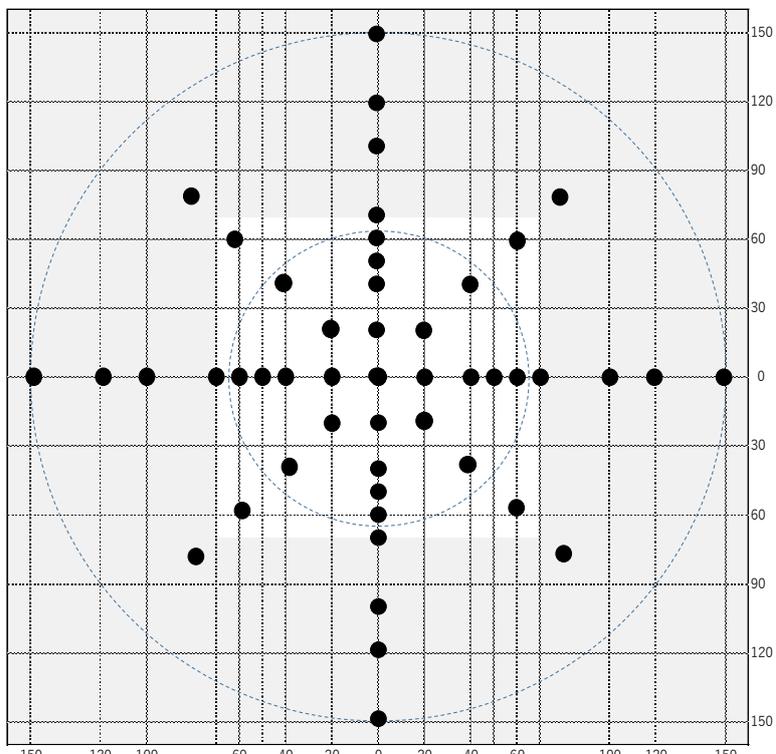


図2 点線源による、高さ0cmにおける水平面の測定点（検出器中心を $(x,y) = (0,0)$ とした）

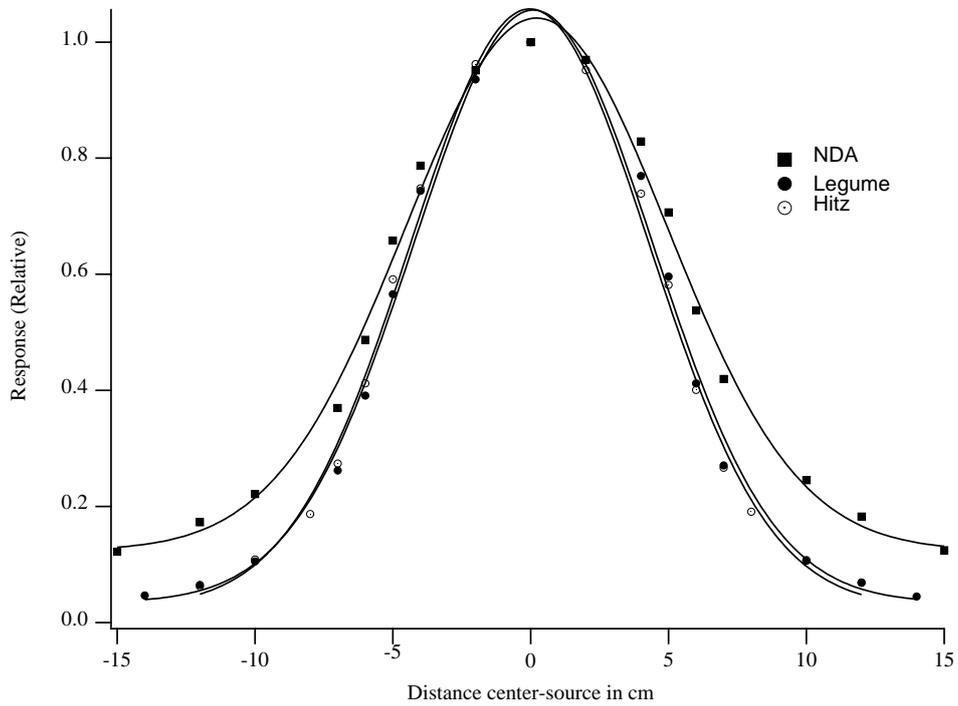


図 3-1 Z=0 の X-Y 平面における X 軸における検出効率に対する相対検出効率 ■：そのままはかる NDA、●：レギュームライト、○：Hitz 装置。実線は各測定点の回帰曲線（ガウス関数）

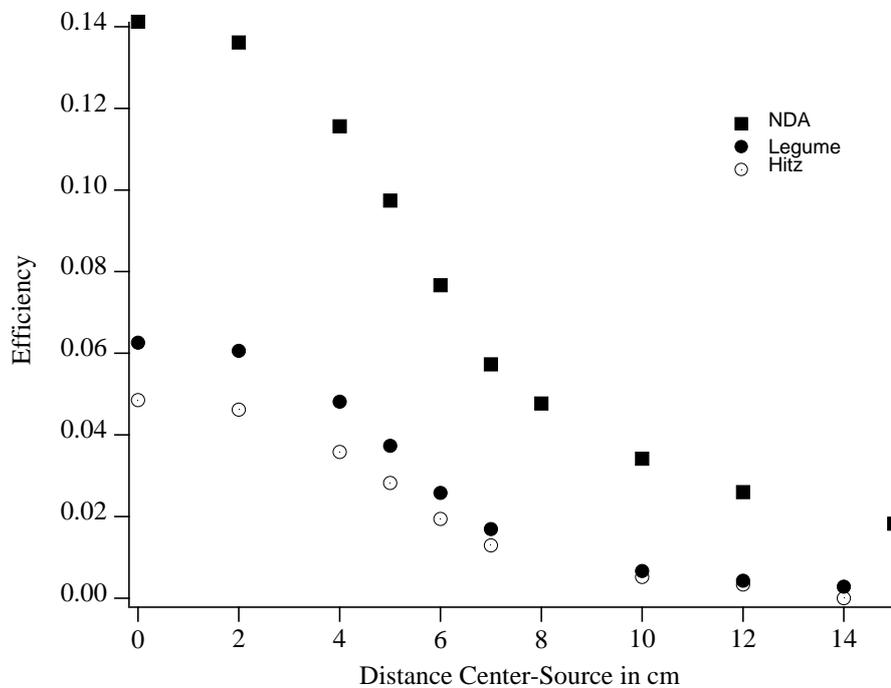
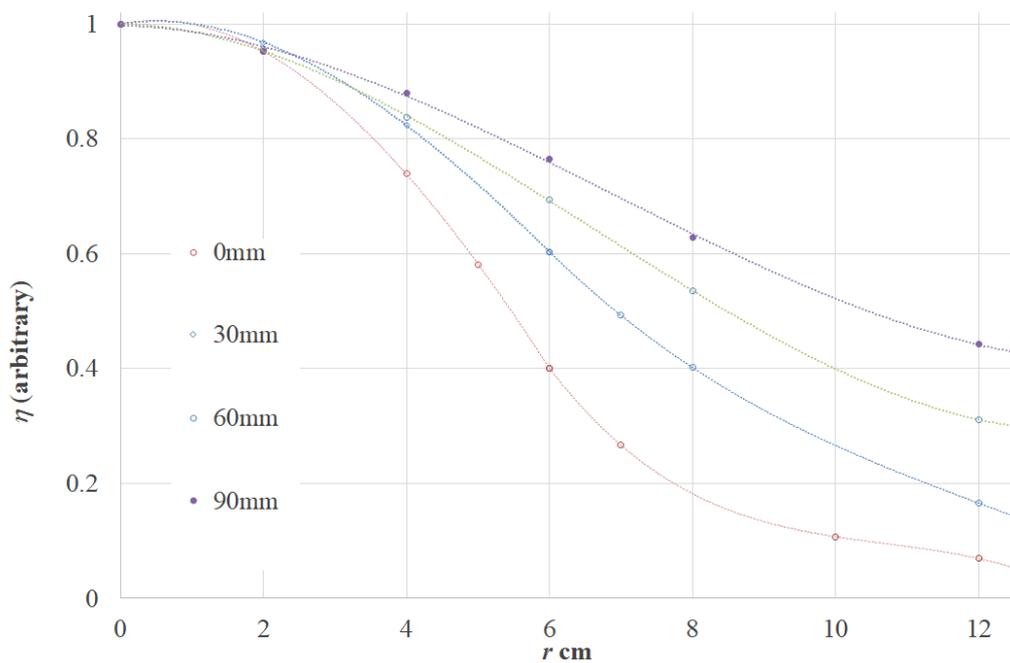


図 3-2 Z=0 の X-Y 平面における X 軸 (X≥0) における検出効率に対する検出効率（絶対値） ■：そのままはかる NDA、●：レギュームライト、○：Hitz 装置。

(1)



(2)

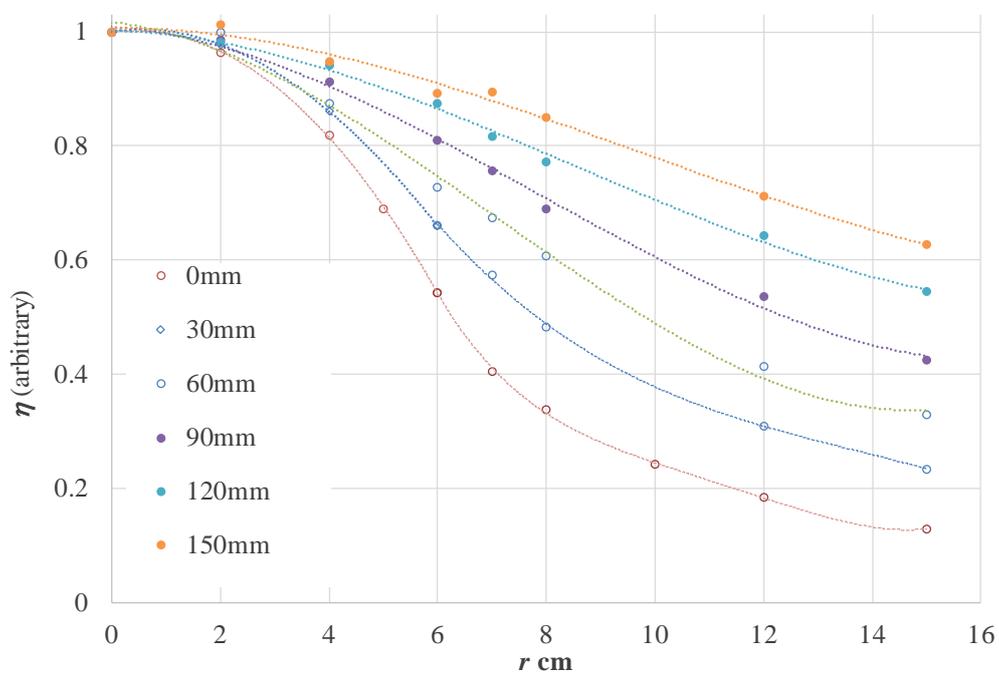
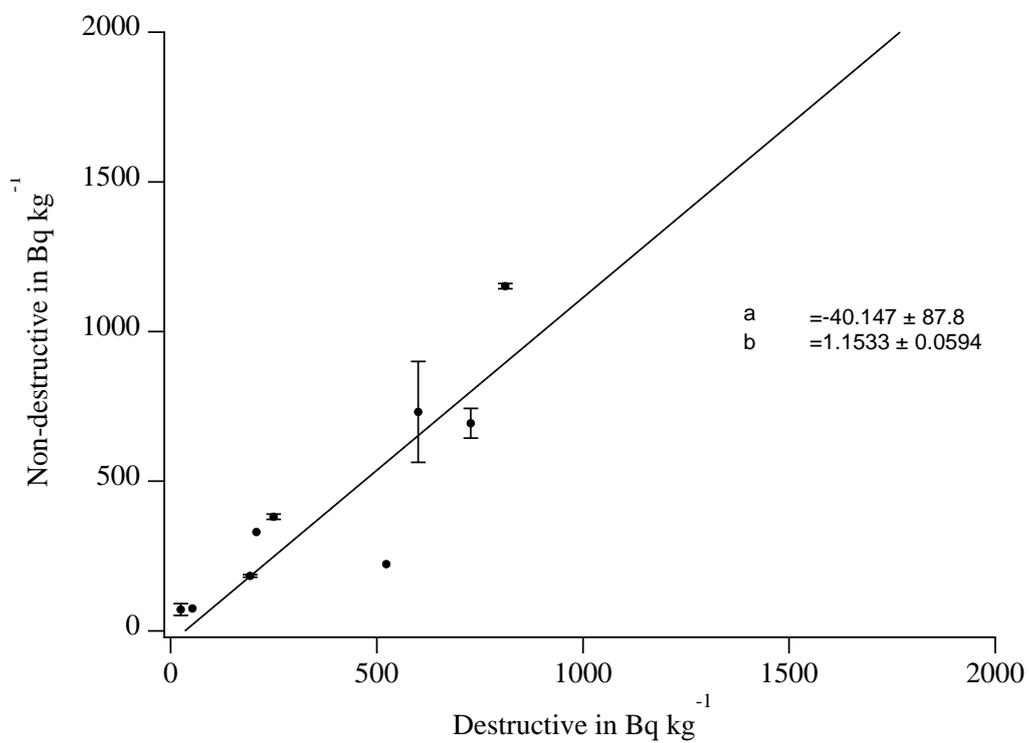
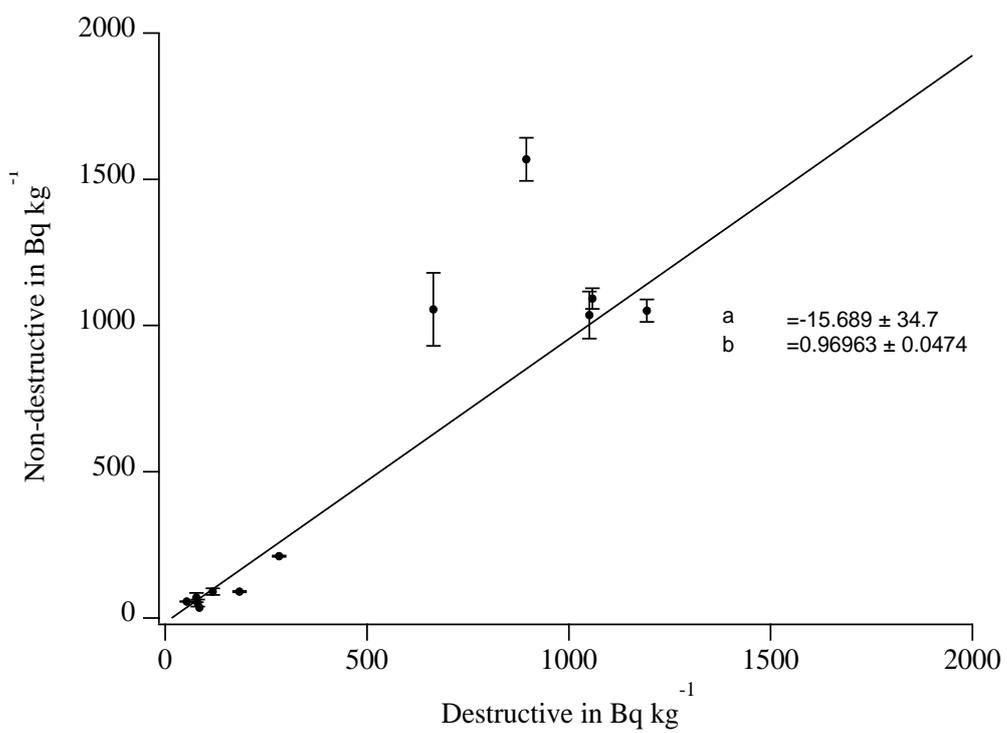


図4 X軸正方向 r 、Y軸方向 0、高さ h の座標 $(r,0,h)$ における ^{137}Cs 点線源検出効率 $\eta(r,0,h)$ (1)Hitz 装置 (2)そのままはかる NDA

(1)



(2)



(3)

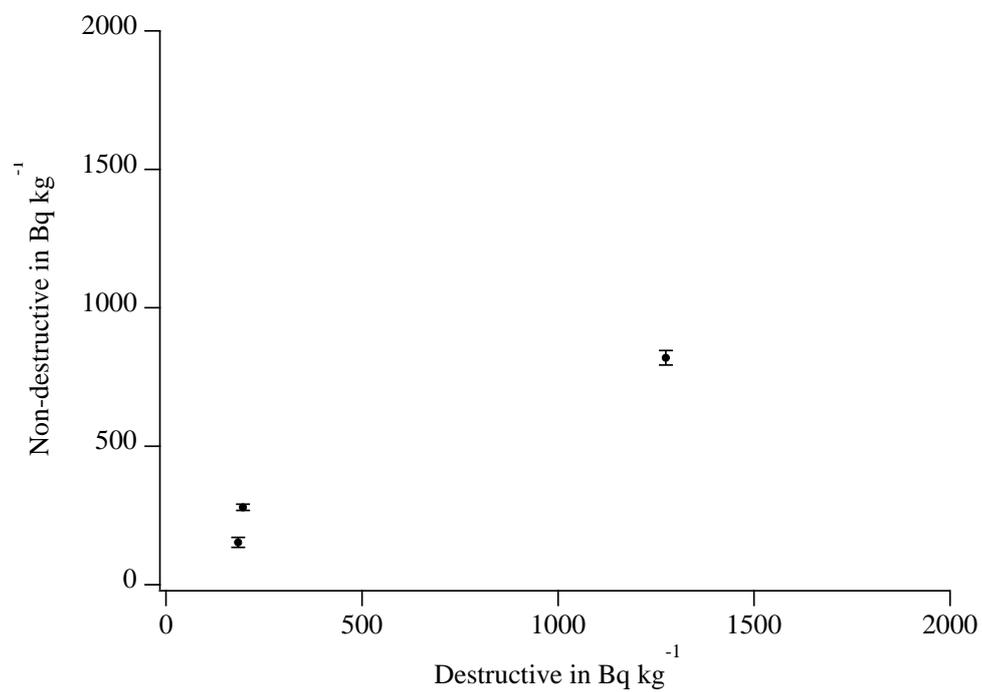


図5 非破壊による測定値と Ge 検出器による分析結果の相関 (1) レギュームライト (2) そのままはかる NDA (3)非破壊式放射能測定装置 FF1
試料：山菜類

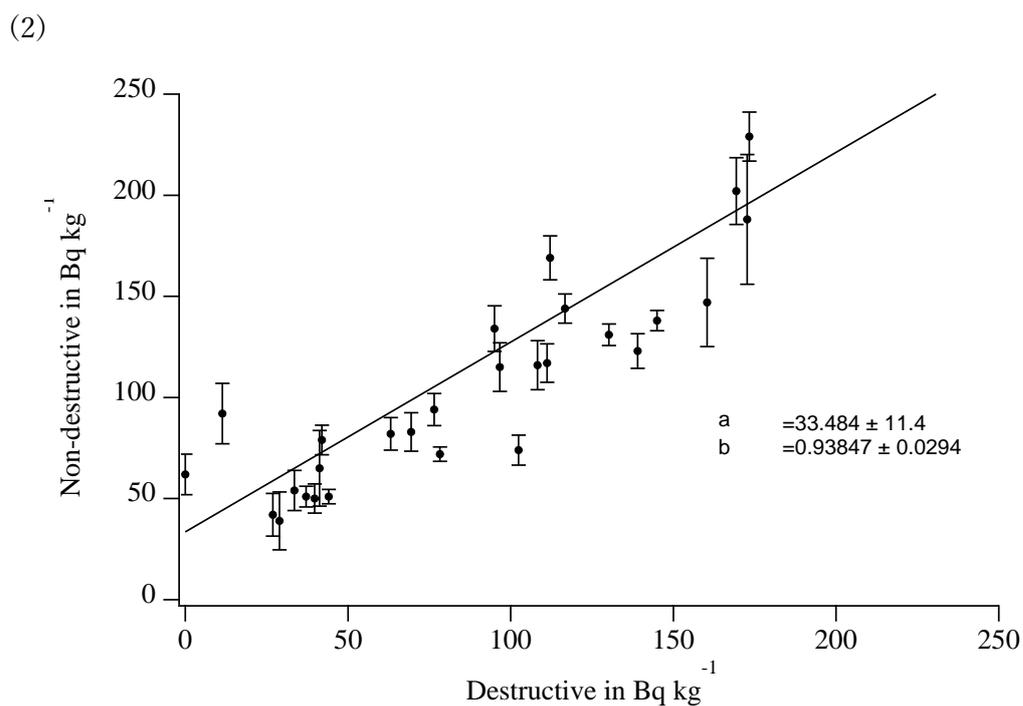
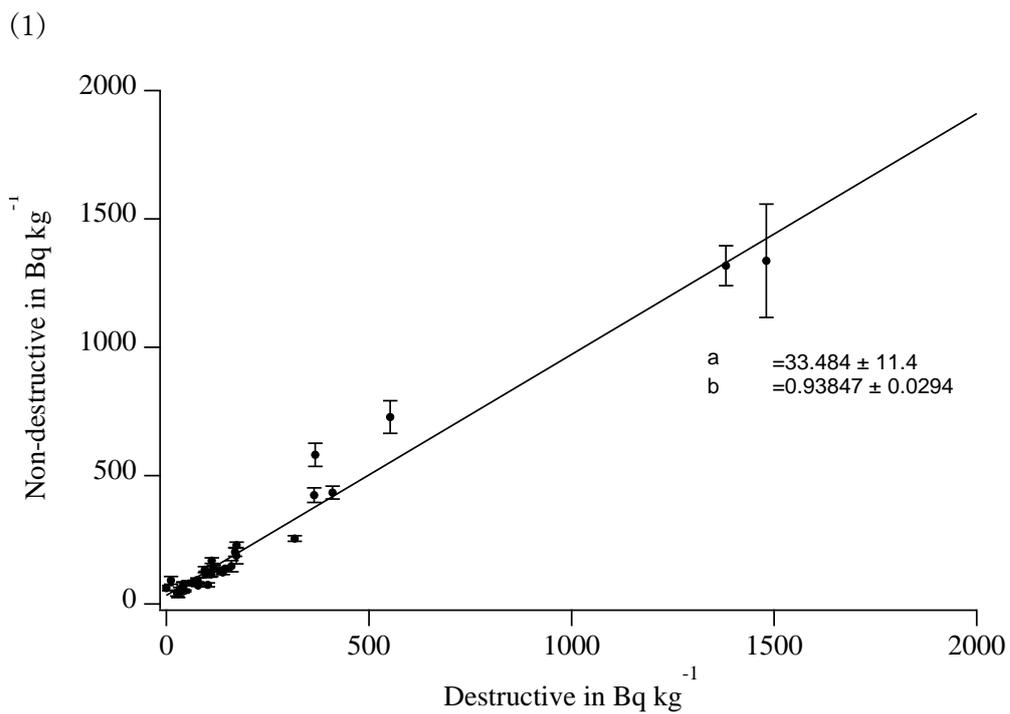
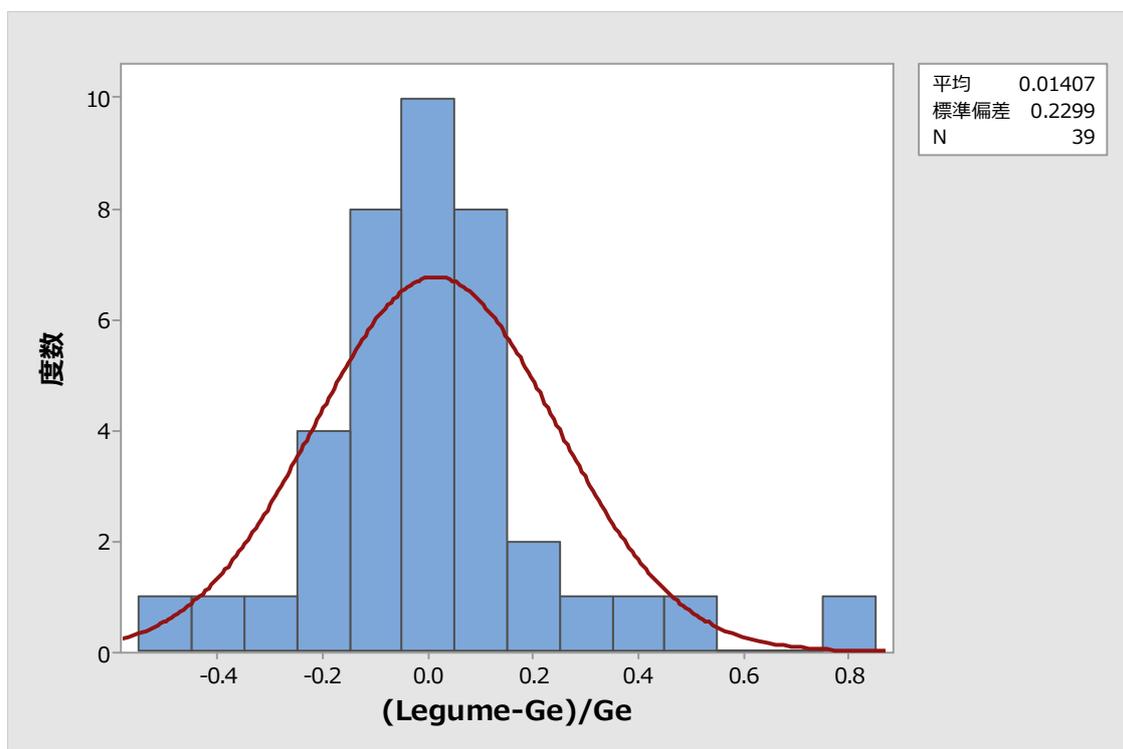


図6 非破壊による測定値と Ge 検出器による分析結果の相関 (Hitz 装置)

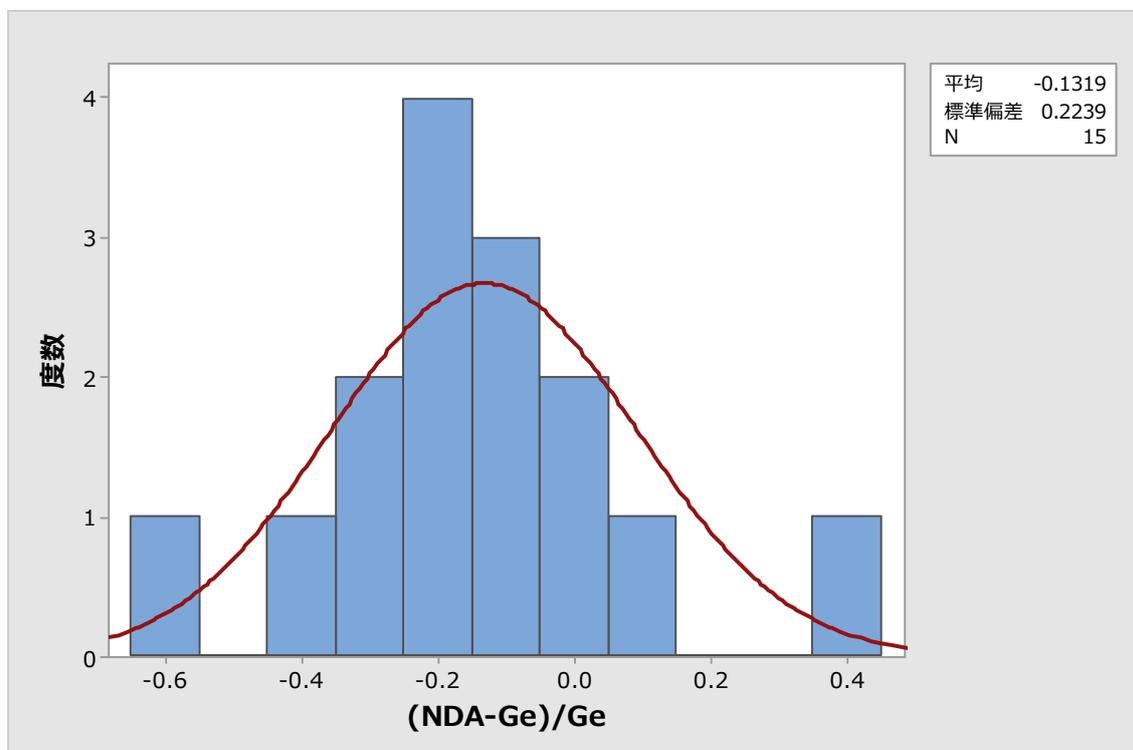
(2)は(1)の 100~250 Bq/kg の範囲を拡大表示したもの

試料：きのこ類

(1)



(2)



(3)

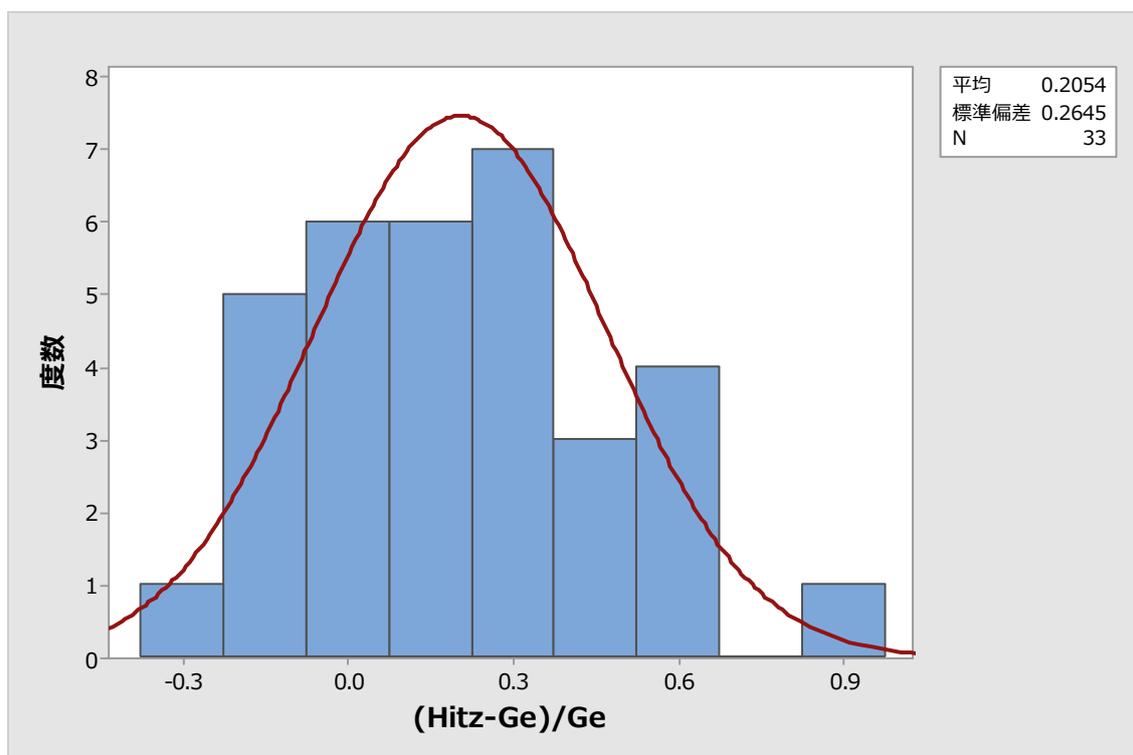


図 7 非破壊式装置の測定結果と Ge 検出器による測定結果の差の Ge 検出器による結果との比の分布 (1) レギュームライト (2)そのままはかる NDA (3)Hitz 装置

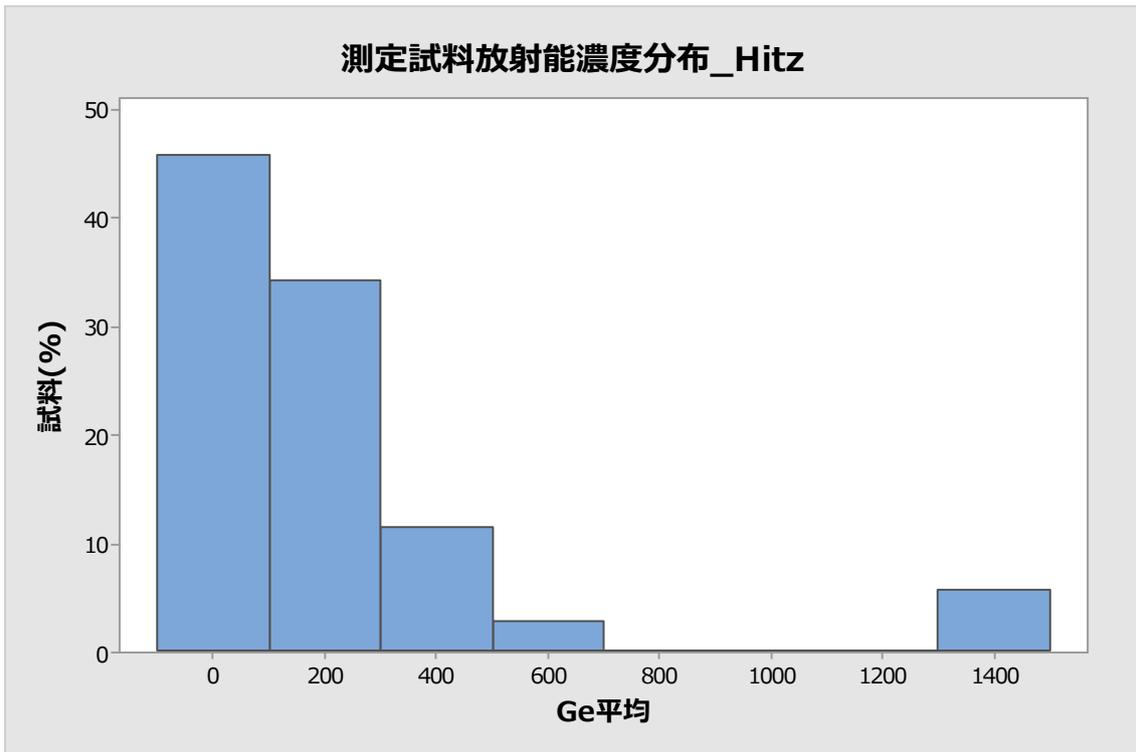


図8 Hitz 装置の測定に用いた試料の放射性セシウム濃度の分布

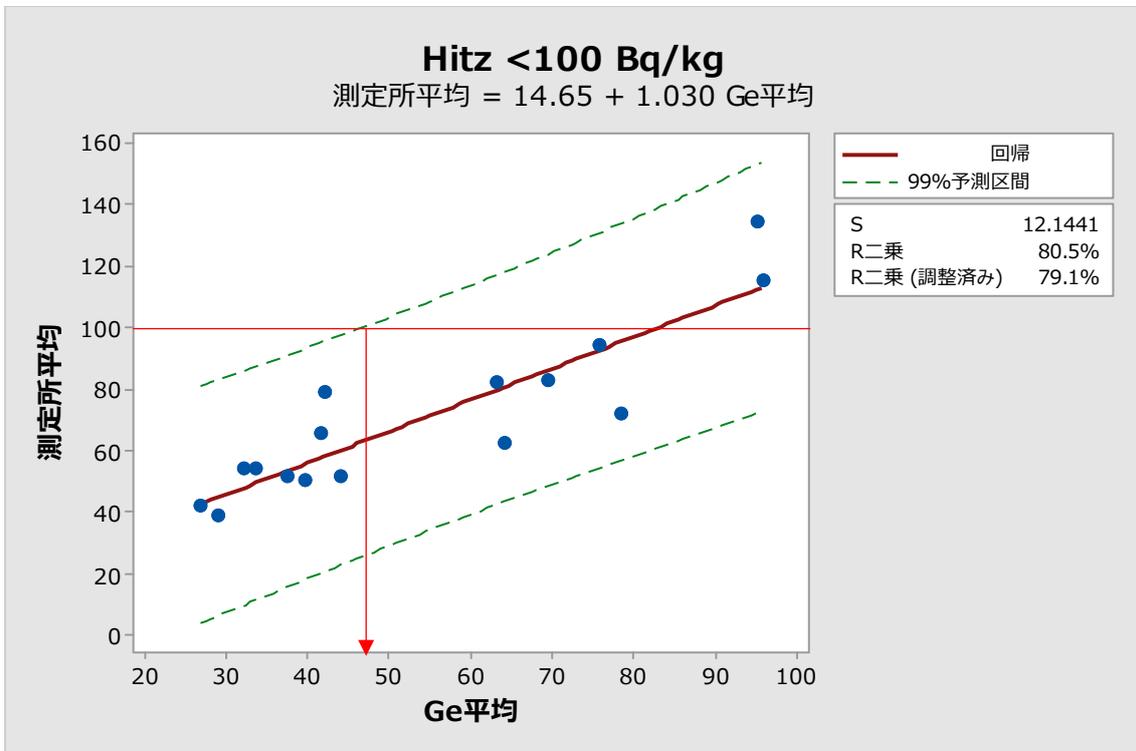


図9 放射性セシウム濃度 100 Bq/kg 未満の試料の Hitz 装置による測定によって得た回帰曲線と 99%予測区間

