

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

令和元年度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検査システムの評価手法の開発に関する研究
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代謝生化学部第一室長

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、同一の実試料を用いて3つの異なる機種の子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主に進めた。本研究では野生キノコ約170検体を用いて測定値を比較した。この結果、平成30年度までに得られた結果と同様にいずれの機種についても両者間で良好な相関が得られたものの、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ずれについてもこれまでとほぼ同様の傾向が見られた。ただし、3機種のいずれもGe検出器の測定結果よりも低めに評価（回帰直線の傾き（Ge/非破壊） $\approx 0.68\sim 0.78$ ）された。さらに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を評価した。その結果、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であるスクリーニングレベル下限50 Bq/kgを満足したものの、本結果は暫定的にそれぞれ回帰直線の傾きを考慮して補正の上評価して得たものであり、このような評価手法の妥当性の観点からは各装置の放射能濃度への換算係数評価手法の信頼性検証に関して課題を残した。スクリーニング法の準用にあたっては、換算係数（校正定数）にあたるこの傾きの真度に与える影響評価、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、具体的に適用する試料種を選別し、測定範囲の詳細な決定を行い、科学的根拠に基づく評価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

熊田 淳 福島県林業研究所 副所長

山田 寿彦 福島県林業研究所 主任研究員

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 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、可食部の放射能濃度を評価する必要がある。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。平成 30 年度は、キノコと同様にニーズの高い山菜類を対象とした検証を行い、キノコ類と同様に 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た。また、キノコ類について実際に基準値への適合性の確認への適用性を検証するため、放射性セシウム濃度 100 Bq/kg 未満の試料を測定した結果を用いた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子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 50 Bq/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。ただし、この結果は容器に試料を詰めて測定した結果に基づくものであった。非破壊式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など、試料の特性を把握し適用試料種の選別、測定範囲などの詳細な適用条件及び運用基準をより多数のサンプルを用いた実測データや科学的根拠に基づき定めることが検査の信頼性確保の観点で必須であることが見込まれた。このような背景から、令和元年度は実際に検査の対象候補である野生キノコ類を中心に試料収集を進め、想定する実際の検査と同じ条件での測定の比較検証を行った。ま

た、これまでは機器毎に評価に用いる試料が異なっていたが、比較性を考慮して、本年度は同一の試料を異なる 3 機種で測定を行った。

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、自家消費費用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]。本装置では試料の前処理を行わず、比較的大量の試料を一度に測定できる、試料を出荷形態のまま測定できる、といった利点から、検査の効率化・合理化、出荷前の全数検査を目的とした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、大型化や複数検出器の

利用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、検出器が十分に大きい場合、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分布の偏在に対して、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措置される装置もある[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—検出器間の大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。

なお、各装置に備わったこのような放射能測定のアプローチはそれぞれ異なり、原則その詳細は公開されていないことから、本研究では各装置の取扱説明書に従った操作と得られる出力値による評価を行った。

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 3 機種の子非破壊式装置を用いて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。また、本研究では非破壊式装置を用いた測定に影響を及ぼすと考えられる試料中の放射性セシウム不均一分布について、試料固体中の分布状況を把握するためのイメージングプレート (IP) を用いた手法についても検討した。

非破壊式装置を用いた研究では、福島県

内で採取された野生キノコ類 43 種類を測定対象とした。図 1 に本研究に用いたキノコ試料の種別と検体数を示す。表 1 に用いた非破壊式装置(形式:FF1、AFT-NDA2 及び Hitz)を示す。測定に用いた検体数は FF1、AFT-NDA2 及び Hitz それぞれについて 171、155 及び 162 であった。装置はすべて福島県林業研究所内の一室に設置した。測定は 5 回、その都度試料を混合、配置換えを行って実施した。ただし、この作業は通常の測定作業で起こりうる範囲で林業研究所の測定員が実施した。試料はその全体形状を把握するため写真に記録した。平成 30 年度は装置の測定室内に配置した様子を上面から撮影したが、この場合、検出器と水平な面における試料の広がりには把握できるものの、垂直方向の試料の積み上げ高さの把握は困難であったため、今回は卓上で試料上面及び側面から撮影した。非破壊式装置による測定を行った試料は、福島県農業総合センターに依頼し、校正済みの 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]に準じて実施することとした。

試料中の放射性セシウム分布の把握イメージングプレート (IP) を用いた手法の検討では、福島県内で採取されたしいたけ 7 個を用いた。本研究では試料を乾燥させ個々の試料を、毛様体表面から垂直に約 5 ~7.5 mm の厚さにスライスし、試料を IP 上に配置し露光させ、読み取り装置で放射線画像を取得、画像解析ソフトにより放射性セシウム分布の定量化を試みた。

D. 実験結果及び考察

(1) 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

図 2 に図 1 に示した各試料の Ge 検出器による測定値(放射能濃度)の分布図を示す。200 Bq/kg 以下の濃度範囲の拡大図も併せて示した。前項で本検討に用いた試料の種類と検体数を示したが、図 2 の通り各試料の放射能濃度分布は様々でこれらの中には実際に Ge 検出器の測定によって検出限界以下のものも含まれていた。また、検出されても非破壊式装置の検出限界を下回るものも見られた。図 3 に今回用いた検体のうち、10 Bq/kg を超える試料の種別とその数を示す。試料種別数は 39 種、総数 129 であった。各非破壊式装置と Ge 検出器による測定結果の比較を図 4-1, -2, -3 に示す。ここで非破壊式装置の結果は 5 回平均値とした。ただし、5 回の測定のうち、検出限界以下の結果であったものは除いて処理した。AFT-NDA2 及び Hitz 装置については、これまで平成 30 年度までに得られた結果と同様に Ge 検出器と非破壊式との結果は高い精度 ($R^2 = 97 \sim 98\%$) で回帰直線が得られた。FF1 は昨年度までも検証対象の装置としていたが、検証のための十分な試料数が得られていなかった。今回の検証によって FF1 についても他の 2 機種と同様に良好な相関関係を示すことが確認できた。一方で、これまでと同様に適合値との比較的大きなずれを示す測定結果も観測され、99% 予測区間を超えるものも見られた。また、全体として濃度が 3000 Bq/kg を超える比較的高い領域で相対的なずれのばらつきの程度が大きい傾向が見られた。これは試料全体中の各個体の濃度差がより大きいことが 1 つの要因と考えられる。しかしながら、本

検討では個々の試料内の放射性セシウム分布は調査していないため、実際のずれの定量的な検証は困難である。図 5-1, -2, -3 に非破壊式装置における複数回測定の変動係数と試料の放射能濃度との関係を示す。放射性壊変のランダム性に伴うばらつきは放射能濃度ではなく個別の試料の重量と濃度から得られる放射能に依存するため、本来、濃度ではなく放射能に対する評価が正しいが、ここでは試料重量の範囲が一定の範囲内にあることなどを前提に濃度との比較を行った。これらの図に示されたように測定のばらつきは濃度にほぼ依存し、低濃度領域では濃度が上昇するに従いばらつきが小さくなっていることは、そのばらつきの要因は放射性壊変の統計変動が支配的であることによることを示唆するものであった。一方で全範囲にわたって変動係数の大きい結果が散見された。特に放射性壊変の統計変動による変動係数が小さくなる濃度の高い領域では、その逸脱が視覚的に図から確認できる。このような場合にはこのばらつきは試料に起因する不確かさが支配的であることが見込まれた。図 4 により観測された適合値とのずれの要因は試料の不定形性による検出効率の見積り誤差の他に、このような試料に起因する大きなばらつきもその要因の一つであると本結果から明らかになった。また、今回の結果では 3 機種それぞれの回帰直線の傾きは、FF1、AFT-NDA2 及び Hitz それぞれに対して、0.78, 0.68 及び 0.76 といずれの非破壊式装置の結果も Ge 検出器の結果よりも低めの評価となる傾向が見られた。特に AFT-NDA2 は平成 30 年度までの測定で得られた結果(傾き 0.92 [9])と大きく異なる結果となった。

それぞれの装置では、換算係数は試料の種別や形状の選択及びその質量から見積もられることとなる。従って、個々の測定データで検査者により選択された換算係数に関連するパラメータが適切、かつ各装置のパラメータ設定が適正であれば、本結果の傾きは試料の種別には依存せず一定となることが見込まれる。図 6-1, -2, -3 は各装置の試料品目種別に回帰直線を得た結果を示す。品目は有効なデータ数が比較的多いコウタケ、サクラシメジ及びカワムラフウセンタケとした。図に示す通りコウタケ、サクラシメジはほぼ傾きは一致した。カワムラフウセンタケについては測定値のばらつきが他と比較し大きく、傾きが異なって見えるが、これらの傾きへの影響はいずれも P 値が 0.4~0.9 であり統計的な有意差はなかった。換算係数は試料の形状や密度に依存するため、品目による違いが見込まれるが、より高精度な品目別の個別的検証には、実際に各装置で評価された換算係数の把握と、試料種別毎により多くの試料を用いた検証による必要があると考えられた。

本研究では 100 Bq/kg 以下の試料のデータによって、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も回帰直線の予測区間による方法を用いて検討した。図 7 に測定に用いた試料のうち 10 Bq/kg を超え 100 Bq/kg 以下の試料を示す。評価に用いた試料種別数は 22、検体数は 53 であった。検討結果を図 8-1, -2, -3 に示す。各図中の垂直赤線はスクリーニングレベル (50 Bq/kg) を示し、水平赤線はそれぞれスクリーニングレベル相当の非破壊装置指示値(下)と予測区間上限相当の指示値(上)を示す。予測

区間の上限値は通常の試料の前処理を行う手法に適用するスクリーニング法の例示に従い99%とした。50 Bq/kg 相当の各装置におけるスクリーニングレベルと99%予測区間の上限値の非破壊装置の指示値を表2に示す。ただし、先に示したとおりすべての試料の測定結果より得た回帰直線は0.60, 0.49, 0.77といずれも非破壊式装置の結果が、Ge検出器の結果よりも低めの評価となる傾向が見られ、かつ100 Bq/kg以下の試料で得た回帰直線は全試料で得た回帰直線より緩やかになる傾向がより顕著であった。従って非破壊式の指示値相当のスクリーニングレベルの99%予測区間の上限値は、このことを考慮し、非破壊式で得られる測定値を回帰式によりGe検出器による測定値相当に換算して評価した。その結果、換算したスクリーニングレベル50 Bq/kgに相当するスクリーニングレベルの99%予測区間の上限値は、FF1、AFT-NDA2及びHitzに対して、90、98及び84 Bq/kgといずれも100 Bq/kgを下回る結果となり、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の適用条件を満足する結果となった。また試料毎の検証としてデータ数が7で最多であったマツタケについて解析した結果を図8-4に示す。この結果得られた99%予測区間上限の換算値は89 Bq/kgで図8-1に示した結果とほぼ同じ結果が得られた。この7試料の検体質量は248 g～800 gの範囲にあった。また、非破壊式測定の数回測定における変動係数(C.V.)は0.10～0.23であった。本結果は、このような条件が測定対象とする試料と合致するものであれば、本試料で得られたスクリーニングレベルでの検

査が、信頼性が確保された上で成立させることが出来ることが期待されることが見込まれるものであった。また、図9-1,-2,-3に各装置による濃度200 Bq/kg以下の検体の測定結果と50 Bq/kgに相当するスクリーニングレベルを示す。本結果では、いずれの装置においても100 Bq/kg超の検体についてスクリーニングレベル以下となるケースは確認出来なかった。このような検証は今回の測定により得た条件での偽陰性の発生が十分に抑制されていることを示す重要なデータとなりうるとともに、評価の手法として有効であると考えられる。

なお、図8は5回測定の結果による結果を示したが、2回目～5回目の4回測定の平均、3回目～5回目の3回測定の平均、4回目～5回目の2回測定の平均、5回目の1回測定値を用いた同様の解析結果を参考図1-1,-2,-3に示した。

(2) 試料固体中の放射性セシウム分布の把のためのイメージングプレート(IP)を用いた手法の検討

本検討で得られたIP画像を図10に示す。図に示す通り7つのサンプルすべてで、乾燥しいたけ内の放射能の分布は均一ではなかった。本結果ではしいたけの笠部の端により高く局在することが分かった。画像解析ソフト(ImageQuant TL、GEヘルスケア)を用いて、放射能が多く局在している端と中央部の強度を分析した結果、個々の椎茸の端部と中央部の放射能差は約2.8～27倍の差が見られた。また、試料1(DM1)と5(DM5)の試料内全体の分布状況の解析結果を図11に示す。これらの結果から乾燥したシイタケのそれぞれの放射性セシウ

ムの内部分布パターンが異なる可能性があること示唆した。

E. 結論

本研究では、3種の異なる機種の子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、野生キノコ試料を用いて行った。その結果、いずれの機種も Ge 検出器による測定結果と良好な相関が得られた。ただ、それぞれの回帰直線の傾きは、FF1、AFT-NDA2 及び Hitz それぞれに対して、いずれも非破壊式装置の結果が、Ge 検出器の結果よりも低めの評価となる傾向が見られた。試料の前処理を前提としたスクリーニング法においては、負のバイアスは回避する必要がある。従って本結果のように回帰曲線の傾きが 1 を下回ることは原則許容されない。このことは放射能濃度への換算係数の適正化等により対処が必要となる。また、回帰式の y 切片が負の値をとることも同様に負のバイアスを意味する。この影響は、放射能濃度が低いほど相対的に影響が大きくなることに注意しなければならない。本結果ではいずれの装置でもスクリーニング法の性能要件は満足する結果であったが、本法は適切な校正による換算係数が得られていることが前提条件となっており、今回得られた回帰直線による換算が同法で必ずしも許容されているわけではない。今後、本データなどを基に実際に各装置で評価されている換算係数が検証され適正化されることが望まれる。

従前の結果より、非破壊式の測定では、試料の不定形性、試料中の放射性セシウムの不均一分布に起因する比較的大きなずれやばらつきが観測され、本結果でも同様の傾向がみられる。検査の信頼性を確保するに

は、このような例について個別的な詳細検討を行い、測定により起こりうるばらつきの範囲を評価する必要があると考えられる。そのためにより多くの試料の測定が求められる一方で、種別毎に多数の試料を取集するのは実際に容易ではない。また、高い優先度で検査対象の候補とされることが想定される試料は、そもそも試料の放射能濃度が低い(検出限界以下を含む)ものが多い実態もあることがわかり、十分な数の実測データ収集を阻害する要因となりうる。従って、実際の検査への適応にあたっては、対象試料の範囲を決め、実試料の実測を基本としつつ、試料種別固有の放射性セシウム分布特性を本研究で示したイメージングプレートを用いた手法などにより把握し、大きさ、形状の違いの幅を決め、その想定する範囲が装置の検出効率に及ぼす影響を計算や放射能が既知のファントム試料によって評価するなどの手法を取り入れることで実試料測定データの不足を補い、検査で起こりうる測定のみらつき範囲を科学的根拠として適用基準を決定することが有用と考えられた。

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> (2020/3/31 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.adfutek.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*, Vol. 184, Issue 3-4, October 2019, Pages 355–358

F. 研究発表

1. 論文発表

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*, Vol. 184, Issue 3-4, October 2019, Pages 355–358
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56回アイソトープ・放射線研究発表会, 2019/7 東京

[2] T. Yamada, A. Hachisuka, K. Soga and Hachinohe, Adaptability evaluation of the food screening without destructive sample preparation to ISO 19581. 5th International Conference on Environmental Radioactivity, 2019/9

[3] M. Hachinohe, T. Yamada, A. Hachisuka, K. Soga, S. Horii, T. Miura Localization of radioactivity in dried shiitake mushrooms (*Lentinula edodes*). 5th International Conference on Environmental Radioactivity, 2019/9

[4] 友岡 弓乃, 山田 崇裕, 山西 弘城, 稲垣 昌代, イメージングプレートを用いたきのこ中の放射性セシウム分布測定とその定量解析に関する検討, 日本保健物理学会第52回研究発表会, 2019/12 仙台

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
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)
そのままはかる NDA2	AFT- NDA2	NaI(Tl) φ 12.7x12.7cm	鉛 35~ 50mm	(株)アドフューテック
簡易検査装置	Hitz	CsI(Tl) φ 11.0 x 2.5cm	鉛 50mm	日立造船(株)

表2 非破壊式装置のスクリーニングレベル及び99%予測区間上限評価結果

	FF1	AFT-NDA2	Hitz
スクリーニングレベル 50Bq/kg 相当の指示値 Bq/kg	46	41	44
99%予測区間の上限 Bq/kg	70	65	70
スクリーニングレベル 50Bq/kg 相当の換算値 Bq/kg	50	50	50
99%予測区間の上限の換算値 Bq/kg	90	98	84

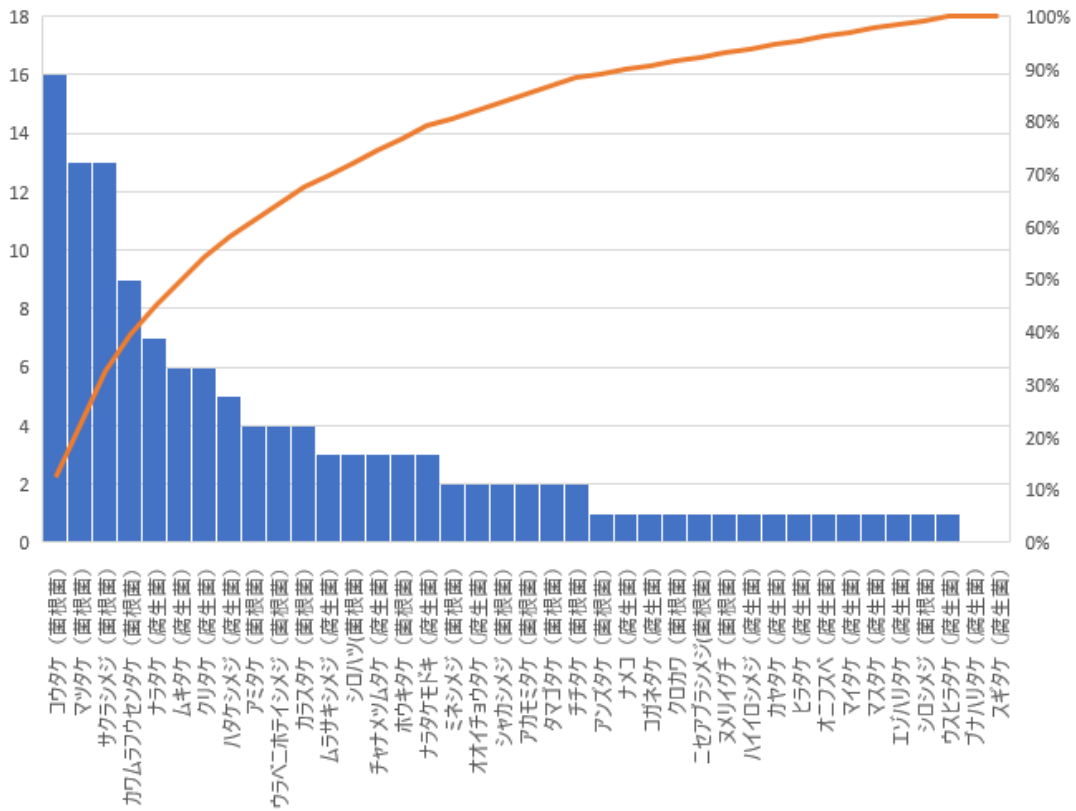


図 1 測定に用いた野生キノコの種別と各検体数

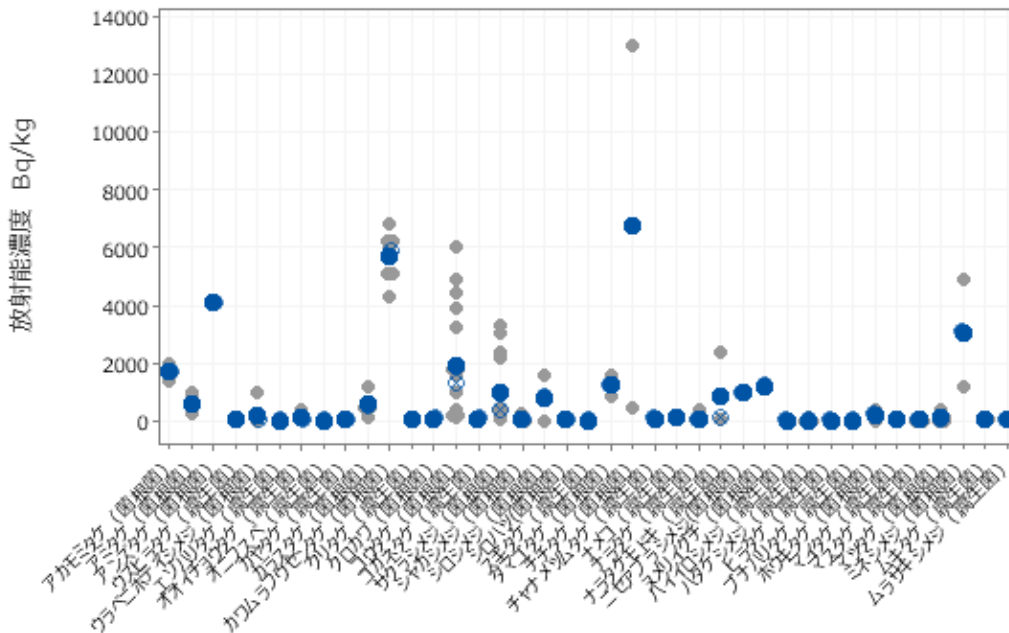


図 2-1 測定に用いたキノコの種別毎の濃度分布(個別値のプロット) ●中央値 ⊗平均値

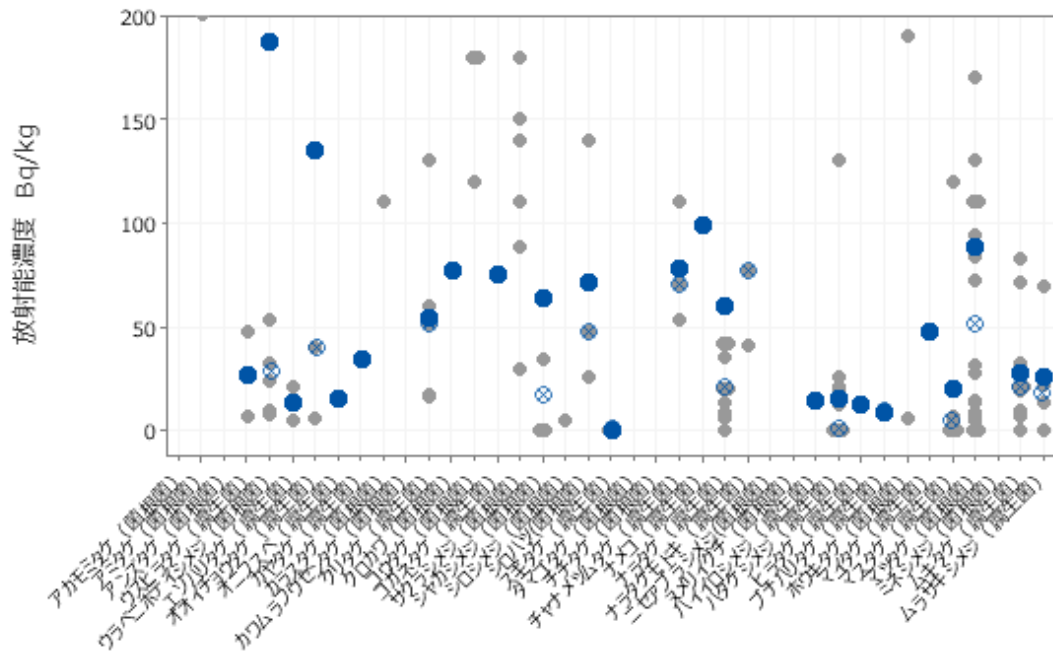


図 2-2 測定に用いたキノコの種別毎の濃度分布(個別値のプロット) ●中央値 ⊗平均 (濃度< 200Bq/kg の拡大表示)

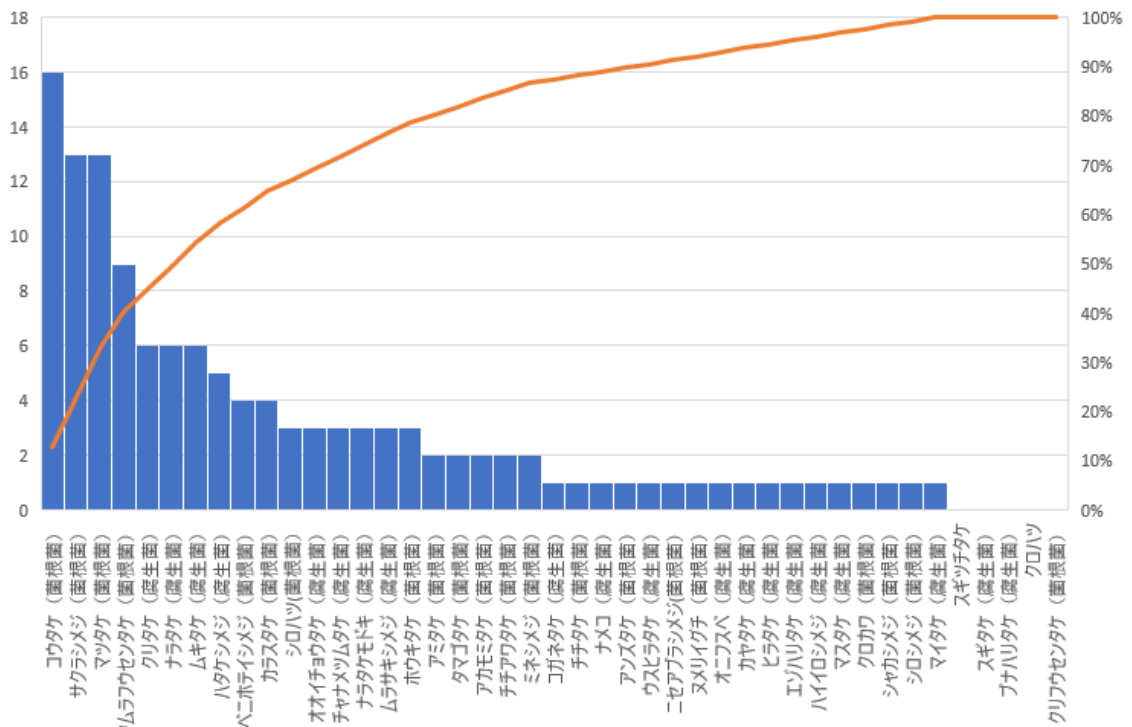


図 3 測定に用いたキノコの種別と各検体数 (≥10 Bq/kg)

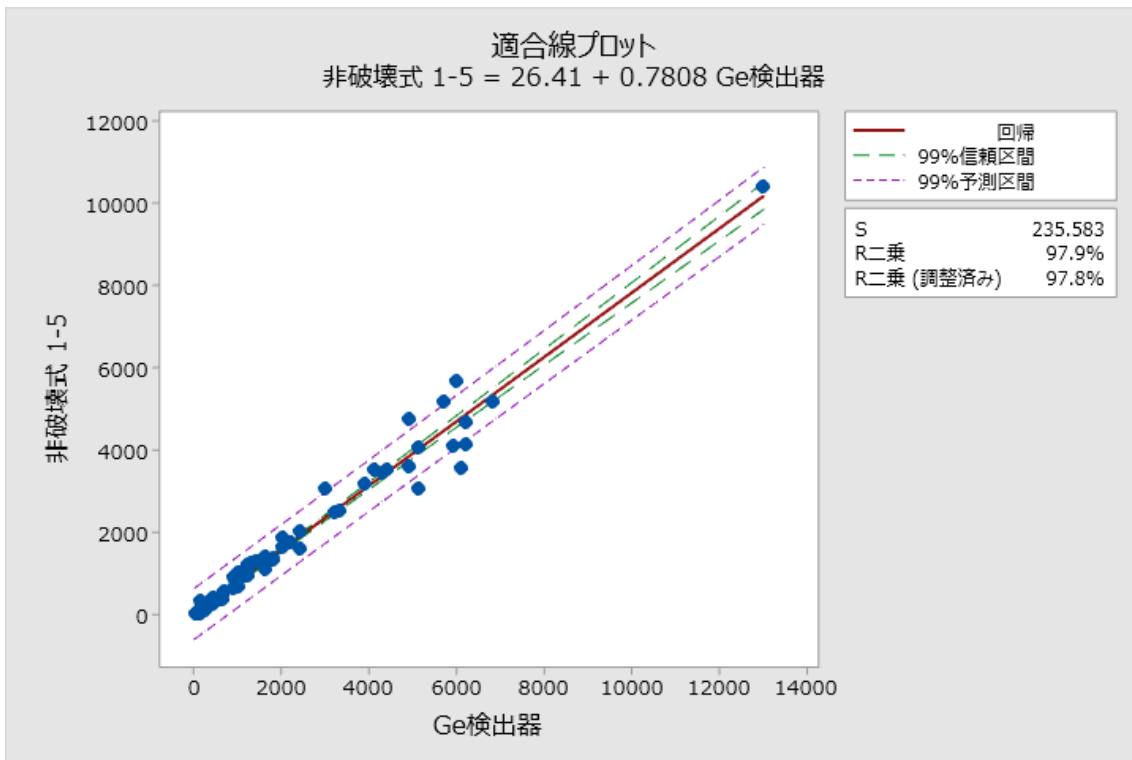


図 4-1 非破壊式装置 (FF1) の Ge 検出器との測定結果比較
(非破壊式 1-5 : 5 回測定 of 平均)

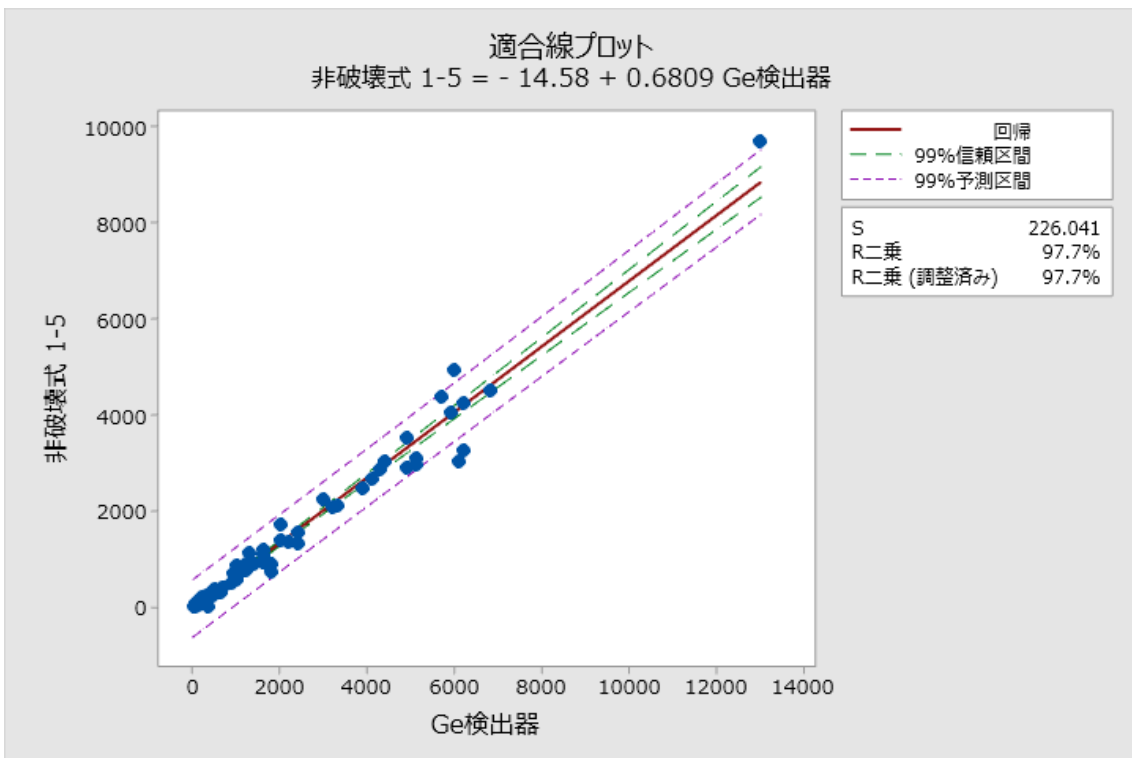


図 4-2 非破壊式装置 (AFT-NDA2) の Ge 検出器との測定結果比較
(非破壊式 1-5 : 5 回測定 of 平均)

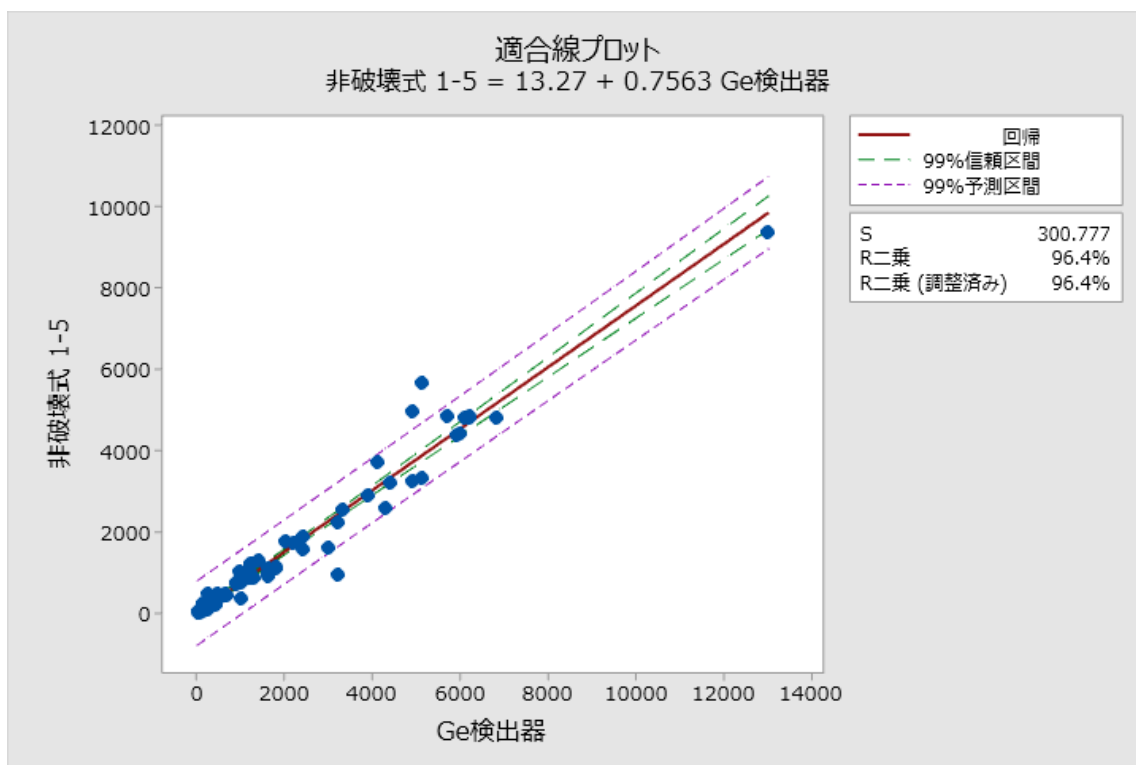


図 4-3 非破壊式装置（Hitz）の Ge 検出器との測定結果比較
（非破壊式 1-5：5 回測定の平均）

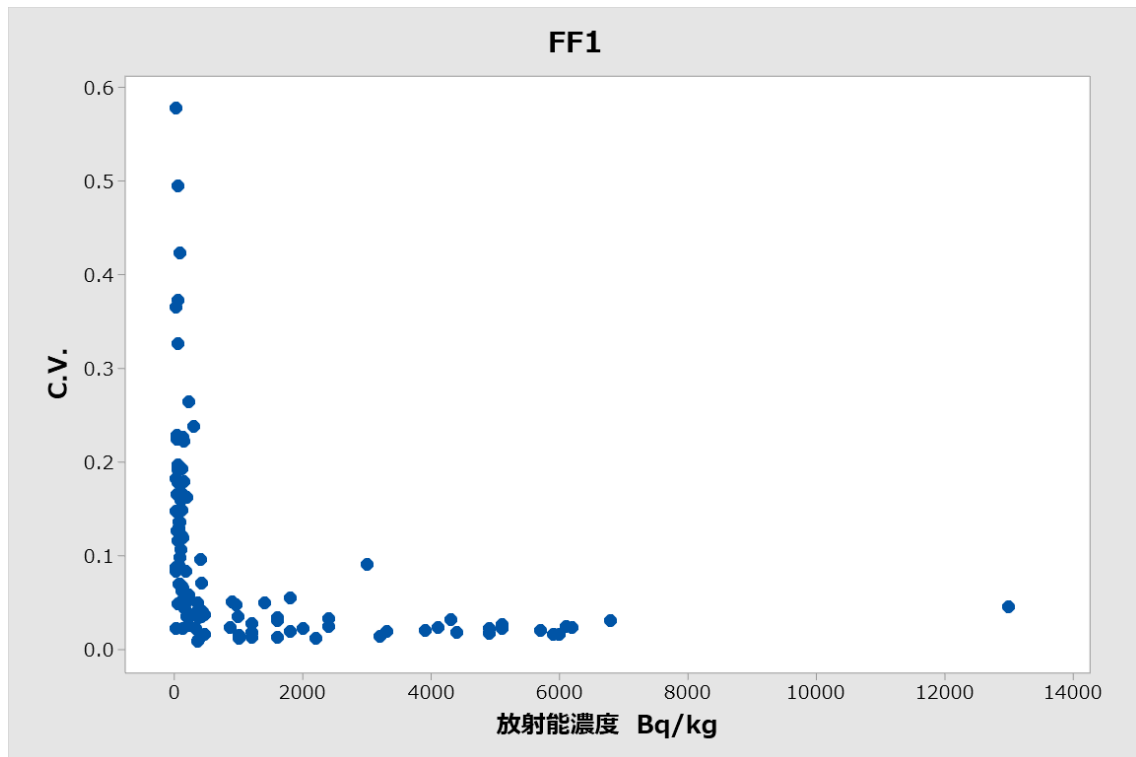


図 5-1 非破壊式装置（FF1）の複数回測定結果の変動係数（C.V.）

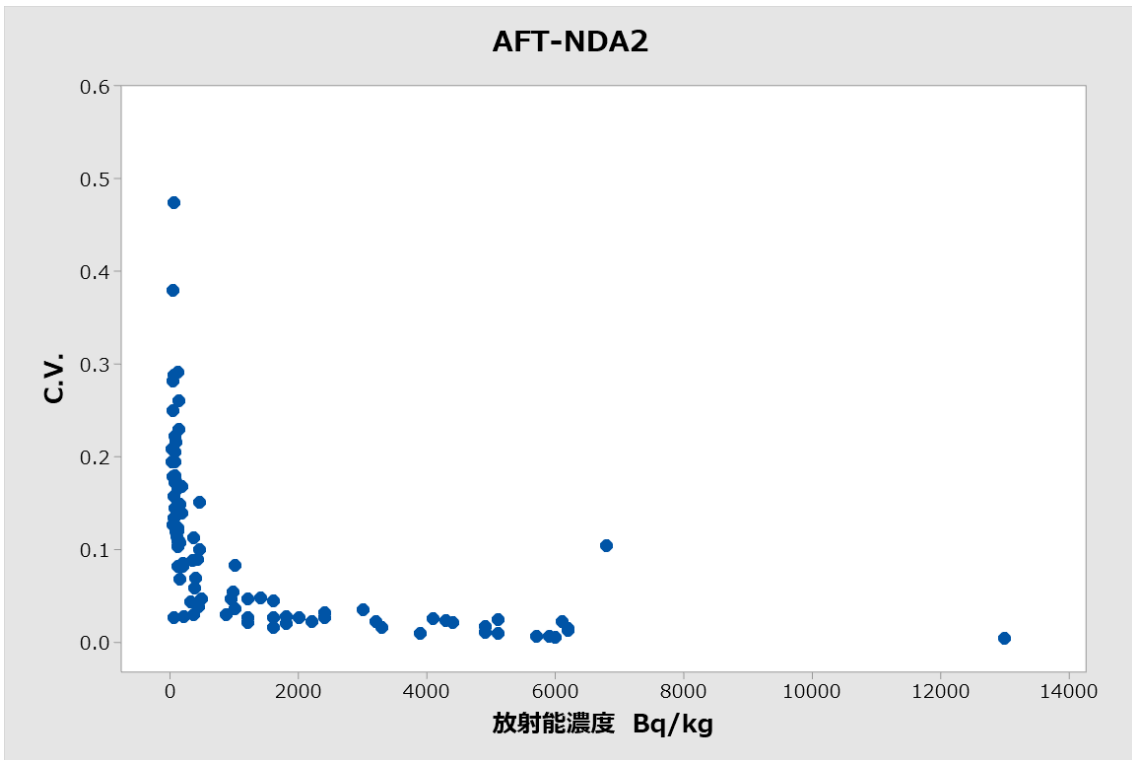


図 5-2 非破壊式装置（AFT-NDA2）の複数回測定結果の変動係数（C.V.）

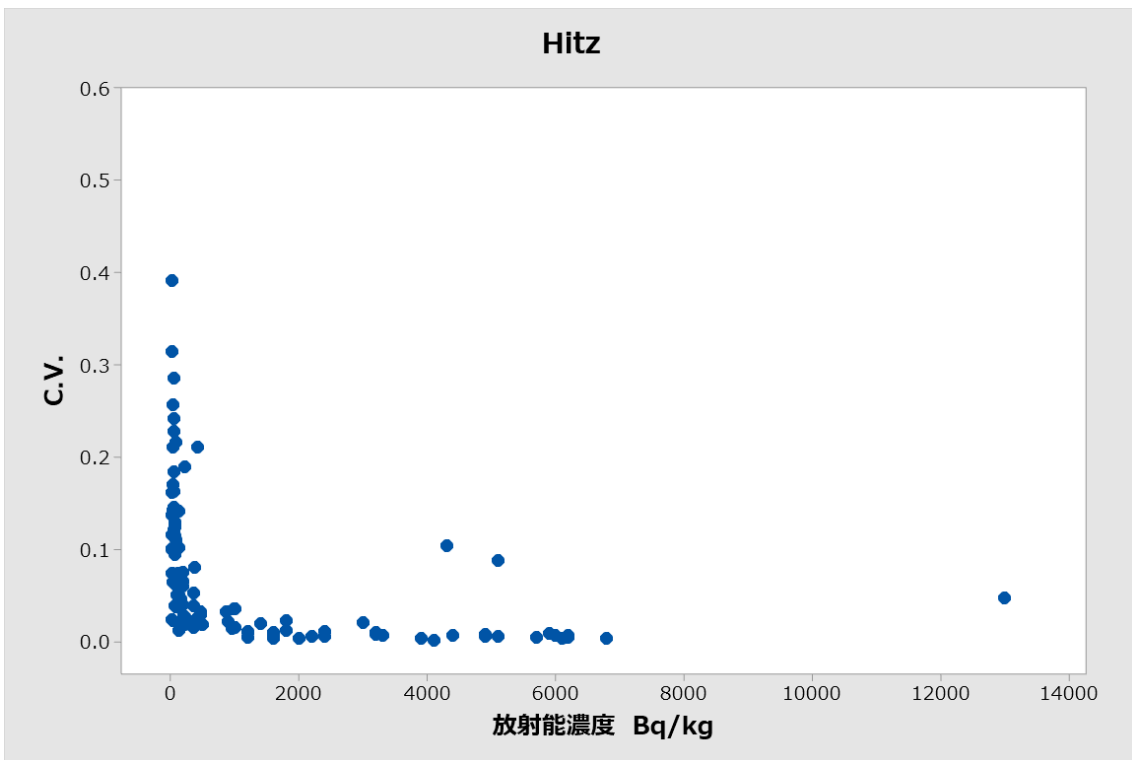


図 5-3 非破壊式装置（Hitz）の複数回測定結果の変動係数（C.V.）

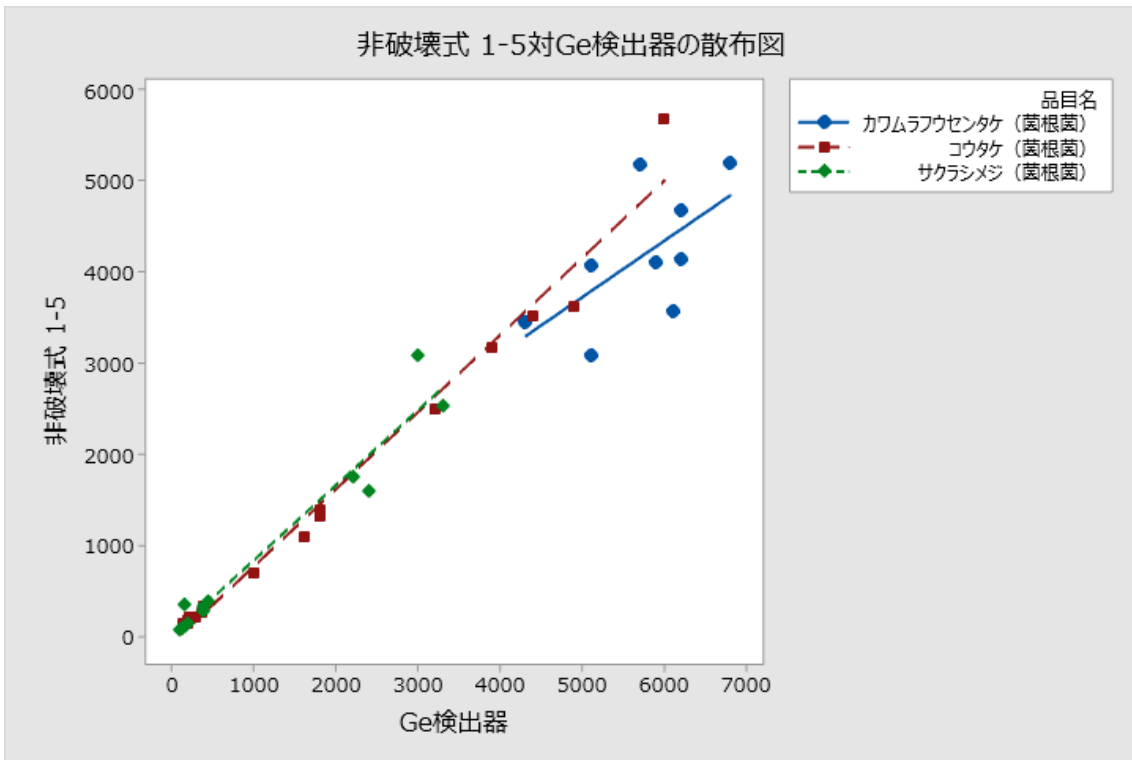


図 6-1 非破壊式装置（FF1）と Ge 検出器の測定結果による品目種別回帰直線
（非破壊式 1-5：5 回測定 of 平均）

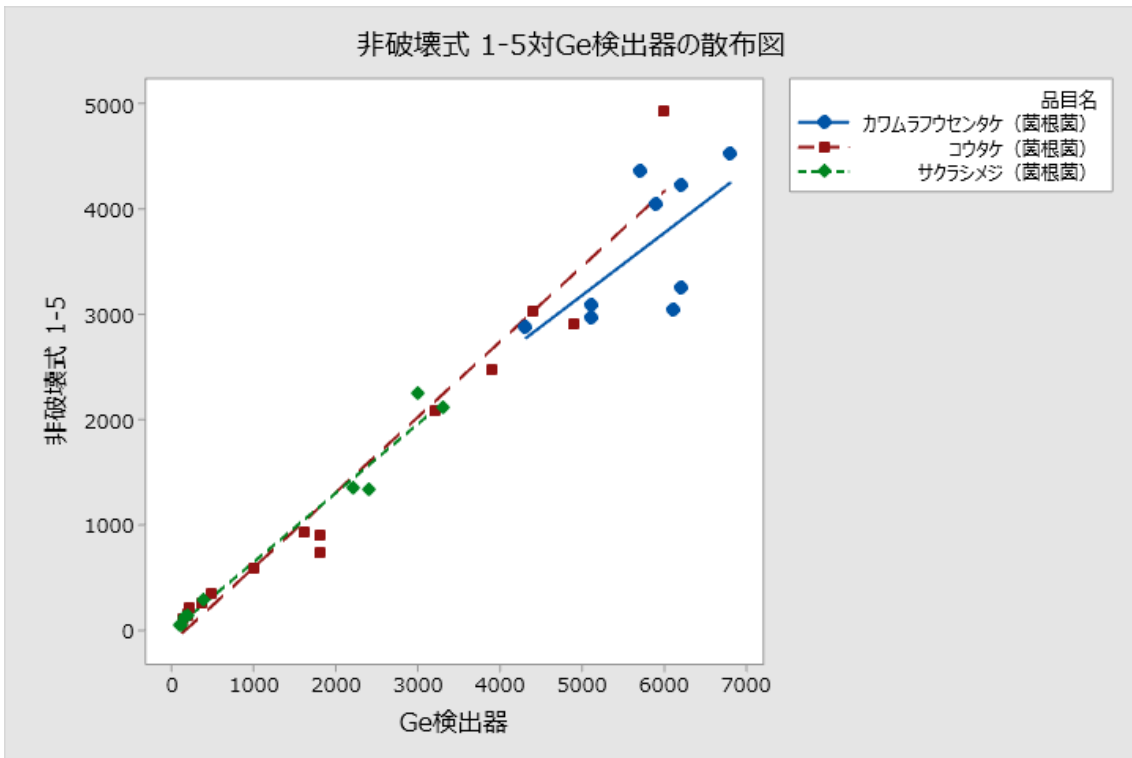


図 6-2 非破壊式装置（AFT-NDA2）と Ge 検出器の測定結果による品目種別回帰直線
（非破壊式 1-5：5 回測定 of 平均）

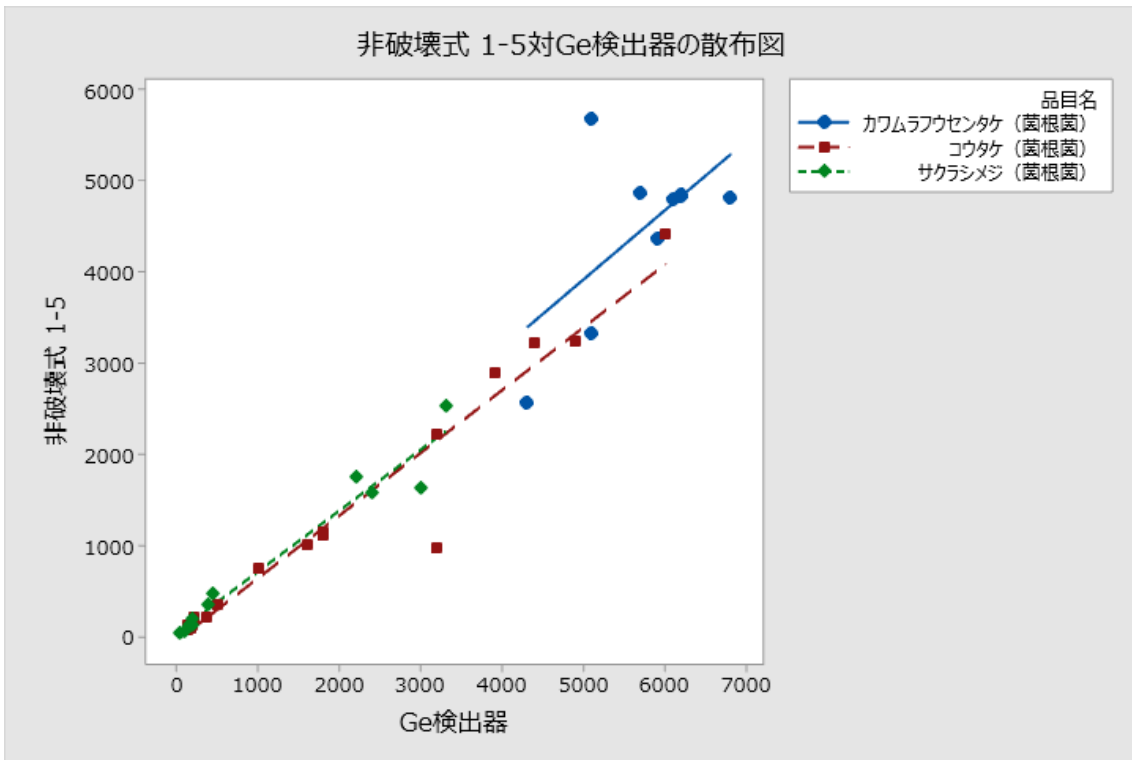


図 6-3 非破壊式装置（Hitz）と Ge 検出器の測定結果による品目種別回帰直線（非破壊式 1-5：5 回測定の平均）

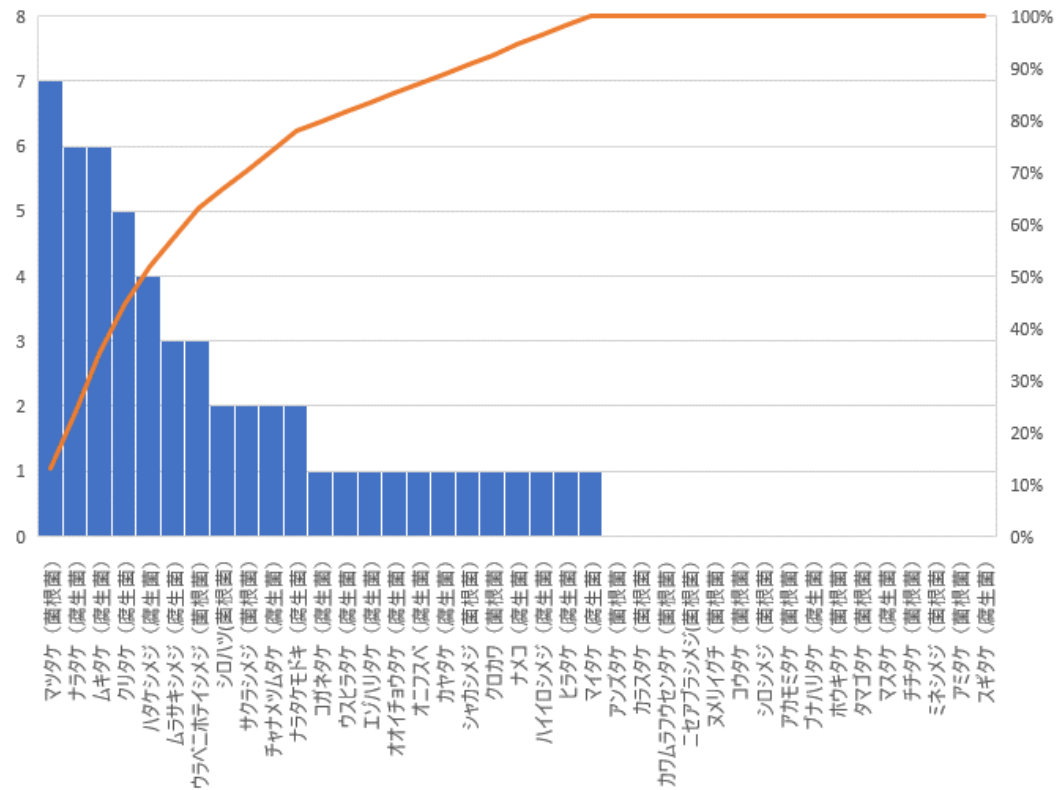


図 7 測定に用いたキノコの種別と各検体数（ ≥ 10 Bq/kg かつ ≤ 100 Bq/kg）

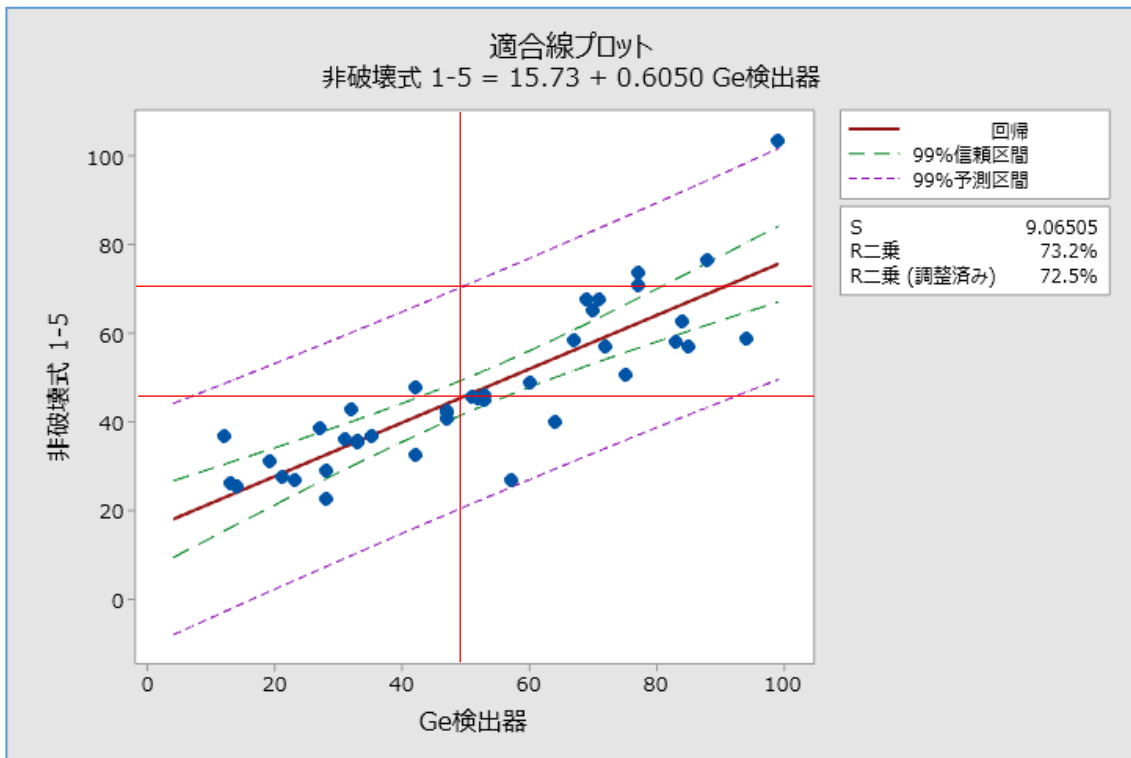


図 8-1 非破壊式装置（FF1）と Ge 検出器の測定結果による 99%予測区間
（非破壊式 1-5：5 回測定の平均）

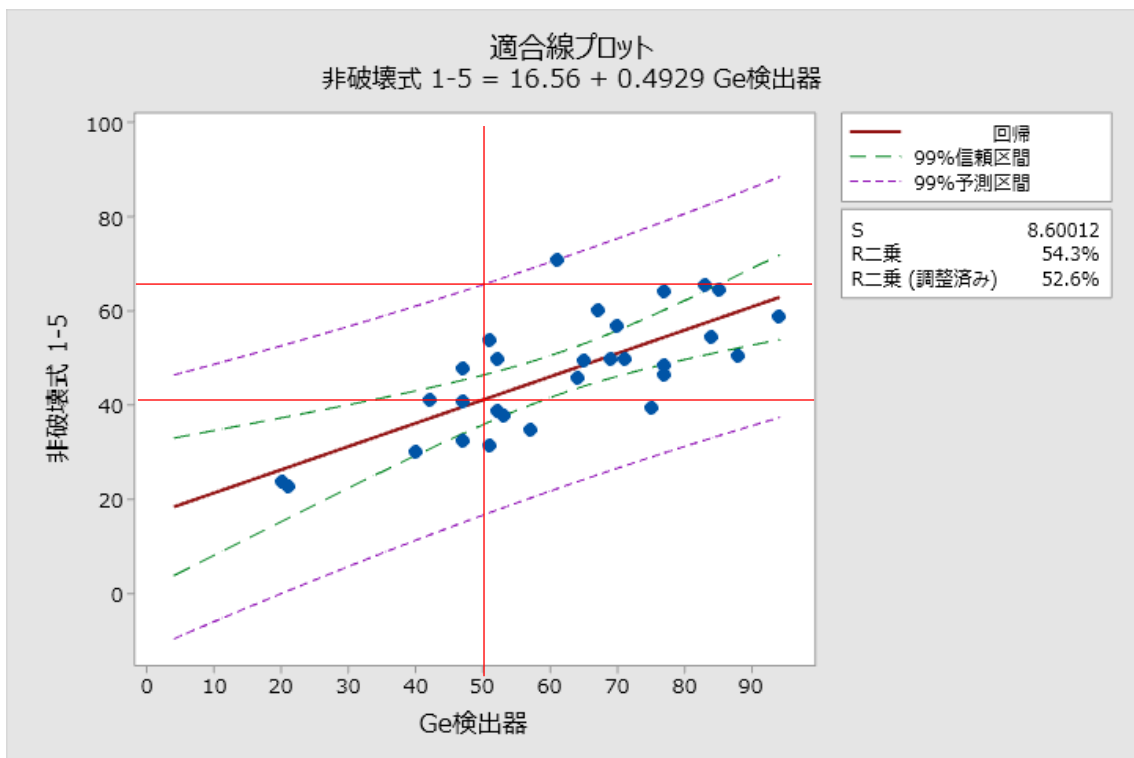


図 8-2 非破壊式装置（AFT-NDA2）と Ge 検出器の測定結果による 99%予測区間
（非破壊式 1-5：5 回測定の平均）

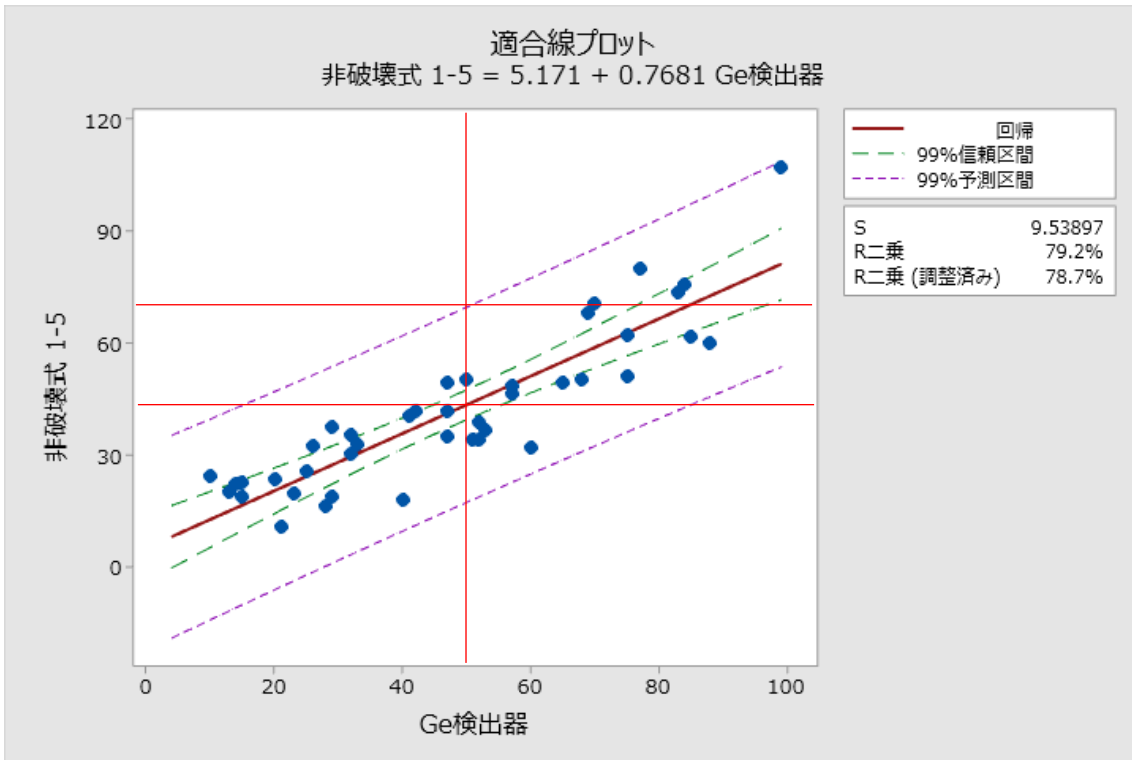


図 8-3 非破壊式装置（Hitz）と Ge 検出器の測定結果による 99%予測区間
（非破壊式 1-5：5 回測定の前平均）

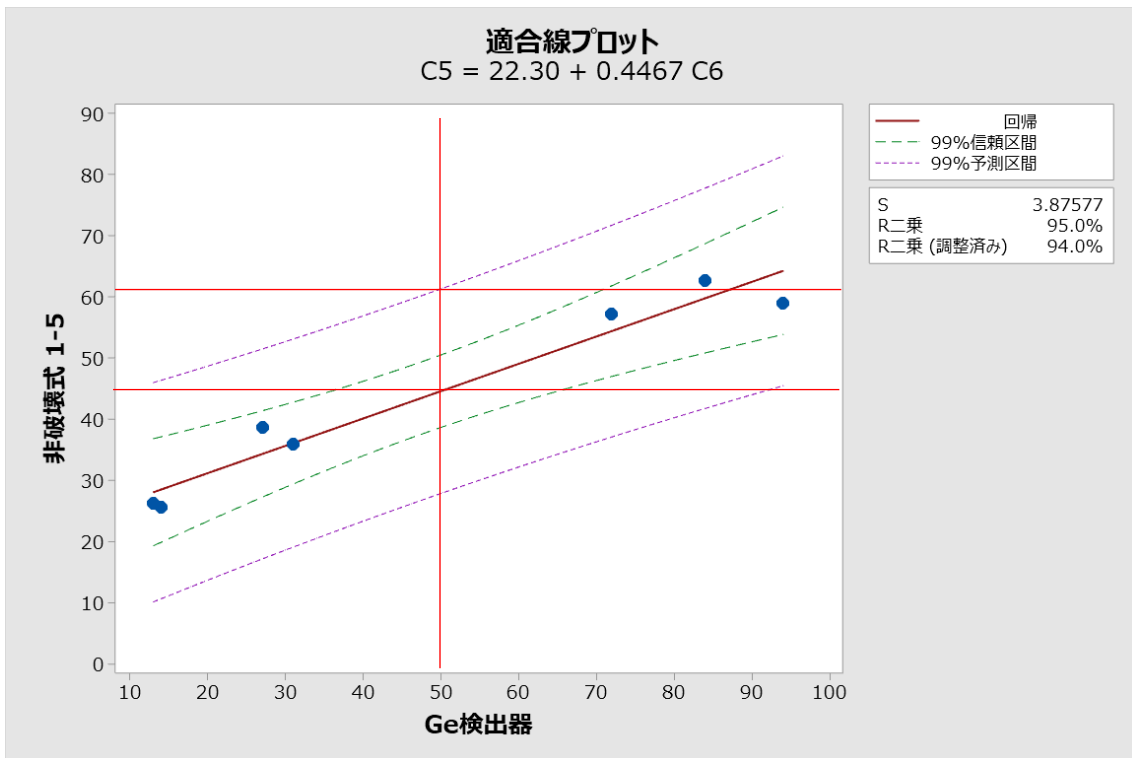


図 8-4 非破壊式装置（FF1）におけるマツタケ (<100 Bq/kg) による 99%予測区間
（非破壊式 1-5：5 回測定の前平均）

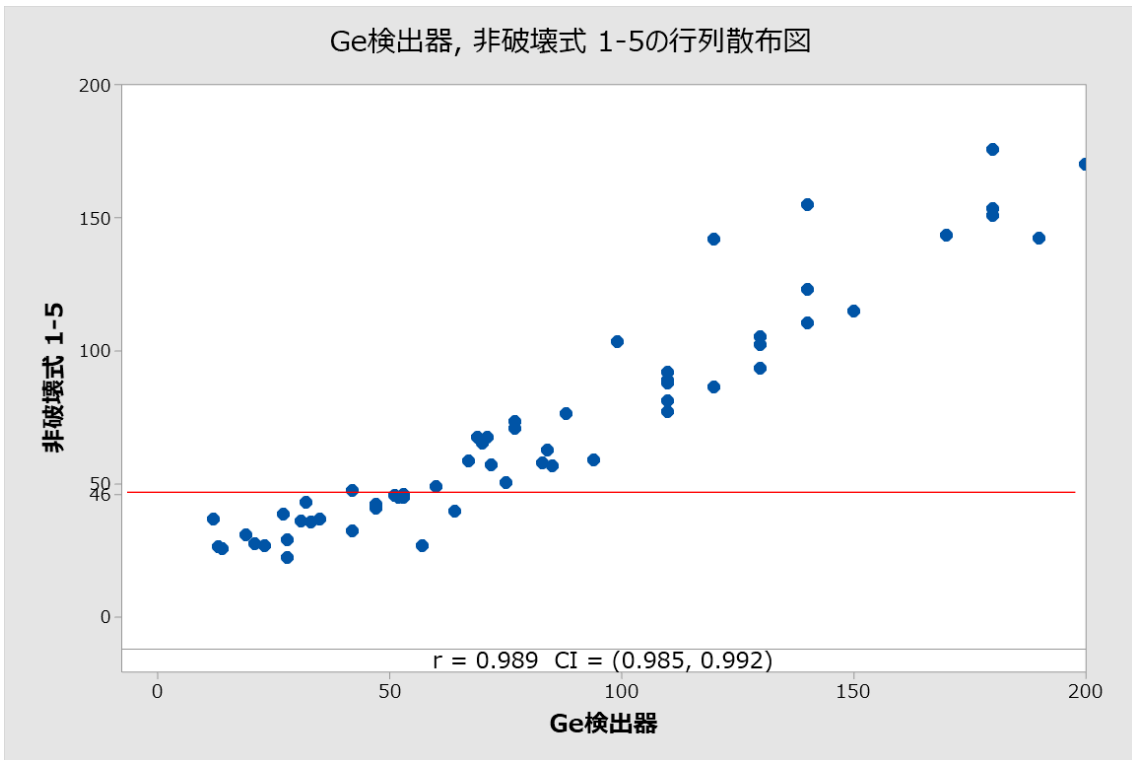


図 9-1 非破壊式装置（FF1）による測定結果とスクリーニングレベルとの比較

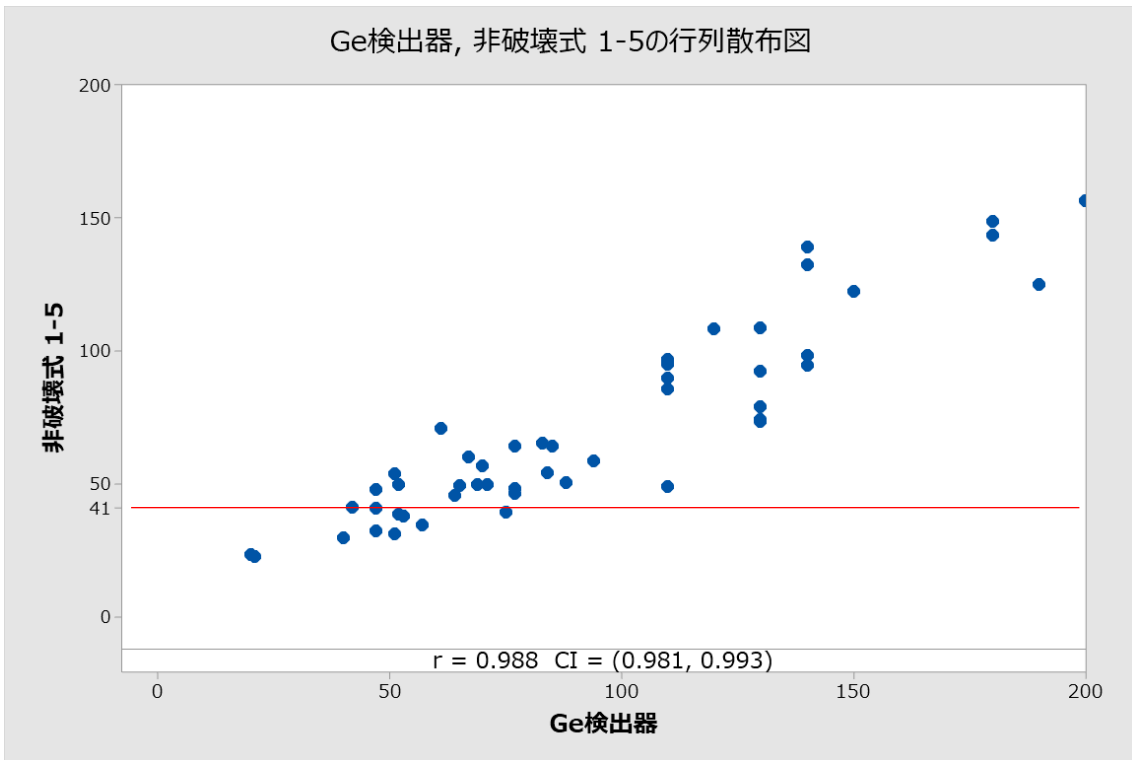


図 9-2 非破壊式装置（AFT-NDA2）による測定結果とスクリーニングレベルとの比較

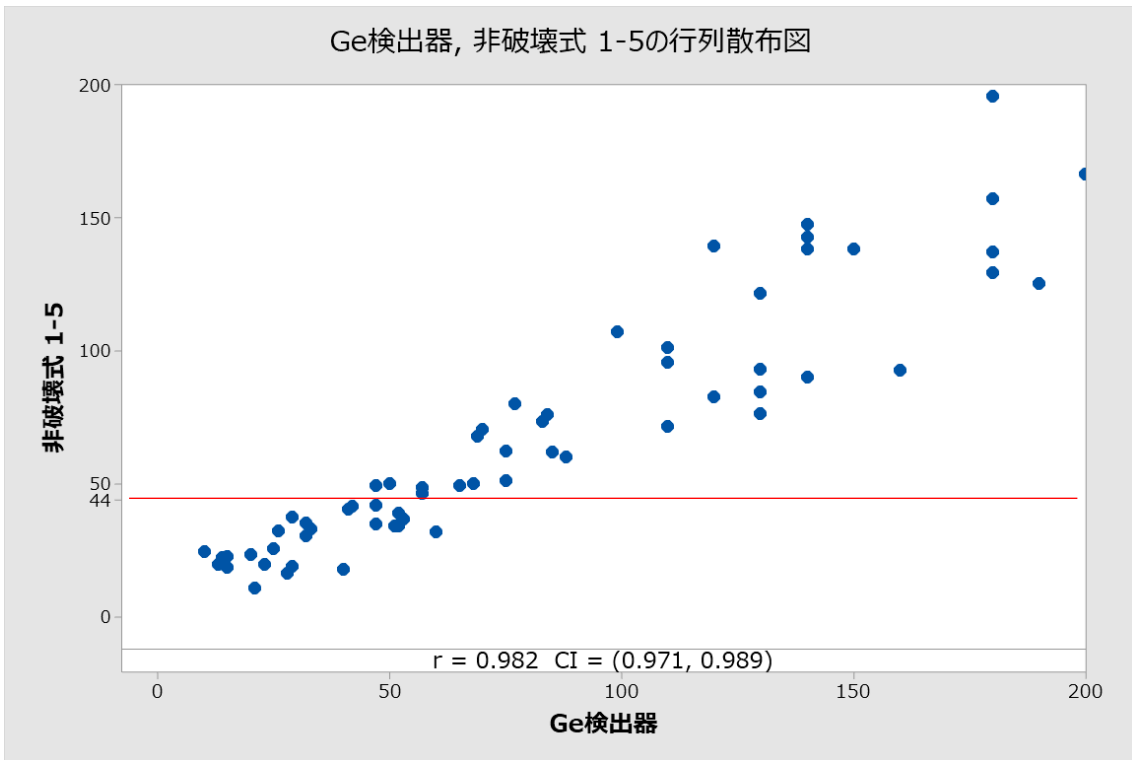


図 9-3 非破壊式装置（Hitz）による測定結果とスクリーニングレベルとの比較

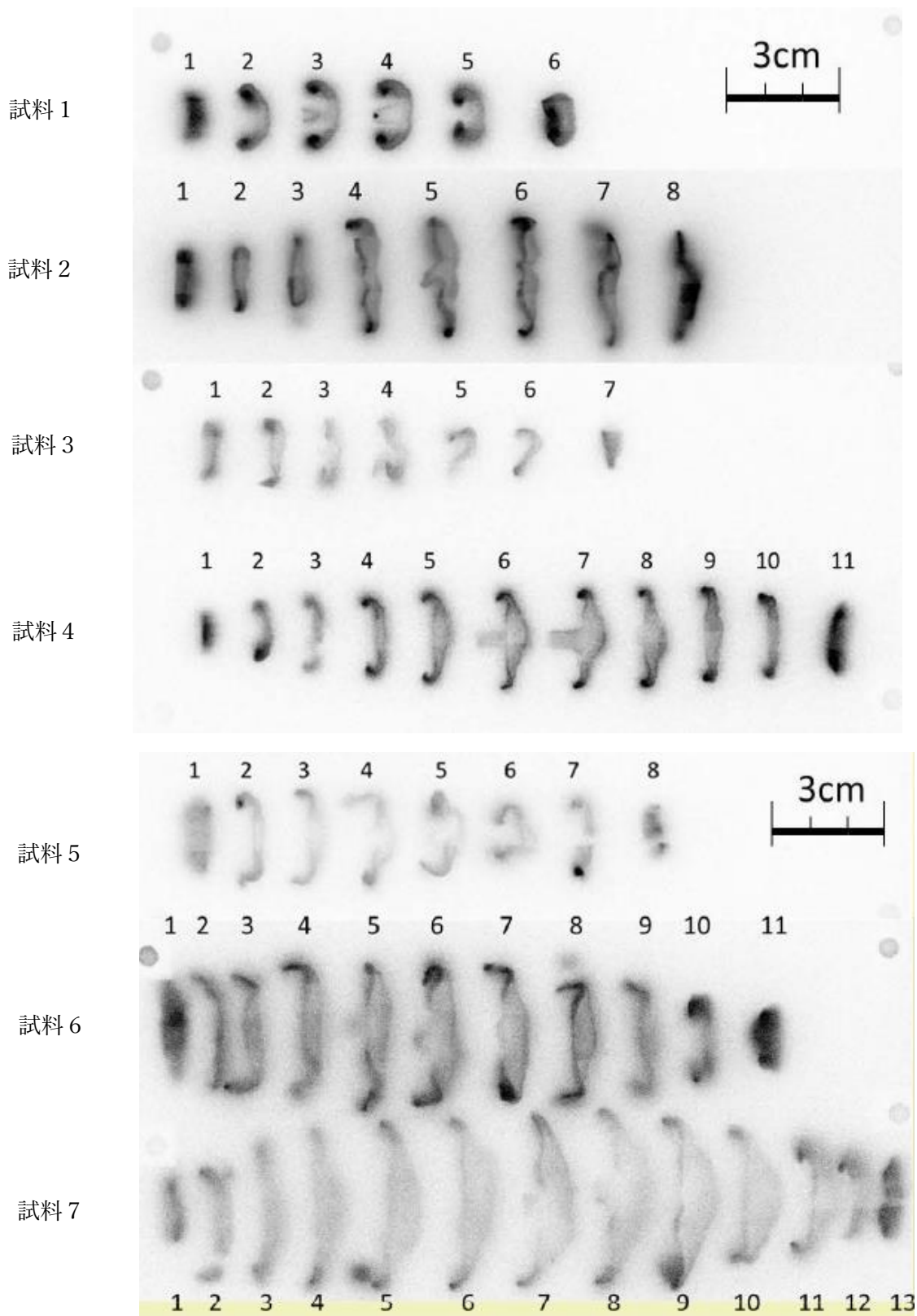


図 10 スライスした乾燥しいたけ試料の IP 画像

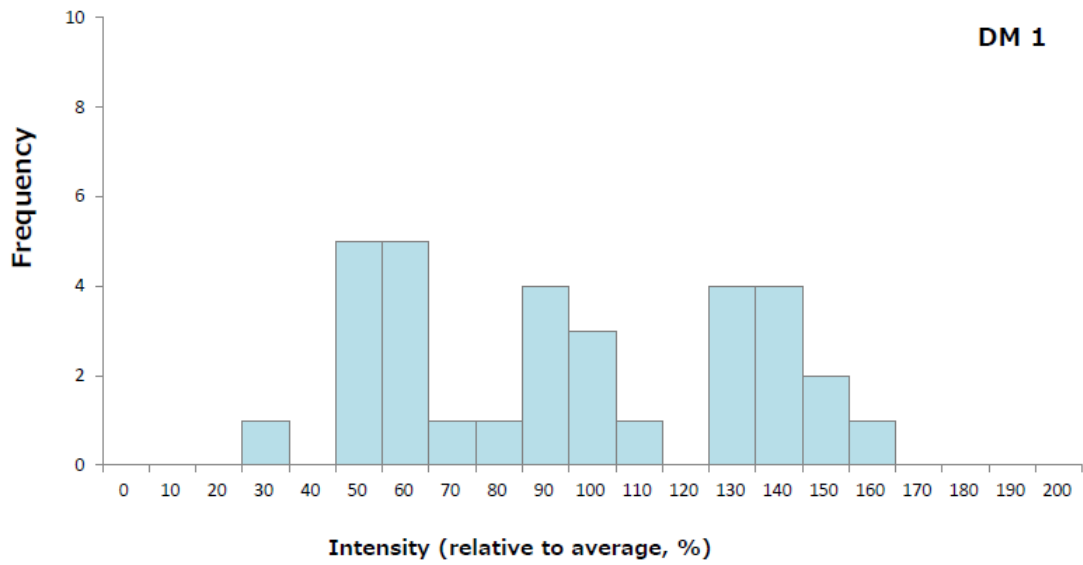


図 11-1 試料 1 (DM1) 中の相対放射能強度分布

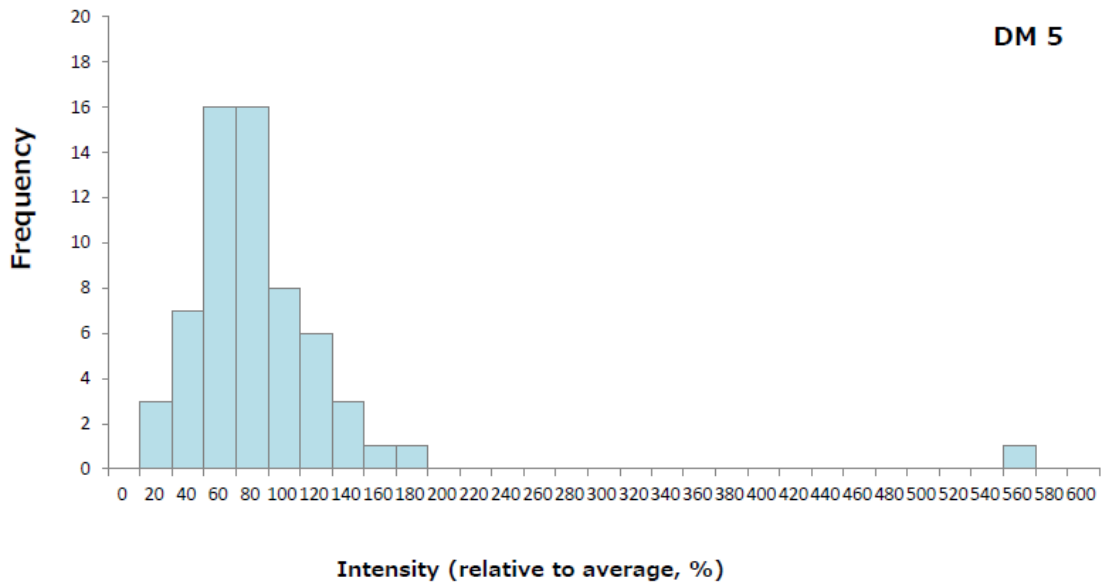
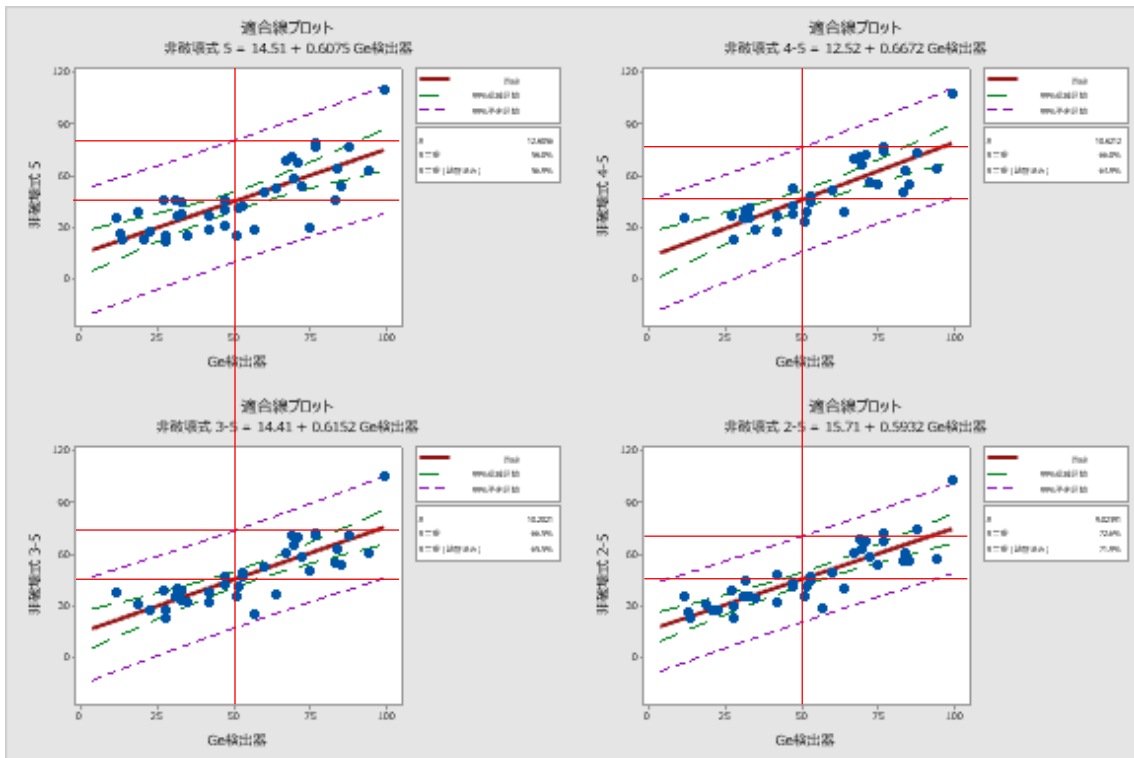
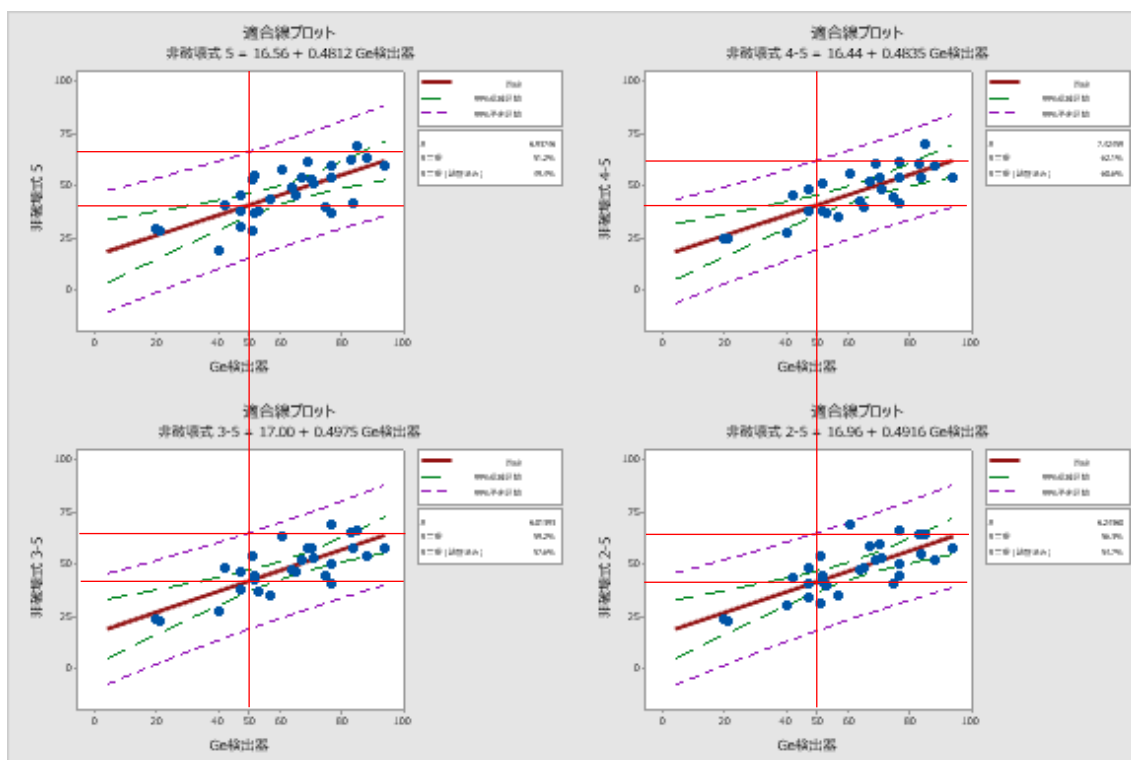


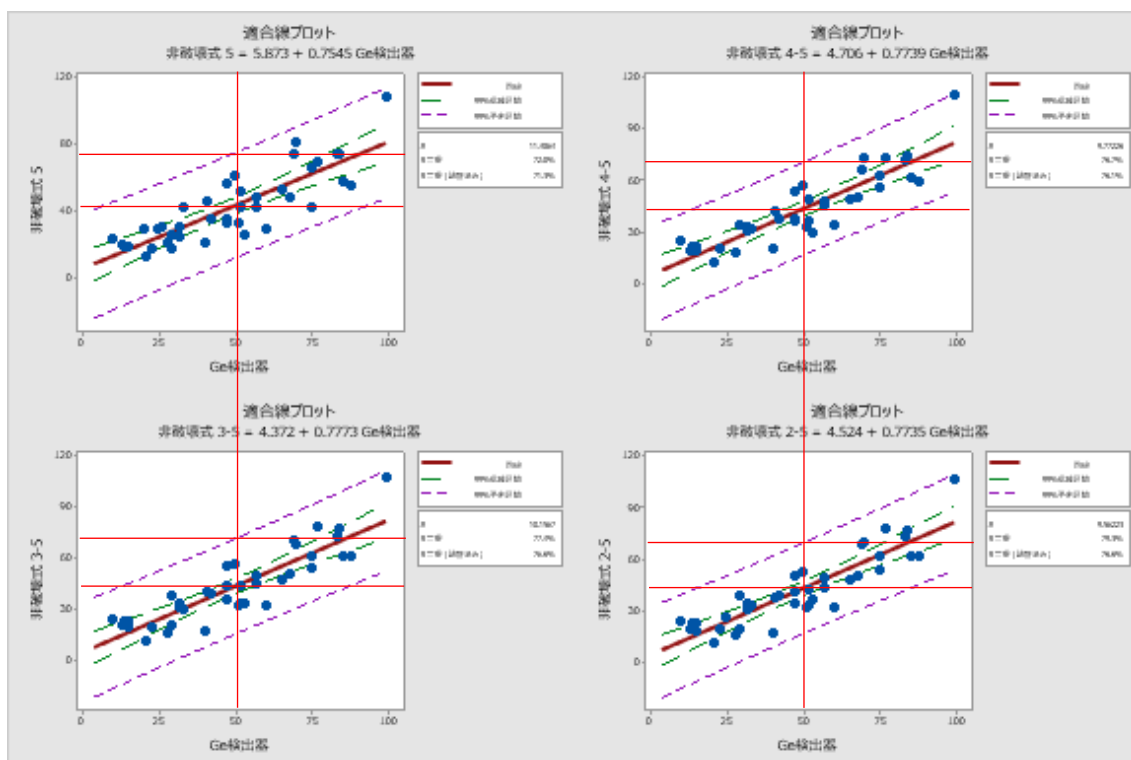
図 11-2 試料 5 (DM5) 中の相対放射能強度分布



参考図 1-1 非破壊式装置 (FF1) と Ge 検出器の測定結果による 99%予測区間
 非破壊式 2-5 : 2 回目~5 回目の 4 回測定の前平均
 非破壊式 3-5 : 3 回目~5 回目の 3 回測定の前平均
 非破壊式 4-5 : 4 回目~5 回目の 2 回測定の前平均
 非破壊式 5 : 5 回目の 1 回測定値[d1]



参考図 1-2 非破壊式装置 (AFT-NDA2) と Ge 検出器の測定結果による 99%予測区間
 非破壊式 2-5 : 2 回目～5 回目の 4 回測定の平均
 非破壊式 3-5 : 3 回目～5 回目の 3 回測定の前平均
 非破壊式 4-5 : 4 回目～5 回目の 2 回測定の前平均
 非破壊式 5 : 5 回目の 1 回測定値



参考図 1-3 非破壊式装置（Hitz）と Ge 検出器の測定結果による 99%予測区間

非破壊式 2-5：2 回目～5 回目の 4 回測定の前平均
 非破壊式 3-5：3 回目～5 回目の 3 回測定の前平均
 非破壊式 4-5：4 回目～5 回目の 2 回測定の前平均
 非破壊式 5：5 回目の 1 回測定値