



図4 JES-RE1X



図5 JES-FR30EX

・ ESR測定装置 日本電子株式会社製 JES-RE1X 日本電子株式会社製 JES-FR30EX (マイクロ波出力変更版)

・ 日本電子株式会社製マンガンマーカ-

当研究所には上記2台のESR測定装置を所有している。今回の実験における、この2台の差は、RE1Xは、マイクロ波出力を連続可変できるが、FR30EXでは、4点のみとなっている。しかし、RE1Xはデジタル制御や処理が難しく、FR30EXはコンピュータ制御専用となっている。そこで、測定条件の調査時はRE1Xでも測定をおこない、条件が求まれば、FR30EXにて測定を行う事とした。

・ 電子天秤 MettlerToledo 製

AG204DR (0.1mg まで測定可能)

・ 真空乾燥機 (検体直接測定型 アズワン株式会社製 AV0-250N)

・ 真空ポンプ (油回転真空ポンプ SW-150 佐藤真空機械工業製)

・ 5mmφ石英製試料管 (内径4.0mmφ Wilmad製 天然石英管、ラボテック販売 LST-5HS) 金属のスペクトルがバックグラウンドとして混入している



図6 石英製試料管

製品もあるため、確認する。大きなバックグラウンドがあるとセルロースラジカルは検出が難しくなる。

・ 竹串

イチゴ関連

- ・ マグネットスターラー
- ・ ミキサーまたはホモジナイザー
- ・ カッターまたはメス
- ・ ステンレス製茶漉し
- ・ アルミホイル
- ・ 500 または 1000ml ビーカー
- ・ 蒸留水または超純水
- ・ 五酸化リン
- ・ デシケーター
- ・ 冷凍庫



図7 購入イチゴ



図8 ピスタチオ



図9 パプリカ 図10 フェネグリーク 図11 コリアンダー

・ 冷蔵庫

ピスタチオ及び香辛料

- ・ 剪定ばさみ (またはセラミック製はさみ)
- ・ 磁性またはメノウ乳鉢
- ・ 1または2mm篩

1. 2. 測定試料の検討

EN法では、イチゴ、ピスタチオ、パプリカについてのデータが紹介されている。そこで、この3種類とその他いくつかの香辛料を事前に検討し、今回の測定試料を以下の5つとした。

1. イチゴ (種) 市内のスーパーにて国産品を購入した。
2. ピスタチオ (殻) スーパーにて購入した (アメリカ産)。

以下の3種のスパイスについては、本実験用に原子燃料工業㈱が、商社を通じて、未照射品として調達したものである。また、照射検知公定法として、すでに実施されているTL法においても同試料が調査され、未照射であることが確認されている。

3. パプリカ (パウダー) スペイン産
4. フェネグリーク (粒状) インド産
5. コリアンダー (粒状) インド産

2. 放射線照射

パプリカ、コリアンダー、フェネグリークの経時変化用の1回分について、比較もあわせて、原子燃料工業㈱にて5 kおよび7 k Gyの電子線照射をおこなった試料を用いた。その他の試料については当研究所のガンマ線照射装置により、以下の照射を行った。

2. 1. イチゴ

イチゴは、実際に使われる放射線量が3 k Gy程度と思われるため、以下の線量とした。

線量応答性用試料 0, 0.5, 1, 1.4, 2.8 k Gyを1組

再現性調査用試料 0, 1.4, 2.8 k Gyを3組

経時変化用試料 0, 1.4, 2.8 k Gyを3組

2. 2. その他の試料

その他は約5 - 10 k Gyが照射されていると考えられるため以下の通りとした。

線量応答性用試料 0, 0.5, 1, 4, 7, 10 k Gyを1組

再現性調査用試料 0, 4, 7 k Gyを3組

経時変化用試料 0, 4, 7 k Gyを3組

3. 前処理方法に関する検討

前処理は、各試料ごとに、以下の条件を検討した。乾燥後、ESR用試料管に各試料を試料の形状に応じて20-35 mm程度充填し、試料高さと重量を記録し、測定試料とした。



図12 ビンセットで採取した種



図13 マグネットスターラーによる攪拌



図14 真空乾燥機

3.1.1 イチゴ

イチゴのセルロースラジカルは種にあるため、ESRにて測定するためには種のみを集める必要がある。EN法では、すぐに測定できないときは、冷凍して置くことあり、表面を剥ぐか、実のみをミキサーで均一にし、500mlの水でかき混ぜ、デカンテーションにより分離し、種のみになるまで繰り返すとある。そこで、今回は種の採取方法として以下の方法を検討した。

3.1.1. ① ピンセットでひとつずつ採取し、ビーカーに移して、300mlの蒸留水または超純水を加え、マグネットスターラーで5分間攪拌し、



図15 苺表面剥ぎ取り



図16 ホモジナイザー



図17 攪拌2回目 攪拌1回目



図18 デカンテーション

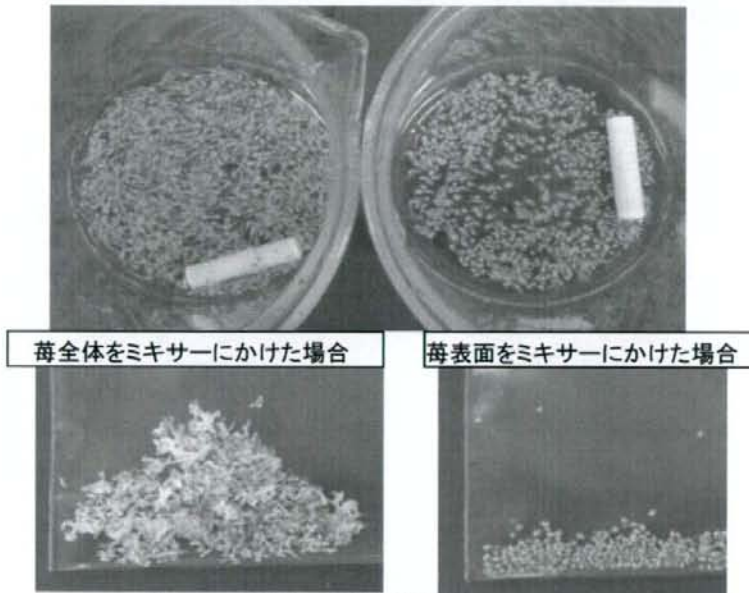


図19 苺種 分離条件比較

3分間ほど静置したあと、上澄み液を捨てて、ステンレス製の茶漉しに移し、アルミホイルで蓋をして、40℃2時間の真空乾燥を行った。

3.1.1.② イチゴを3時間以上冷凍し、その後、表面部分を種と果肉をあわせて、カッターで剥ぎ取り、ホモジナイザーに移して50ml程度の蒸留水または超純水を加え、5000回転/分で2分間かけた。その後、ピーカーに移して、300mlの蒸留水または超純水を加え、マグネットスターラーで5分間攪拌し、3分間ほど静置したあと、沈んだ種を残し、浮いた種やその他の浮遊物を捨てて、さらにもう一度種の残ったピーカーに蒸留水等を

加えて繰り返す。これを蒸留水等で洗いながら、ステンレス製の茶漉しに全て移し、アルミホイルで蓋をして、40℃2時間（真空内の温度が上がるまで余熱1時間程度）の真空乾燥を行った。

3.1.1.③ イチゴを8等分ほどにし、ホモジナイザーに移して50ml程度の蒸留水または超純水を加え、5000回転で3分間かけた。その後、ピーカーに移して、300mlの蒸留水または超純水を加え、マグネットスターラーで5分間攪拌し、3分間ほど静置したあと、上澄み液を捨てて、ステンレス製の茶漉しに移し、アルミホイルで蓋をして、40℃3時間の真空乾燥を行った。



30秒

2分

5分

図20 苺種 ミキサー時間

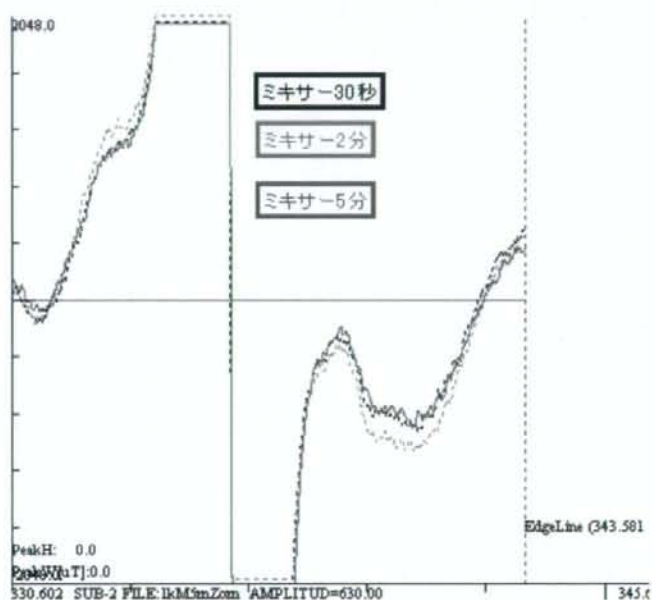


図21 苺種 ミキサー時間とスペクトル

以上の結果、イチゴでは、①は手間がかかりすぎ、③は実が多くて作業しにくく、図のように種につく根のような繊維が多く残り、試料管に充填する際の重量へのばらつきの原因になるため、②を採用することとした。

また、ミキサーの動作時間による、測定への影響を調査した。ミキサーを30秒間、2分間、5分間かけた結果、図20のように種の色がだんだん薄くなった。そこでミキサーの衝撃によるメカノラジカルの生成などを調べるため、ESR測定を行っ

た。

その結果、大きな差は見られなかった（スペクトルでは多少大きさが違うが、試料の量や感度補正を行っていないためと思われる。）。よって今回は2分間を採用することとした。

3.1.2. ビスタチオ

ビスタチオは殻が測定対象になるため、殻を以下の方法で試料管に入るよう加工した。

3.1.2. ① 殻をポリ袋にいれ、プラスチック

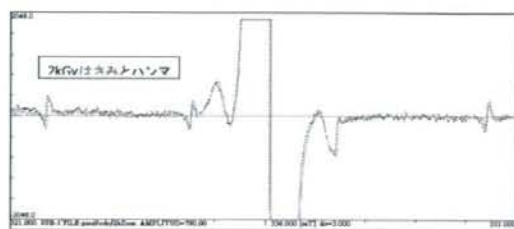


図 2 2 ビスタチオ 粉砕化 はさみとハンマー比較

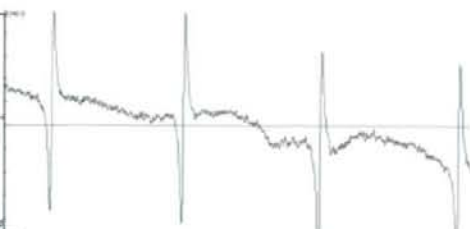


図 2 5 磁性鉄粉の破片測定



図 2 3 ビスタチオ 粉砕化のようす

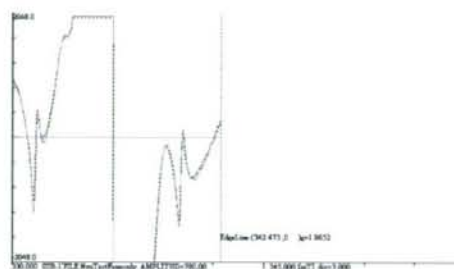


図 2 6 磁性鉄粉混入の影響 (緑線 フェネグリーク 黒点線フェネグリークと磁性鉄粉破片)

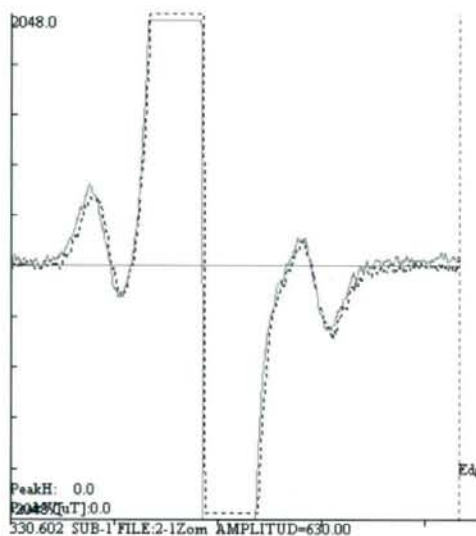


図 2 4 ビスタチオ サイズ比較 (緑 1-2mm、黒点線 0.35-1mm)

クハンマーにて叩き割った。これを、1 mmの篩にかけ、40℃ 2時間の真空乾燥を行った。

3. 1. 2. ② 殻を剪定ばさみにて、ポリ袋中でカットし、これを、1 mmの篩にかけ、40℃ 2時間の真空乾燥を行った。

3. 1. 2. ③ 殻をセラミック製はさみにて、ポリ袋中でカットし、これを、1 mmの篩にかけ、40℃ 2時間の真空乾燥を行った。

以上の結果、ESR スペクトルには有意な差はほとんどなかったが、①では試料が飛び散るだけで、なかなか細かくならなかった。③はセラミック製のハサミのため、万が一試料にハサミの破片が入っても、金属でないため、バックグラウンドにならないが、硬いビスタチオの殻は今回購入したセラミックはさみでは、細かくきることが困難であった。そこで、②を採用し、万が一測定結果に金属のバックグラウンドが入った場合には、セルロースラジカルへの影響を検討し、場合により再サンプリングをすることとした (天然の食品の ESR 測定においては、食品中のマンガンなどの金属が検出される場合があるが、今回調査したビスタチオではいずれも、金属は検出されなかった

め、はさみの金属は区別が可能と考えられ、また検出される可能性も低いと思われる。)

さらに、篩の細かさについて、0.35-1 mmと1 mmのおいて比較を行った。

その結果を右図に示す。緑線が1-2 mmで黒点線が0.35-1 mmの篩を通しスペクトルであり、有意な差は見られなかった。

よって、今回は1-2 mmを採用した。

3.1.3. パプリカ (パウダー)

パプリカは、そのまま試料管に入るため、40℃ 2時間の真空乾燥のみを行った。

3.1.4. フェネグリーク (1mm程度の粒状)

フェネグリークは、そのまま試料管に入るため、40℃ 2時間の真空乾燥のみを行った。

3.1.5. コリアンダー (実)

コリアンダーの実は密度が軽いので、そのままでは感度が上がらない。そこで磁性乳鉢にてすりつぶし、これを、1 mmの篩にかけ、40℃ 2時間の真空乾燥を行った。ここで、磁性乳鉢の破片がバックグラウンドとして混入することを考え、磁性乳鉢の破片をESRにて測定したが、セルロースラジカルのスペクトルには影響なかった。

3.2. 試料の乾燥について

ESRでは、試料に水分が含まれていると、測定効率が下がるまたは、測定できないといったこと

表1 苺種の乾燥のピーク高への影響

乾燥条件	ピーク高 (mm)
40℃ 2時間	28 mm
+40℃ 2時間	30 mm
+50℃ 2時間	31 mm
+60℃ 2時間	28 mm

が起こりえるため、可能な範囲で試料の乾燥率をそろえて、なるべくよく乾燥した試料を測定することが重要である。しかし、EN法によると、セルロースラジカルを目的とした測定においては、イチゴ以外乾燥はほとんど必要としないと記載されている。また、乾燥しすぎると、試料管への移し変えのときや保管中に吸湿してしまい、安定した測定ができなくなる恐れを考慮し、測定に支障のない範囲で安定して保管できる乾燥条件を目指した。そこで、今回は、EN法に記載されている、40℃ 2時間での真空乾燥を中心に、さらに五酸化リンでの乾燥について比較を行った。なお、真空度は、水銀真空計によると、1-3mmHg程度であった。乾燥時間の計測は、内部の試料表面が目的の温度に達してから開始した。

3.2.1. イチゴ

イチゴの場合は、水洗するため必ず乾燥が必要である。4 k Gy 照射したイチゴについて、40℃ 2時間での乾燥を基本として、さらに、繰り返し1回、

イチゴの加熱真空乾燥による重量変化

	1			2			3		
	重量	内容量	6時間比	重量	内容量	6時間比	重量	内容量	6時間比
風袋	12.1096			12.0911			11.9681		
未乾燥(水洗後)	13.1714	1.0618	167%	13.0408	0.9497	183%	13.2040	1.2359	128%
40℃真空乾燥 30分	12.6082	0.4986	25%	12.5307	0.4396	31%	12.6245	0.6564	21%
計1時間	12.5394	0.4298	8%	12.4622	0.3711	11%	12.5541	0.586	8%
計2時間	12.5168	0.4072	2%	12.4329	0.3418	2%	12.5188	0.5507	2%
計4時間	12.5105	0.4009	1%	12.4291	0.338	1%	12.5133	0.5452	1%
計6時間	12.5078	0.3982	0%	12.4264	0.3353	0%	12.5102	0.5421	0%
デシケータ保管	12.5217	0.4121	3%	12.4359	0.3448	3%	12.5229	0.5548	2%

表2 苺種の乾燥の重量への影響

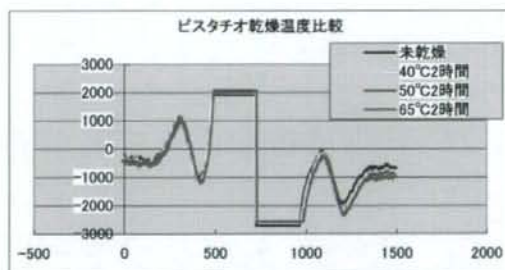


図2.7 ビスタチオ真空乾燥 温度比較

表3 スパイス3種 乾燥重量比較 (n=1)

乾燥条件	乾燥重量率 (乾燥後/前)		
	パプリカ	フェネグリーク	コリアンダー
40℃ 2時間真空乾燥	3.8%	4.1%	4.0%
五酸化リン 24時間真空乾燥	5.0%	3.8%	5.7%
105℃ 24時間常圧			

表4 スパイス3種 アラニン 30 Gy 比率 (n=3)

乾燥条件	アラニン 30Gy 比率		
	パプリカ	フェネグリーク	コリアンダー
40℃ 2時間真空乾燥	0.17	0.16	0.090
五酸化リン 24時間真空乾燥	0.15	0.18	0.084

50℃ 2時間、60℃ 2時間でピーク高を調査した。

このときは、RE 1 Xにて測定したため、1回測定である。

以上のように同一サンプルを追加で温度を上げて乾燥を行っても、ピーク高に大きな影響を与えなかった。

別の3サンプルにて重量変化を検討した結果、40℃の真空乾燥では2時間で重量が安定していることがわかった。

3.2.2. ビスタチオ

9 k Gy 照射したビスタチオにて比較した。図に示したとおり、未乾燥では少しピーク高さが低くなっているが、40℃-65℃では安定した。

3.2.3. スパイス3種 (パプリカ、フェネグリーク、コリアンダー)

スパイス3種については4 k Gy 照射したサンプルにて調査し、表4のとおりとなった。

これらの結果から、40℃ 2時間の真空乾燥と五酸化リン 24時間の真空乾燥においては顕著な差が見られなかった。またさらに高温にしても、ピーク高に変化がなかったため、40℃であれば、問題ないと思われる。所要時間の少ないこと、試薬の廃棄物がでないことなど、有利な点が多く、乾燥方法として、40℃ 2時間の真空乾燥を採用することとした。

表5 試料量と感度の関係

重量g	高さmm	Mn	Mn比	PTP	PTP比	PTP/Mn
0.0488	10	3527	1	558.8203	1	0.1584
0.1052	20	2903	0.823	943.5295	1.6884	0.3250
0.1597	30	2772.8	0.786	1150.485	2.0588	0.4149
0.2043	39	2556.8	0.725	1163.161	2.0815	0.4549
0.2481	43	2456.198	0.696	1163.74	2.0825	0.4738

3.3. 試料の量について

試料を試料管に入れる量を変えたときの影響を調査した。通常、ESR 検出部 (キャビティ) の有効高さは40mm程度であるため、最大40mmまでの調査を行った。感覚的には多く入れたほうが感度が上がると思われるが、PTPとMnマーカール比で比較する場合、試料によってそれほど効果がないものがあつた。

乾燥の程度や試料中のバックグラウンドの影響によるものと思われる。

それぞれの評価は、高さや重量の直線性、Mnマーカールのピークツーピーク (以下PTP) (表の表示Mn)、試料のPTP (PTP)、それぞれの最小重量との

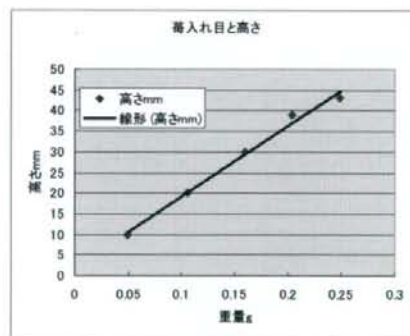


図2 8 高さ重量

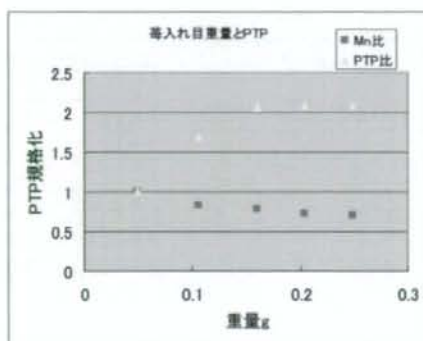


図29 苺量とPTP

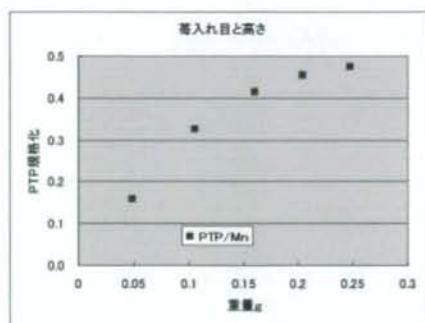


図30 苺量とPTP/Mn

比 (Mn比、PTP比) およびPTPとMnの比率 (PTP/Mn) で行った。

今回の測定では、PTP/Mnを元に評価するため、PTP/Mnが高くなる条件が好ましいが、PTPは飽和しているのに、Mnが低下することで、相対的にPTP/Mnが高くなっている状況は、試料の水分やバックグラウンドが増加したことによるものと考え、PTPの飽和とPTP/Mnの両方を検討して、試料の量を決定した。

3.3.1. イチゴ

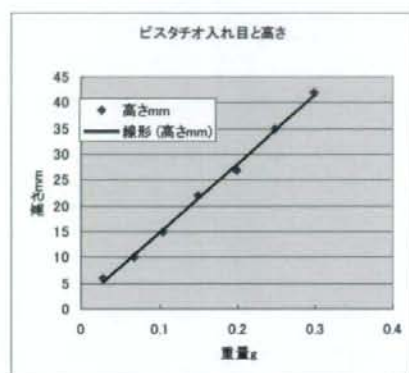


図31 ビスタチオ重量と高さ

表6 ビスタチオ 試料量と感度の関係

重量g	高さmm	Mn	Mn比	PTP	PTP比	PTP/Mn
0.0273	6	436.8	1	180.22	1	0.4126
0.067	10	365.2	0.836	372.23	2.0655	1.0192
0.1048	15	317.6	0.727	551.13	3.0582	1.7353
0.1504	22	244.6	0.560	722.68	4.0101	2.9545
0.1989	27	265.6	0.608	825.43	4.5802	3.1078
0.2494	35	252.2	0.577	921.31	5.1123	3.6531
0.2995	42	268.6	0.615	981.84	5.4481	3.6554

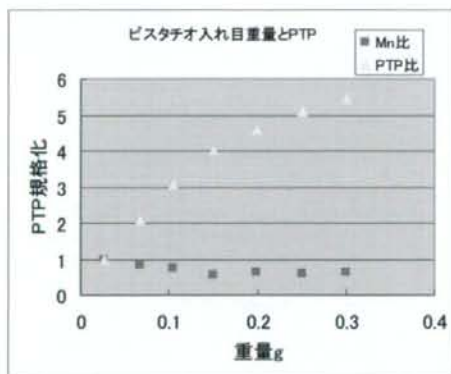
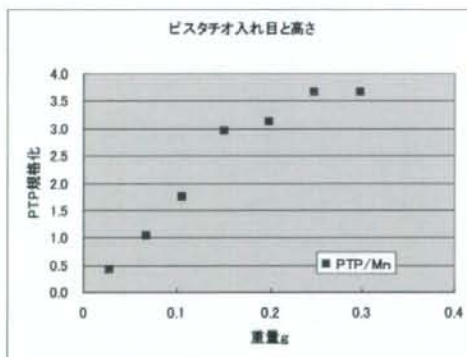


図32 ビスタチオ重量とPTP



ビスタチオ重量とPTP/Mn

表7 バブリカ 試料量と感度の関係

重量g	高さmm	Mn	Mn比	PTP	GAIN	PTP比	PTP/Mn
0.0578	8	2677.0	1	365.4	790.0	1	0.1365
0.1009	14	1771.6	0.662	414.4	630	1.4222	0.2339
0.1645	20	1021.0	0.381	465.1	500	2.0108	0.4555
0.2035	24	1044.4	0.390	517.7	630	1.7765	0.4957
0.2488	30	1058.8	0.396	667.5	630	2.2906	0.6304
0.3053	35	944.0	0.353	602.7	500	2.6061	0.6385
0.3486	40	838.2	0.313	498.2	500	2.1542	0.5944

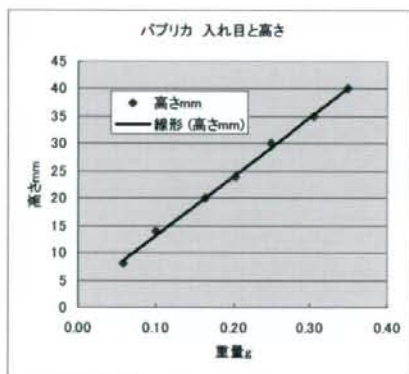


図3.4 バブリカ 高さと重量

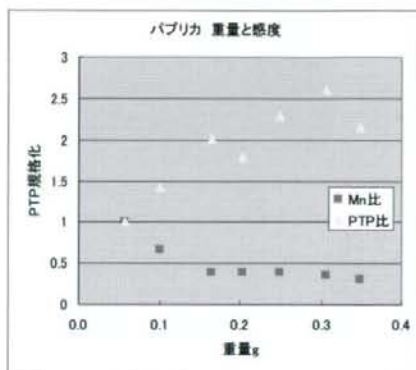


図3.5 バブリカ 重量とPTP

試料 苺種 3 k Gy 08/12/24 照射

測定 08/12/29 0.4mW 335 ± 15mT Mod0.79

Gain1*1000 0.1s2min 5回積算

イチゴについては、PTP比が飽和している、重量150mg、30-35mm高さを目標とした。

3.3.2. ピスタチオ

試料 ピスタチオ 4 k Gy 08/12/17 照射

測定 08/12/19 0.4mW 334.524 ± 15mT Mod0.79

Gain6.3*100 0.1s2min 5回積算

ピスタチオについては、非常に感度も良く、量が少なくても問題ないが、他の試料ともあわせ、PTP飽和にかかる150mg、20-22mm高さとした。

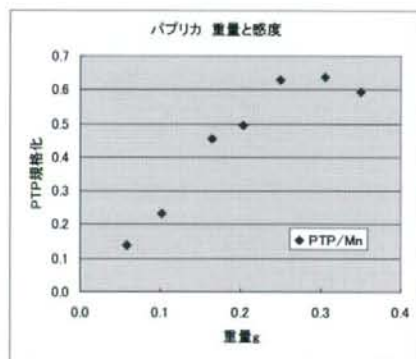


図3.6 バブリカ重量とPTP/Mn

表8 フェネグリーク 試料量と感度の関係

重量g	高さmm	Mn	Mn比	PTP	PTP比	PTP/Mn
0.0578	8	386.6	1	282.59	1	0.7310
0.1075	15	227	0.587	389.25	1.377	1.7148
0.1613	20	202	0.523	433.88	1.535	2.1479
0.2034	26	119.6	0.309	459.72	1.627	3.8438
0.2588	31	67	0.173	510.71	1.807	7.6225
0.3088	41	49.8	0.129	496.49	1.757	9.9696
0.3615	47	37	0.096	530.29	1.877	14.3320
0.4115	52	43	0.111	519.61	1.839	12.0840

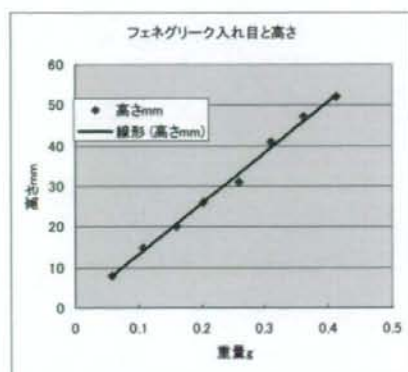


図37 フェネグリーク高さと重量

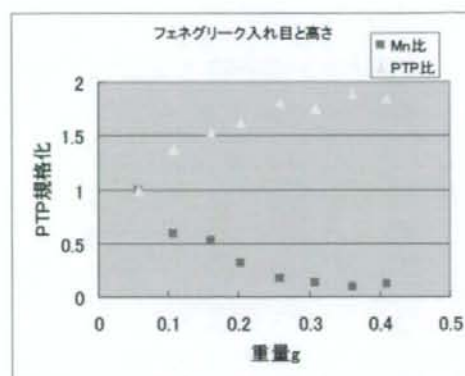


図38 フェネグリーク 重量と PTP

3.3.3. パプリカ

試料 パプリカ 4 k Gy 09/1/7 照射

測定 09/3/10 0.4mW 345 ± 15mT Mod0.79

Gain*1000 0.1s2min 5回積算

パプリカについては、バックグラウンドの影響か、再現性が良くないため、量を増やした場合ばらつきが見られた。今回は他に合わせ、150mg、20-25mm 高さとした。

3.3.4. フェネグリーク

試料 フェネグリーク 4 k Gy 08/10/29 照射

測定 08/11/06 0.4mW 334.524 ± 15mT

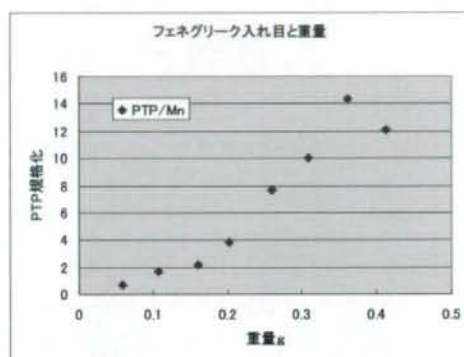


図39 フェネグリーク重量と PTP/Mn

表9 試料量と感度の関係

重量g	高さmm	Mn	Mn比	PTP	PTP比	PTP/Mn
0.0277	7	3686.4	1	550.0051	1	0.149198
0.0440	11	3275.8	0.889	605.8087	1.1015	0.184935
0.0716	18	2851.0	0.773	1076.231	1.9568	0.377492
0.1020	25	2406.4	0.653	1211.072	2.2019	0.503271
0.1436	31	2238.6	0.607	1464.859	2.6634	0.654363
0.1986	40	2054.8	0.557	1781.013	3.2382	0.866759

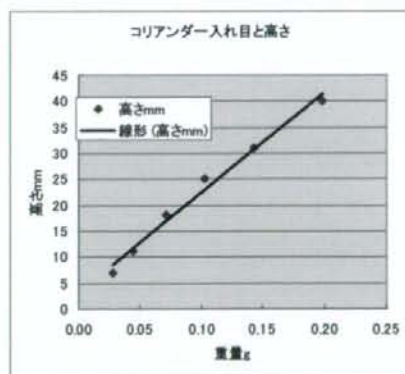


図40 コリアンダー高さと重量

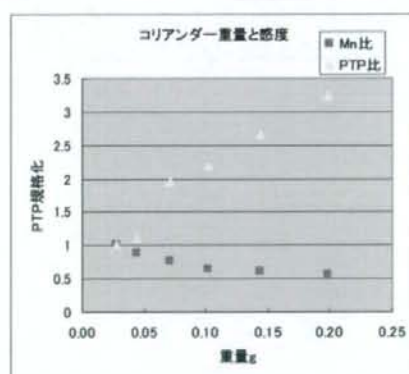


図41 コリアンダー 重量と PTP

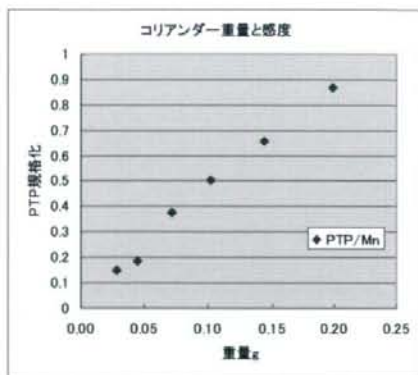


図4.2 コリアンダー重量とPTP/Mn

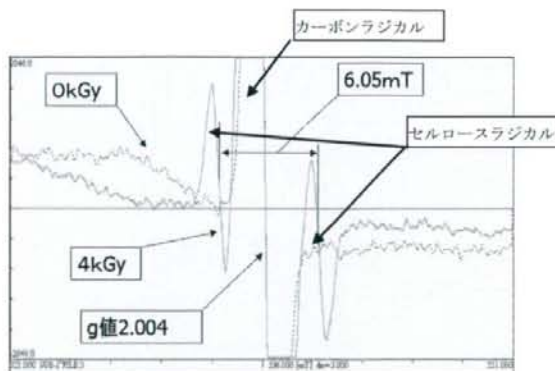


図4.3 EN法の判定条件

Mod0.79 Gain6.3*100 0.1s2min 5回積算

フェネグreekでは量を多くするとPTP/Mnは急激に増加しているが、PTPはあまり増加していない。よって、今回の測定では、150mg、20-25mm高さを採用した。

3.3.5. コリアンダー

試料 コリアンダー 7k Gy 08/12/24 照射

測定 09/1/17 0.4mW 345 ± 15mT Mod0.79

Gain1*1000 0.1s2min 5回積算

コリアンダーについては、PTP比、PTP/Mnとも飽和しなかったため、なるべく量を多くして感度を上げるため、150mg、30-35mm高さとした。

4. 測定条件及び測定方法の検討

4.1. 測定条件の検討

右に、照射（緑線）・非照射（黒線）のビスタチオのESRスペクトルを示す。EN法では、照射の判別に、カーボンラジカルの両端にセルロースラジカルが検出され、その間隔が、 $6.05\text{mT} \pm 0.05\text{mT}$ であることを確認することとなっている。

これらを検出できるESRの測定条件について以下の方法で調査した。

4.1.1. マイクロ波パワーの飽和値

EN法では、ビスタチオが0.4mW、パブリカとイチゴは0.8mWとある。ESR測定装置 JES-R1Xにて、4k Gyを照射した各試料について、マイクロ波パワーを、0.1から2mW程度まで変化させてゆき、測定対象であるセルロースラジカルピークの高さを測定し、横軸をマイクロ波パワーのルートとし、縦軸をセルロースラジカルのピーク高としてグラフ化してマイクロ波パワー

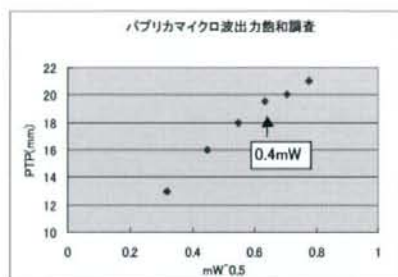


図4.4 マイクロ波飽和曲線

の飽和値を求めた。

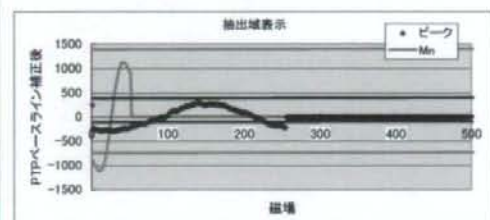
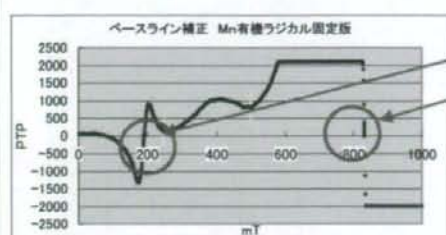
その結果、マイクロ波のパワーを上げることで、真ん中のカーボンラジカルは、数mWでもピークが増加するのに対し、セルロースラジカルのピークは、1mWで飽和してしまうため、カーボンラジカルの大きな変化に埋もれてしまい、非常に判別しにくい。どのサンプルも0.4mW程度までは飽和しないことがわかった。そこで、今回の実験では、マイクロ波パワーを0.4mWと固定した。

4.1.2. モジュレーションの最適値の検討

ESR測定装置 JES-FR30EXにて、4kGyを照射した各試料について、モジュレーションを、0.32から1mTに変化させてゆき、測定対象であるセルロースラジカルピークの高さを測定し、グラフ化してモジュレーションの最適値を求めた。

その結果、セルロースラジカルは元々比較的大きなピークであり、検出感度を上げるためには、多少オーバーモジュレーション気味でも大きな

ベースライン補正ソフト Mn・カーボンラジカル範囲固定版



1. TXTシートのB1セルにテキストデータを貼り付けてください
2. 左のグラフのMnマーカーと有機ラジカルを中心位置にマウスをあわせて表示される横軸値を読み取り、右の青いセルに入力してください
3. 指定カウントを際前後2カウントの平均を算出し、この2つの平均値で傾きを求めます
4. 傾き分を着目範囲のピークから引き、下図に表示し、PTPと面積とS/N比を求めます

有機ラジカル	
Mn位置	メイン位置
189	830
Mn450	ピーク
入力	
開始	164 246以上
終了	214 499
開始点AV	-1085.0 153.7
終了点AV	685.4 812.1
傾き	35.41 2.60

PTP
MAX-MIN
ピークBL補正後
Mn未補正
ピーク/Mn比

図4-5 ベースライン補正ソフト

いほうがよく、0.79mTで固定とした。

4.1.3. 掃引速度・時定数・掃引回数・掃引幅の検討

ここまでの測定結果と、測定対象がセルロースラジカルのみであることから、代表してフェネグリックにて掃引速度・時定数・掃引回数の検討を行った。

掃引速度と時定数の最適値はおおよそ反比例の関係にあるため、掃引速度を2分間に固定して、時定数を変えることで、最適値を求めた。その結果、掃引速度2分間、時定数0.1秒が最適であることがわかった。

掃引回数については、本実験の測定対象が、測定感度の限界に近いため、SN比をあげるためには掃引回数を多くすることが望ましい。しかし、その分測定時間が長くなる。そこで、掃引を10回行い、掃引を何回増やすことで、ばらつきを抑えられるかを検討した。その結果、5回以上掃引してもそれほどばらつきが変わらないことがわかったため、掃引回数を5回と設定した。

掃引巾は、その大きさにより、ピーク高やピークの判別に影響を与える。今回は±15mTとした。

4.2. 測定方法の検討

4.2.1. ピーク高の算出

E N法には、セルロースピークの有無を確認する

ことが、記載されているが、どれだけあればピークなのかについての記述がない。ある程度定量的な判定がないと、ノイズなのか、照射ピークなのかの判定ができない。そこで、まず、ピーク高の算出方法について検討した。

最初に、セルロースピーク部分のベースラインが、金属などの含有により、大きく傾いてしまうことがある。そこで適当なソフトを用いてベースライン補正をおこなう必要がある。今回の実験では、表計算ソフトを用いた。

本ソフトは、図に示すもので、ESRスペクトルを、テキストデータで取り出し、スペクトル図を表示させ、セルロース両端のポイントを求め、その付近の前後2ポイントの平均値を両端のベースとして算出し、その傾きを計算して、各ポイントでの傾き分を各ポイントの高さから引いたものを下の図に表すことでベースを平らにして、そのピークの高さを求めている。

ここで検討したのが、セルロースラジカル範囲である。当初は目視で範囲指定していたが、ベースになだらかなバックグラウンドがあると、それもピークと判別してしまうため、過大評価してしまう恐れがある。そこで、マンガンマーカーと、カーボンラジカルの位置を指定することで、照射で生ずるセルロースラジカルの範囲を比例計算にて求める方法を採用した。

表10 測定器にセットしたまま繰り返し測定

	Mn No. 3	MnNo. 4	Al.	Al./MnNo. 4
平均	1304.1	1236.1	2669.7	2.160
CV	1.47%	1.55%	0.48%	1.48%

表11 毎回出し入れ繰り返し測定

	MnNo. 3	MnNo. 4	Al.	Al./MnNo. 4
平均	1324	1274	2721.6	2.137
CV	1.82%	1.70%	0.98%	1.42%

4.2.2. 感度の規格化

ESR装置は、試料の水分含量や測定条件の微妙な変動により、ピーク高が変化する。そこで、標準となるマンガンマーカを同時に測定し、このマーカとの比を示すことで、異なる試料のピーク高さを規格化する測定法が一般的である。これは、水分含量が高い場合などで、感度が低下している場合、マンガンマーカの値も比例して低くなることを利用している。

しかし、このマンガンマーカ自体の強度も機器やマーカ及びマーカの挿入量により大きく変動する。そこで、本研究では、機器間の感度の整合を測るため、試料測定の開始前と終了後に、30Gy 基準照射されたアラニンベレット線量計とマンガンマーカの比を求め、さらに、試料とマンガンマーカの比を求めることで、30Gy アラニンベレット線量計の強度に対する、試料のピーク高さの割合に換算することで、機器や試料の水分含量の違いによる感度補正を試みた。

さらに、試料の量によっても当然ピーク高は変動してしまうが、試料の高さにおいても感度を変化させる要因となる。そこで、高さや感度の関係を調査し、最適と思われる試料高を規定し、重量によって規格化することで、感度の規格化（今回は150mgに規格化した）を行った。

4.2.3. 測定再現性の確認

ここまで検討した測定方法での測定における再現性を確認した。

4.2.3.1. アラニンベレットとマンガンマーカ

まずは基準となる30Gy 基準照射アラニンベレットとマンガンマーカ比較における繰り返し測定を行った。まずは測定器にセットしたまま10回繰り返し測定を行った結果を以下に示す。

表12 測定器にセットしたまま繰り返し測定

	MnNo. 4	Cel	Cel/MnNo. 4
平均	2989.88	663.034	0.222
CV	0.83%	2.76%	3.07%

表13 毎回出し入れ繰り返し測定

	MnNo. 4	Cel	Cel/MnNo. 4
平均	2859.36	606.791	0.213
CV	4.19%	9.62%	11.08%

さらに、アラニンベレットと測定ホルダーをキャビティから取り出し、セットしなおして、共鳴の調整を毎回行ったときの10回繰り返し測定を行った結果を以下に示す。

これらの結果によると、アラニンピークは、マンガンマーカのピークに比べて、ブロードなピークのため今回の測定では再現良く測定できている。複数回積算すればもう少しばらつきは減ると思われるが、今回の目的は定量ではないため、この程度で十分と思われる。

4.2.3.2. 食品試料とマンガンマーカ

同様に、食品照射した試料とマンガンマーカでの測定の再現性について調査した。食品照射試料としては、コリアンダー4kGy照射したものをを用いた。

以上のように、キャビティから出し入れしてしまうと同じサンプルでもこれだけばらついてしまうことがわかった。但し、定量試験ではないため、問題はないと思われる。

4.2.4. セルロースピークの間隔の確認(同定)

EN法では、検出したピークが、セルロースピークであるかどうかを確認するため、その間隔が $6.05\text{mT} \pm 0.05\text{mT}$ であることを確認することとなり、これにより、天然のマンガンピークなどの試料に含まれるセルロース以外のピークとセルロースピークを区別している。この測定を行う時には、マンガンマーカを取り出して行う必要がある。これは、マンガンピークが、セルロースピークの右側(高磁場側)と重なってしまうためである。そのため、ピーク高の測定とは分けて測る必要がある。

測定条件は、定量ではないため、両端のセルロースが見える範囲について1回測定とした。

このとき、間隔とそのg値について確認を行っ

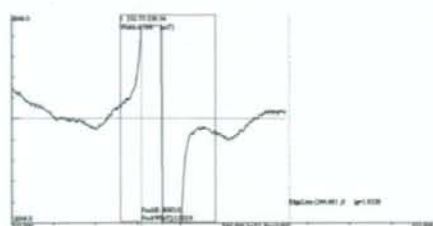


図 4.6 イチゴ再現 2 0kGy2

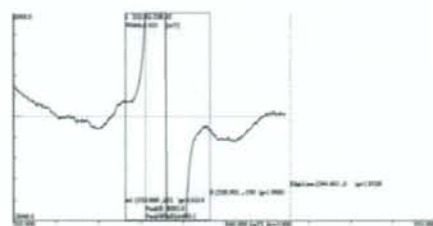


図 4.7 イチゴ再現 2 1.4kGy1

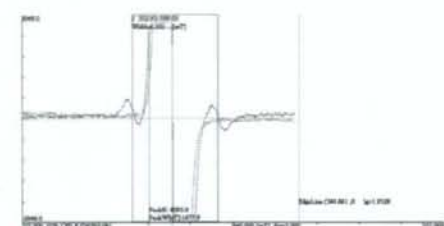


図 4.8 照射後約7ヶ月経過した2.8kGy (黒)と0kGy (緑)のピスタチオ

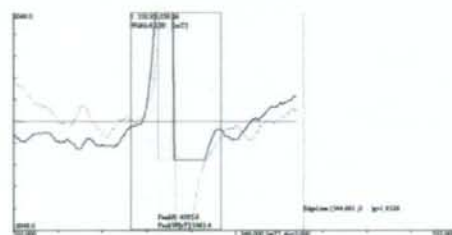


図 4.9 照射後約4ヶ月経過した4kGy (黒)と0kGy (緑)のパプリカ

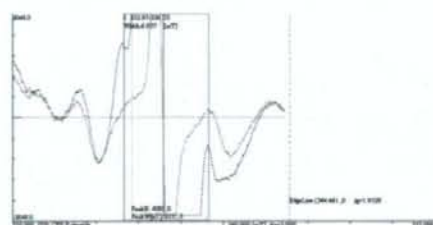


図 5.0 照射後約4ヶ月経過した4kGy (黒)と0kGy (緑)のフェネグリーク

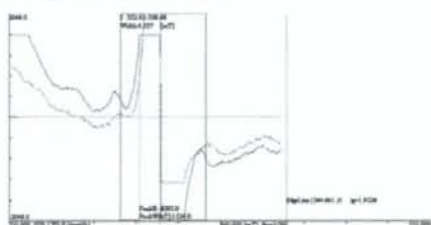


図 5.1 照射後約4ヶ月経過した4kGy (黒)と0kGy (緑)のコリアンダー

た。その結果、EN法の範囲である $6.05\text{mT} \pm 0.05\text{mT}$ を判定基準とすると、かなり強い線量で、バックグラウンドがない場合でない、この範囲に収めることは難しかった。これはマンガンのピークと混在した場合、マンガンと高磁場側のセルロースピークとの境目がわからず、わずかなずれでも、EN法の範囲を超えてしまうためである。そこで、以下の手順を検討した。

手順 同定条件で測定した後、カーボンラジカルの中心から換算して、低磁場側 $2.85 \pm 0.05\text{mT}$ と高磁場側 $3.20 \pm 0.05\text{mT}$ の両方の位置において、スペクトルが右下がりとなっていた場合 (g 値のセンターを取るような位置。ベースラインがゆがんでいることが多く、上下にずれているため、ここでいうセンターはベースライン上ではなくスペ

クトルの山と谷の間する) にセルロースラジカルと判定した。

(未照射および照射後6ヶ月過ぎたパプリカのみ、カーボンラジカルが低磁場側に 0.1mT ずれていたが、今回の判定には影響は見られなかったが、今後多くのサンプルで確認が必要と思われる)

図 4.6、4.7 は、イチゴの 0kGy と 1.4kGy のスペクトルであるが、低磁場側 2.85mT 付近と高磁場側 3.20mT 付近に縦の青い線を引いてある。 0kGy の場合、右側 (高磁場側) はセルロースピークのように見えてしまうが、左側 (低磁場側) 付近は上がり気味であり、右下がりの位置が読み取れないことと、ピーク高により判定可能である。

ピスタチオは線量に対するセルロースピークの応答性が良く、バックグラウンドも少ないため、

非常に測定しやすい。

図4 9は、照射後約4ヶ月経過した4 k Gy (黒)と0 k Gy (緑)のパブリカパウダーのスペクトルである。左(低磁場)側ではなかなか判断しにくい、右(高磁場)側では容易に区別がついた。

表1 4 再現性調査1回目

再現性調査 1回目	照射日	分離・乾燥	測定日			
	08/12/24	09/12/24	09/2/24			
0 kGy		Al	Mn	Al/Mn	平均	
		2744	1316	2.085	2.066	
		2712	1325	2.047		
試料番号	1	2	3	平均	CV%	
サイドBL補正	168.64	138.978	183.8796	163.83	13.9%	
Mn	2170.598	2352.604	2363	2295.40	4.7%	
試料重量g	0.1502	0.1469	0.1508	0.14930	1.4%	
試料高さmm	26	26	25	25.67	2.2%	
150mg規格化	0.0376	0.0292	0.0375	0.03474	13.8%	
1.40 kGy		Al	Mn	Al/Mn	平均	
		2744	1316	2.085	2.066	
		2712	1325	2.047		
試料番号	1	2	3	平均	CV%	
サイドBL補正	321.2353	288.6596	334.9179	314.94	7.5%	
Mn	2250.6	2330.602	2346	2309.07	2.2%	
試料重量g	0.1568	0.1528	0.1495	0.15303	2.4%	
試料高さmm	24	27	26	25.67	6.0%	
150mg規格化	0.0661	0.0589	0.0693	0.06476	8.3%	
2.88 kGy		Al	Mn	Al/Mn	平均	
		2744	1316	2.085	2.066	
		2712	1325	2.047		
試料番号	1	2	3	平均	CV%	
サイドBL補正	458.0074	490.7282	457.1218	468.62	4.1%	
Mn	2392.8	2360.2	2303.202	2352.07	1.9%	
試料重量g	0.1527	0.1597	0.1531	0.15517	2.5%	
試料高さmm	26	25	25	25.33	2.3%	
150mg規格化	0.0910	0.0945	0.0941	0.09322	2.1%	

表1 5 再現性調査2回目

再現性調査 2回目	照射日	分離・乾燥	測定日			
	09/1/7	09/1/12	09/2/10			
0 kGy		Al	Mn	Al/Mn	平均	
		2667	1263	2.112	2.116	
		2745	1294	2.121		
試料番号	1	2	3	平均	CV%	
サイドBL補正	154.14	152.132	123.0065	143.09	12.2%	
Mn	2487.6	1951.803	2242.398	2230.60	12.2%	
試料重量g	0.1540	0.1582	0.1547	0.15563	1.4%	
試料高さmm	30	29	29	29.33	2.0%	
150mg規格化	0.0284	0.0349	0.0251	0.02948	16.9%	
1.44 kGy		Al	Mn	Al/Mn	平均	
		2743	1227	2.236	2.212	
		2723	1244	2.189		
試料番号	1	2	3	平均	CV%	
サイドBL補正	325.2126	321.7979	325.8124	324.27	0.7%	
Mn	1481.6000	2143.7970	2124.4000	1916.60	19.7%	
試料重量g	0.1565	0.1596	0.1568	0.15763	1.1%	
試料高さmm	30	29	30	29.67	1.9%	
150mg規格化	0.0951	0.0638	0.0663	0.07506	23.2%	
2.82 kGy		Al	Mn	Al/Mn	平均	
		2731	1290	2.117	2.200	
		2721	1192	2.283		
試料番号	1	2	3	平均	CV%	
サイドBL補正	584.1397	556.1573	605.0094	581.77	4.2%	
Mn	2230.1980	2133.4040	2269.2040	2210.94	3.2%	
試料重量g	0.1606	0.1587	0.1578	0.15903	0.9%	
試料高さmm	30	29	30	29.67	1.9%	
150mg規格化	0.1112	0.1120	0.1152	0.11280	1.9%	

フェネグリークでは右(高磁場)側では、他の食品と違い、判定位置がぎりぎりになっている。左(低磁場)側では、0kGyのバックグラウンドがブロードなピークとなっているが、ベースライン補正によるピーク高で判断できた。

表1 6 再現性調査3回目

再現性調査 3回目	照射日	分離・乾燥	測定日			
	09/1/14	09/1/15	09/2/11			
0 kGy		Al	Mn	Al/Mn	平均	
		2694	1267	2.126	2.135	
		2697	1258	2.144		
試料番号	1	2	3	平均	CV%	
サイドBL補正	196.16	163.623	198.3022	186.03	10.4%	
Mn	1906	1583.4	1975.599	1821.67	11.5%	
試料重量g	0.1959	0.1879	0.1902	0.19133	2.2%	
試料高さmm	29	29	30	29.33	2.0%	
150mg規格化	0.0369	0.0386	0.0371	0.03754	2.5%	
1.43 kGy		Al	Mn	Al/Mn	平均	
		2702	1246	2.169	2.151	
		2704	1268	2.132		
試料番号	1	2	3	平均	CV%	
サイドBL補正	412.4608	441.5720	442.8631	432.30	4.0%	
Mn	1770.2000	2199.6000	2070.9960	2013.60	10.9%	
試料重量g	0.1927	0.1706	0.1695	0.17760	7.4%	
試料高さmm	30	30	30	30.00	0.0%	
150mg規格化	0.0843	0.0821	0.0880	0.08480	3.5%	
2.77 kGy		Al	Mn	Al/Mn	平均	
		2730	1253	2.179	2.178	
		2705	1242	2.178		
試料番号	1	2	3	平均	CV%	
サイドBL補正	706.5783	706.5783	690.4415	701.20	1.3%	
Mn	1779.4040	1779.4040	2268.9970	1942.60	14.6%	
試料重量g	0.2155	0.2141	0.1722	0.20060	12.3%	
試料高さmm	32	31	29	30.67	5.0%	
150mg規格化	0.1269	0.1277	0.1217	0.12543	2.6%	

再現性 イチゴ

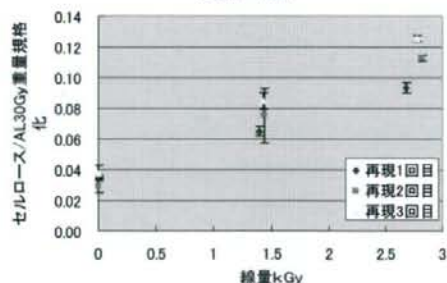


図5 2 再現性 苺

5.2. ビスタチオ

表17 再現性調査1回目

再現性調査 ビスタチオ		照射日		測定日		
1回目		08/12/17		09/2/24		
0 kGy		Al	Mn	Al/Mn	平均	
		2774	1330	2.088	2.100	
		2771	1310	2.115		
試料番号	1	2	3	平均	CV%	
サイドBL補正	206.18	172.72	201.37	193.42	9.4%	
Mn	3036.2	2590.0	3054.4	2893.5	9.1%	
試料重量g	0.1549	0.1568	0.1526	0.1548	1.4%	
試料高さmm	21	24	24	23.00	7.5%	
150mg規格化	0.0313	0.0304	0.0309	0.03084	1.5%	
4.28 kGy		Al	Mn	Al/Mn	平均	
		2665	1267	2.103	2.074	
		2698	1320	2.044		
試料番号	1	2	3	平均	CV%	
サイドBL補正	2124.24	2148.95	2036.48	2103.22	2.8%	
Mn	2259.2	2173.0	2324.4	2252.2	3.4%	
試料重量g	0.1557	0.1587	0.1475	0.1540	3.8%	
試料高さmm	21	21	20	20.67	2.8%	
150mg規格化	0.4368	0.4508	0.4297	0.43808	2.4%	
7.32 kGy		Al	Mn	Al/Mn	平均	
		2665	1267	2.103	2.074	
		2698	1320	2.044		
試料番号	1	2	3	平均	CV%	
サイドBL補正	1720.49	1699.04	1918.54	1779.36	6.8%	
Mn	1229.0	1076.6	1228.4	1178.0	7.5%	
試料重量g	0.1419	0.1470	0.1622	0.1504	7.0%	
試料高さmm	20	21	22	21.00	4.8%	
150mg規格化	0.7136	0.7766	0.6965	0.72891	5.8%	

表18 再現性調査2回目

再現性調査 ビスタチオ		照射日		測定日		
2回目		08/12/24		09/2/14		
0 kGy		Al	Mn	Al/Mn	平均	
		2753	1301	2.116	2.118	
		2761	1302	2.121		
試料番号	1	2	3	平均	CV%	
サイドBL補正	113.25	83.70	132.83	109.93	22.5%	
Mn	2159.4	2339.4	2316.2	2271.7	4.3%	
試料重量g	0.1558	0.1556	0.1574	0.1563	0.6%	
試料高さmm	22	21	22	21.67	2.7%	
150mg規格化	0.0238	0.0163	0.0258	0.02197	22.9%	
4.35 kGy		Al	Mn	Al/Mn	平均	
		2724	1322	2.061	2.095	
		2729	1281	2.130		
試料番号	1	2	3	平均	CV%	
サイドBL補正	1948.35	1593.53	1819.64	1787.17	10.1%	
Mn	1983.4	1503.4	1737.4	1741.4	13.8%	
試料重量g	0.1545	0.1480	0.1567	0.1531	3.0%	
試料高さmm	21	22	22	21.67	2.7%	
150mg規格化	0.4551	0.5127	0.4784	0.48209	6.0%	
6.97 kGy		Al	Mn	Al/Mn	平均	
		2694	1299	2.074	2.077	
		2702	1299	2.080		
試料番号	1	2	3	平均	CV%	
サイドBL補正	1964.09	1948.80	1917.00	1943.29	1.2%	
Mn	1128.2	1316.4	1127.2	1190.6	9.2%	
試料重量g	0.1569	0.1479	0.1558	0.1535	3.2%	
試料高さmm	21	22	22	21.67	2.7%	
150mg規格化	0.8013	0.7229	0.7883	0.77085	5.5%	

表19 再現性調査3回目

再現性調査 ビスタチオ		照射日		測定日		
3回目		09/1/7		09/2/14		
0 kGy		Al	Mn	Al/Mn	平均	
		2753	1301	2.116	2.118	
		2761	1302	2.121		
試料番号	1	2	3	平均	CV%	
サイドBL補正	104.3163	108.1357	73.80282	95.42	19.7%	
Mn	2362.999	2395.804	2479.398	2412.7	2.5%	
試料重量g	0.1571	0.1552	0.1568	0.1564	0.7%	
試料高さmm	22	21	23	22.00	4.5%	
150mg規格化	0.0199	0.0206	0.0134	0.01798	21.9%	
4.38 kGy		Al	Mn	Al/Mn	平均	
		2694	1299	2.074	2.077	
		2702	1299	2.080		
試料番号	1	2	3	平均	CV%	
サイドBL補正	2081.84	1861.43	2074.30	2005.86	6.2%	
Mn	1806.6	1701.0	1850.4	1786.0	4.3%	
試料重量g	0.1561	0.1442	0.1550	0.1518	4.3%	
試料高さmm	23	21	23	22.33	5.2%	
150mg規格化	0.5331	0.5481	0.5223	0.53451	2.4%	
7.43 kGy		Al	Mn	Al/Mn	平均	
		2694	1299	2.074	2.077	
		2702	1299	2.080		
試料番号	1	2	3	平均	CV%	
サイドBL補正	2078.95	2450.86	2403.81	2311.24	8.6%	
Mn	1057.8	1345.4	1199.4	1200.9	12.0%	
試料重量g	0.1471	0.1526	0.1587	0.1528	3.8%	
試料高さmm	22	23	22	22.33	2.6%	
150mg規格化	0.9649	0.8622	0.9120	0.91304	5.6%	

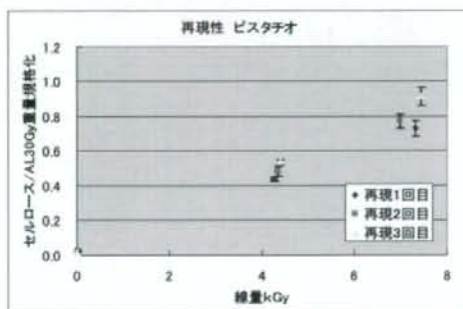


図5.3 再現性 ビスタチオ

5.3. パブリカ

表 2 0 再現性調査 1 回目

再現性調査 パブリカ 1回目	照射日		測定日		平均
	08/12/17		09/2/14		
0 kGy	Al	Mn	Al/Mn	平均	
	2711	1322	2.051	2.083	
	2753	1301	2.116		
試料番号	1	2	3 平均	CV%	
サイドBL補正	94.56	171.92	150.34	138.94	28.7%
Mn	1187.2	1280.0	1119.2	1195.5	8.8%
試料重量g	0.1528	0.1579	0.1526	0.1544	1.9%
試料高さmm	22	22	21	21.87	2.7%
150mg規格化	0.0375	0.0612	0.0634	0.05405	26.5%
4.32 kGy	Al	Mn	Al/Mn	平均	
	2711	1322	2.051	2.083	
	2753	1301	2.116		
試料番号	1	2	3 平均	CV%	
サイドBL補正	507.6246	364.945	362.6574	411.74	20.2%
Mn	1466.8	1273.6	1341.2	1360.5	7.2%
試料重量g	0.1543	0.1578	0.1516	0.1546	2.0%
試料高さmm	22	22	22	22.00	0.0%
150mg規格化	0.1615	0.1307	0.1284	0.14021	13.2%
kGy	Al	Mn	Al/Mn	平均	
	2711	1322	2.051	2.083	
	2753	1301	2.116		
試料番号	1	2	3 平均	CV%	
サイドBL補正	778.52	771.39	769.84	773.25	0.6%
Mn	1308.0	1336.2	1373.4	1339.2	2.4%
試料重量g	0.1454	0.1608	0.1572	0.1545	5.2%
試料高さmm	22	23	23	22.87	2.5%
150mg規格化	0.2947	0.2585	0.2567	0.26998	7.9%

表 2 2 再現性調査 3 回目

再現性調査 パブリカ 3回目	照射日		測定日		平均
	09/1/7		09/2/6		
0 kGy	Al	Mn	Al/Mn	平均	
	2708	1168	2.318	2.234	
	2744	1277	2.149		
試料番号	1	2	3 平均	CV%	
サイドBL補正	93.27526	160.2667	85.20615	106.25	46.0%
Mn	1212.4	1304.2	1056.2	1190.9	10.5%
試料重量g	0.1489	0.1520	0.1594	0.1534	3.5%
試料高さmm	23	24	24	23.67	2.4%
150mg規格化	0.0347	0.0543	0.0260	0.03833	37.8%
4.38 kGy	Al	Mn	Al/Mn	平均	
	2708	1168	2.318	2.234	
	2744	1277	2.149		
試料番号	1	2	3 平均	CV%	
サイドBL補正	615.7184	413.8995	528.643	519.42	19.5%
Mn	1475.203	1389.2	1102.8	1322.4	14.7%
試料重量g	0.1575	0.1560	0.1576	0.1577	0.2%
試料高さmm	23	24	24	23.67	2.4%
150mg規格化	0.1780	0.1266	0.2043	0.16992	23.3%
7.43 kGy	Al	Mn	Al/Mn	平均	
	2716	1275	2.130	2.106	
	2720	1306	2.083		
試料番号	1	2	3 平均	CV%	
サイドBL補正	826.514	825.3114	662.8362	771.55	12.2%
Mn	1445.203	1469.2	873.204	1262.5	26.7%
試料重量g	0.1533	0.1600	0.1546	0.1560	2.3%
試料高さmm	22	24	24	23.33	4.9%
150mg規格化	0.2657	0.2500	0.3496	0.28844	18.6%

表 2 1 再現性調査 2 回目

再現性調査 パブリカ 2回目	照射日		測定日		平均
	08/12/24		09/2/24		
0 kGy	Al	Mn	Al/Mn	平均	
	2744	1316	2.085	2.066	
	2712	1325	2.047		
試料番号	1	2	3 平均	CV%	
サイドBL補正	134.11	68.73	246.50	149.78	60.0%
Mn	1055.4	1305.0	1553.6	1304.7	19.1%
試料重量g	0.1528	0.1579	0.1526	0.1544	1.9%
試料高さmm	22	22	21	21.67	2.7%
150mg規格化	0.0604	0.0242	0.0755	0.05336	49.4%
kGy	Al	Mn	Al/Mn	平均	
	2744	1316	2.085	2.066	
	2712	1325	2.047		
試料番号	1	2	3 平均	CV%	
サイドBL補正	377.36	437.48	345.85	386.89	12.0%
Mn	1249.2	1410.4	1479.2	1379.6	8.6%
試料重量g	0.1597	0.1471	0.1595	0.1554	4.6%
試料高さmm	22	21	22	21.67	2.7%
150mg規格化	0.1373	0.1531	0.1064	0.13229	17.9%
kGy	Al	Mn	Al/Mn	平均	
	2744	1316	2.085	2.066	
	2712	1325	2.047		
試料番号	1	2	3 平均	CV%	
サイドBL補正	372.46	909.86	845.49	709.27	41.4%
Mn	1055.4	1785.4	1579.8	1473.5	25.5%
試料重量g	0.1582	0.1489	0.1497	0.1523	3.4%
試料高さmm	25	21	23	23.00	8.7%
150mg規格化	0.1620	0.2485	0.2596	0.22334	23.8%

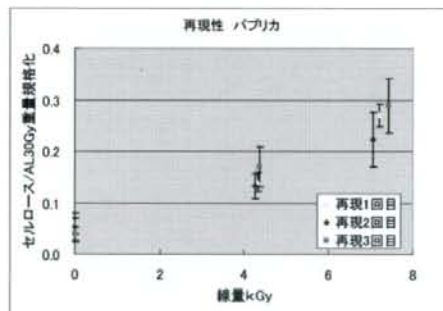


図 5 4 再現性 パブリカ

5.4. フェネグリーク

表 2 3 再現性調査 1 回目

再現性調査 フェネグリーク	照射日	測定日		
1回目	08/12/17	09/2/24		
0 kGy	Al	Mn	Al/Mn	平均
	2736	1305	2.097	2.079
	2759	1339	2.060	
試料番号	1	2	3	平均 CV%
サイドBL補正	200.56	128.220	170.4862	166.42 21.8%
Mn	1822.202	2126.599	2146.199	2031.7 8.9%
試料重量g	0.1558	0.1589	0.1504	0.1550 2.8%
試料高さmm	20	23	25	22.67 11.1%
150mg規格化	0.0510	0.0274	0.0381	0.03883 30.4%
4.33 kGy	Al	Mn	Al/Mn	平均
	2685	1267	2.103	2.074
	2698	1320	2.044	
試料番号	1	2	3	平均 CV%
サイドBL補正	391.6572	322.0875	374.3044	362.68 10.0%
Mn	1459.2036	1145.1974	1312.2000	1305.5 12.0%
試料重量g	0.1557	0.1587	0.1475	0.1540 3.8%
試料高さmm	21	21	20	20.67 2.8%
150mg規格化	0.1247	0.1282	0.1399	0.13093 6.1%
7.23 kGy	Al	Mn	Al/Mn	平均
	2665	1267	2.103	2.074
	2698	1320	2.044	
試料番号	1	2	3	平均 CV%
サイドBL補正	471.2652	498.8975	518.0915	496.28 4.8%
Mn	1140.2020	1307.6041	1259.7994	1235.9 7.0%
試料重量g	0.1419	0.1470	0.1622	0.1504 7.0%
試料高さmm	20	21	22	21.00 4.8%
150mg規格化	0.2107	0.1877	0.1836	0.19402 7.5%

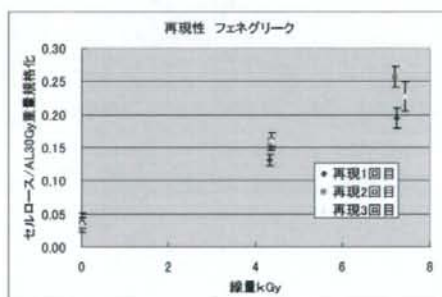
表 2 4 再現性調査 2 回目

再現性調査 フェネグリーク	照射日	測定日		
2回目	08/12/24	09/1/1		
0 kGy	Al	Mn	Al/Mn	平均
	2768	1335	2.073	2.120
	2746	1268	2.166	
試料番号	1	2	3	平均 CV%
サイドBL補正	69.27	98.54	74.19	80.66 19.4%
Mn	1329.0	1293.6	1325.4	1316.0 1.5%
試料重量g	0.1563	0.1592	0.1532	0.1562 1.9%
試料高さmm	24	23	22	23.00 4.3%
150mg規格化	0.0236	0.0339	0.0259	0.02777 19.4%
4.35 kGy	Al	Mn	Al/Mn	平均
	2726	1298	2.100	2.079
	2705	1315	2.057	
試料番号	1	2	3	平均 CV%
サイドBL補正	492.62	444.262	492.987	476.62 5.9%
Mn	1458.599	1429.202	1408.796	1432.2 1.7%
試料重量g	0.1554	0.1522	0.1574	0.1550 1.7%
試料高さmm	22	23	25	23.33 6.5%
150mg規格化	0.1568	0.1474	0.1604	0.15489 4.4%
7.2 kGy	Al	Mn	Al/Mn	平均
	2726	1298	2.100	2.079
	2705	1315	2.057	
試料番号	1	2	3	平均 CV%
サイドBL補正	600.83	599.334	610.3772	603.51 1.0%
Mn	1065.002	1060.6	1186.004	1103.9 6.4%
試料重量g	0.1546	0.1502	0.1586	0.1545 2.7%
試料高さmm	20	23	25	22.67 11.1%
150mg規格化	0.2633	0.2715	0.2342	0.25633 7.7%

表 2 5 再現性調査 3 回目

再現性調査 フェネグリーク	照射日	測定日		
3回目	09/1/7	09/2/4		
0 kGy	Al	Mn	Al/Mn	平均
	2749	1303	2.110	2.103
	2729	1302	2.096	
試料番号	1	2	3	平均 CV%
サイドBL補正	145.59	121.811	199.6648	155.69 25.6%
Mn	2088.6	2007.802	1966.796	2021.1 3.1%
試料重量g	0.1528	0.1500	0.1600	0.1543 3.3%
試料高さmm	22	21	23	22.00 4.5%
150mg規格化	0.0325	0.0289	0.0453	0.03555 24.2%
4.38 kGy	Al	Mn	Al/Mn	平均
	2749	1303	2.110	2.103
	2729	1302	2.096	
試料番号	1	2	3	平均 CV%
サイドBL補正	449.5011	457.8293	508.2969	471.21 6.5%
Mn	1372.8000	1267.4040	1424.1990	1354.8 5.9%
試料重量g	0.1561	0.1530	0.1518	0.1536 1.4%
試料高さmm	23	21	24	22.67 6.7%
150mg規格化	0.1496	0.1684	0.1670	0.16169 6.5%
7.43 kGy	Al	Mn	Al/Mn	平均
	2749	1303	2.110	2.103
	2729	1302	2.096	
試料番号	1	2	3	平均 CV%
サイドBL補正	624.0664	652.8999	716.6307	664.53 7.1%
Mn	1389.9985	1246.2007	1371.2050	1335.8 5.9%
試料重量g	0.1585	0.1555	0.1562	0.1567 1.0%
試料高さmm	21	22	22	21.67 2.7%
150mg規格化	0.2021	0.2403	0.2387	0.22702 9.5%

図 5 5 再現性 フェネグリーク



5.5. コリアンダー

表 2 6 再現性調査 1 回目

再現性調査 コリアンダー		照射日		測定日		
1回目		08/12/17		09/2/24		
0 kGy		Al	Mn	Al/Mn	平均	
		2665	1267	2.103	2.074	
		2698	1320	2.044		
試料番号	1	2	3 平均	CV%		
サイドBL補正	28.84035	55.44332	64.45188	49.58	37.3%	
Mn	902.2	793.2	877.2	857.5	6.7%	
試料重量g	0.1514	0.1800	0.1526	0.1547	3.0%	
試料高さmm	31	32	33	32.00	3.1%	
150mg規格化	0.0153	0.0316	0.0348	0.02723	38.5%	
4.29 kGy		Al	Mn	Al/Mn	平均	
		2665	1267	2.103	2.074	
		2698	1320	2.044		
試料番号	1	2	3 平均	CV%		
サイドBL補正	275.4217	246.847	307.0474	276.44	10.9%	
Mn	865.8	914.4	885.4	888.5	2.8%	
試料重量g	0.1335	0.1410	0.1410	0.1385	3.1%	
試料高さmm	35	36	35	35.33	1.6%	
150mg規格化	0.1724	0.1385	0.1779	0.16292	13.1%	
7.13 kGy		Al	Mn	Al/Mn	平均	
		2665	1267	2.103	2.074	
		2698	1320	2.044		
試料番号	1	2	3 平均	CV%		
サイドBL補正	360.6529	359.5773	327.8753	349.37	5.3%	
Mn	849.4	810.4	846.4	835.4	2.6%	
試料重量g	0.1481	0.1426	0.1400	0.1436	2.9%	
試料高さmm	33	35	34	34.00	2.9%	
150mg規格化	0.2074	0.2251	0.2002	0.21087	6.1%	

表 2 7 再現性調査 2 回目

再現性調査 コリアンダー		照射日		測定日		
2回目		08/12/24		09/1/19		
0 kGy		Al	Mn	Al/Mn	平均	
		2660	1248	2.131	2.129	
		2670	1256	2.126		
試料番号	1	2	3 平均	CV%		
サイドBL補正	128.24	154.87	163.79	148.97	12.4%	
Mn	2696.2	2416.8	2634.6	2582.5	5.7%	
試料重量g	0.1514	0.1600	0.1619	0.1578	3.5%	
試料高さmm	33	33	34	33.33	1.7%	
150mg規格化	0.0221	0.0282	0.0271	0.02581	12.5%	
4.303 kGy		Al	Mn	Al/Mn	平均	
		2660	1248	2.131	2.129	
		2670	1256	2.126		
試料番号	1	2	3 平均	CV%		
サイドBL補正	723.88	768.219	715.7619	735.95	3.8%	
Mn	2690.8	3033.2	2785.8	2836.6	6.2%	
試料重量g	0.1456	0.1601	0.1425	0.1494	6.3%	
試料高さmm	31	35	32	32.67	6.4%	
150mg規格化	0.1302	0.1115	0.1271	0.12291	8.2%	
7.203 kGy		Al	Mn	Al/Mn	平均	
		2660	1248	2.131	2.129	
		2670	1256	2.126		
試料番号	1	2	3 平均	CV%		
サイドBL補正	890.6741	997.1695	1189.775	1025.87	14.8%	
Mn	2171.003	2787.4	2431.2	2463.2	12.6%	
試料重量g	0.1573	0.1577	0.1564	0.1571	0.4%	
試料高さmm	33	34	33	33.33	1.7%	
150mg規格化	0.1838	0.1599	0.2205	0.18805	16.2%	

表 2 8 再現性調査 3 回目

再現性調査 コリアンダー		照射日		測定日		
3回目		09/1/7		09/2/16		
0 kGy		Al	Mn	Al/Mn	平均	
		2754	1268	2.172	2.166	
		2751	1274	2.159		
試料番号	1	2	3 平均	CV%		
サイドBL補正	134.85991	252.771	151.5933	179.74	35.5%	
Mn	2503.8	2603.6	2548.8	2552.1	2.0%	
試料重量g	0.1501	0.1568	0.1485	0.1518	2.9%	
試料高さmm	31	30	30	30.33	1.9%	
150mg規格化	0.0249	0.0429	0.0277	0.03183	30.4%	
4.38 kGy		Al	Mn	Al/Mn	平均	
		2723	1256	2.168	2.182	
		2748	1251	2.197		
試料番号	1	2	3 平均	CV%		
サイドBL補正	455.59524	665.4851	664.3537	595.14	20.3%	
Mn	2580.597	2458.4	2303.597	2447.5	5.7%	
試料重量g	0.1616	0.1512	0.1644	0.1591	4.4%	
試料高さmm	30	32	33	31.67	4.8%	
150mg規格化	0.0751	0.1231	0.1206	0.10624	25.4%	
7.43 kGy		Al	Mn	Al/Mn	平均	
		2723	1256	2.168	2.182	
		2748	1251	2.197		
試料番号	1	2	3 平均	CV%		
サイドBL補正	897.25321	936.6174	896.6478	910.17	2.5%	
Mn	2125.601	2745.6	2718.4	2529.9	13.8%	
試料重量g	0.1565	0.1568	0.1666	0.1600	3.6%	
試料高さmm	31	31	33	31.67	3.6%	
150mg規格化	0.1854	0.1495	0.1361	0.15700	16.2%	

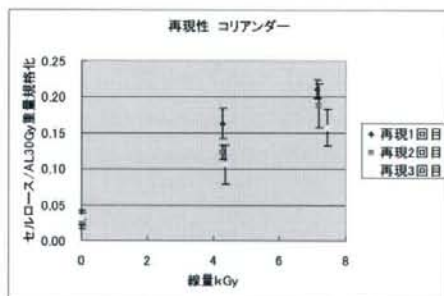


図 5 6 再現性 コリアンダー