

放射線・放射能の 国内国際トレーサビリティ

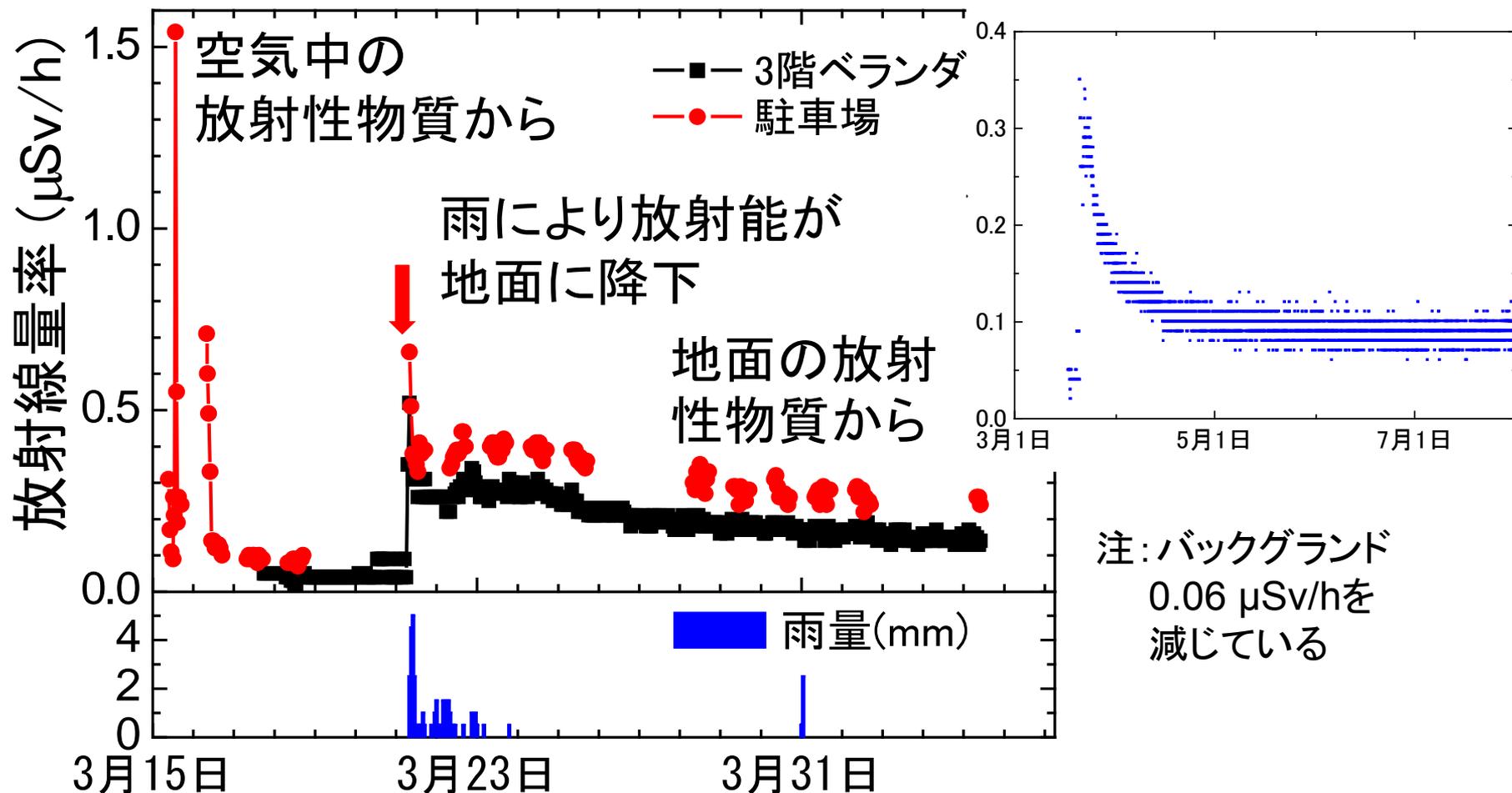
(独)産業技術総合研究所
計測標準研究部門 量子放射科
齋藤則生

講演内容

1. 話題となっている放射線・放射能の計測について
2. 放射線・放射能の単位
3. トレーサビリティ全般について
4. 放射線のトレーサビリティ・放射線標準について
5. 放射能のトレーサビリティ・放射能標準について

産総研における放射線量の測定

↓ 原子力発電所から放射性物質放出による放射線量増大



データ提供: 産総研 計測フロンティア研究部門、環境安全管理部

工業製品の放射性表面汚染検査



- 風評被害、輸入規制に対応
- CPMで測定
- JISに従って、CPMから表面汚染 Bq/cm^2 への計算が可能



土壌・食品などの汚染検査

摂取制限

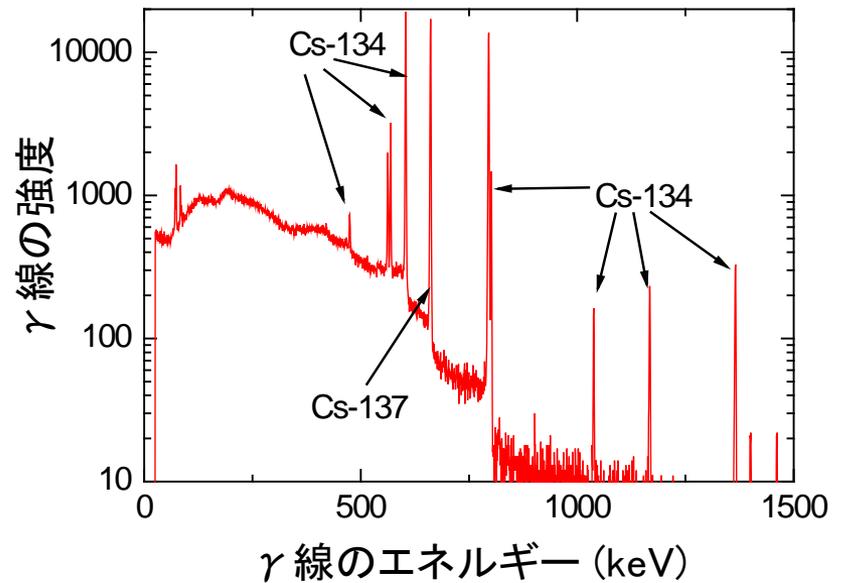
飲料水・乳製品: 200 Bq/kg

野菜類・穀類・肉類: 500 Bq/kg

測定は、ゲルマニウム半導体検出器が用いられている



ゲルマニウム半導体検出器で土壌の測定

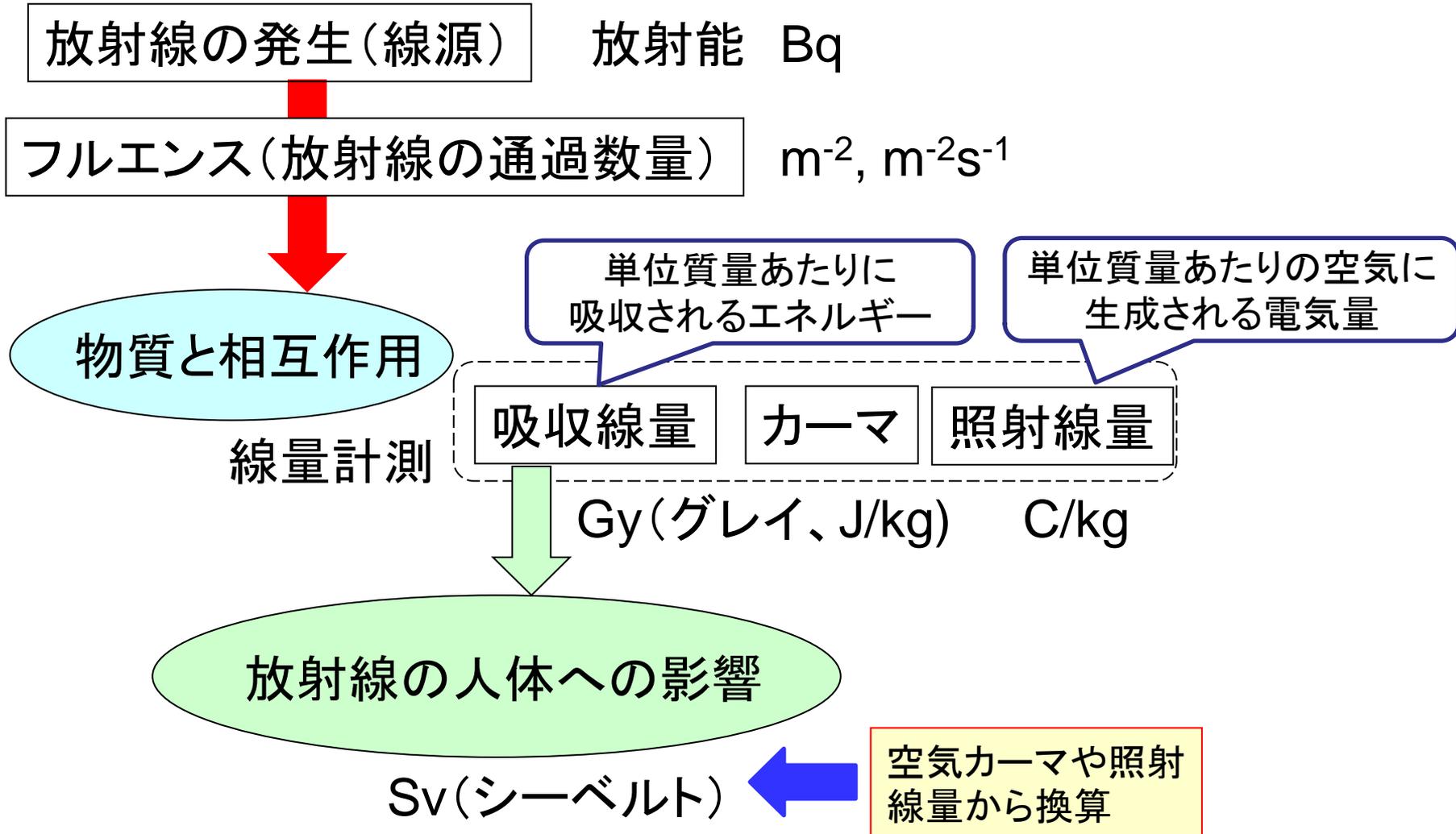


土壌のエネルギースペクトルの例

放射線に関する単位

- Sv(シーベルト)
 - 放射線によって人体が受ける影響を数値で示すために導入された値
 - 外側から人体に吸収される放射線(外部被ばく)
 - 体に放射性物質(放射線を放出する物質)を取り込んだ場合に受ける影響(内部被ばく)
- Bq(ベクレル) 放射能の単位
 - 放射性物質が1秒間に壊変する数

放射線関連の単位



Sv(シーベルト)という単位を 使って表す量について

- 同じSvでも意味が異なる量がある
 - 実効線量、等価線量とよばれる値(防護量)
 - 人体に吸収された放射線によって評価される値
 - 実測は不可能
 - 線量当量(実用量)
 - 測定できない「実効線量」の代わりに、実効線量とほぼ同じ値で測定できる「実用量」として定義
 - 単位は同じSvとなる

組織の深さ1cm(70 μ m)における吸収線量 × 線質係数

最近話題の放射線に関する単位2

- CPM (Count Per Minute)
 - サーベイメータ等で放射線を測定した際の、1分あたりの放射線計測回数
 - 放射線の種類や検出器によって意味合いが異なる
 - 現在スクリーニング等では言われているcpmは、検出器が測定したベータ線の数を示す場合がほとんど

いろいろな測定器で放射線を測定



NaI(Tl)シンチレーション式
サーベイメータ

γ 線・ β 線用
GM管式サーベイメータ 検出部

見えにくい
が
 β 線をカット
するキャップ
を装着



β (γ)線用
GM管式サーベイメータ



地上1mの放射線量を測定

(1) NaI(Tl)シンチレーション式
サーベイメータ

(2) β (γ) 線用
GM管式サーベイメータ

(3) γ 線・ β 線用
GM管式サーベイメータ



γ 線のみ
0.25 μ Sv/h

見えにくい
が
 β 線をカット
するキャップ
を装着



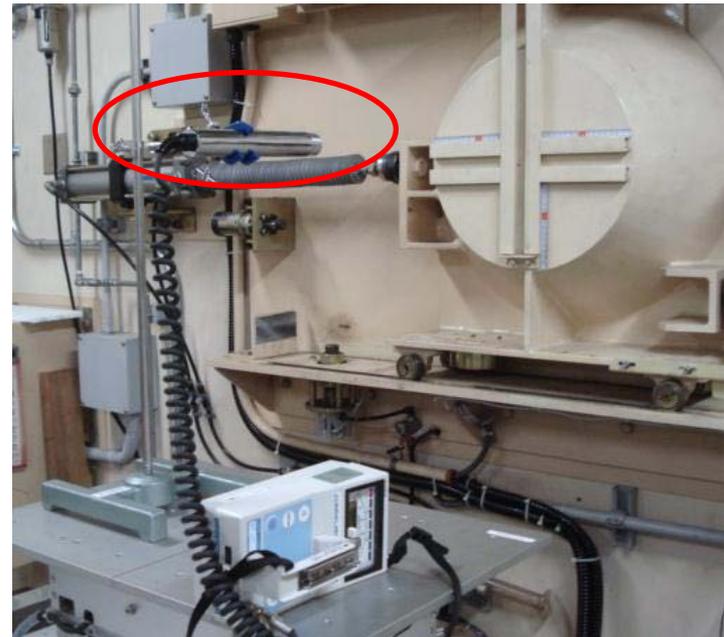
γ 線のみ
0.6 μ Sv/h



β 線も測定
0.35 μ Sv/h

検出器の感度のチェック

産総研の校正室でチェック



横から照射 $3.7 \mu\text{Sv/h}$ 正面から照射 $2.3 \mu\text{Sv/h}$
 γ 線の方向によって感度が違う

校正定数

校正定数は、指示値から測定値を導出するためのものである。

- 測定値 = 指示値 × 校正定数

校正定数は、基準値と指示値を比較することによって求められる。

- 校正定数 = 基準値 / 指示値

校正定数で補正後の数値

Nal(Tl)シンチレーション式
サーベイメータ



β (γ)線用
GM管式サーベイメータ



γ 線・ β 線用
GM管式サーベイメータ



表示値 0.25 $\mu\text{Sv/h}$

校正定数
による補正



0.24 $\mu\text{Sv/h}$

0.6 $\mu\text{Sv/h}$

方向特性・校正定数
による補正



0.4 $\mu\text{Sv/h}$

0.35 $\mu\text{Sv/h}$

アルミ板による
 β 線除去



0.25 $\mu\text{Sv/h}$

校正定数
による補正



0.25 $\mu\text{Sv/h}$

値は他と異なるが、低線量・エネルギー特性などのために値が大きくなっていると考えられる。この程度の違いはよくみられる。

計量トレーサビリティ

個々の校正が測定不確かさに寄与する, 文書化された切れ目のない校正の連鎖を通して, 測定結果を計量参照に関連づけることができるという測定結果の性質(国際計量用語集(VIM)第3版)



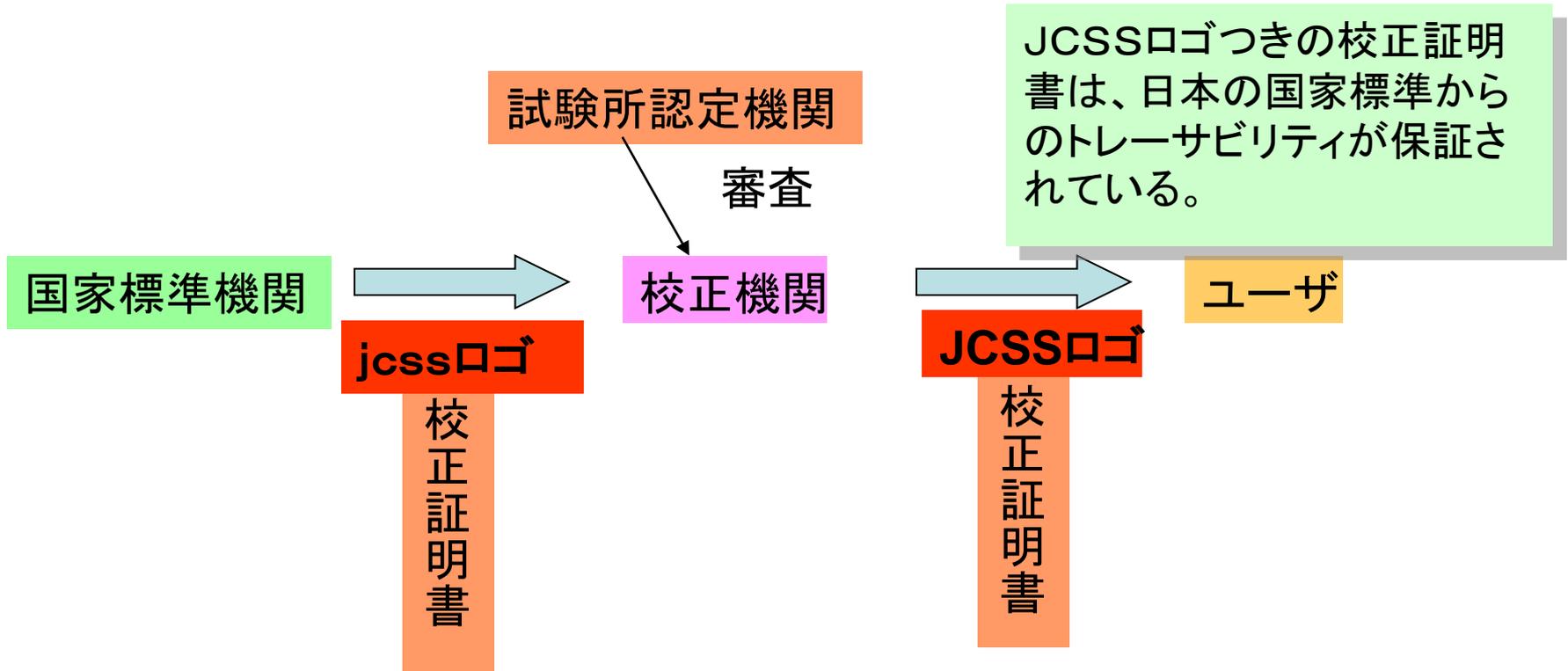
これで本当にトレーサビリティが取れるか？

1. 校正機関はきちんと校正していますか？
2. 国家標準機関の標準は本当に正しいの？

計量法に基づくトレーサビリティ制度

校正機関の第3者認定: JCSS制度
 Japan Calibration Service System

審査機関: (独)製品評価技術基盤機構(NITE)



校正証明書例

総数 2 頁の 1 頁

JCSS 校正証明書

校正証明書番号 011-097494-100

申込者 独立行政法人 産業技術総合研究所
 住所 茨城県つくば市梅園1-1-1 中央第2
 品名 直流標準電圧電流発生器

JCSSロゴマーク

総数 2 頁の 2 頁

校正証明書番号 011-097494-100

校正結果

電圧側 レンジ	公称値	校正値	校正の不確かさ (包含係数 $k = 2$)
10 V	10 V	9.999 93 V	10 ppm
	5	4.999 95	10

不確かさの表記

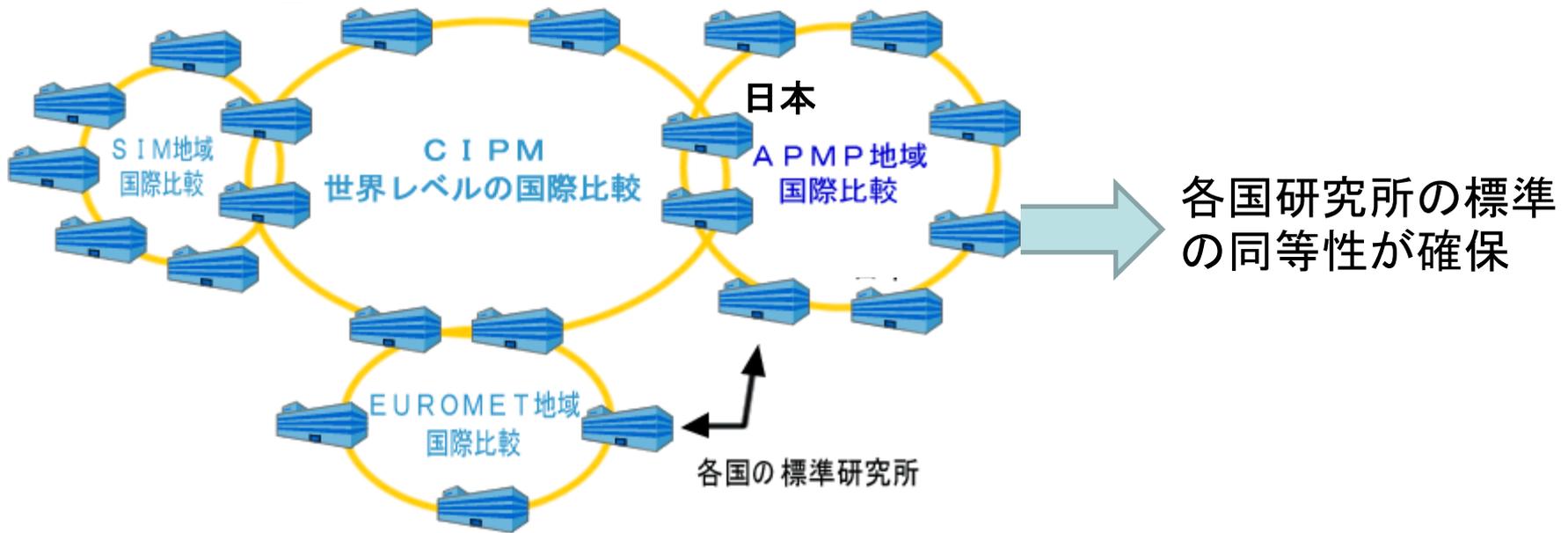
登録事業者

(独)製品評価技術基盤機構のホームページ掲載に
登録事業者のリストが掲載

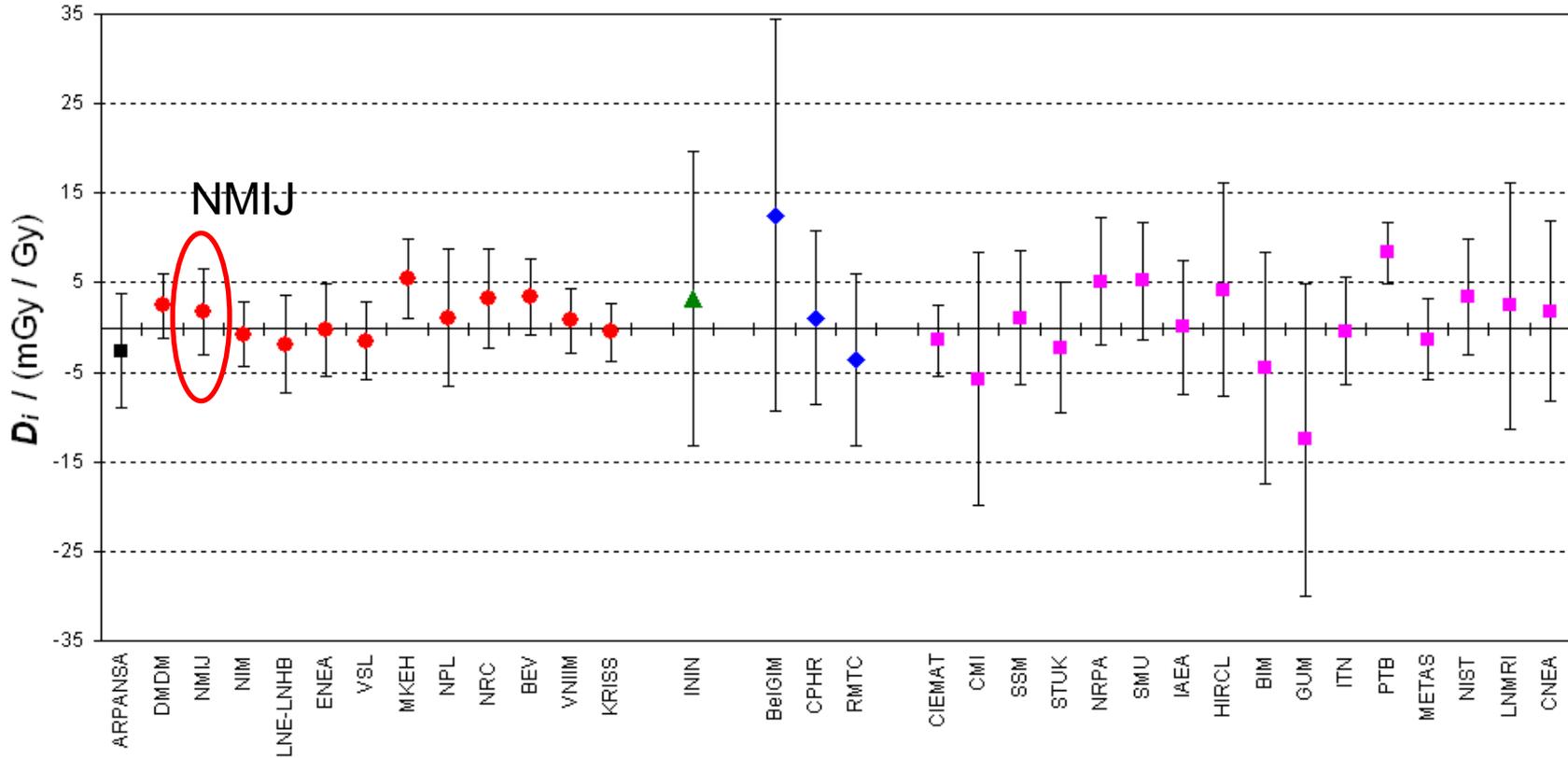
事業者名	校正対象
(財)日本品質保証機構	X線測定器
(株)千代田テクノル	γ 線測定器
(社)日本アイソトープ協会	X線・ γ 線測定器 α/β 線・ γ (X)線核種
(財)放射線計測協会	X線・ γ 線測定器
原電事業(株)	γ 線測定器
(財)医用原子力技術研究振興財団	γ 線測定器
(財)日本分析センター	γ 線測定器、 γ (X)線核種
ポニー工業(株)	γ 線測定器

国家間のトレーサビリティ

国際比較・ピアレビュー



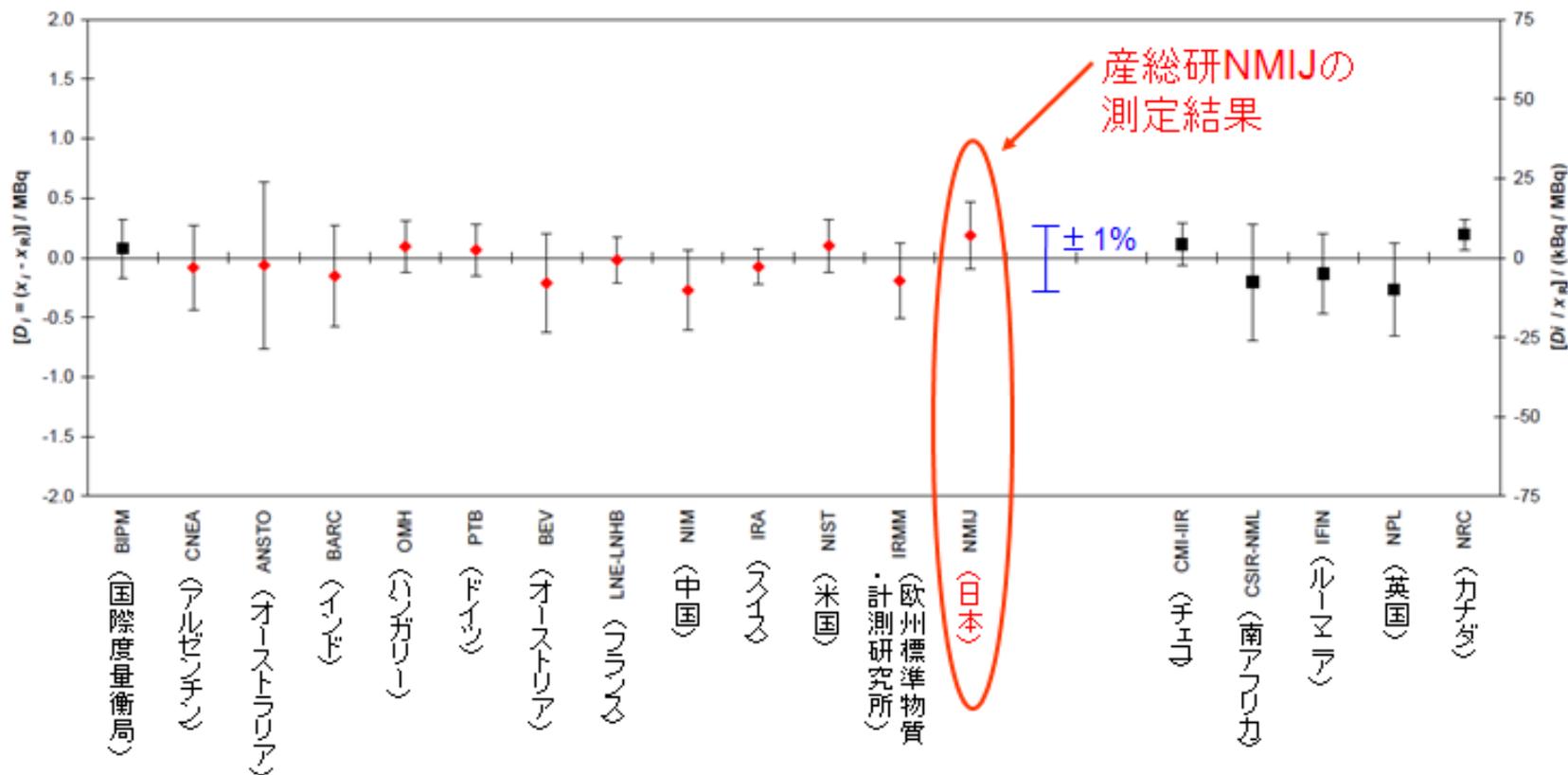
Co-60 γ 線線量標準の国際比較結果



[http://kcdb.bipm.org/appendixB/appbresults/bipm.ri\(i\)-k1/bipm.ri\(i\)-k1_aug11.pdf](http://kcdb.bipm.org/appendixB/appbresults/bipm.ri(i)-k1/bipm.ri(i)-k1_aug11.pdf)
から抜粋

Cs-137放射能の国際比較

BIPM.RI(II)-K1.Cs-137 and 1982 CCRI(II)-K2.Cs-137
Degrees of equivalence for equivalent activity of ¹³⁷Cs

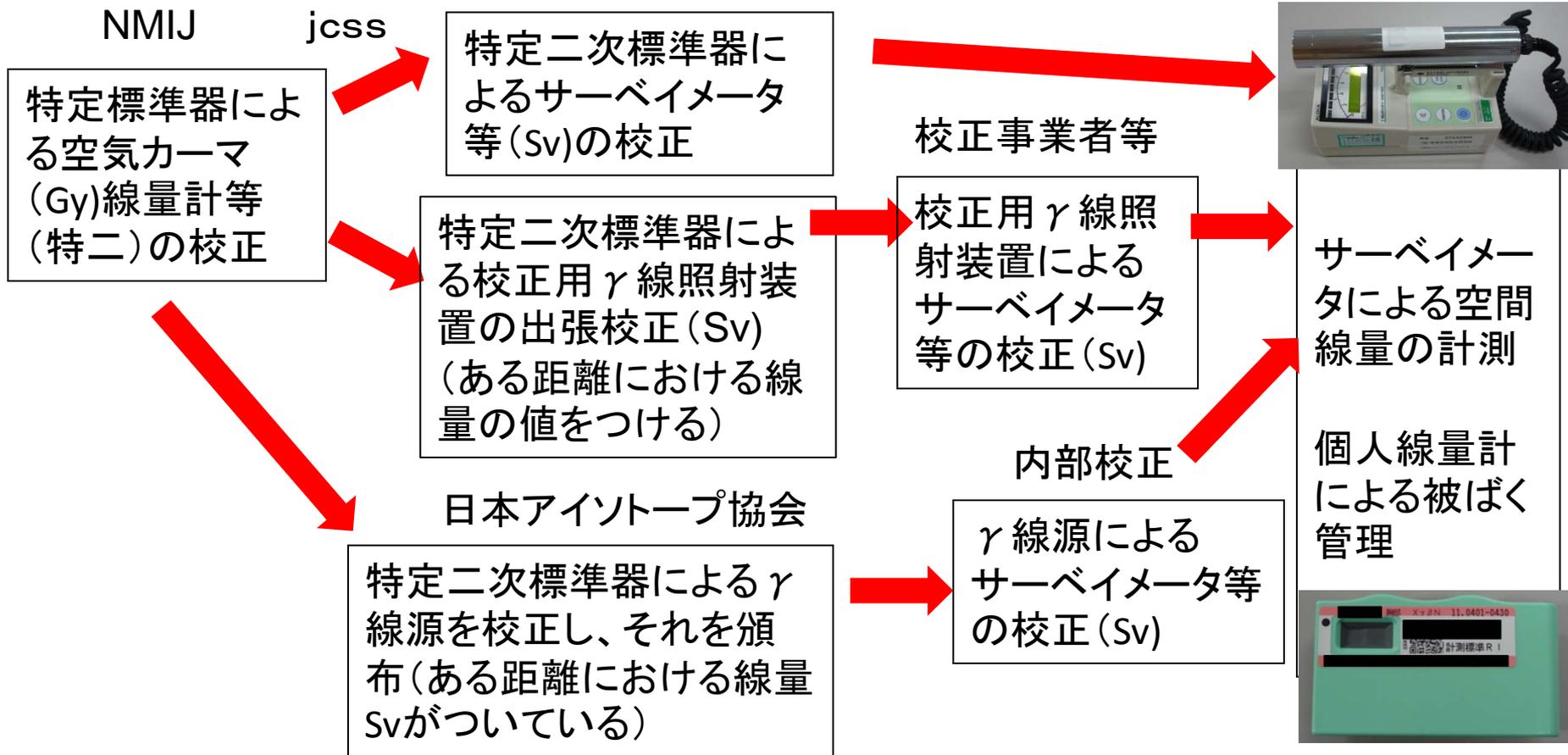


※縦軸は、各国の測定値 x_i と国際比較参照値 x_R の相対偏差です。
また、青いバーは、この相対偏差が $\pm 1\%$ の範囲をあらわしています。

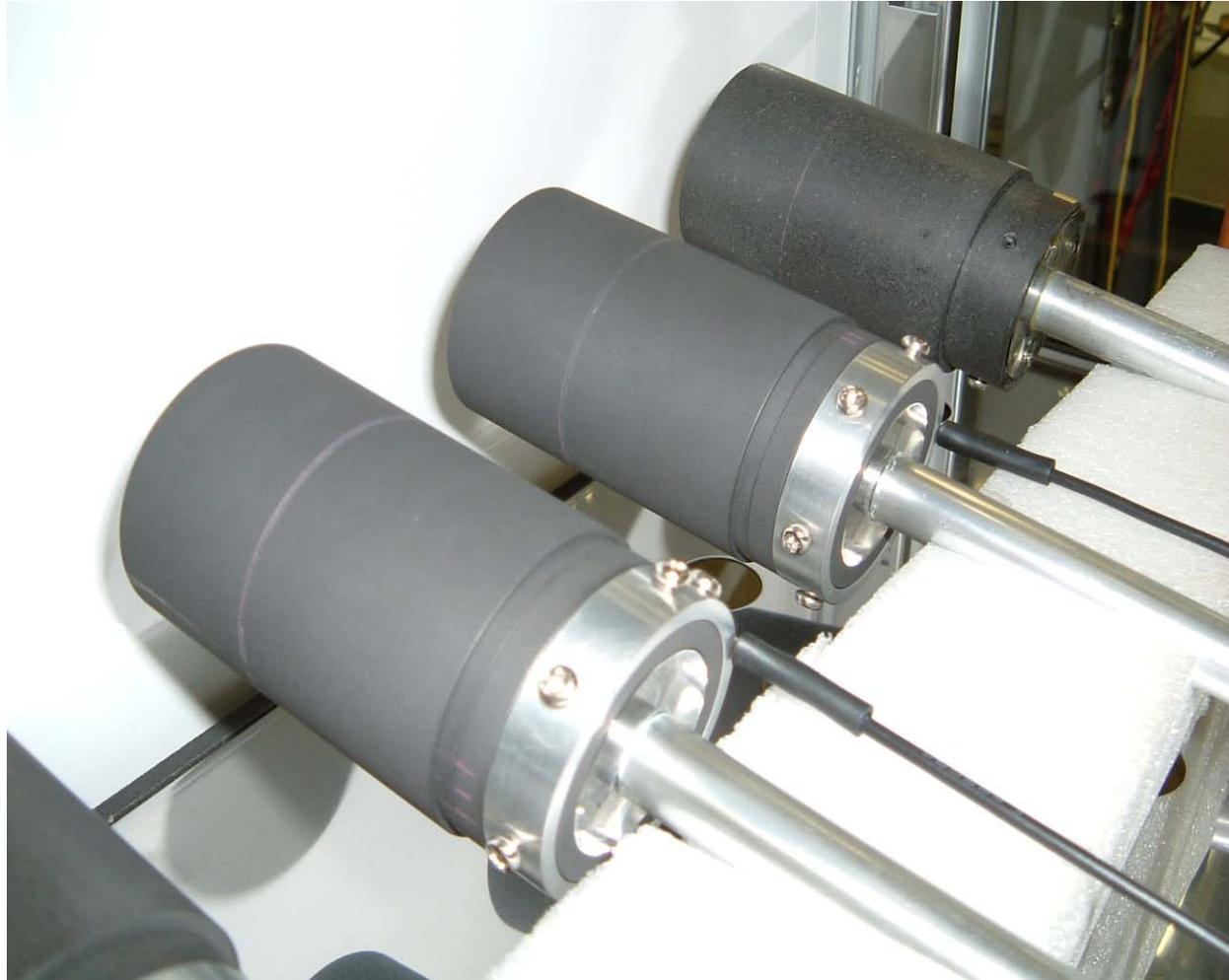
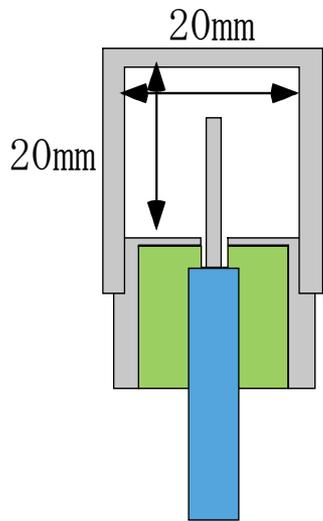
放射線計測器のトレーサビリティ

登録事業者

ユーザ

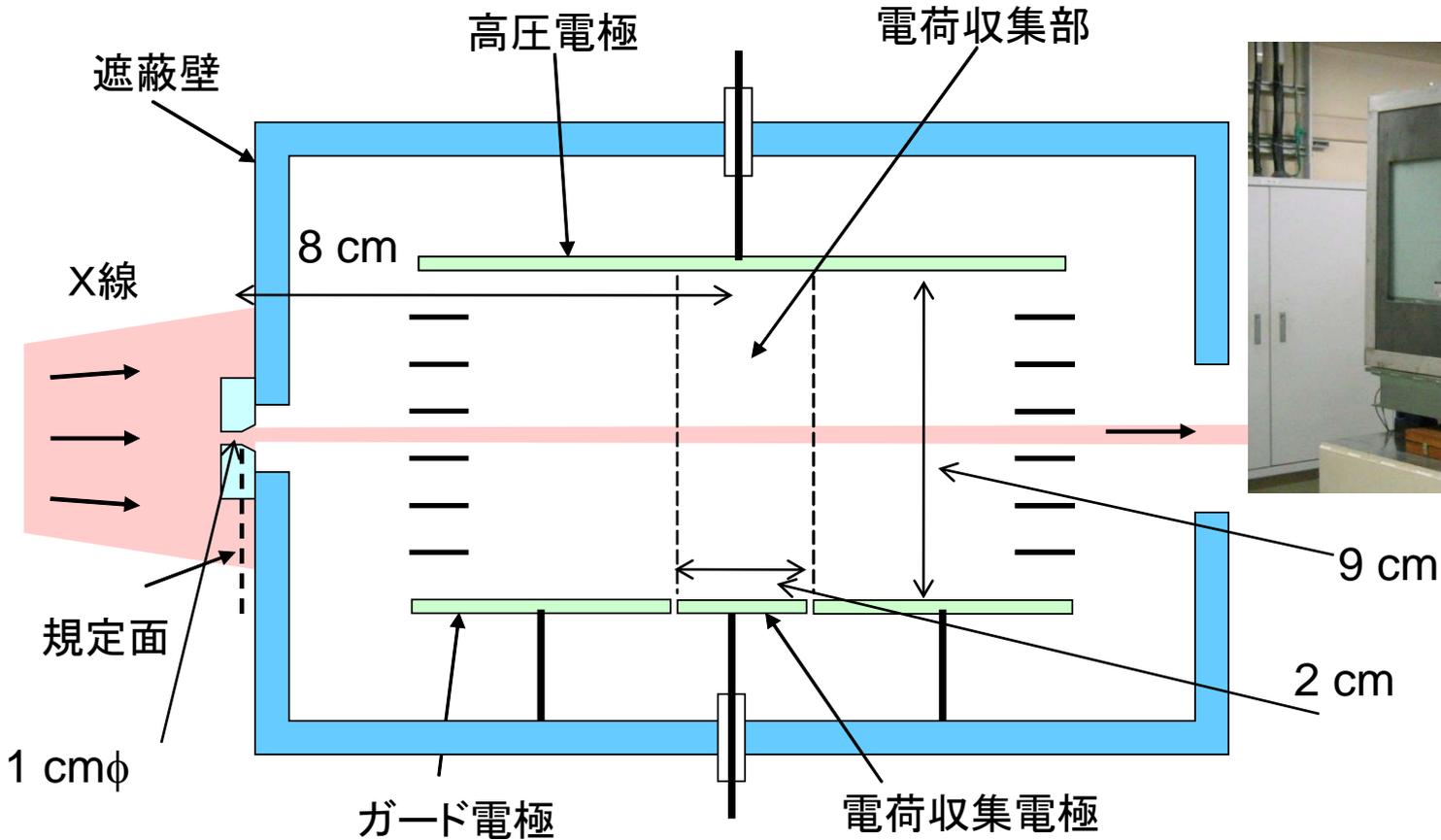


γ線線量測定用 グラフアイト空洞電離箱



X線線量の絶対計測

一次標準： 平行平板型自由空気電離箱

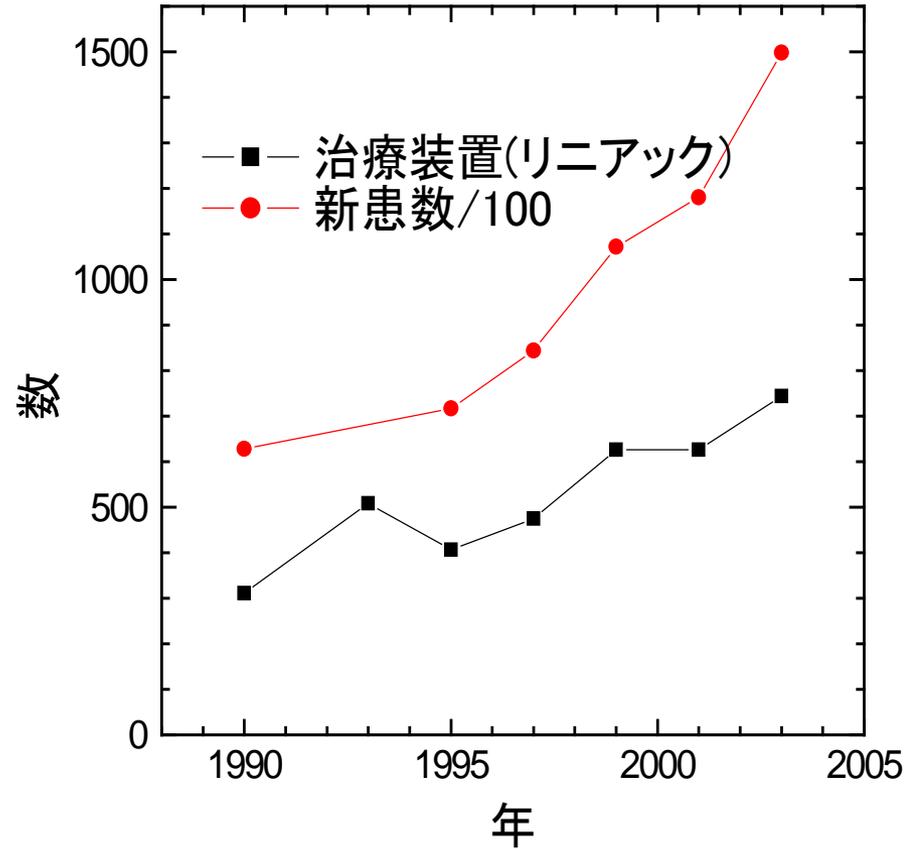


$$\text{照射線量率}(\text{C} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}) = \text{測定電流} / \text{電荷収集部の空気の質量}$$

治療用放射線



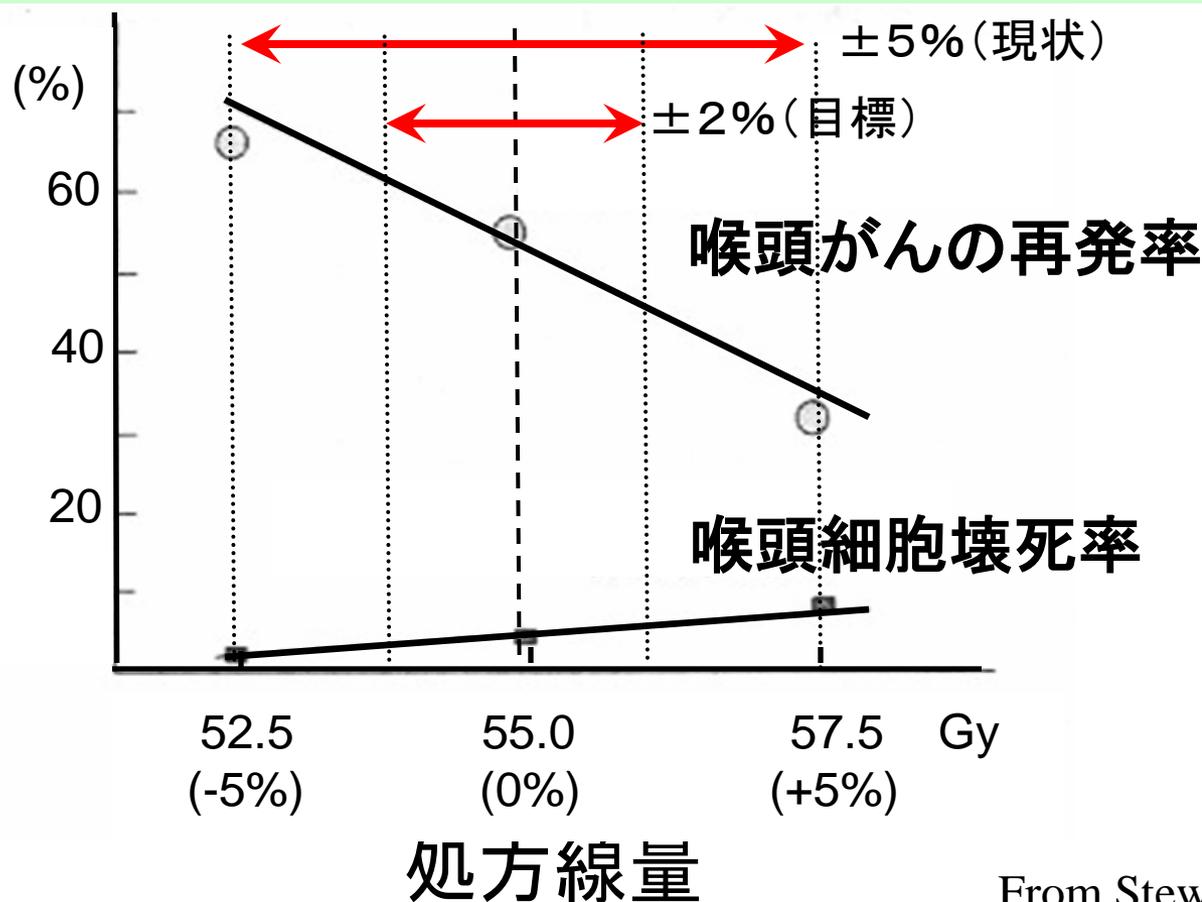
線量測定の様子



放射線治療における線量不確かさの影響

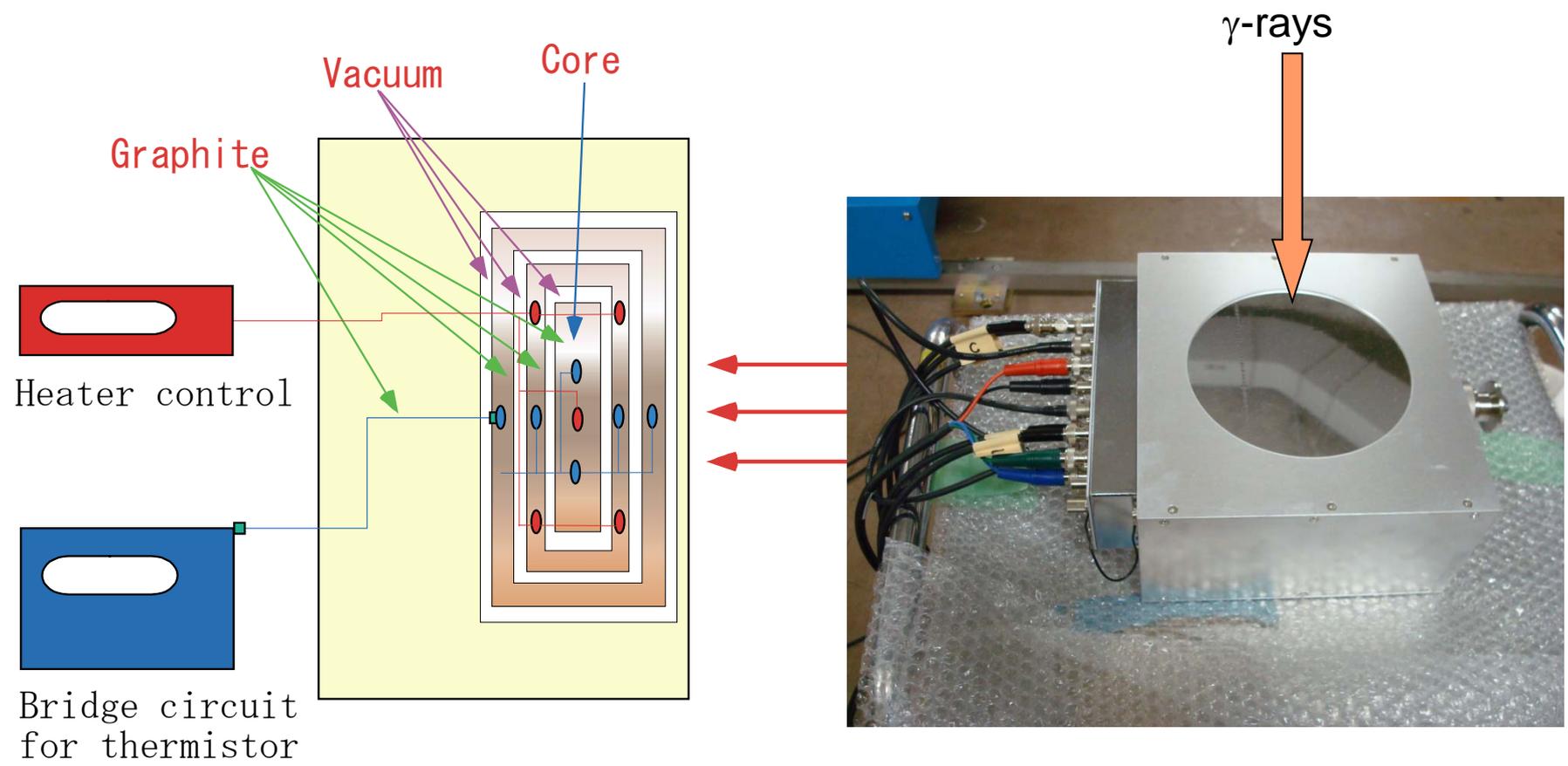
現状の不確かさ $\pm 5\%$ \rightarrow 目標設定 $\pm 2\%$

線量不確かさの低減 \rightarrow 再発率低減、治療成果の向上



From Stewart & Jackson

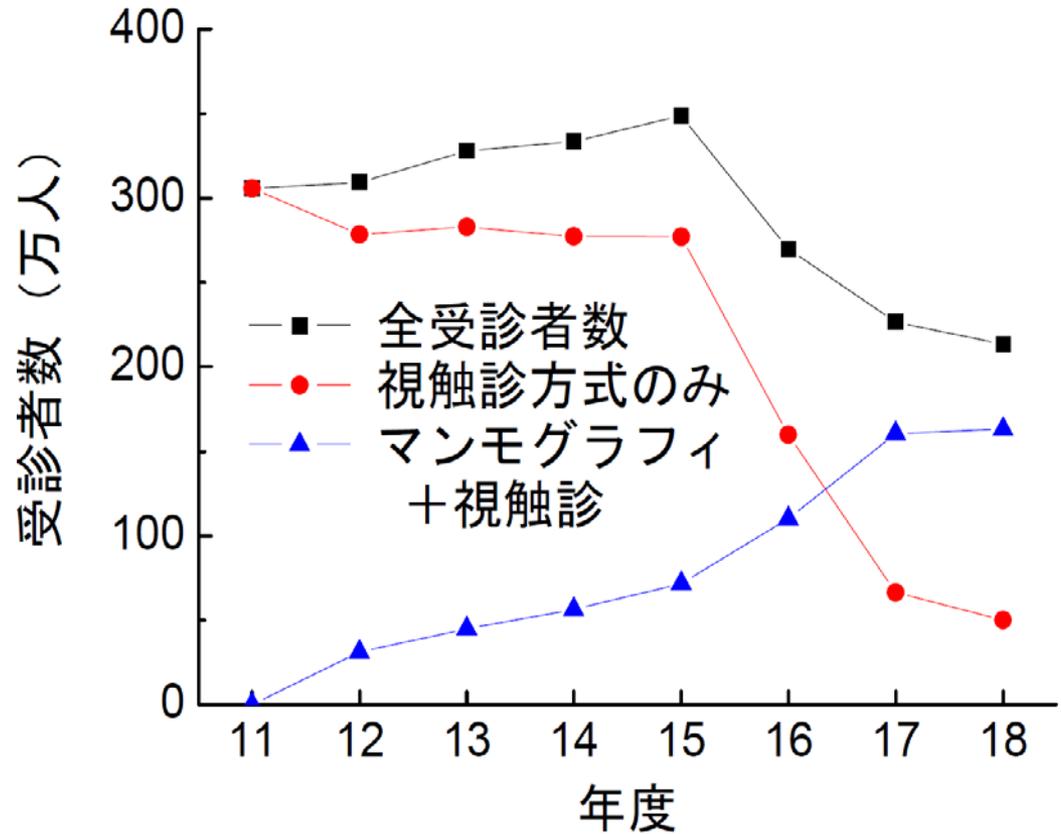
グラフアイトカロリメータによる水吸収線量の計測



軟X線標準： 乳癌のマンモグラフィ診断



マンモグラフィ診断装置



(精度管理中央委員会より)

線量標準が必要(精度管理、過剰照射の防止)

軟X線、マンモグラフィ標準

W/AI

Mo/Mo and Mo/Rh



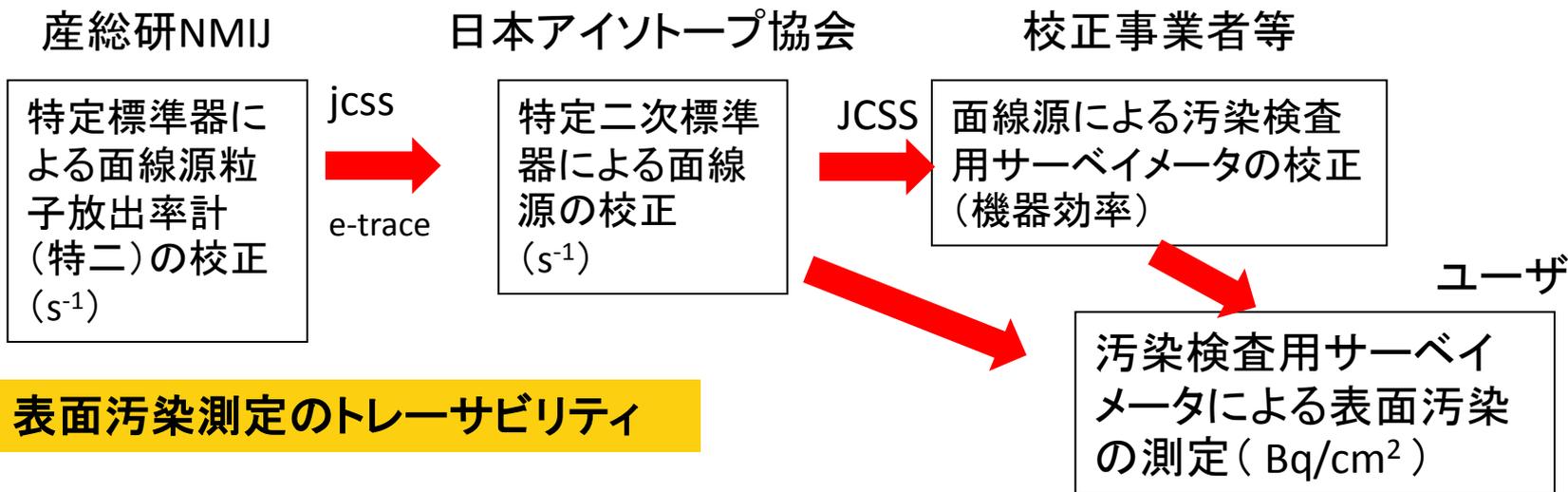
Low energy x-ray (10-50kV)

- CCRI qualities
- ISO 4037 Narrow
- Japanese QI series

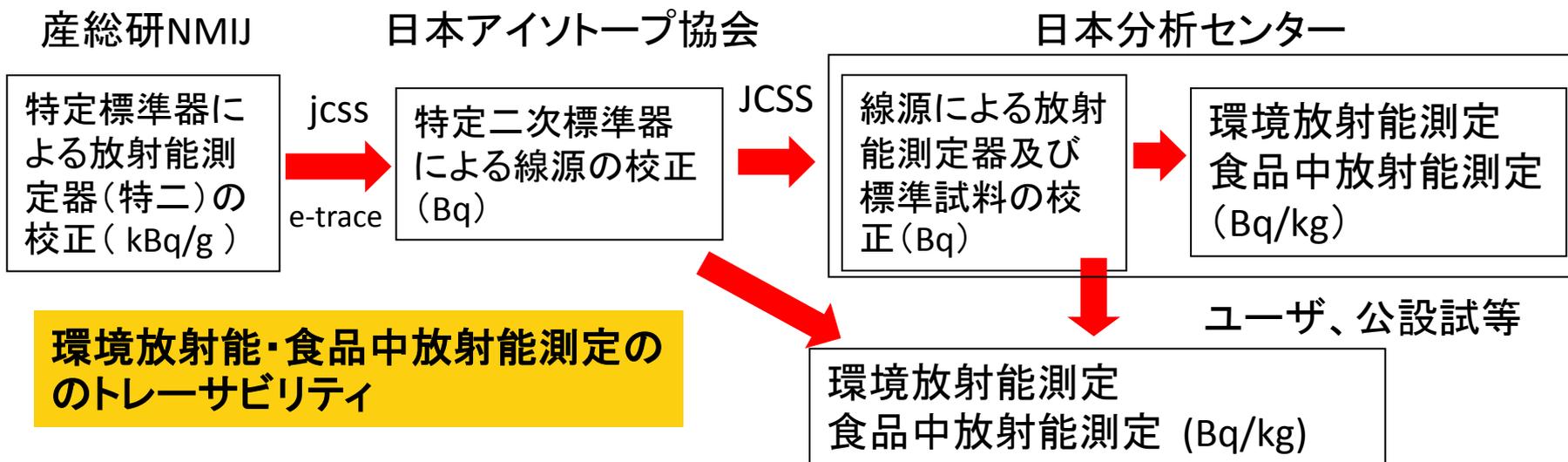
Mammography

- Mo/Mo 30 μ m
- Mo/Mo 32 μ m
- Mo/Rh 25 μ m
(with or without
compression paddle)

トレーサビリティ



表面汚染測定トレーサビリティ



環境放射能・食品中放射能測定トレーサビリティ

放射性表面汚染サーベイメータの校正

- 放射性表面汚染サーベイメータは測定対象物の放射性表面汚染を検査するための装置である。
- JIS Z 4329:2004或いは JIS Z 4504:1993に記載の機器効率を求めることを、具体的な校正作業とする。
- JIS Z 4334:2005 に規定されるクラス2参照標準線源または実用標準線源に相当するものを用いる。



標準線源

- ベータ線表面放出率(s^{-1}) が付与されている。
- 表面放出率の不確かさ: $\pm 6\%$ 以内
- 均一性 : $\pm 10\%$ (線源の全表面にわたって測定した単位面積当たりの表面放出率のばらつきを示す。線源表面全体の平均値に対する各部分の測定値の標準偏差に対する百分率で表し、分割の面積は 10 cm^2 又はそれ以下としている。)
- 線源校正の条件 : 線源から 2π 方向に放出される 590eV 以上の β 線、転換電子線放出率の放出率であり後方散乱効果を含む値。(590eVの閾値はFe-55の崩壊に伴うMnのKX線エネルギーの $1/10$ の位置として決定する。)
- 有効面積 : $100\text{mm} \times 100\text{mm}$ 以上
- 核種 : Cl-36 , Co-60 , Cs-137 等



校正作業

- 検出器の入射窓面積より大きい面積の標準線源を、特に指定のない限り検出器の表面から5 mmの位置に検出器の表面と平行になるように置き、自然計数率を差し引いた正味計数率を測定し、下記の式によって機器効率を算出する。



$$\varepsilon_i = \frac{N}{p \times W}$$

ε_i : 機器効率

N : 正味計数率 (s⁻¹)

p : 基準線源の単位面積当たりの

α 線又は β 線の表面放出率 (1/(s·cm²))

W : 検出器の入射窓面積 (cm²)

Ge半導体検出器の校正

- Ge半導体検出器は測定対象物の放射能濃度を測定するための装置である。
- γ 線のエネルギーとピーク効率の関係を関数式で表し、ピーク効率曲線を求めることを、具体的な校正作業とする。
- 標準線源としては容積線源を用いる。



ゲルマニウム半導体検出器の校正

標準の体積線源を用いて校正する



U8容器

φ56 × 68cm

~100 cc



マリネリ容器

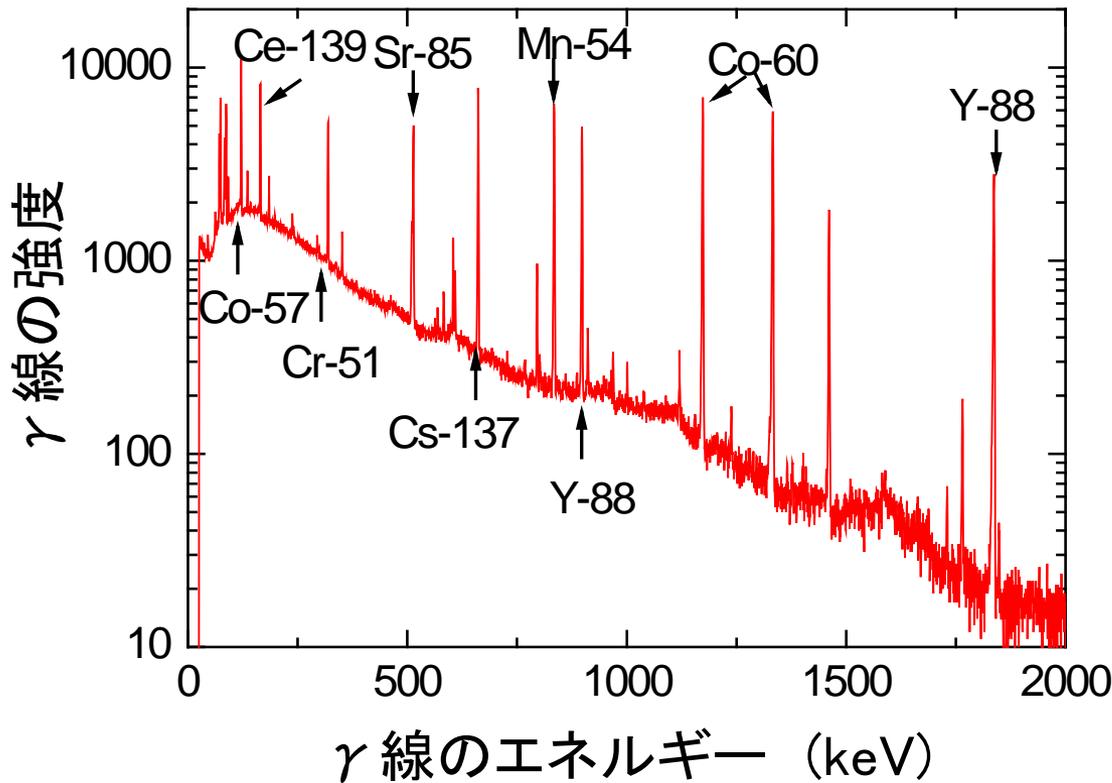
2リットル

日本アイソトープ協会より

容器の中に入っている放射性物質の核種が分かっている、その放射能の値が分かっている。

放射能の標準は産総研が供給

校正作業



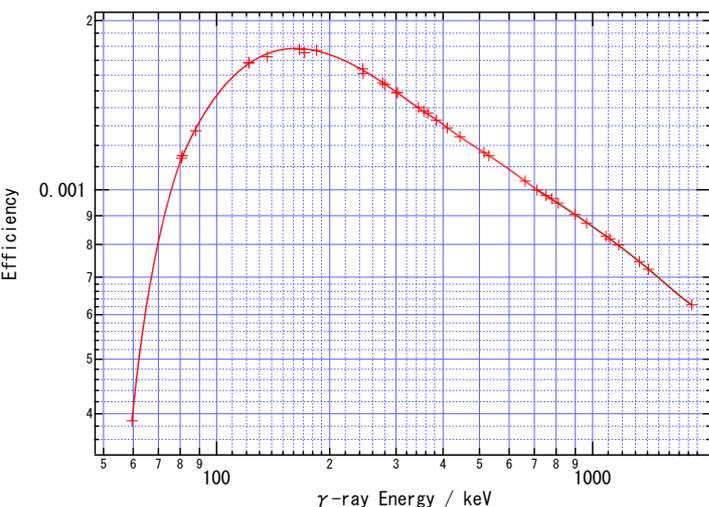
- 対象核種の正味ピーク面積から計数率(CPS)を求め、標準線源の放射能(Bq)と測定された計数率を、任意の参照日時値に半減期補正する。ピーク効率を以下の式で求める。

$$\epsilon_g = \frac{p}{A \times Y}$$

- ϵ_g : ピーク効率
- p : ピーク面積 (s⁻¹)
- A : 放射能 (Bq)
- Y : γ線放出率

校正作業

- 縦軸をピーク効率、横軸をエネルギーにして両対数プロットし、ピーク効率を関数フィッティングする。異なる厚さの標準線源がある場合には、各厚さごとにピーク効率を関数フィッティングする。例えば、以下のような関数でフィッティングすることができる。



$$x = \log(E_n / E_{n0})$$

$$\log(\varepsilon_g) = c_0 + c_1 x \quad : E_{n0} < E_n$$

$$\log(\varepsilon_g) = c_0 + c_1 x + c_2 x^2 + c_3 x^3 + c_4 x^4 (+c_5 x^5) \quad : E_n < E_{n0}$$

ε_g : ピーク効率

c : フィッティングパラメータ

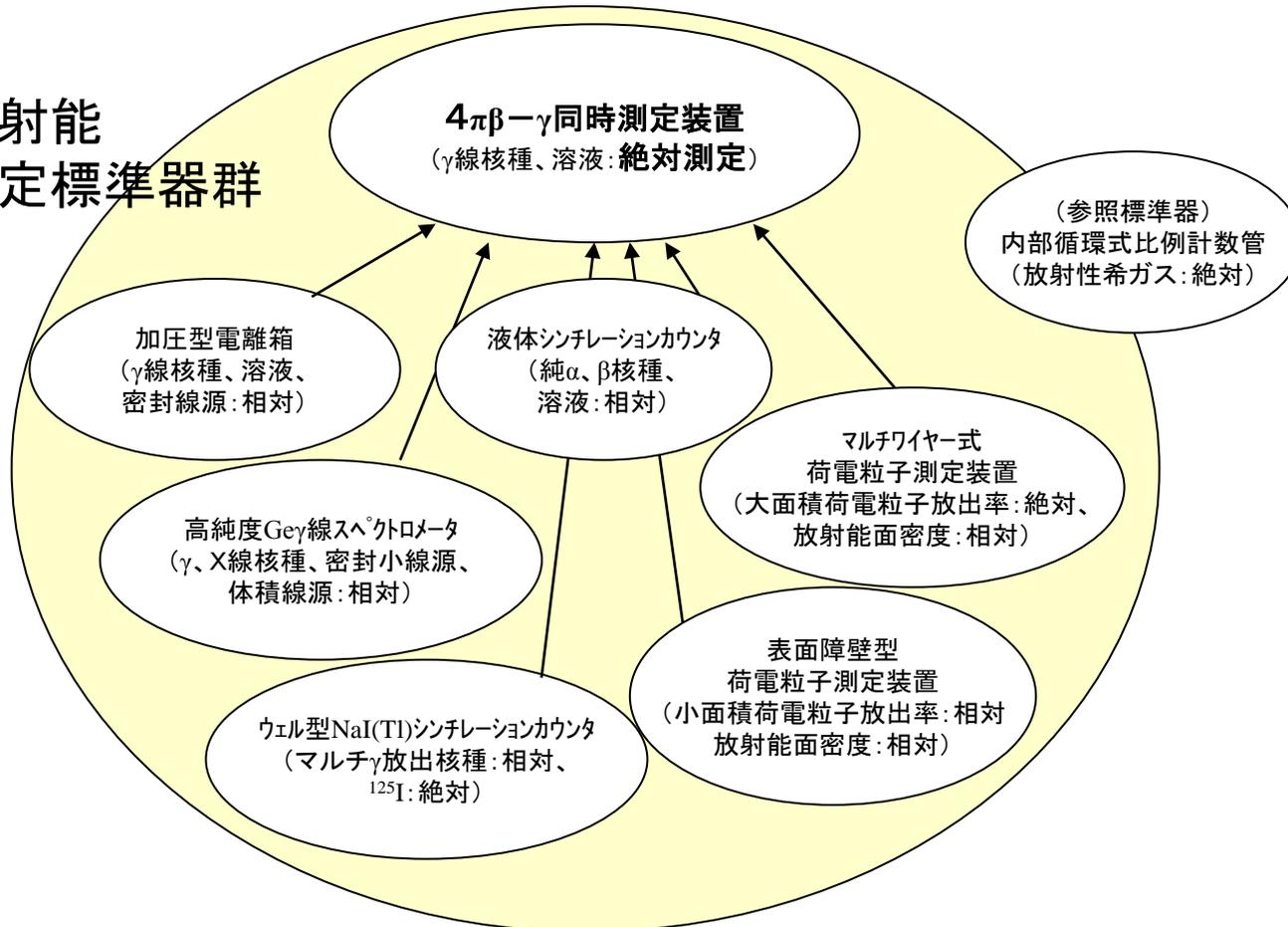
E_n : エネルギー

E_{n0} : 任意のエネルギー

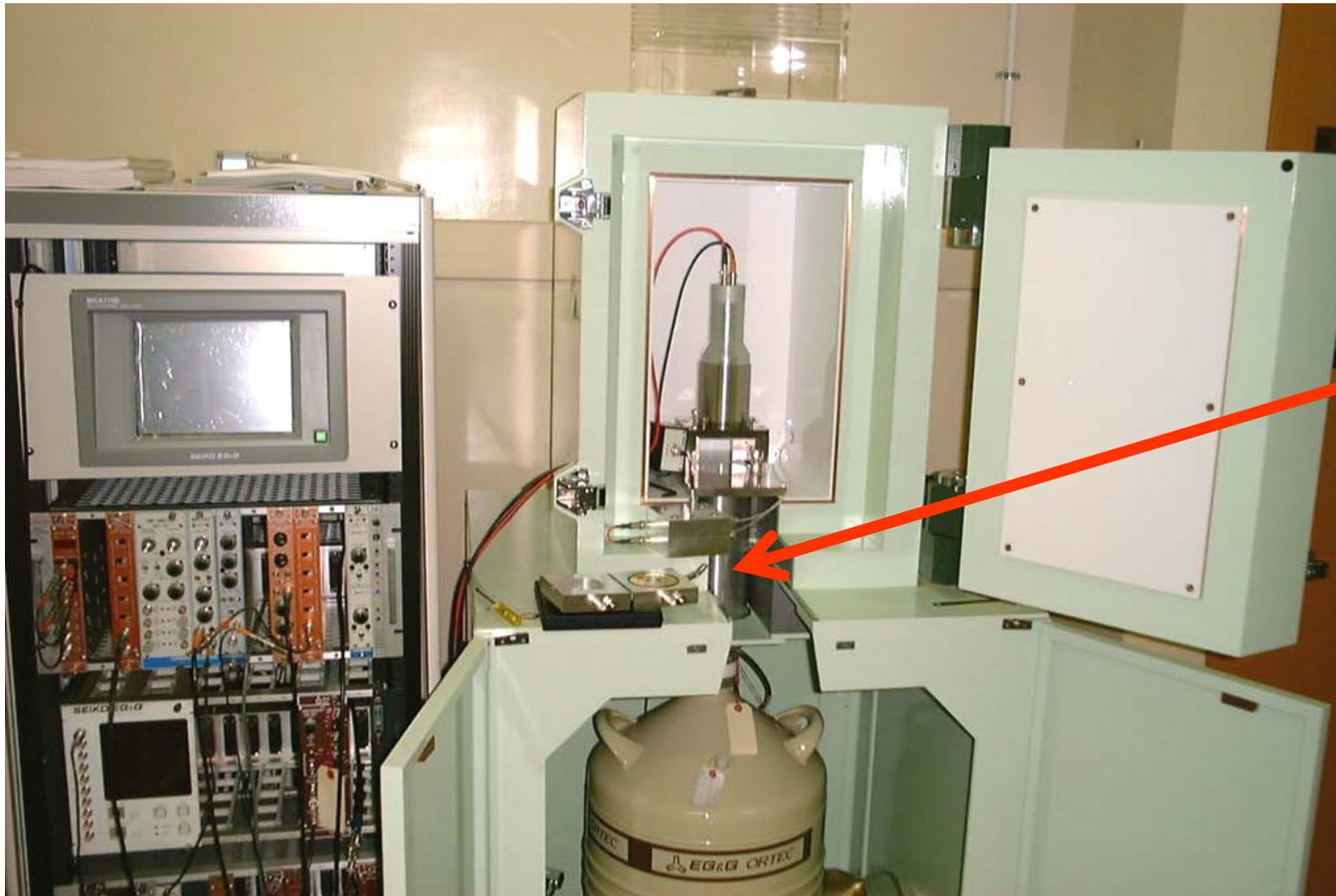
産総研における放射能標準

4πβ-γ同時測定を基本とした絶対測定装置群

放射能
特定標準器群



140% HP-Ge と $4\pi\beta(\text{ppc})\text{-}\gamma$ 同時測定装置

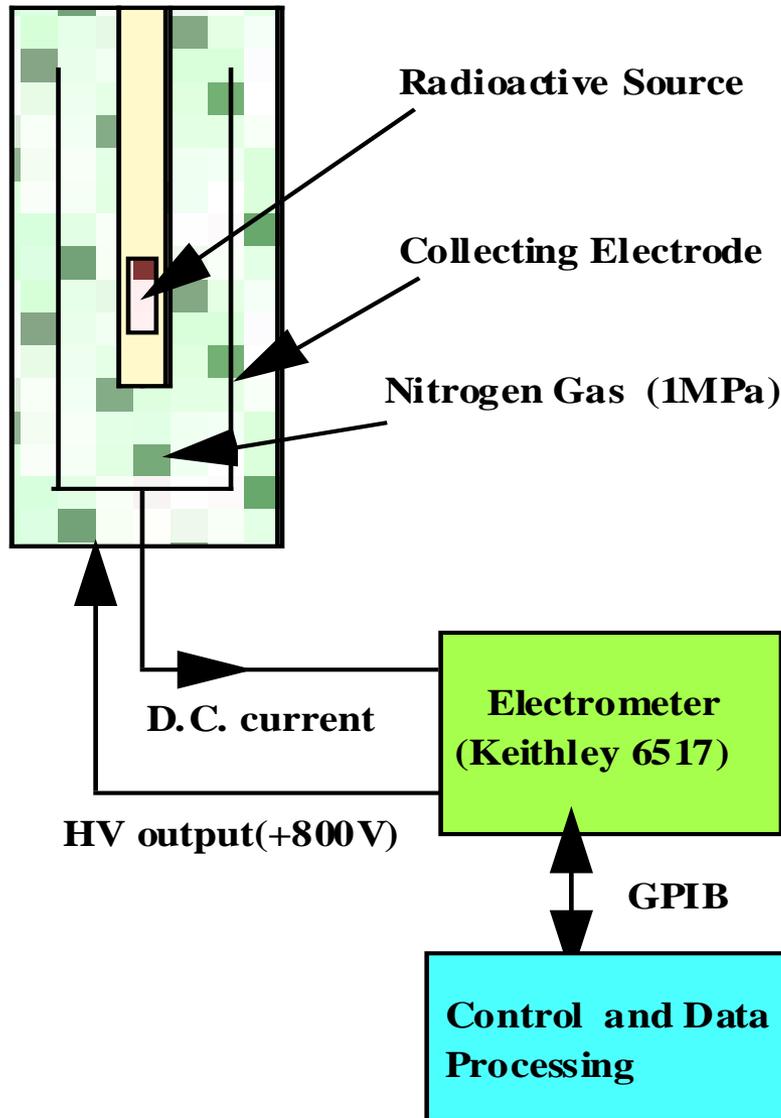


Ge検出器。
 γ 線スペクトルを測定する

加圧型電離箱システム (特定&特定二次標準器)



加圧型電離箱の 概念図



2πマルチワイヤー式比例計数管 (面線源用)



C1-36面線源



液体シンチレーションカウンタ

Sr-90など、 γ 線を放出しない核種に適している。

