

金属IP転写法による 中性子スペクトル測定方法 その2

鵜野 浩行¹，上本 龍二¹，
日塔 光一²，上松 幹夫²，園田 幸夫²，
加美山 隆³，佐藤 博隆³，藤谷 佑樹
鬼柳 善明⁴

¹住重アテックス, ²TTSI, ³北大院工, ⁴名大院理

2019.12.25

令和元年度 中性子イメージング専門研究会

目的

高 γ 線放出物質並びに高 γ 線環境下で有効な新たなデジタル中性子ラジオグラフィ法の検討。特に定常中性子源の中性子エネルギースペクトルの新たな測定手法を検討。

内容（昨年度その1で報告）

高 γ 線環境下では、金属箔を用いてフィルムに転写する像転写法（または間接法）が有効な手法である。フィルムのラチチュードは比較的狭く、フィルム媒体の安定供給も懸念される。

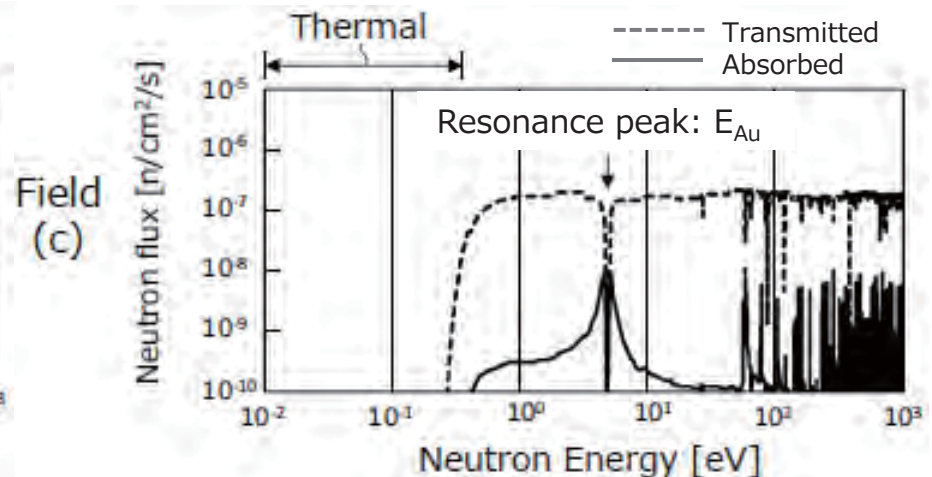
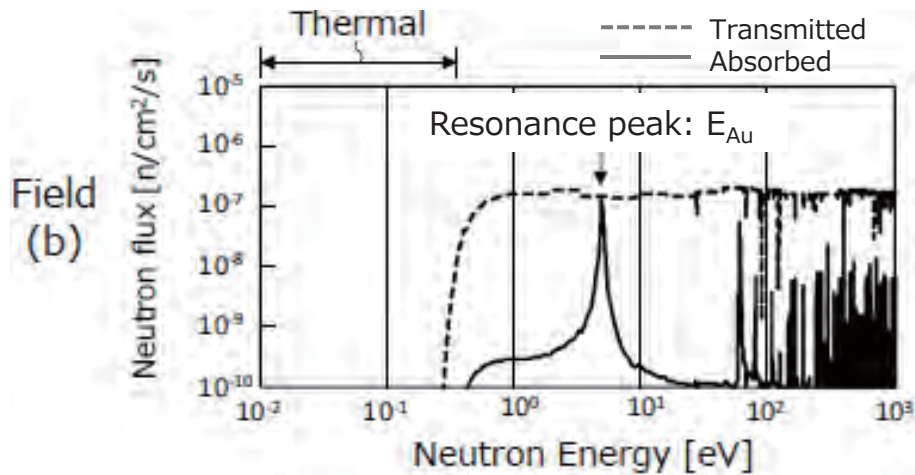
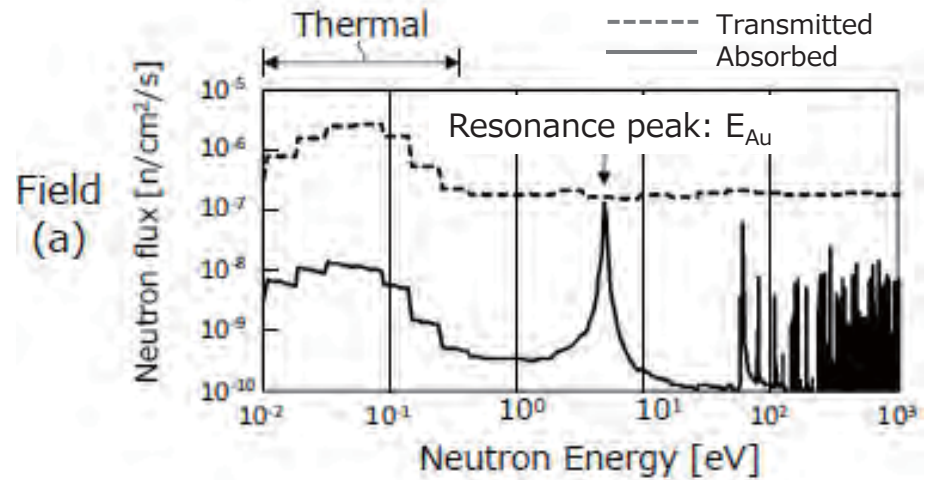
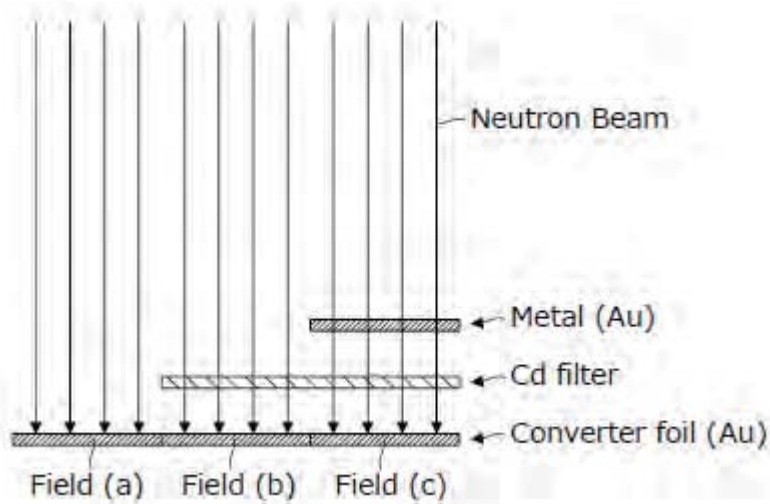
フィルムを使ったレントゲン撮影も日本で開発された輝尽性蛍光体を用いたイメージングプレート(IP)に代わっている。また、中性子との反応断面積の大きいGdを混ぜた中性子用IP(NIP)も開発されているが γ 線の影響を受ける。

金属箔を用いて、X線用IPの高感度と広いダイナミックレンジに着目し、IPに転写する手法について検討した。特に金属元素の中性子共鳴吸収と放射化後の崩壊 β 線に着目し、共鳴イメージングを検討。

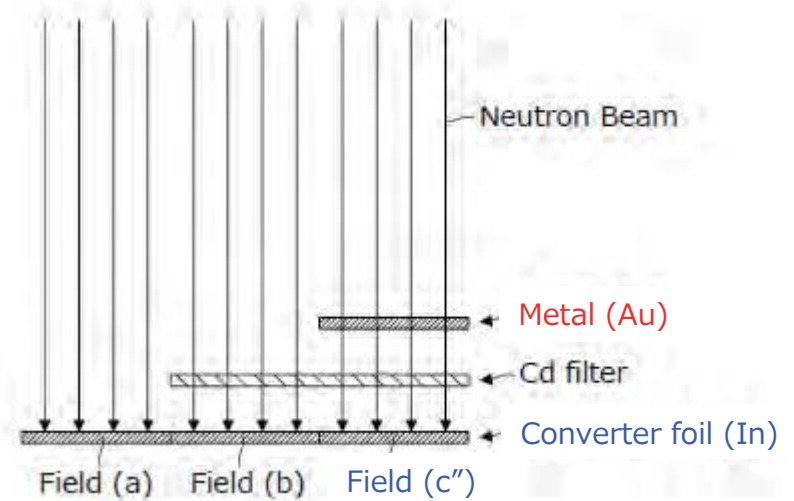
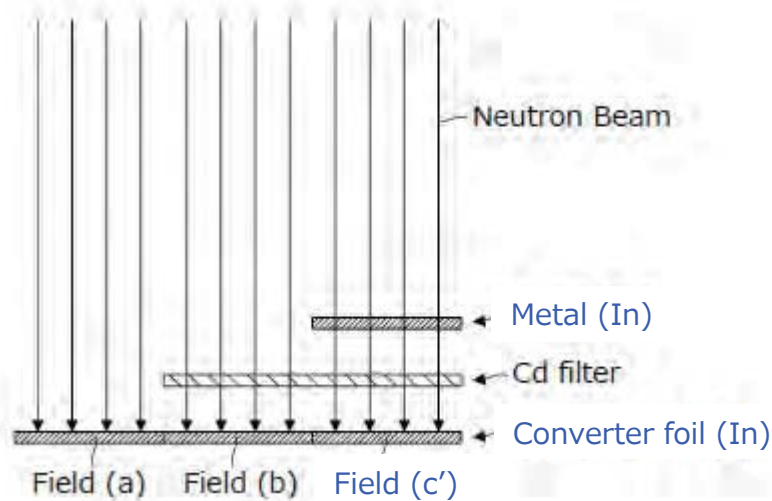
その2の主な内容

- その1の結果で解析結果とのずれの原因
(モデレータ劣化)
- その1と異なるCd内貼りコリメータによる試験
- (撮影エリア内の再現性評価)

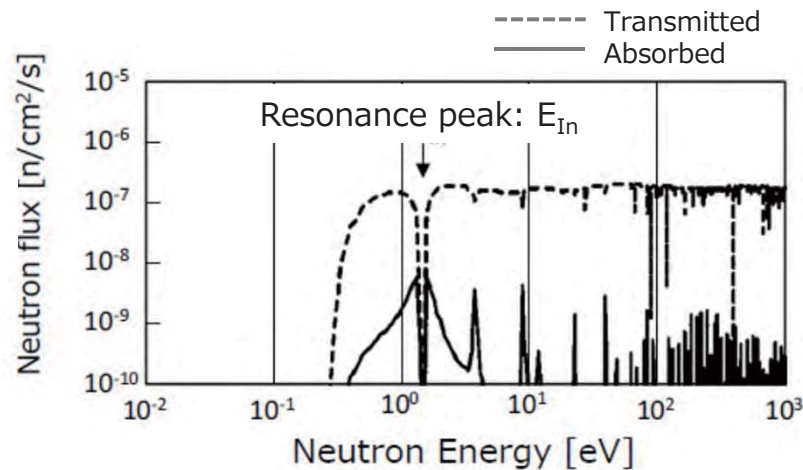
中性子エネルギースペクトル測定法(1)



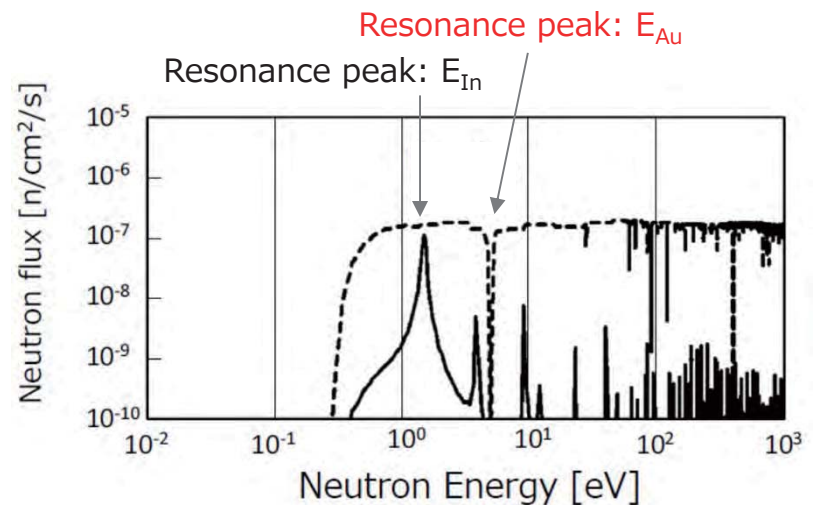
中性子エネルギースペクトル測定法(2)



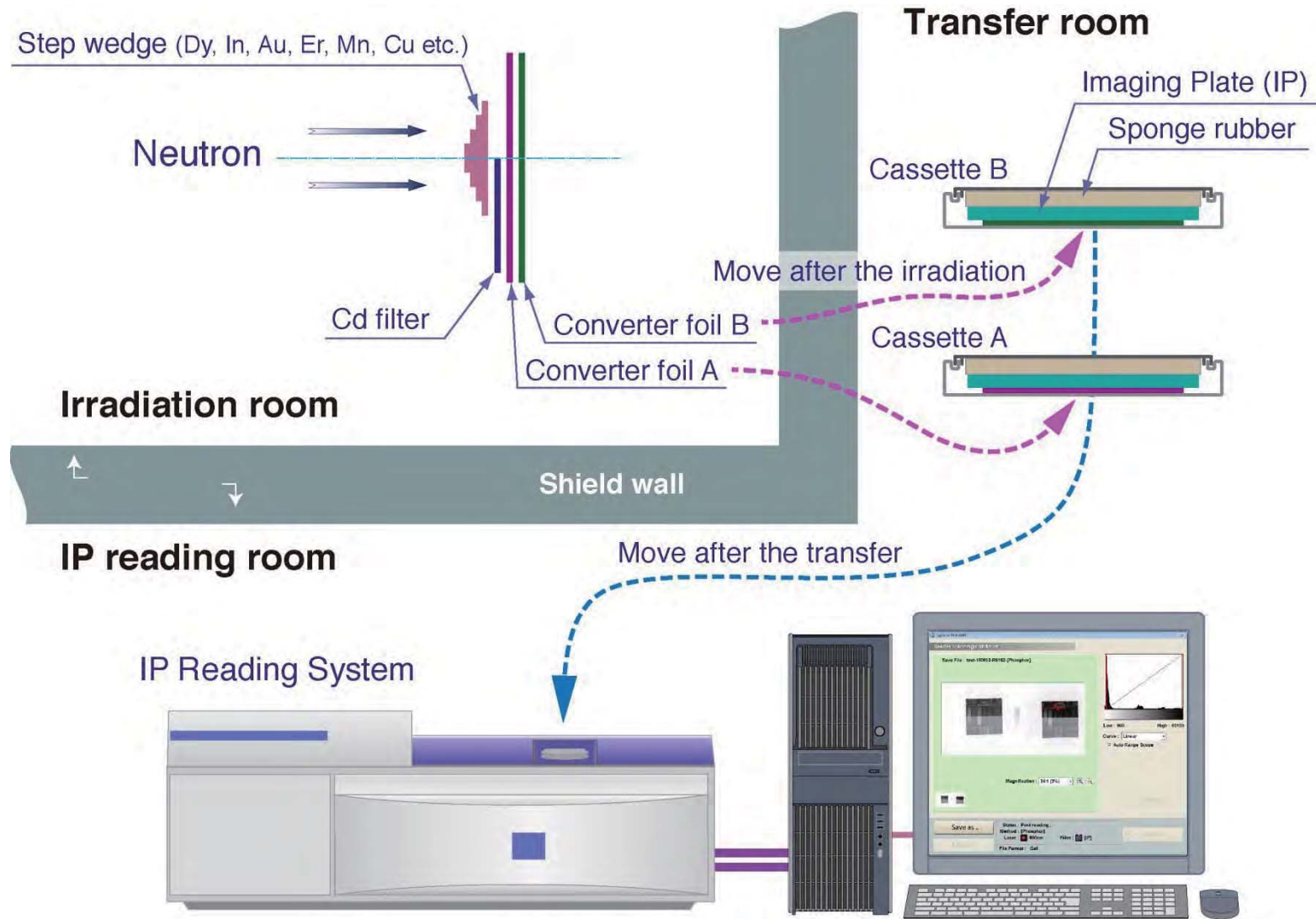
Field (c')



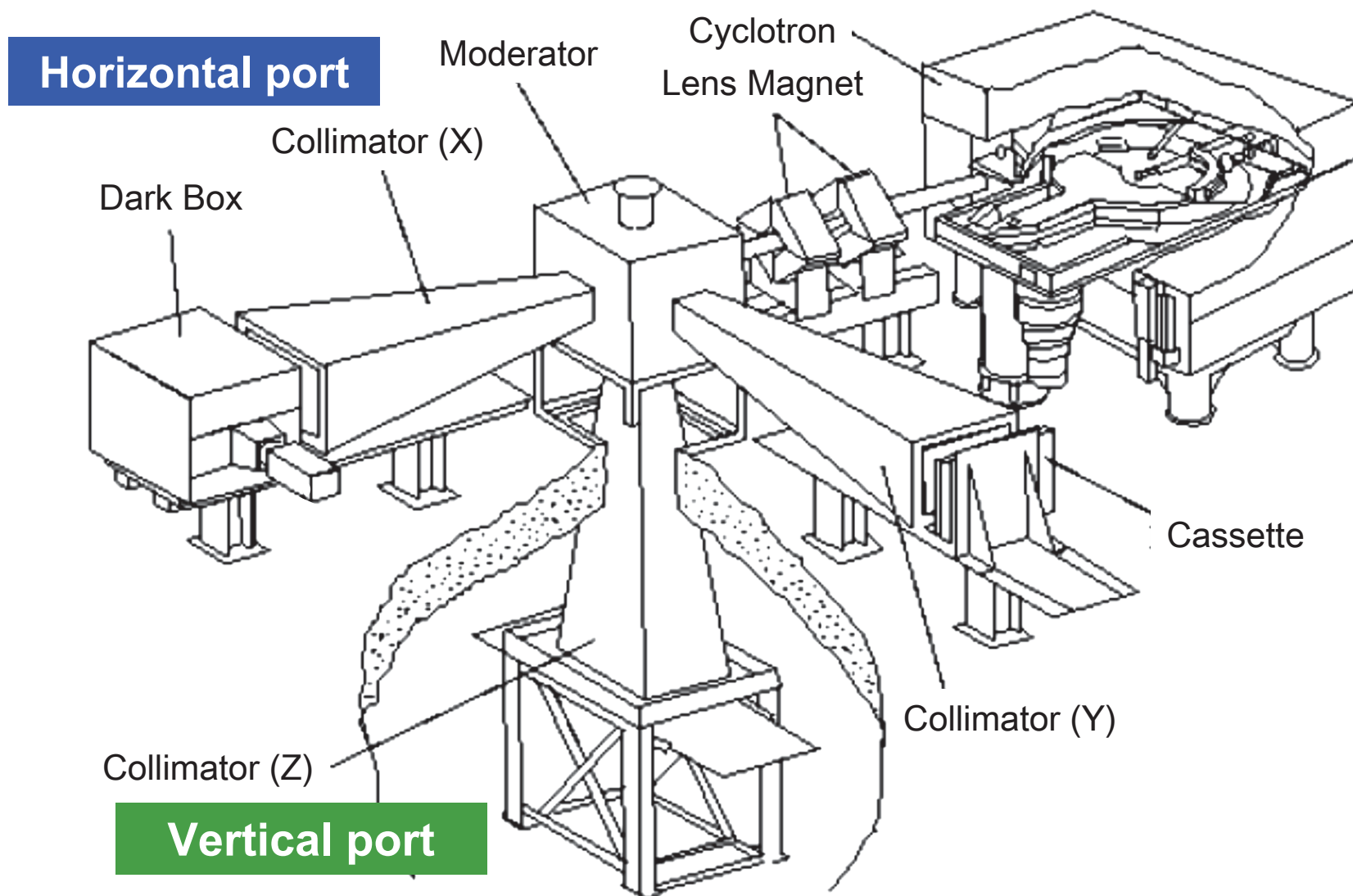
Field (c'')



金属箔IP転写法の測定体系



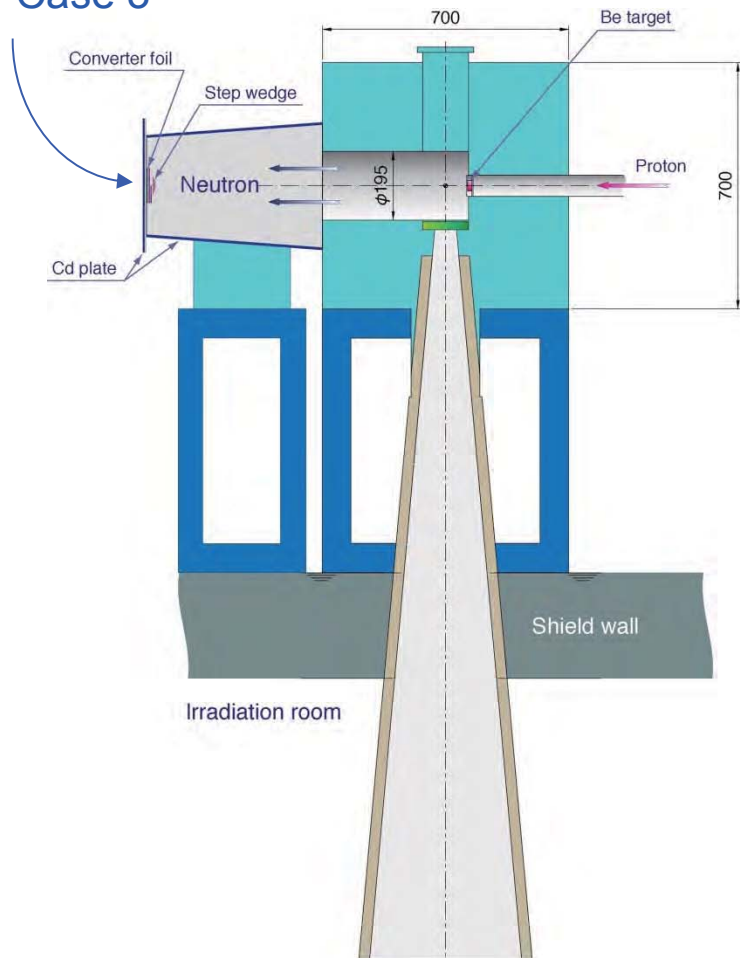
住重アテックス サイクロトロン加速器中性子源



その1報告の試験体系

Horizontal port

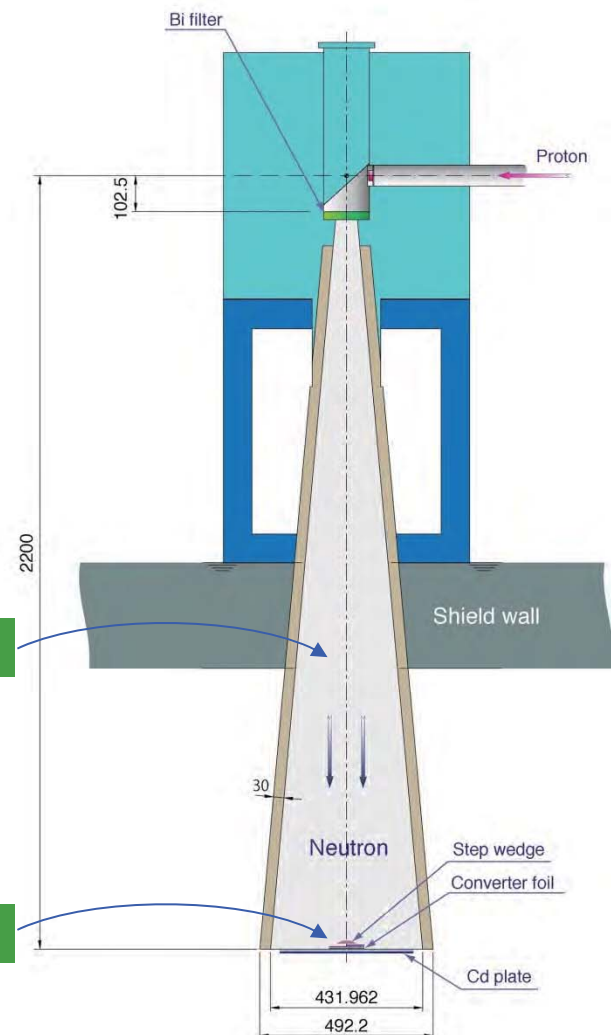
Case 3



Vertical port

Case 2

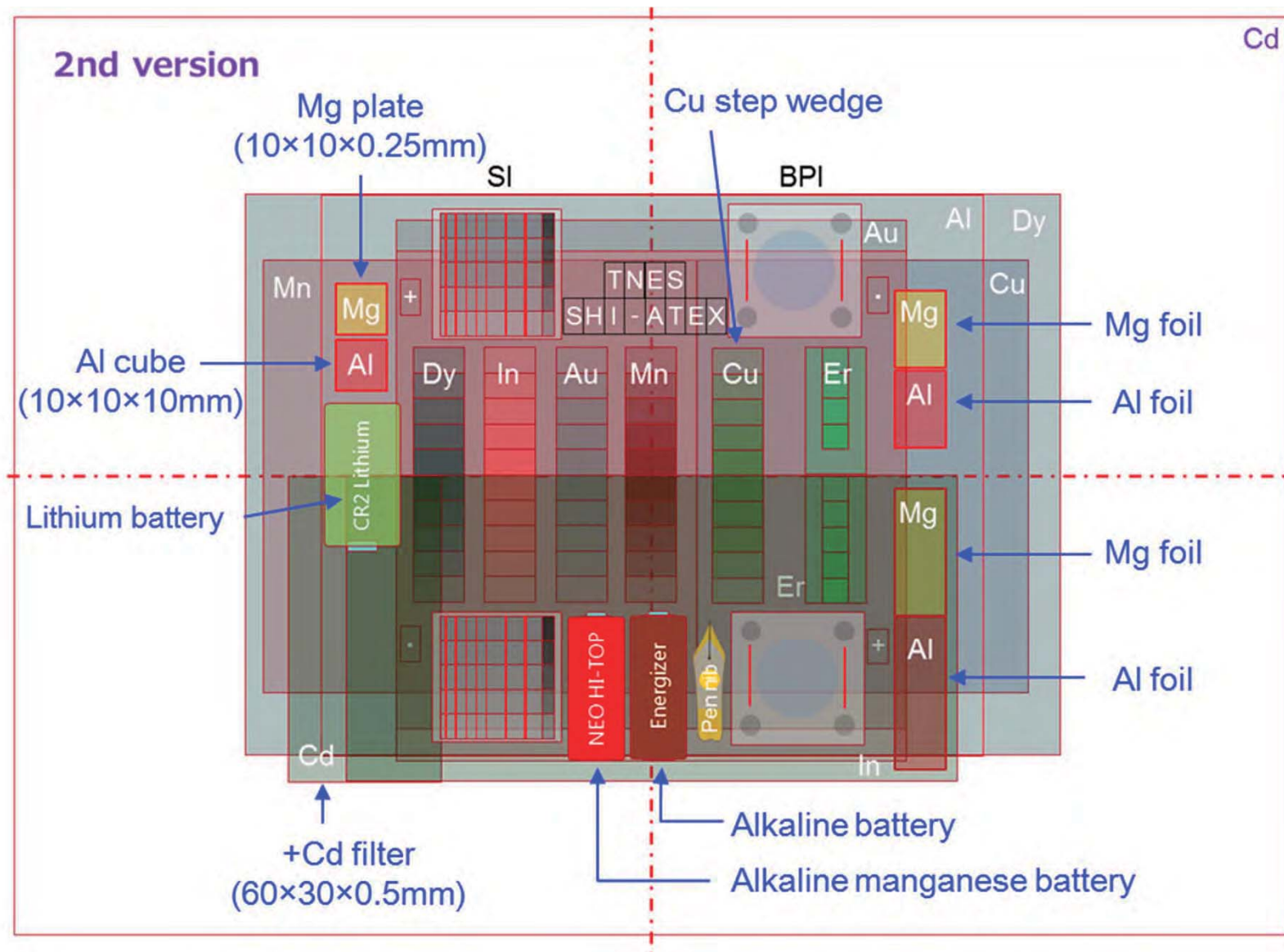
Vertical port 2



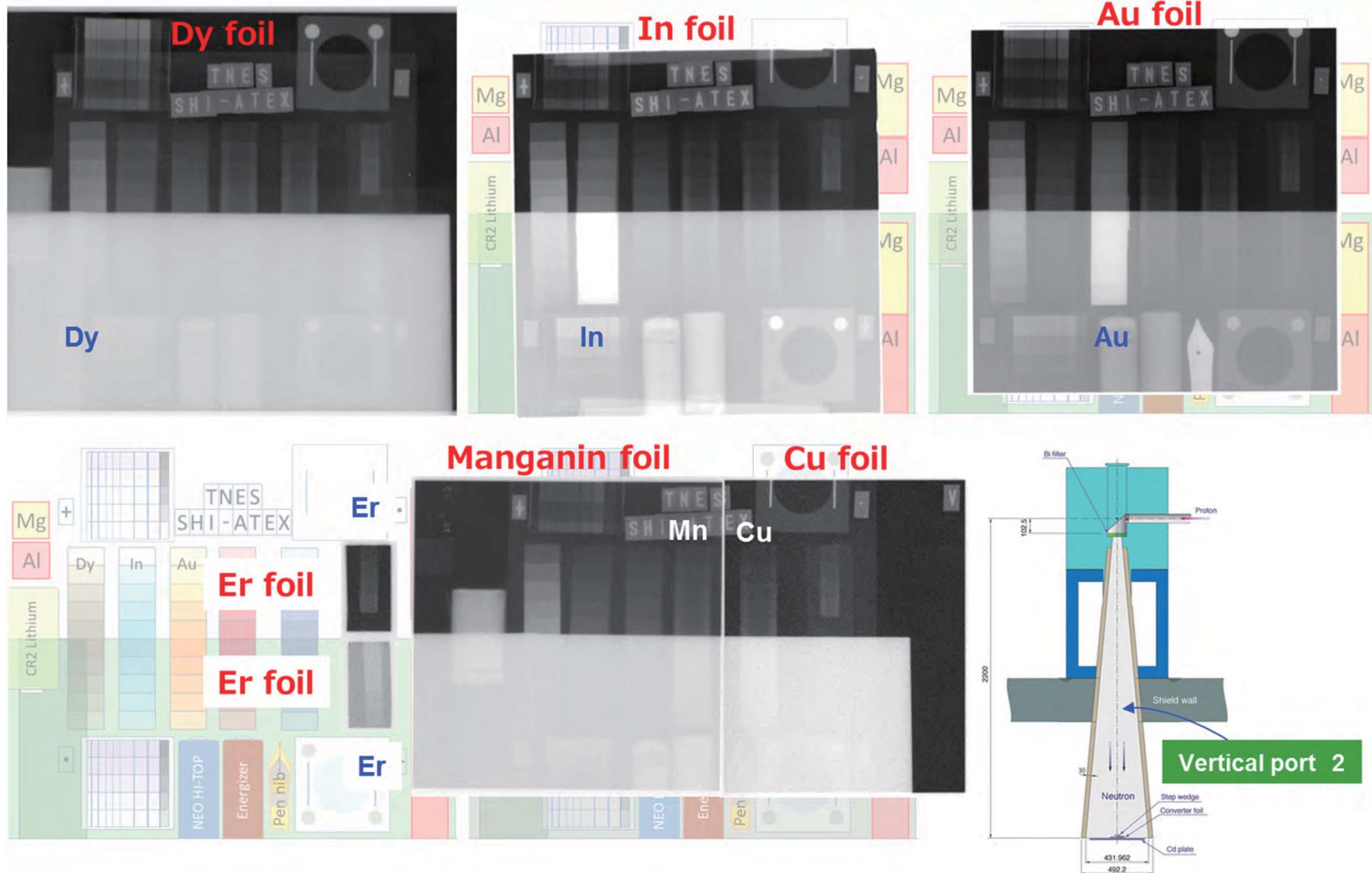
Case 1

Vertical port 1

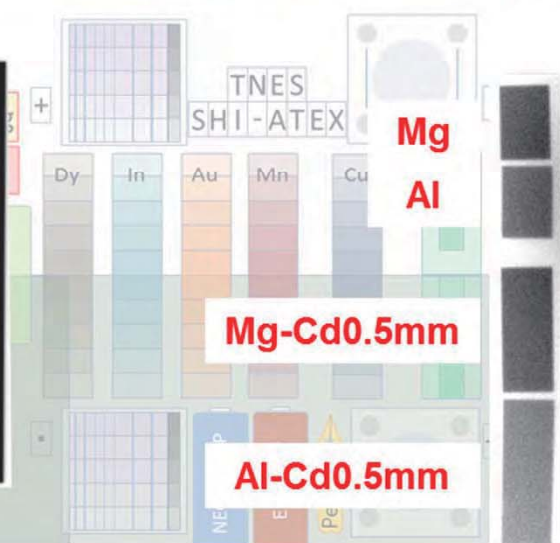
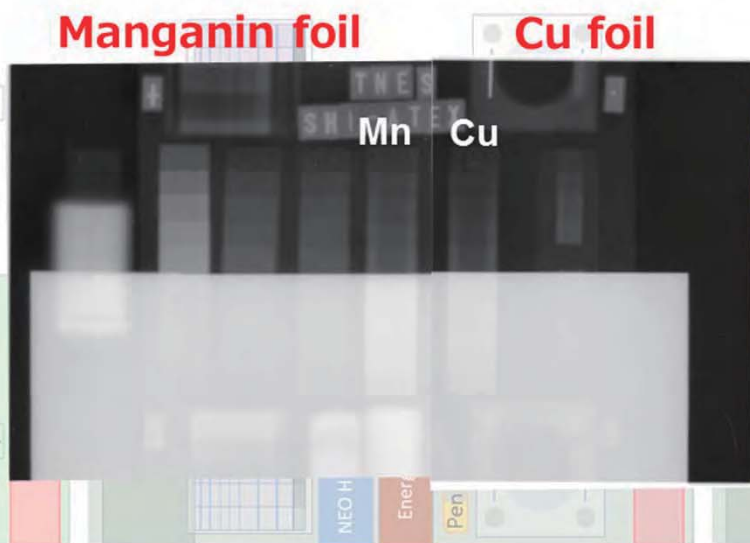
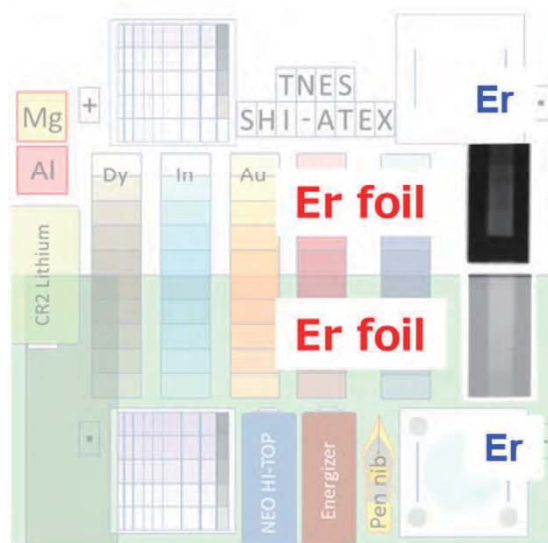
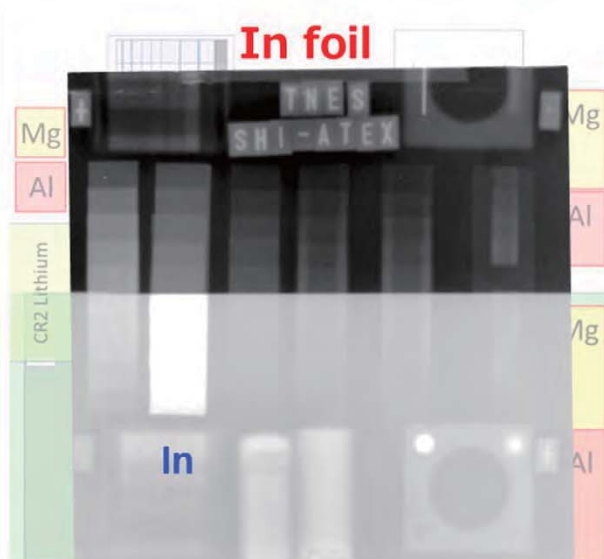
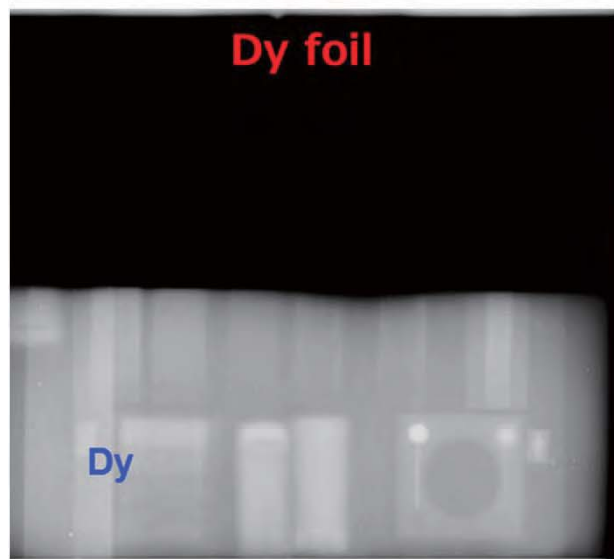
その 1 報告の照射サンプルレイアウト



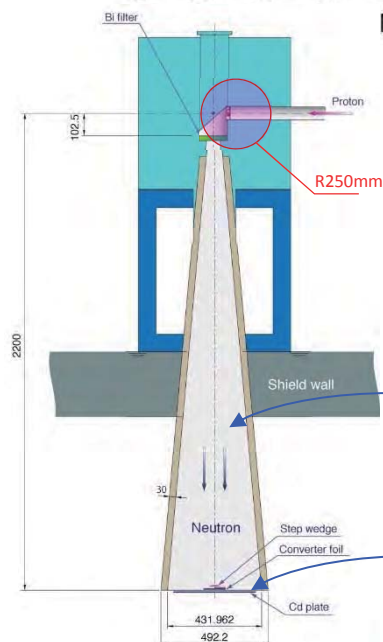
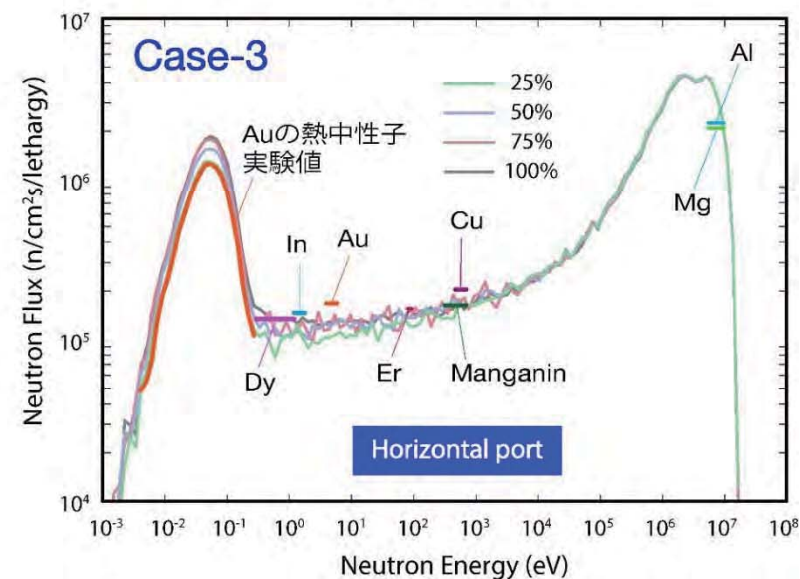
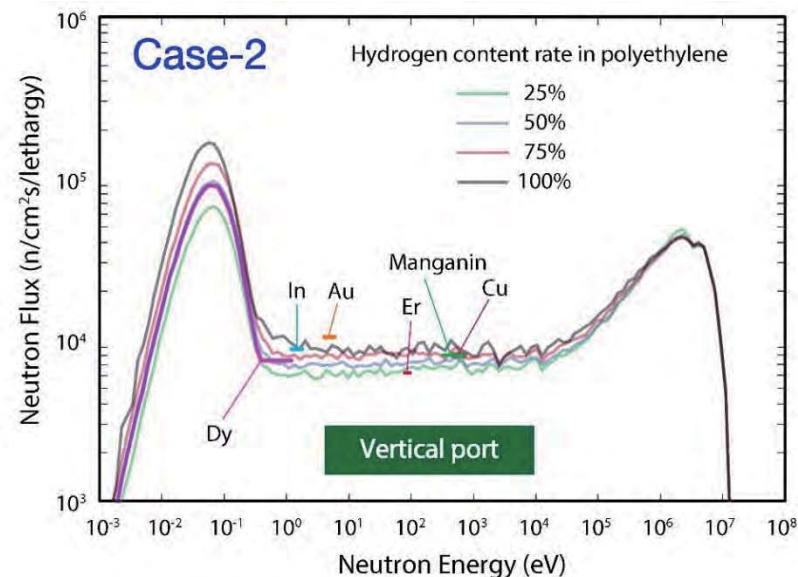
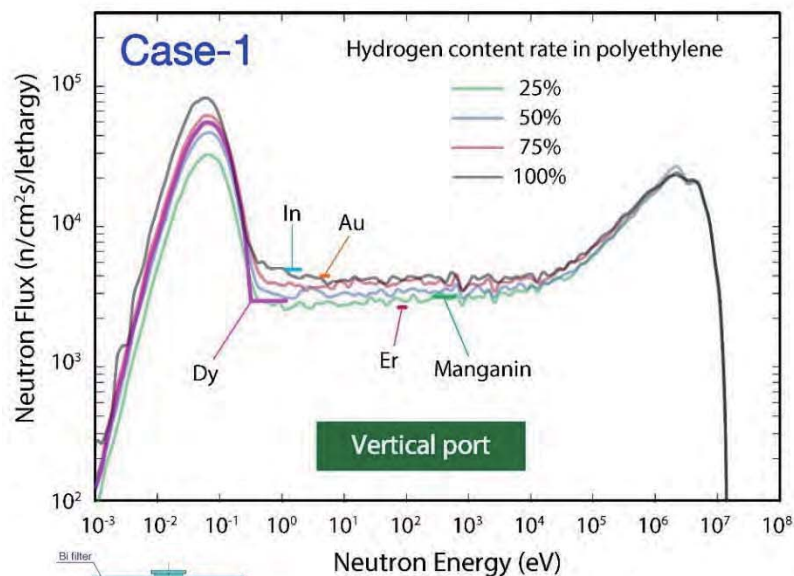
その1報告撮影結果一例 (Vertical port 2)



その1報告撮影結果一例 (Horizontal port)



その1 報告撮影結果と解析結果の比較

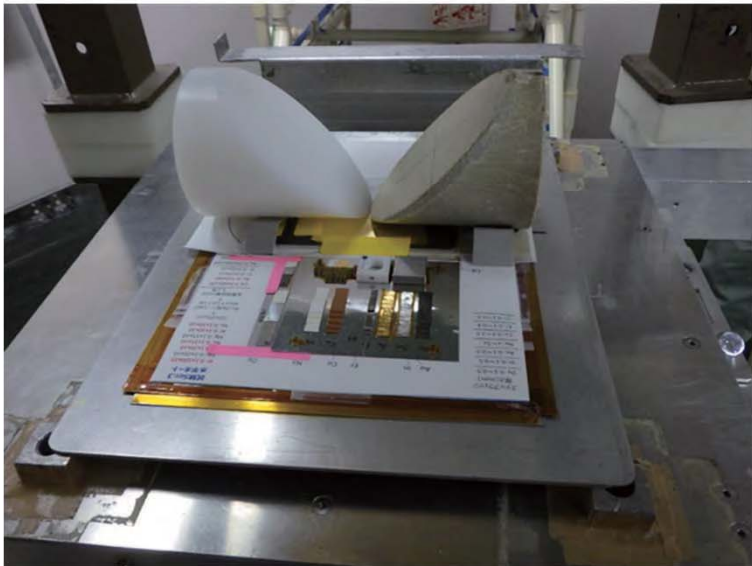


中性子源の中心から半径
250mmのポリエチレンモデ
レータが劣化して水素が減少
するとして解析。
北海道大学 藤谷氏がパラ
メータ解析。

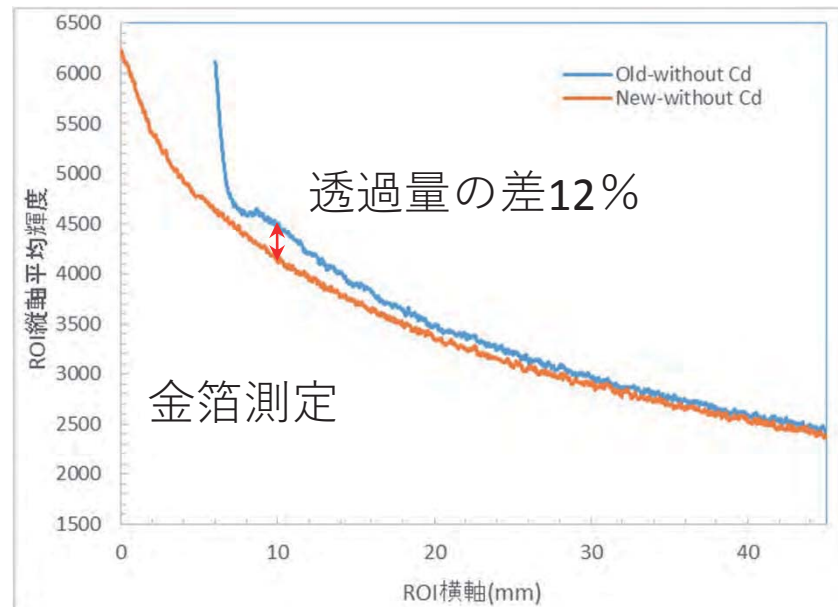
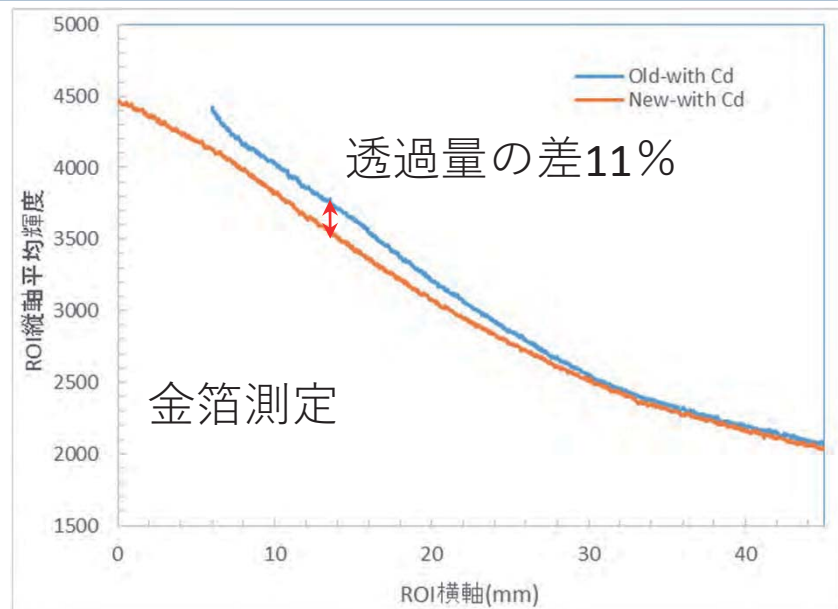
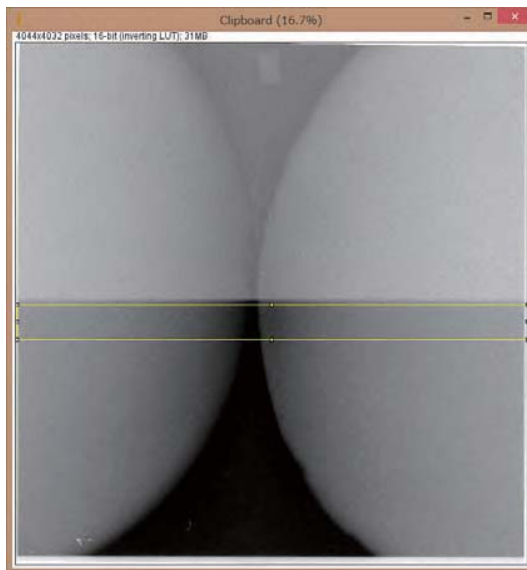
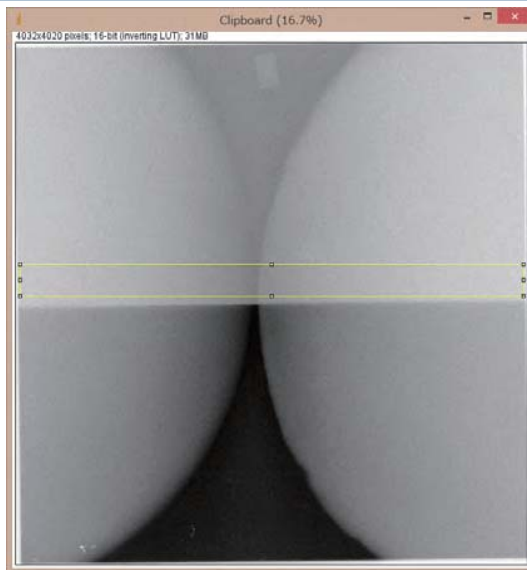
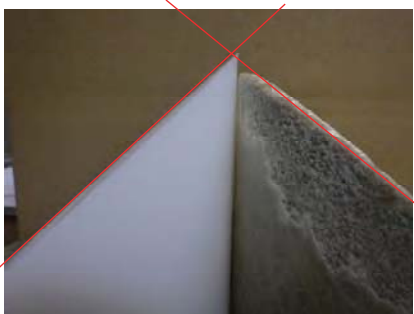
Case 2

Case 1

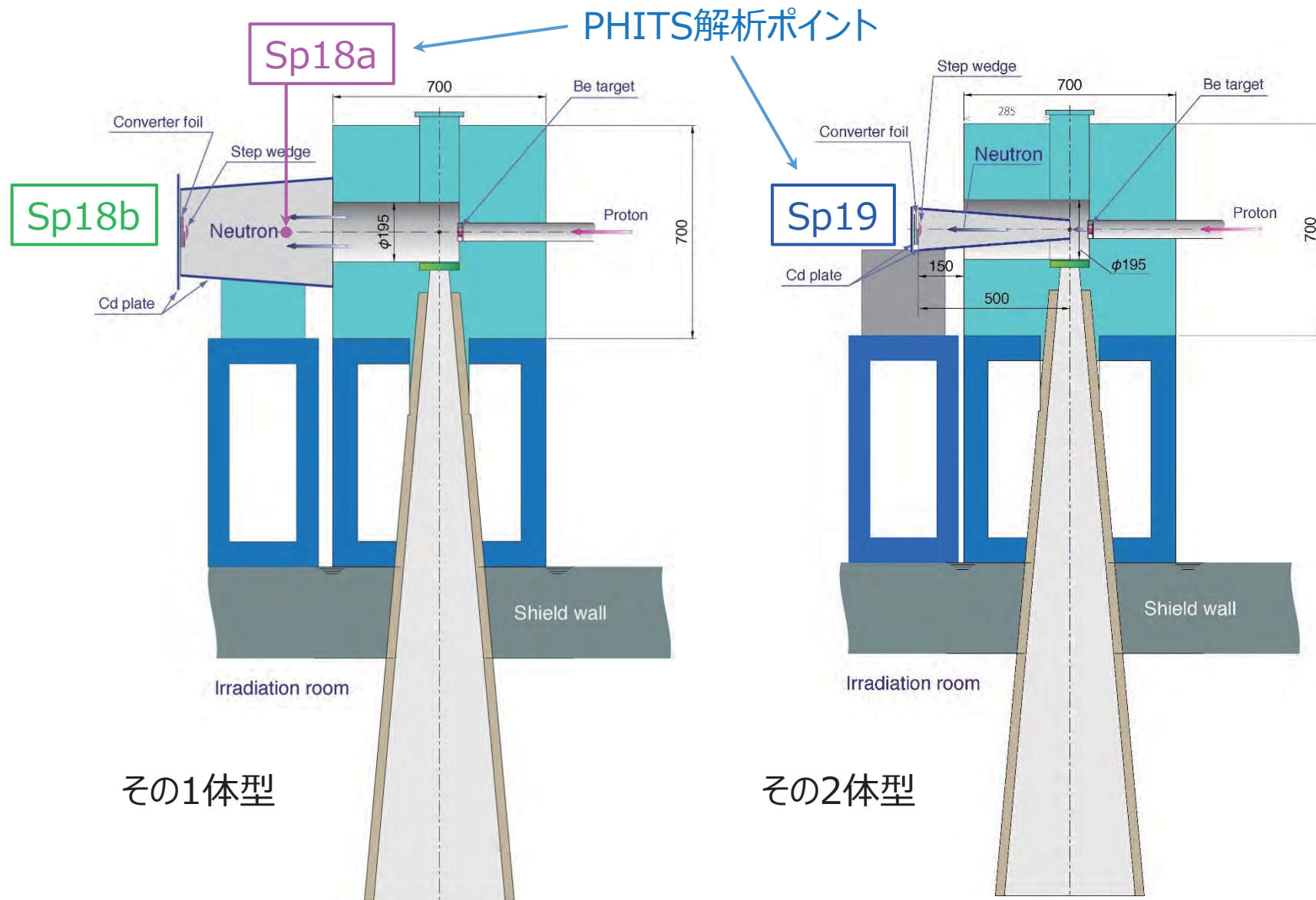
モデレータ劣化確認試験（試験状況写真）



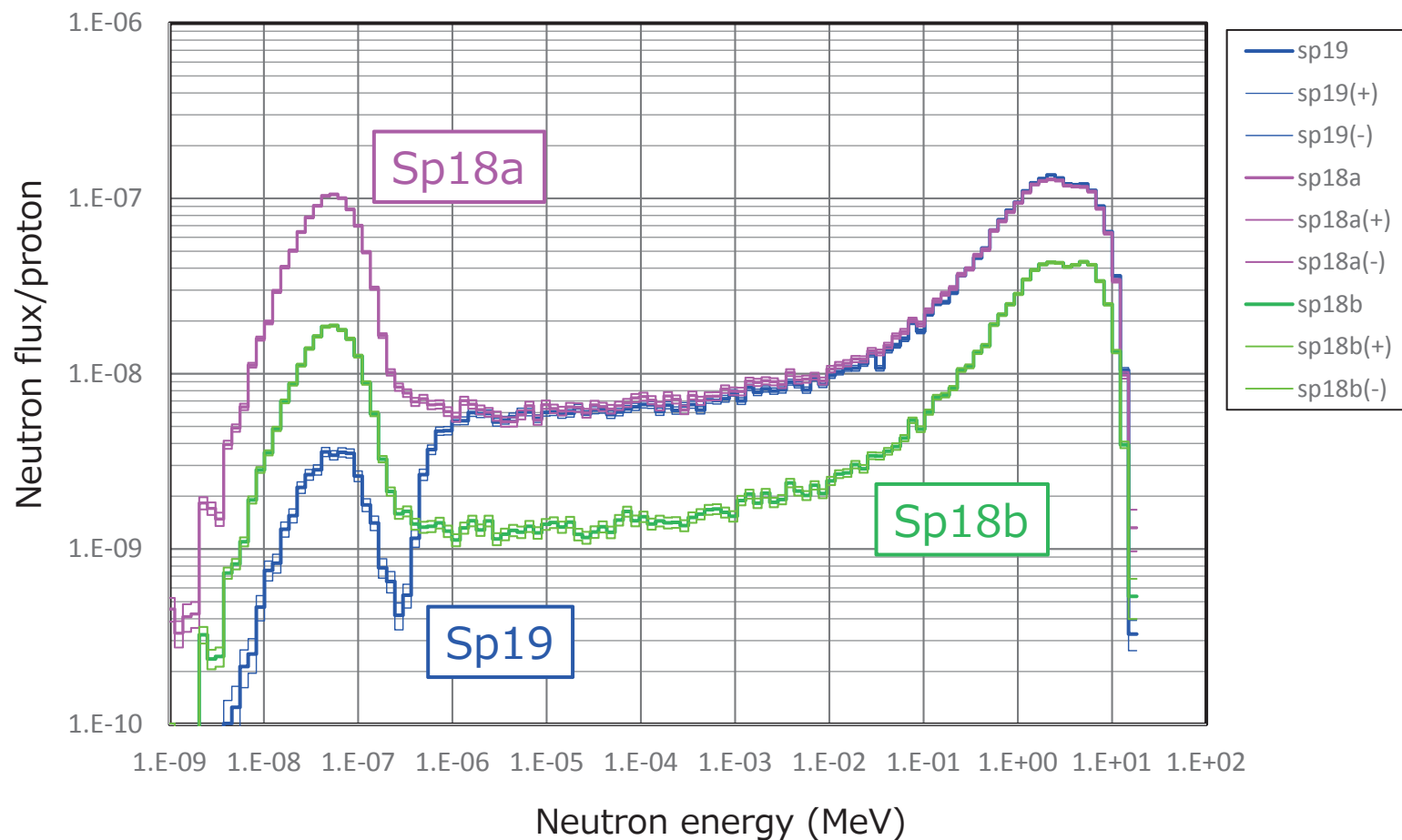
モデレータ劣化確認撮影結果 (Au箔IP転写透過比較)



水平ポートコリメータ形状を変えた試験体型



水平ポートPHITS解析結果比較（劣化無し）



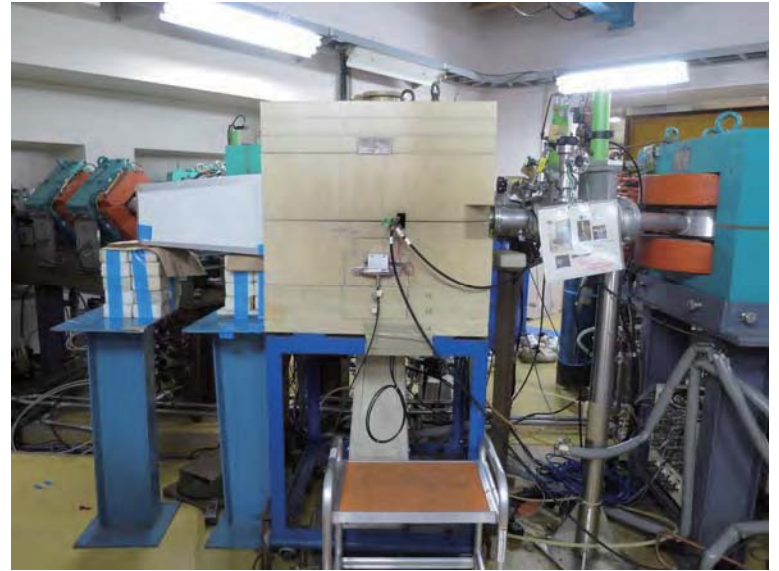
Sp19: 今回(Cdコリメータ付)

Sp18a: 昨年度体系水平ポート出口から15cm(位置は今回と同じ)

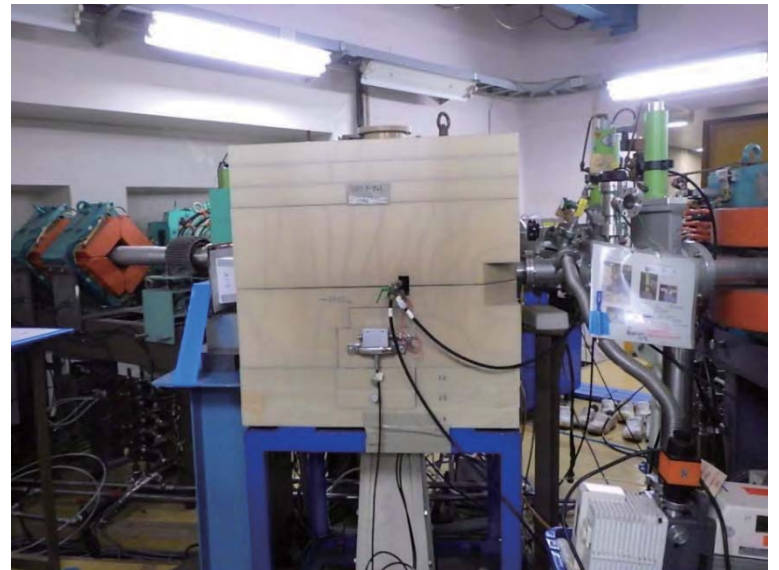
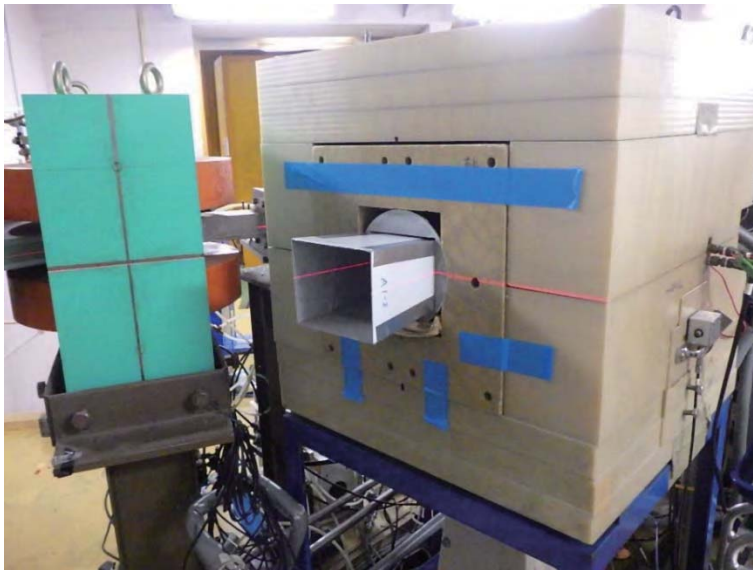
Sp18b: 昨年度測定位置(水平ポート出口から50cm)

試験セットアップ状況

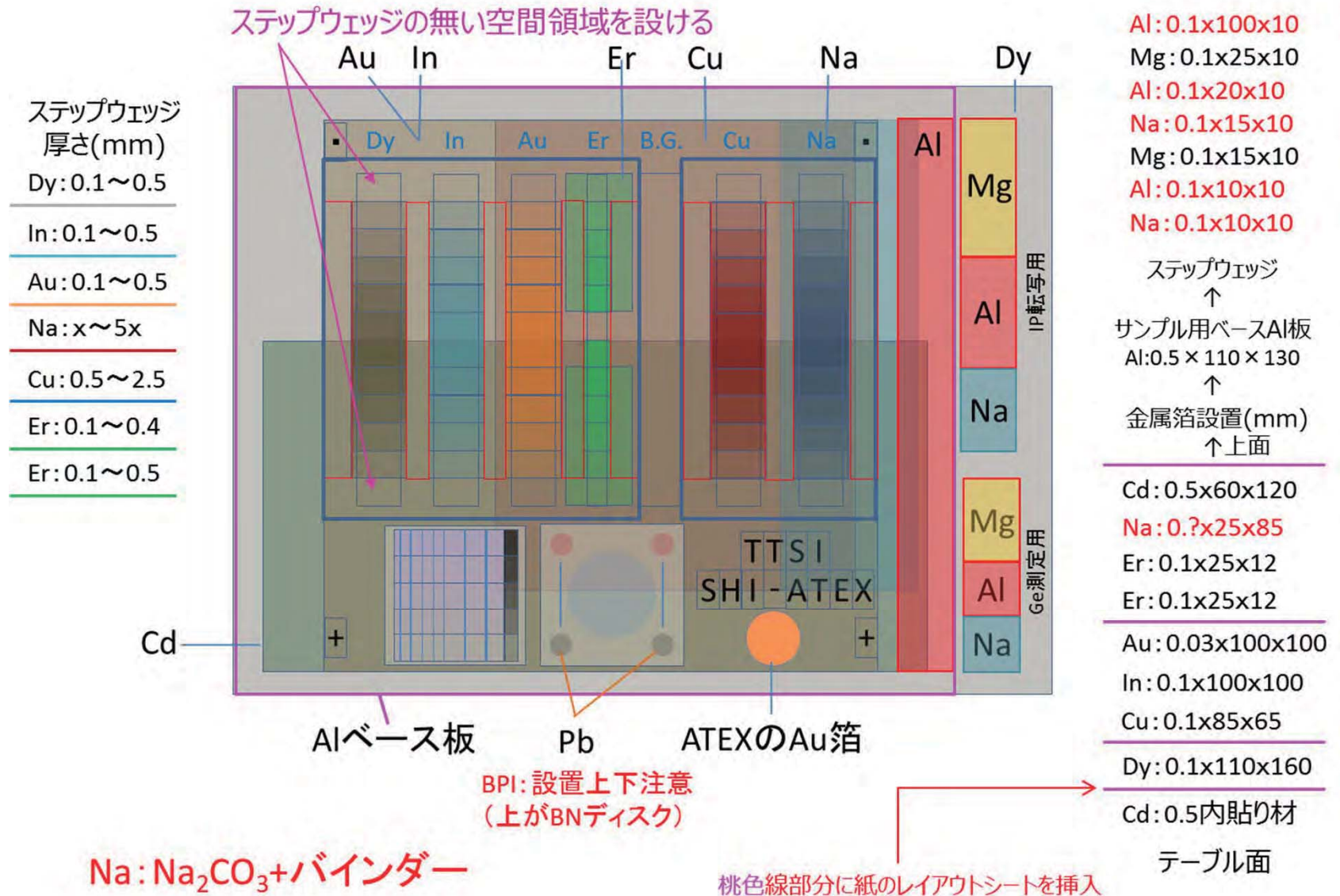
その1体型



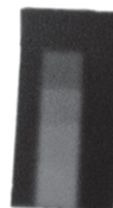
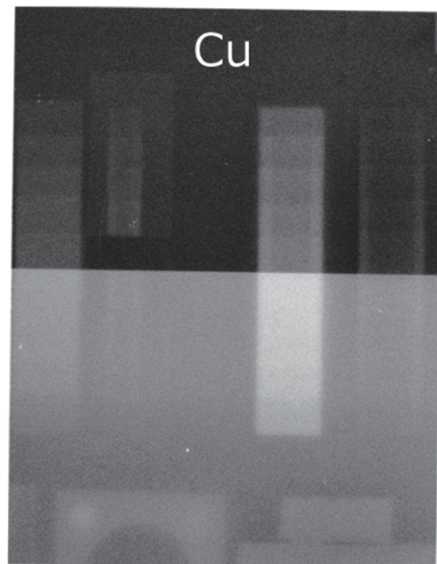
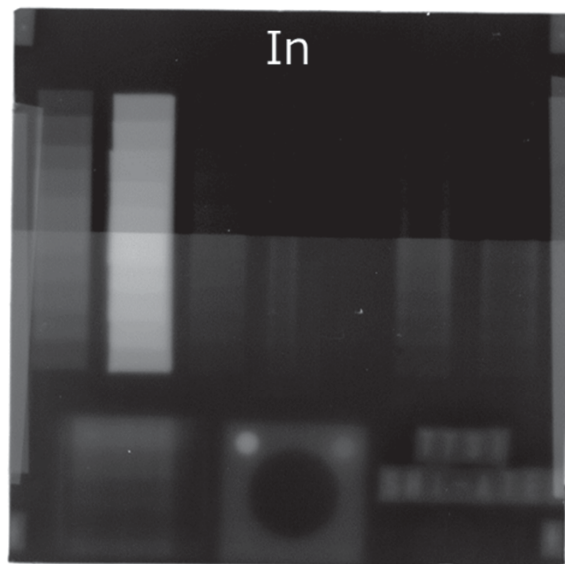
その2体型



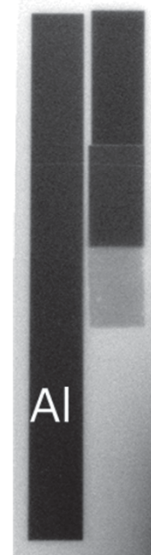
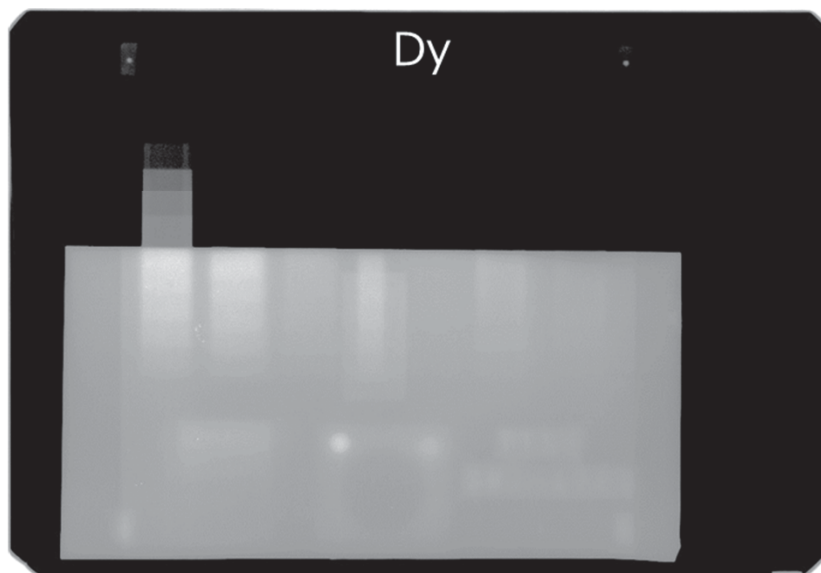
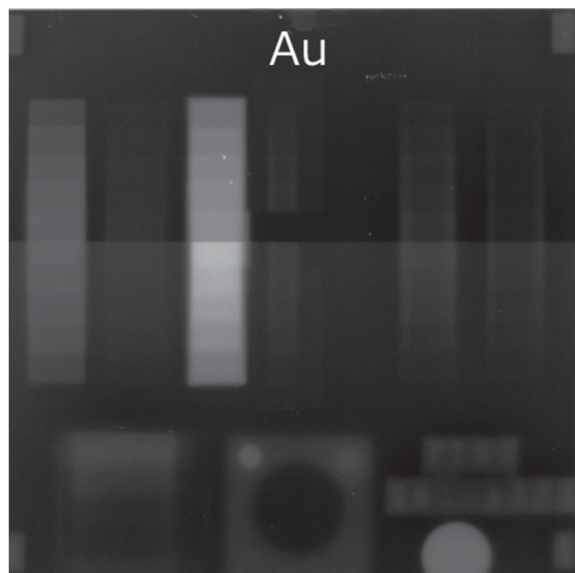
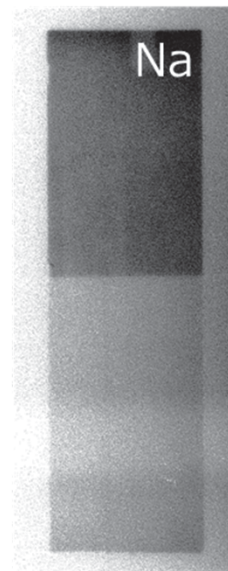
その2体型の照射サンプルレイアウト



その2体型撮影結果



Er



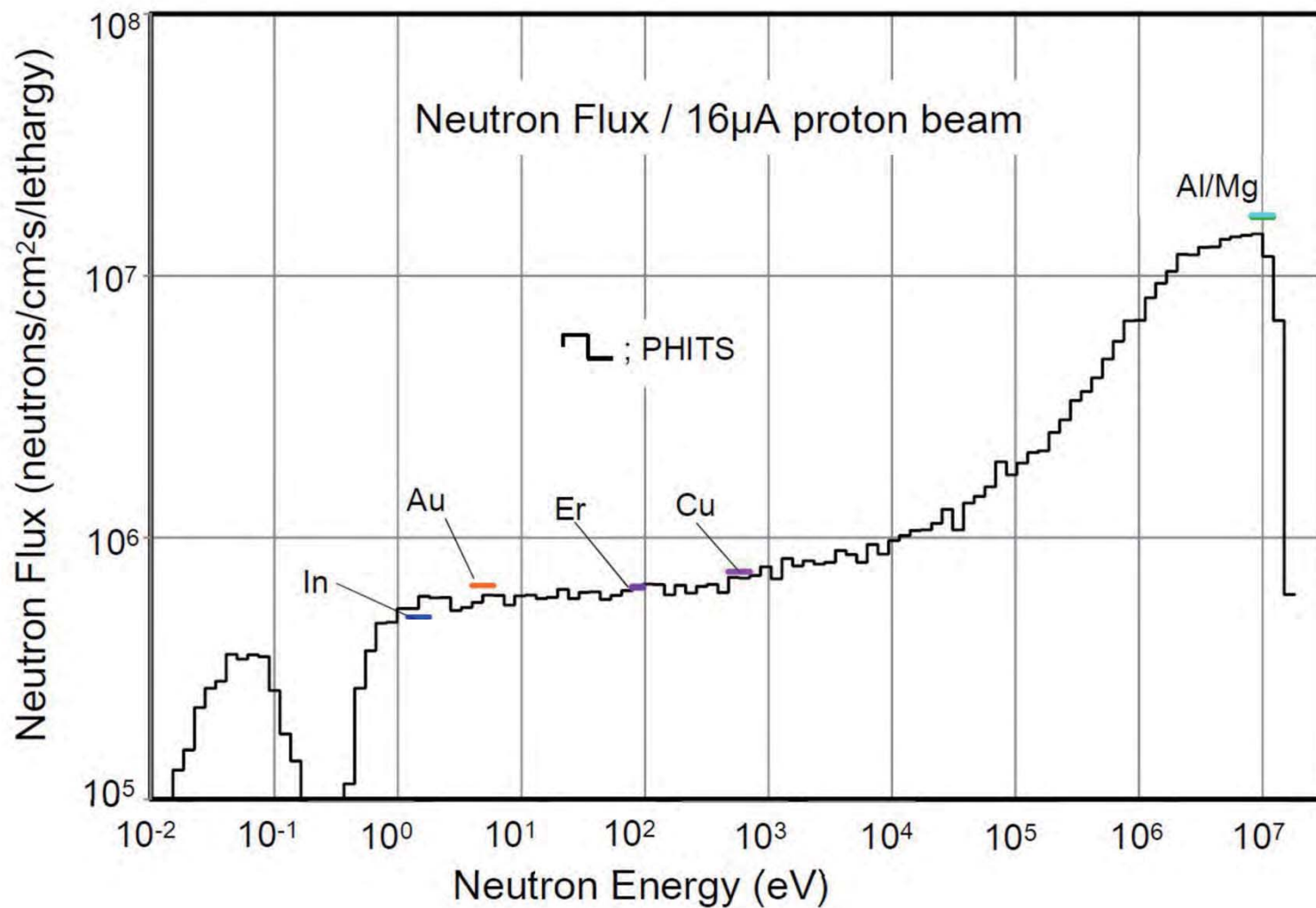
Mg

Al

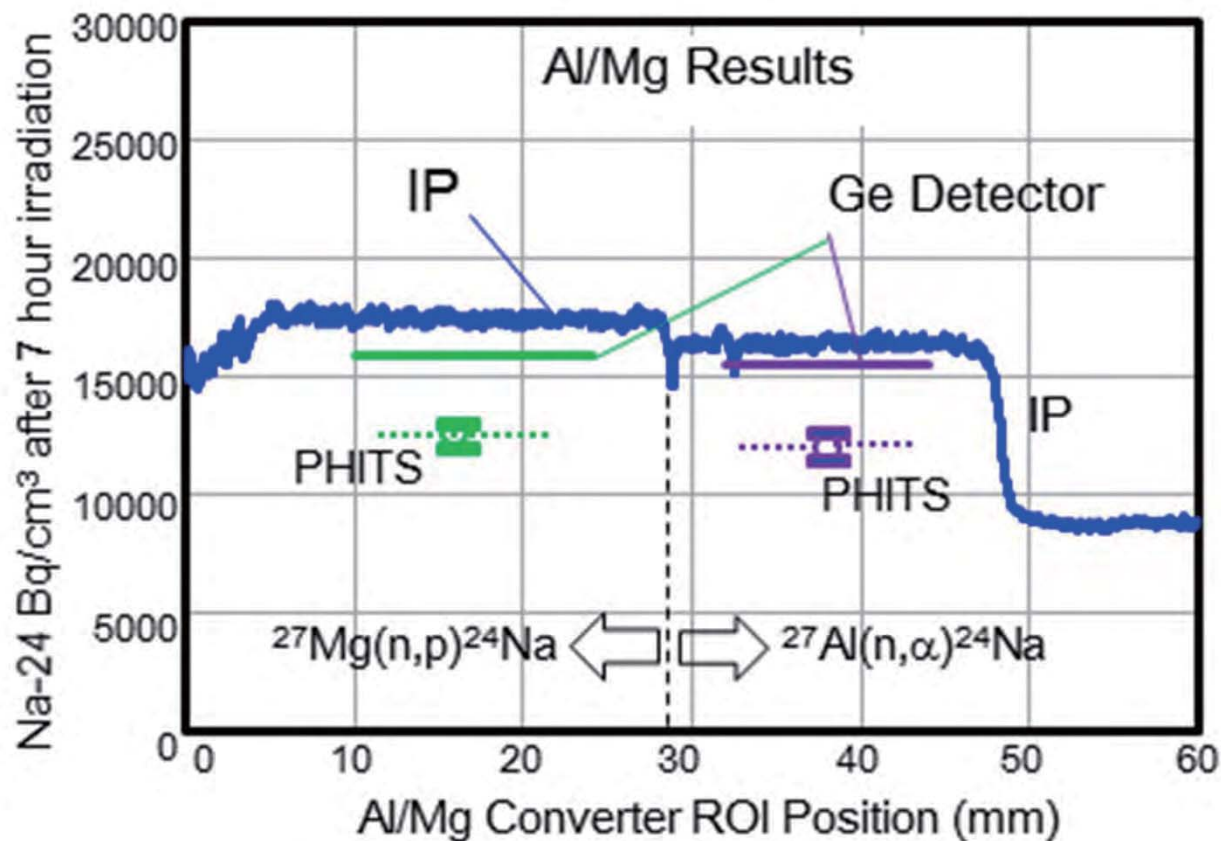
Na

Al

その2 体型測定結果と解析結果の比較



その2 体型AlとMgのIP転写、Ge測定結果と解析結果比較

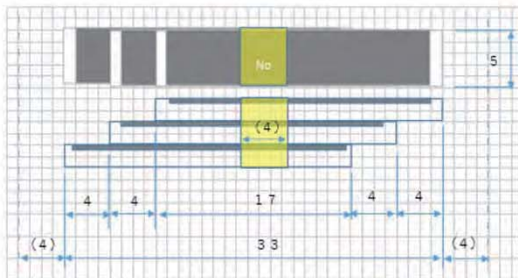
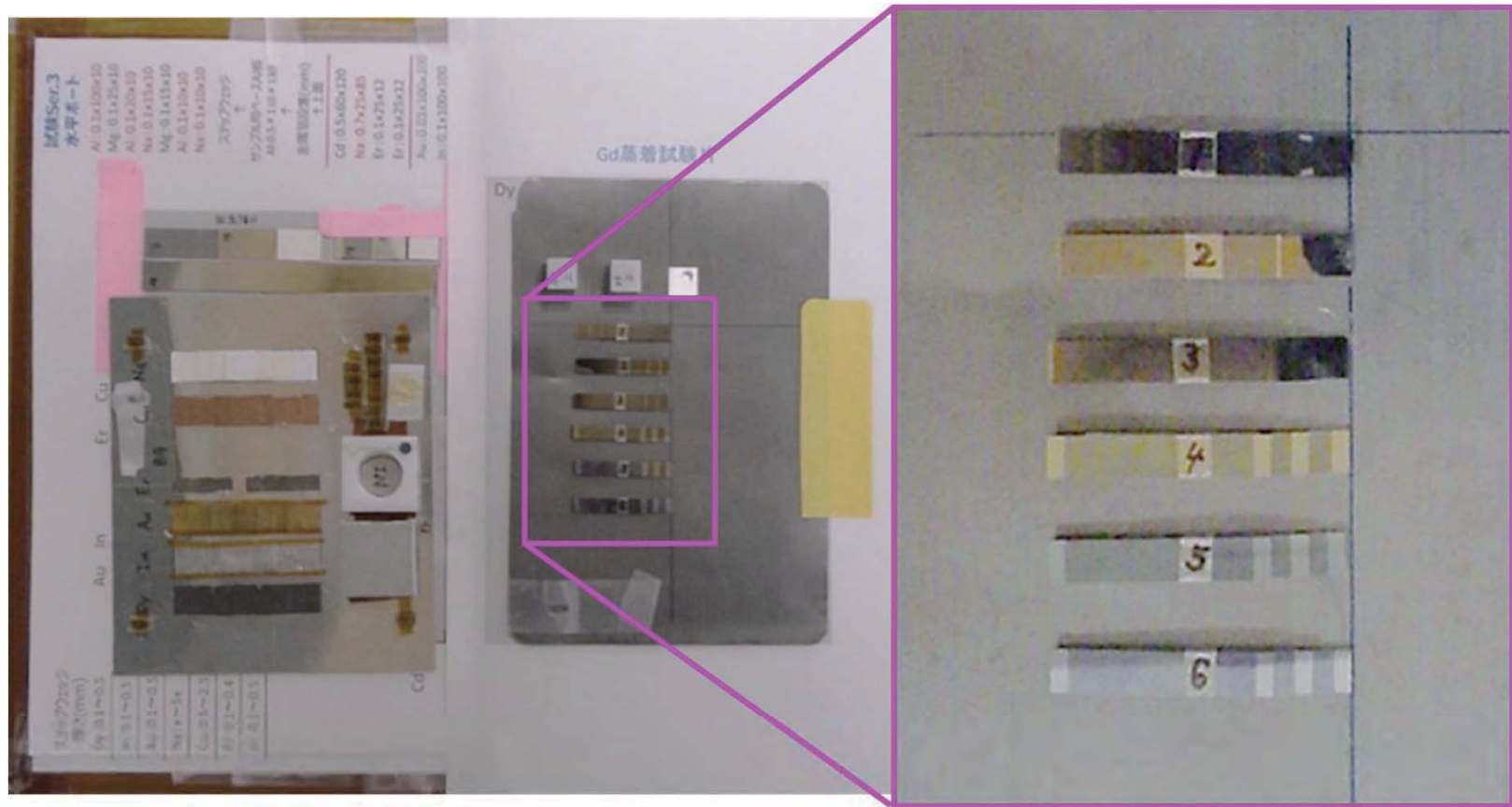


^{24}Na ：半減期14.959時間、 β 線1392.91keV(99.944%)、 γ 線1368.633keV(100%)

*) IP転写結果は金箔のGe測定結果から校正して表示。

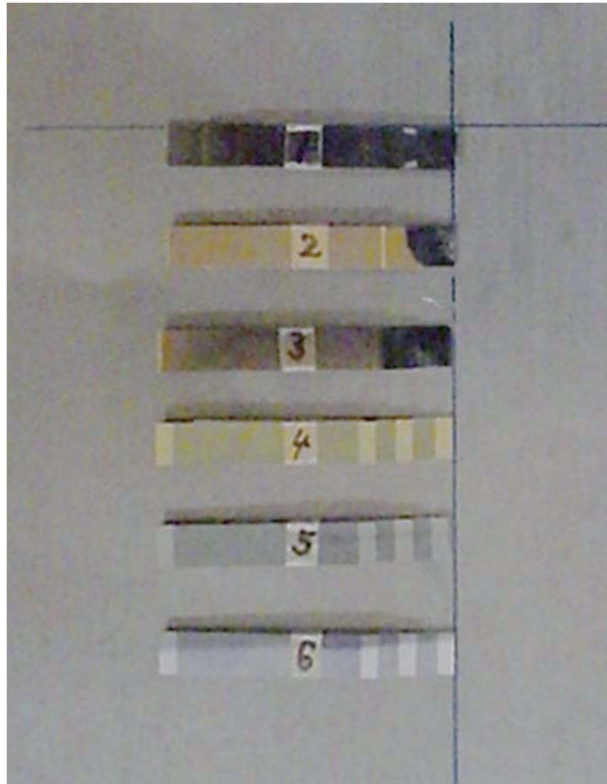
Na-24はGeで γ 線を直接測定

Gd蒸着膜ステップを用いた測定精度検討（垂直ポート）

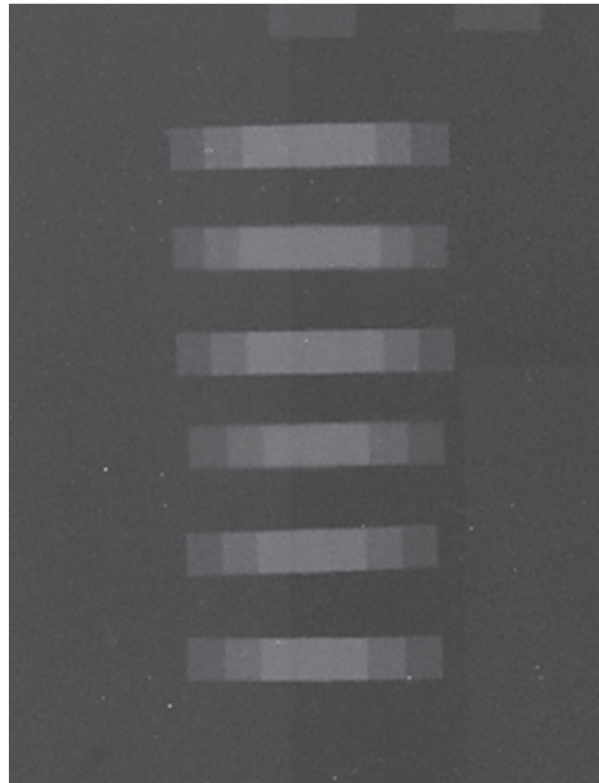


- ① 上 (3枚) 1set (触針計の値 : 11,234 Å) max
- ② 中 (3枚) 1set (触針計の値 : 10,997 Å)
- ③ 下 (3枚) 1set (触針計の値 : 10,555 Å) min
- ④ 内 (3枚) 1set (触針計の値 : 10,807 Å) min
- ⑤ 中 (3枚) 1set (触針計の値 : 11,148 Å)
- ⑥ 外 (3枚) 1set (触針計の値 : 11,567 Å) max

Dy箔IP転写撮影結果と輝度読み取りROI設定

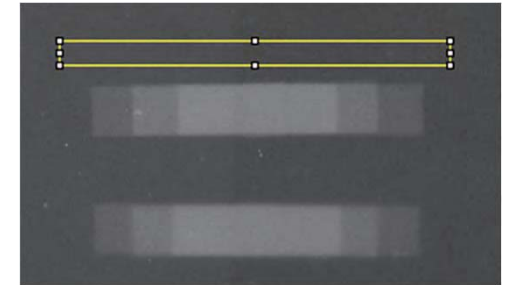


Dy箔IP転写法撮影結果

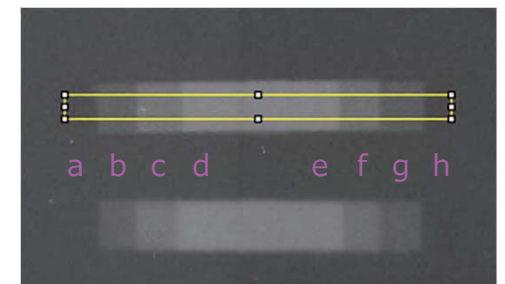


ROI設定

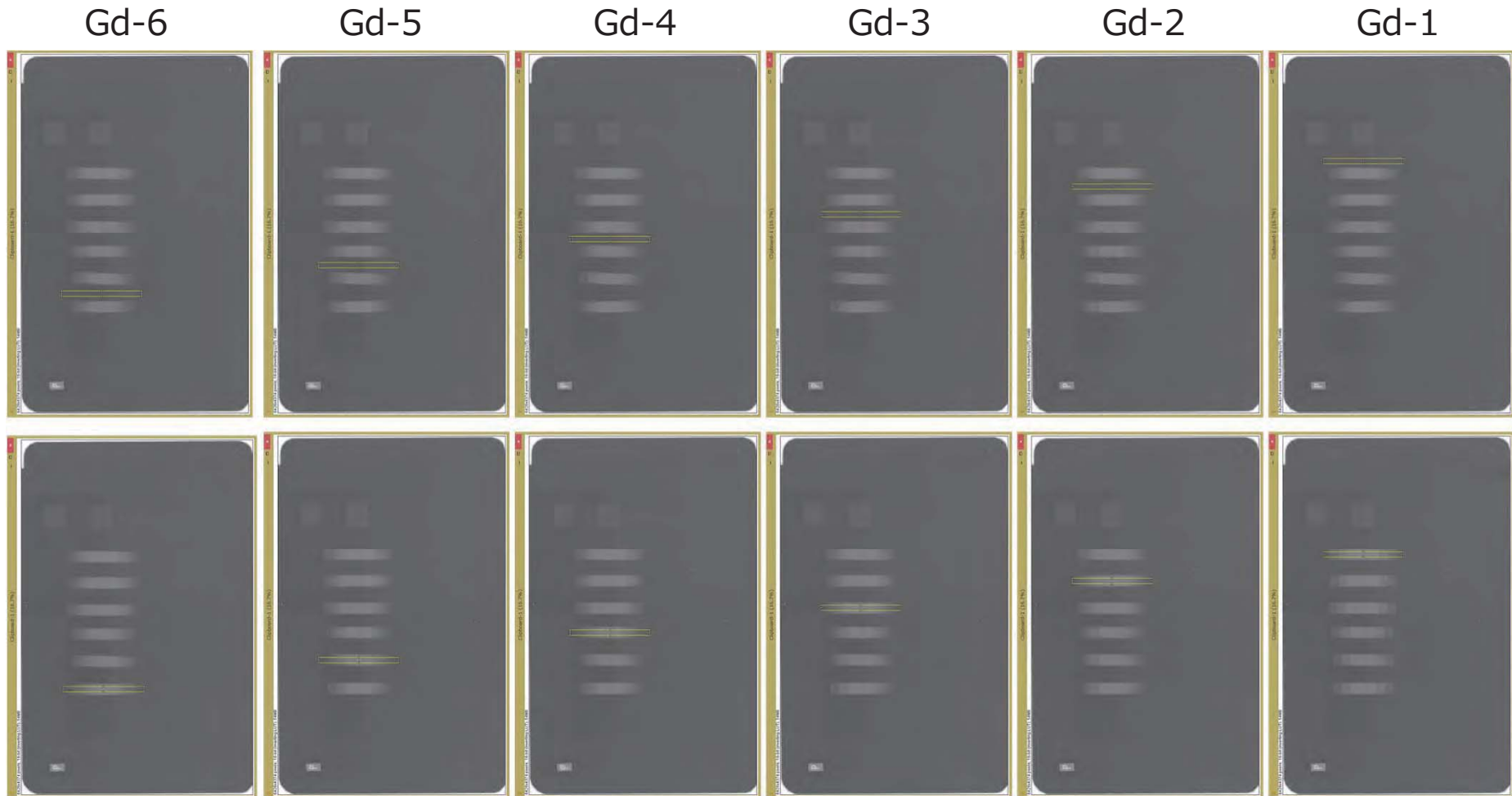
各BGエリア設定
(ステップウェッジ上部)



各ステップウェッジ設定



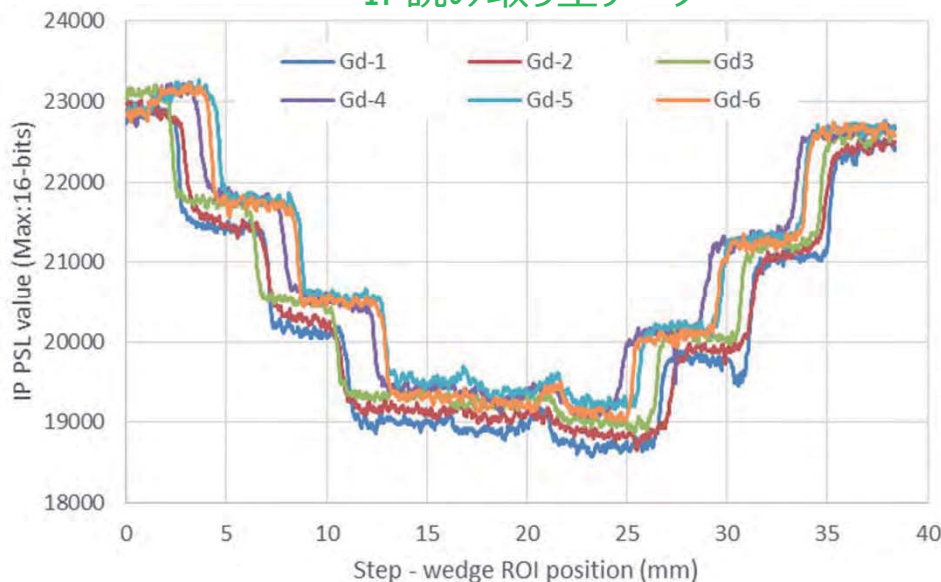
Gd蒸着ステップ輝度読み取りROI設定



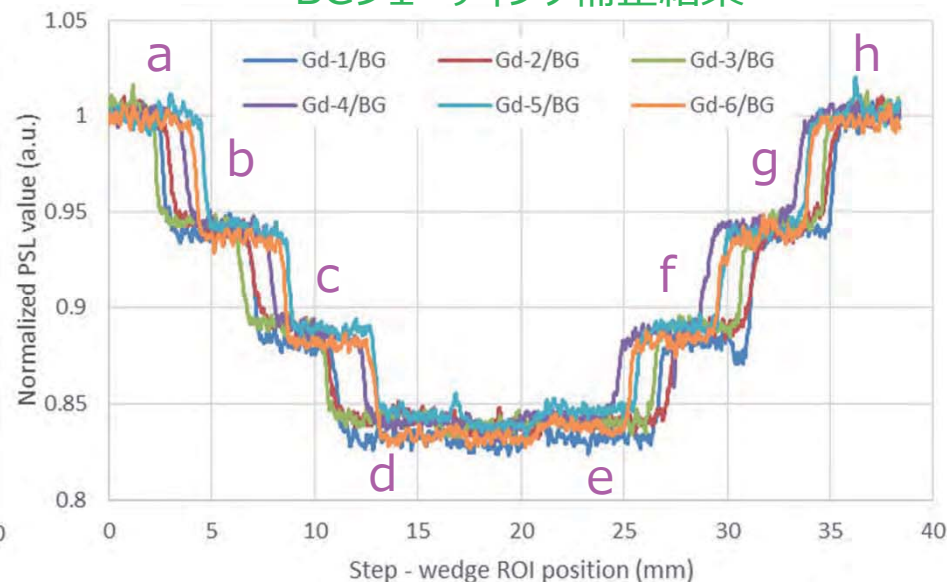
上段：バックグラウンド(BG)ROI、下段：Gd蒸着ステップウェッジROI

Gd蒸着サンプルと中性子透過輝度のデータ整理

IP読み取り生データ

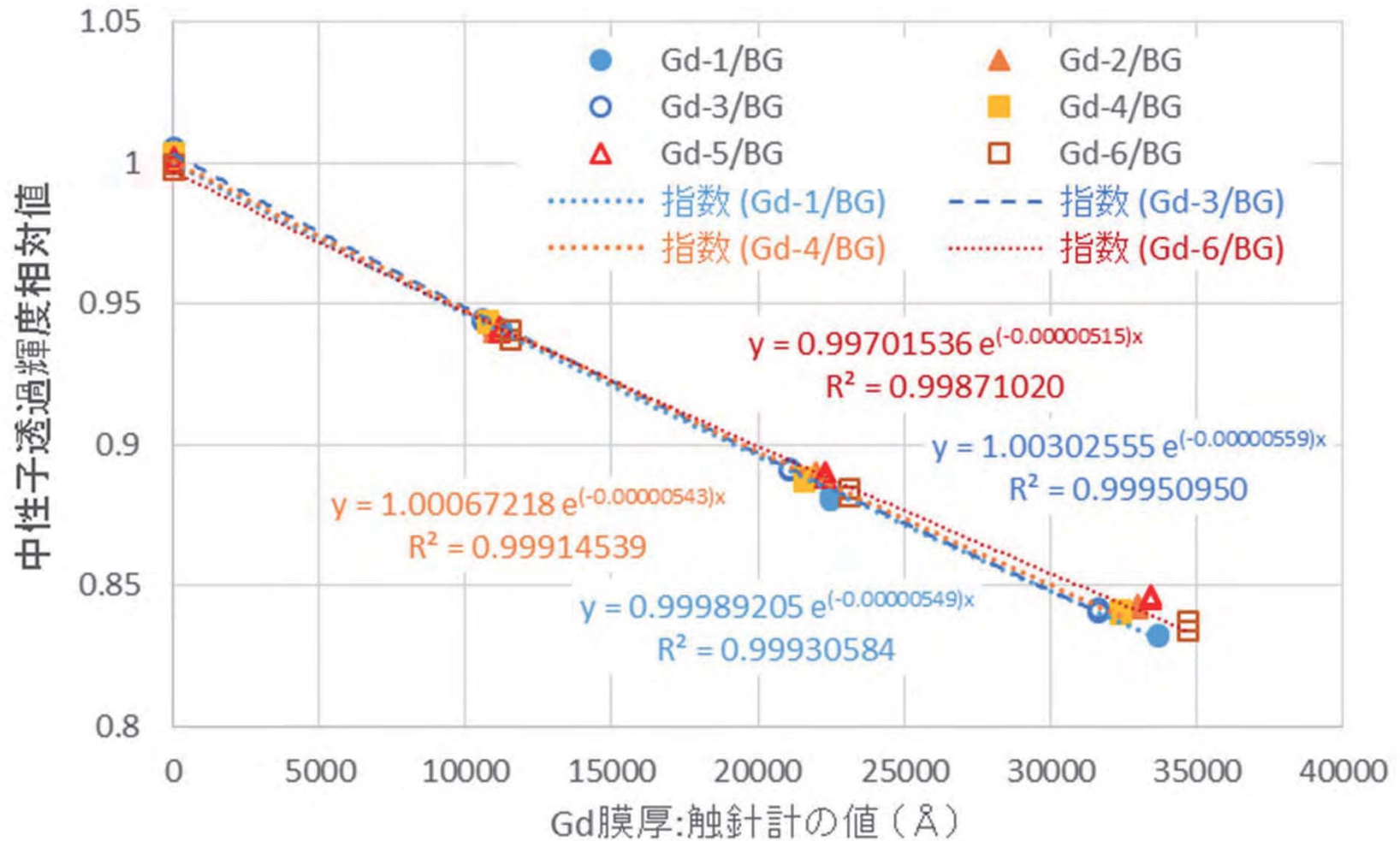


BGシェーディング補正結果



	Gd-1/BG	Gd-2/BG	Gd-3/BG	Gd-4/BG	Gd-5/BG	Gd-6/BG	Ave	Std
a	1.001	1.004	1.005	1.000	1.000	0.999	1.002	0.002
b	0.941	0.942	0.944	0.943	0.942	0.937	0.941	0.002
c	0.880	0.890	0.891	0.888	0.889	0.881	0.887	0.005
d	0.833	0.843	0.842	0.840	0.845	0.834	0.839	0.005
e	0.832	0.842	0.841	0.841	0.846	0.837	0.840	0.005
f	0.882	0.889	0.891	0.887	0.890	0.884	0.887	0.003
g	0.941	0.940	0.944	0.944	0.940	0.940	0.941	0.002
h	0.999	1.003	1.003	1.003	1.002	0.997	1.001	0.003
	Gd-1/BG	Gd-2/BG	Gd-3/BG	Gd-4/BG	Gd-5/BG	Gd-6/BG	Ave	Std
Ave(a&h)	1.000	1.003	1.004	1.002	1.001	0.998	1.002	0.002
Ave(b&g)	0.941	0.941	0.944	0.943	0.941	0.939	0.941	0.002
Ave(c&f)	0.881	0.890	0.891	0.887	0.889	0.883	0.887	0.004
Ave(d&e)	0.832	0.843	0.841	0.841	0.846	0.836	0.840	0.005

Gd蒸着サンプルと中性子透過結果



IPの読み取りは16ビット65,536階調、今回のサンプル無し部分の階調は約23,000階調で1/3程度。ばらつきは約0.5%である。それぞれ隣り合う場所をバックグラウンド(BG)としてシェーディング補正をすることで理想的には同じ輝度であれば1に規格化される。その補正でのばらつきは0.2%となり、蒸着面を3段重ねた約33,000 Åで輝度は約4/5になり、ばらつきは0.6%であった。Gd蒸着厚さを触針計で測定した結果とデジタル輝度データとは指数関係にあり、データと近似式のフィッティング率も99.9%と良く一致している。

まとめ

- ◆ 複数種の金属箔とその金属箔と同じ材料のステップウェッジを組み合わせ、それぞれの透過状況と共鳴吸収の特性を金属箔に記録し、IPに転写してその輝度データから中性子エネルギースペクトルの分布を測定できることを確認した。
- ◆ エネルギーの高い領域では共鳴吸収を用いた方法では測定できないが、閾値反応を用いてMg、Alから生成されるNa-24のβ線でIPに転写して同様に求められるデータとなることを確認し、Geによるγ線測定データ一致することを確認した。
- ◆ モデレータの少ない体型(その2)試験の結果は、中性子源の体系を正確に反映した解析結果と統計精度を考慮して一致する結果となり、試験データの信頼性を確認した。
- ◆ 昨年度報告のその1の結果で実験結果と解析結果の違いはモデレータの劣化が関係していることが確認された。