

23本の中性子ビームポートに対する パルスデータの提供 Ver.2

(Private : Ver.20.12.04)

平成15年10月15日

日本原子力研究所

大強度陽子加速器施設開発センター

中性子施設開発グループ

原田 正英

1 履歴

Ver.1	平成14年8月提供	23本のビームライン毎の中性子パルスデータ
Ver.2	平成15年10月提供	23本のビームライン毎の中性子パルスデータ 主要な6本のビームライン毎の中性子輝度分布

2 概要

平成15年8月時点の線源集合体の図面をもとに、計算モデルを構築し、23本の中性子ビームライン毎に中性子パルス計算を行った。平成14年8月に今回と同様にデータを提供しているが、今回は、これを改訂するものである。平成14年8月提供データ(Ver.1と呼ぶ)における計算モデル及び計算条件と、今回(Ver.2)の計算モデル及び計算条件との変更点を表1にまとめている。表2に、今回提供するデータの一覧を示す。なお、今回、モデレータ表面における中性子輝度分布データを追加した。

3 計算条件

最新の線源集合体の図面をもとに、計算モデルを構築した。パルス計算のために、取り出される23台の中性子ビームポートに合わせて、23台の点検出器を各ビーム孔の中心位置にモデレータ表面から10m離して設置した。ポート番号は、周知の番号付と同一である。なお、7~9番は、ポイズンがモデレータ表面から2.5cmの位置に、18~20番はポイズンがモデレータ表面から3.7cmの位置にそれぞれ設置されているポートとなる。

また、中性子ビームラインは、中性子ビームラインの構成が不明であったので、ビームライン中間に、中性子ビーム窓、コリメータ、ガイド管などの複雑な構造物を考慮しておらず、遮蔽体中に、 $10 \times 10 \text{cm}^2$ 中性子ビーム孔が、点検出器まで空いているモデルとなっている。

なお、線源集合体の半径 4000mm より外側は、各中性子ビームライン ($10 \times 10 \text{cm}^2$) 部分を除き、粒子の輸送を行わない (Importance 0) 空間として設定した。

計算モデルを図 1 ~ 図 6 に示す。

4 計算結果

主要ポートにおける時間積分強度、ピーク強度、半値幅の計算結果を図 7 ~ 図 9 に示す。

また、前回計算値と今回計算値との比較を図 10 ~ 図 21 に示す。結合型モデレータに関しては、中性子強度が 10meV 以下の領域で 10% 弱増加しており、パルステールが、若干改善されている。一方、ポイズン無し非結合型モデレータに関しては、中性子強度の変化はほとんど無いが、パルステールが若干悪化している。ポイズン有り非結合型モデレータに関しては、10meV 以下で 10% 前後の強度増が見られるが、パルステールの悪化も見られる。

モデレータ表面の中性子輝度分布を図 22 ~ 図 27 に示す。中性子ビームライン下流から、モデレータ側を見た場合の分布を示している。結合型は、Y 軸プラス方向にターゲットがあり、非結合型は、Y 軸マイナス方向にターゲットがある。X 軸は、Port03、08、11 なら、マイナス方向は陽子ビーム下流側、プラス方向は陽子ビーム上流側を示し、Port15、19、22 なら、マイナス方向は陽子ビーム上流側、プラス方向は陽子ビーム下流側を示し、逆となる。絶対値は、 $10 \times 10 \text{cm}^2$ の中性子引き出し面全面で積分した場合を 1 として、各メッシュ ($1 \times 1 \text{cm}^2$) での強度を示している。すなわち、均一な面分布であれば、値は 0.01 となる。結合型モデレータ (Port03 及び Port15) の場合、10meV 以下の中性子強度は、中央部に比べてモデレータ上部及び下部の方が、1.5 倍程度大きいことが分かった。一方、非結合型モデレータの場合、10meV 以下の中性子強度は、周辺部に比べて、中央部の方が、2 倍程度大きいことが分かった。10meV ~ 1eV の中性子の場合、この強度差が半分程度になる。なお、中性子のエネルギーが 1eV 以上になると、ターゲット側の強度が強くなり、左右非対象になる。

5 注意点と今後の変更点

- 配布するデータは、平坦化などの処理を施していないために、計算統計精度に起因する揺らぎを持っている。特に、非結合型モデレータにおける中性子パルス of テール部分、高エネルギー中性子パルス of 高エネルギー部分に、顕著に見られる。
- 陽子ビーム出力は、陽子ビーム窓直前で 1MW として計算している。しかし、実際は、50GeV リングへの分配分、ミュオンターゲット使用による減少分を考慮すると、1MW 出力時においても、時間平均で、0.9MW 相当になる。中性子強度もこれに比例する。
- 非結合型モデレータ (ポイズンあり及びポイズンなしの両方共) のパルス of テール部分が、前回計算値より悪化している。現在、原因を調査中であり、原因次第では、構造の工夫等により改善される (前回計算値程度) 可能性がある。

- 現在、モデレータの構造容器の主材質であるアルミニウムは、Free Gas モデルによるカーネルを使用している。そのため、アルミニウム専用カーネルを入手もしくは作成して使用した場合、パルス特性に若干の影響がある。(おそらく、若干の強度増)
- その他、製作設計段階で必要不可欠な設計変更を行った結果、パルス特性への影響が考えられる。
- 陽子ビームの時間構造を考慮していない。本計算では、デルタパルスとして考えている。実際は、陽子ビームは2バンチの時間構造の持ち、このずれは、Peak to peakで、約 0.6μ 秒である。パルス幅の小さい(1eV以上の)中性子パルスを用いる場合、この2バンチ構造が中性子パルスのピーク形状に影響を及ぼすため、注意する必要がある。

表 1: 前回からの変更点

- モデルの詳細化
 - He バリア層の分割 (アルミニウムと He 部)
 - デカップラー部の分割 (アルミニウムと AIC 部)
 - ライナー部の分割 (アルミニウムと AIC 部)
 - ライナー部の分割 (アルミニウムと AIC 部)
- モデルの追加 & 変更
 - モデレータ多重容器の厚さの変更
モデレータ発注仕様書ベース
 - 反射体容器厚さの変更
反射体発注仕様書ベース
 - 反射体における冷却水プレナムの追加
反射体発注仕様書ベース、陽子ビーム孔近傍及び反射体上下部
 - 溶接部におけるデカップラー欠損の考慮
デカップラー欠損部分: 12mm
 - 反射体における陽子ビーム孔サイズの変更
約 1cm 程度広げた。
 - ターゲット形状の変更
若干の小型化と先端形状を半円筒に変更
 - ポイズン厚さの変更
変更値: 1.8mm → 1.3mm
 - ポイズン位置の変更
Port 18~20 側モデレータ表面から 2.5cm の位置に設置していたポイズンを Port 07~09 側モデレータ表面から 2.5cm の位置に変更
 - 水平型反射率計用ビームラインの考慮
2 台の斜め入射ビームラインを考慮
- 計算条件の変更
 - 陽子ビームプロファイルの変更:
位相空間でガウス分布 & ターゲット直前、実空間で $13 \times 5 \text{cm}^2$
→ 位相空間で均一分布とガウス分布の組合せ & ターゲット直前、実空間で $17 \times 8 \text{cm}^2$

表 2: 提供データ一覧

- 本資料
 - － 説明
 - － 表
 - － 各種グラフ
 - * 主要ポートにおける中性子パルスの時間積分強度、ピーク強度、半値幅
 - * 前回計算値と今回計算値の時間積分強度、ピーク強度、半値幅の比
 - * 前回計算値と今回計算値の中性子パルスの時間分布
 - * モデレータ表面に置ける中性子輝度分布
- EXCEL Format データ
 - － エネルギースペクトル & パルスデータ
ファイル名：Pulse_0310.xls
 - * 中性子ビームライン毎の時間積分強度（エネルギースペクトル）
 - * 中性子ビームライン毎のピーク強度^{*1}
 - * 中性子ビームライン毎の半値幅^{*1}
 - * 中性子ビームライン毎のパルスデータ
 - － 輝度分布データ
ファイル名：Luminos_0310.xls
 - * 主要な中性子ビームラインにおけるモデレータ表面の中性子輝度分布データ

^{*1}Fitting がうまく行かなかったデータ点は、削除している。

表 3: 計算条件 (特筆すべき項目のみ)

項目 1	項目 2	現条件
計算コード	高エネルギー陽子、中性子輸送	PHITS Ver.1.52
	低エネルギー ($E_n < 20$ MeV) 中性子輸送	MCNP-4C3
モデルバージョン	Private	Ver.20.12.04
陽子ビーム	ビーム出力 ビームプロファイル 周波数 位置の揺らぎ	陽子ビーム窓直前の強度で 1 MW 位相空間で 81π mm mrad & 均一 + ガウス分布 ターゲット直前で、 $17 \times 8 \text{ cm}^2$ 25Hz 水平方向 $1\sigma = 0.68 \text{ cm}$ 垂直方向 $1\sigma = 0.06 \text{ cm}$
陽子ビーム窓	材質と厚さ 冷却水と厚さ	A5083 アルミニウム合金 2.5 mmt $\times 2$ 軽水 3.0 mmt
モデレータ	材質 容器材質 冷却水材質	液体水素 (パラ 100%)、20K A6061 アルミニウム合金 軽水
反射体	内側 (Be) 外側 (Fe) 容器材質 冷却水材質	$\phi 50 \text{ cm} \times 100 \text{ cm}$ $\phi 100 \text{ cm} \times 100 \text{ cm}$ A6061 アルミニウム合金 重水
水冷遮蔽体	材質	体積比 90%SS304L と体積比 10%軽水の均一分布と仮定
ミドルセクション	材質	体積比 90%SS304L と体積比 10%軽水の均一分布と仮定
中性子ビーム孔		$10 \times 10 \text{ cm}^2$
タリー	種類 位置 距離 数	点検出器 各ビーム孔中央 モデレータ表面から 10.0 m 24 台 port 16 を除くビーム孔毎 1 台ずつ計 22 台 port 16 は、高さの違う 2 台

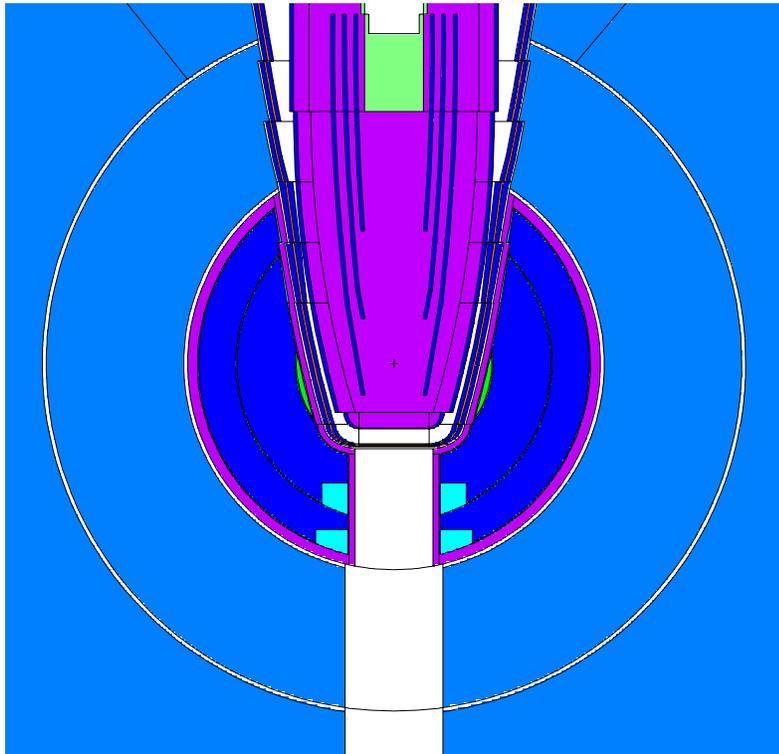


図 1: 計算モデル (ターゲット & 反射体、水平断面図)

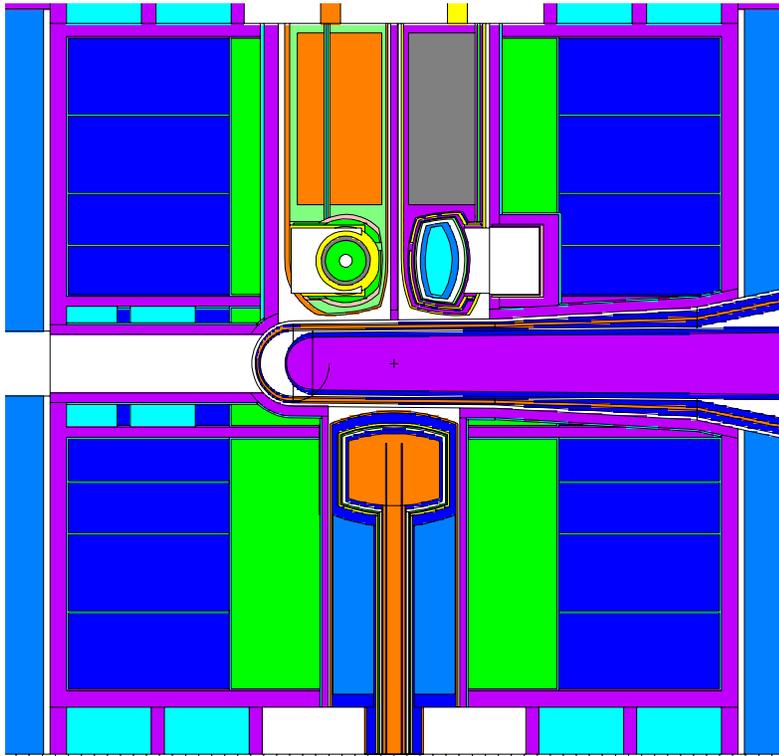


図 2: 計算モデル (ターゲット & 反射体、垂直断面図)

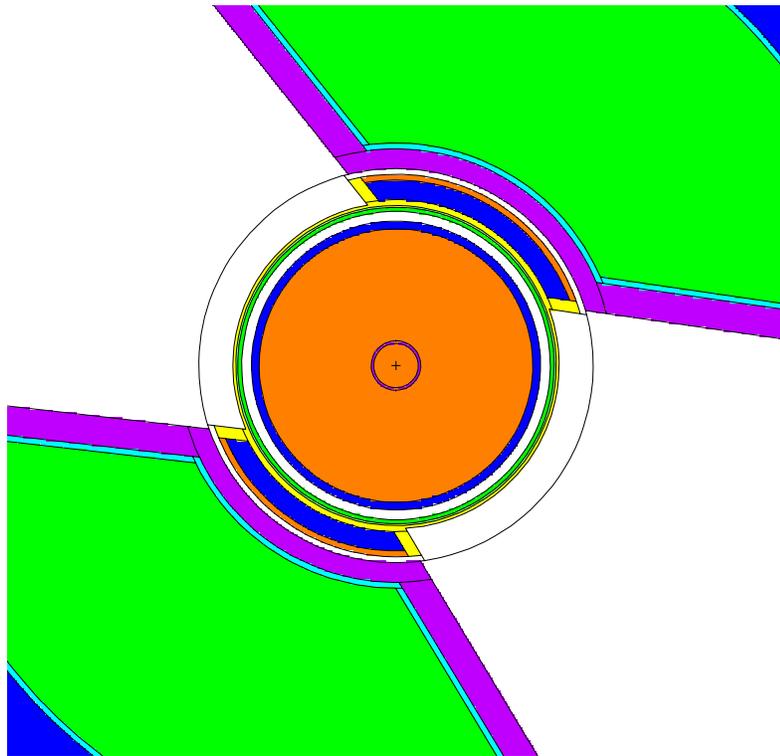


図 3: 計算モデル (結合型モデレータ部、水平断面図)

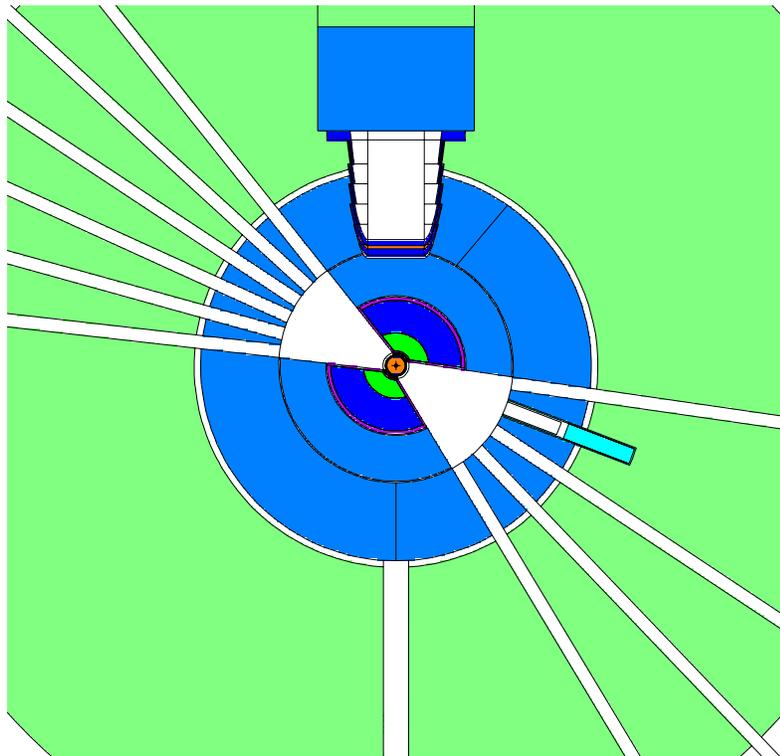


図 4: 計算モデル (結合型モデレータ部、拡大水平断面図)

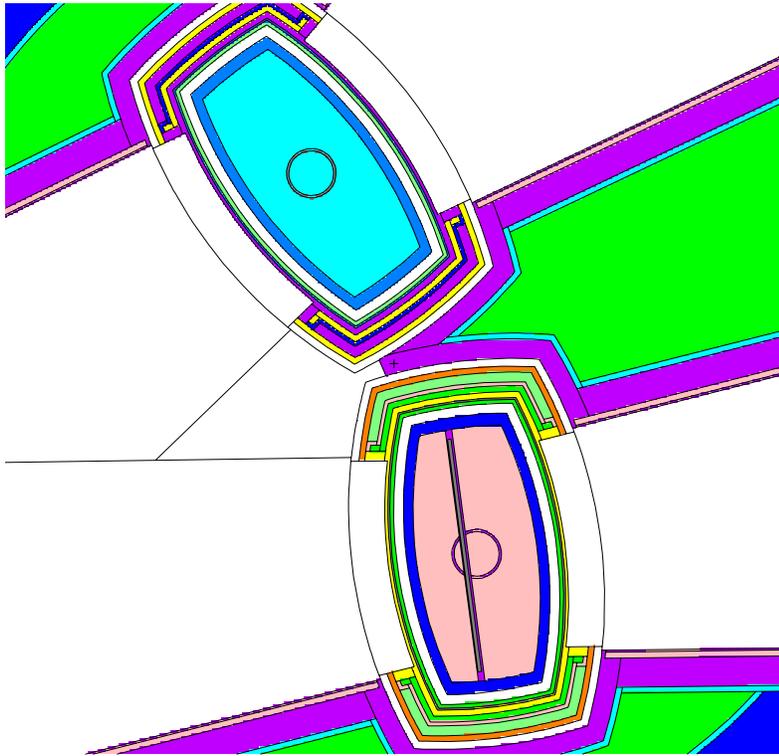


図 5: 計算モデル (非結合型モデレータ部、水平断面図)

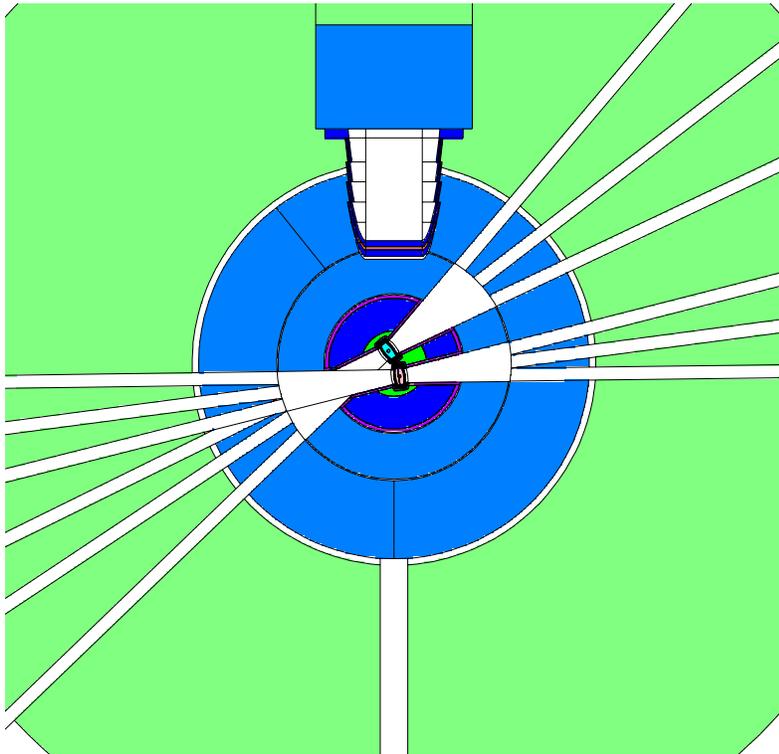


図 6: 計算モデル (非結合型モデレータ部、拡大水平断面図)

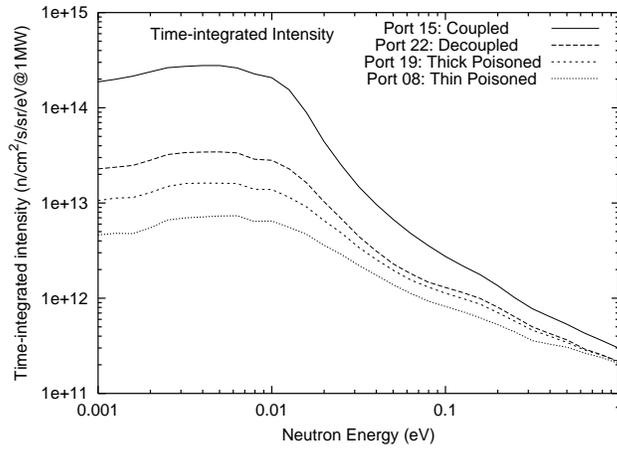


図 7: 主要ポートにおける中性子パルスの時間積分中性子強度

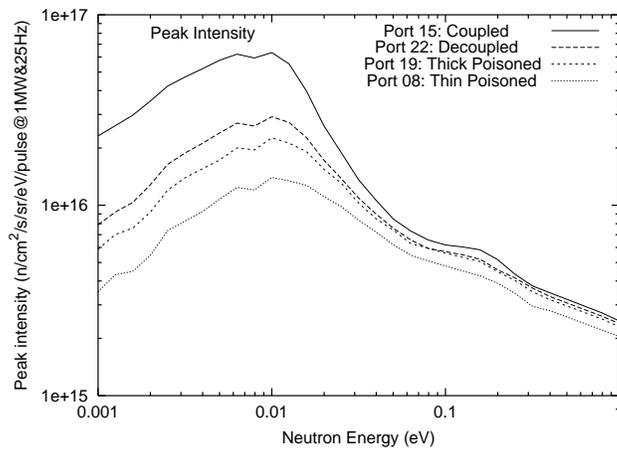


図 8: 主要ポートにおける中性子パルスのピーク強度

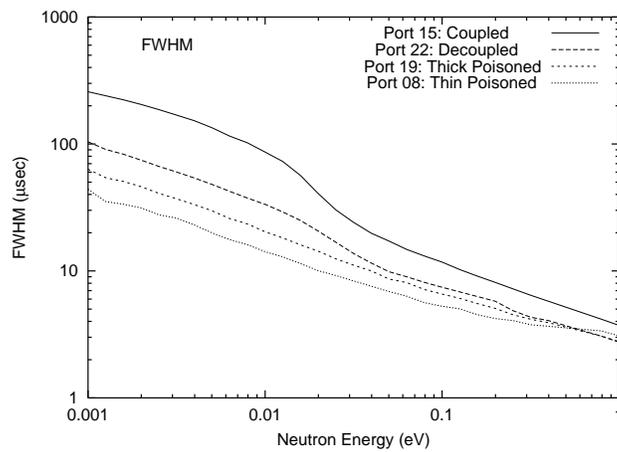


図 9: 主要ポートにおける中性子パルスの半値幅

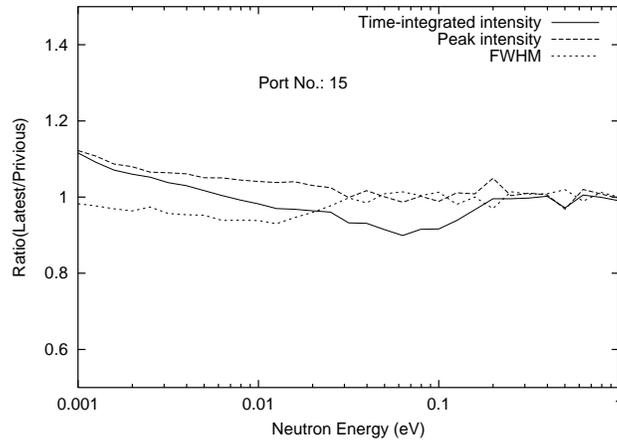


図 10: 前回計算値 (Ver.1) と今回計算値 (Ver.2) との比較 (Coupled、port15)

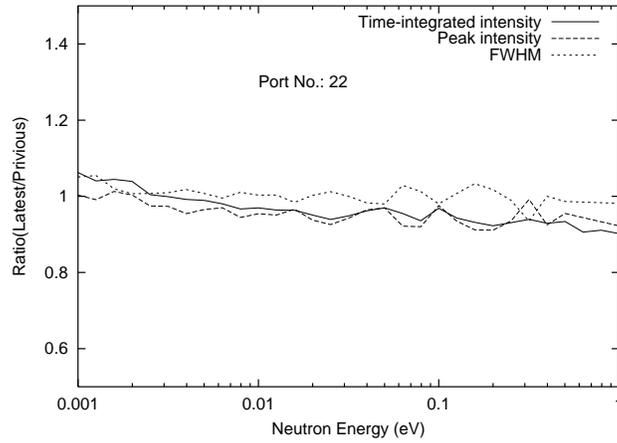


図 11: 前回計算値 (Ver.1) と今回計算値 (Ver.2) との比較 (Decoupled、port22)

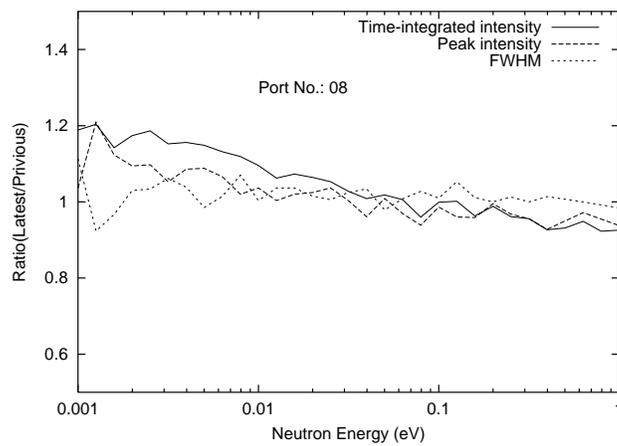


図 12: 前回計算値 (Ver.1,port19) と今回計算値 (Ver.2,port08) との比較 (Thin Poisoned)

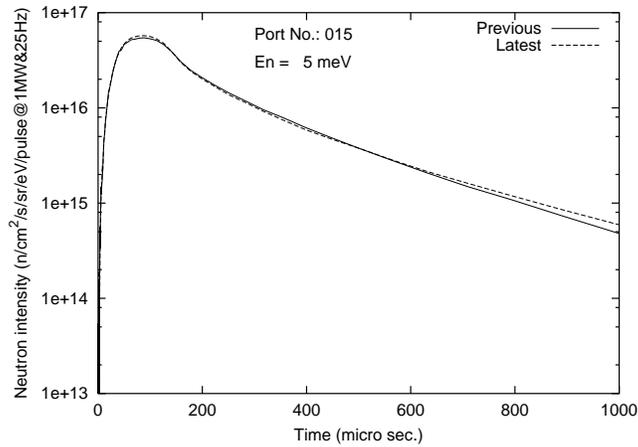


図 13: 前回計算値 (Ver.1) と今回計算値 (Ver.2) との比較 (Coupled, port15, En=5meV)

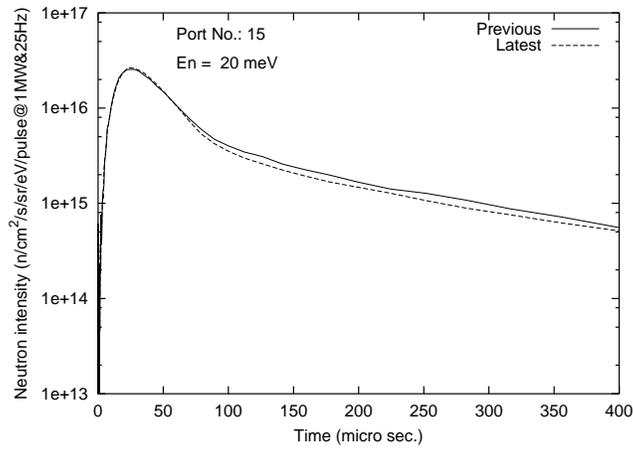


図 14: 前回計算値 (Ver.1) と今回計算値 (Ver.2) との比較 (Coupled, port15, En=20meV)

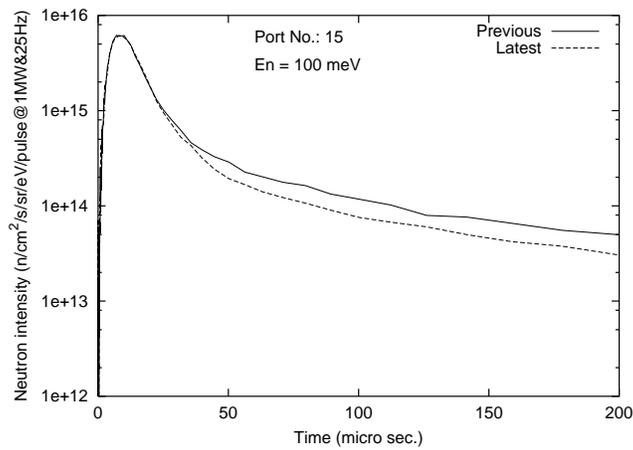


図 15: 前回計算値 (Ver.1) と今回計算値 (Ver.2) との比較 (Coupled, port15, En=100meV)

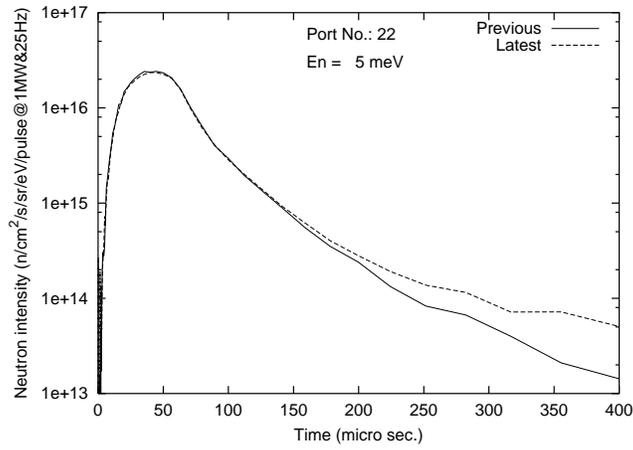


図 16: 前回計算値 (Ver.1) と今回計算値 (Ver.2) との比較 (Decoupled, port22, En=5meV)

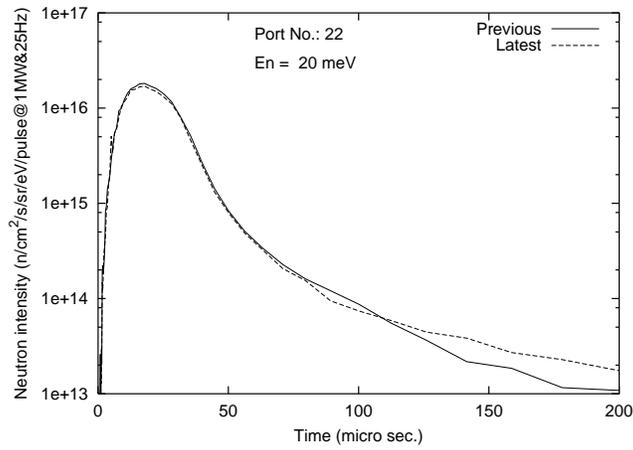


図 17: 前回計算値 (Ver.1) と今回計算値 (Ver.2) との比較 (Decoupled, port22, En=20meV)

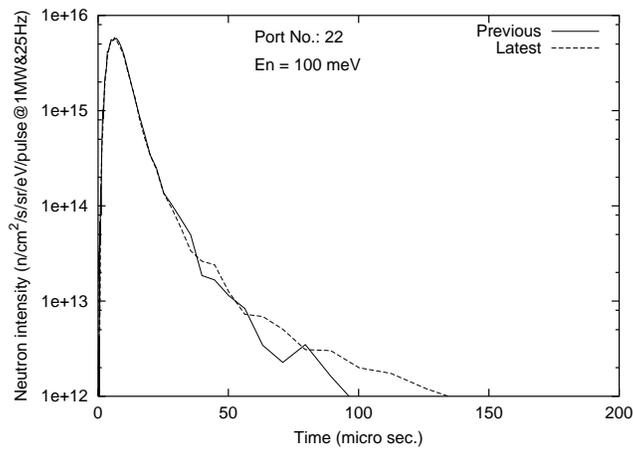


図 18: 前回計算値 (Ver.1) と今回計算値 (Ver.2) との比較 (Decoupled, port22, En=100meV)

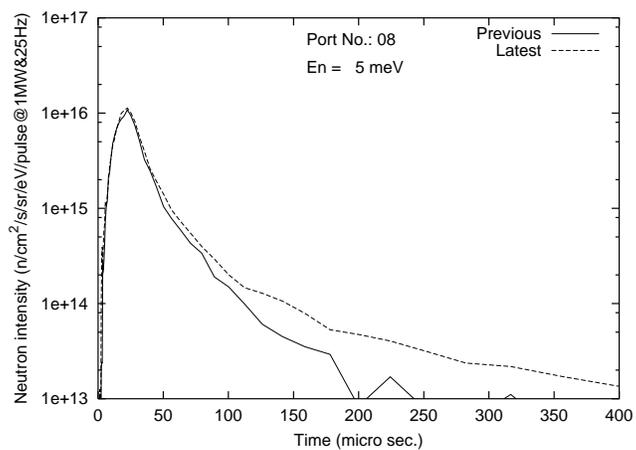


図 19: 前回計算値 (Ver.1,port19) と今回計算値 (Ver.2,port08) との比較 (Thin Poisoned, $E_n=5\text{meV}$)

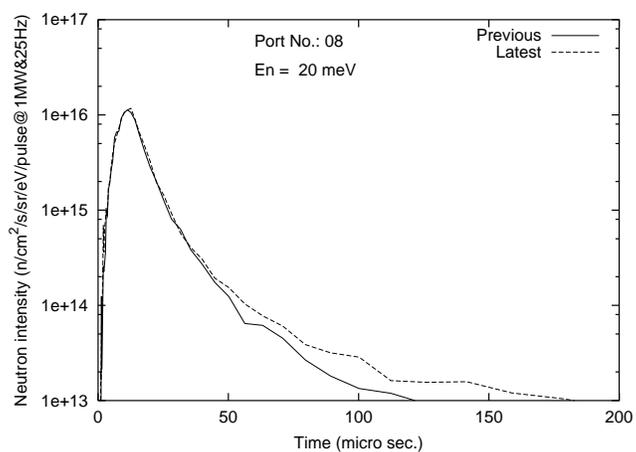


図 20: 前回計算値 (Ver.1,port19) と今回計算値 (Ver.2,port08) との比較 (Thin Poisoned, $E_n=20\text{meV}$)

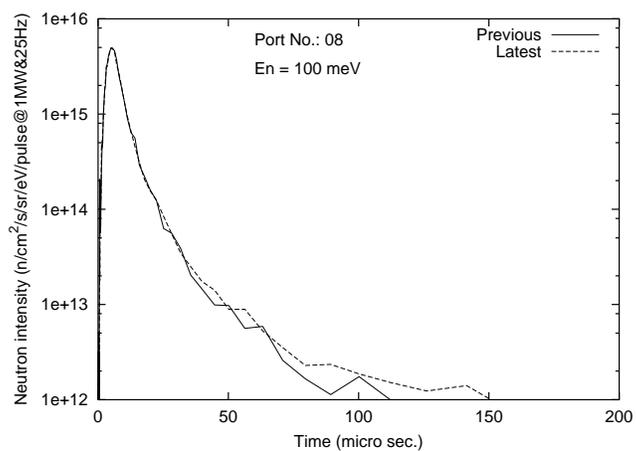


図 21: 前回計算値 (Ver.1,port19) と今回計算値 (Ver.2,port08) との比較 (Thin Poisoned, $E_n=100\text{meV}$)

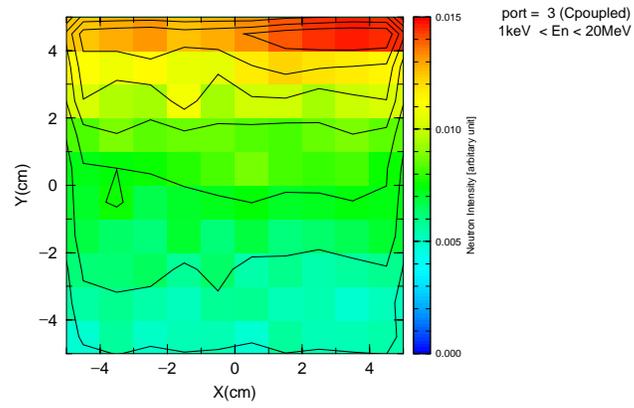
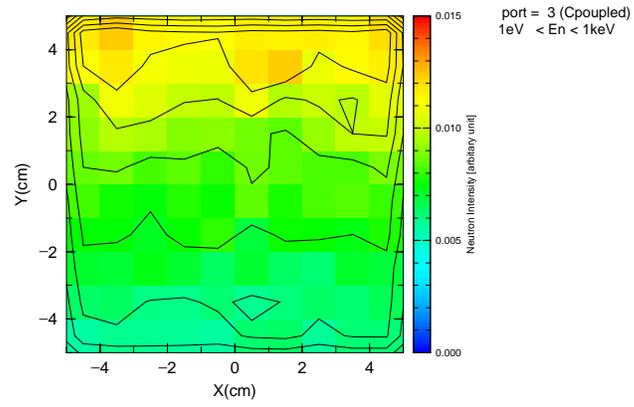
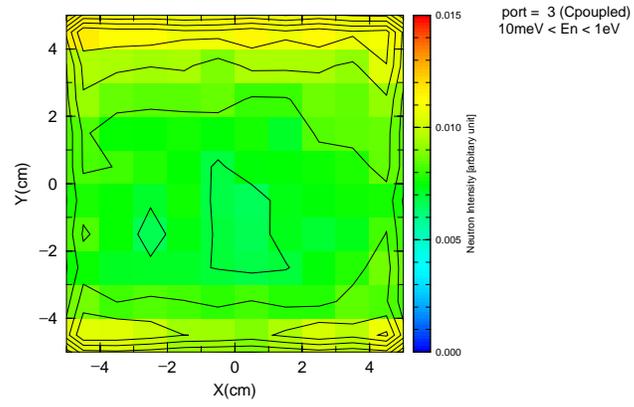
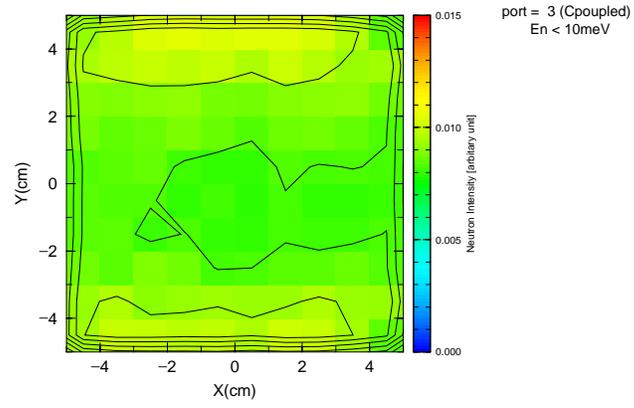


図 22: モデレータ表面の中性子輝度分布、Coupled, port03

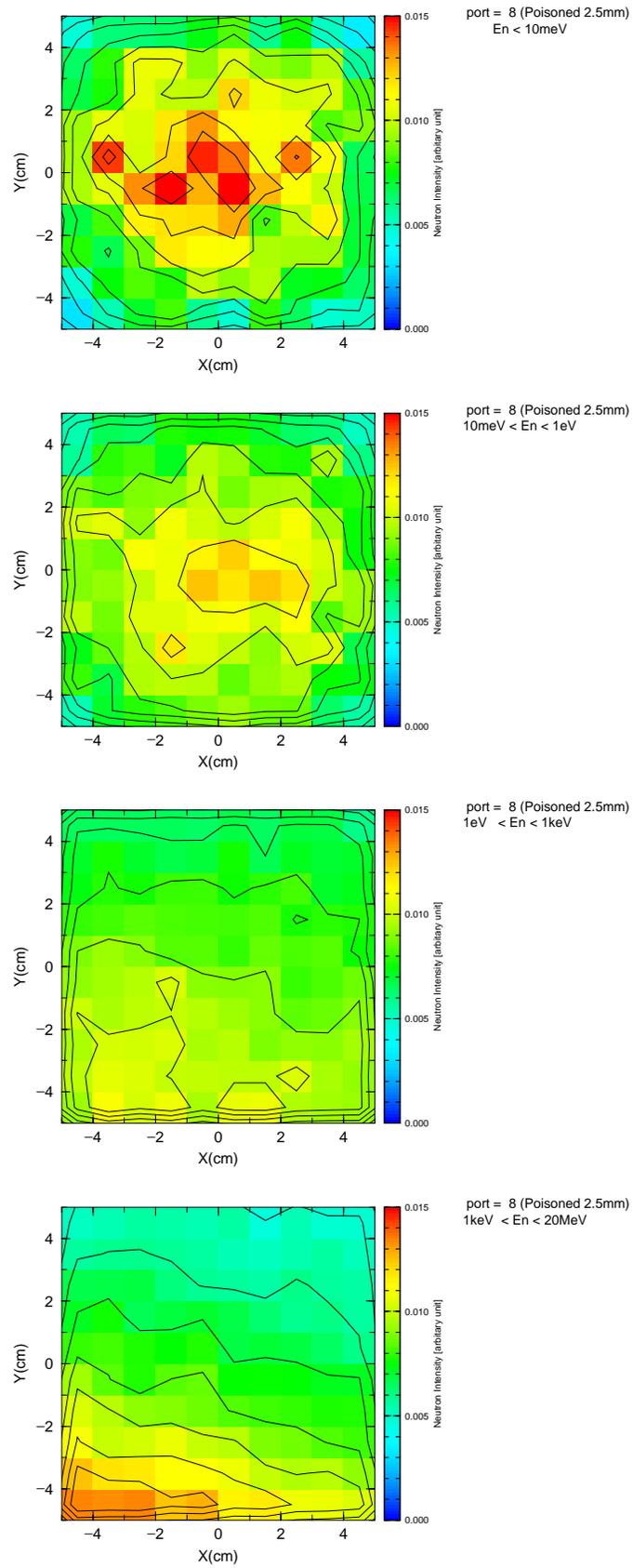


図 23: モデレータ表面の中性子輝度分布、Thin Poisoned, port08

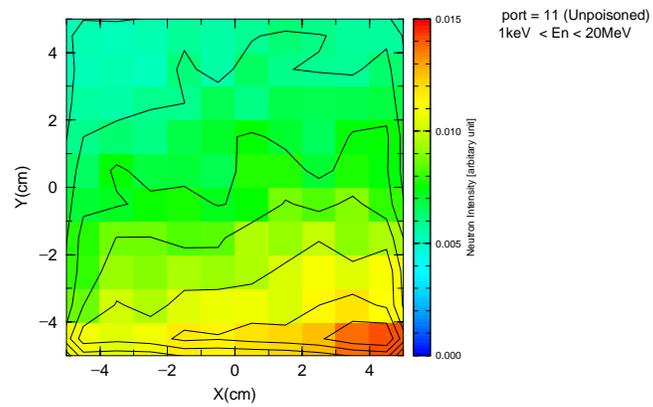
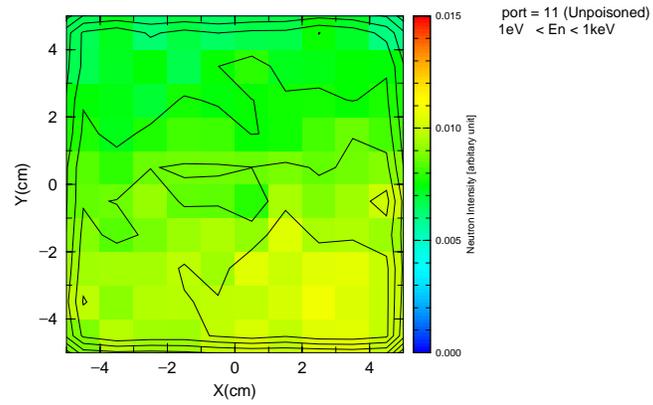
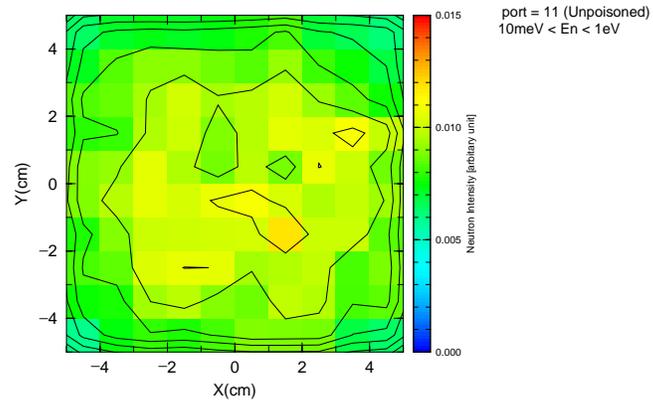
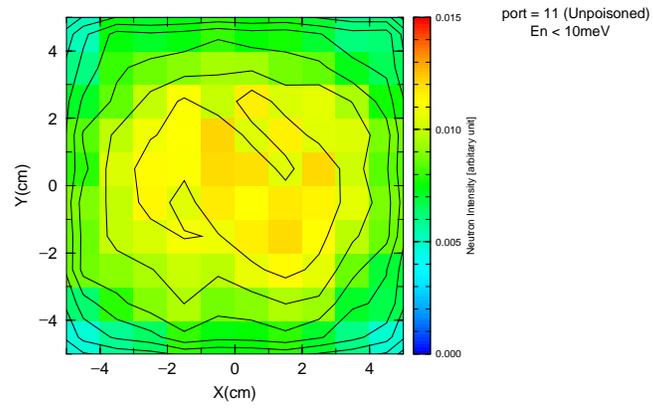


図 24: モデレータ表面の中性子輝度分布、Decoupled, port11

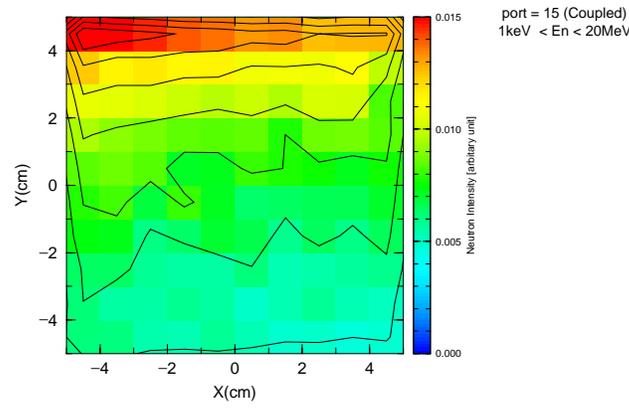
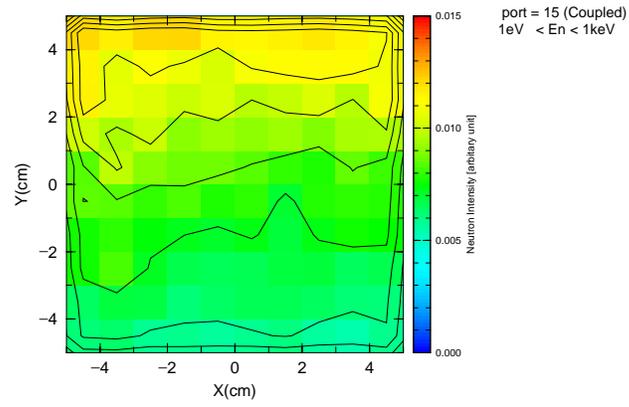
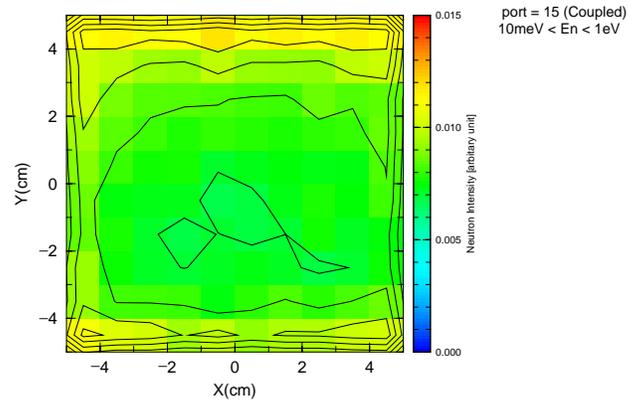
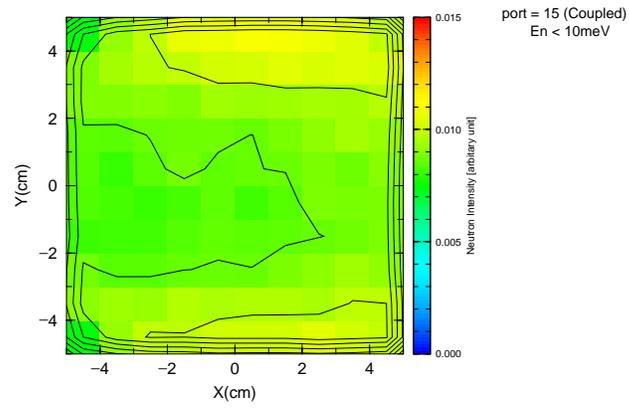


図 25: モデレータ表面の中性子輝度分布、Coupled, port15

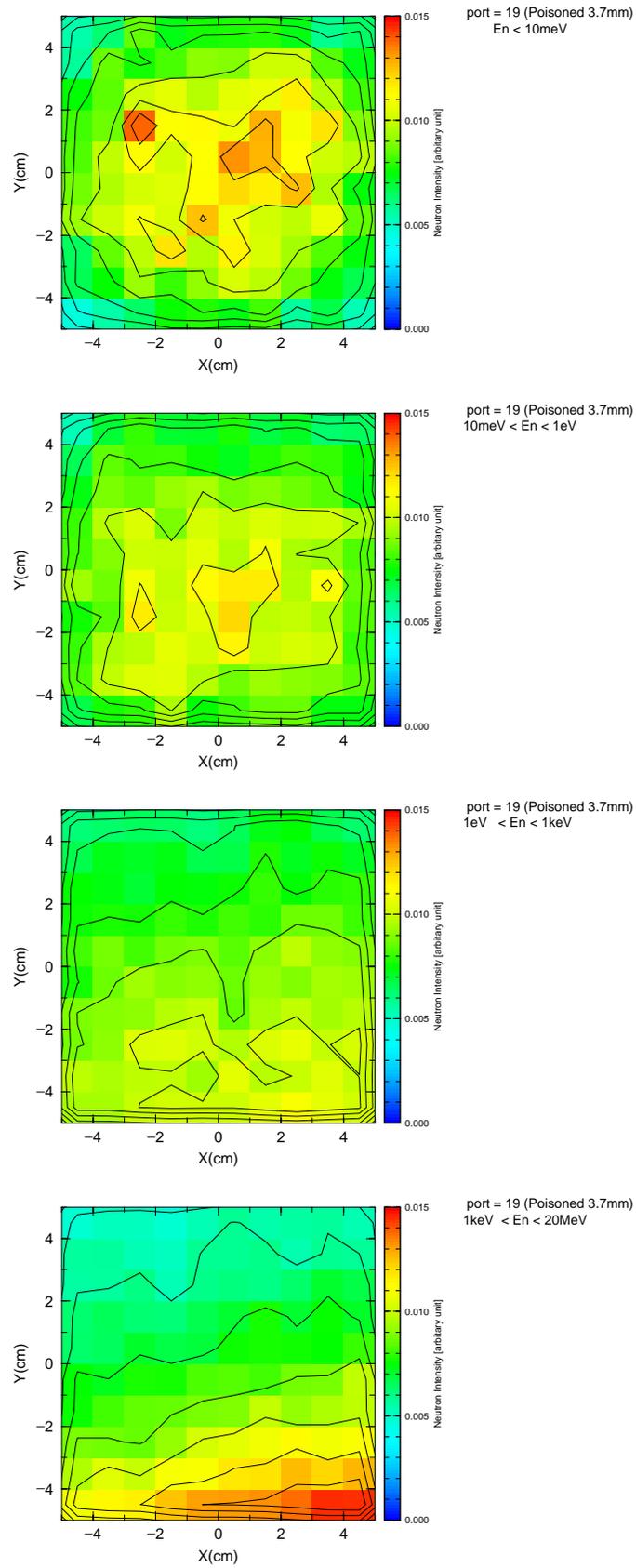


図 26: モデレータ表面の中性子輝度分布、Thick Poisoned, port19

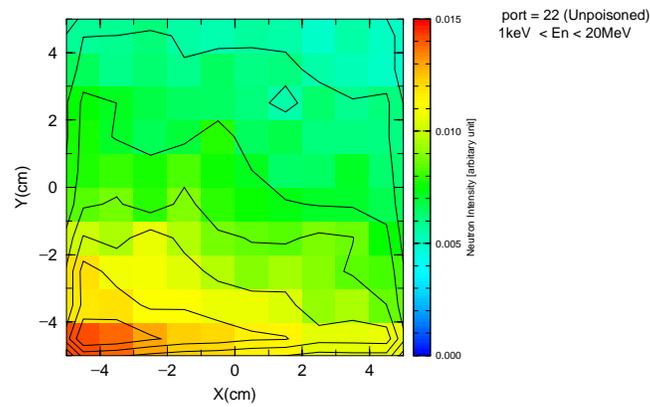
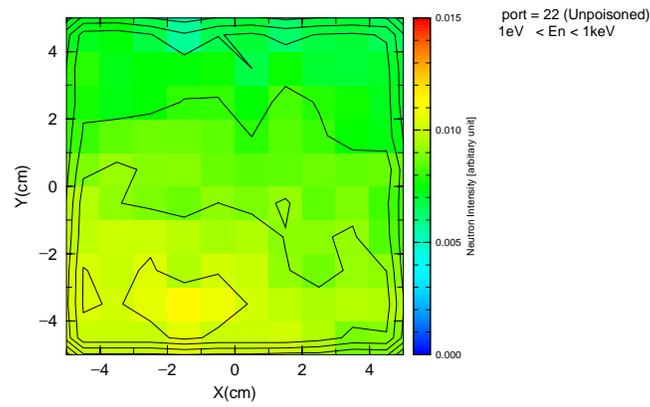
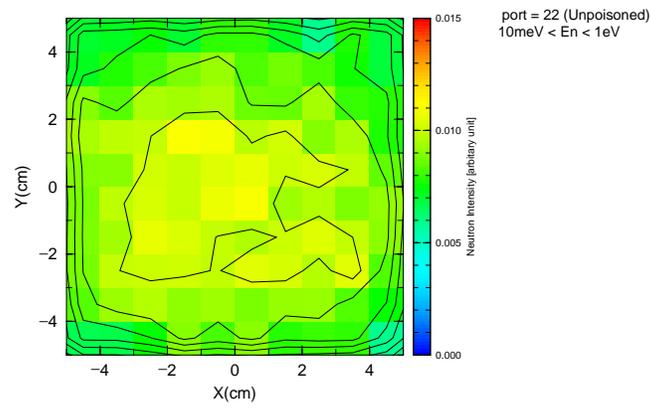
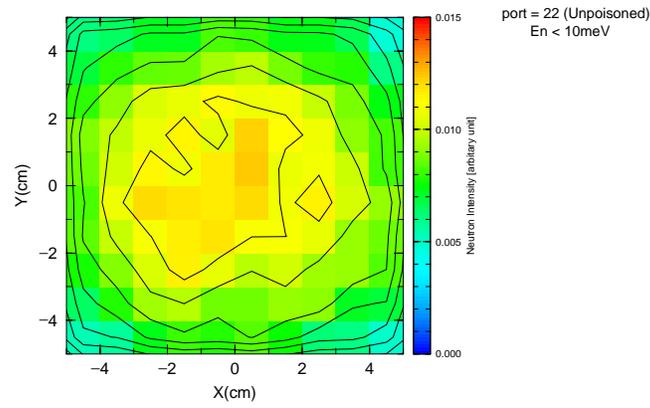


図 27: モデレータ表面の中性子輝度分布、Decoupled, port22