

JCO 転換試験棟横の冷却塔ステンレスネットの放射化量計算結果

今中哲二

imanaka@rri.kyoto-u.ac.jp

JCO 臨界事故に関連して我々が行っている中性子輸送計算の当面の目的は次の2つである。すなわち、以前に報告した JCO 敷地周辺中性子線量をより詳細なモデルで再評価することと、転換試験棟周辺の放射化測定データと計算結果を比較し計算手法やモデルの妥当性を評価し事故の解明に寄与することである。

放射化データとの比較の第1歩として、小島らが報告している転換試験棟横の冷却塔上部ステンレスネットの放射化量（小島貞男ら「JCO 臨界事故で速中性子の(n,p)反応により生成された放射性核種」環境放射能研究会、つくば、H12.3.30-31）について計算し、測定値と比べながら総核分裂数を評価してみた。とりあえずの評価結果としては、 2.5×10^{18} 個という数字が得られ安全委員会事故調報告の値と一致した。

◇ 計算方法

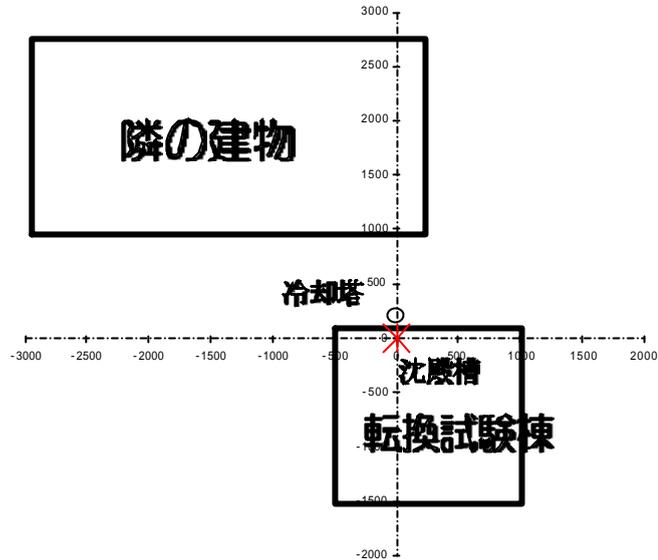
計算プログラムには、3次元モンテカルロ計算コード MORSE-CG を使い、断面積データは ENDF/B4 から 44 群で作成した。線源スペクトルには、先に計算した沈澱槽漏洩方向分布スペクトル（2000.5.26 付メモ）を沈澱槽中心位置の点線源として input した。幾何学的な計算条件などは以下の通りで、表1に示すように、空気層のみの simple な系からはじめて徐々に模擬度を上げながら計算した。図1に平面図を示しておく。

- ・ 沈澱槽中心線からクーリングタワー中心線までの距離は 2 m（沈澱槽中心線から壁内側まで 85cm（図面からの読みとり）、壁厚 10cm、壁外側から冷却塔中心線まで 105cm）。
- ・ 沈澱槽中心高さでステンレスネットの中心高さは同じとした（GL=134cm）。
- ・ 転換試験棟は、側壁と天井は Siporex（厚さ 10cm）、床はコンクリート（厚さ 20cm）でできた箱でモデル化した。外寸は（1520×1620×525cm）で、内部の隔壁等は設置せず。
- ・ ステンレスネットの場所に円柱状の空気カウンター（直径 45cm 高さ 32cm の円柱）を設置し、そのカウンター内を通過する中性子のエネルギーと track 長をカウントし計算データとする。
- ・ 求めた放射化量は、Ni58(np)Co58、Fe54(np)Mn54、Co59(np)Co60、Fe58(np)Fe59、Cr50(np)Cr51 である。Ni58(n,np)Co57 については、エネルギー群の分け方が不適（7.8MeV ~ 16.8MeV は 2 群と粗い）なので計算していない。
- ・ 発生中性子数と核分裂数の関係には、核分裂当り中性子発生数 2.42 個（ENDF/B4 の熱群の値）、沈澱槽からの漏洩率 0.2868（沈澱槽漏洩スペクトル計算結果）を用いた。

表1 RUN シリーズとそれぞれの幾何学形状

CBS001 シリーズ	空気のみ
CBS010 シリーズ	空気と側壁 1 枚のみ
CBS020 シリーズ	空気、側壁 1 枚、基礎コンクリートと地面
CBS030 シリーズ	空気、転換試験棟、地面
CBS040 シリーズ	空気、転換試験棟、地面、隣の建物（Siporex の箱：31.9×18.2×10.25m）

図1 CBS040 シリ-
ズの平面図



◇ 計算結果

- 表2に、測定データ、計算結果、核分裂数評価値をまとめる。モンテカルロ計算の統計誤差は、いずれの場合も5%には収まるように計算した。(np)反応に基づく核分裂数は、原研の計算結果(Co58からは 2.3×10^{18} 、Mn54からは 2.4×10^{18})と不思議なほど一致した。表3は、ステンレスネットの位置での中性子線量(現行法令1cm線量当量:Sv、free-in-air tissue kerma:Gy)である。中性子スペクトルを図2(縦軸リニア)と図3(縦軸ログ)に、放射化断面積を図4に示しておく。
- 表2の結果を基に、各核種の放射化量の比較、模擬度にともなう変化傾向を眺めると、計算はうまく行っているものと思われる。模擬度を上げて行くと、(np)反応に基づく核分裂数はそんなに変化しないが、(ng)反応に基づく値は次第に(np)反応の値に近づいて行く。すなわち、周辺の遮蔽状況は、速中性子にはあまり効いていないが、thermalにはかなり影響する。地面・基礎コンクリートのreflection効果によって約2倍となるが、意外なことに、(計算の限りでは)隣の建物の効果(厚み10cmにSiporexでできた箱)はあまり大きくない。
- 表3の中性子線量は、ついでに求めてみた値である。とりあえず、総核分裂数を 2.5×10^{18} 個とし、初期バーストの割合を全期間の6%とすると、ステンレスネットの場所でのバーストによる tissue-kerma 線量は約 Gy 余りとなる。死亡した2人の位置を沈殿槽中心から50~100cmとし、 r^2 乗反比例とすると、彼らの中性子線量は10~50Gyとなり、血液中Na24から評価した放医研の値(2.9Gy、5.5Gy)よりかなり大きくなる。
- 計算結果に影響をおよぼすもっとも大きな不確定要因は、沈殿槽とステンレスネットとの距離と思われる。原研の計算は1.8mであるが、ここでは2mで計算した。図1に示したように、冷却塔と沈殿槽とが側壁に対し同一垂線上にあるとしたが、実際にはずれているであろう。たとえば横に1mずれていれば、計算結果は25%変わってくる。
(2月11日のJCO現地調査では、壁から冷却塔中心線まで(105cm)冷却塔高さ(150cm)ステンレスネット直径(45cm)は測ったものの、転換試験棟コーナーから冷却塔までの距離を測らなかった。航空写真など冷却塔と転換試験棟との位置関係を評価できそうな資料があれば協力願いたい。)

以上

表2 計算結果と核分裂数評価値

RUN No	小島ら測定値 (A) 発生粒子当り放射化量 (B)		総核分裂数 A / (B × 2.42 × 0.2868)	
	Bq/g	Bq/g/source-n		
Ni58(np)Co58	CBS001	175.0 ± 0.3	1.01E-16	2.49E+18
	CBS010	175.0 ± 0.3	9.07E-17	2.78E+18
	CBS020M	175.0 ± 0.3	9.78E-17	2.58E+18
	CBS031X	175.0 ± 0.3	1.01E-16	2.49E+18
	CBS040X	175.0 ± 0.3	9.98E-17	2.53E+18
Fe54(np)Mn54	CBS001	2.691 ± 0.008	1.58E-18	2.46E+18
	CBS010	2.691 ± 0.008	1.42E-18	2.74E+18
	CBS020M	2.691 ± 0.008	1.52E-18	2.55E+18
	CBS031X	2.691 ± 0.008	1.58E-18	2.46E+18
	CBS040X	2.691 ± 0.008	1.55E-18	2.50E+18
Co59(np)Co60	CBS001	2334 ± 5	4.61E-16	7.30E+18
	CBS010	2334 ± 5	4.98E-16	6.76E+18
	CBS020M	2334 ± 5	9.54E-16	3.52E+18
	CBS031X	2334 ± 5	1.07E-15	3.14E+18
	CBS040X	2334 ± 5	1.10E-15	3.06E+18
Fe58(np)Fe59	CBS001	8.89 ± 0.08	1.79E-18	7.15E+18
	CBS010	8.89 ± 0.08	1.84E-18	6.96E+18
	CBS020M	8.89 ± 0.08	3.80E-18	3.37E+18
	CBS031X	8.89 ± 0.08	4.31E-18	2.97E+18
	CBS040X	8.89 ± 0.08	4.33E-18	2.96E+18
Cr50(np)Cr51	CBS001	2620 ± 6	5.39E-16	7.00E+18
	CBS010	2620 ± 6	5.47E-16	6.91E+18
	CBS020M	2620 ± 6	1.17E-15	3.24E+18
	CBS031X	2620 ± 6	1.32E-15	2.87E+18
	CBS040X	2620 ± 6	1.34E-15	2.82E+18

表3 ステンレスネット位置 (2 m) での中性子線量

RUN No	1 c m線量当量	free-in-air tissue kerma
	S v	Gy
CBS001	570	49
CBS010	540	46
CBS020M	650	54
CBS031X	660	55
CBS040X	670	56

注：1 c m線量当量は、ICRP Pub51 に対応． tissue kerma の換算係数は、TID-25951(1973)に基づく．

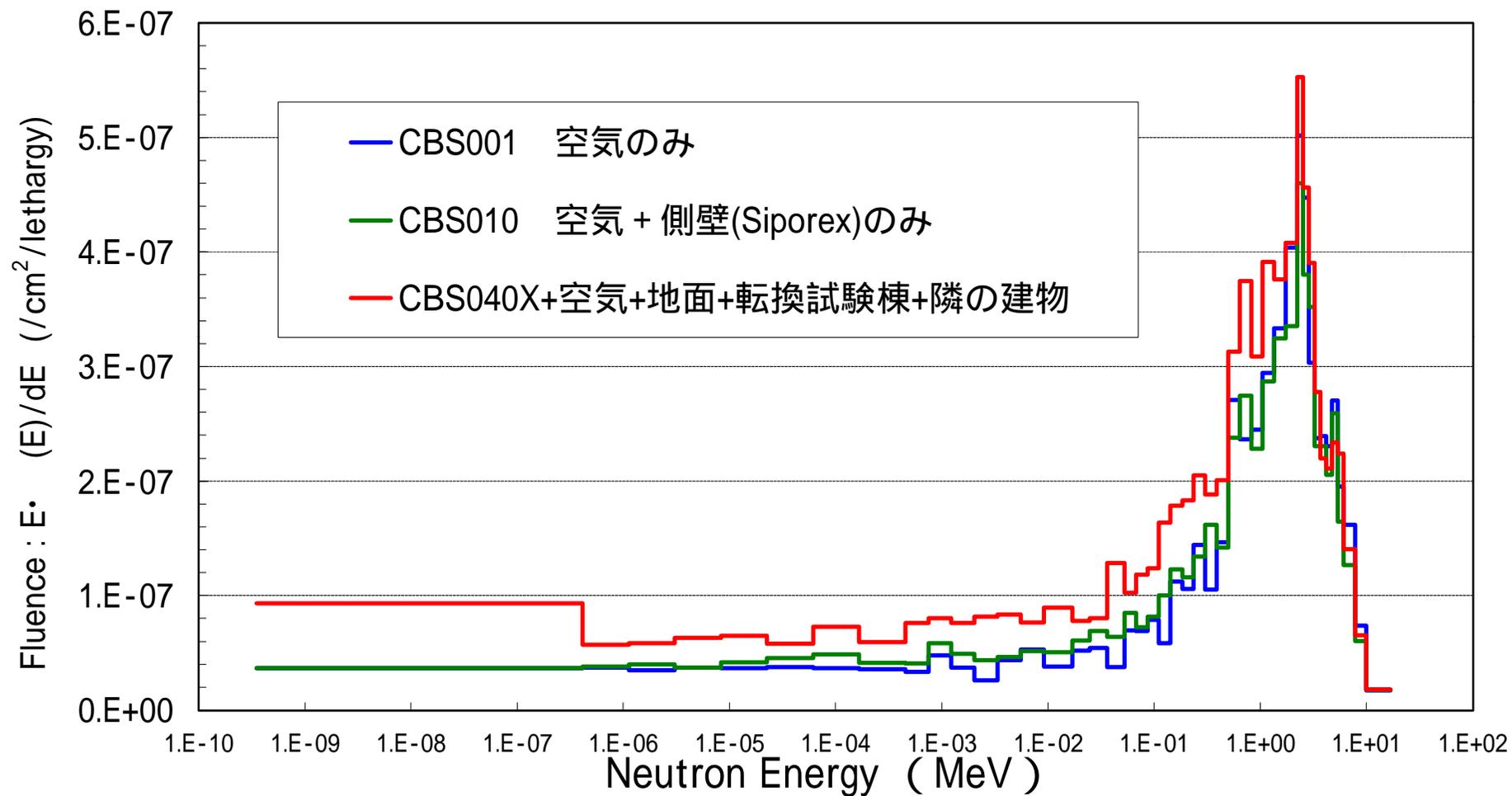


図2 JCO転換試験棟傍クーリングタワーの中性子スペクトル

沈澱槽からの漏洩中性子 1 個当り、距離200cm

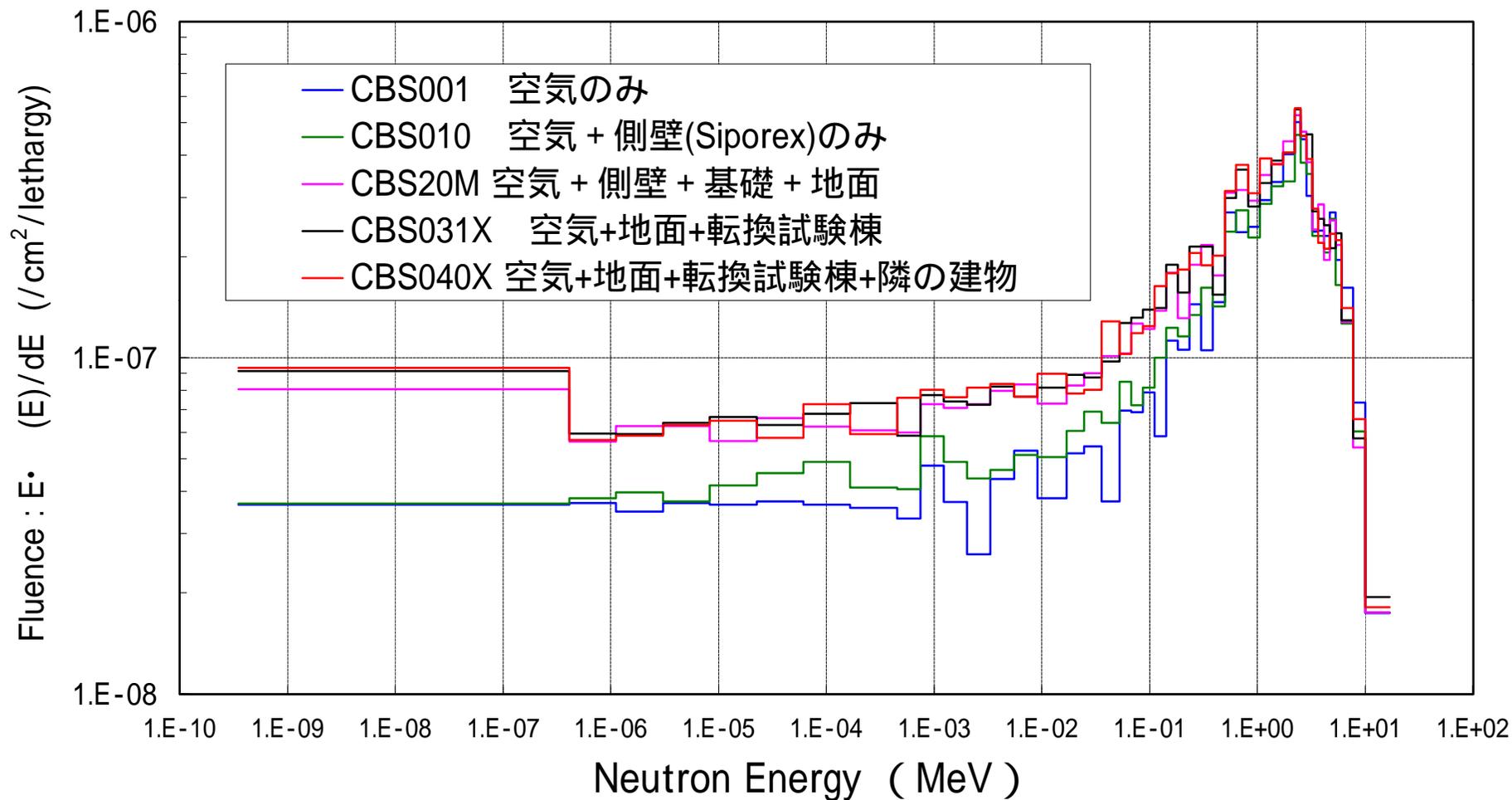


図3 JCO転換試験棟傍クーリングタワーの中性子スペクトル

沈澱槽からの漏洩中性子 1 個当り、距離200cm

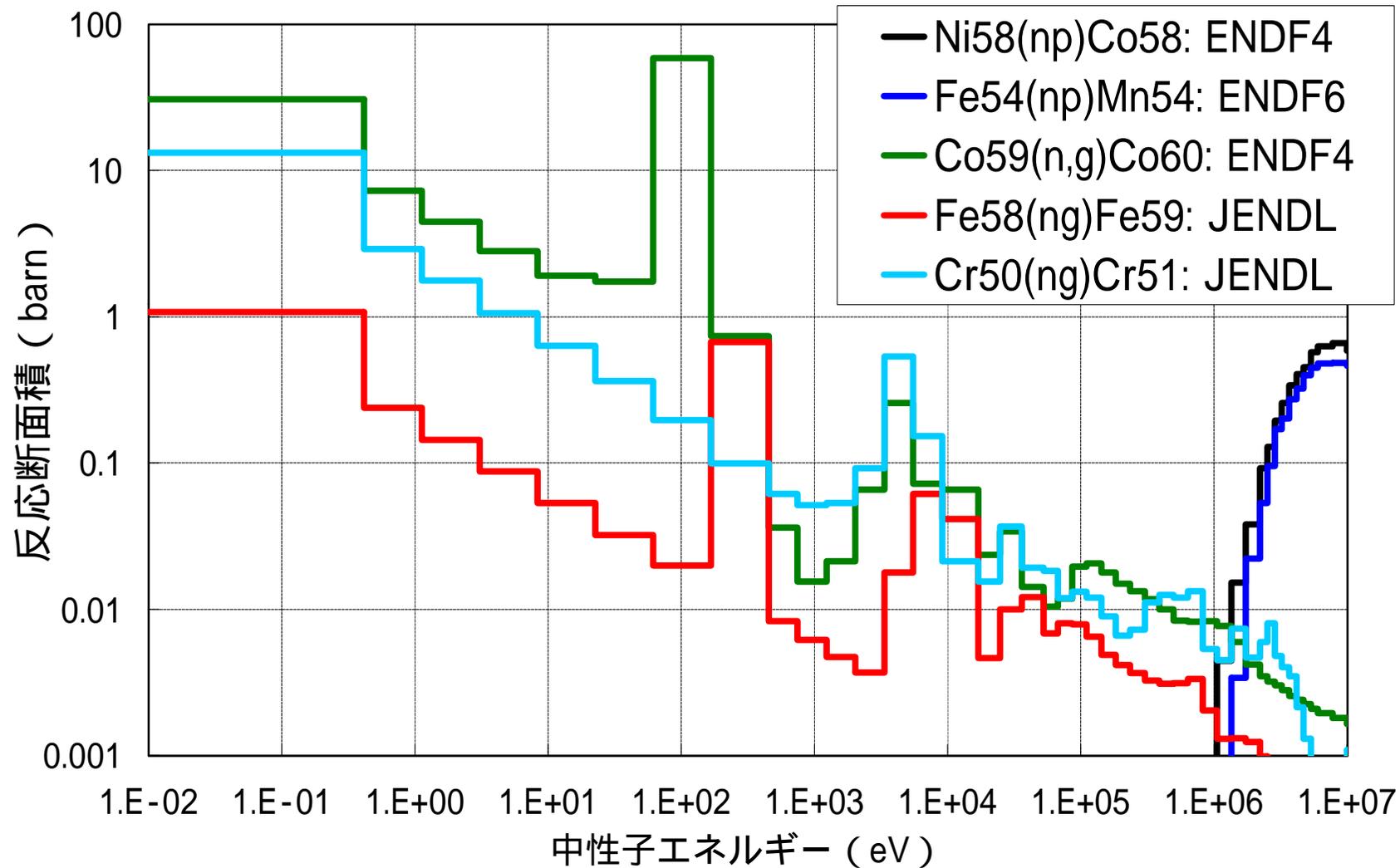


図4 放射化断面積