

関係のみな様

JCO 中性子計算の近況報告

今中哲二

imanaka@rri.kyoto-u.ac.jp

JCO 臨界事故からやがて 2 年になりますが、私の方では時間をみつけながら、JCO 事故によって放出された中性子の環境中での挙動計算を続けています。屋外の中性子場については転換試験棟から 300～500m まで、ファクター 2 程度の誤差でモンテカルロにより計算できる目途が出ました。最終的には屋内の中性子スペクトルと線量をなんとか評価しておきたいと思っていますが、とりあえず最近の結果をまとめておきます。

．計算の手順

これまでに何度も報告した (<http://www-j.rri.kyoto-u.ac.jp/NSRG/JCOindex.html>) が、以下のような手順で計算を進めている。現在ステップ 5 の途中である。

- ステップ 1：沈澱槽から漏洩した中性子スペクトル計算
- ステップ 2：冷却塔 S U S ネット (2 m) 測定データとの比較による総核分裂数評価
- ステップ 3：転換試験棟周辺放射化計算 (～20m) と測定データとの比較
- ステップ 4：敷地内建物を考慮した 3 次元計算 (～160m) と敷地境界中性子線量測定データの比較
- ステップ 5：敷地周辺家屋 (～300m) までの野外中性子計算：3 次元と 2 次元の比較
- ステップ 6：家屋遮蔽計算と屋内での放射化・中性子線量評価

．計算方法

これまでの計算はすべて 3 次元モンテカルロ輸送計算コード MORSE で行い、物質断面積は 44 エネルギー群で ENDF/B4 から作成した。中性子線源は、ステップ 1 で求めた沈澱槽からの放出中性子スペクトルを点線源として転換試験棟内部に設定した (線源強度は 2.5×10^{18} 個の核分裂数に対応)。転換試験棟の構造については、工認図面等を基に内部壁等を設定したが、室内の装置等は考慮していない。転換試験棟周辺には、ウラン試験棟など 7 つの建物を配置した (Fig.1)。周辺建物は、厚さ 20cm の軽量コンクリート (シボレックス) 壁でできた「がらんどうの箱」の組み合わせで模擬した。

ステップ 5 では、中性子線量測定点、放射化サンプル採取点に「粒子検出器」を配置し (Fig.2)、モンテカルロ法で検出器内に飛んでくる中性子の飛跡をカウントした。転換試験棟と周辺建物 (7 つ) 以外に構造物は配置していない。つまり、何もない屋外の中性子場を計算しただけで、家屋等の影響はまだ考慮していない。周辺建物の透過効果を判定するため、建物内部を中性子が透過可能な計算 (Model-A) と建物内で中性子が消滅する計算 (Model-B) とを行った。

また、転換試験棟からの方向依存性の検討のため、4 方向 (SE、SW、NW、NE) 別の中性子線量を 100～400m にかけて計算してみた。

・計算結果

- 1 . 中性子線量

Table 1 : JCO 敷地境界中性子線量測定点の計算結果 (ポイントは Fig.2)

No	m	Meas	Calculation (mSv)					
		mSv	Model-A (J07072)			Model-B (J07173)		
			Dose	sd	C/M	Dose	sd	C/M
S1	261	5.8	10.2	0.16	1.76	10.1	0.19	1.74
S2	106	23.5	70.2	0.99	3.00	53.1	0.84	2.27
S3	89	58.9	86.6	0.89	1.47	64.3	0.92	1.09
S4	73	77.1	140.1	3.59	1.82	73.4	2.56	0.95
S5	93	40.6	58.2	1.09	1.43	41.2	0.75	1.01
S6	80	70.3	117.8	0.93	1.67	100.0	1.09	1.42
S7	132	27.0	42.8	0.34	1.59	39.8	0.42	1.48
S8	323	2.3	5.6	0.09	2.45	4.8	0.13	2.10
S9	540	0.3	0.9	0.04	2.70	0.8	0.04	2.29
S10	490	0.4	1.2	0.06	2.70	1.0	0.04	2.33
S12	447	0.7	1.9	0.05	2.75	1.5	0.05	2.23
S13	471	0.6	1.2	0.11	2.06	1.3	0.05	2.30
S14	325	3.2	4.6	0.12	1.46	4.1	0.11	1.28

注 1 : 測定値は、JAERI Labour Union, J.Environ.Radioact. (2000) のデータにバースト期間分を加えたもの . また、距離は今中が見直した .

注 2 : Model-A では、中性子は周辺建物の内部を空気のみと想定した計算 . Model-B では、建物内に入った中性子は直ちに消滅すると想定した計算 .

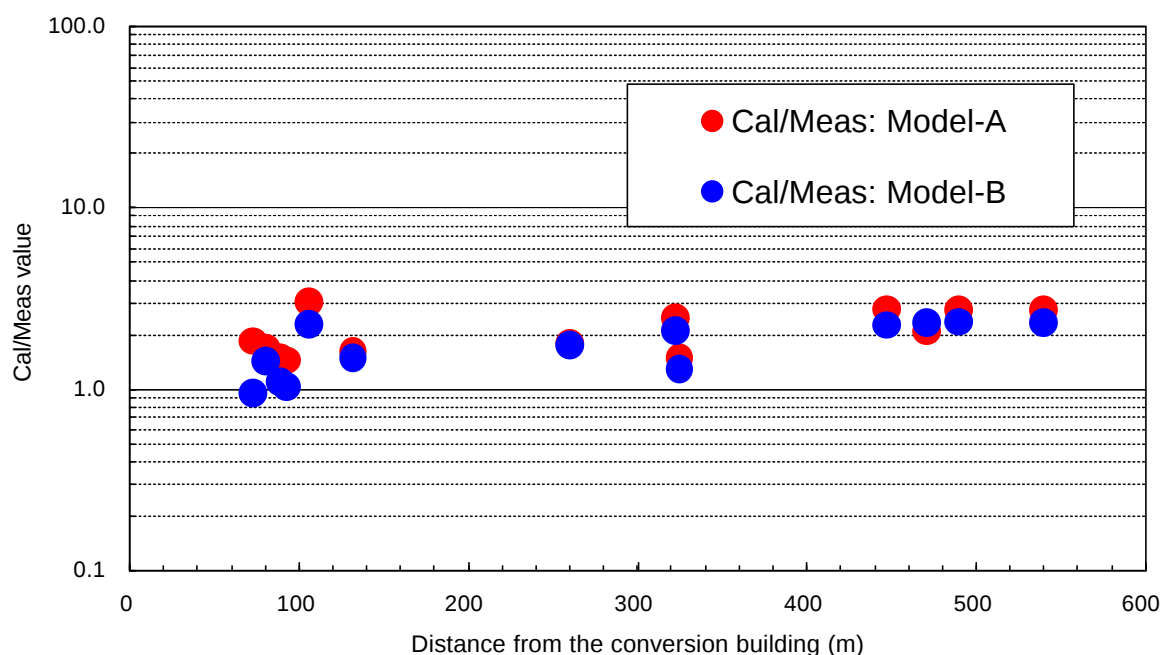


Fig. 3: Comparison of calculation with measurement: Neutron dose
Model-A (JST7072): Neutrons could go through the surrounding buildings,
Model-B (JST7173): All neutrons disappeared inside the surrounding buildings.

- 2 . 放射化量計算結果 :

Table 2 : 中性子放射化量の測定値と計算値 (サンプルポイントは Fig.2)

<Nuclide>	Measurement				Calculation			
	Sample	m		Bq/g	Model-A (JST7072)		Model-B (JST7173)	
	Author				No	Bq/g	Cal/Meas	Bq/g
<<Fast reaction>>								
<Ni58(n,p)Co58>								
Kojima	WCT	75	屋内	0.0029	0.0468	16.1	0.0478	16.5
Kojima	SS-3	270	屋外	0.00037	0.000994	2.7	0.00100	2.7
Muroyama	WCT	75	屋内	0.0023	0.0468	20.4	0.0478	20.9
<Cl36(n,a)P32>								
Kofuji	H2	125	屋内	0.00087	0.0246	28.4	0.0146	16.8
Kofuji	H5	260	屋内	0.00048	0.00467	9.7	0.00404	8.4
Kofuji	H6	365	屋内	0.00017	0.00258	15.5	0.00394	23.7
Kofuji	H7	360	屋内	0.00015	0.00330	22.0	0.00254	16.9
Kofuji	H8	330	屋内	0.00028	0.00473	16.7	0.00382	13.5
Kofuji	H9	165	屋内	0.00095	0.00626	6.6	0.00625	6.6
Kofuji	H10	165	屋内	0.00045	0.0134	29.8	0.00618	13.7
Kofuji	H12	205	屋内	0.00058	0.0104	17.8	0.00473	8.1
Kofuji	GP2	120	屋内	0.00052	0.0348	67.4	0.00866	16.8
Kofuji	GP3	120	屋内	0.00032	0.0348	110.0	0.00866	27.3
Kofuji	WCT-Kc	75	屋内	0.03183	0.220	6.9	0.223	7.0
Kofuji	WCT-B	75	屋内	0.00683	0.220	32.2	0.223	32.6
<S32(n,p)P32>								
Kofuji	WCT-Ry	75	屋内	0.01417	0.370	26.1	0.375	26.5
<<Thermal reaction>>								
<Cr50(n,g)Cr51>								
Muroyama	WCT-K	75	屋内	1.38	3.21	2.3	2.87	2.1
Endo	SS-7	215	屋内	0.127	0.106	0.8	0.0970	0.8
Endo	SS-8	330	屋内	0.188	0.0352	0.2	0.0310	0.2
Endo	SS-11	282	屋内	0.0403	0.0460	1.1	0.0466	1.2
Endo	SS-15	135	屋内	0.445	0.540	1.2	0.398	0.9
Endo	SS-18	270	屋外	0.0637	0.0600	0.9	0.0568	0.9
Kojima	SS-2	270	屋外	0.057	0.0600	1.1	0.0568	1.0
<Co59(n,g)Co60>								
Kojima	WCT-R	75	屋内	0.87	2.43	2.8	2.62	3.0
Kojima	WCT-C0	75	屋内	0.634	2.43	3.8	2.62	4.1
Kojima	SS-4	270	屋外	0.053	0.0495	0.9	0.0470	0.9
Muroyama	WCT-R	75	屋内			2.1		1.9
<Fe58(n,g)Fe59>								
Muroyama	WCT-Fe	75	屋内	0.0159	0.0101	0.6	0.0905	0.6
<Au197(n,g)Au198>								
Komura	G-342	365	屋内	14.8	23.6	1.6	17.3	1.2
<Cl35(n,g)Cl36>								
Seki	WCT-Cs	75	屋内	0.057	0.0577	1.0	0.0516	0.92

注 1 : 測定データは、J.Environ.Radiact (2000) と小村班科研費報告書(2001)より .

注 2 : 網掛けは屋外の測定データ . また計算値はすべて屋外の値 ! ! ! .

注 3 : Cl36 の単位は、 $\times 10^{-12}$ (^{36}Cl 原子/ ^{35}Cl 原子) .

注 4 : P32 の遠方計算値 (> 200m) は若干統計が悪いので要注意 .

注 5 : WCT は湿式化学実験室 (距離 75m) .

- 2 . 中性子線量の方向依存性

Table 2 : 方向別の中性子線量計算値 (mSv)

m	Model-A (JST100)				Model-B (JST101)			
	SE	SW	NW	NE	SE	SW	NW	NE
100	104.3	71.3	69.0	96.4	97.3	43.2	58.7	73.8
150	38.8	29.6	29.6	42.0	41.9	23.0	25.9	31.2
200	20.8	15.6	16.0	20.3	19.3	12.1	14.5	18.2
250	10.2	8.2	8.6	11.4	9.3	7.1	7.8	10.1
300	6.6	4.4	5.2	6.8	6.2	3.8	4.1	6.6
350	3.7	3.2	3.0	4.4	3.4	2.0	2.9	3.7
400	2.3	1.7	1.9	2.5	2.3	1.5	1.8	2.5

注 : Fig.2 において、SE 方向と NW 方向は Y 軸上、SW 方向と NE 方向は X 軸上とした。

Table 3 : 方向別中性子線量の相対値 (SE=1)

m	Model-A (JST100)				Model-B (JST101)			
	SE	SW	NW	NE	SE	SW	NW	NE
100	1	0.68	0.66	0.92	1	0.44	0.60	0.76
150	1	0.76	0.76	1.08	1	0.55	0.62	0.74
200	1	0.75	0.77	0.98	1	0.63	0.75	0.95
250	1	0.80	0.84	1.11	1	0.76	0.84	1.09
300	1	0.67	0.79	1.02	1	0.62	0.67	1.07
350	1	0.86	0.83	1.21	1	0.59	0.87	1.08
400	1	0.76	0.83	1.11	1	0.66	0.78	1.10

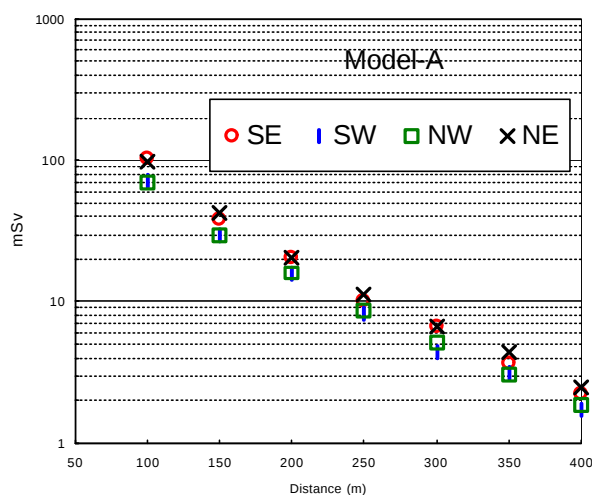


Fig. 4: Dependency of neutron dose on the direction from the conversion building

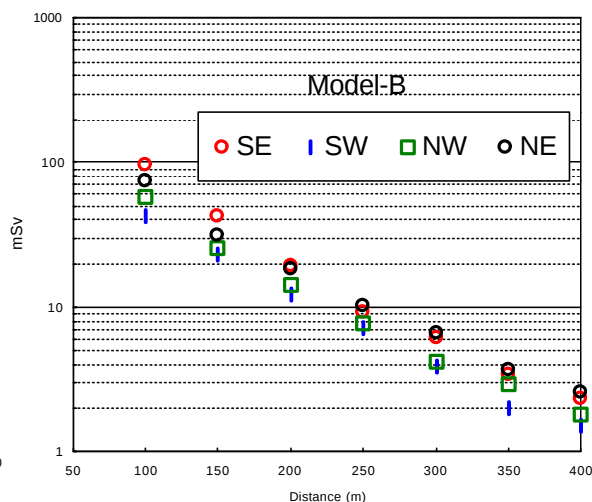


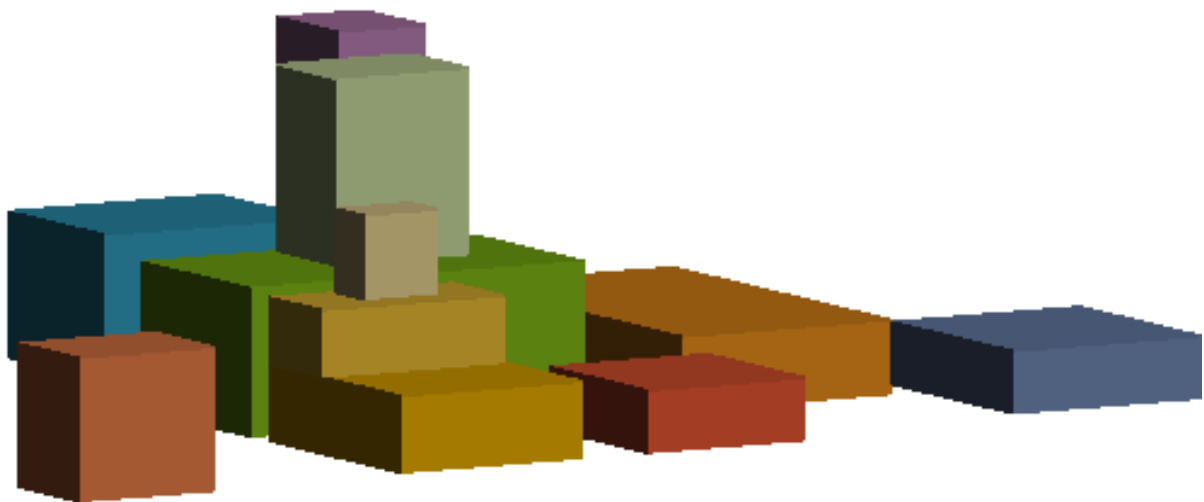
Fig. 5: Dependency of neutron dose on the direction from the conversion building

. ひとつと

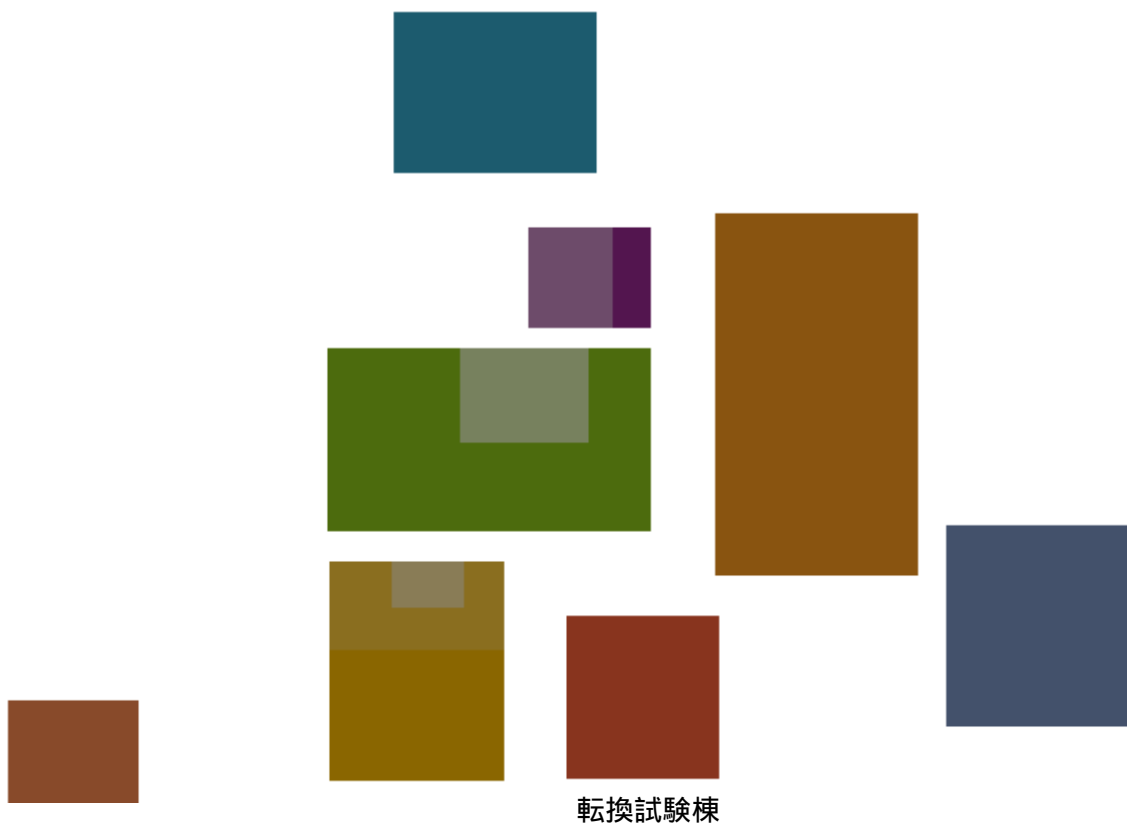
速中性子計算 : 中性子線量の計算結果は測定値に比べ約 2 倍 (屋外 270mCo58 放射化の C/M が 2.7 なのは心強い)。転換試験棟内部構造の見直し、測定点周辺の遮蔽状況などの検討で改善の余地あり。屋内速中性子サンプルの C/M 値は 15 ~ 30 程度で家屋等の遮蔽が効いているようです。

熱中性子計算 : 屋内・屋外を問わず、まずまずの C/M 値が得られている。Endo(SS-8)の Cr51 データ (C/M=0.2) は測定値特異点か (M >> C は考えにくい)。

以上、ご参考になれば幸いです。



< 鳥瞰図 >



転換試験棟

< 平面図 >

Fig.1 転換試験棟と周辺建物（7つ）配置図

Fig.2 : JCO周辺の建物配置と計算ポイント

