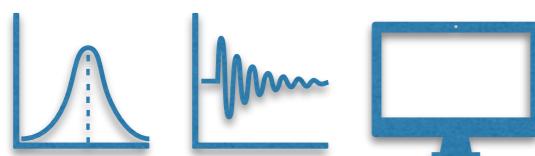
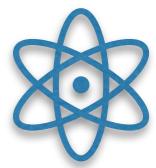


Radiation dose evaluation to use Cs134 and Cs137

Faculty of Science and Technology ,Keio University
Experiment Education Support Center
Central Service Facilities for Research

Yasuo Komukai





非密封線源の許可使用者以外の者による下限数量以下の非密封線源の使用

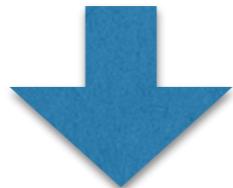
→ 事業所内における総数量が下限数量以下であれば、許可を要しない

許可使用者による下限数量以下の非密封線源の管理区域外における使用

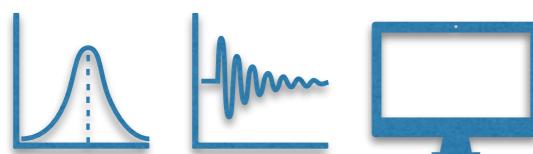
→ 下限数量以下の数量の非密封線源を管理区域外で使用できる

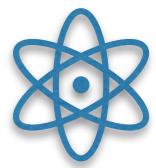
→ 使用の目的・方法・場所については許可を受けることが必要

そもそも、慶應大学理工学部ではCs134,Cs137の使用の許可を取っていない！



- 許可使用に係る変更許可申請書の提出
使用核種の追加
管理区域外で使用するための申請（中央試験所）
遮蔽計算・排気・排水に関する計算
- 放射線障害予防規程の改訂





<使用核種の追加のため、遮蔽計算の見直し> ※使用量・貯蔵量の決定に使用

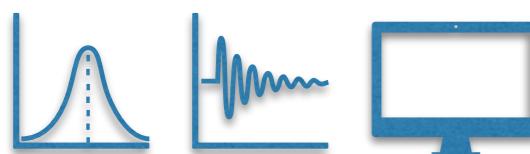
- ・管理区域内（人が常時立ちに入る場所）の線量限度 [1mSv/週 (1日8時間×1週5日=40時間)] を超えないように、1日最大使用数量を決定
- ・管理区域境界の線量限度 [1.3mSv/3月 (1日8時間×1週5日×1月13週=520時間)] 及び事業所境界の線量限度 [250 μ Sv/3月 (1日24時間×91日(3月)=2184時間)] を超えないように、3ヶ月使用数量、年間使用数量、貯蔵能力を決定
＊貯蔵室及び保管廃棄室では1週2.5時間で1mSv/週を超えないように貯蔵能力を決定
＊減衰補正あり

※測定点及び遮蔽厚の見直しと、最新データの使用

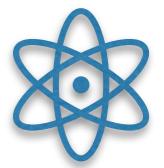
【実効線量の計算方法】

$$\text{実効線量} = (\text{放射能} \times \text{実効線量率定数} \times \text{計算時間} \times \text{遮蔽による減衰}) / (\text{距離の2乗})$$

[μ Sv]	[MBq]	[μ Sv/h/MBq]	[h/w]	(遮蔽がない場合は=1)	[m ²]
-------------	-------	-------------------	-------	--------------	-------------------



Radiation dose evaluation to use Cs134 and Cs137

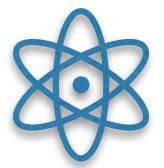


核種	半減期	最大使用数量(MBq)			放射線の種類 エネルギー (MeV)	実効線量率定数*1 (μ Sv · m ² /MBq/h)	制動放射線*2 (μ Sv · m ² /MBq/h)	保管破棄される RIの放射能 (MBq/年間)
		1日	3月	1年				
45Ca	164d	3.7	37	111	β 0.257		1.95E-05	111
125I	60.1d	0.74	55.5	185	γ 0.0355 0.0274	0.0126		84.1
32P	14.26d	18.5	555	1850	β 1.711		8.40E-04	562
35S	87.5d	3.7	185	740	β 0.167		7.05E-06	340
42K	12.136h	0.37	11.1	37	γ 1.525	0.0323		11.1
55Fe	2.73y	0.37	11.1	37	X 0.0059	2.34E-11		37
86Rb	18.66d	0.37	11.1	37	γ 1.077	0.0118		11.5
14C	5730y	7.4	185	740	β 0.157		6.66E-06	740
3H	12.3y	18.5	555	1850	β 0.0186		3.41E-11	1850
51Cr	27.7d	3.7	111	370	γ 0.32	0.00457		124
134Cs	2.065y	0.37	3.7	11.1	γ 0.605 0.796	0.211		11.1
137Cs	30.17y	0.37	3.7	11.1	γ 0.662	0.0779		11.1

*1 放射線施設の遮蔽計算実務(放射線)データ集2015 p60-61

*2 放射線施設の遮蔽計算実務(放射線)データ集2015 p146 K20(12)=0.564



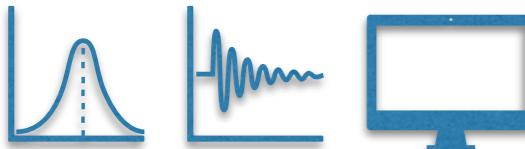


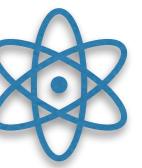
<コンクリートによる減衰係数>

	10cm	20cm	25cm	30cm	45cm	50cm
45Ca	3.75E-02	3.50E-03	6.00E-04	2.27E-04	1.81E-08	1.81E-08
125I	1.34E-07	1.34E-07	1.34E-07	1.34E-07	1.34E-07	1.34E-07
32P	3.87E-01	1.00E-01	6.00E-02	2.62E-02	3.32E-03	1.68E-03
35S	6.37E-03	3.88E-04	8.31E-05	1.81E-05	4.00E-06	4.00E-06
42K	6.70E-01	3.63E-01	3.00E-01	1.73E-01	5.50E-02	3.32E-02
55Fe	3.00E-01	3.39E-02	9.60E-03	2.61E-03	4.50E-05	1.12E-05
86Rb	6.57E-01	3.21E-01	2.00E-01	1.32E-01	3.00E-02	1.83E-02
14C	7.50E-03	2.78E-03	5.66E-05	1.18E-05	1.18E-05	1.18E-05
3H	2.75E-05	2.75E-05	2.75E-05	2.75E-05	2.75E-05	2.75E-05
51Cr	6.18E-01	1.67E-01	7.81E-02	3.49E-02	2.63E-03	1.07E-03
134Cs	6.07E-01	2.44E-01	1.70E-01	8.27E-02	1.50E-02	7.60E-03
137Cs	6.36E-01	2.55E-01	1.49E-01	8.40E-02	1.31E-02	6.58E-03

* 放射線施設の遮蔽計算実務(放射線)データ集2015

※PHITSによる計算の際に同じ組成比と密度を使用





<アイソトープ室>

<例：P2、Q2の計算>

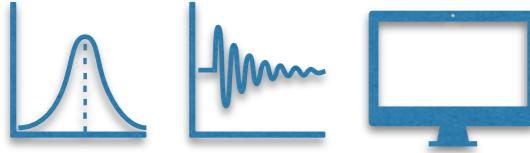
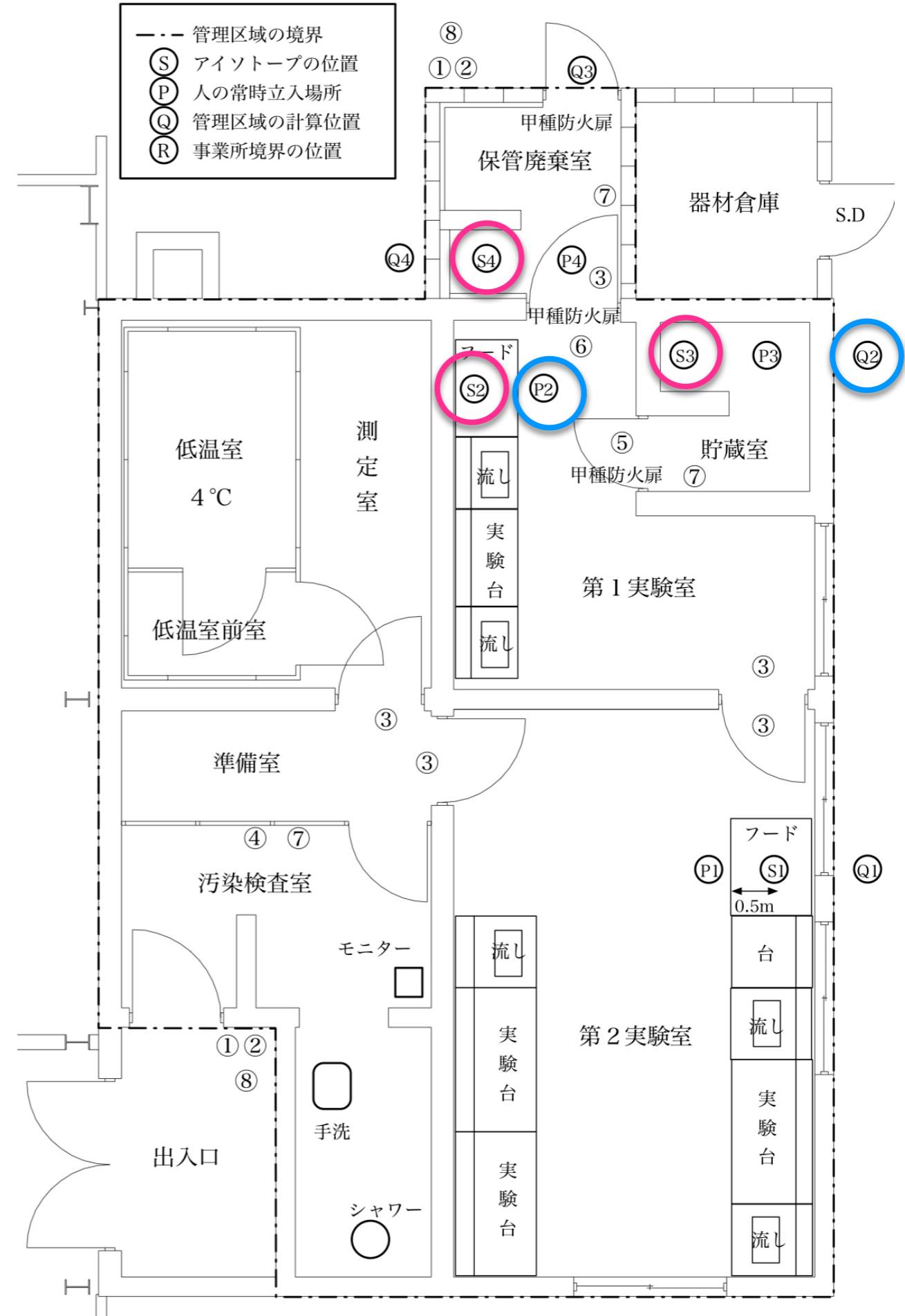
→S2に全ての核種の1日最大使用

数量を配置

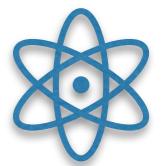
(P1を計算する場合は、S1に1日最
大使用数量を配置)

→S3に最大貯蔵数量を配置

→S4に減衰補正した最大貯蔵数量
を配置

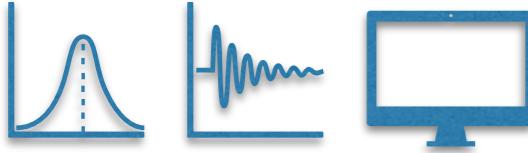


Radiation dose evaluation to use Cs134 and Cs137

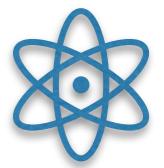


<常時人が立ち入る場所の計算P2>

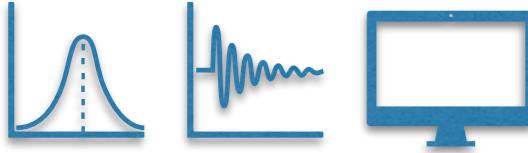
計算点 P2		立ち入り時間: 40 h/w				P1合計: 59.054 $\mu\text{Sv}/\text{w}$		
		線量限度: 1000 $\mu\text{Sv}/\text{w}$				限度比合計: 0.059		
線源位置	核種	放射能Q(MBq)	Γ	コンクリート厚cm	減衰係数k	距離L(m)	線量率H	限度との比
S1	45Ca	0	1.95E-05	10	3.75E-02	5.3	0.00E+00	0.00E+00
	125I	0	1.26E-02	10	1.34E-07	5.3	0.00E+00	0.00E+00
	32P	0	8.40E-04	10	3.87E-01	5.3	0.00E+00	0.00E+00
	35S	0	7.05E-06	10	6.37E-03	5.3	0.00E+00	0.00E+00
	42K	0	3.23E-02	10	6.70E-01	5.3	0.00E+00	0.00E+00
	55Fe	0	2.34E-11	10	3.00E-01	5.3	0.00E+00	0.00E+00
	86Rb	0	1.18E-02	10	6.57E-01	5.3	0.00E+00	0.00E+00
	14C	0	6.66E-06	10	7.50E-03	5.3	0.00E+00	0.00E+00
	3H	0	3.41E-11	10	2.75E-05	5.3	0.00E+00	0.00E+00
	51Cr	0	4.57E-03	10	6.18E-01	5.3	0.00E+00	0.00E+00
	134Cs	0	2.11E-01	10	6.07E-01	5.3	0.00E+00	0.00E+00
	137Cs	0	7.79E-02	10	6.36E-01	5.3	0.00E+00	0.00E+00
S2	45Ca	3.7	1.95E-05	0	1.00E+00	0.5	1.16E-02	1.16E-05
	125I	0.74	1.26E-02	0	1.00E+00	0.5	1.49E+00	1.49E-03
	32P	18.5	8.40E-04	0	1.00E+00	0.5	2.49E+00	2.49E-03
	35S	3.7	7.05E-06	0	1.00E+00	0.5	4.17E-03	4.17E-06
	42K	0.37	3.23E-02	0	1.00E+00	0.5	1.91E+00	1.91E-03
	55Fe	0.37	2.34E-11	0	1.00E+00	0.5	1.39E-09	1.39E-12
	86Rb	0.37	1.18E-02	0	1.00E+00	0.5	6.99E-01	6.99E-04
	14C	7.4	6.66E-06	0	1.00E+00	0.5	7.88E-03	7.88E-06
	3H	18.5	3.41E-11	0	1.00E+00	0.5	1.01E-07	1.01E-10
	51Cr	3.7	4.57E-03	0	1.00E+00	0.5	2.71E+00	2.71E-03
	134Cs	0.37	2.11E-01	0	1.00E+00	0.5	1.25E+01	1.25E-02
	137Cs	0.37	7.79E-02	0	1.00E+00	0.5	4.61E+00	4.61E-03



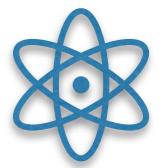
Radiation dose evaluation to use Cs134 and Cs137



S3	45Ca	111	1.95E-05	25	6.00E-04	1.5	2.31E-05	2.31E-08
	125I	55.5	1.26E-02	25	1.34E-07	1.5	1.67E-06	1.67E-09
	32P	555	8.40E-04	25	6.00E-02	1.5	4.97E-01	4.97E-04
	35S	185	7.05E-06	25	8.31E-05	1.5	1.93E-06	1.93E-09
	42K	11.1	3.23E-02	25	3.00E-01	1.5	1.91E+00	1.91E-03
	55Fe	37	2.34E-11	25	9.60E-03	1.5	1.48E-10	1.48E-13
	86Rb	11.1	1.18E-02	25	2.00E-01	1.5	4.66E-01	4.66E-04
	14C	740	6.66E-06	25	5.66E-05	1.5	4.96E-06	4.96E-09
	3H	1850	3.41E-11	25	2.75E-05	1.5	3.08E-11	3.08E-14
	51Cr	111	4.57E-03	25	7.81E-02	1.5	7.04E-01	7.04E-04
	134Cs	11.1	2.11E-01	25	1.70E-01	1.5	7.08E+00	7.08E-03
	137Cs	11.1	7.79E-02	25	1.49E-01	1.5	2.29E+00	2.29E-03
S4	45Ca	111	1.95E-05	20	3.50E-03	1.5	1.35E-04	1.35E-07
	125I	84.12	1.26E-02	20	1.34E-07	1.5	2.53E-06	2.53E-09
	32P	561.74	8.40E-04	20	1.00E-01	1.5	8.39E-01	8.39E-04
	35S	340.04	7.05E-06	20	3.88E-04	1.5	1.65E-05	1.65E-08
	42K	11.10	3.23E-02	20	3.63E-01	1.5	2.31E+00	2.31E-03
	55Fe	37	2.34E-11	20	3.39E-02	1.5	5.22E-10	5.22E-13
	86Rb	11.49	1.18E-02	20	3.21E-01	1.5	7.74E-01	7.74E-04
	14C	740	6.66E-06	20	2.78E-03	1.5	2.43E-04	2.43E-07
	3H	1850	3.41E-11	20	2.75E-05	1.5	3.08E-11	3.08E-14
	51Cr	123.68	4.57E-03	20	1.67E-01	1.5	1.68E+00	1.68E-03
	134Cs	11.1	2.11E-01	20	2.44E-01	1.5	1.02E+01	1.02E-02
	137Cs	11.1	7.79E-02	20	2.55E-01	1.5	3.92E+00	3.92E-03



Radiation dose evaluation to use Cs134 and Cs137

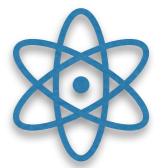


<管理区域境界Q2>

計算点 Q2		520 h/3月 ([40h/w]x[13w/3月])			Q2合計: 96.003 μ Sv/3月			
		線量限度: 1300 μ Sv/3月			限度比合計: 0.074			
線源位置	核種	放射能Q(MBq)	Γ	コンクリート厚cm	減衰係数k	距離L(m)	線量率H	限度との比
S1	45Ca	0	1.95E-05	10	3.75E-02	5.5	0.00E+00	0.00E+00
	125I	0	1.26E-02	10	1.34E-07	5.5	0.00E+00	0.00E+00
	32P	0	8.40E-04	10	3.87E-01	5.5	0.00E+00	0.00E+00
	35S	0	7.05E-06	10	6.37E-03	5.5	0.00E+00	0.00E+00
	42K	0	3.23E-02	10	6.70E-01	5.5	0.00E+00	0.00E+00
	55Fe	0	2.34E-11	10	3.00E-01	5.5	0.00E+00	0.00E+00
	86Rb	0	1.18E-02	10	6.57E-01	5.5	0.00E+00	0.00E+00
	14C	0	6.66E-06	10	7.50E-03	5.5	0.00E+00	0.00E+00
	3H	0	3.41E-11	10	2.75E-05	5.5	0.00E+00	0.00E+00
	51Cr	0	4.57E-03	10	6.18E-01	5.5	0.00E+00	0.00E+00
	134Cs	0	2.11E-01	10	6.07E-01	5.5	0.00E+00	0.00E+00
S2	45Ca	3.7	1.95E-05	50	1.81E-08	4.0	4.25E-11	3.27E-14
	125I	0.74	1.26E-02	50	1.34E-07	4.0	4.06E-08	3.12E-11
	32P	18.5	8.40E-04	50	1.68E-03	4.0	8.48E-04	6.53E-07
	35S	3.7	7.05E-06	50	4.00E-06	4.0	3.39E-09	2.61E-12
	42K	0.37	3.23E-02	50	3.32E-02	4.0	1.29E-02	9.92E-06
	55Fe	0.37	2.34E-11	50	1.12E-05	4.0	3.15E-15	2.42E-18
	86Rb	0.37	1.18E-02	50	1.83E-02	4.0	2.60E-03	2.00E-06
	14C	7.4	6.66E-06	50	1.18E-05	4.0	1.89E-08	1.45E-11
	3H	18.5	3.41E-11	50	2.75E-05	4.0	5.64E-13	4.34E-16
	51Cr	3.7	4.57E-03	50	1.07E-03	4.0	5.88E-04	4.52E-07
	134Cs	0.37	2.11E-01	50	7.60E-03	4.0	1.93E-02	1.48E-05
	137Cs	0.37	7.79E-02	50	6.58E-03	4.0	6.16E-03	4.74E-06

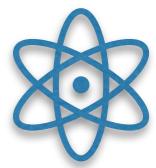


Radiation dose evaluation to use Cs134 and Cs137



S3	45Ca	111	1.95E-05	25	6.00E-04	2.0	1.69E-04	1.30E-07
	125I	55.5	1.26E-02	25	1.34E-07	2.0	1.22E-05	9.37E-09
	32P	555	8.40E-04	25	6.00E-02	2.0	3.64E+00	2.80E-03
	35S	185	7.05E-06	25	8.31E-05	2.0	1.41E-05	1.08E-08
	42K	11.1	3.23E-02	25	3.00E-01	2.0	1.40E+01	1.08E-02
	55Fe	37	2.34E-11	25	9.60E-03	2.0	1.08E-09	8.31E-13
	86Rb	11.1	1.18E-02	25	2.00E-01	2.0	3.41E+00	2.62E-03
	14C	740	6.66E-06	25	5.66E-05	2.0	3.62E-05	2.79E-08
	3H	1850	3.41E-11	25	2.75E-05	2.0	2.26E-10	1.73E-13
	51Cr	111	4.57E-03	25	7.81E-02	2.0	5.15E+00	3.96E-03
	134Cs	11.1	2.11E-01	25	1.70E-01	2.0	5.18E+01	3.98E-02
	137Cs	11.1	7.79E-02	25	1.49E-01	2.0	1.67E+01	1.29E-02
S4	45Ca	111	1.95E-05	50	1.81E-08	4.0	1.27E-09	9.80E-13
	125I	84.12	1.26E-02	50	1.34E-07	4.0	4.62E-06	3.55E-09
	32P	561.74	8.40E-04	50	1.68E-03	4.0	2.58E-02	1.98E-05
	35S	340.04	7.05E-06	50	4.00E-06	4.0	3.12E-07	2.40E-10
	42K	11.10	3.23E-02	50	3.32E-02	4.0	3.87E-01	2.98E-04
	55Fe	37	2.34E-11	50	1.12E-05	4.0	3.15E-13	2.42E-16
	86Rb	11.49	1.18E-02	50	1.83E-02	4.0	8.06E-02	6.20E-05
	14C	740	6.66E-06	50	1.18E-05	4.0	1.89E-06	1.45E-09
	3H	1850	3.41E-11	50	2.75E-05	4.0	5.64E-11	4.34E-14
	51Cr	123.68	4.57E-03	50	1.07E-03	4.0	1.97E-02	1.51E-05
	134Cs	11.1	2.11E-01	50	7.60E-03	4.0	5.78E-01	4.45E-04
	137Cs	11.1	7.79E-02	50	6.58E-03	4.0	1.85E-01	1.42E-04





<排気計算（作業室内RI濃度）>

作業室内RI濃度 (Bq/cm³)

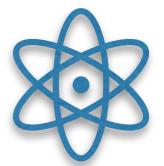
$$= \sum \text{核種} (\text{1日最大使用数量(Bq)} \times \text{フード内飛散率} \times \text{室内への飛散率}) / (\text{1週間の換気量(cm}^3\text{)})$$

核種	週間最大使用数量	飛散率	室内濃度	濃度限度	濃度比
45Ca	18.5	1.00E-03	1.54E-06	9.00E-03	1.71E-04
125I	3.7	1.00E-03	3.08E-07	1.00E-03	3.08E-04
32P	92.5	1.00E-03	7.71E-06	7.00E-03	1.10E-03
35S	18.5	1.00E-03	1.54E-06	2.00E-02	7.71E-05
42K	1.85	1.00E-03	1.54E-07	1.00E-01	1.54E-06
55Fe	1.85	1.00E-03	1.54E-07	2.00E-02	7.71E-06
86Rb	1.85	1.00E-03	1.54E-07	2.00E-02	7.71E-06
14C	37	1.00E-03	3.08E-06	4.00E-02	7.71E-05
3H	92.5	1.00E-03	7.71E-06	5.00E-01	1.54E-05
51Cr	18.5	1.00E-03	1.54E-06	6.00E-01	2.57E-06
134Cs	1.85	1.00E-03	1.54E-07	2.00E-03	7.71E-05
137Cs	1.85	1.00E-03	1.54E-07	3.00E-03	5.14E-05
第一実験室換気量 300m ³ /h				濃度比合計: 1.90E-03	

* 第二実験室の換気量は400m³/hであるので、全体の比の合計は、上記の結果を3/4倍し
1.43E-3となる。

* 測定室ではRIを密閉して使用する。したがって空気中に飛散することはないが、安全を見て飛散率を0.1%とする。測定室の排気能力は100m³/hであるので、全体の比の合計は、上記の結果を3倍し6.1E-3となる。



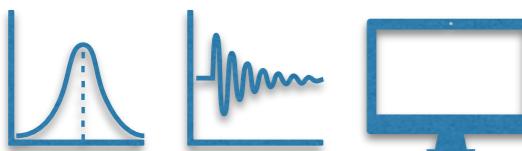


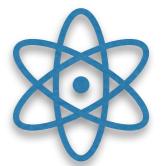
<排気計算 (排気口でのRI濃度) >

排気口RI濃度 (Bq/cm³)

$$= \sum \text{核種} (\text{1日最大使用数量(Bq)} \times \text{フード内飛散率} \times \text{室内への飛散率}) / (\text{1日の換気量(cm}^3\text{)})$$

核種	1日最大使用数量	混入率	フィルタ透過率	排気口濃度	濃度限度	濃度比
45Ca	3.7	1.00E-02	1.00E-02	4.63E-08	5.00E-05	9.25E-04
125I	0.74	1.00E-02	1.00E+00	9.25E-07	8.00E-06	1.16E-01
32P	18.5	1.00E-02	1.00E-02	2.31E-07	4.00E-05	5.78E-03
35S	3.7	1.00E-02	1.00E-02	4.63E-08	9.00E-05	5.14E-04
42K	0.37	1.00E-02	1.00E-02	4.63E-09	9.00E-04	5.14E-06
55Fe	0.37	1.00E-02	1.00E-02	4.63E-09	2.00E-04	2.31E-05
86Rb	0.37	1.00E-02	1.00E-02	4.63E-09	1.00E-04	4.63E-05
14C	7.4	1.00E-02	1.00E-02	9.25E-08	2.00E-04	4.63E-04
3H	18.5	1.00E-02	1.00E-02	2.31E-07	3.00E-03	7.71E-05
51Cr	3.7	1.00E-02	1.00E-02	4.63E-08	3.00E-03	1.54E-05
134Cs	0.37	1.00E-02	1.00E-02	4.63E-09	2.00E-05	2.31E-04
137Cs	0.37	1.00E-02	1.00E-02	4.63E-09	3.00E-05	1.54E-04
1日の排気量 8000m ³					濃度比合計: 1.24E-01	





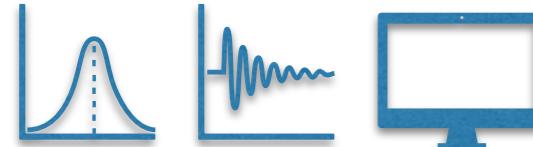
<排水計算>

排水中のRI濃度 (Bq/cm³)

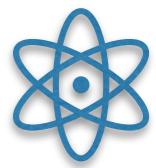
= (1日最大使用数量(Bq) × 排水への混入率 × 貯留槽1器の貯水量) / (1日あたりの貯留量/貯留槽1基の貯水量)

核種	1日最大使用数量	混入率	排水中濃度	濃度限度	濃度比
45Ca	3.7	1.00E-02	3.70E-02	1.00E+00	3.70E-02
125I	0.74	1.00E-02	7.40E-03	6.00E-02	1.23E-01
32P	18.5	1.00E-02	1.85E-01	3.00E-01	6.17E-01
35S	3.7	1.00E-02	3.70E-02	1.00E+00	3.70E-02
42K	0.37	1.00E-02	3.70E-03	2.00E+00	1.85E-03
55Fe	0.37	1.00E-02	3.70E-03	2.00E+00	1.85E-03
86Rb	0.37	1.00E-02	3.70E-03	3.00E-01	1.23E-02
14C	7.4	1.00E-02	7.40E-02	2.00E+00	3.70E-02
3H	18.5	1.00E-02	1.85E-01	2.00E+01	9.25E-03
51Cr	3.7	1.00E-02	3.70E-02	2.00E+00	1.85E-02
134Cs	0.37	1.00E-02	3.70E-03	6.00E-02	6.17E-02
137Cs	0.37	1.00E-02	3.70E-03	9.00E-02	4.11E-02
1日の貯留量 1.00E+6 m ³ (1m ³)				濃度比合計: 9.98E-01	

(ここまで入試を挟んで約1ヶ月50ページの書類が完成)



審査が通るまでにはさらに3ヶ月かかるとのこと (原子力規制庁より)



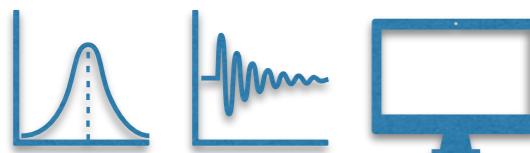
<予防規程の見直し>

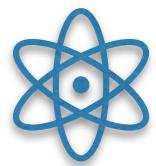
管理区域外使用に関するルールを追加

(管理区域外使用区域における下限数量以下 RI 等の使用)

第7条 管理区域外使用区域における下限数量以下 RI 等の取扱は、あらかじめ許可を受けた使用の目的、使用の方法、使用場所、核種および数量の範囲内でのみ行うことができる。

- ① 管理区域外使用区域で下限数量以下 RI 等の取扱を行う場合は、主任者および管理室室長に使用に係る計画書を提出し、許可を得る必要がある。
- ② 管理区域外使用区域で使用できる下限数量以下 RI 等の核種および数量は別紙 1 に示すものに限る。また、それぞれの核種について、管理区域内における使用数量と管理区域外で使用する数量の合計が 1 日最大使用数量を超えないように管理を行う。
- ③ 使用年月日、使用従事者の氏名、使用場所、使用時間、使用した核種、使用数量等を記載した記録を作成し、作成後 5 年間保存する。
- ④ 管理区域外使用区域で下限数量以下 RI 等を使用した後は、実験室に汚染が無いことを確認し、汚染があった場合は汚染の除去および検査をおこなう。
- ⑤ 管理区域外使用区域に持ち出した下限数量以下 RI 等は、汚染物を含め、使用した当日中に管理区域内に戻して保管する。
- ⑥ 管理区域外使用区域に持ち出した下限数量以下 RI 等は他の者へ譲渡してはならない。
- ⑦ RI 責任者は下限数量以下 RI 等を取扱う実験室に関する管理および記録を行う。
- ⑧ 管理区域外 RI を取扱う場所には「下限数量以下 RI 等取扱実験室」の表示を行い、注意事項を明示する。





<PHITSによるアイソトープ室の遮蔽計算>

PHITSとは？（復習） Particle and Heavy Ion Transport code System

放射線の挙動を、核反応モデルや核データを用いて模擬するモンテカルロ計算コード

- 適用例
- ・ 加速器遮蔽設計
 - ・ 放射線治療・防護研究
 - ・ 宇宙・地球惑星科学

扱う物理現象：輸送過程＋衝突過程

PHITS は、JAEA、RIST、KEK が中心となり、様々な研究機関と協力して開発を進めている国産の汎用モンテカルロ放射線挙動解析コード

モンテカルロ法

長所：3次元の複雑な形状のモデル化が容易

放射線の衝突、散乱などの物理現象の忠実な模擬が可能

短所：計算時間が長い

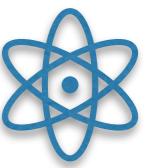
統計現象を数値的に取り扱う結果、解が必然的に統計誤差をともなう

標準的な疑似乱数生成法（線形合同法）とランダムウォーク法を使用

* ソースはFORTRANで書かれているが、設定ファイルを作るだけで計算可

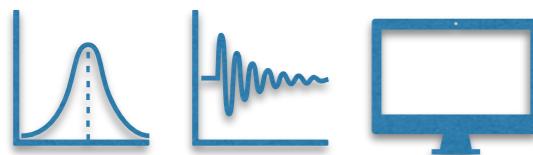
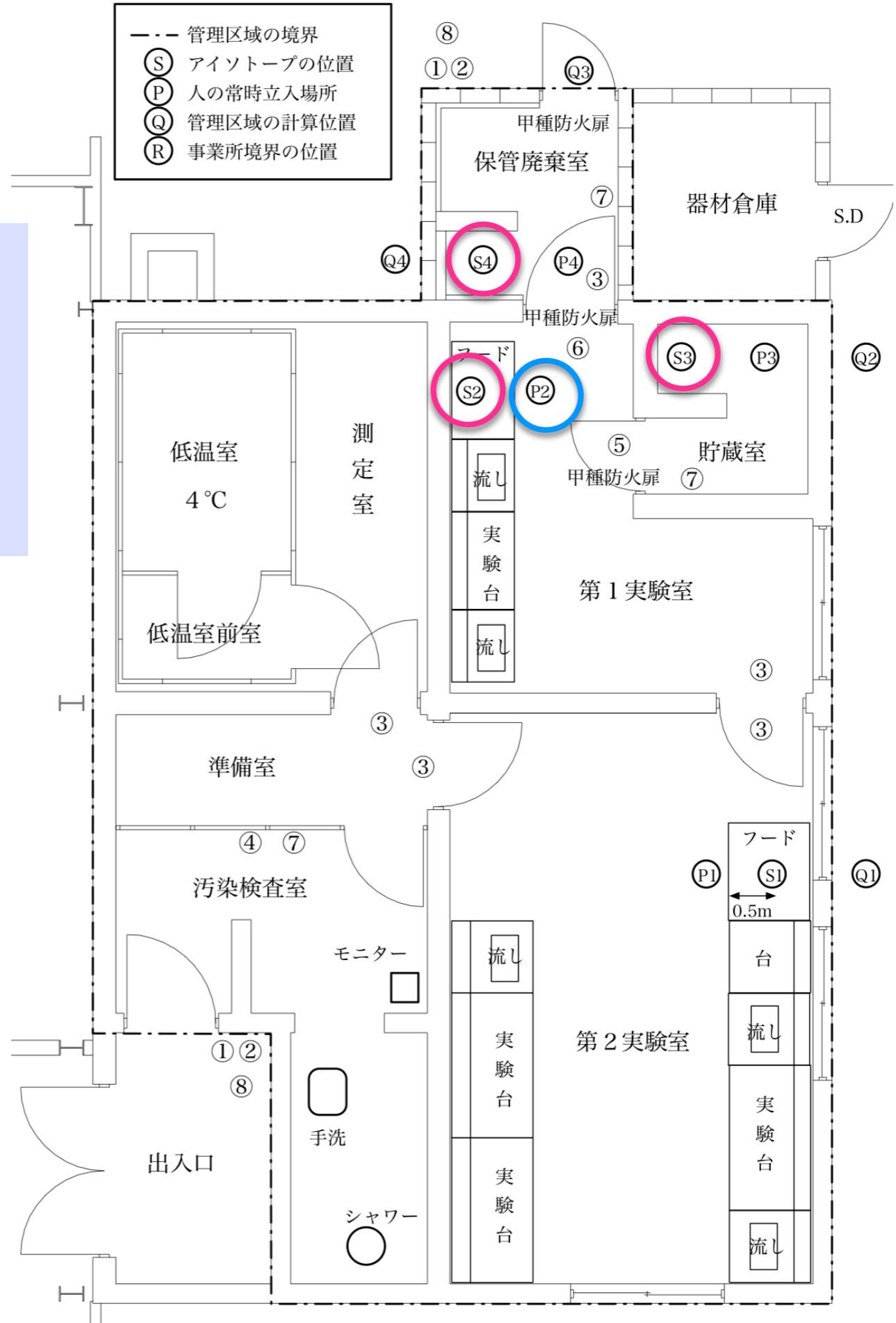


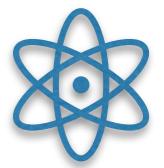
<アイソトープ室>



<P2の計算>

- S2に全ての核種の1日最大使用数量を配置
- S3に最大貯蔵数量を配置
- S4に減衰補正した最大貯蔵数量を配置

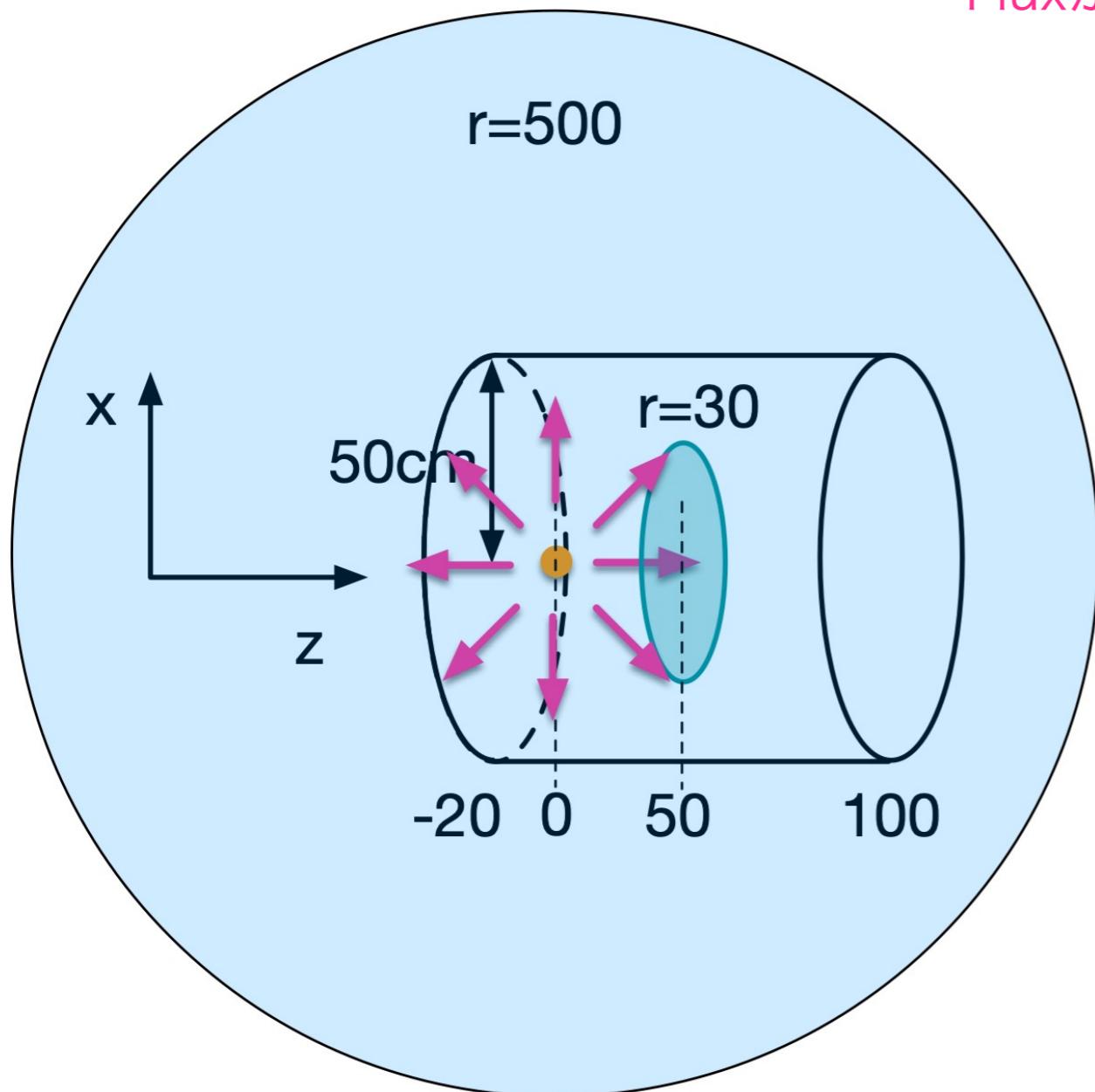




<P2における計算準備1>

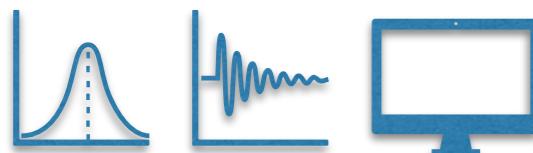
- 人が常時立ち入る場所（ソースから50cmの距離に半径30cmのディテクターを設定）

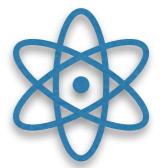
Fluxから換算係数を使用して周辺線量当量を算出



核種	計算 [Sv/40h]	PHITS [Sv/40h]
125I	1.49E+00	3.54E+00
42K	1.91E+00	1.84E+00
55Fe	1.39E-09	4.83E-03
86Rb	6.99E-01	6.82E-01
51Cr	2.71E+00	2.68E+00
134Cs	1.25E+01	1.25E+01
137Cs	4.61E+00	4.61E+00

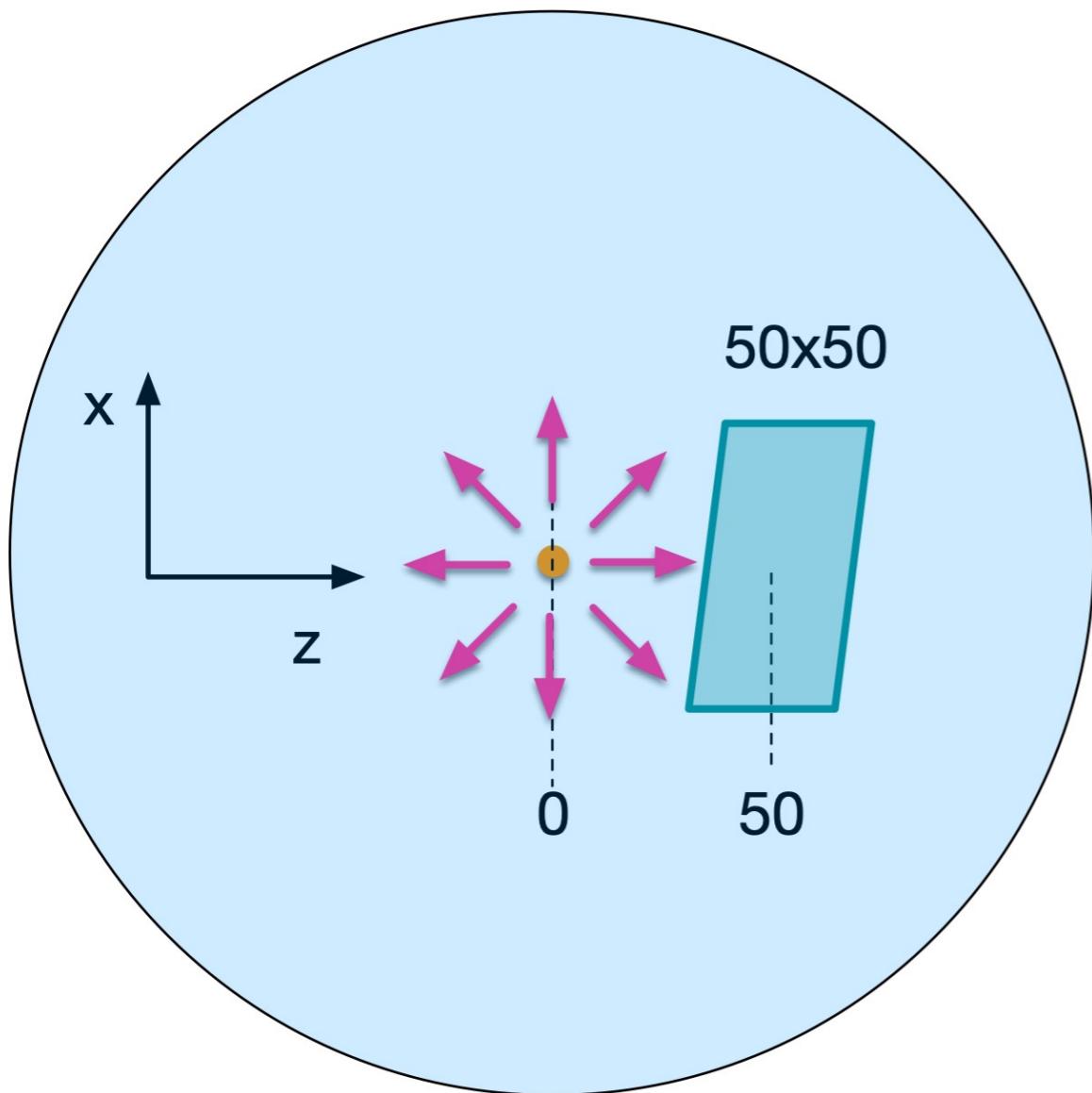
「計算」はS2,S3,S4からの寄与全てを考慮





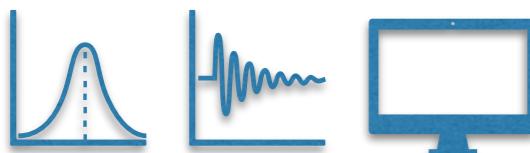
<P2における計算準備2>

- 人が常時立ち入る場所（ソースから50cmの距離に50cm□のディテクターを設定）

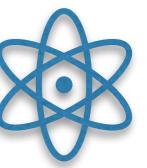


核種	計算 [Sv/40h]	PHITS [Sv/40h]
125I	1.49E+00	3.63E+00
42K	1.91E+00	1.96E+00
55Fe	1.39E-09	4.99E-03
86Rb	6.99E-01	7.35E-01
51Cr	2.71E+00	3.13E+00
134Cs	1.25E+01	1.39E+01
137Cs	4.61E+00	5.21E+00

アイソトープ室の計算では50cm x 50cm x 50cmを使用

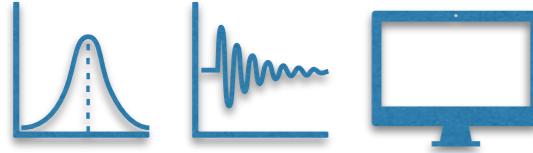


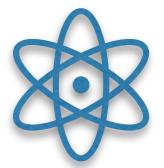
<アイソトープ室>



<Q2の計算>

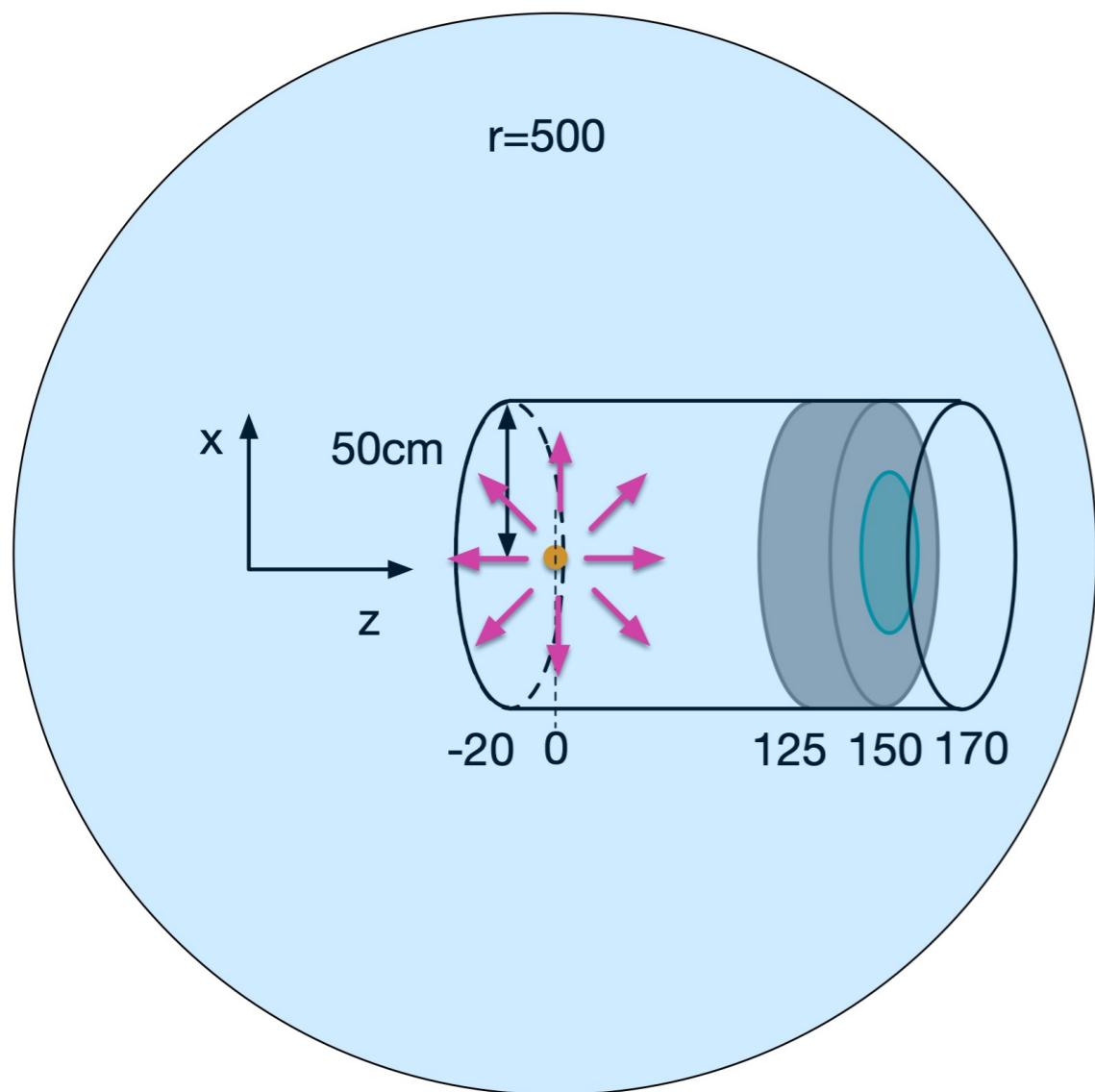
- S2に全ての核種の1日最大使用数量を配置
- S3に最大貯蔵数量を配置
- S4に減衰補正した最大貯蔵数量を配置





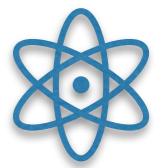
<Q2における計算準備1>

- 管理区域境界 (ソースから125cmの距離に25cm厚のコンクリートで遮蔽)
ソースから150cmの距離の線量を $r=30\text{cm}$ のディテクターで評価

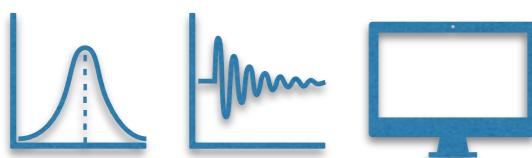
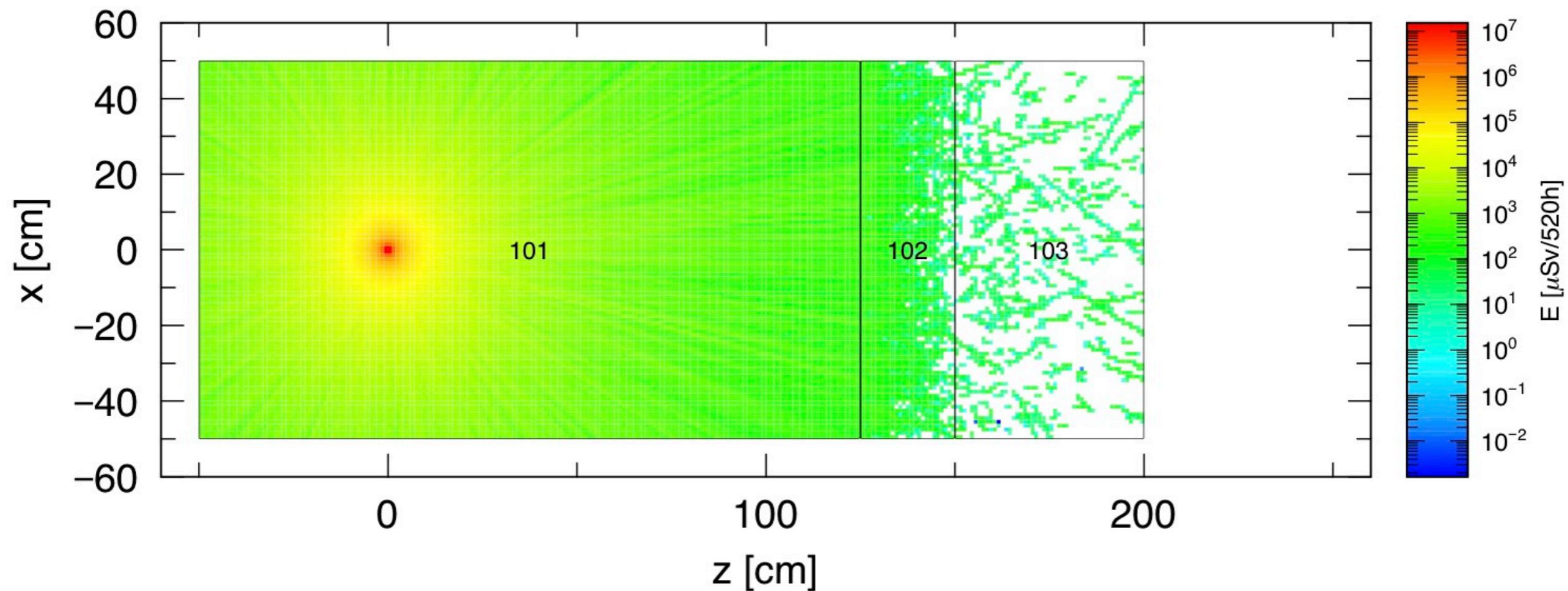


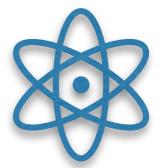
核種	計算 [Sv/520h]	PHITS [Sv/520h]
125I	2.17E-05	0.00E+00
42K	2.49E+01	1.82E+01
55Fe	1.92E-09	0.00E+00
86Rb	6.66E+00	5.09E+00
51Cr	9.16E+00	3.98E+00
134Cs	9.20E+01	6.03E+01
137Cs	2.98E+01	2.02E+01





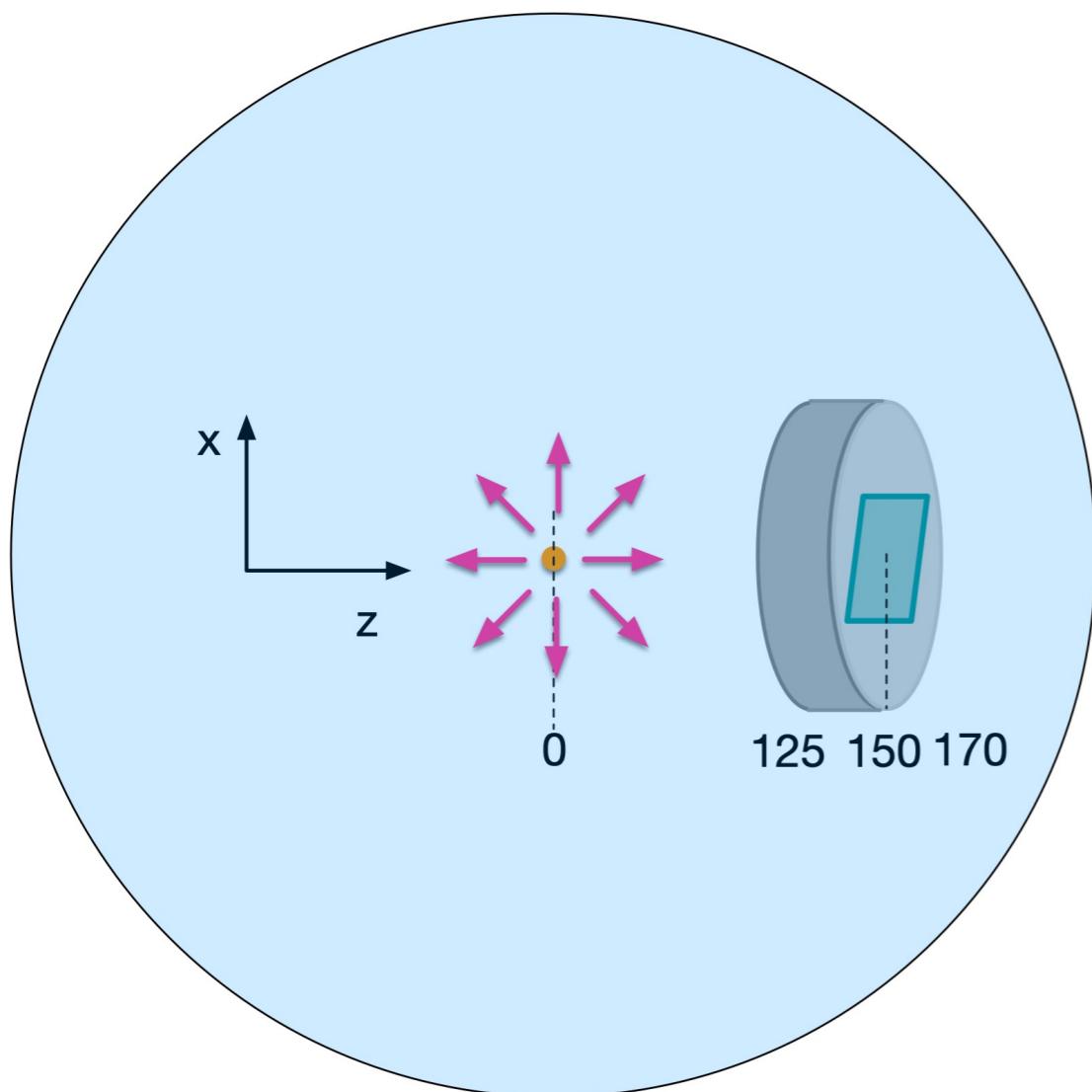
<Q2における計算準備1(PHITS-Flux)>



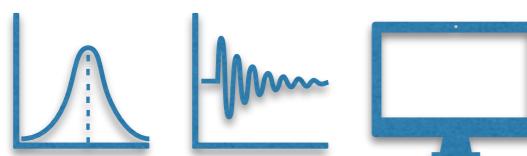


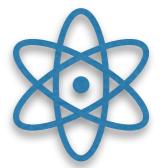
<Q2における計算準備2>

- ・管理区域境界（ソースから125cmの距離に25cm厚のコンクリートで遮蔽）
ソースから150cmの距離の線量を30cm□のディテクターで評価



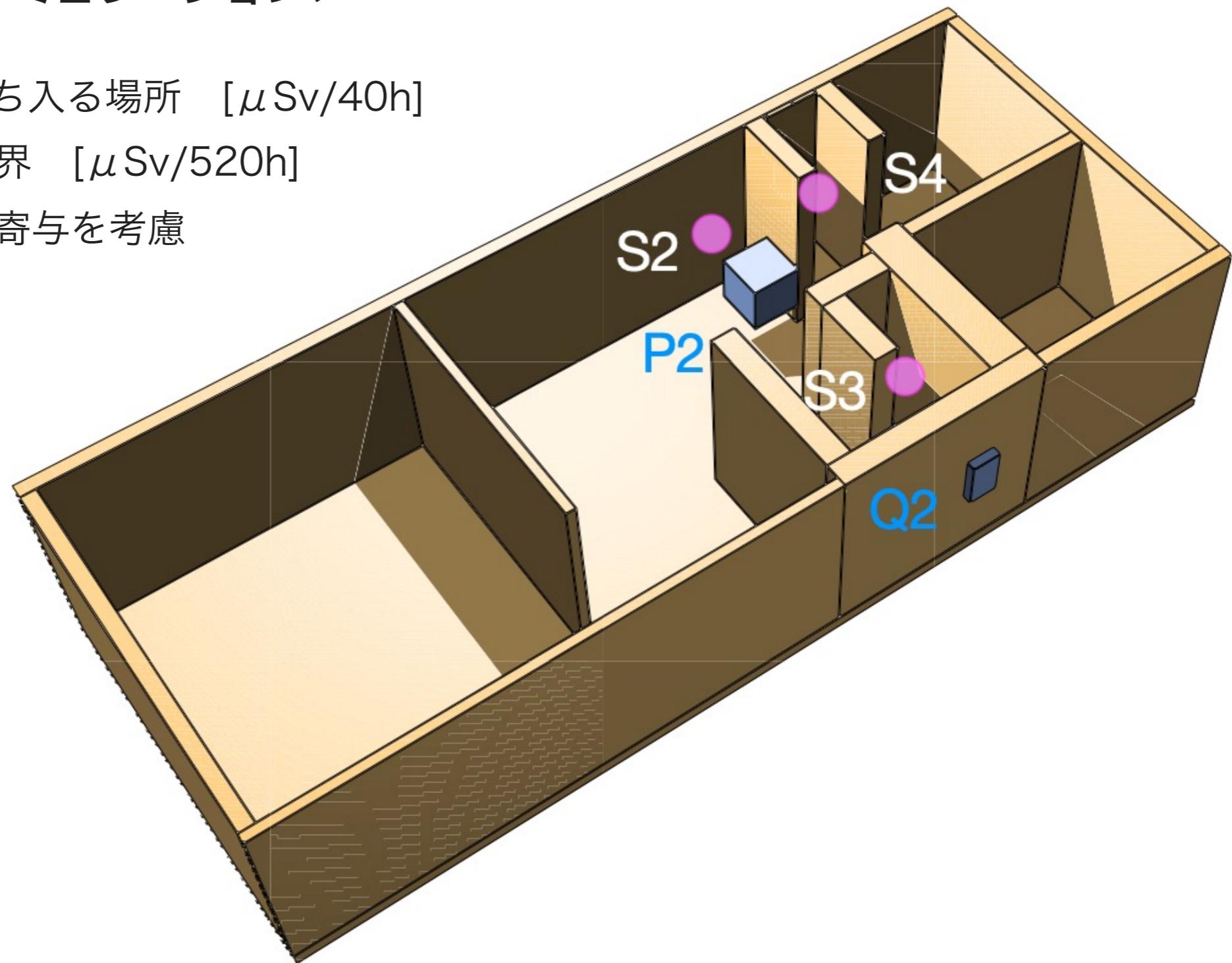
核種	計算 [Sv/520h]	PHITS [Sv/520h]
125I	2.17E-05	0.00E+00
42K	2.49E+01	1.95E+01
55Fe	1.92E-09	0.00E+00
86Rb	6.66E+00	6.11E+00
51Cr	9.16E+00	0.00E+00
134Cs	9.20E+01	6.99E+01
137Cs	2.98E+01	2.09E+01

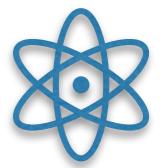




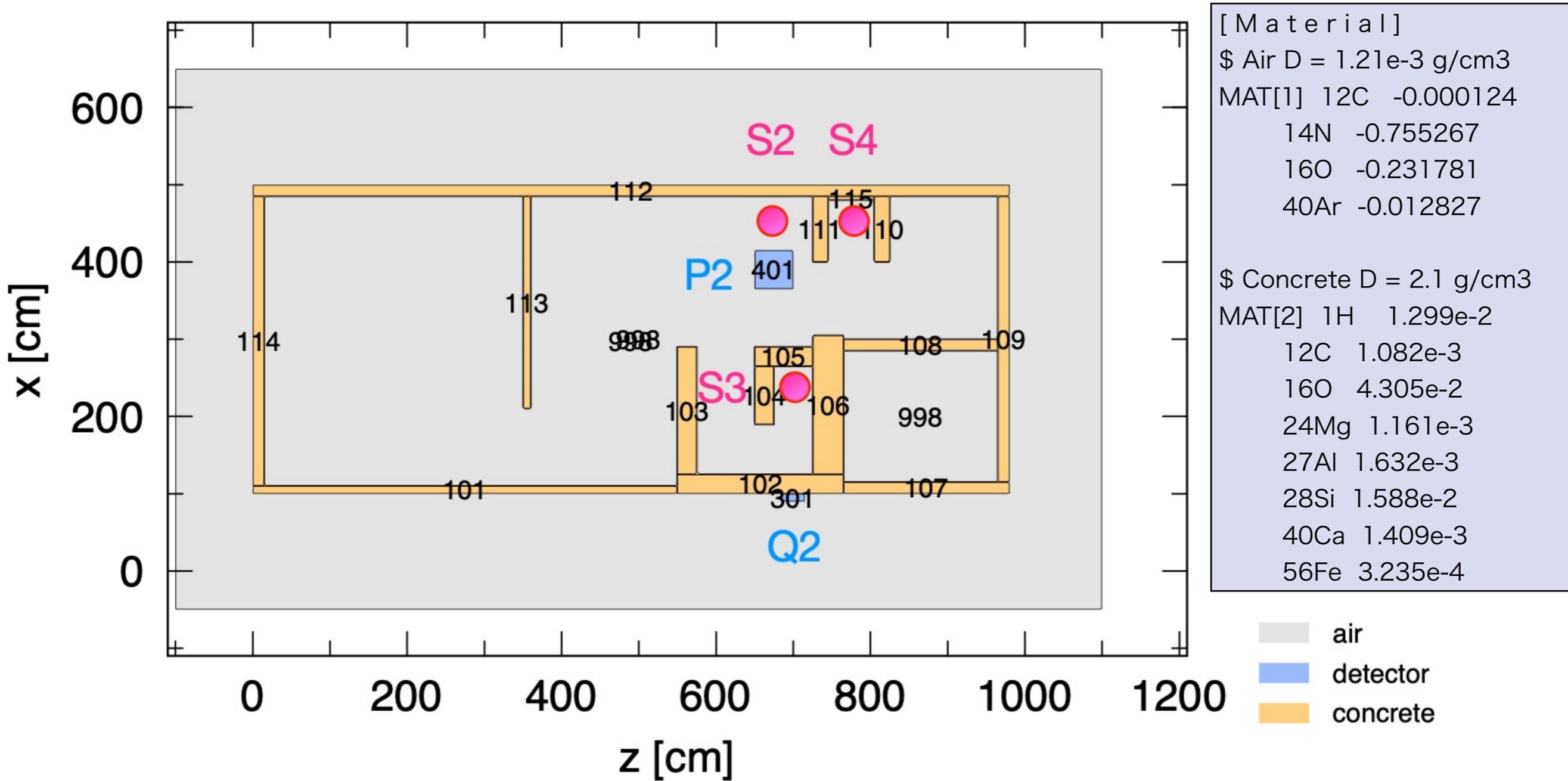
<アイソトープ室シミュレーション>

- P2 : 常時人が立ち入る場所 [$\mu\text{Sv}/40\text{h}$]
- Q2 : 管理区域境界 [$\mu\text{Sv}/520\text{h}$]
- S2,S3,S4全ての寄与を考慮

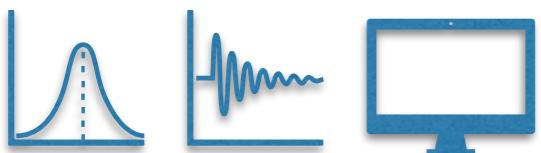


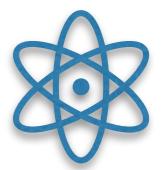


<アイソトープ室シミュレーション>

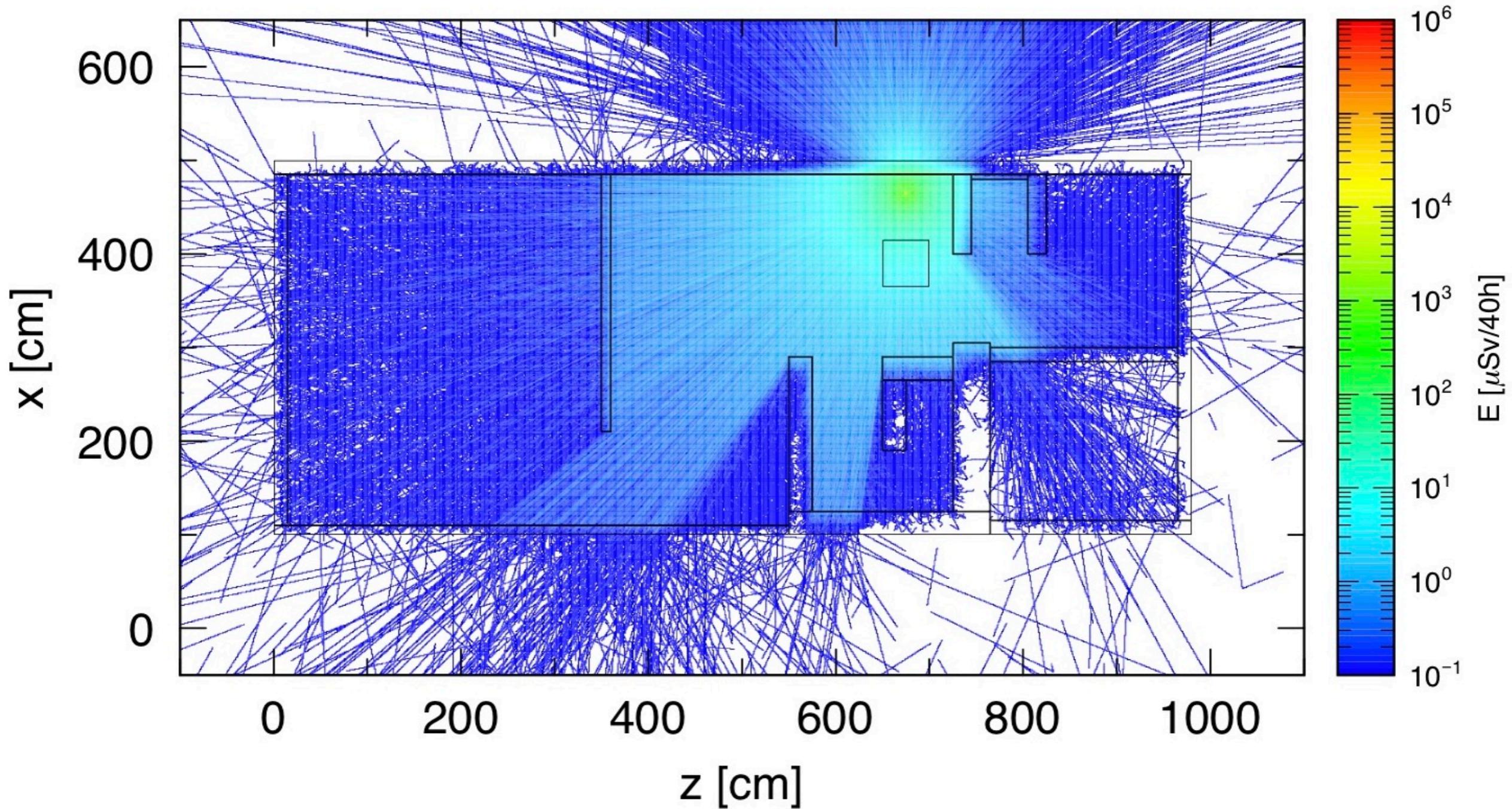


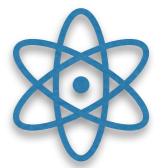
計算では空間を空気で満たし、壁をコンクリートにして計算
(組成比と密度)



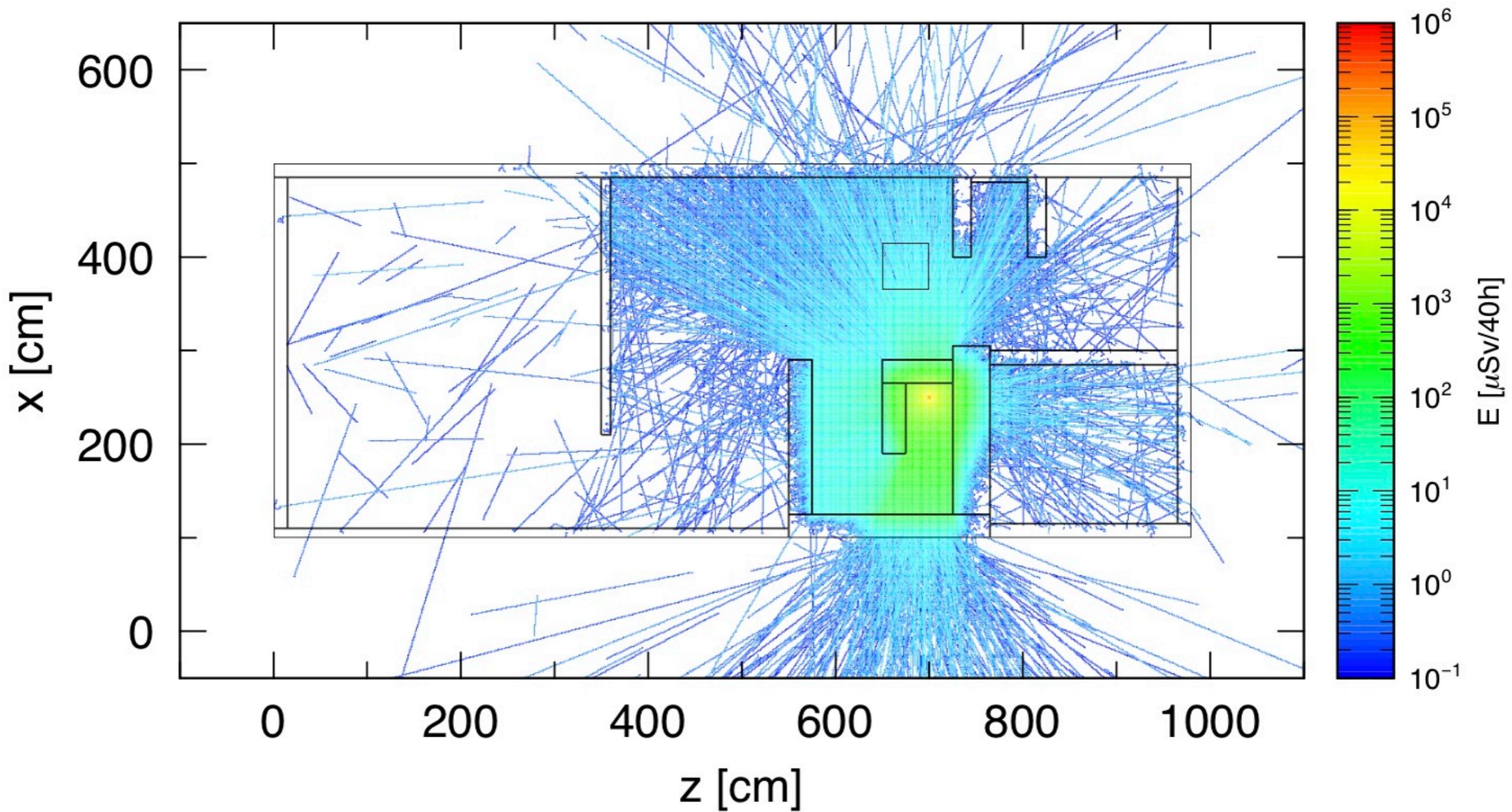


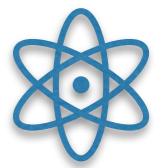
<アイソトープ室P2-S2(Cs134 0.37Bq)>



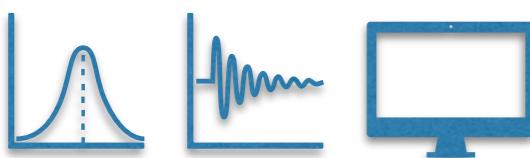
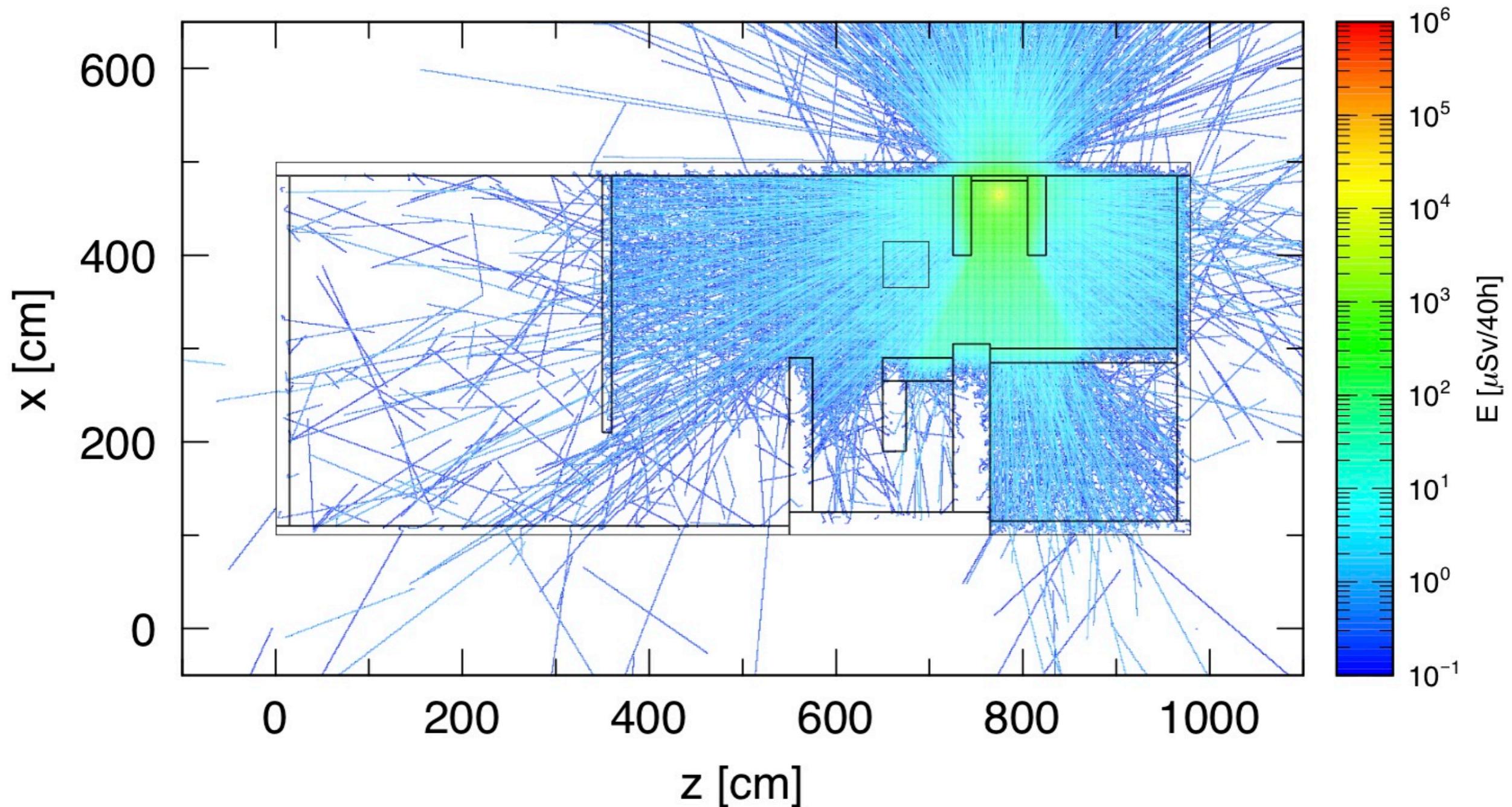


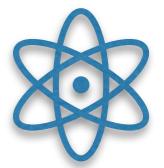
<アイソトープ室P2-S3(Cs134 11.1Bq)>



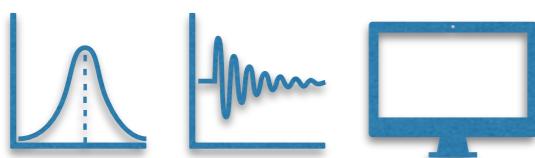
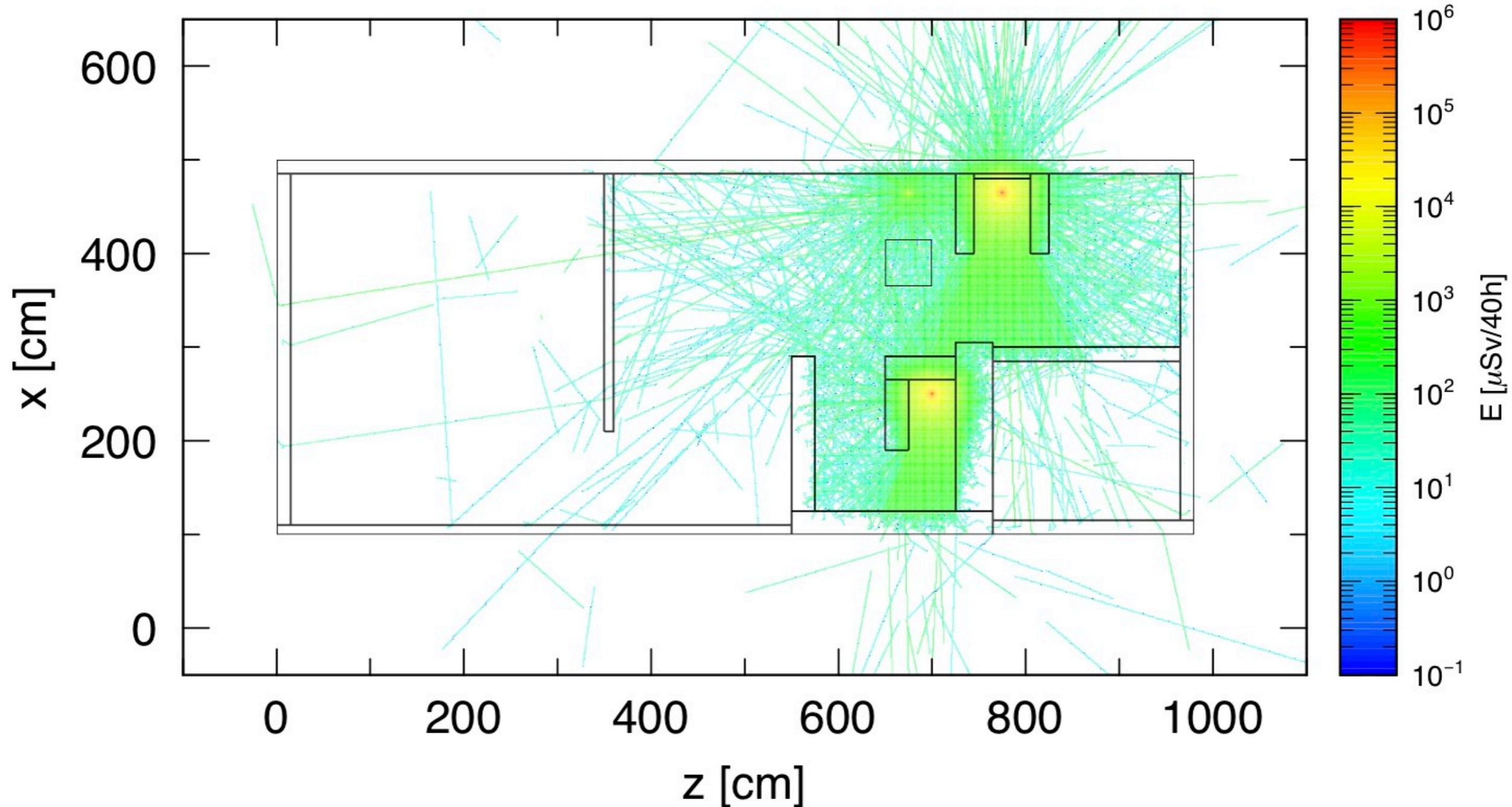


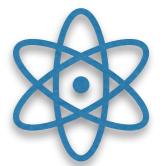
<アイソトープ室P2-S4(Cs134 11.1Bq)>





<アイソトープ室P2-S2,S3,S4 全核種>





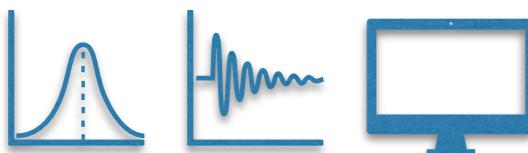
<アイソトープ室P2-S2,S3,S4 全核種>

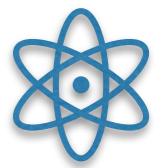
計算 : $72.947 \mu\text{Sv}/\text{week}$

PHITS : $66.9 \mu\text{Sv}/\text{week}$

線量限度 : $1000 \mu\text{Sv}/\text{week}$

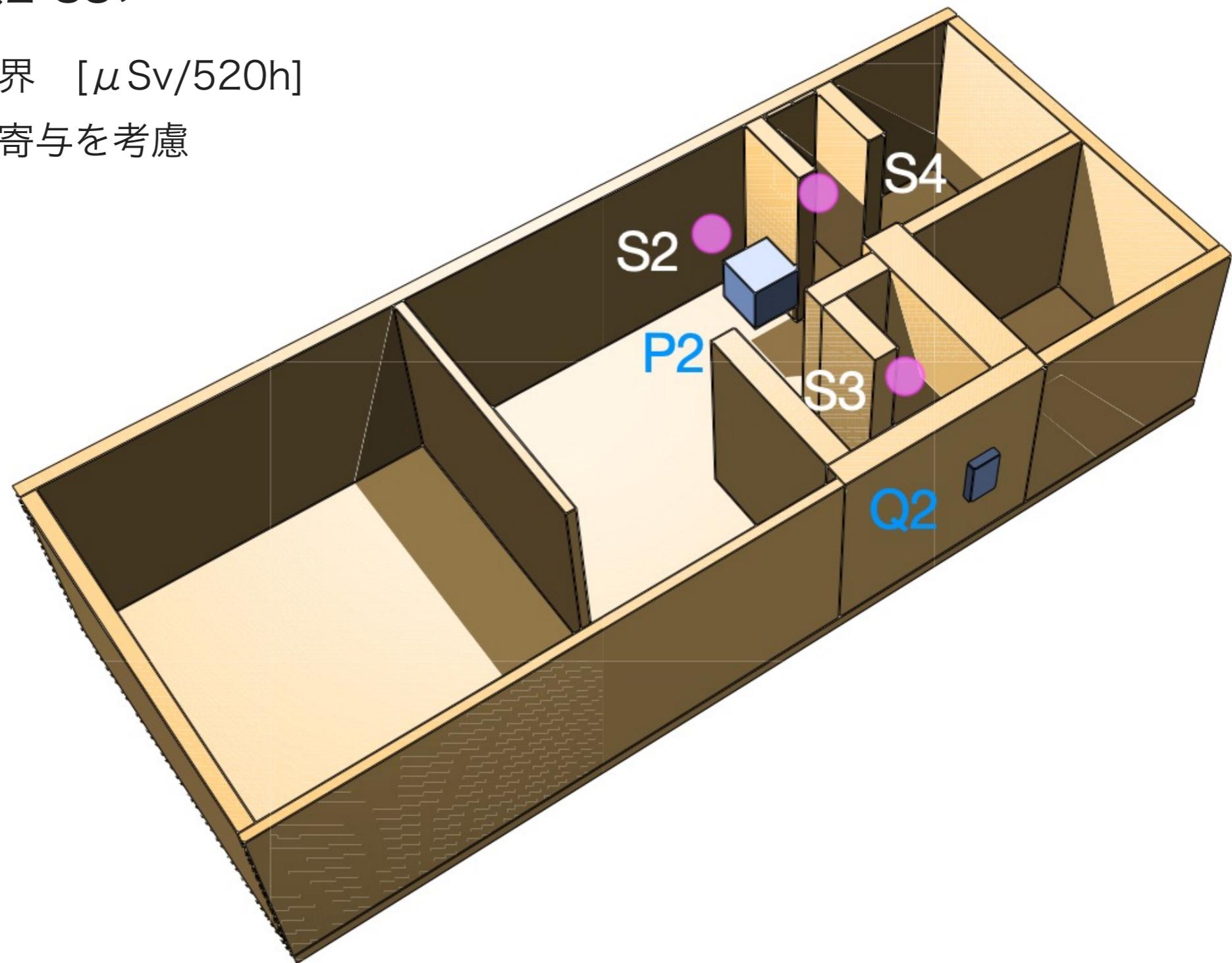
核種	線種	エネルギー(MeV)	半減期	S2(計算) [$\mu\text{Sv}/40\text{h}$]	S2(PHITS) [$\mu\text{Sv}/40\text{h}$]	S3(計算) [$\mu\text{Sv}/40\text{h}$]	S3(PHITS) [$\mu\text{Sv}/40\text{h}$]	S4(計算) [$\mu\text{Sv}/40\text{h}$]	S4(PHITS) [$\mu\text{Sv}/40\text{h}$]
125I	r	0.0274	60.1d	1.49E+00	3.63E+00	1.30E-06	0.00E+00	4.70E-06	1.24E+00
42K	r	1.535	12.136h	1.91E+00	1.96E+00	1.49E+00	1.60E+00	4.30E+00	3.49E+00
55Fe	x	0.0059	2.37y	1.39E-09	4.99E-03	1.15E-10	0.00E+00	9.70E-10	0.00E+00
86Rb	r	1.077	18.66d	6.99E-01	7.35E-01	3.99E-01	4.23E-01	1.44E+00	1.07E+00
51Cr	r	0.32	27.7d	2.71E+00	3.13E+00	5.48E-01	1.12E+00	3.12E+00	4.07E+00
134Cs	r	0.605 0.796	2.065y	1.25E+01	1.39E+01	5.51E+00	5.04E+00	1.89E+01	1.47E+01
137Cs	r	0.662	30.17y	4.61E+00	5.21E+00	1.78E+00	1.72E+00	7.29E+00	5.16E+00

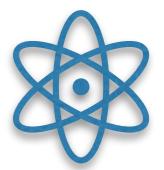




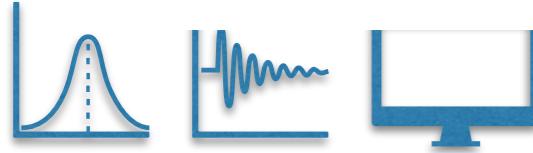
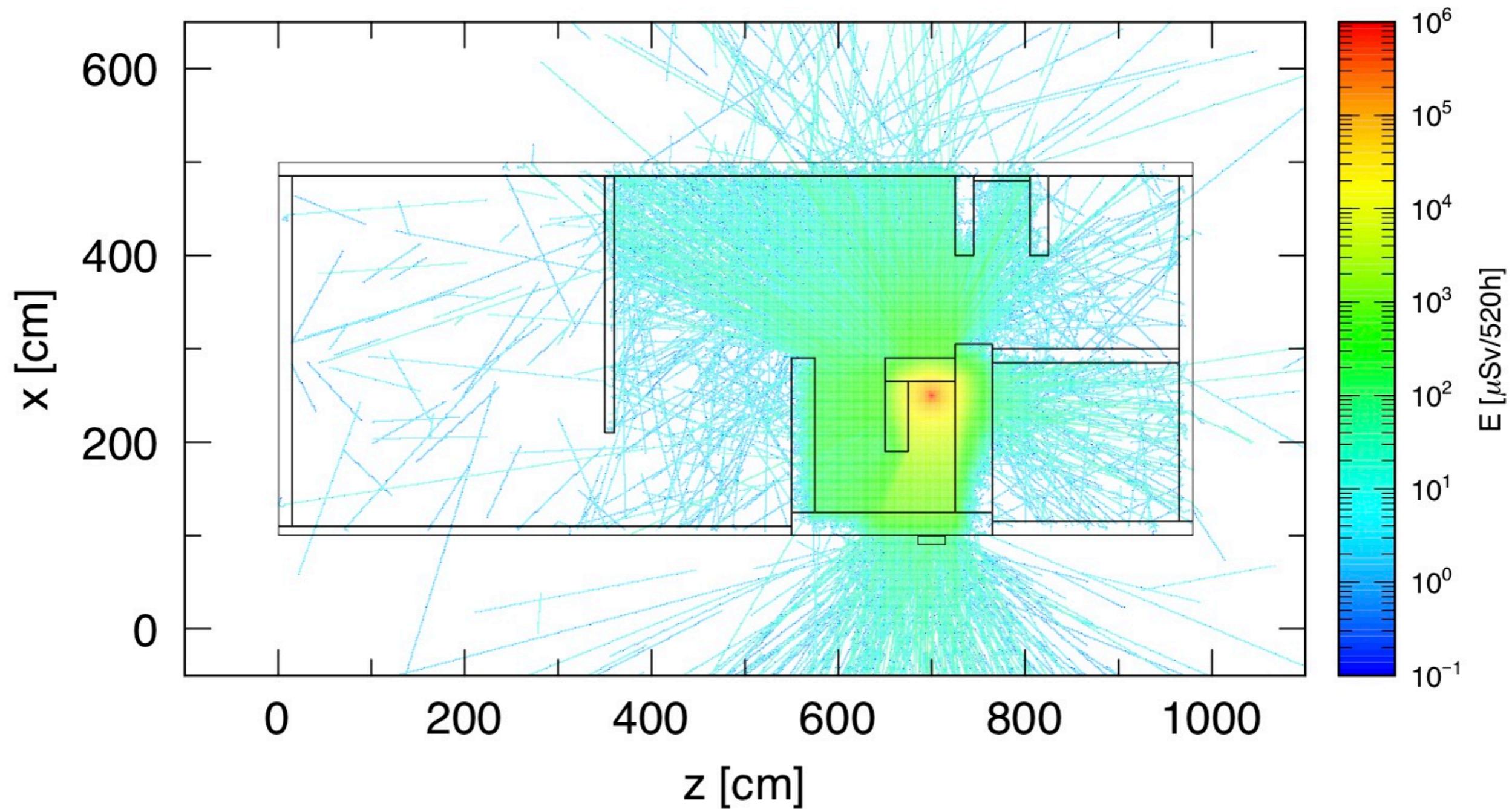
<アイソトープ室Q2-S3>

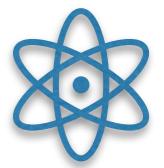
- ・Q2：管理区域境界 [$\mu\text{Sv}/520\text{h}$]
- ・S2,S3,S4全ての寄与を考慮





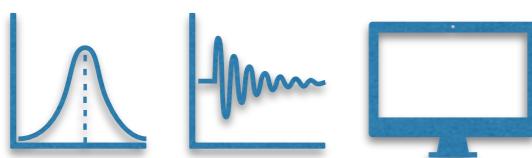
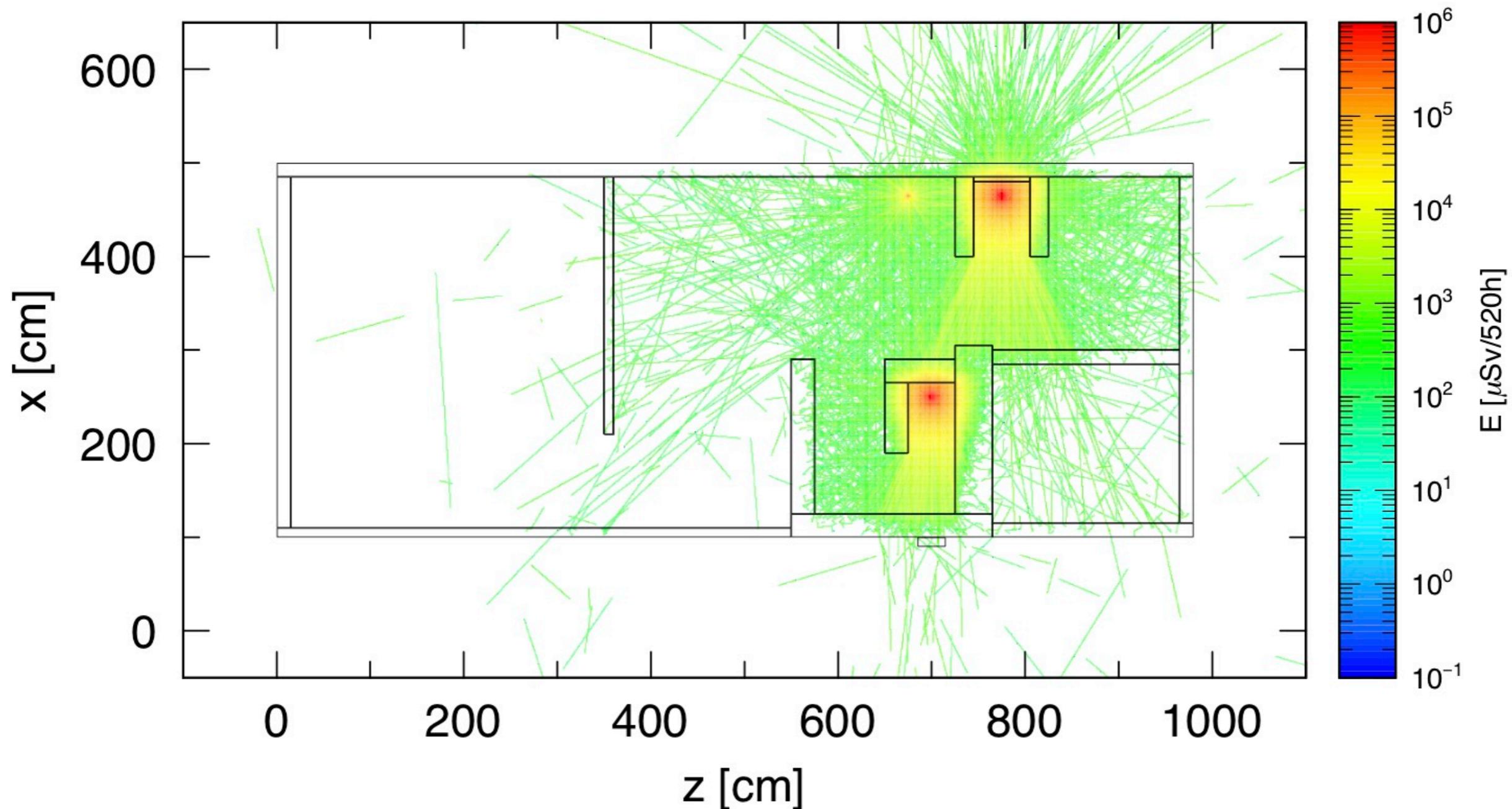
<アイソトープ室Q2-S3(Cs134 11.1Bq)>

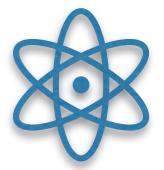




<アイソトープ室Q2-S2,S3,S4 全核種>

S3以外の寄与は殆ど無い

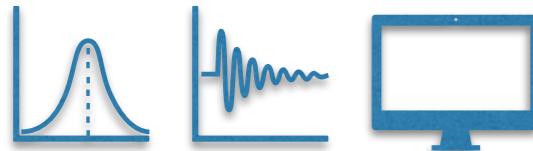


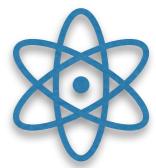


<アイソトープ室Q2-S2,S3,S4 全核種>

核種	線種	エネルギー (MeV)	半減期	S3(計算) [μ Sv/520h]	S3(PHITS) [μ Sv/520h]
125I	r	0.0274	60.1d	2.17E-05	0.00E+00
42K	r	1.535	12.136h	2.49E+01	1.95E+01
55Fe	x	0.0059	2.37y	1.92E-09	0.00E+00
86Rb	r	1.077	18.66d	6.66E+00	6.11E+00
51Cr	r	0.32	27.7d	9.16E+00	0.00E+00
134Cs	r	0.605 0.796	2.065y	9.20E+01	6.99E+01
137Cs	r	0.662	30.17y	2.98E+01	2.09E+01

計算 : $167.165 \mu\text{Sv}/3\text{月}$
 PHITS : $116.4 \mu\text{Sv}/3\text{月}$
 線量限度 : $1300 \mu\text{Sv}/3\text{月}$





<まとめ>

- 核種の追加に関する許可変更申請を通じて、最新データを使用した遮蔽計算の見直しをおこなった
- PHITSにてアイソトープ室の線量評価シミュレーションをおこなった
 - ▷オーダー程度の確認は可能（今回はPhotonしか検証していないが・・・）
 - ▷遮蔽材があると計算とシミュレーションの結果のズレが大きくなる
→測定器（Tally）の設定の問題か？
 - xyzかr-zしか選択できない（測定器を回転できない）
 - 面積・体積（ファントム）の設定
 - ▷放射線の挙動が確認可能

<謝辞>

許可変更申請のために作成した書類は生命情報学科の川上先生、長谷さんに確認していただきました。ありがとうございました。

