

## 参考資料-3. 1-1 JT-60における中性子発生量の評価

## 1. 目的

JT-60において重水素実験をすると、プラズマ中で $D(d, n)^3\text{He}$ 核融合反応により主に2.5 MeV中性子が発生する。また、プラズマ加熱のためにNBI加熱装置を重水素ビームで使用すると、NBI加熱装置自身からも、同様に2.5 MeV中性子が発生する。これらJT-60における中性子発生量を評価する。

## 2. 重水素プラズマから発生する中性子

核融合実験装置は、同じ装置運転条件のもとでも生成されるプラズマ性能が異なるため、その結果生じる中性子発生量も異なってくる。生成されるプラズマ性能の予測は、それ自体が核融合研究の最重要課題である。ここでは、これまでのJT-60及び他の大型装置の実績をふまえて、JT-60の重水素プラズマからの中性子発生量を評価する。

## 2. 1 最大中性子発生率の推定

## 1) 計算式

プラズマ中のDD反応による中性子発生率は、熱化したプラズマ成分によるもの（熱核融合成分）と、NBI加熱装置から入射される高速重水素ビームによるもの（ビーム核融合成分）の2種類から成る。この中性子発生率は、プラズマ断面内のプラズマ温度及びプラズマ密度の分布に依存し、以下のように評価できる<sup>1)</sup>。

$$F_{DD} = \int \frac{n_d^2(r)}{2} \langle \sigma_d v \rangle_t d^3r + \int n_b(r) n_d(r) \langle \sigma_d v \rangle_b d^3r$$

熱核融合                      ビーム核融合

ここで  $F_{DD}$  : 中性子発生率

$n_d(r)$  : 重水素イオンの粒子密度分布

$n_b(r)$  : 重水素ビームの粒子密度分布

$\langle \sigma_d v \rangle_t$  : 熱核融合反応率でプラズマ温度の関数<sup>2)</sup>

$\langle \sigma_d v \rangle_b$  : ビーム核融合反応率でプラズマ温度の関数

$d^3r$  : プラズマ体積要素

であり、

$$\langle \sigma_d v \rangle_t \equiv \int f_{Md}(v) \cdot f_{Md}(v') u \sigma_d(u) d^3v d^3v'$$

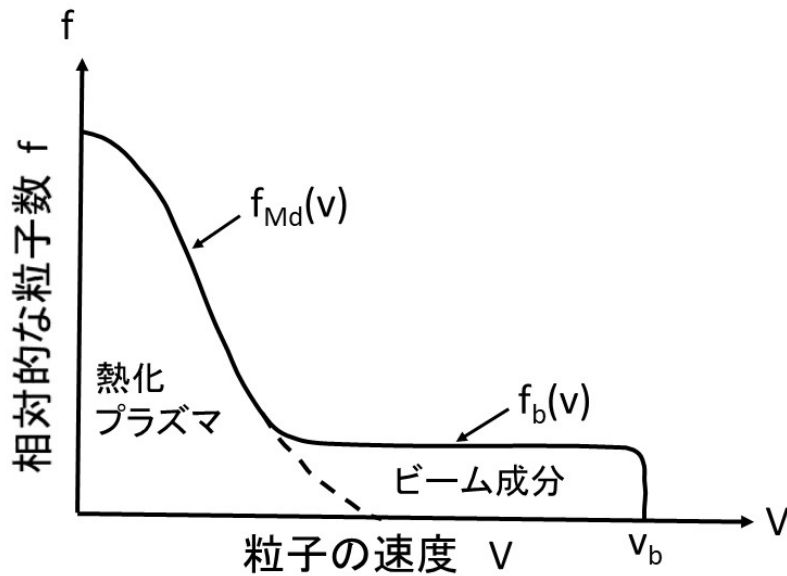
$$\langle \sigma_d v \rangle_b \equiv \int f_b(v) \cdot f_{Md}(v') u \sigma_d(u) d^3v d^3v'$$

$\sigma_d(u)$  : D(d, n) 3He 反応断面積<sup>3)</sup>

$u$  : 相対速度 =  $|v - v'|$

$f_{Md}(v)$  : Maxwell 分布関数  $\int f_{Md}(v) d^3v = 1$

$f_b(v)$  : ビーム粒子分布関数  $\int f_b(v) d^3v = 1$



右辺第 1 項の熱核融合反応による単位加熱入力当りの中性子発生量は、プラズマの温度と密度及び閉じ込め時間の積である核融合積によって定まる。第 2 項のビーム核融合反応による単位加熱入力あたりの中性子発生量は、プラズマの温度と密度及び入射ビームのエネルギーによって決まる。

## 2) 重水素プラズマの中性子発生量

中性子発生率の評価には、JT-60 プラズマ実験データとの比較から十分に信頼性と実績がある計算コード<sup>4)</sup>により一番中性子発生率の高い条件で評価すると  $1.5 \times 10^{17}$  (n/s) と JT-60 での許可値 ( $2.3 \times 10^{17}$  (n/s)) より低くなる。また、JT-60 での運転実績での最大の中性子発生率 ( $5.0 \times 10^{16}$  (n/s)) に比べ約 3 倍程度高い安全側の評価となる。この結果より JT-60 の実績から中性子発生量は安全側として、JT-60 と同一とする。

参考文献

- 1) D.L.Dolan : “Fusion Research” , Pergamon Press (1982) p.22
- 2) L.H.Hively : Nuclear Fusion 17 (1977) 873
- 3) B.H.Duane : BNWL-1685 (1972) 85
- 4) J.Garcia et al. : Nucl. Fusion, 54(2014)093010

### 3. NBI 加熱装置から発生する中性子発生量の評価

NBI 加熱用ビームに重水素を用いる時、NBI 加熱装置内部において、加速された重水素イオンと中性化セル中の重水素分子との衝突、及びビームダンプあるいはカロリメータ表面に吸着した重水素分子との衝突によって、D (d, n) <sup>3</sup>He 反応により 2.5MeV 中性子が発生する。その発生率を評価する。

#### 3. 1 単位時間当たりの中性子発生率

NBI 加熱装置での中性化セル及びビームダンプなどのビームターゲット部からの中性子発生率については、これまでの実験データを参考にして評価する<sup>1) - 5)</sup>。図 1 に銅ターゲット部からの中性子発生率及び中性化セルでの中性子発生率を示す。表 1 に NBI 加熱装置の使用条件を示す。

表 1 NBI 加熱装置使用条件

	プラズマ入射モード		コンディショニングモード	
	NBI 正イオン源	NBI 負イオン源	NBI 正イオン源	NBI 負イオン源
最大ビーム加速電圧	85 kV	500 kV	85 kV	500 kV
最大ビーム引出し電流	448 A	44 A	448 A	44 A

プラズマ入射モード：重水素実験時にプラズマに重水素ビームを入射する運転。

コンディショニングモード：加速電極の枯化運転。プラズマ入射しない。

##### 1) NBI (正イオン源) の中性子発生率

図 1 より、NBI (正イオン源) の 85 kV 448A の重水素ビームを銅ターゲットに入射した時の中性子発生率は、

$$2.5 \times 10^{10} \text{ (n/As)} \times 448 \text{ (A)} = 1.1 \times 10^{13} \text{ (n/s)}$$

であり、20%の安全率を考慮して最大  $1.3 \times 10^{13}$  (n/s) とする。

##### 2) NBI (負イオン源) の中性子発生率

図 1 より、NBI (負イオン源) の 500 kV 44A の重水素ビームを銅ターゲットに入射した時の中性子発生率は、

$$8.0 \times 10^{11} \text{ (n/As)} \times 44 \text{ (A)} = 3.5 \times 10^{13} \text{ (n/s)}$$

であり、20%の安全率を考慮して最大  $4.2 \times 10^{13}$  (n/s) とする。

なお、これら中性子発生率は、ビームダンプの表面が冷たくて多数の重水素粒子が付着した状態の場合であるが、実際のNBI加熱装置を最大運転条件で運転すると、ビームダンプ表面の温度が上昇し、重水素粒子の付着量が評価値より少なくなるので、中性子発生率は上記の値より低いと考えられる。

週間、3月間及び年間の中性子発生量は、研究の進捗に伴い運転のパルス幅やショット数が増えるが、中性子発生率がJT-60より低いあるいは同一なので、も、JT-60の実績から同一とする。また、週間、3月間及び年間の中性子発生量については、インターロックにより超えないよう管理する。

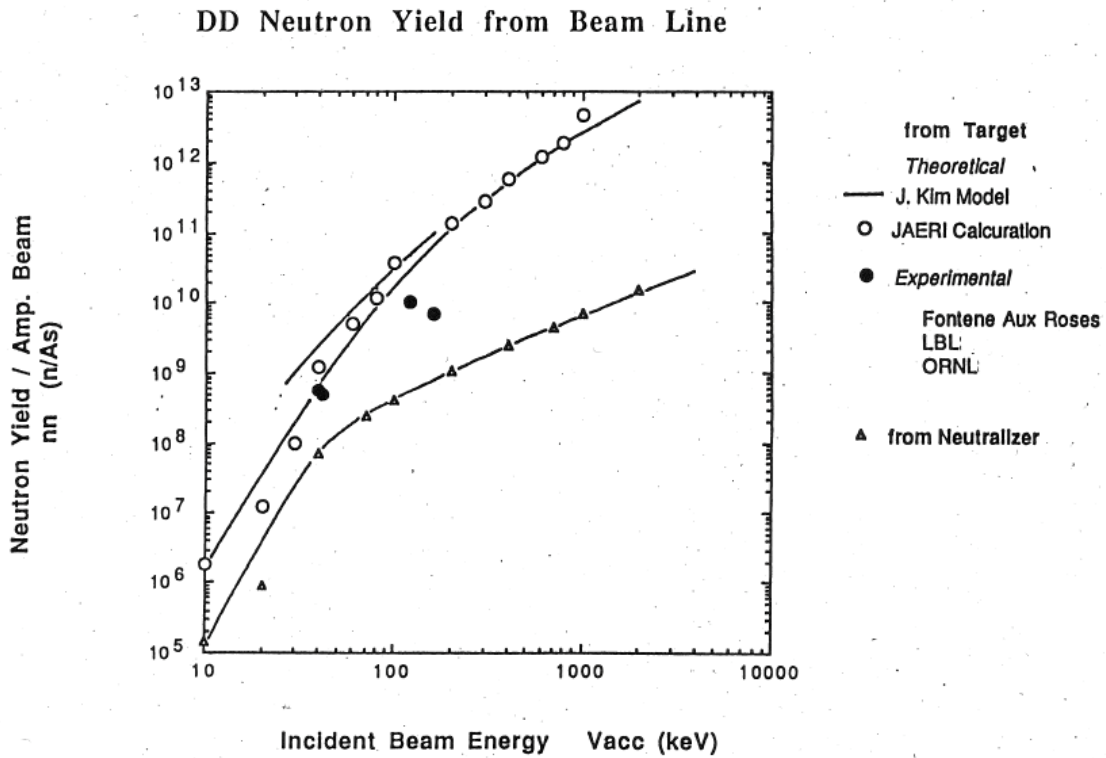


図1 NBI ビームラインから発生する中性子量

参考文献

- 1) J. Kim : Nucl. Technol., 44 (1979)315
- 2) K. H. Berkner, et al. : 8th Symp. Eng. Problems of Fusion Research (1979)857-860
- 3) M. Fumelli, et al. : Rev. Nucl. Instrum., 57(7), (1986), 1266
- 4) K. H. Berkner, et al. : Trans. Am. Nucl. Soc., 27(1977)799
- 5) J. Kim, et al. : ORNL/TM-7016

## 参考資料－3. 1－2 JT－60 実験棟本体室内・組立室内の実効線量評価

### 1. 目的

重水素放電時のプラズマからの中性子による JT-60 実験棟本体室内・組立室内の実効線量分布を求める。

### 2. 計算モデル

#### 2. 1 本体モデル

JT-60 本体の遮蔽構造を立断面図（図 2. 1a）と平断面図（図 2. 1b）に基づいて、図 2. 2a と図 2. 2b のような 3 次元 360° モデルで模擬する。この計算モデルでは、表 2. 1 に示す 3 次元遮蔽計算で考慮しているコンポーネントである真空容器、トロイダル磁場コイル、架台等の主要コンポーネントをモデル化している。

#### 2. 2 本体室モデル

図 2. 3a に JT-60 本体室の 3 次元計算モデルの鳥瞰図を、図 2. 3b に JT-60 本体室の 3 次元計算モデルの水平断面図を示す。本体室は、40m×40m、高さ 38. 5m で壁はコンクリート製（厚さ 2m）である。天井は、コンクリート（厚さ 0. 5m）とポリエチレン（厚さ 0. 15m）コンクリート（厚さ 0. 05m）で構成されている。このモデルでは本体室とは空間的につながっている組立室への中性子の漏洩は反映されているが、床、側壁に存在する多数の貫通孔から出て行く中性子のストリーミングがないものとしている。

#### 2. 3 組立室モデル

JT-60 本体室と同様に、図 2. 3a に JT-60 組立室の 3 次元計算モデルの鳥瞰図を、図 2. 3b に JT-60 組立室の 3 次元計算モデルの水平断面図を示す。組立室は、40m×40m、高さ 38. 5m で壁はコンクリート製（厚さ 1. 7m）である。天井は、コンクリート（厚さ 0. 5m）とポリエチレン（厚さ 0. 15m）コンクリート（厚さ 0. 05m）で構成されている。本体室と組立室の間は、床面から高さ 16m まではコンクリート壁（長さ 25m、厚さ 2m）及びポリエチレン遮蔽体（長さ 15m、厚さ 0. 35m）で仕切られるが、その上には高さ 22. 5m の開口部がある。そのために本体室から発生した中性子は、この開口部を通して組立室に漏洩する。このモデルでは本体室と同様に空間的につながっている組立室への中性子の漏洩は反映されているが、床、側壁に存在する多数の貫通孔から出て行く中性子のストリーミングがないものとしている。

#### 2. 4 各種物質の組成

各種コンポーネントは、表 2. 1 に示す物質の組成から構成されている。

## 2. 5 線源条件

図 2. 2 a の真空容器内で示したプラズマ領域から 2. 5MeV 中性子が 97%、14MeV 中性子が DD 中性子発生量の 3%発生するものとする。14MeV 中性子発生量と 2. 5MeV 中性子発生量との比の最大値は、欧州の Joint European Torus (JET) では $\sim 1. 4\%$ <sup>1)</sup>、米国の Tokamak Fusion Test Reactor (TFTR) では $\sim 1. 0\%$ <sup>2)</sup>、JT-60 で $\sim 1\%$ <sup>3), 4)</sup>である。線源は、JT-60 の実績に基づき最も高い中性子発生率を真空容器内部から等方的に発生させた。その際、中性子発生源であるプラズマの大きさは、線量評価及び遮蔽計算上最も厳しい条件とするため、真空容器内で生成するプラズマの最大の大きさとし、2次元軸対称の中性子体積線源を使用する<sup>5)</sup>。

## 3. 計算方法

### 3. 1 輸送計算法

3次元連続エネルギーモンテカルロ輸送計算コードである MCNP<sup>6)</sup>、PHITS<sup>7)</sup>により本体室・組立室内の中性子束とガンマ線束を求める。MCNP と PHITS で計算される中性子束とガンマ線束の比較については、主に 2. 5MeV 中性子を発生する JT-60 の場合、同じ評価済核データライブラリ (20MeV 以下)、幾何形状モデル及び線源を用いる限り、両者が一致することを確認している<sup>5), 8)</sup>。

### 3. 2 群定数

放射線輸送計算に用いる評価済核データライブラリーは JENDL4. 0<sup>9)~11)</sup>を用いる。

### 3. 3 線量換算係数

中性子束及びガンマ線束を ICRP74<sup>12)</sup>に基づく実効線量に換算する AP 係数(前方照射)を図 2. 4 と図 2. 5 に示す。

## 4. 計算結果

### 4. 1 実効線量の最大値

JT-60 装置の運転に伴い実験棟建家内で最も実効線量が高い値となるのは、本体室の装置中心部から東西南北 4 方向の最短距離 20m の位置 (高さは床面から 8m の位置) における壁部である。ここでは、代表として北壁部について記述する。図 2. 6 に JT-60 実験棟本体室・組立室の 1 階水平断面図を、図 2. 7 に JT-60 実験棟本体室・組立室の立断面図を示す。計算結果については、図 2. 8 に本体室内北壁の水平位置 (床面から 8m) における中性子とガンマ線の実効線量を、図 2. 9 に本体室内北壁にそっての高さ方向における中性子とガンマ線の実効線量を示す。本体室の装置中心部から最短距離 20m の位置 (高さは床面から 8m の位置) における壁部で最も高い数値となる。また、中性子の実効線量に比べてガンマ線の実効線量は約 2 桁小さくなる。

計算結果の妥当性については、図 2.10 に示すように、本体室の装置中心部に 2.5MeV 中性子の点線源を置いた（高さは床面から 8m）と仮定した場合の北壁での簡易計算結果では、 $2.5 \times 10^{-4}$  mSv/週となり、実際の 3次元計算モデルの遮蔽による減衰効果があると想定し図 2.8 と図 2.9 に示す 3次元計算による評価結果と照らし合わせると、評価結果は概ね妥当と考えられる。

#### 4. 2 本体室・組立室内の実効線量分布

JT-60 装置の運転に伴う実験棟本体室・組立室内の中性子実効線量分布の評価位置を図 2.11a と図 2.11b に示す。

JT-60 装置の運転に伴う実験棟本体室・組立室内（高さは床面から 8m）の中性子実効線量分布の評価結果をそれぞれ図 2.12a から図 2.12g に示す。

2. 3 節で記載したとおり、本体室と組立室の間は、床面から高さ 16m まではコンクリート壁及びポリエチレン遮蔽体で仕切られるが、その上には高さ 22.5m の開口部がある。そのために本体室から発生した中性子は、この開口部を通して組立室に漏洩する。3次元計算によると本体室から組立室に漏洩した中性子による組立室内壁面に沿った中性子実効線量分布は、本体室内壁面に沿った中性子実効線量分布の値に比べて約 1 桁小さくなると評価された。

#### 参考文献

- 1) P. Batistoni, et al, 1988 EPS P7 A1 07(1988).
- 2) J. D. Strachan, et al, 12<sup>th</sup> IAEA Conf. CN-50/A-IV-5 (1988).
- 3) M. Hoek et al, JAERI-M 94-002 (1994).
- 4) M. Hoek et al., Nucl. Instr. Methods A 368, 804-814 (1996).
- 5) A. M. Sukegawa et al., Progress in Nucl. Sci. Technol, Vol.1, 36-39 (2011)
- 6) MCNP6 Development Team, Los Alamos National Laboratory, LA-CP-13-00634, Rev.0 (2013).
- 7) T. Sato et al., J. Nucl. Sci. Technol. 55, 684-690 (2018)
- 8) 助川篤彦, 仁井田浩二, JAEA-Data/Code 2014-013 (2014)
- 9) I. K. Shibata et al., J. Nucl. Sci. Technol. 48(1), 1-30 (2011).
- 10) O. Iwamoto et al., Proc. the 2010 International Conference on Nuclear Data for Science and Technology (ND2010), J. Korean. Phys. Soc., 59(2), 1224-1229 (2011).
- 11) G. Chiba et al., J. Nucl. Sci. Technol., 48(2), 172-187 (2011).
- 12) ICRP Publication 74, 日本アイソトープ協会



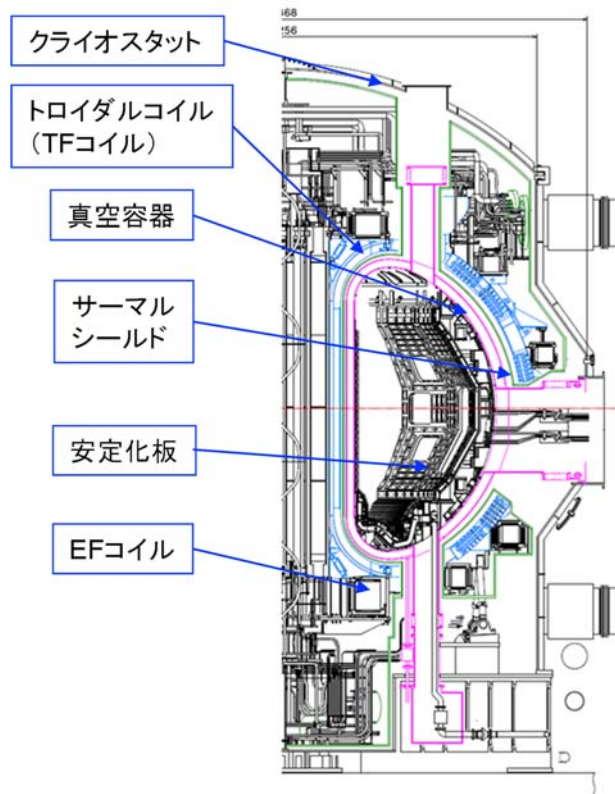


図2. 1a JT-60 本体立断面図

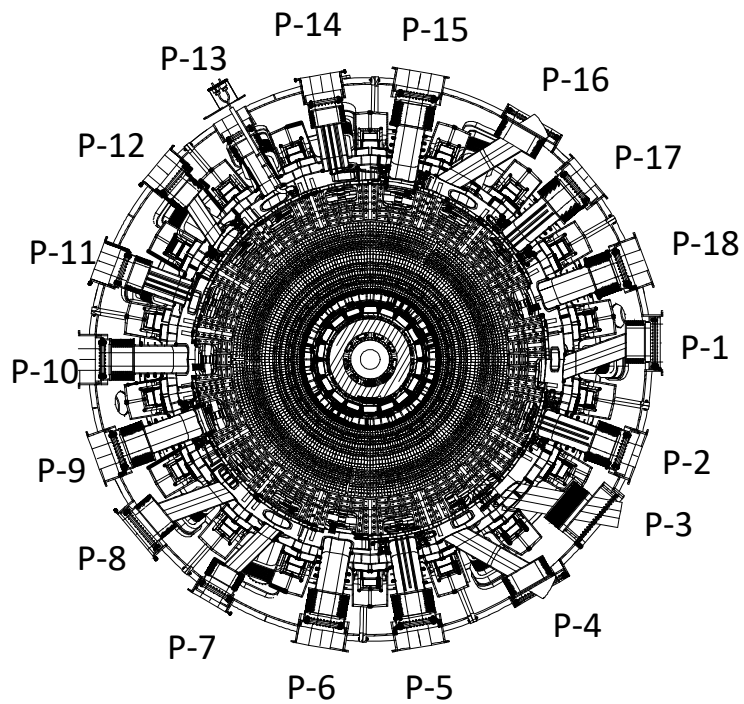


図2. 1b JT-60 本体水平断面図

表 2. 1 3次元遮蔽計算で考慮しているコンポーネント

Material Number	Component	Material
2	VV, Port	SS316L
3	TF Coil case	SS316LN
4	TF Coil insulator	SiO <sub>2</sub>
5	Cryostat Body	SS304
7	First Wall	Graphite
8	Upper Diverter Base	SS316L, Void
9	VVTS	SS316L, Void
10	Cryostat TS	SS316L, Void
11	TF Coil SC conduit	SS316L, Insulator, NbTi, Copper, He
12	Center Solenoid	SS316L, Insulator, Nb <sub>3</sub> Sn, Cu, He, Bronze
13	VV inner coil	SS316L, Water, Copper, SiO <sub>2</sub> , Void
14	Vacuum Vessel	N <sub>2</sub> ,
15	EF coil (1, 2, 5, 6)	SS316, Copper, NbTi
16	EF coil (3, 4)	SS316, Copper, NbTi
17	Lower Divertor Base	SS316L, Water, Cu, Void
18	Lower Divertor Heatsink assy	SS316L, Water, Cu, Void
19	Stabilizing Plate Base	SS316L, Void
20	Stabilizing Plate Heatsink	Copper, Water

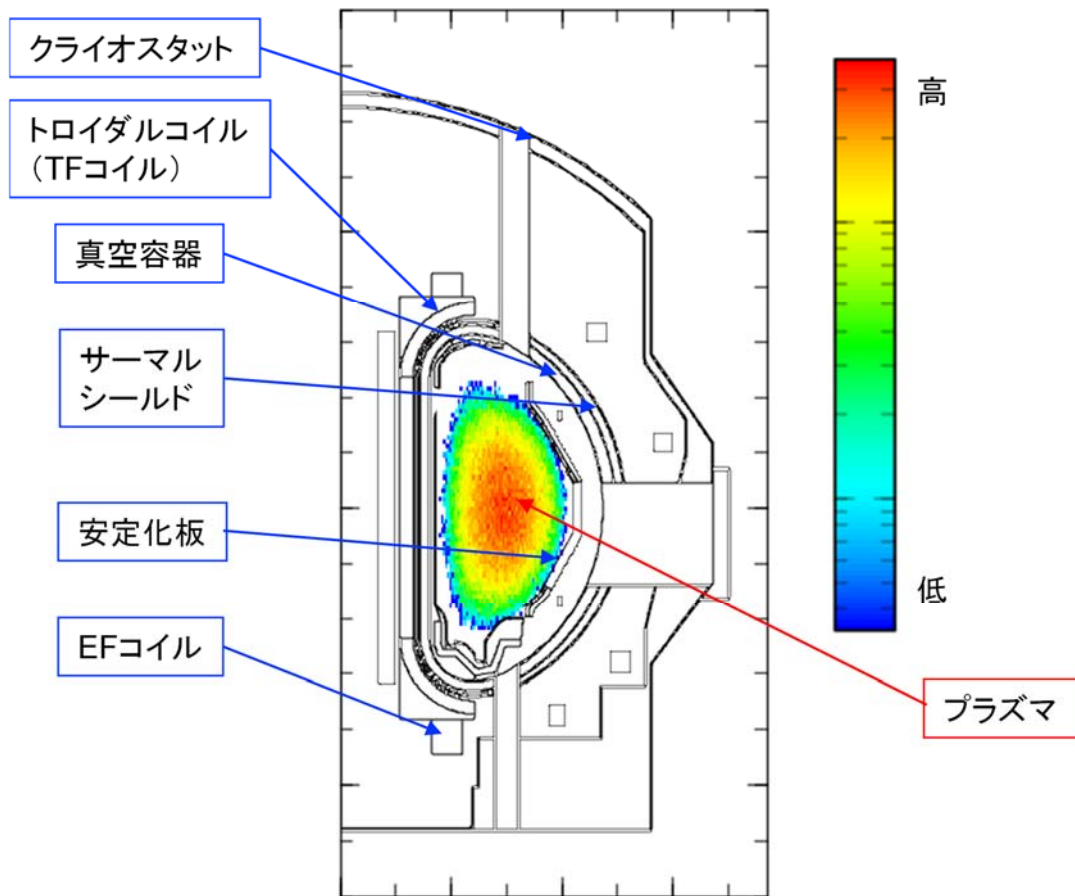


図2. 2a JT-60 本体計算モデル (2次元平面図)

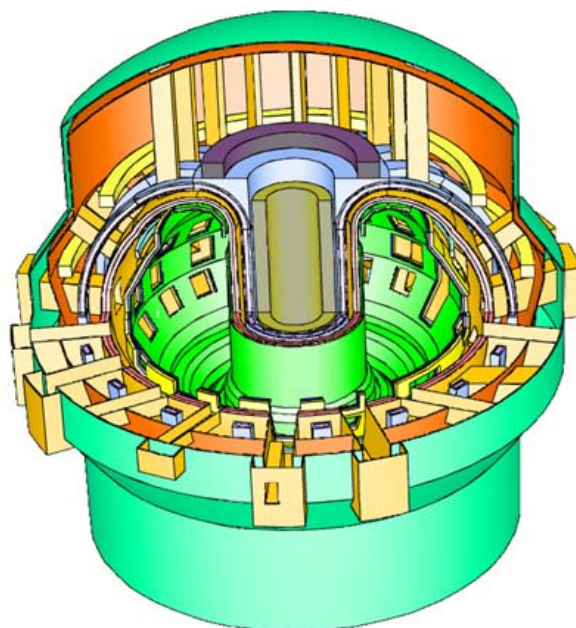


図2. 2b JT-60 本体計算モデル (3次元鳥瞰図、一部くり抜き)

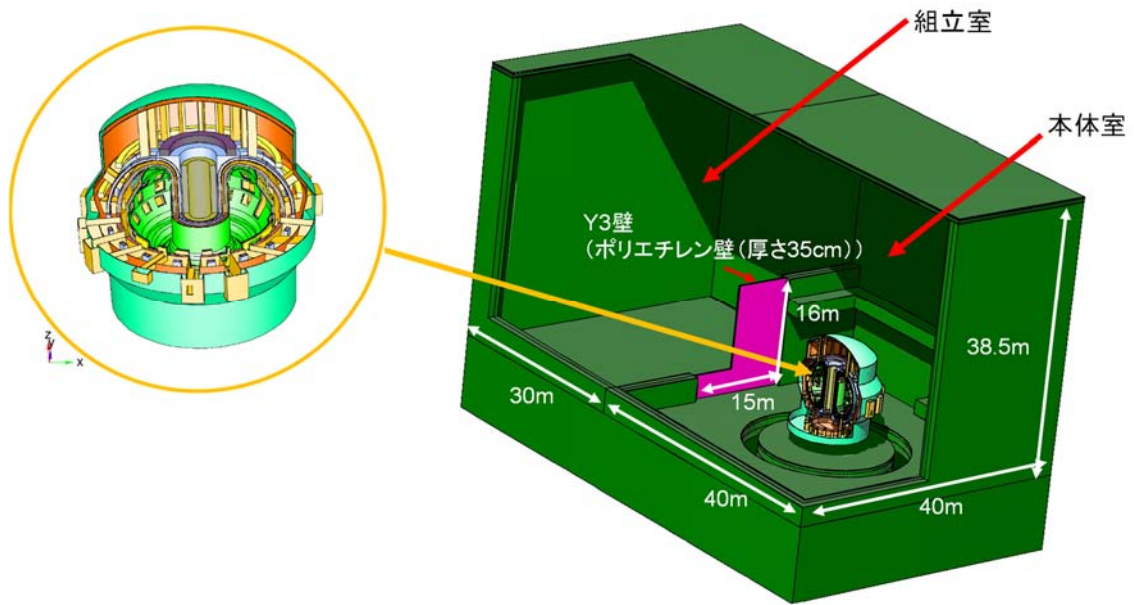


図2. 3a JT-60 装置と JT-60 実験棟 3次元モデル (鳥瞰図)

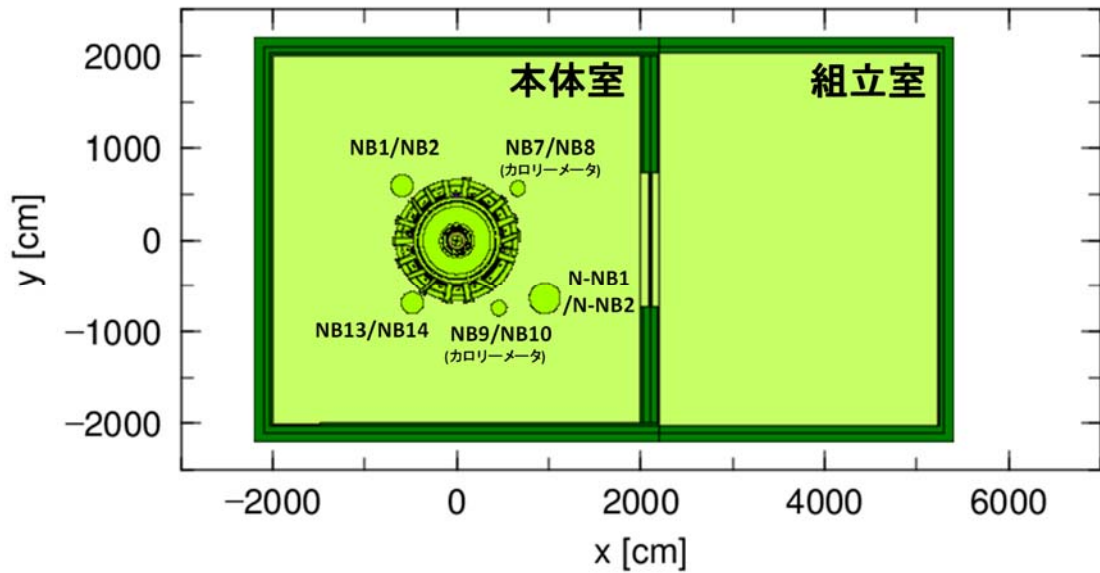


図2. 3b JT-60 装置と JT-60 実験棟本体室・組立室計算モデルの水平断面図

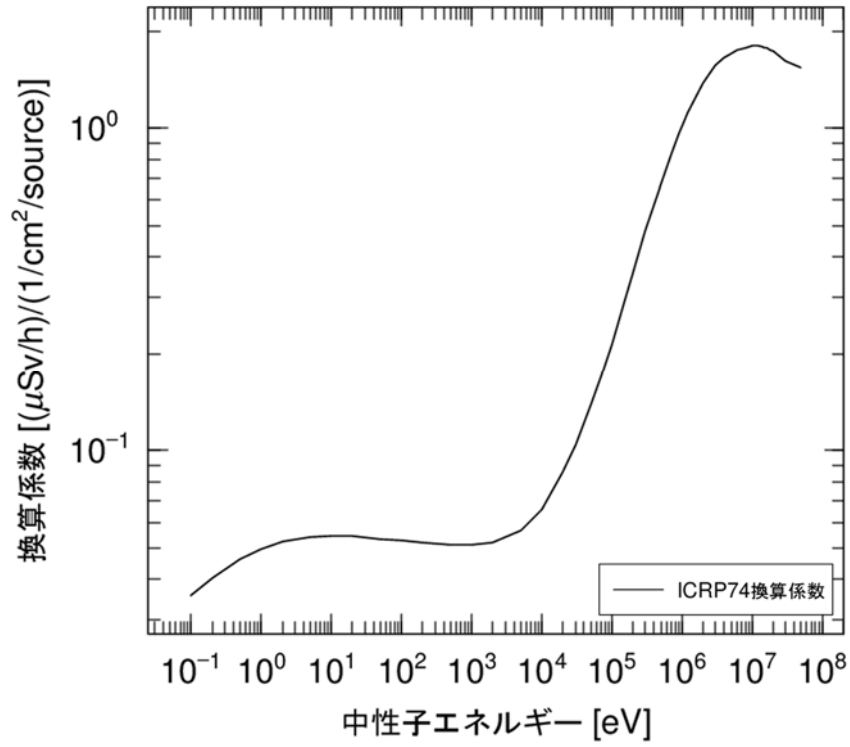


図 2. 4 中性子に対する ICRP74 実効線量換算係数 (AP)

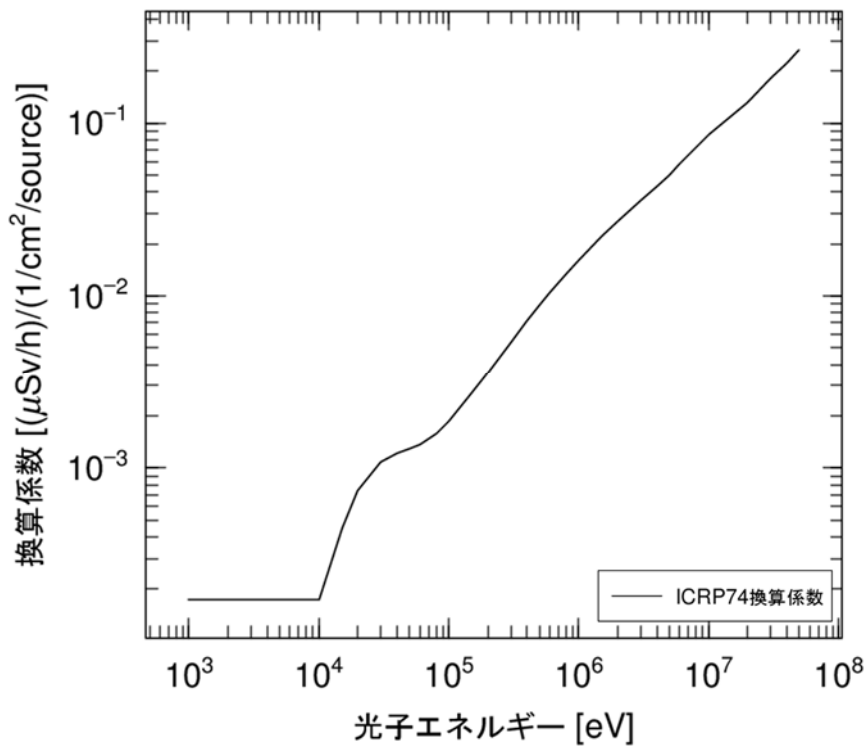


図 2. 5 ガンマ線に対する ICRP74 実効線量換算係数 (AP)

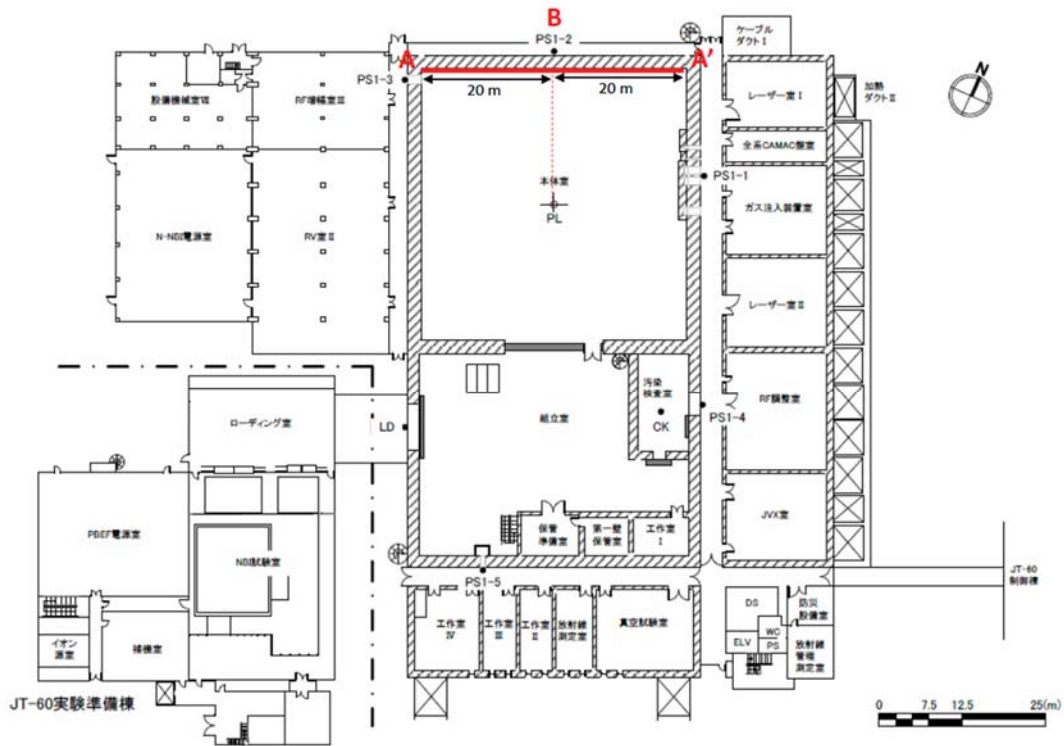


図2. 6 JT-60 実験棟本体室・組立室の1階水平断面図

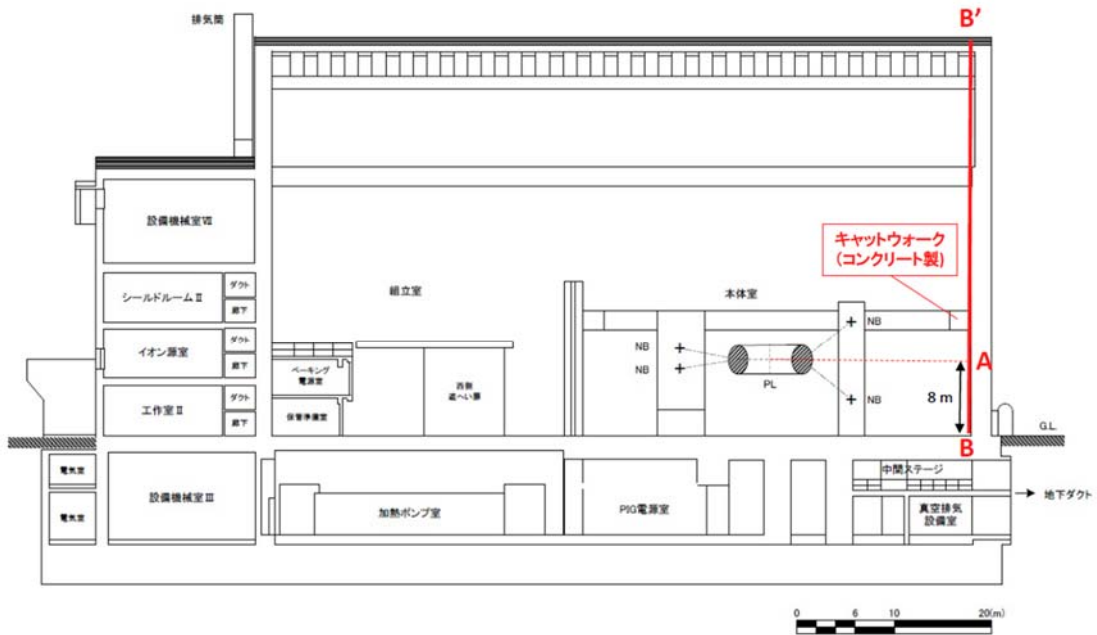


図2. 7 JT-60 実験棟本体室・組立室の立断面図

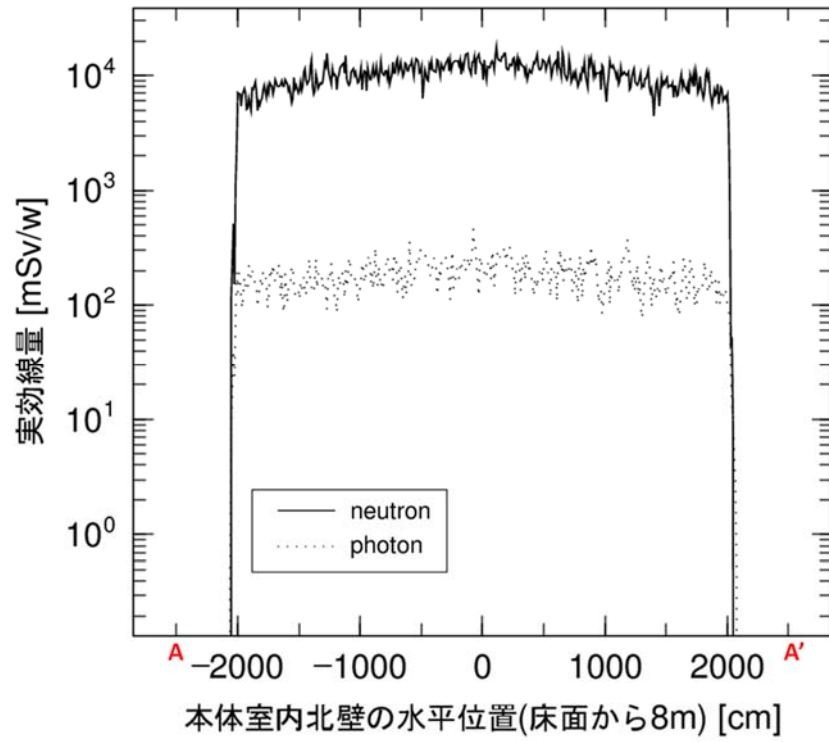


図 2. 8 本体室内北壁の水平位置（床面から 8m）における中性子とガンマ線の実効線量

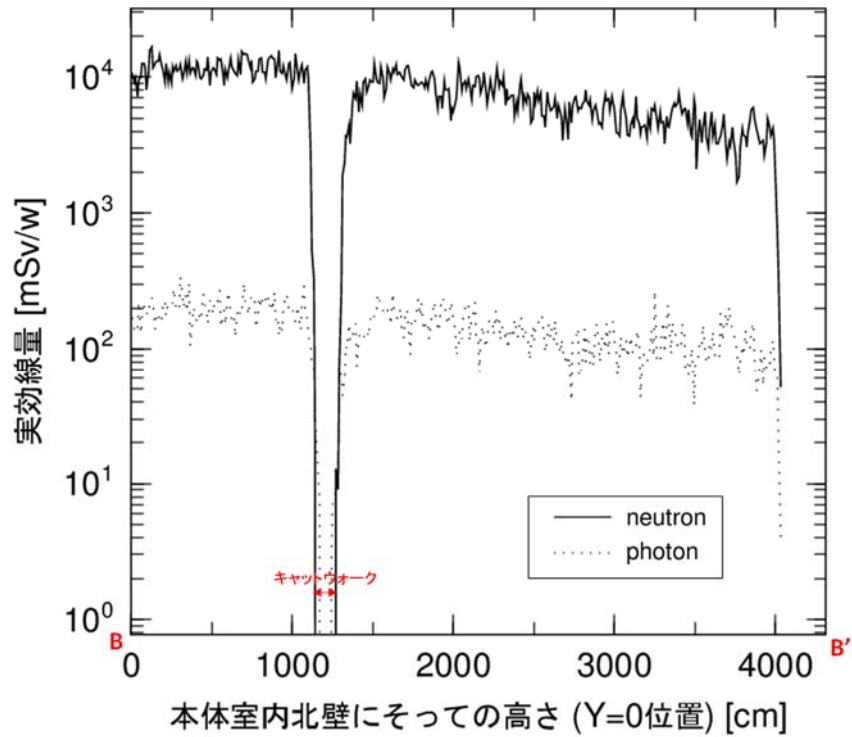


図 2. 9 本体室内北壁にそっての高さ方向における中性子とガンマ線の実効線量

### 簡易式による実効線量評価

週間中性子発生量:  $3.1 \times 10^{18}$ 個/週

点線源(2.45MeV中性子)  
20m位置でのフラックス

$$\Phi_{2.45} = \frac{2.3 \times 10^{17}}{4 \times 3.14 \times 2000^2} = 4.6 \times 10^9 \text{ (n/cm}^2\text{/s)}$$

点線源(2.45MeV中性子)  
20m位置での実効線量

$$\begin{aligned} D_{2.45} &= 4.6 \times 10^9 \text{ (n/cm}^2\text{/s)} \times 406.8 \text{ (pSv cm}^2\text{)} \\ &= 1.9 \times 10^{12} \text{ (pSv/s)} \\ &= 1.9 \times 10^{12} \text{ (pSv/s)} \times \frac{10^{-12}}{10^{-3}} \times \frac{3.1 \times 10^{18}}{2.3 \times 10^{17}} \\ &= 1.9 \times 10^{12} \text{ (pSv/s)} \times 10^{-9} \times 13 \\ &= 2.5 \times 10^4 \text{ (mSv/w)} \end{aligned}$$

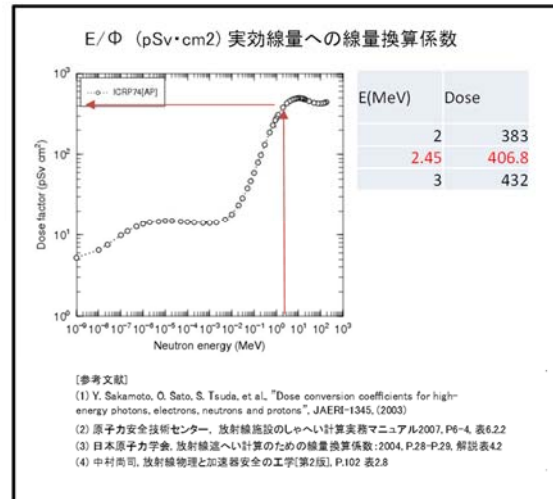


図2. 10 簡易式による実効線量評価結果



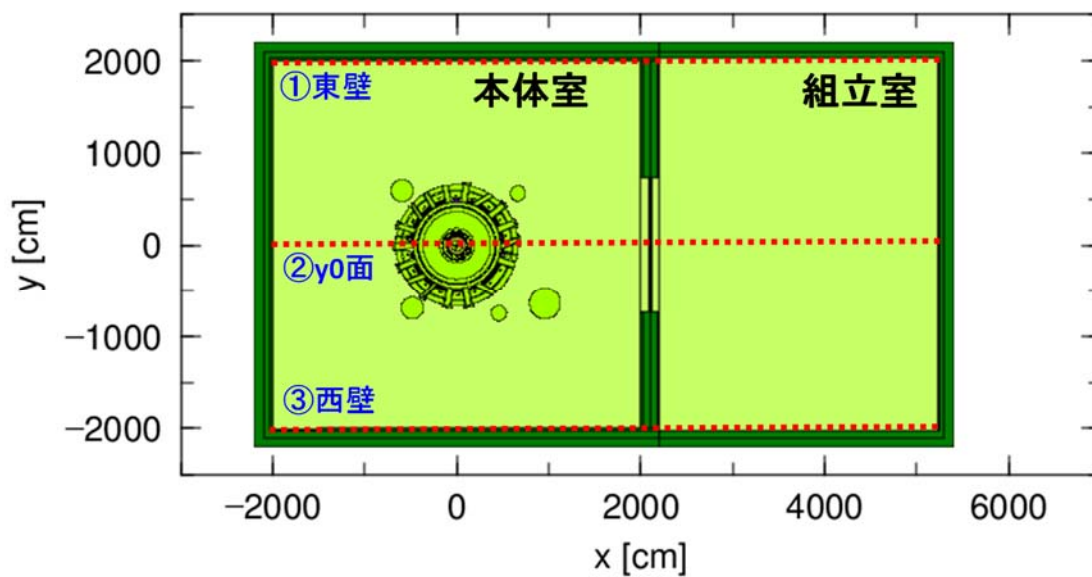


図 2. 1 1 a 本体室・組立室内の中性子実効線量評価位置

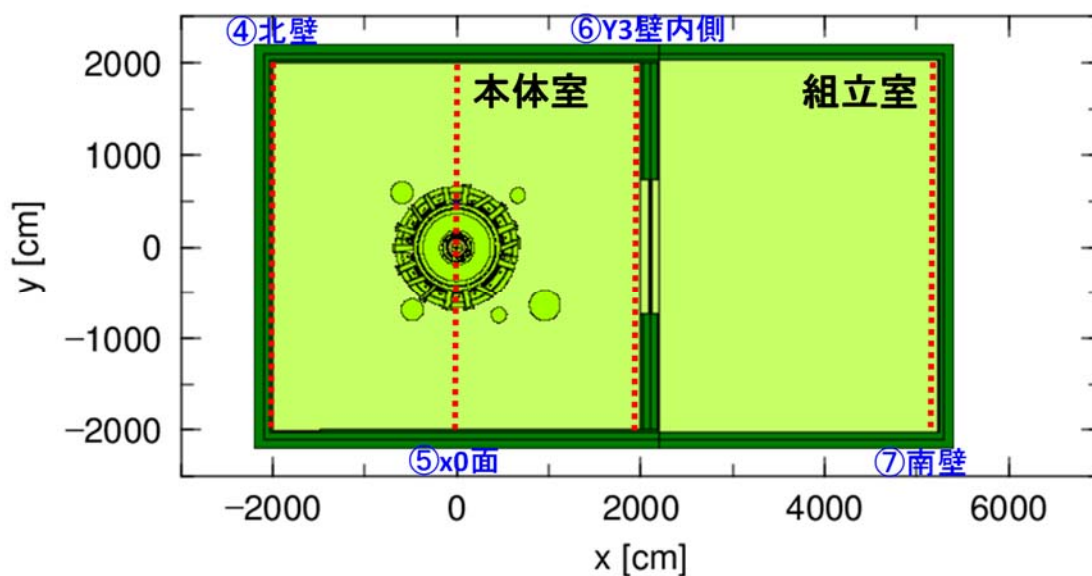


図 2. 1 1 b 本体室・組立室内の中性子実効線量評価位置

### ①東壁

中性子発生量 ( $3.1 \times 10^{18}$  [n/週])

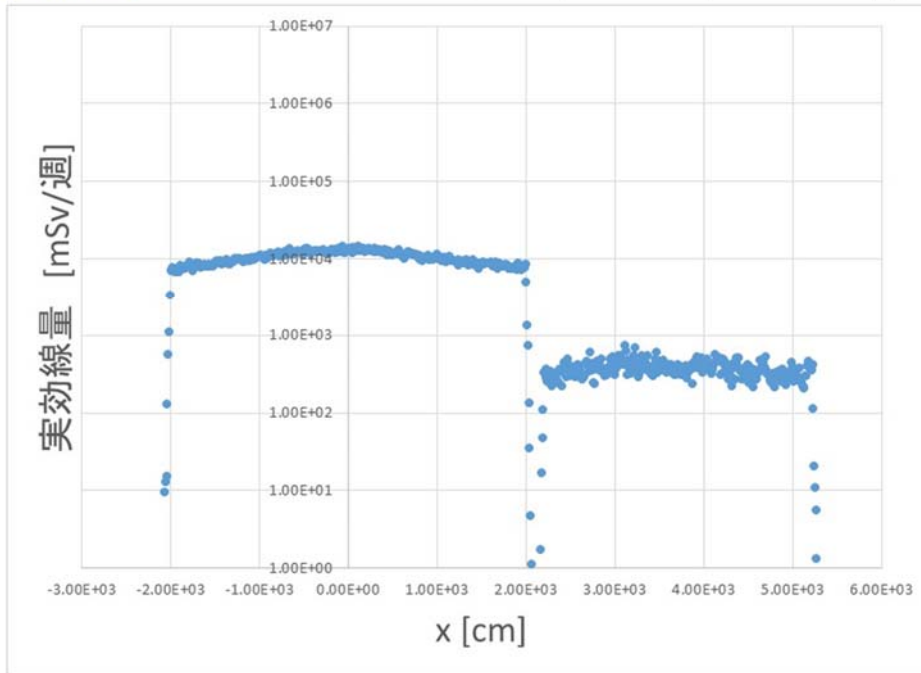


図 2. 1 2 a 本体室・組立室内東壁の中性子実効線量評価

### ②y0面

中性子発生量 ( $3.1 \times 10^{18}$  [n/週])

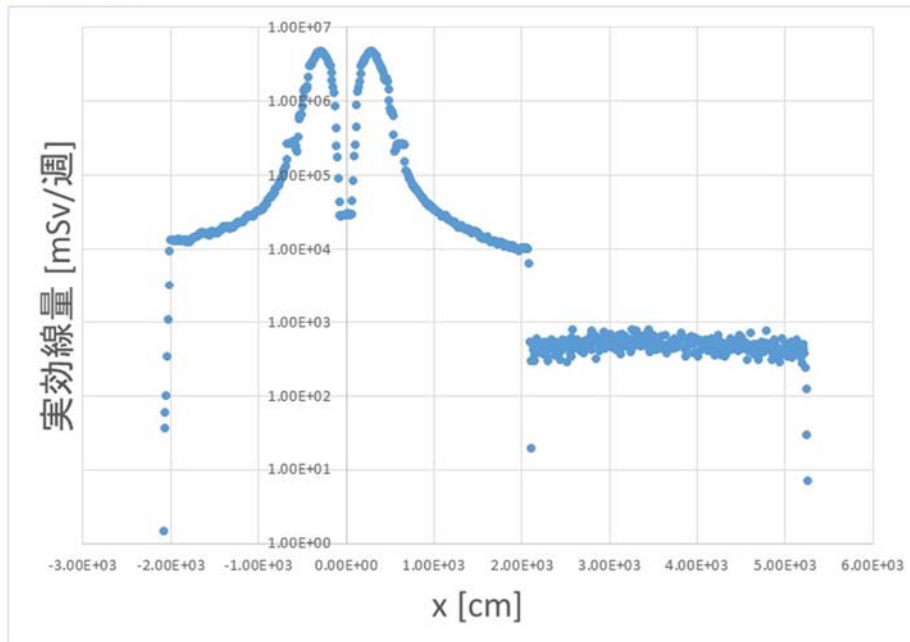


図 2. 1 2 b 本体室・組立室内 y0 面の中性子実効線量評価

### ③西壁

中性子発生量 ( $3.1 \times 10^{18}$  [n/週])

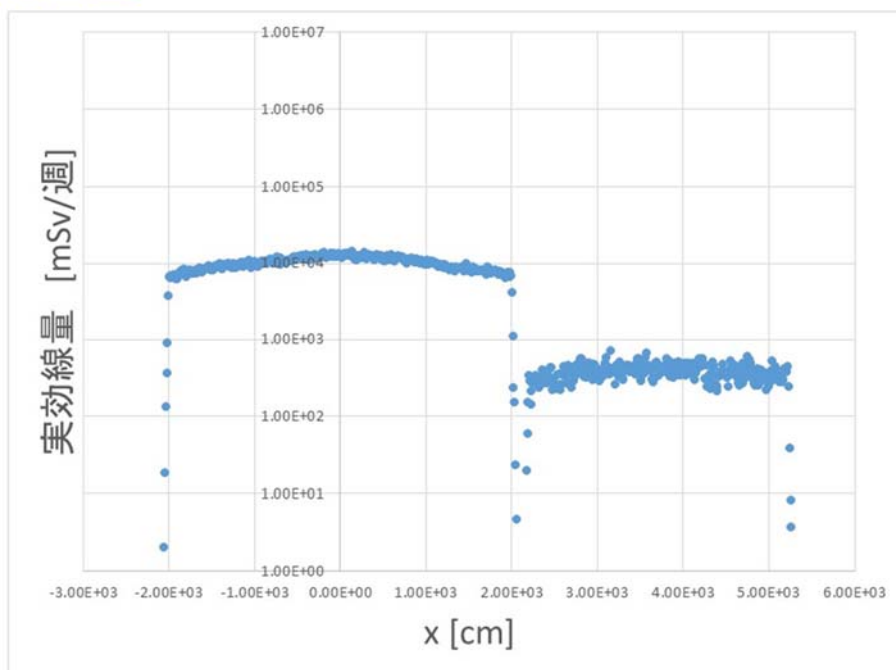


図 2. 1 2 c 本体室・組立室内西壁の中性子実効線量評価

### ④北壁

中性子発生量 ( $3.1 \times 10^{18}$  [n/週])

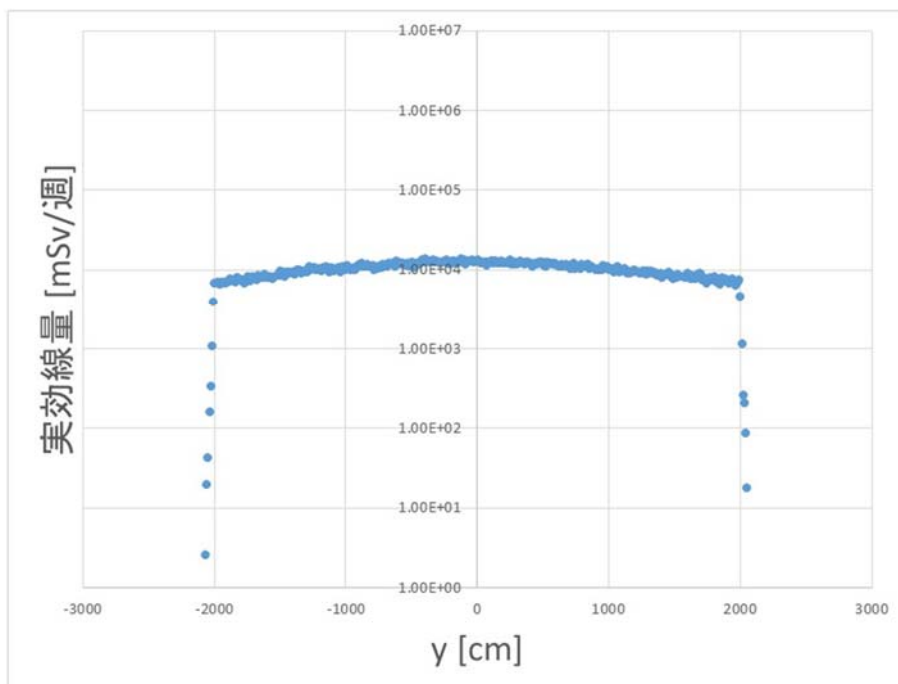


図 2. 1 2 d 本体室内北壁の中性子実効線量評価

⑤x0面

中性子発生量 ( $3.1 \times 10^{18}$  [n/週])

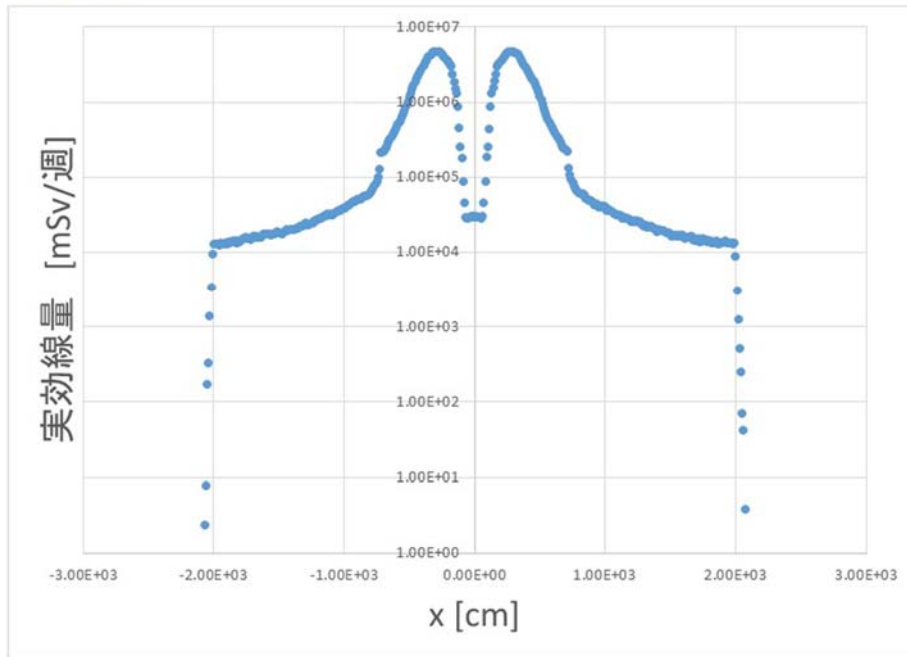


図2. 1 2 e 本体室内 x0 面の中性子実効線量評価

⑥y3壁内側

中性子発生量 ( $3.1 \times 10^{18}$  [n/週])

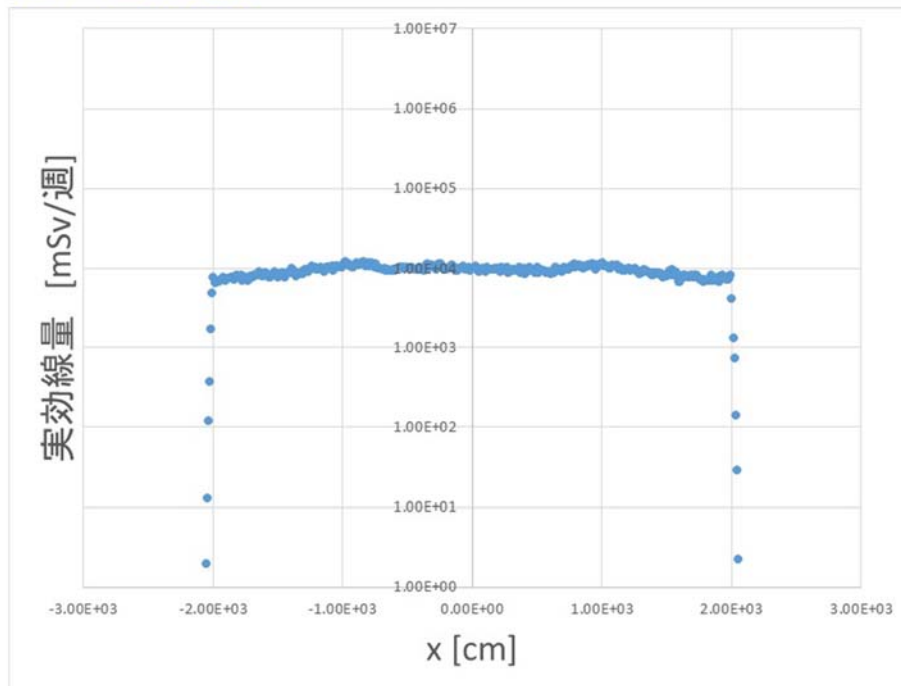


図2. 1 2 f 本体室内 y3 壁内側の中性子実効線量評価

⑦南壁

中性子発生量 ( $3.1 \times 10^{18}$  [n/週])

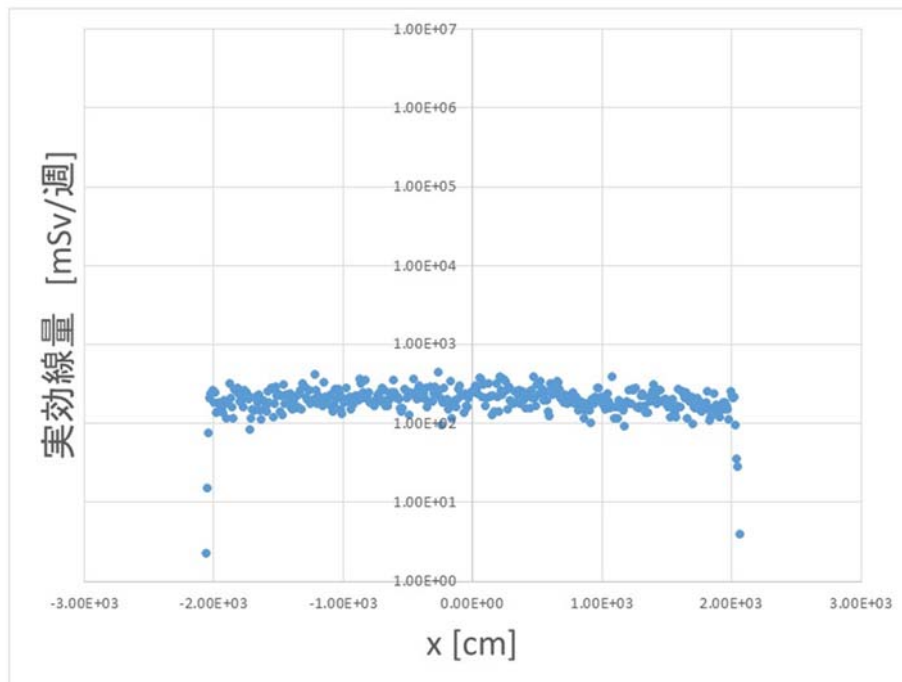


図2. 12g 組立室内南壁内側の中性子実効線量評価

## 参考資料－3. 1－3 JT－60 実験棟からのスカイシャイン実効線量評価

### 1. 目的

重水素放電時のプラズマからの中性子について、JT-60 実験棟からのスカイシャインによる周辺区域の実効線量を求める。

### 2. 計算モデル

#### 2. 1 本体モデル

JT-60 本体のモデル化は、参考資料－3. 1－2 と同じである。

#### 2. 2 本体室・組立室モデル

JT-60 実験棟本体室・組立室のモデル化は、参考資料－3. 1－2 と同じである。

#### 2. 3 線源条件

線源条件は、参考資料－3. 1－2 と同じである。なお、中性子発生量は NBI 加熱装置の分も考慮し  $2.0 \times 10^{19}$  (個/3月)、 $3.0 \times 10^{19}$  (個/年) としている。

### 3. 計算方法

#### 3. 1 輸送計算法

スカイシャイン実効線量の計算は、参考資料－3. 1－2 と同じ連続エネルギーモンテカルロ計算コード MCNP、PHITS を用いる。

#### 3. 2 群定数

放射線輸送計算に用いる評価済核データライブラリーは、参考資料－3. 1－2 と同じ JENDL4.0 を用いる。

#### 3. 3 線量換算係数

実効線量換算係数は、参考資料－3. 1－2 と同じ ICRP74 (AP 係数(前方照射))を用いる。

#### 3. 4 評価位置

JT-60SA の運転フェーズの中性子発生量に応じた事業所境界の実効線量評価地点を図 3. 1 に示す。図 3. 1 に示すように、JT-60 実験棟からみた事業所境界の 4 地点 (S, E, NW, W) とする。

#### 4. 計算結果

計算結果は、第Ⅱ章3. 1. 8. 4に示したとおりである。

事業所境界における実効線量（3月, 年間）について、中性子とガンマ線スカイシャインによる実効線量を表3. 1と表3. 2に示す。なお、3次元モンテカルロ計算結果に対する安全係数は2としている。

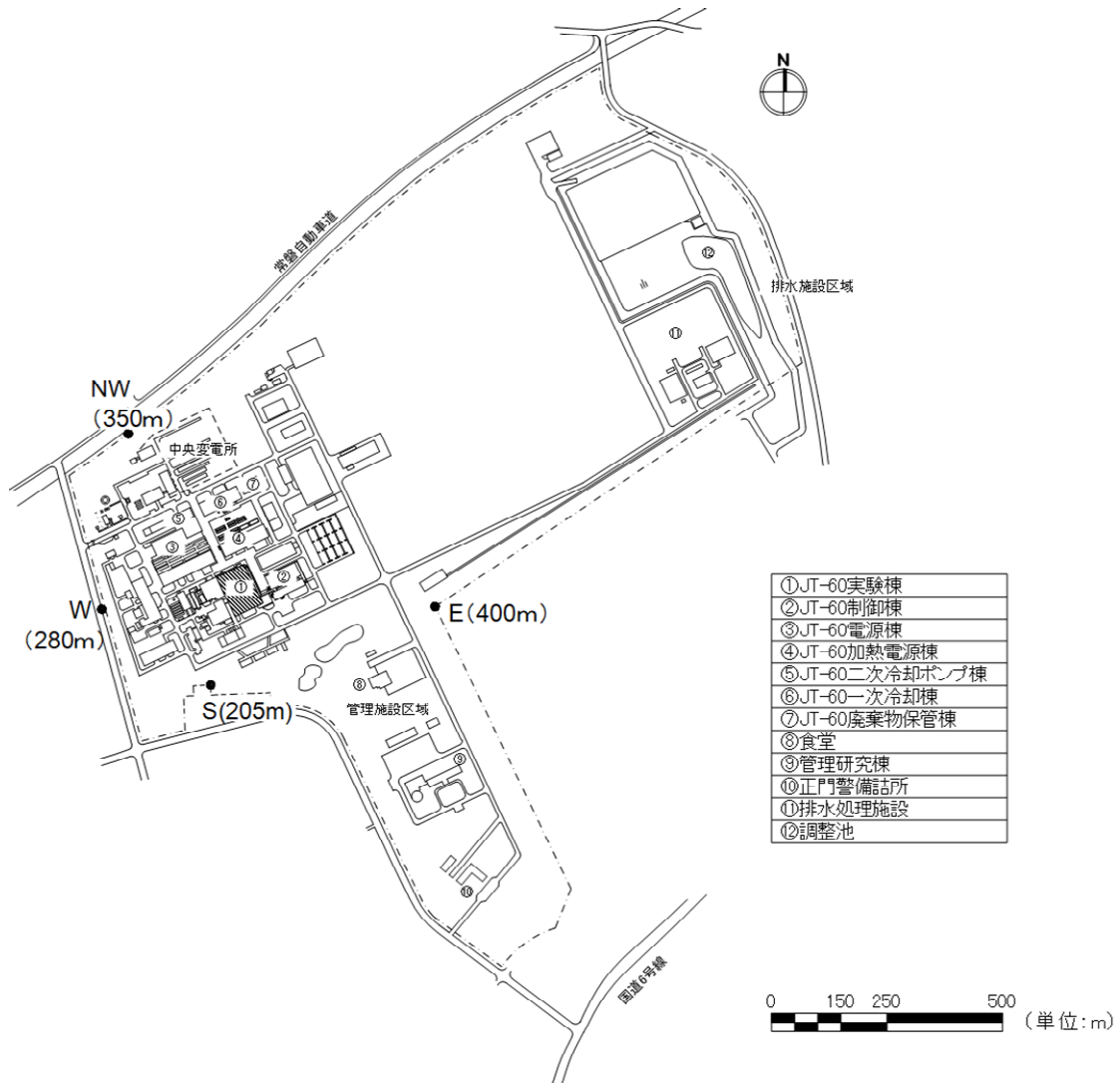


図3. 1 本体室中心より事業所境界までの評価地点とその距離

表3. 1 各評価地点における3ヶ月あたり実効線量

評価地点		本体室中心からの距離 (m)	3ヶ月あたり実効線量 (mSv/3月)		
			中性子	ガンマ線	合計
事業所南側境界	S	205m	6.15E-05	1.85E-03	1.92E-03
事業所西側境界	W	280m	3.03E-05	8.32E-04	8.62E-04
事業所北側境界	NW	350m	1.64E-05	4.17E-04	4.33E-04
事業所東側境界	E	400m	1.03E-05	2.61E-04	2.72E-04

表3. 2 各評価地点における年間実効線量

評価点		本体室中心からの距離 (m)	年間実効線量 ( $\mu$ Sv/y)		
			中性子	ガンマ線	合計
事業所南側境界	S	205m	9.22E-02	2.78E+00	2.87E+00
事業所西側境界	W	280m	4.55E-02	1.25E+00	1.29E+00
事業所北側境界	NW	350m	2.46E-02	6.25E-01	6.50E-01
事業所東側境界	E	400m	1.54E-02	3.92E-01	4.07E-01



## 参考資料－3. 1－4 NBI加熱装置からの中性子実効線量評価

### 1. 目的

NBI加熱装置（以後「NBI」と略称する）から発生する中性子の本体室内及びスカイシャイン実効線量を評価する。

### 2. 計算モデル

#### 2. 1 NBI加熱装置モデル

参考資料－3. 1－2の図2.3bに示したようにP-NBIはトロイダル方向に垂直2基の円筒タンクに各2ユニット、接線2基（カロリメータ位置）に各2ユニット、計8ユニットに分割して配置、N-NBIは1基の円筒タンクに2ユニット、計2ユニットに分割して配置されている。P-NBIは厚さ2cm、N-NBIは厚さ2.2cmのステンレス鋼のタンクで模擬する。スカイシャイン計算形状は、参考資料－3. 1－3と同じである。

#### 2. 2 線源条件

この章ではNBIからの中性子の実効線量を求めるのが目的なので、NBIを模擬した上下2領域それぞれのほぼ中心の位置に、その各々の領域から計 $1.1 \times 10^{18}$  (個/3月)、 $1.8 \times 10^{18}$  (個/年)のDD中性子(2.5MeV)が発生するとする。この時、プラズマ領域からの中性子の発生はないものとする。

### 3. 計算方法

輸送計算法、群定数、線量換算係数等は、全て参考資料－3. 1－2及び3. 1－3と同じである。

### 4. 計算結果

計算結果は、第II章3. 1. 8. 4に示したとおりである。

事業所境界における実効線量(3月,年間)について、中性子とガンマ線スカイシャインによる実効線量を表3. 1と表3. 2に示す。なお、3次元モンテカルロ計算結果に対する安全係数は2としている。

表3. 1 各評価地点における3ヶ月あたり実効線量

評価地点		本体室中心からの距離 (m)	3ヶ月あたり実効線量 (mSv/3月)		
			中性子	ガンマ線	合計
事業所南側境界	S	205m	1.53E-04	3.50E-04	5.03E-04
事業所西側境界	W	280m	8.30E-05	1.24E-04	2.07E-04
事業所北側境界	NW	350m	6.09E-06	7.28E-05	7.89E-05
事業所東側境界	E	400m	7.89E-07	4.67E-05	4.75E-05

表3. 2 各評価地点における年間実効線量

評価点		本体室中心からの距離 (m)	年間実効線量 ( $\mu$ Sv/y)		
			中性子	ガンマ線	合計
事業所南側境界	S	205m	2.50E-01	5.73E-01	8.23E-01
事業所西側境界	W	280m	1.36E-01	2.03E-01	3.39E-01
事業所北側境界	NW	350m	9.97E-03	1.19E-01	1.29E-01
事業所東側境界	E	400m	1.29E-03	7.65E-02	7.78E-02