

中部シンクロトロン光利用施設（仮称）の放射線遮蔽壁の検討

高嶋圭史¹, 森本浩行¹, 保坂将人¹, 山本尚人¹, 加藤政博^{2,1}, 渡邊信久¹, 竹田美和¹
¹名大SRセンター, ²UVSOR

中部シンクロトロン光利用施設（中部SR施設）の加速器は、50MeV線形加速器、1.2GeVブースターシンクロトロン、1.2GeV電子蓄積リングで構成される。これらの配置として、下図のように電子蓄積リングの内側にブースターシンクロトロンと線形加速器を設置する案が進んでいる。電子蓄積リングの周長は約70m、ブースターシンクロトロンの周長は約50mである。遮蔽壁は、電子蓄積リングの外側、ブースターシンクロトロンと蓄積リングの間、ブースターシンクロトロン内側の3重とし、もっとも内側の遮蔽壁のさらに内側にクライストロンなどを設置する。電磁石電源等は、遮蔽トンネルの天井の上に配置する。遮蔽トンネルの天井の一部には、矩形のコンクリート板で取り外し可能なふたを作っておき、これらを取り外すことで、実験ホールのクレーンにより、基幹チャンネル部や挿入光源、超伝導電磁石にアクセスする。中部SR施設におけるバルク遮蔽の厚さ、形状等の検討を行ったので報告する。

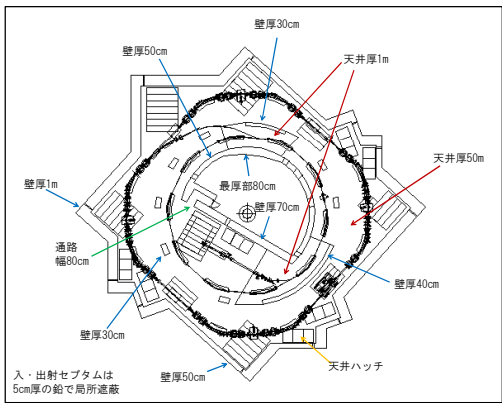


図1 遮蔽壁

- <線量計算の条件>
1. 運転方法の仮定
24時間運転とし、蓄積された電子（300mA）は2時間で全て損失すると仮定
 2. ビーム損失点・損失電子数の仮定（図2）
①ライナックからブースターへの入射効率 5%
②ブースター加速時に10%損失
③ブースターの出射効率 20%
④蓄積リング入射セタムでの入射効率 20%
⑤蓄積リングで蓄積中に損失 100%
※②は③に含め、⑤は④に含めて計算した

- <計算方法>
- 線源（ビーム損失点）として3ヶ所を選定した（A：ブースター入射点、B：ブースター出射点、C：蓄積リング入射点）。
 - 線量評価点は①前方（0°）、②側方（90°、270°）、③上方を選定した。
 - スカイシャインの計算は、図3のように蓄積リング天井の各円環領域での線量率の代表値を Q_i として、その値に円環領域の面積をかけ、それを全領域について合計することにより線量率分値を計算した
(参考：JAEI1-Tech98-009「大型放射線施設Spring-8の放射線遮蔽と安全評価」)

表1 加速器パラメーター

【蓄積リング】	
蓄積電子エネルギー	1.2 GeV
周長	72.0 m
蓄積電流	300 mA以上
エミッタンス	53 nm-rad
エネルギー広がり	8.41×10^{-4}
ベータトロンチューン	(4.72, 3.23)
モンタージュコンパクションファクター	0.020
エネルギーロス	86.2 keV/turn
周回波数	4,164 MHz
RF周波数	500 Hz
ハーモニック数	120
RF加速電圧	500 kV
RFノックアウト	RFノックアウト
常伝導偏向電磁石(1.4T)	偏向角9° × 8台
超伝導偏向電磁石(5T)	偏向角12° × 4台
ラティス構成	Triple Bendセル4回対称
挿入光源用直線部	5.2 m × 1本, 4.3 m × 1本

【1.2GeVブースターシンクロトロン】	
入射エネルギー	50 MeV
最高エネルギー	1.2 GeV
偏向電磁石磁場	1.0 T
周長	48.0 m
エミッタンス	約 200 nm-rad
RF加速周波数	500 MHz
加速繰り返し	1 Hz
電流	20 mA
ハーモニック数	80

【直線加速器】	
電子エネルギー	50 MeV
ビーム電流	60 mA
パルス幅	< 160 nsec
加速繰り返し	1 Hz

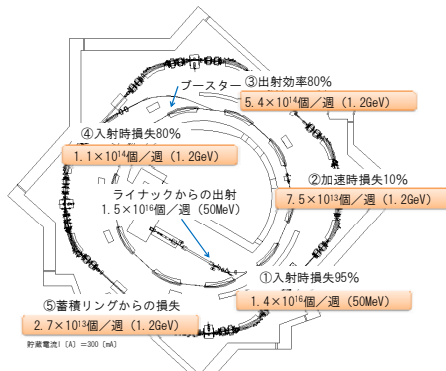


図2 損失電子割合及び損失電子数

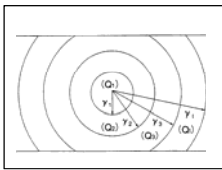


図3 スカイシャインの計算

表2 計算式

前方ガンマ線量	[1] $H_0 = 1.0 \times 10^{-18} \cdot (10 \times E_0)^{1.47} \cdot r^{-2} \cdot \exp(-\rho \cdot d \cdot \mu_{\text{air}})$ (Sv/e)
前方中性子線量	[2] $H_n = E_0 \cdot (\sin \theta / r)^2 \cdot [S_0 \cdot \exp(-\rho \cdot d \cdot (\lambda_1 \cdot \sin \theta)^{-1}) \cdot (1 - 0.72 \cos \theta)^{-2} + S_1 \cdot \exp(-\rho \cdot d \cdot (\lambda_2 \cdot \sin \theta)^{-1}) \cdot (1 - 0.75 \cos \theta)^{-2}] + 3.79 \times 10^{-11} \cdot Z^2 \cdot \exp(-\rho \cdot d \cdot (\lambda_3 \cdot \sin \theta)^{-1})$ (Sv/e)
側方ガンマ線量	[3] $H_0 = E_0 \cdot (\sin \theta / r)^2 \cdot [1.33 \times 10^{-11} \cdot \exp(-\mu_p \cdot d / \sin \theta) \cdot (1 - 0.98 \cos \theta)^{-1} + 0.267 S_0 \cdot \exp(-\rho \cdot d \cdot (\lambda_1 \cdot \sin \theta)^{-1}) \cdot (1 - 0.75 \cos \theta)^{-2}]$ (Sv/e)
側方中性子線量	[2] $H_n = E_0 \cdot (\sin \theta / r)^2 \cdot [S_0 \cdot \exp(-\rho \cdot d \cdot (\lambda_1 \cdot \sin \theta)^{-1}) \cdot (1 - 0.72 \cos \theta)^{-2} + S_1 \cdot \exp(-\rho \cdot d \cdot (\lambda_2 \cdot \sin \theta)^{-1}) \cdot (1 - 0.75 \cos \theta)^{-2}] + 3.79 \times 10^{-11} \cdot Z^2 \cdot \exp(-\rho \cdot d \cdot (\lambda_3 \cdot \sin \theta)^{-1})$ (Sv/e)

- [1] M. Sakano et al., Radiat. Prot. Dosim., 37 (1991) 165.
- [2] T. M. Jenkins, Nucl. Instr. Meth., 159, (1979) 265.
- [3] H. Dinter and K. Tesch, Nucl. Instr. Meth., 143, (1977) 349.

- E_0 : 電子エネルギー
 r : 放射線発生場所から測定点までの距離
 ρ : 遮蔽の密度
 d : 遮蔽の厚さ
 μ : 減衰係数
 μ_p : 中性子の減弱係数
 θ : 遮蔽への電子の入射角度
 θ : 電子の進行方向に対する測定点の方向
 $S_{0,1}$: 中性子の実効的な発生強度
 Z : 真空タクトの原子番号

放射線量の計算結果

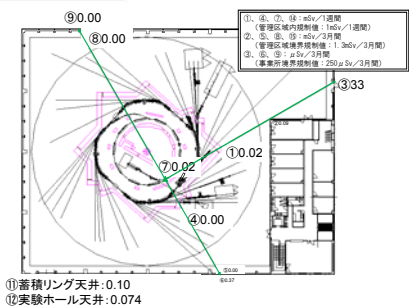


図4 ビーム損失点A（ブースター入射点）からの線量

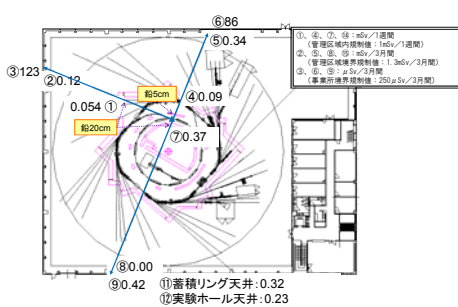


図5 ビーム損失点B（ブースター出射点）からの線量

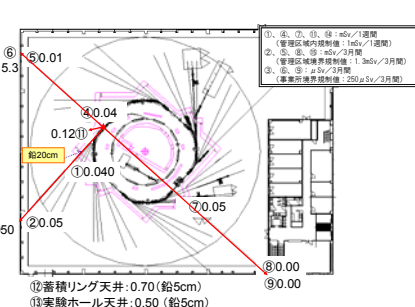


図6 ビーム損失点C（蓄積リング入射点）からの線量

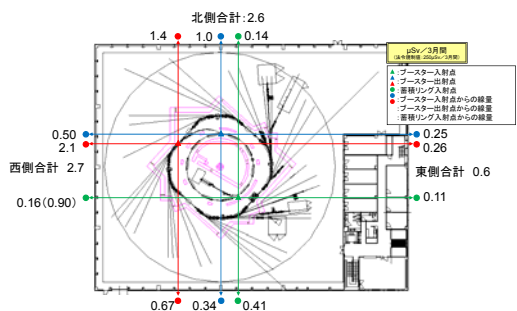


図7 スカイシャイン

<今後の課題>

- ライナックからの線量
- 貫通からのストリーミング
- 空気及び冷却水の放射化確認
- ビームラインの遮蔽（タンステン等の放射線シャッター）の設置

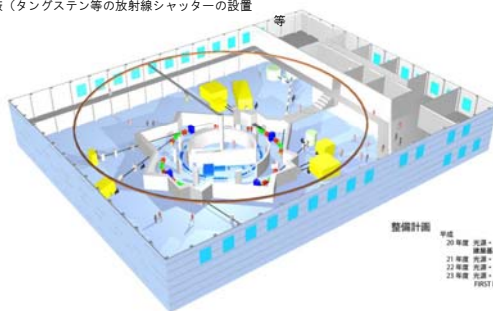


図8 建屋鳥瞰図