

放射線遮蔽検討状況

芳賀、佐々木、長橋、坂中

第34回ERL検討会(2009・07・24)

これまでの経過

- 2月13日の関係者打合せの結果を受けて、
放射線遮蔽計算に必要なジオメトリーをまとめた。
(ビーム損失場所、ターゲット材質、遮蔽体までの距離、遮蔽体の大きさ・材質)
 - 式による評価(Excelワークシートあり)
- 放射線科学センターの佐々木さんに計算を依頼。
- Jenkinsの式にもとづく計算をこちら側でも可能にする準備を行う。
- 細かい条件を様々に変更して計算。

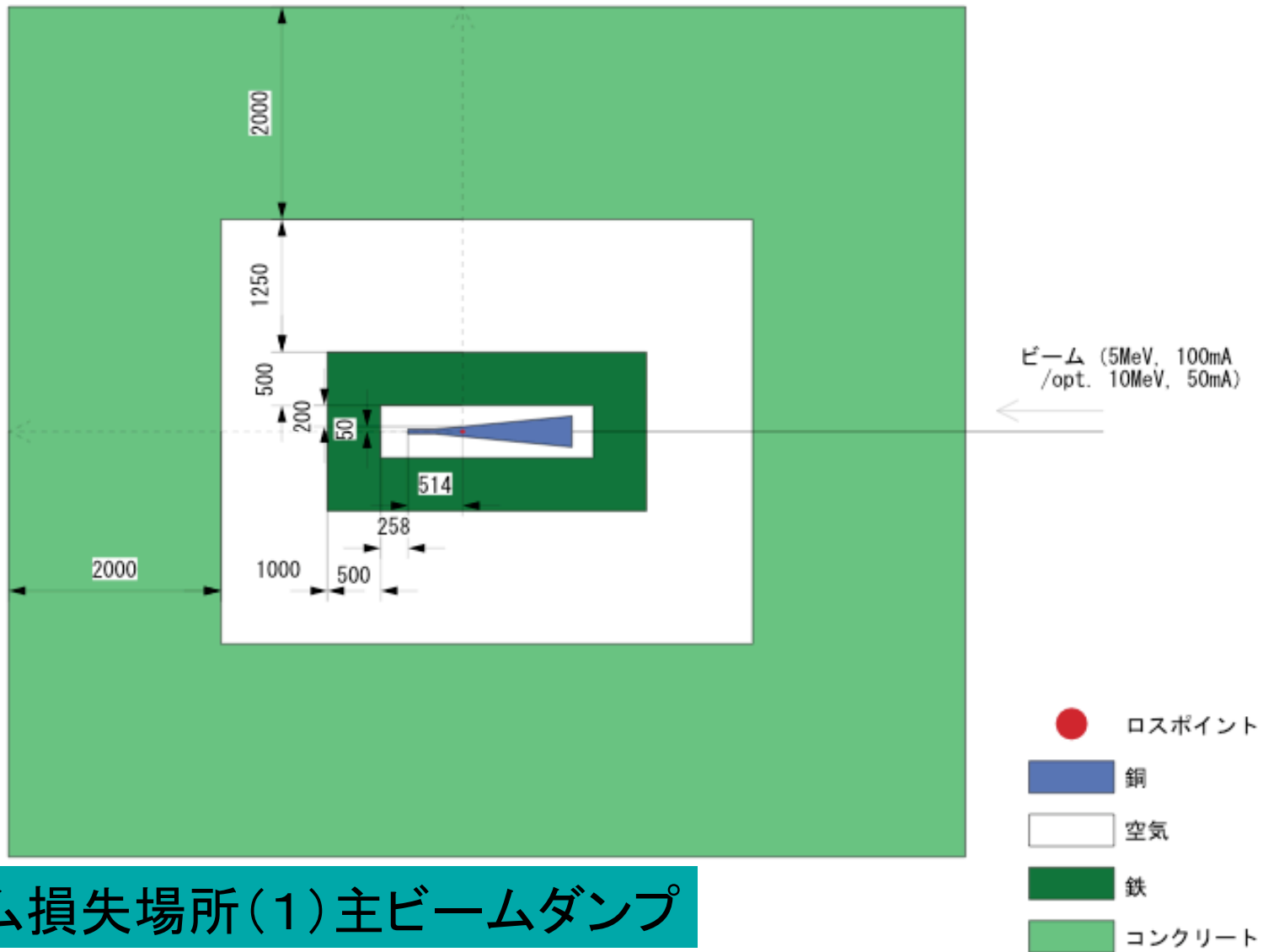
ビーム損失に関する仮定

2009/2/13 議論

- ・遮蔽壁として、コンクリート100cm+鉄50cm を仮定
- ・主ビームダンプは、コンクリート200cm+鉄50cm
- ・ビーム損失点から、0度と90度方向それぞれ計算

	ビーム損失場所	ビーム損失量	備考
(1)	主ビームダンプ	5 MeV, 100 mA	オプションとして、10 MeV.50 mA ダンプ遮蔽体の銅は鉄として計算 中性子の発生なしと仮定
(2)	周回部第1ベンド (ロス、暗電流)	E = 200 MeV I = 10 μ A	
(3)	周回部第6ベンド (暗電流)	E = 200 MeV I = 10 μ A	
(4)	合流部 (ロス、暗電流)	E = 10 MeV I = 10 μ A	中性子の発生なしと仮定
(5)	調整用ビームダンプ	E = 10 MeV I = 100 μ A	中性子の発生なしと仮定
(6)	全周ばらまき	E = 200 MeV I = 1 μ A	
(7)	取り出しライン途中	E = 5 MeV I = 10 μ A	中性子の発生なしと仮定

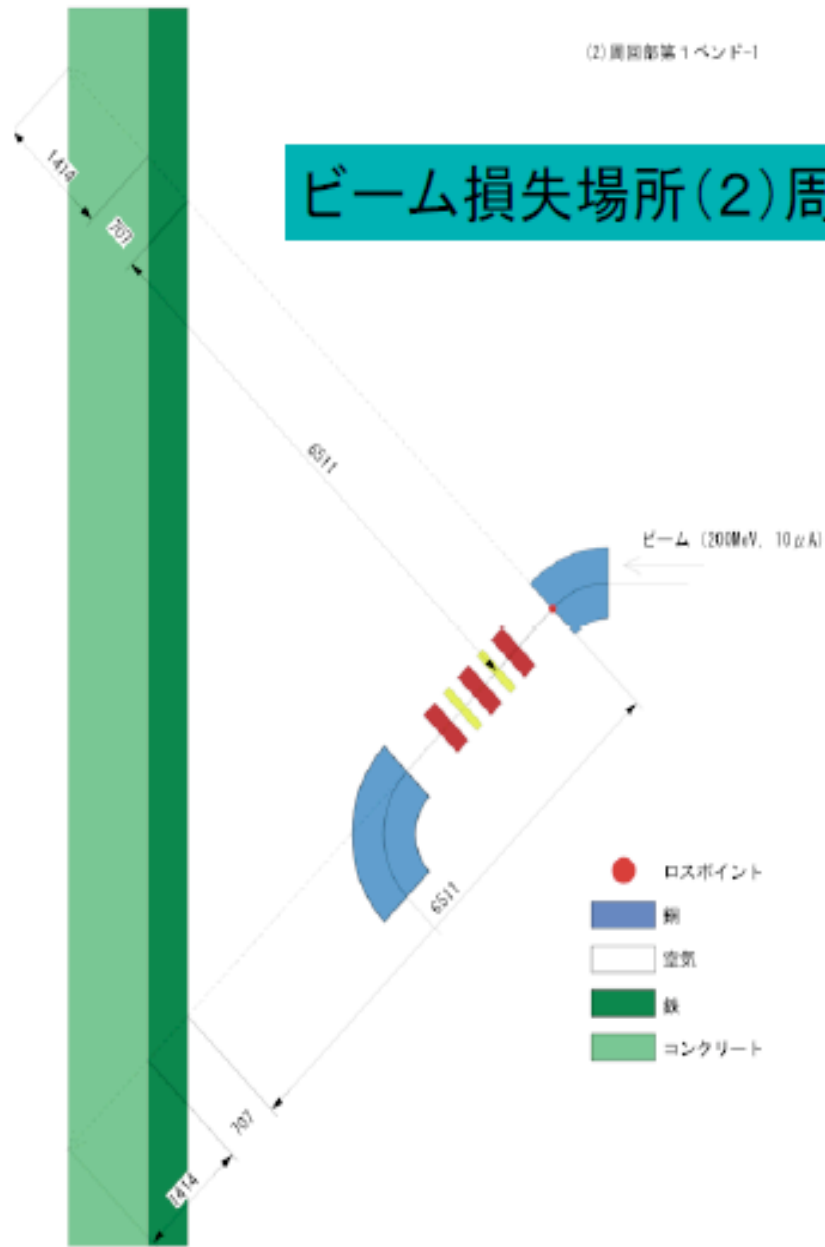
(1)主ビームダンプ



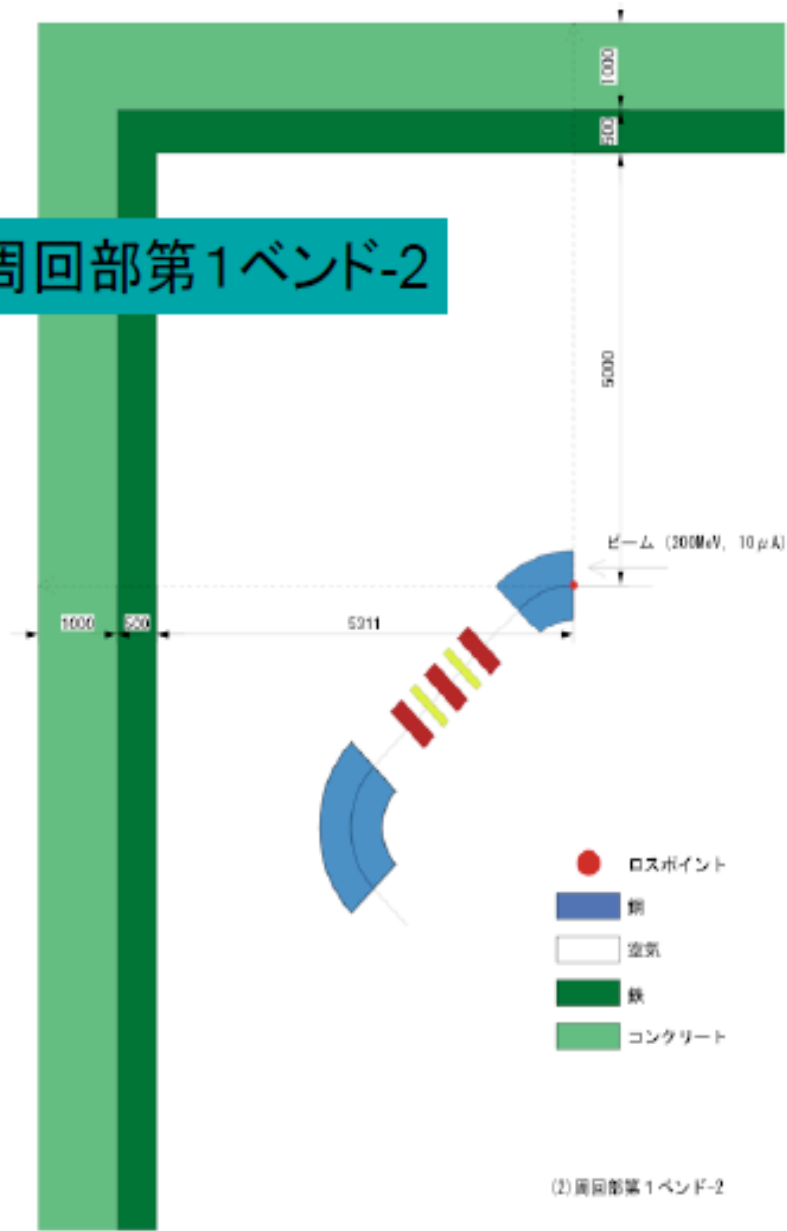
ビーム損失場所(1)主ビームダンプ

(2) 周回部第1ベンド-1

ビーム損失場所(2)周回部第1ベンド-1



ビーム損失場所(2)周回部第1ベンド-2





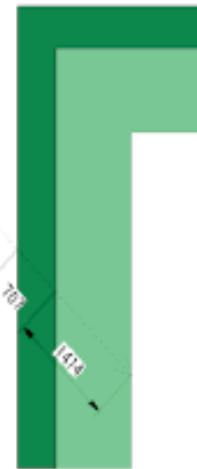
(3) 周回部第6ベンド-1

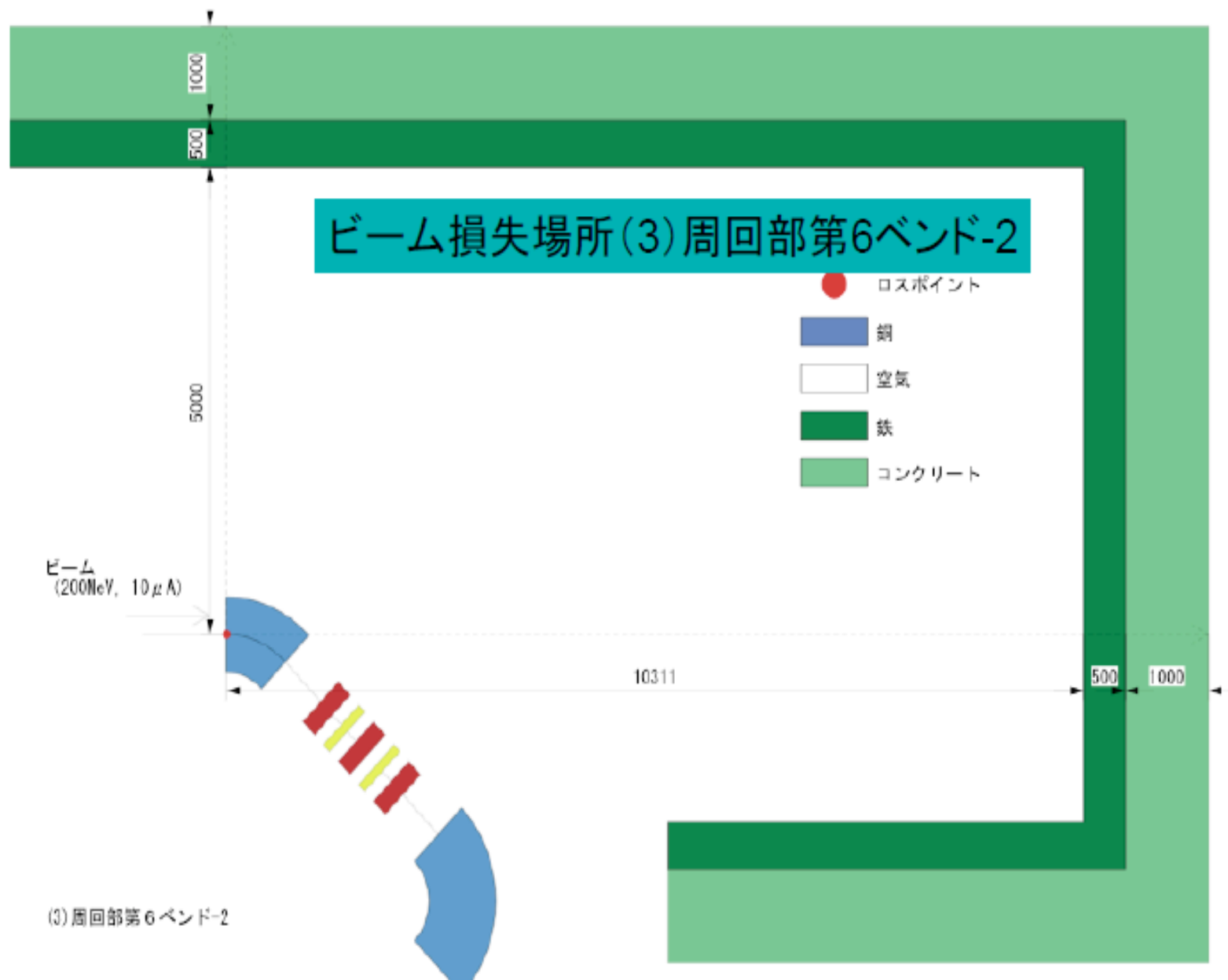
ビーム
(200MeV, 10μA)

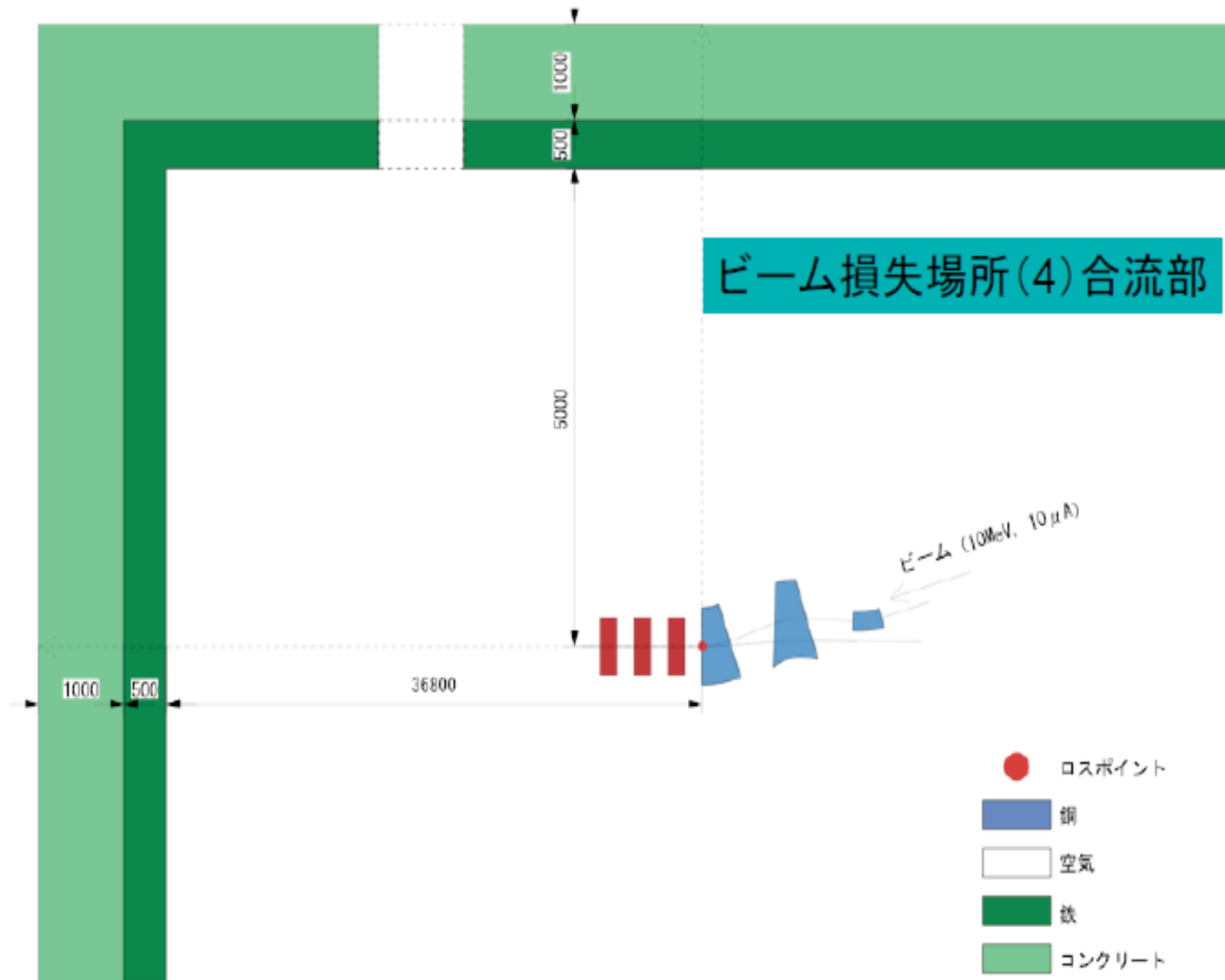


ビーム損失場所(3)周回部第6ベンド-1

- ロスポイント
- 銅
- 空気
- 鉄
- コンクリート

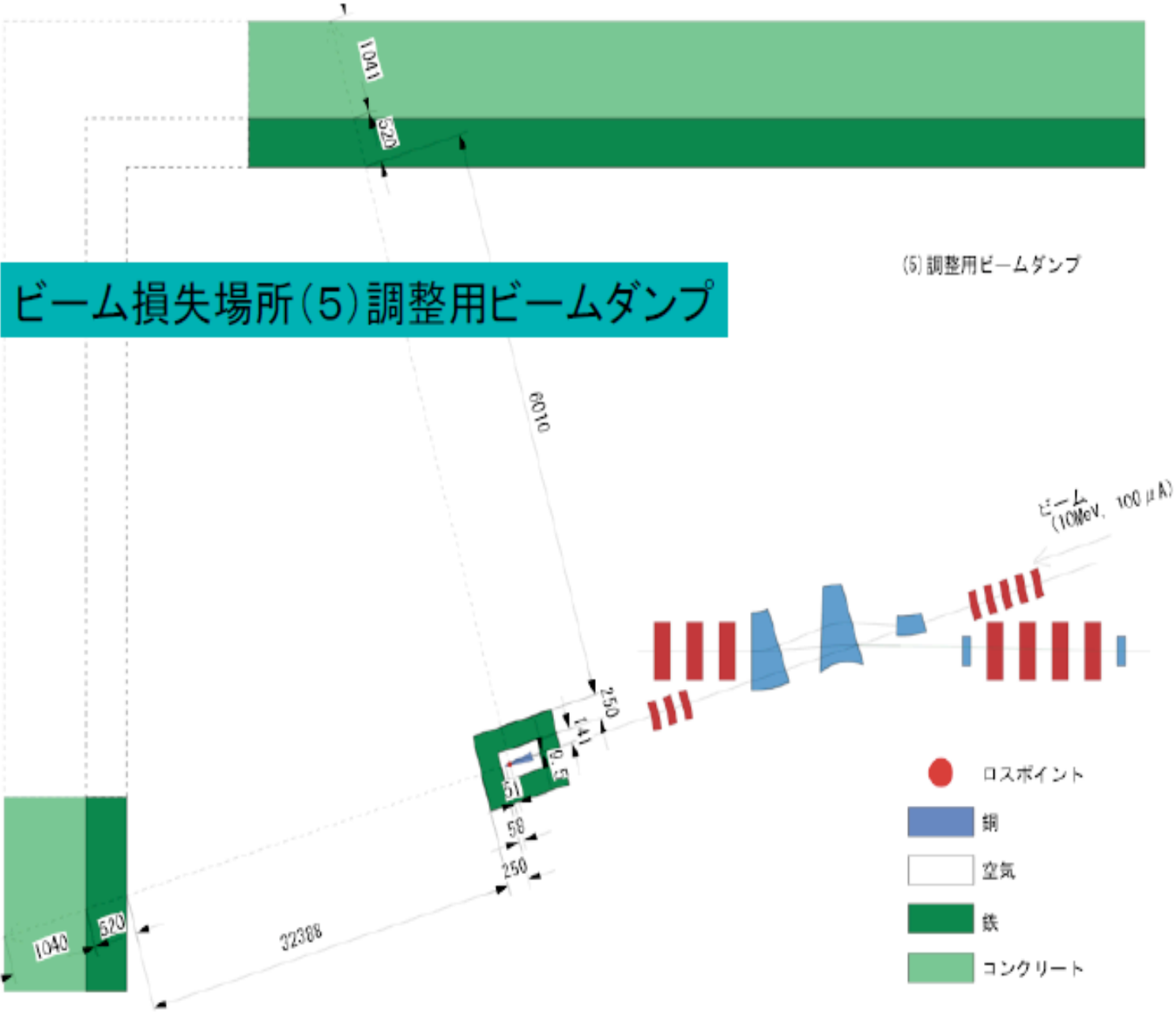


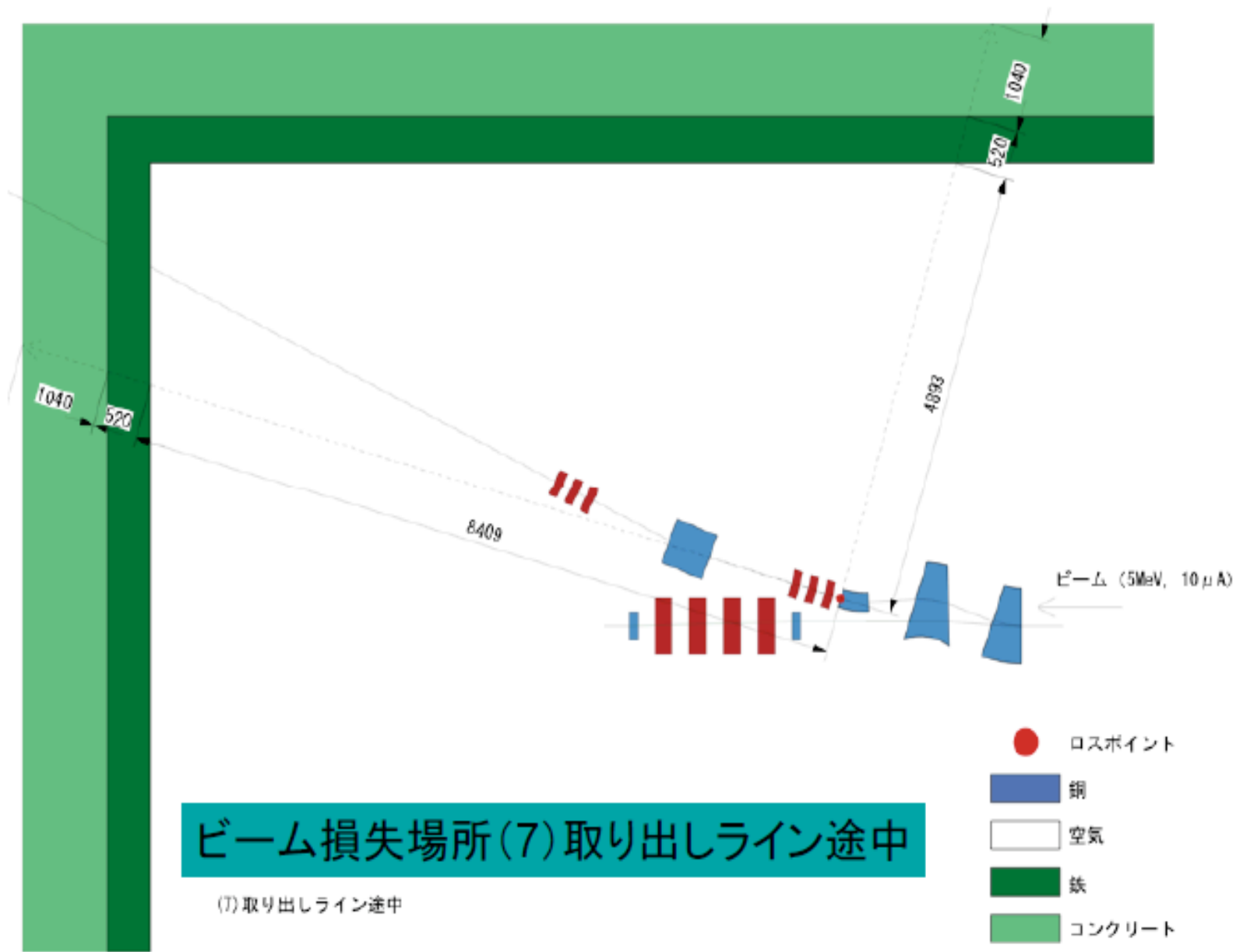




ビーム損失場所(5)調整用ビームダンプ

(5)調整用ビームダンプ





ビーム損失場所(7)取り出しライン途中

(7) 取り出しライン途中

- ロスポイント
- 銅
- 空気
- 鉄
- コンクリート

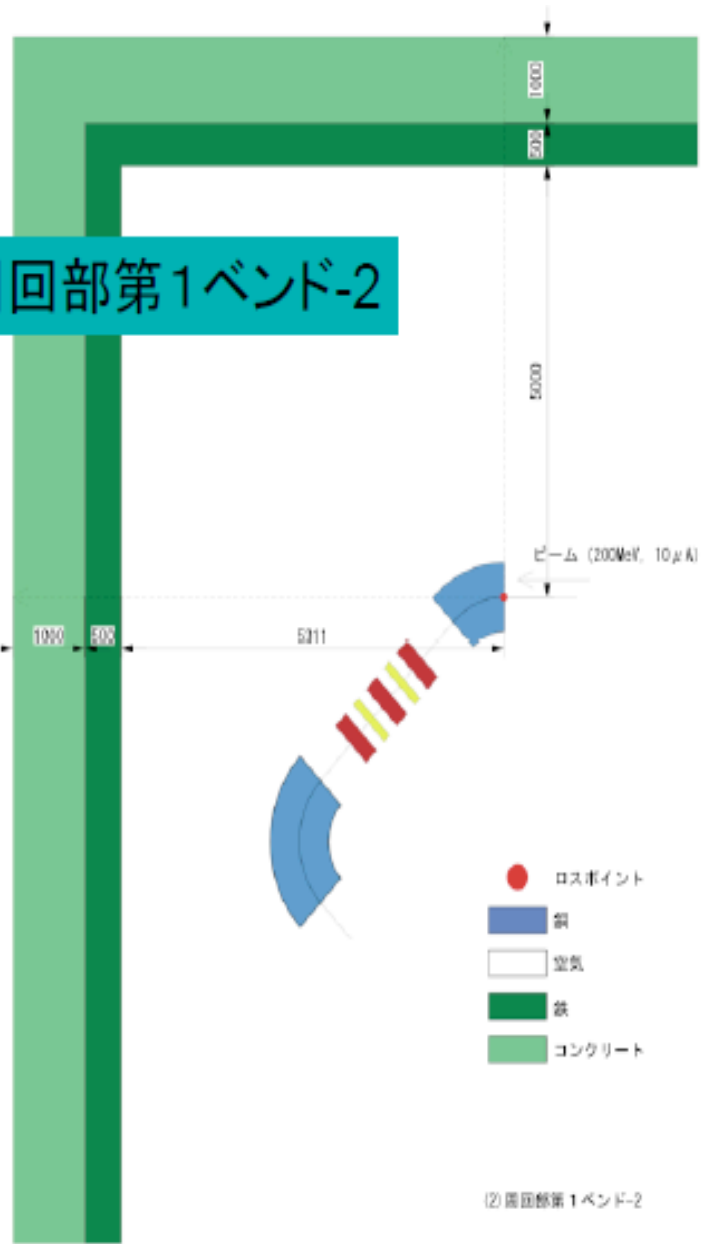
cERL放射線 線量率の計算結果

< 20 μ Sv/h

	ビーム損失場所	ビーム損失量		評価点	距離(cm)	コンクリート厚(cm)	鉄厚(cm)	鉛厚(cm)	線量率(Sv/h)
(1)	主ビームダンプ	5MeV	100mA	0° 方向	427	200	101	0	1.64E-09
90° 方向				400	200	55	0	1.59E-07	
	主ビームダンプ(Opt.)	10MeV	50mA	0° 方向	427	200	101	0	5.04E-09
				90° 方向	400	200	55	0	1.59E-07
(2)	周回部第1ベンドー1	200MeV	10 μ A	0° 方向	863	141	71	0	1.17E-05
				90° 方向	863	141	71	0	5.43E-07
	周回部第1ベンドー2	200MeV	10 μ A	0° 方向	681	100	50	0	4.13E-03
				90° 方向	650	100	50	0	1.08E-05
(3)	周回部第6ベンドー1	200MeV	10 μ A	0° 方向	863	141	71	0	1.12E-05
				90° 方向	961	141	71	0	4.31E-07
	周回部第6ベンドー2	200MeV	10 μ A	0° 方向	1181	100	50	0	1.37E-03
				90° 方向	650	100	50	0	1.08E-05
(4)	合流部	10MeV	10 μ A	0° 方向	3830	100	50	0	4.94E-08
				90° 方向	650	100	50	0	8.38E-09
(5)	調整用ビームダンプ	10MeV	100 μ A	0° 方向	3431	104	82	0	8.71E-10
				90° 方向	796	104	77	0	1.59E-10
(6)	全周ばらまき	200MeV	1 μ A	0° 方向	934	100	50	0	2.20E-04
				90° 方向	397	100	50	0	2.89E-06
(7)	取り出しライン途中	5MeV	10 μ A	0° 方向	997	104	52	0	6.53E-08
				90° 方向	645	104	52	0	2.25E-09

ビーム損失場所(2)周回部第1ベンド-2

0°方向



周回部第1バンドに鉛シールドを追加した場合

コンクリート100cm+鉄50cm ⇒ コンクリート150cm+鉛20cm(場所により鉄を追加)

線源点	評価点	距離 (cm)	コンクリート厚(cm)	鉄厚 (cm)	鉛厚 (cm)	線量率 (Sv/h)
周回部 第1バンド-2	0°方向	681	100	50		4.13E-03
	0°方向	681	100	50	35	1.84E-05
	0°方向	681	150	50	20	9.75E-06
	0°方向	681	200	0	40	1.94E-05
	90°方向	650	100	50		1.08E-05
	90°方向	650	150	20	20	5.73E-06

主ビームダンプのコンクリート厚を150cmに

線源点	評価点	距離(cm)	コンクリート厚(cm)	鉄厚(cm)	鉛厚(cm)	線量率(Sv/h)
主ビームダンプ	0°方向	427	200	101	0	1.64E-09
	90°方向	400	200	55	0	1.59E-07
	0°方向	427	150	101	0	1.95E-08
	90°方向	400	150	55	0	2.49E-06

・5Mev 100mA のほかに 10Mev 50mA でも同じ

第6バンドの遮蔽をコンクリート150cm＋鉛20cmに(その1)

線源点	評価点	距離(cm)	コンクリート厚(cm)	鉄厚(cm)	鉛厚(cm)	線量率(Sv/h)
第6バンド-1	0°方向	863	141	71	0	1.12E-05
	90°方向	961	141	71	0	4.31E-07
	0°方向	863	212	0	20	2.65E-05
	90°方向	961	212	0	20	1.71E-06

第6バンドの遮蔽をコンクリート150cm＋鉛20cmに(その2)

線源点	評価点	距離(cm)	コンクリート厚(cm)	鉄厚(cm)	鉛厚(cm)	線量率(Sv/h)
第6バンド-2	0°方向	1181	100	50	0	1.37E-03
	90°方向	650	100	50	0	1.08E-05
	0°方向	1181	150	50	20	3.24E-06
	90°方向	650	150	20	20	5.73E-06

- ・ここは第1バンドと同じく、鉄をここだけ追加する必要あり

合流部の遮蔽をコンクリート150cm＋鉛5cmに

線源点	評価点	距離(cm)	コンクリート厚(cm)	鉄厚(cm)	鉛厚(cm)	線量率(Sv/h)
合流部	0°方向	3830	100	50	0	4.94E-08
	90°方向	650	100	50	0	8.38E-09
	0°方向	3830	150	0	5	3.82E-06
	90°方向	650	150	0	5	1.76E-06

・ここは鉛5cmだけ

調整用ビームダンプ部の遮蔽をコンクリート150cm＋鉛10cmに

線源点	評価点	距離(cm)	コンクリート厚(cm)	鉄厚(cm)	鉛厚(cm)	線量率(Sv/h)
調整用ビームダンプ	0°方向	3431	104	82	0	8.71E-10
	90°方向	796	104	77	0	1.59E-10
	0°方向	3431	156	0	10	1.58E-06
	90°方向	796	156	0	10	8.07E-07

・ここは鉛10cmだけ

全周ばらまきの遮蔽をコンクリート150cm＋鉛20cmに

線源点	評価点	距離(cm)	コンクリート厚(cm)	鉄厚(cm)	鉛厚(cm)	線量率(Sv/h)
全周ばらまき	0°方向	934	100	50	0	2.20E-04
	90°方向	397	100	50	0	2.89E-06
	0°方向	934	150	0	20	1.60E-05
	90°方向	397	150	0	20	6.13E-06

・ここは鉛20cm

取り出しライン途中の遮蔽をコンクリート150cm＋鉛5cmに

線源点	評価点	距離(cm)	コンクリート厚(cm)	鉄厚(cm)	鉛厚(cm)	線量率(Sv/h)
取り出しライン途中	0°方向	997	104	52	0	6.53E-08
	90°方向	645	104	52	0	2.25E-09
	0°方向	997	156	0	5	6.80E-06
	90°方向	645	156	0	5	6.44E-07

・ここは鉛5cm

まとめ

- 計算式によるバルク遮蔽の計算結果ができた。
コンクリート1m + 鉄50cm では何箇所か $20\mu\text{Sv/h}$ を超える
また実際の建設等を考慮すると
コンクリート1.5m + 鉛20cm でも遮蔽可能
しかし一部箇所には鉄を追加の必要あり
- 次の段階
空気・冷却水の放射化見積り
スカイシャインの見積り
ビームダンプの検討・設計
加速器シールドの構造設計

遮蔽設計計算法

Jenkinsの式

$$\begin{aligned} H(\text{total}) &= H(\text{neutron}) + H(\text{photon}) \\ &= H(\text{GR}) + H(\text{MID}) + H(\text{HE}) + H(\text{brems}) + H(\text{second}) \end{aligned}$$

H(GR): 巨大共鳴中性子成分

H(MID): 中間エネルギー中性子成分($25 < E < 100 \text{ MeV}$)

H(HE): 高エネルギー中性子成分($E > 100 \text{ MeV}$)

H(brems): ターゲットで発生した成分

H(second): 遮蔽体中で中性子により生成された二次光子成分

0°方向の計算はSakanoの式による

Jenkinsの式

$$\begin{aligned} H(\text{total}) &= H(\text{neutron}) + H(\text{photon}) \\ &= H(\text{GR}) + H(\text{MID}) + H(\text{HE}) + H(\text{brems}) + H(\text{second}) \\ &= JE_0 (\sin\theta / r)^2 [Q_H e^{-d / \lambda_1 \sin\theta} / (1 - 0.72 \cos\theta)^2 \\ &\quad + Q_M e^{-d / \lambda_2 \sin\theta} / (1 - 0.75 \cos\theta)^2 \\ &\quad + 3.79 \times 10^{-13} Z^{0.73} e^{-d / \lambda_3 \sin\theta}] \\ &\quad + J \cdot 10^{-13} \cdot E_0 (\sin\theta / r)^2 [133 e^{-\mu d / \sin\theta} / (1 - 0.98 \cos\theta)^{1.2} \\ &\quad + 0.26 e^{-d / \lambda_1 \sin\theta} / (1 - 0.72 \cos\theta)^2] \end{aligned}$$