

新たな条件での放射線遮蔽計算

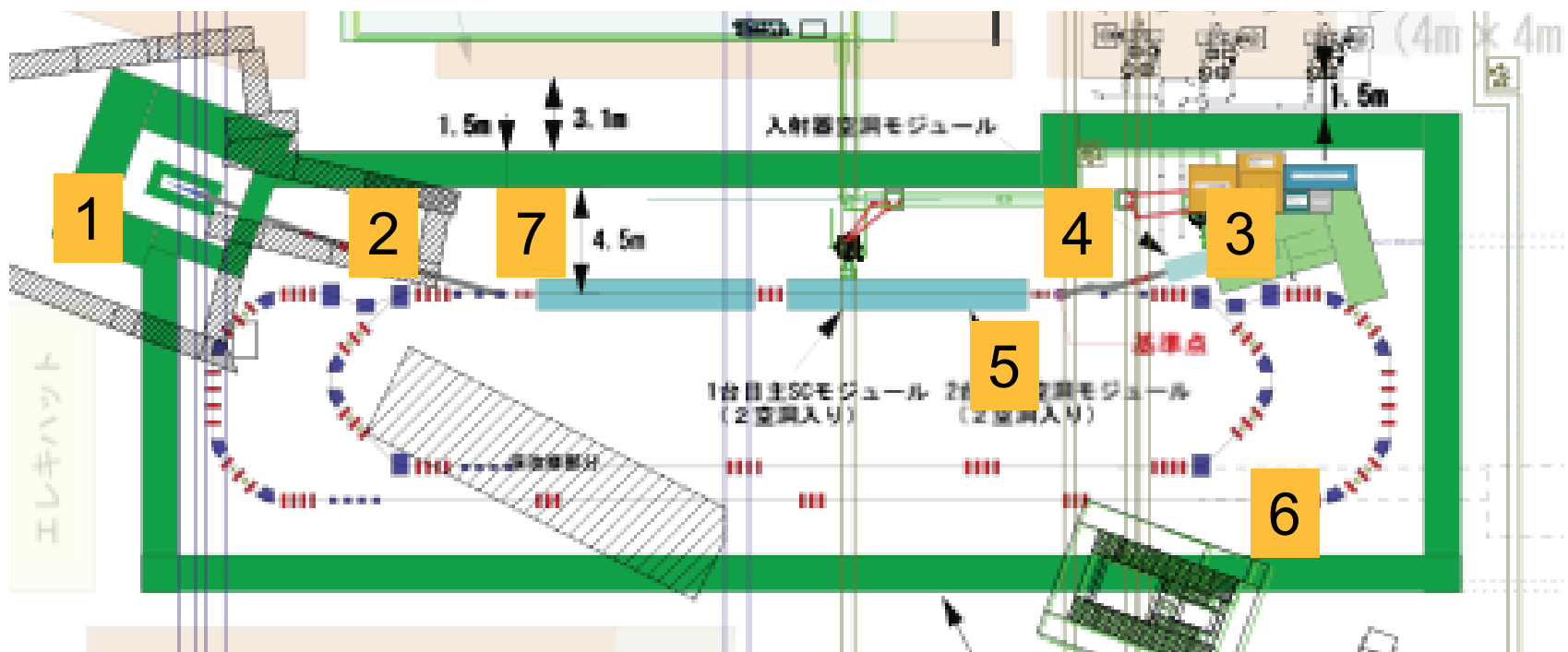
芳賀、松村、佐々木、長橋、坂中

第38回ERL検討会(2009・12・09)

今回おこなったこと

- 最新のcERL配置(2-loop)に基づき計算
→新たなジオメトリー
- 10月21日の放射線科学センターとの打合結果を反映
→遮蔽壁厚さを、壁2m、天井1.5m(コンクリート)
- Jenkinsの式にもとづく計算
- 遮蔽条件を変更して計算した

ビーム損失となる箇所

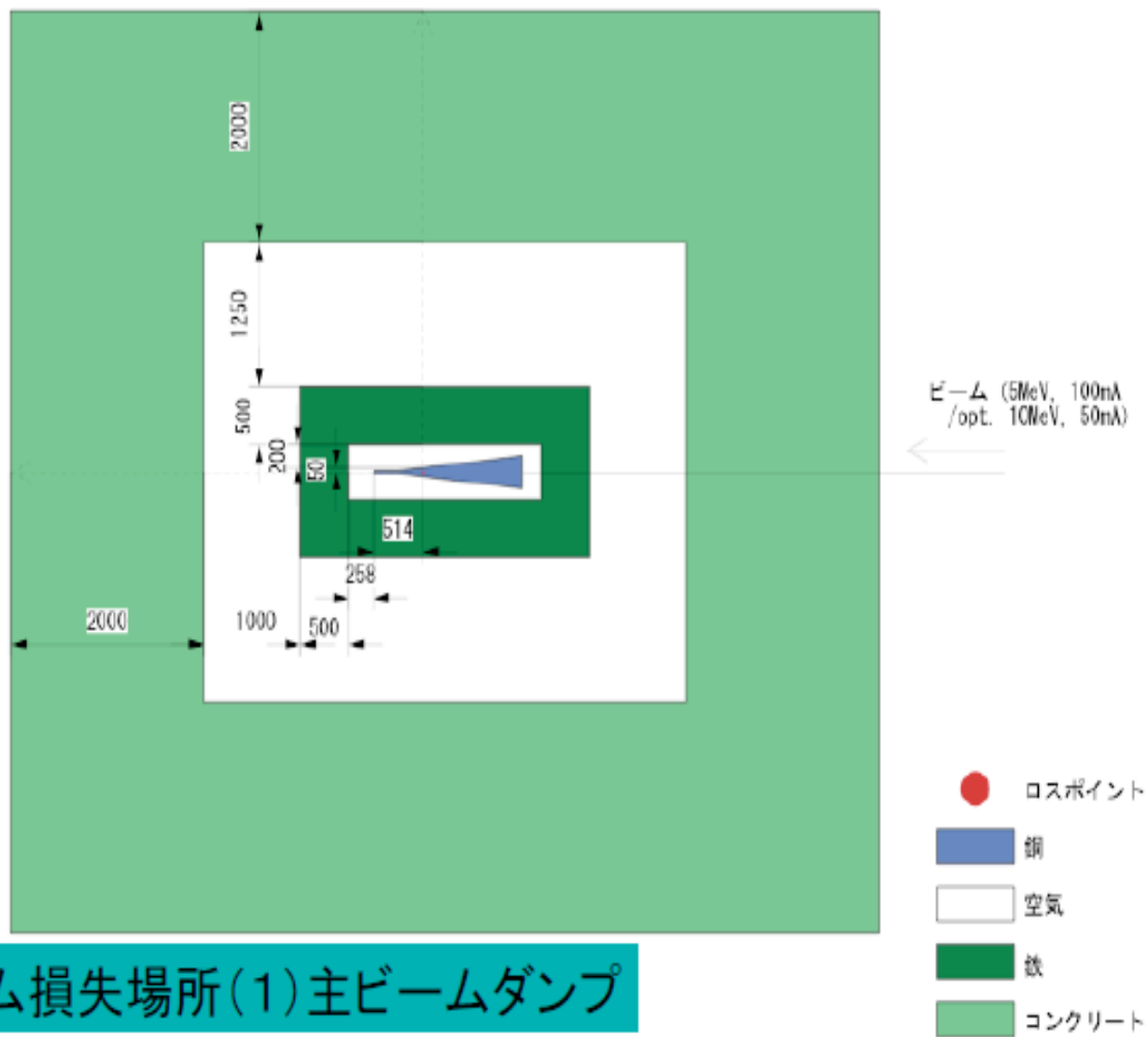


ビーム損失に関する仮定

- ・遮蔽壁としてコンクリート厚200cmを、また天井コンクリート厚150cmを、それぞれ仮定
- ・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、水平方向0度と90度方向と天井方向をそれぞれ計算(天井高4m)

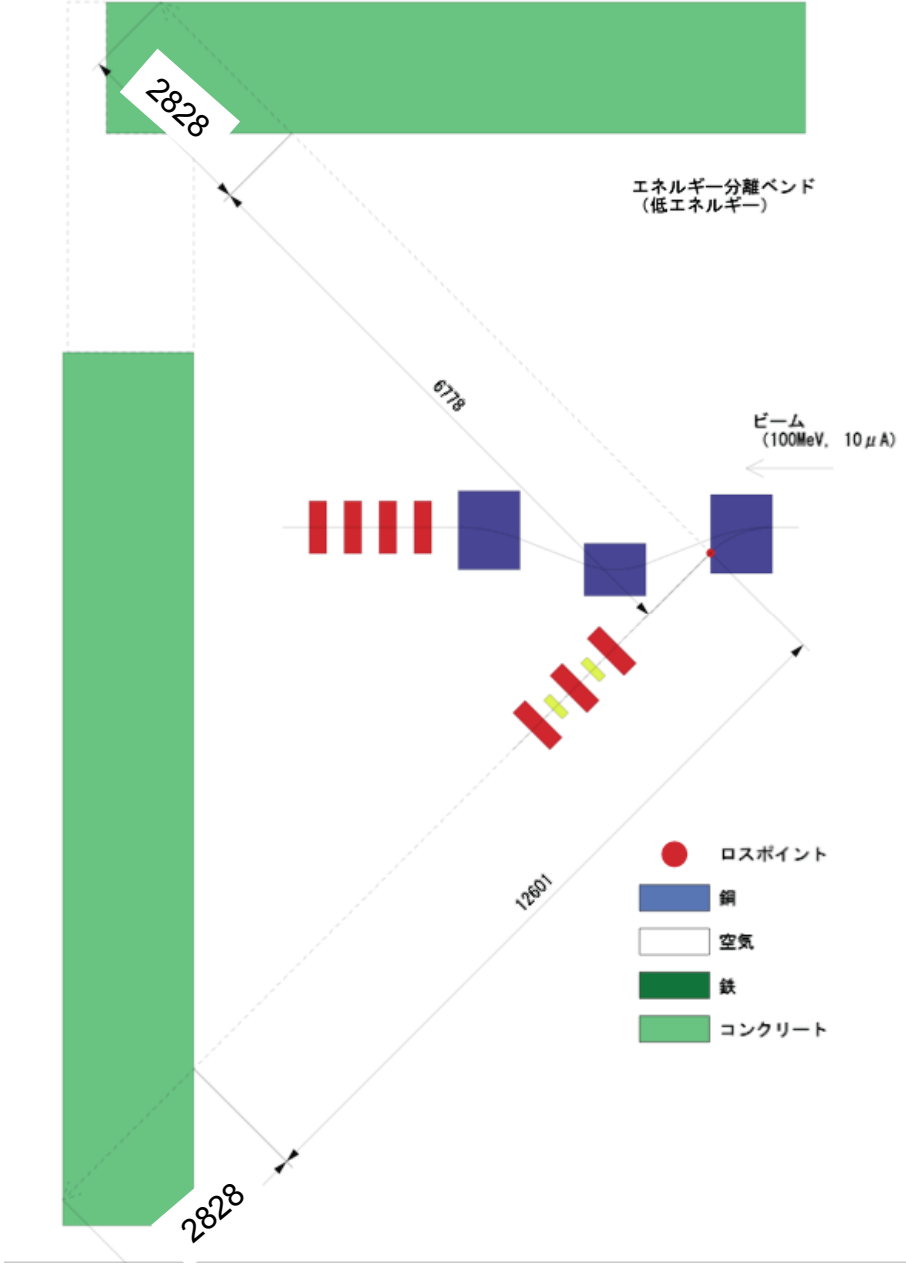
	ビーム損失場所	ビーム損失量	備考
(1)	主ビームダンプ	E = 5 MeV, I = 100 mA	オプションとして、10 MeV.50 mA ダンプ遮蔽体の銅は鉄として計算 中性子の発生なしと仮定
(2)	周回部第1バンド (ロス、暗電流)	E = 200 MeV I = 1 μ A	
(3)	周回部第6バンド (暗電流)	E = 200 MeV I = 1 μ A	
(4)	合流部 (ロス、暗電流)	E = 10 MeV I = 1 μ A	中性子の発生なしと仮定
(5)	調整用ビームダンプ	E = 10 MeV I = 10 μ A	中性子の発生なしと仮定
(6)	全周ばらまき	E = 200 MeV I = 0.1 μ A	
(7)	取り出しライン途中	E = 5 MeV I = 1 μ A	中性子の発生なしと仮定

(1)主ビームダンプ

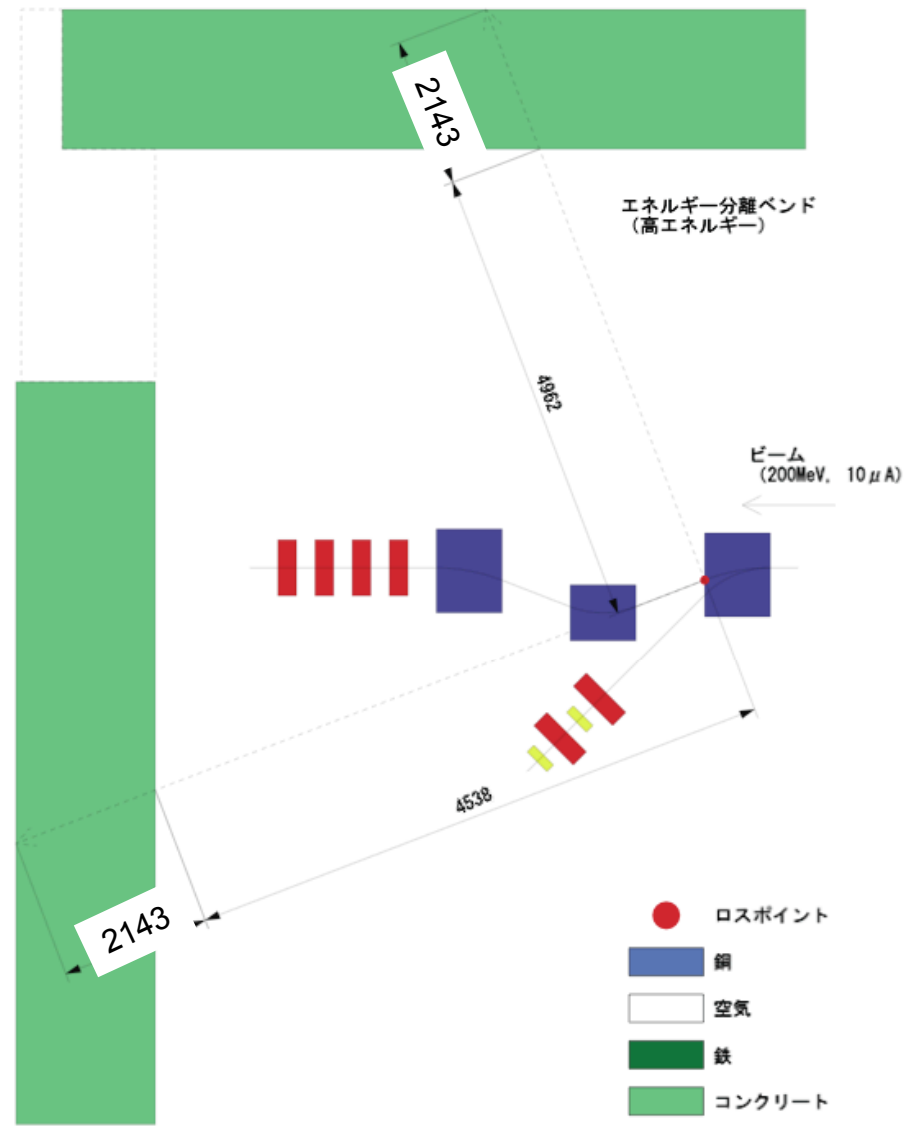


ビーム損失場所(1)主ビームダンプ

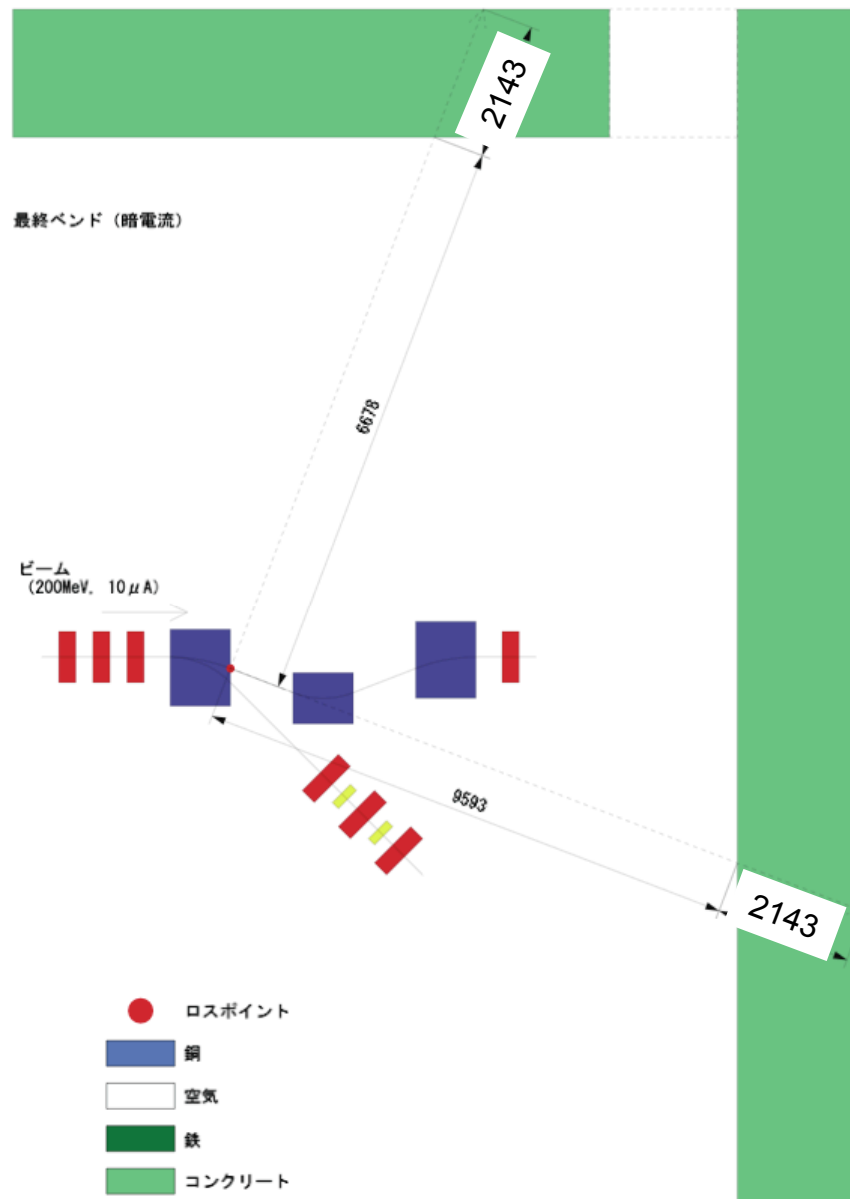
ビーム損失場所(2)
エネルギー分離バンド
(低エネルギー)

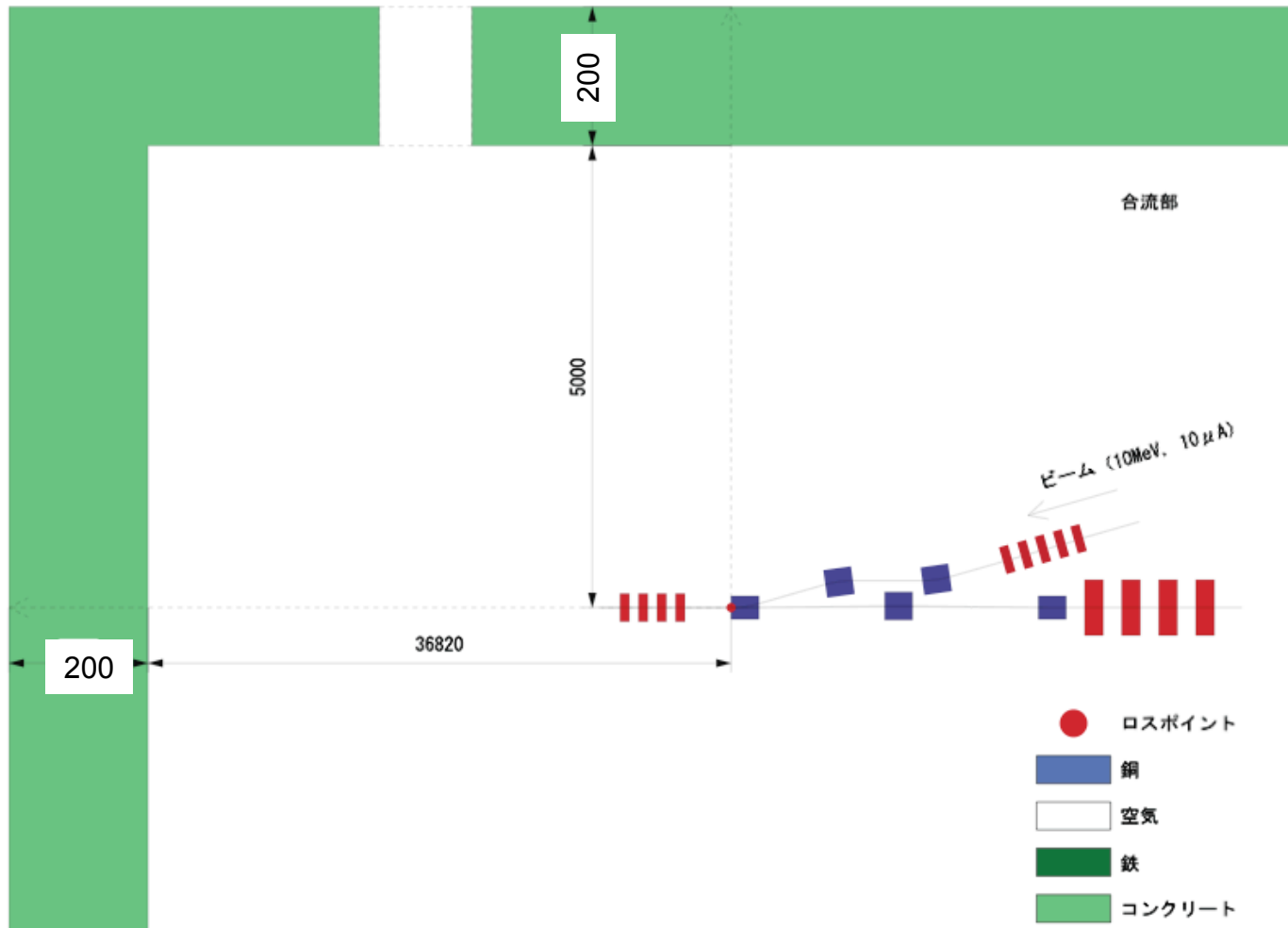


ビーム損失場所(2)
エネルギー分離バンド
(高エネルギー)

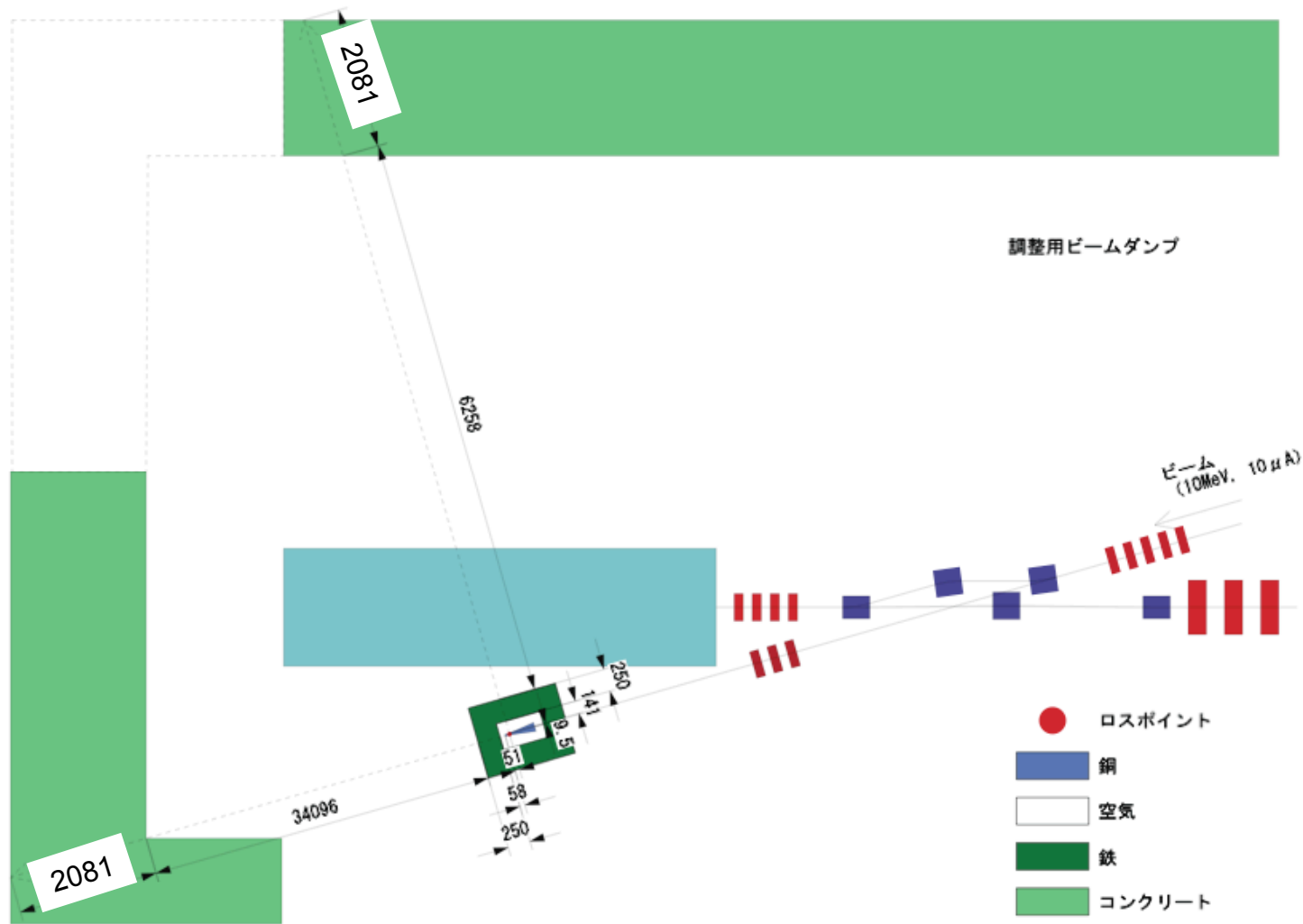


ビーム損失場所(3) 最終ベンド



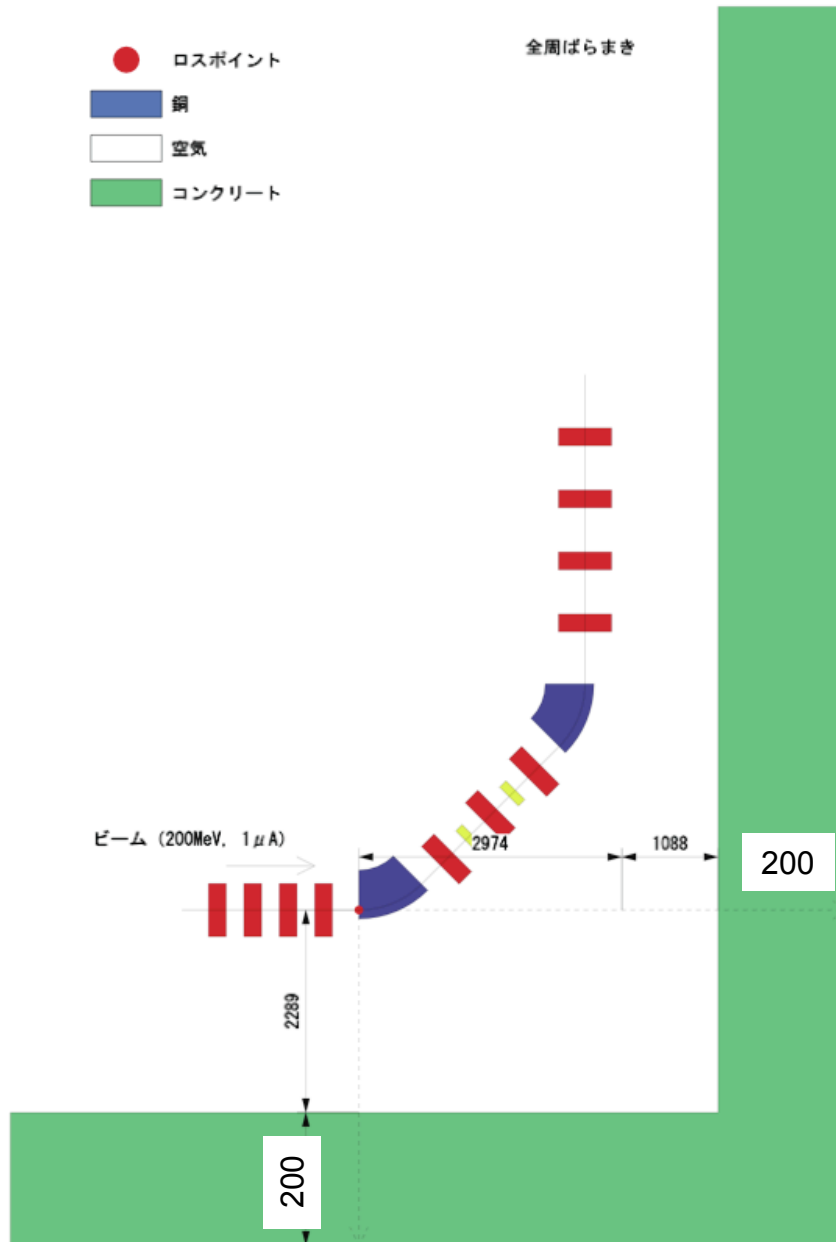


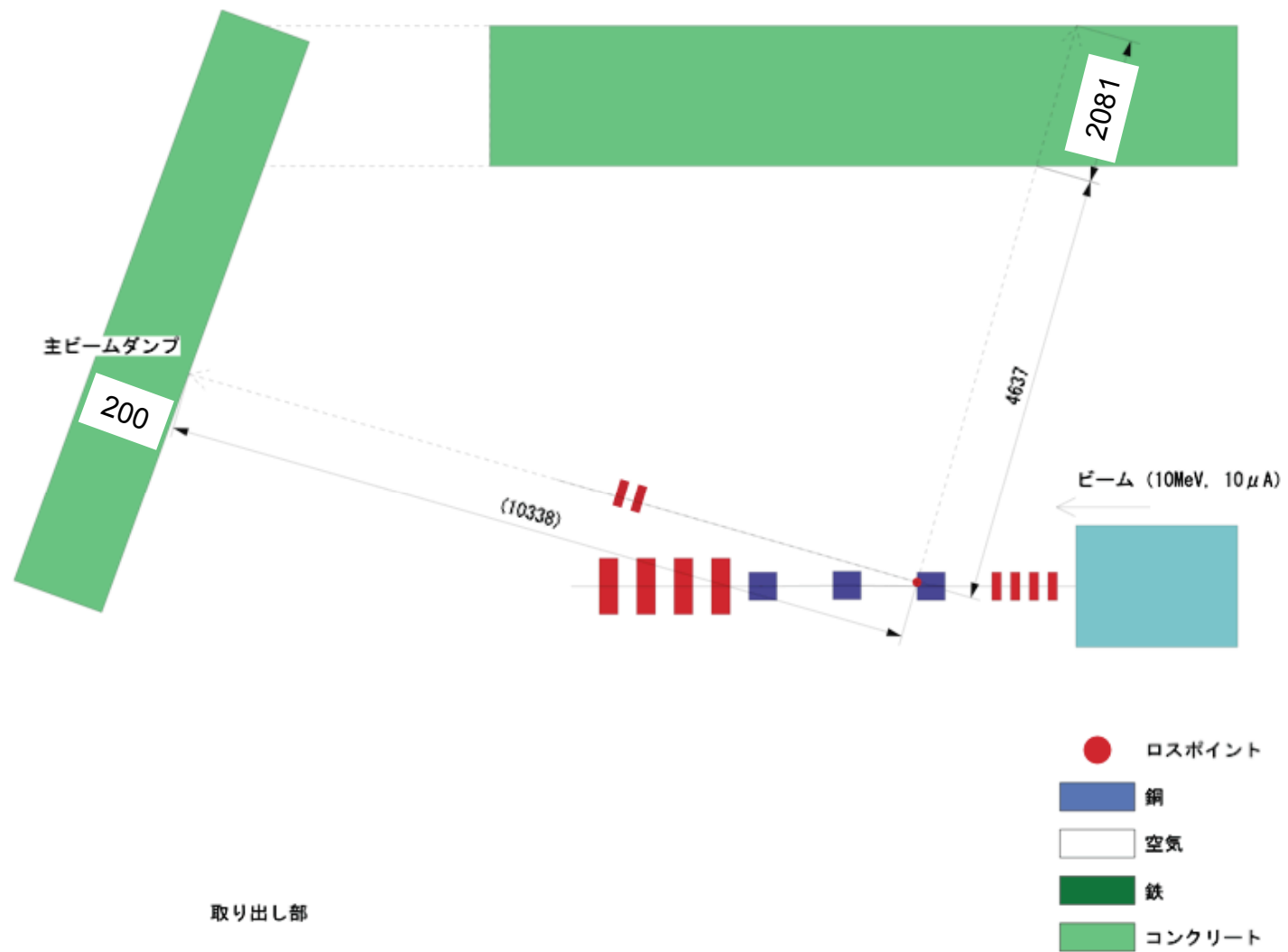
ビーム損失場所(4)合流部



ビーム損失場所(5)調整用ビームダンプ

ビーム損失場所(6) 全周ばらまき





ビーム損失場所(7) 取り出しライン途中

cERL 遮蔽計算の結果一覧

	線源場所	E(e-)	I(e-)	方向	距離 (cm)	コンクリート厚 (cm)	線量 (Sv/h)	鉄厚 (cm)
(1)	主ビームダンプ	5 MeV	100 mA	0°	427	200	1.64E-09	101
				90°	400	200	1.59E-07	55
				上方	430	150	2.15E-06	55
(1)	主ビームダンプ (オプション)	10 MeV	50 mA	0°	427	200	5.04E-09	101
				90°	400	200	1.59E-07	55
				上方	430	150	2.15E-06	55
(2)	エネルギー分離バンド (低エネルギー)	100 MeV	1 μA	0°	1543	283	2.98E-05	
				90°	961	283	5.57E-08	
				上方	430	150	5.12E-05	
(2)	エネルギー分離バンド (高エネルギー)	200 MeV	1 μA	0°	668	214	9.75E-03	
				90°	711	214	1.79E-06	
				上方	430	150	1.02E-04	

	線源場所	E(e-)	I(e-)	方向	距離 (cm)	コンクリート厚 (cm)	線量 (Sv/h)	鉄厚 (cm)
(3)	最終バンド	200 MeV	1 μA	0°	1174	214	9.70E-03	
				90°	882	214	1.16E-06	
				上方	430	150	1.02E-04	
(4)	合流部	10 MeV	1 μA	0°	3882	200	6.93E-07	
				90°	700	200	1.02E-07	
				上方	430	150	4.23E-06	
(5)	ビーム調整用ダンプ	10 MeV	10 μA	0°	3654	208	1.35E-08	30
				90°	874	208	1.84E-09	26
				上方	430	150	1.85E-07	26

	線源場所	E(e-)	I(e-)	方向	距離 (cm)	コンクリート厚 (cm)	線量 (Sv/h)
(6)	全周ばらまき	200 MeV	0.1 μA	0°	606	200	7.29E-03
				90°	429	200	8.93E-07
				上方	430	150	1.02E-05
(7)	取出部	5 MeV	1 μA	0°	2268	200	3.30E-07
				90°	672	208	3.56E-08
				上方	430	150	2.11E-06

エネルギー分離バンド部に鉄を増強

	線源場所	E(e-)	I(e-)	方向	距離 (cm)	コンクリート厚(cm)	線量 (Sv/h)	鉄厚 (cm)
(2)	エネルギー分離バンド (低エネルギー)	100 MeV	1 μ A	0°	1543	283	2.98E-05	
				90°	961	283	5.57E-08	
				上方	430	150	5.12E-05	
(2)	エネルギー分離バンド (低エネルギー)	100 MeV	1 μ A	0°	1543	283	4.18E-06	10
				90°	961	283	5.57E-08	0
				上方	430	150	9.32E-06	10

(2)	エネルギー分離バンド (高エネルギー)	200 MeV	1 μ A	0°	668	214	9.75E-03	
				90°	711	214	1.79E-06	
				上方	430	150	1.02E-04	
(2)	エネルギー分離バンド (高エネルギー)	200 MeV	1 μ A	0°	668	214	4.53E-06	40
				90°	711	214	1.79E-06	0
				上方	430	150	2.22E-06	30

最終ベンド部に鉄増強

	線源場所	E(e-)	I(e-)	方向	距離 (cm)	コンクリート厚(cm)	線量 (Sv/h)	鉄厚 (cm)	鉛厚 (cm)
(3)	最終ベンド	200 MeV	1 μ A	0°	1174	214	9.70E-03		
				90°	882	214	1.16E-06		
				上方	430	150	1.02E-04		
(3)	最終ベンド	200 MeV	1 μ A	0°	1174	214	3.77E-06	40	
				90°	882	214	1.16E-06	0	
				上方	430	150	2.22E-06	30	

全周ばらまきに鉄または鉛増強

	線源場所	E(e-)	I(e-)	方向	距離 (cm)	コンクリート厚(cm)	線量 (Sv/h)	鉄厚 (cm)	鉛厚 (cm)
(6)	全周ばらまき	200 MeV	0.1 μ A	0°	606	200	7.29E-03		
				90°	429	200	8.93E-07		
				上方	430	150	1.02E-05		
(6)	全周ばらまき	200 MeV	0.1 μ A	0°	606	200	1.91E-05	30	
				90°	429	200	8.93E-07	0	
				上方	430	150	1.02E-05	0	
(6)	全周ばらまき	200 MeV	0.1 μ A	0°	606	200	1.58E-05		10
				90°	429	200	8.93E-07		0
				上方	430	150	1.02E-05		0

まとめ

- 最新の配置によるジオメトリでのバルク遮蔽計算を行った
- 基本はコンクリート厚、壁200cm+天井150cm
- 「エネルギー分離バンド」「最終バンド」「全周ばらまき」部で20 μ Sv/hをこえた
- それに対し、鉄30-50cmまたは鉛10cmの遮蔽を追加して20 μ Sv/h以下へ抑制可能
- ただし、段階的放射線申請・目標ビーム強度の設定の検討・遮蔽増強時
用スペースの確保が必要か
- 今後、スカイシャインの検討、全周ばらまきの積算量の見積り必要

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

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