

cERL周回部運転における ビーム損失について

高エネルギー加速器研究機構

中村 典雄

2013年2月13日 ビームダイナミクスWG打ち合せ

目的

- cERL周回部運転に向けて放射線の申請や必要な遮蔽を行うために空洞のフィールドエミッション(FE)も含めたビーム損失点を洗い出してその損失量を見積もる。
- 加えて、ビームダイナミックスの観点からもビーム損失のより定量性の高い評価方法を検討する。

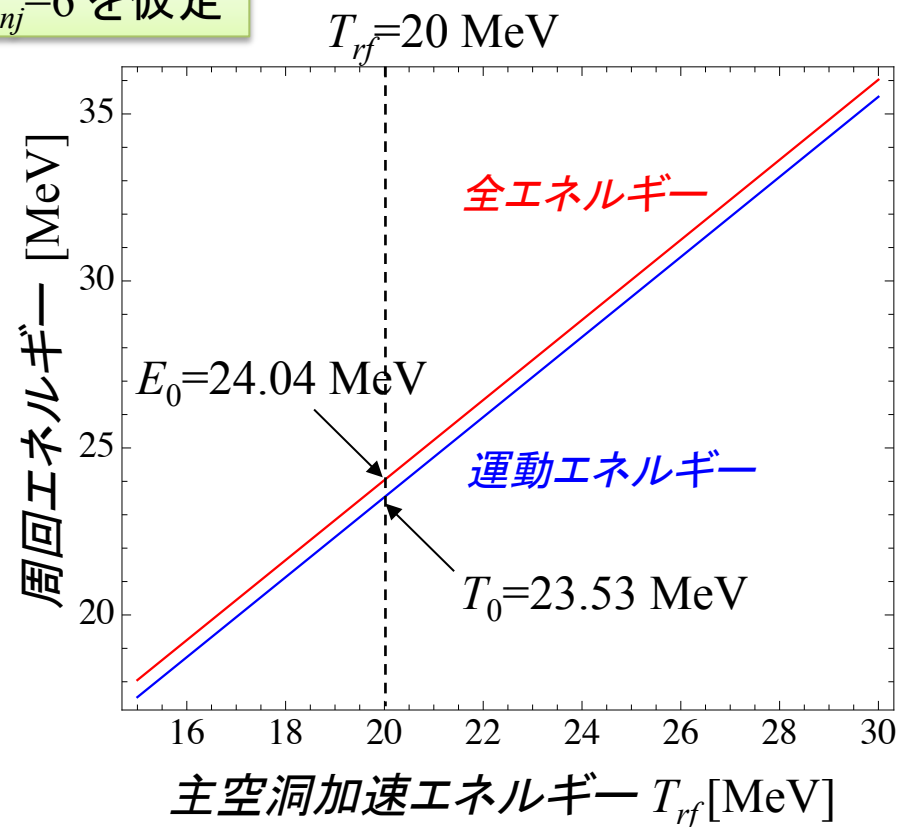
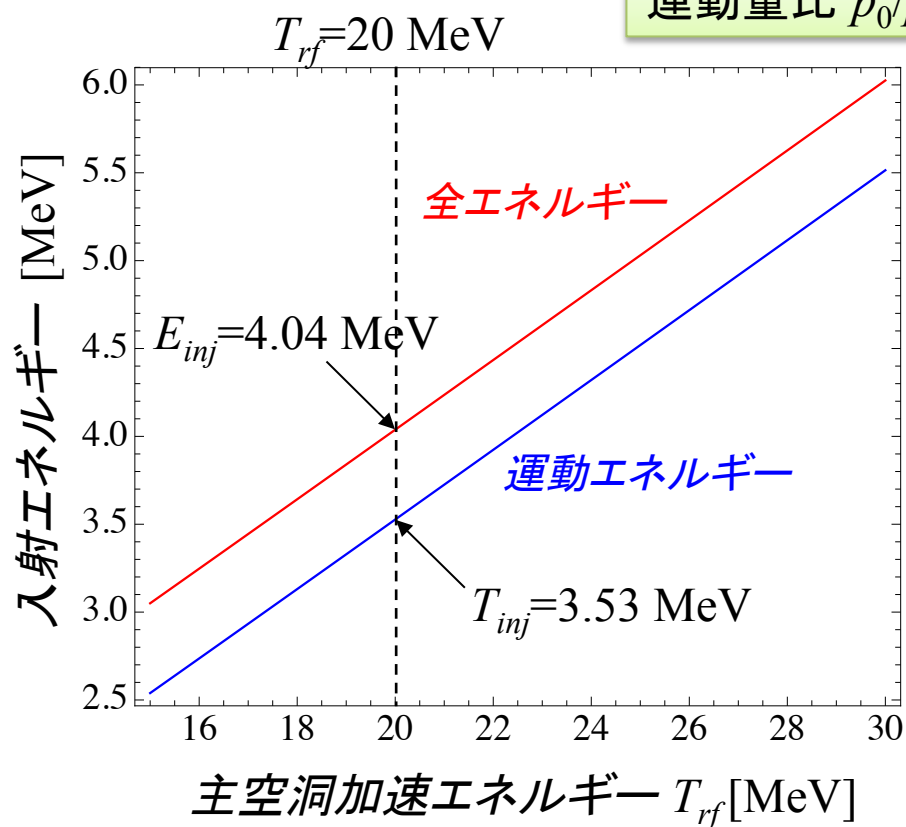
ビームエネルギー

入射ビーム運動エネルギー $T_{inj}=5 \text{ MeV}$ ($\rightarrow T_{inj}=3.53 \text{ MeV}$)

周回ビーム運動エネルギー $T_0=35 \text{ MeV}$ ($\rightarrow T_0=23.53 \text{ MeV}$)

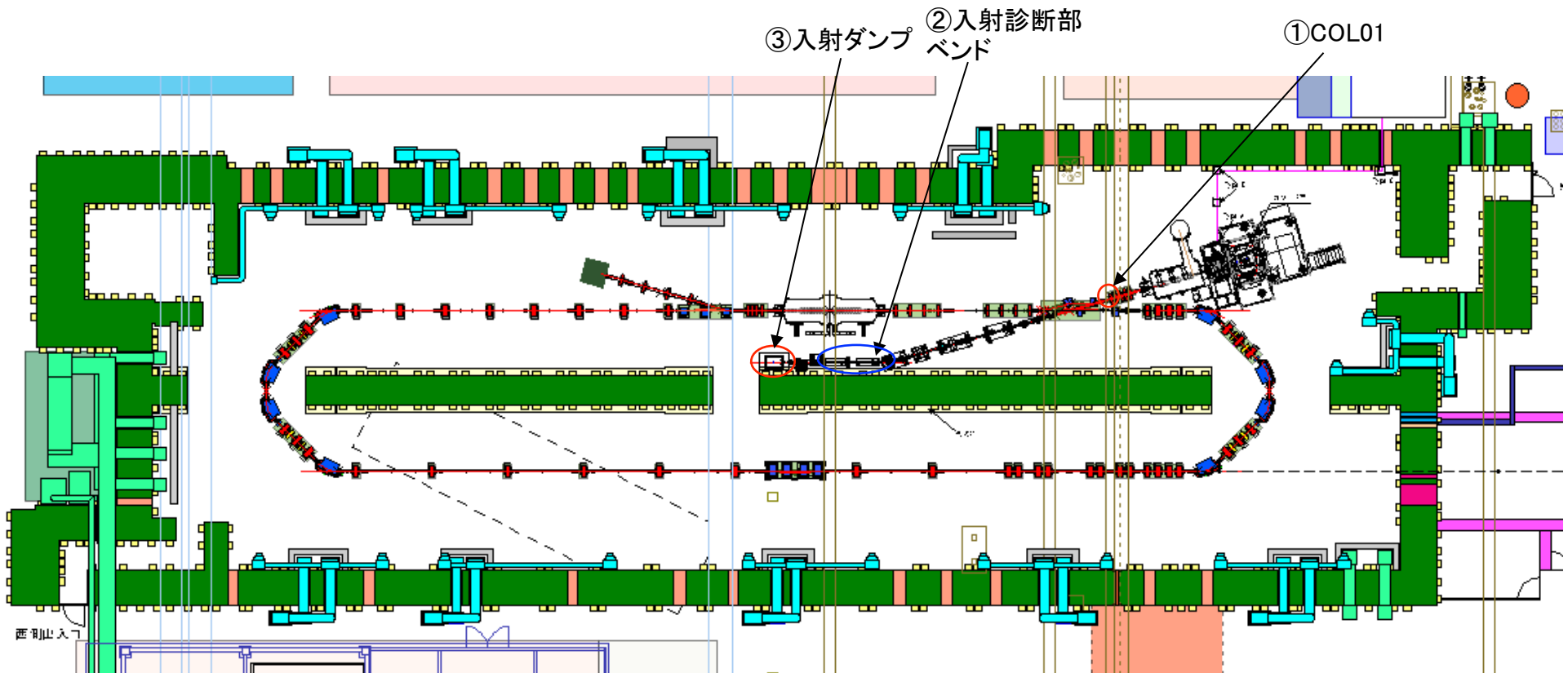
主空洞のフィールドエミッションによって加速エネルギーを下げる必要がある。

運動量比 $p_0/p_{inj}=6$ を仮定



ビーム損失点①②③

cERL配置図(2012.12.27)

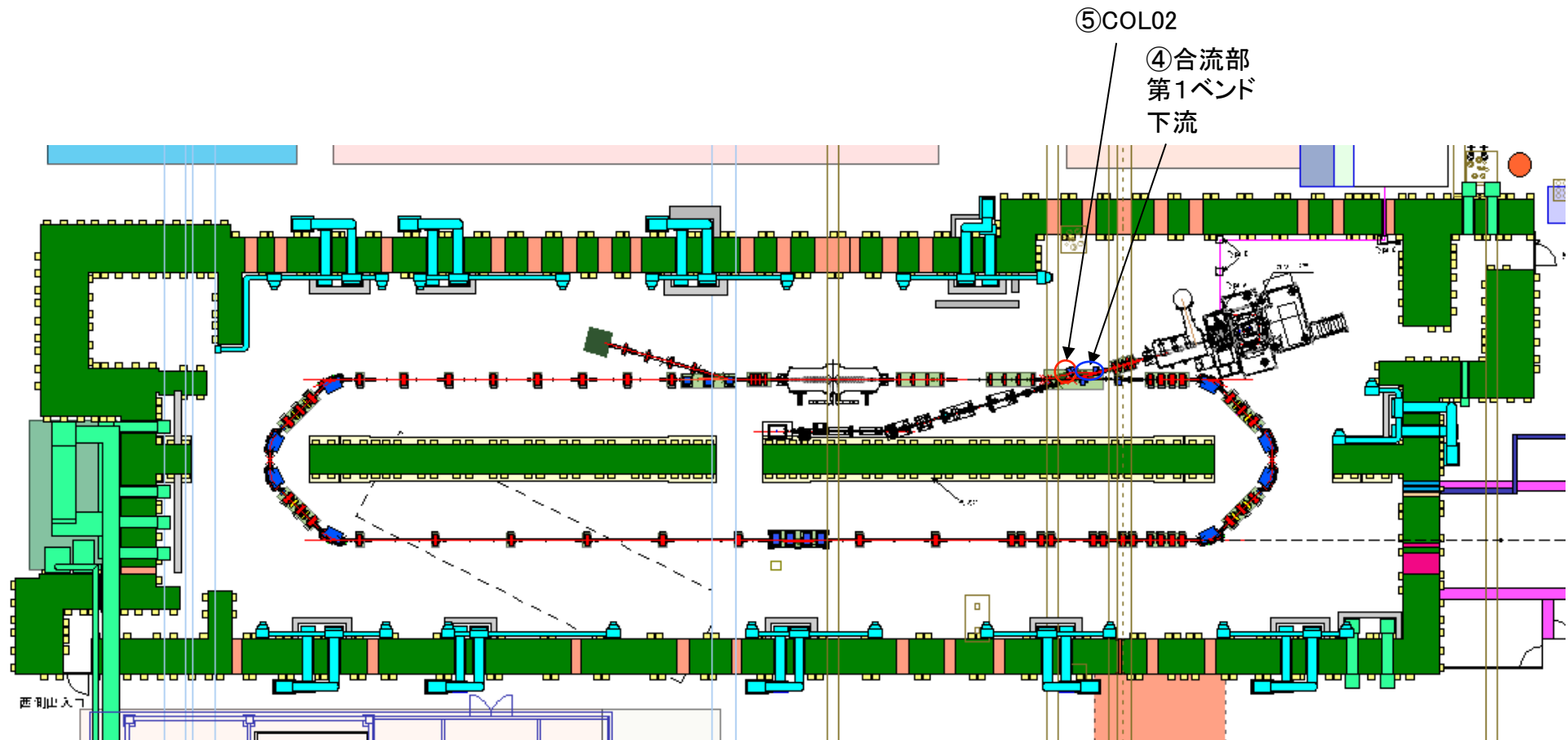


①-③は前回の申請と同じ場所である。

入射ビーム診断部のビーム損失は、宮島氏の第70回BDWG資料参照

ビーム損失点④⑤

cERL配置図(2012.12.27)



合流部

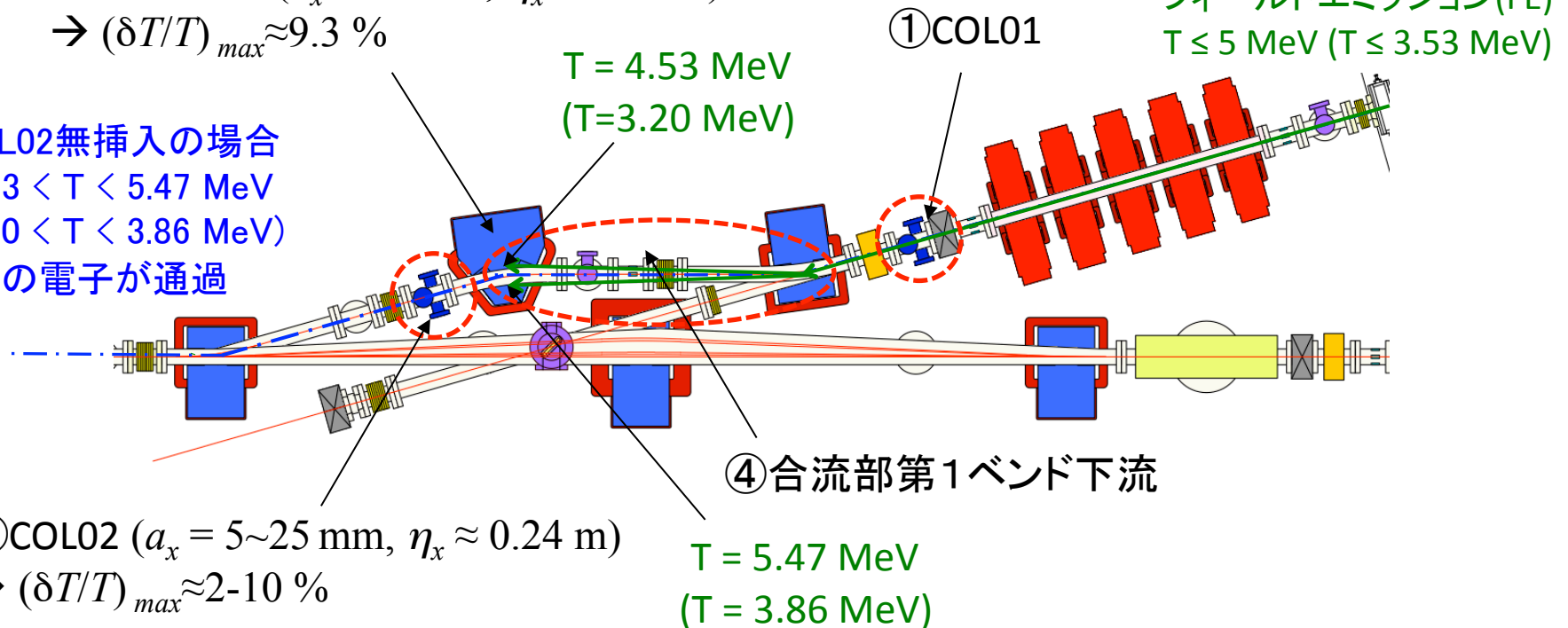
入射ビーム運動エネルギー $T_{inj}=5 \text{ MeV}$ (3.53 MeV)

周回ビーム運動エネルギー $T_0=35 \text{ MeV}$ (23.53 MeV)

合流部中央 ($a_x = 25 \text{ mm}$, $\eta_x = 0.27 \text{ m}$)

$\rightarrow (\delta T/T)_{max} \approx 9.3 \%$

COL02無挿入の場合
4.53 < T < 5.47 MeV
(3.20 < T < 3.86 MeV)
の電子が通過



⑤COL02 ($a_x = 5 \sim 25 \text{ mm}$, $\eta_x \approx 0.24 \text{ m}$)

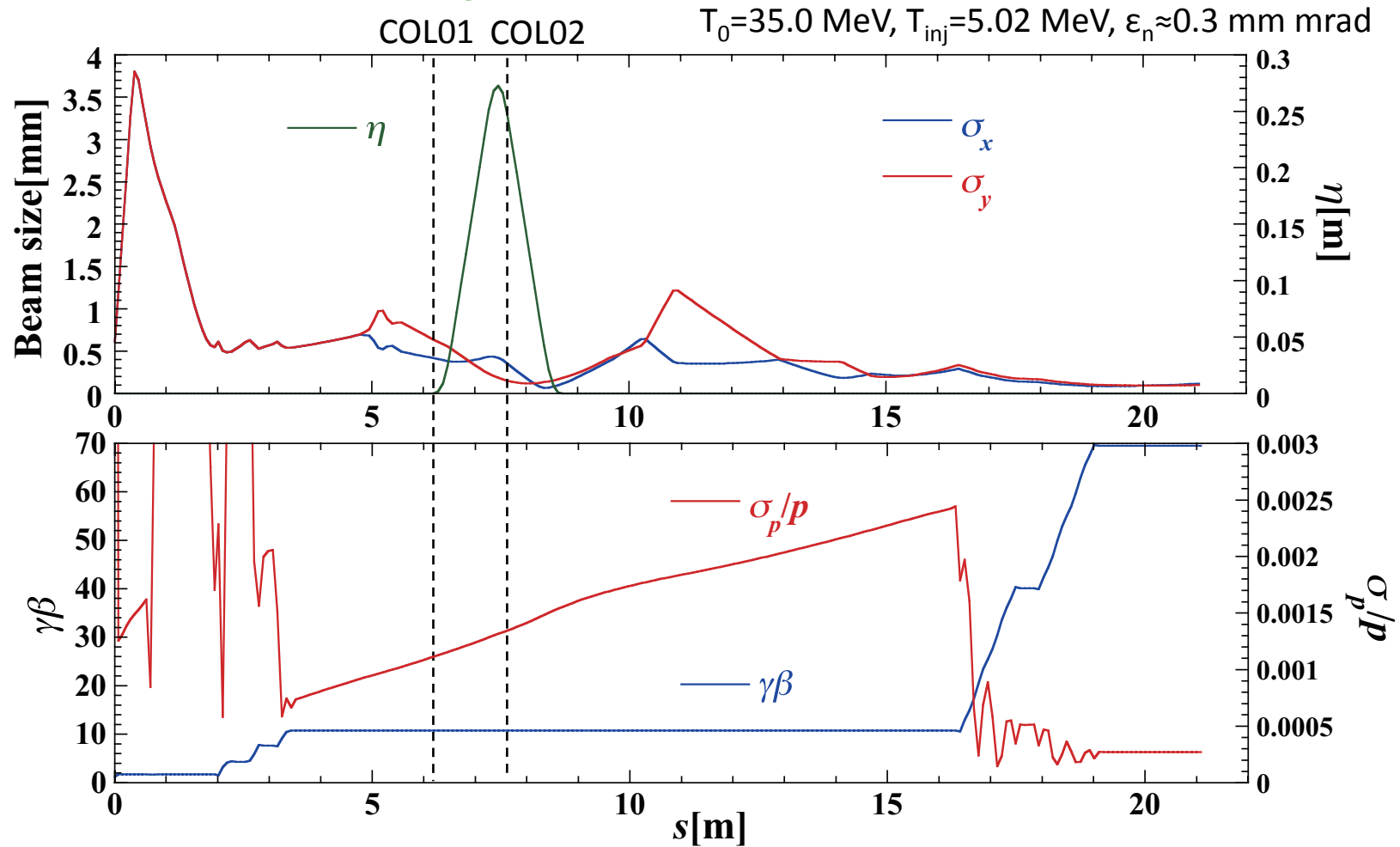
$\rightarrow (\delta T/T)_{max} \approx 2 \sim 10 \%$

$T = 5.47 \text{ MeV}$
($T = 3.86 \text{ MeV}$)

- (1) 合流部第1ベンドから第2ベンドにかけて、電子損失が起きる。
- (2) COL02は合流部通過ビームのハローを除去(制御)するために使用する。
(基本的にはCOL04での損失を小さくするようにコリメータを挿入する。)

入射合流部でのビームパラメータ

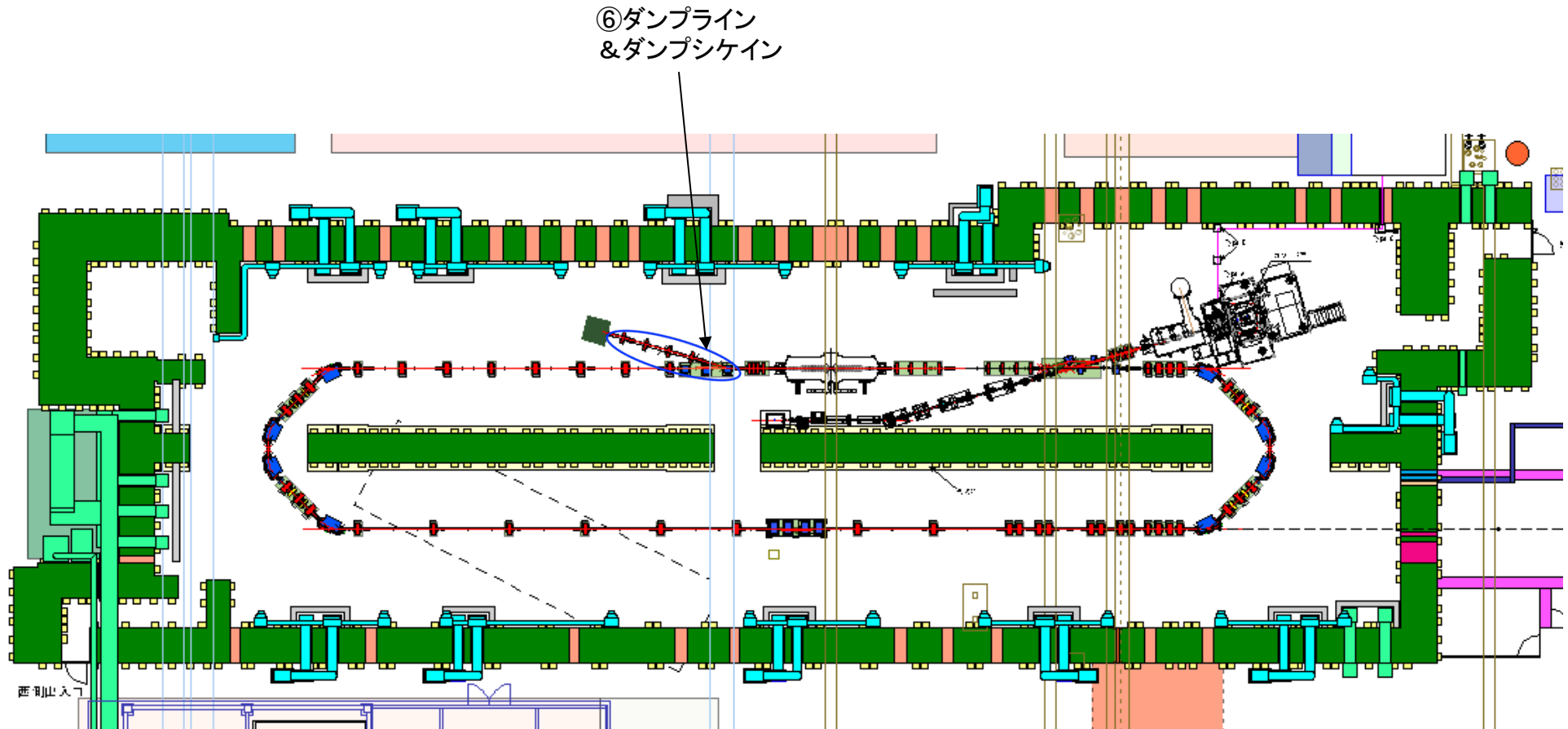
シミュレーション結果(宮島氏)



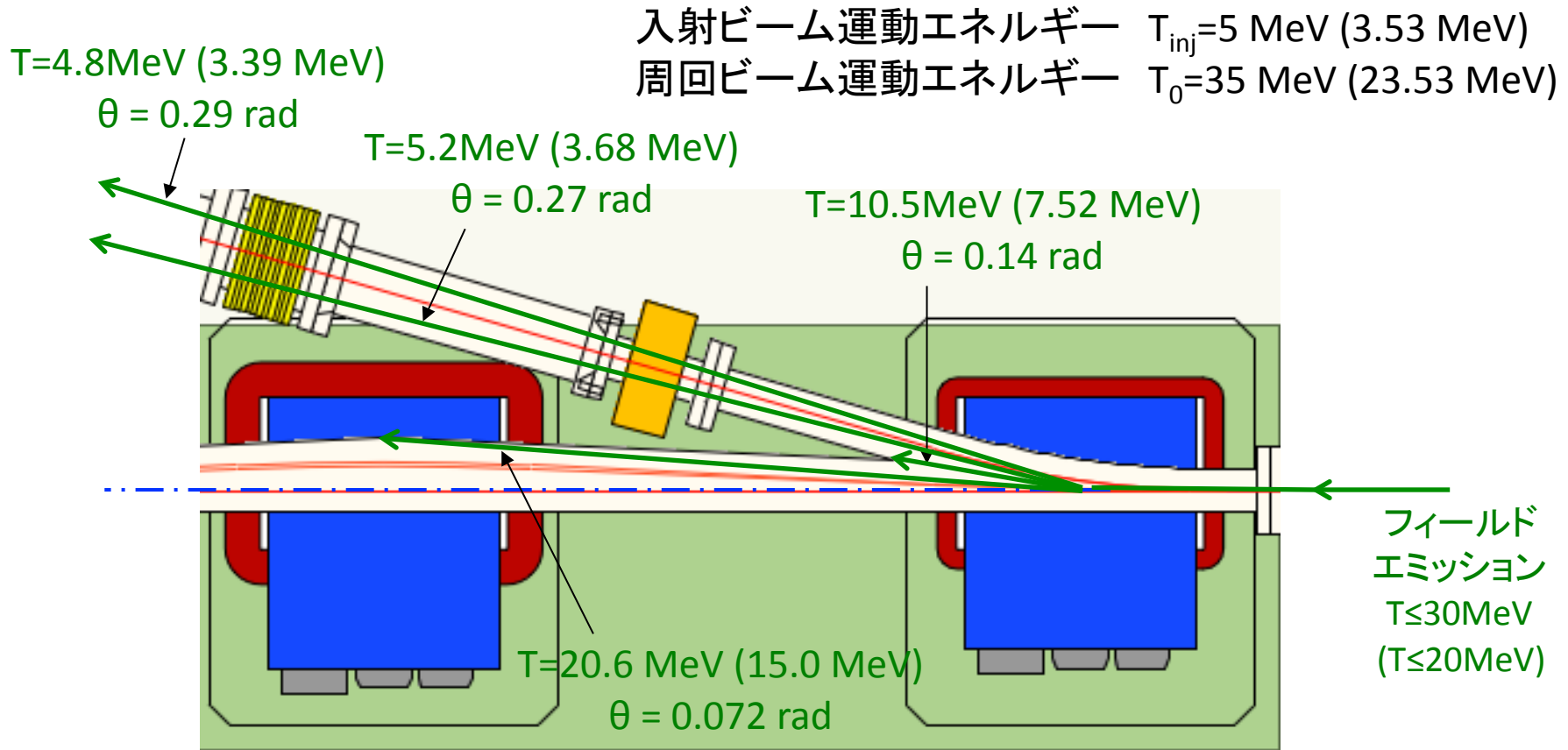
COL01/COL02での水平・垂直のビームサイズは 5σ でも4/2mm以下で、規格化エミッタンスが10/40mm mradまで増大して初めてパイプに擦るかどうかである。

ビーム損失点⑥

cERL配置図(2012.12.27)



ダンプシケイン & ダンプライン

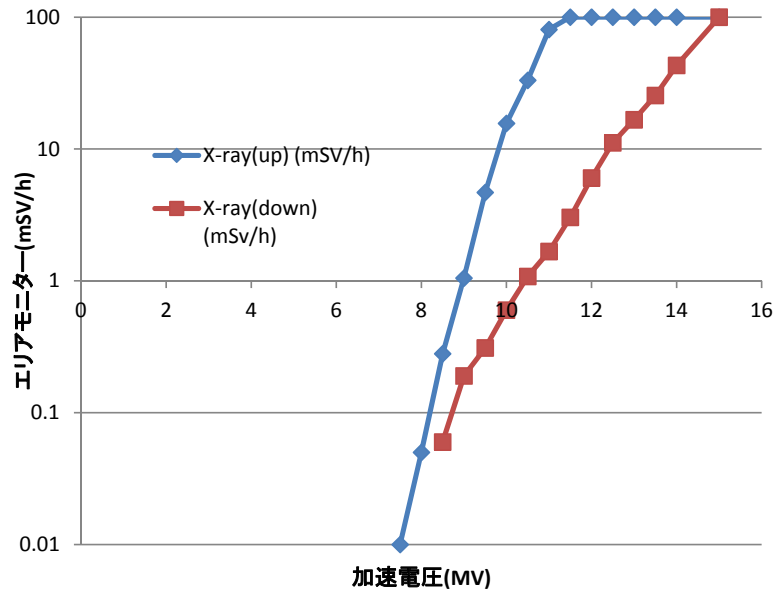


- | | | |
|---|---|----------------|
| (1) $T \leq 4.8 \text{ MeV}$ ($T \leq 3.39 \text{ MeV}$) | → | ダンプライン北側でビームロス |
| (2) $5.2 \leq T \leq 10.5 \text{ MeV}$ ($3.68 \leq T \leq 7.52 \text{ MeV}$) | → | ダンプライン南側でビームロス |
| (3) $10.5 \leq T \leq 20.6 \text{ MeV}$ ($7.52 \leq T \leq 15.0 \text{ MeV}$) | → | ダンプシケインでビームロス |

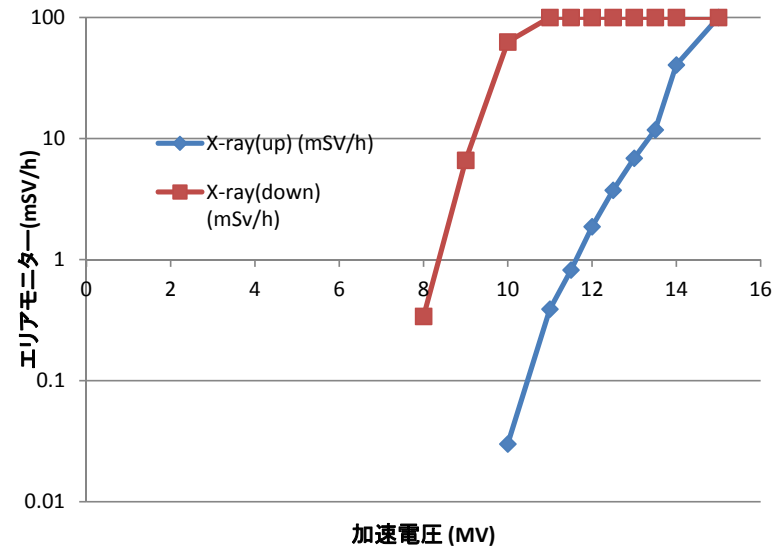
約20MeV(15MeV)までのFEはダンプシケイン & ダンプラインで損失する。

X-ray vs 加速電圧

主空洞報告 (preliminary result) by 阪井 @ cEPL建設打ち合せ2012.12.26



上流空洞

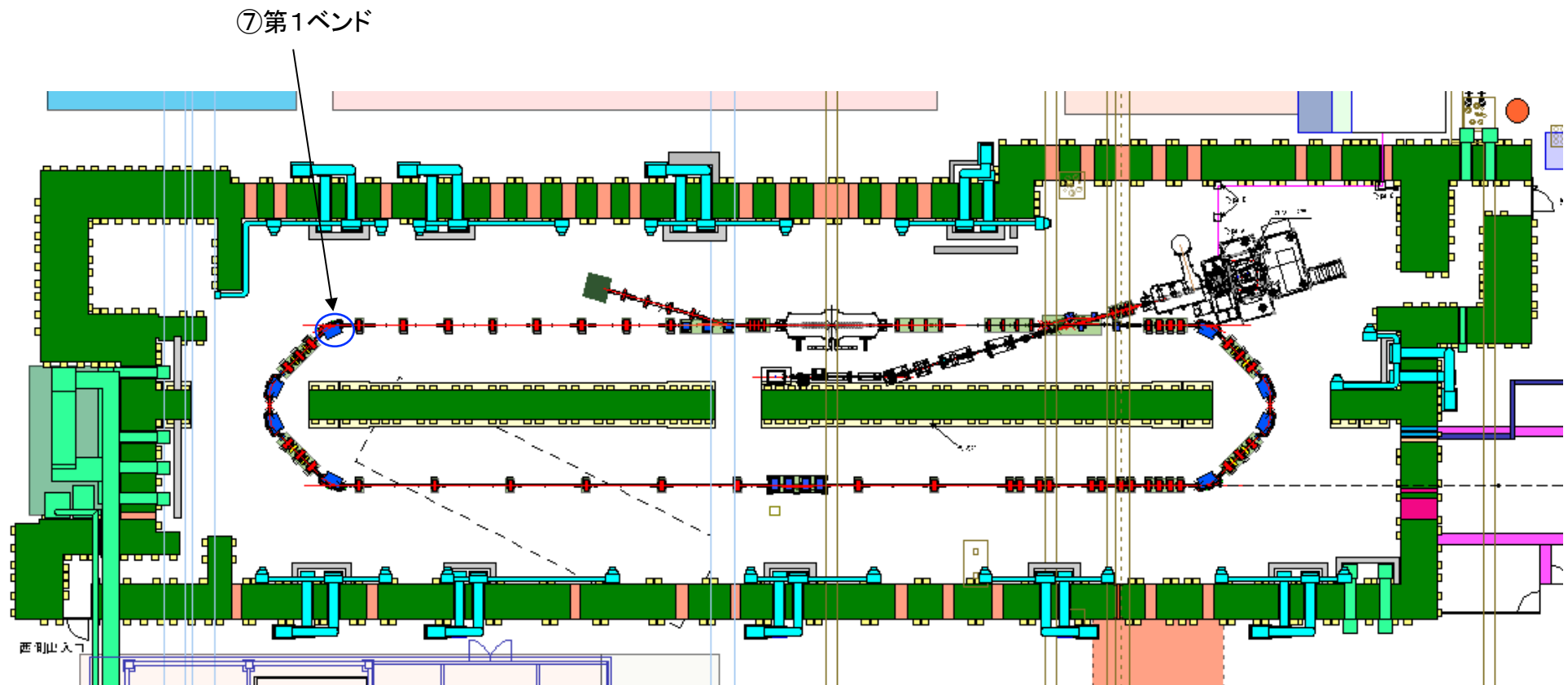


下流空洞

- (1) 下流空洞では上流へのFEの寄与は下流へのFEに比べてかなり小さい。
- (2) 上流空洞では上流へのFEと下流へのFEとの強度比が下流空洞よりも相対的に大きい。
→ 上流空洞のFEの一部が下流空洞でも加速されて第1バンドまで生き残る。
 $20 \leq T \leq 30 \text{ MeV}$ ($10 \leq T \leq 20 \text{ MeV}$)

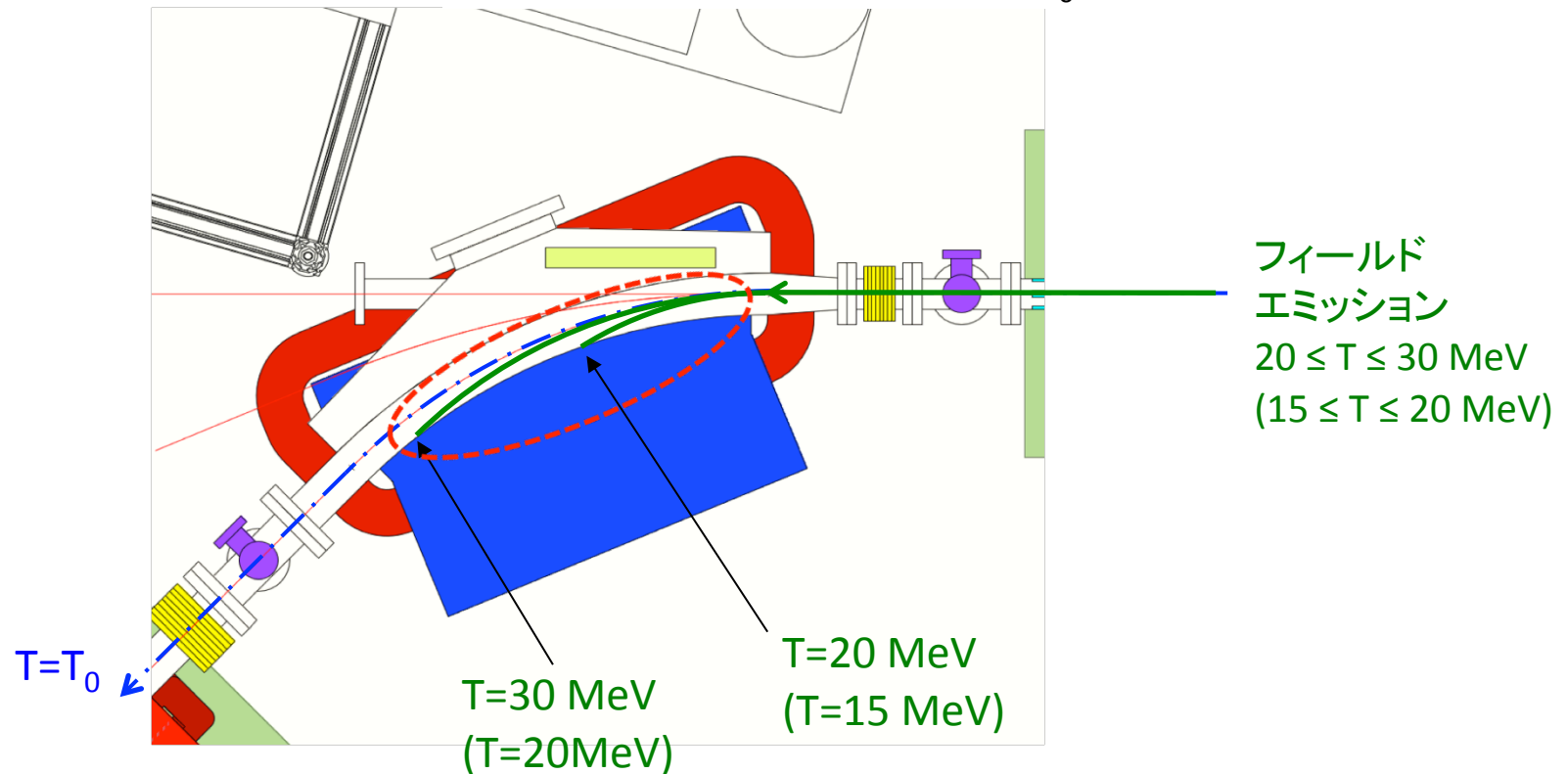
ビーム損失点⑦

cERL配置図(2012.12.27)



第1セクター電磁石(1)

入射ビーム運動エネルギー $T_{inj}=5 \text{ MeV}$ (3.53 MeV)
周回ビーム運動エネルギー $T_0=35 \text{ MeV}$ (23.53 MeV)



フィールドエミッションは第1バンドで全て損失する。

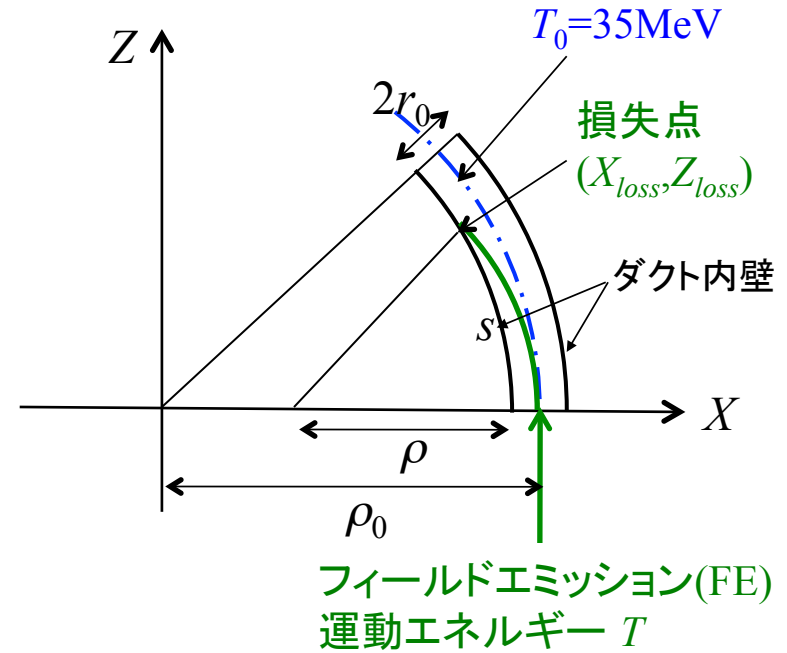
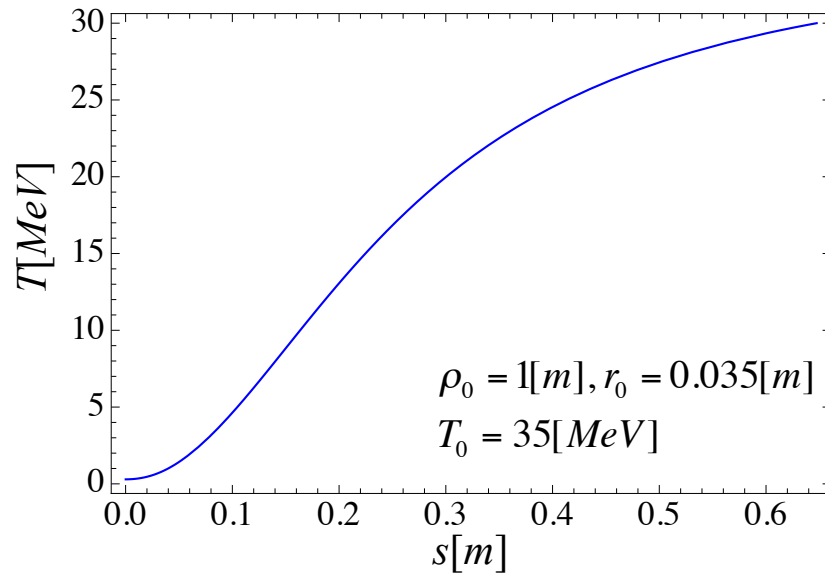
第1セクター電磁石(2)

$$X^2 + Z^2 = (\rho_0 - r_0)^2$$

$$\{X - (\rho_0 - \rho)\}^2 + Z^2 = \rho^2$$

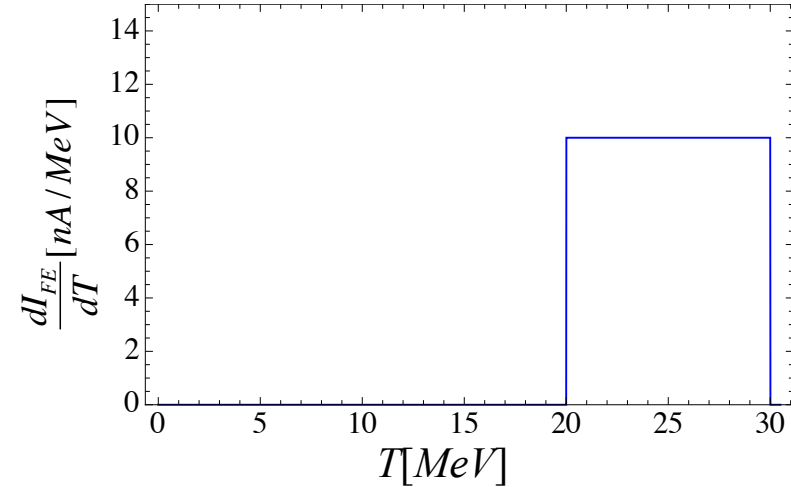
$$\downarrow \rho(T) = \frac{\rho_0 mc^2}{p_0} \sqrt{\left(\frac{T}{mc^2} + 1\right)^2 - 1}$$

$$s(T) = (\rho_0 - r_0) \tan^{-1}(Z_{loss} / X_{loss})$$

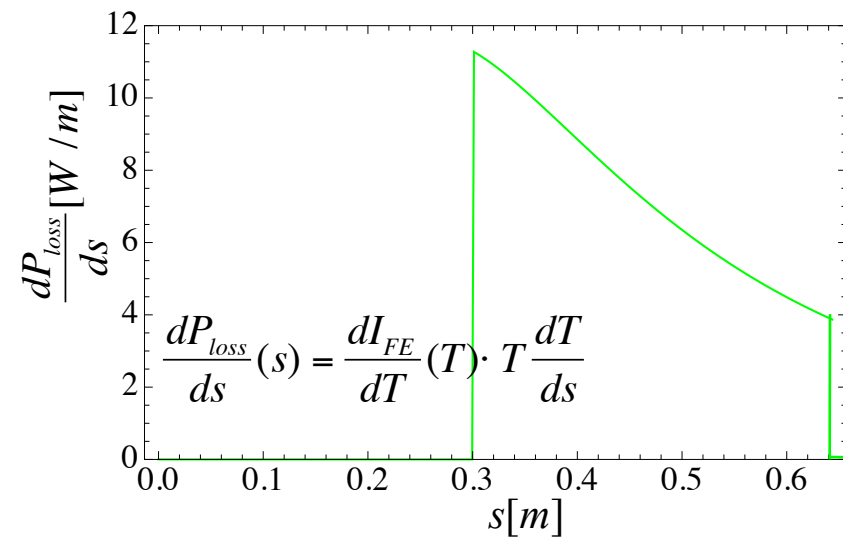
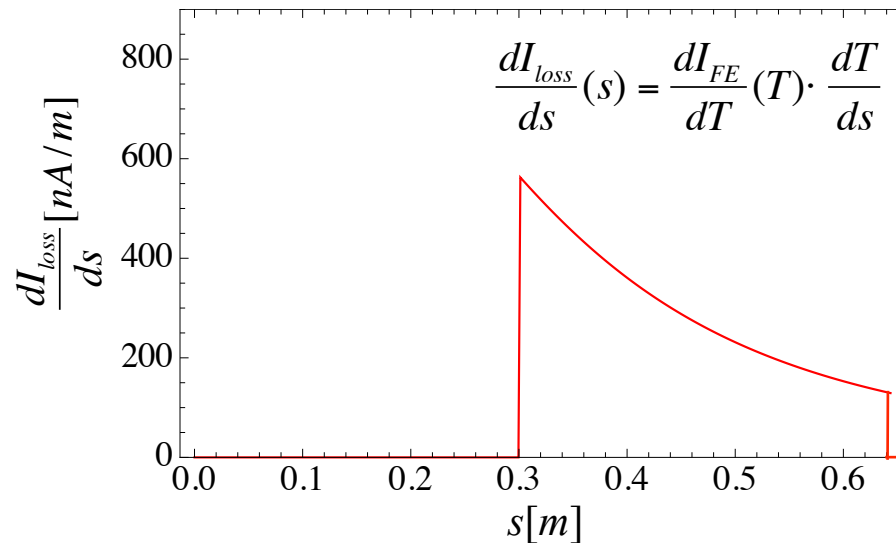


第1セクター電磁石(3)

FEの運動エネルギースペクトル $\frac{dI_{FE}}{dT}(T)$

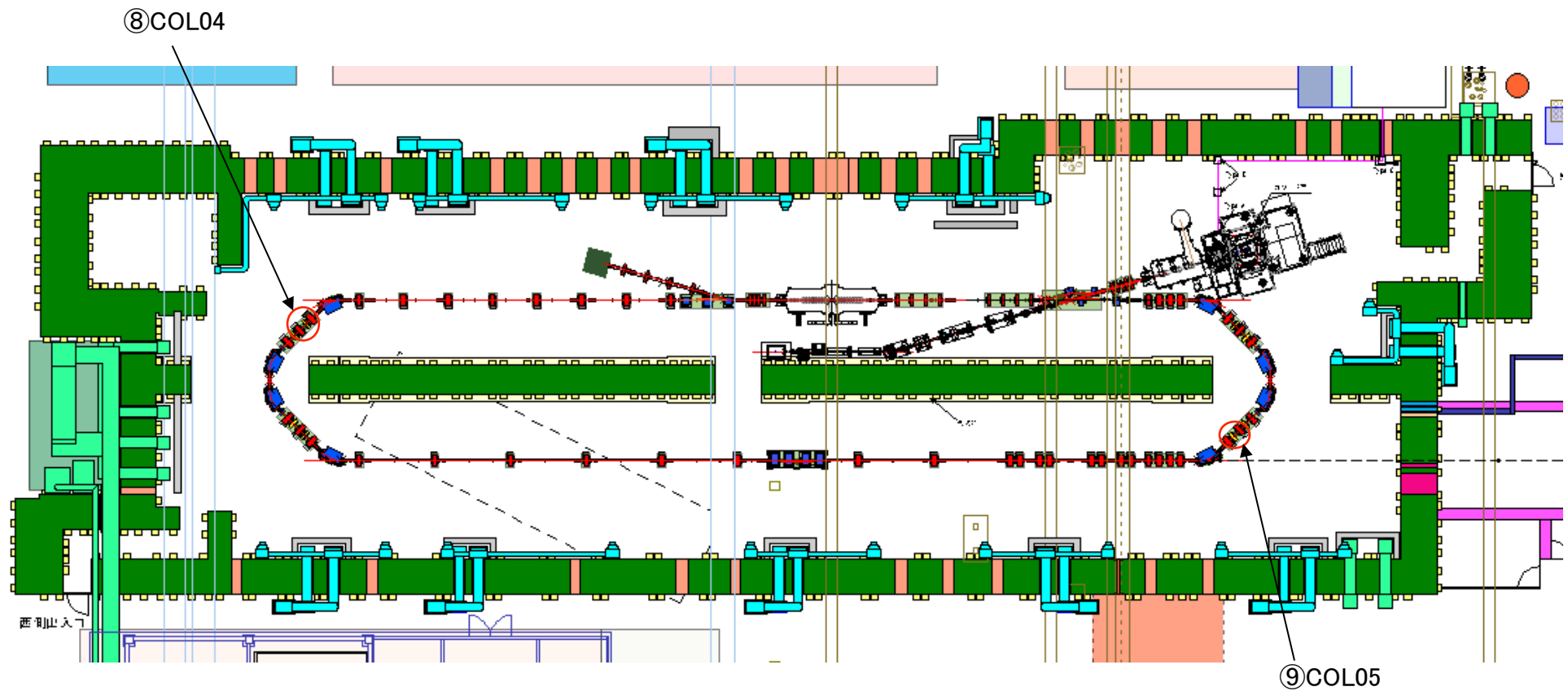


単位長さ当たりのFE電流&パワー損失



ビーム損失点⑧⑨

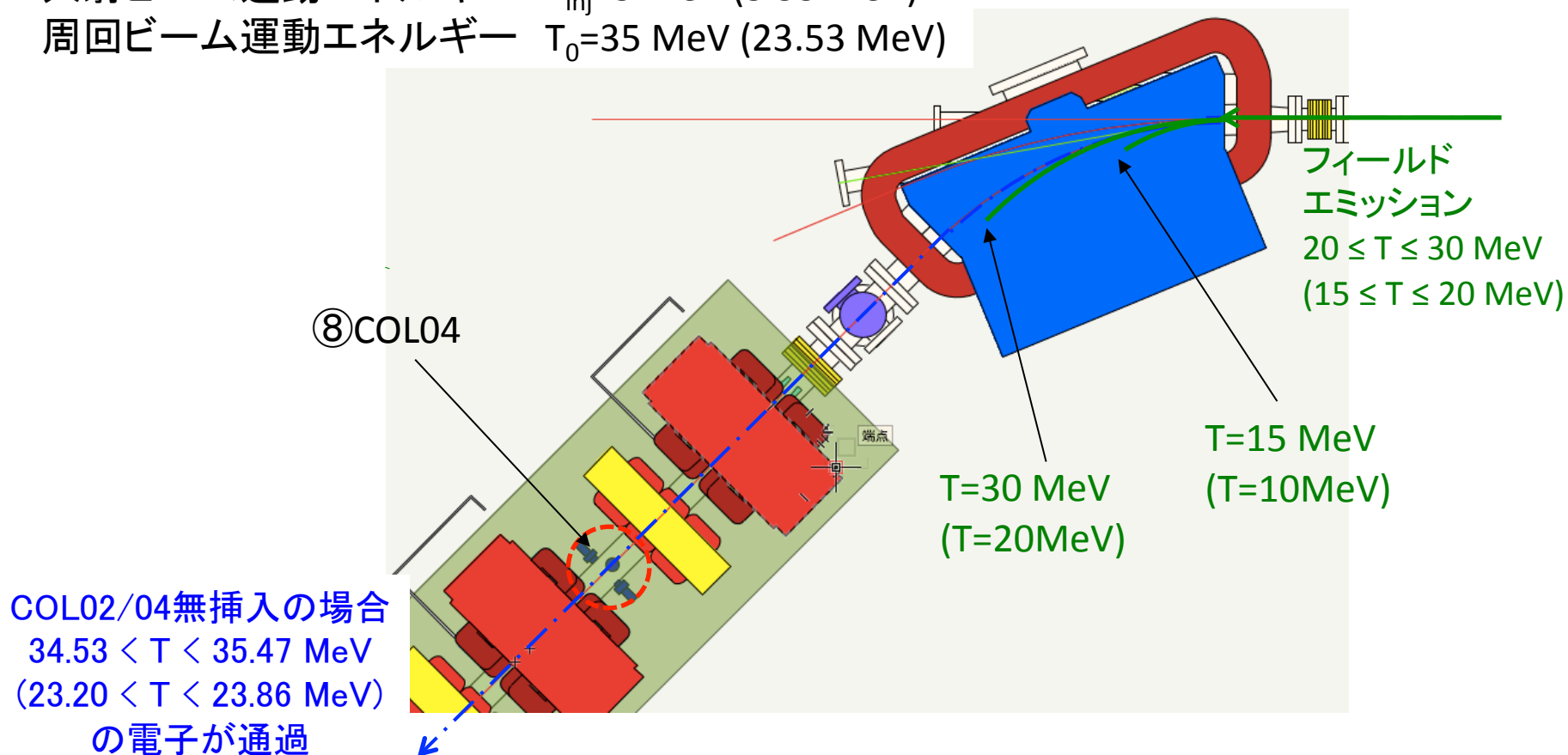
cERL配置図(2012.12.27)



アーク部コリメータ

入射ビーム運動エネルギー $T_{inj}=5 \text{ MeV}$ (3.53 MeV)

周回ビーム運動エネルギー $T_0=35 \text{ MeV}$ (23.53 MeV)

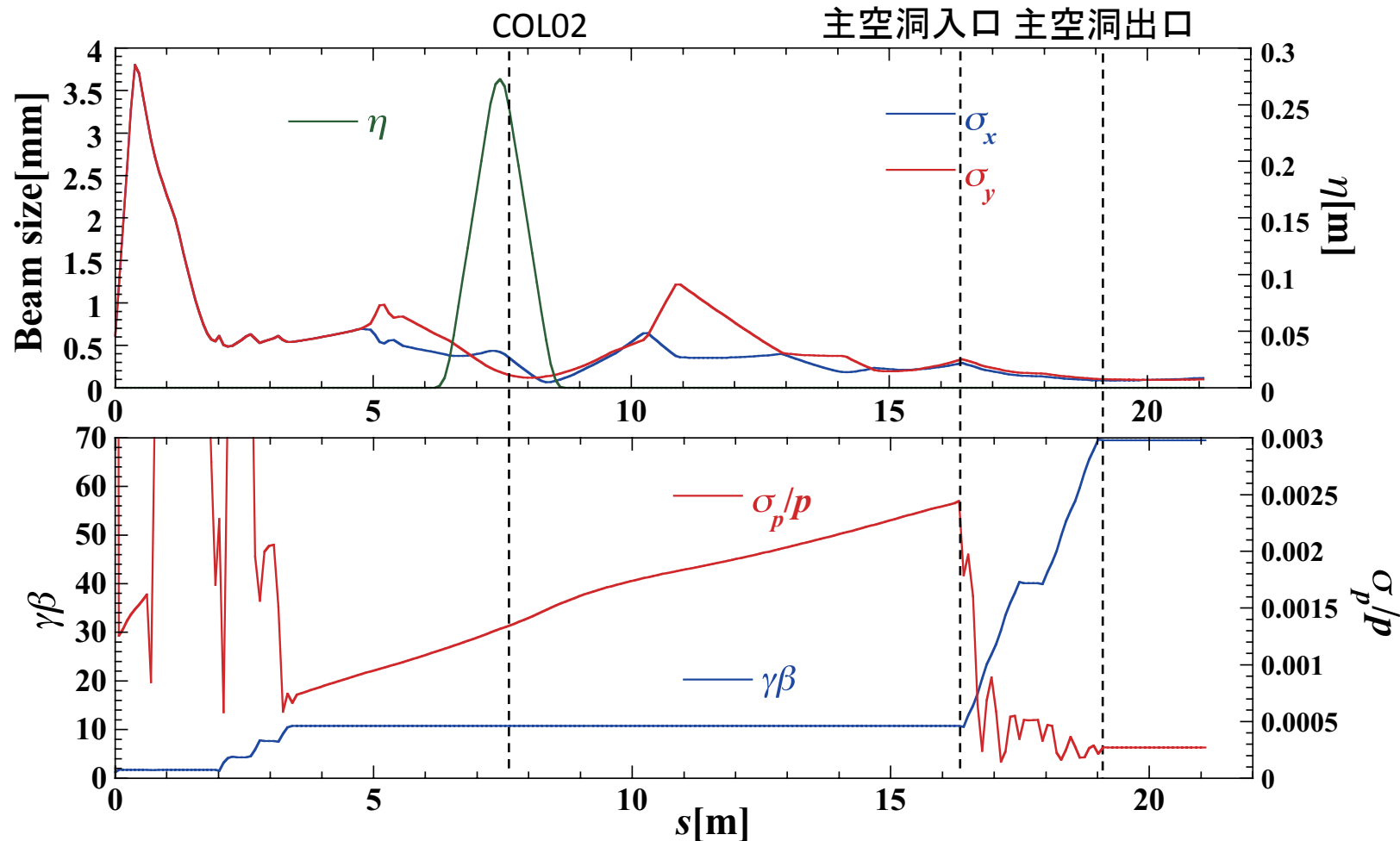


COL04/COL05は電子ビームのハローを除去(制御)するために使用する。
(フィールドエミッションはコリメータまでは届かない。)

合流部と加速後の運動量幅比

シミュレーション結果(宮島氏)

$T_0=35.0$ MeV, $T_{inj}=5.02$ MeV, $\epsilon_n \approx 0.3$ mm mrad



加速後の運動量幅はCOL02での運動量幅の約1/5になる(加速前後では約1/8)。

合流部 & 第1アーク部コリメータの関係

合流部コリメータ(COL02)での水平方向変位 Δx_2

$$\Delta x_2 = a_2 - r_2 = \eta_2 \left(\frac{\delta p}{p} \right)_2$$

a_2 : COL02でのアパーチャ(挿入無し)

r_2 : COL02での対応するコリメータ挿入長

第1アーク部コリメータ(COL04)での水平方向変位 Δx_4

$$\Delta x_4 = a_4 - r_4 = \eta_4 \left(\frac{\delta p}{p} \right)_4$$

a_4 : COL04でのアパーチャ(挿入無し)

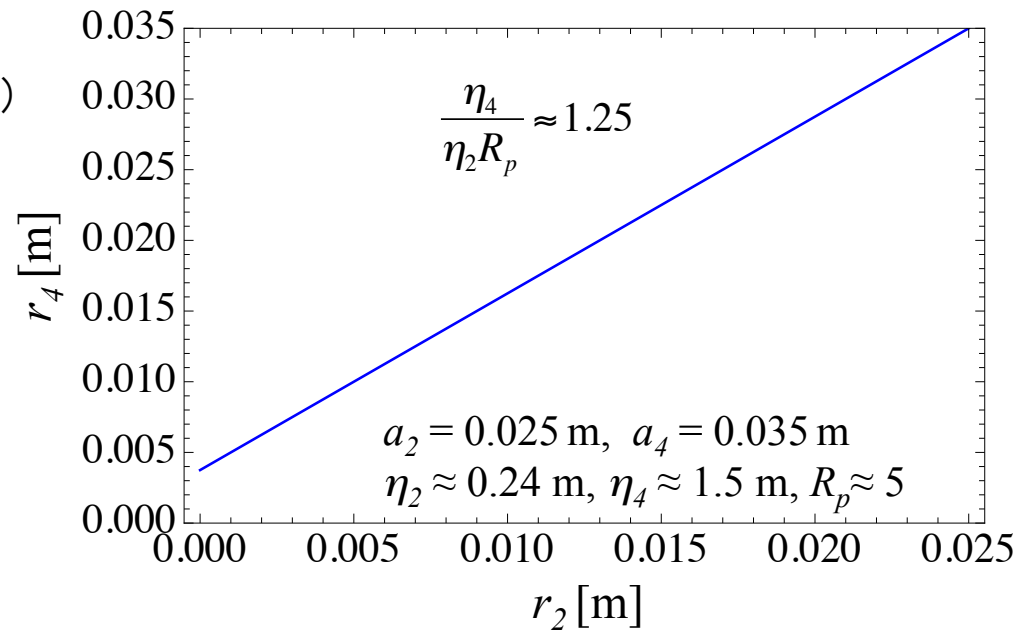
r_4 : COL04でのコリメータ挿入長

コリメータ間の運動量幅の関係

$$\left(\frac{\delta p}{p} \right)_2 = R_p \left(\frac{\delta p}{p} \right)_4$$

コリメータ間の挿入長の関係

$$r_4 = \frac{\eta_4}{\eta_2 R_p} r_2 + a_4 - a_2 \frac{\eta_4}{\eta_2 R_p}$$



R_p に依存するが、COL04でのビーム運動量広がり COL02で調整できる。

LCSによるビーム損失

レーザーコンプトン散乱X(γ)線エネルギー ε_γ と波長 λ_γ

$$\varepsilon_\gamma = \frac{4\gamma^2\varepsilon_L}{1+\gamma^2\theta^2} \quad \lambda_\gamma = \frac{\lambda_L}{4\gamma^2}(1+\gamma^2\theta^2)$$

電子エネルギー E_e の変化 ($E_e=35.51$ MeV, $\varepsilon_L=1.17$ eV, $\lambda_L=1064$ nm)

$$\frac{\Delta E_e}{E_e} = \frac{\varepsilon_\gamma}{E_e} \leq 7 \times 10^{-4}$$

第2アーク部での水平方向変位 Δx ($\eta_{max}=1.5$ m)

$$\Delta x = \eta \frac{\Delta E_e}{E_e} \leq 1 [mm]$$

コンプトン散乱光子数

$$N_e = 4.8 \times 10^7 \text{ electrons/bunch}, fN_L = 5.3 \times 10^{20} \text{ photons/s}$$

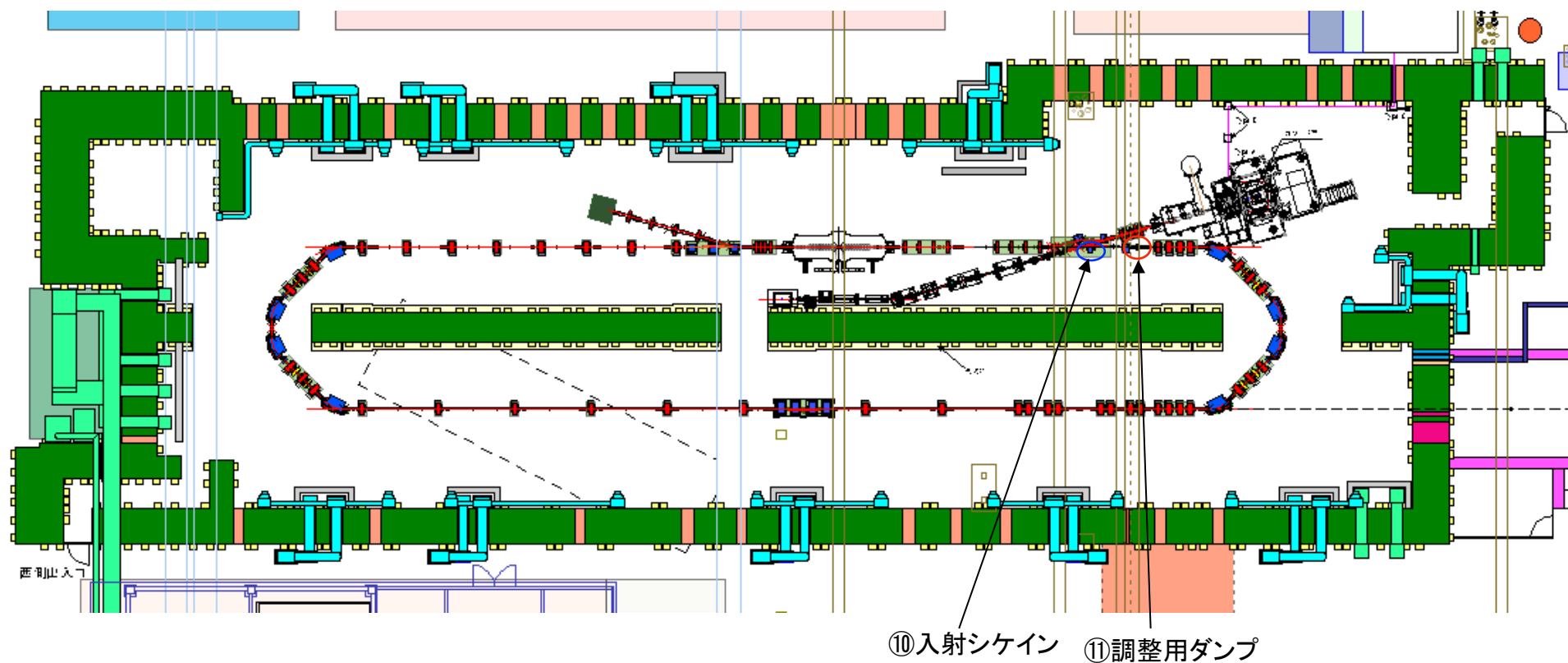
$$\sigma_T = 6.65 \times 10^{-29} \text{ m}^2, \sigma_x = 12.8 \text{ } \mu\text{m}, \sigma_y = 6.6 \text{ } \mu\text{m}$$

$$N_\gamma = \frac{\sigma_T N_e N_L f}{2\pi\sigma_x\sigma_y} \approx 3.2 \times 10^9 [\text{photons/s}]$$

レーザーコンプトン散乱によるビーム損失は無視できる。

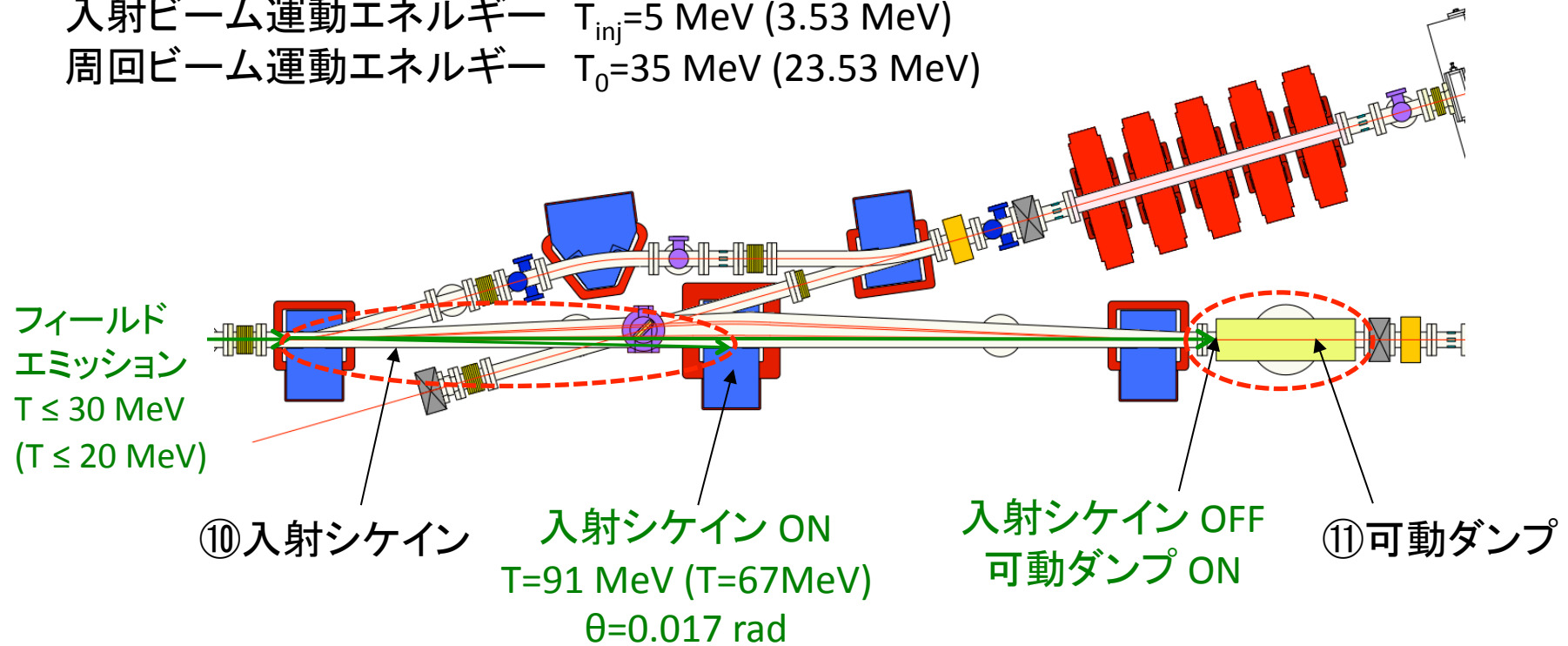
ビーム損失点⑩⑪

cERL配置図(2012.12.27)



入射シケイン & 可動ダンプ

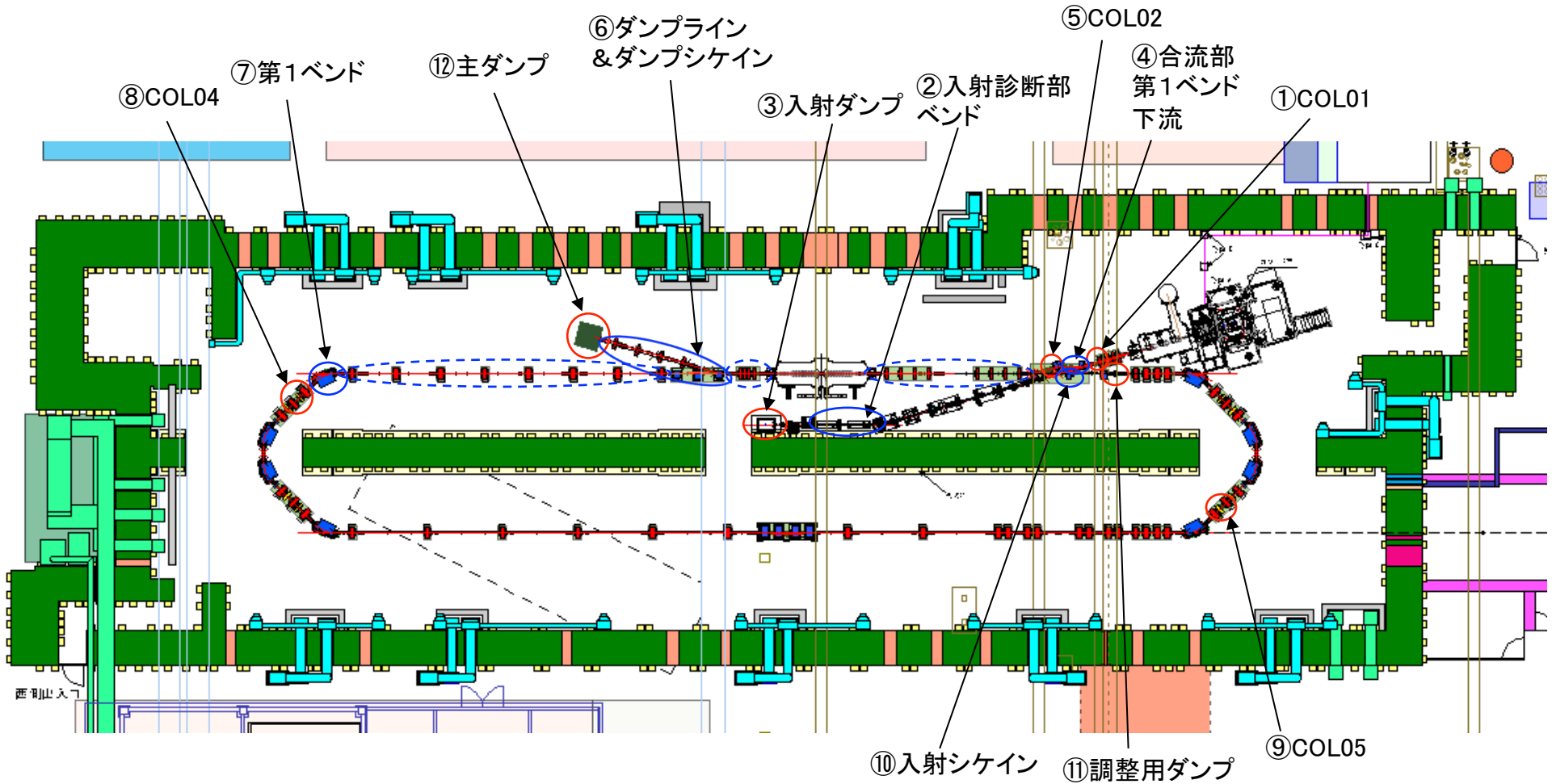
入射ビーム運動エネルギー $T_{inj}=5 \text{ MeV}$ (3.53 MeV)
周回ビーム運動エネルギー $T_0=35 \text{ MeV}$ (23.53 MeV)



- (1) ビーム周回時: 入射シケインで主空洞FEが損失する。
- (2) 入射ビーム診断時: 可動ダンプを下げて主空洞FEを損失させる。

全ビーム損失点候補

cERL配置図(2012.12.27)



実際には主空洞FEの広がりや偏向のために、北側長直線部でより広範囲に損失が
起こるであろう。

天井上部の線量率からの暗電流の見積もり

cERL建設打ち合せ by 松村氏 (2013.1.18)

測定日	時刻	運転 空洞名	電圧 (MV)	仮定最大電子E (MeV)	見積り電流値 (μ A)	
12月19日	16:50	3号機	11.5	10	0.4	室内測定からの見積もり値
12月19日	17:00	3号機	13.5	13	1.2	----- 3 μ A
12月21日	17:18	4号機	14.0	13	0.3	
12月21日	17:20	4号機	14.5	13	0.6	----- 0.4 μ A
12月21日	17:21	4号機	15.0	14	0.8	
12月21日	17:22	4号機	15.5	14	1.4	

各点で申請する損失電流量と追加遮蔽については
設定する加速電圧と表の暗電流の見積り等を参考に
して決める。

仮定最大電子Eまでの一様電子エネルギーの暗電流が発生していると仮定して見積もった

ビーム損失のシミュレーション

elegantによるシミュレーションを検討中

- フィールドエミッションの分布設定
&bunched_beam, &sdds_beamの利用
- 大きく運動量がずれた電子の扱い
EDRIFT, CSBEND, KQUAD, KSEXT elementの利用
(近軸近似が成立しない場合にも有効)



より精度の高いビーム損失評価が可能になる。

まとめ(1)

- ビーム進行方向の主空洞フィールドエミッション(FE)は、ダンプシケインで大部分が損失する。生き残ったFEは第1バンドで全て損失する。
- 反対向きの主空洞からのFEは入射シケインで全て損失する。ただし、バンプオフ中は可動ダンプを下げて損失させる。
- コリメータ(COL02/04/05)では、主にFEではなくビームハローを除去することになる。COL02を有効に用いてなるべく低エネルギーの段階でハローを損失させる。

まとめ(2)

- LCSによるビーム損失は無視できる。
- 周回部でのビーム損失をより精度良く評価するために、シミュレーションをelegantで行うことを検討している。