

# 入射システム

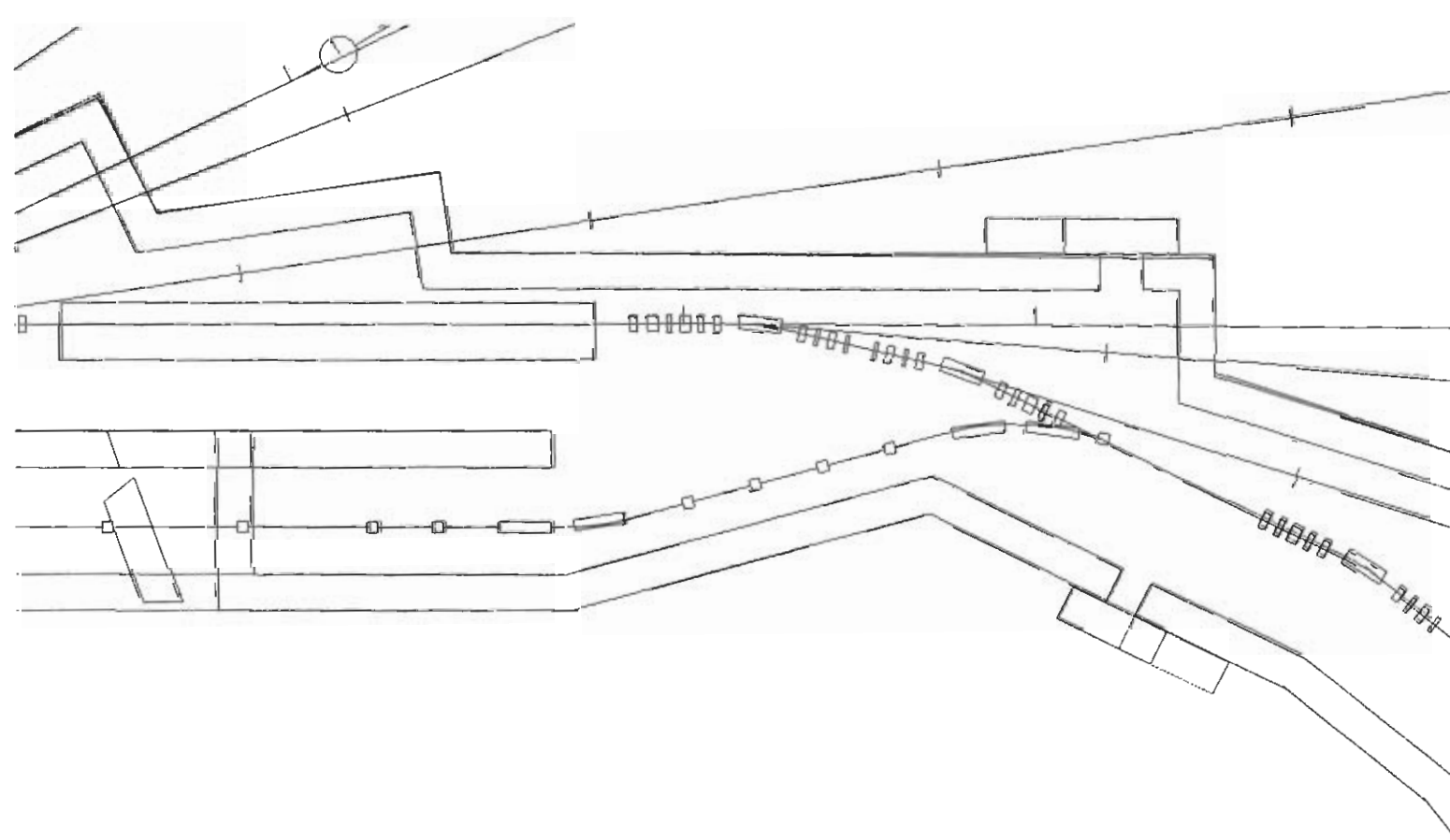
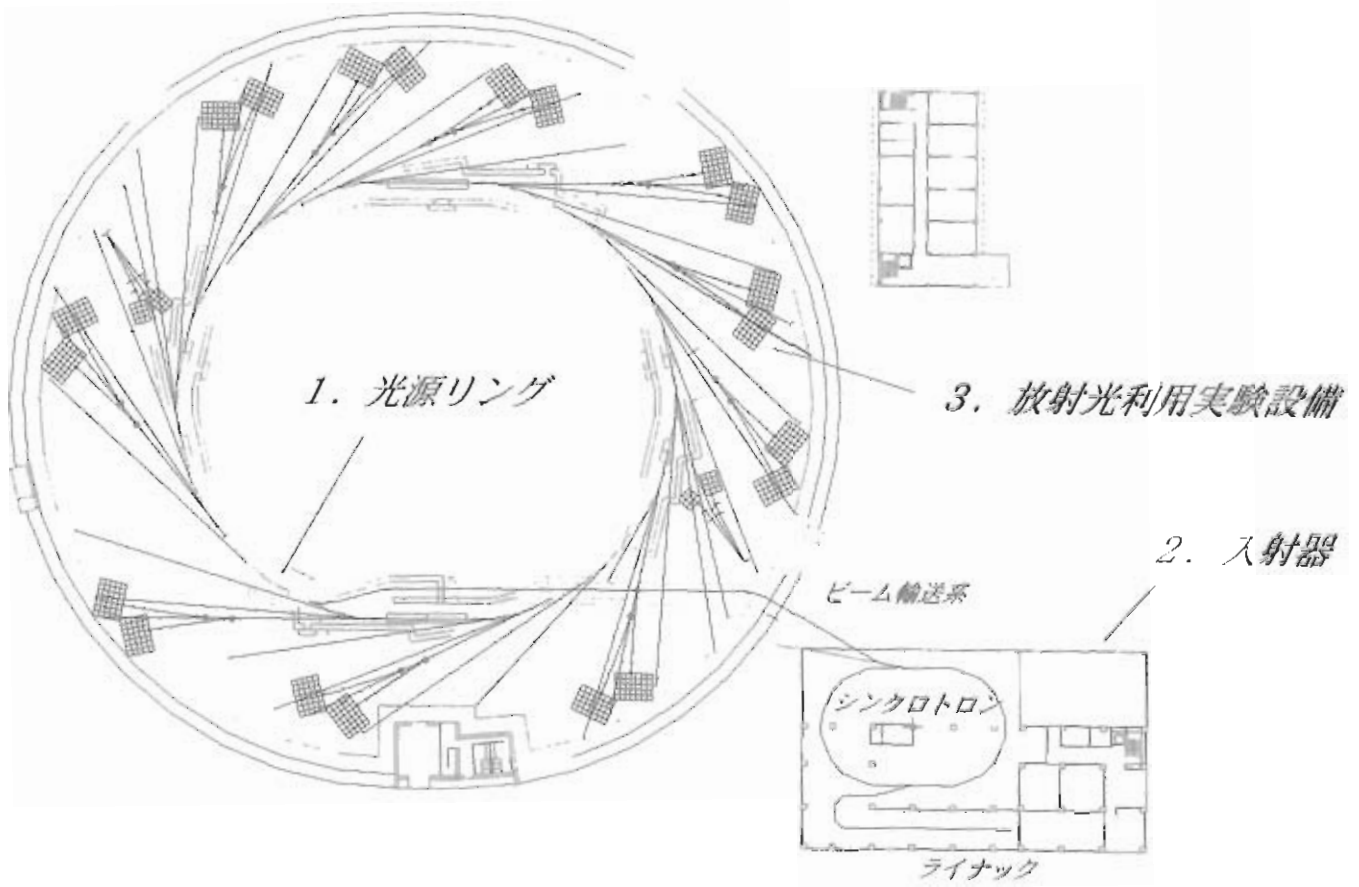
高木 宏之 (物性研究所)

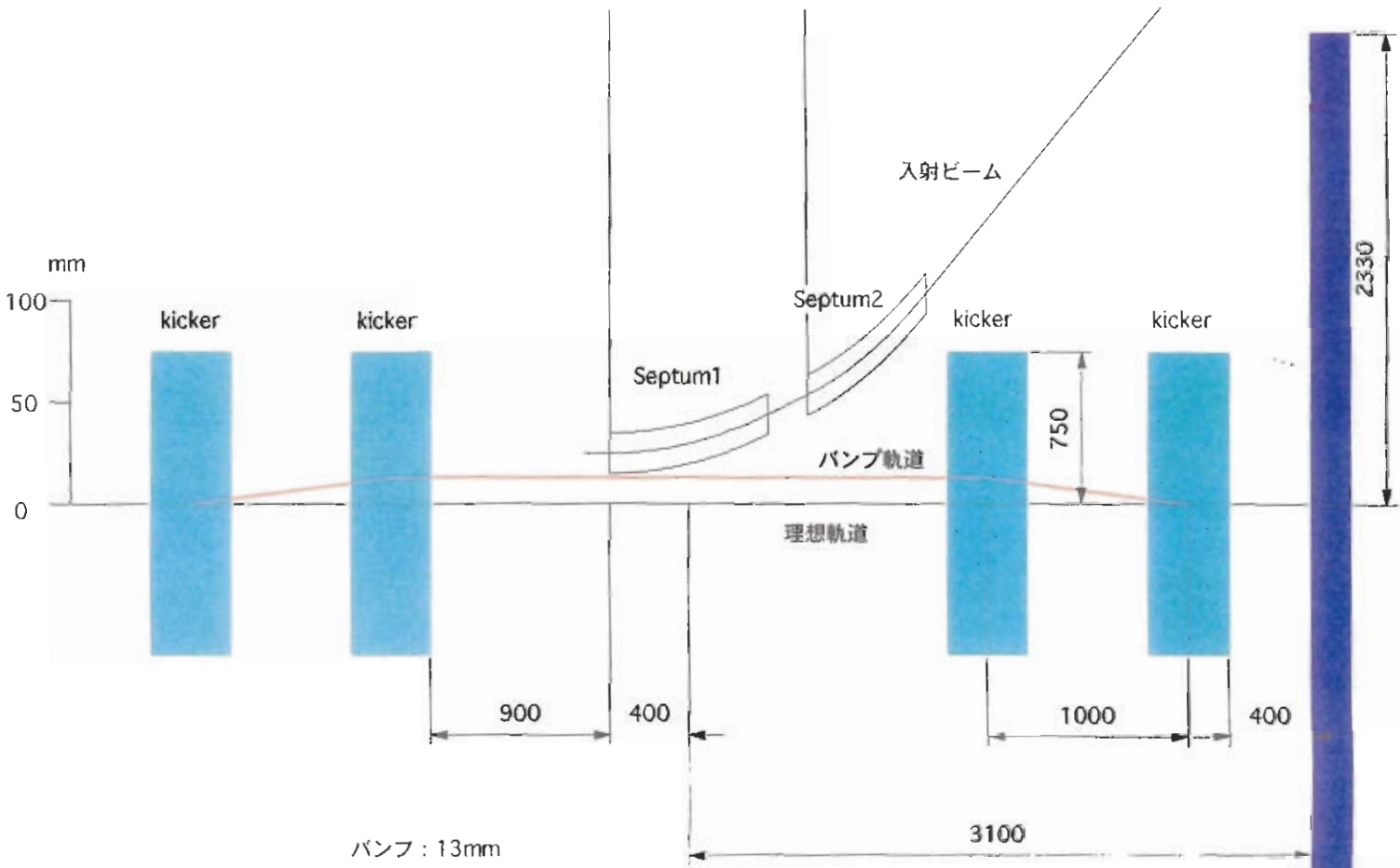
## 要求されるもの

- マルチバンチ
  - セベラルバンチも含む
- シングルバンチ

入射の繰返しは最大 1 Hz

これらのモードに対してトップアップ運転を可能にする





### キッカー

入射に必要なバンパ 13 mm      ▶ 蹴り角 13mrad  
 キッカー間の距離 1 m

実効長を0.4 mとすると必要な磁場は0.22 [T]  
 (デザインノートの値0.36 [T]は厳しい)

キャップを38 mmとすると

$$NI = g \frac{B}{\mu_0} = 7000 \text{ [A]}$$

$$I = 3500 \text{ [A]} \quad (N=2)$$

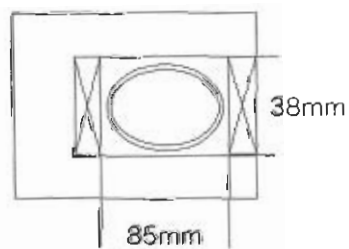
$$= 7000 \text{ [A]} \quad (N=1)$$

$$L = 3.8 \text{ [\mu H]} \quad (N=2)$$

$$= 0.96 \text{ [\mu H]} \quad (N=1)$$

$$V = 23.2 \text{ [kV]} \quad (N=2)$$

$$= 11.7 \text{ [kV]} \quad (N=1)$$



これなら充電電圧25 kV以下で可能

# セプタム電磁石

	パルスセプタム 1	パルスセプタム 2
電磁石長	0.8 m	0.6 m
磁極間隙長	15 mm	15 mm
最大磁場	0.4 T	0.8 T
電流	2500	2500
電流再現性・安定度	0.1%以下	0.1%以下
コイルターン数	2	4
運転	half-sine 40 $\mu$ sec	half-sine 40 $\mu$ sec

## トップアップ入射と挿入光源磁石の減磁

リングに蓄積される電子数  $N_0$  (蓄積電流 400mA, 周回周期 935ns)

$$N_0 = \frac{0.4 \times 9.35 \times 10^{-7}}{1.6 \times 10^{-19}} = 2.34 \times 10^{12}$$

1日に損失する電子数  $N_{loss}$  (入射効率  $f$ , 寿命  $\tau_{life}$ )

(1) 1日  $n_{inj}$  回入射 ( $n_{inj}=24/\tau_{life}$  と考えて)

$$N_{loss} = \frac{n_{inj} N_0}{f} = \frac{5.62 \times 10^{13}}{f \tau_{life} [hrs]}$$

(2) トップアップ入射

$\Delta t$  の間に寿命により損失する電子数

$$\Delta N_{life} = \frac{N_0 \Delta t}{\tau_{life}}$$

これとこれを補う入射で損失する電子数の和

$$\Delta N_{loss} = \Delta N_{life} + \Delta N_{inj} = \frac{N_0 \Delta t}{f \tau_{life}}$$

1日当たりで損失する電子数

$$N_{loss} = \frac{24 N_0}{f \tau_{life} [hrs]} = \frac{5.62 \times 10^{13}}{f \tau_{life} [hrs]}$$

損失を抑える方法 (トップアップ入射・通常入射共に)

- ・ 入射効率を高める。
- ・ ビーム寿命を長くする。

トップアップ入射では、放射光強度が一定になる一方で、ギャップを閉じたまま入射するので、挿入光源磁石に照射される電子数は多くなる。

## 電子ビーム照射による永久磁石の減磁

飽和磁化  $B_s=1.18[\text{T}]$ , 保磁力  $H_c=1420[\text{kA/m}]$ の磁石 (文献参照) $n_e=8.25 \times 10^{15} [\text{electrons/cm}^2]$ の照射  $\rightarrow$  5.6%の減磁

減磁の条件としてその 1/10 を考えると、

$$n_e \leq 8.75 \times 10^{14} [\text{electrons/cm}^2]$$

リング建設当初は、 $\tau_{\text{life}} < 1 \text{ hr}$  であり、 $f\tau_{\text{life}} < 1$  が暫く続く可能性がある。  
この時、損失する電子の数は、

$$N_{\text{loss}} > 5.62 \times 10^{13} [\text{electrons}]$$

この場合、 $N_{\text{loss}}$  がそのまま挿入光源の磁石  $1\text{cm}^2$  に照射されるとすると、  
わずか **15 - 16 日で減磁が現れる** ことになる。1年で200日運転して、  
20年間 (約4000日) 磁石を交換しないで済むことが望ましい。

## 減磁を防ぐ方法

- ・ 入射効率を高める。
- ・ ビーム寿命 (特にガス散乱成分) を長くする。
- ・ 放射線への耐性が強い (保磁力の大きい) 磁石を選択する。  
ただし、飽和磁化が一般に低いので、磁場は弱まる。
- ・ 磁石になるべく電子が照射されないような工夫を施す。  
最小ギャップをあまり小さくせず、挿入光源以外の場所で電子損失を起こさせる。ただし、100%照射から逃れるのは難しい。

## 結論

- (1) トップアップ入射の御利益は、放射光強度一定であり、ギャップを小さくしても良いということではない。
- (2) トップアップ入射運転でもビーム寿命が長いことがビーム損失と挿入光源磁石の減磁の観点から必要となる。従って、一般にビーム寿命の短い極紫外・軟X線高輝度光源では十分な検討が必要である。

## Top-up 入射の周期

- ・ 損失量

$$\frac{\Delta N_e}{N_e} = \frac{T_{top-up}}{\tau_{beamlife}}$$

I=400 mA の時、リングの電荷総量は  $N_e = 374[nC]$

- ・ 1 バンチ当たりの電荷 0.8 nC の 1 / 20 を Top-up 入射
- ・ 1 バンチあたりの電荷の一様性を 5 % 以下に抑える
- ・ 入射効率を  $f$  とする

と入射の周期  $T_{top-up}$  は

$$T_{top-up} = 1.07 \times 10^{-4} \tau_{beamlife} f$$

となり、 $N_{bunch}=468$ 、入射効率 100% としても

0.4 sec ( $\tau_{beamlife}$ : 1 時間)

4 sec ( $\tau_{beamlife}$ : 10 時間)

結論：

バンチごとの一様性を考慮する場合は、マルチバンチのトップアップが必要