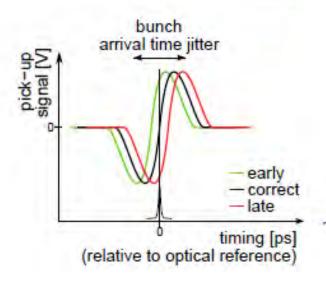
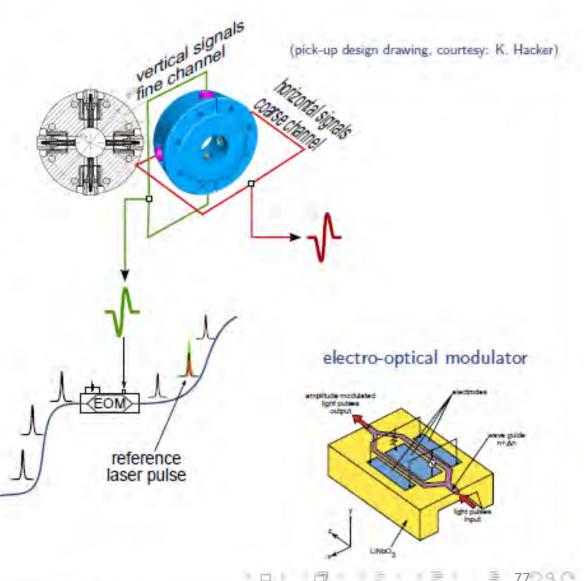
### Bunch Arrival Time Measurement.

Electro-Optical Detection Scheme

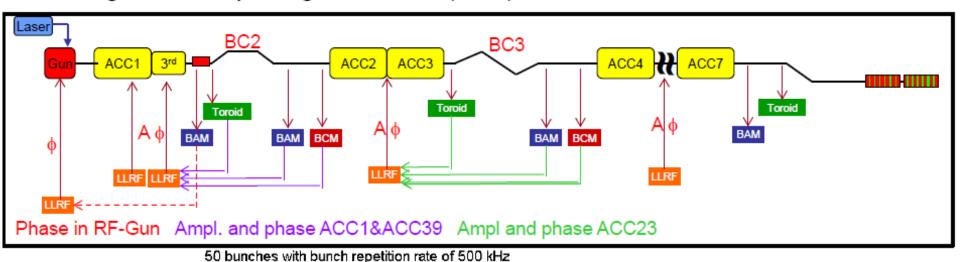
reduced dependency on beam orbit reduced dependency on bunch charge sensitivity in terms of % modulation per fs timing change

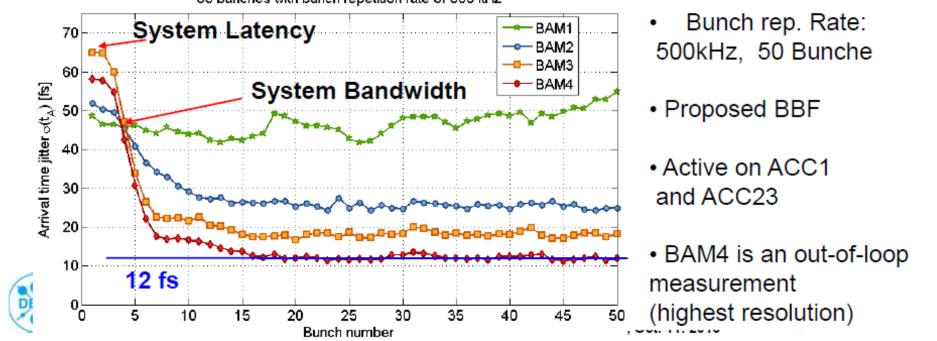




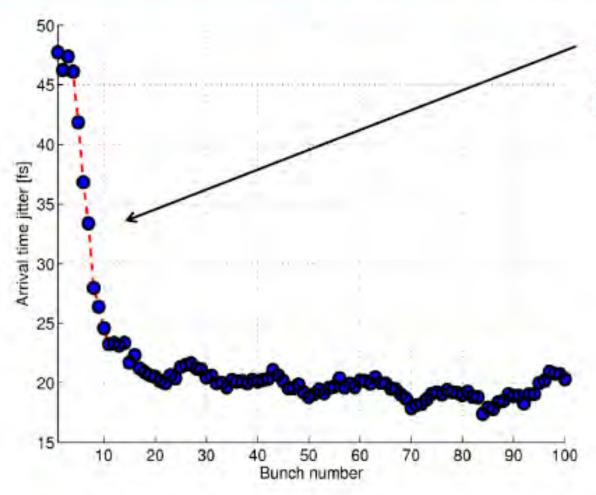
#### Ultra-Fast beam based feedbacks

Large bunch spacing at FLASH (~ us) allow for intra-bunch feedbacks





### Arrival time jitter 18ACC1 over 500 pulses



Approximatly 10 bunches are needed for arrival time stabilization

> LFF, MIMO FB, BLC and BBF (ACC1, ACC23) on



#### Tolerances on RF stability: ... what will be required?

Impacts the peak current / longitudinal beam profile

If 
$$\mathsf{E_0} << \mathsf{E_1}$$
 and  $\mathsf{E_0}' << \mathsf{E_1}'$  
$$\frac{\delta C}{C_1} = -(C_1-1) \left[ \left( 3\tan(\phi_1) + \frac{1}{\tan(\phi_1)} \right) (\delta\phi_1 - \omega_{RF}\delta t_{ini}) + 4 \frac{\delta V_1}{V_1} \right]$$
 Tolerance  $\propto$  Compression Phase & arrival Amplitude

Example: C=100, dl/l<10%  $\Rightarrow \phi \approx 0.014^{\circ}$  and dV/V  $\approx 2.5e-4$ 

⇒ multi-staged compression, but this adds cost

> Arrival time jitter:

E.g.:10fs, C>>1,R<sub>56</sub>~0.10m  

$$\Rightarrow \phi \approx 0.005^{\circ}$$
 L-band  
 $\Rightarrow dV/V \approx 3e-5$ 

$$\Sigma_{t,f}^2 = \left(\frac{R_{56}}{c_0}\right)^2 \cdot \frac{\sigma_{V_1}^2}{V_1^2} + \left(\frac{C-1}{C}\right)^2 \cdot \frac{\sigma_{\phi_1}^2}{\omega_{rf}^2} + \left(\frac{1}{C}\right)^2 \cdot \Sigma_{t,i}^2$$
Amplitude
Phase
Arrival

**Evolution:** 1990 Colliders

0.10 &

1° & 1% for phase / voltage

2000 FEL early

0.1%

2010 FEL now

0.01° & 0.01%

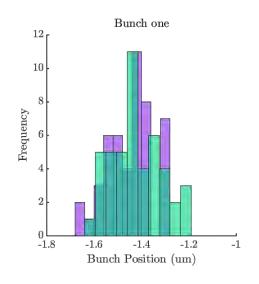
2020 FEL future

0.001° & 0.001%

since it scales with final bunch duration  $\rightarrow$  < 1fs requested MHOLTZ

# 最終収束

### ATF2 における FONT フィードバック



Power Spectral I

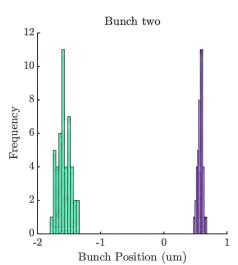
1E-10 1E-11 1E-12

1E-2

Quiet Site: Sazare

1E-1

frequency (Hz)

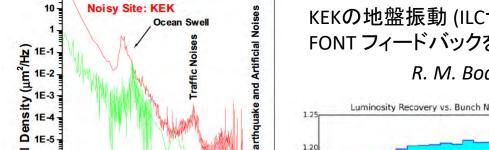


(IP vertical beam size)=1  $\mu$ m

Position jitter (nm)				
Bunch	Feedback off	Feedback on		
1	$106 \pm 16$	$106 \pm 16$		
2	$96 \pm 10$	$41 \pm 4$		

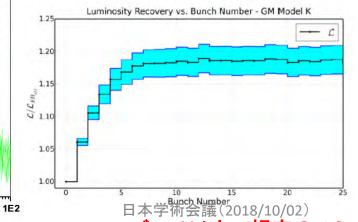
P. Burrows et al., ALCW2018

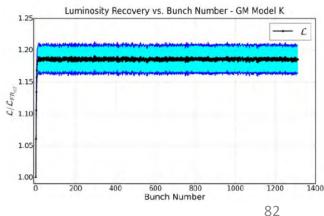
ATF2 では、FONT フィードバックで 焦点における垂直方向ジッターを ビームサイズの 4%にまで低減する ことに成功している。



KEKの地盤振動 (ILCサイトはもっと静か) に起因する焦点位置変動を FONT フィードバックを使って補正するシミュレーション結果

R. M. Bodenstein et al., Proceedings of IPAC2017

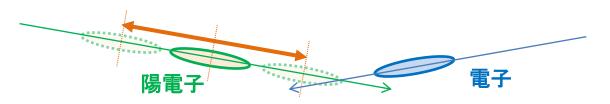




10 バンチ以内で規定のルミノシティに到達する。

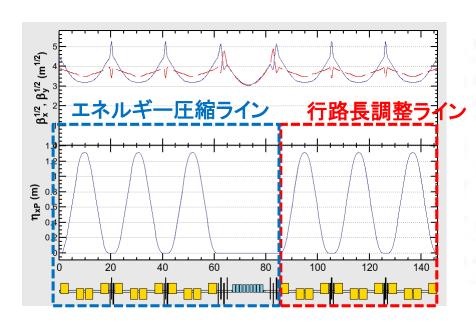
### 衝突条件の調整

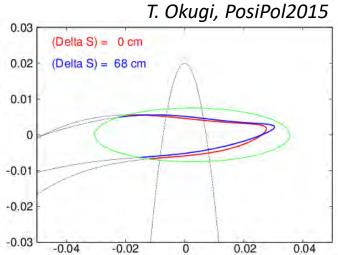
陽電子の衝突点への到達時間を 制御することで、ビームの衝突 タイミングを合わせる。



#### 大きなタイミングの調整

ILC の設計では進行方向の位置の調整は陽電子源のエネルギー圧縮ライン後に設置する 『行路長調整ビームライン』を使って  $\Delta t = 2$  ns (L = 68cm ) のタイミング調整ができる。





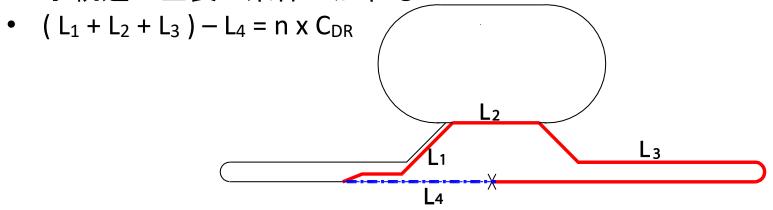
行路長調整による陽電子ビームの ダンピングリングへの影響は無いように、 行路調整ビームラインは設計されている。

#### タイミングの微調整

陽電子ビームラインの DR 以降の RF 位相を同時にずらすことで調整できる。

## Timing 問題

• 電子ビームを使って次の衝突用の陽電子を生成するために、陽電子軌道の全長に条件が加わる

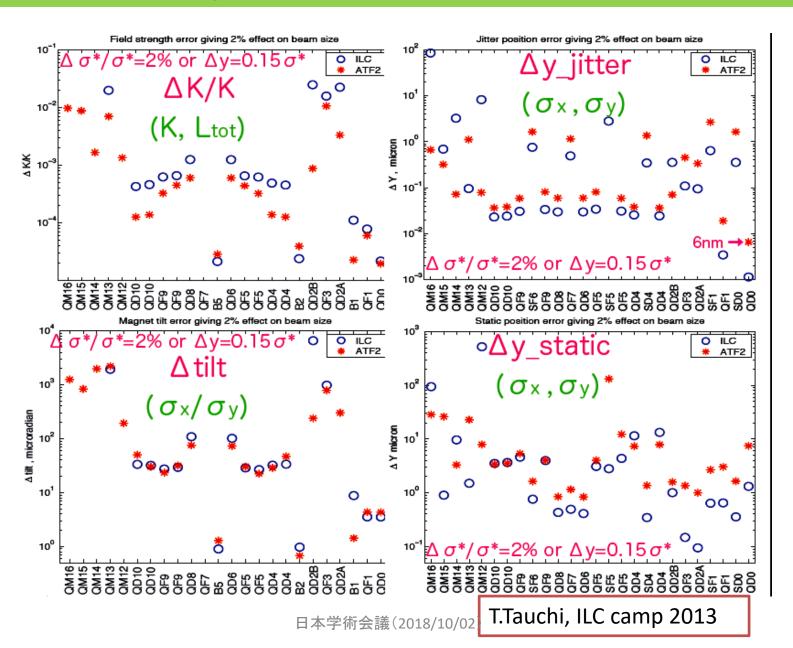


- 概数でいえば、IP←→図の右端 = n x (C<sub>DR</sub>/2)
- リナック長が閾を越えると、リナック長をCDR/2=1.6km 延ばさなければならなくなる。
- 要求精度は、減衰リングのバケツのacceptanceより十分小さい範囲、~1mm、さらにpulse-by-pulseの安定度は、衝突点でのバンチ長(0.3mm)より十分小さいこと
- 長さの調整
  - トンネル工事の誤差(数10cm)は、L1 にシケインをおくことで吸収できる
  - 短期変化は、L<sub>1</sub>のシケインの磁場調整、および減衰リングの周長の微調整で可能

### Luminosity

- SLCのLuminosityが設計値の半分までしか達成できなかった原因はすでにいろいろなところでまとまたように
  - wakefield dominantなマシンであったこと
  - アーク部分の軌道の上下動
- 20年後の現代からみればcontrol systemが未熟であったことなどがあげられる。ATF2などのその後の研究はめざましい。円型コライダーに比べて経験が少ないことはその通りであるが、SLCでも設計値の半分まで到達できたことの方が重要であろう
- ATF2は、ILCの実機と同じ収束原理に基づき、実際に磁石の数まで同じである。次ページにあるように、ATF2での、許容磁場誤差・許容設置誤差は実機とほぼ同じであり、かつ、地上にあるATF2の環境(日周・年周温度変化、振動など)は地下深部にあるILCよりはるかに劣悪である。

## Comparison of Tolerances



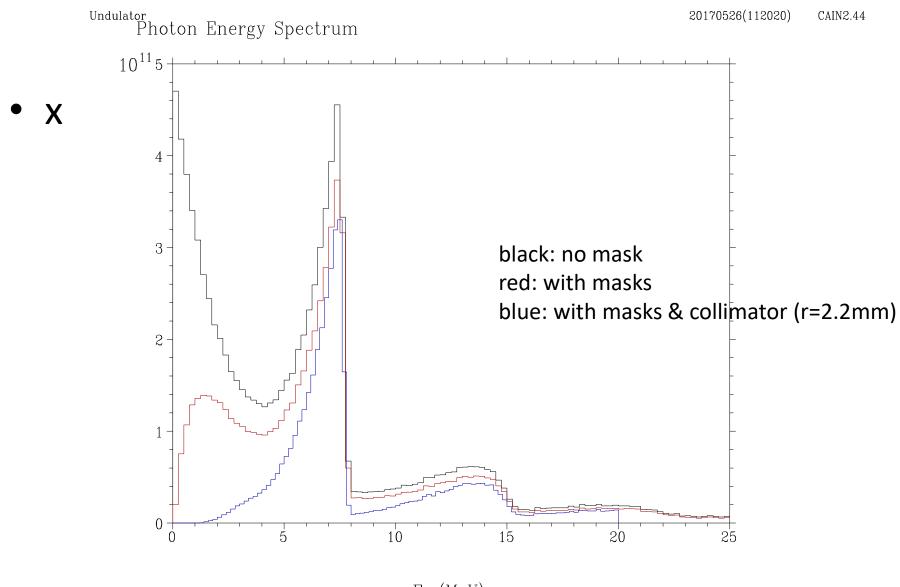
### 光子によるビームダンプ窓の放射線損傷 (Photons from Undulators)

- もっとも重要なパラメータは光子の数である
- その点で、E<sub>CM</sub>=250GeV (E<sub>e</sub>=125GeV) の場合がもっとも 厳しい
- ダンプ窓に当たる光子(標的に当たる光子がそのままダンプに当たるとして)

光子数	4.6E12 x 1312 x 5Hz	3 x 10 <sup>16</sup> /s
平均光子エネルギー		9.68 MeV
光子パワー		46.7 kW
ダンプ窓での光子サイズ(2km)		8mm x 8mm

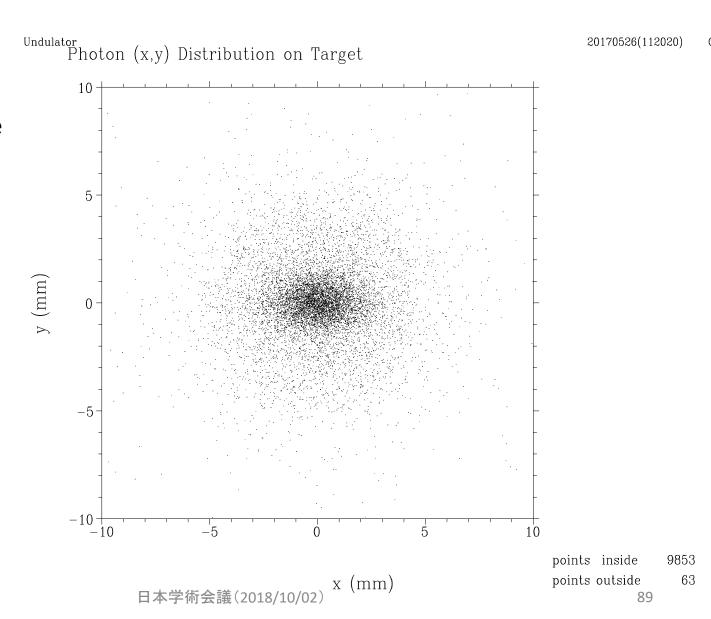
- これによるdpaは、垂直におかれたgraphiteの場合、およそ年間(5000時間)で0.16程度である。光子ダンプの最終設計はまだ確定していないが、graphiteの場合は、10mrad程度の角度に置く予定である。
- 光子スペクトルは次ページ

## Photon Energy Distribution on Target



## Photon (x-y) Distribution on Target

- With masks
- See slightly larger horizontal size due to horizontal emittance
- Only randomly selected particles are plotted here
- Total number of macro particles is ~400k



## メインダンプ窓に当たる光子(1)

- Beamstrahlungによる光子
  - ECM=250GeV

電子パワー	2E10 x 1312 x 5Hz *125GeV	2.6 MW
光子数	3.8E10 x 1312 x 5Hz	2.5E14 /s
光子パワー	2.6% x 2.6MW	70 kW
光子平均エネルギー		1.7GeV
窓上の光子rms サイズ		10cm x 2.4 cm

ECM=1TeV

電子パワー	1.74E10 x 2450 x 4Hz *500GeV	13.6 MW
光子数	3.56E10 x 2450 x 4Hz	3.5E14 /s
光子パワー	10.5% x 13.6MW	1.43 MW
光子平均エネルギー		25.6GeV
窓上の光子rms サイズ		3.3cm x 0.8cm

• 注意:ここの電子パワーはビームビーム相互作用のない場合であり、相互作用のある場合は、電子パワーとbeamstrahlung powerの和がこの値になる

## メインダンプ窓に当たる光子(2)

#### ・ 上流からの光子

- detectorの位置での光子数の詳細なsimulationは行われているが、ビームダンプの一での評価はない
- 光子数は BL (磁場x長さ)で決ることから、オーダーの予想はできるが、4極磁石でのビーム位置のずれが100µm の程度であれば、電子1個あたりの上流からの光子数は1のオーダーである。光子エネルギーは100keVのオーダー
- Misalignmentおよび、beam pipeでの反射などを含む詳細なsimulationが必要であるが、光子数から考えて、窓の寿命に重大な影響があるとはみられない
- いずれの光子もアンジュレータからの光子の影響より2桁前後小さいと考えられる