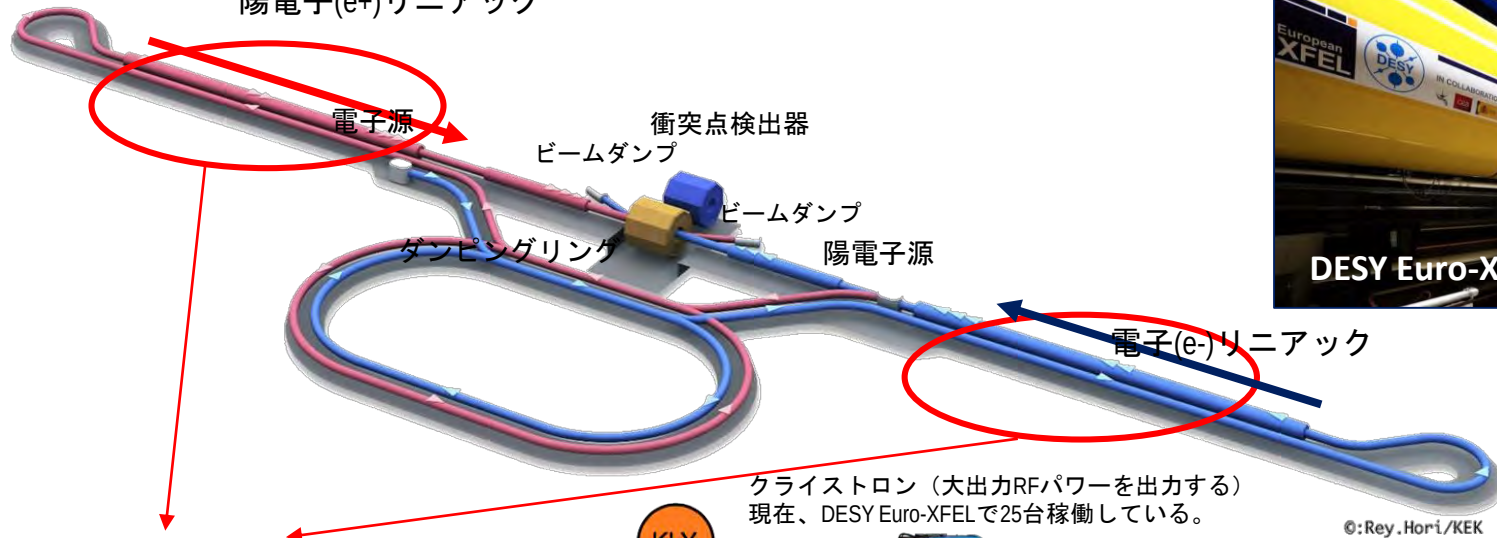


超伝導加速器 ビームを加速する

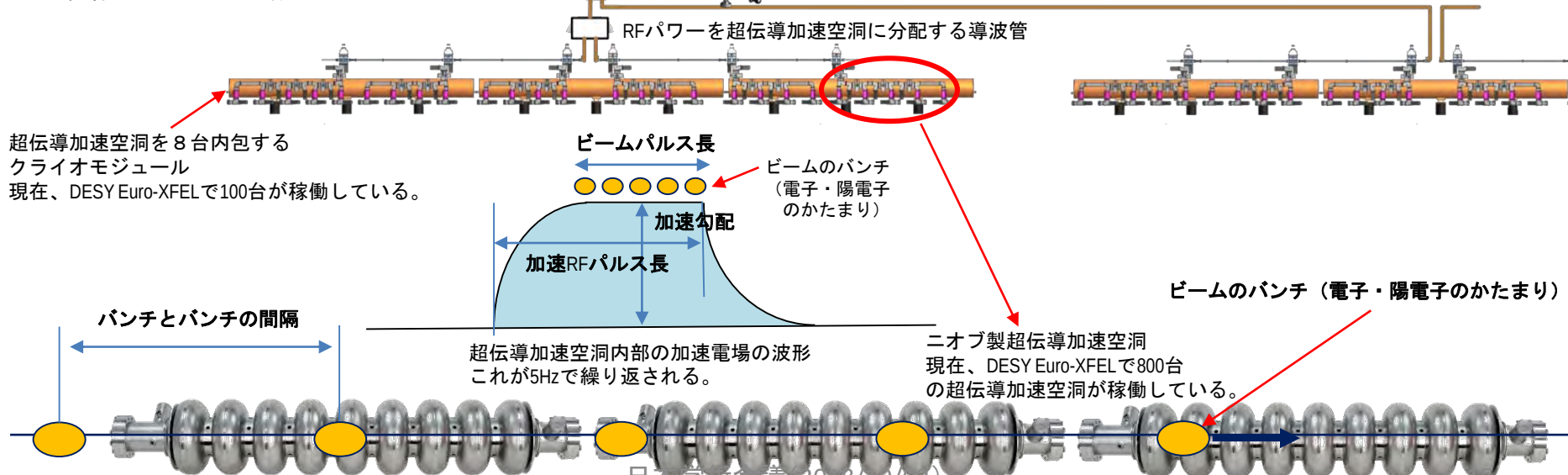
陽電子(e^+)リニアック



1kmの超伝導加速器の例
(現在100台稼働している)

超伝導加速器

右下図のユニットを繰り返して
一直線上に並べる加速器



日本学術会議(2018/10/02)

クライオモジュールのなかに超伝導加速空洞がびっしり並んでいる。電子ビーム・陽電子ビームがこの中を加速電場を通る事により加速される。

実証されたILCのパラメータ

超伝導加速器	TDR仕様値	達成値	備考
クライオモジュール内 加速空洞の 平均加速勾配	31.5 MV/m	32.5MV/m (PXFEL-1, DESY) 31.5MV/m (CM-2, ASTA) 31 MV/m (CM-1&2a, STF)	DESY-Proto-XFEL (ILC-TDR V3, Part-1, p43) FNAL-ASTA (E. Harms, AWLC14 May 2014) STF (Y. Yamamoto, 加速器学会, 2016)
クライオモジュール内 加速空洞の 平均 Q_0 値	10^{10}	-- (PXFEL-1, DESY) 0.9×10^{10} (CM-2, ASTA) 0.7×10^{10} (CM-1&2a, STF)	-- FNAL-ASTA (E. Harms, AWLC14 May 2014) KEK-STF report (Y. Yamamoto, STF, 2016)
加速空洞の加速勾配・ 単体検査値	$\geq 35(\pm 20\%)$ MV/m $\geq 90\%$歩留	<33.4 MV/m> 82%の歩留 (@ 表面処理2回) 91%の歩留 (@ 表面処理3回)	Euro-XFEL 製作時のILC仕様表面処理空洞の データ (Nick Walker, ECFA LC2016) 注: 表面処理3回目 (超純水洗浄) を加える事で 90% 歩留達成可能となる実績を示した。
ビームパルスの電流値	5.78mA	6mA (800 μ s beam pulse length)	DESY-FLASHの9mA-study, TDR vol-3 part I, p.80
ビームパルス内バンチ 数	1312	2400 (800 μ s beam pulse length)	同上
各バンチの電荷数	3.2nC	3nC (600 μ s beam pulse length) 2nC (800 μ s beam pulse length)	同上
バンチとバンチの間隔	554ns	333ns	同上
ビームパルス長	727μs	800 μ s	同上
加速RFパルス長	1.65ms	1.65ms	(このパルス長は定常的に達成している)
加速RFパルス(ビーム パルス)の繰り返し	5Hz	10Hz	DESY XFEL

赤字は未達

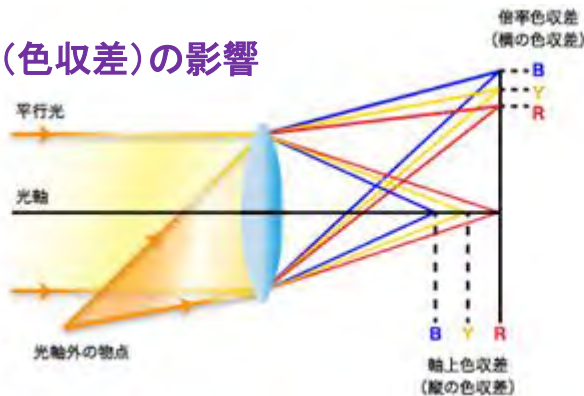
最終収束 性能の良いレンズ系

ビームには空間的、エネルギーに広がりがある。

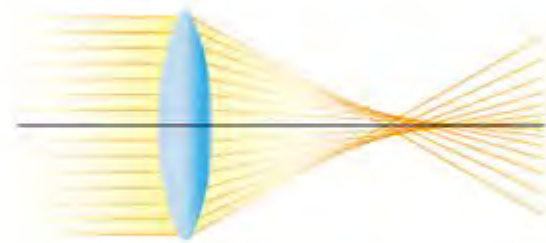
⇒ 光学レンズでは複数のレンズを組み合わせ、収差を押さえる工夫をしている。

⇒ **粒子ビームに対しても収差を押さえた性能の良いレンズ系を使うとビームを小さく絞れる。**

エネルギーの違い(色収差)の影響



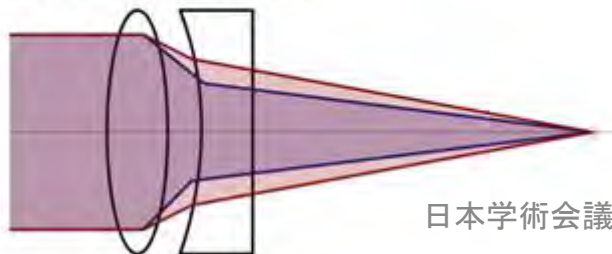
空間的な広がりの影響



例) 色の違った光を収束させる例

アクロマートレンズ

屈折率大 屈折率小



ILC の衝突点の前でも
エネルギーの違いや、空間的な広がり
の影響を抑える性能の良いレンズ系が重要

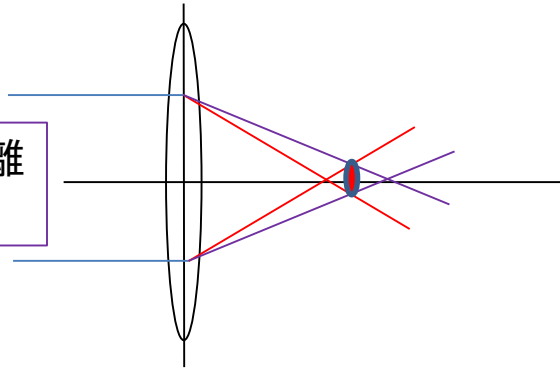
ATF2における設計ビームサイズ 37nm は ILC250 の設計ビームサイズ 7.7nm に相当

加速してエネルギーが大きくなると、
ビームの平行性(エミッタンス)が良くなる。

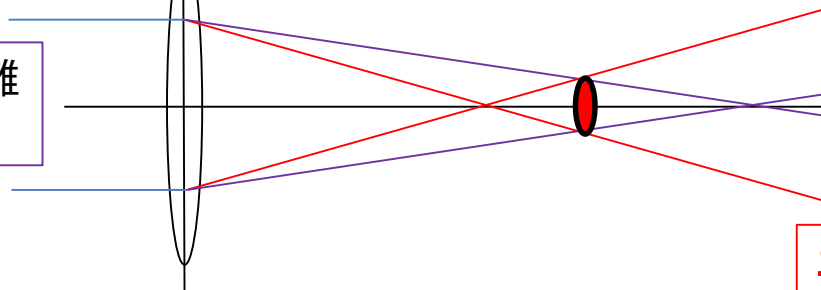


ビームが小さくなる

焦点距離
が短い



焦点距離
が長い



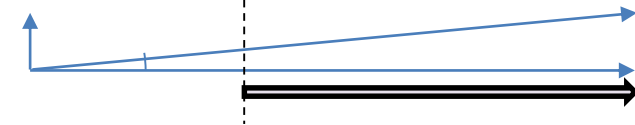
最終収束磁石の焦点距離が長いと、
ビーム内粒子のエネルギー差によって、
ビームサイズが膨れる。



低エネルギー



高エネルギー



ATF2とILCの比較

	<i>ATF</i>	<i>ILC250</i>
E [GeV]	1.28	125
焦点距離[m]	1.50	5.15
ビームサイズ	37nm	7.7nm

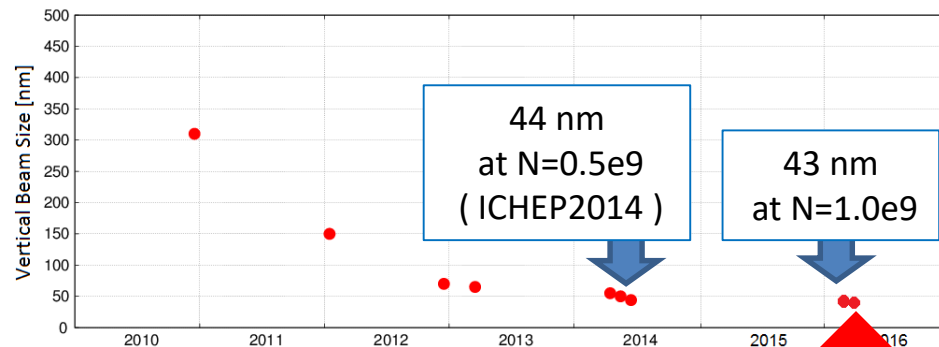
エネルギー、焦点距離でスケールすると、
ATF2 における設計ビームサイズ 37nm は
ILC250 での設計ビームサイズ 7.7nm に対応する。

ATF2 でのビームサイズ収束試験の現状

ATF2 では 41 nm (デザイン37nm) までビームサイズ収束を達成。
運転休止後も数時間で、ビームサイズを復元できている。

ATF2で達成した最小ビームサイズの履歴

ATF2 では ILC に必要な最終収束系での
ビーム収束技術を積み上げている。

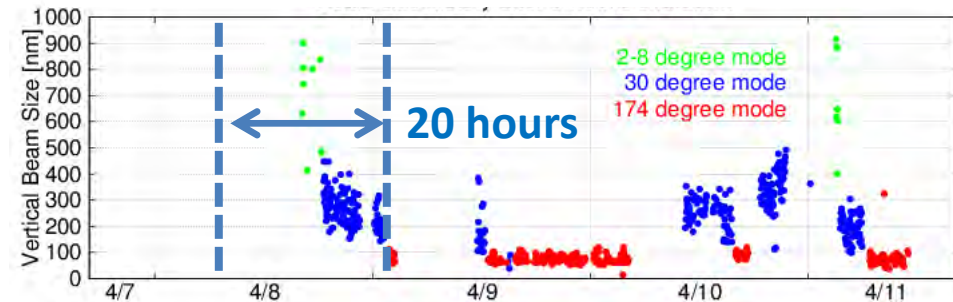


T.Okugi, LINAC2016 (2016) MO3A02

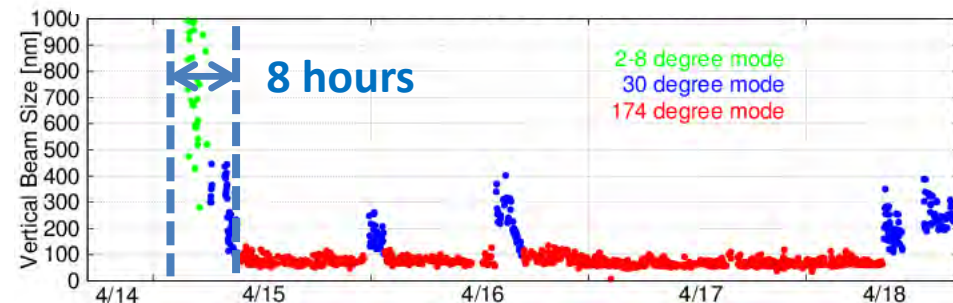
ATF2 仮想衝突点では
ビームサイズを 41 nm まで
収束することができている。

ビームサイズ調整の経過の例

3週間の運転停止後は約20時間で復元できる。
(停止期間中は電磁石通電していない)

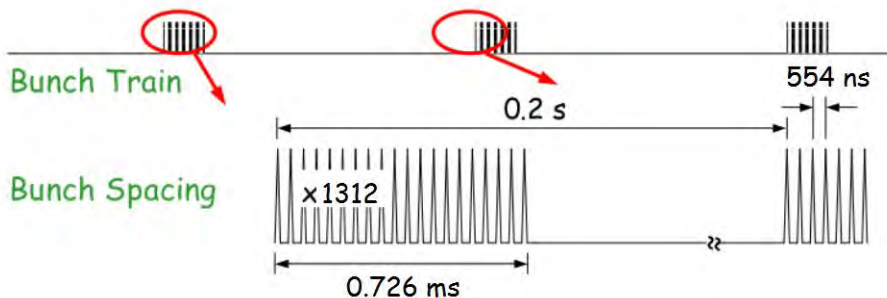


3日間の運転停止後は約8時間で復元できる。
(停止期間は電磁石を通電し続けた)



FONT バンチトレイン内フィードバック

ILC のバンチ構造



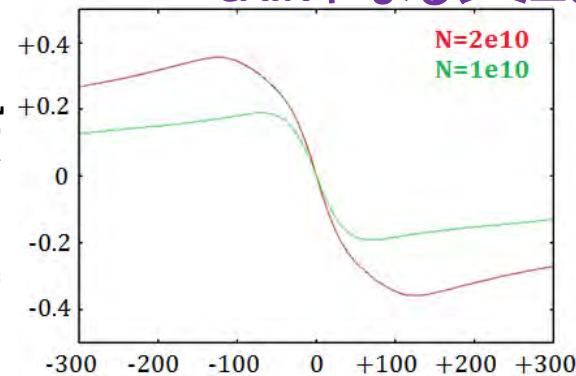
パルスト레인間のビームの位置は、地盤振動や機器のノイズで位置がずれる。

一方、パルスト레인内では、ビームの位置は大きく変わらない。

パルストレインの最初のビーム位置を測定して、トレイン内の後続バンチの位置を補正する高速フィードバックにより効率的なビーム衝突を実現できる。

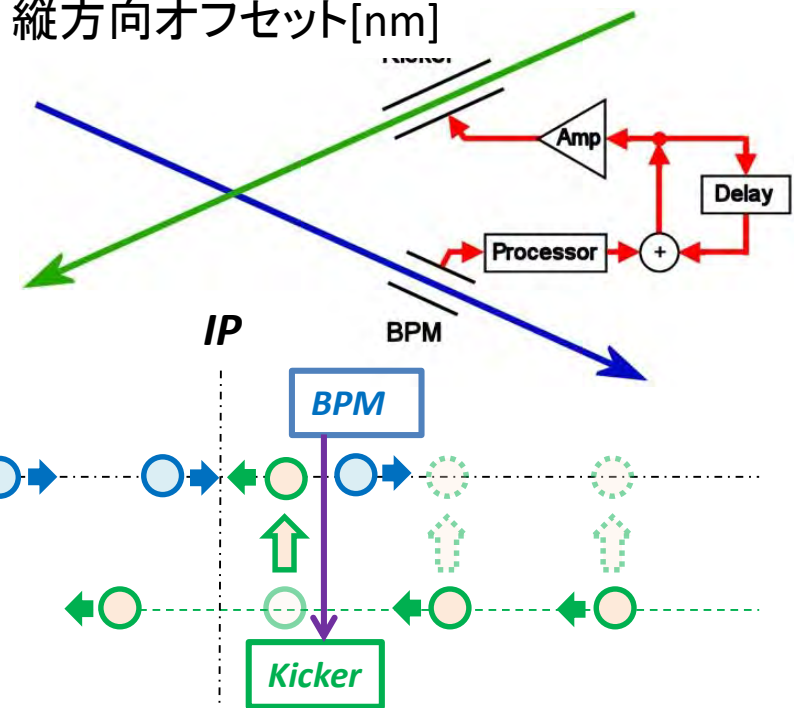
CAIN によるシミュレーション

ビームの蹴られ角 [mrad]



ビームの相対位置にオフセットがあるとビームビーム効果で大きく散乱される。

縦方向オフセット [nm]



1バンチ目は衝突しないが、2バンチ目以降は衝突する。

実証されたILCのパラメータ

パラメーター	要求仕様	設計仕様	達成値	実証場所など	コメント
ATF2 ビームサイズ (σ_y^*)	37nm (ATF2 design)		41nm	ATF2	T.Okugi, LINAC2016
ILC ビームサイズ	7.7nm (ILC design)			ATF2	ATF2の37nmがILC250の7.7nm相当
フィードバック位置安定度	12% of beam size (1nm)	10% of beam size	10% (FB OFF) ⇒ 4% (FB ON)	ATF2	P. Burrows, AWLC2018
フィードバック遅れ	< 554ns	< 366ns	232.4ns	ATF2	