ILCの加速器

LCWSプリスクール「将来電子・陽電子コライダーの物理と技術」
東京大学　本郷キャンパス

2026/11/08 (日)

高エネルギー加速器研究機構
加速器研究施設
応用超伝導加速器センター
奥木 敏行

Introduction

Beam Acceleration

IP parameter

IP beam focusing and ATF

Beam-beam collision

(ILC Machine Detector Interface)

LEP (Large Electron Positron Collider, CERN, Switzerland)



世界最大エネルギーを達成した電子陽電子衝突型加速器

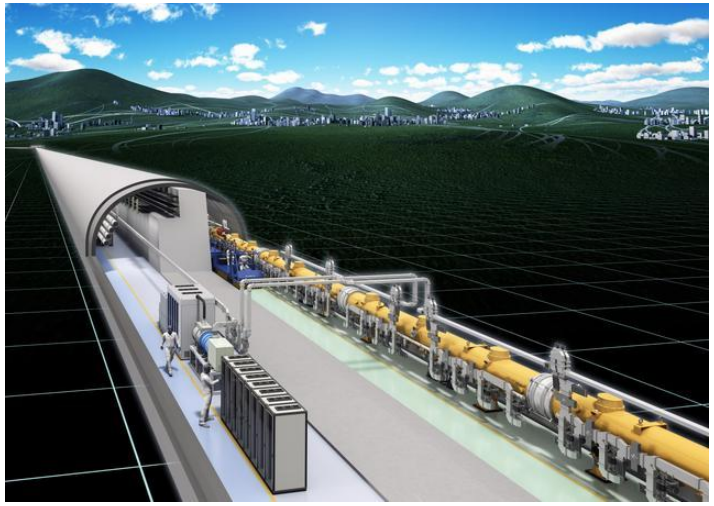
運転期間　　：　1989-2000年
最大エネルギー：　209 GeV
周長　　：　27 km

CERNでは更に高いエネルギーの電子陽電子衝突型加速器FCCee計画（設計最大エネルギー350GeV）があるが、周長は約100kmに及ぶ。

⇒周長が長くなる理由はビームを曲げた時に生じる放射光による電力損失。
（ビームのエネルギーを上げると電力損失は飛躍的に増える）

⇒電力損失を抑えるためにはビームを曲げなければ良い。

⇒**リニアコライダー計画**



ILC (International Linear Collider)

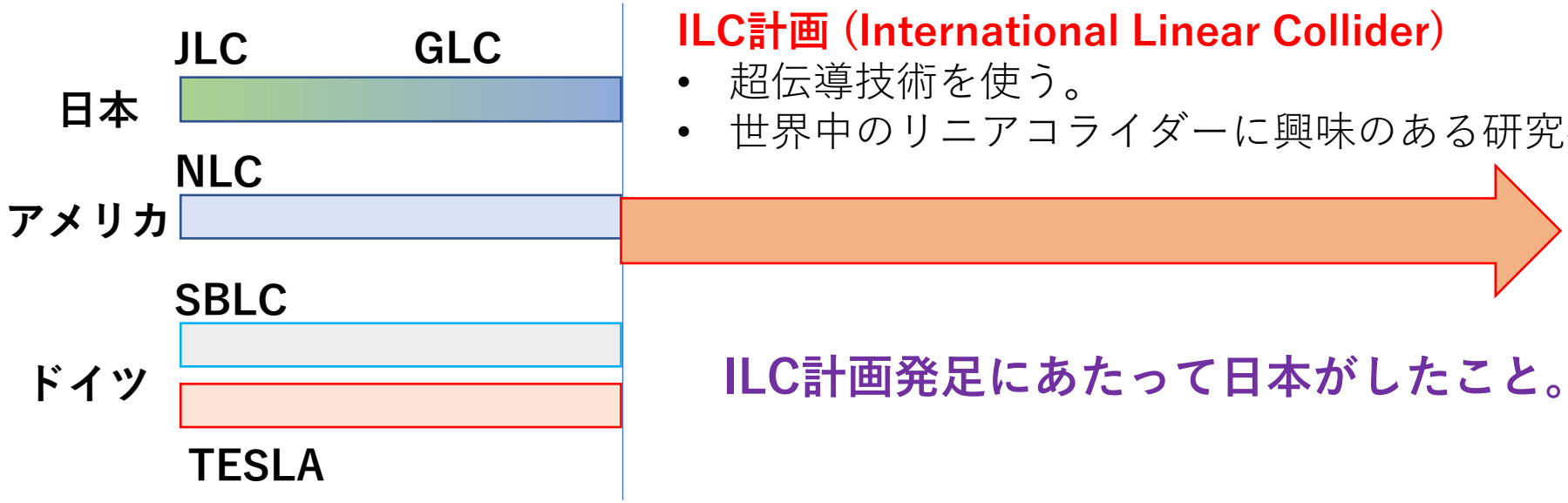


直線的に加速した電子陽電子ビーム
を焦点でぶつける。

ILCでは生成したビームは1回しか衝突機会が無いので、
衝突点でビームを出来るだけ小さく絞ることが重要。

ILCの沿革

2004年 ITRP
(International Technology Recommendation Panel)



ILC計画 (International Linear Collider)

- 超伝導技術を使う。
- 世界中のリニアコライダーに興味のある研究者が共同で設計

ILC計画発足にあたって日本がしたこと。

1）超伝導加速器技術の国内拠点の整備

- STF (超伝導加速器技術)
- CFF (超伝導空洞作成技術)

2）ATFの低エミッタンスビームを使ったILC焦点でビーム収束の研究

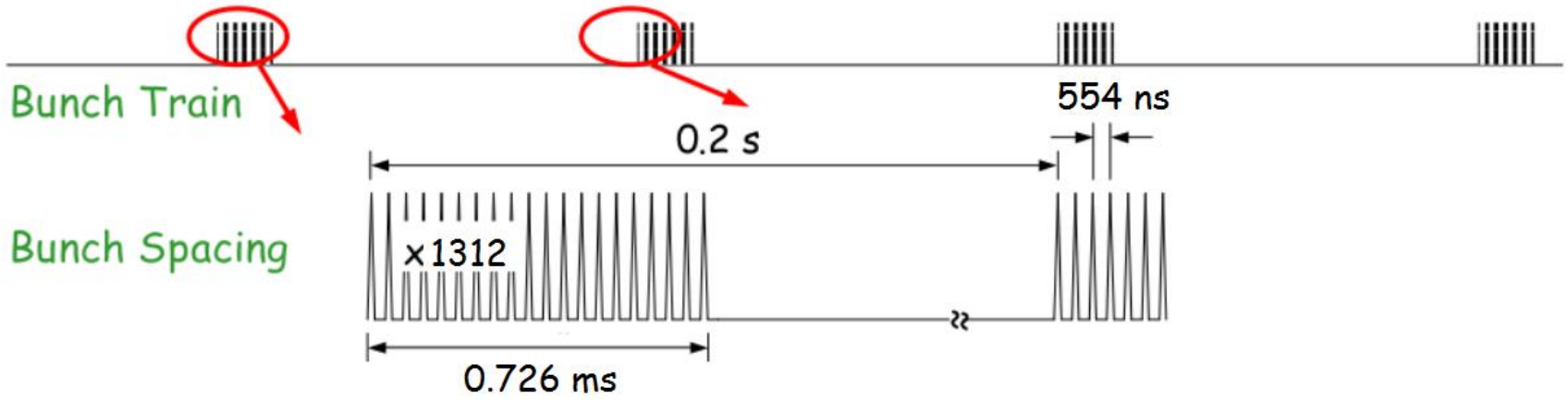
- 一度作ったビームの衝突機会は１回だけ
- 加速方式に依らないリニアコライダー共通の課題
- JLC/GLCの加速器研究ために作られたダンピングリングの活用
- 国際協力によるATF2ビームラインの作成

STF (Superconducting RF test facility)



ILC bunch structure

	GLC (常伝導加速)	ILC (超伝導加速)
周波数	11.424GHz	1.3 GHz
加速勾配	49.8MV/m	31.5 MV/m
パンチ内粒子数	0.75e10	2e10
バンチ間隔	1.4ns	554ns
パルス内バンチ数	192	1312
パルス長	270ns	0.726ms
繰り返し	100Hz	5Hz
平均電流	23uA	21uA



Introduction

Beam Acceleration

IP parameter

IP beam focusing and ATF

Beam-beam collision

(ILC Machine Detector Interface)

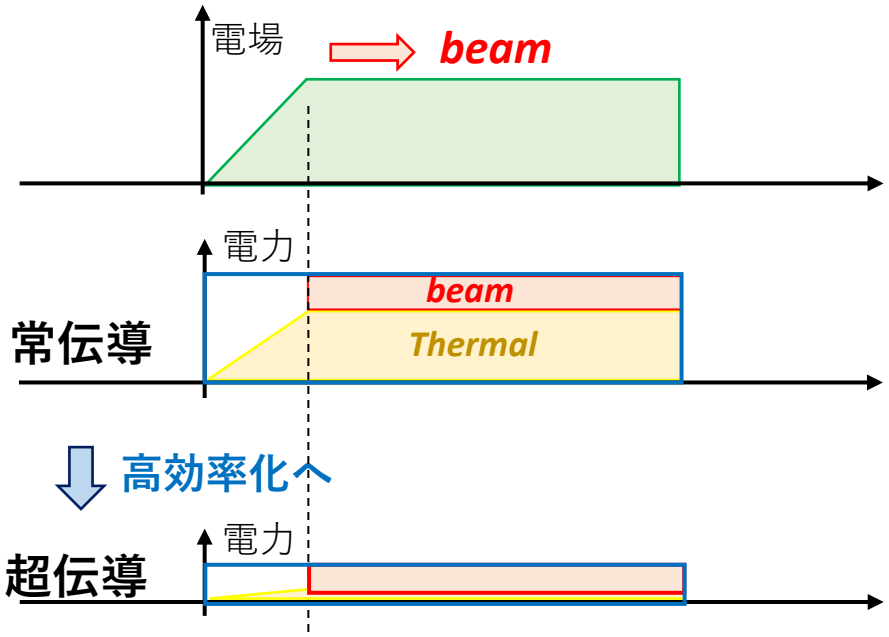
超伝導加速技術

常伝導加速管

ATF リニアック加速管（常伝導）

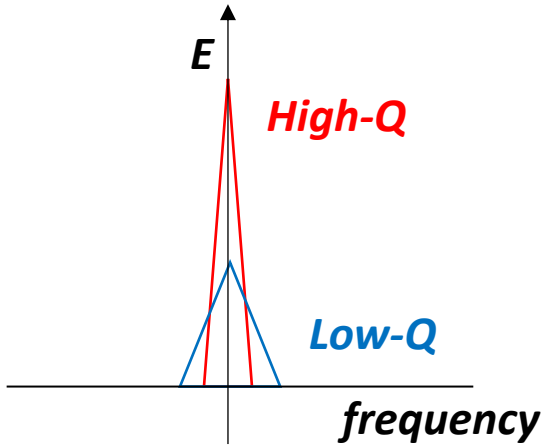


入力電力の約60%が熱で損失



超伝導加速管

- 定常時は空洞に溜まった電力はほぼビーム加速に使われる。
- でも、空洞からの発熱は空洞のQ値に依存する。



High-Q 空洞だと少ない電力で
高い電界を生み出せる。

⇩

発熱が少ない

⇩

よりQが高い方が良い。

1 unit（189 cryomodule ; 2.5km）に必要な冷却能力（TDRより）

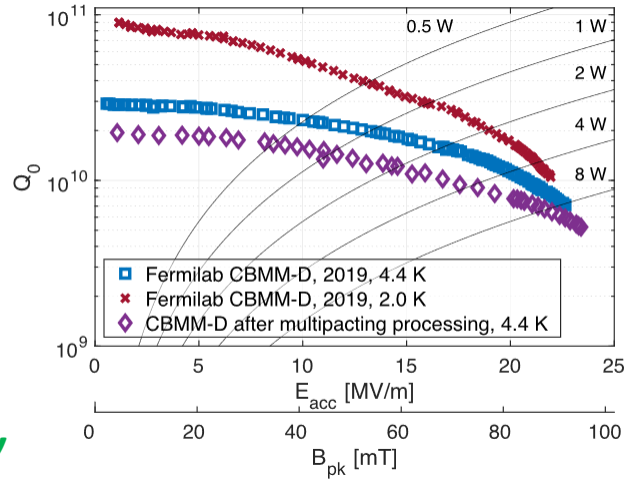
		40–80 K	5–8 K	2 K
Predicted module static heat load	(W/module)	75.04	10.82	1.32
Predicted module dynamic heat load	(W/module)	58.80	5.05	9.79
Number of cryomodules per cryogenic unit		156 / 189	156 / 189	156 / 189
Non-module heat load per cryo unit	(kW)	0.7 / 1.1	0.14 / 0.22	0.14 / 0.22
Total predicted heat per cryogenic unit	(kW)	21.58 / 26.40	2.61 / 3.22	1.87 / 2.32
Efficiency (fraction Carnot)		0.28	0.24	0.22
Efficiency in Watts/Watt	(W/W)	16.45	197.94	702.98
Overall net cryogenic capacity multiplier		1.54	1.54	1.54
Heat load per cryogenic unit including multiplier	(kW)	33.23 / 40.65	4.03 / 4.96	2.88 / 3.57
Installed power	(kW)	547/669	797/981	2028 / 2511
Installed 4.5 K equiv	(kW)	2.50 / 3.05	3.64 / 4.48	9.26 / 11.47
Percent of total power at each level		0.16	0.24	0.60
Total operating power for one cryo unit based on predicted heat (MW)			2.63 / 3.24	
Total installed power for one cryo unit (MW)			3.37 / 4.16	
Total installed 4.5 K equivalent power for one cryo unit (kW)			15.40 / 19.01	

２Kで１Wの発熱量
を冷却するには
700Wの電力が必要

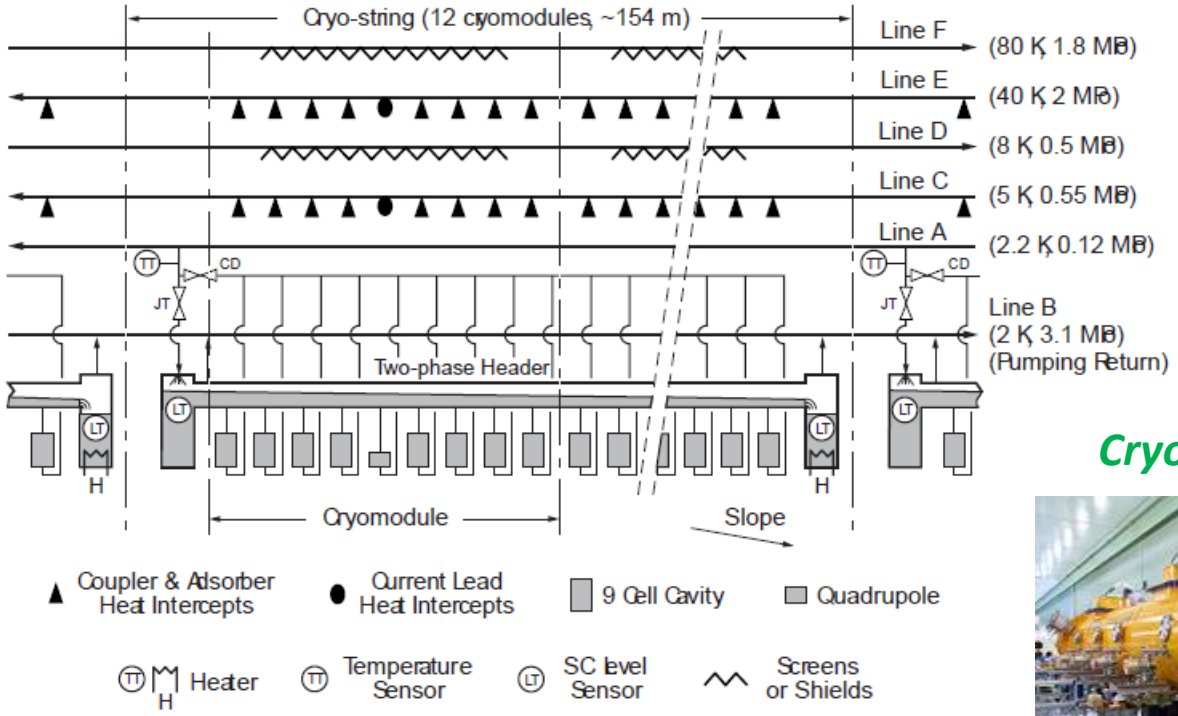
２Kの空洞を冷やすのは大変

超伝導加速技術について

- 高電界と共により高いQ値が重要。
  - ➢ Q値が低いと冷凍機がどんどん大きくなる。
  - ➢ 電力効率と共に、付帯施設がどんどん大きくなる。



Cryogenic

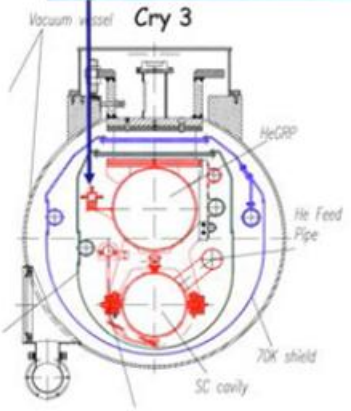


RF cavity



Cryomodule







Introduction

Beam Acceleration

IP parameter

IP beam focusing and ATF

Beam-beam collision

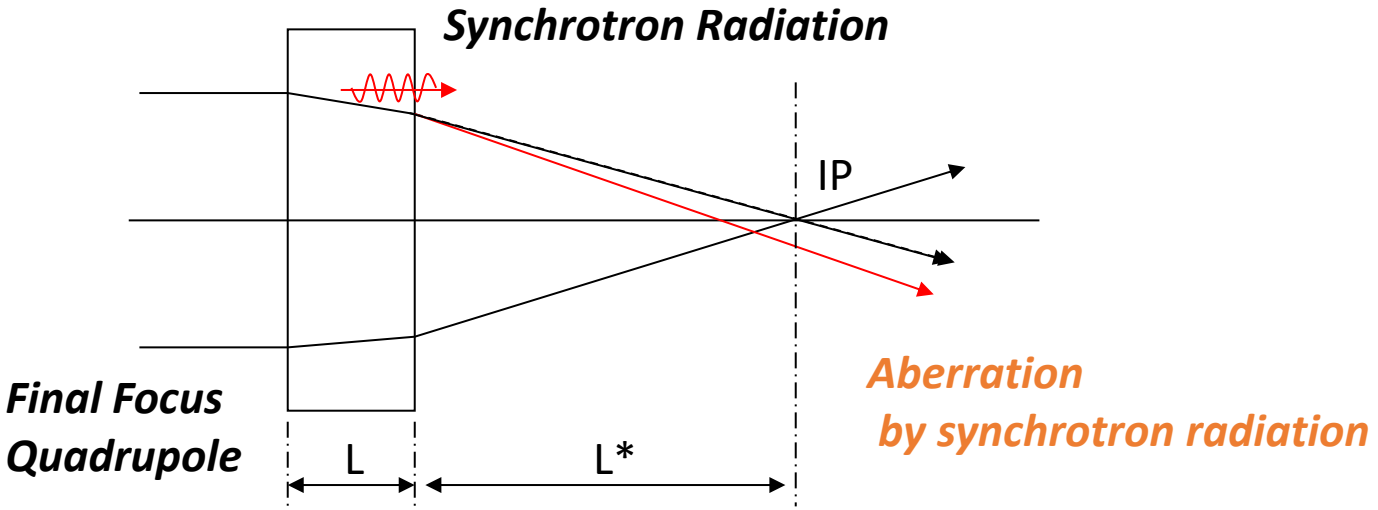
(ILC Machine Detector Interface)

衝突点でのビーム収束

どこまでビームを小さく絞ることが出来るのか？

Oide Limit (Theoretical Limit of IP Beam Size)

The theoretical limit of minimum beam size at IP is determined by the aberration by synchrotron radiation at final focus quadrupole.



Since the beam distribution itself is deformed by the synchrotron radiation, we cannot compensate the effect by optics correction.

Oide Limit (continued)

Beam Size Defined by Linear Optics
(smaller for smaller IP β function)

IP beam size growth by synchrotron radiation

- *larger for larger β at quadrupole*
- *larger for smaller IP β function.*

$$\sigma_y^2 \cong \sigma_y^{*2} + (L^*\sigma_{y'}^*)^2 \left\langle \frac{\Delta E}{E} \right\rangle^2$$

$$\cong \varepsilon_y \beta_y^* + C_1 \gamma^5 r_e \lambda_e \left(\frac{L^*}{L}\right)^2 \left(\frac{\varepsilon_y}{\beta_y^*}\right)^{\frac{5}{2}}$$

The theoretical minimum IP beam size was determined by making the balance of two beam sizes as

$$\beta_{y,\min}^* \cong 1.29\gamma \left\{ C_1^2 r_e^2 \lambda_e^2 (\gamma\varepsilon_y)^3 \left(\frac{L^*}{L}\right)^4 \right\}^{\frac{1}{7}}$$

$$\sigma_{y,\min}^* \cong 1.35 \left\{ C_1 r_e \lambda_e (\gamma\varepsilon_y)^5 \left(\frac{L^*}{L}\right)^2 \right\}^{\frac{1}{7}}$$

$$\cong 1.19\sqrt{\varepsilon_y \beta_{y,\min}^*}$$

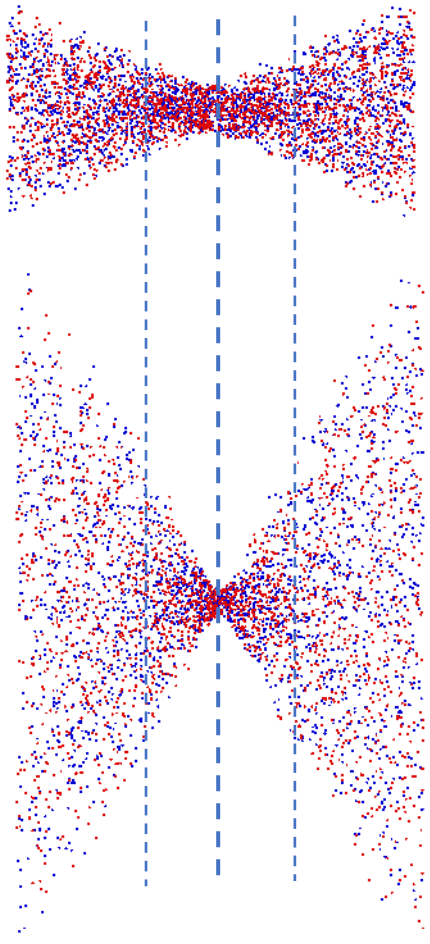
E_{CM}		500 GeV	1 TeV
ILC design	β_y^*	410 μm	225 μm
Oide limit	$\beta_{y,\min}^*$	32 μm	65 μm
	$\sigma_{y,\min}^*$	1.8 nm	1.8 nm

ILC焦点のビームサイズは理論的限界で決まっていない。
では、何できまってるの？？

砂時計効果

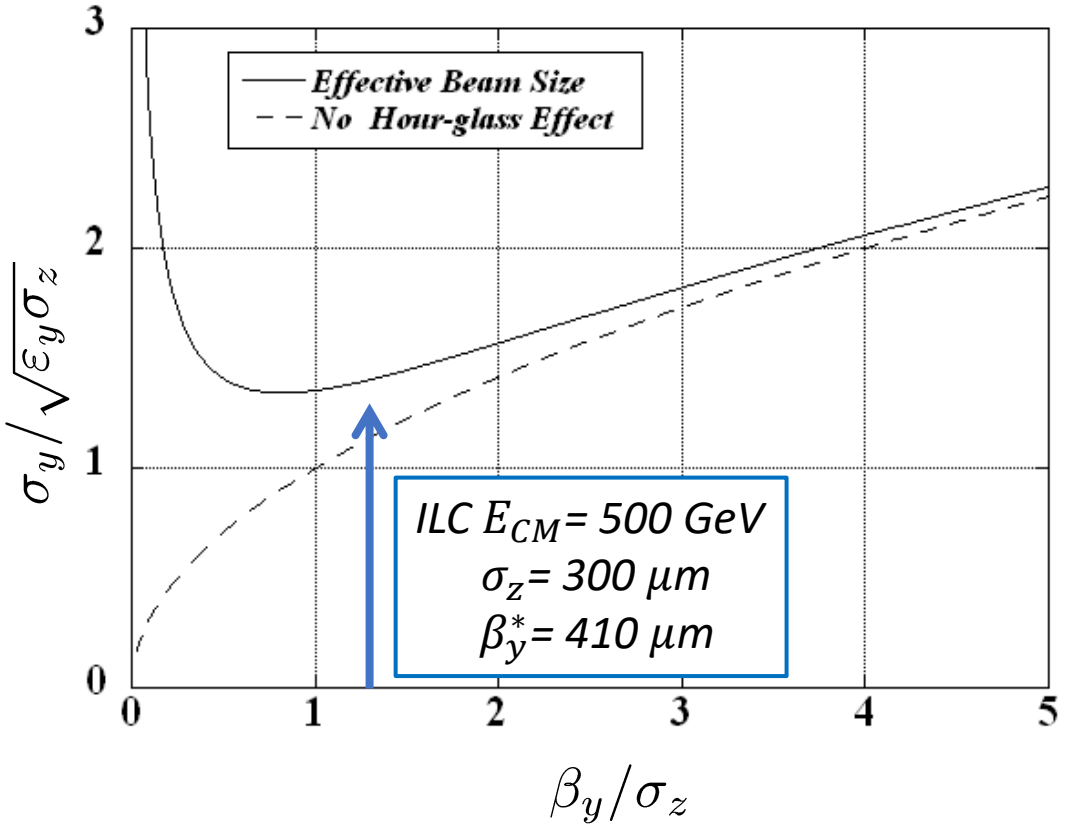
焦点で小さく絞りすぎると、前後でのビームサイズはすぐに大きくなる

Long focal depth



Short focal depth

Effective beam size for collision



バンチの長さによって最適な絞り込みのパラメータが決まる。

バンチ長は主リニアックの加速方式で決まる。

主リニアックの加速方式（加速周波数）で加速に最適なバンチ長がある。
- 詳しくはビームローディングというものだが細かすぎるので今回は説明を省く。

RF frequency 1.3 GHz

Wavelength 230 mm
(640 μm/degree)

⇓

Bunch Length

$\sigma_z = 300\ \mu m$ *for* $E_{CM} = 500$ *GeV*

$\sigma_z = 250\ \mu m$ *for* $E_{CM} = 1$ *TeV*

ILC superconducting RF cavities



- バンチ長が長い
  - ➢ 垂直方向ビームサイズが大きい。
- 沢山の粒子を同時に加速できる。

RF frequency 11 GHz

Wavelength 25mm
(69 μm/degree)

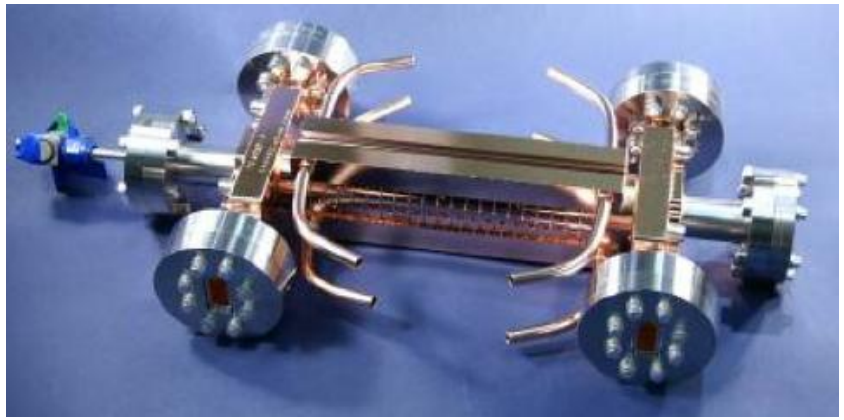
⇓

Bunch Length

$\sigma_z = 72\ \mu m$ *for* $E_{CM} = 500$ *GeV*

$\sigma_z = 44\ \mu m$ *for* $E_{CM} = 3$ *TeV*

CLIC RF cavities



- バンチ長が短い
  - ➢ 垂直方向ビームサイズが小さい。
- 沢山の粒子を同時に加速できない。

焦点でどこまで小さく絞れるかは加速方式（加速周波数）で決まってしまう。

⇒ 焦点で垂直方向にどれだけビームを強く絞れるかも決まってしまう。

⇒ どの程度の粒子数を加速できるかも決まってしまう。

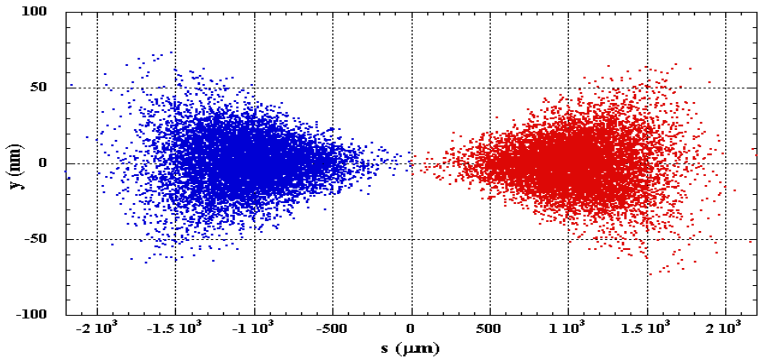
焦点での垂直方向ビームサイズと粒子数は加速方式で決まった。

水平方向にはどれだけ絞ることが出来るのだろうか？？

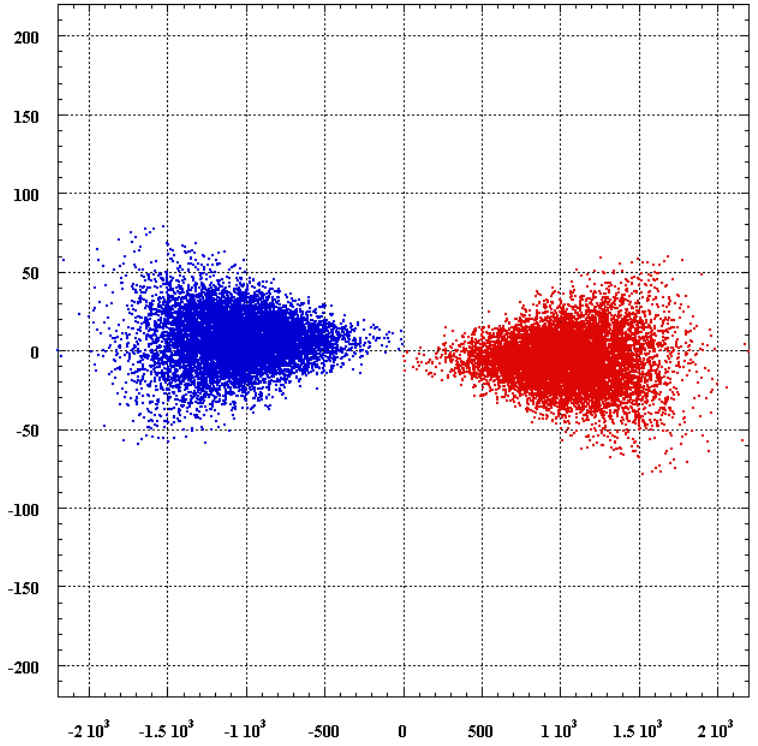
- 実は衝突時の**ビームビーム効果**をどこまで許すかで決まる。

ビームビーム効果

ILCでのビームビーム効果のシミュレーション（正面衝突）



ILCでのビームビーム効果のシミュレーション（オフセットがある場合）



Beam energy reduction by beamstrahlung

$$\delta_{BS} \equiv -\frac{\Delta E_\gamma}{E} \cong \frac{0.836\,\gamma N^2 r_e^3}{\sigma_z\left(\sigma_x^* + \sigma_y^*\right)^2} \frac{1}{(1+1.31\langle\Upsilon\rangle^{2/3})^2} \approx \frac{\gamma N^2 r_e^3}{\sigma_z\left(\sigma_x^* + \sigma_y^*\right)^2}$$

Beam energy spread by beamstrahlung

$$\frac{\sigma_{E_\gamma}}{E} \cong \frac{\delta_{BS}}{2}\sqrt{\frac{N}{N_\gamma}}$$

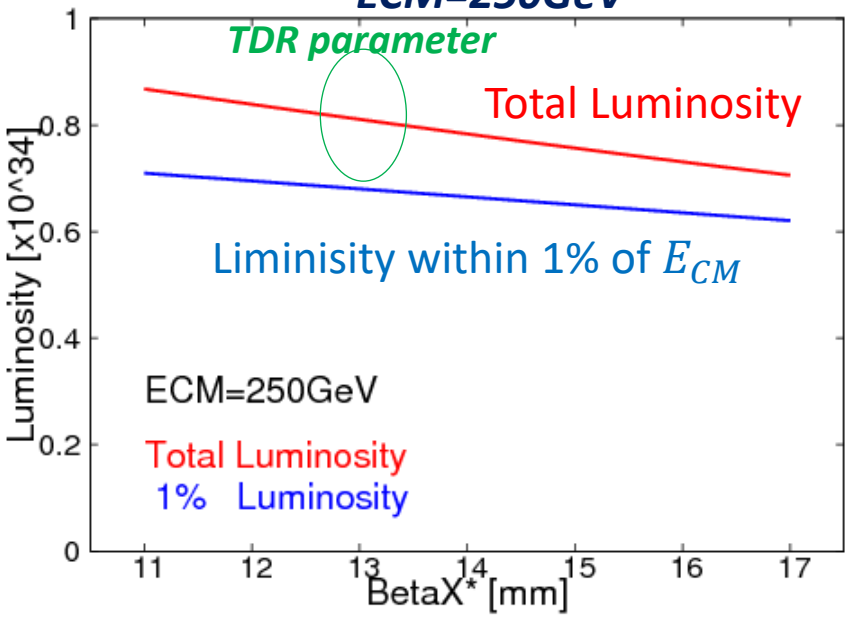
- *Beamstrahlung makes energy spread in collisions.*

  ⇒ It affect to the quality of experimental data.

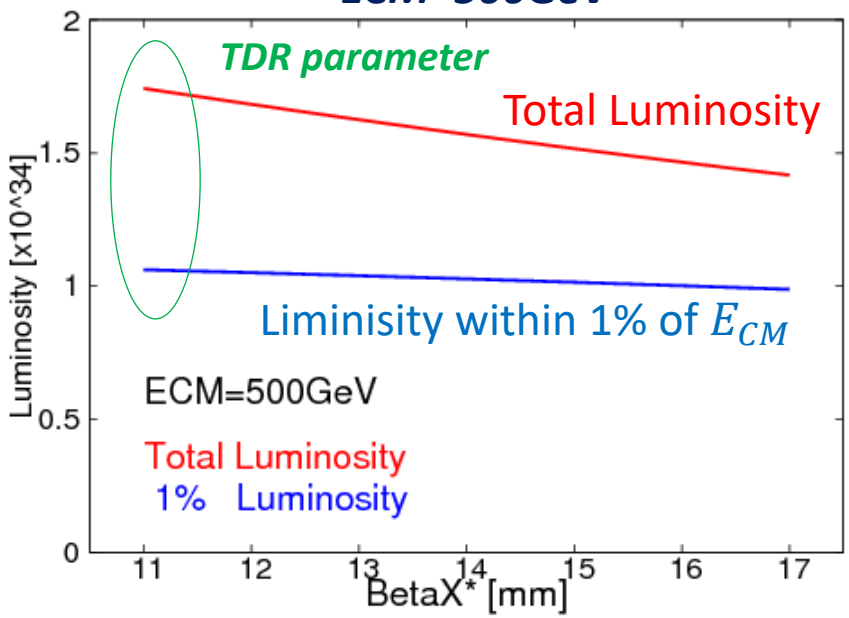
Simulation of beam-beam effect (1% Luminosity)

Luminosity dependence of IP horizontal beta function by keeping $\sigma_x^*\sigma_y^*$

ECM=250GeV



ECM=500GeV



Determination of the luminosity for Linear Colliders

Luminosity $L = f n_b \frac{N^2}{4\pi\sigma_x^*\sigma_y^*}$

The vertical beta function is roughly optimized to the bunch length to minimize the ***hour-glass effect*** *as*

$$\sigma_y^{*2} = \beta_y^* \varepsilon_y \qquad \beta_y^* \approx \sigma_z$$

Determined by main linac

The horizontal beam size was defined with ***beamstrahlung parameter***

$$\sigma_x^{*2} \approx \frac{r_e^3 N^2 \gamma}{\sigma_z \delta_{BS}}$$

Then, the luminosity can be expressed as

$$L = \frac{f n_b N}{4\pi r_e^{3/2}} \sqrt{\frac{\delta_{BS}}{\gamma \varepsilon_y}}$$

In order to increased the luminosity,

1) *Make small vertical emittance* — ***Determined by damping ring***
2) *Make beamstrahlung parameter large.*
   ⇒ make the balance of the luminosity and energy spread.

ILC TDR IP parameters

Table 8.2. Energy-dependent parameters of the Beam Delivery System [84]. **ILC TDR**

Parameter		Center-of-mass energy, E_{cm} (GeV) Baseline 200	250	350	500	Upgrades 500	1000 (A1)	1000 (B1b)	Unit
Nominal bunch population	N	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.74	1.74	$\times 10^{10}$
Pulse frequency	f_{rep}	5	5	5	5	5	4	4	Hz
Bunches per pulse	N_{bunch}	1312	1312	1312	1312	2625	2450	2450	
Nominal horizontal beam size at IP	σ_x^*	904	729	684	474	474	481	335	nm
Nominal vertical beam size at IP	σ_y^*	7.8	7.7	5.9	5.9	5.9	2.8	2.7	nm
Nominal bunch length at IP	σ_z^*	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.250	0.225	mm
Energy spread at IP, e^-	$\delta E/E$	0.206	0.190	0.158	0.124	0.124	0.083	0.085	%
Energy spread at IP, e^+	$\delta E/E$	0.190	0.152	0.100	0.070	0.070	0.043	0.047	%
Horizontal beam divergence at IP	θ_x^*	57	56	43	43	43	21	30	μrad
Vertical beam divergence at IP	θ_y^*	23	19	17	12	12	11	12	μrad
Horizontal beta-function at IP	β_x^*	16	13	16	11	11	22.6	11	mm
Vertical beta-function at IP	β_y^*	0.34	0.41	0.34	0.48	0.48	0.25	0.23	mm
Horizontal disruption parameter	D_x	0.2	0.3	0.2	0.3	0.3	0.1	0.2	
Vertical disruption parameter	D_y	24.3	24.5	24.3	24.6	24.6	18.7	25.1	
Energy of single pulse	E_{pulse}	420	526	736	1051	2103	3409	3409	kJ
Average beam power per beam	P_{ave}	2.1	2.6	3.7	5.3	10.5	13.6	13.6	MW
Geometric luminosity	L_{geom}	0.30	0.37	0.52	0.75	1.50	1.77	2.64	$\times 10^{34}$ cm^{-2} s^{-1}
– with enhancement factor		0.50	0.68	0.88	1.47	2.94	2.71	4.32	$\times 10^{34}$ cm^{-2} s^{-1}
Beamstrahlung parameter (av.)	Υ_{ave}	0.013	0.020	0.030	0.062	0.062	0.127	0.203	
Beamstrahlung parameter (max.)	Υ_{max}	0.031	0.048	0.072	0.146	0.146	0.305	0.483	
Simulated luminosity (incl. waist shift)	L	0.56	0.75	1.0	1.8	3.6	3.6	4.9	$\times 10^{34}$ cm^{-2} s^{-1}
Luminosity fraction within 1 %	$L_{1\%}/L$	91	87	77	58	58	59	45	%
Energy loss from BS	δE_{BS}	0.65	0.97	1.9	4.5	4.5	5.6	10.5	%
e^+e^- pairs per bunch crossing	n_{pairs}	45	62	94	139	139	201	383	$\times 10^3$
Pair energy per B.C.	E_{pairs}	25	47	115	344	344	1338	3441	TeV

CLIC CDR parameters

CLIC CDR

Description [units]	500 GeV	3 TeV
Total (peak 1%) luminosity	$2.3\ (1.4)\times10^{34}$	$5.9\ (2.0)\times10^{34}$
Total site length [km]	13.0	48.4
Loaded accel. gradient [MV/m]	80	100
Main Linac RF frequency [GHz]	12	
Beam power/beam [MW]	4.9	14
Bunch charge [10^9 e^+/e^-]	6.8	3.72
Bunch separation [ns]	300	0.5
Bunch length [μm]	72	44
Beam pulse duration [ns]	177	156
Repetition rate [Hz]	10/35	50
Hor./vert. norm. emitt. [$10^{-6}/10^{-9}$m]	2.4/25	0.66/20
Hor./vert. IP beam size [nm]	202/2.3	40/1
Beamstrahlung photons/electron	1.3	2.2
Hadronic events/crossing at IP	0.3	3.2
Coherent pairs at IP	200	6.8×10^8

58% 61%

34%

Blue ; ILC

Introduction

Beam Acceleration

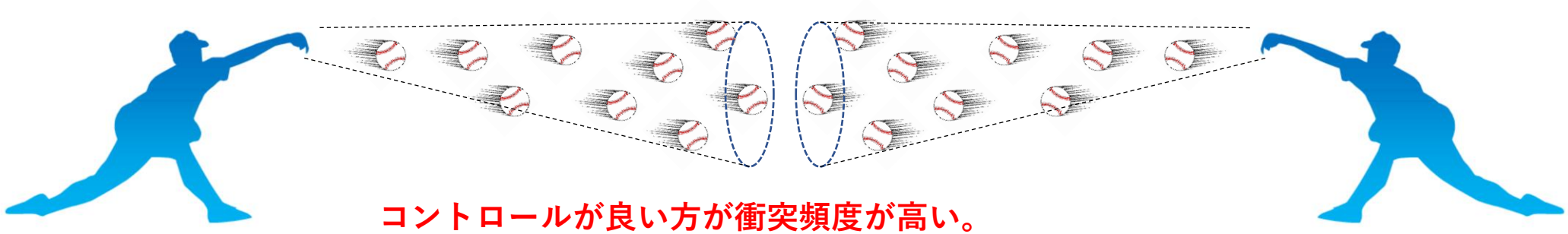
IP parameter

IP beam focusing and ATF

Beam-beam collision

(ILC Machine Detector Interface)

- ビームには沢山の粒子が詰まっている。その中の粒子同士をぶつける。
- 衝突イベントを作り出すためには、粒子を出来るだけ同じ場所に集める必要がある。

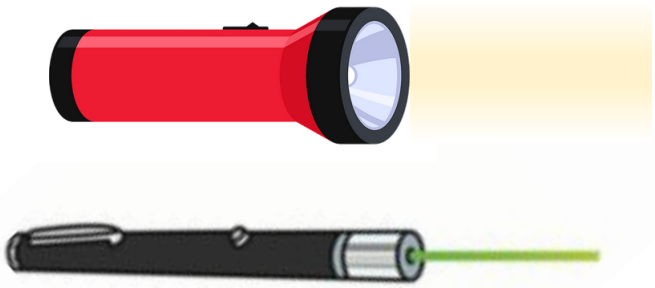


コントロールが良い方が衝突頻度が高い。

⇒コントロールが良いということは、加速器ではビームサイズが小さいことに相当

ビームサイズを小さくするために重要なことは？

1. 質の良い（平行性の良い）ビームを作る

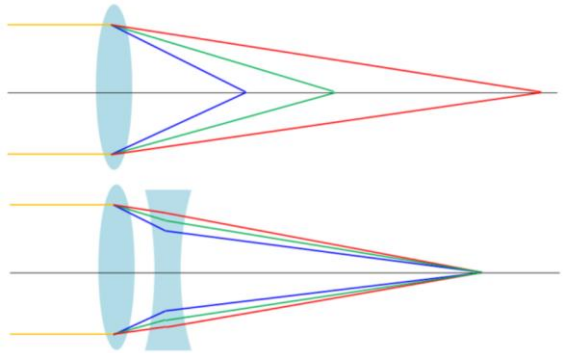


同じレンズを使って、懐中電灯の光とレーザーの光を絞った時、レーザーの方が小さく絞れる。

⇒レーザーの方が質が良い（平行性が良い）から。

⇒粒子ビームにも質の良し悪しがあり。質は良い方が良い。

2. 高性能な（収差の少ない）収束レンズを作る



複数枚のレンズを組み合わせることで、色の違いなど性質の違う光が同じ場所に焦点を結ぶようにできる。

⇒粒子ビームでも、ビーム内のエネルギーなどの違った粒子たちを同じ位置に集められる。

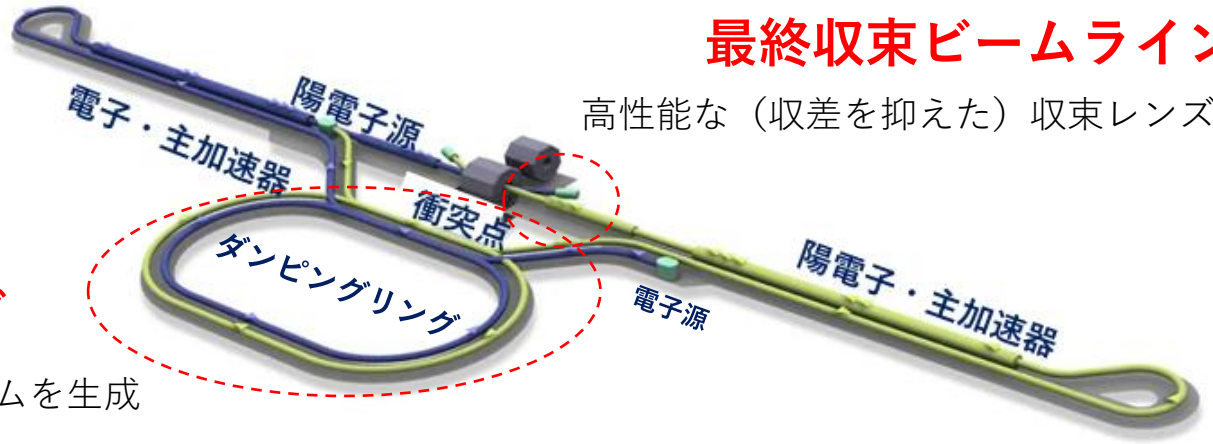
ILCの衝突点でビームを小さく絞る工夫

最終収束ビームライン

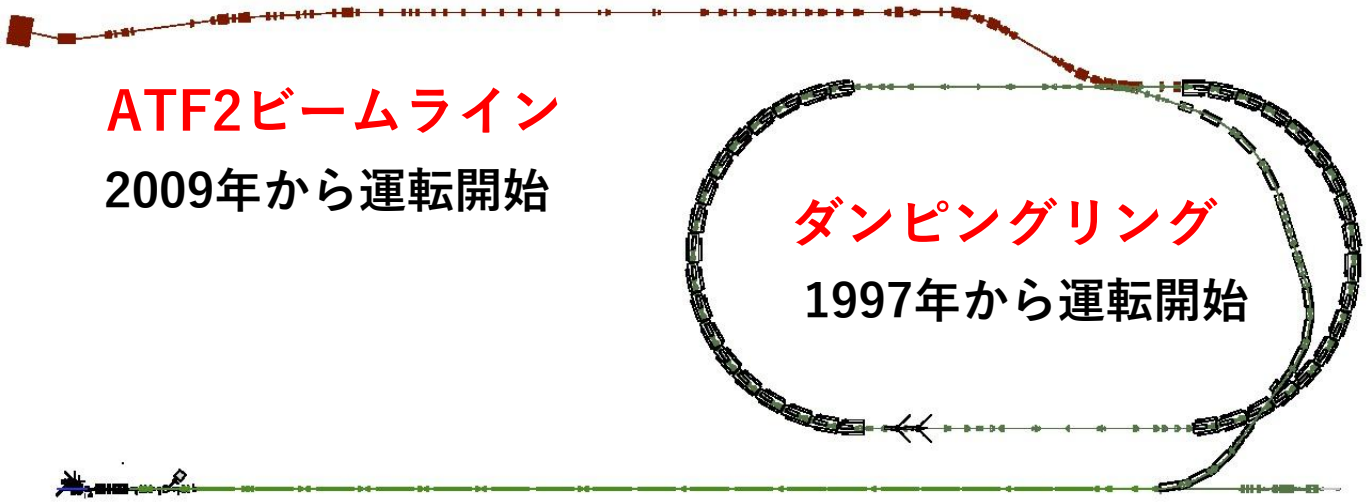
高性能な（収差を抑えた）収束レンズでビーム収束をおこなう。

ダンピングリング

質の良い（平行性の良い）ビームを生成



ATF (Accelerator Test Facility, KEK)



ATF2ビームライン

2009年から運転開始

ダンピングリング

1997年から運転開始

KEKにあるATFではILC衝突点でビームを小さく絞るための技術の研究をおこなっている。

1) 質の良い（平行性の良い）ビームの生成
⇒**ダンピングリング**

2) 高性能な（収差を抑えた）収束レンズの研究
⇒ **ATF2ビームライン**

これらはILCでビームを小さく絞るための主要技術になっている。

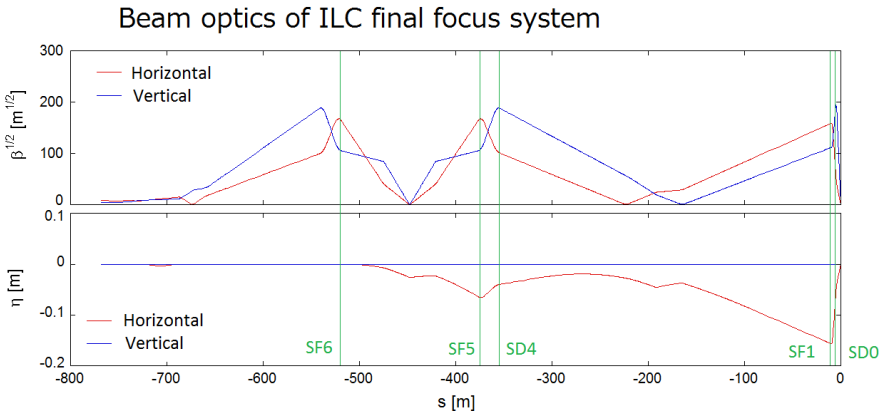
ATF2ビームラインの設計

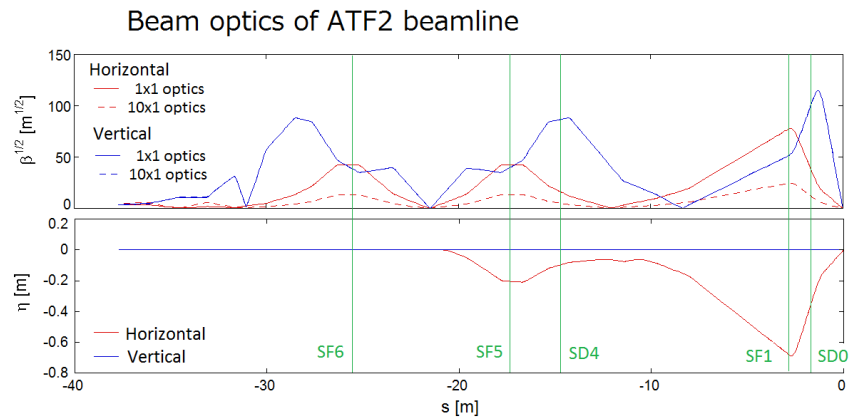
国際協力の下、ILCの最終収束ビームラインのプロトタイプとしてのATF2ビームラインをつくる。

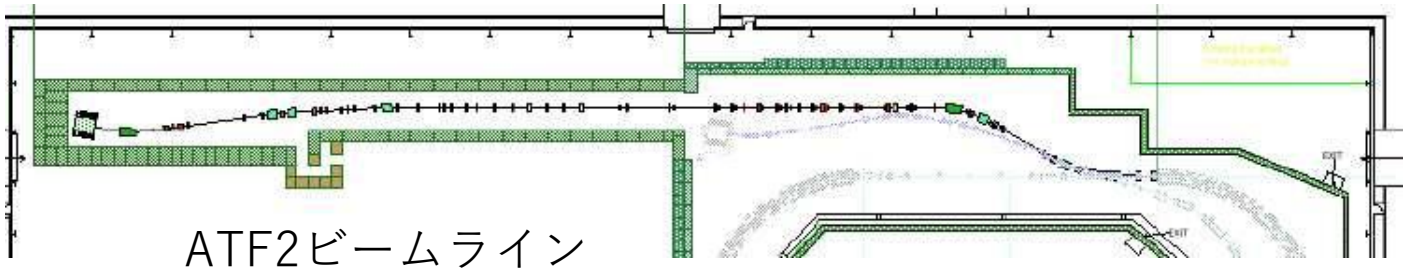
- ATF2ビームラインのビーム光学系はILCの最終収束系と同じ設計になっている。
- ATF2ビームラインのビーム調整の難しさもILCと同等になるように設計されている。

ATF2ビームラインにATFダンピングリングで作られる低エミッタンスビームを通すことで、ILC衝突点でビームを絞るために必要な各種技術の研究をおこなう。

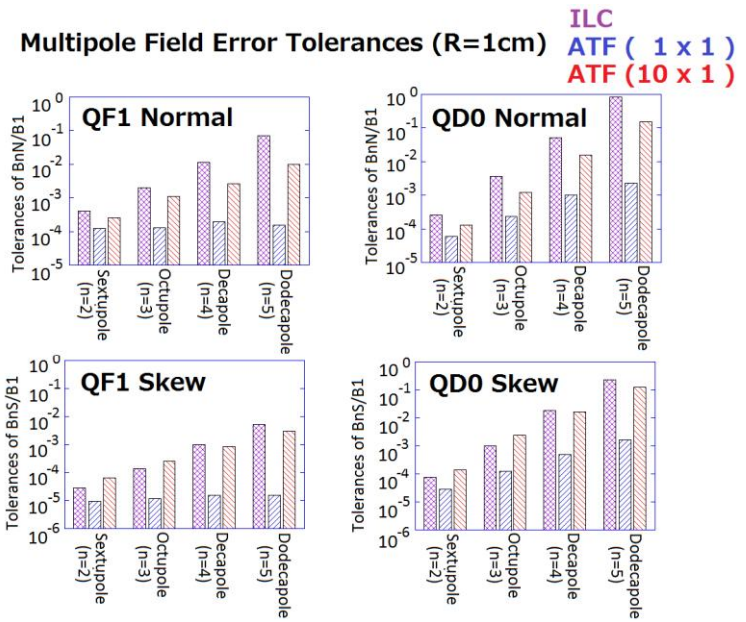
ATF2ビームラインは、設計、製作、運転は全て国際協力の下おこなわれた（ILCの国際協力の雛型）。







ATF2ビームライン



ATFでの国際協力

ATFに参加している代表的研究機関
– ATF International Collaboration –

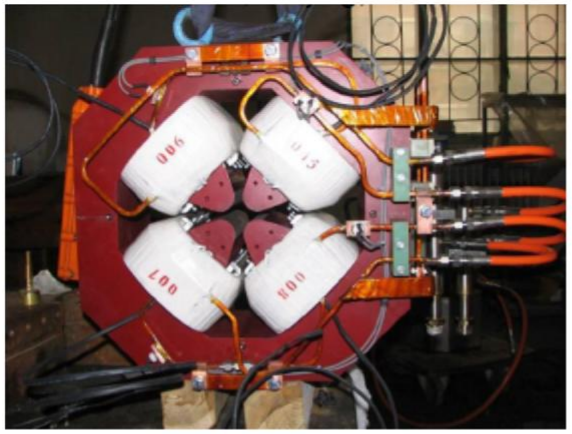
欧州原子核研究機構(CERN)
ドイツ(Germany)
　電子シンクロトロン研究所(DESY)
フランス(France)
　IN2P3; LAL, LAPP, LLR
イギリス(UK)
　Univ. of Oxford
　Royal Holloway Univ. of London
　STFC, Daresbury
　Univ. of Manchester
　Univ. of Liverpool
　Univ. College London
イタリア(Italy)
　INFN, Frascati
スペイン(Spain)
　IFIC-CSIC/UV
ロシア(Russia)
　Tomsk Polytechnic Univ.

アメリカ(USA)
　SLAC国立加速器研究所
　ローレンス・バークレー国立研究所(LBNL)
　フェルミ国立加速器研究所(FNAL)
　ローレンス・リバモア国立研究所(LLNL)
　ブルックヘブン国立研究所(BNL)
　コーネル大学(Cornell Univ.)
　ノートルダム大学(Notre Dome Univ.)
日本(Japan)
　高エネルギー加速器研究機構(KEK)
　東北大学　(Tohoku Univ.)
　東京大学　(Univ. of Tokyo)
　早稲田大学(Waseda Univ.)
　名古屋大学(Nagoya Univ.)
　京都大学　(Kyoto Univ.)
　広島大学　(Hiroshima Univ.)
中国(China)
　中国科学院高能物理研究所(IHEP)
韓国(Korea)
　ポハン加速器研究所(PAL)
　キョンプク大学(KNU)
インド(India)
　Raja Ramanna Centre for Advanced Technology

ATF2ビームライン製作時の国際協力



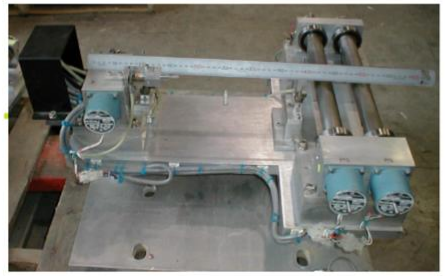




電磁石設計：SLAC (米国)
電磁石製作：IHEP (中国)
電磁石試験：KEK@IPEP



BPM読み出し回路：SLAC（米国）
BPMソフトウェア：RHUL (英国)

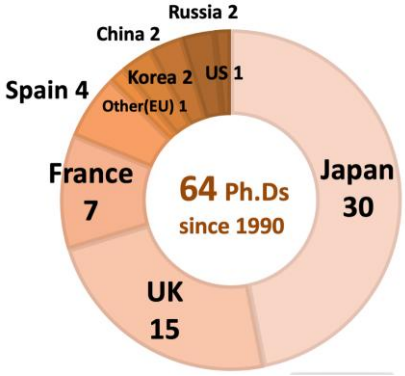


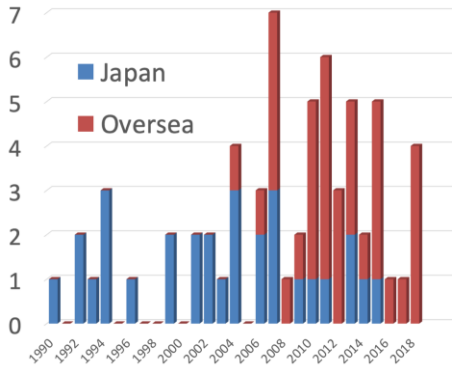
電磁石ムーバー：SLAC（米国）



BPMプロトタイプ作成：KEK
BPM実機製作：PAL（韓国）

ATFでの博士号取得

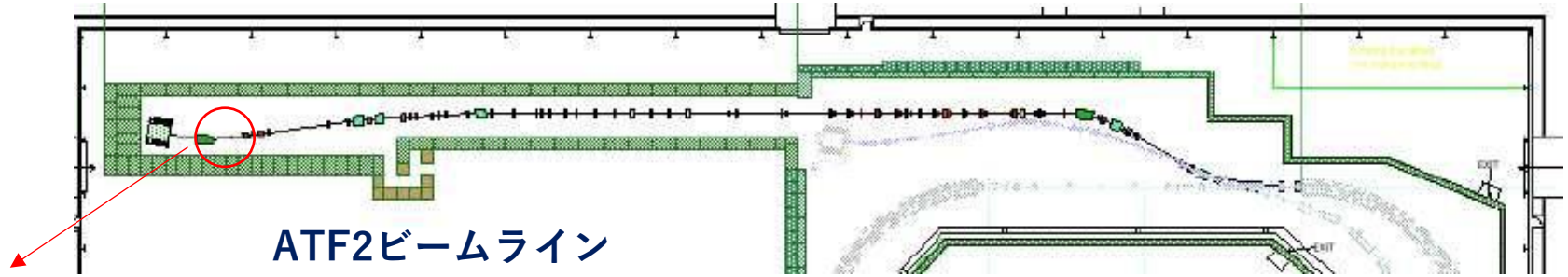


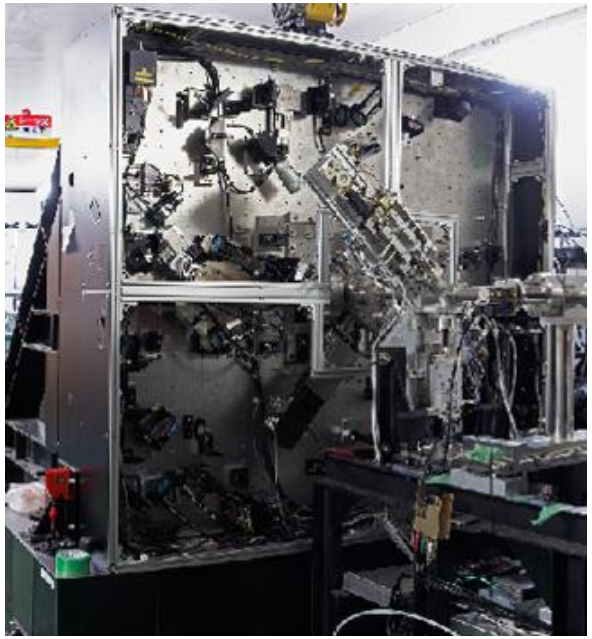


- 一つの電磁石のシステムをとっても、多くの国の研究機関の協力で出来ている。
- ATFでは将来のILCのための国内外の若手の育成も積極的におこなっている。

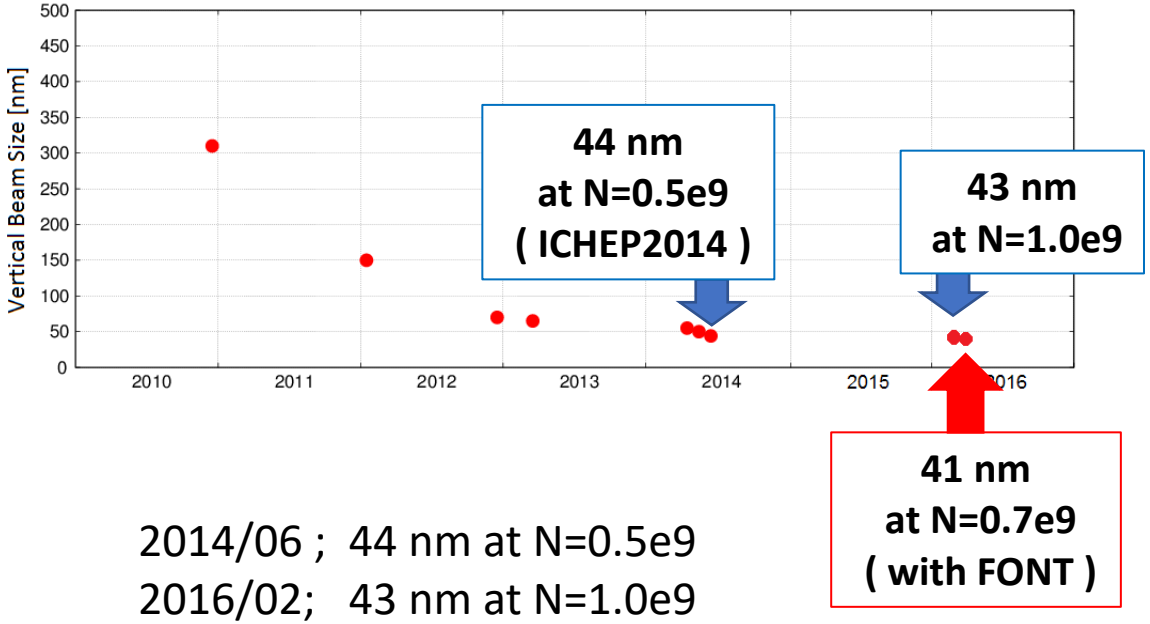
ATF2ビームラインでの極小ビーム生成

- **ATF2仮想衝突点ではビームを41nm（設計値37nm）まで絞ることに成功している。**
- ATF2での設計ビームサイズの難易度はILCでの設計ビームサイズ(7nm)と同等の難しさになっている。



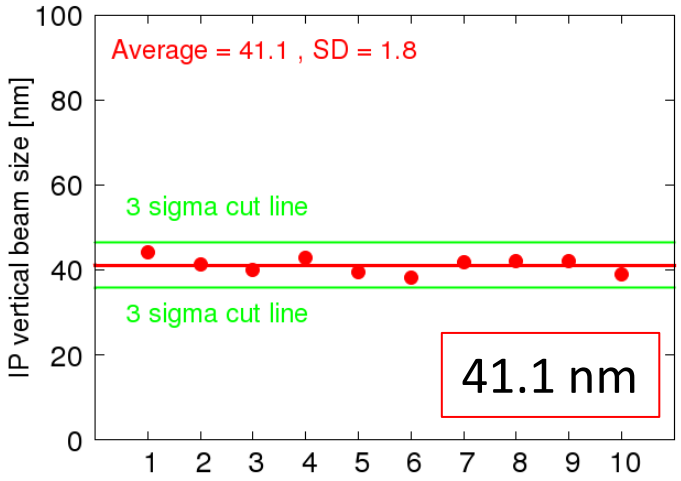


ビームサイズモニター
東大とKEKで共同開発



2014/06 ; 44 nm at N=0.5e9
2016/02; 43 nm at N=1.0e9
2016/03; 41 nm at N=0.7e9 with FONT

最小ビームサイズ



presented by Y. Kano and T. Okugi
at ECFA LC workshop 2016.

Introduction

Beam Acceleration

IP parameter

IP beam focusing and ATF

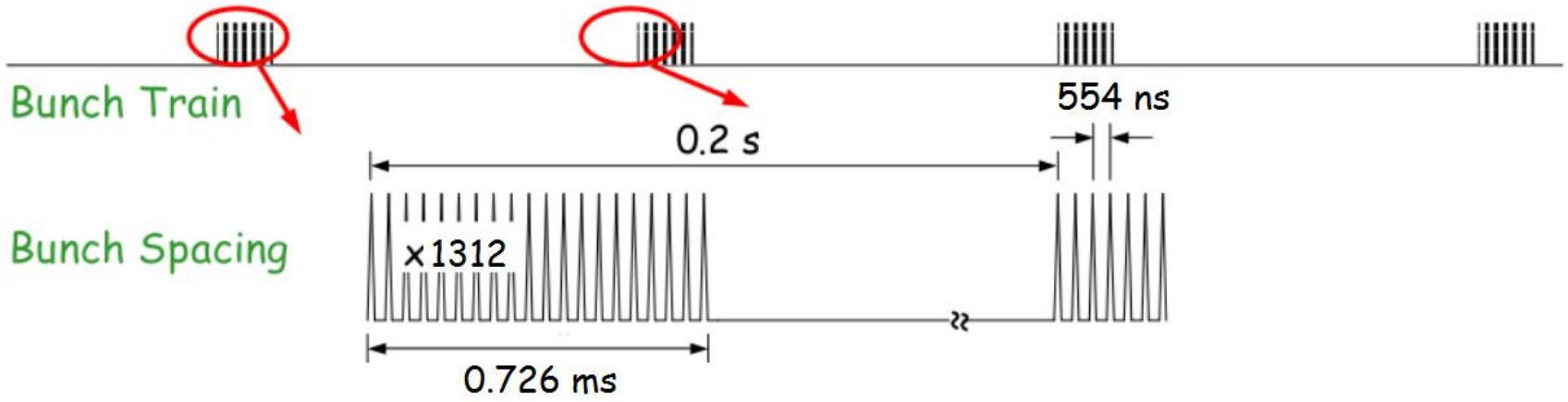
Beam-beam collision

(ILC Machine Detector Interface)

Beam position change in the bunch train

ILC RF structure (2a = 70 mm)



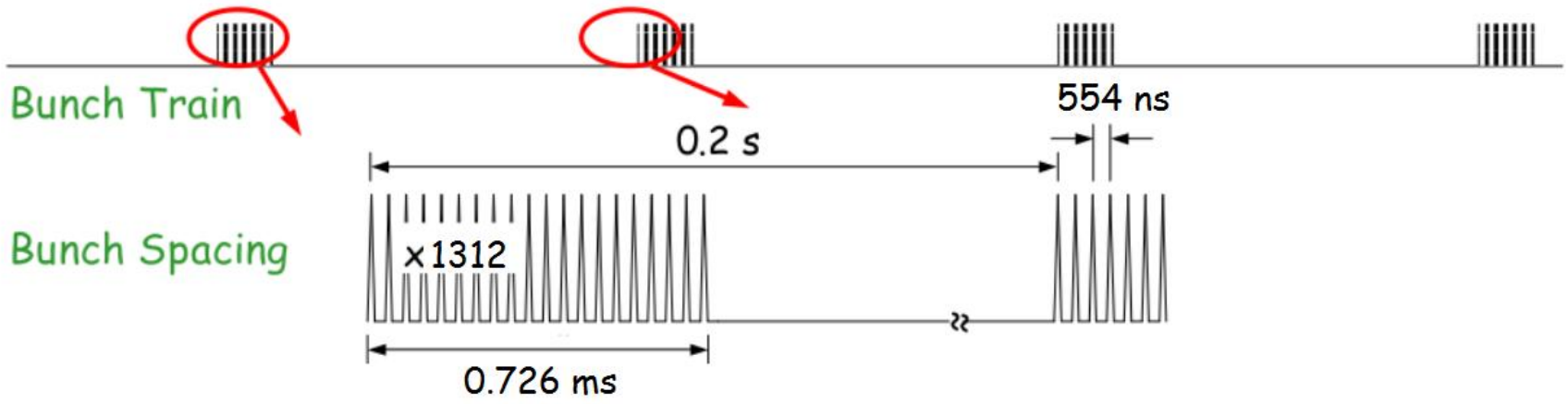


Since the bunch separation is 554 ns for ILC bunch structure,
the multi-bunch wake is small effect to ILC beam (dominant for short-range wake).

Bunch-by-bunch position change via wakefield is small.

ILC bunch structure

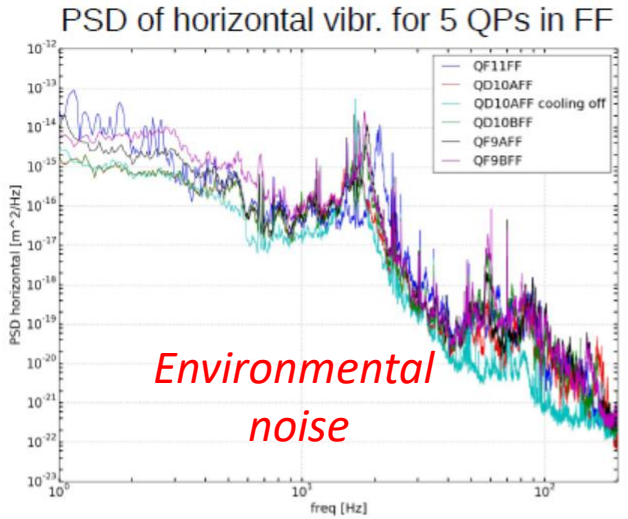
Since the train interval is 0.2 s,
the pulse-by-pulse position difference
affect the vibration above 5Hz.

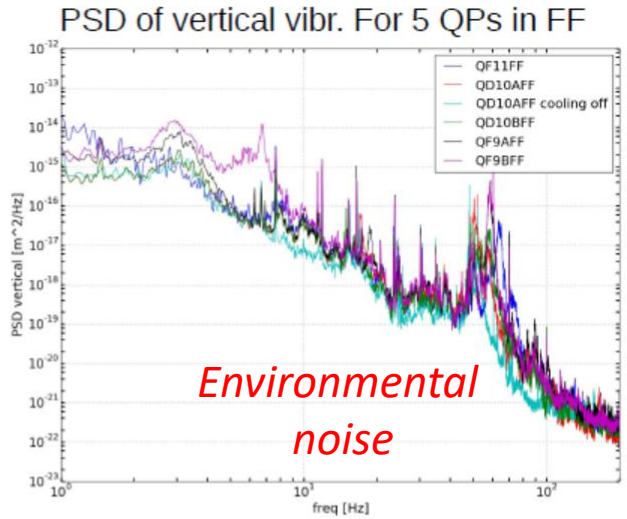


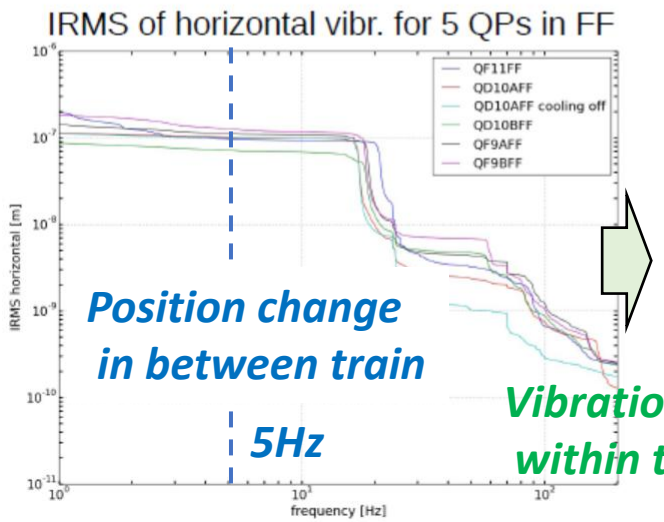
Since the train length is less than 1 ms,
the position difference within train
affect the vibration above 1 kHz.

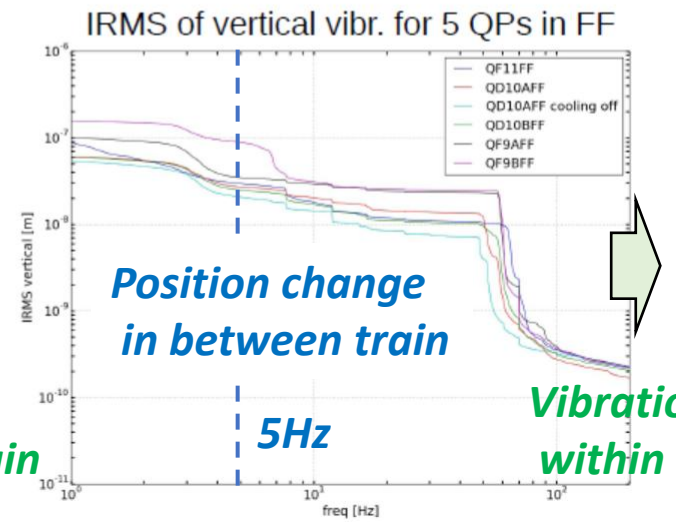
Vibration of environmental noise

Most of the environmental noises are a few 10Hz.
The amplitude is changed by the ground environment.





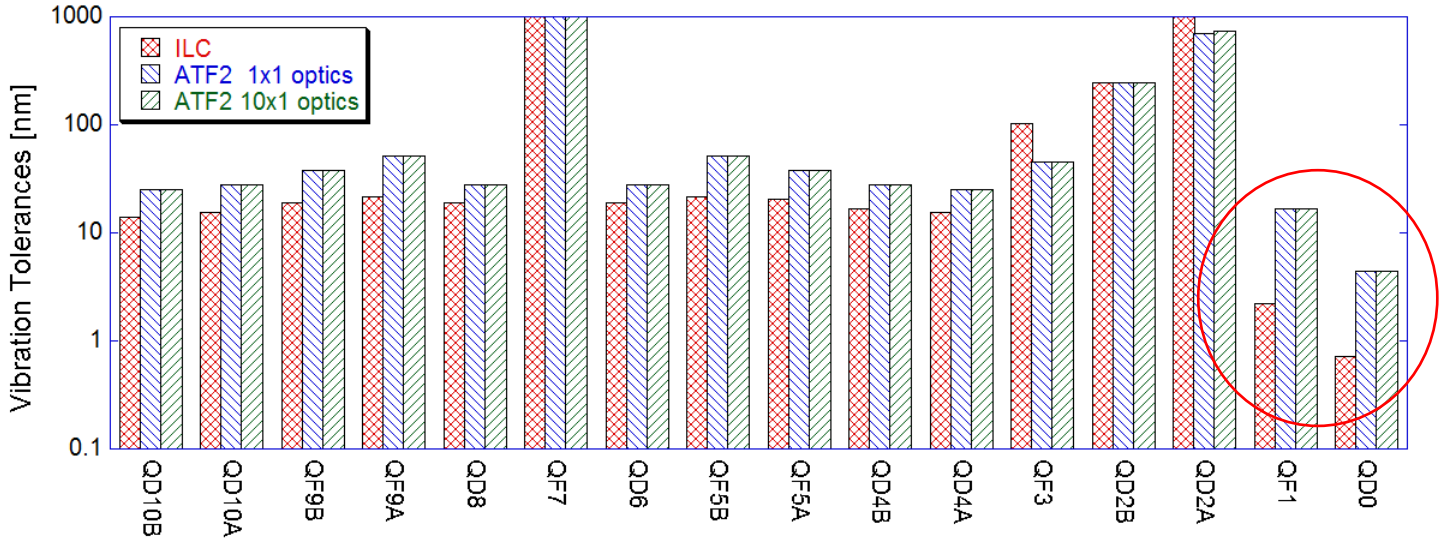




Position feedback for 5Hz pulse interval is important for ILC.

Tolerances of magnet vibrations

The tolerances of ILC final doublet are tight.



Tolerance of magnet vibration without feedback

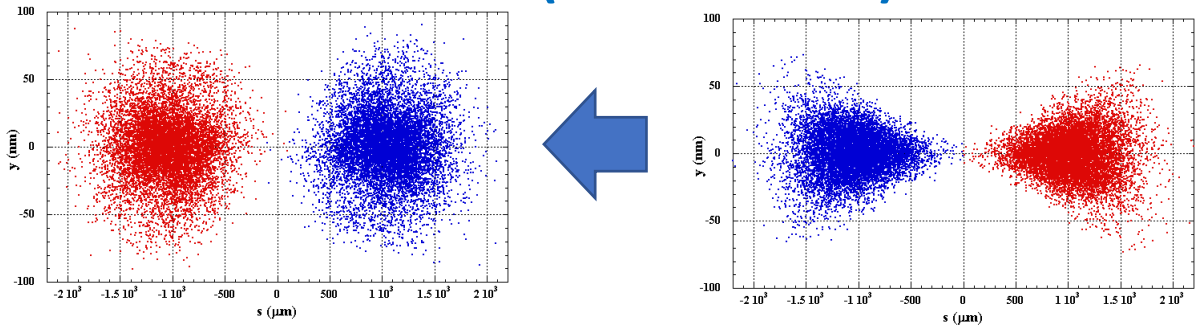
	QF1	QD0
ILC	2.2 nm	0.7 nm
ATF2	16.6 nm	4.5 nm

The vibration tolerances for final doublet are very tight.

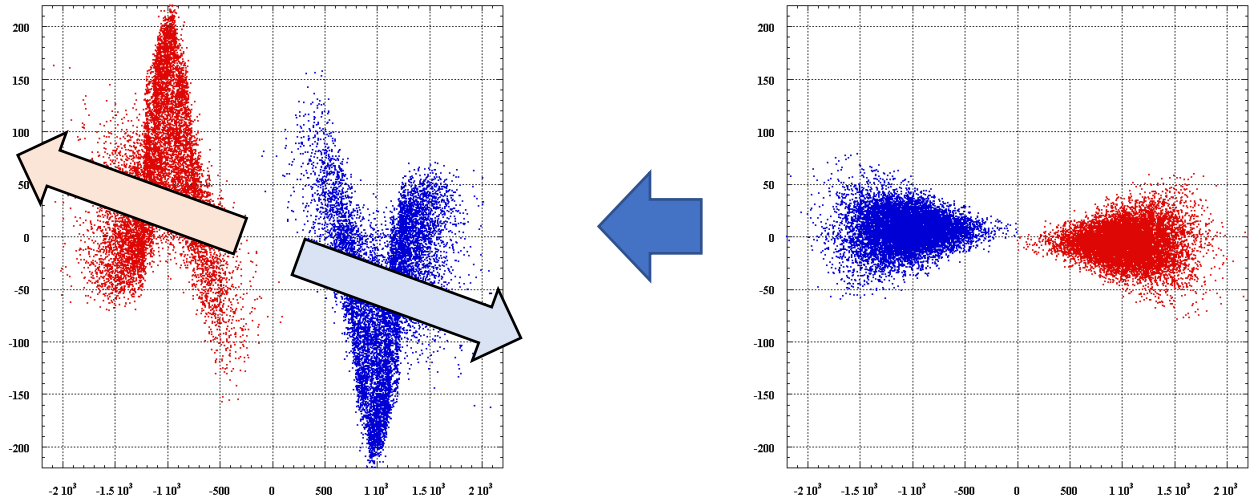
How to monitor the IP beam position

When the beams have large IP offset, the beams are diffracted by beam-beam effect.

ILC 500GeV (Beam offset) = 0

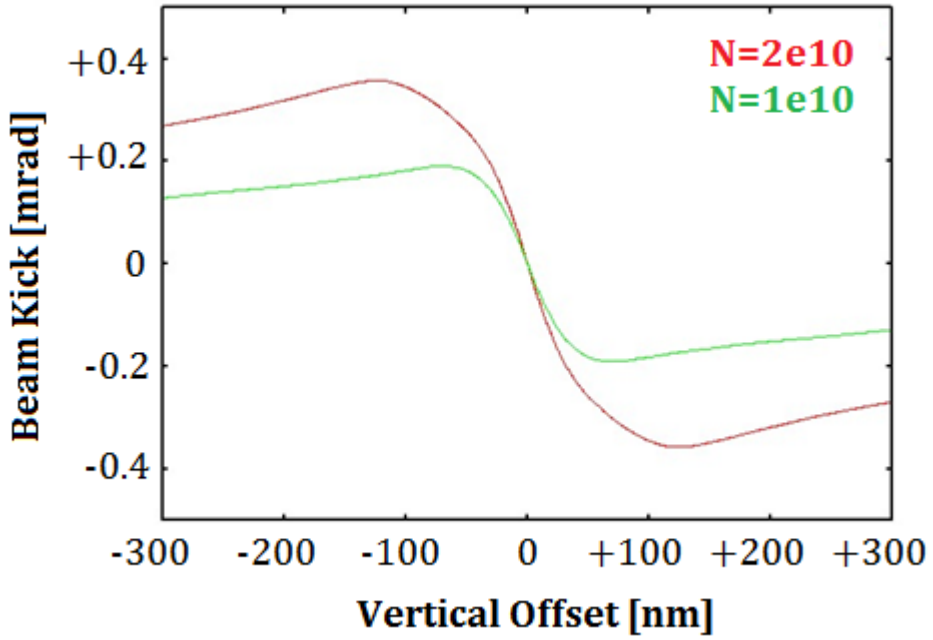


ILC 500GeV (Beam offset) = 1 σ



We can know the IP beam offset from the beam diffraction angle.

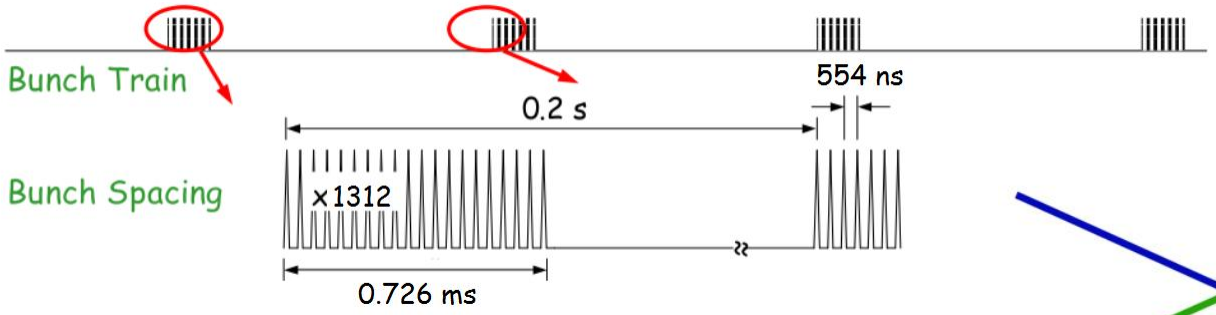
Intra-train position feedback

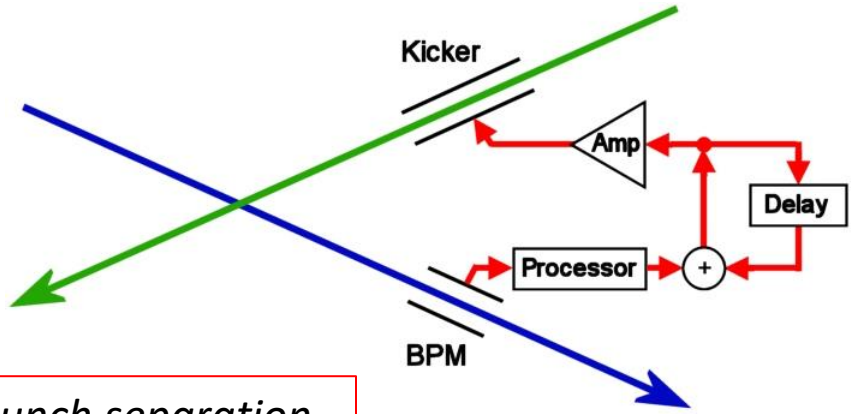


Kick angle at N=2e10 is 4urad/nm.

When BPM is put to R34=5m,
the position difference is 20um/nm.

We can correct IP position within 1nm
with 20um resolution BPM.



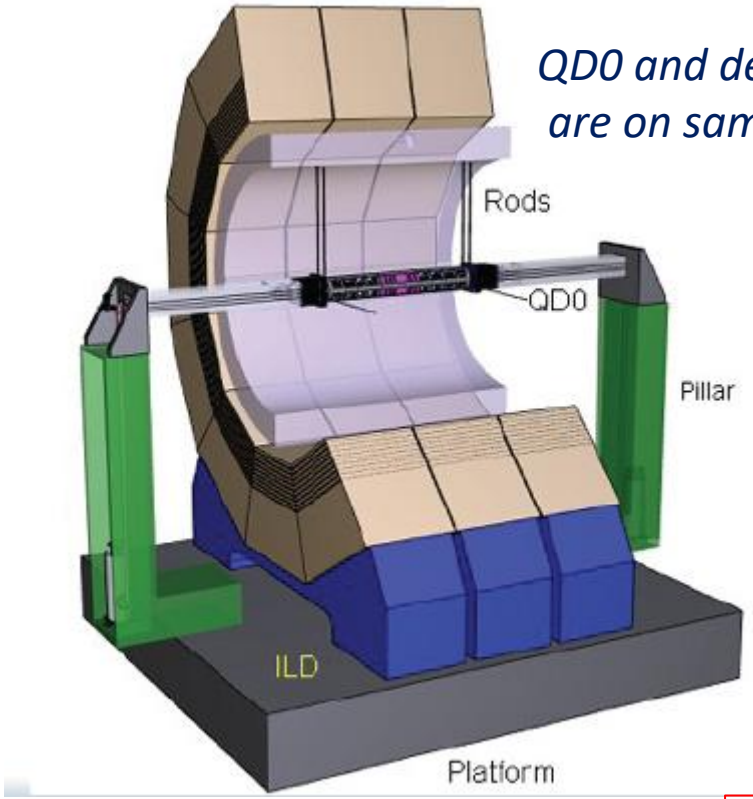


Requirement of latency of feedback is within bunch separation.

Vibration Sources 1

The QD0 vibration generate the IP beam vibration.

The QD0 is supported by using long pillars,
the vibration of the cryogenic transfer line is a problems for ILC.

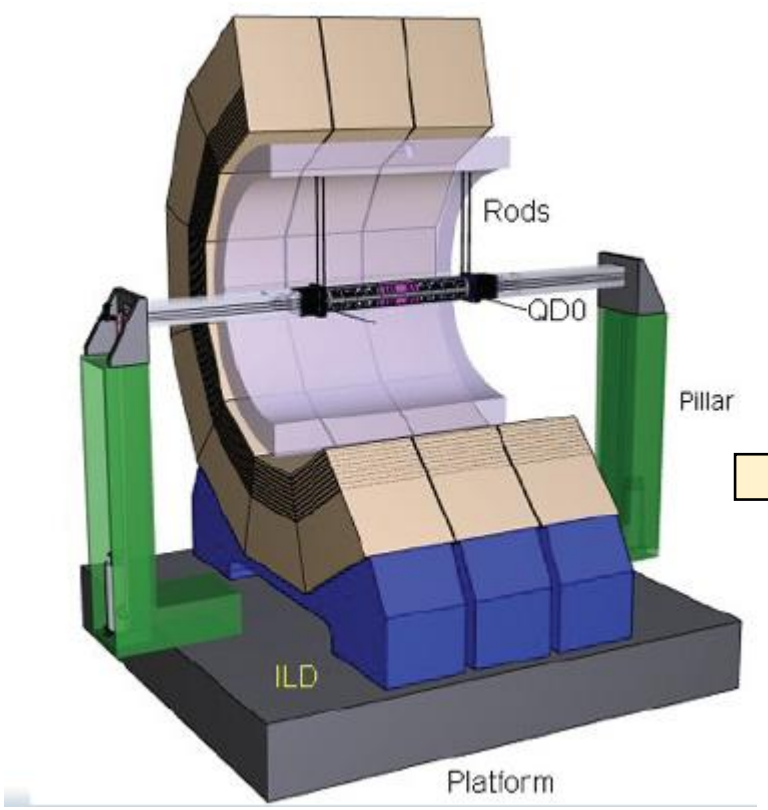


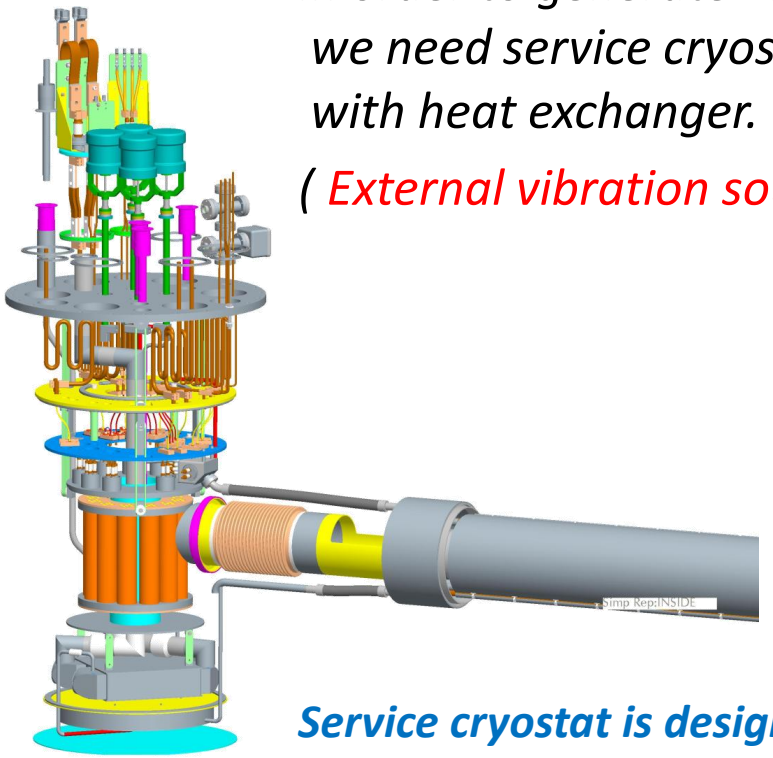
QD0 and detectors
are on same base plate



In order to avoid the liquid Helium vibration,
ILC designed to use 2K helium to be super-fluidity.

Vibration Sources 2





In order to generate 2K Helium, we need service cryostat with heat exchanger.

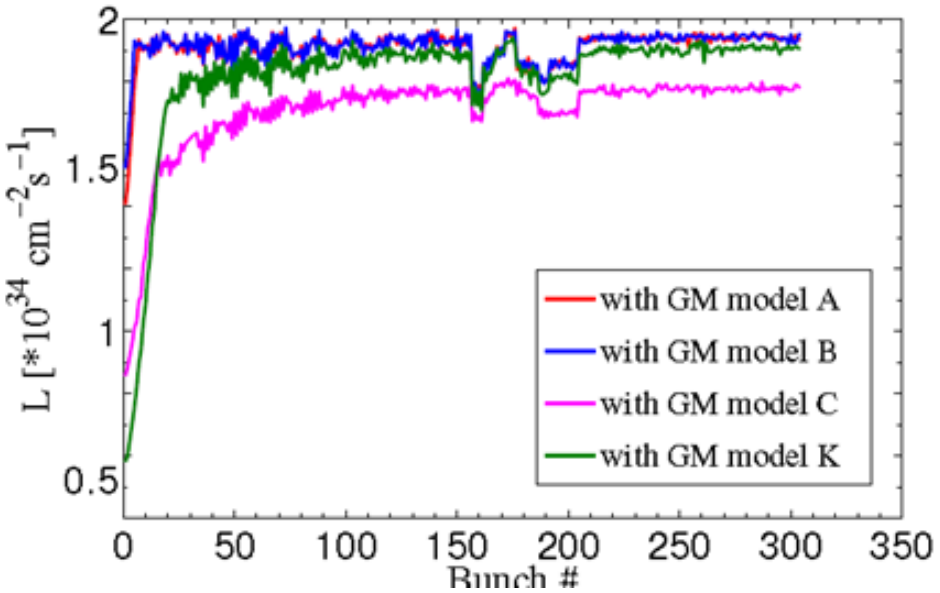
(External vibration source ??)

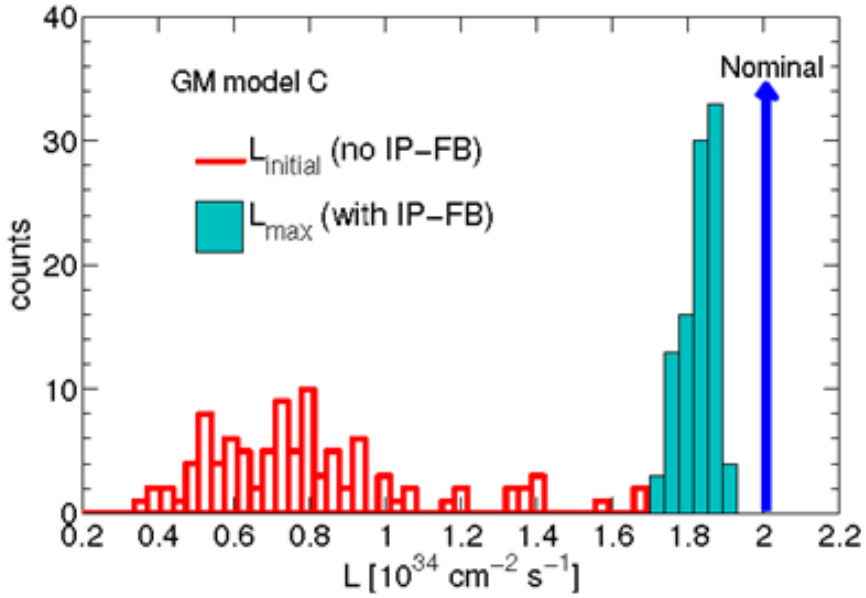
Service cryostat is designed to locate into the pillar.

The tolerance of QD0 vibration is 50 nm by using intra-train FB.

ILC Intra-train feedback simulation

Simulated by G. White with ground motion model A,B,C:
International Linear Collider Technical Review Committee,
Second Report, SLAC-R-606, 2003.





The luminosity is reduced by the ground motion.

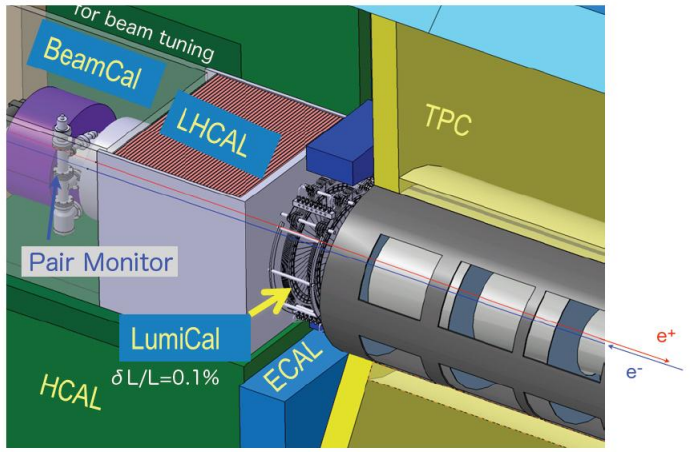
But, the luminosity can be recovered by using intra-train feedback.

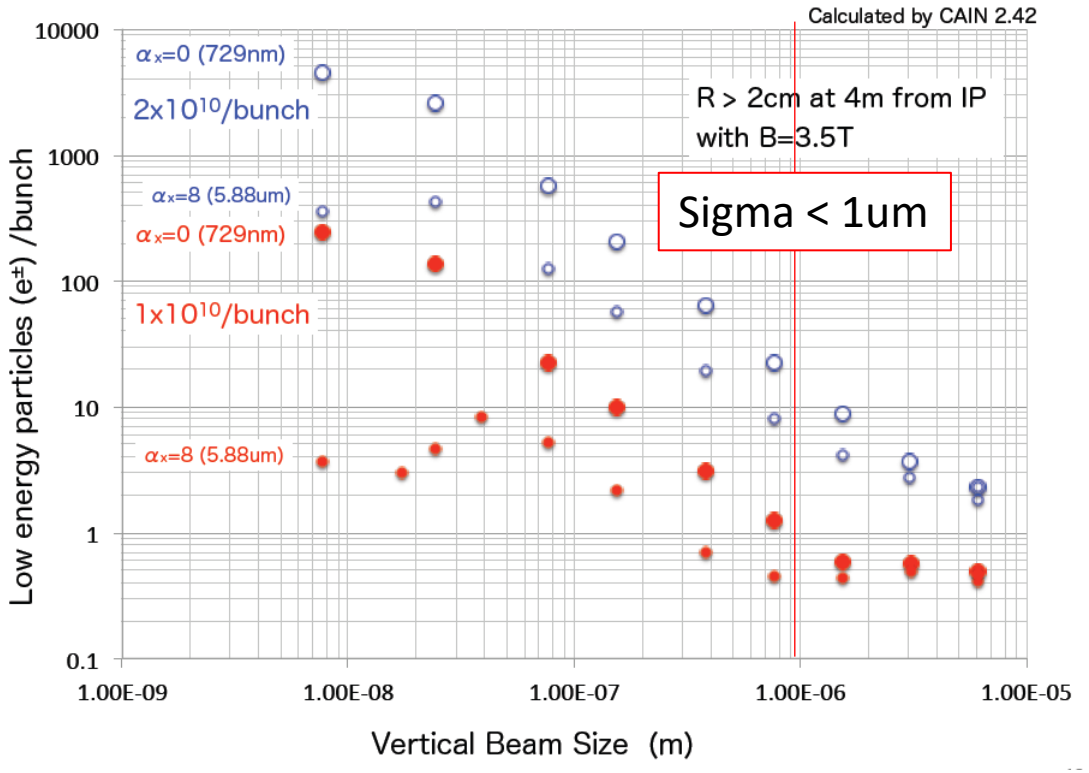
Incoherent Pair Monitor

The beam size will be optimized by monitoring the Luminosity monitor in actual ILC beam operation.

Forward Calorimeter System for MDI

ILD





presented by T.Tauchi (KEK) at AWLC2014

High sensitivities for small beam (smaller than 1 um)

Beamstrahlung Monitor

High sensitivities for larger beam (larger than 1 um)

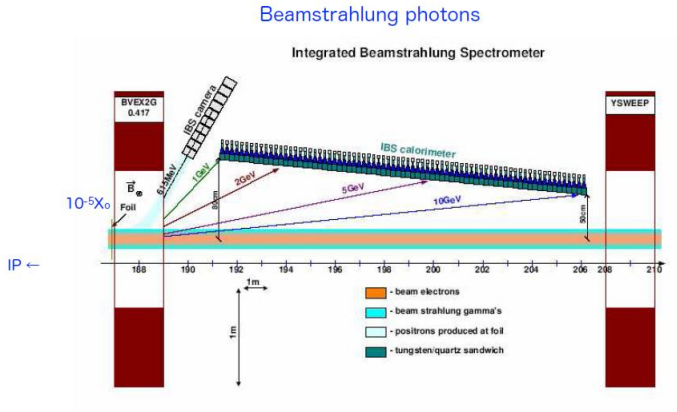
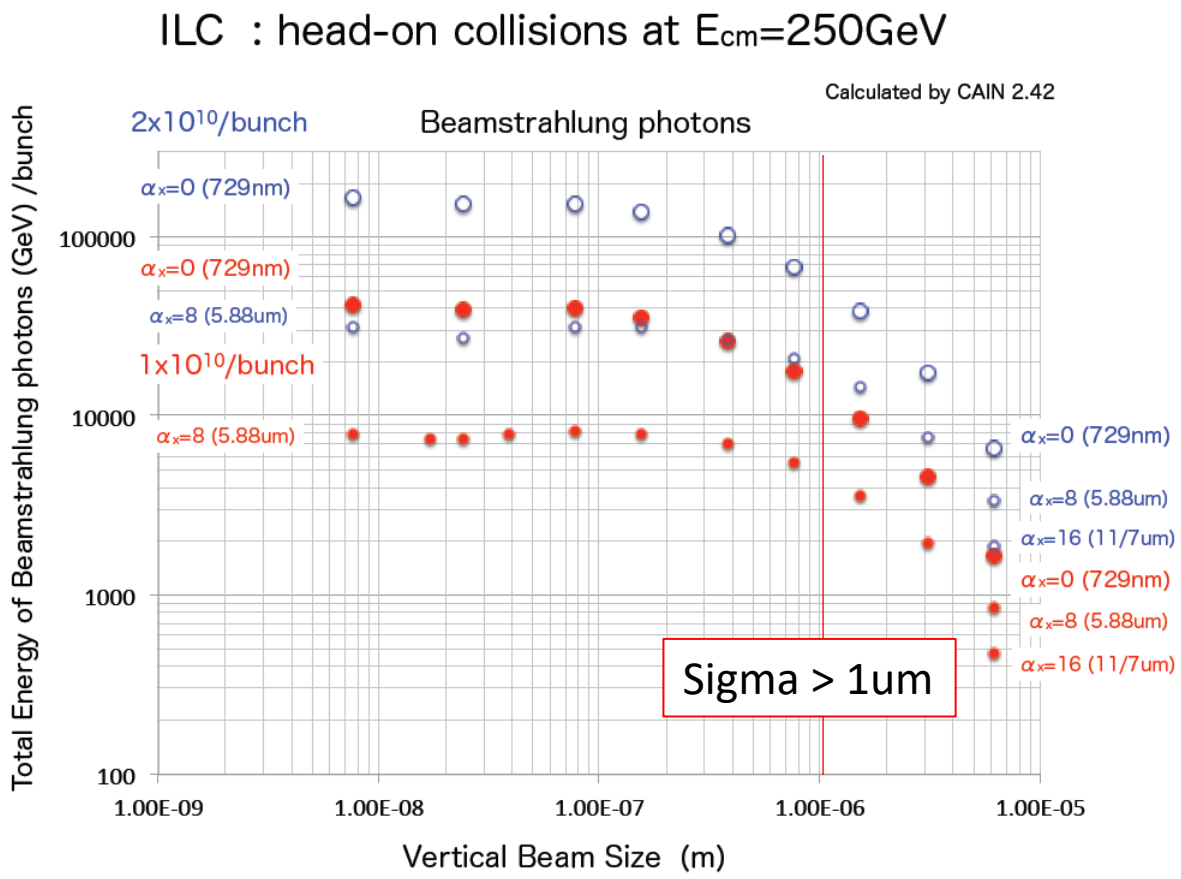


Figure 1: Concept for the GamCal.

W.M. Morse, GamCal - A Beamstrahlung Gamma Detector for Beam Diagnostics, LCWS07

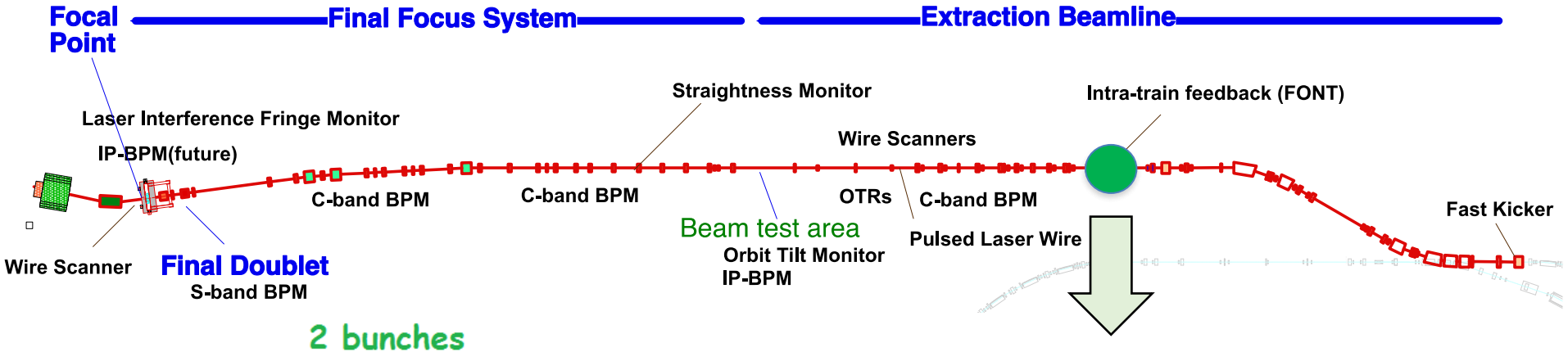


presented by T.Tauchi (KEK) at AWLC2014

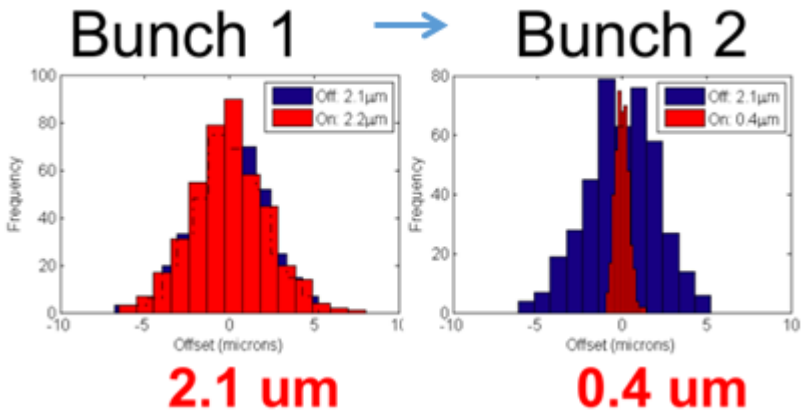
We will optimize the IP beam size by monitoring the incoherent pair monitor and the beamstrahlung monitor.

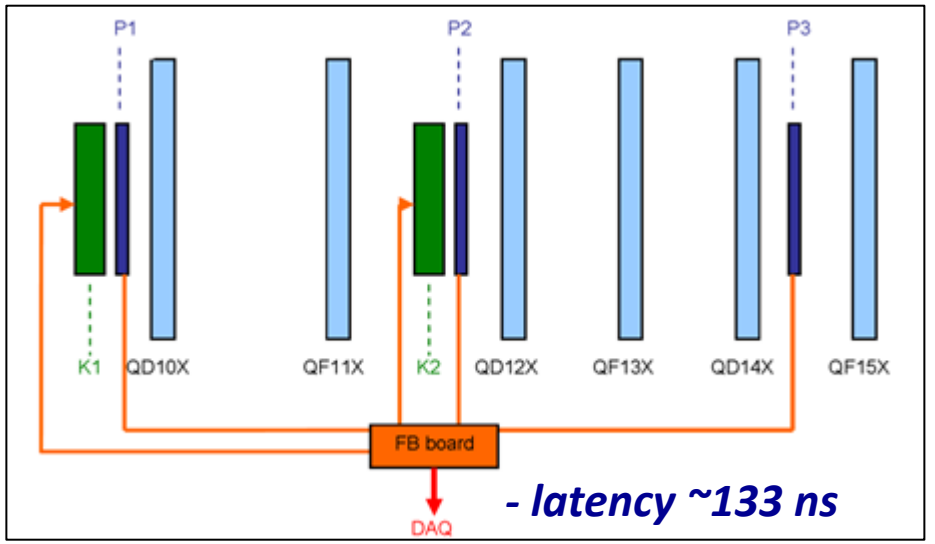
FONT (Feedback On Nanosecond Time scale)

developing by Oxford Univ,
the detail of FONT is in " N. Kraljevic et al., Proc. of IPAC16, THPOR035".





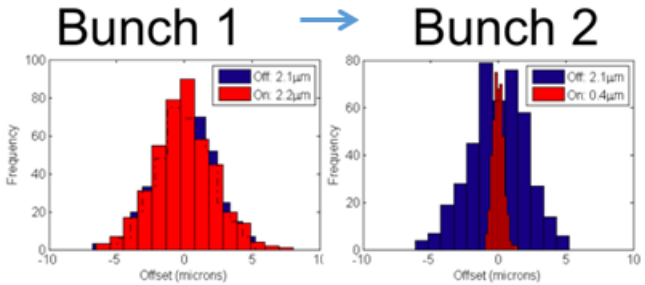




(y, y') *2-dimensional feedback with 2 BPMS ans 2 kickers*

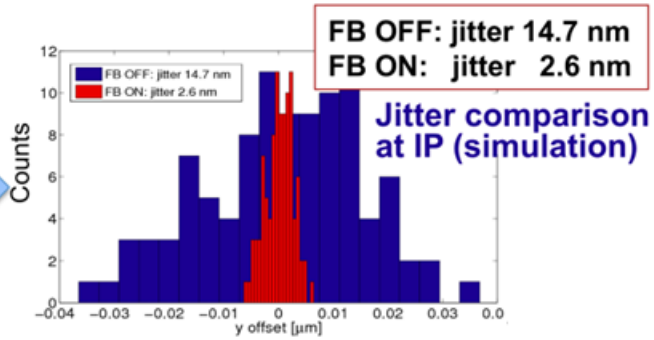
Propagation to IP position jitter

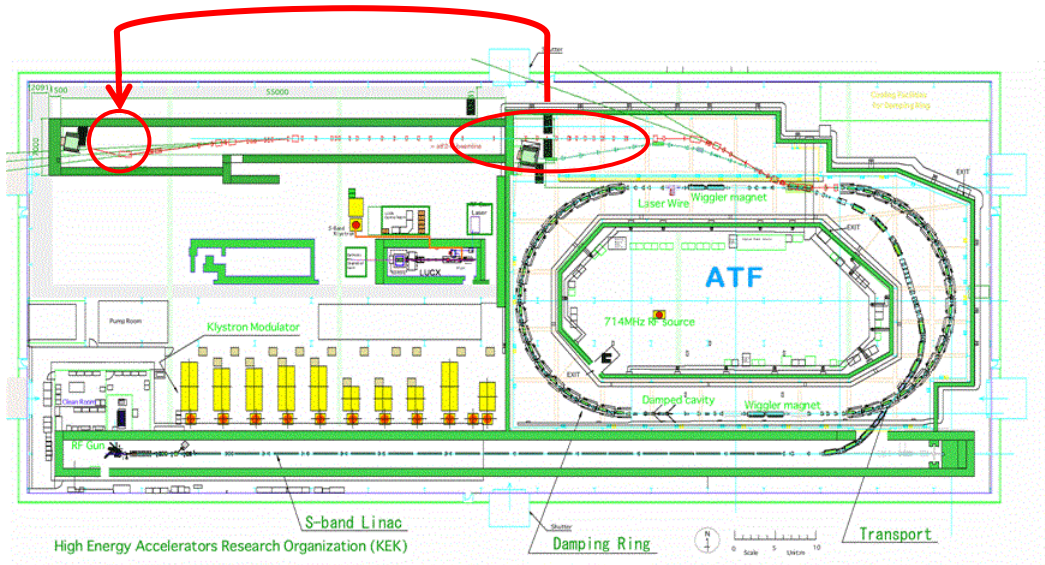
The position jitter, stabilized by FONT was propagated to ATF2 IP.



2.1 um **0.4 um**

Assuming perfect lattice, no further imperfections (!)





The IP position jitter was reduced to 2.6 nm by using FONT.
(180 ns bunch spacing)

ILC is 554 ns

Thank you for your attention

Backup

Introduction

Beam Acceleration

IP parameter

IP beam focusing and ATF

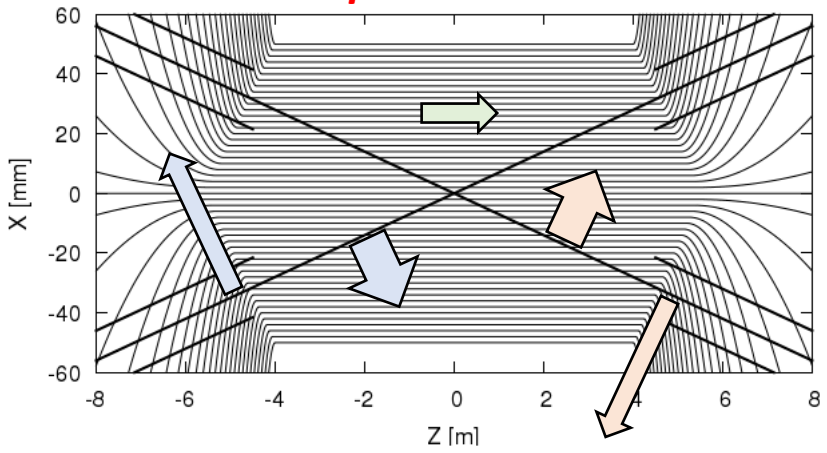
Beam-beam collision

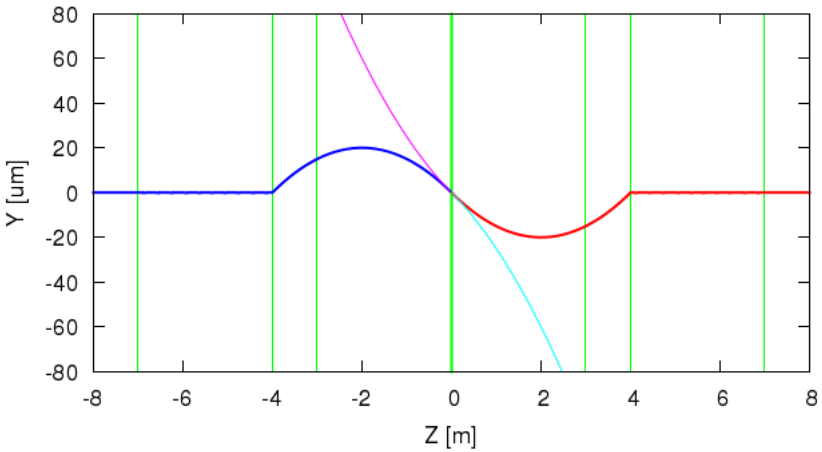
(ILC Machine Detector Interface)

Detector solenoid field with IP crossing angle

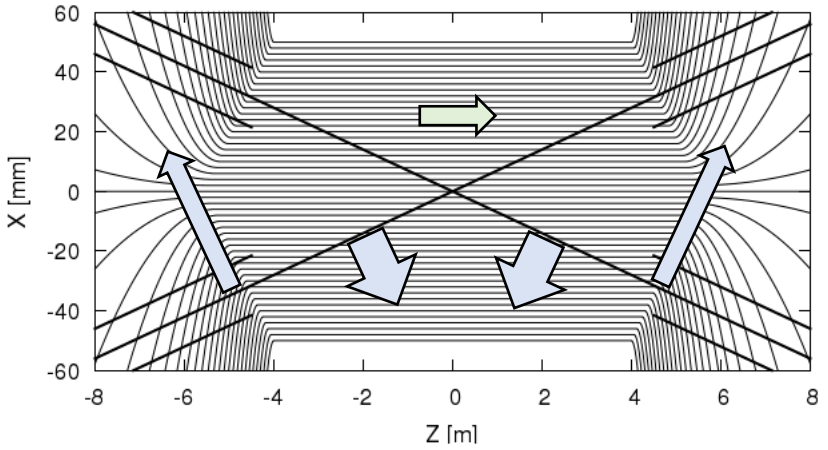
Detector solenoid field affect to the vertical beam orbit, when the beams are collided with IP crossing angle.

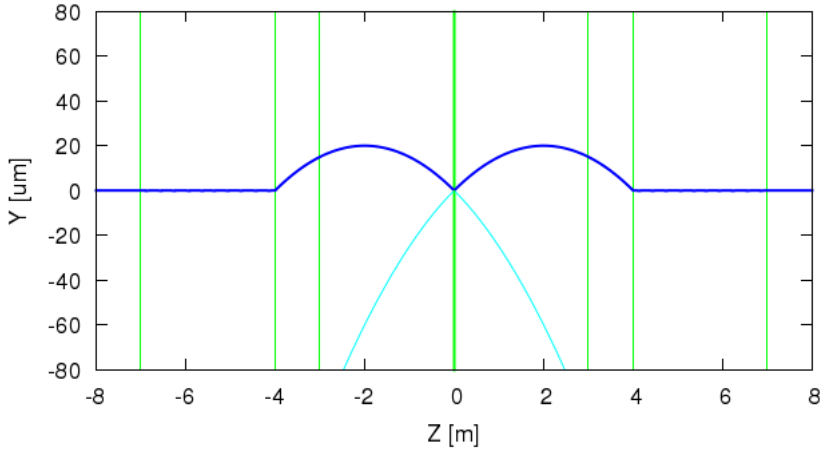
Electron-positron collision





Electron-electron collision





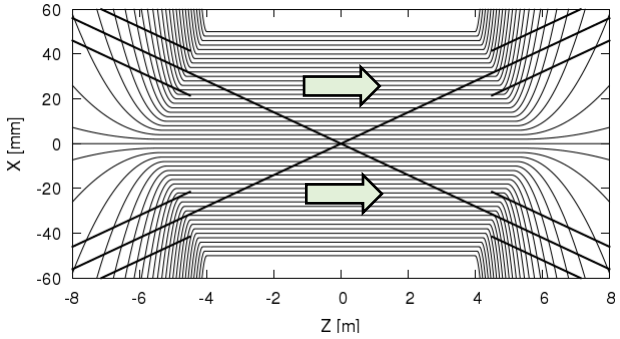
No head on collision

Detector Integrated Dipole (DID)

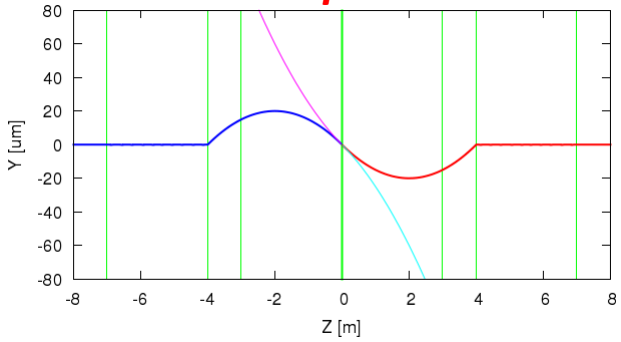
Idea to compensate the dipole field, generated by detector solenoid.

Without DID

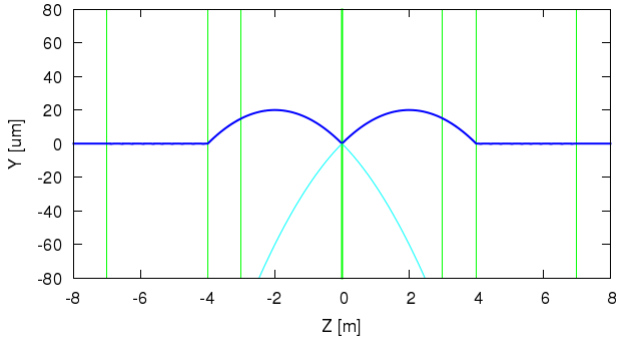
Magnetic field



Electron-positron

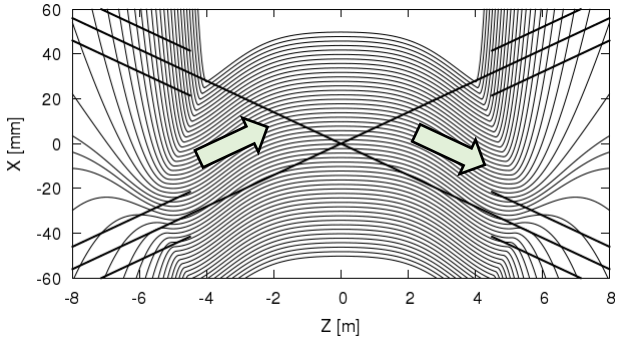


Electron-electron

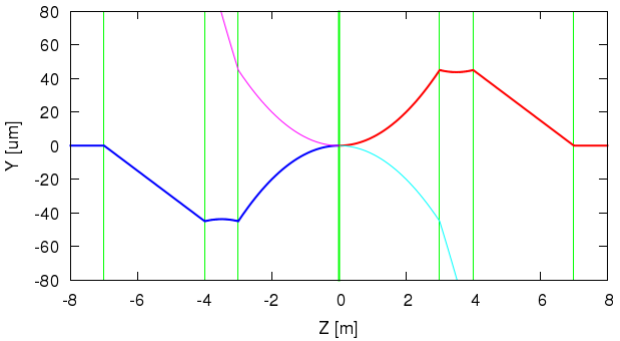


With DID

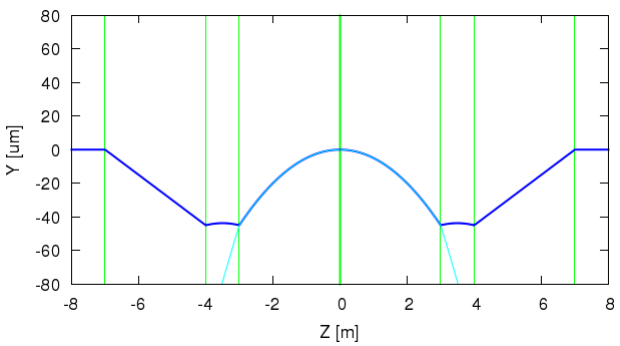
Magnetic field



Electron-positron



Electron-electron



Magnetic field will be parallel to incoming beam direction.

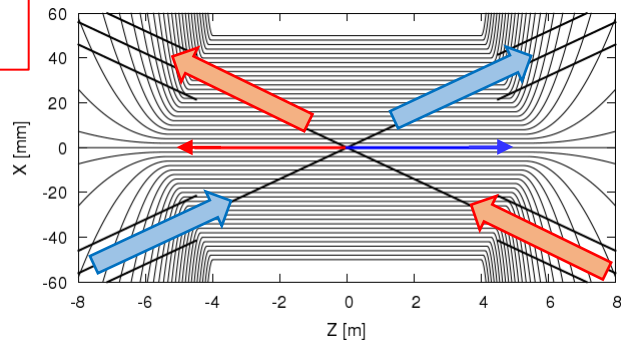
The electron-electron collision is also head-on collision.

The large number of low energy particles (incoherent pairs) will be generated after the collision. In order to reduce the detector background, it is very important to transport the low energy particles to extraction line

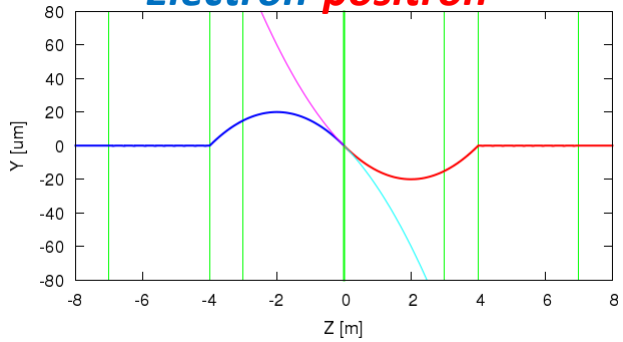
Without DID

Large angular spread after collision

Particle orbits after collision



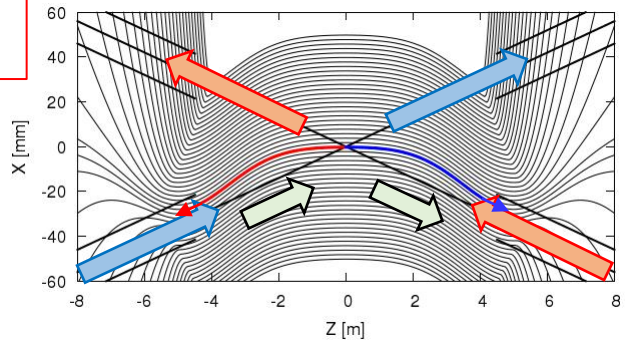
Electron-positron



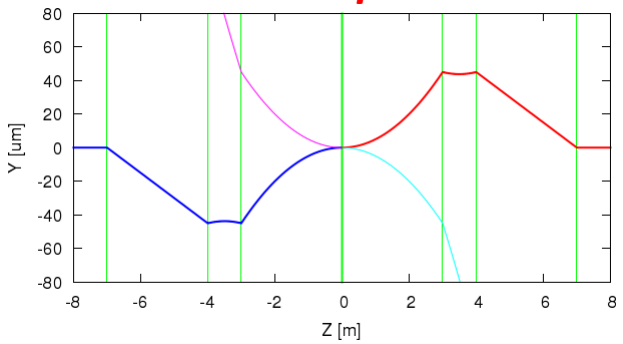
With DID

Angular spread will be enhanced.

Orbit of low energy particles



Electron-positron

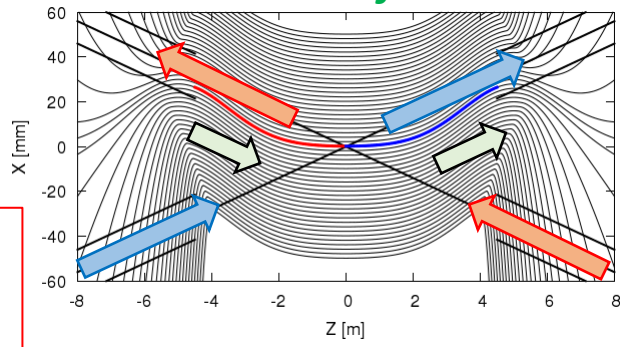


Anti-DID

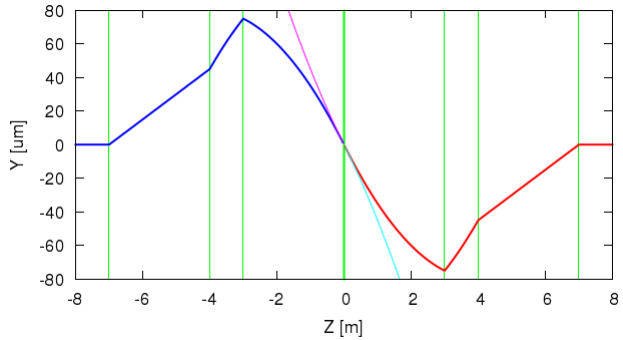
By applying the opposite field of DID,
the magnetic field direction will be able to set to be along the out-going beam line.

With anti-DID (Present ILC design)

Particle orbits after collision



Electron-positron

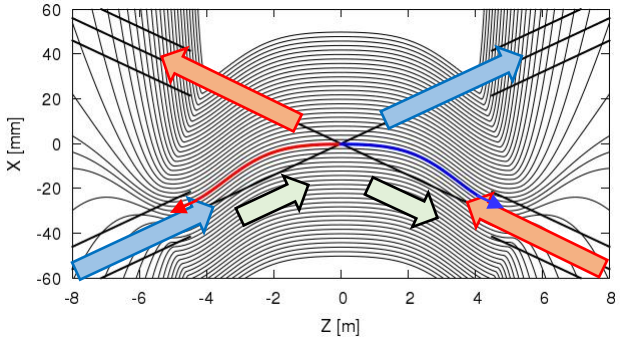


Angular spread and detector background will be reduced.

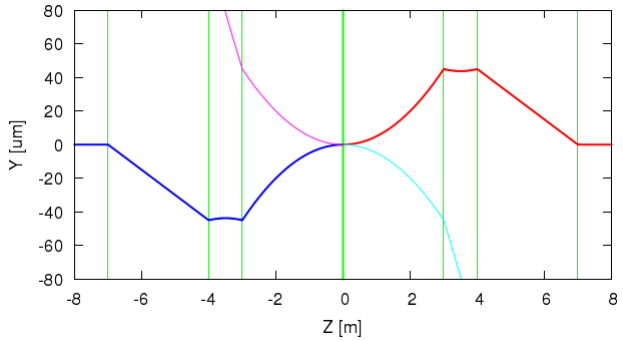
Vertical angular offset will be enhanced

With DID

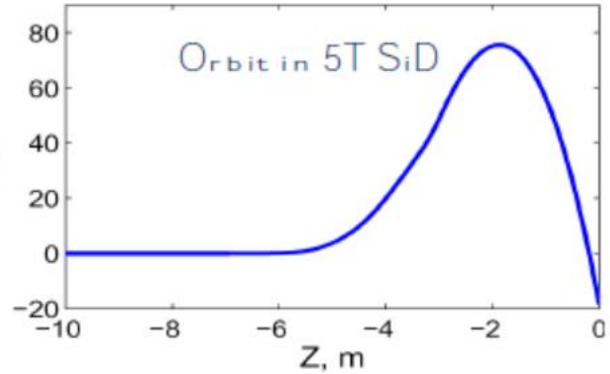
Orbit of low energy particles

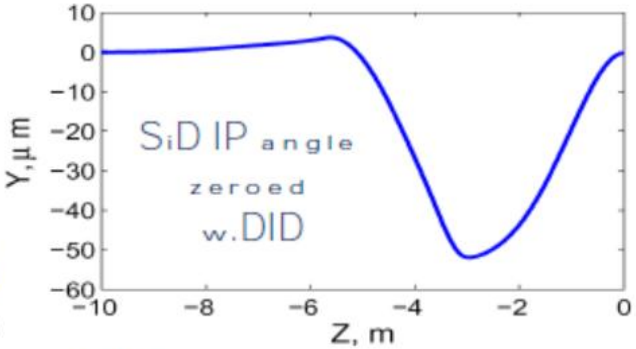


Electron-positron

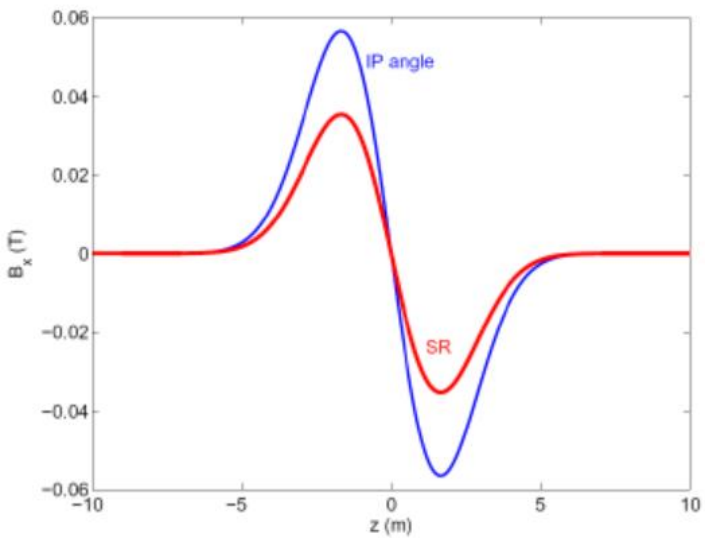


Use of DID or anti-DID

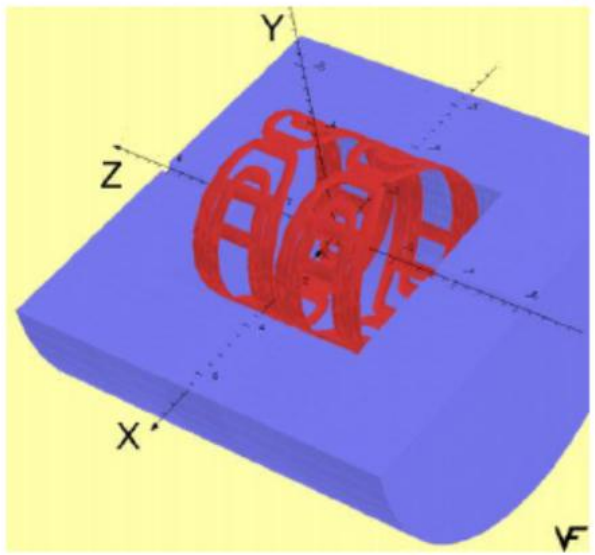




DID field shape and scheme



DID case



- The negative polarity of DID is also possible (called anti-DID)

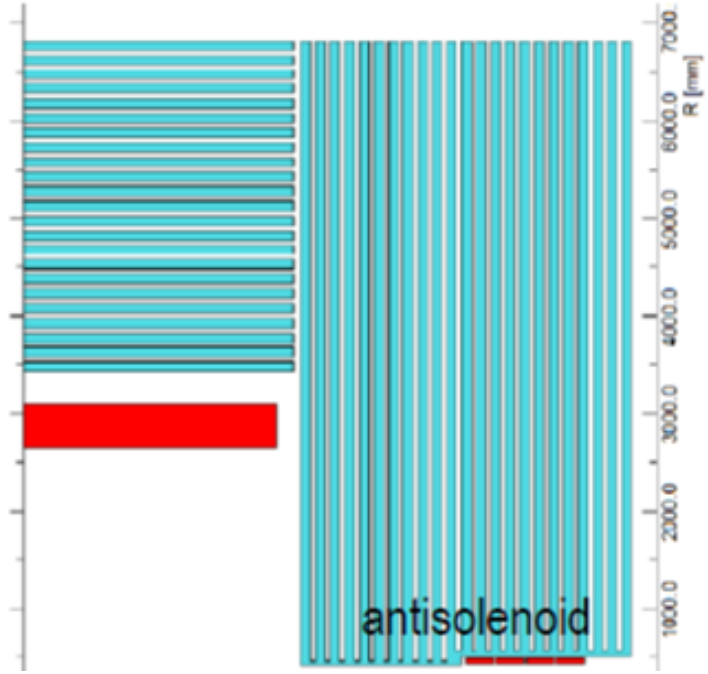
- In this case the vertical angle at the IP is somewhat increased, but the background conditions due to low energy pairs (see below) and are improved

Anti-solenoid Magnet around QD0

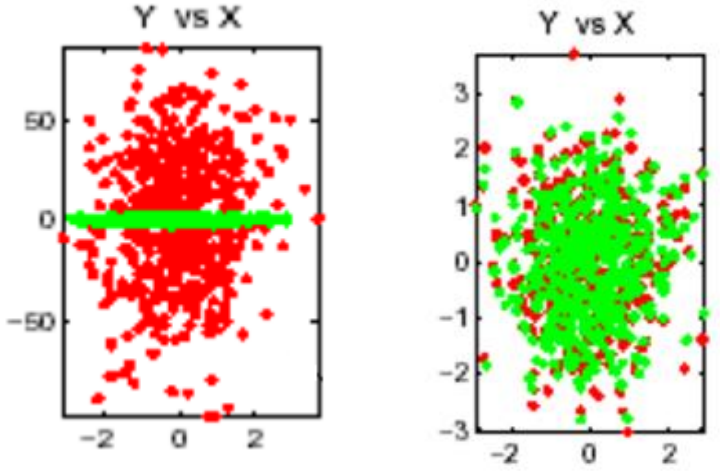
Detector is covered by strong solenoid magnet.

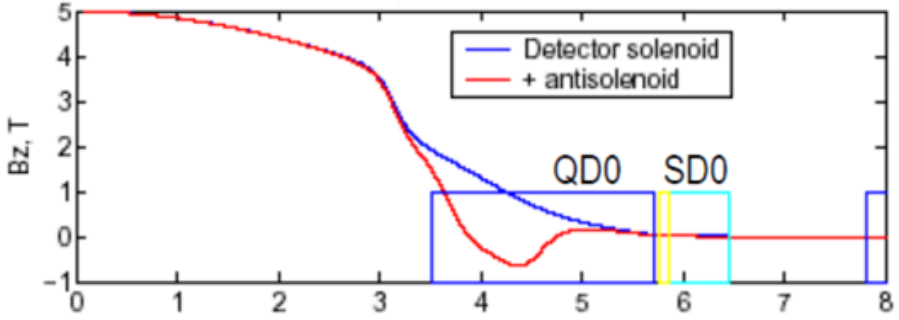
QD0 magnet was located within the solenoid field.

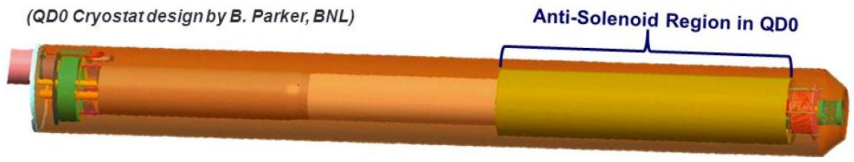
The solenoid field generate strong x-y coupling to beam.



w/o anti-solenoid ***with anti-solenoid***





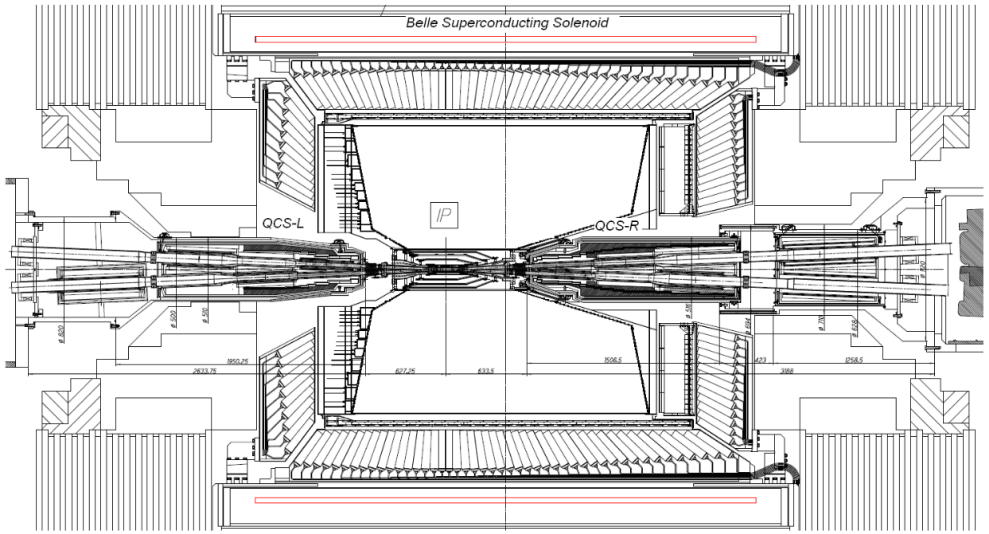


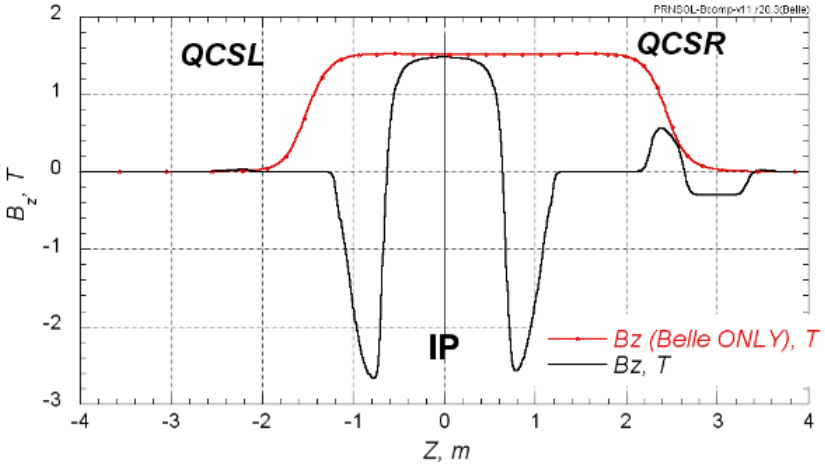
Green ; no field

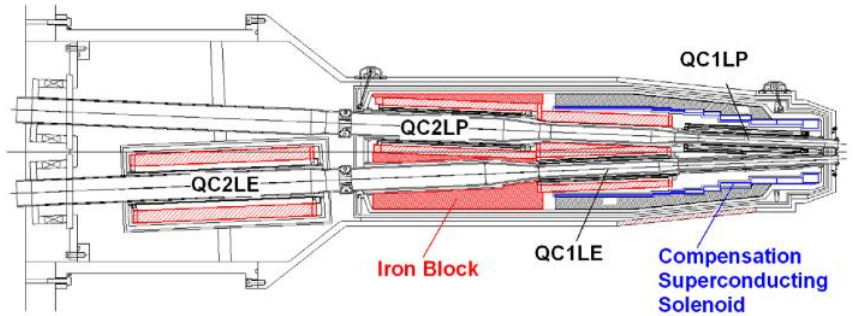
Red ; with field

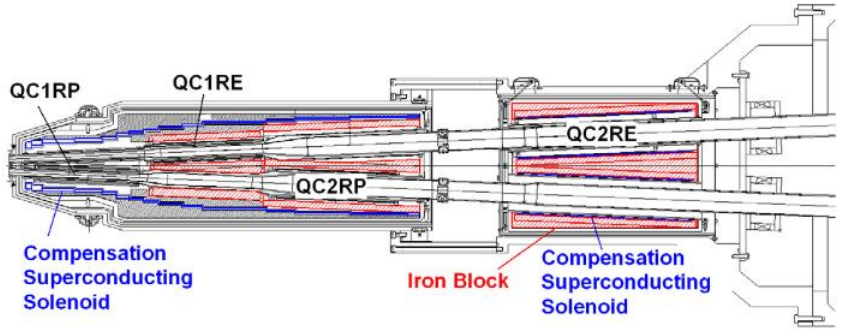
Example of IR magnets (SuperKEKB)

H.Yamaoka et al., Proceedings of IPAC2012, New Orleans, Louisiana, USA





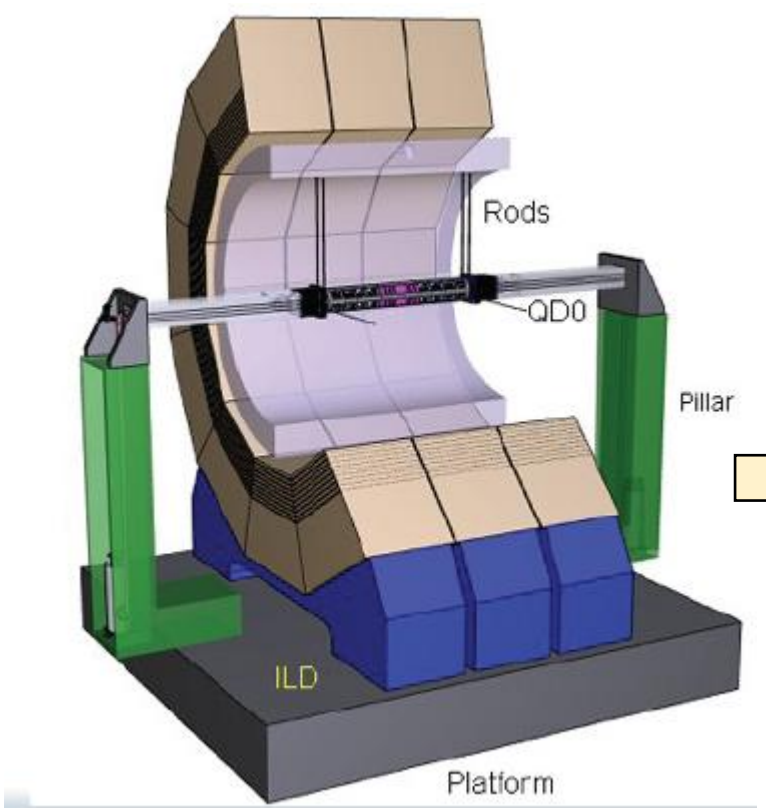


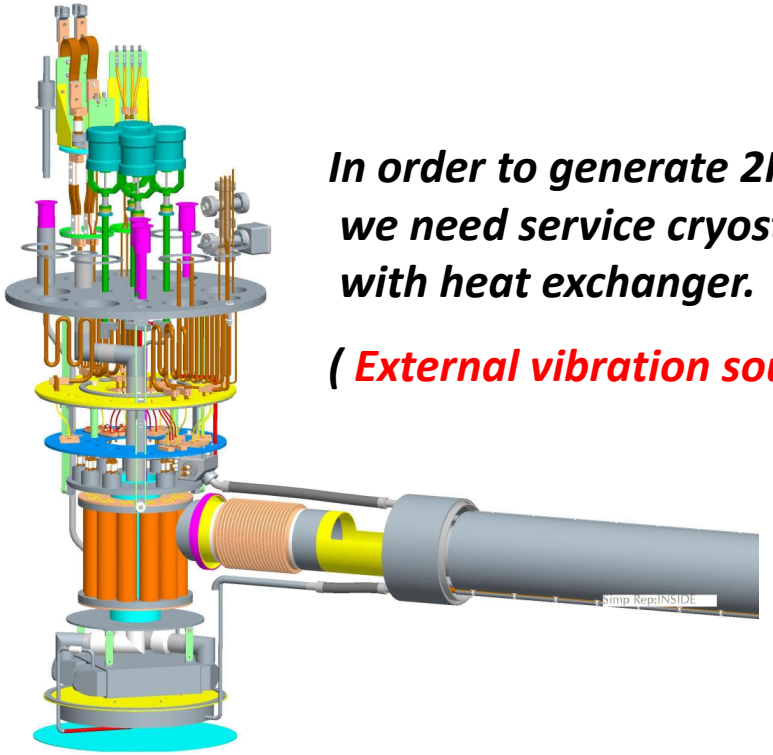


The actual hardware makes a lot of multipole field component.
The tolerances will also be reduced for the actual interfaces.

Vibration of ILC QD0 magnet

In order to avoid the liquid Helium vibration,
ILC designed to use 2K helium to be super-fluidity.





In order to generate 2K Helium,
we need service cryostat
with heat exchanger.

(External vibration source ??)

The tolerance of QD0 vibration is 50 nm by using intra-train FB.