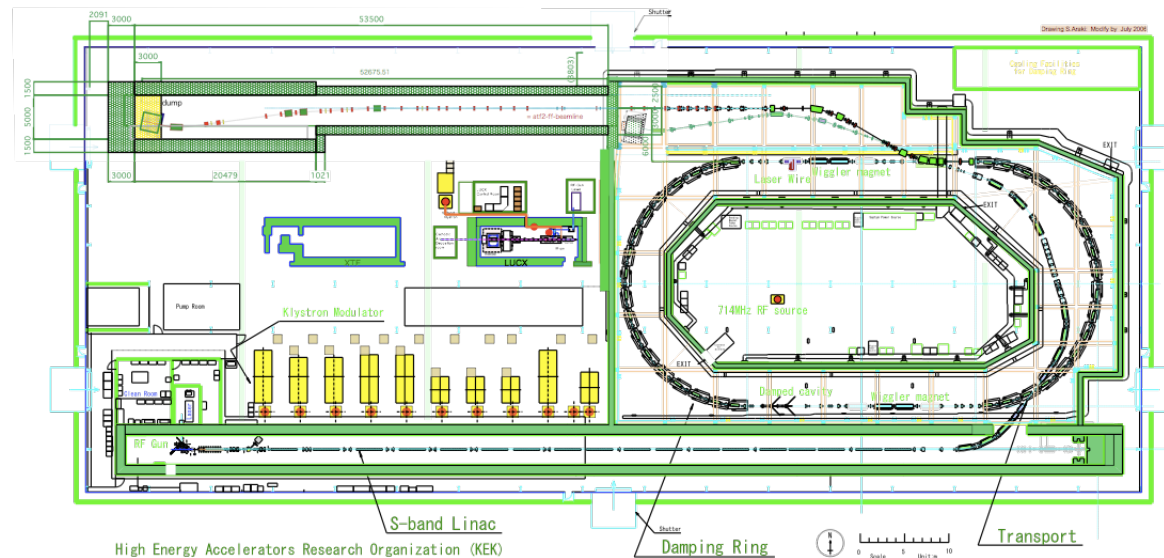


ATF/ATF2 超入門



大森恒彦(KEK)

加速器・物理合同 ILC 夏の合宿2013
2012年7月22日 富山市 呉羽ハイツ

下記のように多くの方からスライド、写真、図、助言などを頂きました。感謝します。
荒木さん、浦川さん、奥木さん、久保さん、黒田さん、田内さん、照沼さん、本田さん、横谷さん

ILC 計画 と ATF/ATF2

ILCにおける技術開発

ILC における技術開発は高いルミノシティーを実現するための研究が主。



超伝導加速は限られた電力の中で、

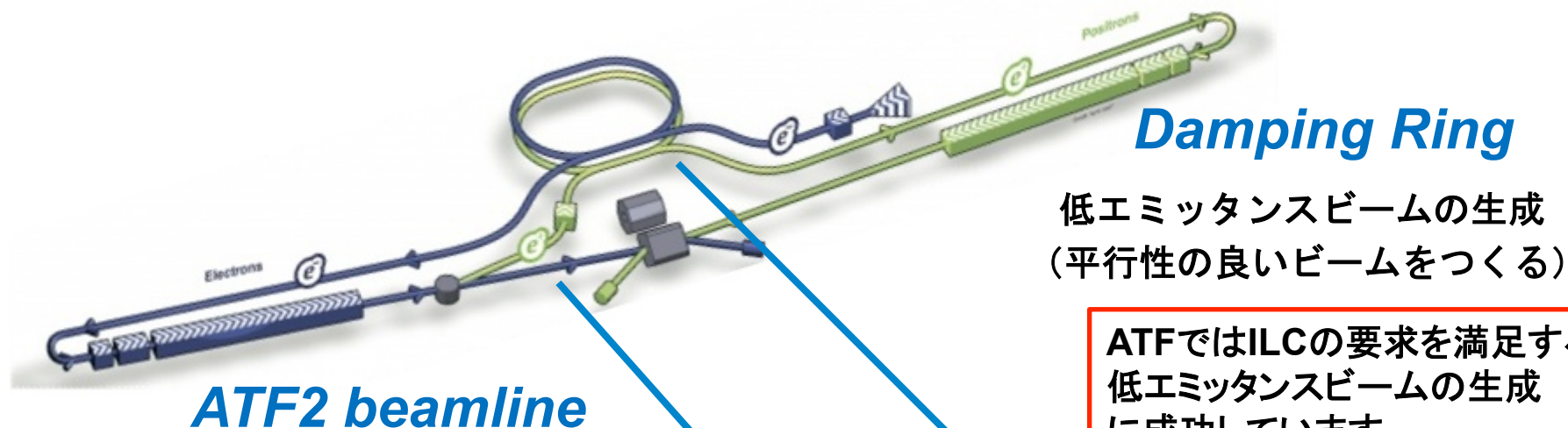
- バンチ(1つのビーム)内に沢山の粒子(2×10^{10} 個)を詰め込む
- 単位時間内に沢山のバンチ(毎秒6560バンチ)を加速するために導入された技術である。

ATF / ATF2 は効率的に1つ1つのバンチが衝突できるように

- 衝突点でビームを小さく絞る技術
 - 衝突点でのビームの位置を制御する技術
- に関する研究をおこなっている。

ATF (Accelerator Test Facility)

ILCの加速器技術の研究をおこなう施設

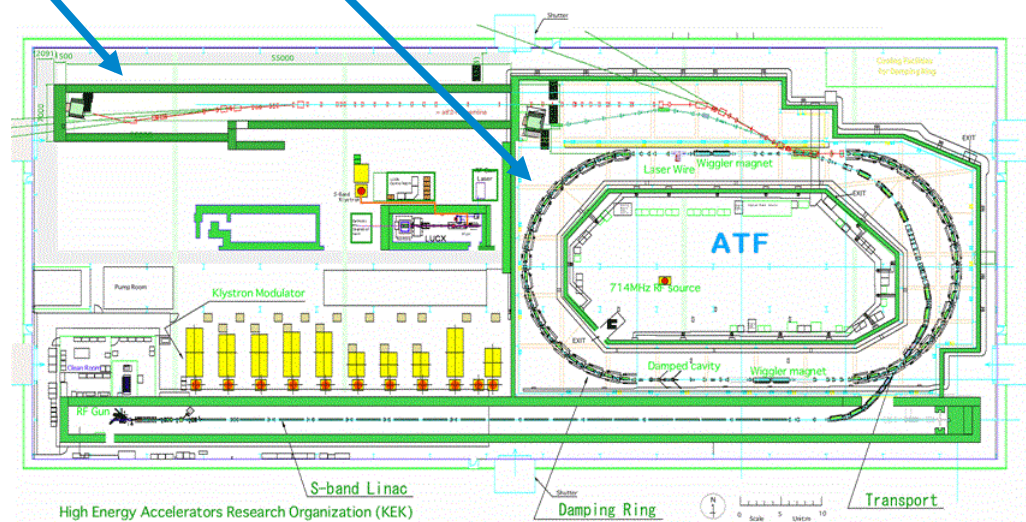


ATFではILCの要求を満足する
低エミッタンスビームの生成
に成功しています。

ILCの最終収束系の試験
をおこなっています。

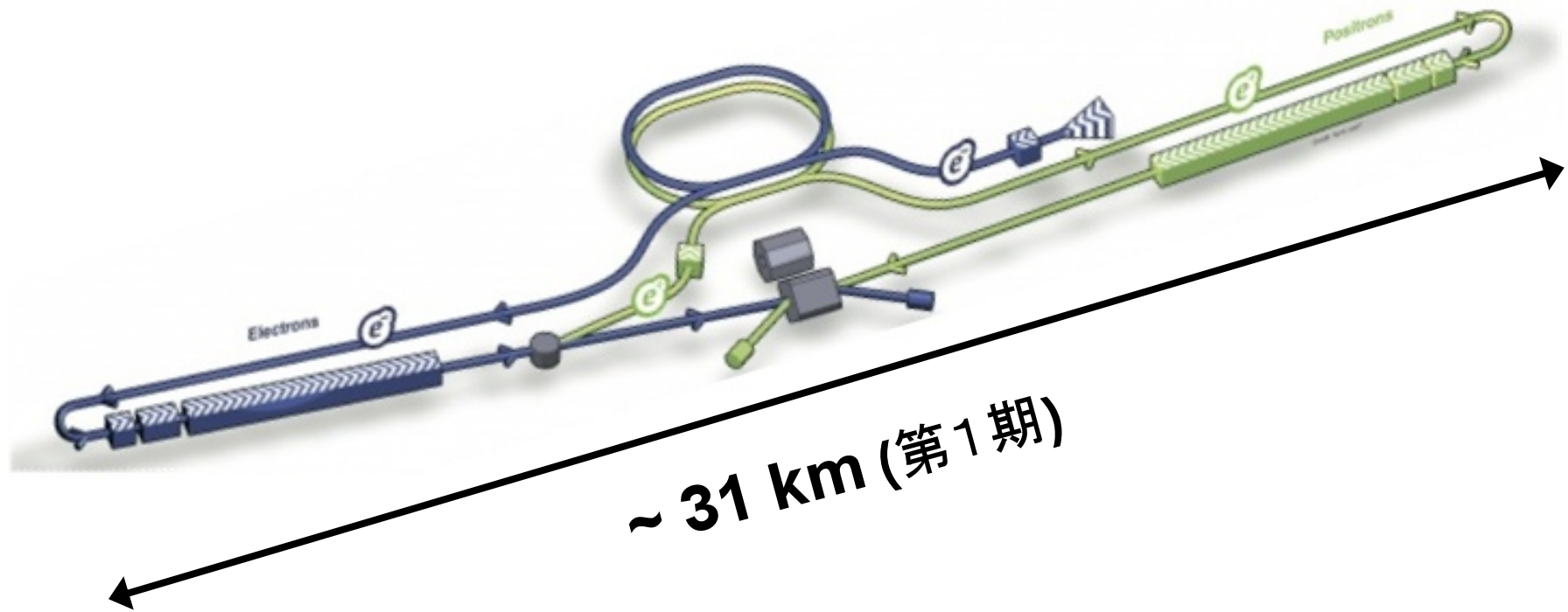
主な研究課題は

- ビーム収束技術の確立
- ビーム位置制御技術の確立



ILC: International Linear Collider

実際の配置に忠実な図

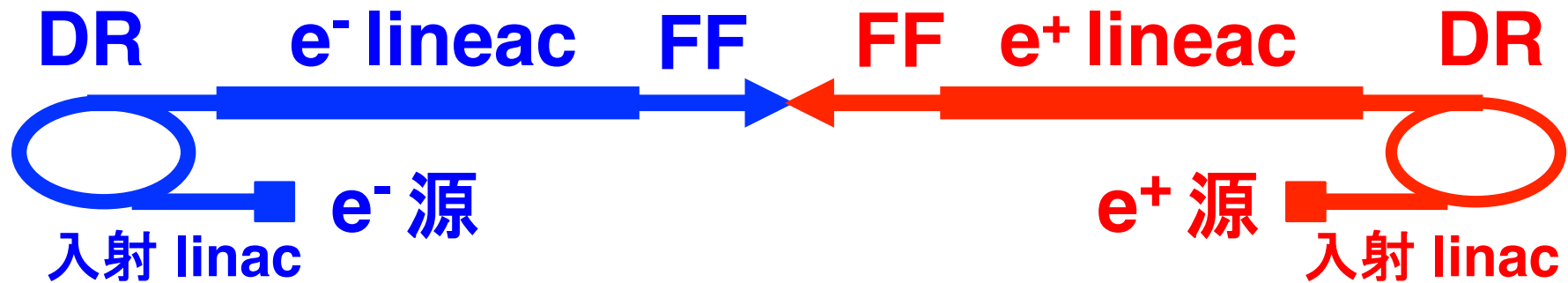


~ 31 km (第1期)

$E_{\text{cm}} = 500 \text{ GeV}$ (第1期)

ILC: International Linear Collider

わかりやすく並べ直した図



ILC 計画 と ATF/ATF2

ATF/ATF2 は ILC から e^+ 部分を除き、



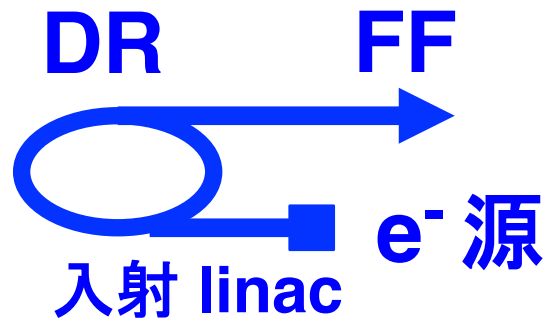
ILC 計画 と ATF/ATF2

ATF/ATF2 は ILC から e^+ 部分を除き、かつ main linac を除いて、



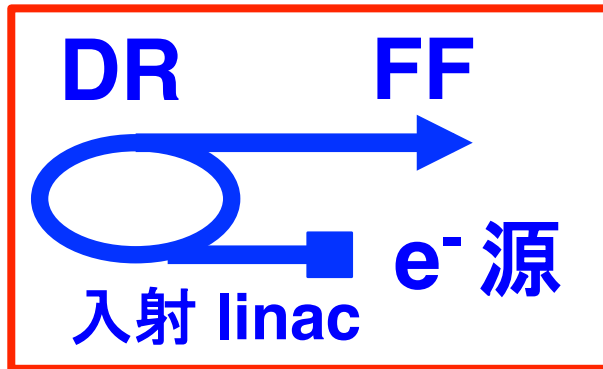
ILC 計画 と ATF/ATF2

ATF/ATF2 は ILC から e^+ 部分を除き、かつ main linac を除いて、DR の出口に FF (Final Focus) を直接くっつけたもの



ILC 計画 と ATF/ATF2

ATF/ATF2 は ILC から e^+ 部分を除き、かつ main linac を除いて、DR の出口に FF (Final Focus) を直接くっつけたもの

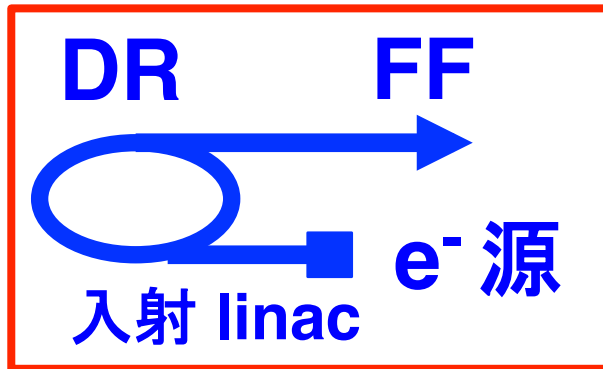


ATF/ATF2

注:ただしエネルギーは異なる。

ILC 計画 と ATF/ATF2

ATF/ATF2 は ILC から e^+ 部分を除き、かつ main linac を除いて、DR の出口に FF (Final Focus) を直接くっつけたもの



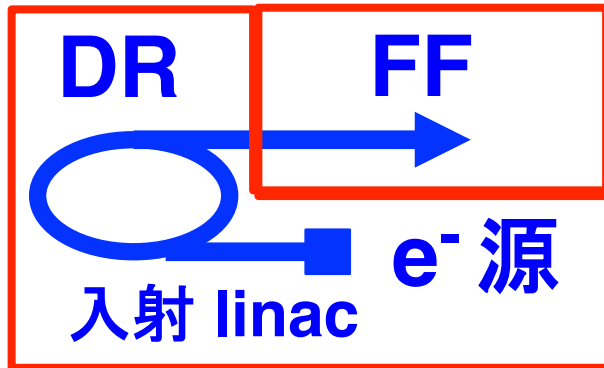
ATF/ATF2

ATF/ATF2 では main linac 以外のすべての要素の開発／テスト
が出来る。実際にそのようにしている。

ATF/ATF2 は ILC 加速器開発の重要拠点

ILC 計画 と ATF/ATF2

ATF/ATF2 は ILC から e^+ 部分を除き、かつ main linac を除いて、DR の出口に FF (Final Focus) を直接くっつけたもの



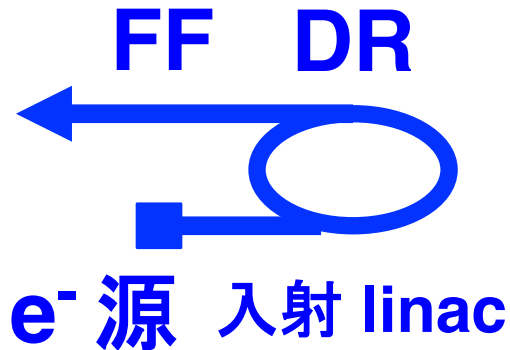
ATF2

ATF

歴史的な理由から e^- 源から DR までを ATF、Final Focus の部分を ATF2 と呼ぶ

ILC 計画 と ATF/ATF2

ATF/ATF2 は ILC から e^+ 部分を除き、かつ main linac を除いて、DR の出口に FF (Final Focus) を直接くっつけたもの



通常は ATF/ATF2 の図は上図のような向きに書く(上が北)

KEK 全景(北から見たところ)

北 ← 東大通り → 南

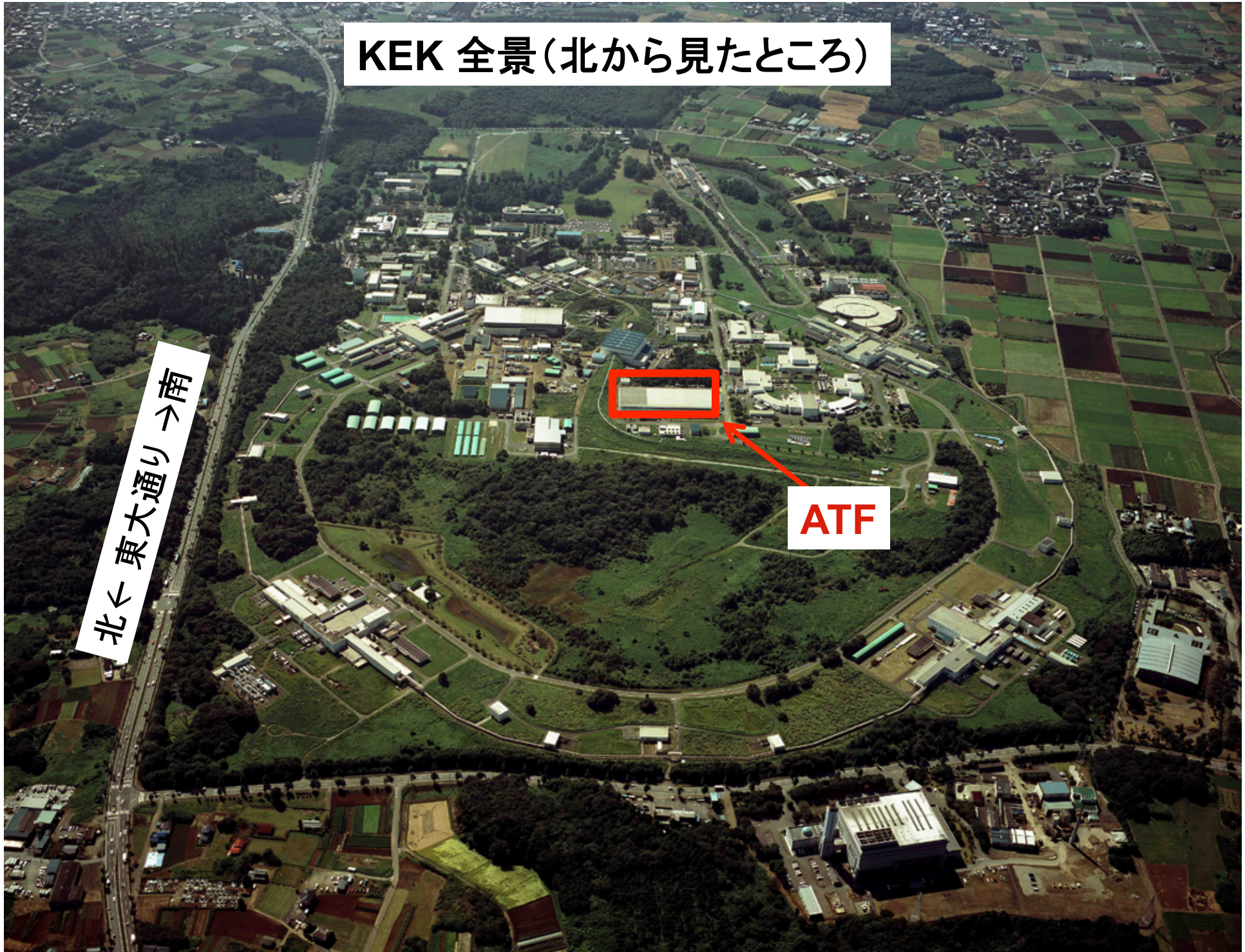


KEK 全景(北から見たところ)

北 ← 東大通り → 南



ATF



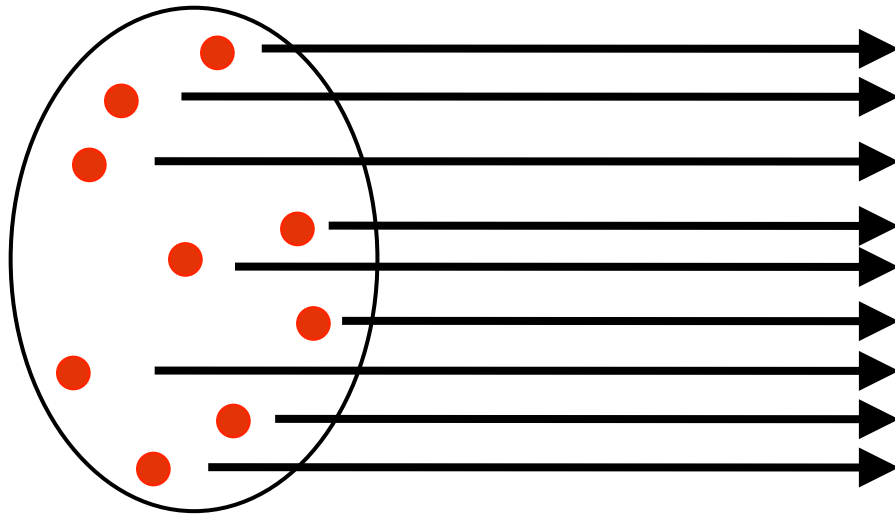
ATF/ATF2 の主たる役割

1. ILC で要求されている超低エミッタンス・ビームが作れる事を
実証する(済)
2. ILC の最終収束系 (FF) のモデルを作って、絞り込みを実証する
(ATF2)
3. 上記の1. と 2. のビームを使って ILC に必要な様々な R/D
を行なう。(あまり強調されないが非常に重要。かつ面白い)

エミッタンス入門

エミッタンスとは？

(らんぼうにいうと)ビームの中の粒子の非平行度の事。
値が小さい → 平行度が高い

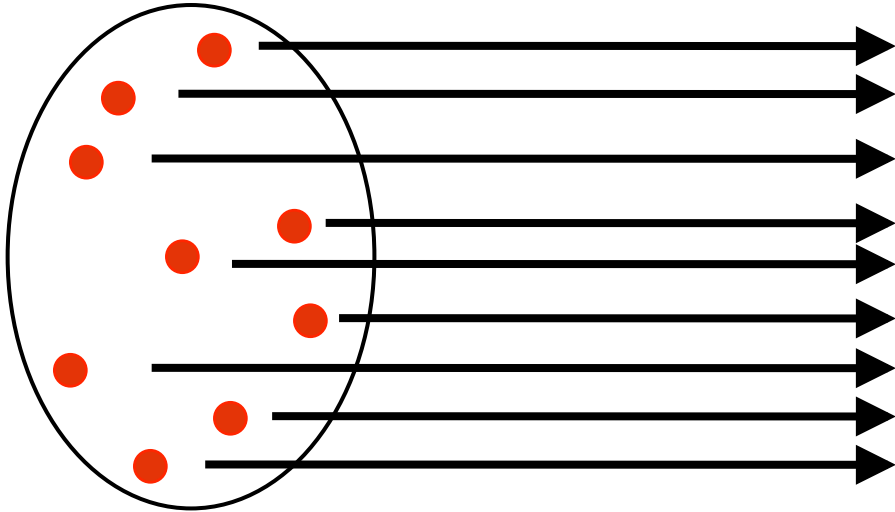


バンチの中の粒子が
すべて同じ向きに飛んでいたら
(平行に飛んでいたら)
エミッタンス=0

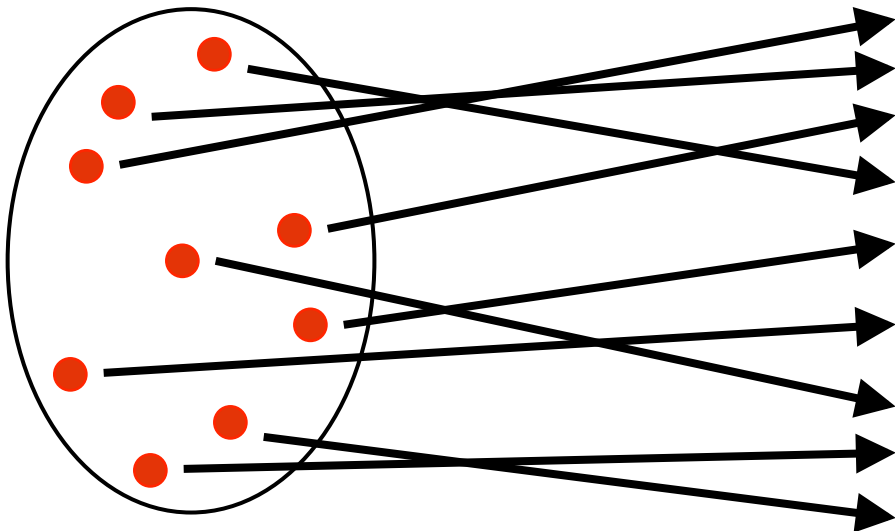
(注:現実にはありえない)

粒子は加速器の中で塊(バンチと呼ぶ)を作って飛んでいる

エミッタンスとは？

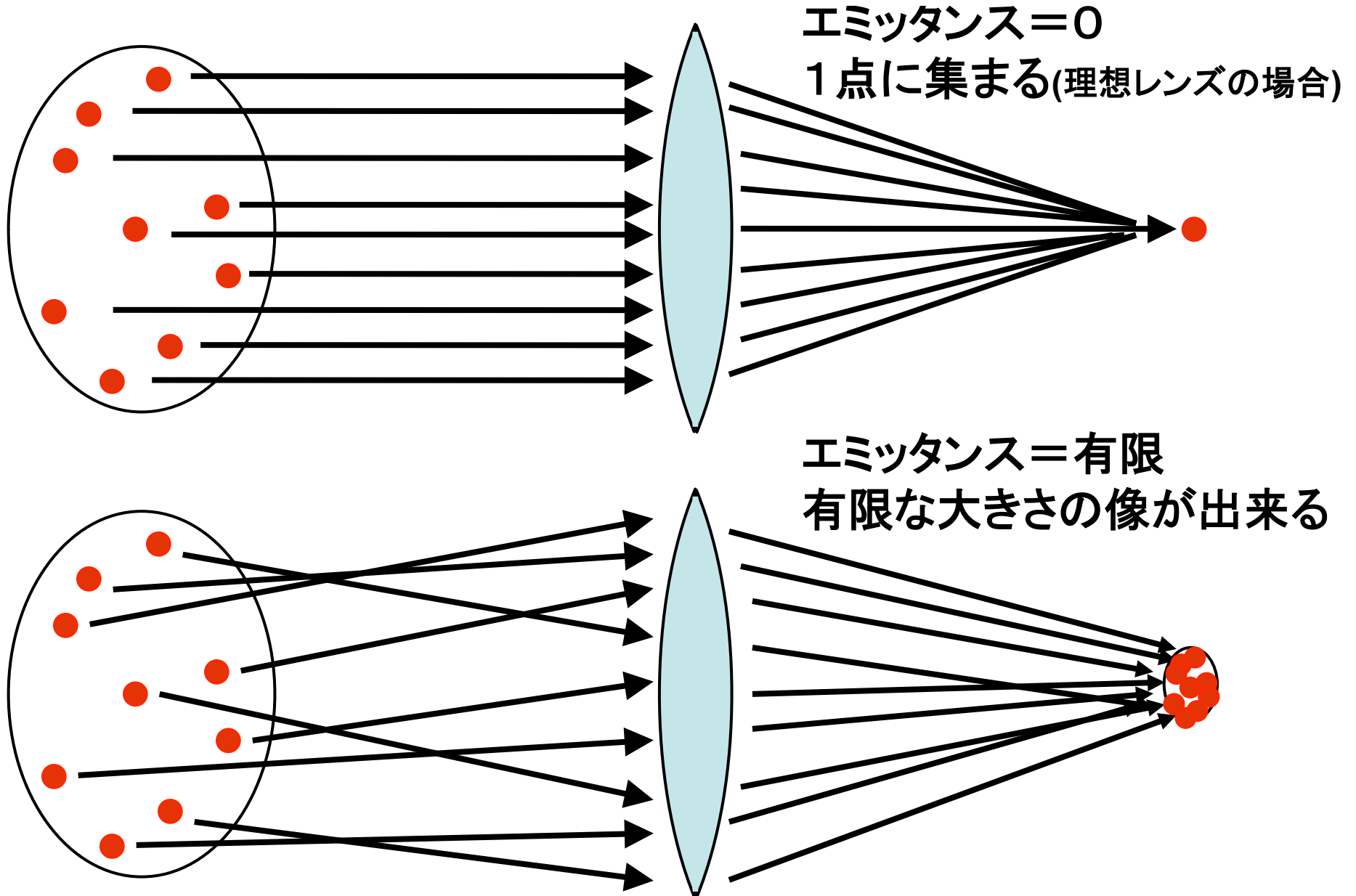


エミッタンス=0



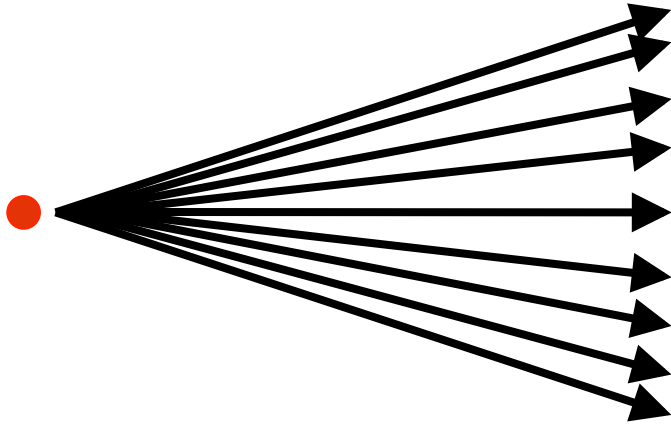
エミッタンス=有限

エミッタンスとは？



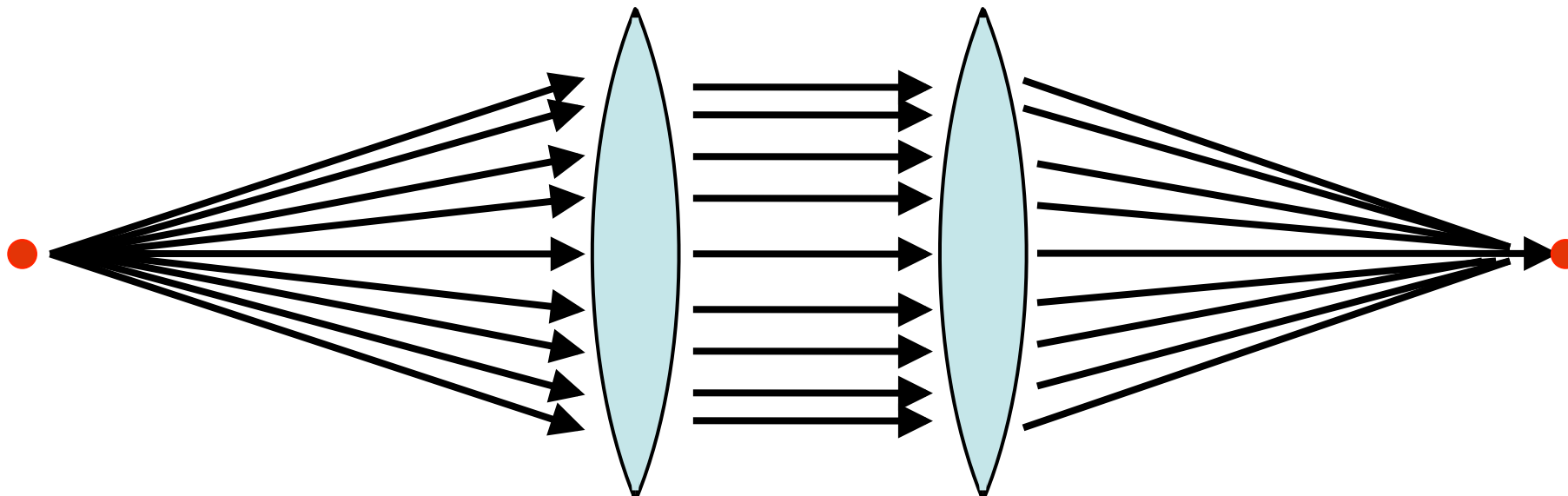
エミッタンスとは？

一点から放射状に出ているビームのエミッタンスは？



エミッタンスとは？

一点から放射状に出ているビームのエミッタンスは？



エミッタンス=0

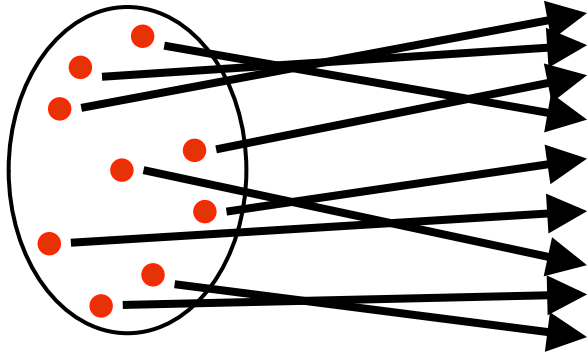
レンズで平行に出来る
(収差の無い理想レンズの場合)

レンズで一点に
集める事も出来る

注: 現実には無理

- ・レンズの収差
- ・曲げる時に放射光が出る
(生出 limit)
- ・量子力学的限界

エミッタンスとは？



エミッタンス
= 角度広がりx空間広がり

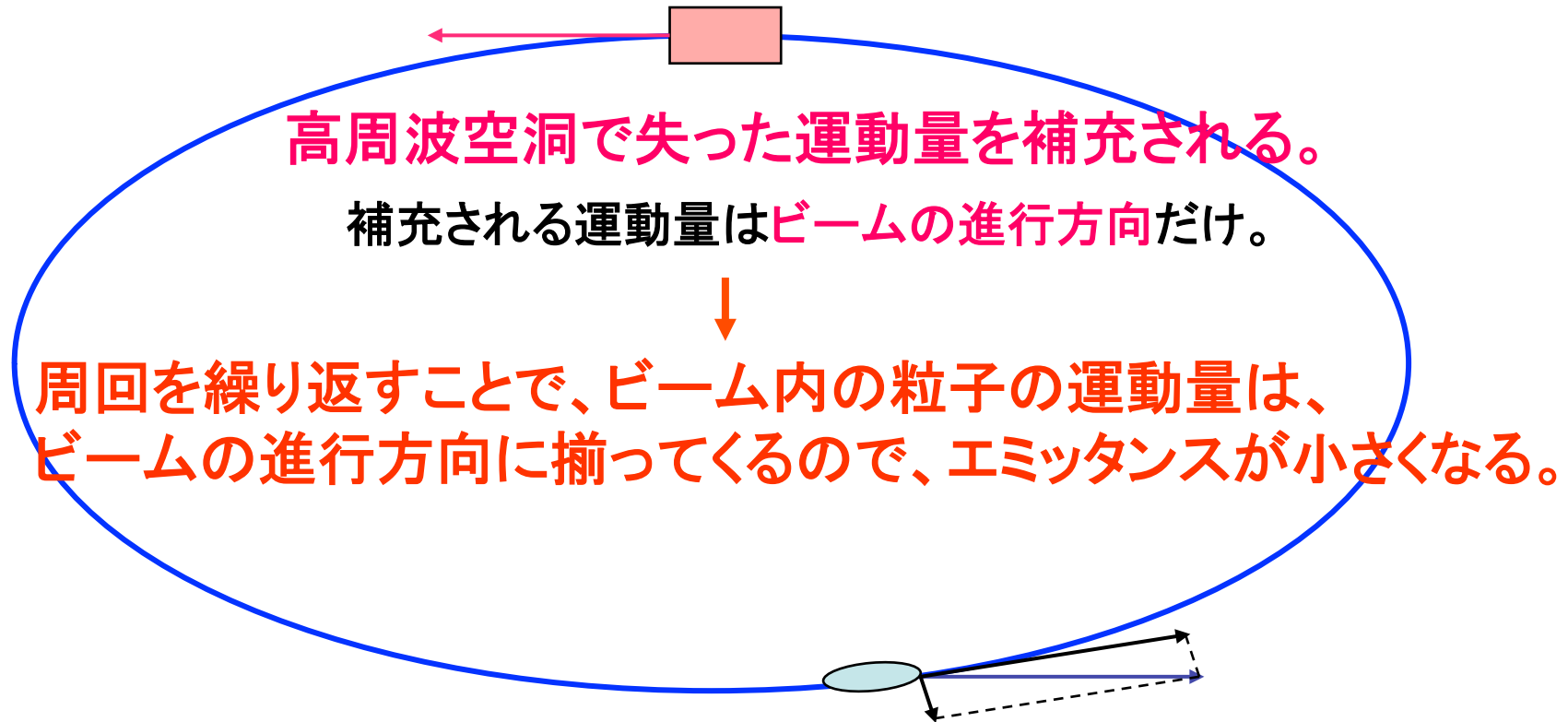
単位：rad-m
ラジアン メーター

表記上の注意

- (1) m rad と書くと ミリラジアン と間違えられるので rad-m と書く事。
- (2) rad は無次元数なので、非常にしばしば省略される。

エミッタンスを下げする方法

リング状加速器でエミッタンスを小さくする仕組み



シンクロトン放射で、運動量を損失する。

損失する運動量は、ビームの進行方向と
それに垂直な方向の両成分がある。

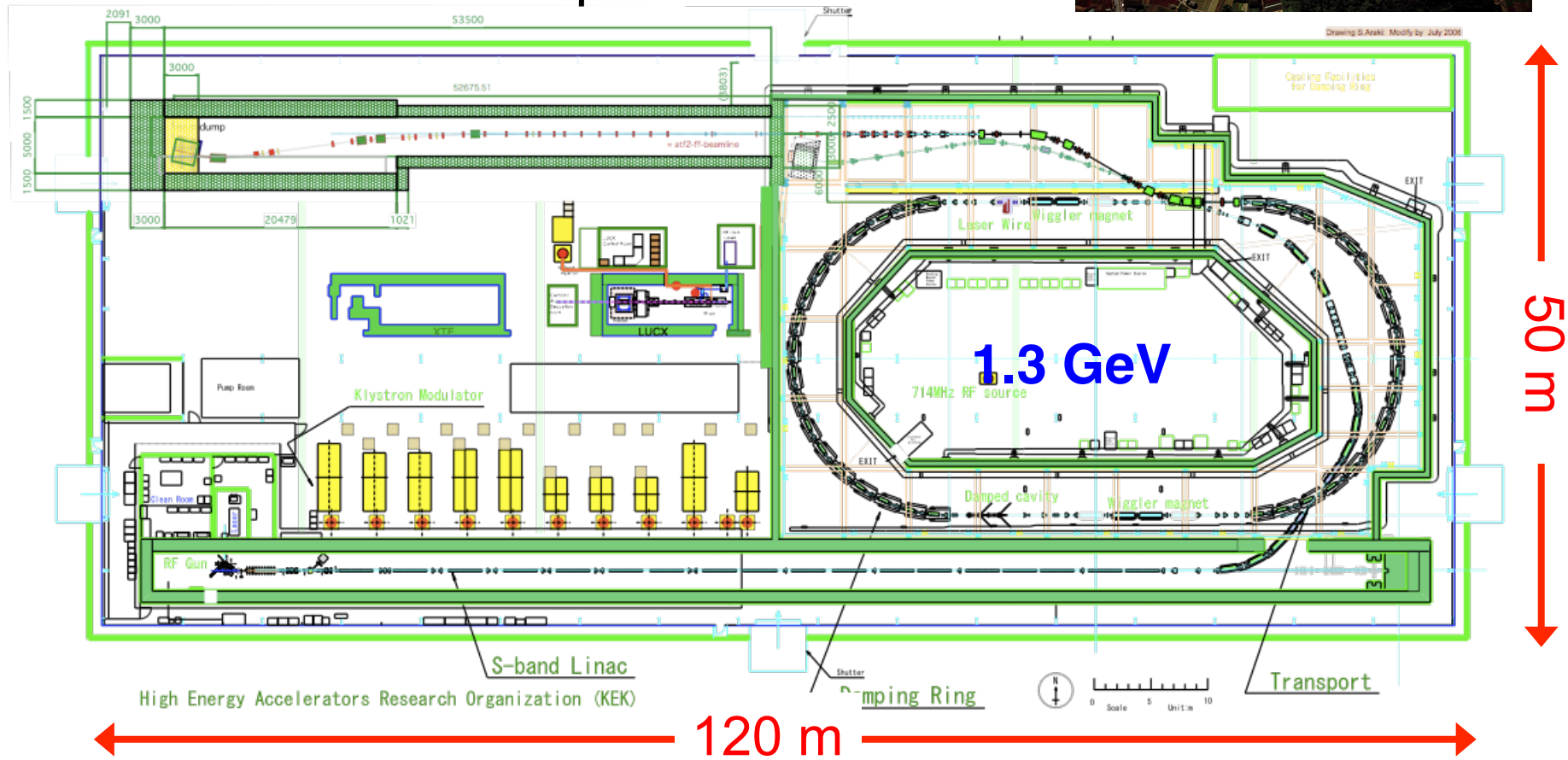
ATF/ATF2

ATF/ATF2



先端加速器試験棟

N
4

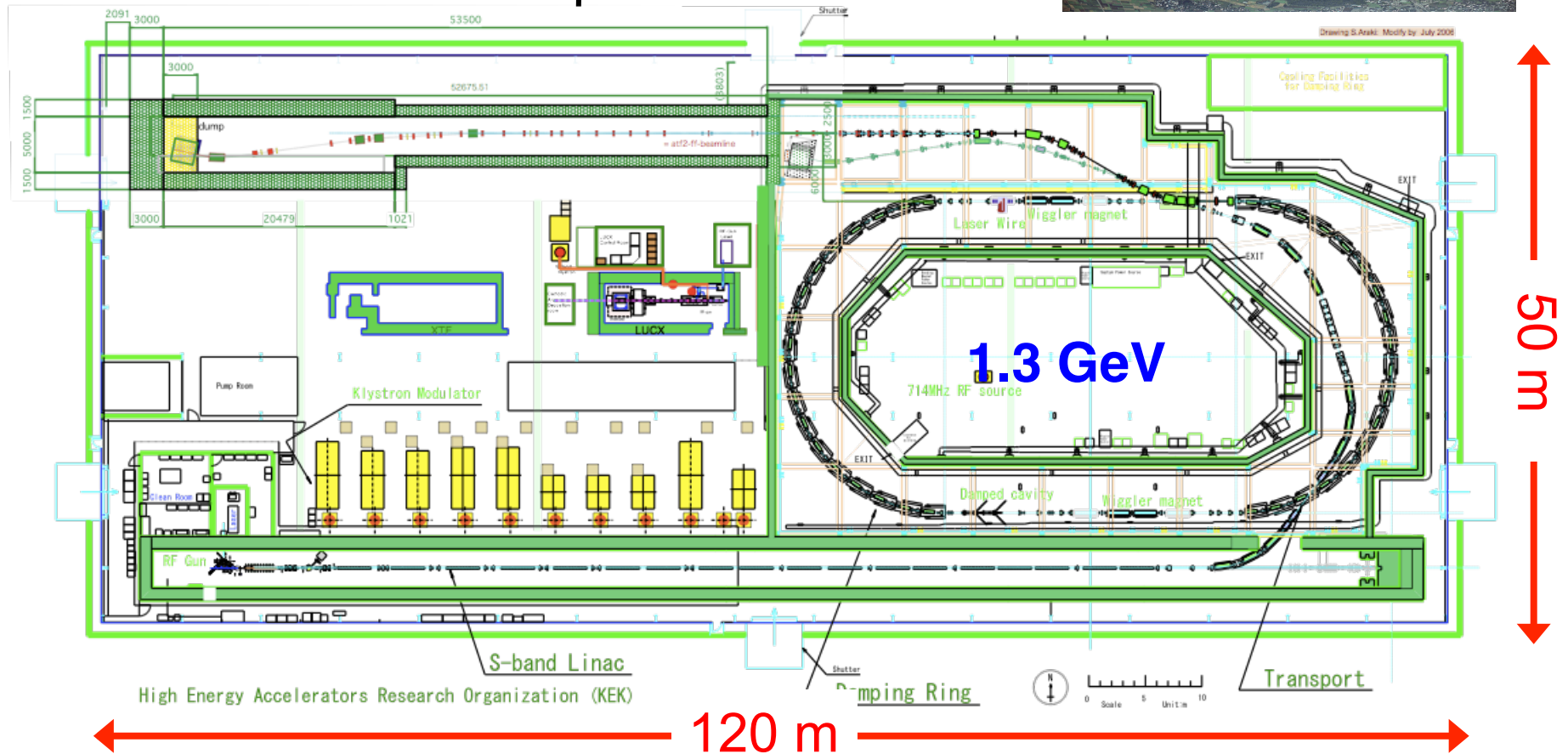


ATF/ATF2



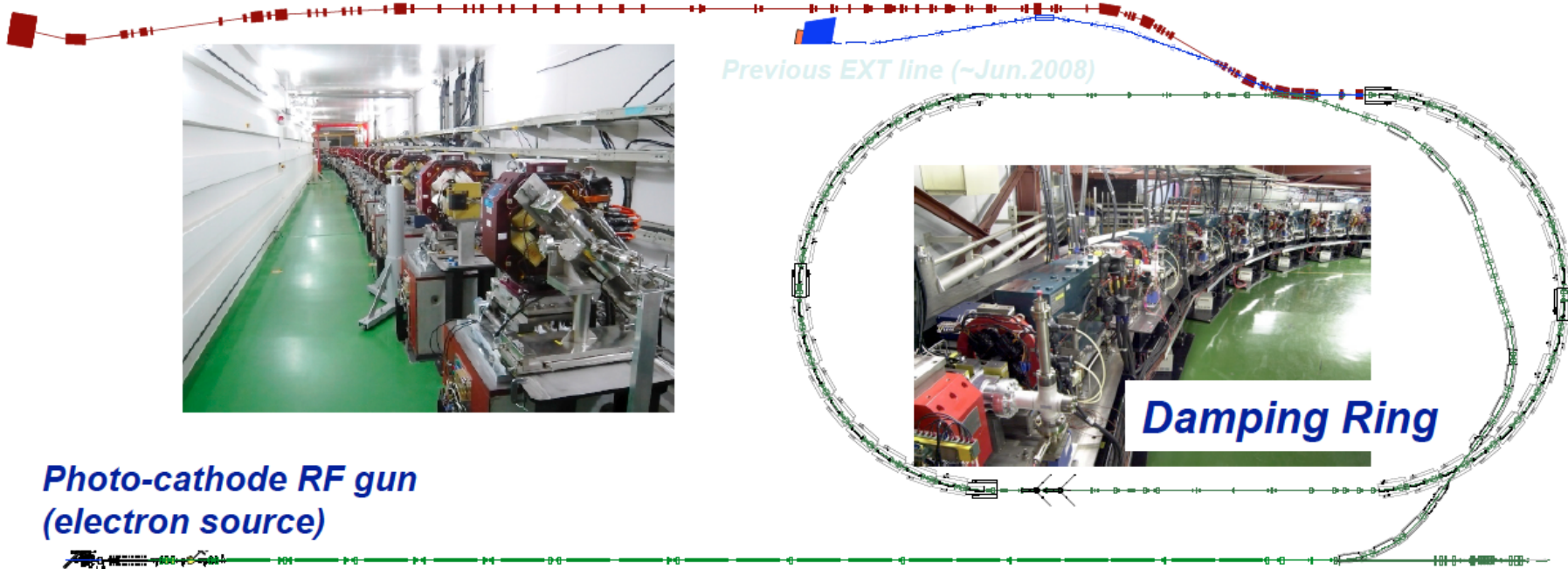
先端加速器試験棟

N
4

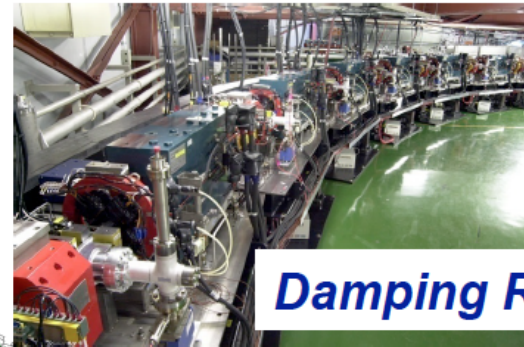


ATF accelerator complex

ATF2 beam line (Jan.2009~)



**Photo-cathode RF gun
(electron source)**



Damping Ring



**S-band Linac
 Δf ECS for multi-bunch beam**

ATF International Collaboration



CERN
DESY
IN2P3

LAL
LAPP
LLR

John Adams Inst.

Oxford Univ.

Royal

Holloway Univ. Cockcroft
Inst.

STFC, Daresbury
Univ. of Manchester

Univ. of Liverpool

University College London

INFN, Frascati

IFIC-CSIC/UV

Tomsk Polytechnic Univ.

KEK

Waseda U.

Nagoya U.

Tokyo U.

Kyoto U.

Tohoku Univ.

Hiroshima U.

IHEP

PAL

KNU

RRCAT

SLAC

LBNL

FNAL

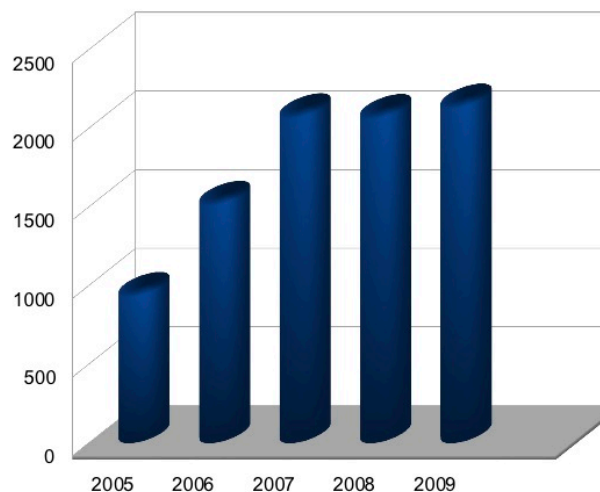
Cornell Univ.

LLNL

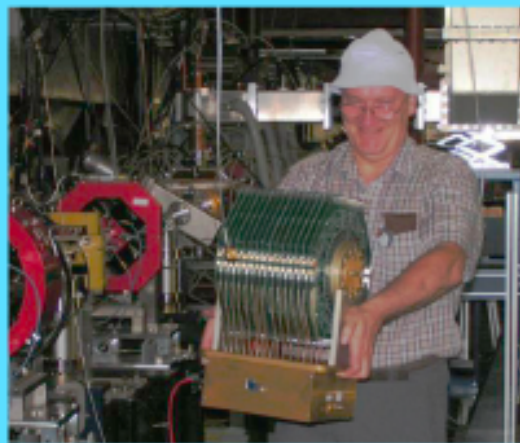
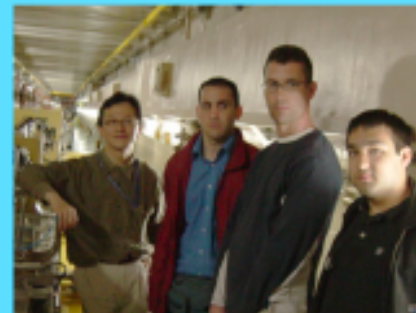
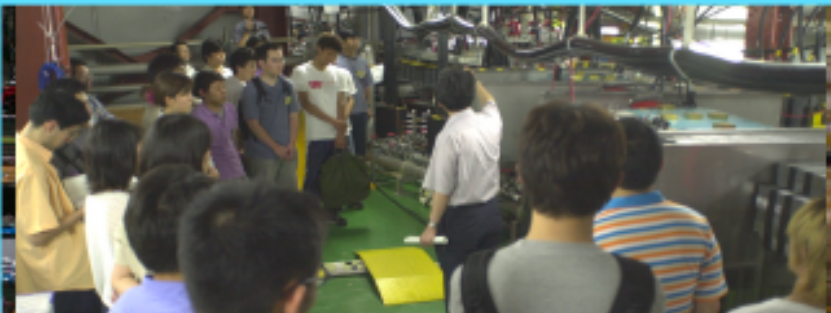
BNL

Notre Dome Univ.

Overseas Collaborators visiting ATF (JFY)



Overseas
25 Institutes,
~70 people,
~2000 people-
days
+
KEK and
Japanese
Universities(6)

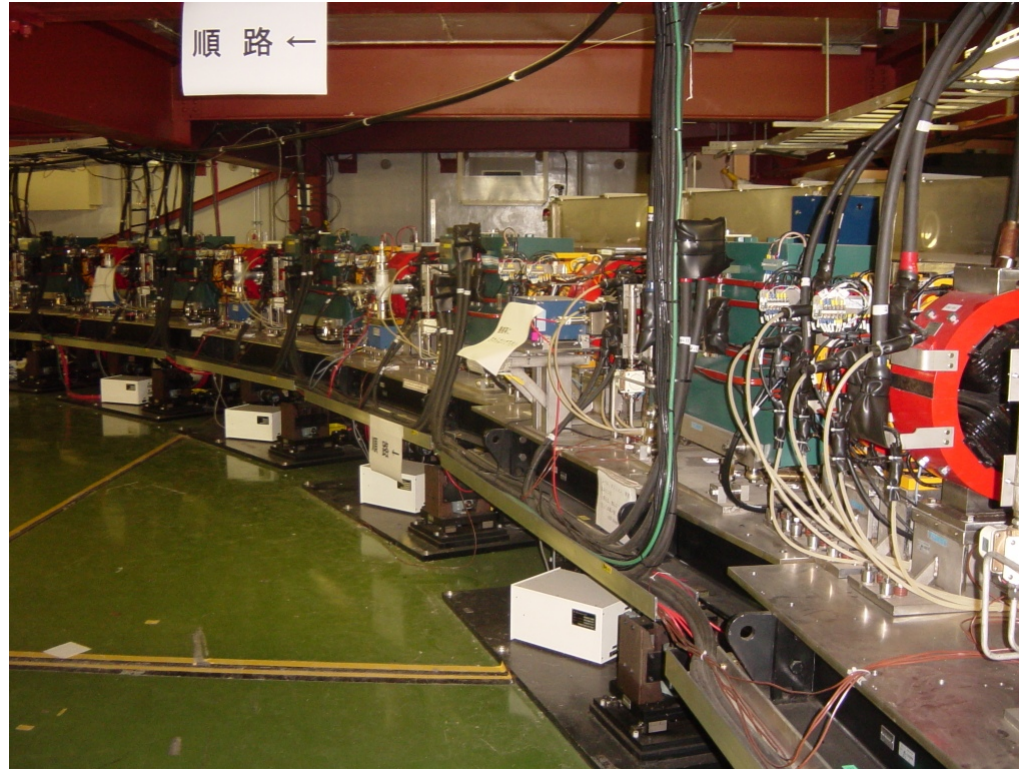


ATF

世界最小のエミッタンスを実現したDR

ATFダンピングリング

- 世界最小のエミッタンスを達成したリング -



アーク部の写真

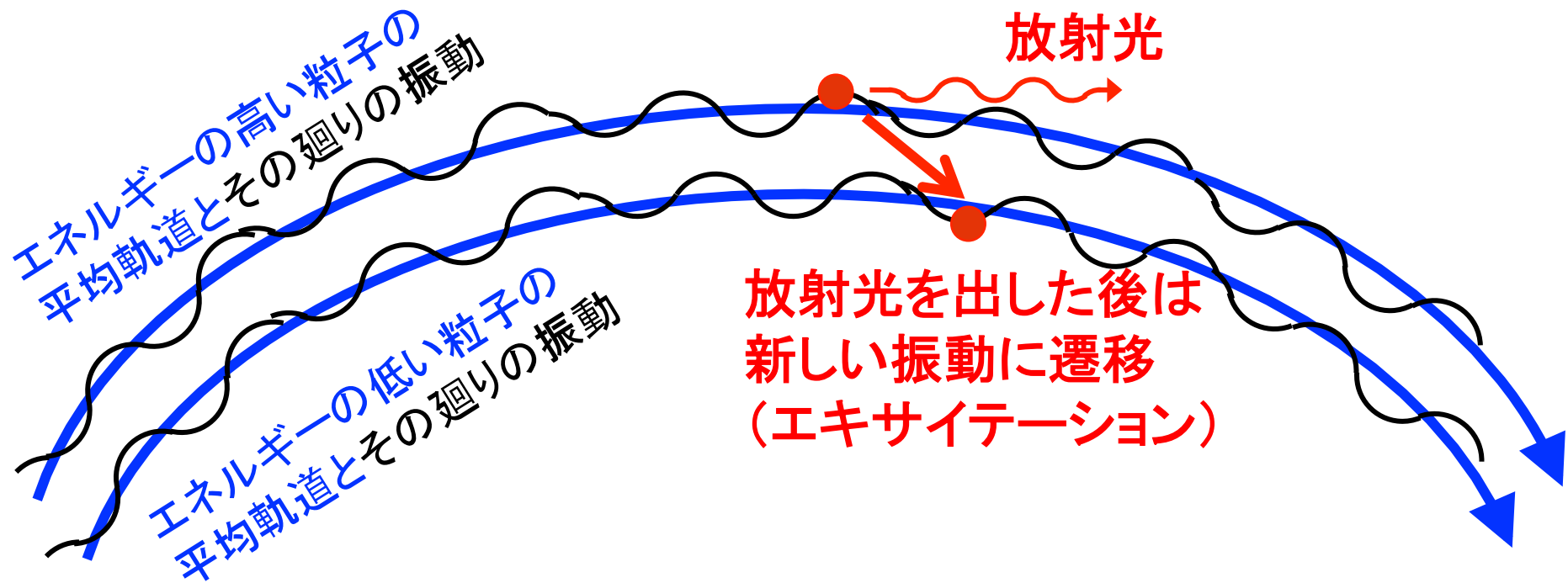
ダンピングリングとは、ビームのエミッタンスを小さくすることを目的としたリング加速器で、ATFでは、ダンピングリングにビームを約0.5秒間周回させることで、世界最小(当時)のエミッタンスを達成している。

ATFダンピングリングで工夫された点

- * エキサイテーションの影響を小さくする。
放射光を出す場所、つまりカーブで(アーク部で)、エネルギーの異なる粒子が出来るだけ近い軌道を走るようにする。→ ディスパーションを小さくする。
- * アライメントを良くする。
- * 真空を良くする。
- * 加速はまっすぐにする。横向きに加速するような電場を発生させない。

ATFダンピングリング 設計上考慮された点

- (1) 実際のビームは、ある程度のエネルギーの広がりがあり、エネルギーが違う粒子は異なる平均軌道を走る。
- (2) 個々の粒子はその平均軌道の廻りで振動している。
- (3) 粒子は放射光を出すと、エネルギーを失い、新しい平均軌道の廻りで振動を始める。(エキサイテーション)



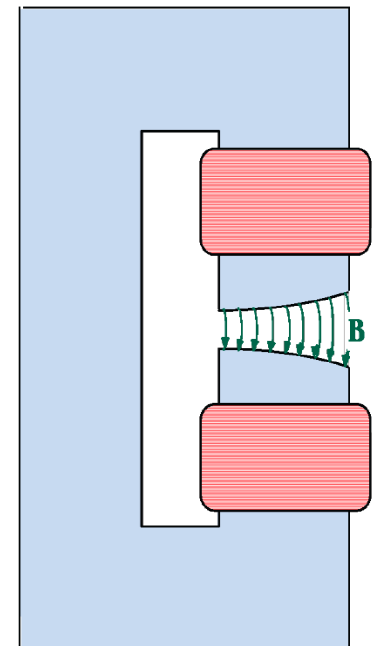
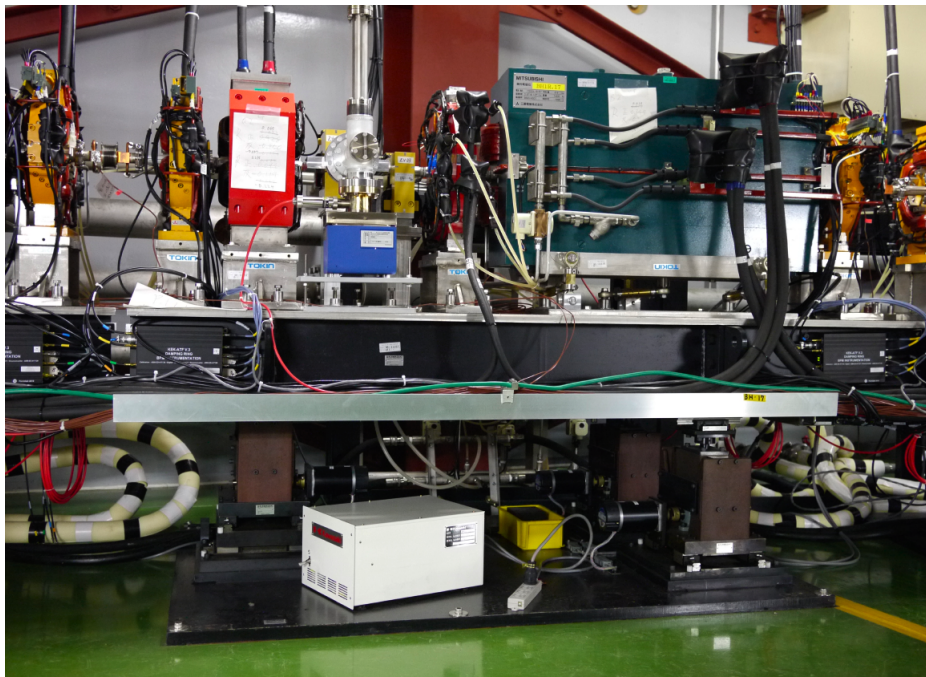
ATFダンピングリング アーク部

実際に到達出来るエミッタンスは**ダンピング**と**エキサイテーション**のせめぎ合いでできる。**エキサイテーション**をの影響を小さくする事が大切。

- ・ エネルギーが異なる粒子が出来るだけ近い軌道を走る。
(→ ディスパーションを小さくする。)

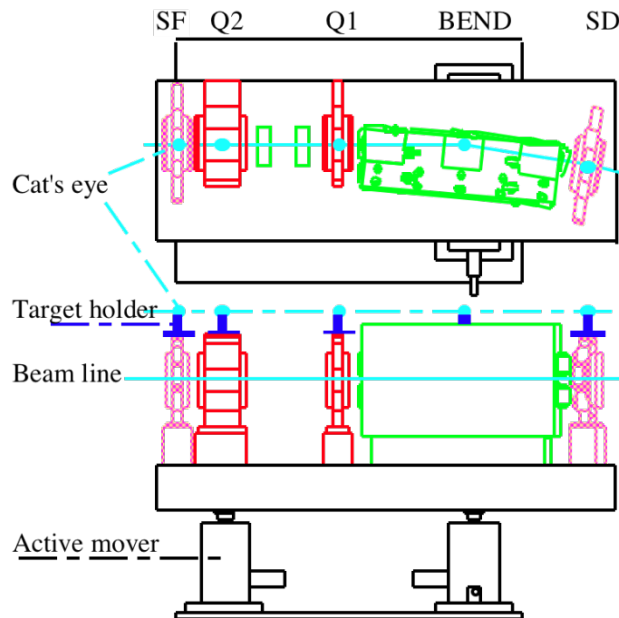
偏向磁石、4極、6極が出来るだけ
密集し配置されている。

偏向磁石が偏向と収束を兼ねる
(コンバインドファンクション)



垂直方向のエミッタンス

垂直方向のエミッタンスは、主に水平方向エミッタンスの回り込みで生じる。
回り込みを小さくするためには、電磁石のアライメントが重要！



架台は精密ムーバーでマイクロン単位で
上下左右に可動(電動)

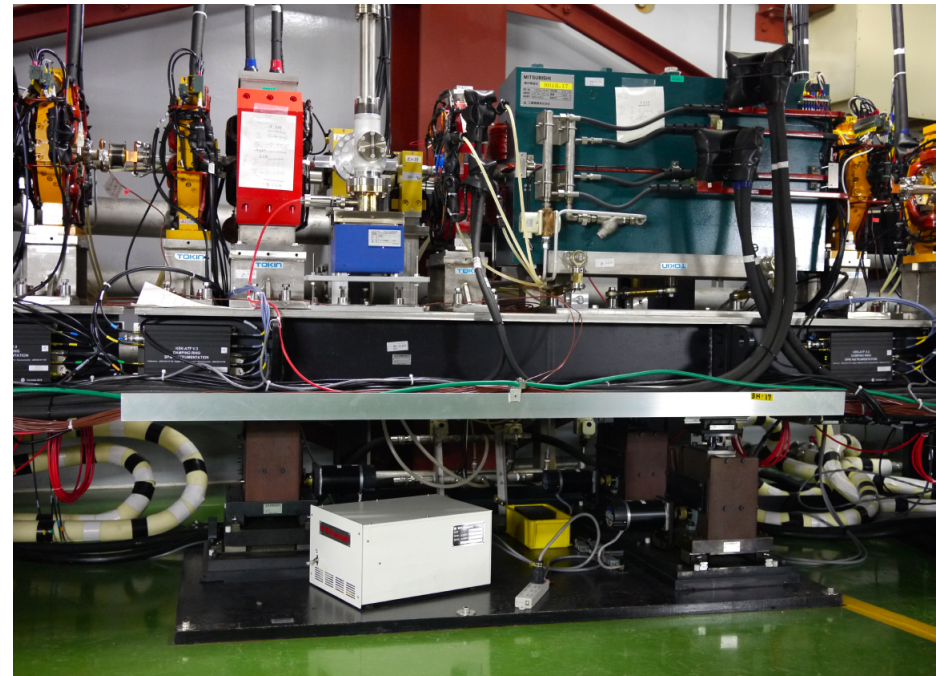
架台上で

$$\sigma_x = 37 \mu\text{m} \quad (\text{水平方向})$$

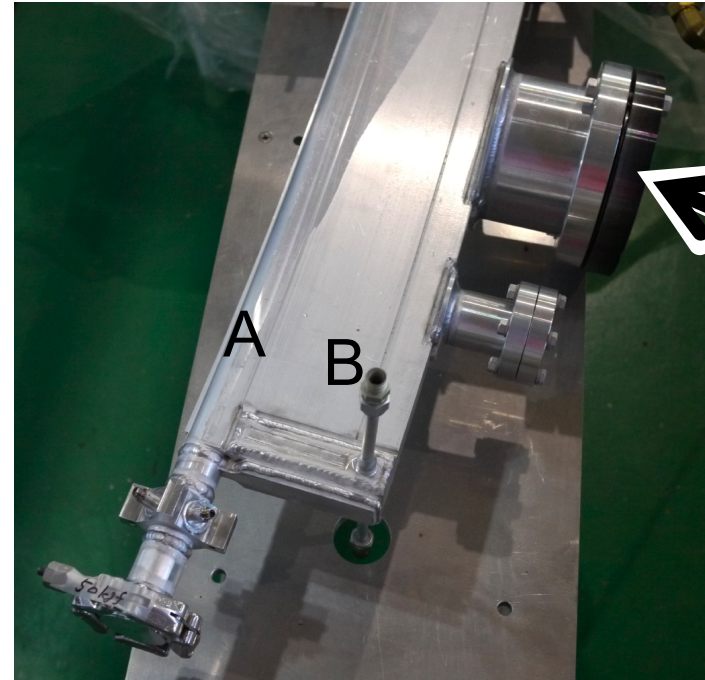
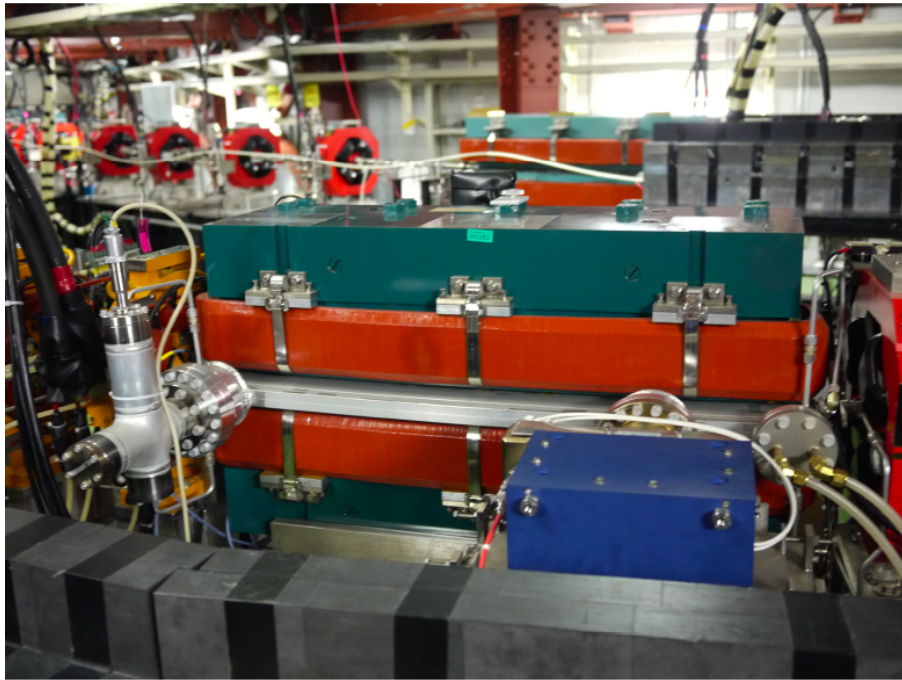
$$\sigma_y = 19 \mu\text{m} \quad (\text{垂直方向})$$

$$\sigma_z = 100 \mu\text{m} \quad (\text{進行方向})$$

の精度でアライメントしている。(手動)

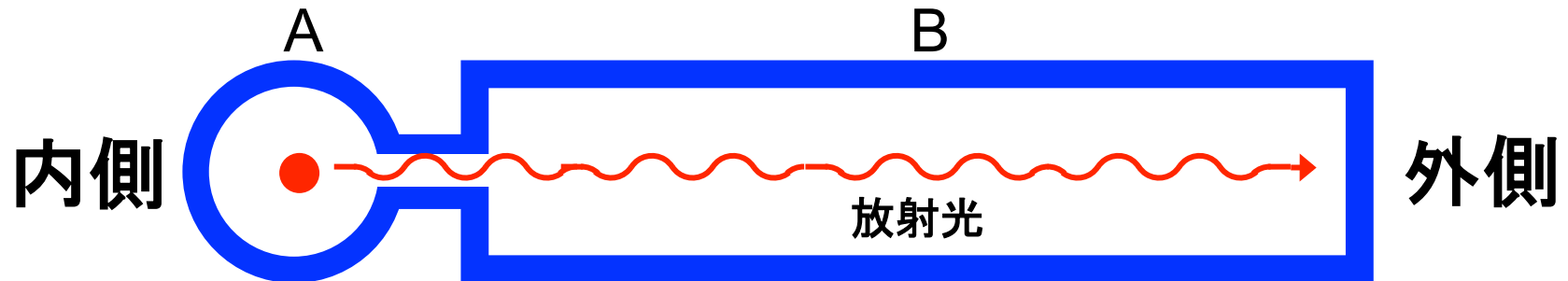


ATFダンピングリング 偏向磁石用真空チェンバー



真空
ポンプ
引き口

偏向磁石部の真空チェンバーは特殊な形状をしている

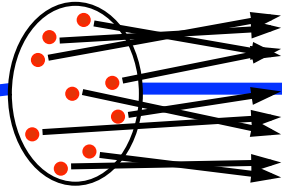


電子ビーム

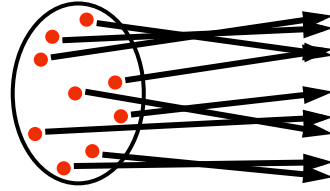
放射光が真空チェンバー内壁をたたいて
出すガスの影響を最低限に。

ATFダンピングリング 加速部

加速前

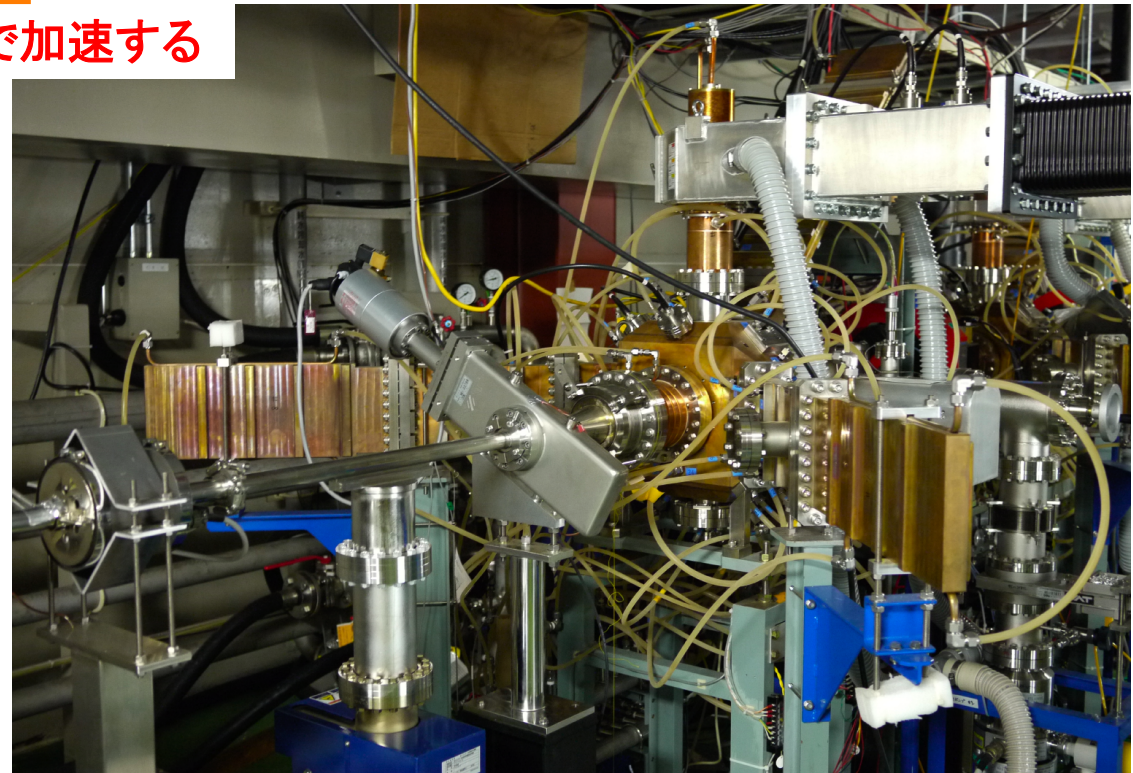


加速後

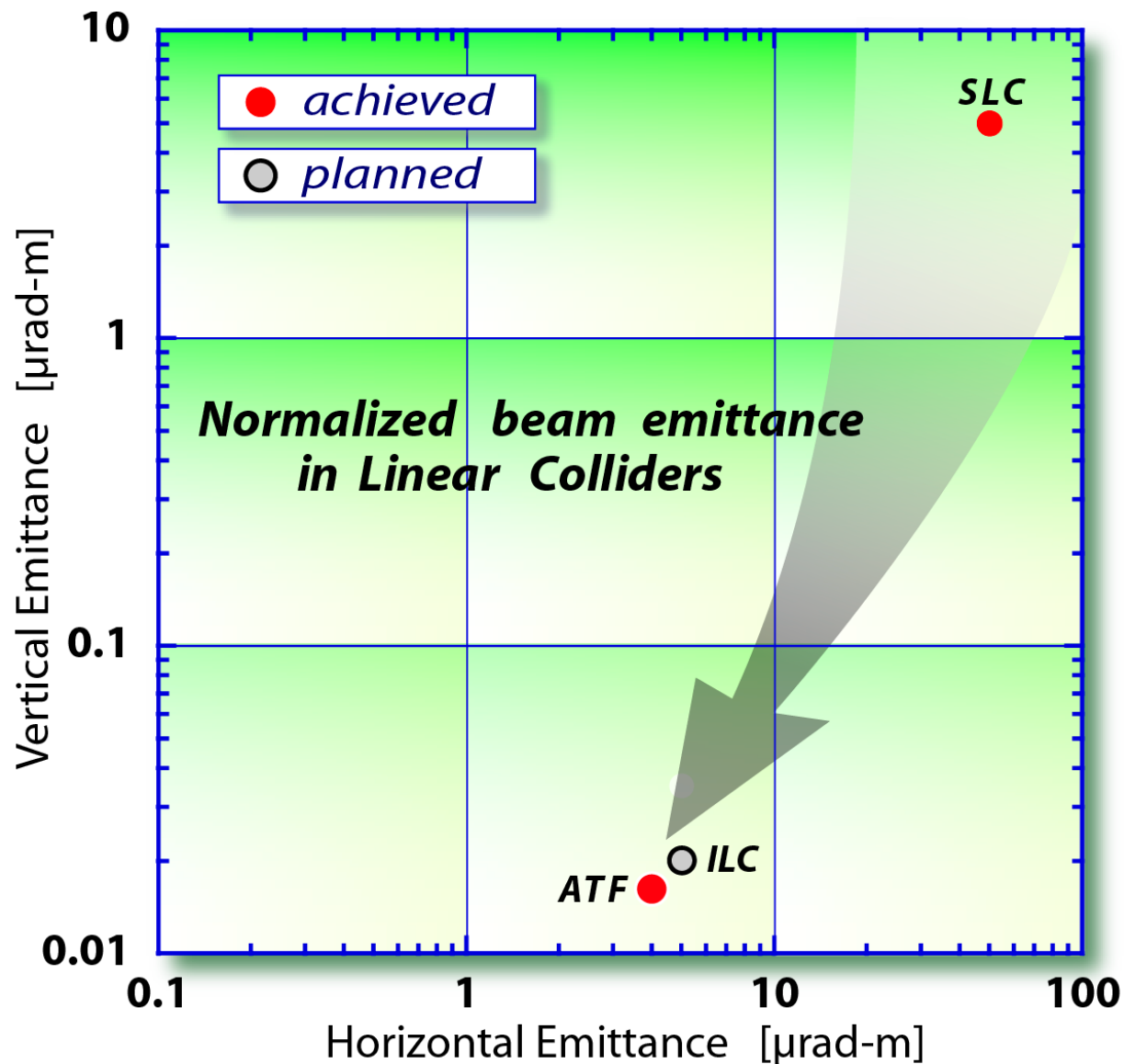


向きのよく揃った電場で加速する

電子ビームが作るウエイク場を吸収する"アンテナ"を持ち、向きの良く揃った加速電場を実現する加速空洞



ATF は世界最高のエミタンス(当時)を達成した



K. Kubo, et al., (ATF Collaboration)
Phys. Rev. Lett. 88, 194801 (2002)

Y. Honda, et al., (ATF Collaboration)
Phys. Rev. Lett. 92, 054802 (2004)

注:ここにプロットされているのは"規格化エミッタンス"であって、これまで論じていたものとは少し異なる。
注:最近では放射光リングでATFと同等、あるいは上回るエミッタンスを達成したのものも出て来ている。

ATF2

ILC の最終収束系 (FF) のモデル
ILC国際共同建設の雛形

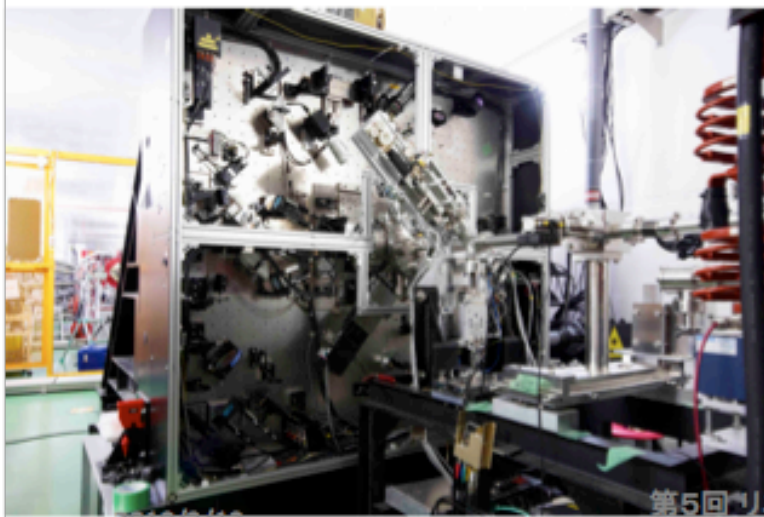
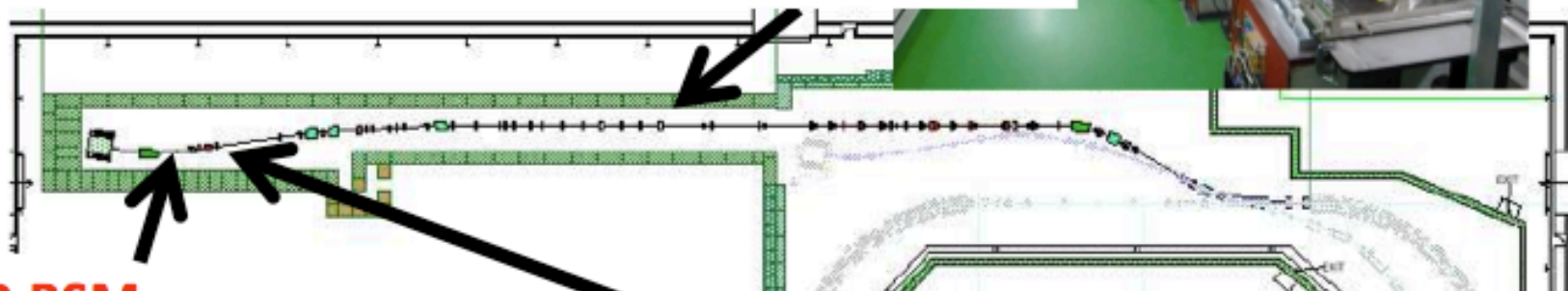
ATF2 は ILC 国際共同建設のモデル

ATF2 Beamline

Final Focus beamline

Magnets and Movers (IHEP, SLAC, KEK)
C-band BPM (PAL, SLAC, KEK)
Support Table (KEK)

IP-BSM (Tokyo Univ, KEK)

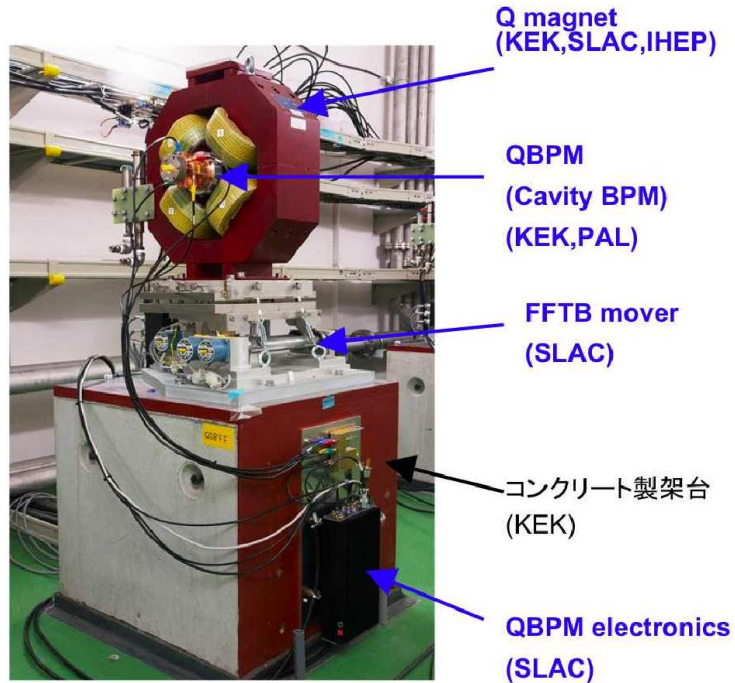


Final Doublet system

Magnets and Movers (SLAC)
S-band BPM (KNU)
Supports and Table (LAPP)

国際協力によるビームラインの建設

通常 of 四極電磁石



電磁石は全てムーバーに乗っていて、ビームの軌道調整は全てムーバーでおこなう。

軌道補正をムーバーだけでおこなうのは世界初

最終収束電磁石



電磁石はSLAC(米国)が作製。

LAPP(仏国)が、システムとして構築。

国際協力によるビームラインの建設

Q-magnet

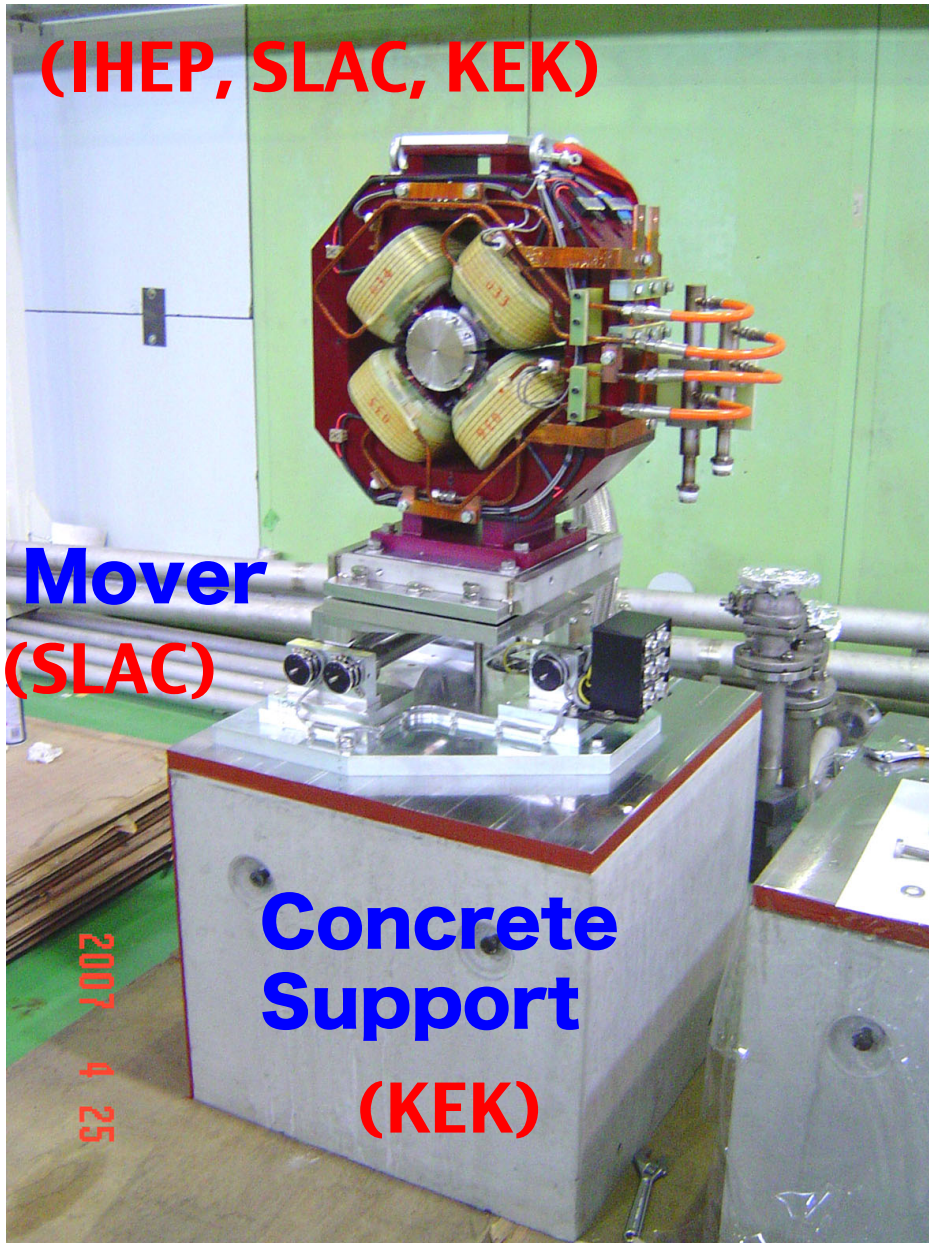
(IHEP, SLAC, KEK)

Mover
(SLAC)

Concrete
Support

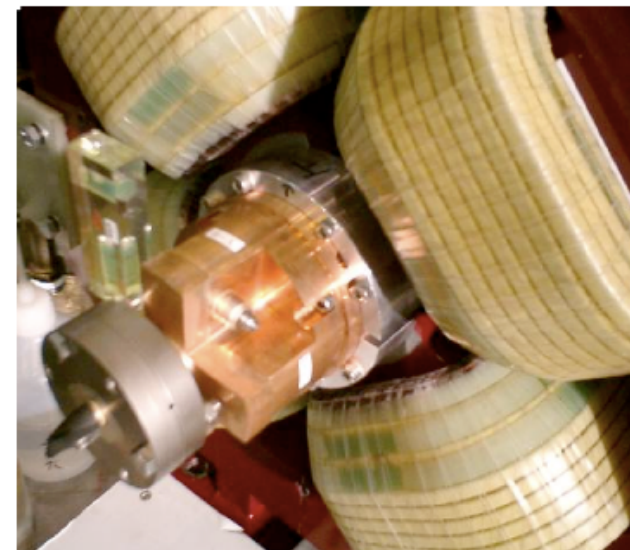
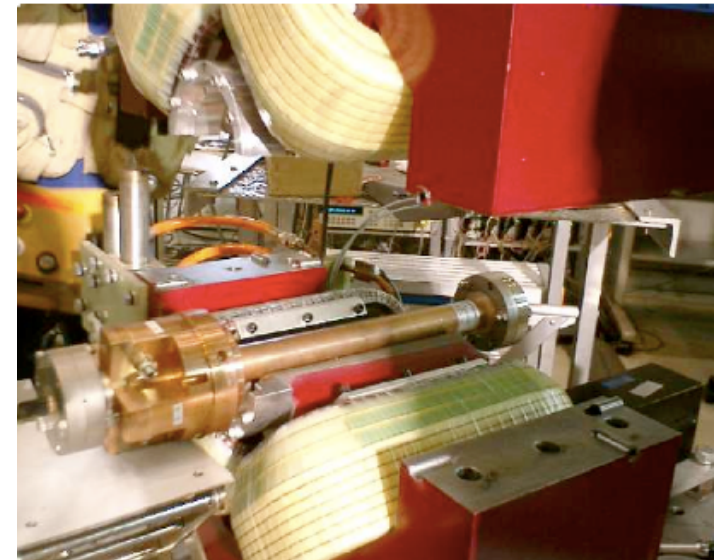
(KEK)

2007 4 25

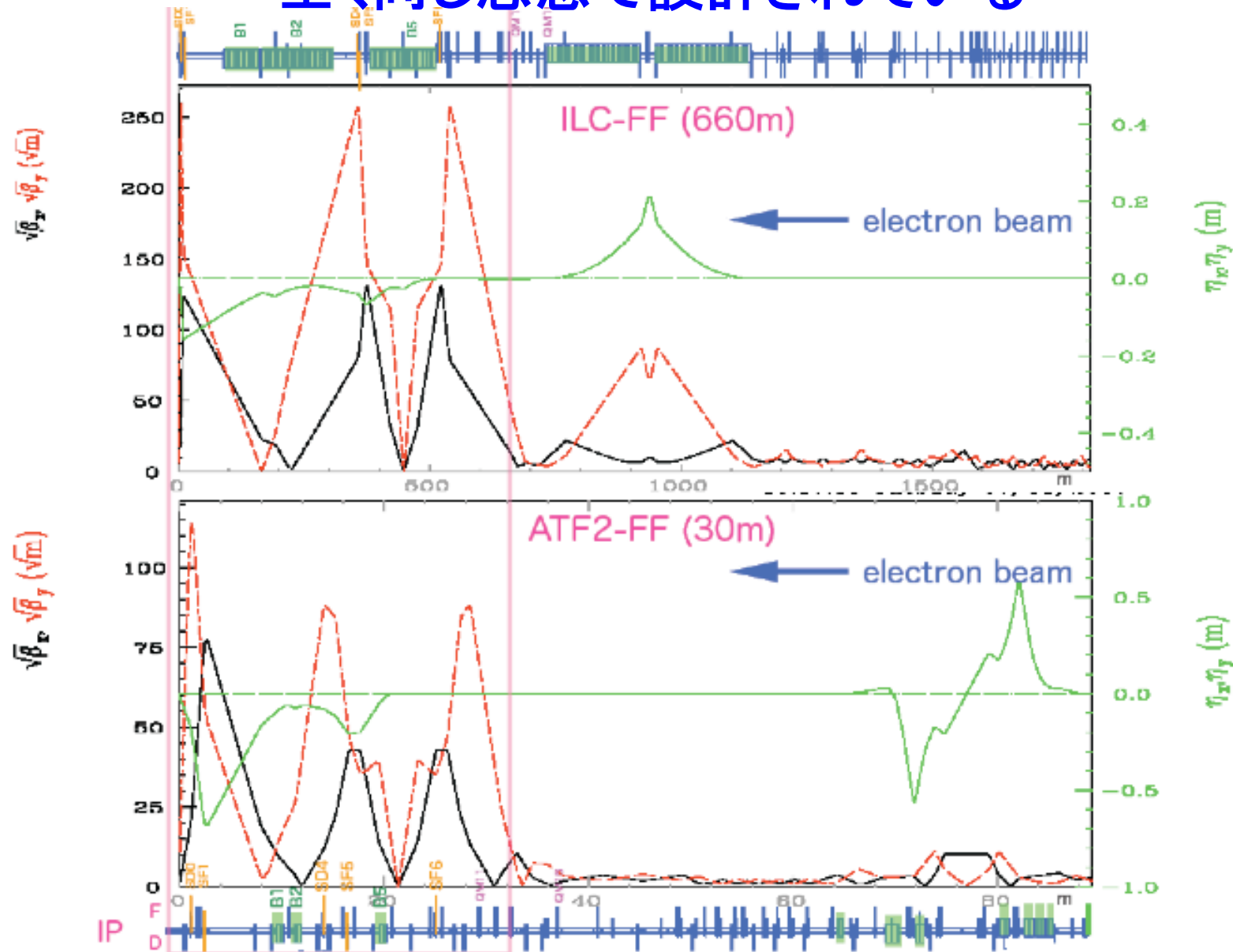


Cavity-BPM in Qs

(KEK, PAL, FNAL)



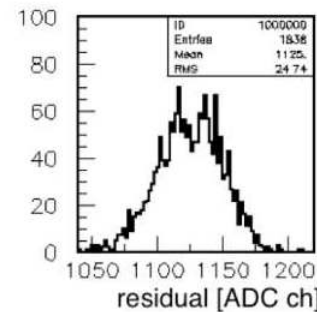
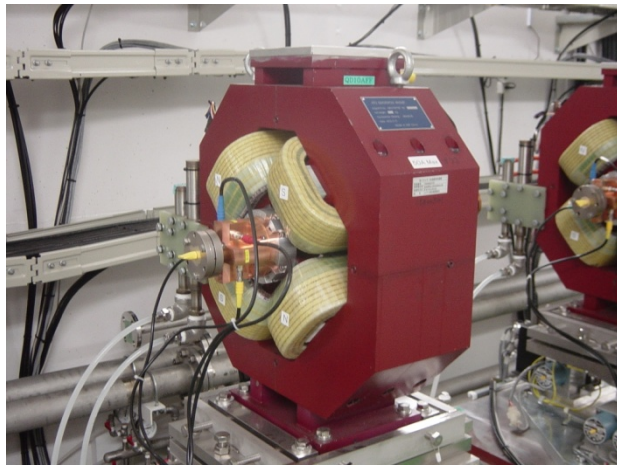
ATF2 は ILC の最終収束系 (FF) のモデル 全く同じ思想で設計されている



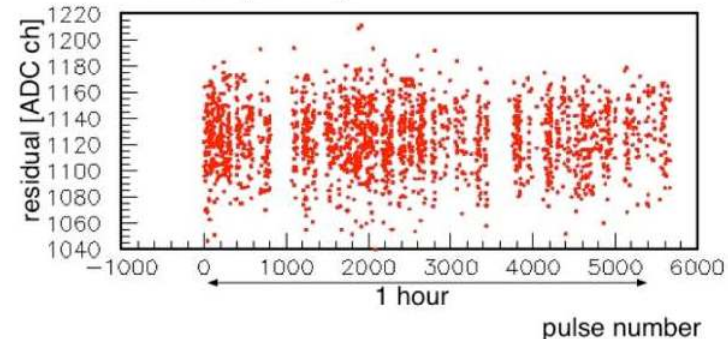
ATF2 : ビーム位置モニター

- ATF2では高分解能の空洞型ビーム位置モニターでビーム位置を測定する。
- 空洞型ビーム位置モニターだけでビームの位置調整をする加速器は世界初。(ILCでは、ATF2と同じ仕様になっている。)

空洞型ビーム位置モニター



RMS of the residual
= 21.2 nm
resolution of the BPM
 $= \sqrt{2/3} \times \text{RMS}$
= 17.3 nm



ATF取り出しラインでのビーム試験では、約17nmの位置分解能が実証された。

ATF2ビームラインとCavity BPM

IP-BPM:

位置分解能 ~ 2 nm

設計、製作、読み出し系:
KEK, KNU(韓国)

1~2台

QBPM:

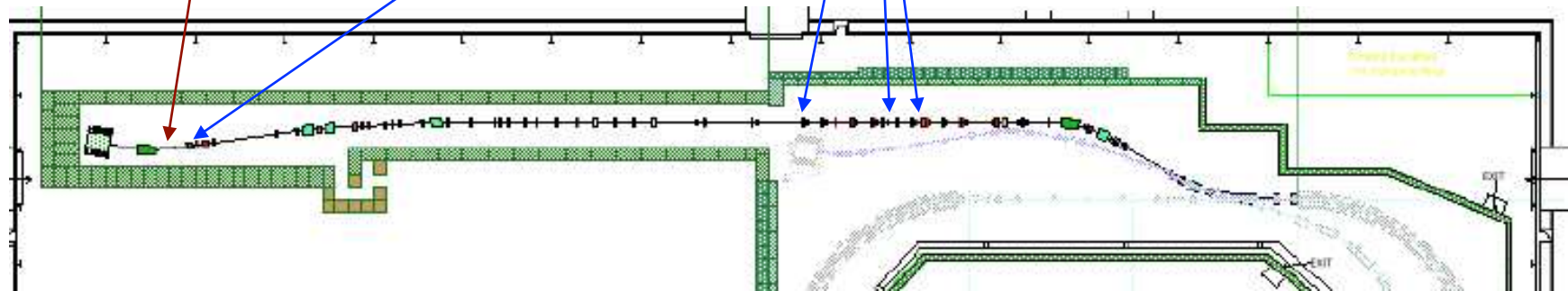
位置分解能 ~ 100 nm

設計:KEK、製作:PAL(韓国)

読み出し系:SLAC

39台 完成

.....



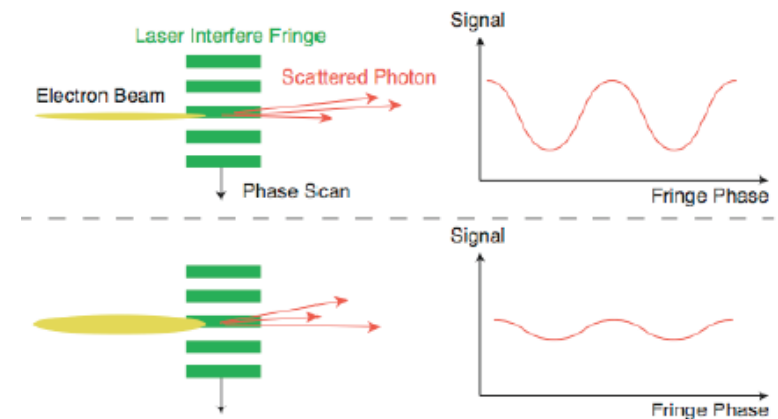
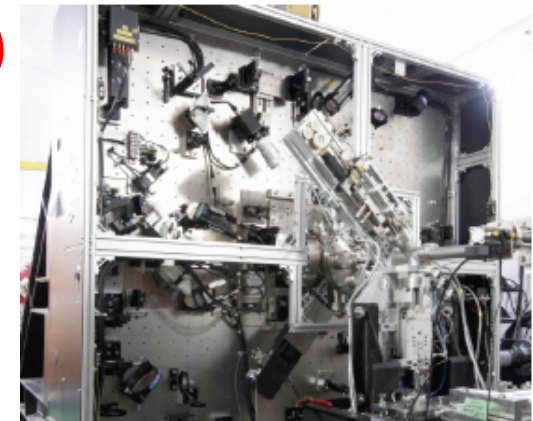
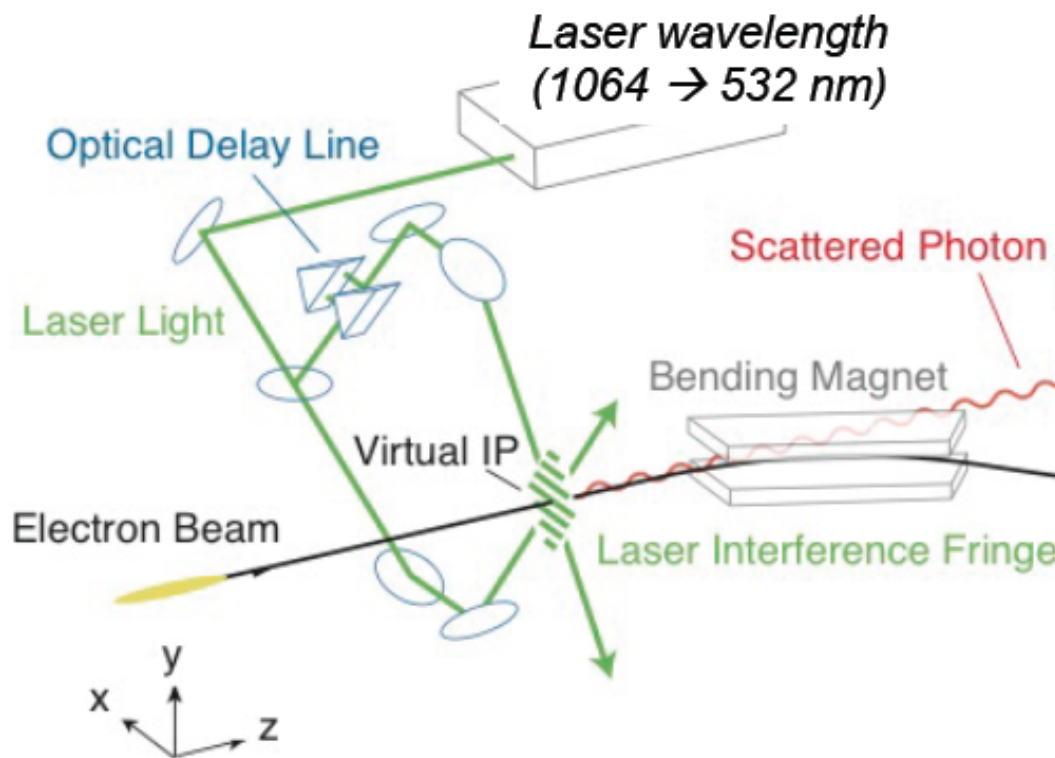
Nanometer Beam Size Monitor at ATF2

Beam Size Measurements at ATF2-IP

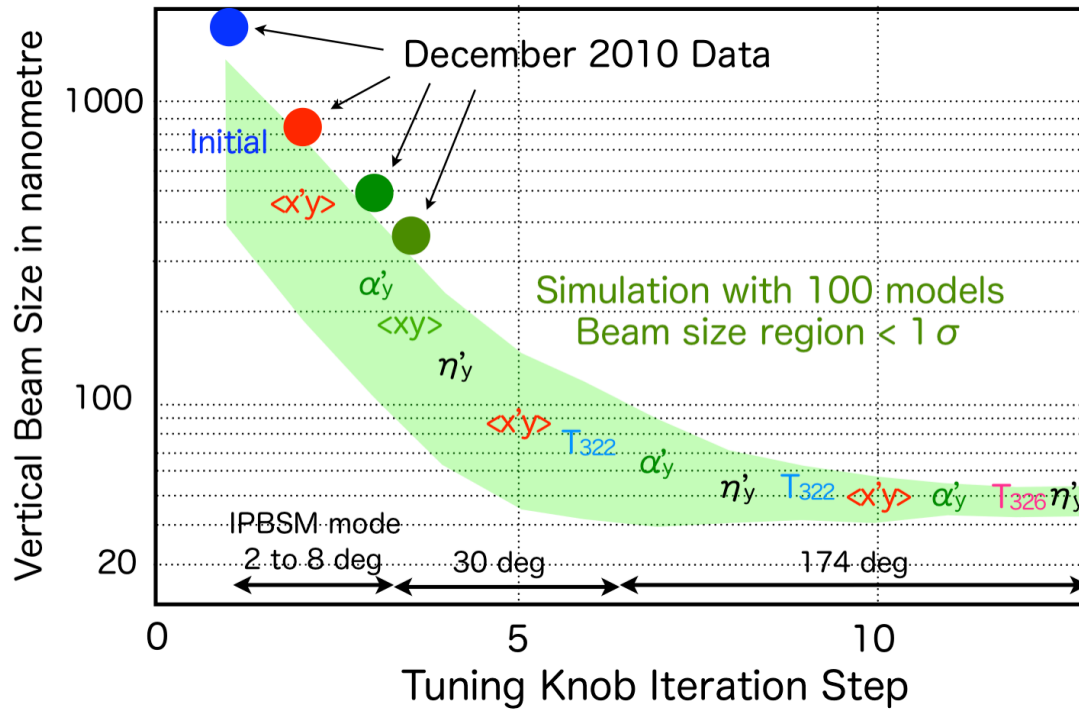
Univ. Tokyo / KEK

- Solid (W,C) wire Scanners (meas. for 2 μ m or more)
- Laser interference fringe monitor (meas. for 20nm~6 μ m)

FFTB ~70nm(measured) -> ATF2 37nm(goal)



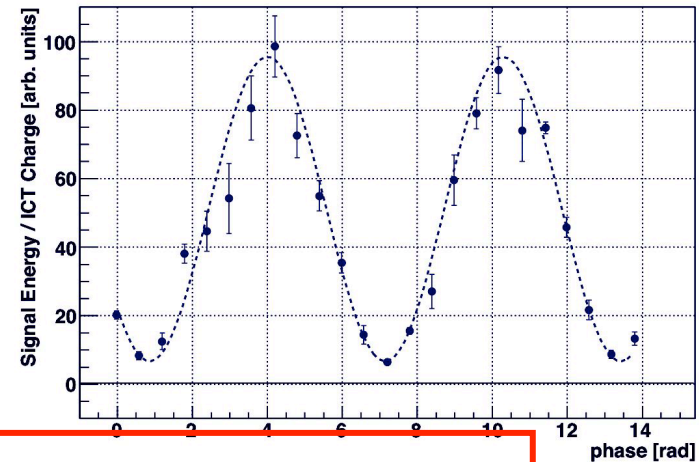
Measurement of the vertical beam size at ATF2



We are going to 30 deg mode for the measurement smaller than 300 nm.

Chromaticity Cor.

↓
→ 37nm



Example:

A beam size measured (2010/May/20)

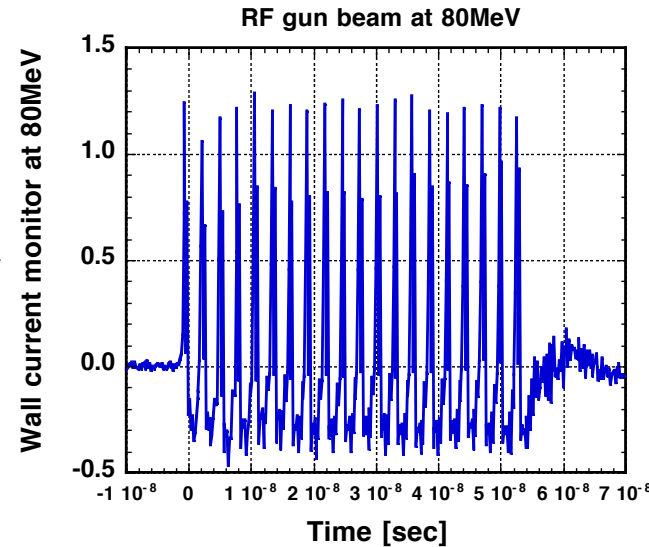
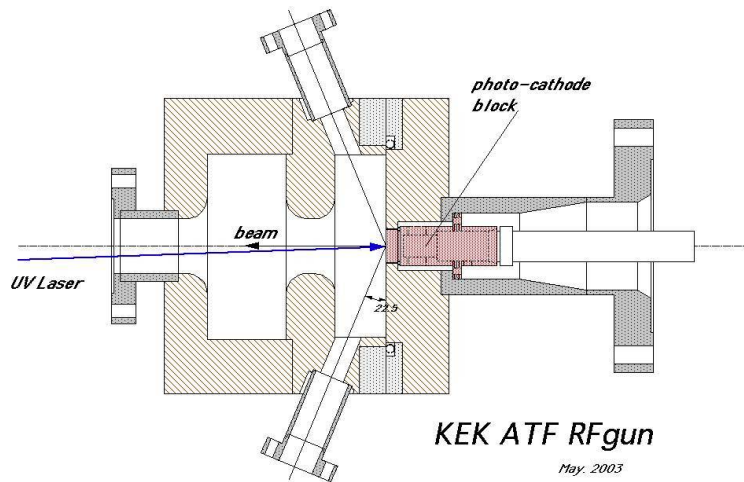
Modulation Depth = 0.87 @ 8.0 deg. mode

$\sigma_y = 310 \pm 30$ (stat.) $+0-70$ (syst.) nm

2013年 $\sigma_y = 65$ nm を達成した。→ ILC 10 nm に相当

**ATF/ATF2で進む
様々な ILC 関連 R/D**

Multi-bunch electron beam structure



注:この絵は
20 bunches/pulse(train)
with 2.8 ns spacing
の絵

Number of bunches from the RF Gun is controlled by changing the Laser pulse structure.

Linac: 1.3 GeV, 1.56 Hz

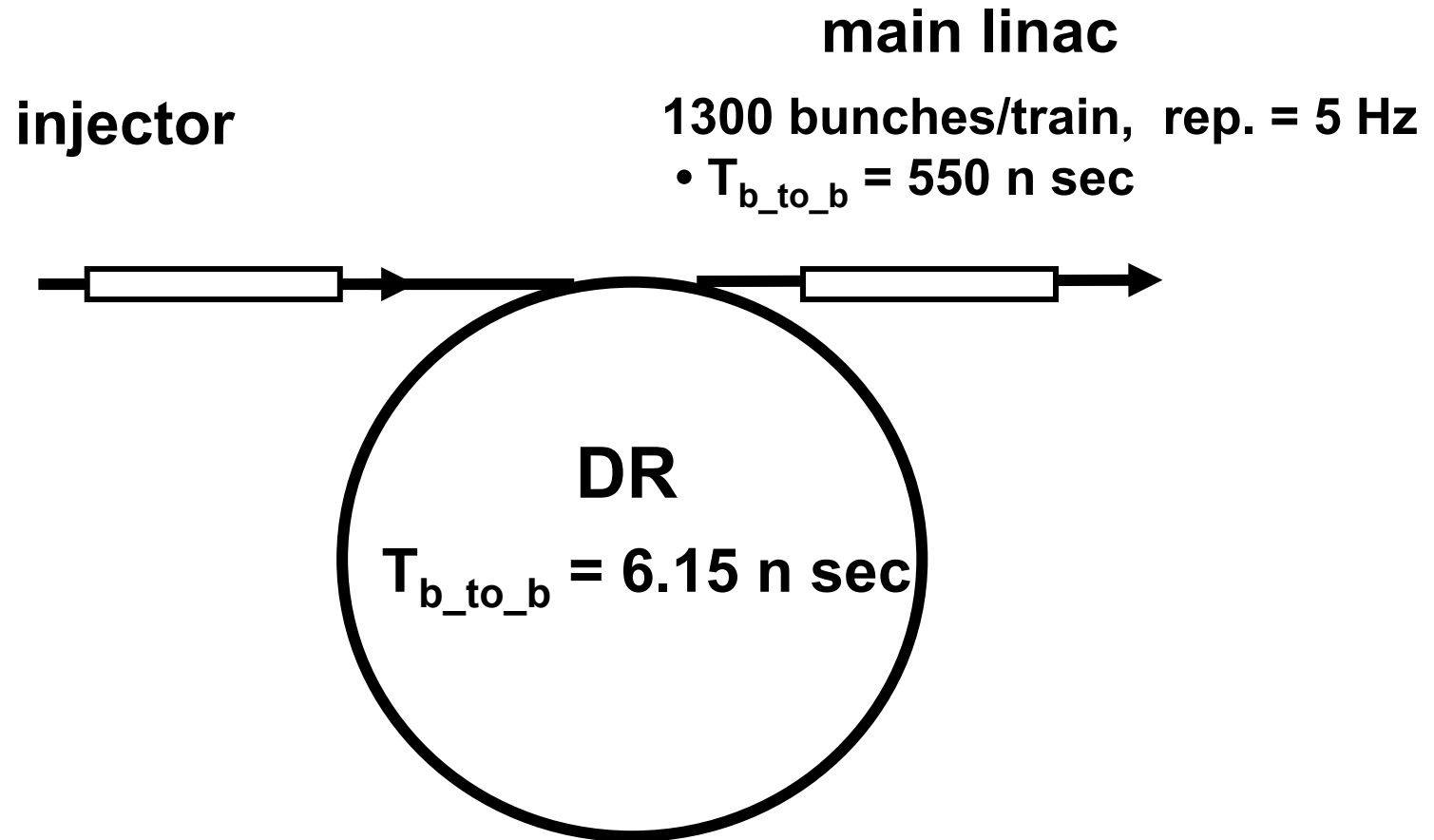
1 ~ 10 bunches/pulse(train) with 5.6 ns spacing

~ 2×10^{10} electrons / bunch

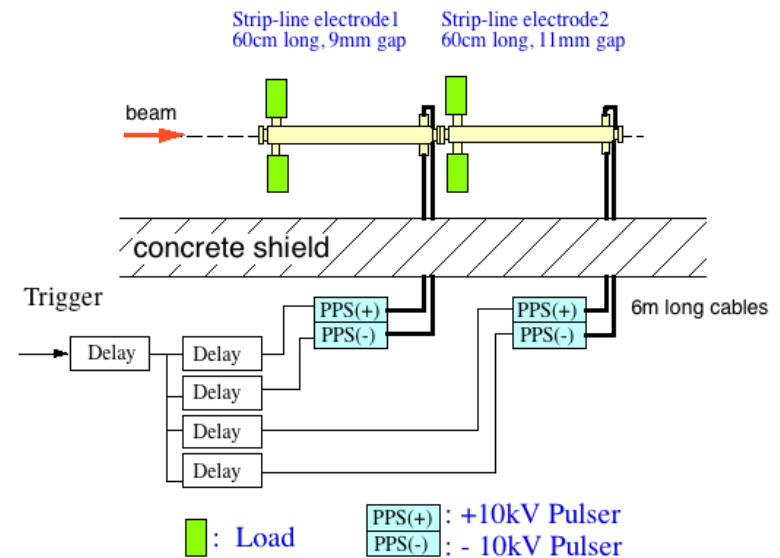
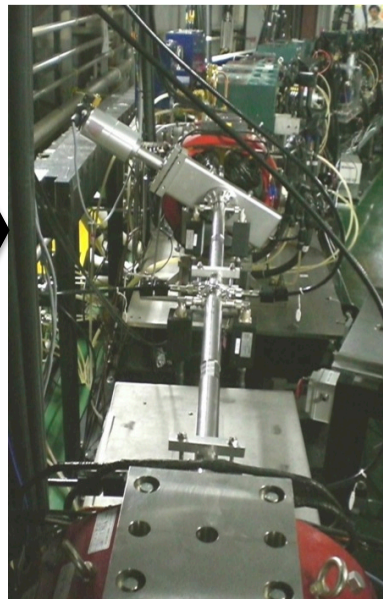
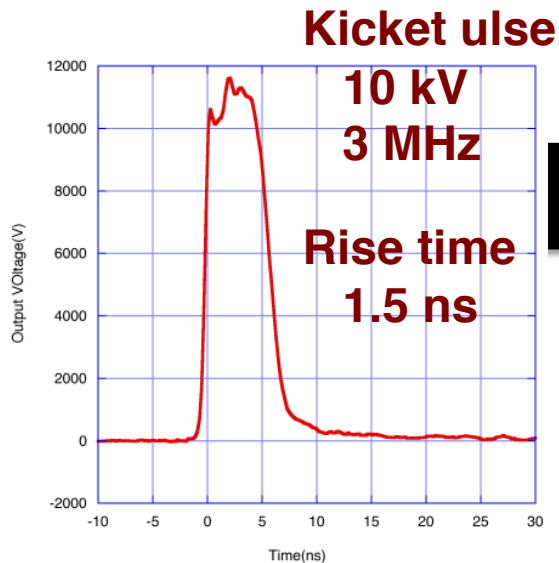
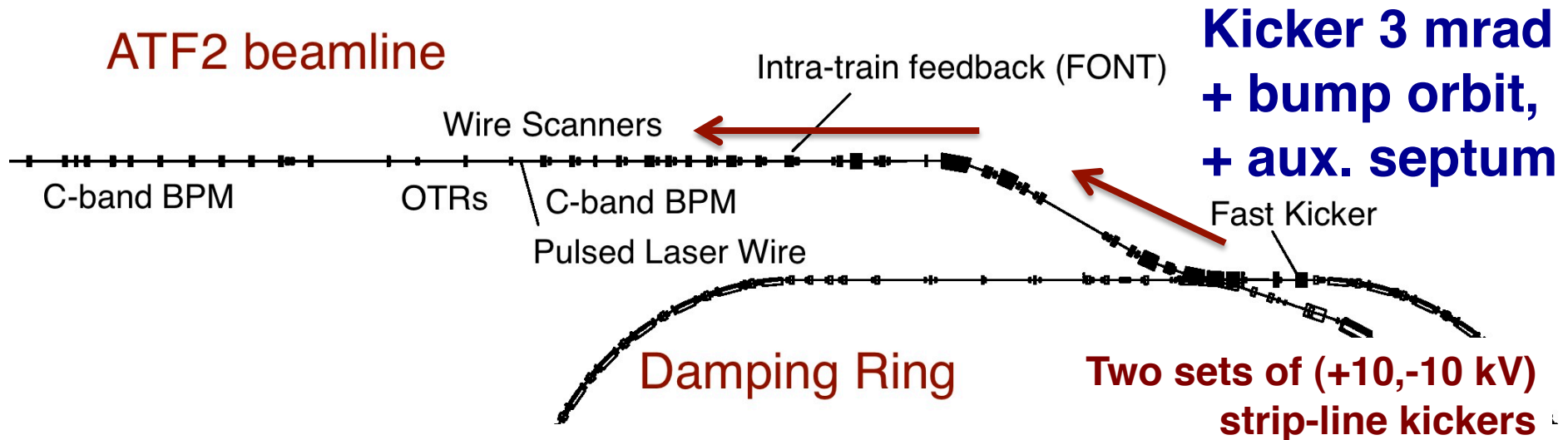
Damping Ring:

It can store up to 10 bunches x 3 trains.

ILC では DR と main linac でバンチ間隔が異なる

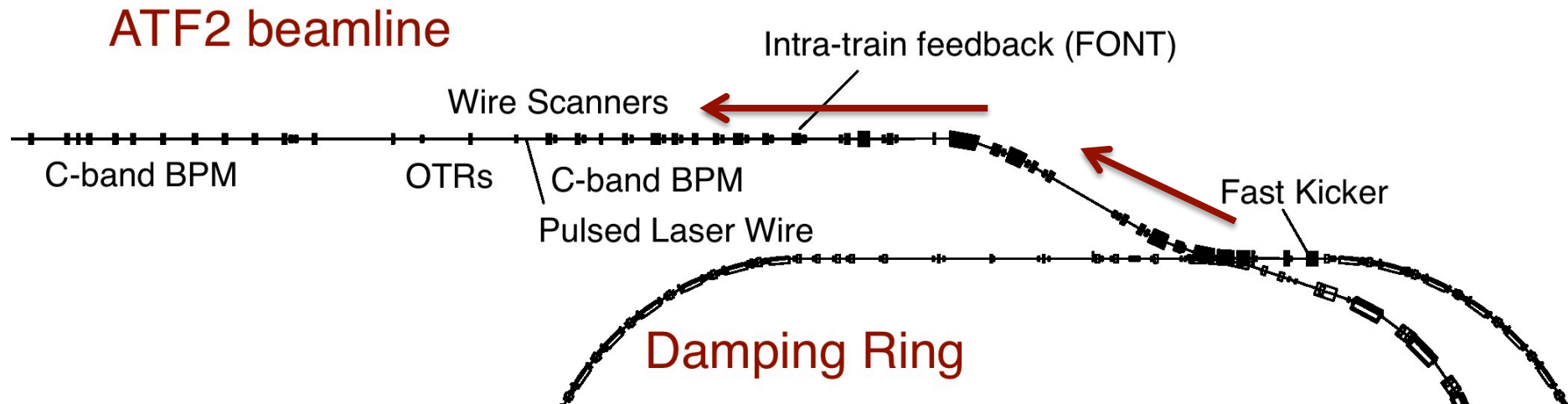


ATF beam extraction by Fast Kicker



Rise time < 5 ns

Demonstration of Multi-bunch Extraction



October
2011



30 bunches extracted from DR
(308 ns spacing)

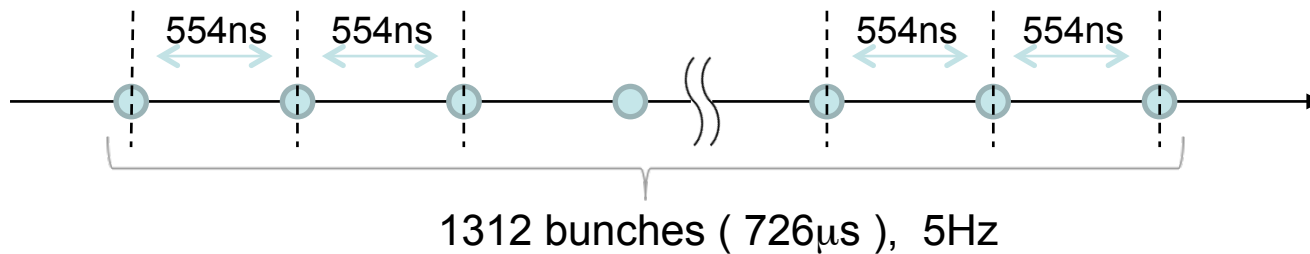
By T. Naito

トレイン内高速フィードバック

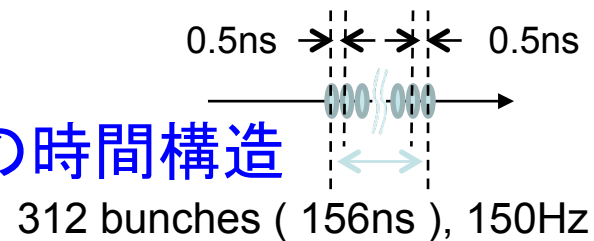
パルス内の個々のビームをバンチと呼ぶ。

同一パルス内で同時に加速される全てのバンチを纏めてトレインと呼ぶ。

ILCで加速されるトレインの時間構造



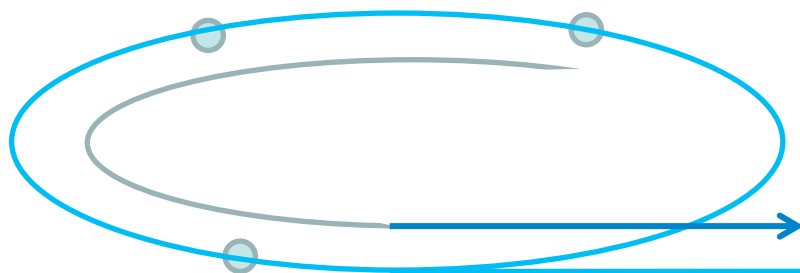
CLICで加速されるトレインの時間構造



超伝導技術を用いたILCではバンチ間隔を広めにとれるので、1つのパルス内での衝突点位置フィードバックができる。

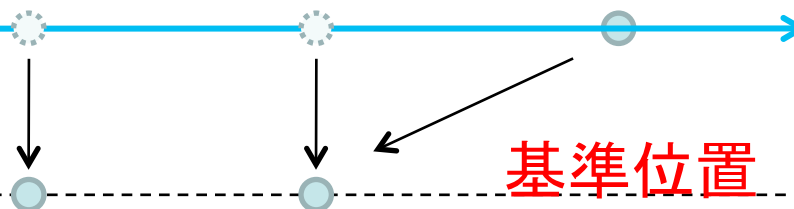
ATFにおけるトレイン内高速フィードバックの開発

ATFではビームが片方 (電子) しかないので、先頭のビームの位置情報を元にトレイン内のバンチの位置を**基準位置**に合わせる研究をおこなっている。



ATFでは、ダンピングリングに溜まった2-3個のバンチを同時に取り出すことで、ILC-likeのバンチ構造を作ることができる。

取り出された先頭のバンチの情報に基づき、2番目以降のバンチの位置を基準に合わせる。



ATFのバンチ間隔は約150nsと、ILCの554nsに比べて短く、より難しいフィードバック技術が要求されている。

Beam Stabilization at the ATF2-IP

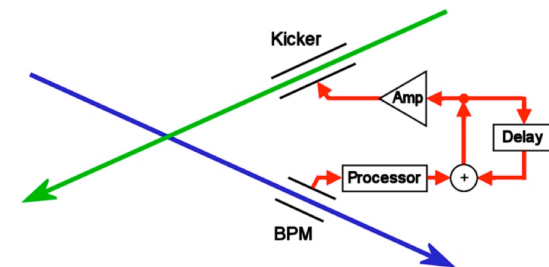
Oxford / KNU / RHUL / KEK

Challenging goals for ATF2

1. achieving of the 37 nm vertical beam size at IP
2. demonstration of the stabilization of beam in a few nanometer level at the IP.

FONT (Feedback On Nano-Second Timescales) has been developed

- as a prototype of a beam-based intra-train feedback system for the interaction point of LCs.
- Correct the impact of fast jitter sources such as the vibration of magnets.



FONT1~FONT3

Analogue feedback system for very short bunch-train LCs.

Latency FONT3(ATF) 23 ns.



FONT4 & FONT5 (ATF2)

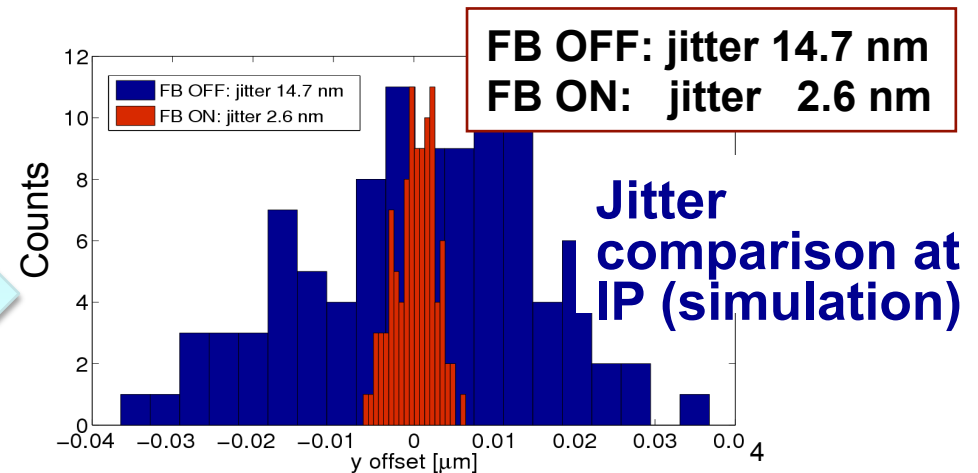
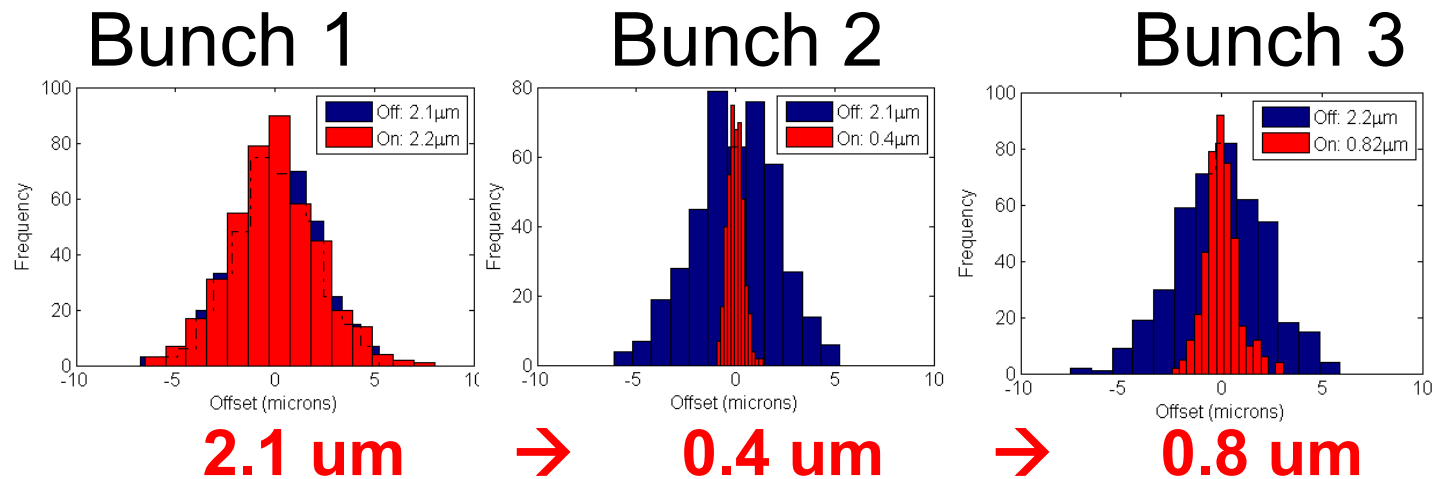
Digital feedback system for long bunch-train ILC.

allow the implementation of more sophisticated algorithms

Beam jitter reduction by FONT5

Results of P2 → K1 loop (measured)

(April 16 2010)



FONT + IP-BPM

Four-mirror Fabry-Perot cavity R&D at ATF for pol. e+

French Japanese Collaboration

F. Labaye, E. Cormier, CELIA CNRS Université Bordeaux I, Bordeaux, France
T. Akagai, S. Miyosohi, S. Nagata, T. Takahashi, Hishoshima University Hiroshima, Japan
S. Araki, S. Funahashi, Y. Honda, T. Omori, H. Shimizu, T. Terunuma, J. Urakawa, KEK, Tsukuba, Japan
J. Bonis, R. Chiche, R. Cizeron, M. Cohen, J. Colin, E. Cormier, P. Cornebise, D. Jehanno, F. Labaye, M. Lacroix,
Y. Peinaud, V. Soskov, A. Variola, F. Zomer, LAL CNRS/IN2P3 Université Paris-Sud 11, Orsay, France
N. Delerue] R. Flaminio, L. Pinard, LMA CNRS/IN2P3, Lyon, France

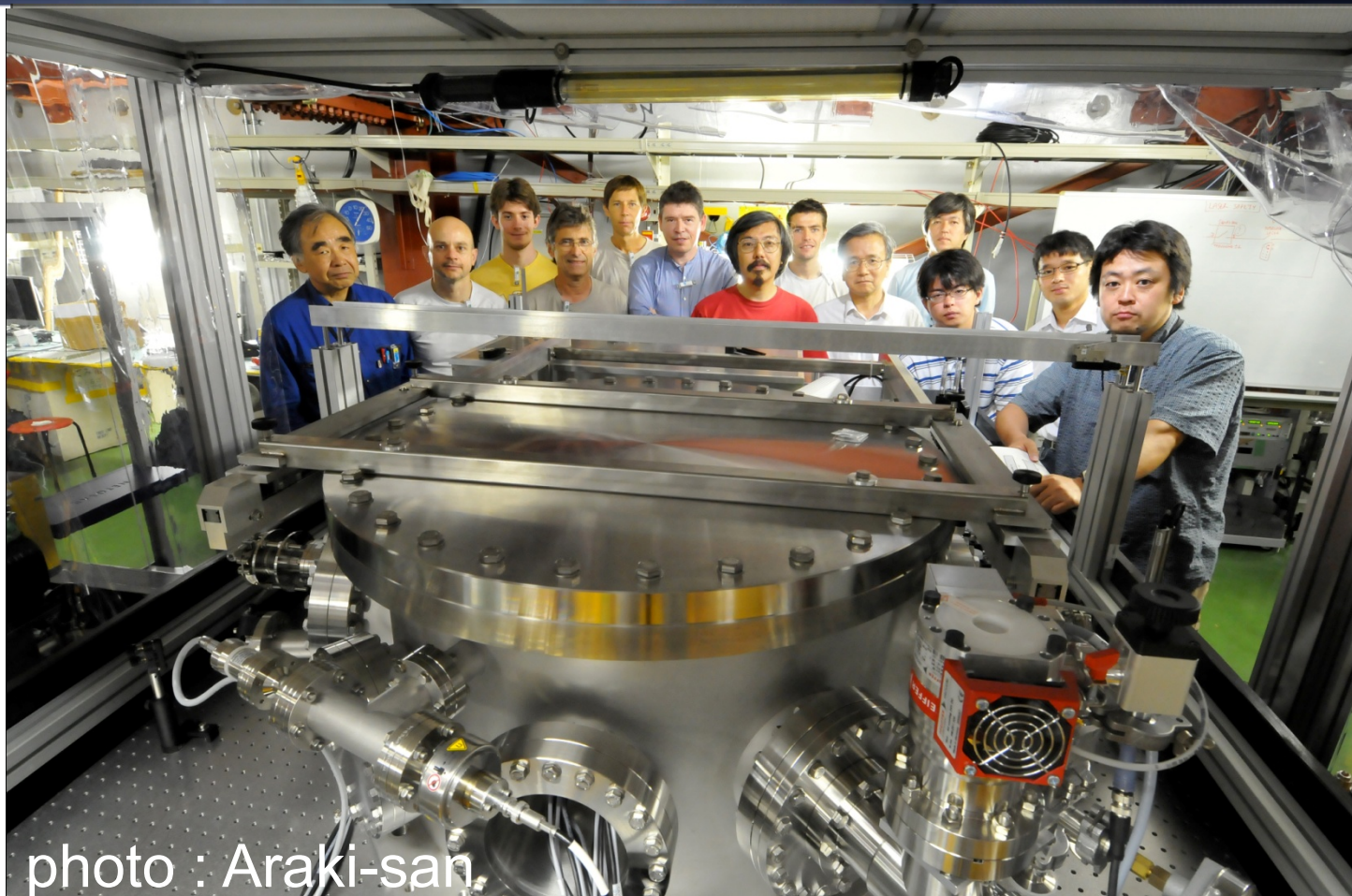
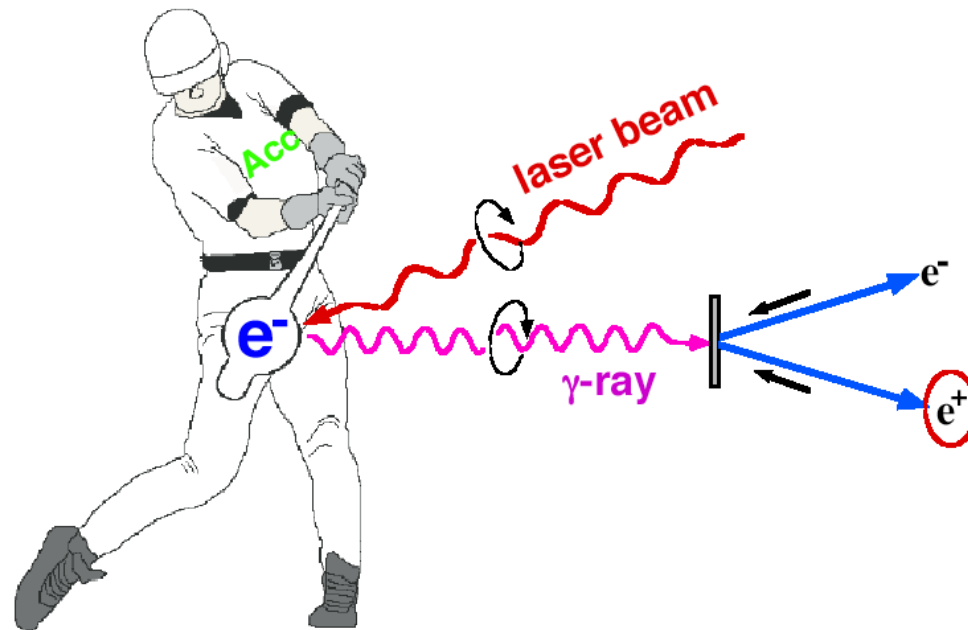


photo : Araki-san

レーザーコンプトン方式

- ▶ 数GeVの電子ビームとレーザー光子との逆コンプトン散乱
～ 30 MeVガンマ線.
- ▶ 円偏光レーザー光による偏極ガンマ線から偏極陽電子生成.
- ▶ レーザー波長がアンジュレーター周期長よりも小さく、電子のエネルギーは数GeV程度で容易にガンマ線を生成.
- ▶ 断面積が小さい、レーザーを収束長(焦点深度)が浅い



レーザーコンプトン方式

▶ 原理実証実験は既に完了

proof of principle experiment

M. Fukuda et al., Physical Review Letters 91, 164801 (2003)

T. Omori et al., Physical Review Letters 96, 114801 (2006)

早稲田大学・鷺尾研、首都大、成蹊大、KEKの共同研究

▶ 実用化の為には強度向上が鍵

▶ レーザー光蓄積空洞を開発中

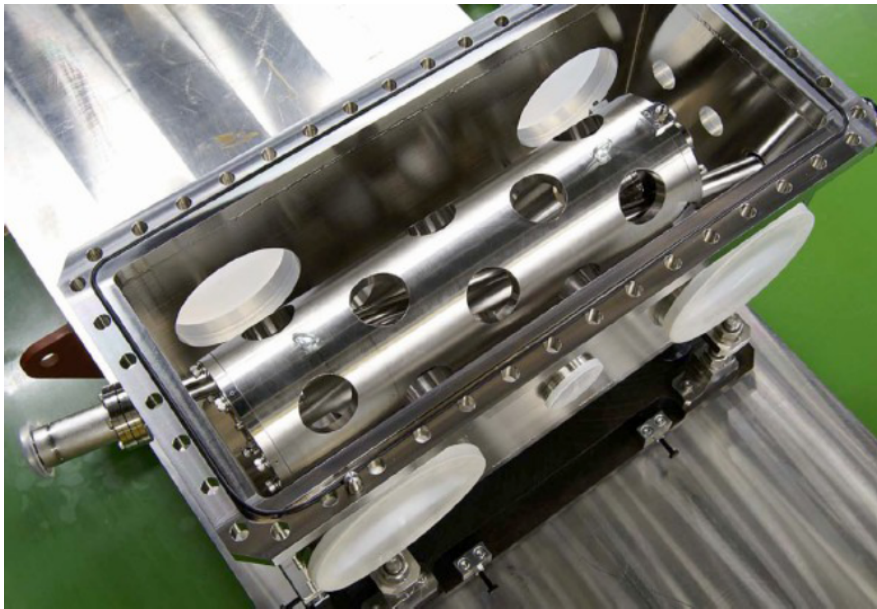
早稲田・広島・成蹊・KEK・フランスの共同研究

▶ 陽電子のバンチ毎蓄積も開発中(今日は省略)

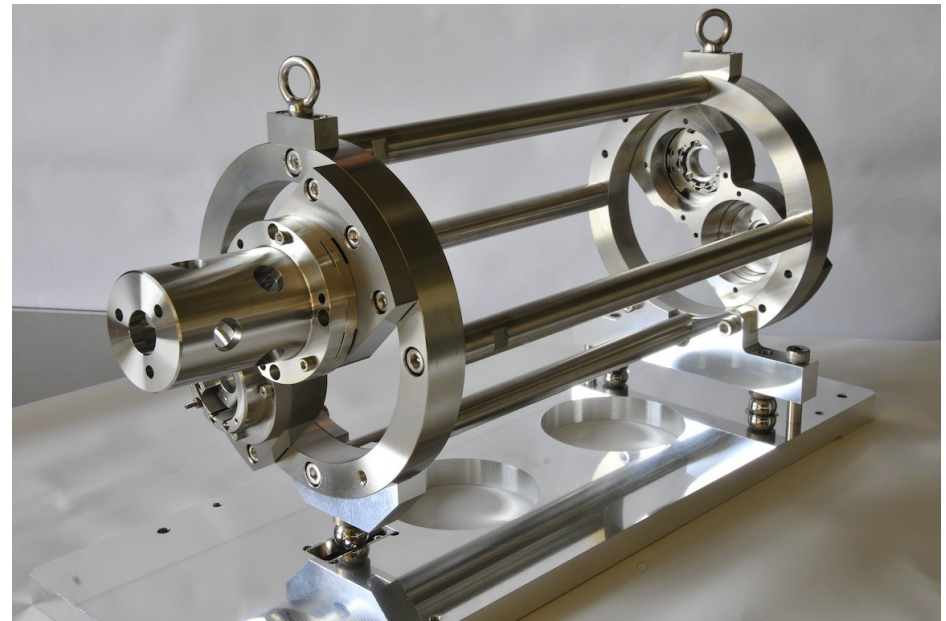
レーザーコンプトン方式

フランス(LAL, CELIA)と日本(早稲田大、広大、成蹊大、KEK)で
レーザー光蓄積空洞を開発中

2-Mirror Cavity --> 4-Mirror Cavity



$\sigma_{\text{spot}} \sim 30 \text{ micron}$
 $F \sim 2000$



$\sigma_{\text{spot}} \sim 15 \text{ micron}$
 $F \sim 4000$

ミラー位置制御 $\sim 4 \text{ pm}$

レーザーコンプトン方式

フランス(LAL, CELIA)と日本(早稲田大、広大、成蹊大、KEK)で
レーザー光蓄積空洞を開発中

2-Mirror Cavity --> 4-Mirror Cavity



ILC の陽電子源のみならず
X 線生成など幅広い応用
→ 量子ビーム計画(初日の早野さんの話)
とか
 $\gamma\gamma$ コライダー (初日の横谷さんの話)

$\sigma_{\text{spot}} \sim 30 \text{ micron}$
 $F \sim 2000$

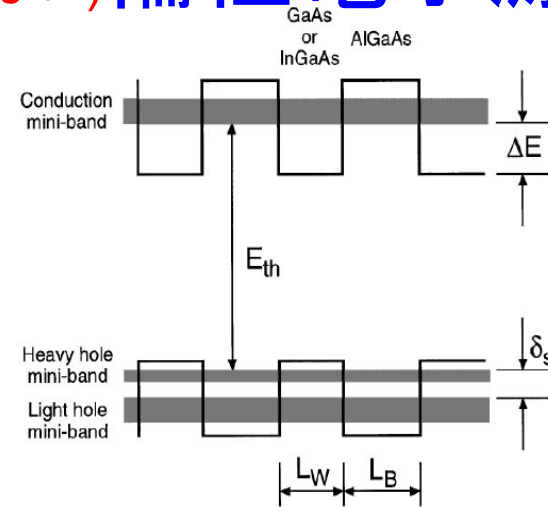
$\sigma_{\text{spot}} \sim 15 \text{ micron}$
 $F \sim 4000$

ミラー位置制御 $\sim 4 \text{ pm}$

ちょっと脱線(ATFとは直接関係ない) 偏極電子源

偏極度

$$P = \frac{N_R - N_L}{N_R + N_L}$$



- ▶ リニアコライダーにとって偏極ビームは極めて重要。電子の偏極度は80%以上。
- ▶ 現在のところ、80%以上の偏極電子が生成可能な技術はNEA-GaAs/GaAsP超格子フォトカソード。

VOLUME 67, NUMBER 23

PHYSICAL REVIEW LETTERS

2 DECEMBER 1991

Large Enhancement of Polarization Observed by Extracted Electrons from the AlGaAs-GaAs Superlattice

T. Omori,⁽¹⁾ Y. Kurihara,⁽¹⁾ T. Nakanishi,⁽²⁾ H. Aoyagi,⁽²⁾ T. Baba,⁽³⁾ T. Furuya,⁽¹⁾ K. Itoga,⁽¹⁾ M. Mizuta,⁽³⁾ S. Nakamura,^{(2),(a)} Y. Takeuchi,⁽¹⁾ M. Tsubata,⁽²⁾ and M. Yoshioka⁽¹⁾

⁽¹⁾KEK, National Laboratory for High Energy Physics, Oho 1-1, Tsukuba-city, Ibaraki-ken, 305 Japan

⁽²⁾Faculty of Science, Nagoya University, Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya-city, Aichi-ken, 406 Japan

⁽³⁾Fundamental Research Laboratories, NEC Corporation, Miyukigaoka 34, Tsukuba-city, Ibaraki-ken, 305 Japan

(Received 13 March 1991)

We have observed a large enhancement of the spin polarization of electrons extracted from an AlGaAs-GaAs superlattice illuminated by circularly polarized light. A polarization of 71.2

世界初の成功した超格子フォトカソードは日本で開発された

P=71%

KEK-名大-NEC

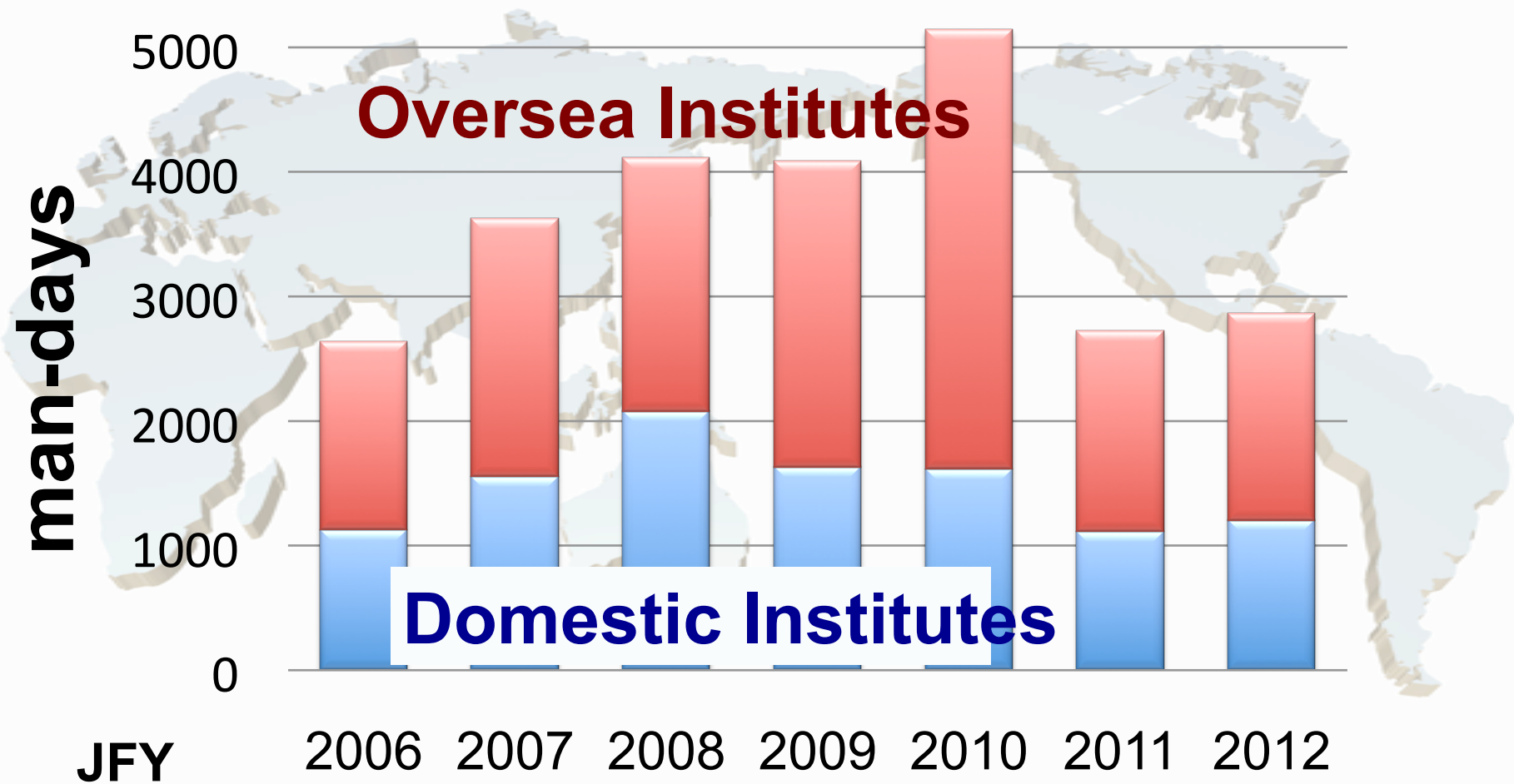
ATF/ATF2で進む様々な ILC 関連 R/Dは非常に数が多く、そのいずれも重要である



しかし数が多すぎて、限られた時間ですべてを解説する事が出来ない。かなり省略しました。許して下さい。

その代わりと言っては何ですが、取得された博士号／修士号の数を示す事にしたいと思います。

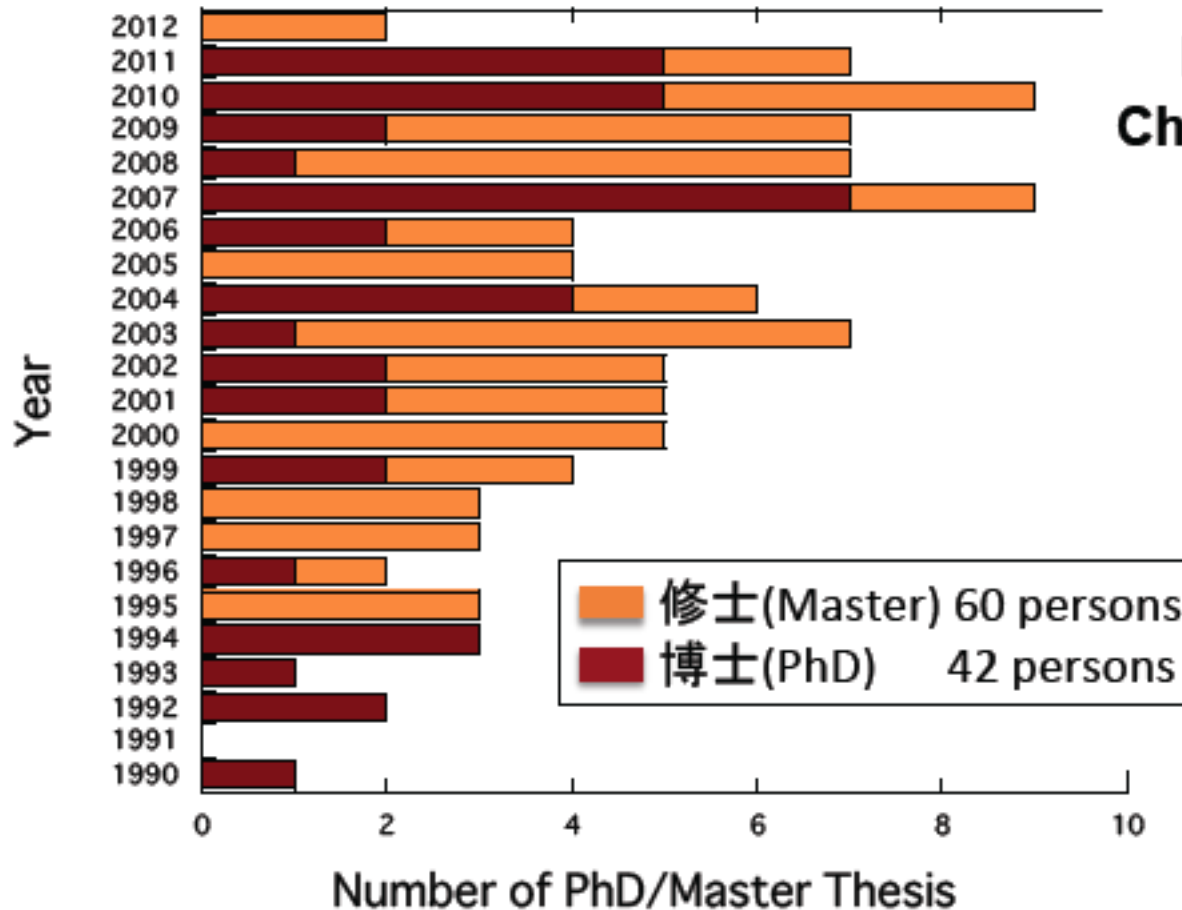
Collaborators visiting ATF



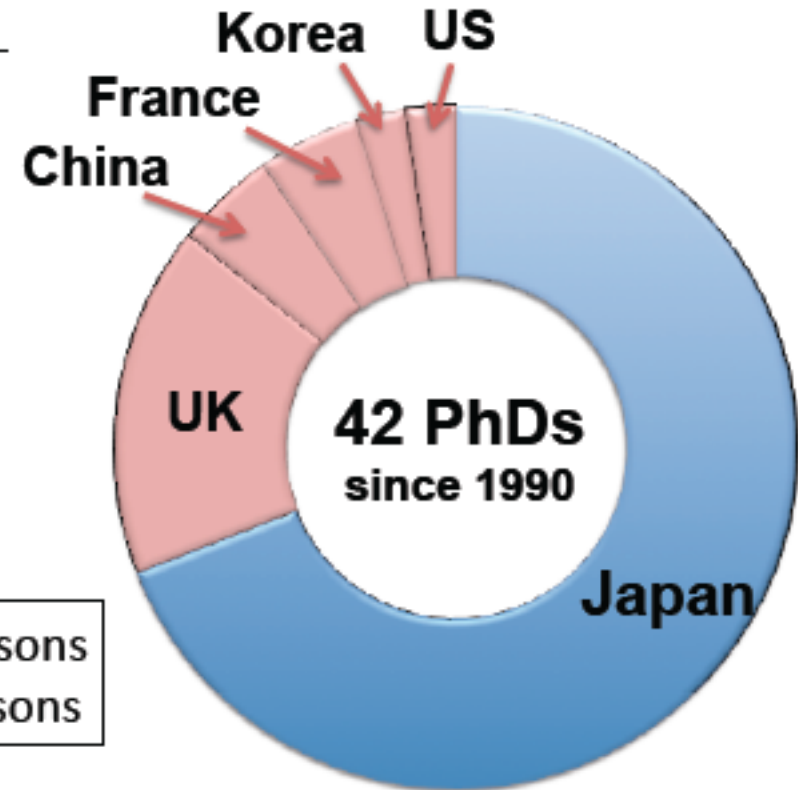
- Education of the Young Researchers under the

ATFでの博士および修士論文実績

Education of Young Reserchers at ATF



博士論文の国別集計



まとめ

まとめ

1. ATF/ATF2 は ILC から e^+ 部分を除き、かつ main linac を除いて、DR の出口に FF (Final Focus) を直接くっつけたもの。
2. ATF/ATF2 では main linac 以外のすべての要素の開発／テストが出来る。実際にそのようにしている。
3. ILC で要求されている超低エミッタンス・ビームが作れる事を実証する(済)。
4. ILC の最終収束系 (FF) のモデルを作って、絞り込みを実証する。(ATF2)
5. 上記の3. と 4. のビームを使って ILC に必要な様々な R/D を行なう。

まとめ

6. マルチバンチ／マルチトレイン ビームを扱う事が出来る。
ILC の R/D にとって非常に重要。
7. 多くの R/D が国際協力で進んでいる。
8. 特に ATF2 はビームライン全体のコンポーネントが各国の研究所
で作って持ち寄られ組み合わせて作られたもの。
つまり ILC 国際建設の雛形。

Backups

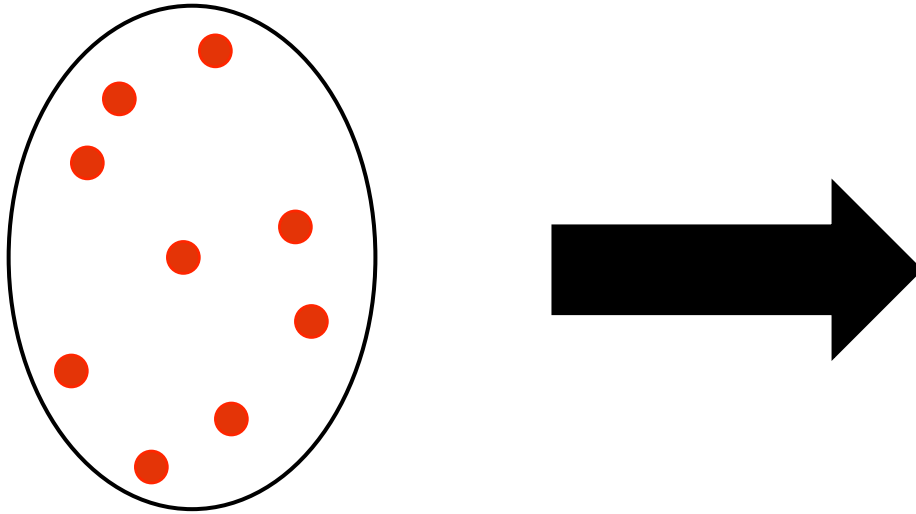
紙芝居による エミッタンス入門

エミッタンスとは？

(らんぼうにいうと)ビームの中の粒子の非平行度の事。
値が小さい → 平行度が高い

エミッタンスとは？

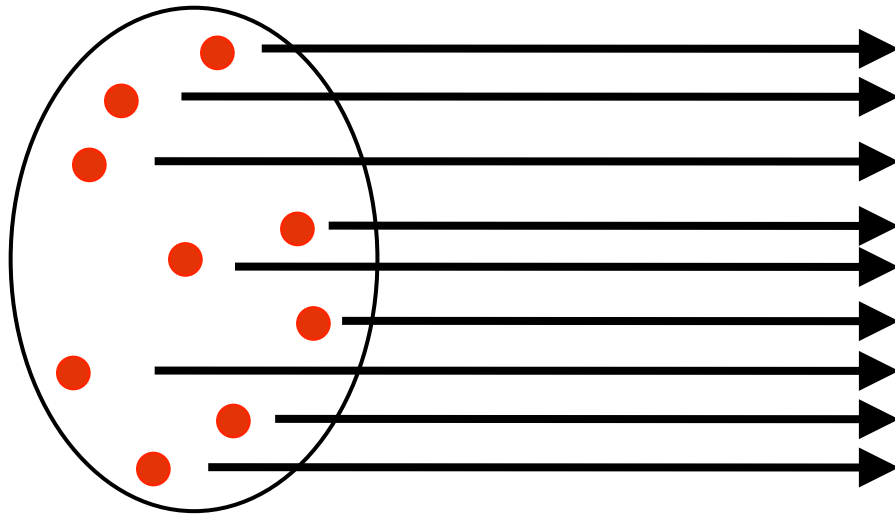
(らんぼうにいうと)ビームの中の粒子の非平行度の事。
値が小さい → 平行度が高い



粒子は加速器の中で塊(バンチと呼ぶ)を作って飛んでいる

エミッタンスとは？

(らんぼうにいうと)ビームの中の粒子の非平行度の事。
値が小さい → 平行度が高い

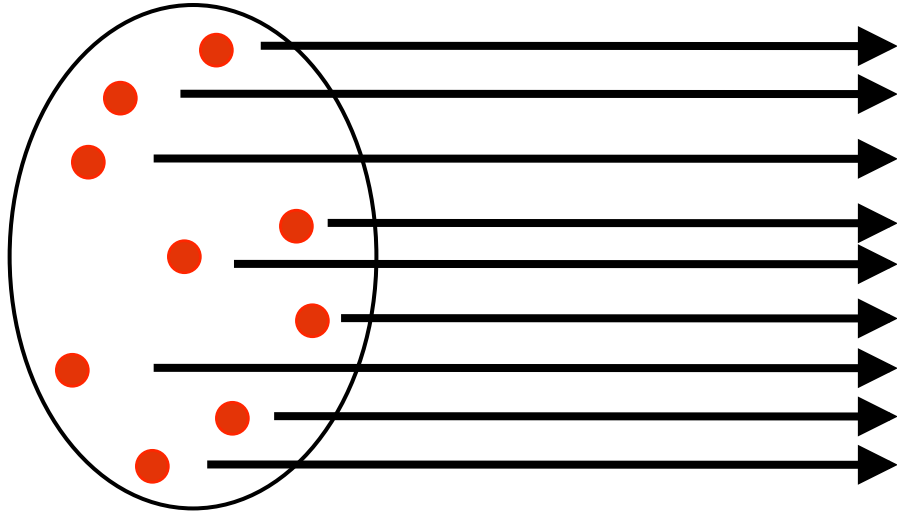


バンチの中の粒子が
すべて同じ向きに飛んでいたら
(平行に飛んでいたら)
エミッタンス=0

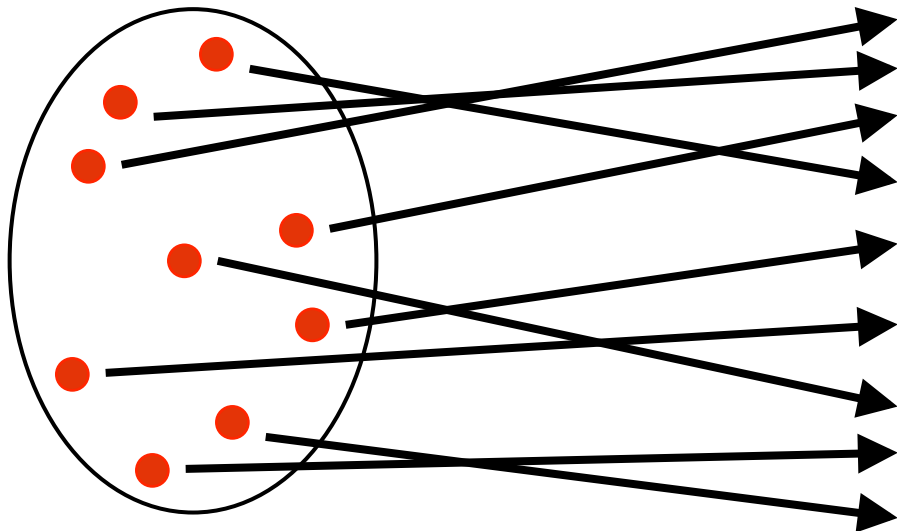
(注:現実にはありえない)

粒子は加速器の中で塊(バンチと呼ぶ)を作って飛んでいる

エミッタンスとは？

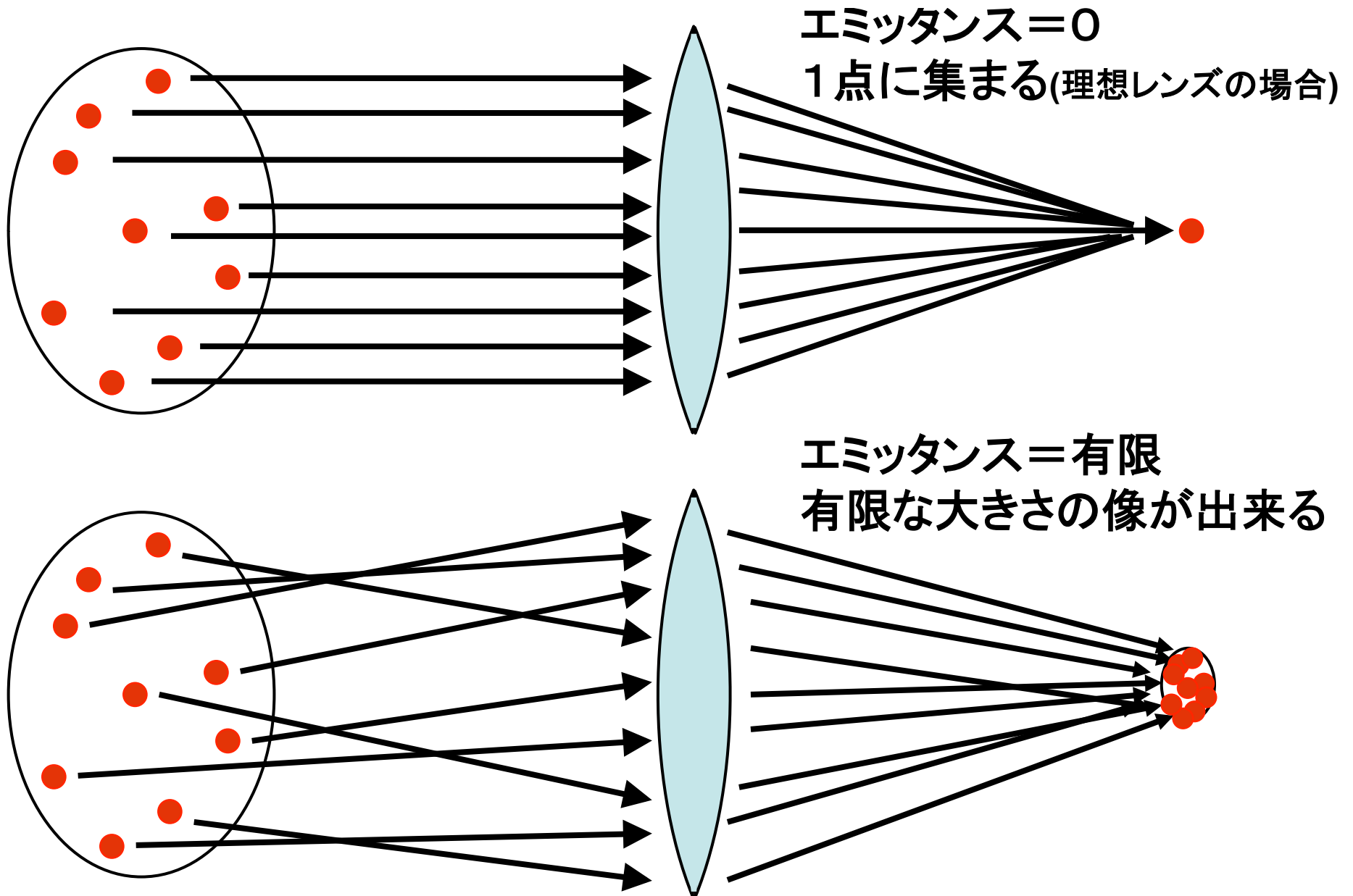


エミッタンス=0



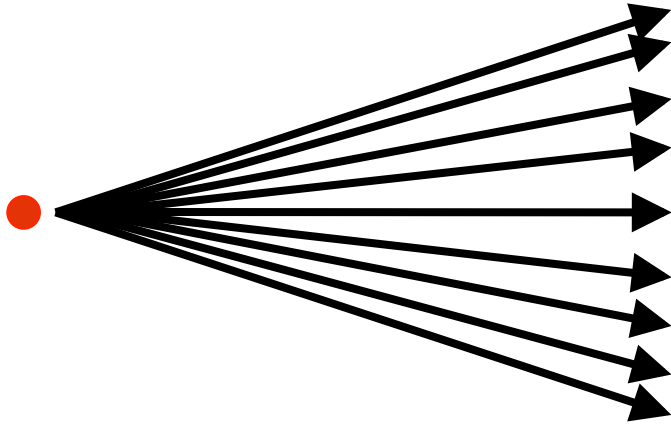
エミッタンス=有限

エミッタンスとは？



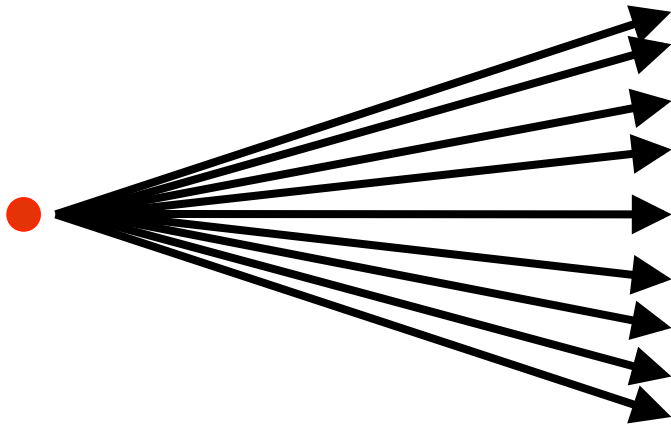
エミッタンスとは？

一点から放射状に出ているビームのエミッタンスは？



エミッタンスとは？

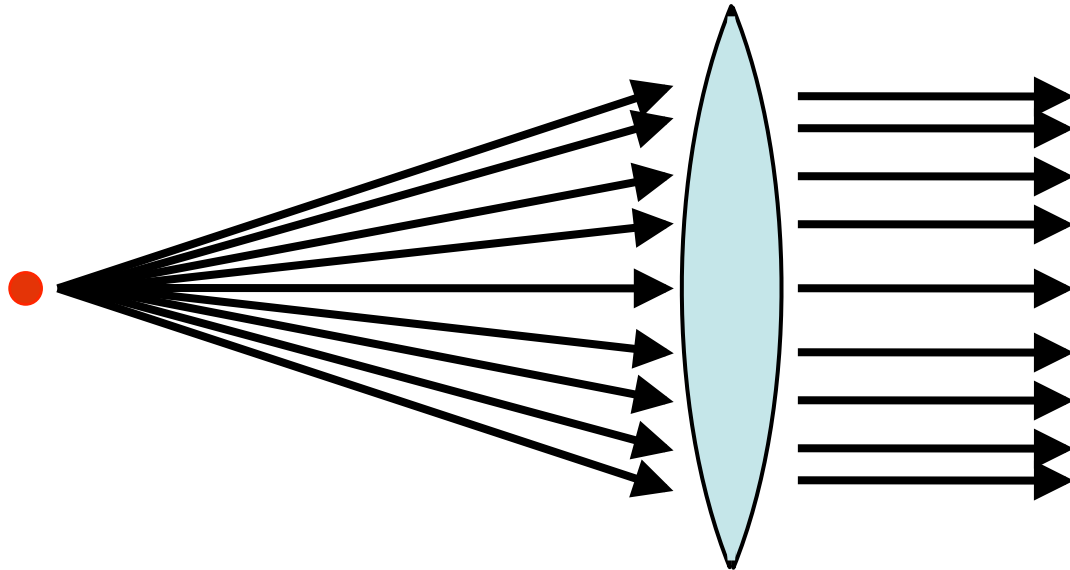
一点から放射状に出ているビームのエミッタンスは？



エミッタンス=0

エミッタンスとは？

一点から放射状に出ているビームのエミッタンスは？

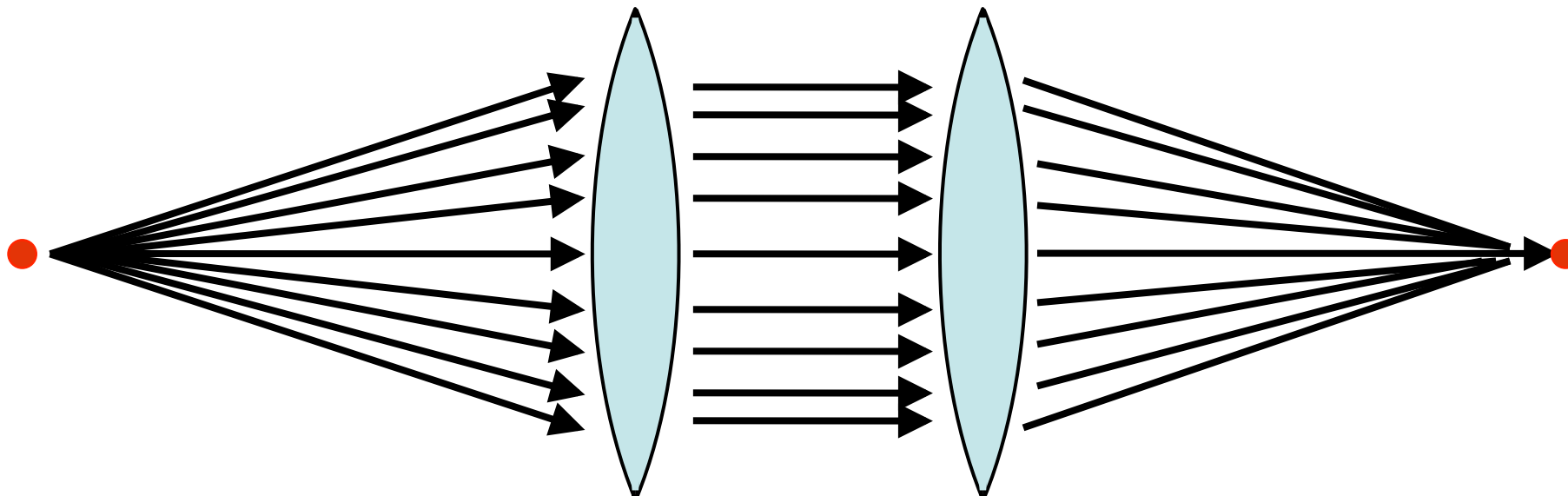


エミッタンス=0

レンズで平行に出来る
(収差の無い理想レンズの場合)

エミッタンスとは？

一点から放射状に出ているビームのエミッタンスは？



エミッタンス=0

レンズで平行に出来る
(収差の無い理想レンズの場合)

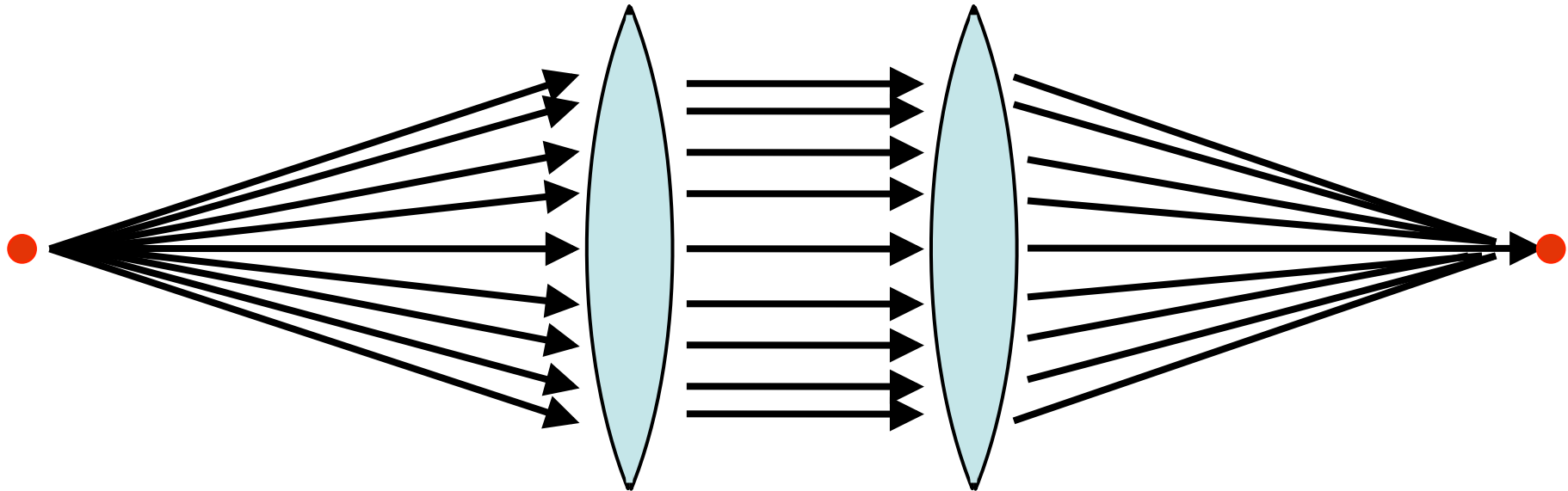
レンズで一点に
集める事も出来る

注: 現実には無理

- ・レンズの収差
- ・曲げる時に放射光が出る
(生出 limit)
- ・量子力学的限界

エミッタンスとは？

レンズで絞っても(広げても)エミッタンスが変わるわけではない



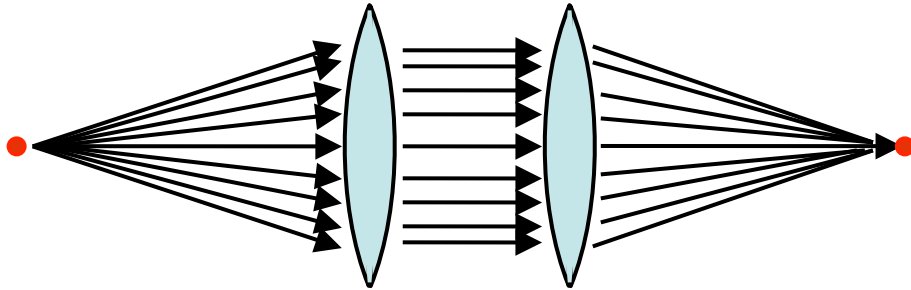
エミッタンス=0

エミッタンス=0

エミッタンス=0

エミッタンスとは？

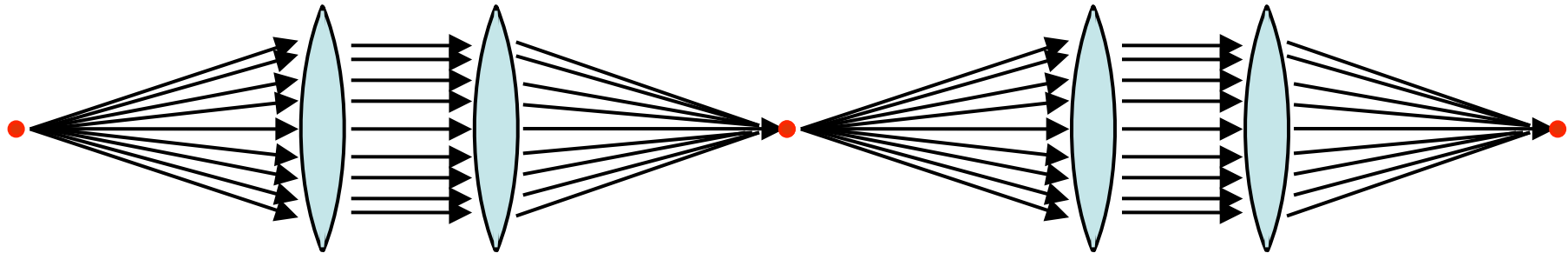
レンズで絞っても(広げても)エミッタンスが変わるわけではない



エミッタンス=0 エミッタンス=0 エミッタンス=0

エミッタンスとは？

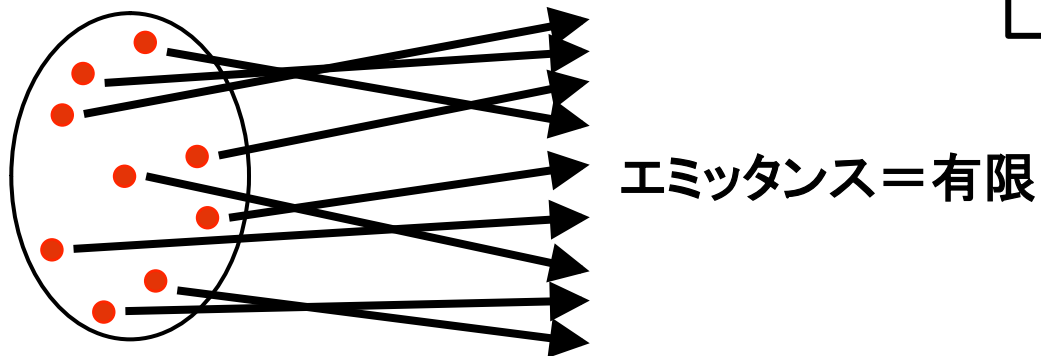
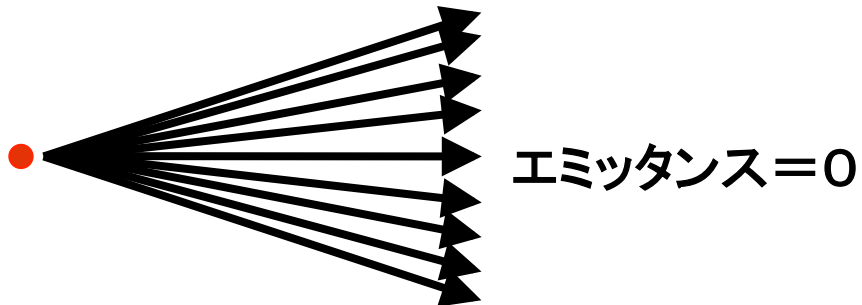
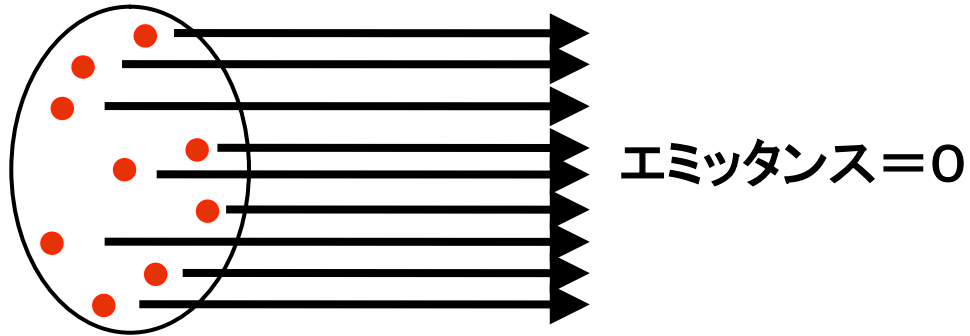
レンズで絞っても(広げても)エミッタンスが変わるわけではない



エミッタンス=0 エミッタンス=0 エミッタンス=0 エミッタンス=0 エミッタンス=0 エミッタンス=0

エミッタンスは(単純なビーム輸送において)保存する

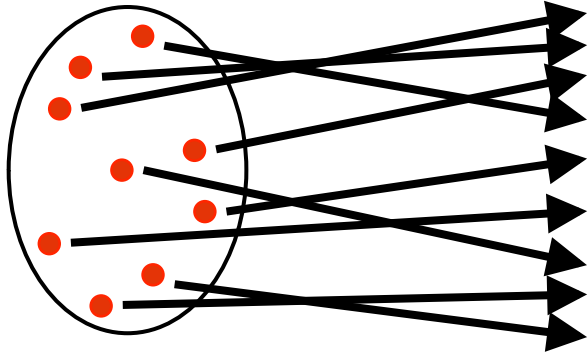
エミッタンスとは？



エミッタンス
= 角度広がりx空間広がり

単位: rad-m
ラジアン メーター

エミッタンスとは？



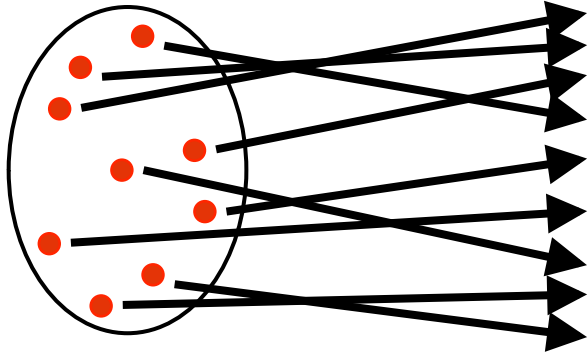
エミッタンス
= 角度広がりx空間広がり

単位：rad-m
ラジアン メーター

表記上の注意

- (1) m rad と書くと ミリラジアン と間違えられるので rad-m と書く事。
- (2) rad は無次元数なので、非常にしばしば省略される。

エミッタンスとは？



エミッタンス
= 角度広がりx空間広がり

単位: rad-m
ラジアン メーター

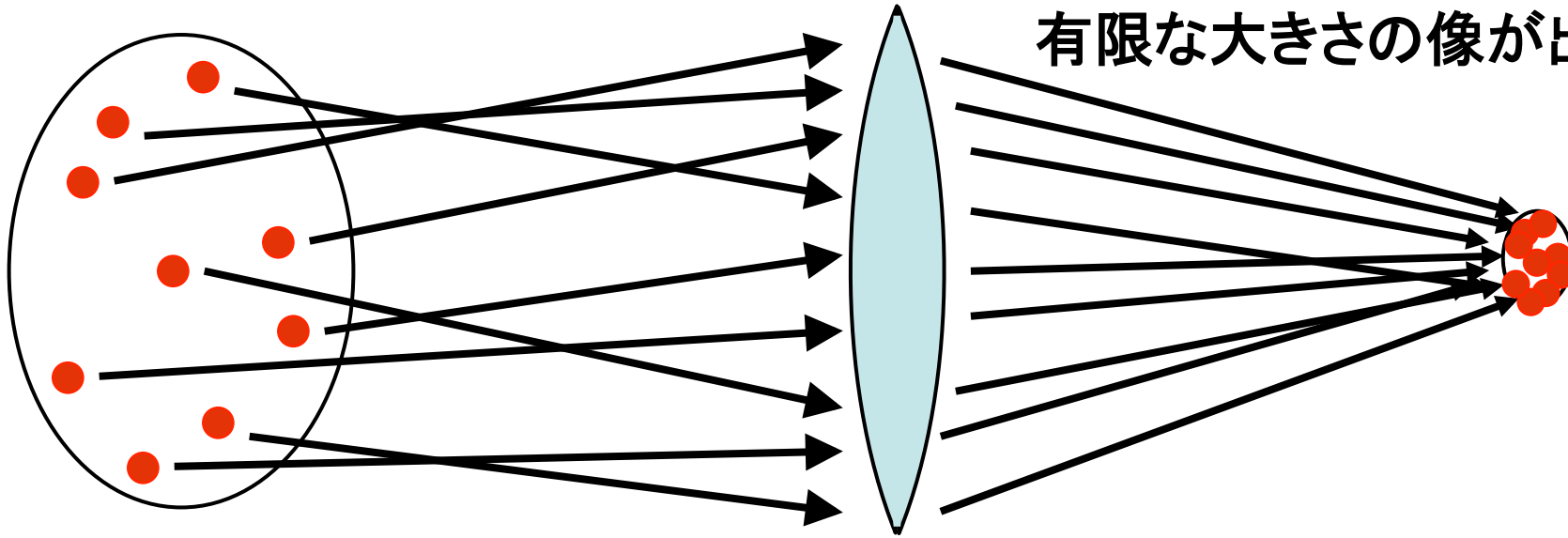
表記上の注意

- (1) m rad と書くと ミリラジアン と間違えられるので rad-m と書く事。
- (2) rad は無次元数なので、非常にしばしば省略される。

「今のバーティカルエミッタンスは 4 ピコメートルだね」
などどつぶやくとプロっぽく聞こえる。

エミッタンスが小さい事は必要か？

エミッタンス=有限
有限な大きさの像が出来る

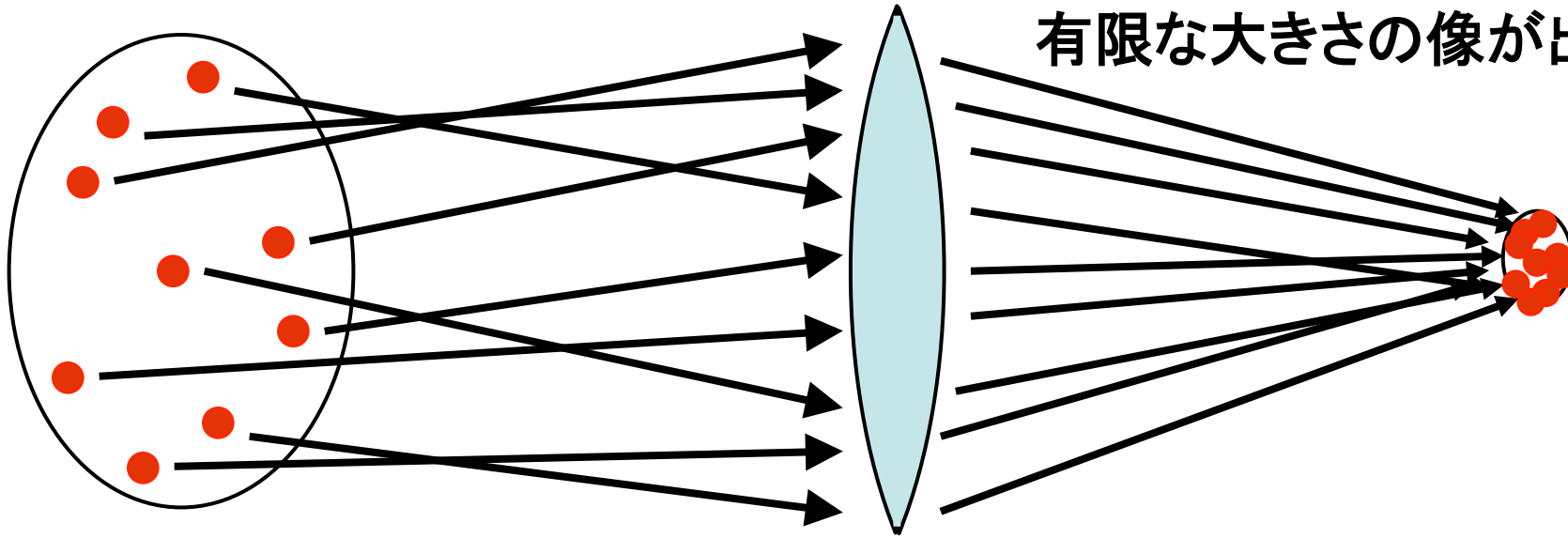


有限な大きさの像ではいけないのか？

エミッタンスが大きくても、短い焦点距離のレンズで十分に小さく絞れば OK？

エミッタンスが小さい事は必要か？

エミッタンス=有限
有限な大きさの像が出来る

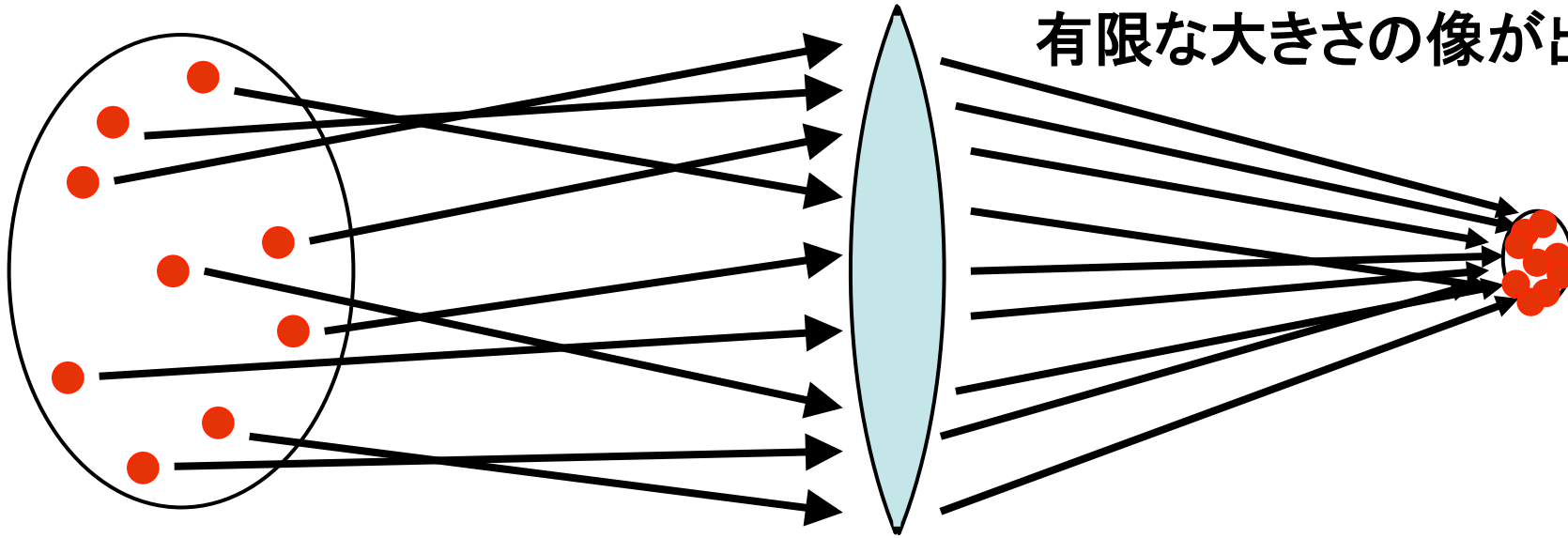


有限な大きさの像ではいけないのか？

エミッタンスが大きくても、短い焦点距離のレンズで十分に
小さく絞れば OK? → **ダメ**

エミッタンスが小さい事は必要か？

エミッタンス=有限
有限な大きさの像が出来る



有限な大きさの像ではいけないのか？

エミッタンスが大きくても、短い焦点距離のレンズで十分に小さく絞れば OK? → **ダメ**

- ・砂時計効果($s=0$ 以外のところでのサイズ増大によりかえって損)
- ・あまりきつく絞ると 生出 limit (曲げる時の放射光の影響) により制限
- ・レンズは衝突点から離したい (注: 単純に「焦点距離=衝突点までの距離」ではない)
- ・絞り込みがキツイとレンズの収差が大きくなる

紙芝居による ダンピングリング入門

最初に:用語の説明

ダンピングリング:

エミッタンスを小さくする事を目的としたリング状加速器。

しばしば DR と略記。Damping Ring

最初に：用語の説明

ダンピングリング：

エミッタンスを小さくする事を目的としたリング状加速器。
しばしば DR と略記。Damping Ring

ダンピング：

damping : 減衰させる事

個々の粒子がビーム中でバラバラに行なっている
横方向の振動を減衰させるのが DR の役割。

最初に：用語の説明

ダンピングリング：

エミッタンスを小さくする事を目的としたリング状加速器。
しばしば DR と略記。Damping Ring

ダンピング：

damping : 減衰させる事
個々の粒子がビーム中でバラバラに行なっている
横方向の振動を減衰させるのが DR の役割。

間違えないように！：

dump : どっと投げ出す、投げ捨てる。

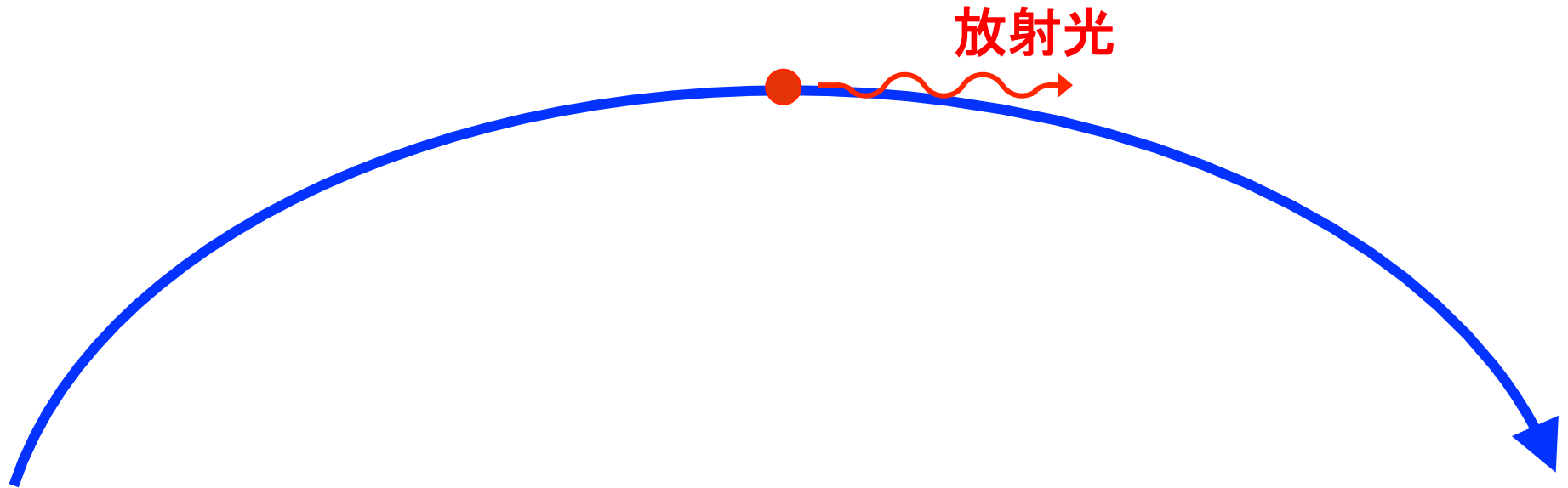
例) ダンプカー

damp : 減衰させる。

例) 自動車のサスペンションのダンパー

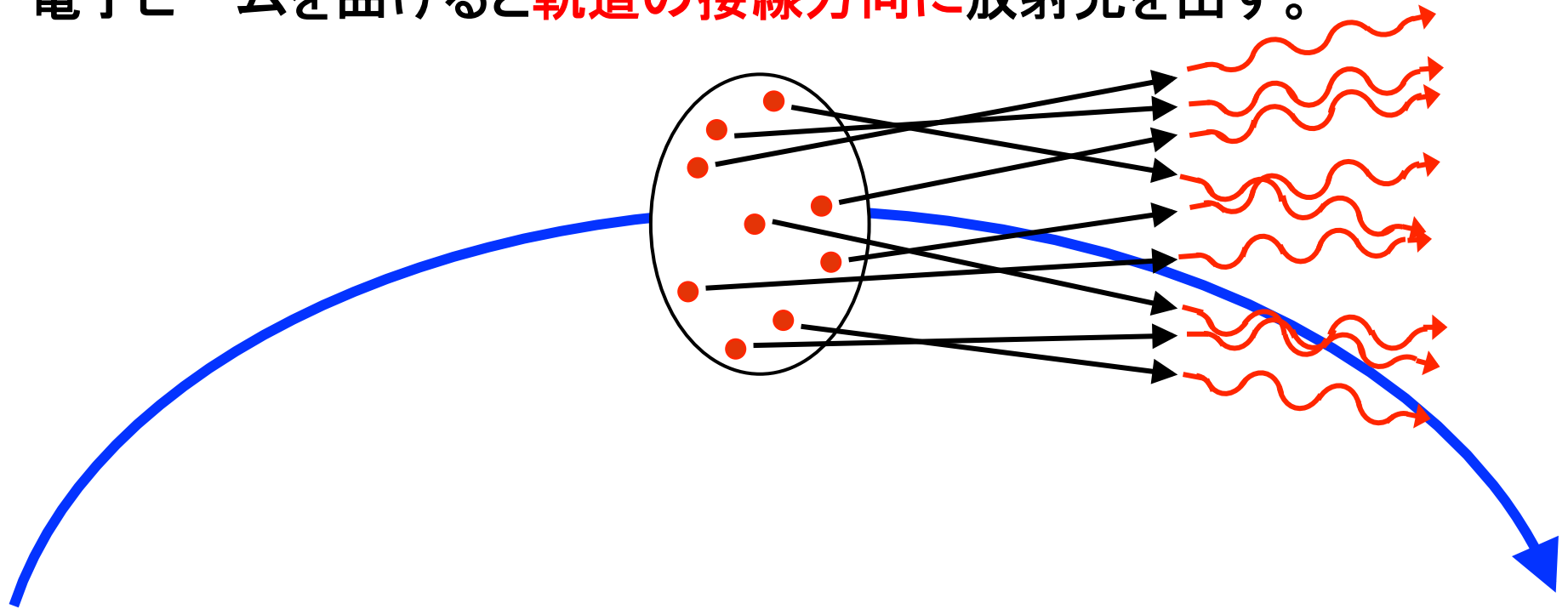
エミッタンスを下げる方法

電子ビームを曲げると**軌道の接線方向**に放射光を出す。



エミッタンスを下げる方法

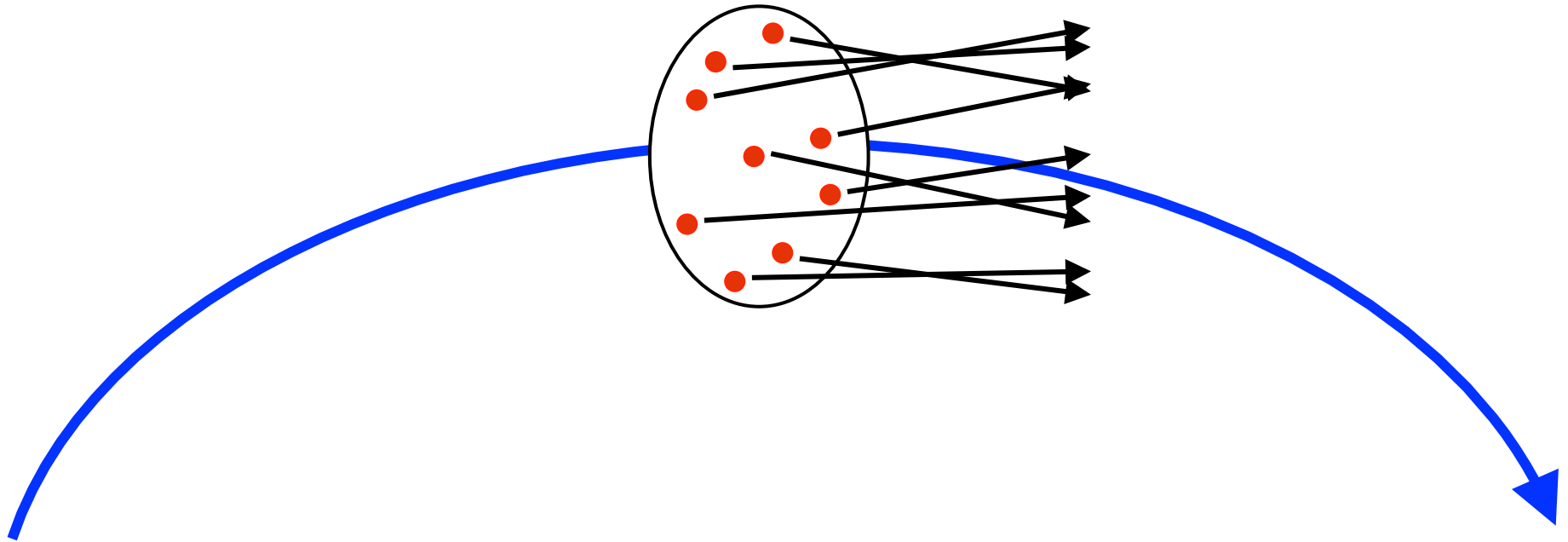
電子ビームを曲げると**軌道の接線方向**に放射光を出す。



詳しく見ると、個々の電子は少しずつ違う方向に運動している。
それぞれ**自分の軌道の接線方向**に放射光を出す。

エミッタンスを下げる方法

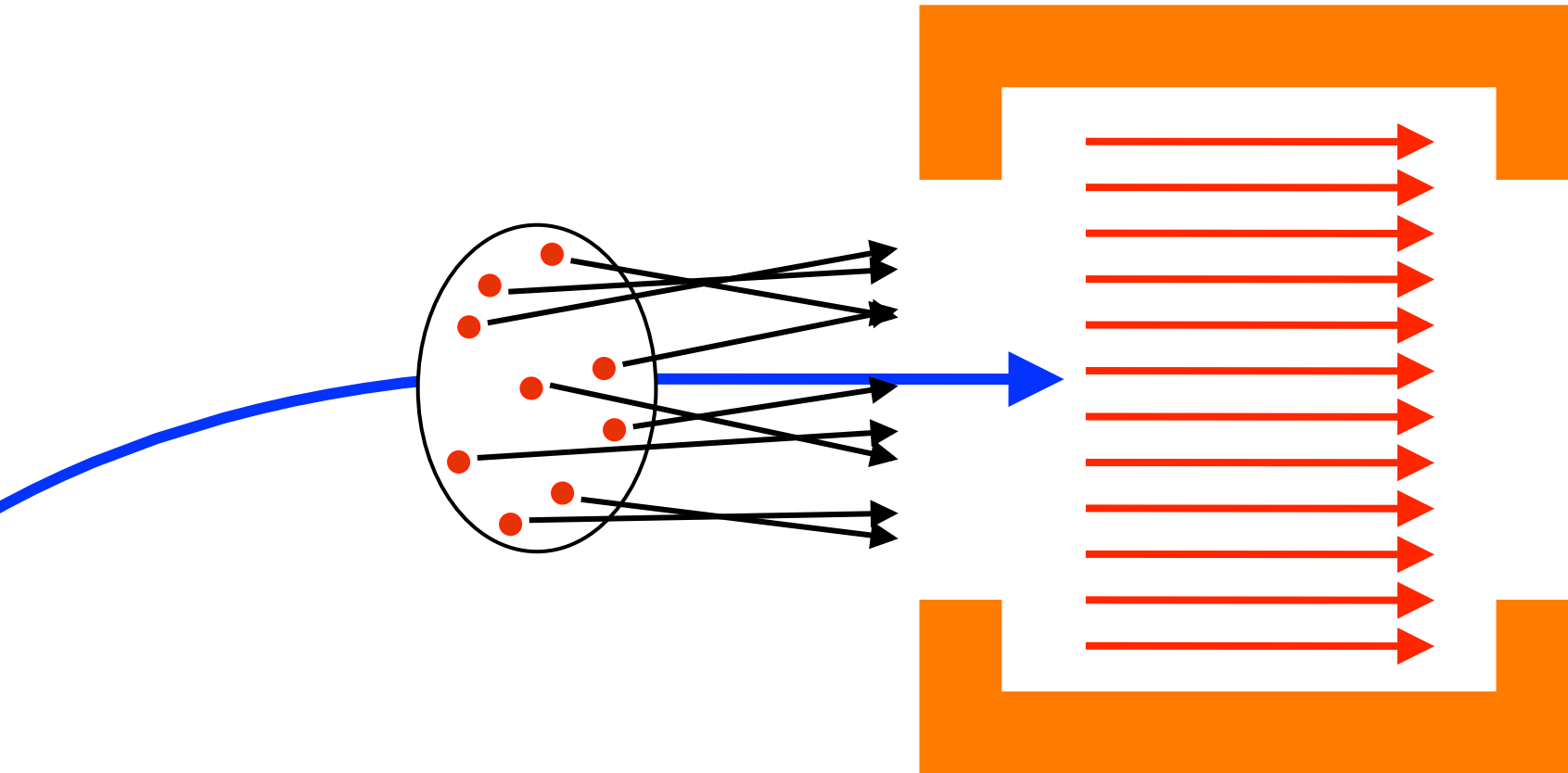
電子ビームを曲げると**軌道の接線方向**に放射光を出す。



詳しく見ると、個々の電子は少しずつ違う方向に運動している。
それぞれ**自分の軌道の接線方向**に放射光を出す。

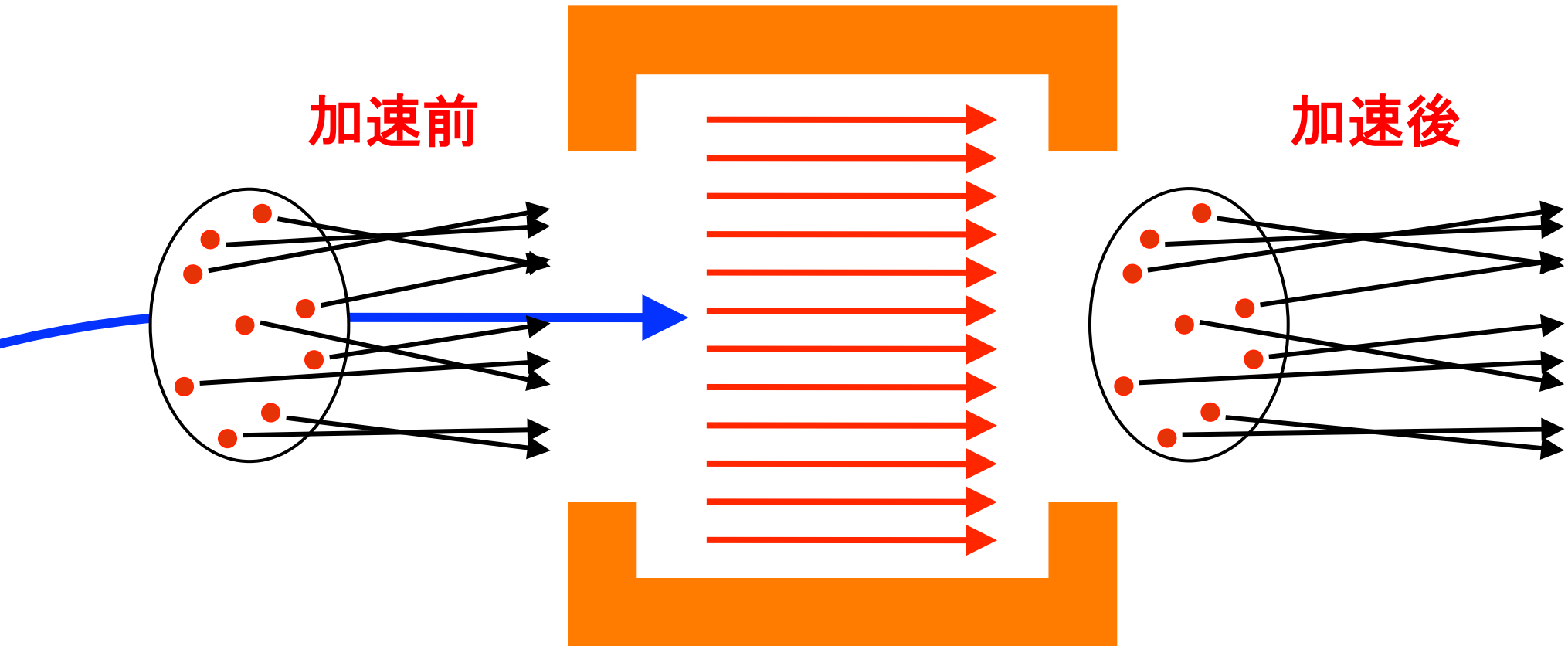
放射光を出した電子は、その分エネルギーが小さくなる。

エミッタンスを下げる方法



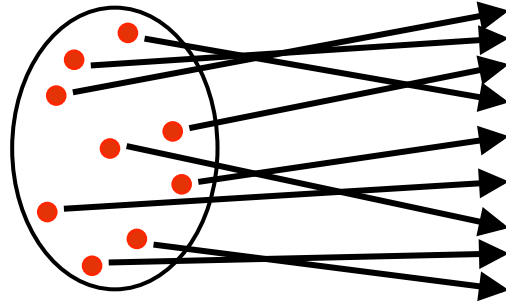
向きのよく揃った電場で加速する

エミッタンスを下げる方法

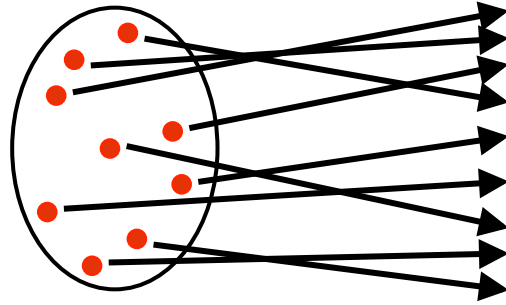


向きのよく揃った電場で加速する

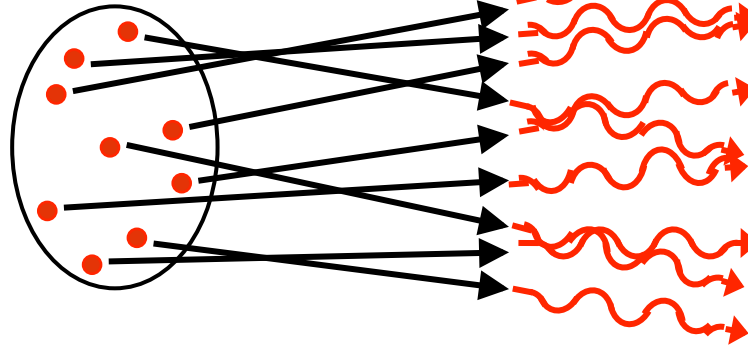
・ 最初の状態



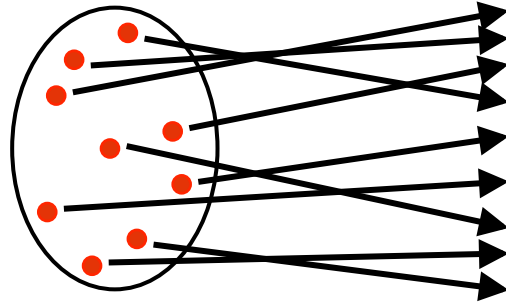
・ 最初の状態



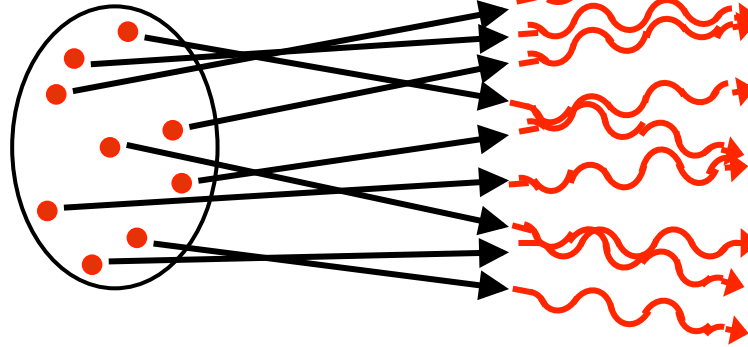
・ 曲げて放射光を出させる



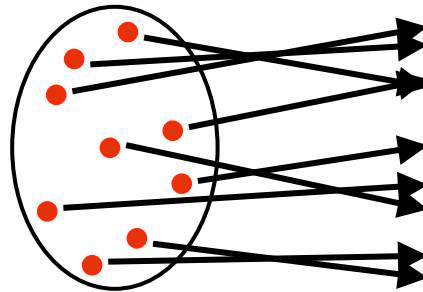
・ 最初の状態



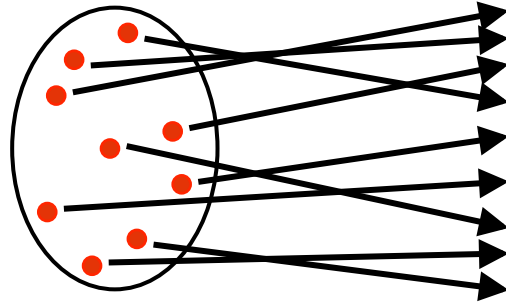
・ 曲げて放射光を出させる



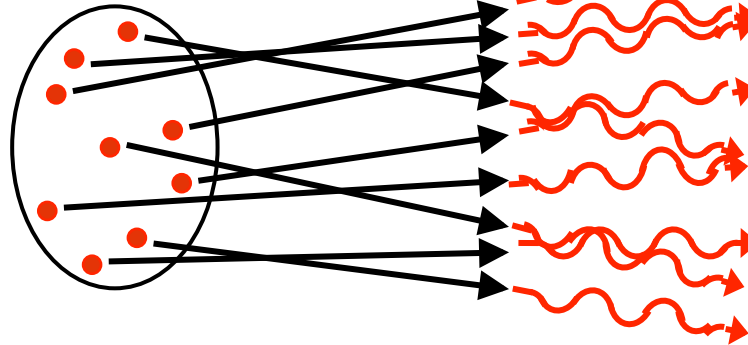
・ 放射光が出るとその分エネルギーを失う



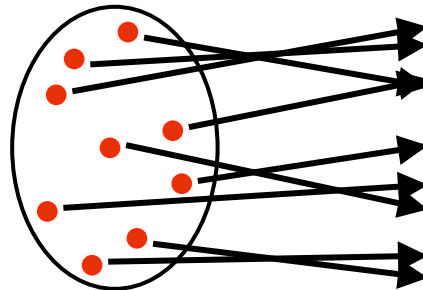
・ 最初の状態



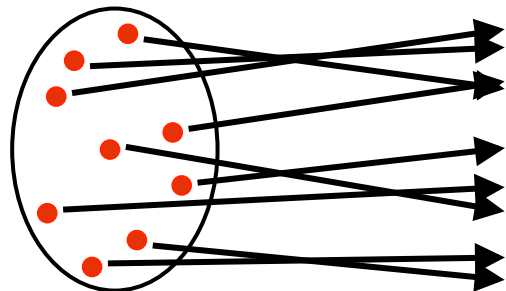
・ 曲げて放射光を出させる



・ 放射光が出るとその分エネルギーを失う

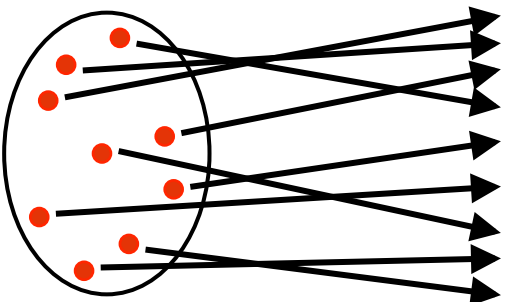


・ 向きの揃った電場で加速
(加速後の状態)

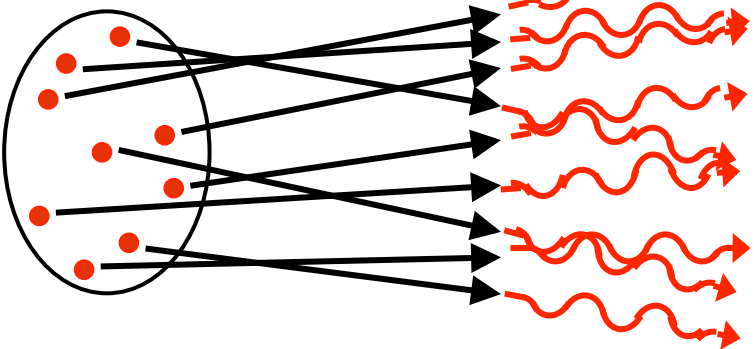


最初と最後を比べるとエミッタンスが良くなっている

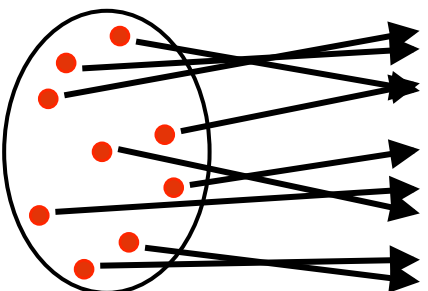
・ 最初の状態



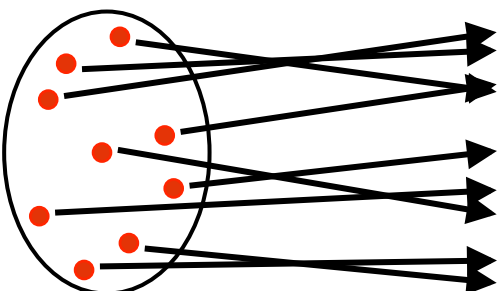
・ 曲げて放射光を出させる



・ 放射光が出るとその分エネルギーを失う

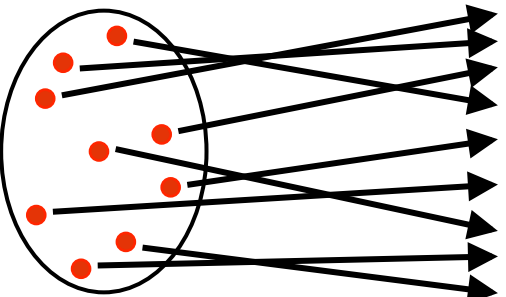


・ 向きの揃った電場で加速
(加速後の状態)

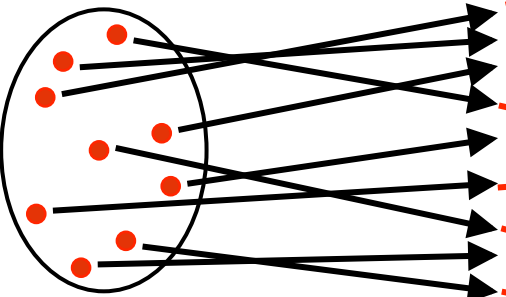


これを繰り返しやれば良い → リンダだ
最初と最後を比べるとエミッタンスが良くなっている

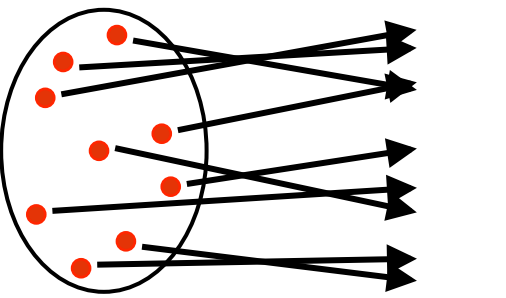
・ 最初の状態



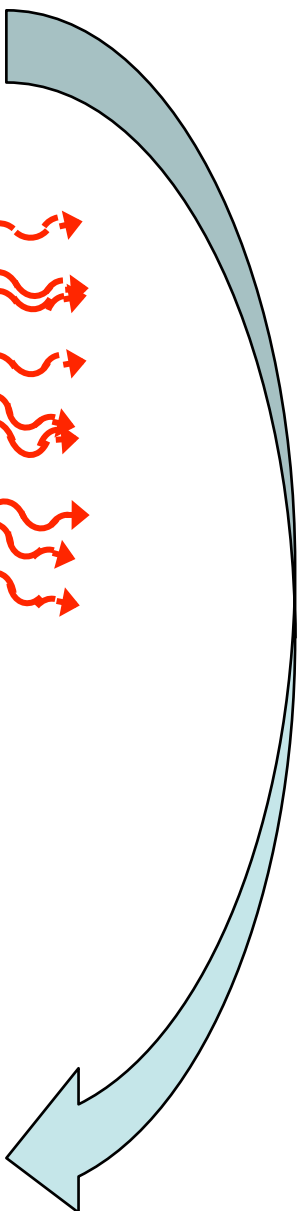
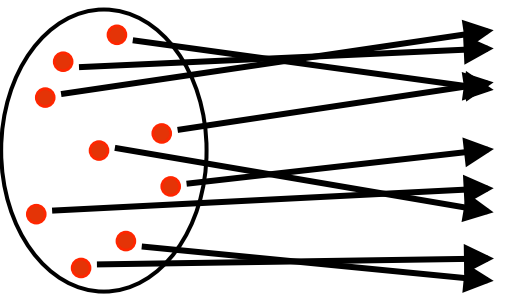
・ 曲げて放射光を出させる



・ 放射光が出るとその分エネルギーを失う

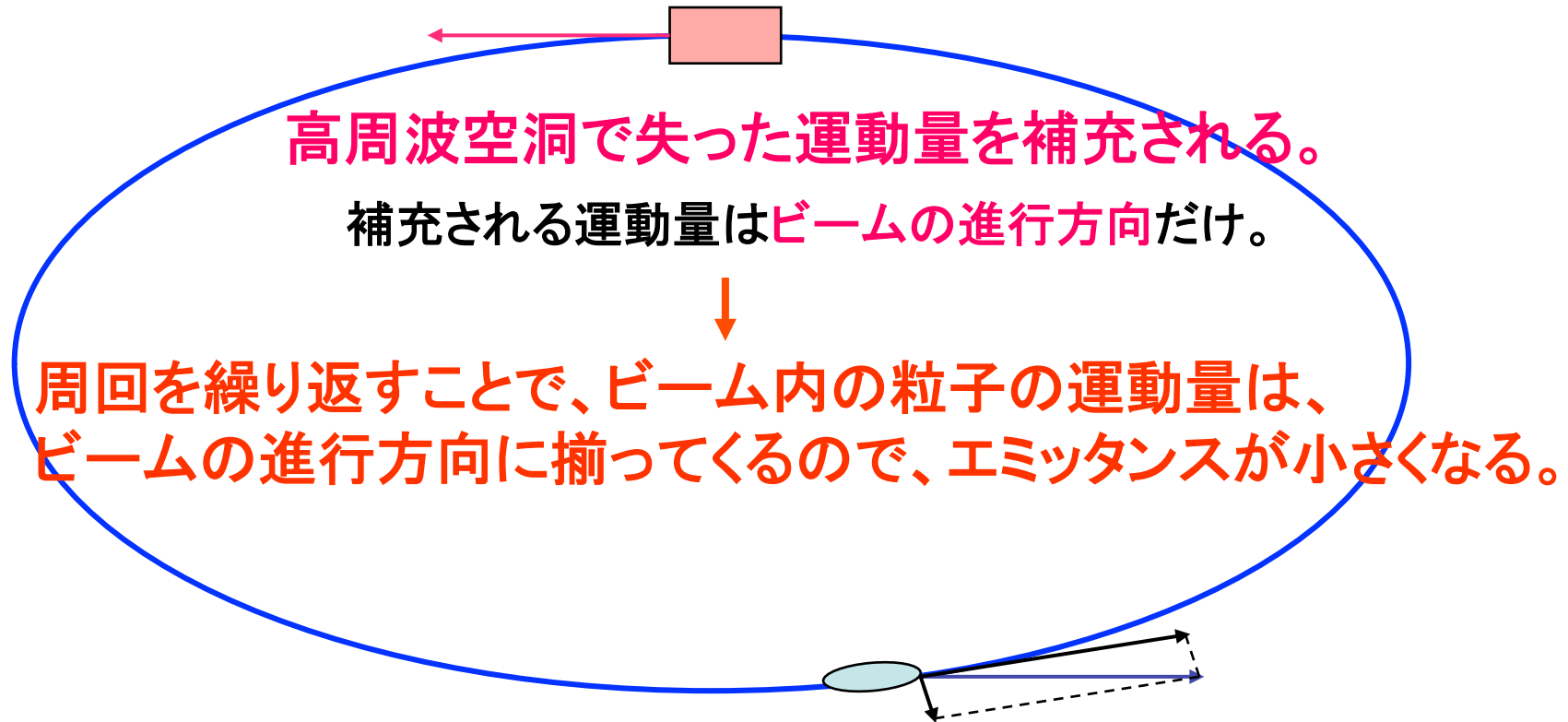


・ 向きの揃った電場で加速
(加速後の状態)



エミッタンスを下げる方法

リング状加速器でエミッタンスを小さくする仕組み



シンクロトロン放射で、運動量を損失する。

損失する運動量は、ビームの進行方向と
それに垂直な方向の両成分がある。



ATF2 parameters & Goals A/B

ATF2 proposed IP parameters compared with ILC

Parameters	ATF2	ILC
Beam Energy [GeV]	1.3	250
L^* [m]	1	3.5 – 4.2
$\gamma \epsilon_x$ [m-rad]	3×10^{-6}	1×10^{-5}
$\gamma \epsilon_y$ [m-rad]	3×10^{-8}	4×10^{-8}
β_x^* [mm]	4.0	21
β_y^* [mm]	0.1	0.4
η' (DDX) [rad]	0.14	0.094
σ_E [%]	~ 0.1	~ 0.1
Chromaticity W_y	$\sim 10^4$	$\sim 10^4$

- Scaled design of ILC local-chromaticity correction style optics.
- Same chromaticity as ILC optics.
- ATF2 goal for beam size is $\sim 37\text{nm}$
- ATF2 goal of 37nm , scaled to 250 GeV, would correspond to 2.7nm (\sim twice smaller than ILC design value of 5.7nm)
- The intermediate “ILC-scaled” milestone of ATF2 is $\sim 80\text{nm}$

素材：波線

すてるな!!!

