

回折限界を目指す光源リングとSPring-8-II計画

下崎義人 (JASRI / SPring-8)

Agenda

- 1 最初に(エミッタンスについて、など)
- 2 「回折限界を目指すリング(DLSR、USR)」の紹介
- 3 現在のSPring-8について
- 4 SPring-8-II計画の紹介
- 5 サマリー

2014年11月21日 先端放射光源に関する研究会

回折限界を目指す光源リングとSPring-8-II計画

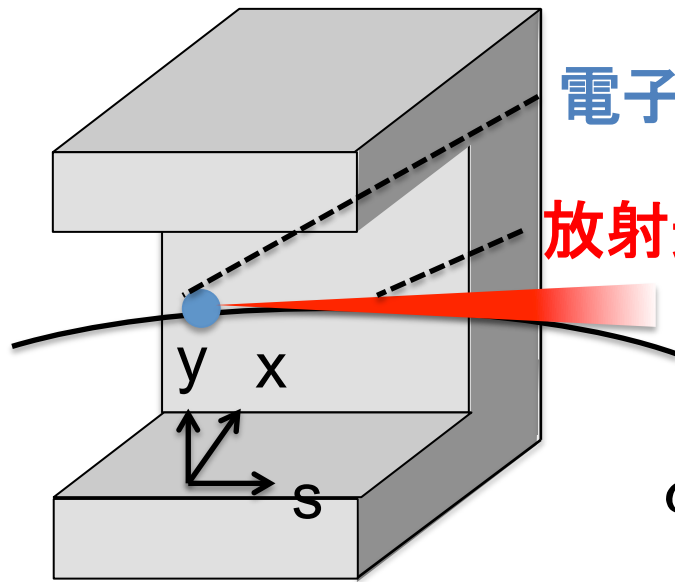
下崎義人 (JASRI / SPring-8)

Agenda

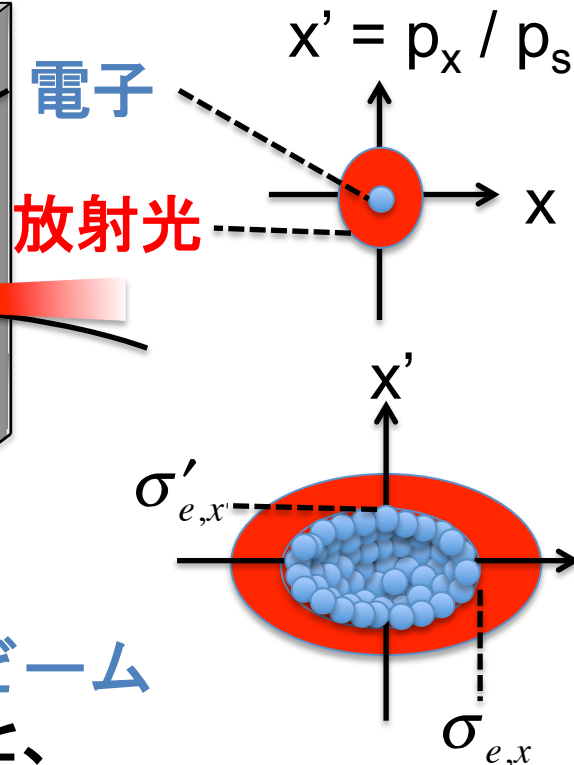
- 1 最初に(エミッタンスについて、など)
- 2 「回折限界を目指すリング(DLSR、USR)」の紹介
- 3 現在のSPring-8について
- 4 SPring-8-II計画の紹介
- 5 サマリー

2014年11月21日 先端放射光源に関する研究会

最初に (1 / 5) : 電子ビームのエミッタンスについて



相対論領域の電子ビーム
が磁場で曲げられると、
接線方向に放射光を出す



単一電子から出てくる光は、
位相空間で広がりを持つ



電子集団は位相空間で
広がりを持つので
(エミッタンス ϵ と呼ぶ)

光のサイズは、
そのconvolutionで広がる



電子の総数が変わらなければ、
電子のエミッタンスが小さい方が
光は明るくなる(輝度は高くなる)

最初に(2/5):ラティス関数について

ラティス関数: 加速器の磁石配置 (ラティスと呼ぶ) で決まる関数

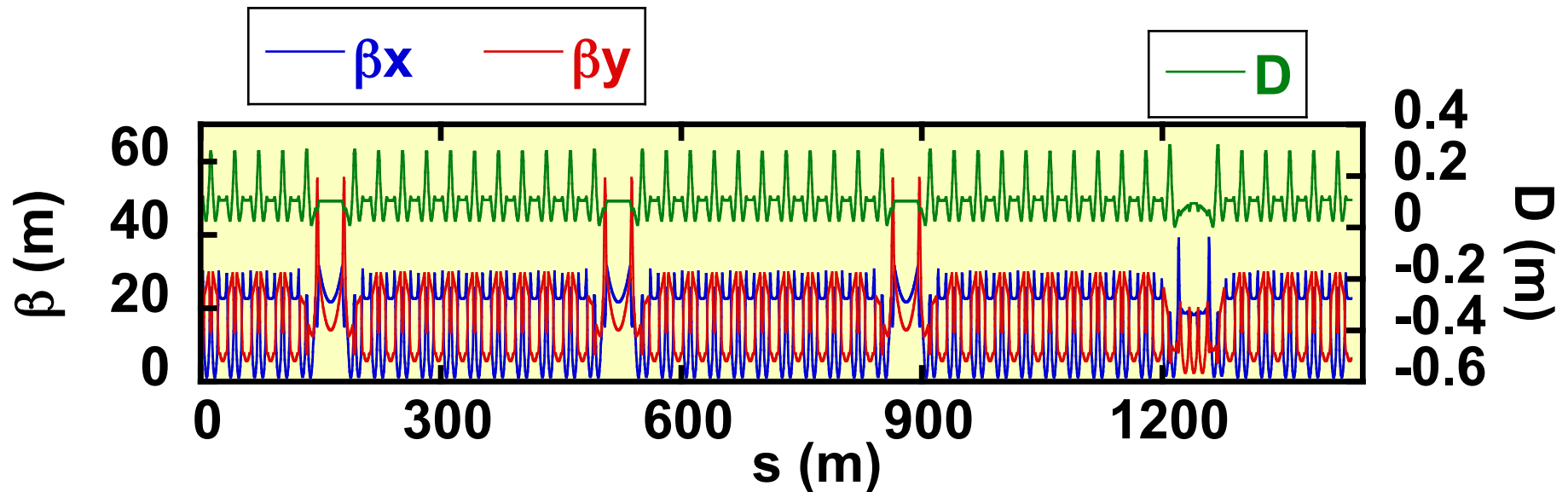
β : ベータ関数

D : 分散関数

実空間での電子ビームサイズ $\sigma_e = \sqrt{\varepsilon\beta + D^2\delta^2}$

ε : エミッタンス

δ : 理想電子からの運動量偏差



SPring-8のラティス関数

最初に(3 / 5) : 放射光の質を表すパラメータ

平均輝度 : フラックスを放射光の実効サイズで割ったもの

$$B_{\text{ril}} = \frac{\text{Flux}}{4\pi^2 \Sigma_x \Sigma'_x \Sigma_y \Sigma'_y}$$

$\Sigma^2 = \sigma_e^2 + \sigma_p^2$: 実空間における放射光の実効サイズ
(電子ビームと光子サイズの2乗和)

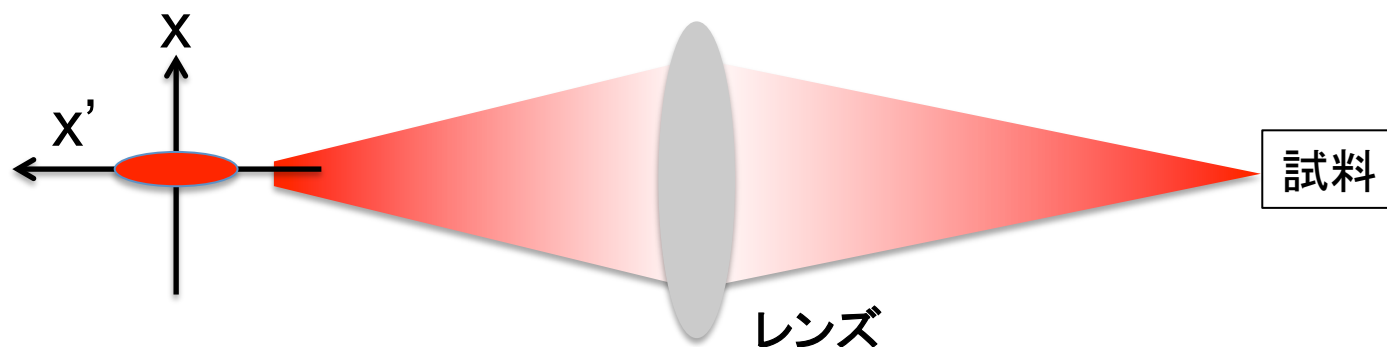
$\Sigma'^2 = \sigma'_e{}^2 + \sigma'_p{}^2$: 運動量空間における放射光の実効サイズ

$\Sigma \Sigma'$: 放射光の実効エミッタンス

コヒーレント比 : 放射光の実効サイズと光子サイズの比

$$p_x = \frac{\sigma_p \sigma'_p}{\Sigma_x \Sigma'_x}, \quad p_y = \frac{\sigma_p \sigma'_p}{\Sigma_y \Sigma'_y}$$

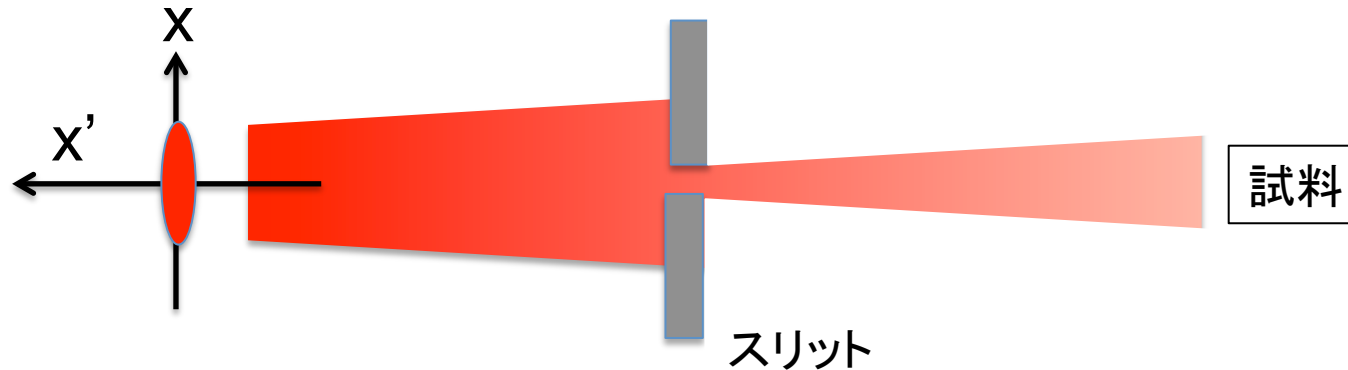
平均輝度、コヒーレント比が高い → 小さく集光できる光が多い



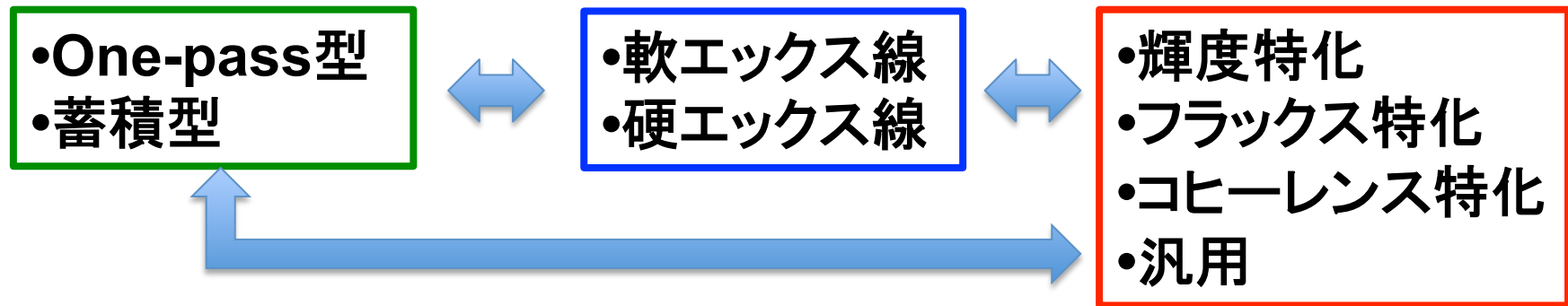
最初に(4 / 5) : 放射光の質を表すパラメータ (cont)

フラックス密度: 輝度を実空間で積分したもの $f_{den} = \frac{\text{Flux}}{2\pi\Sigma'_x\Sigma'_y}$

フラックス密度が高い → 軸上の光が明るい。
(狭いスリット幅で光を切った場合に
試料に当たる光が多い)



最初に(5 / 5):放射光施設について



ユーザーが求めるものによって
加速器の設計は、たぶん変わる(得手、不得手)

今回は、蓄積型で輝度とコヒーレンスに特化した加速器のお話

- 蓄積型の特徴:
- 平衡状態に達した電子ビームから放射光を生成する(再現性が高い)。
 - One-Pass型に比べると電子のエミッタンスが大きい。
→ **回折限界リングでエミッタンスを下げる**
(今回のお話)

回折限界を目指す光源リングとSPring-8-II計画

下崎義人 (JASRI / SPring-8)

Agenda

- 1 最初に(エミッタンスについて、など)
- 2 「回折限界を目指すリング(DLSR、USR)」の紹介
- 3 現在のSPring-8について
- 4 SPring-8-II計画の紹介
- 5 サマリー

2014年11月21日 先端放射光源に関する研究会

Diffraction Limited Storage Ring (DLSR)

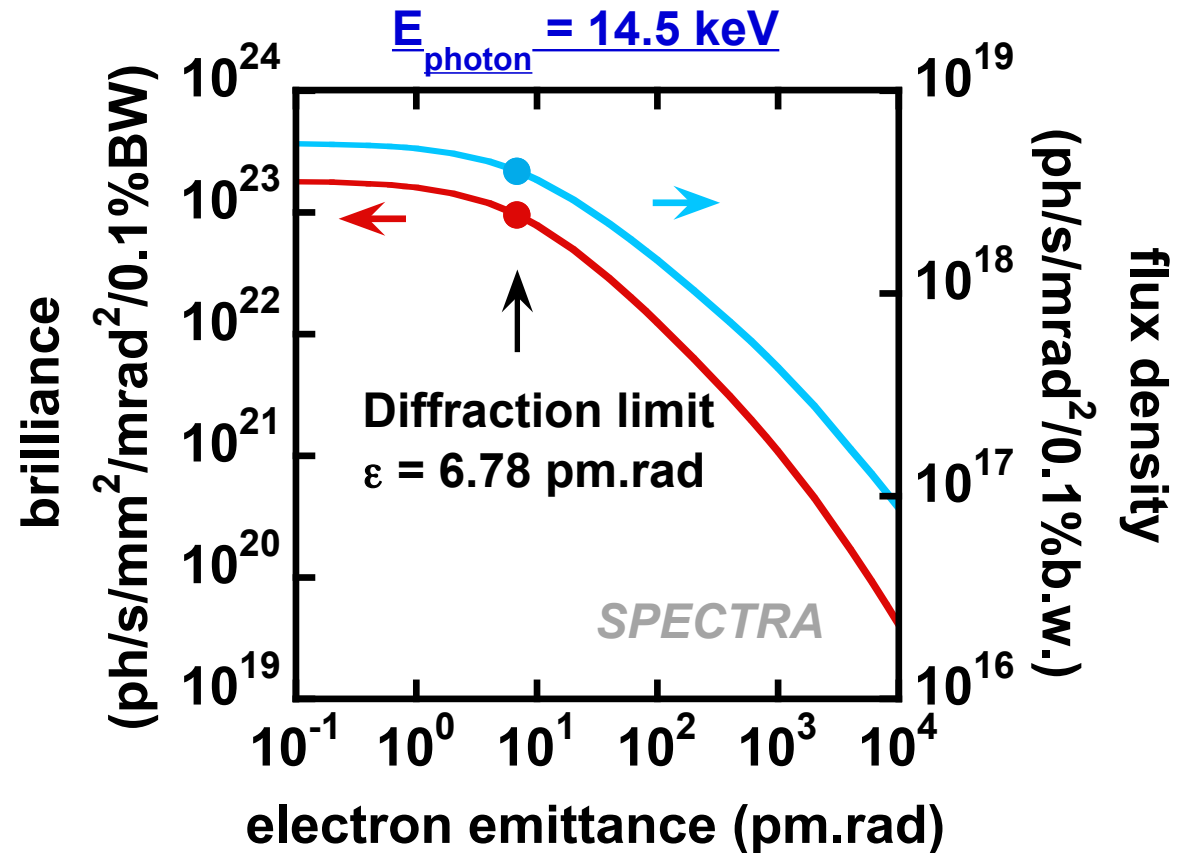
(定義)

電子ビームのエミッタンスを
回折限界:

$$\varepsilon = \frac{\lambda}{4\pi}$$

まで下げた放射光リング

回折限界まで電子ビームの
エミッタンスを下げると、
輝度・フラックス密度が飽和する



輝度とフラックス密度の
エミッタンス依存性

$E_{\text{electron}} = 8 \text{ GeV}$

$\beta_x = \beta_y = 0.65 \text{ m}, D = 0$

@ SP8 standard ID発光点

$\lambda_u = 32 \text{ mm}, L = 4.5 \text{ m}, K_{\text{max}} = 2.5$

Ultimate Storage Ring (USR)

(定義)

「DLSR」

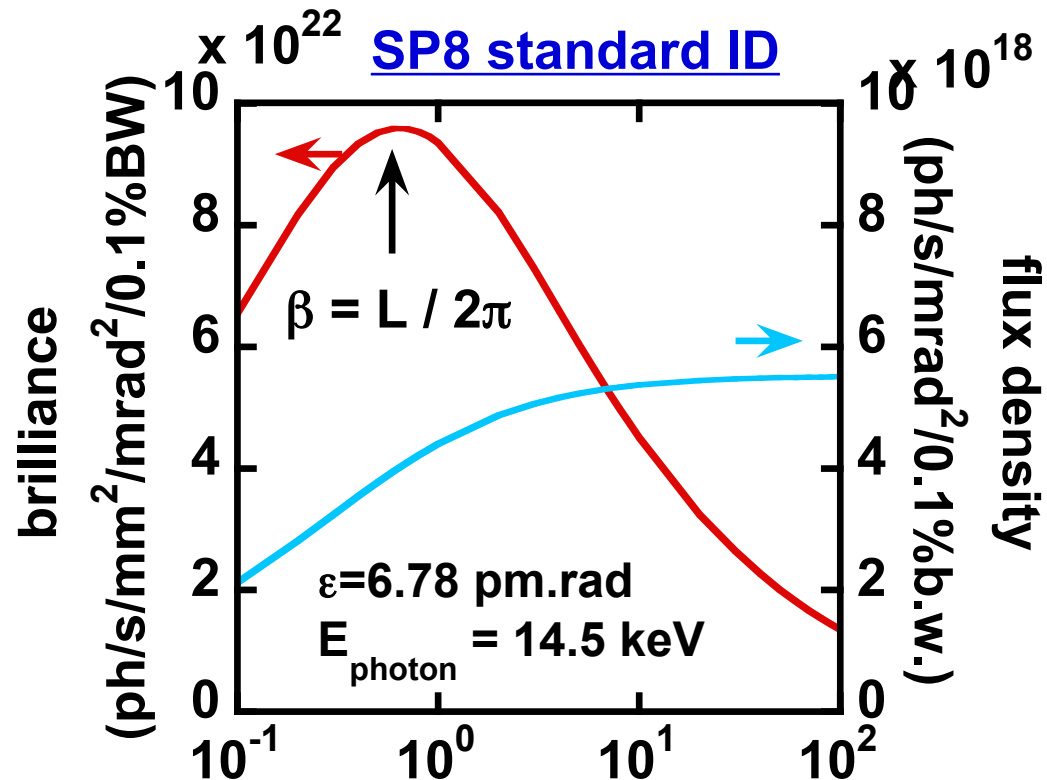
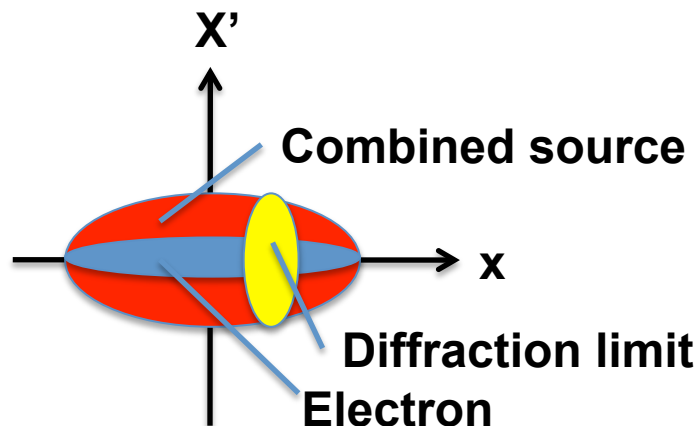
+

「発光点でのベータ関数を

$$\beta = \frac{L}{2\pi} \quad L: \text{IDの長さ}$$

まで下げる」

→ 輝度が最大になる



$$\beta_x = \beta_y = \beta$$

輝度とフラックス密度の
ベータ関数依存性

$E_{\text{electron}} = 8 \text{ GeV}$

$D = 0$ @ SP8 standard ID発光点

$\lambda_u = 32 \text{ mm}, L = 4.5 \text{ m}, K_{\text{max}} = 2.5$

Sub-nm.radエミッタンスリングの計画

R.Hettel, Proc. of IPAC2014, MOXBA01.

Facility	E (GeV)	C (m)	Lattice	ϵ (pm.rad)
NSLS-II (USA)	3	792	DBA + D.W.	600 (コミッショニング中)
MAX IX (Sweden)	3	528	7BA	326 (建設中)
Sirius (Brazil)	3	518	5BA	280 (建設中)
ESRF-Upgrade (France)	6	844	7BA	150 (建設決定)
APS-Upgrade (USA)	6	1104	7BA	147
SPring-8-II (Japan)	6	1436	5BA	100
ALS-Upgrade (USA)	1.9	195	9BA	100
BAPS (China)	5	1500		51-100
TauUSR (USA)	9	6280	7BA	3

D.W.: Damping Wiggler

既存の施設と建設・計画中の施設の比較

平衡エミッタンスの式

$$\varepsilon_{nat} = C_q \frac{\gamma^2 \langle H/\rho^3 \rangle}{J_x \langle 1/\rho^2 \rangle} \propto \frac{\gamma^2 \theta^3}{J_x}$$

γ : Lorentz factor

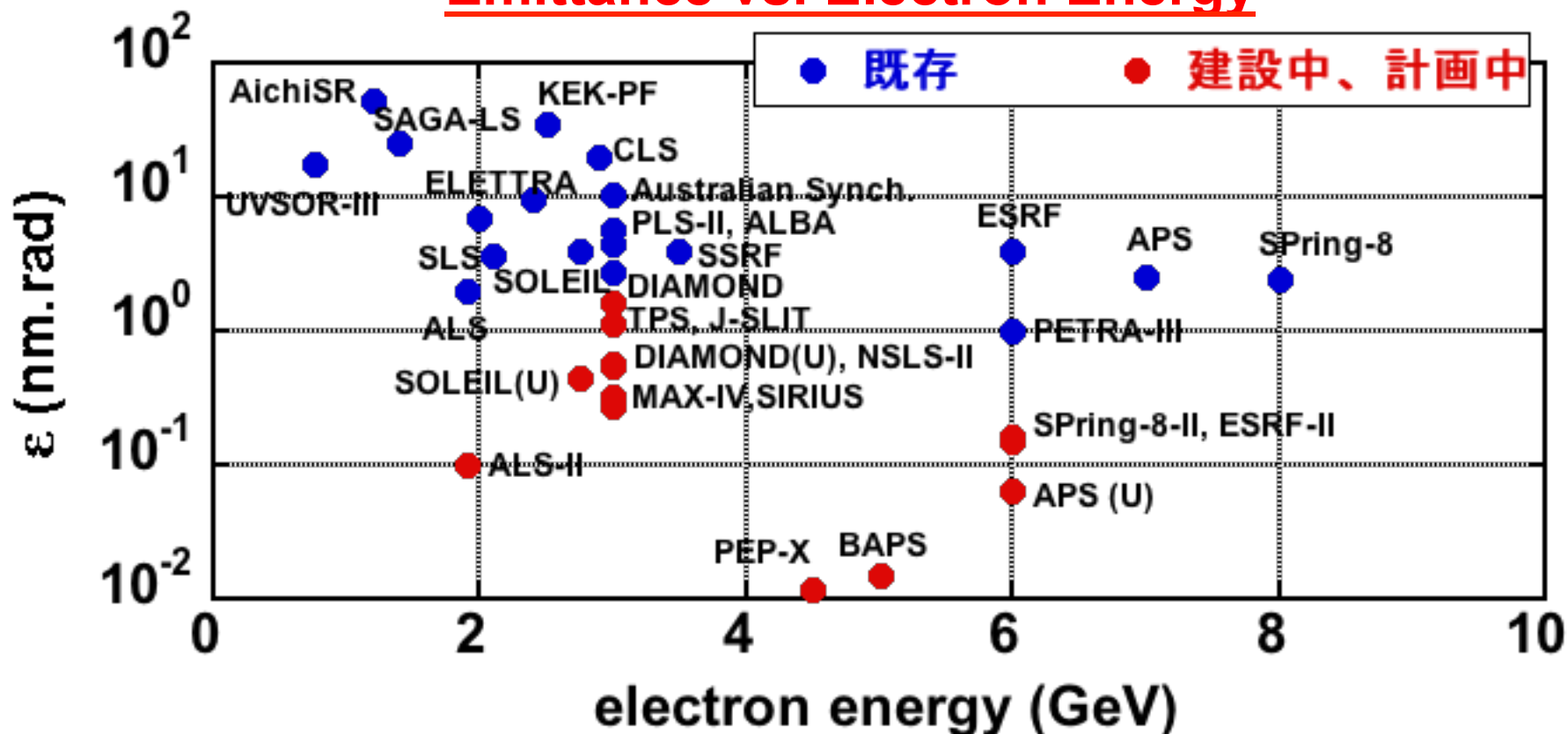
θ : Bending angle

ρ : Bending radius

H : H-function

J_x : Damping partition number

Emittance vs. Electron Energy



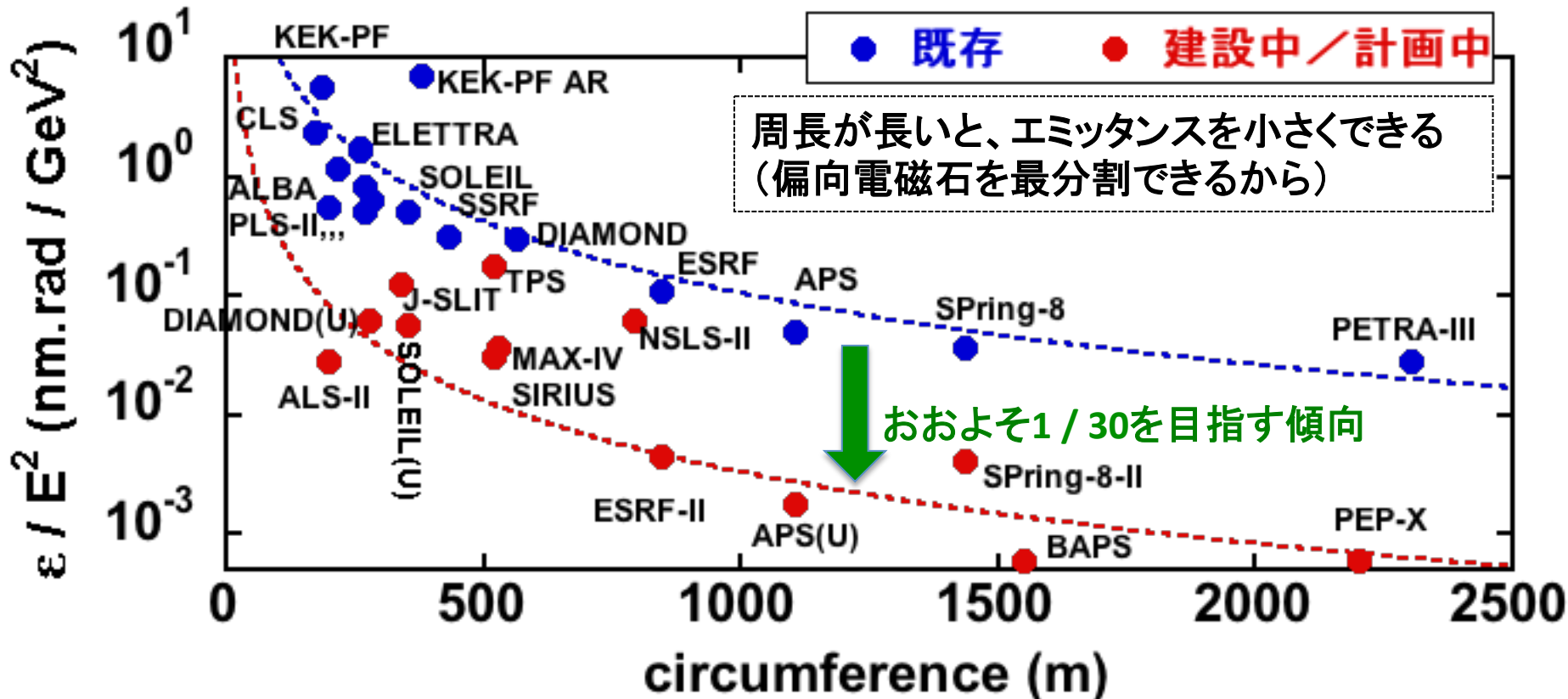
既存の施設と建設・計画中の施設の比較

平衡エミッタンスの式

$$\varepsilon_{nat} = C_q \frac{\gamma^2 \langle H/\rho^3 \rangle}{J_x \langle 1/\rho^2 \rangle} \propto \frac{\gamma^2 \theta^3}{J_x}$$

γ : Lorentz factor
 θ : Bending angle
 ρ : Bending radius
 H : H-function
 J_x : Damping partition number

Normalized Emittance (ε / E^2) vs. Circumference



低エミッタンス化の取り組み

平衡エミッタンスの式

$$\varepsilon_{nat} = C_q \frac{\gamma^2 \langle H/\rho^3 \rangle}{J_x \langle 1/\rho^2 \rangle} \propto \frac{\gamma^2 \theta^3}{J_x}$$

γ : Lorentz factor

θ : Bending angle

ρ : Bending radius

H : H-function

J_x : Damping partition number

1 低エミッタンス化に向けて:

- Multi-bend化 ($\varepsilon \propto \theta^3$)。
- B+QのCombined Magnetの利用 ($\varepsilon \propto 1/J_x$)。
- Longitudinally varying dipole fieldの利用。

$$(\varepsilon \propto \langle H/\rho^3 \rangle / \langle 1/\rho^2 \rangle)$$

2 狭い安定領域(ダイナミックアパーチャ)の問題解決に向けて:

- Amplitude Dependent Tune shiftの補正、
Resonance Driving Termの補正、Interleaved Sxの導入
- 遺伝的アルゴリズムの導入

Multi-bend Scheme for Emittance Reduction

Equation of natural emittance:

$$\epsilon_{nat} = C_q \frac{\gamma^2 \langle H/\rho^3 \rangle}{J_x \langle 1/\rho^2 \rangle} \propto \frac{\gamma^2 \theta^3}{J_x}$$

γ : Lorentz factor

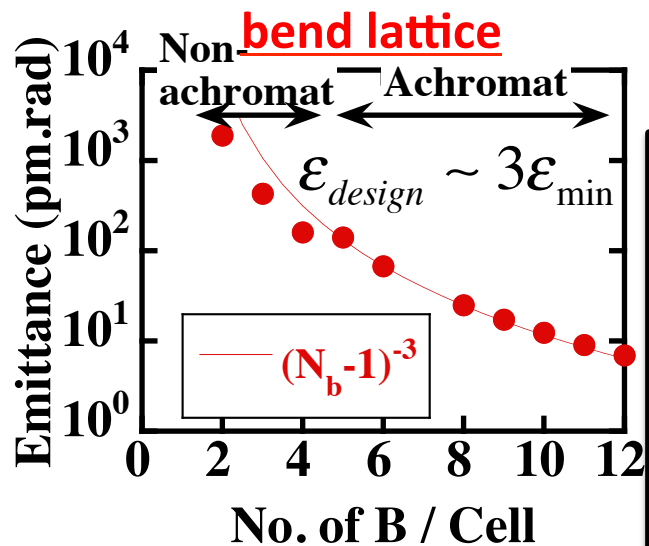
θ : Bending angle

ρ : Bending radius

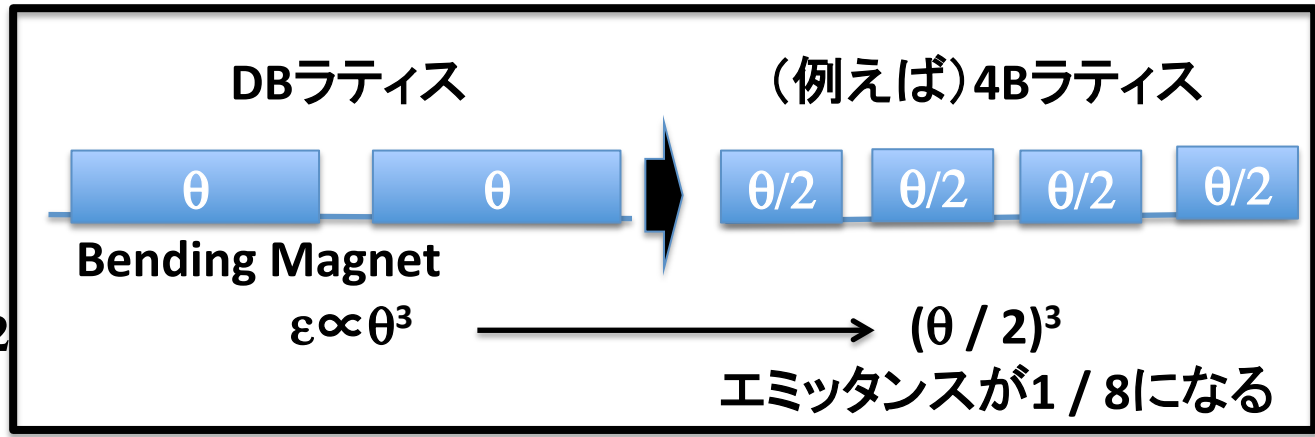
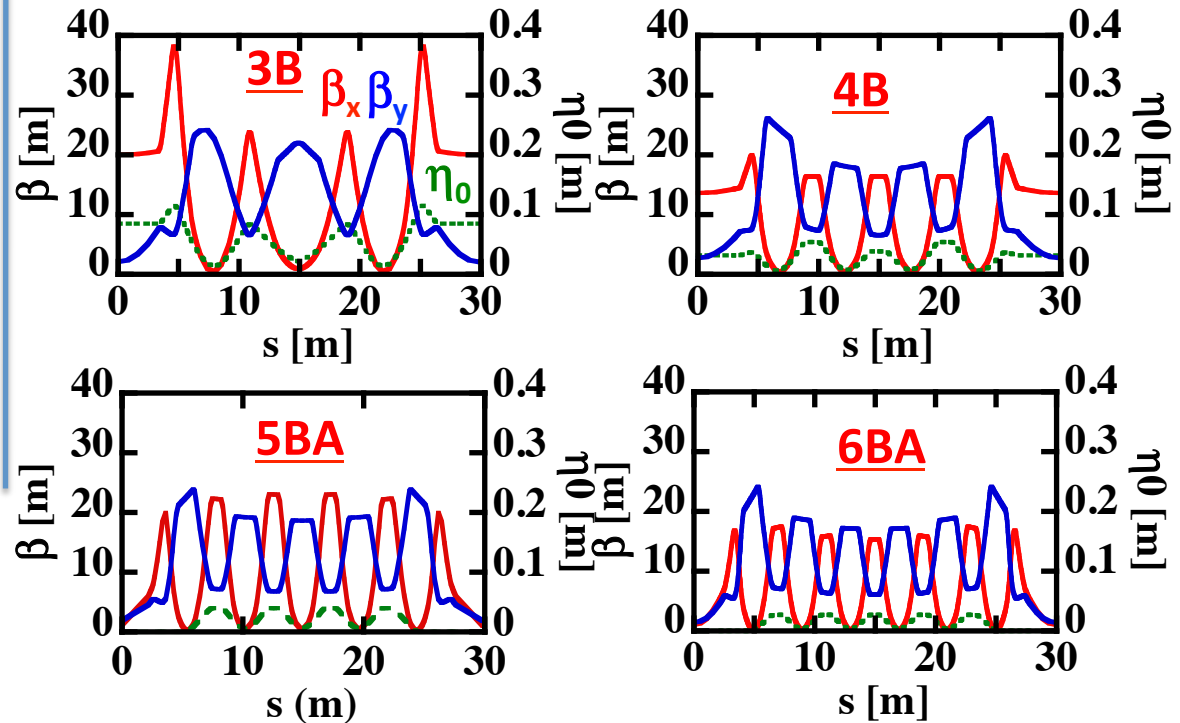
H : H-function

J_x : Damping partition number

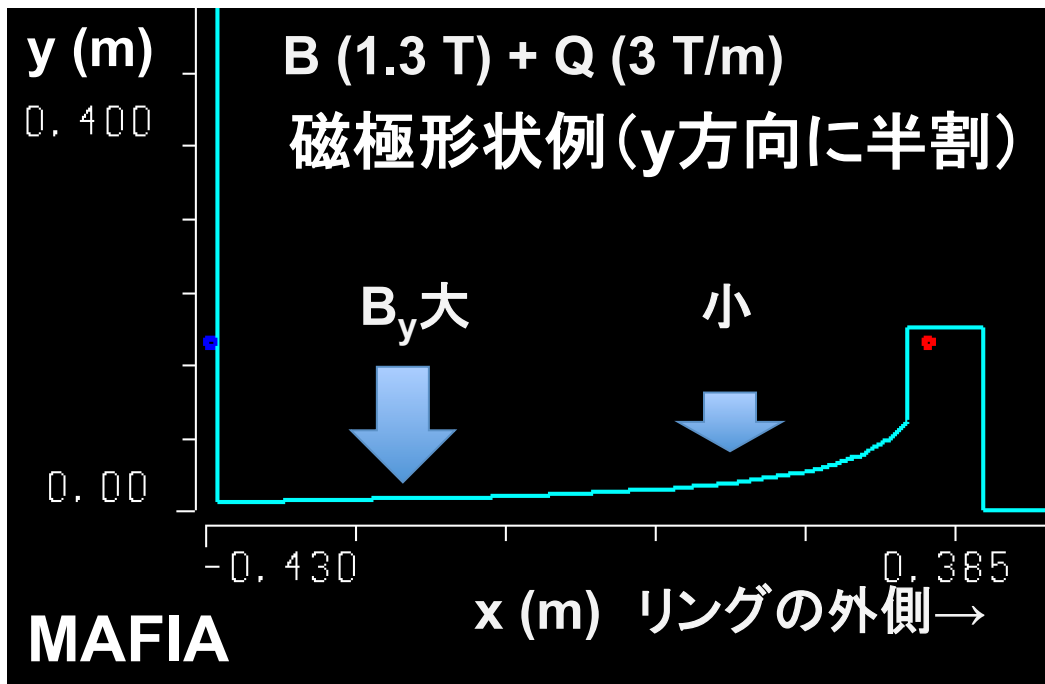
Evaluated emittance of multi-



Lattice design of multi-bend lattice



B+QのCombined Magnetの利用



パワーロス $\propto E^2 B^2$

+

エネルギーの高い(低い)粒子は
リングの外側(内側)へ行く

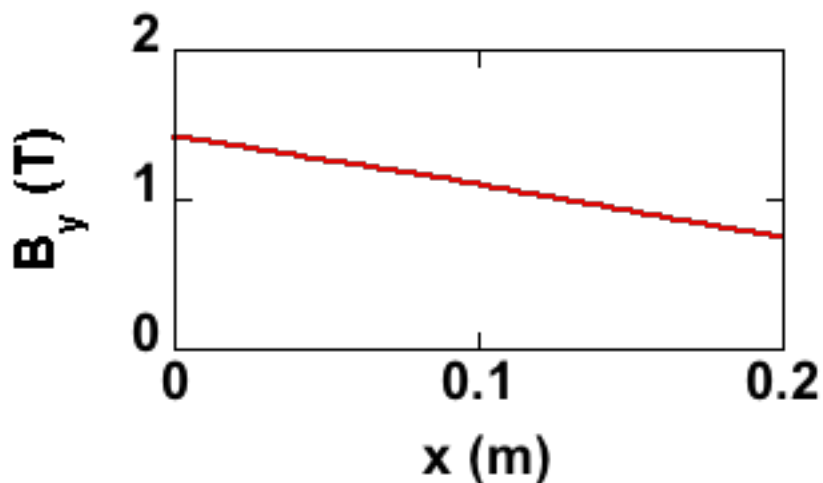
+

外側(内側)に行くほど
 B_y が弱く(強く)なる

@ "B" + "Defocusing Q"



- 運動量ばらつきは大きくなる
- x方向エミッタンスは小さくなる



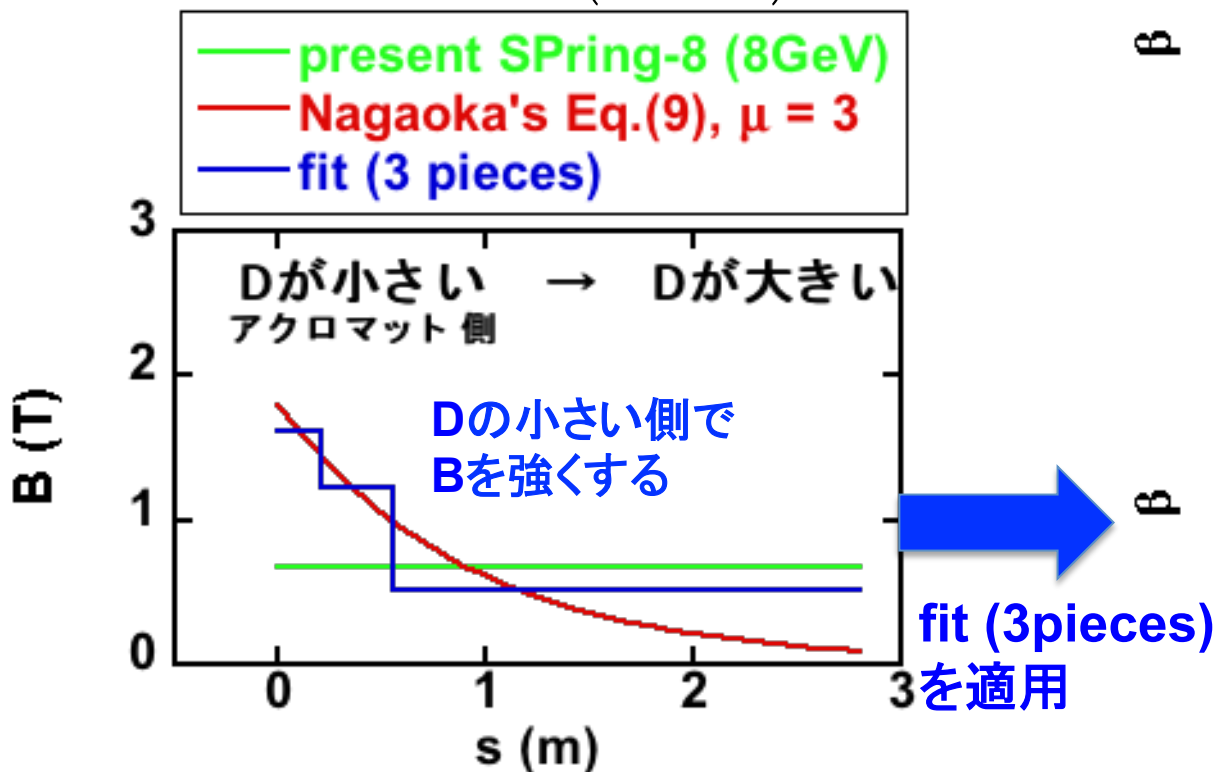
磁場計算例 (MAFIA).

Longitudinally varying dipole fieldの利用例

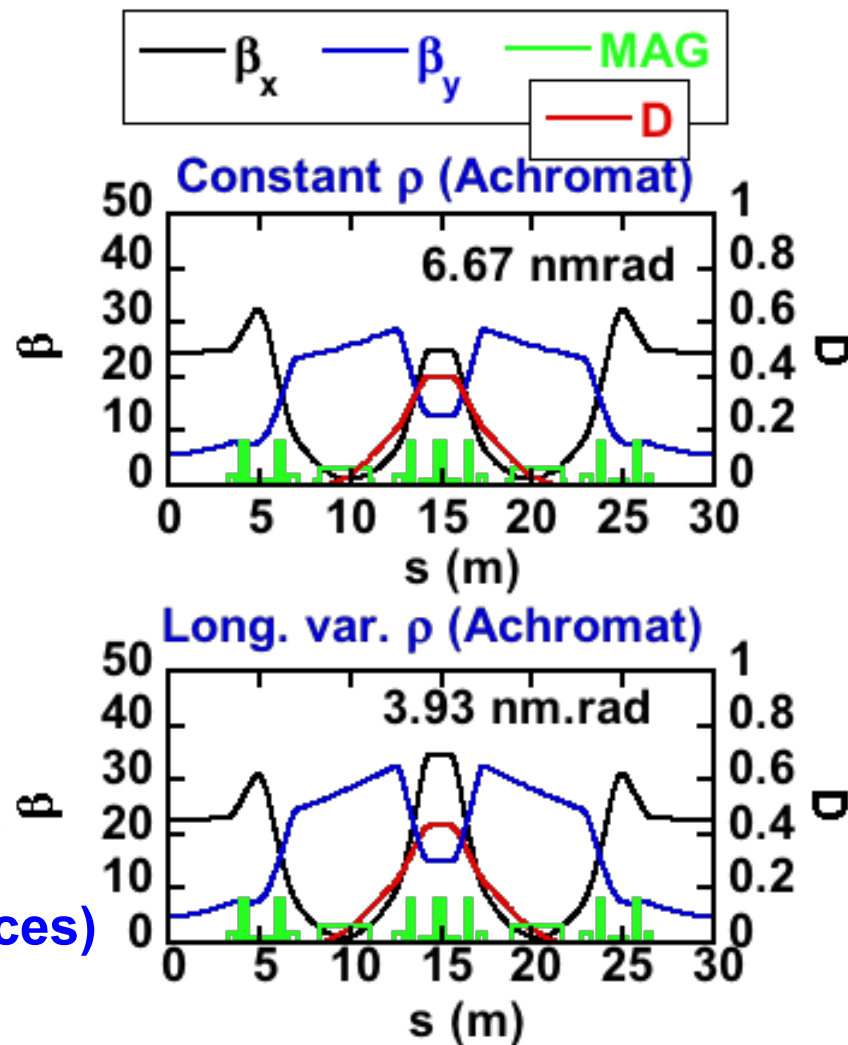
$\varepsilon \propto \langle H/\rho^3 \rangle / \langle 1/\rho^2 \rangle$ が小さくなるように ρ を調整する

例えば R. Nagaoka, A. F. Wrulich,
NIMA 575, 292 (2007).

$$\rho^{-1}(s) = \frac{\mu}{\rho_0} \frac{e^{-\frac{\mu}{L}s}}{(1 - e^{-\mu})} \quad (9)$$



ρ 調整の例 (1台のBを3分割).



SPring-8 DBAに適用した場合の例

Sub-nm.radエミッタンスリングの計画

R.Hettel, Proc. of IPAC2014, MOXBA01.

Facility	E (GeV)	C (m)	Lattice	ϵ (pm.rad)
NSLS-II (USA)	3	792	DBA + D.W.	600 (コミッショニング中)
MAX IX (Sweden)	3	528	7BA	326 (建設中)
Sirius (Brazil)	3	518	5BA	280 (建設中)
ESRF-Upgrade (France)	6	844	7BA	150 (建設決定)
APS-Upgrade (USA)	6	1104	7BA	147
SPring-8-II (Japan)	6	1436	5BA	100
ALS-Upgrade (USA)	1.9	195	9BA	100
BAPS (China)	5	1500		51-100
TauUSR (USA)	9	6280	7BA	3

D.W.: Damping Wiggler

NSLS-II (USA)

- DBAラティス。Damping wigglerで、エミッタンスを2.1 nm.radから0.55 nm.radまで下げる。
- $E = 3 \text{ GeV}$, $I = 500 \text{ mA}$ 。
- 周長792 m。直線部は5 m x 15 + 8 m x 15。
- コミッショニング中。第3世代でSub-nm.radに到達する

最初のリング。

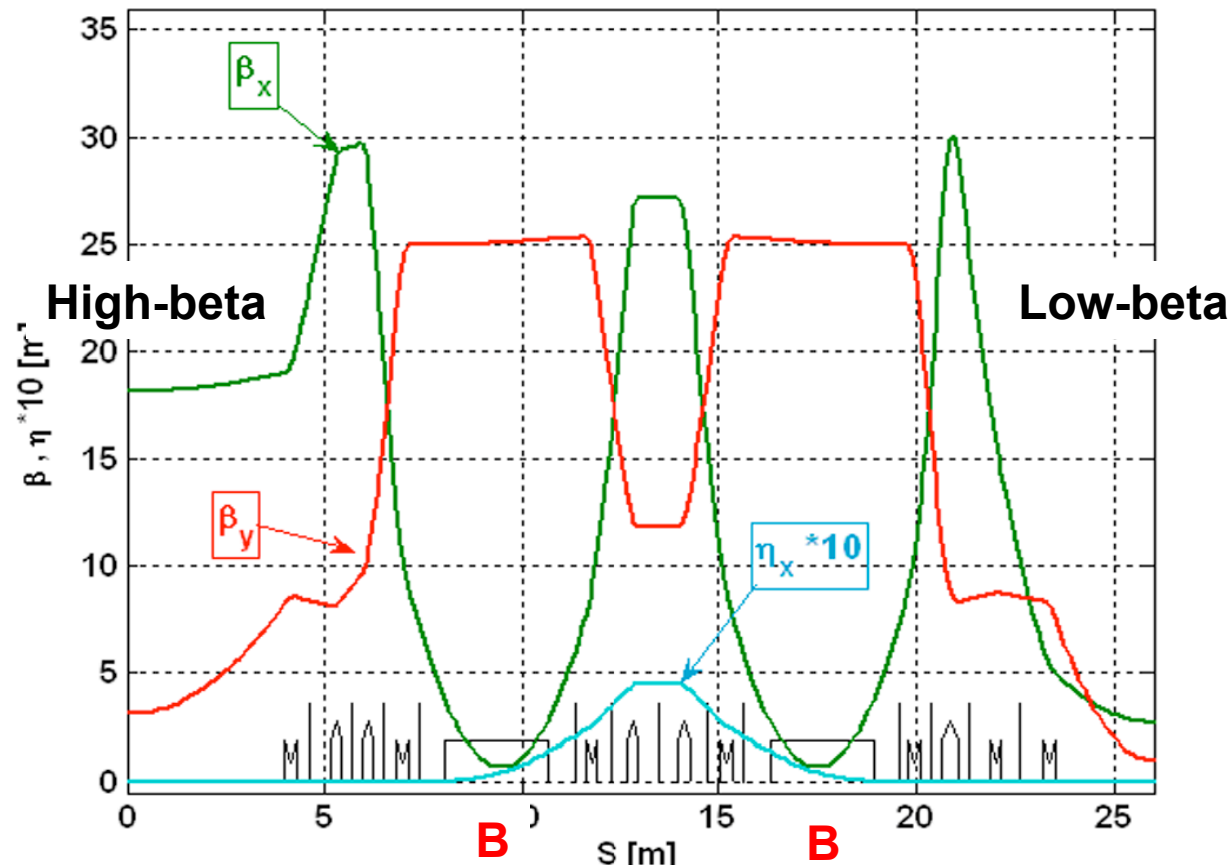
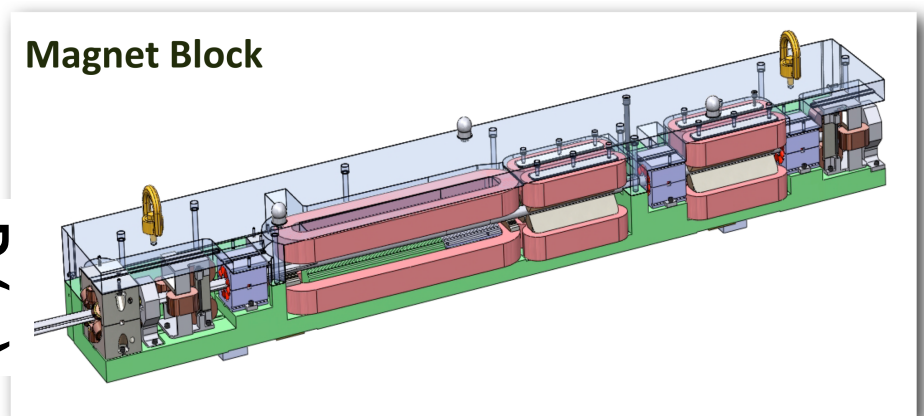
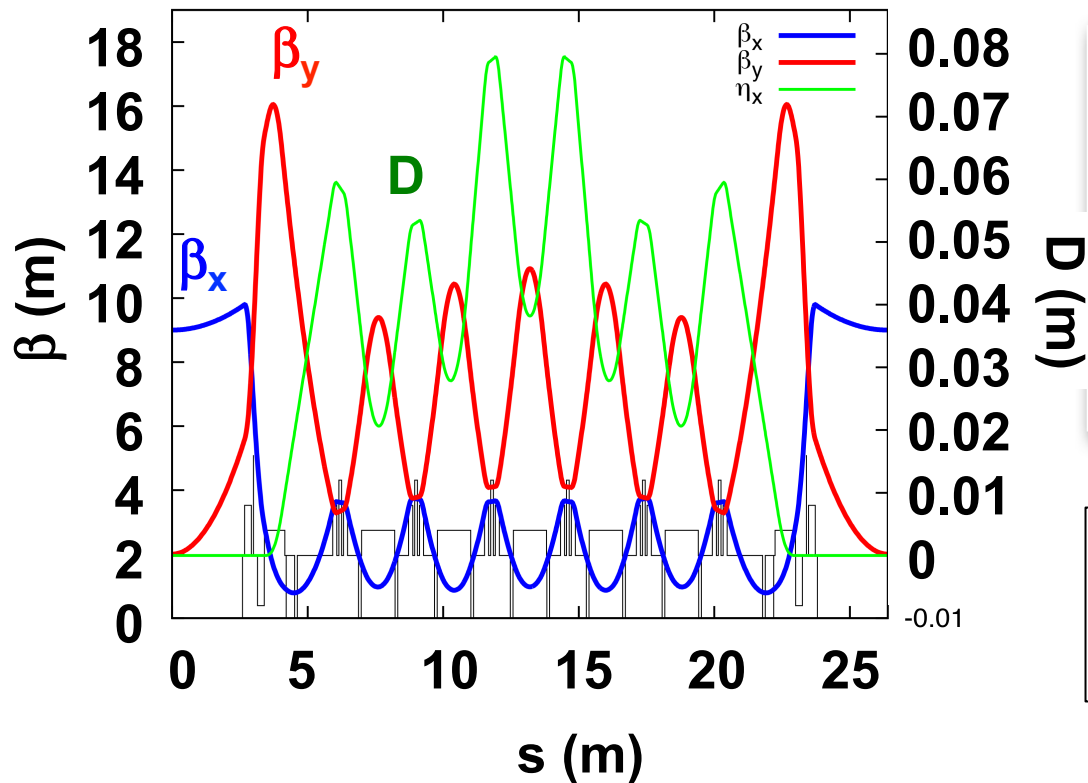


Figure 4.1.4 Lattice functions of half of an NSLS-II storage ring super-period.

NSLS-II CDR (2006).

Max IV (Sweden)

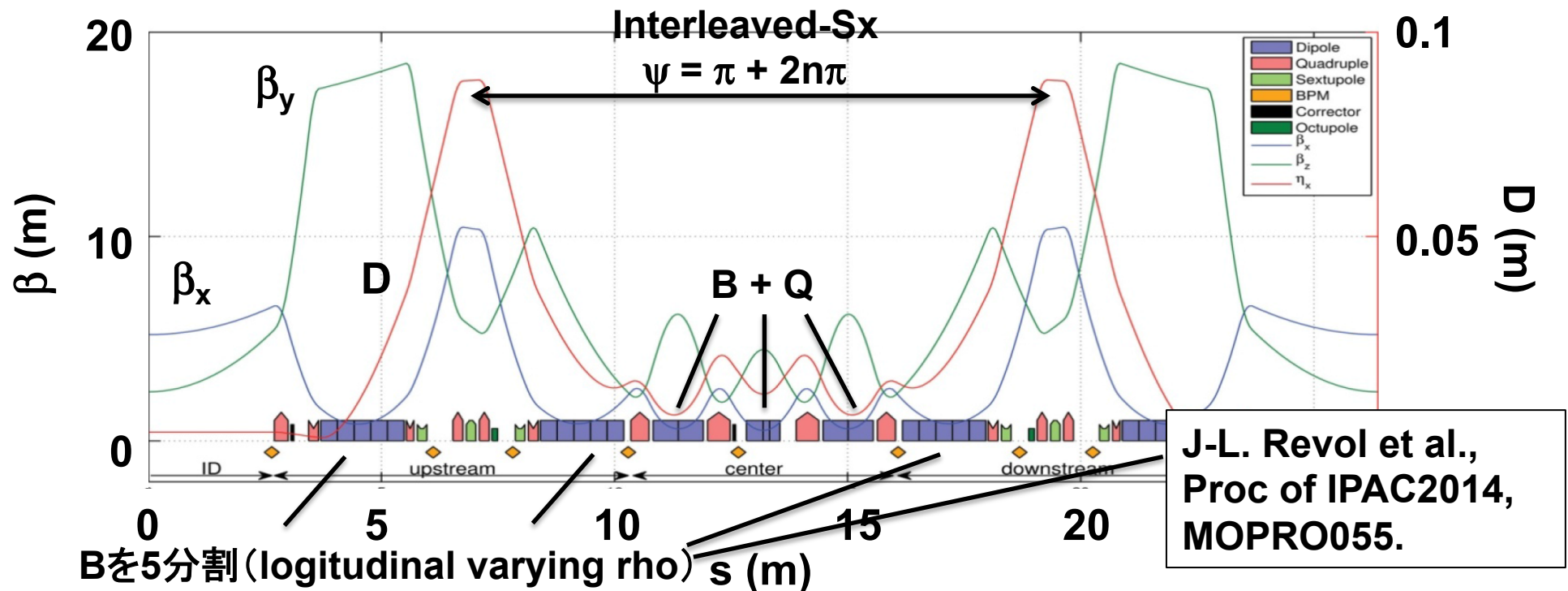
- 7BAラティス。 $\varepsilon_x = 0.326$ nm.rad。
- B (0.5T) + Q (9T/m)のcombined magnetを使用($J_x = 1.85$)。
- $E = 3$ GeV, $I = 500$ mA。周長は528 m。直線部は5 m x 20。
- Amplitude dependent tune shiftを補正するために八極使用。
- 来夏からコミッショニング開始。Multi-bendでsub-nm.radリングに到達する最初のリングになる。世界中が注目。



S. Leemann, Workshop on
Accelerator R&D for USRs
(Beijing, 2012).

ESRF-II (France)

- 7BAラティス。 $\varepsilon_x = 0.150$ nm.rad。
Longitudinally varying dipole fieldを使用。
- B (0.5T) + Q (34T/m)のcombined magnetを使用 ($J_x = 1.53$)。
- E = 6 GeV, I = 200 mA。
- 周長は844 m。直線部は5 m x 32。
- 非線形オプティクス最適化対策：
低クロマチシティ + 低 β 、Interleaved Sx、Oct



回折限界を目指す光源リングとSPring-8-II計画

下崎義人 (JASRI / SPring-8)

Agenda

- 1 最初に(エミッタンスについて、など)
- 2 「回折限界を目指すリング(DLSR、USR)」の紹介
- 3 現在のSPring-8について**
- 4 SPring-8-II計画の紹介
- 5 サマリー

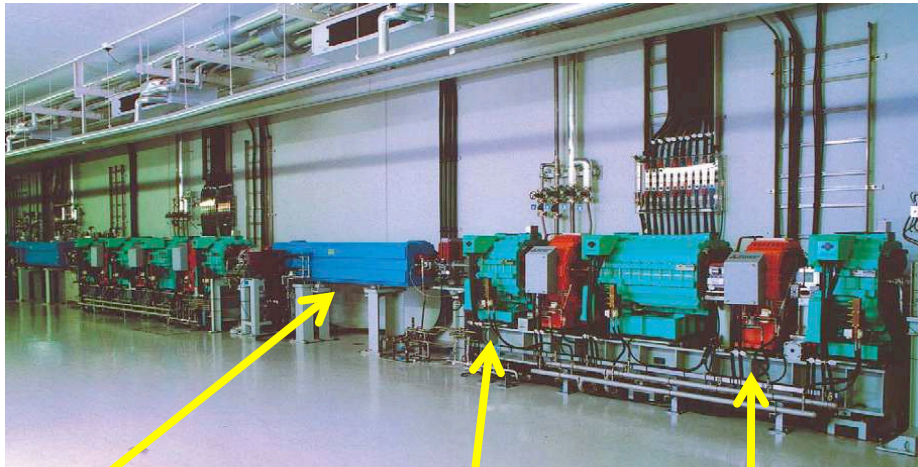
2014年11月21日 先端放射光源に関する研究会

現在のSPring-8蓄積リング

SPring-8: 第3世代大型放射光施設 (8 GeV、100 mA)
Top-up入射によるユーザー運転



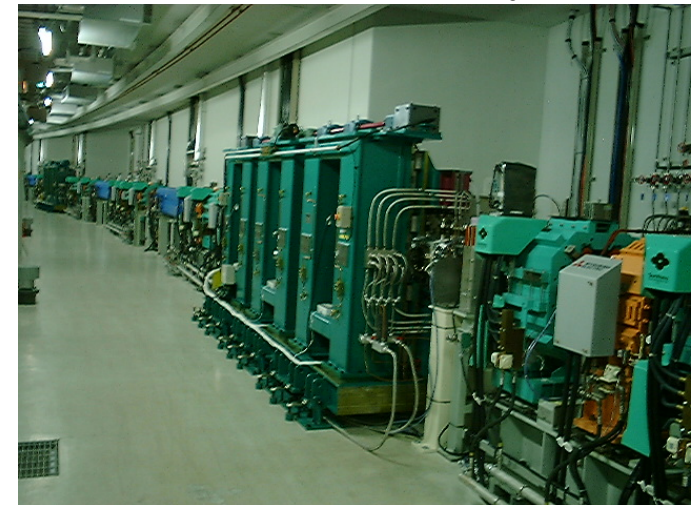
Standard Undulator
 $\lambda = 3.2\text{cm}$, $L = 4.5\text{m}$, $K_{\text{max}} = 2.5$



偏向電磁石
88台

4極電磁石
470台

6極電磁石
276台

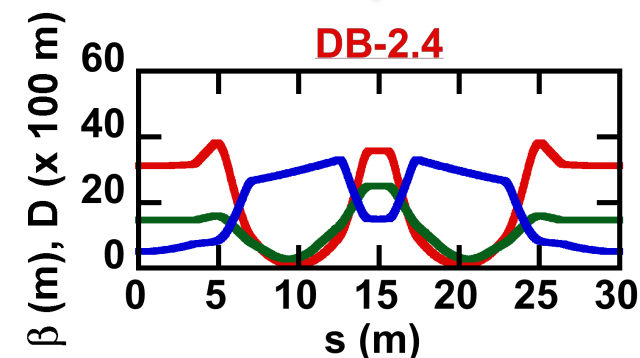
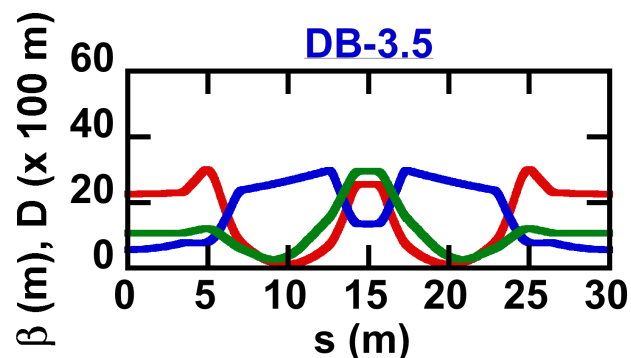
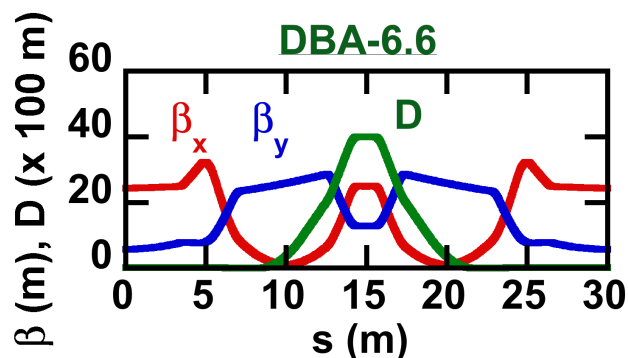


SPring-8 Storage Ring Design Parameters @ 8 GeV



	DBA-6.6 ~ Nov. 2002	DB-3.5 ~ May 2013	DB-2.4 Present
Natural Emittance	6.67 nm.rad	3.49 nm.rad	2.41 nm.rad
Effective Emittance	6.67 nm.rad	3.77 nm.rad	2.79 nm.rad
Energy Spread σ_E / E	0.11 %		
Betatron Tune	(40.15 , 18.35)	(40.14 , 19.35)	(41.14 , 19.35)
Natural Chromaticity	(-91, -42)	(-88 , -42)	(-117 , -47)
(β_x, β_y) @ ID	(24.4 m , 5.8 m)	(22.5 m , 5.6 m)	(31.2 m , 5.0 m)
Dispersion D @ ID	0.00 m	0.11 m	0.15 m

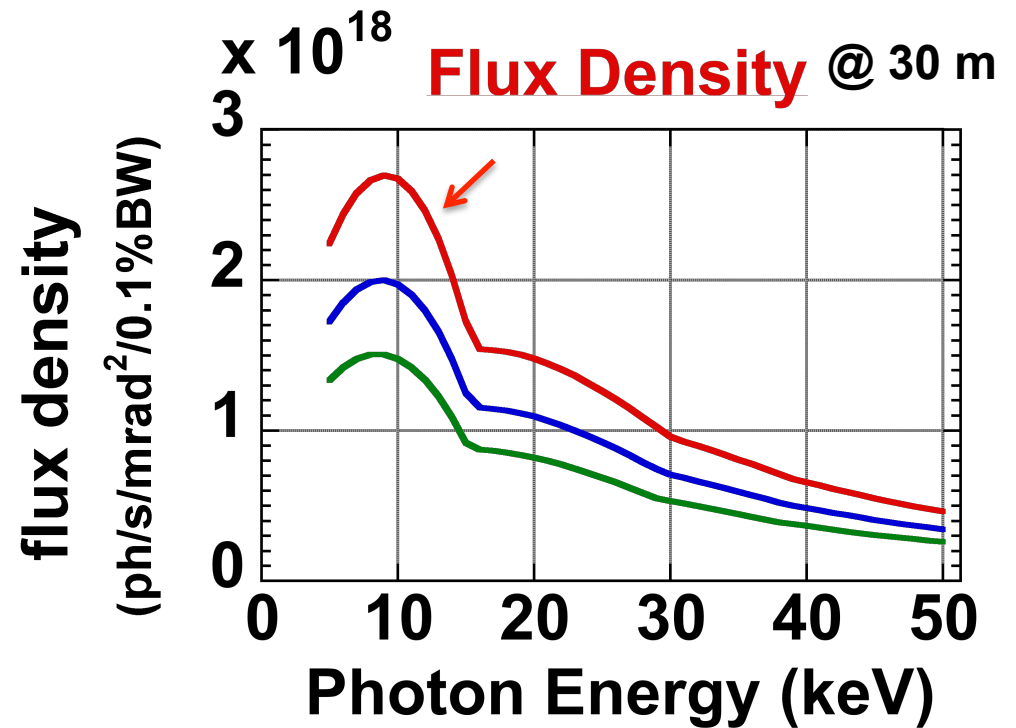
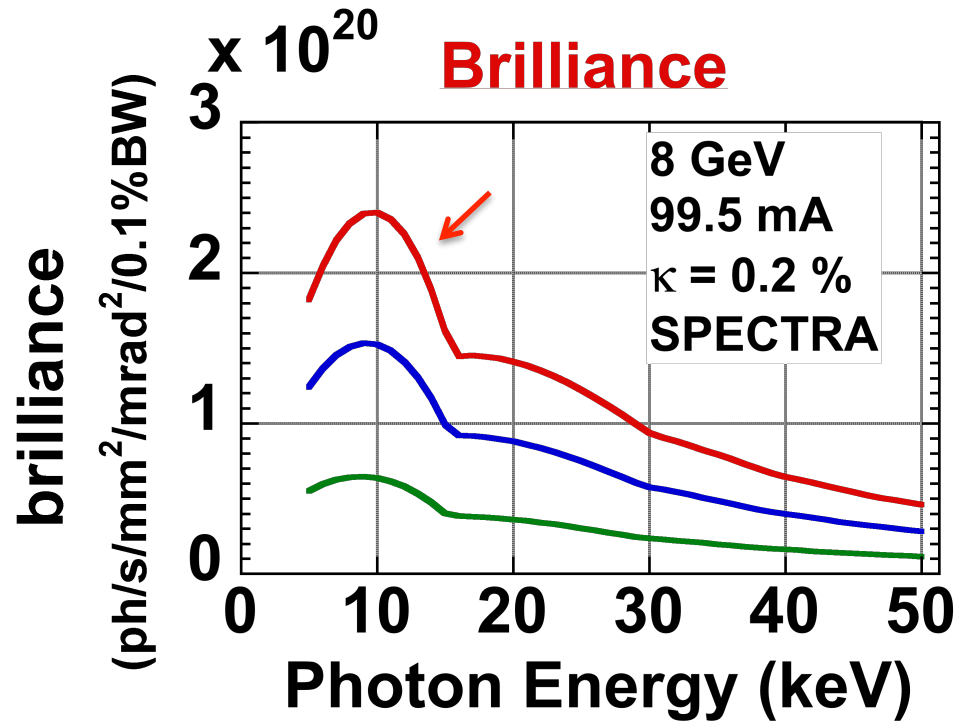
Lattice Function



輝度・フラックス密度

SPring-8 Standard Undulator

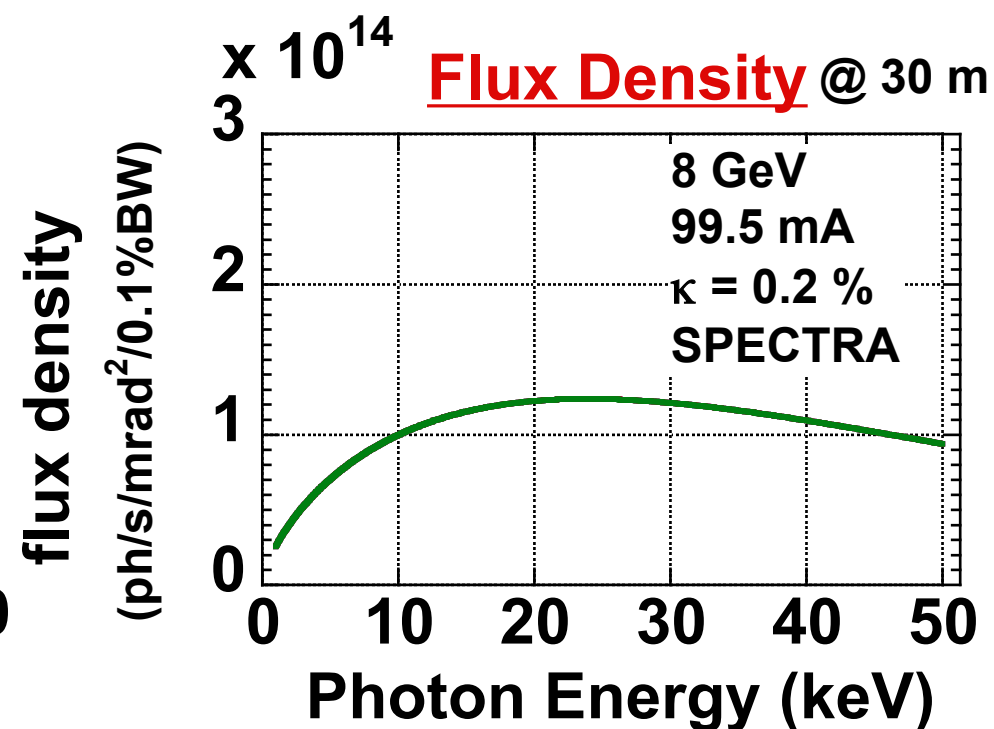
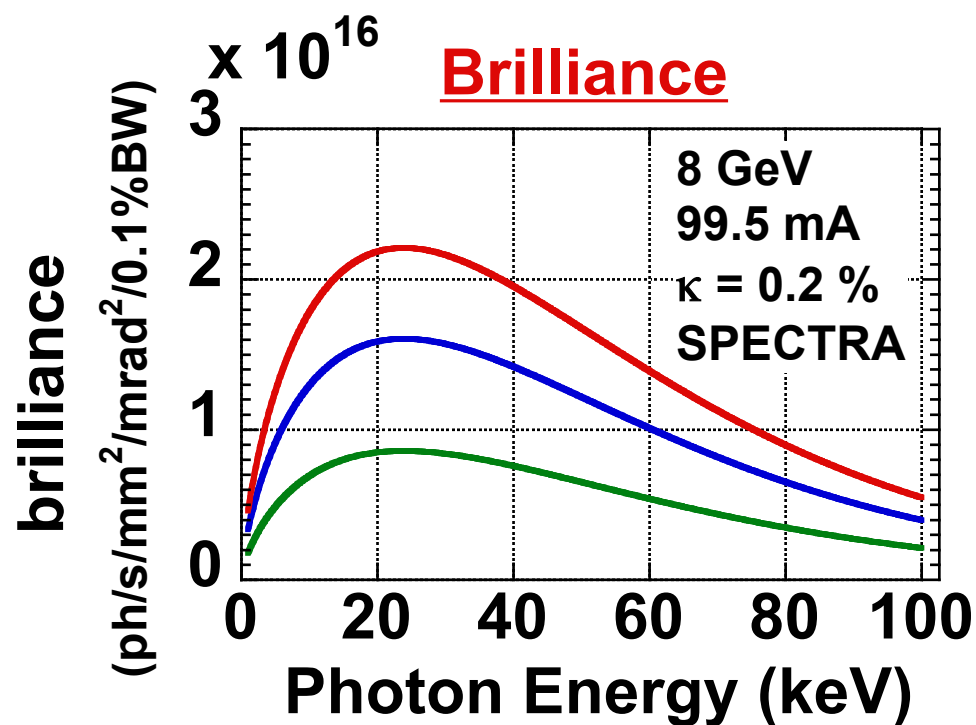
($\lambda_u = 32$ mm, $L = 4.5$ m, $K_{\max} = 2.5$)



輝度・フラックス密度

SPring-8 偏向電磁石 (B2)
($\rho = 39.2718$ m, $L = 2.804$ m)

— Present optics — New optics — Achromat optics



T. Tanaka and H. Kitamura, SPECTRA code ver. 9.02 (2012).

6GeV高輝度オプティクス設計(スタディ中)

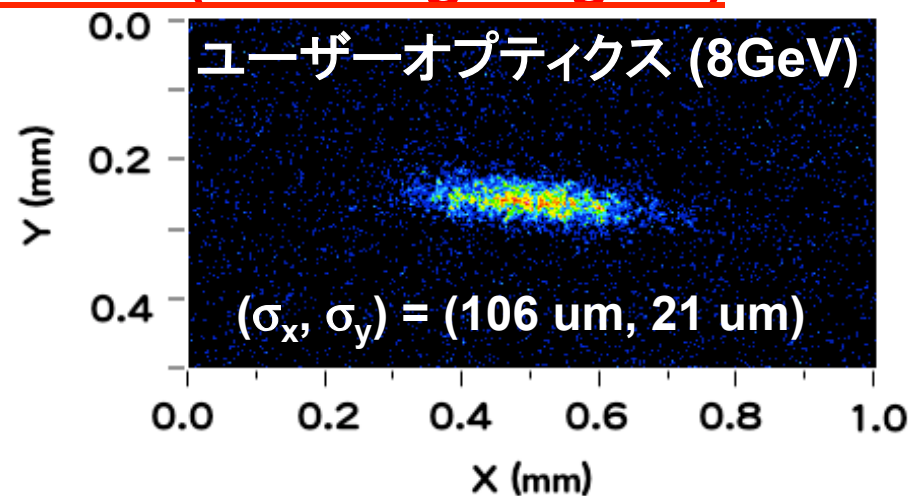
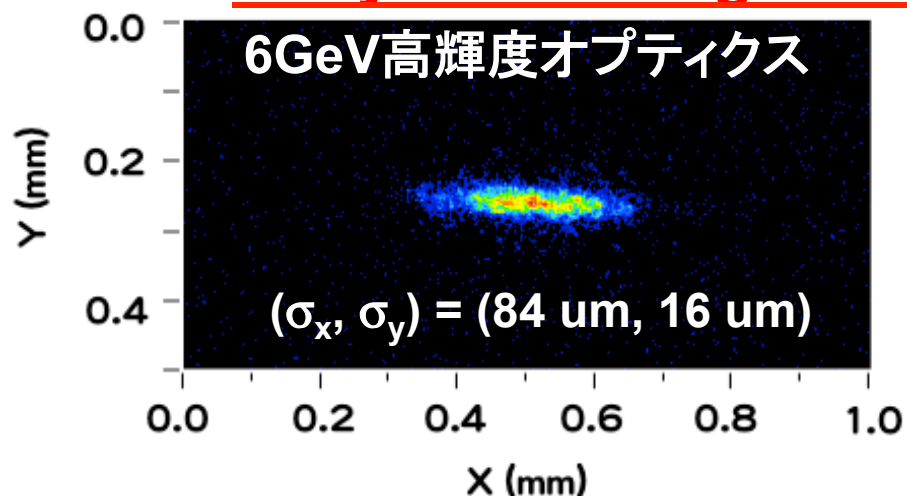
		高輝度オプティクス	ユーザーオプティクス
Beam Energy (GeV)		6	8
Emittance ϵ (nm.rad)	w/o emit. damp.	1.78	2.41
	w/ emit. damp.	1.33	2.27
Momentum Deviation δ (%)	w/o emit. damp.	0.082	0.109
	w/ emit. damp.	0.087	0.110
光子の実効エミッタンス @ 10keV (m ² rad ²) w/ emit. damp.		25.6 x 10 ⁻²¹	64.7 x 10 ⁻²¹

w/o emit. damp.: ID gap full open.

w/ emit. damp.: 21台のstand. IDをmin. gap.

1 / 2.5

X-ray Beam Image at BL38B2 (Bending Magnet)



回折限界を目指す光源リングとSPring-8-II計画

下崎義人 (JASRI / SPring-8)

Agenda

- 1 最初に(エミッタンスについて、など)
- 2 「回折限界を目指すリング(DLSR、USR)」の紹介
- 3 現在のSPring-8について
- 4 **SPring-8-II計画の紹介**
- 5 サマリー

- ・CDR PART-I が公開されている
<http://rsc.riken.jp/pdf/SPring-8-II.pdf>
- ・CDR PART-IIも近日公開予定

2014年11月21日 先端放射光源に関する研究会

SPring-8-IIの境界条件

大前提： 大型放射光施設で、将来、光が失われてはならない

1 トンネル再利用

光軸を極力動かさない → 周長の変化

SPring-8 : 1435.949 m

SPring-8-II : 1435.454 m

2 ダークタイム1年

電源ケーブルの再利用も検討

(撤去→敷設では時間がかかるので)

3 省電力

永久磁石利用の検討、

低エネルギー化(8GeV→6 GeV)など

Multi-bend Scheme for Emittance Reduction

Equation of natural emittance:

$$\epsilon_{nat} = C_q \frac{\gamma^2 \langle H/\rho^3 \rangle}{J_x \langle 1/\rho^2 \rangle} \propto \frac{\gamma^2 \theta^3}{J_x}$$

γ : Lorentz factor

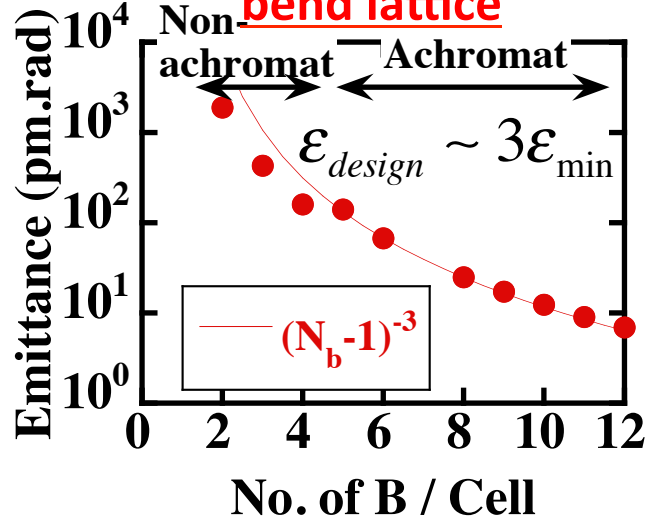
θ : Bending angle

ρ : Bending radius

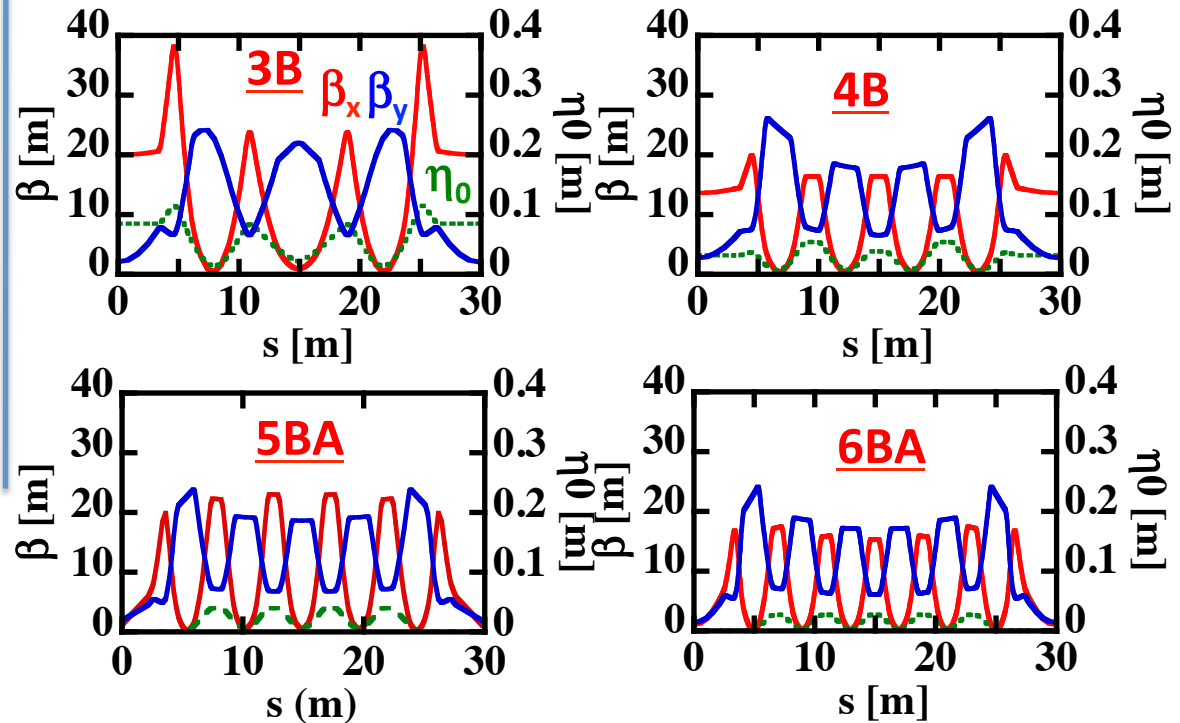
H : H-function

J_x : Damping partition number

Evaluated emittance of multi-bend lattice



Lattice design of multi-bend lattice



It seems that **multi-bend scheme** is very attractive to achieve diffraction-limited emittance (10pm.rad for 10 keV photon). However, ...

Risk of Multi-bend Scheme

Multi-bend scheme leads to

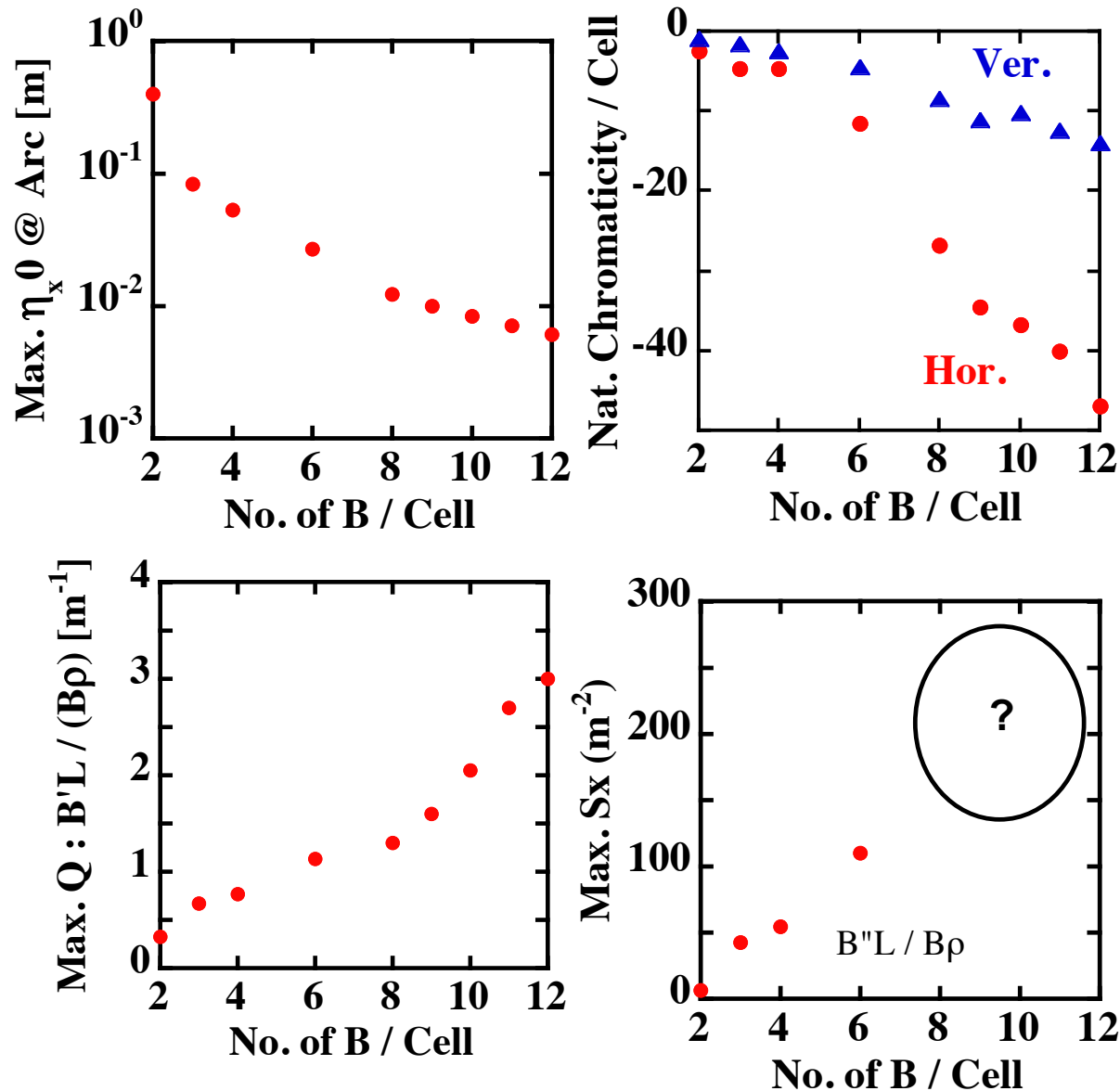
1 very strong magnets

because of

- small dispersion
- large natural chromaticity
- short spaces

2 short space between magnets

which can easily result in “catastrophe of ring-based light source”.



Catastrophe of Ring-based Light Source

Catastrophe of **ring-based light source**

from viewpoint of operation:

Very strong magnets may cause $k(x - x_{offset})^n \rightarrow nkx_{offset}x^{n-1}$

➤ **insufficient dynamic stability**

due to strong magnetic error (= feed-down field),

➤ **difficulty in designing vacuum system** due to narrow bore,

➤ **difficulty in extracting ID radiation** due to narrow bore.

Very tight packing factor (= very short space) may cause

➤ **difficulty in installing auxiliary magnets, monitors, etc**
(steering, Skew Q, BPMs, Vacuum components).

**We must avoid the catastrophe
in pursuing diffraction-limited emittance.**

Integration of Emittance Reduction Schemes

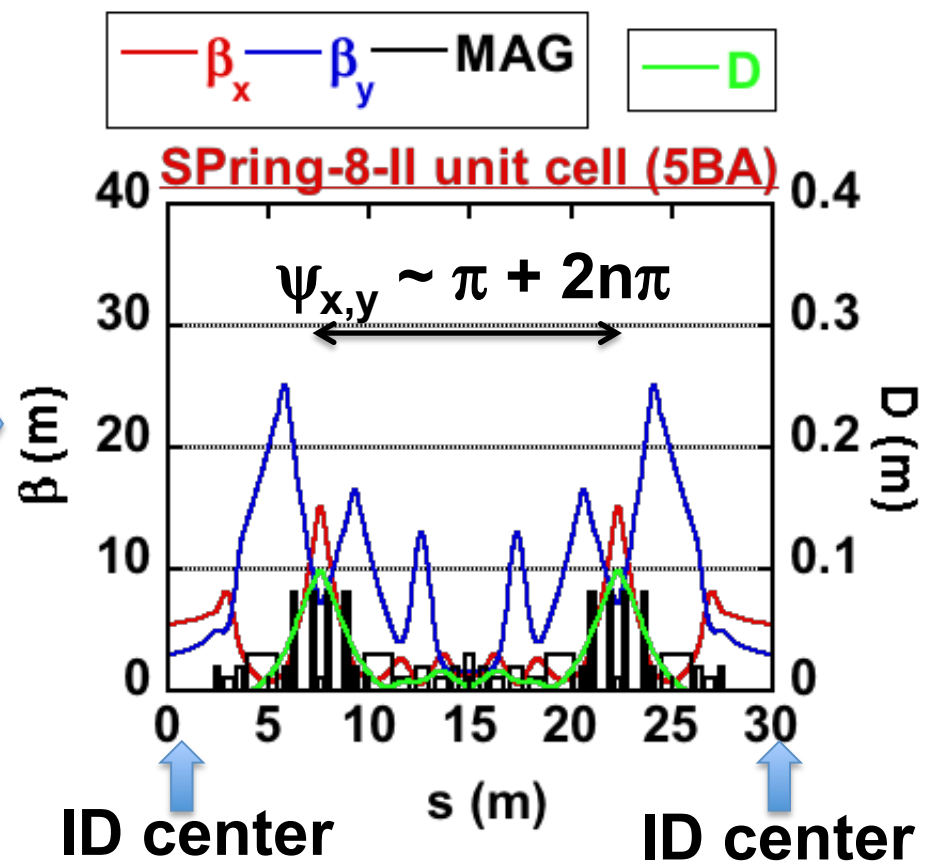
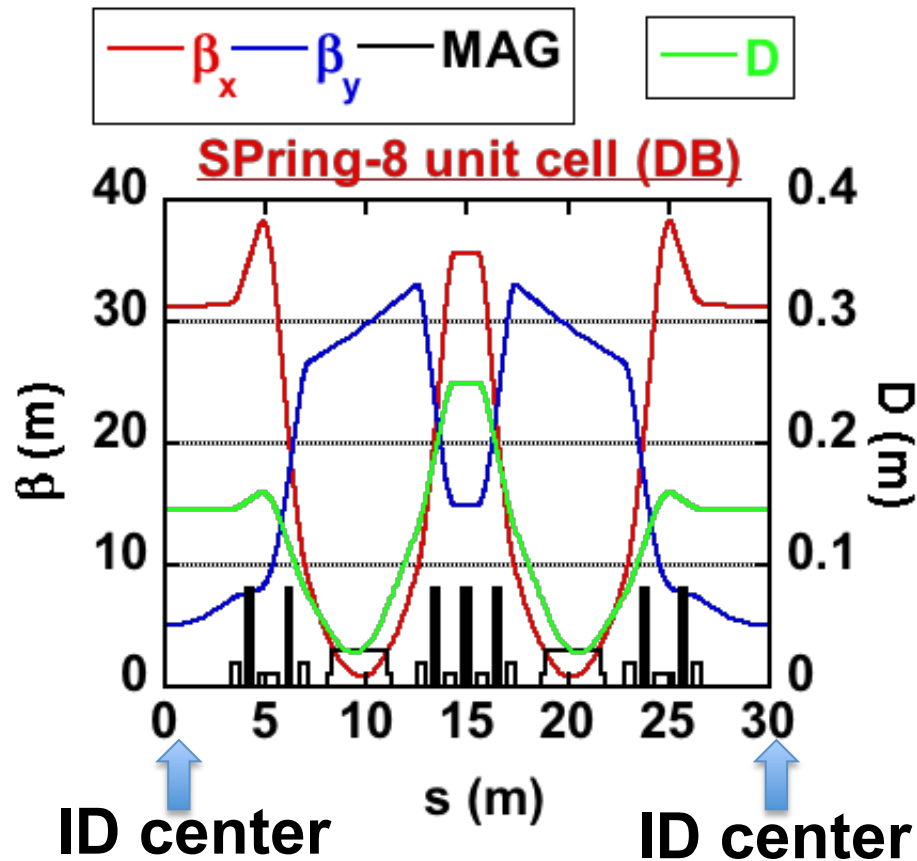
What we do: To avoid catastrophe and achieve diffraction-limited emittance, we should **integrate emittance reduction schemes** to relax multi-bend lattice design.

Equation of natural emittance:
$$\varepsilon_{nat} = C_q \frac{\gamma^2 \langle H/\rho^3 \rangle}{J_x \langle 1/\rho^2 \rangle}$$

Emittance reduction schemes:

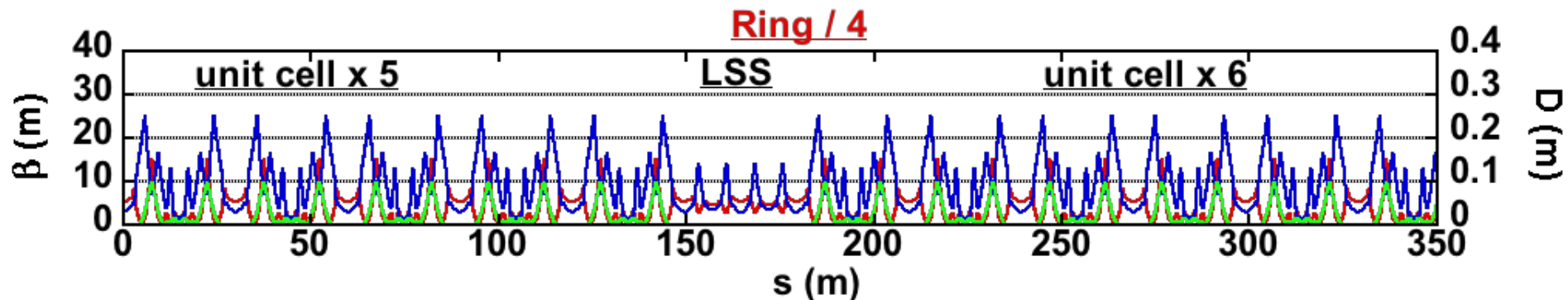
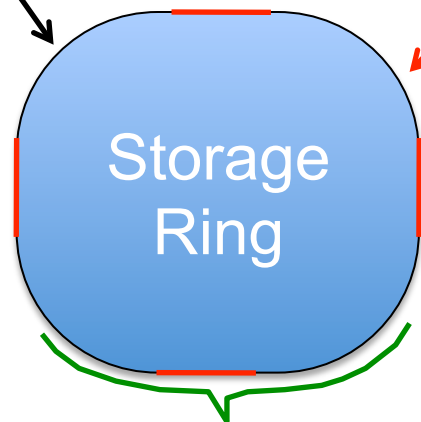
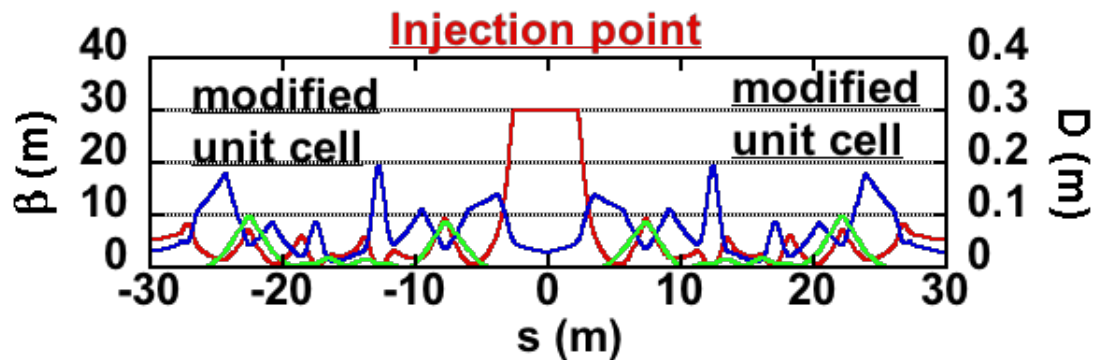
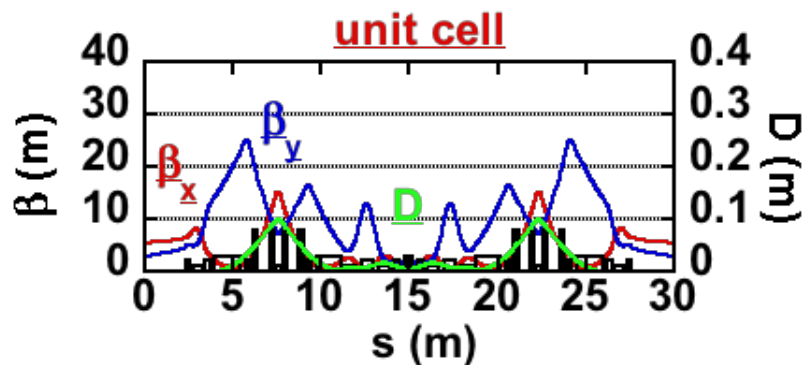
1. Optimization of dipole field (ρ) in longitudinal
2. Reduction of stored energy (γ) with the help of advanced undulator design
3. Sophisticated optimization to approach to the theoretical minimum
4. Other reduction schemes

ラティス関数(ユニットセル)



- 1 **Multi-bend scheme**
- + **Longitudinally varying dipole field**
- 2 **Low-beta & $D = 0$ @ ID center**
- 3 **Low chromaticity (-3, -3) / unit cell**
 \Leftrightarrow **(-2.7, -1) / unit cell @ SP8**
- 4 **Interleaved Sx + Oct**

ラティス関数(リング)



SPring-8 v.s. SPring-8 II

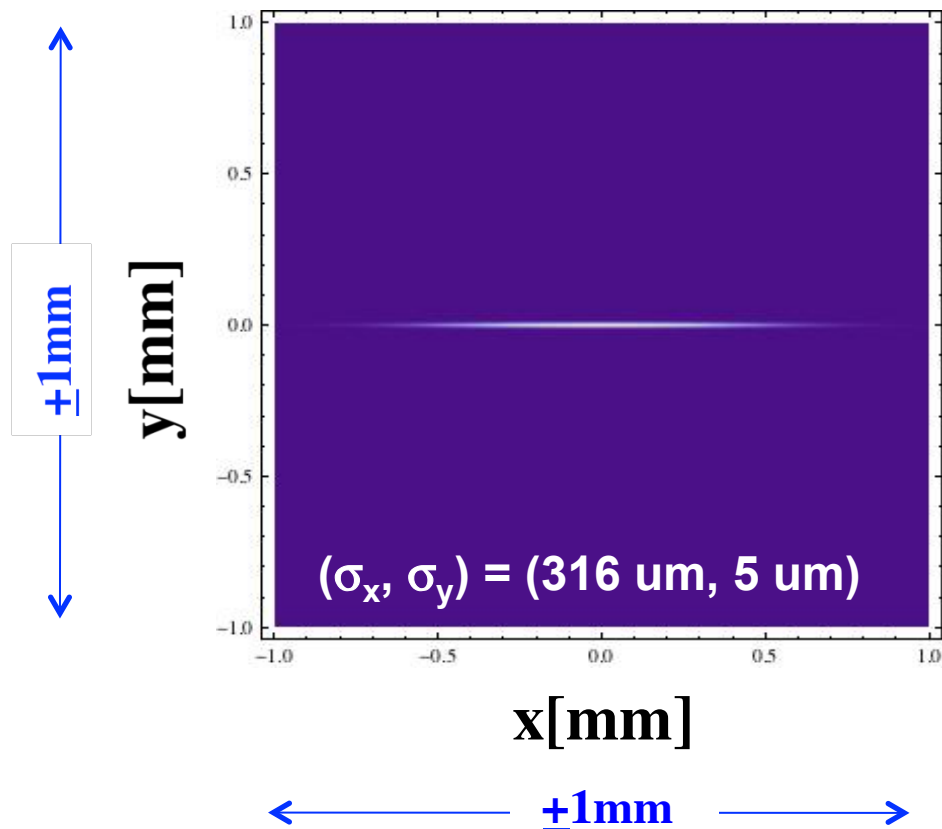
	SPring-8	SPring-8 II (CDR)
Electron energy	8 GeV	6 GeV
Stored current	100 mA	100 mA
Lattice	Double Bend (2B)	5 Bend Achromat (5BA)
Natural emittance	2400 pm.rad	150 pm.rad (w/o ID) ~ 100 pm.rad (w/ IDs)
Energy deviation	0.109 %	0.095 %
(J_x, J_y, J_s)	(1, 1, 2)	(1, 1, 2)
Tune	(41.14, 19.35)	(109.135, 42.34)
Natural chrom.	(-117, -47)	(-151, -158)
Coupling ratio	0.2 %	10 %
Circumference	1435.9 m	1435.4 m

- SPring-8-IIについて、機器配置等を考慮して、今後パラメータが変わる可能性がある。
また、以下ではCDRよりも最新(2014/11/21)のラティスで計算しているものも一部含まれている

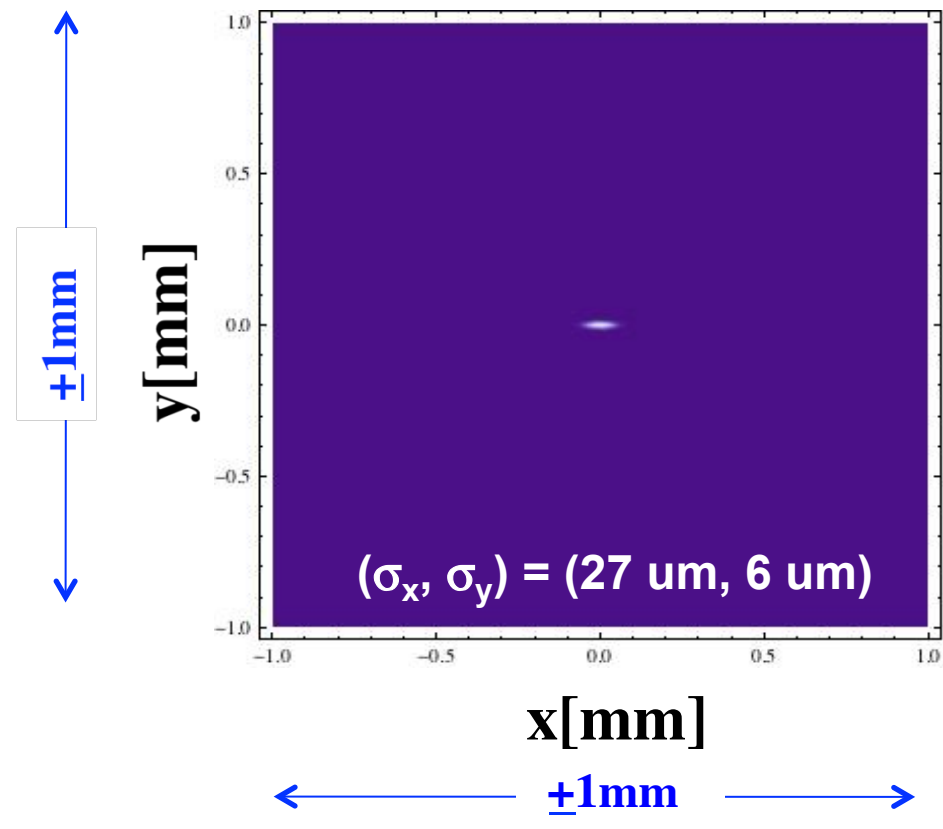
ID発光点での横方向電子ビームプロファイルの比較

空間広がり

SPring-8



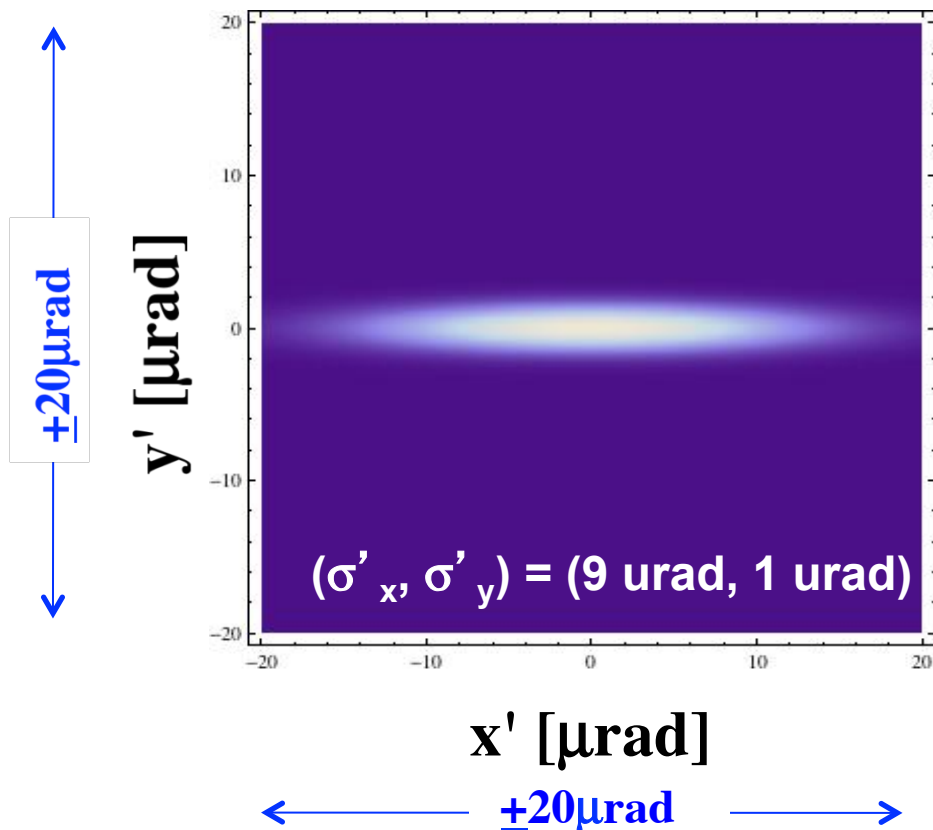
SPring-8-II



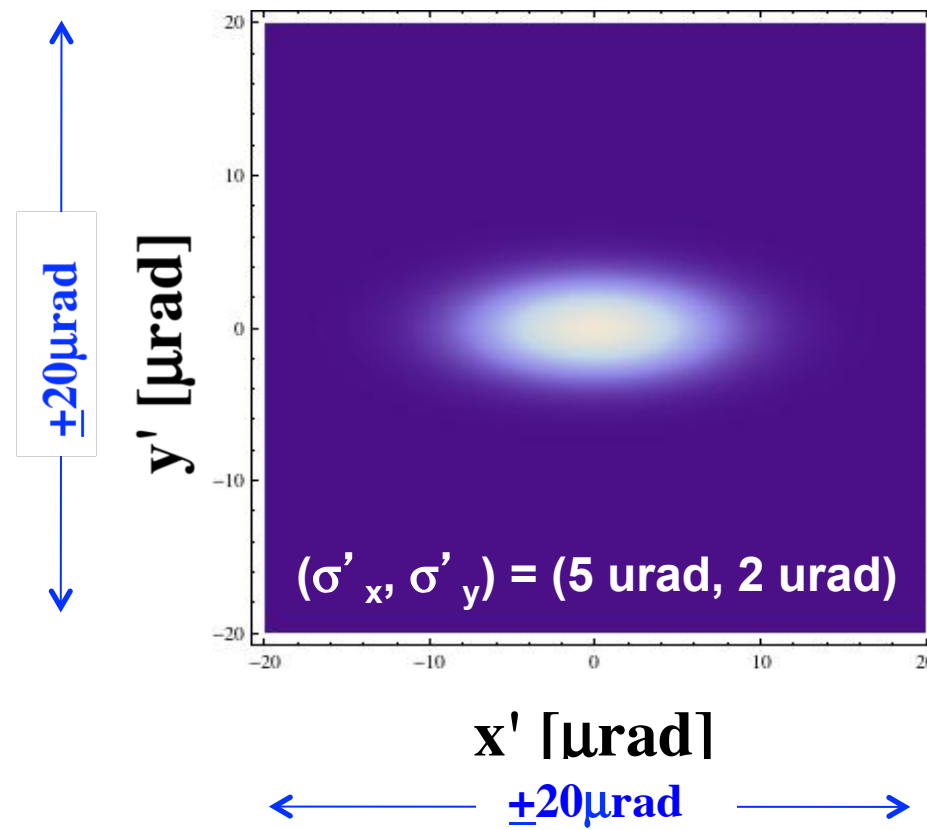
ID発光点での横方向電子ビームプロファイルの比較

角度広がり

SPring-8



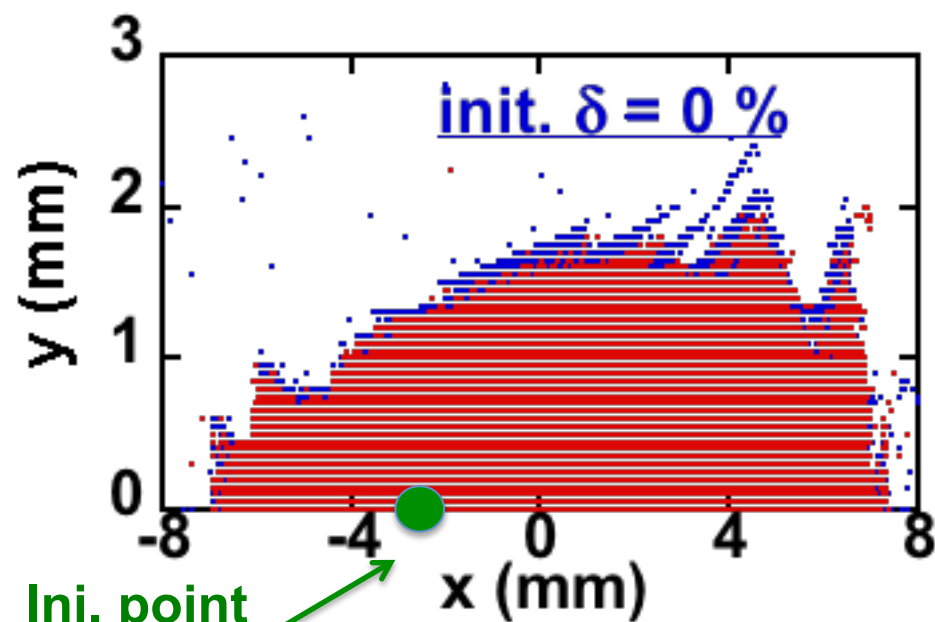
SPring-8-II



Dynamic Aperture / Momentum Aperture (Preliminary)

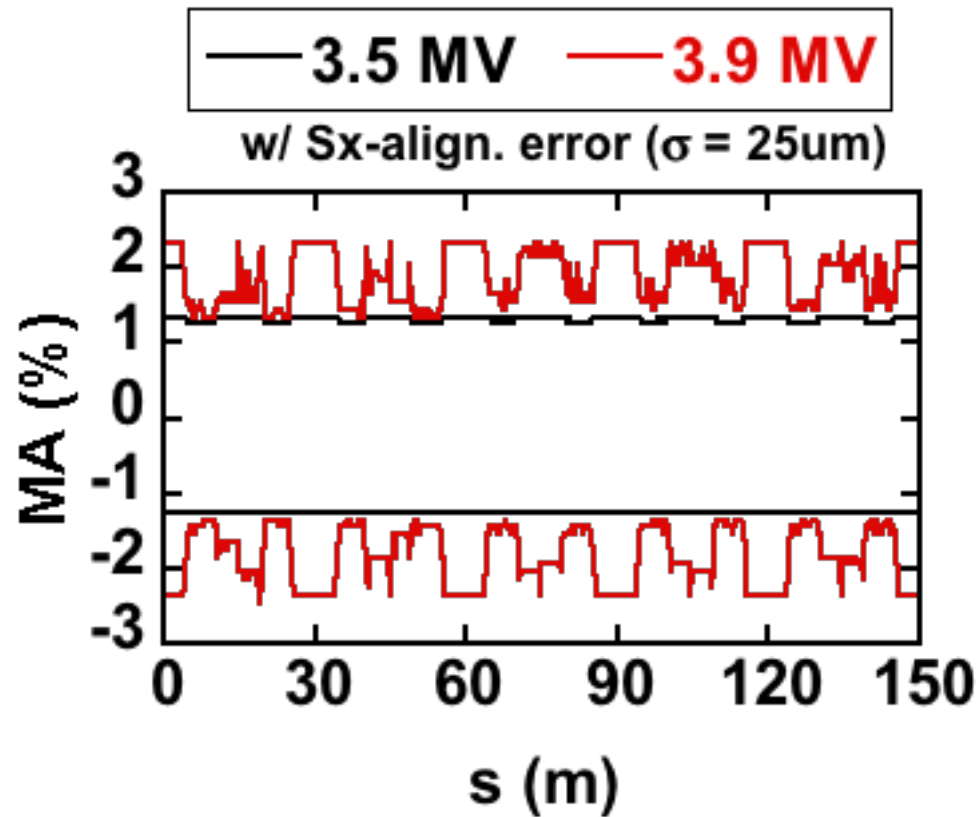
Code: CETRAを使用

- w/o error
- w/ Sx-align. err ($\sigma = 25\mu\text{m}$)



Inj. point
~ -3 mm

Dynamic Aperture
w/ Sync. Ocsi. (3.5MV)
w/ Radiation (B)
w/o IDs



Momentum Aperture
w/ Radiation (B)
w/o IDs

挿入光源の電子ビームに与える影響

CETRA

チューンとラティス関数の乱れ

直線部34箇所>ID ($\lambda_u = 18\text{mm}$, $L_u = 3.6\text{ m}$, $K_u = 2.3$)を設置した場合

	Q_x	Q_y	$\Delta\beta_x / \beta_x$ (RMS)	$\Delta\beta_y / \beta_y$ (RMS)
ID無し (ideal)	109.135	42.340	0.00 %	0.00 %
ID有り 補正無し	109.135	42.417	0.01 %	8.38 %
ID有り チューンのみ <u>グローバル補正</u> (=リング全周のQを使用)	109.135	42.340	0.005 %	0.92 %
ID有り チューンのみ <u>ローカル補正</u> (= ID直近のQを使用)	109.135	42.340	0.09 %	1.16 %
ID有り beta-beatのみ <u>ローカル補正</u>	109.066	42.489	0.44 %	1.01 %
ID有り beta-beatをローカル補正 チューンをグローバル補正	109.135	42.340	0.68 %	0.49 %

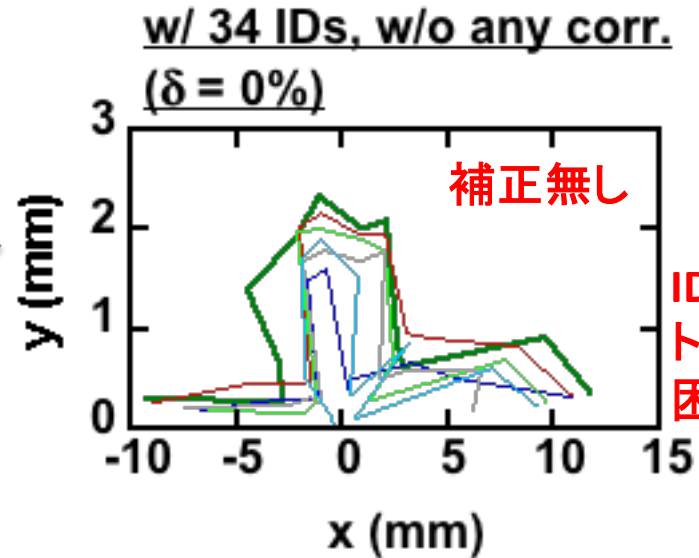
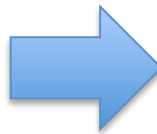
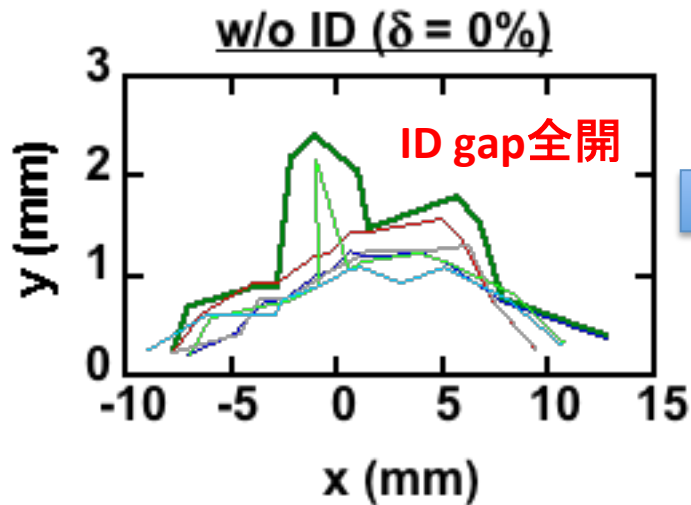
挿入光源の電子ビームに与える影響

CETRA

ダイナミックアパーチャ (Preliminary)

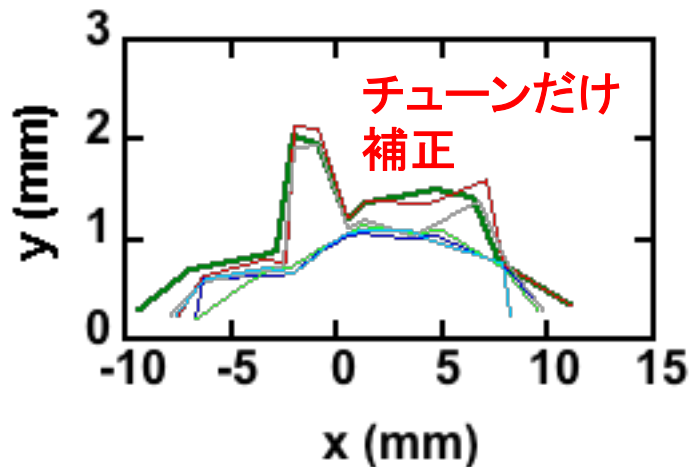
w/ Vector potential of Planar undulator

$\lambda_u = 18\text{mm}$
 $L_u = 3.6\text{ m}$
 $K_u = 2.3$

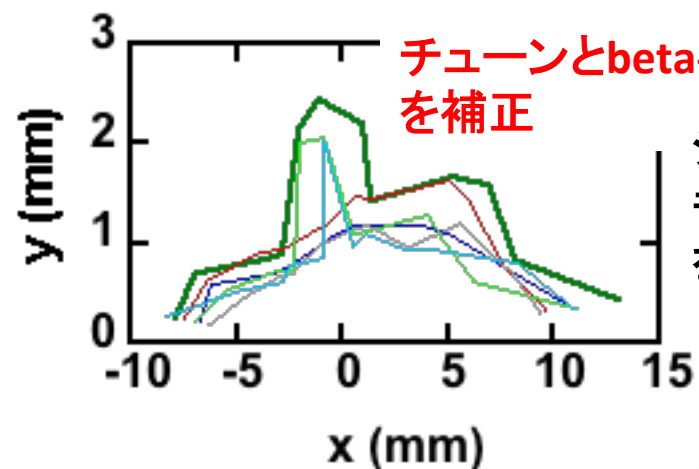


ID gapを閉めると
トップアップ入射が
困難

w/ 34 IDs, w/o beta-func. corr.
w/ global tune corr. ($\delta = 0\%$)



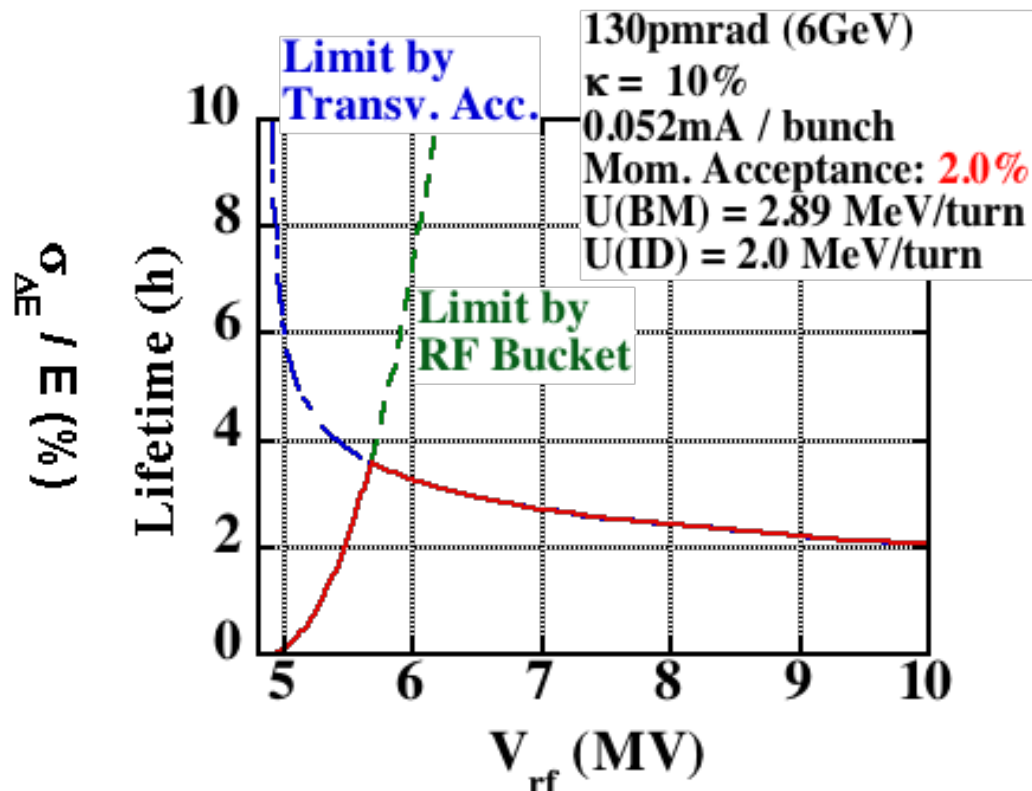
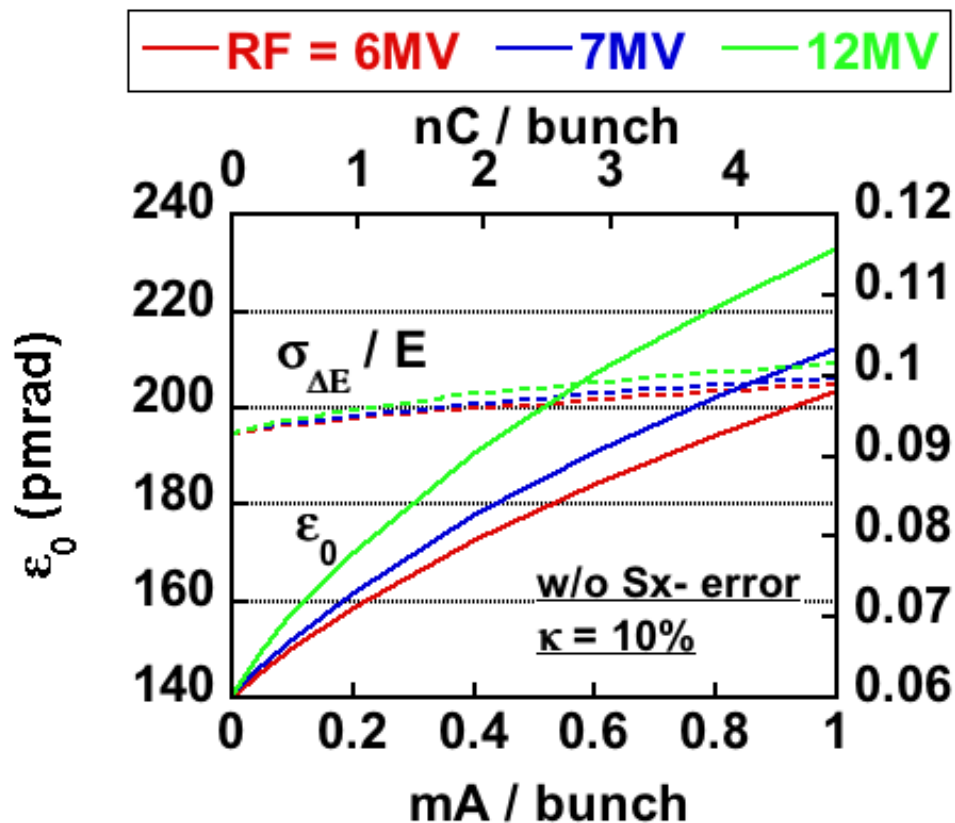
w/ 34 IDs, w/ beta-func. corr.
w/ global tune corr. ($\delta = 0\%$)



シンクロトロン振動
も入れて安定領域
を調査予定

IBS、タウシェックビーム寿命

バンチ長がRF電圧で変わる



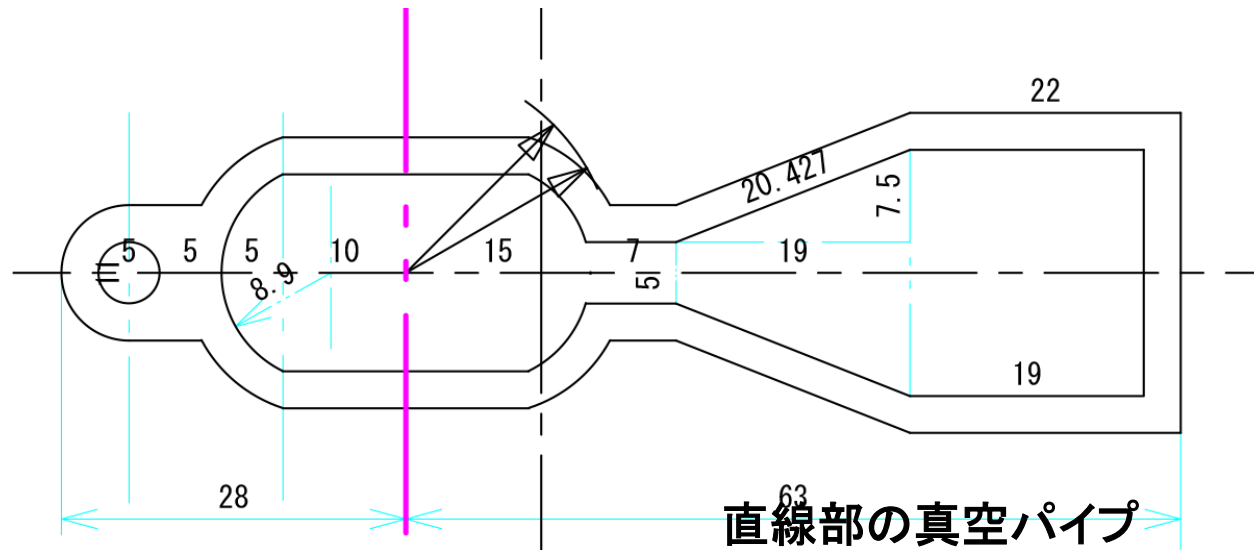
タウシェックビーム寿命

IBSによるエミッタンス増大
 → バンチフィリングに
 制限がかかる可能性
 (マルチバンチ = 0.052mA / bunch)

SPring-8-II ハードウェアに関して

真空

- 磁石のボア直径が32 mm → 対応するアルミニウムの真空パイプ



- NEG coatingは使用しない
- 磁石間が狭い、Bの数が多い
→ アブソーバ、真空ポンプをセルに小分けに配置する
(カートリッジNEG、イオンポンプ)

SPring-8-II ハードウェアに関して

磁石

- 偏向磁石は永久磁石を検討中
- 磁石間が狭い → コイルエンド部の設計を検討中
- 入射部に関しては再構築予定(π -バンプ等)
- 機器のアライメント精度に関して
 - 架台間が75 μm (RMS) 以内
 - 架台内が25 μm (RMS、 2σ カット) 以内を検討中

SPring-8-II ハードウェアに関して

不安定性

- 縦方向 → 縦方向BBFで十分抑えられる範囲
 - 横方向(特にy方向)
チェンバーの狭口径、IDのmin. gap: 不安定性を増大する方向
SPring-8-IIの低 β 関数 : 抑制する方向
- 現状の横方向BBFでギリギリ抑えられる範囲という検討結果
(IDのmin.gap変更等の可能性
→ 横方向BBFの増強を検討)

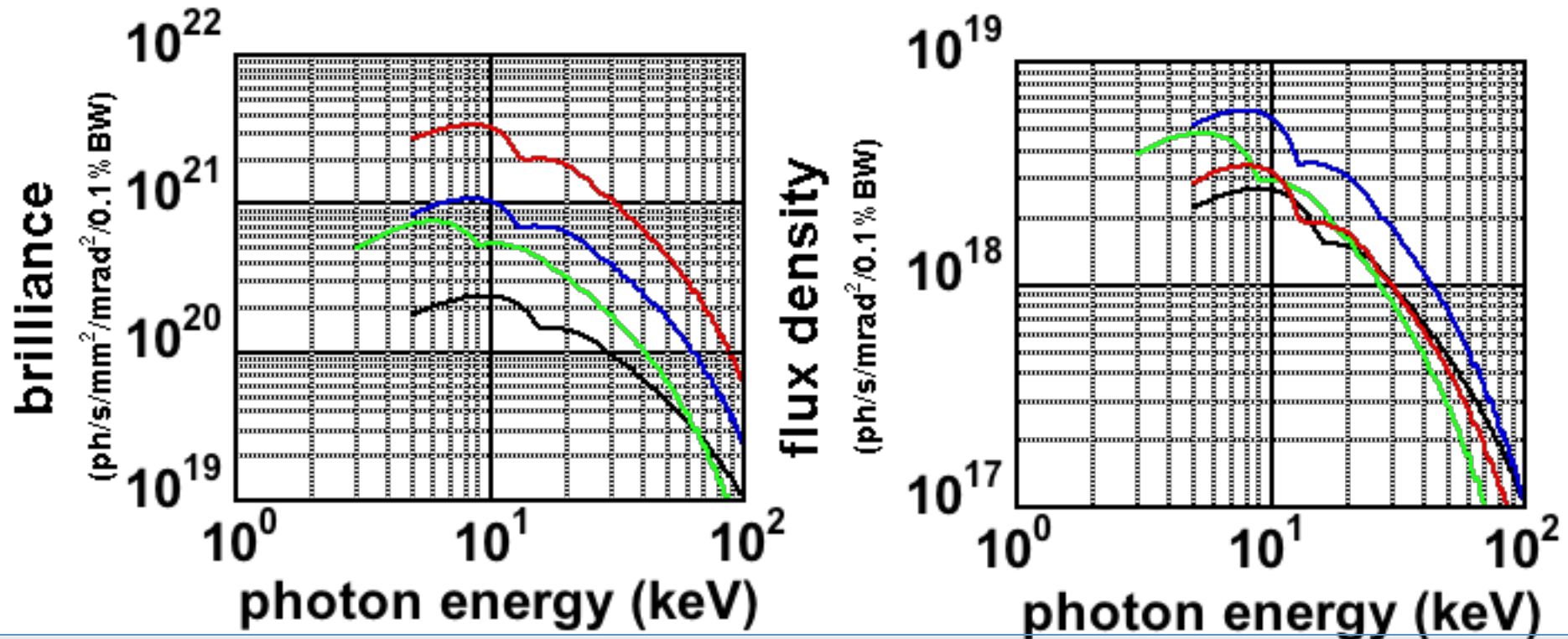
- ・CDR PART-I が公開されている
<http://rsc.riken.jp/pdf/SPring-8-II.pdf>
- ・CDR PART-IIも近日公開予定

SPring-8 v.s. SPring-8 II

輝度とフラックス密度

SPECTRA

— SPring-8 8GeV 100mA Standard ID — SPring-8 6GeV 200mA U22
— SPring-8 6GeV 200mA Standard ID — SPring-8-II 6GeV 100mA U22



電子エネルギーが
8 GeVから6 GeVに下がる
→ 標準アンジュレータの
高度化で硬エックス線に対応

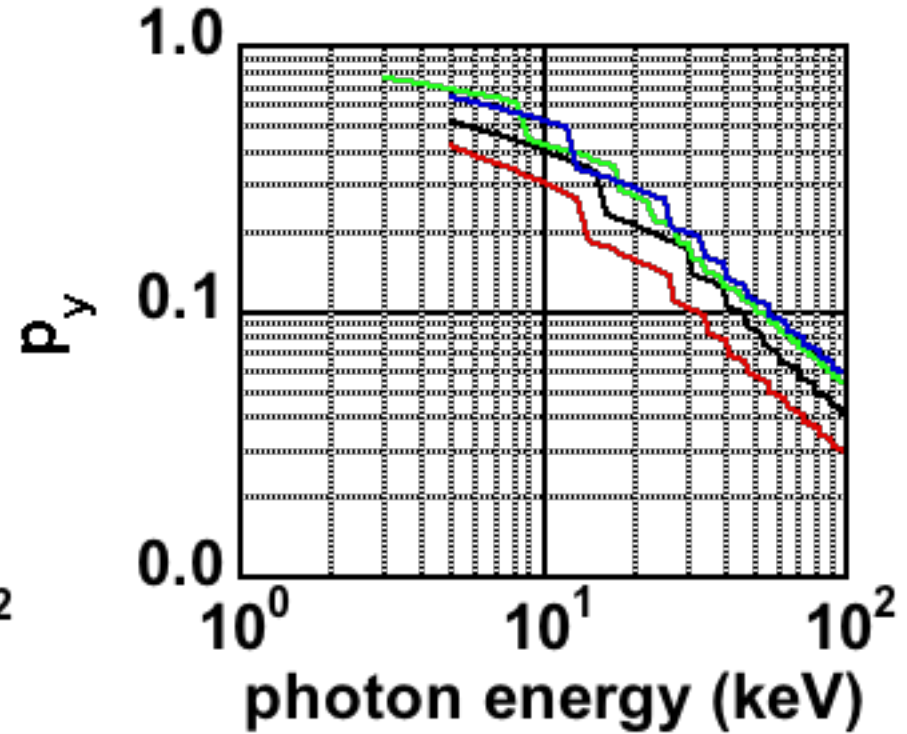
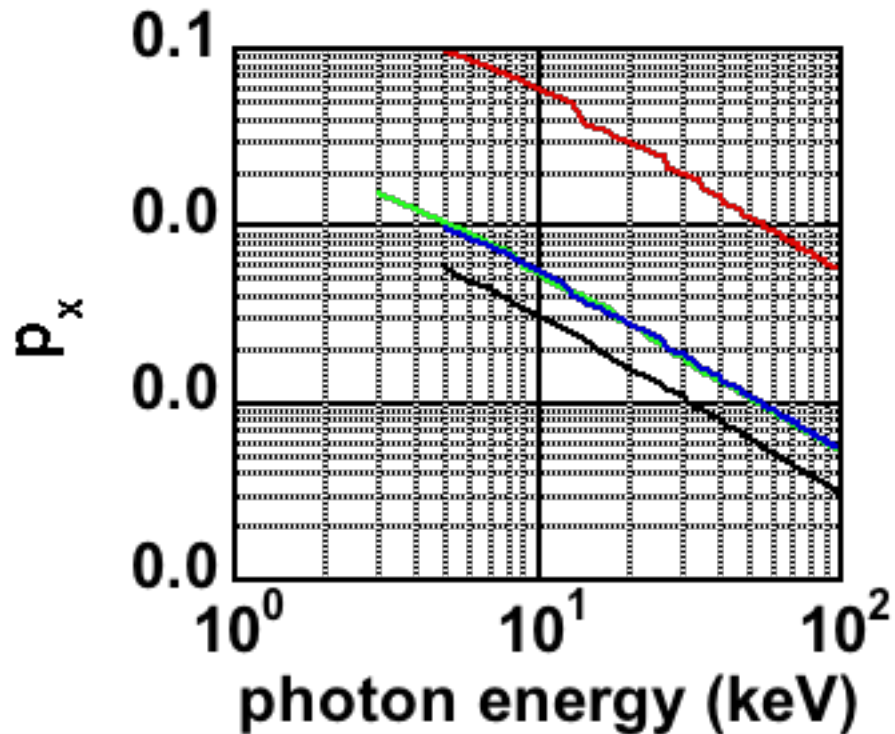
Standard ID: $\lambda_u = 32$ mm, $L_u = 4.5$ m, $K_{\max} = 2.5$
U22 (仮称) : $\lambda_u = 22$ mm, $L_u = 3.6$ m, $K_{\max} = 2.2$

SPring-8 v.s. SPring-8 II

コヒーレント比

SPECTRA

— SPring-8 8GeV 100mA Standard ID — SPring-8 6GeV 200mA U22
— SPring-8 6GeV 200mA Standard ID — SPring-8-II 6GeV 100mA U22



電子エネルギーが
8 GeVから6 GeVに下がる
→ 標準アンジュレータの
高度化で硬エックス線に対応

Standard ID: $\lambda_u = 32$ mm, $L_u = 4.5$ m, $K_{\max} = 2.5$
U22 (仮称) : $\lambda_u = 22$ mm, $L_u = 3.6$ m, $K_{\max} = 2.2$

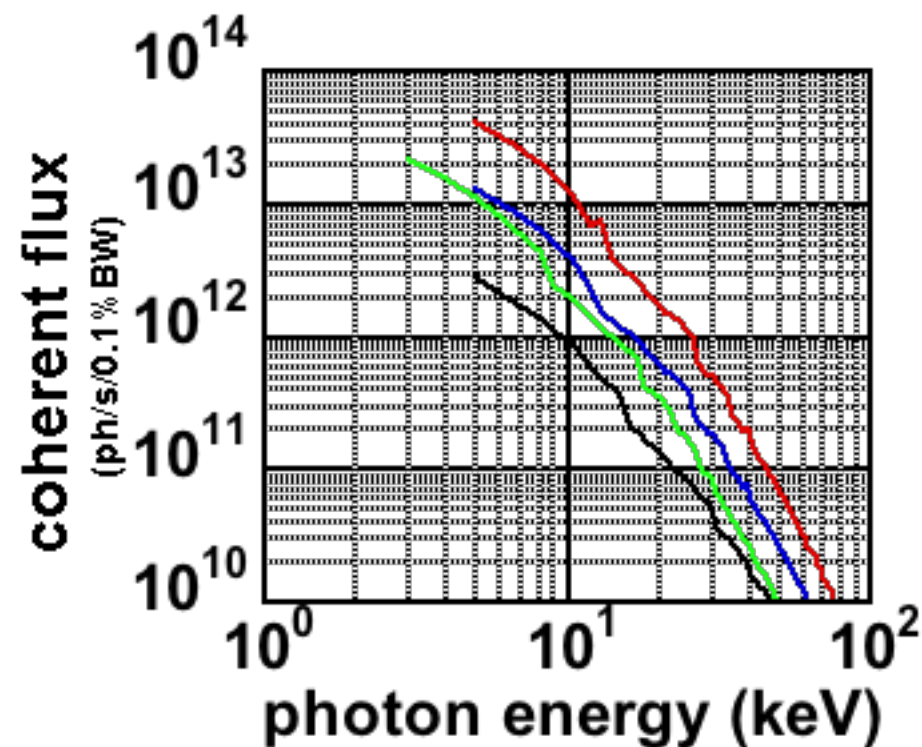
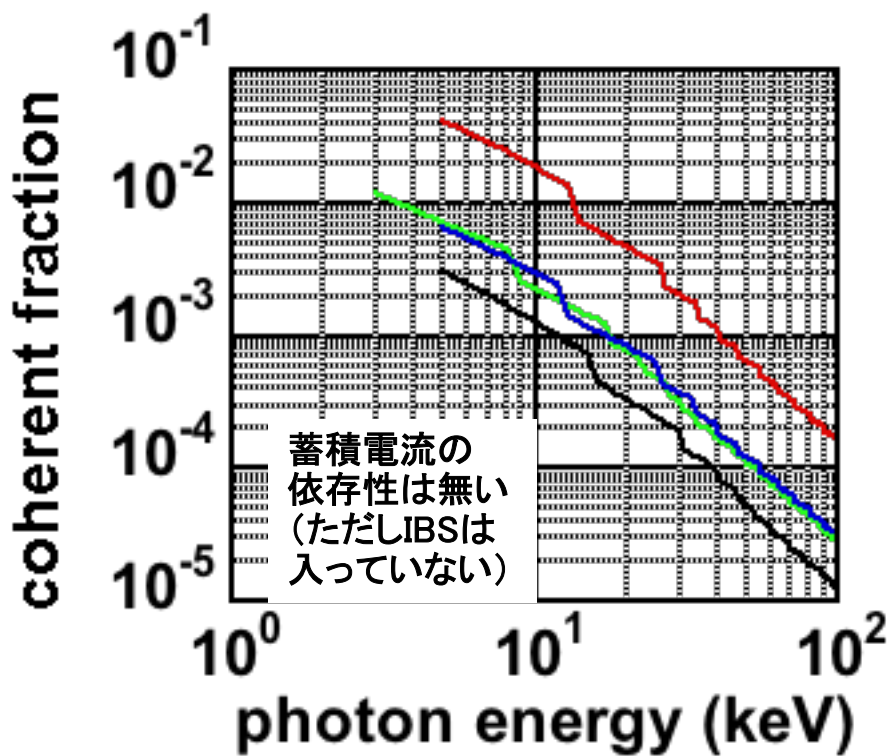
SPring-8 v.s. SPring-8 II

コヒーレント比とコヒーレントフラックス

SPECTRA

— SPring-8 8GeV 100mA Standard ID
 — SPring-8 6GeV 200mA Standard ID

— SPring-8 6GeV 200mA U22
 — SPring-8-II 6GeV 100mA U22



電子エネルギーが
 8 GeVから6 GeVに下がる
 → 標準アンジュレータの
 高度化で硬エックス線に対応

Standard ID: $\lambda_u = 32 \text{ mm}$, $L_u = 4.5 \text{ m}$, $K_{\max} = 2.5$
 U22 (仮称): $\lambda_u = 22 \text{ mm}$, $L_u = 3.6 \text{ m}$, $K_{\max} = 2.2$

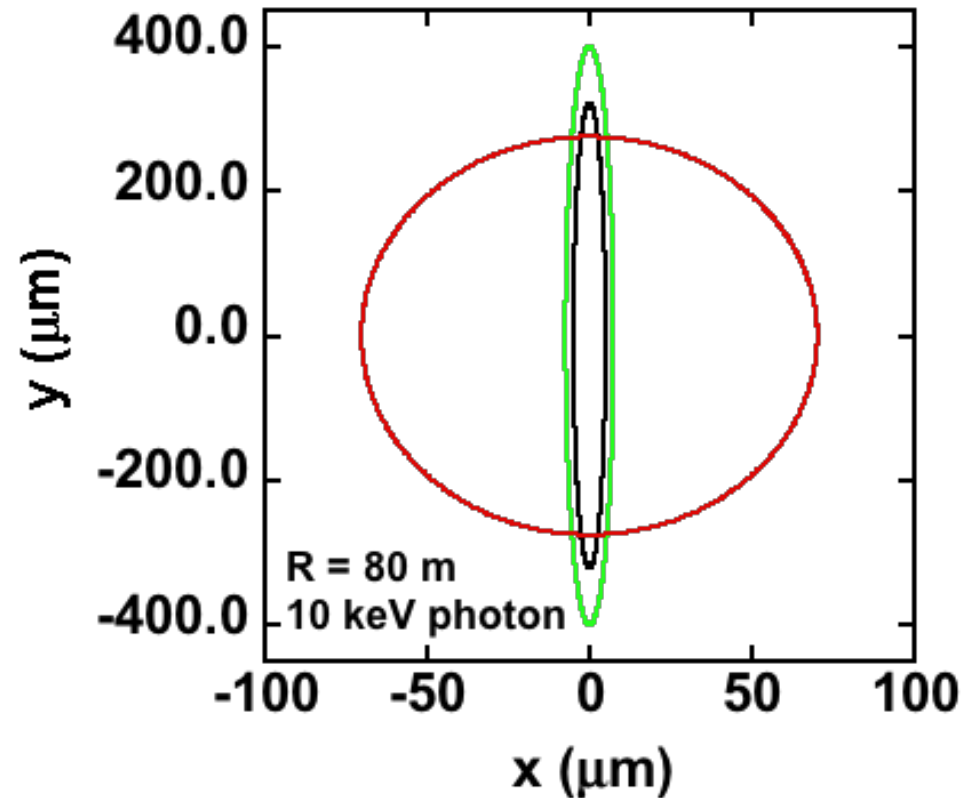
コヒーレント長の比較

コヒーレント長 $L = \frac{R\lambda}{2\pi\sigma}$

R: 発光点から
二重スリットまでの距離
λ: 光の波長
σ: 光源サイズ

コヒーレント長の比較
R = 80 m, 10 keV photon のとき

	$\sigma_x \text{ um} / \sigma_y \text{ um}$	$L_x \text{ um} / L_y \text{ um}$
SPring-8 8GeV	319 / 5	5 / 322
SPring-8 6GeV	213 / 4	7 / 399
SPring-8-II	22 / 6	70 / 275

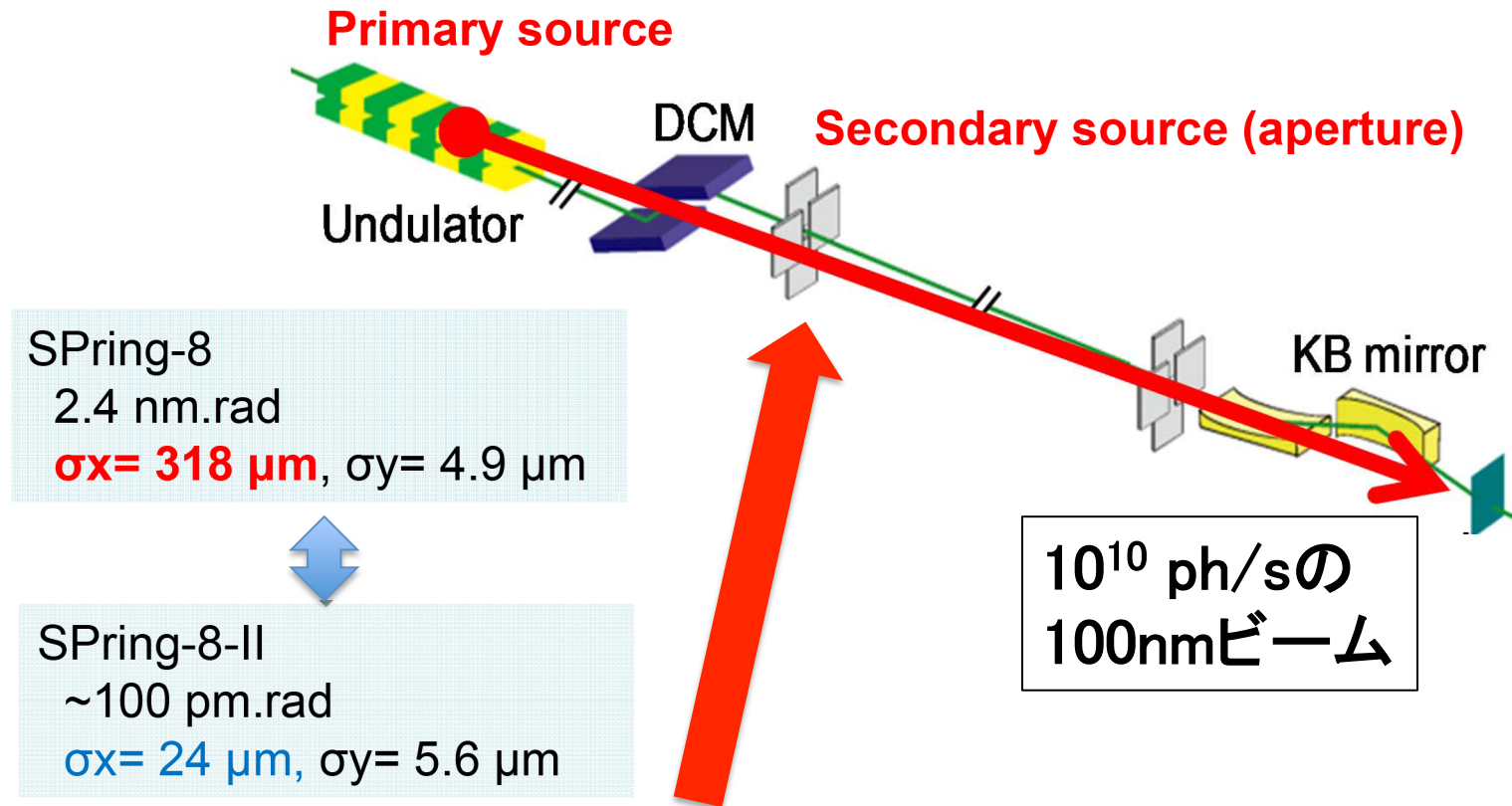


コヒーレント領域の比較.これより試料が
小さければ、コヒーレント光を使った
干渉実験が可能になる.

直接集光による100nmビームの可能性

後藤俊治、2014/10/17.

SPring-8の場合:



SPring-8-IIの場合: 仮想光源無しに直接100nmまで集光可能
 10^{13} ph/sの100nmビームに

SPring-8 (仮想光源有り)の1000倍のフラックスになる可能性

サマリー

1. 回折限界(輝度、コヒーレンスの向上)を目指したリング

→ 世界各国で設計中・建設中

- Multi-bendによる低エミッタンス化
- B + QのCombined Magnetによる低エミッタンス化
- Longitudinally Varying Dipole Fieldによる低エミッタンス化

2. SPring-8 IIは5BAで100pm.rad、6GeVで100mAを目指す。

- Multi-bendとLongitudinally Varying Dipole Fieldによるエミッタンス低減。
- Interleaved Sxと八極による安定領域の拡張

3. 電子エネルギー低下(8→6GeV)による放射光への影響を、標準アンジュレータの高度化で対応。SPring-8-IIはSPring-8に比べて

- 20倍高いコヒーレント比、10倍高いコヒーレントフラックス
- 1000倍明るい100nm集光ビーム

を供給する予定。

質問用

Spectrum of BM Radiation

SPring-8 vs. SPring-8-II

Upgraded
(100 pmrad)

