

新しい入射法



妻木孝治、深見健司
JASRI/SPring-8

内容

1.はじめに

2.新しい入射法

3.SPring-8蓄積リングへの応用

4.電磁石の設計

5.まとめ

はじめに

放射光リングのトップアップ入射時に要請されること

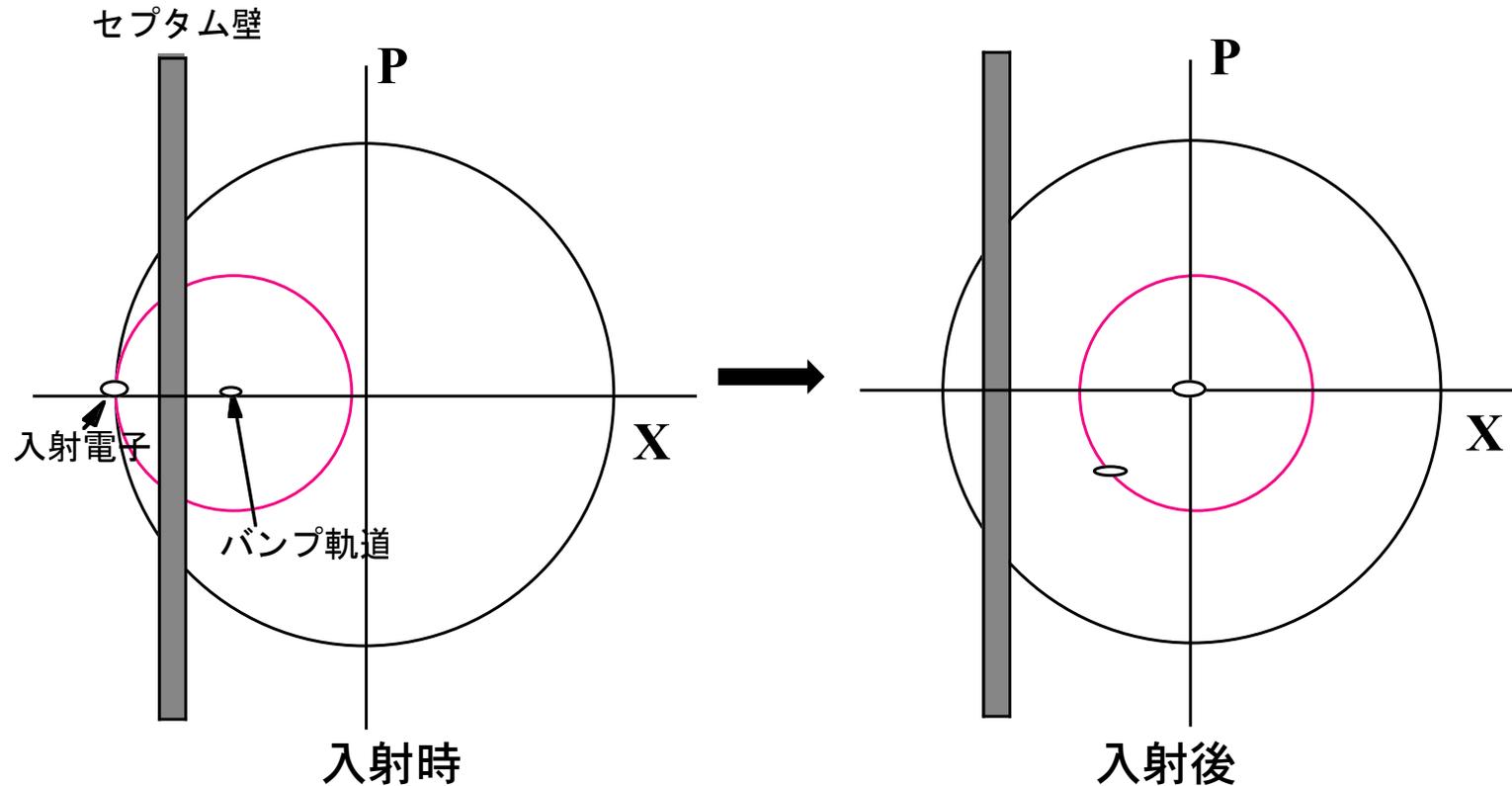
- 入射効率が低いこと。(80%以上)
- 蓄積電子ビームの軌道が動かないこと。

目的

- 蓄積電子ビームに影響を与えないで
- 入射電子ビームのエミッタンスを増加させず、超低エミッタンスリングのようなダイナミックアパーチャの小さなリングでも高い入射効率を確保できる

入射法の開発

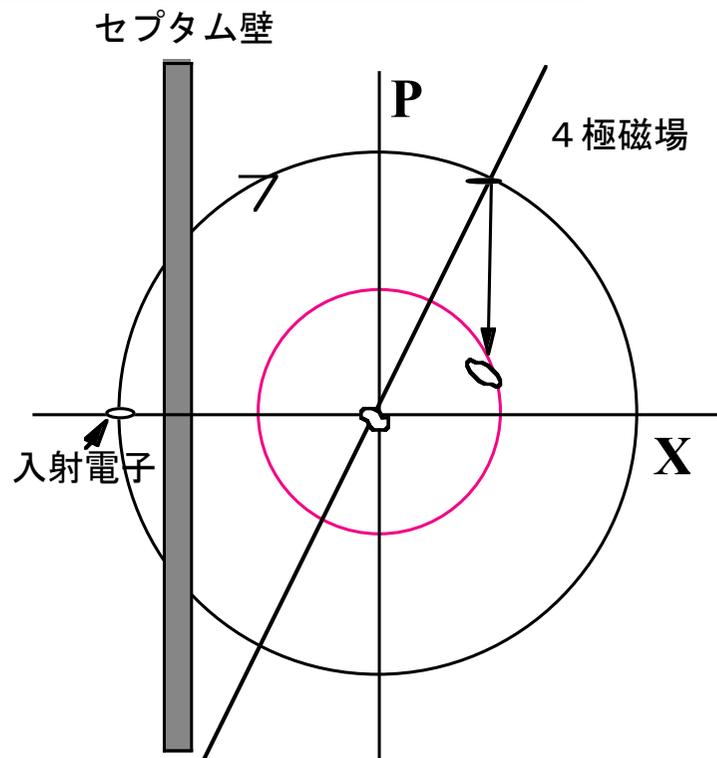
従来の入射法 バンプ軌道の形成



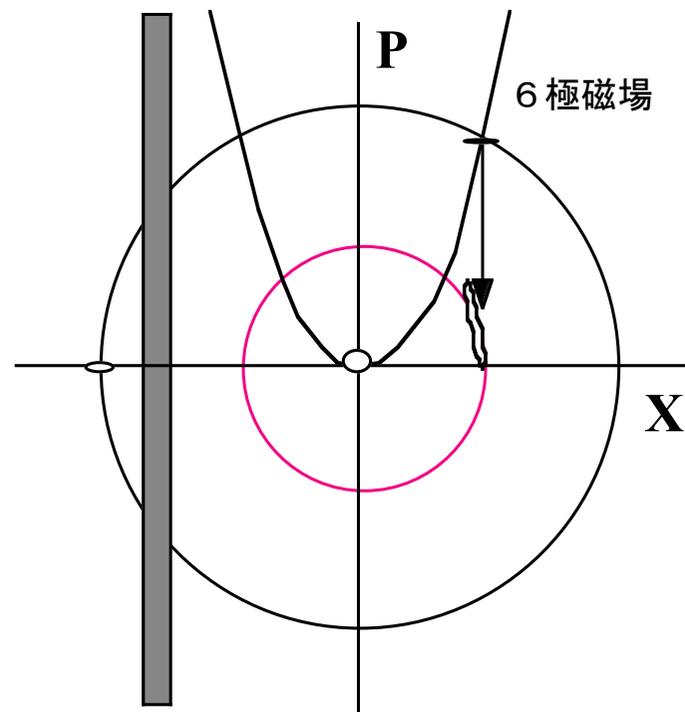
問題点

- バンプ軌道の不整合、アンダーシュート、バンプ軌道内の六極電磁石の存在により軌道が動く。[1]
- セプタム壁のため入射ビームのCourant-Snyder 不変量 W が小さくできず、アクセプタンスが小さなリングでは入射効率が低下。

パルス4極^[1]、6極による入射法^{[2][3]}



問題点
蓄積ビームが蹴られて動く



問題点
入射ビームに対する蹴り角が一様でなく広がるため、
ダイナミックアパーチャの小さなリングでは入射効率が低下^[4]

[1] K. Harada et al., Phys. Rev. ST Accel. Beams 10, 123501 (2007).

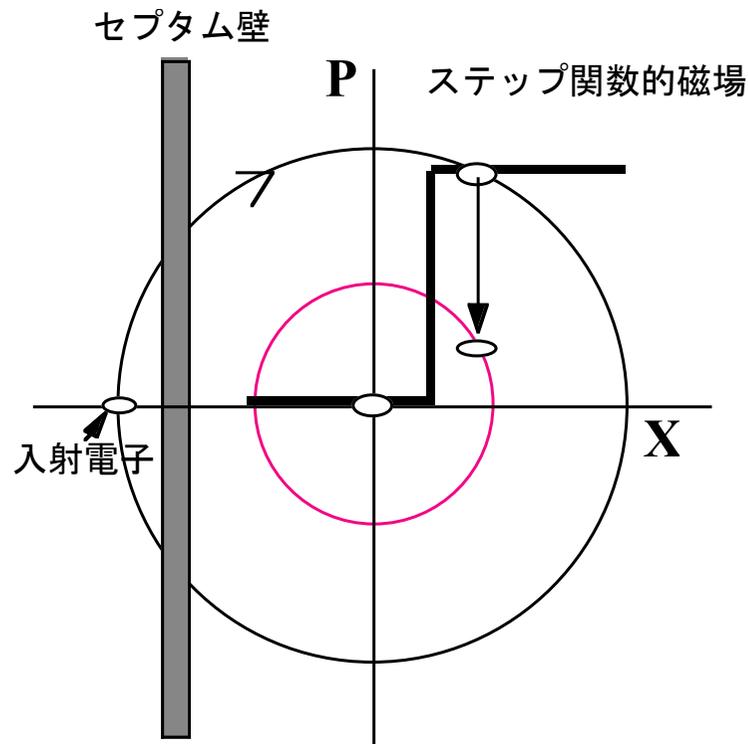
[2] Y. Kobayashi, et al., Proc. of EPAC, 2006, 0. 3526.

[3] H. Takaki et al., Phys. Rev. ST Accel. Beams 13, 020705 (2010).

[4] Y. Jiao, Workshop on Accelerator R&D for Ultimate Storage Rings, 2012.

理想的な入射

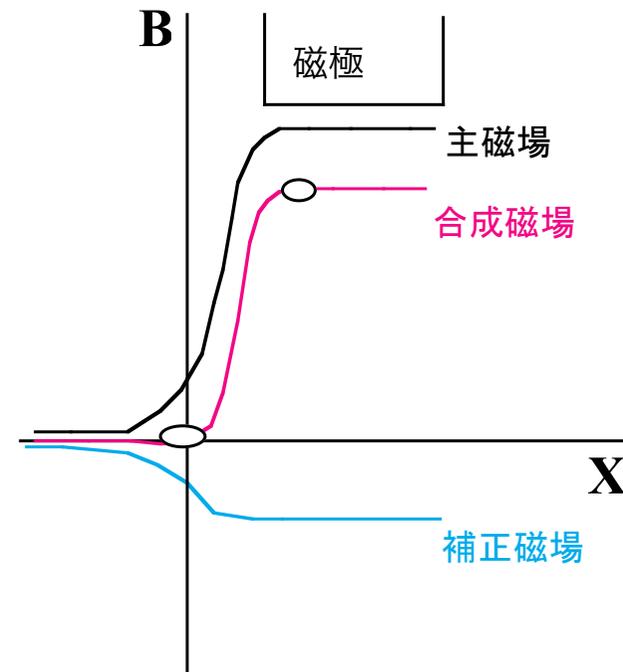
蓄積電子に影響を与えず、入射電子のエミッタンスを増加させない



蓄積軌道上に磁場がなく、入射点では純粋な2極磁場

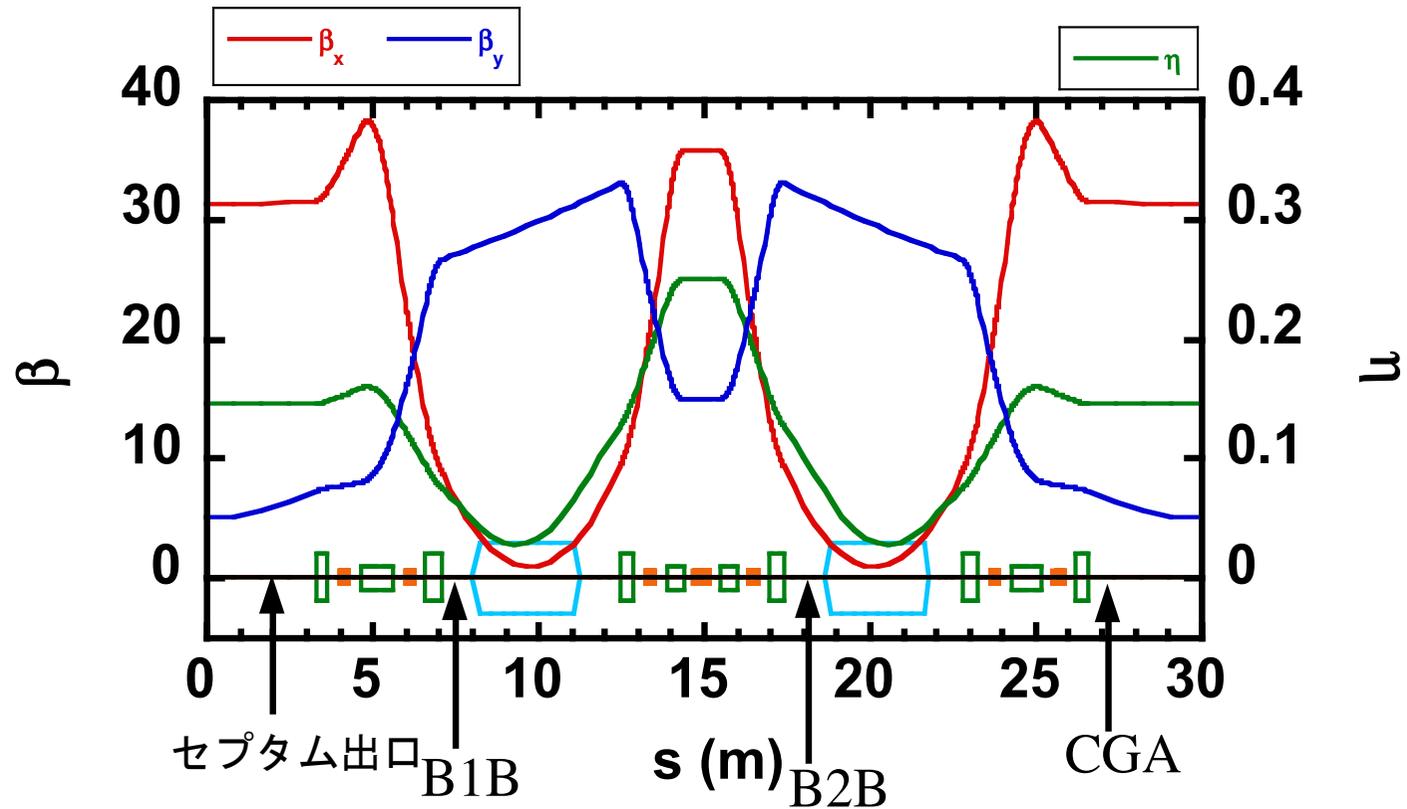


蓄積電子は動かず、入射電子は広がらない



主キッカー電磁石と補正電磁石で蓄積軌道では磁場がなく、入射軌道では2極磁場を作成

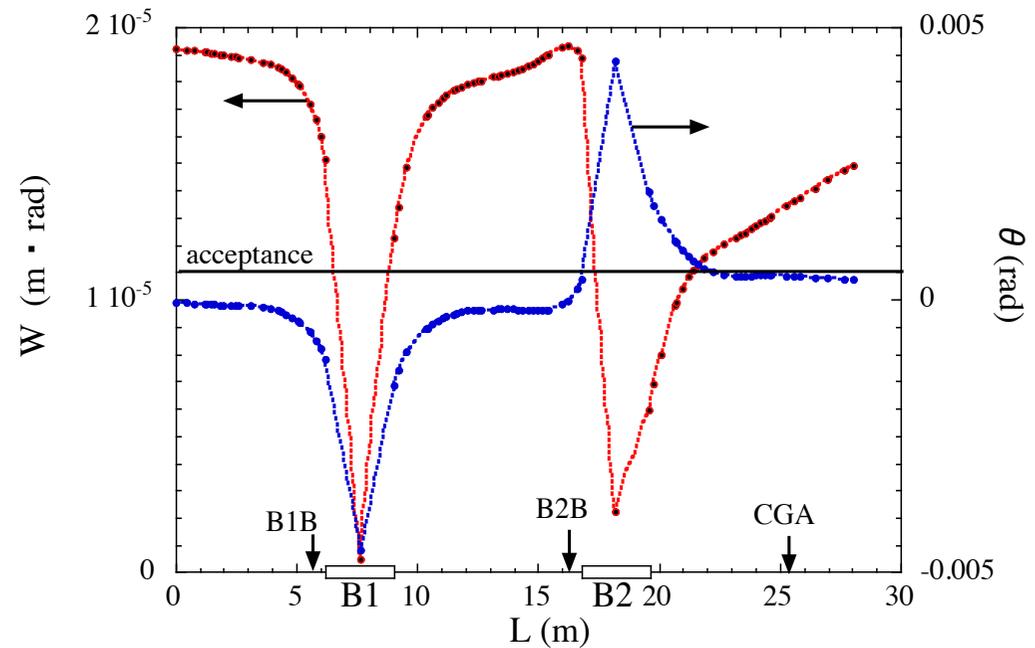
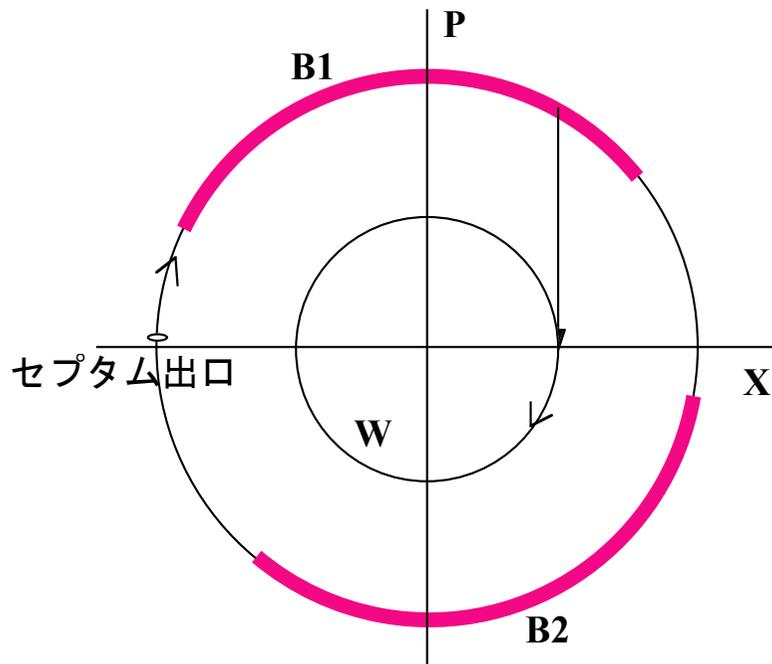
SPring-8への応用



SPring-8低エミッタンスオプティックス^[1]とキッカー設置可能場所

[1] Y. Shimosaki, et al., Proc. of IPAC2013, p. 133.

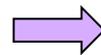
SPring-8への応用



位相空間上で偏向電磁石B1、B2の占める位置

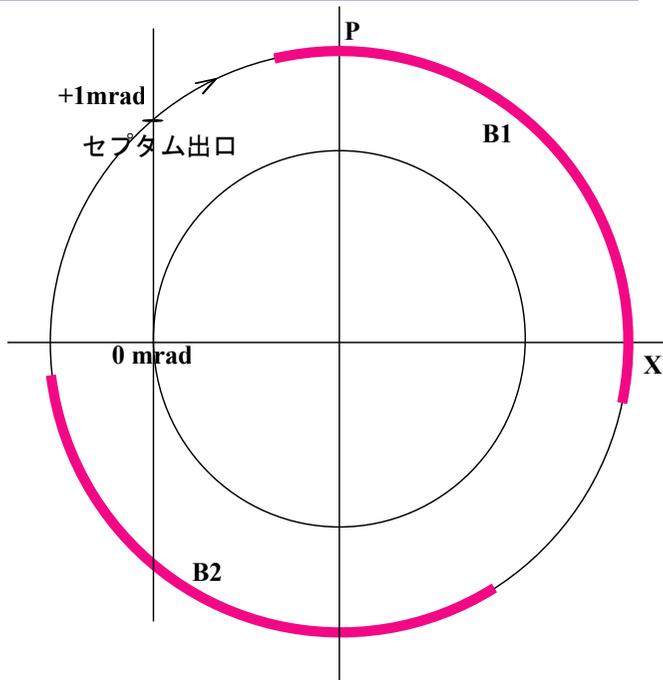
キッカーにより $P=0$ の位置に蹴り込んだ後の入射電子ビームのCourant-Snyder不変量 W と蹴り角 θ の位置依存性

W が小さくできる X が小さい部分は偏向電磁石が設置されており、キッカーを置けない

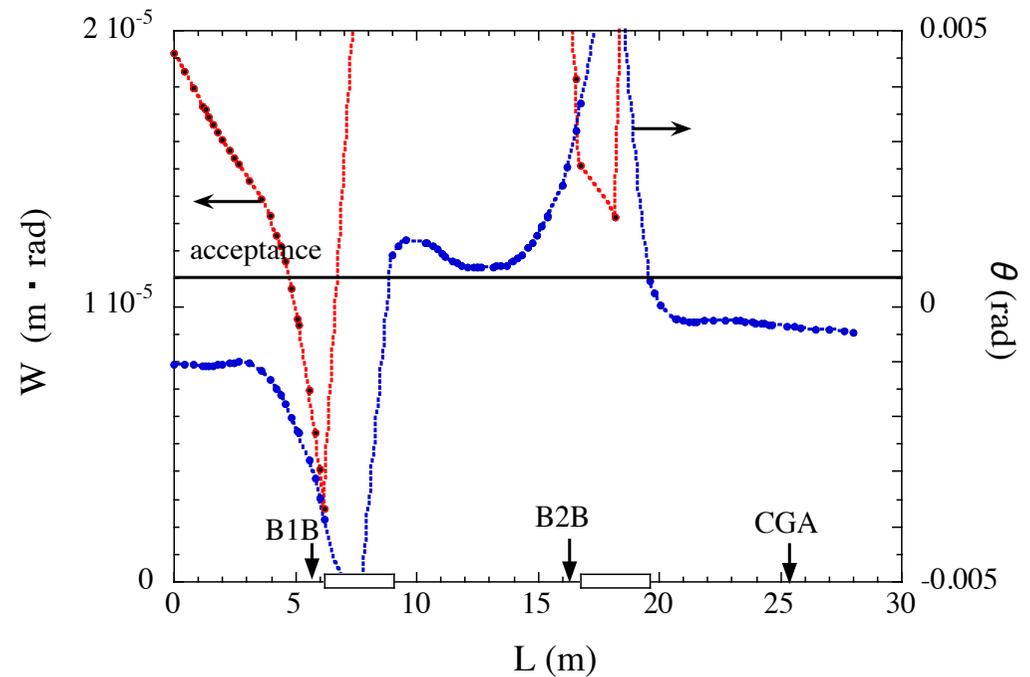


入射ビームの入射角度を変えてキッカー設置場所を検討

SPring-8への応用



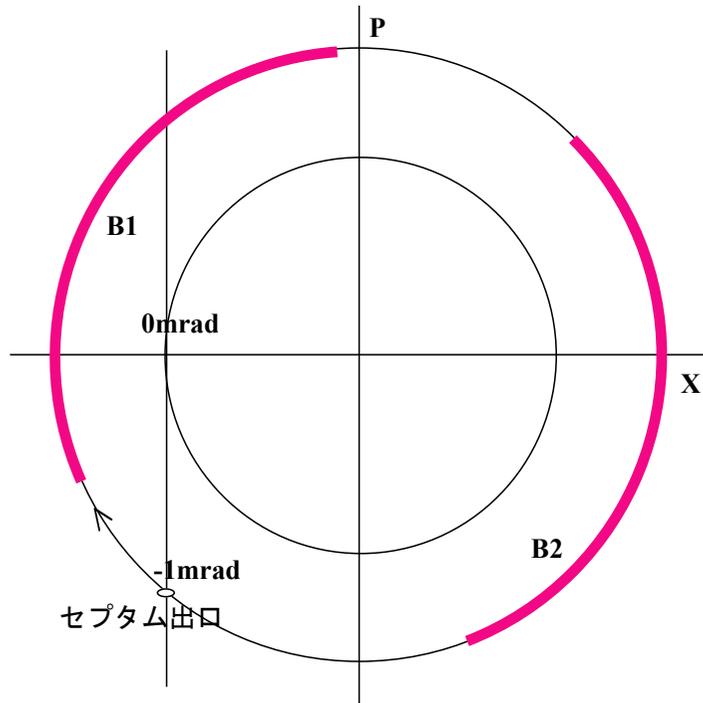
入射ビームを+1mrad傾けて入射した場合の
位相空間上で偏向電磁石B1、B2の占める位置



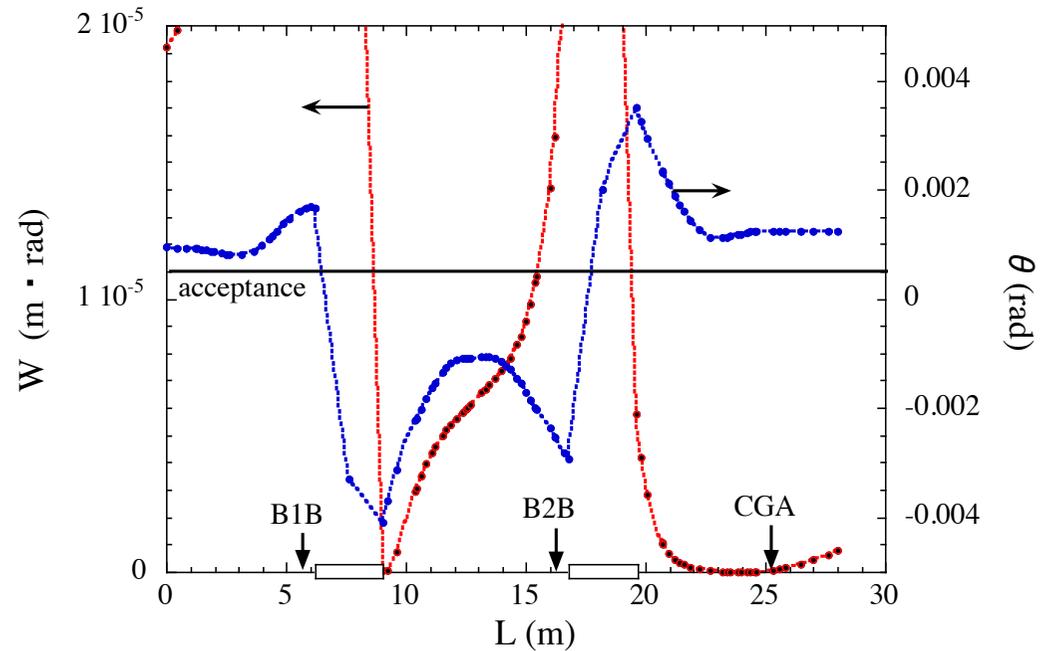
キッカーにより $P=+1$ mradの位置に蹴り込んだ後の入射電子
ビームのCourant-Snyder不変量 W と蹴り角 θ の位置依存性

入射角が+方向ではXが小さいところは依然として偏向電磁石部となる。

超低エミッタンスリング3



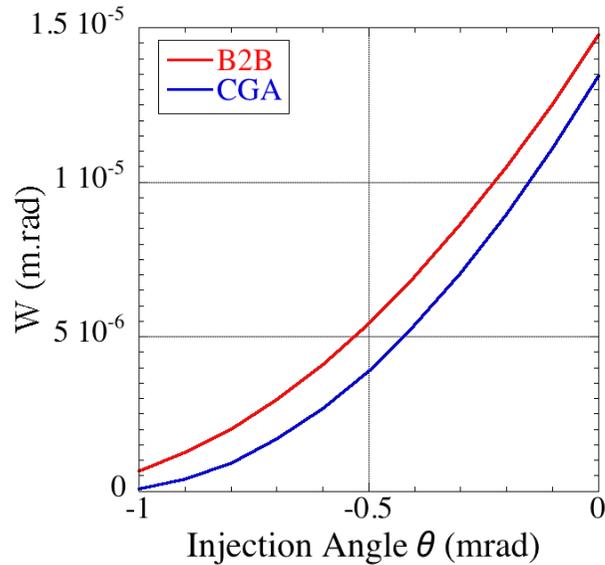
入射ビームを-1mrad傾けて入射した場合の位相空間上で偏向電磁石B1、B2の占める位置



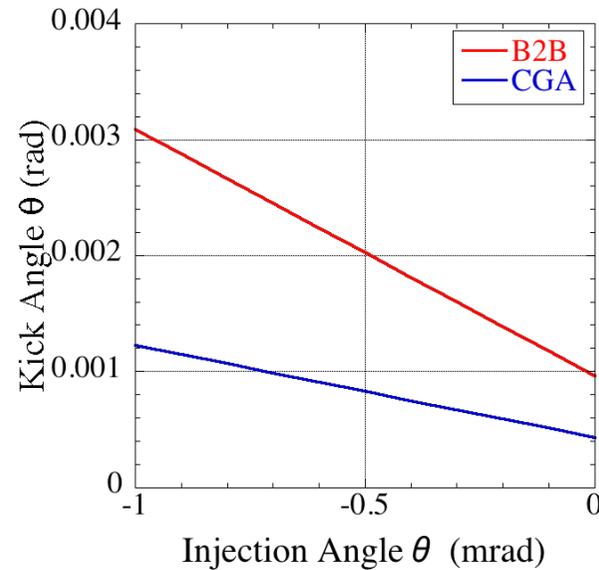
キッカーにより $P=-1\text{mrad}$ の位置に蹴り込んだ後の入射電子ビームのCourant-Snyder不変量 W と蹴り角 θ の位置依存性

入射角が-方向では X が小さいところで偏向電磁石部を避けることができる。

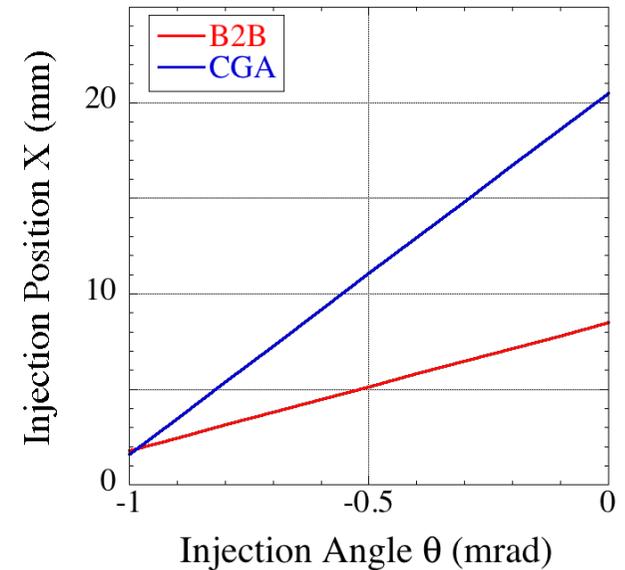
SPring-8への応用



キッカーを偏向電磁石B2の前に置いた時とC架台下流に置いた時のキック後の入射ビームのCourant-Snyder不変量Wの入射ビームの入射角依存性

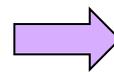


キッカーを偏向電磁石B2の前に置いた時とC架台下流に置いた時にP=0上に蹴り込むためのキック角の入射ビームの入射角依存性



各キッカーの位置での蹴る位置Xの入射角依存性

C架台下流CGAにキッカーを置いた方が、Wは小さくなり蹴り角 θ も小さくて済む。しかも蹴る位置Xは大きく取れ中心軌道から離すことが出来る



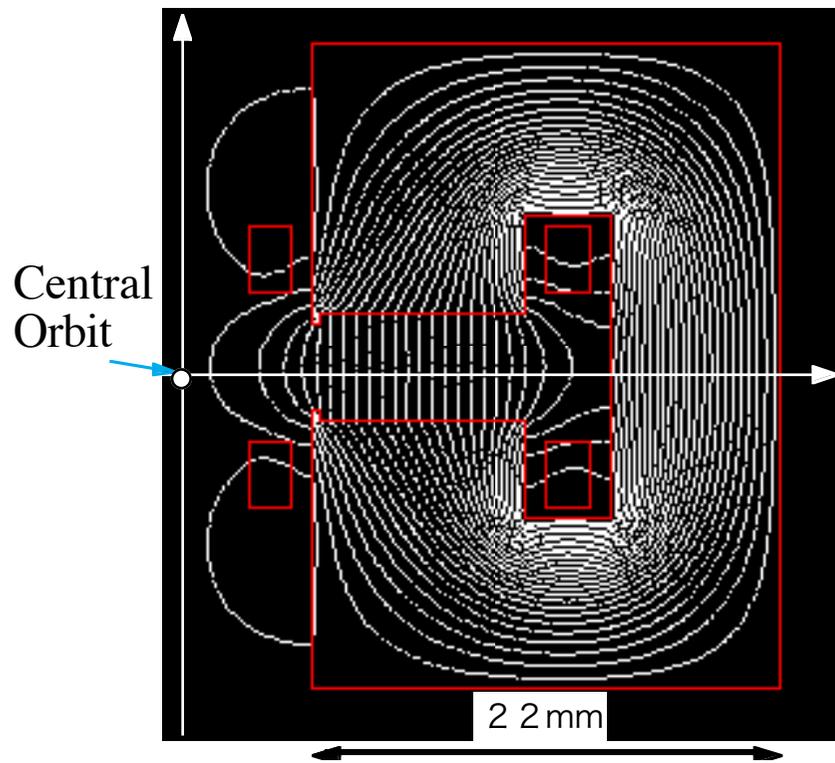
キッカー設置場所はC架台の下流CGAとし入射角は-0.7 mradとする。このときXは7.3 mm。

SPring-8への応用

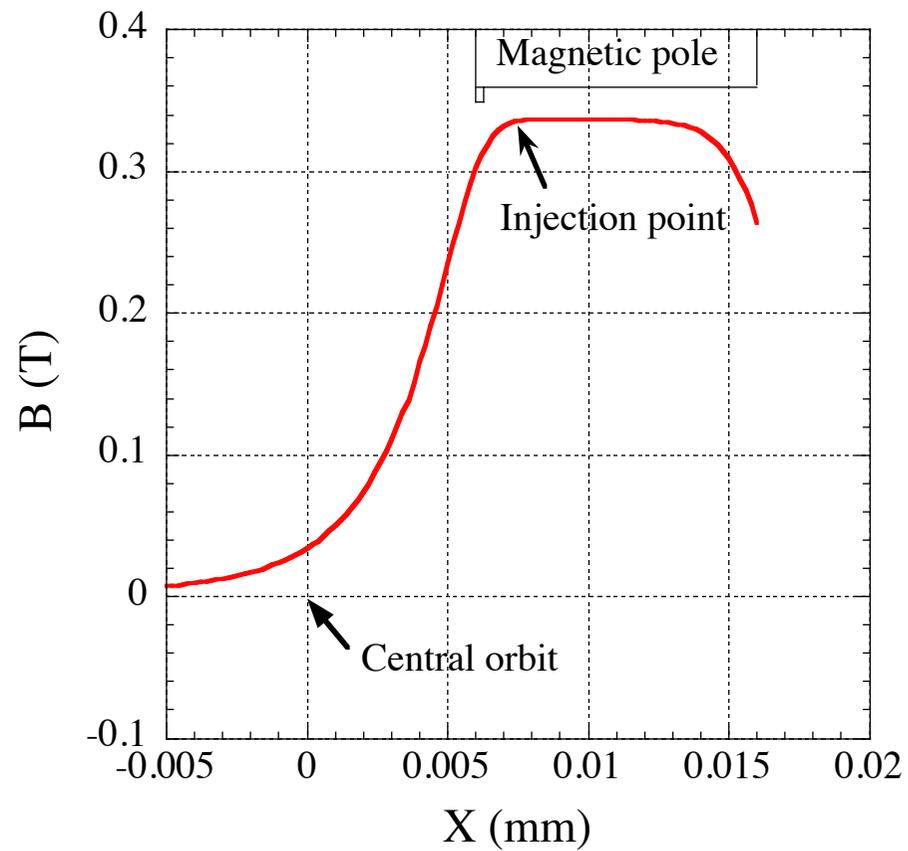
表1 入射の主なパラメータ

パラメータ	値
入射位置 X	-7.3 mm
セプタム出口での入射ビームの傾き θ	-0.7 mrad
キッカーの蹴り角 θ	0.989 mrad
入射後のCourant-Snyder不変量W	$1.7 \times 10^{-6} \text{m} \cdot \text{rad}$
現在のSPring-8のW	$3.2 \times 10^{-6} \text{m} \cdot \text{rad}$ (1.9倍)
現在のSPring-8のセプタム壁で決まるアクセプタンスW	$11.1 \times 10^{-6} \text{m} \cdot \text{rad}$

SPring-8への応用

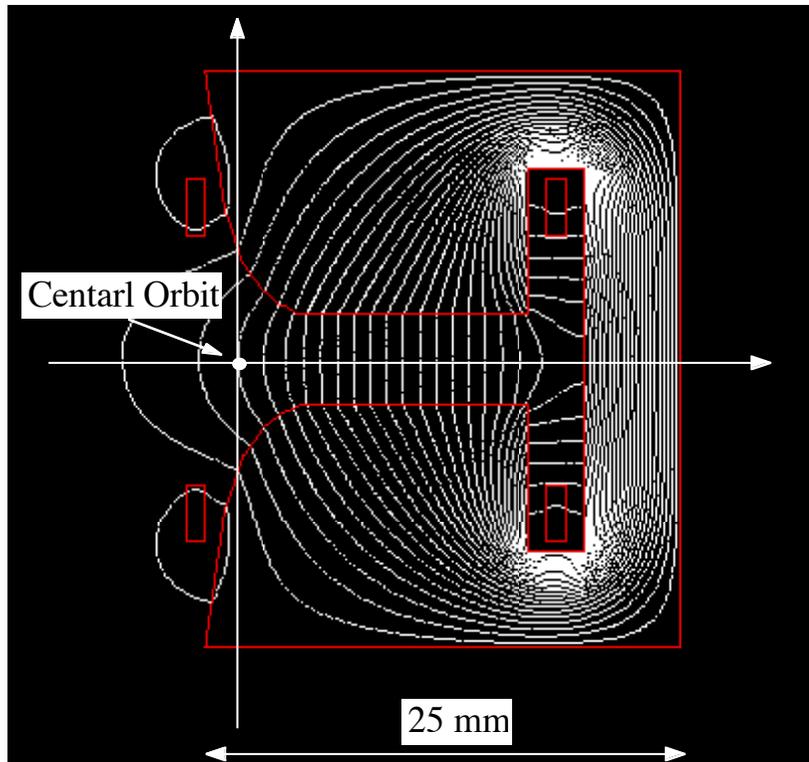


主キッカー電磁石

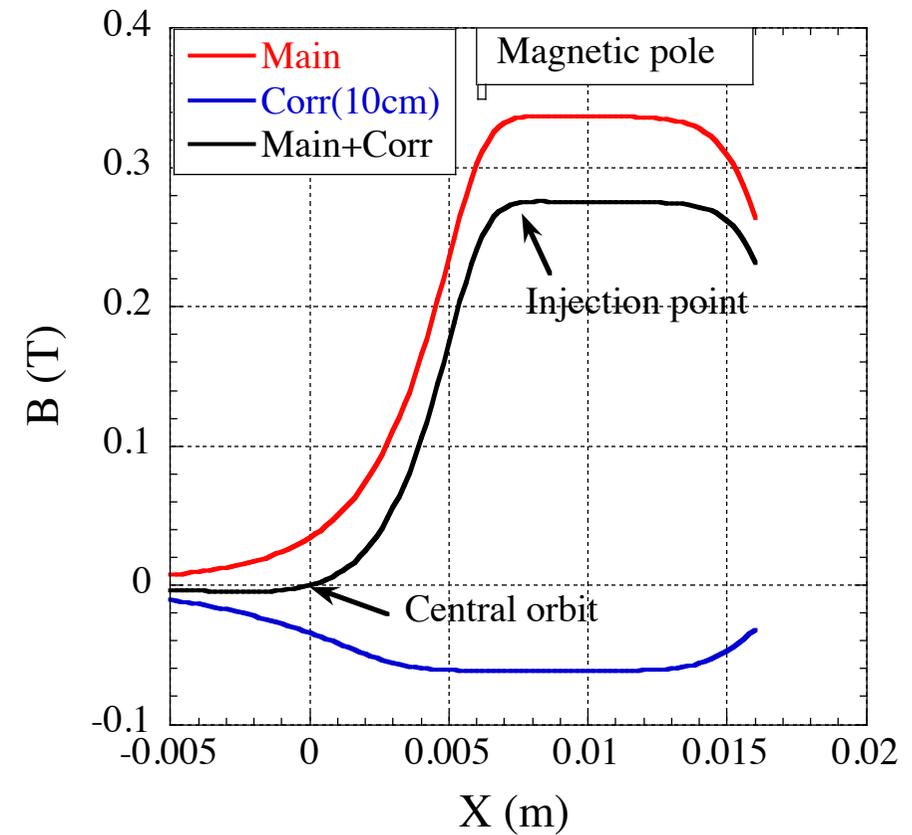


主キッカー電磁石の磁場分布

SPring-8への応用

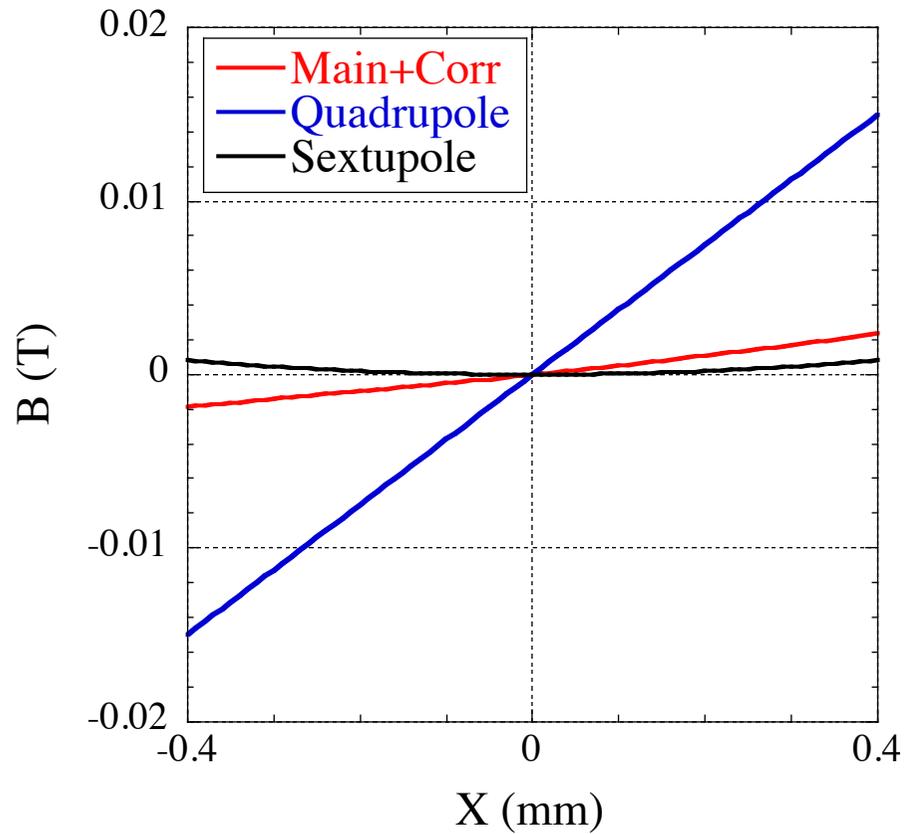


補正電磁石

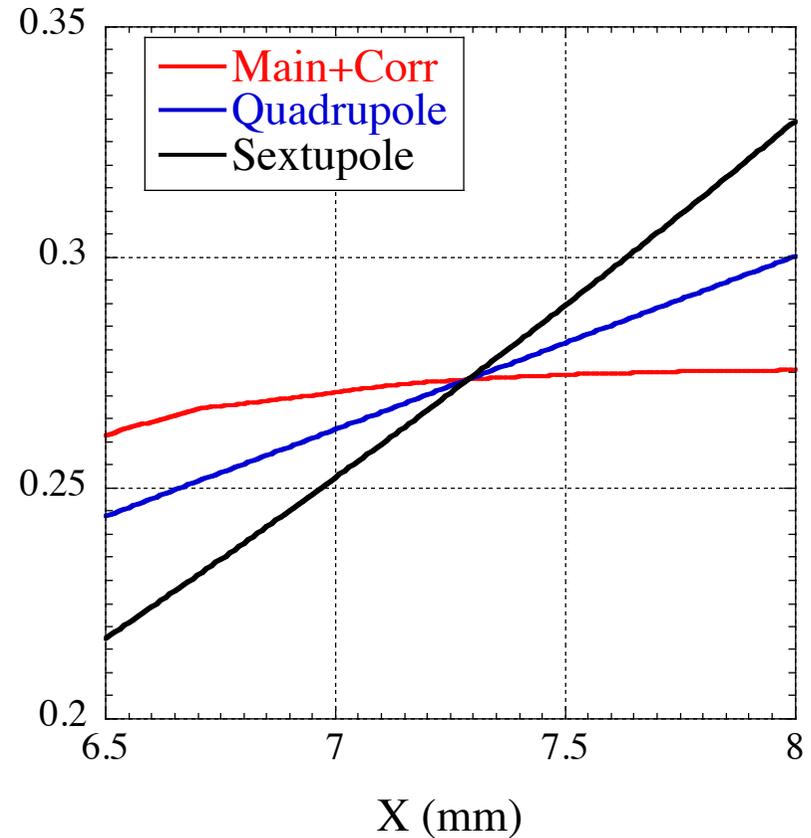


主電磁石、補正電磁石、合成磁場の分布

SPring-8への応用



中心軌道付近の4極、6極および本システムの磁場分布の比較



入射点X=7.3mm付近の4極、6極および本システムの磁場分布の比較

SPring-8への応用

表2 主電磁石の主なパラメータ

パラメータ	値
大きさ	22×30×100 mm
磁極間距離	5 mm
起磁力	1345 AT
磁場強度	0.3343 T
(SPring-8バンブ電磁石BP1EX起磁力)	(12000 AT、約9倍)
(SPring-8バンブ電磁石BP2EX起磁力)	(9600 AT、約7倍)

表3 補正電磁石の主なパラメータ

パラメータ	値
大きさ	25×30×50 mm
磁極間距離	4.72 mm
起磁力	432 AT

まとめ

- 蓄積電子に影響を与えず、入射電子ビームのエミッタンスを大きくしない理想的な入射システムを検討した。
- 理想的な入射ができるのはステップ関数の磁場分布を持つものである。
- 主2極電磁石と補正電磁石を組み合わせればステップ関数に近い磁場分布を得ることが出来ることが分かった。(まだ中心部に四極成分が残り改善の余地あり)
- SPring-8蓄積リングに本方法を検討し、電磁石を設計した。
- 設計した電磁石は大きさ22×30×100 mmで磁極間距離は5mm、起磁力は1345ATである。この値はSPring-8蓄積リングバンプ電磁石の約1/9である。
- 本システムによる入射後のCourant-Snyder不変量の値は $1.7 \times 10^{-6} \text{m} \cdot \text{rad}$ でこの値は現在のSPring-8の53%である。
- 電磁石の磁極間距離をさらに1mm程度にすれば2mm程度のダイナミックアパーチャを持つ超低エミッタンスリングにも適用できる可能性がある。