

Relations between Horizontal Emittance and Machine Parameters of Medium and Large-Scale Storage Rings

Takio Tomimasu^{1,A)}, Yoshitaka Iwasaki^{A)}, Yuichi Takabayashi^{A)}, Hideaki Ohgaki^{B)}

^{A)} Kyushu Synchrotron Light Research Center

8-7 Yayoigaoka, Tosu, Saga, 841-0005

^{B)} Institute of Advanced Energy, Kyoto University

Gokanoshō, Uji, Kyoto, 611-0011

Abstract

Relations between horizontal beam emittance and machine parameters such as horizontal betatron tune Q_x are discussed. We present a new and useful relationship between the estimated horizontal beam emittance ϵ_{XE} and machine circumference $C(m)$ of worldwide medium and large-scale storage rings. For comparison all horizontal emittances are converted at 1.4 GeV. MAX-II [$C(m) = 90$] and MAX-IV [$C(m) = 278$] are well designed to optimized the cost/performance ratio and their designed emittances of $7.7 \text{ nm} \cdot \text{rad}$ and $0.26 \text{ nm} \cdot \text{rad}$ at 1.4 GeV are well agree with the minimum estimated emittance equation $\epsilon_{XE \min}(\text{nm} \cdot \text{rad}) = 5.6 \times 10^6 [E(\text{GeV})/1.4]^2 / C(m)^3$ at $C(m) = 90$ and $C(m) = 278$, respectively. The designed emittance ($25\text{-nm} \cdot \text{rad}$) of SAGA-LS is two times as large as the minimum estimated emittance at $C(m) = 75.6$ given by the above equation.

中型～大型電子蓄積リングの水平エミッタンスと周長等との関係

1. はじめに

電子ビームの水平エミッタンスの概算値 ϵ_{XE} が電子エネルギー E の二乗に比例し、偏向磁石の数 N の三乗に反比例することは1983年の神谷 - 木原による低エミッタンス放射光源の設計指針に関する論文[1]からもよく知られている。

$$\epsilon_{XE} \propto E^2 / N^3 \quad (1)$$

LEPのS. Myers は1995年に ϵ_{XE} が E^2 と平均軌道半径 R に比例し、水平チューン Q_x の三乗と曲率半径 ρ の積に反比例する概算式[2]を、

$$\epsilon_{XE} \propto R E^2 / \rho Q_x^3 \quad (2)$$

1997年には ϵ_{XE} が E^2 に比例し、水平チューン Q_x の三乗と水平damping partition number J_x の積に反比例する概算式[3]を提案している。

$$\epsilon_{XE} \propto E^2 / J_x Q_x^3 \quad (3)$$

いずれも概算値とSAD、TRACY2等による水平エミッタンスの設計値 ϵ_{XD} との一致はよくない。

本報では小型でどこまで低エミッタンス化が可能かを探索するため、① ϵ_{XE} が E^2 に比例し、 Q_x^3 に反比例する概算式と② ϵ_{XE} が E^2 に比例し、周長 $C(m)$ の三乗に反比例する概算式を提案し、稼働中又は建設中で1.4GeV以上の30台のリングの概算値 ϵ_{XE} と設計値 ϵ_{XD} を1.4GeV換算でラテイス構造別でも比較する。各リングの設計値 ϵ_{XD} は最後に示した参考文献から引用した。

2.

① ϵ_{XE} が E^2 に比例し、 Q_x^3 に反比例する概算式

1) DB(A)型の場合の ϵ_{XE} 概算式は次式とする。

$$\epsilon_{XE}(\text{nm} \cdot \text{rad}) = 5000 [E(\text{GeV})/1.4]^2 / Q_x^3 \quad (4)$$

図1の横軸には水平エミッタンスの設計値 ϵ_{XD} をとり、縦軸に $\epsilon_{XE} / \epsilon_{XD}$ の値を示した。比の値は $\epsilon_{XE} / \epsilon_{XD} = 1$ の上下に分布しておりDB(A)型15台の概算値は設計値の0.6倍から1.4倍となっている。ASP (オーストラリア) の値が設計値の0.61倍と1.39倍になっているのは、分散関数 η が0mから0.24mに変わると水平エミッタンスの設計値 ϵ_{XD} の値が1.4GeV換算で、 $3.48 \text{ nm} \cdot \text{rad}$ から $1.52 \text{ nm} \cdot \text{rad}$ に減少するからである。

2) TBA型とFODO型の場合の概算式は次式とする。

$$\epsilon_{XE}(\text{nm} \cdot \text{rad}) = 10000 [E(\text{GeV})/1.4]^2 / Q_x^3 \quad (5)$$

図2の横軸には水平エミッタンスの設計値 ϵ_{XD} をとり、縦軸に $\epsilon_{XE} / \epsilon_{XD}$ の値を示した。比の値は $\epsilon_{XE} / \epsilon_{XD} = 1$ の上下に分布しておりFODO型7台の概算値は設計値 ϵ_{XD} の0.8倍から1.24倍で、設計値との一致の程度はDB(A)型の場合より良い。TBA型の5台の概算値は設計値 ϵ_{XD} の0.3倍から0.81倍で、設計値との一致はDB(A)型程よくない。

3.

② ϵ_{XE} が E^2 に比例し、周長の三乗に反比例する概算式で、水平エミッタンスの概算値の最小値を与える式は以下の通りで図3中に示した。

$$\epsilon_{XE \min}(\text{nm} \cdot \text{rad}) = 5.6 \times 10^6 [E(\text{GeV})/1.4]^2 / C(m)^3 \quad (6)$$

図3中のMAX-II [1.5GeV, $\epsilon_D = 8.8 \text{ nm} \cdot \text{rad}$, $C(M) = 90$] とMAX-IV [3GeV, $\epsilon_D = 1.29 \text{ nm} \cdot \text{rad}$, $C(M) = 278.2$]の概算値 $\epsilon_{XE \min}$ はそれぞれの設計値の

¹ E-mail: tomimasu@bird.ocn.ne.jp

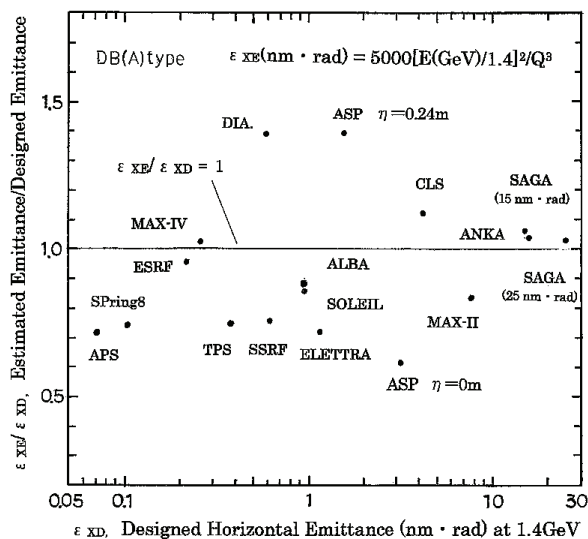


図1. DB(A)型リングにおける $\epsilon_{XE}/\epsilon_{XD}$ 比 (1.4GeV換算)

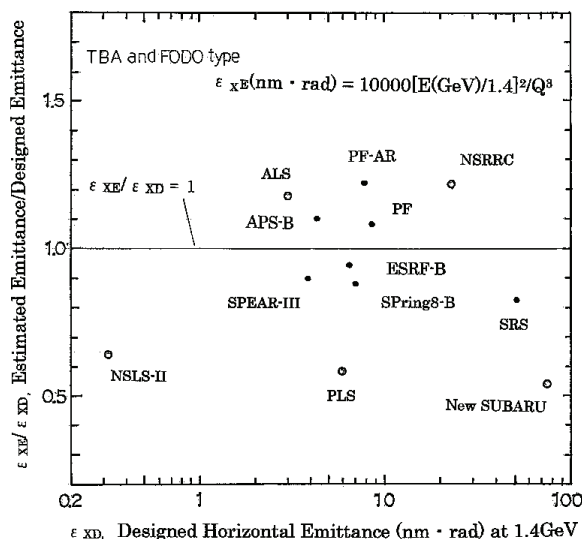


図2. TBA型とFODO型リングにおける $\epsilon_{XE}/\epsilon_{XD}$ 比(1.4GeV換算)

0.99倍と0.93倍で一致は良好である。図3から周長278mのMAX-IVは周長800m以下のリング中で水平エミッタンスが最小(1.4GeV換算)で、0.26 nm · radであることが判る。図3中には当初目標のSAGA-LS ($\epsilon_D=15$ nm · rad)の値も示した。稼働中のSAGA-LS [$\epsilon_D=25$ nm · rad]の ϵ_{XD} は ϵ_{XE} の約2倍であり、MAX-IIやMAX-IVのように最小で最低エミッタンスのレベルには達していない。

4. おわりに

世界の電子蓄積リングで電子ビームの低エミッタンス化がどの程度実現されているのかを探索するために、①水平エミッタンスの概算値 ϵ_{XE} が E^2 に比例し、 Q^3 に反比例する概算式と② ϵ_{XE} が E^2 に比例し、周長 $C(m)^3$ に反比例する概算式を提案し、稼働中又は建設中で1.4GeV以上の30台のリングの水平エミッタンスの概算値 ϵ_{XE} と設計値 ϵ_{XD} の一致の程度を1.4GeV換算でラテイス構造別に比較した。結果は①の概算式では、BD(A)型リングの概算値(平均値)はFODO型の概算値(平均値)の1/2、TBA型の概算値(平均値)の1/3程度であることが分かった。②の ϵ_{XE} が E^2 に比例し、周長 $C(m)^3$ に反比例する概算式で、水平エミッタンスの最小値を与える式 $\epsilon_{XE_{min}}(nm \cdot rad) = 5.6 \times 10^6 [E(GeV)/1.4]^2 / C(m)^3$ を図3に示したが、MAX-II [$C(m)=90$]とMAX-IV [$C(m) = 278.2$]のそれぞれの周長のところでの設計値 ϵ_{XD} の0.99倍と0.93倍で一致の程度は良い。周長278mのMAX-IVは周長800m以下のリング中で ϵ_{XD} が最小(1.4GeV換算)で0.26 nm · radである。稼働中のSAGA-LSの ϵ_{XD} は $C(m)=75.6$ での ϵ_{XE} の約2倍で、 $C(m)=75.6$ での最低エミッタンスのレベルには達していない。

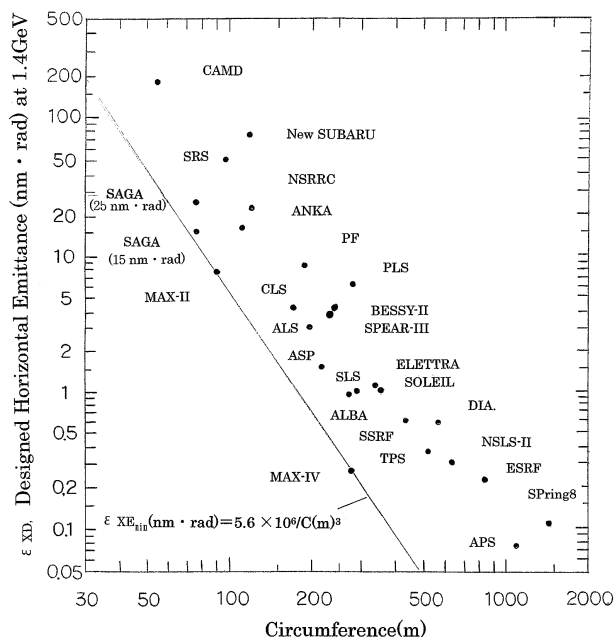


図3. 水平エミッタンス設計値(1.4GeV換算)の周長依存性

参考文献

- [1] Y. Kamiya and M. Kihara, KEK 83-16 p.1 (1983).
[2] S. Myers, Proc.PAC95, Dallas, May p.476 (1995).
[3] S. Myers, Proc.PAC97, Vancouver, May p.1 (1997).

DB(A) type Storage Rings

- [4] SAGA ($\epsilon_D=15\text{nm} \cdot \text{rad}$)(1.4GeV, Japan) T.Tomimasu et al., Proc. APAC01, Beijing, Sept. p.340 (2001).
[5] SAGA ($\epsilon_D=25\text{nm} \cdot \text{rad}$)(1.4GeV, Japan) Y. Iwasaki et al., Proc. PAC03, Portland, May p. 3270 (2003).
[6] CAMD (1.5GeV, USA) V. P. Suller et al., Proc. PAC05, Knoxville, May p. 3103 (2005).
[7] MAX-II (1.5GeV, Sweden) A. Andersson et al., Nucl. Instr. and Meth. A343 (1994) 644.
[8] BESSY-II (1.9GeV, Germany) T. Becker et al., Proc.PAC95, Dallas, May p.1325 (1995).
[9] ELETTRA (2GeV, Italy) C.J. Bocchetta et al., Proc. PAC05, Knoxville, May p.4170 (2005).
[10] ANKA (2.5GeV, Germany) E. Fuller et al., Proc. PAC05, Knoxville, May p.2467 (2005).
[11] SOLEIL (2.75GeV, France) M.P. Level et al., Proc. PAC03, Portland, MAY p. 229 (2003).
[12] CLS (2.9GeV, Canada) L. Dallin et al., Proc. PAC03, Portland, May p. 220 (2003).
[13] ASP (3GeV, Australia) A.Jackson and H.Nishimura, Proc. PAC03, Portland, May p. 244 (2003).
[14] MAX-IV (3GeV, Sweden) Greg LeBlance et al., Proc. PAC03, Portland, May p.2321 (2003).
[15] DIA. (3GeV, UK) R.P. Walker, Proc. PAC03, Portland, May p.232 (2003).
[16] ALBA (3GeV, Spain) D. Einfelt et al., Proc. PAC05, Knoxville, May p.4203(2005).
[17] SSRF (3.5GeV, China) Z. Zhao et al., Proc. PAC05, Knoxville, p. 214 (2005).
[18] TPS (3GeV, Taiwan) C. C. Kuo et al., Proc. PAC05, Knoxville, p.2989 (2005).
[19] ESRF (6GeV,EU) Berkvens et al., Proc. PAC03, Portland, p. 854 (2003).
[20] APS (7GeV, USA) L. Emery & M. Borland, Proc. PAC03, Portland, p. 256 (2003).
[21] SPring8 (8GeV, Japan) M. Takao et al., Proc. PAC05, Knoxville, p. 2538 (2005).

TBA type Storage Rings

- [22] NSRRRC (1.5GeV, Taiwan) G.H. Luo et al., PAC05, Knoxville, May p. 2992 (2005).
[23] NewSUBARU (1.5GeV, Japan) A. Ando, Proc. 1st Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan p.132 (2004).
[24] ALS (1.5GeV, USA) D. Robin, Proc. PAC03, Portland, May p.224(2003).
[25] SLS (2.4GeV, Switzerland) A. Streun et al., Proc. PAC01, Chicago, p. 224 (2001).
[26] PLS (2.5GeV, Korea) E.S.Kim et al., Proc. PAC03, Portland, May p.466(2993).
[27] NSLS-II (3GeV, USA) J.B. Murphy et al., Proc. PAC05, Knoxville, p.3345 (2005).

FODO type Storage Rings and Boosters

- [28] SRS (2Gev, UK) H. Owen, Proc. PAC97,Vancouver, May p.333 (1997).
[29] PF (2.5GeV, Japan) T. Honda et al., Proc. PAC05, Knoxville,May p.2678 (2005).
[30] SPEAR-III (3GeV, USA) R. Hettel et al., Proc. PAC03, Portland, May p.235.

- [31] PF-AR (6.5GeV,Japan) T. Miyajima et al., Proc. PAC05, Knoxville, p.2845 (2005).
[32] ESRF-B (6GeV,EU) Y. Papaphilippu et al., PAC03, Portland, May p.851 (2003).
[33] APS-B (7GeV,USA) N.S. Sereno et al., PAC03, Portland, May p.247 (2003).
[34] SPring8-B (8GeV,Japan) H.Yonehara, 放射光第16卷 第3号 p. 44 (2003).