

超伝導ウィグラーを用いた高エネルギー 放射光の発生と陽電子生成 - SPring-8 蓄積リングでのビーム試験 -

[早乙女光一](#)^(A)、恵郷博文^(A)、大石真也^(A)、大島隆^(A)、大橋裕二^(A)、
川島祥孝^(A)、熊谷教孝^(A)、古寺正彦^(A)、佐伯宏^(A)、佐々木茂樹^(A)、
清水純^(A, B)、小路正純^(A)、高雄勝^(A)、高嶋武雄^(A)、高野史郎^(A)、
武部英樹^(A)、伊達伸^(A)、田中均^(A)、谷内友希子^(A)、田村和宏^(A)、
張超^(A)、妻木孝治^(A)、中村剛^(A)、野田隆^(A)、原雅弘^(A)、福井達^(A)、
細田直康^(A)、馬込保^(A)、正木満博^(A)、増田剛正^(A)、松井佐久夫^(A)、
依田哲彦^(A)、米原博人^(A)、

A. Batrakov^(C)、G. Kulipanov^(C)、N. Mezentsev^(C)

(A) (財) 高輝度光科学研究センター

(B) (株) 日本総合研究所

(C) Budker INP, Novosibirsk, Russia

soutome@spring8.or.jp

大型放射光施設 SPring-8（兵庫県）

1GeV 線型加速器 → ブースターシンクロトロン
→ 8GeV 電子蓄積リング（1周 1436m）

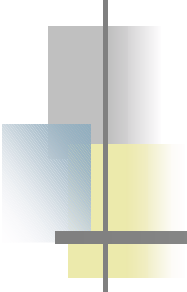


放射光ビームライン

挿入光源利用 : 現在 27 本（最大 38 本）

偏向電磁石利用 : 現在 19 本（最大 23 本）

<http://www.spring8.or.jp>



今回の試験の目的

高エネルギー電子蓄積リング（8GeV）に設置した
高磁場発生装置（10T 超伝導ウィグラー）による
高エネルギー放射光（ γ 線、 $\sim$ MeV）の発生試験

→ 応用として、陽電子の新しい生成法

装置の設置：2002 年 8 月

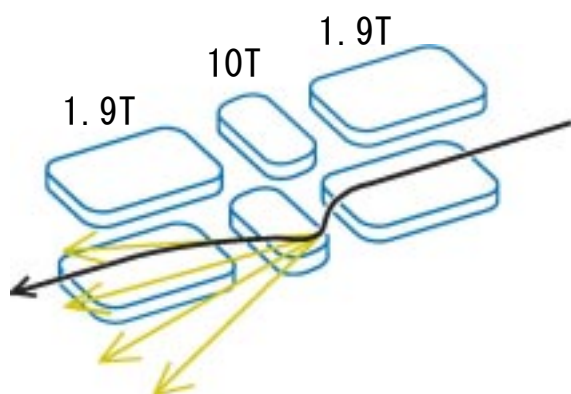
ビーム試験：2002 年 9 月 3 日 $\sim$ 5 日

蓄積電流値：0.1mA

（通常は 100mA でユーザー運転。）

- ・蓄積電子ビームに対する影響を見る。
- ・放射線、熱負荷などの基礎データを取る。
- ・できれば陽電子を観測する。

超伝導ウィグラー



水平 $\sim \pm 25 \text{ mrad}$
垂直 $\sim \pm 25 \mu \text{ rad}$ for $1 \text{ MeV } \gamma$

電子ビーム

$$\text{Critical Photon Energy} \\ E_c = 3hc / (4\pi (mc^2)^3) \times E^3 / \rho \\ = 0.43 \text{ MeV}$$

for $E=8 \text{ GeV}$, $B=10 \text{ T}$

パワーは $\nu_c = E_c/h$ 付近の
周波数域に放射される。



8GeV 電子蓄積リングに設置 (2002年 8 月)



設置前



設置後

周回電子ビーム



バンチ
(RFバケット内の電子群)

最大バケット数 : 2436
バケット間隔 : 1.97ns
周回周期 : 4.79 μ s

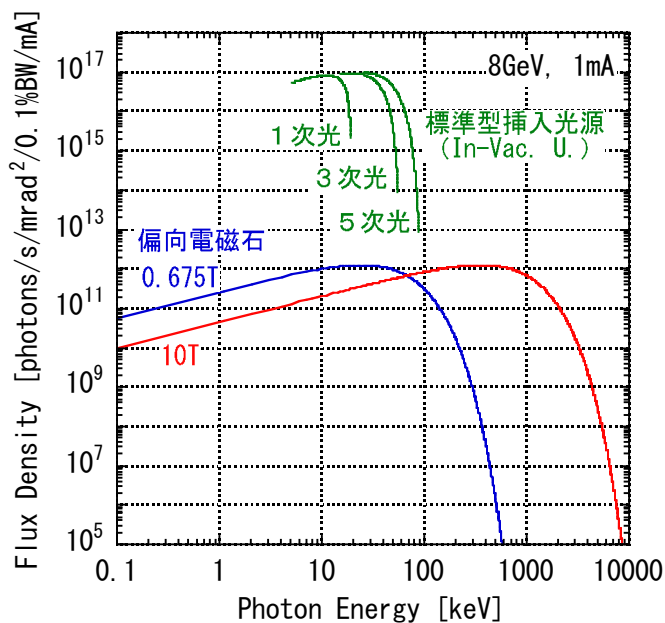
RF加速周波数 : 508.58MHz
周長 : 1435.9488m

最大蓄積電流値 :

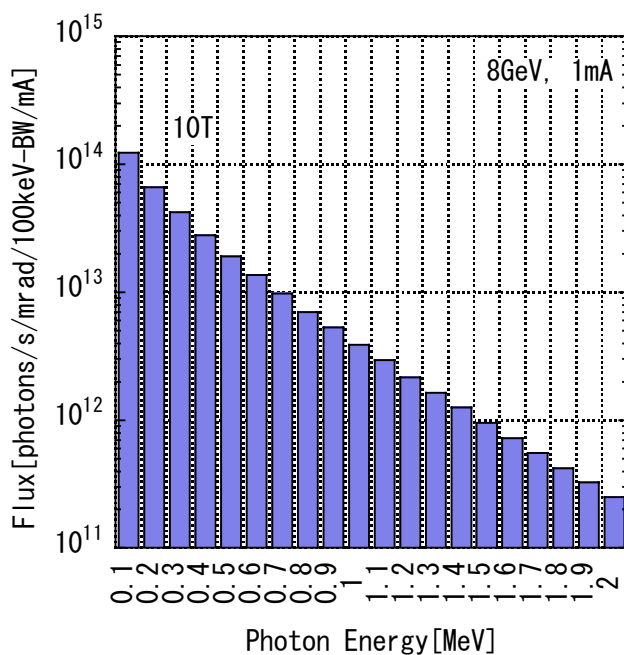
マルチバンチ運転 → 100mA

シングルバンチ運転 → 16mA (過去の最大値)

発生する放射光（ γ 線）のフラックス



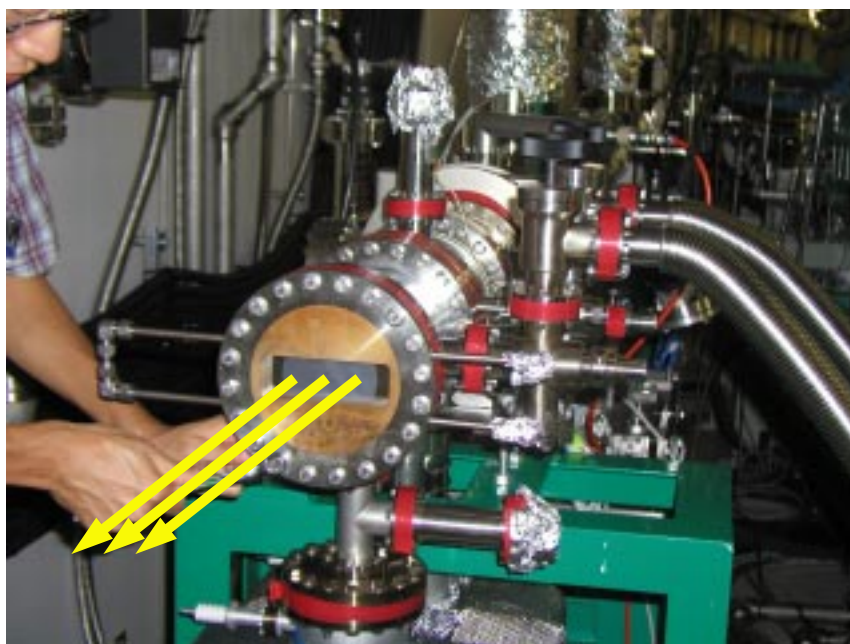
フラックス密度
の比較



10T 磁場による
フラックス

1MeV 以上の photon 数
 $= 2.0 \times 10^{13} / \text{s/mrad/mA}$
 1.5

放射光取り出し窓

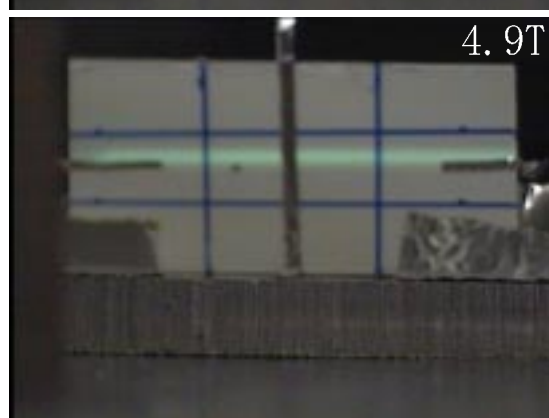
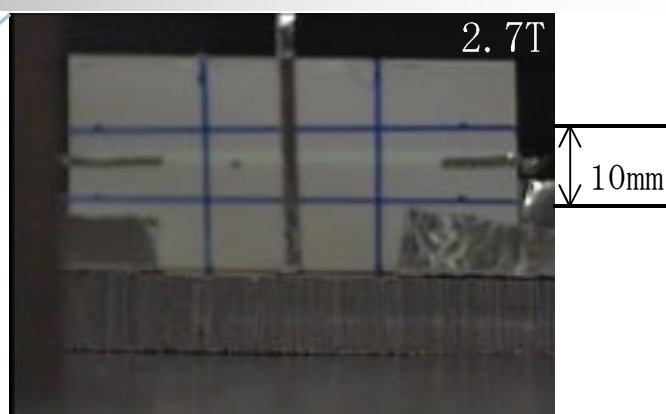
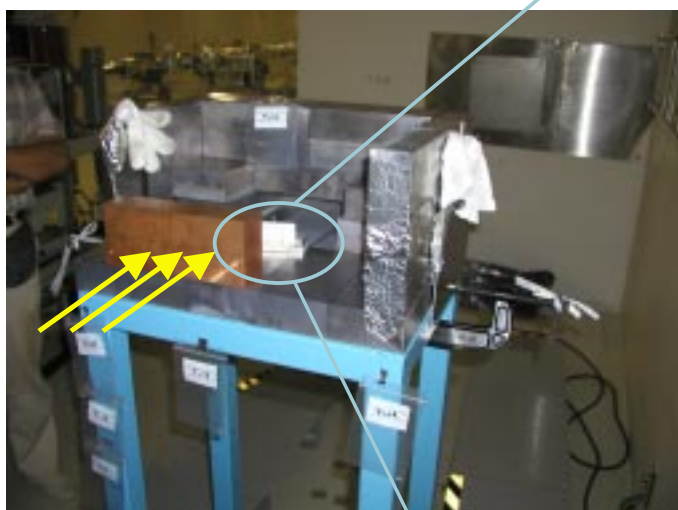


Be 0.25mm厚

Al 3mm厚



発生した放射光



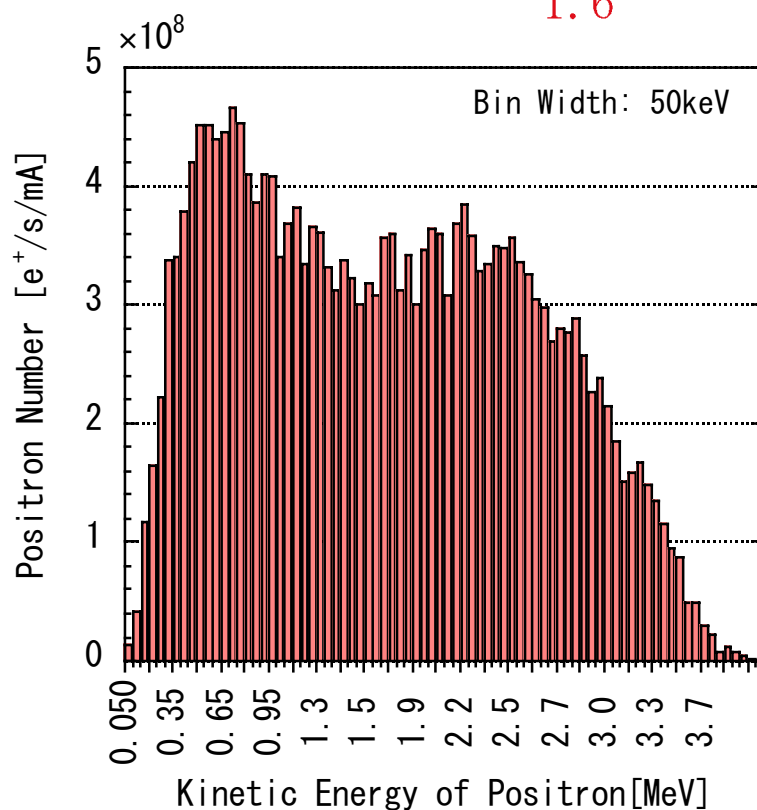
アルミ窓による陽電子生成量の見積もり（計算）

磁場：10T

窓：Al 3mm（発光点から 26.2m下流）

放射光に対するアパーチャー：2.38mrad

放出される陽電子数： 2.1×10^{10} /s/mA（計算）
1.6

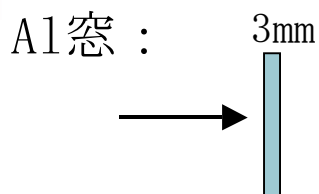


$$\frac{\text{生成}e^+}{\text{入射}\gamma} = 7.1 \times 10^{-4}$$

$$\frac{\text{放出}e^+}{\text{入射}\gamma} = 4.4 \times 10^{-4}$$

今回のセットアップは、陽電子生成用に最適化されているわけではない。薄い金属板（今回はAl）を立てずに寝かせ、断面に放射光を照射すれば、**収量は1桁以上増える**。

陽電子の収量を増やすには…（計算）



$$\begin{aligned} \text{放出}e^+/\text{入射}\gamma \\ = 4.4 \times 10^{-4} \end{aligned}$$

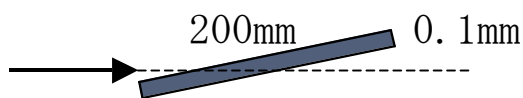
Pb plate：



$$\begin{aligned} \text{放出}e^+/\text{入射}\gamma \\ = 6.3 \times 10^{-4} \quad (t=2.0\text{mm}) \\ = 1.3 \times 10^{-3} \quad (t=1.0\text{mm}) \\ = 3.3 \times 10^{-3} \quad (t=0.5\text{mm}) \end{aligned}$$

薄過ぎると照射領域で損。そこで…

プレートを傾ける。



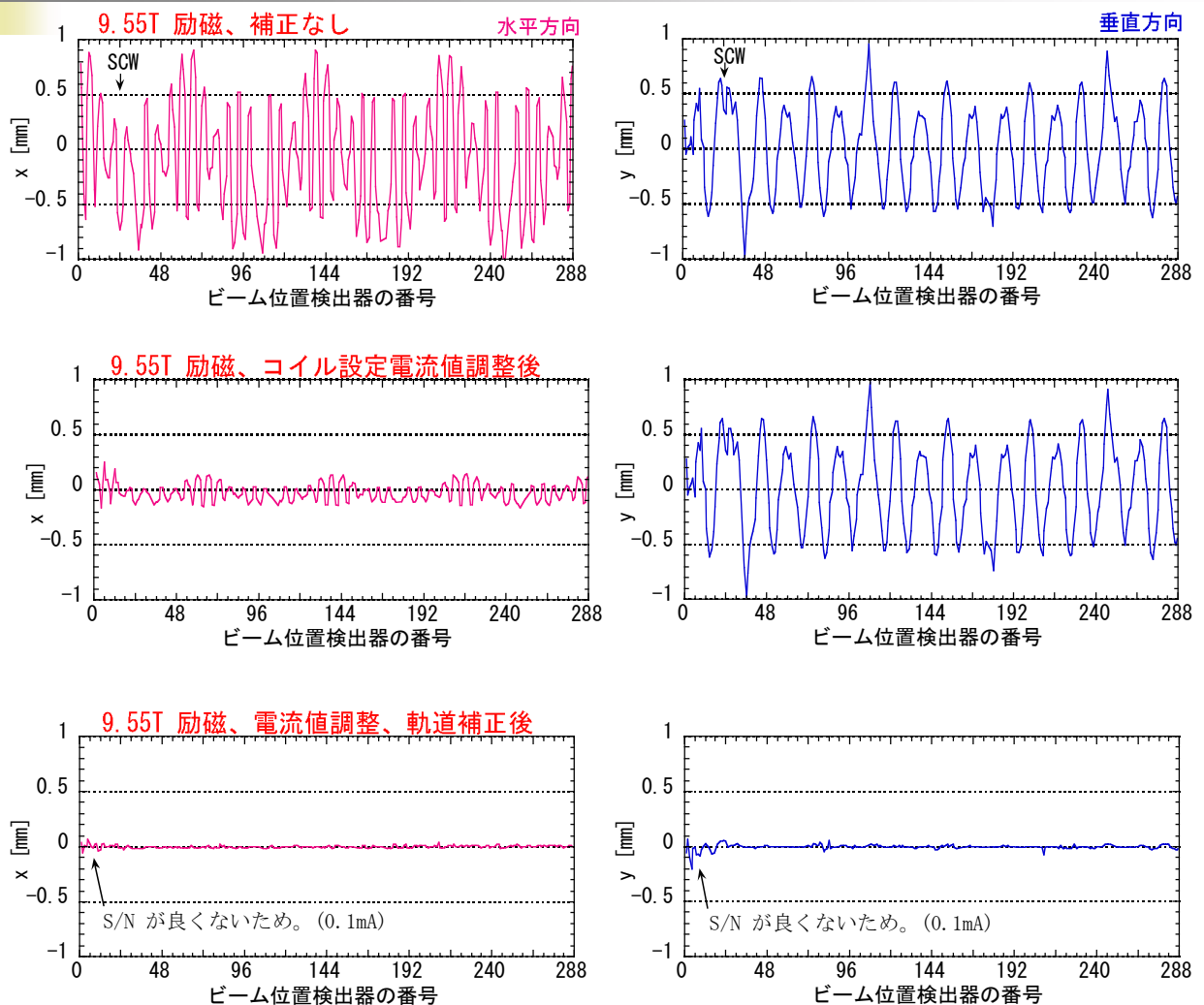
$$\begin{aligned} \text{放出}e^+/\text{入射}\gamma \\ = 1.0 \times 10^{-2} \\ (t=0.1\text{mm}, 5\text{mrad}) \end{aligned}$$

（ただし、奥行きが大。）

1MeV 以上の photon 数 $\frac{2.0 \times 10^{13}}{1.5} \text{ s/mrad/mA}$ を
単純にかけると …

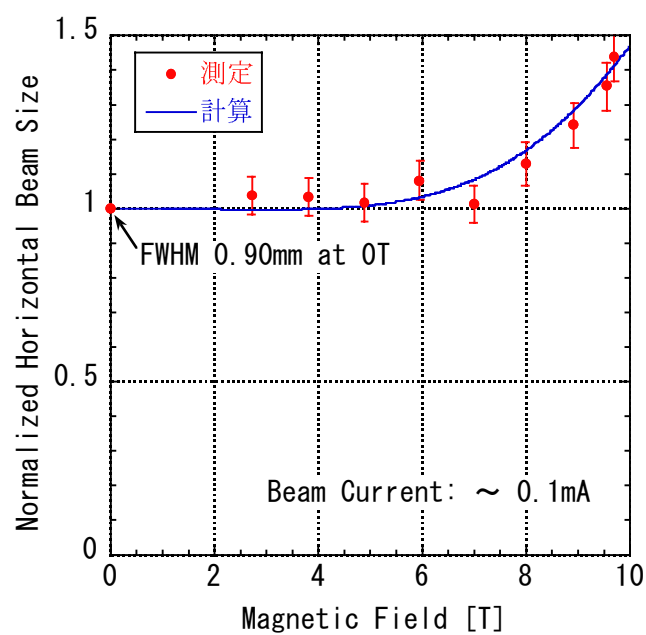
$$\text{放出}e^+ = \frac{2.0 \times 10^{11}}{1.5} \text{ s/mrad/mA}$$

電子ビームへの影響：誤差磁場による軌道の歪みとその補正

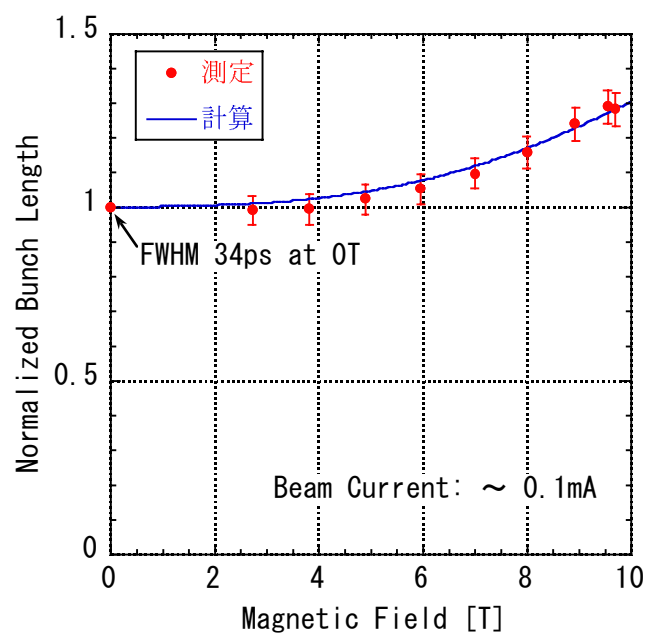


通常、電子ビームの軌道を基準軌道に合わせる精度は、RMS 値で $10\mu\text{m}$ よりも良い。今回の試験では、低電流値のためビーム位置検出器の S/N が悪かったが、通常のレベルに近い精度での補正ができている。

電子ビームへの影響：ビームサイズの変化

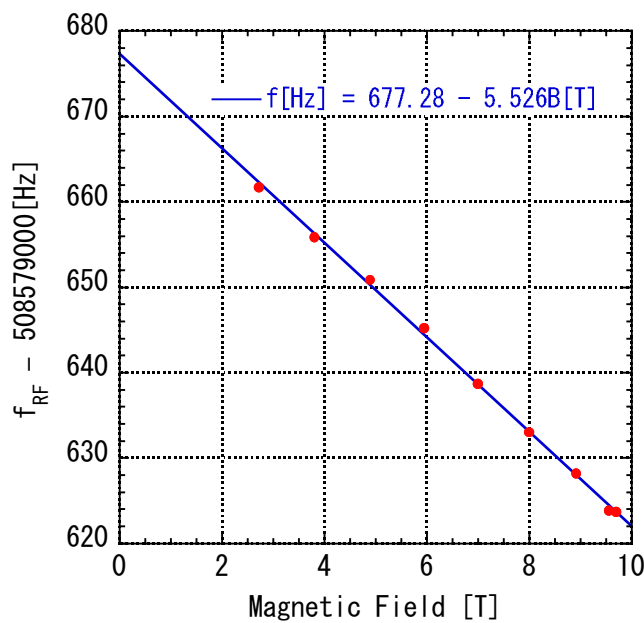


水平方向
(入射部)



進行方向
(バンチ長)

電子ビームへの影響：周長（RF加速周波数）と ベータトロンチューン

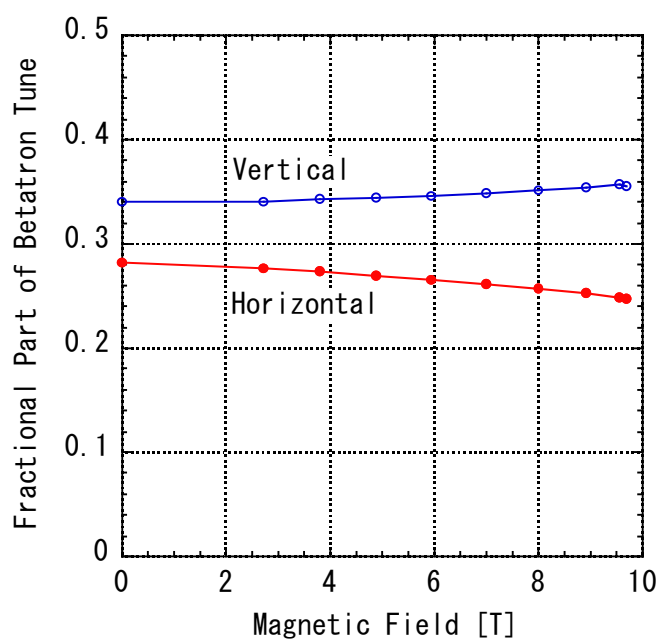


周長

$$\Delta B = 10 \text{ T}$$

$$\rightarrow \Delta f_{RF} = -55 \text{ Hz}$$

$$\rightarrow \Delta L = +0.155 \text{ mm}$$



ベータトロンチューン



まとめ

8GeV 電子蓄積リングに超伝導ウィグラーを設置し、9.7T まで励磁して高エネルギー放射光の発生試験を行った。

蓄積電子ビームに対する影響

- ・ほぼ予想通りの効果であった。
- ・励磁状態での追加入射が可能であった。
- ・影響そのものは無視できない。
→ 他の放射光ユーザーへの影響。

放射線、熱負荷

- ・次回のビーム試験項目になっている。

陽電子の観測

- ・ポジトロニウムの 3γ 崩壊の観測をシリカエアロジェルとNaI で試みたが、バックグラウンドの影響、NaI の放射線によるダメージなどでうまく測定できなかった。

今後

- ・超伝導ウィグラーは今年12月に撤去する予定。
- ・利用分野（テーマ、人、...）の開拓が必須。