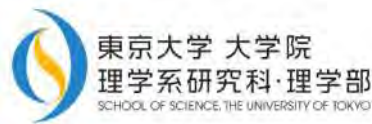


ボース・アインシュタイン凝縮を 目指したポジトロニウム冷却II

橋立 佳央理, 周 健治, 山田 恭平, 石田 明, 難波 俊雄^A,
浅井 祥仁, 五神 真, 田島 陽平^B, 蔡 恩美^B,
吉岡 孝高^B, 大島 永康^C, オローク ブライアン^C, 満汐 孝治^C,
伊藤賢志^C, 熊谷 和博^C, 鈴木 良一^C, 藤野 茂^D, 兵頭 俊夫^E,
望月 出海^E, 和田 健^F

東大理, 東大素粒子センター^A, 東大工^B, 産総研^C, 九大GIC^D,
高工研^E, 量研^F



日本物理学会第74回年次大会 (2019年)
九州大学

目次

- イントロダクション
- 実験概要
- 結果
- 考察
- まとめ

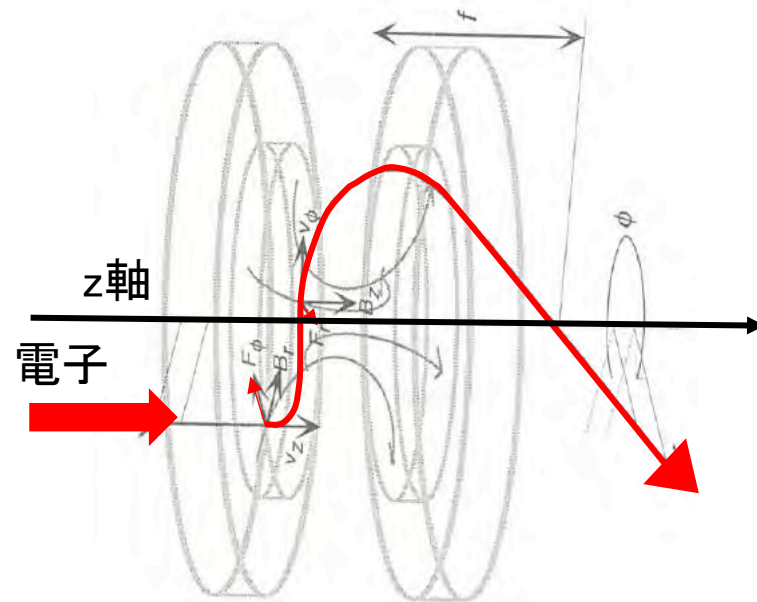
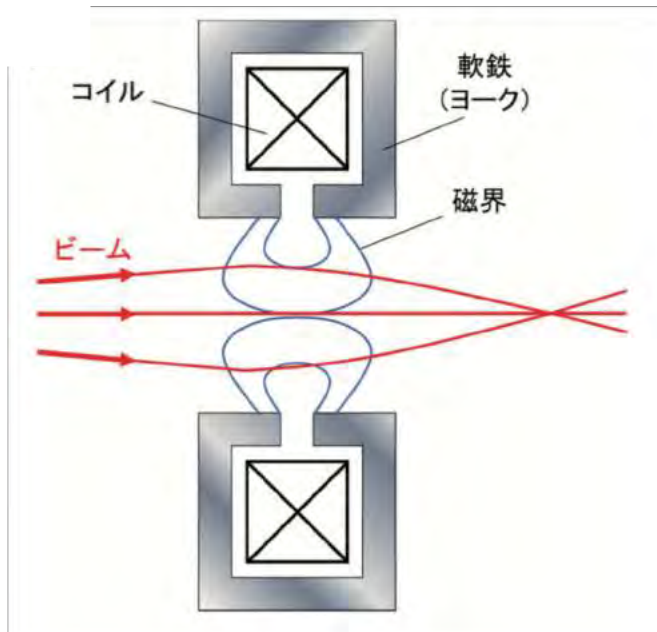
イントロダクション

- P_s のBECに向け、磁気レンズによって構成された低速陽電子ビーム集束システムを開発している。
- 前段階のKEKでの P_s レーザー冷却実験では、低速陽電子ビームを磁気レンズで集束して P_s 生成ターゲットに入射する。
- 産総研の陽電子ビーム集束実験のために試作された磁気集束レンズをKEKのビームラインに設置し、ビーム集束の実験を行った。
- KEKでの集束実験のデータを解析し、期待通りの性能が得られているか確認した。

磁気レンズによる陽電子集束の原理

2次元での図解

3次元での図解



日本陽電子科学会会報「陽電子科学」第一号
大島永康、鈴木良一、藤浪真紀

「物質からの回折と結像：透過電子顕微鏡法の基礎」今野豊彦

- 磁気集束レンズは、コイルとヨークから図のような磁界を生み出す。
- 速度 v_z で入射した荷電粒子はまず磁場 B_r により ϕ 方向の力を受け、それによって生じた v_ϕ と磁場 B_z から、軸に向かう力 F_r を受けて集束する。
- この集束レンズを基本とした輝度増強システムを多段にすることで、PsのBECに必要な陽電子の高密度化を達成する。

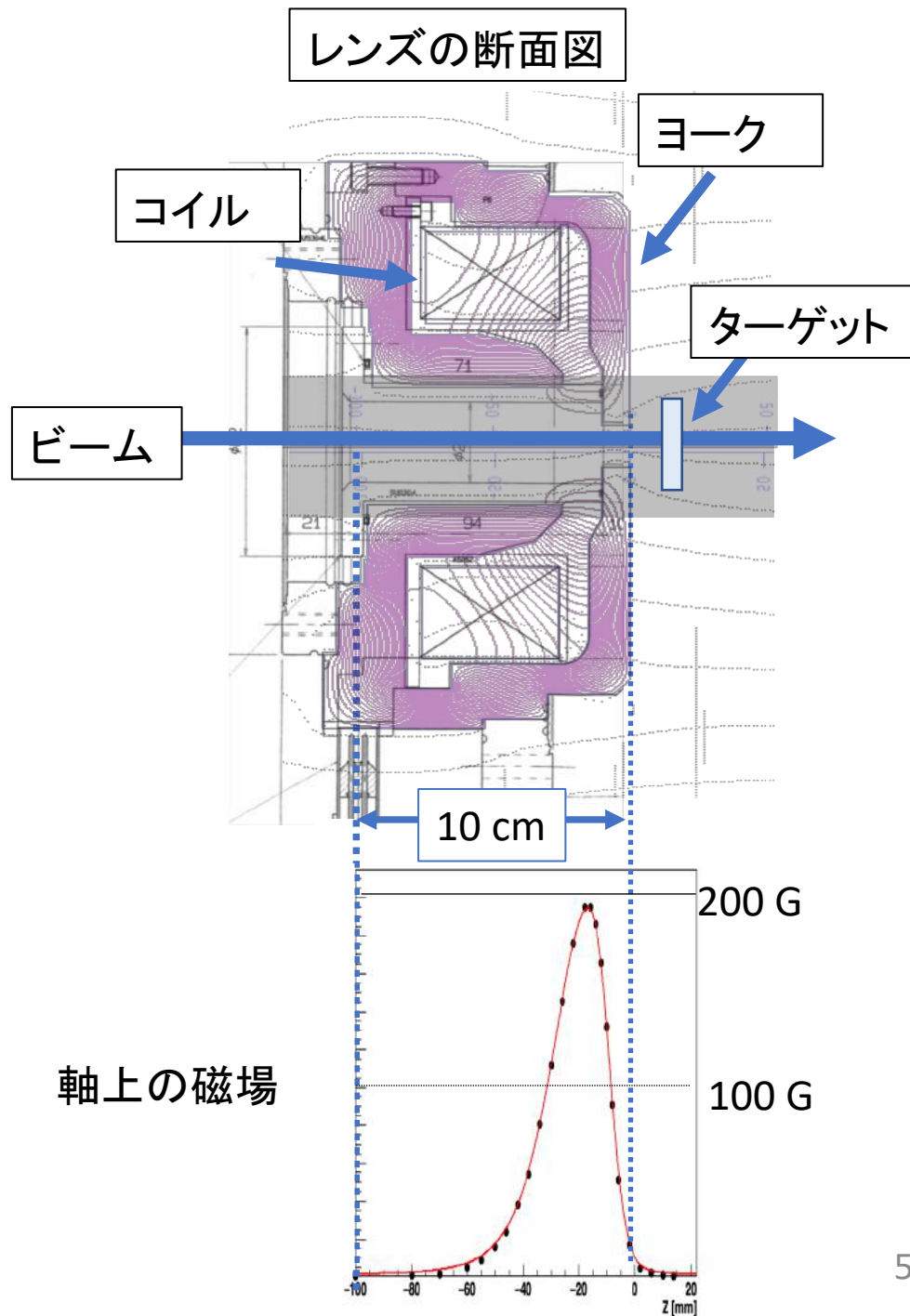
今回使用した 集束レンズ

- 磁気集束レンズは、ヨークとコイルからなる
- 445 Aの電流をコイルに流すと、ピークが200 Gの磁場が出来る

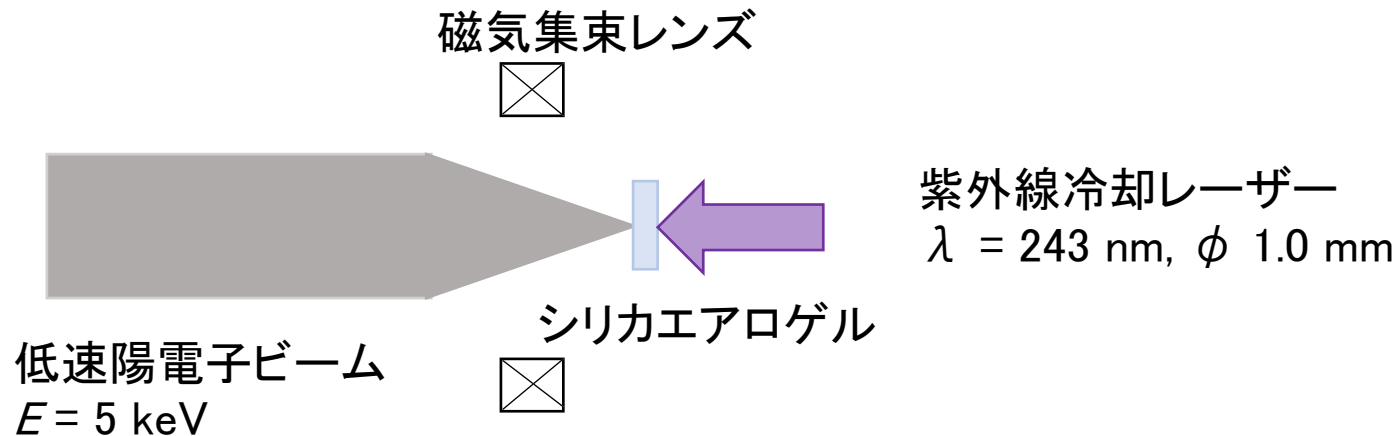
レンズパラメータ

焦点距離 $F \sim 37 \text{ mm}$

収差係数 $C_s \sim 37 \text{ mm}$



磁気集束レンズで直径1 mm内に 100～400個/pulseの陽電子を得たい



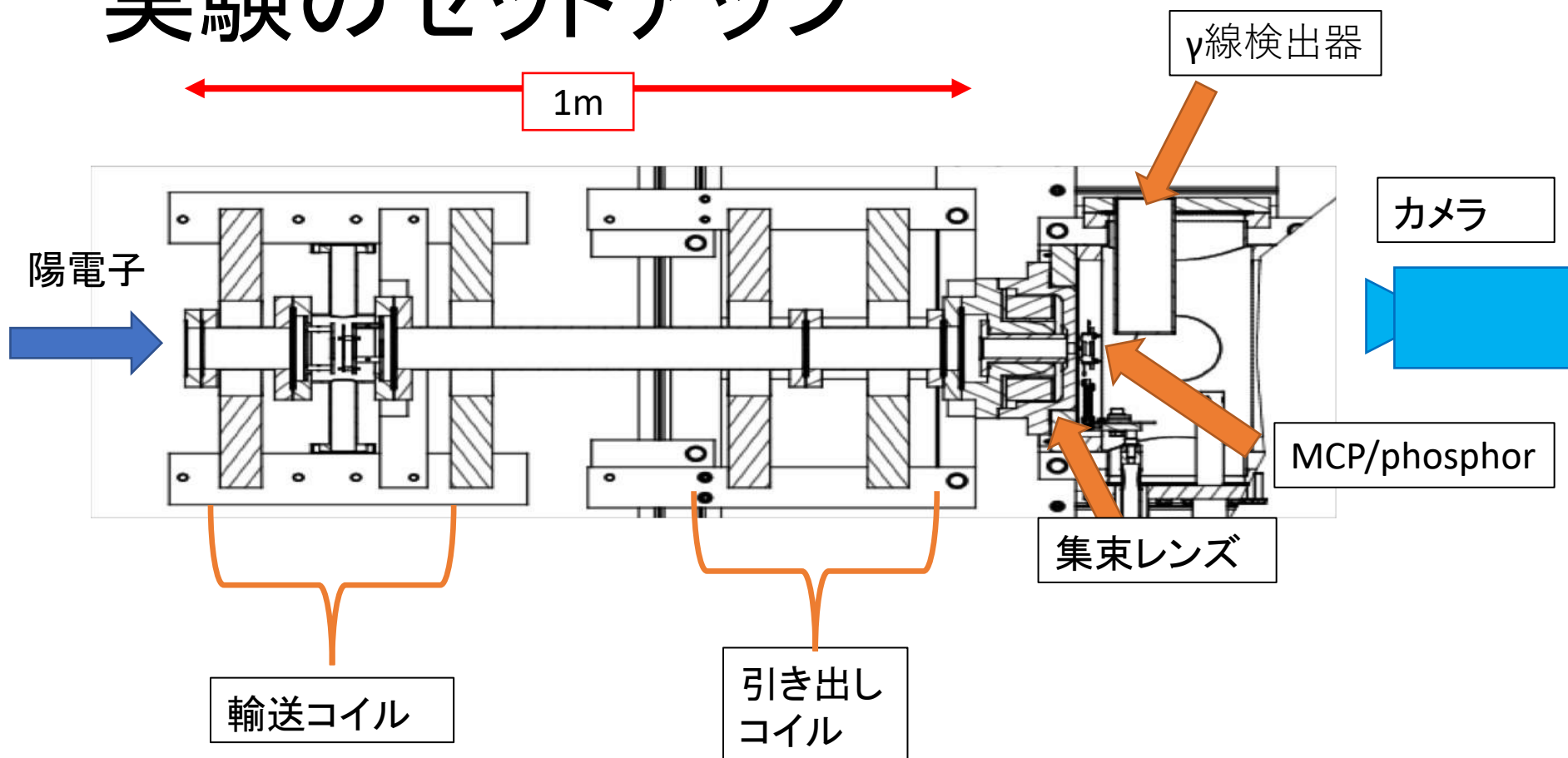
- KEKの低速陽電子ビーム ($E = 5 \text{ keV}$) を磁気レンズによって集束させ、シリカエアロゲルに入射する。
- 冷却レーザーの直径が1.0 mmなので、その範囲内に入る陽電子の数と比率をともに高めることが重要である。
- レーザー冷却実験で要求される陽電子数は、20 K (40 K) の精度で冷却を確認するのに、400 個/pulse (100 個/pulse)。

磁気集束レンズの性能評価に使用したビーム

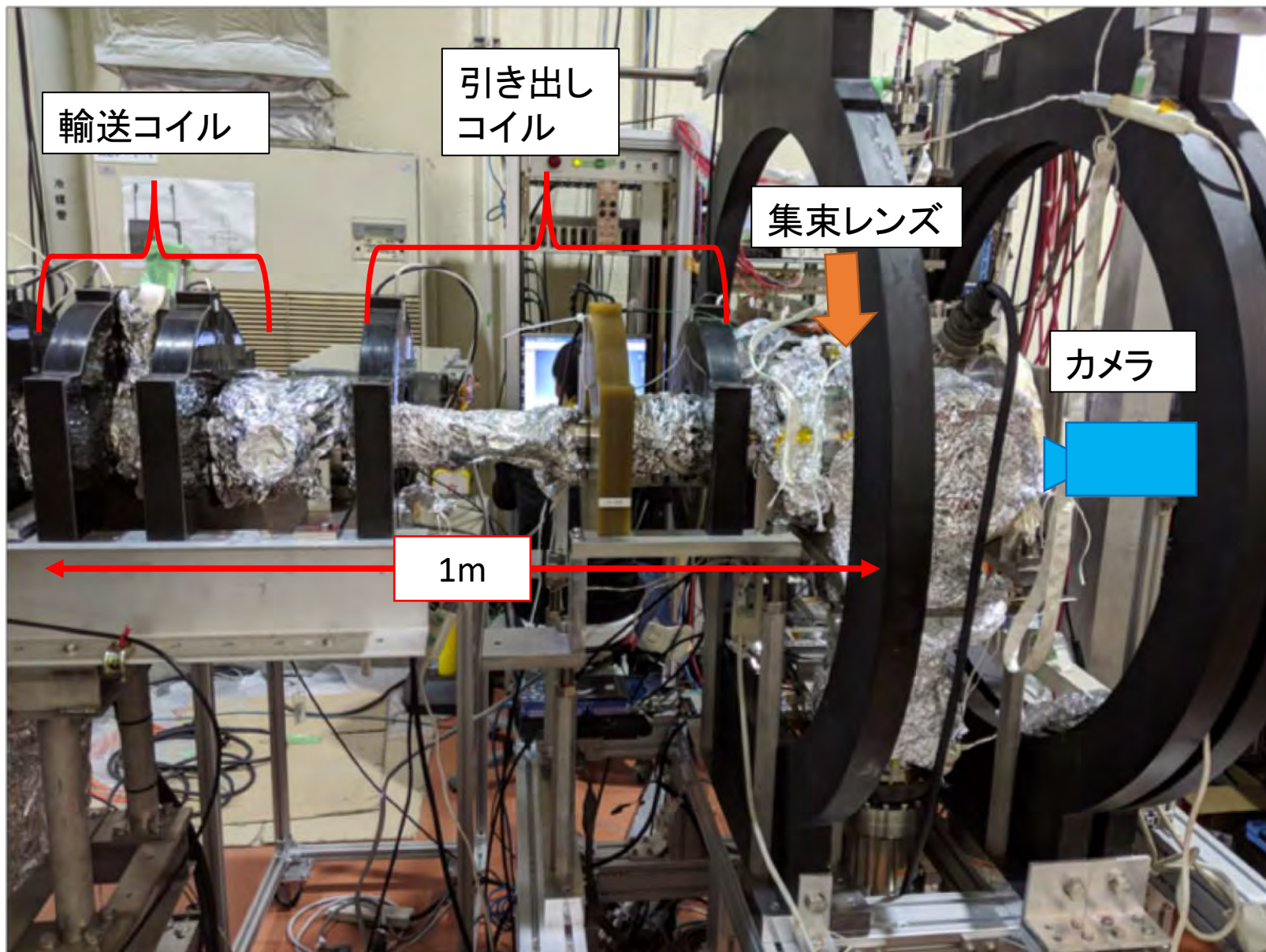
低速陽電子ビームライン KEK-SPF-B1

エネルギー	0.1~35 keV
再高強度(最上流)	$10^6 e^+/\text{pulse}$
繰り返し	50 Hz
時間幅	16 ns
ビーム径	5 mm

実験のセットアップ



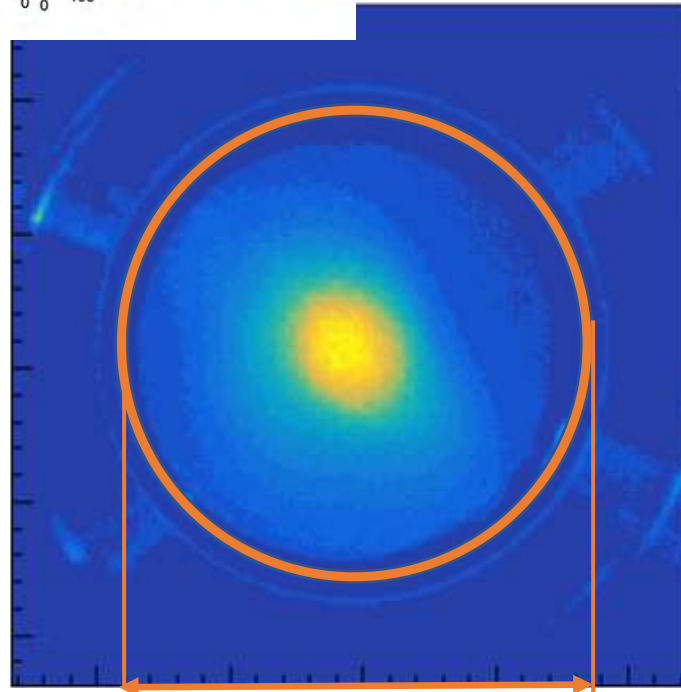
- ターゲットの位置にMCP/Phosphorを置き、CCDカメラでビームプロファイルを撮影した。



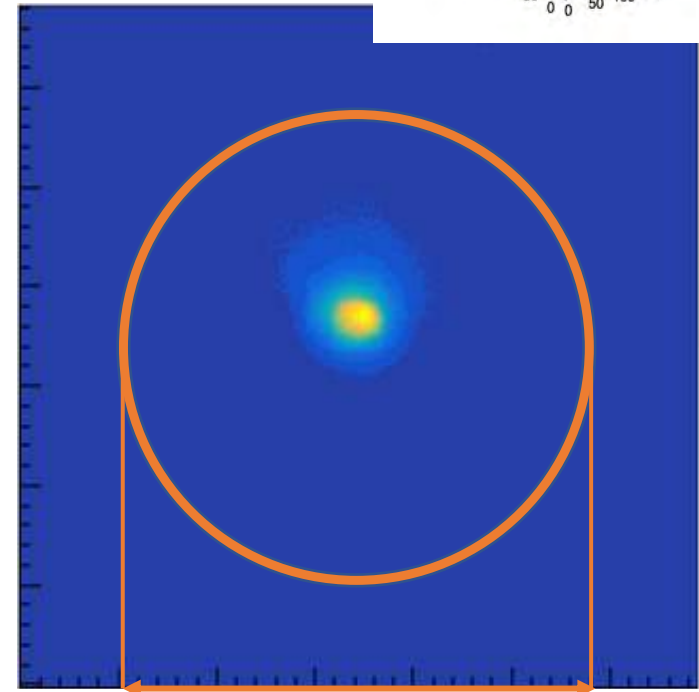
CCDカメラで撮影した ビームプロファイル

集束レンズ
導入前

集束レンズ
導入後



スクリーン 17 mm



スクリーン 17 mm

- 磁気レンズ導入で、ビームの集束が確認できた。
- 以降、分布の半値全幅をビーム径とし解析を行う。

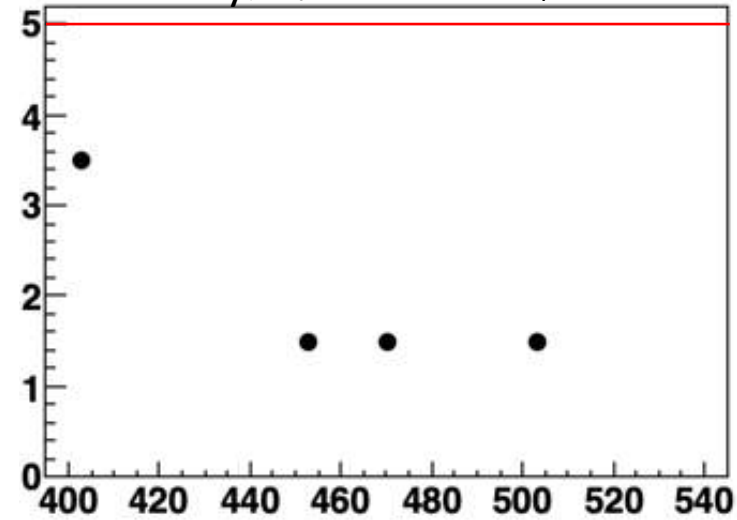
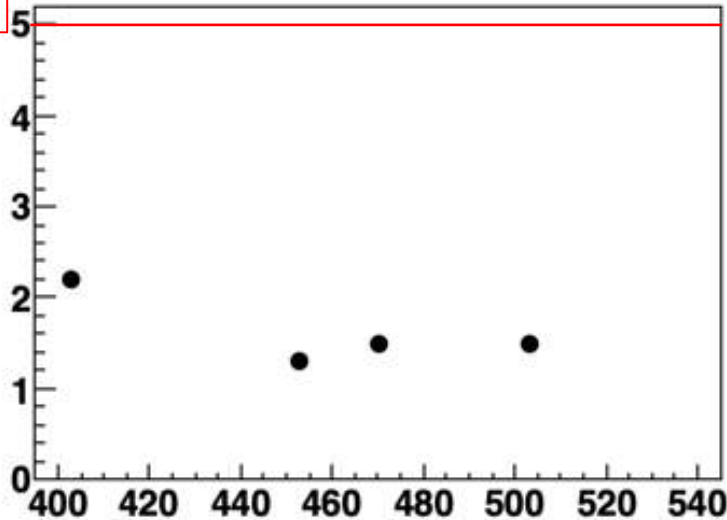
集束レンズ導入で ビーム集束に成功

導入前の
ビーム径

導入前の
ビーム径

x方向のビーム径

y方向のビーム径



集束レンズに流した電流 [A·turn]

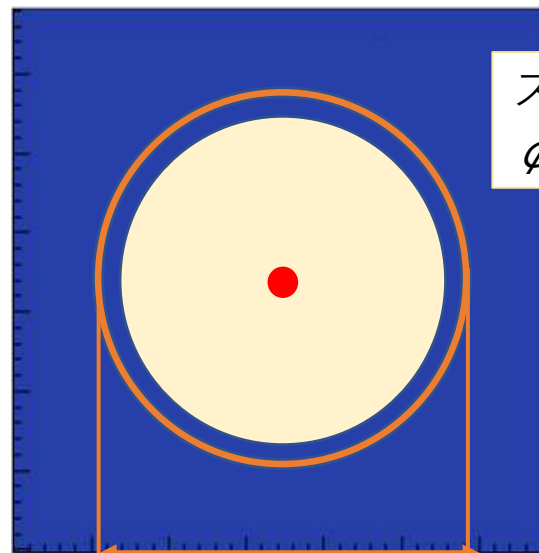
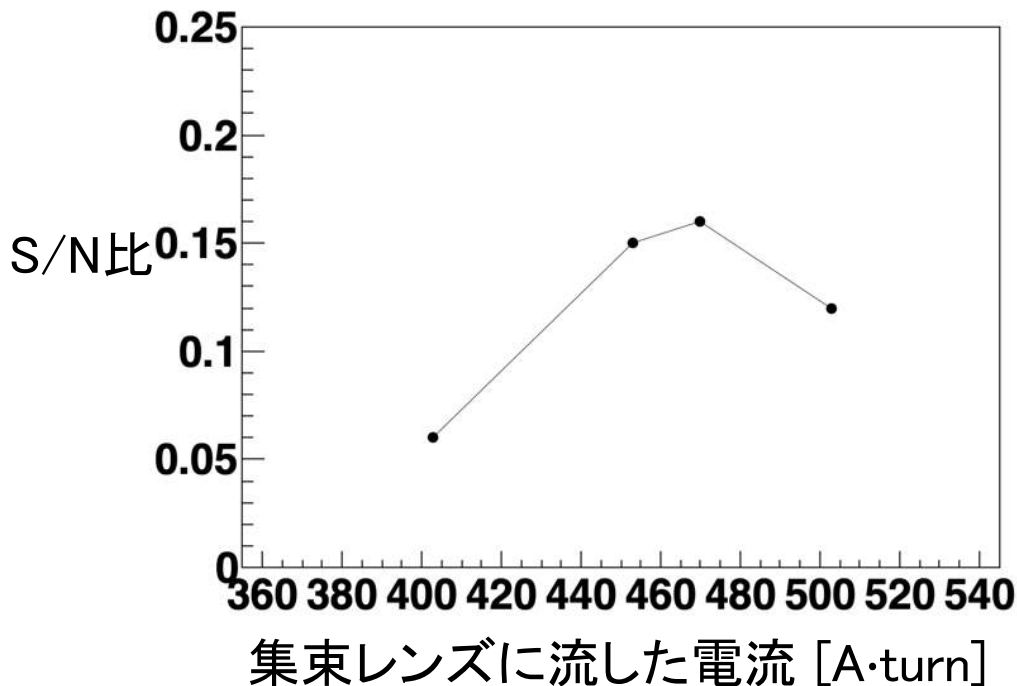
集束レンズに流した電流 [A·turn]

- 集束レンズ導入前のビーム径は、x,y方向ともに～ 5.0 mmであった。
- 集束レンズ導入後のビーム径は、x,y方向ともに～ 470 A·turn で最小になり、～1.5 mm (0.3倍) になった。

範囲内の陽電子数は120 個/pulse

冷却ビームの当たる範囲
 ϕ 1.0 mm

スクリーン内
 ϕ 16 mm



スクリーン 17 mm S/N比
=赤色/赤色+黄色

- γ 線の測定により、スクリーンに到達した全陽電子量は、750 個/pulseである。
- S/N比が最大で16%であり、範囲内陽電子は120 個/pulseになる。
- 40 Kの精度でレーザー冷却の実験が出来る。

今後計算に使用するビームの横方向ビーム広がりを求める

ビームパラメータ

レンズパラメータ

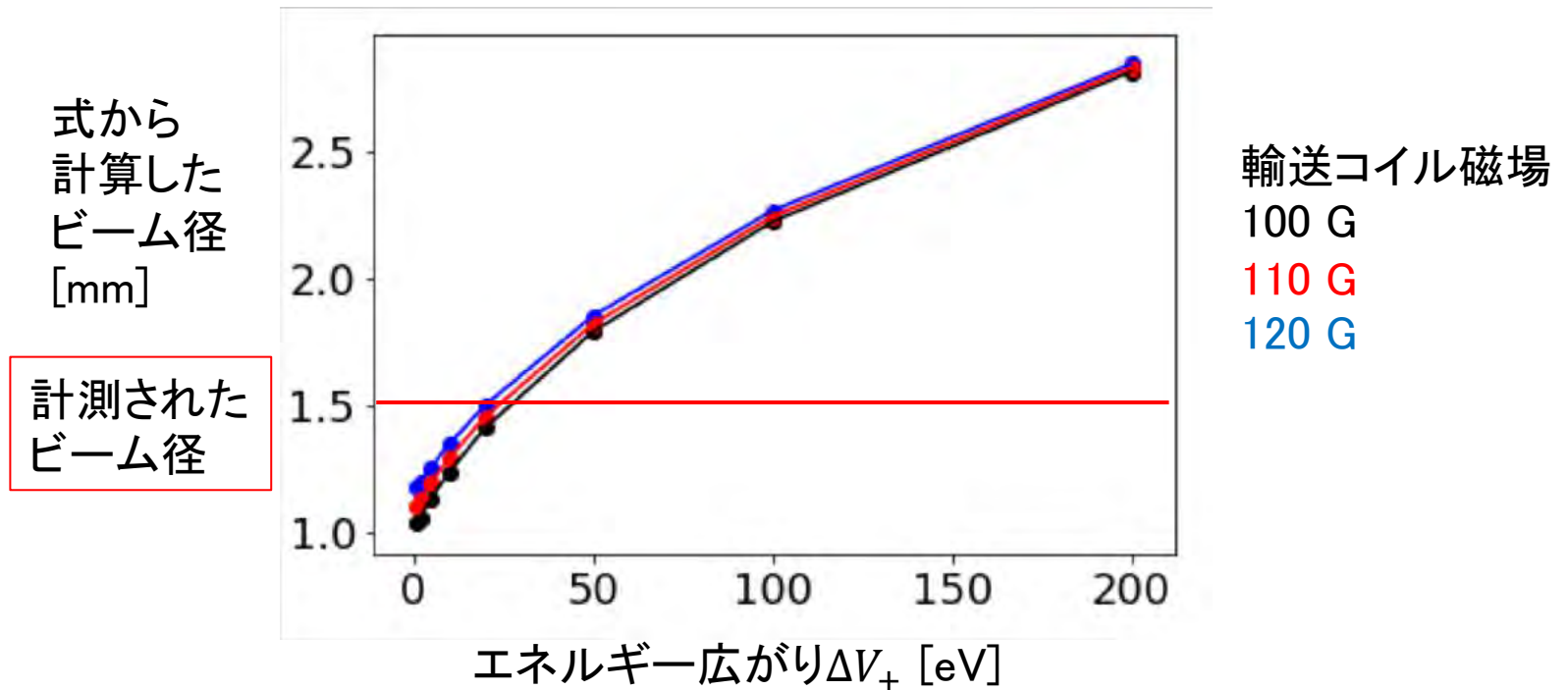
輸送コイルの磁場 $B \sim 110 \pm 10 \text{ G}$ 収差係数 $C_s \sim 37 \text{ mm}$

初期ビーム半径 $r \sim 2.5 \text{ mm}$

ビームエネルギー $E = 5 \text{ keV}$

このパラメータから、最適化されたビーム半径が計算出来る。

(N. Oshima et al., J. Appl. Phys. **103** (2008) 094916)



KEKの低速陽電ビームの横方向エネルギー広がり、今回測定したビーム径が1.5 mmだったことから $\sim 25 \text{ eV}$ だったと考えられる。

まとめ

- 試作磁気集束レンズを用いて実験し、低速陽電子ビームの集束が確認出来た。
- ビーム径は
集束レンズ導入前 5.0 mm → 導入後 1.5 mm
となった。
- 40 K の精度でレーザー冷却の実験が出来る。
- もっと精度をあげるために今後改善を検討する。