

Phase-1における LERの電子雲不安定性(ECE)

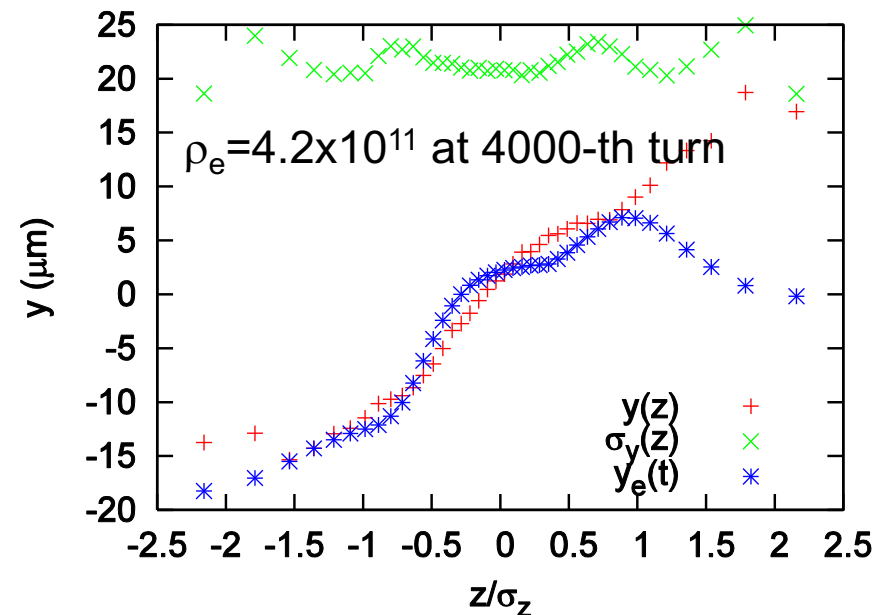
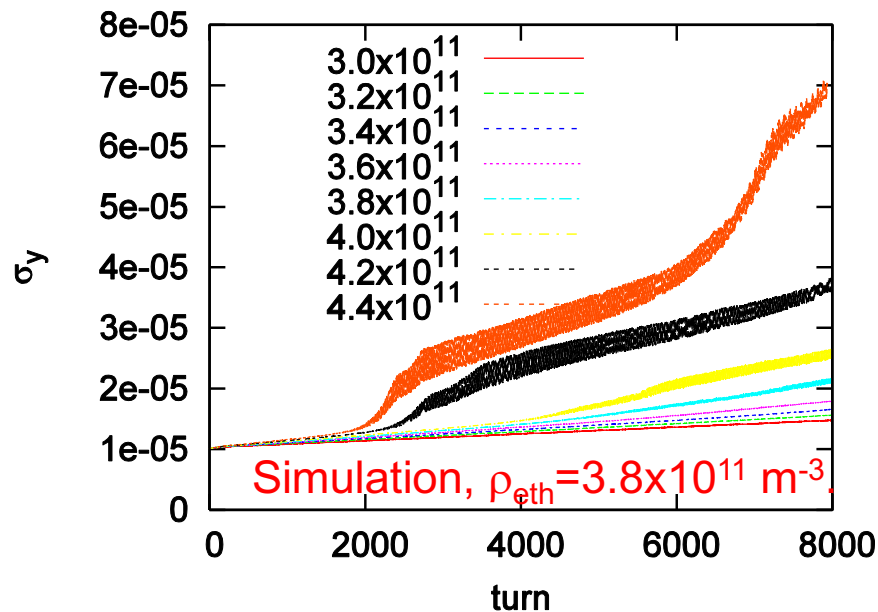
末次祐介、福間均、飛山真理、J. Flanagan、池田仁美、
大見和史、D. Zhou、柴田恭、石橋拓弥、照井真司

内容

- 設計段階の予想と対策
- Phase-1で観測されたECE
 - アルミ製ベローズチェンバーによるECE
 - 高電流域でのECE
- Phase-2およびそれ以降への対策

設計段階の予想と対策

- 陽電子リング(LER)の電子雲不安定性(Electron Cloud Effect)
 - LERの最大課題の一つ
 - 十分な対策が必要
- シミュレーションによる閾値予想(大見氏)(設計パラメータ)
 - PEHTSを使ったシミュレーション (K. Ohmi et al., Proc. IPAC2014, p.1597)



Ref.
$$\rho_{e,th} = \frac{2\gamma\nu_s\omega_e\sigma_z/c}{\sqrt{3}KQr_e\beta_yL} = 2.2 \times 10^{11} \text{ m}^{-3},$$

where $K = \omega_e\sigma_z/c = 17$ and $Q = \min(\omega_e\sigma_z/c, 10)$

閾値 $\sim 3 \times 10^{11} \text{ m}^{-3}$
 \Rightarrow 目標平均密度を
 $1 \times 10^{11} \text{ m}^{-3}$ とする。

設計段階の予想と対策

- もし、KEKBと同じ円断面の銅ビームパイプを用いたら・・・
 - KEBBでの測定結果から電子密度を推定(ϕ 94 mm銅パイプ、4 ns 間隔、1 mA/bunch、ビーム方向磁場[ソレノイド]無し)

Sections	L [m]	L [%]	n_e [e-/m ³]	$n_e \times L$ [%]
Total	3016	100	Ave. 5E12	100
Drift space (arc)	1629 m	54	8E12	78
Steering mag.	316 m	10	8E12	15
Bending mag.	519 m	17	1E12	3.1
Wiggler mag.	154 m	5	4E12	3.6
Q & SX mag.	254 m	9	4E10	0.063
RF section	124 m	4	1E11	0.072
IR section	20 m	0.7	5E11	0.063

} Main part

n_e を2%にするために何らかの対策が必要。特にドリフト部。
(5E12 \rightarrow 1E11 [m⁻³])

設計段階の予想と対策

- 対策とその期待できる効果
 - KEKBで行った様々な実験結果から対策の効果を評価。
 - $\phi 94$ 銅パイプに対する相対効果。

Materials, methods	Relative effect	Notes
Al	~20	Coatings are indispensable.
Cu (Circular pipe)	1	
Solenoid [Drift space]	~1/50	~50 G, considering gaps ($<1/1000$ if uniform)
Antechamber	~1/5	$<1/100$ for photoelectrons
Cu (Al) +TiN coating	~3/5	Relatively high gas desorption
Groove ($\beta \sim 20^\circ$) [in B]	~1/10	Top and bottom
Electrode [in B]	~1/100	Most effective against EC

基準

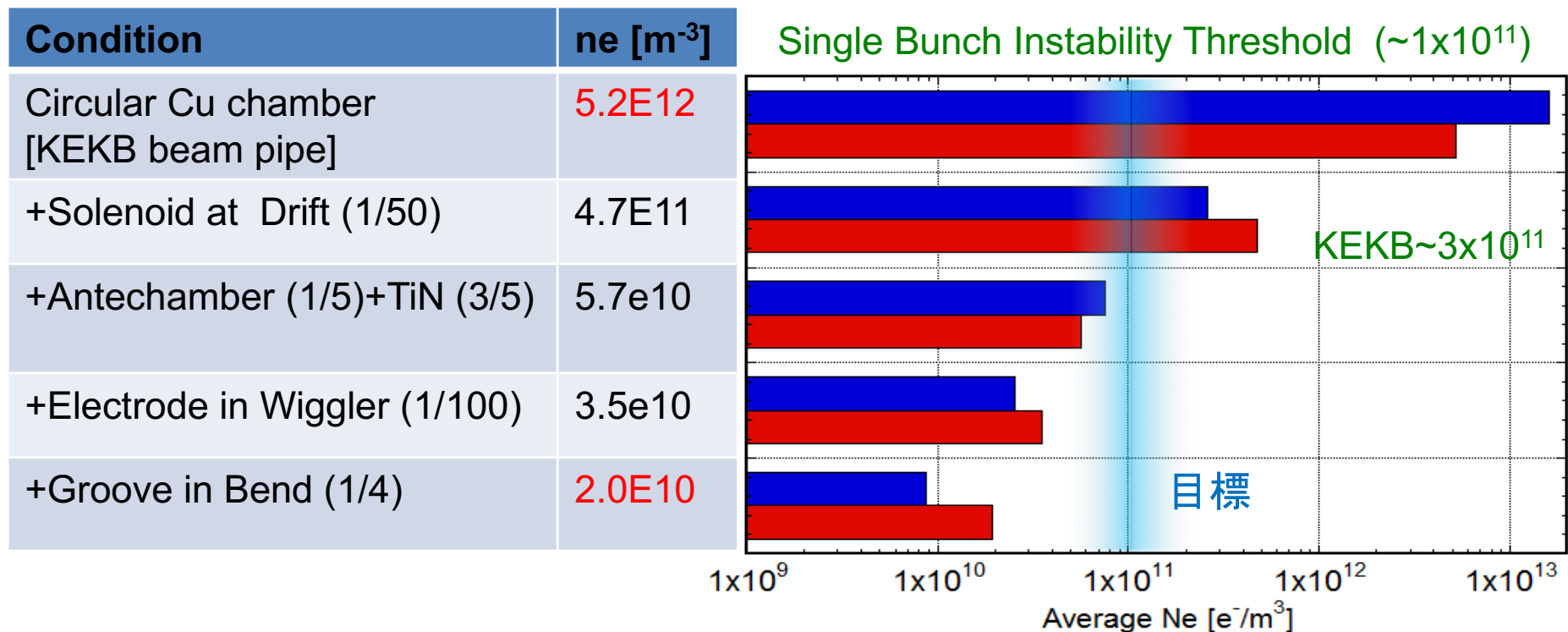
設計段階の予想と対策

- 対策とその適用場所(設計)
 - リングの各場所で適切な対処方法を採用する。

Sections	L [m]	L [%]	Countermeasure	Material
Total	3016	100		
Drift space (arc)	1629 m	54	TiN coating + Solenoid	Al (arc)
Steering mag.	316 m	10	TiN coating + Solenoid	Al
Bending mag.	519 m	17	TiN coating + Grooved surface	Al
Wiggler mag.	154 m	5	Clearing Electrode	Cu
Q & SX mag.	254 m	9	TiN coating (+ Solenoid)	Al (arc)
RF section	124 m	4	(TiN coating +) Solenoid	Cu
IR section	20 m	0.7	TiN coating	Cu

設計段階の予想と対策

- 期待される電子密度
 - 赤: 対策を施した後で期待される n_e
 - 青: CLOUDLANDを使った n_e の計算値(福間氏)。
 - 条件: $\delta_{max}=1.2$, Solenoid field=50 G ($n_e=0$), Antechamber (photoelectron yield =0.01:丸パイプの1/10)



- 最終的な平均電子密度 n_e は $10^{10} m^{-3}$ オーダーとなると期待される。

設計段階の予想と対策

■ Phase-1開始時の準備

- ソレノイド磁場(軸方向磁場)は印加していない。

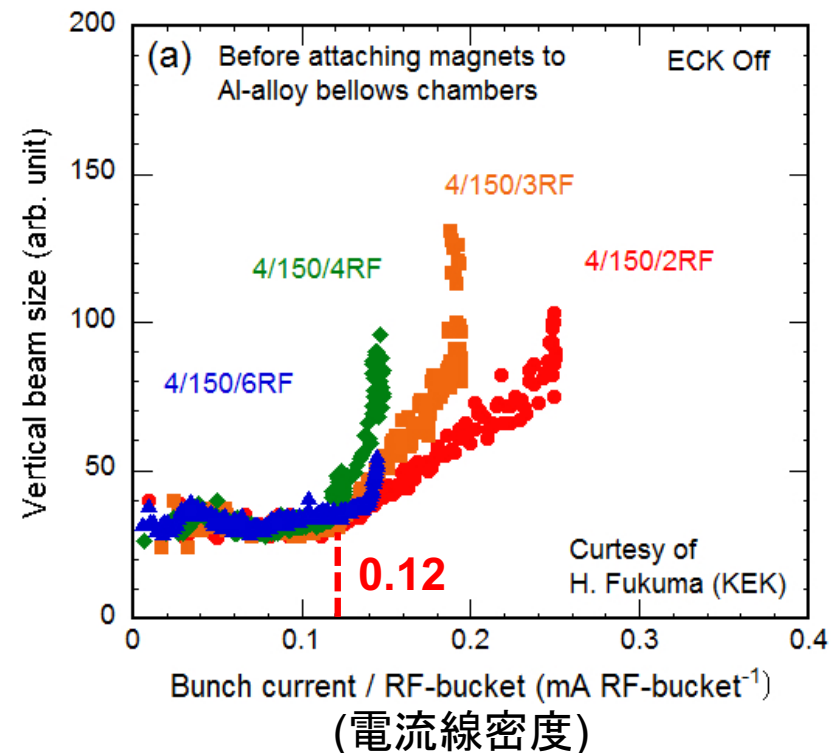
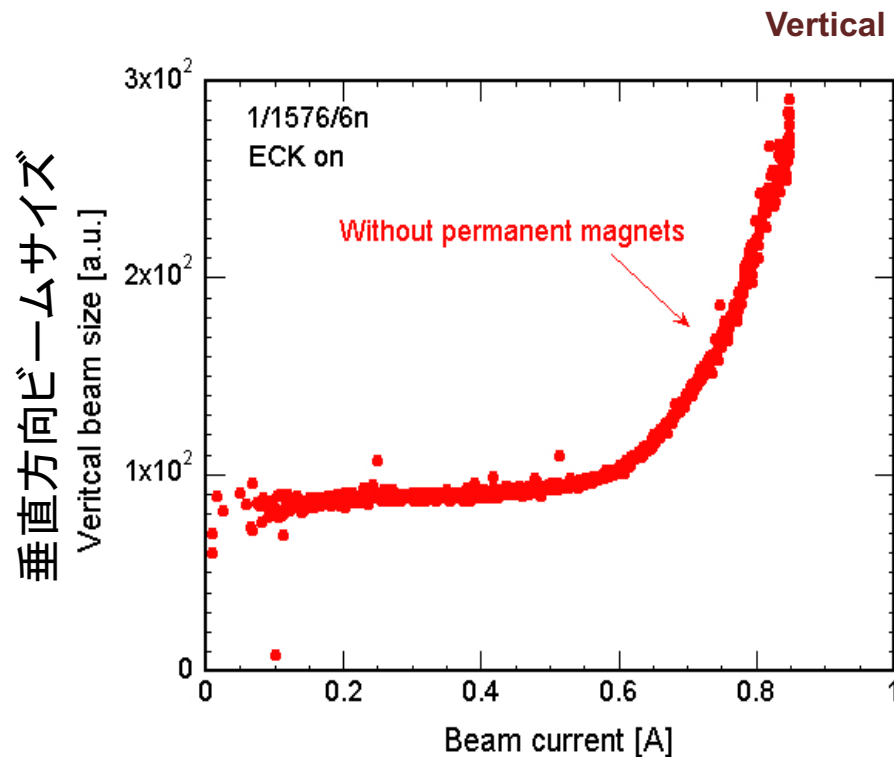
Sections	L [m]	L [%]	Countermeasure	Material
Total	3016	100		
Drift space (arc)	1629 m	54	TiN coating + Solenoid	Al (arc)
Steering mag.	316 m	10	TiN coating + Solenoid	Al
Bending mag.	519 m	17	TiN coating + Grooved surface	Al
Wiggler mag.	154 m	5	Clearing Electrode	Cu
Q & SX mag.	254 m	9	TiN coating (+ Solenoid)	Al (arc)
RF section	124 m	4	(TiN coating +) Solenoid	Cu
IR section	20 m	0.7	TiN coating	Cu

- アルミ製ベローズチェンバー(長さ200 mm)にはTiNコーティングを施していない。
 - リングに占める長さも短く、問題にならないだろう……これが甘かった。

アルミ製ベローズチェーンによるECE

ECEの発現

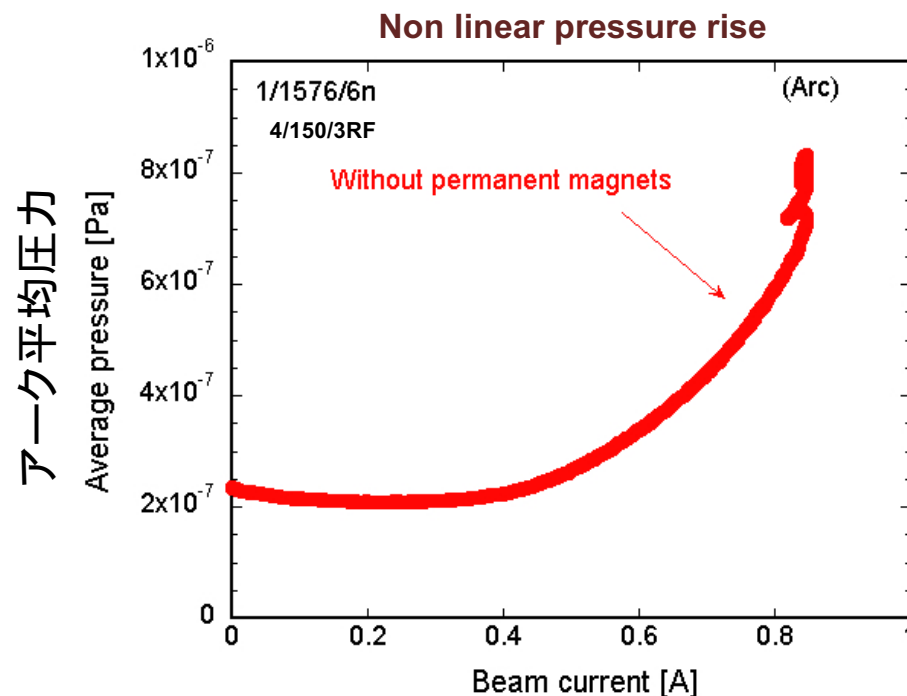
- 通常バンチフィルパターン(1576 バンチ, 3.06 RF-bucket間隔)の運転時、約0.6 Aから下記現象が観測された。
 - 垂直方向ビームサイズ増大(ほぼ同じビーム電流線密度から始まる)



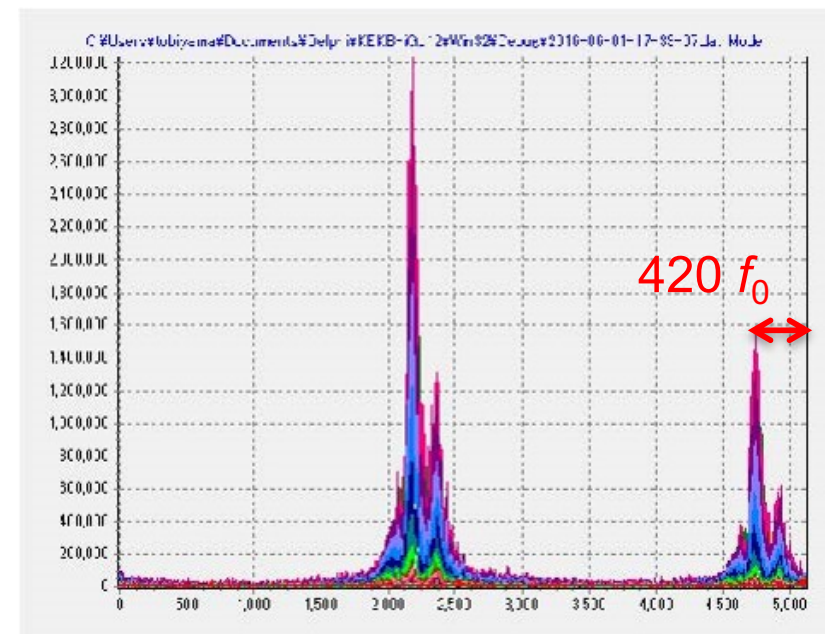
アルミ製ベローズチェンバーによるECE

ECEの発現

- 通常バンチフィルパターン(1576 バンチ, 3.06 RF-bucket間隔)の運転時、約0.6 Aから下記現象が観測された。
 - 垂直方向ビームサイズ増大(ほぼ同じビーム電流線密度から始まる)
 - ビーム電流に対する圧力の非線形上昇
 - ドリフト部の電子に依るバンチ結合型ビーム不安定性
- 典型的なECEの現象。



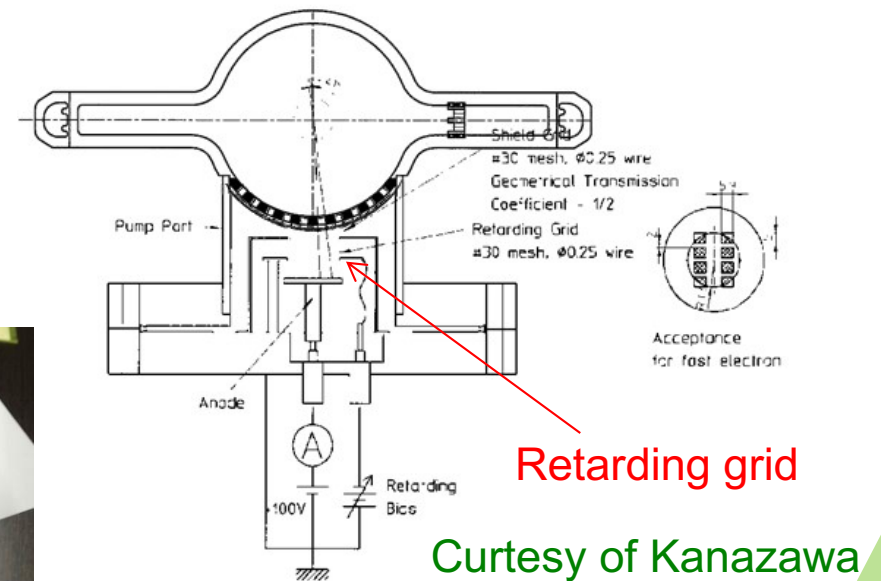
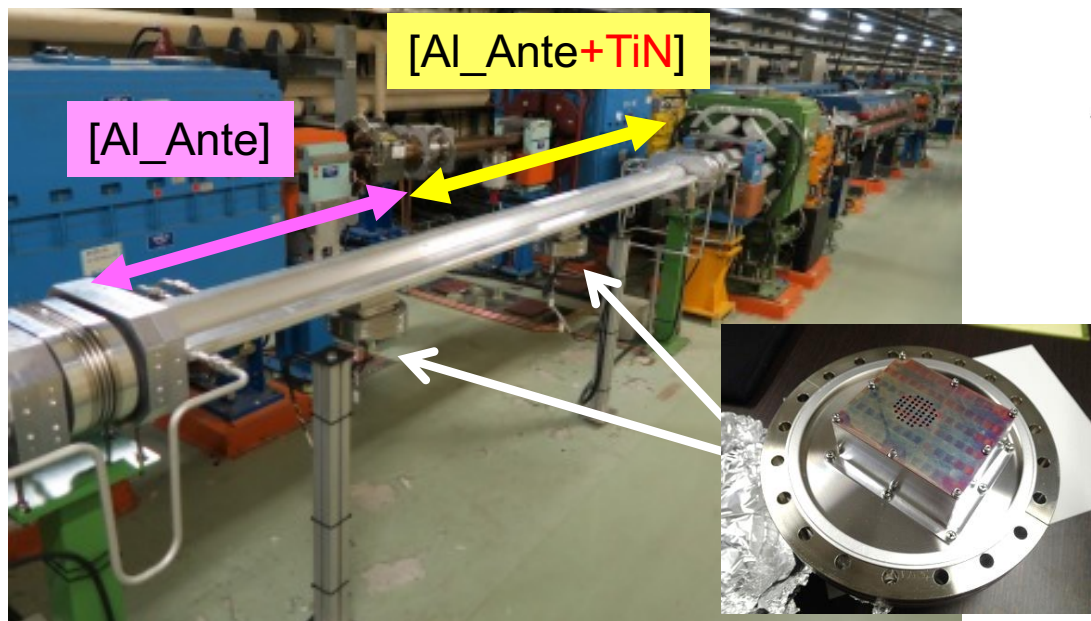
4/150/2 Vertical U 300 mA



アルミ製ベローズチェーンによるECE

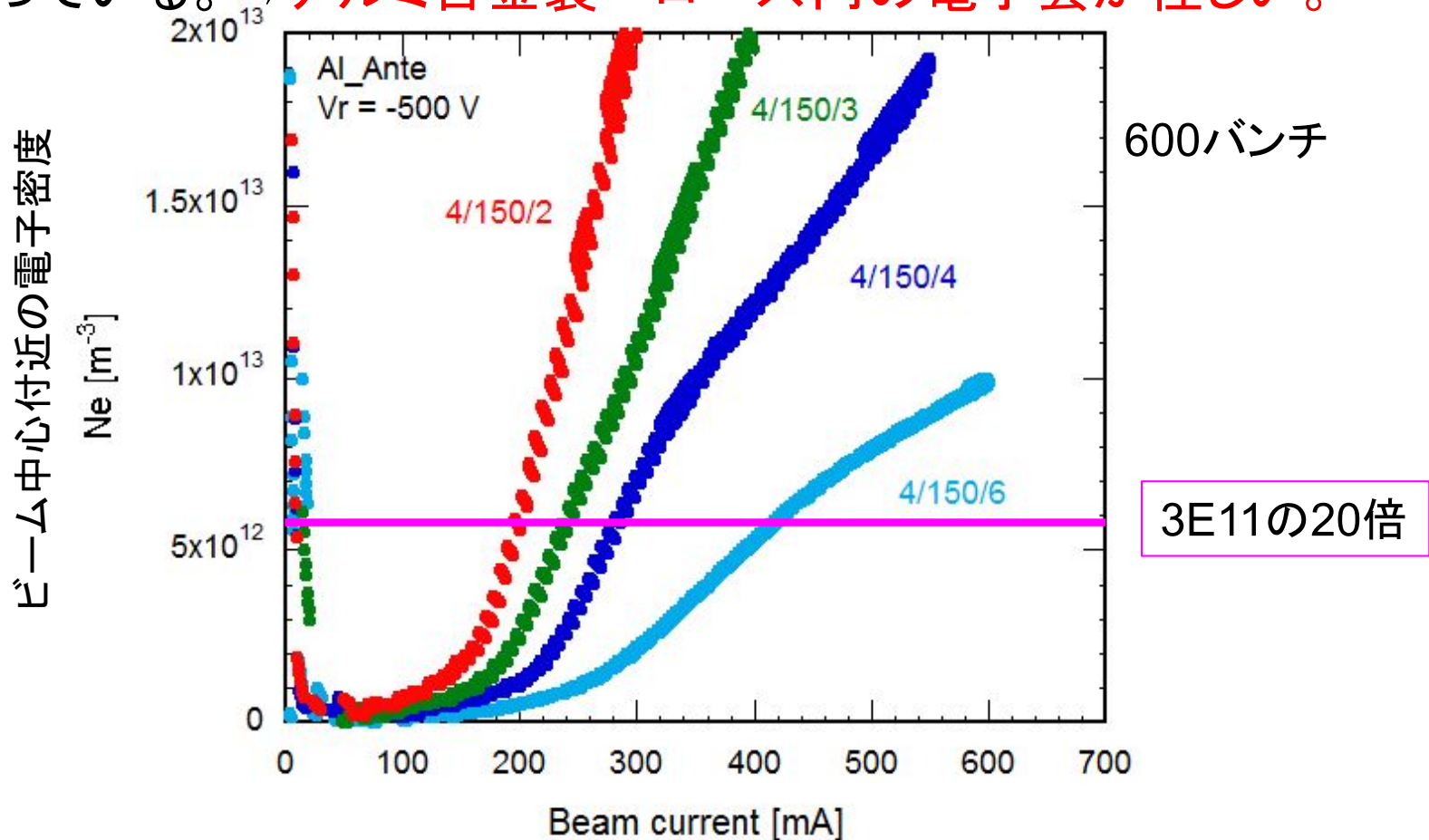
■ 電子密度の測定

- アーク部に設置されたテストビームパイプに電子モニターを2個取り付け、ビームチャンネル内の電子密度を測定した。
 - 測定した電子電流は、グリッド電圧以上のエネルギーを持つビームチャンネル内の電子数に相当する。
- アルミ合金製テストビームパイプは、片側にのみTiNコーティングを施した。
 - それぞれ電子モニターでTiNコーティング有、無を比較可能。



アルミ製ベローズチェーンによるECE

- アルミ合金部分の電子密度の測定
 - アルミ合金製ベローズ(長さ200 mm)は約830個設置している。リング全長の約5% (1/20)。
 - 密度は予想されたリング平均密度の閾値 $\sim 3E11 \text{ m}^{-3}$ の20倍に近くなっている。⇒アルミ合金製ベローズ内の電子雲が怪しい。



アルミ製ベローズチェンバーによるECE

- シミュレーション(大見氏)
 - シミュレーションコード PEHTS を使用
 - 条件: $N_b = 600$, $\varepsilon_x = 2 \text{ nm}$, $\varepsilon_y = 15 \text{ pm}$, $\sigma_z = 6 \text{ mm}$, $\nu_s = 0.019$

spacing	$I_{p,th}$ (mA)	$N_{p,th}$ (10^{10})	$\omega_e/2\pi$ (GHz)	$\omega_e\sigma_z/c$	$\rho_{eth} (Q=10)$ (10^{11}m^{-3})	$\rho_{eth} (Q=6)$ (10^{11}m^{-3})	$\rho_{eth} (\text{Simu})$ (10^{11}m^{-3})
2 (4ns)	160	1.6	61	7.7	1.91	2.45	3.4
3 (6ns)	200	2.1	71	8.9	1.65	2.45	3.4
4 (8ns)	260	2.7	80	10.1	1.47	2.45	3.8
6 (12ns)	500	5.2	111	14.0	1.47	2.45	5.0
3.06	500	2.0	37	5.5	2.89	2.90	4.4
3.06	600	2.4	41	6.0	2.63	2.65	4.4

$N_b=1576$,
 $\varepsilon_y=100 \text{ pm}$

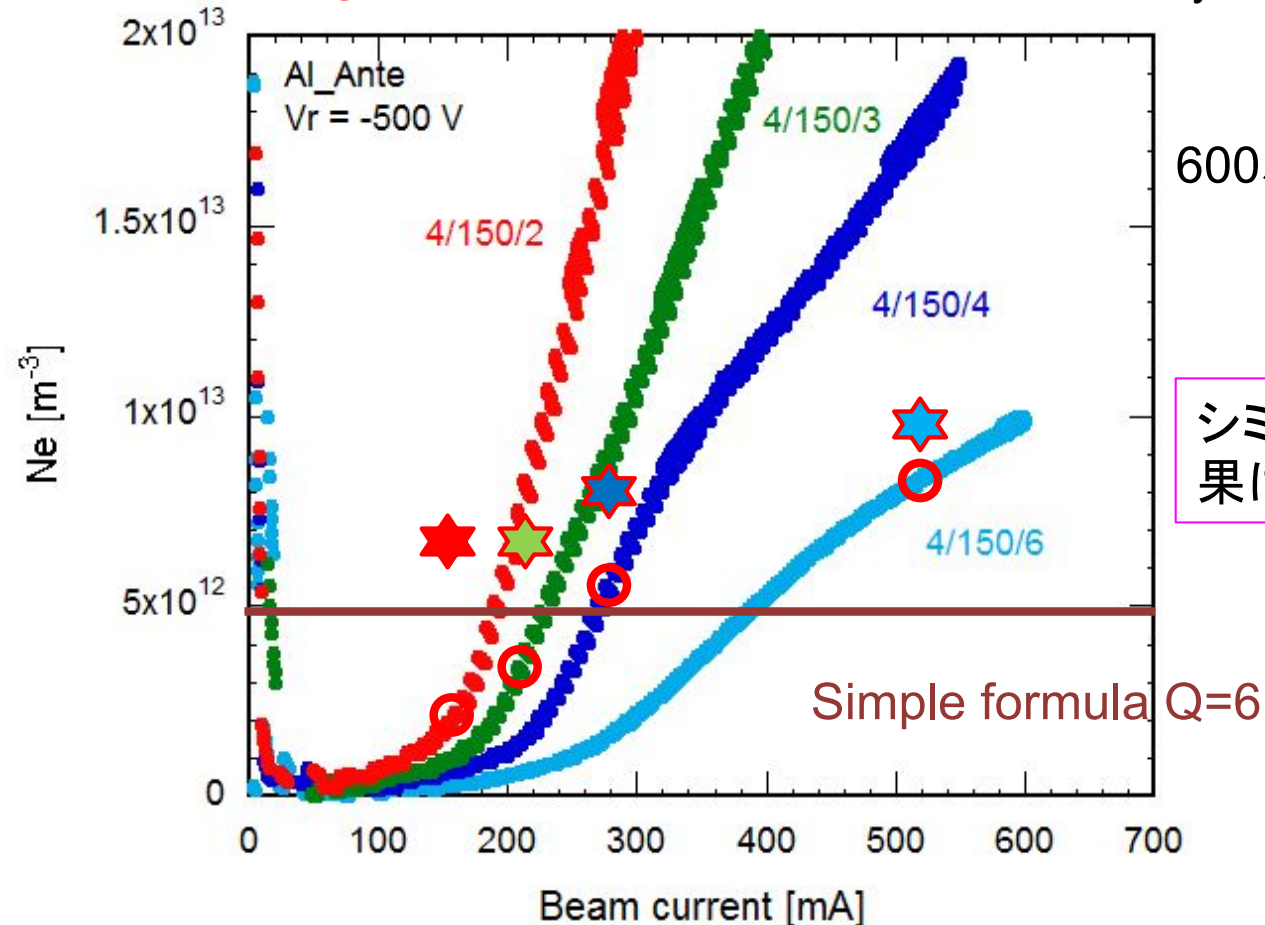
Simple formula $\rho_{e,th} = \frac{2\gamma\nu_s\omega_e\sigma_z/c}{\sqrt{3KQr_0\beta L}}$ $K = \omega_e\sigma_z/c$
 $Q = \min(\omega_e\sigma_z/c, 7)$

アルミ製ベローズチェーンによるECE

- アルミ合金部分の電子密度の測定
- シミュレーション結果(大見氏)と実測値: 結構あっている

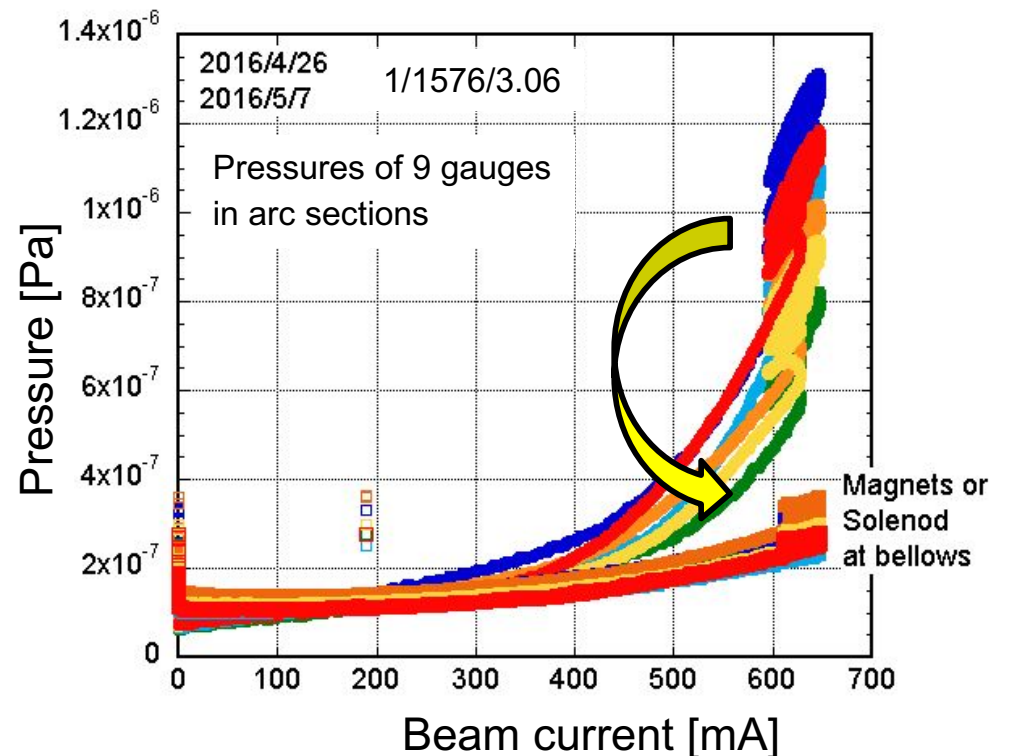
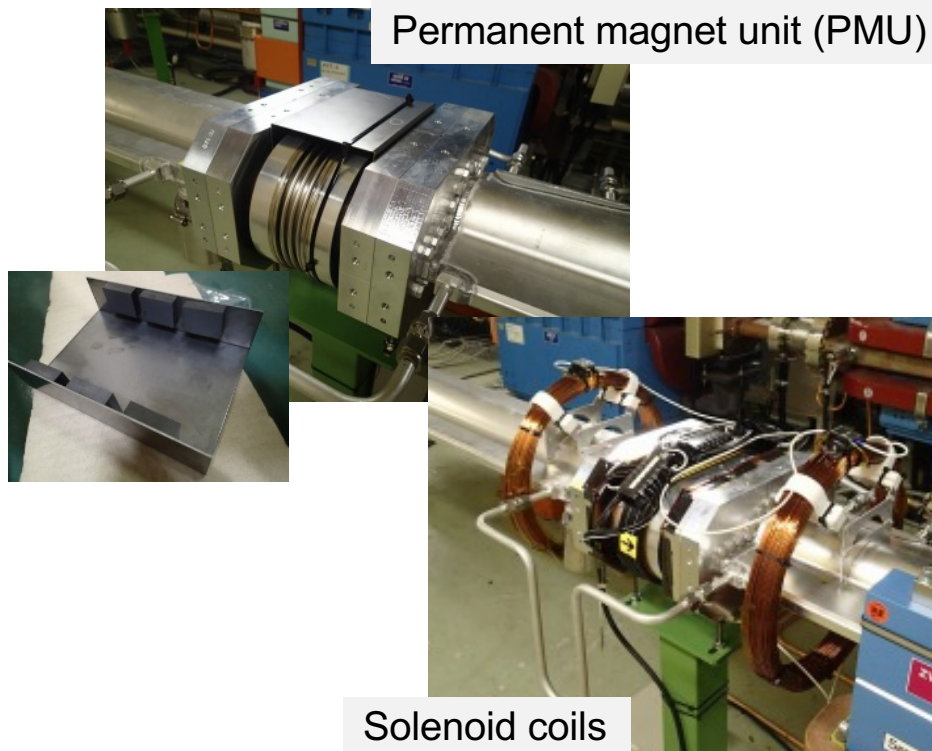
アルミ部分のみ

☆ Simulated electron density at the threshold current
○ Measured threshold current and density



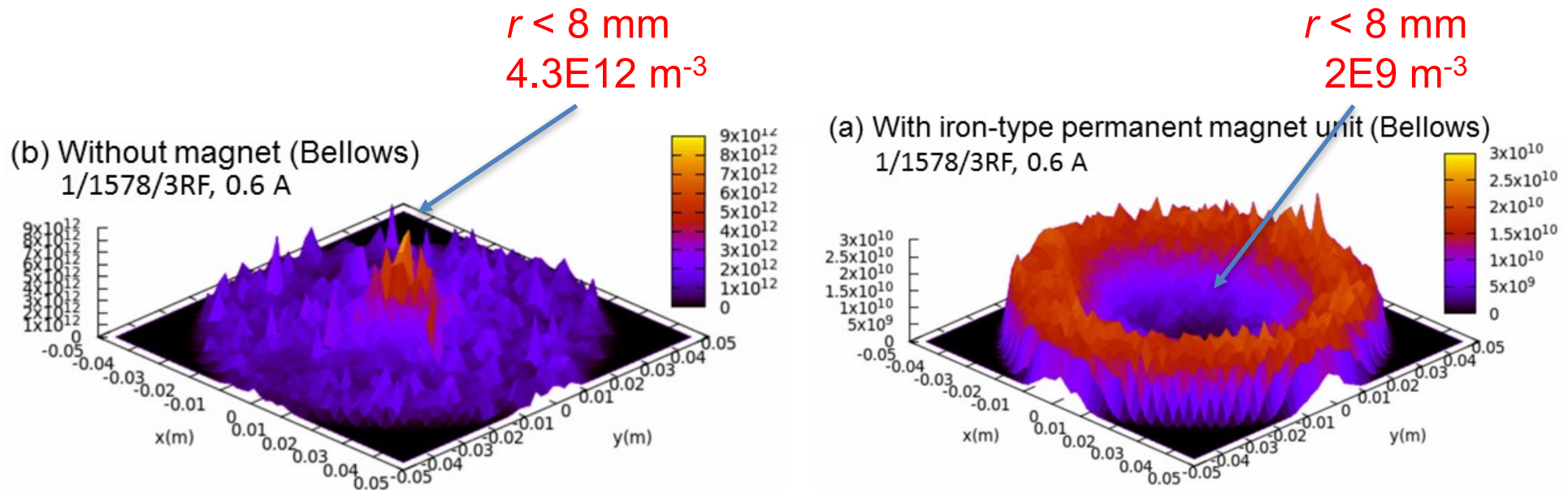
アルミ製ベローズチェーンによるECE

- 軸方向磁場の試験的印加
 - 試験的に18個のベローズチェーンにソレノイドあるいは永久磁石ユニット(Permanent Magnet Unit, PMU)を取り付けた。50~100 G。それぞれ約30 mの区間。
 - その結果、当該区間の圧力の非線形的上昇は緩和された。
 - 永久磁石とソレノイドではほぼ同じ効果だった。



アルミ製ベローズチェンバーによるECE

- ベローズへの軸方向磁場印加の効果(シミュレーション)
- コード COUDLAND を改造して電子密度分布を計算(福間氏)
 - 条件:ビームパイプ断面: $\phi 94$ mm。アンテチェンバーによる光電子発生量の抑制効果として壁から出る光電子の量子効率を0.01倍。光電子の量子効率0.1。光電子はチェンバー壁から一様に放出。バンチ長(σ_z): 4.6 mm。入射光線密度: 1×10^{15} photons s^{-1} m^{-1} mA^{-1} 。最大二次電子放出率となる入射電子エネルギー 300 eV。 $\delta_{max} = 2.0$ 。
- 中心($r < 8$ mm)の密度は $1 E9$ m^{-3} 台になる。

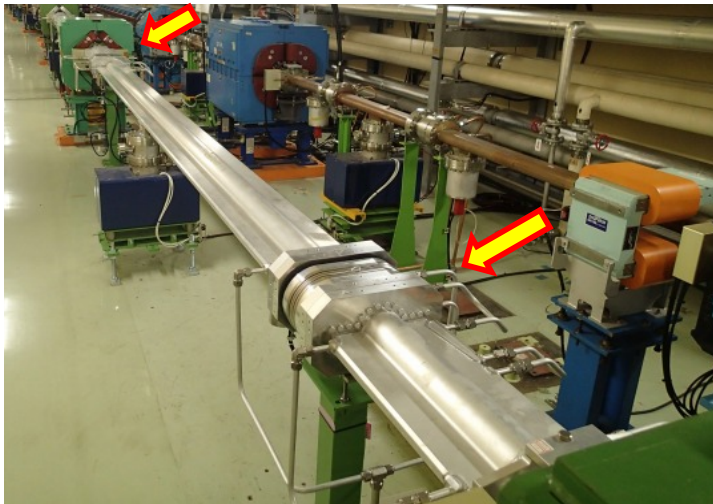


アルミ製ベローズチェンバーによるECE

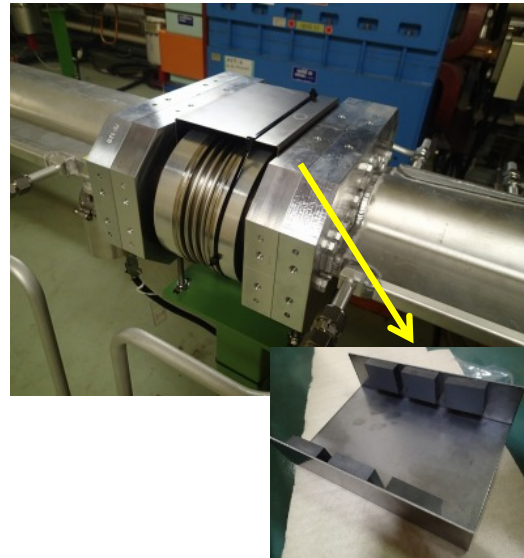
対策

- リングに約830個設置している、全数のアルミ合金製ベローズチェンバーに、その内表面に軸方向磁場(~ 100 G)を作るような永久磁石ユニット(Permanent Magnet Unit, PMU)を取り付けた。
- ソレノイドに比べると遥かに安価。効果は同じ。
- 長さ160 mmのコの字型鉄ヨークに永久磁石を8個取り付けたものをベローズチェンバーの上下に取り付けた。

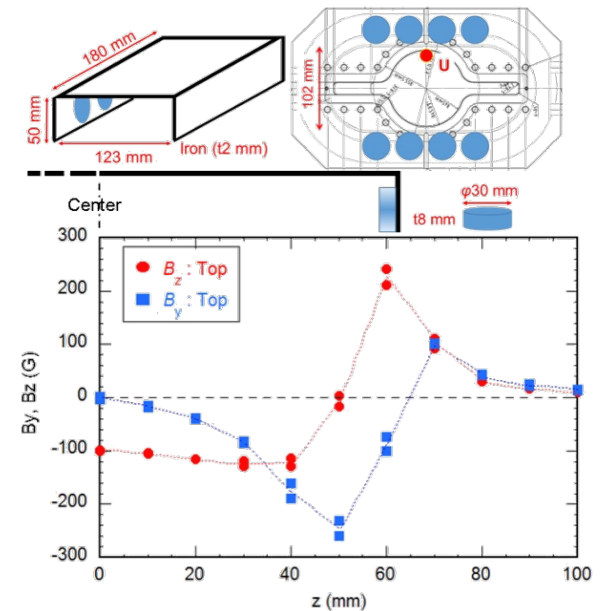
Al bellows chambers along the ring



PMU attached to bellows chamber



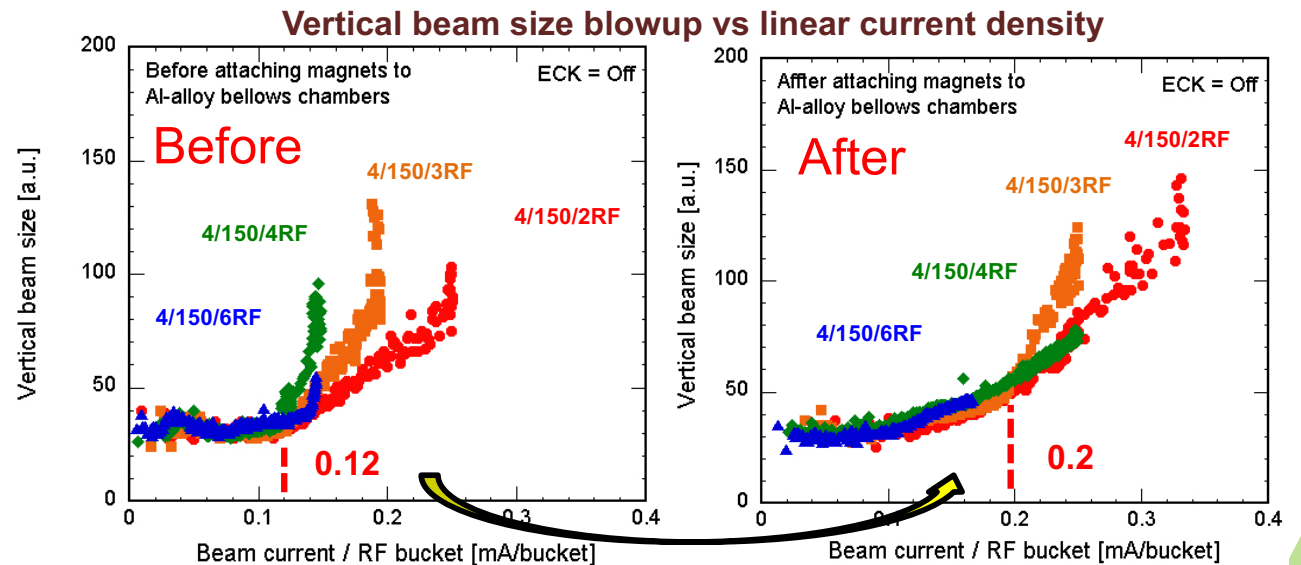
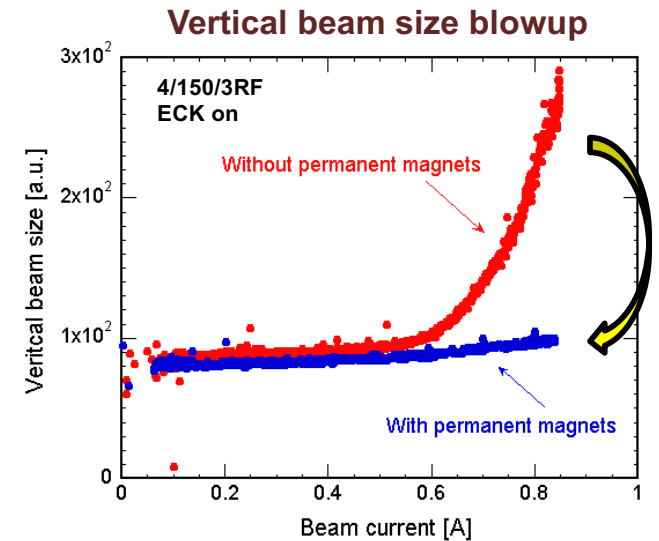
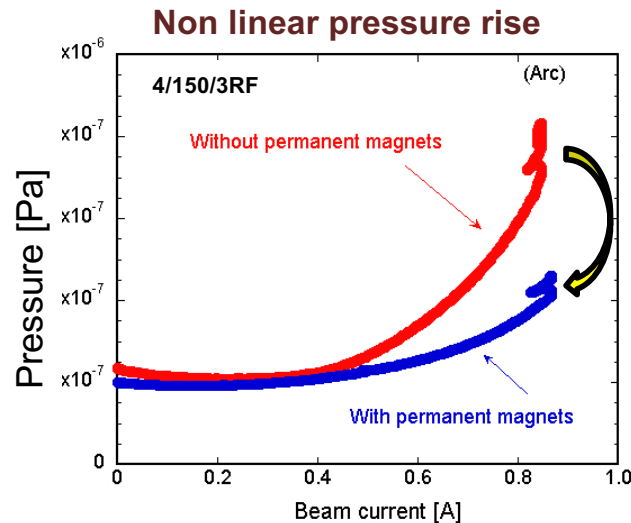
Field strength of magnets



アルミ製ベローズチェーンによるECE

■ 対策の結果

- リング全周で圧力の非線形的上昇は緩和された。
- 垂直方向ビームサイズのブローアップも緩和された。
- ブローアップが始まるビーム電流密度は約1.5倍になった。

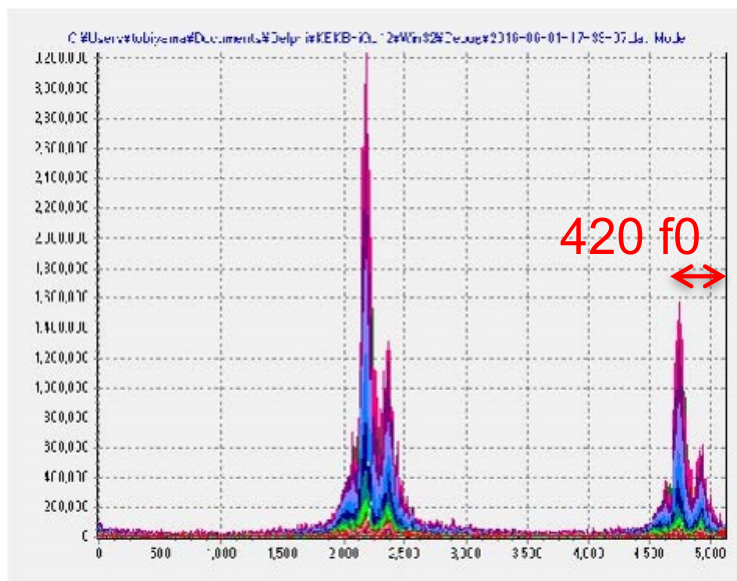


アルミ製ベローズチェーンによるECE

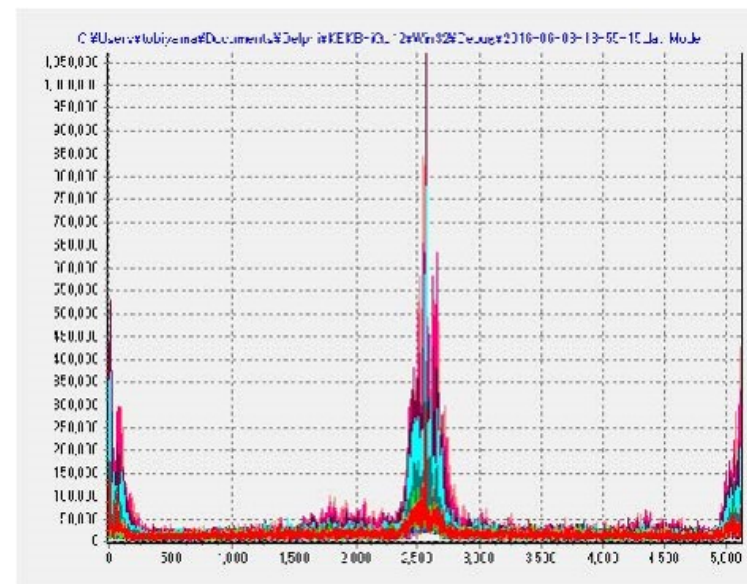
■ 対策の結果

- 結合性不安定性のスペクトルも、周辺磁場に閉じ込められた電子に依るものになった(飛山氏)。

4/150/2 Vertical U 300 mA



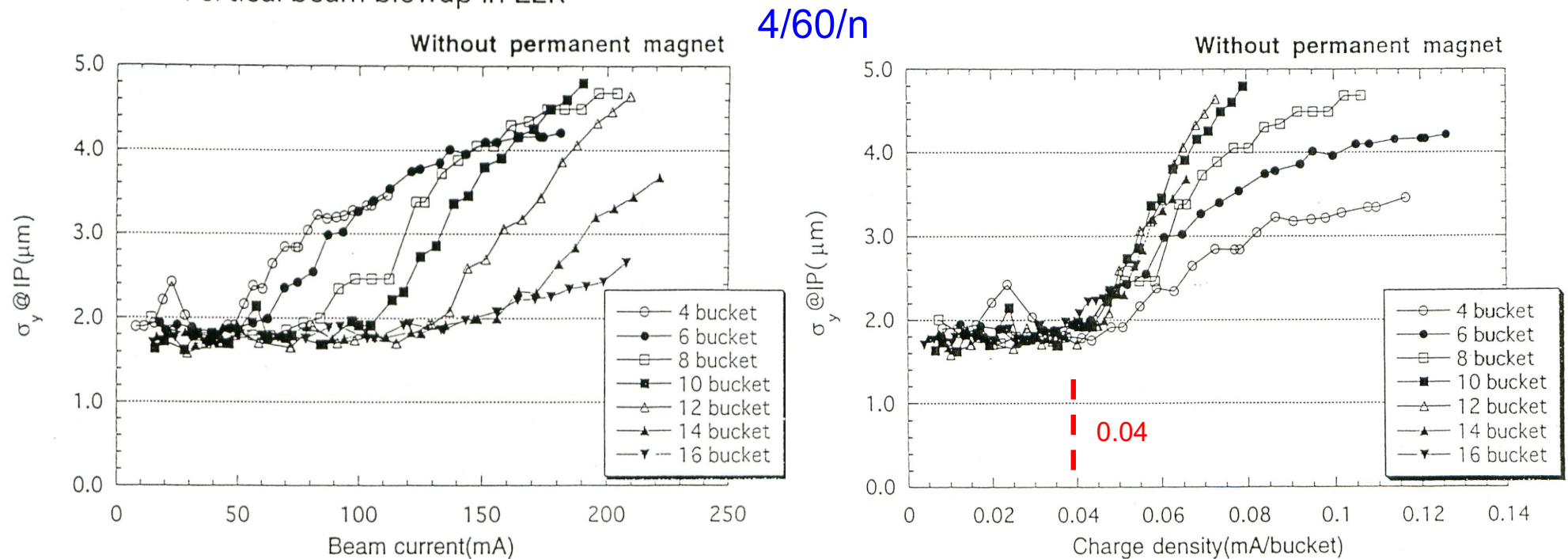
4/150/2 Vertical U 300 mA



アルミ製ベローズチェンバーによるECE

- 参考: KEKB(銅の丸パイプ)初期との比較
 - アルミ製ベローズチェンバーに永久磁石を取り付けた後と、KEKB初期と比較。主に違うのはアンテチェンバーとTiNコーティング。
 - 1999年頃 (福間氏, KEKB MAC2000)

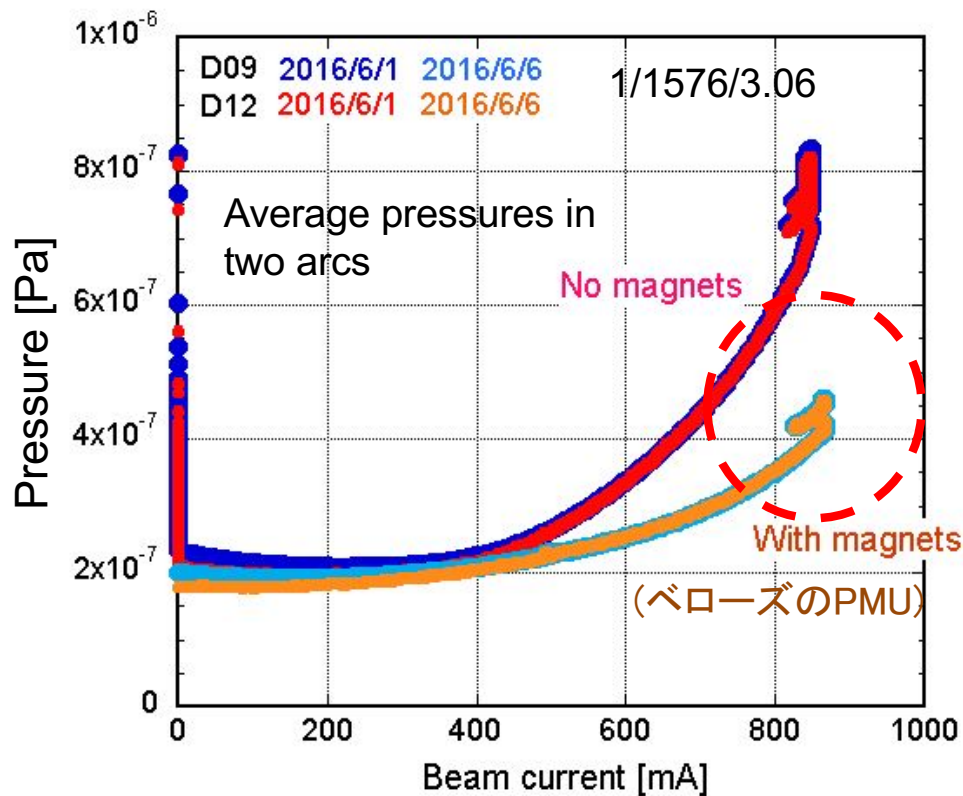
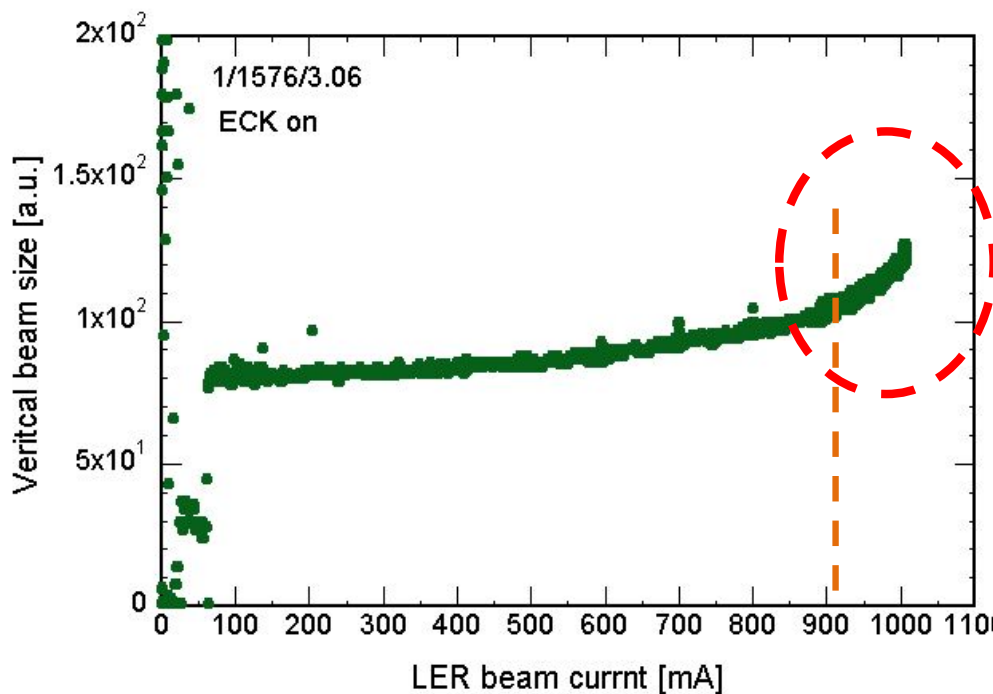
Vertical beam blowup in LER



- 閾値のバンチ電流線密度は約0.04 mA bucket⁻¹だった。SKEKBの約1/5。⇒アンテチェンバーとTiNコーティングの効果。

高電流域でのECE

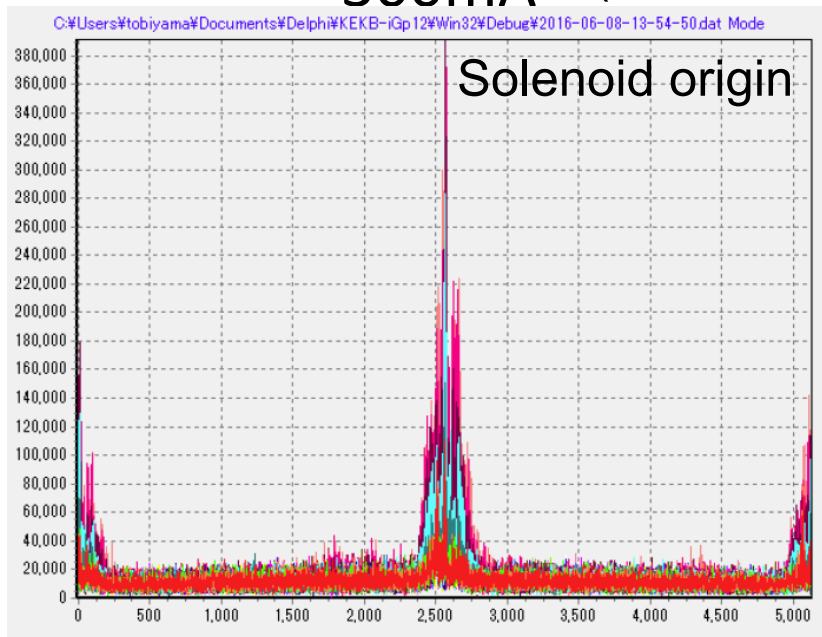
- アルミ合金製ベローズチェンバーによるECE永久磁石取付後、圧力の非線形上昇やビームサイズ増大はとりあえず消えた。
- **しかし、1/1576/3.06で約0.9 Aでブローアップがまた始まる。**
- **圧力の非線形的上昇も0.9 Aで顕著になった。**



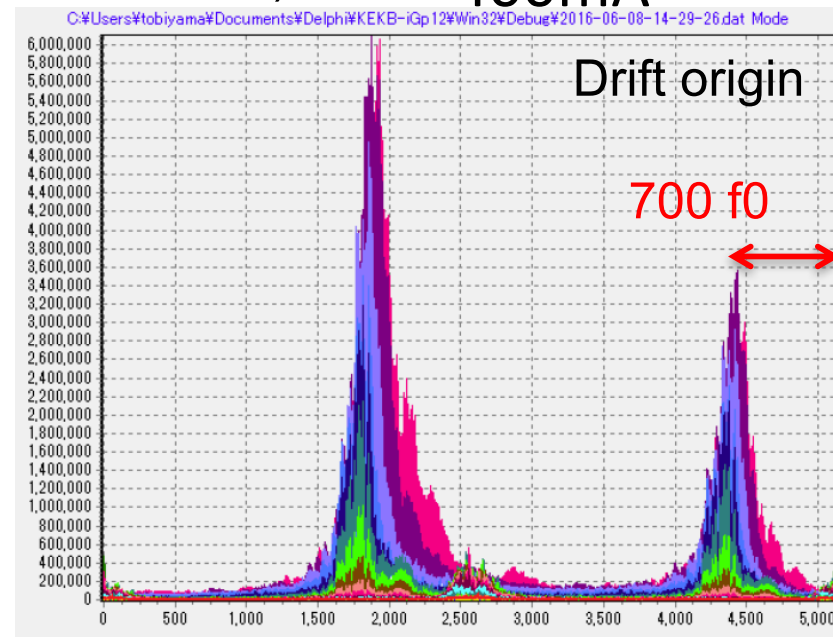
高電流域でのECE

- アルミ合金製ベローズチェンバーによるECE永久磁石取付後、圧力の非線形上昇やビームサイズ増大はとりあえず消えた。
- **しかし、1/1576/3.06で約0.9 Aでブローアップがまた始まる。**
 - 圧力の非線形的上昇も0.9 Aで顕著になった。
 - 不安定性のモードは、電流が増えると、ドリフト部の電子雲に依るものが観測された(飛山氏)。

300mA (2RFバケット, 600バンチ)



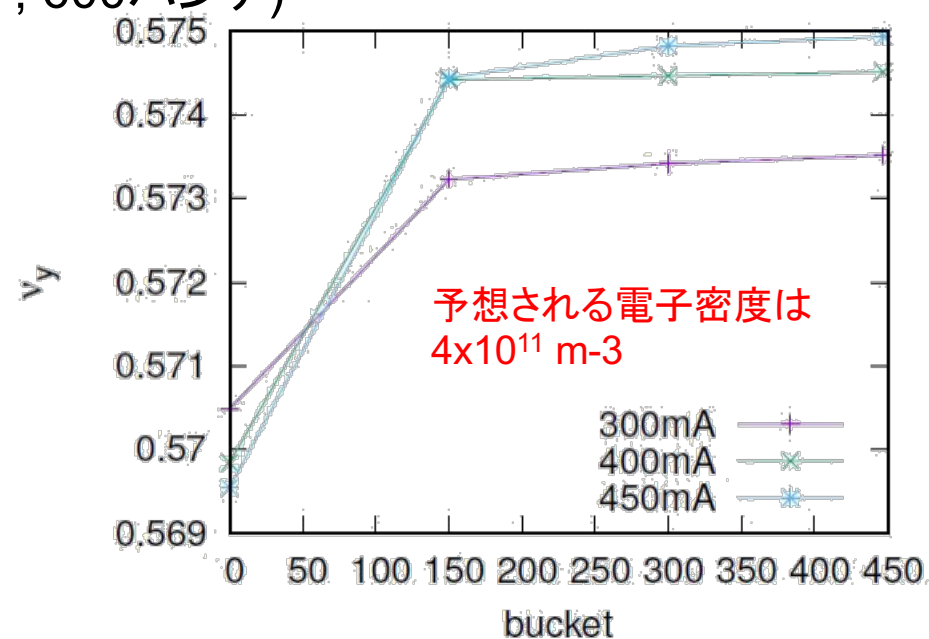
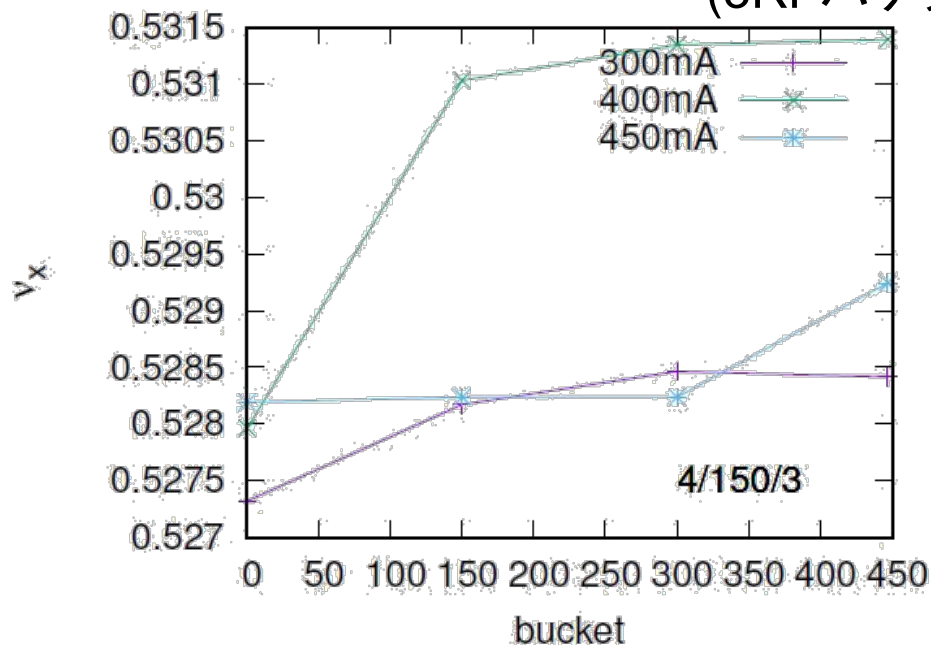
400mA



高電流域でのECE

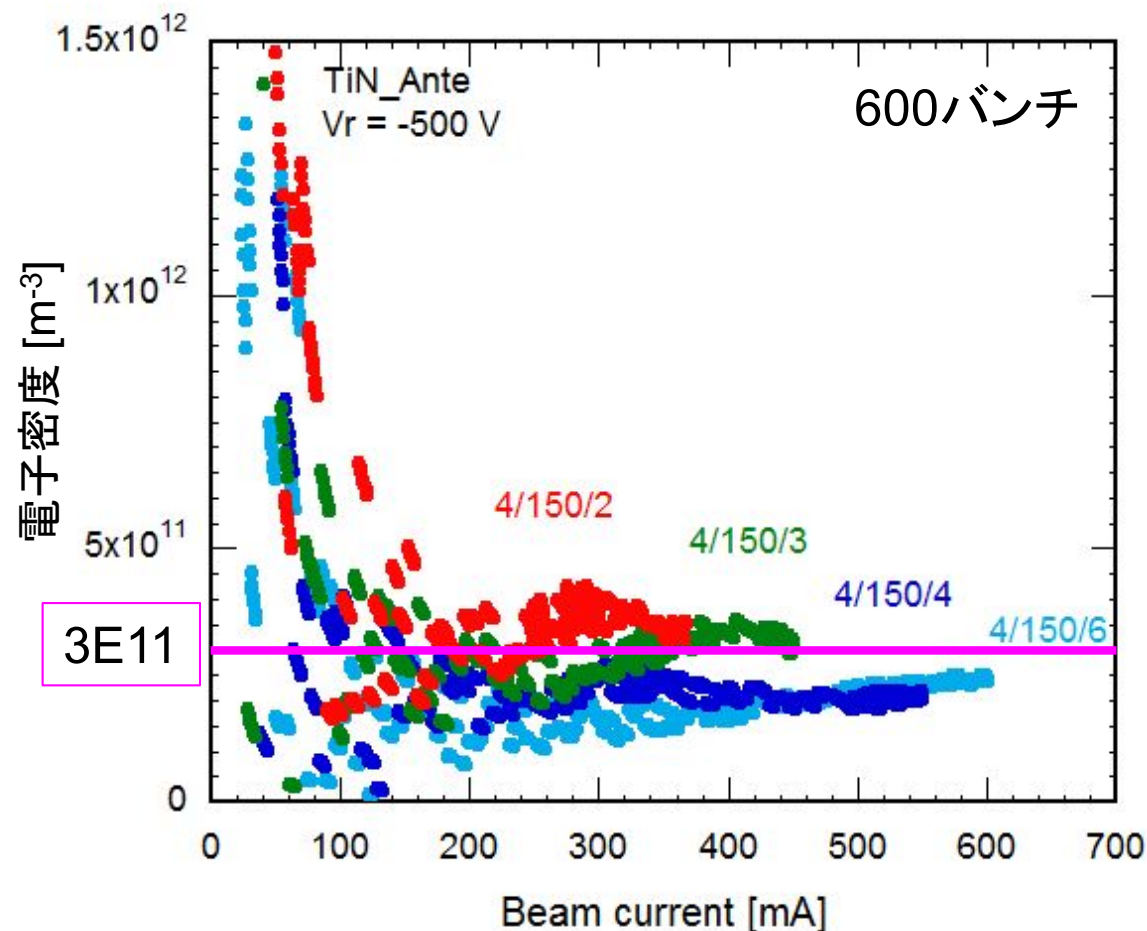
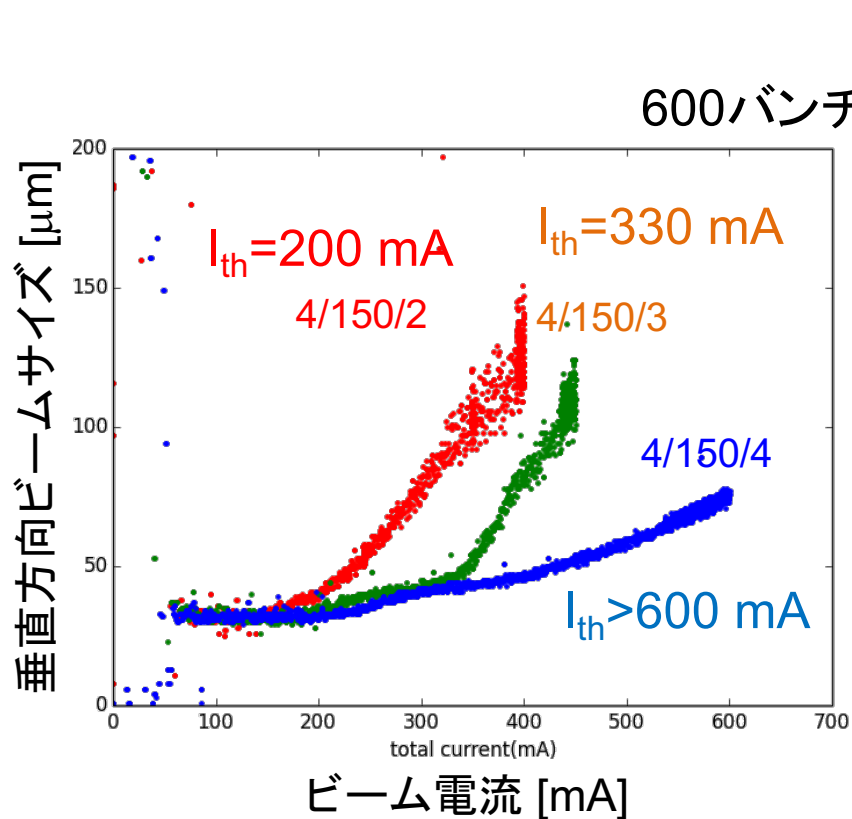
- アルミ合金製ベローズチェンバーによるECE永久磁石取付後、圧力の非線形上昇やビームサイズ増大はとりあえず消えた。
- **しかし、1/1576/3.06で約0.9 Aでブローアップがまた始まる。**
 - 圧力の非線形的上昇も0.9 Aで顕著になった。
 - 不安定性のモードは、電流が増えると、ドリフト部の電子雲に依るものが観測された(飛山氏)。
 - トレインに沿ったチューンシフトが観測された(大見氏)。

(3RFバケット, 600バンチ)



高電流域でのECE

- どこにある電子雲によるものか？
- TiNコーティング付きのアンテチェンバー部の密度を測定すると、ECEの閾値に近い電子密度になっている。⇒ **TiNコーティング付きのアンテチェンバー部？**



高電流域でのECE

- シミュレーション(大見氏)
 - シミュレーションコード PEHTS を使用
 - 条件: $N_b = 600$, $\varepsilon_x = 2 \text{ nm}$, $\varepsilon_y = 15 \text{ pm}$, $\sigma_z = 6 \text{ mm}$, $v_s = 0.019$

spacing	$I_{p,th}$ (mA)	$N_{p,th}$ (10^{10})	$\omega_e/2\pi$ (GHz)	$\omega_e\sigma_z/c$	$\rho_{eth} (Q=10)$ ($10^{11}m^{-3}$)	$\rho_{eth} (Q=6)$ ($10^{11}m^{-3}$)	$\rho_{eth} (Simu)$ ($10^{11}m^{-3}$)
2 (4ns)	200	2.1	71	8.9	1.65	2.45	3.4
3 (6ns)	330	3.5	91	11.5		2.45	4.8
4 (8ns)	>600	>6.3					
6 (12ns)							
3.06	500	2.0	37	5.5	2.89	2.90	4.4
3.06	600	2.4	41	6.0	2.63	2.65	4.4

Simple formula

$$\rho_{e,th} = \frac{2\gamma v_s \omega_e \sigma_z / c}{\sqrt{3} K Q r_0 \beta L} \quad K = \omega_e \sigma_z / c$$

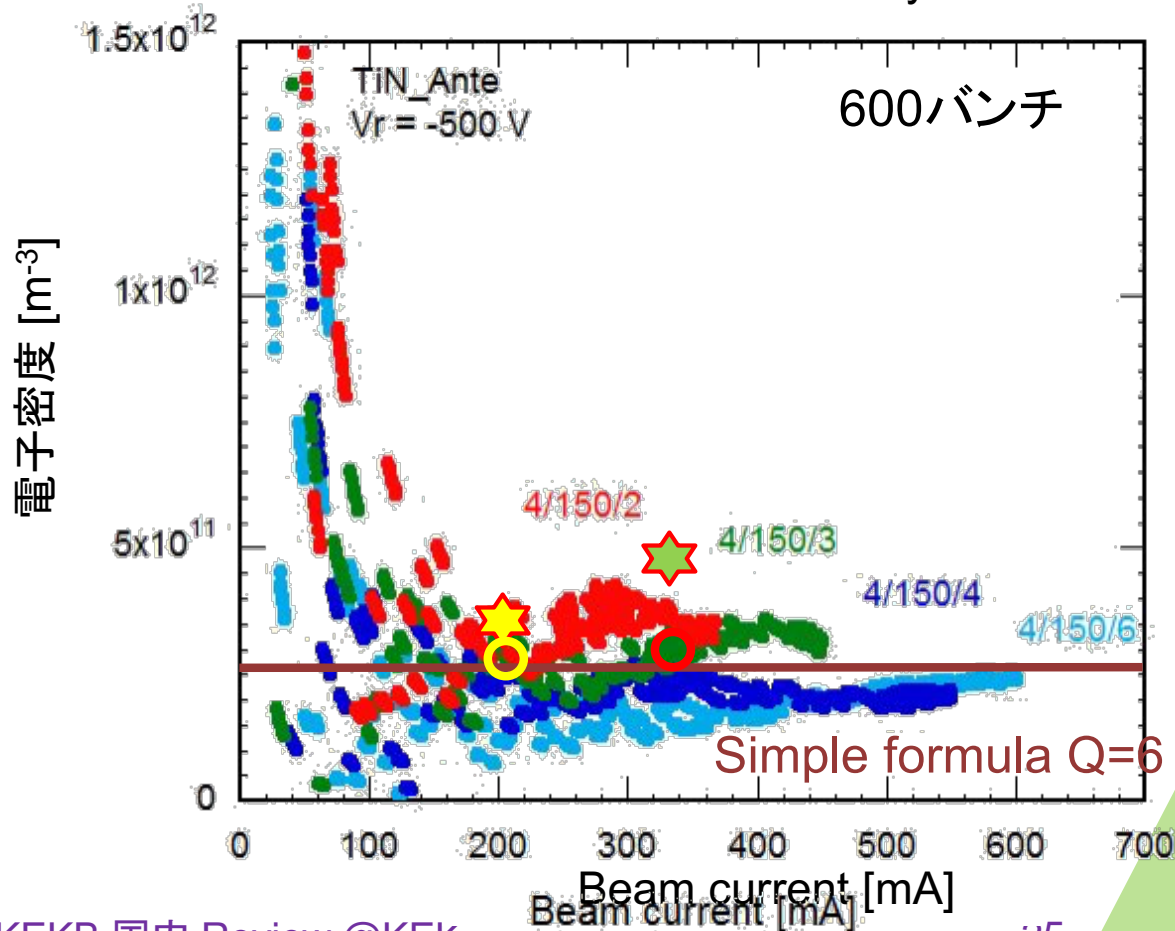
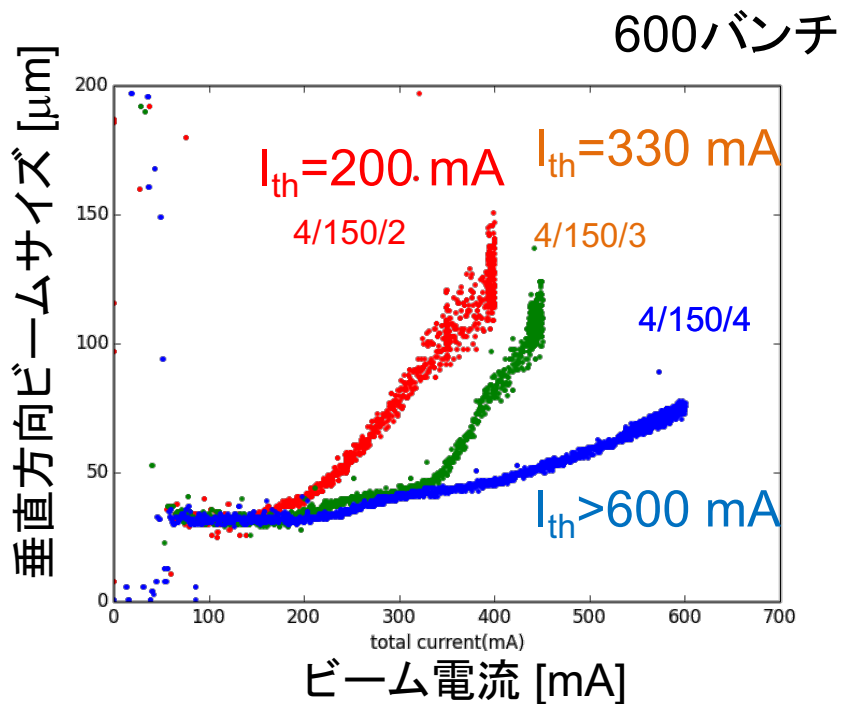
$$Q = \min(\omega_e \sigma_z / c, 7)$$

高電流域でのECE

- TiNコーティング付きのアンテチェンバー部の電子密度
- シミュレーション結果(大見氏)と実測値: 結構あっている

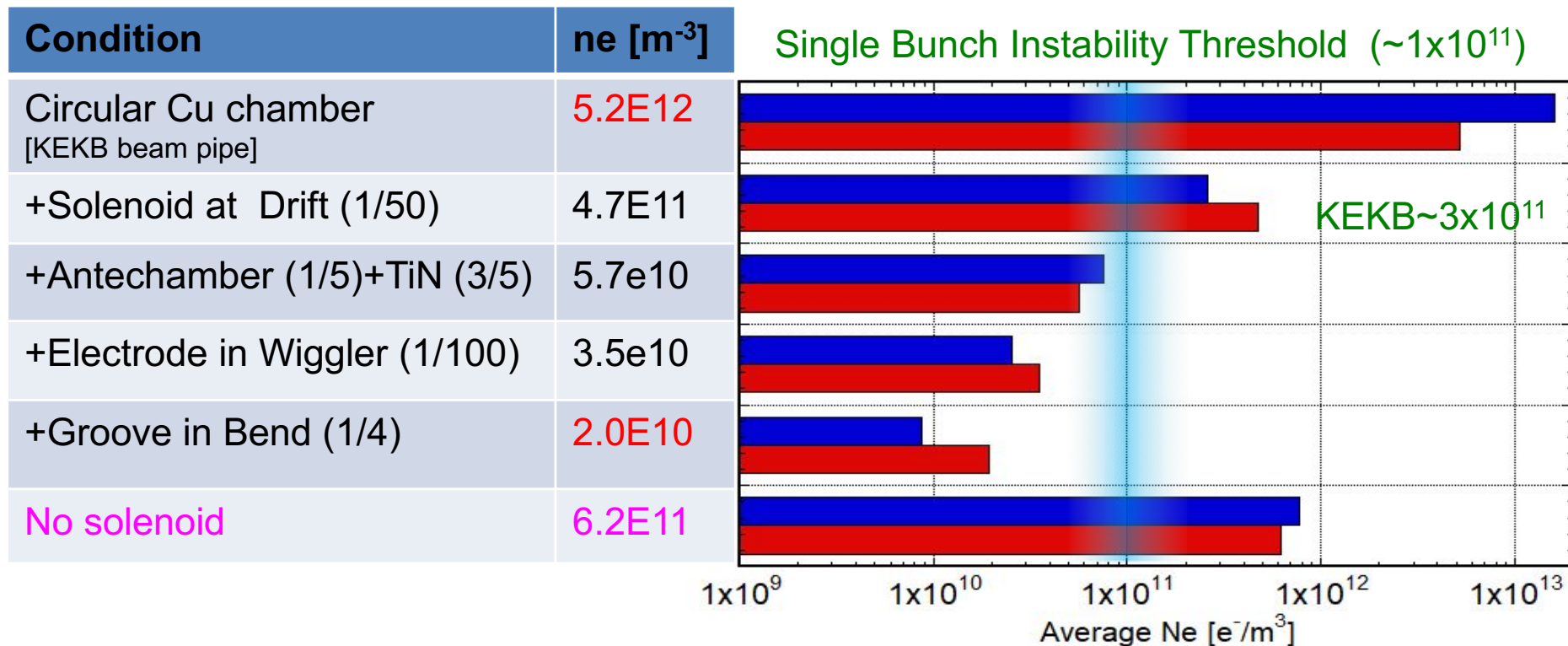
★ Simulated electron density at the threshold current

○ Measured threshold current and density



高電流域でのECE

- ソレノイドがない場合に期待される電子密度(KEKBの結果より)
 - 赤: 対策を施した後で期待される n_e
 - 青: CLOUDLANDを使った n_e の計算値。
 - 条件: ϕ 94 mm銅パイプ、 $\delta_{max}=1.2$, Solenoid field=50G ($n_e=0$), Antechamber (photoelectron yield =0.01:丸パイプの1/10)、4ns 間隔、1 mA/bunch = 600 mA/600 bunch

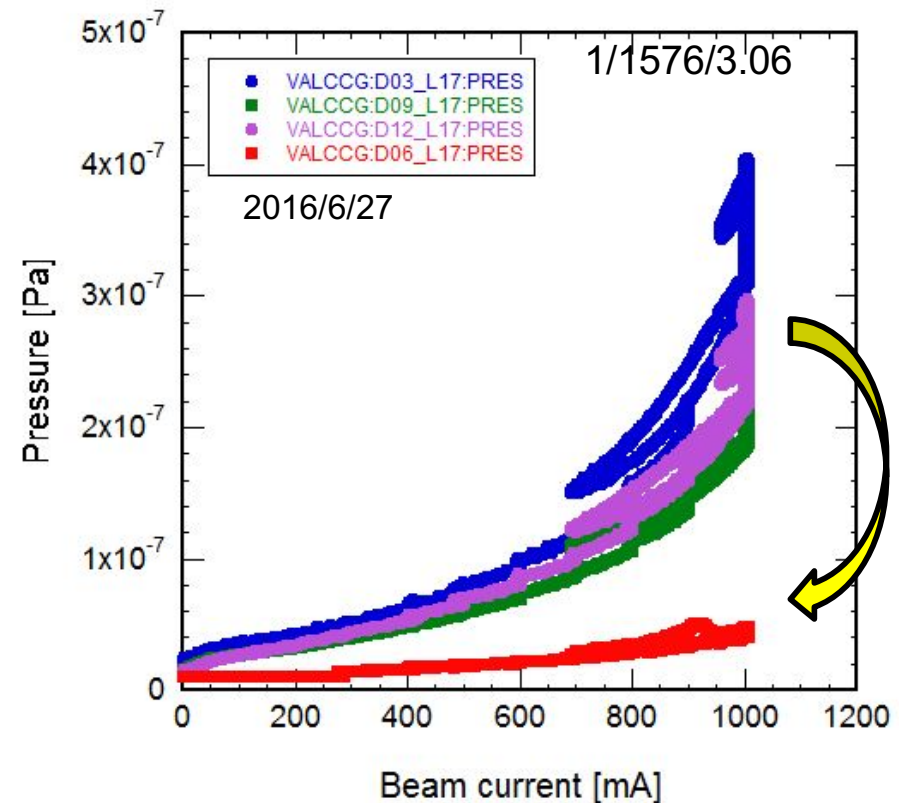


■ n_e は $10^{11} m^{-3}$ オーダーとなり、ECEが起きてもおかしくない。

高電流域でのECE

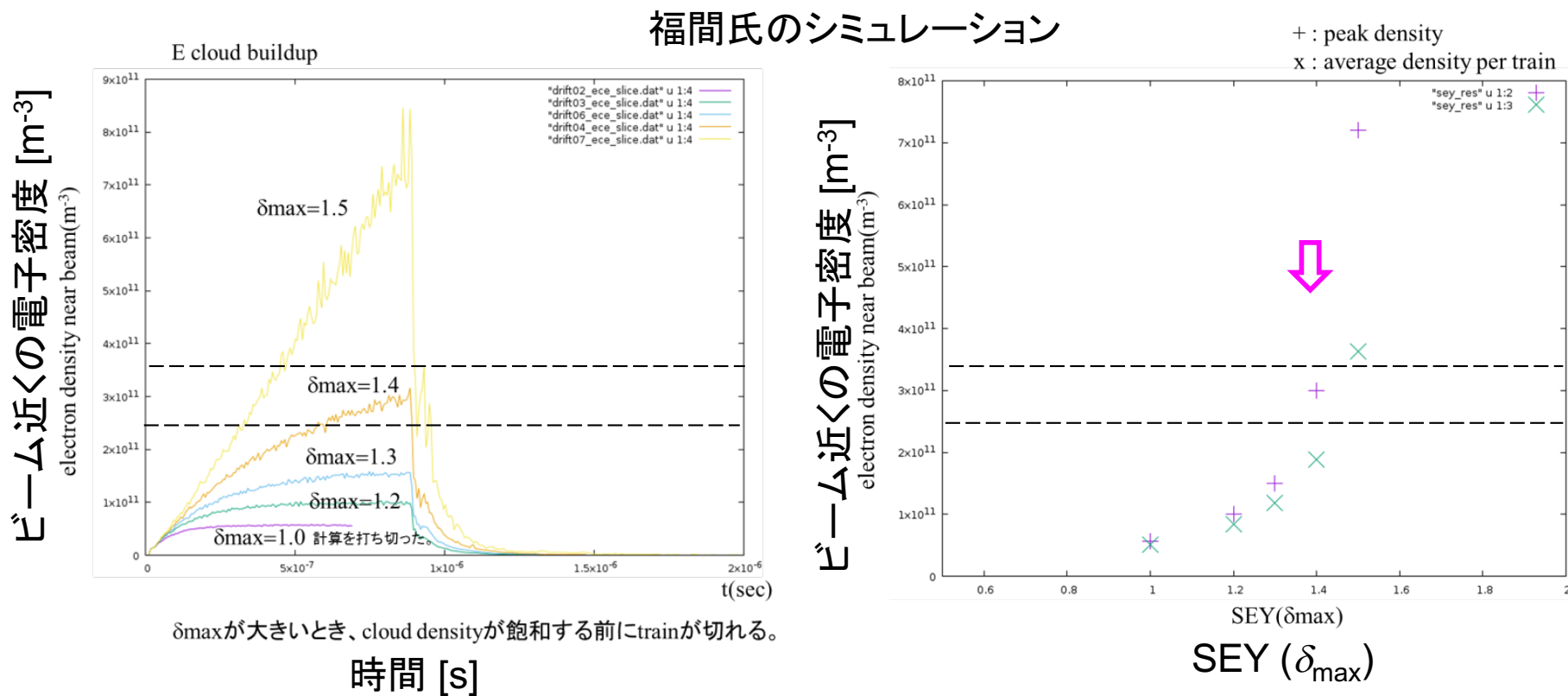
■ 軸方向磁場の試験的印加

- ドリフト部の一部(約20 m)に試験的にPMUを配置した。
- 当該区間の圧力の非線形上昇は緩和された。つまり、ドリフト部 (TiNコーティング有アンテチェンバー)で電子雲が形成されている。
- 電子雲発生場所の一つ。だが大部分か。



高電流域でのECE

- 議論: 推定されるTiNコーティングの δ_{max}
- 福間氏、大見氏のブローアップシミュレーションでは、密度の閾値が約 $3 \times 10^{11} \text{ m}^{-3}$ とすると、 $\delta_{max} = \sim 1.4$ 。(リング平均)

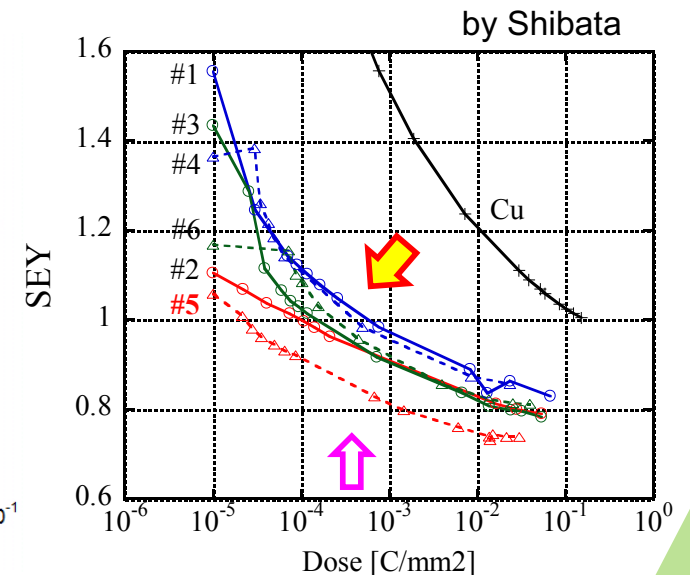
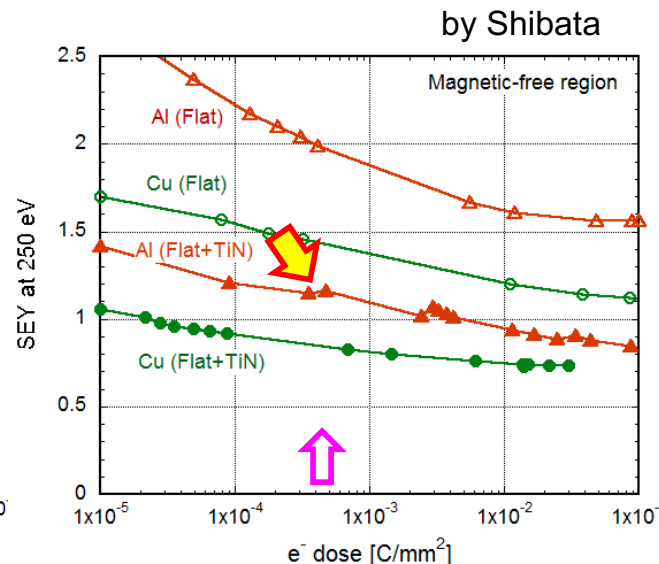
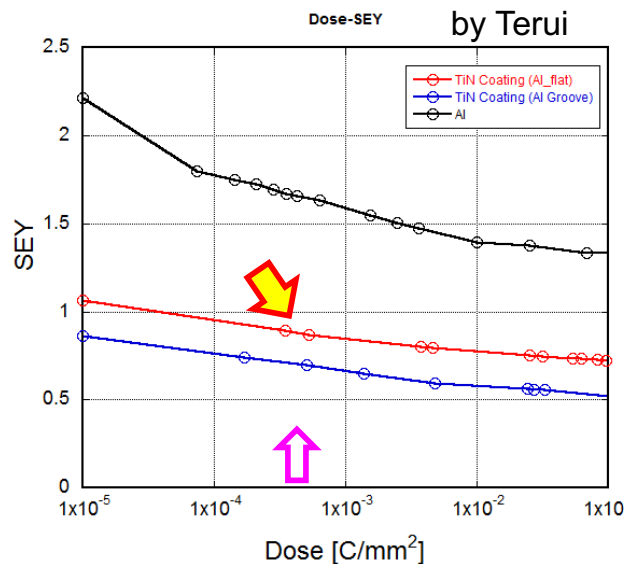


高電流域でのECE

- 議論: 推定されるTiNコーティングの δ_{max}
 - Phase 1での表面への電子照射量は、電子モニター一部で約 5×10^{-4} C mm $^{-2}$ (エネルギー > 500 eV)。
 - この時、実験室でのTiNコーティング試料を使った測定では、 $\delta_{max} = 0.9 \sim 1.2$ 。ただし、照射した電子ビームのエネルギーは約250 eV。
 - この差は何か？
 - エージング不足？
 - 圧力がまだ悪い？
 - ベーキングしていない？

⇒ 要検討、観察

ID number of samples	thickness of TiN [nm]	Temperature [deg. C]
#1	100	25
#2	100	150
#3	100	250
#4	200	25
#5	200	150
#6	200	250



Phase-2への対策

■ 電子雲の場所の推定

- リンガー周について、圧力のビーム電流に対する変化を調べた。
(2016/6/27 0:00~6:00 1/1576/3.06RF)
 - 電子雲⇒電子のマルチパクタリング⇒圧力上昇は非線形
- 非線形上昇が顕著な場所
 - IR部(Phase-1時はアルミパイプ+TiNコーティング)
 - 筑波直線部(特に電磁石が少ないところ、銅あるいはアルミアンテチェンバー+TiNコーティング)
 - アーク部(アルミアンテチェンバー+TiNコーティング)
 - シケイン部(銅アンテチェンバー+TiNコーティング)
 - SRM部(アルミアンテチェンバー+TiNコーティング)
 - 富士クロス部(新規はアルミパイプ+TiNコーティング、他はKEKB時のビームパイプの再利用)
 - 富士入射部(アルミパイプ+TiNコーティング)

Phase-2への対策

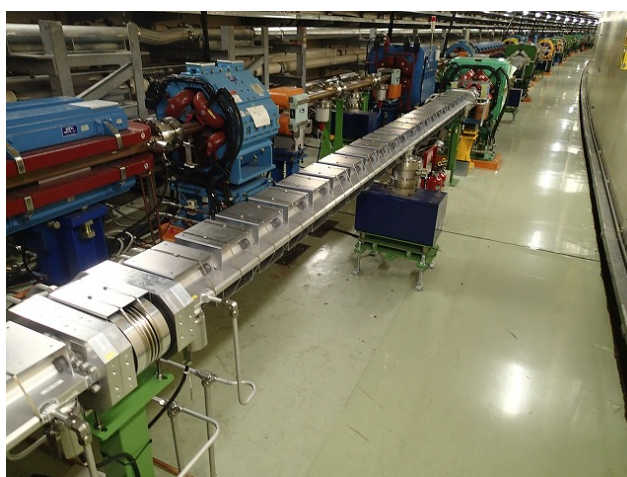
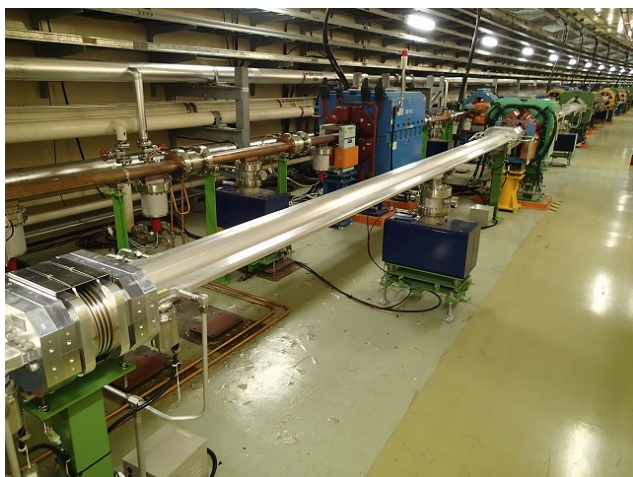
■ 電子雲の場所の推定

- リング一周について、圧力のビーム電流に対する変化を調べた。
(2016/6/27 0:00~6:00 1/1576/3.06RF)
 - 電子雲⇒電子のマルチパクタリング⇒圧力上昇が非線形
- 非線形上昇が顕著な場所⇒対策
 - IR部(Phase-1時はアルミパイプ+TiNコーティング)⇒銅+TiNコーティング(新規ビームパイプ、QCSもあり、Phase-2では要観察)
 - 筑波直線部(特に電磁石が少ないところ、銅あるいはアルミアンテチェンバー+TiNコーティング)⇒PMU
 - アーク部(アルミアンテチェンバー+TiNコーティング) ⇒PMU
 - シケイン部(銅アンテチェンバー+TiNコーティング) ⇒PMU
 - SRM部(アルミアンテチェンバー+TiNコーティング) ⇒PMU
 - 富士クロス部(新規はアルミパイプ+TiNコーティング、他はKEKB時のビームパイプの再利用) ⇒PMU、およびKEKB時代のソレノイド復活
 - 富士入射部(アルミパイプ+TiNコーティング) ⇒PMU

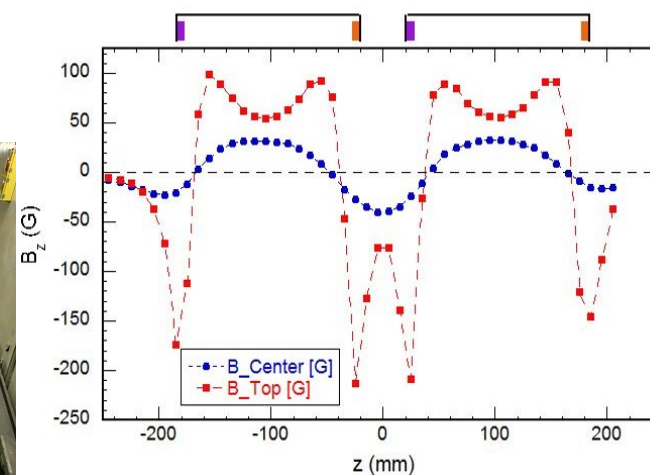
Phase-2への対策

- ドリフト部へのPMU取付
 - 長さ160 mmの鉄ヨークに $\phi 30$ mmの永久磁石を8個とりつけたPMUを40 mm間隔で並べる。⇒作業終了した。

新規ビームパイプに取り付けたPMU

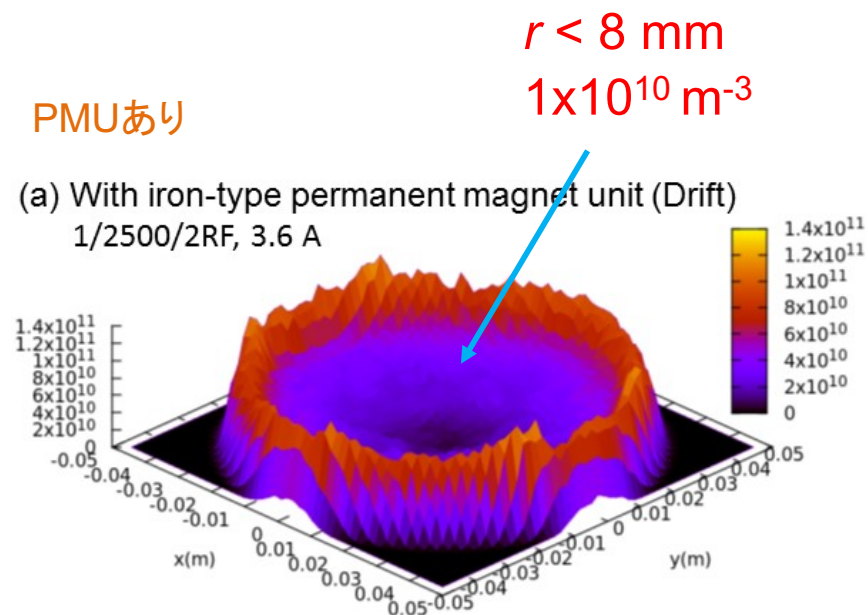
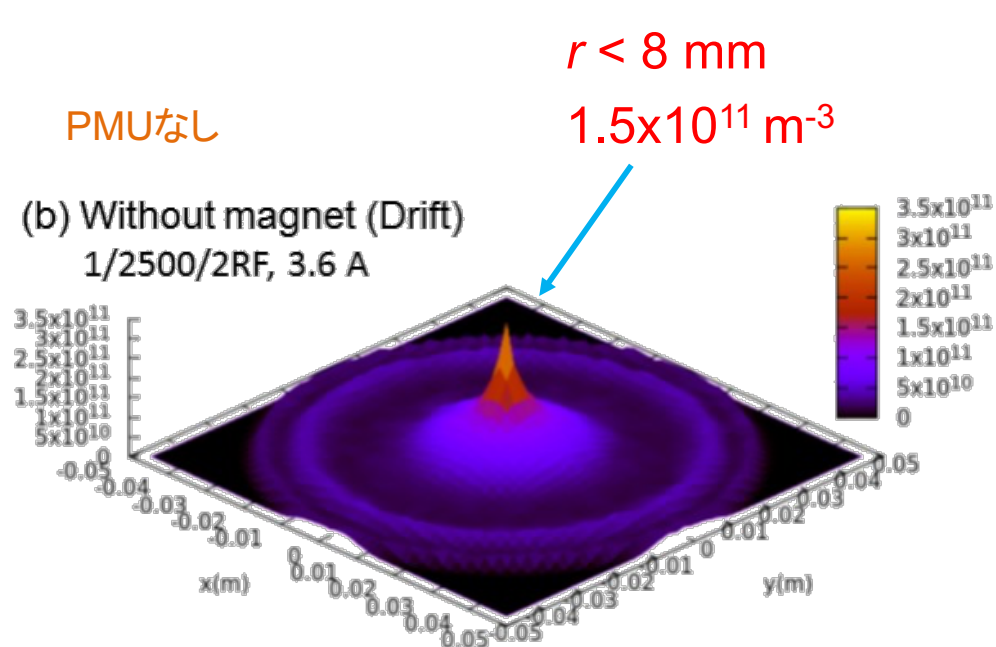


PMUの磁場分布



Phase-2への対策

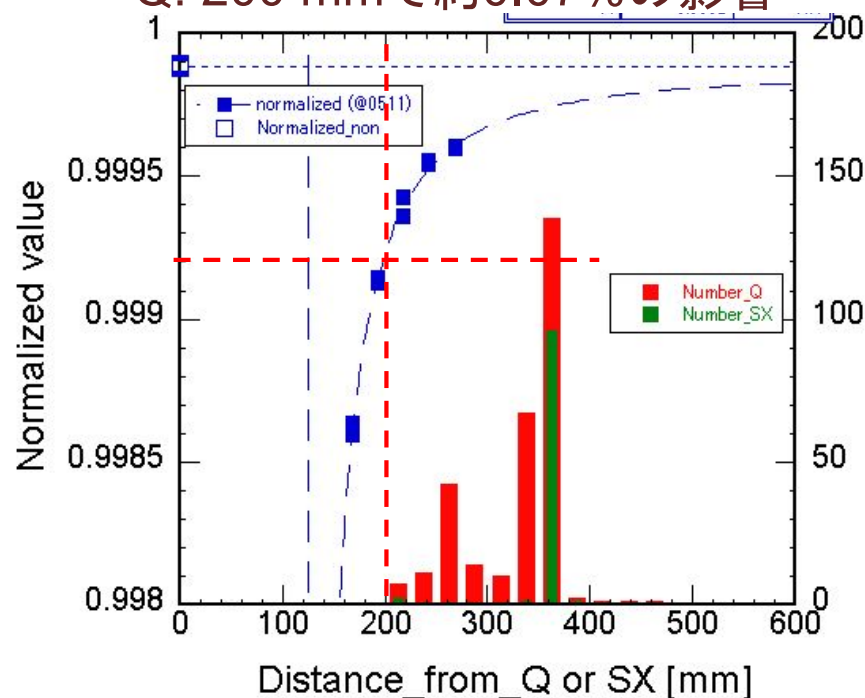
- ドリフト部へのPMU取付の効果
 - CLOUDLANDを使った電子密度シミュレーション(福間氏)
 - ビーム方向の周期的条件を入れている。
 - ベローズの場合と同じ条件。ただし、 $\delta_{\max} = 1.2$ 。
 - 設計パラメータ(1/2500/2RF, 3.6 A)でも電子密度は 10^{10} m^{-3} 台。



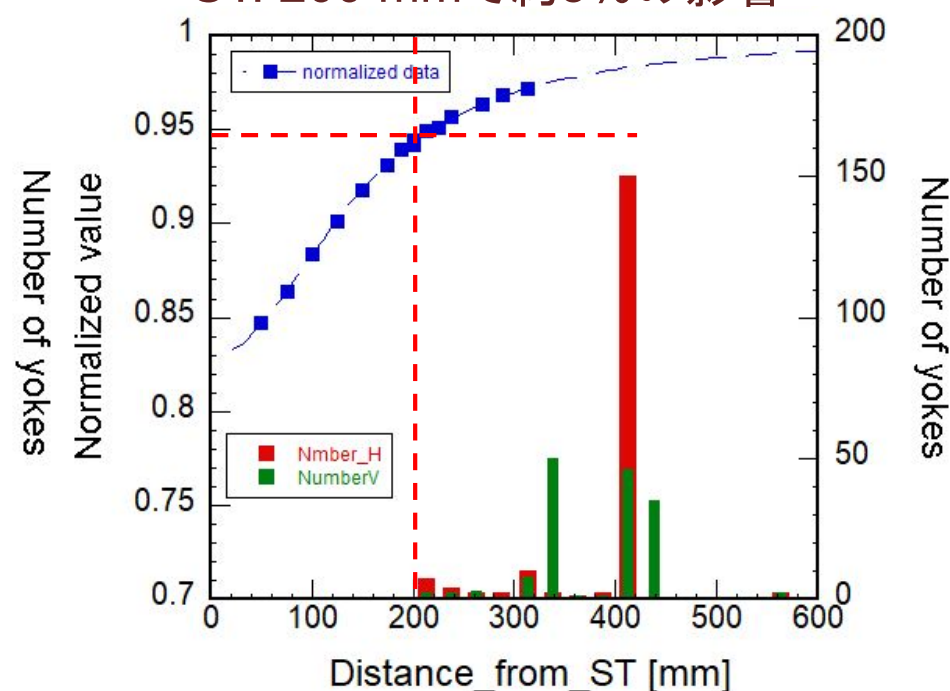
Phase-2への対策

- ドリフト部へのPMU取付時の問題
 - ただし、Q電磁石の傍には鉄ヨーク付きPMUは磁場への影響が大きいので設置しない。200 mm以上離して設置する。もっとも多いのは約360 mm。
 - 補正電磁石についても同様。200 mm以上離して設置する。もっとも多いのは420 mm。
 - 必要であれば、励磁曲線を変更する(検討中)。

Q: 200 mmで約0.07%の影響

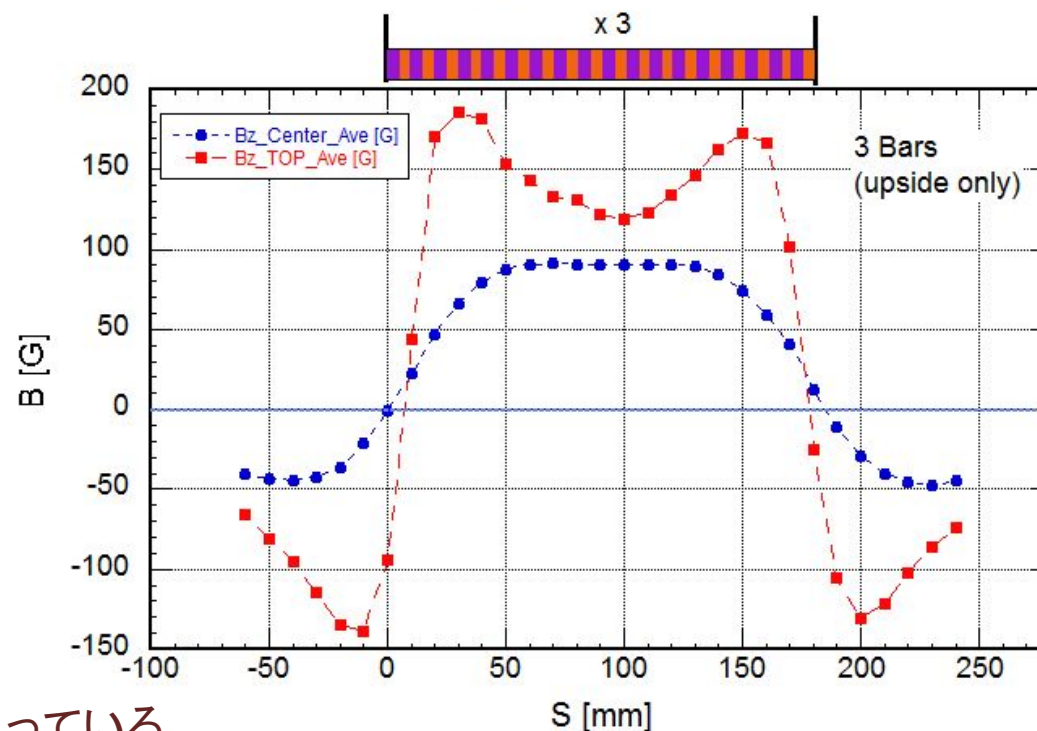
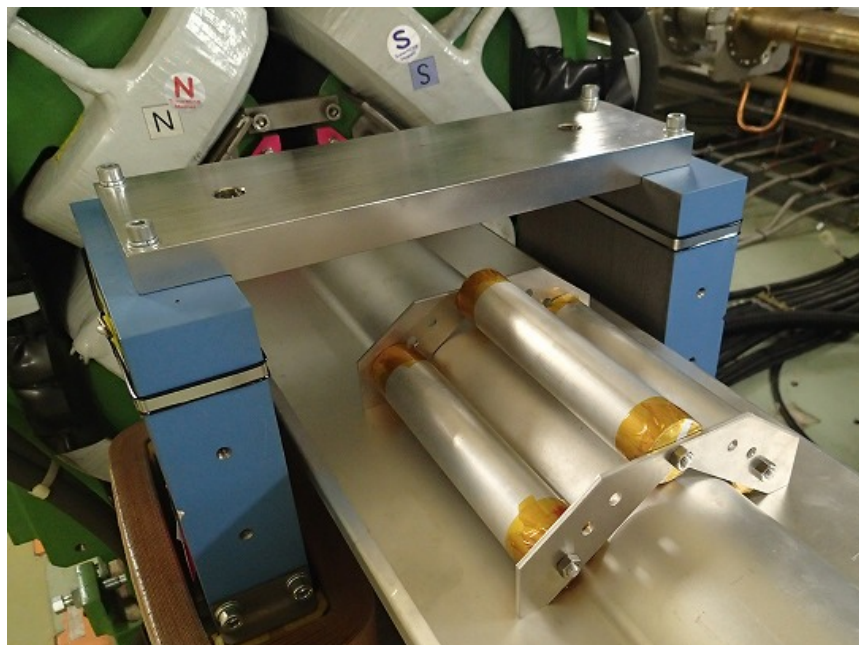


ST: 200 mmで約5%の影響



Phase-2への対策

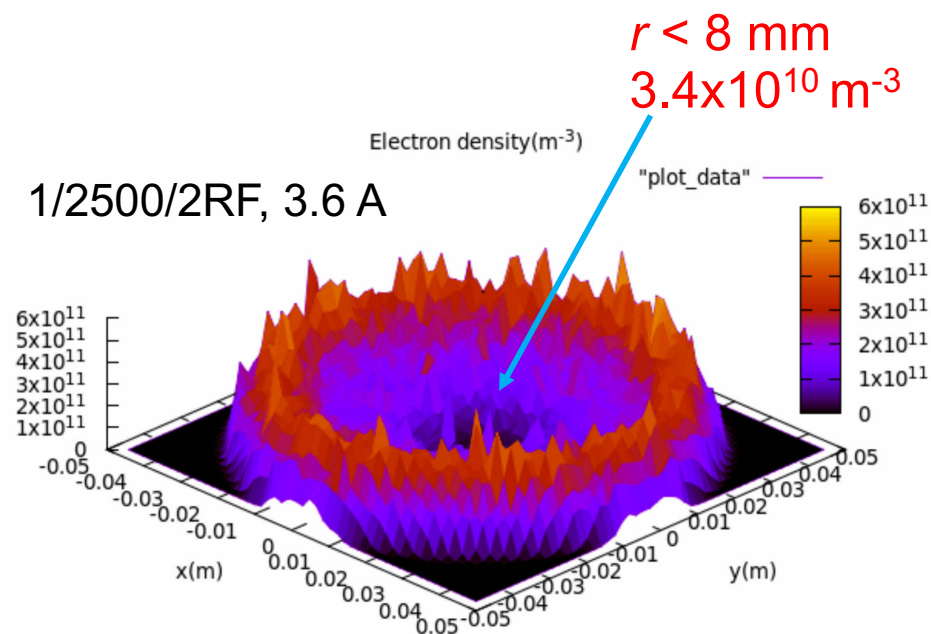
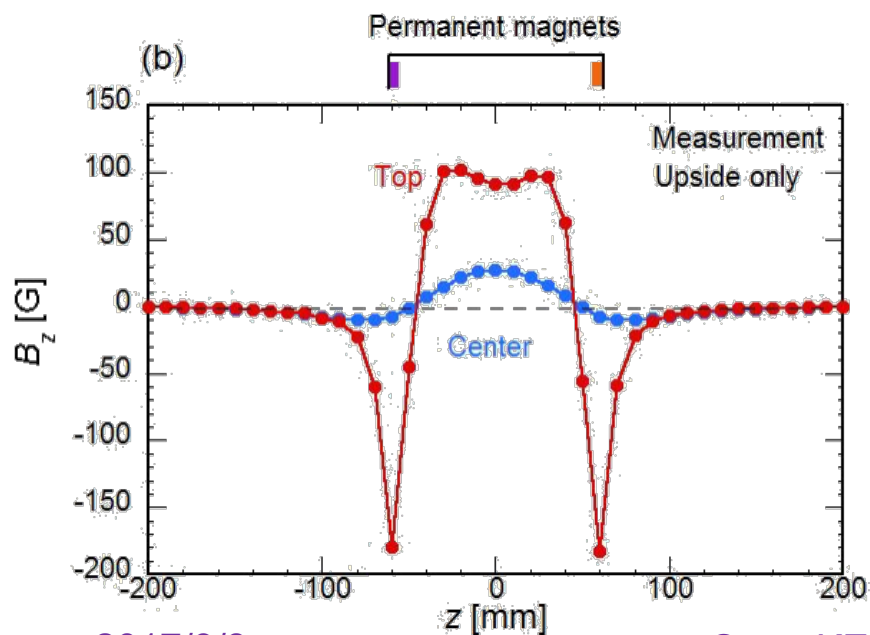
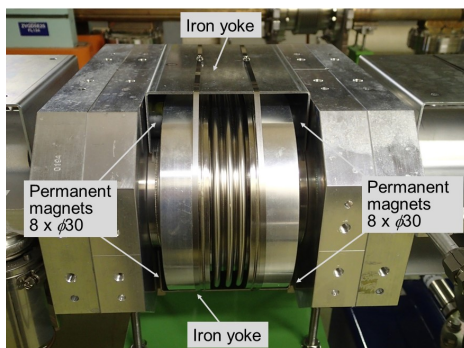
- 電磁石の傍はどうか？
 - 電磁石の傍にはアルミ板(非磁性)を使ったPMUを設置する予定。この取り付けは今年度行う(作業中)。
 - 補正電磁石への影響をマグネットグループで測定中。
 - シート状の永久磁石(ネオジウム)もR&D中(照井氏)。



アルミパイプ(188 mm)の中に永久磁石が21個入っている。
上下で6本。

Phase-2への対策

- アルミ合金製ベローズに取り付けたPMU
 - そのままにする。
 - 設計パラメータでも軸近傍の電子密度は 10^{10} m^{-3} 台。 $\delta_{\max} = 2.0$ 。



Phase-2への対策

- 富士交差部新しいアルミ製ビームパイプ(TiNコーティング)にはPMUを取り付けた。
- 富士入射部の新しいアルミ製ビームパイプ(TiNコーティング)にもPMUを取り付ける予定。

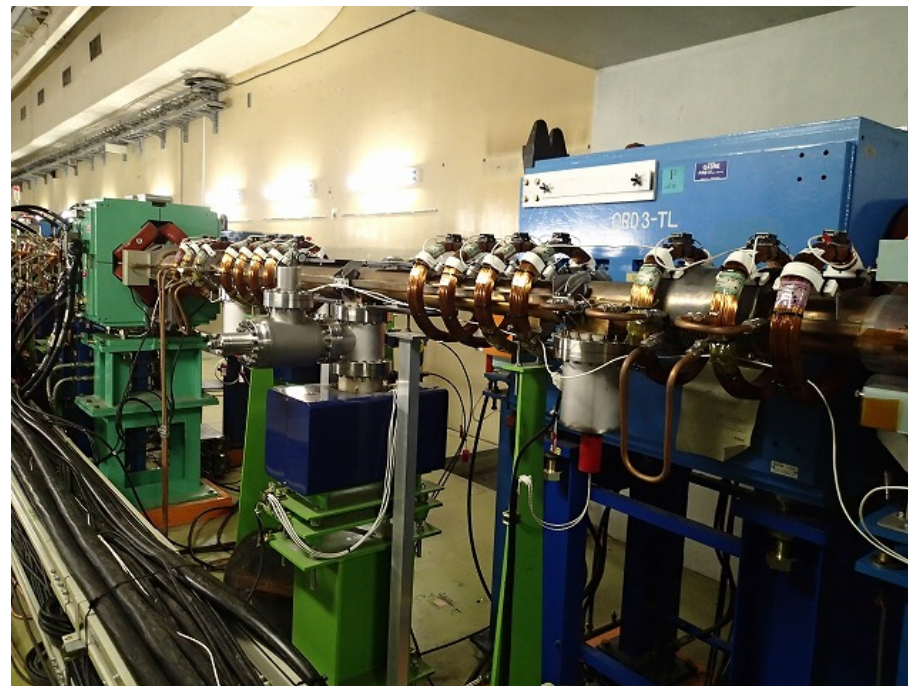
富士交差部のビームパイプ



Phase-2への対策

- 富士交差部付近 (KEKB時の銅製丸パイプ)
 - 電源をつないでソレノイドを復旧させた。

富士交差部付近のビームパイプに巻かれたソレノイド



Phase-2以降への対策

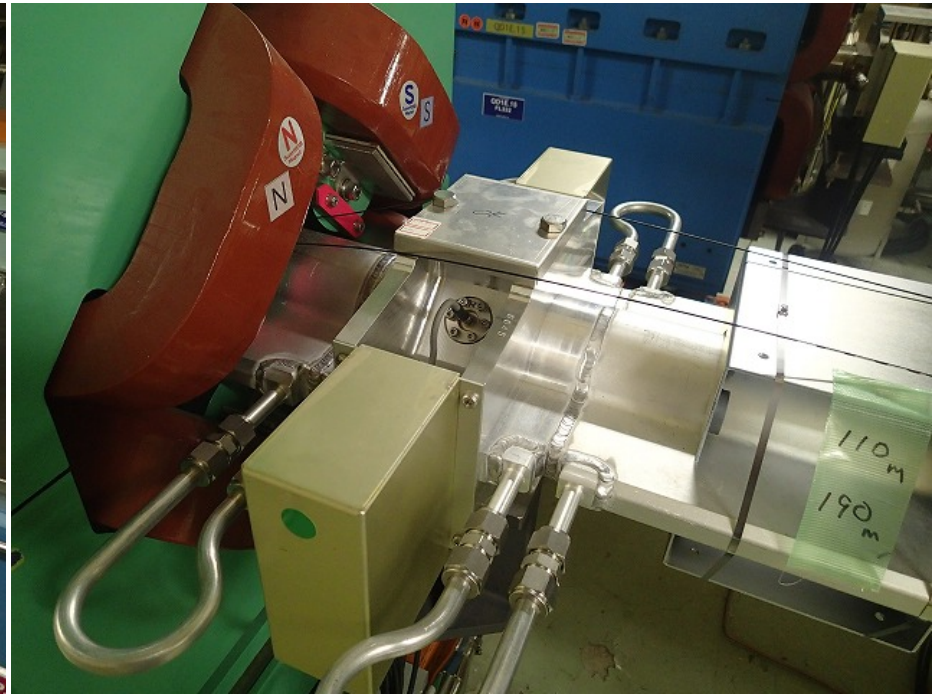
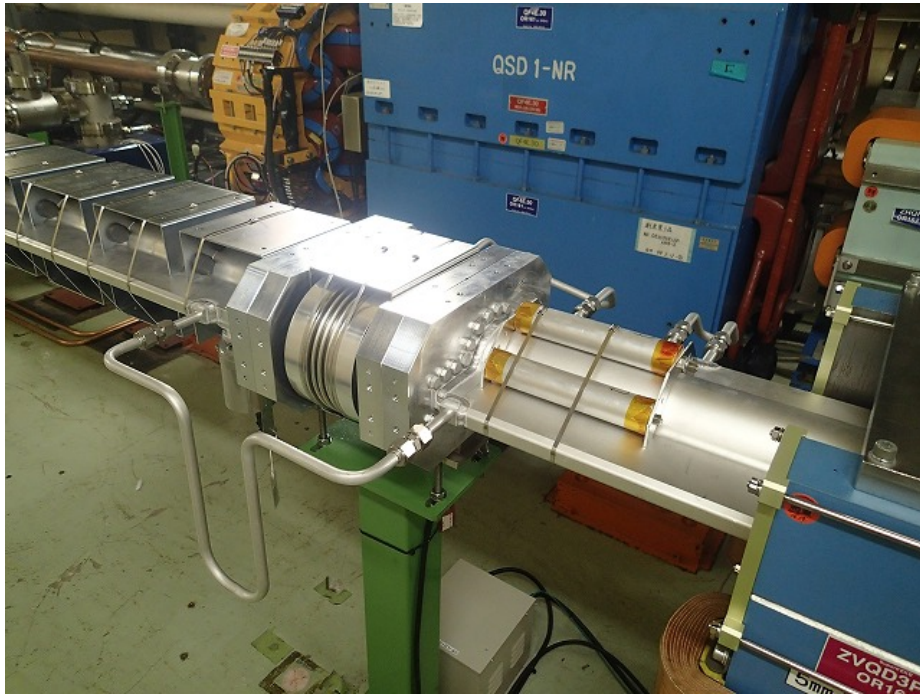
- Phase-2(目標1.5 A、1576バンチ、3RFバケット~0.3 mA/bucket)まではこれまで述べた対策で大丈夫だと思われる。
- その後は磁場(>50 G)のある領域を増やしていく。必要になるとと思われる場所は、
 - 四極、六極電磁石の傍（まだ空間が残っている場所がある）
 - 補正電磁石(ステアリング)の中（現在検討中）
 - BPMブロック周辺
 - RF区間(銅パイプ、KEKB時にはソレノイドを巻いていた)
 - ウィグラー部(四極電磁石等クリアリング電極はない)
 - 高 β 部(筑波直線部)（より密に）
- TiNコーティング表面のエージング、ビームパイプ内の圧力低下が進むことを期待。
 - ベーキングしてみる？
- その他、心配される場所
 - IR:QC1RP付近。散乱光があると磁場に電子が捕捉される。Phase-2では様子見。

まとめと予定

- Phase-1中、陽電子リングでECEが観測
- アルミ合金製ベローズチェンバー内電子雲による不安定性
 - アルミ部分の電子密度は閾値の約20倍。閾値はシミュレーション結果と合っている。
 - PMU取付でECEは抑制された。
 - この状態ではKEKB初期より閾値は高く、TiNコーティングとアンテチェンバーが効いていると考えられる。
- 高電流での電子雲不安定性
 - 電子雲は主にドリフト部(TiNコーティング+アンテチェンバー一部)にあると推定。閾値はシミュレーション結果と合っている。
 - ソレノイドが無い時の予想(推定)にも近い。
 - 試験的に置いたPMUで圧力変化は線形となった。
 - TiNコーティングの δ_{\max} は実験室室で得られた値よりはまだ高そうだ。
- Phase-2およびそれ以降への対策
 - リングのドリフト部等へPMUを取り付ける。一部はソレノイドを復活。
 - 必要ならより密に取り付けていく。(BPM部、補正電磁石内、筑波直線部の β が大きいところなど)

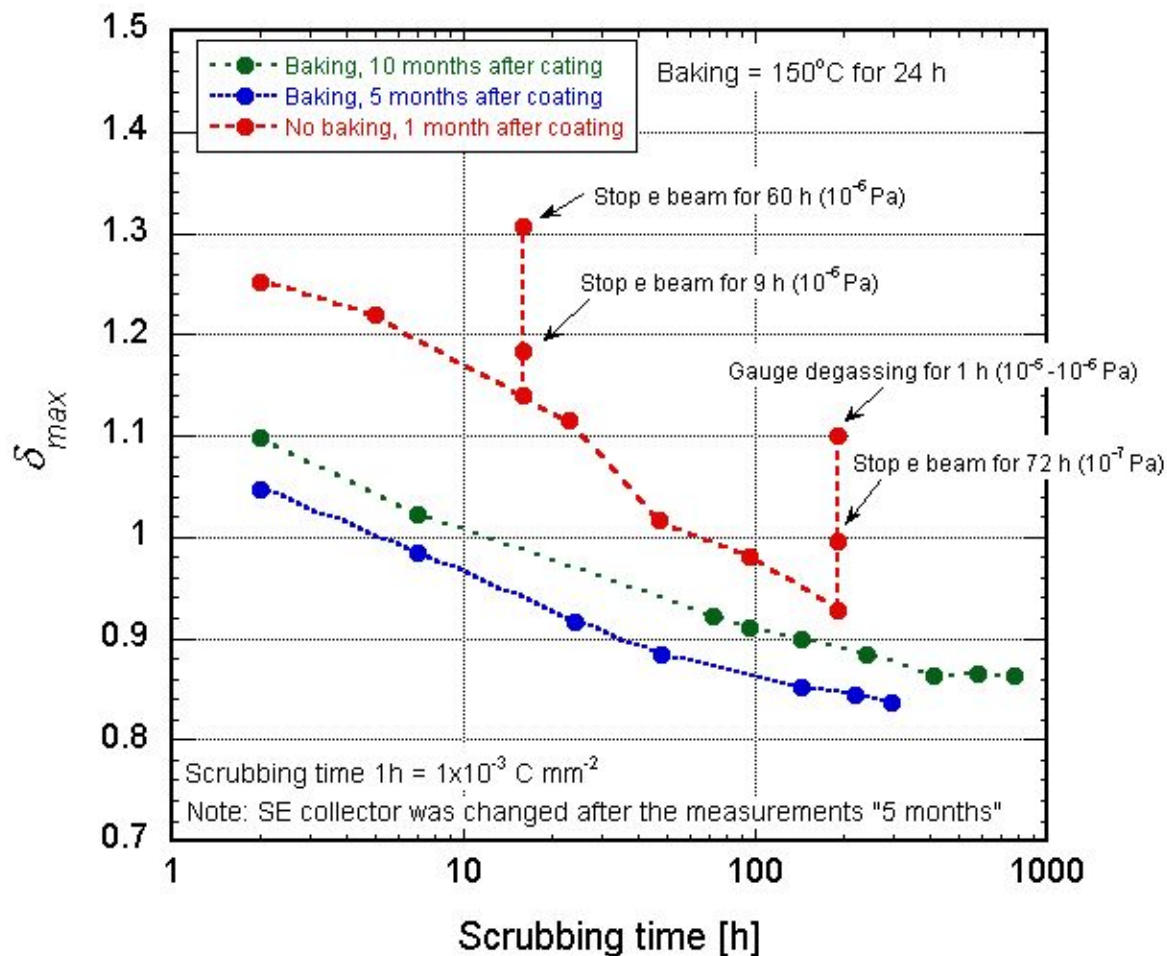


ご清聴ありがとうございました。



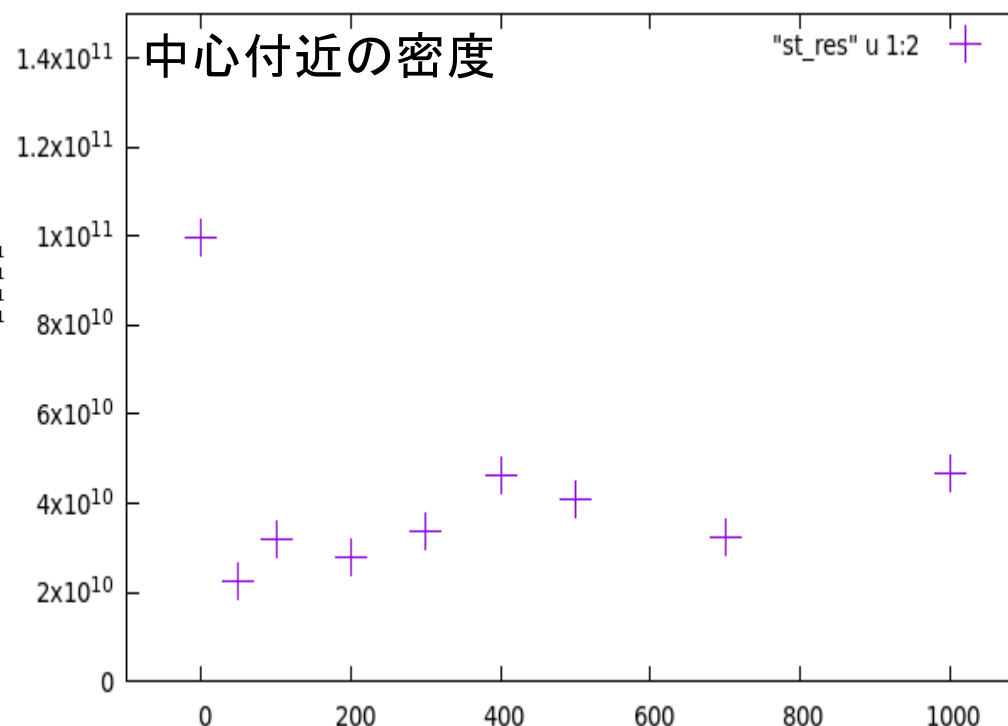
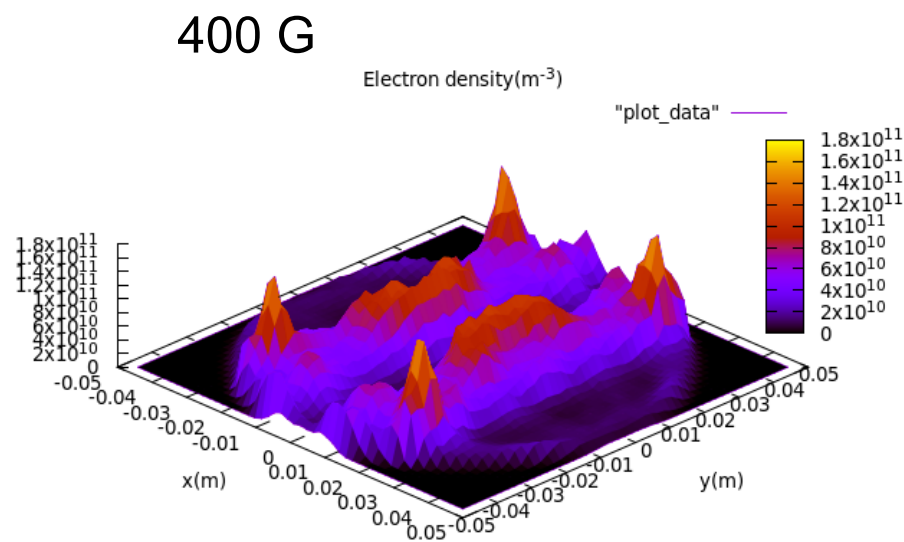
高電流域でのECE

- 議論: 推定されるTiNコーティングの δ_{\max}
- 実験室の測定で、ベーキングしていない、あるいは、圧力が悪いと δ_{\max} が下がる、という結果がでている(久松氏)。



Phase-2以降への対策

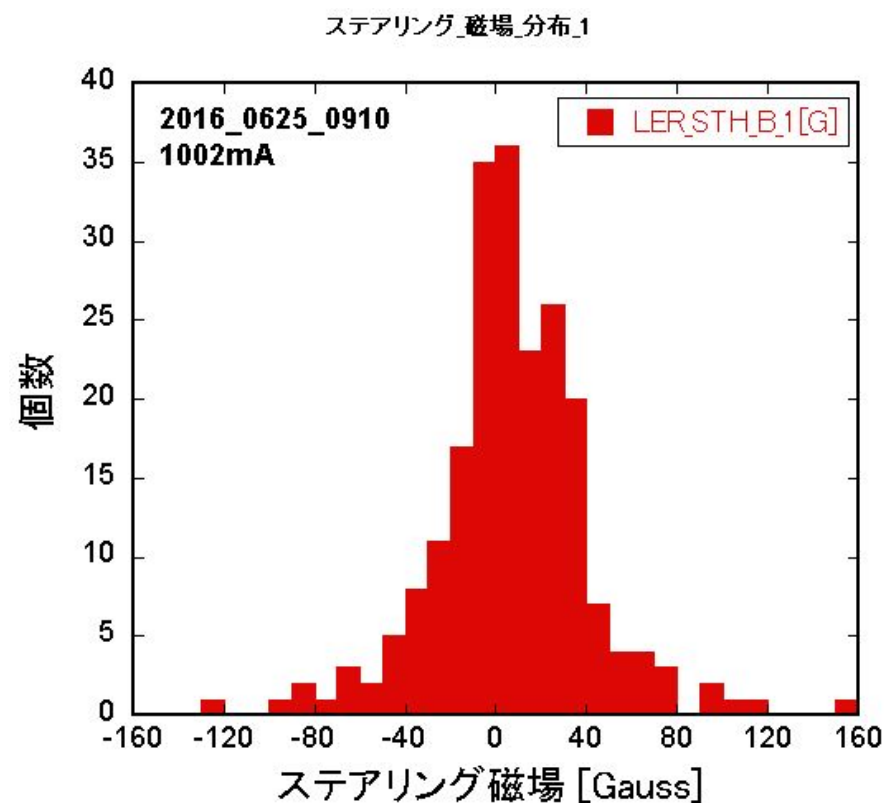
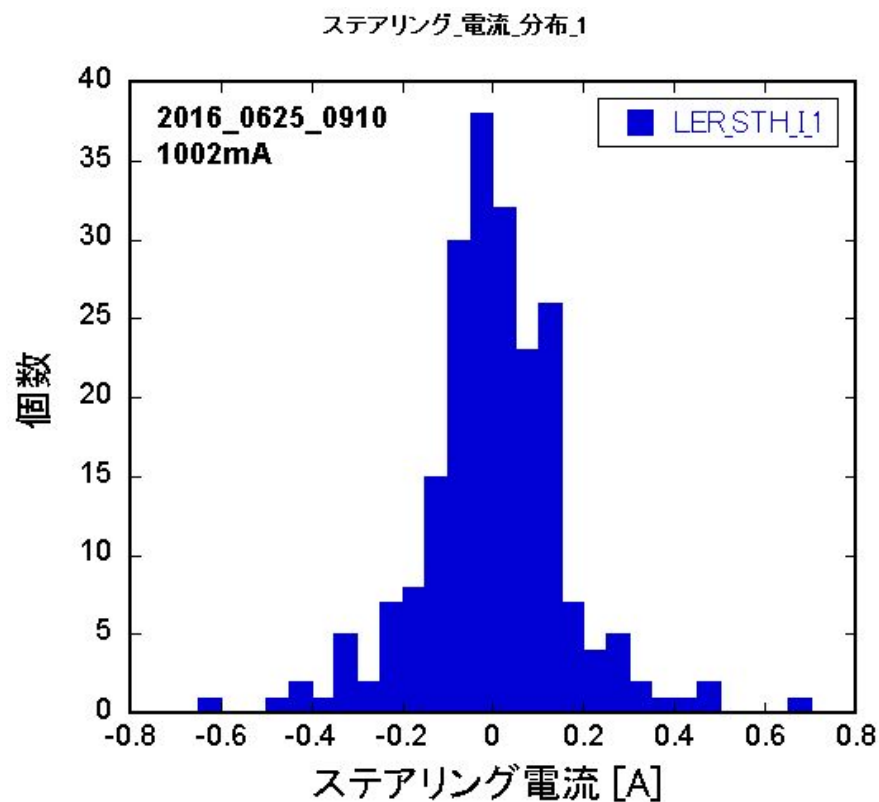
- 参考: ステアリングの中(丸パイプを仮定、STHに近い)
 - 電子密度のシミュレーション
 - e^+ /bunch Nb : $4.9E10$ (0.78mA/bunch), d_{max} 1.2@300eV、Bunch spacing : 4 buckets、5120/4 bunchの時1A。
 - 50 G以上の磁場があると、 n_e は $1E10$ 台。
 - ただし、ステアリングによって磁場強度が違う。



Phase-2以降への対策

- ステアリングの中の磁場強度
 - 運転時の典型的なステアリングの設定電流値分布
 - 0 A付近が多く、やはりステアリングの中にもPMUが必要か。

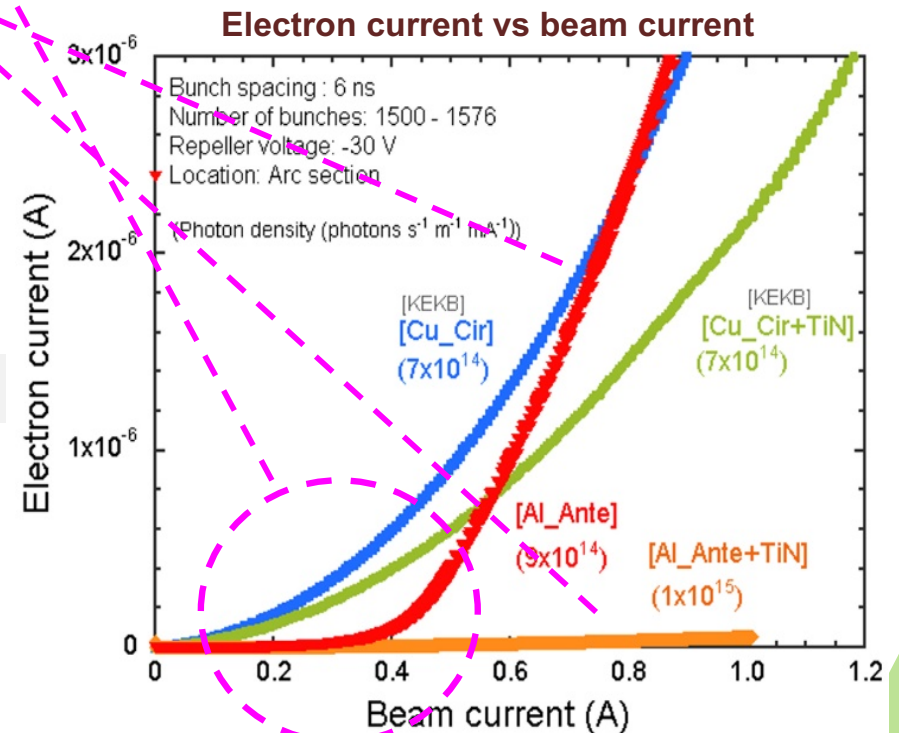
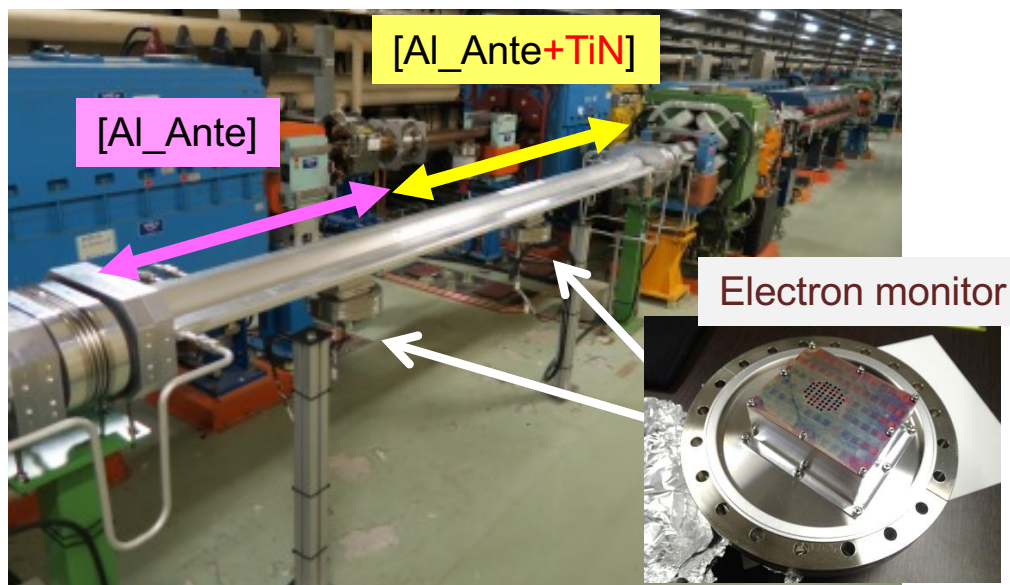
2016/6/25 9:10 1002 mA



電子密度測定

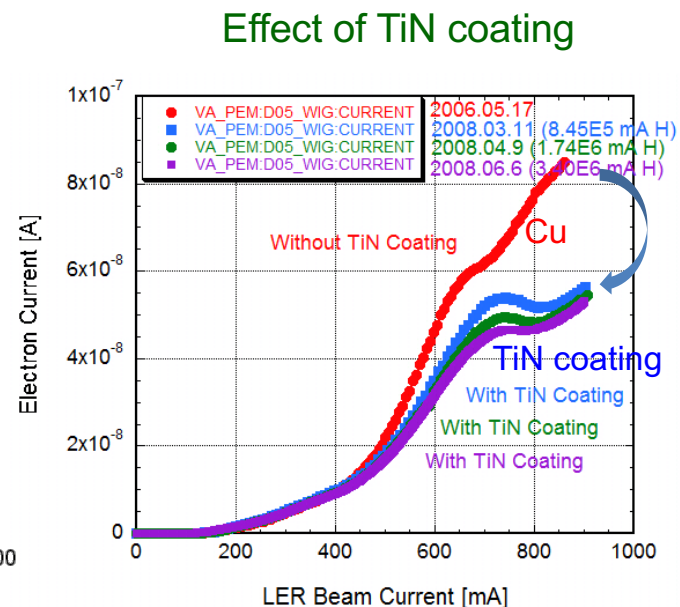
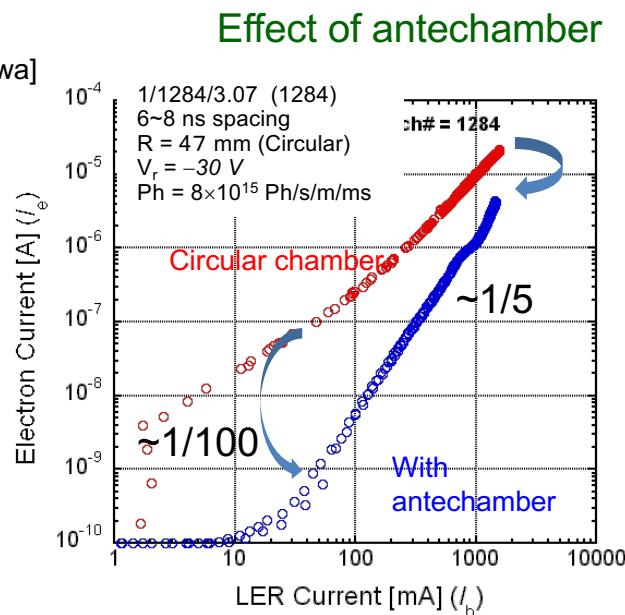
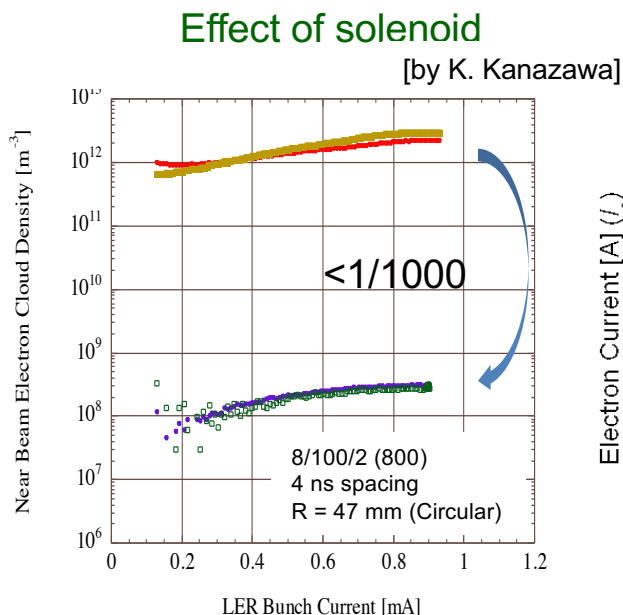
- ECE対策: アンテチェンバーとTiNコーティングの効果の例
 - アーク部テストチェンバーのTiNコーティング有り、無しの部分に電子モニターを取り付け、電子電流を比較してTiNコーティングの効果を確認。
 - KEKB時代の結果と比べてアンテチェンバーの効果を確認。
 - 低電流にてアンテチェンバー内の電子密度小⇒アンテチェンバーの光電子抑制効果
 - 高電流にてTiNコーティング部の電子密度小⇒TiNコーティングの二次電子抑制効果

Test chamber in LER arc section



まとめと予定

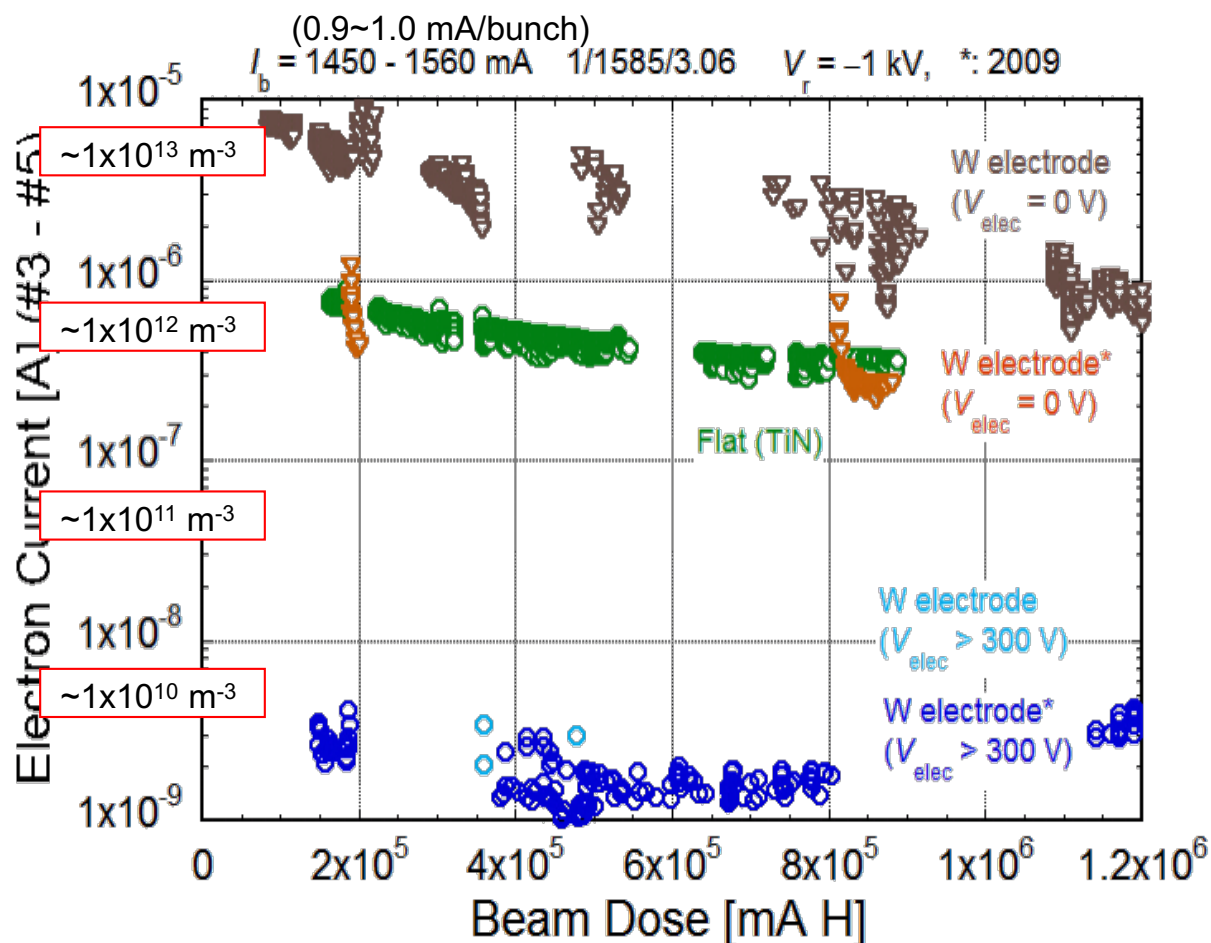
- Established counter measures
 - Solenoid filed at drift section (~ 50 G): Effective to both photoelectrons and secondary electrons.
 - Ante-chamber scheme: Effective to photoelectrons. Adopted at PEP-II LER
 - TiN coating (Reduction in SEY): Effective to secondary electrons. Adopted at PEP-II LE。



まとめと予定

■ Clearing electrode

- The electron density decreased to less than $\sim 1/100$ at $V_{elec} > \sim +300$ V compared to the values at $V_{elec} = 0$ V (W) and a TiN-coated flat surface.

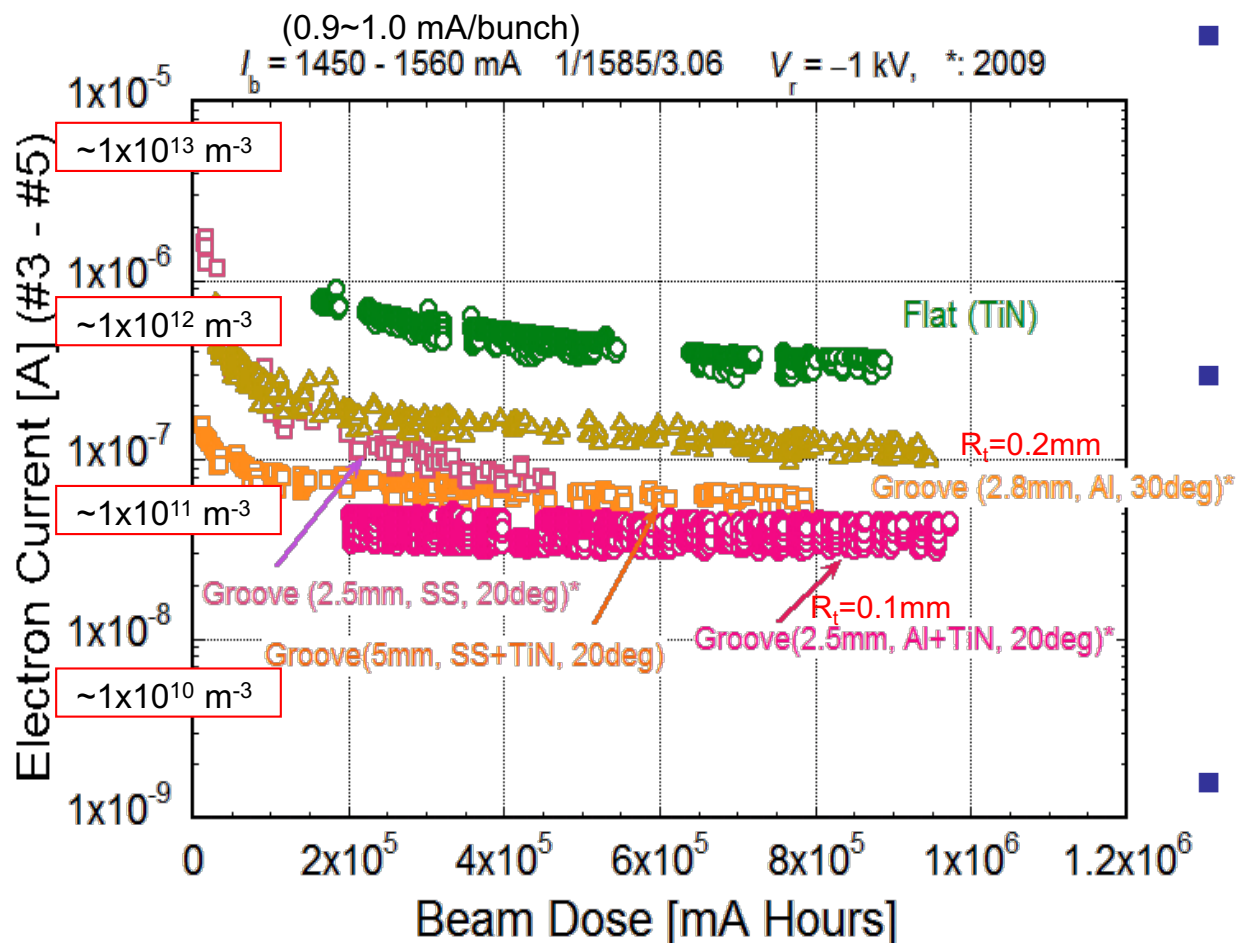


- Two-time experiments.
- Electron currents for the thermal-sprayed tungsten ($V_{elec} = 0$ V) is similar to the case of flat TiN-coated surface. ← Rough surface?
- The second result was lower than the first one. ← Aging of surface?
- No extra heating of electrode and feed-through was observed.

まとめと予定

■ Groove surface

- The electron density decreased to 1/6~1/10 compared to the case of a flat TiN-coated surface ($b = 20$). That is, less than ~1/10 compared to flat copper.



- Electron densities for grooves surfaces in these parameters were lower than the case of a flat TiN-coated surface.
- Smaller electrons even if no-coating: TiN coating improves the effect, but the groove structure seems much effective to reduce SEY.
- Less density for smaller β and R_t .