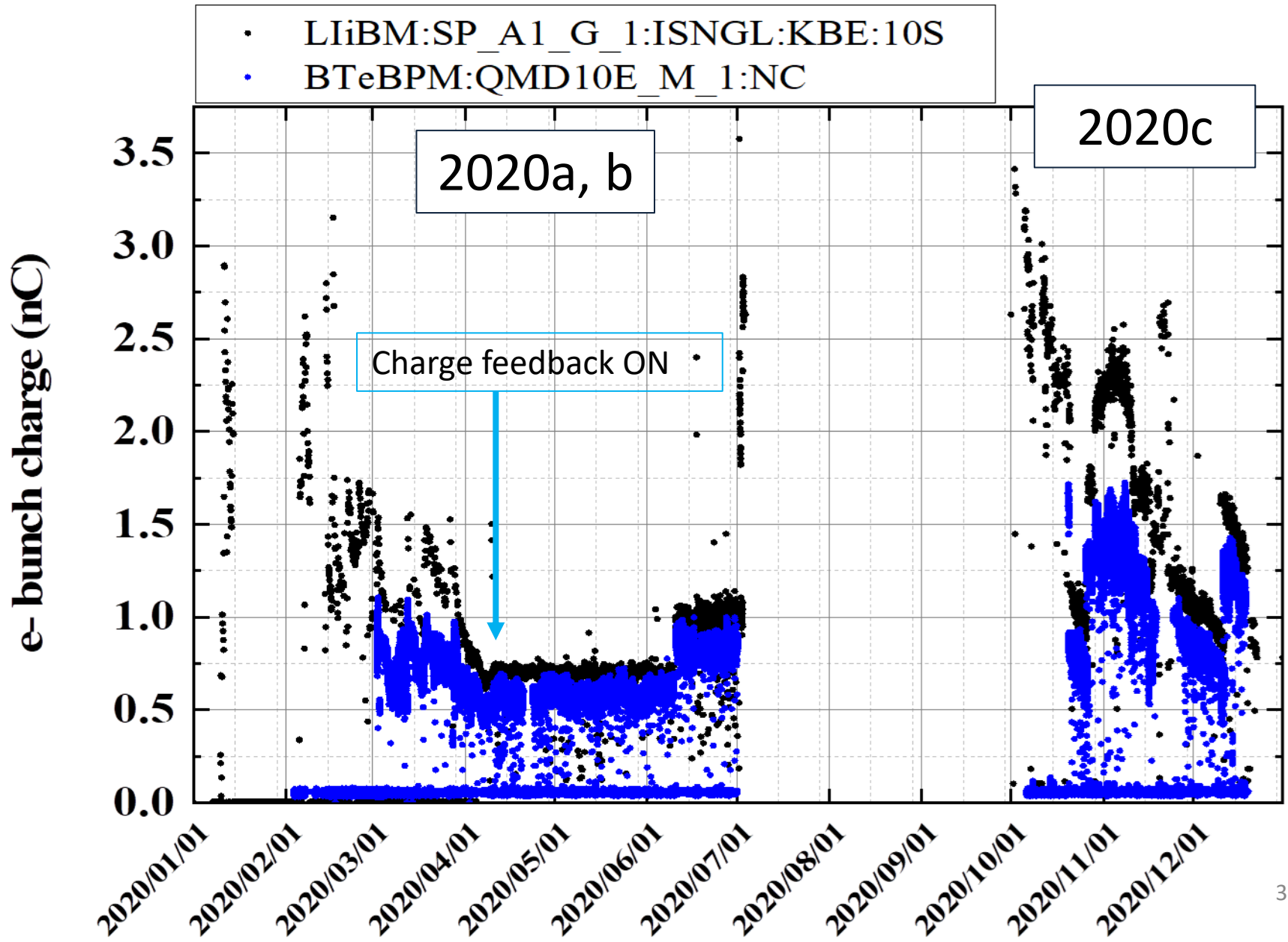


2020c ランの反省と2021a+bラン への展望

夏井 拓也

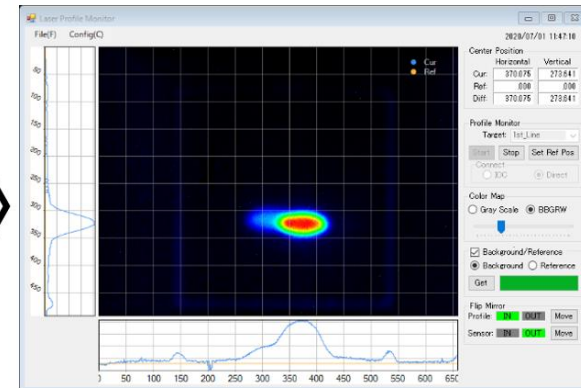
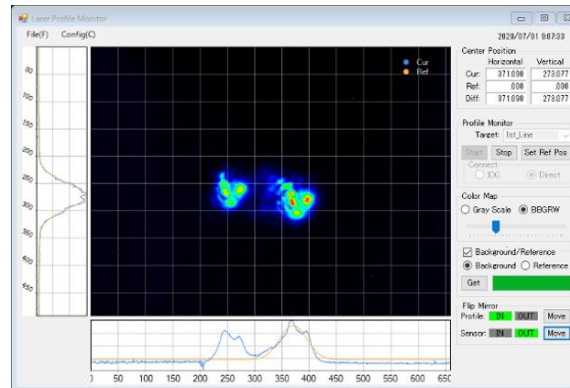
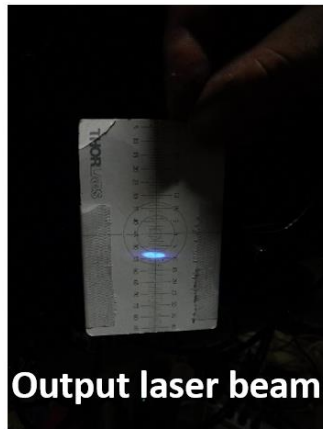
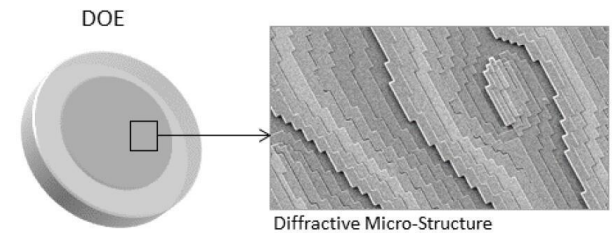
電子ビーム運転状況とエミッタンス測定について

e-バンチ電荷量の推移

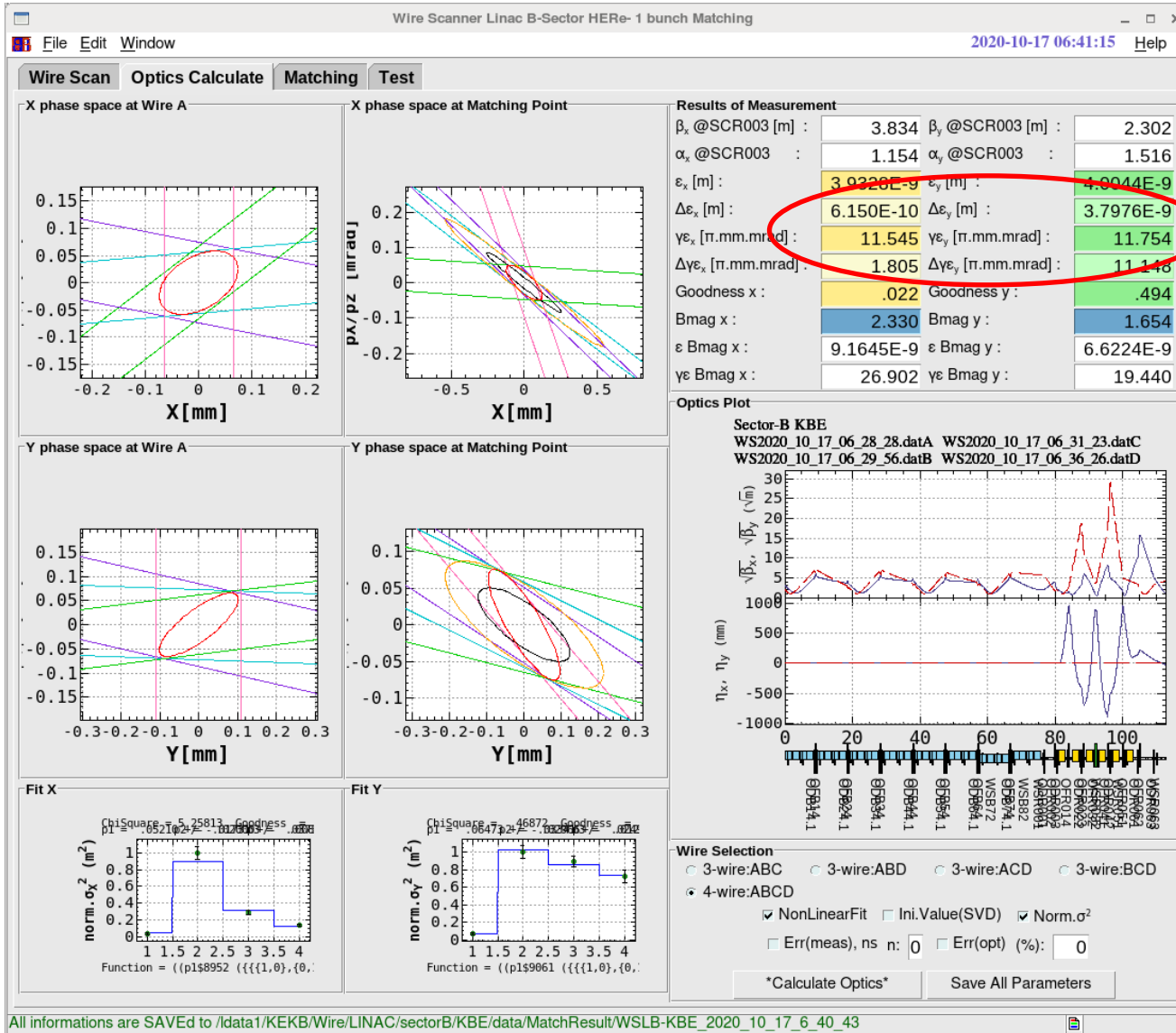


DOEによるレーザービーム整形

- **Diffractive Optical Element (DOE): Laser beam homogenizer**
- UVレーザー用DOEは世界初
- ほこりに弱いため、真空チャンバー内に設置している. レーザーのパワーロスは15%程度.
- 1stレーザーラインにのみ設置済み. (2ndレーザーラインはスペースの問題があり設置が困難)



Wire scanner (B-sector) @ 2 nC

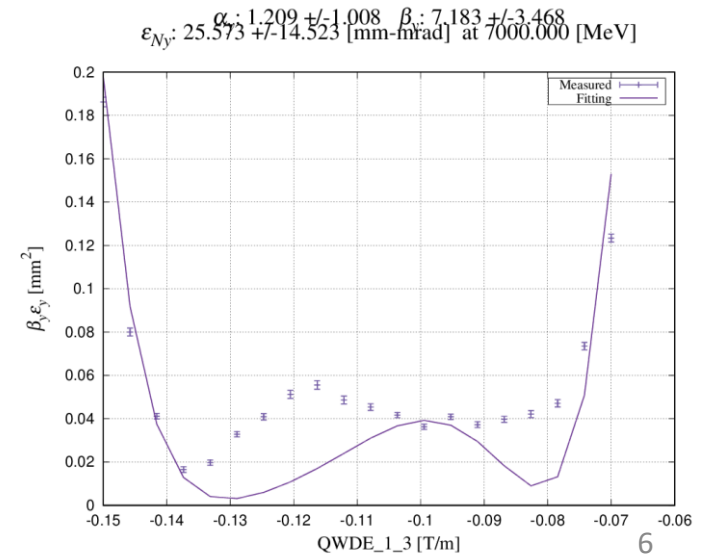
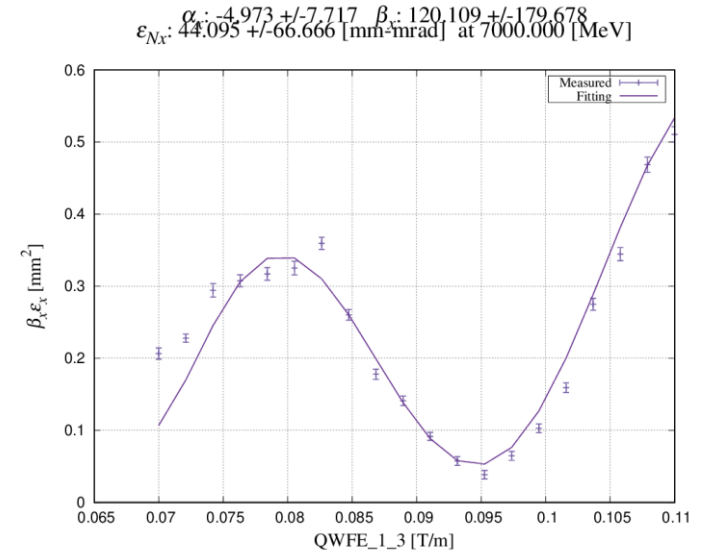
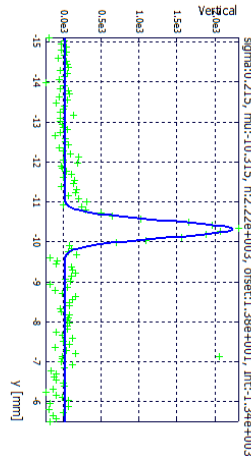
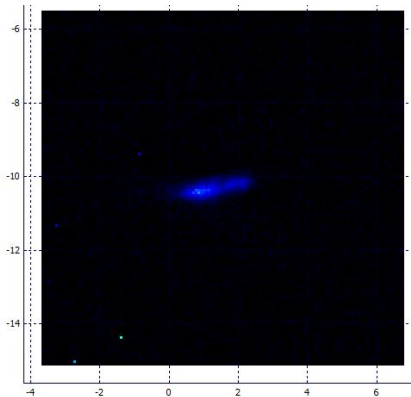
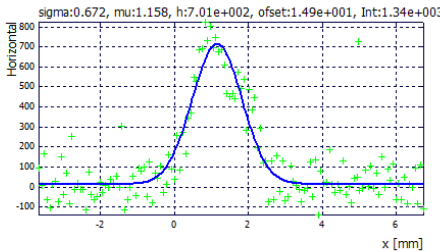


B-sectorでは、2 nC で
XYともに11 [mm mrad]
を達成した

M. Yoshida

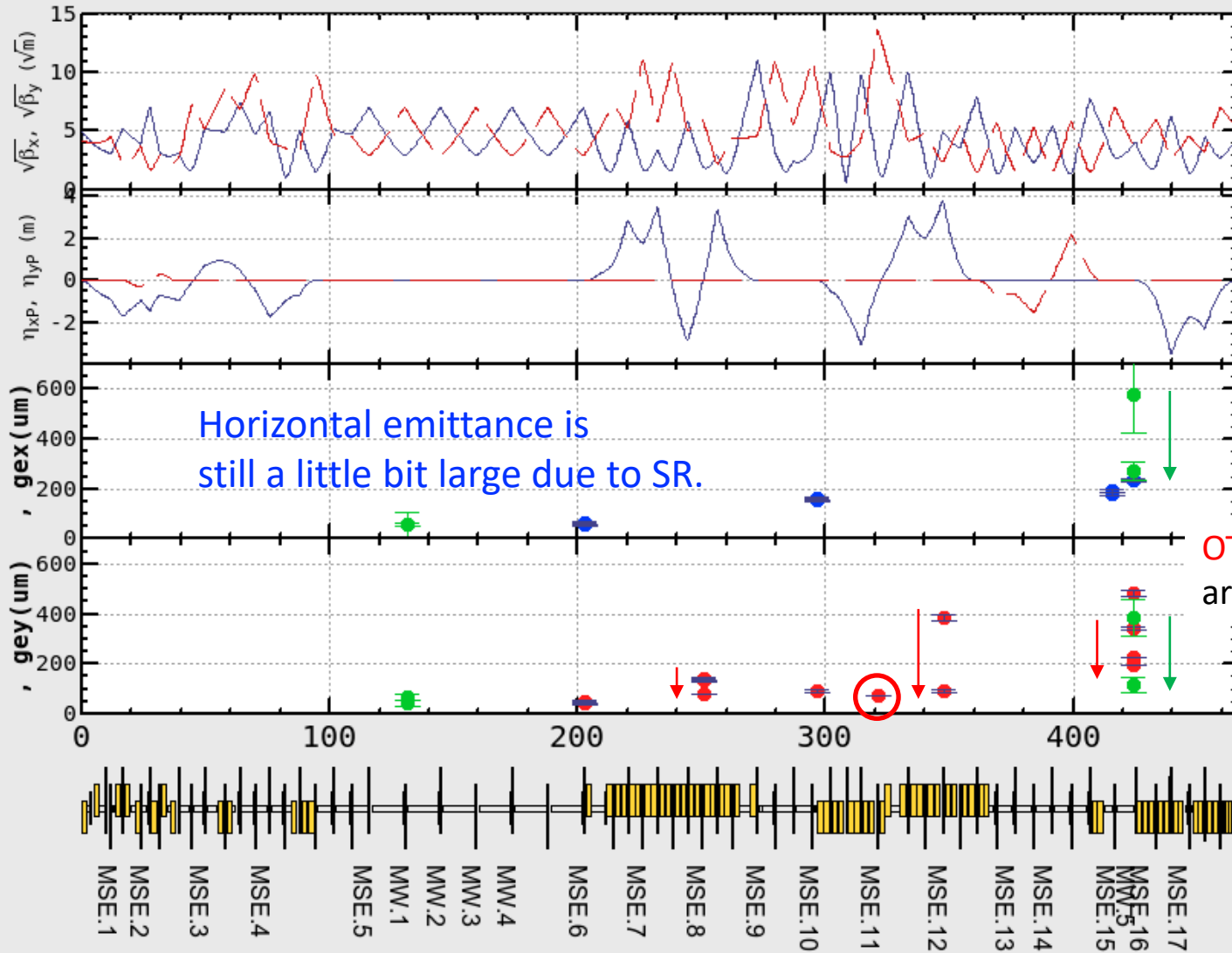
BTe での Q scan 測定

BTeでは、エミッタンス爆発が起きていることが問題となっていた。そこで、各所に新しいスクリーン・カメラシステムを導入してQ scanによるエミッタンス測定を行った。
その結果、Wire scanner での測定結果の不具合なども理解させれ、より正確なエミッタンスが見えてきた。



BTeにおけるエミッタンス測定

Measured emittance at BTe: MSEvsGE_20201203.dat



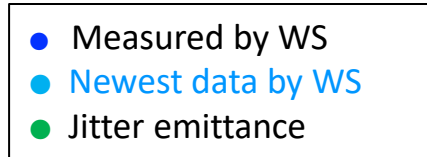
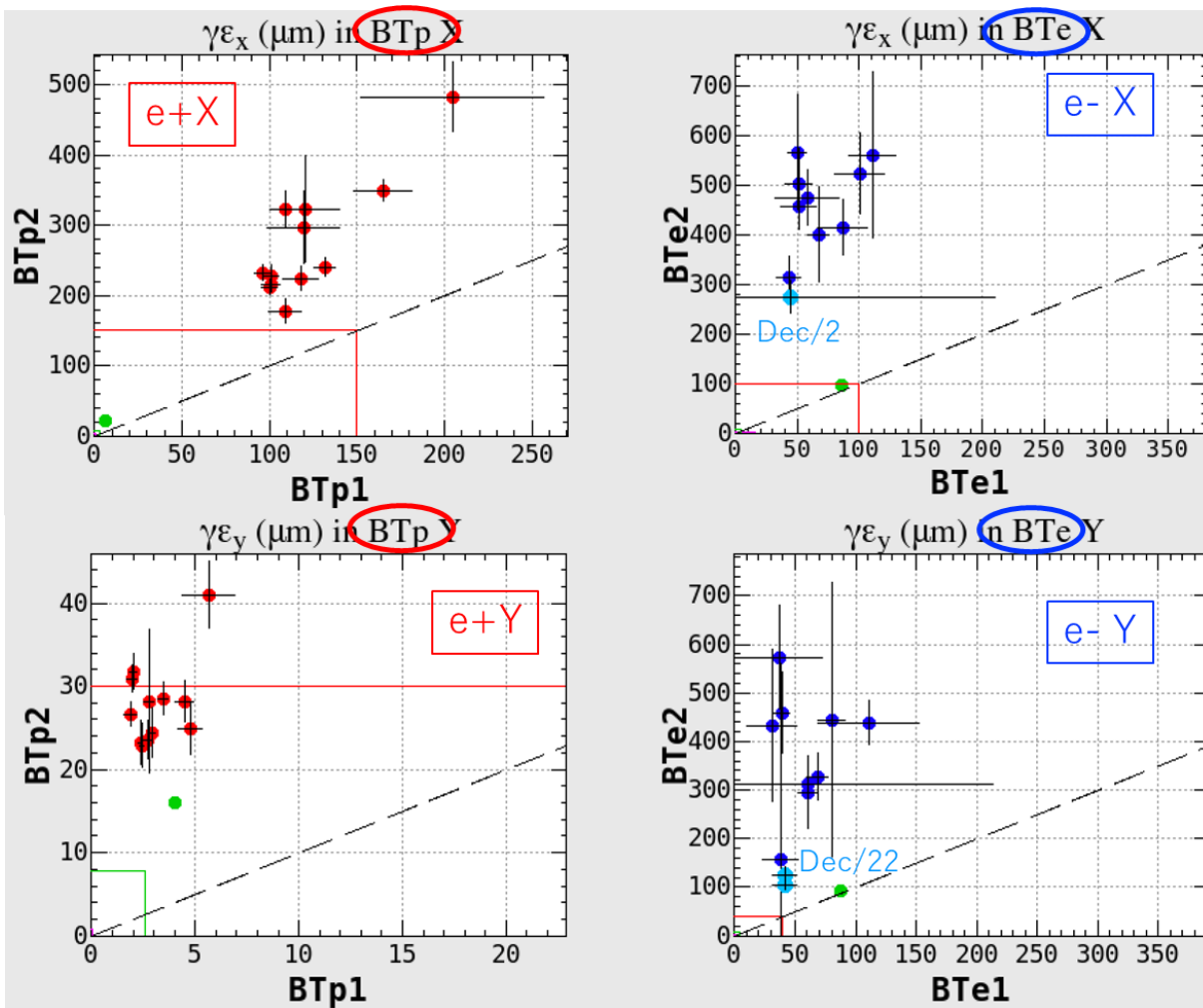
WS HV: 750->450mV

OTR Quads used in q-scan are changed to upstream.

WS HV: 750mV(11/30)
→350mV(12/2)

N. Iida, T. Mori

BTeにおけるエミッタンス測定



--- Same emittance line of BT2 as BT1

— Required emittance from LER/HER

emittance of e^+

- In BT2, $\gamma\epsilon_y$ is within the required value.

emittance of e^-

- Close to the required value in BT1, but it is exploding in BT2.
- Both X and Y are large
- BT2 has no correlation with BT1.

→ It may be blowup, not as much as an explosion.

電子ビームまとめ

- レーザーやカソードの改善により、電荷増大した。長期的な電荷量の安定を目指している。
- レーザープロファイルやビーム軌道の改善でLinac内のエミッタンスは改善されてきている。
- BTにQ scan測定を導入することにより、以前問題になっていたBTでのエミッタンス爆発は、測定の誤差が入っていたことがわかった。
- ただし、BTでのエミッタンス増大はまだあるので、今後も測定系の改善、軌道補正、ディスパージョン補正などを進めていく。

陽電子ビームの電荷量増大のための取り組みと成果

FCアセンブリ, ベース一覧

	Phase 1	Phase 2	Phase 3	2019 秋	2020 春	2020 秋	2021 冬～	納品	撤去	現状 (2020/6)	備考
アセンブリ 1	←→			←				Before 2015	2017/3	トンネル	
アセンブリ 2		←						2016/3		ビームライン	
アセンブリ 3		←						2017/11		テストベンチ	
FCベース 1								before 2015			試作品
FCベース 2								before 2015			試作品
FCベース 3	←→							before 2015	2017/3	アセンブリ 1	
FCベース 4		←→							2018/9	トンネル	大放電
FCベース 5		←						2016/7	2020/9	ビームライン (運転)	
FCベース 6			←					2017/11		保管	ハードニング (トヤマ)
FCベース 7*				←				2019/10		長期試験終了	
FCベース 8**								2020/5		運転中	Final version modified
FCベース 9**								2021/3		設計中	Final version spare

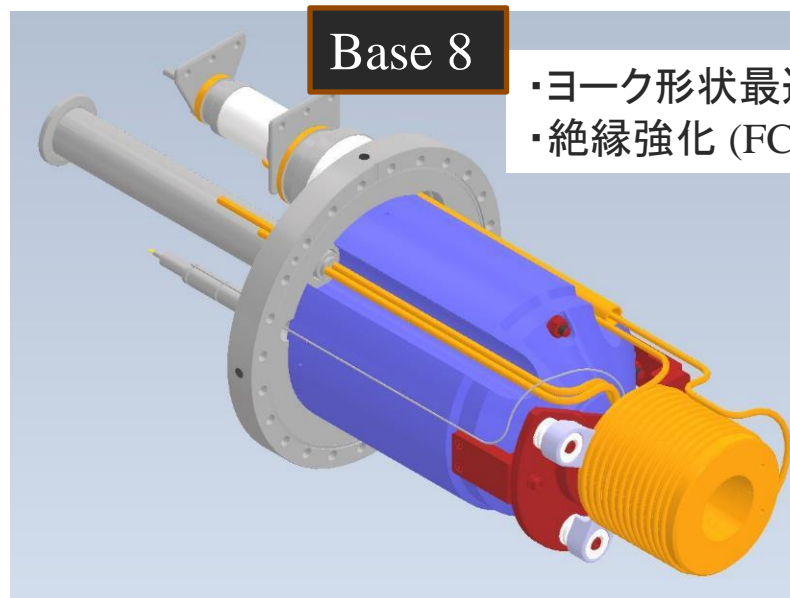
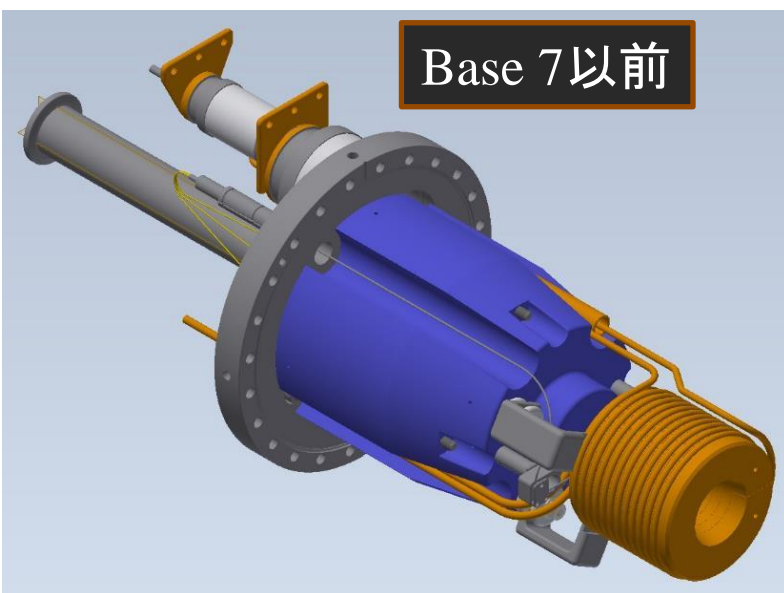
- *ベース 7, 8, 9 (ヘッド: Cu → NC50, ヨーク: SS400 → パーメンジュール)
- **ベース 8, 9 形状最適化 (絶縁強化, 漏れ磁場)

red: 運転
blue: 予備
black: テストベンチ

Y. Enomoto

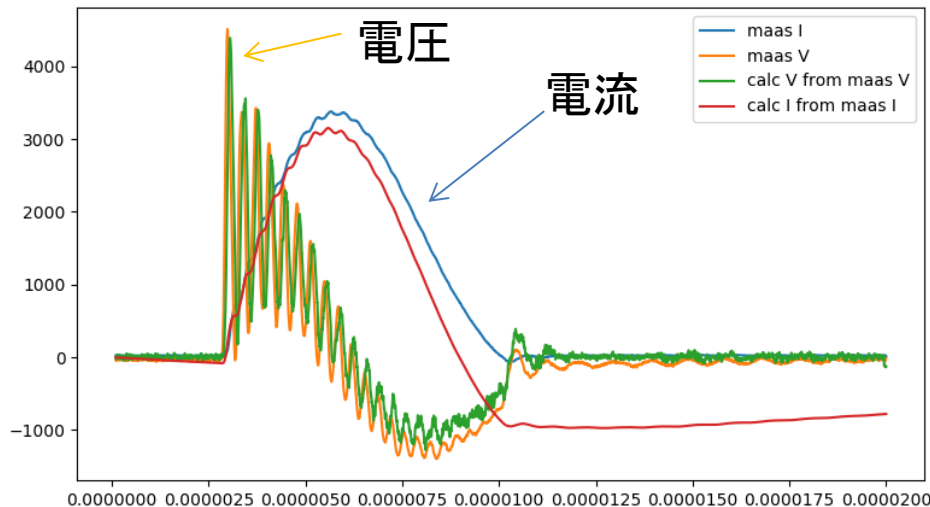
FCベース比較

	材質	形状	備考	For e-	For e+
Base 5 (in operation)	OFC + SS400	旧デザイン	12 kA 到達 (ビームライン) スリットギャップ大	△	○
Base 7	NC50 + パーメンジュール	旧デザイン	4.5 ヶ月長期試験	○	○+
Base 8	NC50 + パーメンジュール	新デザイン (最適化)	冷却水漏れあり。 修復済み。修復後試験では問題 なし。	◎	○+

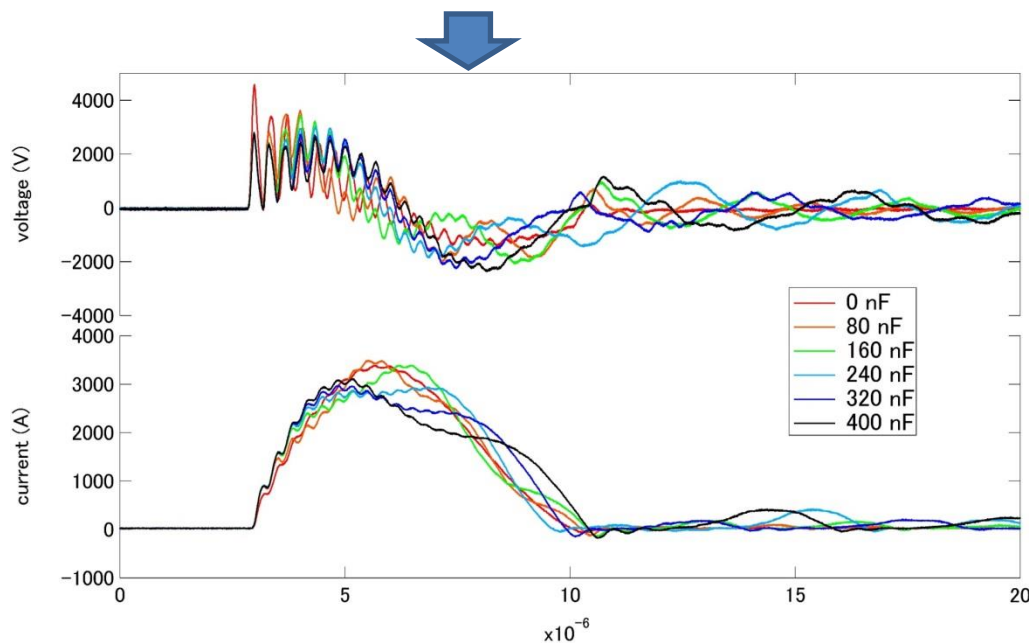


Y. Enomoto

FC放電防止のための電圧波形改善



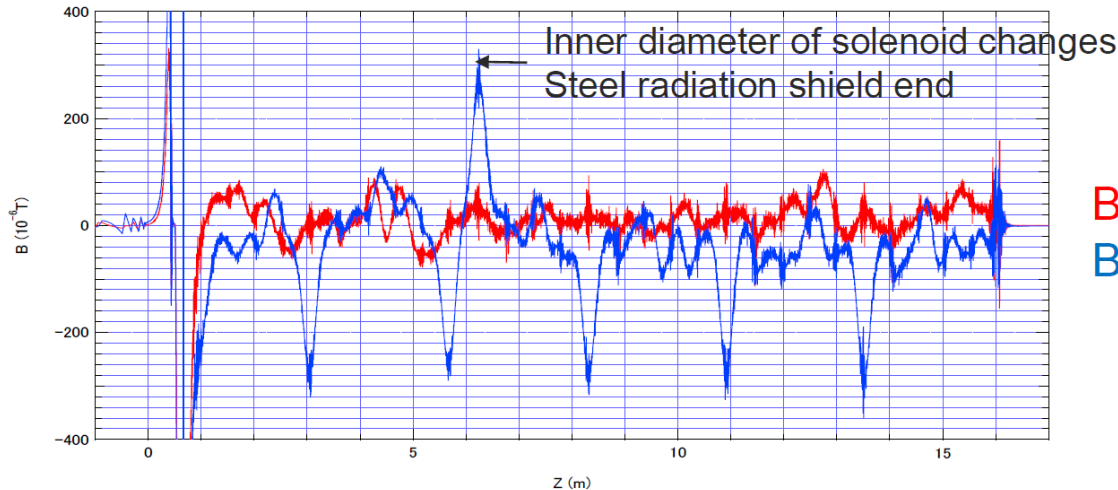
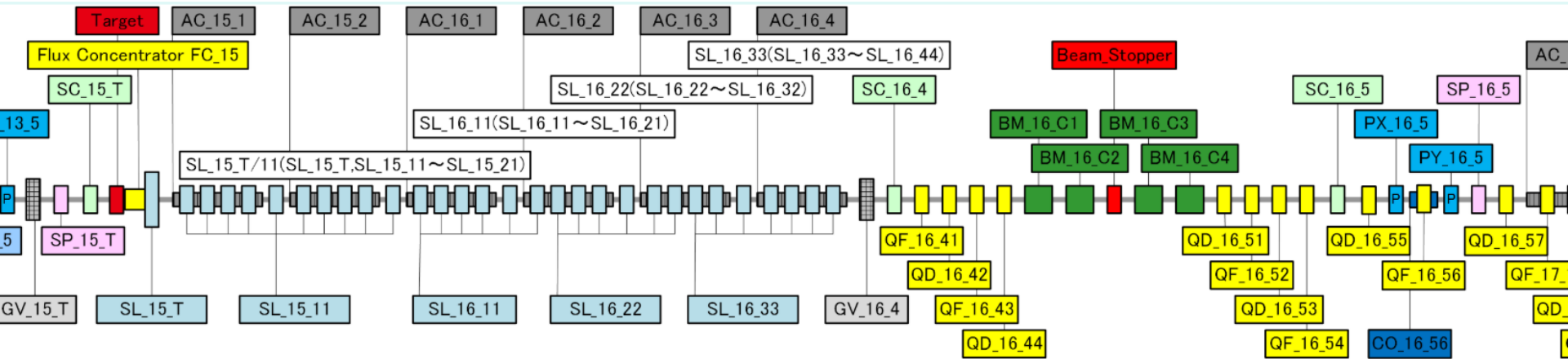
FCはパルス電流を流すが、そのときに突入電圧が高くなることが問題となっていた。



スナバ回路や伝送線路を改善して、電圧波形の改善を実現した。

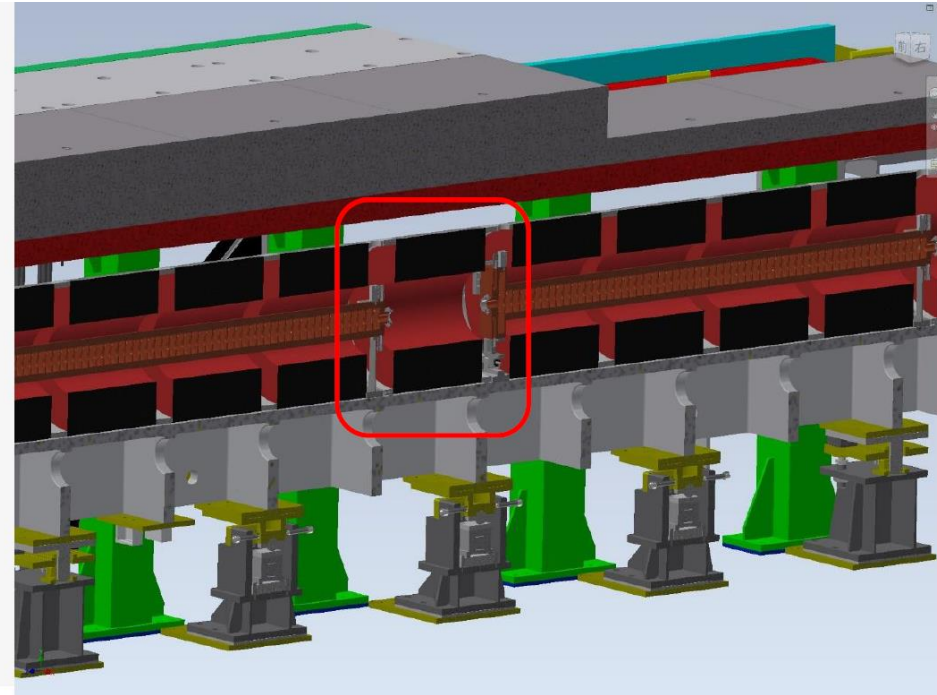
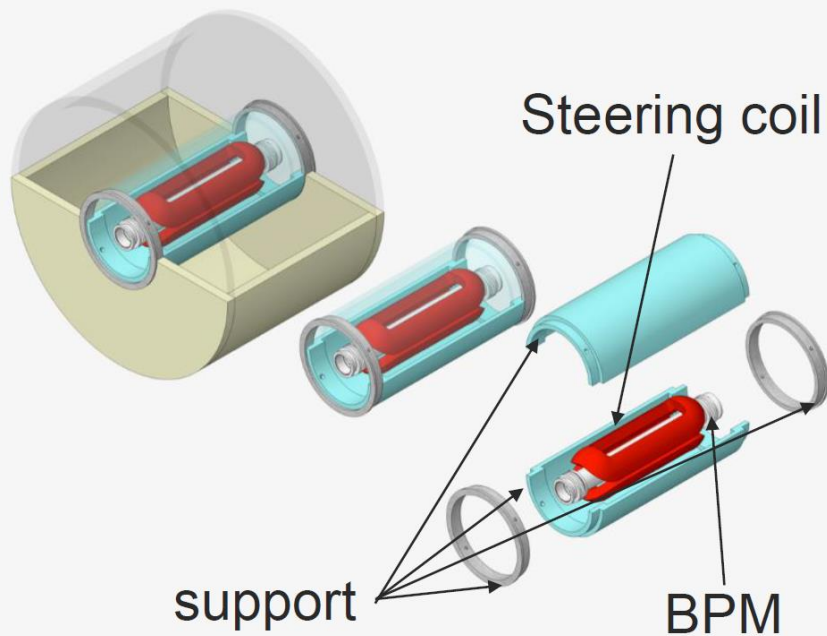
e+ 集束用ソレノイド内BPM及びステアリング設置

リング設置



ソレノイドコイル内に横方向の磁場が発生してしまっていた。
そこで、ソレノイド内にステアリングコイルとBPMの設置する改造を2020年夏に行っていた。

e+ 集束用ソレノイド内BPM及びステアリング設置

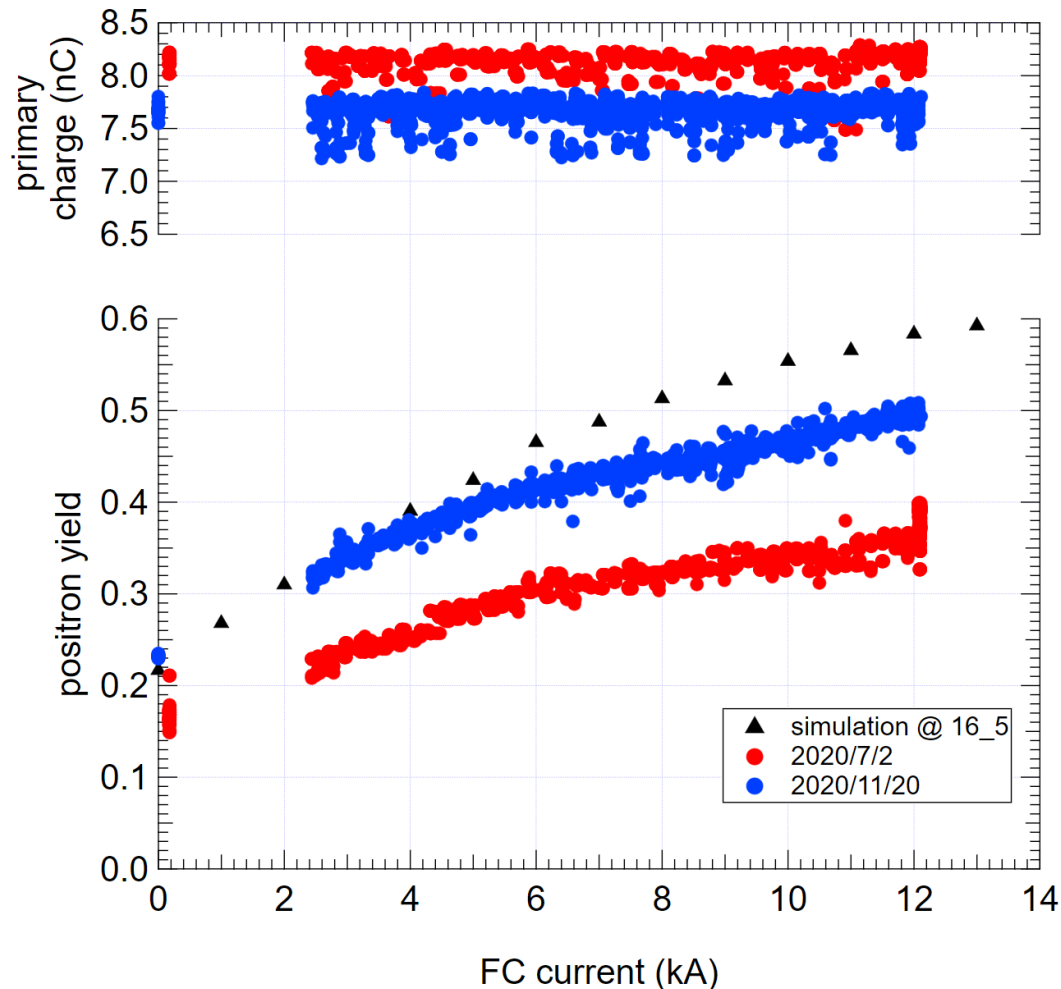


Very limited space
Design is in progress
In max. plan, between Acc. structures
Install 3 horizontal, 2 vertical steering coils
Install 5 BPM

K. Yokoyama

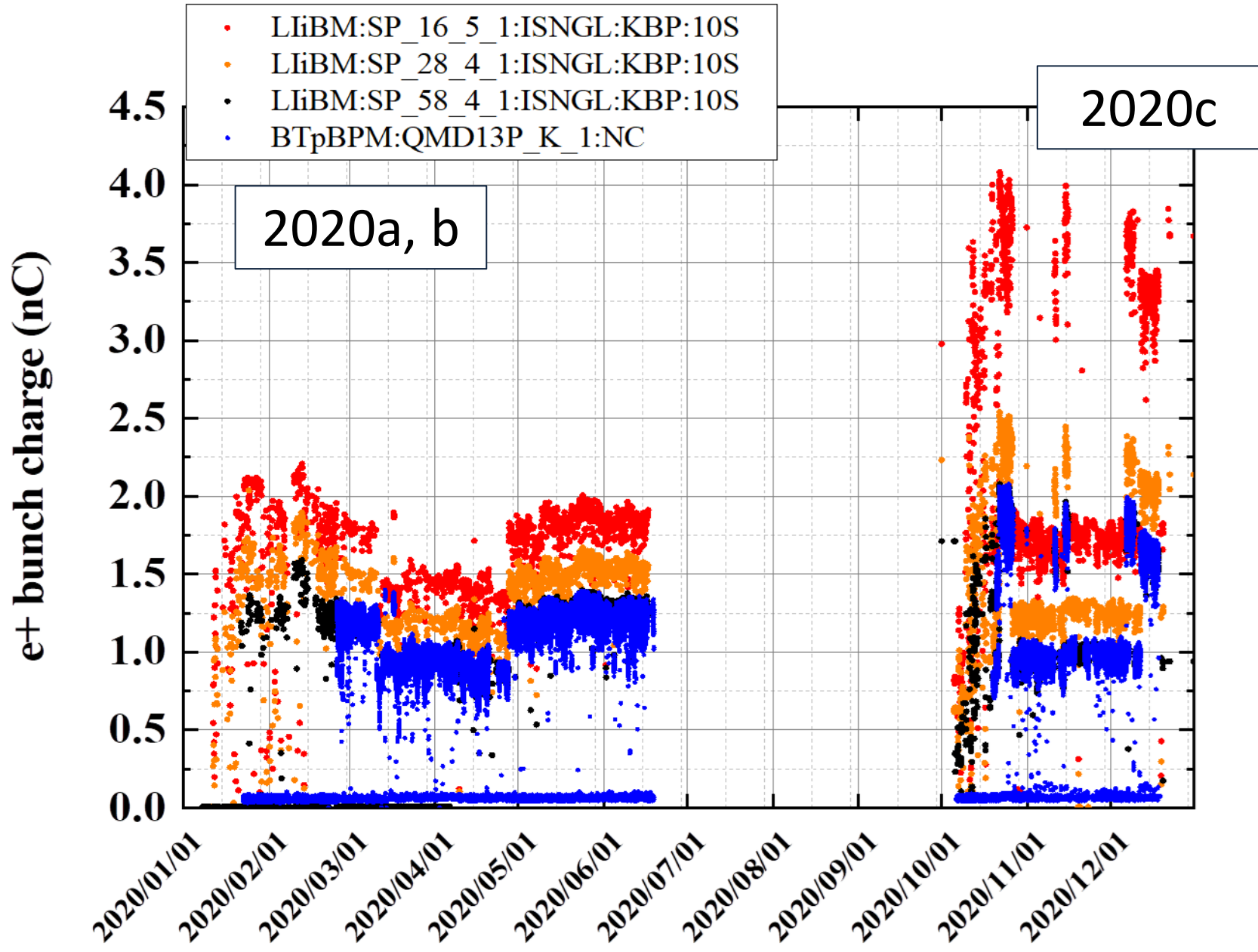
陽電子生成効率 (FC 12 kA)

- 新FCに交換後, 陽電子生成率は1.5倍ほどに増加した.
- デザイン値 (12 kA)で問題なく運転できている.



Y. Enomoto

e+バunch電荷量の推移



陽電子 FCまとめ

FC本体

- 材質を改善(放電対策)
- デザイン改善(横方向磁場抑制)

FC電流増強(定格運転達成)
変換効率向上

電気回路

- スナバ回路, 伝送線路改善

集束ソレノイド内のビーム調整

- BPM, ステアリング追加(横方向磁場制御)

ビームロスの低減

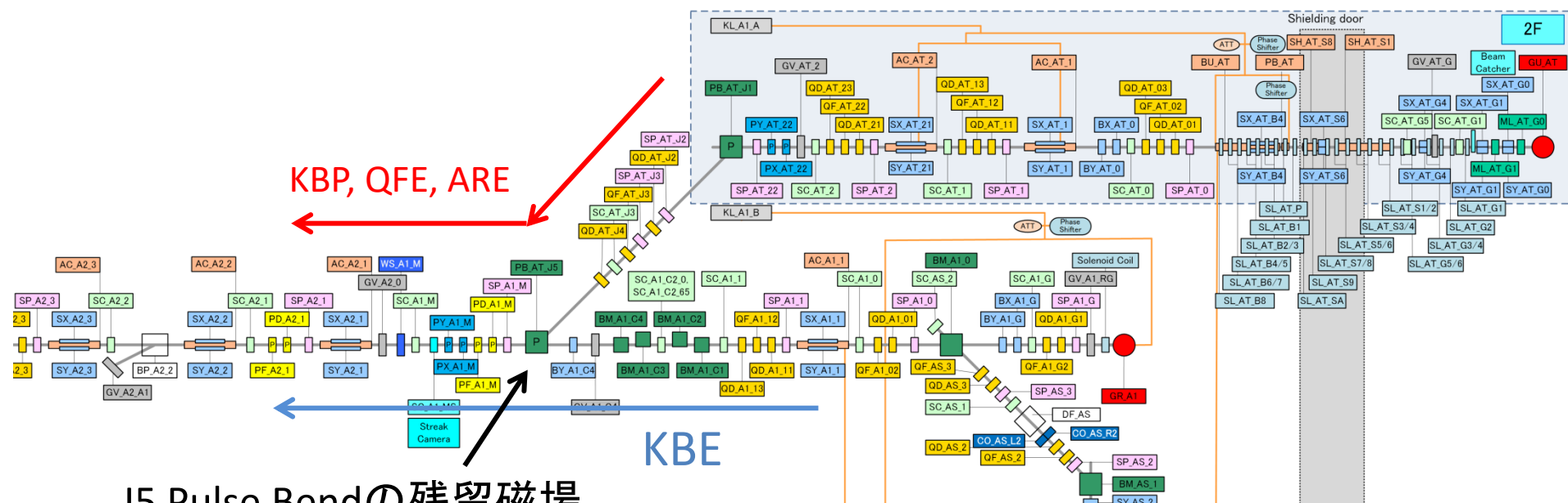
FCでの変換効率をあげ, かつビームロスを低減することで大幅な電荷量向上に至った.

今後は, プライマリービームの増大, 変換率のさらなる向上で4 nCの入射を目指す.

ビーム安定化に向けた取り組み

KBE 2値化問題の調査と運転方針

- QFE, ARE modeが不定期にKBE, KBPに入ってくるとA2_3からビーム軌道がY方向に2値化することが問題になっていた. (Linacの終端でも大きな軌道差)
- J5 Bend で, NIM modeにKBPと同じ値を入れても2値化は解消しなかった. (QFEとKBPの値は6%ほど異なる.)
- 11/17日中シフトで調査を行った.



J5 Pulse Bendの残留磁場が疑われていた。

単純なパターンで2値化を確認

Start Index: 1 End Index: 50

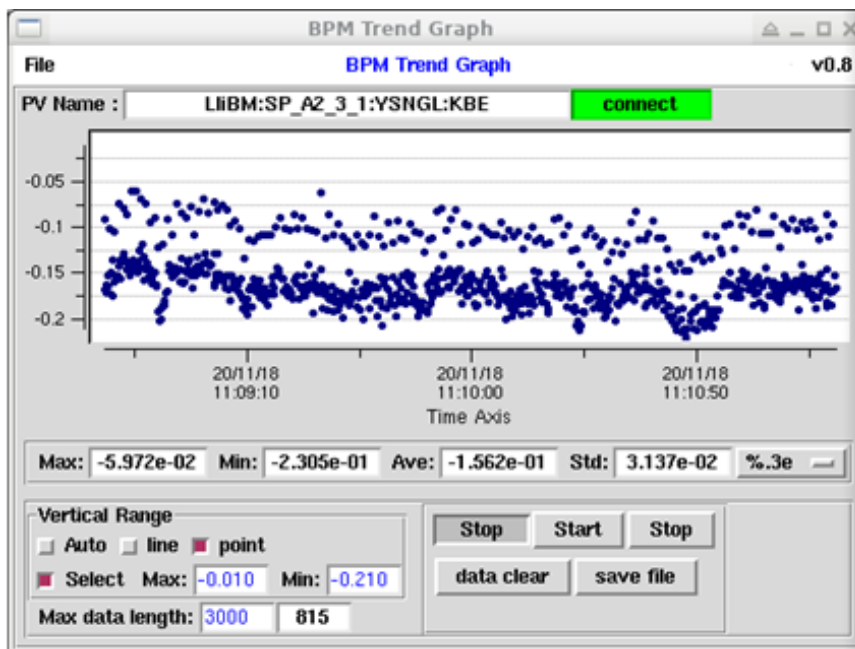
	0-50	50-100	100-150	150-200	200-250	250-300	300-350	350-400	400-450	450-500															
Index	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Beam																									
FP_21_T																									
KEKB Septum																									
GR_A1 LASER																									

	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
Index	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
Beam																									
FP_21_T																									
KEKB Septum																									
GR_A1 LASER																									

QFE

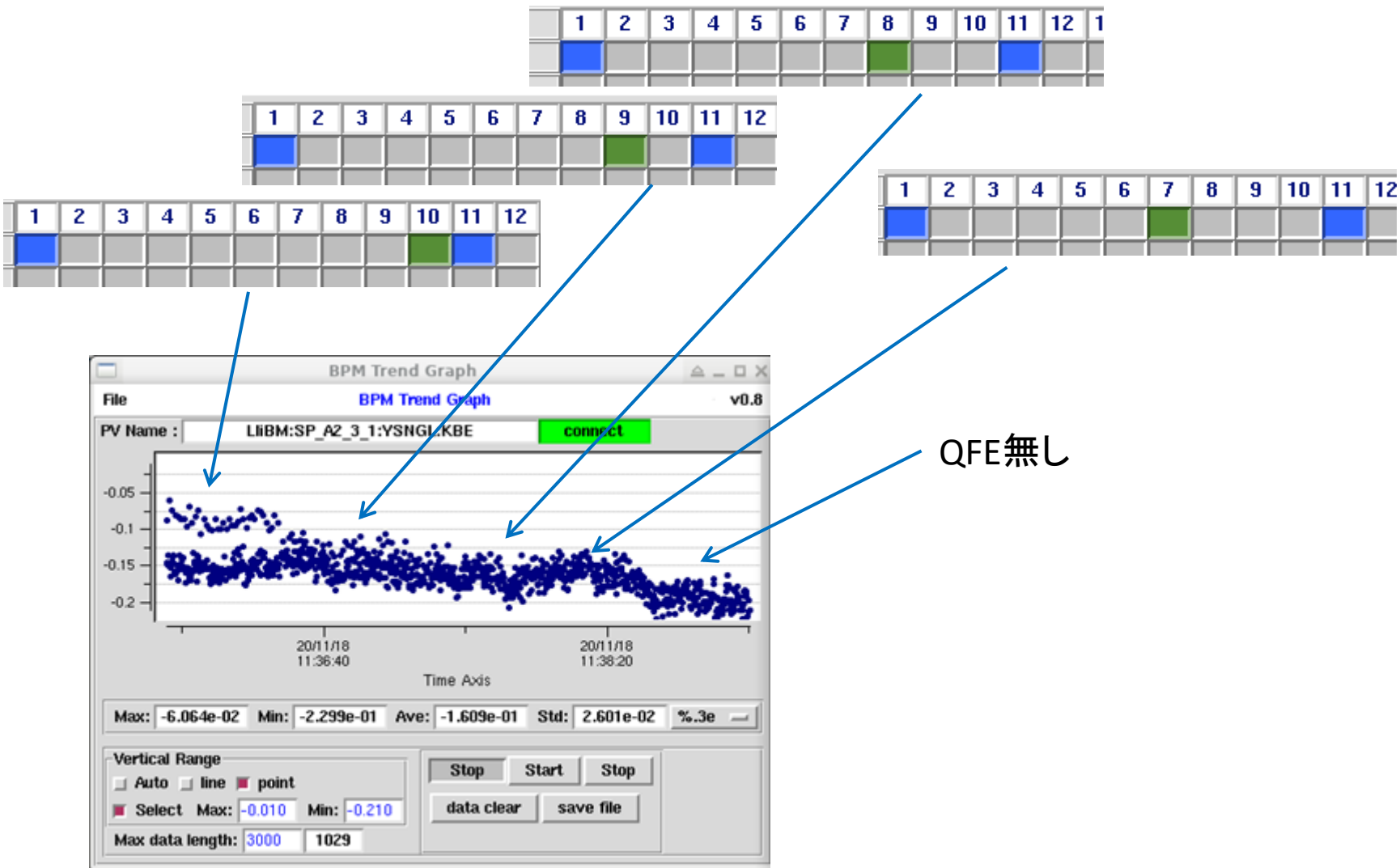
KBP

NIM(OA)



2値化が起こる.

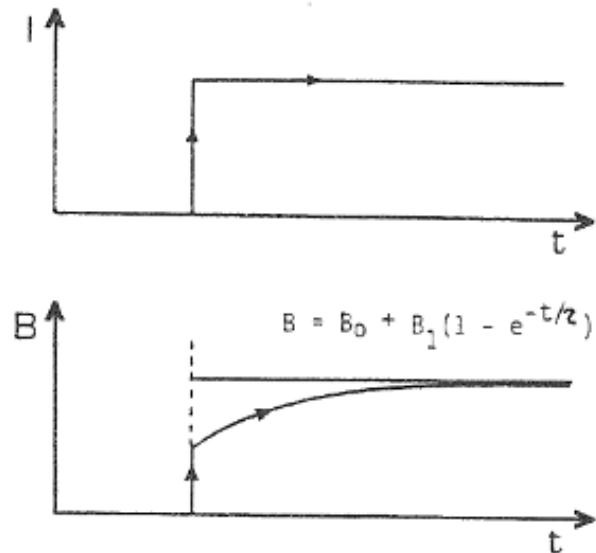
スペースを変えていくと, 2, 3 パルス開くと影響は見えづらくなる.



磁場の変化がある時定数を持って変化することは、**磁気余効**という現象で知られているらしい。

OHO 84 III で紹介されている。

<http://accwww2.kek.jp/oho/OHOtxt/OHO-1984/txt-1984-%E2%85%A2.pdf>



Material	Relaxation time(sec)		
	$B_0=1\text{kG}$	3kG	8kG
Silicon-steel			
RM-10,-23	≤ 1		
RM-40,-60	60		
Low-carbon steel			
#1	20		
#2	59	48	
#3	30	71	17

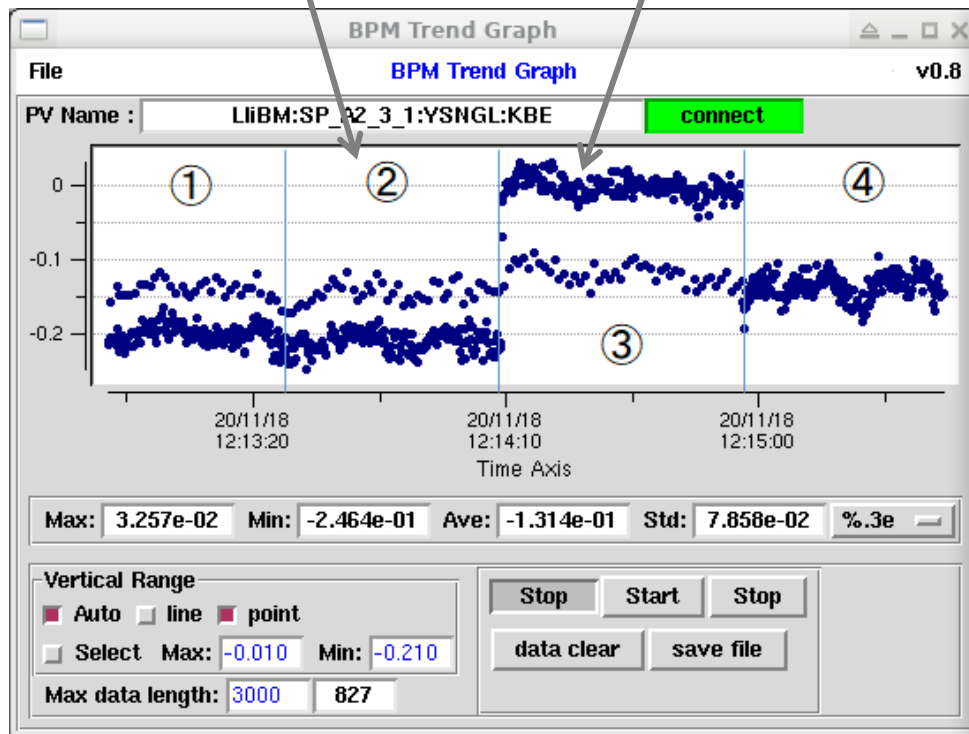
図 30.

NIMにKBPと同じ電流(232 A)を設定



J5 NIM : 0A

J5 NIM : 232A

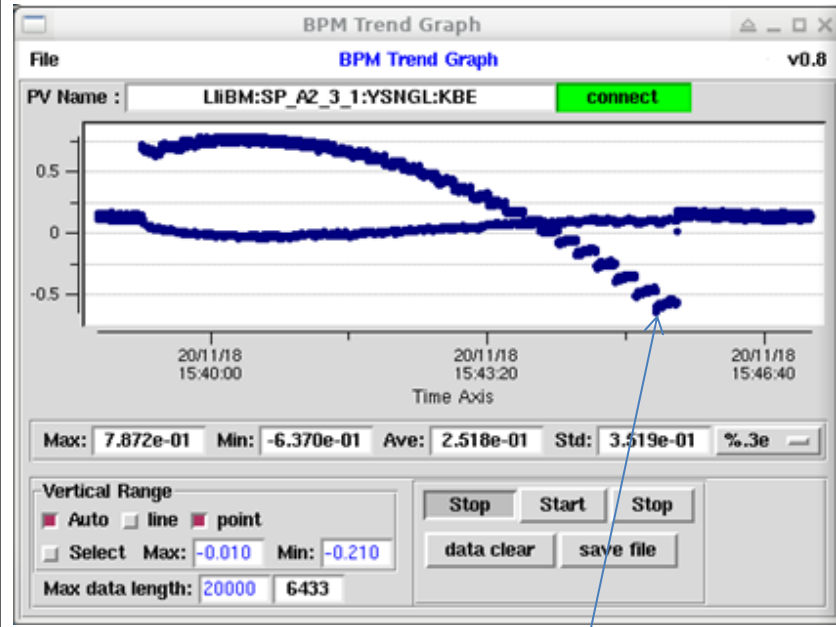
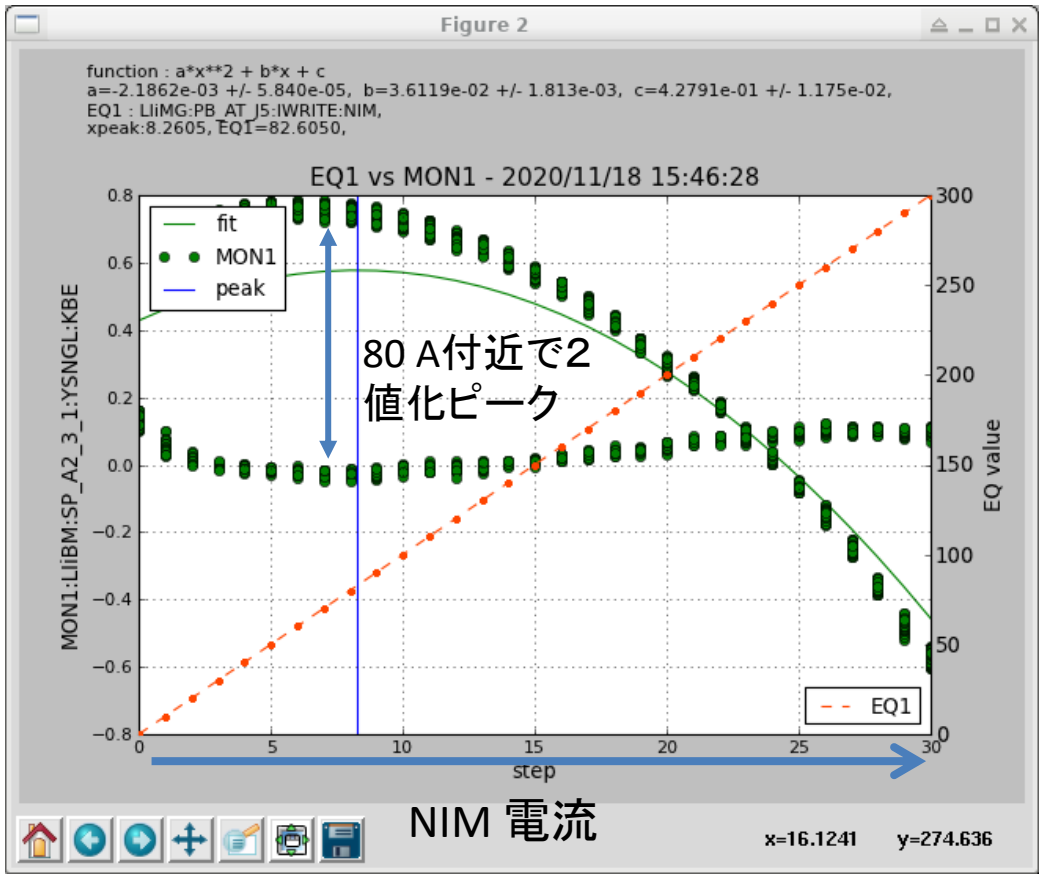


	PB_AT_J1	PB_AT_J5
①	0A	0A
②	229.008 (KBP)	0A
③	229.008 (KBP)	231.948 (KBP)
④	229.008 (KBP)	246.970 (QFE)

NIMが247 A と231 Aでふるまいが大きく違う。

NIMの電流値を変えていくとどの程度変化
 するのか？

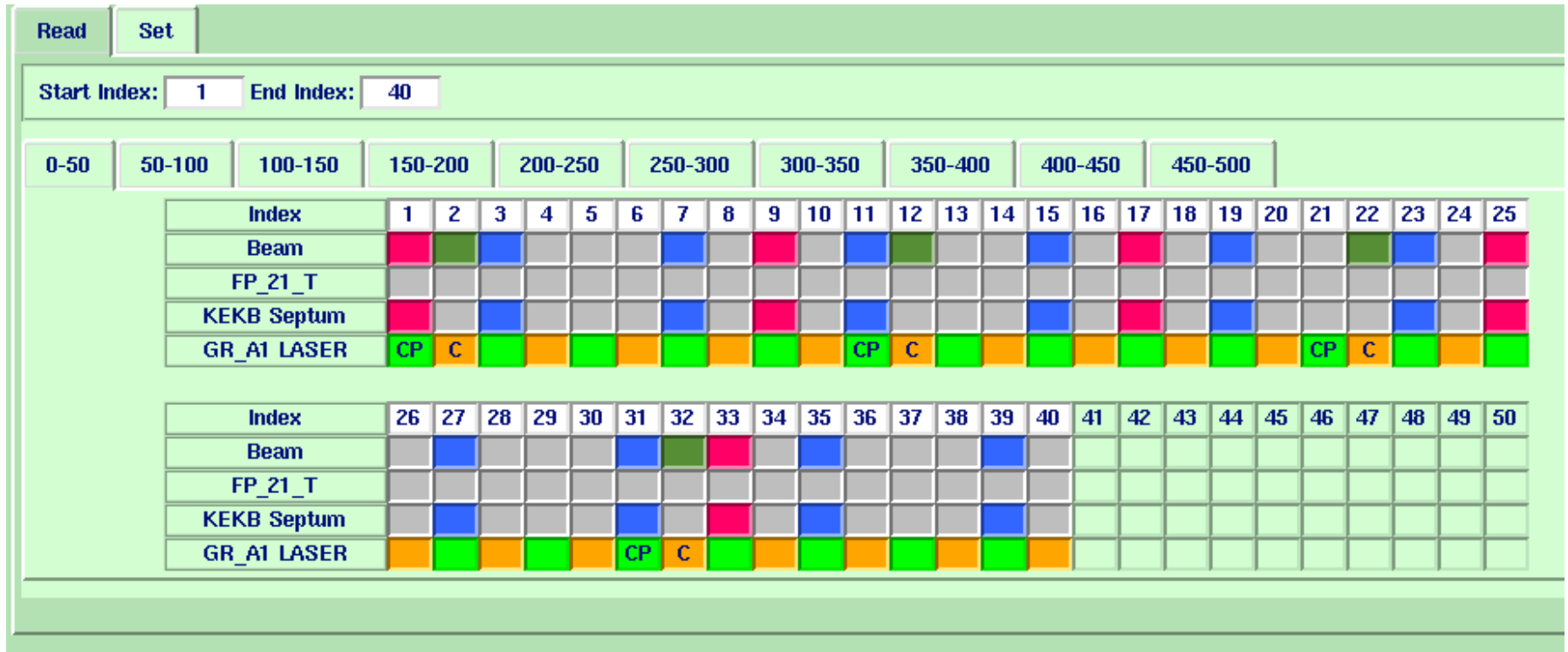
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	



同じ電流内でも変化
 しているように見える。

直前にどのようなヒステリシスループを通ったかが残留磁場に大きな影響を及ぼす。

KBP, QFE, KBEが混在し、繰り返しが違う(12.5, 5, 12.5 Hz)場合でも、KBPとQFEのJ5の電流値を合わせると2値化が収まるのを確認した。



このような繰り返りで、11/13は2値化していた。(KBP, QFEで電流値が異なった.)

KBE 2値化問題 原因と対策

- 2値化の原因は
 - 20 msec以上の磁気余効の効果.
 - ヒステリシスループによる残留磁場の大きさの違い
- KBPとQFE, AREのJ5 pulse Bendの電流値を一致させれば, (KBE 25 Hz 以下なら)2値化はなくなる.
(KBPは2 bunch 運転のためにエネルギーが低い)
- 今季の運転立ち上げはKBP, QFE, AREのJ5 pulse Bendの電流値を一致させて調整を始める.
- KBEを25 Hz より上げる際の対策を準備しておく必要がある.

RF Phase Feedback によるトラブル復旧時間の短縮

通常HV ON後15分で定格電圧に到達。
その後冷却水変動で安定するまで**1時間**かかっていた。

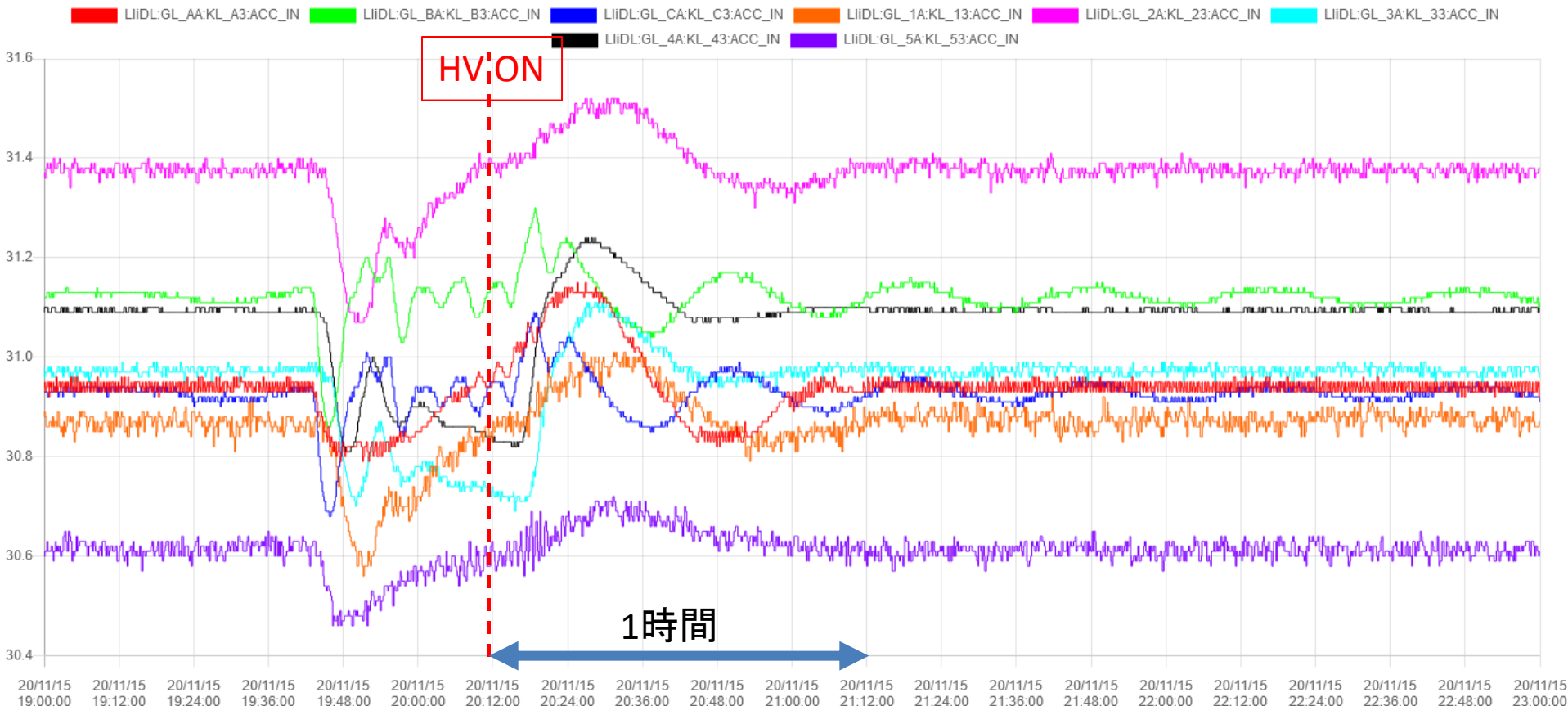


2020/11/15の復旧時は**HV ON後18分**で入射再開。
特に軌道補正等無。

加速管のRF位相をモニターすることにより、温度変化により変動する位相をフィードバックすることでビームエネルギーを一定に保っている。

RF Phase Feedback によるトラブル復旧時間の短縮

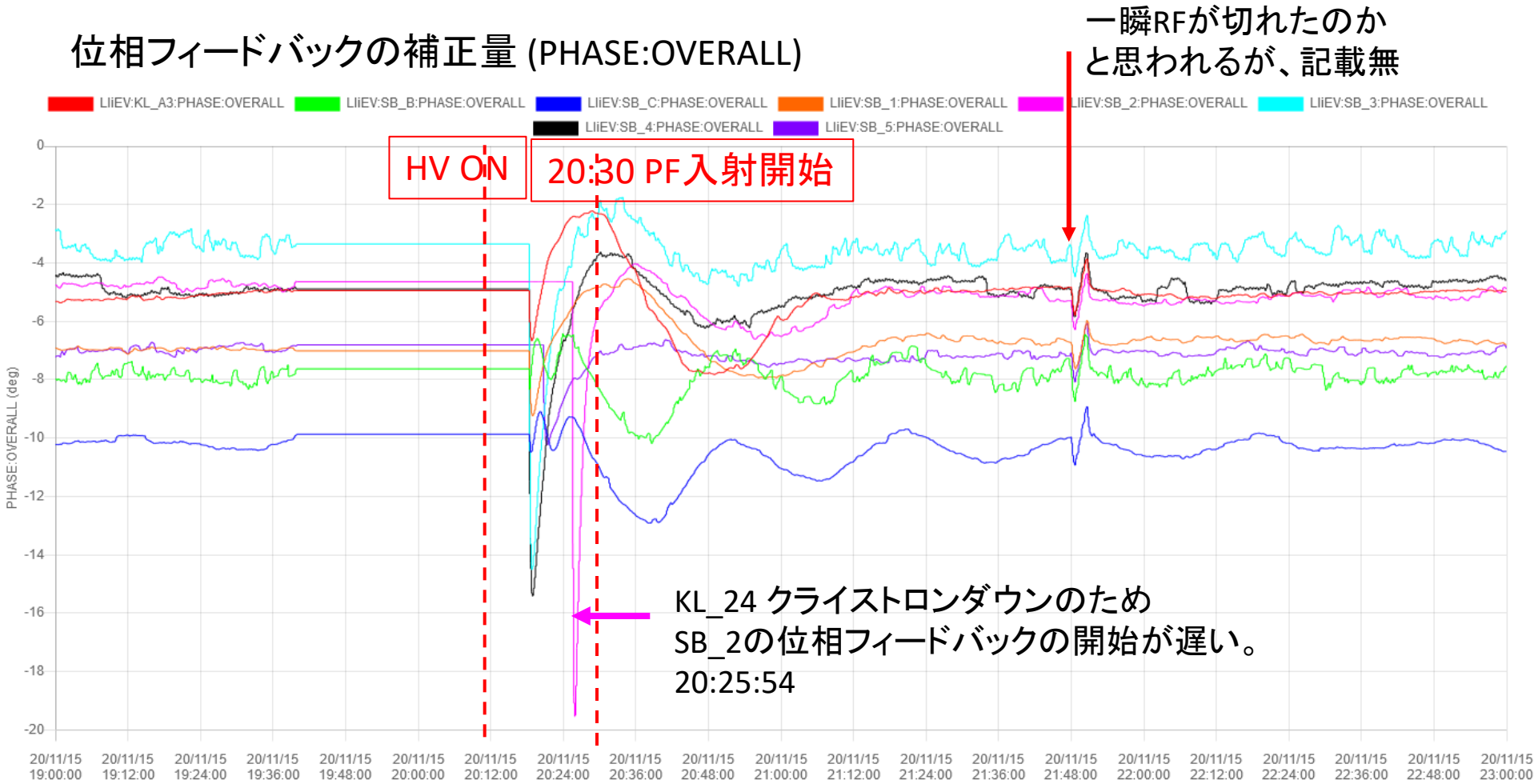
冷却水温



立ち上げから、加速管の冷却水温度が落ち着くまでには通常は1時間以上かかる。

RF Phase Feedback によるトラブル復旧時間の短縮

位相フィードバックの補正量 (PHASE:OVERALL)

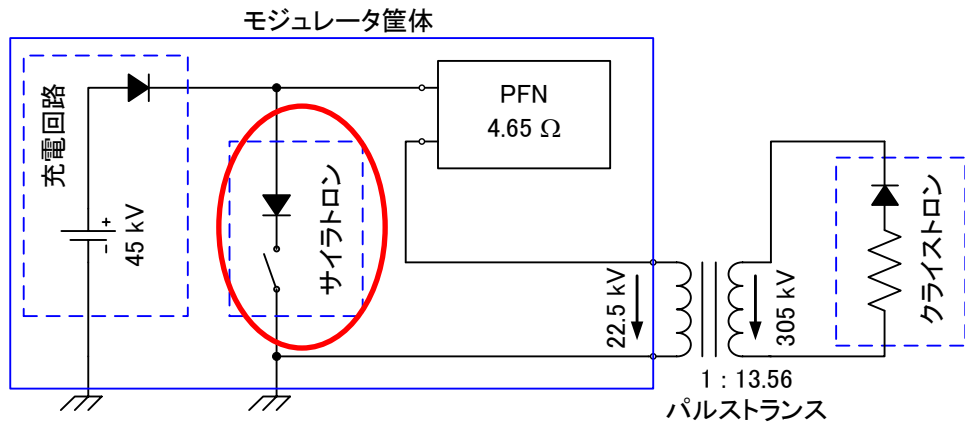


20:19:26 KL_24 Idc(H) でダウン。現場に確認に向かう。(KL_24:SB_2の位相FBの参照場所)

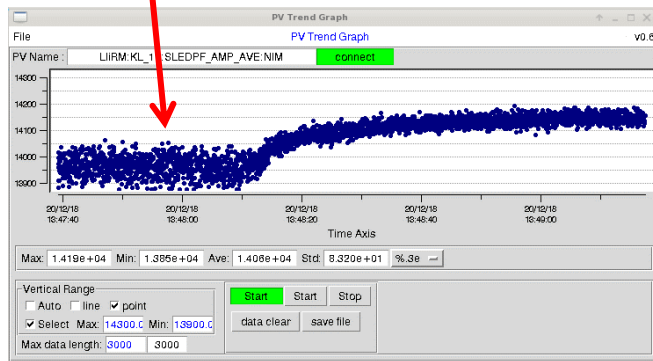
20:21:50 KL_24 HV ON

RF位相のフィードバックにより数分で入射が可能な状態に復旧

サイラトロン[®]の運転状況



サイラトロン不安定領域



RF安定度測定

サイラトロンはクライストロンモジュレータのスイッチング素子でRFの安定度に直結する重要な素子

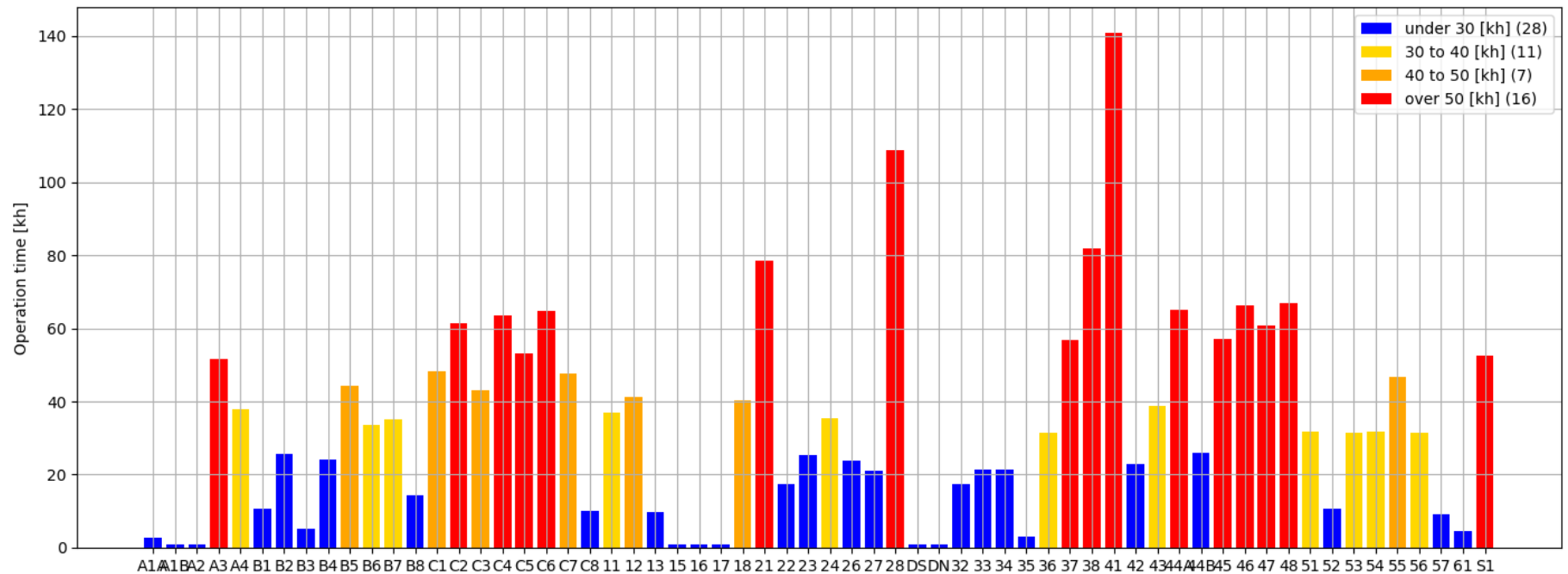
入射器ではサイラトロンが安定するように調整を行い、寿命を迎えるまでメンテナンスし続けて使っている。

サイラトロンの運転状況

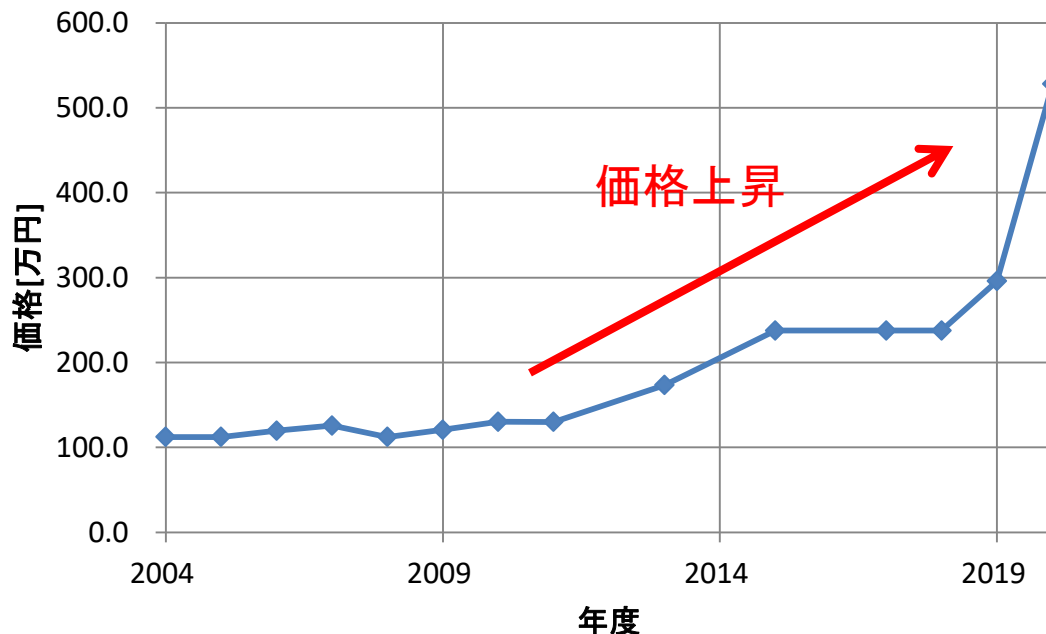
現在のサイラトン(62個)の運転状況

50,000時間を超えているものが18個ある。
半数以上(34/62)が30,000時間を超えている。

サイラトンの平均寿命34,500時間(KEKB運転期間中)を考えると、寿命に近いサイラトンが半数程度になる。

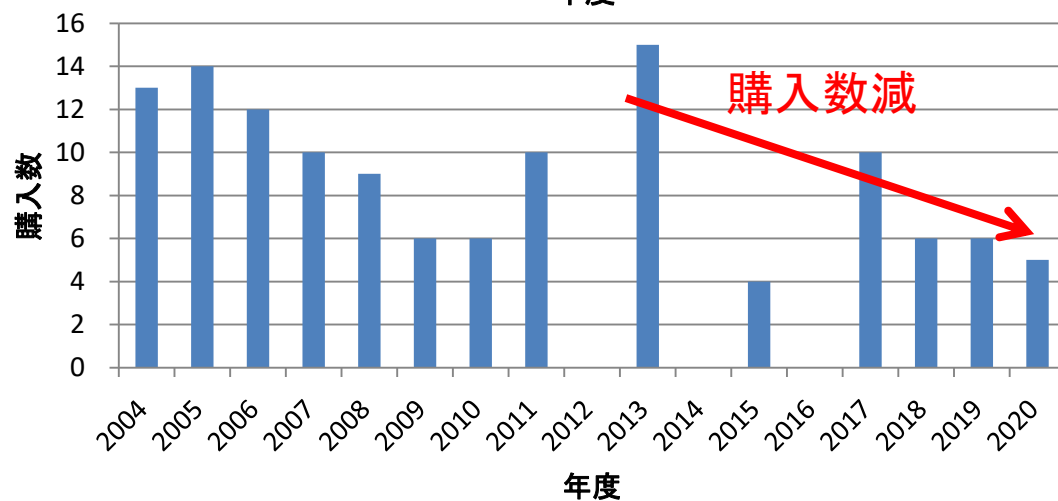


サイラトロンの価格上昇と確保数



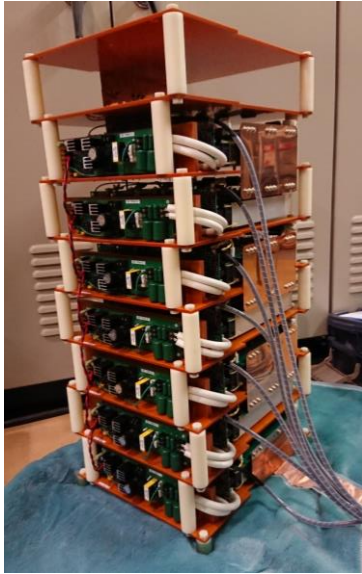
近年、サイラトロンの値段が急上昇して500万円/個を超えてしまった。

サイラトン平均使用数は60個x5000時間/34500時間で8.7個となる。



しかし、近年は購入数は縮小傾向。

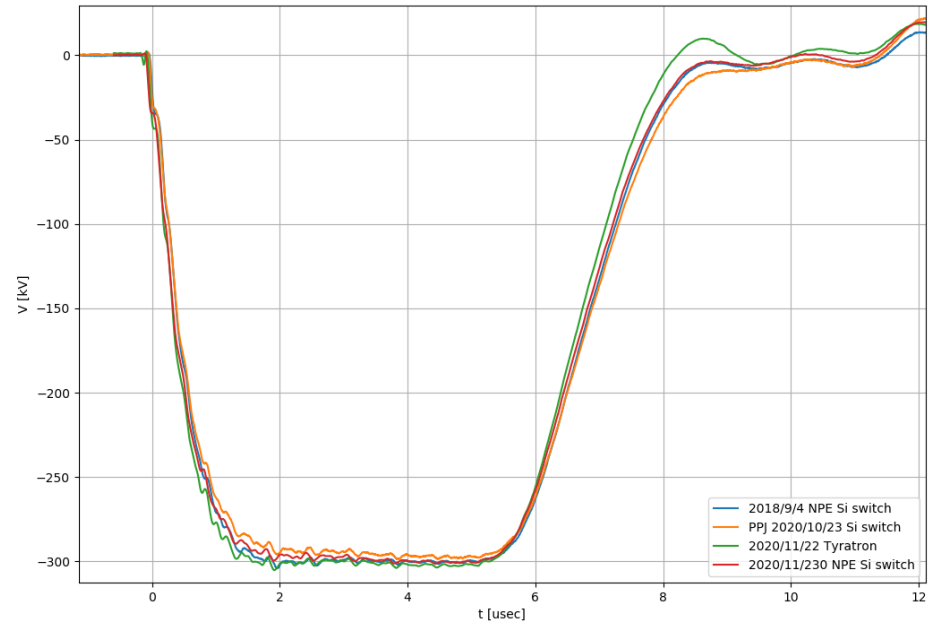
半導体スイッチの開発



NPE製



PPJ製



- サイラトロンと置き換えるための半導体スイッチを開発している。
- サイラトロンと遜色ない性能を確かめている。
- 価格は近年の値上がりしたサイラトロンと同等程度で寿命長期の可能性
- サイラトロンのノイズ問題, ジッター問題などが解決する可能性があり, 将来的に安定運転が見込まれる。
- 今後の, 長期試験・実機投入などで実用性を見極めていく予定

安定運転に向けて

- 4 Ring 同時入射Pulse to Pulse運転での予期せぬ問題はあるが、モニターの充実やスタディーを通して解決を図っている。
- RFのモニターやフィードバックがうまく動き出し、立ち上げ時の温度不安定の状態でもビームを安定させ、運転時間増加に貢献している。
- 60台あるクライストロン、モジュレータなどもメンテナンスなどを通して、運転時間の確保、安定な運転を続けていく。