

線型加速器の10年

グループを代表して
花木 博文



Linac First Beam
1996.8.8



2006.10

L4輸送路

L3輸送路

マシン実験棟

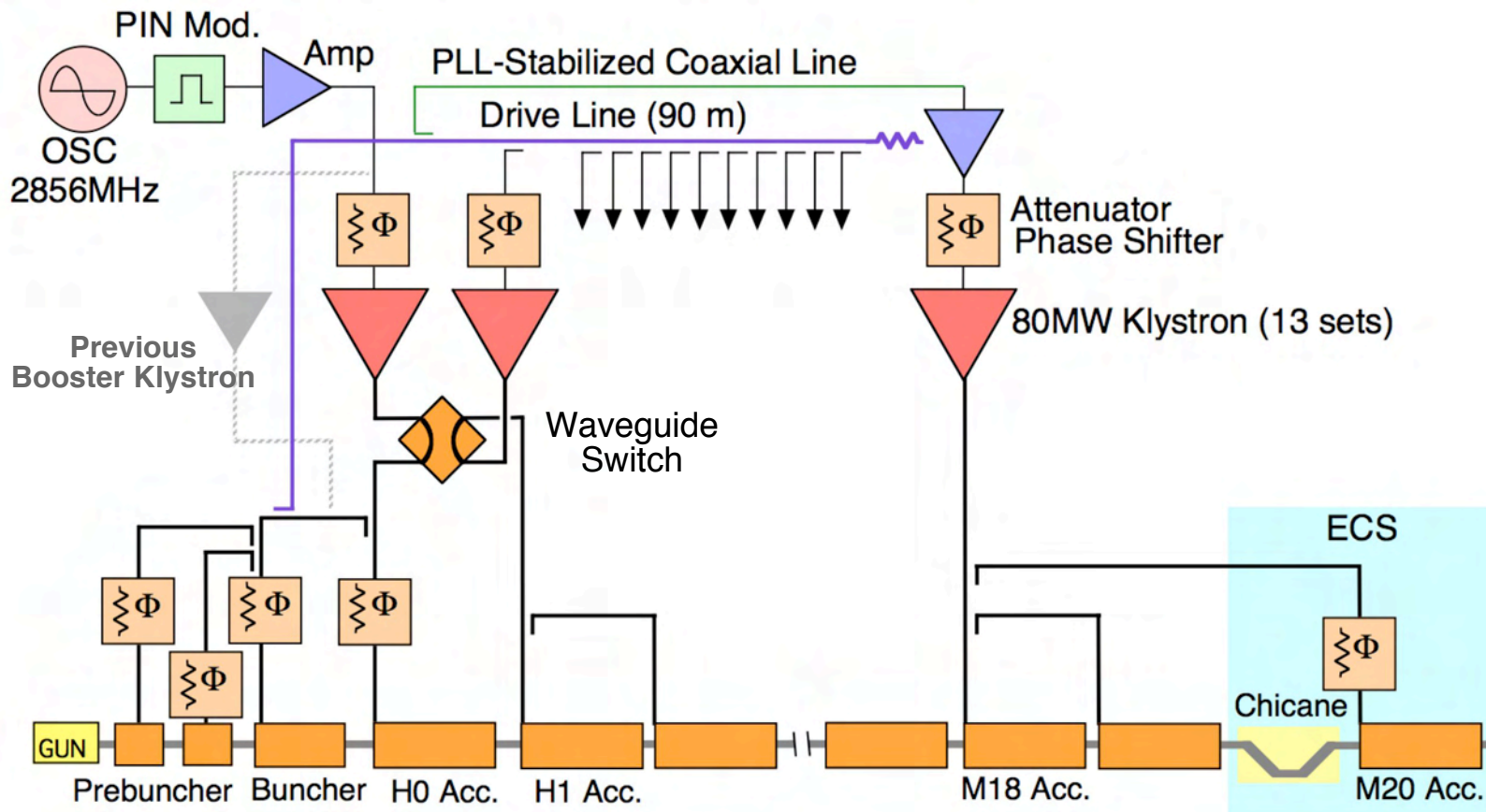
NewSUBARU

組立調整棟

現在のリニアック

SPRING-8

■ リニアックの加速システム



■主な仕様変更

1. 陽電子加速廃止
2. 最大出力半減：12kW→6kW
3. LSBT最大電流：規定値無し→Sy出射最大電流

■入射ビーム（同期発振回路およびECS運用）

	シンクロトロン		Top-Up & NS
パルス幅	1 ns	40 ns	1 ns
繰り返し	1 pps	1 pps	1 pps
入射電流	1.7 A	70 mA	660 mA
dE/E (FWHM)	0.45%	0.55%	0.32%
エネルギー安定度	0.02%rms	—	0.01%rms

リニアックの改良 1997-2006

- 実験用ビーム輸送路(L3)・NewSUBARU入射路(L4)
- 入射部ビームデフレクタ
グリッドエミッション電流を阻止→暗電流低減
- ビーム位置モニタ(BPM)
ビーム診断及びフィードバック制御でビーム位置の安定化
- シケインOTRビームプロファイルモニタ
ビームエネルギー分布を観測しながらビーム入射を可能に
- トップアップ入射対応
1Hzで入射路切替可能な偏向電磁石

■最初のRF振幅・位相の安定化

クライストロン冷却水温安定化、ギャラリー室温安定化

■同期型基準信号発振器

RFトリガ毎に508.58MHzに同期して2856MHzを生成

■エネルギー圧縮システム(ECS)

ビームエネルギー広がり、変動の圧縮

■ドライブライン、バンチャ部のRF位相変動抑制化

導波管内ガス圧安定

導空調を改善してギャラリー室温変動を抑制

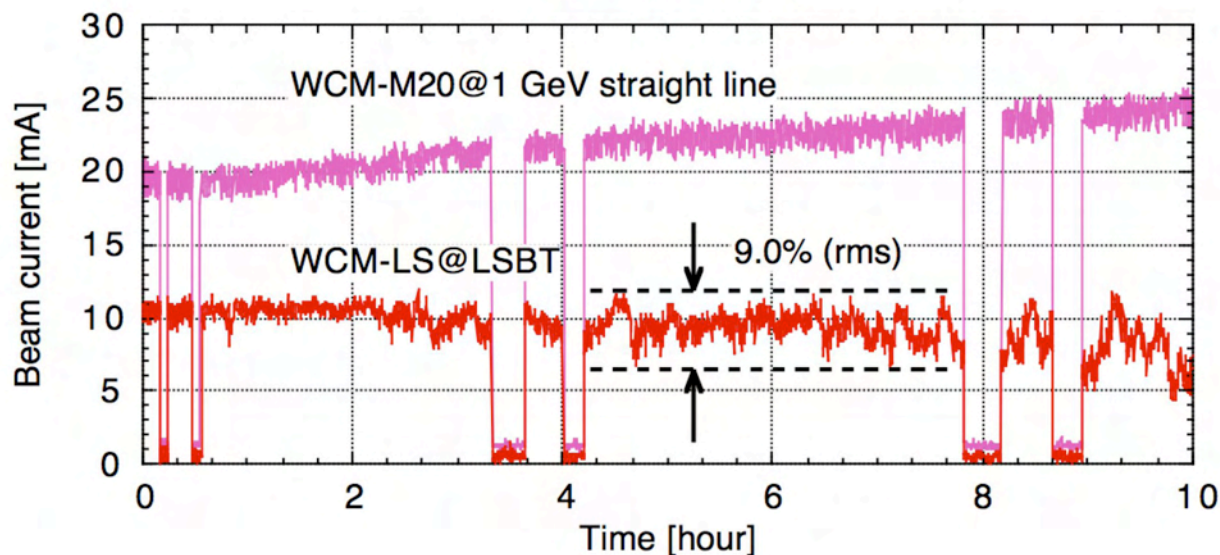
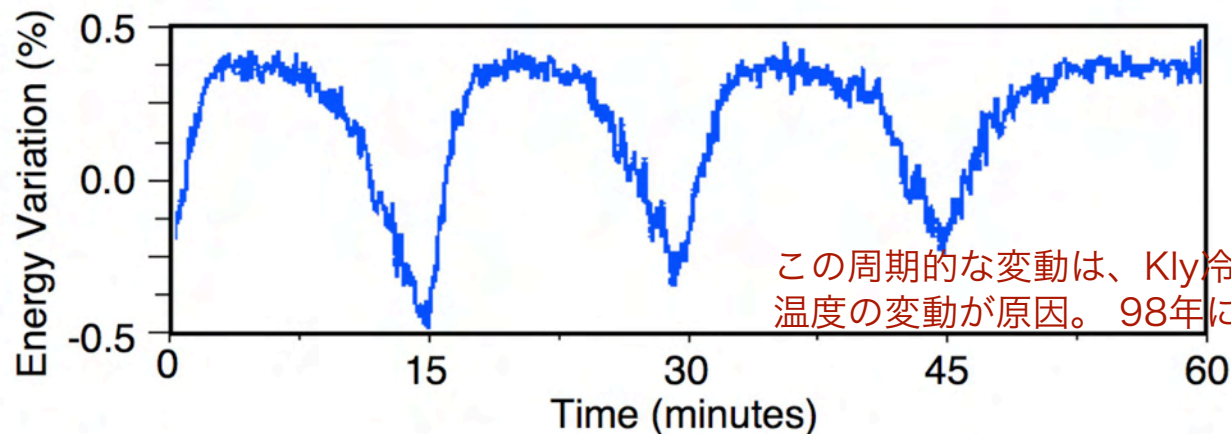
■BPMを活用したビームフィードバック制御

安定化してもなお残るビーム位置およびエネルギー変動の抑制

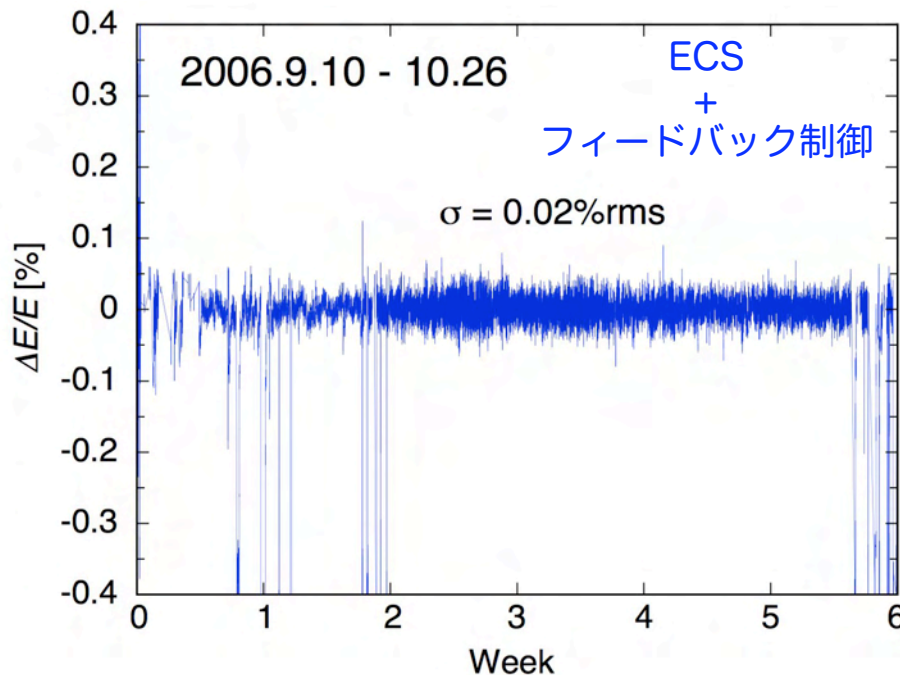
■トリガシステム増強

1998年頃のビーム変動 (対策前)

SPring-8



■ Sy入射路でのビームエネルギー安定性



■ NS入射路でのビーム位置安定性

位置安定性： $\pm 30 \mu\text{m}$

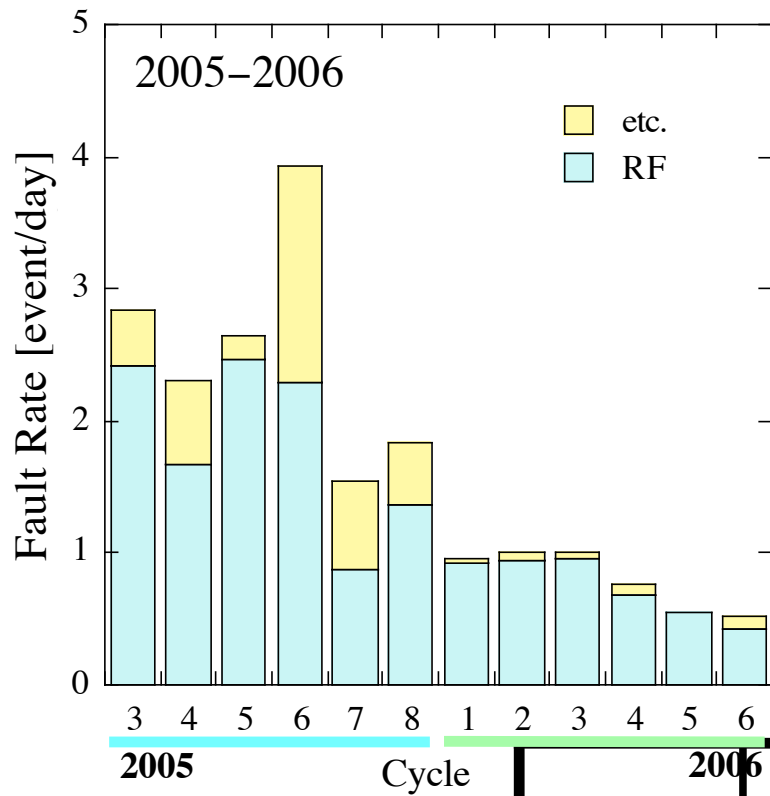
角度安定性： $\pm 7 \text{ nrad}$ (二台のBPMで角度安定性確保)

- 信頼性に不安のあったブースタクライストロンを廃止
- 水吸収型RFダミーロードをSiC型に交換
- 入射部RF系に導波管スイッチ導入
初段Klyが不調でも、第二Klyを代わりに使用し、運転継続
- クライストロン変調器改良
操作性・信頼性・電圧安定性を向上
- 制御系を全体制御系に統合・改良
装置の操作性・保守性の向上、自動制御の実現
- 第二電子銃製作中
- その他
RFの10pps運転、スタンバイKly 2本の設定

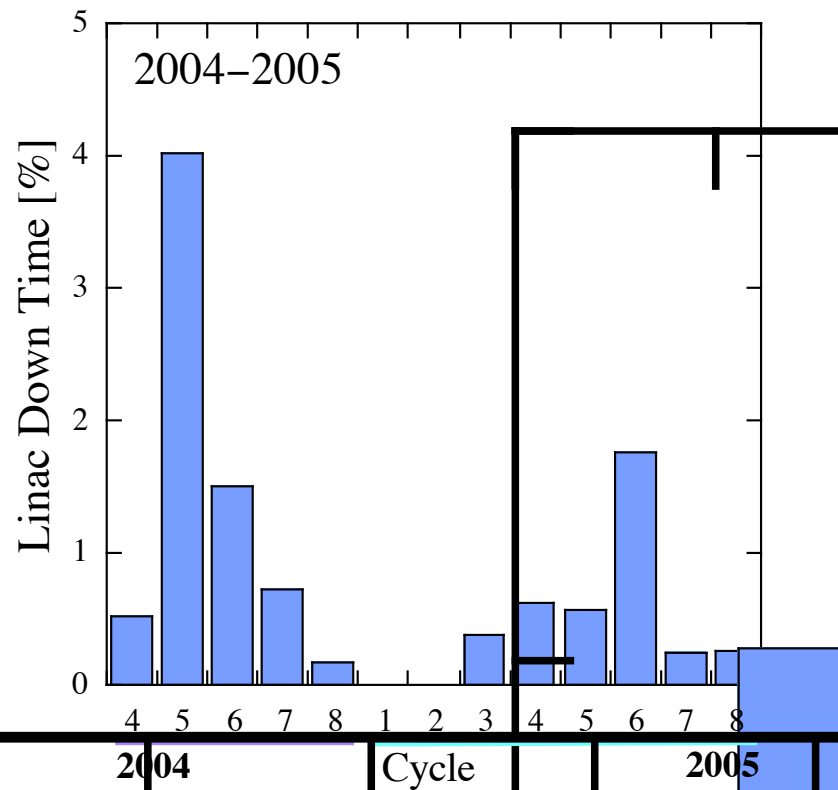
リニアックの信頼性

SPRING-8

フォールト回数／日



フォールト等による入射中断時間

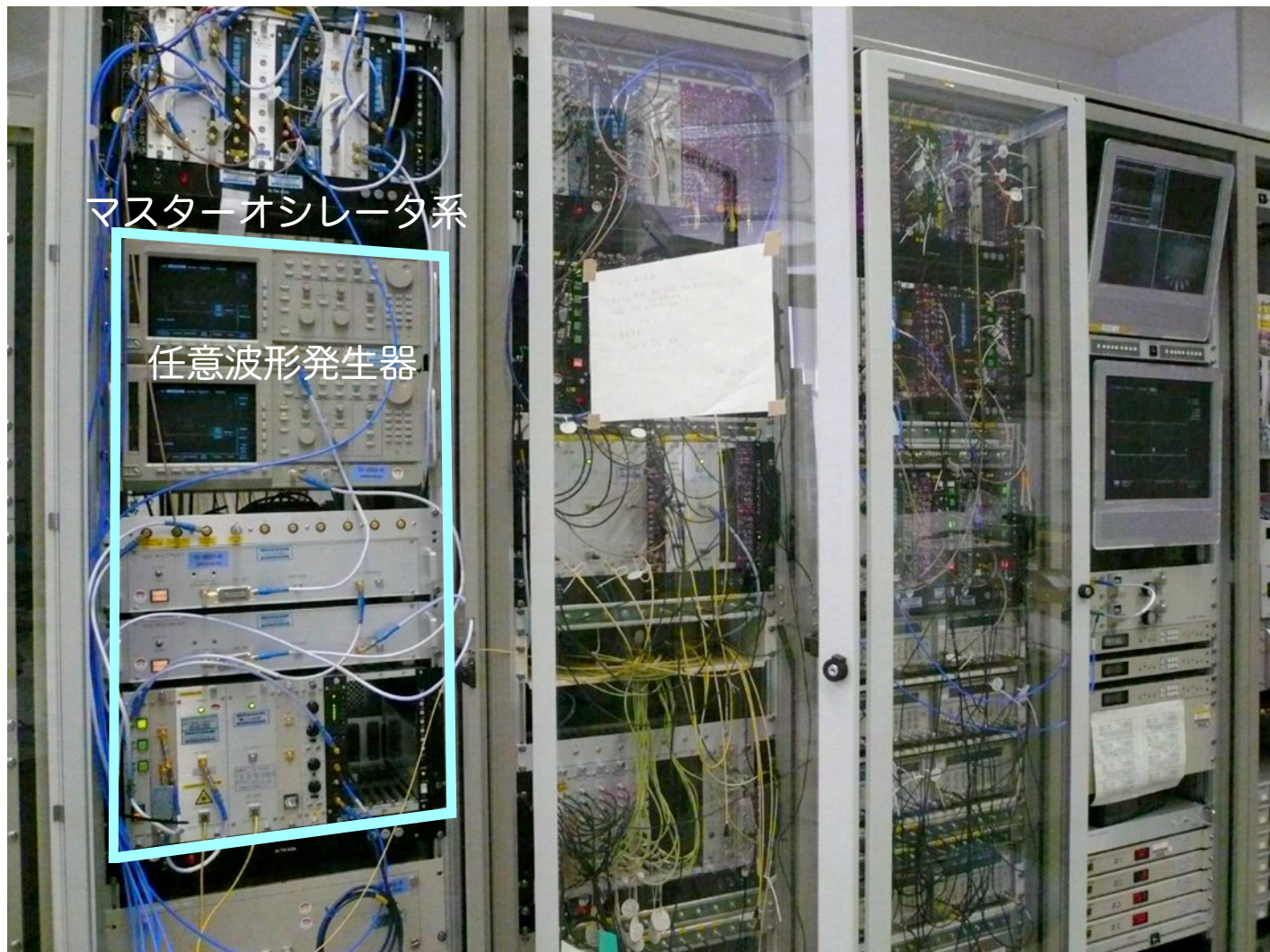


リニアック ツアー



リニアックタイミング系ラック

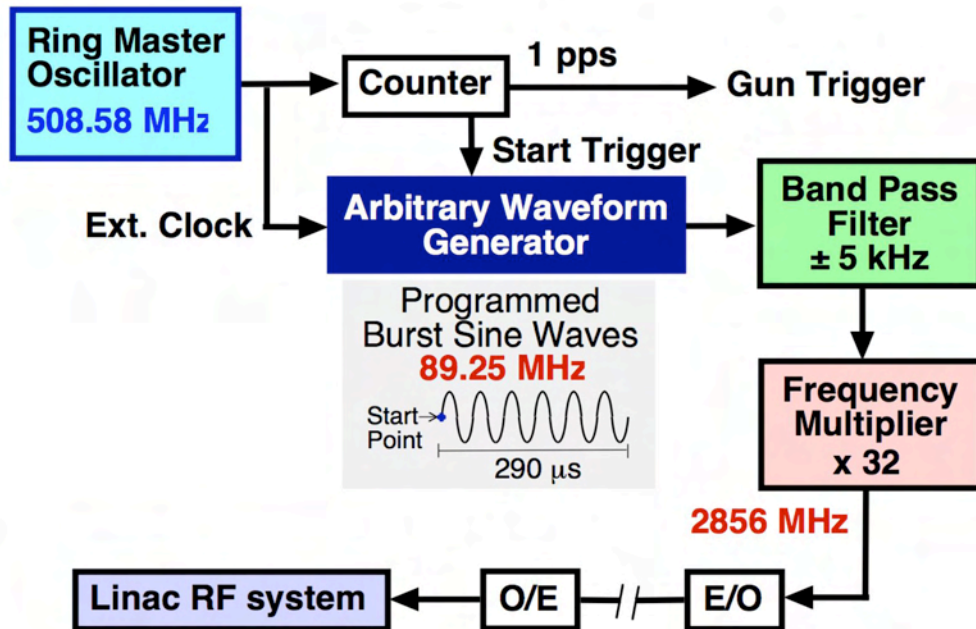
SPRing-8



同期型マスターオシレータ

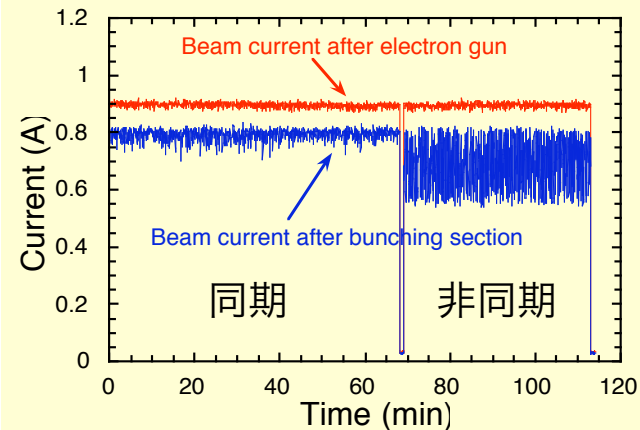
SPring-8

- 508.58MHzに同期したトリガパルスがAWGの発振をスタート
⇒ 2856MHz RFはかならずビームトリガに同期
- 狭帯域のクリスタルフィルタが位相ノイズを低減



ビーム電流のみならず
エネルギーも安定化
⇒ 0.01%rms(短期)

リニアックシングル
バンチ電流の安定性



クライストロン変調器

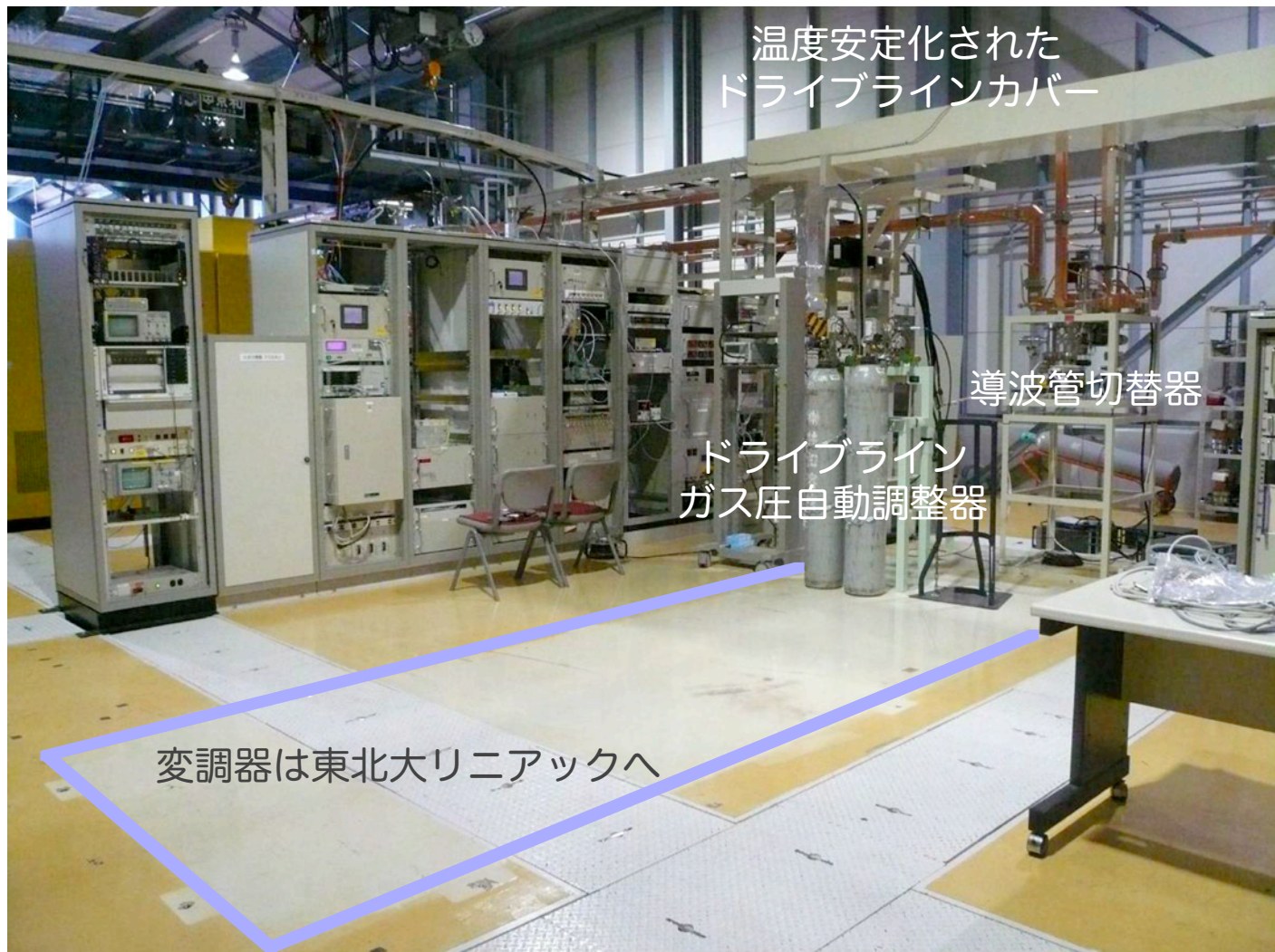
SPring-8

- ローカル制御系およびVME系更新 ⇒ 制御性・信頼性向上
- 電圧制御に関わる回路・プログラム改良 ⇒ 電圧安定度 $\sim 0.03\%$ rms
- 高圧系改良 ⇒ ノイズ低減、信頼性・保守性向上



ブースタクライストロン変調器跡

SPRing-8

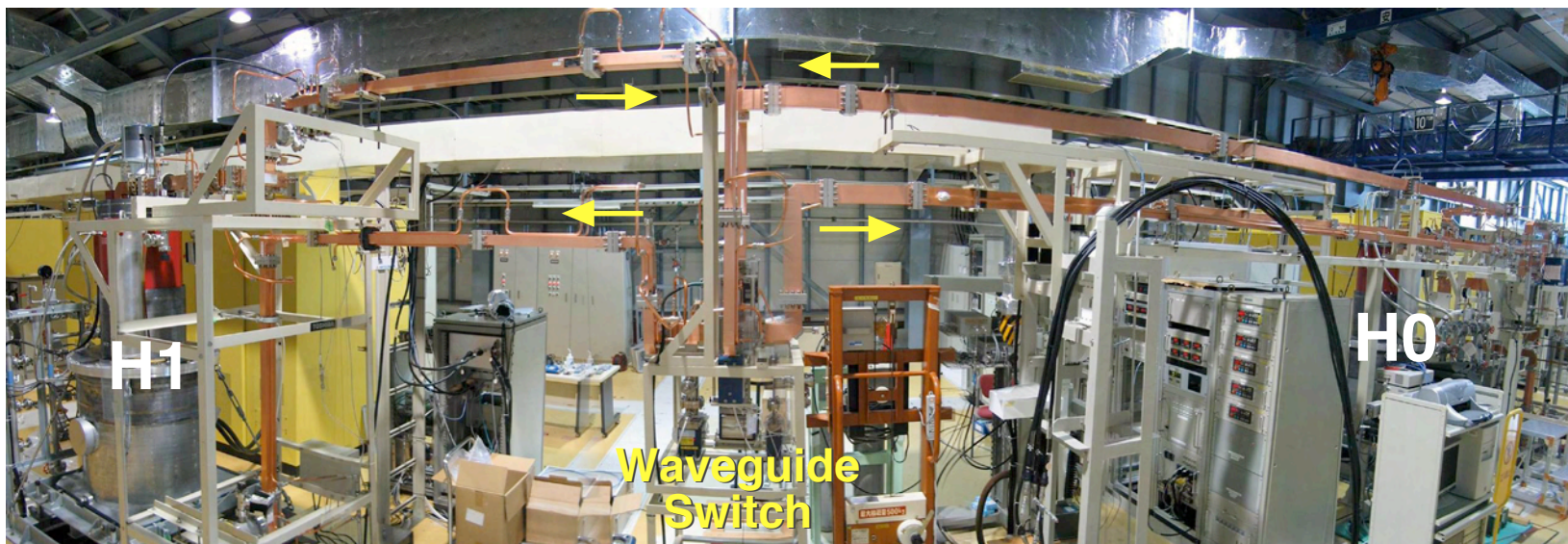
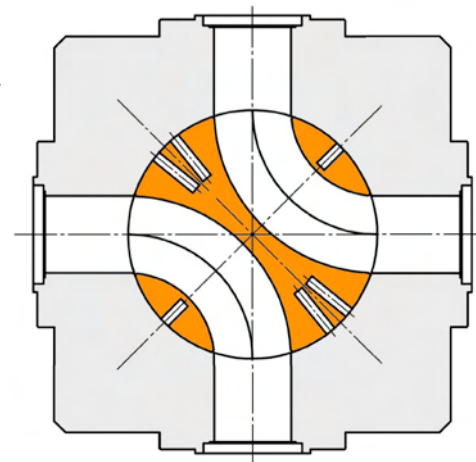


導波管スイッチ

SPring-8

- 真空型 (SF₆を使用しない)
- 放電対策
 - ・ ロータ表面の電界研摩
 - ・ 真空排気排気強化
- ロータの放熱機構

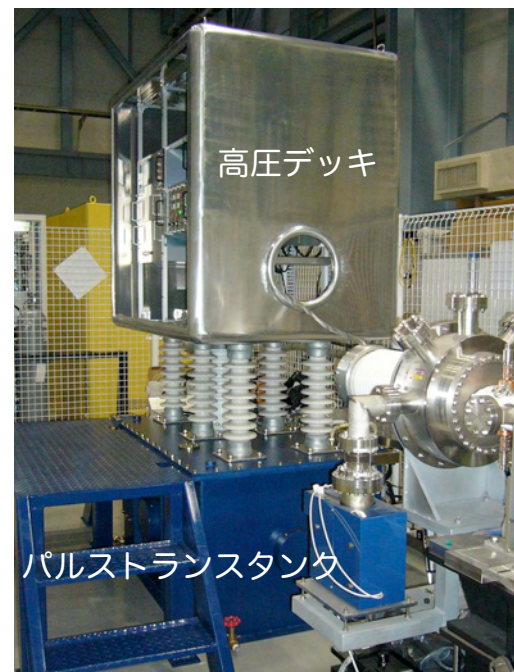
ロータリ型
Eベンド



電子銃用高圧電源

SPring-8

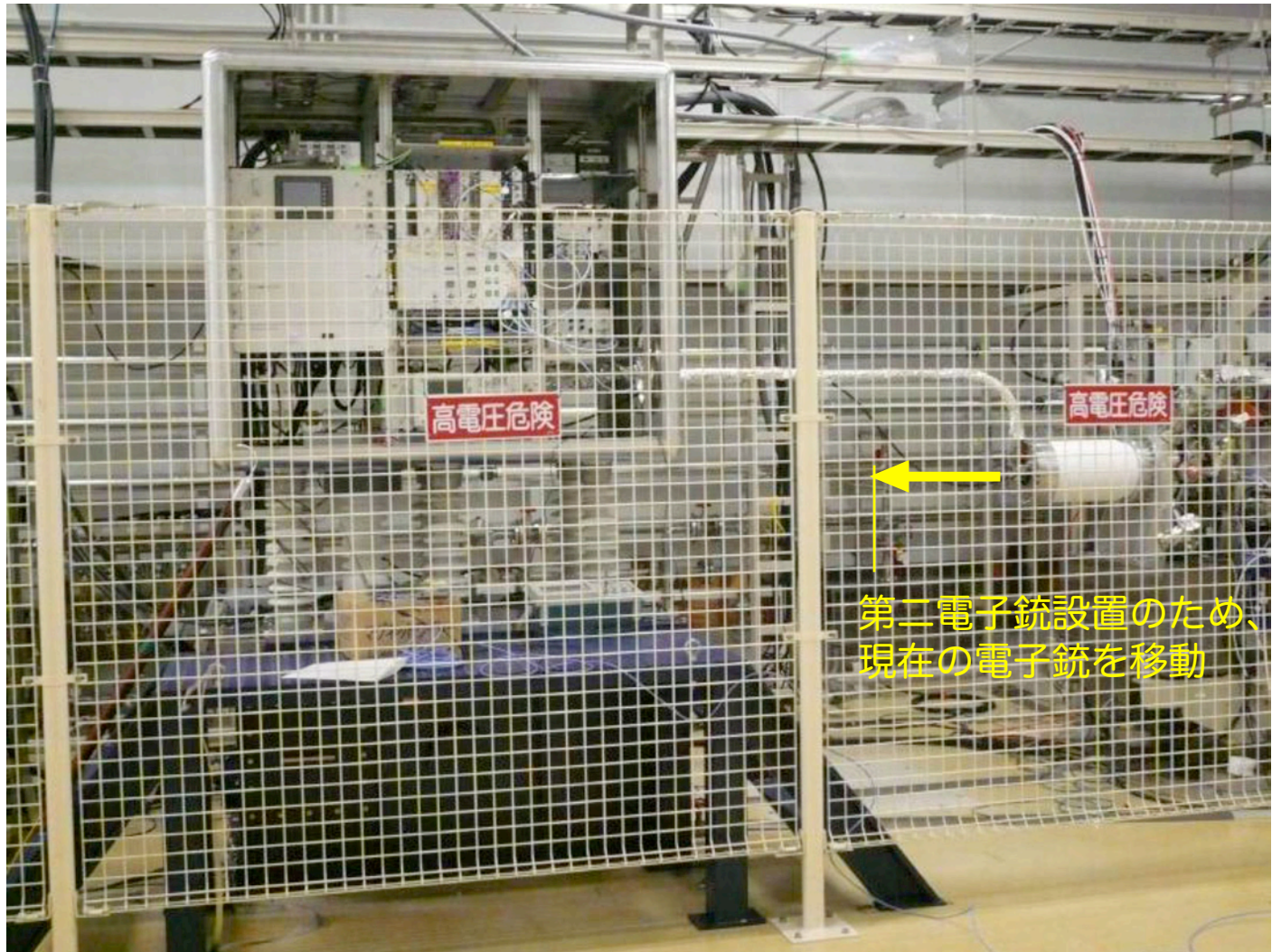
- パルストランス昇圧比 1:30 $\Rightarrow$ 低い一次電圧（信頼性向上）
- 高圧インバータ電源採用（パルス電圧安定度 $\sim 0.05\%$ rms）
- 大きめの高圧デッキ $\Rightarrow$ 拡張性、保守性向上



マシン実験棟で試験中の高圧電源。現在はずでにリニアック棟に設置済み。

新電子銃用高圧デッキ

SPring-8

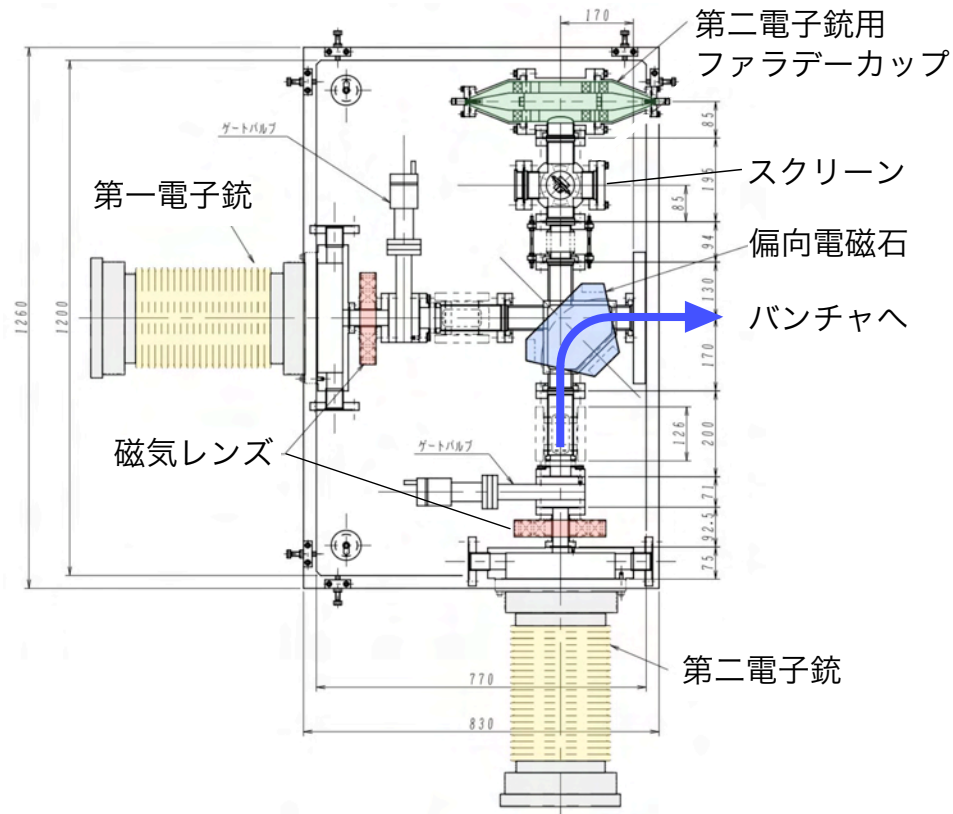


第二電子銃設置のため、
現在の電子銃を移動

第二電子銃

SPring-8

- 常時スタンバイのバックアップ用電子銃
- 出来る限り第一電子銃と同じビーム性能を目指す

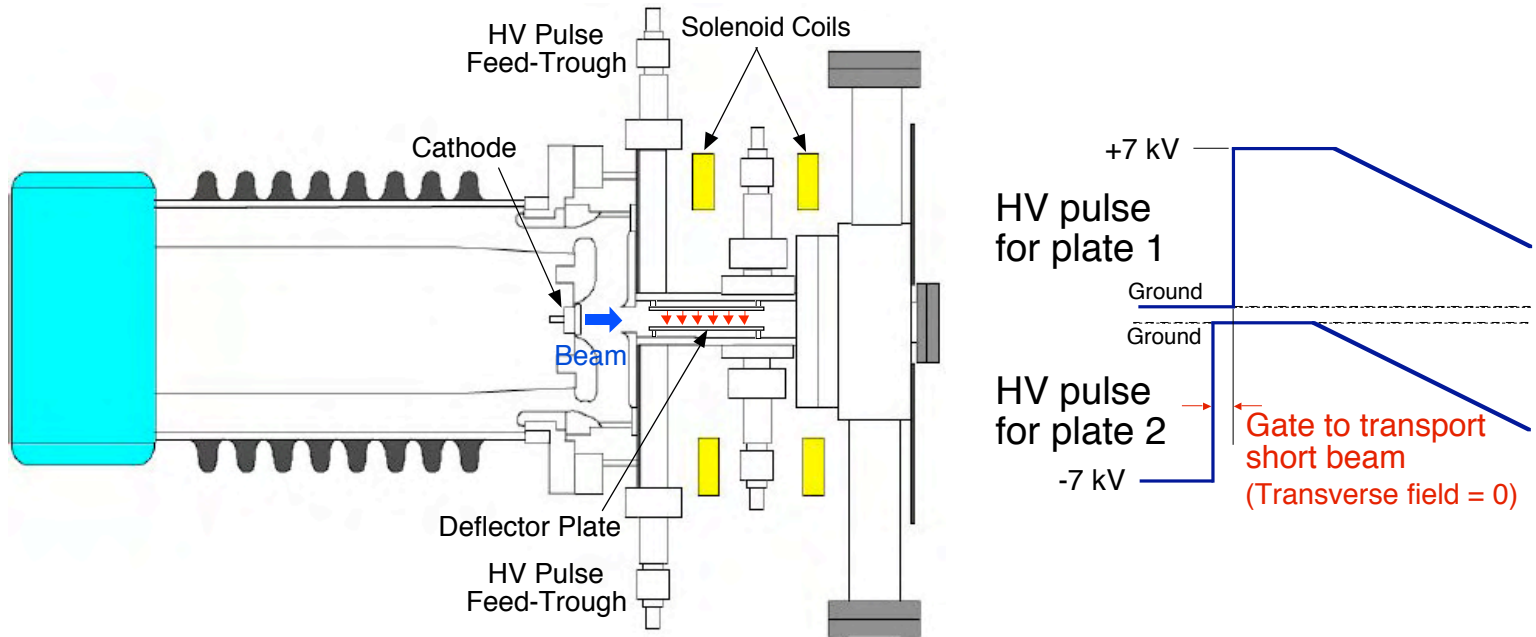


ビームデフレクタ

SPring-8

■ビームデフレクタによるグリッド放射電流の除去

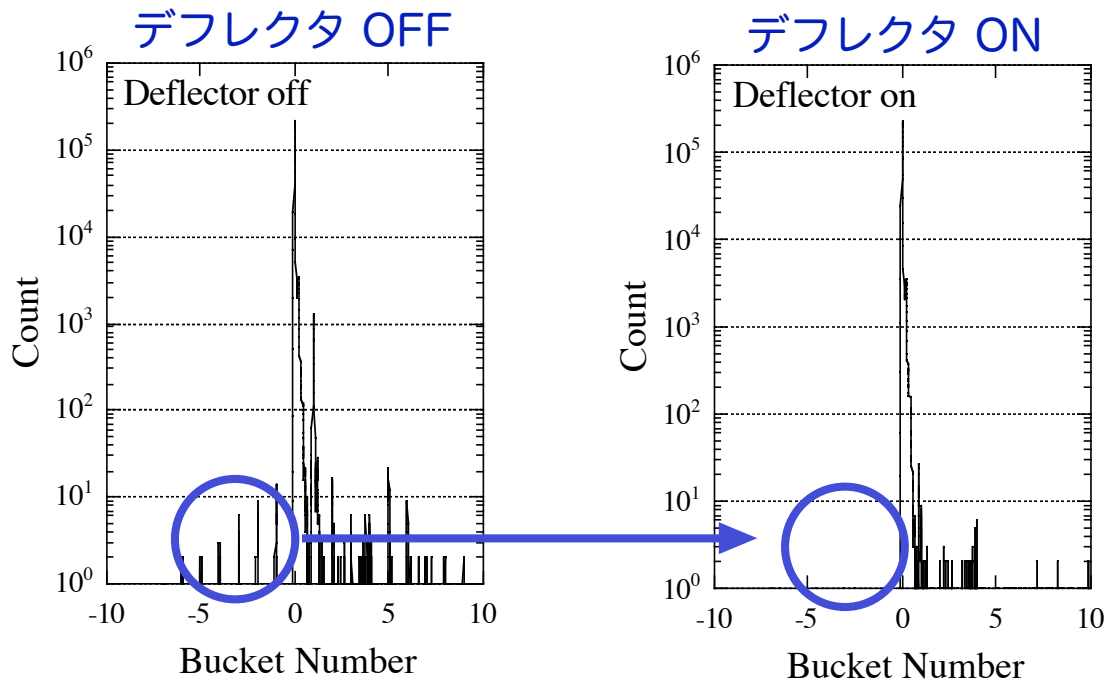
電子銃直後の平行平板電極に高電圧パルスを印加し、
グリッド放射電流をビーム軸外に蹴り飛ばす



ビームデフレクタ

SPRING-8

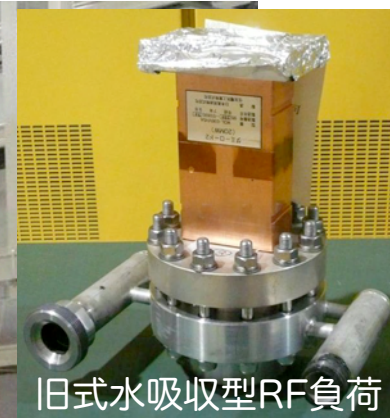
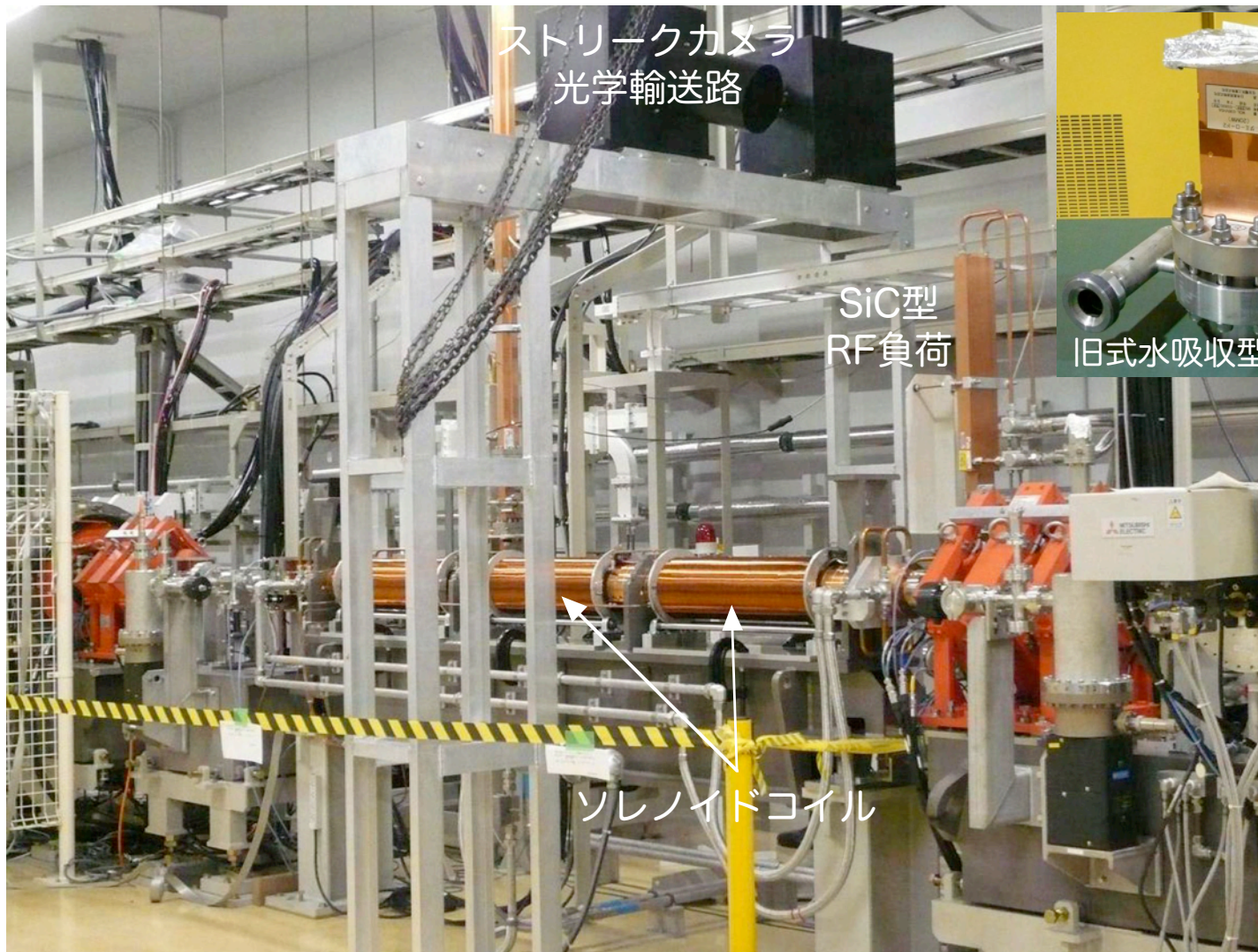
SRにシングルバンチビームを蓄積したときの
サテライトバンチの分布



最上流加速管からの暗電流削減が次の課題

初段加速管

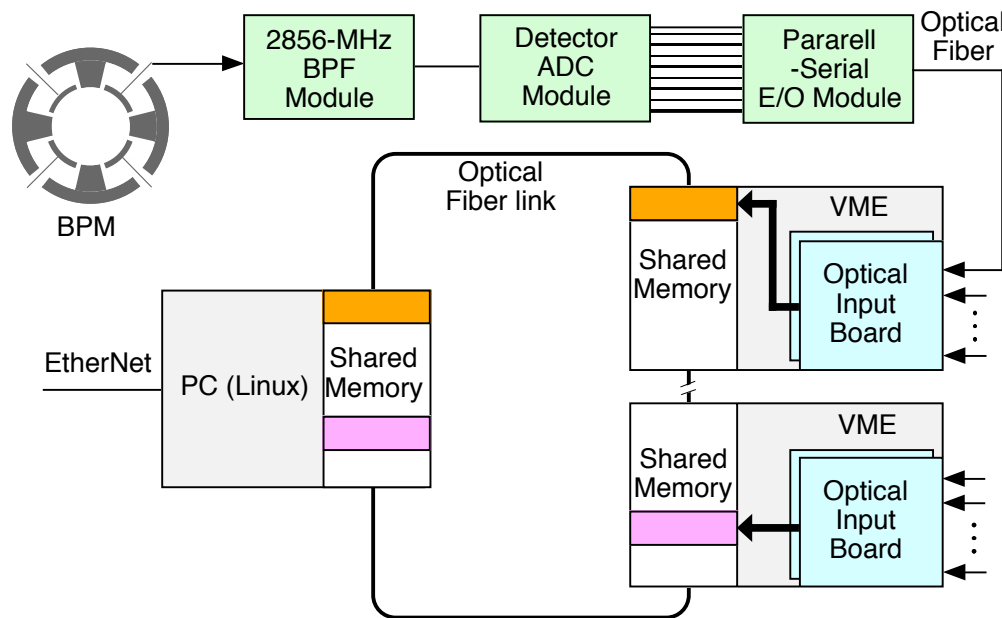
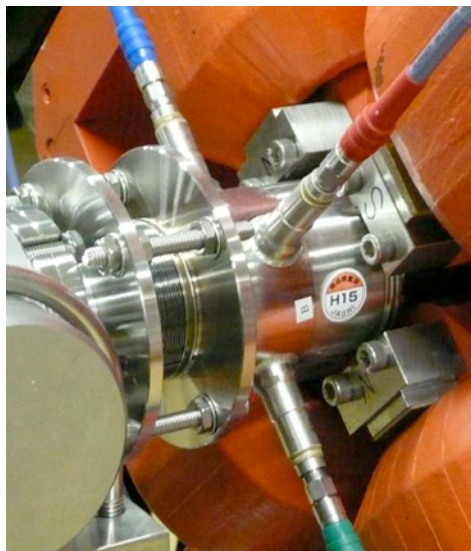
SPring-8



ビーム位置モニタ(BPM)

SPRing-8

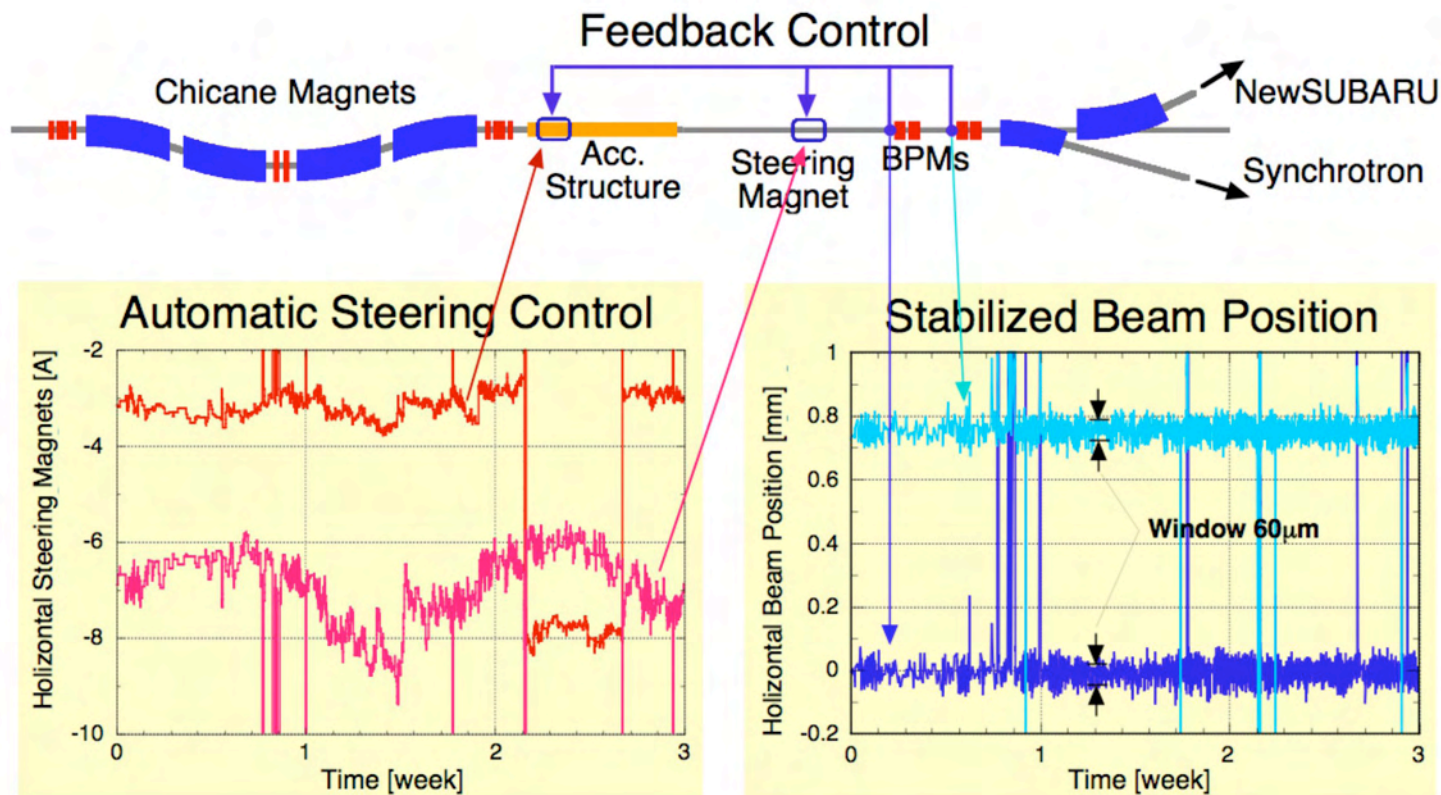
- 静電型ストリップライン検出器 (2856MHz)
- Log検波回路による45dBの信号ダイナミックレンジ
- 測定分解能：16 μm
- shared memory方式による高速データ収集システム



BPMを利用したビームフィードバック制御

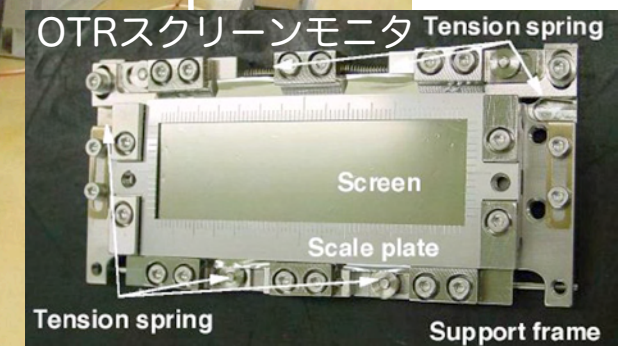
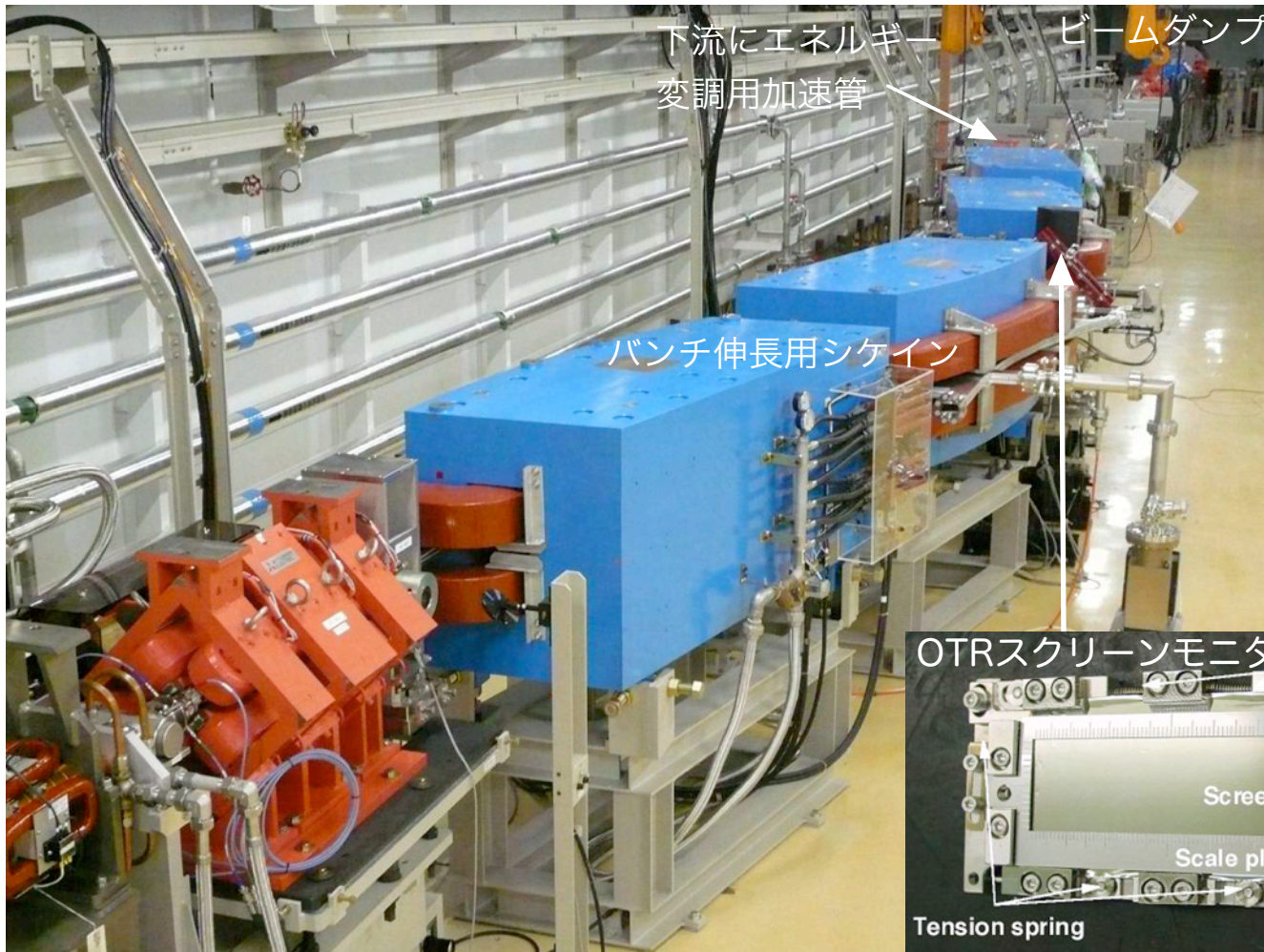
SPRING-8

- 輸送路の3カ所で、ビーム位置・角度のフィードバック制御
- 分散部のBPMでエネルギーを測定し、ECSクライストロンの位相制御



エネルギー圧縮システム (ECS)

SPring-8

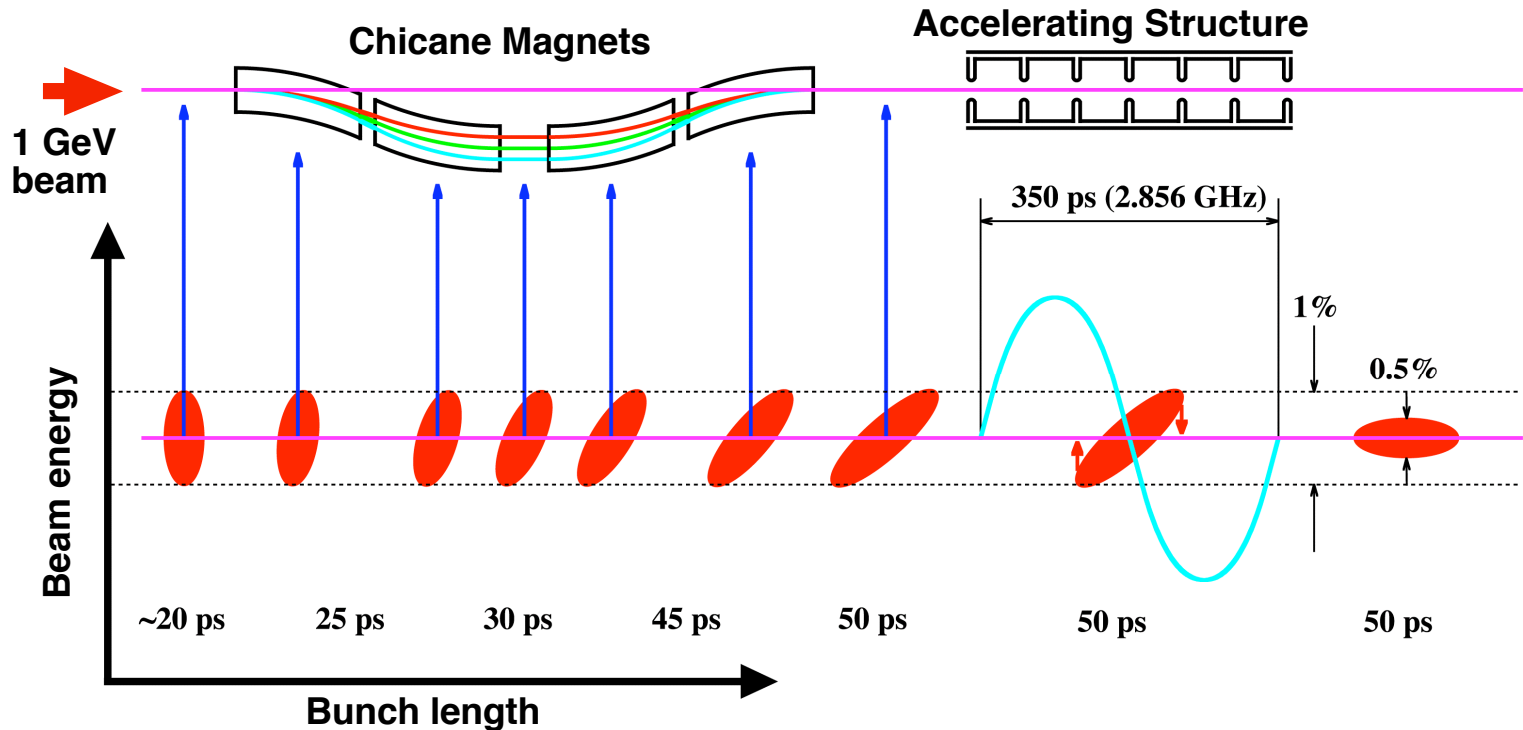


カプトン(12.5 μm) + アルミ蒸着(0.4 μm)

エネルギー圧縮システム (ECS)

SPRING-8

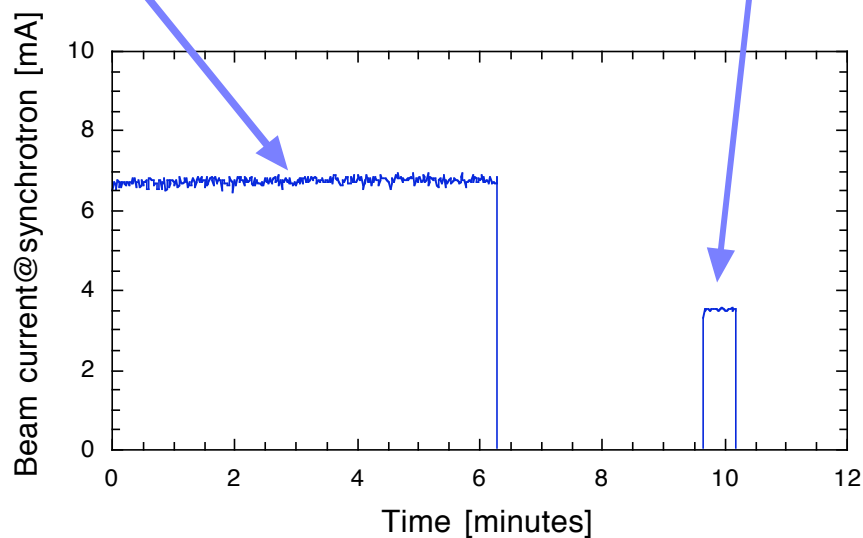
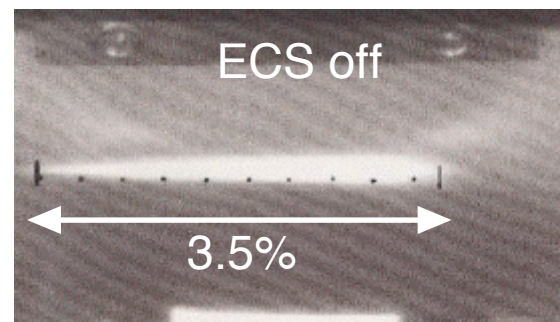
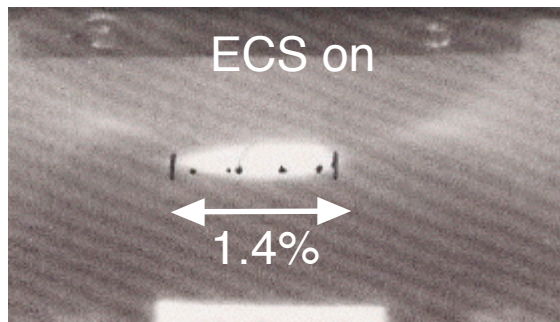
- シケインは、バンチのエネルギー分布をバンチ進方向に展開する
- 加速管内のRF電力が、ゼロクロス位相にてバンチを加減速し、エネルギー広がりや変動を圧縮する
⇒ エネルギー変動 : 0.01%rms



ECSによるエネルギー圧縮

SPRING-8

40nsビームを350mA入射したとき



リニアック 研究開発の紹介



- DC100kV加速
- 電子銃関連機器の開発
 - ・ ビームデフレクタ開発
 - ・ 新型変調器、高圧デッキの開発



■レーザシステム

- ・恒温恒湿クリーンルーム
- ・Ti:Saレーザ3倍高調波 (263nm, 10Hz, 850 μj/pulse)
- ・レーザエネルギー安定度 <1.4% rms @263nm (1ヶ月連続測定)
- ・レーザパルス空間形状整形 時間軸方向：UVパルススタッカ
半径方向：可変形ミラー

■ RF空腔

- ・ 2856MHz単空洞型
- ・ 高電界加速 (カソード面で190MV/m)
- ・ カソード：空洞面およびカートリッジ型
- ・ 自家製ビームシミュレーションコード

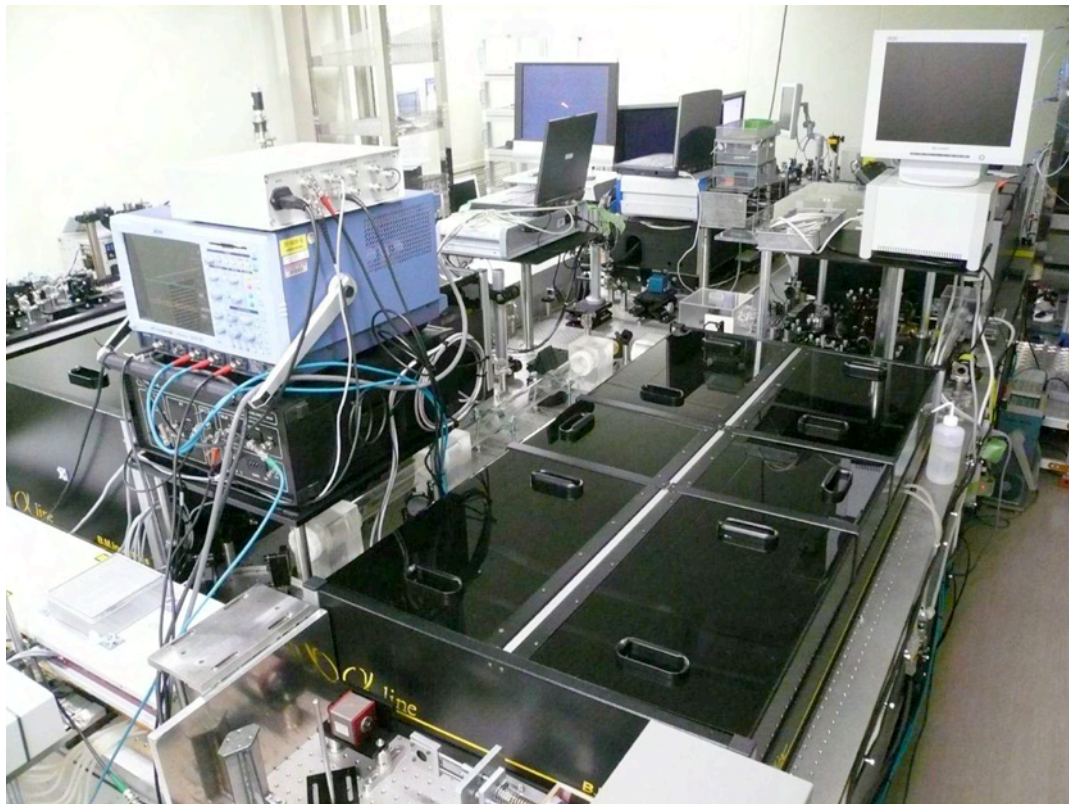
■その他

- ・ 89.25MHzレーザ光から低ジッタ2856MHz RF生成 (<100fs rms)
- ・ ダブルスリット型エミッタンスモニタ調整中(分解能： 0.1π を目標)

RF電子銃開発 レーザシステム

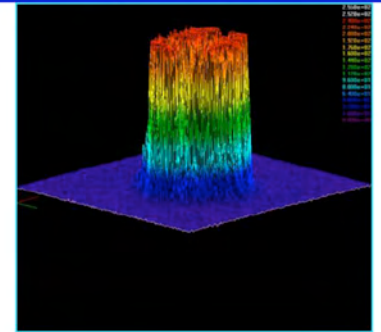
SPring-8

クリーンルーム内のレーザシステム

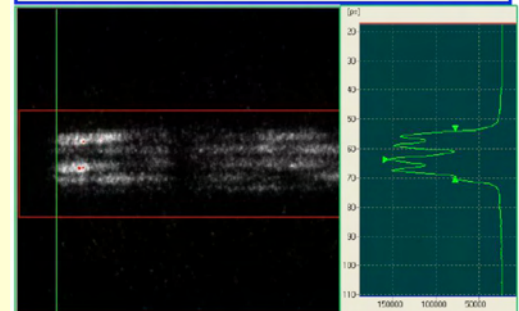


整形されたレーザパルス

Flattop : $\phi 0.8$ mm

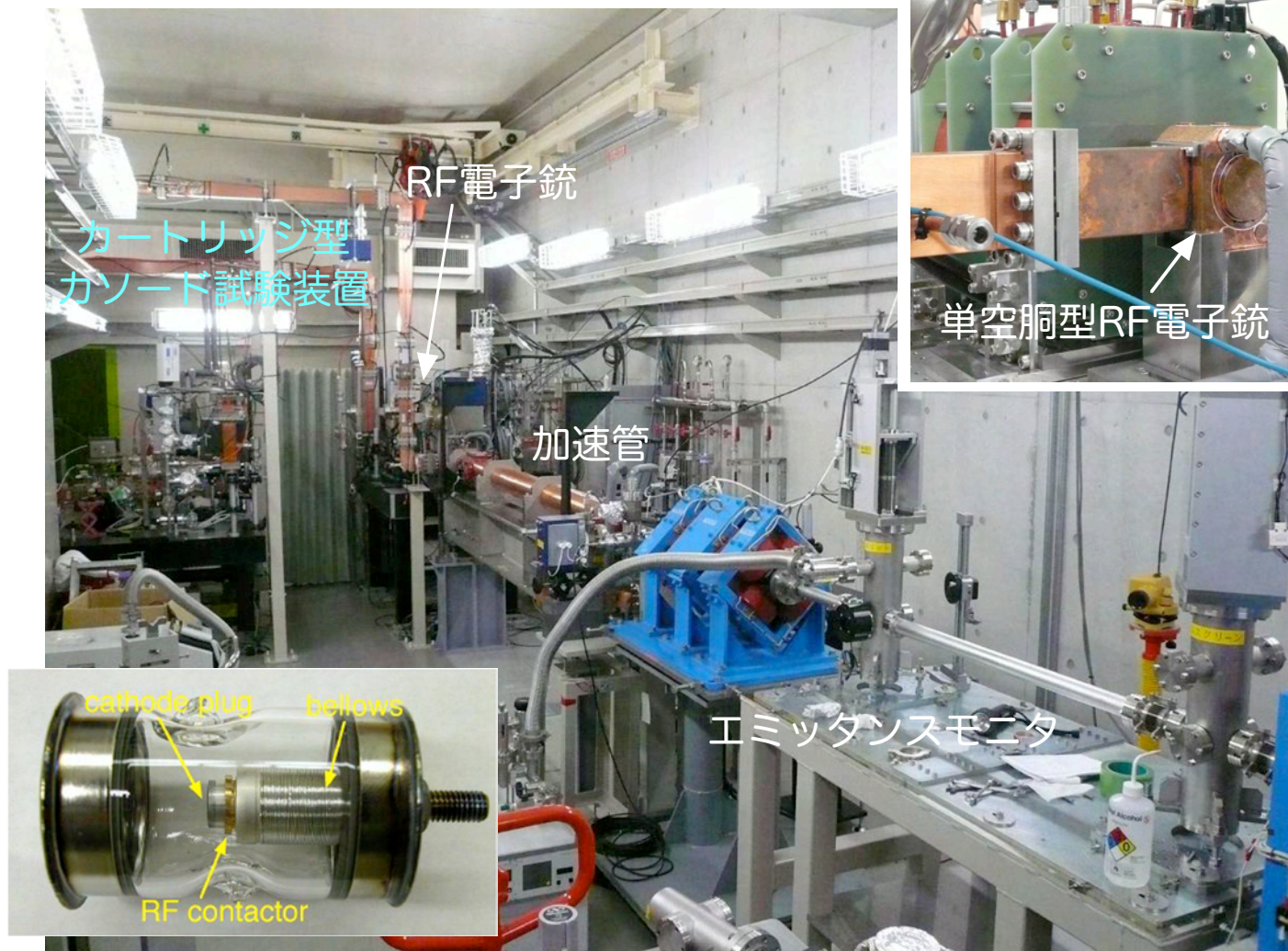


Square pulse : 10~20ps



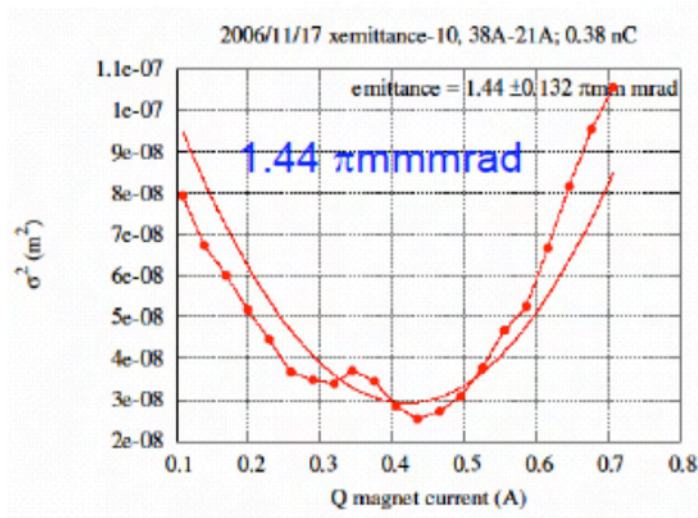
RF電子銃室

SPring-8

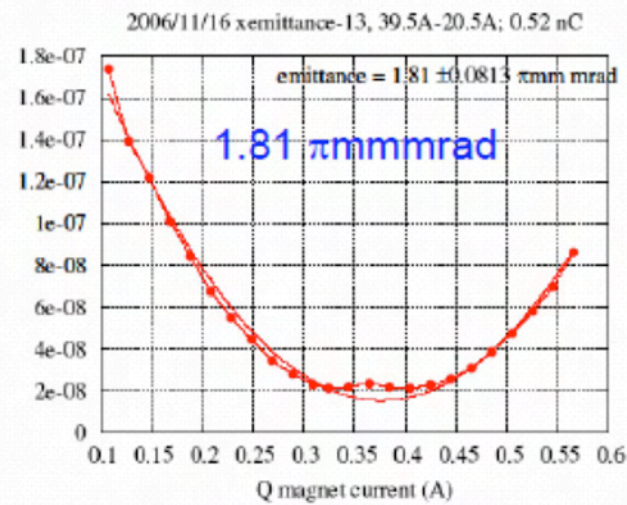


- Xエミッタンスは目標に迫る値が得られた
 - $1.4\pi\text{ mm mrad}@0.38\text{ nC}$ (10ps)
 - $2.0\pi\text{ mm mrad}@1.0\text{ nC}$ (20ps)
- YエミッタンスはXエミッタンスの倍ほど。原因調査中

Qスキャン法によるエミッタンス測定例



10 ps, 0.38 nC



15 ps, 0.52 nC

リニアック
トラブル・ランキング

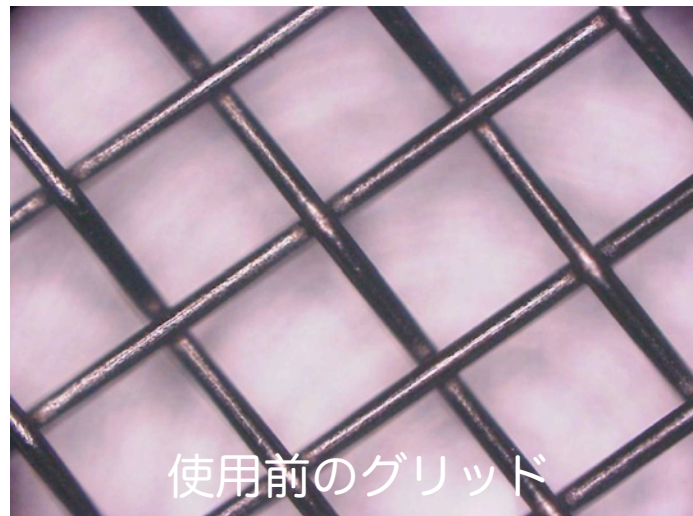
8位 カソードのグリッドエミッション増加

SPring-8

含浸型カソードではありふれた現象。現在はデフレクタがあるので、余り気にしていない。



カソードアッセンブリ Y845



使用前のグリッド



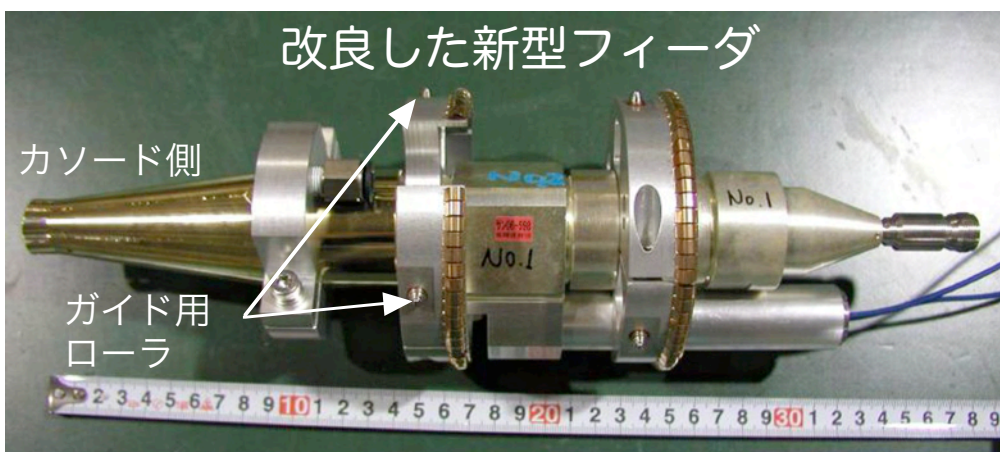
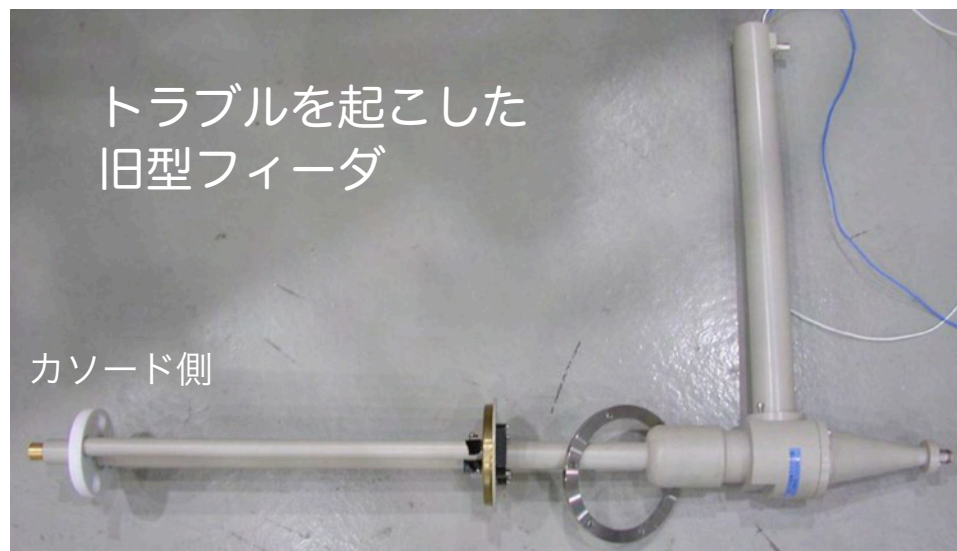
使用後のグリッド

7位 カソードコネクタ破損

SPring-8



旧型フィーダの扱いにくさ (重い、手探りで挿入) が原因であった。新型を製作して問題解消。



6位 加速管アルミ箔吸い込み事故

SPRing-8

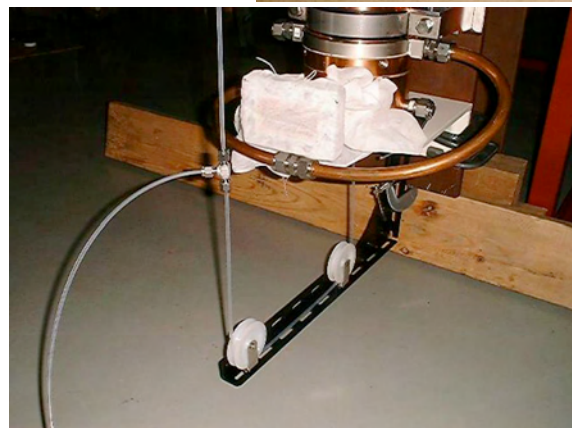
アルミ箔の除去作業



結局アルミ箔は見つからず、この加速管はRF電子銃用として使用



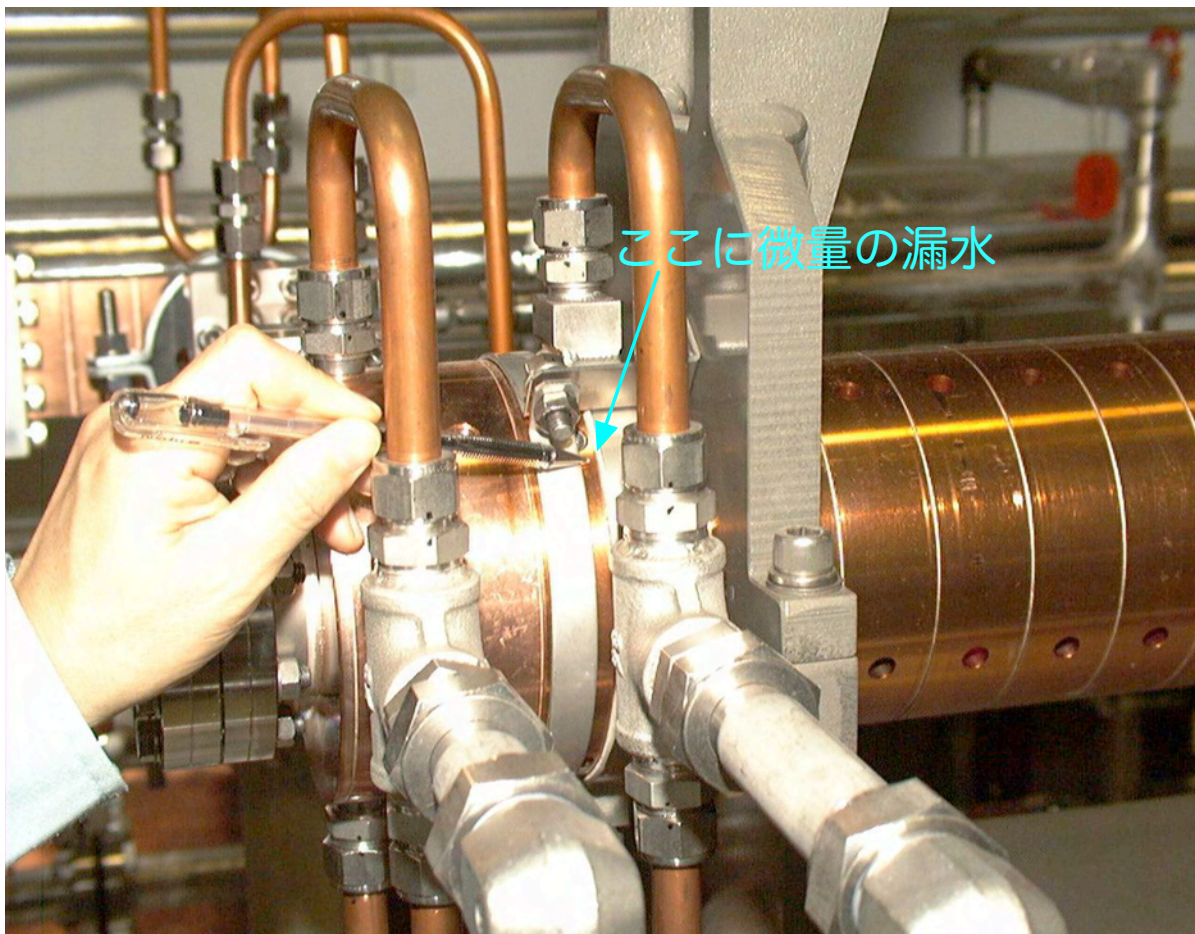
空気吹き出し口



5 位 加速管口ウ付け部から漏水

SPring-8

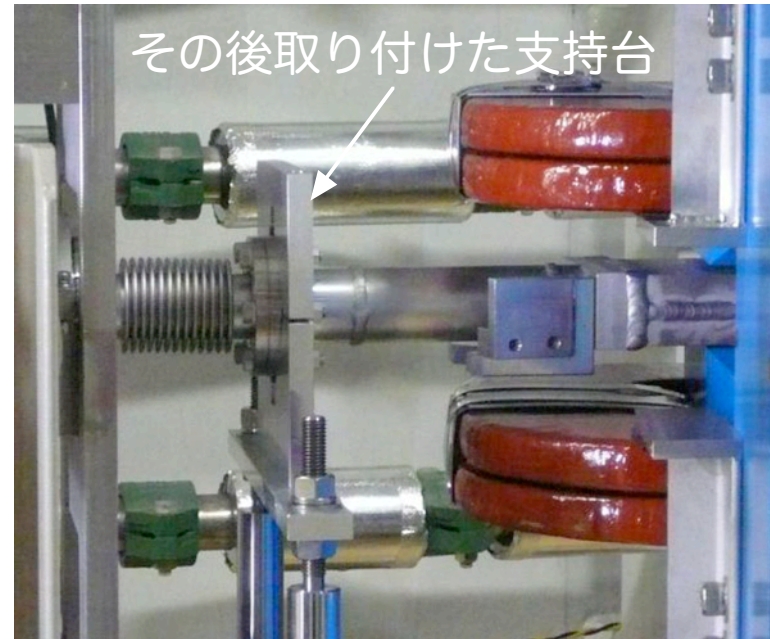
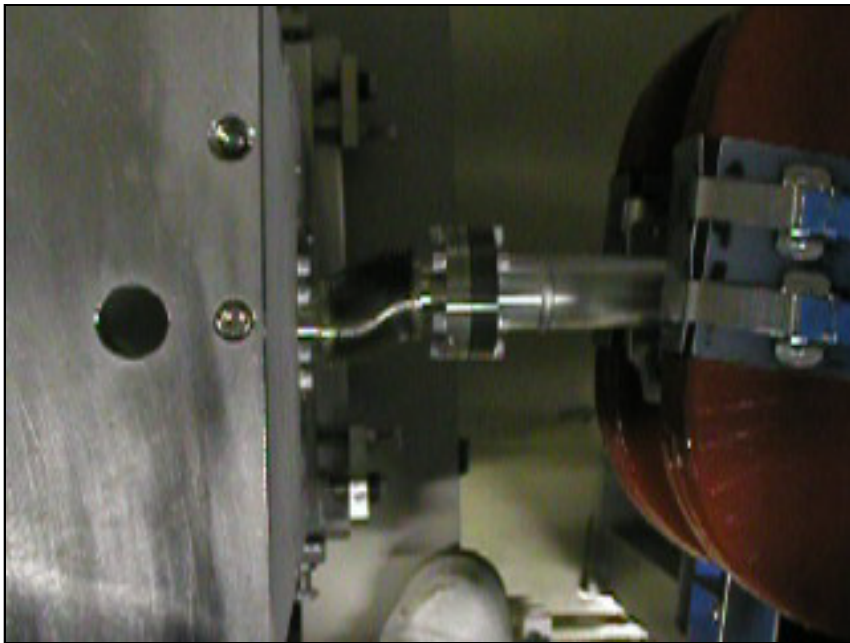
製造会社検討の結果、完全な修理は不可能との結論



4 位 LS-BM真空チャンバの真空リーク

SPring-8

LS-BMをトップアップ対応のパターン励磁可能な電磁石に交換。その際、励磁の際の磁場変化が急激だと、チャンバを流れる誘導電流による大きな力がチャンバに加わることを忘れていた。



チャンバが電磁誘導で動く様子 (動画)

3位 電子銃のバースト電流放射

SPring-8

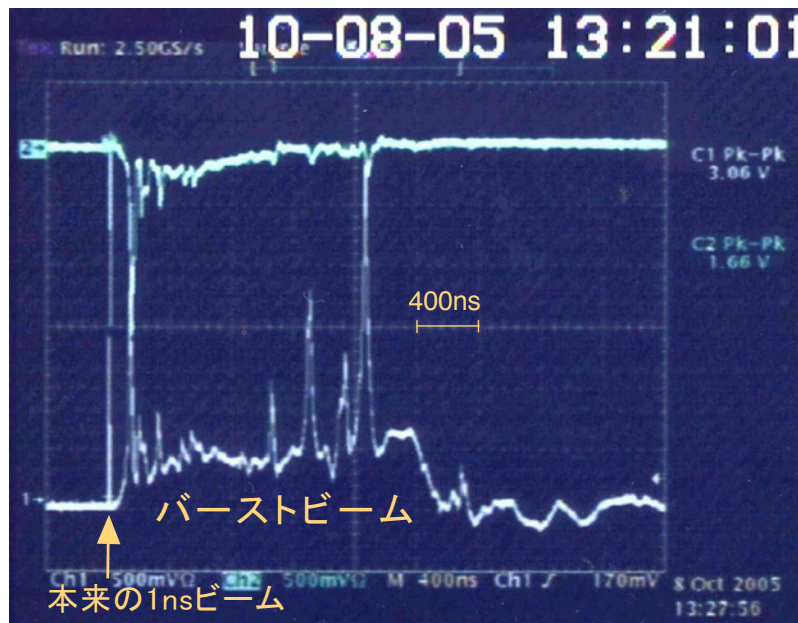
現象：まれに、正規の1nsビーム出射の後、約40ns後に、
2 μ s以上に渡って不安定な電子ビームが出射される

原因：カソードらしいが、確かなことは不明

対策：グリッドバイアス電圧を下げると現象は起こらない
後に、カソードを交換した

バンチャ直後

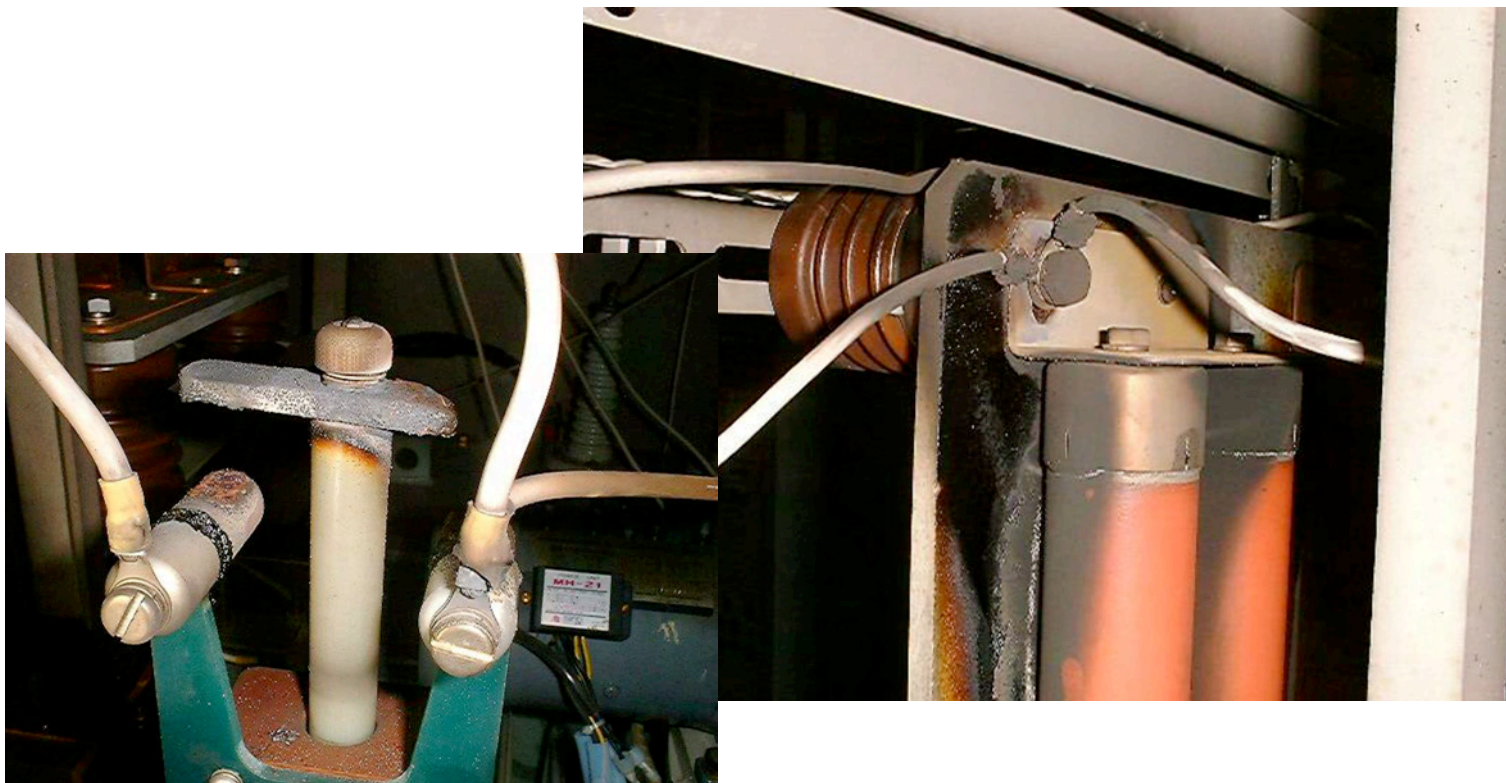
電子銃直後



2位 Kly変調器の充電回路焼損

SPring-8

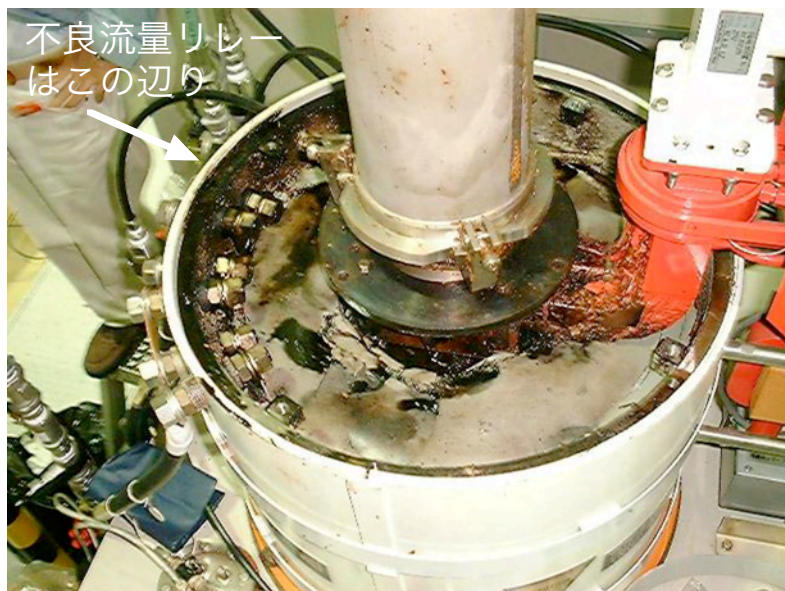
変調器充電回路の高圧リレーがアーキングで破損して導通せず、
リレーに並列の抵抗に電流が流れ続けて焼損。
この時、煙感知器は動作しなかった。



1 位 ブースタKly集束電磁石の焼損

SPring-8

冷却水を流さぬまま集束電磁石に通電してしまった。流量リレーが正常に働かなかったために通電を禁止できず、電磁石は焼損。
この事故を教訓に、**加速器全体のインターロック検査を毎年実施。**



クライストロンはカットモデルにして第一搬入庫に展示されている

1995 Spring



これからも前進します



2007.1.22