



# 東北大学1.2 GeVブースターシンクロトロン復旧の現状

日出富士雄, 柏木茂, 柴崎義信, 高橋健,  
長澤育郎, 南部健一, 武藤俊哉, 濱広幸

東北大学 電子光理学研究センター



- はじめに（加速器施設の紹介と復旧の状況）
- 電子シンクロトロンの改修
  - 改修の概要
  - 機能複合型四極電磁石の導入
  - 電源の更新
  - 真空系, 制御系の更新
- ビーム運転の状況
- まとめ



東北大学

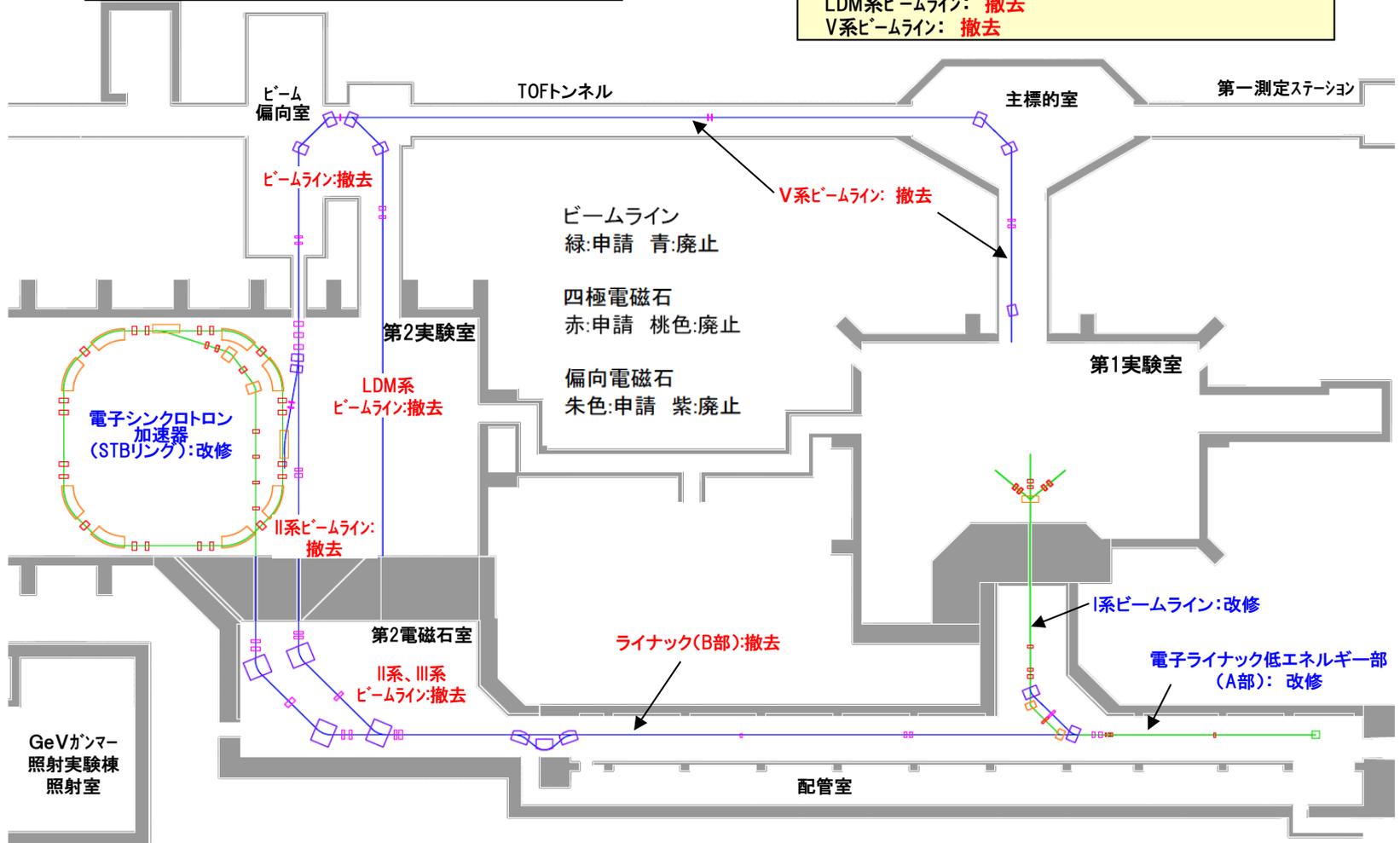
# はじめに (加速器配置図 震災前)

## 加速器

ライナック(A部): **改修**  
 ライナック(B部): **撤去**  
 => シンクロトロン入射用ライナック新設  
 電子シンクロトロン(STBリング): **改修**

## ビームライン

I系ビームライン: **改修**  
 II系ビームライン: **撤去**  
 III系ビームライン: 第2電磁石室内: **撤去**  
 第2実験室内(リング入射ライン): 既設のまま  
 LDM系ビームライン: **撤去**  
 V系ビームライン: **撤去**



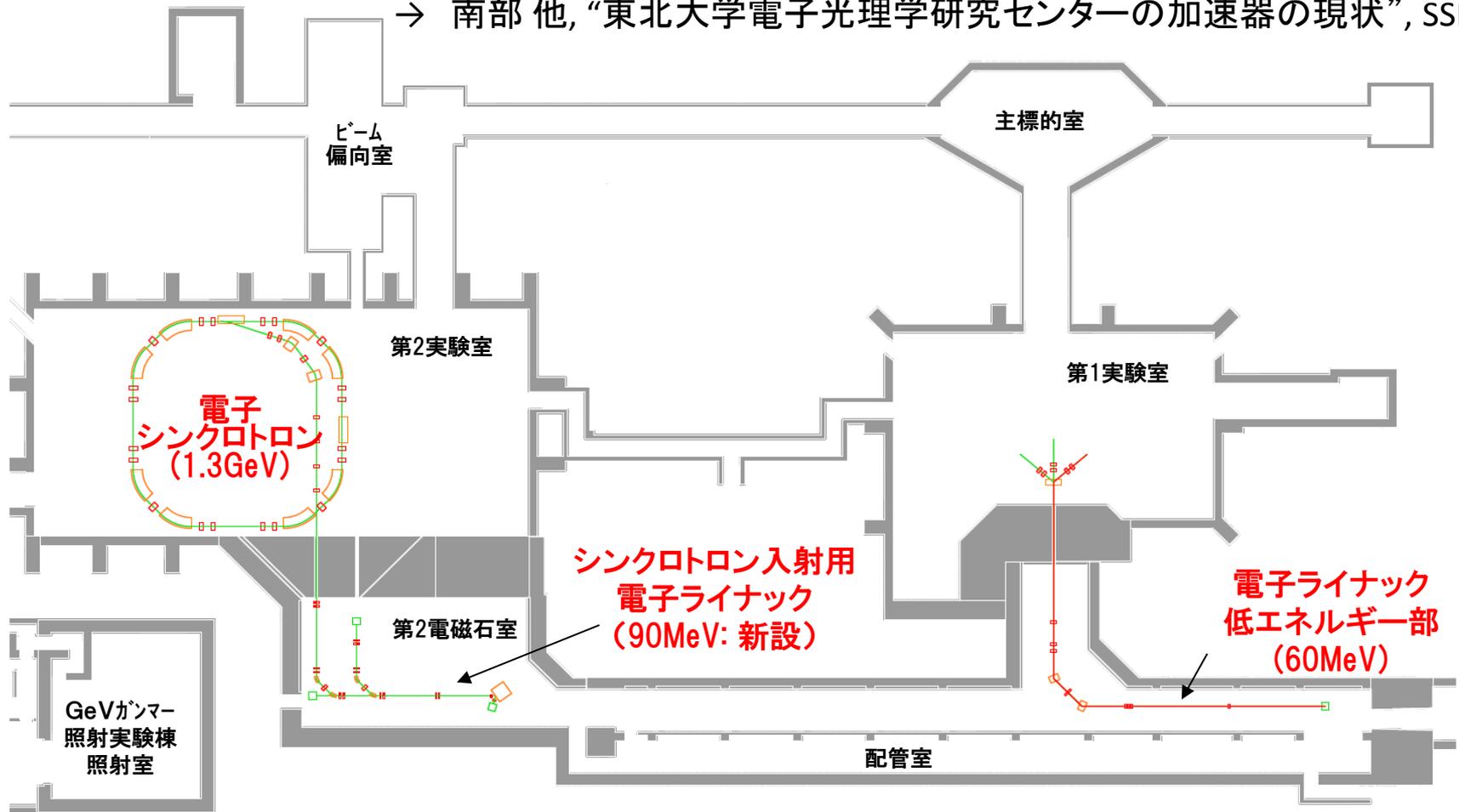


東北大学

# はじめに (加速器配置図 現在)

施設報告ポスター

→ 南部 他, “東北大学電子光物理学研究センターの加速器の現状”, SSFP24



新入射器の建設

→ 柏木 他, “東北大学電子ブースターシンクロトロン入射用90MeVリナックの開発状況”, SAOT02



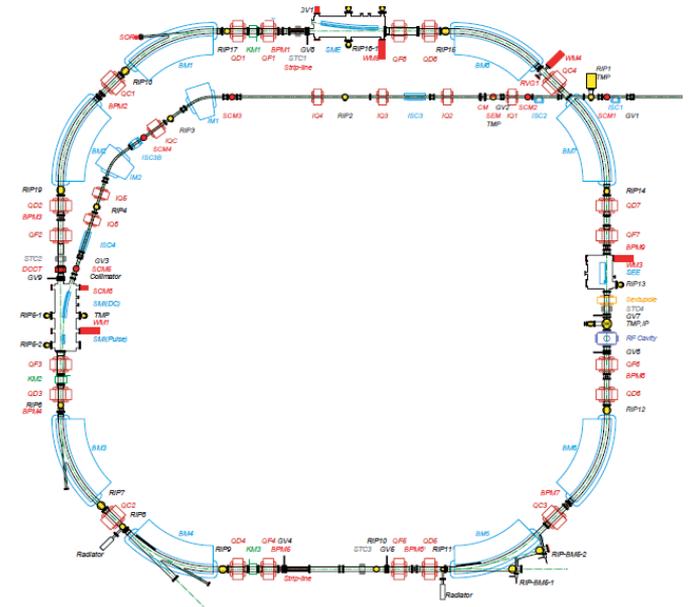
# 電子シンクロトロン改修

## 1.2 GeV STB (Stretcher-Booster) ring から 1.3 GeV BST (Booster Storage) ring へ

パルスストレッチャーとしての機能は除外する  
従来より高電流運転で、ビーム品質も高い実験を可能にする  
更に将来的には教育目的の放射光利用などの新しい利用も目指す  
運転エネルギーの変更 (入射: 150 MeV → 90 MeV, 最高: 1.2 GeV → 1.3 GeV)

### 改修内容

- 六極磁場入り機能複合型四極電磁石の導入  
→ クロマティシティの補正を可能に  
ヘッドテール不安定性の抑制
- 電磁石電源の更新  
(BM, Q-mag 用トラッキング電源,  
入射用パルス電源の更新)
- 真空系の改善
- 制御系の更新





東北大学

# 1.3 GeV BST ring

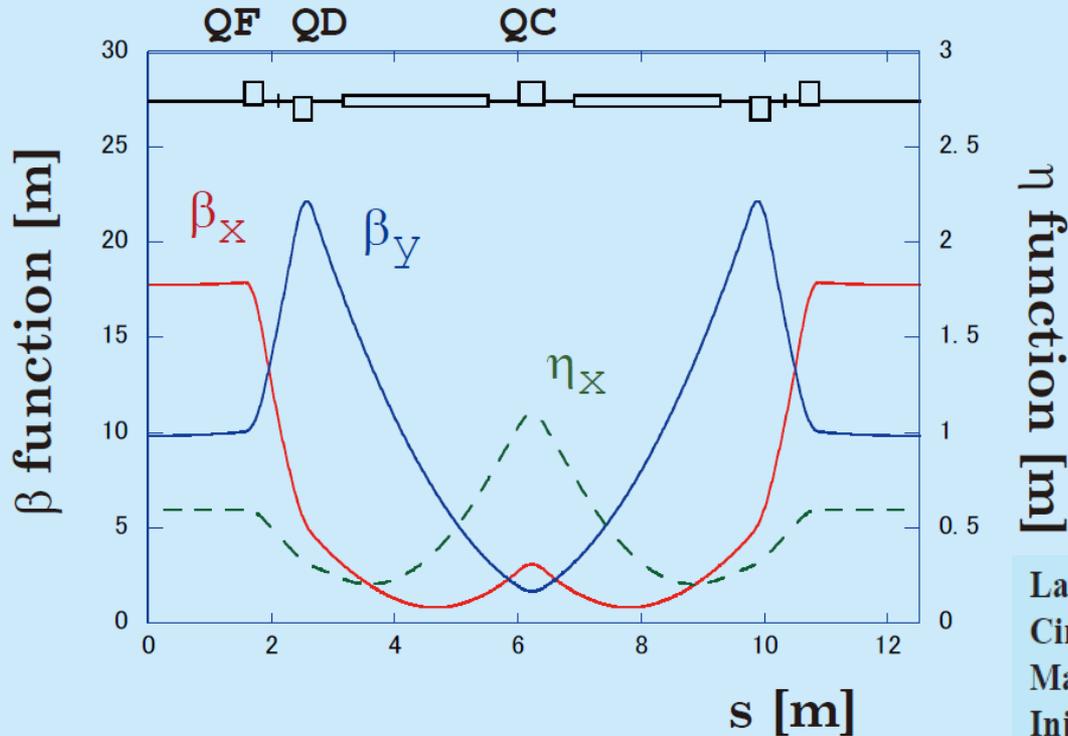


2013年8月



東北大学

# ラティス関数と主要パラメータ



Lattice	Double-bend, 4 cell
Circumference	49.7 m
Maximum energy	1.3 GeV
Injection energy	90 MeV
Betatron tune	(3.24, 1.18)
Natural chromaticity	(-5.59, -4.43)
Corrected chromaticity	(1.38, 1.23)
RF voltage	400 kV
Natural emittance	160 nmrad (@ 1.2 GeV)
Momentum compaction	0.0458
Dispersion at straight section	0.6 m
Beam current	200 mA (@ 1.2 GeV)
Touschek lifetime	> 48 hours (@ 1.2 GeV)



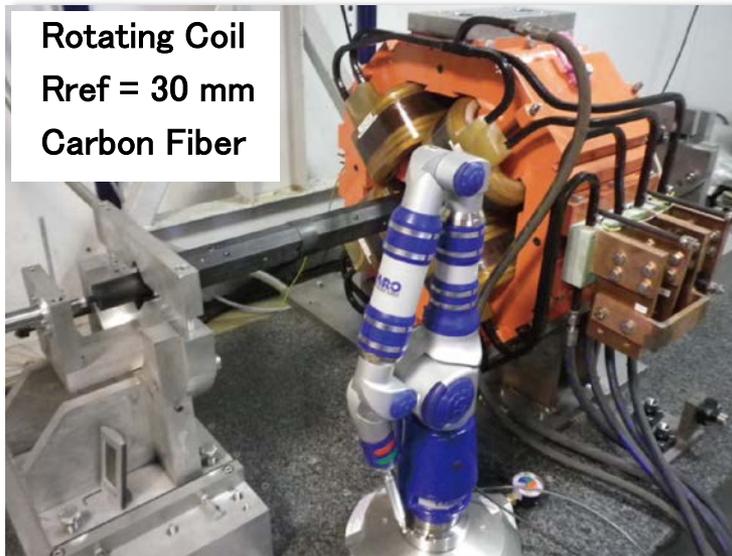
東北大学

# (1)機能複合型四極電磁石の導入

## 機能複合型四極電磁石

収束(QSF)・発散(QSD)用 各8台製作

SIGMAPHI社製

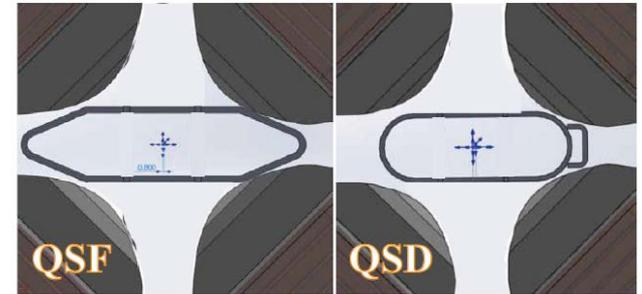


Rotating Coil  
Rref = 30 mm  
Carbon Fiber

Field measurement by rotating coil

磁石の設計・製作およびアラインメント等

→ W. Beeckmann, et. al., SAP067

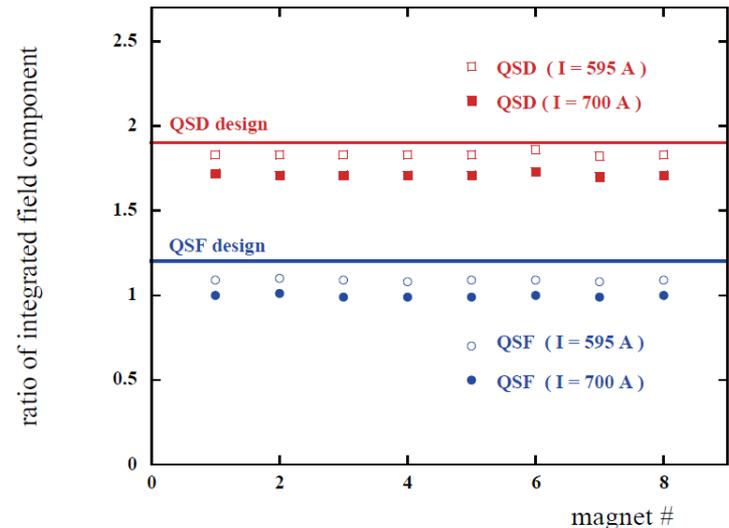


$$\text{poleface: } kxy + m(3x^2y - y^3)/6 = kR^2/2 + mR^3/6$$
  
bore radius :  $R = 50 \text{ mm}$

Field strength (@p = 1.3 GeV/c)

QSF:  $B' = 8.7 \text{ T/m}$   $B'' = 20.9 \text{ T/m}^2$

QSD:  $B' = 9.6 \text{ T/m}$   $B'' = 36.5 \text{ T/m}^2$



六極小さめ → 分散関数の調整で対応可  
dipole も問題



東北大学

## (2)電磁石電源の更新

### トラッキング電源

BM, Q-mag 用 計4台製作

東芝三菱電機産業システム(株)社製

	Dipole	QC	QSF, QSD
Min. current	80 A	40 A	35 A
Max. current	1400 A	800 A	700 A
Output voltage	645 V	55 V	77 V
Ramping rate	980 A/sec	665 A/sec	565 A/sec

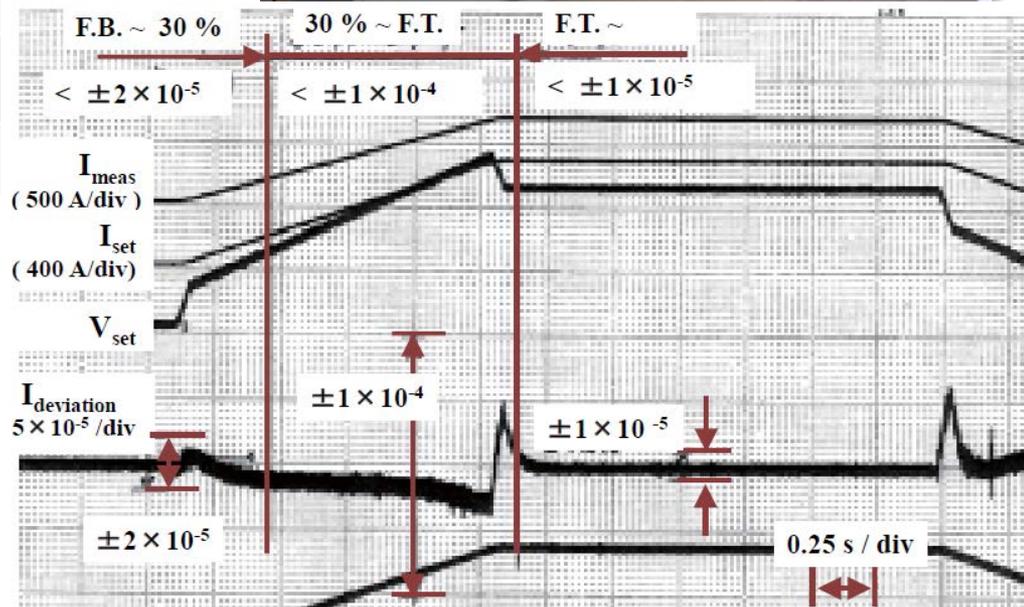


もとは医療用重粒子線照射施設の  
電磁石電源用に開発されたもの

#### 優れた性能

安定度  $\pm 1 \times 10^{-5}$  以下

追従性  $\pm 1 \times 10^{-4}$  以下





東北大学

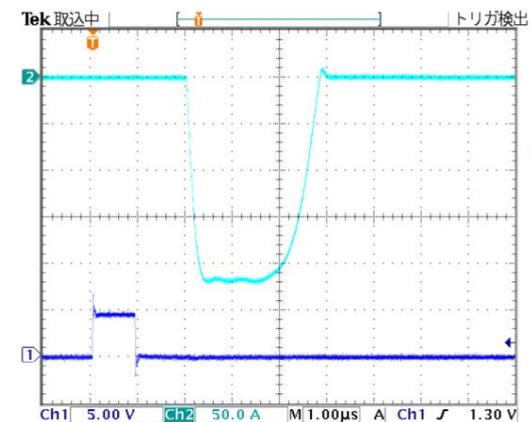
# (3)パルス電源の更新

## 入射用パルス電源

セプタム, キッカー用 計4台製作  
日新パルス電子(株)社製



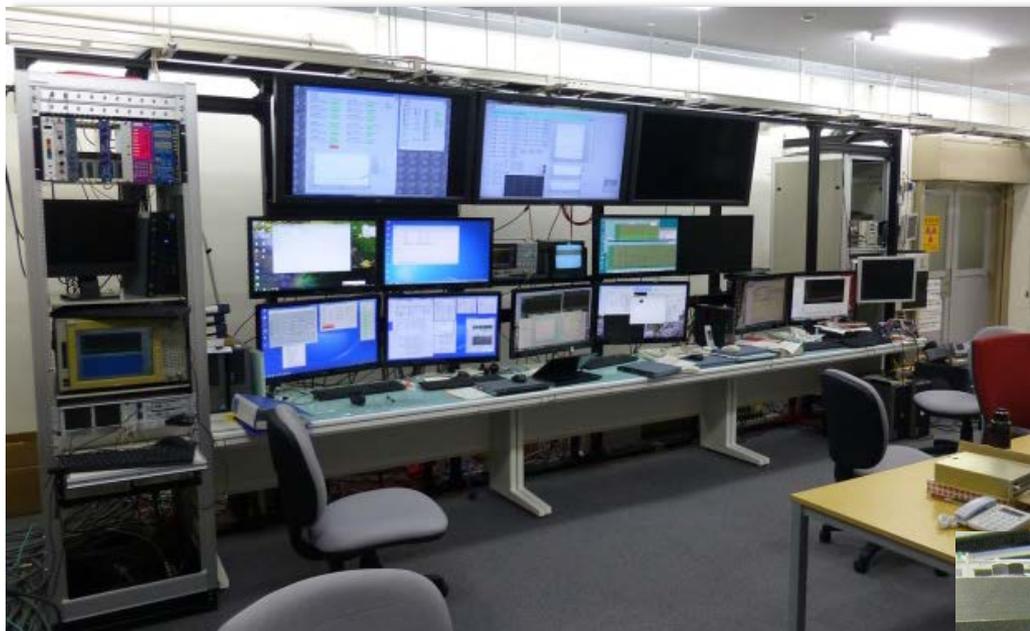
	kicker magnet	Septum magnet
Max. current	220 A	1210A
Pulse width	> 1 $\mu$ s @flat part	200 $\pm$ 10 $\mu$ s
Current stability	< 1 % (p-p)	< 2 % (p-p)
Fall time	< ~0.5 $\mu$ s	-
Timing jitter	< 10 ns	< 10 ns
Rep.rate	> 10 pps	> 10 pps



キッカー出力波形



## (4) 制御系・真空系の更新

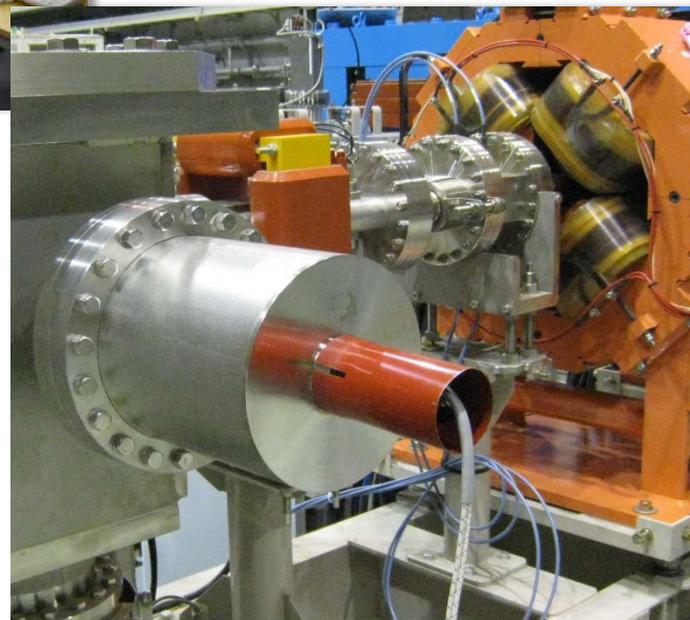


### 制御系

制御室を一新  
トリガー系を新規に構築  
古いPLCを更新  
制御プログラムも新たに構築中

### 真空系

NEGポンプの新規設置  
(C200; KEKより移譲)  
真空ゲージの整備





東北大学

# ビーム運転の状況

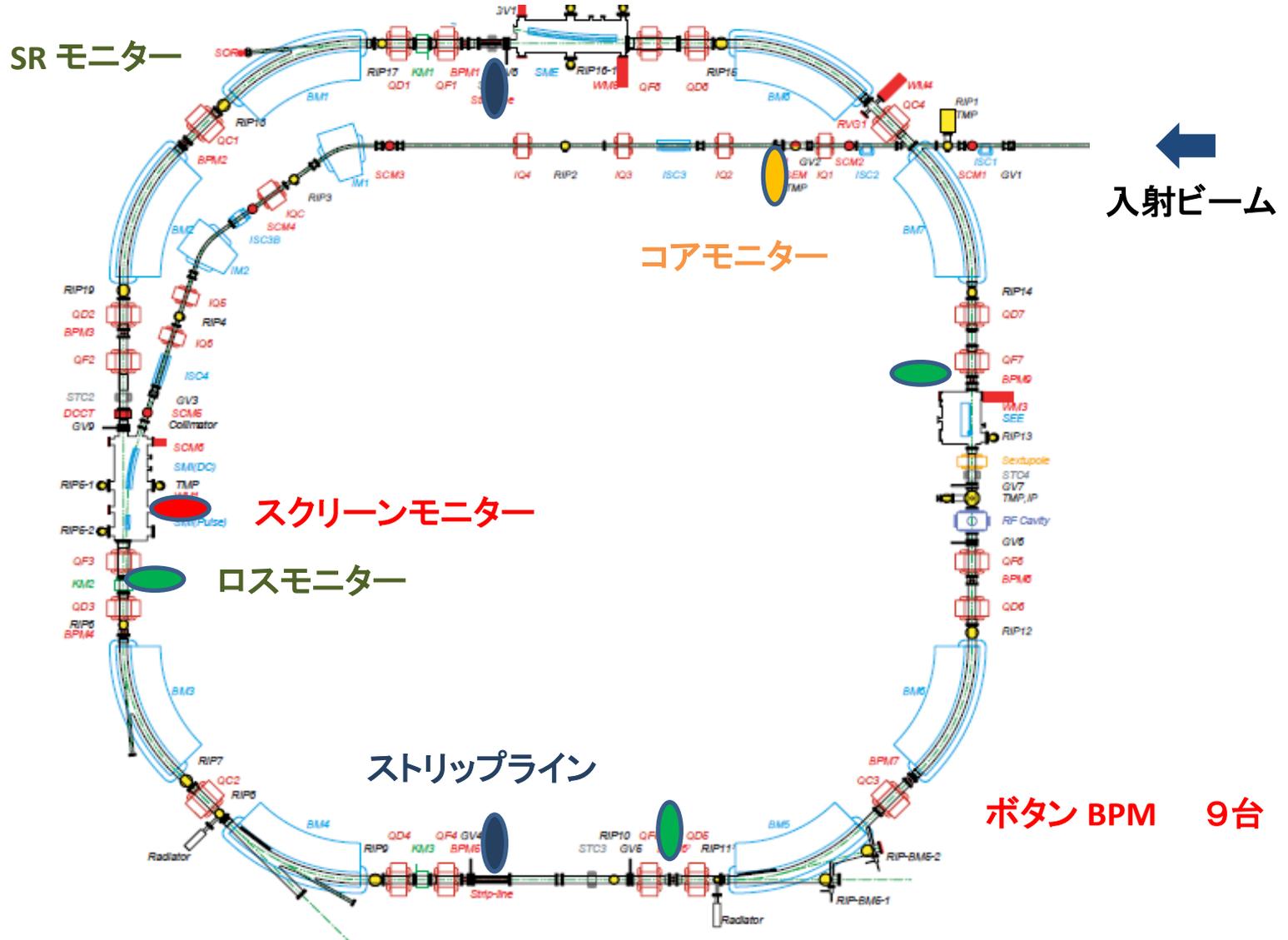
## 経緯

- 5月下旬＞  
更新した制御系の配線作業や、制御プログラムの開発などを並行して行いながら、コミッショニングを開始
- 6月7日＞  
リング内に多数回のビームの周回を確認
- 6月13日＞  
入射ビームのRF捕獲に成功
- 7月10日＞  
最高エネルギー(約 1.3 GeV)の加速に成功  
(ビーム電流  $\sim 2$  mA)
- 現在＞  
基礎データ確認と周回電流の向上を図っている



東北大学

# リングのモニターの配置図





東北大学

# 運転開始初期のビーム周回の様子



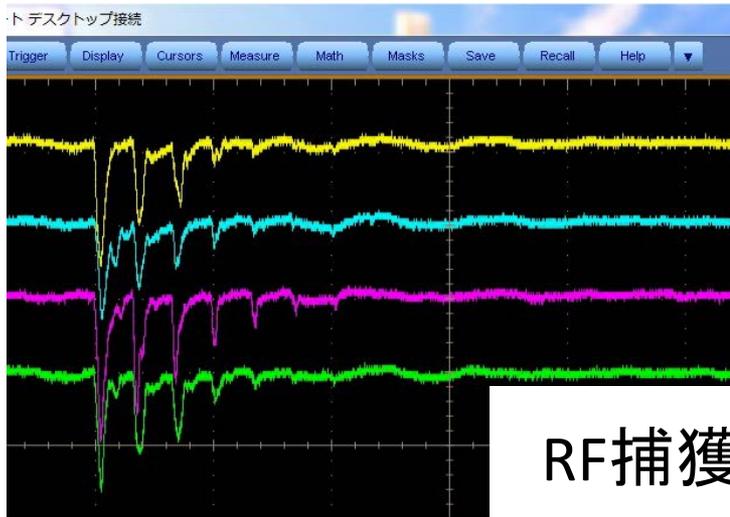
パルス幅 ~200 ns 以下  
電流 ~20 mA  
エミッタンス  $\varepsilon_n < 10 \text{ mm mrad}$



東北大学

# ビーム周回の様子

## 運転開始初期 (6/7)



## ストリップラインモニター

## RF捕獲成功の際 (6/13)





# ビーム入射について

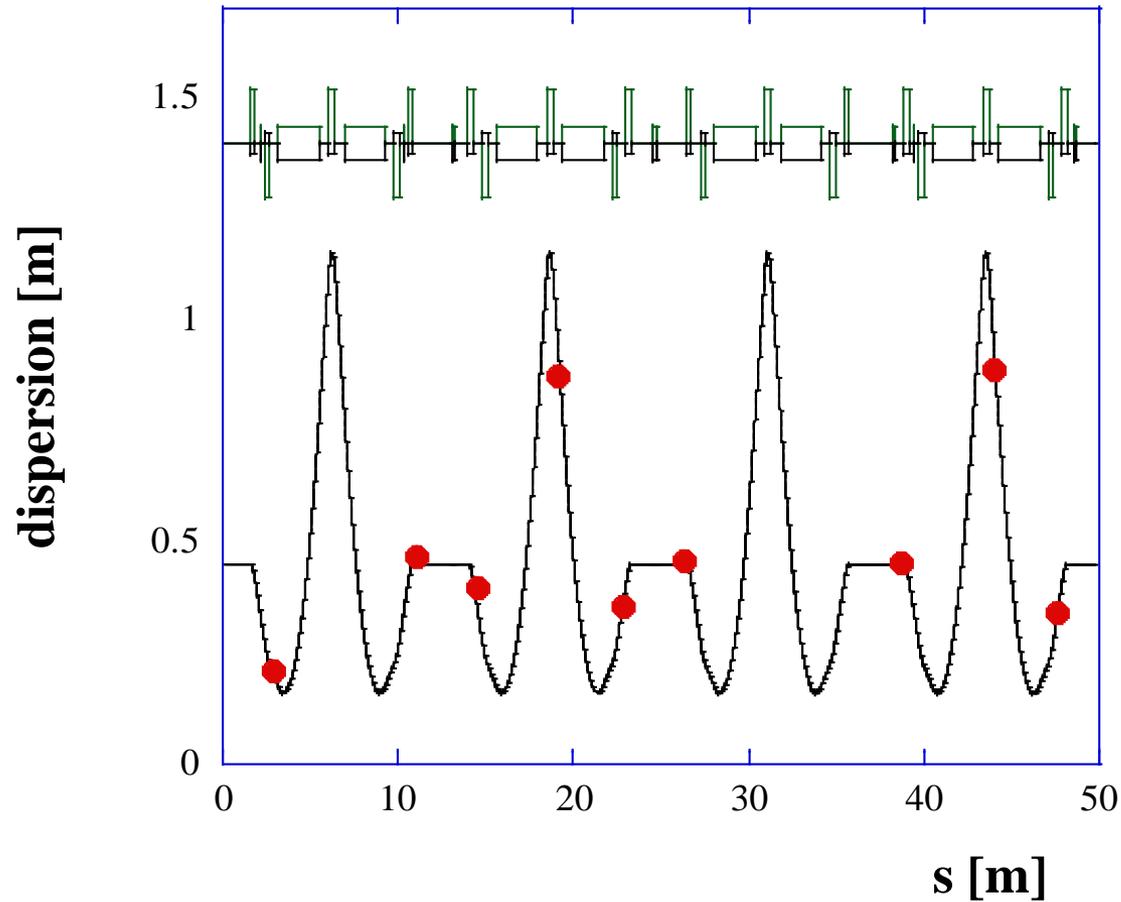
- 機能複合型四極電磁石
  - 入射時の大振幅のビームに対する六極磁場の影響  
(バンプ内側の六極磁場の存在が不可避)
- 低エネルギー( 90 MeV )の入射ビームに対して放射減衰に要する時間が10 秒オーダー
  - ～ 現状の残留ガスによるビーム寿命と同程度
  - \* 減衰したビームのチューンやクロマティシティの測定が困難
  - \* 現在は入射直後の大振幅のビームでチューン測定  
(振幅依存のチューンシフトの影響有)
- 振動振幅の減衰を待てない
  - 通常のビームのスタッキングも期待できない
  - 現在は, 入射後ただちにビーム加速している  
(まずは加速したビームを用いて基礎データを確認中)



東北大学

# ディスページョンの測定

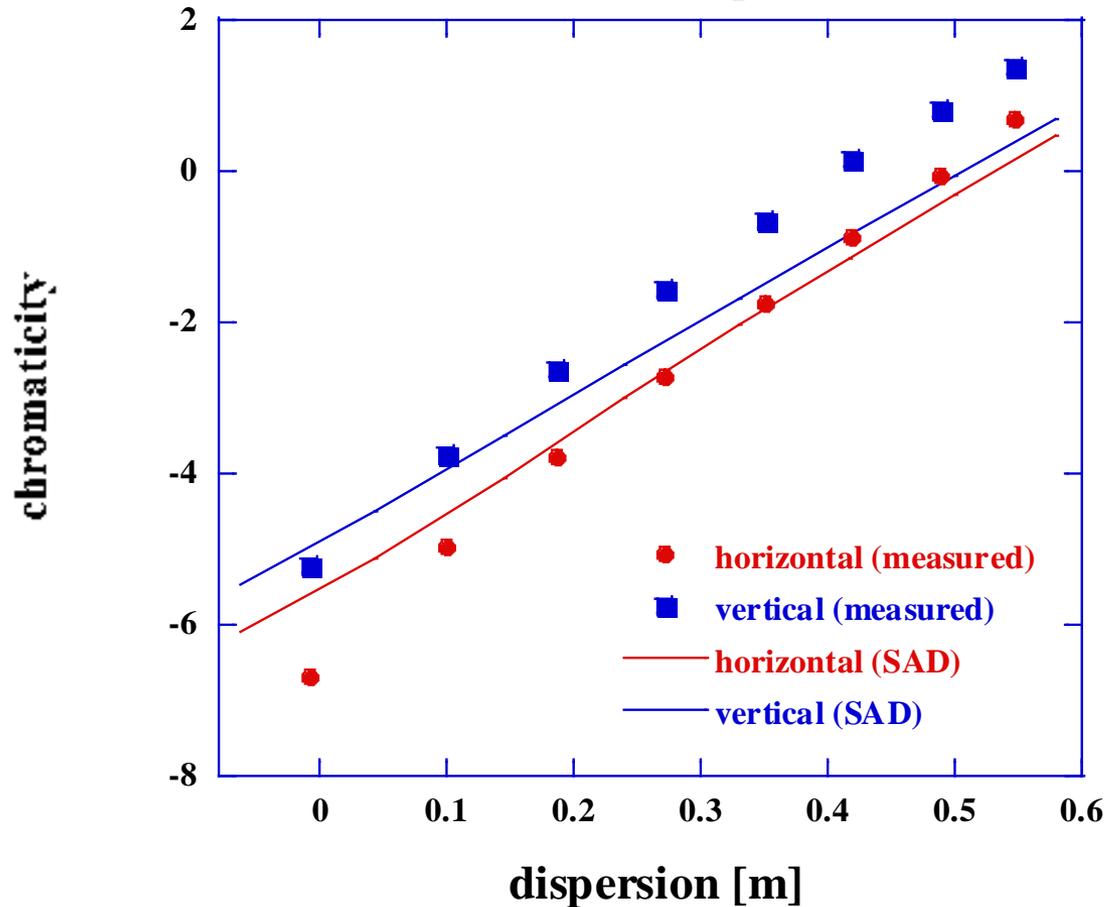
$E_B = 900 \text{ MeV}$





# 分散関数とクロマティシティ補正

$E_B = 900 \text{ MeV}$



## チューンの測定

ビーム電流 少ない  
ピックアップ信号使えない  
↓  
単一周波数で掃引しながら  
ビームを蹴って放射光を  
モニターして, 共鳴周波数  
を観測している

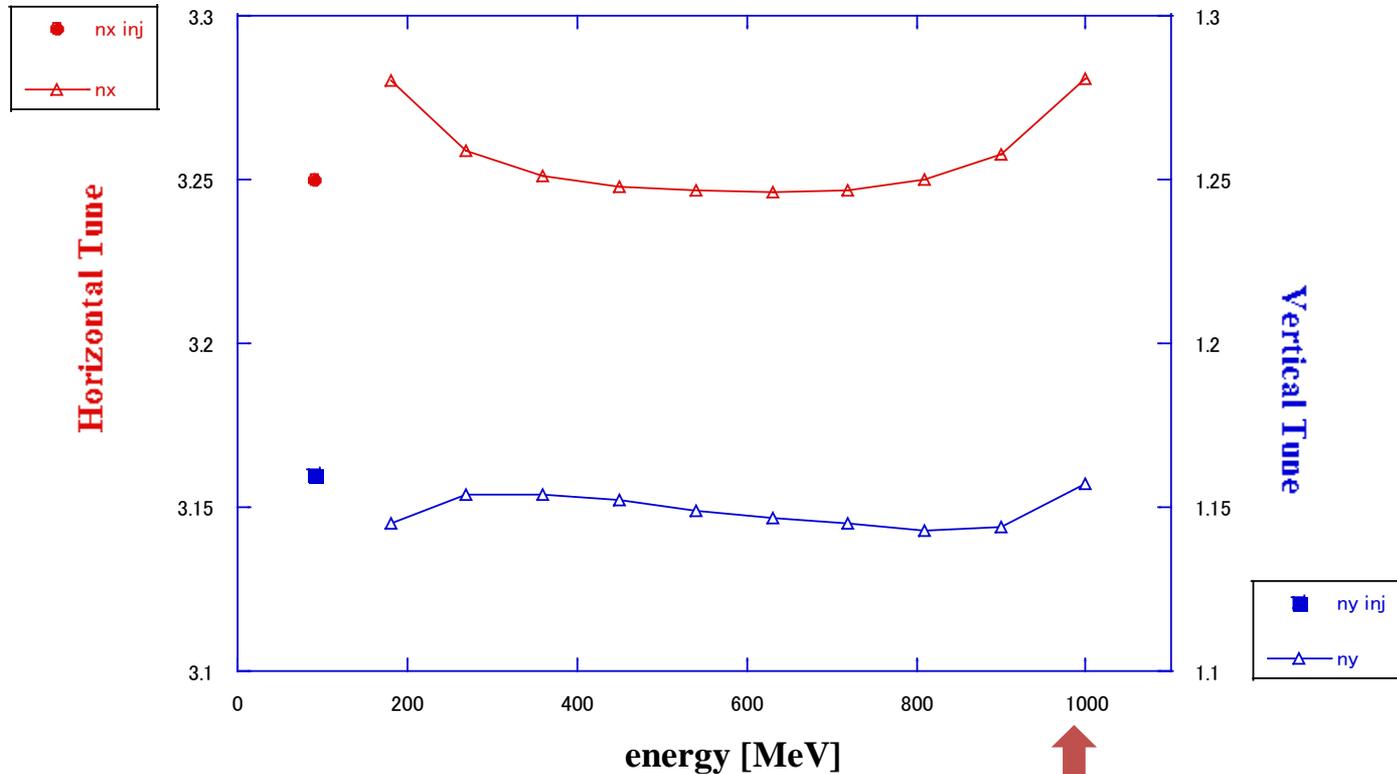
分散関数の調整によるクロマティシティの補正を確認できた



東北大学

# 磁石設定をスケールした際のチューン

クロマティシティ補正 無し



偏向電磁石が飽和し始める領域

CODは、概ね変化していない

実際にはパターン運転時の動的なチューンの観測が必要



## まとめ

- 震災後2年以上にわたり復旧作業を続けてきたが、5月より試験運転開始し、7月に最高エネルギーに到達
- しかし未だビーム電流は少なく、ビームの理解も不十分  
本年後半の共同利用再開を目指して、ビーム調整を進める
- 現状ではヘッドテール不安定性が起きるような高電流の運転が出来ていない(加速初期のビーム損失も多い)  
当初の目的であったクロマティシティの補正を確認できた  
→ かつて200 MeVでのヘッドテール不安定性の閾値が5 mA程度だった  
ので、今回の改修で今後の高度化に期待
- 真空系の改善は大前提であるが、将来的な放射光利用等の新しいアプリケーションも可能となるように、今後の復興への道筋をつけている



東北大学

## 謝辞

今回の復旧作業に際しては、多くの方々のご協力を頂き、  
ようやくビーム運転の再開に至りました。

*SIGMAPHI* :

機能複合型四極電磁石の製作・アラインメント

**(株) 東芝及び東芝三菱電機産業システム株式会社** :

シンクロトロン電源の更新

**日新パルス電子株式会社** :

入射用パルス電源の更新

**KEK真空グループの金澤先生をはじめ関係者の皆様** :

多数のNEGポンプの移譲

ここに改めて感謝の意を表します。