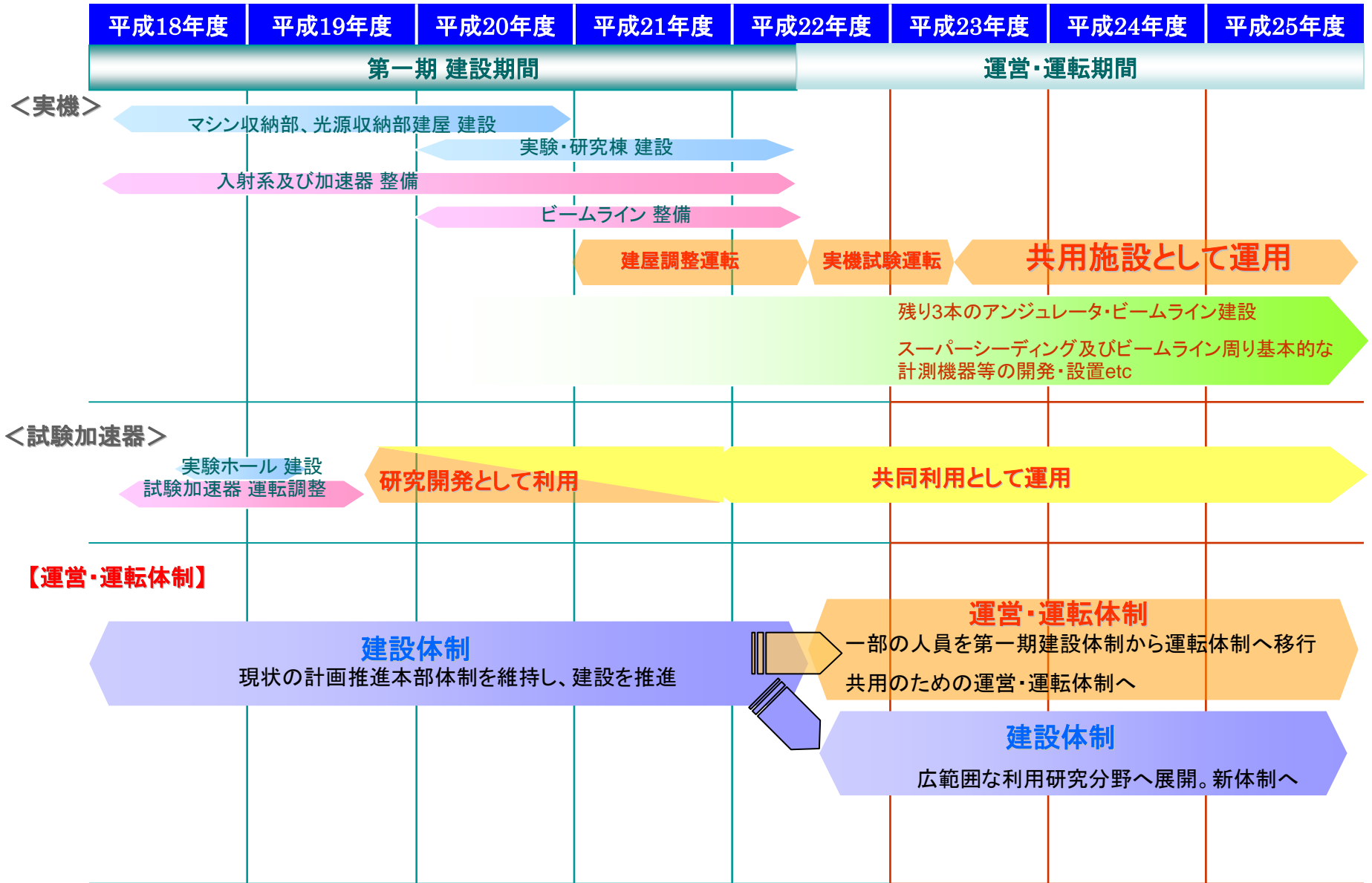


# 「開発」に関する説明資料

XFEL計画推進本部  
プロジェクトリーダー  
石川 哲也

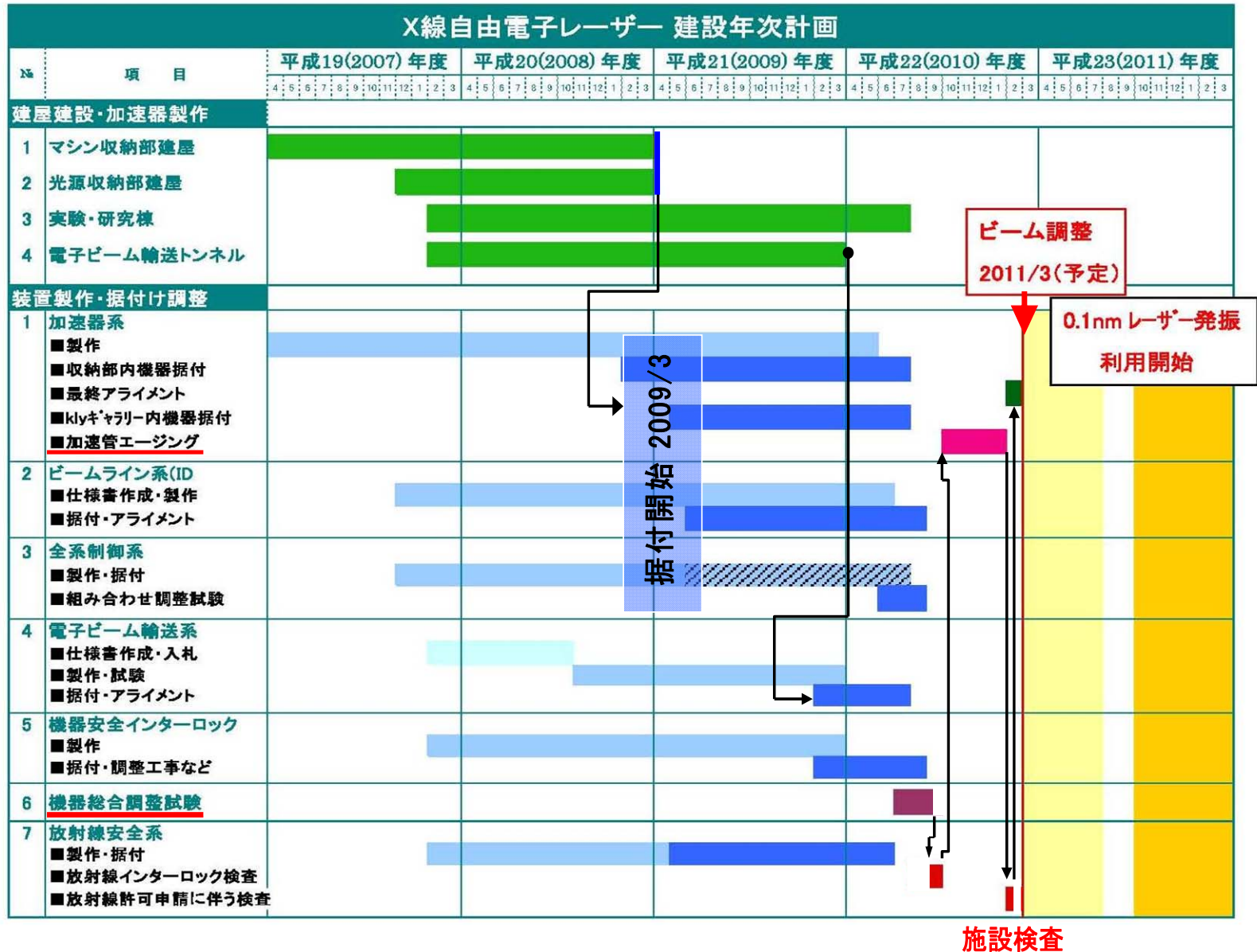
# 1-1 進捗状況 (XFEL計画ロードマップ)

建設開始時の建設・要素技術開発の計画表及びその進捗状況



# 1-1 進捗状況（建設年次計画表）

建設開始時の建設・要素技術開発の計画表及びその進捗状況



## 1-1 進捗状況 (XFELの基本設計パラメータ)

### 電子ビームの必要性能

電子ビームのエネルギー	8GeV
電荷 (single and multi)	1nC/パルス, 1nC/パルス × 40p
規格化スライスエミッタンス	1 $\pi$ mm $\cdot$ mrad以下(rms)
バンチ長	0.1ps (FWHM) 以下
ピーク電流値	3kA以上
スライスエネルギー拡がり	0.01%以下
エネルギー安定度	0.01%以下
繰り返し	60Hz

### レーザー波長

真空封止アンジュレータ	0.06nm
磁気回路	18セグメント、5m/セグメント ハイブリッド型磁気回路
周期長、周期数	18mm、277
ギャップ長	4mm @8GeV、5mm@7GeV

# 1-1 進捗状況（入射器）

## 高品質電子ビーム源の開発が終了し実機電子銃の製作を開始

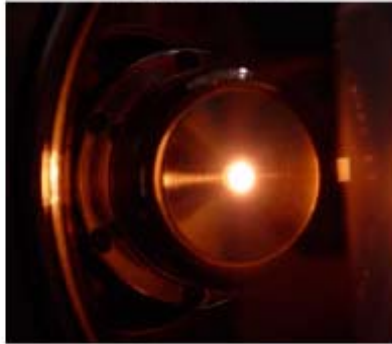
輝度が高く、エネルギーの揃った、位置と形状と  
ビーム強度の時間変化の小さいビーム

CeB<sub>6</sub>カソード寿命： SCSS試験器で約2万時間  
の運用上十分な寿命を達成(約4年間)

Cathode Assembly



Heated Cathode

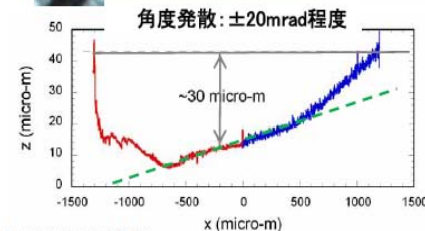
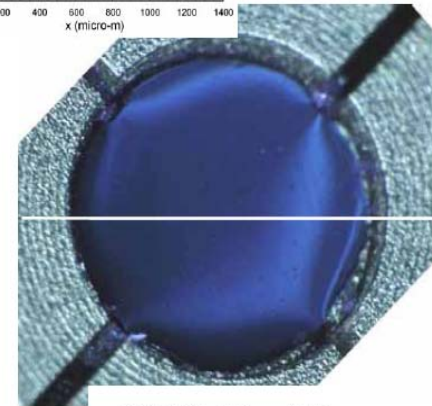
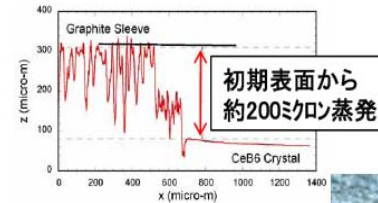


CeB<sub>6</sub>直流電子銃 直径:3mm、1500°C  
規格化エミッタンス(理論値)  $0.4 \pi \text{ mm} \cdot \text{mrad}$

電子銃出口でのビーム性能(テストスタンド)

ビームエネルギー	500keV
ピーク電流	1 A
パルス幅(FWHM)	3 $\mu \text{ sec}$
繰り返し	10Hz(定格60Hz)
規格化エミッタンス (90%core)	$0.6 \pi \text{ mm} \cdot \text{mrad}$

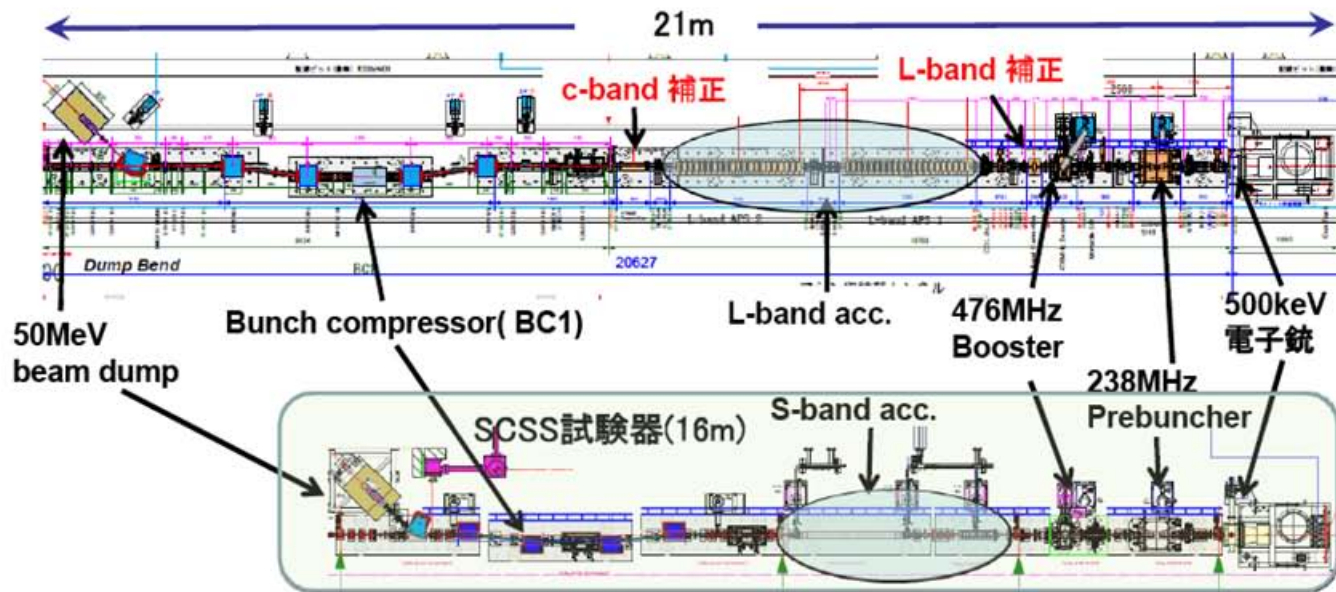
科学技術的観点からビーム強度の低減  
の原因を超深度形状測定顕微鏡および  
蛍光X線による分析等で調査中



超深度形状測定顕微鏡



# XFELの入射器部：SCSS試験器の結果をもとに最適化(レーズングに必要なビーム性能を決定)



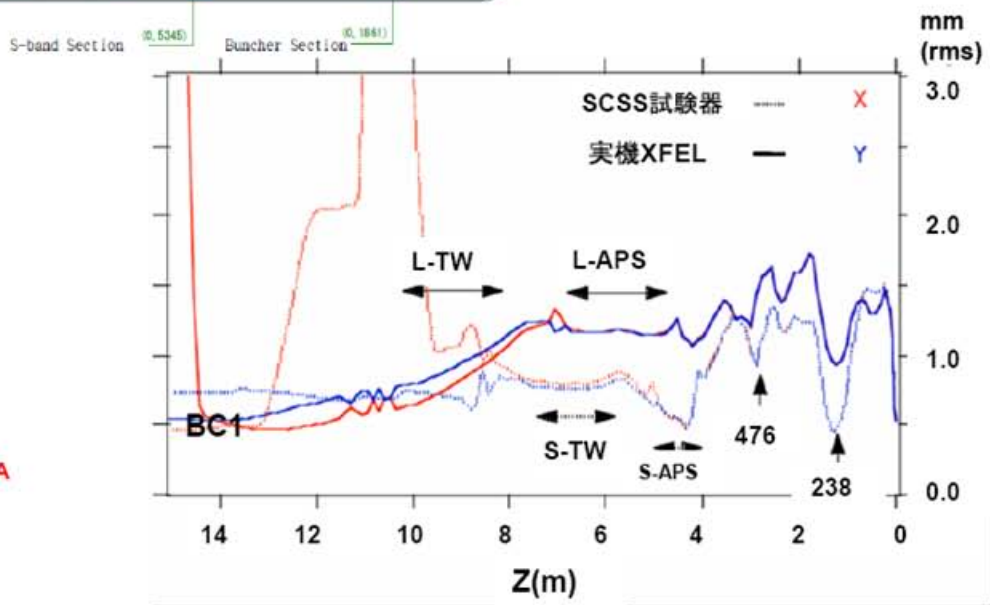
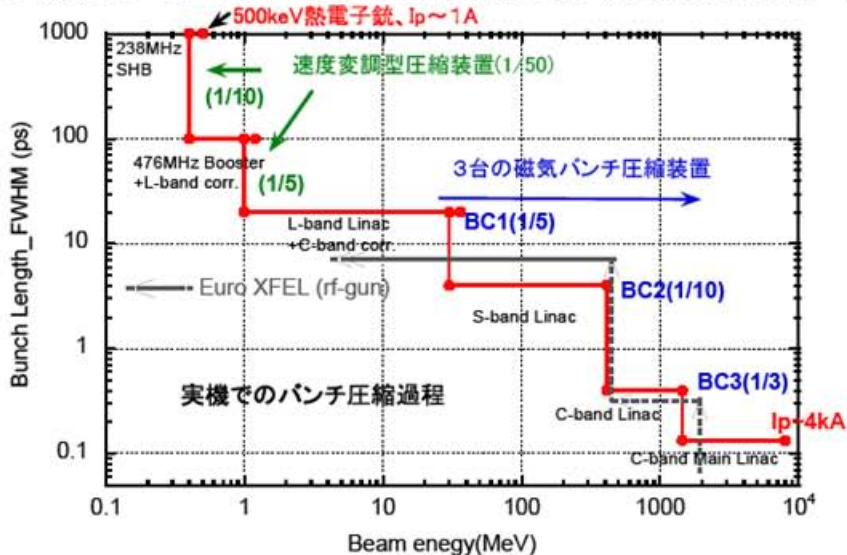
**圧縮過程での非線形性の補正**  
 実機では  
 L-bandとC-band補正空洞を追加

**空間電荷効果の抑制**

$$F_{sp} = \frac{2I}{(\beta\gamma)^2 I_A \beta_{x,y} \epsilon_N} r$$

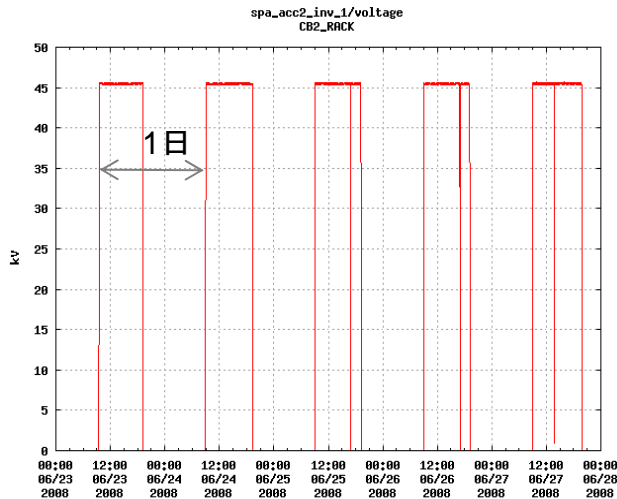
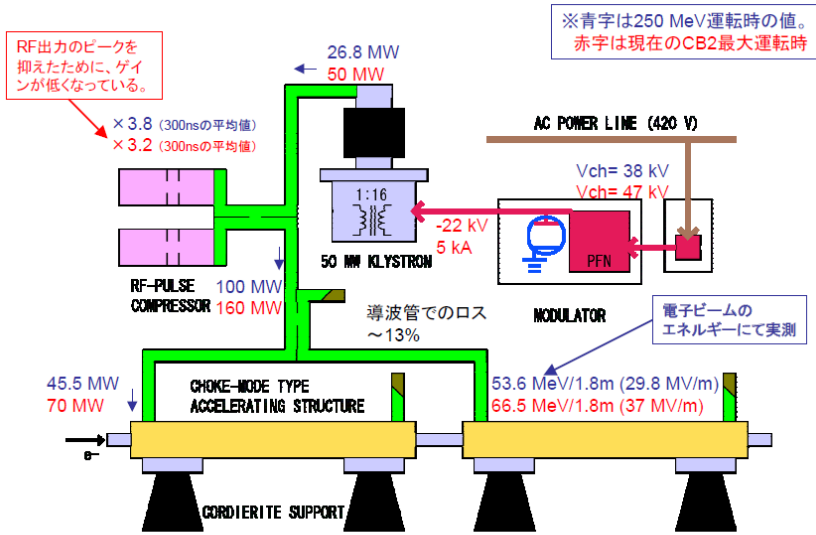
実機では  
 1MeVでの圧縮率を  
 試験器での1/100から1/50  
 低エネルギー部でのビームサイズを  
 試験器の1.5倍に

パンチ長を、ビームエネルギーに対する空間電荷効果が一定になるように圧縮



# 1-1 進捗状況(加速器・加速管)

## C-band 加速管の運転状況と実機製作状況

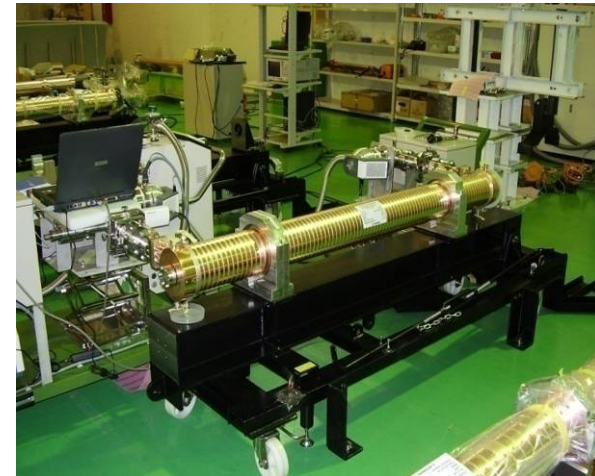


SCSS試験器で37MV/mの加速電界で放電等による停止が5日間で3回と非常に安定な運転を継続中

C-band SLED



C-band加速管



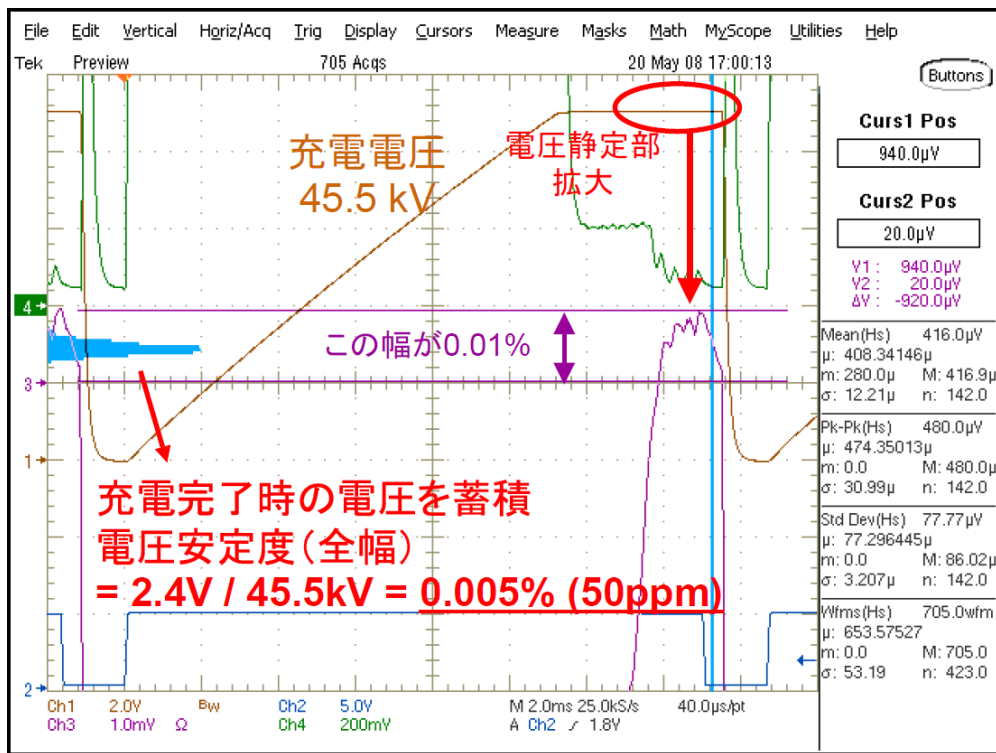
37MV/mの加速電界を達成

### 主加速器高周波機器の製作状況

C-band加速管: 月産5本程度で割合で製作中、その他、SLED、ダミーロード、導波管、クリストロン等の製作・納入も計画通り。S-band (4ユニット)関係機器は全て納入。今後、テストスタンドで各機器の性能をサンプルリングでチェックする予定

# 1-1 進捗状況 (加速器・電源関係)

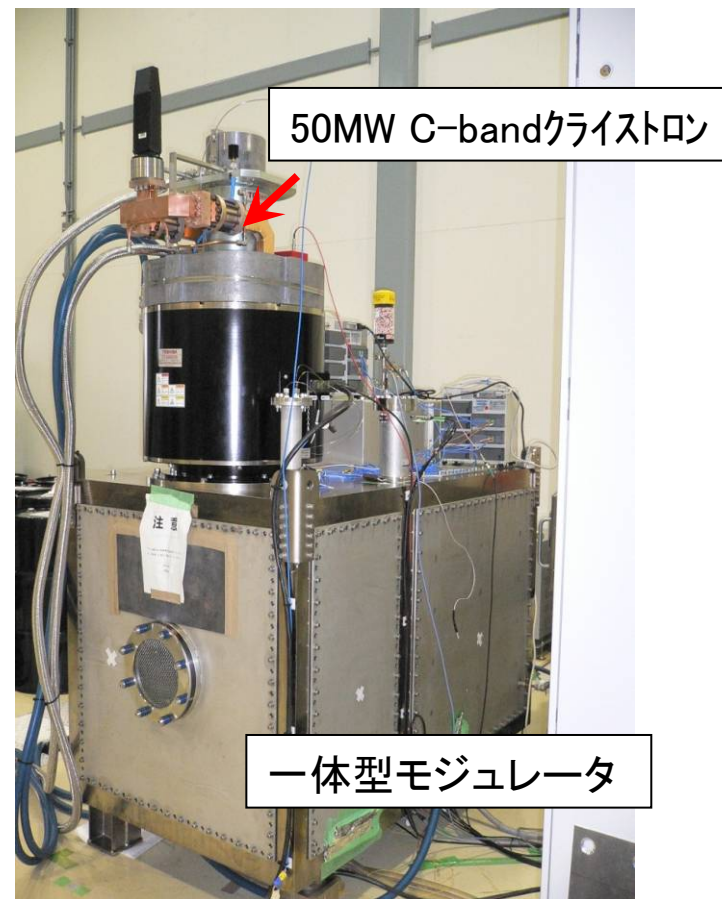
50kV高電圧インバータ電源 :  
主充電器+補充充電器方式  
電圧安定度(測定器誤差を含め) :  $<0.005\%_{p-p}$



XFELの要求値、クライストロン用で0.01%(σ),電子銃用で0.003%(σ)をクリアー

加速器システムの安定化のため、受電ラインで高調波対策を実施予定

一体型モジュレータ:  
SCSS試験器でのオイル密閉型モジュレータの実績をもとにクライストロンタンクとモジュレータタンクを統合、設置床面積を以前の分離型の約1/3に、同時に低ノイズ化と高信頼性を実現





# 1-1 進捗状況（電子ビーム診断・制御）

PARMELAとELEGANTを用いた3次元トラッキングによる電子ビームの性能評価

PARMELA (GunからBC1までの30MeV以下の低エネルギー部)

(空間電荷効果を含み、CSRと加速管のwake field は含まず)

試験器でのビームサイズ、バンチ長のエネルギー依存性をよく再現

ELEGANT (S-band以降の高エネルギー部)

(空間電荷効果を含まず、CSRと加速管のwake fieldを含む)

## 電子ビームの初期条件

Φ5mmのdeflectorを通過後の電流値が1Aになるように電子銃からの電流を1.4Aとし、その他は試験器でのビームシュミレーションと同一条件

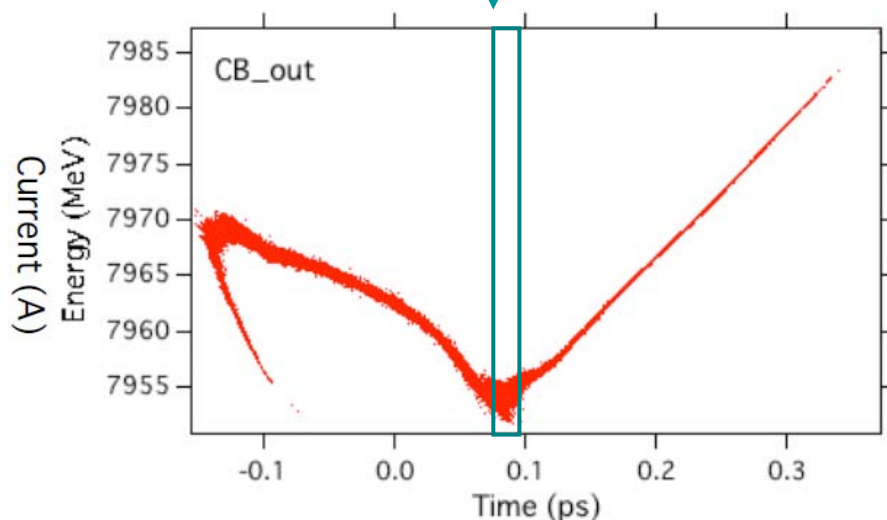
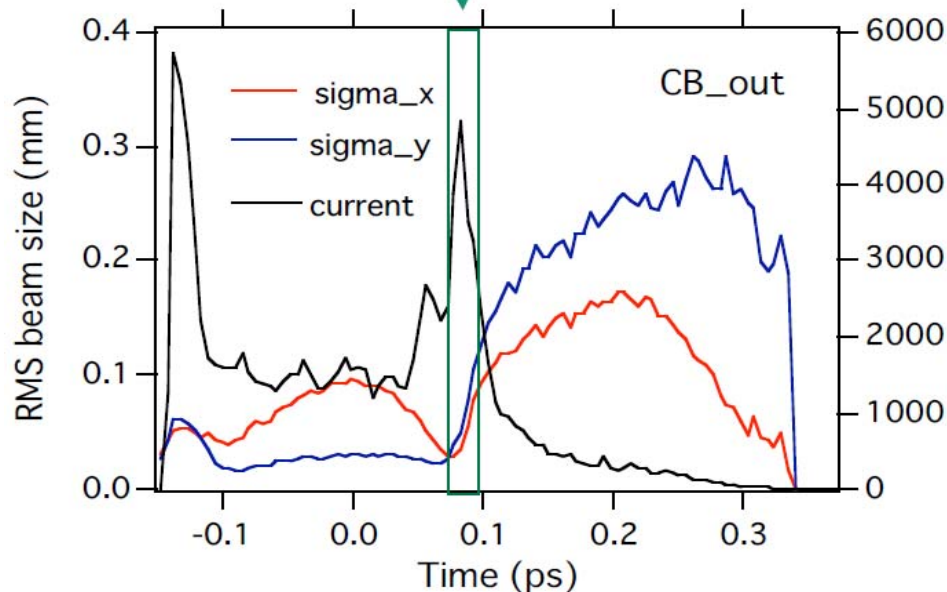
## 8GeVでレージングするための電子ビームの必要性能

Energy	8 GeV
Energy Stability	$\pm 1 \times 10^{-4}$ (1-sigma)
Peak Current	>3.35 kA
Current Stability	$\pm 10\%$ (1-sigma)
Normalized Emittance	$< 1\pi$ mm mrad (rms, sliced)
Bunch Length	~0.1 ps (FWHM)
Repetition Rate	60 Hz

# 計算機シミュレーションによる電子ビームの性能評価

レーザー発振の要求をほぼ満たす

レーザー発振部分



8GeVでのビーム性能(計算値)

規格化スライスエミッタンス

1.1  $\pi$  mm/mrad

スライスエネルギー拡がり

~0.006%

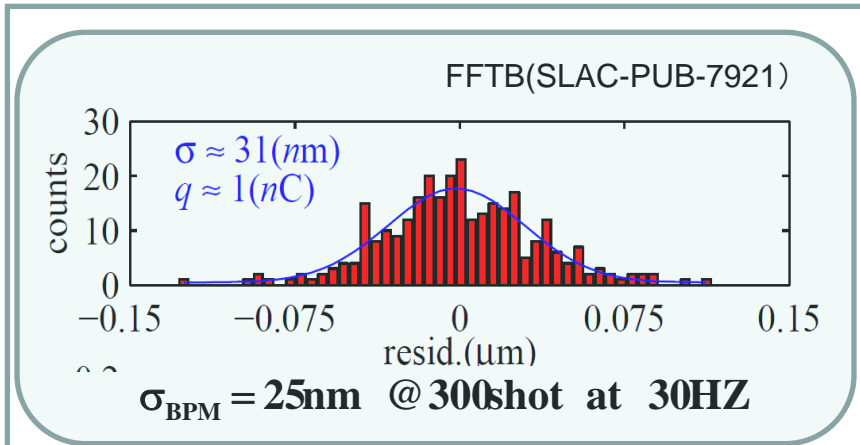
ピーク電流

4.5kA

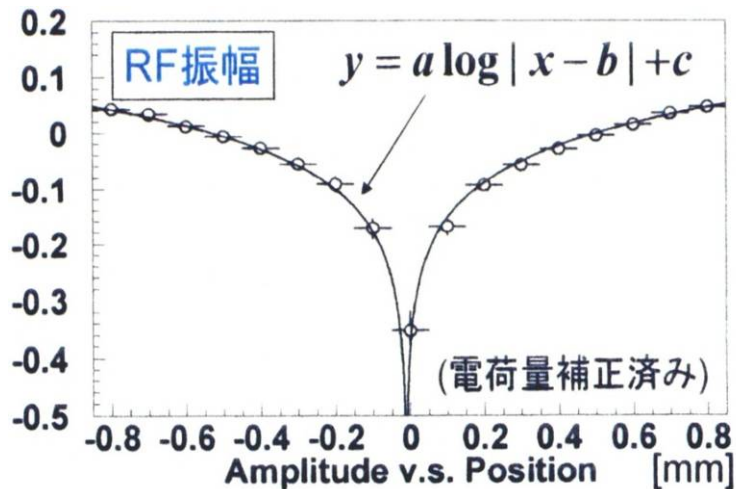
3kA以上の発振に寄与する部分

20fs

# 空洞型BPMの性能と四極電磁石磁場中心の較正装置

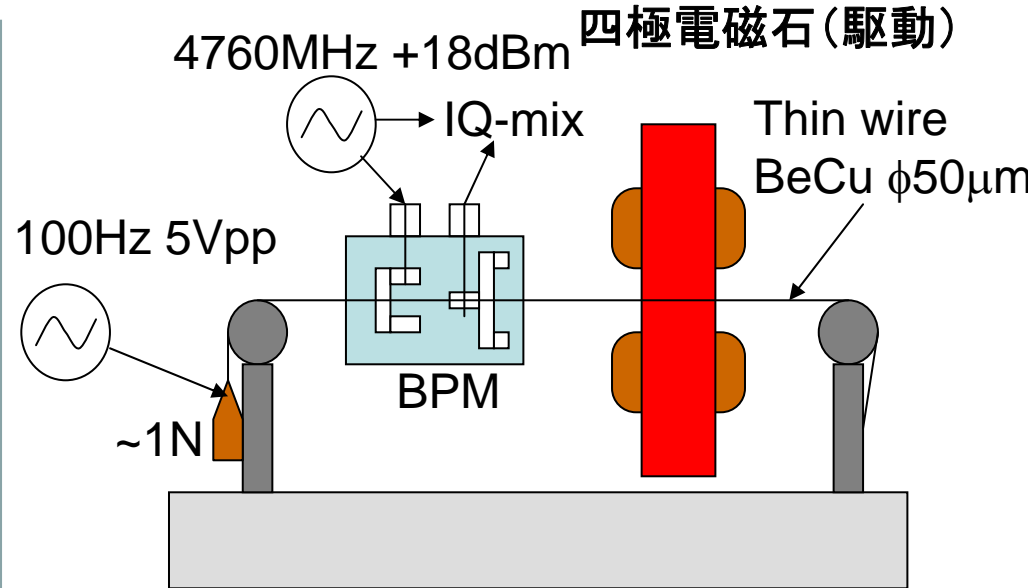


## 空洞型BPM の測定精度

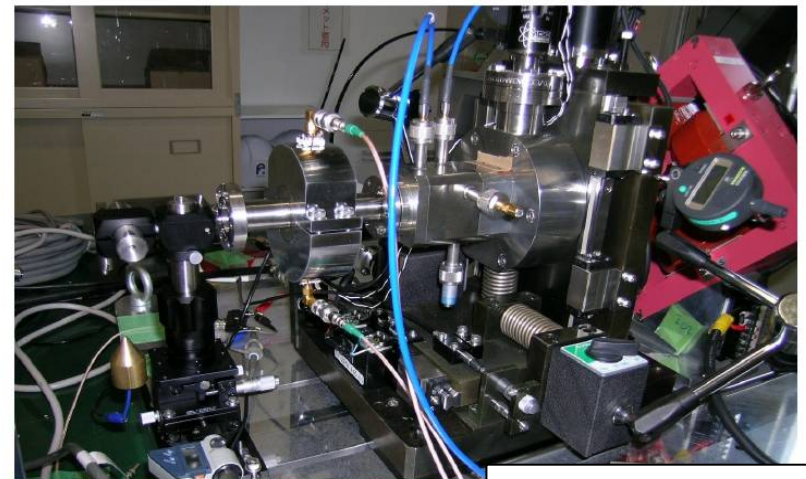


空洞型BPMのダイナミックレンジ:

精度は別として±数mmの範囲で検出可能



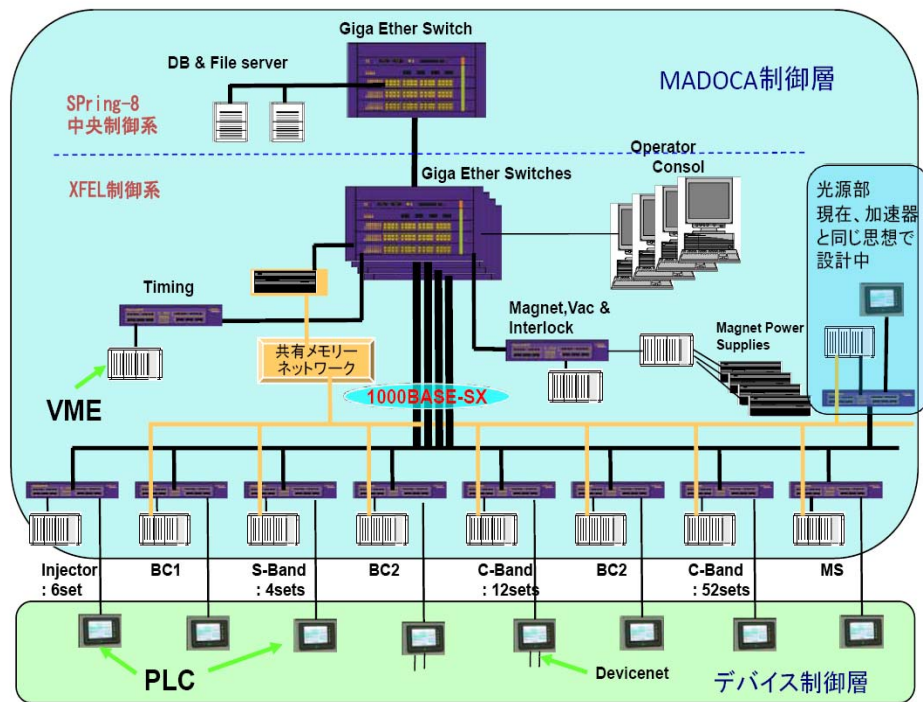
四極電磁石の磁場中心に対してBPMの中心を  
**10  $\mu\text{m}$ の精度で較正、要求精度50  $\mu\text{m}$ を達成**



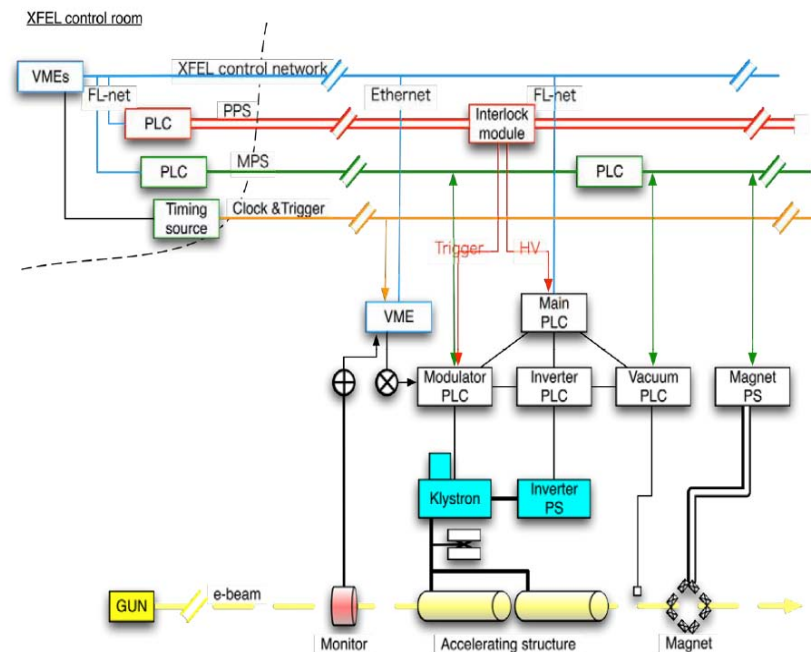
試験較正装置

# XFEL全系制御およびインターロック(PPS,MPS)システムの概要

SCSS試験器およびSPring-8で培われた制御に関する人的技術的資源を活用して制御システムを構築、  
2007年度、光源部を除く制御システムの発注をほぼ終了



制御全系システムの概要



全系インターロックシステムの概要