

# SACLA BL1 極紫外線FEL用加速器 の建設とRFコンディショニング

櫻井辰幸<sup>#, A)</sup>, 安積隆夫<sup>A)</sup>, 安積則義<sup>A)</sup>, 稲垣隆宏<sup>A)</sup>, 大島隆<sup>A)</sup>, 木村洋昭<sup>B)</sup>, 金城良太<sup>A)</sup>, 近藤力<sup>A)</sup>, 武部英樹<sup>A)</sup>, 田中隆次<sup>A)</sup>, 渡川和晃<sup>A)</sup>, 長谷川照晃<sup>A)</sup>, 原徹<sup>A)</sup>, 備前輝彦<sup>B)</sup>, 細田直康<sup>A)</sup>, 前坂比呂和<sup>A)</sup>, 松井佐久夫<sup>A)</sup>, 松原伸一<sup>B)</sup>, 大竹雄次<sup>A)</sup>, 田中均<sup>A)</sup>, 石川哲也<sup>A)</sup>

A) 国立研究開発法人理化学研究所 放射光科学総合研究センター

B) 公益財団法人高輝度光科学研究センター

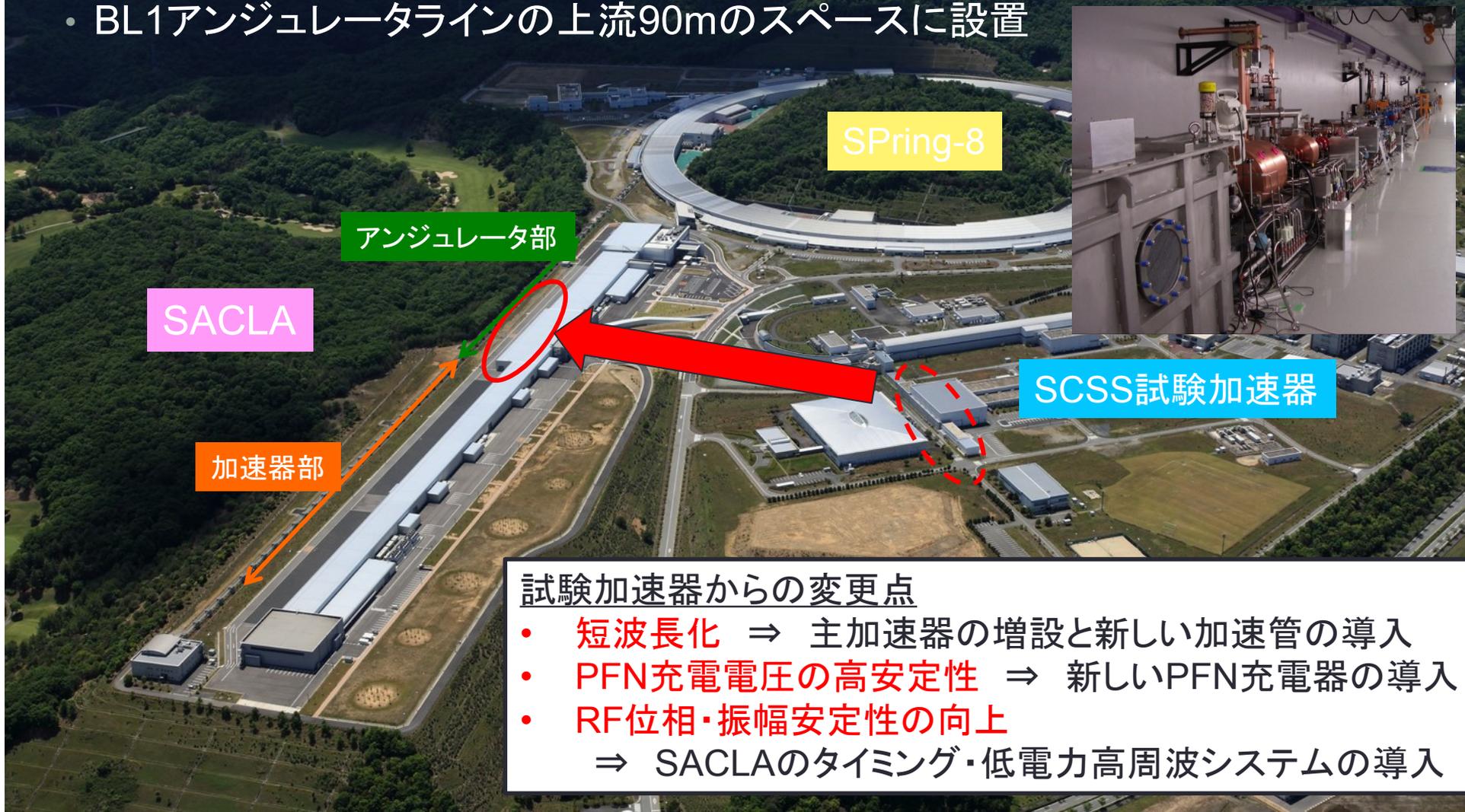


## はじめに

- SACLAは2012年3月より実験ユーザーへの供用運転を開始し、4～15 keVの硬X線領域のFELを提供し、様々な研究成果を上げている。
- また2本目のアンジュレータラインを設置し、電子ビームをshot-by-shotで振り分けて、2つのビームラインで同時に硬X線FELを供給するための整備を実施 [FROM11 原徹より発表]
- 我々はSACLAよりも長波長領域のFELの発振を目指し、新たな実験ユーザーの利用機会を拡大するために、SACLAと独立した加速器を設置することを進めている。

# 極紫外線FEL加速器の概要

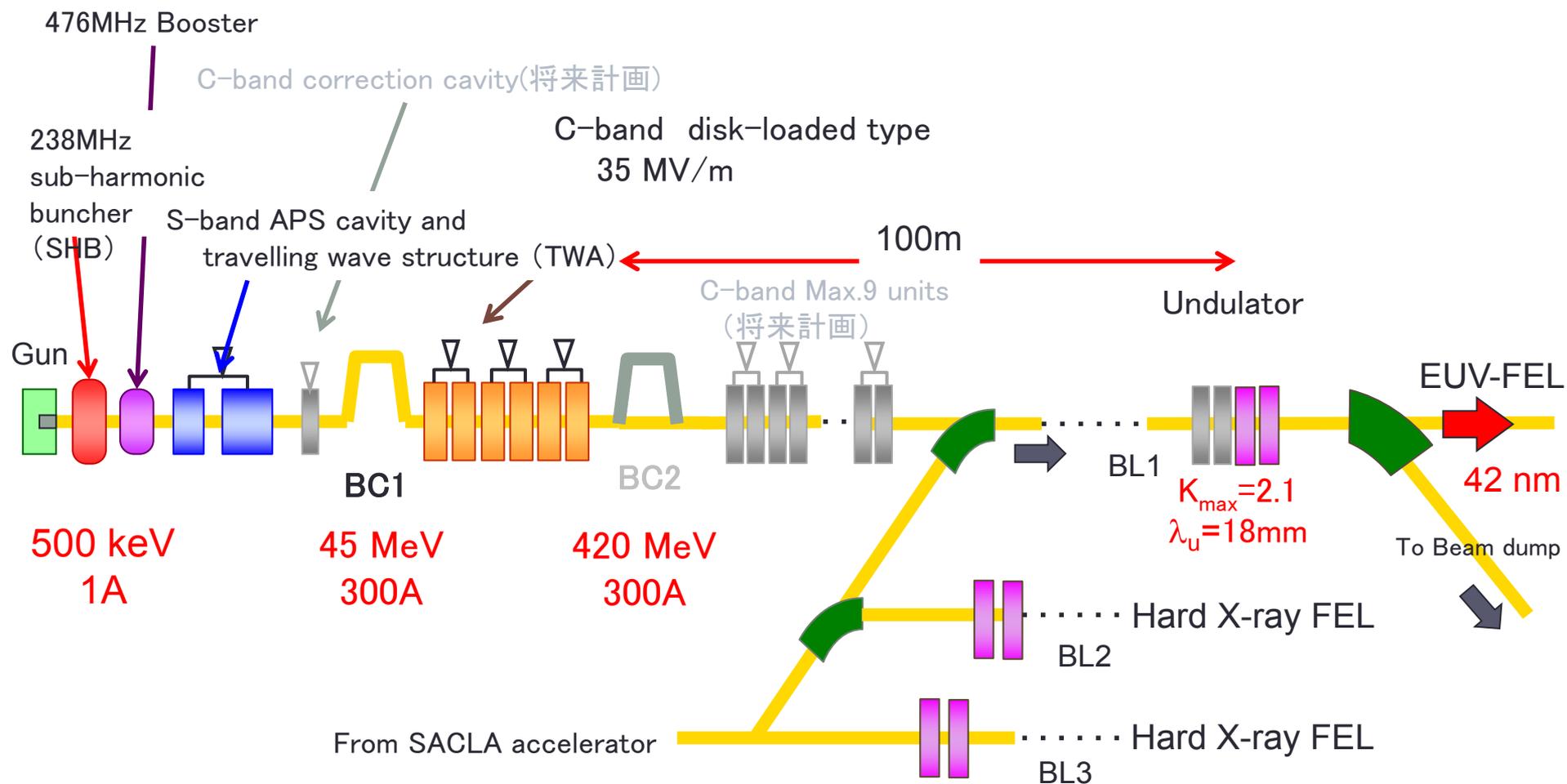
- SASEの原理の実証試験に使用したSCSS試験加速器を移設する
- BL1アンジュレータラインの上流90mのスペースに設置



## 試験加速器からの変更点

- **短波長化** ⇒ 主加速器の増設と新しい加速管の導入
- **PFN充電電圧の高安定性** ⇒ 新しいPFN充電器の導入
- **RF位相・振幅安定性の向上**  
⇒ SACLAのタイミング・低電力高周波システムの導入

# 極紫外線FEL用加速器の機器構成



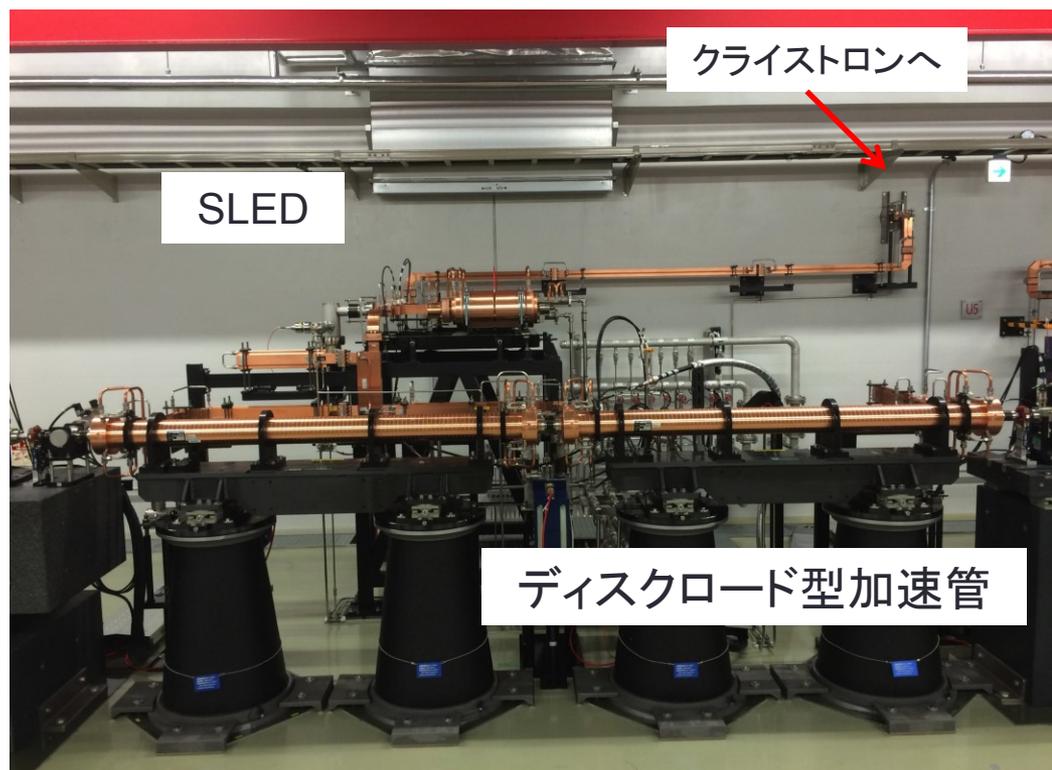
# 設計パラメータ

<b>Accelerator</b>	
Beam energy	420 MeV
Peak current	300A
Bunch charge	~0.3 nC
Repetition rate	60 Hz
Normalized Slice-emittance	$< 1\pi$ mm.mrad
<b>Undulator</b>	
Periodic length	18 mm
K value	2.1 (Max.)
Number of periods	460
<b>FEL</b>	
Wavelength	42 nm
Pulse energy	~100 $\mu$ J

# 試験加速器からの変更点：主加速器

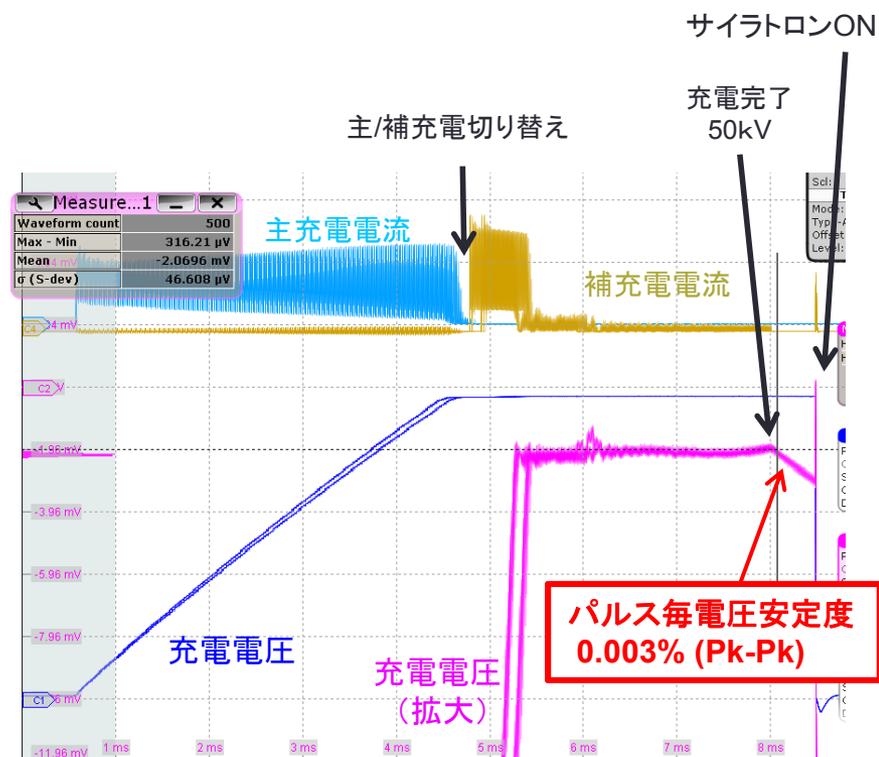
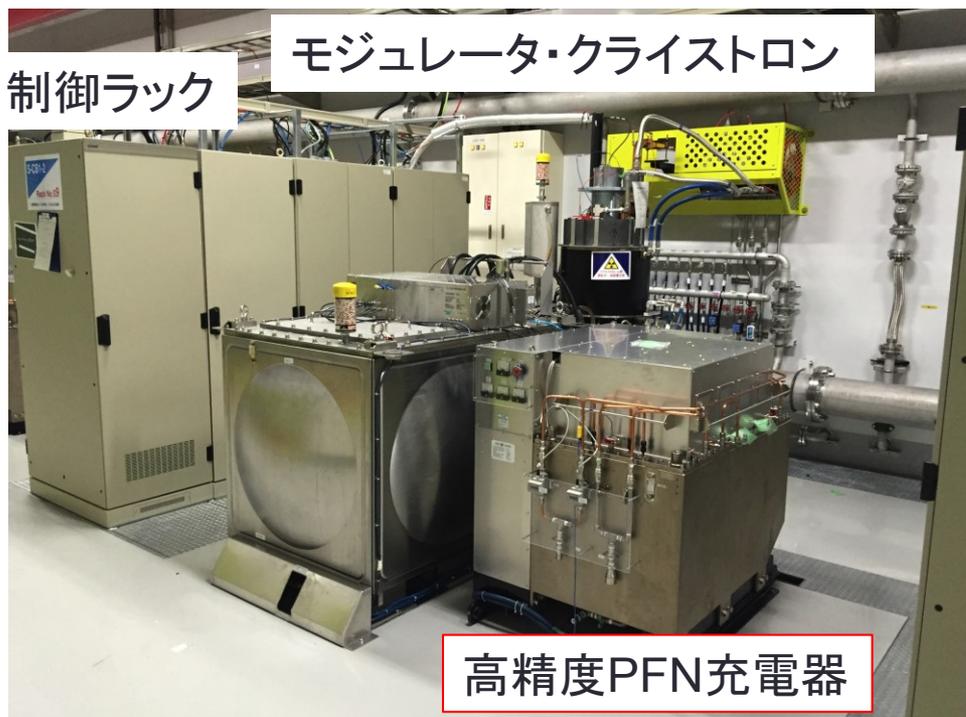
- 新しくデザインしたディスクロード型加速管を採用  
⇒ 既存空洞より加速電界が10%高くなる
- 主加速器のCバンド加速器：  
3ユニットに増設してエネルギーを増強

共振周波数	5712 MHz
加速構造	準定勾配ディスクロード型 TM01- $2\pi/3$
シャントインピーダンス	64 M $\Omega$ /m
$\tau$	0.54
Q	8900
$t_F$	271 nsec
加速管長	1.767 m



# 試験加速器からの変更点: PFN充電器の更新

- SCSSのPFN充電器は電圧安定度が不足 0.2% → 0.01% (Pk-Pk)
  - SACLAのPFN電源は60Hz運転に対して不安点が残っている
- ⇒ 60Hz運転に対して、不安点を解消し、高い信頼性を有する電源を開発した



# 極紫外線FELのスケジュール

2012年 SCSS試験加速器をSACLAに移設するための検討

6月 SCSS試験加速器の解体作業

8月 **SACLA BL1収納部への移設作業①**  
(238空洞～BC1まで)

～2014年3月 **増設機器の製作**

6月

8月 **SACLA BL1収納部への移設作業②**  
(電子銃・C-band加速管・導波管設置)

10月 RFコンディショニング (～2015年7月)

# EUV-FEL用加速器

電子銃

238MHz  
SHB

465MHz  
booster

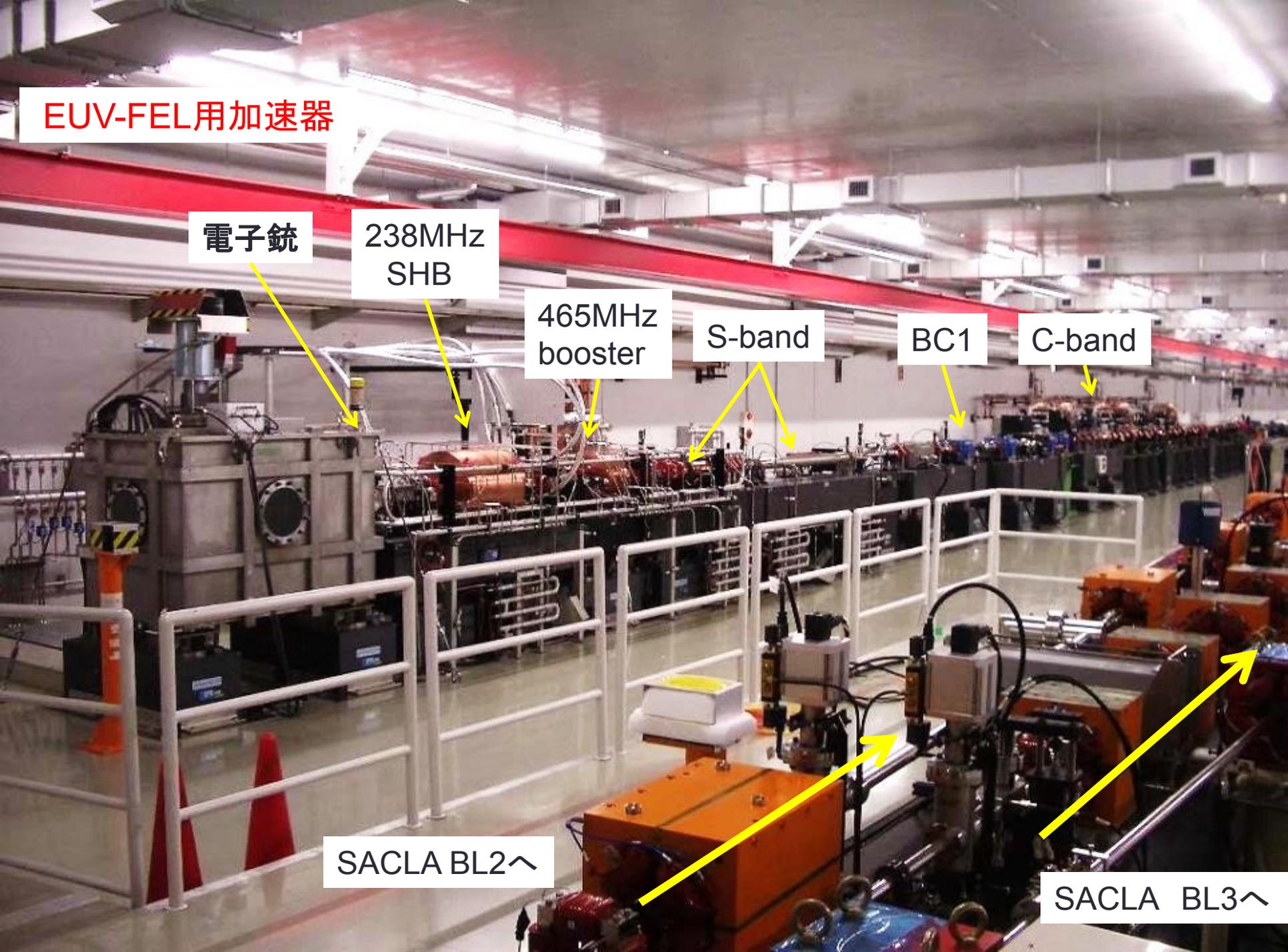
S-band

BC1

C-band

SACLA BL2~

SACLA BL3~



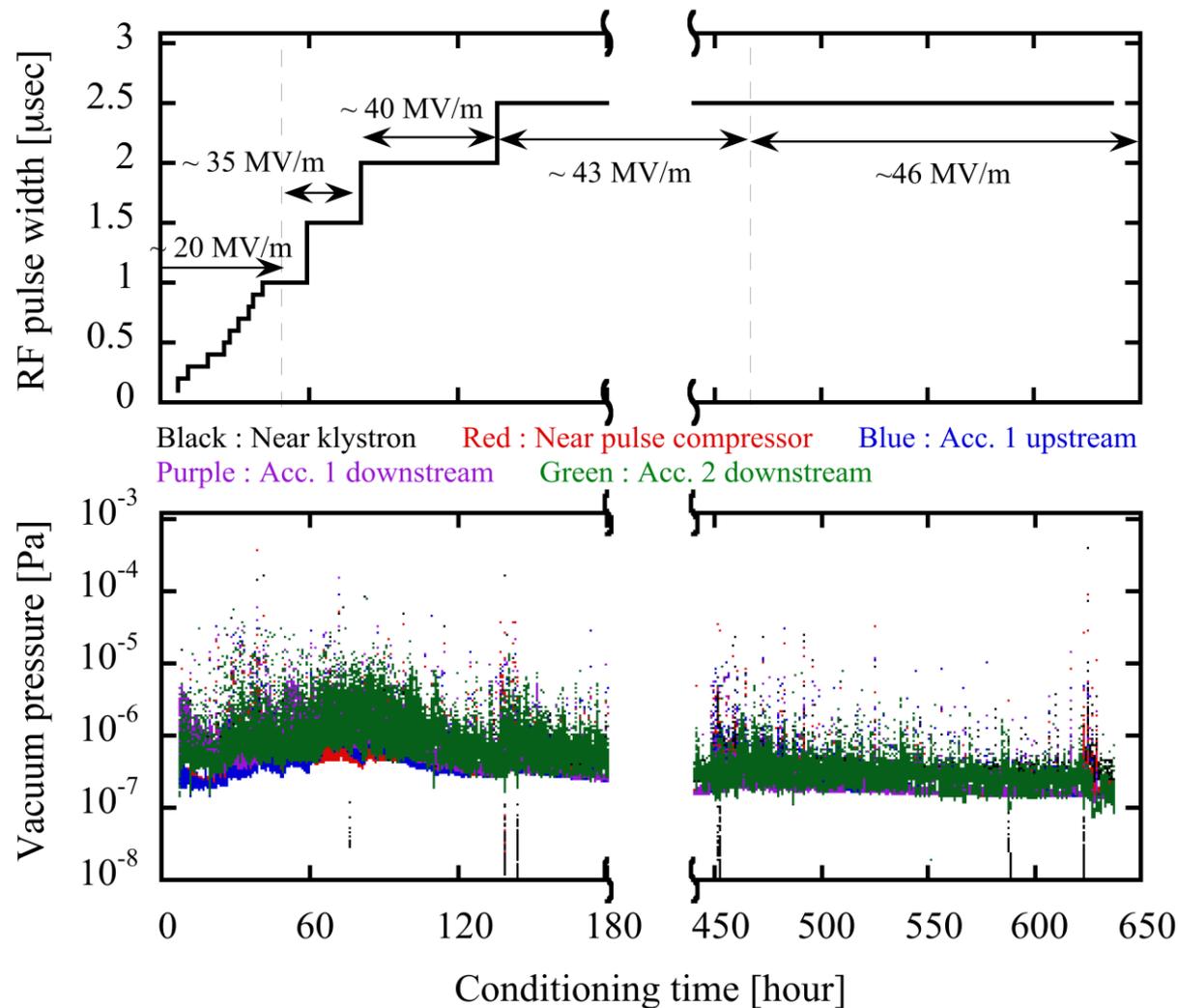
# RFコンディショニング

- 2014年10月より高電圧電源の立ち上げを開始。  
⇒ 終了後、RFコンディショニングを開始
- RFコンディショニングの目標
  - ・ **下表の加速電界が得られること**
  - ・ **60Hz運転において、加速器全体で1時間に1回程度の停止頻度**であること

	加速電界
238MHz Sub-harmonic buncher	200kV
476MHz Booster	800kV
S-band APS S-band TWA	20.6 MV/m 18.0MV/m
C-band	35 MV/m以上

以下では、新しくコンディショニングを行う  
C-band加速器について集中して報告します

# Cバンド加速器のRFコンディショニング履歴



Cバンド加速器は新品であるため、短いRFパルス幅から始め、少しずつ広げながらコンディショニングを行った。

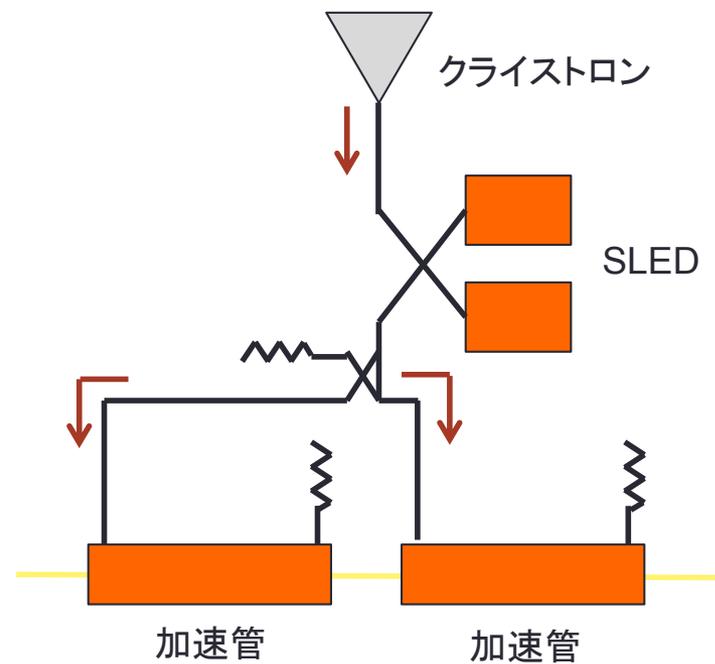
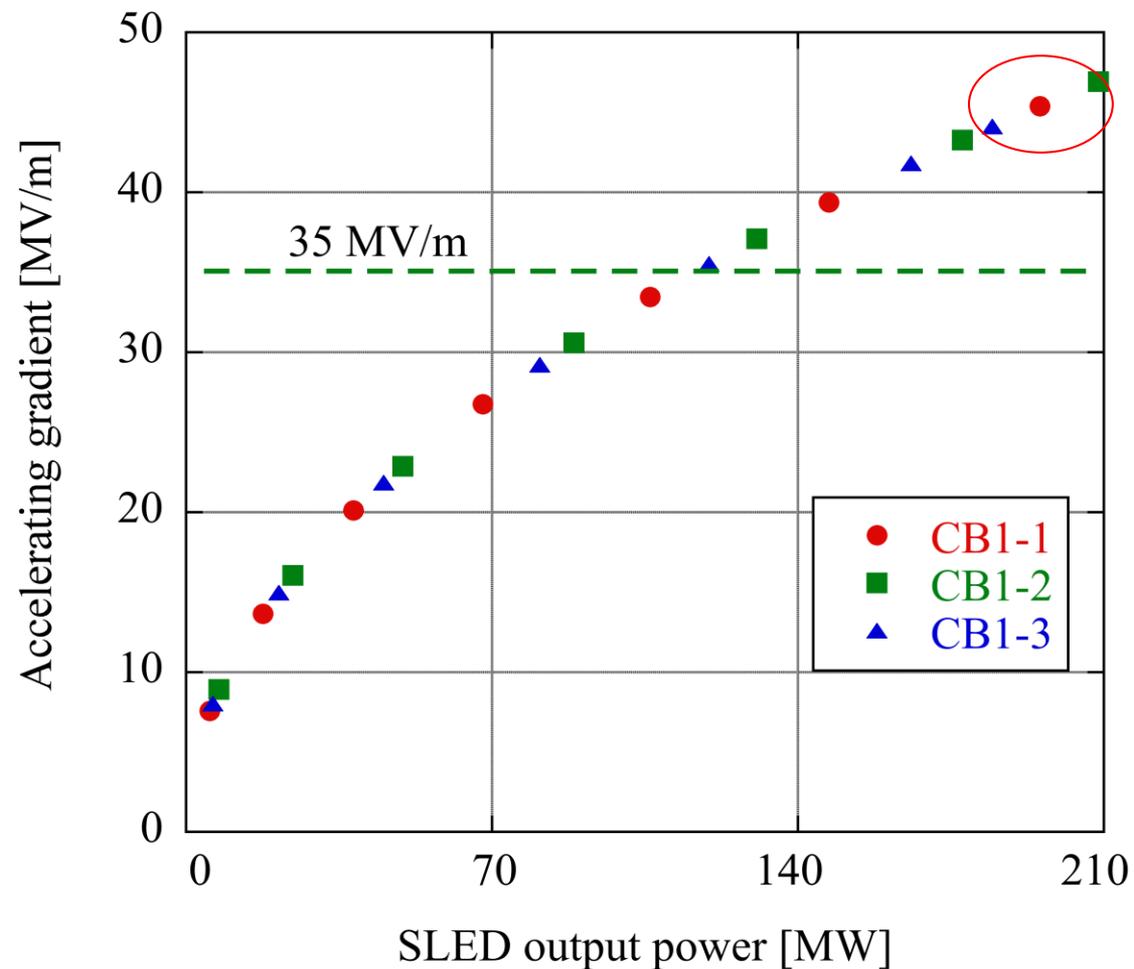
・運転開始130時間後にRFパルス幅2.5μsecに到達。

加速電界 ~43 MV/m

・460時間後、46 MV/mでの運転を実施

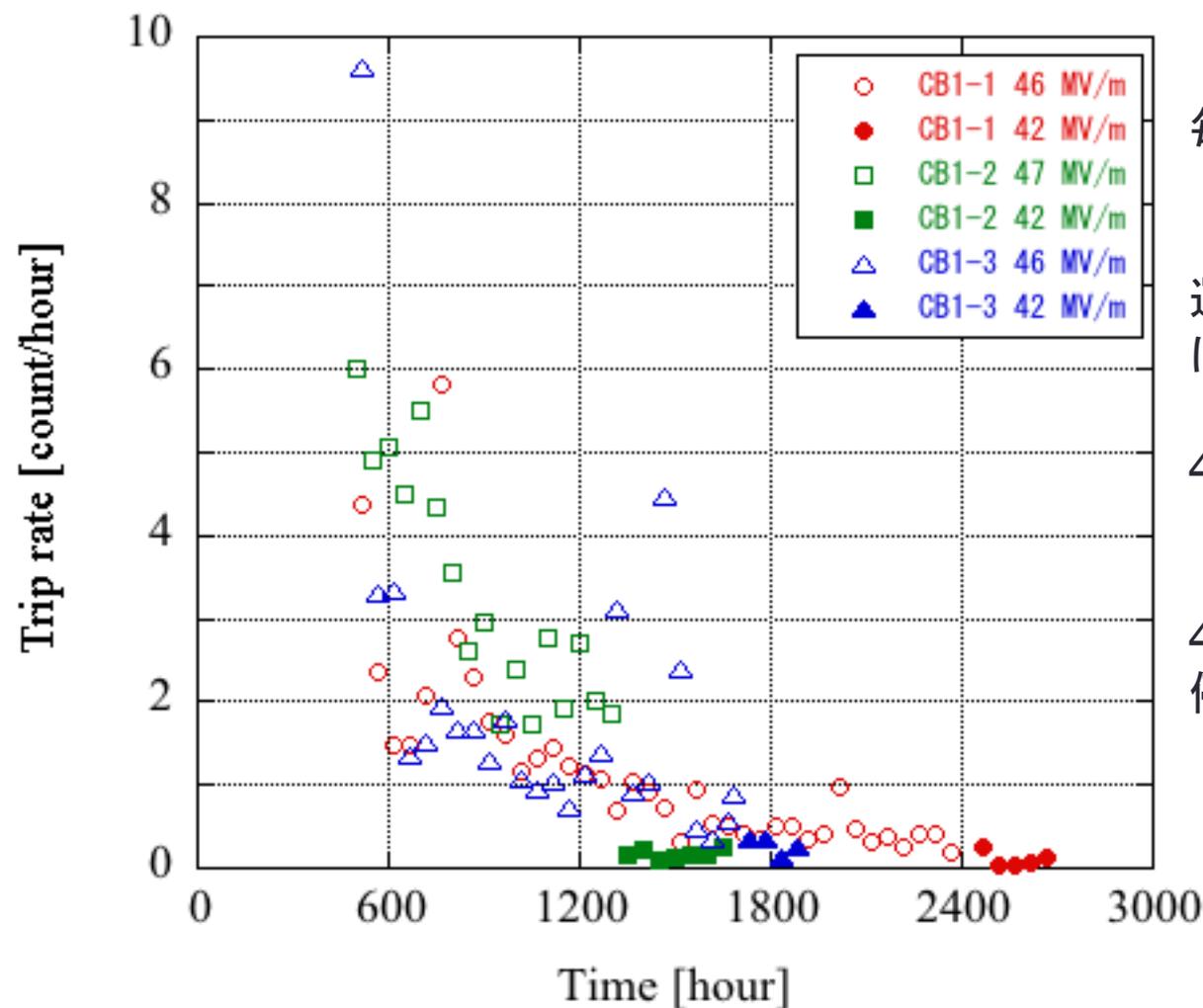
・加速管内の真空度は徐々に減少  
600時間後には $3 \times 10^{-7}$ Pa

# 最大加速電界



RFコンディショニングによって  
最大で46 ~ 47 MV/mの加速電界  
に達した。

# C-band加速器の停止頻度



運転開始500時間以降、50時間  
毎の停止頻度を算出

運転時間の継続によって停止頻度  
は徐々に減少

46~47 MV/mでの停止頻度  
⇒ 0.3~2.1 回/hour

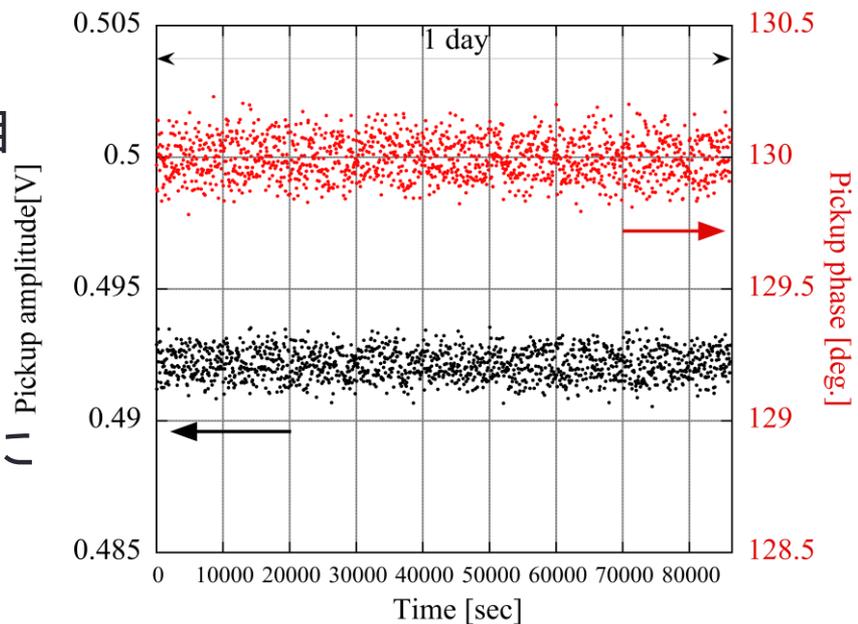
42 MV/mに下げて運転した際の  
停止頻度  
⇒ 0.1~0.27 回/hour

Cバンド加速器全体の停止頻度  
⇒ 0.5 回/hour @42 MV/m

# 空洞RF信号の振幅・位相安定性

- 空洞出口のRF信号の24時間の振幅・位相変動を測定
- 安定度を得るために
  - 1) 高精度PFN充電器の採用
  - 2) クライストロンヒーター電圧安定化のためにAVRを設置
  - 3) 加速空洞温度の安定化
  - 4) 低電力高周波機器を水冷恒温ラックに実装し、温度安定化
  - 5) 空洞ピックアップ信号を基にクライストロン入力RFにフィードバックをかけて安定化

⇒ SACLAと同程度の安定度を得られている



C-band加速器の空洞RF信号の振幅・位相変動

	voltage	phase
238	0.01%	0.008°
476	0.001%	0.007°
S-band	0.06%	0.06°
C-band	0.1%	0.10°

# まとめ

- SACLAのBL1上流のスペースに極紫外線FEL用の専用加速器を設置した。
- 構成機器の多くはSCSS試験加速器の機器を移設。
- 主加速部としてC-bandディスクロード型加速管を採用。安定度が必要なPFN充電器、タイミング・低電力高周波機器はSCSSのものから置き換えた
- 機器設置後、RFコンディショニングを実施。加速電界・停止頻度は目標を十分に満たした。
- 2015年秋から極紫外線FEL発振に向けたビームコミッショニングを開始する予定である。

# 謝辞

- 本加速器の移設・設置・RFコンディショニングを行うにあたり、多くの皆様の協力によって成されました。
- この場をお借りして、御礼申し上げます。
  
- タイミング・低電力高周波機器 : 三菱電機特機システム
- 制御機器 : 日立造船
- Cバンド加速器システム : 三菱重工業
- 高精度充電器 : 日本高周波、ニチコン
- ビームモニター : 明昌機工、トヤマ
- アンジュレータ : 日立金属
- IOT電源 : IDX
  
- SCSS加速器解体、移設、据付作業 : 栄興業、クリハラント etc.
  
- RFコンディショニング監視  
: スプリングエイトサービス、SACLA運転員の皆様

