

フィードバックによるSACLA加速器運転の安定化

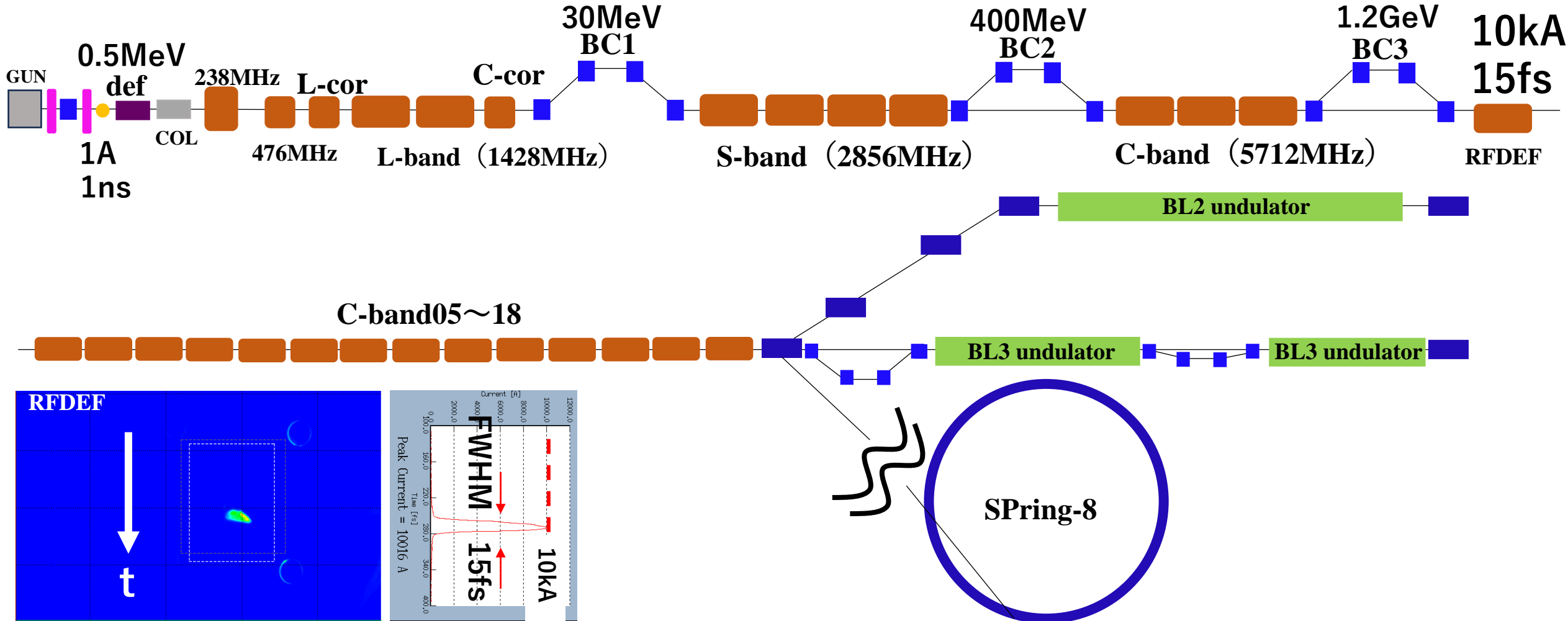
家納 寛 A) 藤本 賢治 A) 田中 均 B) 原 徹 B)

A) スプリングエイトサービス株式会社

B) 国立研究開発法人理化学研究所放射光科学研究センター

●はじめに

ユーザー実験施設であるSACLAでは、BL3、BL2、SPring-8への電子ビームのエネルギーをバンチごとに変更し、XFEL運転を行いながら同時にSPring-8へトップアップビーム入射を行っている。SACLAは、熱電子銃から出射されたピーク電流1Aの電子ビームをディフレクタによって1nsに切り出し、入射部における速度変調バンチングと3台の磁気シケイン型バンチ圧縮器により電子バンチ長を20fs程度（FWHM）、ピーク電流10kAまで圧縮している。そのため加速器の安定性を確保し、ビーム入射を行いながら2本のXFELビームラインユーザーへ安定なレーザーを供給することが重要である。

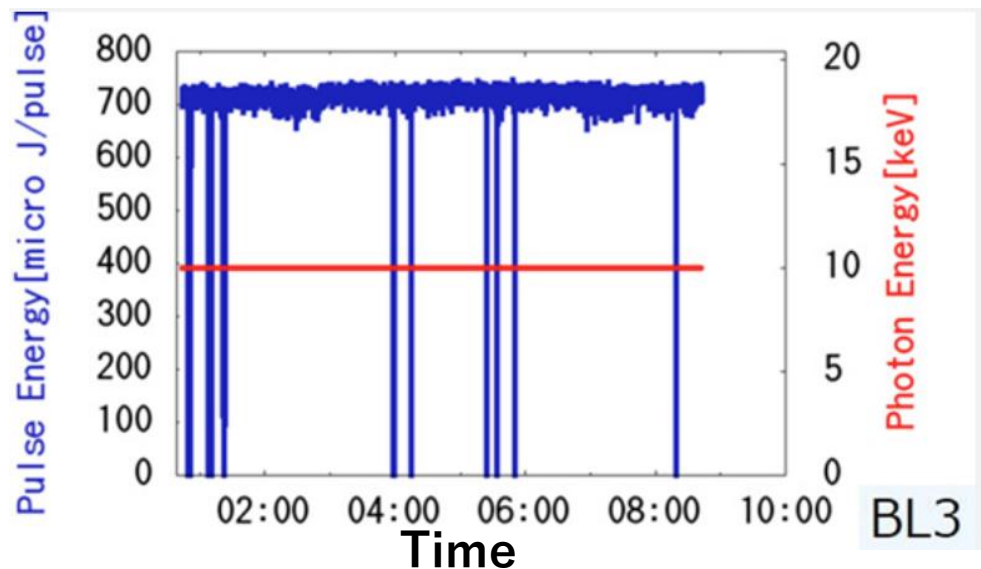


●SACLAのビームラインユーザーからの様々な運転条件

近年、XFEL利用の普及と利用実験の高度化に連れ、ユーザーからの要求は単にレーザー強度だけでなく、安定性、空間プロファイル、スペクトル幅、短パルス、二波長発振、セルフシードなど多種多様になった。

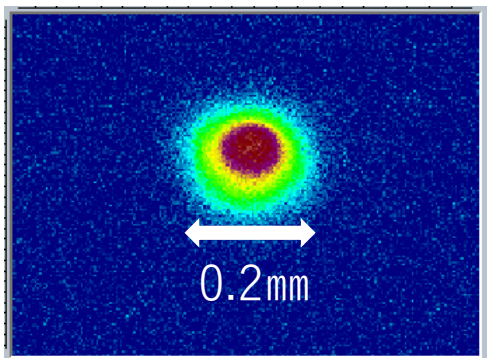
BL3 pulse Energy

Intensity Fluctuation in 30 shots (STD) 10%

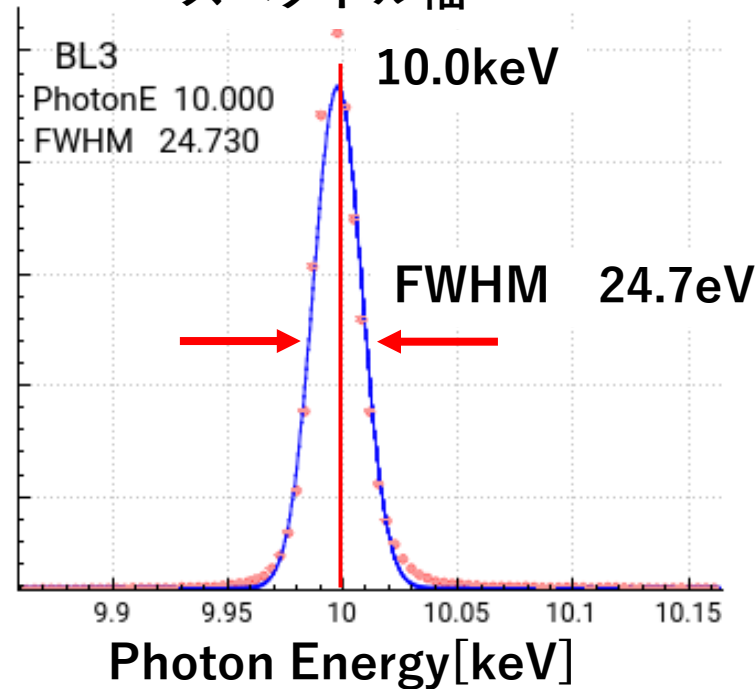


空間プロファイル

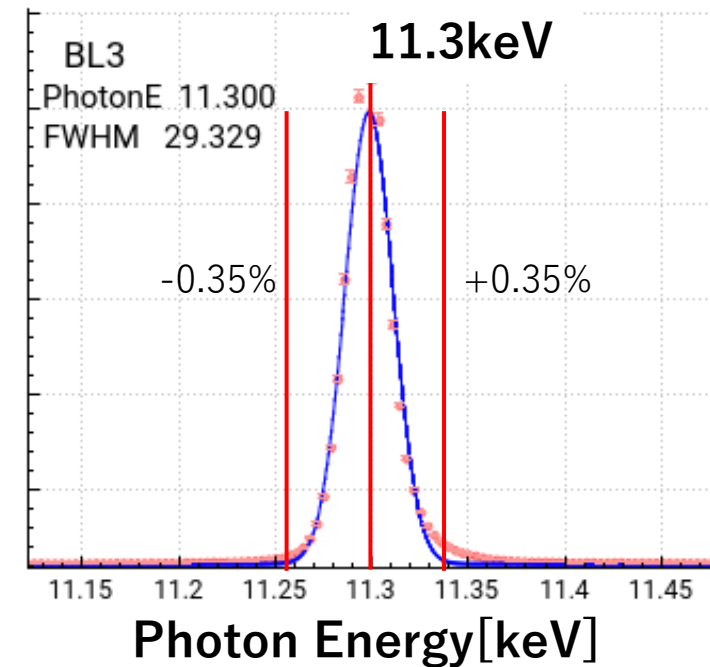
(アンジュレータから約170m先のSCM画像)



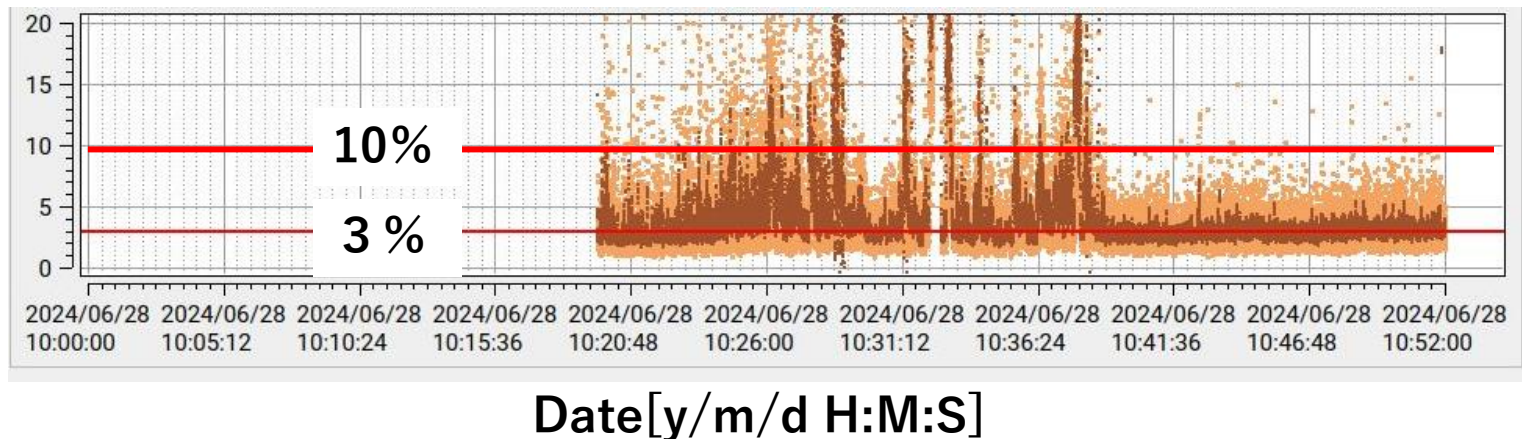
スペクトル幅



スペクトルマルチピークショットの抑制

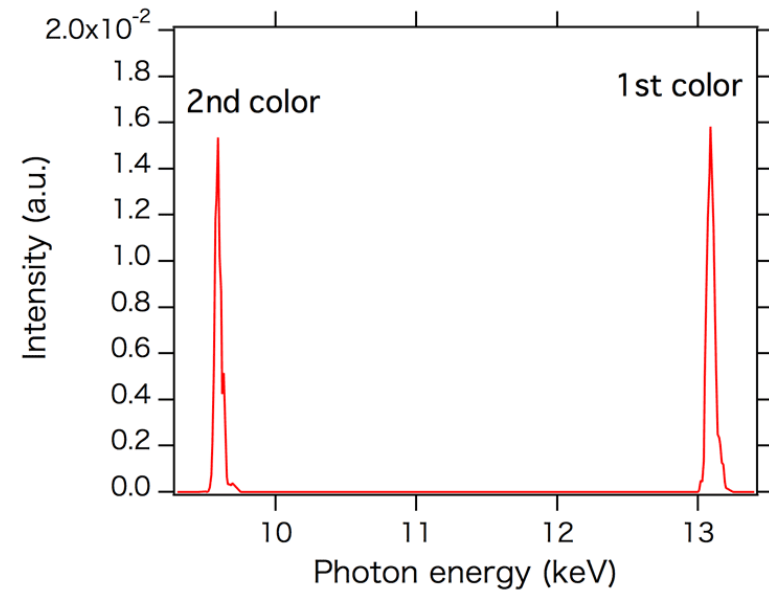
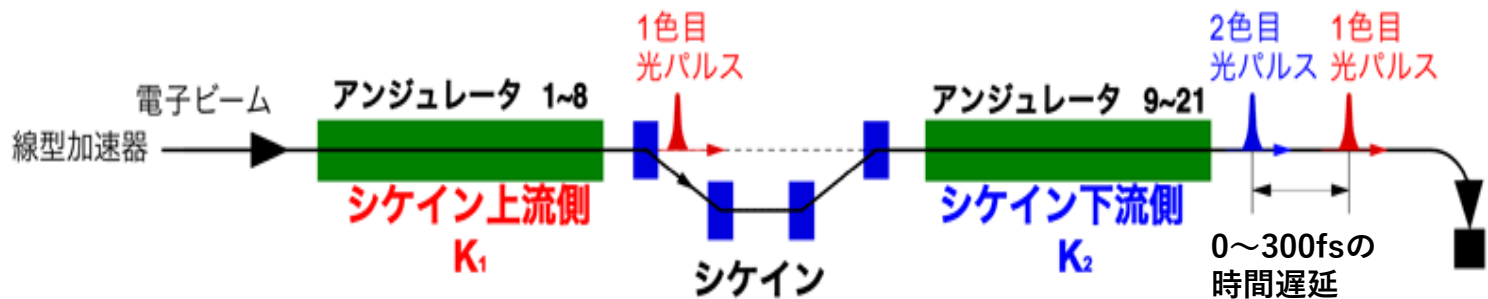


スペクトル強度比[%]

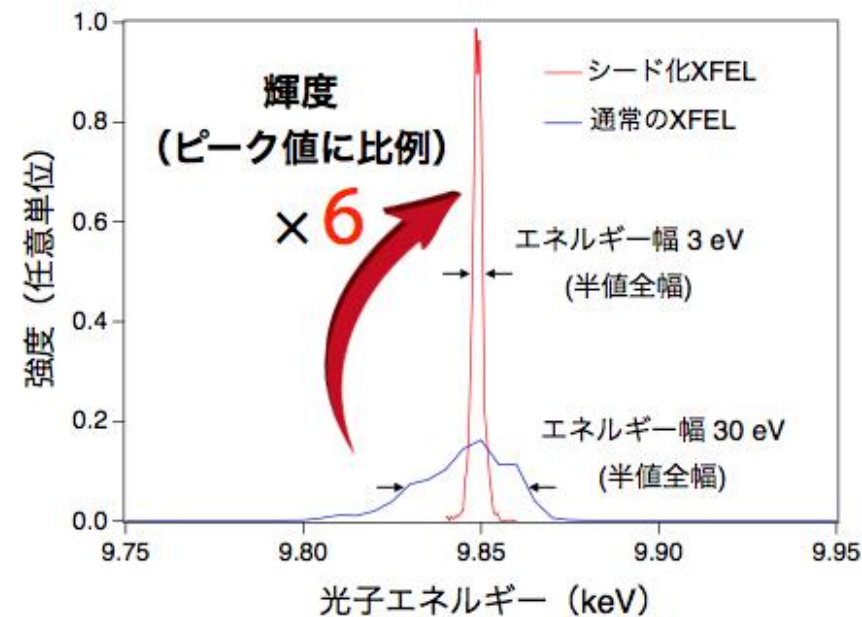
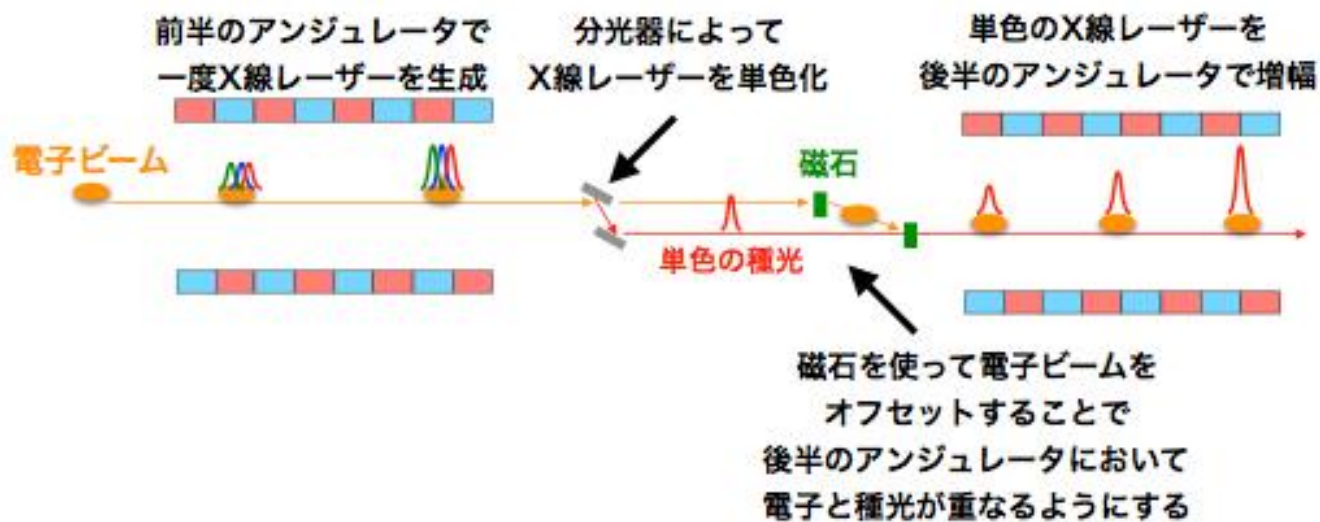


●複雑な運転条件

二波長発振

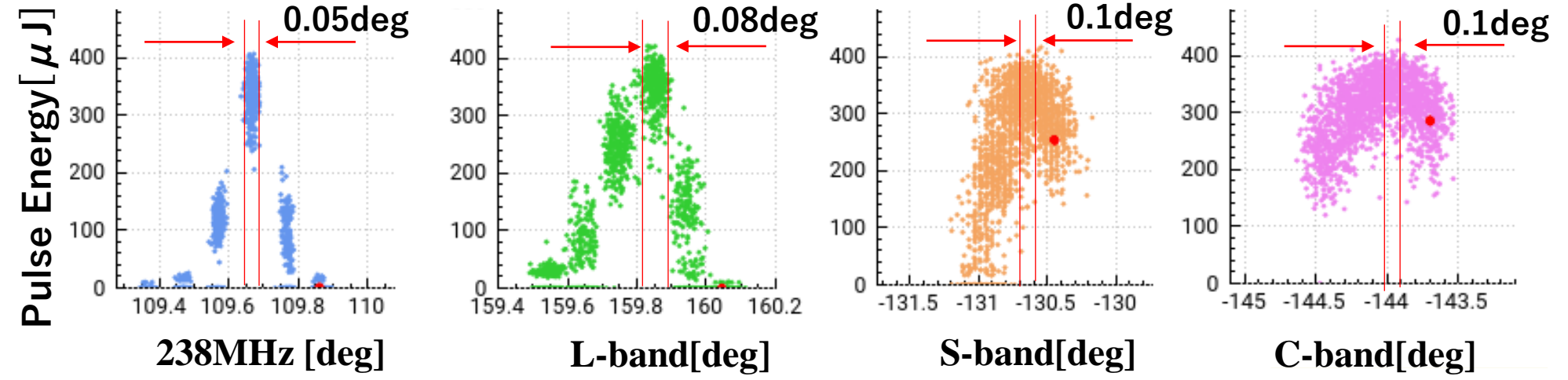


セルフシード

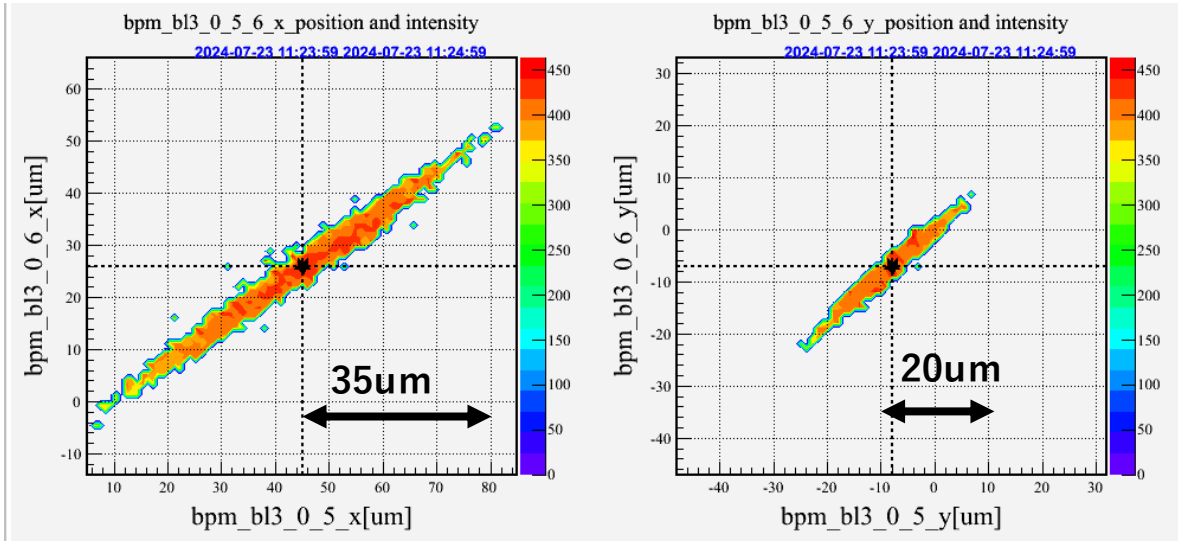


●ユーザー運転中の加速器安定性への要求

ユーザー運転中の各RF位相とレーザー強度相関

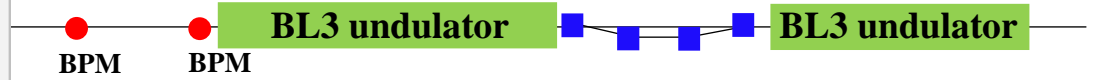


ユーザー運転中のアンジュレータ前のBPM（軌道）と強度相関



X [um]

Y [um]

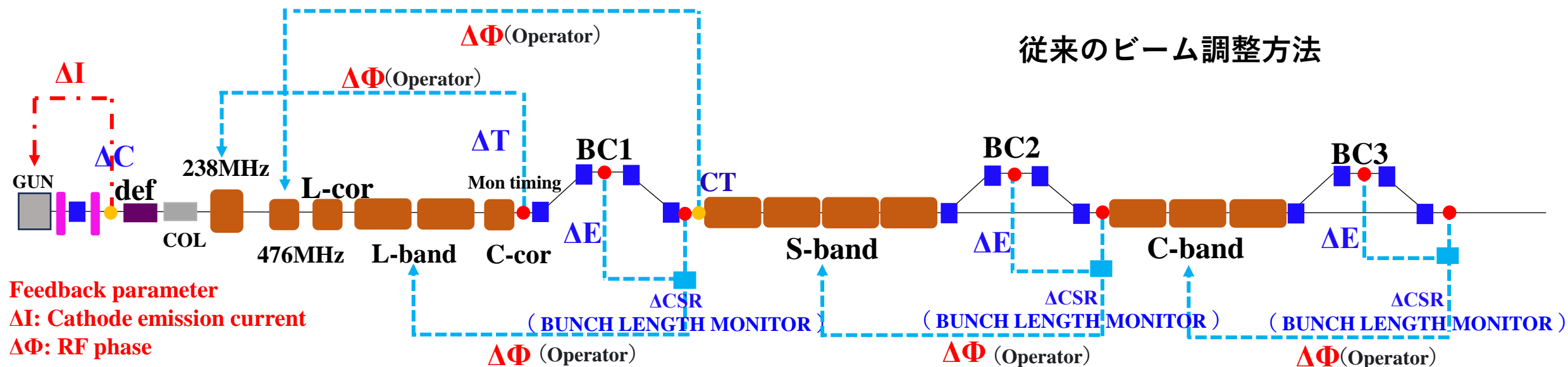


アンジュレータへの入射条件が崩れると、アンジュレータ内の軌道が乱れてレーザー増幅に影響を与える為、電子ビームの軌道を固定する必要がある。

●ユーザー運転条件を維持する為の従来の加速器のビーム調整

これまで各加速管空洞の温度安定化やタイミング機器、モニター機器を水冷ラックに設置するなどさまざまな安定化をおこなってきたが、レーザー発振が環境変化による加速器パラメータのドリフトに敏感になり、ユーザーからの要求がより高度で複雑になるにつれ一部のビームフィードバックシステムと運転員が様々なモニタを見ながら手動で加速器を調整するだけでは長時間同じレーザー発振状態を維持することが難しくなってきた。

従来のビーム調整方法



C-band05~18

ΔX 、 $\Delta X'$ 、 ΔY 、 $\Delta Y'$

BPM

BL3 undulator

BL3 undulator

ΔE

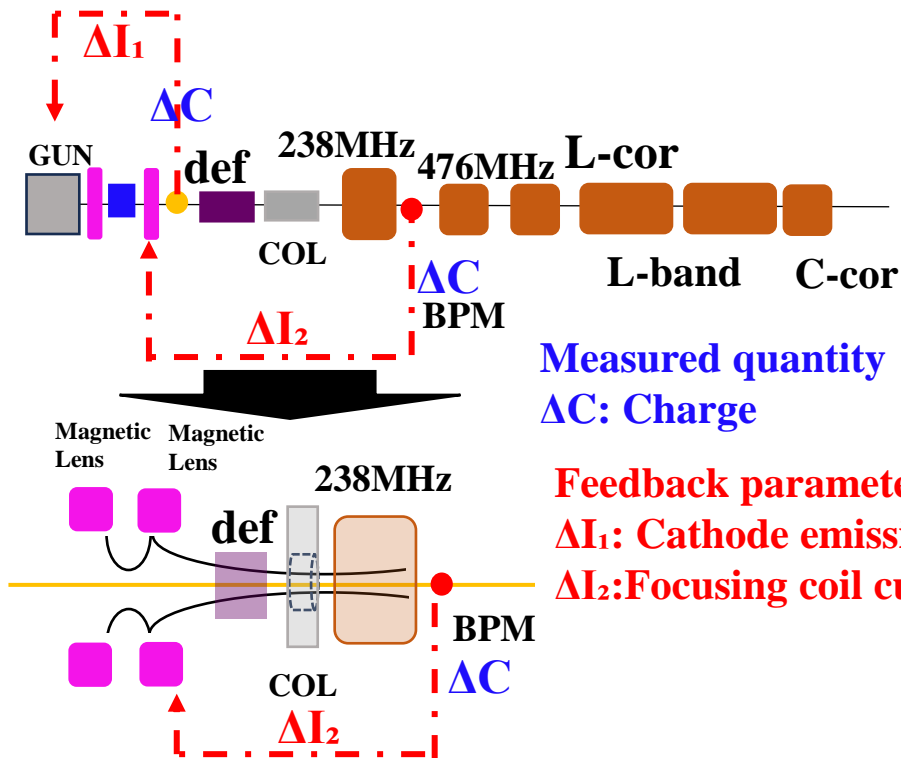
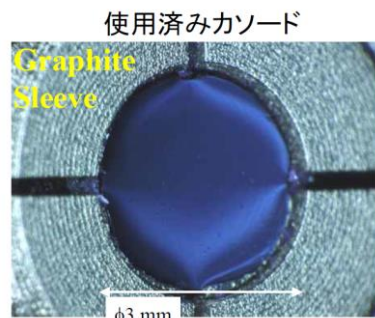
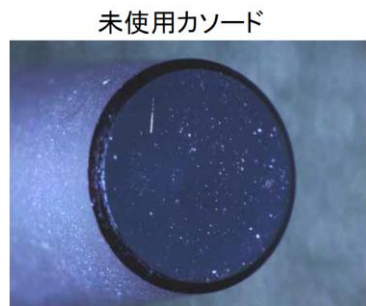
BPM

$\Delta\Phi$

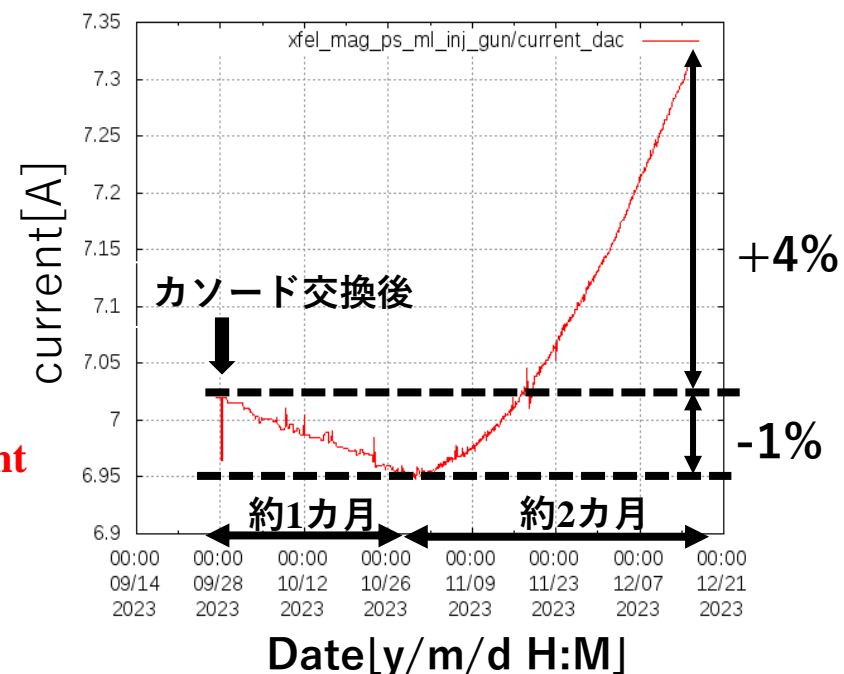
BL2 undulator

●磁気レンズを用いたコリメータ通過後のバンチ電荷量の安定化

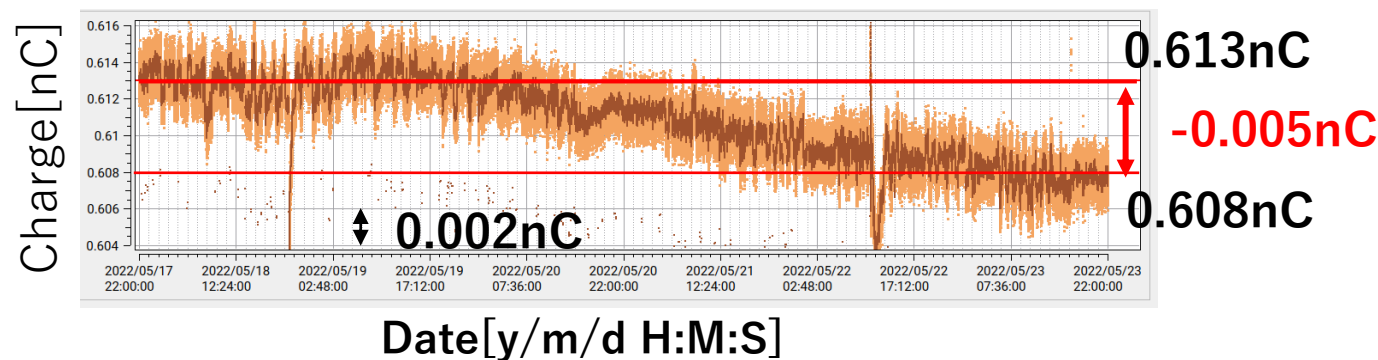
日々の運転状態と各モニタを解析し再検討した結果、カソード表面の変化によって電子銃下流の丸穴コリメータを通過する電子ビームの電荷量変化がバンチ長モニターに影響を与えている事がわかった。その為、磁気レンズの収束力を変更しデフレクタ直後の丸穴コリメータを通る電荷量を維持する為のフィードバックを新たに追加した。



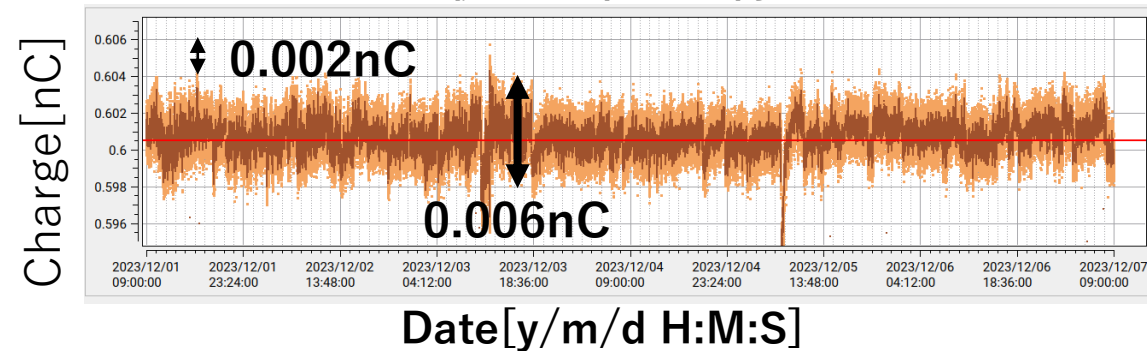
磁気レンズの電流設定値



FB前の6日間で0.005nC程度減少その後も低下傾向

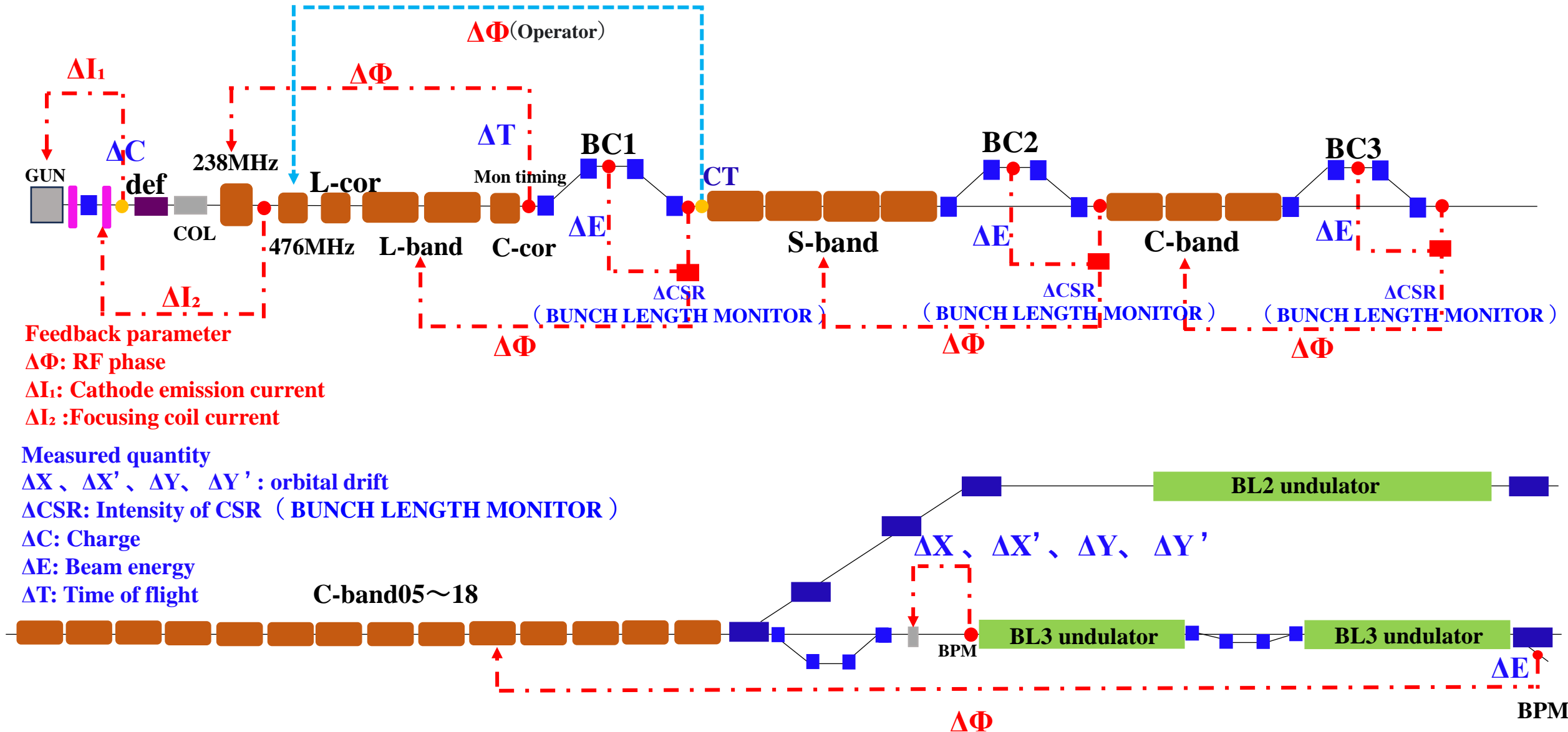


FB後の6日間の電荷量



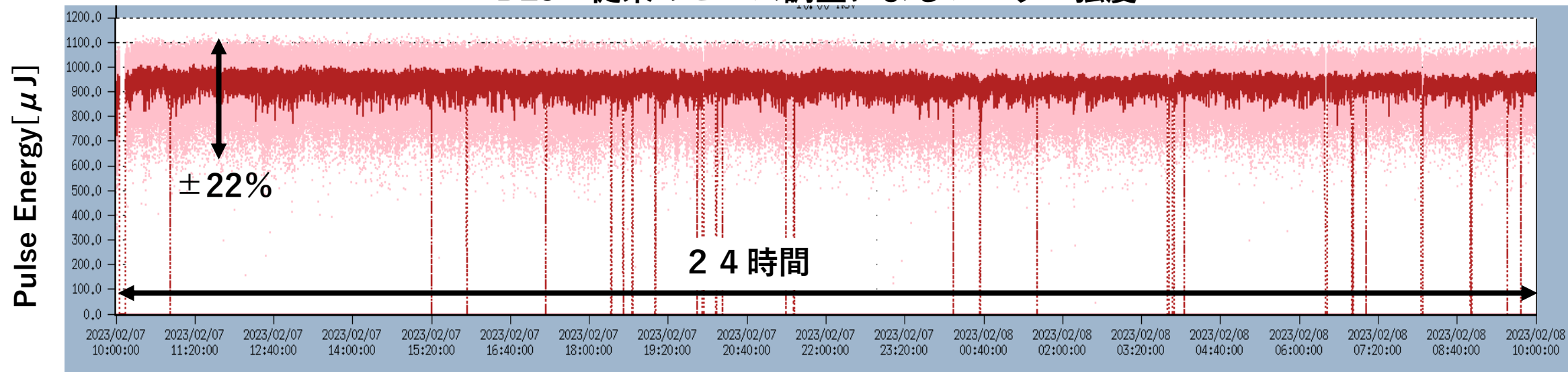
●ユーザー運転条件のレーザー発振状態の維持についての改善

磁気レンズを使用して電荷量を一定に保つことで、3段のバンチ圧縮器のバンチ長モニタが正しくバンチ長を評価できる様になり、フィードバックの精度を向上させることが出来た。

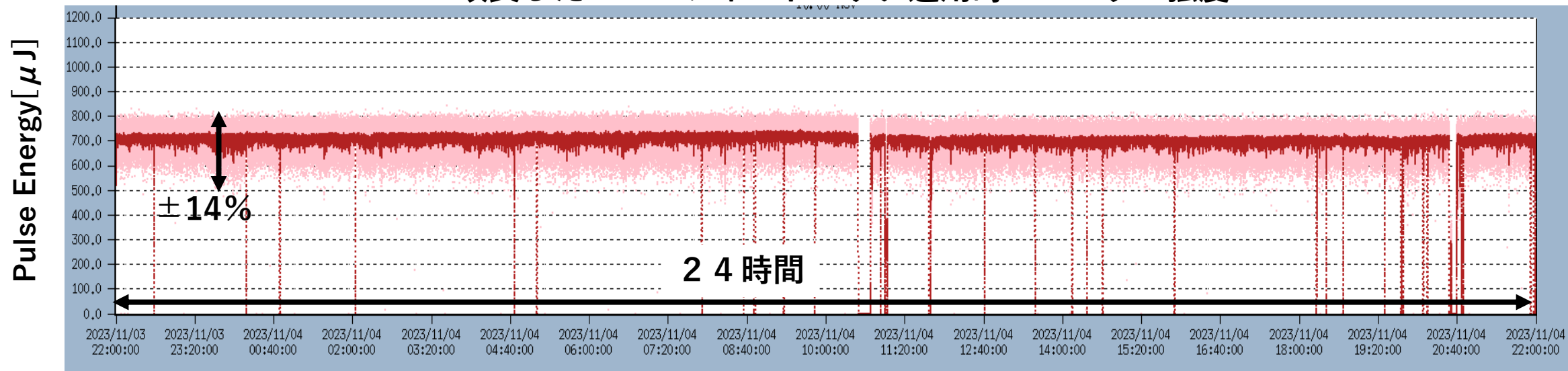


● 改良したビームフィードバックによるレーザー強度への効果

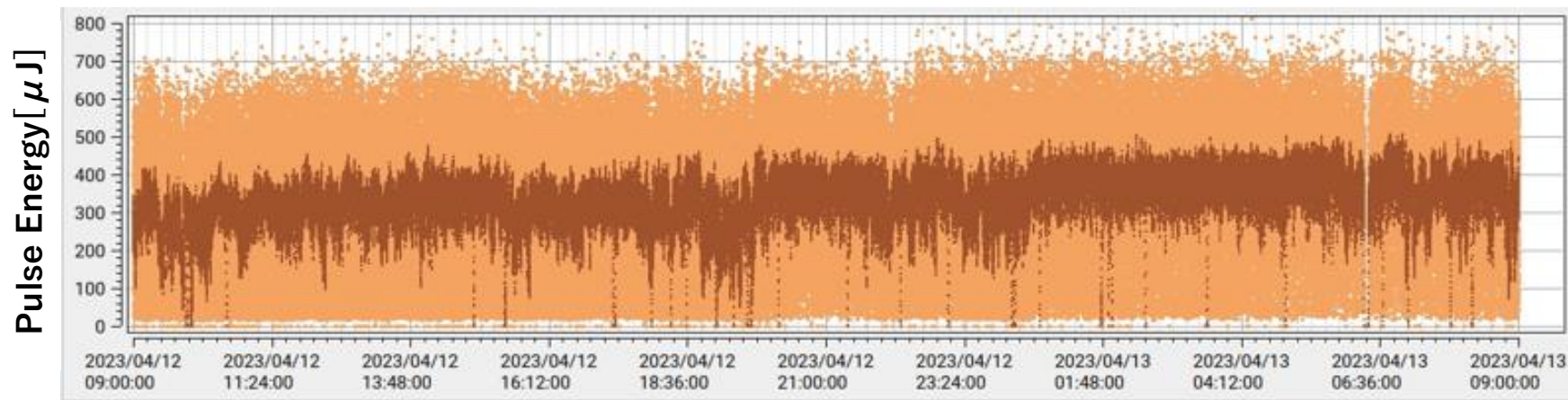
BL3 従来のビーム調整によるレーザー強度



BL3 改良したビームフィードバック適用時のレーザー強度

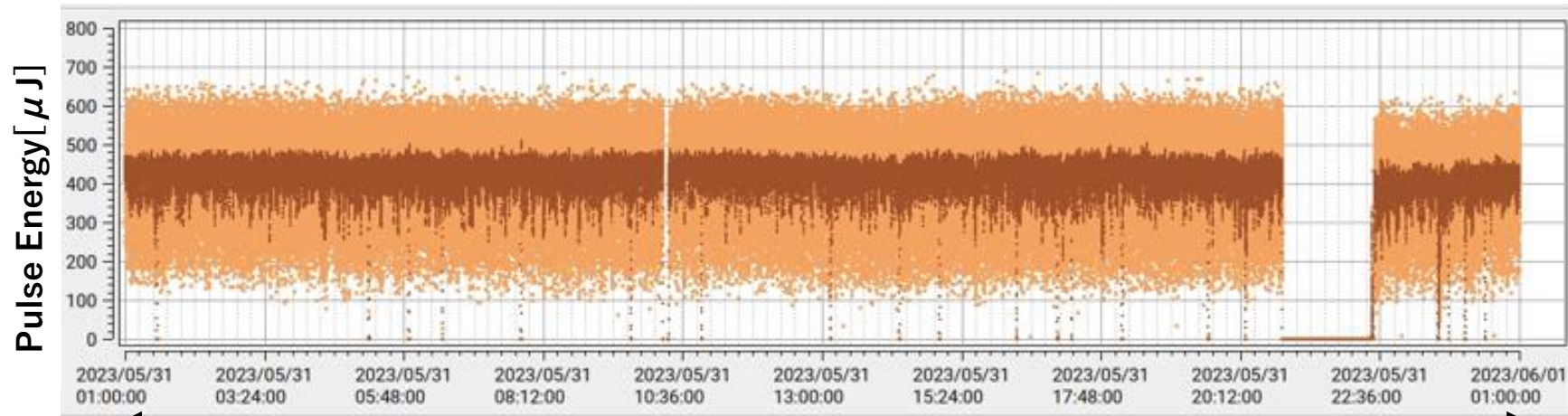


BL3 従来のビーム調整によるセルフシード運転時のレーザー強度安定性



24時間

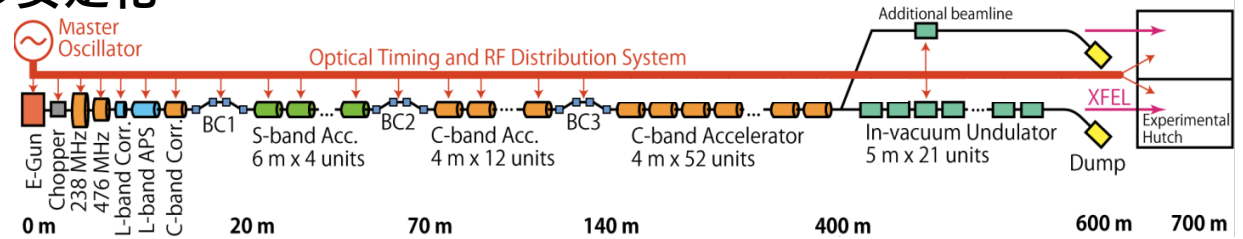
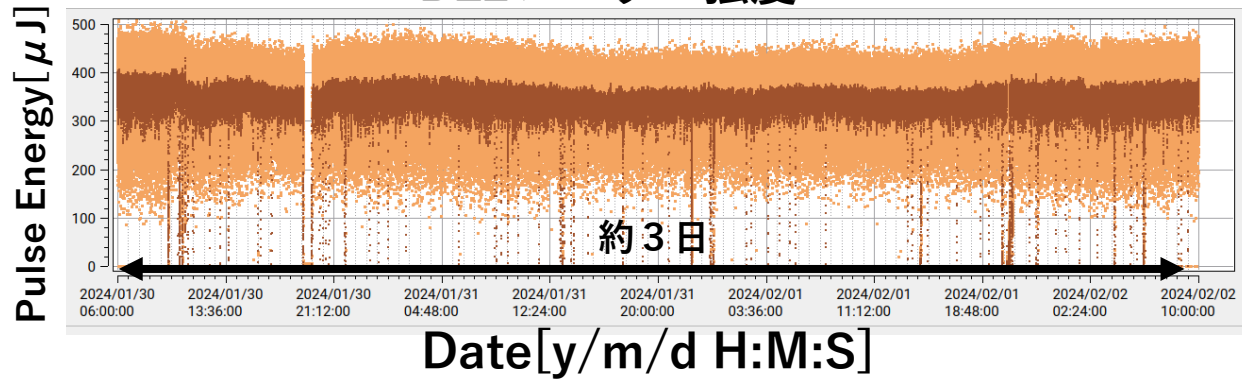
改良したビームフィードバック適用時のセルフシード運転時のレーザー強度安定性



24時間

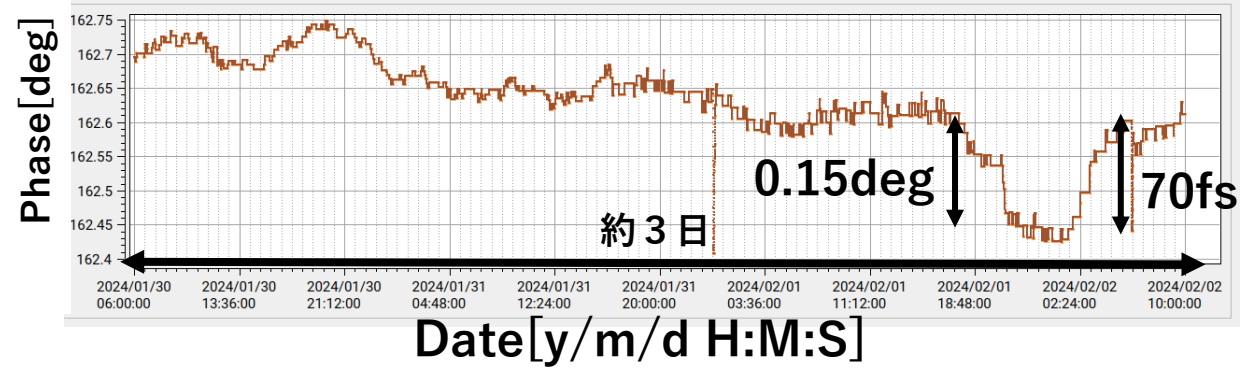
● タイミング系フィードバックで抑えきれないドリフトの安定化

BL2レーザー強度

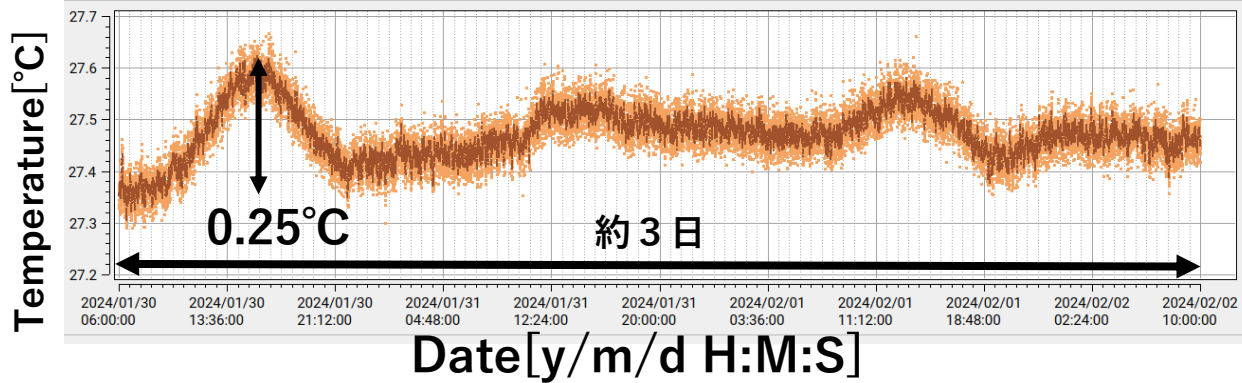


タイミングフィードバックは、干渉計を使って光ファイバ光路長を一定にしているが、末端のOEなどの電子機器のドリフトまでは補正できない。特に湿度の変化に電子機器は敏感で、レーザー強度に影響を与えている事が分かった。

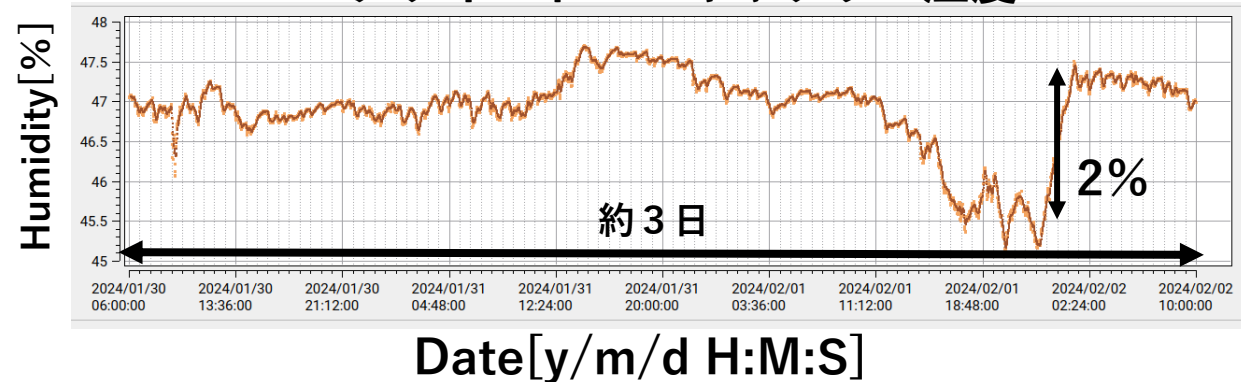
BC1のビームタイミングFBの制御量



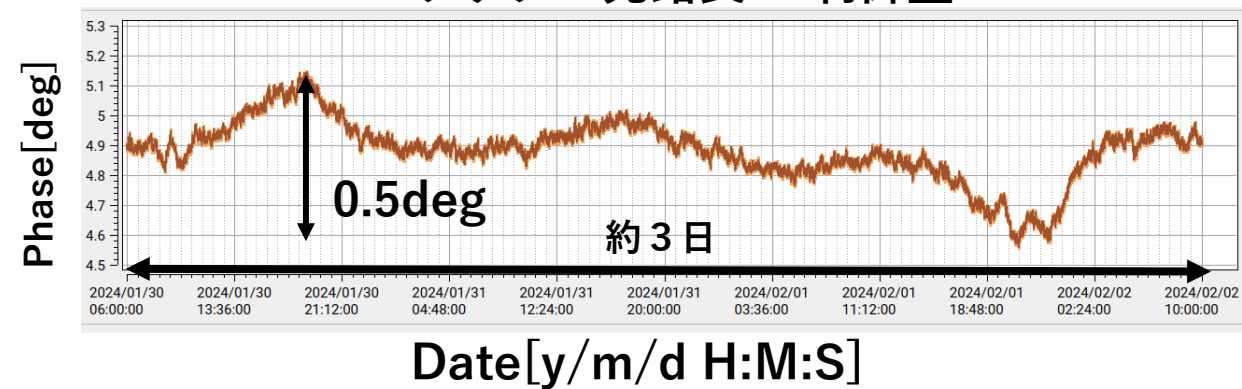
BC1クライストロンギャラリ温度



クライストロンギャラリ湿度

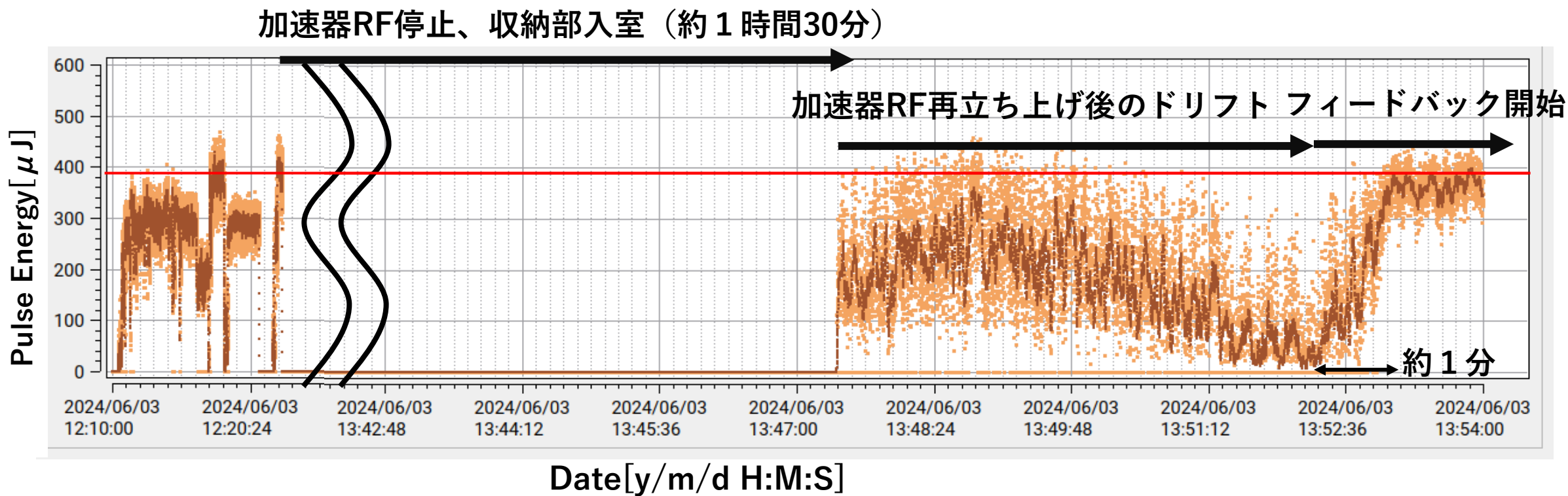


L-bandラックの光路長FB制御量



●フィードバックの精度向上による加速器スタートアップ時間の短縮

作業等で加速器収納部に入室しRFを止めたことでRF空洞の温度が変化し共振周波数が変わり振幅が変化する為、安定するまで調整に時間がかかっていたが、3か所のBCにおけるビームパラメータをフィードバックによって固定する事により作業前のレーザー強度を数分で再現することができるようになった。



●まとめ

1. 電子バンチの電荷量を一定にすることで、3段のバンチ圧縮器におけるバンチ長が正しく測定できる様になり、ビームフィードバックが可能となった。
2. セルフシードなど複雑な運転に対しても長時間レーザー発振状態を維持することが可能となった。
3. タイミング光路長フィードバックが抑えきれない温湿度変化によるドリフトを、ビームフィードバックにより補正しレーザーを安定化することができた。
4. 加速器トンネル内作業後のRF機器立ち上げ時のドリフトを、ビームフィードバックを用いることで補正し、加速器スタートアップ時間を大幅に短縮することができた。