

広帯域高周波アンプ型パルサーと
高インピーダンスビームチョッパーを用いた
マルチバンチ低エミッタンス電子ビーム
の生成

渡川 和晃*, 前坂 比呂和, Goryashko Vitaliy, 田中 均

理化学研究所

前平 晃太郎, 竹村 育浩, 林田 寿和

スプリングエイトサービス株式会社

2024年8月1日

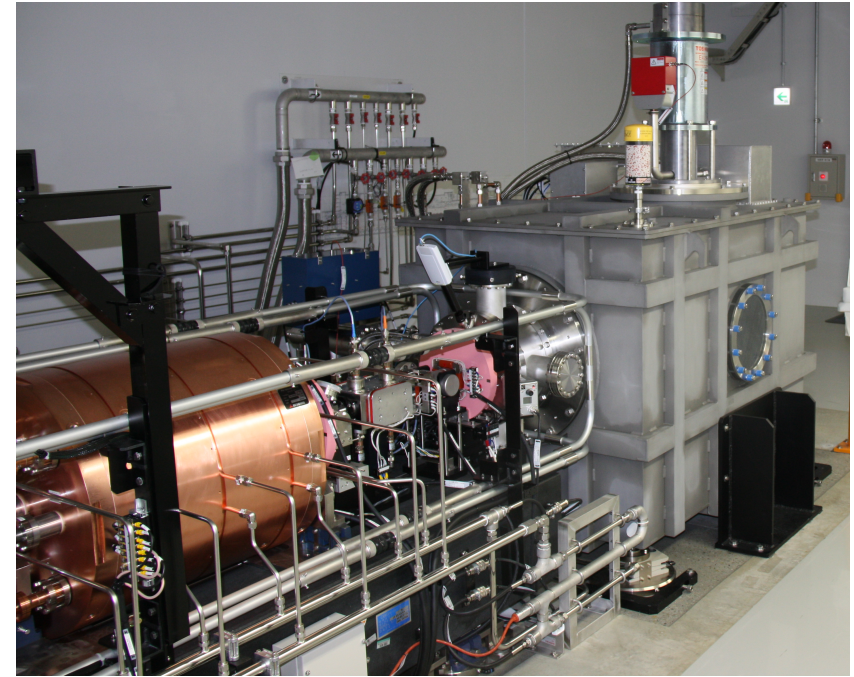
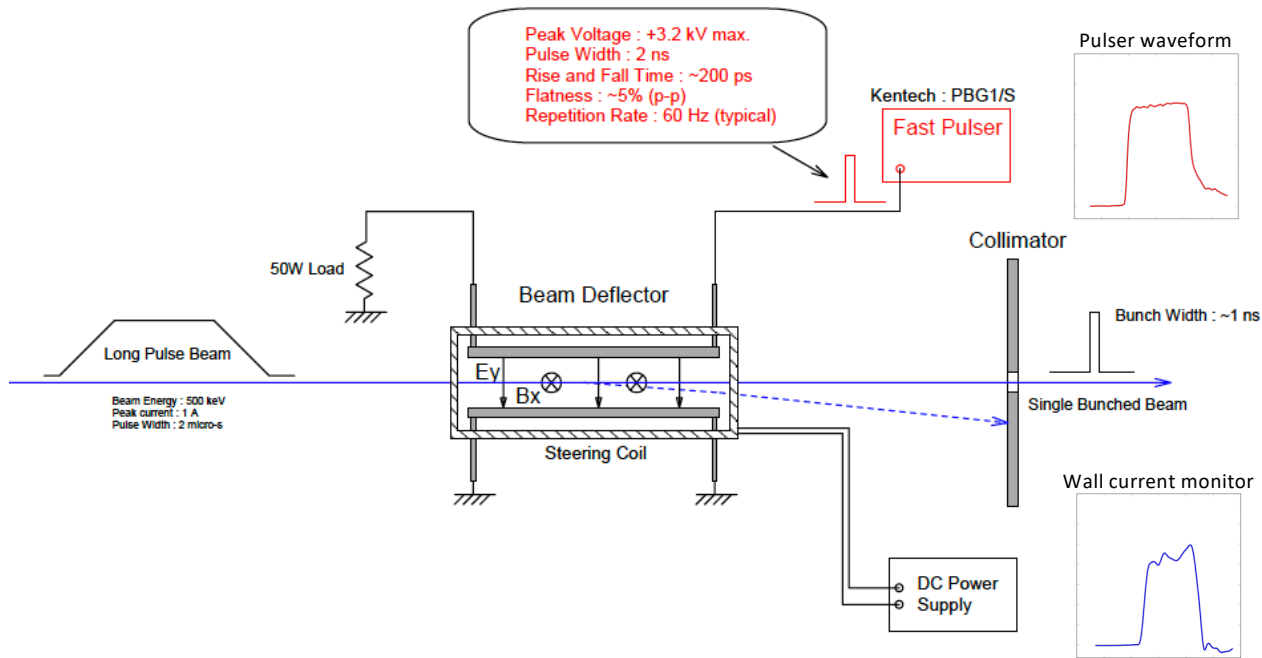
第21回日本加速器学会年会／山形テルサ

* e-mail: togawa@spring8.or.jp

Introduction

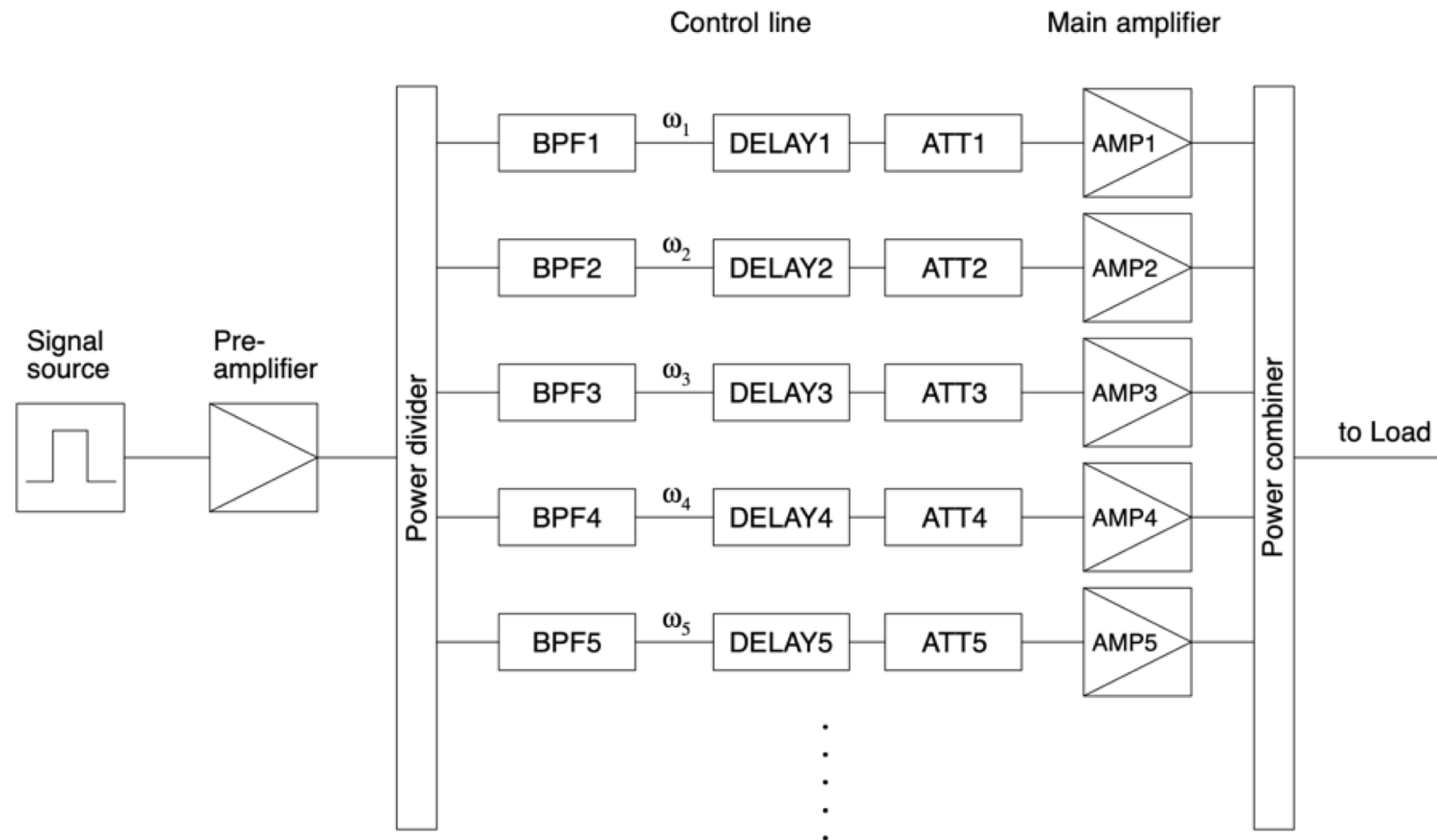
- X線自由電子レーザーSACLAにおいて、 CeB_6 熱電子銃は供用開始以来10年以上に渡って低エミッタンスビームを供給してきた。
- 長パルスビームからナノ秒の短バンチを切り出すチョッパー電源の不安定性を解消することと容易な波形調整を可能にすることが長年の課題であった。
- 株式会社アールアンドケーとの共同研究により、広帯域アンプを利用した新しい方式で安定した矩形の高電圧パルスを発生することに成功した。
- 原理的に任意波形の増幅が可能であるという利点に着目し、マルチバンチ構造の低エミッタンス電子ビームの生成と計測を試みた。
- パルストレインによるXFELのregeneration実験や超高速ビーム振り分けによるXFELパルスの高繰返し化に貢献すると期待される。

SACLA電子銃ビームチョッパー



- アバランシェ型パルサーは小型の市販品が利用可能。
- パルスタイミングや波高の変動が生じることがあり、XFEL出力の不安定要因の1つとなっている。解消したい。
- 波形調整が容易でない。我々ではほぼ不可能。調整したい。

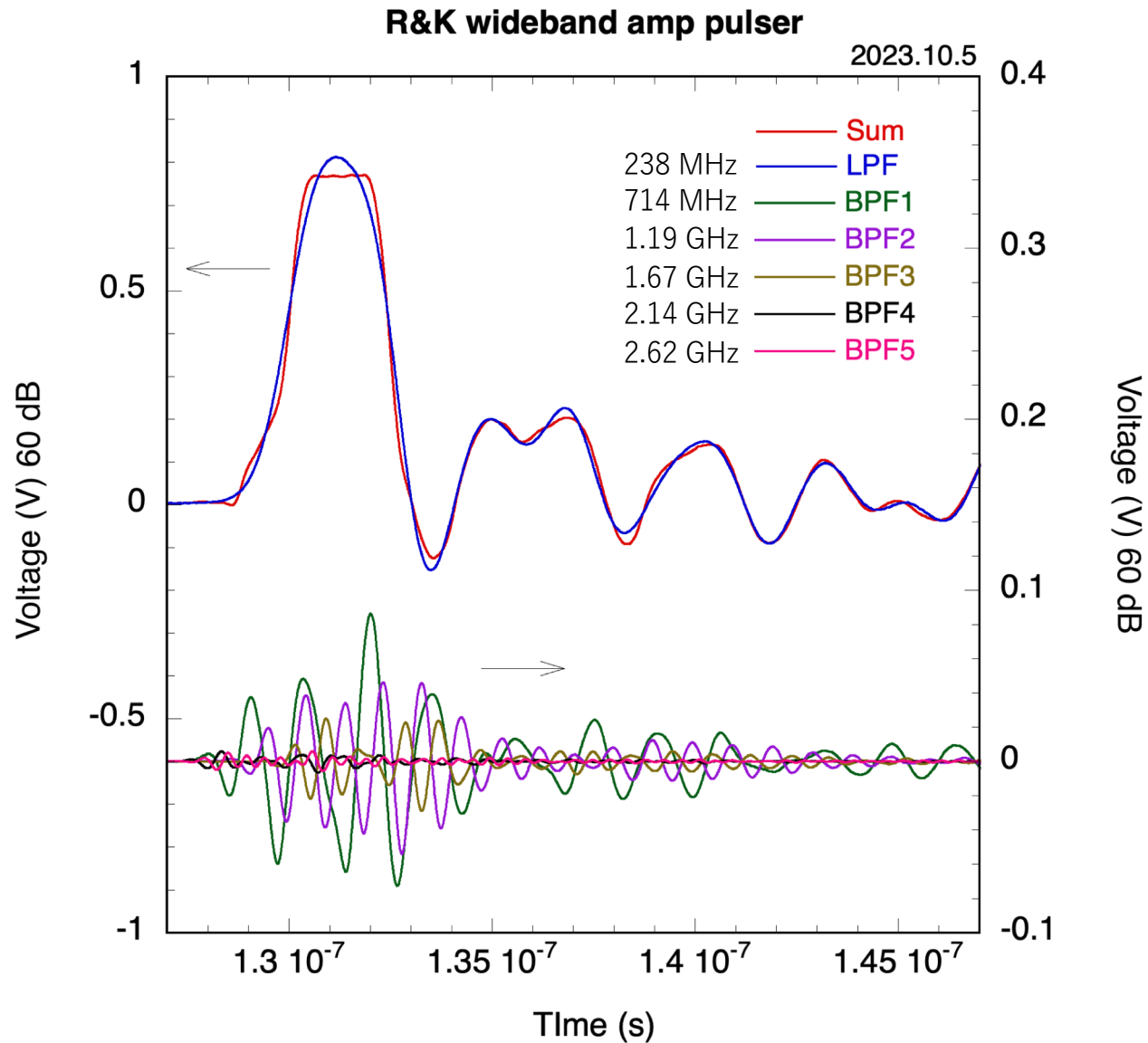
広帯域高周波アンプ型パルサー



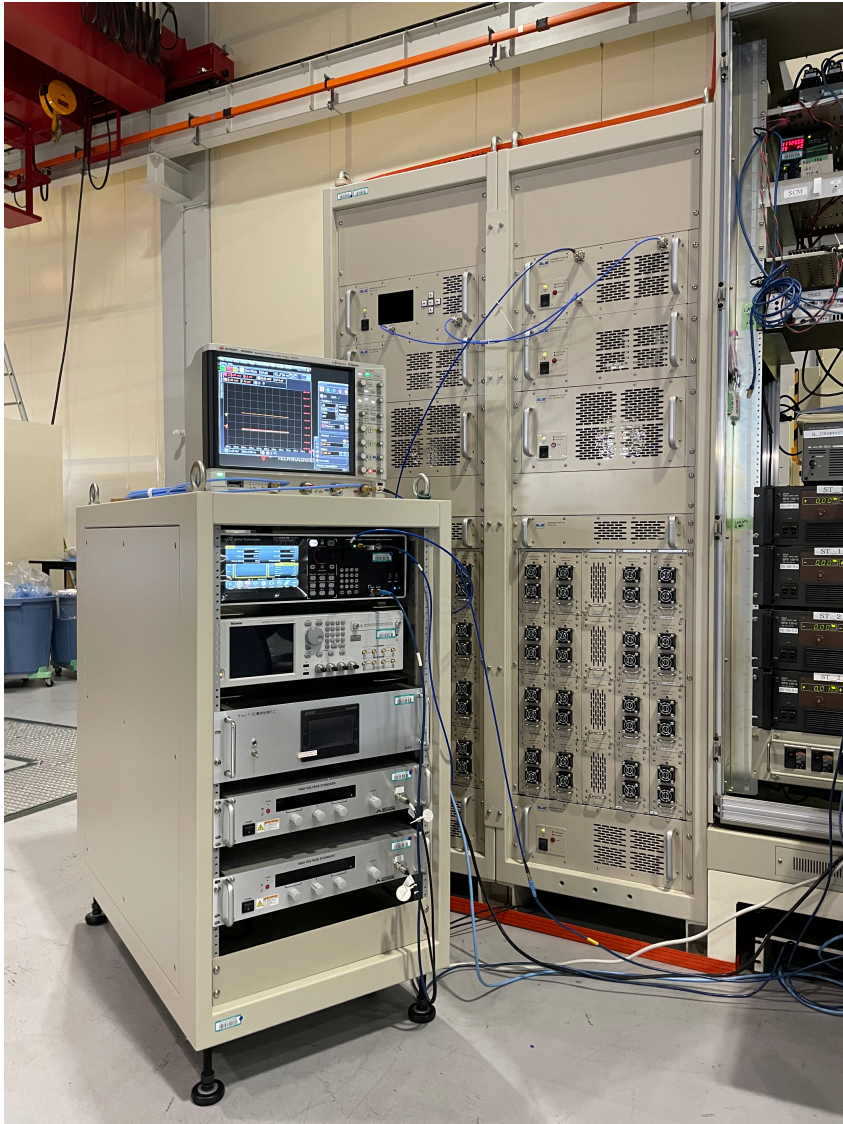
- パワーを分割し、BPFで波長を選択する。
- 分配器、合成器、増幅器で発生する群遅延をDELAYで補正する。
- 各周波数帯域の振幅をATTで調整する。
- 原理的に任意の波形の増幅が可能である。

株式会社アールアンドケー

広帯域高周波アンプ型パルサー

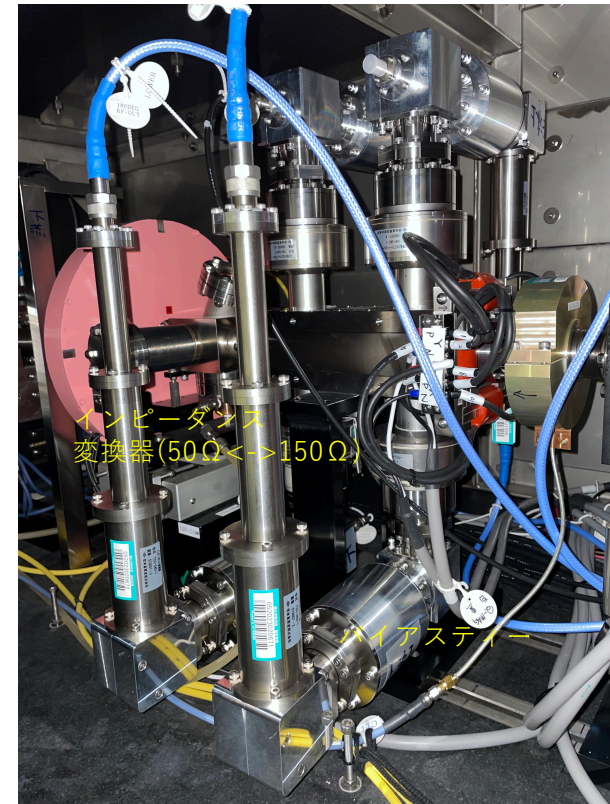
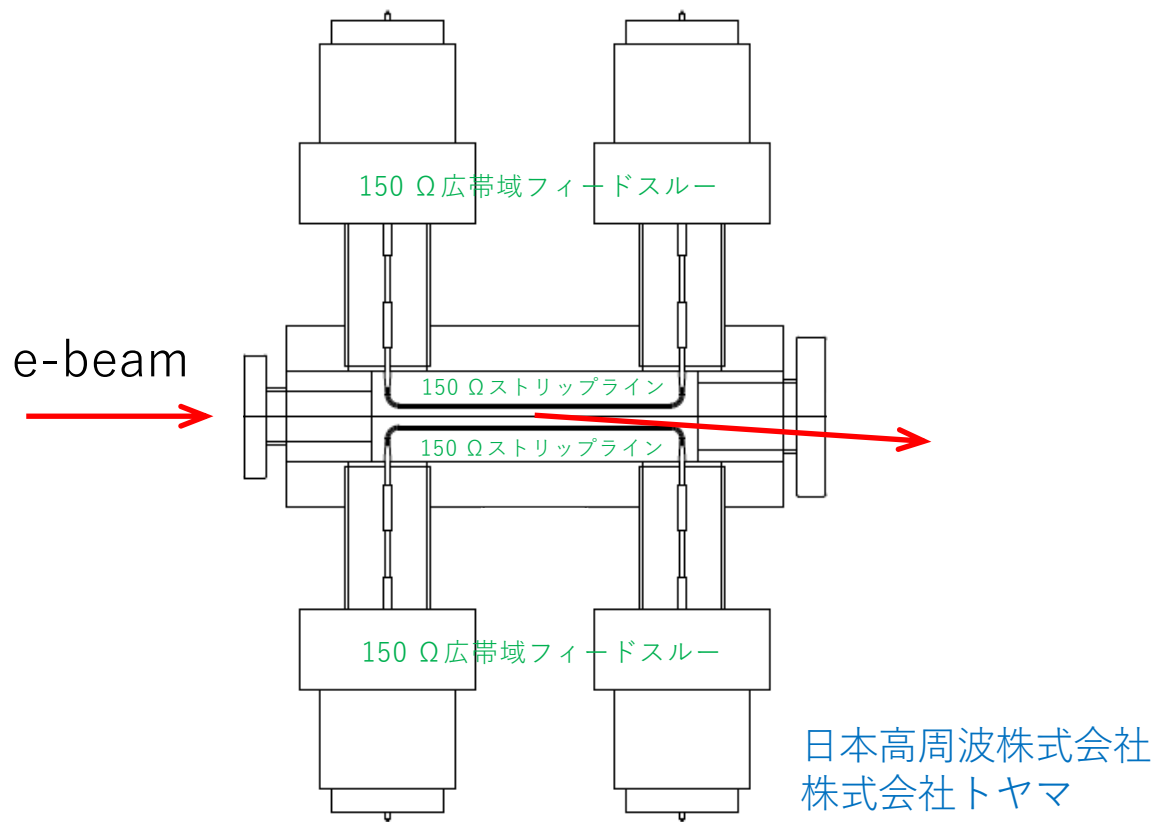


マルチバンチ矩形電圧パルスの生成



- バンチ幅2 ns, バンチ間隔33.6 ns
- 合成振幅0.6 kV (最大1.2 kV)
- 最大繰り返し60 Hz (高繰返し可)

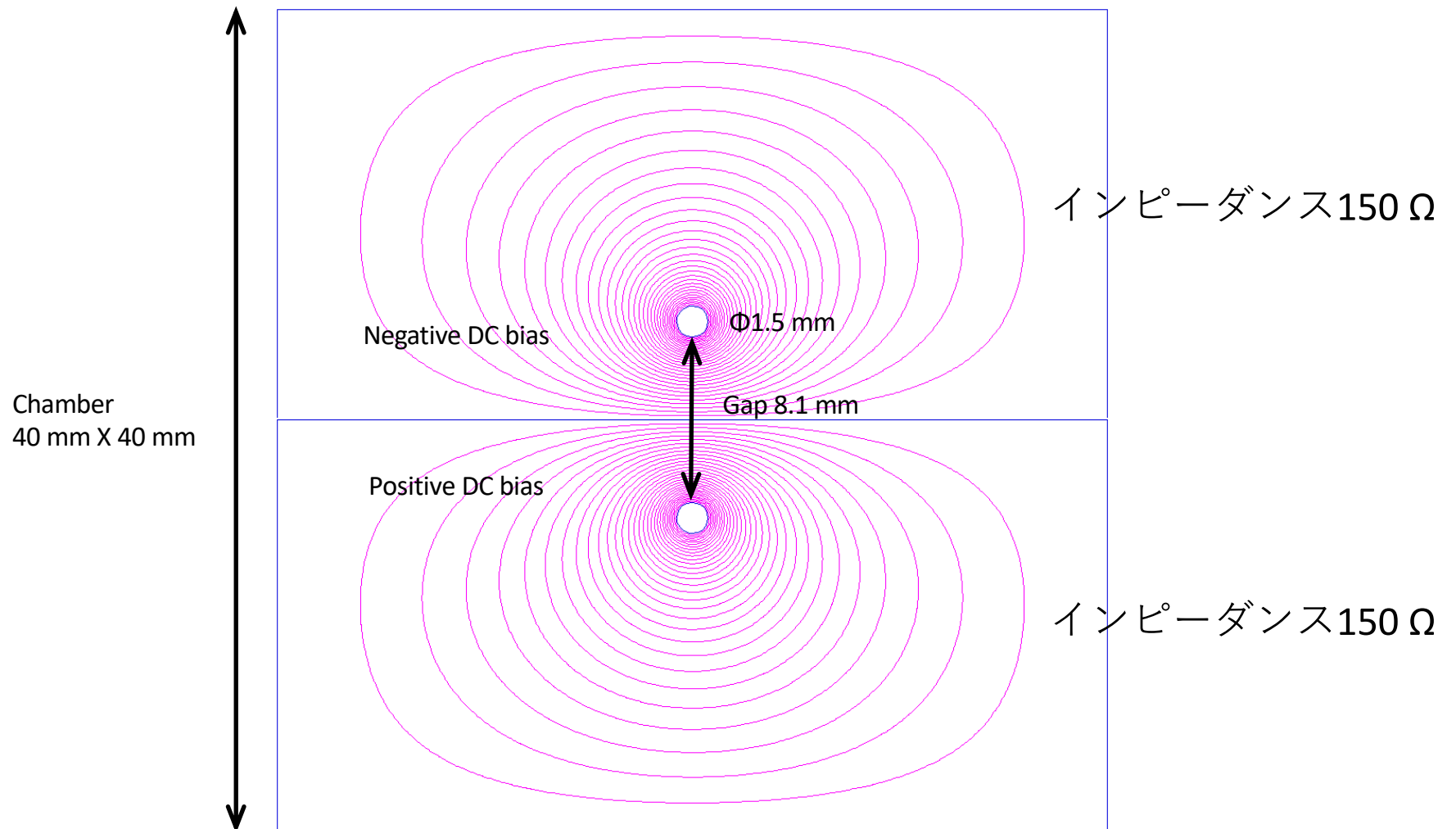
高インピーダンススビームチョッパー



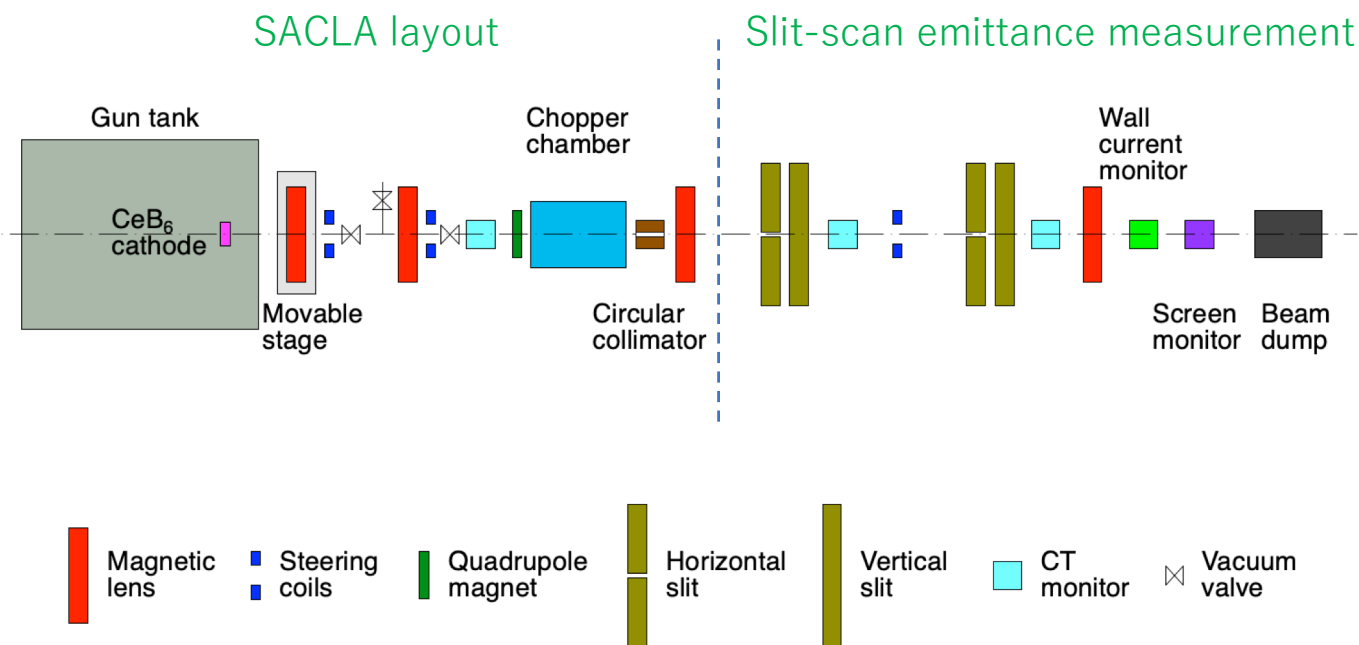
- 広帯域アンプのパワーを低減するために、ストリップライン電極のインピーダンスを50 Ωから150 Ωに ($V = \sqrt{PR}$) 。
- ギャップを20 mmから8 mmに狭め高電界化 ($y' \propto \int E_y dz$) 。
- 下方向のkickはDC磁場からDC電場へ変更。DC電場を矩形パルスで相殺し、透明な電磁場ゼロのゲートを実現する。

高インピーダンスビームチョッパー

ストリップラインの電位ポテンシャル

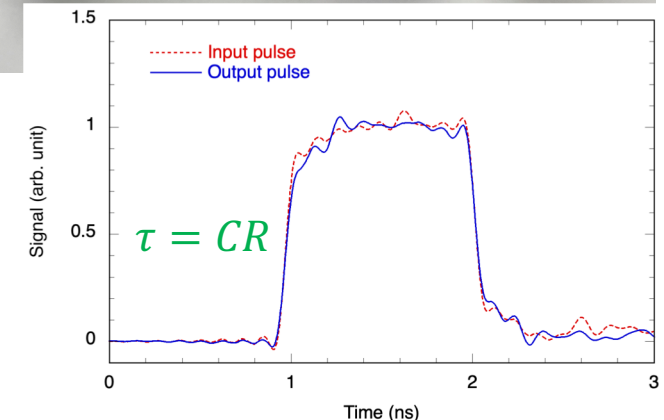
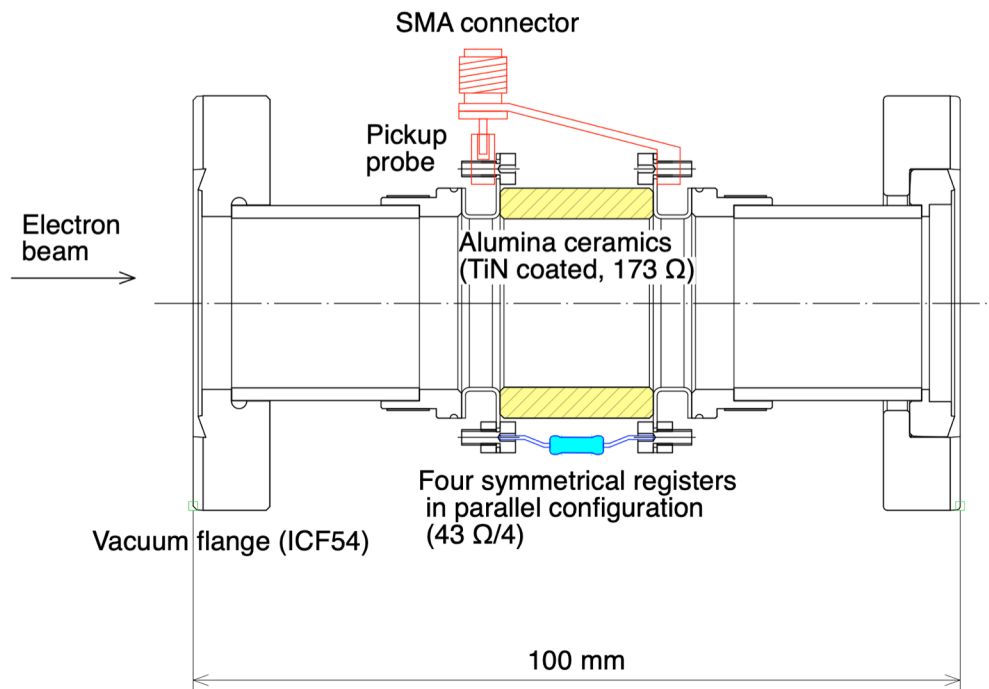


電子銃テストスタンド



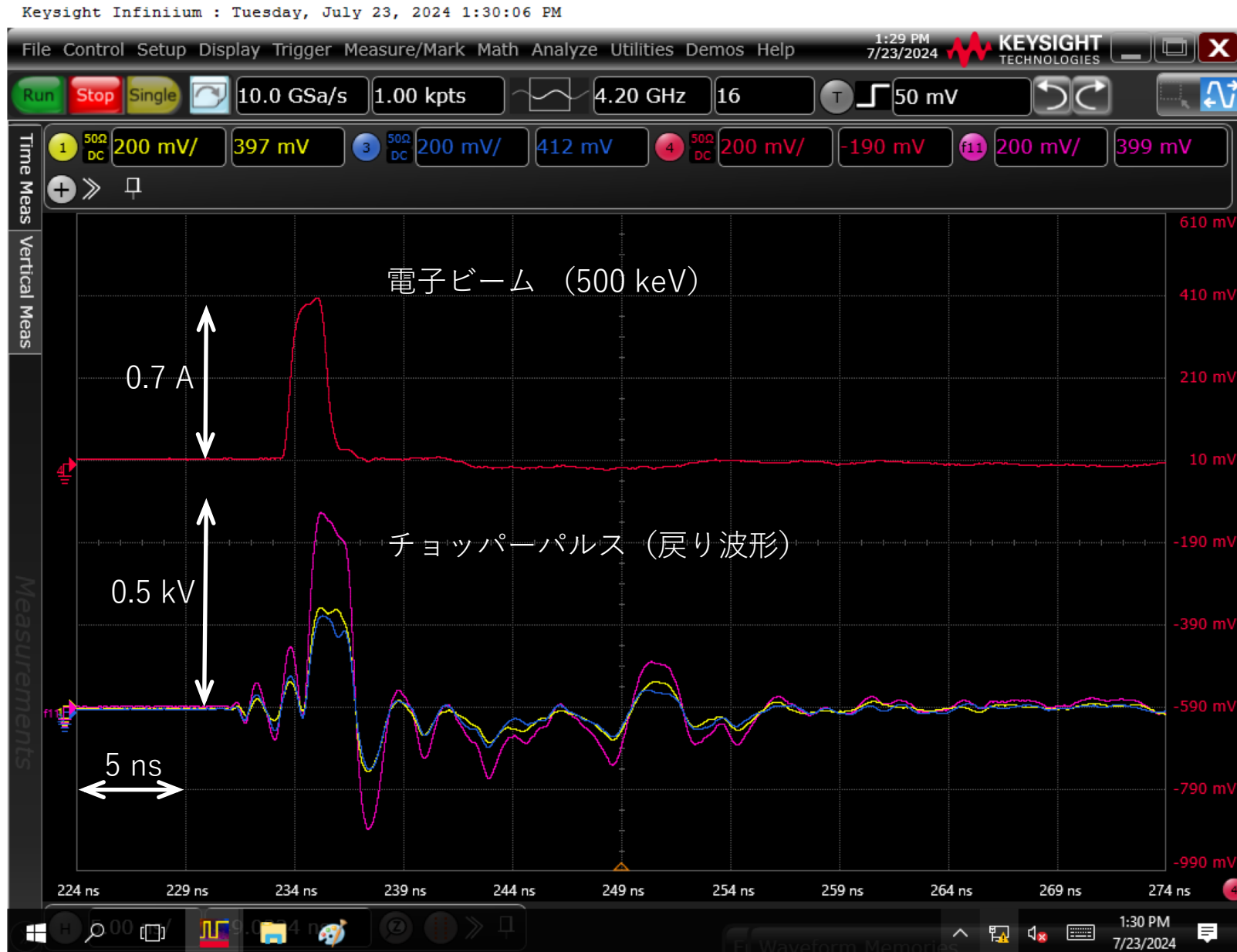
- 電子源開発とSACLA入射に備えて再整備。
- SACLA電子銃と同一のレイアウト。
- 短時間で電子銃タンクの交換が可能。
- 旧テストスタンドのエミッタンス測定装置を再稼働。
- SACLA電子銃の準備試験、カソード開発、高電界電子銃開発。

高速壁電流モニター



- 応答時間を決める浮遊容量を小さくする。
 - 1) 長めのセラミックギャップ (20 mm)。
 - 2) ノイズシールドを取り付けない。
- 応答時間を決める抵抗値を小さくする (10 Ω)
- ピックアップを短くしインピーダンス不整合による波形振動を抑える。
- 帯電防止のTiNコーティング。

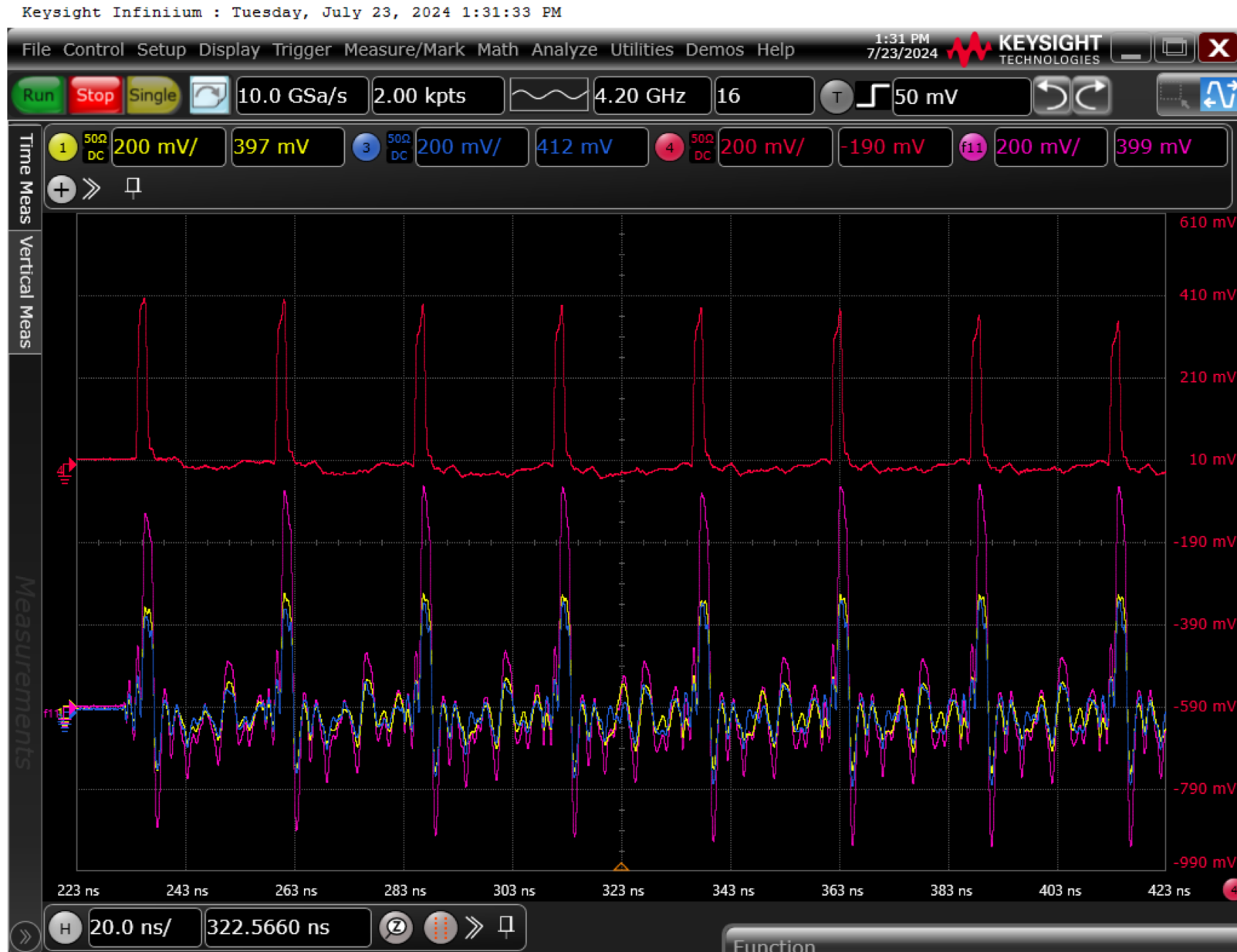
マルチバンチ電子ビームの生成



マルチバンチ電子ビームの生成



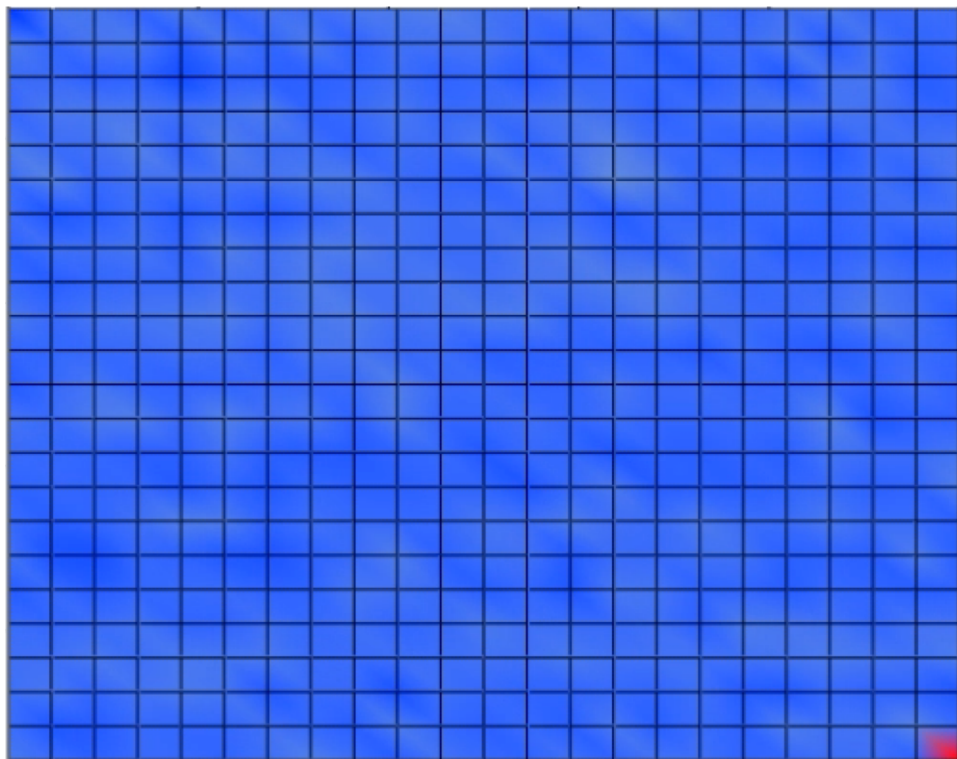
マルチバンチ電子ビームの生成



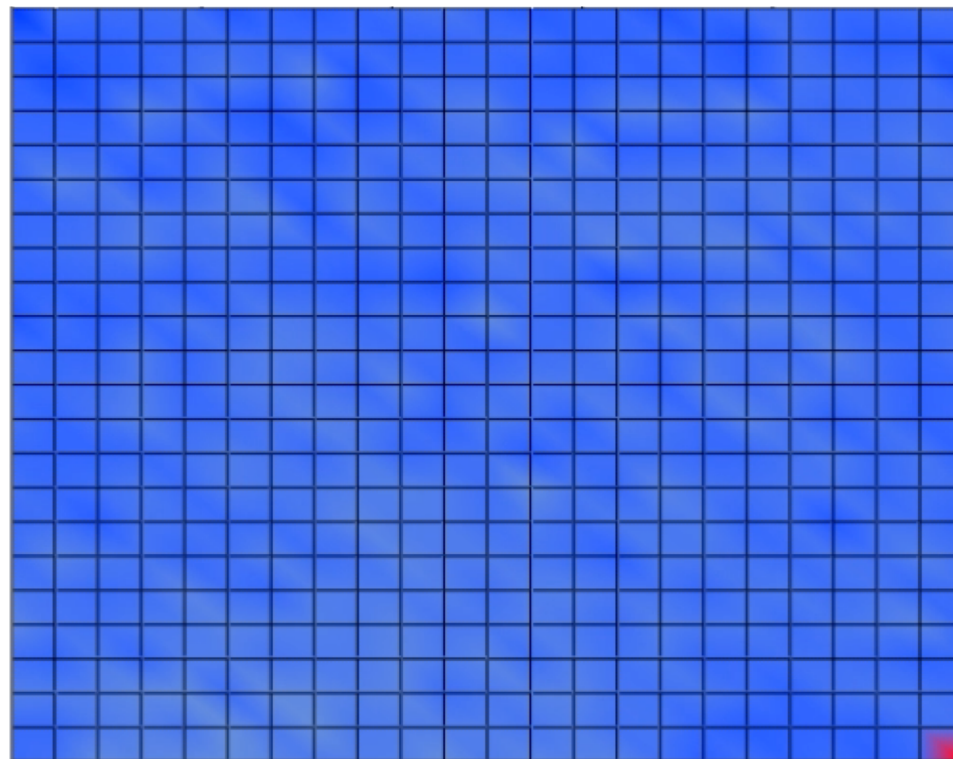
マルチバンチ電子ビームのピコ秒計測

実空間プロフィール (XY scan)

1st bunch



2nd bunch

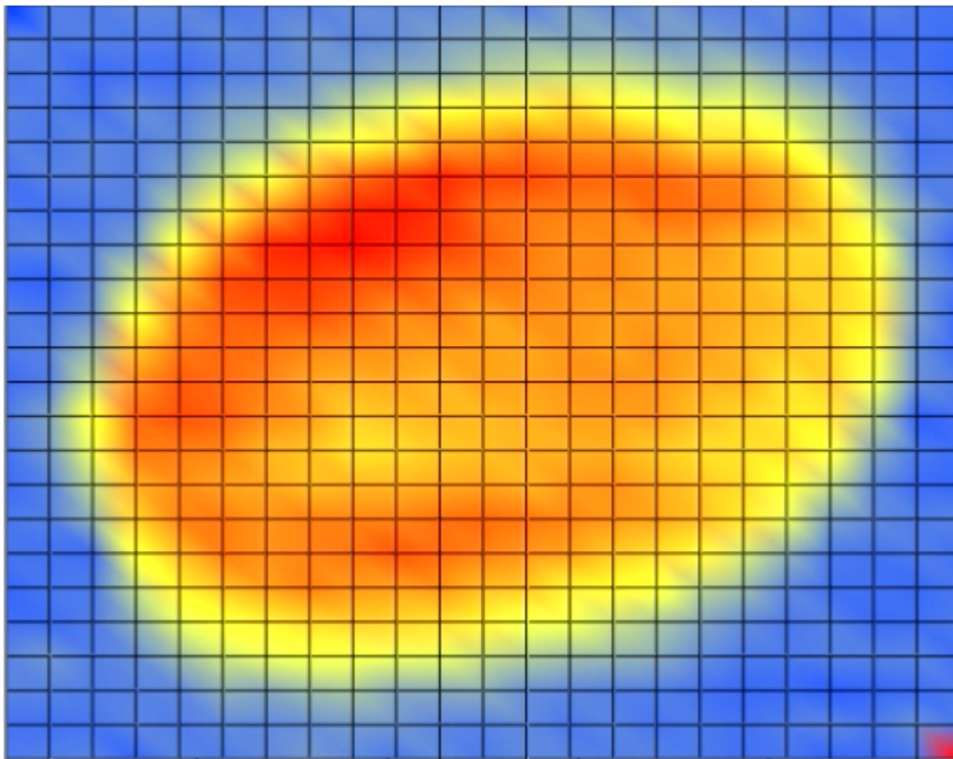


Slit width: 0.15 mm × 0.1 mm
Scan step: 0.15 mm × 0.05 mm
Area: 3.3 mm × 1.05 mm
Time: 2 ns

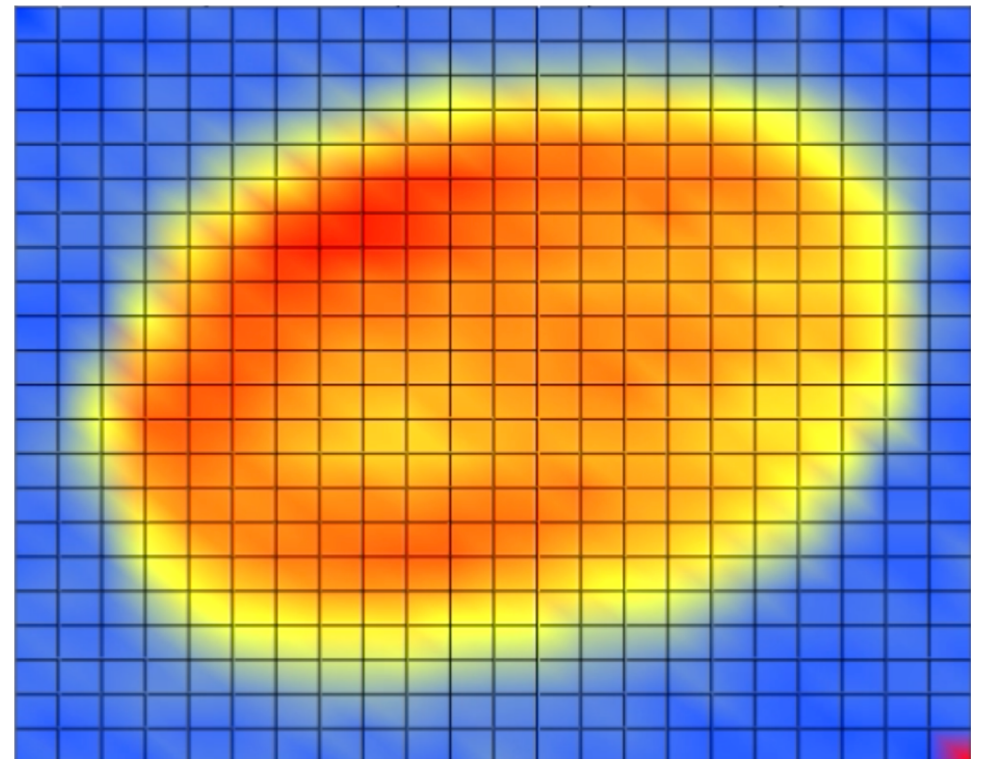
マルチバンチ電子ビームのピコ秒計測

実空間プロファイル (XY scan)

1st bunch



2nd bunch

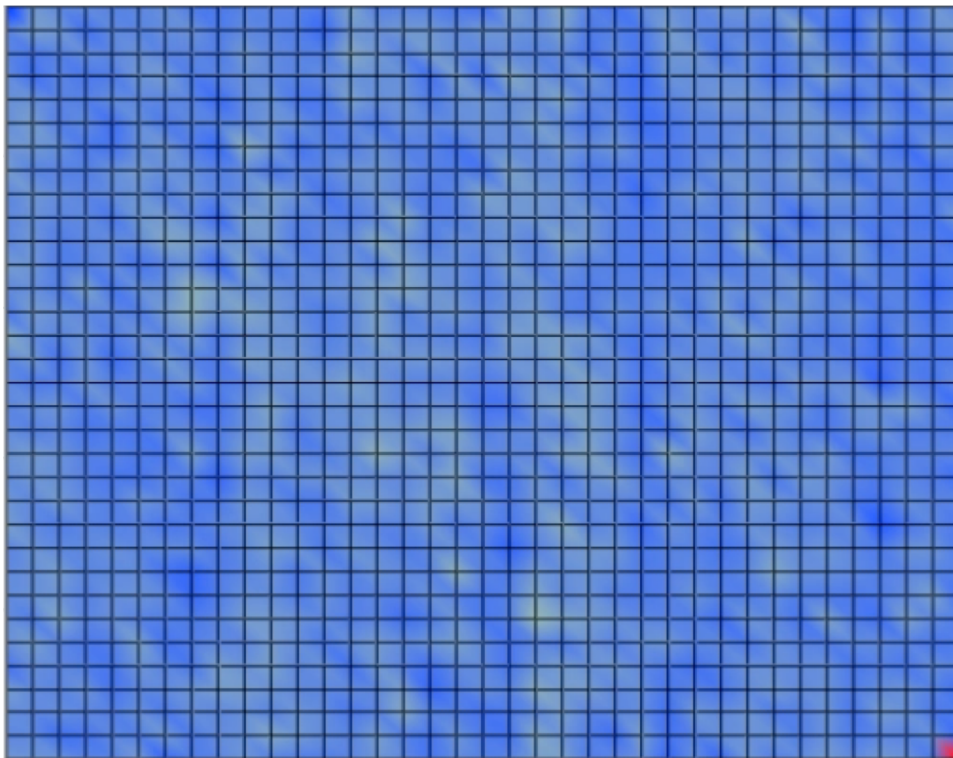


Slit width: 0.15 mm × 0.1 mm
Scan step: 0.15 mm × 0.05 mm
Area: 3.3 mm × 1.05 mm
Time: 2 ns

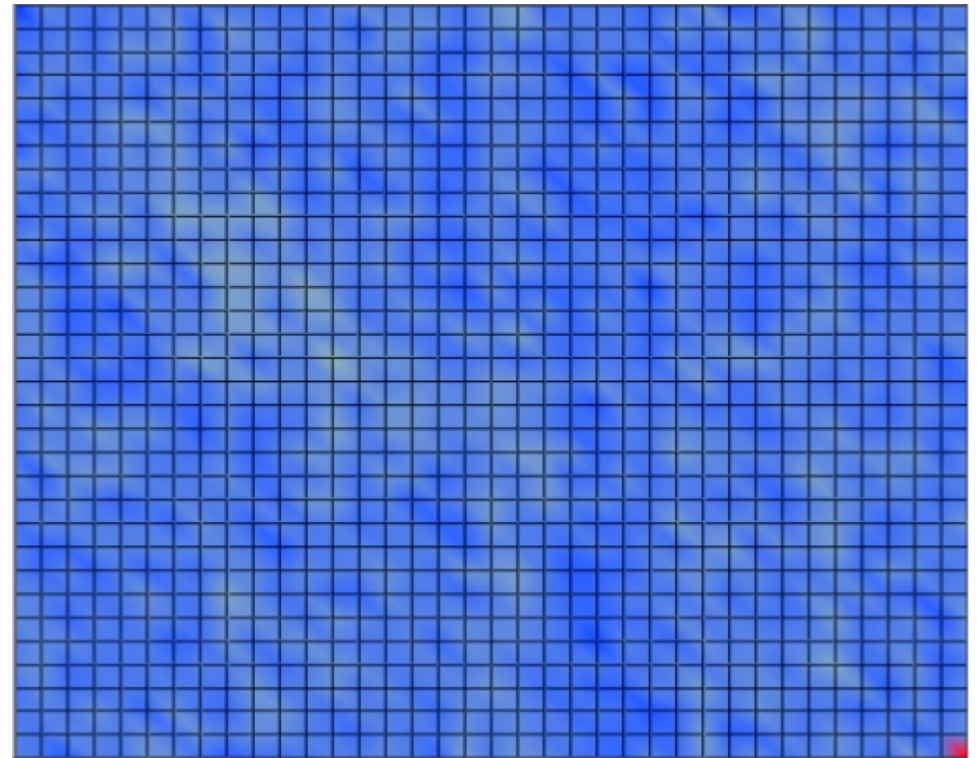
マルチバンチ電子ビームのピコ秒計測

位相空間プロファイル (XX scan)

1st bunch



2nd bunch

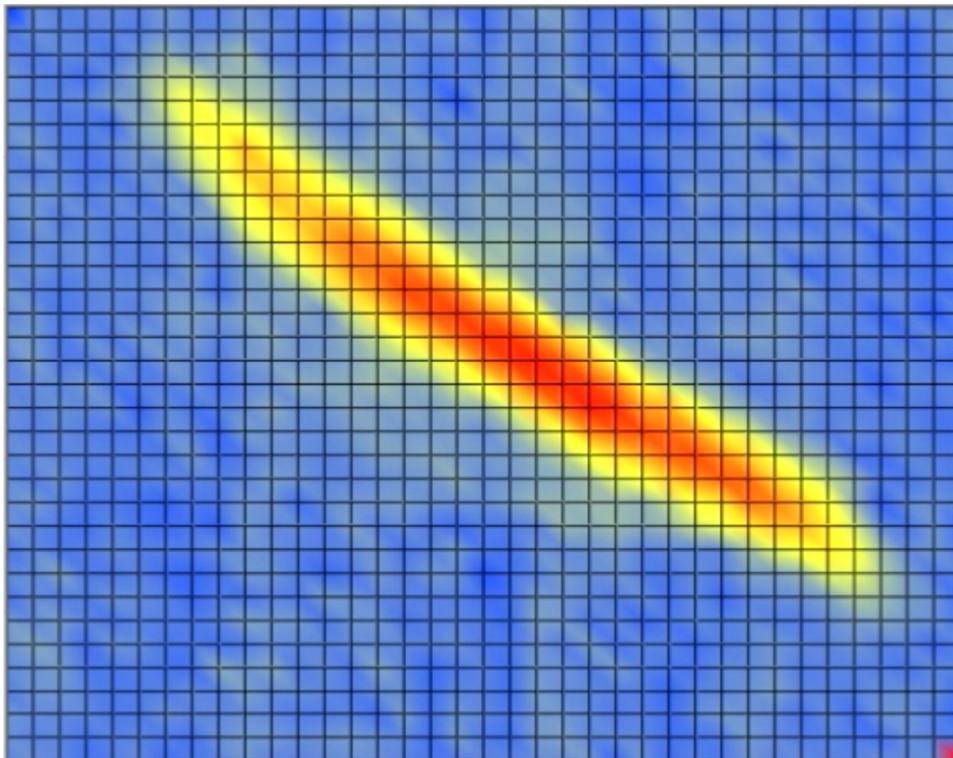


Slit width: 0.1 mm × 0.15 mm
Scan step: 0.1 mm × 0.15 mm
Area: 3.6 mm × 4.8 mm
Time: 2 ns

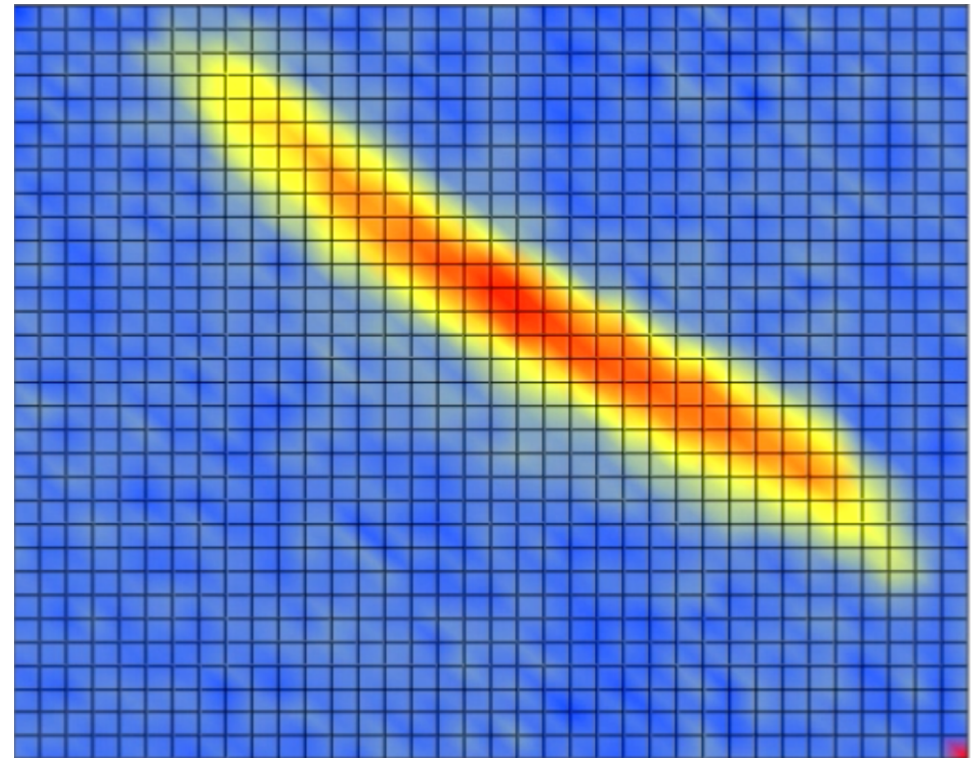
マルチバンチ電子ビームのピコ秒計測

位相空間プロフィール (XX scan)

1st bunch



2nd bunch



Normalized emittance = $0.52 \mu\text{m}$ (90% fraction)

若干の2次の湾曲、偏向電場の六極成分が残存？
パルス電場とdc電場の精密調整でキャンセル可能

Slit width: $0.1 \text{ mm} \times 0.15 \text{ mm}$
Scan step: $0.1 \text{ mm} \times 0.15 \text{ mm}$
Area: $3.6 \text{ mm} \times 4.8 \text{ mm}$
Time: 2 ns

まとめ

- SACLA電子銃のさらなる安定化のために、広帯域高周波アンプ型パルサーと高インピーダンスチョッパーを開発した。
- 新しい広帯域高周波アンプ型パルサーの特性を活かし、マルチバンチ構造の低エミッタンス電子ビームの生成を行った。
- 電子銃テストスタンドにて、スリットスキャン技術と高速壁電流モニターの組合せにより、ナノ秒マルチバンチ電子ビームのスライス特性を数10ピコ秒の時間分解能で計測することに成功した。
- 2025年度のSACLA導入を目指す。