



# 27 MHz電子ビームに よるTHZ-FEL発生試験

大阪大学 産業科学研究所

川瀬 啓悟



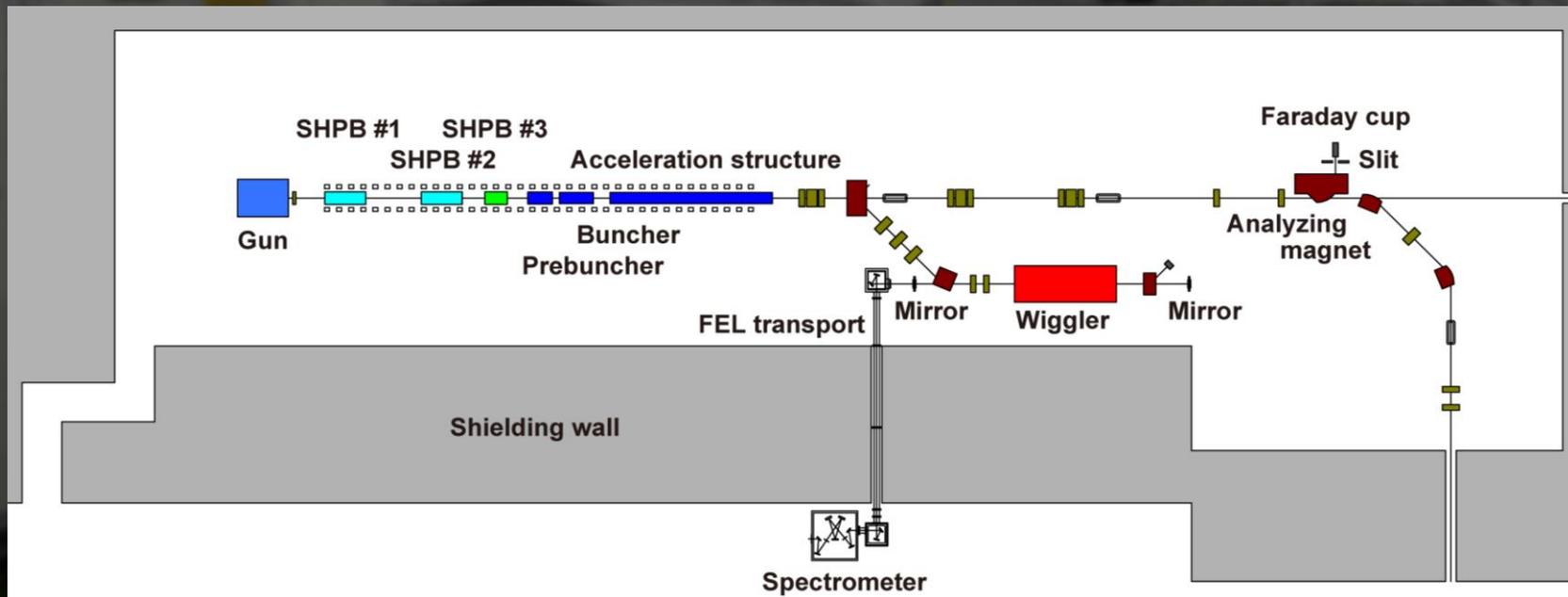
# COLLABORATORS

- 阪大産研
  - 末峰 昌二、加藤 龍好、入澤 明典、藤本 將輝、  
大角 寛樹、矢口 雅貴、船越 壮亮、堤 亮太、  
古川 和弥、久保 久美子、徳地 明、磯山 悟朗

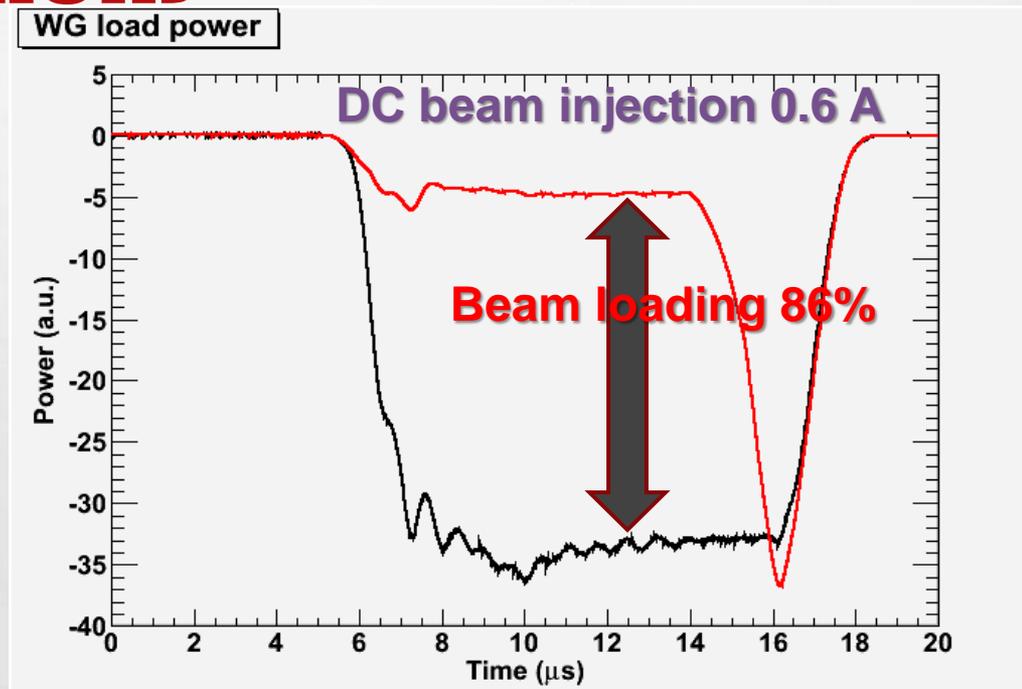
# INTRODUCTION

- 大阪大学産業科学研究所では、Lバンドライナックで発生させたパルス幅8  $\mu\text{s}$ のマクロパルス電子ビームを用いて、THz領域のFELの研究を実施
- 現在、電子銃からDCビームを発生させ、108 MHz SHBを用いて9.2 ns間隔のパルス列としてビームを加速
- 一方、光共振器は37 nsの光周回間隔で、光パルスは4個が独立に成長
- FELゲインはバンチ電荷に依存するので電荷量は高い方が有利だが、すでにビームローディングが大きい
- 電子パルスを27 MHzで駆動することで、平均ビーム電流を現状のまま、4倍のバンチ電荷を導入することが可能
- 高ゲイン化により、長波長への発振領域の拡大や高ゲイン短パルスFEL物理の実験的な研究にもつながる
- そのために、27 MHzで電子銃を駆動するグリッドパルサーを開発し、マクロパルス電子ビーム加速試験、FEL発生試験を実施中

# 産研Lバンドライナック & THz FEL

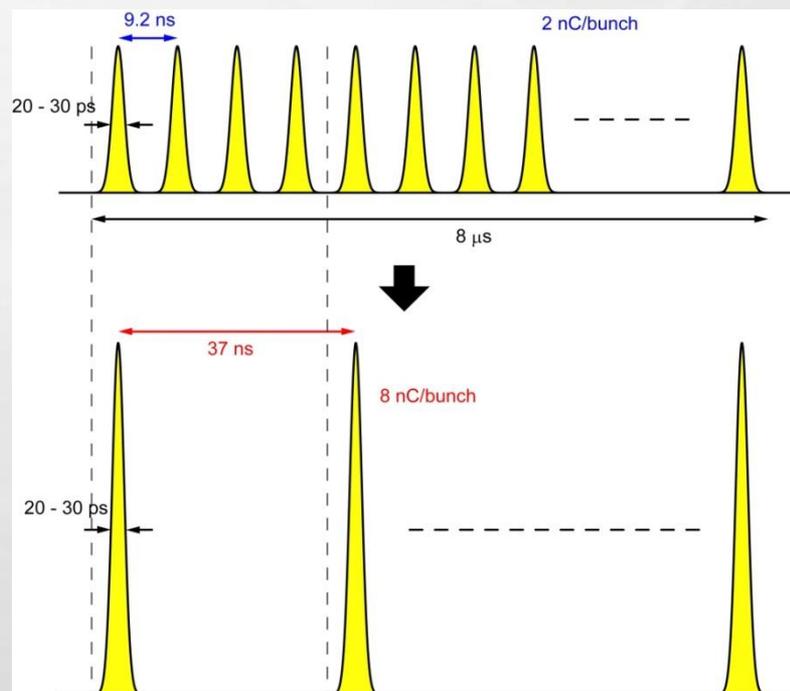
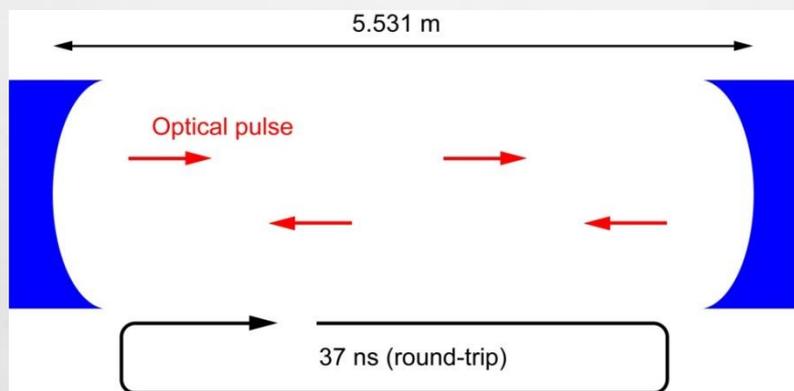


# Beam Loading at Acc. Structure in the 108 MHz Operation (DC Beam Injection)



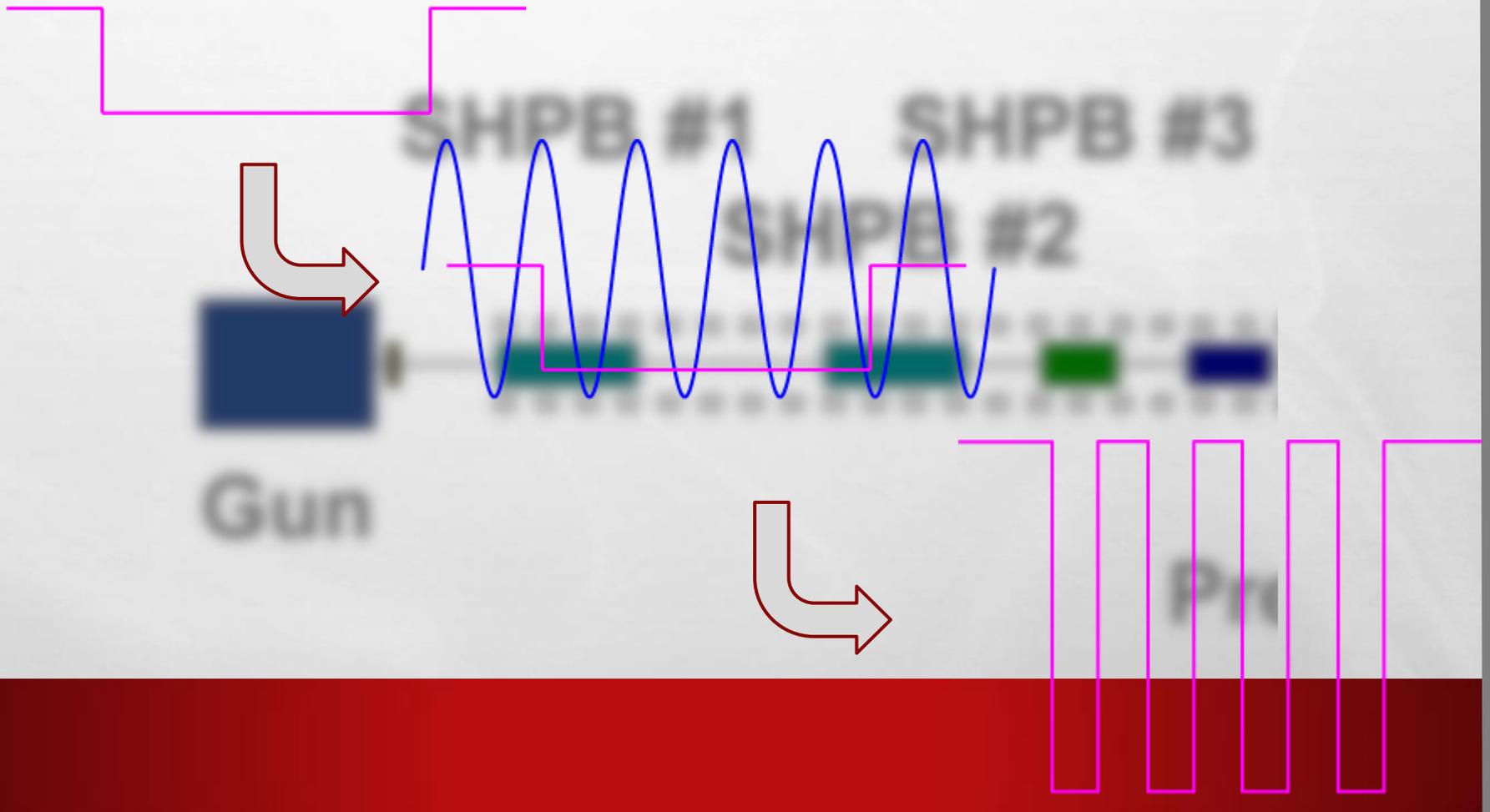
これ以上のビーム電流の増大は難しい

# FEL共振器中のパルス列

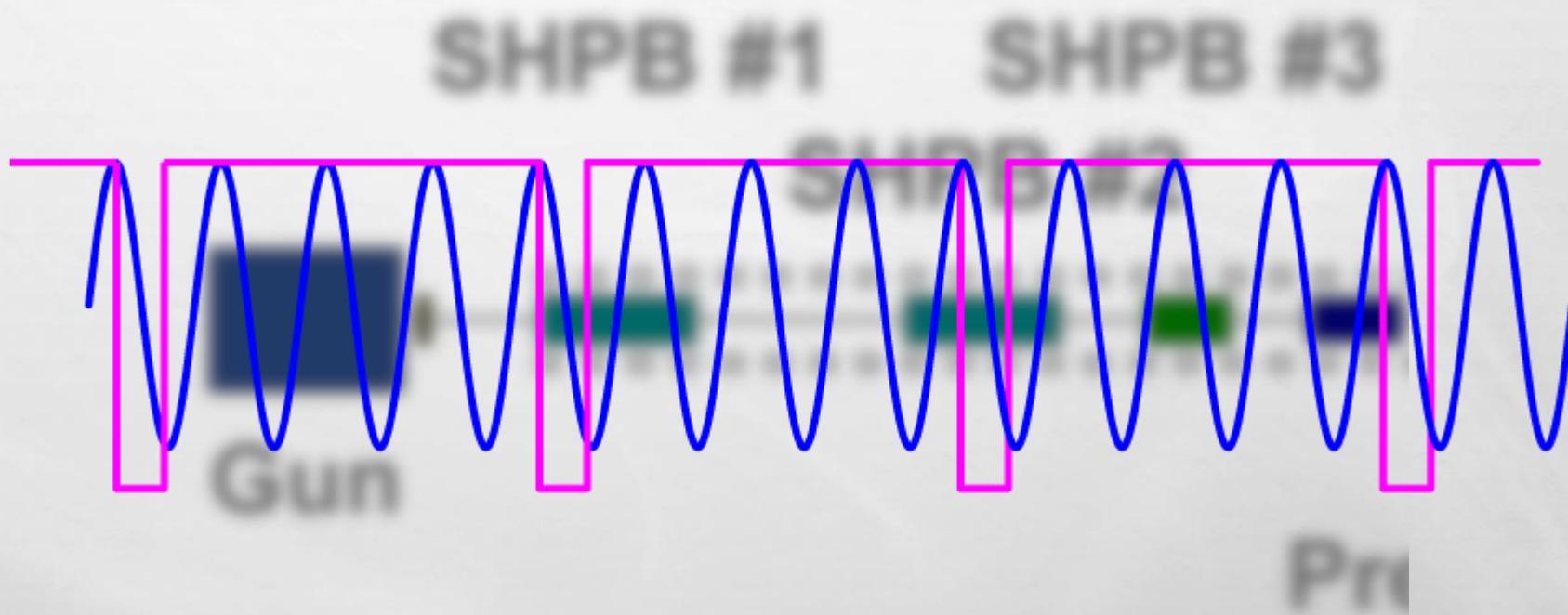


1個のマイクロパルスについて見ると、27 MHzの入射でよい

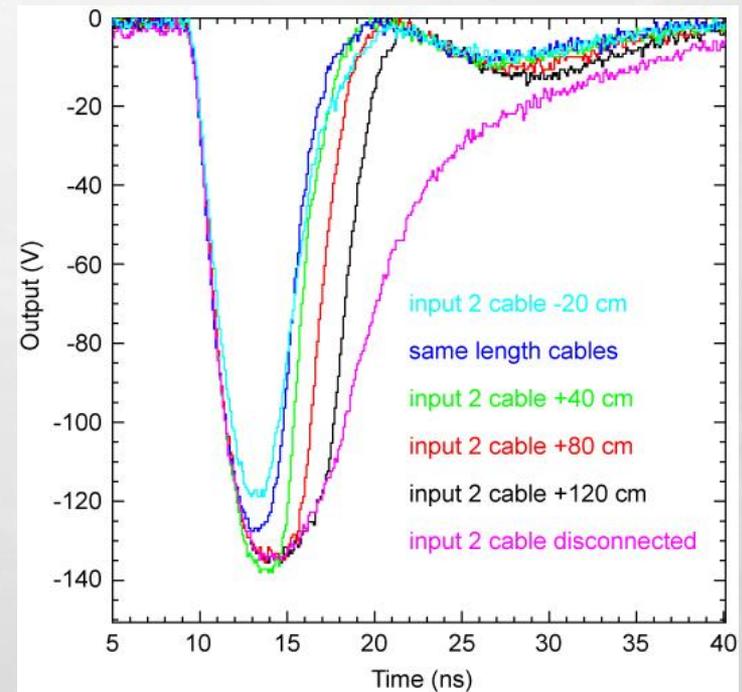
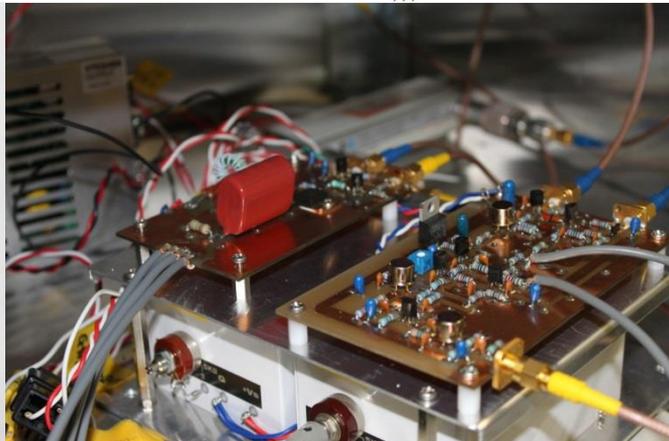
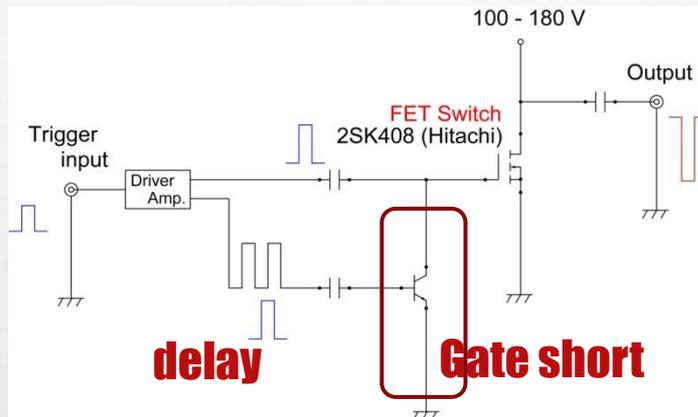
# 現在の電子ビーム入射系



# 27 MHz ビーム入射

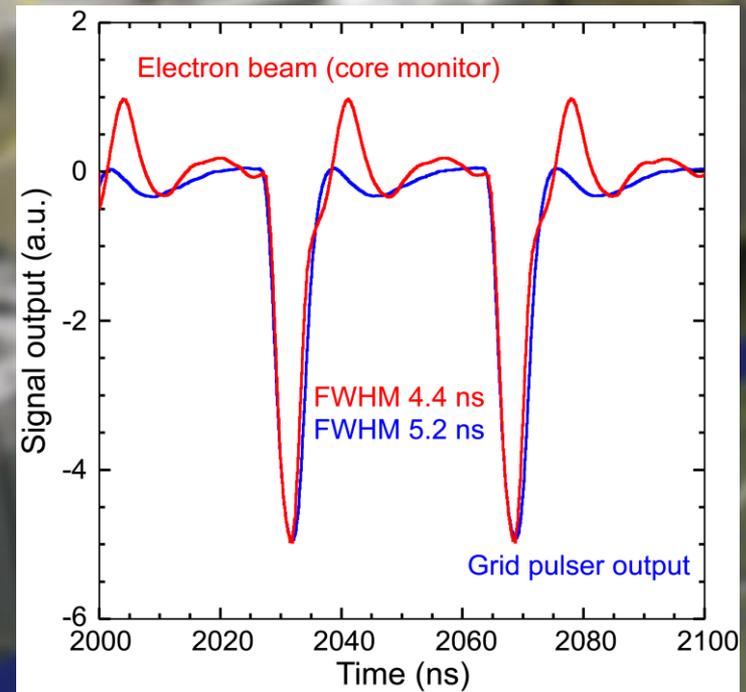
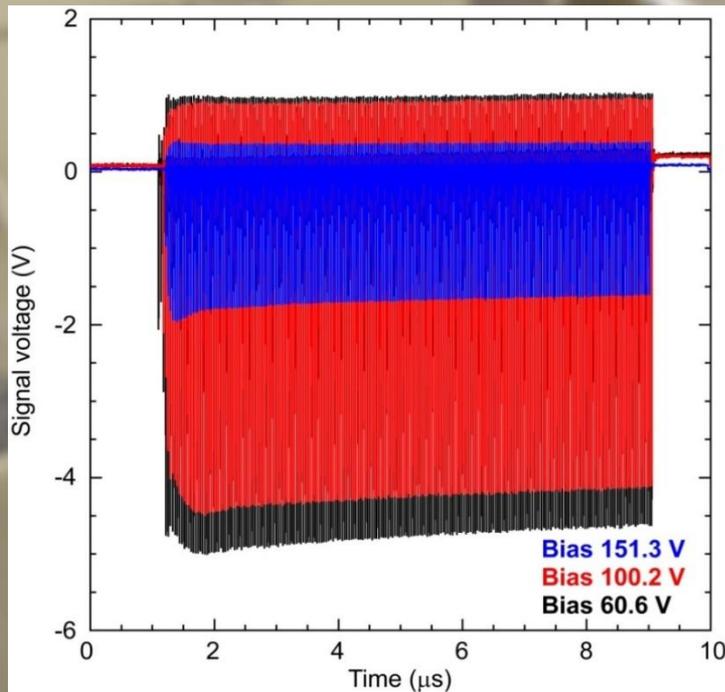


# 高速グリッドパルサー



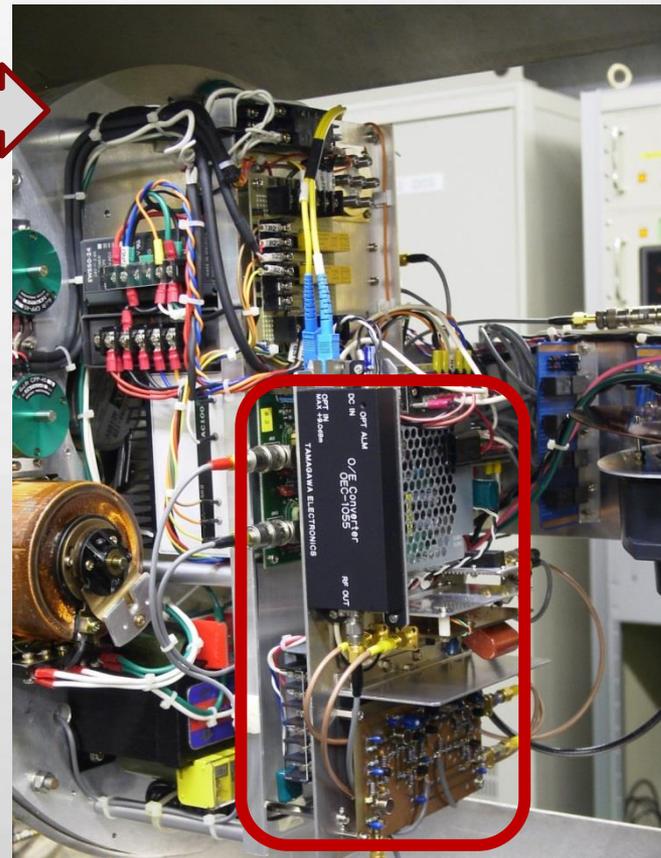
FETを用いた小型で高速 [ $< 5\text{ns}$ ,  $27\text{MHz}$ ] のグリッドパルサーを開発

# 高速グリッドパルサー



テストベンチにおいて、動作確認

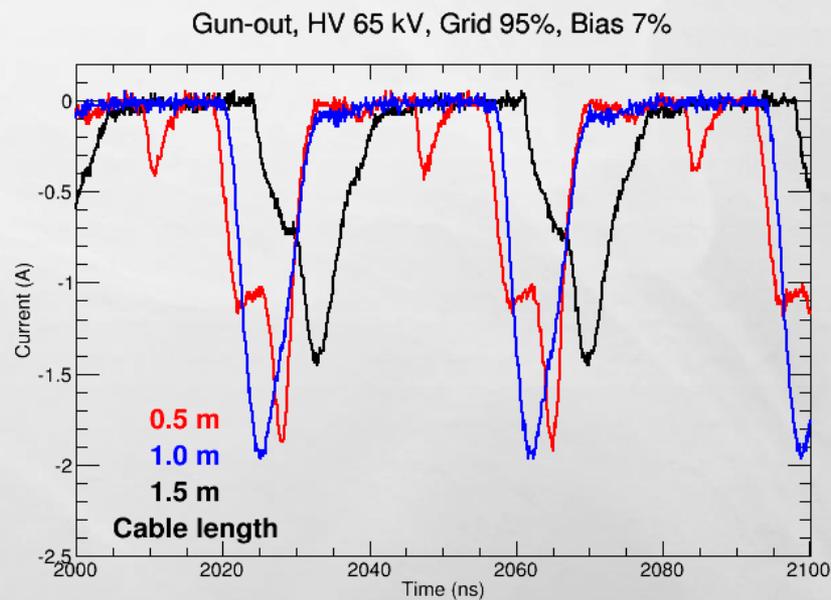
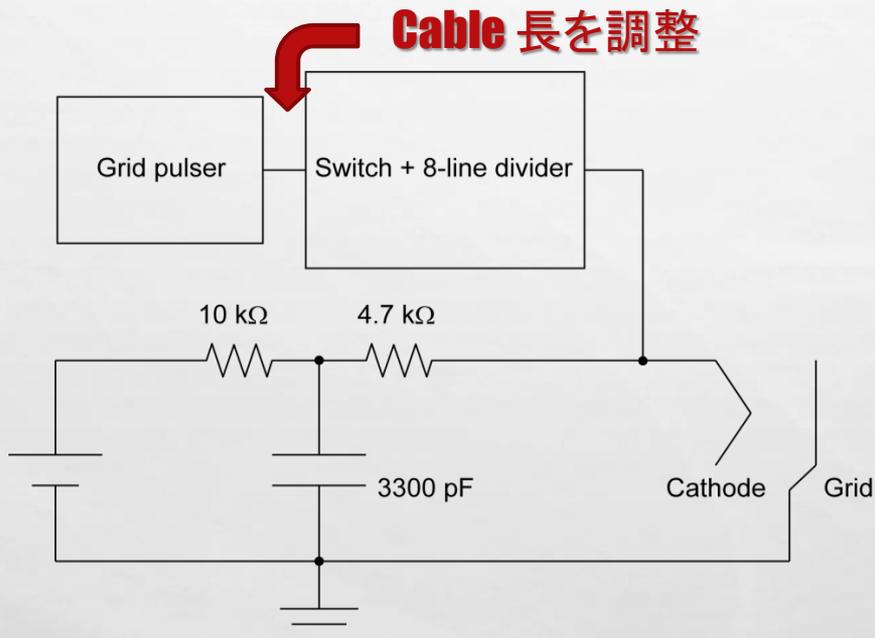
# バンドライナック実機への導入



現行システムに追加する形で**27 MHz**グリッドパルサーを導入

# バンドライナック実機への導入

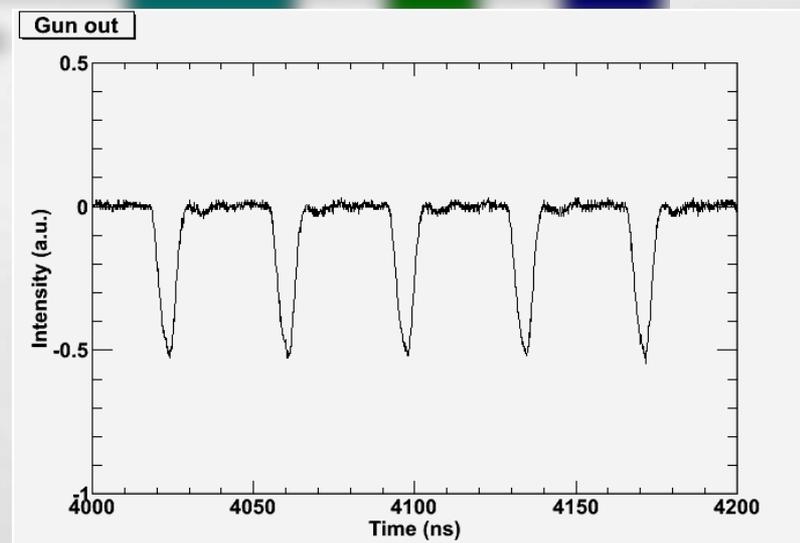
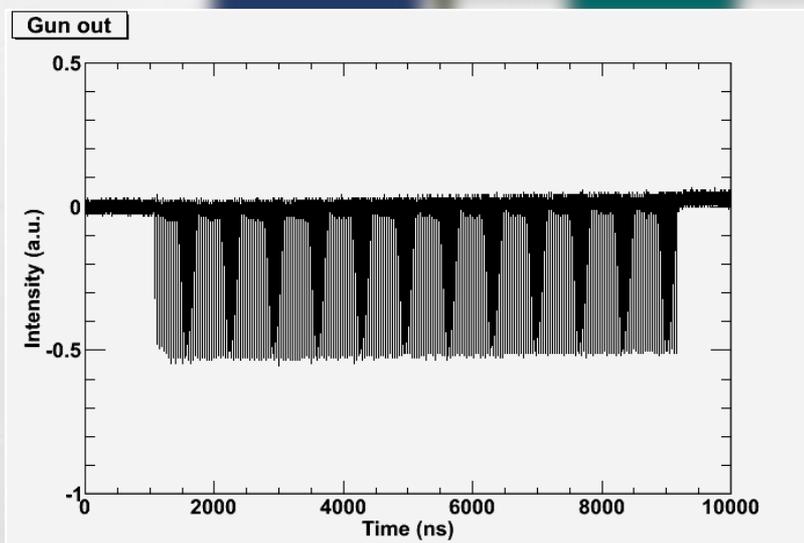
**Cable** 長を調整



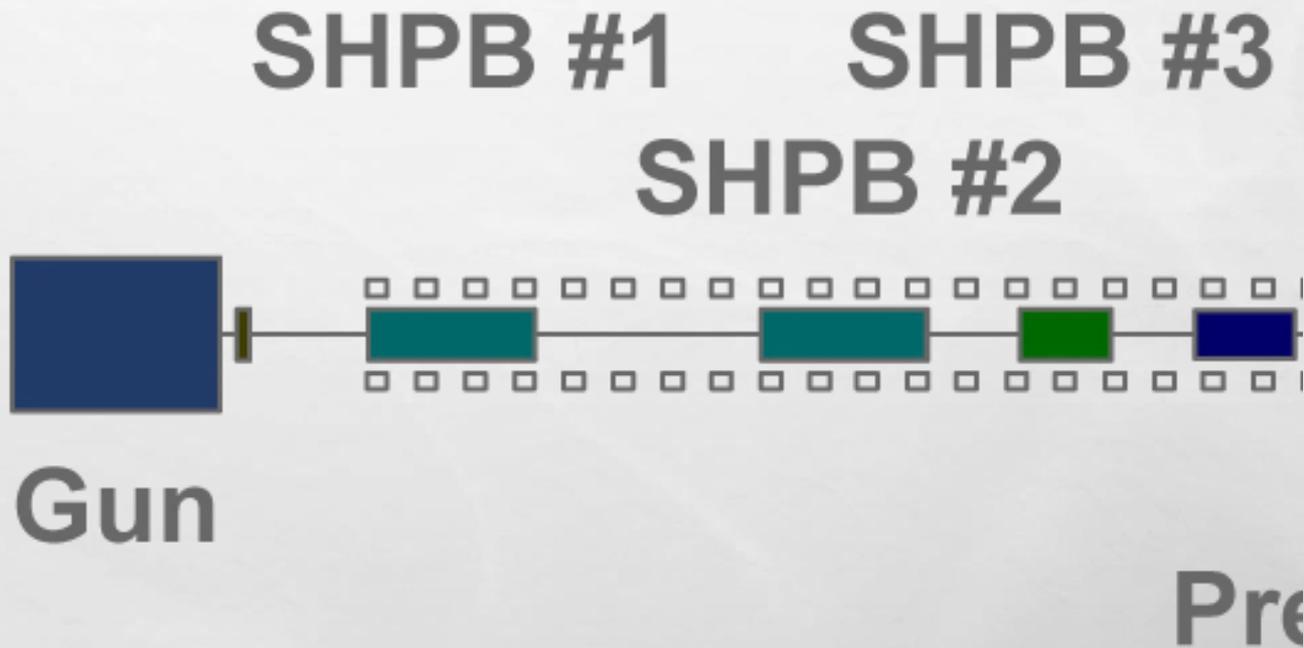
負荷との不整合による反射が原因のサテライトパルスの発生は、ケーブル長を調整することにより対処

# 電子銃出力

SHPB #1      SHPB #3  
SHPB #2



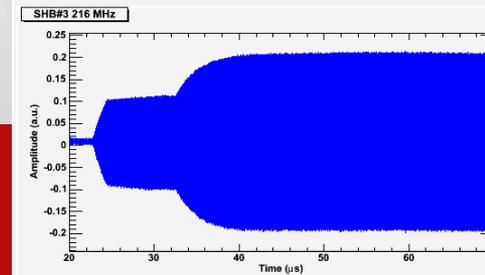
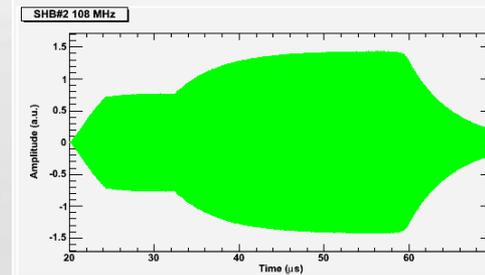
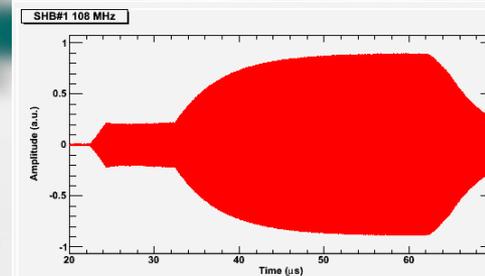
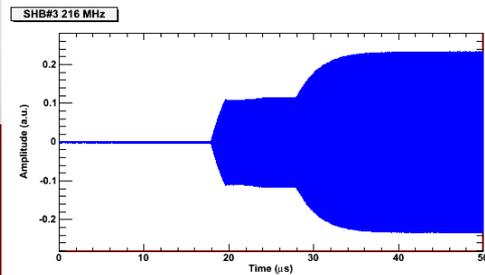
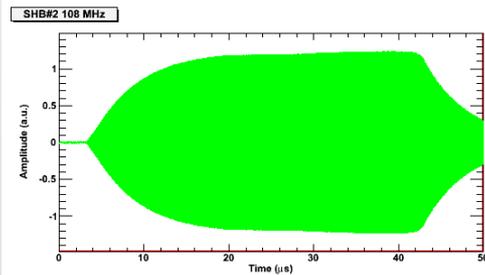
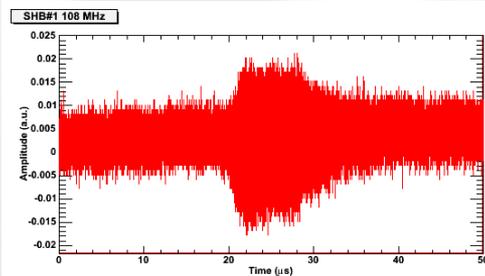
# SHBへのビーム導入



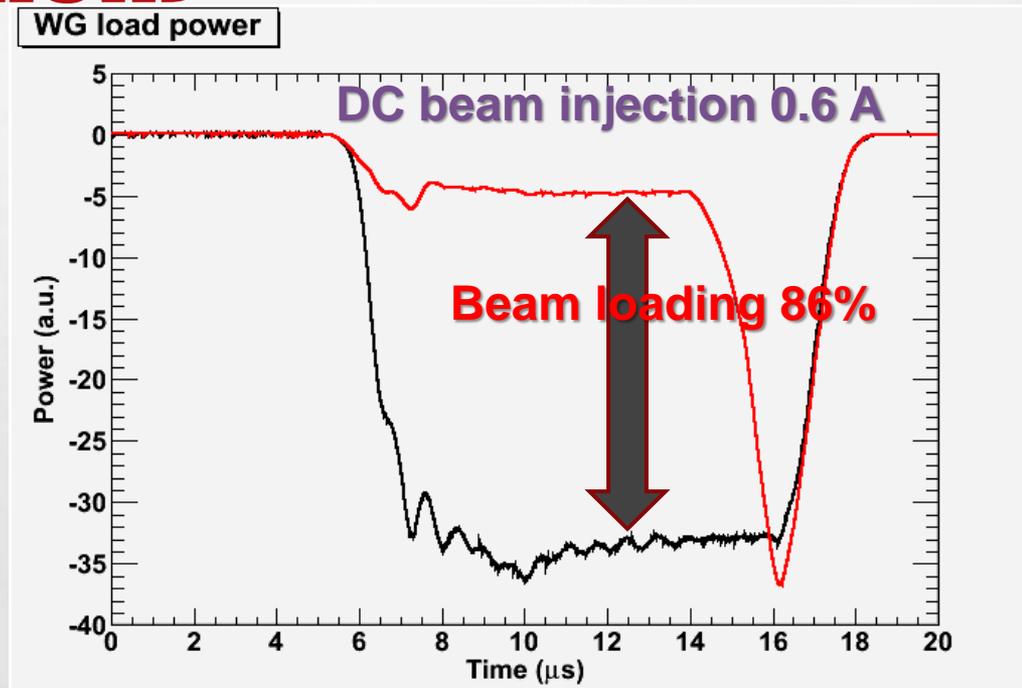
# SHB空洞における ビームローディング

108 MHz

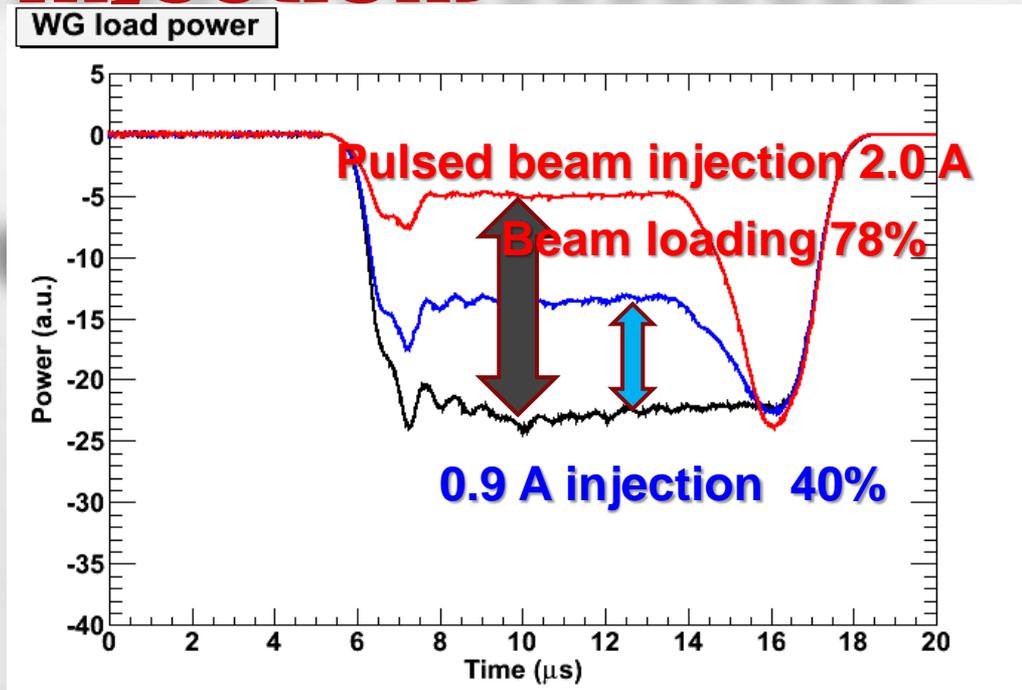
27 MHz



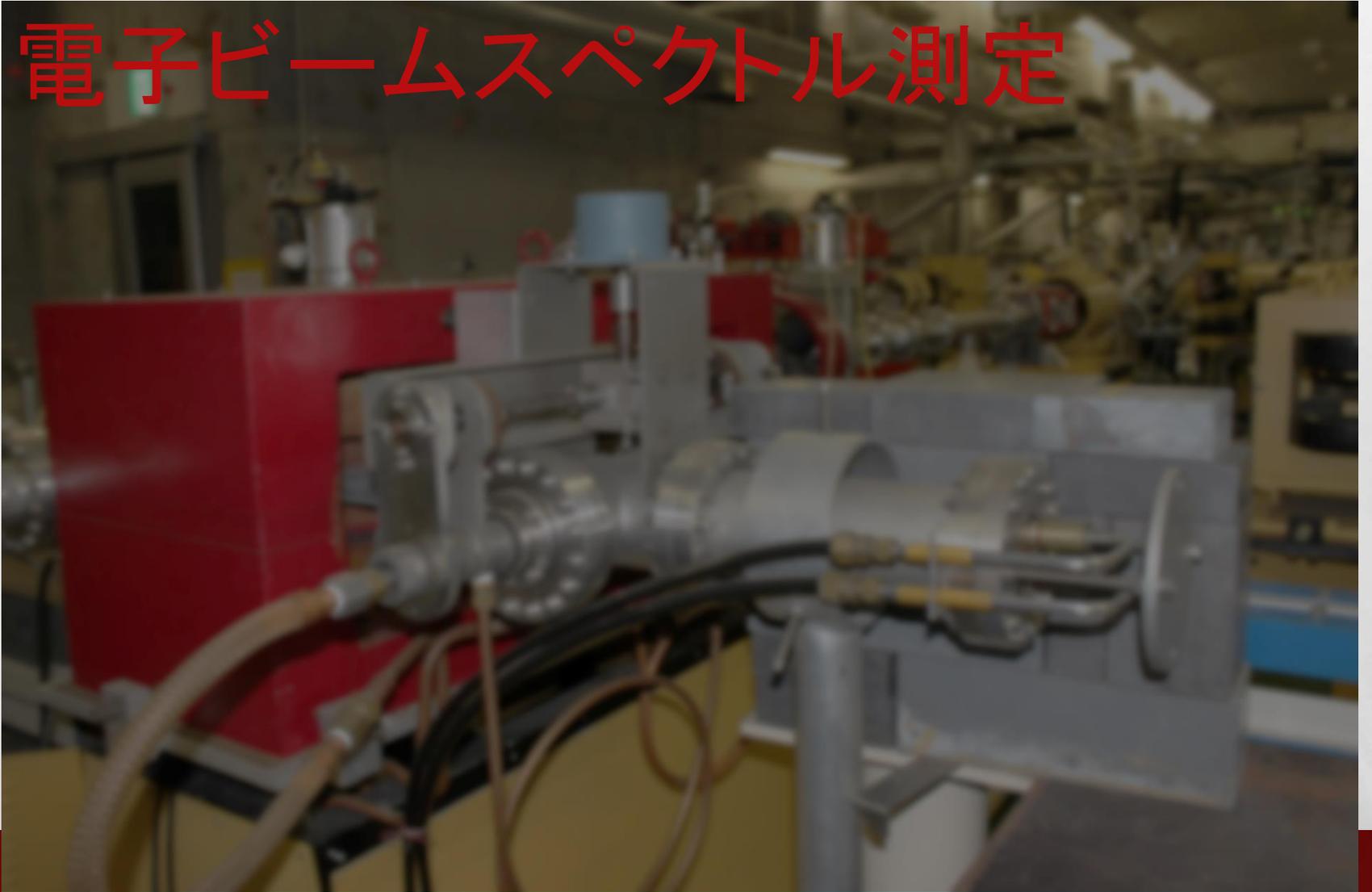
# Beam Loading at Acc. Structure in the 108 MHz Operation (DC Beam Injection)



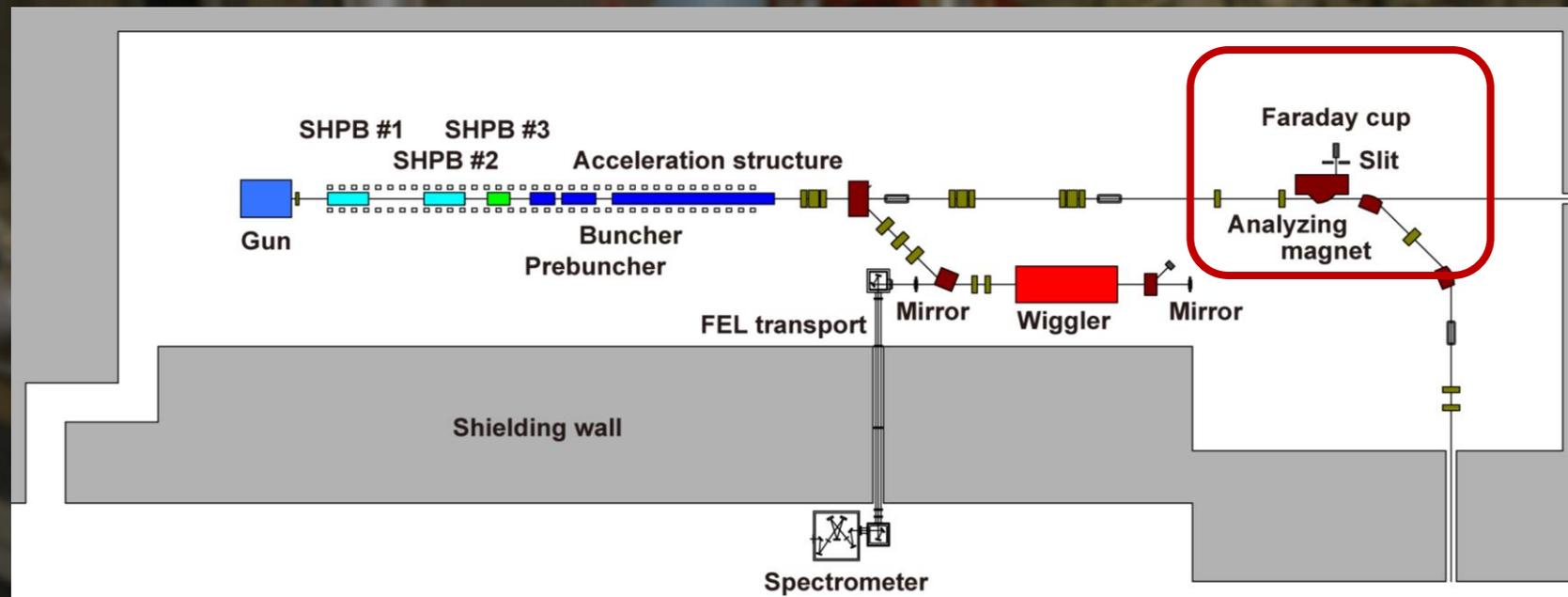
# Beam Loading at Acc. Structure in the 27 MHz Operation (Pulsed Beam Injection)



# 電子ビームスペクトル測定



# 電子ビームスペクトル測定

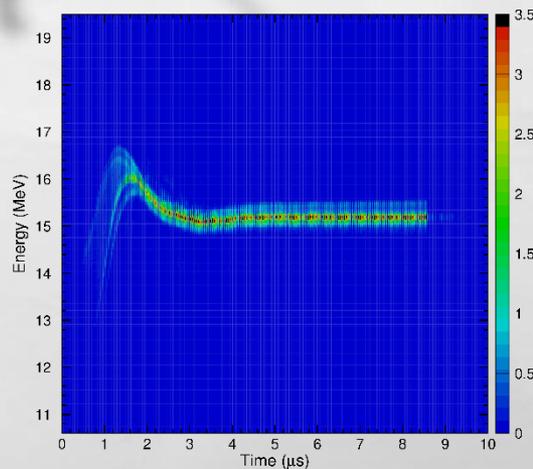
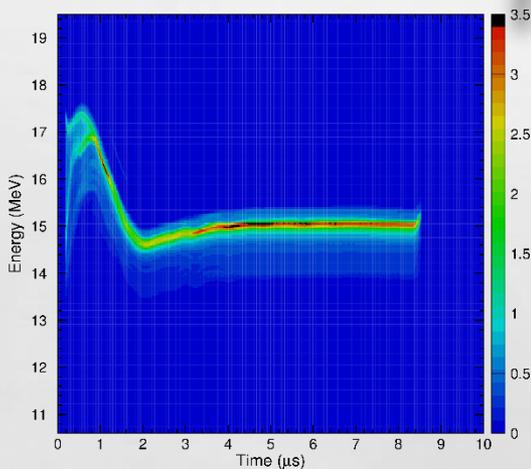


# 電子ビームスペクトル



**108 MHZ OPERATION**

**27 MHZ OPERATION**

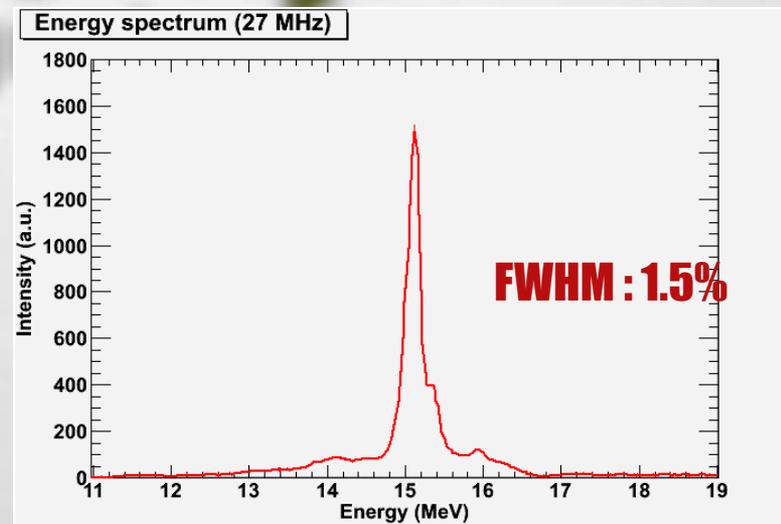
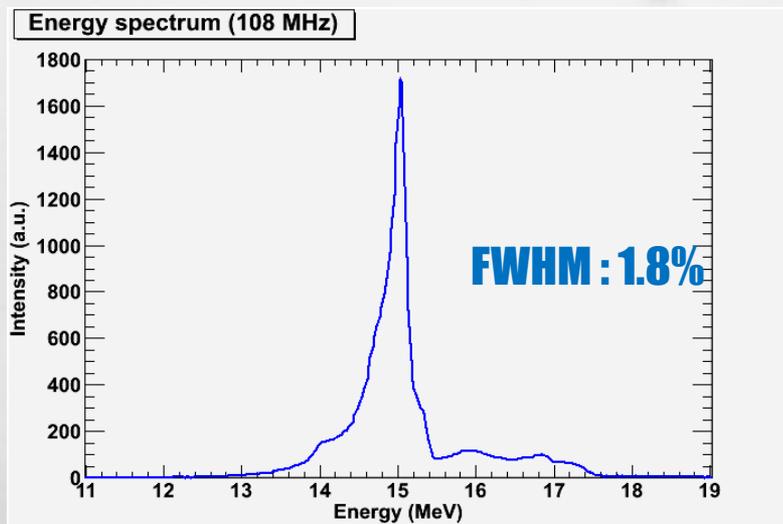


オシロスコープ波形を重ね合わせた時間分解したスペクトル

# 電子ビームスペクトル

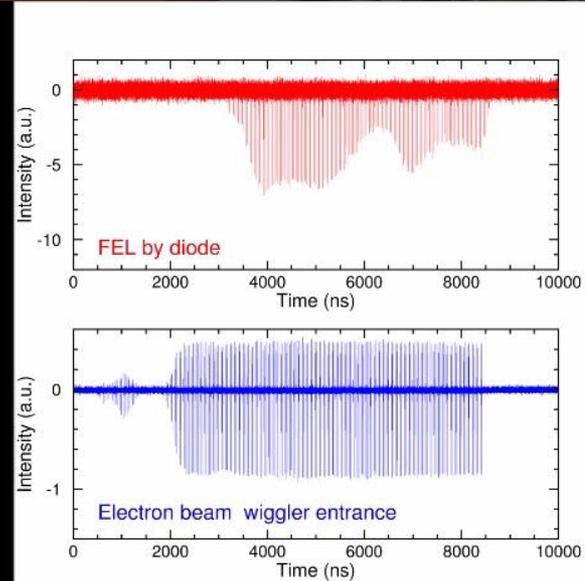
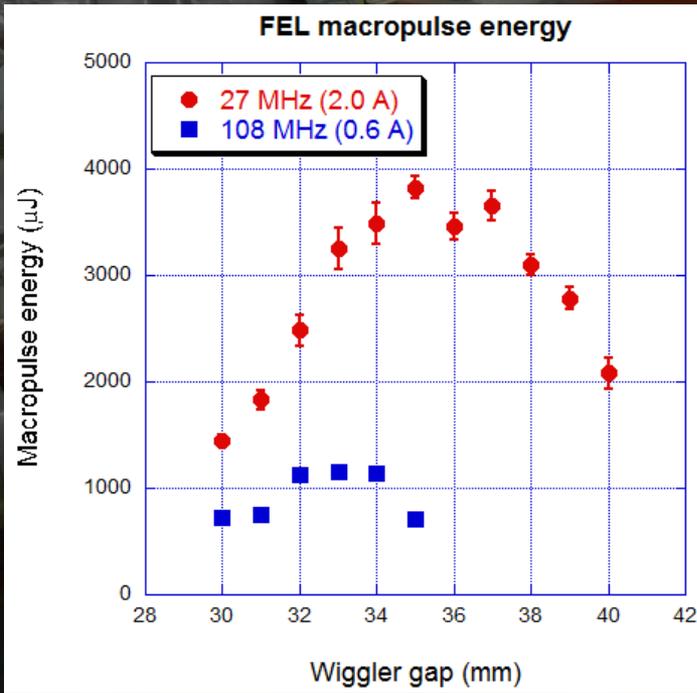
108 MHZ OPERATION

27 MHZ OPERATION



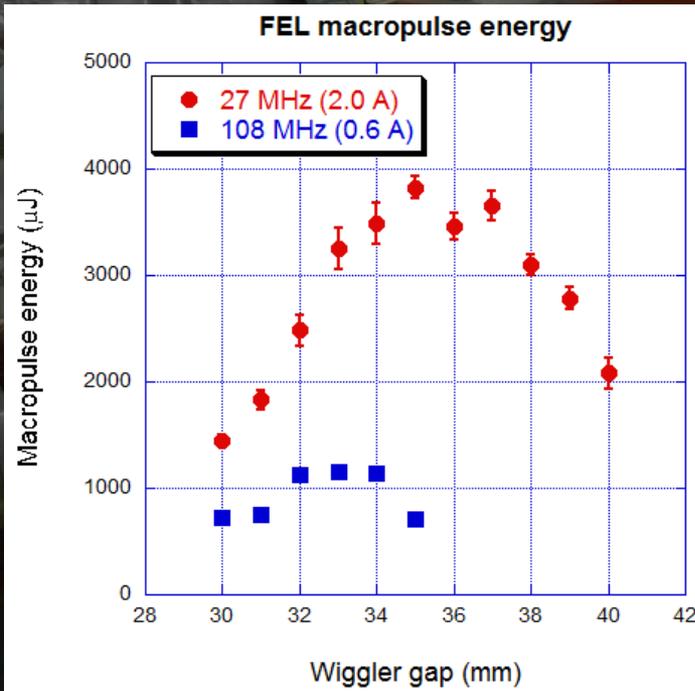
エネルギー軸への射影スペクトル

# FEL



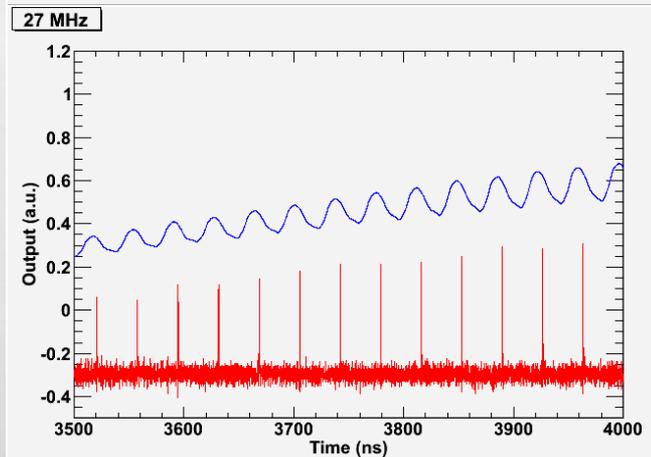
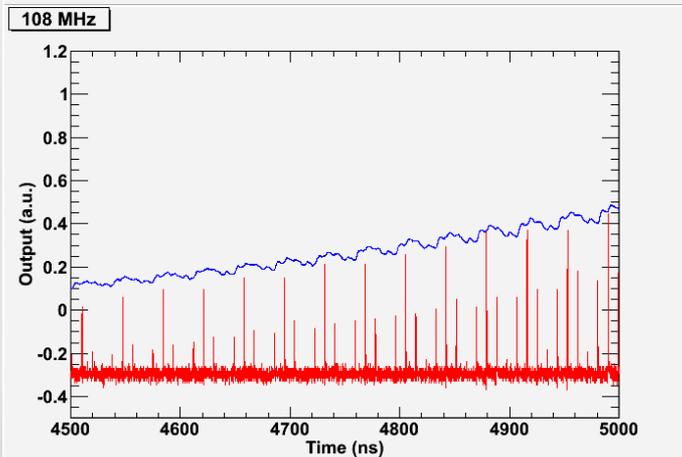
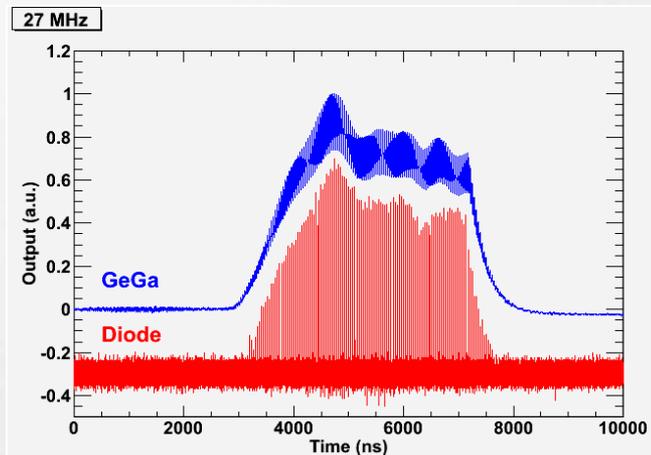
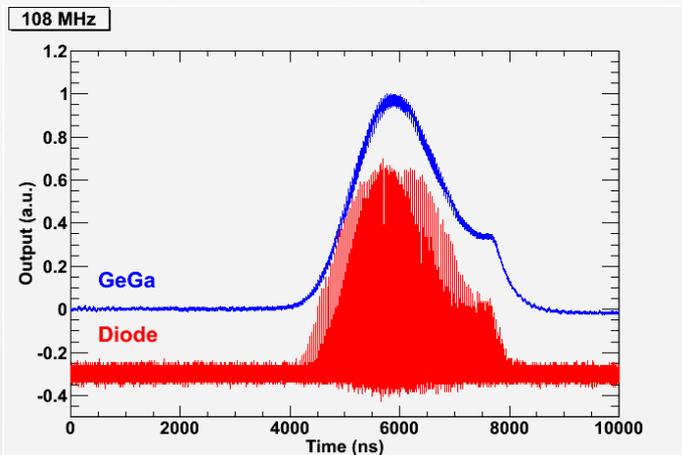
**Gap 30 mm, Mirror position 0.1 mm**

# FEL



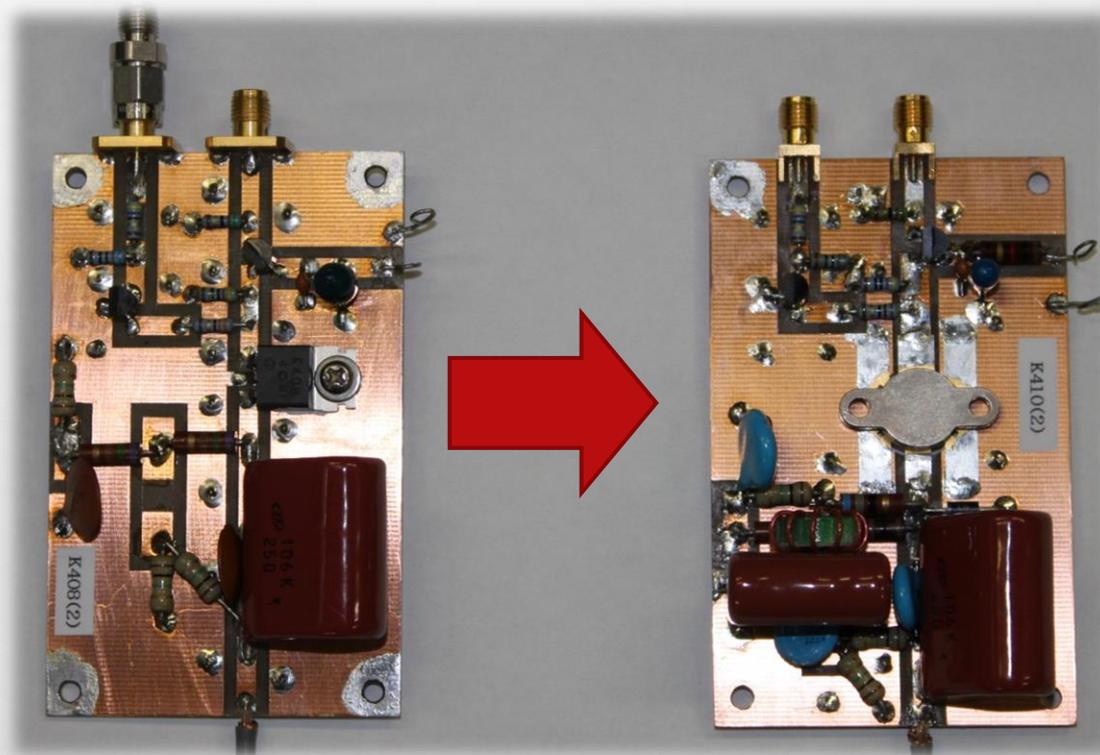
- **GAP 30 mm ( $\sim 105 \mu\text{m}$ )**  
**MACROPULSE ENERGY : 1.4 mJ ( $\sim 3 \mu\text{s}$ )**  
**MICROPULSE ENERGY : 18  $\mu\text{J}$**   
**PEAK POWER : 0.9 MW ( $\sim 20 \text{ps}$ )**
- **GAP 35 mm ( $\sim 75 \mu\text{m}$ )**  
**MACROPULSE ENERGY : 4.6 mJ ( $\sim 3 \mu\text{s}$ )**  
**MICROPULSE ENERGY : 57  $\mu\text{J}$**   
**PEAK POWER : 2.9 MW ( $\sim 20 \text{ps}$ )**

# マイクロパルスの発展の比較



108 MHzの場合、4つのパルスが独立の成長するので、ショットごとにその成長はランダム  
27 MHzとすることにより、単一パルスの成長の見る事が期待できる

# 高出力化

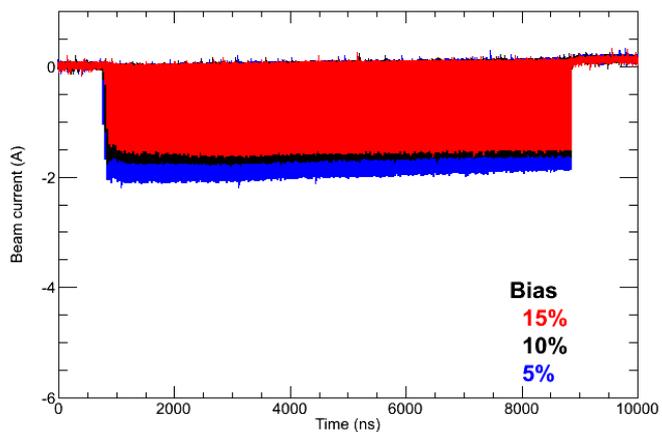


最終段FETを2SK408から2SK410へ変更

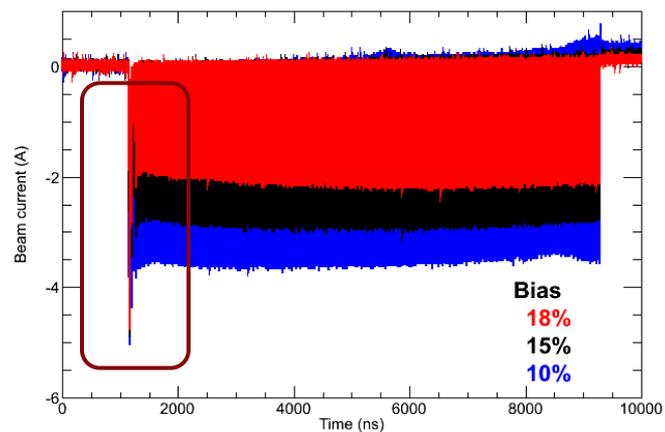
カタログスペックで10倍のパワー出力、応答速度はほぼ同等

# 高出力化

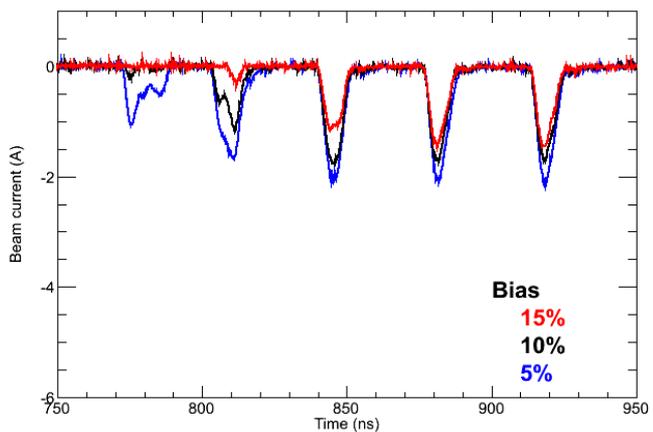
2SK-408, Grid 95%



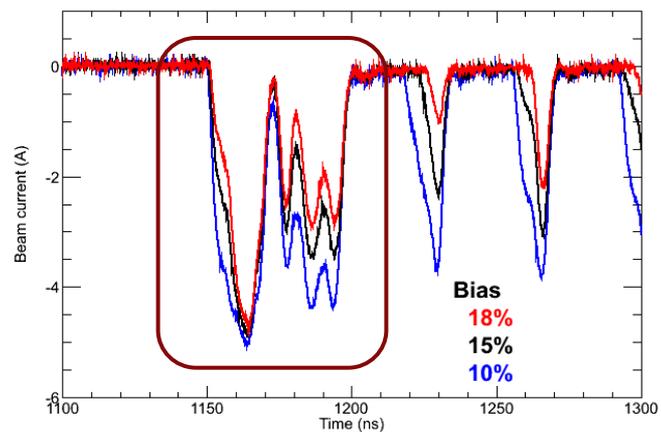
2SK-410, Grid 70%



2SK-408, Grid 95%



2SK-410, Grid 70%



# まとめ

- **27 MHz**でのマクロパルス電子ビーム加速と**FEL**の発振に成功
- これまでの**108 MHz**ビームと遜色のないエネルギースペクトルを実現
- **FEL**出力強度はこれまでの運転モードと比較して倍程度のマクロパルスエネルギー
- ミクロパルスエネルギーはこれまでの**8**倍程度に増大
- 今後、バンチ電荷の比較や**FEL**ゲインの評価など、さらに定量的な評価を実施するとともに、理論的な比較も実施
- さらに、発振波長領域の拡大や加速器パラメータの最適化、入射電流量の増大などを実施するとともに、利用研究への供給も実施