

フォトカソードRF電子銃を用いた 高輝度電子パルスの発生

楊金峰、近藤孝文、吉田陽一

山本保、古澤孝弘、菅田義英、田川精一

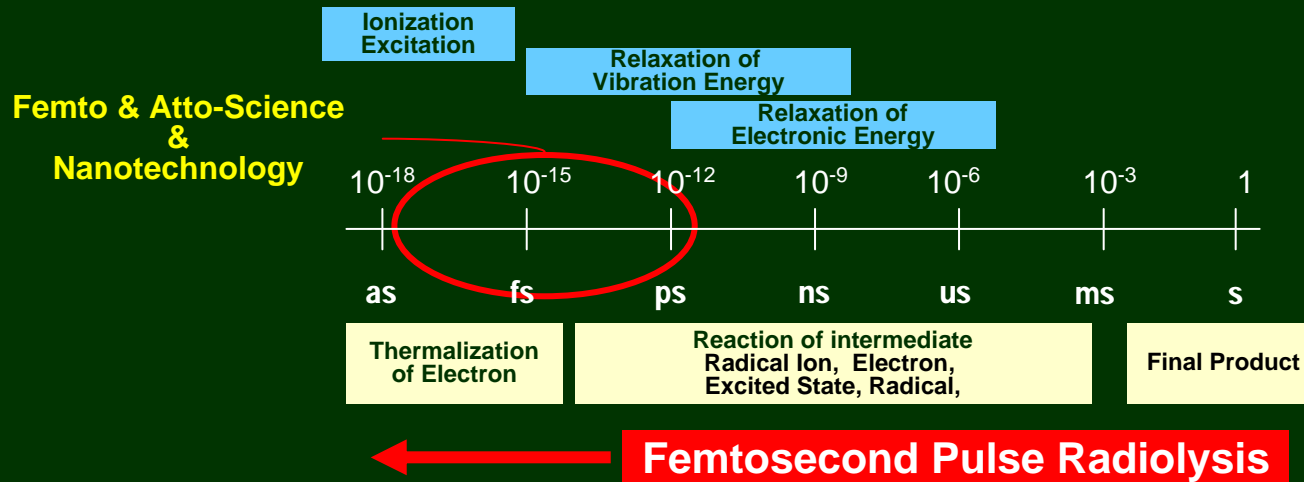
菅晃一、黒田洋一、友定寛、竹谷考司

大阪大学産業科学研究所



●フェムト秒電子パルスとフェムト秒サイエンス

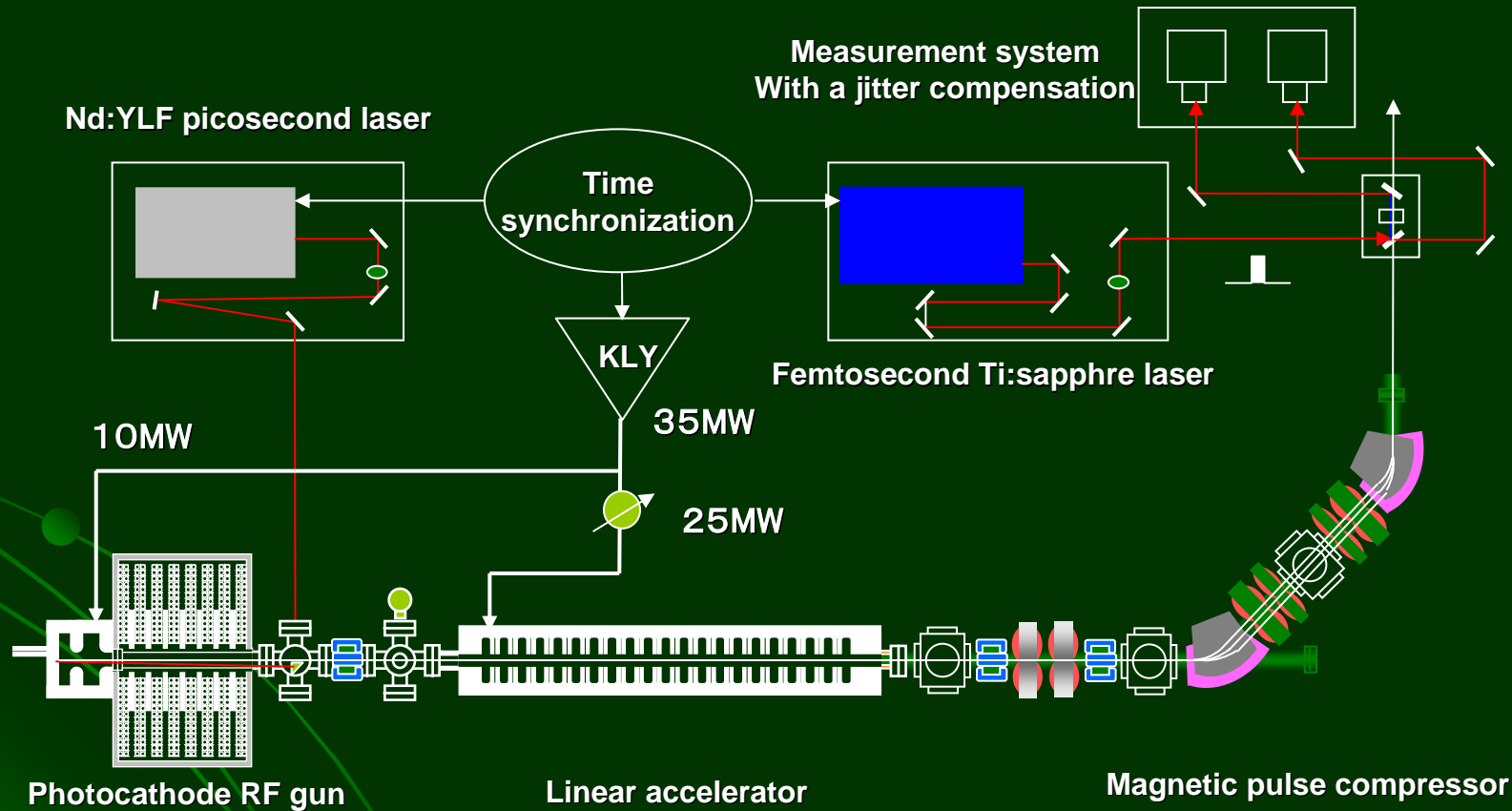
---- 電子線誘起の超高速反応や初期過程の解明 ----



$$\text{Time-Resolution: } \Delta t = f(\Delta t_e, \Delta t_L, \Delta t_J, g(l))$$

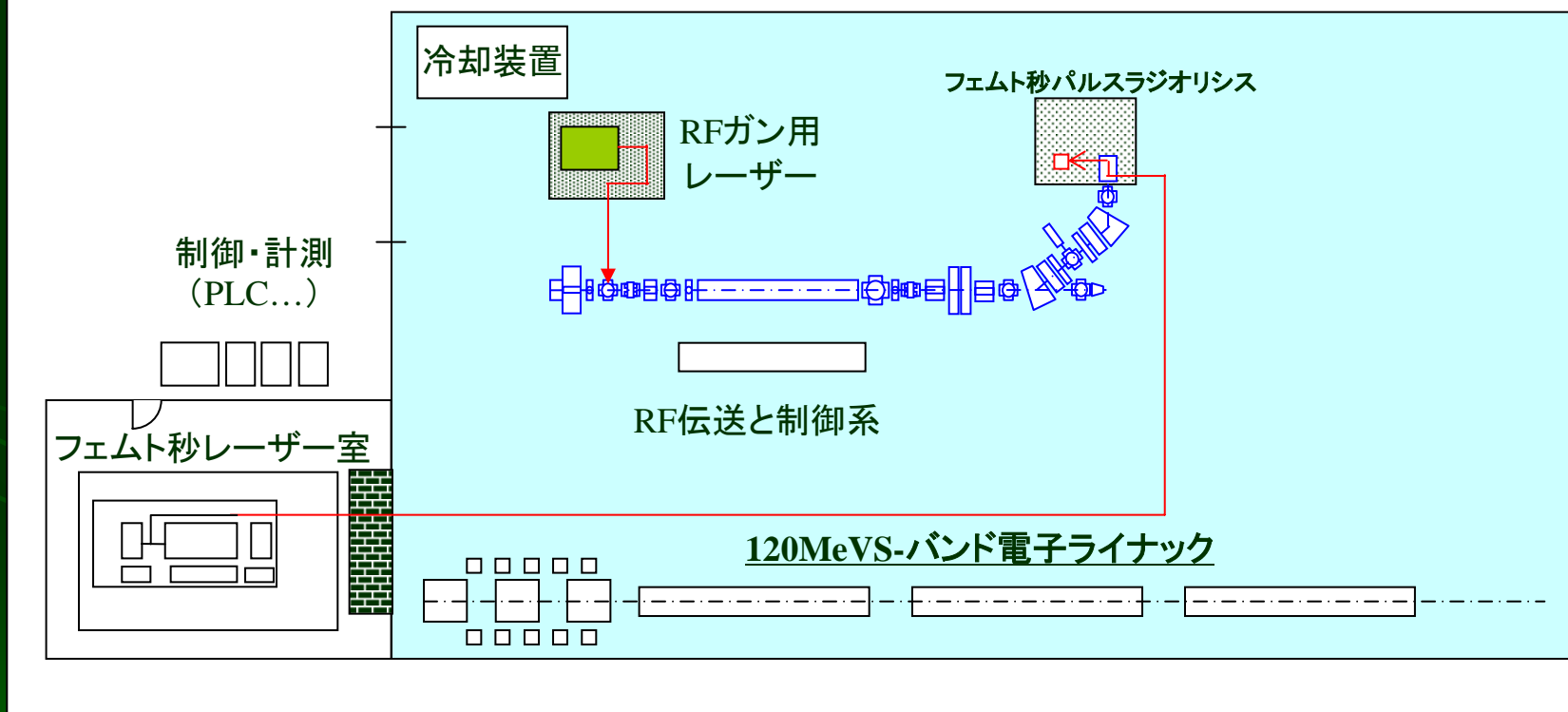
- ◆ レーザー光カソードRF電子銃を用いたフェムト秒電子ビームの開発
- ◆ フェムト秒パルスラジオリシスシステムの開発
(high S/N, low time jitter, without laser light ...)

阪大産研フォトカソードRF電子銃ライナックと フェムト秒パルスラジオリシスの構成



フォトカソードRF電子銃フェムト秒ライナック のレイアウト

阪大産研ライナック棟地下2階



RF電子銃とライナック



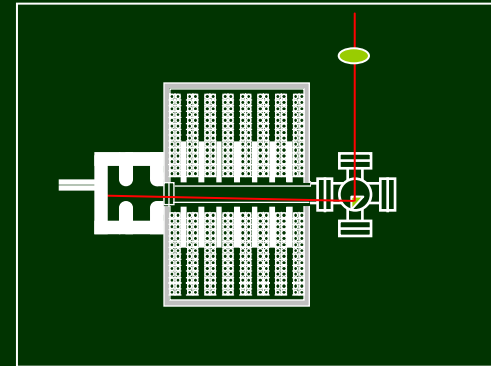
磁気パルス圧縮装置



レーザーフォトカソードRF電子銃

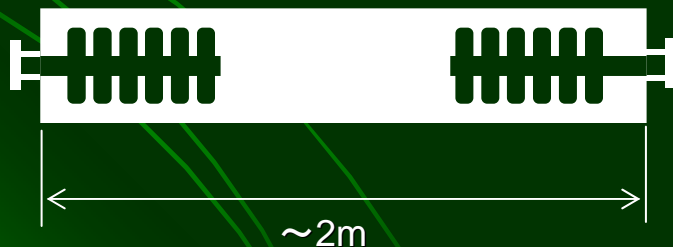
(住友重機械製)

- ◆ 1.6セルBNL-GunIVのタイプ
 - ◆ カソードの材質: 無酸素銅
 - ◆ レーザー入射: 垂直入射
 - ◆ 温度制御: $35.5 \pm 0.05^\circ\text{C}$
 - ◆ 最大電場: $>100\text{MV/m}$
- @入力RFパワーは8MW以上



進行波型ライナック

(三菱重工製)



- ◆ 進行波型加速管
- ◆ 長さ: $\sim 2\text{m}$
- ◆ 入力RFパワー: 25MW
- ◆ 加速エネルギー: $>30\text{MeV}$
- ◆ 温度制御: $30.0 \pm 0.05^\circ\text{C}$

フォトカソード用のピコ秒全固体レーザー



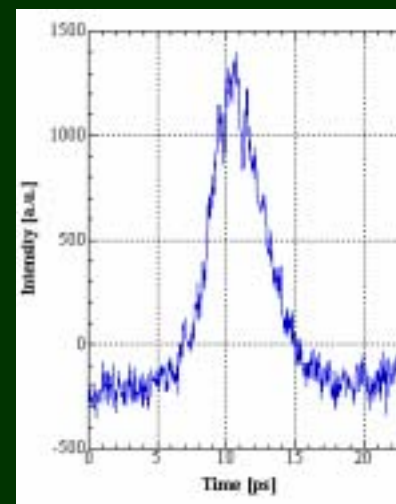
住友重機械(株)開発

- Laser medium Nd:YLF
- Pulse width 5 ps @UV light
- Pulse energy 0.35 mJ @UV light
- Jitter <0.5 ps RMS

*2856MHzを1/36に分周した79.3MHzと同期

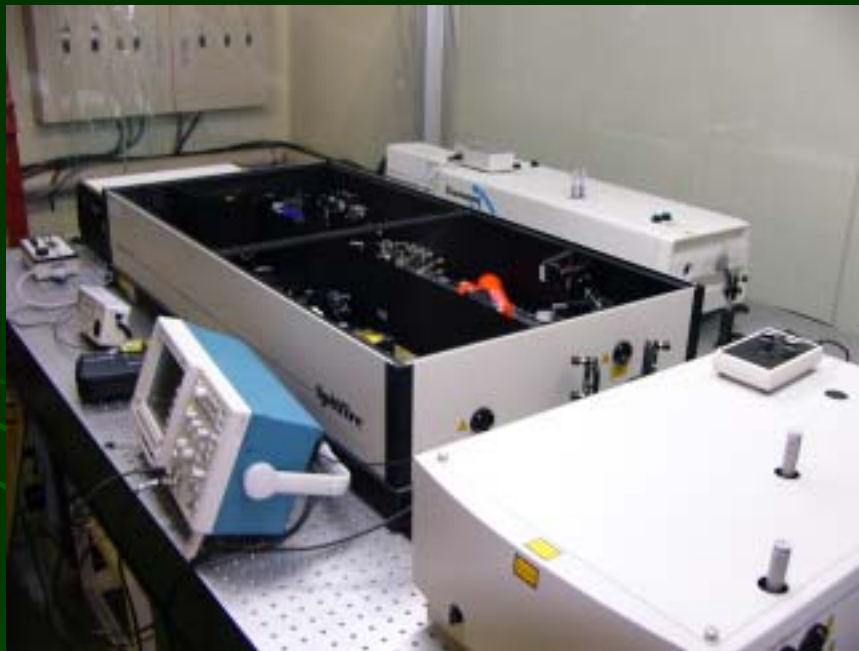
UV光パルスの波形

(フェムト秒ストリークカメラにより測定)



レーザー光の入射方式: 垂直入射
カソードでの光スポット径: $\phi 3\text{mm}$

分析用のTi:Sapphireフェムト秒レーザー



Oscillator:

pulse energy: 5nJ@800nm
pulse width: 60fs
repetition rate: 79.3MHz
(1/36 of 2856MHz)

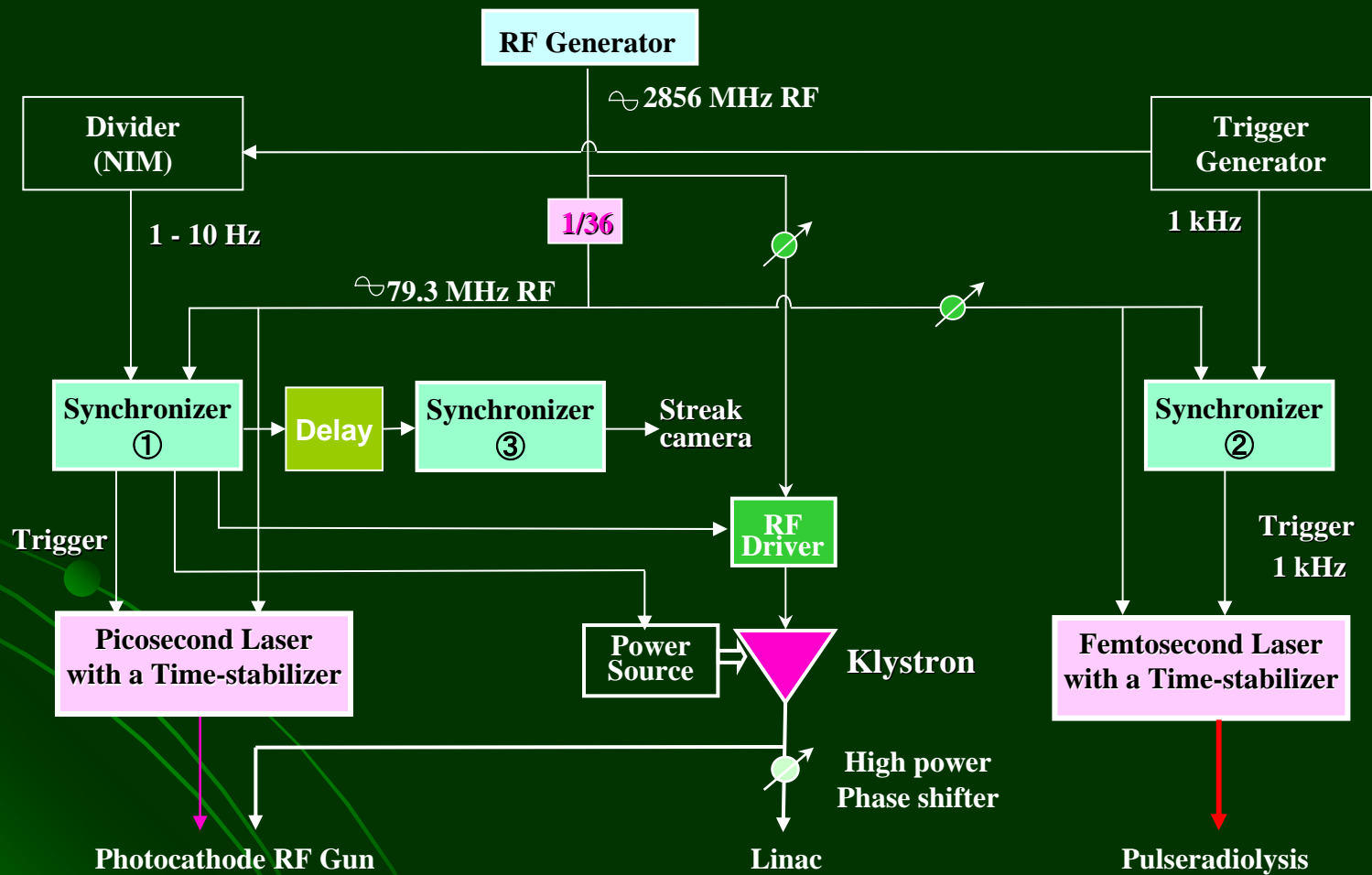
Reg. Amp.:

pulse energy: 1mJ
pulse width: 105fs
repetition rate: 1kHz

OPA:

wavelength: 300nm~1200nm

RF同期とトリガータイミング回路



新しいクライストロン電源 (日新電機製)



出力パルス電圧: 265kV

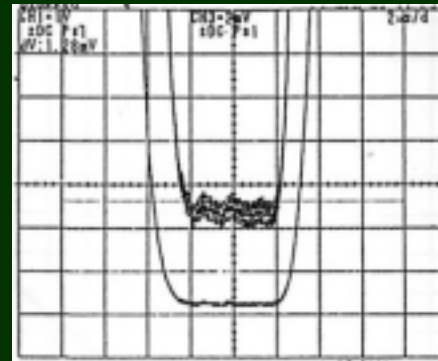
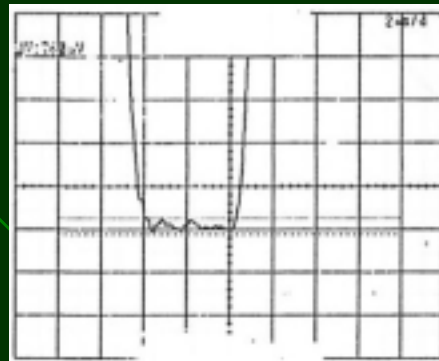
出力パルス電流: 300A

有効パルス幅: 4 μ s

パルス電圧の平坦度: 0.2%p-p以下

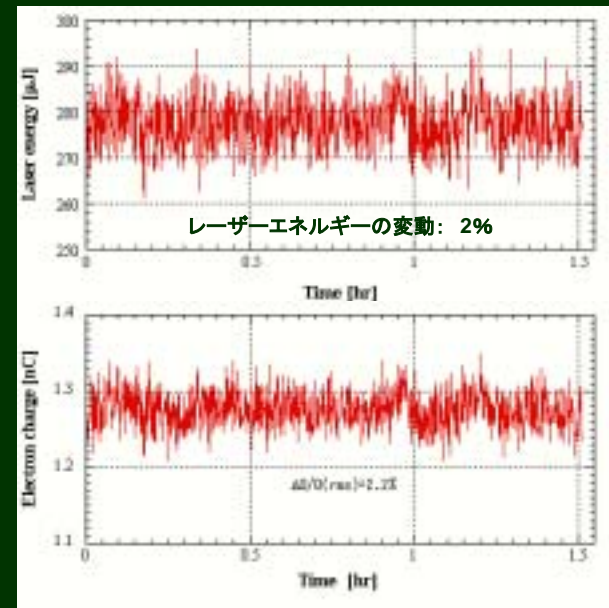
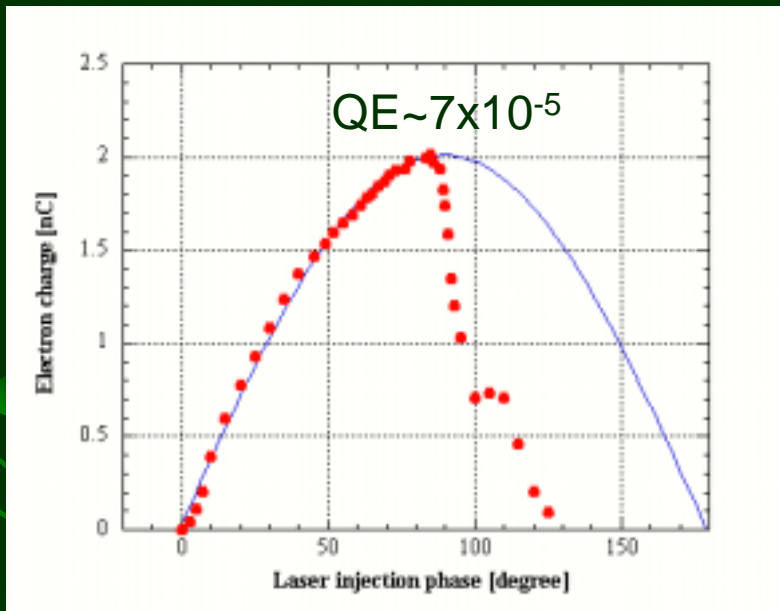
パルス電圧の安定度: 0.1%p-p以下

KLYの出力ピーク強度: 35MW



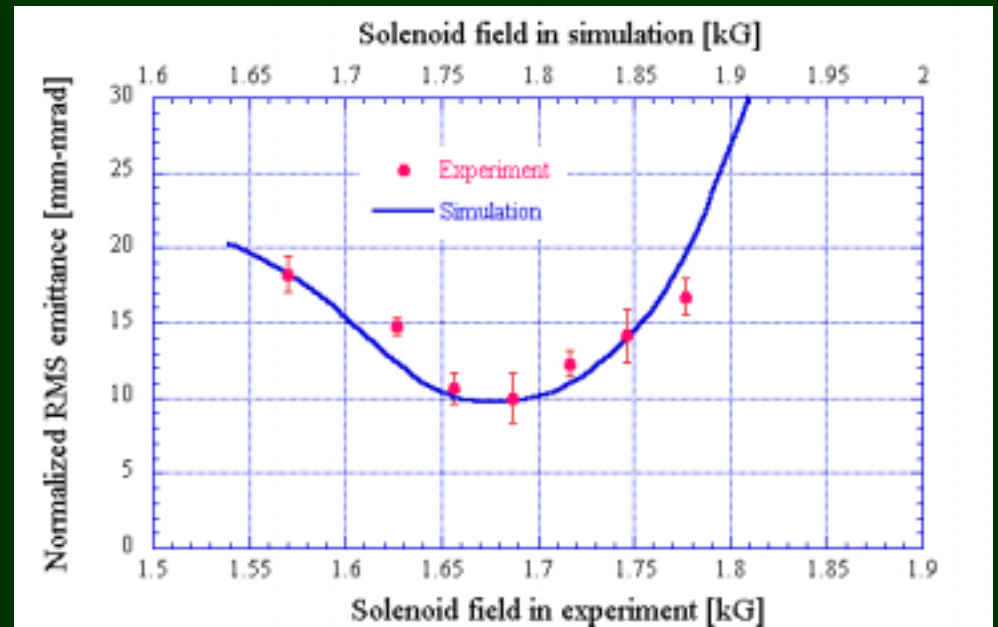
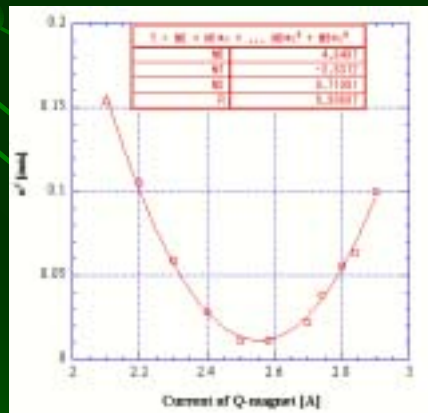
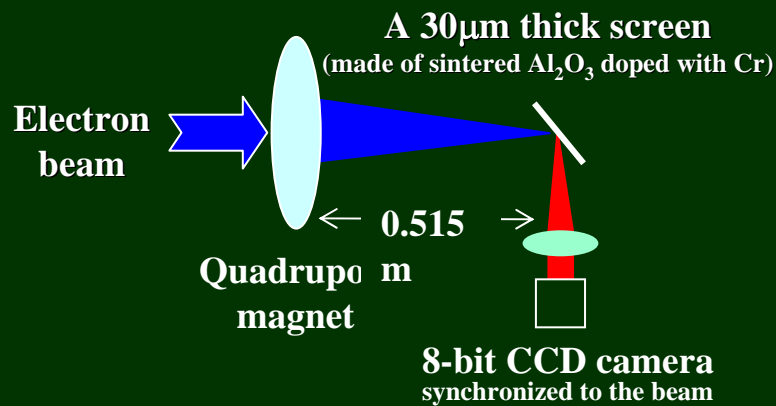
電子ビーム発生実験

電荷量の測定と電荷量の安定性



エミッタンスの測定

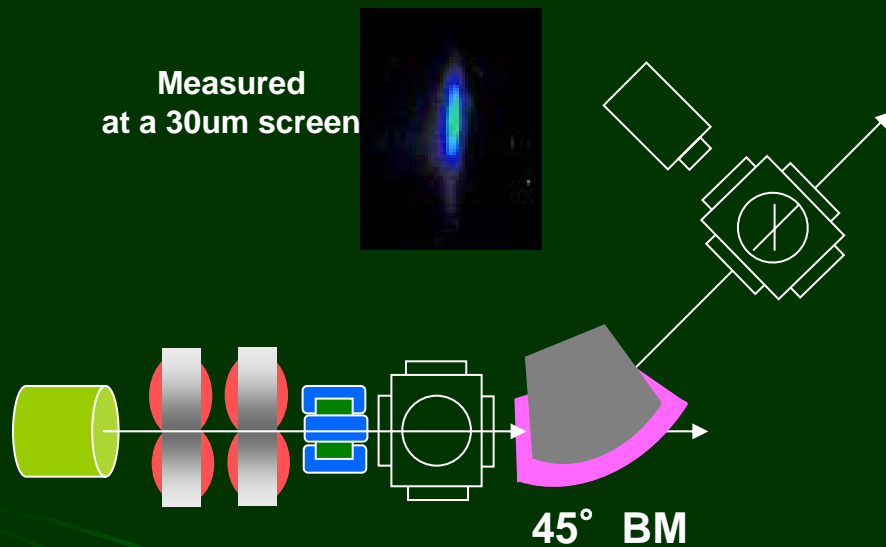
(by using the Q-scan technique)



電荷量が2nC、RFガンの位相が30°である。
ライナックの位相がエネルギー分散が最小時の位相である。

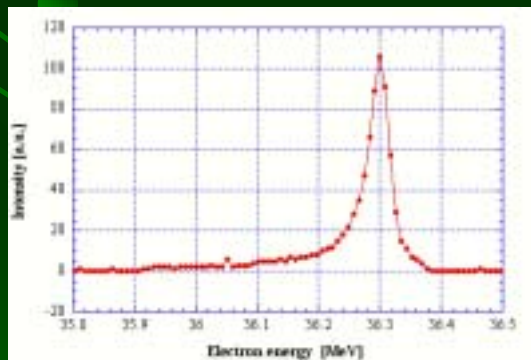
ビームエネルギーとエネルギー分散の測定

(by using a bending magnet and a screen)

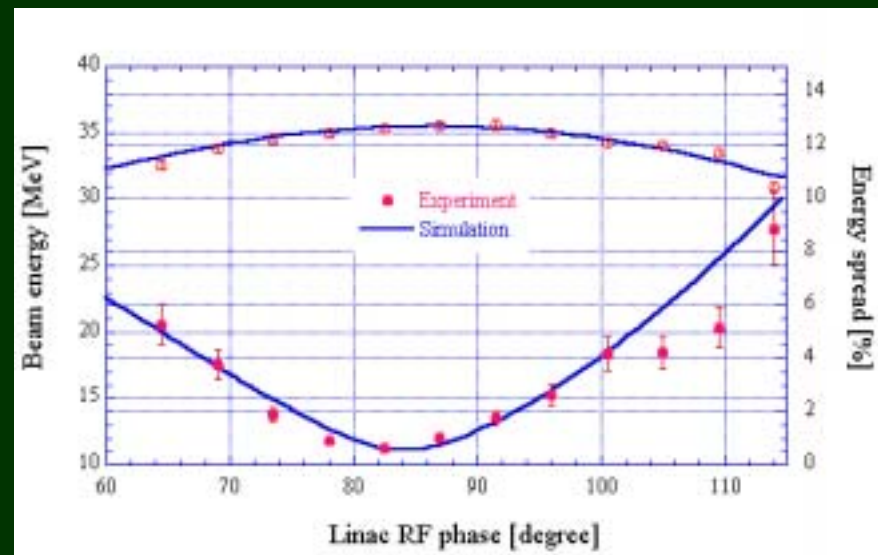


Measured
at a 30um screen

45° BM



ビームエネルギーのスペクトル



電荷量: 2nC

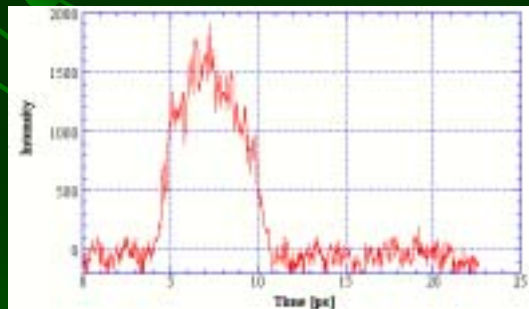
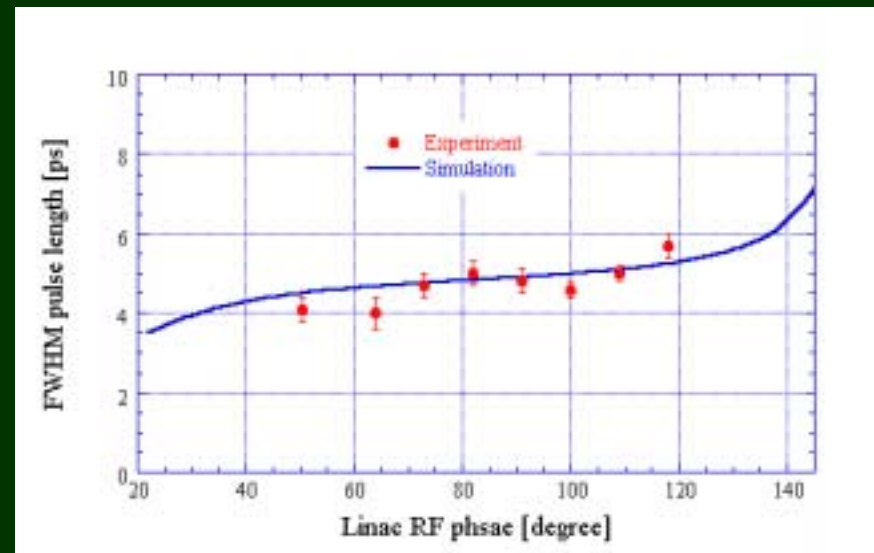
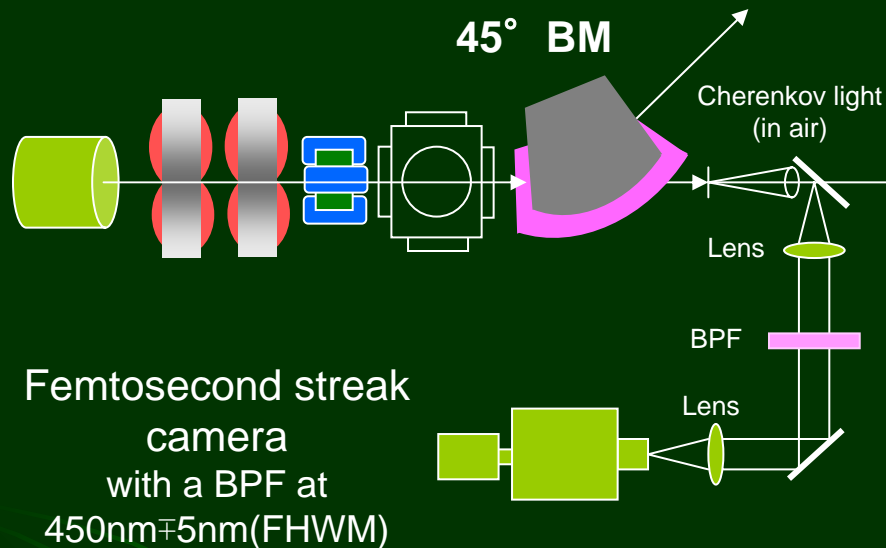
RFガンの位相: 30°

ソレノイド磁場: 1.69kG

照射レーザーのパルス幅: 5ps (FWHM)

加速管出口での電子パルス幅の測定

(by using a femtosecond streak camera)



電子パルスの時間スペクトル

電荷量: 1nC

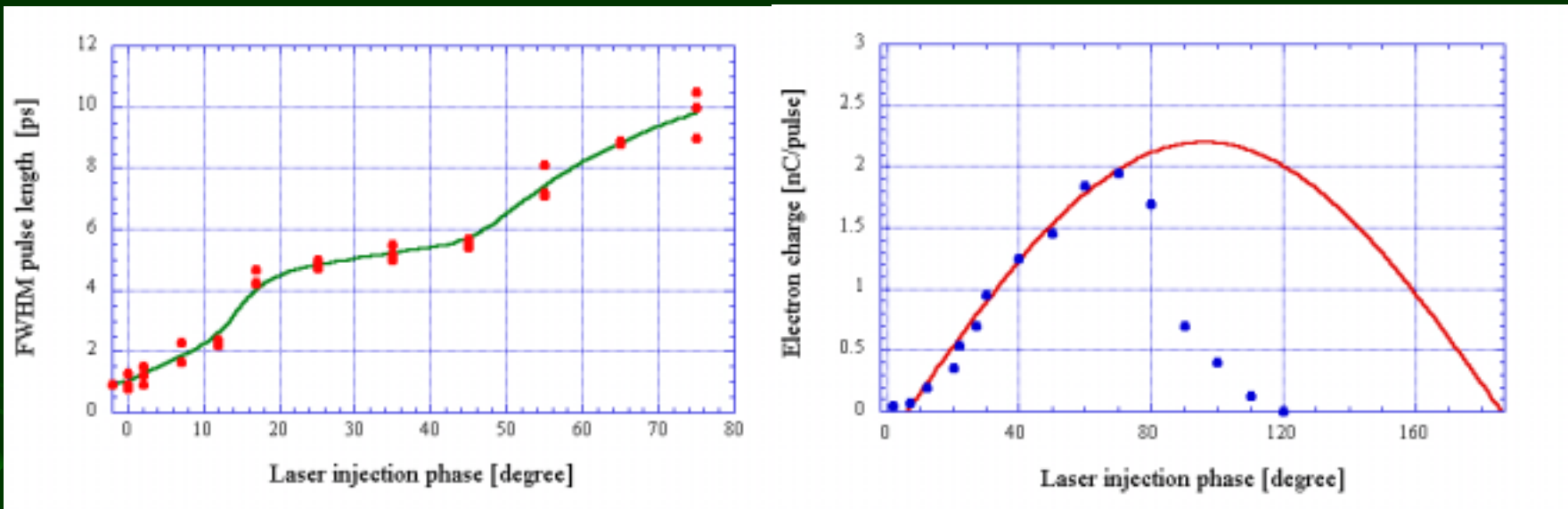
RFガンの位相: 25°

ソレノイド磁場: 1.69kG

照射レーザーのパルス幅: 5ps(FWHM)

ライナック出口でのパルス幅 (レーザー入射位相、電荷量との依存性)

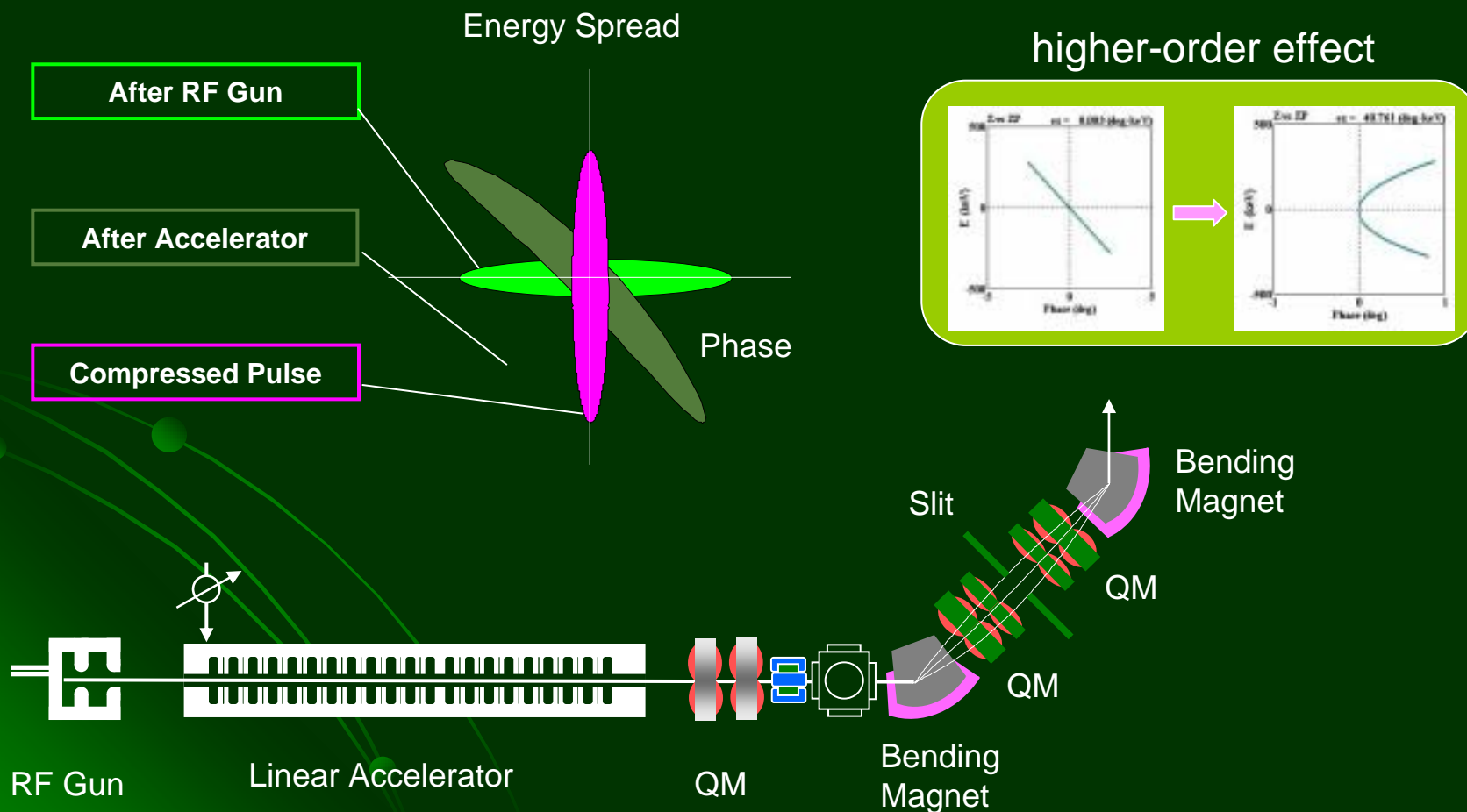
照射レーザーのパルス幅: 5ps (FWHM)



- 電荷量: $> 1\text{nC}$ 、RFガン位相: $> 50^\circ$
Space-charge effect \longrightarrow 電子パルス幅が長くなる。
- 電荷量: $< 0.5\text{nC}$ 、RFガン位相: $< 20^\circ$
RF effect \longrightarrow 電子パルス幅が短くなる。

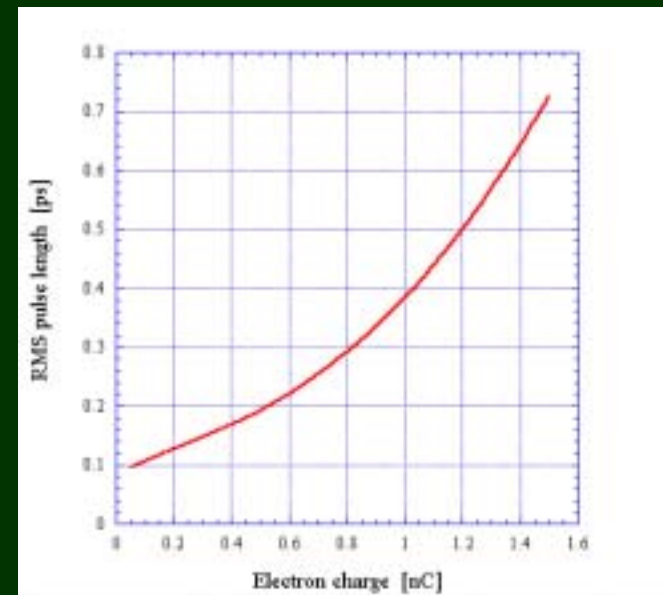
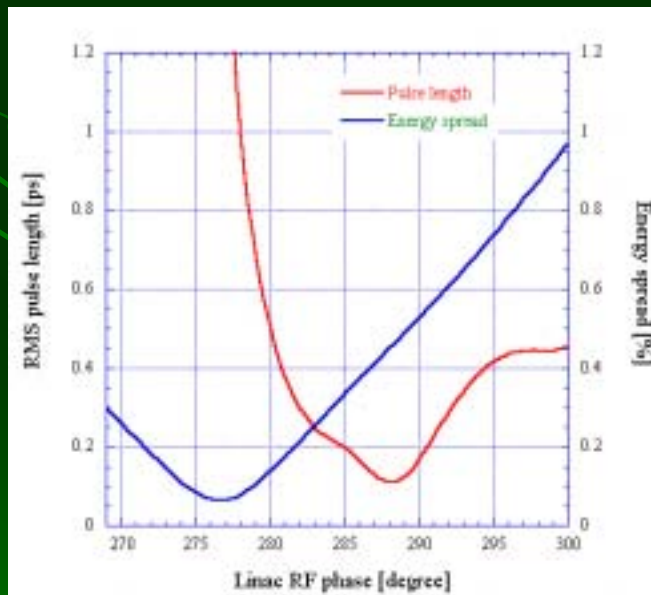
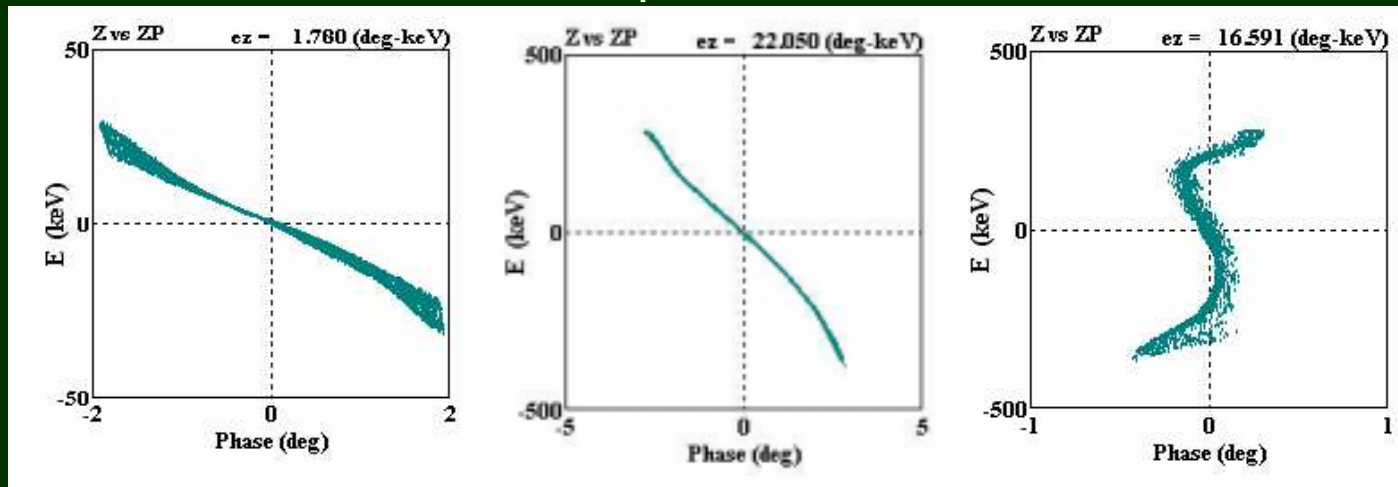
磁気パルス圧縮によるフェムト秒電子パルスの発生

(with a compensation technique of higher-order effect)

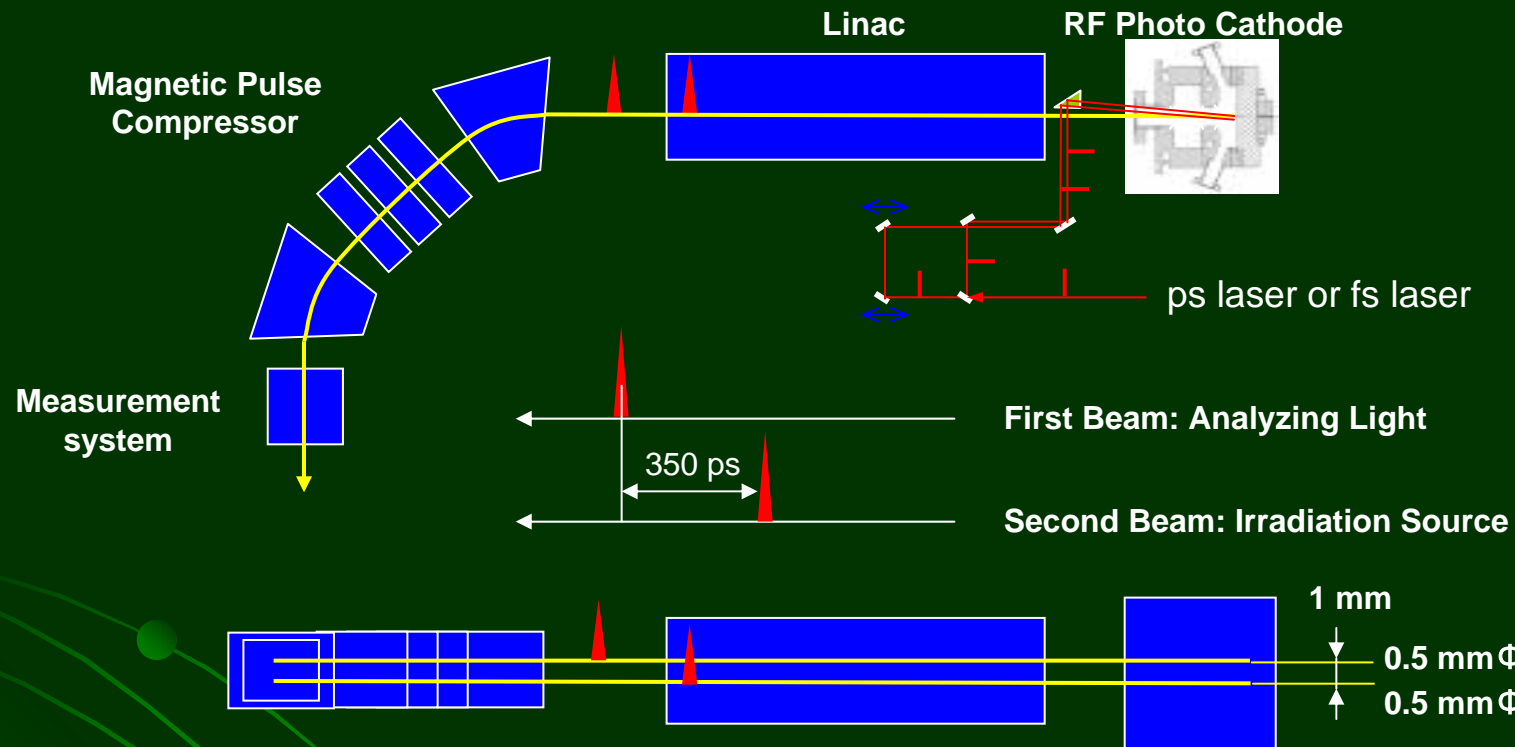


Parmelaによる電子パルス圧縮の計算結果

(電荷量: 100pC、RFガン位相: 30°)



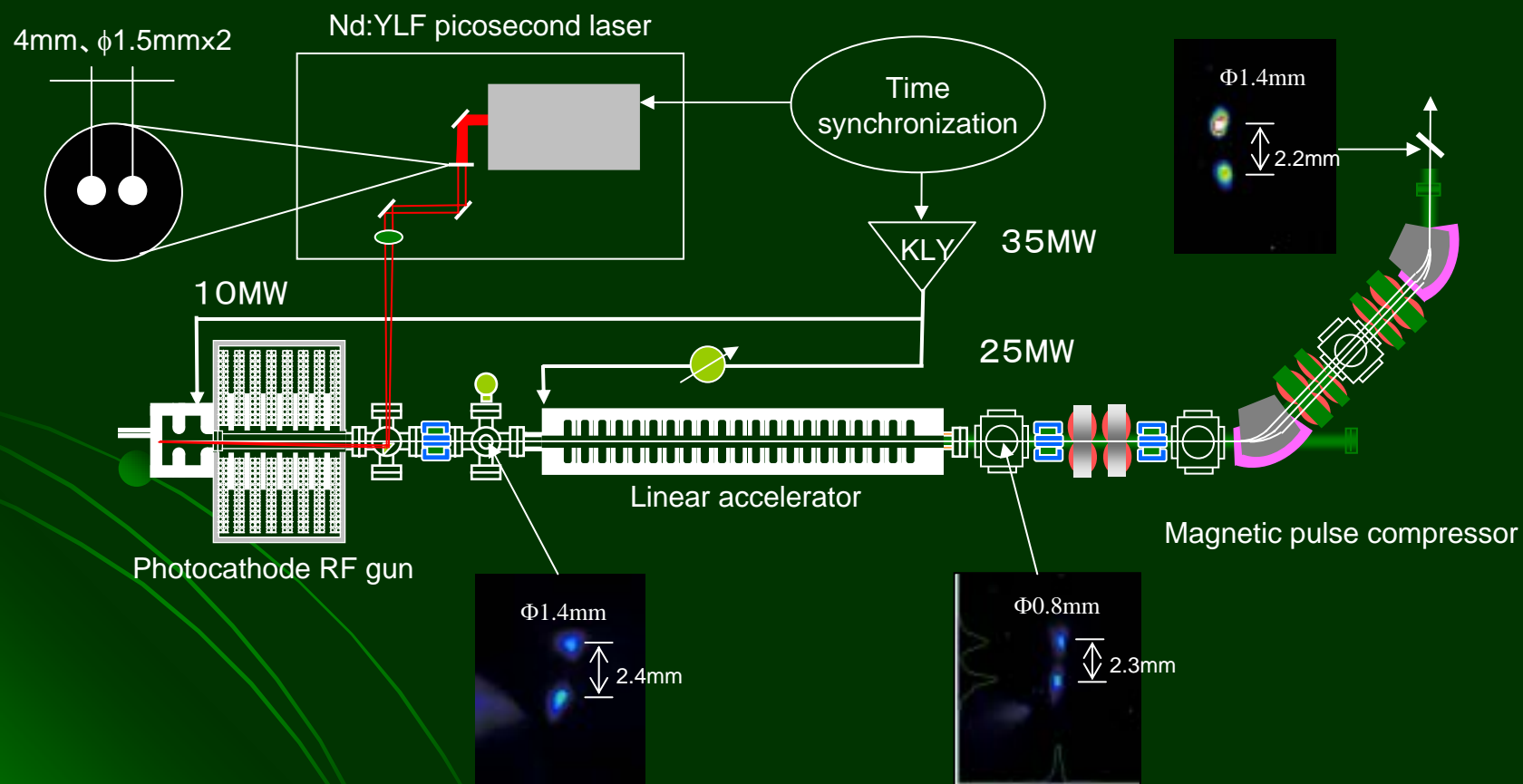
----ダブルデッカー型加速器----



レーザー光を分析光として使わない為、分析光と電子パルスとの時間ジッターが最小限に抑えられ、高時間分解能が実現可能。

ダブル電子ビーム発生の実験

(First experiment)



まとめ

阪大産研RF電子銃ライナックの現状

- * RF電子銃、ライナック、パルス圧縮系、分析用フェムト秒レーザーの据付を完了し、動作確認を終了した。
- * 電子線パルス発生とパルス変調の試験を行い、加速管出口でのビーム特性の評価も行った。

今後の予定

- * 電子線パルス発生と圧縮実験を継続し、ビームの特性を測定する。
- * 超短パルス電子線の利用として、フェムト秒パルスラジオリシスシステムの構築を行い、高速反応解析への利用展開を進めていく。