

FFAG加速器の開発の 現状

Feb. 7, 2005

研究開発目的

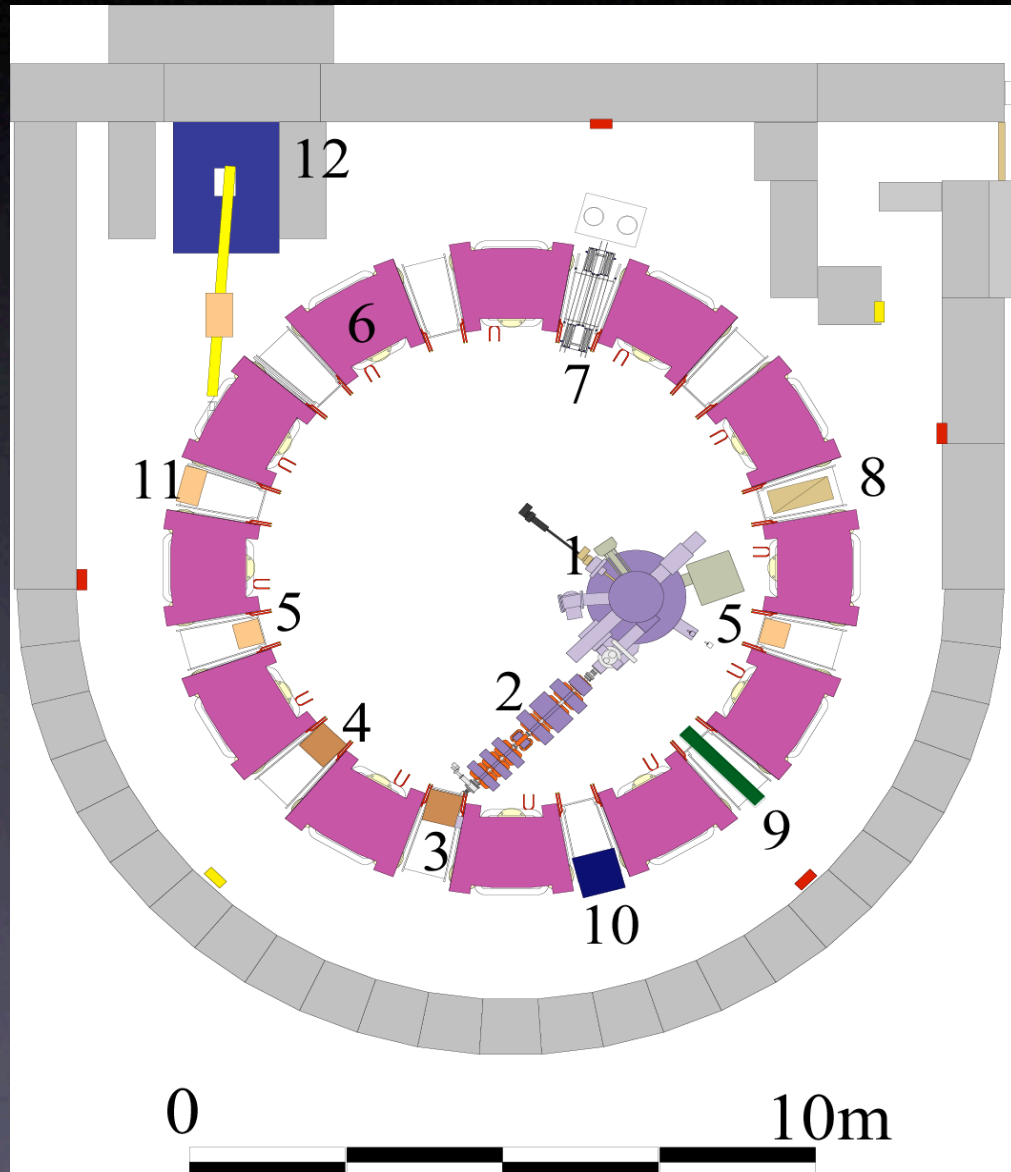
- FFAG加速器の汎用性に着目
 - 医療、中性子/電子源
- プロトタイプを開発
 - 科研費（学術創成：平成13～17年度）
 - 陽子FFAG加速器
 - エネルギー ~150MeV

加速器の構成

- 入射器 サイクロトロン
 - $E=12\text{MeV}$, H- beam を想定
- FFAG加速器
 - $E=12\text{MeV}\sim 150\text{MeV}$
 - 入射：H-荷電交換入射
 - 加速繰り返し 100Hz
 - 取り出し：fast kicker(100Hz)

Schematic view

150MeV FFAG



1. Injection cyclotron
2. Injection line
3. Injection septum magnet
4. Injection ES septum
5. Bump magnet
6. Triplet magnet
7. RF cavity
8. Beam position monitor
9. Current monitor
10. Extraction kicker
11. Extraction septum
12. Beam dump

Main parameters of 150MeV FFAG

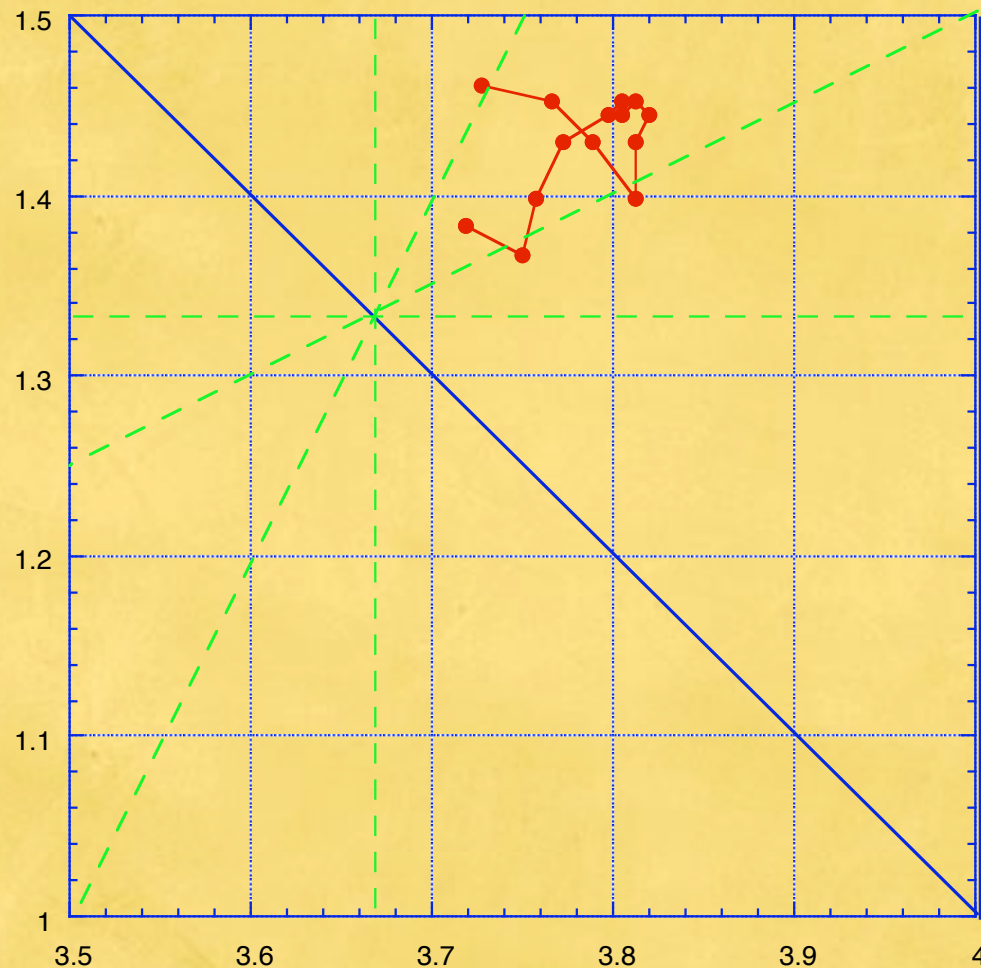
No. of sectors	12
Field index(k -value)	7.5
Energy	12MeV - 150MeV
Repetition rate	100Hz(200Hz:2rf cavity)
Max. Magnetic field	
Focus-mag.	1.63 Tesla
Defocus-mag.	0.6 Tesla
Closed orbit radius	4.4m -5.3m
Betatron tune	
Horizontal :	3.7
Vertical :	1.4
rf frequency	1.5 -4.6MHz
Injector	Cyclotron

Beam Parameters

- Emittance
 - beam from cyclotron : 50mm.mrad (h&v)
 - @ injection 300mm.mrad(h),
100mm.mrad(v)
 - @extraction 150mm.mrad(h),
50mm.mrad(v)

12-150MeV mode operation

tune_v



criterion

1) $\Delta v < 0.1$

2) structure, linear
resonanceを避ける

ビーム強度評価

- サイクロトロン パルス運転 (rf:pulse
 - 繰り返し 100Hz
 - パルス幅 200microsec (flat top~100microsec)サイクロトロンの安定運転のため
 - ピーク電流 25micro-A(peak)
- H-/H+ beam current $100\text{Hz} \times 200\text{micro-sec} \times 25\text{micro-A} = 0.5\text{micro-A}$

ビーム強度

- FFAG
 - H-荷電交換入射の場合
 - 炭素膜：20micro-g/cm²
 - ビーム入射（輸送）効率：50%
 - 入射ターン数 ~50
 - emittance growth : ~10%
 - $N=2.5 \times 10^{**9}$ ppp -> 40nA @100Hz

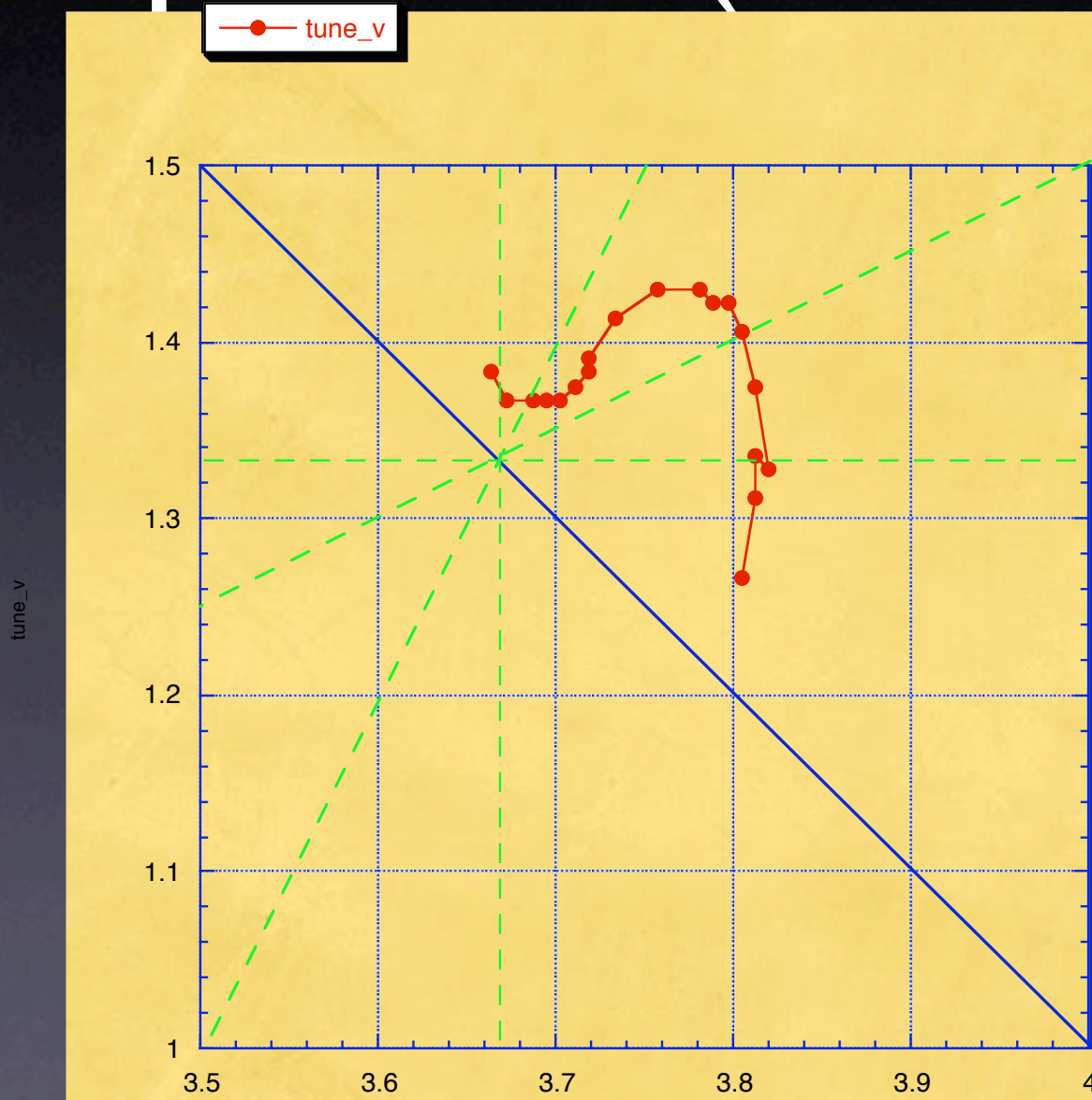
放射線申請

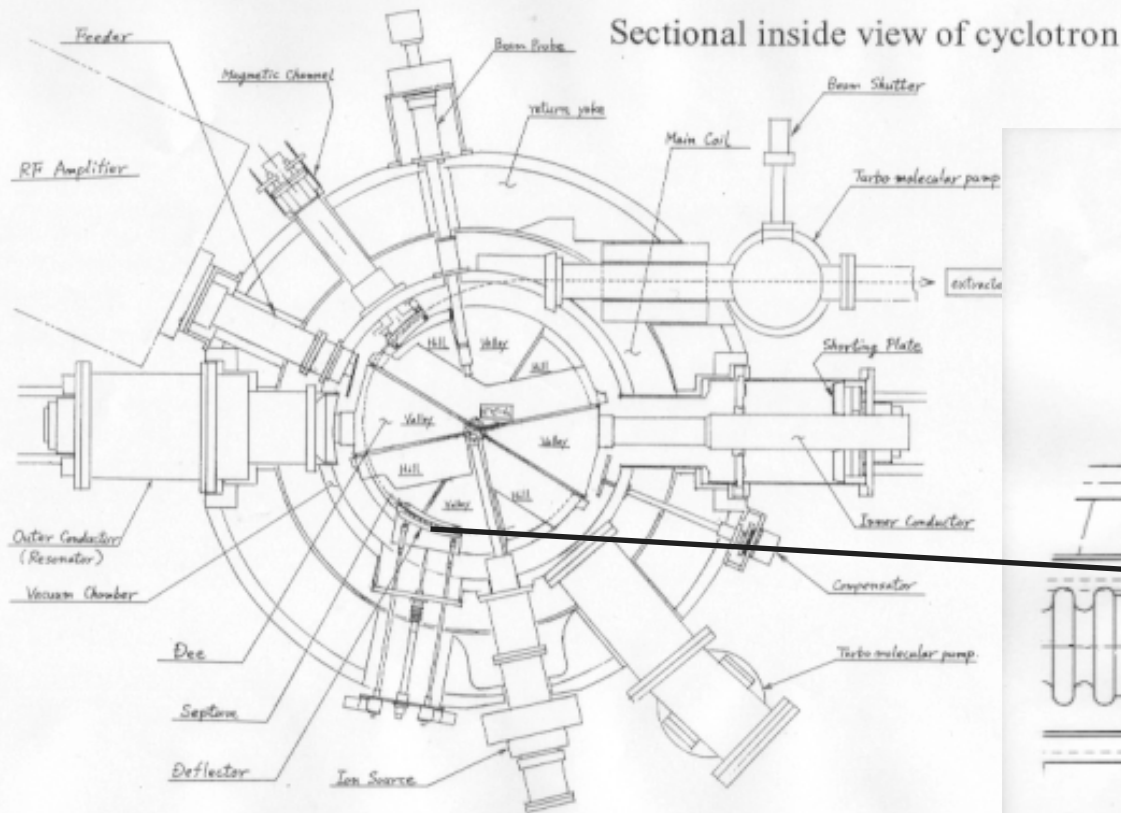
- H-入射を仮定
- サイクロトロンデフレクター
 1.3×10^{13} pps (2micro-A)
- ビームシャッター
 3.1×10^{12} pps(0.5micro-A)
- FFAG磁石
 2.5×10^{11} pps(40nA)
- FFAGビームダンプ
 2.5×10^{11} pps(40nA)

入射器 (cyclotron) の問題

- エネルギー
 - 12MeVを想定していたが、実際は
~10MeV -> FFAGのoperating
pointの大幅な変更
- H-ビームの取り出しが出来ない
 - デフレクターのPIG放電 -> H+入射：
ビーム強度の低下

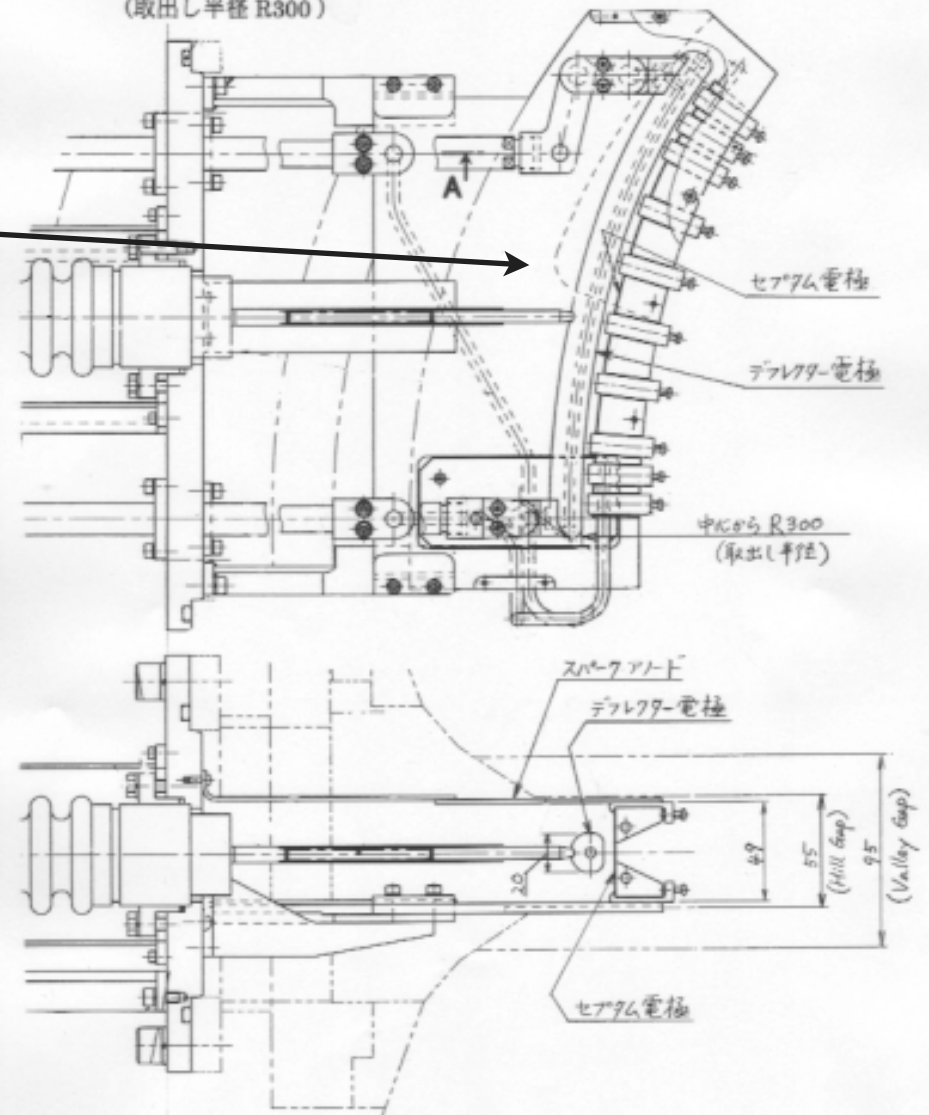
9-100MeV mode operation(B~80%)





サイクロトロン デフレクター

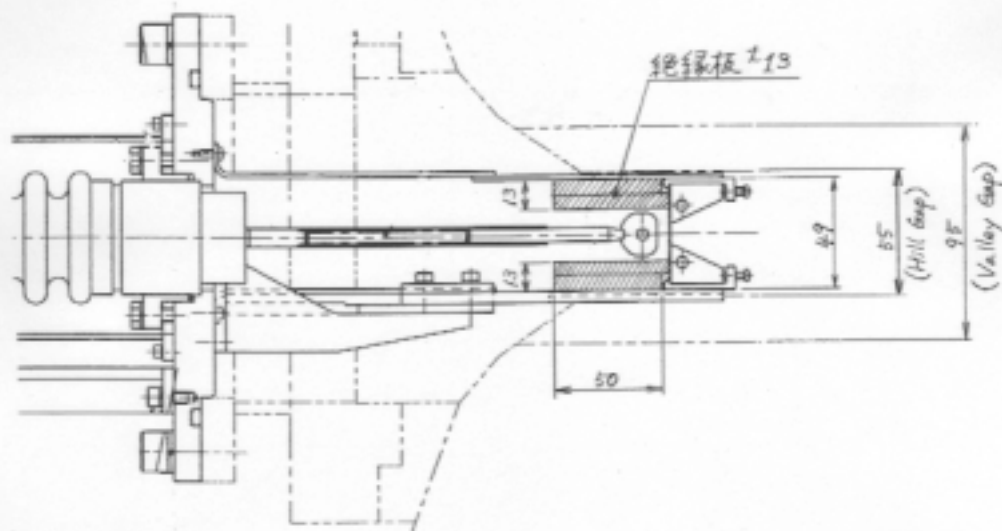
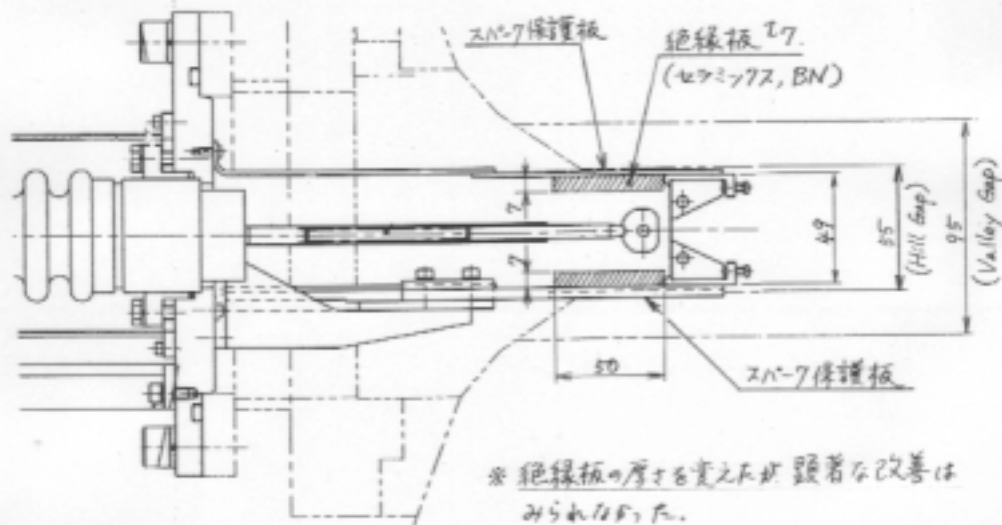
(取出し半径 R300)



デフレクター電圧
を負から正極性に
変更→PIG放電

デフレクター放電防止対策（試験）

デフレクターとその上下のスパークアノード（材質タングステン）の間にセラミックス等絶縁物（下図参照）を挿入するが、顕著には放電は軽減しなかった。放電電流は減少したが、所要の取出し電圧40 kVまで昇圧はできなかった。



平成15, 16年度
SHI, JSWとの共同研究
17年3月にも実験を
予定

PIG放電条件を克
復するための工
夫が必要

ビーム強度

- F F A G
 - H+入射の場合
 - 入射ターン数 3-4turns
 - 入射（輸送）効率 50%
 - $N_p = 1.4 \times 10^{**8}$ ppp $\rightarrow$ 2nA @100Hz

放射線申請

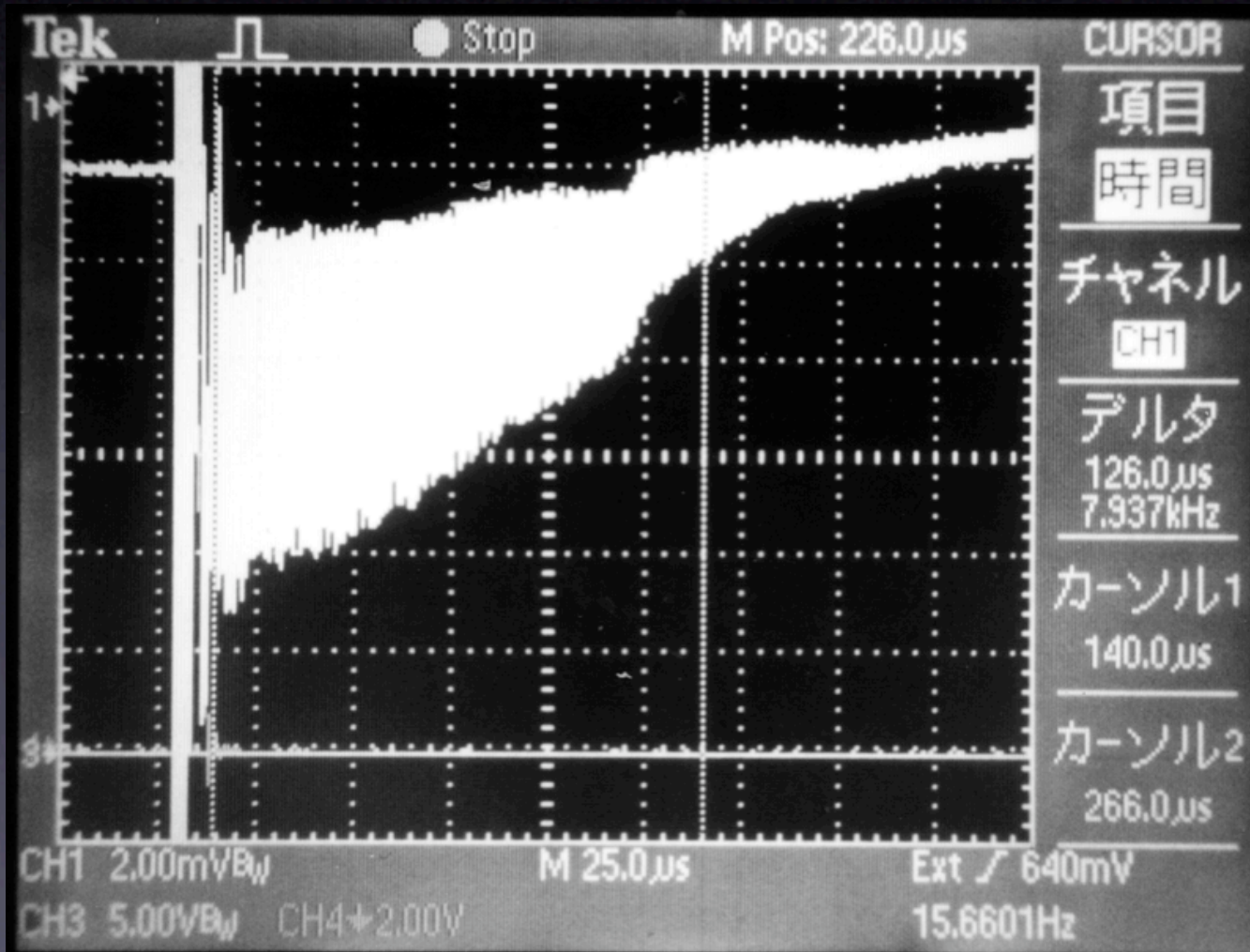
- H⁻からH⁺入射の場合に変更
(17, 3月を予定)

ビーム試験の概要

- 入射器：サイクロトロン
 - energy $\sim 10\text{MeV}$
 - H^+ beam
 - repetition 20-100Hz
 - pulse width 200micro-sec
 - beam current 0.1micro-A(@beam shutter)
 - emittance $\sim 50\text{mm.mrad(h\&v)}$
 - $dp/p \sim 0.3\%$

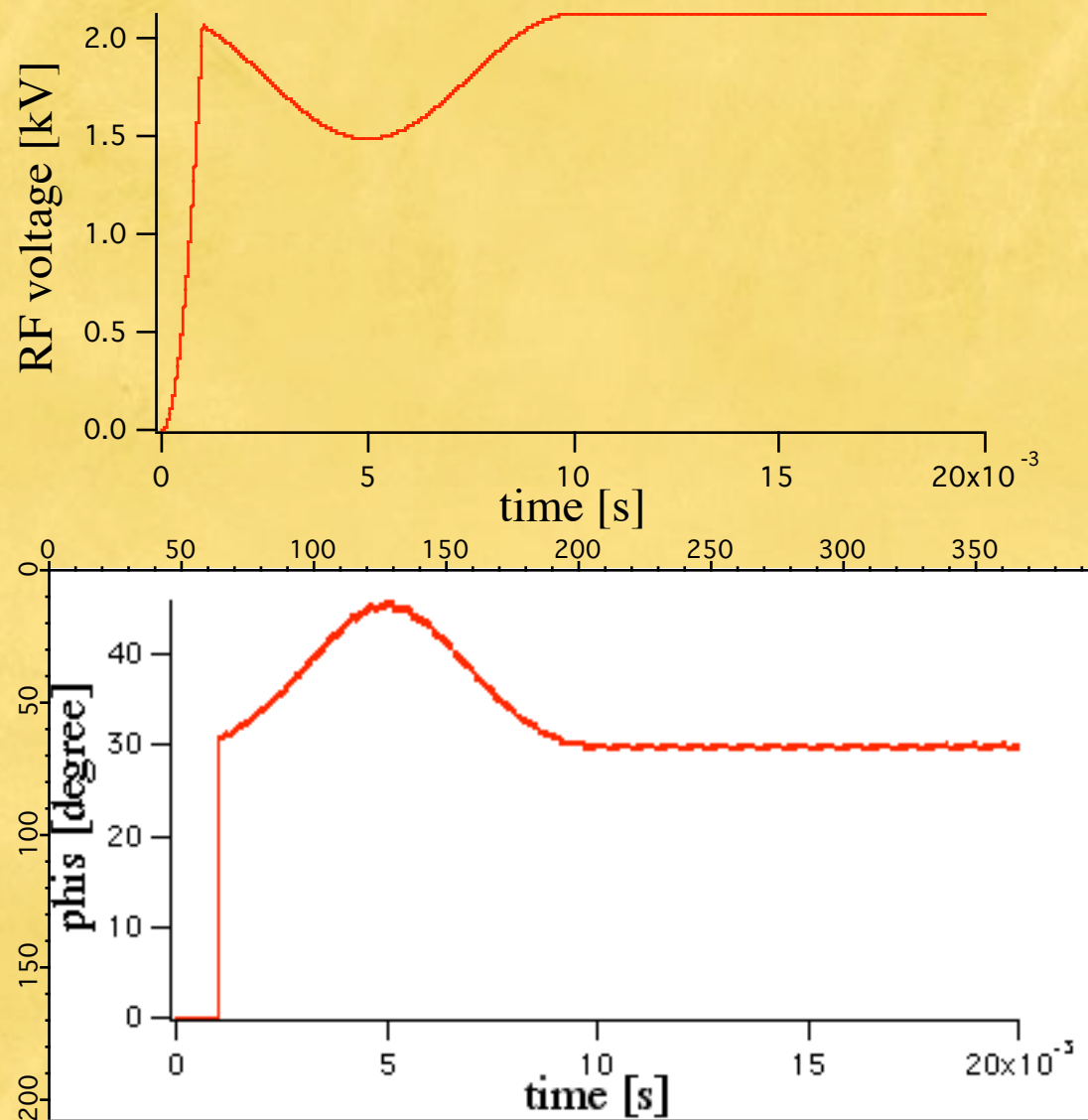
dp/p

measured with chopped beam

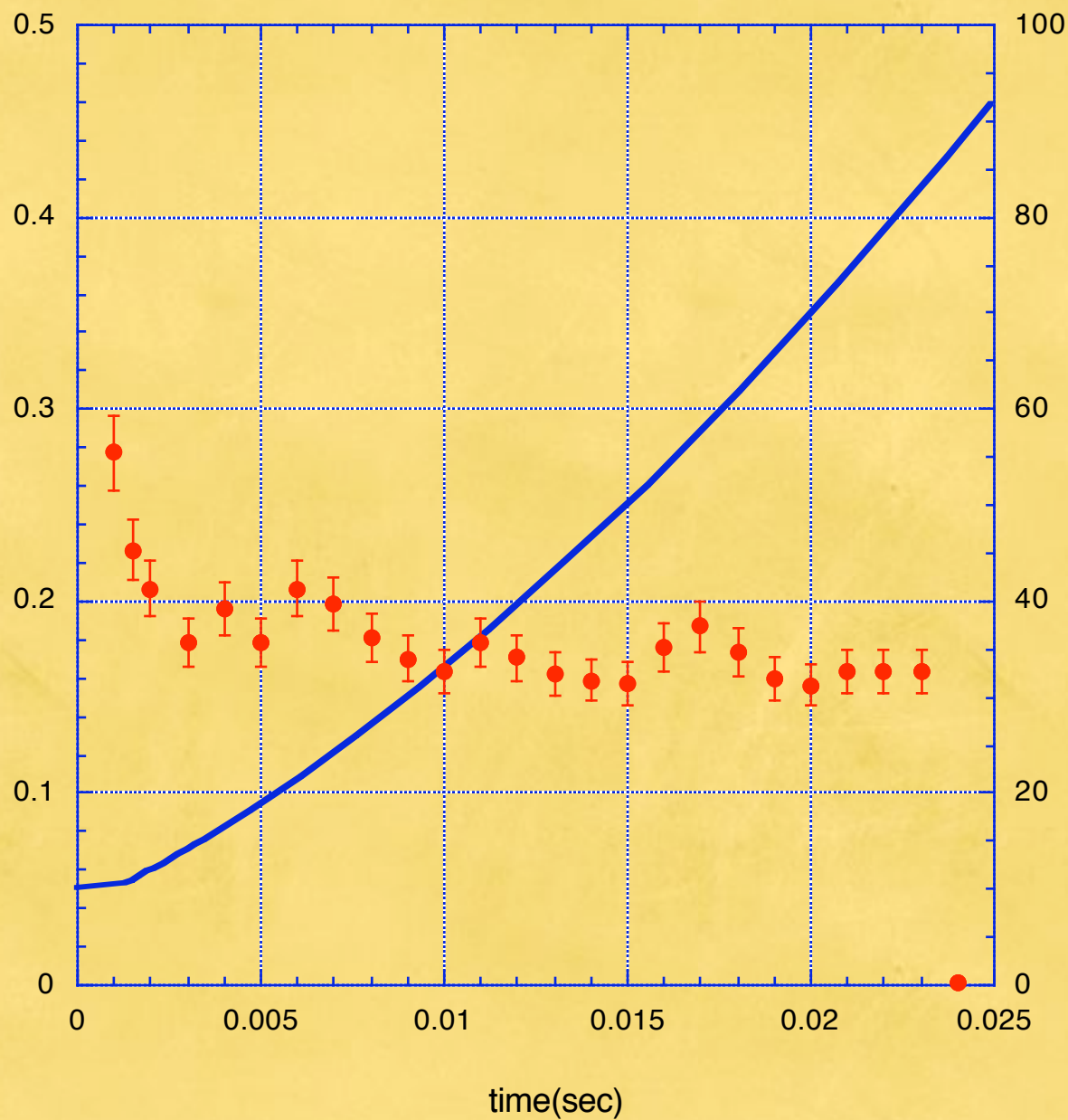


dp/p ~0.3%

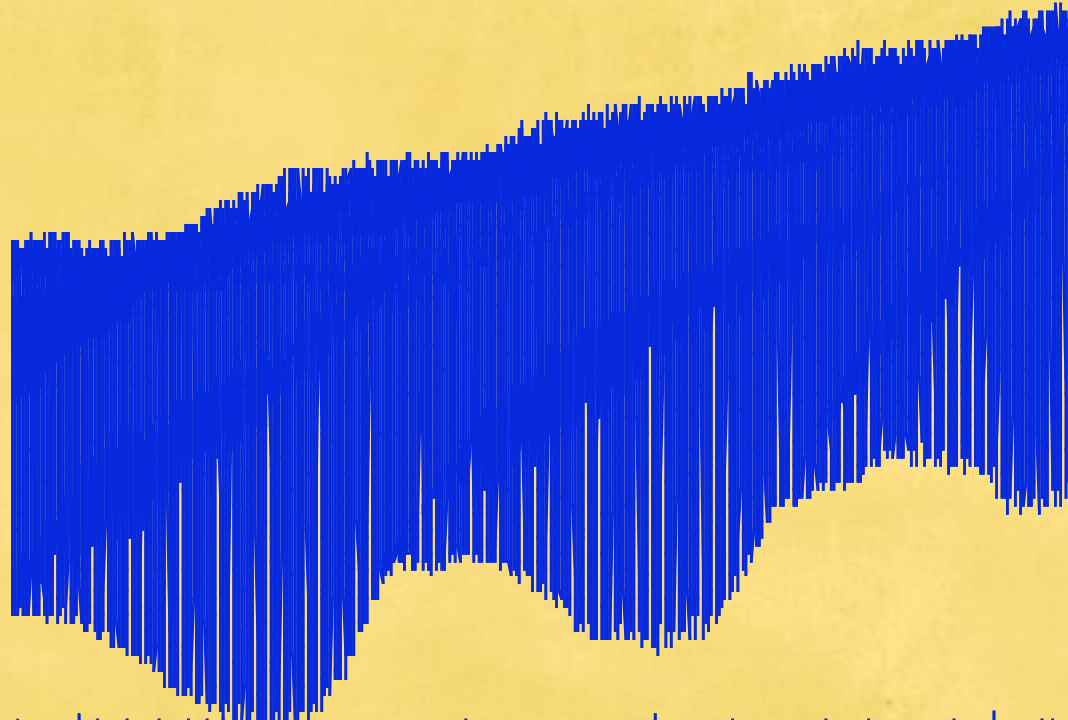
加速



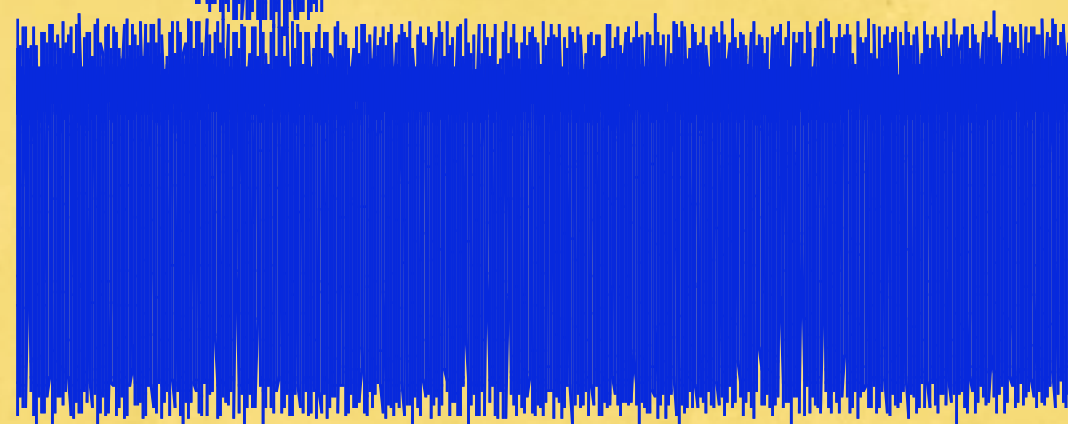
beam intensity (AU)



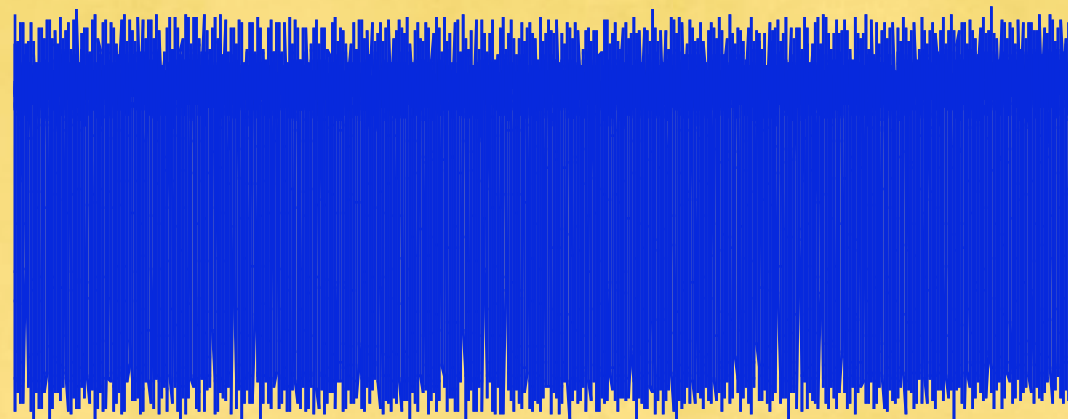
energy(MeV)



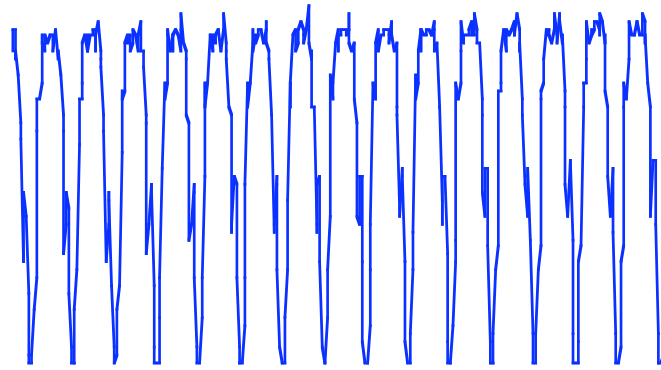
0.1msec after
acceleration



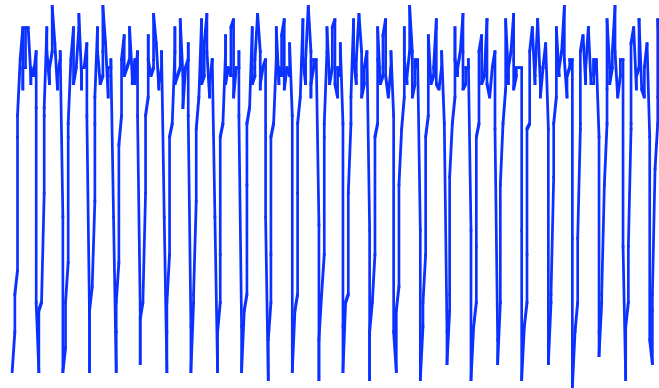
10msec



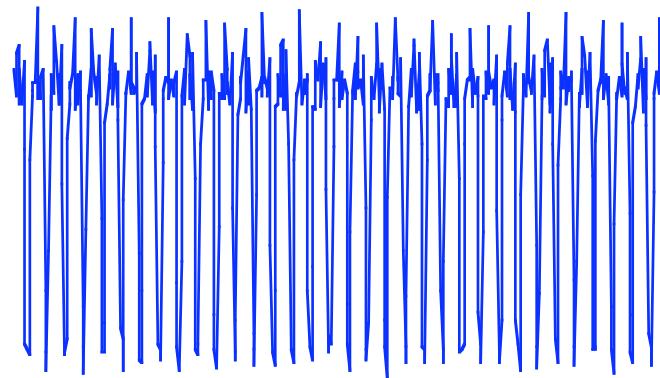
20msec



1msec



11msec



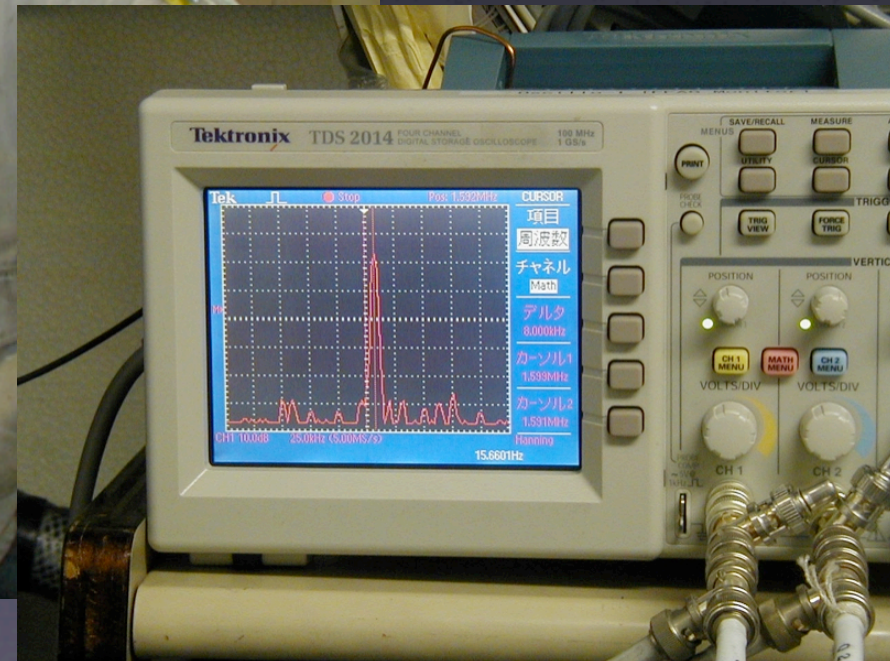
21msec

1e-05sec



Congratulation!

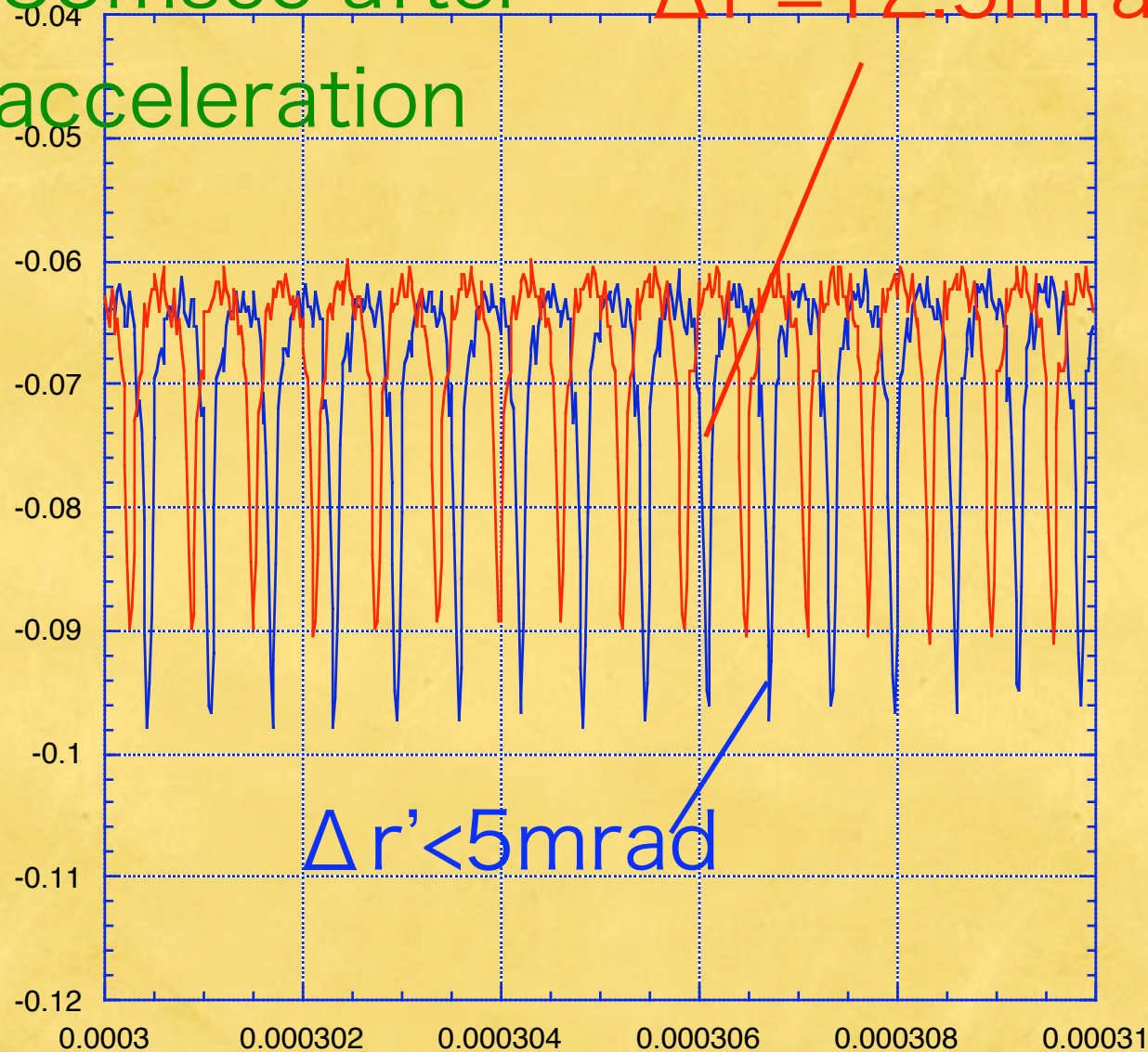
Oct. 2003



$3V_x = I I$ (COD補正)

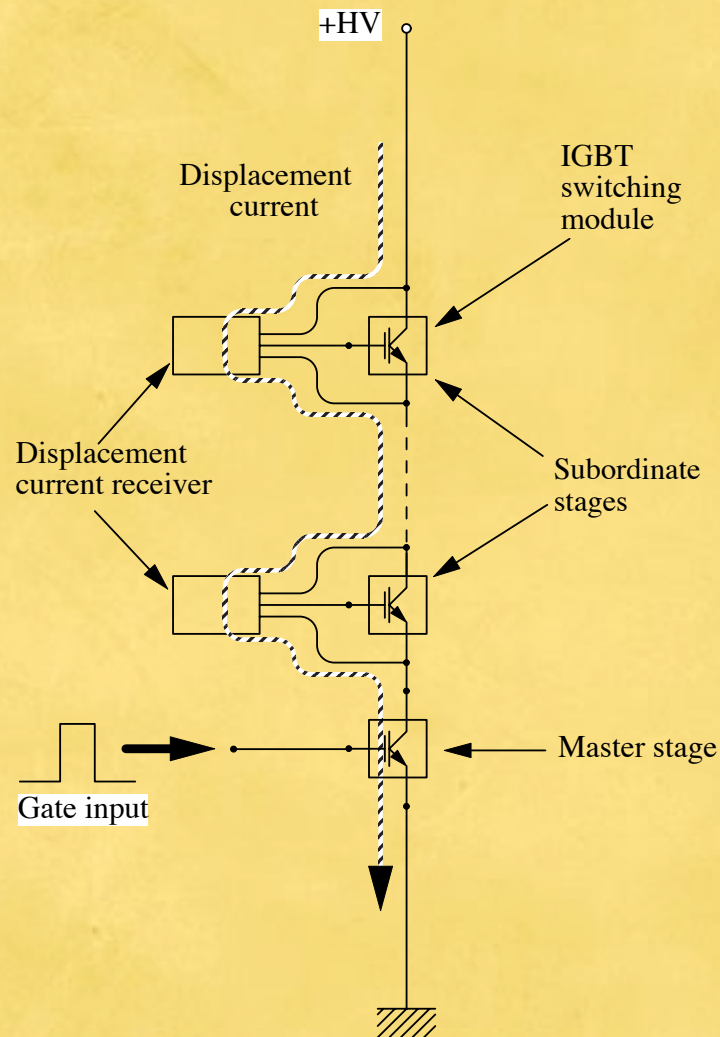
0.35msec after $\Delta r' = 12.5 \text{ mrad}$

acceleration



ビーム取り出し

Kicker Magnet Power Supply

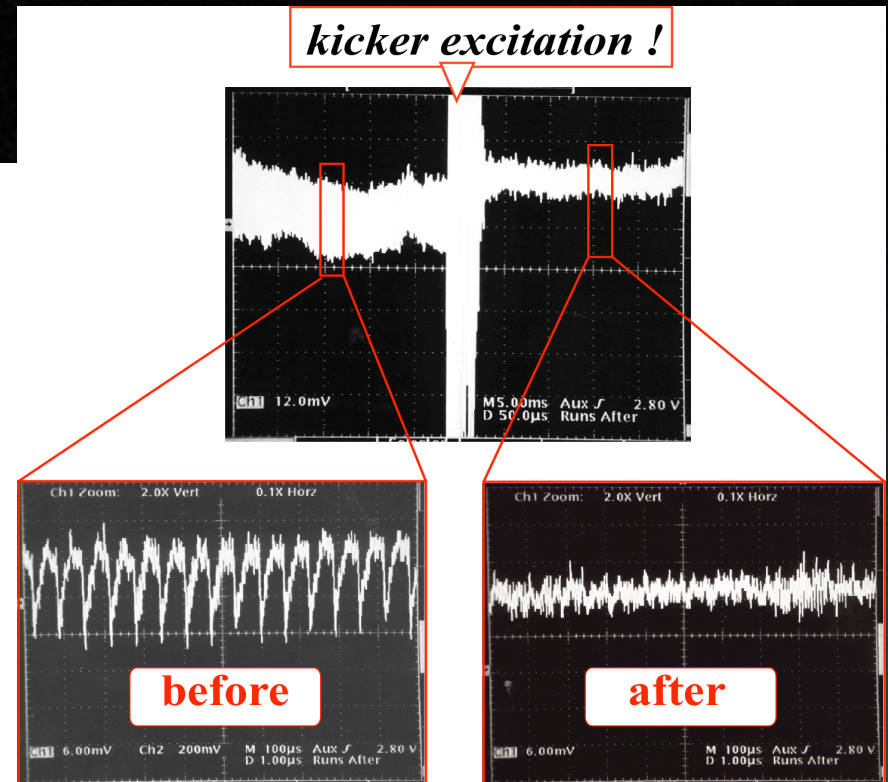
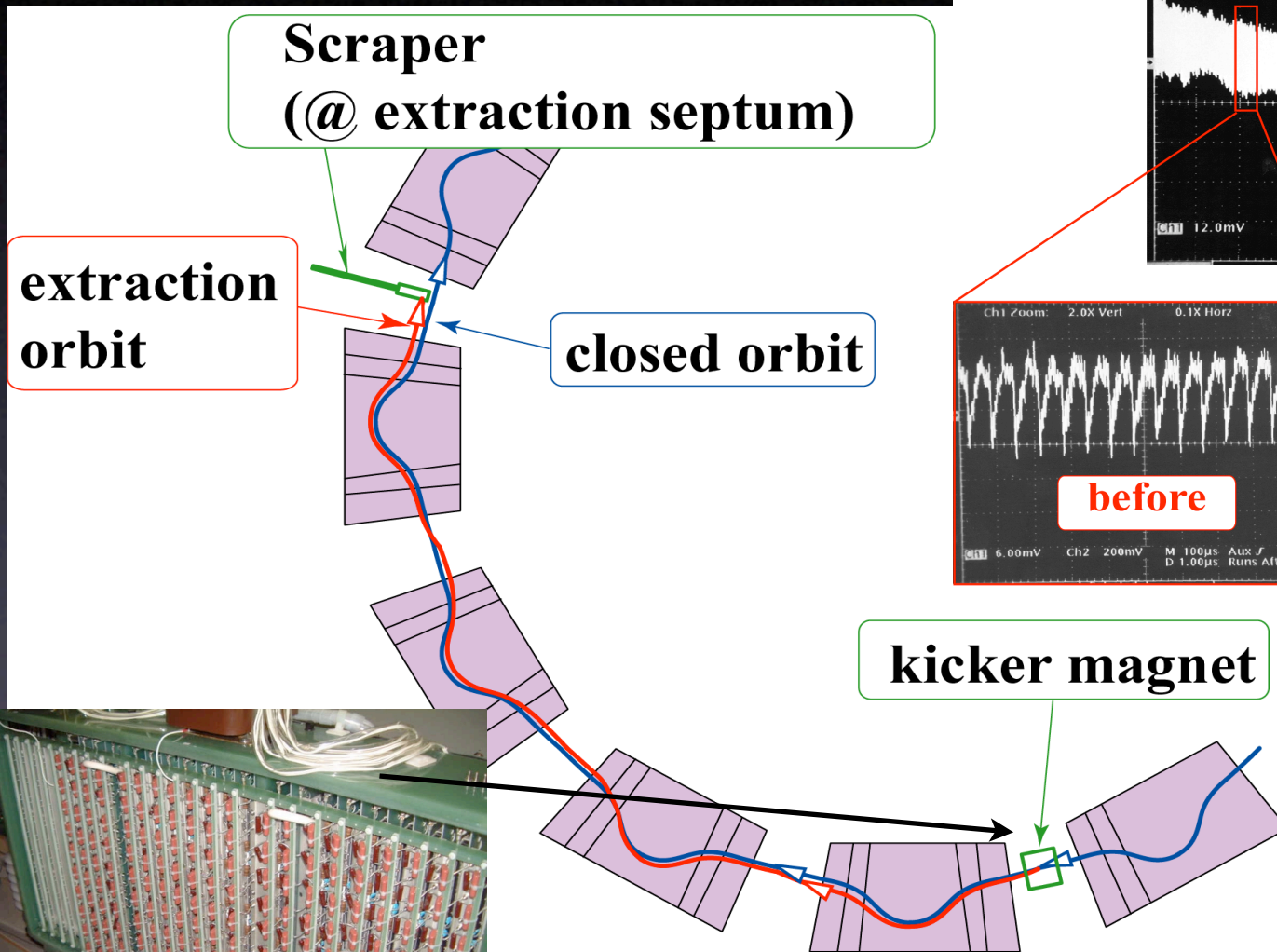


Solid-state Switches:

Principle of the subordinated gating system. Numbers of switching modules (in the figure, IGBTs) are connected in series. The gating signal is supplied only on the module closest to the earth potential, called the master-stage. The other stages are turned on subordinately to the master-stage.

Beam Extraction

July 2004



The circulating beam shifts to the extraction orbit after excitation of the kicker magnet. Two pictures above show circulating beam signal before and after kicker excitation.

Mos-FET Switch

今後の予定

- 取り出しビーム：セプタム電磁石の設置
- サイクロトロンからのH-ビーム取り出し

詳しい話

- Hardware & Beam Study 吉本
- Transverse Beam Dynamics 相場
- RF : Hardware 米村
- Longitudinal Beam Motion 瀧