

# 12GeV PS の成熟期 と K2K 実験に向けての加速器の取り組み

山根 功

- 1) 12GeV PS の歩み ('83 ~ '05)
- 2) 入射器の増強
- 3) Flat-topの延長と偏極ビーム・軽イオンビームの加速
- 4) K2K 実験に向けての加速器の取り組み
- 5) 誘導加速シンクロトロンのR/D Hot News!

## ( 1 ) 12GeV PS の歩み ('83~'05)

- '83~'85 : ( '84年度、TRISTAN主リングトンネル建設に伴うPS運転停止)  
入射器の増強  
LINACエネルギー増強: 20MeV → 40MeV  
ブースター入射方式変換: → H<sup>-</sup> 荷電変換入射  
( '89)ブースタービーム強度  $2 \times 10^{12}$  ppp クリアー!
- '88~'90  
主リング Flat Top 延長                      0.65sec → 3sec(max)
- '83~'95  
主リングでの多様なビームの加速  
偏極陽子ビーム 加速  
重水素ビーム 加速  
He ビーム 加速  
偏極重水素ビーム 加速
- '95~'05  
K2K 実験のためのビーム増強: 目標  $4 \times 10^{12}$  ppp →  $6 \times 10^{12}$  ppp  
 $8 \times 10^{12}$  ppp 達成! ('00)
- '01: J-PARC スタート  
次世代の加速器技術のR/D  
陽子FFAG  
誘導加速シンクロトロン    実証実験の最終段階

(2) ブースター入射エネルギー増強(20→40MeV)  
と  
H- 荷電変換入射への転換

新 40MeV リニアック

Length; 13m,

Inner Diameter; 0.9m,

Copper Plate Thickness; 0.5mm

Drift Tube; 34

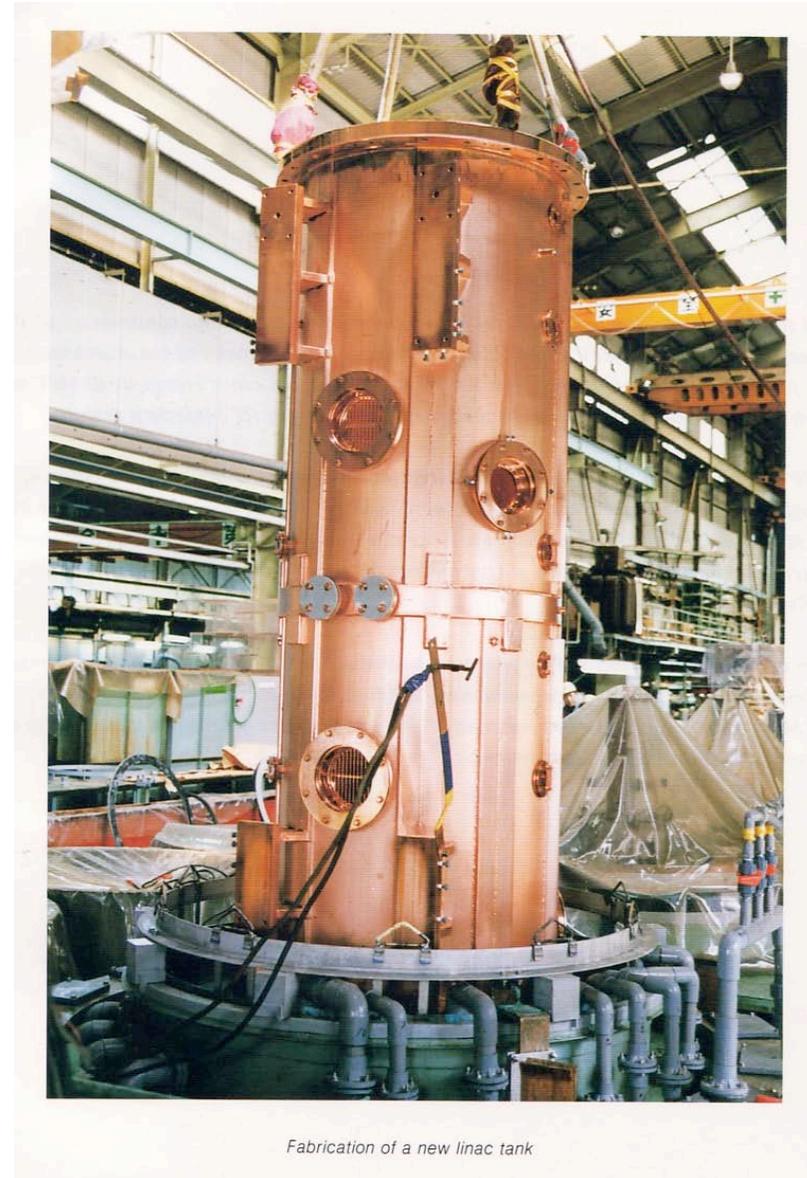
Quadrupole Magnet; 20

(Permanent Magnet)

RF Power Supply; 20MeV Linac

で使用了した2つの

TH516 Ampの一つを使用



Fabrication of a new linac tank

## 40MeVビーム トランスポート

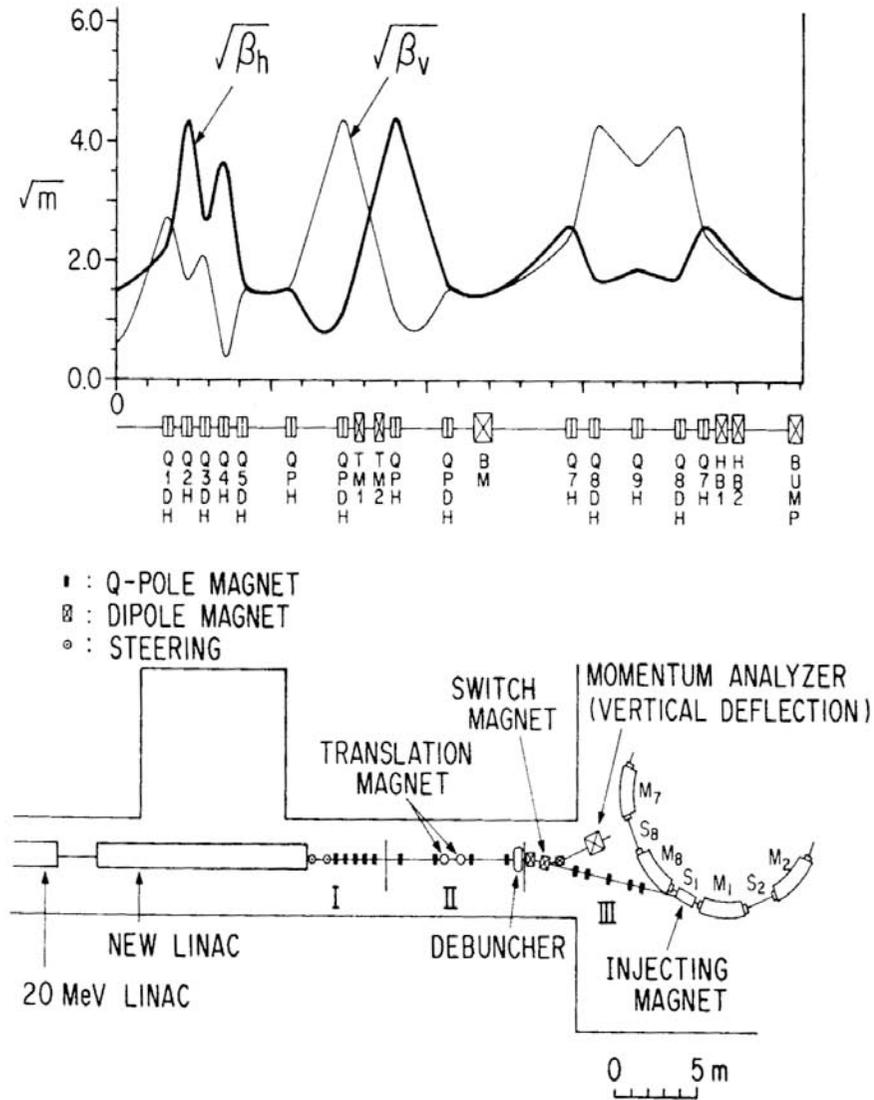
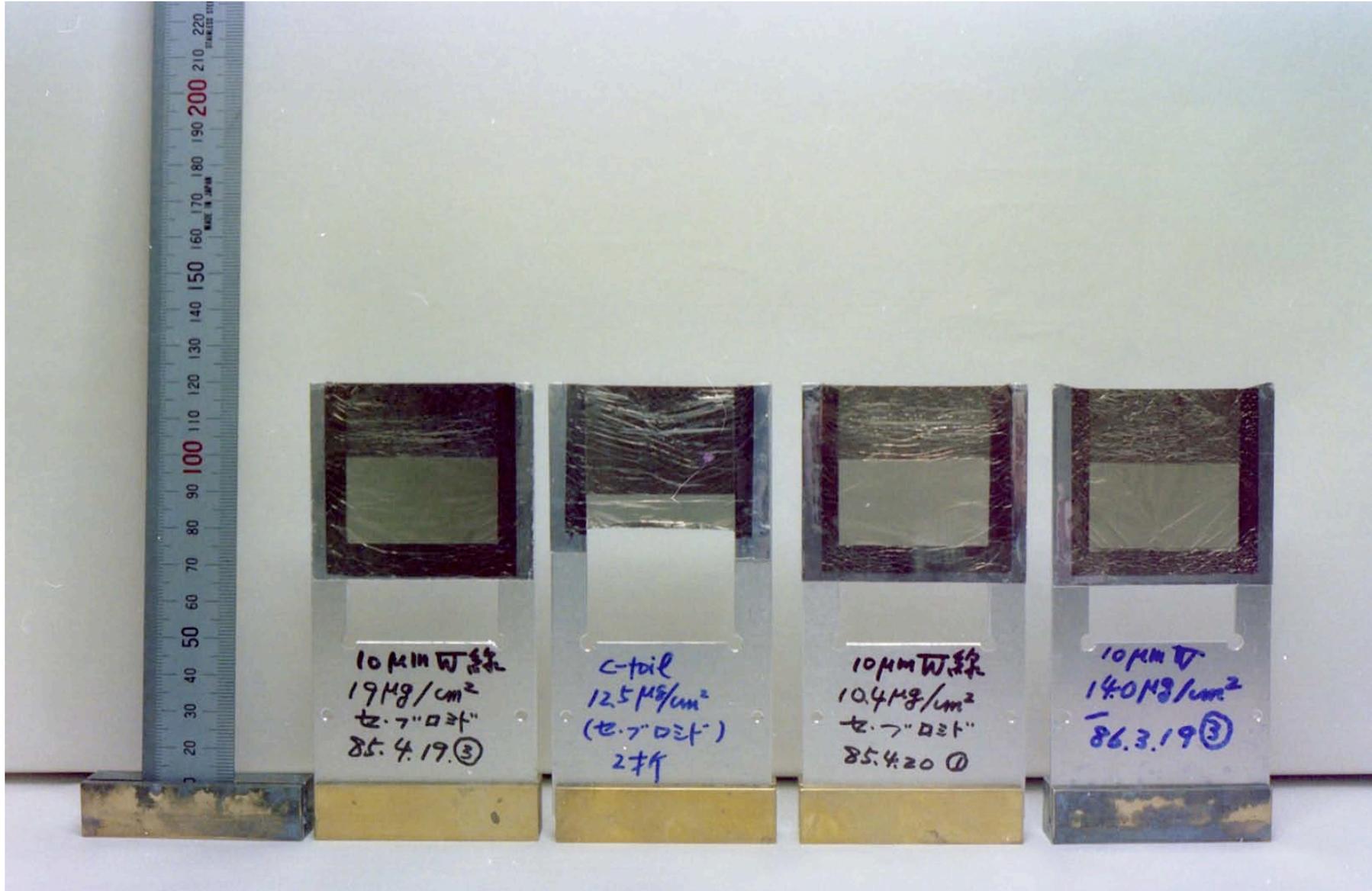


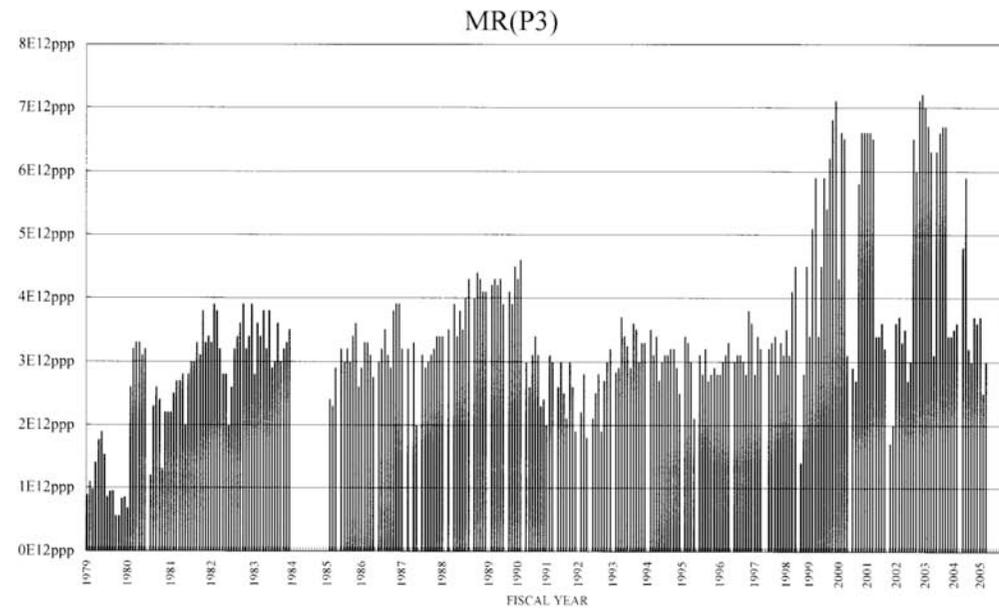
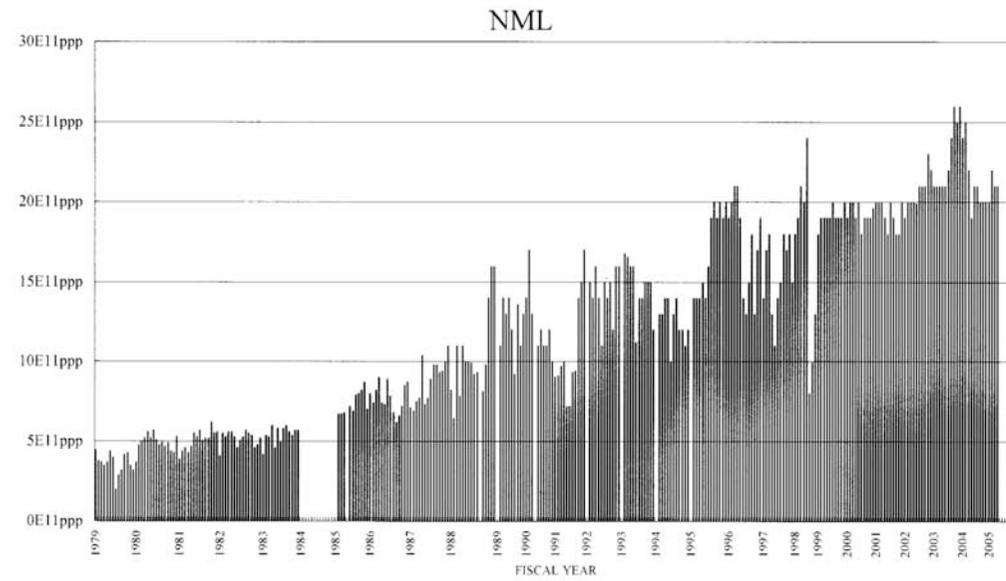
Fig. 7 The 40 MeV beam transport line.  
 I. Emittance matching section. II. Translation section.  
 III. Injection line section.

# 荷電変換薄膜



# Averaged Beam Intensity

ブースターおよび主リング  
平均ビーム強度の変遷



# ブースタービーム強度 $2 \times 10^{12}$ ppp 達成記念パーティー



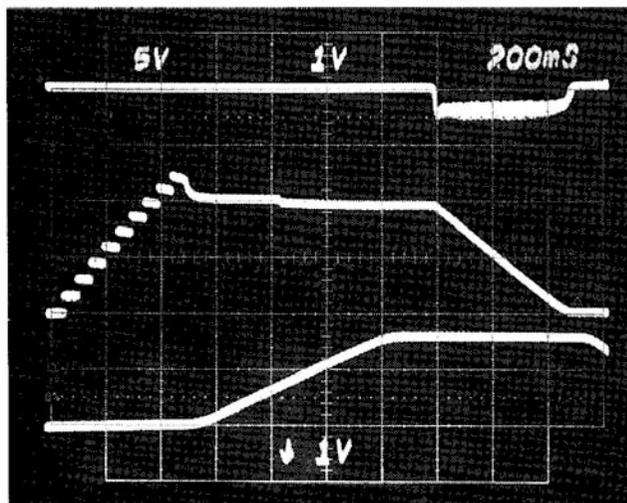


Fig. 5 Typical beam intensity variation in the 12 GeV PS acceleration cycle from injection to extraction. ordinate:  $2 \times 10^{12}$  ppp/div. abscissa: 200 mS/div. (center), with the beam spill to the experimental hall (top) and variation of

(3)  
多様なビーム利用の可能性の模索

主リング Flat Top 延長

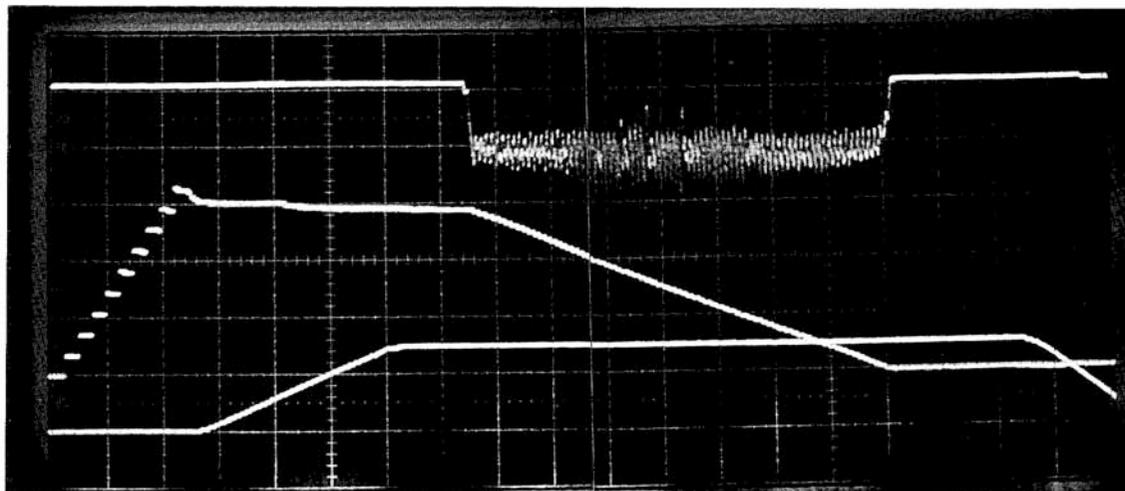


Fig. 7 Typical beam intensity with a flat-top duration of 2 seconds. upper trace: the beam spill, middle trace: variation of the circulating beam intensity, ordinate:  $1 \times 10^{12}$  ppp/div. bottom trace: variation of the acceleration bending field. abscissa: 200 ms/div.

## 軽イオンビーム加速

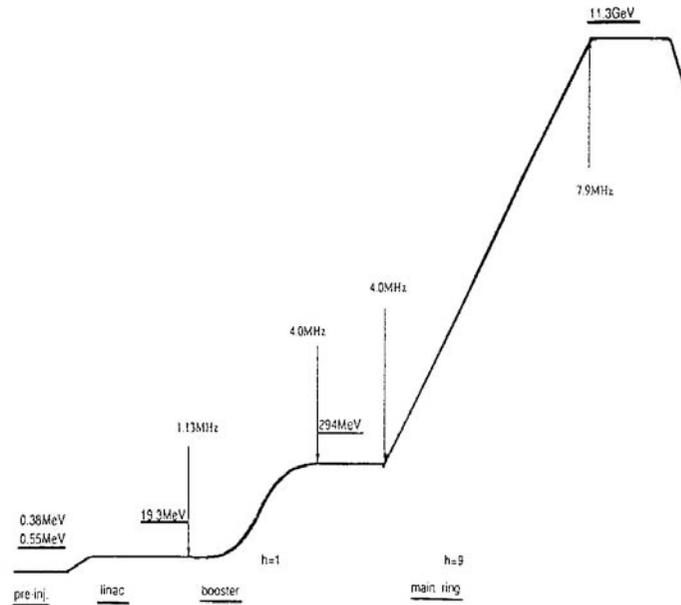


Fig. 5 Beam energies at each accelerator of the 12-GeV Proton Synchrotron for deuteron beam acceleration. On the basis of this scheme, the feasibilities of the deuteron beam acceleration have been discussed and a workshop was held at KEK in February, 1991. The first trial of the deuteron beam acceleration in the Main Ring was carried out on July 19, 1991, and the deuteron beam was successfully accelerated up to the energy of 7.2 GeV. On January 30, 1992, deuteron beam acceleration up to 11.2 GeV was achieved.

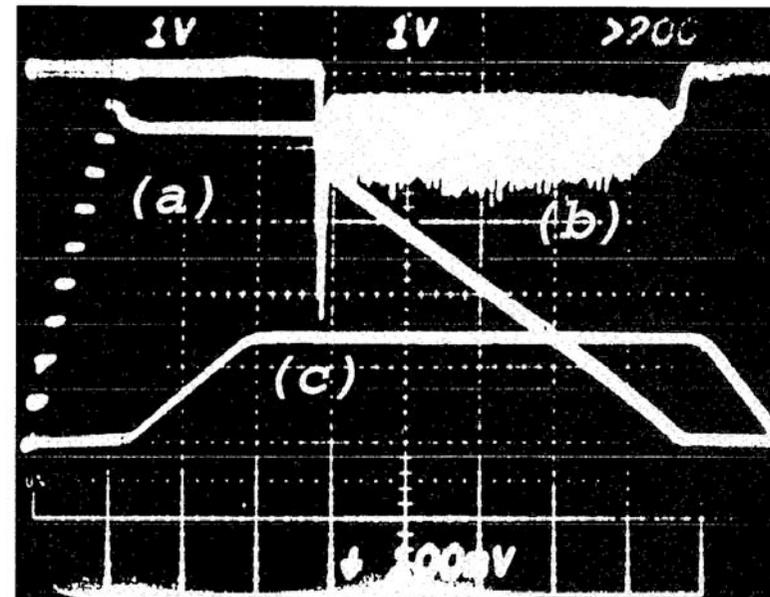


Fig. 1 Alpha-particle beam acceleration succeeded in the first cycle of FY1994.  
 (a) beam intensity during a main-ring cycle  
 (b) slowly extracted beam intensity  
 (c) pattern of the main-ring magnet current

## (4) K2K実験に向けての加速器の取り組み

K2K実験からの加速器に対する要請：

正味2年間で  $1 \times 10^{20}$  12GeV protons を速い取り出し方式で

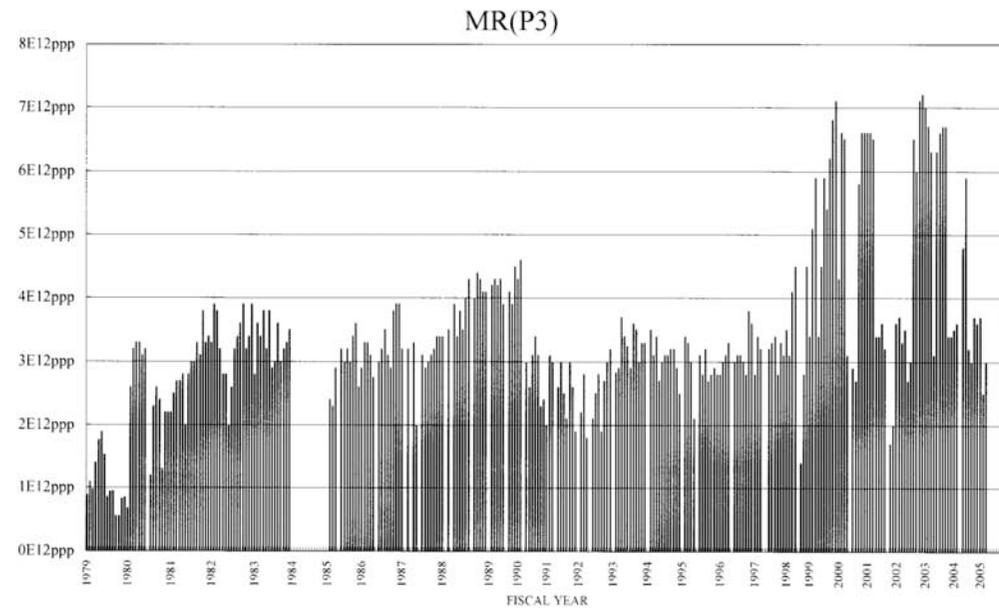
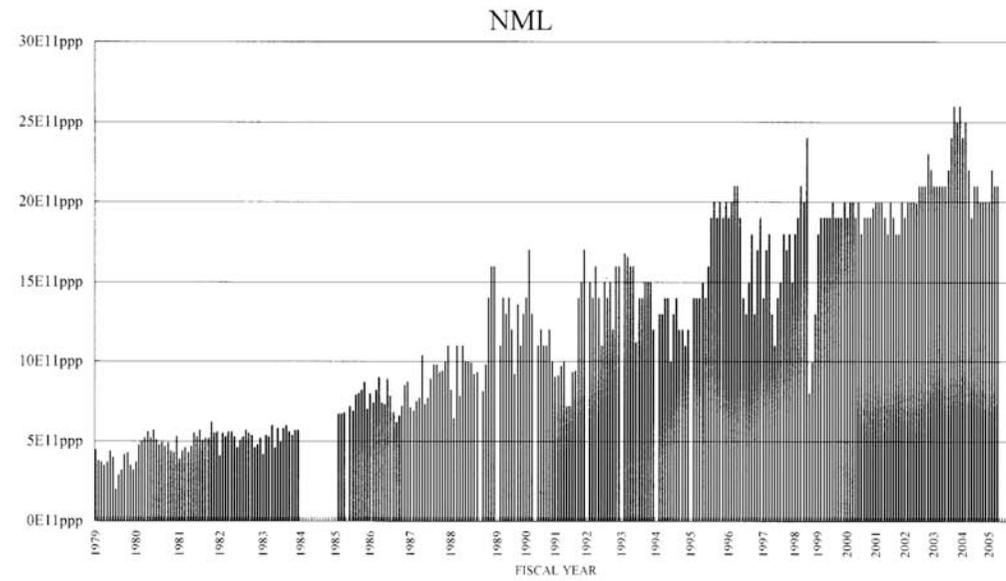
このために加速器が達成すべき主要な課題：

- 1、主リングの繰り返し周期を電磁石電源が対応できる最短の2.2sec とし、速い取り出し機器を設置すること、
- 2、陽子ビーム強度を12GeVで  $6 \times 10^{12}$  ppp に増強すること、
- 3、運転モードを3ヶ月モードとして、ビーム運転時間を増加すること、

等

# Averaged Beam Intensity

ブースターおよび主リング  
平均ビーム強度の変遷



主リングビーム強度を  $6 \times 10^{12}$  ppp 以上に増強する課題  
トランジションクロッシングの改善が必要

トランジションエネルギー：

$$\gamma_t = 6.5 \quad (T = 5.2 \text{ GeV})$$

加速に伴い陽子ビームのエネルギーがこの値に達すると、ビームの電荷密度が急速に増加して、マイクロウェーブインスタビリティが生じやすくなる。

このため、ビーム強度が  $4.5 \times 10^{12}$  ppp より強くなると急速にビームロスが増加し、主リングビームの運転ビーム強度は  $4 \times 10^{12}$  ppp 程度に抑えざるを得なかった。

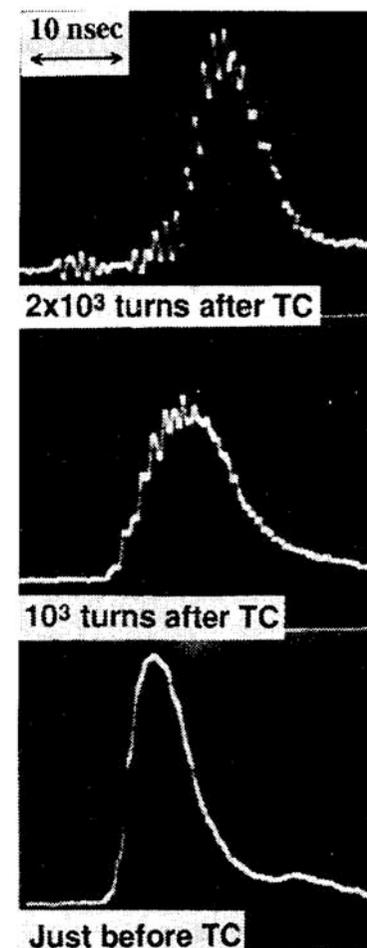
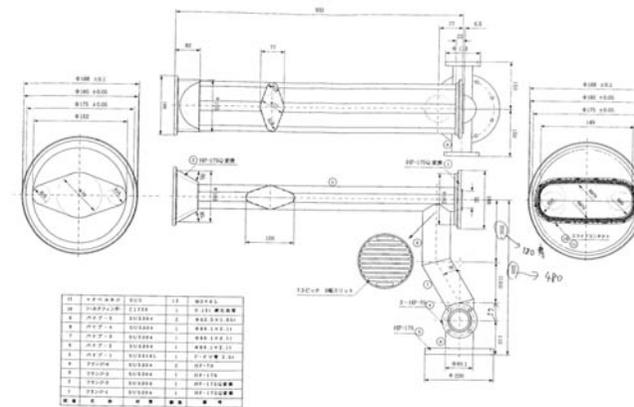
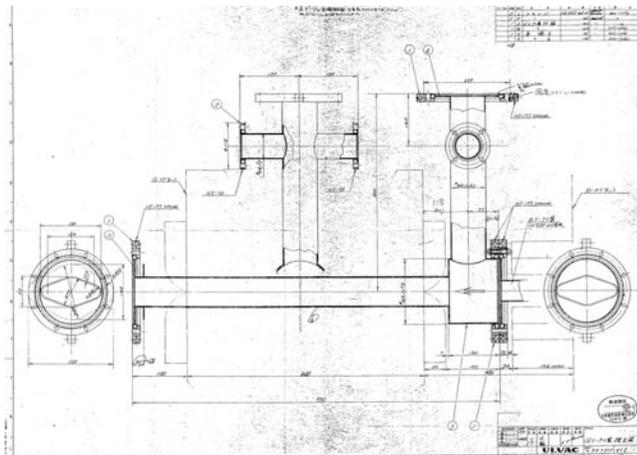
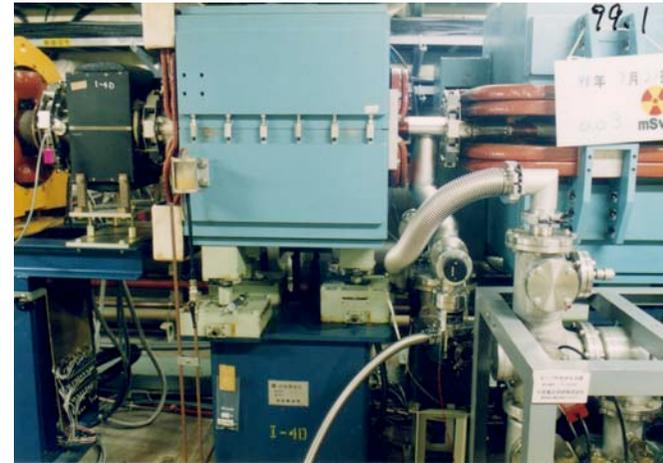
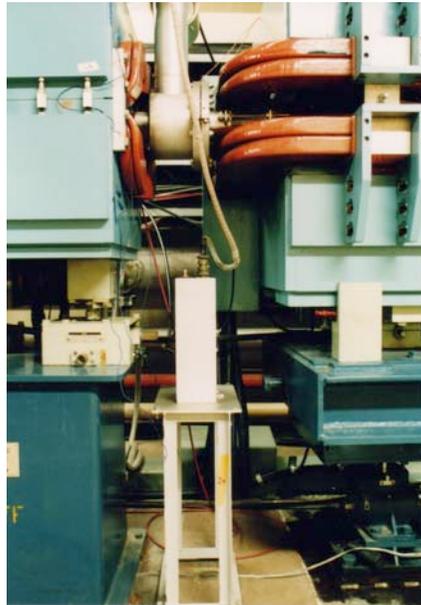


Fig.1. Bunch Profiles from -1 msec to +2msec  
(t=0 msec: transition)

# トランジションクロッシングの改善 (1)

## マイクロウェーブインスタビリティの抑制

### 高インピーダンス真空箱の交換



# トランジションクロッシングの改善 (2)

## RF電圧への帯域制限信号混入によるバンチ整形

RF voltage modulation  
multi-spectral lines/band-limited white signal

$$\text{Energy gain} = eV_{rf} (1 + \xi_n) \sin \phi_n \quad @ n\text{-th turn}$$

$$\xi_n = \sum_{j=0}^{N-1} \sqrt{\frac{2}{N}} \sin \left[ n(2\omega_s - j \frac{\Delta\omega}{N-1}) T_{rev} + \psi_j \right]$$

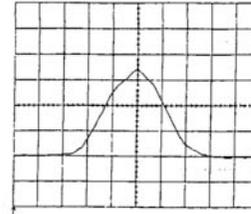
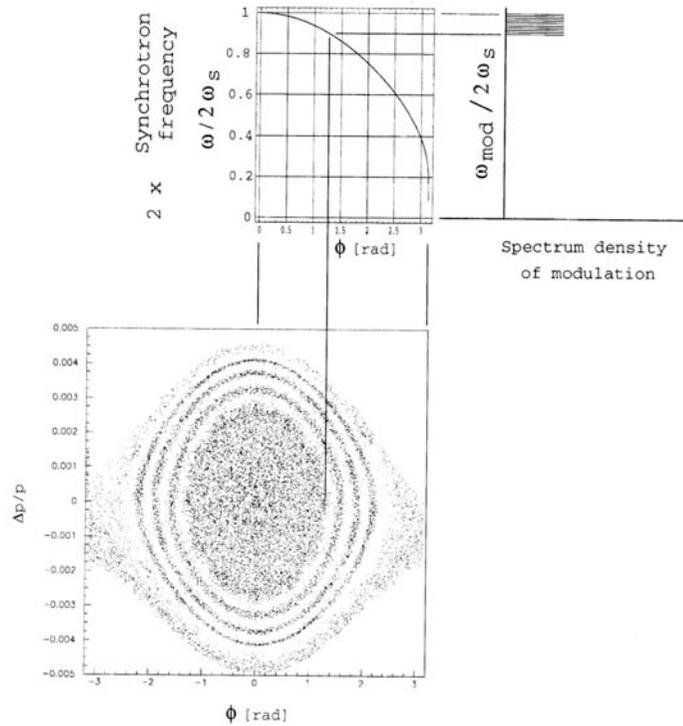


FIGURE 18. Bunch profiles without rf modulation, abscissa: 20 ns/div.

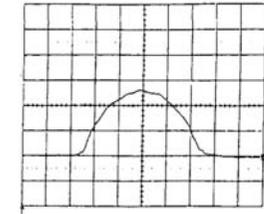


FIGURE 19. Bunch profiles with rf modulation.  $\xi_{RMS} \approx 3.6\%$ , abscissa: 20 ns/div.

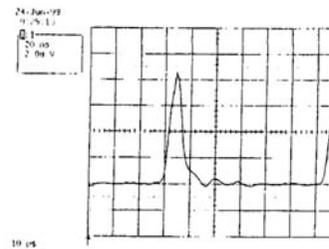


FIGURE 20. Bunch profiles without rf modulation, abscissa: 20 ns/div.

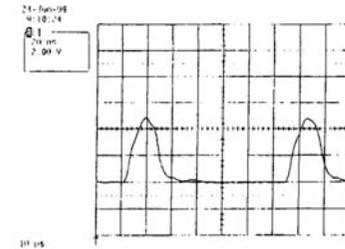


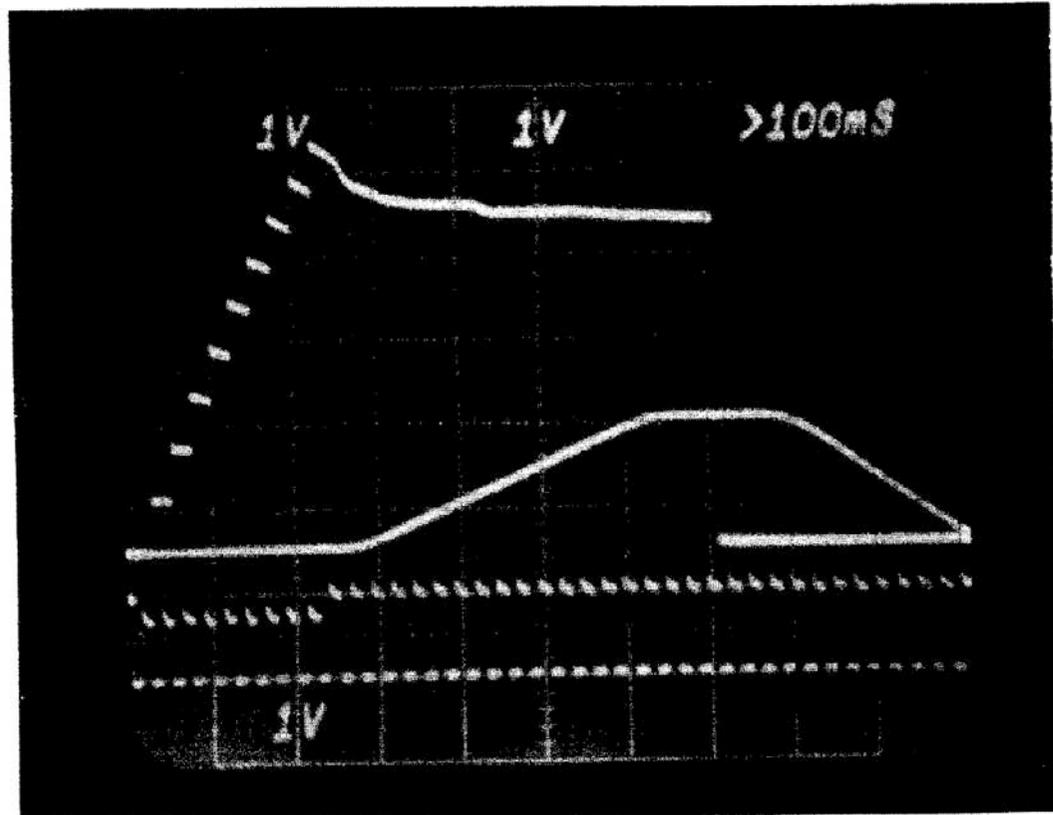
FIGURE 21. Bunch profiles with rf modulation.  $\xi_{RMS} \approx 4\%$ , abscissa: 20 ns/div.

# 8×10<sup>12</sup>ppp 達成！

----- INTENSITY -----

TIME:03/07/00 13:33:27

CM-2 : 25.1 mA  
CM2(No.2): 15.1 mA  
CM-7 : 19.3 mA  
20 : 14.9 mA  
40-1 : 14.8 mA  
40-3 : 14.8 mA  
effic. : 77 %  
<< BSF >>  
BSTR : 20.1 E11 ppp  
BSF : 19.0 E11 ppp  
effic. : 95 %  
<< MR >>  
BSTR : 1.4 E12 ppp  
K1 : 1.2 E12 ppp  
P2 : 9.3 E12 ppp  
P3 : 8.0 E12 ppp  
EP1 : 7.4 E12 ppp  
EP2 : 0.7 E11 ppp  
I,T : 1.6 E10 ppp  
Duty : 93 %

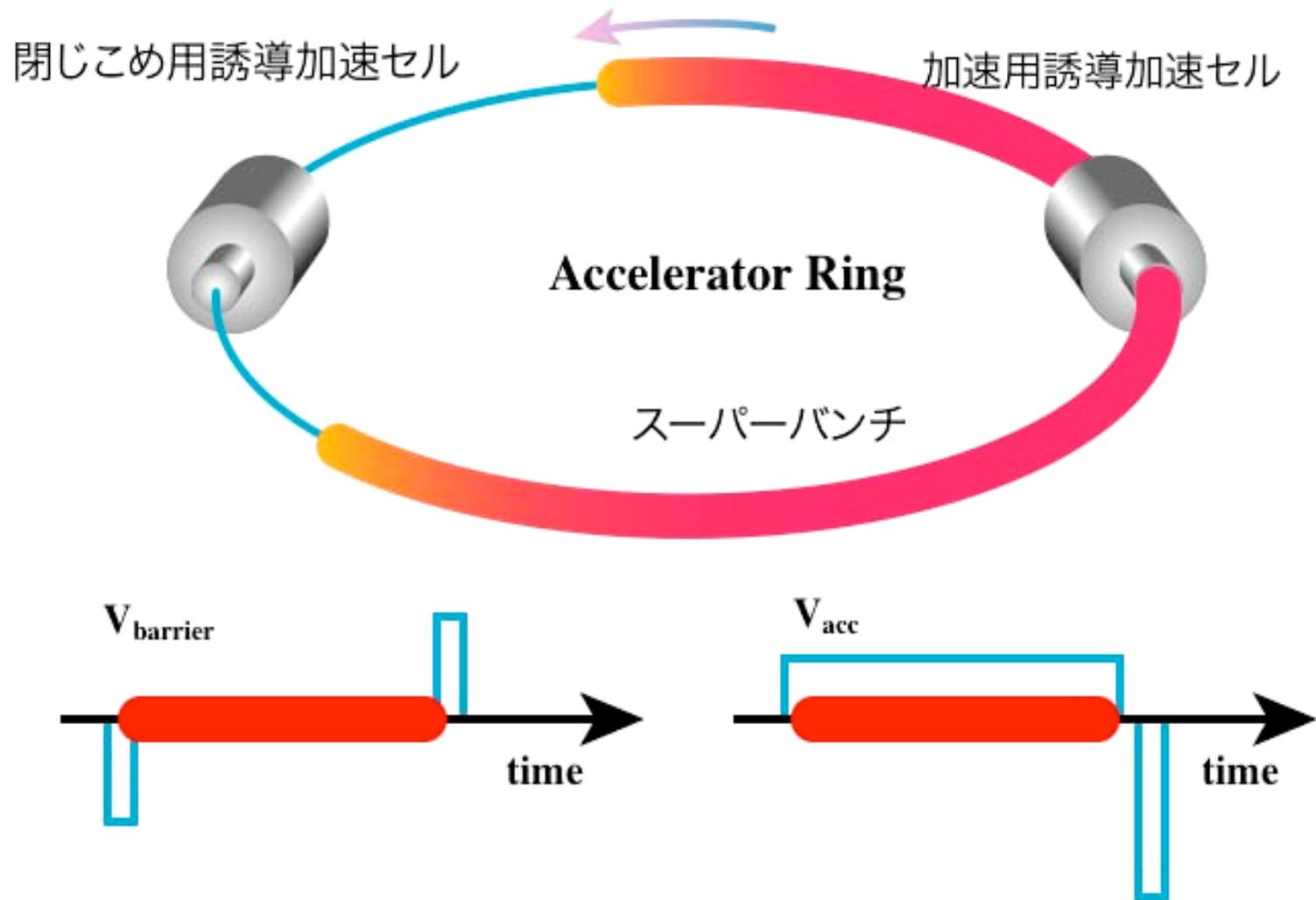


# 12GeV PS 速い取り出し成功！



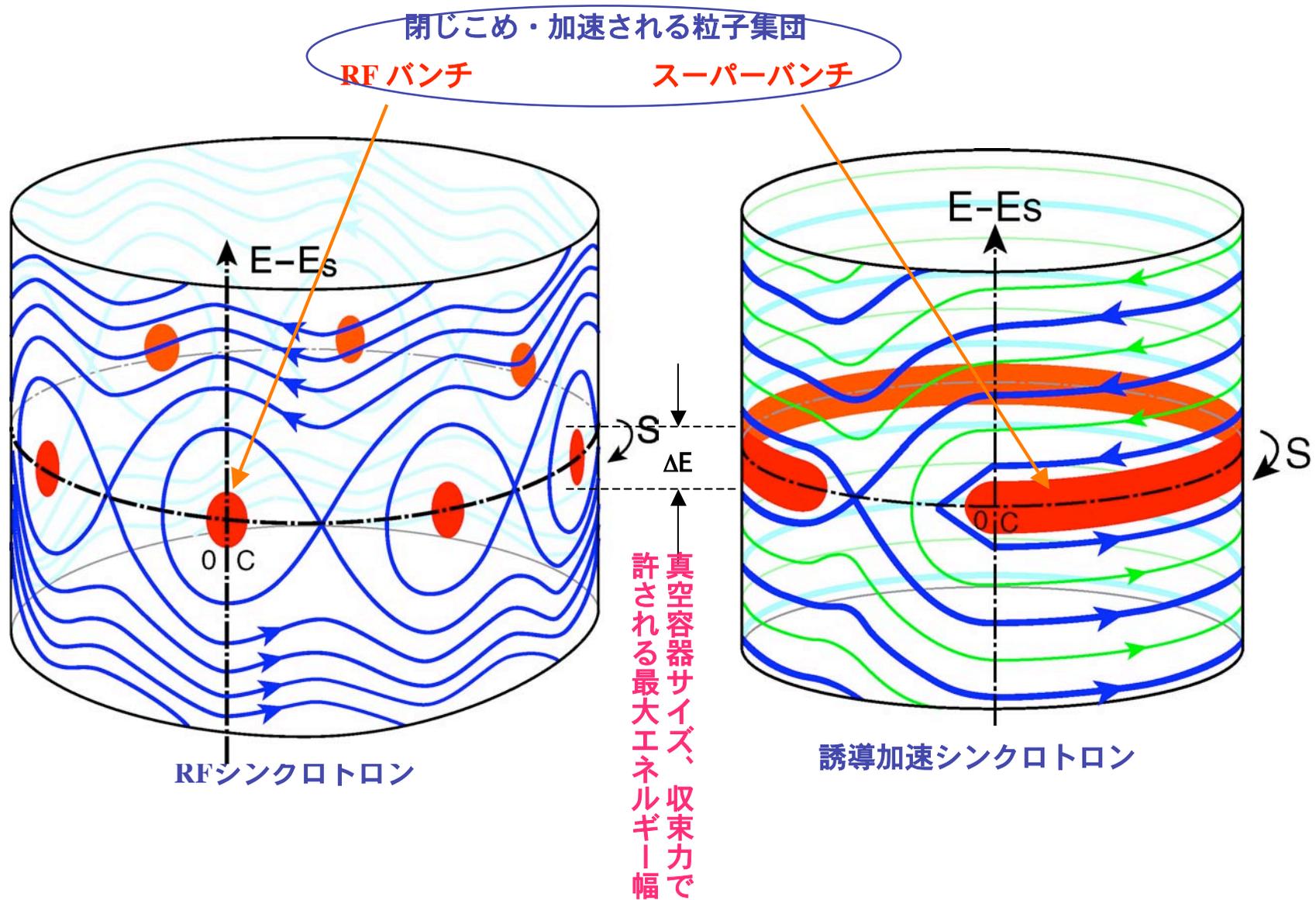
## (5) 次世代加速器技術のR/D

### 誘導加速シンクロトロン概念図

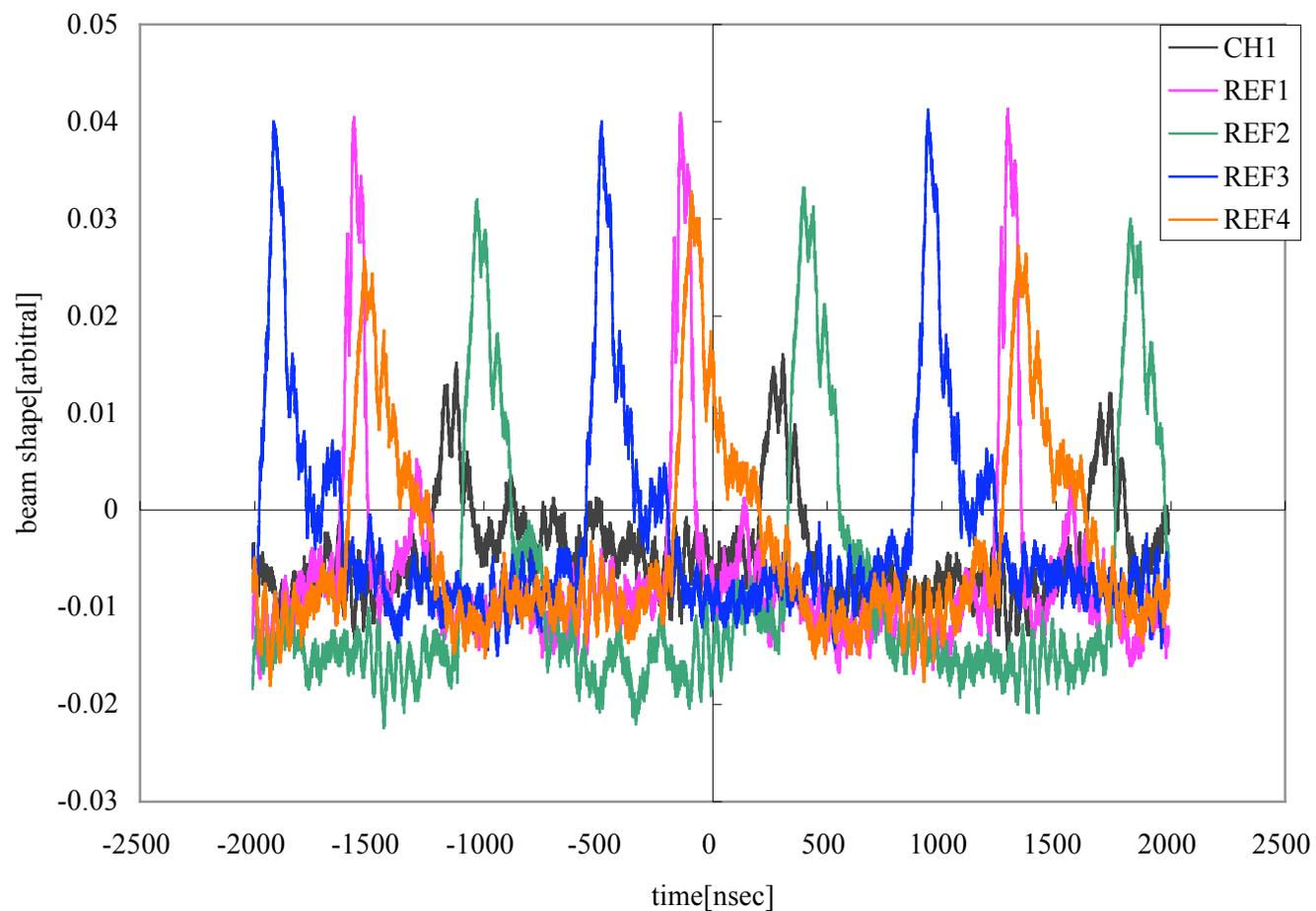


# 位相空間で見る RF シンクロトロンと誘導加速シンクロトロンの違い

- 有効に加速に使用出来る位相空間の面積が大幅に拡大できる。
- 機能分離によりビームハンドリング自由度が大幅に増す。



# ステップ電圧による完全な加速・閉じ込め実証の予備実験



加速開始から100msec後の壁電流モニター信号

スーパーバンチグループ

# 誘導加速シンクロトロン

## 1) 機能分離型高周波加速器

(機能)

RFシンクロトロン (従来型)

誘導加速シンクロトロン

(ビーム捕捉)

共通のRFバケット

バリアーバケット

(加速)

誘導加速装置

## 2) 発案：高山 健、木代純逸

## 3) 12GeV PSにおいて、誘導加速セル（ビーム閉じ込め用および加速用）のみを用いて陽子ビームを加速出来ることを示すデータが得られた。

## 4) 特徴

ビーム捕捉と加速が分離され、ビーム加速でのフレキシビリティが非常に高い  
加速器として出来ることの範囲が飛躍的に拡大する！  
キーエレメントはスイッチング電源！

## 5) 応用例

トランジションエネルギーの無収束通過(ハイブリッド加速器)

スーパーバンチ加速

全種イオン加速器

等

## KEK 12 GeV PS の果たした役割

- 1) わが国の最初の本格的な高エネルギー陽子加速器
- 2) わが国の高エネルギー物理学、加速器科学および加速器技術を世界の最先端に導いた研究の拠点
- 3) 高エネルギー物理学、加速器科学および加速器技術の分野の多くの人材を育てた学校
- 4) 「ニュートリノに質量がある」ことを確認した K2K 実験のビームを供給した加速器
- 5) 次世代の加速器技術として期待される「陽子FFAG」や「誘導加速シンクロトロン」開発の母体となった
- 6) その他

有難う！

12 GeV PS

さようなら！