

NIRS-930における加速位相の調整について

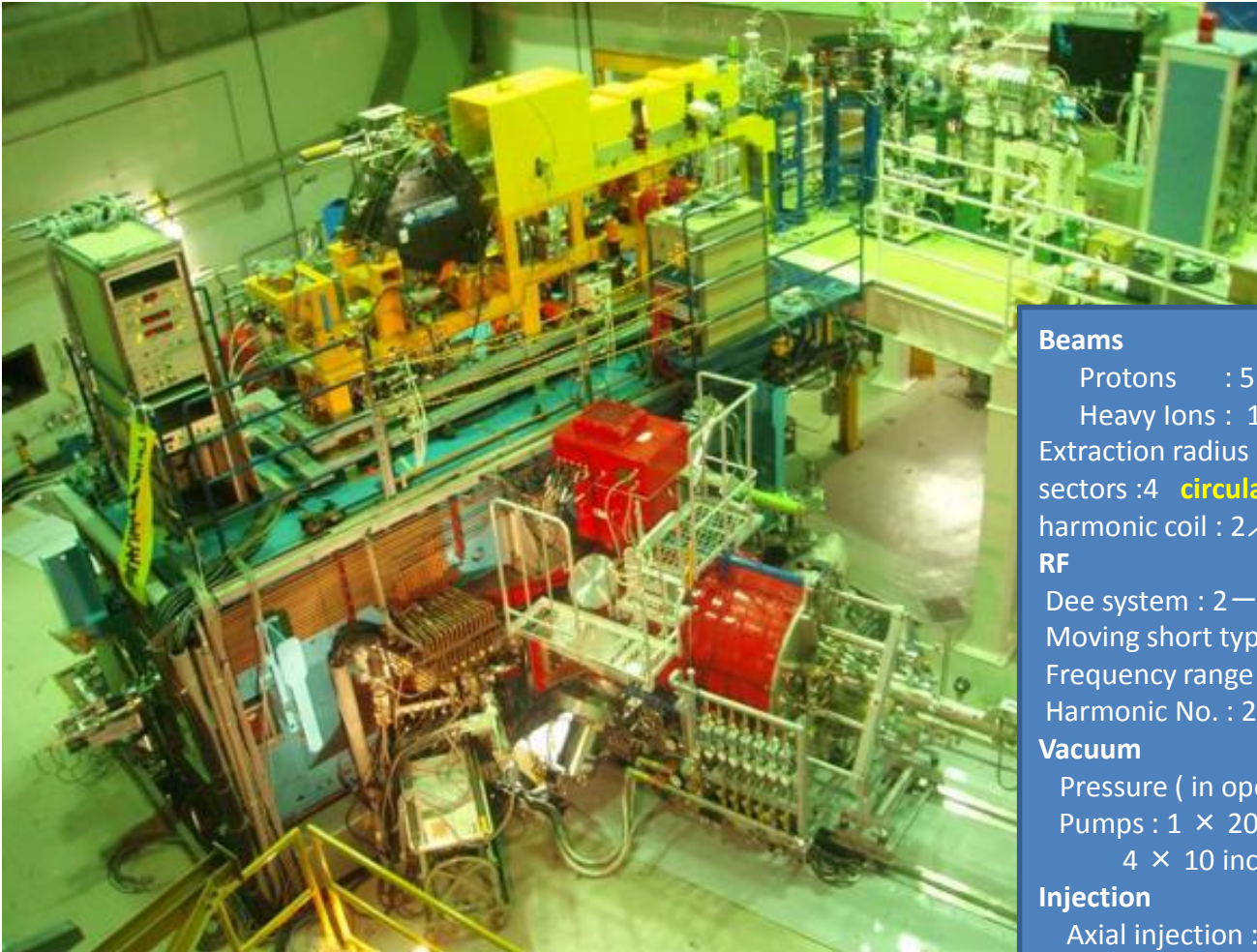
独立行政法人放射線医学総合研究所

北條 悟、片桐 健、中尾 政夫、杉浦 彰則、野田 章

目次

- NIRSサイクロトロン
- 位相プローブ
- 相対的位相測定による等時性磁場の調整
- 理想的な加速位相
絶対的な位相測定のために
- 加速位相の調整とビーム調整結果
- まとめ

NIRS-930



Beams

Protons : 5 ~ 80 MeV

Heavy Ions : $110 \times (Z^2/A)$ MeV

Extraction radius : 0.92 m

sectors : 4 **circular coil : 12**

harmonic coil : 2 / sector

RF

Dee system : 2 - Dees (86°),
Moving short type

Frequency range : 11 ~ 21 MHz

Harmonic No. : 2 and 1

Vacuum

Pressure (in operate.) : 1×10^{-4} Pa

Pumps : 1×2000 L/s (Turbo molecular pump)
 4×10 inch (Cryo pumps)

Injection

Axial injection : **Spiral inflector**

Ion source

Axial injection : compact ECR (Kei-source)

位相プローブ

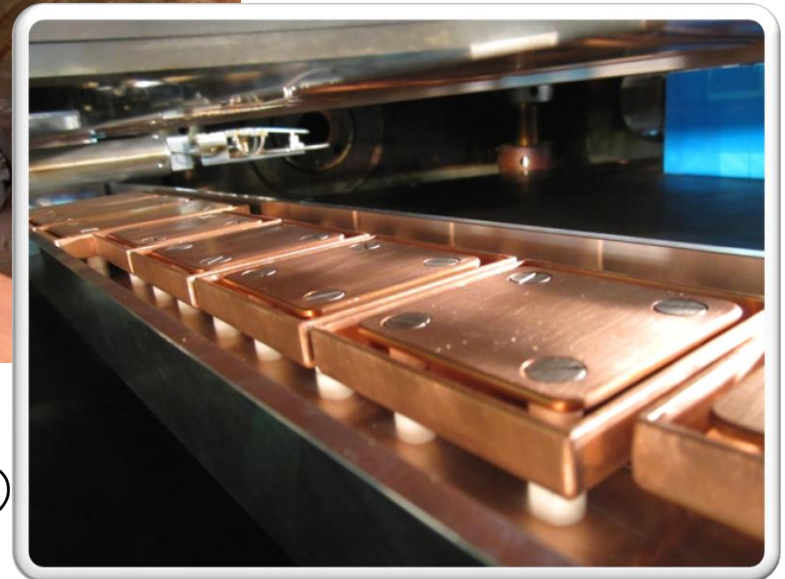


電極 上下10対 計20個

電極サイズ 40×58
93×58 mm

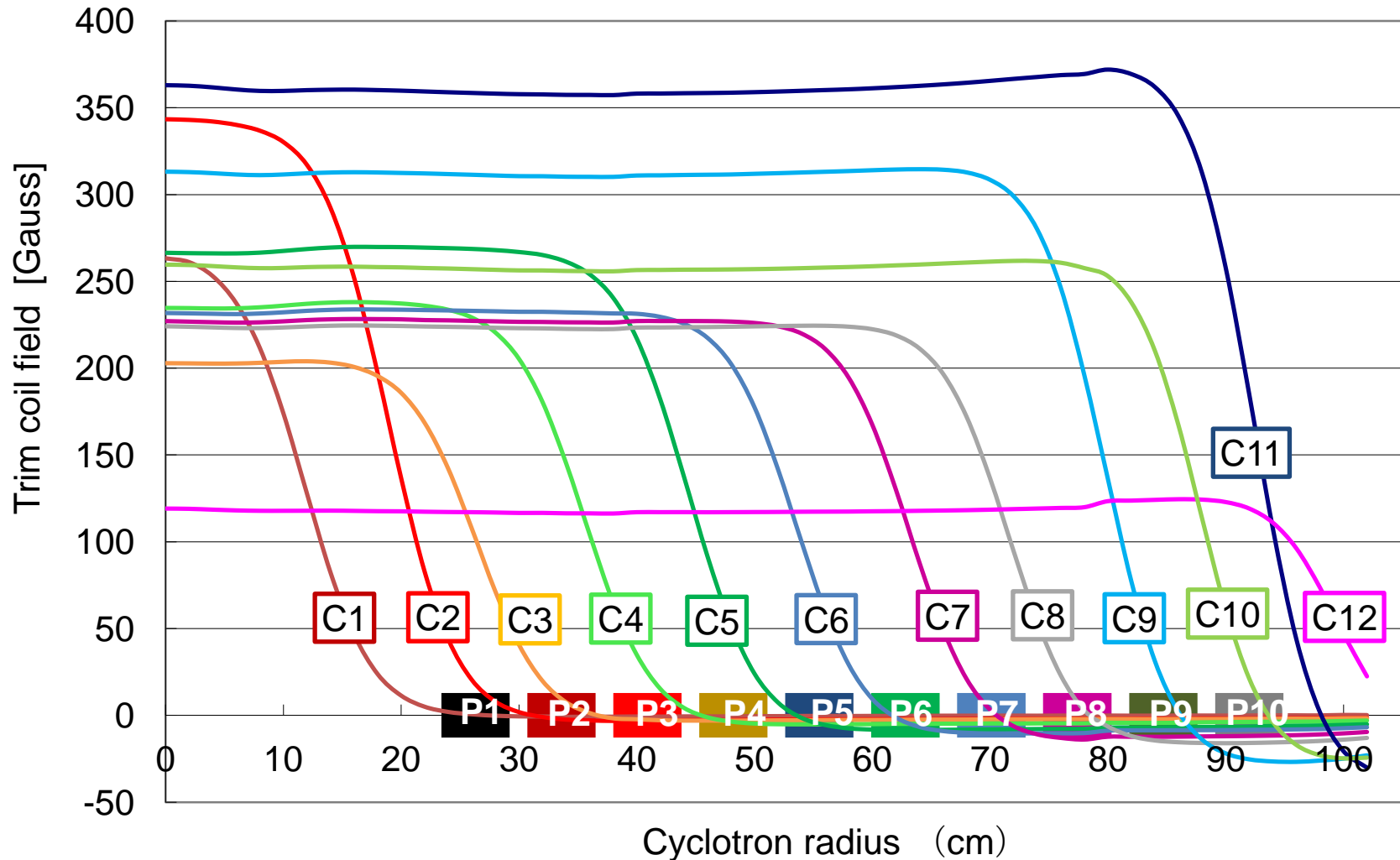
上下電極間隔 50mm

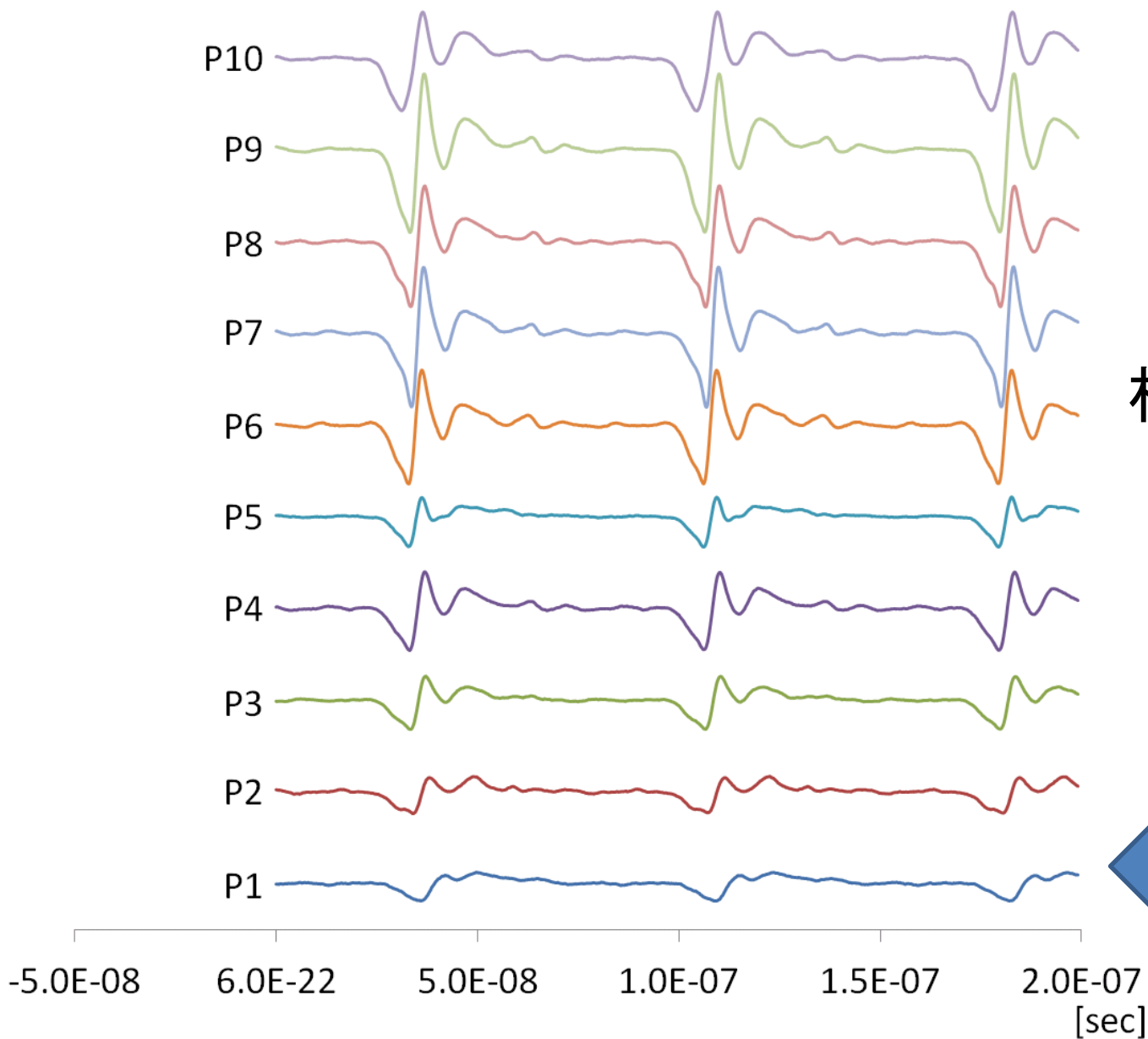
使用ケーブル
MX50-1.2 長さ2m



SHI製(原研高崎TIARAの位相プローブをベースに)

トリムコイル磁場と位相プローブの位置

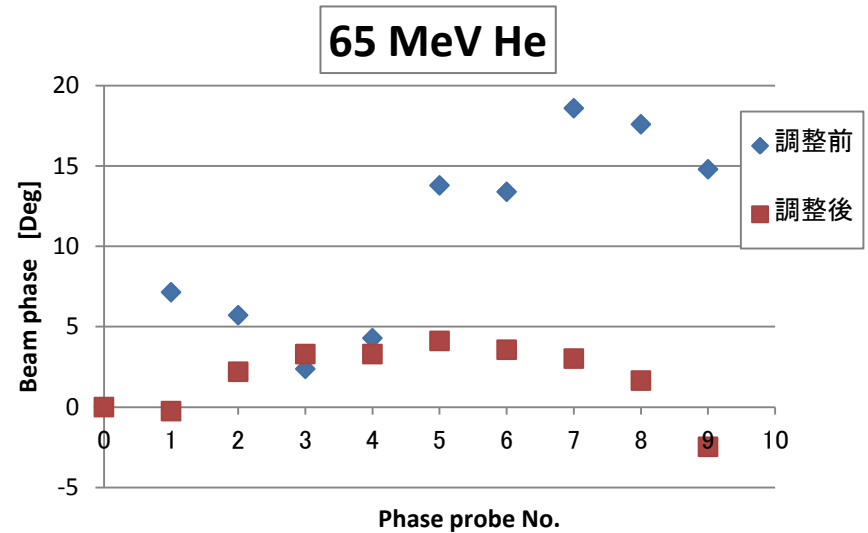
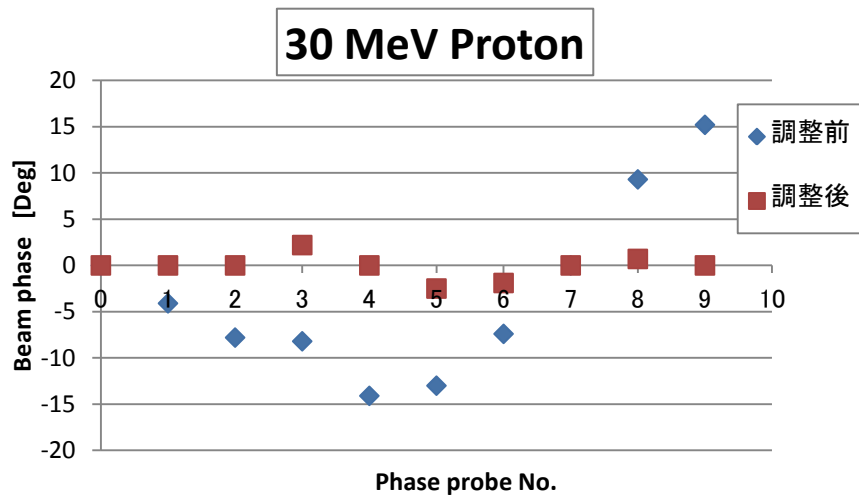




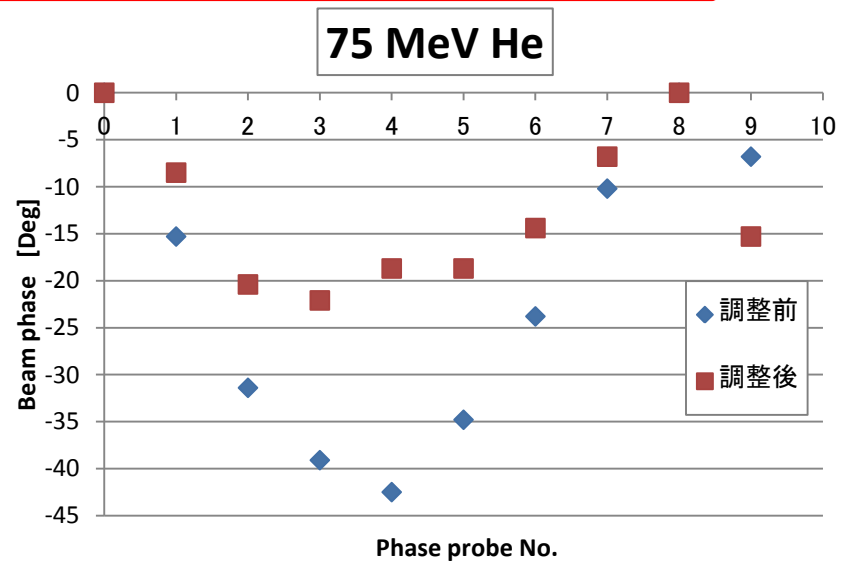
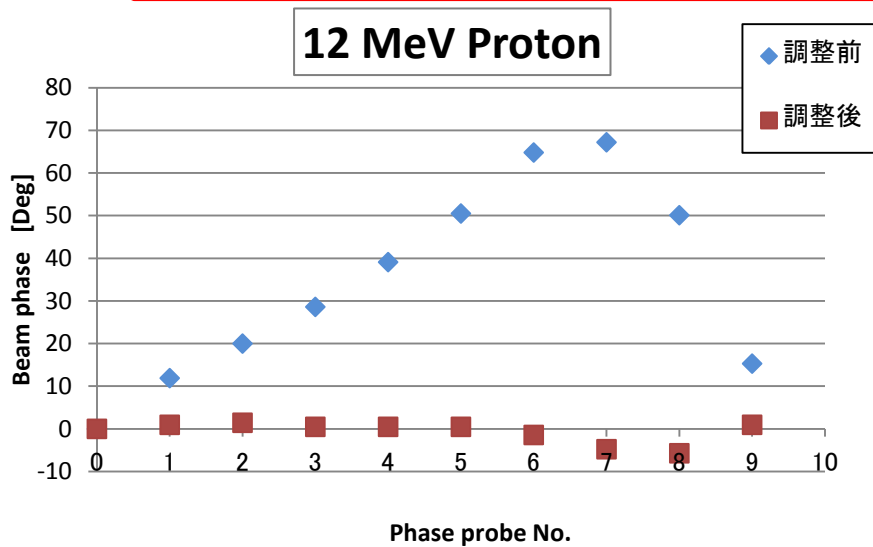
相対的な位相

P1を0度(基準)として位相を測定をしていた。
等時性磁場の形成にはこれで充分であった。

相対的な位相測定による等時性磁場の生成

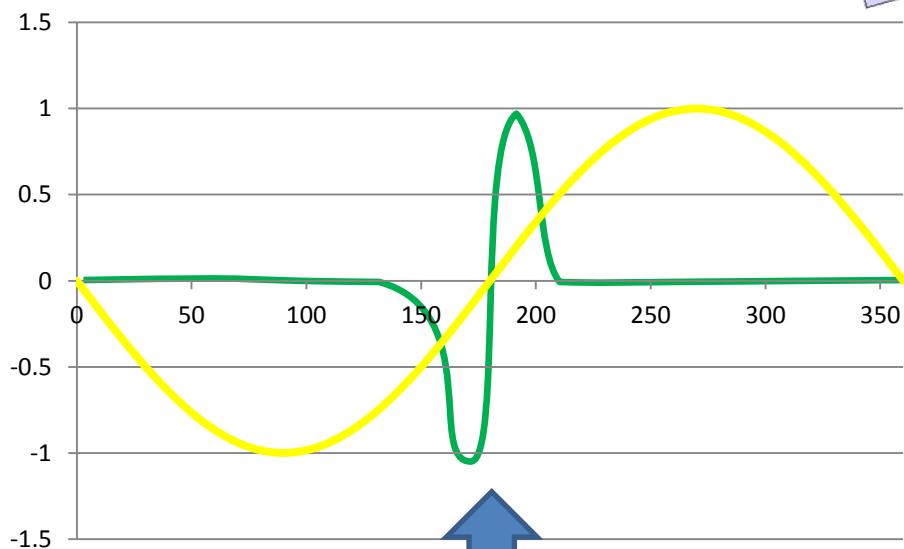
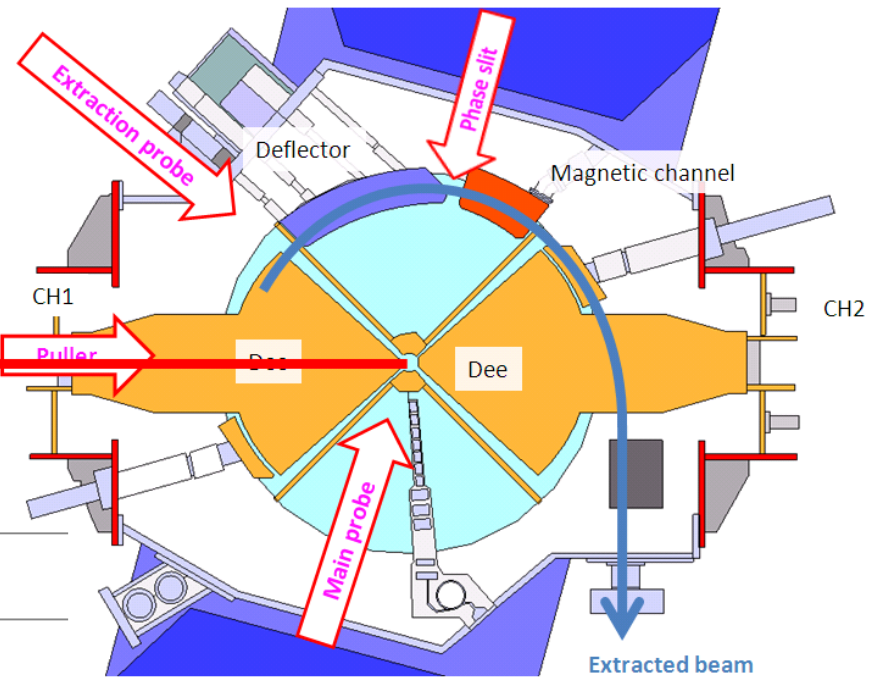
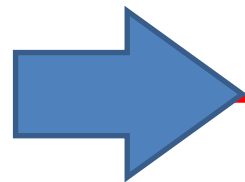


プローブNo1 (P1)を0度として、広がり測定し等時性磁場を生成できた。



理想的な加速位相

この角度で見ると
(Dee電極の中心)



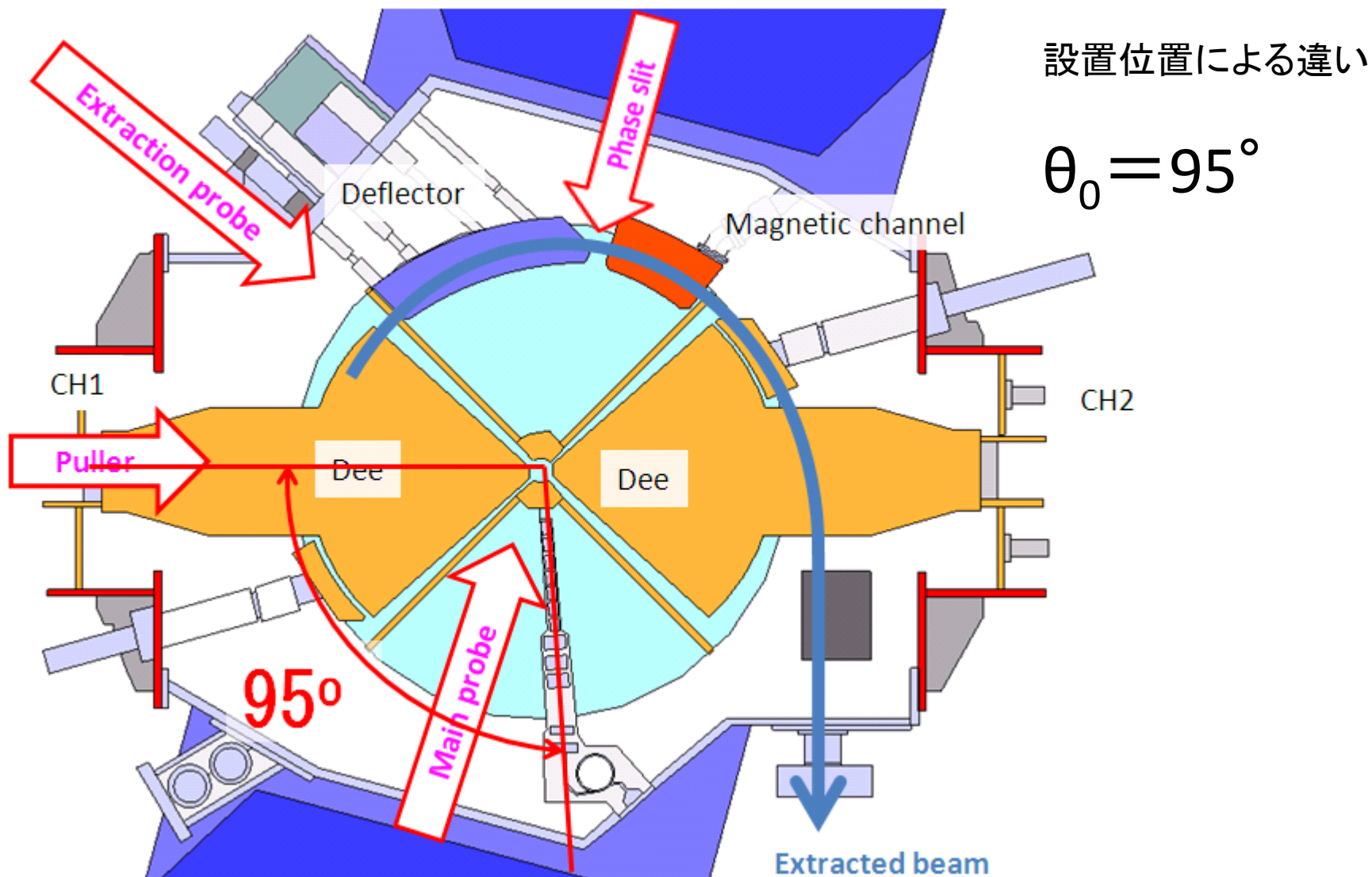
— Ch1側 Dee電圧
— Beam 微分波形

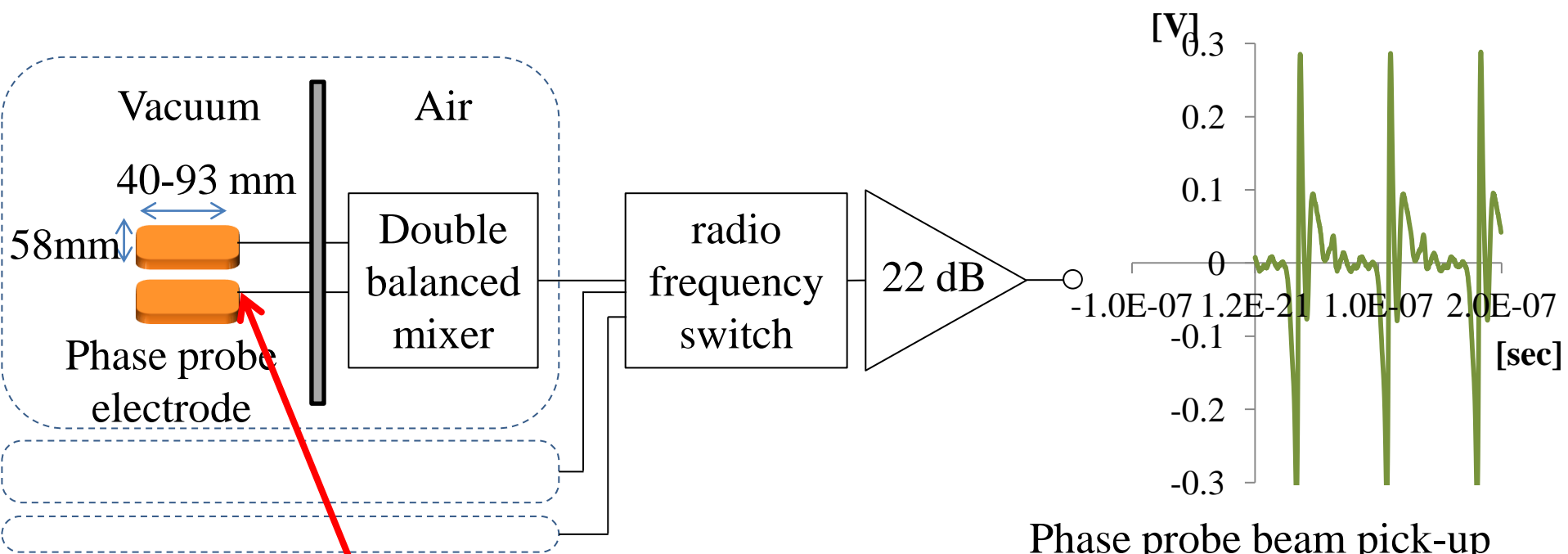
ここでビームが通過するのが理想である。

考慮すべき位相(角度)差

1. サイクロトロン内部での位置での角度差による位相差(θ_0)
2. 信号ラインでのライン長の差による位相差(θ_s)

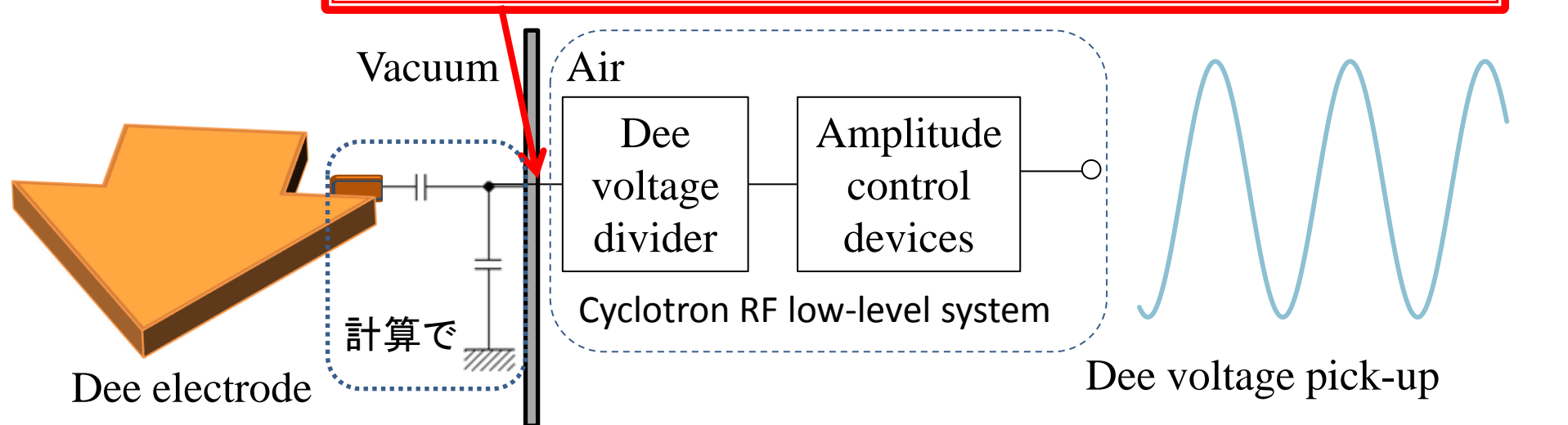
理想的な加速位相の測定のために





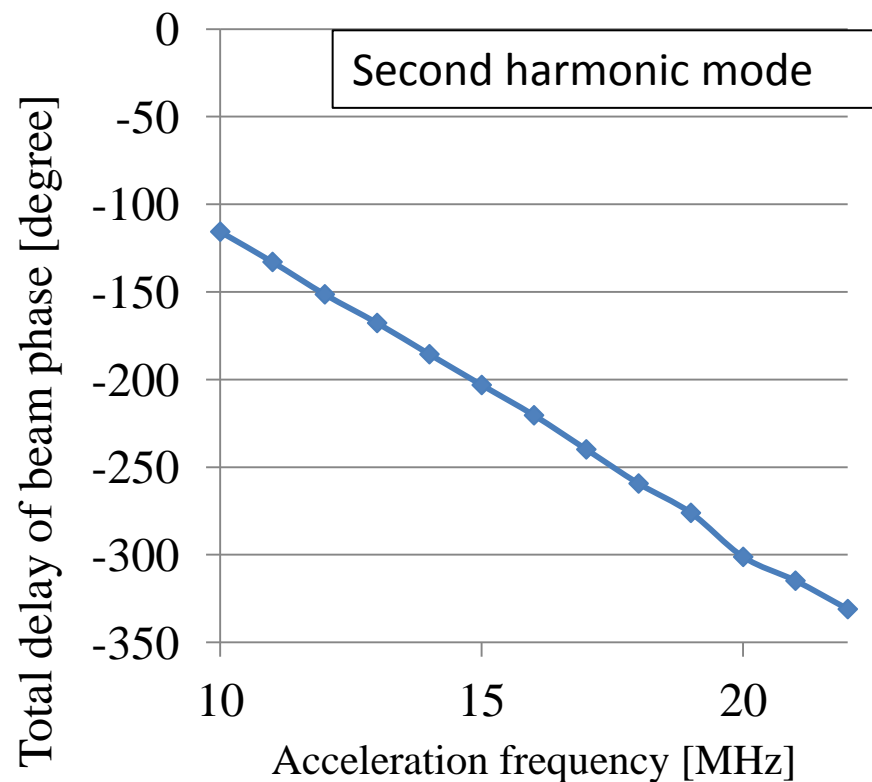
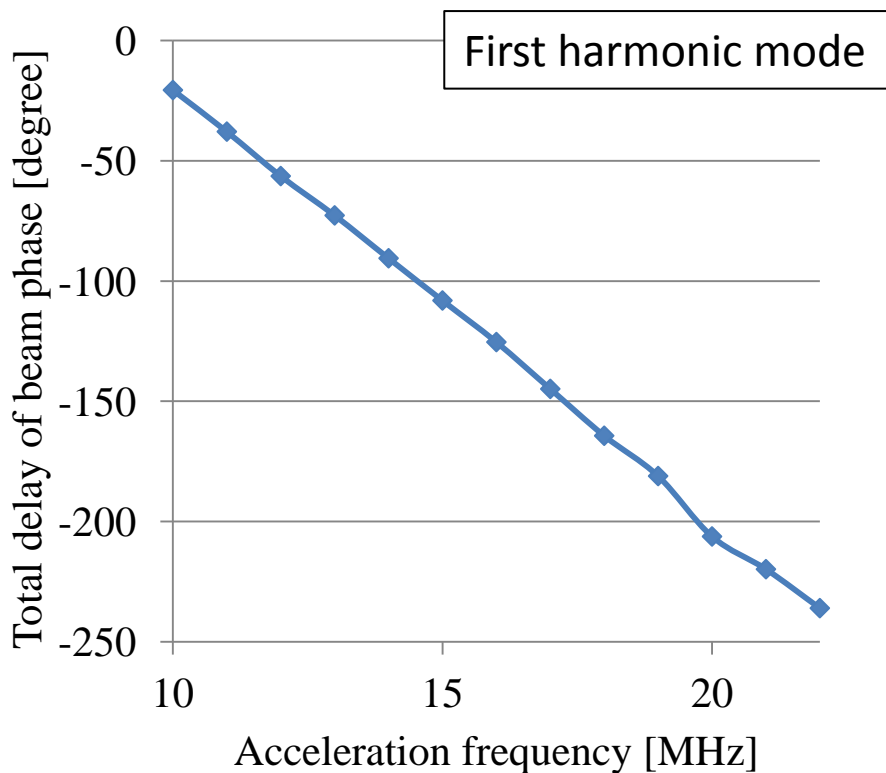
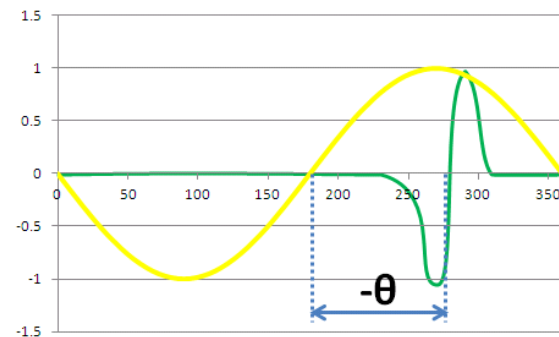
Phase probe beam pick-up
(Example: 34 MeV alpha at P7)

正弦波形1サイクルを模擬的に入力。時間差を比較し、 θ_s を測定した。



Total delay $\theta_0 + \theta_s$

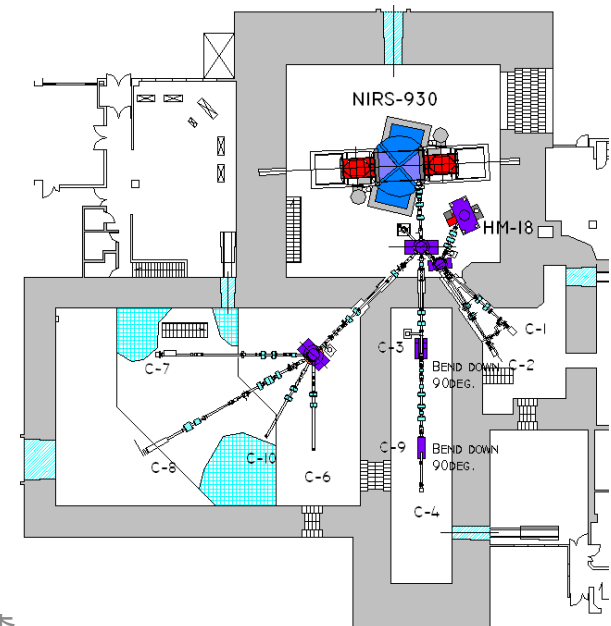
この値を基に、理想的な加速位相からのズレである絶対的な位相を測定し調整できる。



加速位相とビームの調整

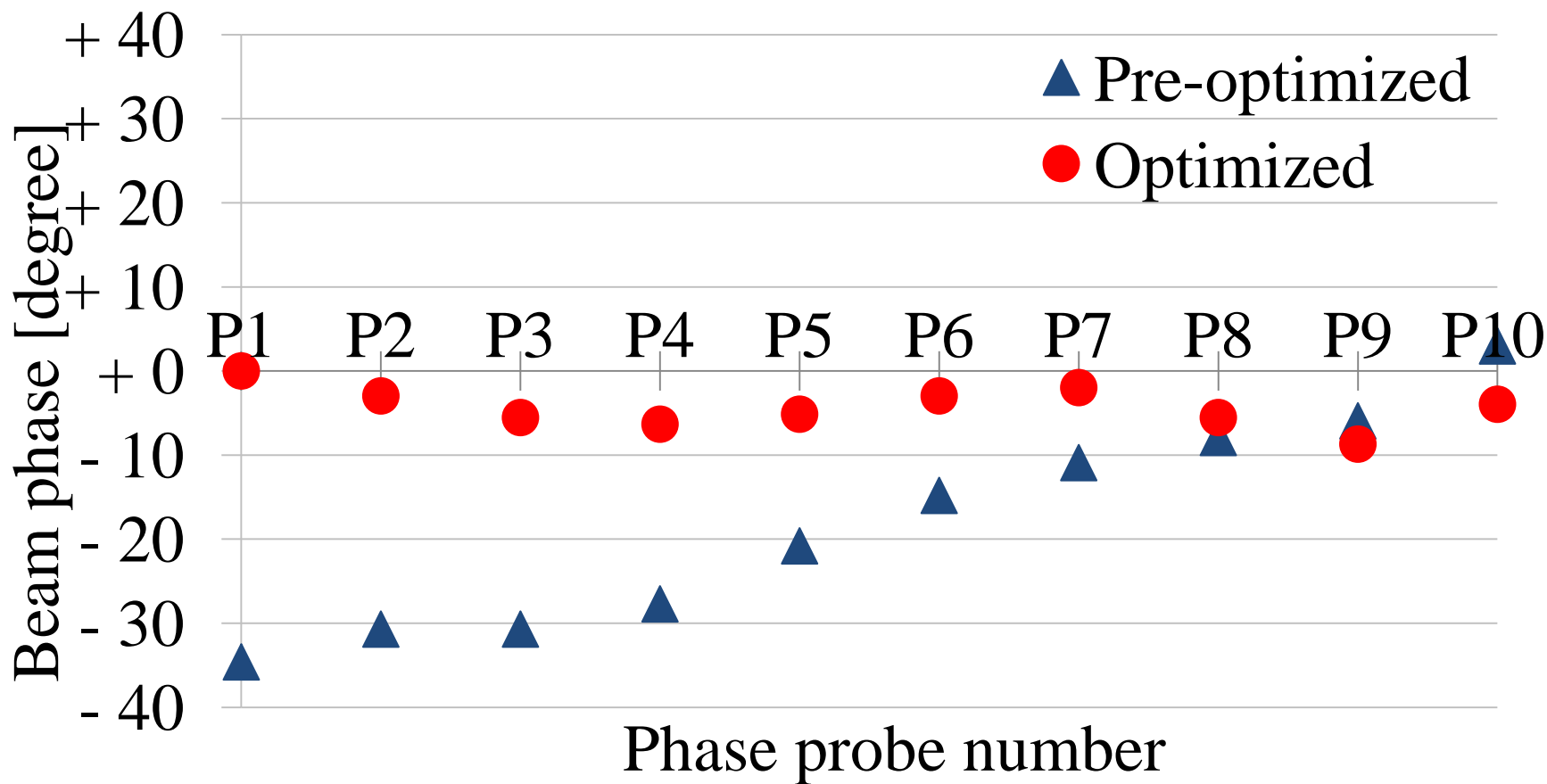
これまでは、あまり強度を出していなかった
34MeV Heliumで、強度を増強要求あり。

RI生成用ターゲット位置で、 $20\ \mu\text{A}$ の要求
輸送効率を90%で考えると
サイクロトロン取出し後で
必要な強度は、 $22\ \mu\text{A}$



Beam phase の調整

34 MeV Helium



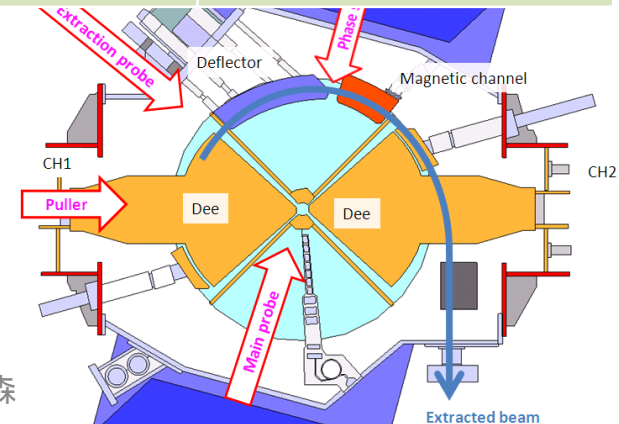
理想的な位相を0度として、等時性磁場と加速位相の調整を行った。

位相調整によるビーム強度の変化

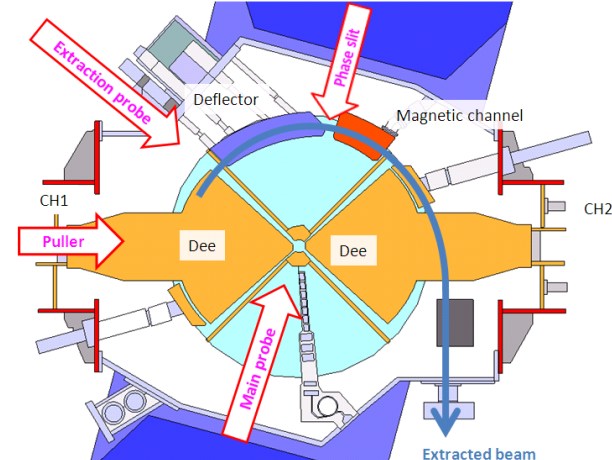
Beam monitor	調整前 [μA]	位相調整後 [μA]
Inflector	31.0	39.0
Main probe (R=100mm)	(13.4)	15.7
Extraction probe	15.0	17.0
Extracted beam	12.4	14.9
Beam loss at Septum electrode	2.2	2.15

Main Probe: A Main radial probe set at the radial position of 100 mm. The detected current at the main radial probe decreases in pre-optimized data, where the main radial probe was affected by insulation failure in this probe head.

Extraction probe: The beam probe at deflector entrance.



位相調整による ビーム効率の変化

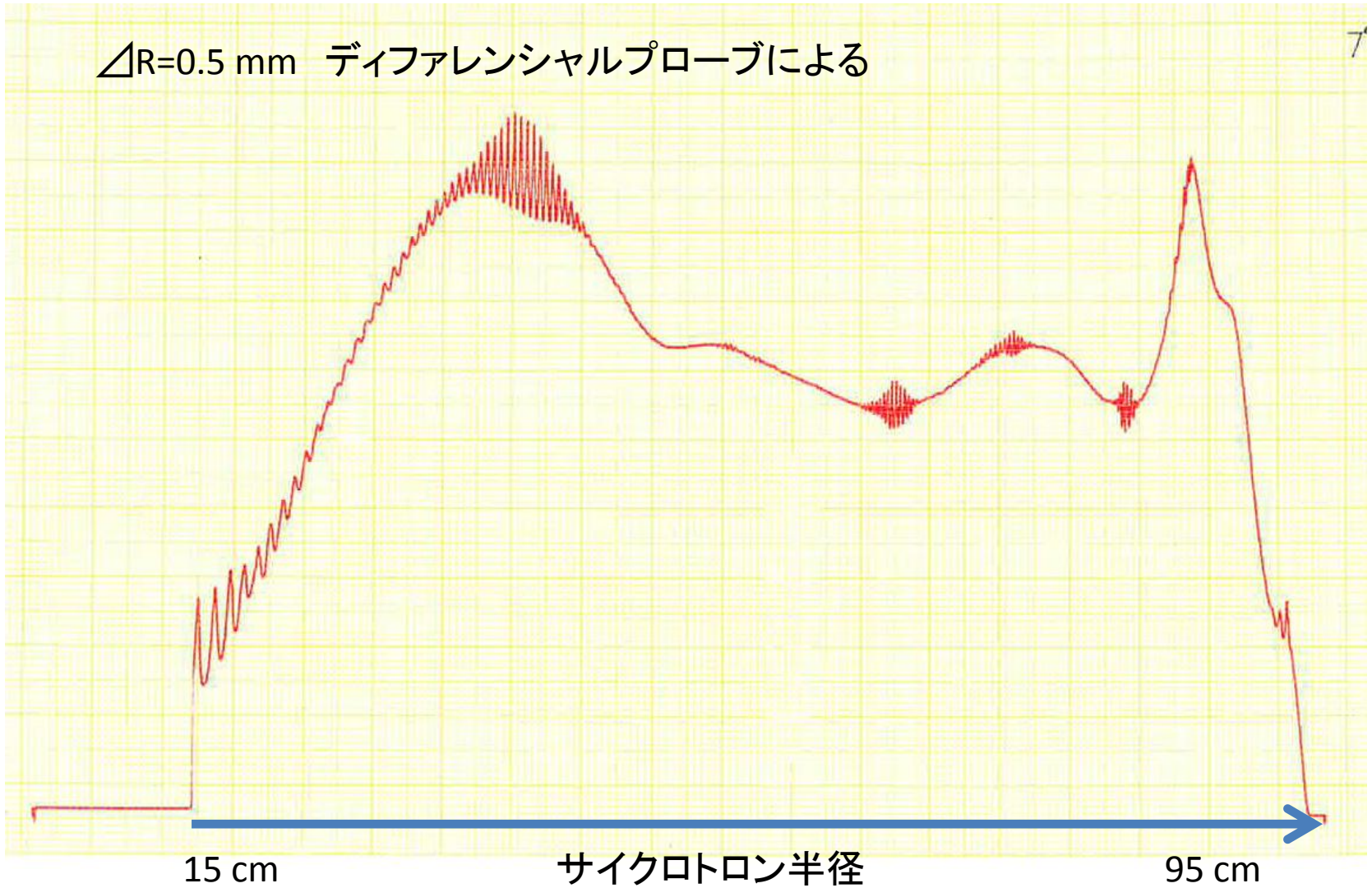


Efficiency	調整前	位相調整後
Main probe (R=100) /Inflector	43.2%	40.3%
Extraction probe /Inflector	48.4%	43.6%
Extracted beam / Extraction probe	82.7%	87.8%
Beam loss at septum electrode /Extracted beam	17.7%	14.4%

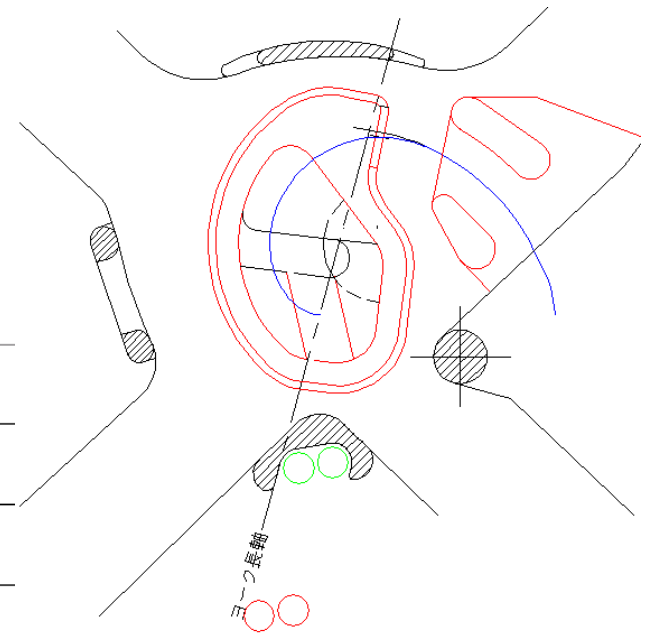
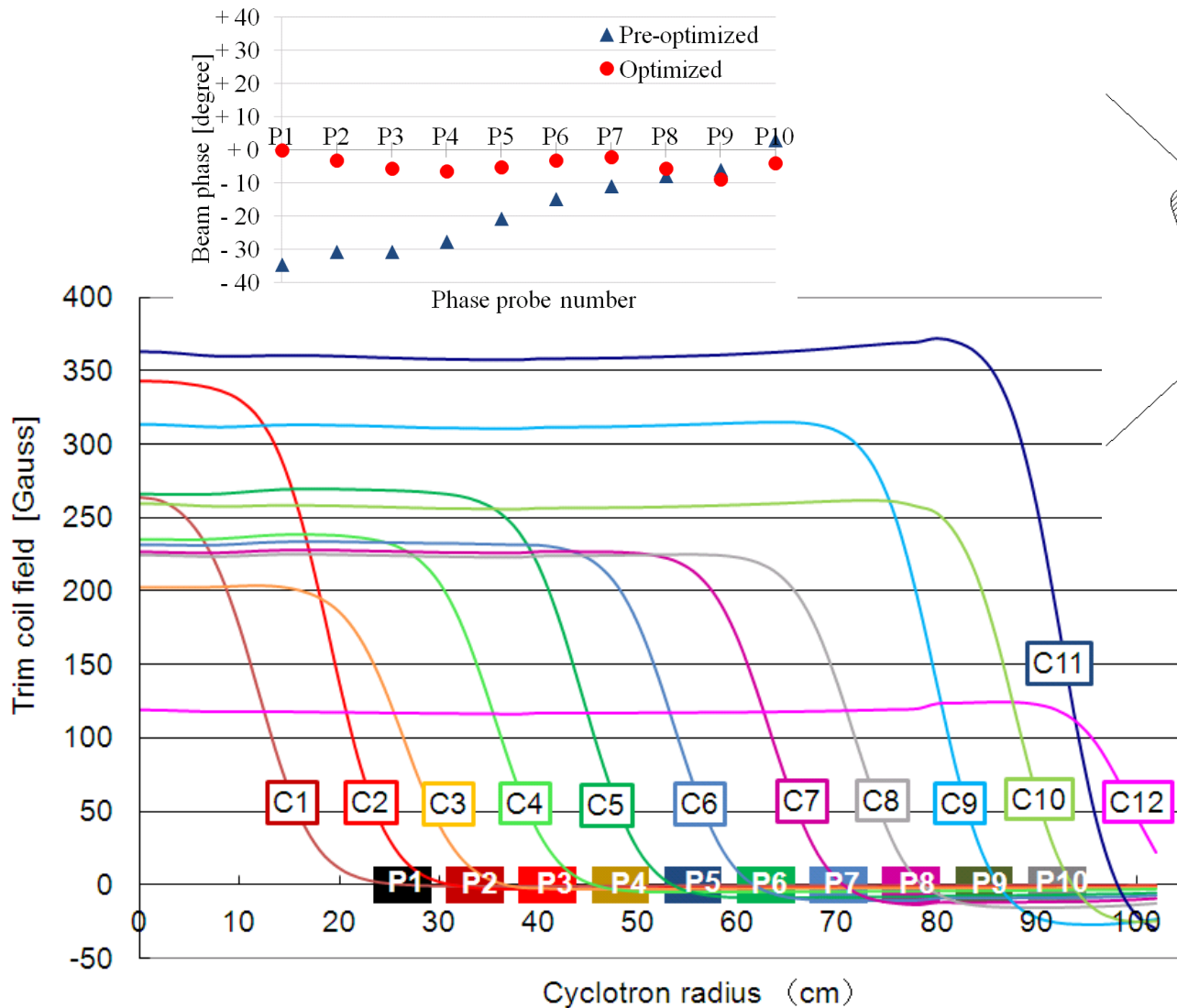
位相調整後のターンパターン 34 MeV Helium

$\Delta R=0.5$ mm ディファレンシャルプローブによる

7



理想的な加速位相にあわせるために・・・。



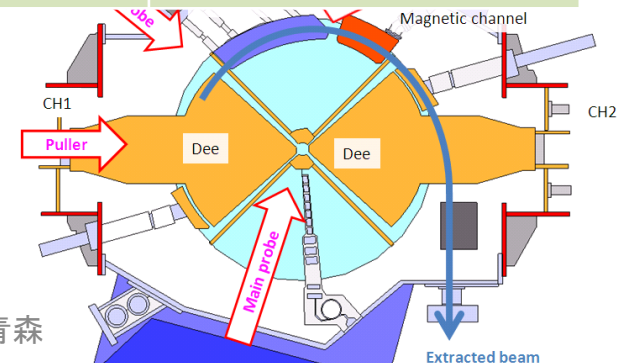
中心領域の磁場を調整したため、次に、入射条件を調整することにした。

入射条件調整後のビーム強度

Beam monitor	調整前[μA]	位相調整後[μA]	入射調整後[μA]
Inflector	31.0	39.0	51.3
Main probe (R=100mm)	(13.4)	15.7	24.6
Extraction probe	15.0	17.0	25.0
Extracted beam	12.4	14.9	22.3
Beam loss at Septum electrode	2.2	2.15	2.5

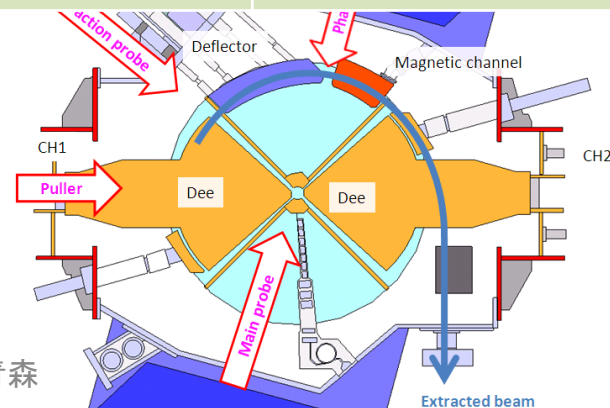
Main Probe: A Main radial probe set at the radial position of 100 mm. The detected current at the main radial probe decreases in pre-optimized data, where the main radial probe was affected by insulation failure in this probe head.

Extraction probe: The beam probe at deflector entrance.



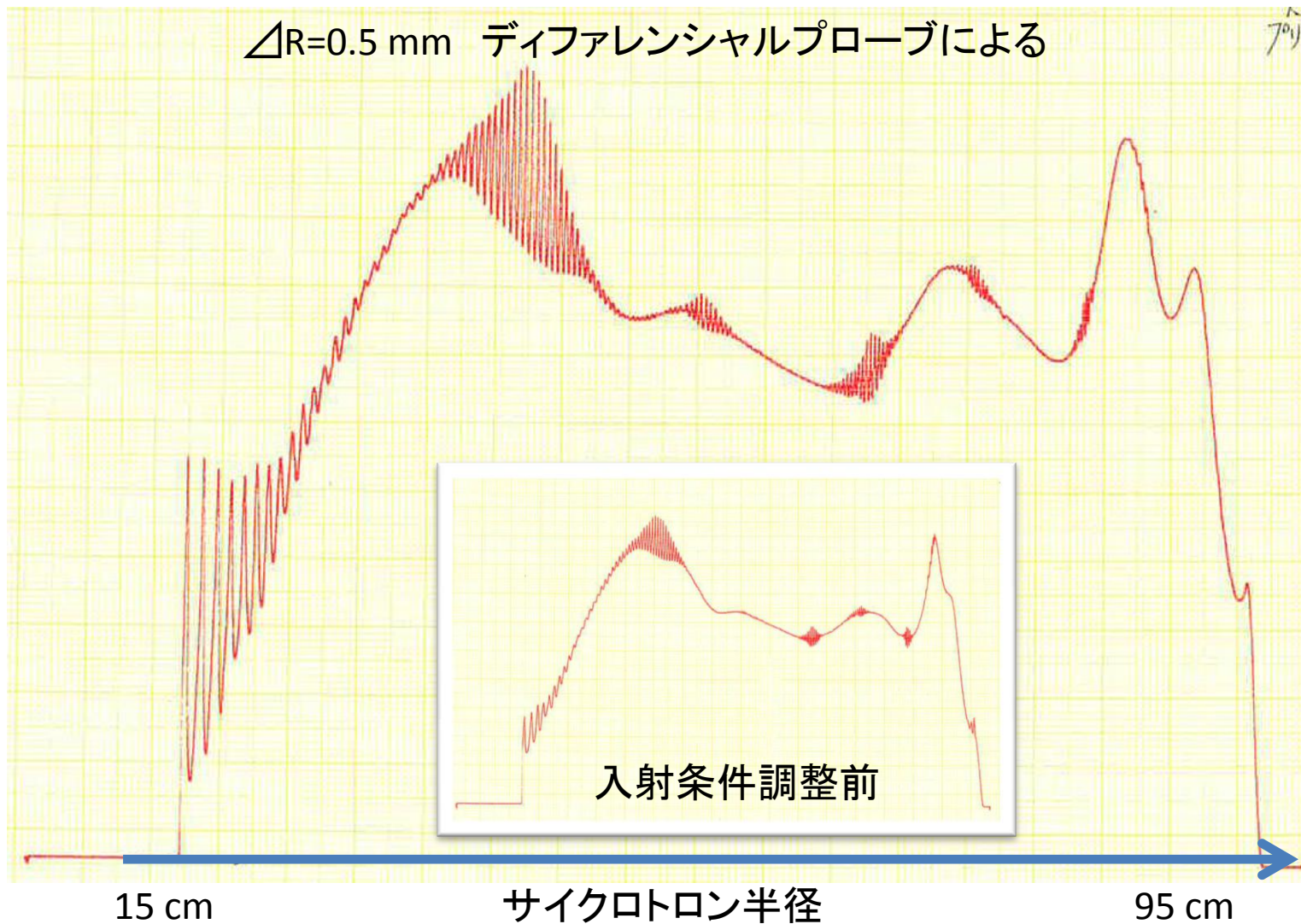
入射条件調整後のビーム効率

Efficiency	調整前	位相調整後	入射調整後
Main probe (R=100) /Inflector	43.2%	40.3%	48.0%
Extraction probe /Inflector	48.4%	43.6%	48.7%
Extracted beam / Extraction probe	82.7%	87.8%	89.2%
Beam loss at septum electrode /Extracted beam	17.7%	14.4%	11.2%

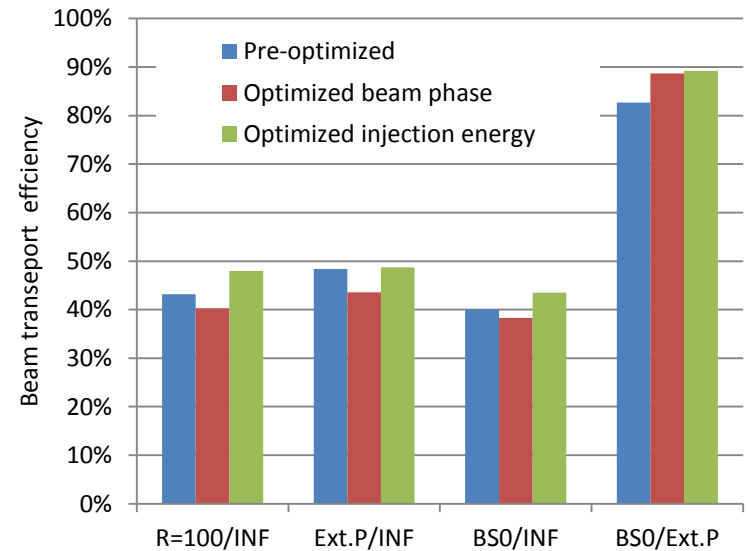
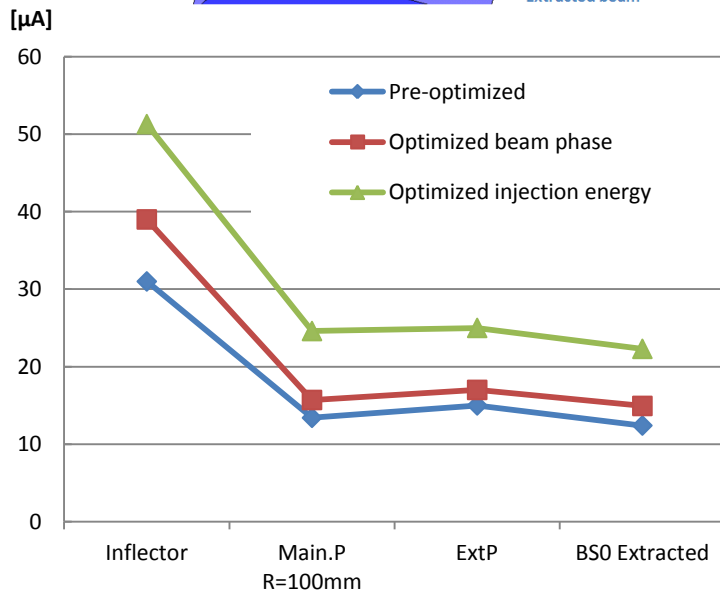
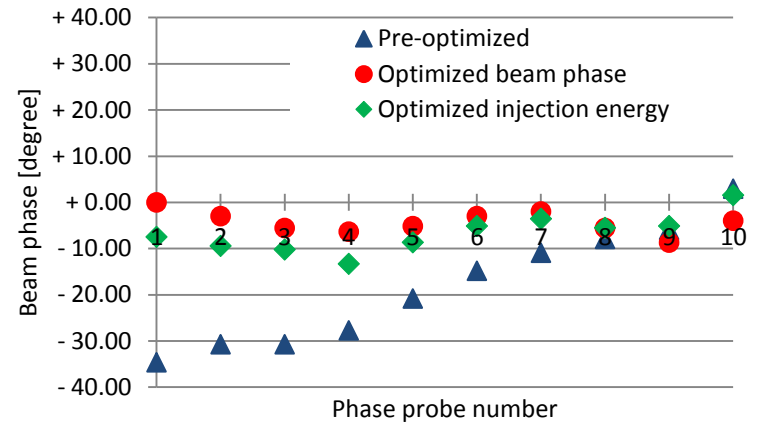
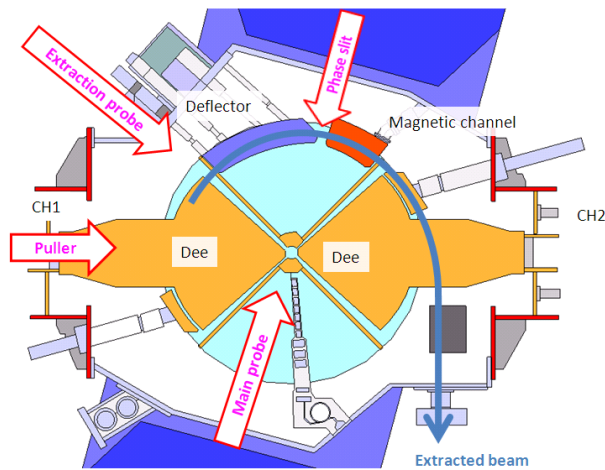


入射条件調整後のターンパターン

34 MeV Helium



入射条件調整結果



まとめ

- 相対的な位相測定より、等時性磁場の成形を行った。
- 絶対的な位相に対する測定を行い、理想的な加速位相への調整を行い、 ± 10 度以内にすることができた。
- 中心磁場を調整するとともに、入射条件を調整することにより、ビーム強度を上げ要求に応えることができた。 34MeV He 20 μ A

今後

- Garren and Smith methodや、加速周波数のスキャンによる位相測定方法との比較確認。
- 他のビームにおける位相測定および調整。
- 中心領域での位相や振る舞い、設定パラメータの確認。