

J-PARC MRにおける4極キッカーと ストリップラインピックアップによる ビーム応答測定

2016/8/9

中西芳枝 (Kyoto Univ.)

外山毅, 岡田 雅之, 小関 忠, 久保木 浩功 (KEK)

仲村佳悟, 中家剛, 市川温子, 南野 彰宏 (Kyoto Univ.)

Contents

- Introduction
- 測定原理
- 測定方法
- データの処理方法
- 測定結果
- 考察

Introduction

- ビーム強度増強のためビームロスを減らしたい
 - チューンの広がり共鳴線に触れるとビームロスする
 - J-PARC MRでは空間電荷効果によるチューンスプレッドを測定していない
 - チューンスプレッドの観測が目標
 - キッカーによるビームの共鳴を用いた測定
- Dipole kicker: Dipole moment(平均位置)の共振

$$x'' + Kx = K_{sc}(x - \bar{x}) + f_{kick} \quad (\text{K-V分布を仮定})$$

$$\rightarrow \bar{x}'' + K\bar{x} = f_{kick}$$

・・・Space Chargeの項は見えない

平均位置の振動の周波数がわかる

測定原理

envelop方程式は第0近似 (Space Chargeなし) で 2ν の振動数の振動解をもつ

$$\begin{aligned} \text{Quadrupole kicker: } 2\nu_x &= n_x \pm f_{RF}/f_{rev} \\ 2\nu_y &= n_y \pm f_{RF}/f_{rev} \end{aligned}$$

- キッカーの周波数を変化させる
→4重極振動の共振チューンが変わる

$$x'' + K_x x = \frac{2K_{sc}}{a(a+b)} (x - \bar{x}) + f_{kick} x \quad (\text{K-V分布を仮定})$$

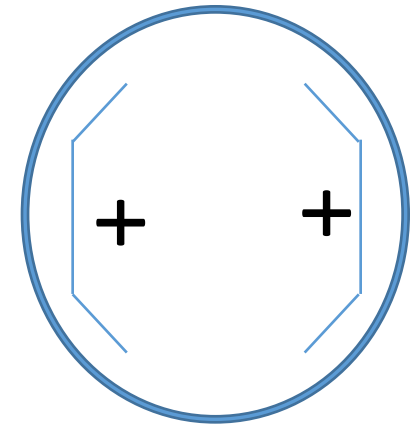
$$\text{envelop方程式は } \ddot{a} + (K_x - f_{kick})a - \frac{2K_{sc}}{a+b} = \frac{\epsilon_x^2}{a^3}$$

→space chargeの効果が見える

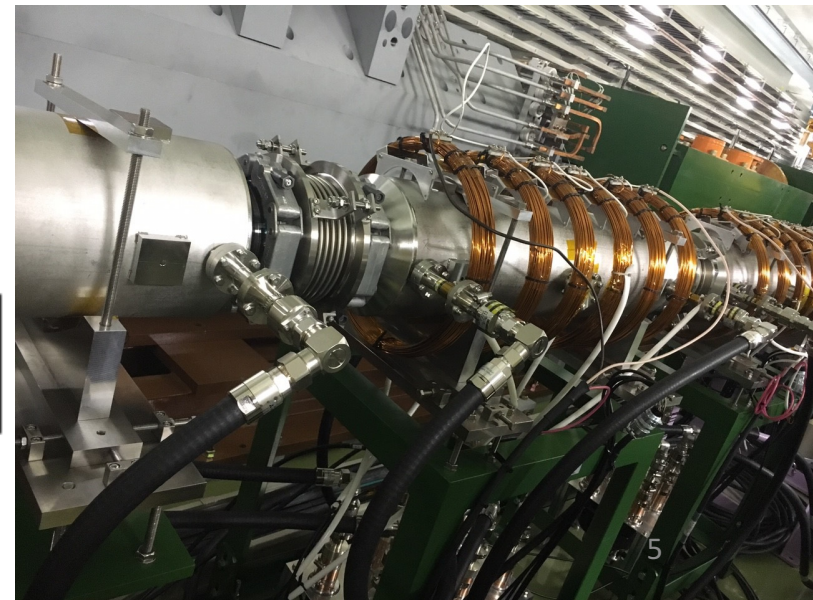
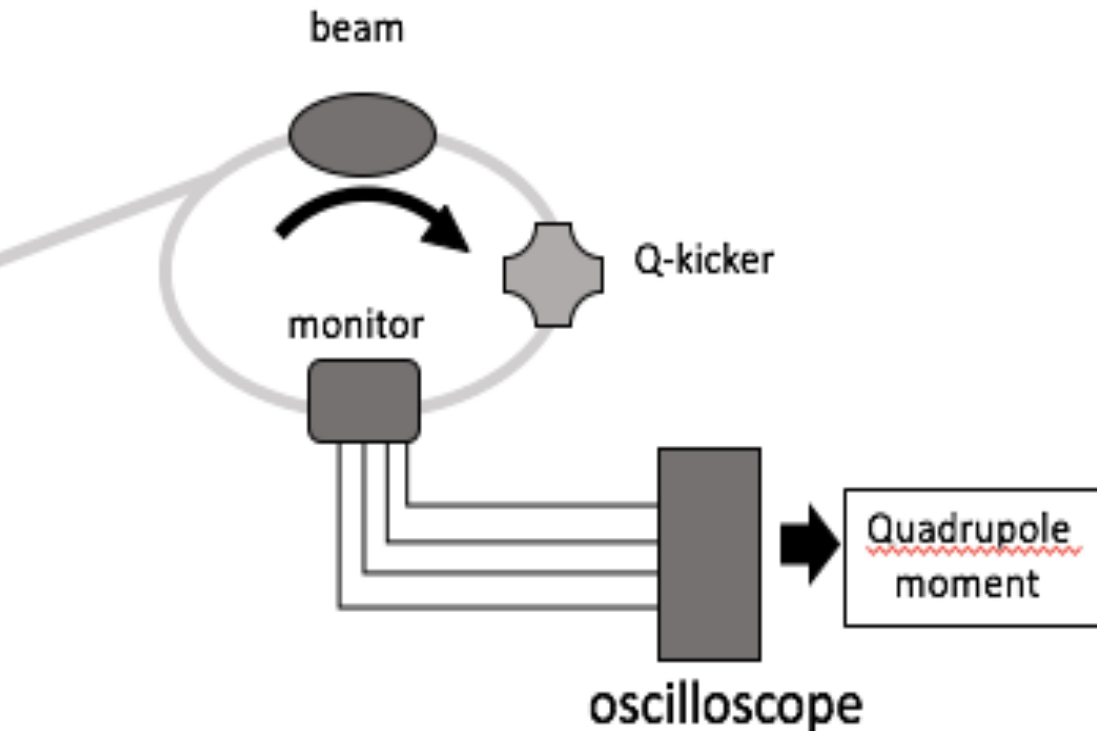
測定の設定アップ

装置

- 2電極のストリップラインキッカー 3連
- 4電極ピックアップ(テーパードカップラー)
- オシロスコープ LECROYHDO6104-MS



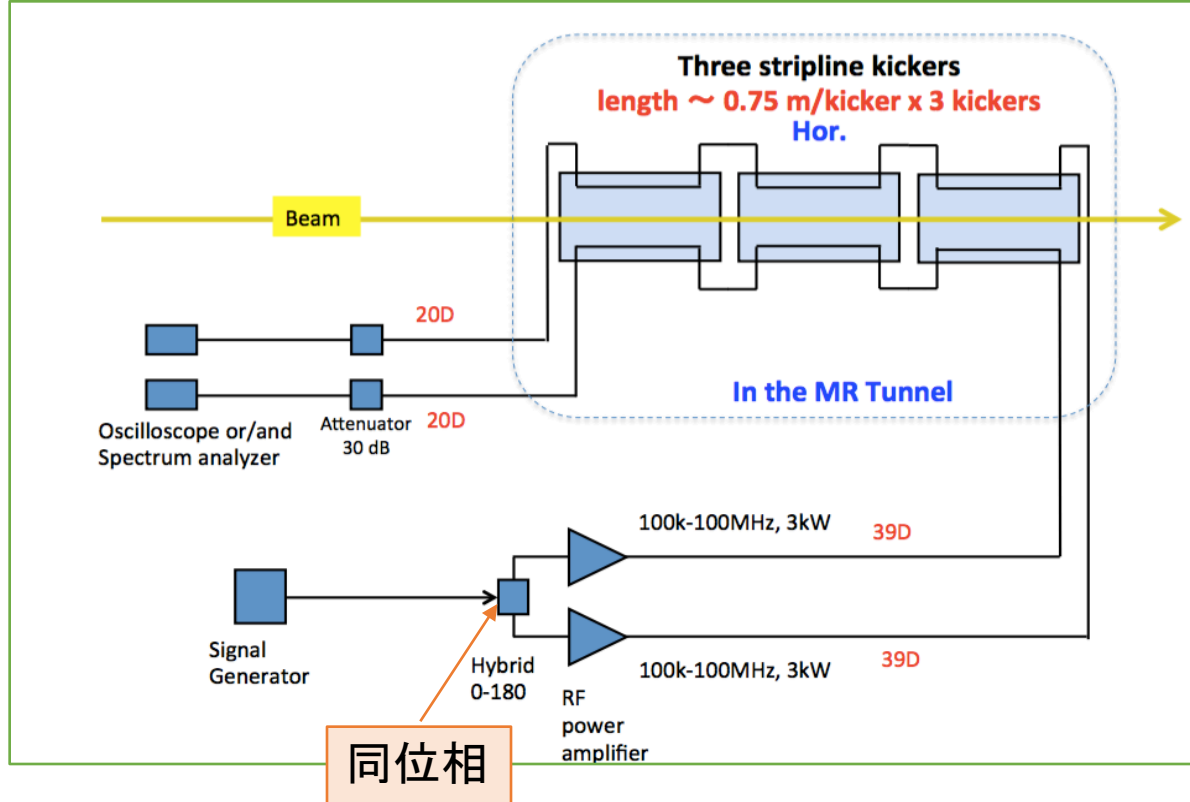
kicker 概念図



測定条件

- kicker frequency:
222854 Hz, 215854 Hz,
208854 Hz, 201854 Hz,
194854 Hz, 247615 Hz
- Kicker Power: 3kW × 2
- kick angle: 102 μrad / m / turn
- 粒子数:

0.99(±0.01) × 10¹³ , 1.28(±0.01) × 10¹³ , 1.39 (±0.02) × 10¹³ protons/bunch
(測定中にビームロスがあった～ 0.02 × 10¹³ , 0.05 × 10¹³ , 0.08 × 10¹³)



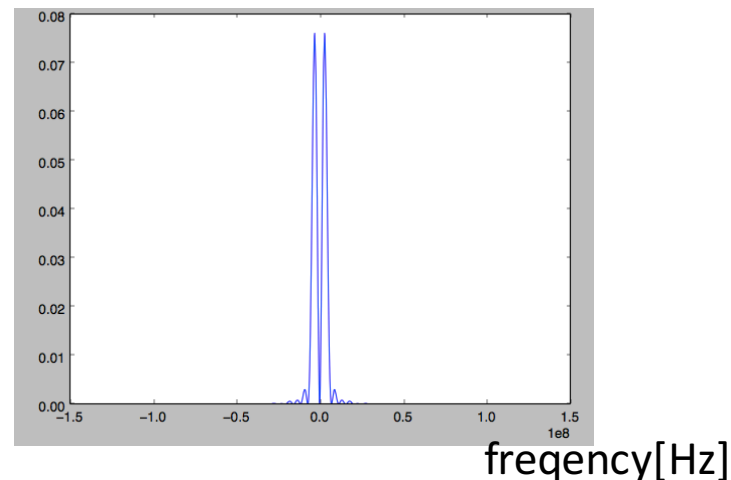
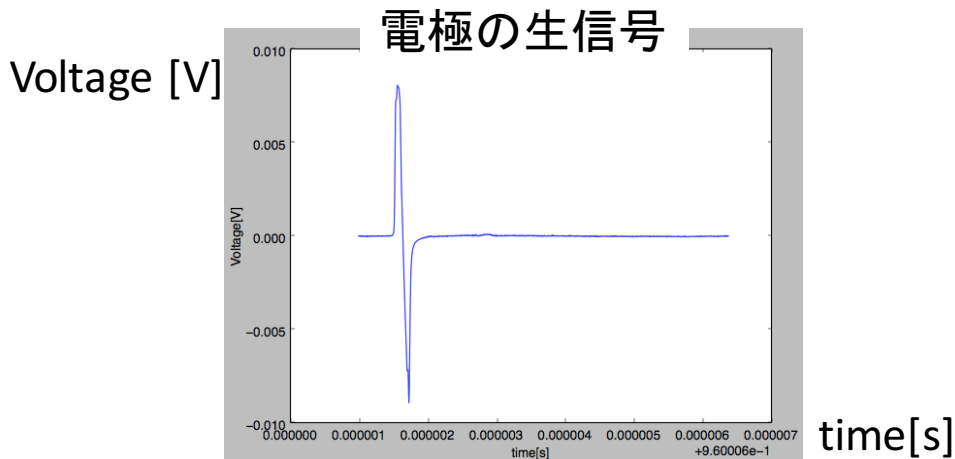
- beam:

Horizontal tune	22.40
Vertical tune	20.75
周回周波数	185743.5Hz

- 同じ条件で3回ずつ測定した

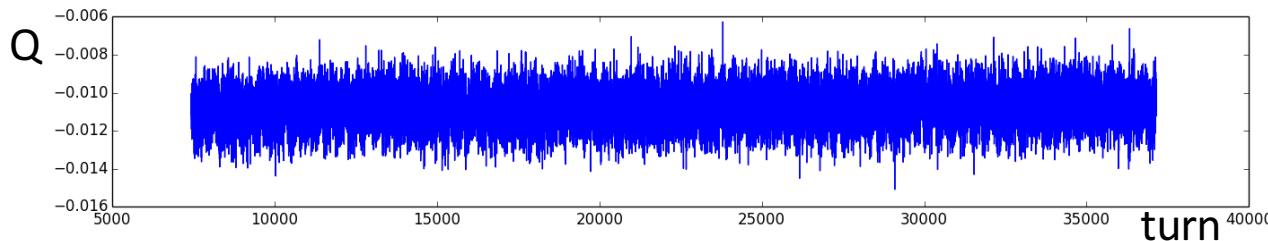
データの処理方法

モニター信号をターン毎にカット→ターン毎にフーリエ変換



→ピーク値を電極毎に V_i とした

$$Q = (V_1 + V_3 - V_2 - V_4) / (V_1 + V_3 + V_2 + V_4)$$



$$K_Q = 237.4 \left[\frac{1}{m^2} \right]$$

ただし、

$$Q = K_Q \times (\langle x^2 \rangle - \langle y^2 \rangle)$$

Qをturnごとに計算し、さらにフーリエ変換

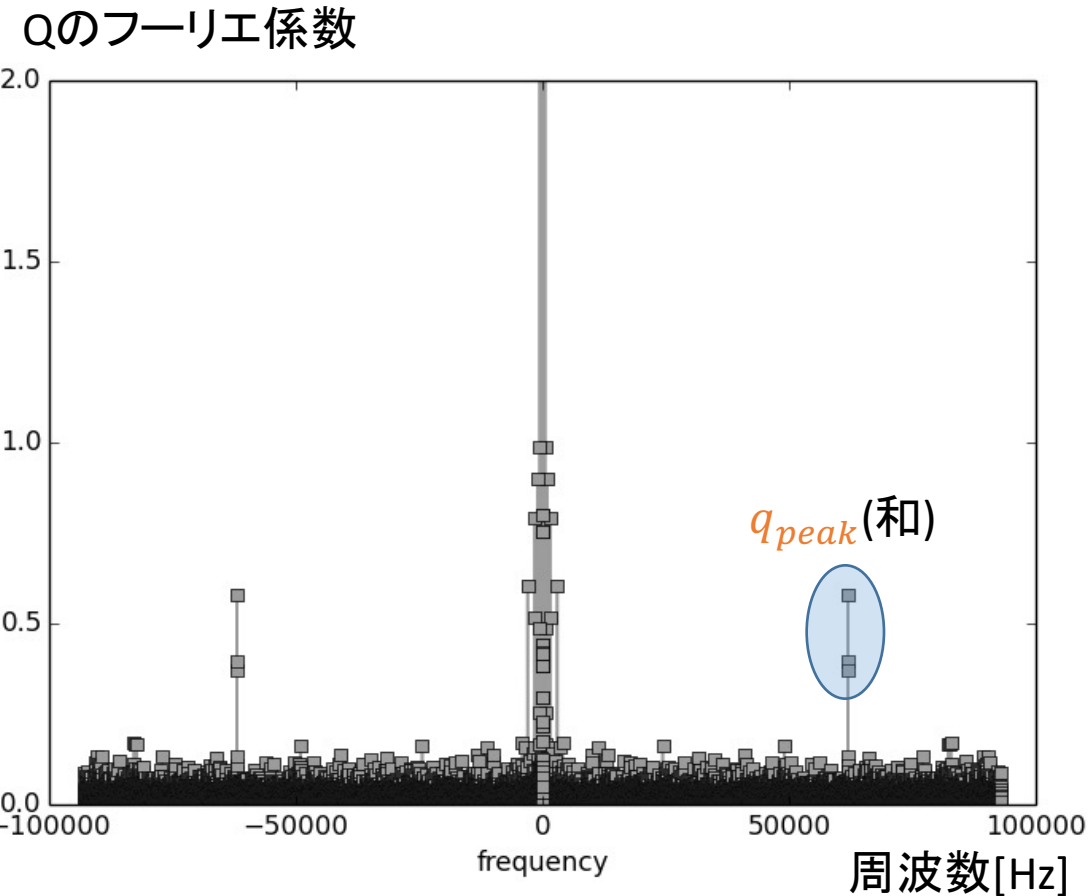
→Qの時間変化(振動)の周波数スペクトルが得られる

結果

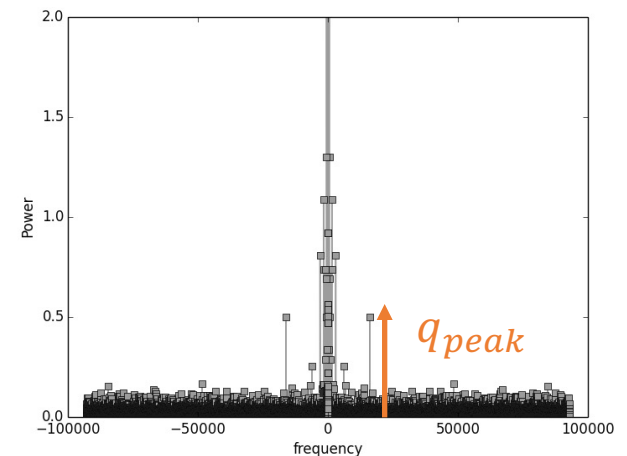
$$\begin{aligned} & (\text{Exciter RF freq}) - (\text{revolution frequency}) \\ & = 247615 - \underline{185735.5} = 61879.50 \text{ [Hz]} \end{aligned}$$

測定結果: 61886.8Hz

- ...すべてのキッカーRF周波数の結果で、7~9Hzのずれはあるものの、キッカーによるビームの共振と考えられるピークが存在

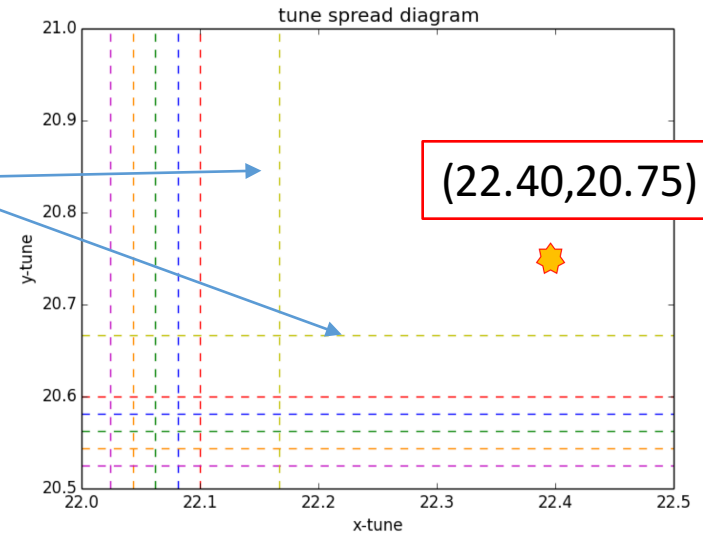
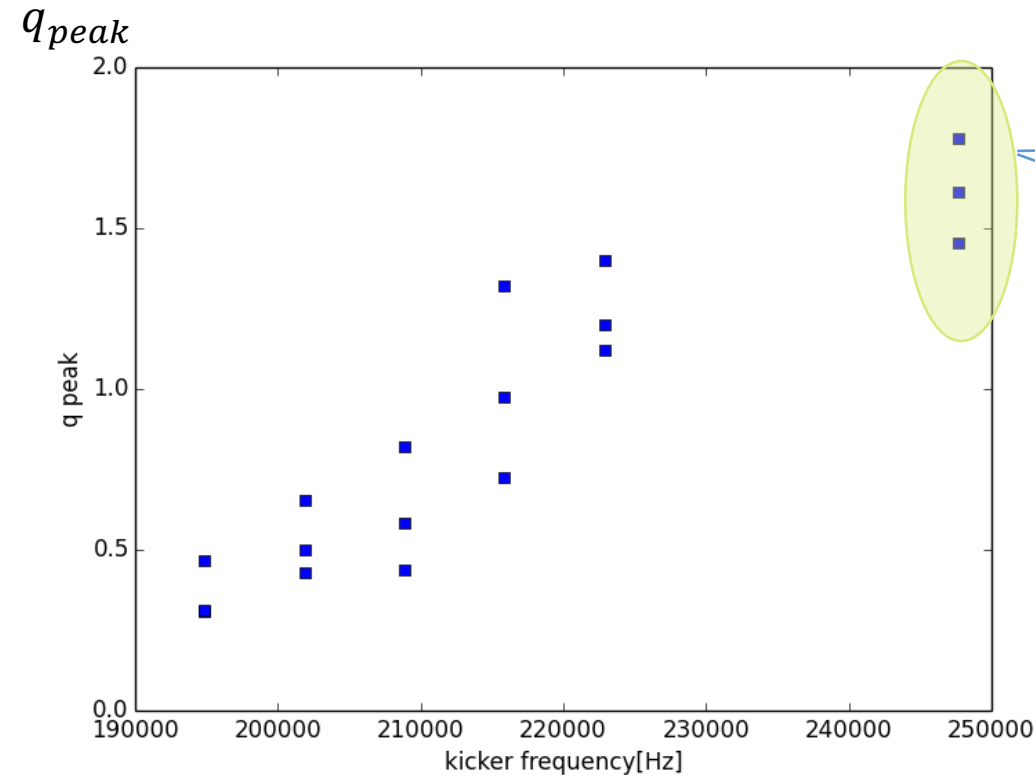


↑ Qのturn by turnのフーリエ変換
キッカーのRF周波数: 247615Hz
ピークの幅が大きい



↑キッカーのRF周波数: 201854Hz
ピークの幅が小さい

q_{peak} の kicker RF 周波数依存性

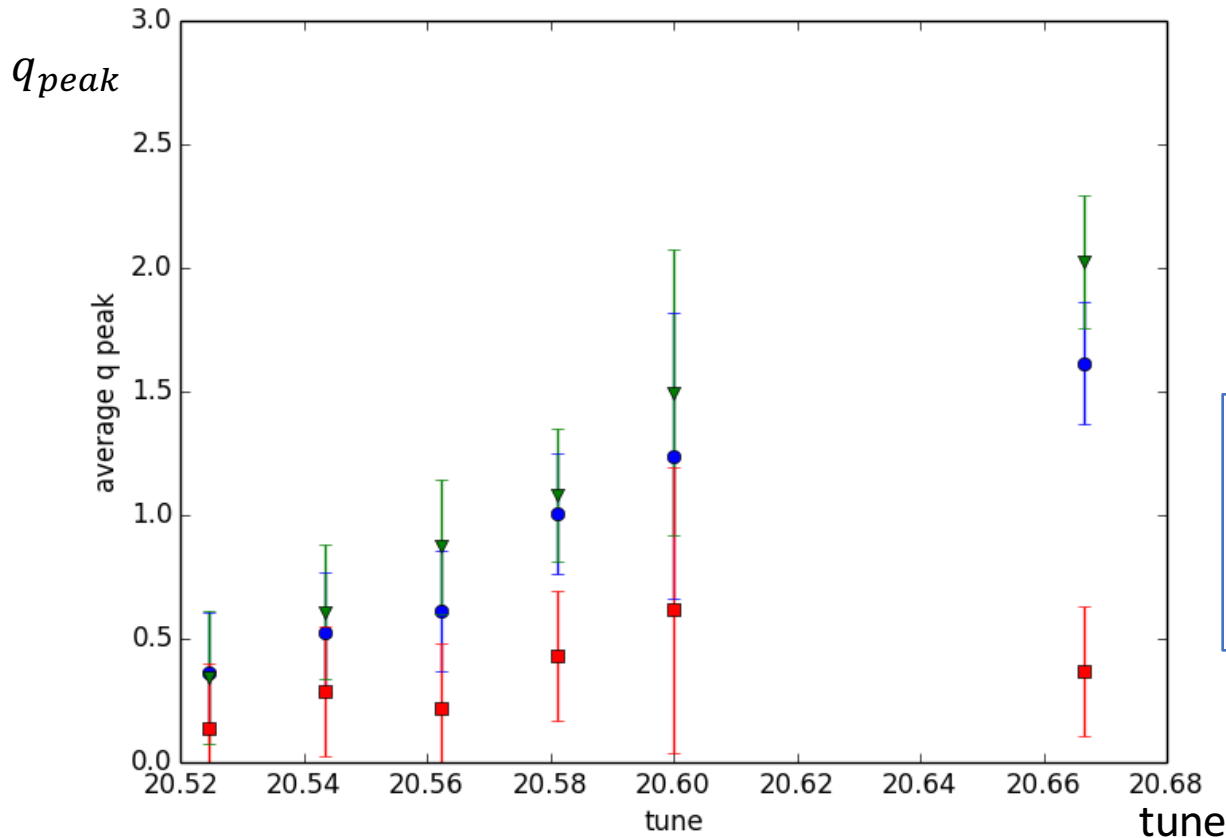


$f_{kick} = 247615$ Hz では x, y -tune どちらも
共鳴線にかかるため q_{peak} の
ピークの幅が大きいと考えられる

→ q_{peak} の周波数依存性が見られた

粒子数: $1.28(\pm 0.01) \times 10^{13}$

q_{peak} の粒子数依存性



Blue (circle)	22/32
Green (triangle)	28/32
Red (square)	16/32

ピーク周波数 f
 → チューン ν の変換

$$\left(\frac{f}{f_{rev}} - 1\right) \cdot \frac{1}{2} + 20.5 = \nu$$

ビームの粒子数によって q_{peak} の分布が変わっている。

→ チューンスプレッドの変化に対応しているか

q_{peak} の分布にピークが見られないのは kicker の RF 周波数の変え方 (7kHz) が粗いためか

まとめ

- 4極キックによるビームの4重極振動を測定
- キッカー周波数に対応した4重極モードの共振が観測された
- ビームの粒子数を変えると q_{peak} のスペクトルに変化がみられた→チューンスプレッドの変化か？
- 今後は数値計算により、チューンスプレッドとキッカーによる共振の振動振幅の関係性を調べる
- さらに、キック周波数を100~500Hz間隔で変える追測定をする予定