

ニュートリノ振動実験T2Kビームを用いた ダイヤモンド検出器の性能評価

阪市大理, 京大理^A, 高工研^B, 東大理^C

市川温子^A, 大谷将士^A, 木河達也^A, 久保一^A, 坂下健^B, 柴田
政宏^B, 鈴木研人^A, 清矢良浩, 田代一晃, 中居貴士, 中嶋一
八, 中平武^B, 中家剛^A, 松岡広大^A, 松村知恵, 丸山和純^B,
南野彰宏^A, 村上明^A, 山本和弘, 横山将志^C

アウトライン

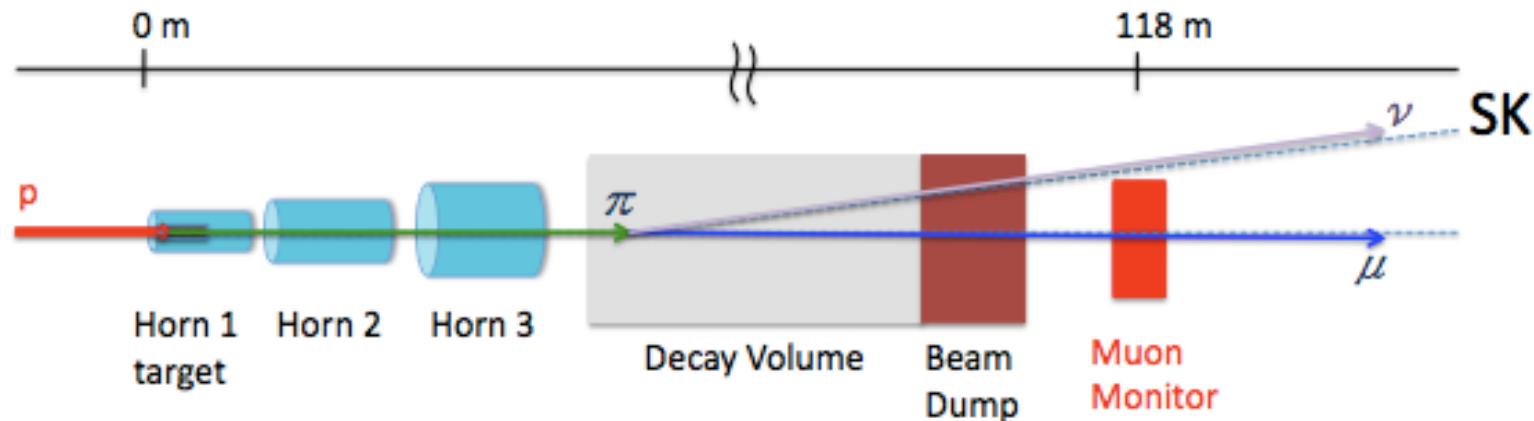
- T2K実験
- ミューオンモニター (MUMON)
- モチベーション
- ダイヤモンド検出器
- 実験状況
- 解析
- まとめ

T2K実験

- J-PARCで ν_μ ビームを生成し、
- 295km離れたSuper-Kamiokande (SK)で観測

目的

- 振動モード $\nu_\mu \rightarrow \nu_e$ を発見し、 θ_{13} を測定する。
- ν_μ 消失モードから、 θ_{23} , Δm^2_{23} を精密測定する。

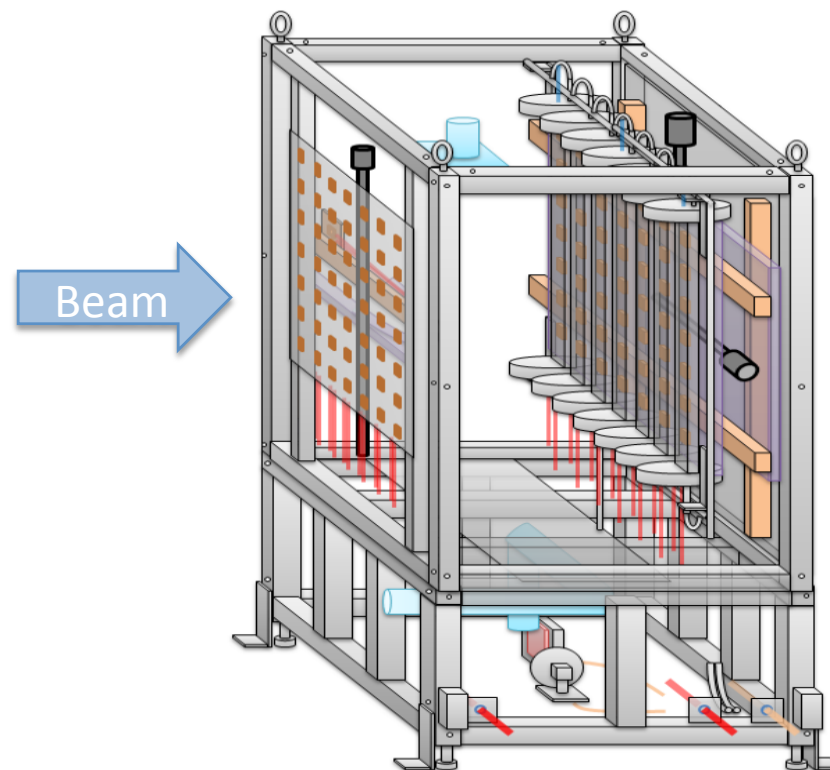


ミューオンモニター(MUMON)

ニュートリノと共に生成されるミューオンをプロファイルして**ビームの方向・強度をモニターする**。

検出領域 : 150cm × 150cm

- ・シリコンPINフォトダイオード(Si)
10 × 10 mm² (7×7 ch)
- ・イオンチェンバー(IC)
75 × 75 mm² (7×7 ch)



目標精度

- ・ビーム中心 : 3cm以内
- ・ビーム強度 : 3%以内

モチベーション

T2K実験におけるビーム強度のデザイン値では、シリコン検出器は放射線損傷してしまい応答しなくなると考えられている。それに対して、ダイヤモンドは優れた放射線耐性をもつので、シリコン検出器の代替とされる候補の一つとして性能評価を行った。

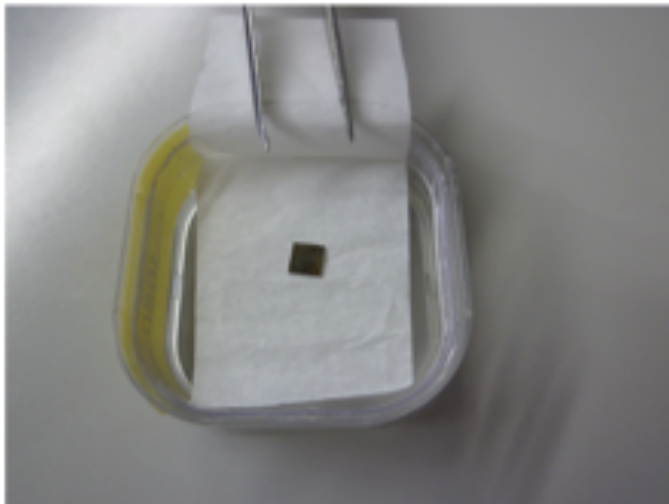
評価

- ・シリコン検出器をリファレンスとしてダイヤモンド検出器の応答の線形性を見る。
- ・ダイヤモンド検出器の応答の長期安定性を見る。

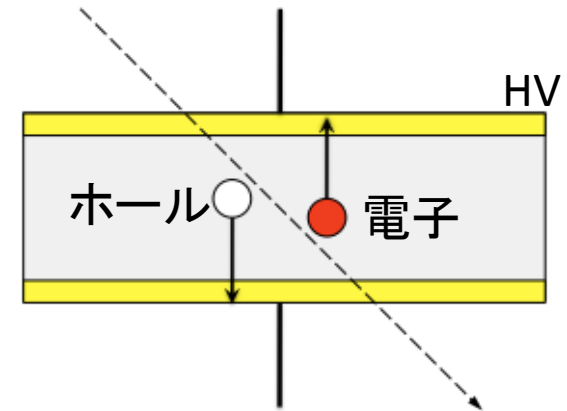
ダイヤモンド検出器

性質

- ・動作原理は一般的な半導体検出器と同じ
- ・優れた放射線耐性



荷電粒子



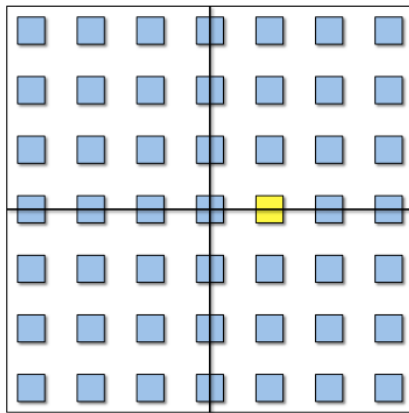
- ・Element Six社製の単結晶CVDダイヤモンドを使用
- ・両面を金メッキしている
- ・大きさ: 4.0mm × 4.0mm × 0.5mm

⇒ 検出器としての要請は測定精度3%

セットアップ

- 設置場所 : 3-4 Si検出器の後ろ

ビーム方向



PEEK材のマウント

- 印加電圧 : -200 V
- 読み出し : Flash ADCにより信号を読み出す

Sampling rate : 65 MHz
ADC resolution : 12 bits
Input range : -1 to 1 V
Impedance : 50 ohm

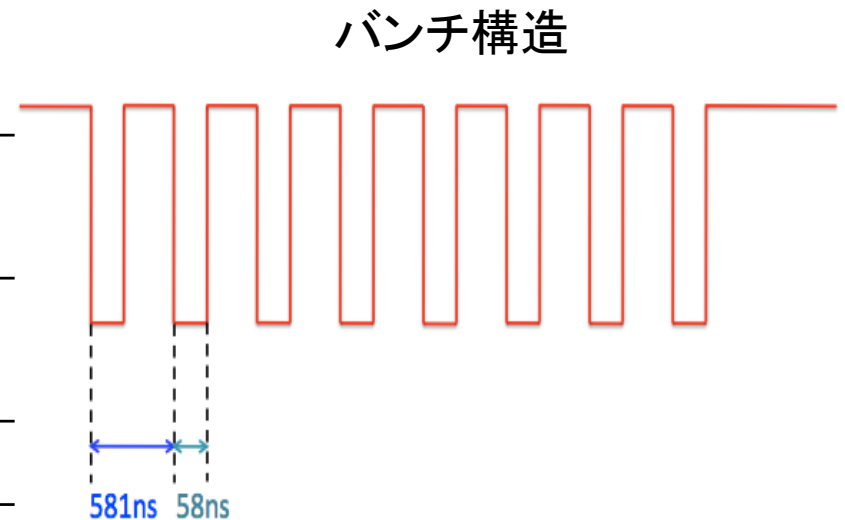


ポリイミドケーブル

実験状況

- T2K実験は2010年1月～物理ランを開始

陽子ビーム エネルギー	30 GeV
spill周期	3.52 sec (~2010/6) 3.2 sec (2010/11~)
bunch数	6/spill (~2010/6) 8/spill (2010/11~)
bunch間隔	581 nsec
bunch幅	58 nsec



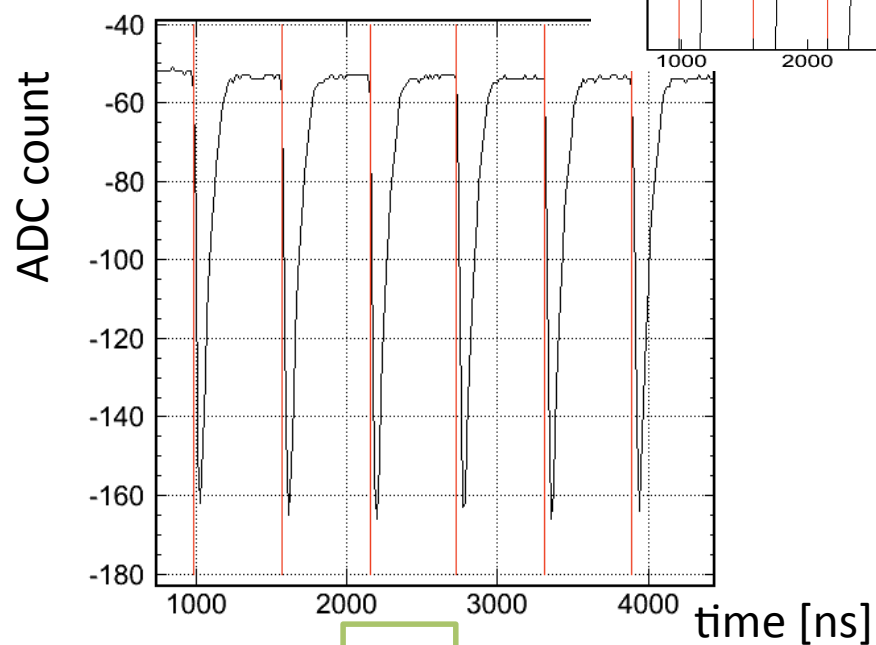
今回は2010年1月～6月(RUN29~34)のgood spill データを用いて、

①線形性②安定性を評価する。

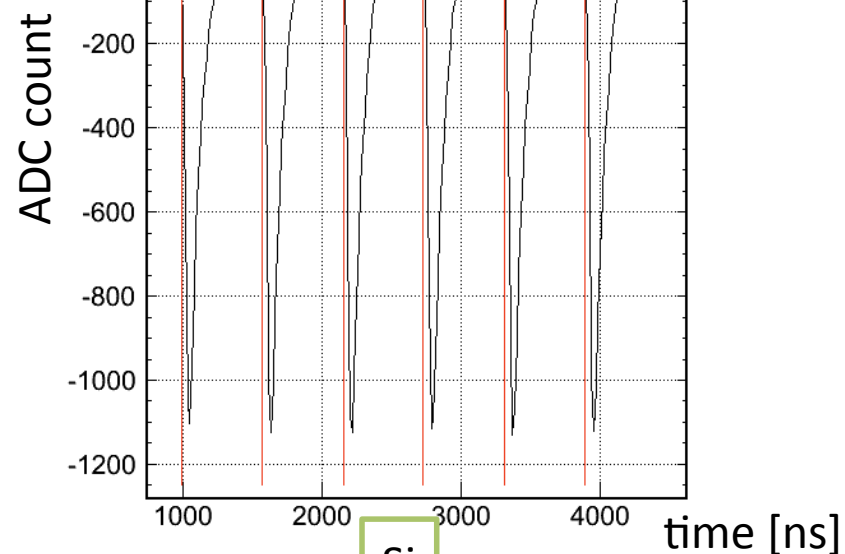
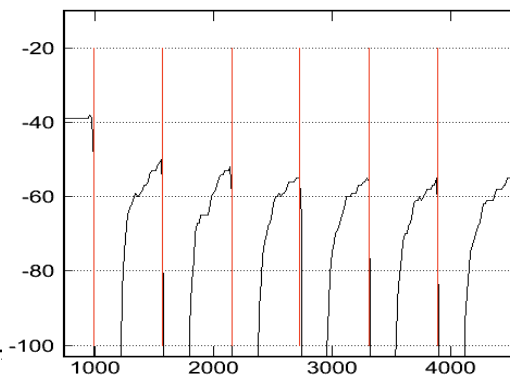
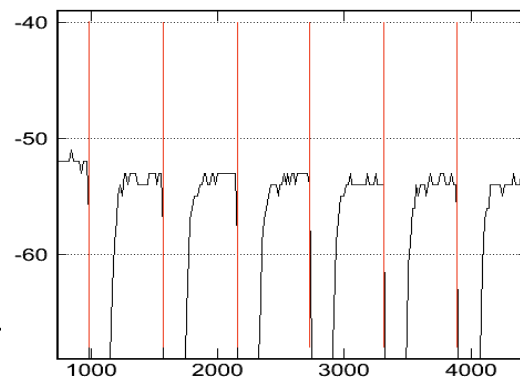
性能評価において、ダイヤモンド検出器がついているチャンネルのシリコン検出器をリファレンスとする。

波形

6 bunch (Run34)
spillnum=1814761



DIA

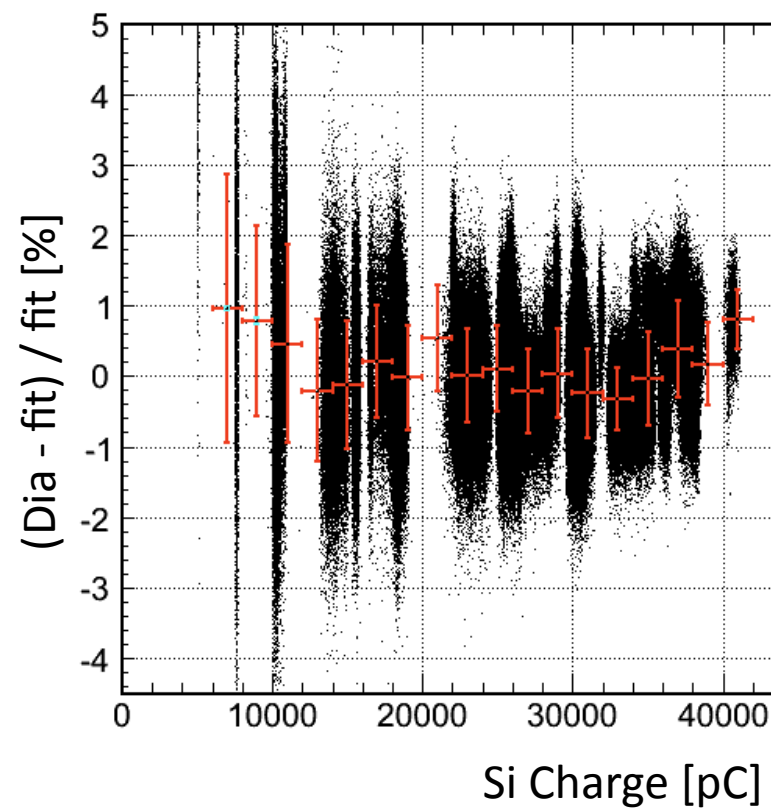
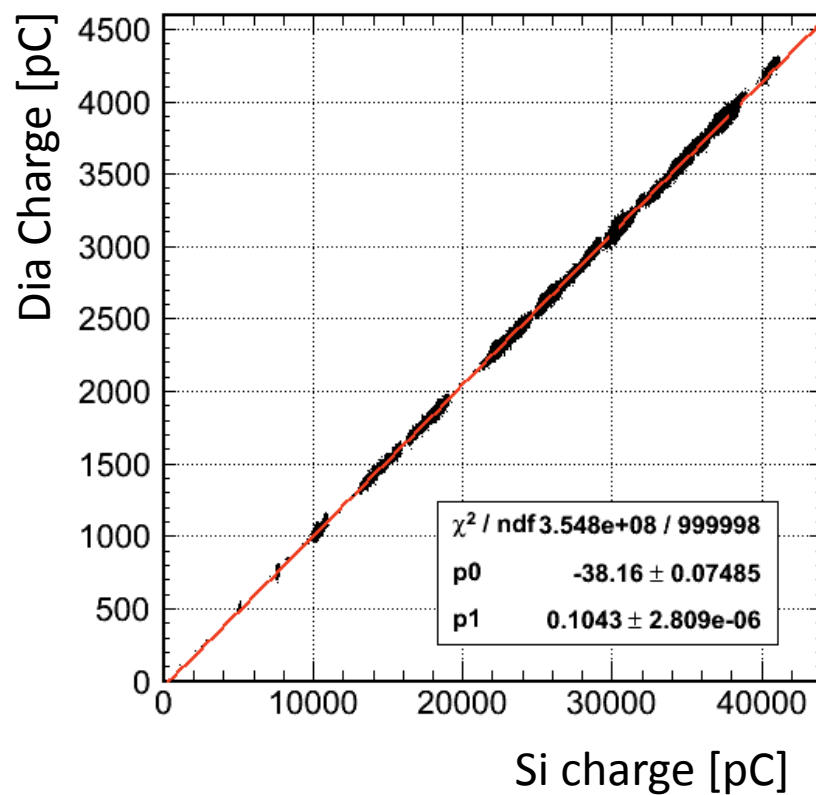


Si

* 赤線はビームタイミング

- ・ 6バンチ構造を確認できる
⇒ 応答が早い
⇒ 立ち下がりが早い

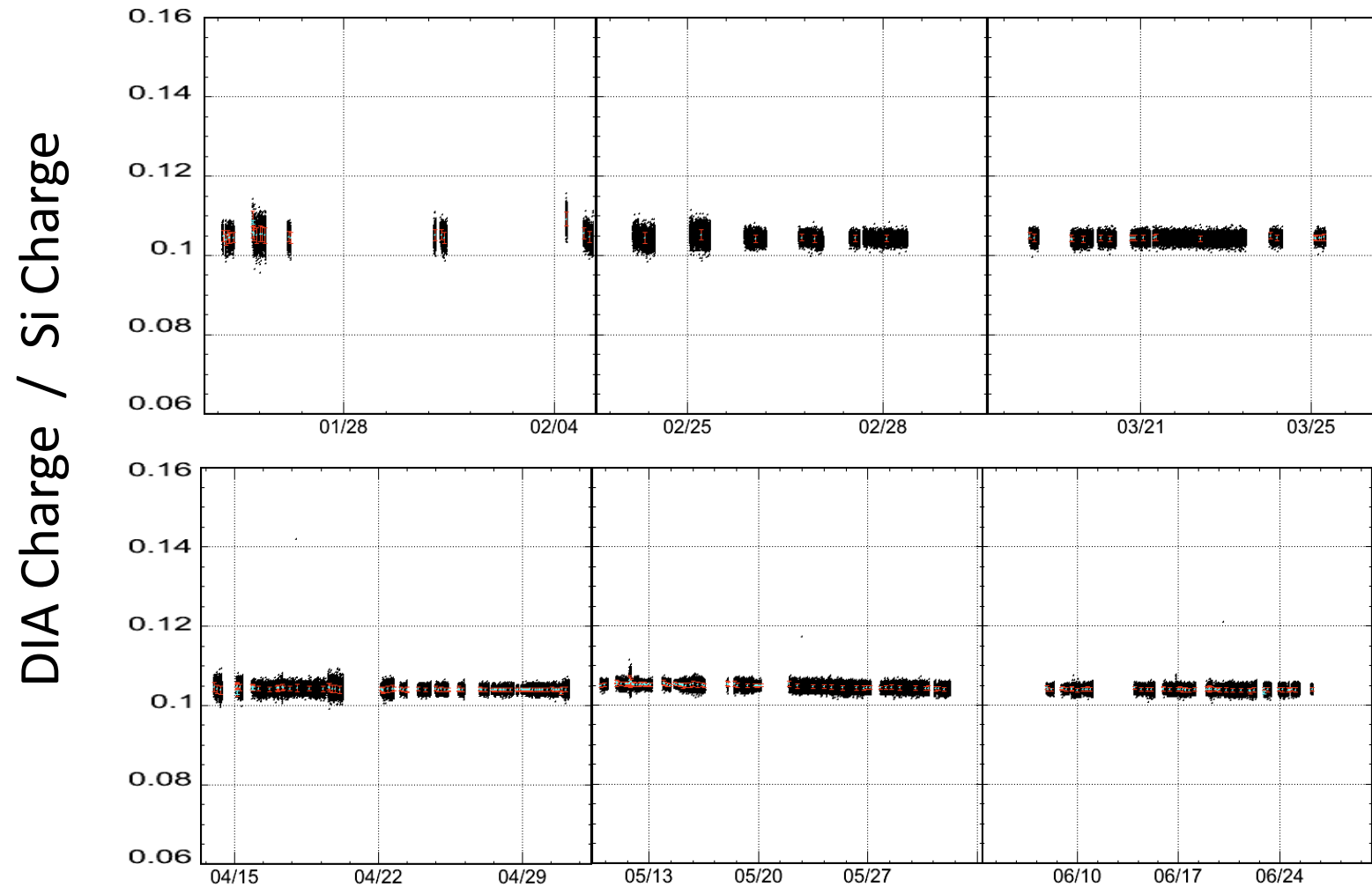
線形性



スピルごとに見ると非線形性は**1%程度**

安定性

1～6月におけるDIA検出器とSi検出器の収集電荷の比の変動



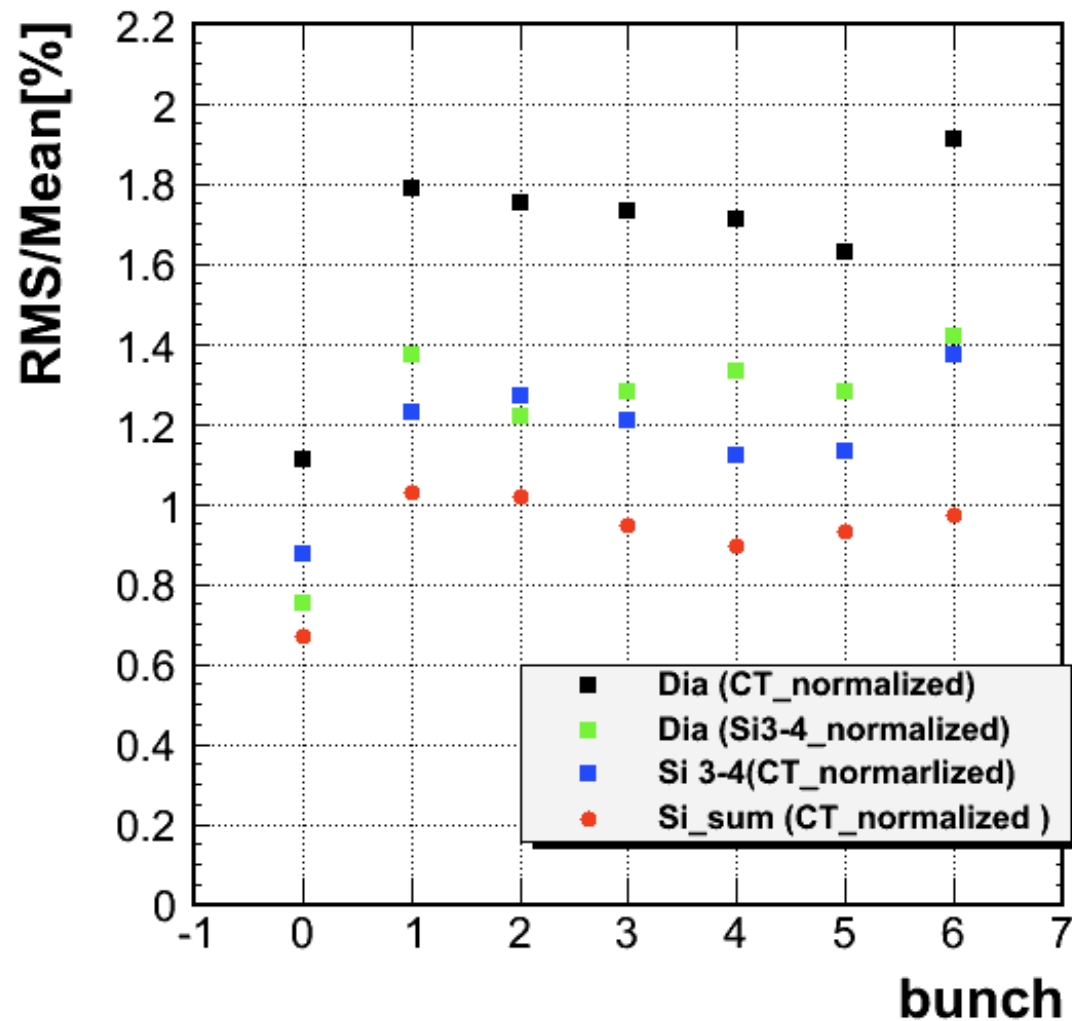
スピルごとに見るとRUN29～34で **RMS/Mean = 0.75%**

バンチごとの安定性

(0はスピルごと)

bunch	Entry#	Mean	RMS [10^{-3}]	RMS/Mean [%]
1	1003648	0.1031	1.412	1.37
2	1004404	0.1035	1.264	1.22
3	1003639	0.1042	1.329	1.28
4	1004394	0.1045	1.392	1.33
5	1003620	0.1050	1.346	1.28
6	1004377	0.1055	1.503	1.42
0	1004405	0.1043	0.7838	0.751

DIA 電荷 / Si 電荷 をバンチごとに平均とRMSを算出



(ただし、0はスパイルごと)

シリコン検出器においても同じようにバンチごとに見ると安定性がスパイル全体で見るとより悪くなる。

⇒ ダイヤモンド検出器だけの性能でない。

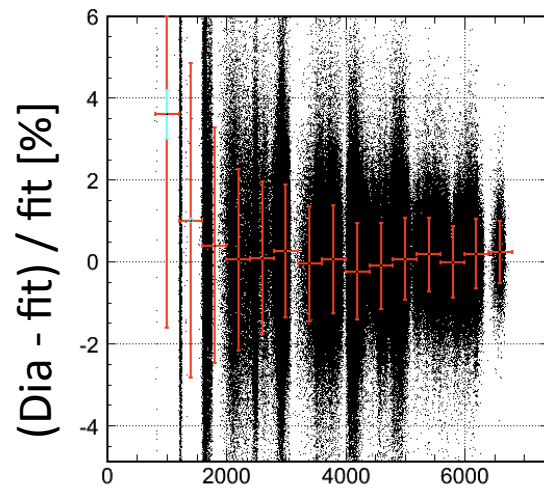
まとめ

- ダイヤモンド検出器の応答は良く、Si検出器に対して非線形性が1%程度であった。
 - RUN29～34を通して安定性は1%以内におさまった。バンチごとに見ても1.4%程度であった。
- ⇒ 要請精度3%を満たし、MUMONで使用する次世代の測定器として使えると思われる。

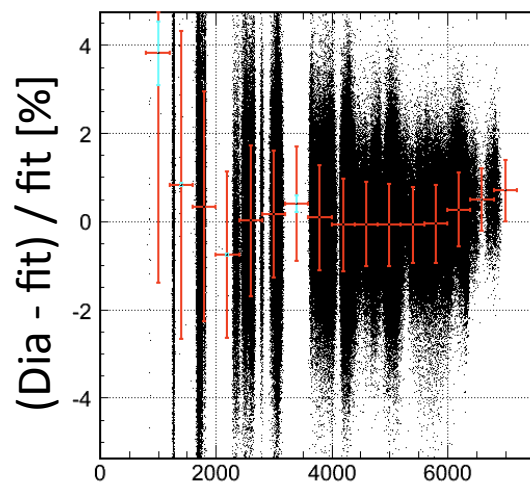
back up

good spill selection

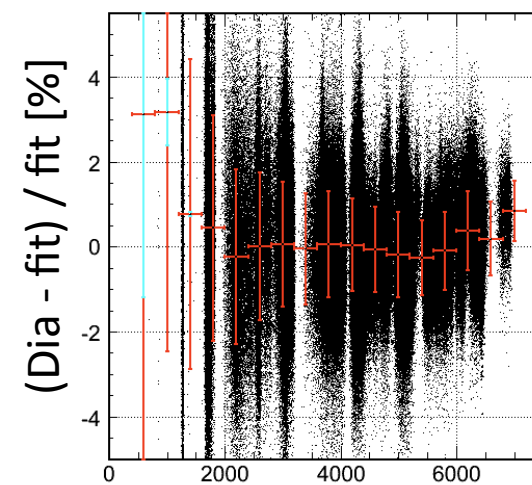
- ◆ normal condition
 - ・物理ラン
 - ・安定したスパイル
- ◆ トリガー
 - ・ビームトリガー
- ◆ Good GPS status
 - ・2つのGPSからのビームトリガーの時間差が200nsec以下
- ◆ ビームの陽子数
 - ・CT5で測定した1スパイル当たりの陽子数 $> 1 \times 10^{11}$ protons/spill
- ◆ ホーン電流
 - ・すべてのホーンで 250 ± 5 kA以内
- ◆ MUMON
 - ・ビーム角度が1 mrad以内
 - ・シリコンの全電荷/CT5が通常値 $\pm 5\%$ 以内



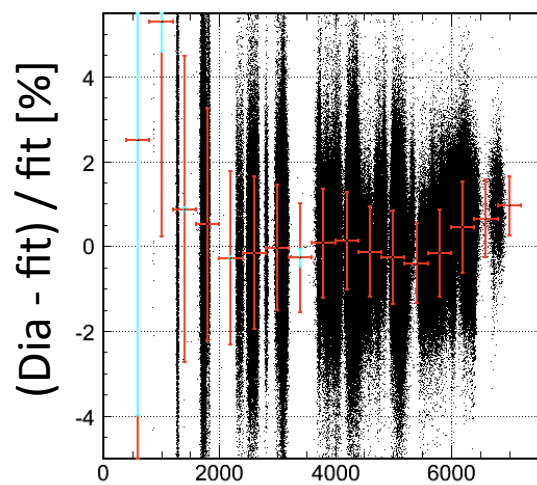
bunch 1



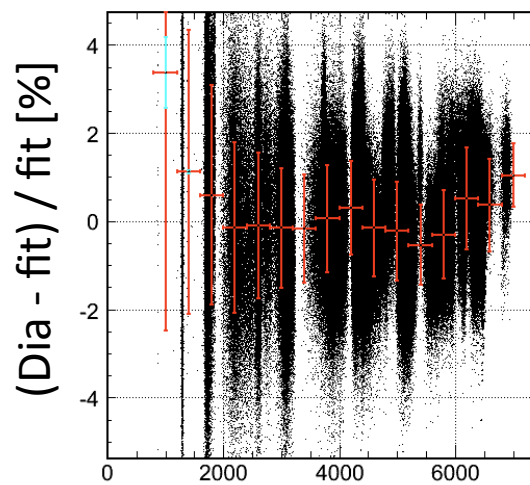
bunch 2



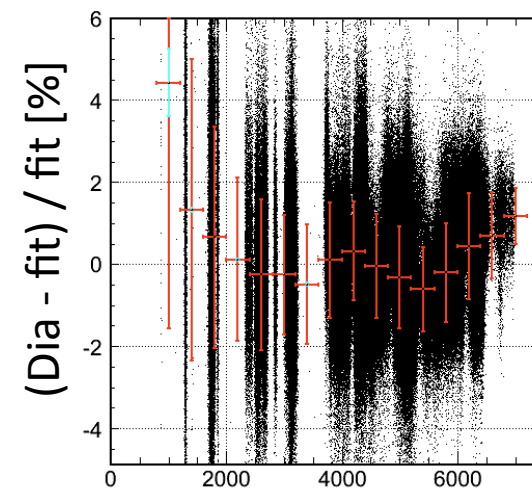
bunch 3



bunch 4



bunch 5

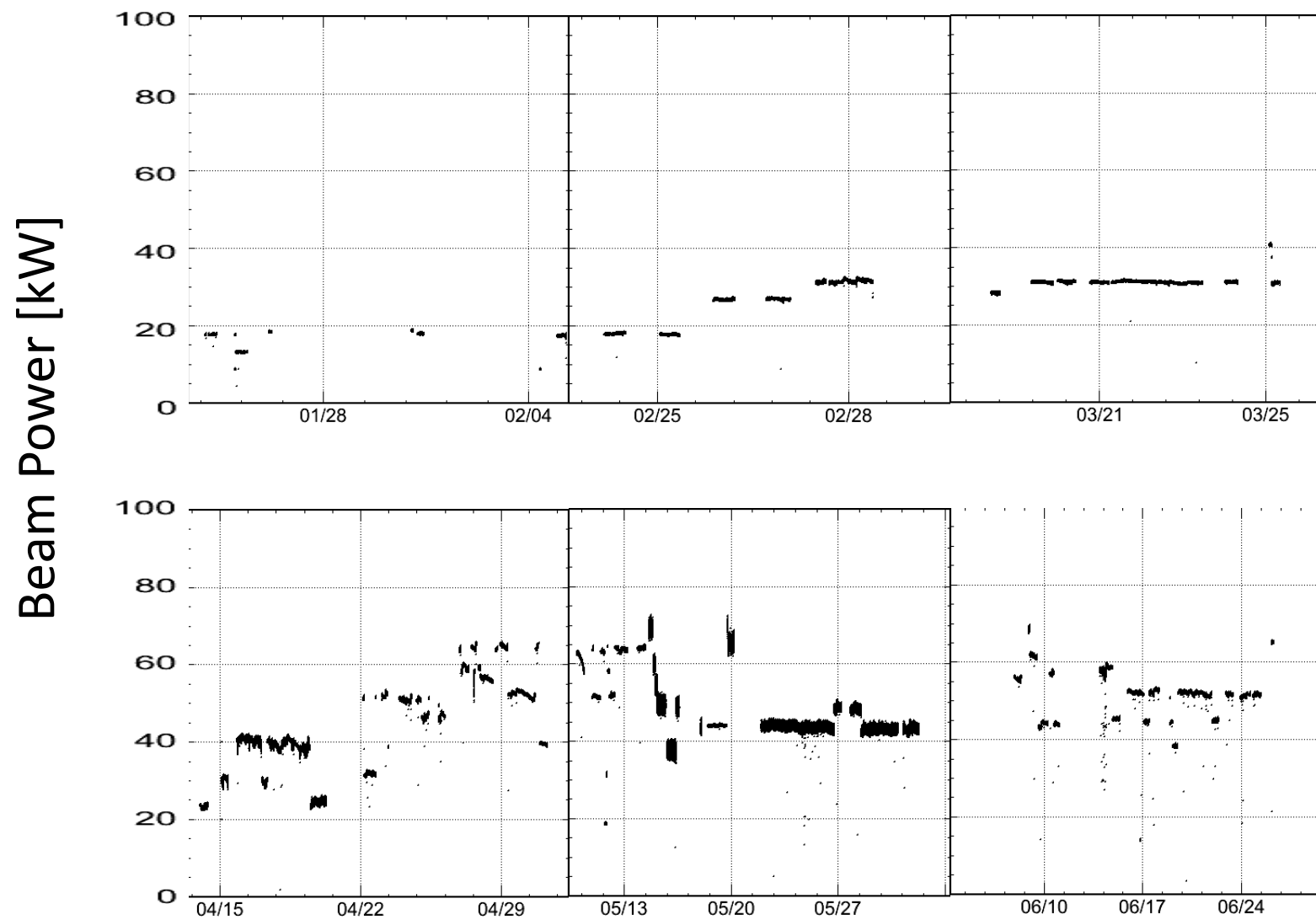


bunch 6

RUNの期間とビーム強度

MR RUN #	period	beam power avr.(max)
29	1/23~25,30,31, 2/3,4	16kW (19kW)
30	2/23~3/1	26kW (33kW)
31	3/18~3/25	31kW (41kW)
32	4/13~5/1	44kW (65kW)
33	5/9~6/1	43kW (70kW)
34	6/7~6/26	51kW (102kW)

ビーム強度



耐放射線素材

ポリイミドケーブル

耐放射能用にポリイミドのテープを使用しており、耐熱性にも優れており、曲げても低反発に仕上がっている。



PEEK材

ポリエーテル・エーテル・ケトン樹脂を押出形成した素材で、連続使用温度は250℃であり、耐薬品性、耐摩擦摩耗性、機械加工等において非常にバランスのとれた熱可塑性スーパーエンジニアリングプラスチックである。
耐放射能性がある。

