



KEK!電子入射器の高速ビーム切り替え機構

Pulse-to-pulse!Beam!Switch!at!KEK!Linac

古川和朗¹、門倉英一¹、佐藤政則¹、諏訪田剛¹、中村達郎¹、三川勝彦¹、
Artem Kazakov^{1,2}、草野史郎³、工藤拓弥³、雷革⁴、徐广磊⁴

¹高エネルギー加速器研究機構、²総合研究大学院大学、
³三菱電機システムサービス、⁴中国高能研

Continuous Injection at Two/Three Rings

- ◆ KEK Linac は目的の異なる 4 つの Ring に入射
 - ❖ 1 日単位の実験が多く年間 Schedule の厳しい PF
 - ❖ 長期の積分 Luminosity が重要な KEKB HER/LER
 - ❖ (PF と運用が近い PF-AR)
 - ❖ 切り替えには、20 秒から 2 分 (主に電磁石初期化)
- ◆ 通常 PF の入射は 1 日に 1 - 2 回
 - ❖ PF の性能向上のための Beam 開発 Study
 - ✧ 入射頻度が高いと KEKB の Luminosity 調整を阻害
 - ❖ PF も Continuous Injection が必要
- ◆ KEKB の入射は 2-3 分で LER/HER を切替
 - ❖ 安定した Luminosity のためにはさらに頻度を上げたい
- ◆ 全ての Ring が Homogeneous Injection を必要とする
 - ❖ 他の実験方法の可能性も広がる

Continuous Injection at Two/Three Rings

◆ 50 Hz (高速) の Parameter 変更

❖ 電磁石

- ❑ Pulsed Bending Magnet (BM_58_1) On/Off
- ❑ Pulsed Steering Magnet (PX_17,21,31,41) 当面 8 台(?), On/Off、(磁場強度)
- ❑ Pulsed Coil On/Off, Timing Stand-by
- ❑ 他の Magnet は共通磁場設定 — 光学補正の手法の確立、Compatible Optics の同時軌道補正に進展

❖ rf

- ❑ 高速位相設定変更 (当面 10 ヶ所)
- ❑ 高速 Timing Acc/Stand-by 変更 (当面 24 ヶ所)
- ❑ rf 測定系への同期信号

❖ 電子銃

- ❑ Grid Pulser 選択信号
- ❑ Bias 電圧及び Pico 秒 Delay の高速変更

❖ Beam 測定

- ❑ 高速、同期 BPM 読み出し
- ❑ Wire Scanner, Streak Camera への Beam 選択信号

❖ Beam 繰り返しの選択 (優先順位付き)

❖ PF-Ring と SHB (Linac rf) の同期 (禁止帯対処?)

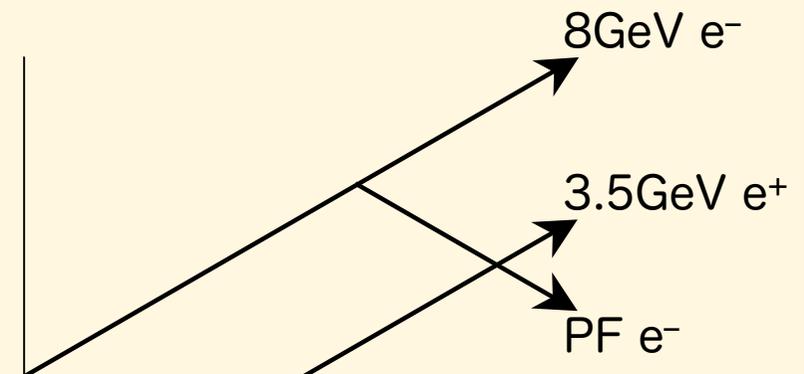
❖ それぞれの Ring の Septum, Kicker 選択、Timing

❖ それぞれの Ring の Bucket selection の連携

❖ Beam 安定化 Feedback 機構

❖ Parameter 操作・表示 Software Panel

❖ Logging, Archiving, Safety Interlock



Requirement to Control System

◆ Pulse-to-Pulse の制御

- ❖ 1 km に亘って同期していること
- ❖ 誤りが無いこと (Energy が異なるため管理上重要) 通常制御では危険
- ❖ 動的な設定変更が可能であること

◆ Timing 制御の伝送

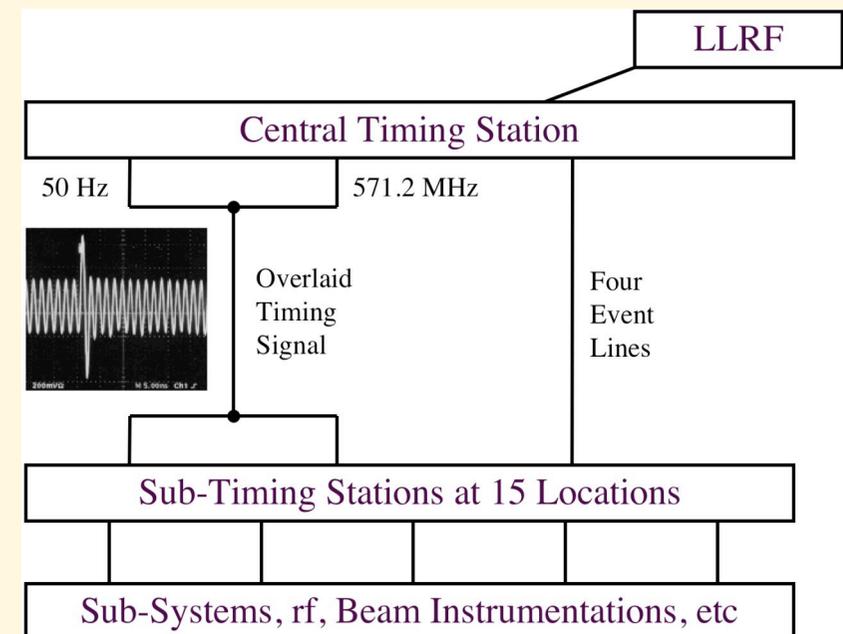
- ❖ (1) Beam, rf, Beam-monitor に関連する Timing 信号
- ❖ (2) Timing 精度を高めるための Clock 信号
- ❖ (3) 多数の状態を区別する Event/Gate 信号

◆ これまでの KEK Linac Timing 伝送

- ❖ タイミング信号とイベント情報は別々に分配される。15ヶ所のタイミングステーションは多数のモジュールから構成され、合計約 150 のタイミング信号を供給している。

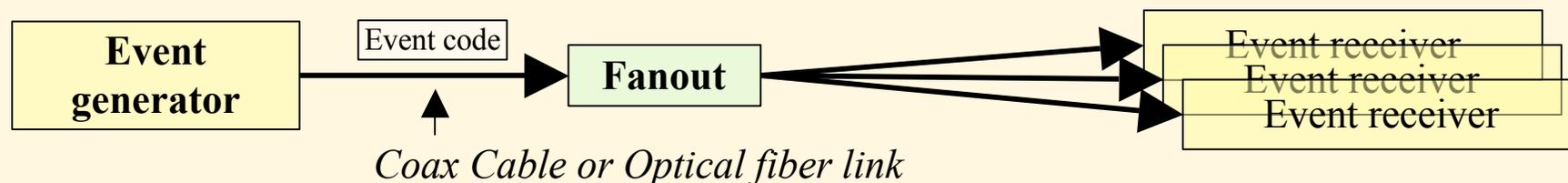
◆ Timing 伝送の更新を計画

- ❖ ハードウェア設計を FPGA + Rocket I/O で検討始める …



Event System

- ◆ 加速器制御では、速い (~ps) Timing 信号の他に状態を区別するための遅い (~ms) Event 信号の伝達が必要になる
 - ❖ KEKB や Linac ではこれまで組み合わせで行ってきた
 - ✧ 主に速い Timing を TD4/TD4V で供給する
 - ◆ Timing と rf が必要
 - ✧ Event を別の仕組みで供給する
 - ◆ Hardware と Software の組み合わせ
 - ❖ Timing と Event を一つの機構で扱おうとする Event/Timing System が Argonne/SLS/Diamond で開発され複数の研究所で使用されている (Event Generator/Receiver)
 - ✧ 上の Fast Timing, rf, Hardware event, Software Interrupt が一つの機構で扱える、Fiber Cable は 1 本だけ
 - ✧ 特に EPICS 環境下では EPICS Event と直結することができる



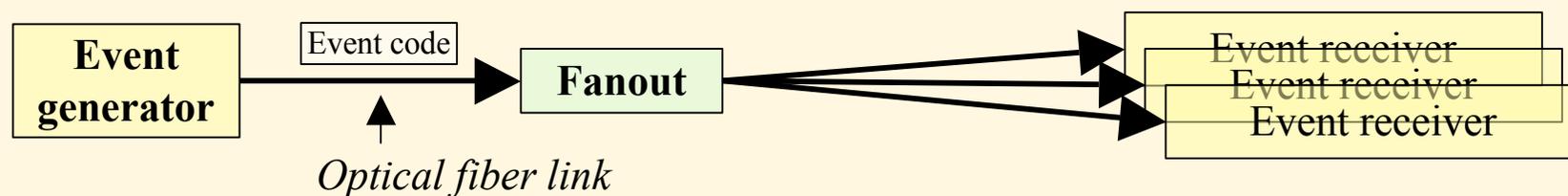
Event System

◆ 複数の加速器での経験を元に設計された、情報を伴った Timing 信号の伝送機構

- ✧ APS at Argonne (ANL/APS)
- ✧ Swiss Light Source (PSI/SLS)
- ✧ DIAMOND
- ✧ (TRISTAN, KEKB, Linac)

❖ 新しい Event System (EVG/EVR-200/230)

- ✧ 多数の加速器で採用 (予定)
 - ◆ DIAMOND, SLS, BEPCII, LCLS, Shanghai, KEK-Linac, Austraria, ...
 - ◆ (SNS), (LANL), (BNL), ...
- ✧ 高機能
 - ◆ Bit rate 2.5Gbps まで, Event rate (及び 内部 rf) 50-125MHz, 短期 Jitter ~10ps,
 - ◆ さらに 8bit signal, 2kbyte data buffer, EPICS support



Event を起こさせる Trigger として

- 外部パルス入力
- ソフトウェアトリガ
- event playback RAM での指定

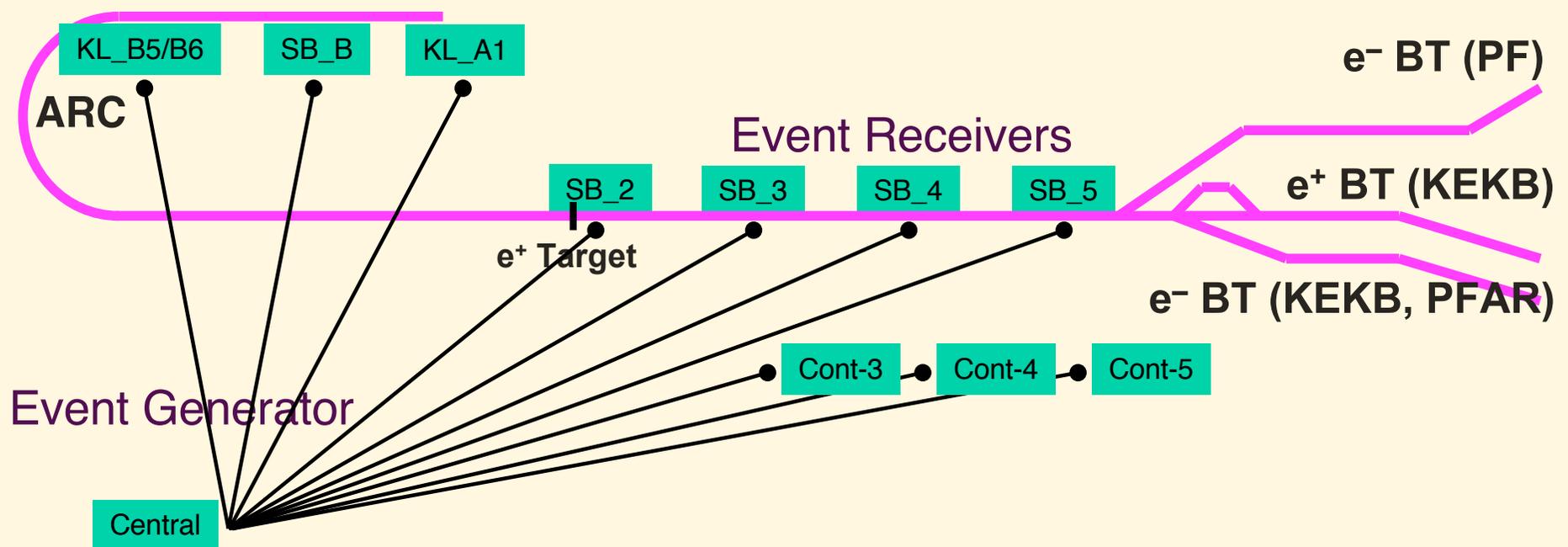
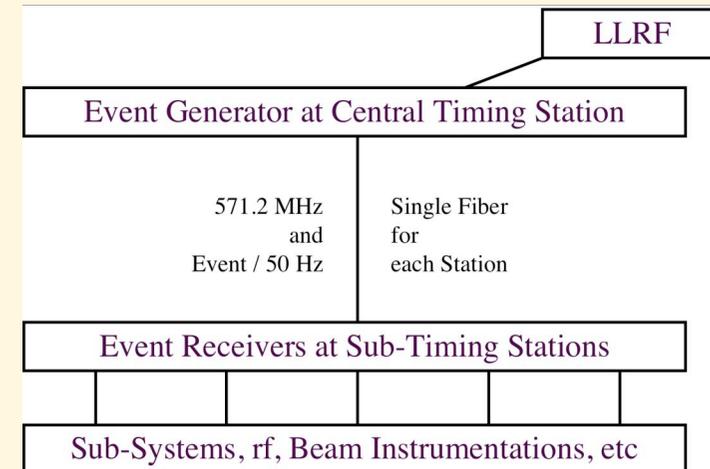
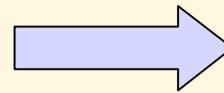
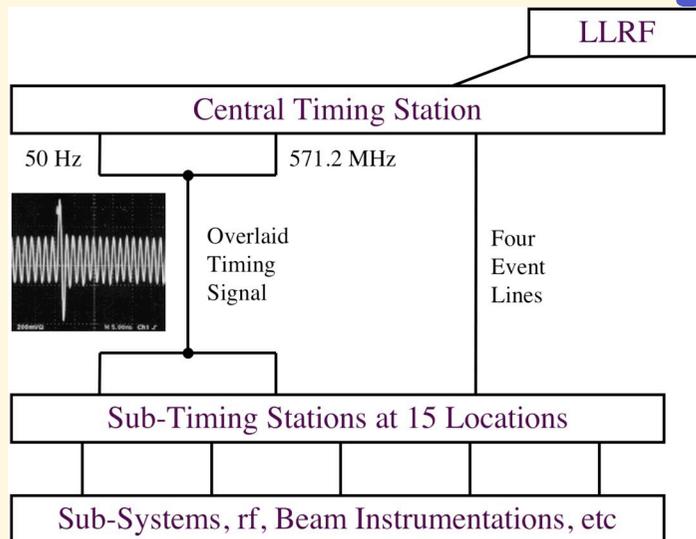
最大 Event 頻度 125MHz

イベントが届くと (最大 Event rate 125MHz)

- 指定した Delay/Width でパルス出力 (14 TTL/NIM)
- 割り込みによる同期処理 (EPICS record 処理)

個々の Event Receiver は別々の処理をすることができる

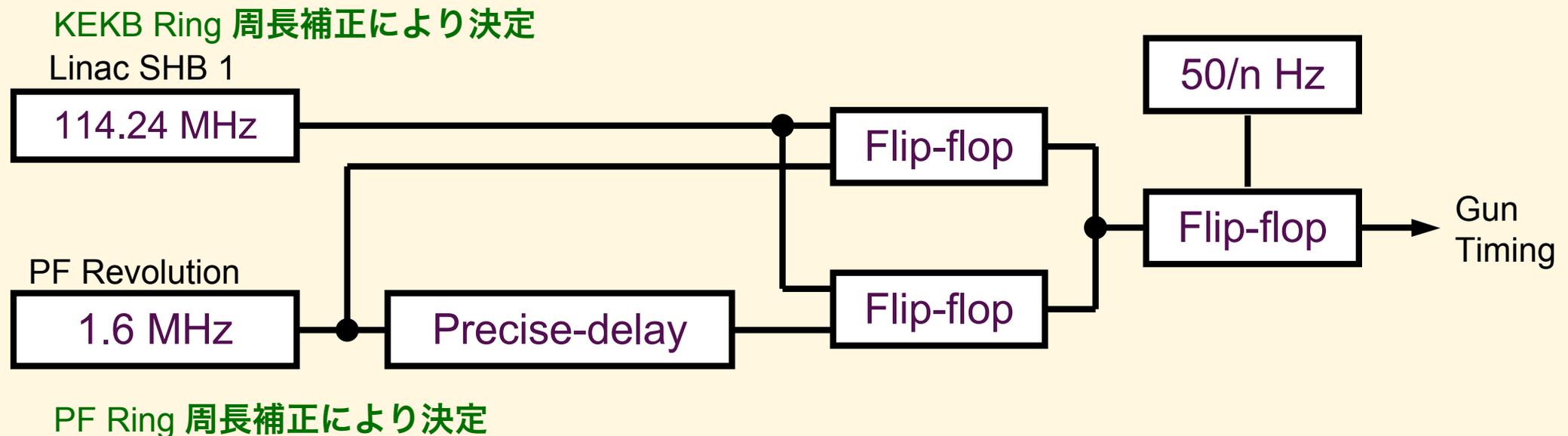
Event System for Fall 2008



Linac - PF-Ring Synchronization

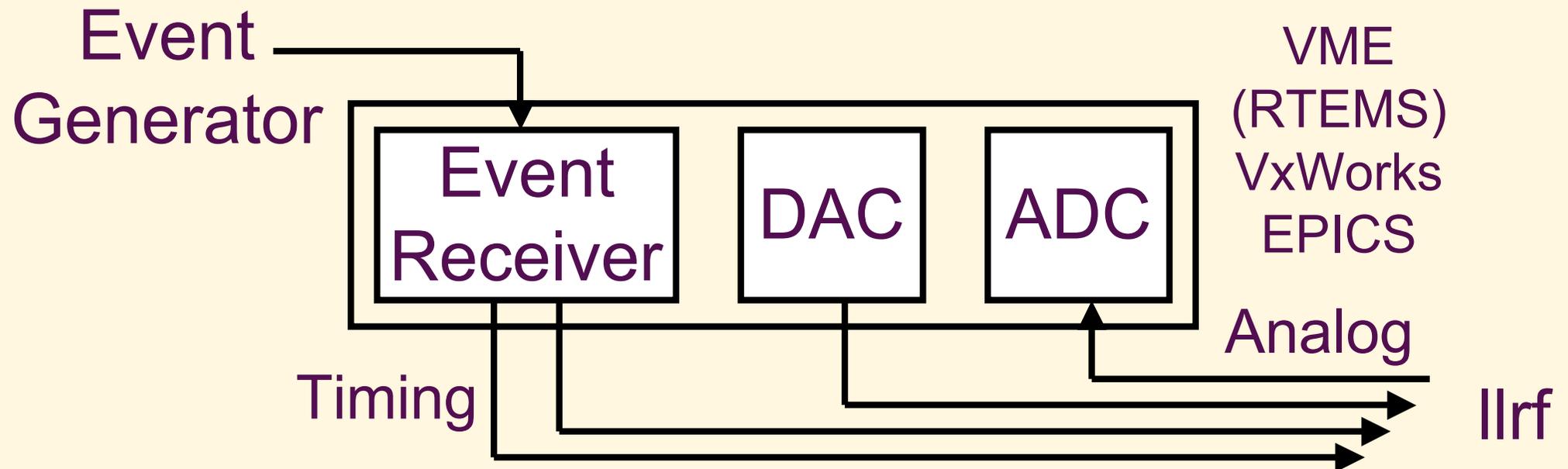
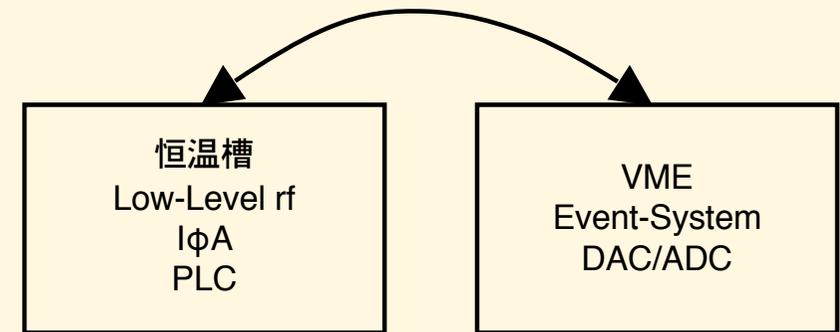
◆新しい同期回路

- ❖ 114.24 MHz は既に KEKB リングの周長補正のために決定されている。一方、PF リングも同様の周長補正を行うため、その巡回周波数 1.6 MHz は独立に決定される。
- ❖ 下の回路はこれらの独立の rf 周波数からジッタ 100-700ps を許して同期タイミングを探すもの。この回路自体は通常約 5 kHz 以上の出力があり、商用周波数 50Hz と遅い同期をさせてパルス繰り返し信号を作っている。
 - ✧ (KEKB は 30ps のジッタしか許さないので、このような仕組みでは無理)



Rf 位相制御

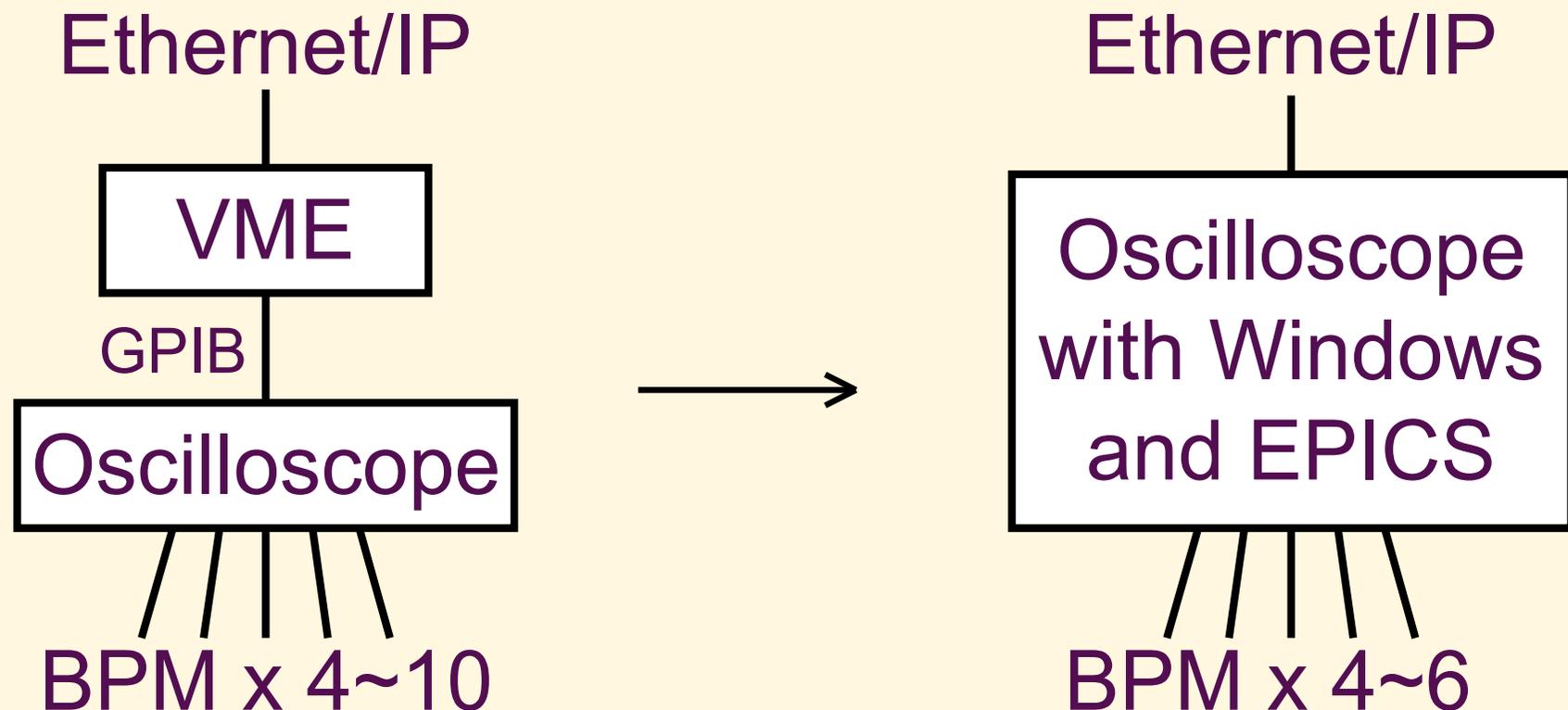
- ◆現在は PLC の DAC/ADC で $I\phi A$ を制御
- ◆速い切り替えは Event System を Event (割り込み) で DAC/ADC と接続し実現
- ◆EPICS では割り込み接続は容易



Fast BPM Read-out

◆新しい高速 BPM 読み出し

❖ BPM の読み出しは約 22 のステーションで行われるが、これまで使用してきた測定系（左）では 1 秒に 1 回の測定しかできなかったが、昨年より運用を開始した測定系（右）では 1 秒に 50 回以上の測定が可能となる。また、Oscilloscope (DPO7104) の上で EPICS が動作するので分散処理が容易になり、Event にも同期する。



Beam Pattern Generation

- ◆ 各 Ring からの要求に合わせて Event List を構成する
 - ❖ 当面 Linux 上の EPICS CA Client として準備
 - ❖ 長さ可変の Beam Pattern List を作成する
- ◆ Event Sequence (Playback) Buffer で実現
 - ❖ Event Generator 上の Sequence を Pulse 毎に書き替え
 - ❖ EPICS + VxWorks の Realtime 環境
 - ✧ 一つの Pulse 内では機器に対応した多数の Event が 114MHz で発生し、Receiver 側で遅延信号を発生させたり Analog 出力を書き替えるために利用される
- ◆ その Pattern は運転の都合により自由に書き替え
 - ❖ それぞれの Ring が期待する Beam 頻度を受け取る
 - ✧ 例えば 50Hz 25Hz 10Hz や 21Hz 3.5Hz など
 - ❖ Ring 間の優先順位を事前に決めておく
 - ❖ 個々の機器の特性に合わせた Pulse 選択の調停
 - ✧ 例えばほぼ 10Hz だが一部の Pulse が抜けているなど



Present Status

◆ PF-Ring、Linac rf 同期

- ❖ 要求の許容 Jitter 幅では入射試験済み
- ❖ 一年以上運用し禁止帯の対応は必要なさそう

◆ Event Module

- ❖ Hardware の試験は2年前から継続、一部運用中
- ❖ 新しい Software/Firmware の試験と改造をほぼ終了
- ❖ 実用 Software/Database の構築中 (TP103)

◆ Rf 位相設定

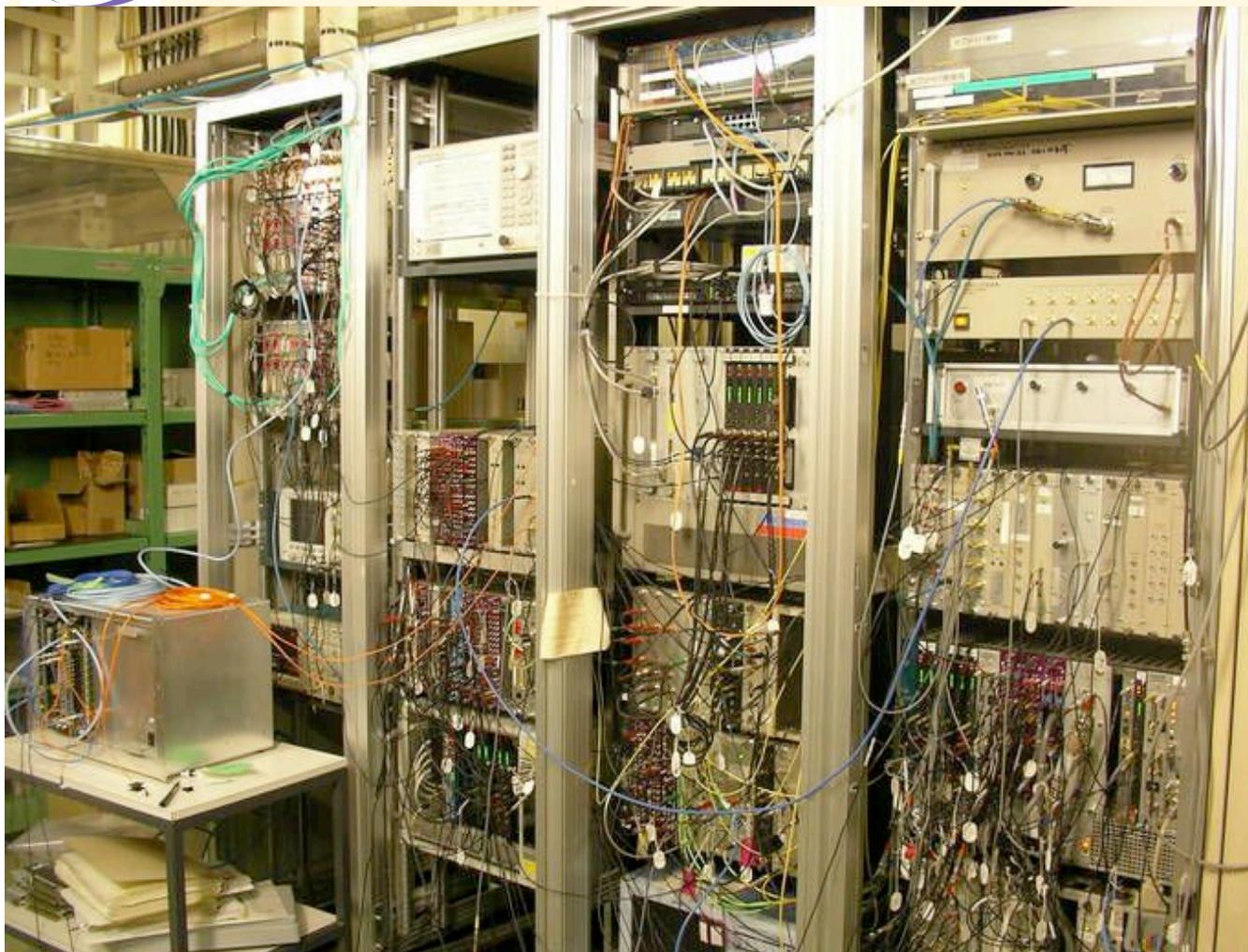
- ❖ ADC, DAC 用 Software 運用中

◆ Pulse Magnet/Steering

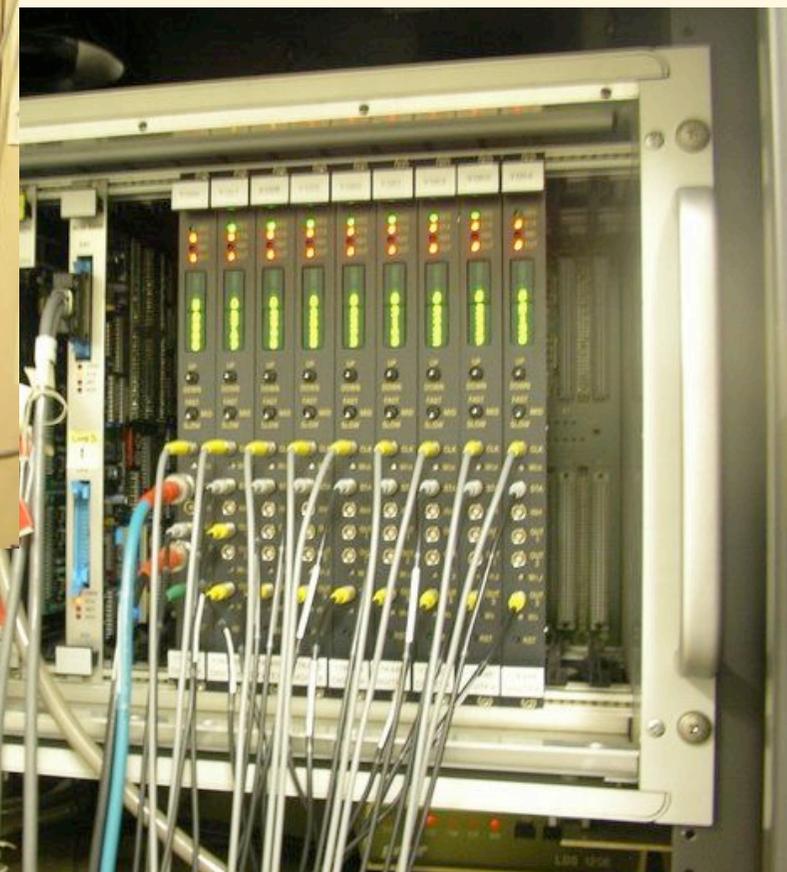
- ❖ 試験中

◆ 高速 BPM 読み出し

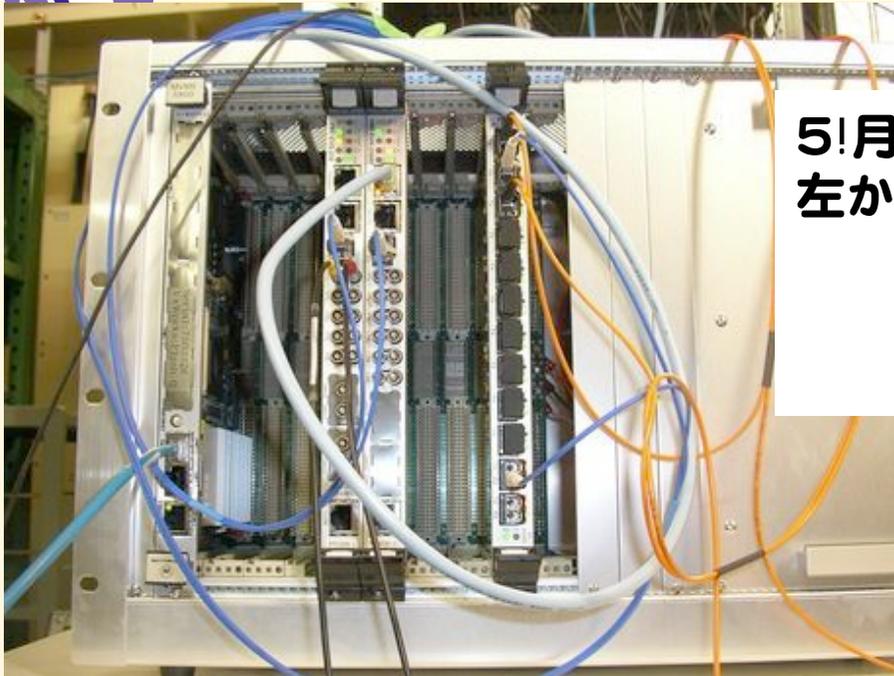
- ❖ 新 Oscilloscope 2年前より運用中
- ❖ EPICS 50Hz Software 試験中



現在の!Sub-Timing!Station
TD4!は!1!Module!1出力

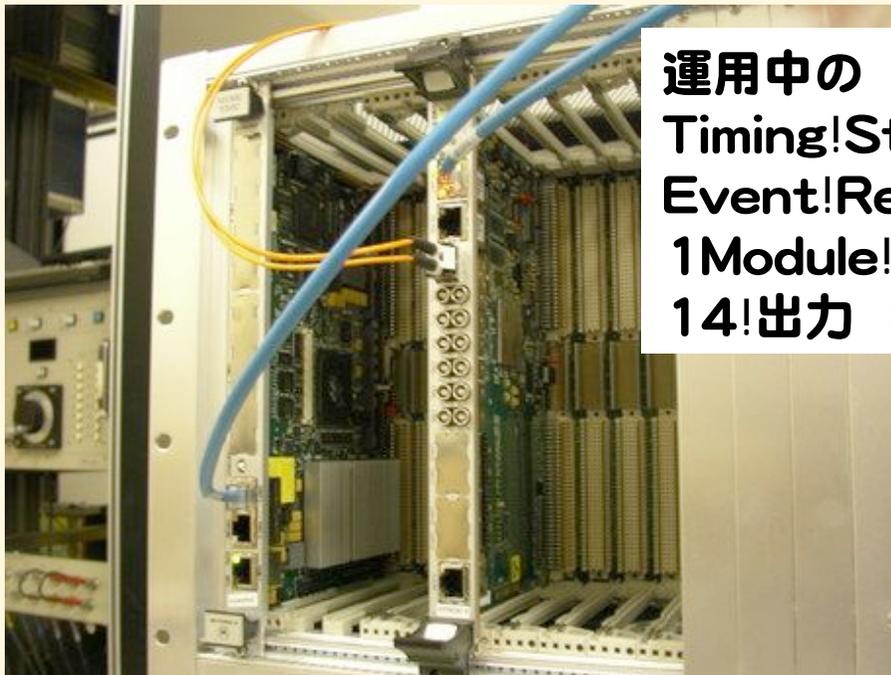


現在の!Main!Timing!Station
4!Ring!の対応のため複雑



5!月から(試験)運用している!Event!Generator
左から CPU,
Event!Generator
Event!Receiver!
Optical!Fanout

運用中の!Sub-booster
Station!の!llrf!用!DAC/ADC,
と!Event!Receiver



運用中の
Timing!Station!の
Event!Receiver
1Module!で最大
14!出力 (背面より)



Beam を使用した Event System 試験

◆現状

- ❖ Test Stand での 20ms 切り換えと運転 Beam を使用した遅い切り換えは順調
- ❖ しかし、運転環境下で問題ないかどうかの確認が必要
- ❖ また、秋からの Grid emission 回避のため、先延ばしがしにくくなった

◆試験

- ❖ 大電力 Klystron を加速・待機状態にする (50Hz)
- ❖ Booster Klystron の位相を変更する (50Hz)
- ❖ 上の 2 つを同期して変更する (距離 200m)

加速待機及び位相切り換え

◆ SC_61_H での 50Hz Beam の Screen 観測

- ✧ 50Hz 加速待機
- ✧ 50Hz 100deg-140deg
- ✧ 同時切り替え



今後

- ◆ 2008 年秋から同時入射に向けた運用を開始
- ◆ 保守のため CAMAC をやめたい。また VME も TD4 から移行して Module 数を 1/10 にする
- ◆ Gun Pulser と Streak Camera は 1ps 程度の再同期回路を開発中
- ◆ 現在片方向 Local PLL なので温度が変わると Timing Drift が大きい。短期 Jitter は $<10\text{ps}$ (TD4 は $\sim 3\text{ps}$)、Drift は数十 ps。双方向に Timing を交換し広域 PLL を行えば改善が期待できる
 - ❖ EVG/EVR-230 は送り返しの信号線はもっているが、繰り返し側 Hardware PLL が無い



ありがとうございました

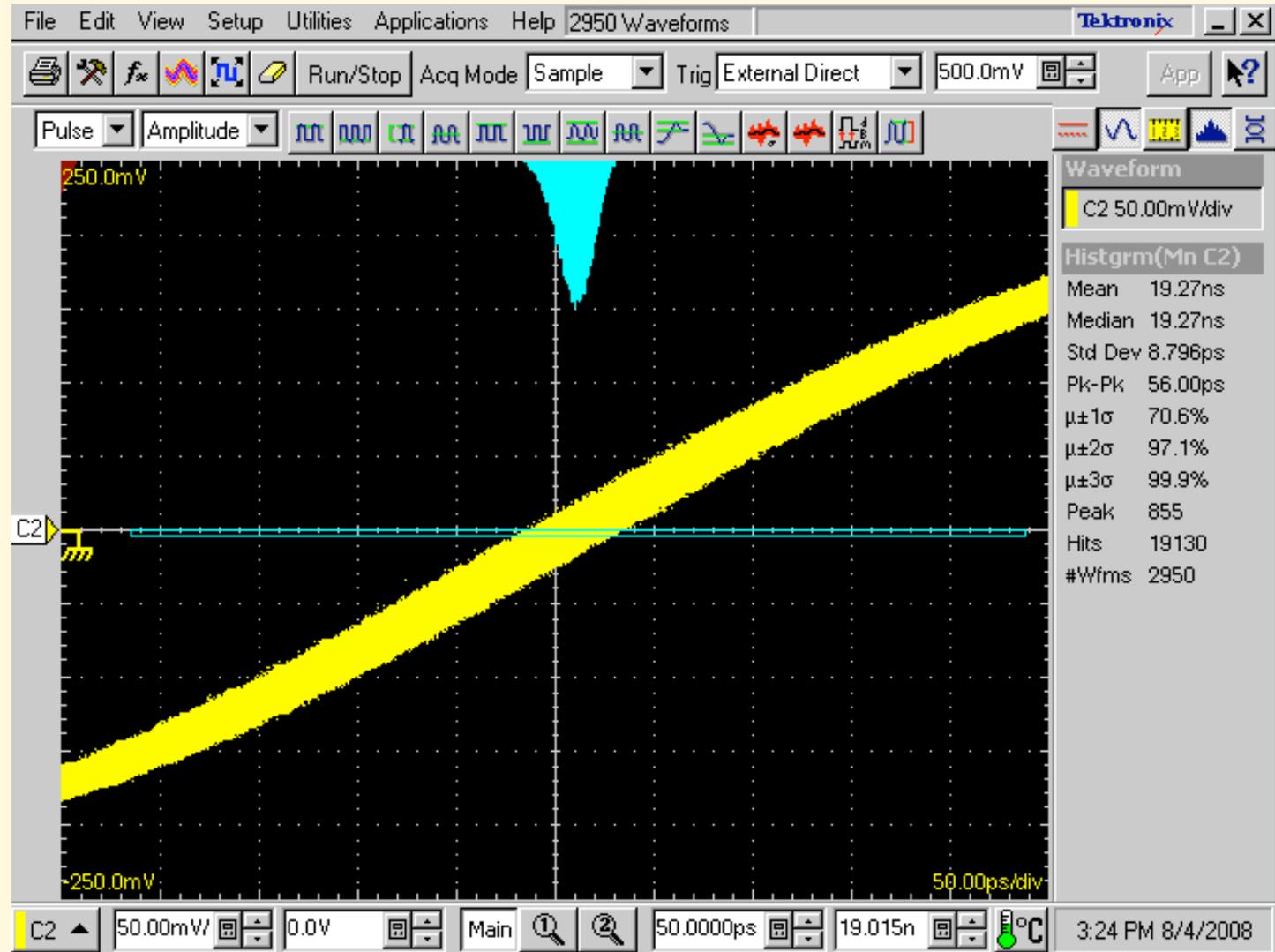
制御

- ◆ 制御系のパラメータにビームモードの概念
 - ❖ 複数の仮想加速器に対して運転操作を行う
 - ❖ パラメータによっては仮想加速器毎に独立の値
 - ❖ パラメータによっては仮想加速器間の妥協点の値
 - ❖ 他のパラメータは共通
- ◆ モニタ読み出し機構にもビームモードの概念
 - ❖ 履歴にも…
- ◆ 漏れのない監視機構の開発
- ◆ PF - KEKB Compatible Optics の開発と平行して試験
- ◆ その他 (Stealth) Beam Diagnosis (例えば Phasing) も可能であれば…



Jitter Measurement

- ◆ Rf to EVG
- ◆ fiber
- ◆ Delay out from EVR



Beam Operation

◆ KEKB と PF-Ring の双方に入射している状態では

- ❖ 例えば、次の表のうちの一つをまず選びさらにその制限内で KEKB / PF-Ring (独立に) 繰り返しを選んでもらう

KEKB	PF-Ring
50 Hz	0 Hz
50-1 Hz	1 Hz
50-2 Hz	2 Hz
50-4 Hz	4 Hz
50-5 Hz	5 Hz

KEKB	PF-Ring
50/2 Hz	50/2Hz
50/4 Hz	50/4 Hz
50/6 Hz	50/6 Hz
50/8 Hz	50/8 Hz
50/10 Hz	50/10 Hz

KEKB	PF-Ring
50/5 Hz	50/5Hz
50/10 Hz	50/10 Hz
50/20 Hz	50/20 Hz
50/50 Hz	50/50 Hz
...	...

- ❖ さらに KEKB e^- と e^+ の繰り返しを選ぶ
- ❖ Kicker が許せば、将来、不等間隔入射にも対応する
- ❖ まず 1 秒内の Pulse を自由に選択できる機構ができています

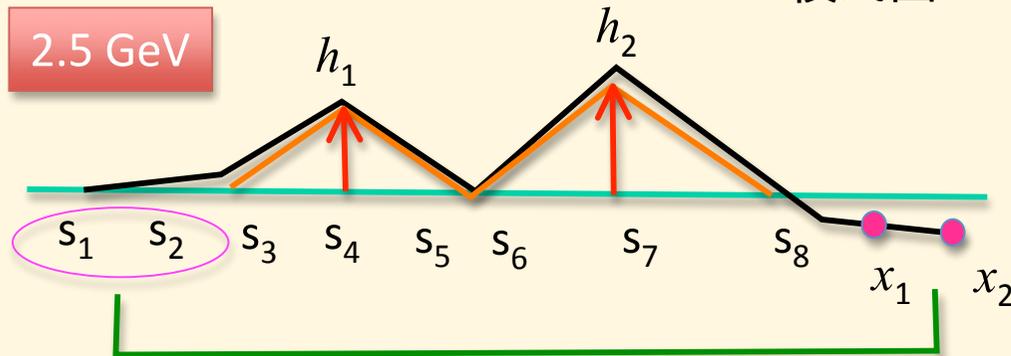
Switching Speed

- ◆ 現在は切り替えに 30 秒から 2 分要している
- ◆ 段階的に 50Hz (20ms) まで速度を上げる
 - ❖ まずは Software でも対応可能な、～10 秒
 - ✧ 2008 夏
 - ❖ Hardware (Event System) が必要となる、1 秒程度
 - ✧ できれば 2008 冬
 - ❖ 最終的に 20ms 毎
 - ✧ 2009 夏
 - ❖ それぞれの段階で前 Page の項目のどこまで達成できるか

Orbit Control of Linac End

PFとKEKB e-で同時に軌道を求める。

模式図



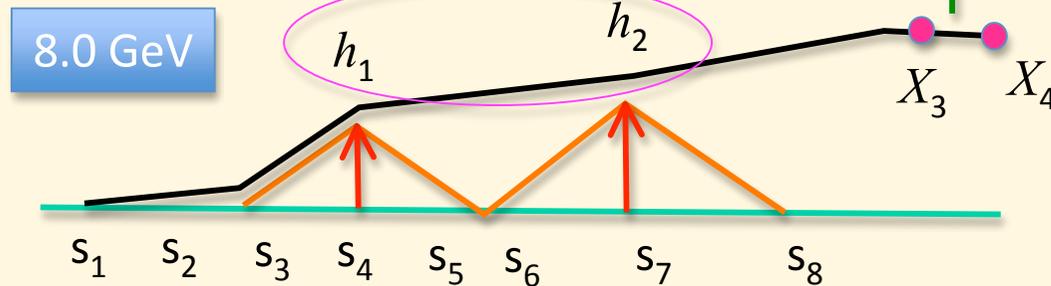
New idea !

オレンジ色のローカルバンプ軌道は2.5 GeV軌道に影響を及ぼさない。

8 GeVではローカルバンプは崩れて軌道補正に使える。

ステアリング(s1,s2)による2.5 GeV軌道補正は8 GeV軌道に影響を及ぼす。

しかし、その影響分は、バンプ軌道で補償できる。



$$\begin{pmatrix} \Delta x_1 \\ \Delta x_2 \\ \Delta X_3 \\ \Delta X_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} m_{11} & m_{12} & 0 & 0 \\ m_{21} & m_{22} & 0 & 0 \\ n_{31} & n_{32} & n_{33} & n_{34} \\ n_{41} & n_{42} & n_{43} & n_{44} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} s_1 \\ s_2 \\ h_1 \\ h_2 \end{pmatrix}$$

2.5 GeVでの応答行列

8 GeVでの応答行列

$$s_i = B_i L_i$$

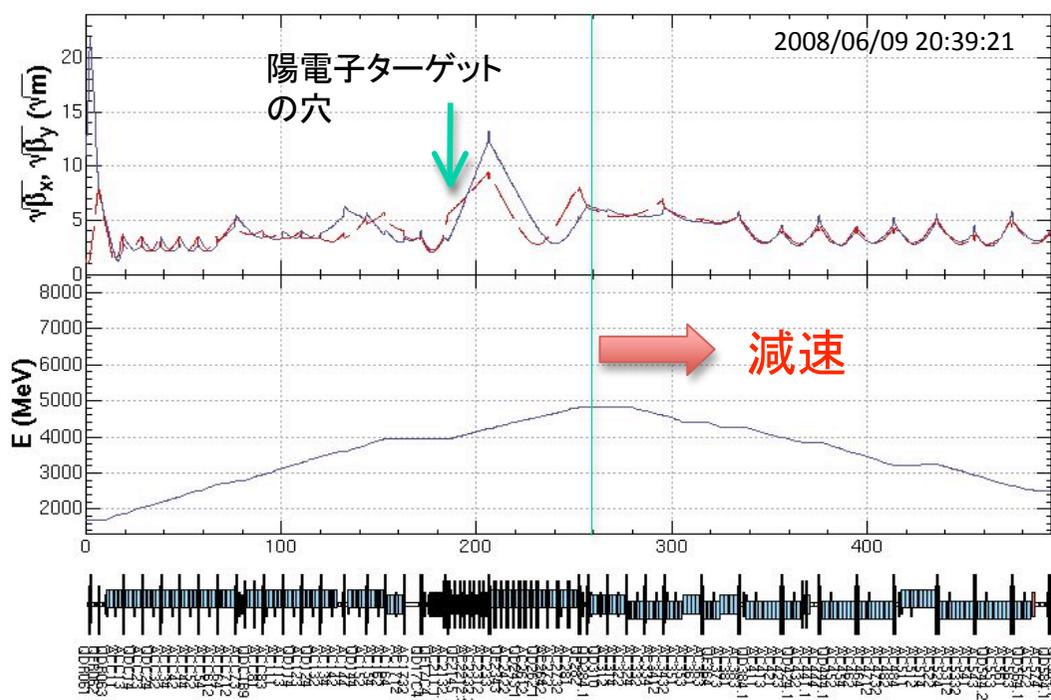
$$\theta_i = \frac{s_i}{B\rho}$$

*バンプ軌道、ステアリングは縮退していても良い。
バンプ軌道の個数も2つに限らなくてもよい。

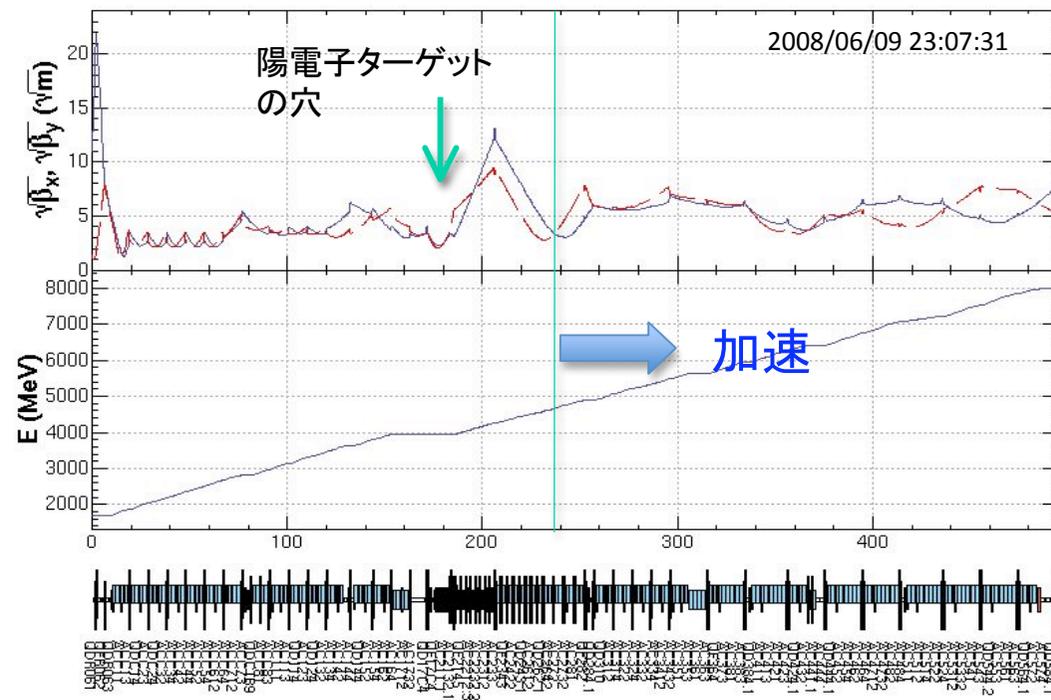
Multi-energy Injector Linac Optics

設計思想: C-5セクターでのオプティクスデザインは、2.5 GeV(PF)を基準とする。

2.5 GeV PF



8.0 GeV KEKB Electron



4,5セクターでの
ベータatron位相の進み、108 deg.

4,5セクターでの
ベータatron位相の進み: 30-50 deg.

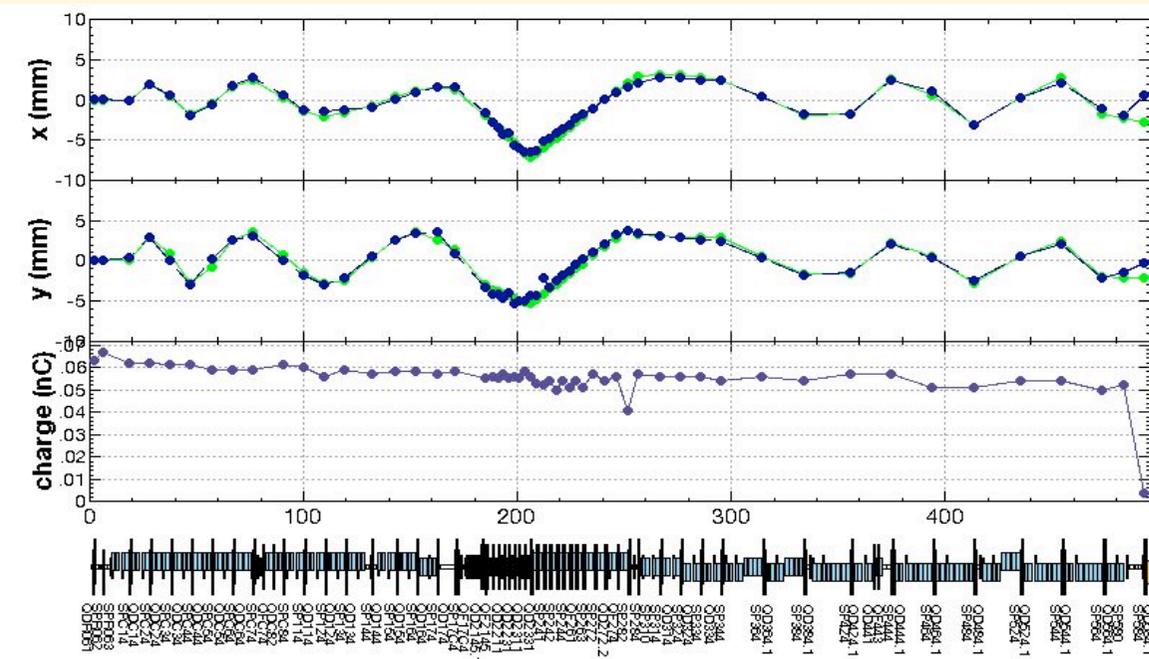
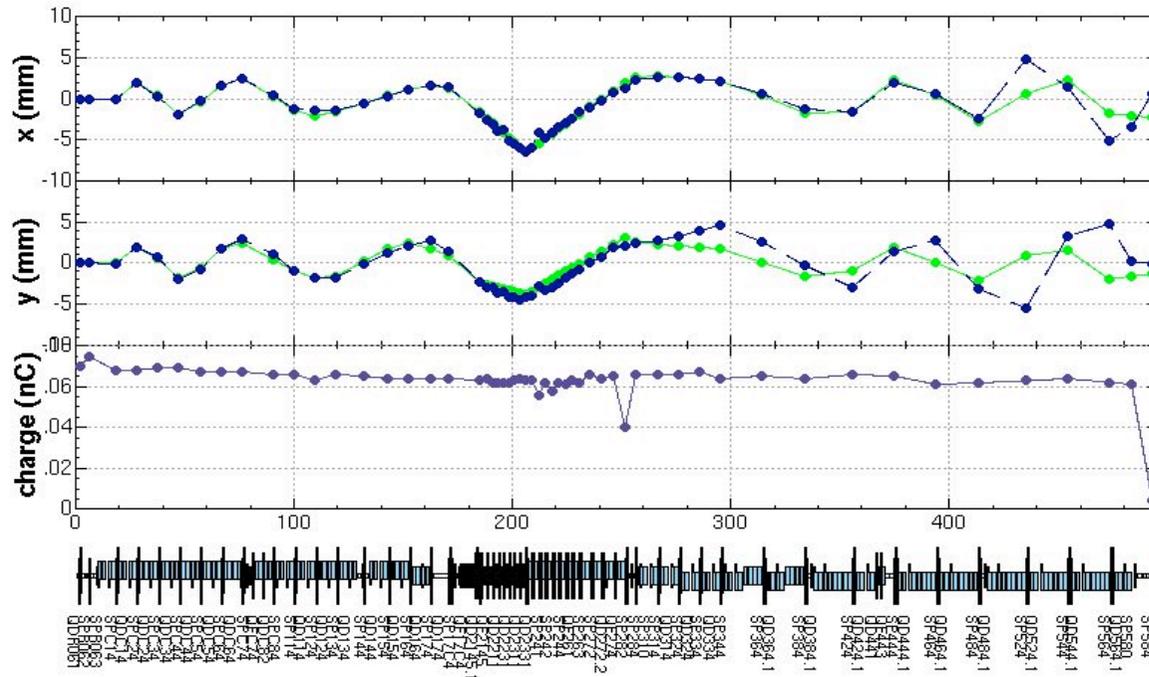
SXC21/SYC21
によるシングルキック

$$\Delta x_i = x_{(+i)} - x_{(-i)}$$

$$\Delta y_i = y_{(+i)} - y_{(-i)}$$

紺色: 実測

緑色: モデル



QD484電源
正常化
A_Fの導入

実測とモデルの一致

他のステアリングによる
レスポンスも同様

Y. Ohnishi



Frequencies between Linac and KEKB Ring

