

Development of Control System towards SuperKEKB

SuperKEKB に向けた運転制御システムの開発

古川和朗、秋山篤美、岡崎知博、小田切淳一、門倉英一、草野史郎、
工藤拓弥、倉品美帆、佐藤政則、中村卓也、中村達郎、諏訪田剛、
三川勝彦、水川義和、宮原房史、吉井兼治

(Control Group, SuperKEKB Ring/Linac)

August 2011.

加速器制御

- ◆ 加速器の全てのコンポーネントとハードウェア・ソフトウェアを通して関わりを持てるので楽しい
- ◆ 加速器の全てのグループに対して人と人との関わりを持てるので楽しい
- ◆ いつの間にか加速器の性能向上や実験成果に貢献できるので楽しい

昨年までの KEKB での制御

◆ EPICS を制御ソフトウェア環境として利用

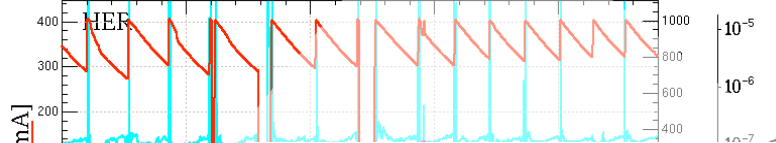
- ❖ 建設時にはこの業界で広く使われ始めていた
- ❖ いくつかのフィールドネットワークを組み合わせた
 - ✧ VME, CAMAC, ArcNet, GPIB, etc

◆ スクリプト言語を利用した運転ソフトウェア

- ❖ SADSscript/Tk, Python/Tk, Tcl/Tkなどを多用
 - ✧ 特に SADSscript は加速器, EPICS, グラフィックスの橋渡し
- ❖ 朝のミーティングで新しい提案があると、夕方には運転方法が一変していることも
 - ✧ SLAC との競争では大きな力に

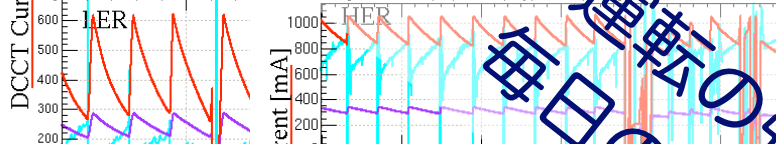
KEKB の運転形態の変化

HER 321.7 [mA] 1124 [bunches]
 LER 312.9 [mA] 1125 [bunches] Physics Run
 Luminosity 1275. (now) 1763 (peak in 24H) [$\times 10^{30}/\text{cm}^2\text{sec}$]
 Integ. Lum. 5.7 (Fill) 36.4 (Day) 81.6 (24H) [pb]



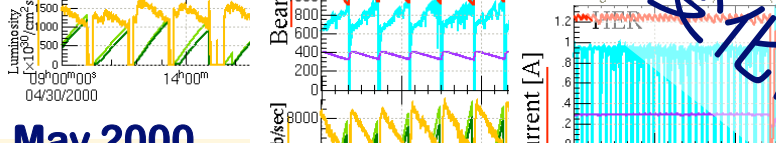
May.2000

HER 1 [mA] 1284 [bunches]
 LER 1214. [mA] 1284 [bunches] Physics Run
 Luminosity 0 (now) 9027 (peak in 24H) [$\times 10^{30}/\text{cm}^2\text{sec}$]
 Integ. Lum. 10.3 (Fill) 455.4 (Day) 455.9 (24H) [pb]



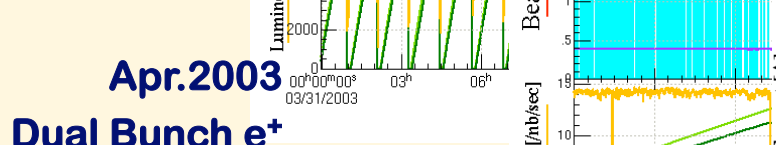
Apr.2003
 Dual Bunch e^+

HER 1.256 [A] 1297 [bunches] achieved 100%
 LER 1297 [mA] 1297 [bunches] Physics Run
 Luminosity 14.5 (now) 14.686 (peak in 24H) [$\times 10^{30}/\text{cm}^2\text{sec}$]
 Integ. Lum. 10.3 (Fill) 455.4 (Day) 455.9 (24H) [pb]



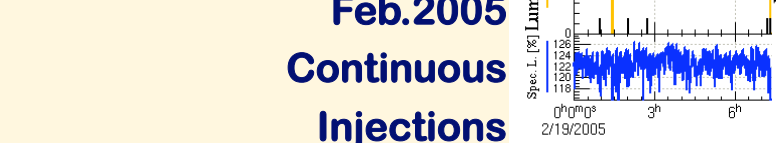
Feb.2005
 Continuous
 Injections

HER 1.54 [A] 1297 [bunches] achieved 100%
 LER 1297 [mA] 1297 [bunches] Physics Run
 Luminosity 11.54 (now) 11.54 (peak in 24H) [$\times 10^{30}/\text{cm}^2\text{sec}$]
 Integ. Lum. 10.3 (Fill) 455.4 (Day) 455.9 (24H) [pb]

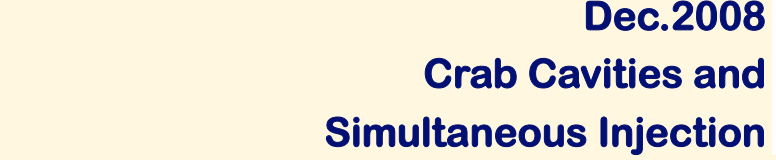


Dec.2008
 Crab Cavities and
 Simultaneous Injection

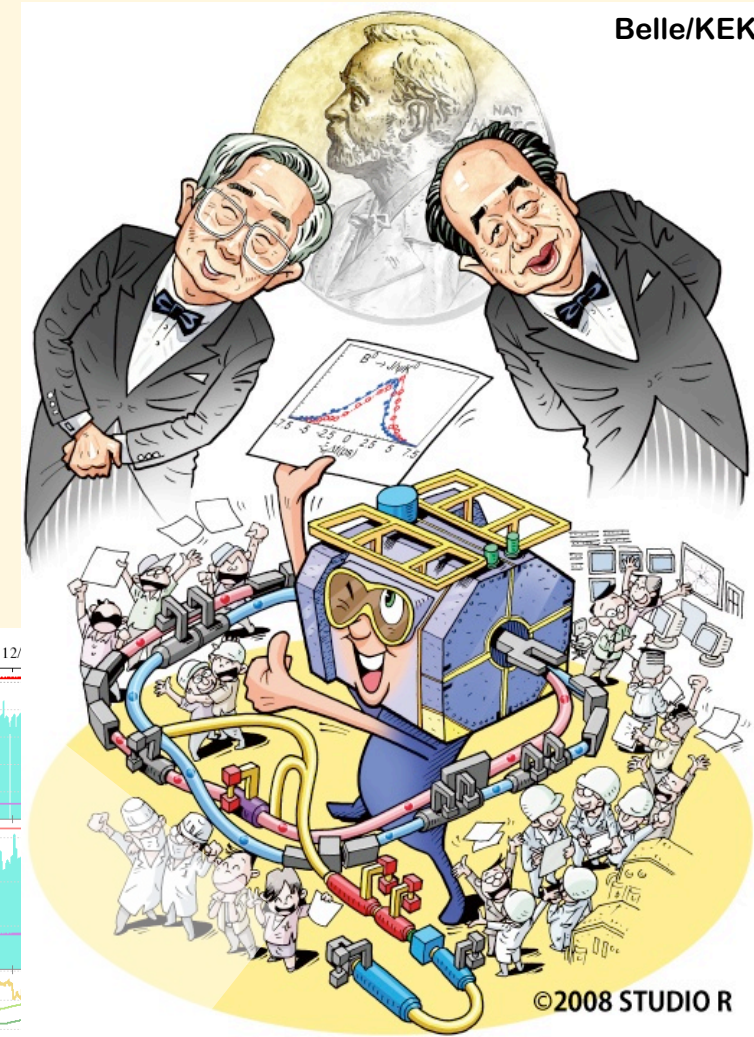
HER 1.54 [A] 1297 [bunches] achieved 100%
 LER 1297 [mA] 1297 [bunches] Physics Run
 Luminosity 11.54 (now) 11.54 (peak in 24H) [$\times 10^{30}/\text{cm}^2\text{sec}$]
 Integ. Lum. 10.3 (Fill) 455.4 (Day) 455.9 (24H) [pb]



HER 1.54 [A] 1297 [bunches] achieved 100%
 LER 1297 [mA] 1297 [bunches] Physics Run
 Luminosity 11.54 (now) 11.54 (peak in 24H) [$\times 10^{30}/\text{cm}^2\text{sec}$]
 Integ. Lum. 10.3 (Fill) 455.4 (Day) 455.9 (24H) [pb]



毎日の運転の強固な基礎を形づくりに
 制御が
 進化し
 柔軟に対応する



©2008 STUDIO R

じゃあ SuperKEKB の制御は？

◆ 基本は KEKB の制御を踏襲

❖ 老朽化したものは置き換える

◆ CA Everywhere

❖ どこでも EPICS

◆ Another layer below/over EPICS

❖ 制御機能の拡張

KEK における制御

◆ VME + Unix (1990年頃)

❖ Standard (EPICS) configuration

- ❖ 複数のフィールドネットワークも利用



◆ Every controller on IP network (1995年以降)

- ❖ 物理的に2階層、論理的には3階層 (電子Linac, J-PARC)

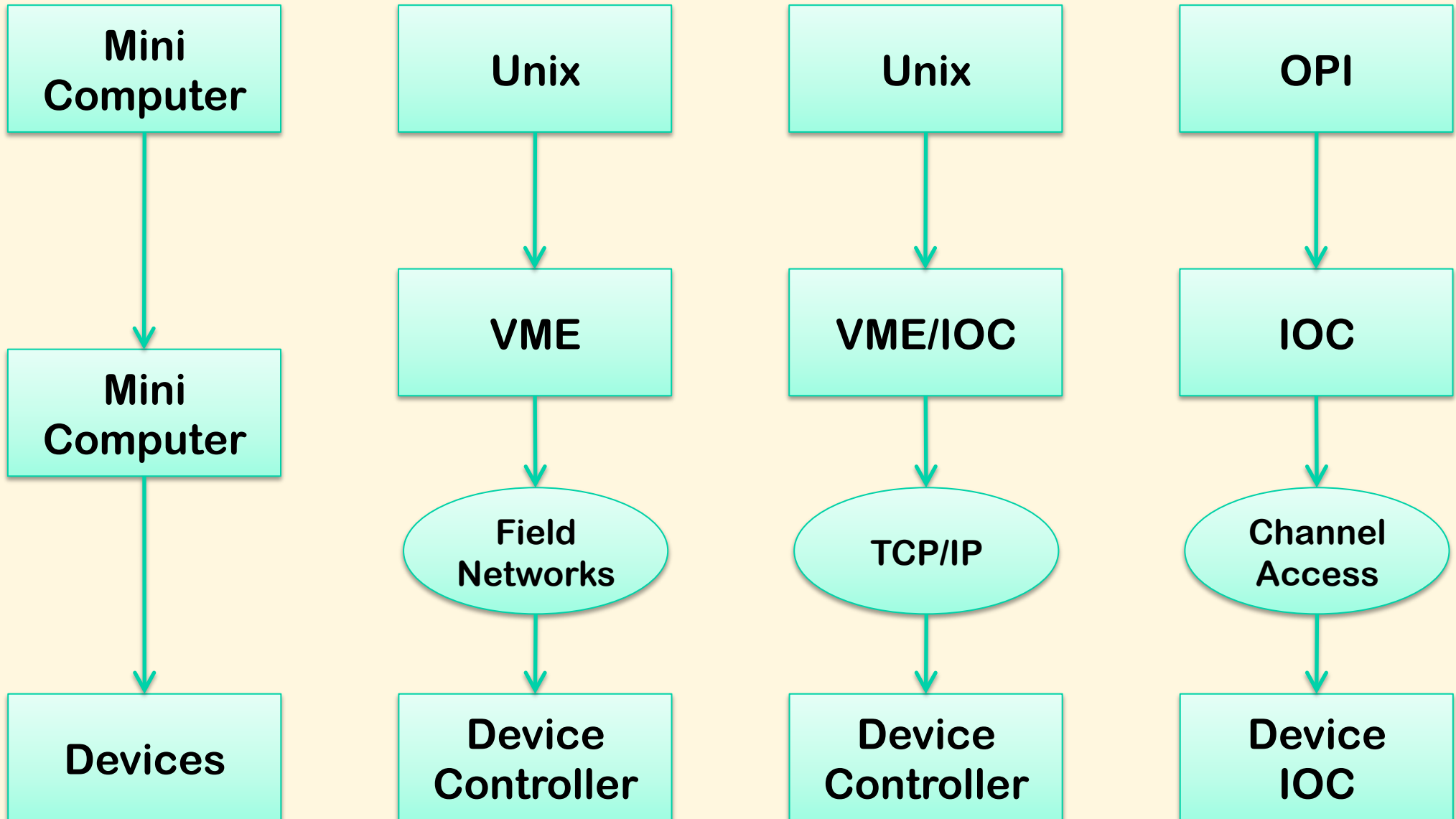


◆ Every controller with EPICS IOC (2005年以降)



❖ Channel Access everywhere (CA Everywhere)

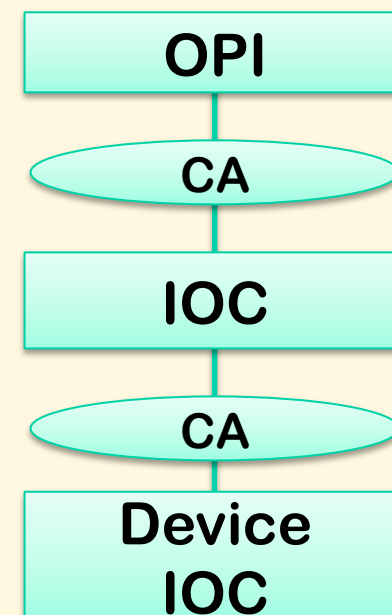
- ❖ 長期保守・維持に有利
- ❖ 多数の IOC を効率よく管理するために Network に工夫

制御システムの変遷



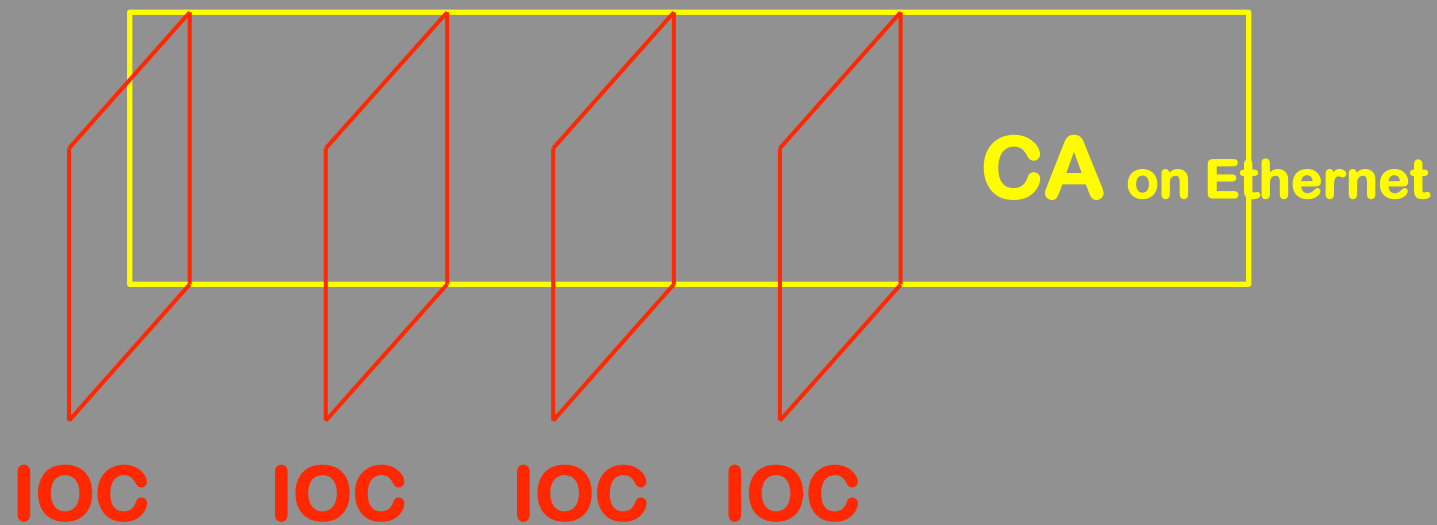
組み込み EPICS IOC

- ◆ 単なる情報サーバだけでなく、共通のソフトウェア枠組みが動作し、開発・維持に有利
 - ❖ μ TCA の LLRF モジュール: Linux/FPGA (小田切他) 
 - ❖ 横河製 PLC: Linux CPU モジュール (小田切他) 
 - ❖ Oscilloscope による 50Hz パルス測定: Windows (佐藤他)
 - ❖ MPS 管理用 :Linux/FPGA/Suzaku (秋山他)
 - ❖ TDC Timing 監視: Linux/Armadillo (草野他)
 - ❖ Libera BPM 読み出し Linux/FPGA (佐藤他)
 - ❖ NI の cRIO による真空制御: FPGA (小田切他)
 - ❖ 今後も…



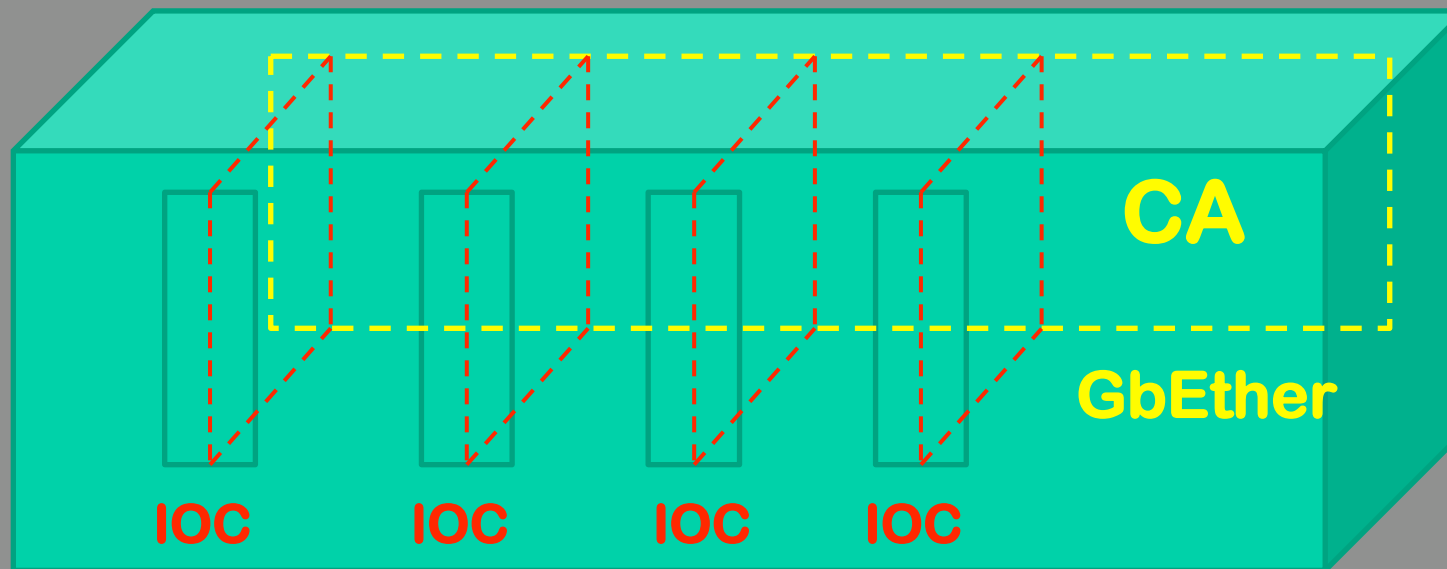
Standard EPICS

Channel Access (CA) as “Software bus”



Channel Access on MicroTCA Backplane

CA on Hardware "bus"

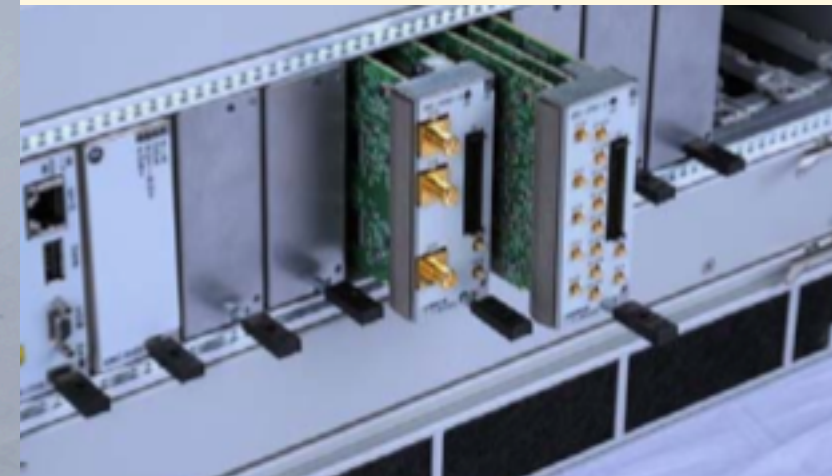
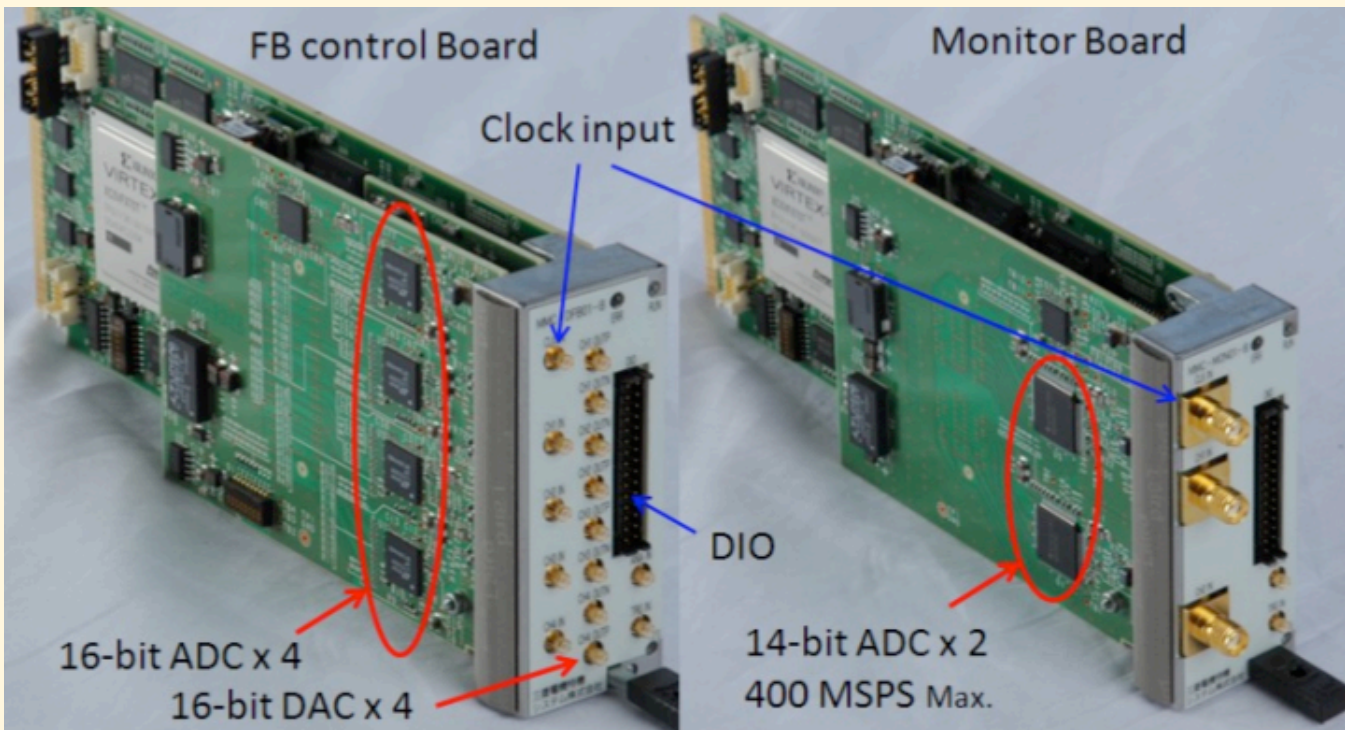
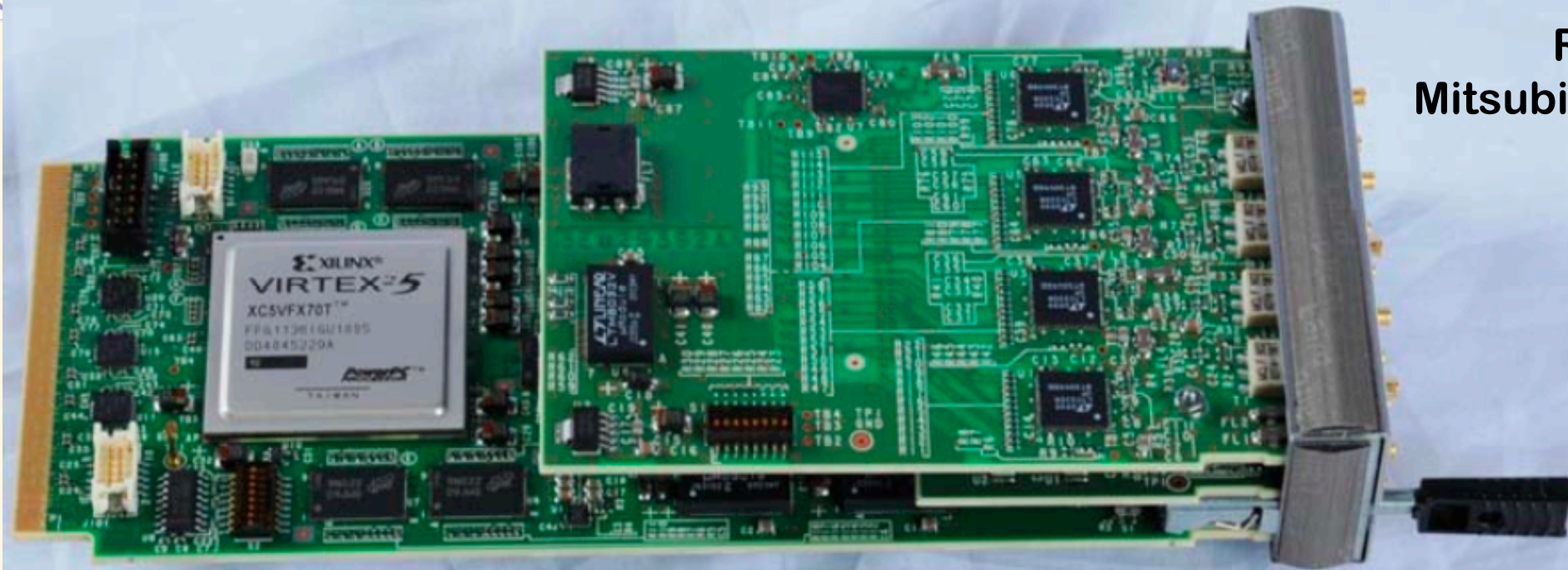


MicroTCA

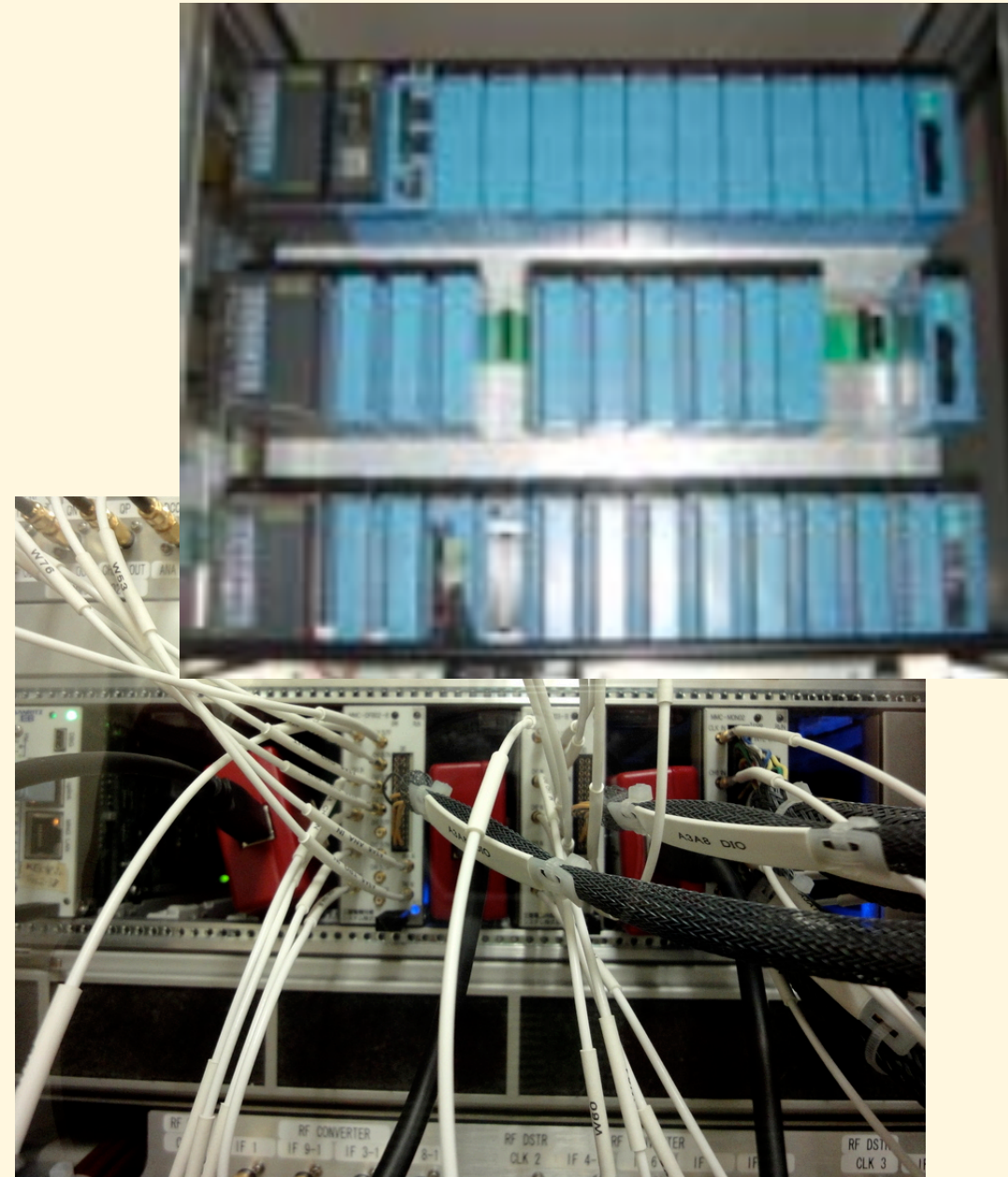
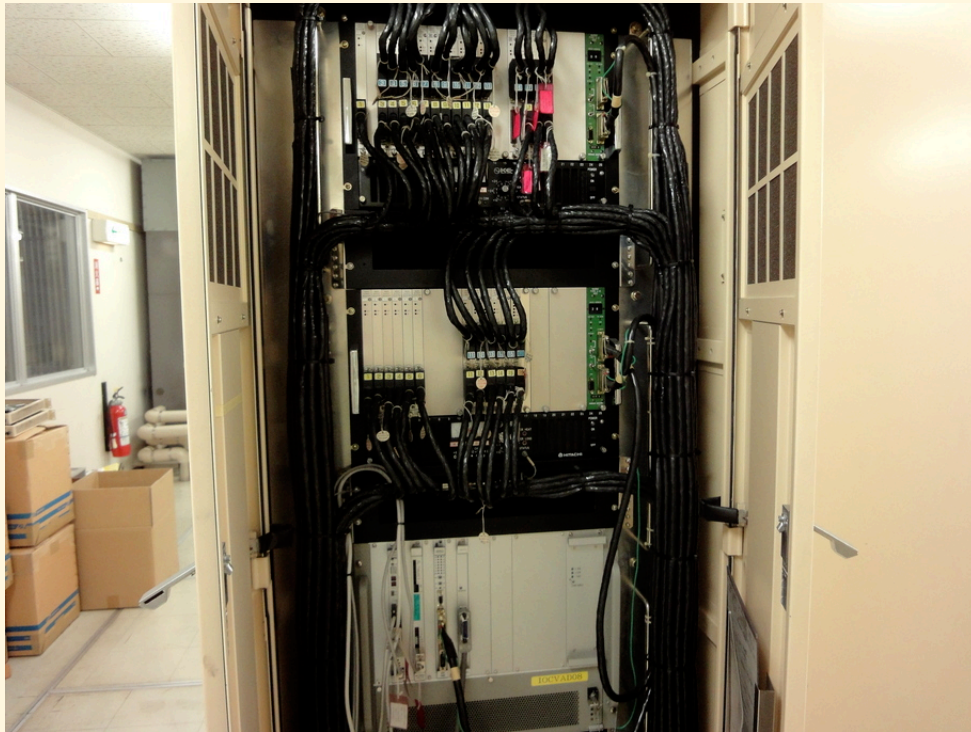
Picture by J.Odagiri



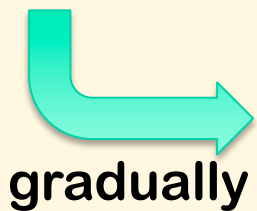
RF Group Mitsubishi Tokki



RF Controls



CAMAC and NIM modules



MicroTCA and PLC

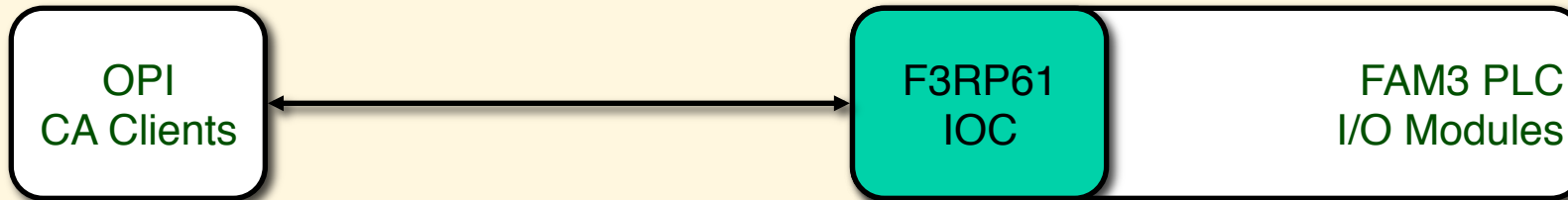
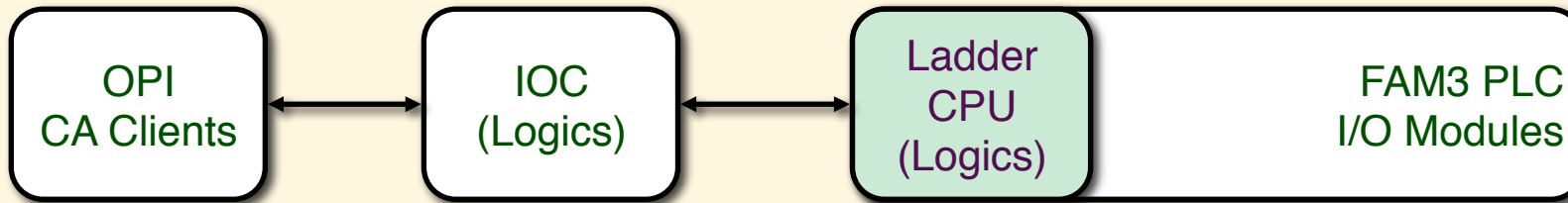
PLC に組み込み EPICS IOC

- ◆ 200 台近くの PLC が使用されている
 - ❖ ほとんど全て Ethernet/IP 接続
 - ✧ ソフトウェアが共通化され、保守が容易になっている
- ◆ Linux CPU が使えるようになり
 - ❖ 組み込み EPICS IOC も可能になった
 - ✧ 533MHz PPC, 128MB RAM, 2xEthernet, USB
 - ✧ Kernel 2.6 with realtime patch
 - ✧ Realtime 応答が 150 μ 秒以下 (EPICS を通した I/O)
- ◆ 全ての EPICS IOC 機能が使用でき、これまでのラダーシーケンス CPU も併用できる

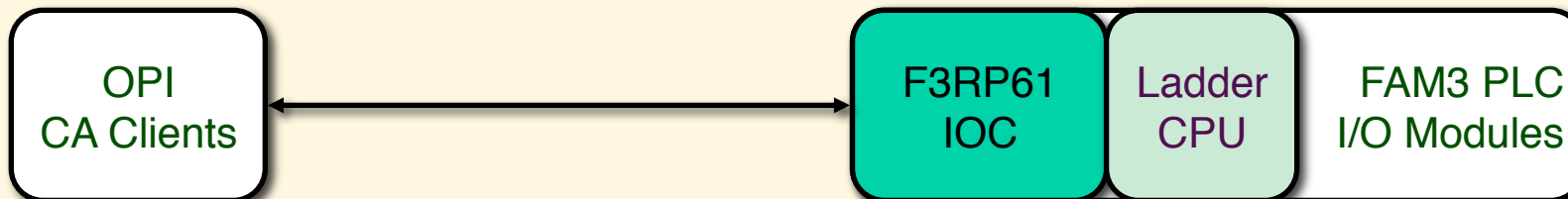
Simpler PLC Usage under EPICS

Conventional PLC usage

with asynchronous access



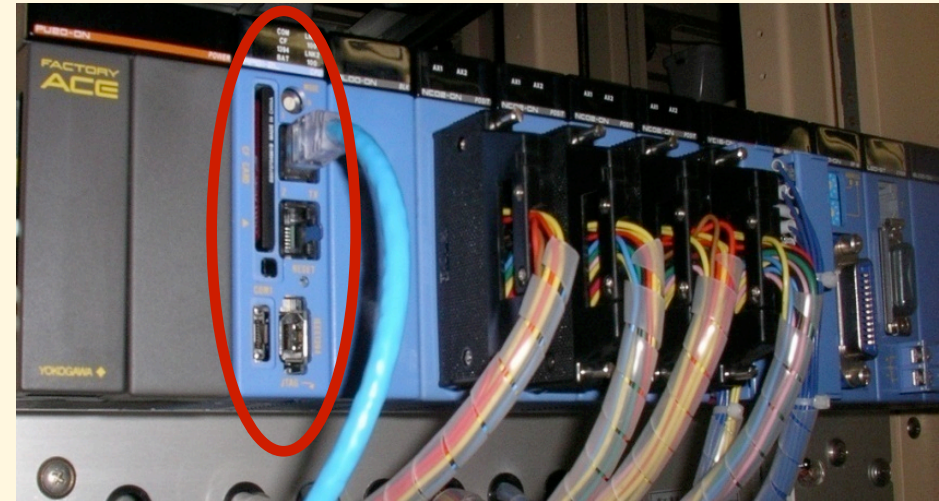
If necessary, we can combine



Logics are confined in PLC, and management is easier

◆ **Many medium-speed controllers implemented**

❖ **KEKB, Linac, J-PARC, PF, cERL, RIKEN, NSRRC, (Korea/PAL, Beijing/IHEP)**



◆ **Image processing module available**

◆ **Discussing on EVR module production with SINAP/Shanghai**

<<http://www-linac.kek.jp/cont/epics/f3rp61/>>

タイミングと高速広域同期制御

◆ 複数の RF を安定供給 (RF group)

✧ 114, 509, 571, 1298, 2856 MHz

◆ 独立の周長補正とバケット選択

✧ KEKB は 4×10^{-7} , PF, PF-AR は $4 \sim 20 \times 10^{-6}$

◆ SuperKEKB 入射タイミング 30ps 以下

✧ PF と PF-AR に対しては偶然の同期 (~ 300 ps)

◆ 4 リング同時入射

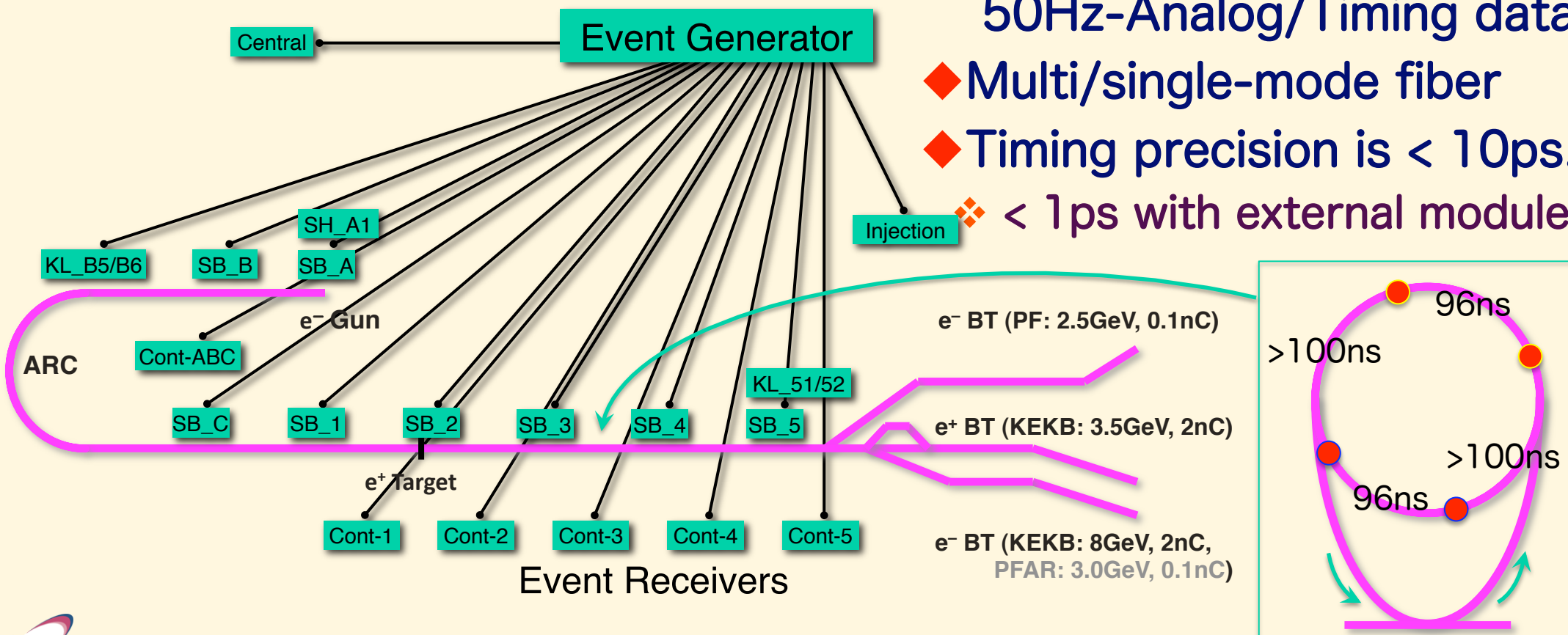
✧ 20ms 毎にエネルギーや電荷、同期切り換え

✧ ダンピングリング (≥ 20 ms) を通すのでパルス間の依存関係も大きい

◆ できればダンピングリングでの RF 位相制御

高速広域同期制御 (パルス毎制御)

- ◆ MRF's series-230 Event Generator / Receivers
- ◆ VME64x and VxWorks v5.5.1
- ◆ EPICS R3.14.9 with DevSup v2.4.1
- ◆ 17 event receivers up to now
- ◆ 114.24MHz event rate, 50Hz fiducials
- ◆ More than **hundred** 50Hz-Analog/Timing data
- ◆ Multi/single-mode fiber
- ◆ Timing precision is $< 10\text{ps}$.
 ◆ $< 1\text{ps}$ with external module.



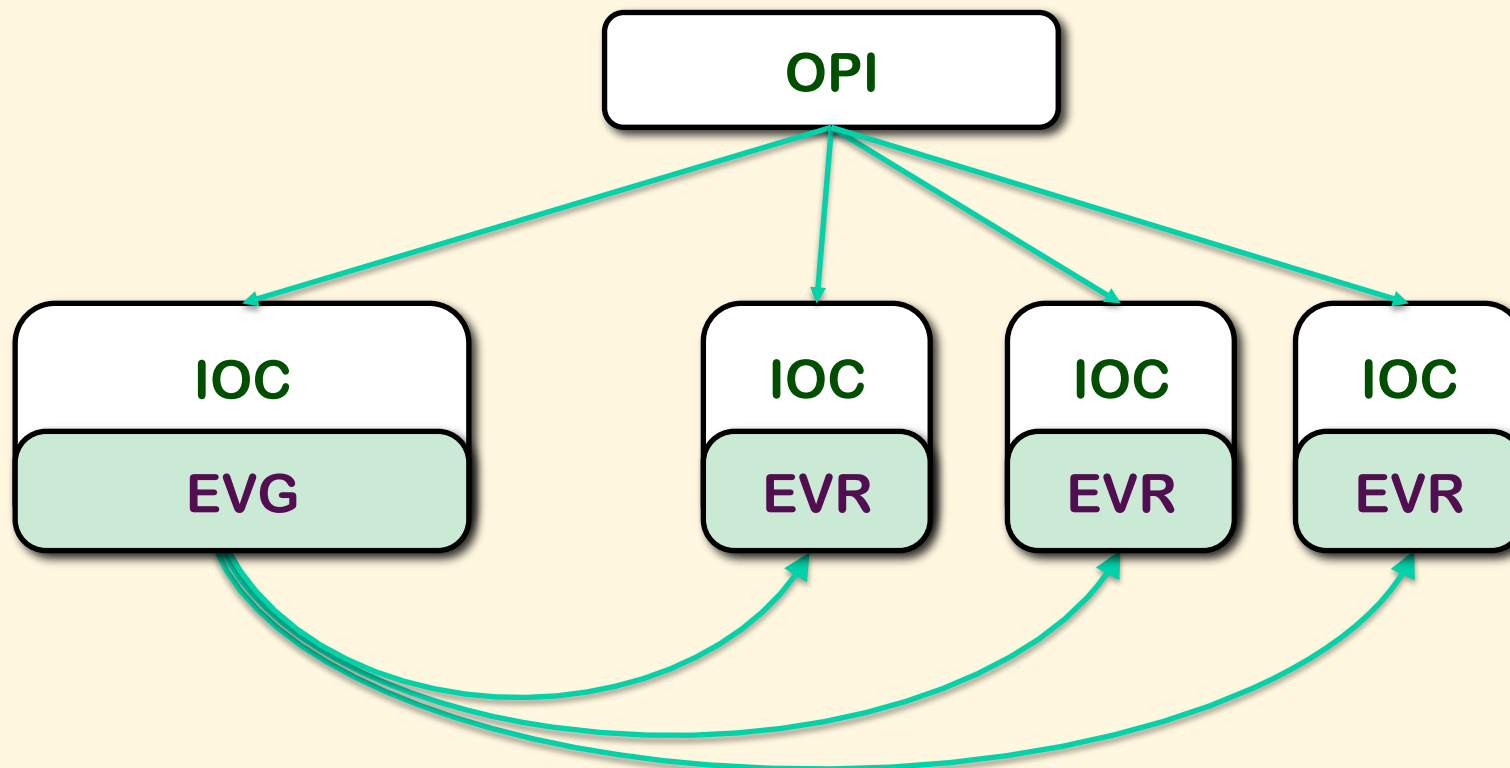
二階層の制御

◆これまでの CA 経由の IOC 間制御

- ✧ 1ミリ秒以上の制御、順序は保証、タイミングは保証無し

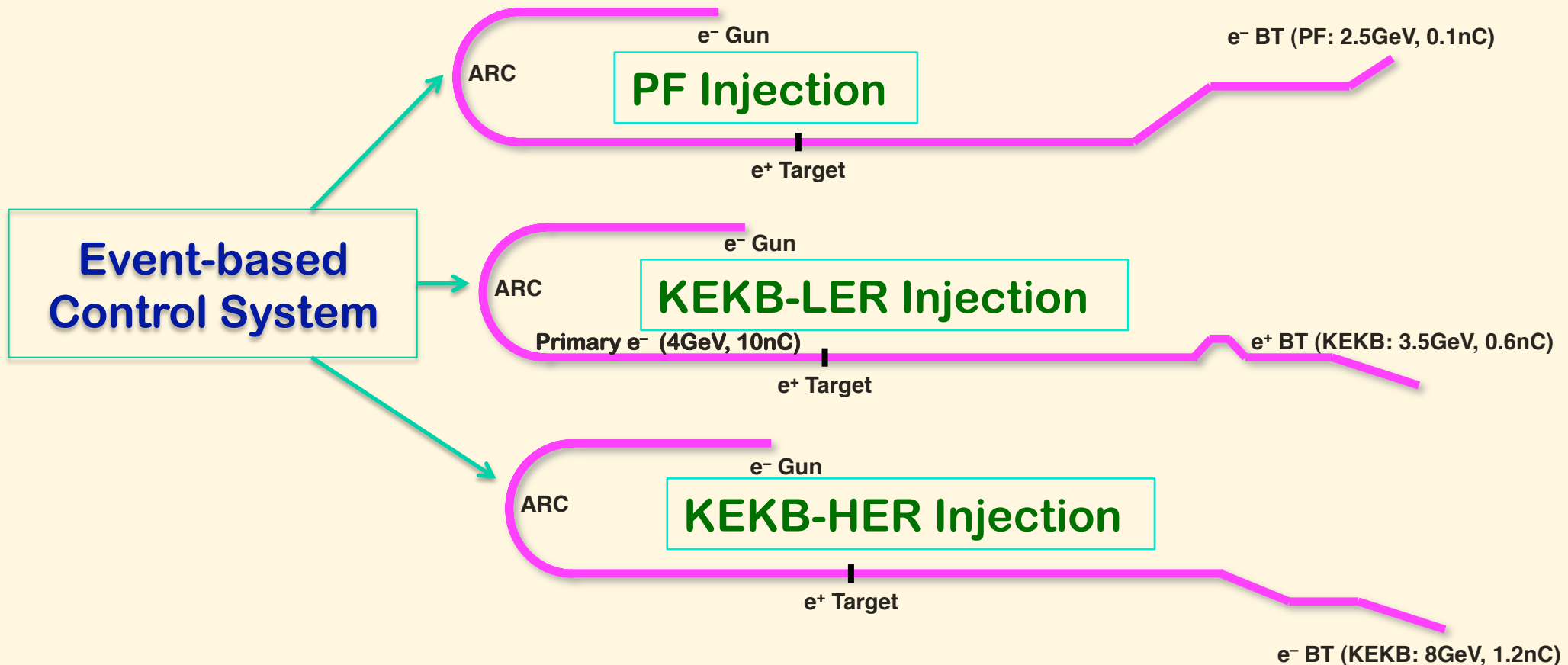
◆高速同期の SFP/Fiber 経由の FPGA 間制御

- ✧ 10ピコ秒から1秒程度の 114MHz 同期制御



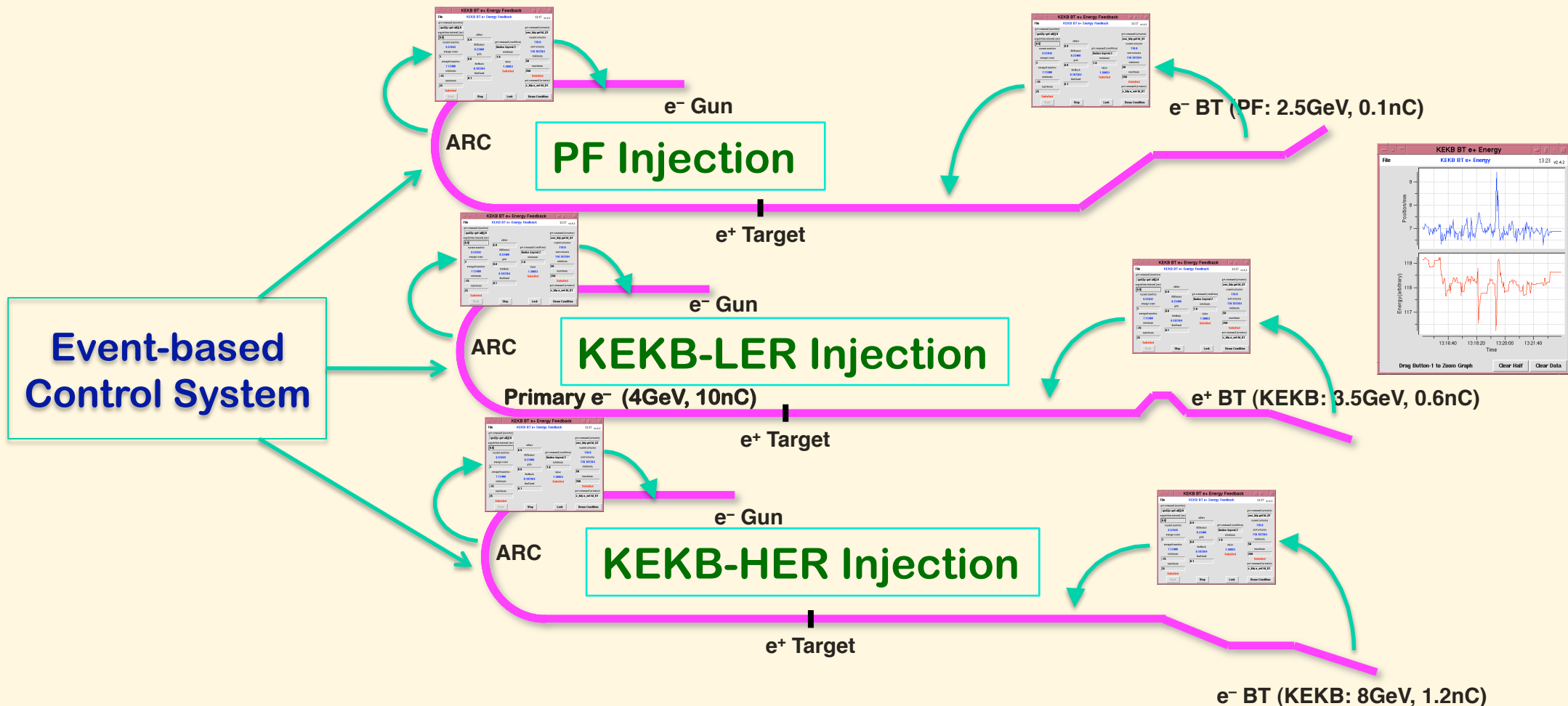
ひとつの加速器が複数の仮想加速器に見える

- ◆ 制御は測定は入射モード依存で行われ、モード間の依存関係は小さい
- ◆ 入射モード毎に独立の制御パラメタセットを使い、複数の仮想加速器のうちのひとつを制御する
 - ❖ SuperKEKB では HER (e⁻), LER (e⁺), PF, PF-AR と測定用の Linac 内モードいくつか



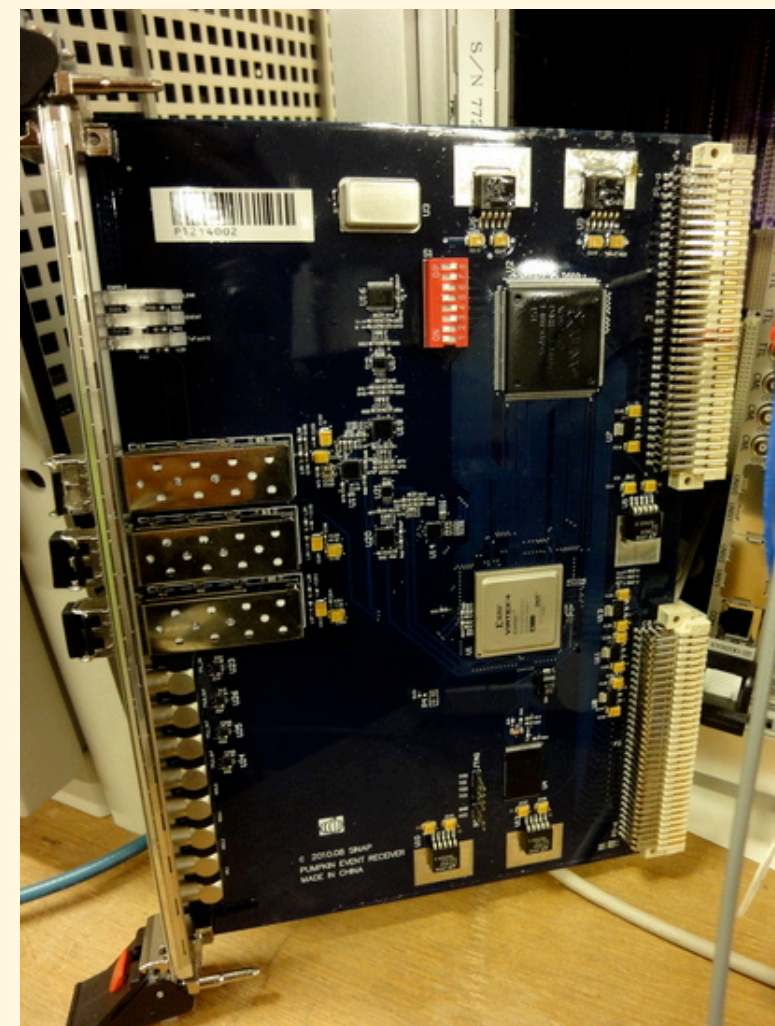
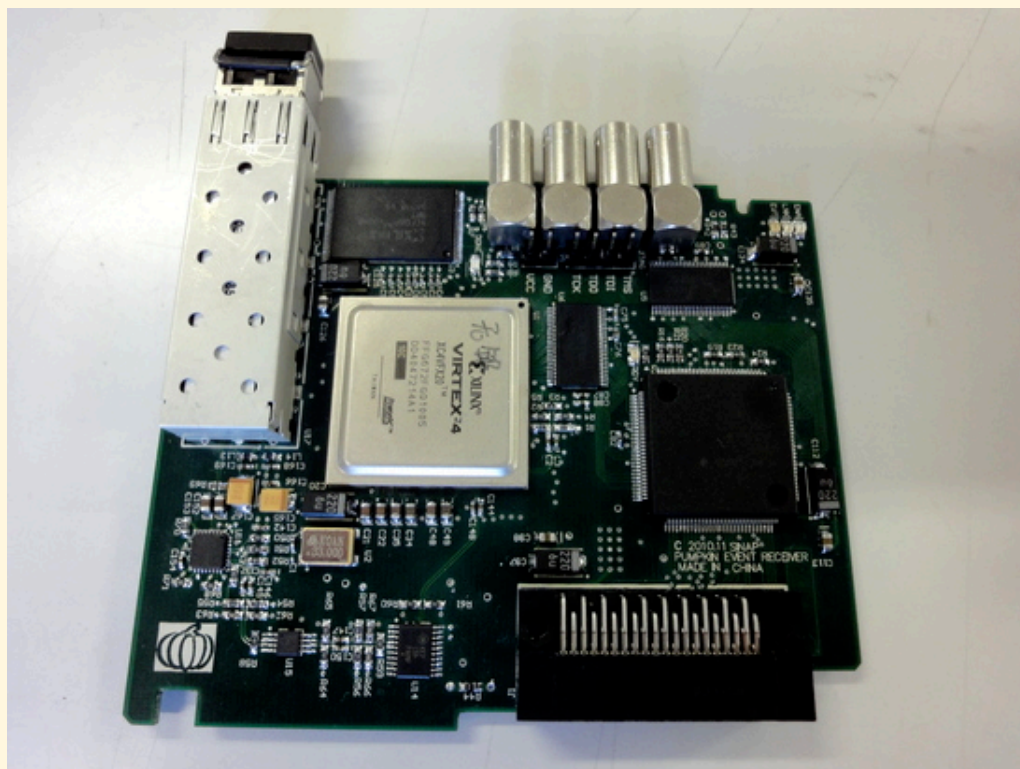
多重の独立閉ループ制御

- ◆ おそいフィードバックループはひとつの仮想加速器だけに働く
 - ❖ KEKB での試験例



SSRF における PLC 向け Event Receiver 開発

- ◆ 横河 PLC (F3RP61 Linux CPU) 向け
- ◆ 昨年プロトタイプ製作
- ◆ 実用版が年内
- ◆ 同期制御の追加が Cost 1/3 以下



SuperKEKB での Linac ビーム運転

◆ ビームモニタの性能向上

- ❖ 位置モニタ、ワイヤスキャナ、デフレクタ、等の測定系
- ❖ 精度と同期測定などのさらなる機能向上

◆ 4 リング同時入射

- ❖ 運転中のビーム性能向上はまだ検討中

◆ イベント制御を最大限活用

- ❖ 4 リング入射間で独立のビーム測定
- ❖ 入射しないビームのデフレクタによる Stealth 測定
- ❖ 普通の閉ループ PID の他にできれば Dithering
 - ✧ ビームモニタの精度向上が必要

SuperKEKB に向けて

- ◆ 個々の装置の制御機器更新と機能向上
 - ❖ 各グループとの個別ミーティング、老朽化対策
- ◆ 基本制御ソフトウェアの更新
 - ❖ 特に EPICS 国際協力による成果共有
- ◆ 基本運転ソフトウェアの更新
 - ❖ アーカイバ、アーカイブビューワ、アラーム、運転ログ
- ◆ 居室への情報提供
 - ❖ さらに Web 経由の情報を増やす
- ◆ セミナ・トレーニング
- ◆ ネットワーク高速化、無線 LAN、コンソール

まとめ

- ◆ 制御は全ての加速器要素と関わりを持ち、重要であると共に、加速器を楽しめる有利な位置付け
- ◆ “CA Everywhere” や “多重階層制御” を増強
- ◆ フロネシス (実践的智恵, 普遍的真実を理解する能力) を持ってすれば必ずや性能向上が図られるはず



Thank you

