

Double Chooz実験における データ収集システム

今野智之

東京工業大学

久世研究室 D2

2012/1/28@大阪大学

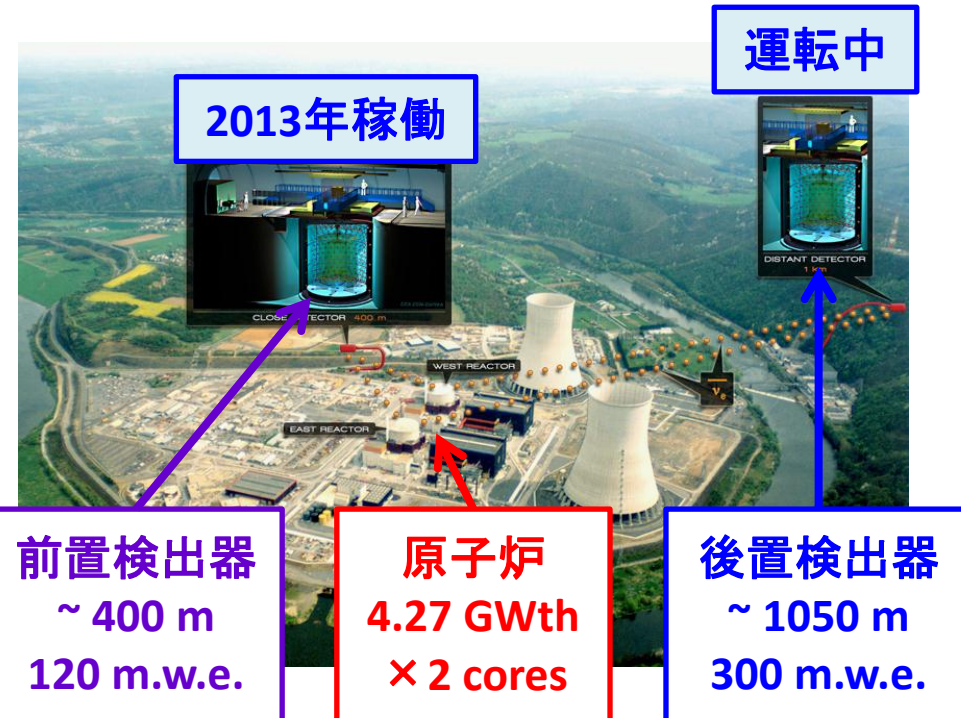
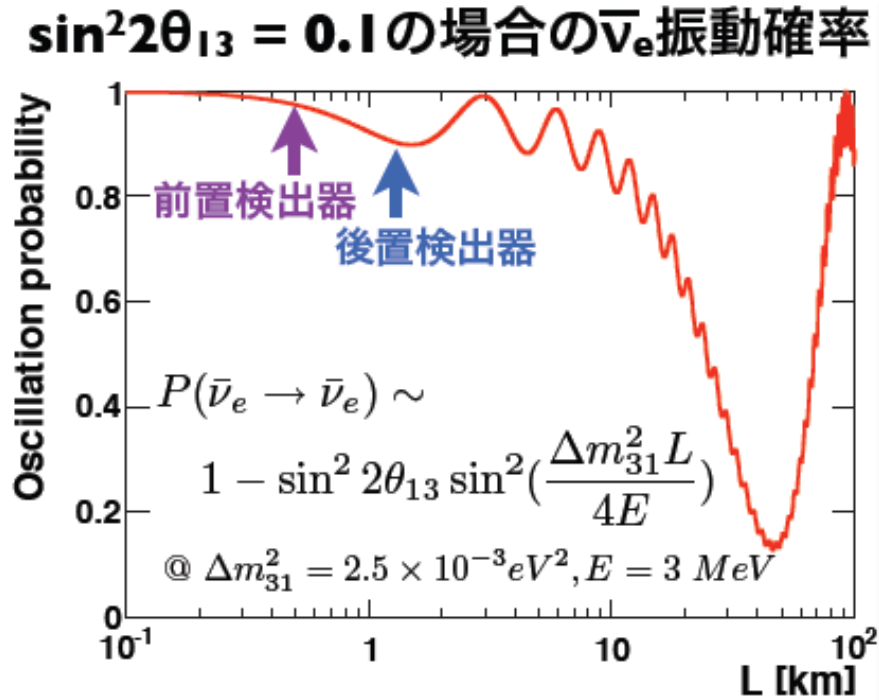


contents

- Double Chooz実験
- Readout system
- Event processing & data transfer
- Online control & monitor system
- まとめ

Double Chooz実験

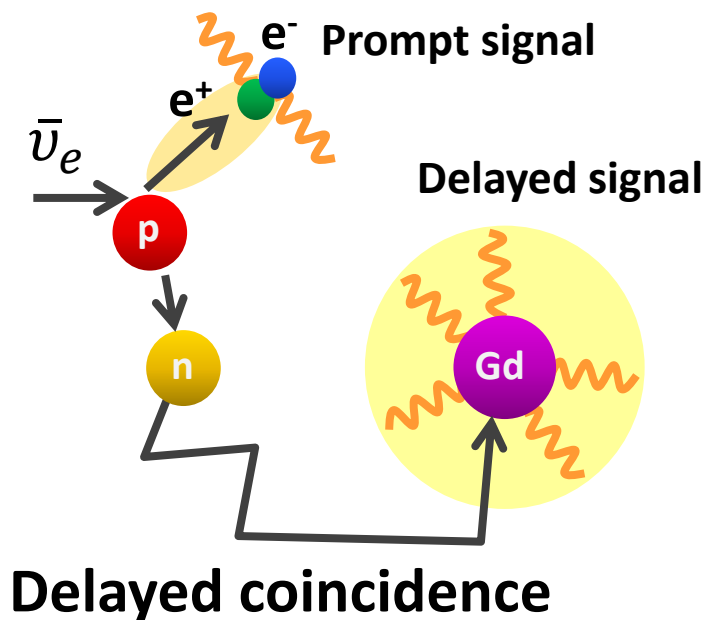
Double Chooz 実験による θ_{13} 測定



- 原子炉からの反電子ニュートリノの欠損量から θ_{13} を直接測定
- フランス・Chooz原子力発電所施設内に検出器を設置
- 後置検出器が完成し、2011年4月から運転開始

ニュートリノ検出原理

逆ベータ崩壊反応: $\bar{\nu}_e + p \rightarrow e^+ + n$



- Neutrino signal
~ 65 events/day (後置検出器)

Prompt signal :

- 陽電子 + e^+e^- 対消滅
- $E_v = E_{\text{vis}} + 0.8$ [MeV]

Delayed signal:

- Gd 中性子捕獲(8 [MeV])

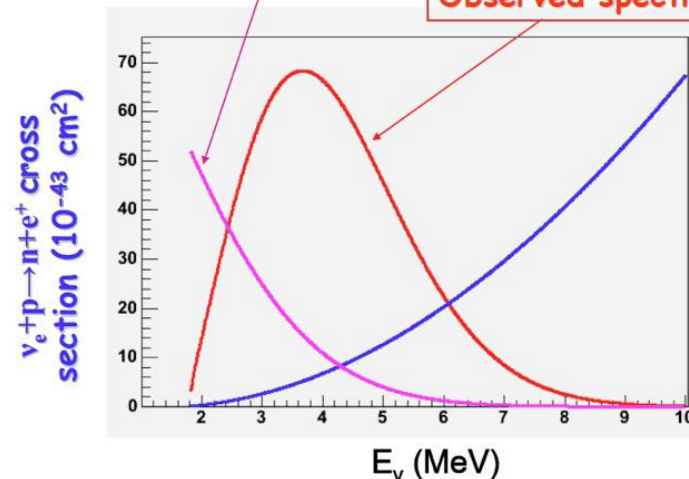
Timing correlation:

- $\tau = 30 \mu s$

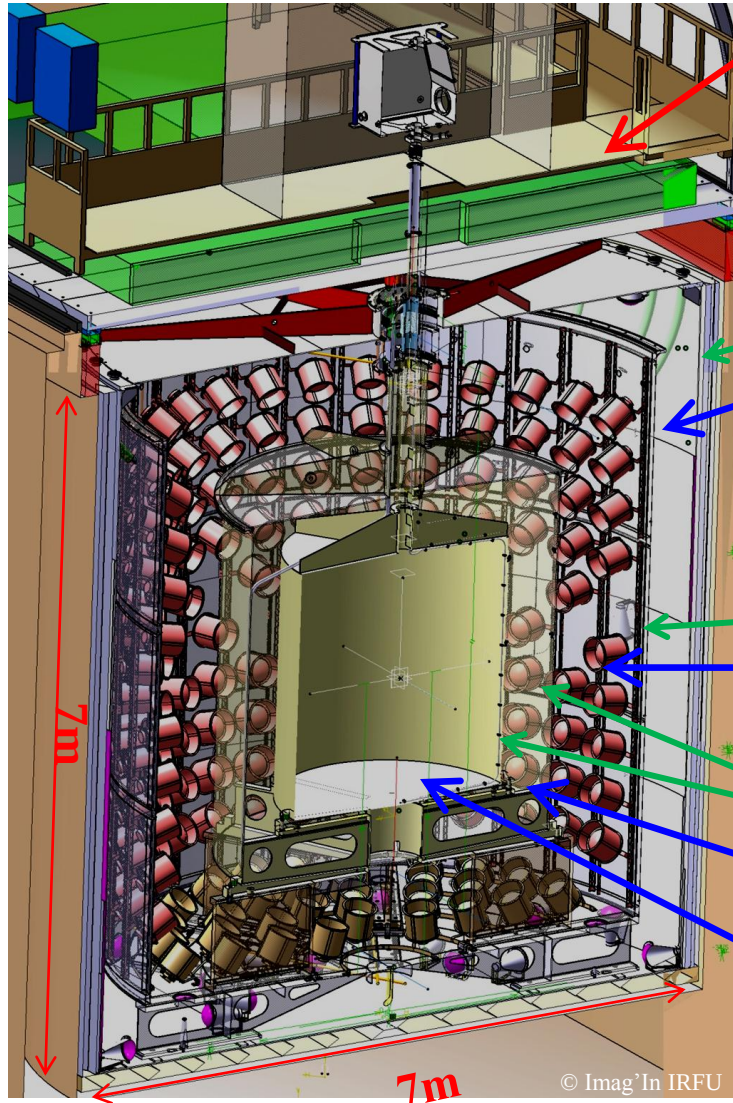
➡ Backgroundを大幅に抑制

Reactor $\bar{\nu}_e$ spectrum (a.u.)

Observed spectrum (a.u.)



Double Chooz 検出器



Outer Veto detector

- plastic scintillator strip
- Far 44 /Near 68 モジュール ×
64ch MAPMTs = 2816 (4352) チャンネル
- 宇宙線ミュオンの同定

Neutrino detector

Steel vessel

Inner Veto (90m³液体シンチレータ)

- 78 PMTs (8 inch, 浜松ホトニクス R1408)
- バックグラウンドの検出および遮蔽

Inner detector

Stainless steel vessel

Buffer (110m³ ミネラルオイル)

- 390 PMTs (10 inch, 浜松ホトニクス R7081MOD)
- バックグラウンドの低減

Acrylic vessels

γ-catcher (22.3m³液体シンチレータ)

- target層から漏れるγ線の測定

v-target (10.3m³ Gd入液体シンチレータ)

- ニュートリノ信号を観測

Double Chooz collaboration



Brazil

CBPF
UNICAMP
UFABC



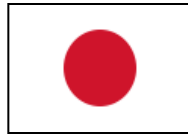
France

APC
CEA/DSM/IRFU:
SPP
SPhN
SEDI
SIS
SENAC
CNRS/IN2P3:
Subatech
IPHC
ULB/VUB



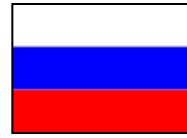
Germany

EKU Tübingen
MPIK Heidelberg
RWTH Aachen
TU München
U. Hamburg



Japan

Tohoku U.
Tokyo Inst. Tech.
Tokyo Metro. U.
Niigata U.
Kobe U.
Tohoku Gakuin U.
Hiroshima Inst
Tech.



Russia

INR RAS
IPC RAS
RRC Kurchatov



Spain

CIEMAT-Madrid



UK

Sussex



USA

U. Alabama
ANL
U. Chicago
Columbia U.
UCDavis
Drexel U.
IIT
KSU
LLNL
MIT
U. Notre Dame
Sandia National
Laboratories
U. Tennessee

Spokesperson: H. de Kerret (IN2P3)
Project Manager: Ch. Veyssi re (CEA-Saclay)

Web Site: www.doublechooz.org/



Double Chooz collaboration meeting @ Kobe Univ.

Double Chooz collaboration



Brazil

CBPF
UNICAMP
UFABC



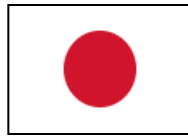
France

APC
CEA/D
SPP
SPhN
SEDI
SIS
SENA
CNRS
Suba
IPHC
ULB/V

Spokesperson
Project Manager



Germany



Japan



Russia



Spain



UK

Sussex



USA

U. Alabama
ANL
U. Chicago
Columbia U.
UCDavis
Drexel U.
IIT
KSU
LLNL
MIT
U. Notre Dame
Sandia National
Laboratories
U. Tennessee

日本グループの主な貢献

- 光電子増倍管(PMT)の開発・設置
- PMT用高電圧電源の運用
- Light injectionシステムの運用
- オンラインシステムの開発・運用
- Offline toolの開発
- 物理解析



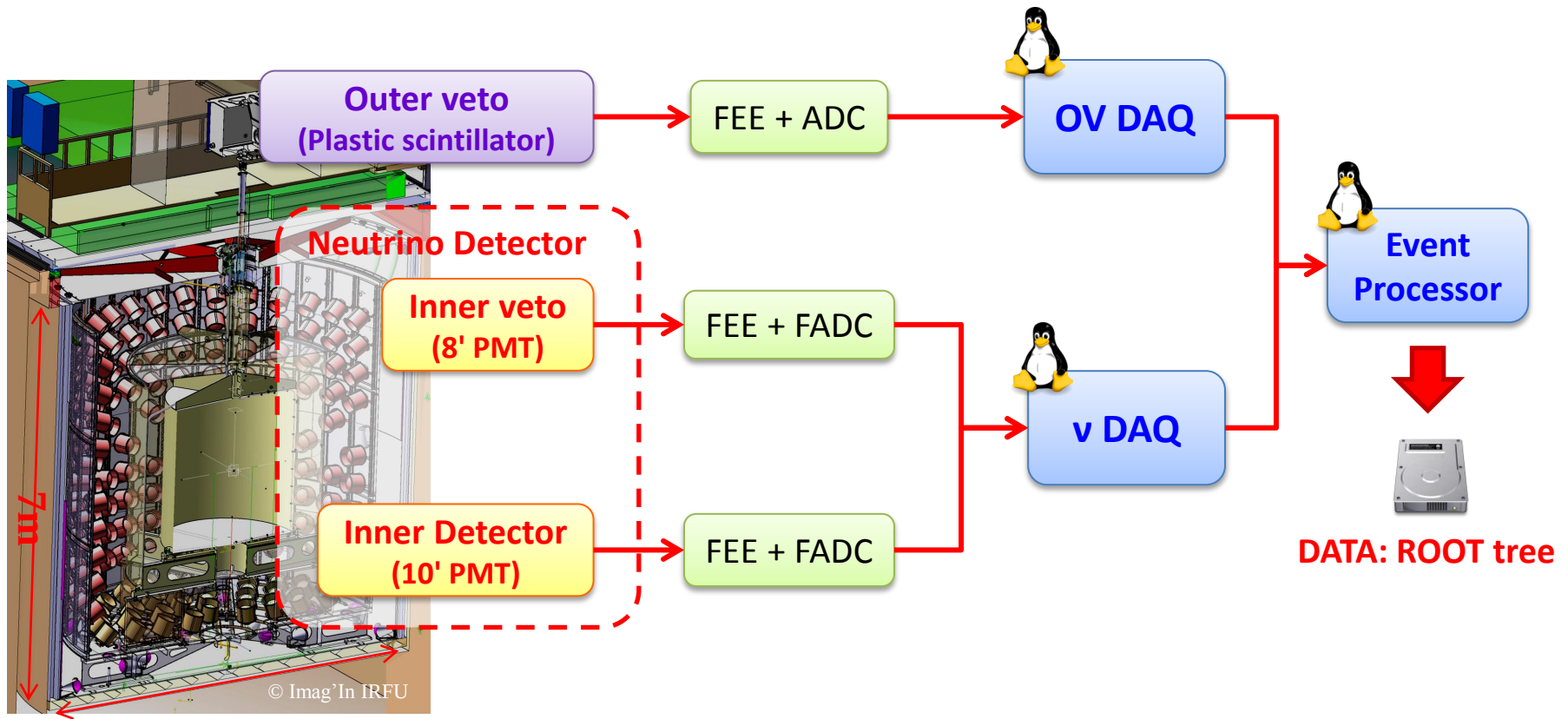
Double Chooz collaboration meeting @ Kobe Univ.

Readout system

システム要求

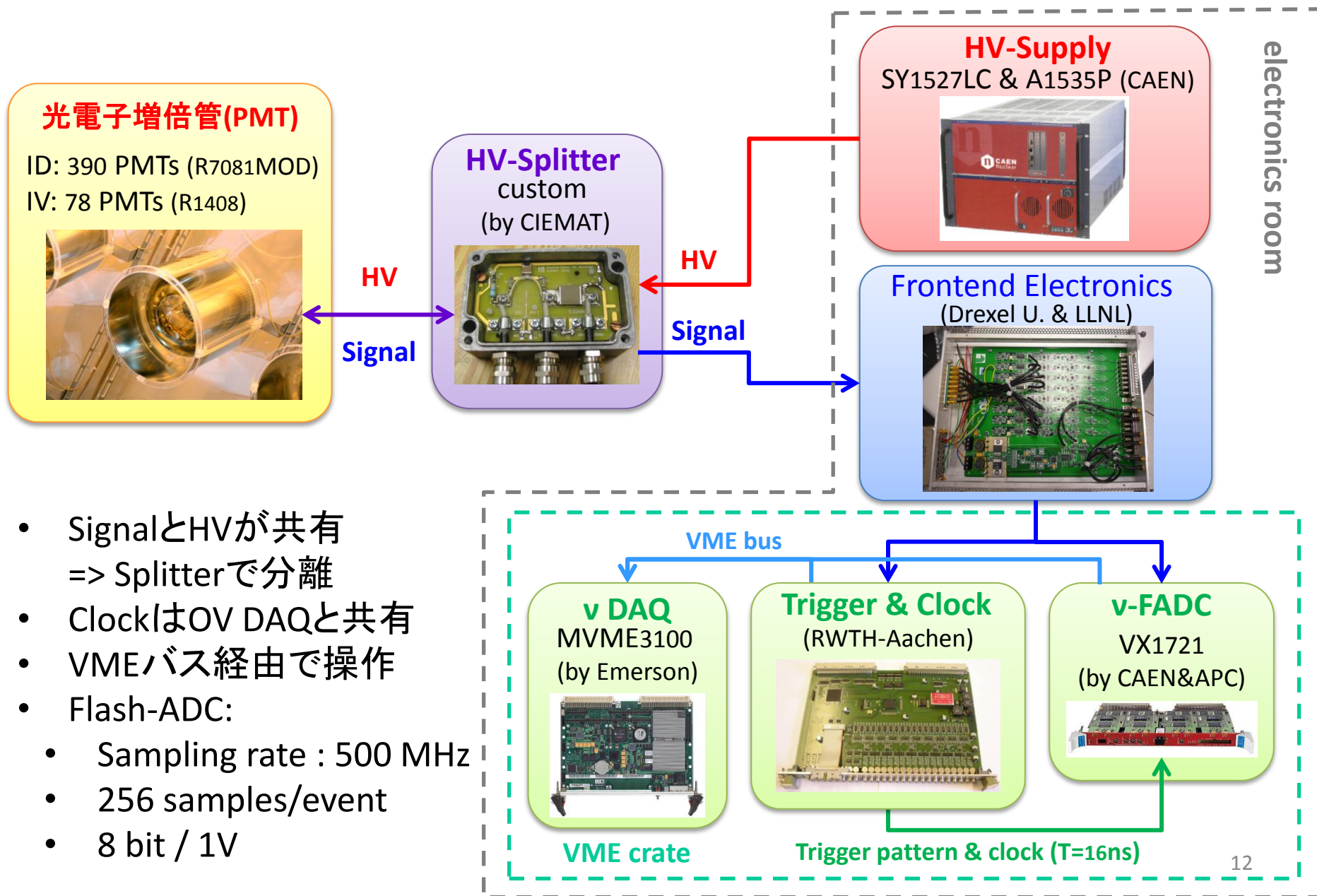
- Trigger rate : 後置検出器 ~ 150 Hz / 前置検出器 ~ 300 Hz
 - Flash-ADCによるPMT波形情報の保存
 - データサイズ ~ 1 MB/event
- Deadtime フリーな測定
 - データ取得自体はsingle triggerで動作
 - delayed coincidenceはofflineで実行
- 実験サイト外からシステムを制御・監視
 - 実験サイトへのアクセスに制限
 - 長期滞在する設備が少ない
 - ➡ ネットワーク越しに操作・監視可能なシステムを構築
 - ➡ フランス外(日本やアメリカ)からもシフト可能

データ収集システムの構成

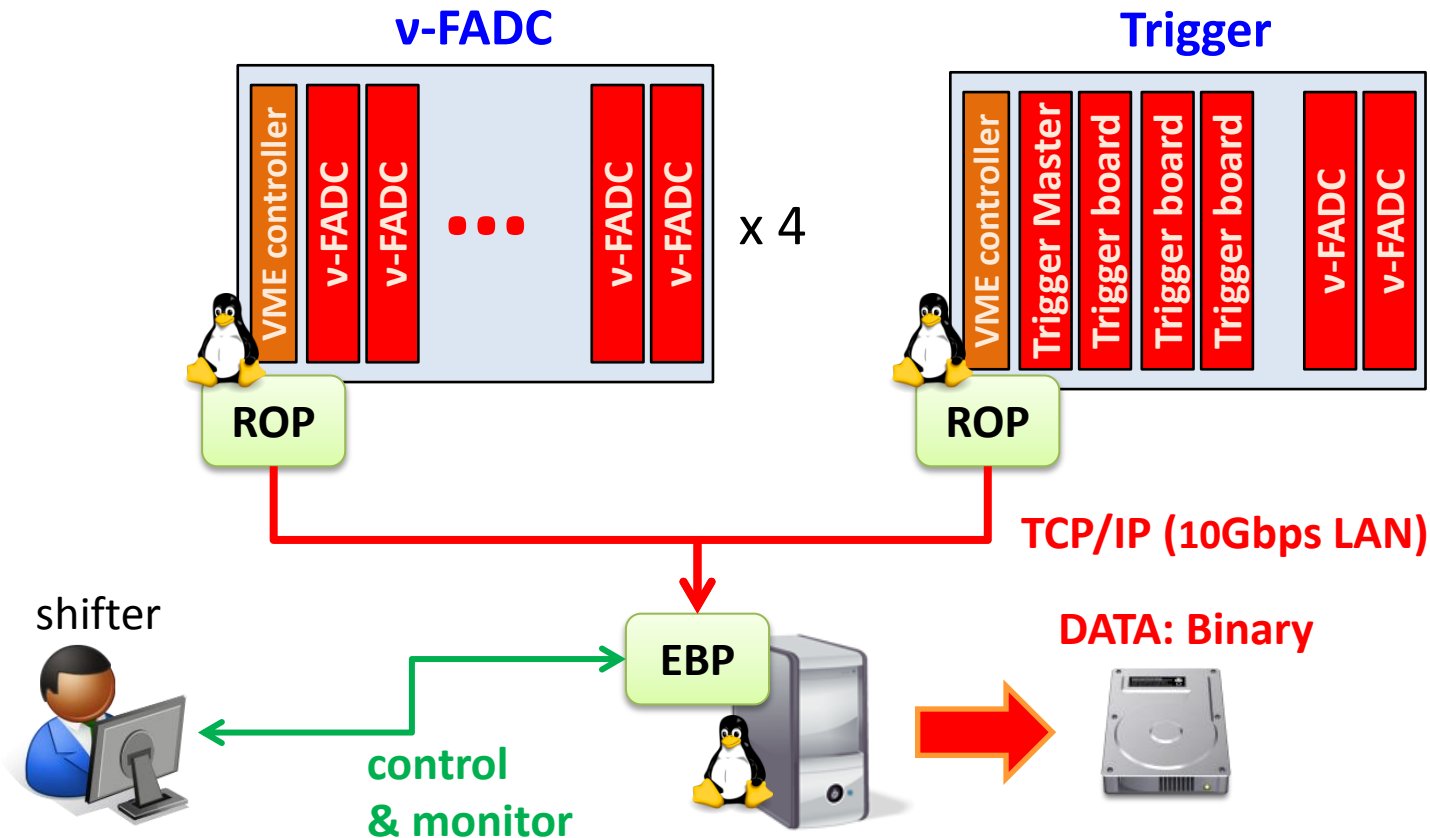


- 2つの独立したDAQシステム
 - Neutrino Detector => Neutrino DAQ (vDAQ)
 - Outer veto Detector => Outer veto DAQ (OVDAQ)
- データはEvent processorで統合

Readout system for Neutrino detector



Neutrino DAQ (vDAQ)



ROP = Read-Out Processor

- VMEモジュールを制御、データを取得・転送

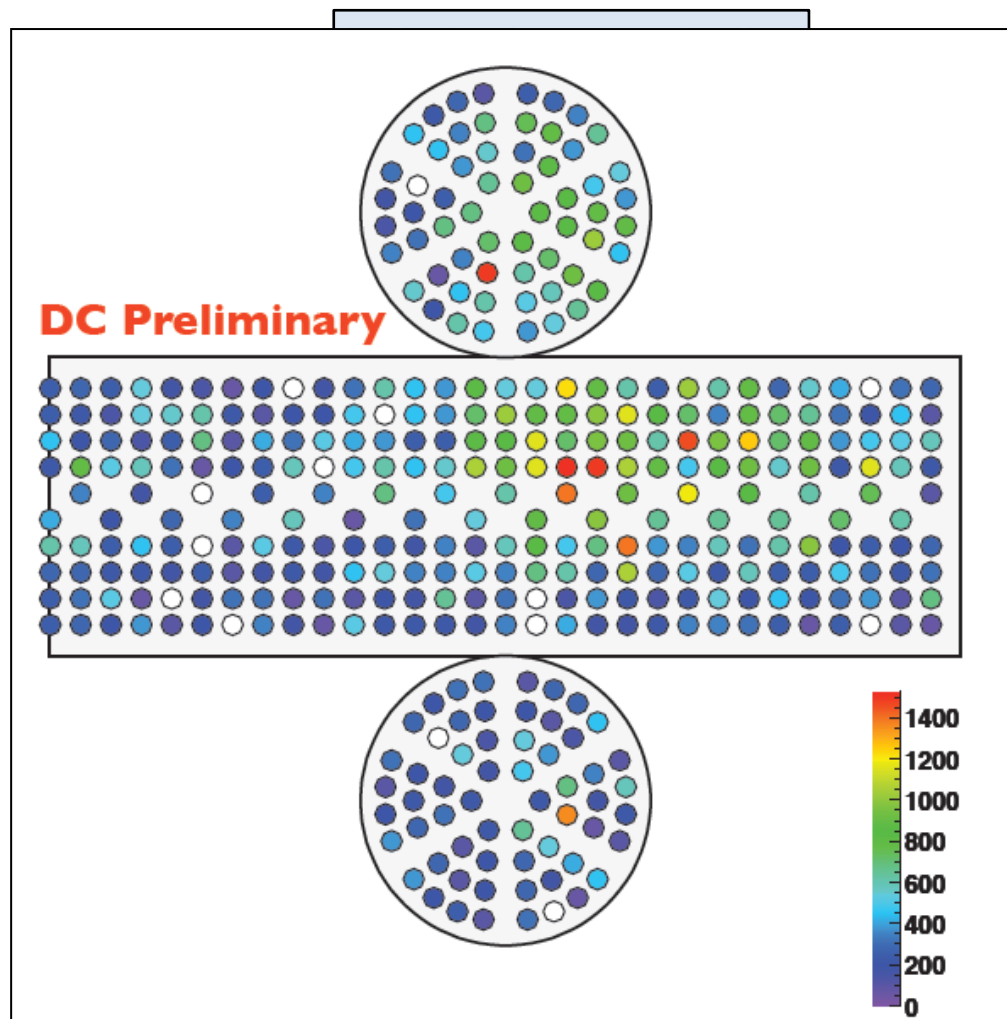
EBP = Event Builder Processor

- vDAQシステム全体を管理
- データを収集、バイナリファイルに保存

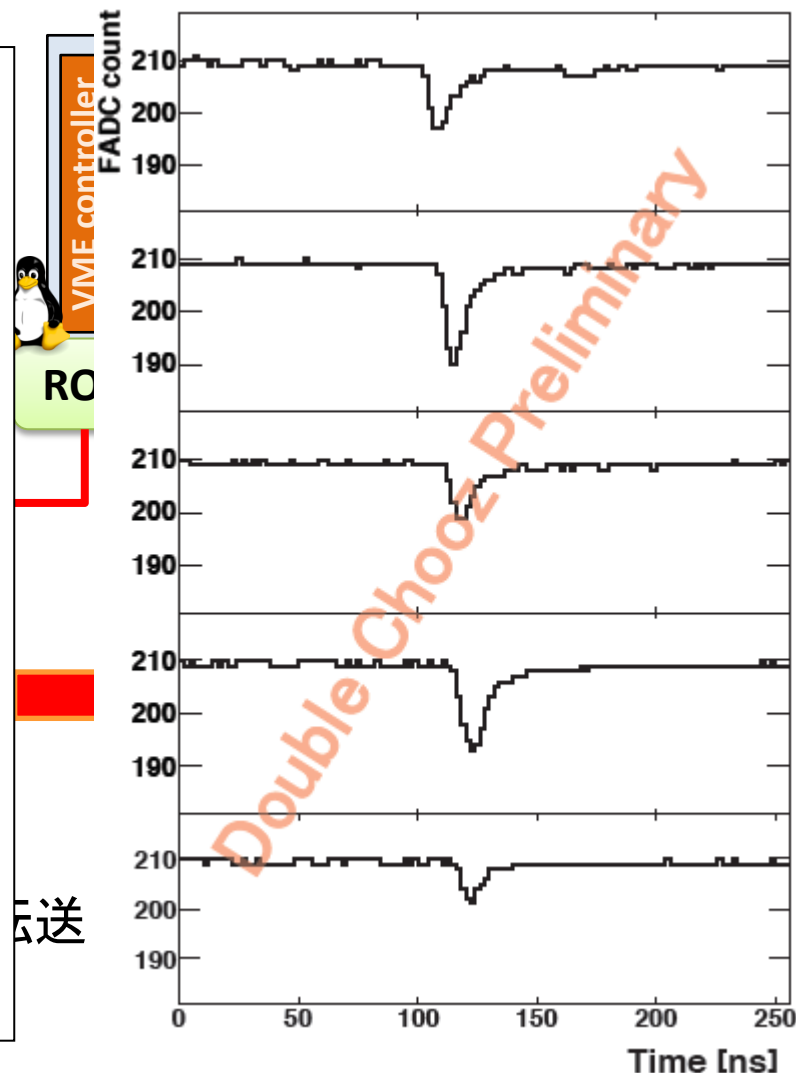
- OS : Debian/GNU Linux
- 開発言語 : Ada
を採用

Neutrino DAQ (vDAQ)

v-FADC



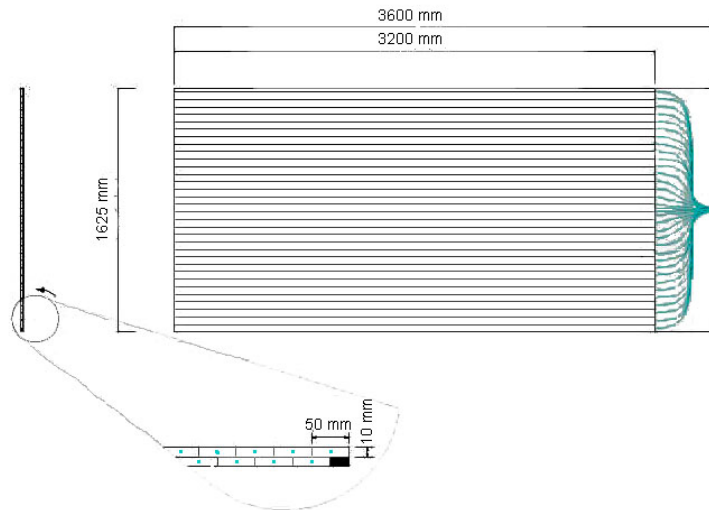
Trigger



- vDAQシステム全体を管理
- データを収集、バイナリファイルに保存

Readout for Outer veto detector

プラスチックシンチレータストリップ
(プラスチックシンチレータ+光ファイバ)



64ch-MAPMT
H8804
(浜松ホトニクス)



HV supply
SY527 & A734N
(CAEN)



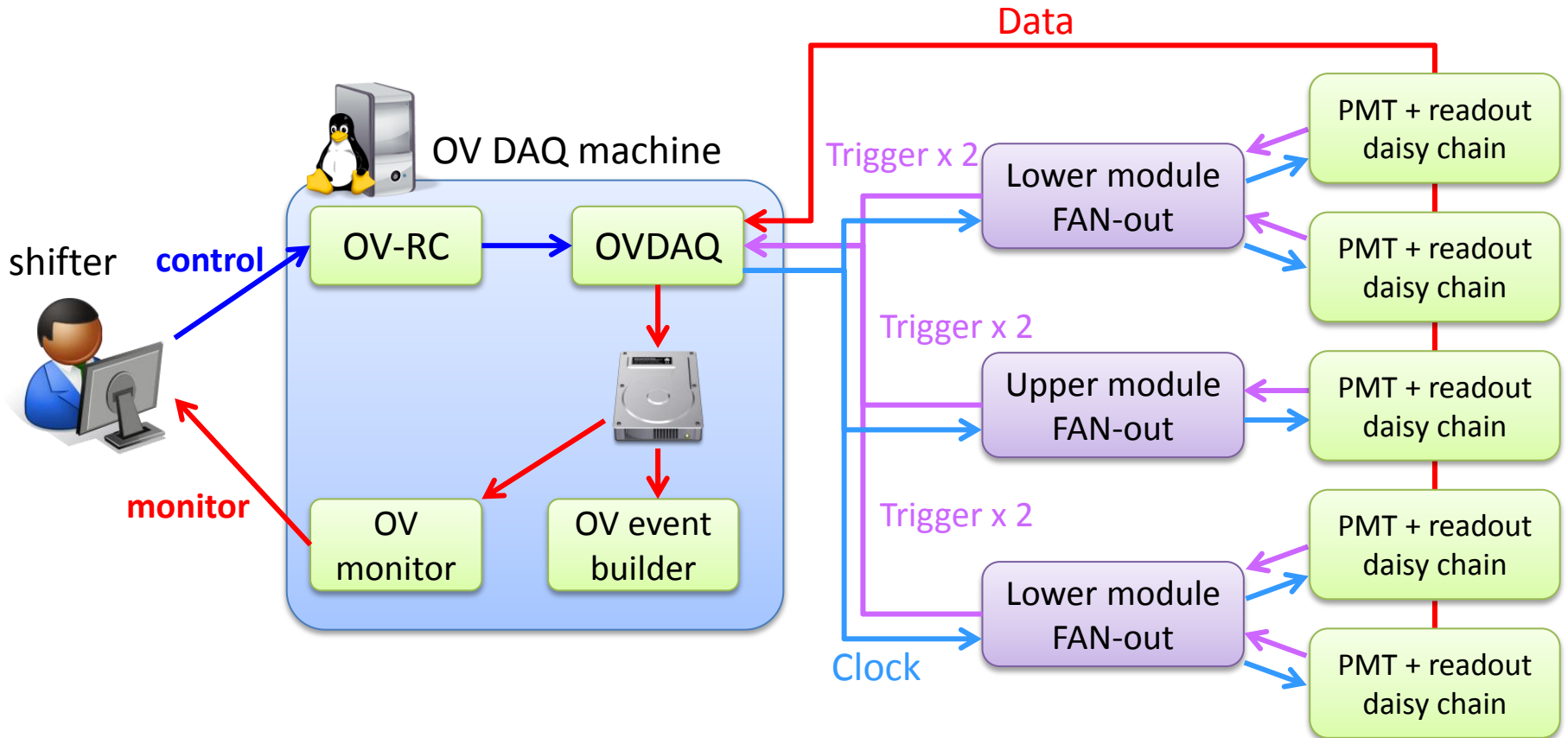
Readout回路
(Maroc2)

CAT-6
LANケーブル

OV DAQ

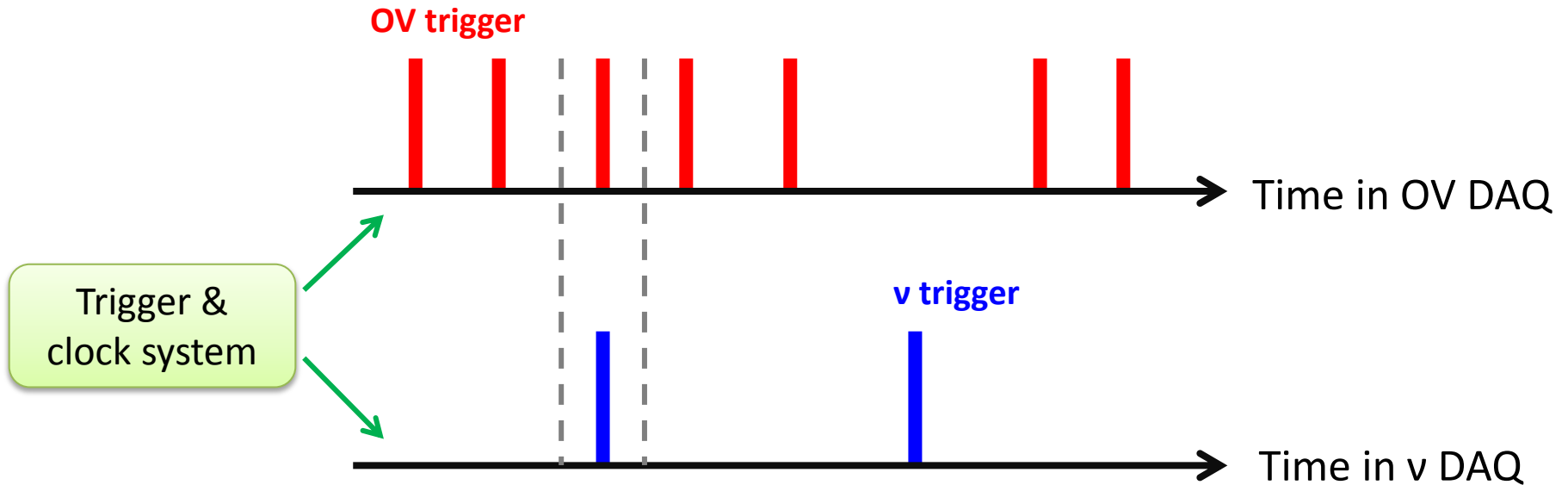
- Readout回路でPMT波形のchargeとtimingをデジタル化
- PMTチャンネルのdaisy chainを形成して読み出し

Outer veto DAQ (OV DAQ)



- PMT module daisy chain + FAN out daisy chain => CAT-6 ケーブルで読み出し
- OV DAQでデータを統合、バイナリファイルに保存
- OV DAQ全体はRun Controlから操作
- 開発言語はC++

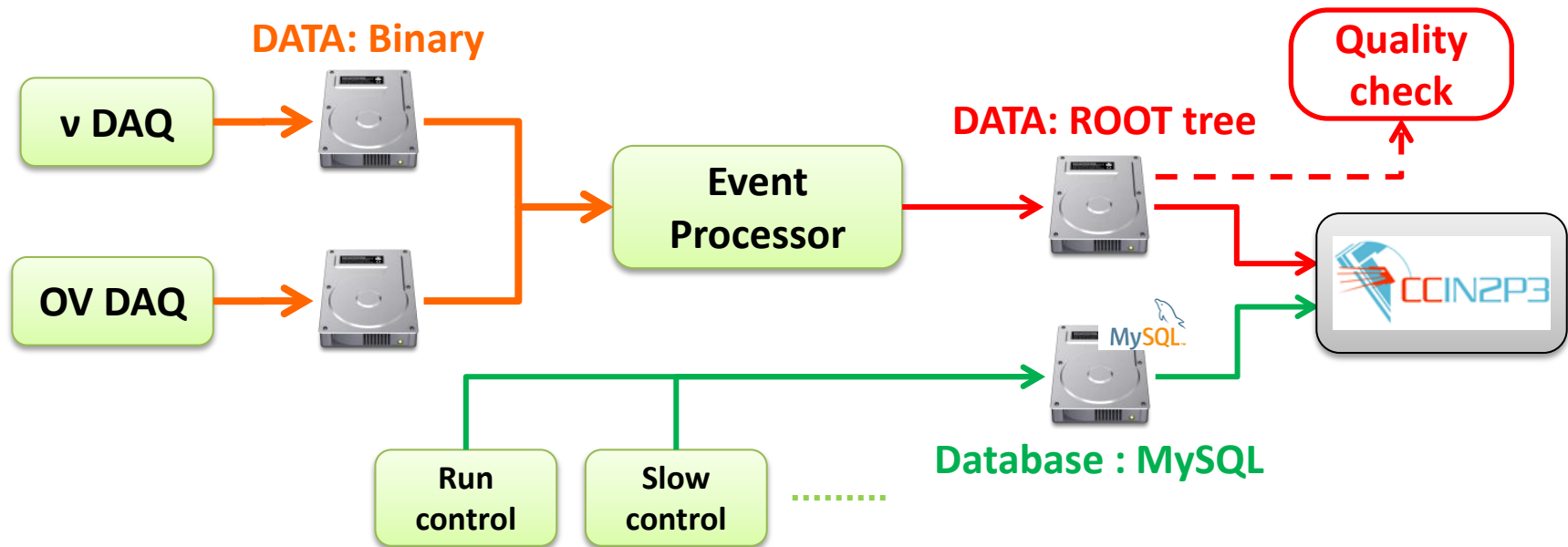
Event synchronization (v DAQ $\leftrightarrow$ OV DAQ)



- Time stampを共有
- 1 clock = 16 ns
- Trigger systemのclockを使ってDAQ同士を同期
- v triggerから $\pm 10\text{ns}$ にOV triggerがある場合、v DAQのtrigger情報にOV hitを記録

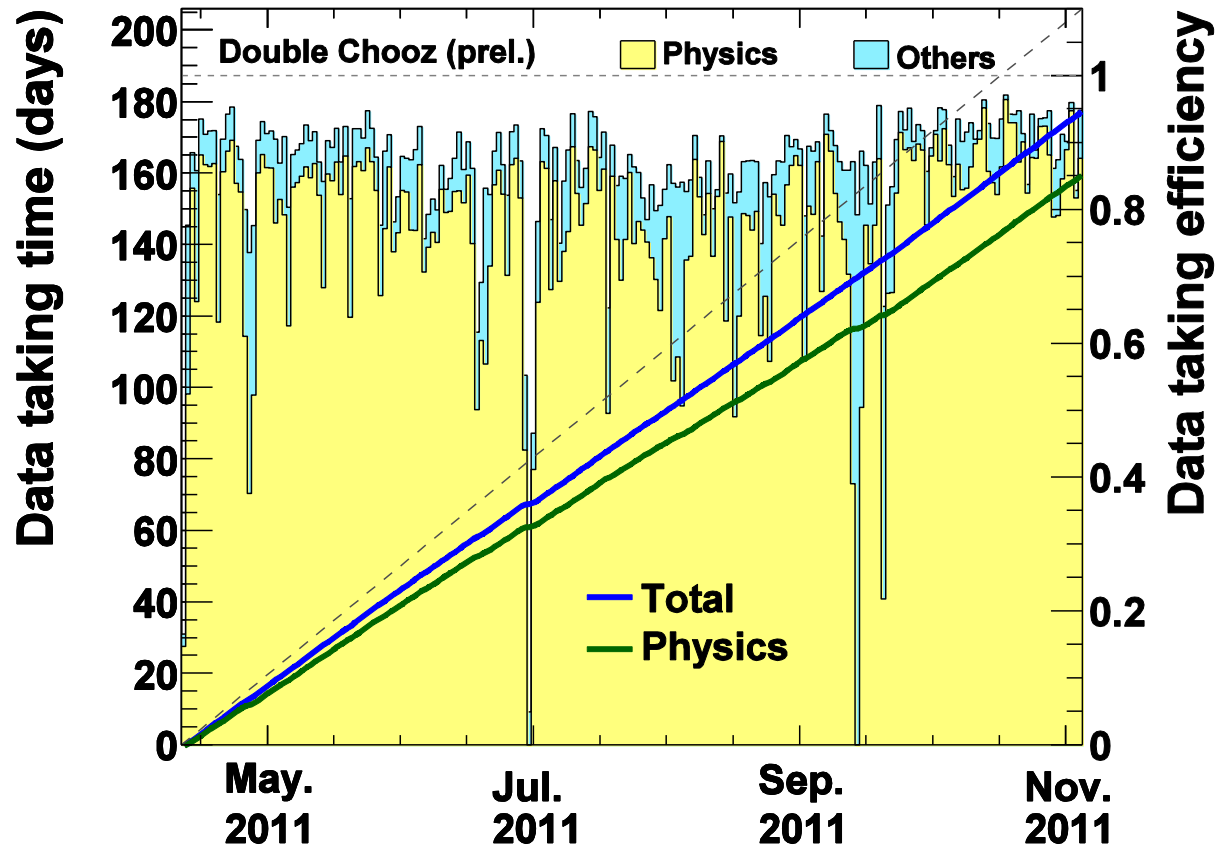
Event processing & data transfer

Event processing & data transfer



- Event processorでデータを統合、ROOT形式に変換
 - 波形レベルのデータクオリティチェック
- その他のランに関わる情報(run informationなど)はMySQLに保存
- iRODSを使ってCC/IN2P3@Lyonにデータ転送
 - さらに進んだEvent reconstruction (vertex etc.) を実行
 - 転送元のファイルは一定期間後、削除

データ取得状況 (first result)



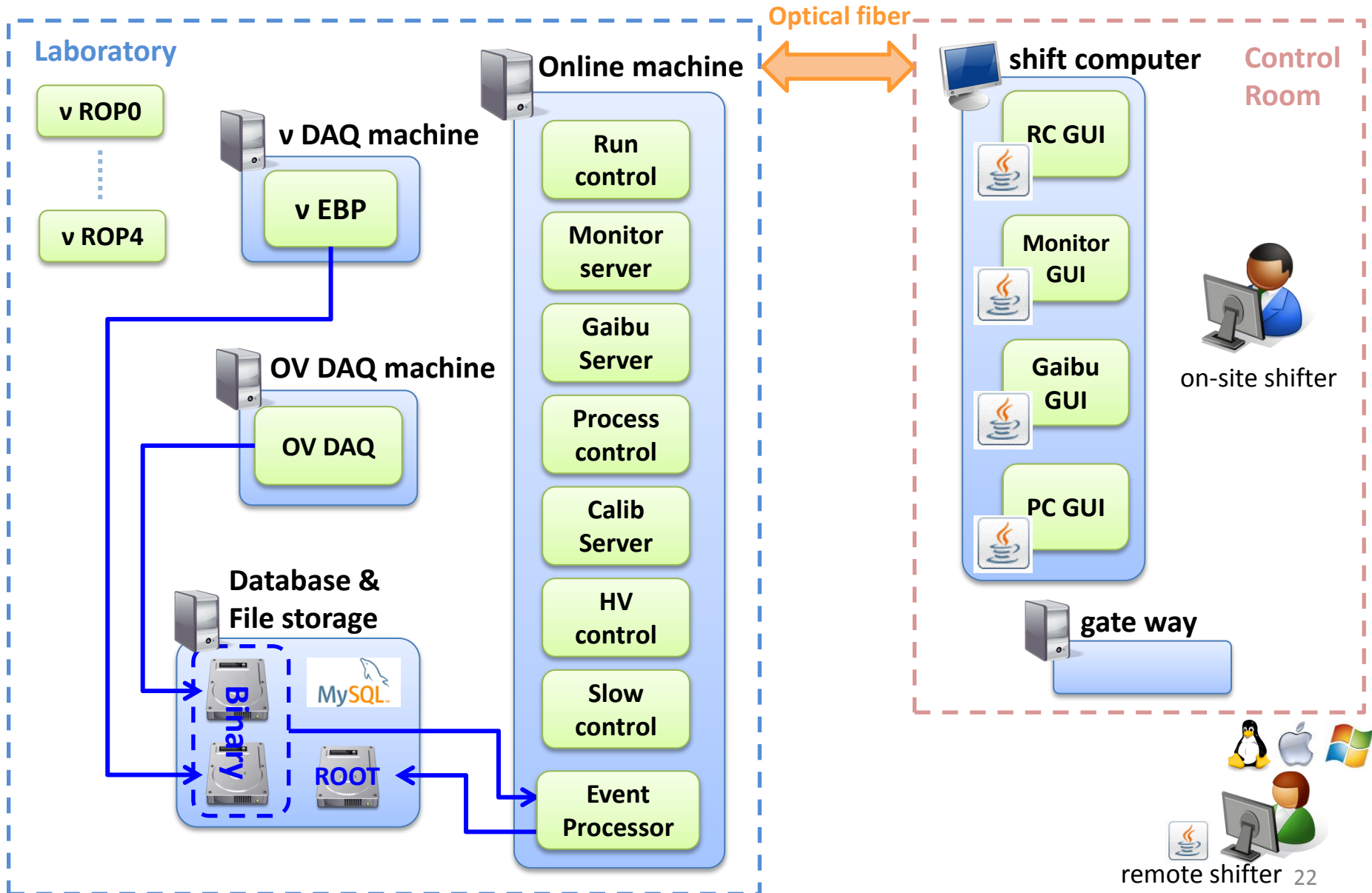
DAQ運転期間 : **206 days**

Data taking efficiency(Total) : **86.2 %**

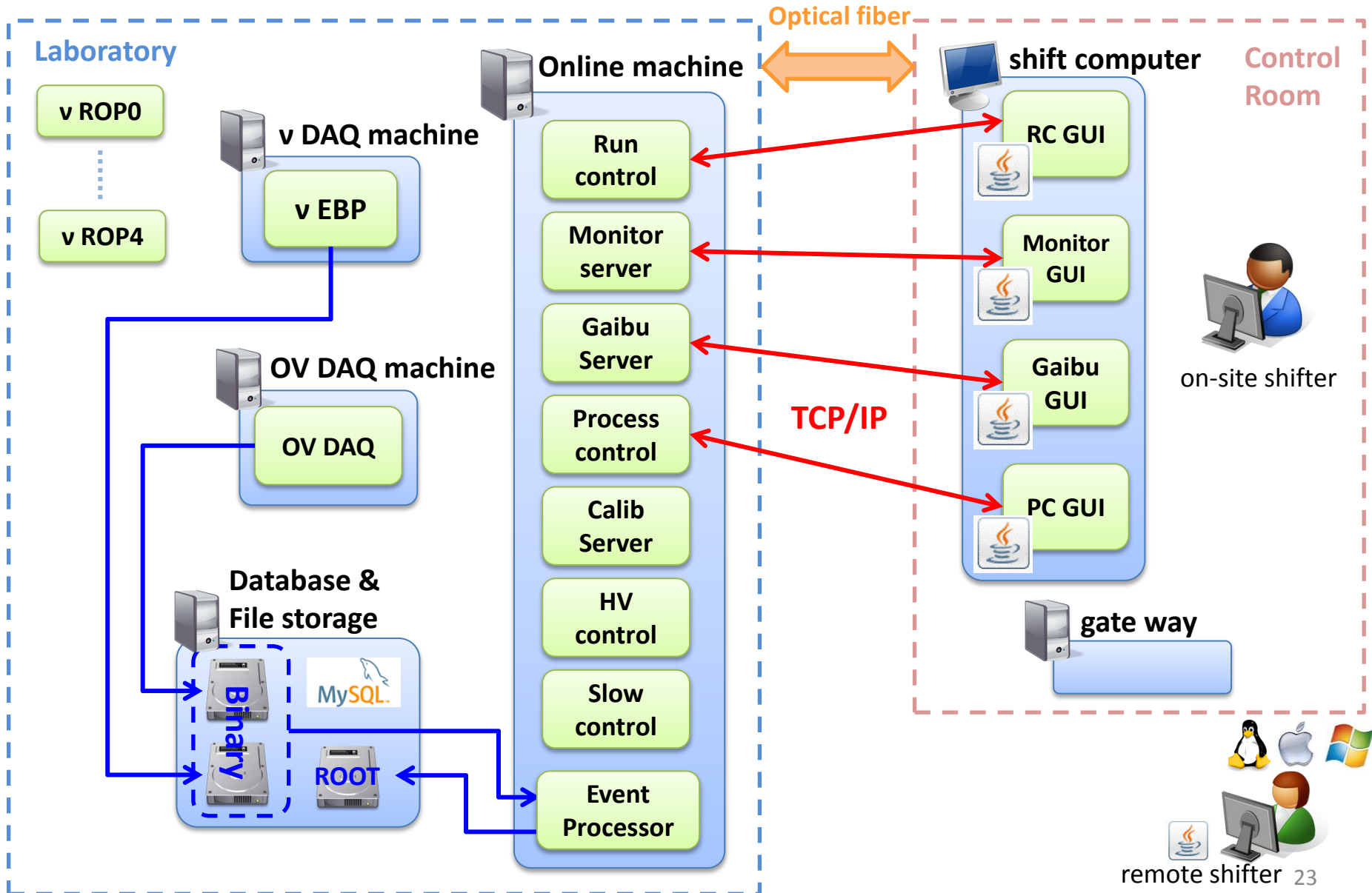
Data taking efficiency(Physics run) : **77.5 %**

Online control & monitor system

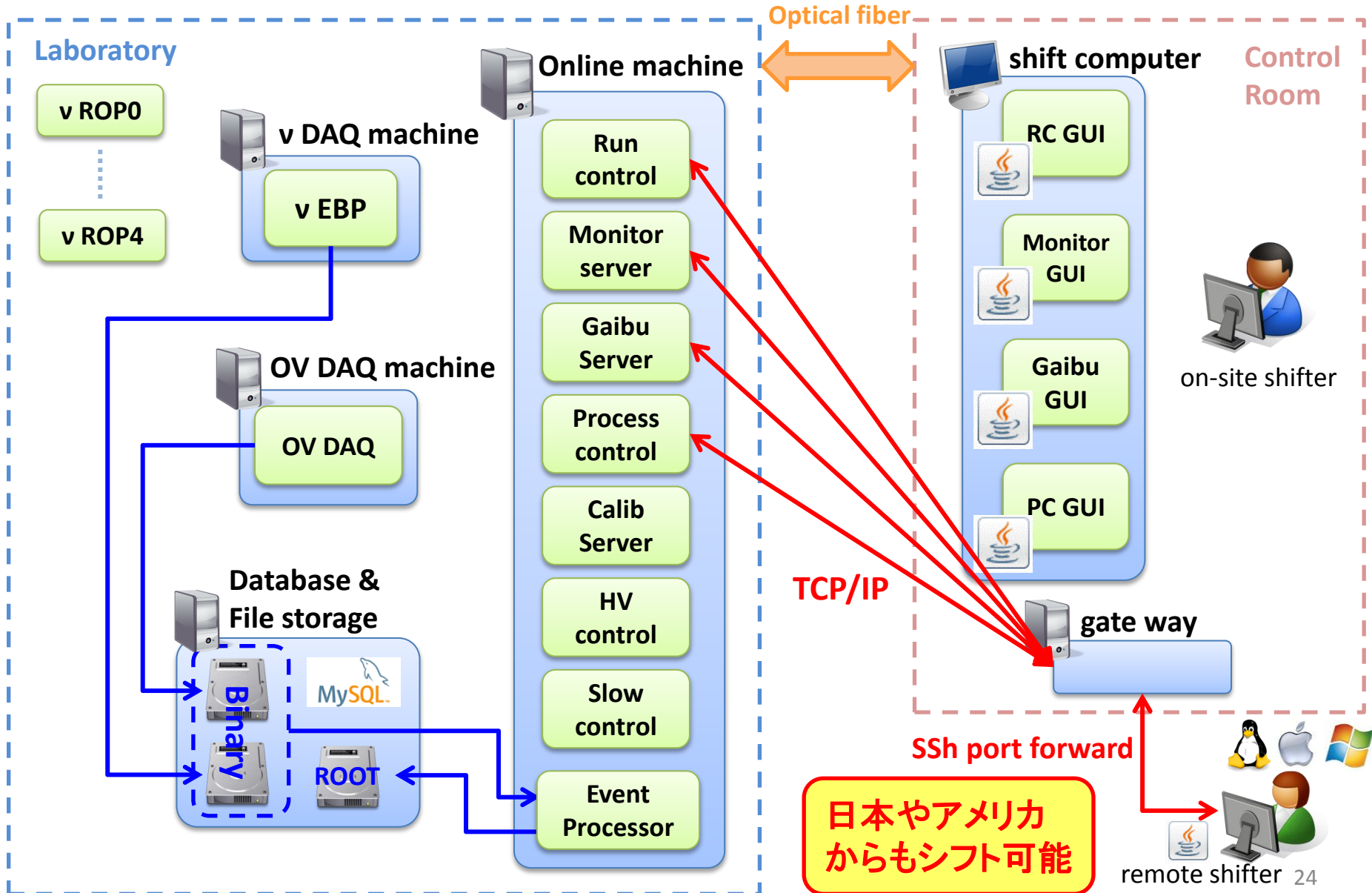
Double Chooz Online system



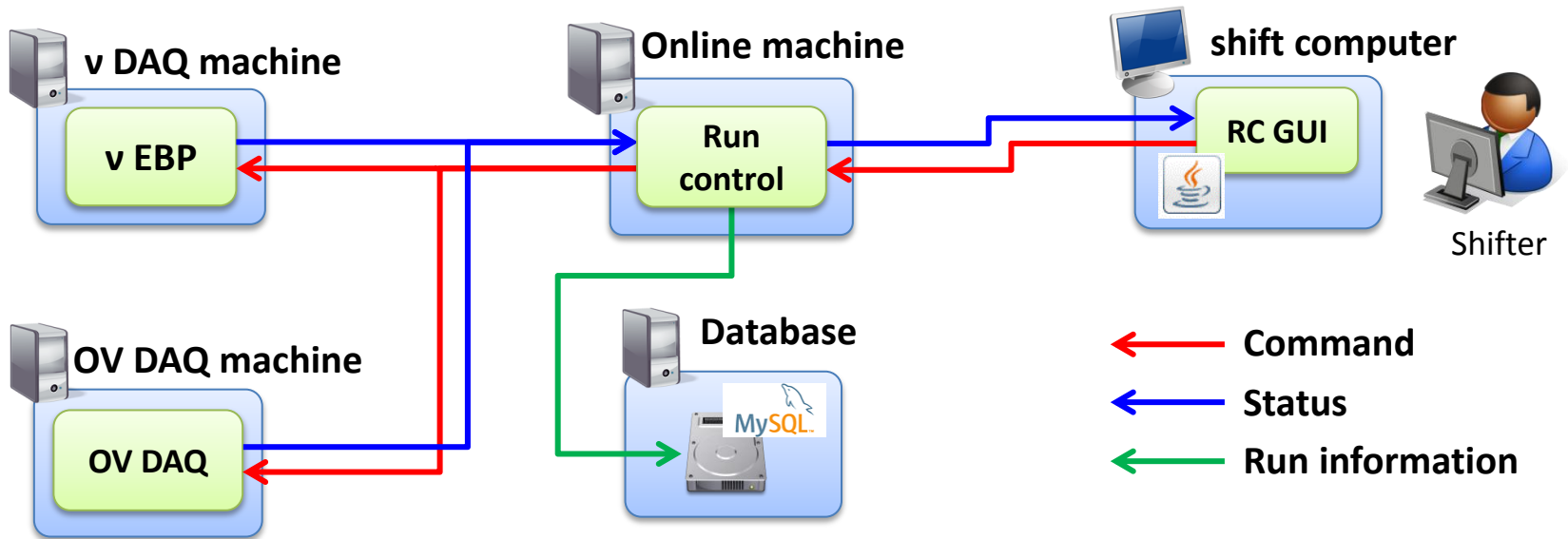
Double Chooz Online system



Double Chooz Online system



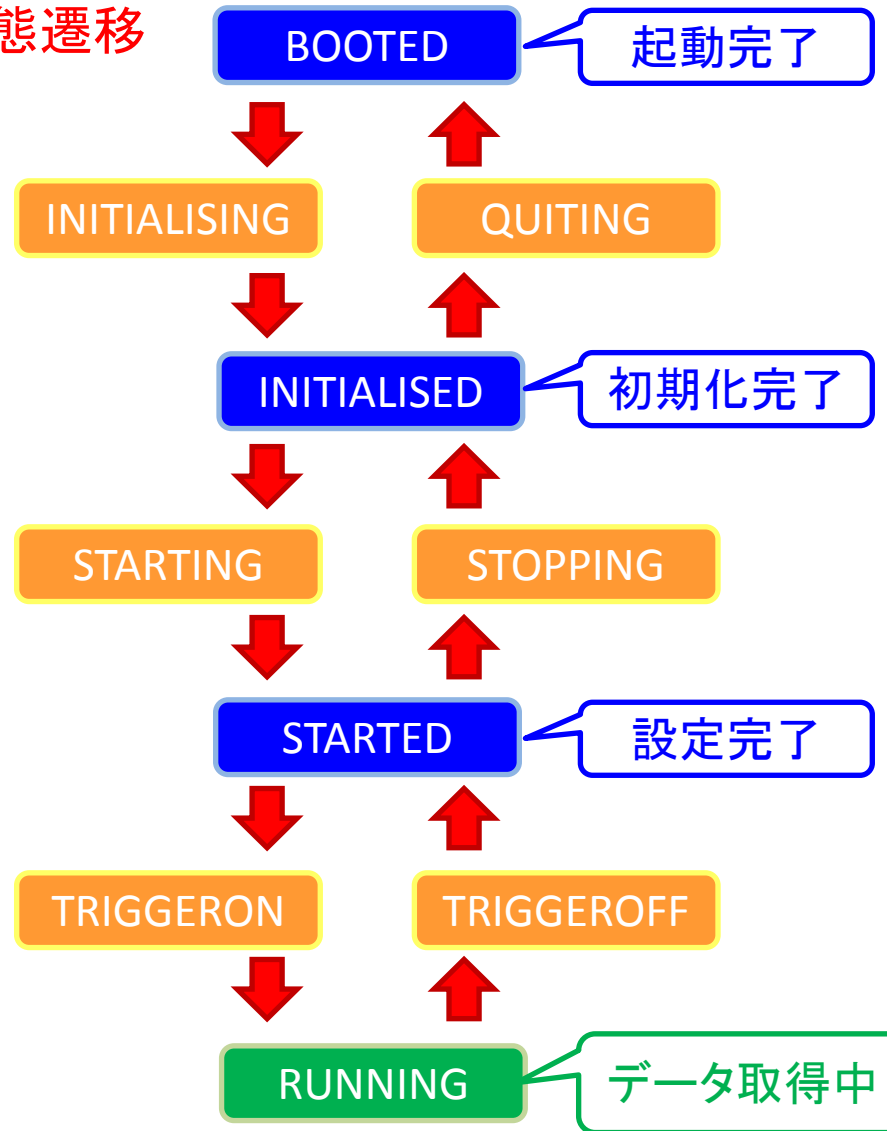
Run control



- DAQの同期制御
- ランの開始・終了
- ランの設定(Physics, Calibration, etc...)
- ランの情報をdatabaseに保存

Run control

DAQの状態遷移



puter



Shifter

nd

ormation

- DAQの
- ランの
- ランの
- ランの

Run control

DAQの状態

RC Server: **INITIALISED** ☒ NuDAQ: **INITIALISED**
☒ OVDAQ: **INITIALISED**

Runの設定

Shifter: Tomoyuki Konno
Run Number: 11198
Run Type: DCPHYS_RUN_D0
Description: PHYSICS RUN>> Default for Neutrino Physics (256ns W indow)
Run Length: 3600 00:00:00 / 01:00:00
Comment: Physics run

コマンドボタン

ABORT
↓
BOOTED
↓ ↑
INITIALISE QUIT
↓ ↑
INITIALISED
↓ ↑
START STOP
↓ ↑
STARTED
↓ ↑
TRIGGERON TRIGGEROFF
↓ ↑
RUNNING

動作ログ

```
[INFO][2012/01/25 17:20] STATE OVDAQ STOPPING_MS  
[INFO][2012/01/25 17:20] STATE NuDAQ INITIALISED_S  
[INFO][2012/01/25 17:20] STATE OVDAQ INITIALISED_S  
[INFO][2012/01/25 17:20] STATE RunControlServer INITIALISED_S
```

Shifter name
Run type
Run length
Comment

Computer
Shifter
Information

Run control

Double Chooz Run Control

File Config Command Help

DAQ states

RC Server **INITIALISED** ☒ NuDAQ **INITIALISED** ☒ OVDAQ **INITIALISED**

Run state

ABORT

BOOTED

Run settings

Shifter : Tomoyuki Konno

Run Number : 11198

Run Type : DCPHYS_RUN_D0

Description : PHYSICS RUN>> Default for Neutrino Physics window)

Run Length : 3600 00:00:00 / 00:00:00

Comment : Physics run

[INFO][2012/01/25 17:20] STATE OVDAQ STOPPING
[INFO][2012/01/25 17:20] STATE NuDAQ INITIALISED
[INFO][2012/01/25 17:20] STATE OVDAQ INITIALISED
[INFO][2012/01/25 17:20] STATE RunControlServer INITIALIZED

Computer



Shifter

Sequential window

Run sequence

SET

SEQ_PHYS_0

READY

of repeats : 0

SKIP

START

STOP

Run list

Run type	Length
DCPHYS_RUN_D0	3600
DCPHYS_RUN_D0	3600
DCPHYS_RUN_D0	3600
DCPHYS_RUN_D0	3600
DCPHYS_RUN_D0	3600
DCPHYS_RUN_D0	3600
DCPHYS_RUN_D0	3600
DCPHYS_RUN_D0	3600
DCPHYS_RUN_D0	3600
DCPHYS_RUN_D0	3600
DCPHYS_RUN_D0	3600
DCCALIB_RUN_IDLI_MIDDLEINTENSITY_LED2_D0	60
DCCALIB_RUN_IDLI_MIDDLEINTENSITY_LED5_D0	60
DCCALIB_RUN_IDLI_MIDDLEINTENSITY_LED7_D0	60
DCCALIB_RUN_IDLI_MIDDLEINTENSITY_LED12_D0	60
DCCALIB_RUN_IDLI_MIDDLEINTENSITY_LED17_D0	60

- DAQ
- ラン
- ラン
- ラン

Run control

Double Chooz Run Control

File Config Command Help

DAQ states

RC Server **RUNNING** ☒ NuDAQ **RUNNING**

☒ OVDAAQ **RUNNING**

Run settings

Shifter : Tomoyuki Konno

Run Number : 11199

Run Type : DCPHYS_RUN_D0

Description : PHYSICS RUN>> Default for Neutrino Physics (256ns Window)

Run Length : 3600 **run が進行** 30:17:18 / 01:00:00

Comment : Physics run

Run state

ABORT

BOOTED

INITIALISE

INITIALISED

START

STARTED

TRIGGERON

TRIGGEROFF

RUNNING

[INFO][2012/01/25 17:22] STATE OVDAAQ TRIGGERON_HS

[INFO][2012/01/25 17:23] STATE NuDAQ RUN_S

[INFO][2012/01/25 17:23] STATE OVDAAQ RUN_S

[INFO][2012/01/25 17:23] STATE RunControlServer RUN_S

outer



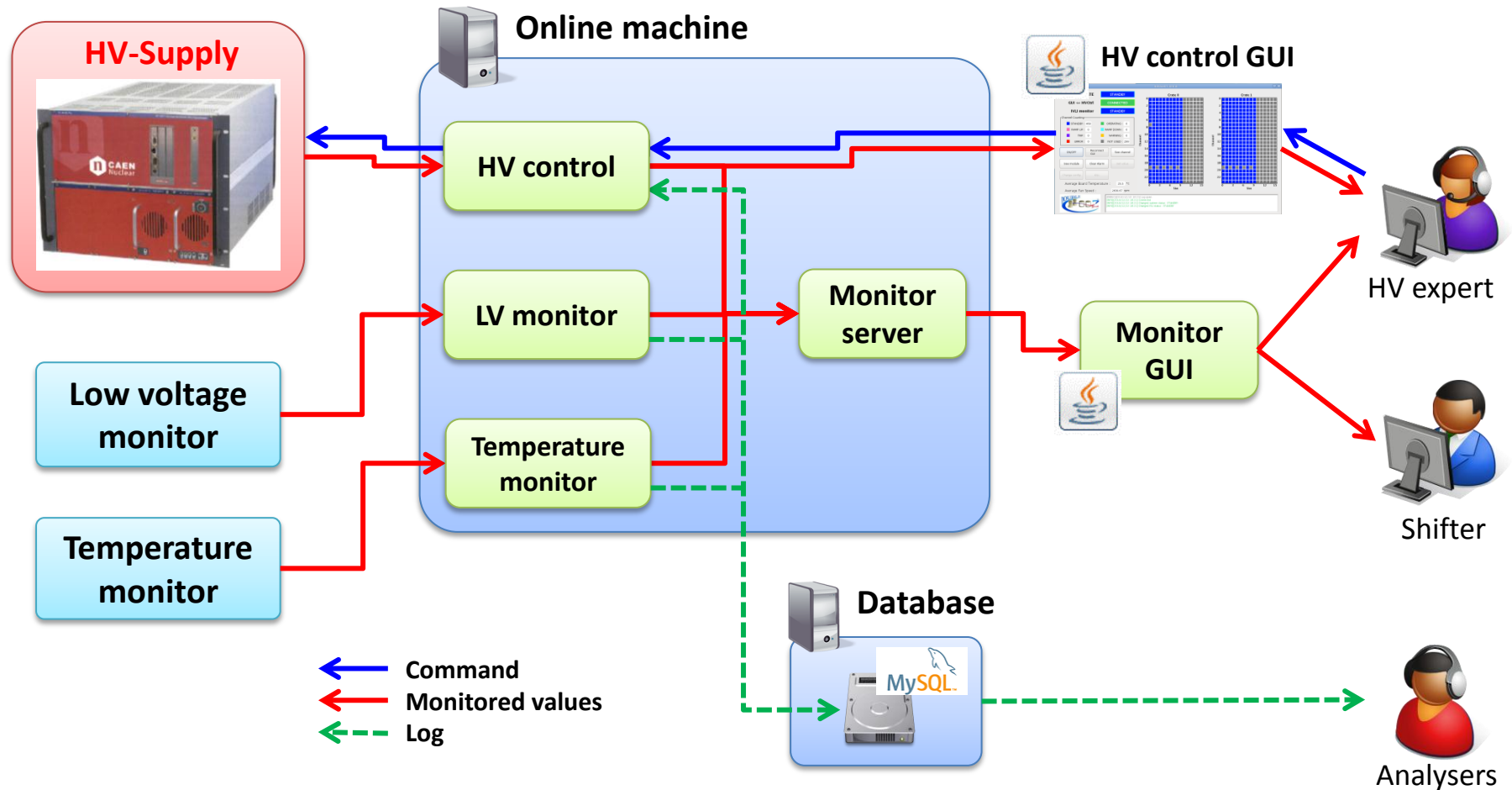
Shifter

nd

rmation

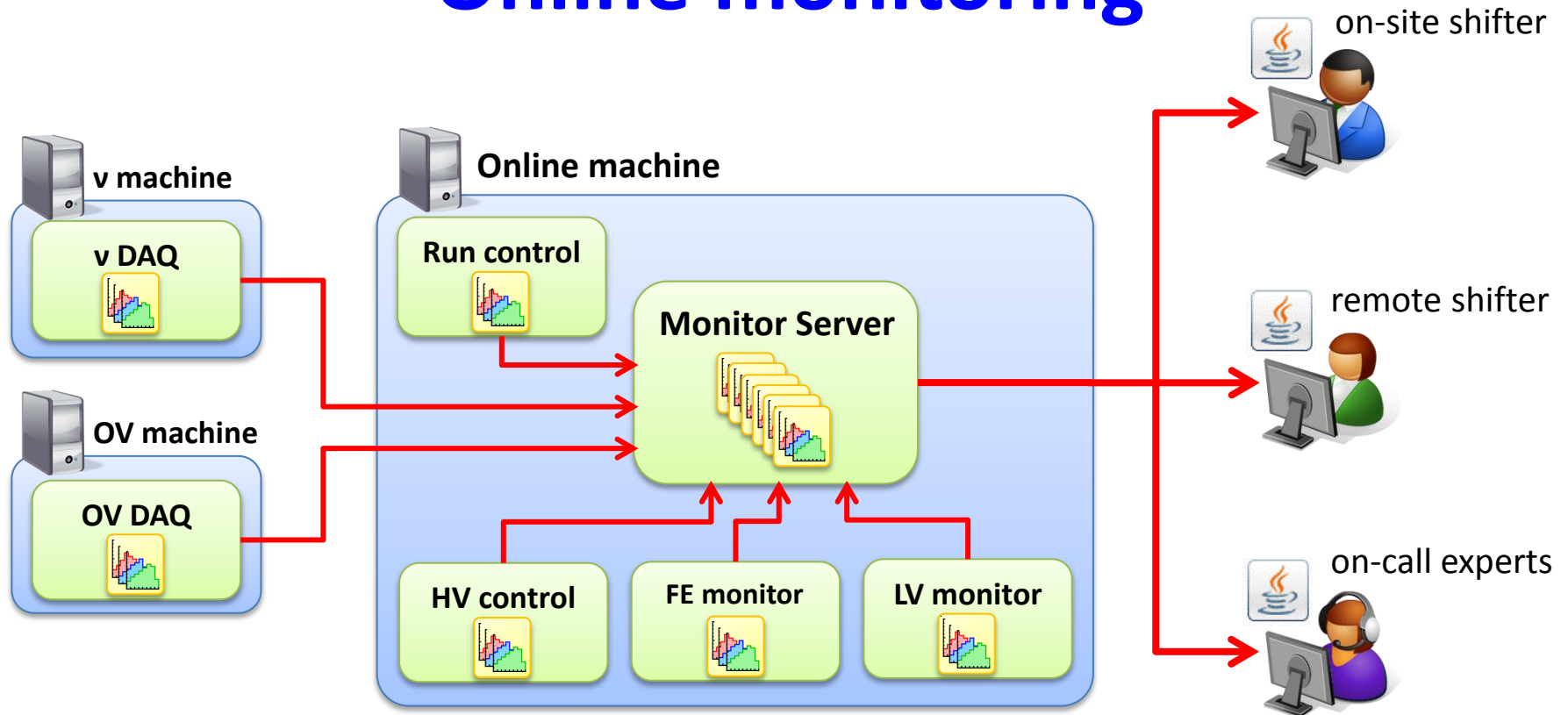
- DA
- ラ
- ラ
- ラ

HV control & Slow monitors



- GUIからHVを印加、設定を変更が可能
- Online monitor system(後述)経由でデータ監視
- モニター値をdatabaseに保存 => offline解析に活用

Online monitoring



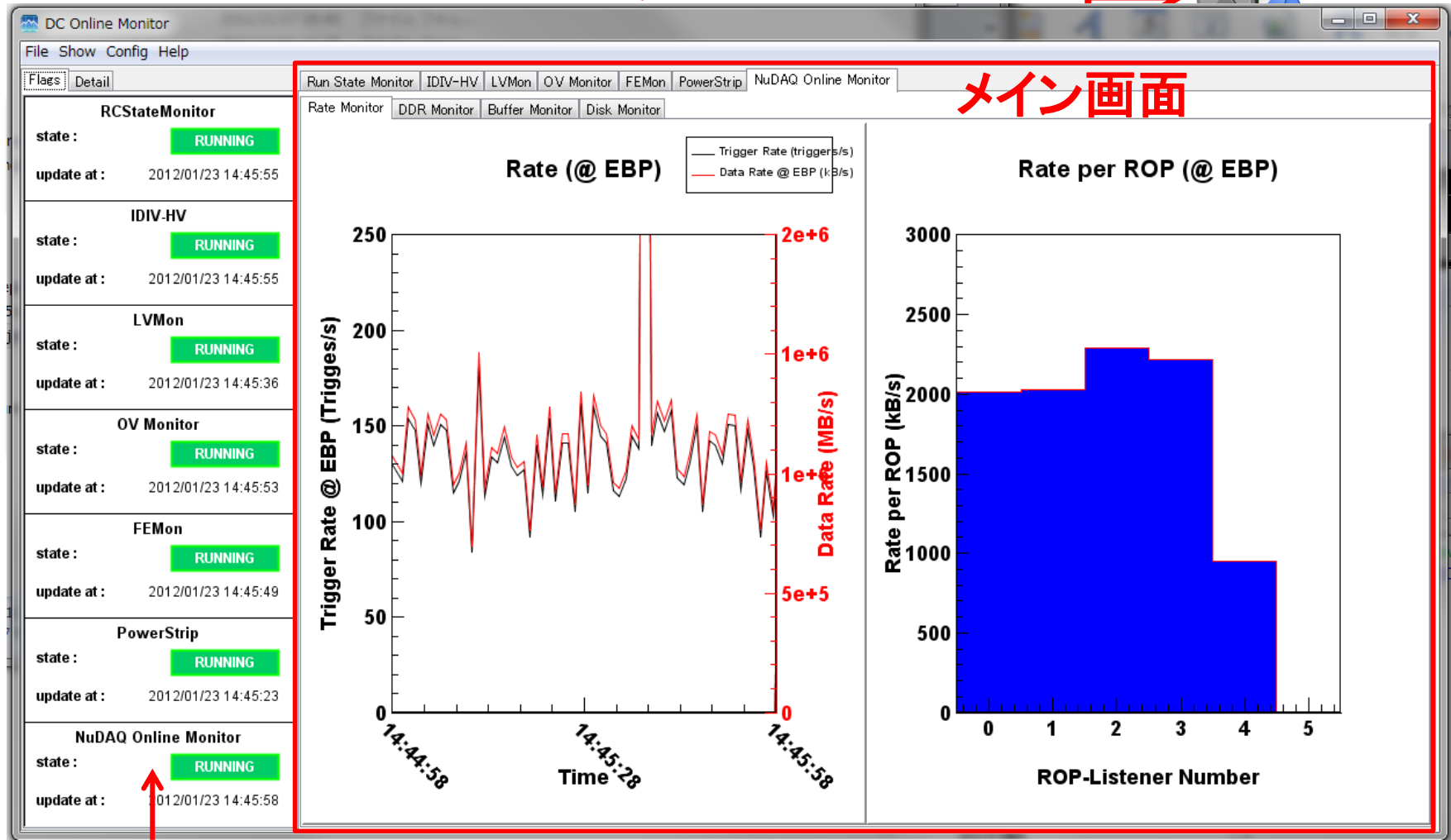
- モニター情報を各DAQ/monitorから収集・一括管理
- ヒストグラム、グラフ、メッセージなどを表示
- XMLファイルによるレイアウトの制御
- マルチスレッドによる並列通信
- 特定のライブラリ(ROOTなど)に依存しないGUI (Java実装)

Online monitoring

v DAQ monitor



on-site shifter

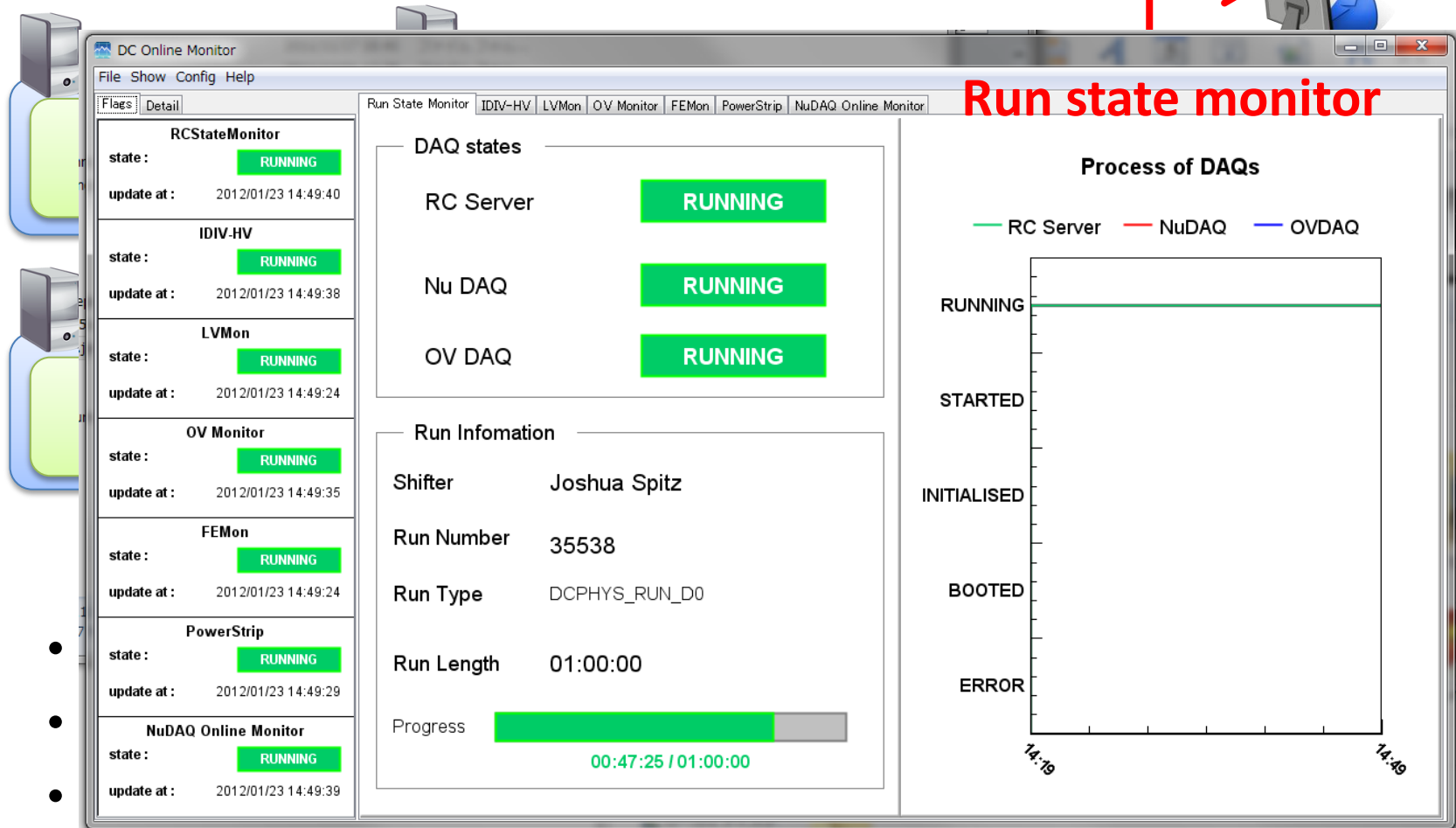


各モニターの接続状態

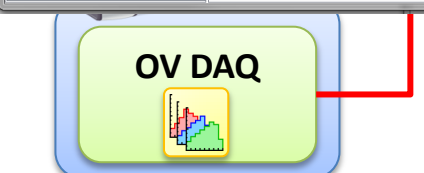
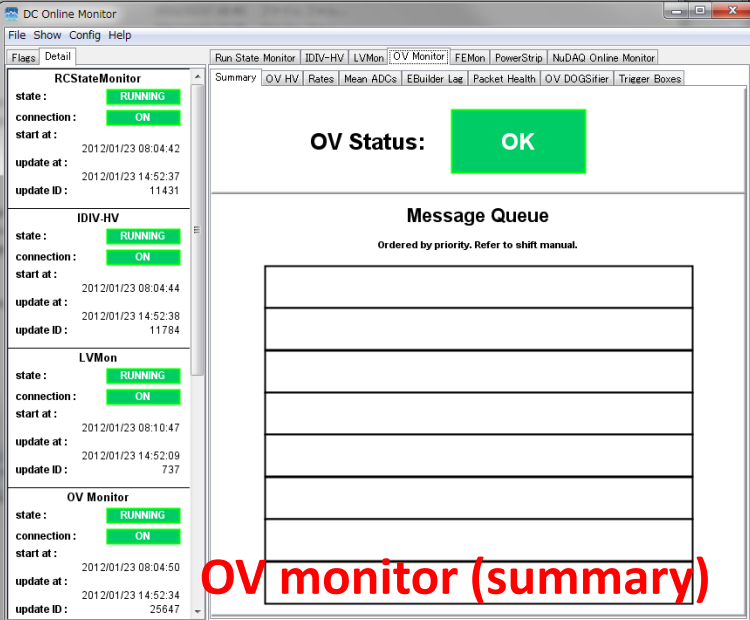
Online monitoring



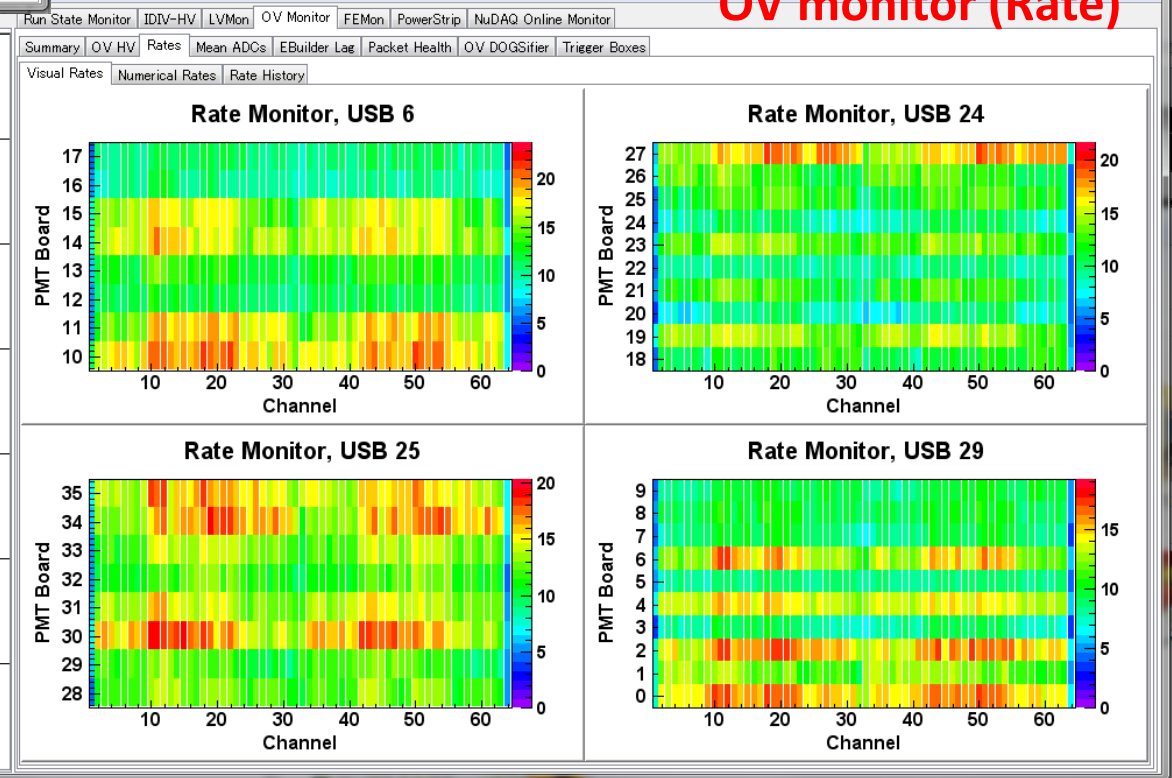
on-site shifter



- マルチスレッドによる並列通信
- 特定のライブラリ(ROOTなど)に依存しないGUI (Java実装)



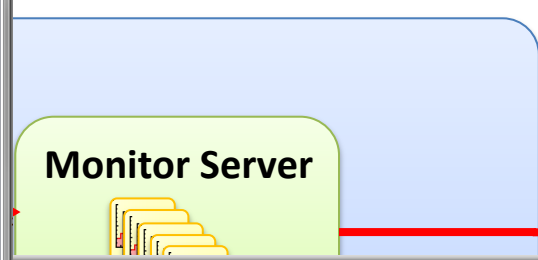
- モニター情報
- ヒストグラム
- XMLファイル
- マルチスレ



Online monitoring

DAQ monitor

Machine

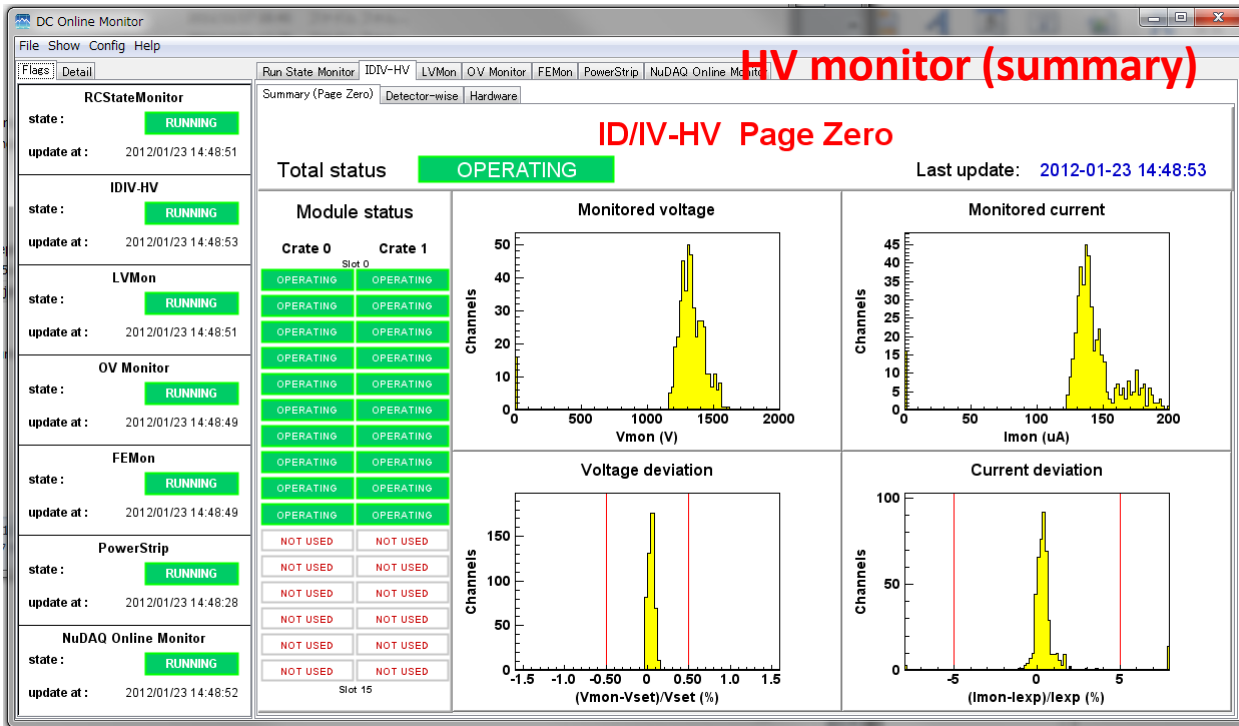


on-site shifter



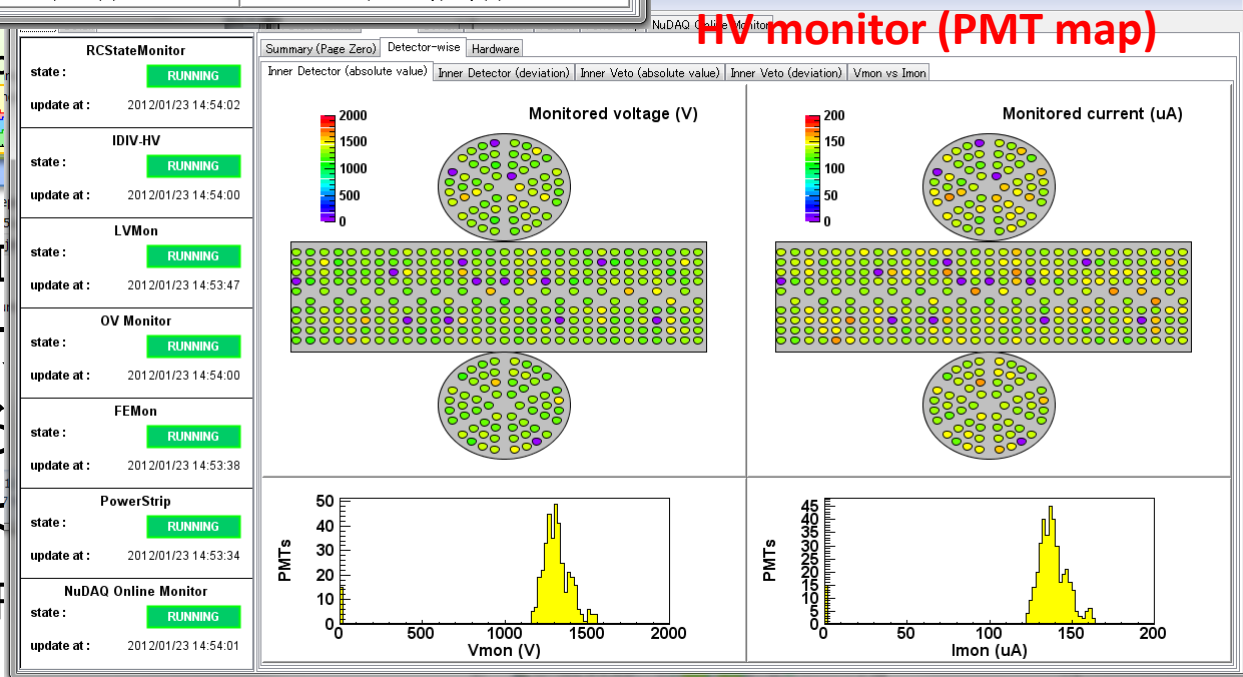
remote shifter

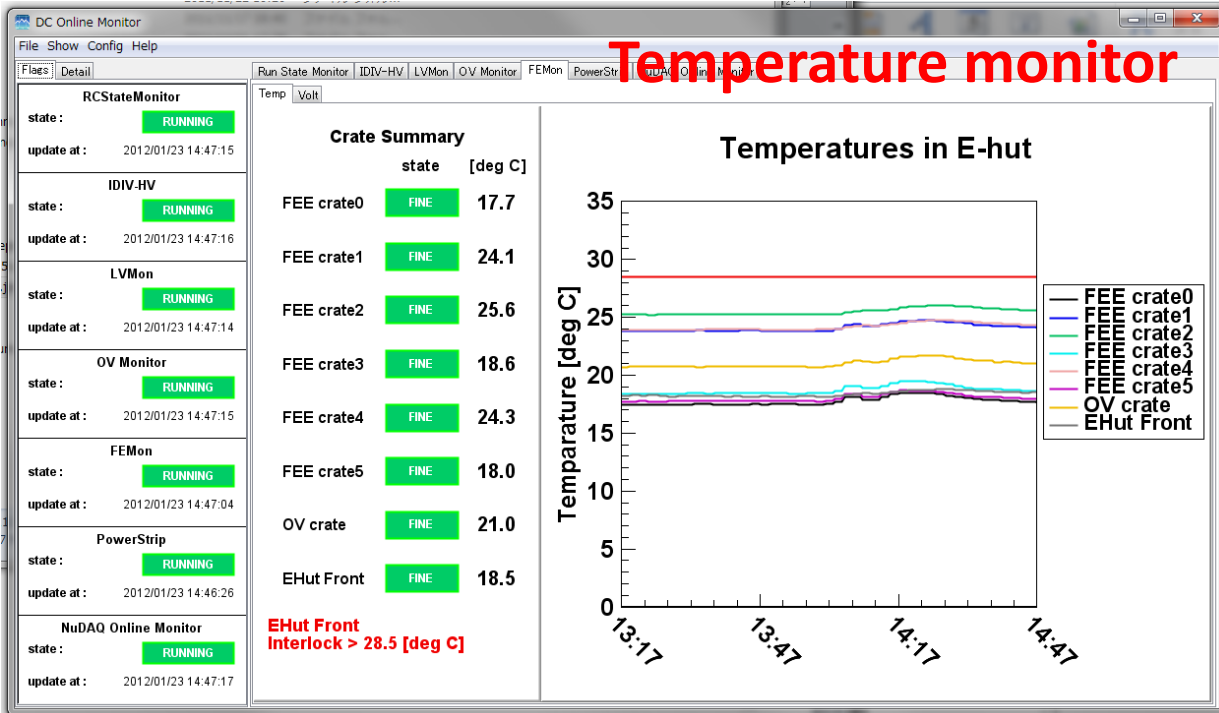
OV monitor (Rate)



on-site shifter

remote shifter





ng



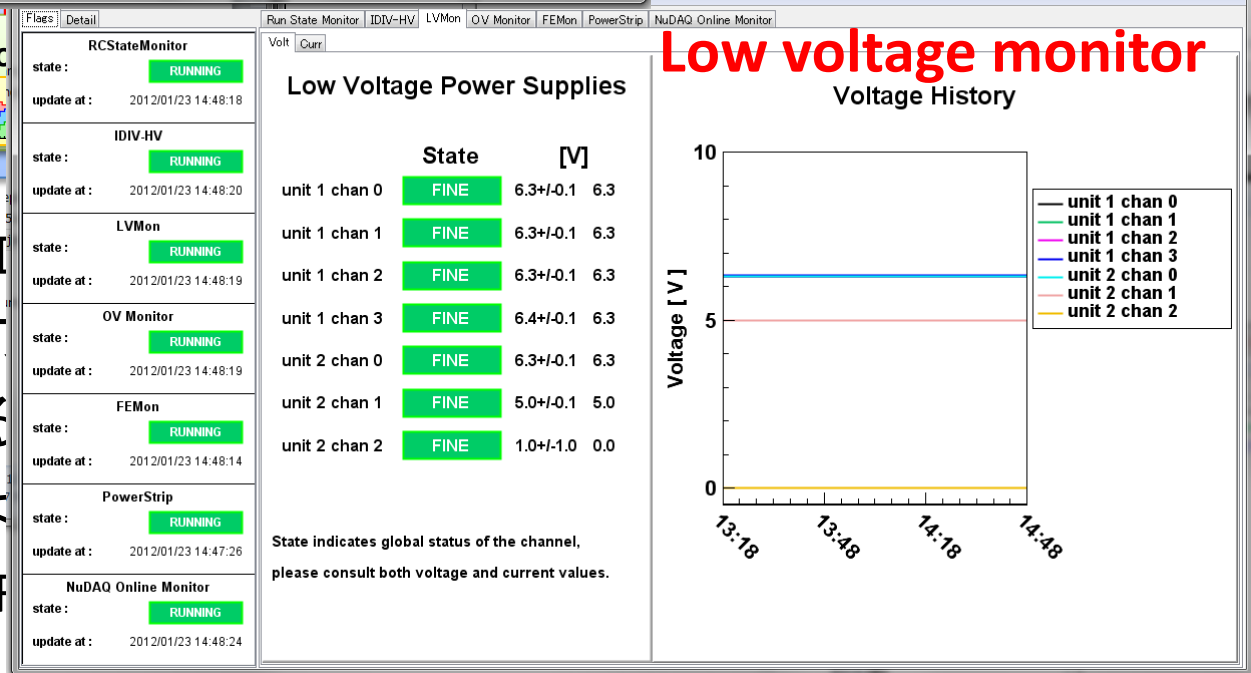
on-site shifter



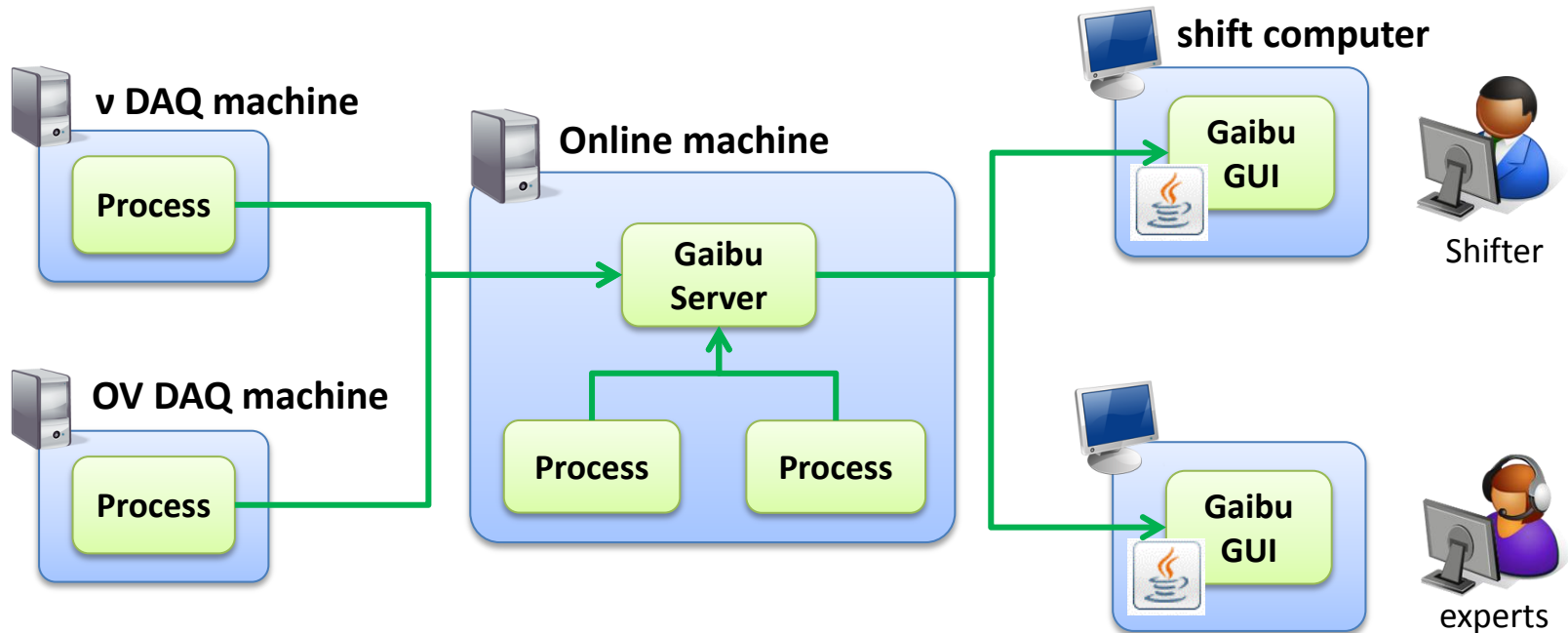
remote shifter

- モニター情報を各
- ヒストグラム、グラ
- XMLファイルによる
- マルチスレッドによ
- 特定のライブラリ(

HV co

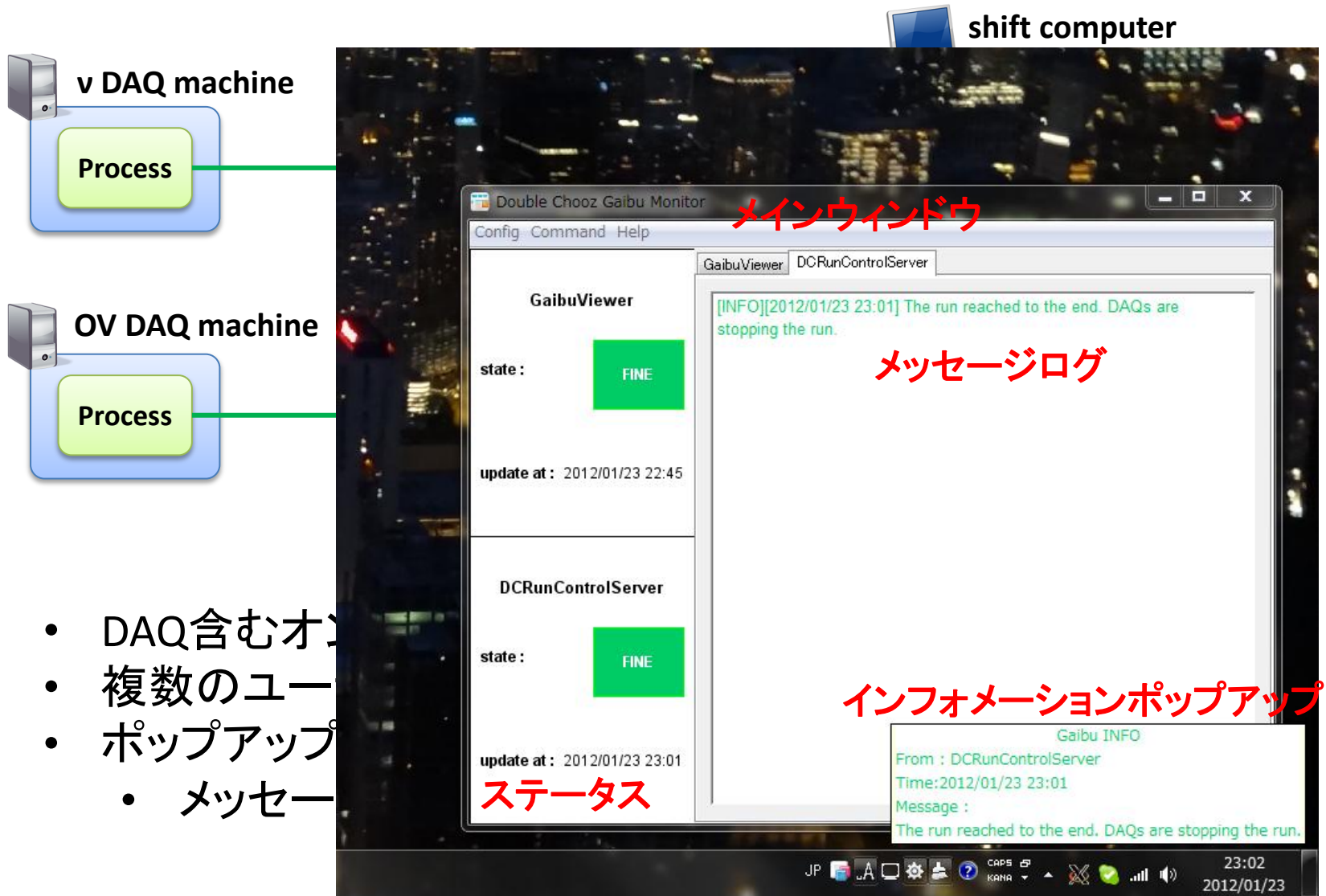


Notification system (Gaibu system)

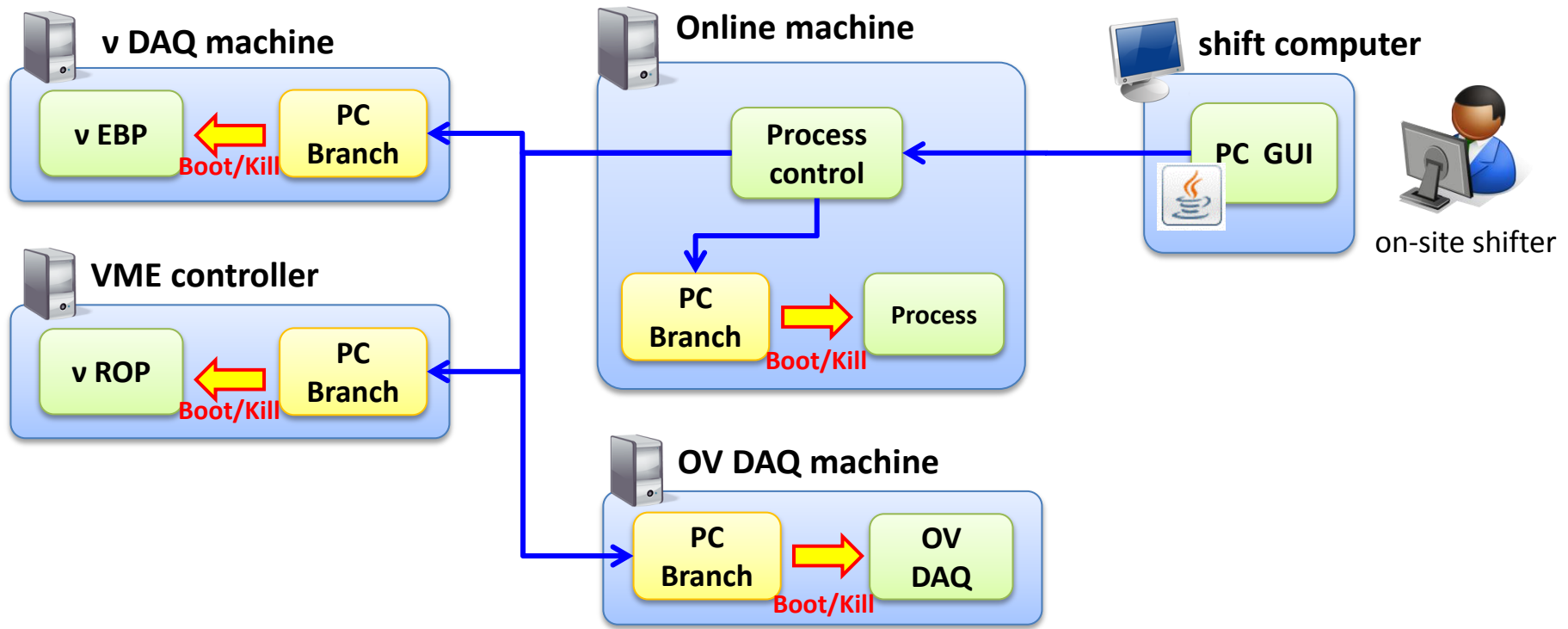


- DAQ含むオンラインプロセスからメッセージを収集
- 複数のユーザに同時配信
- ポップアップとサウンドで通知
 - メッセージの重要度に応じて挙動を変える

Notification system (Gaibu system)



Process Control system



- オンラインプロセスの起動/停止を遠隔操作
- プロセスのCPU/メモリ使用率を監視
- プロセスの異常終了をnotification systemを通じて通知

Process Control system

DC Process Control

File Show Command Help

メイン画面

プロセスのステータス

CPU/メモリ使用率

dcfar0.in2p3.fr	RUNNING
last update : 17:14:58	
MonitorSkeleton CPU = 0.0%, Memory = 0.2%	RUNNING
MonitorServer CPU = 0.0%, Memory = 0.2%	RUNNING
RunControl CPU = 0.0%, Memory = 2.0%	RUNNING
IDIV-HVControl CPU = 0.0%, Memory = 0.0%	RUNNING
GaibuServer CPU = 0.0%, Memory = 0.2%	RUNNING
CalibrationServer CPU = 0.0%, Memory = 1.9%	RUNNING
IDLI-Controller CPU = 0.0%, Memory = 0.3%	RUNNING
dcfar1.in2p3.fr	RUNNING
last update : 17:14:58	
EBP-NuDAQ CPU = 0.0%, Memory = 0.0%	RUNNING
dcfrop0	RUNNING
last update : 17:14:58	
ROP-NuDAQ CPU = 0.0%, Memory = 0.0%	RUNNING
dcfrop1	RUNNING
last update : 17:14:58	
ROP-NuDAQ CPU = 0.0%, Memory = 0.0%	RUNNING
dcfrop2	RUNNING
last update : 17:14:58	
ROP-NuDAQ CPU = 0.0%, Memory = 0.0%	RUNNING
dcfrop3	RUNNING
last update : 17:14:58	
ROP-NuDAQ CPU = 0.0%, Memory = 0.0%	RUNNING
dcfrop4	RUNNING
last update : 17:14:58	
ROP-NuDAQ CPU = 0.0%, Memory = 0.0%	RUNNING

Process Control system

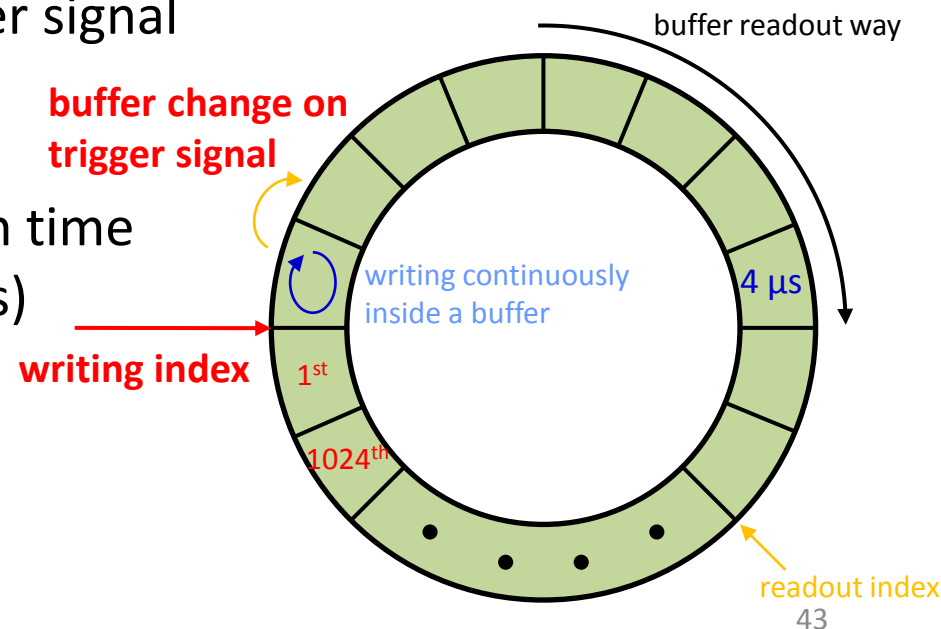
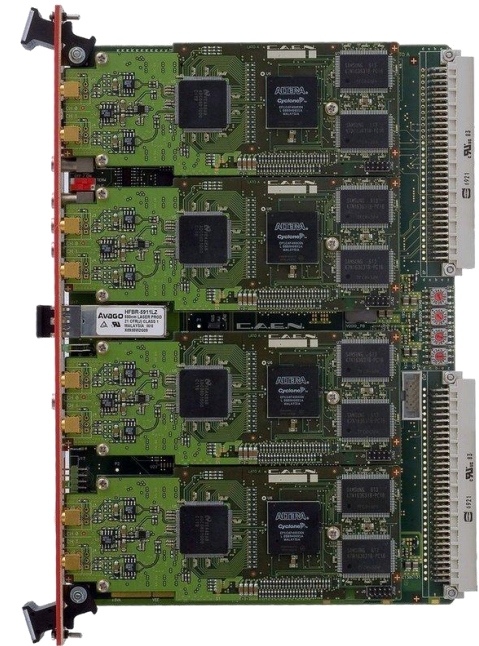


まとめ

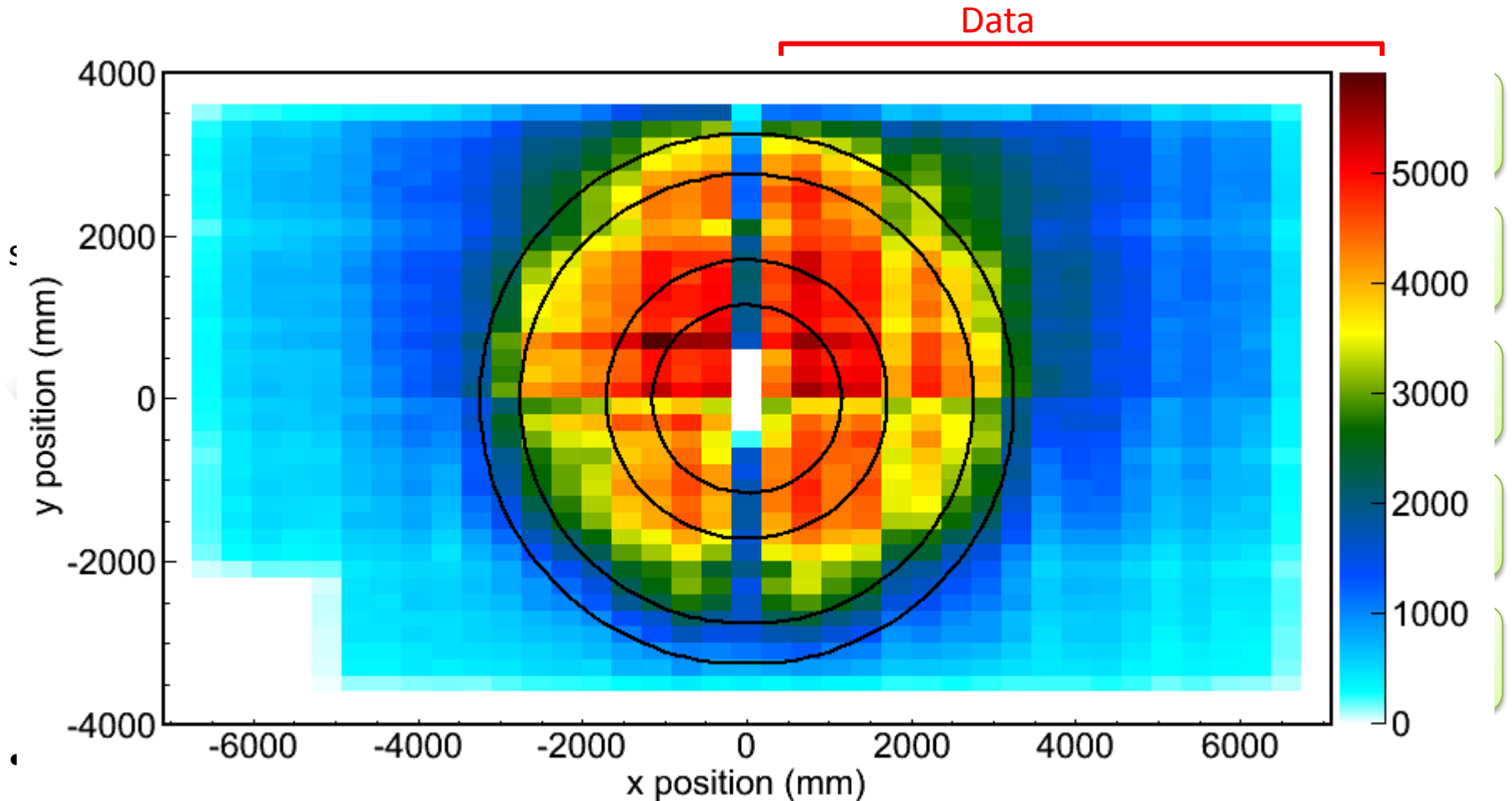
- Double Chooz実験はChooz原子炉由来の反電子ニュートリノを観測し、 θ_{13} の精密測定を目指す実験
- 2つの独立して動くDAQシステムを開発
 - ν DAQ => Flash ADC
 - OV DAQ => multi-anode PMT + Maroc2
- DAQを遠隔操作で管理できるオンラインシステムを開発
 - Graphical user interfaceにはJava(Sun Java6)を採用
 - 海外(日本やアメリカ)からもリモートでシフト参加
- 現在、near detector建設中
 - 2013年の稼働を目指す
 - オンラインシステムもアップグレードを計画中

v FADC

- CAEN-VX1721
 - APC & CAENの共同開発
 - 8 channels /card
 - 500 MHz sampling (=2ns)
 - 8 bit /1V resolution
 - 2 MB memory per channel,
split into 1024 buffers in DC
with charge of buffer upon trigger signal
(buffers of 4 μ s)
 - deadtime-less acquisition
 - possibility to look backward in time
(useful for background studies)
 - Pedestal mean adjustable

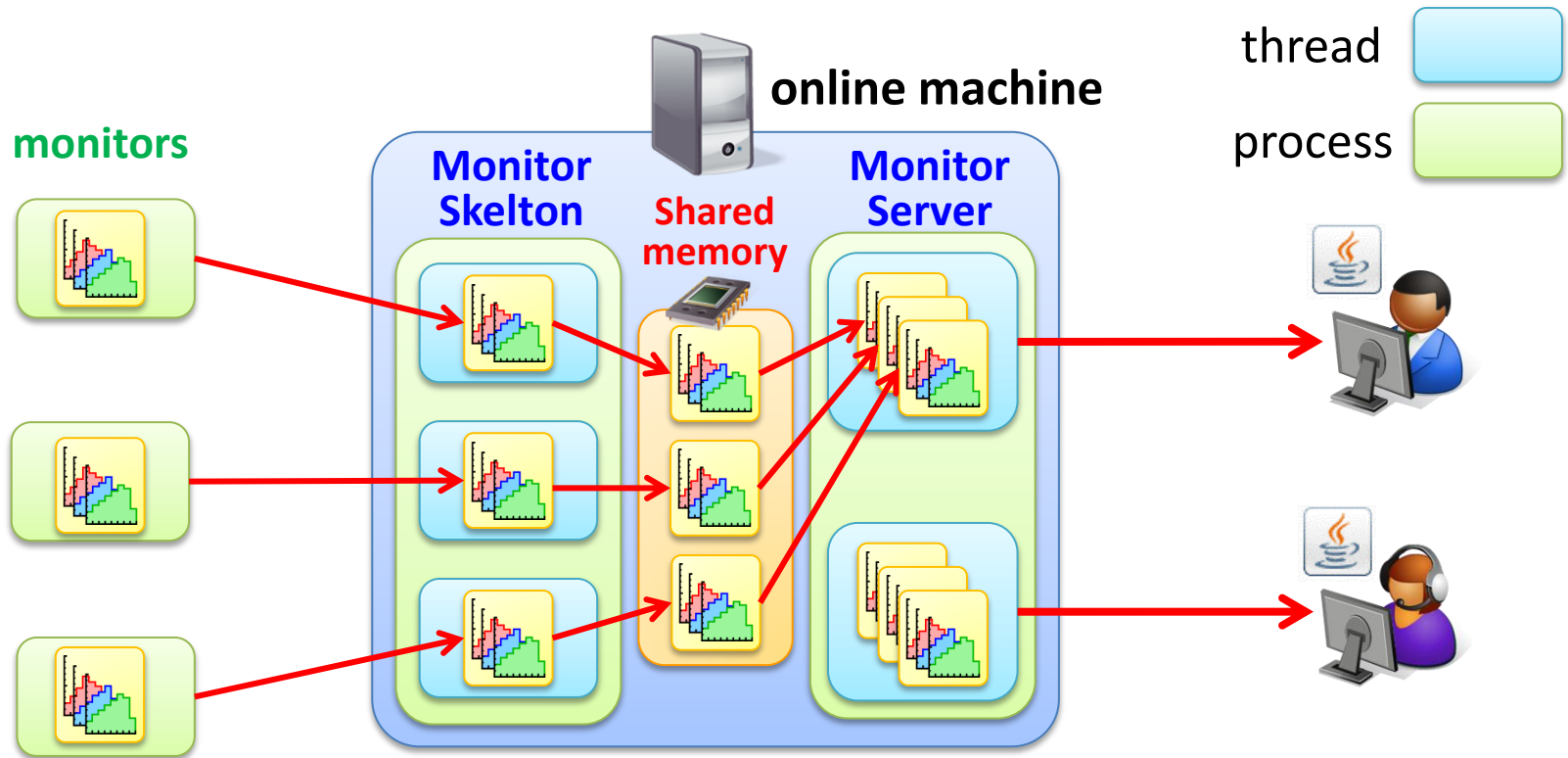


Outer veto DAQ (OV DAQ)



- OV DAQでデータを統合、バイナリファイルに保存
- OV DAQ全体はRun Controlから操作
- 開発言語はC++

Monitor Serverの構造



- Monitor Skeleton 上のスレッドが並列に動作
- 各スレッドが異なるmonitorと独立に通信
- Monitor Server上のスレッドがGUIに全表示データを送信