

# 多チャンネル高圧電源のEPICS制御

JAEA J-PARCセンター  
畠山衆一郎

## 要旨

J-PARC RCS(3GeVシンクロトロン)では、近年のビーム強度の増強に伴い、ビームロス分布も変わってきている。現状のビームロスモニタの高圧電源は、デバイダーにより1台の電源から複数のロスモニタに分岐させて供給しているため、ビームロス分布の変化に対して最適なゲインを設定することが困難になってきた。そこで、高圧電源のチャンネル数を増設するために、多チャンネル高圧電源の試験機を導入し、そのEPICS制御ソフトウェアを開発した。

# 1. J-PARC 加速器の紹介と RCS (3GeVシンクロトロン) の概要

# J-PARC加速器施設

(\*）画像 J-PARCパンフレットより

宇宙・物質・生命の起源に迫る  
**大強度陽子加速器施設**  
**J-PARC**

LINAC  
線形加速器

RCS  
3GeVシンクロトロン

MR  
30GeVシンクロトロン

ニュートリノ実験施設

物質・生命科学実験施設 (MLF)

ハドロン実験施設

J-PARC全体図

1000m

500m

私たちの宇宙はどのようにして誕生し、私たち人類や地球はどうやって生まれてきたのでしょうか。

宇宙は、およそ138億年前に誕生したと考えられています。“ビッグバン”と言われる瞬間から爆発的な膨張と共に、超高温だった宇宙はだんだんと温度が下がり、エネルギーの塊から、現在素粒子とされているクォークやレプトンなどのさまざまな粒子が生まれました。これらの粒子はスープのように混沌と混

じり合い、空間を自由に飛び回っていましたが、ビッグバンから約1万分の1秒後に、陽子や中性子という粒子の中に閉じ込められました。その後、陽子や中性子が集まって原子核を作り、その周りを電子が取り囲んで原子が形成され、原子が連なって分子ができ、星が、そして地球が作られました。その地球の上で、植物や動物、私たち人類の生命ははぐくまれてきたのです。

大強度陽子加速器施設 J-PARC (Japan Proton Accelerator Research Complex) は、原子・分子の構造観察から物質・生命の起源を探る研究や、素粒子や原子核の研究から宇宙の始まりの謎を解く研究を進める、最先端の研究施設です。ほぼ光速まで加速した世界屈指の大強度の陽子ビームから、中性子、ミュオン、ニュートリノ、K中間子などの多彩な二次粒子ビームを作り出し、多種多様な実験を推進しています。

J-PARC は、最先端技術を有する研究機関や企業が集まる茨城県の北部、東海村に、65万平方メートルもの広大な敷地を構えています。リニアック・RCS・MRの3つの加速器から成る加速器施設と、物質・生命科学実験施設、ニュートリノ実験施設、ハドロン実験施設の3つの実験施設、及び施設建設を計画中の核変換技術に関する開発研究に、国内だけでなく海外からも多くの研究者を迎えています。J-PARC では、共同研究者とともに、基礎科学から産業応用まで多様な研究・開発を推進しています。

RCSは、MLF、MRに、粒子数、エミッタンスが異なるビームを切り替えながら供給している



MR行ビームのエミッタンス  
( $\epsilon=50\sim 100\pi\text{mm}\cdot\text{mrad}$ )

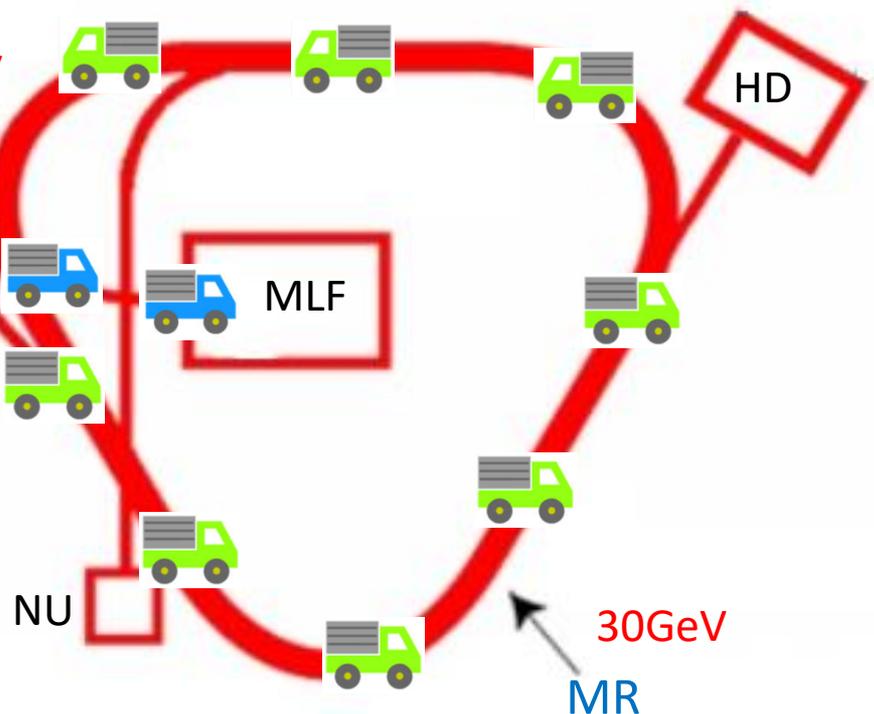


MLF行ビームのエミッタンス  
( $\epsilon=150\sim 200\pi\text{mm}\cdot\text{mrad}$ )

中間バンチは荷電変換 ( $H^- \rightarrow p$ )の多重入射で2つのRFバケツに積み分けられる。またペインティング入射によりエミッタンスがコントロールされる

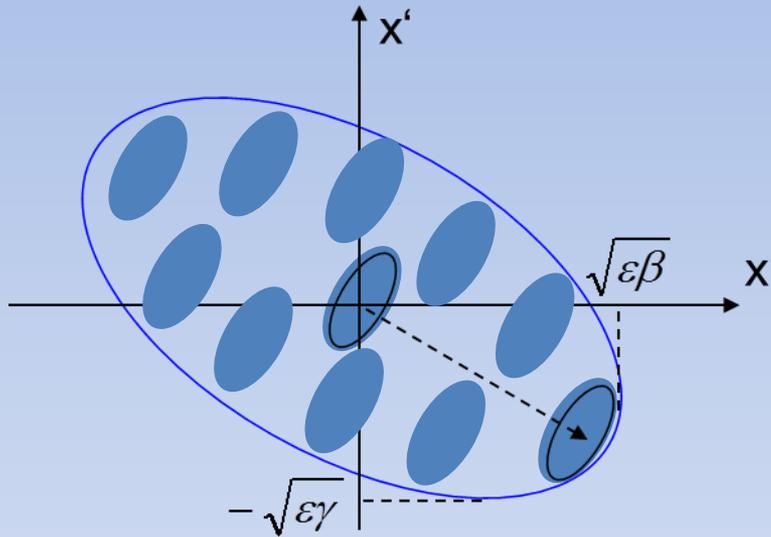


RCS  
3GeV



RCSから4回の入射で8つのRFバケツに入射する

# ペインティング入射



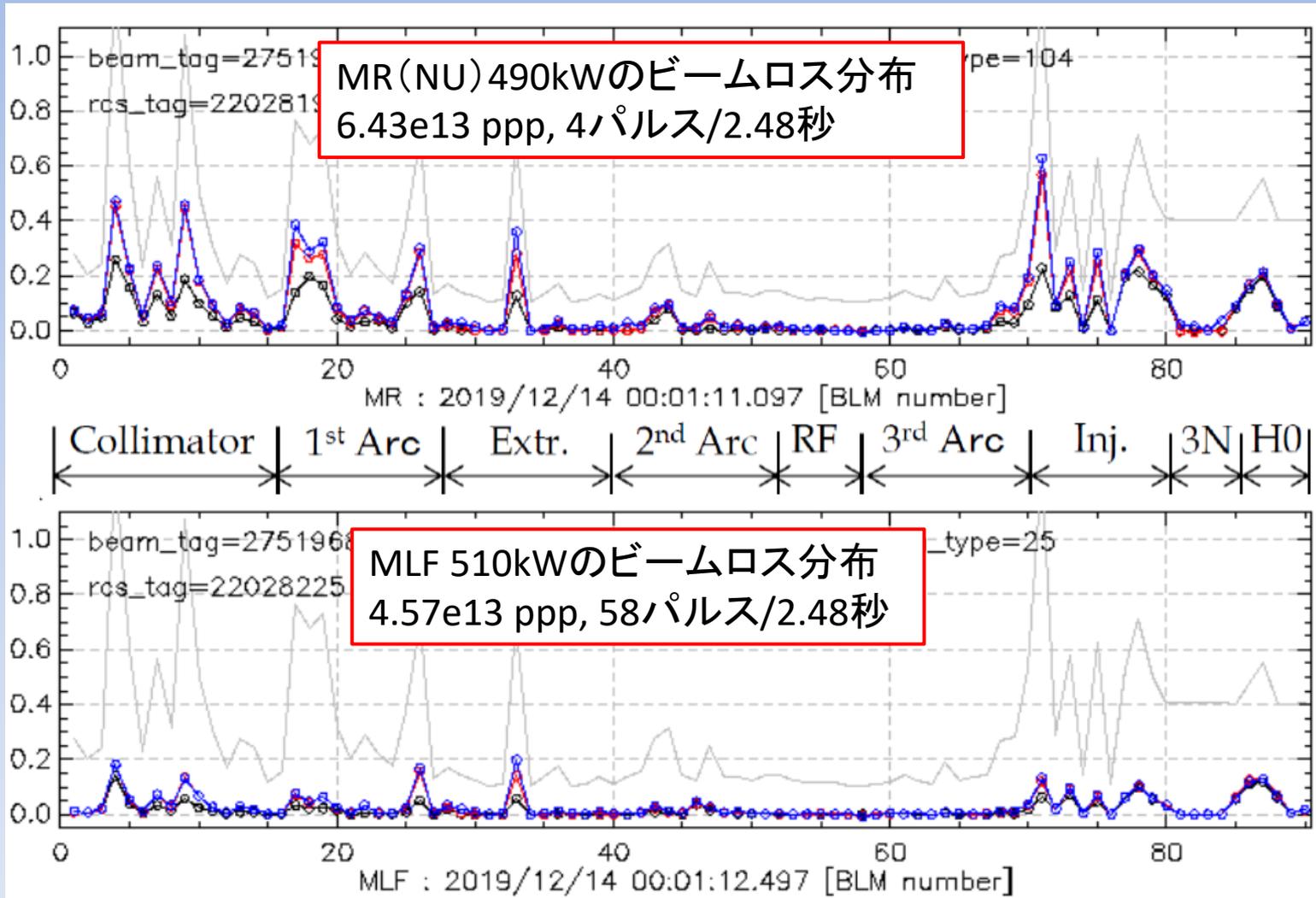
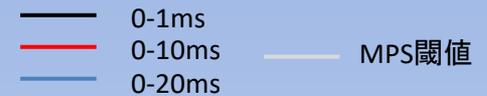
LINACからのビーム ( $\epsilon \sim 4\pi$ ) を  
位相空間上に均等に塗り潰して  
いく (painting) ように入射する

均等に配置していくことにより  
たくさん積める！



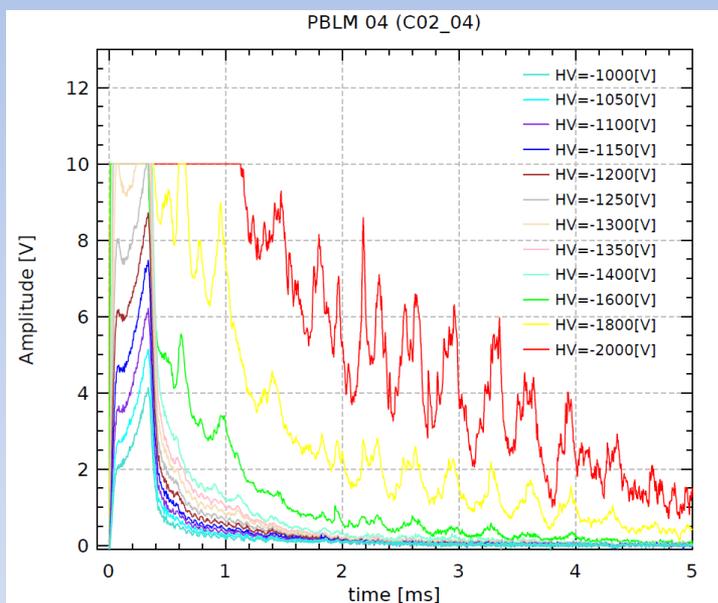
画像: <https://sozai-good.com/archives/16750>より

# 比例計数管型ロスモニタ(PBLM)による RCSのビームロス分布

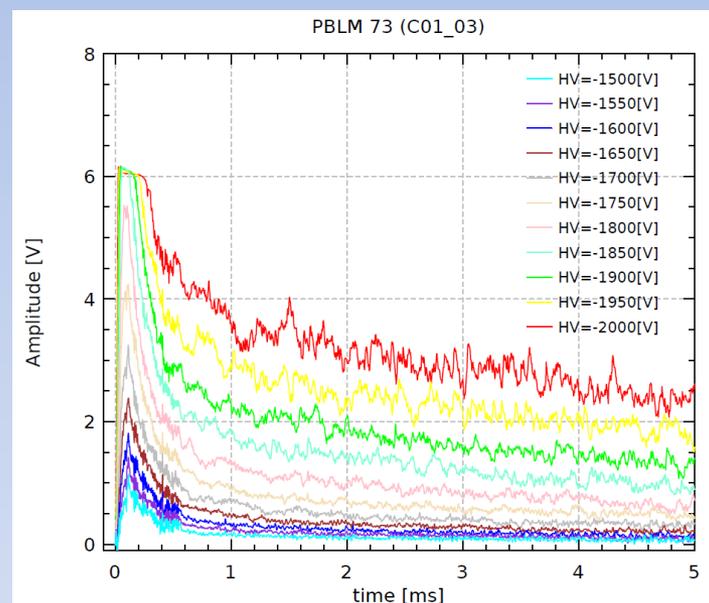


# RCSのビームパワー増大に伴い、PBLM の出力が飽和している場所が出てきた

## コリメータ遮蔽体内部のPBLMの波形



## 第1荷電変換foil直下のPBLMの波形

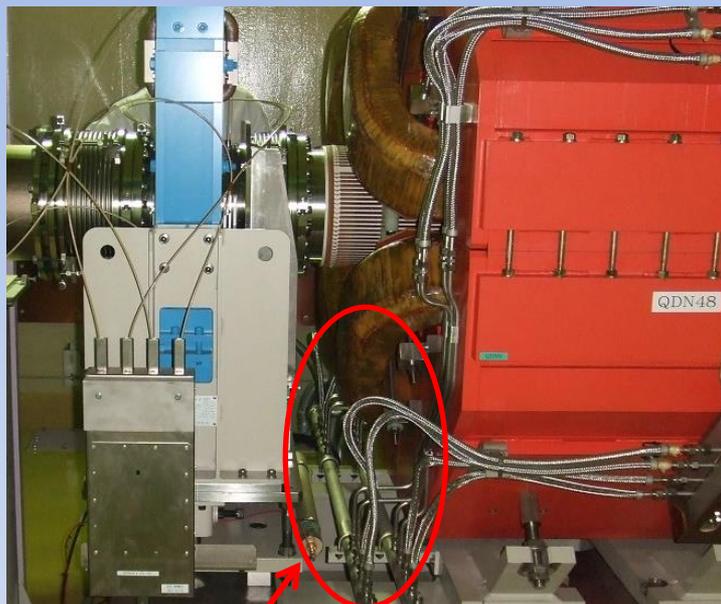


印加する高電圧を個別に制御してゲインを調整する必要がある。

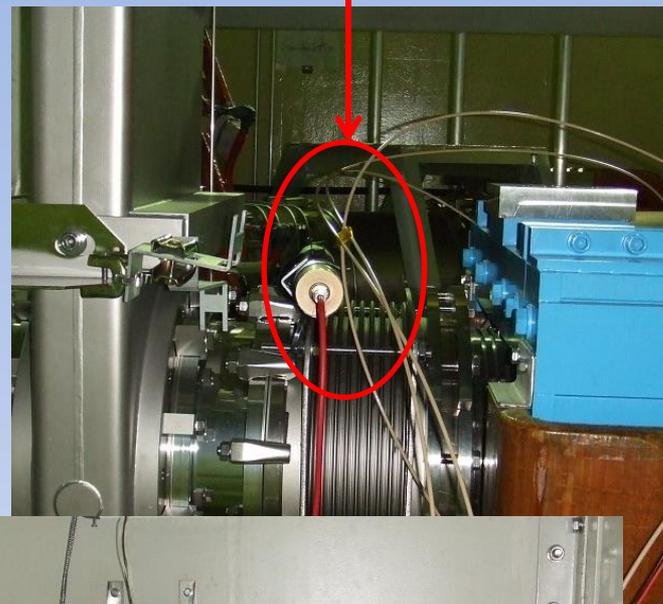
## 2. RCSのビームロスモニタ と高電圧制御システム

# RCSの比例計数管型 ロスモニタPBLM

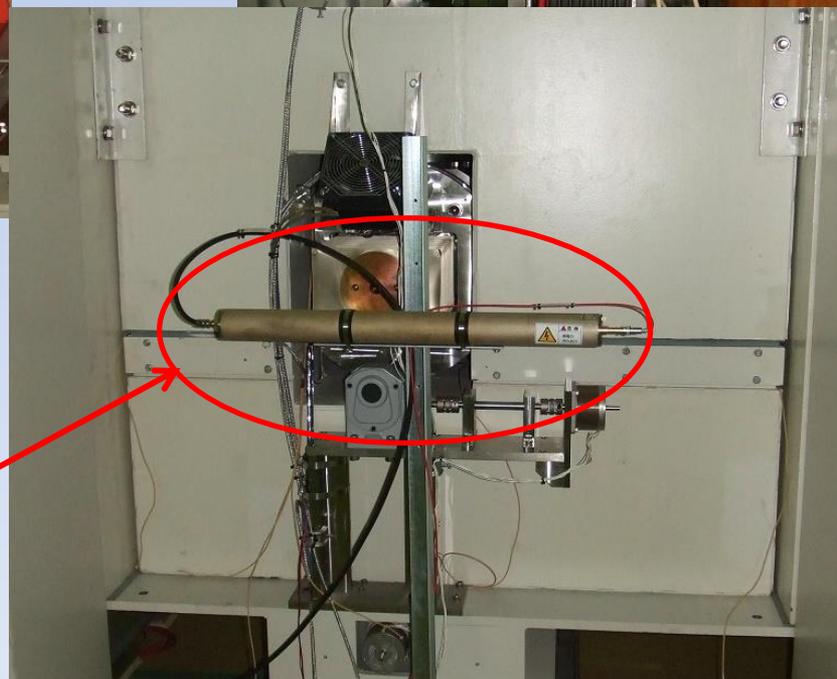
入射部分岐ダクトの上



QMの架台部  
(各CELLに2台)



コリメータ遮蔽体の隙間の前  
(通路に独立架台で設置)



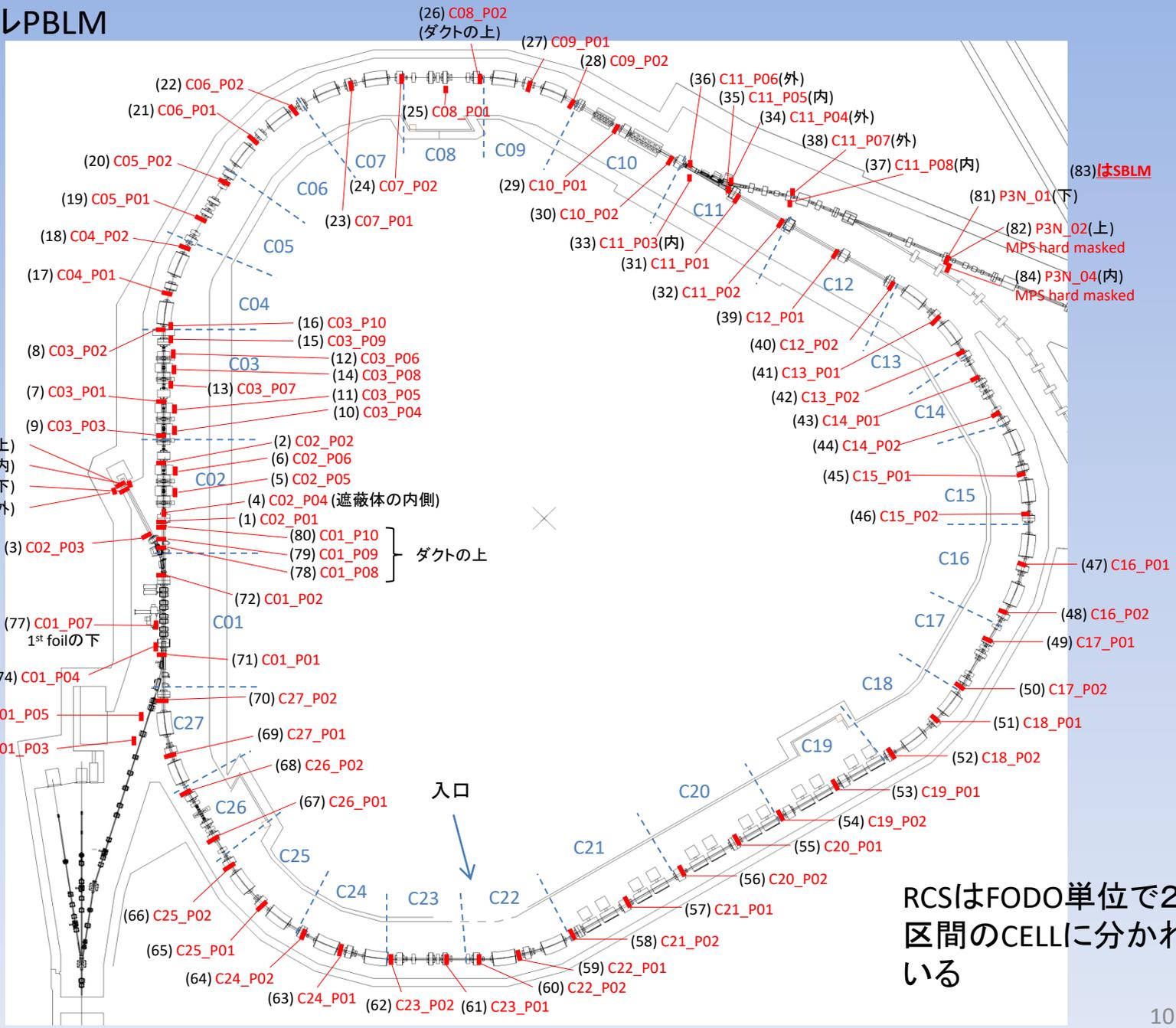
# RCS主トンネルPBLM

## 配置平面図

86台設置

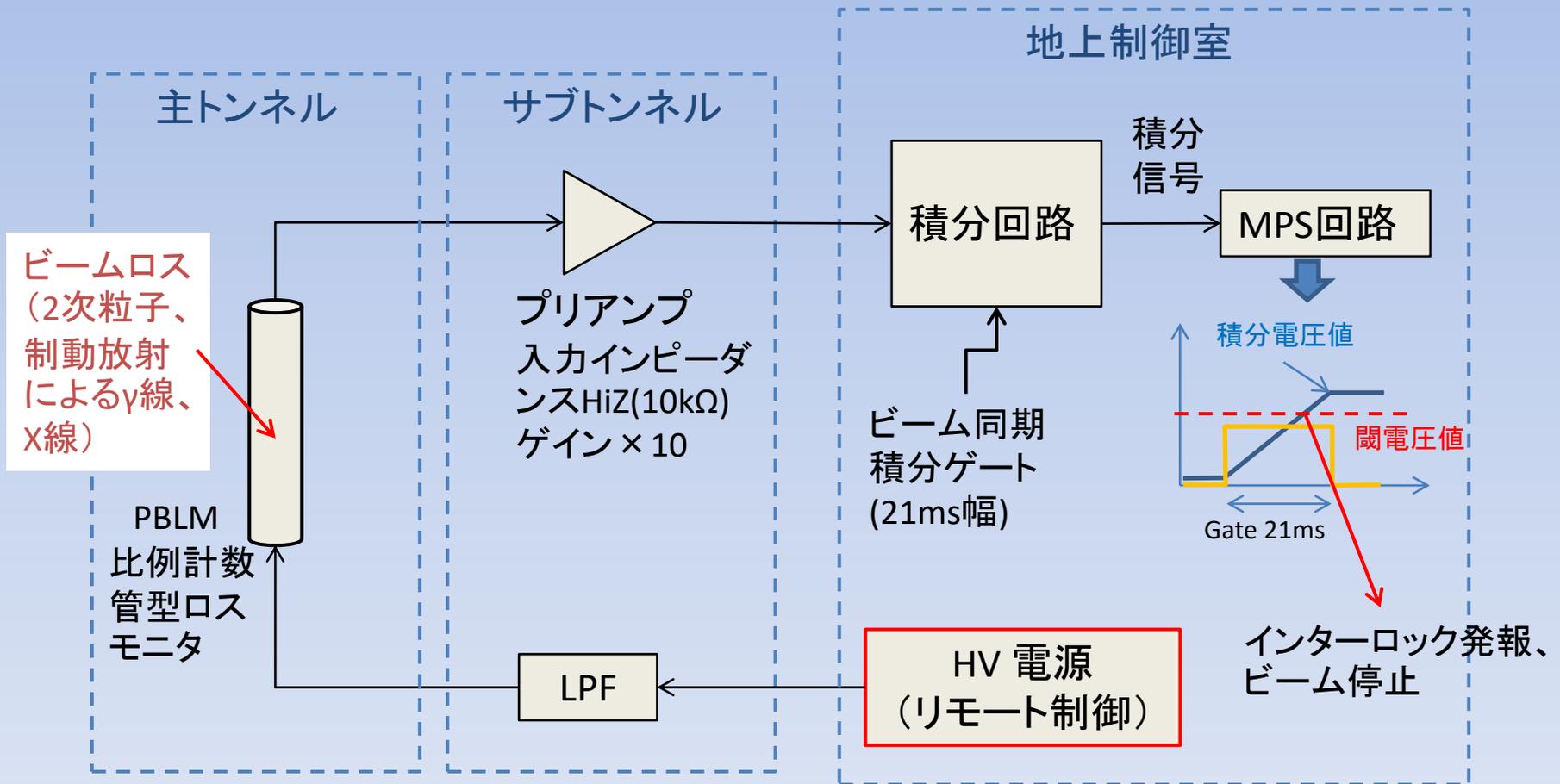
(89), (90) は  
SBLM (MPS  
hard masked)

(76) C01\_P06  
は取り外して  
いる (MPS  
hard masked)



RCSはFODO単位で27  
区間のCELLに分かれて  
いる

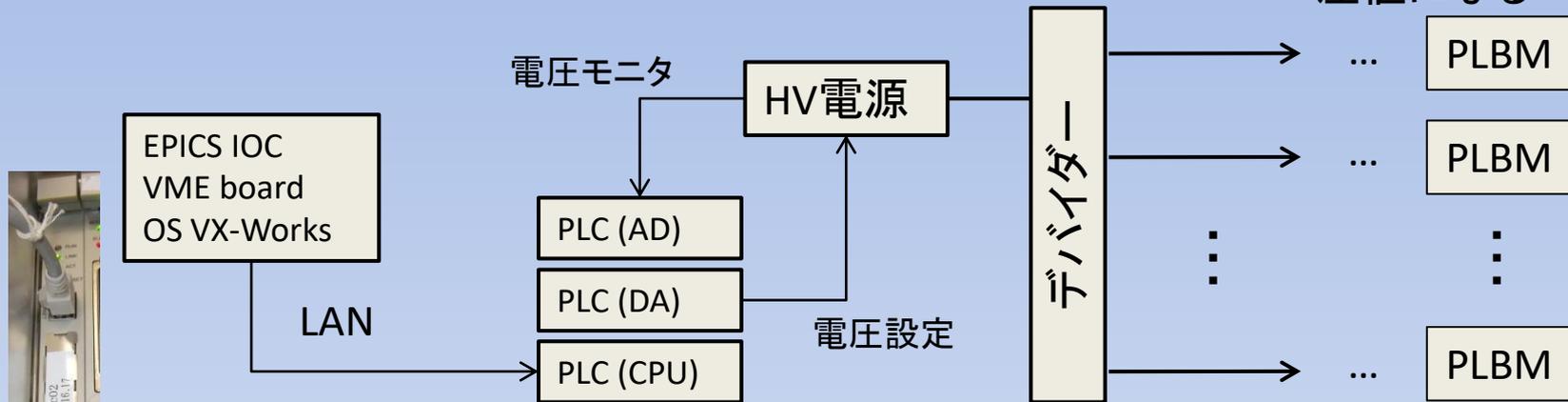
# RCS ビームロスモニタ(PBLM) MPSインターロック概要



# 現行のロスモニタ用高電圧制御システム

デバイダーで分岐しているのと同じグループは同じ電圧値になる

HV電源: 15台 → PBLM: 86台



Advanet  
Advme7501



YOKOGAWA  
F3AD08,  
F3DA08



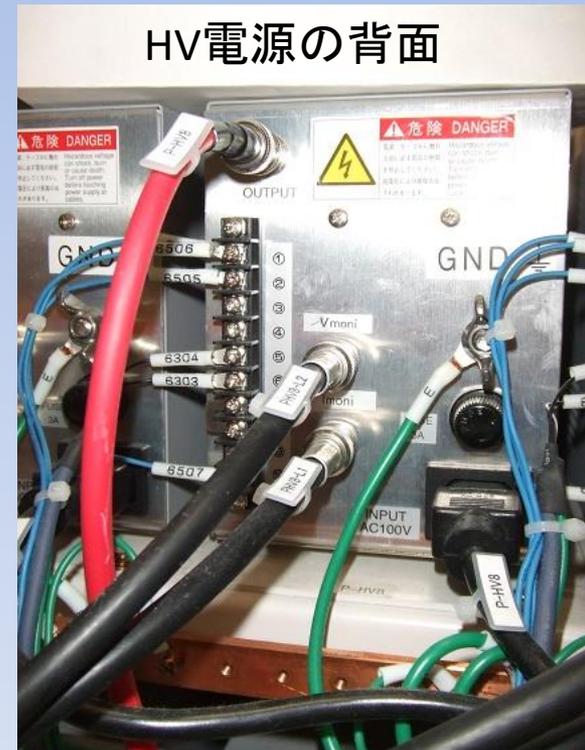
MATSUSADA  
HJPM-2R



HV divider  
1 IN - 8 OUT

# 現行高電圧制御システムの問題点

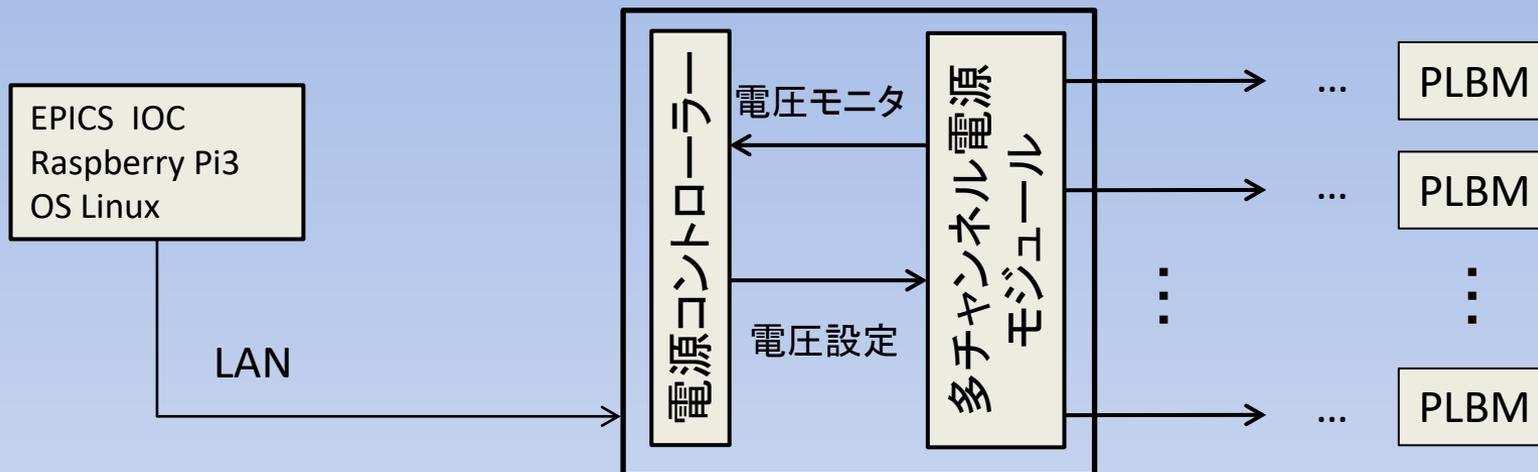
- 設置スペースがたくさん必要。
- 1CH増やすごとに電源とPLCの接続配線(8本)、ラダープログラムの書き換えが必要。
- PLCのAD/DAモジュールの分解能が12bit(4096)なので、電圧の精度が悪い。実際、設定値とモニタ値が2~6Vくらいずれている。
- デバイダーでグループ分けしているのですが、全てのロスモニタに最適なゲインを設定するのが難しい。



# 3. 多チャンネル高電圧 モジュールを用いた新 制御システム

# 多チャンネル高電圧モジュールを用いた 新制御システム試験機

個別に電圧値  
を設定できる



Raspberry Pi3  
Raspberry Pi OS (Debian系)  
EPICS R.315.5



Wiener Mpod Mini with controller  
iseg HV module(8CH)

# 製品仕様

## クレートとコントローラ

WIENER : Mpod MINI Crate :

19" 5U, 1 controller , 4 HV module slots

バックプレーン: ユーロカード コネクタ(3列96pin)

Mpod専用バス配線(オプションでVME、cPCIのバス配線と組み合わせることもできる)



## 高電圧モジュール

iseg : HV module : 4CH/8CH/16CH, MAX -3000V, 1~3mA

精度: 設定値とモニタ値のずれ~0.1V以内

制御:

- USB接続 (Windows)
- CAN-BUS接続 (Windows)
- LAN接続 (SNMP: Windows, Linux)



本発表  
の主題

EPICS制御

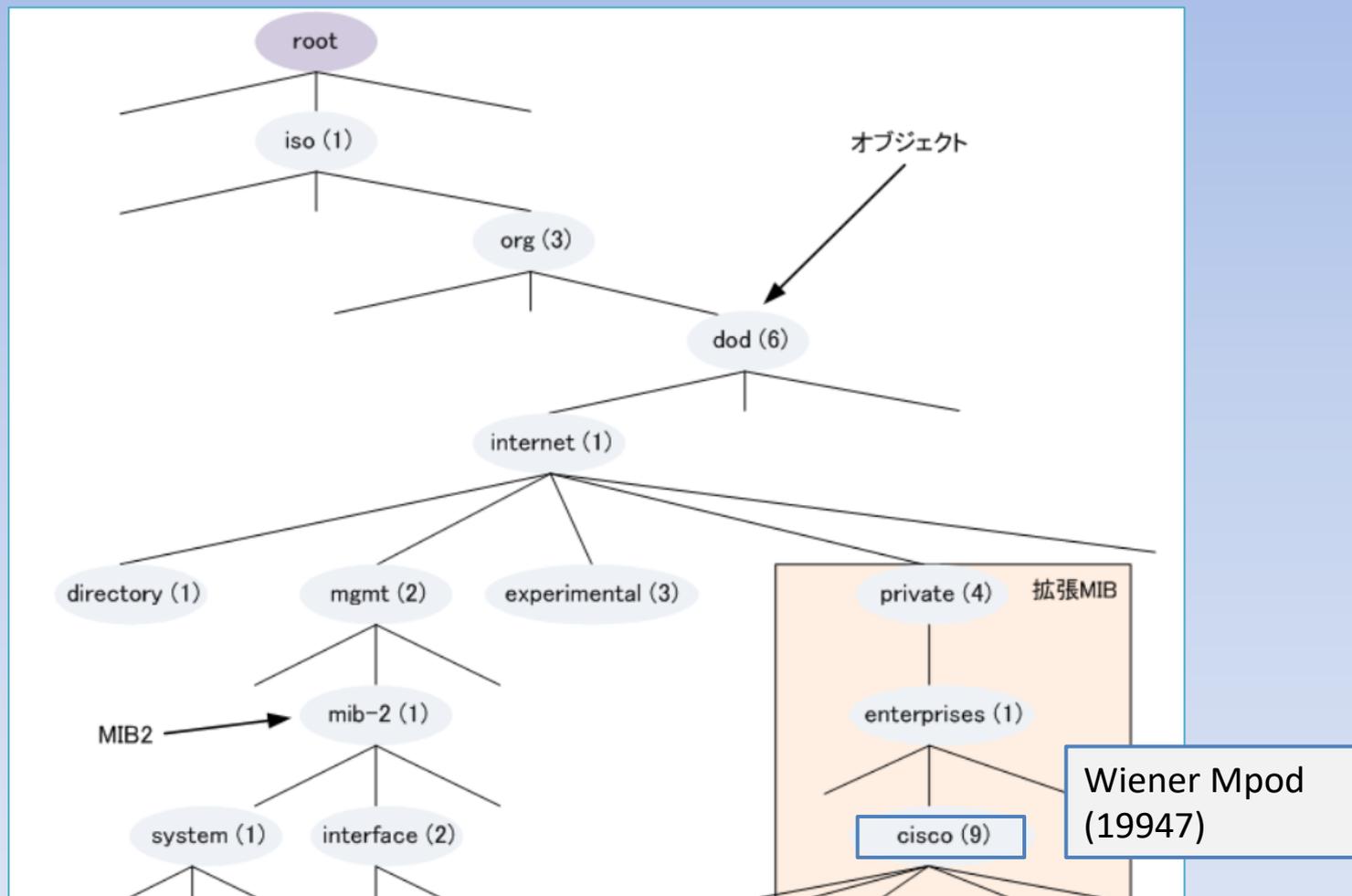
SNMPのオブジェクトを、EPICSレコードに対応させる

# SNMP (Simple Network Management Protocol) とは？

- ネットワーク機器を監視・制御するためのアプリケーション層の通信プロトコル。
- 機器側のSNMPエージェント(サーバー)とユーザー側のSNMPマネージャー(クライアント)でUDP/IPで通信する。
- MIB (Management Information Base)と呼ばれるツリー構造の集合体を用いて個別の機器情報(オブジェクト)を監視・制御する。
- オブジェクトは、ユニークな文字列で表され、OID(オブジェクトID)と呼ばれるピリオドで区切られた数字が割り当てられる。

# SNMPのMIB構造の概念図

下の例では、ciscoのルーターのOIDは、.1.3.6.1.4.1.9、  
WIENER MpodコントローラーのOIDは、.1.3.6.1.4.1.19947である。



(\*) 図 <https://www.infraexpert.com/study/tcpip21.html> より

# SNMPオブジェクトへのアクセスコマンド

`snmpget` (情報の取得), `snmpset` (情報の設定), `snmpwalk` (あるノード以下の情報を全て取得) 等コマンドがある。

使用例:

```
snmpget -v c2 -c private 10.33.36.99 .1.3.6.1.4.1.19947.1.3.2.1.5.1
```

version (v1,v2c,v3)      アクセス権限 (public, private, gru)      IP address      Mpod HVモジュールch.0の電圧値のOID

オブジェクトは以下のようにMIBファイルに定義されたオブジェクト名でも指定できる

```
-M ./mibs -m +WIENER-CRATE-MIB outputMeasurementSenseVoltage.u0
```

MIBファイルのディレクトリ名      MIBファイ名      Mpod HVモジュールch.0の電圧値のオブジェクト名

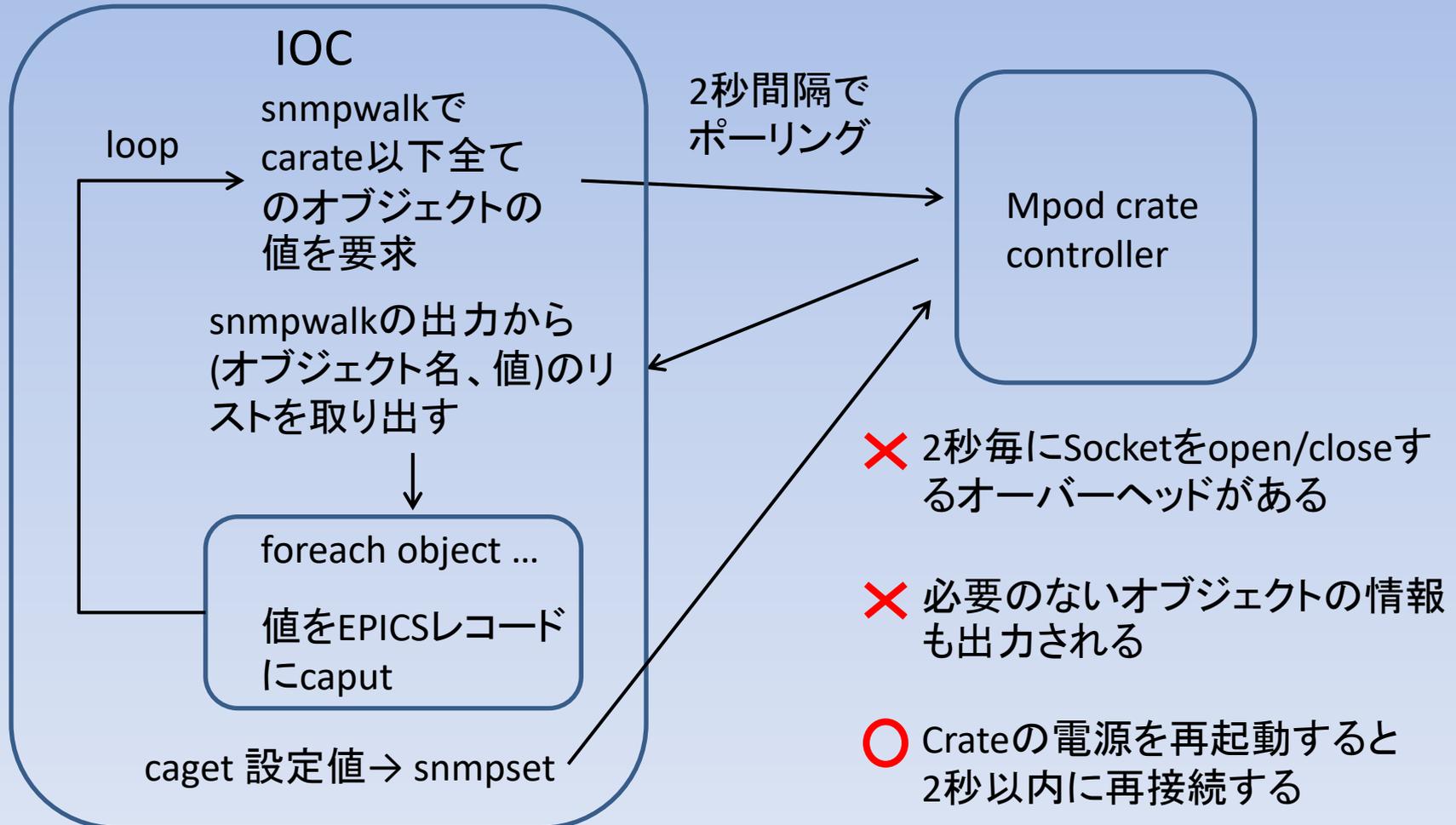
# EPICS (Experimental Physics and Industrial Control System) とは？

- 加速器などの大規模な施設で機器群を分散制御するためのソフトウェア環境
- IOC (Input Output Controller) と呼ばれるコンピュータが、VME, PCI,  $\mu$ TCAバス、GPIB、USB、Ethernet等の様々なインターフェースで測定機器のデータを収集する
- IOCで収集されたデータは、EPICSレコードと呼ばれるデータベースで管理される
- EPICSレコードは、CA (Channel Access) と呼ばれるプロトコルで、IOCとLAN接続されたコンピュータ群からシームレスにアクセス(読み込み、書き込み)できる

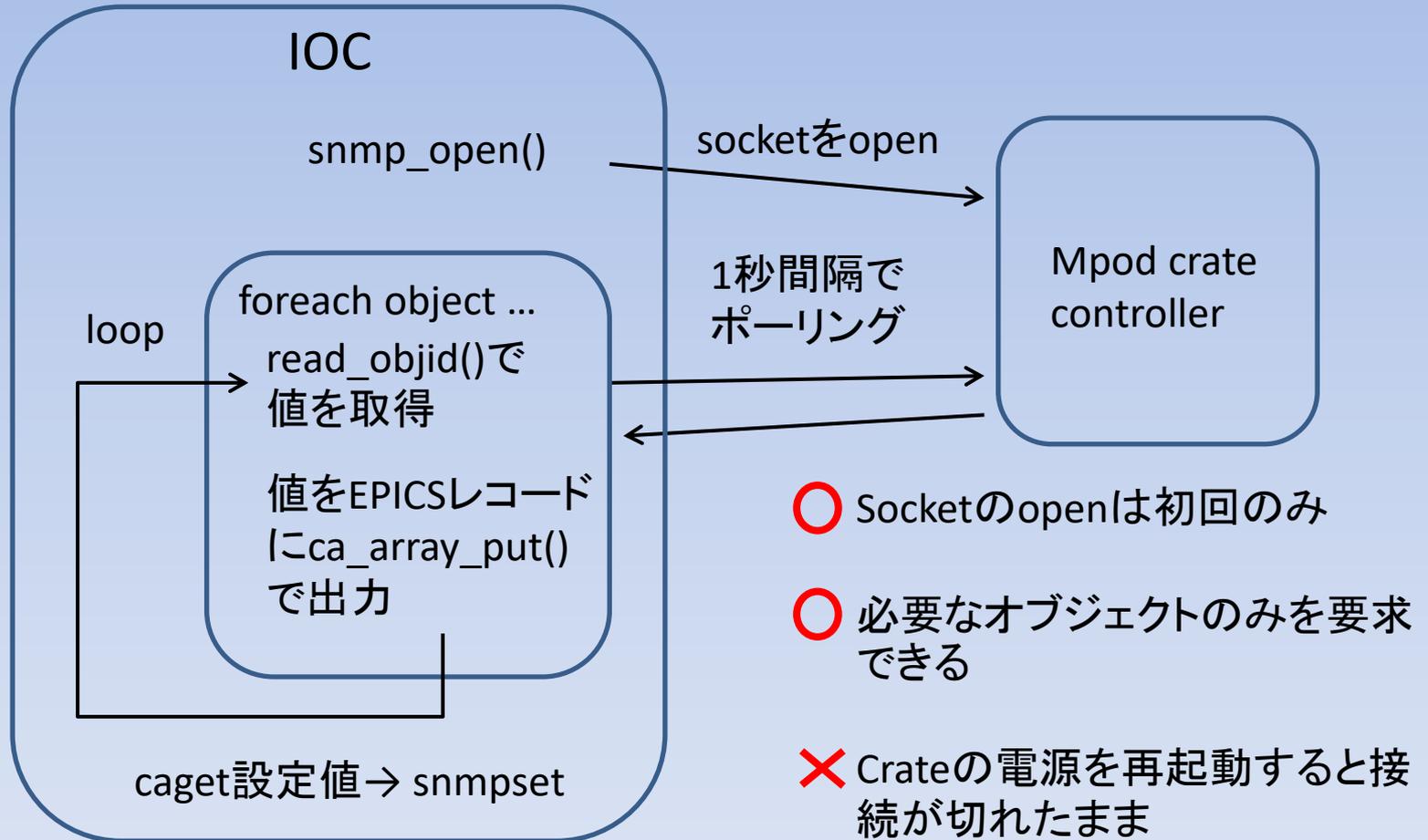
## EPICSレコードへのアクセスコマンド

**caget** (要求したタイミングでデータ取得)、**camonitor** (データが更新されたタイミングでデータ取得)、**caput** (データ設定) などがある

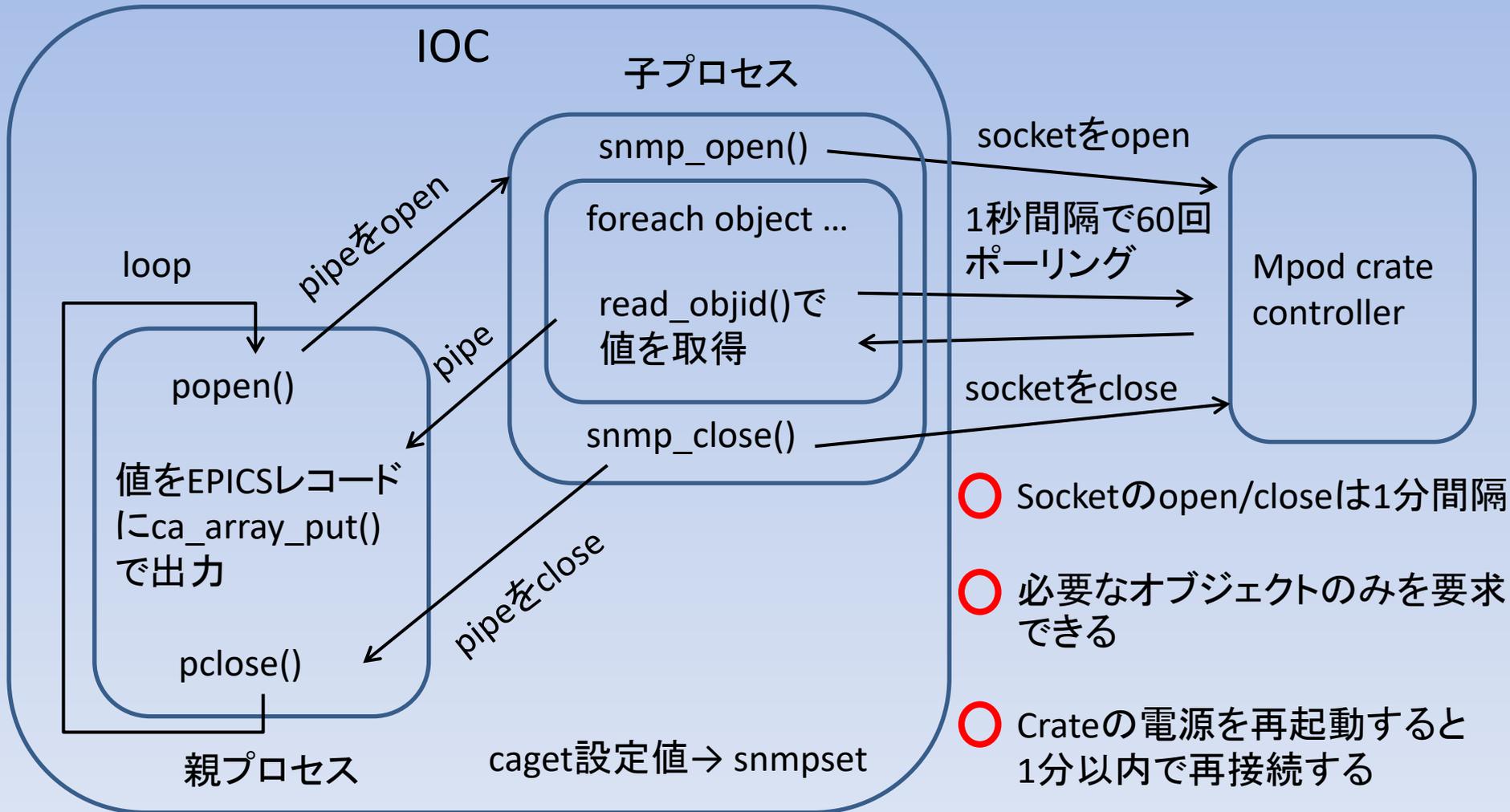
# スクリプトを用いた簡易的な SNMP-EPICSコンバーターの実装



# Net-SNMP APIを用いたC言語での SNMP-EPICSコンバーターの実装

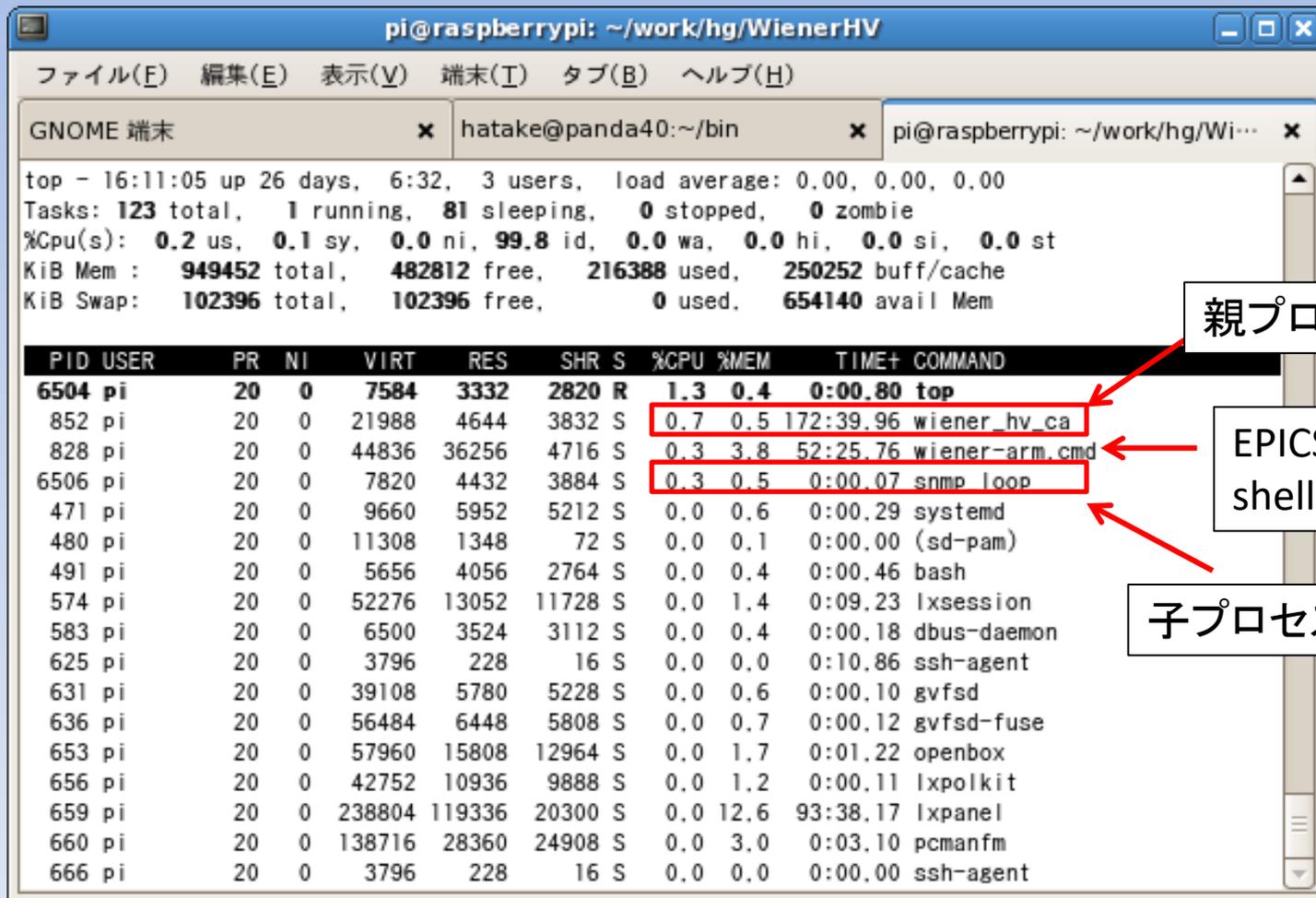


# Net-SNMP APIを用いたC言語での SNMP-EPICSコンバーターの実装(改良版)



# 改良版SNMP-EPICSコンバーターのCPU, memory使用率

RasPi3のCPU(arm),RAM(1GB)でも十分余裕がある



## 4. まとめ

- J-PARCのビーム強度の増強に伴い、RCSのビームロスモニタ(PBLM)の波形が飽和する箇所が出てきた。
- 現状の高電圧電源システムはデバイダーで分岐させているためゲインの個別調整が難しい。
- 個別に電圧設定が可能な多チャンネル高電圧電源システムの試験機を導入した。
- 多チャンネル高電圧電源のリモート制御のためのSNMP-EPICSコンバーターを開発した。