

システム概要

今後ますますソフトウェアは重要になってきますが、

- 1、本セミナーでは要素技術の解説が中心になること
- 2、馴染む機会が多い
- 3、他の要素技術に比べ経験を多く積める
によりハードウェア中心の話になります。

2020.07.27 MT

講義内容

時間\日付	月曜日	火曜日	水曜日	木曜日	金曜日
08:45-09:15	受付				
09:15-09:20	開会の挨拶 (岡田安弘 高エネルギー 加速器研究機構・理事)	アナログ信号処理Ⅰ (房安貴弘 佐賀大学)	アナログデジタル変換技術Ⅰ (宮原正也 KEK)	施設見学	FPGAを用いたDAQ技術 概要 (濱田英太郎 KEK)
09:20-10:45	システム概要Ⅰ (田中真伸 KEK)				休憩(15分)
10:45-11:00		休憩(15分)			
11:00-12:00	システム概要Ⅱ (田中真伸 KEK)	アナログ信号処理Ⅱ (房安貴弘 佐賀大学)	アナログデジタル変換技術Ⅱ (宮原正也 KEK)		実際の現場より (中村克郎 KEK)
12:00-12:30	昼食(60分)				閉会の挨拶
12:30-13:00		昼食(60分)			
13:00-13:30	ガス検出器 (宇野彰二 KEK)	トランジスタの基礎Ⅰ (房安貴弘 佐賀大学)	デジタル信号処理Ⅰ (本多良太郎 東北大)	ソフトウェア技術Ⅰ (長坂康史 広島工業大学)	
13:30-14:30					
14:30-15:00	休憩(30分)				
15:00-15:20	半導体検出器 (岸下徹一 KEK)	休憩(20分)			
15:20-16:30		トランジスタの基礎Ⅱ (房安貴弘 佐賀大学)	デジタル信号処理Ⅱ (本多良太郎 東北大)	ソフトウェア技術Ⅱ (長坂康史 広島工業大学)	
16:30-16:50	集合写真撮影				



講師紹介

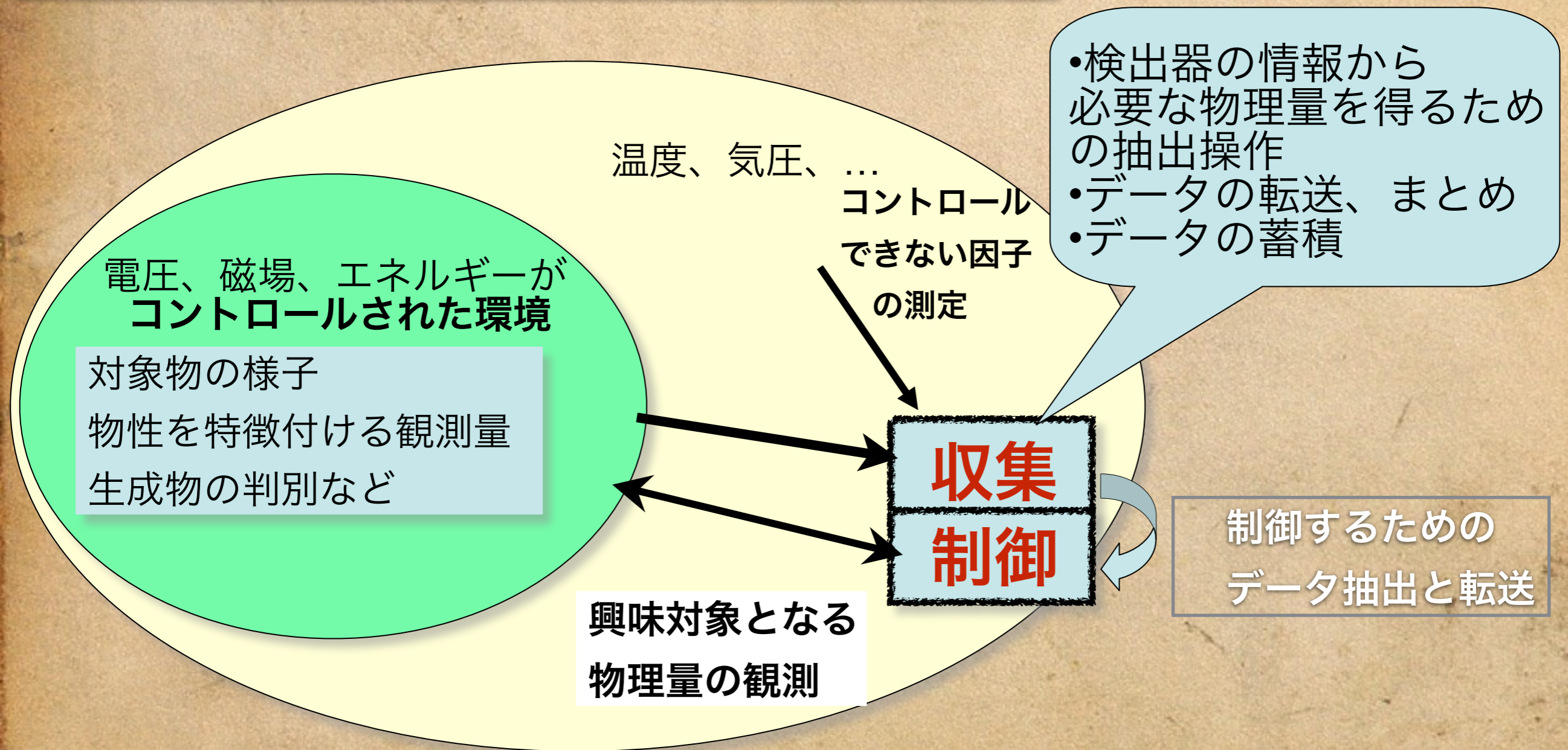
- ◆勤務先：高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所
- ◆学部生：工学系の学問を学ぶ
- ◆修士：低エネルギーの原子核散乱の実験
- ◆博士：高エネルギー原子核実験
- ◆博士研究員：高エネルギー分野でSSC,B-factory,測定装置開発
- ◆助教（助手）：B-factory
- ◆准教授：B-factory, ニュートリノ, Telescope Array, Hyper SuprimeCam, Open-Itなどなど
- ◆教授：エレクトロニクスシステムグループ

Overview

- いくつかの例
 - 複数の分野で、具体例を通して何が行われているかを知る
- トップダウンで我々に何が必要かリストアップする。
- それぞれの項目についてさらに検討してみる。
- それをもとに科学を行うために必要なコンセプトやそれを実現するための技術を概観する。

対象とする計測制御装置の定義

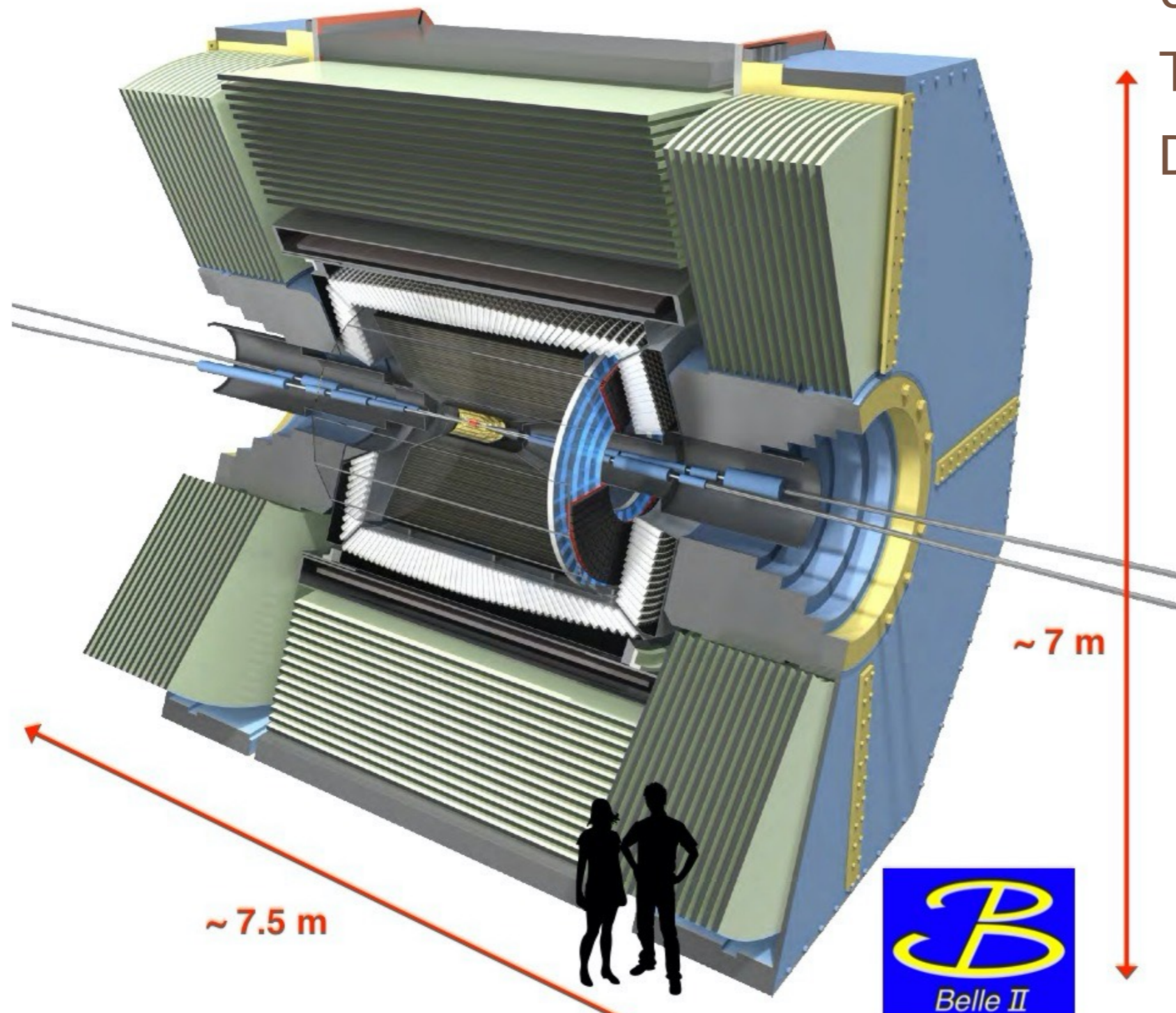
計測・観測対象と計測制御



素粒子原子核以外の分野でどのような実験が行われているか？

Belle-II

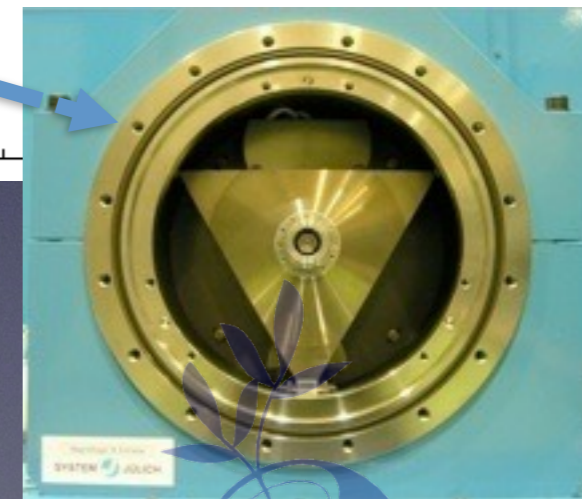
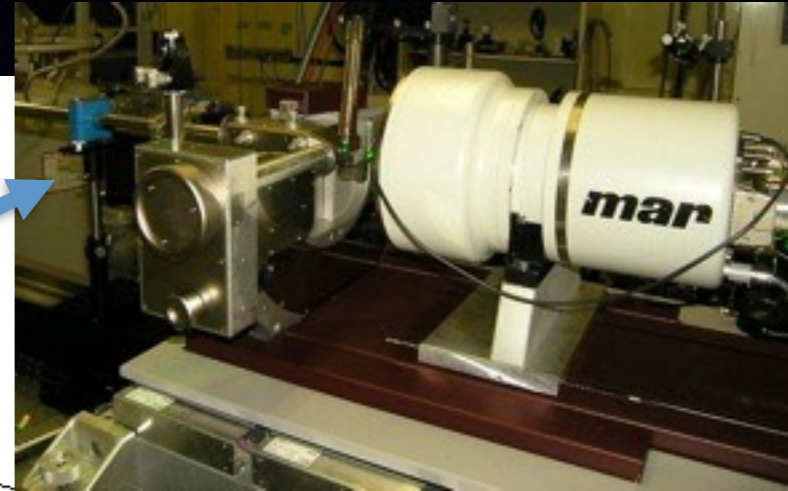
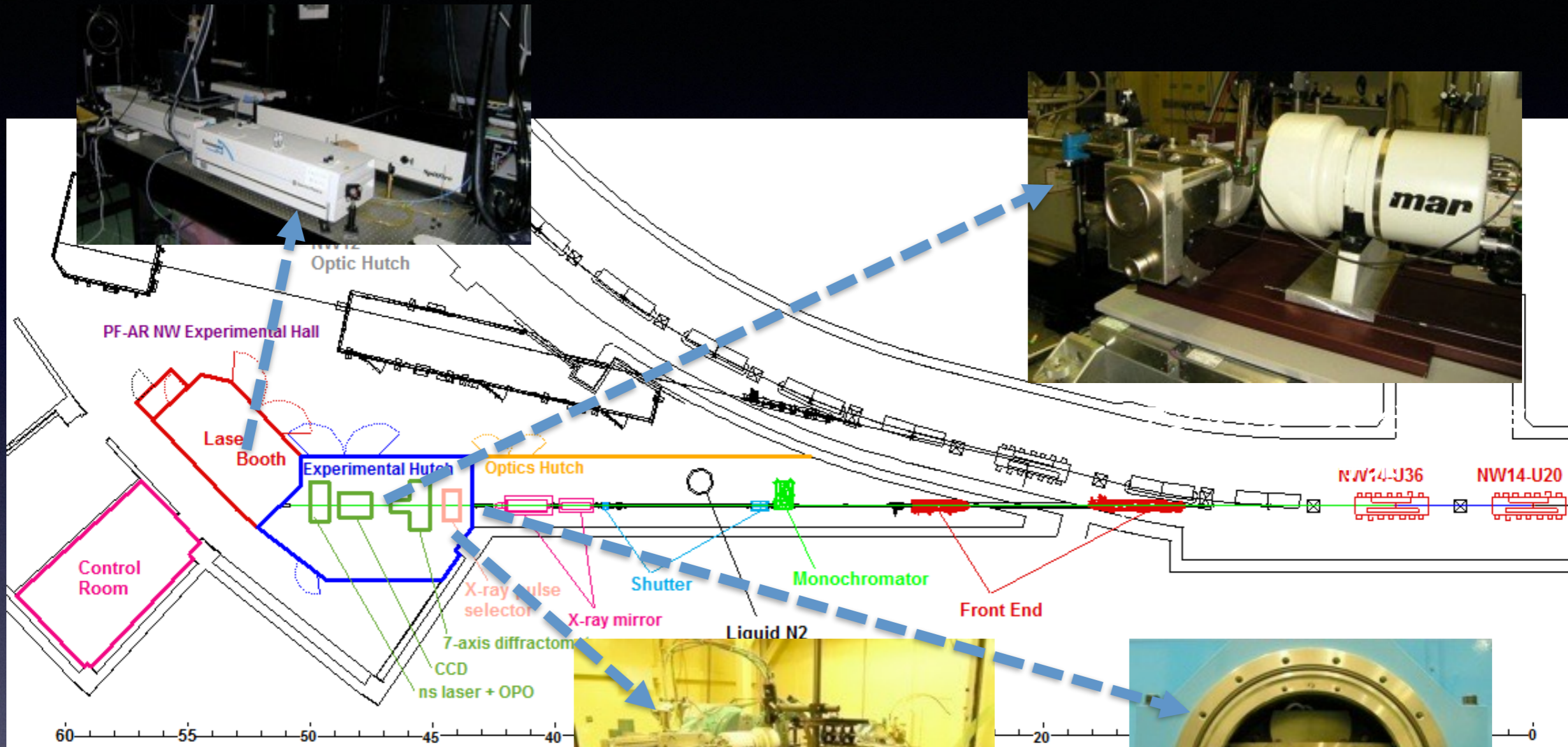
of channel: $\sim 8\text{Mch}$
collision rate: $\sim 500\text{MHz}$
Trigger rate: $\sim 30\text{kHz}$
Data: $0.4 \sim 1.8\text{GB/sec}$



実際の現場より (5日目)

物質構造科学では

NW14Aの制御要素



その他の制御要素

試料温度、磁場、電場、
圧力、試料交換
各種条件のロギング、
データベース化、
などなど

提供：物質構造科学研究所 足立伸一氏



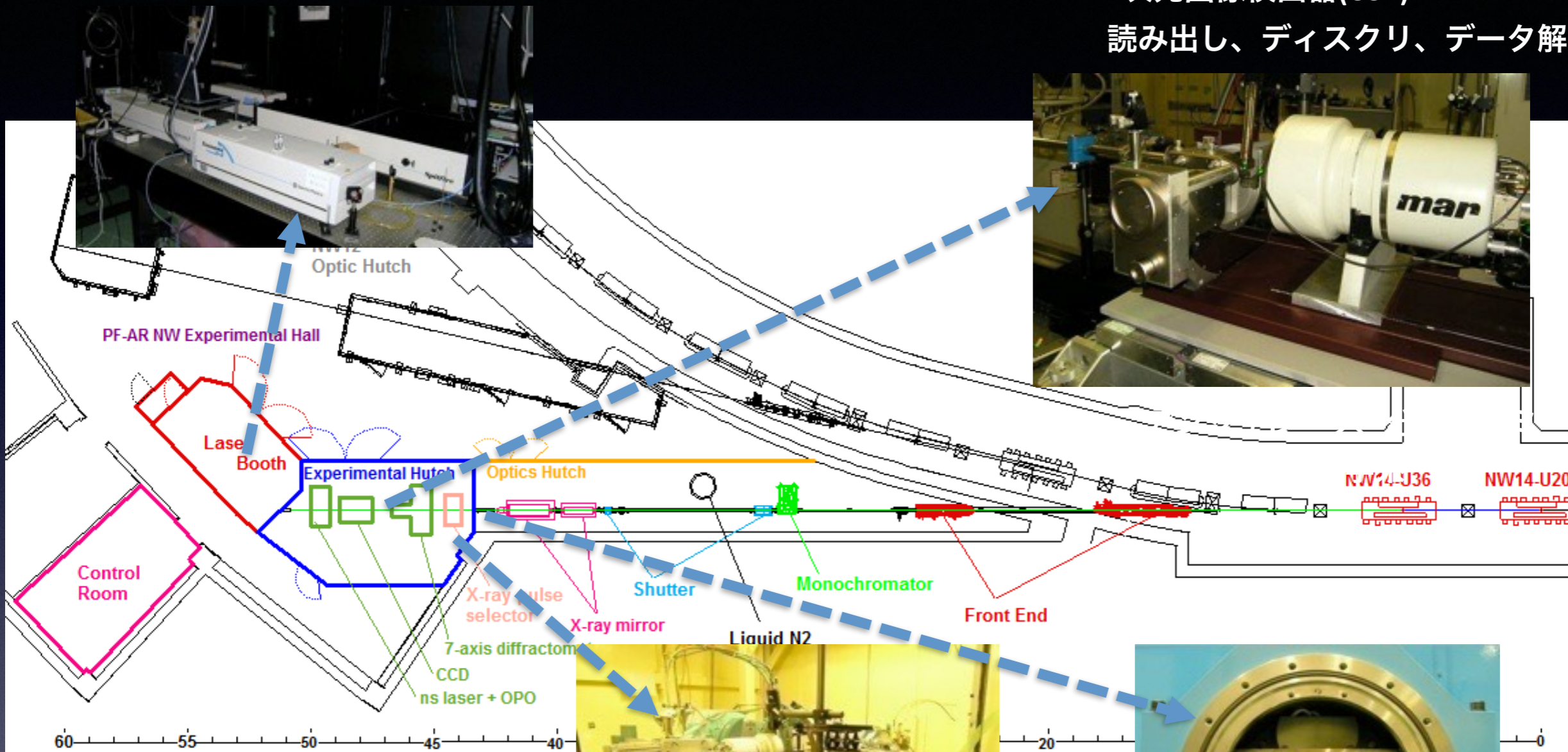
レーザーシステム制御
波長、パワー、タイミング

物質構造科学では

NW14Aの制御要素

2次元画像検出器(CCD)

読み出し、ディスクリ、データ解析



その他の制御要素

試料温度、磁場、電場、
圧力、試料交換
各種条件のロギング、
データベース化、
などなど

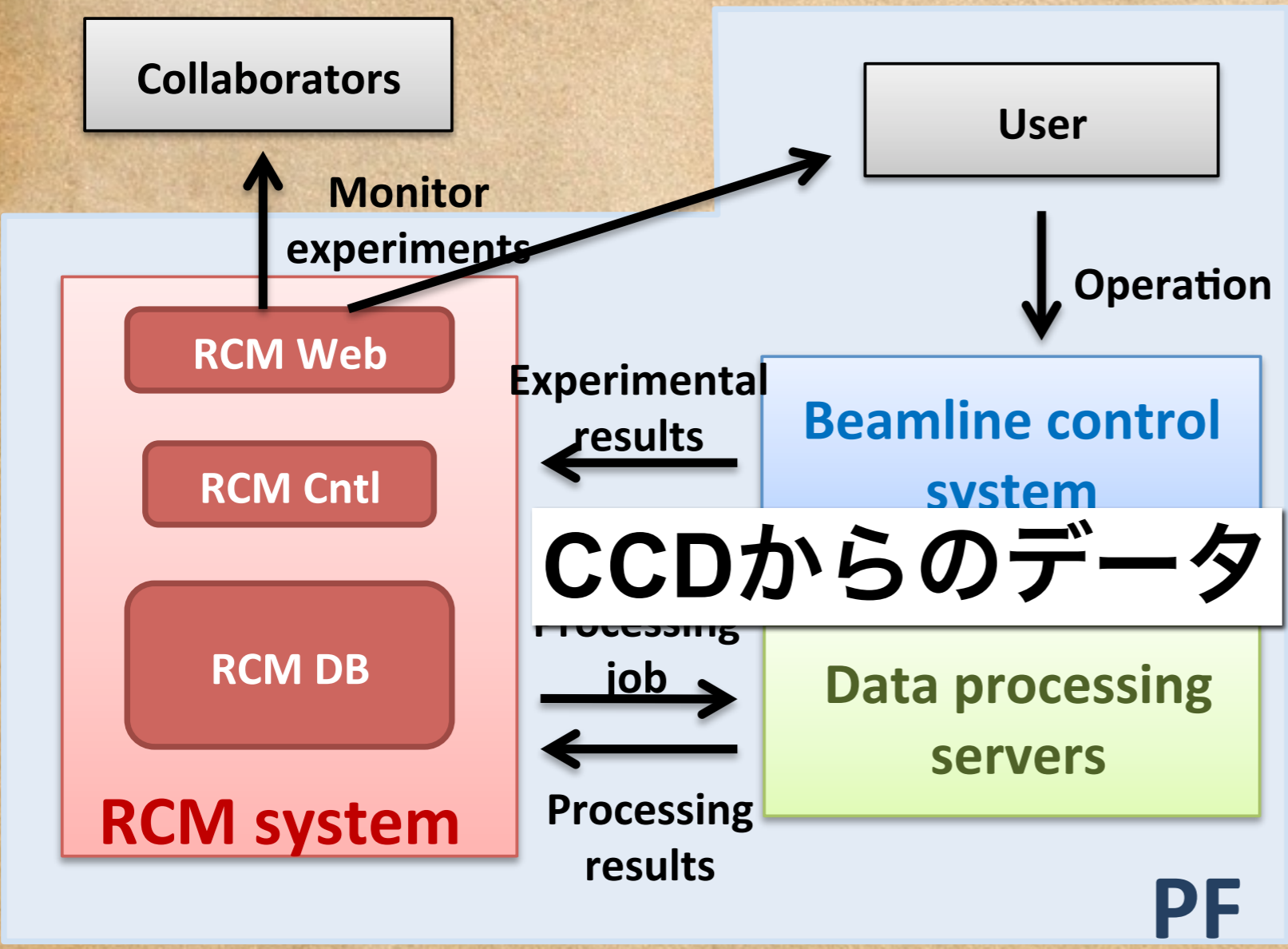
回折計
多軸同時制御

X線チョッパー
タイミング制御、速度制御

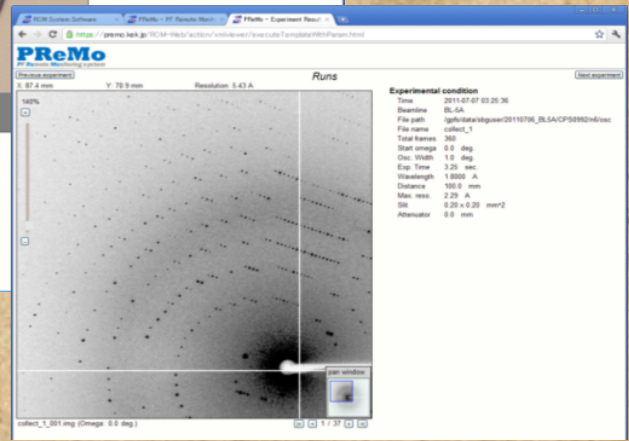
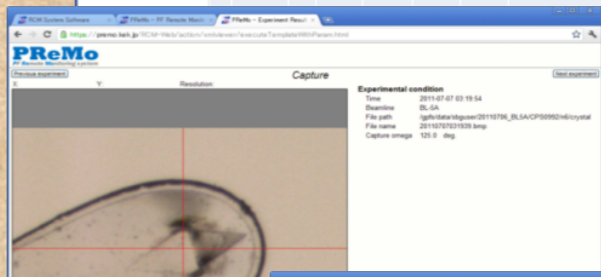
提供：物質構造科学研究所 足立伸一氏



構造生物



No.	ContainerID	Port	Protein	CrystalID	Snapshot	Runs	Comment
1	KEKPF-0011	A1	Thaumatin	Sample1-01			
2	KEKPF-0011	A2	Thaumatin	Sample1-02		Processed	
3	KEKPF-0011	A3	Thaumatin	Sample1-03		Doing	
4	KEKPF-0011	A4	Thaumatin	Sample1-04		Processed	
5	KEKPF-0011	A5	Thaumatin	Sample1-05		Processed	
6	KEKPF-0011	A6	Thaumatin	Sample1-06		Processed	
7	KEKPF-0011	A7	Thaumatin	Sample1-07		Processed	
8	KEKPF-0011	A8	Thaumatin	Sample1-08		Processed	
9	KEKPF-0011	B1	Thaumatin	Sample1-09		Processed	
10	KEKPF-0011	B2	Thaumatin	Sample1-10		Processed	

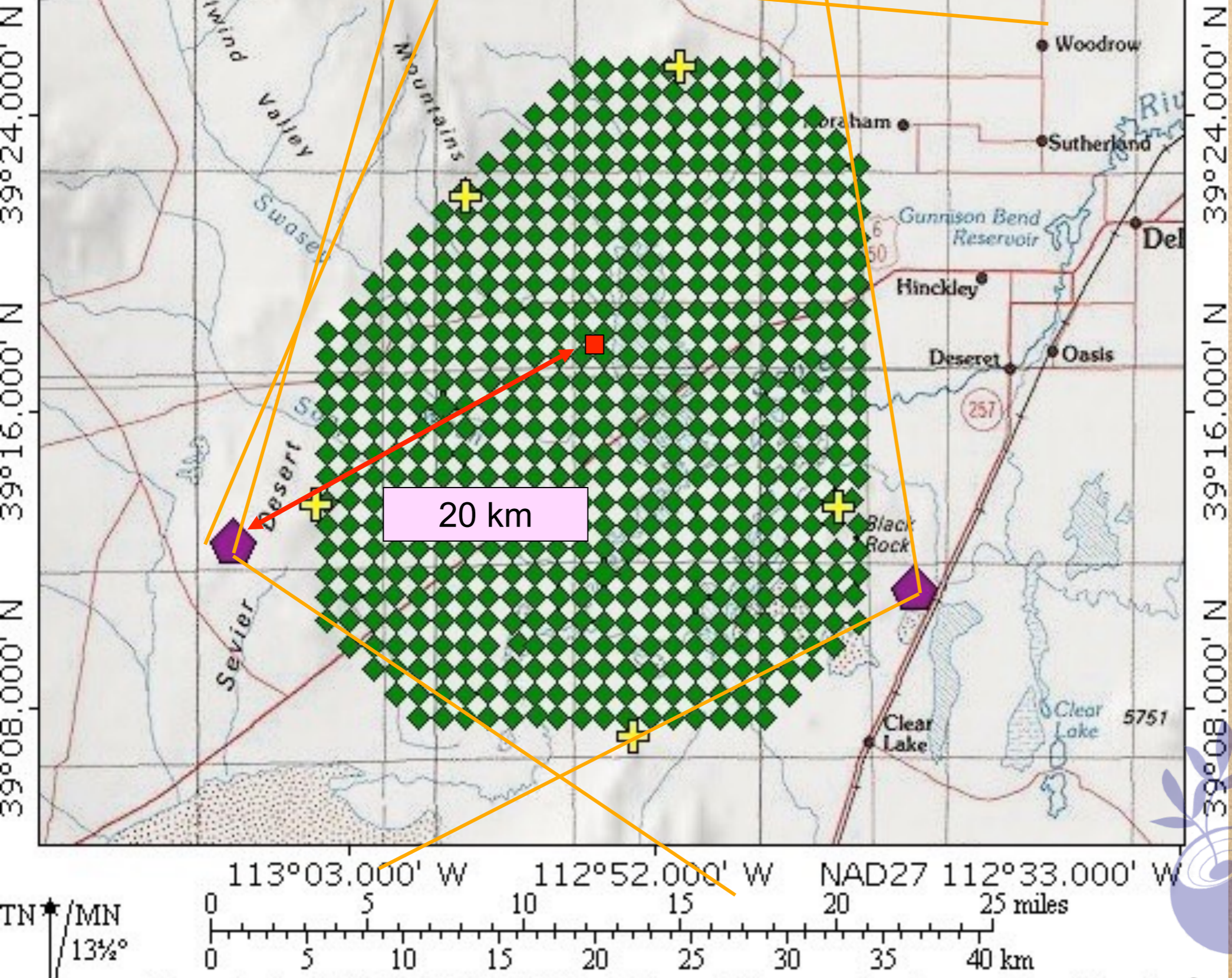


ユタ州・ミラード郡(北緯39.1°, 西経122.9°) 海拔

~1400 m

宇宙線分野

Fluorescence Telescope



Open source consortium of Instrumentation

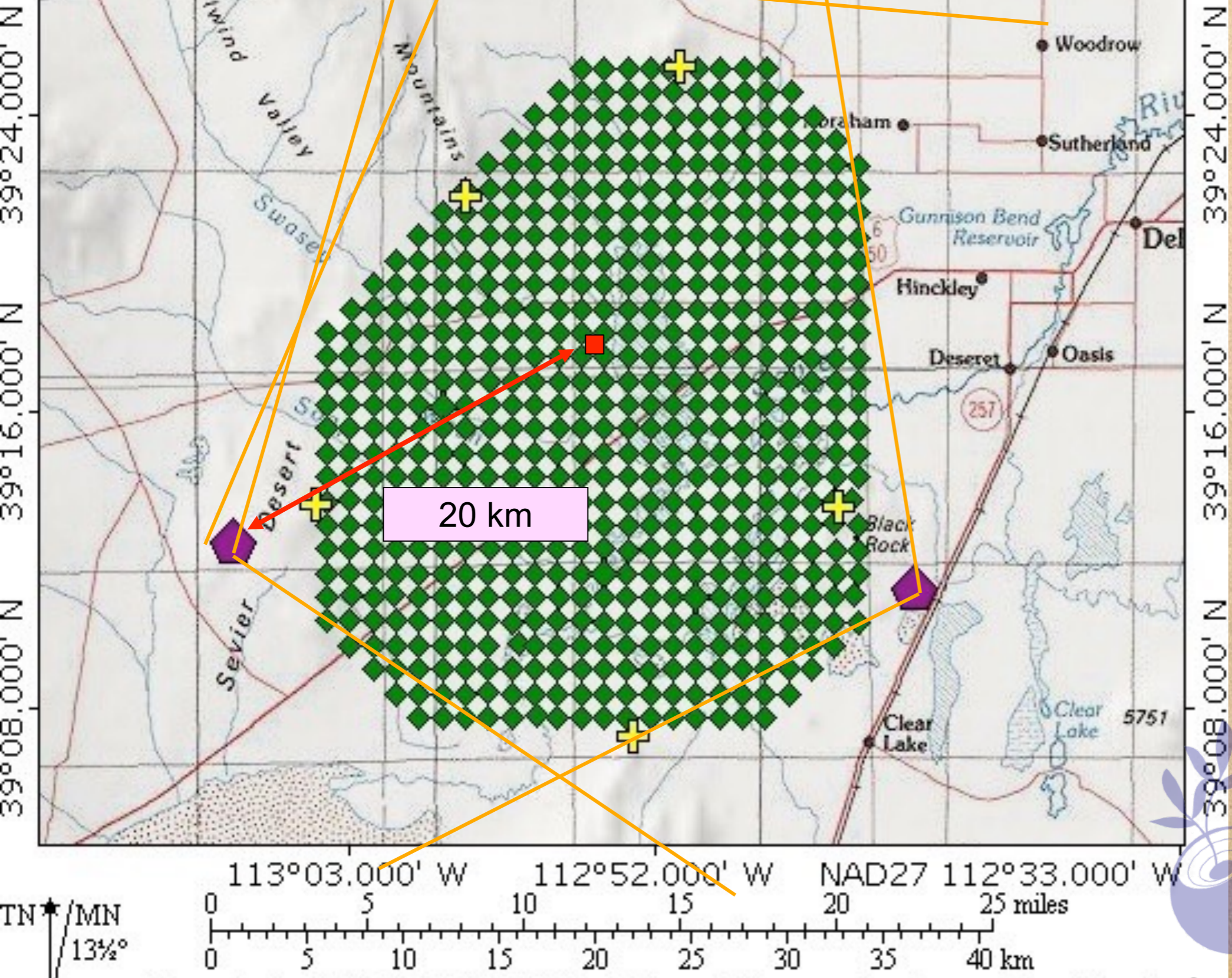


ユタ州・ミラード郡(北緯39.1°, 西経122.9°) 海拔

~1400 m

宇宙線分野

Fluorescence Telescope



宇宙線分野

ユタ州・ミラード郡(北緯39.1°, 西経122.9°) 海拔

~1400 m

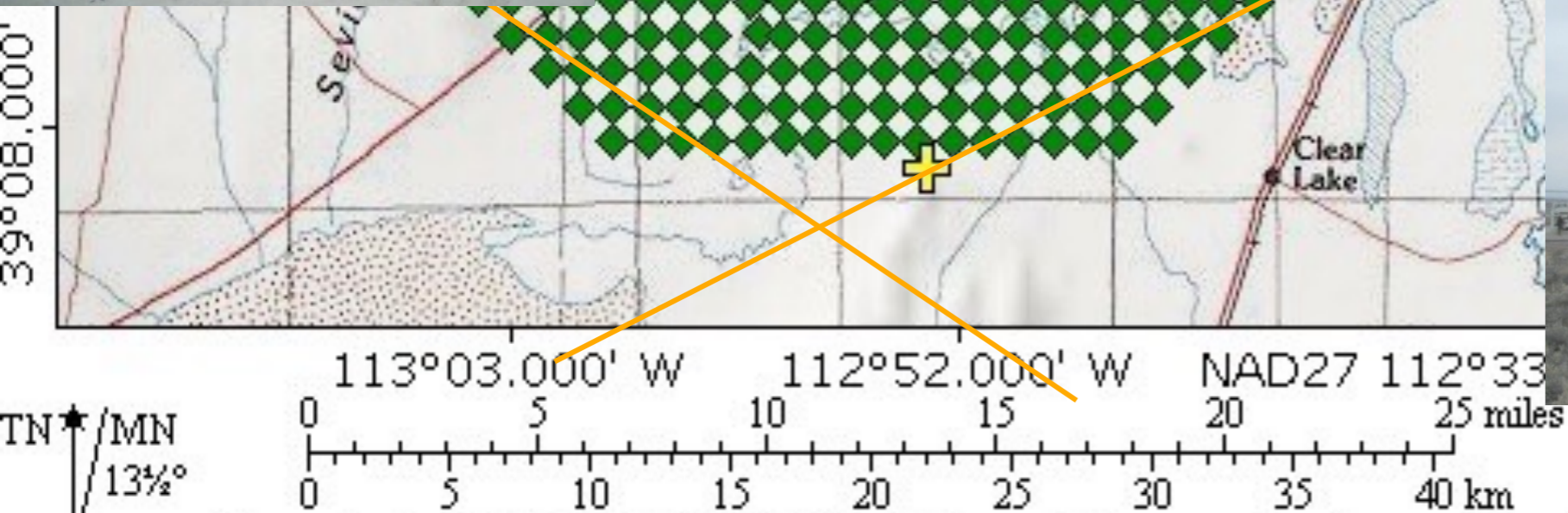
Surface detector(SD)
シンチレーション検出器:576台
3 m² x 1.2cm x 2 layers
1.2 km 間隔, 800 km²
E > 10¹⁹ eV



20 km

Fluorescence Detector(FD)
ステーション: 3ヶ所
望遠鏡: 12台/ステーション,
焦点距離: 3.3m
視野: 3° - 33° x 108°

~35 km 間隔

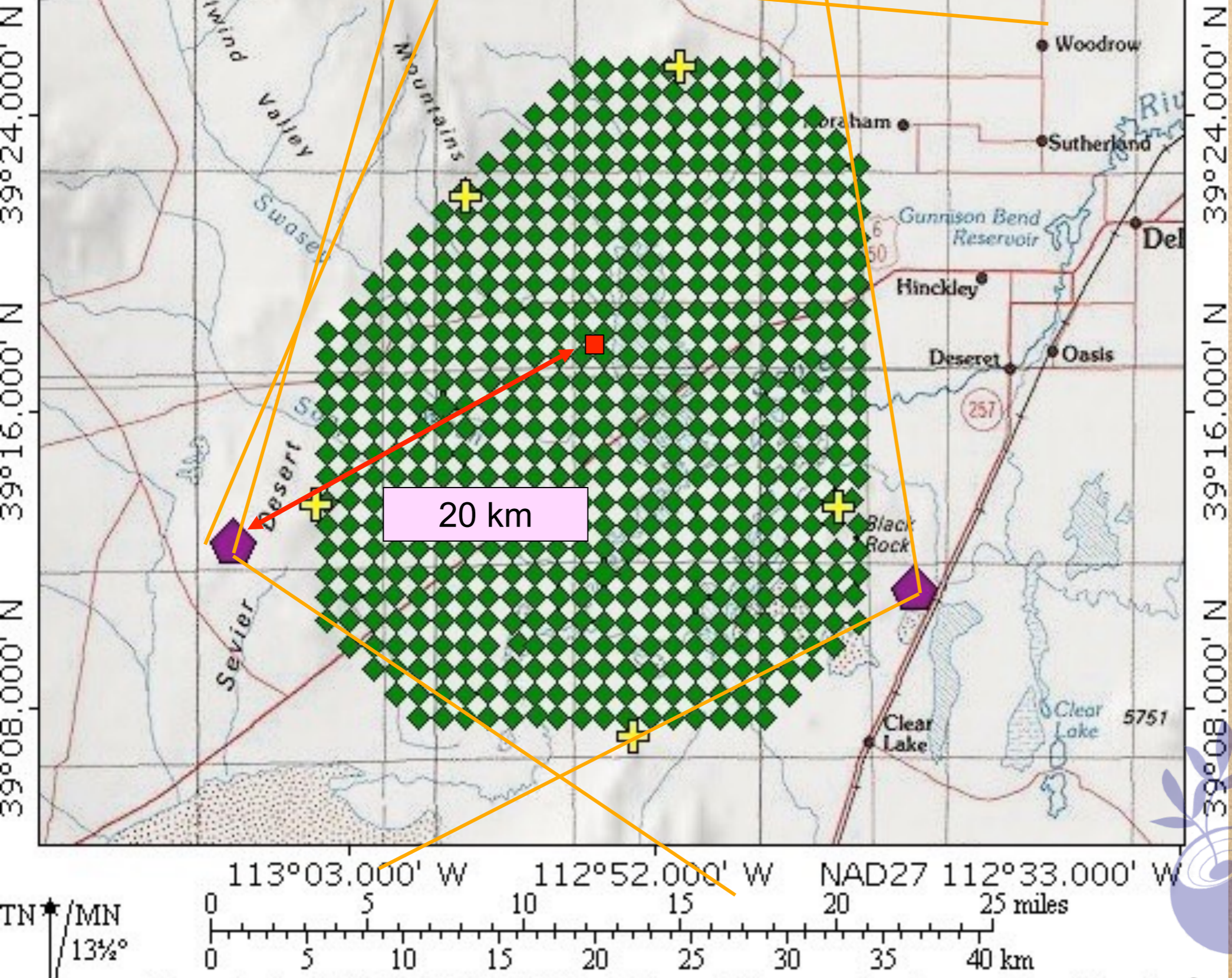


ユタ州・ミラード郡(北緯39.1°, 西経122.9°) 海拔

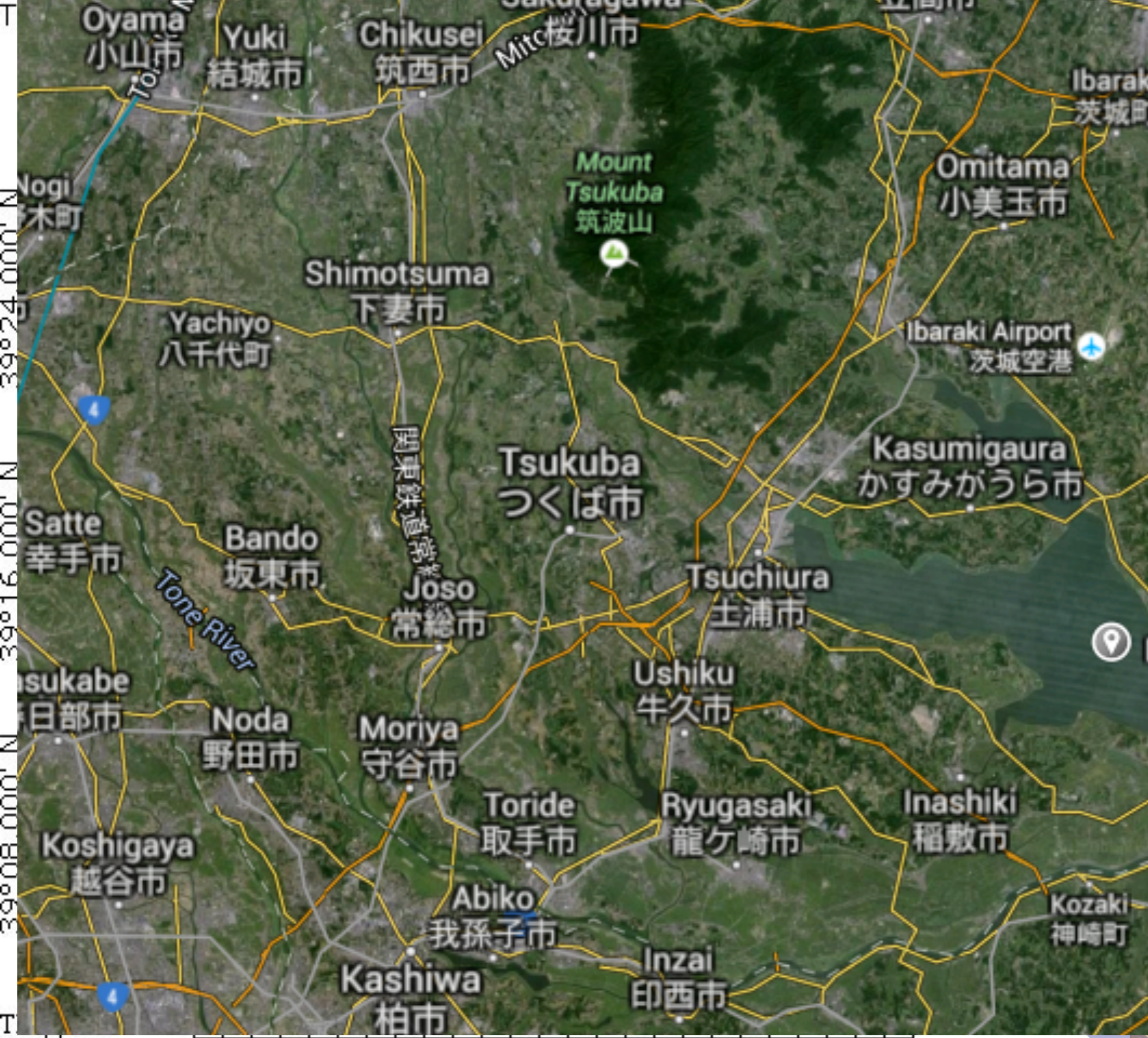
~1400 m

宇宙線分野

Fluorescence Telescope



自線分野



39°24'00" N
39°16'00" N
39°08'00" N

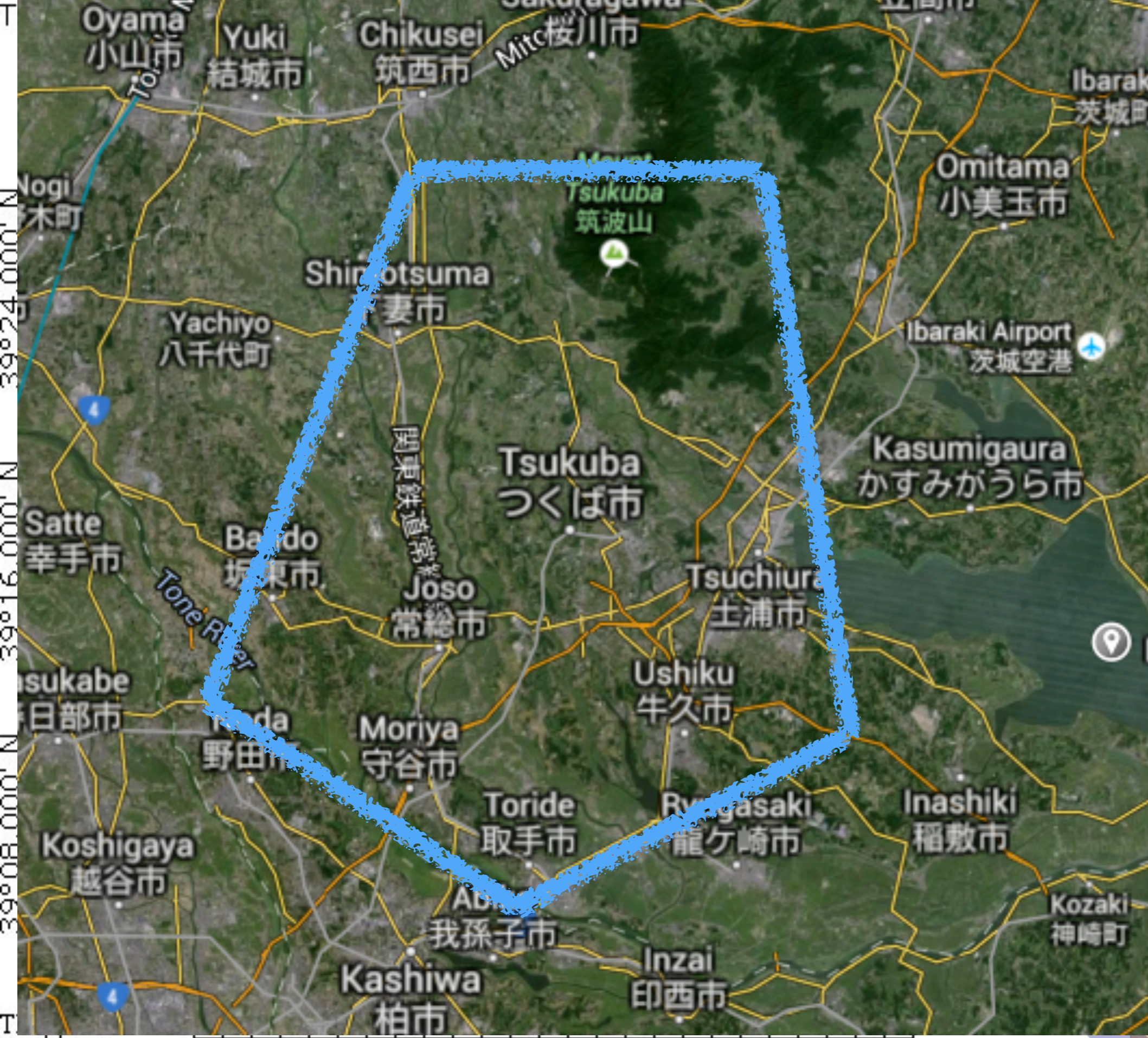
13½° 0 5 10 15 20 25 30 35 40 km

Map created with TOPO! © 2002 National Geographic (www.nationalgeographic.com/topo)

Openit

Open source consortium of Instrumentation

自線分野



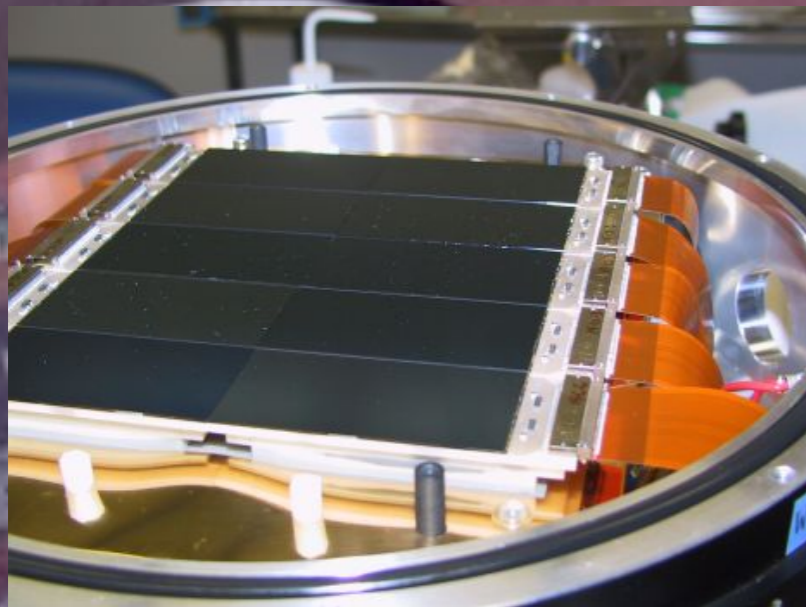
39°24'00" N
39°18'00" N
39°08'00" N

13½° 0 5 10 15 20 25 30 35 40 km

Map created with TOPO! © 2002 National Geographic (www.nationalgeographic.com/topo)

Openit
Open source consortium of Instrumentation

天文分野

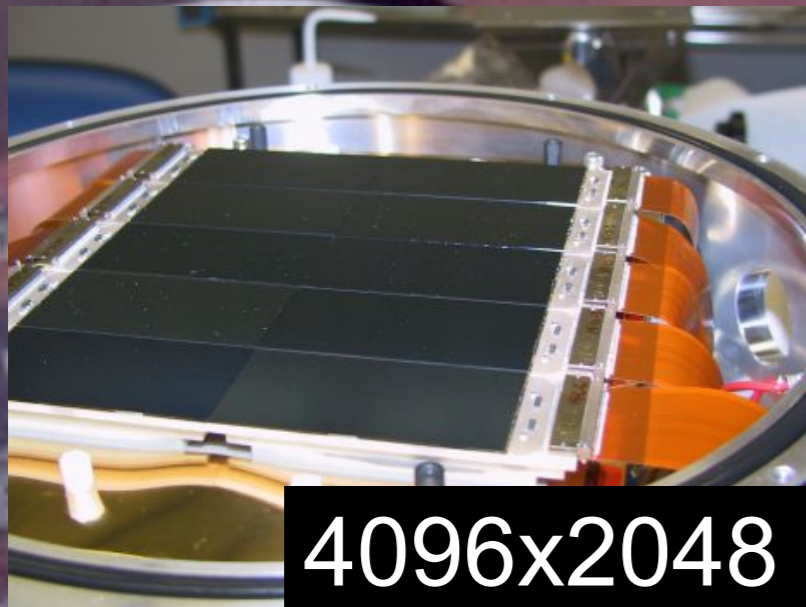
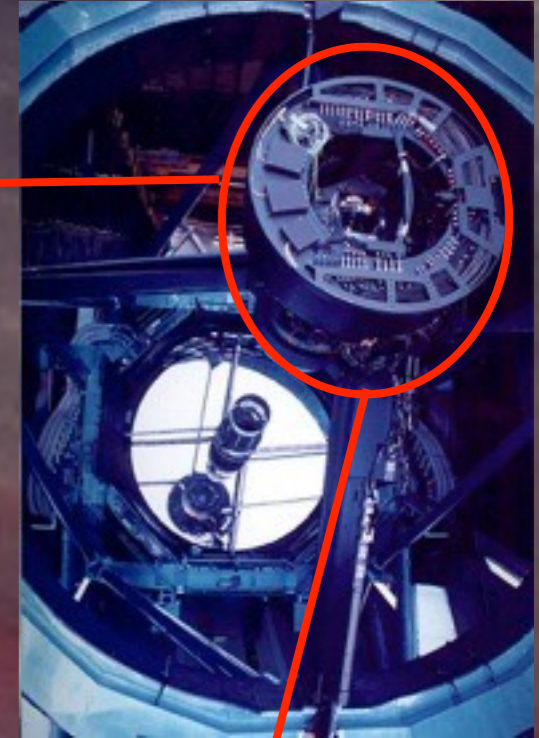


天文台HSCグループ宮崎氏提供

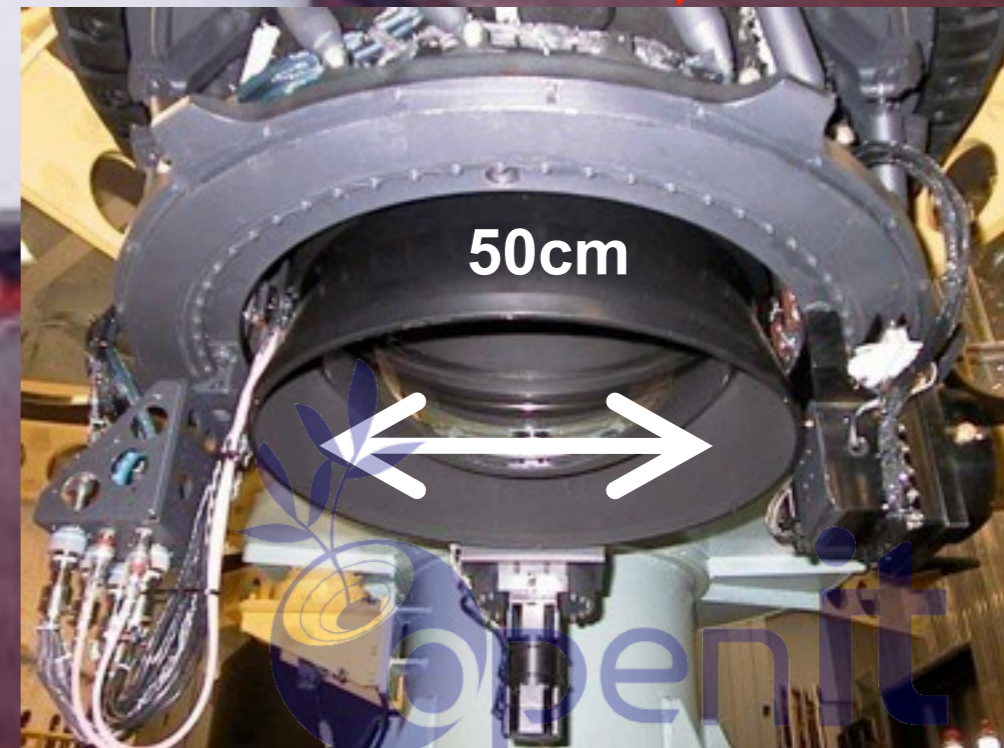


提供：NAOJ

天文分野



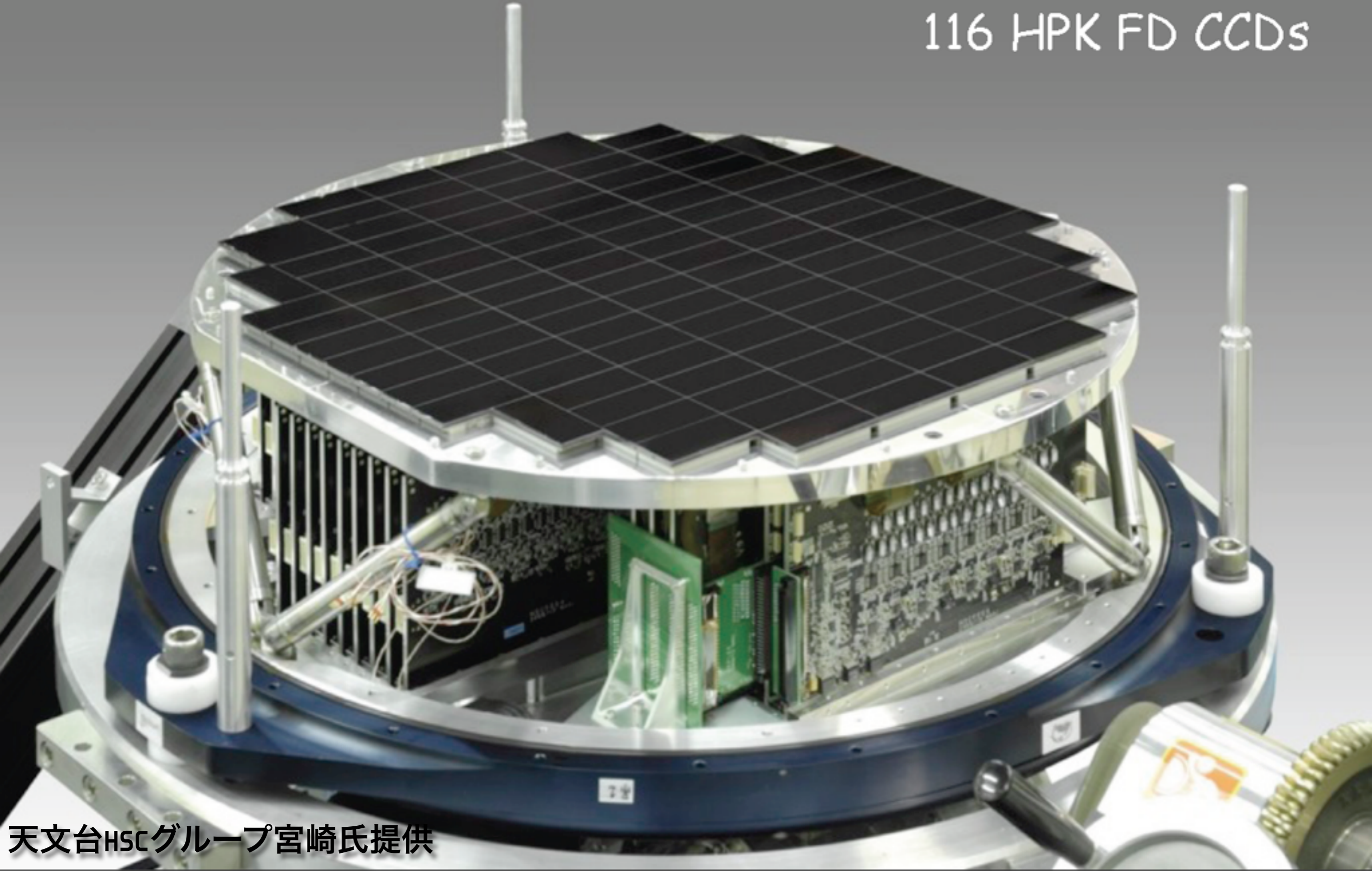
4096x2048 pixel x10=80M
15μm size





HSC Focal Plane

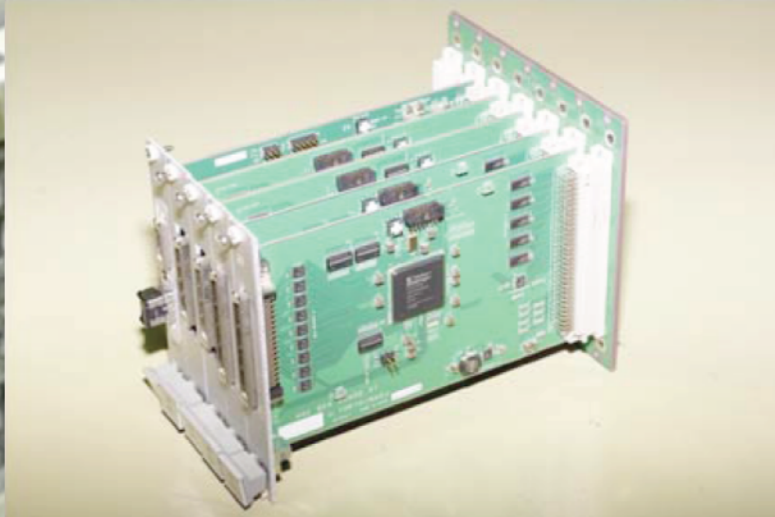
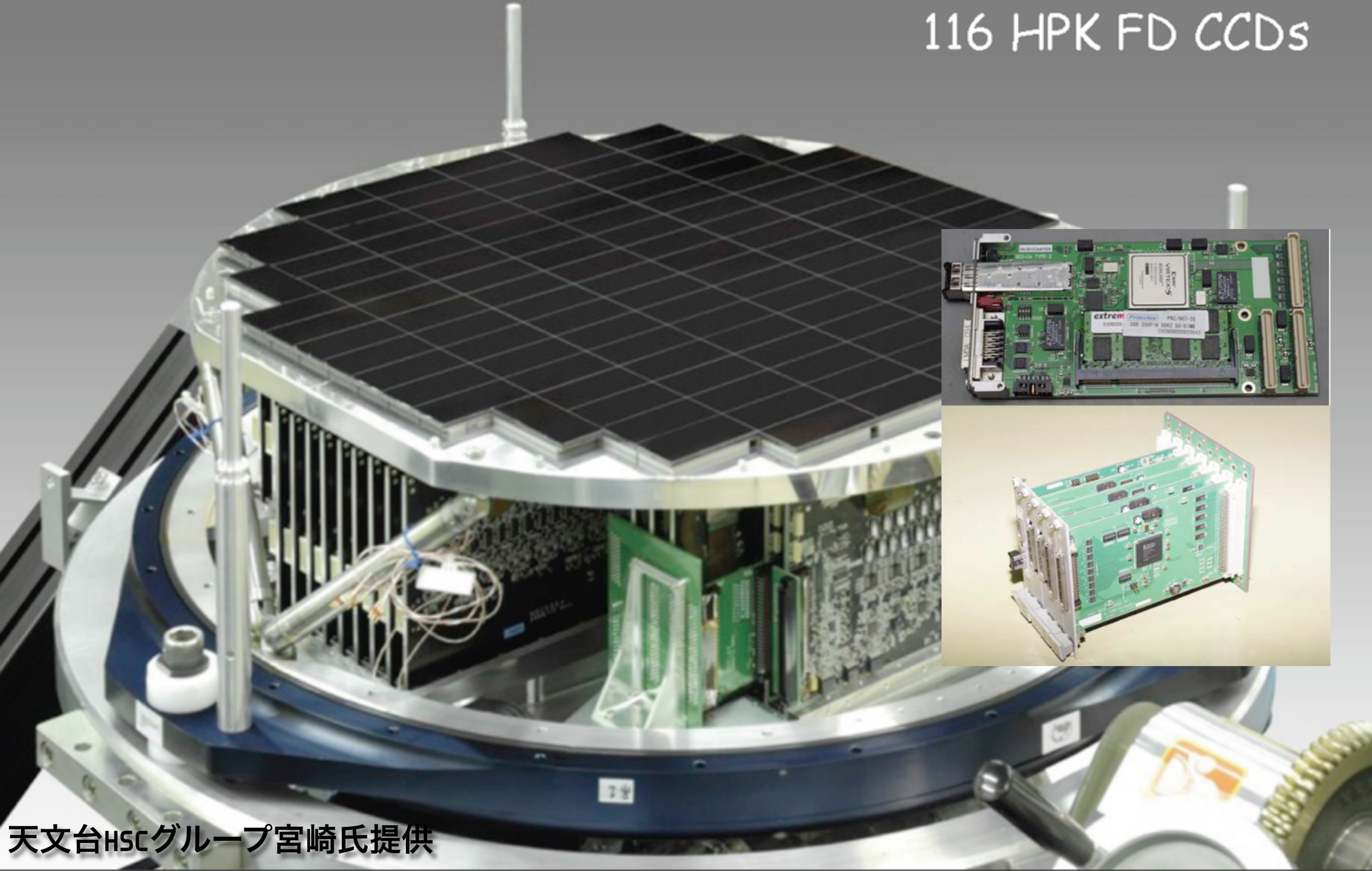
116 HPK FD CCDs





HSC Focal Plane

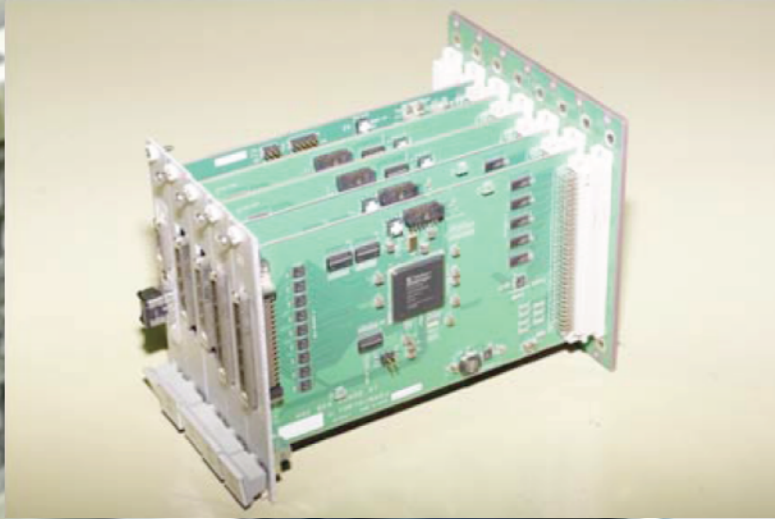
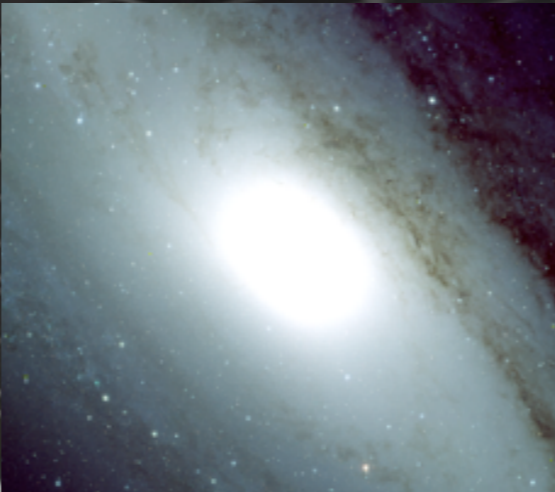
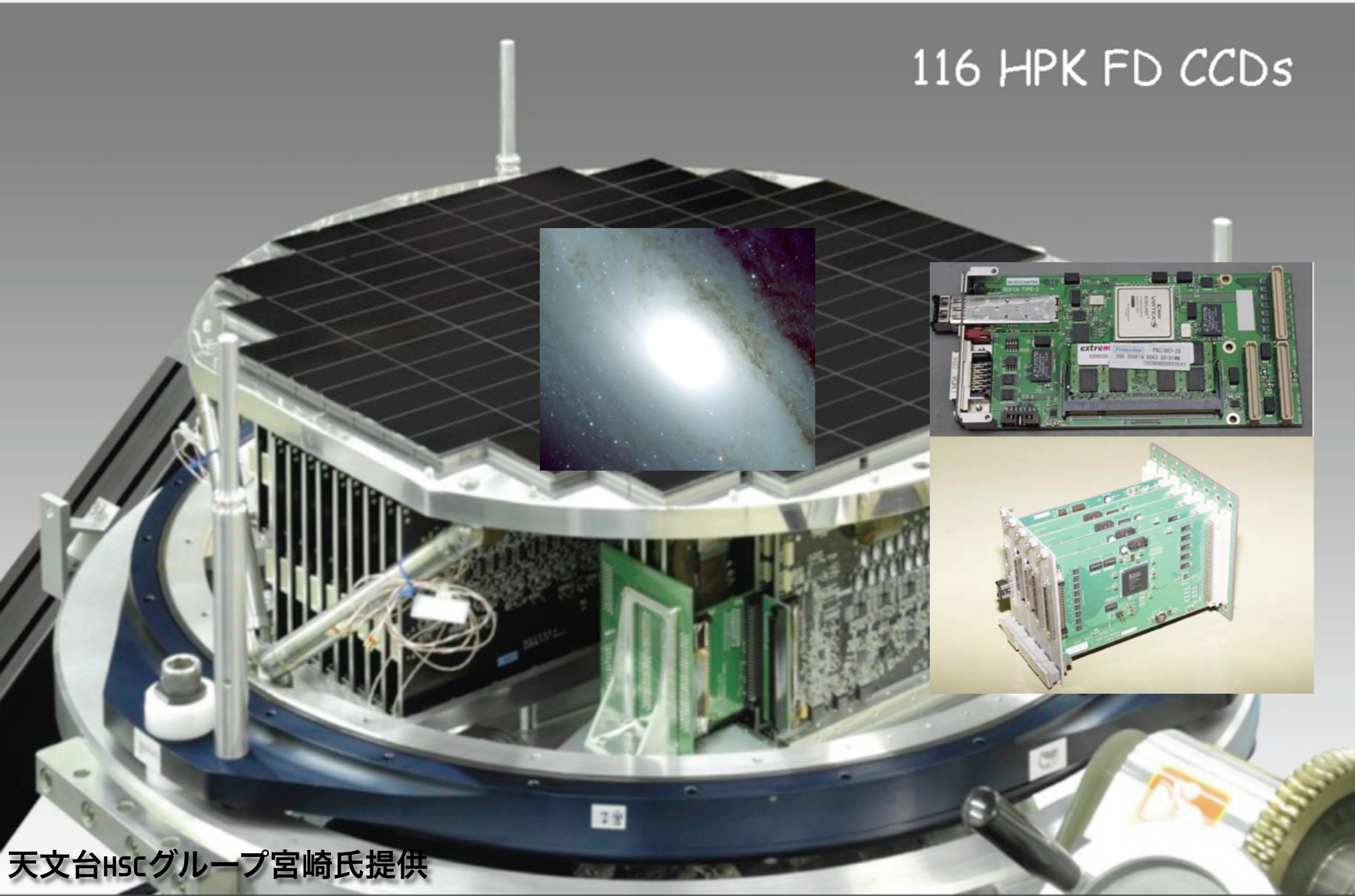
116 HPK FD CCDs

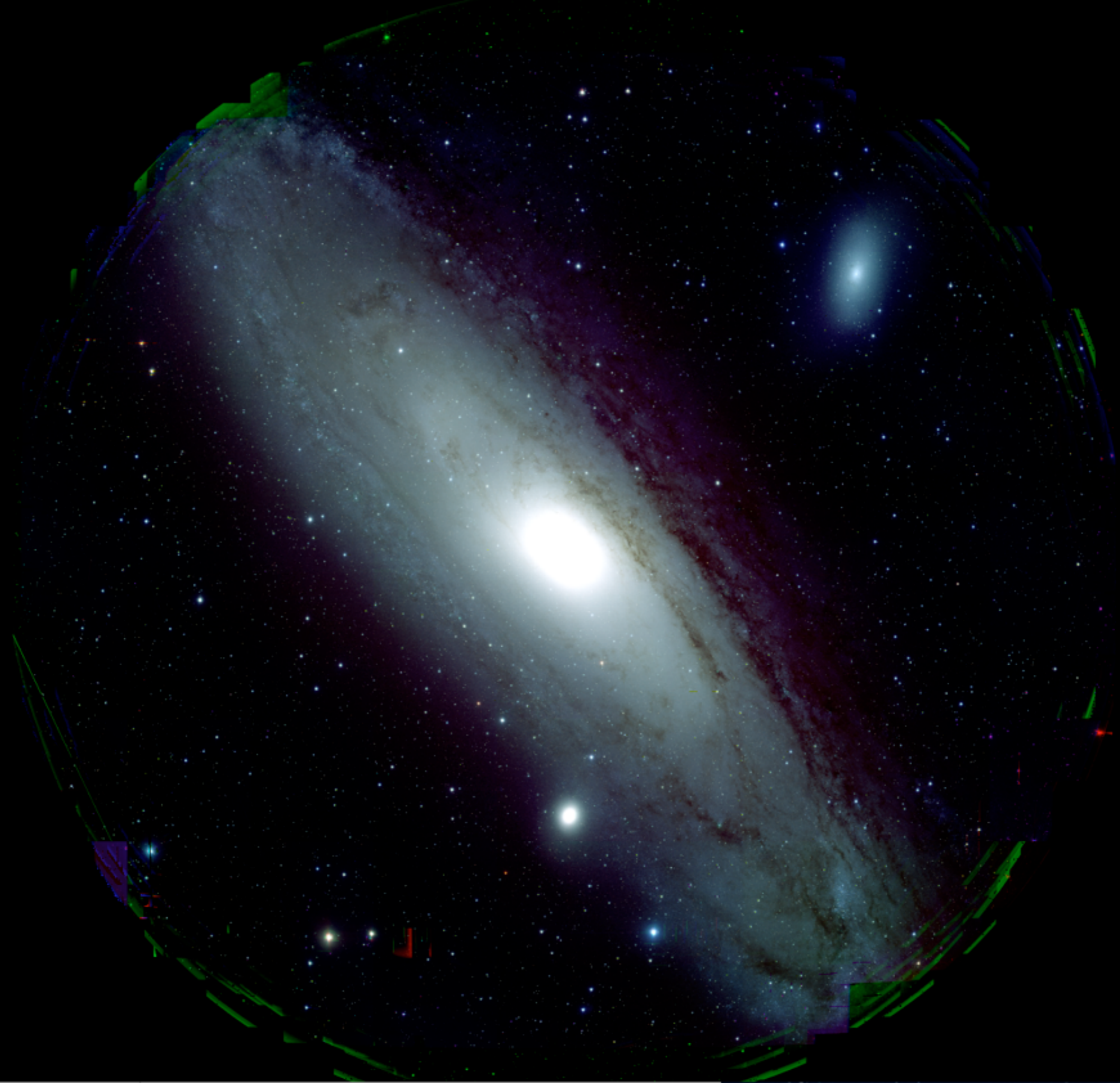




HSC Focal Plane

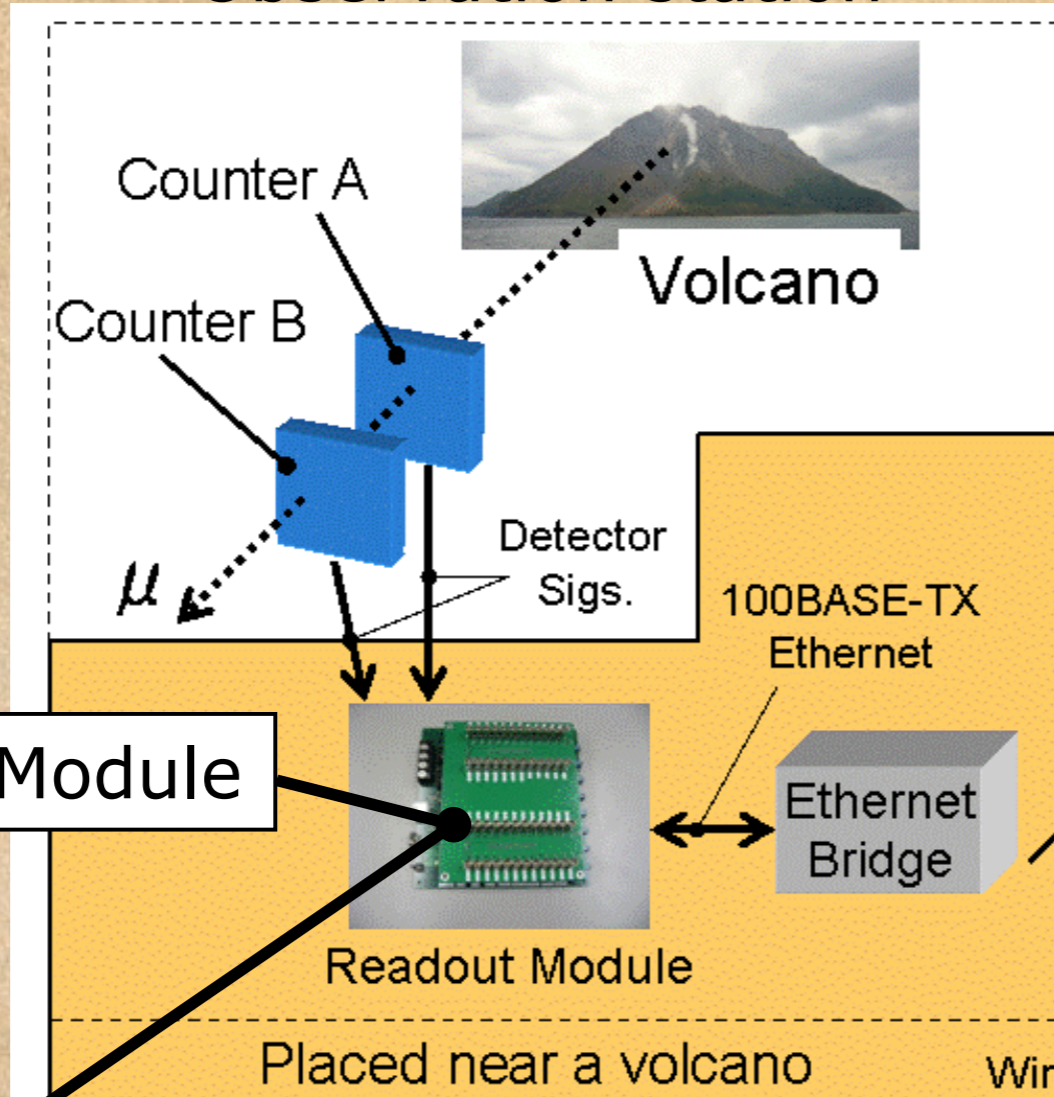
116 HPK FD CCDs





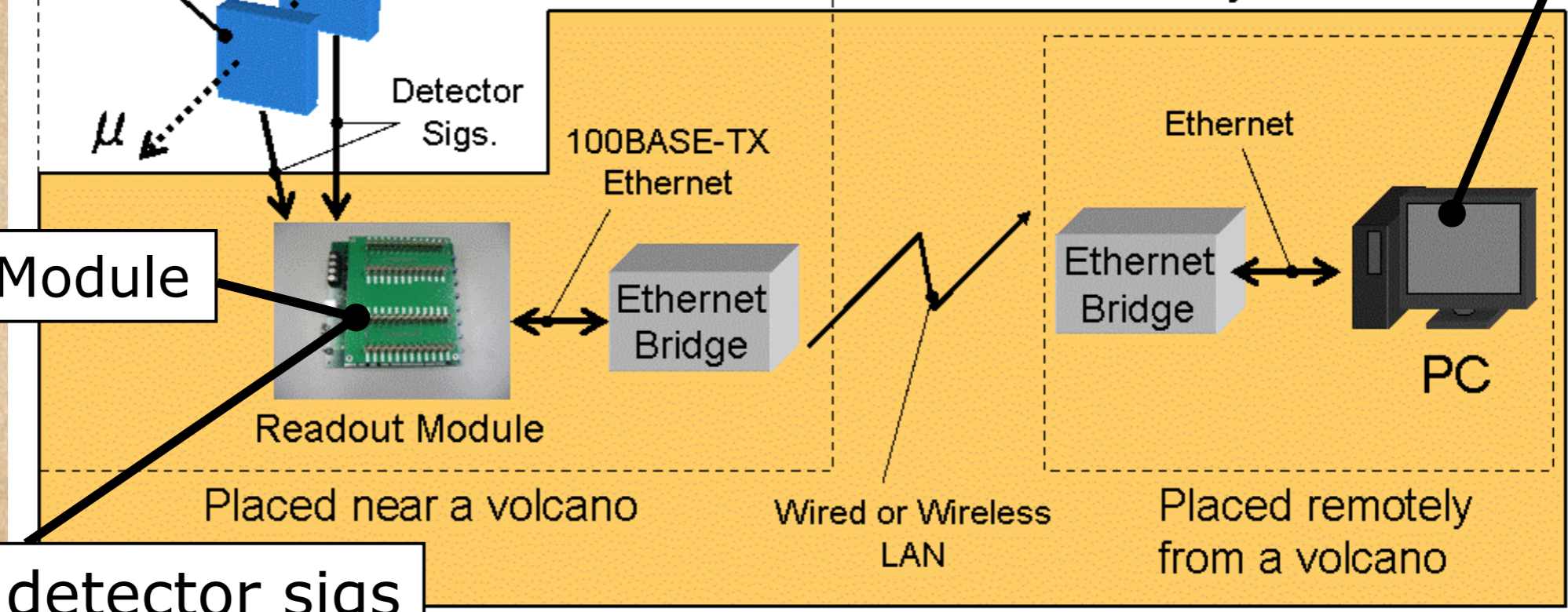


Observation station



PC can obtain histogram using a web browser.

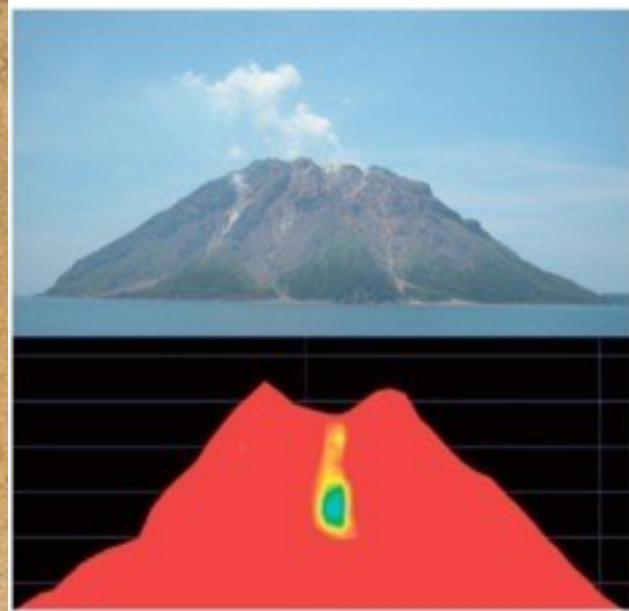
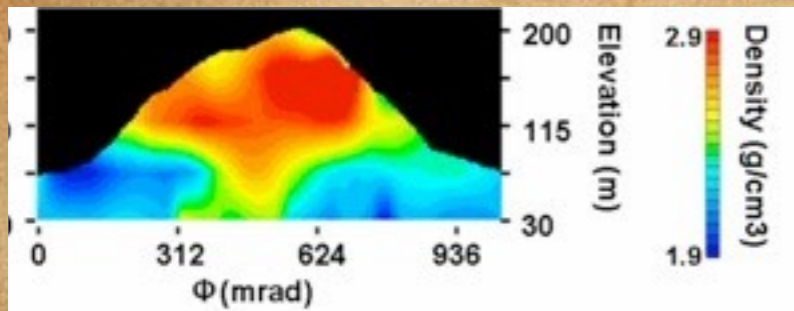
Readout System



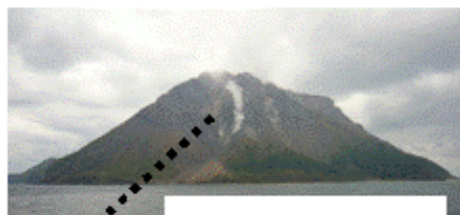
Developed Module

Processes detector sigs
Generates a histogram

UP to ~20km



Observation station



Volcano

PC can obtain histogram using a web browser.

Readout System

Detector Sigs.

100BASE-TX Ethernet

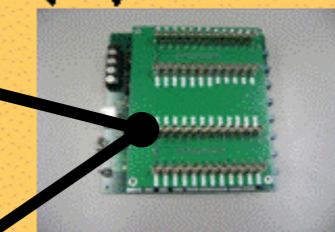
Ethernet Bridge

Ethernet

Ethernet Bridge

PC

Developed Module



Readout Module

Placed near a volcano

Wired or Wireless LAN

Placed remotely from a volcano

Processes detector sigs
Generates a histogram

UP to ~20km

Gain controlled
by CPU

from EG&G ORTEC

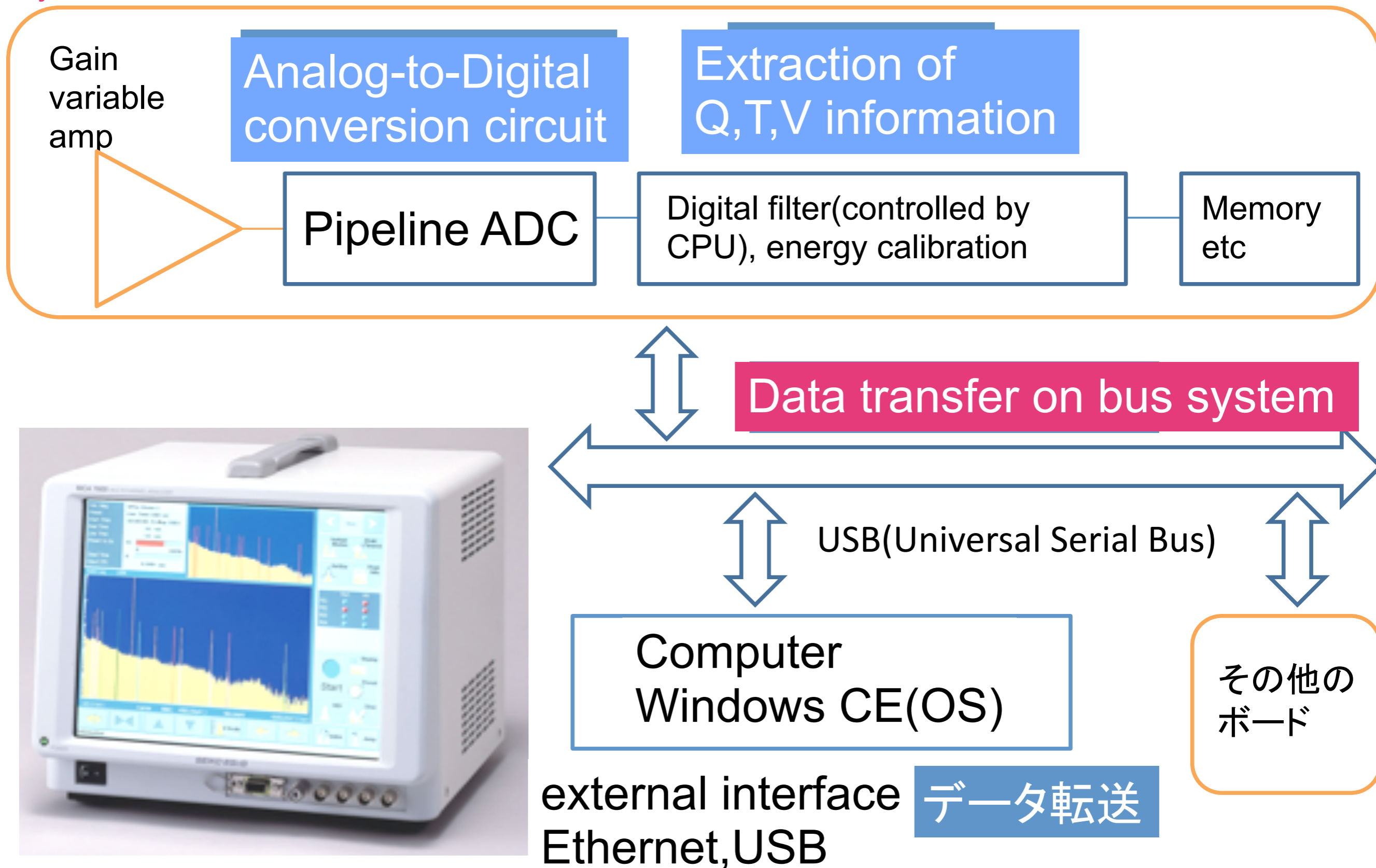


Fig. 2 Multichannel analyzer

MCA7600

電気信号の利用

- ・測定対象を定量化するための道具
- ・電流ではなく電圧
- ・電圧信号利用のメリット
 - ・人間にとって一番使いやすい相互作用
 - ・世の中にtoolがそろっている

実験を行うにあたって電流電圧信号処理は不可欠

我々にはどのような計測システムが必要なのか？

計測システムへの要求

解析に必要なデータは

- 感度良く
- S/N良く
- 取りこぼしなく
- 不感時間が少なく

コンピューターへ送りたい

- 早く安く簡単に作れるとなお良い




コンピュータへ

ネットワークを使用した場合の例

- データを送る
- データ転送
- データをまとめる
- イベントビルダー
- 全体の制御を行う
- ランコントロール等
- データの保持（ストレージ）

ネットワークケーブル
送受信IC等

ソケットライブラリ等ソフト



ネットワークハブ等を使用した
コンピュータクラスター

制御用ソフト
モニターソフト

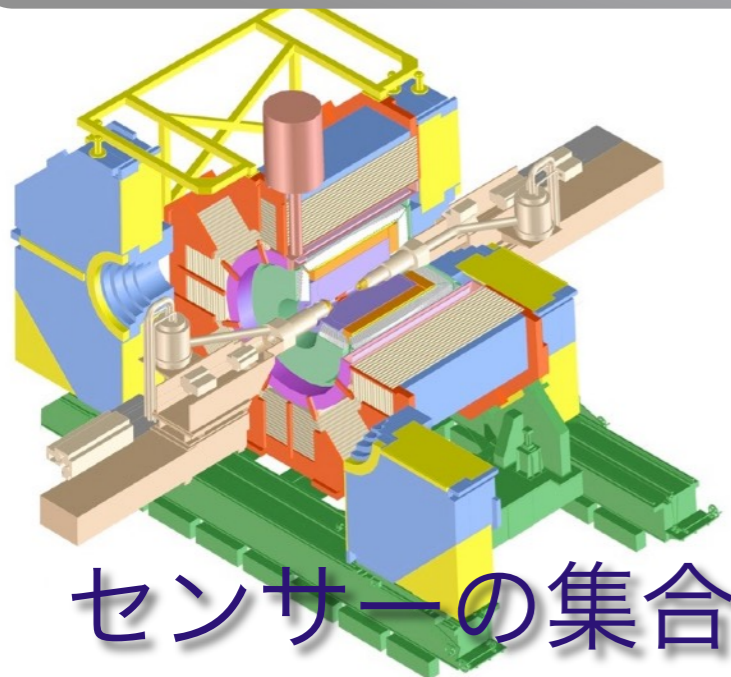
GUI.....

やること多い

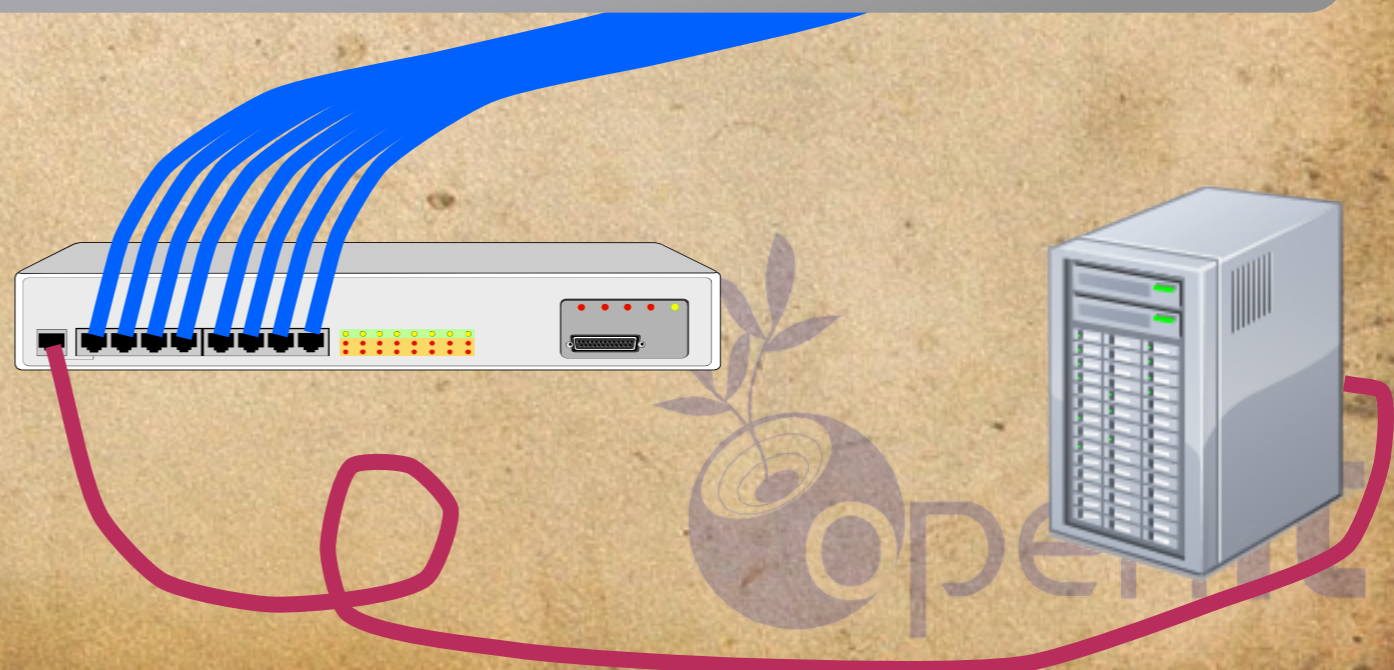
ソフトウェア技術が必要（4日目）

計測システム —ここまで— の図

ここまで気をつけること
産業技術をフォローするのか
自分で開発するのかの見極め



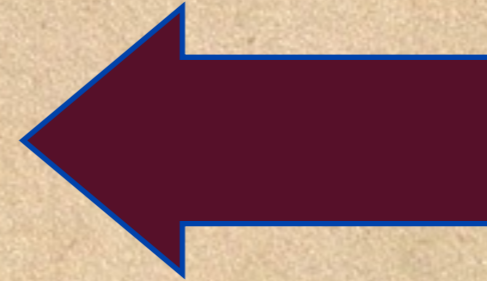
センサーの集合体



計測システムへの要求

解析に必要なデータは

- 感度良く
- S/N良く
- 取りこぼしなく
- 不感時間が少なく



コンピューターへ送りたい

- 早く安く簡単に作れるとなお良い



不感時間低減のために

- 高速応答（素早く送る）
 - 不感時間の理解（イベントバッファ）
 - 高速処理（信号処理、転送、ストア）
- データ量低減（選択、圧縮）
 - トリガー（複数の情報を使用）
 - 圧縮（自分自身を使用）

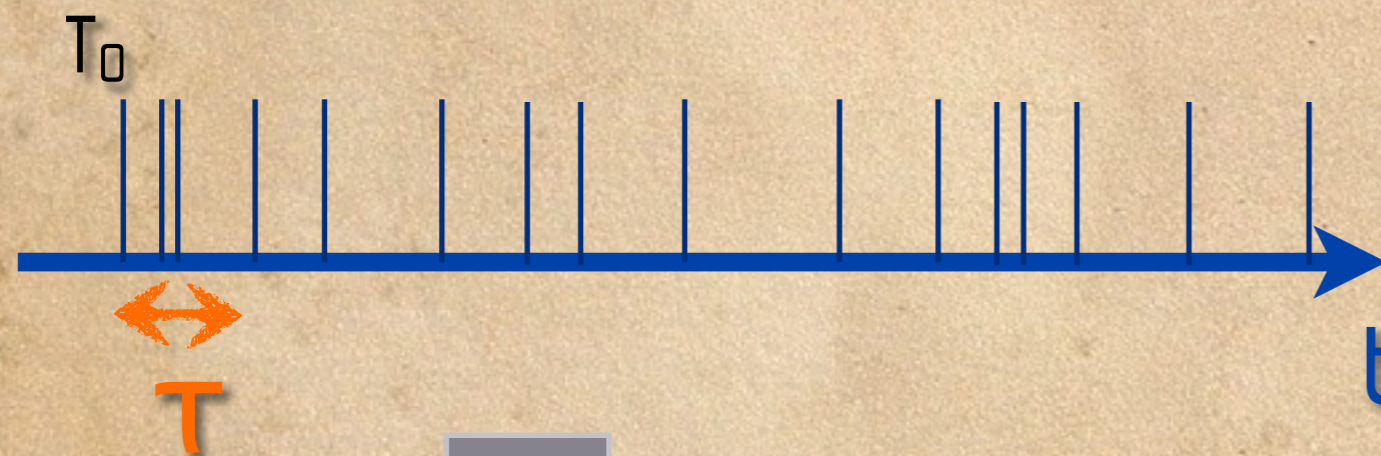


不感時間の理解



Open source consortium of Instrumentation

- 自然現象はランダムに起こる
- 計測システムは無限に速く応答はできない



平均 λ^{-1} Hz で現象が起こる

τ : 計測システムの応答時間の出口では



過去の歴史を引きずるかどうかで応答が
違うので注意！！

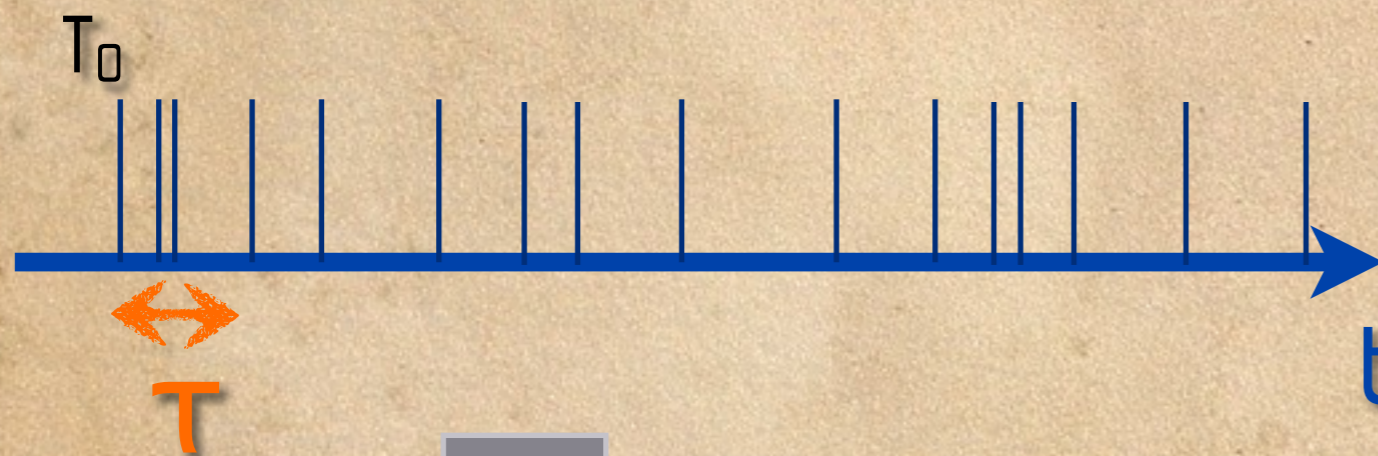
例としては、検出器による数え落としの
割合とDAQのデッドタイムの違い。

不感時間の理解



Open source consortium of Instrumentation

- 自然現象はランダムに起こる
- 計測システムは無限に速く応答はできない



平均 λ^{-1} Hz で現象が起こる

τ : 計測システムの応答時間の出口では



過去の歴史を引きずるかどうかで応答が
違うので注意！！

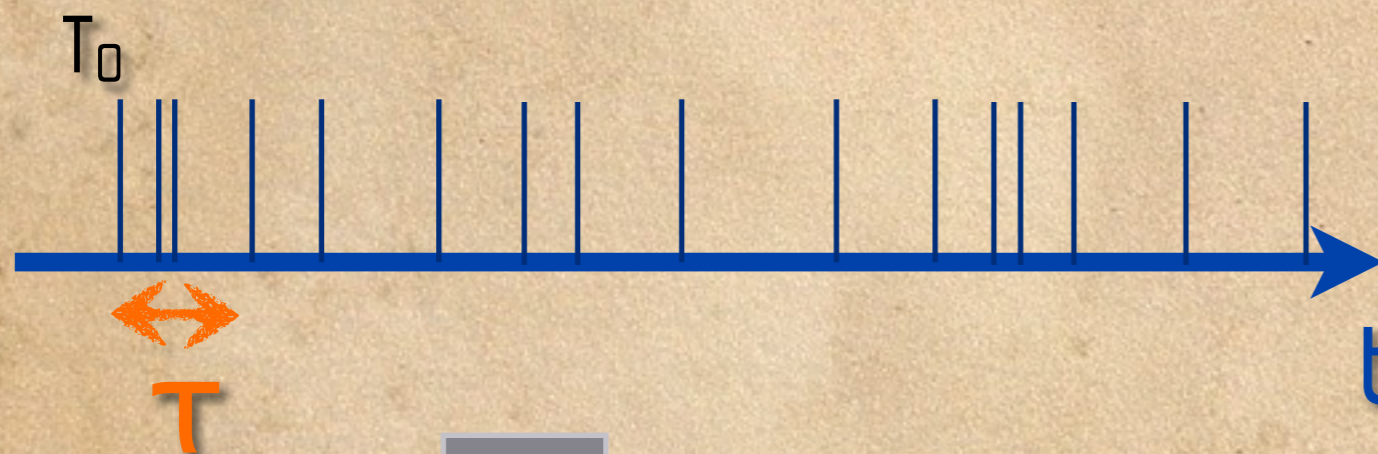
例としては、検出器による数え落としの
割合とDAQのデッドタイムの違い。

不感時間の理解



Open source consortium of Instrumentation

- 自然現象はランダムに起こる
- 計測システムは無限に速く応答はできない



平均 λ^{-1} Hz で現象が起こる

τ : 計測システムの応答時間の出口では



過去の歴史を引きずるかどうかで応答が
違うので注意！！

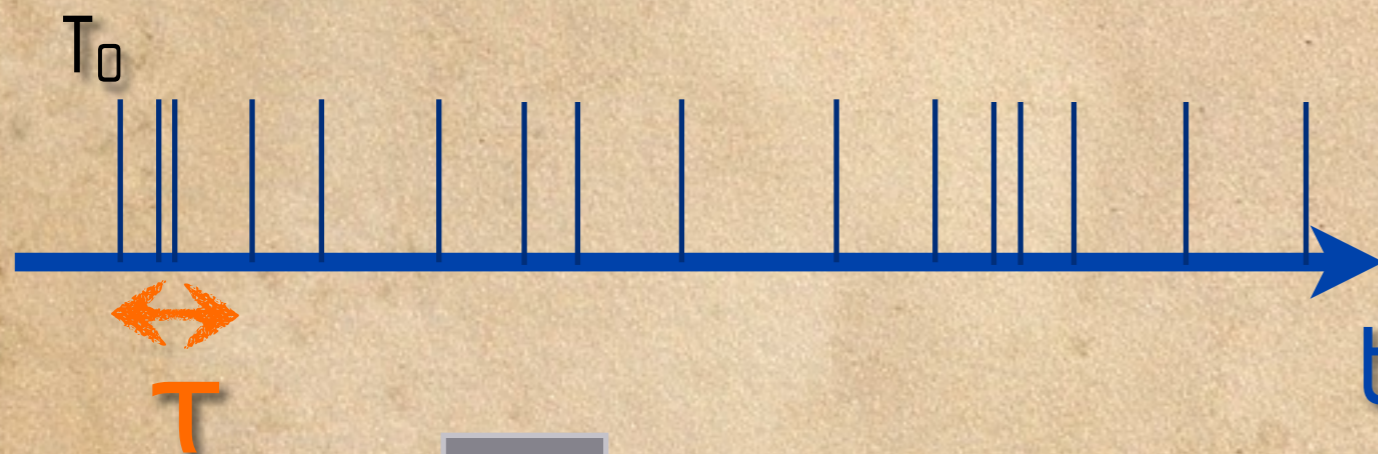
例としては、検出器による数え落としの
割合とDAQのデッドタイムの違い。

不感時間の理解



Open source consortium of Instrumentation

- 自然現象はランダムに起こる
- 計測システムは無限に速く応答はできない



平均 λ^{-1} Hz で現象が起こる

τ : 計測システムの応答時間の出口では



過去の歴史を引きずるかどうかで応答が
違うので注意！！

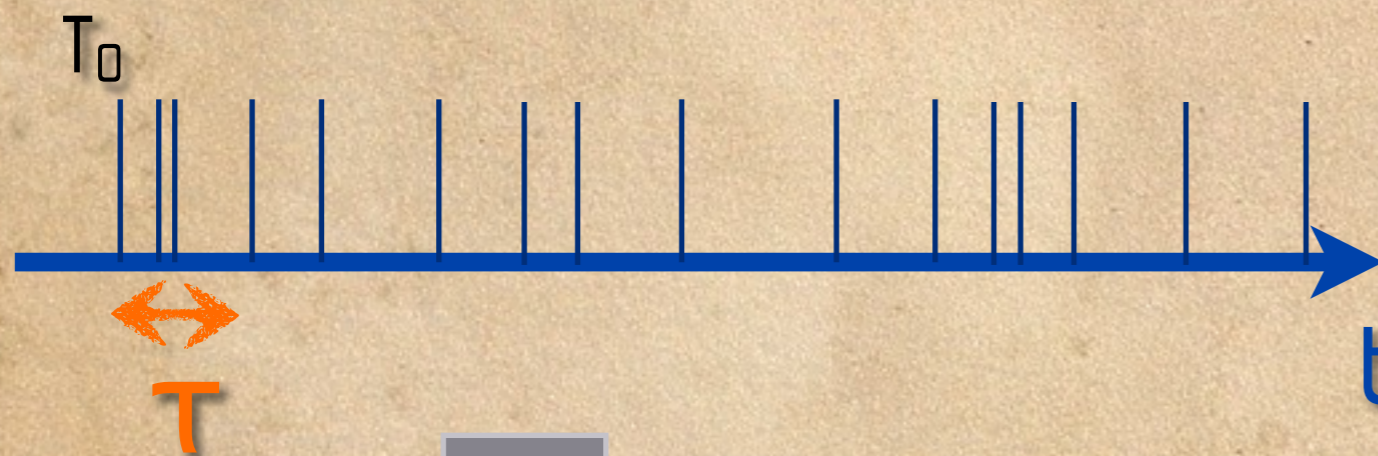
例としては、検出器による数え落としの
割合とDAQのデッドタイムの違い。

不感時間の理解



Open source consortium of Instrumentation

- 自然現象はランダムに起こる
- 計測システムは無限に速く応答はできない



平均 λ^{-1} Hz で現象が起こる

τ : 計測システムの応答時間の出口では



過去の歴史を引きずるかどうかで応答が
違うので注意！！

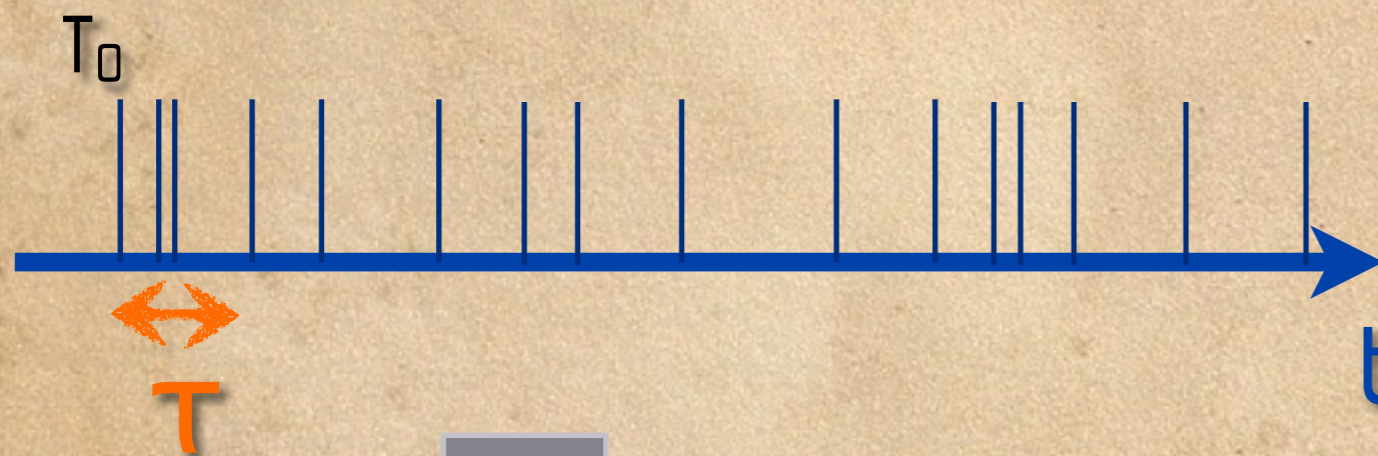
例としては、検出器による数え落としの
割合とDAQのデッドタイムの違い。

不感時間の理解



Open source consortium of Instrumentation

- 自然現象はランダムに起こる
- 計測システムは無限に速く応答はできない



平均 λ^{-1} Hz で現象が起こる

τ : 計測システムの応答時間の出口では



過去の歴史を引きずるかどうかで応答が
違うので注意！！

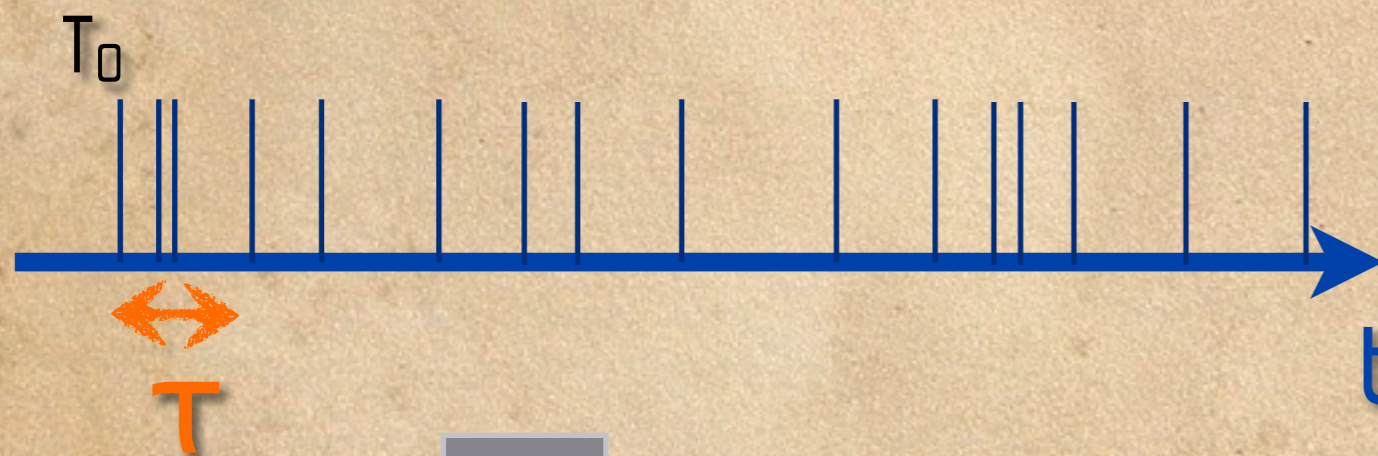
例としては、検出器による数え落としの
割合とDAQのデッドタイムの違い。

不感時間の理解



Open source consortium of Instrumentation

- 自然現象はランダムに起こる
- 計測システムは無限に速く応答はできない



平均 λ^{-1} Hz で現象が起こる

τ : 計測システムの応答時間の出口では



過去の歴史を引きずるかどうかで応答が
違うので注意！！

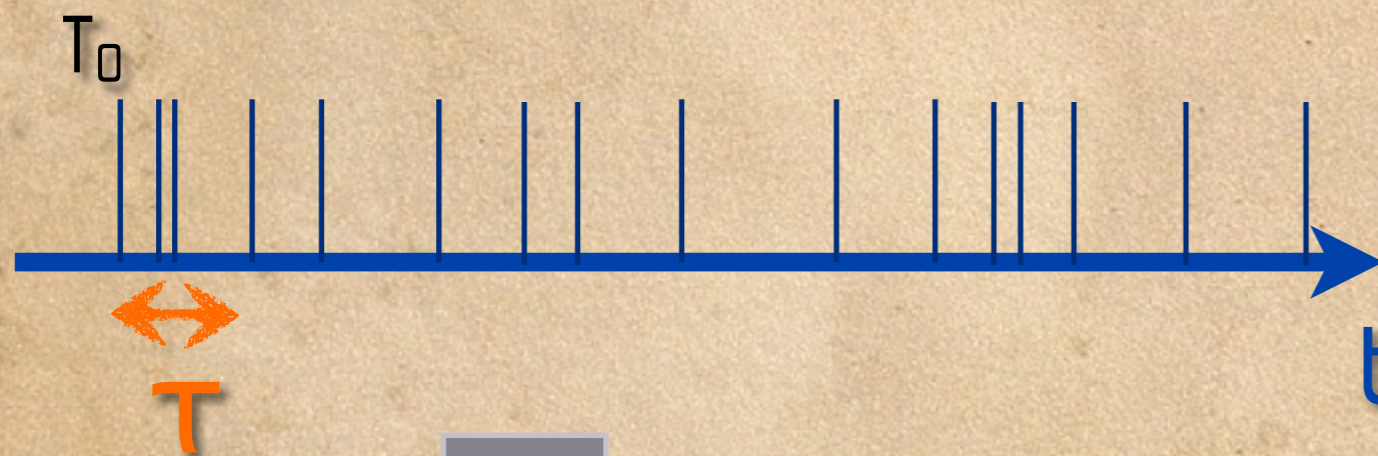
例としては、検出器による数え落としの
割合とDAQのデッドタイムの違い。

不感時間の理解



Open source consortium of Instrumentation

- 自然現象はランダムに起こる
- 計測システムは無限に速く応答はできない



平均 λ^{-1} Hz で現象が起こる

τ : 計測システムの応答時間の出口では



過去の歴史を引きずるかどうかで応答が
違うので注意！！

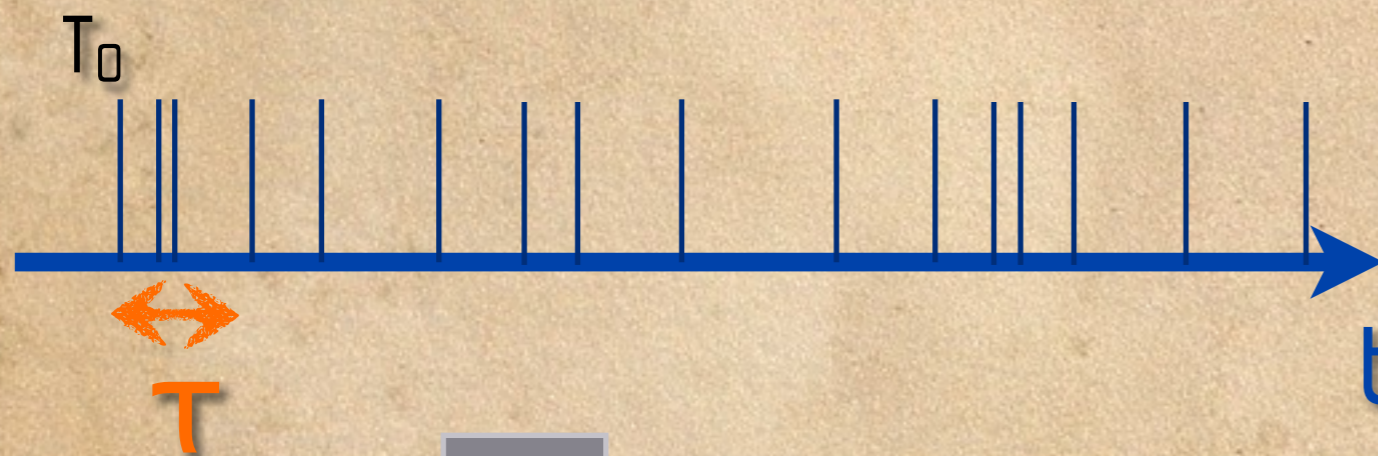
例としては、検出器による数え落としの
割合とDAQのデッドタイムの違い。

不感時間の理解



Open source consortium of Instrumentation

- 自然現象はランダムに起こる
- 計測システムは無限に速く応答はできない



平均 λ^{-1} Hz で現象が起こる

τ : 計測システムの応答時間の出口では



過去の歴史を引きずるかどうかで応答が
違うので注意！！

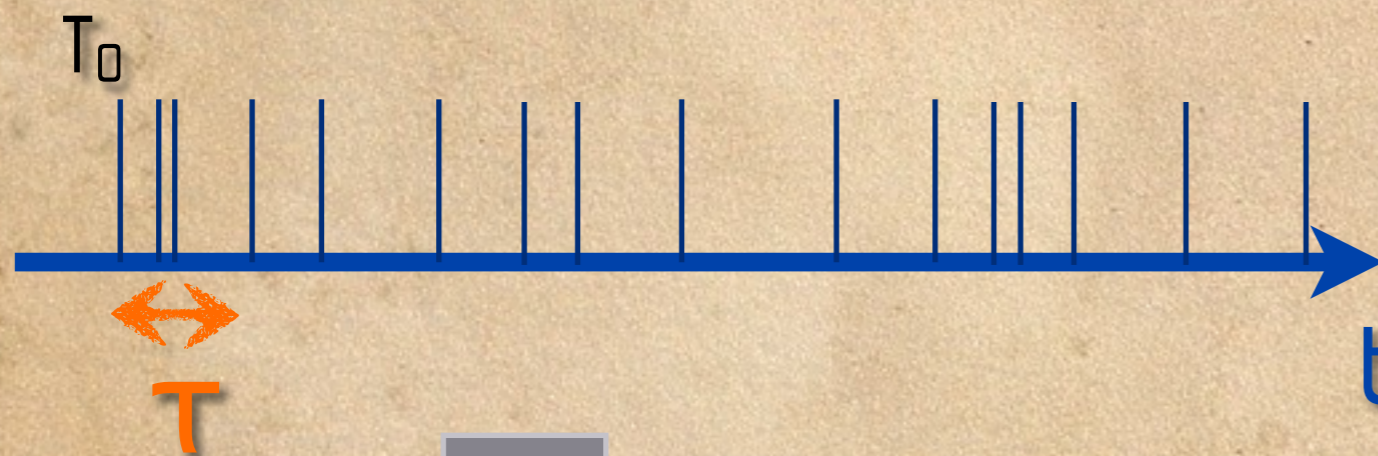
例としては、検出器による数え落としの
割合とDAQのデッドタイムの違い。

不感時間の理解



Open source consortium of Instrumentation

- 自然現象はランダムに起こる
- 計測システムは無限に速く応答はできない



平均 λ^{-1} Hz で現象が起こる

τ : 計測システムの応答時間の出口では



過去の歴史を引きずるかどうかで応答が
違うので注意！！

例としては、検出器による数え落としの
割合とDAQのデッドタイムの違い。

イベントバッファ

- 最終的にはどこかでソフトウェア処理必須

- 平均値では情報取得可能だが

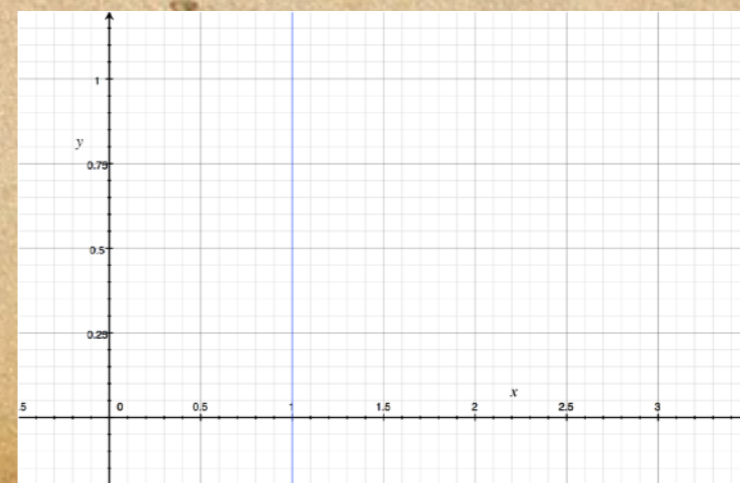
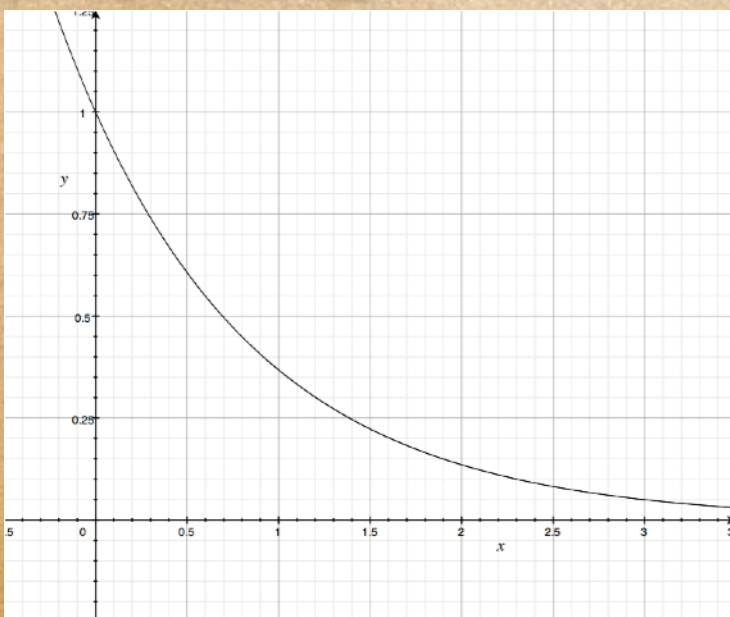
- 平均値よりも短時間で来たものは取得不可

アイディア

- ランダムに到着する事象を平均化する

平均速度で読めば全て読み出すことが可能

τ はより速いシステムの τ に置き換わる



enit

平均レートが更に高い場合

- データ量を減らす

- 圧縮、トリガーによる事象選別

あらゆる情報を使用して必要な事象だけを選別する。



情報を集め判定を下す間データをどこかに保持する必要あり。

選別機能の導入はデータ保持機能の導入を

前提とする。



不感時間低減のために

—まとめ—



- ランダム→平滑化
- τ の小さいものでまず素早く記録する
 - イベントバッファ
- 平滑化後のレート $>\tau$ の場合
 - データ量を減らす
 - トリガーの導入
 - 上記に伴いデータの保持機能を導入

デジタル技術・ソフトウェア技術が必要 (3,4日目)

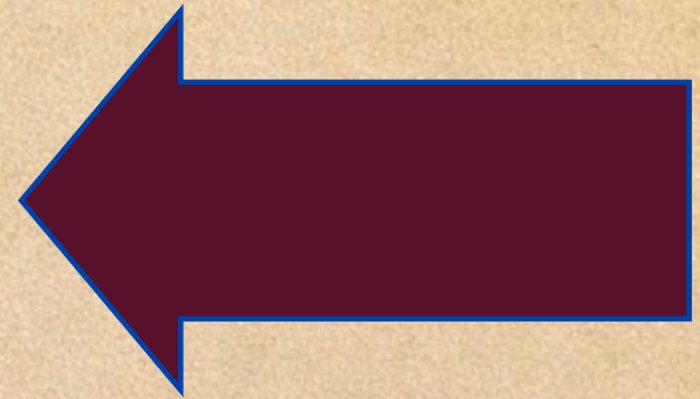
計測システムへの要求

解析に必要なデータは

- 感度良く
- S/N良く
- 取りこぼしなく（出来るだけ多く）
- 不感時間が少なく

コンピューターへ送りたい

- 早く安く簡単に作れるとなお良い

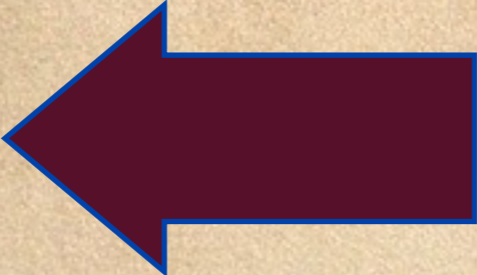


S/N向上のために

- 信号を大きくする
 - インピーダンス変換（電流電圧）
 - 適度な電圧増幅（増幅器）
- ノイズを減らす
 - イントリンジックノイズの理解
 - フィルター
 - デジタル化（外来雑音から守る）

計測システムへの要求

解析に必要なデータは

- 感度良く
- S/N良く 
- 取りこぼしなく
- 不感時間が少なく

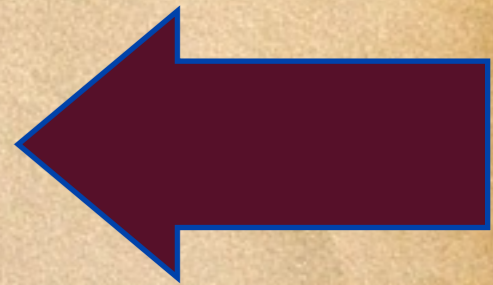
コンピューターへ送りたい

- 早く安く簡単に作れるとなお良い



S/N向上のために

- 信号を大きくする
 - インピーダンス変換（電流電圧）
 - 適度な電圧増幅（増幅器）
- ノイズを減らす
 - イントリンジックノイズの理解
 - フィルター
 - デジタル化（外来雑音から守る）



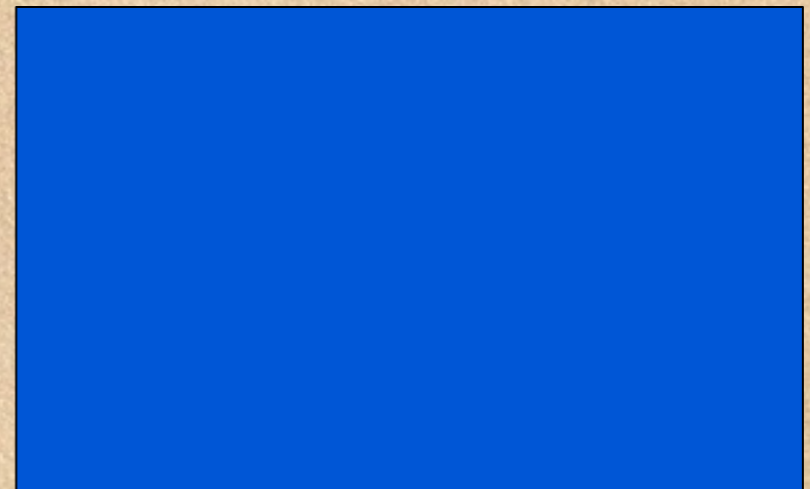
検出器からの信号とは？

- 荷電粒子、放射線と物質の相互作用を利用し電荷(正負問わない)を物質中に生成する
- 放射線が入射していない状態で電極間に電圧をかけても電荷の移動が起こらない状態を作り出しておく。(電荷の移動が起こっているようだとノイズの原因となる：後述)
- 電離に要するエネルギーが小さければ小さいほど感度が良く信号が大きくなる。この値は物質による



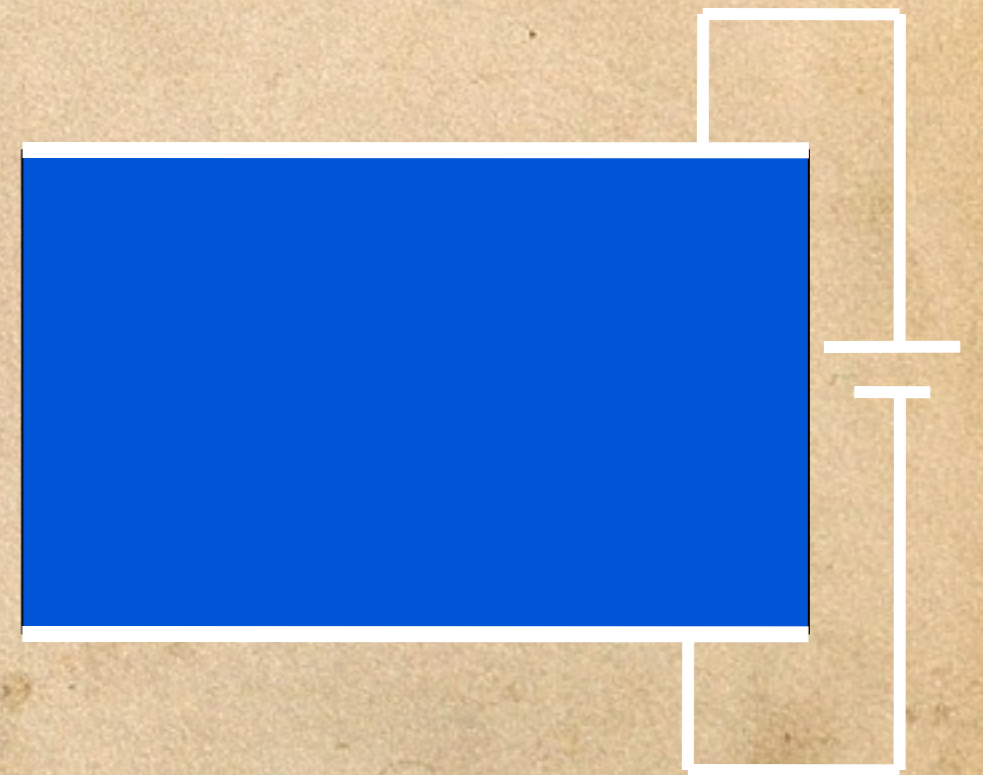
検出器からの信号とは？

- 荷電粒子、放射線と物質の相互作用を利用し電荷(正負問わない)を物質中に生成する
- 放射線が入射していない状態で電極間に電圧をかけても電荷の移動が起こらない状態を作り出しておく。(電荷の移動が起こっているようだとノイズの原因となる：後述)
- 電離に要するエネルギーが小さければ小さいほど感度が良く信号が大きくなる。この値は物質による



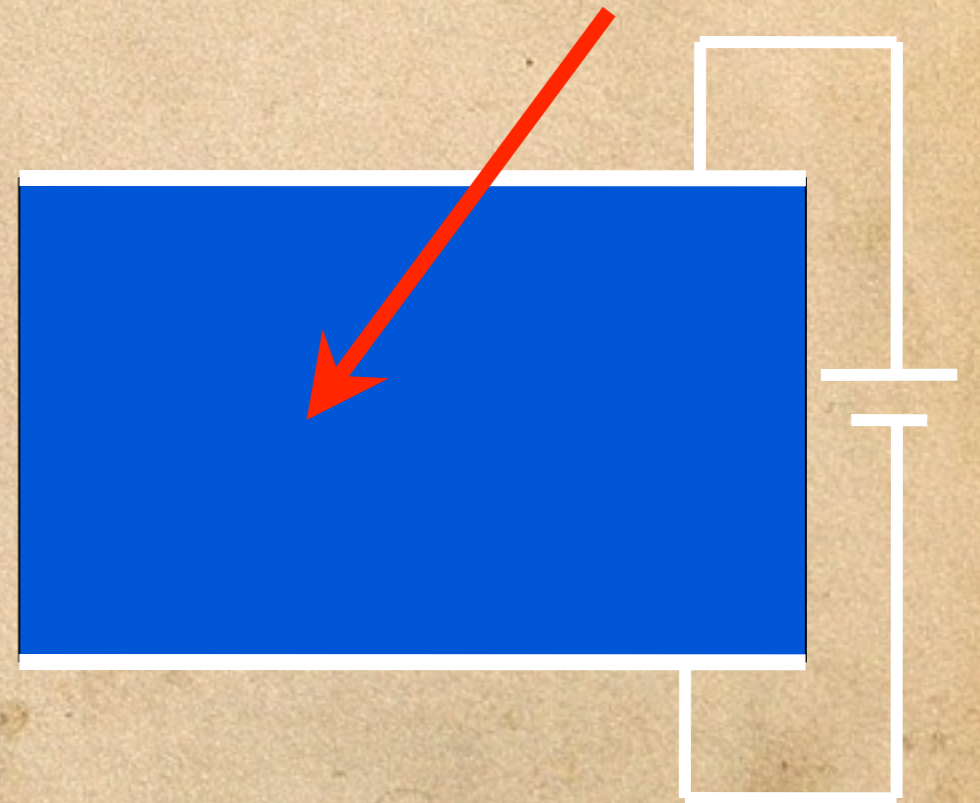
検出器からの信号とは？

- 荷電粒子、放射線と物質の相互作用を利用し電荷(正負問わない)を物質中に生成する
- 放射線が入射していない状態で電極間に電圧をかけても電荷の移動が起こらない状態を作り出しておく。(電荷の移動が起こっているようだとノイズの原因となる：後述)
- 電離に要するエネルギーが小さければ小さいほど感度が良く信号が大きくなる。この値は物質による



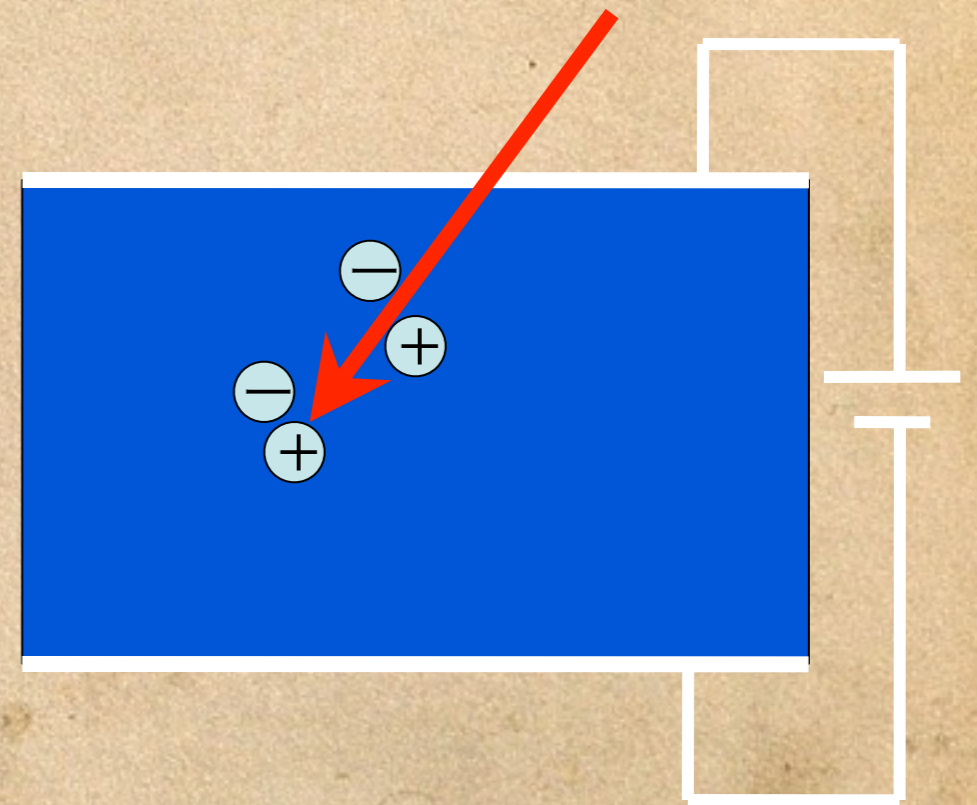
検出器からの信号とは？

- 荷電粒子、放射線と物質の相互作用を利用し電荷(正負問わない)を物質中に生成する
- 放射線が入射していない状態で電極間に電圧をかけても電荷の移動が起こらない状態を作り出しておく。(電荷の移動が起こっているようだとノイズの原因となる：後述)
- 電離に要するエネルギーが小さければ小さいほど感度が良く信号が大きくなる。この値は物質による



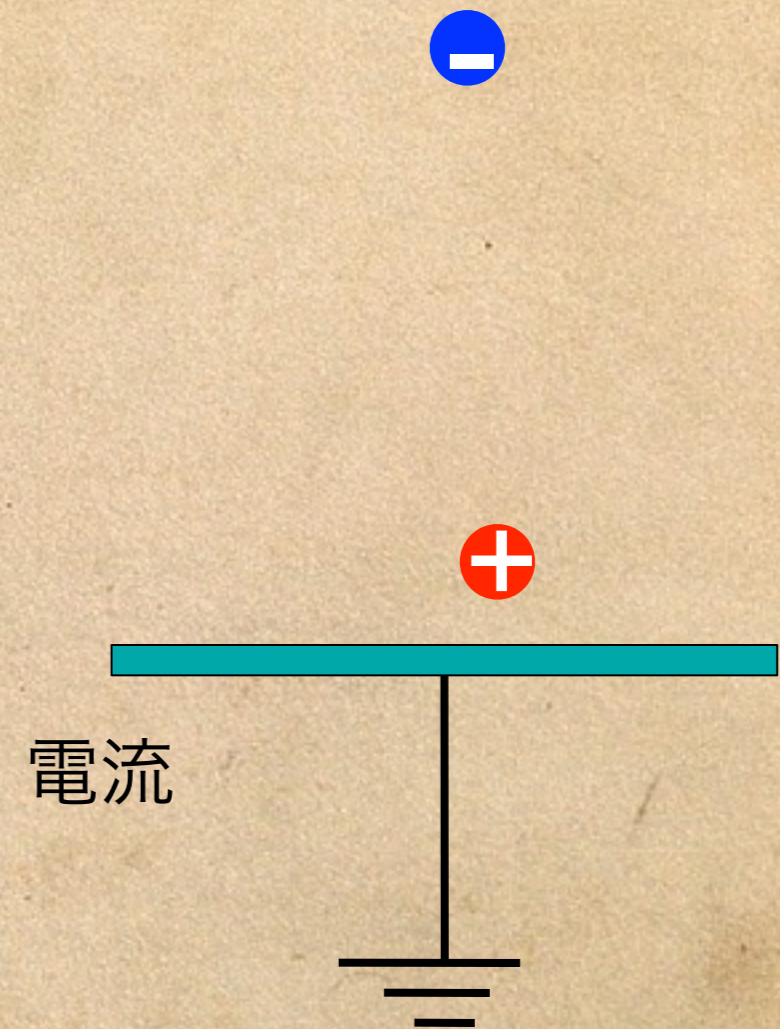
検出器からの信号とは？

- 荷電粒子、放射線と物質の相互作用を利用し電荷(正負問わない)を物質中に生成する
- 放射線が入射していない状態で電極間に電圧をかけても電荷の移動が起こらない状態を作り出しておく。(電荷の移動が起こっているようだとノイズの原因となる：後述)
- 電離に要するエネルギーが小さければ小さいほど感度が良く信号が大きくなる。この値は物質による



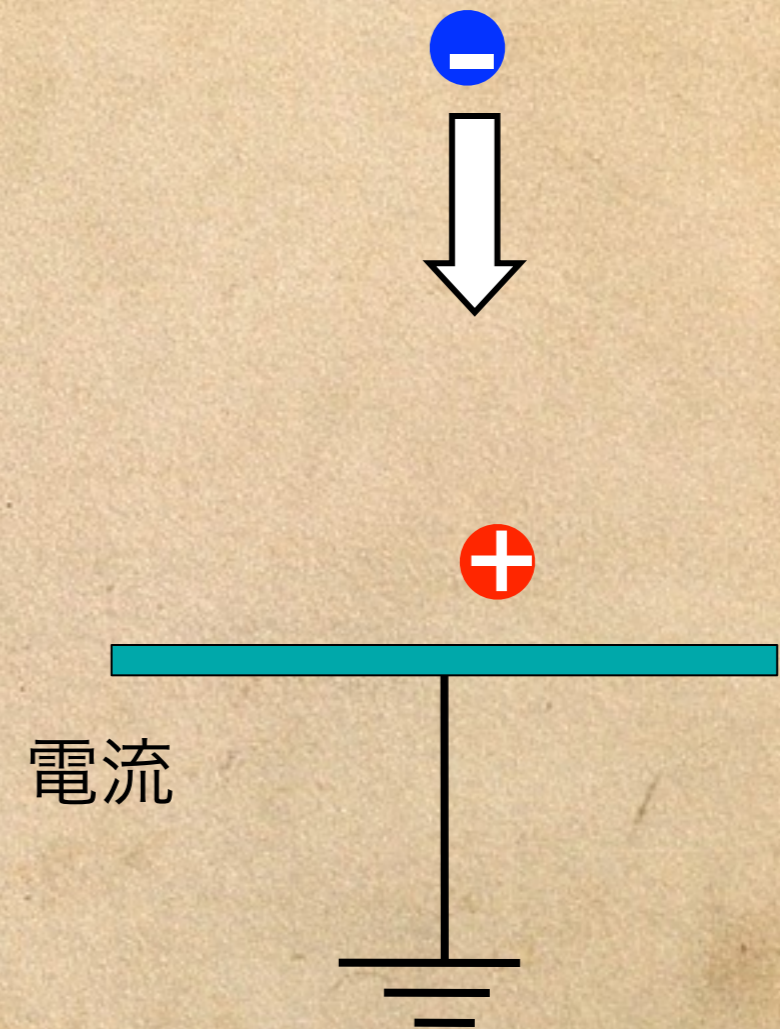
検出器からの信号を取り出す

- 生成された電荷は物質中を移動しそれによって電極に鏡面電荷を生成しこれの時間変化が検出器からの電流信号となる。
- 信号の大きさ、形状は下記のものに依存する
 - 電荷の動く速度：移動度と電場の強さ
 - 電極の配置と電場の形状
- 増幅は強電場下での電離増幅機構である



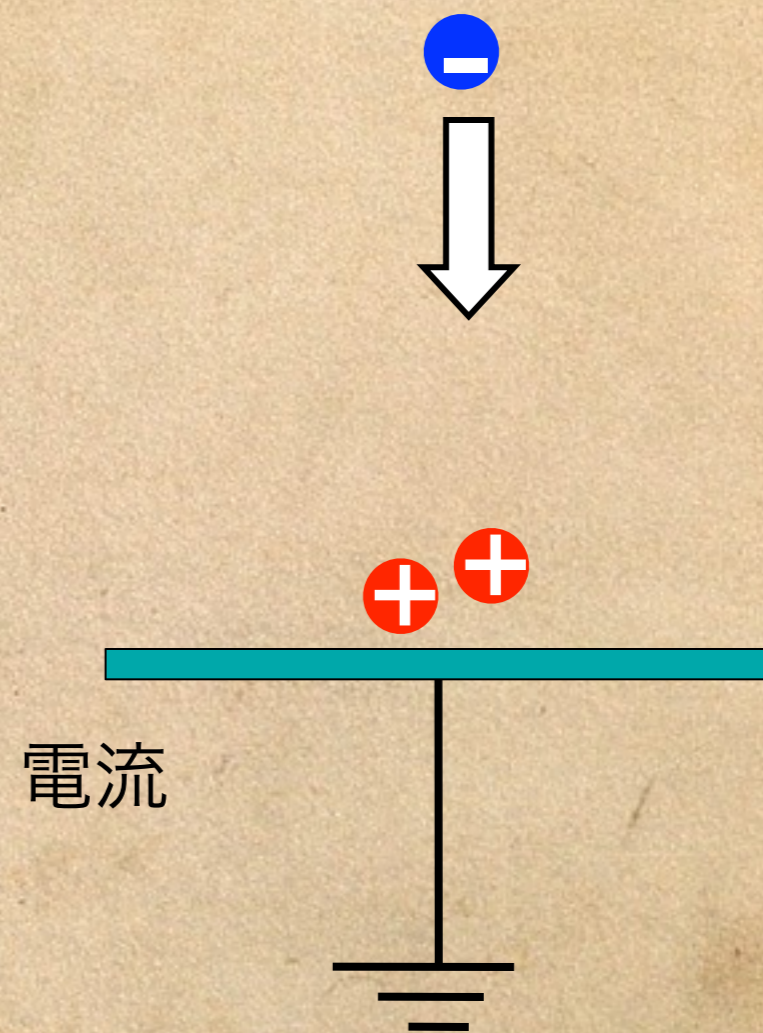
検出器からの信号を取り出す

- 生成された電荷は物質中を移動しそれによって電極に鏡面電荷を生成しこれの時間変化が検出器からの電流信号となる。
- 信号の大きさ、形状は下記のものに依存する
 - 電荷の動く速度：移動度と電場の強さ
 - 電極の配置と電場の形状
- 増幅は強電場下での電離増幅機構である



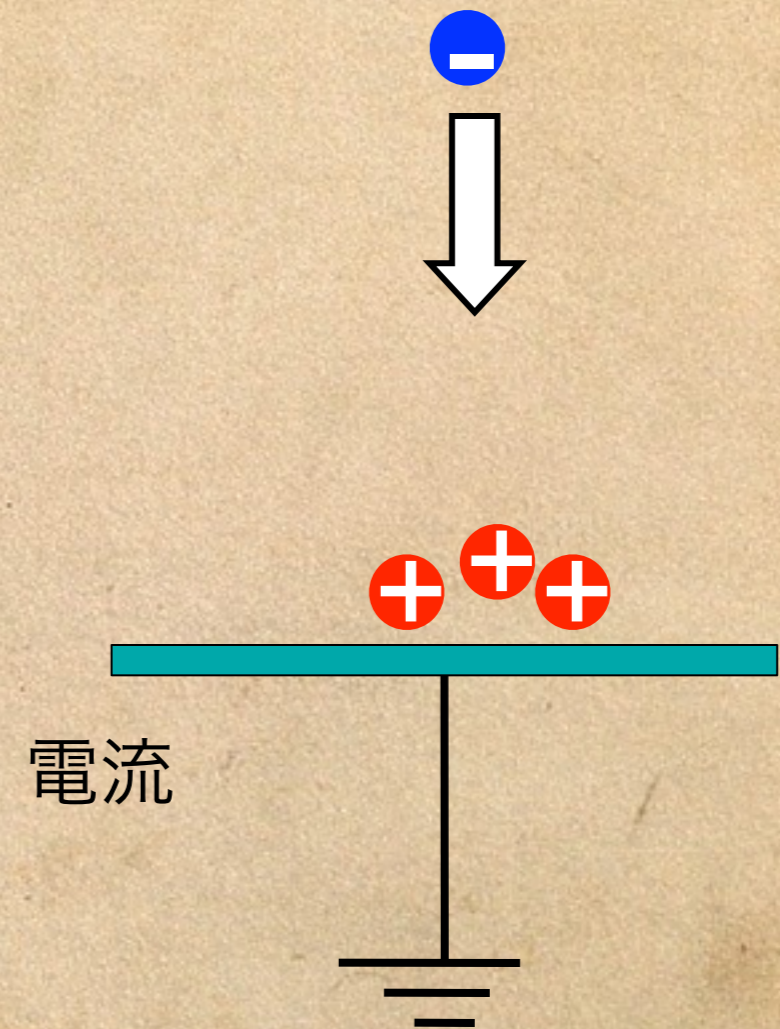
検出器からの信号を取り出す

- 生成された電荷は物質中を移動しそれによって電極に鏡面電荷を生成しこれの時間変化が検出器からの電流信号となる。
- 信号の大きさ、形状は下記のものに依存する
 - 電荷の動く速度：移動度と電場の強さ
 - 電極の配置と電場の形状
- 増幅は強電場下での電離増幅機構である



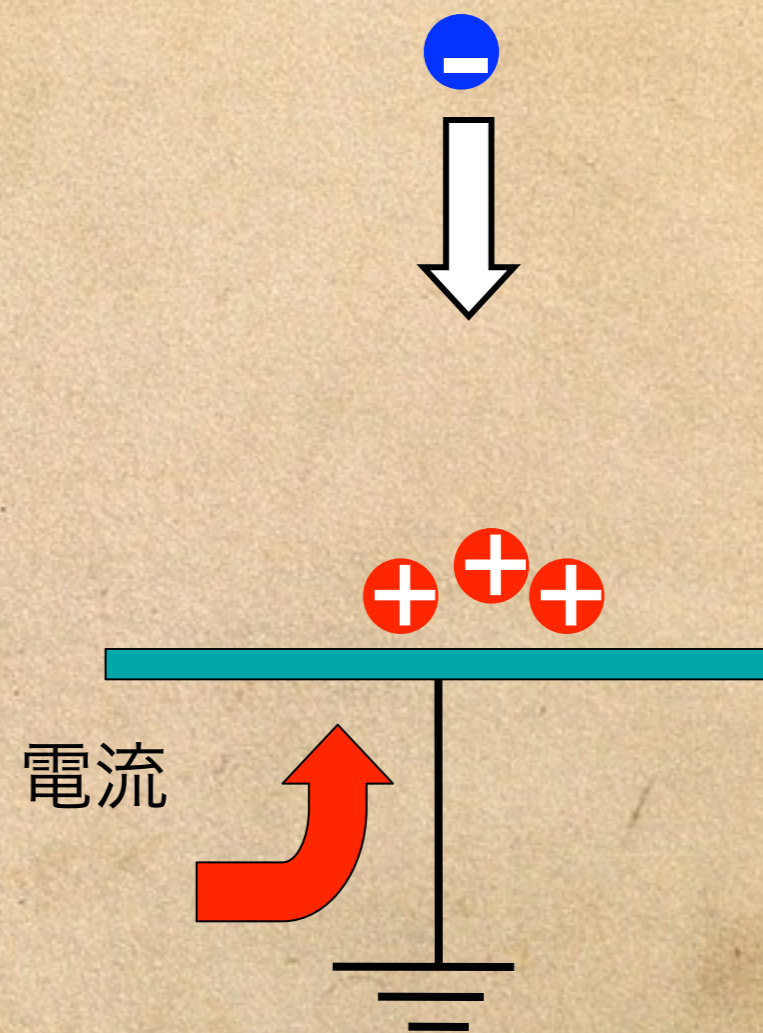
検出器からの信号を取り出す

- 生成された電荷は物質中を移動しそれによって電極に鏡面電荷を生成しこれの時間変化が検出器からの電流信号となる。
- 信号の大きさ、形状は下記のものに依存する
 - 電荷の動く速度：移動度と電場の強さ
 - 電極の配置と電場の形状
- 増幅は強電場下での電離増幅機構である



検出器からの信号を取り出す

- 生成された電荷は物質中を移動しそれによって電極に鏡面電荷を生成しこれの時間変化が検出器からの電流信号となる。
- 信号の大きさ、形状は下記のものに依存する
 - 電荷の動く速度：移動度と電場の強さ
 - 電極の配置と電場の形状
- 増幅は強電場下での電離増幅機構である



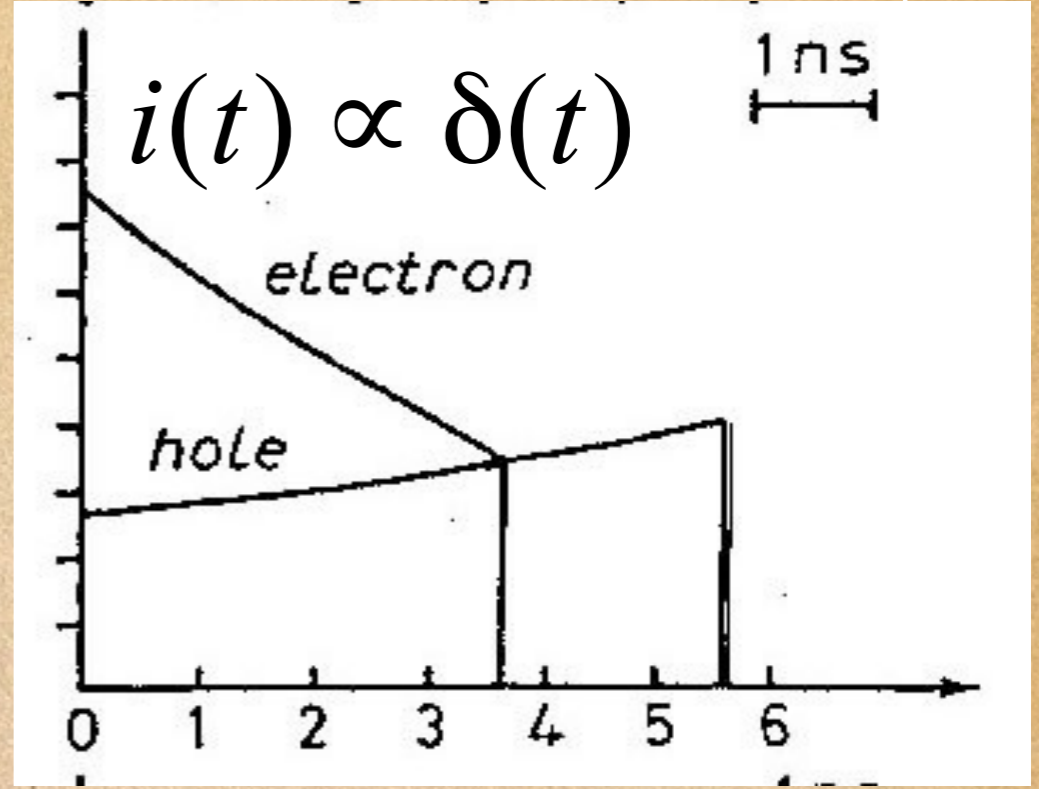
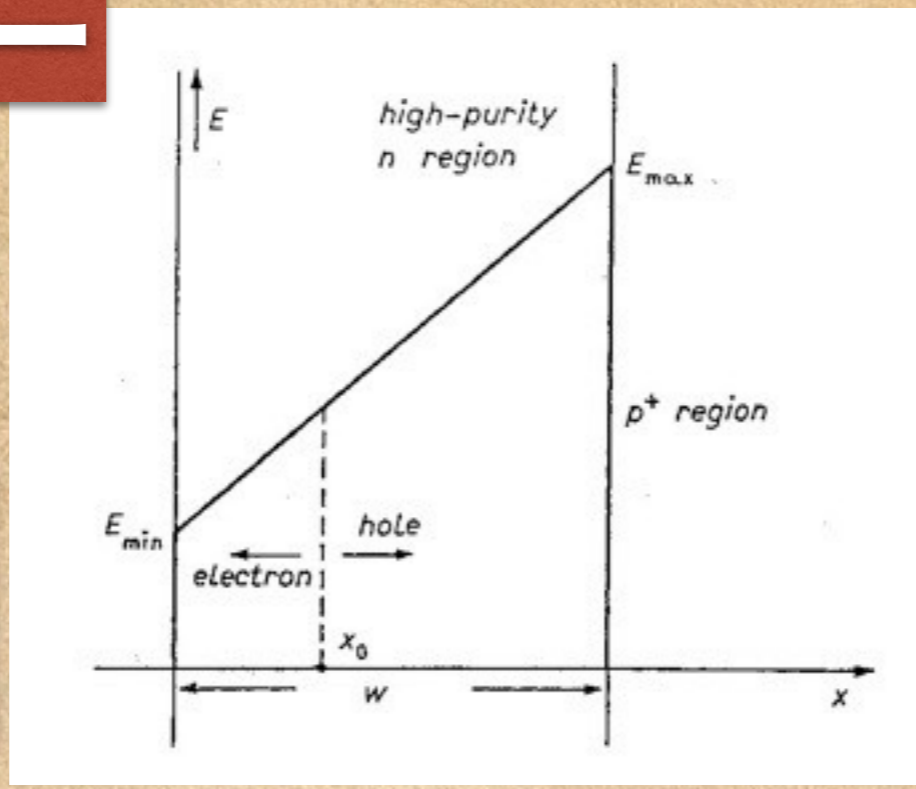
センサーの知識が必要 (1日目)

E. Gatti et al. Nuovo Cimento Vol 9(1986)

半導体センサー

Si半導体
検出器
移動度

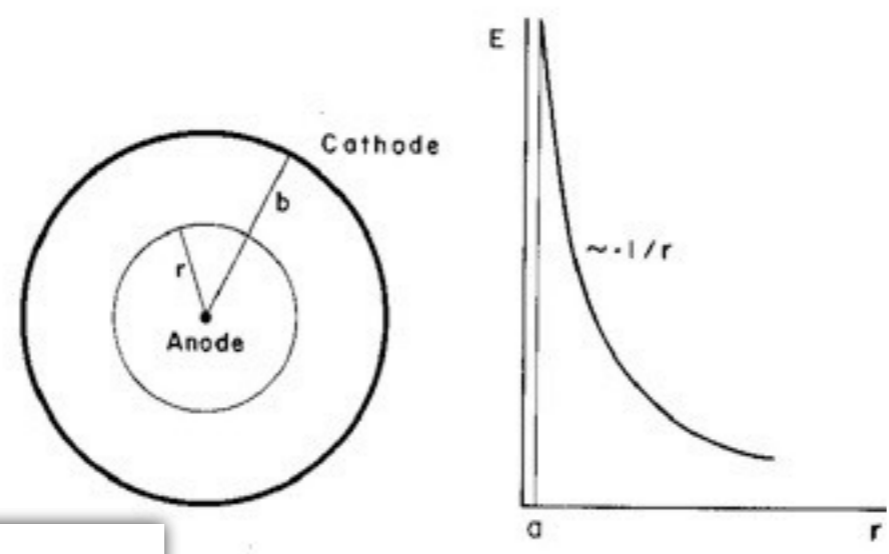
$e : 1500 \text{ cm}^2 / \text{V} \cdot \text{sec}$
 $h : 450 \text{ cm}^2 / \text{V} \cdot \text{sec}$



ガスセンサー

ガス検出器
移動度

$e : \sim 10^4 \text{ atm} \cdot \text{cm}^2 / \text{V} \cdot \text{sec}$
 $\text{He} : 22 \text{ atm} \cdot \text{cm}^2 / \text{V} \cdot \text{sec}$



The coaxial cylindrical proportional counter, and the shape of the electric field around the thin anode. Only very close to the anode the field grows high enough to allow avalanche multiplication.

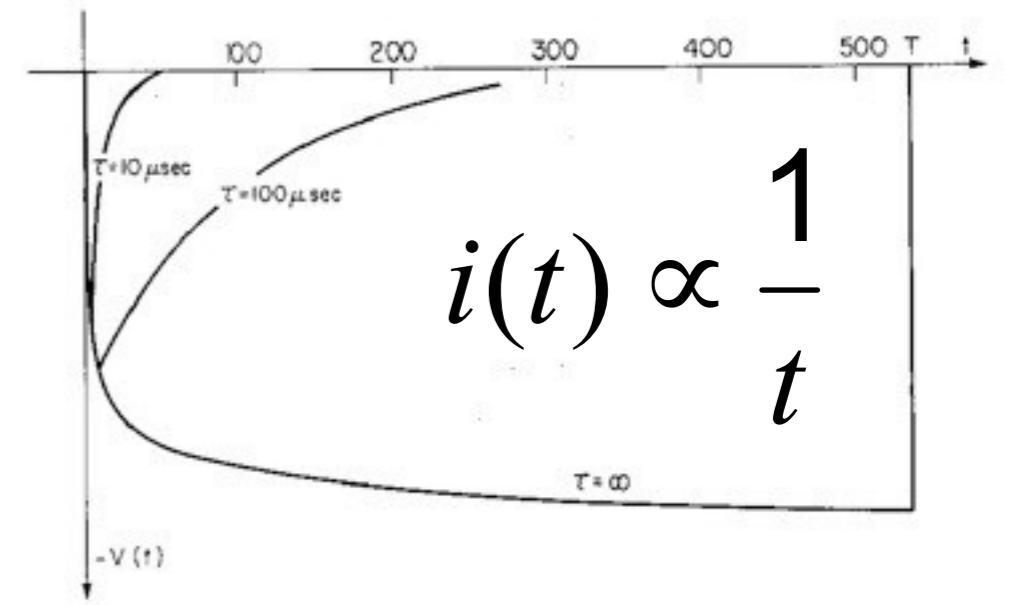


Fig. 52 Time development of the pulse in a proportional counter; T is the total drift time of positive ions from anode to cathode. The pulse shape obtained with several differentiation time constants is also shown.

CERN 77-09 3 May 1977 F. Sauli

Principles of operation of multiwire proportional and drift chamber

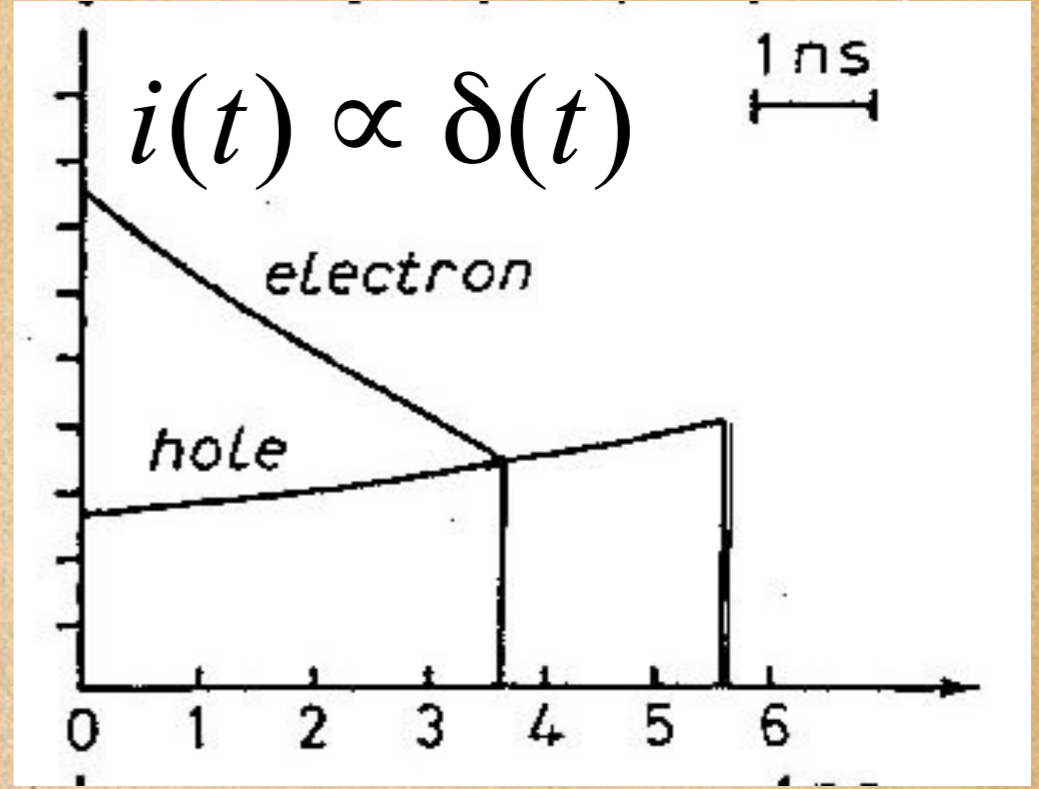
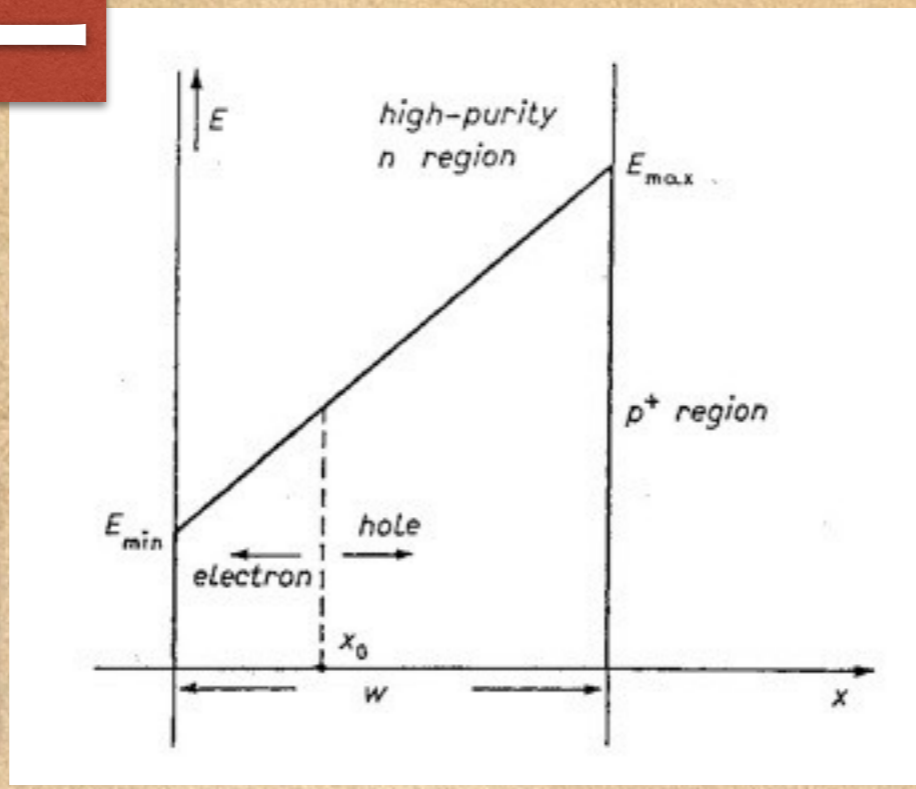
センサーの知識が必要 (1日目)

E. Gatti et al. Nuovo Cimento Vol 9(1986)

半導体センサー

Si半導体
検出器
移動度

$e : 1500 \text{ cm}^2 / \text{V} \cdot \text{sec}$
 $h : 450 \text{ cm}^2 / \text{V} \cdot \text{sec}$

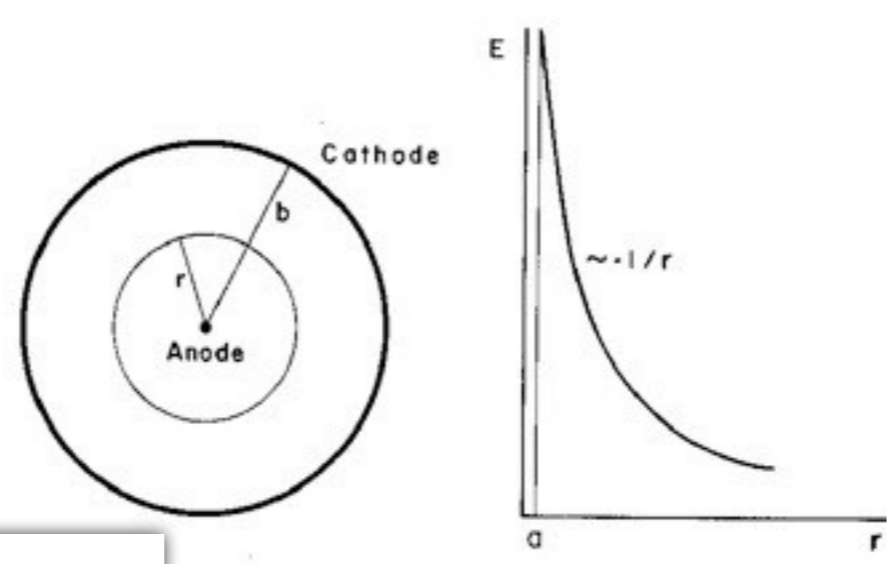


検出器媒体、形状によって出てくる波形が違う

ガスセンサー

ガス検出器
移動度

$e : \sim 10^4 \text{ atm} \cdot \text{cm}^2 / \text{V} \cdot \text{sec}$
 $He : 22 \text{ atm} \cdot \text{cm}^2 / \text{V} \cdot \text{sec}$



The coaxial cylindrical proportional counter, and the shape of the electric field around the thin anode. Only very close to the anode the field grows high enough to allow avalanche multiplication.

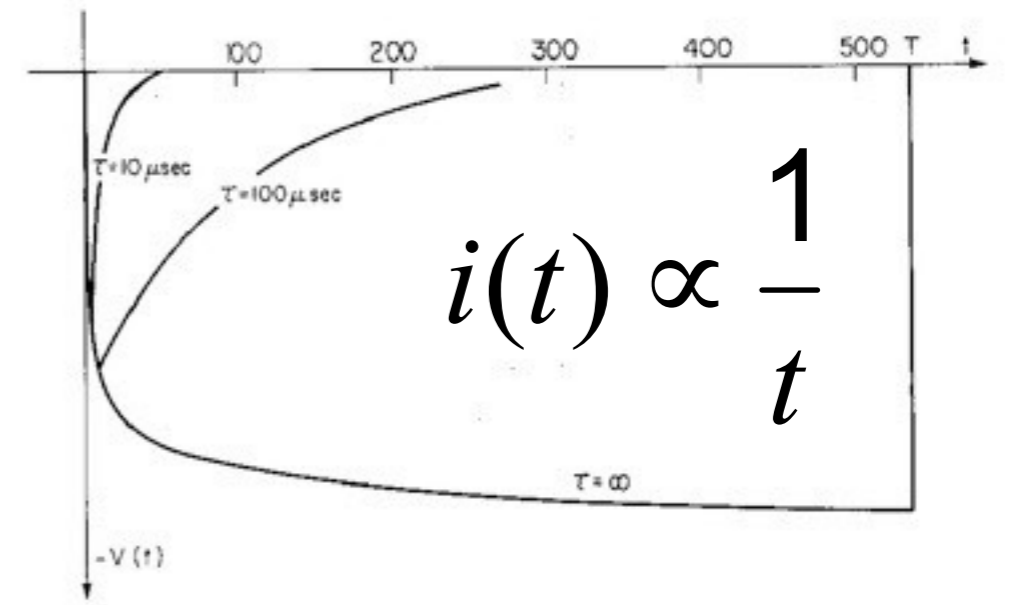
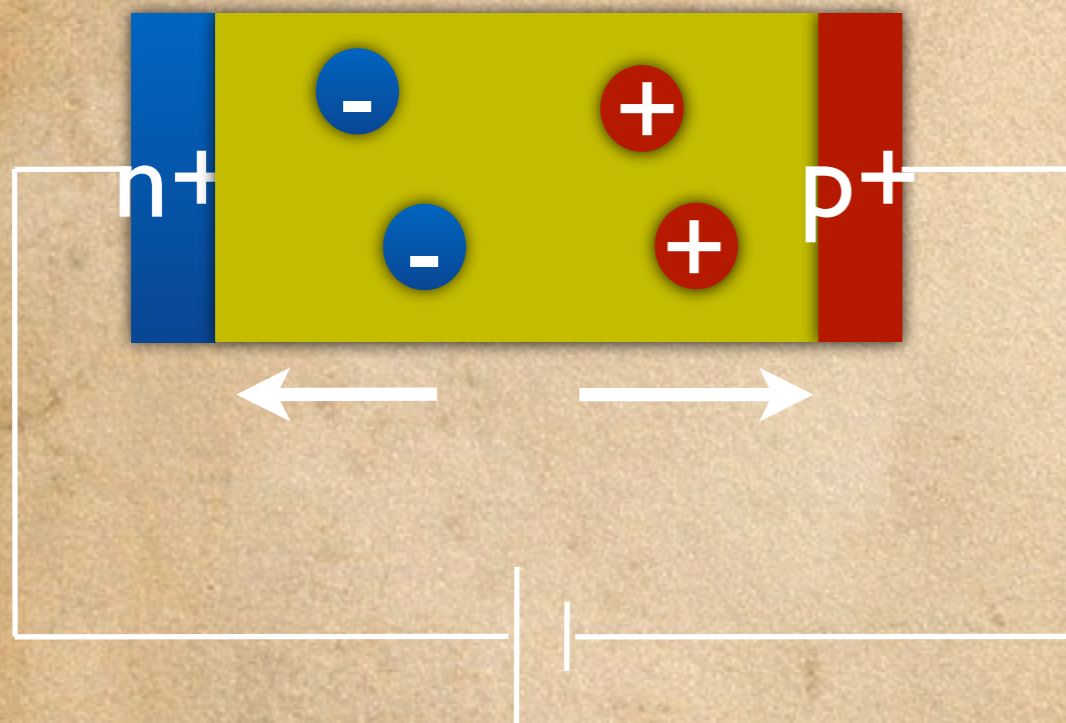


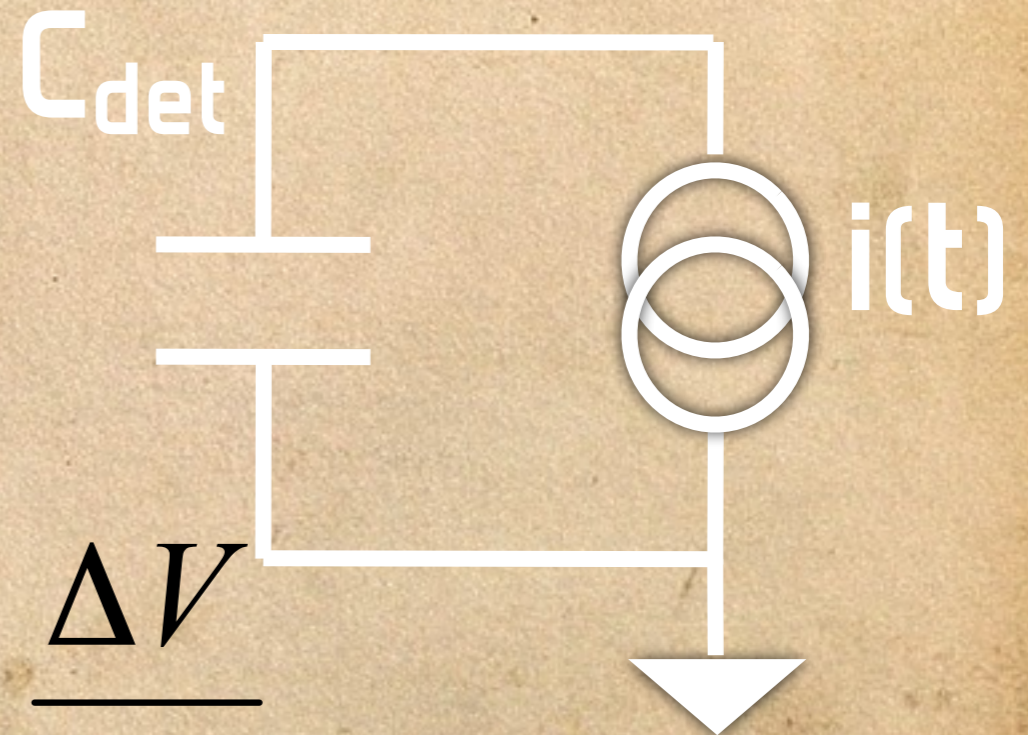
Fig. 52 Time development of the pulse in a proportional counter; T is the total drift time of positive ions from anode to cathode. The pulse shape obtained with several differentiation time constants is also shown.

電流電圧変換器の必要性

- ◆ 検出器は**容量**と**電流源**でモデル化される
- ◆ 電荷信号の時間変化 → 電流信号源
- ◆ 電極 → コンデンサー

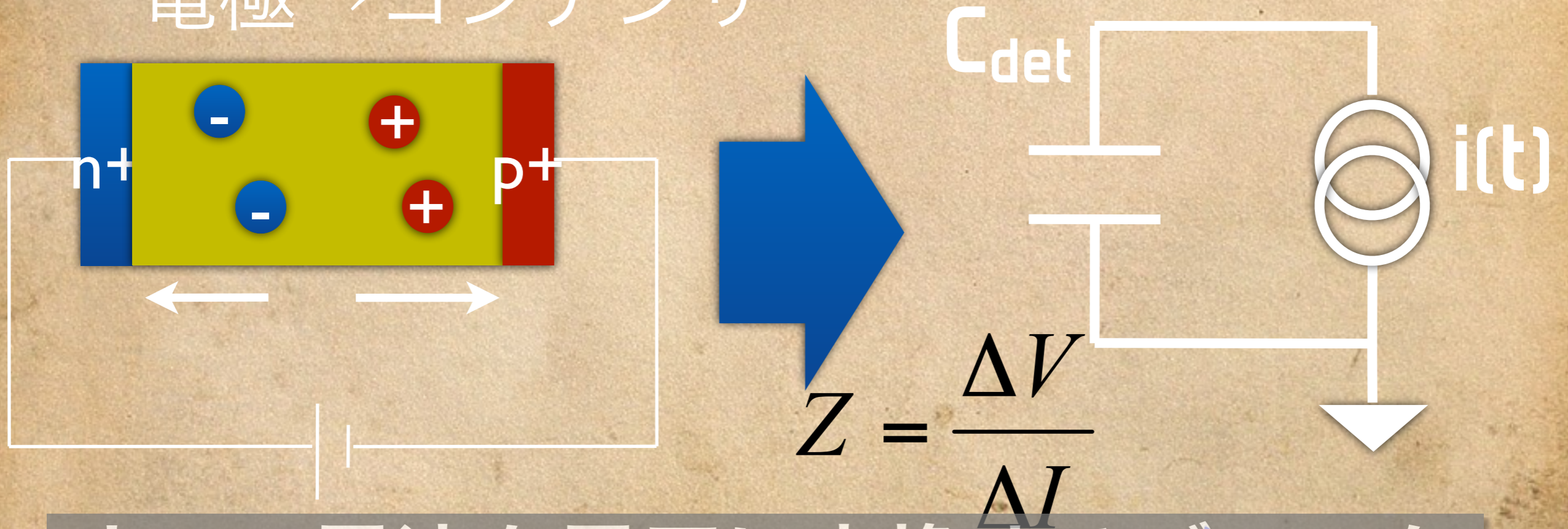


$$Z = \frac{\Delta V}{\Delta I}$$



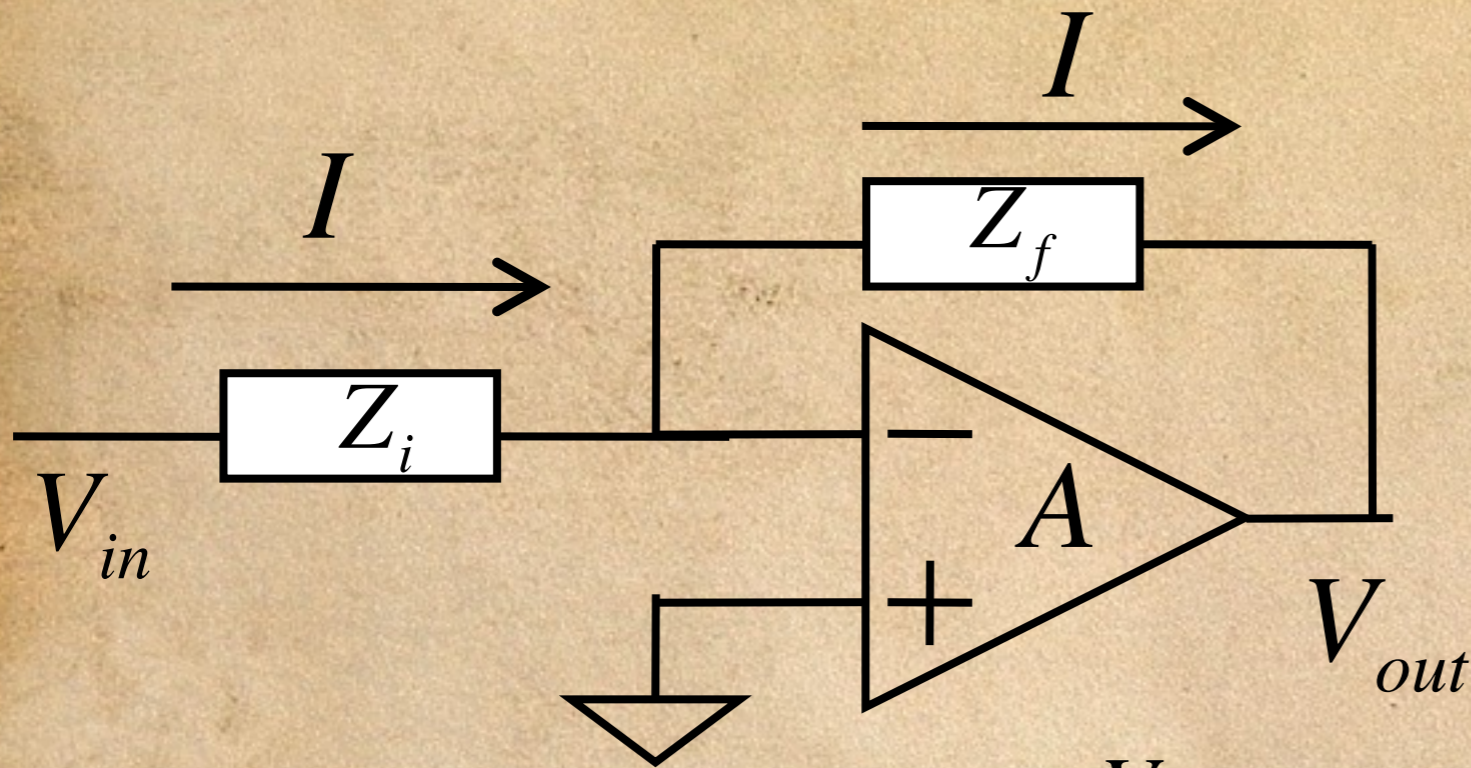
電流電圧変換器の必要性

- ◆ 検出器は**容量**と**電流源**でモデル化される
- ◆ 電荷信号の時間変化 → 電流信号源
- ◆ 電極 → コンデンサー



よって電流を電圧に変換するブロック
が一番はじめに必要である!

オペアンプ



$$V_{out} = -AV$$

$$V_{in} - V = Z_i I$$

$$V_{out} - V = -Z_f I$$

$$Z_{in} = \frac{V_{in}}{I_{in}} = Z_i + \frac{Z_f}{1+A} = Z_i (A \rightarrow \infty)$$

$$G_{amp} = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{Z_f / Z_i}{(1 + 1/A) - Z_f / AZ_i} = -\frac{Z_f}{Z_i} (A \rightarrow \infty)$$

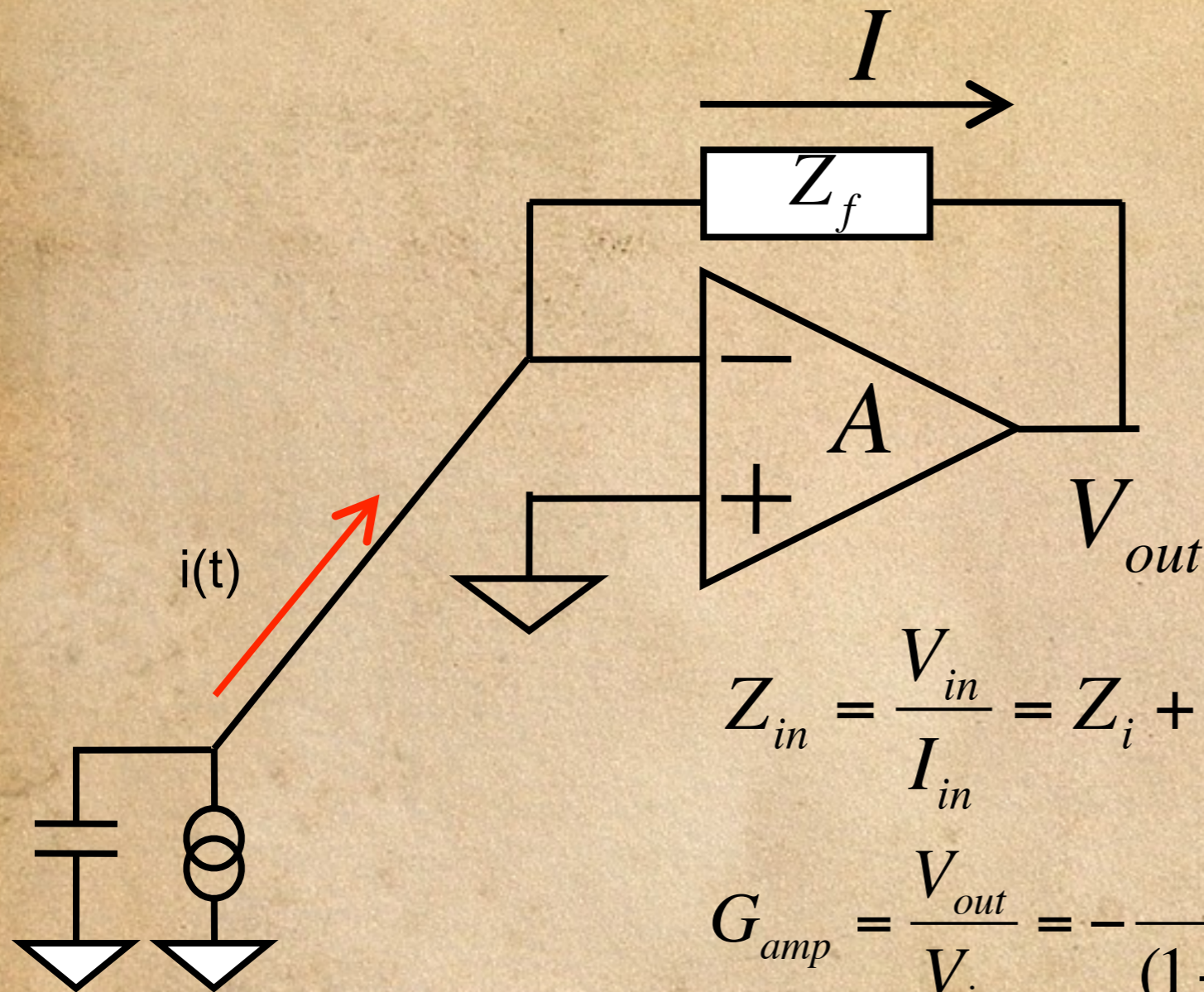
Input impedance **zero**, if Zi is zero.

Vout=Zf I, if A is infinite.

what we need



オペアンプ



$$V_{out} = -AV$$

$$V_{in} - V = Z_i I$$

$$V_{out} - V = -Z_f I$$

$$Z_{in} = \frac{V_{in}}{I_{in}} = Z_i + \frac{Z_f}{1+A} = Z_i (A \rightarrow \infty)$$

$$G_{amp} = \frac{V_{out}}{V_{in}} = -\frac{Z_f / Z_i}{(1 + 1/A) - Z_f / AZ_i} = -\frac{Z_f}{Z_i} (A \rightarrow \infty)$$

Input impedance **zero**, if Zi is zero.

Vout=Zf I, if A is infinite.

what we need

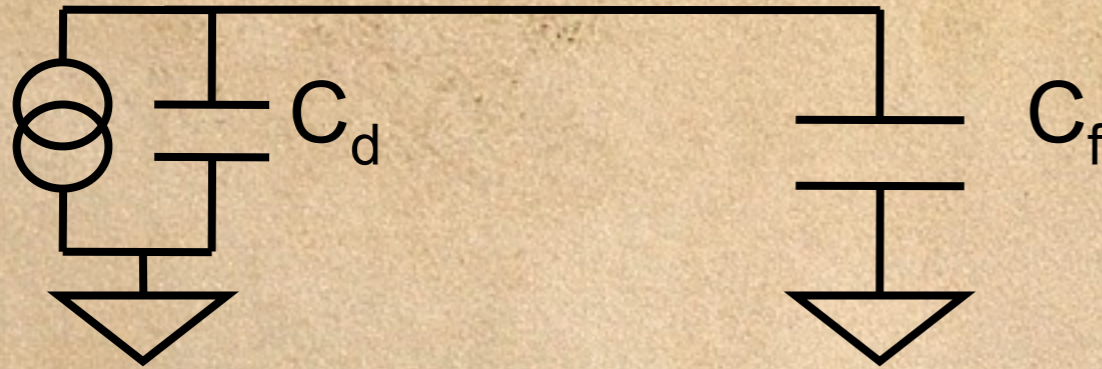


電荷有感型プリアンプ

- Current integration → "C"

$$Q_{\text{det}} = Q_d + Q_f$$

$$Q_d / C_d = Q_f / C_f \quad Q_d : Q_f = C_d : C_f$$



$$V_{\text{out}} = Q_{\text{det}} / (C_f + C_d)$$

Z_{low} means $C_f \gg C_d$

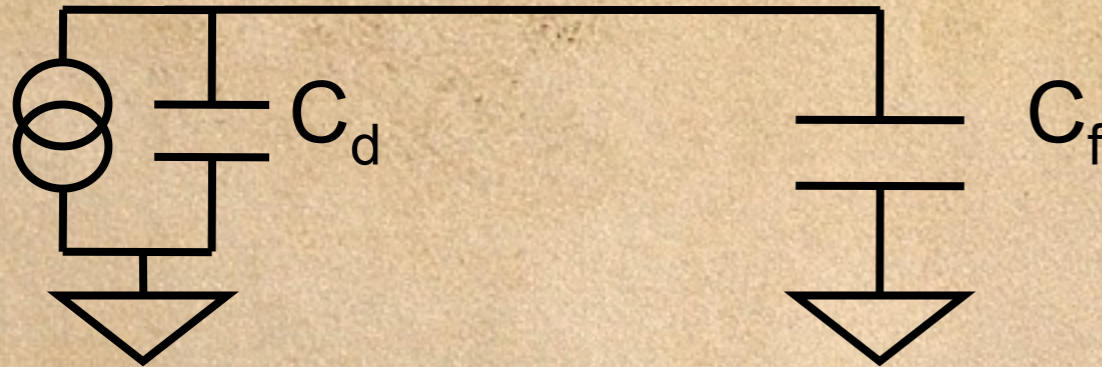
V_{out} becomes small!!

電荷有感型プリアンプ

- Current integration → "C"

$$Q_{\text{det}} = Q_d + Q_f$$

$$Q_d / C_d = Q_f / C_f \quad Q_d : Q_f = C_d : C_f$$



$$V_{\text{out}} = Q_{\text{det}} / (C_f + C_d)$$

Z_{low} means $C_f \gg C_d$

V_{out} becomes small!!

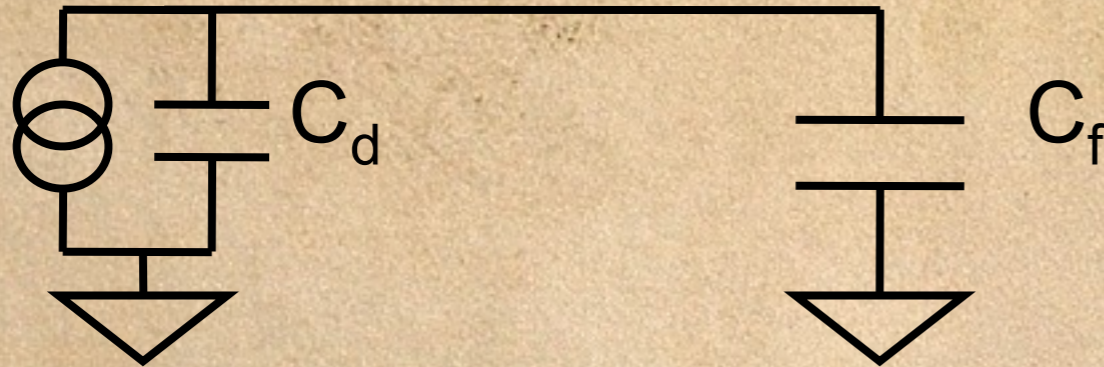


電荷有感型プリアンプ

- Current integration → "C"

$$Q_{\text{det}} = Q_d + Q_f$$

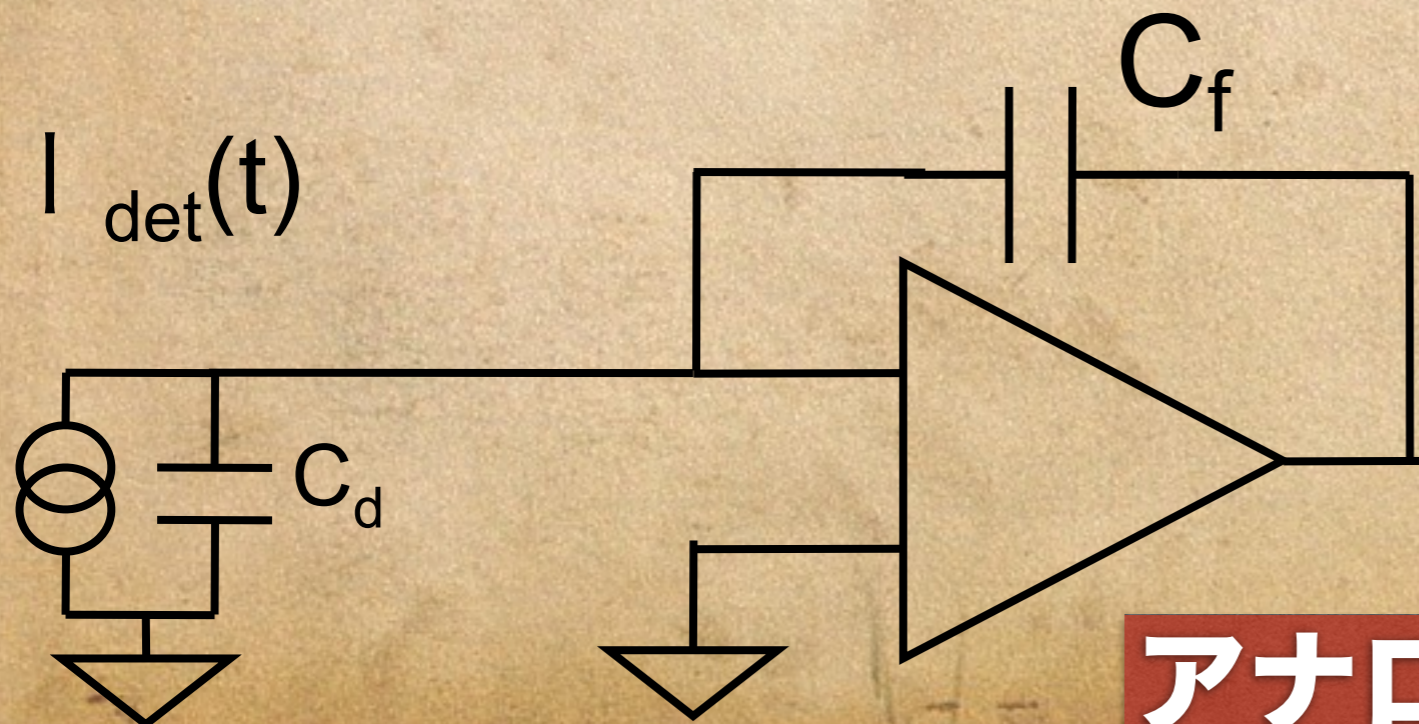
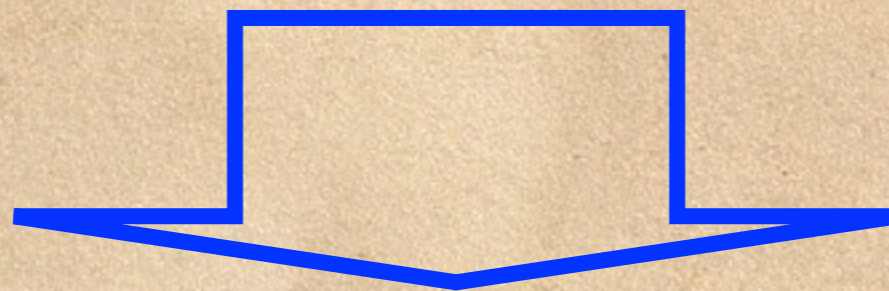
$$Q_d / C_d = Q_f / C_f \quad Q_d : Q_f = C_d : C_f$$



$$V_{\text{out}} = Q_{\text{det}} / (C_f + C_d)$$

Z_{low} means $C_f \gg C_d$

V_{out} becomes small!!

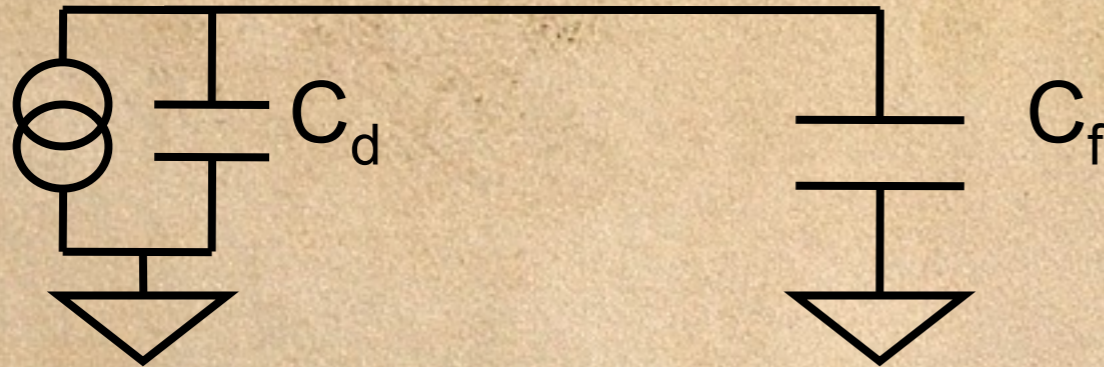


電荷有感型プリアンプ

- Current integration → "C"

$$Q_{det} = Q_d + Q_f$$

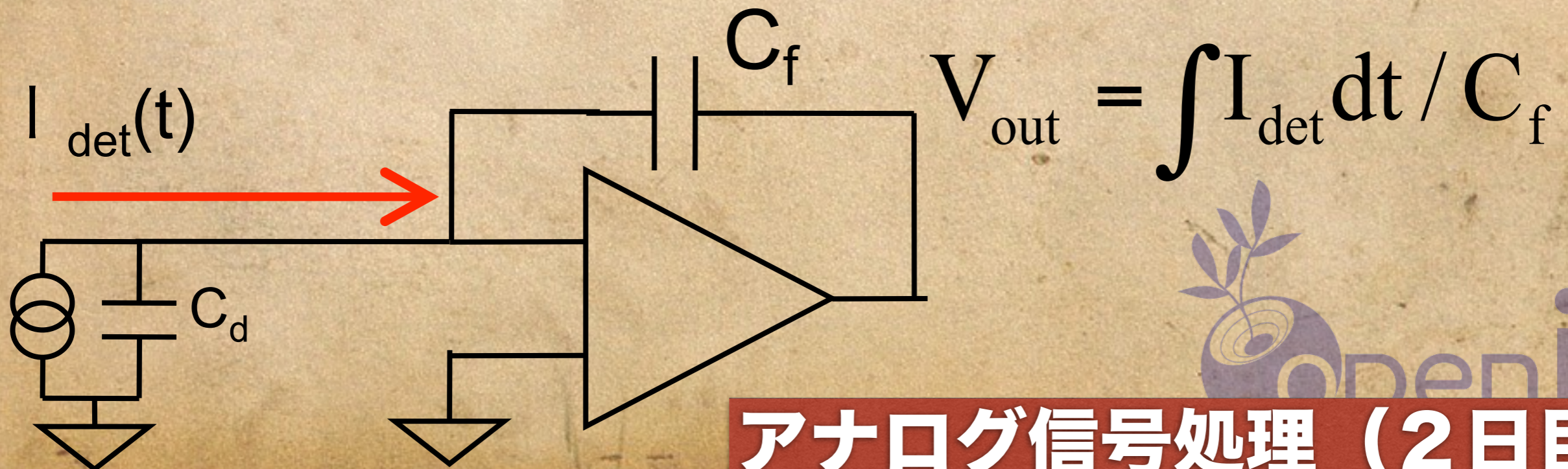
$$Q_d / C_d = Q_f / C_f \quad Q_d : Q_f = C_d : C_f$$



$$V_{out} = Q_{det} / (C_f + C_d)$$

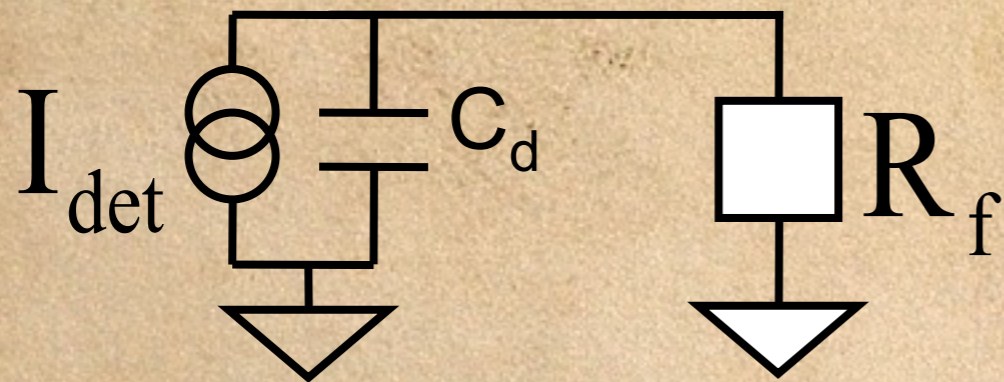
Z_{low} means $C_f \gg C_d$

V_{out} becomes small!!



電流有感型プリアンプ

- current \rightarrow resistor \rightarrow voltage



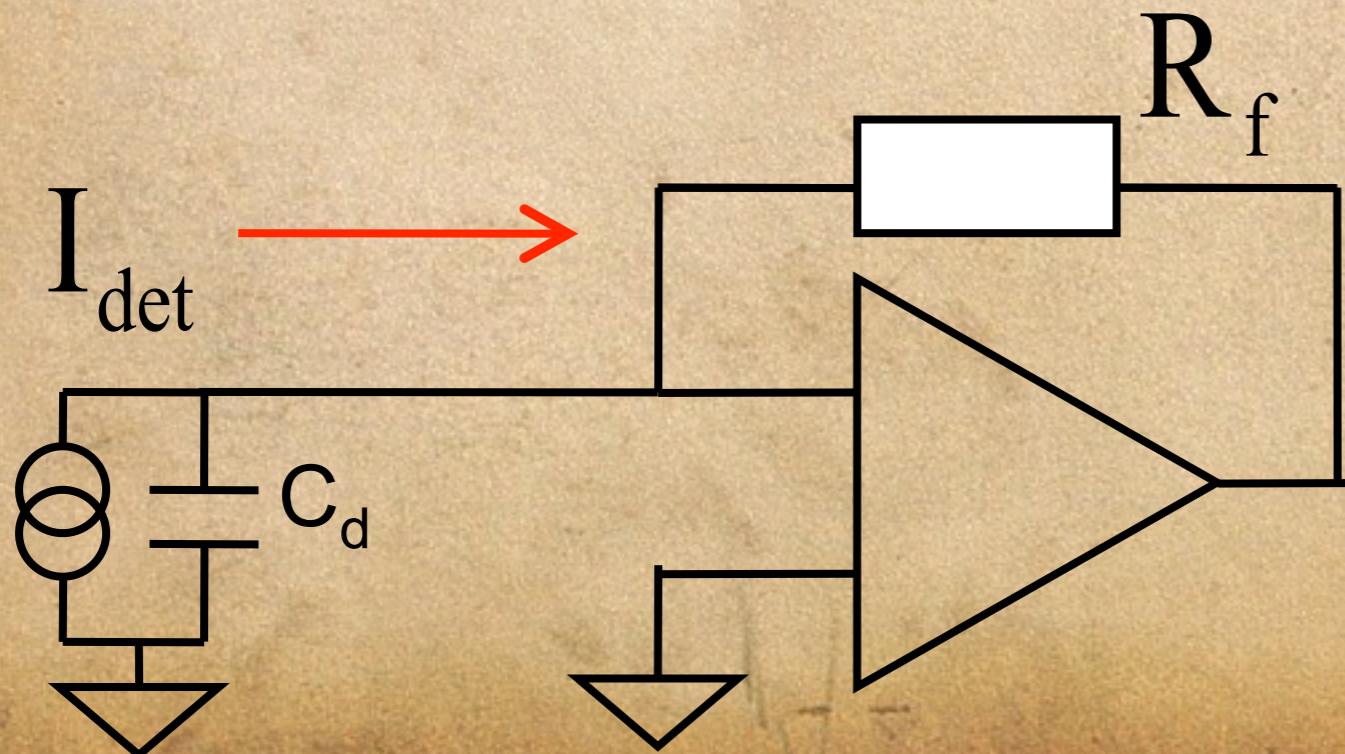
time constant of the circuit is $C_d R_f$

R_f large \rightarrow V_{out} becomes large

\rightarrow but time constant large

\rightarrow also noise large (thermal noise)

電圧有感型アンプというのものもある



$$V_{out} = R_f I_{det}$$



S/N向上のために

- 信号を大きくする
 - インピーダンス変換（電流電圧）
 - 適度な電圧増幅（増幅器）
- ノイズを減らす
 - イントリンジックノイズの理解 ←
 - フィルター
 - デジタル化（外来雑音から守る）



感度の限界を決めるもの - ノイズ -

◆ Intrinsic noise

◆ EMI, etc

- ◆ 議論対象は **Intrinsic noise** のみ
- ◆ 検出器との関係を定性的に説明
- ◆ 入力レンジスタのノイズ
 - ◆ なにが支配的か



外来雑音の輻射、混入はEMC関連分野で取り扱われる。

<http://www-esys.kek.jp/r-and-d/emc/emc-related-references>

代表的なノイズとパラメータ

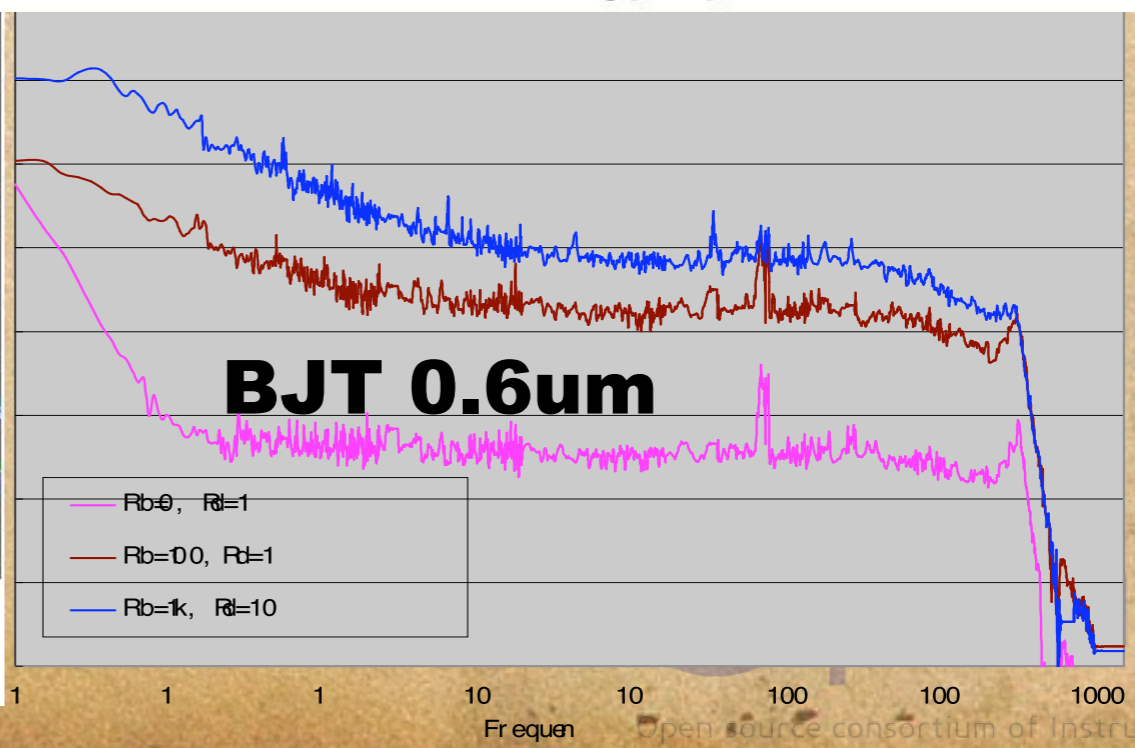
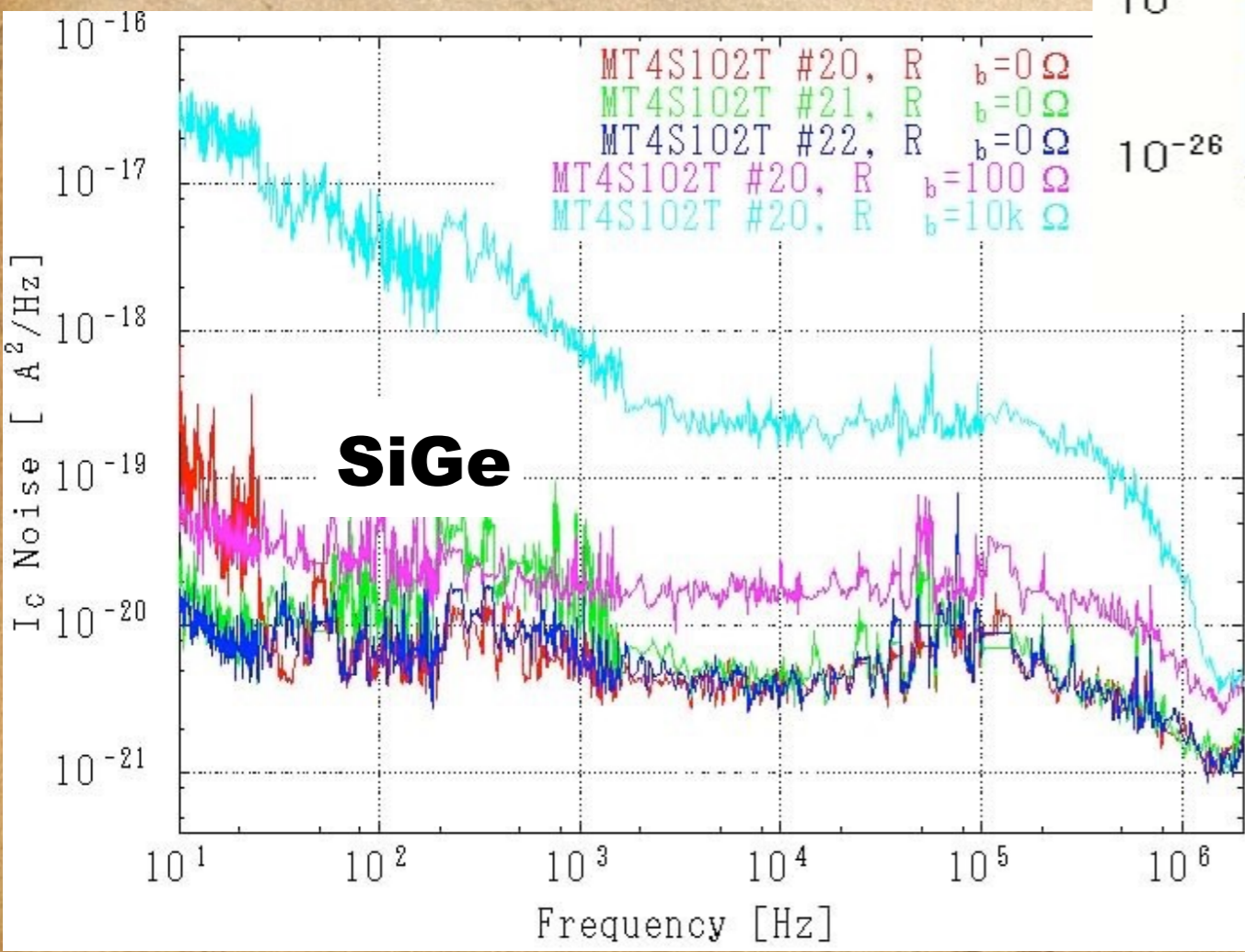
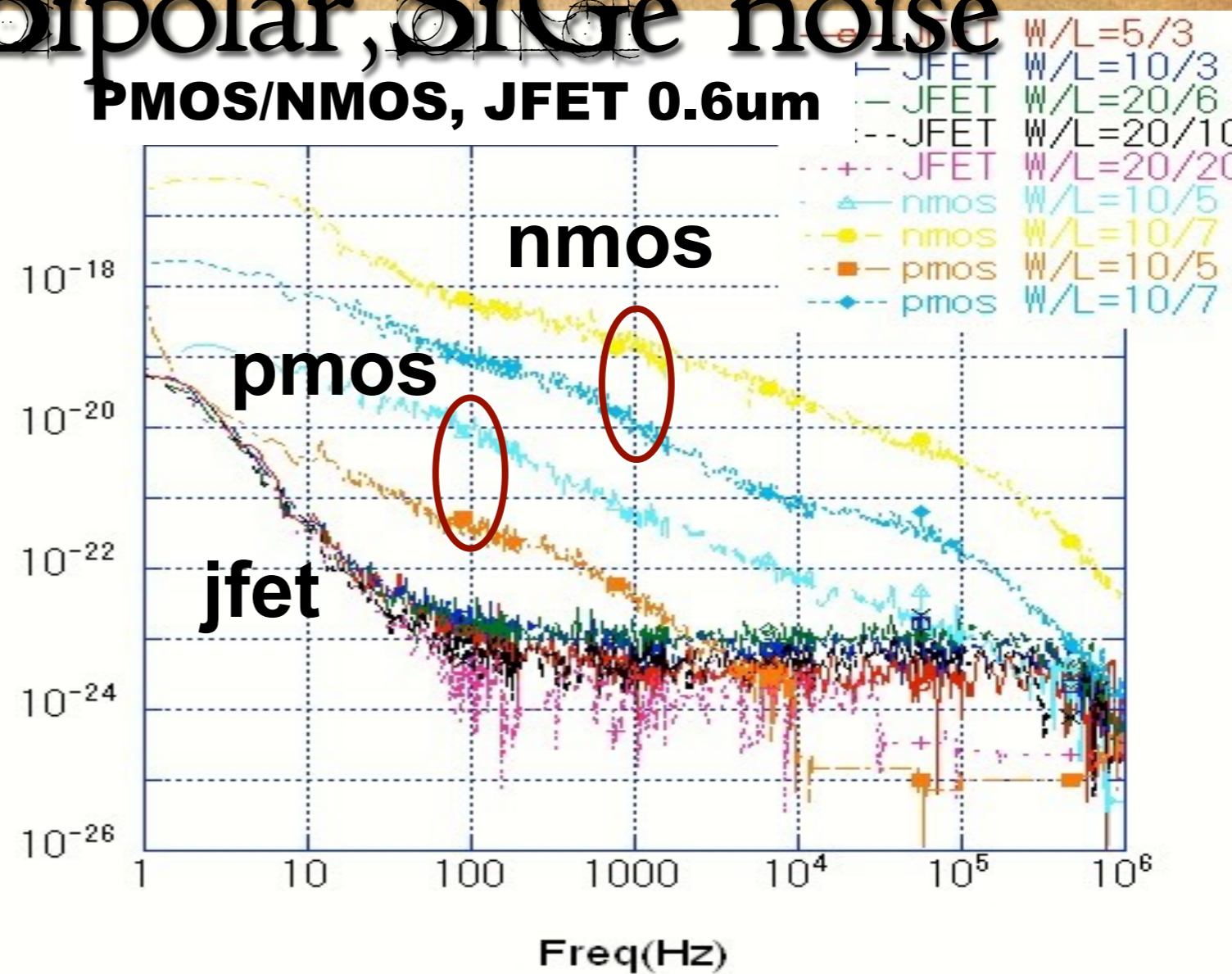
- **Thermal noise** $\propto T$
 - Resistor $4kT(\text{power})$
 - ◆ $V_{\text{noise}}=4kTR$ $I_{\text{noise}}=4kT/R$
 - Transistor (in the next slide)
- **Shot noise** $\propto I$
 - Diode and Transistor
 - Photo Multiplier Tube, Pixel (CCD, MOS)
- **Flicker noise** $\propto 1/f$
 - Transistor (in the next slide)

センサー、アナログ信号処理、トランジスタ (1、2
日目)

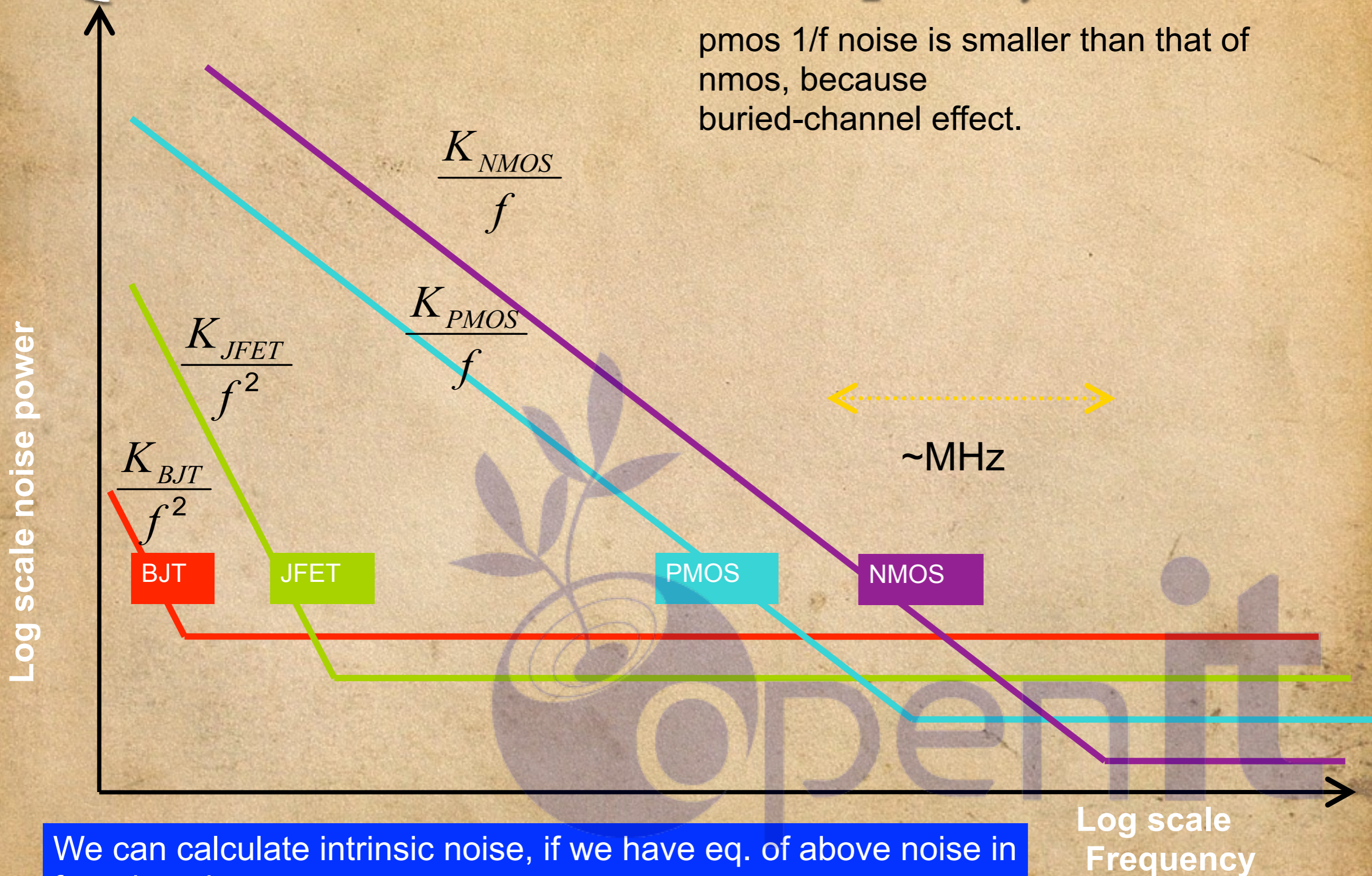
JFET, CMOS, Bipolar, SiGe noise

PMOS/NMOS, JFET 0.6um

Summary of qualitative behavior in the next page



Qualitative behavior in frequency domain



We can calculate intrinsic noise, if we have eq. of above noise in freq domain.

具体的な式

$$\overline{v_i^2} = 4kTr_{bb'}\Delta f$$

Thermal noise @
base R

$$\overline{i_i^2} = 2qI_c\Delta f$$

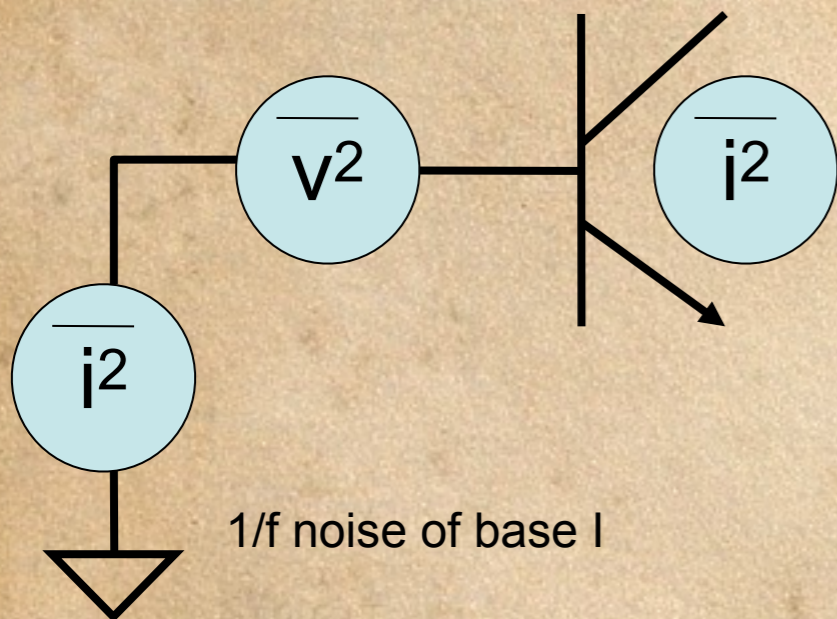
Shot noise of
collector I

$$\overline{v_i^2} = \frac{K}{C_{ox}WL} \cdot \frac{1}{f} \Delta f$$

1/f noise @ gate

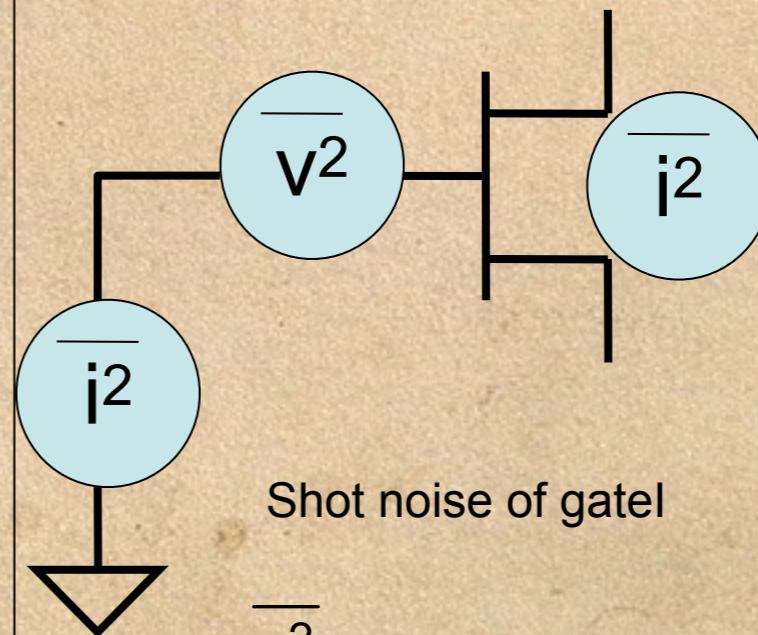
$$\overline{i_i^2} = 4kT \frac{2}{3} g_m \Delta f$$

Thermal noise of
D-S resistance



1/f noise of base I

$$\overline{i_i^2} \sim K \frac{2qi_B}{f^\alpha} \Delta f$$



Shot noise of gatel

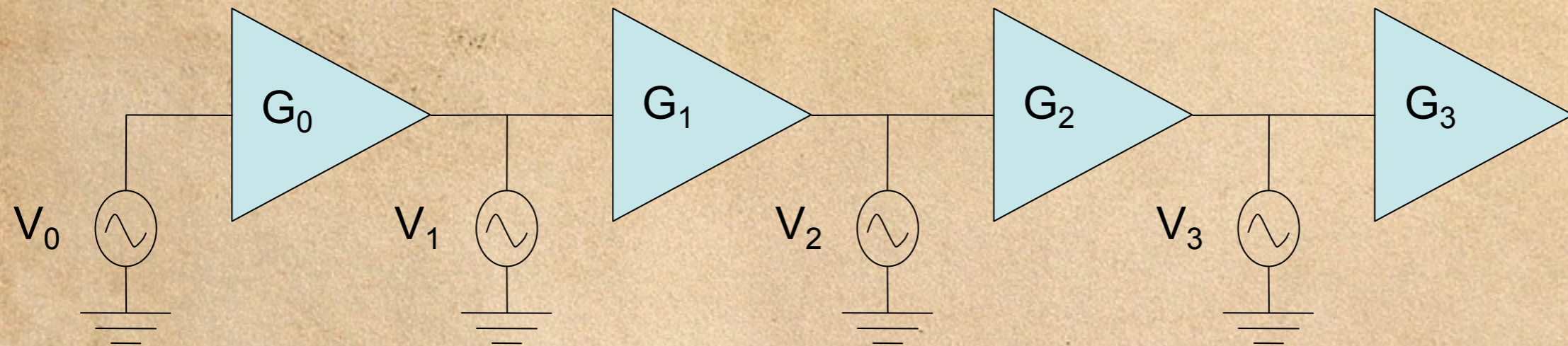
$$\overline{i_i^2} = 2qi_D\Delta f$$

How to convert input equivalent noise → 1/gm

ASICトレーニングコースに参加してみてください。

講義ではなく自分で体感できます。

システム全体への影響 -はじめが肝心-



$$G_4 \left(\sqrt{V_4^2} + G_3 \left(\sqrt{V_3^2} + G_2 \left(\sqrt{V_2^2} + G_1 \left(\sqrt{V_1^2} + G_0 \sqrt{V_0^2} \right) \right) \right) \right)$$

Sを大きく取りたいので、外部からの電磁干渉信号(EMI)に影響されないように

$$G_0 > G_1 > \dots$$

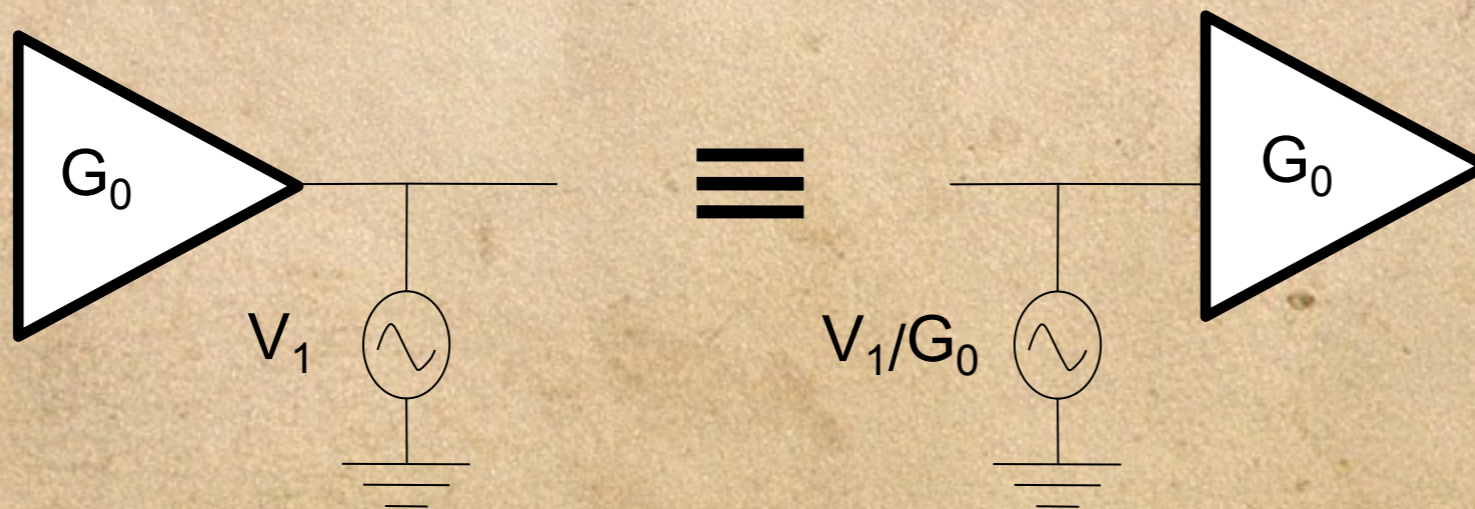
よってセンサーに近い所のノイズの影響が一番重要

ノイズの表現

必要なのは信号の大きさ/ノイズの大きさ (S/N)

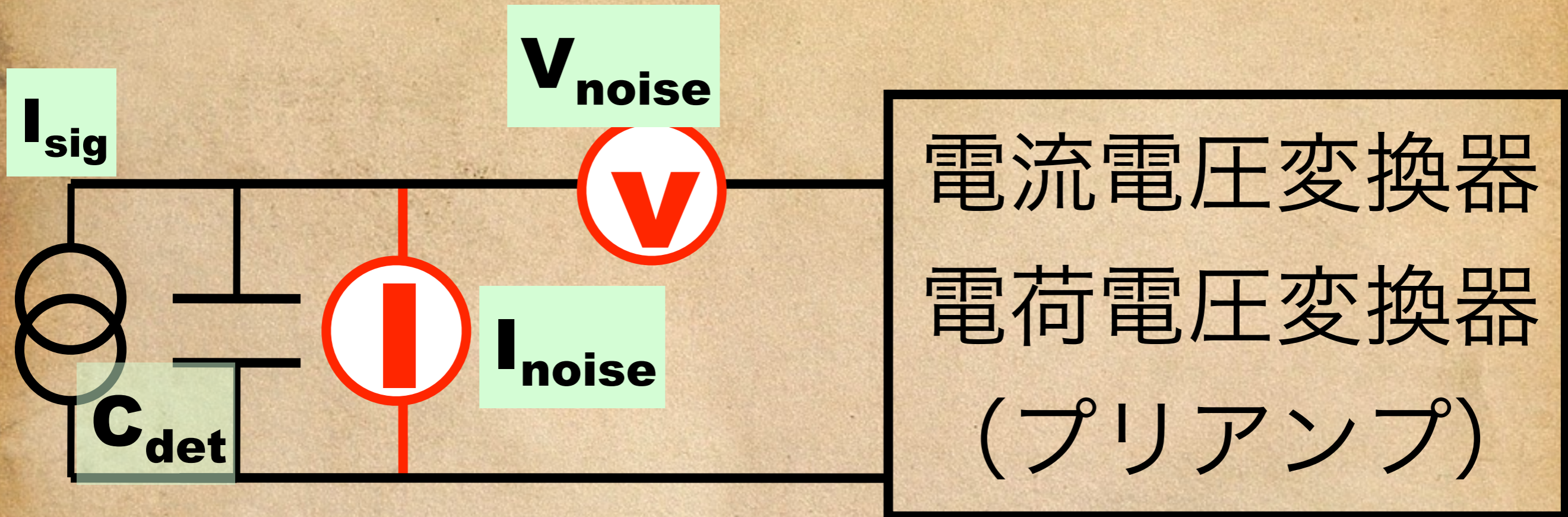
- 信号強度はセンサーのところで定量化可能 (電荷量)
 - =入力エネルギー/(e-h/e-ion)を生成するためのエネルギー
- 検出器のところで信号とノイズを比較すると設計がやりやすい
- 等価入力換算雑音(電荷、電流、電圧)

例えば



まずは入力等価雑音源を配置してその振る舞いを見る

ノイズの存在場所



- 入力が電流値 → 入力が電流（電荷）であれば信号かそうでないかは判断できない

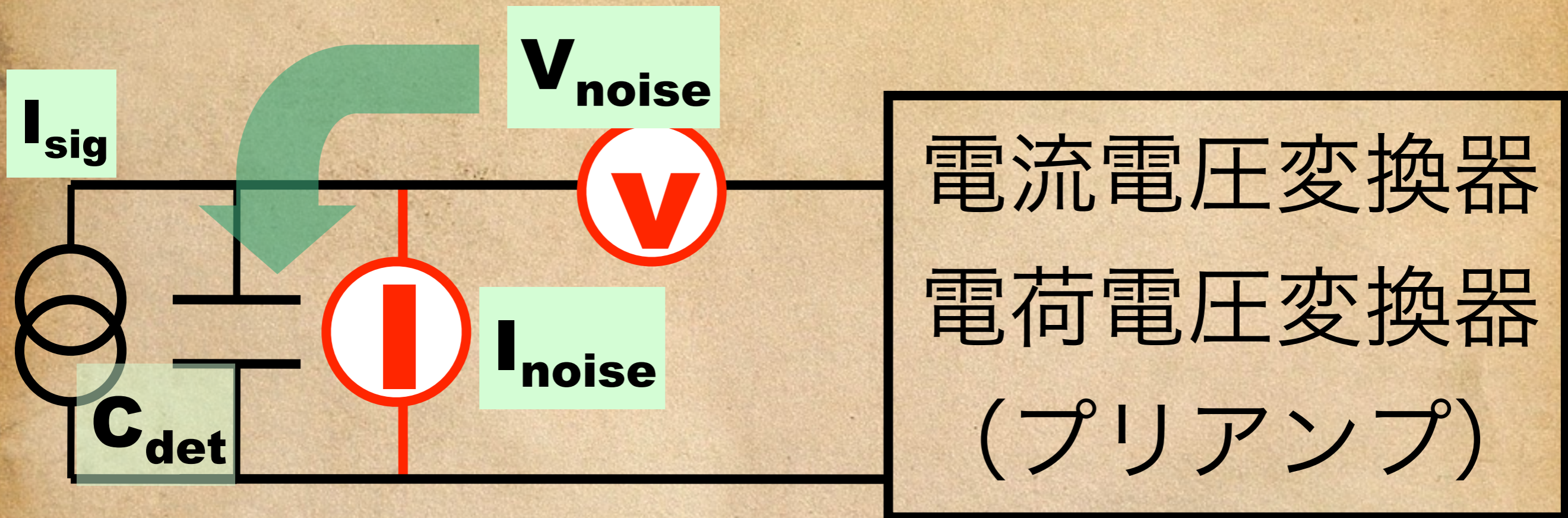
1、電流性のノイズが入口に並列（パラレル）

例：検出器のリーク電流

2、電圧性のノイズが入口に直列（シリーズ）

例：初段トランジスタのパラメータ

ノイズの存在場所



- 入力が電流値 → 入力が電流（電荷）であれば信号かそうでないかは判断できない

1、電流性のノイズが入力に並列（パラレル）

例：検出器のリーク電流

2、電圧性のノイズが入力に直列（シリーズ）

例：初段トランジスタのパラメータ

ノイズと測定システム内パラメータとの相関

Causion: わかりやすく解説しているため単位及びノイズの意味が正確ではないが相関関係は正しい。

- 検出器容量

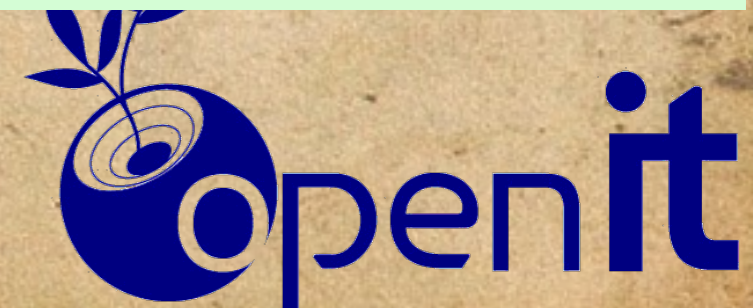
$$Q_{noise}^2 = \int_{T_{measure}} dt \left(C_{DET} \frac{dV_{noise}}{dt} \right)^2$$

検出器容量が大きくなるとノイズが増加

- 観測時間（積分時間）

$$Q_{noise}^2 = \int_{T_{measure}} I_{noise}^2 dt$$

観測時間が増えたとノイズが増加

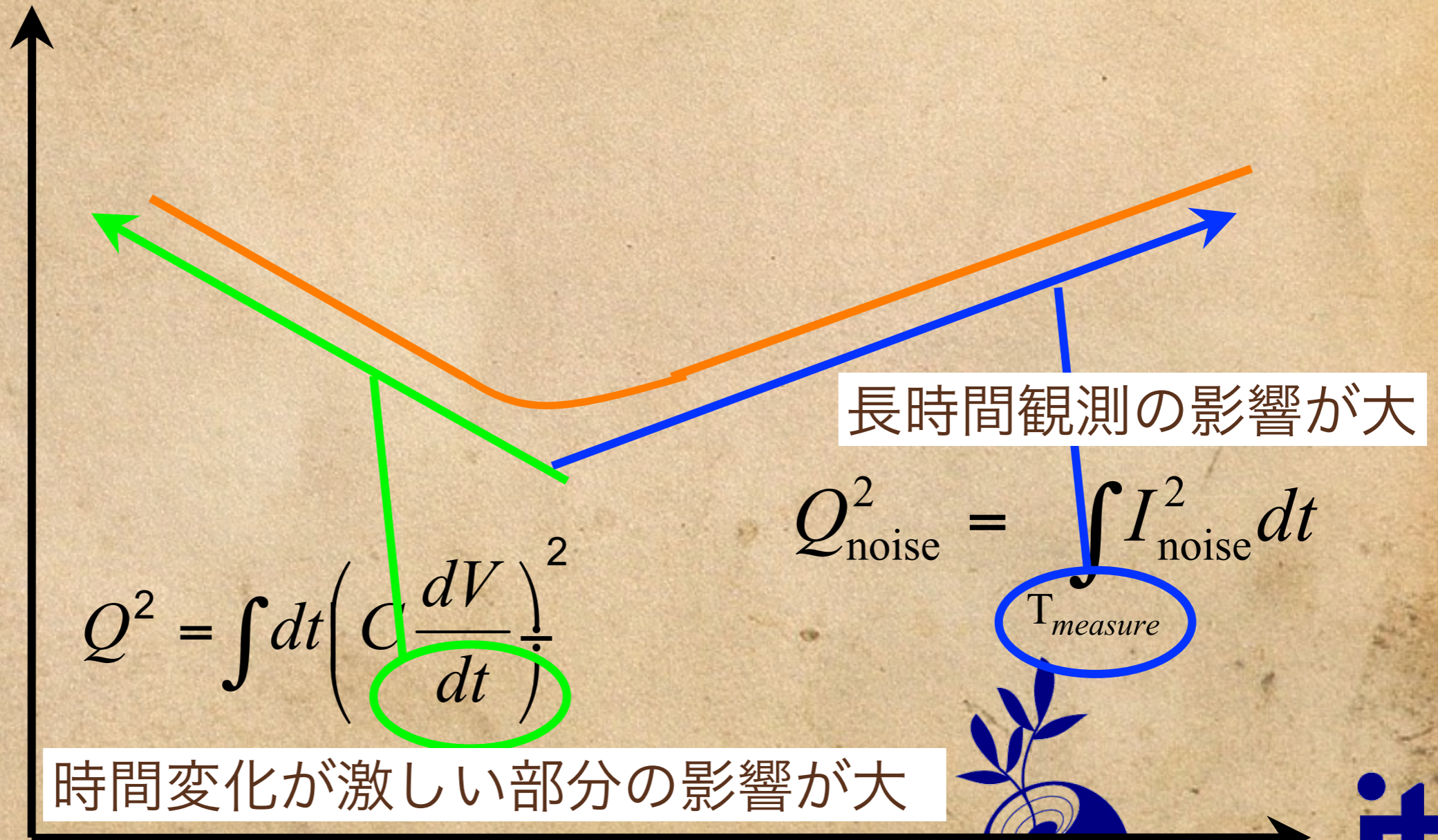


ノイズとフィルター（測定時間）

Causion: わかりやすく解説しているため正確ではない

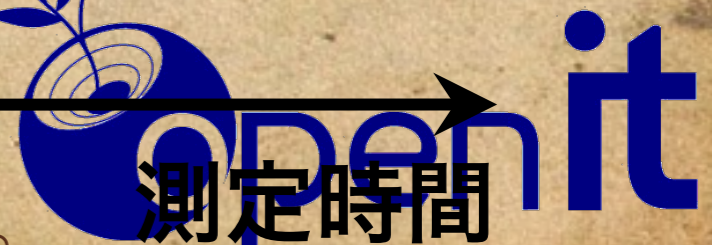
測定時間とノイズとの関係は正しい。

入力における等価電荷雑音



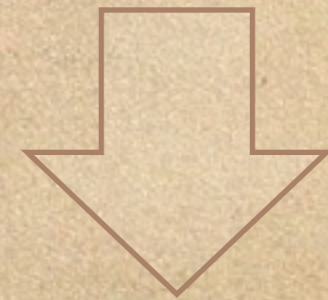
ASICトレーニングコースに参加してみてください。

測定時間



一旦まとめ

- 検出器とノイズの関係がわかった
- 検出器容量が大きいとノイズは大きくなる
 - 半導体検出器に逆バイアスをかけたときとかけてないときでノイズを見てみると実感できる
- ノイズを最小にする最適な観測時間（フィルターの時定数）がある



シェーパーとかフィルターと呼ぶ

**センサー、アナログ信号処理、トランジスタ（1、2
日目）**

ASICトレーニングコースにも参加してみてください

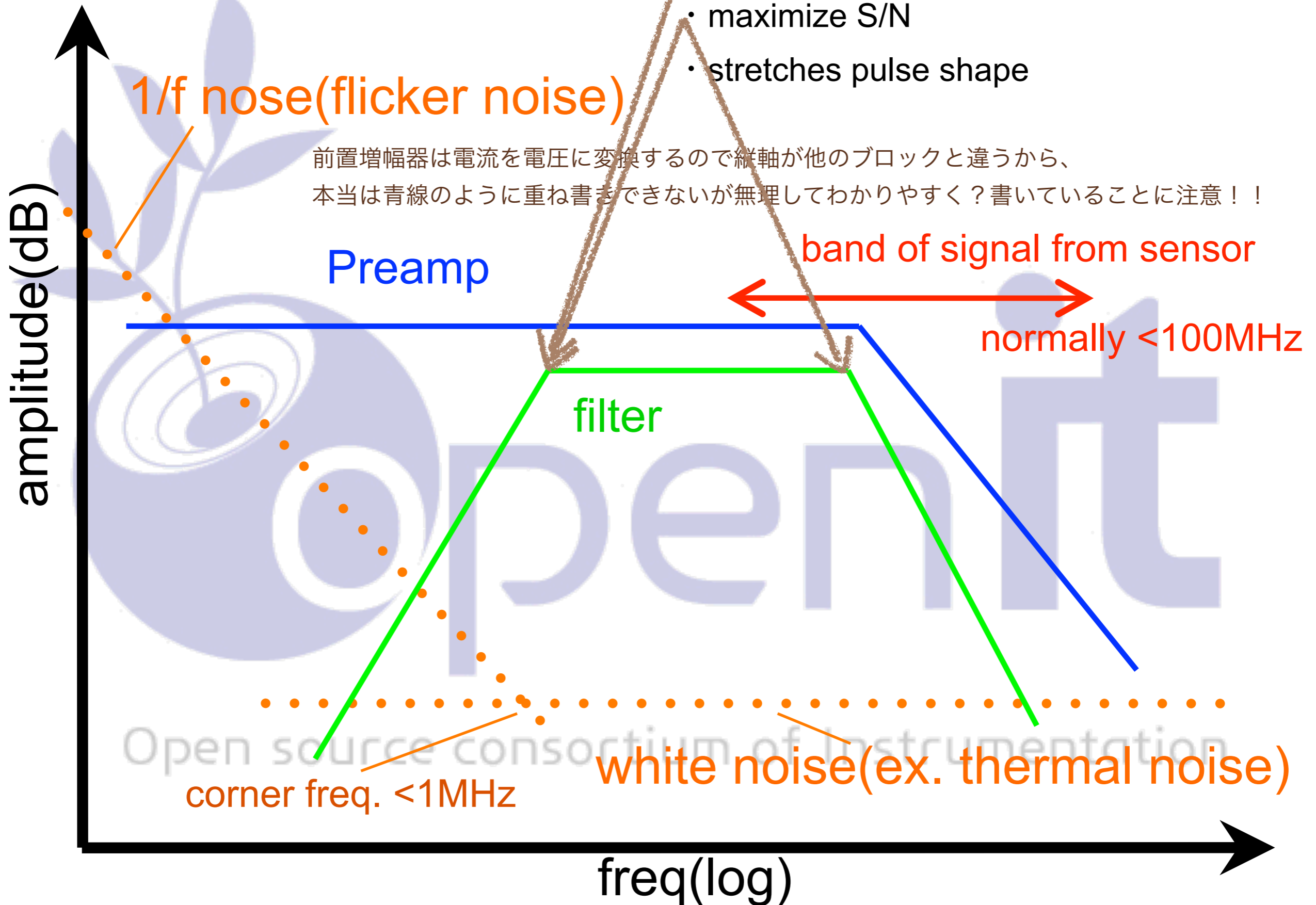
Reduction of intrinsic noise

-Shaper(filter)-

- rejects pileup effect at preamplifier stage
- maximize S/N
- stretches pulse shape

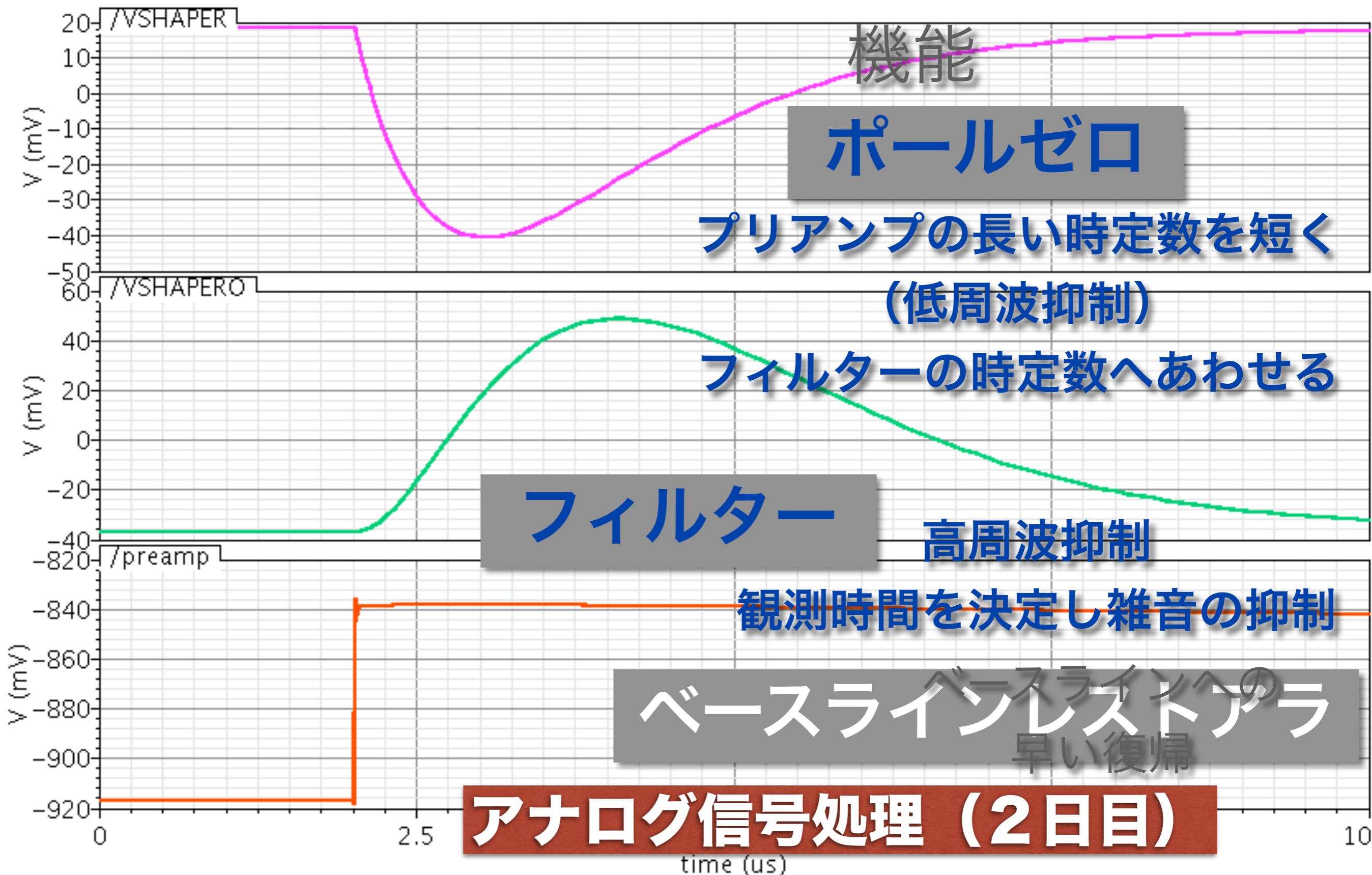
1/f noise(flicker noise)

前置増幅器は電流を電圧に変換するので縦軸が他のブロックと違うから、
本当は青線のように重ね書きできないが無理してわかりやすく？書いていることに注意！！

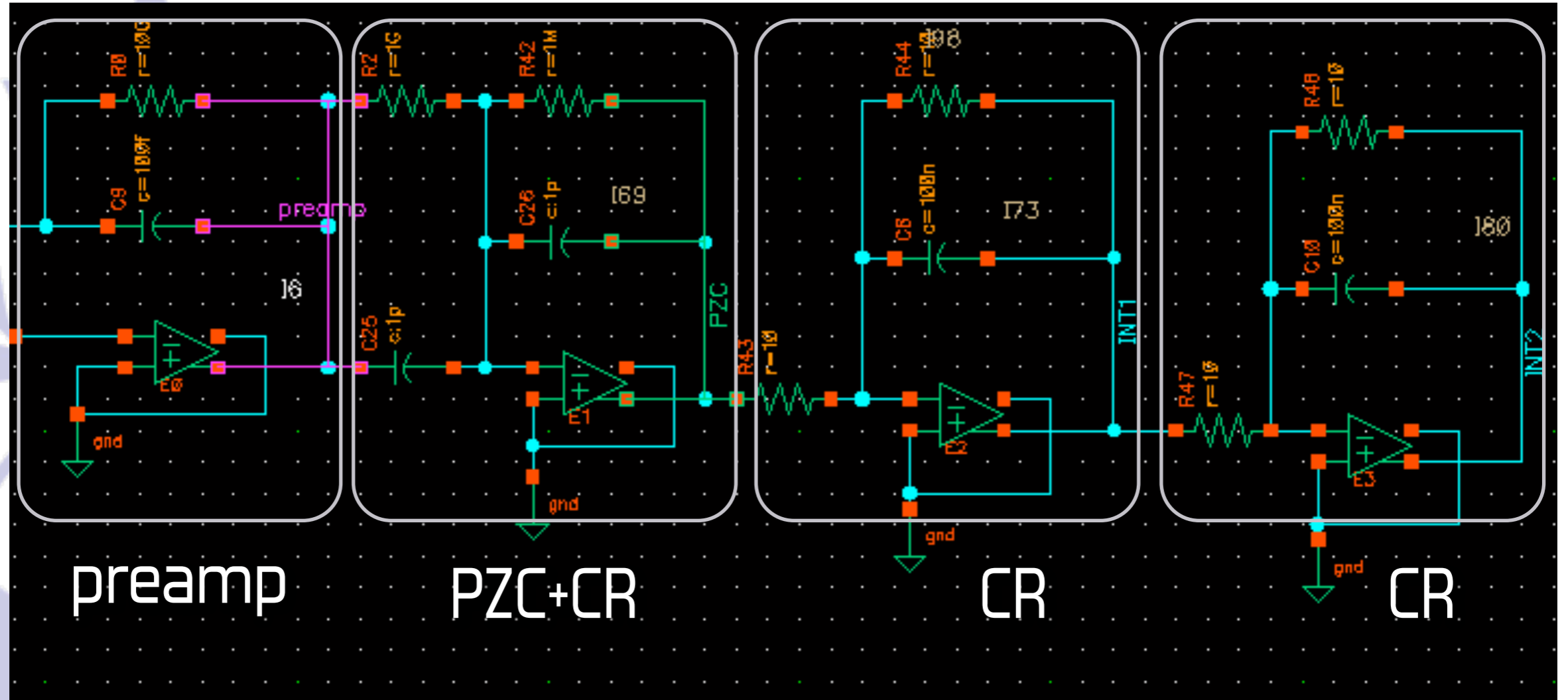


信号処理

Transient response



信号处理



Open source consortium of Instrumentation

計測システムへの要求

解析に必要なデータは

- 感度良く
- S/N良く
- 取りこぼしなく
- 不感時間が少なく

コンピューターへ送りたい

- 早く安く簡単に作れるとなお良い

センサーからのデータって何？

はじめに

- 検出器からはアナログ信号が出てきます
- 処理するためにデジタル信号に変えたい
- 我々の欲しい情報？
- そのための処理？

アナログデジタル変換技術 (3日目)

必要な情報？

- 電荷の総量
- 電圧のピーク値
- 波形そのものの
- 時間
- そのほかにも
 - 制御用デジタル→アナログ変換器が必要
 - 例えばアナログ比較器（コンパレータ）の V_{th}

電流積分器

- 電流積分 → 容量

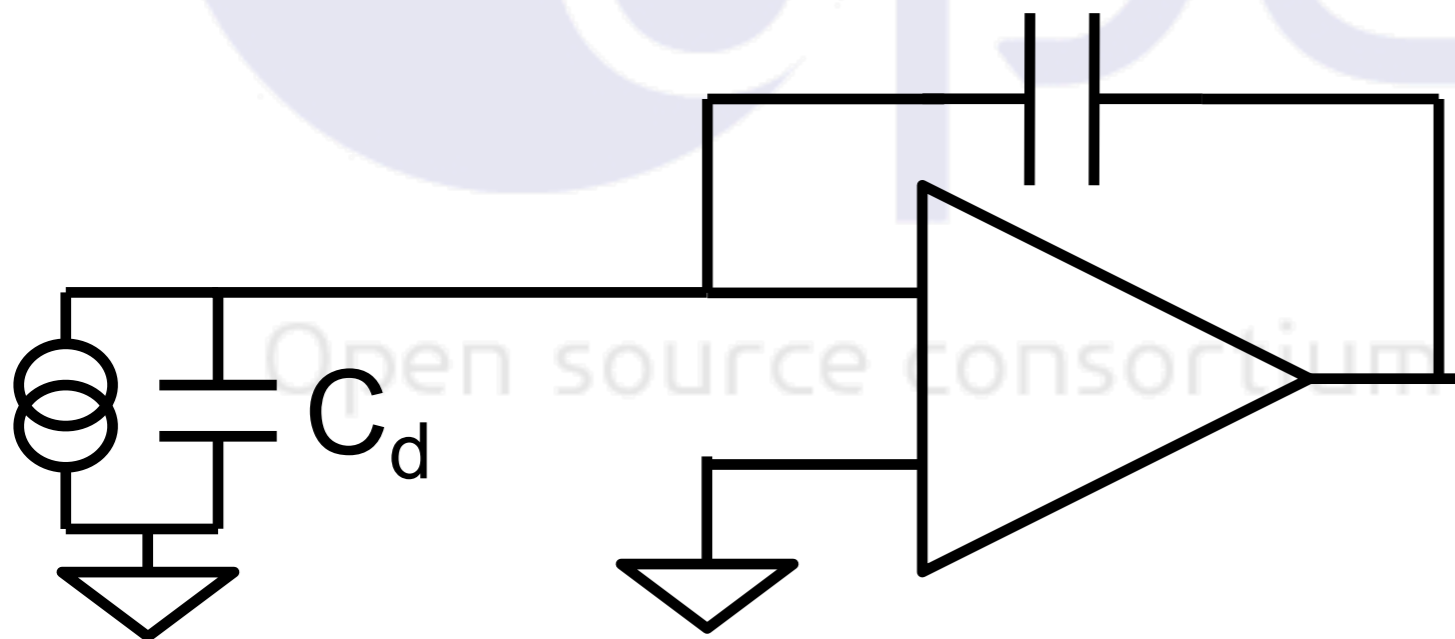
$$Q_{\text{det}} = Q_d + Q_{\text{hold}}$$

$$Q_d / C_d = Q_{\text{hold}} / C_{\text{hold}}$$

$$Q_d : Q_{\text{hold}} = C_d : C_{\text{hold}}$$

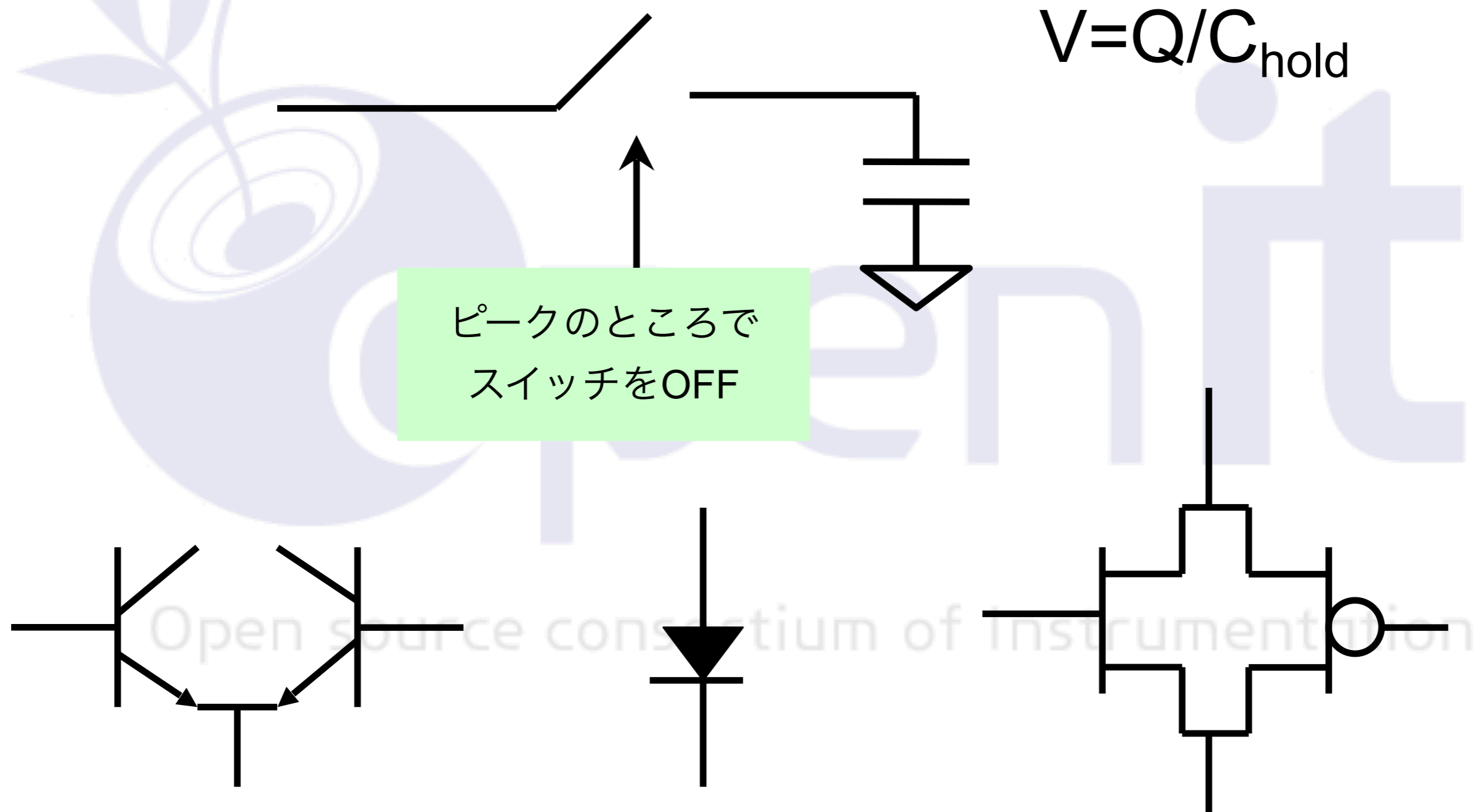


$C_d \ll C_{\text{hold}}$ でないと
検出器からの信号が



ピークホールド回路

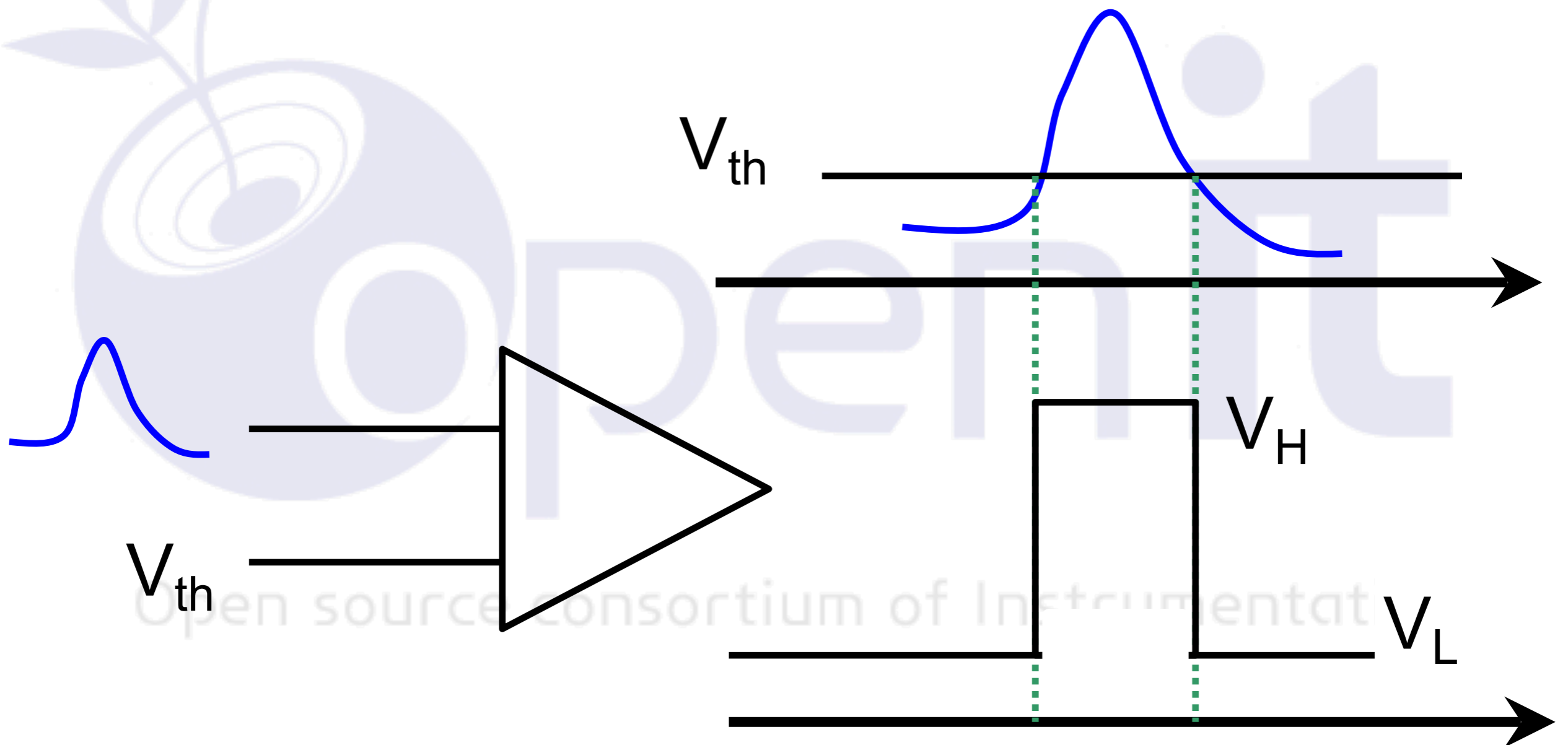
- ある期間内の電圧のピーク値を記録
→電圧をサンプル（保持する）



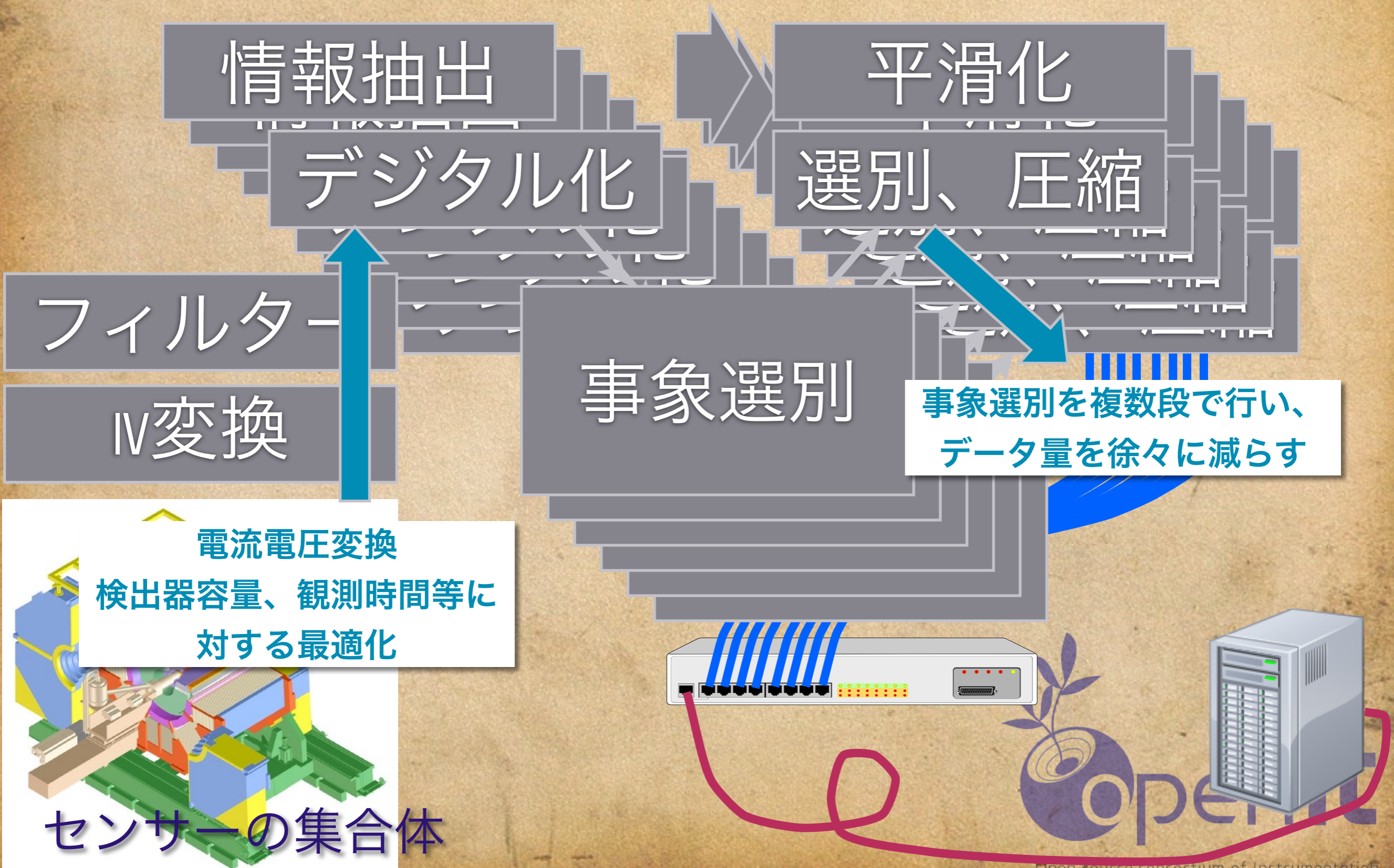
コンパレータ(比較器)とは

- 機能

V_{th} と入力アナログ値を比較し V_H, V_L を出力する



システムの構成



システムの構成

情報抽出

デジタル化

平滑化

選別、圧縮

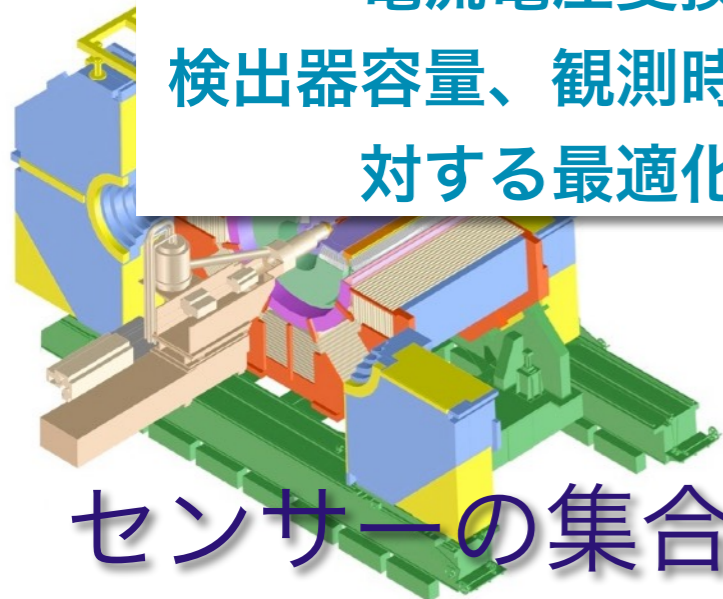
フィルタ
感度よく
IV変換

事象選別

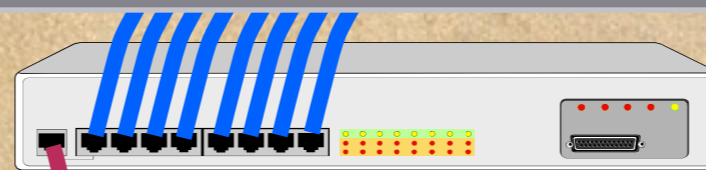
事象選別を複数段で行い、
データ量を徐々に減らす

電流電圧変換

検出器容量、観測時間等に
対する最適化



センサーの集合体



システムの構成

情報抽出

平滑化

デジタル化

取りこぼしなく

選別圧縮

フィルタ
感度よく
IV変換

!!
事象選別

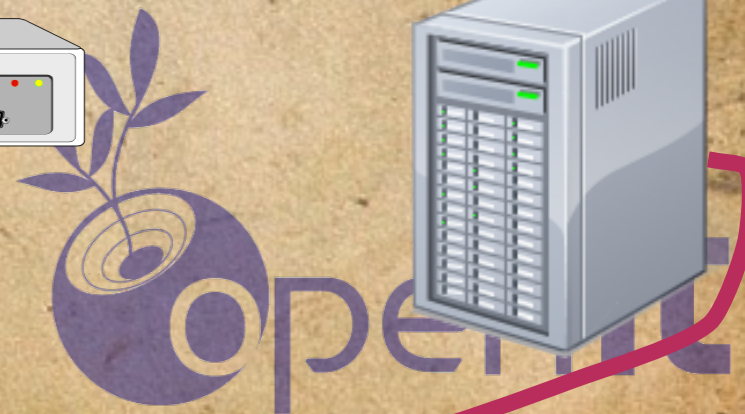
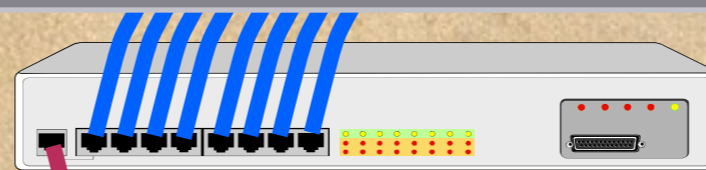
事象選別を複数段で行い、
データ量を徐々に減らす

電流電圧変換

検出器容量、観測時間等に
対する最適化



センサーの集合体



システムの構成

情報抽出

平滑化

デジタル化

選別

圧縮

取りこぼしな

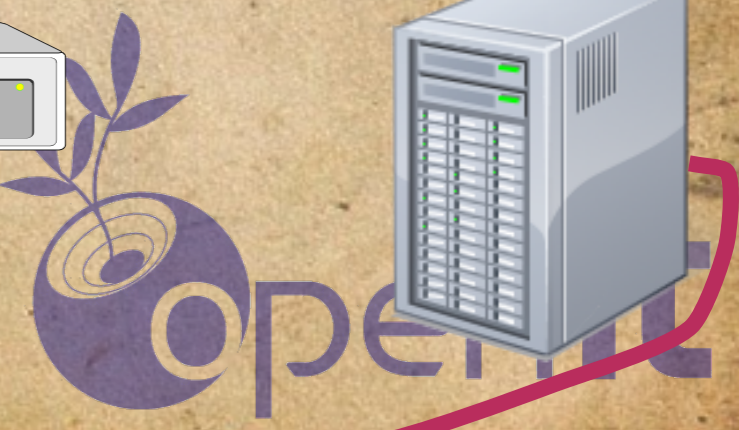
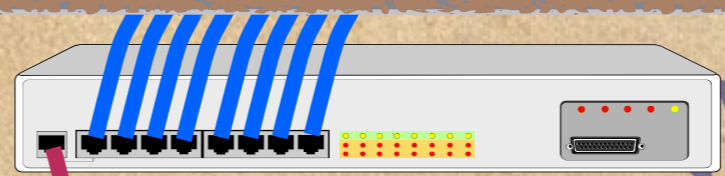
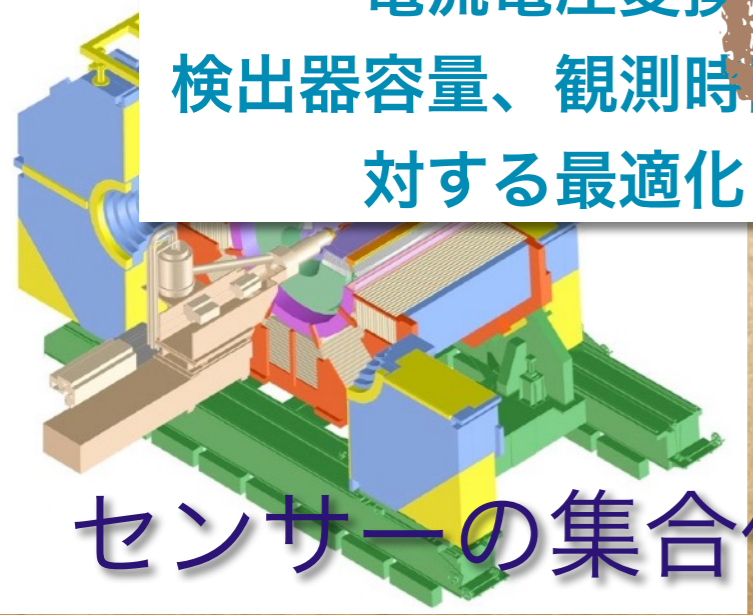
フィルタ
感度よく
IV変換

!!
事象選別

事象選別を複数段で行い、
データ量を徐々に減らす

コンピュータへ送る!!

電流電圧変換
検出器容量、観測時間等に
対する最適化



システムの構成

プリアンプ
シミュレータ
信号処理回路

情報抽出

平滑化

デジタル化

取りこぼし

選別

圧縮

事象選別

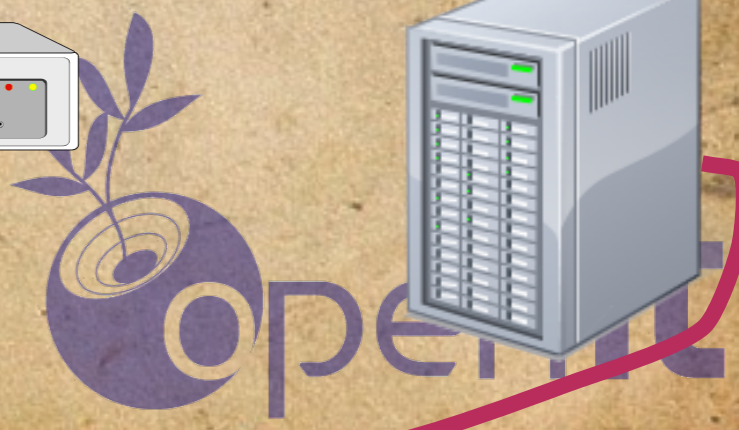
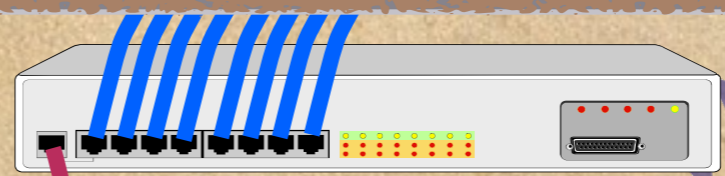
事象選別を複数段で行い、
データ量を徐々に減らす

コンピュータへ送る！！

電流電圧変換
検出器容量、観測時間等に
対する最適化



センサーの集合体



システムの構成

情報抽出

プリアンプ
シエーパー等
信号処理回路

アナログ情報抽出
デジタル化

電流電圧変換

検出器容量、観測時間等に
対する最適化

センサーの集合体

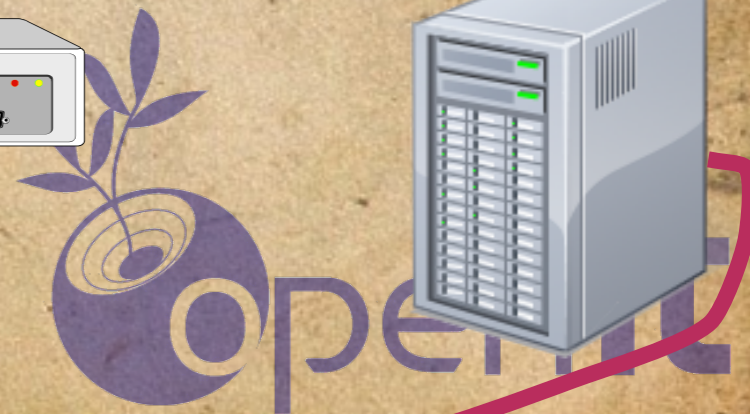
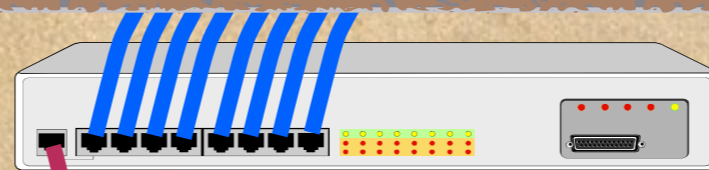
平滑化

取りこぼしな
選別な圧縮

事象選別

事象選別を複数段で行い、
データ量を徐々に減らす

コンピュータへ送る！！



システムの構成

情報抽出

プリアンプ
シエーパー等
信号処理回路

アナログ情報抽出
デジタル化

イベントバッファ
遅延回路
データ圧縮等

圧縮

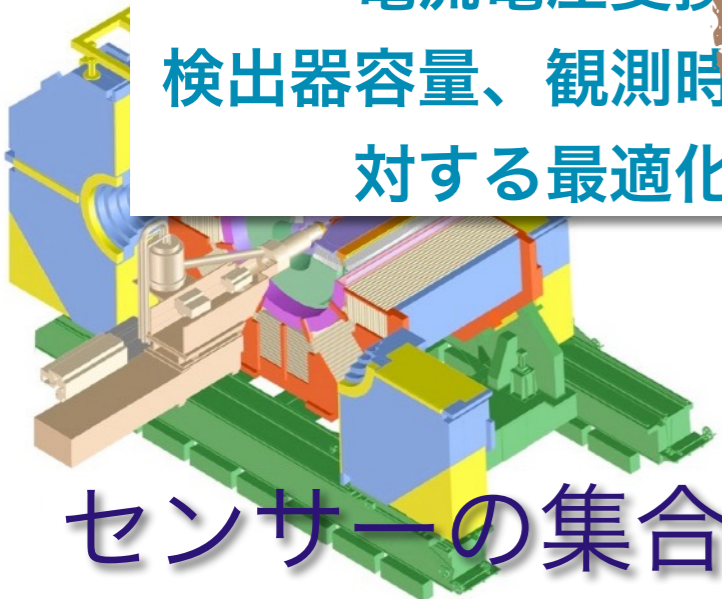
事象選別

事象選別を複数段で行い、
データ量を徐々に減らす

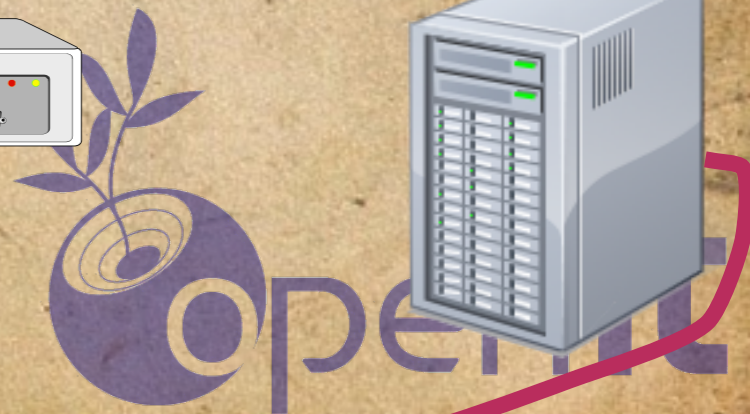
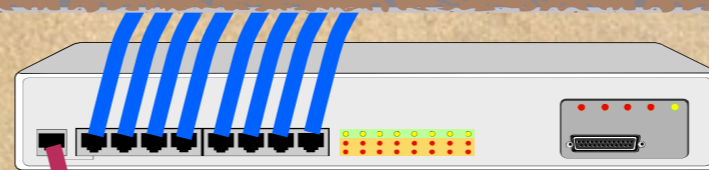
コンピュータへ送る！！

電流電圧交換

検出器容量、観測時間等に
対する最適化



センサーの集合体



システムの構成

情報抽出

プリアンプ
ミエーパ一等
信号処理回路

アナログ情報抽出
デジタルタイザ

イベントバッファ
遅延回路
データ圧縮等

圧縮

データ転送
フロー制御
トリガーロジック

圧縮を複数段で行い、
データ量を徐々に減らす

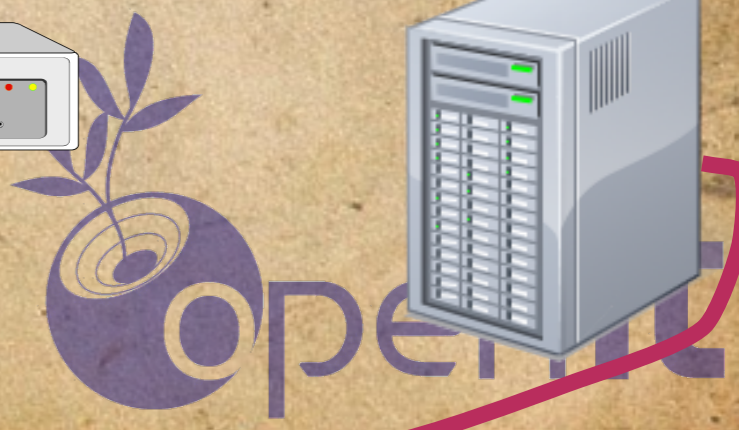
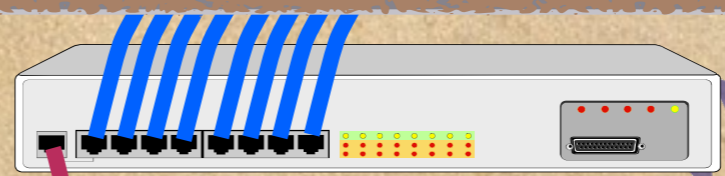
送る！！

電流電圧交換

検出器容量、観測時間等に
対する最適化



センサーの集合体



システムの構成

情報抽出

プリアンプ
シエーパー等
信号処理回路

アナログ情報抽出
デジタルイザ

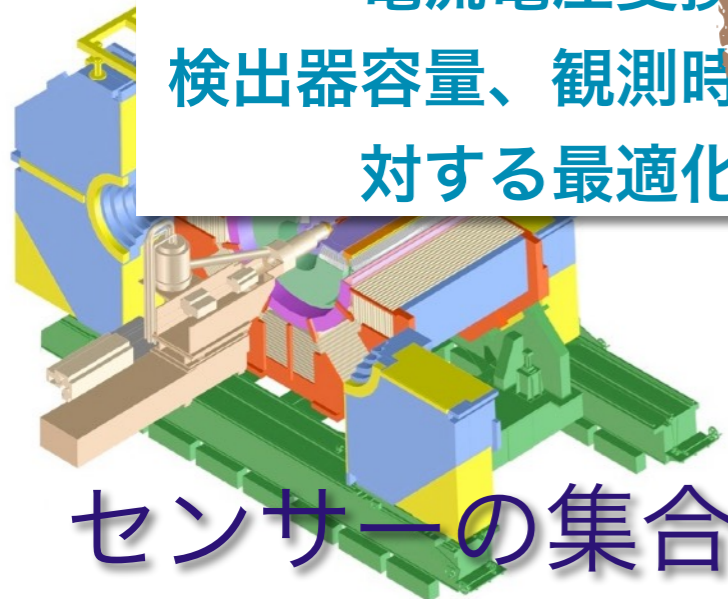
イベントバッファ
遅延回路
データ圧縮等

データ転送
フロー制御
トリガーロジック

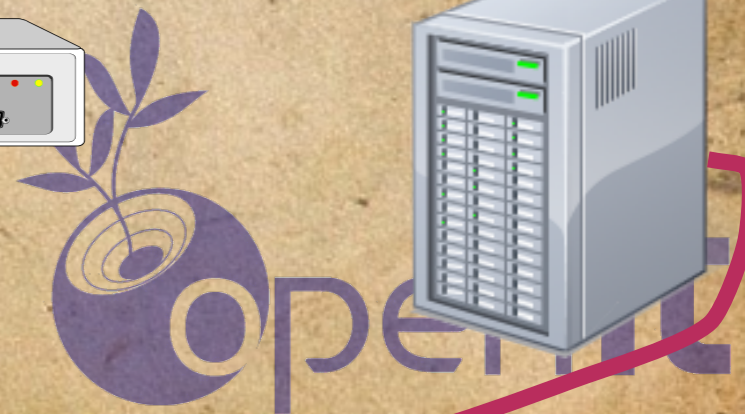
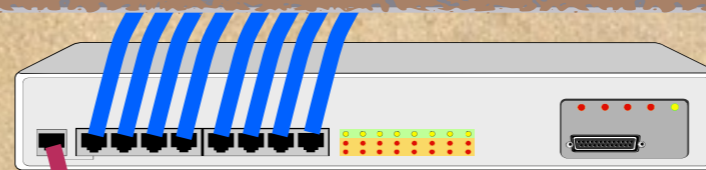
データ記録
モニター
M-M I/F (表示等)

電流電圧交換

検出器容量、観測時間等に
対する最適化



センサーの集合体



まとめ1

境界条件から計測システムの機能をリストアップした。

検出器の信号をS/N良く取り出す

->インピーダンス変換,信号処理

不感時間を減らす工夫

->情報抽出,バッファ,トリガー...

上記に基づきシステムの構築を行い、内部構成について概要を説明した。



構成要素と使用技術

プリアンプ
シエーパー等
信号処理回路

アナログ情報抽出
デジタルイザ

イベントバッファ
遅延回路
データ圧縮等

データ転送
フロー制御
トリガーロジック

データ記録
モニター
M-M I/F (表示等)

半導体プロセス
トランジスタ
ASIC

コンピュータバス
高速データリンク

コンピュータ
ネットワーク
ミドルウェア
高級言語

オペアンプ
汎用デジタルIC
アナログデジタル混在
PCB,実装

GPU
FPGA
DSP

FPGA技術 (5日目)

構成要素と使用技術

産業のテクノロジードライバーの変遷

アナログ回路
信号処理回路
ASIC

アナログ回路抽出
デジタル回路抽出

イベントバッファ
遅延回路
データ圧縮等

データ転送
フロー制御
トリガーロジック

データ転送
フロー制御
M-M I/F (データ)

半導体プロセス
トランジスタ
ASIC

オペアンプ
汎用デジタルIC
アナログデジタル混在
PCB,実装

コンピュータバス
高速データリンク

GPU
FPGA
DSP

コンピュータ
ネットワーク
ミドルウェア
高級言語

FPGA技術 (5日目)

構成要素と使用技術

プリアンプ

シエーパ一等

信号処理回路

アナログ情報抽出

デジタルイザ

イベントバッファ

遅延回路

データ圧縮等

データ転送

フロー制御

トリガーロジック

データ記録

モニター

M-M I/F (表示等)

トランジスタ
オペアンプ

NRUS(PDP 11用)
CAMAC branch driver
etc

コンピュータ
機械語

汎用ロジックIC(TTL,ECL..)

フォートラン

Printed Circuit Board

1968~1980年以前

ただし日本では別

構成要素と使用技術

プリアンプ
シエーパ等
信号処理回路

アナログ情報抽出
デジタルイザ

イベントバッファ
遅延回路
データ圧縮等

データ転送
フロー制御
トリガーロジック

データ記録
モニター
M-M I/F (表示等)

トランジスタ
オペアンプ

汎用ロジックIC(TTL,ECL..)

Printed Circuit Board

NRUS(PDP 11用)
CAMAC branch driver
etc

コンピュータ
機械語

フォートラン

構成要素と使用技術

プリアンプ

トパー等

理回路

情報拒

ダイヤ

イベントバッフ

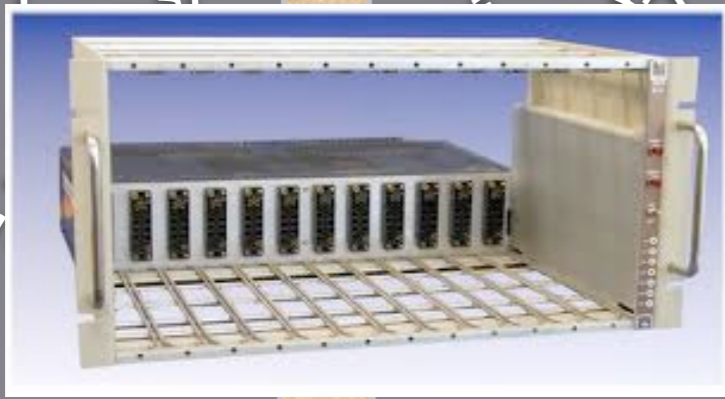
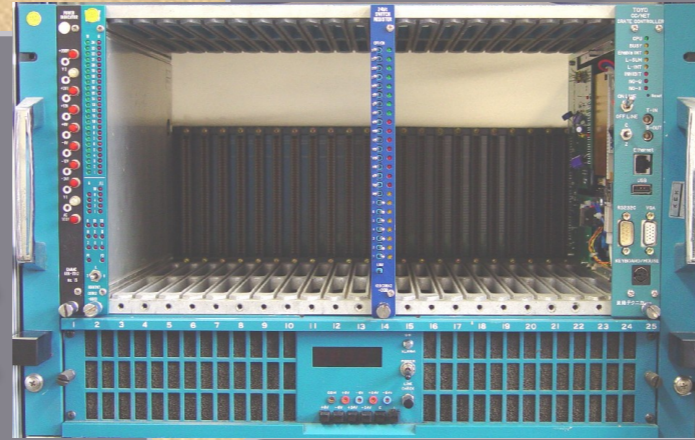
回路

圧縮等

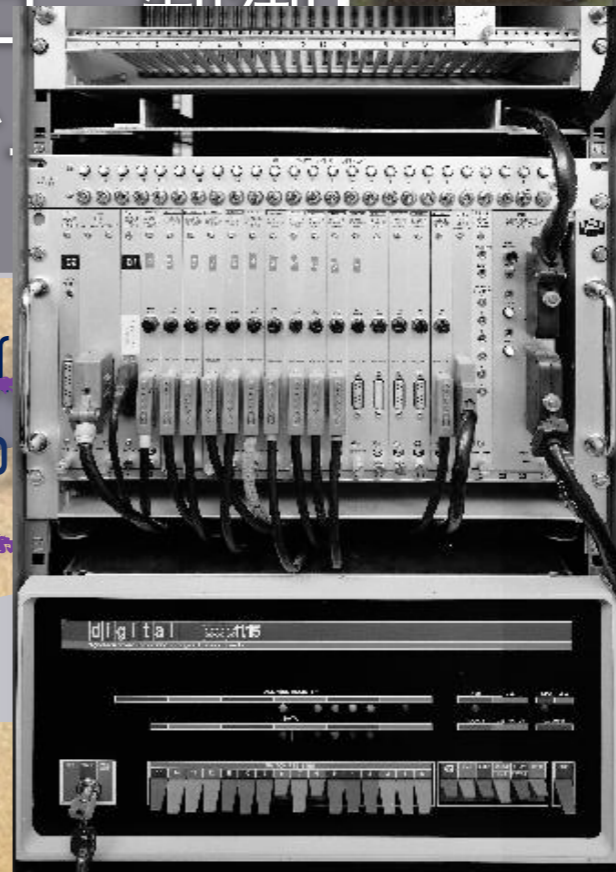
データ記録

モニター

M-M I/F (表示等)



データ転送
プロセ
トリガ



トランジスタ
オペアンプ

DBUS
CAMAC B

ンピュータ
機械語

汎用ロジックIC(TTL,ECL..)

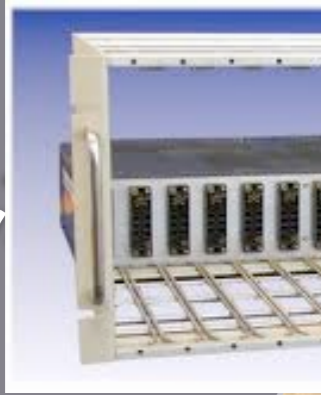
Printed Circuit Board

オートラン

プリアンプ

トランジスタ
パワー等

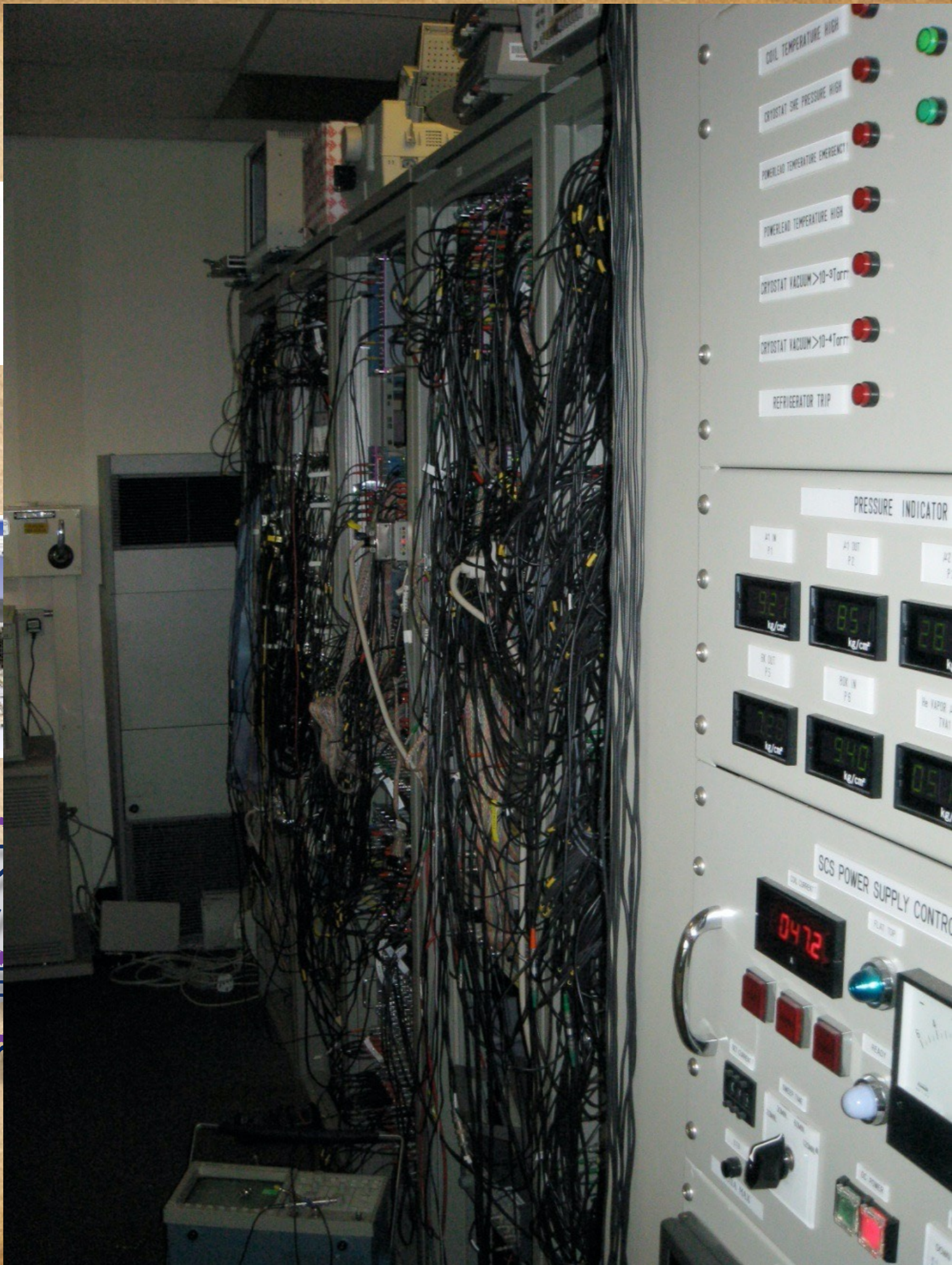
管理回路



トランジスタ
オープン

汎用

Prim



データ記録

モニター

M-M I/F (表示等)

コンピュータ

機械語

オートラン

構成要素と使用技術(5年以上前)

プリアンプ
シエーパー等
信号処理回路

アナログ情報抽出
デジタルイザ

イベントバッファ
遅延回路
データ圧縮等

データ転送
フロー制御
トリガーロジック

データ記録
モニター
M-M I/F (表示等)

半導体プロセス
トランジスタ

ASIC(特殊用途集積回路)

高速データリンク

GPU
FPGA
DSP

オペアンプ(汎用集積回路)
アナログデジタル混在
PCB,実装

コンピュータ
ネットワーク
ミドルウェア
高級言語

構成要素と使用技術(5年以上前)

プリアンプ

シエーパー等

信号処理回路

アナログ情報抽出

デジタルイザ

イベントバッファ

遅延回路

データ圧縮等

データ転送

フロー制御

トリガーロジック

データ記録

モニター

M-M I/F (表示等)

半導体プロセス

トランジスタ

ASIC(特殊用途集積回路)

高速データリンク

GPU

FPGA

DSP

コンピュータ

ネットワーク

ミドルウェア

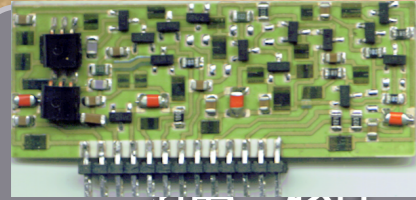
高級言語

オペアンプ(汎用集積回路)

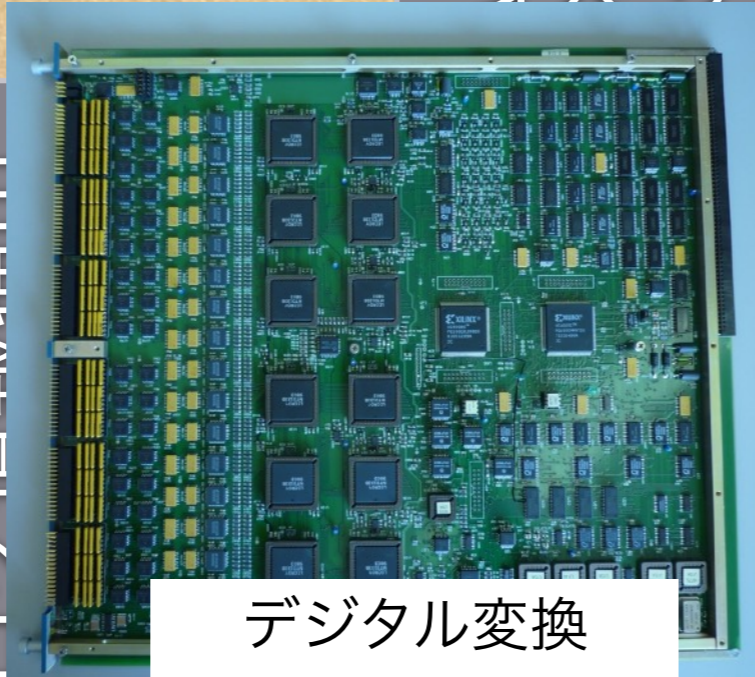
アナログデジタル混在

PCB,実装

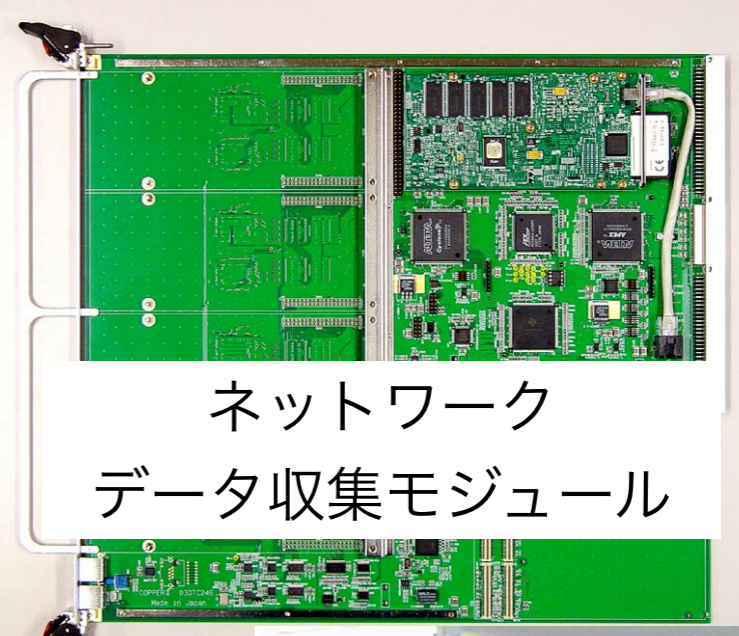
構成要素と使用技術(5年以上前)



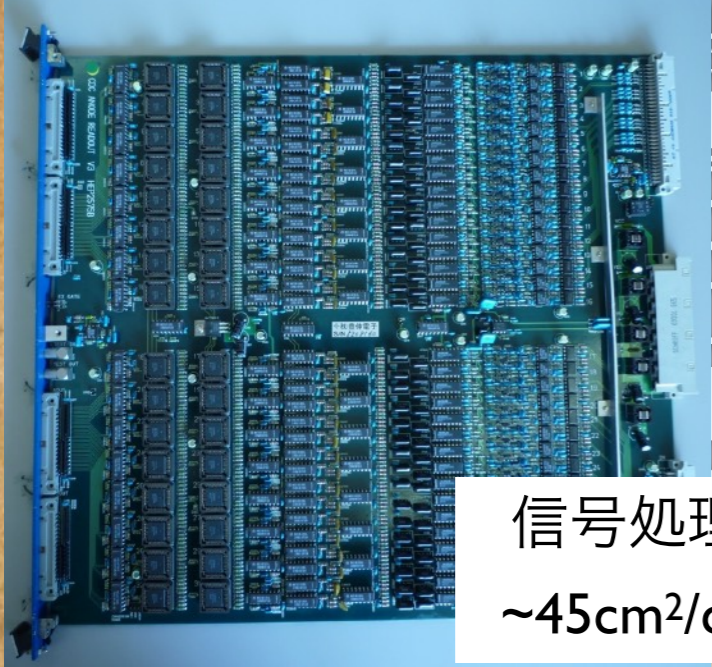
アンプ
~6cm²/ch



デジタル変換
イベントバッファ
~15cm²/ch



ネットワーク
データ収集モジュール



信号処理
~45cm²/ch



制御モニター室

(表示機)

トランジスタ
ASIC(特殊用途集積回路)

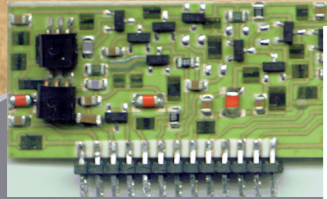
高速データリンク

GPU
FPGA
DSP

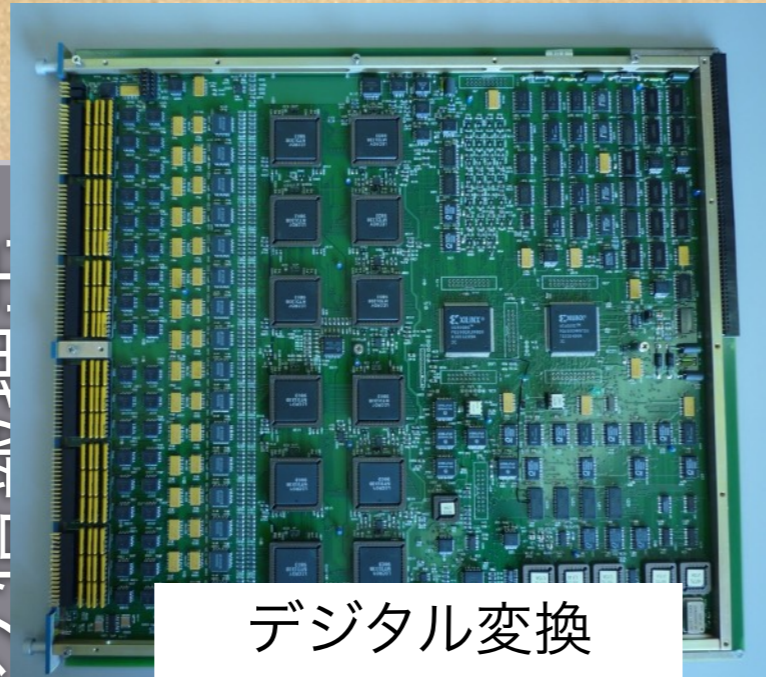
オペアンプ(汎用集積回路)
アナログデジタル混在
PCB,実装

ネットワーク
ミドルウェア
高級言語

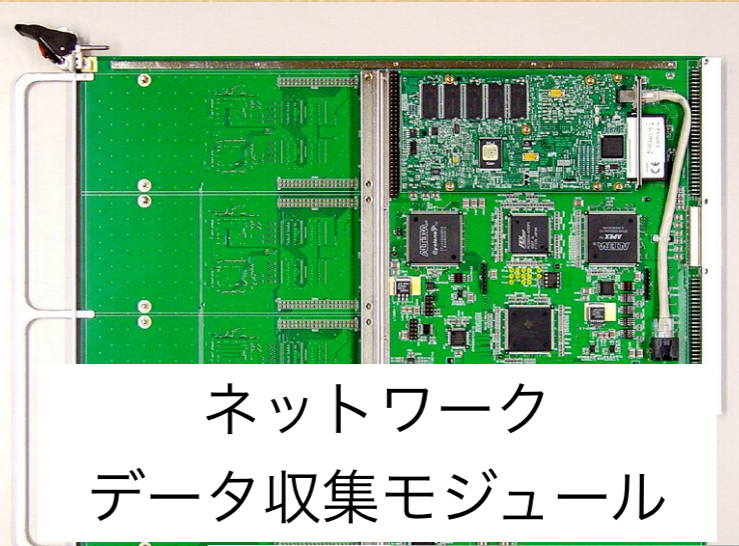
構成要素と使用技術の変遷



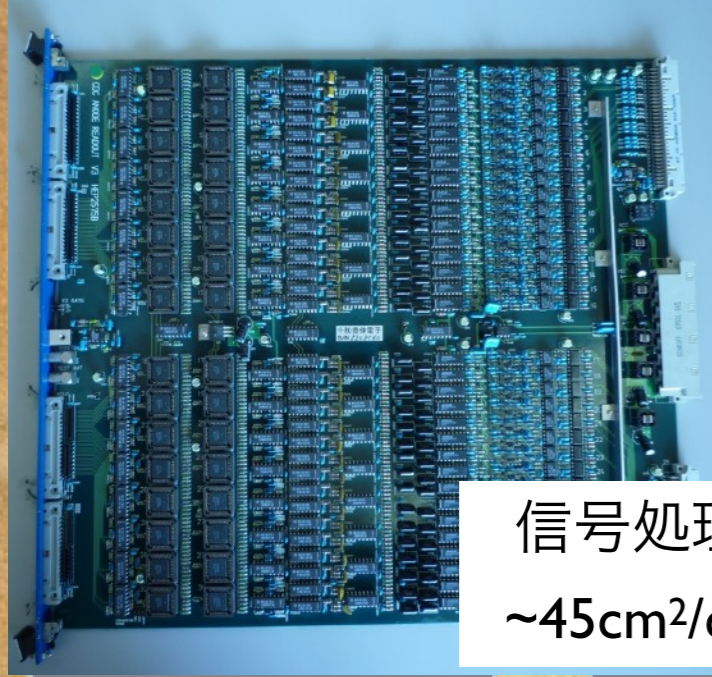
アンプ
~6cm²/ch



デジタル変換
イベントバッファ
~15cm²/ch



ネットワーク
データ収集モジュール



信号処理
~45cm²/ch



制御モニター室

半導体プロセス
トランジスタ
ASIC(特殊用途集積回路)
インターポーザ

高速データリ
GPU
FPGA
DSP

コンピュータ
ネットワーク
ミドルウェア

オペアンプ(汎用集積回路)
アナログデジタル混在
PCB,実装

高級言語

表示

制御
トリガーロジック

構成要素と使用技術の変遷



アンプ

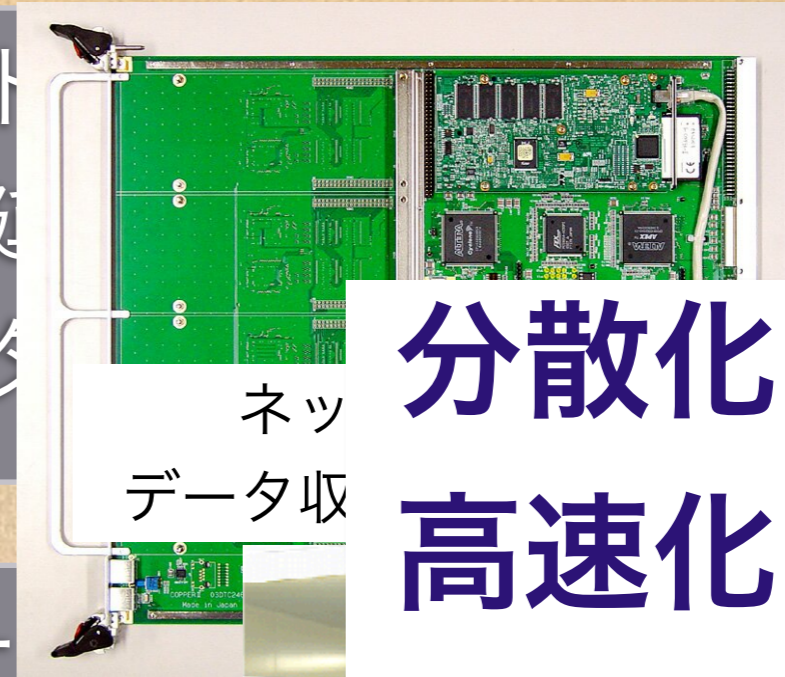
高レート化
高精細化
大規模化



信号処理
~45cm²/ch



デジタル変換
イベントバッファ
~15cm²/ch



ネット
データ取

分散化
高速化

(表示)



制御モニター室

半導体プロセス
トランジスタ
ASIC(特殊用途集積回路)
インターポーザ

高速データリ
GPU
FPGA
DSP

コンピュータ
ネットワーク
ミドルウェア

オペアンプ(汎用集積回路)
アナログデジタル混在
PCB,実装

高級言語

構成要素と使用技術の変遷

全体 ~6cm²/ch

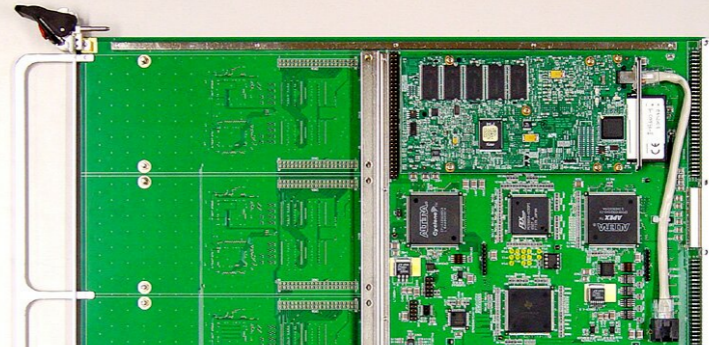


プリアンプ
インターポーザ
情報抽出
タイザ



全体 ~4cm²/ch

イベント
遅延
データ



ネットワーク
データ収集モジュール

(表示)

デー
フロー制御
トリガーロジ



制御モニター室

半導体プロセス
トランジスタ

ASIC(特殊用途集積回路)

インターポーザ

高速データリ

GPU

FPGA

DSP

コンピュータ

ネットワーク

ミドルウェア

オペアンプ(汎用集積回路)

アナログデジタル混在

PCB,実装

高級言語

構成要素と使用技術の変遷

全体 ~6cm²/ch



プリアンプ
インターポーザ
情報抽出
タイザ

イベント
遅延
データ



全体 ~4cm²/ch

データ転送

トリガーロジック

データ
メモリー
制御



半導体プロセス
トランジスタ
ASIC(特殊用途集積回路)
インターポーザ

高速データリンク

GPU
FPGA
DSP

制御モジュール

コンピュータ
ネットワーク
ミドルウェア

オペアンプ(汎用集積回路)
アナログデジタル混在
PCB,実装

高級言語

構成要素と使用技術の変遷

全体 ~6cm²/ch



プリアンプ
インターポーザ
情報抽出
タイザ



全体 ~4cm²/ch

半導体プロセス
トランジスタ

ASIC[特殊用途集積回路]
インターポーザ

オペアンプ[汎用集積回路]
アナログデジタル混在
PCB,実装

イベント
遅延
データ



データ転送



トリガーロジック

高速データリンク

GPU
FPGA
DSP

データ
メモリー
ユニット



制御モーター室

コンピュータ
ネットワーク
ミドルウェア

高級言語

構成要素と使用技術の変遷

全体 ~6cm²/ch



プリアンプ

インターポーザ

データ抽出

情報抽出

インターポーザ

イベント
遅延
データ



全体 ~4cm²/ch

データ転送



トリガーロジック

データ
メモリー
ユニット



半導体プロセス
トランジスタ

高速データリンク

制御モジュール

ASIC(特殊用途集積回路)

インターポーザ

GPU
FPGA
DSP

コンピュータ
ネットワーク
ミドルウェア

オペアンプ(汎用集積回路)
アナログデジタル混在
PCB,実装

高級言語

構成要素と使用技術の変遷

全体 ~6cm²/ch



プリアンプ

インターポーザ

データ抽出

データ抽出

インターポーザ

イベント
遅延
データ



全体 ~4cm²/ch

データ転送



トリガーロジック

データ
メモリー



半導体プロセス
トランジスタ

高速データリンク

制御モジュール

ASIC[特殊用途集積回路]

インターポーザ

GPU
FPGA
DSP

コンピュータ
ネットワーク

オペアンプ[汎用集積回路]

ソフトウェア技術

アナログ・デジタル回路技術

同梱品

構成要素と使用技術の変遷

全体 ~6cm²/ch



プリアンプ

インターポーザ

データ抽出

データ抽出

インターポーザ

イベント
遅延
データ



全体 ~4cm²/ch

データ転送



データ
メモリー



システム化ノウハウ

半導体プロセス
トランジスタ

高速データリンク

制御モジュール

ASIC[特殊用途集積回路]

インターポーザ

GPU
FPGA
DSP

コンピュータ
ネットワーク

オペアンプ[汎用集積回路]

ソフトウェア技術

アナログ・デジタル回路技術

同梱品

構成要素と使用技術の変遷

全体 ~6cm²/ch



イベントノ

遅延

データ



テクノロジードライバーではなくなった
こともあり多くの産業技術の取り込みを
しなくてはならない時期になっている。

全体 ~4cm²/ch

システム化ノウハウ

半導体プロセス

トランジスタ

高速データリンク

制御モジュール

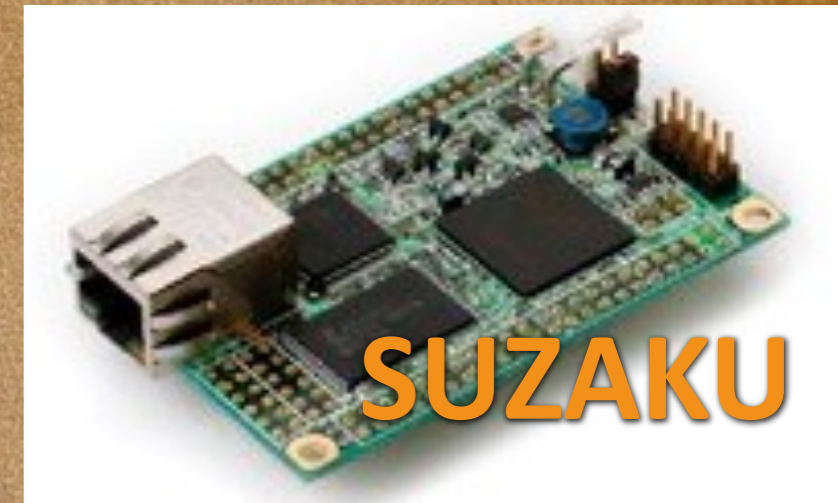
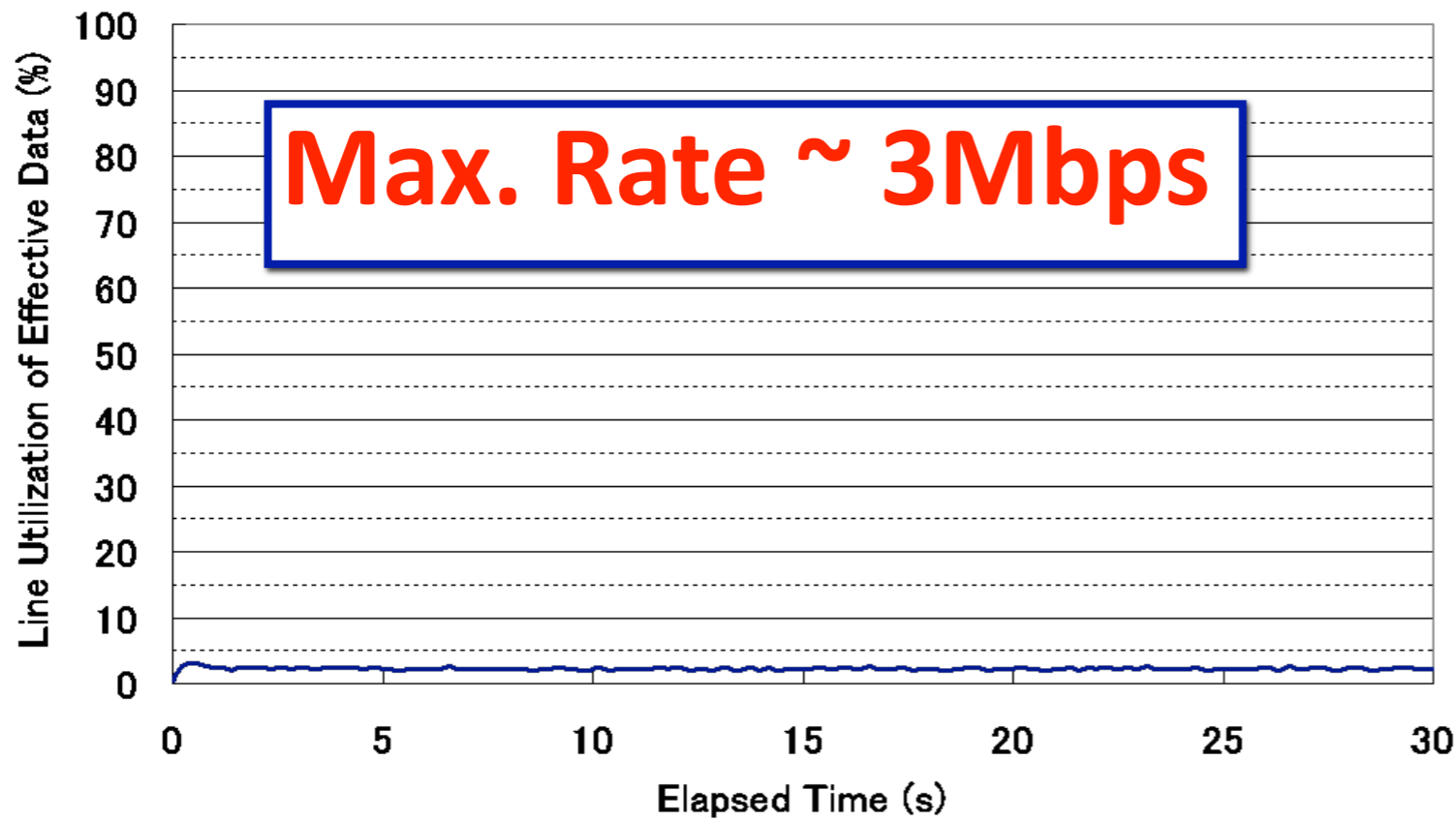
他人（業者も含む）に任せ、内容を理解
しなくていいのか？

ソフトウェア技術

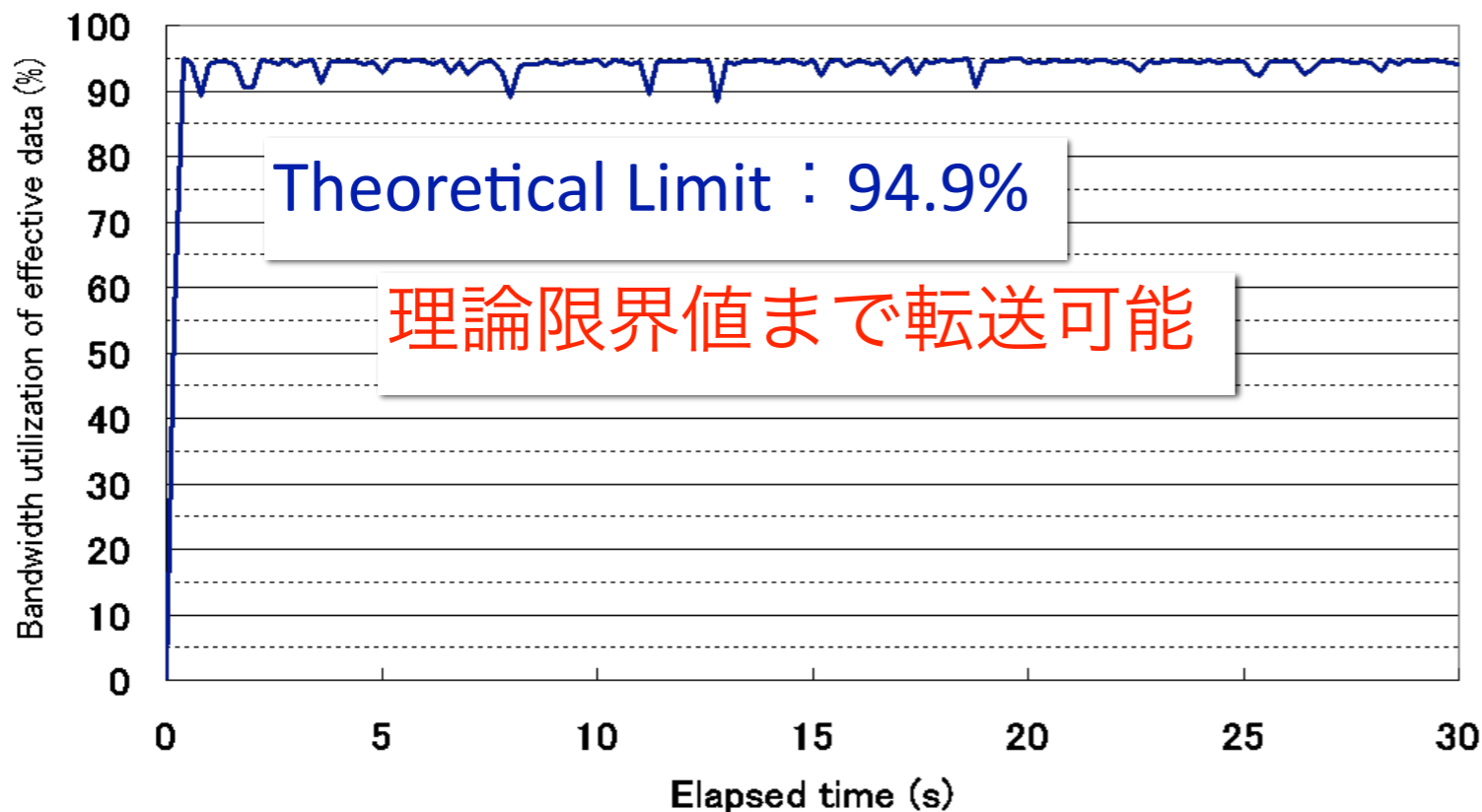
アナログ・デジタル回路技術

ネットワーク利用

-一般にTCP/IPは組み込みに適していない-



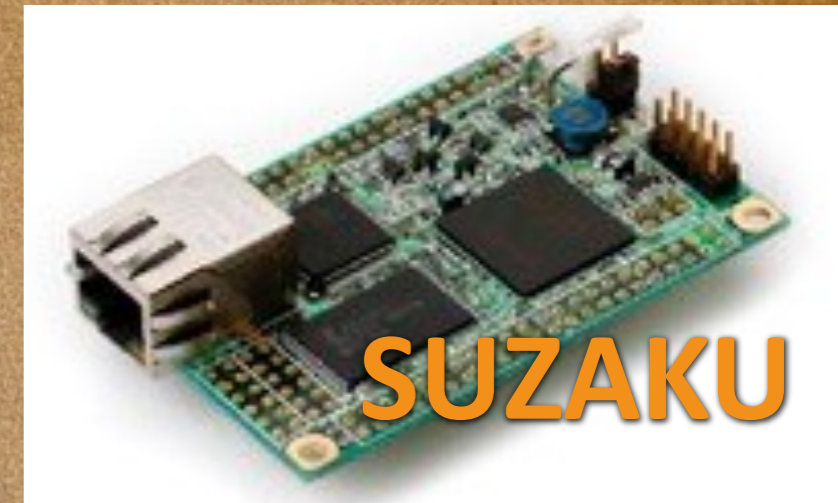
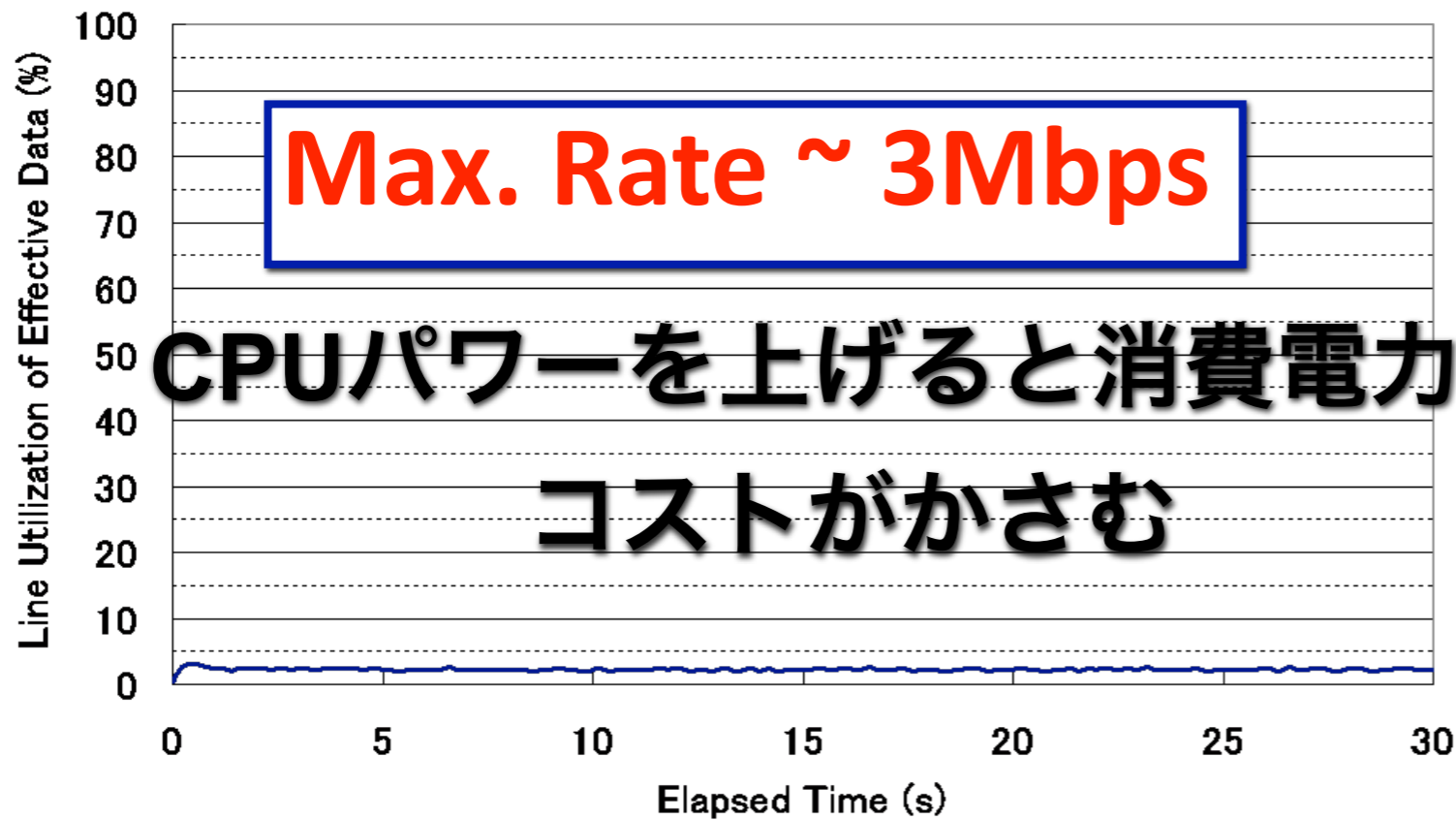
CPUでプロトコル処理



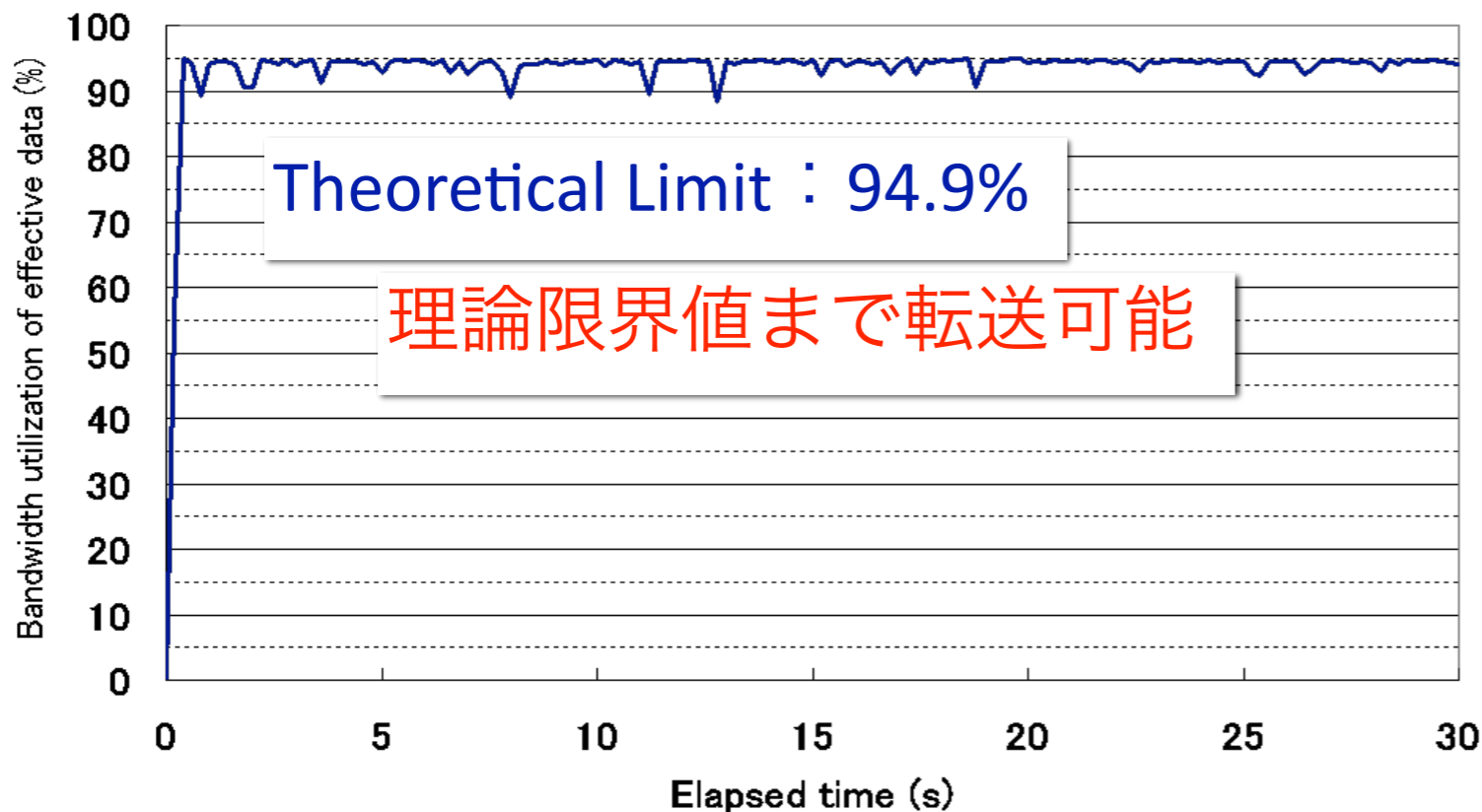
TCP/IPプロトコルの
必要な部分をハード化

ネットワーク利用

-一般にTCP/IPは組み込みに適していない-



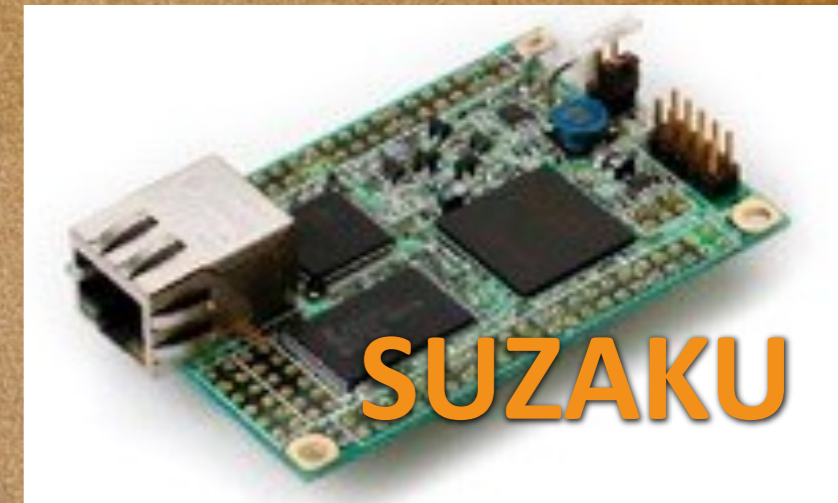
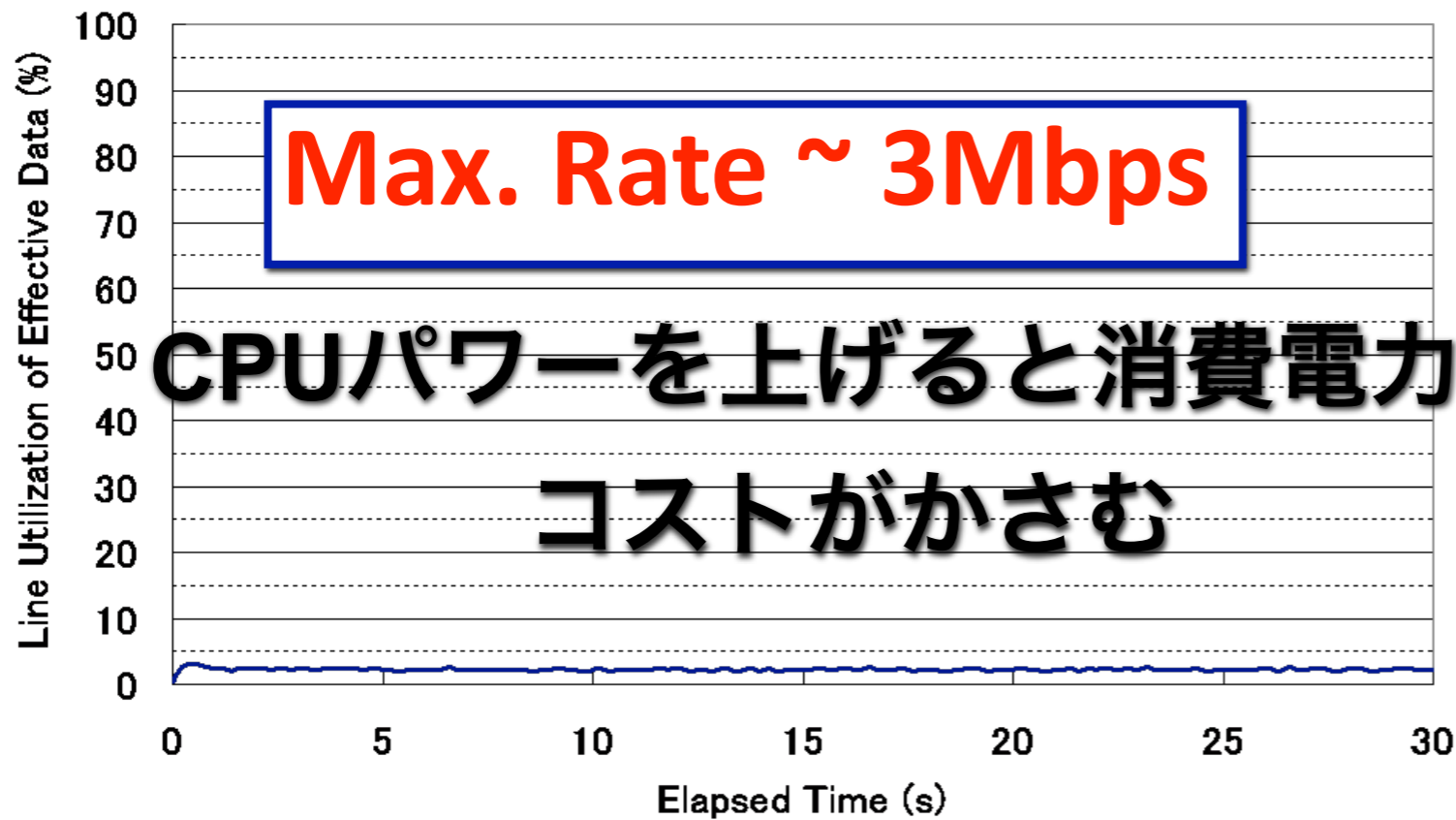
CPUでプロトコル処理



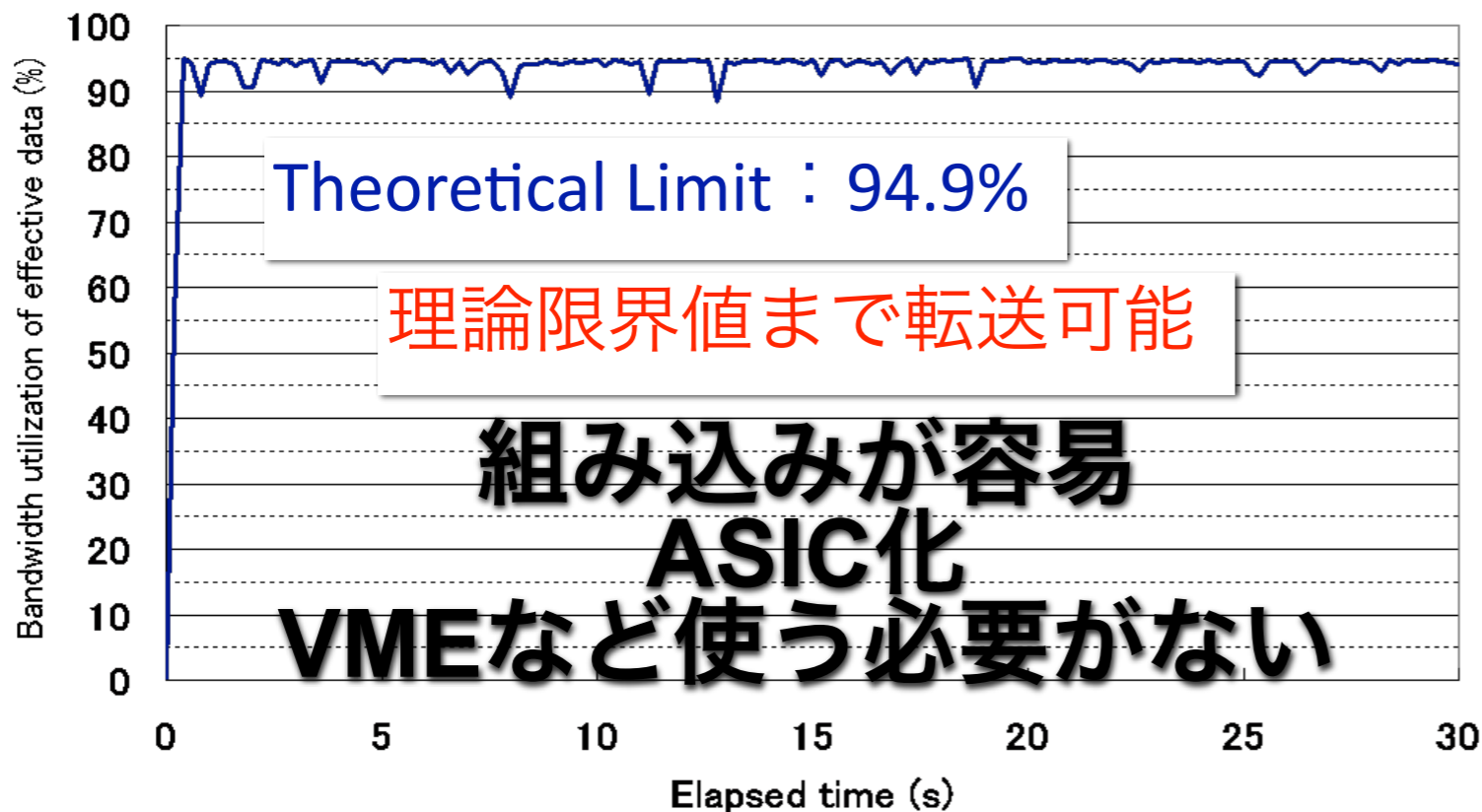
TCP/IPプロトコルの必要な部分をハード化

ネットワーク利用

- 一般にTCP/IPは組み込みに適していない -

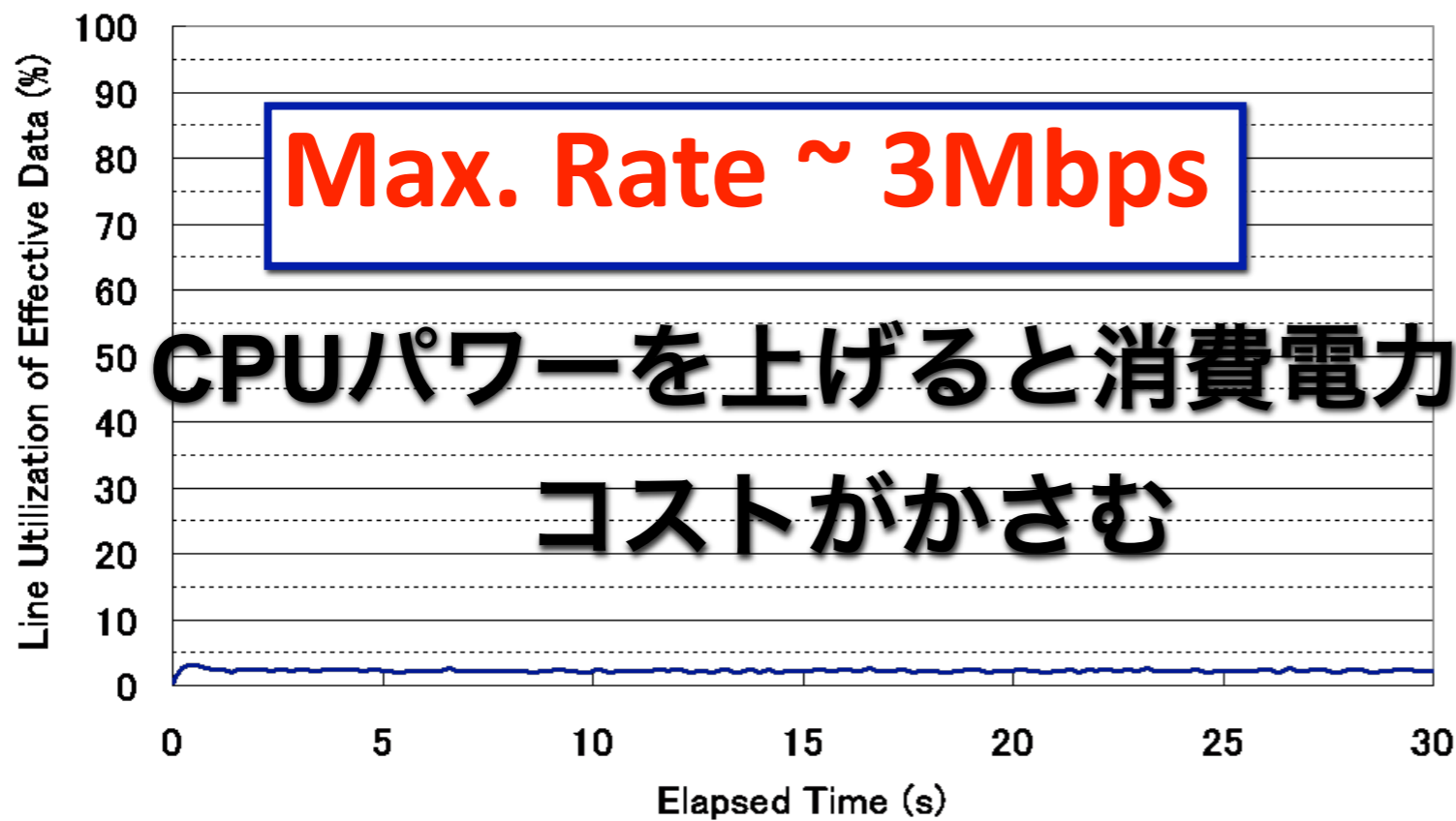


CPUでプロトコル処理

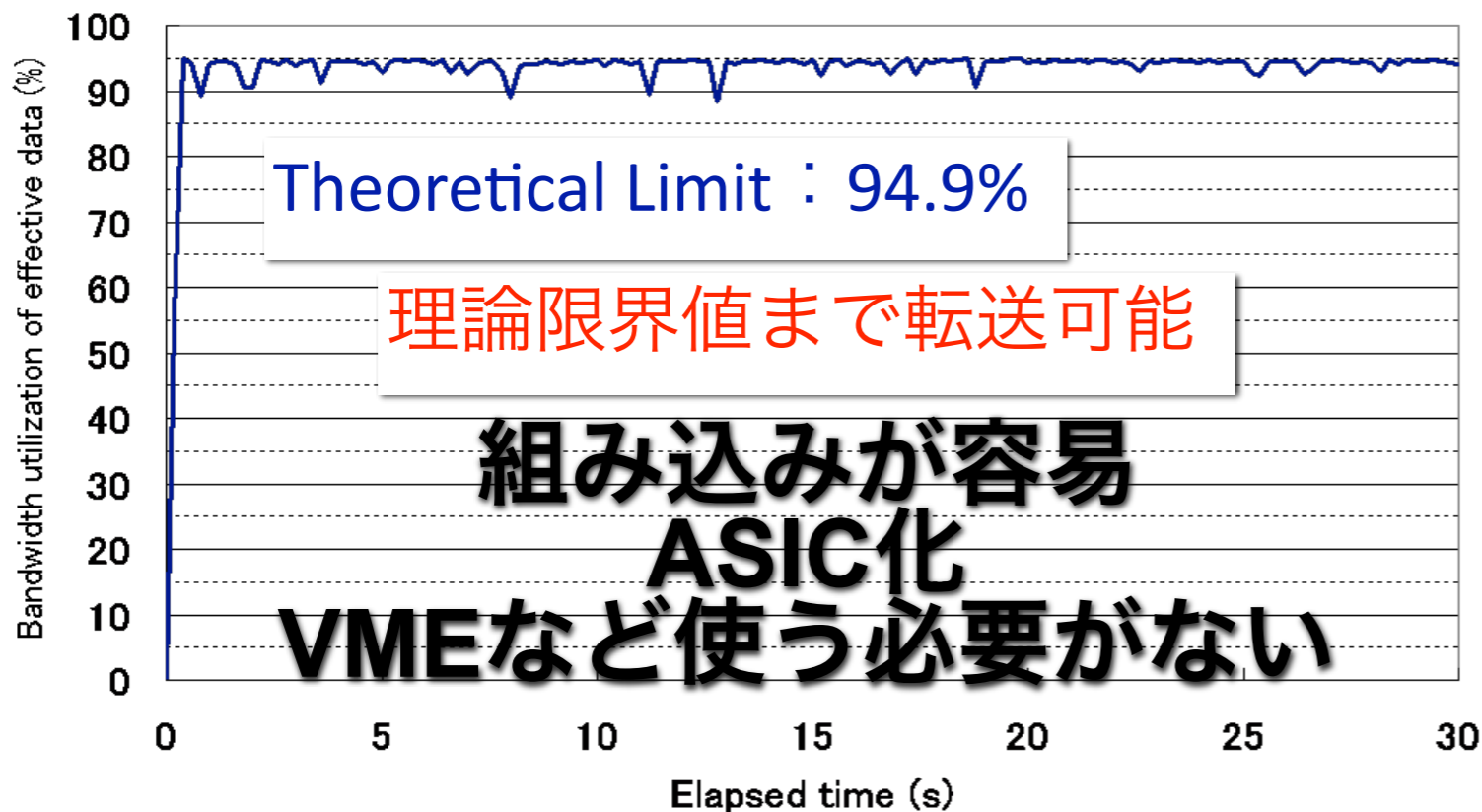


TCP/IPプロトコルの必要な部分をハード化

Tip : 内容がわかってこそ最適化が可能である



CPUでプロトコル処理



TCP/IPプロトコルの必要な部分をハード化



Brown



Switching hub

Blue



Green

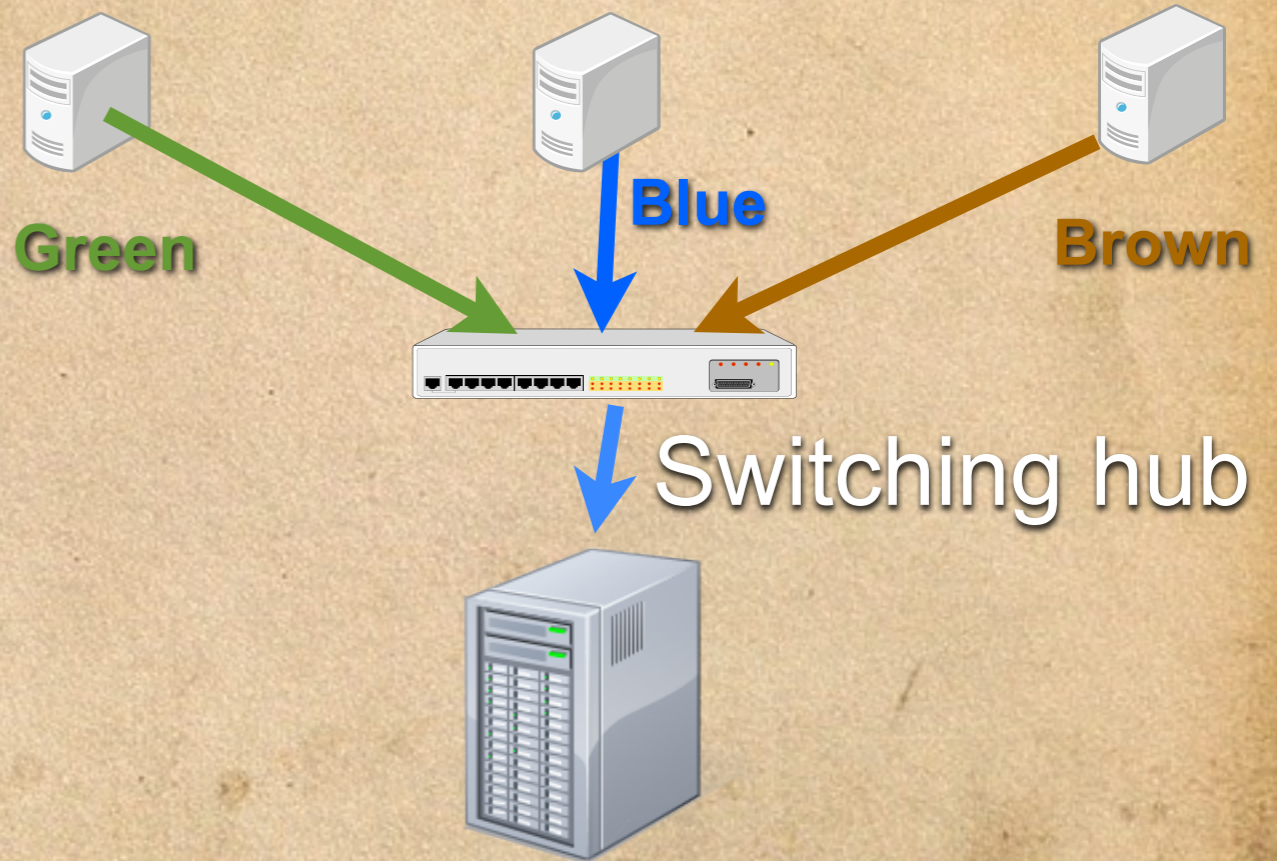
TCP/IP

トランザクション

Brown

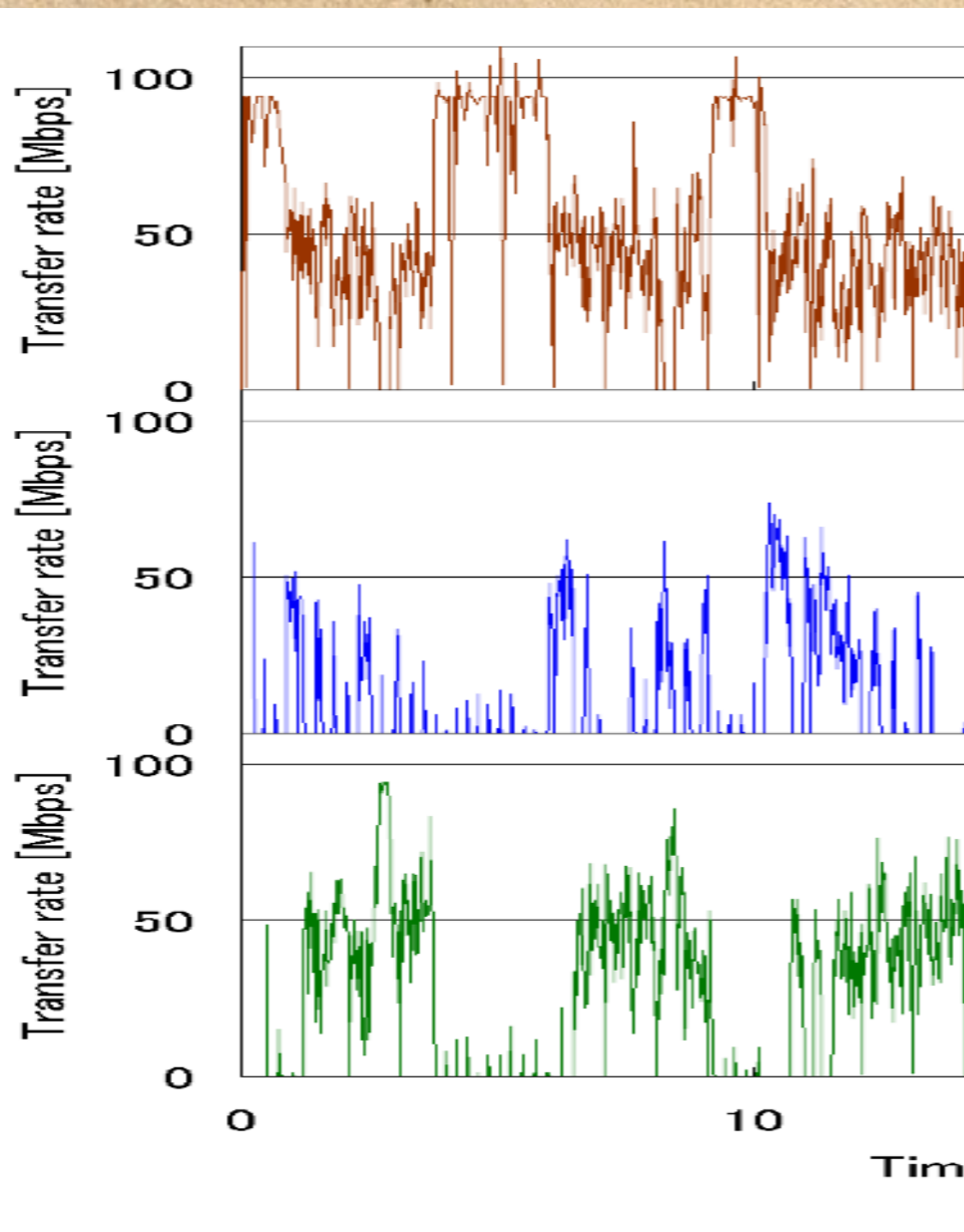
Blue

Green



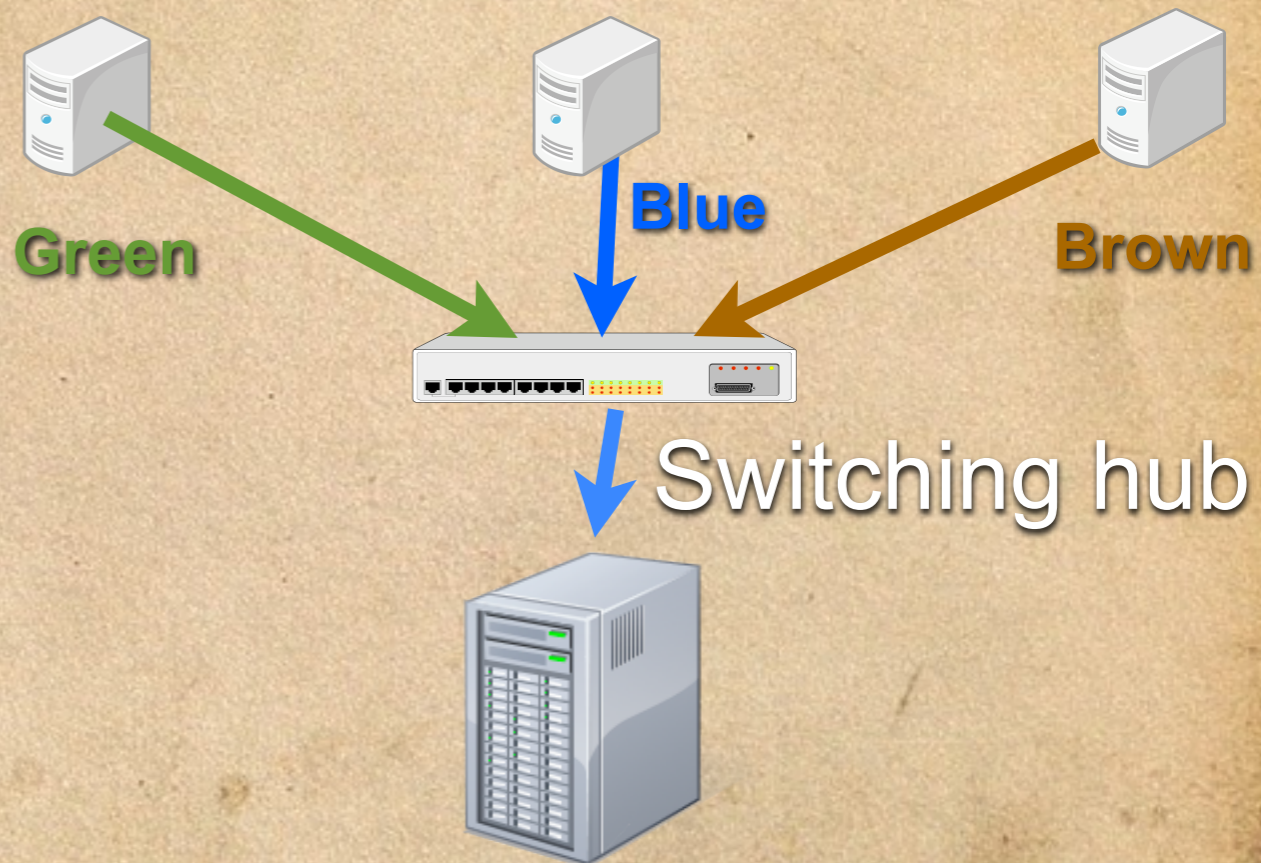
TCP/IP
トランザクション

Brown



Blue

Green



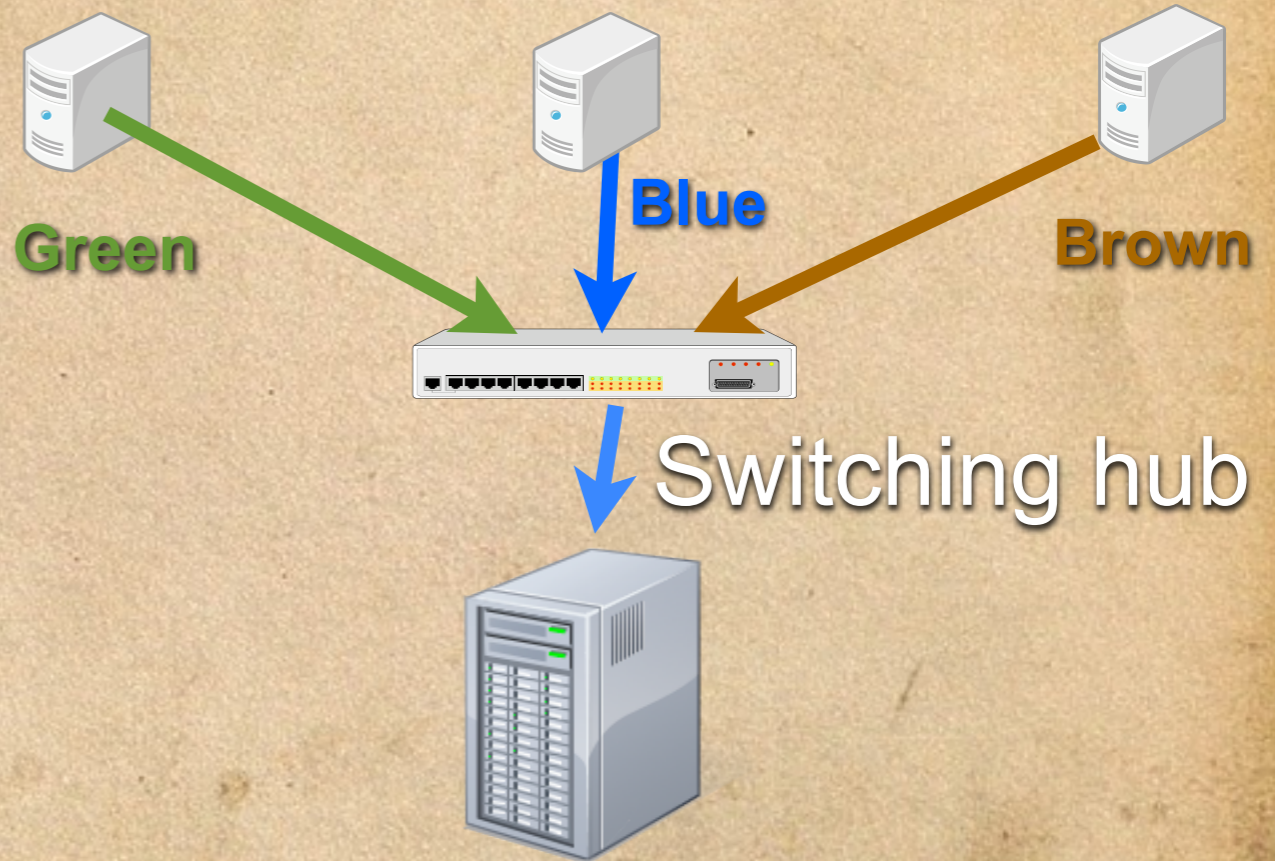
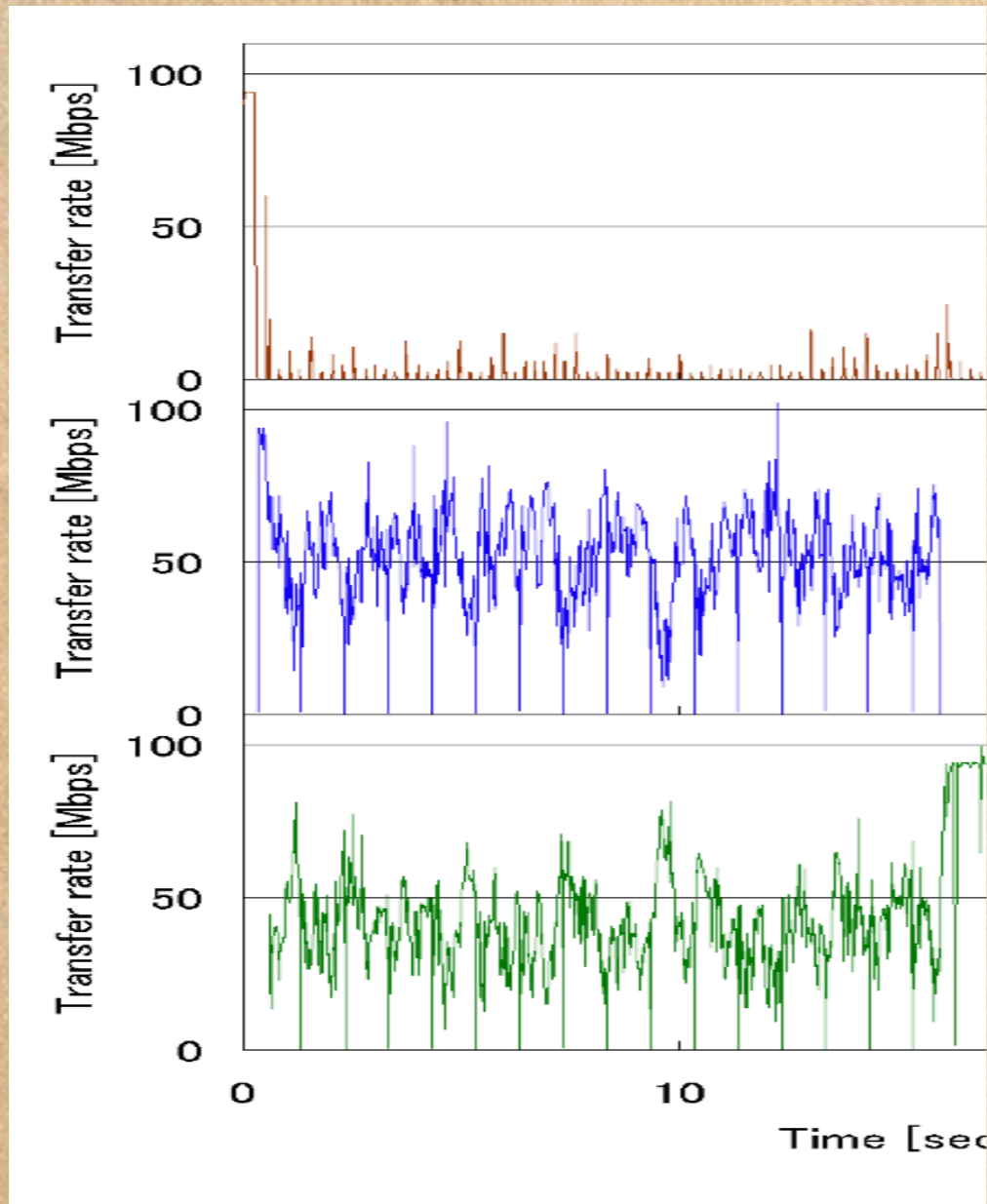
TCP/IP

トランザクション

Brown

Blue

Green



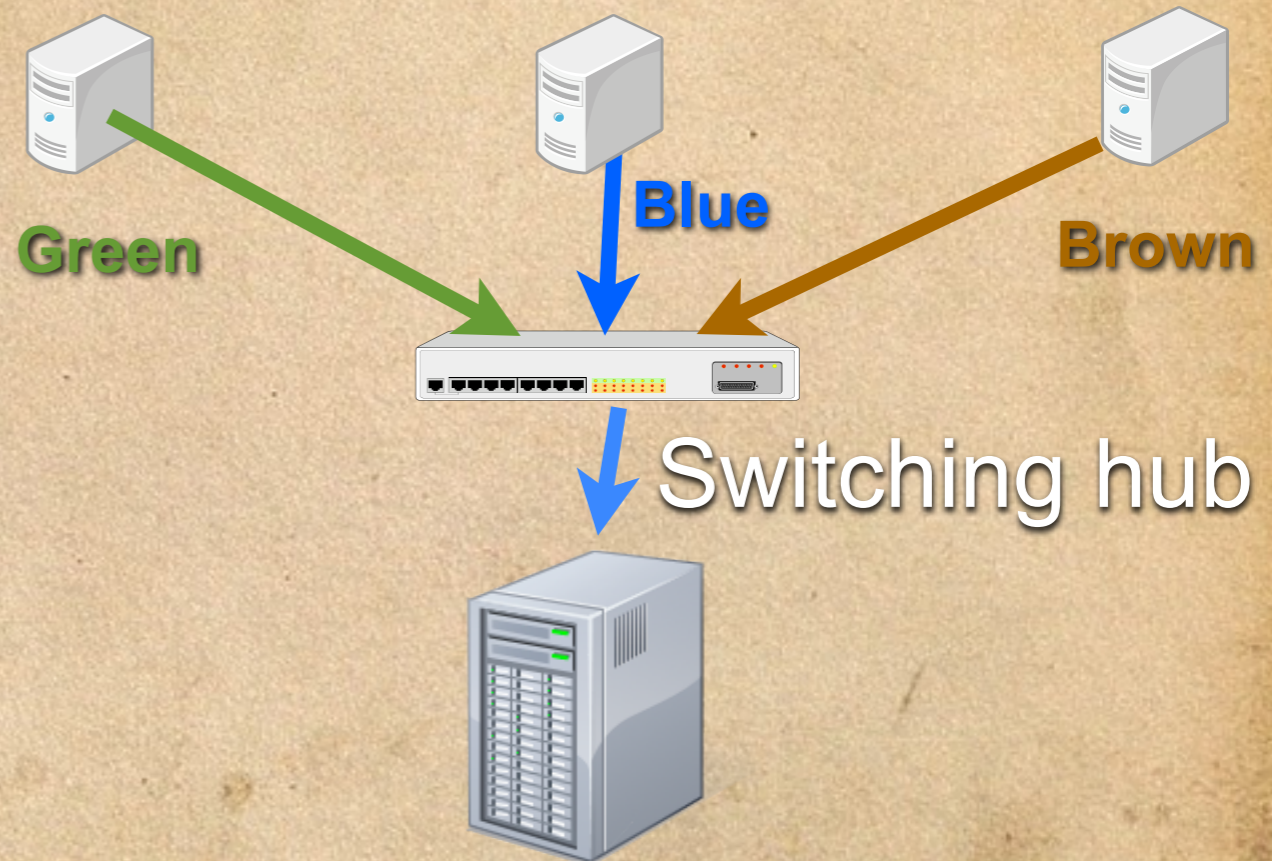
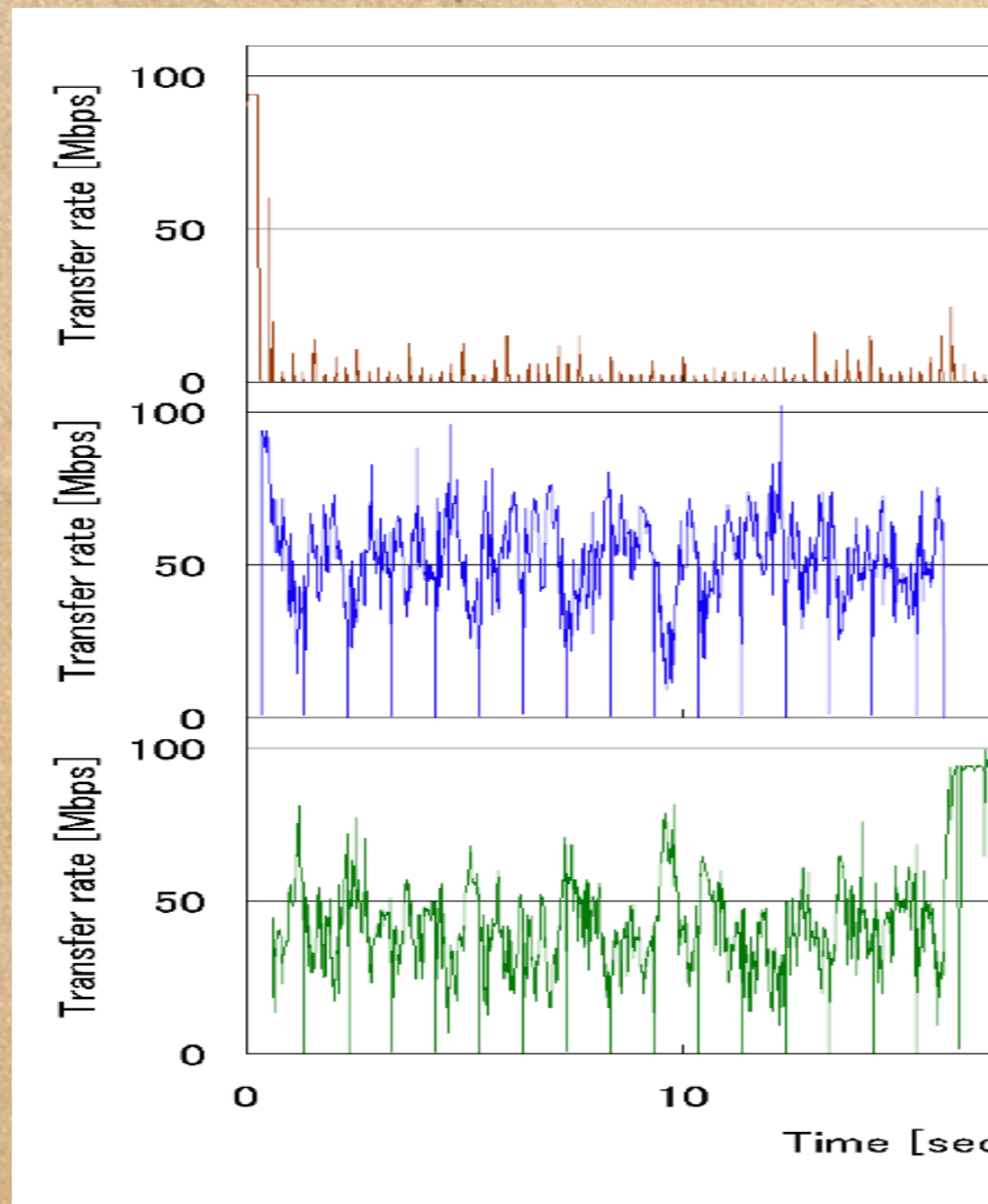
TCP/IP
トランザクション

Tip : 民生品の要求仕様は我々の分野の要求仕様と異なる。文章化されていない場合も多い。(コモンセンスが異なるため)

Brown

Blue

Green



TCP/IP
トランザクション

事例 2 : 最適化

Requirements

Speed

Pulse width $100\text{ns} < -1.6\text{MHz}/\text{strip}$

Time walk $< 5\text{ns}$ for $\sim 1\text{MIP}$

$C_{\text{det}} \sim 30\text{pF} < - \text{Si strip detector}$

$\text{ENC} < 3000\text{electron} < - \text{S/N} \sim 10$

$64 \sim 128\text{ch}/\text{chip} < - \text{mechanical cnstr.}$

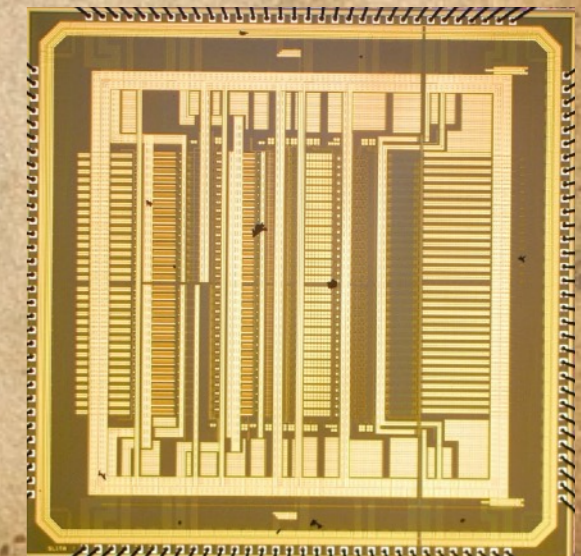
Noise

PWD

Peaking time : 40ns , Pulse width : $\sim 100\text{ns}$

Noise : $2500\text{e}@C_{\text{det}}30\text{pF}$

ASIC トレーニングコースに参加してみてください。



事例 2 : 最適化

Requirements

Speed

Pulse width $100\text{ns} < -1.6\text{MHz}/\text{strip}$

Time walk $< 5\text{ns}$ for $\sim 1\text{MIP}$

$C_{\text{det}} \sim 30\text{pF} < - \text{Si trip detector}$

$\text{ENC} < 3000\text{electron} < - \text{S/N} \sim 10$

$64 \sim 128\text{ch}/\text{chip} < - \text{mechanical cnstr.}$

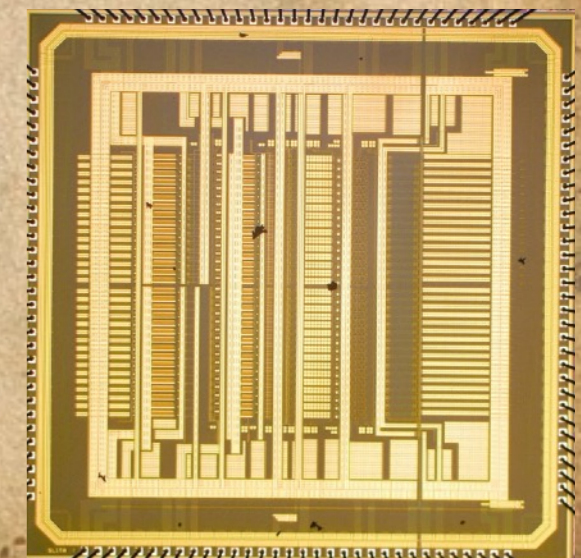
Noise

PWD

Peaking time : 40ns , Pulse width : $\sim 100\text{ns}$

Noise : $2500\text{e}@C_{\text{det}}30\text{pF}$

ASIC トレーニングコースに参加してみてください。



事例 2 : 最適化

Fast response

Speed

Requirements

Pulse width $100\text{ns} < -1.6\text{MHz}/\text{strip}$

Time walk $< 5\text{ns}$ for $\sim 1\text{MIP}$

$C_{\text{det}} \sim 30\text{pF} < - \text{Si trip detector}$

$\text{ENC} < 3000\text{electron} < - \text{S/N} \sim 10$

$64 \sim 128\text{ch}/\text{chip} < - \text{mechanical cnstr.}$

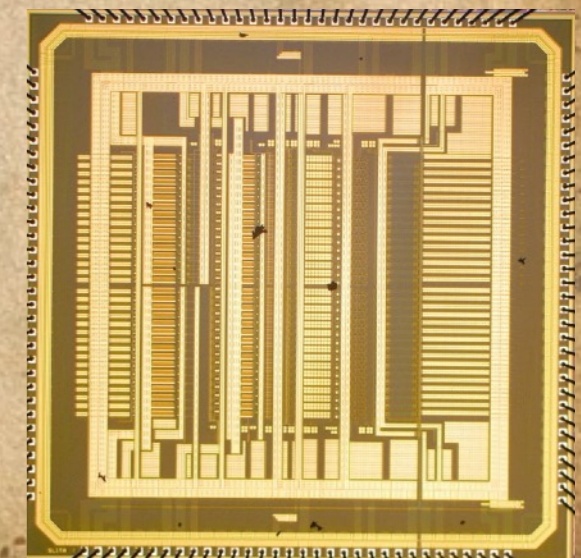
Noise

PWD

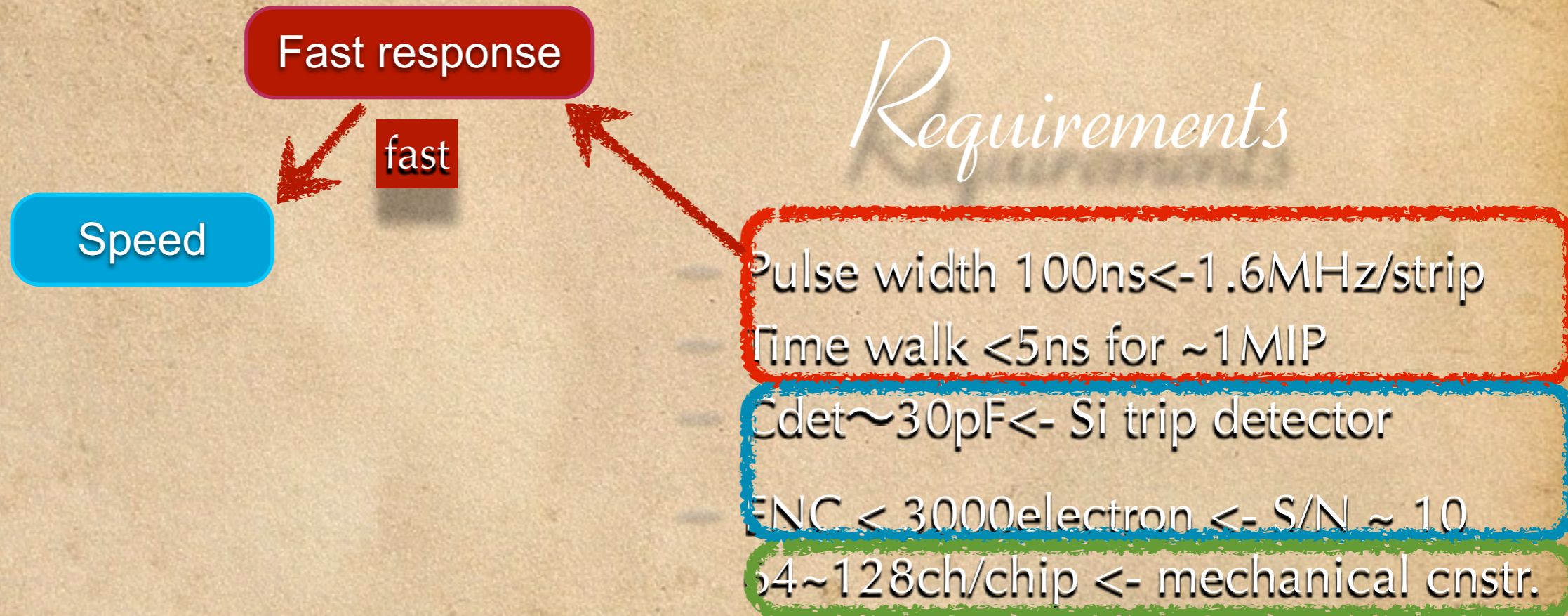
Peaking time : 40ns , Pulse width : $\sim 100\text{ns}$

Noise : $2500\text{e}@C_{\text{det}}30\text{pF}$

ASIC トレーニングコースに参加してみてください。



事例 2 : 最適化



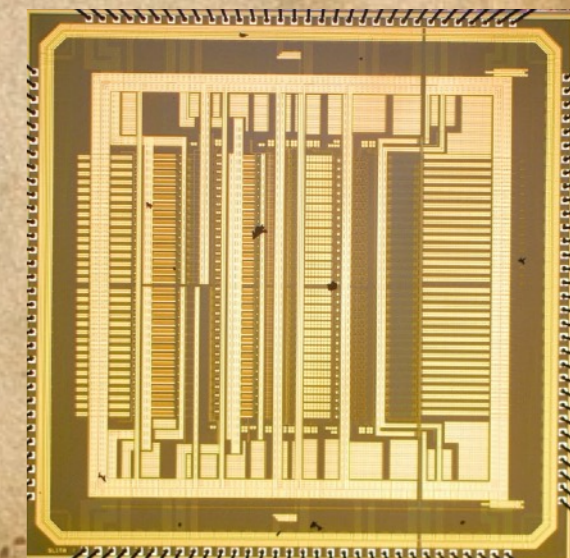
Noise

PWD

Peaking time : 40ns , Pulse width : $\sim 100\text{ns}$

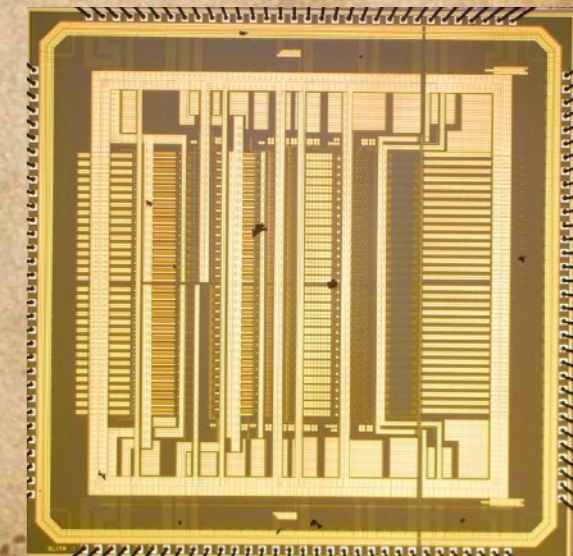
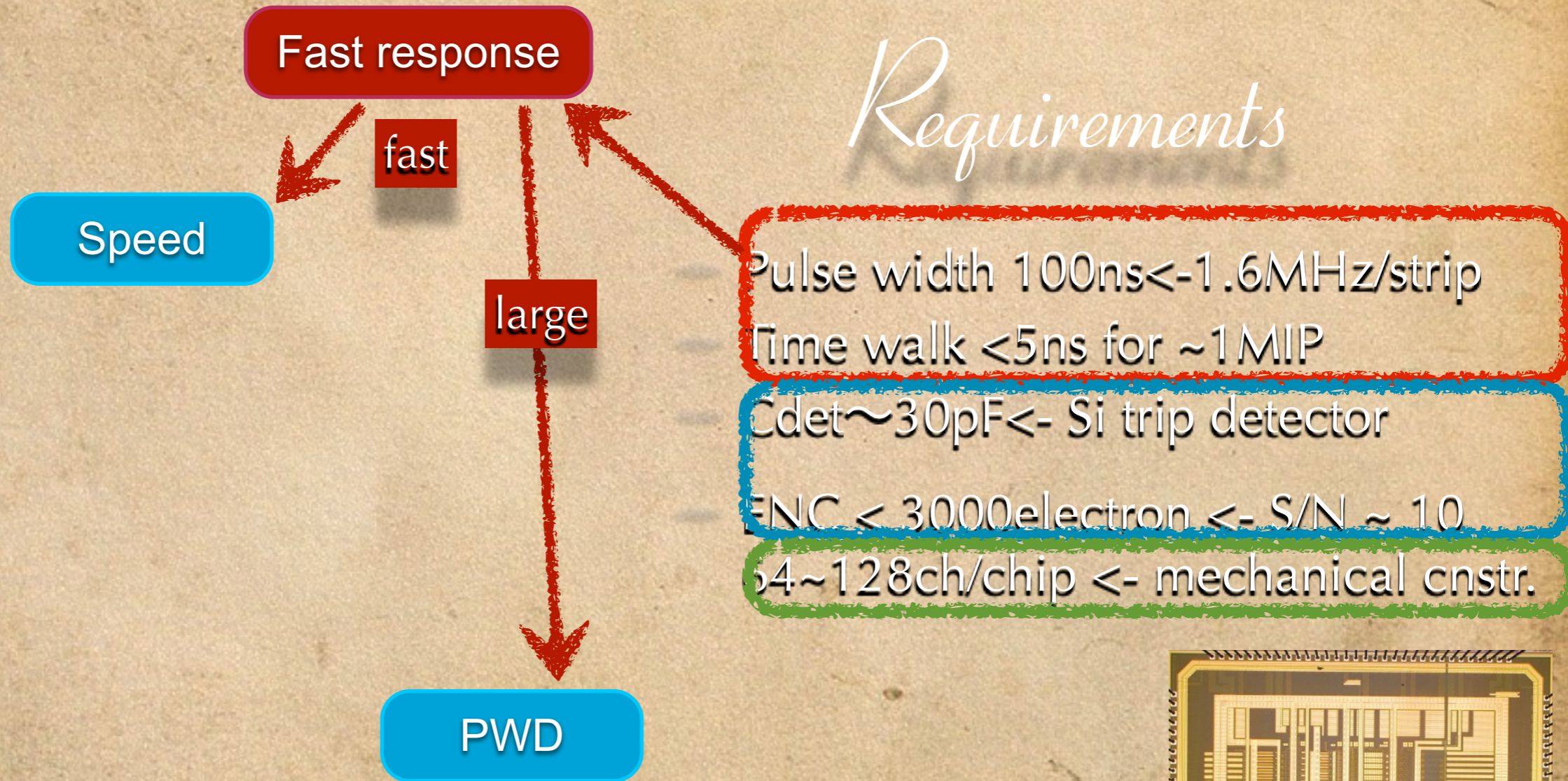
Noise : $2500\text{e}@C_{\text{det}}30\text{pF}$

ASICトレーニングコースに参加してみてください。



事例 2 : 最適化

Requirements

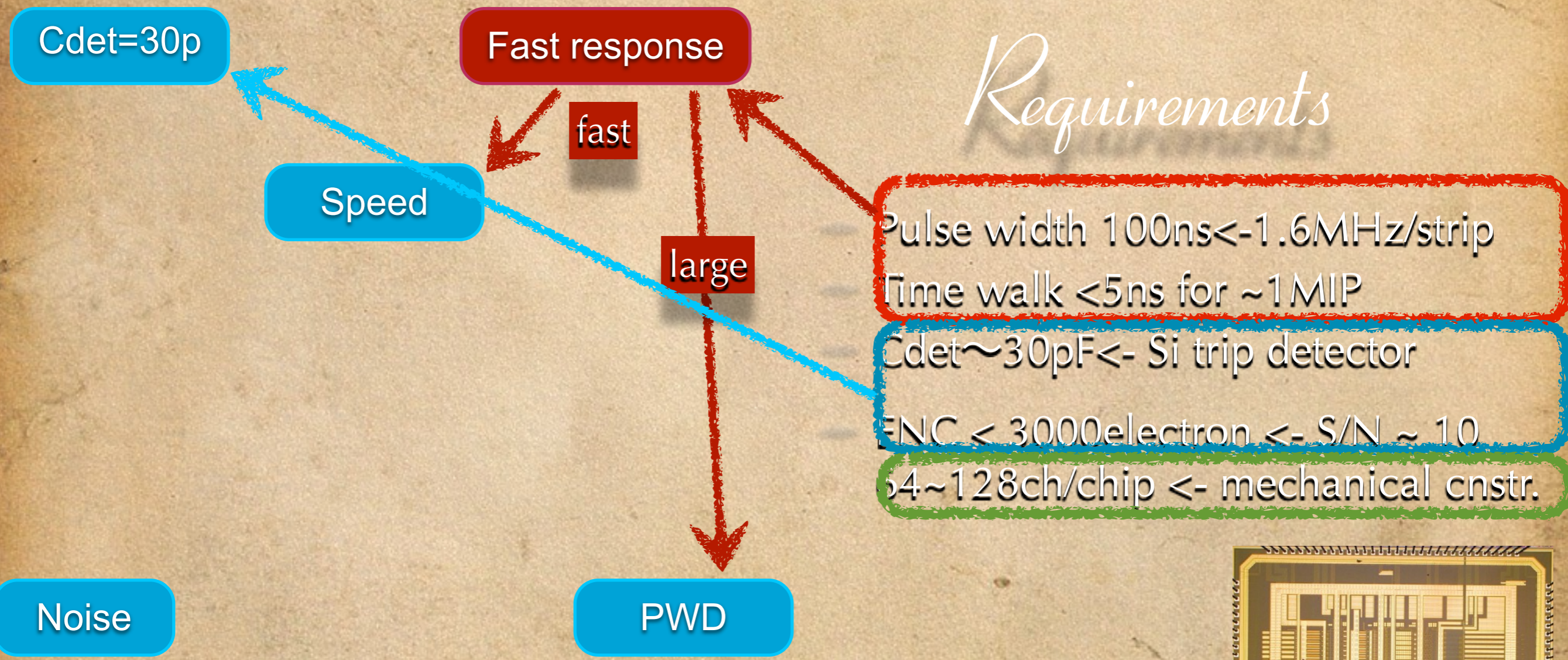


Peaking time : 40ns, Pulse width : ~100ns

Noise : 2500e@Cdet30pF

ASICトレーニングコースに参加してみてください。

事例 2 : 最適化



Requirements

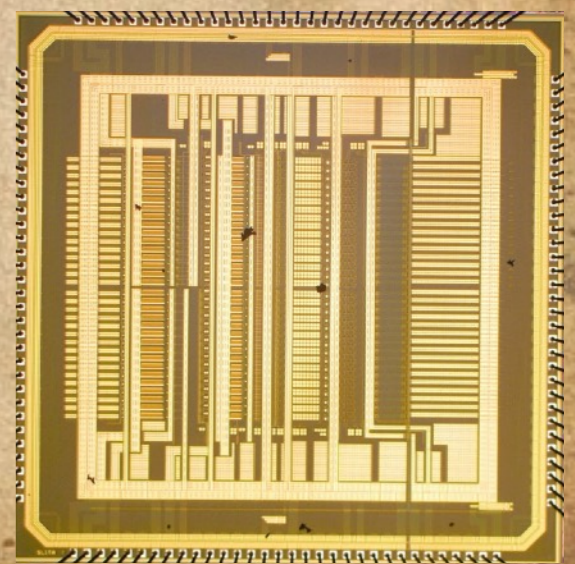
Pulse width 100ns <- 1.6MHz/strip

Time walk < 5ns for ~1MIP

Cdet ~ 30pF <- Si strip detector

ENC < 3000electron <- S/N ~ 10

64~128ch/chip <- mechanical cnstr.

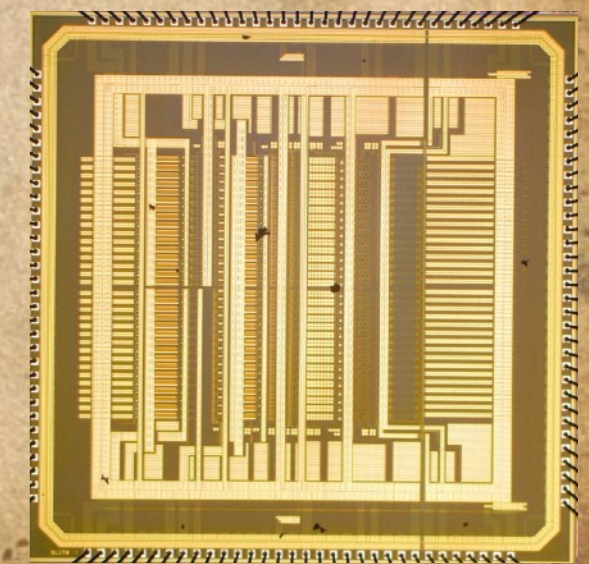
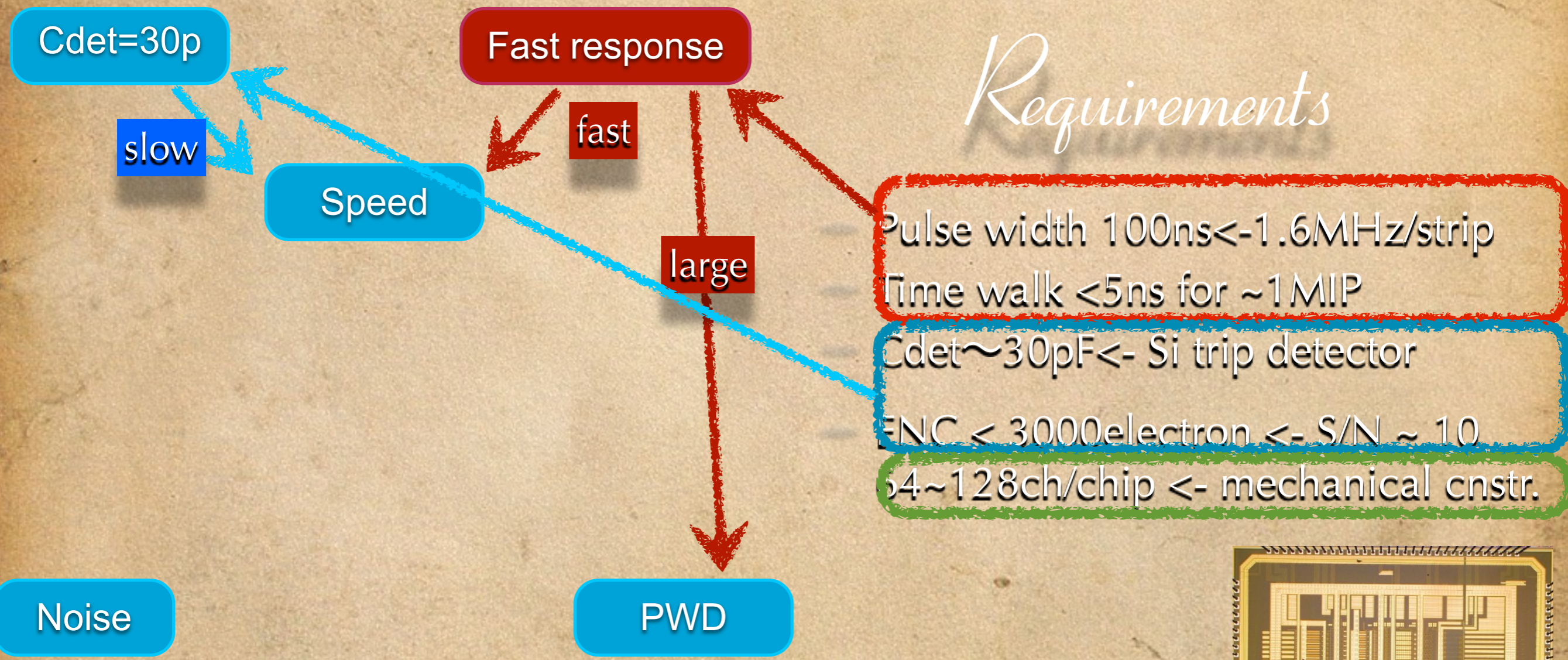


Peaking time : 40ns, Pulse width : ~100ns

Noise : 2500e@Cdet30pF

ASICトレーニングコースに参加してみてください。

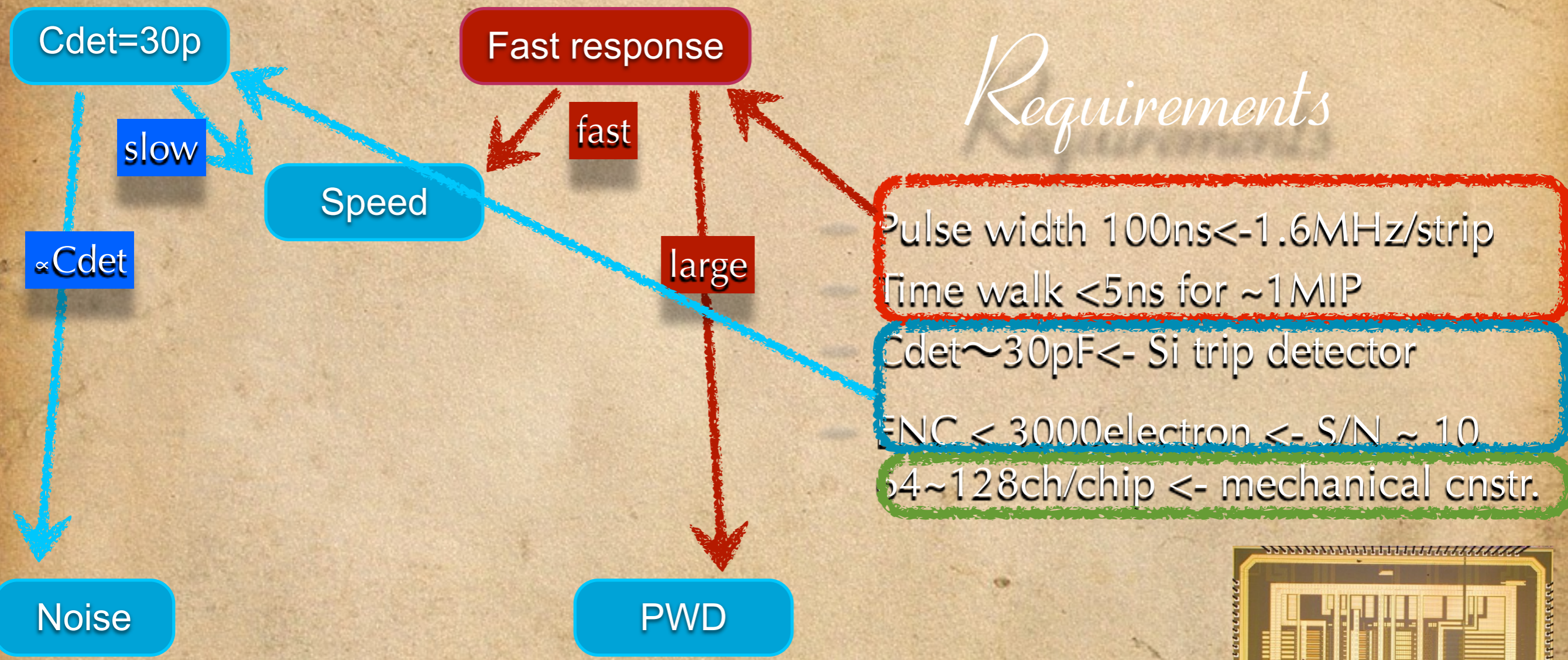
事例 2 : 最適化



Peaking time : 40ns, Pulse width : ~100ns
Noise : 2500e@Cdet30pF

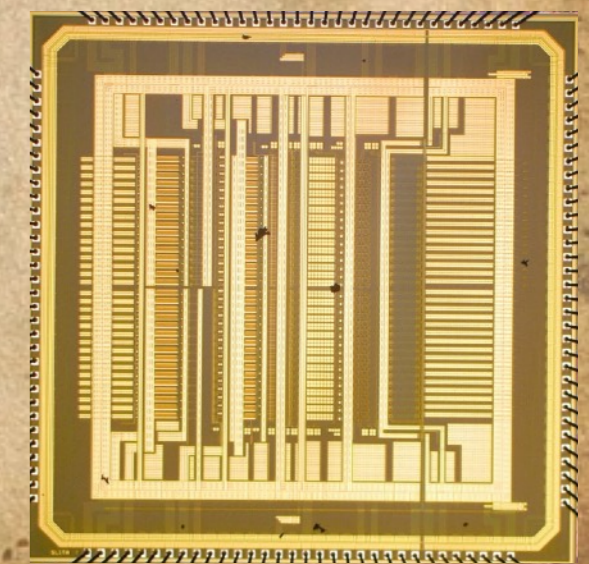
ASICトレーニングコースに参加してみてください。

事例 2 : 最適化

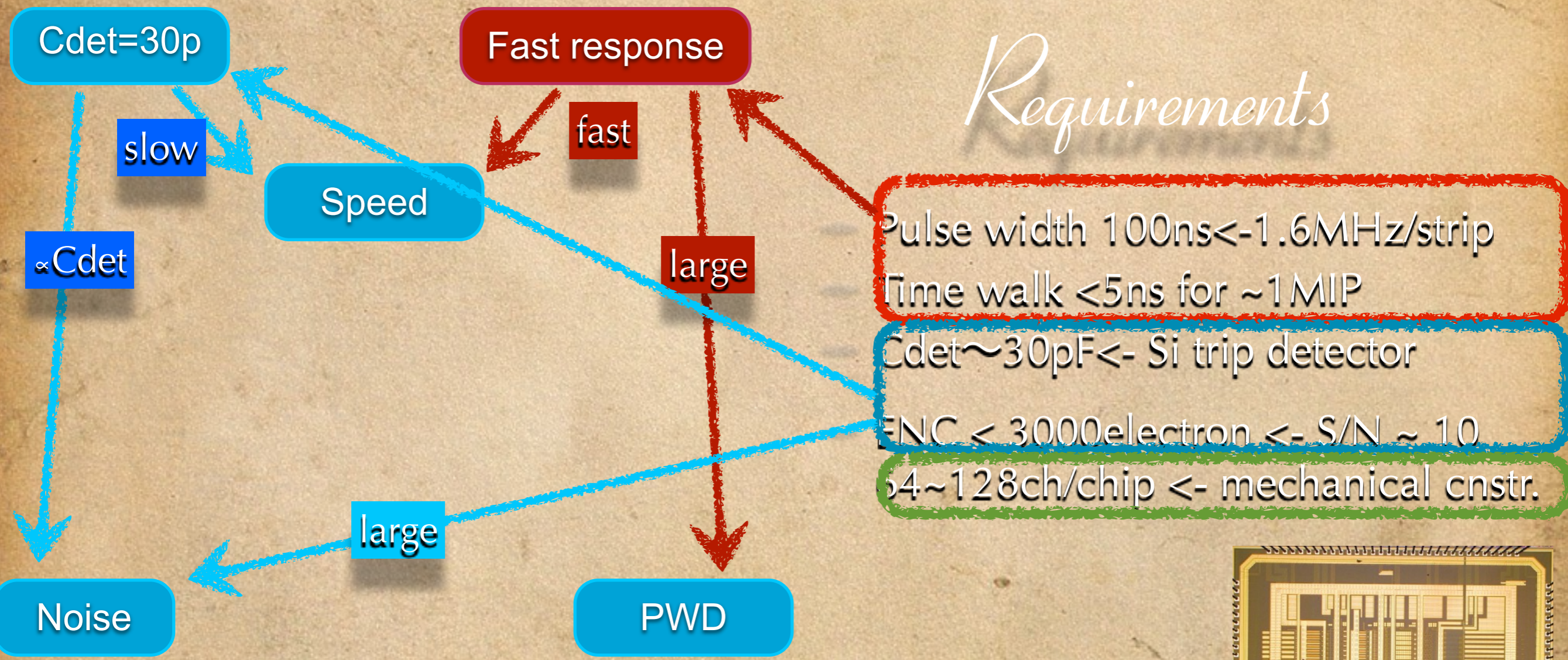


Peaking time : 40ns, Pulse width : $\sim 100\text{ns}$
Noise : 2500e@Cdet30pF

ASICトレーニングコースに参加してみてください。

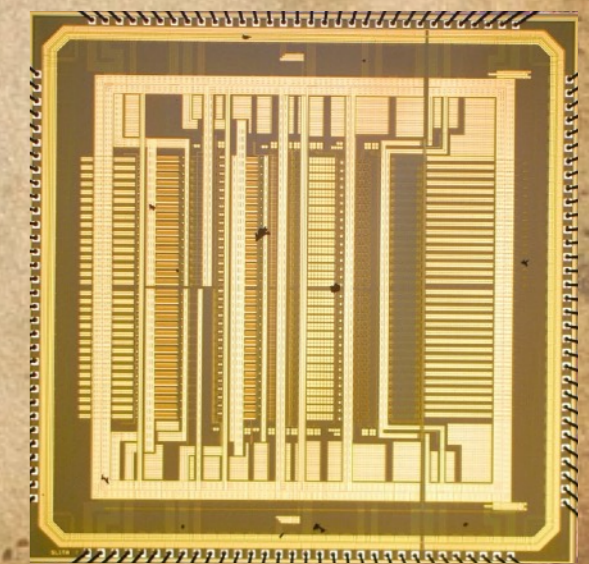


事例 2 : 最適化

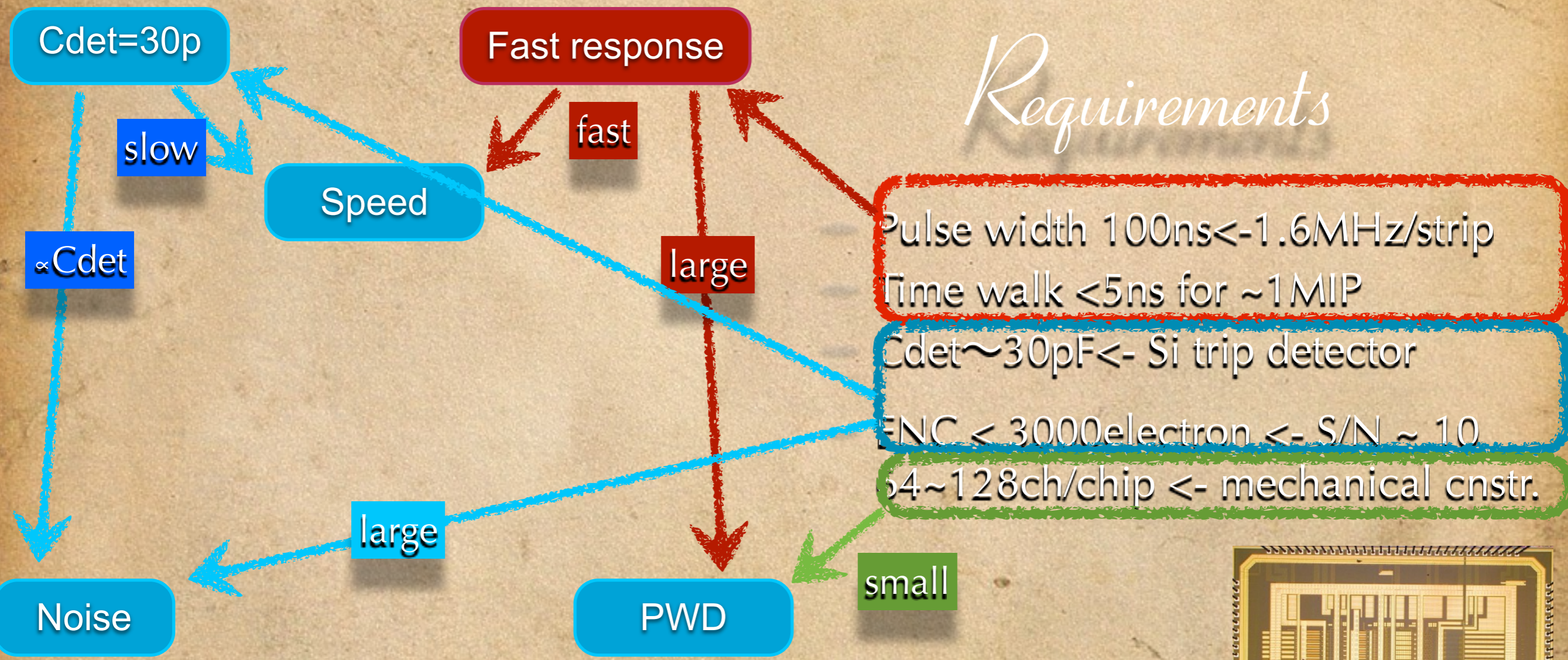


Peaking time : 40ns, Pulse width : ~100ns
Noise : 2500e@Cdet30pF

ASICトレーニングコースに参加してみてください。

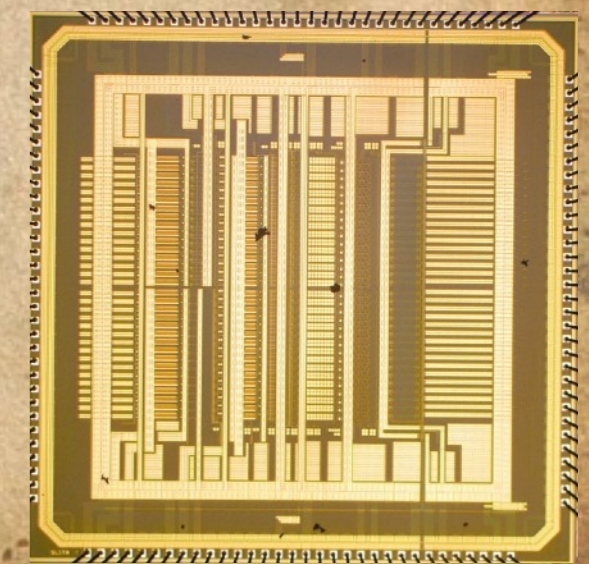


事例 2 : 最適化



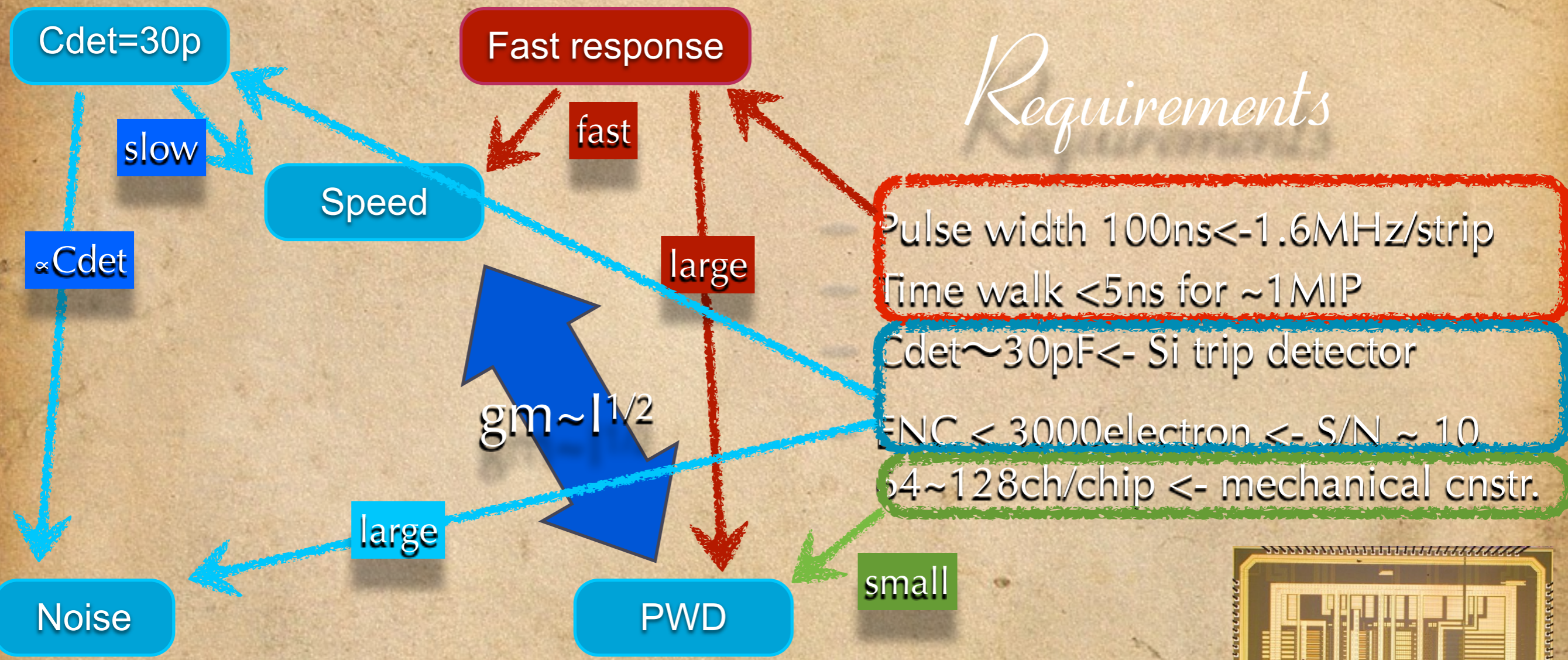
Peaking time : 40ns, Pulse width : $\sim 100\text{ns}$
Noise : 2500e@Cdet30pF

ASICトレーニングコースに参加してみてください。



事例 2 : 最適化

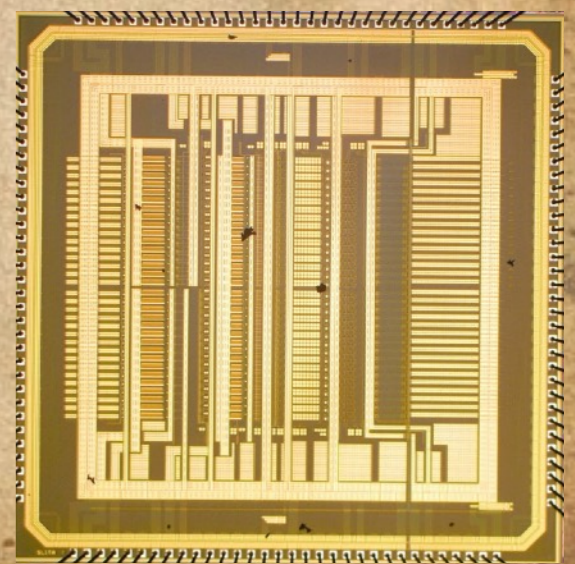
Requirements



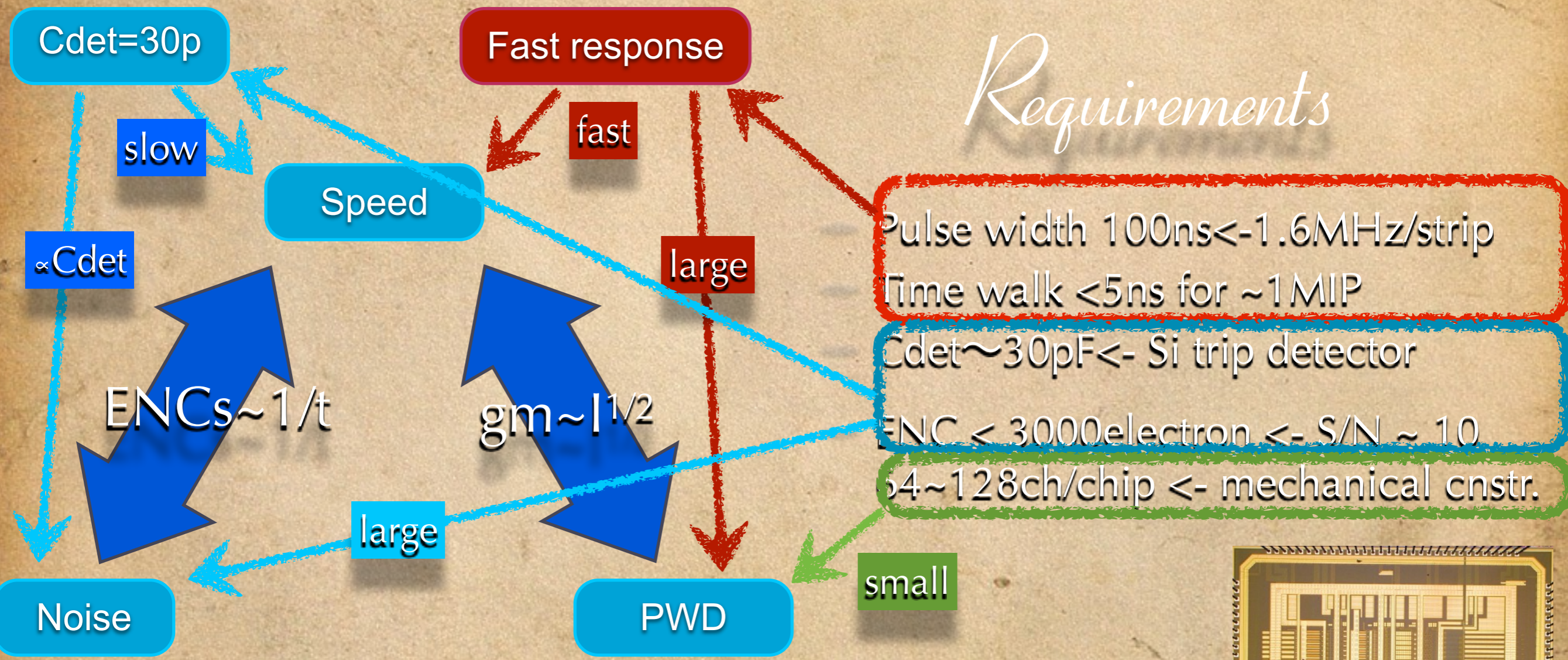
Peaking time : 40ns, Pulse width : $\sim 100\text{ns}$

Noise : 2500e@Cdet30pF

ASICトレーニングコースに参加してみてください。

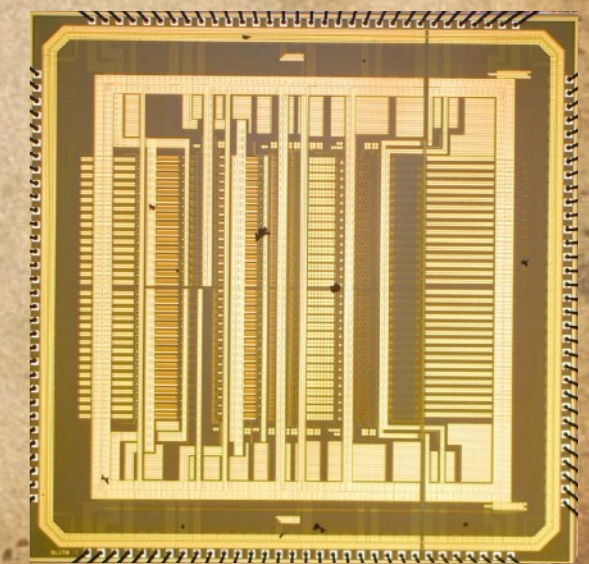


事例 2 : 最適化



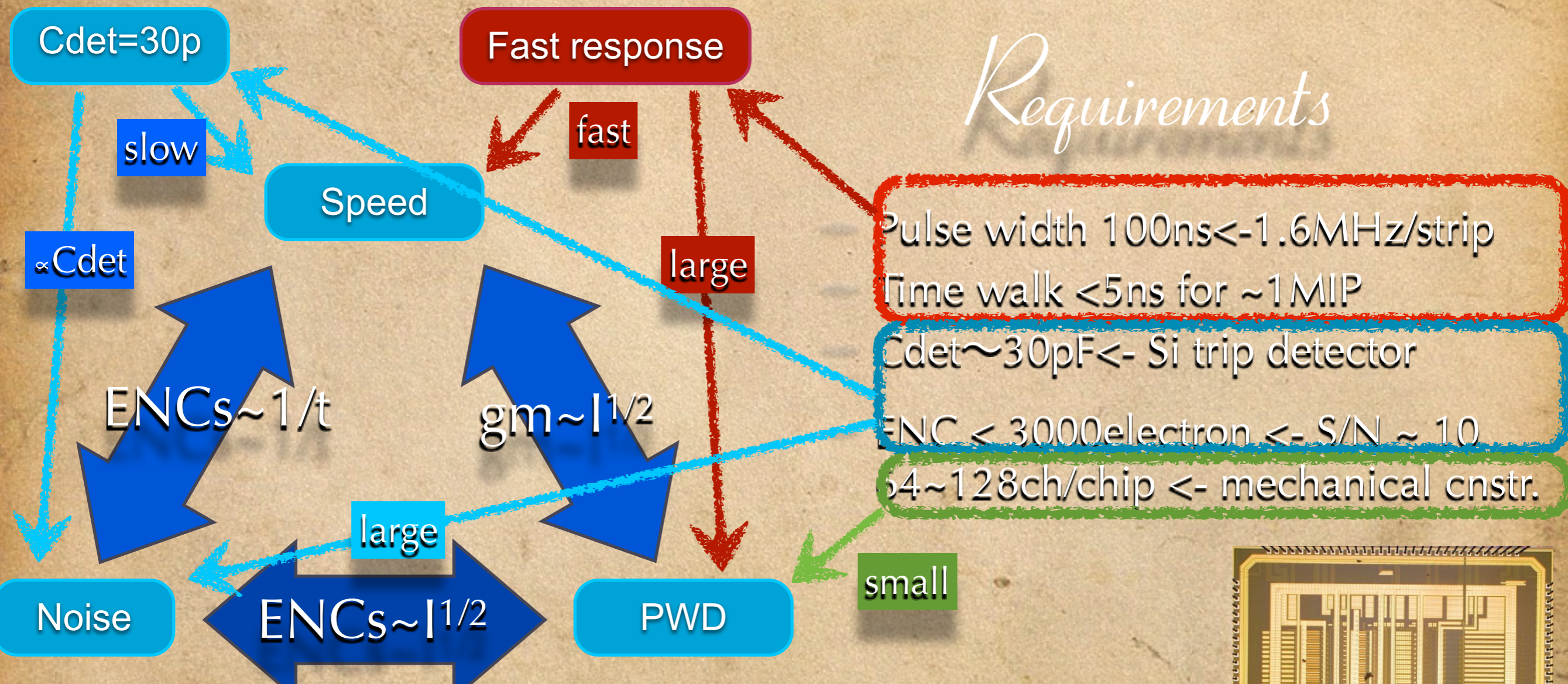
Peaking time : 40ns, Pulse width : $\sim 100\text{ns}$
 Noise : 2500e@Cdet30pF

ASICトレーニングコースに参加してみてください。



事例 2 : 最適化

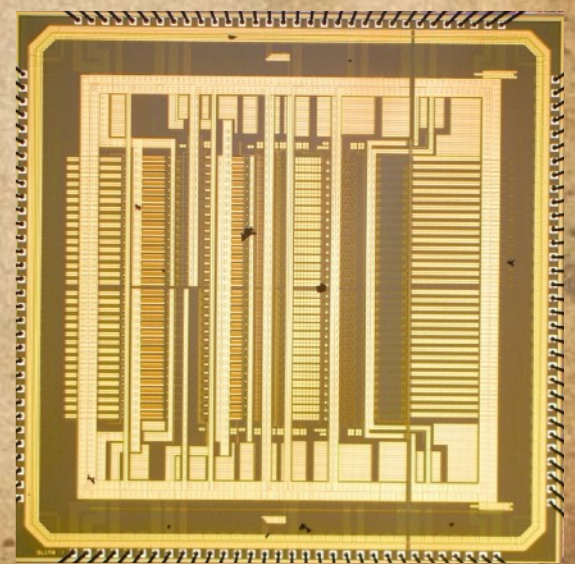
Requirements



Peaking time : 40ns, Pulse width : $\sim 100\text{ns}$

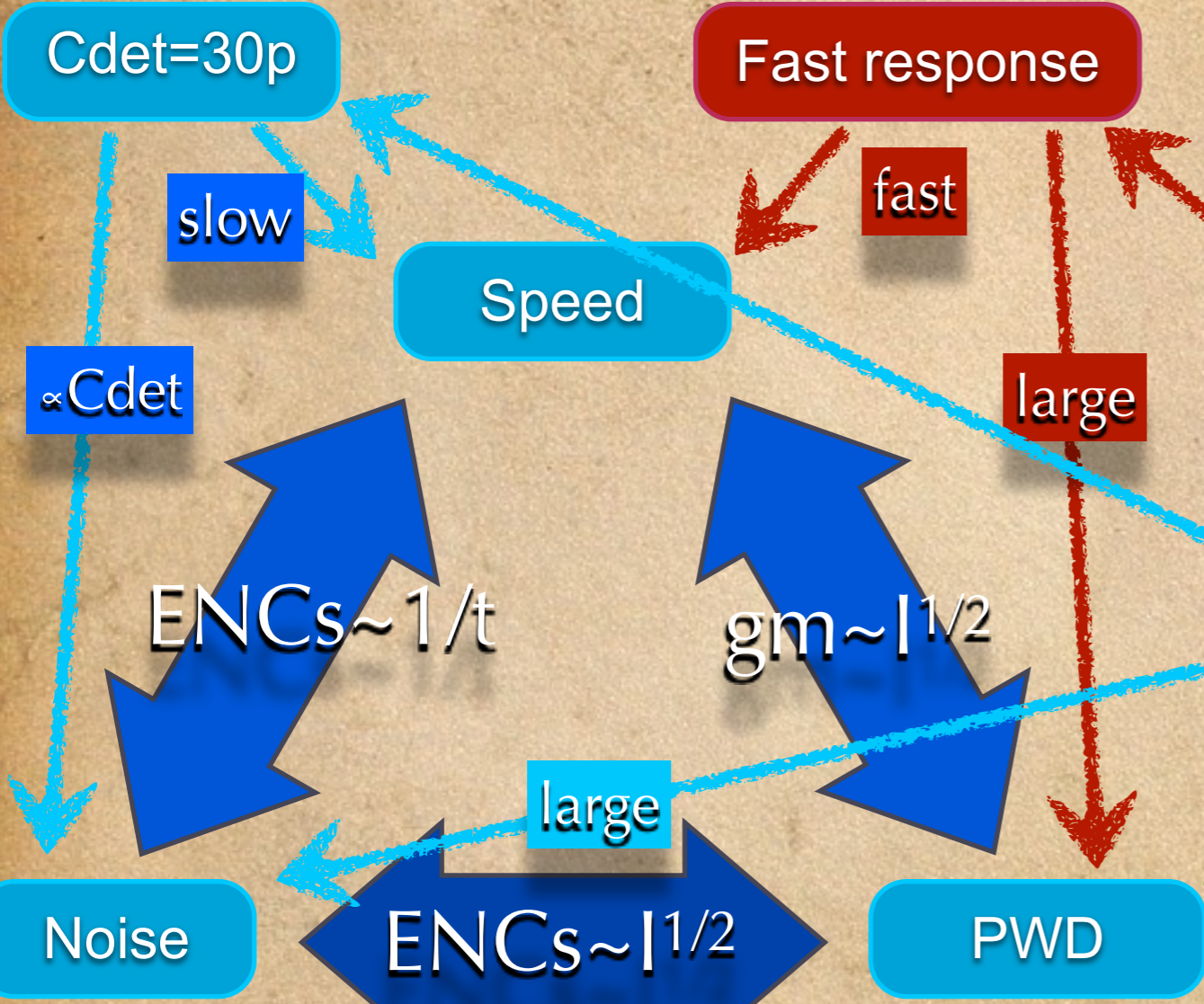
Noise : 2500e@Cdet30pF

ASICトレーニングコースに参加してみてください。



Tip : 最適化のためにはパラメータ間の相関を知る必要がある。
 更に重要なのは、仕様に対する余裕をどの程度取っておくかを見極めること
 (これを会社にゆだねる?)

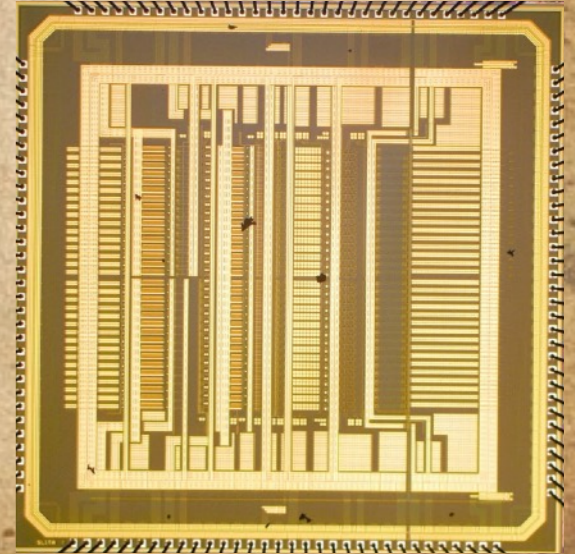
Requirements



- Pulse width 100ns <- 1.6MHz/strip
- Time walk < 5ns for ~1MIP
- Cdet ~ 30pF <- Si strip detector
- ENC < 3000electron <- S/N ~ 10
- 64~128ch/chip <- mechanical cnstr.

Peaking time : 40ns, Pulse width : ~100ns
 Noise : 2500e@Cdet30pF

ASICトレーニングコースに参加してみてください。



論文に書いていないこと

- それぞれに失敗例や注意点をあげましたがそれは論文にはでていません。
- 裏を返すと”論文に載っていないこと”のほうが実用化には重要なのです。
- 手っ取り早いのは実際にやった人の恥ずかしい話を聞くか、実際にやってみるかどちらかです。が
- 全てを経験しないとだめと言っている訳ではありません。
- 一つをきちんと理解すれば後は、類推出来ることが多い。← 一人間のやることは人間なら理解できます。

基本原理を押さえる事で類推力がたかまる。

他分野での使い方がおもわぬブレークスルーを引き起こす。

ここまでのまとめ

- 分野毎での計測装置開発の差異
- 発展のベクトルの方向は分野によって異なる
- そこで使用されている技術内容とその変遷
 - 概念と実現技術の分離及び重要性
 - 計測装置と技術を理解する意義