

DAQ system for Hyper-Kamiokande

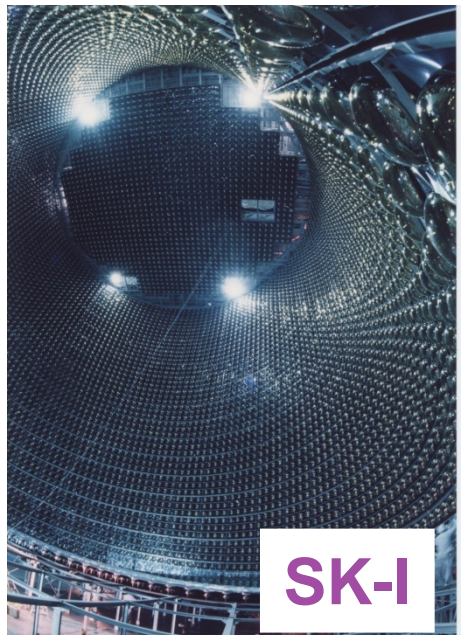
Yoshinari Hayato
(Kamioka, ICRR)

Super-Kamiokande detector

History of the SK detector



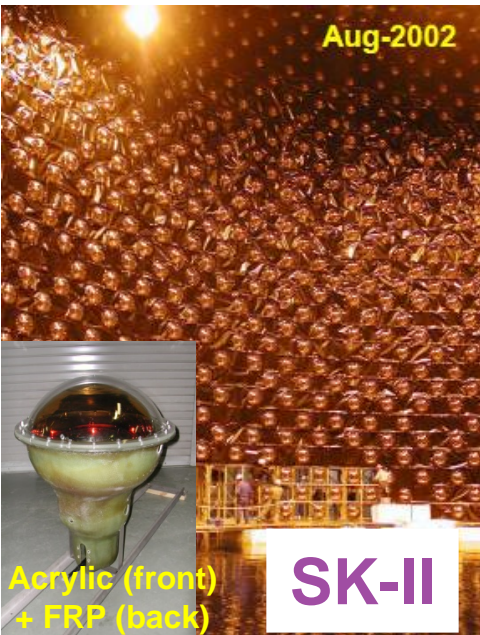
SK-I



SK-I

**11146 ID PMTs
(40% coverage)**

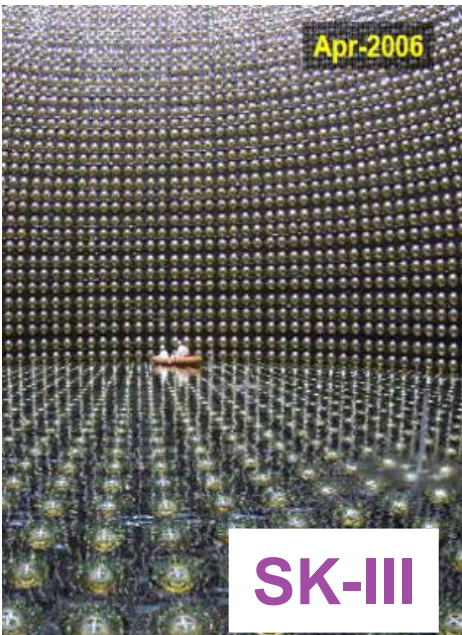
SK-II



SK-II

**5182 ID PMTs
(19% coverage)**

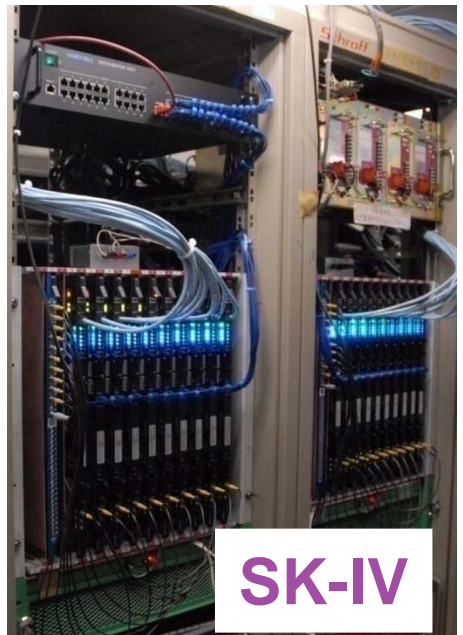
SK-III



SK-III

**11129 ID PMTs
(40% coverage)**

SK-IV



SK-IV

**Electronics
Upgrade**

Hyper Kamiokande project

目指す物理 (主なもの)

- ニュートリノ振動 ~ 標準模型を超えた物理
J-PARC加速器ニュートリノおよび大気ニュートリノ観測
レプトンセクターにおけるCP保存・非保存
質量の階層問題
振動パラメータのより精密な測定
- 核子崩壊 ~ 大統一理論の直接的検証
- 超新星に関する物理
超新星爆発ニュートリノ観測
超新星爆発機構
ニュートリノ質量測定・階層問題
超新星残骸ニュートリノ観測
元素合成
- ニュートリノ点源探索 ~ WIMP
- 太陽ニュートリノ観測

Hyper Kamiokande project

検出器に要求される性能 / 仕様

SKで不足しているもの ~ 観測事象数 = 検出器の有効体積

→ **1Mton scale (fid. volume > 500kt) detector**

5 SK-like detectors in row

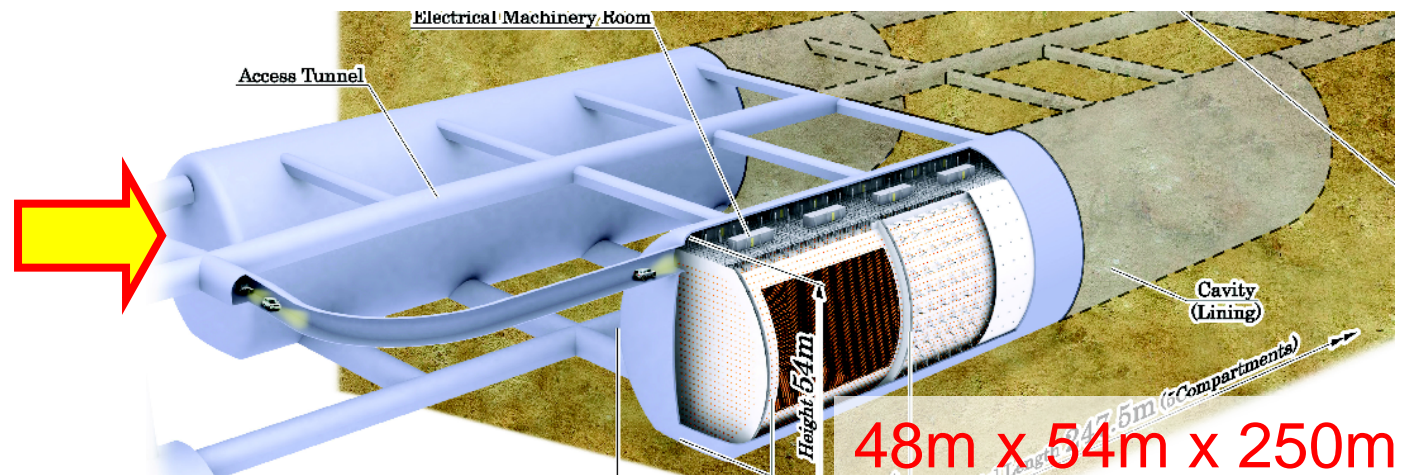
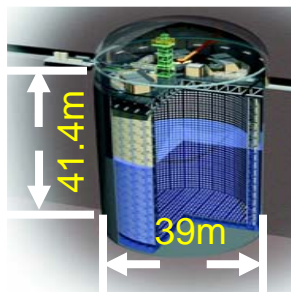
(PMT density ~ SK-II equiv.) x 2 sets

SKでの経験を最大限に活用

- 検出器の最適化
- 現実的な物理感度の事前評価

SK : Fiducial 22.5 kton

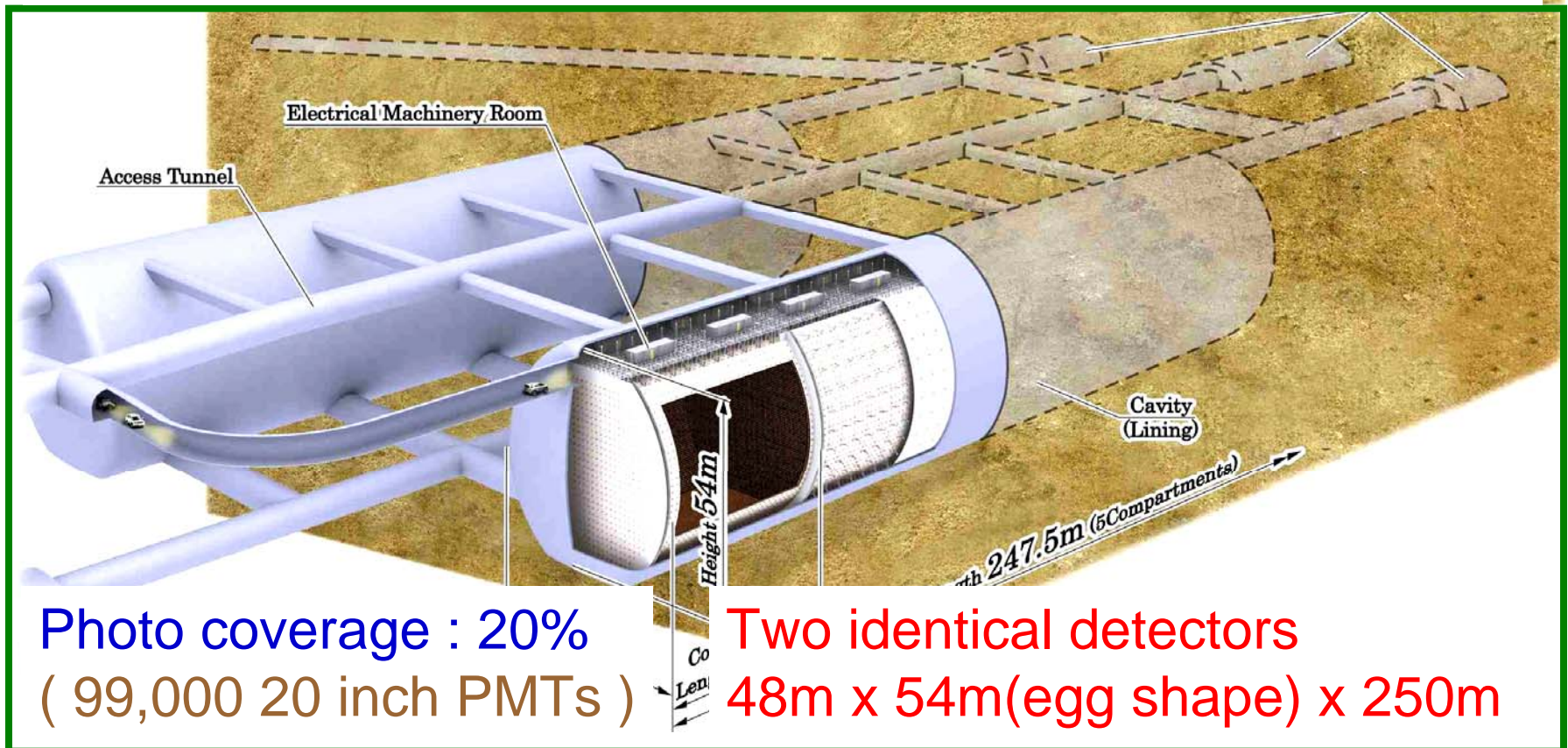
HK : Fiducial 560 kton ~ **25 x SK**



Hyper Kamiokande project

- 1) 加速器ニュートリノ測定 (J-PARC),
- 2) 大気, 太陽, 超新星, 宇宙起源ニュートリノ観測
- 3) 陽子崩壊探索

1M ton Water Cherenkov detector “*Hyper Kammiokande*”.
(Fiducial : ~ 560 kt)



Ring imaging water Cherenkov detector

チェレンコフ光

emission : if $n \cdot \beta > 1$

n : refractive index

$\beta = p / E$

direction : $\cos \theta_c = 1 / (n \cdot \beta)$

$n_{\text{water}} \sim 1.33 \rightarrow \theta_c \sim 42 \text{ degree.}$

チェレンコフ光放出量

$\rightarrow \sim 340 \text{ photons / 1cm}$

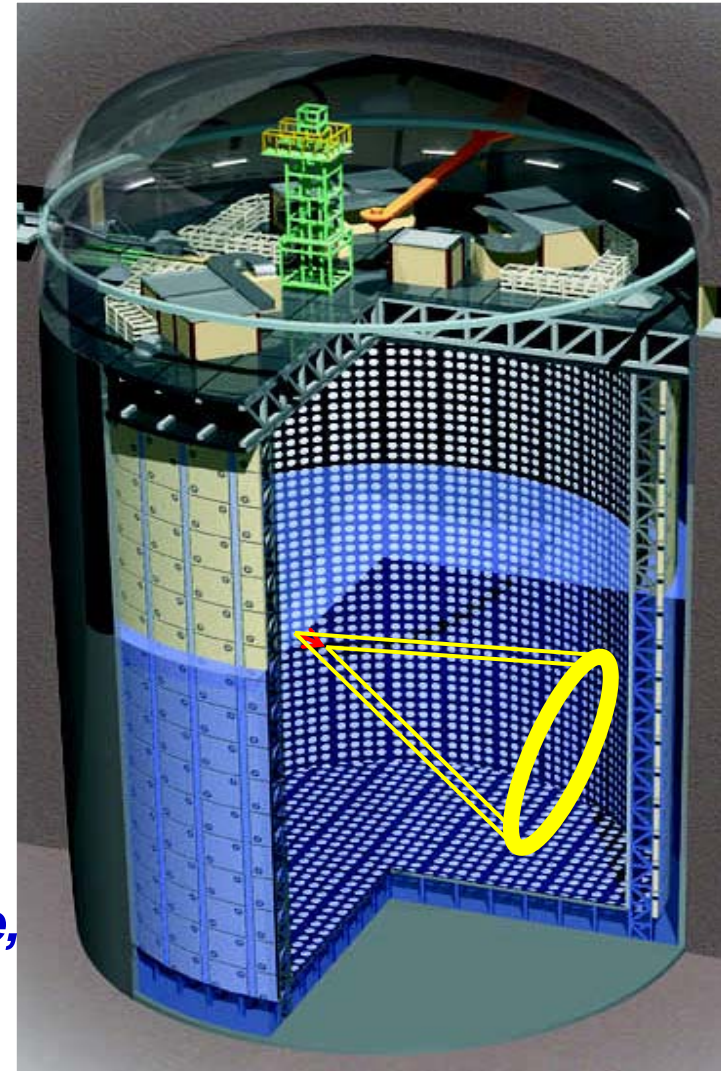
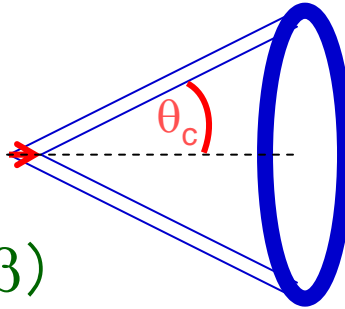
$$\frac{d^2 N_{\text{photon}}}{d\lambda dL} = \frac{2p\alpha Z^2}{\lambda^2} \left(1 - \frac{1}{n^2 \beta^2} \right)$$

Sensitive wave length of PMT: 300 ~ 600nm)

Cherenkov angle $\theta = 42 \text{ degree}$, Z (charge) = 1

実際検出される光数はもっと少ない

*PMT quantum efficiencies, PMT coverage,
light absorption in the water etc..*



Ring imaging water Cherenkov detector

事象再構成の手法 チェレンコフ光の量と到達時間を利用

チェレンコフ光量

\propto 粒子運動量

事象発生位置

~ 荷電粒子が走り出した点

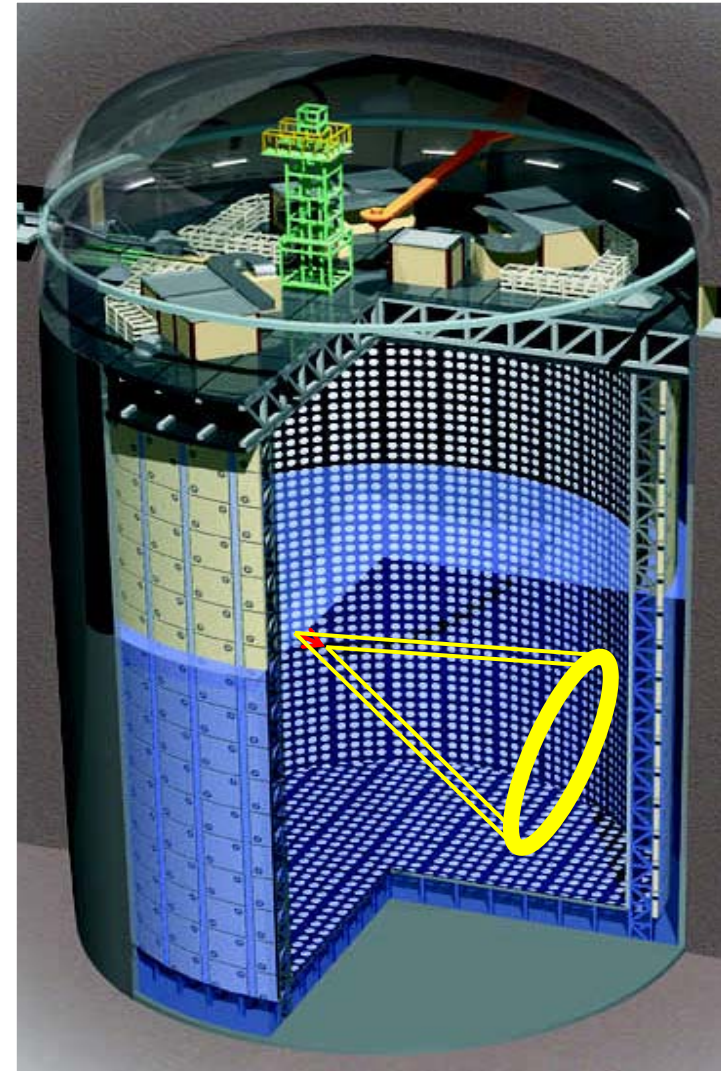
→ 光子のPMTへの到達時間
リングパターン(広がり)

荷電粒子数(+ γ)

→ チェレンコフリング数

荷電粒子種別

→ チェレンコフリング形状
 $\mu \cdot \pi \cdot p$ シャープなリング
 $e \cdot \gamma$ ぼやけたリング



Hyper Kamiokande detector

- Major detector components (related to DAQ)

- 光センサー
電荷 + 時間 (ADC + TDC)

- GPS

- Triggering scheme

- Self trigger

Majority trigger ~ # of simultaneous hits

- GPS-trigger

加速器からのタイミング信号を用いた
ニュートリノビーム到着時間によるトリガー
(ビーム通過 = データ取得後、
数十ミリ ~ 数秒程度以内に到着)

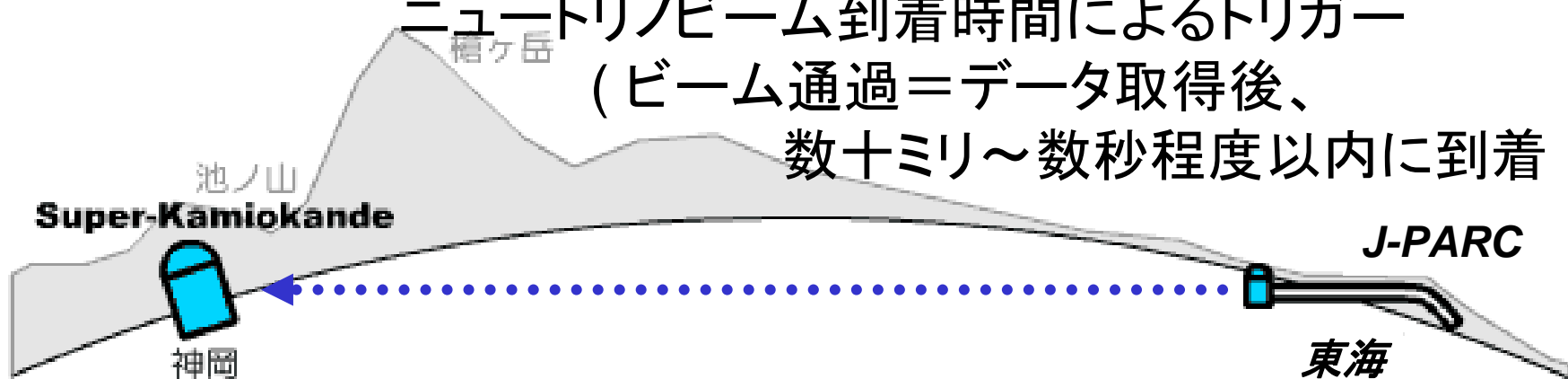
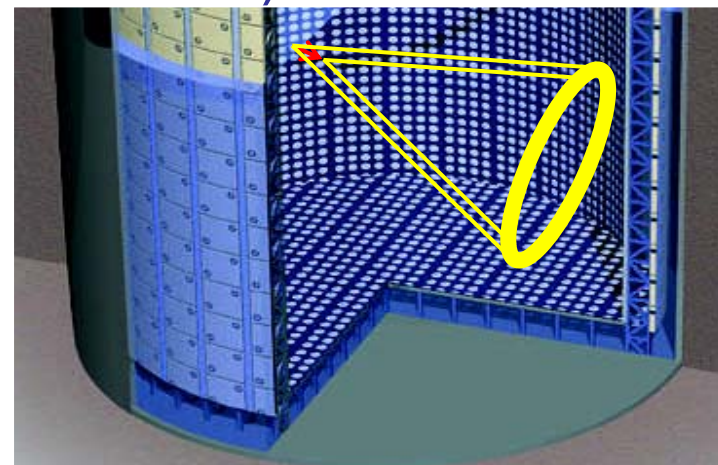


Photo sensors for the Hyper Kamiokande detector

• *Requirements*

広い受光面

1 photo electron

本数削減

数百 photo electron までの
広ダイナミックレンジ、
可能な限り高リニアリティ

a few ns 以下のジッター

長寿命

安定動作

トランジットタイムの変動が少ないこと
基本的に交換不能
24時間常時稼動

• *Candidates*

20 inch PMT or 20 inch HPD



SKで実績。



構造が単純

～ 1本あたりのコスト減の可能性

より高い quantum efficiency のものが望まれる

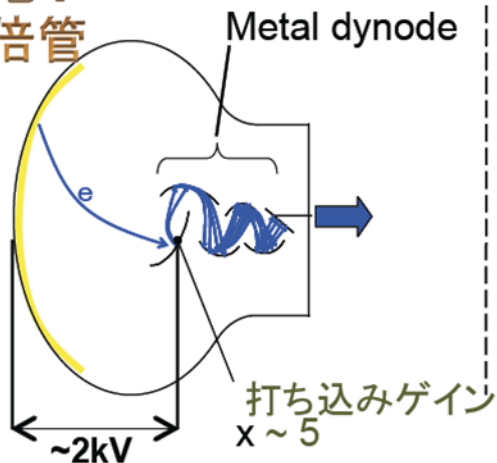
～ 本数を減らせる ～ コスト減

Comparisons of PMT and HPD

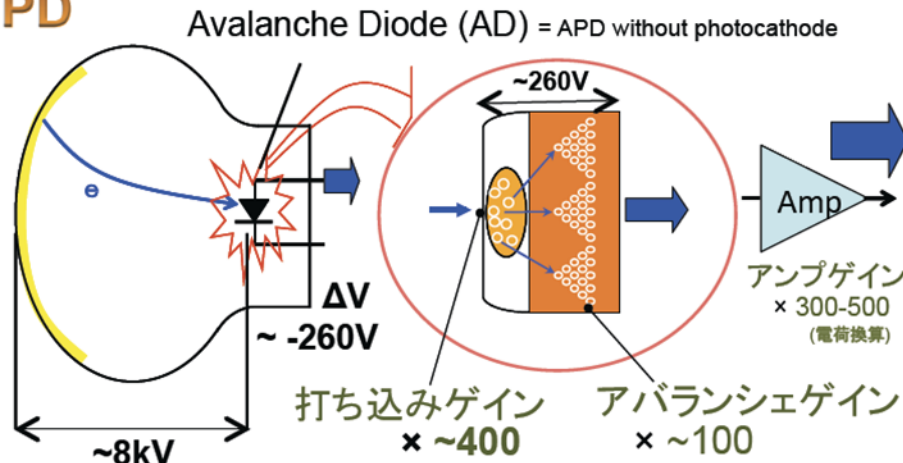
現在、高QE PMT、HPD それぞれの開発・試験を行っている

- HPD = Hybrid of 光電管 (光→e) and 電子検出器 (e→電流)
- 電子検出にavalanche diodeを用いたHAPD (Hybrid Avalanche Photo-Detector)をHyper-K光センサの一候補として開発・検証

光電子増倍管



HPD



	PMT (20")	HPD (8")
HV	$\sim 2kV$	$\sim 8kV$
Gain	$\sim 10^7$	$\sim 10^4 \sim 10^5$
C.E.	$\sim 70\%$	$\sim 97\%^*$

光電面・ガラスは両者同じ素材 (QEも同じ) *シミュレーション

Total gain $\sim 4 \times 10^4 \times$ アンプゲイン

HPDには8kVの高電圧が必要

〔電子をADの小さな領域に集める (5-20mm)
打ち込みゲインで全体のゲインを上げる〕

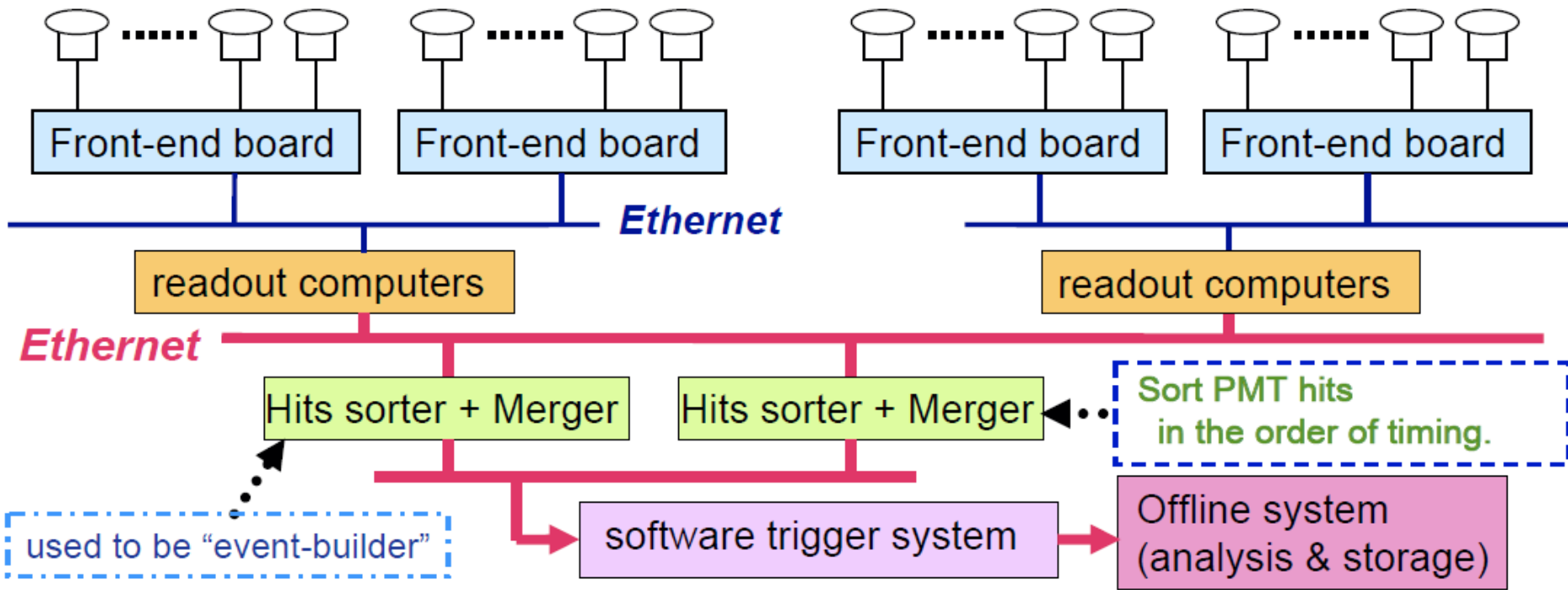
2012/12/26

大口径ハイブリッド型光検出器 (HPD) の開発・試験 (西村)

7

3~4年以内に数百本規模の検出器を建設、
評価試験を行う予定

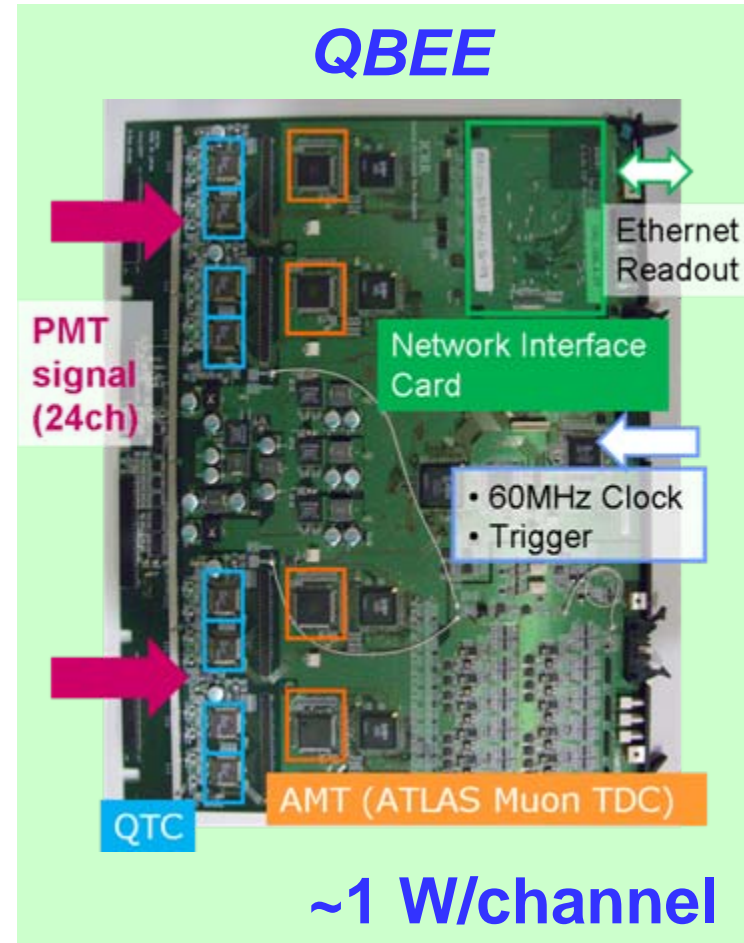
Current schematic diagram of the SK DAQ system



- 1) 光センサーからの $\sim 1/4$ p.e. 以上の信号を常時全てデジタイズ
(電荷 & 時間)
- 2) 全ての Q / T のデータを PC から読み出す
- 3) ソフトウェアでトリガーをかける
時間順に全てのヒットを並べなおして、timing cluster を探す
(並べなおした全ヒットデータを別のPCクラスタに流して、より
精密な virtex fitting を行うシステムも構築中)

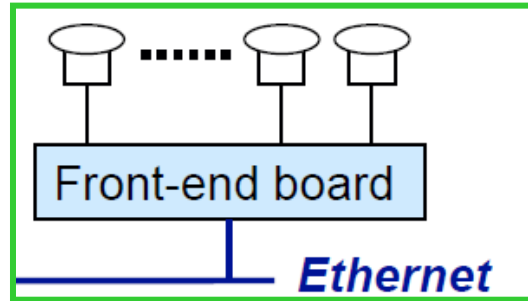
Requirements of the front end electronics

- **Built-in Discriminator**
 $\frac{1}{4}$ p.e. (~ 0.3 mV)
- **Processing Speed**
 ~ 1 usec/HIT
- **High Sensitivity for single p.e.**
- **Charge Response**
RMS Resolution:
 ~ 0.05 p.e. (< 25 p.e.)
- **Timing Response**
 0.3 ns (1 p.e. $\leftrightarrow -3$ mV) (RMS)
 0.2 ns (> 5 p.e.)
- **Wide Charge Dynamic Range**
 $0.1 \sim 1250$ p.e. ($0.2 \sim 2500$ pC)
- **TDC lowest bit**
 0.52 ns



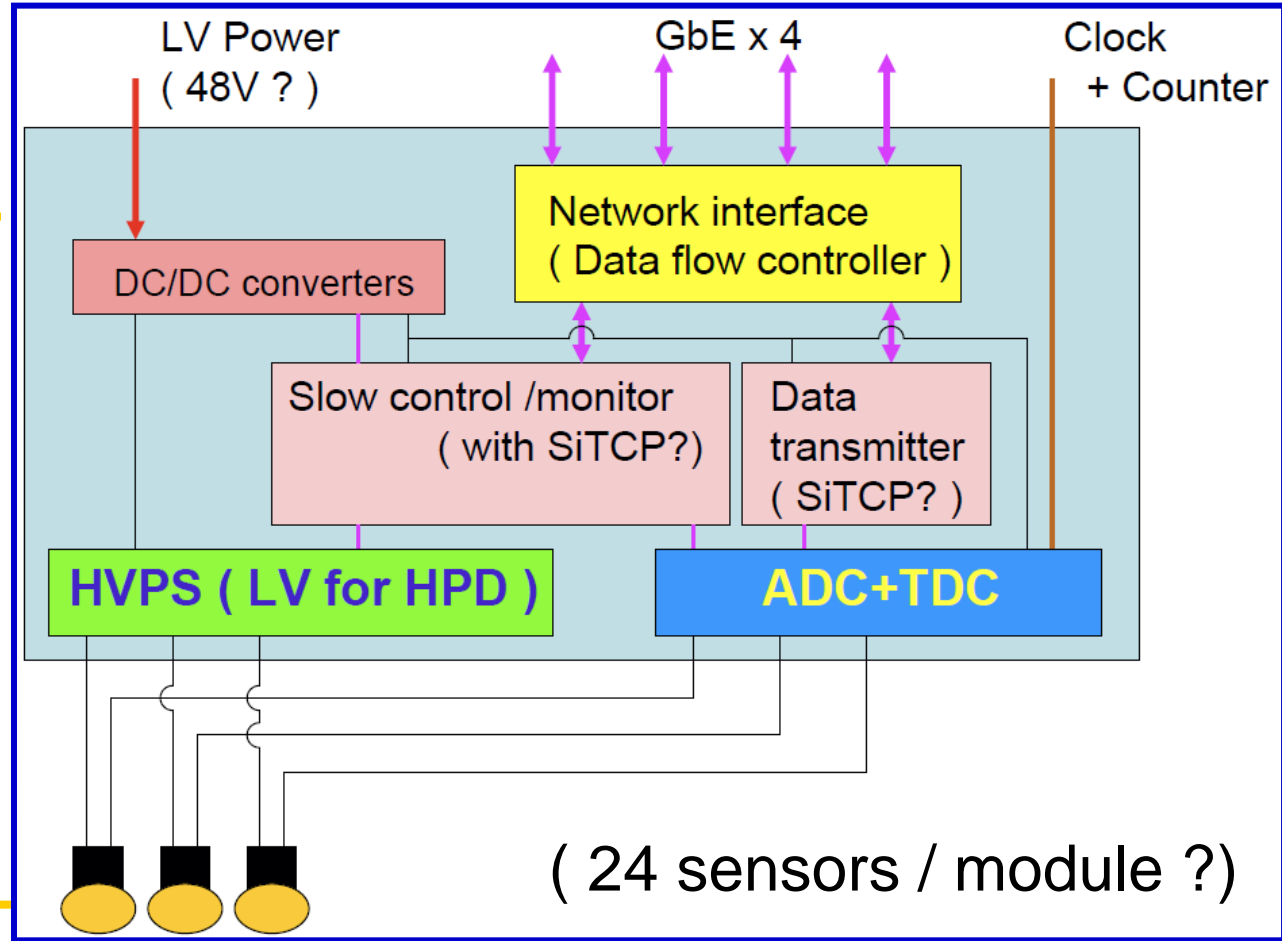
Possible front-end electronics module connections

フロントエンドモジュールの概念構成図



Key components

- Self triggering & dead-time free ADC + TDC
- HV (LV) for photo-sensors
- Intelligent network interfaces



➔ 光センサーからのケーブルを短くしたいので、
水中にこのモジュールを設置することを考えている。

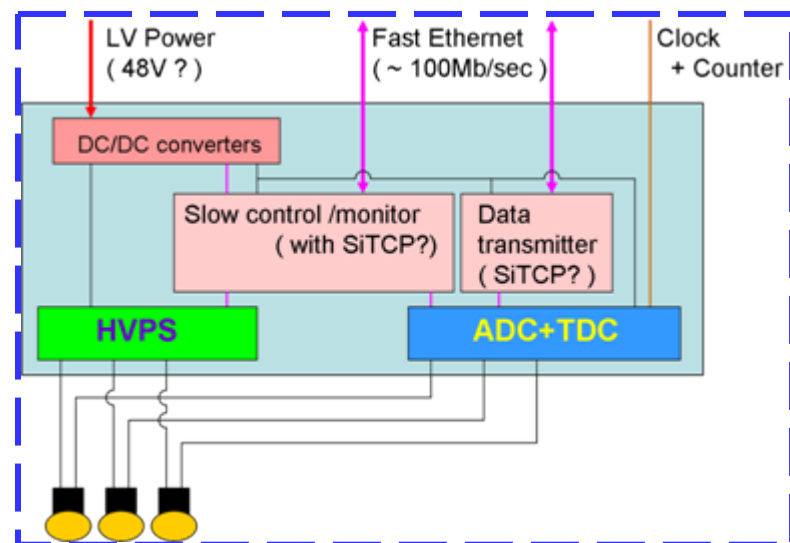
Front end electronics + High voltage system

水中用 Front end module の 開発事項

- ケーブルの導入方法
水中用コネクタ
- 耐圧防水ケース
防爆対策も必要か？
- 熱設計

ケースを通して水中に
放熱するしかない

- データおよびタイミング信号を光ファイバーで集約するか？
耐(水)圧のネットワークケーブルは高いらしい
 - こわれにくい HVモジュールの選定(開発?)
 - HV制御、電圧モニターの開発
 - HVPS と ADC部のノイズシールド
 - ADC/TDC の開発
- などなど



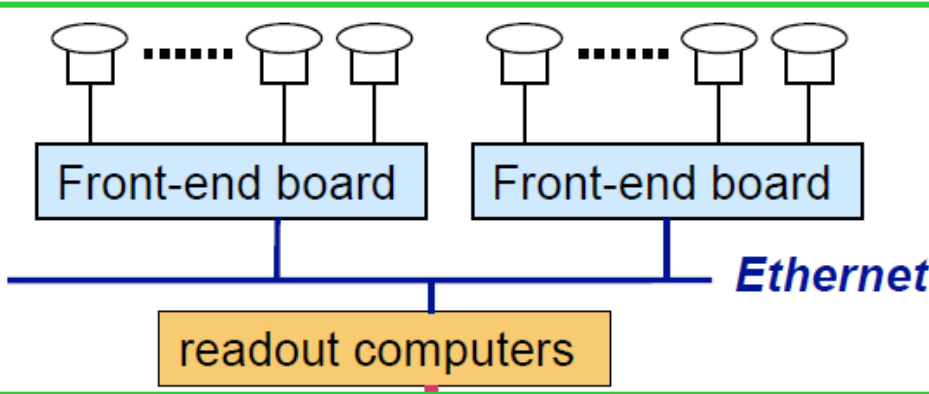
☆ Hybrid PMT で HV や ADC/TDC を PMT に内蔵する場合、
LV供給とデータ集約を行うモジュール

Possible front-end electronics module connections

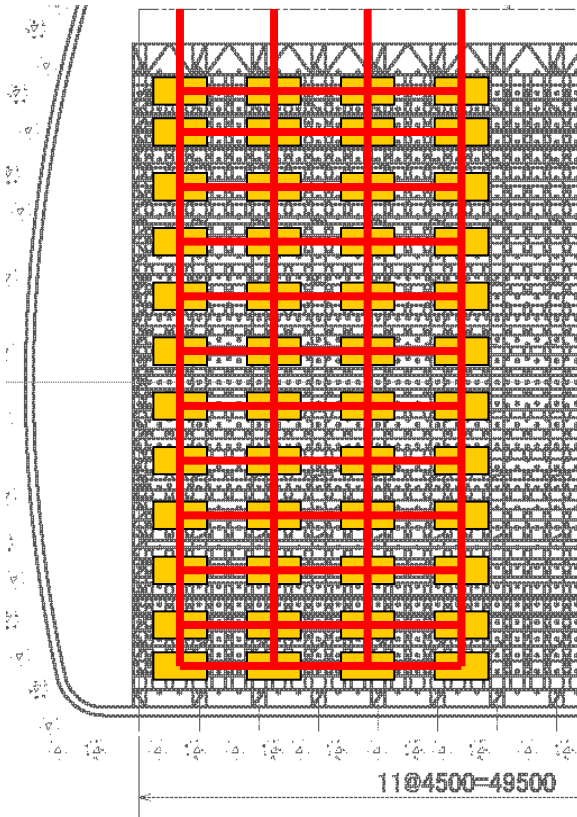
~ Design of the data flow

1) 1Gb Ethernet を想定

- 信頼性
- 電力消費量



HK detector Side view



2) 隣接するボードをそれぞれ接続

- タンク上に出るケーブルを減らす
- ケーブルの総量も減らす
- Single point failure をなくす

Usually, data collected by a module are transferred to the upper module (vertically)

If a module failed, transfer data to the other module instead of the failed module (horizontally).

タンク出口でのデータ量が
1本あたり1Gbpsを超えないように！

of channels per 1 front-end board

of channels per board

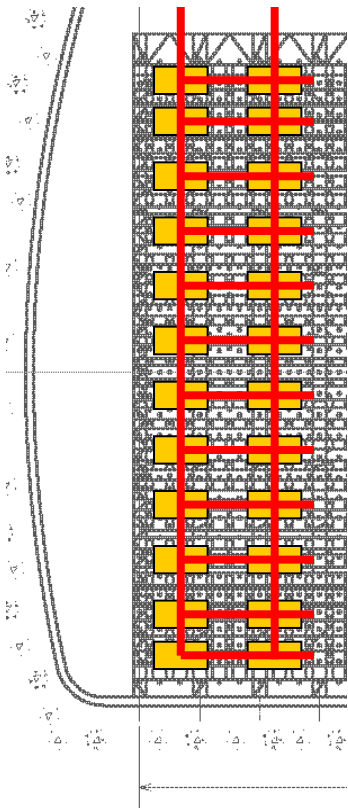
一般的に高密度の方がコスト的にはうれしい

制限

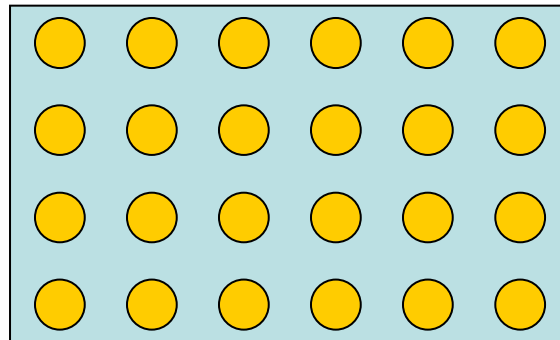
- モジュールあたりのデータ量が増える
- 故障時 “dead region” が広がる

光センサーとの接続を工夫し、
影響を小さくすることは可能

HK detector
Side view

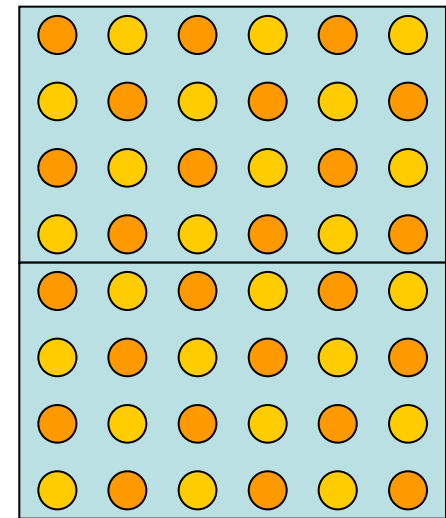


Simple configuration
(like SK)



All sensors in a block
are connected to
one front-end board

Possible alternative

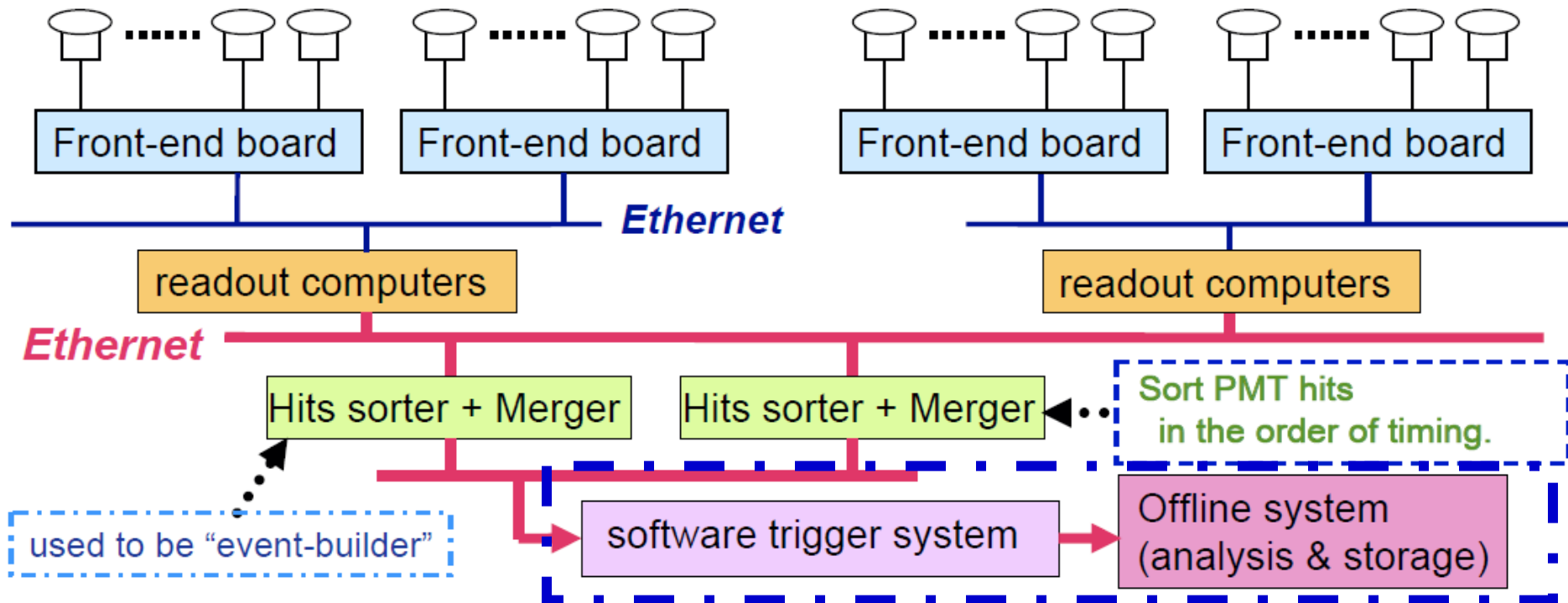


Connect neighboring sensors
to different front-end boards



Data rate after the software trigger

~ real-time data processing ~



Assumption 10 compartments ($N = 10$)

10 kHz dark, 10 k sensors / compartment

μ rate = **25 Hz** (muon rate * area ~ 12 times larger)

~ 8 MB/sec/compartment

~ **45 % from SLE & 35% from μ**

Summary

Hyper-Kamiokande project

- 1メガトンのタンクに約10万本の大型光検出器を設置、
ニュートリノの性質
大統一理論の検証
星や宇宙のなりたち

の解明に貢献する

- 新たな大型光検出器(HPD)の開発中
- 10万チャンネルを超えるチャンネルのデータ収集システム
～ エレクトロニクスの基本性能はSKと同程度でOK
ソフトウェアトリガーシステムの安定稼動
現エレクトロニクスの故障率は非常に低い
過去4年で数チャンネル(ボード)
→ DAQ的に基本技術は確立
- 今後
用いる光センサーに最適なアナログ部の開発
モジュール水中設置に必要な技術開発

Fin.

Triggering Scheme

Simple “majority” trigger is assumed.

Count # of hit photo-sensors

within a few ~ several hundreds of ns

If # of hits exceeds the threshold,

hit data are recorded as an event.

Collect all the hits in a detector (compartment)

and search for the timing cluster (peak)

1) sort hits in order of time

2) search for events

by software or hardware

