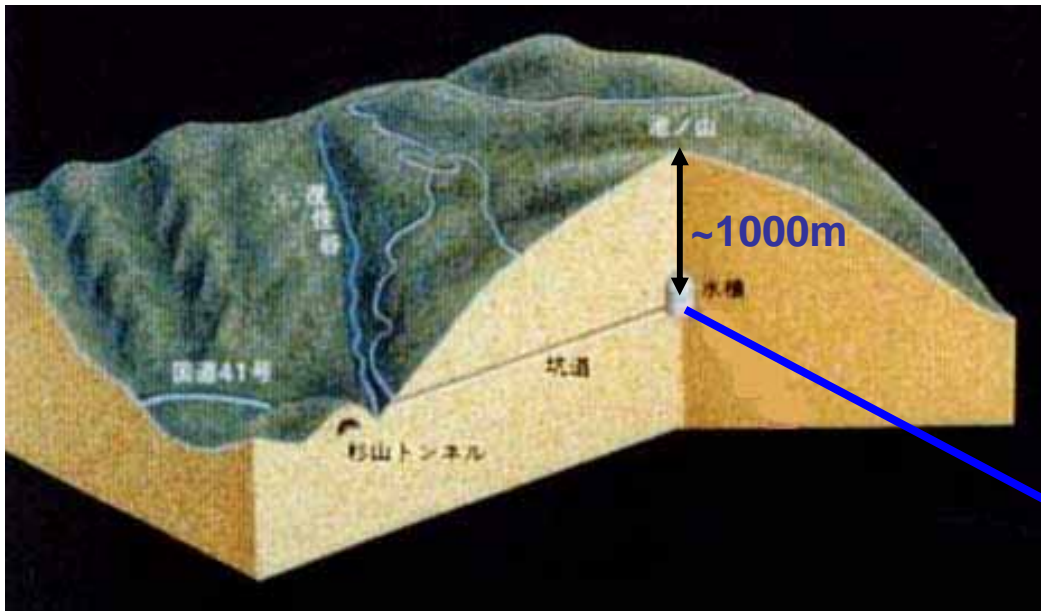


# Super-Kamiokande readout and software trigger (DAQ/online system for SK-I,II & III)

Yoshinari Hayato (ICRR)

1. Super-Kamiokande (SK) 検出器
2. Ring imaging water Cherenkov detector
3. SKにおける物理
4. SKの現行システム
5. SKの次期システムの必要性とデザイン案
6. まとめ

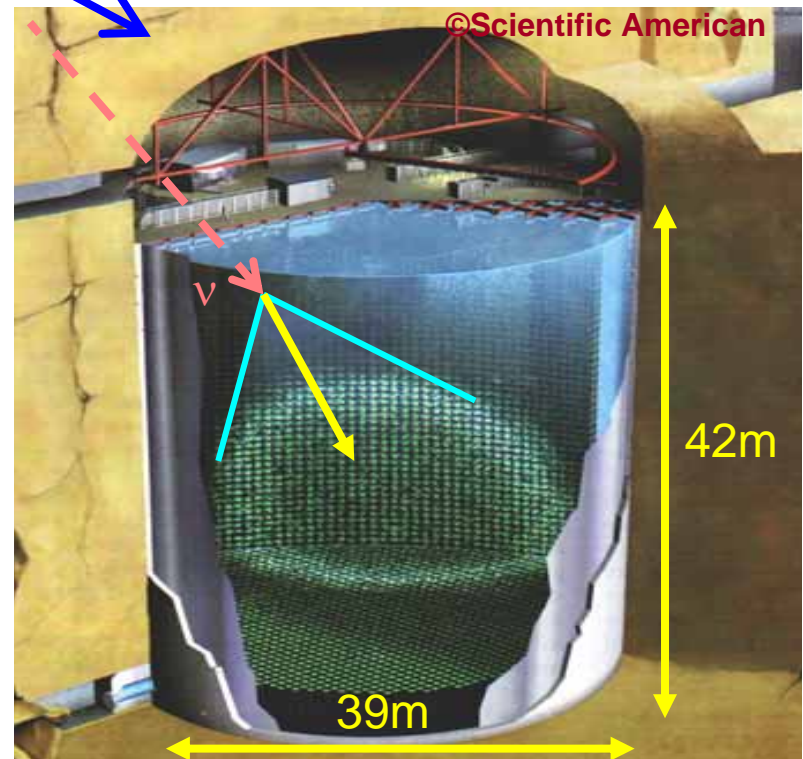
# Super-Kamiokande 検出器



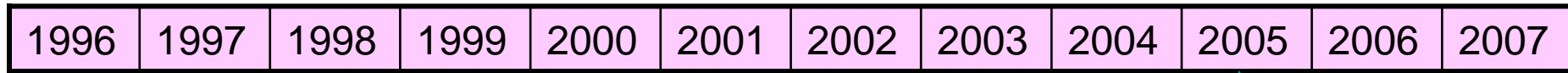
地下約1000m(2700mwe)に  
設置されている  
宇宙線(主に $\mu$ 粒子)遮蔽のため

## Ring imaging Water Cherenkov detector

- 1,000 m underground
- 50,000 ton pure water  
(22,500 ton fid. volume)
- 20inch inner detector PMTs  
~11,200 (SK-I & III)  
~ 5,200 (SK-II)
- 8 inch anti-counter PMTs  
~ 1,900



# Super-Kamiokande 検出器



**SK-I**

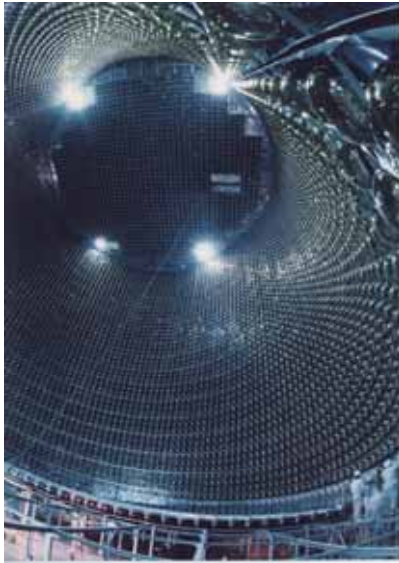
accident

**SK-II**

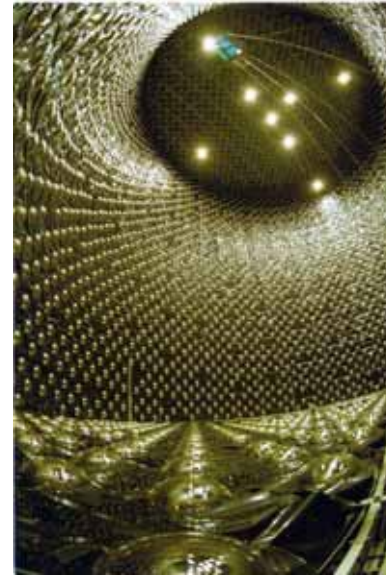
today

**SK-III**

SK full reconstruction (plan)



50kton total,  
22kton fiducial volume  
1000m underground  
Water Cherenkov detector



11,146	Number of ID(*) PMTs	5,182	11,146
40%	Photocathode coverage	19%	40%
~6 p.e./MeV	Cherenkov light yield	~2.8 p.e./MeV	
		with Acrylic+FRP cases	
4.1MeV (Sep.2000~)	Trigger threshold (90 %eff.)	5.5 MeV	

(\*) Inner Detector

# Ring imaging water Cherenkov detector とは

ニュートリノと標的(電子 もしくは 原子核)の散乱や、核子の崩壊によって生成した荷電粒子や が放出するチェレンコフ光を、光電子増倍管(PMT)を用いて観測。

(荷電)粒子数

チェレンコフリング数

反応位置の同定

チェレンコフ光の到達時間

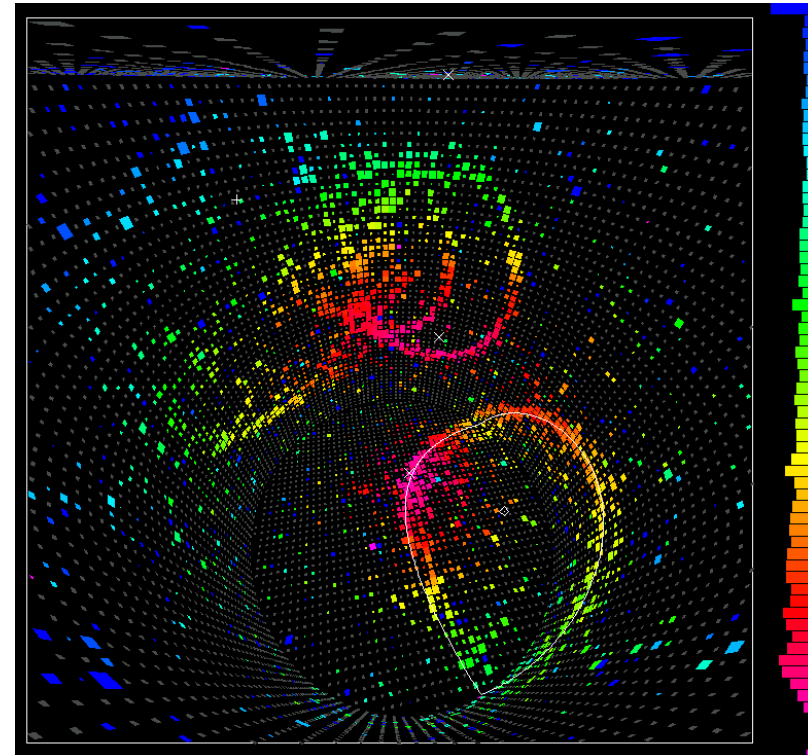
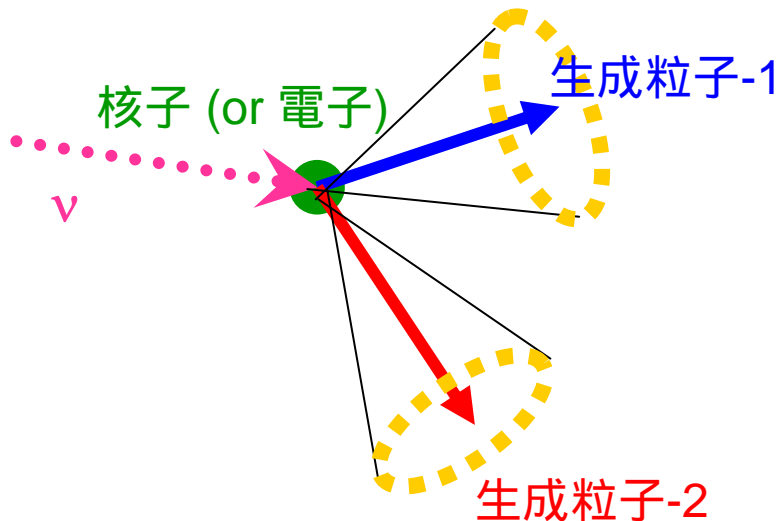
粒子のエネルギー

チェレンコフ光の量

粒子種別

チェレンコフ光の分布

記録すべき情報: 電荷量 & 光子到達時間



# Super-Kamiokandeにおける物理

## 観測したい反応、粒子と事象数

太陽ニュートリノ	数MeV ~ 約20MeV	$\nu + e$ $\nu + e$	~ 15事象 / 日
超新星ニュートリノ	数MeV ~ 数十MeV	$\nu + e$ $\nu + e$ $\nu + N$ $e^\pm + N'$	超新星爆発時(@10kpc) ~4000事象 / 1秒 数万事象 / total
大気ニュートリノ	約100MeV ~ 数TeV	$\nu + N$ $l^\pm + N' (+ \text{hadrons})$	~ 10事象 / 日
加速器ニュートリノ	約100MeV ~ 数GeV	$\nu + N$ $l^\pm + N' (+ \text{hadrons})$	K2K ~ 1事象 / 数日 T2K 10 ~ 20事象 / 日
核子崩壊探索		$p \rightarrow e^+ + \pi^0$ └─→ $\gamma + \gamma$ $p \rightarrow \bar{\nu} + K^+$ or └─→ $\pi^0 + \pi^+$ └─→ $\nu + \mu^+$	

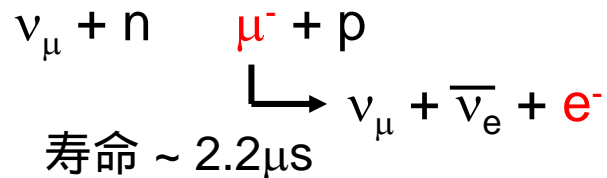
# Super-Kamiokandeにおける物理

## 観測したい反応、粒子と事象数 (その2)

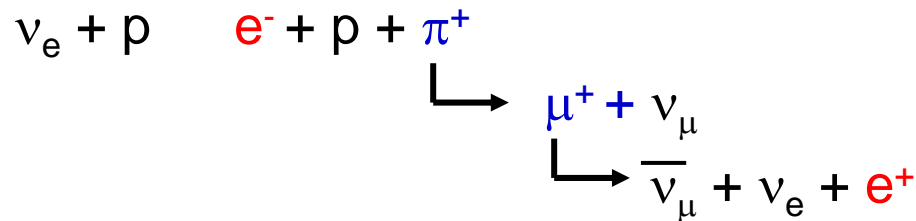
Decay electron ( $\mu$ 粒子崩壊によって生成する(陽)電子)

1) 親粒子(ここでは $\mu$ )の粒子識別の助け

ニュートリノフレーバーの同定



2) チェレンコフ閾値以下の粒子の存在確認



チェレンコフ光を出さなかった粒子(ここでは $\pi^{+}$ )の存在を  
decay electron を用いて探ることが可能

反応種別の同定に利用

→ 短時間(1 $\mu\text{s}$ 弱~数 $\mu\text{s}$ )に連続して発生する事象を  
とりこぼさずに取得することが必須



# Super-Kamiokande 検出器用DAQシステムへの要請

事象発生のタイミングは不定期

セルフトリガー

トリガーは、基本的に全部のPMT信号がないと生成できない

一定時間内(200ns)のヒット数を用いる

エネルギーレスショルド ( $\epsilon=50\%$ )  $\sim 3.5\text{MeV}$

for 太陽ニュートリノ観測

約20本のPMTが同時にHIT (SK-I)

トリガーレート  $\sim 1.7\text{kHz}$  @ SK - I (2000/Sept~2001)

$\sim 4\text{kHz}$  @ SK-III (予定:2006初夏~)

観測したい事象は、すべてあわせても数十事象 / 日

壁面の岩盤中ならびに水中に残っている放射性元素の崩壊で発生する  
線による事象が大半を占める。

ほかに高エネルギーの背景事象として、宇宙線 $\mu$ 粒子による事象が10Hz弱。

→ 低エネルギー事象については、反応位置を再構成し、壁際的事象を除去  
タンク内での反応のみを蓄積する (Intelligent Trigger)

# Super-Kamiokande 検出器用DAQシステムへの要請

## 事象の時間順序に意味がある

Decay electron 探索

$\mu$ 粒子通過時に破砕された原子核が崩壊することで発生した事象の除去  
直前・直後の事象が解析で必要となる

デッドタイムをなくすことが重要

## front-end electronics への要請

low threshold, wide dynamic range (1 ~ 1000 p.e.位まで)

self gated

dead-time free

$\mu \rightarrow e \nu_e \nu_\mu$  を検出することが可能であること

Super nova burst があっても耐えられること

(~10kHz程度までの low energy event のburstにも耐える)





# Super-Kamiokande 検出器用DAQシステム (I)

Front-end readout module for the current SK experiment

ATM (Analog Timing Module)

各PMTからの電荷・時間情報を記録

TKO module

12channels/board

各チャンネルにディスクリミネータがある

各チャンネルにシグナルバッファが2つある

各PMTからの連続した信号をほぼデッドタイムなしに記録することができる

(to record decay electron)

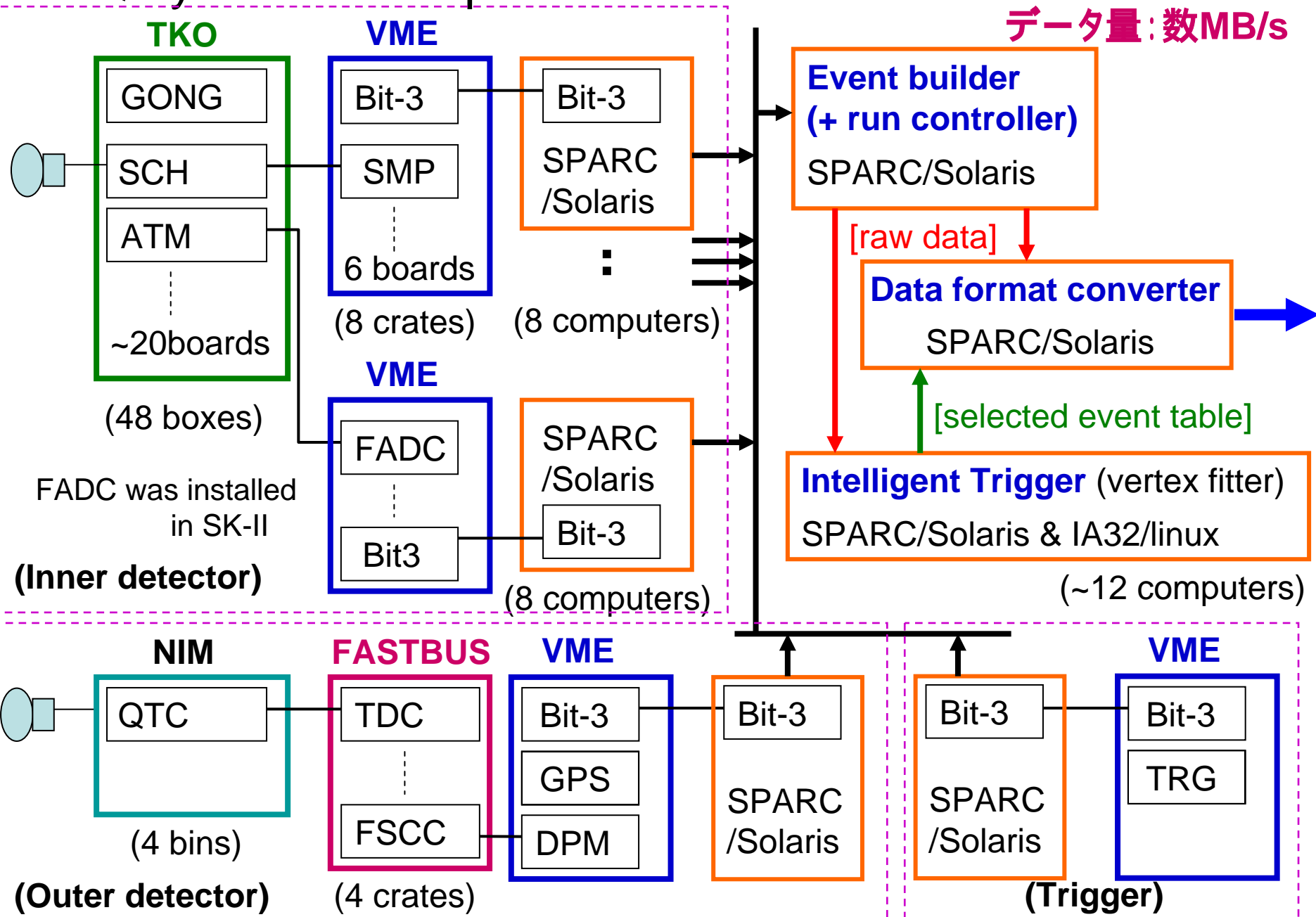
Discriminator output (hit-sum)

Analog signal sum output (PMT-sum)

8bit event counter input



# DAQ system for Super-Kamiokande

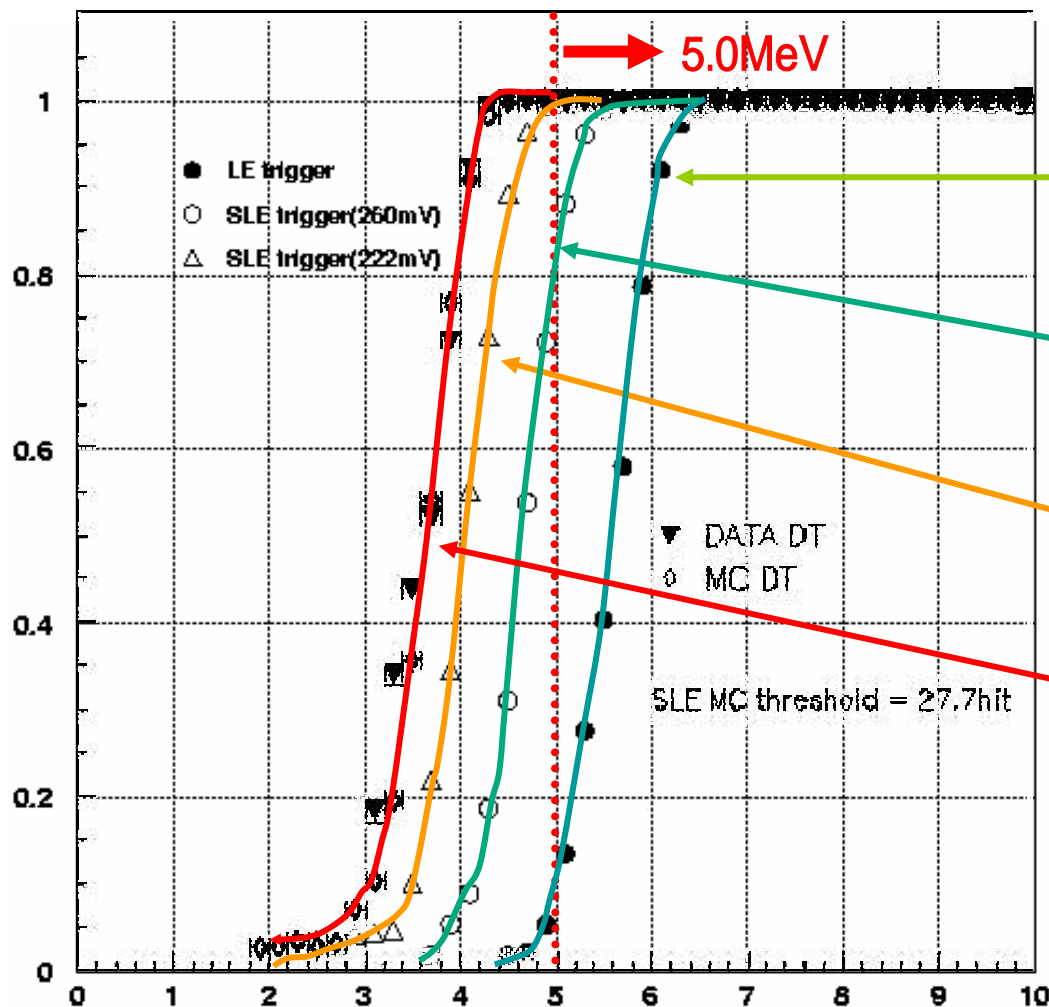


# トリガーレートの変遷

## CPUとネットワーク(+ソフトウェア)のアップグレード

40MHz micro/Ultra SPARC -> 600MHz ~1GHz SPARC

FDDI + Ethernet -> Gigabit Ethernet



LE trigger 1996 Apr ~  
(5.7MeV@50%)

SLE trigger I 1997 May~  
(4.7MeV@50% 100Hz)

SLE trigger II 1999 Sep ~  
(4.2MeV@50% 500Hz)

SLE trigger III 2000 Sep ~  
(3.6MeV@50% 1.7kHz)

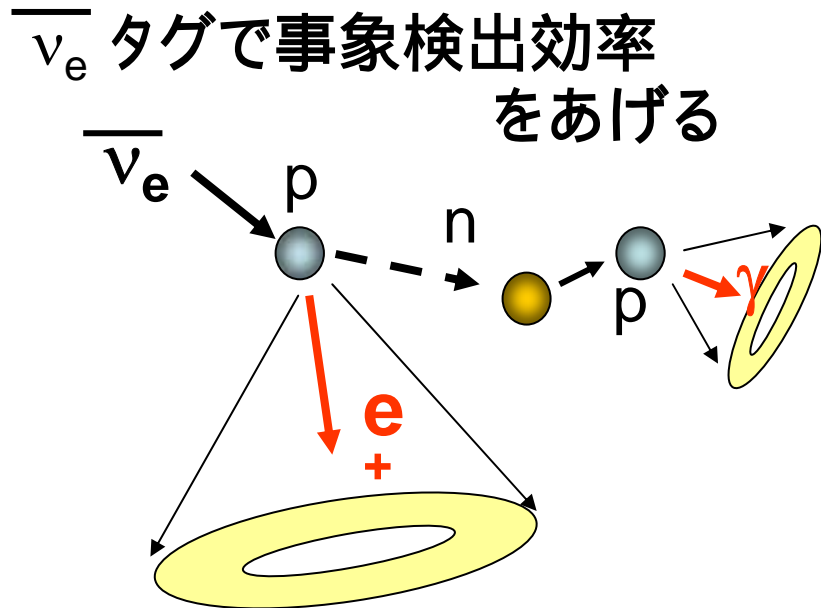
↓  
**~4KHz @ SK-III**

# What we want to do with SK-III detector

- 1) 太陽ニュートリノ観測 より低エネルギーの事象を収集したい  
トリガーレート ~ 100kHz(?)  
ゲート幅も長くしたい(現状  $1\mu\text{s}$       最大  $10\mu\text{s}$ 程度)

## 2) 超新星背景ニュートリノ事象観測

15MeV~数十MeV



可能性

n+p    d +  $\gamma$   
2.2MeV  $\gamma$ -ray  
 **$\Delta T = \sim 200\mu\text{sec}$**   
ヒットするPMTの数は**6本**程度  
(@SK-III)  
candidate eventの後**200 $\mu\text{s}$** の間、  
トリガースレッシュホールドを下げる

## New DAQ system for SK-III

新たな物理的要請にこたえるため、  
今後のT2K実験などに備えるため、  
新Front-end boardの開発を行っている。

(QTCから開発している)

(talk by Nishino-san @ ICRR)

新たなonline systemの構築も必要となり、  
このための検討・準備をはじめている。

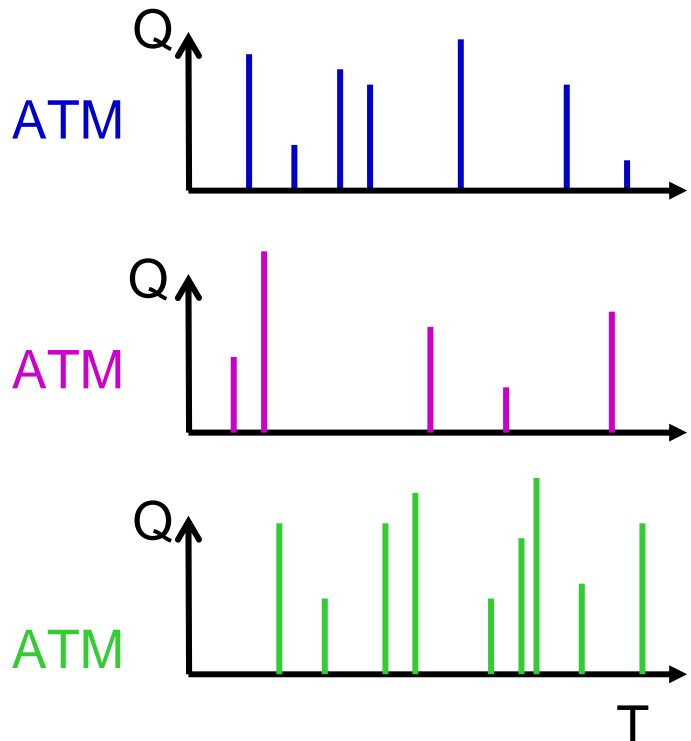
# New online scheme for the new electronics modules

トリガースレッシュホールドを大幅に下げる (~100KHz??)

事象種別によってはゲート幅を広げる必要がある

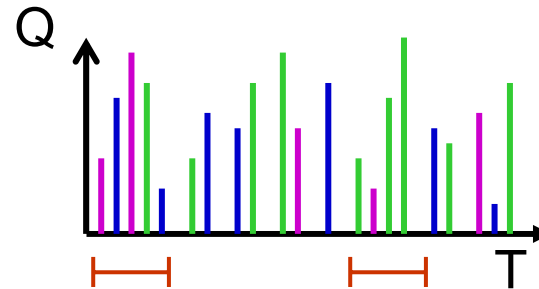
現行  $1\mu\text{s}$       decay electron tag では十数  $\mu\text{s}$  程度  
SNR探索では最大  $200\mu\text{s}$

最初から全部のPMT hit を記録してしまうことは不可能？



computer

1) sort hits in order of time



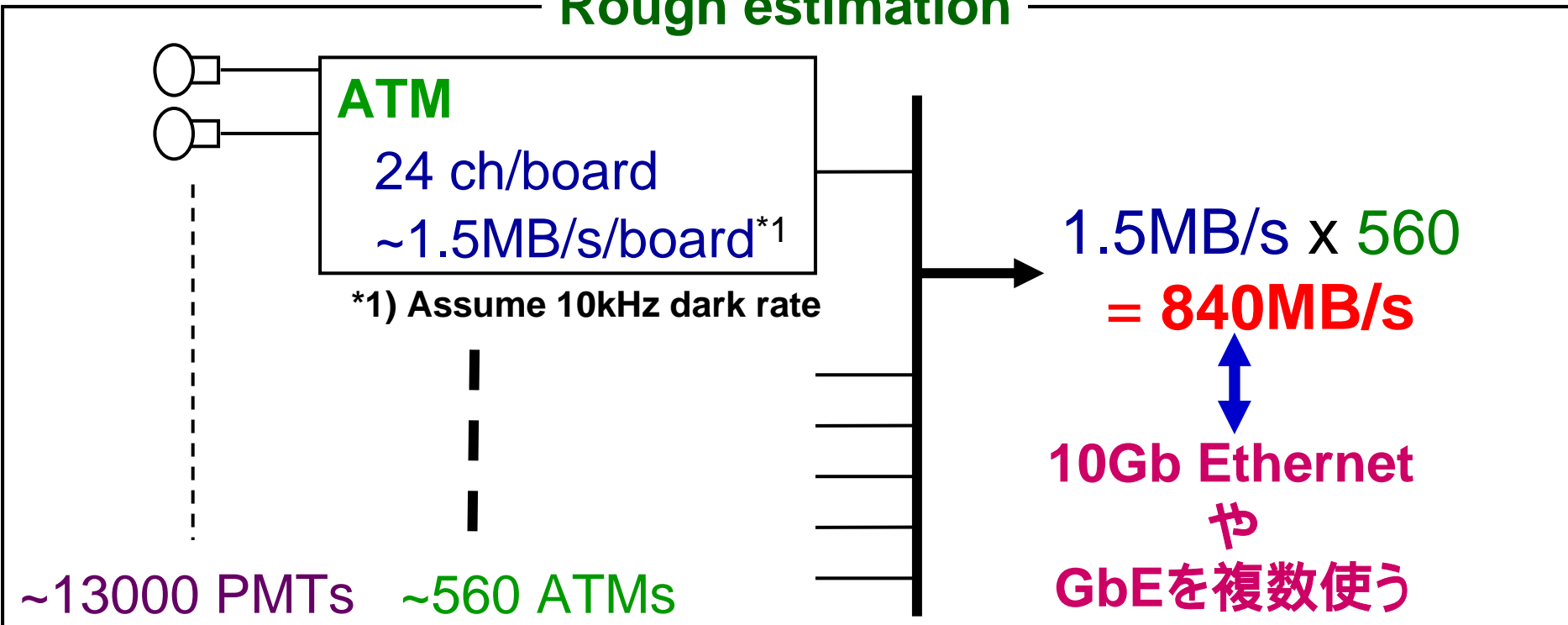
2) search for events  
by software or hardware



# New online scheme for the new electronics modules

全てのhitを記録すると、どういうことになりそうか

## Rough estimation



It seems to be **not “unrealistic”** with recent products in market.

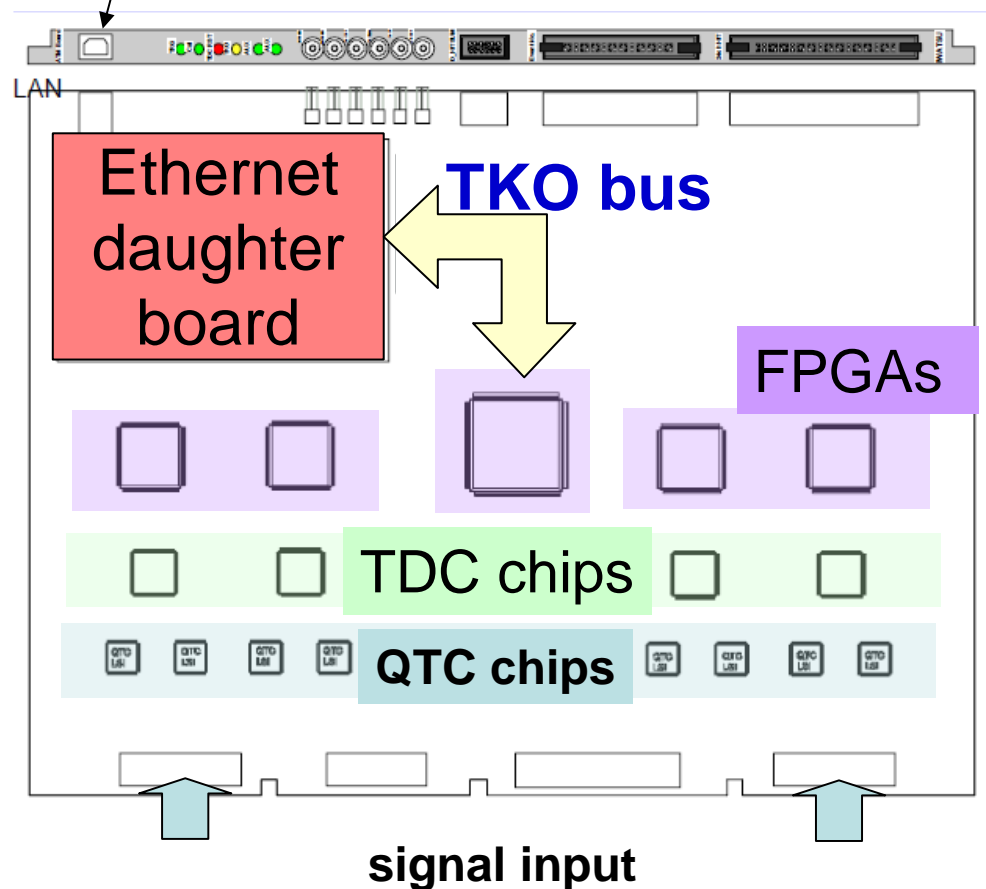
# Layout of the new readout module

1boardからの出力は ~1.5MB/sec

TKO規格、24ch/board

**Fast Ethernetで良い**

RJ-45 on front panel



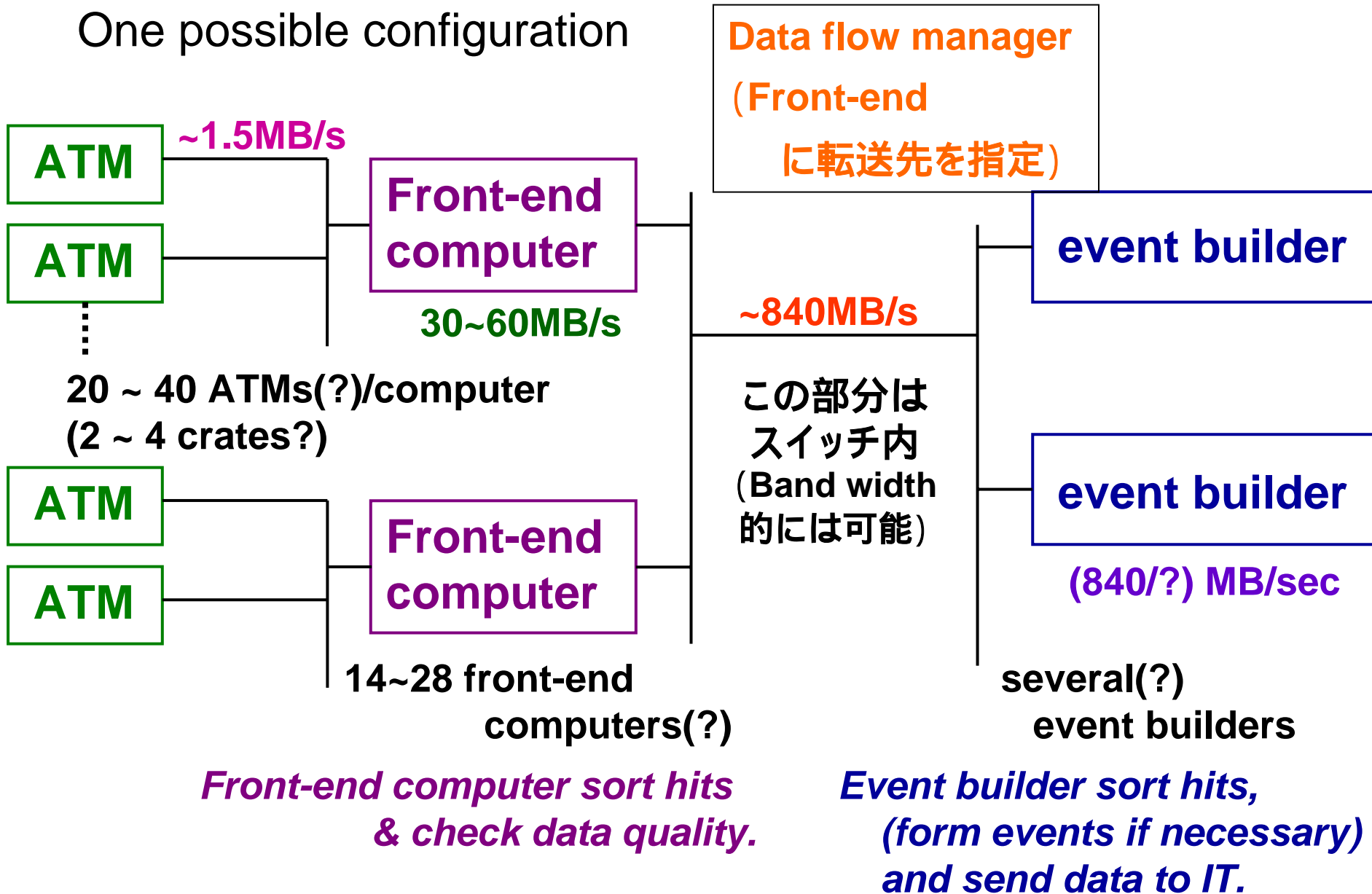
Daughter boardの仕様

- マザーボードとのI/Fは TKOバス/プロトコル
- 独立の Control用connection  
Data用connection をもち、コマンドを受付  
データを送受信する
- firmware updateは Ethernet経由で行う

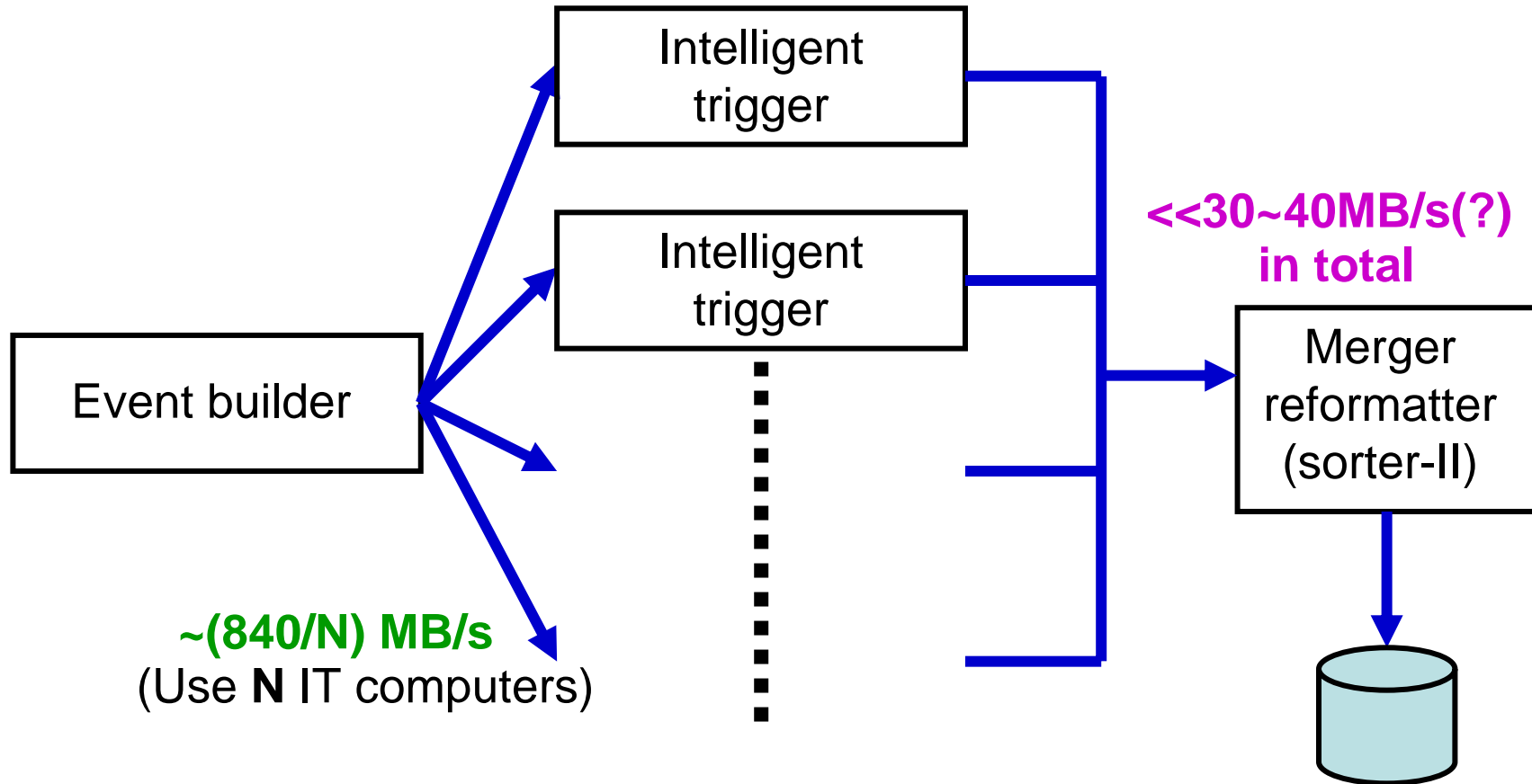
**SiTCPの利用可能性も検討**

# New online system for the new electronics modules

One possible configuration



# New online system for the new electronics modules



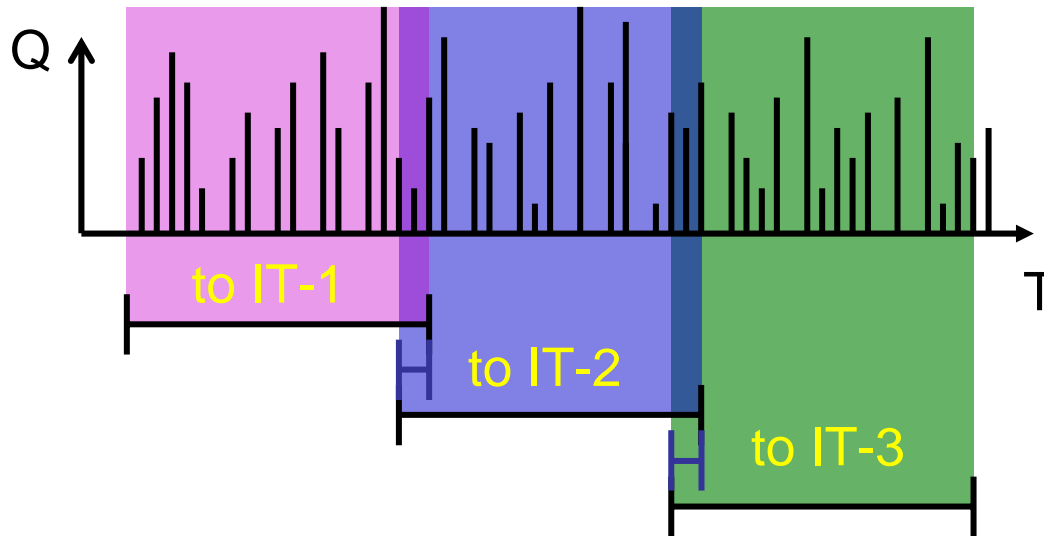
- Event builderがすべてのPMTからのデータを集め、時間順に並べる
- (実は) IT-CPUが実際にイベントとして使うべきヒットを集め、イベントを構成する
- データは、Merger/reformatterが最終的にすべて集め、  
時間順に再度並べなおし、オフライン/ストレージへ転送する

# New online system for the new electronics modules

複数あるEvent builder(EVB)やIntelligent trigger(IT)は、  
細切れにデータを受け取るが、

実際の事象の切れ目がどこにあるかは不明。

各EVBやITが受信するデータは、互いにオーバーラップが必要



重複してデータを送るため、最終的に複数のイベントがITから出力されることもある  
最後に、もう一度、重複をとりのぞく術が必要

→ などというシステムを検討・構築する準備を始めている。

# Summaryにかえて

SK-I&IIでは、1996年稼動してから、大きな変更はなく稼動・安定してデータを取得してきた。

SK完全再建完了後、2009年のJ-PARC/T2K稼動前に、新エレクトロニクスへの入れ替えを行う予定となっている。

物理からのより高い要求を満たすため、非常に大量のデータを取得することになる

→ ボードからネットワークに直接データが流れる形態のDAQシステムへの移行を行おうとしている。





# Super-Kamiokandeにおける物理

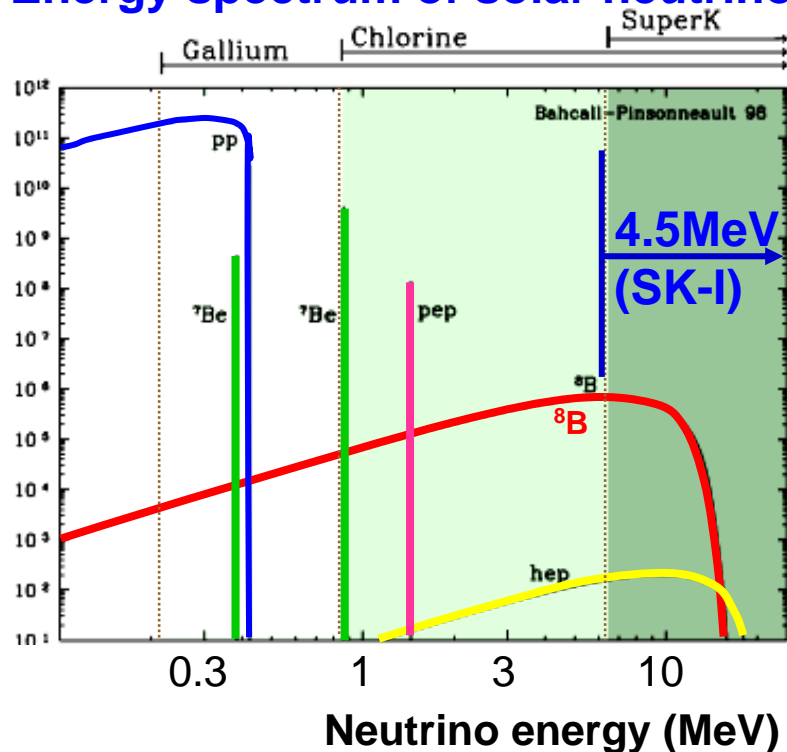
## 1.) 核子崩壊探索

## 2.) さまざまな起源のニュートリノ観測 (数MeVから数十TeVまで)

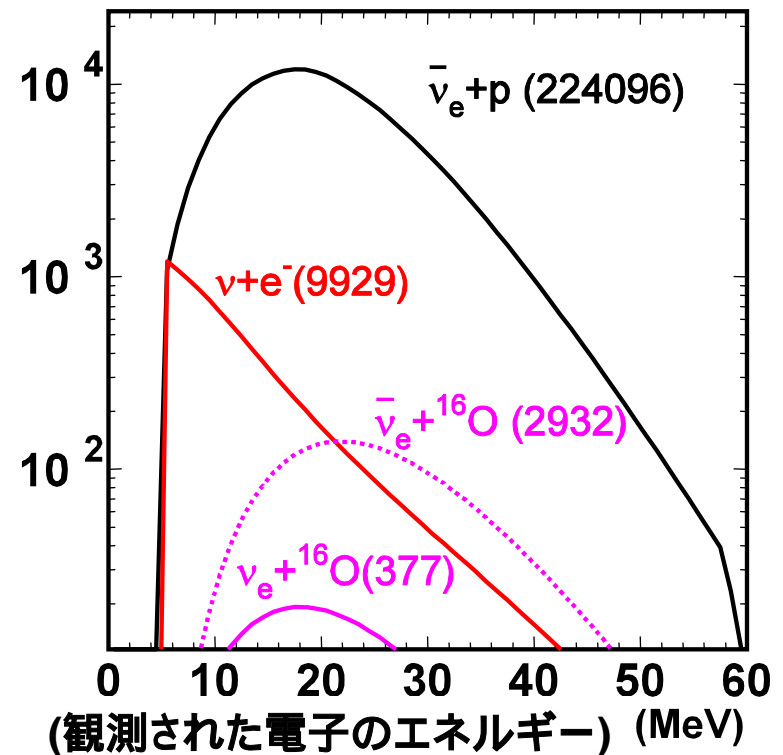
ニュートリノ振動現象 {  
 ニュートリノ質量の測定  
 ニュートリノ混合角の測定

## 太陽ニュートリノ (数MeVから十数MeV)

### Energy spectrum of solar neutrino



## 超新星爆発からのニュートリノ (数MeVから数十MeV)



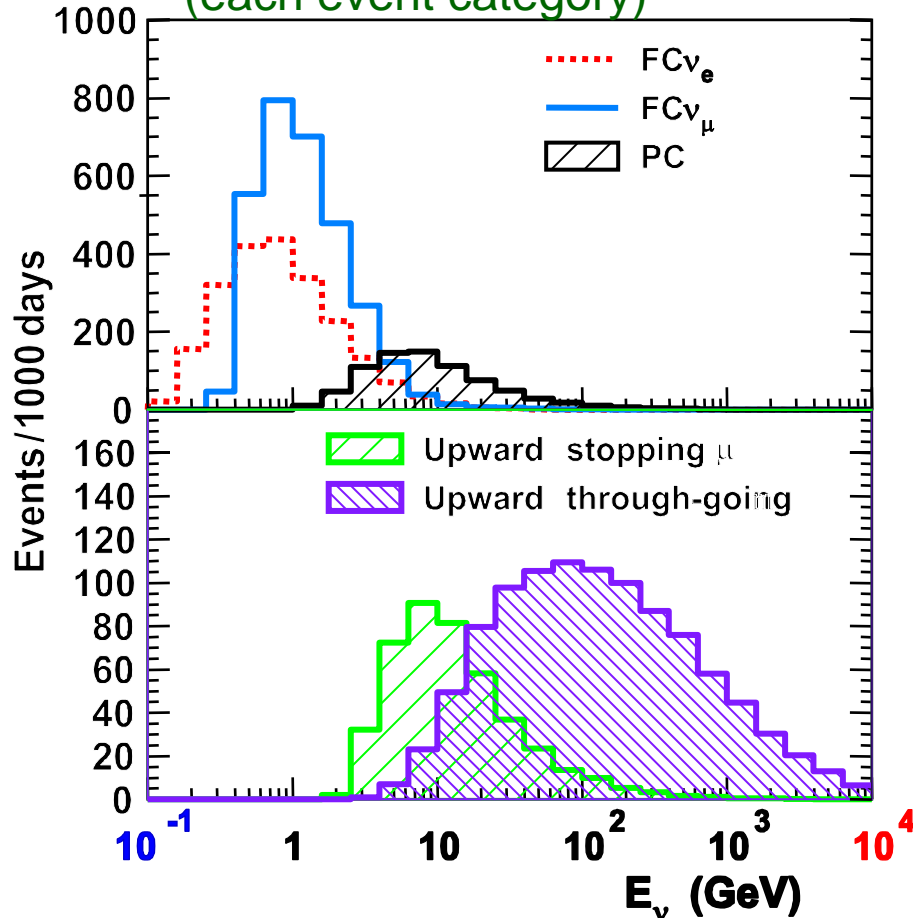
# Super-Kamiokandeにおける物理

さまざまな起源のニュートリノ観測

大気ニュートリノ  
約100MeVから数十TeV

加速器を用いて生成されたニュートリノ  
約百MeVから数GeV

Atmospheric  $\nu$  energy spectrum  
(each event category)



$\nu$  energy spectrum  
from the accelerators

