



# 中性子検出器読み出し回路への SiTCPの応用

---

高エネルギー加速器研究機構  
物質構造研究所－中性子科学研究施設  
佐藤節夫

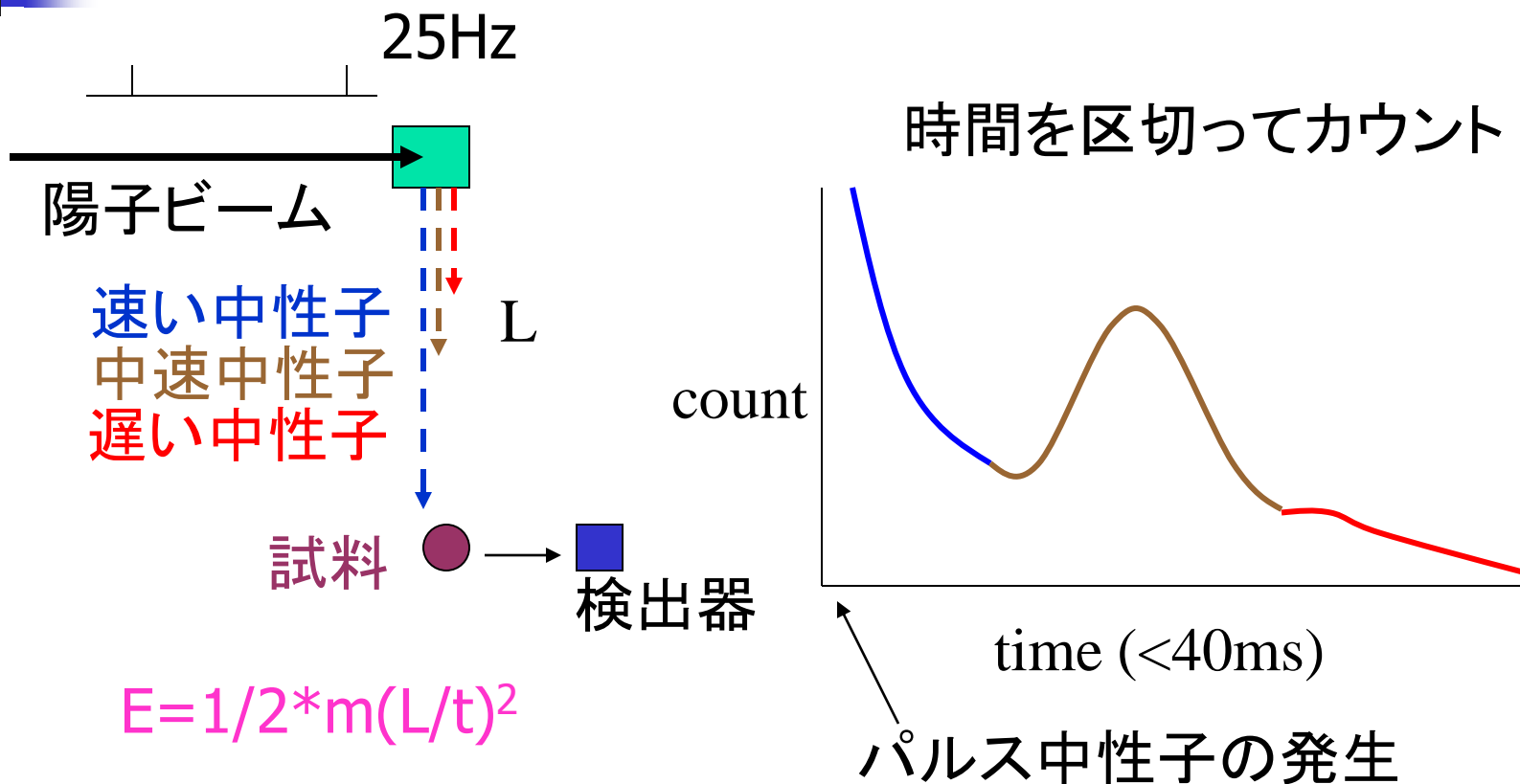


# 発表の内容

---

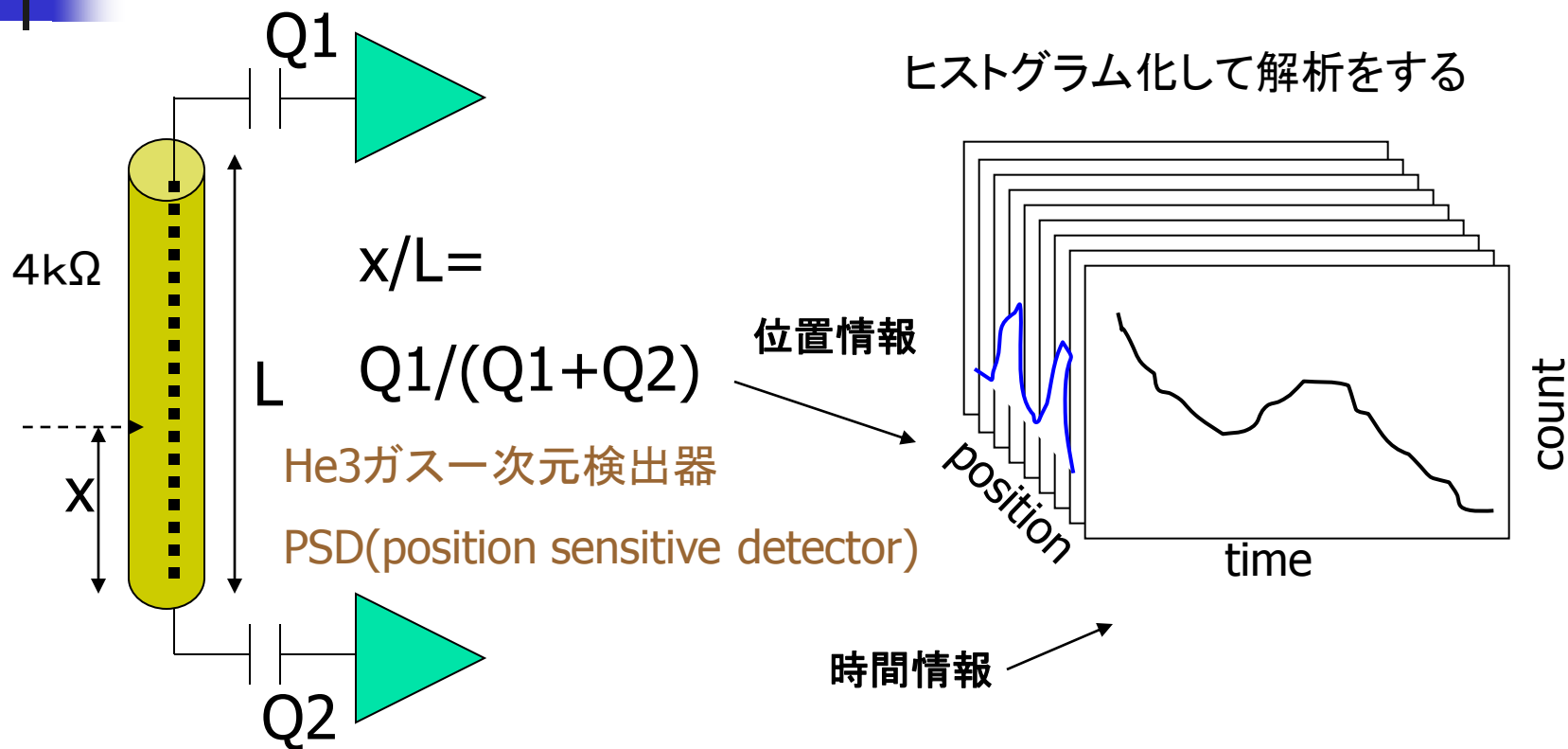
- 中性子実験について: パルス中性子と、時間分析、J-PARC実験施設
- SiTCP を使用したNEUNET中性子計測システムについて: NEUNETとGATENET
- NEUNETシステムの応用: 位置2次元検出器で使用、およびMPPCで中性子検出器の開発
- 高計数率位置2次元検出器の考察: Gbit-SiTCPの導入を検討中
- まとめ

# パルス中性子の飛行時間測定法



時間分析器を開発すればよい！

# 中性子検出器のデータ



中性子データ = 時間情報 + 検出器番号 + Q1 + Q2

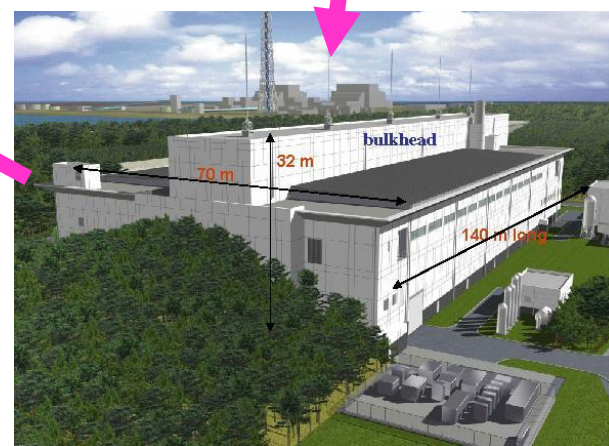
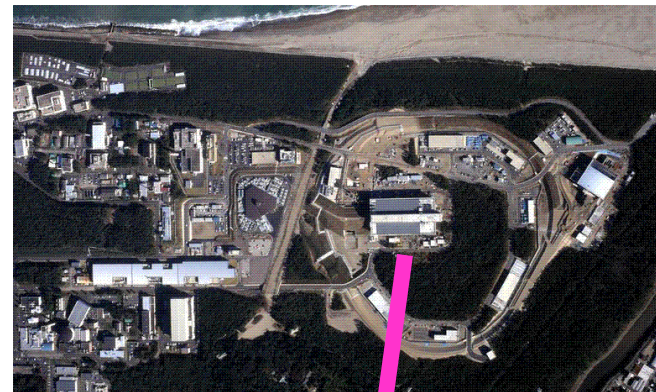
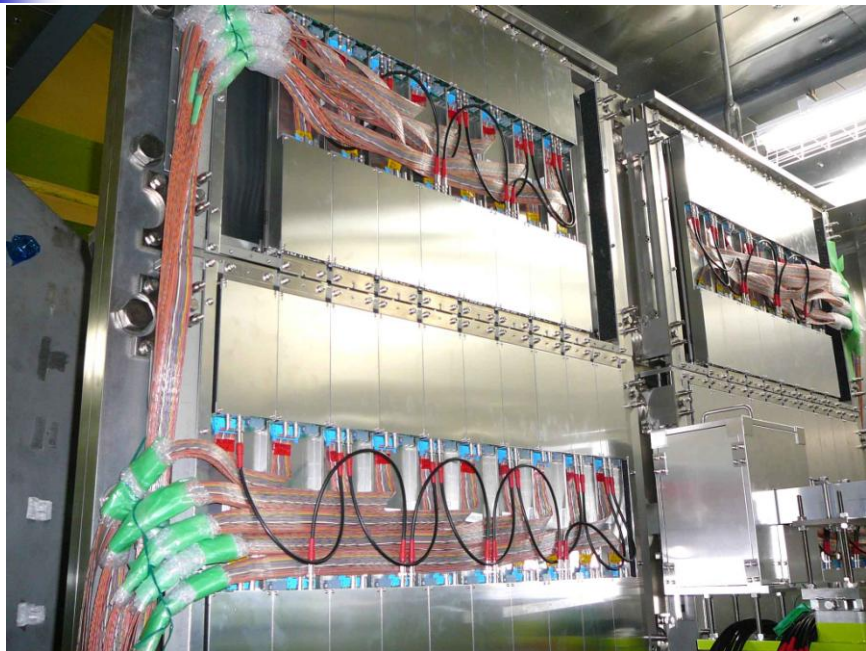


# 中性子検出器 >> He3ガス

---

- 半数以上の装置でHe3ガス検出器を使用。
- He3ガスと中性子が反応すると陽子とトリトンに分離し、765keVのエネルギーを発生する。
- 周りの分子をイオン化する。1電子／34eVで約4fCの電荷を発生する。
- 電界を作っておき、約250倍にガス増幅する。1pC程度の電荷に増える。

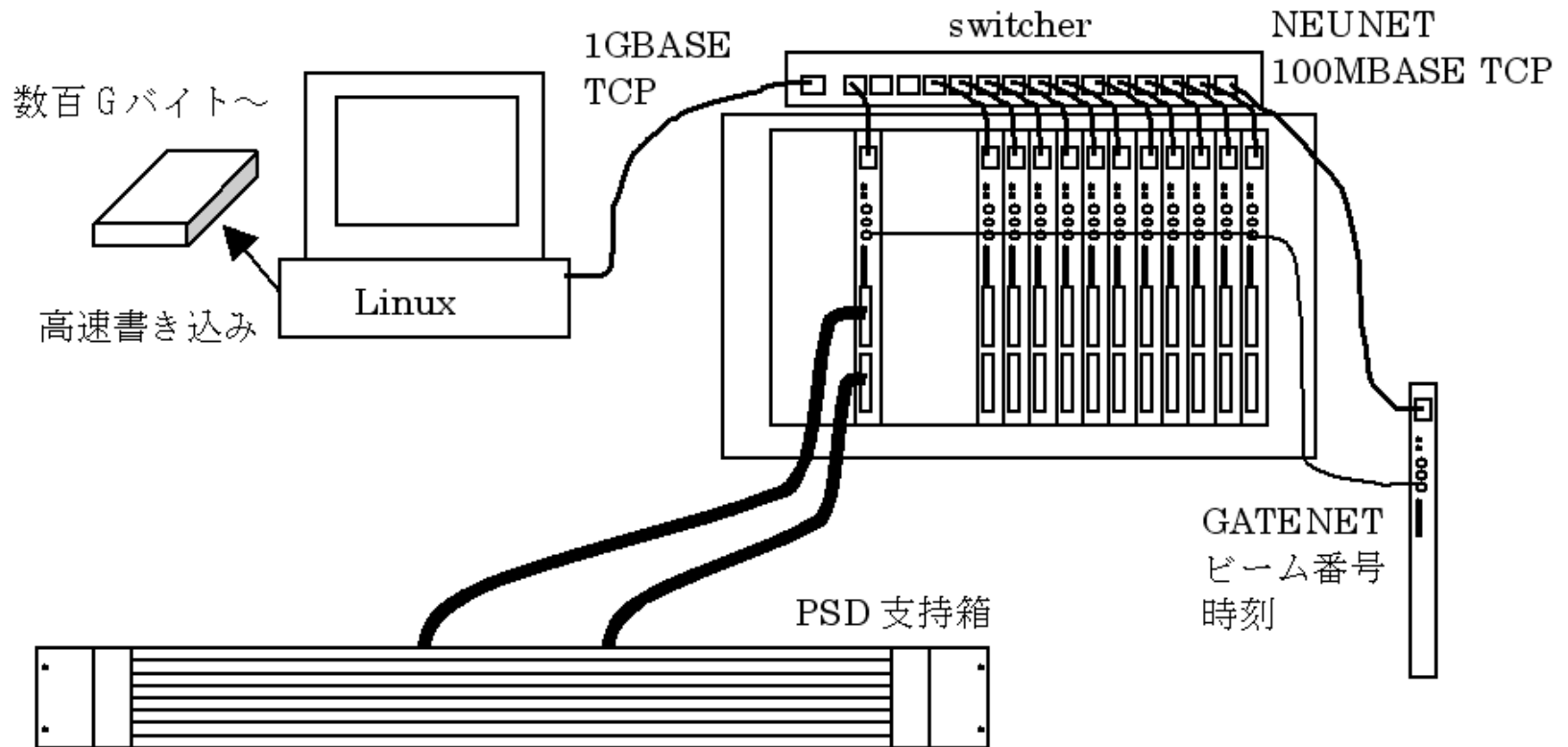
# J-PARC/MLFの多くの実験装置で $^3\text{He}$ 検出器を使用



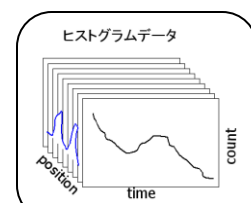
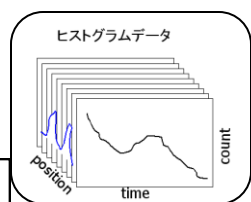
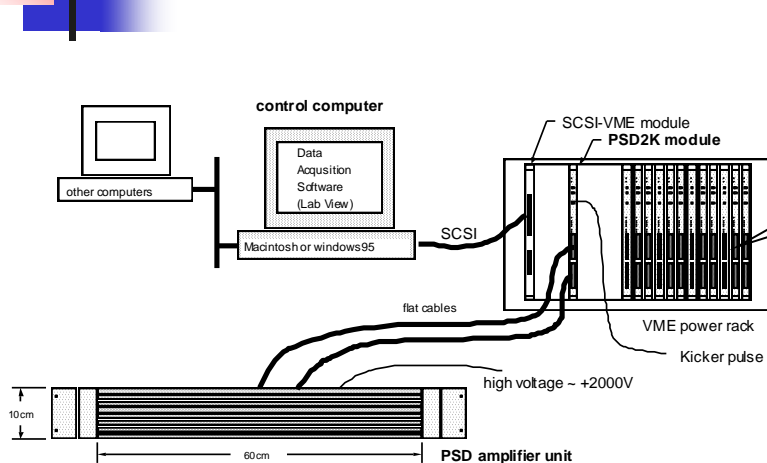
茨城県粉末装置 (BL20) で800本のPSDの一部の様子。  
この他にも、BL01で200本程度、BL08で800本程度、  
BL12で260本程度、BL14で320本程度、BL21で700本  
程度使用している。  
しかし、 $^3\text{He}$ ガス不足でほとんどで充足していない。

# SiTCP採用のNEUNETシステム

8PSD/NEUNET > 100MBASE(SiTCP) > 1GBASE > HD

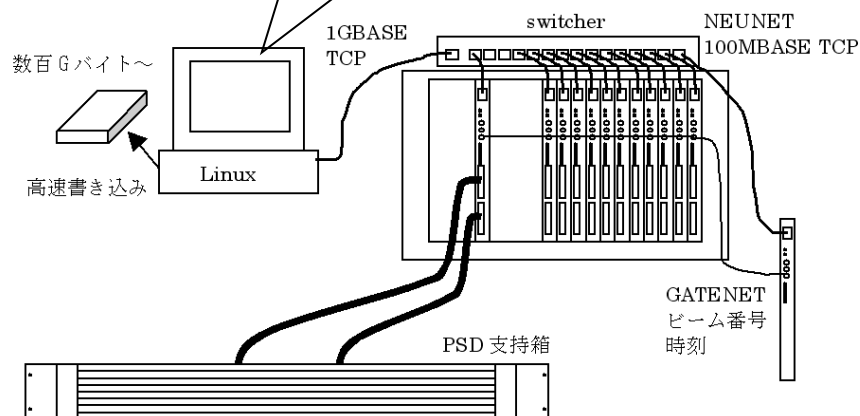


# SiTCPで変わったこと



高速ネットワーク  
最大100MB/S  
イベント方式で  
オフライン処理  
絶対時刻で同期  
>>大規模型

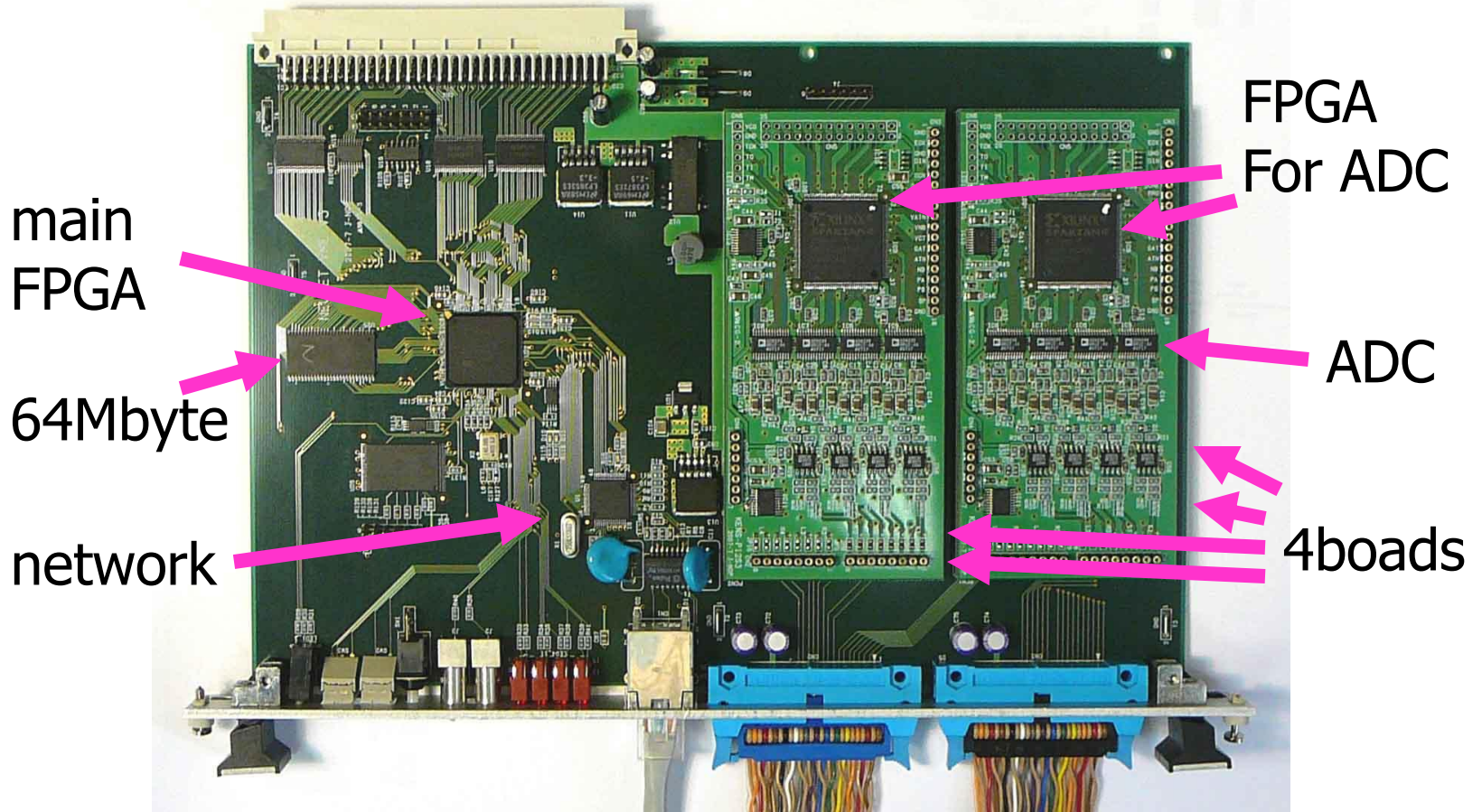
データバスが細い  
最大8MB/S  
>ハードで処理  
自由度が小さい  
>>小規模型





# NEUNET module

FPGAs, memory, network chip, 4 ADC boards



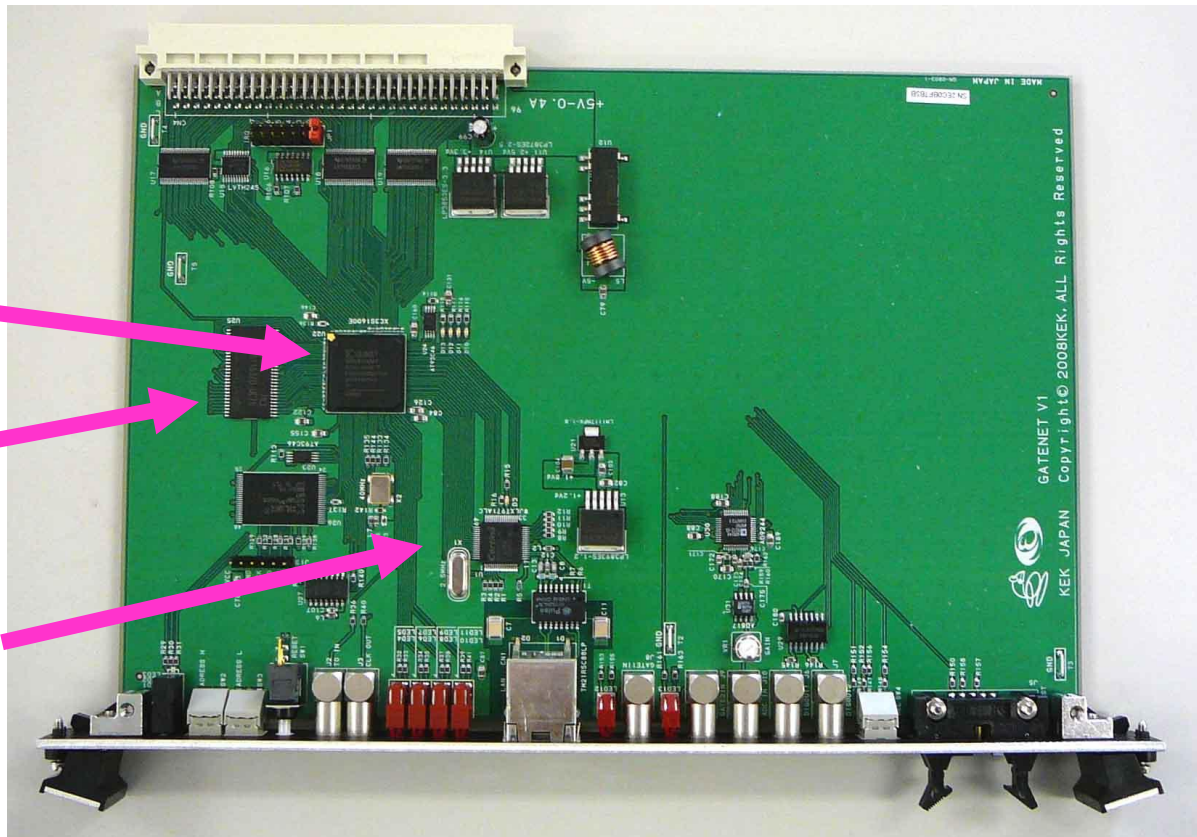
# GATENET module

FPGAs, memory, network chip

main  
FPGA

64Mbyte

network





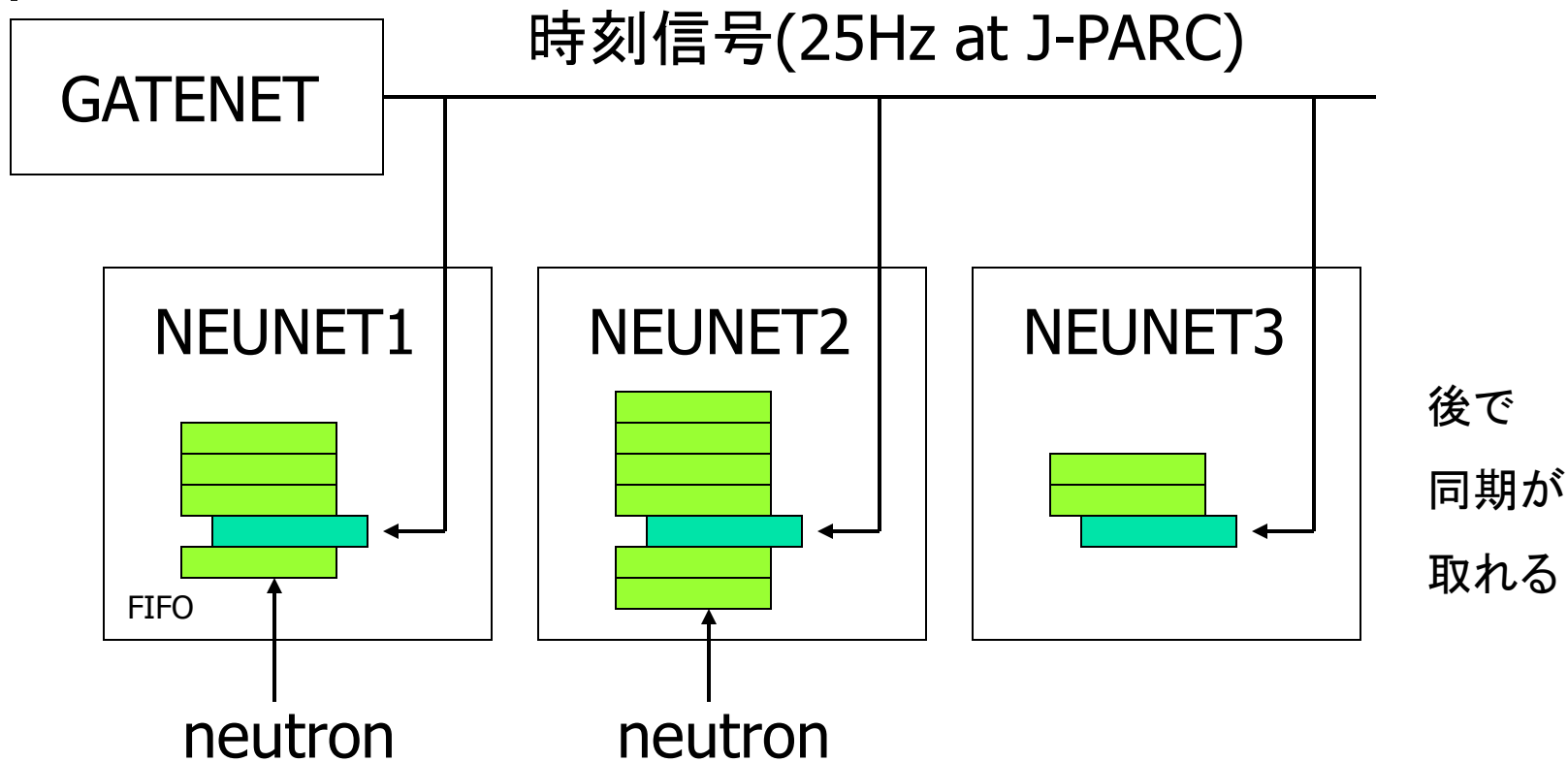
# NEUNETで時刻イベント作成

---

- GATENETからパルス中性子に同期した時刻情報が25Hzごとに配信される。
- 接続している全てのNEUNETが読み込み、時刻イベントとしてFIFOメモリに保存する。
- DAQシステムが読み出し、NEUNETごとのファイルを作り、そのままの保存する。
- ヒストグラムはファイルを読み出して作る。25Hzごとの時刻情報で制限をかけられる。

。

# NEUNETで時刻イベント作成

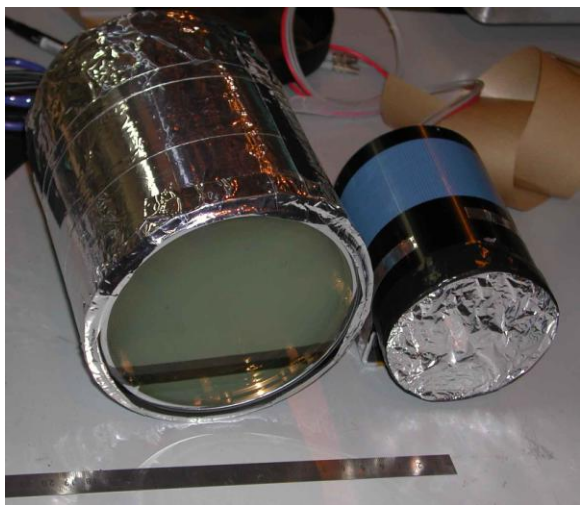




# SiTCPの中性子検出器への応用

- 半数以上の中性子実験に $^3\text{He}$ ガス検出器が使用されていて、その読み出し回路としてSiTCPを採用したNEUNET読み出しシステムを開発している。
- 中性子シンチレータを使用した中性子検出器として浜ホトが販売している2次元位置検出器、R2486、R3292フォトマルを使用したRPMT読み出しシステムを開発した。処理装置としてSiTCPを使用したNEUNETが使用できる。
- $^3\text{He}$ ガス検出器の代替え検出器としてMPPCを用いた中性子検出器の開発を始めた。位置分解能が良くなり、処理装置としてSiTCPを使用したNEUNETが使用できる。

# RPMT位置2次元中性子検出器

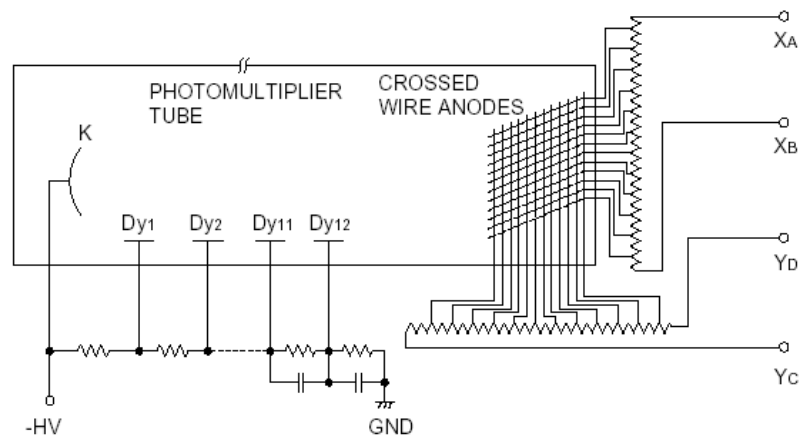


5in (9cm)と3in (5cm)がある。

高位置分解: 0.5mm\*0.5mm、検出領域: 5cmφ、9cmφ

検出効率が良い: ZnSで30~40%程度、1mm厚Li6で90%以上

少ない装置で安定動作。J-PARC/MLF、JAEA/JRR3で多数使用されている

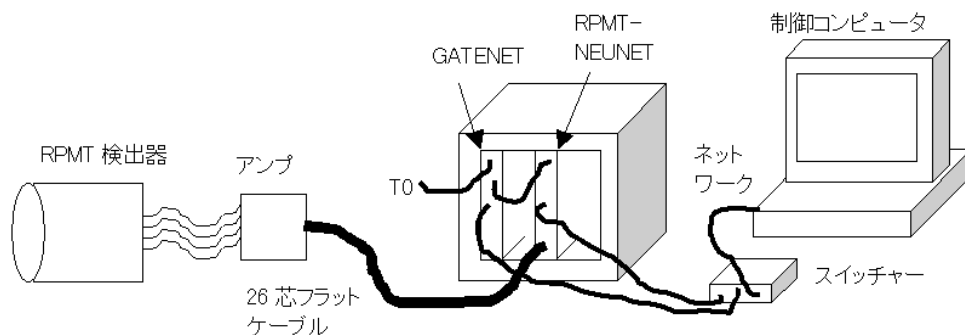


アノード部分がX軸、Y軸のメッシュになっている。  
それぞれの出力を抵抗ネットワークにつなぎ、  
電荷分割法で位置を割り出すことができる。

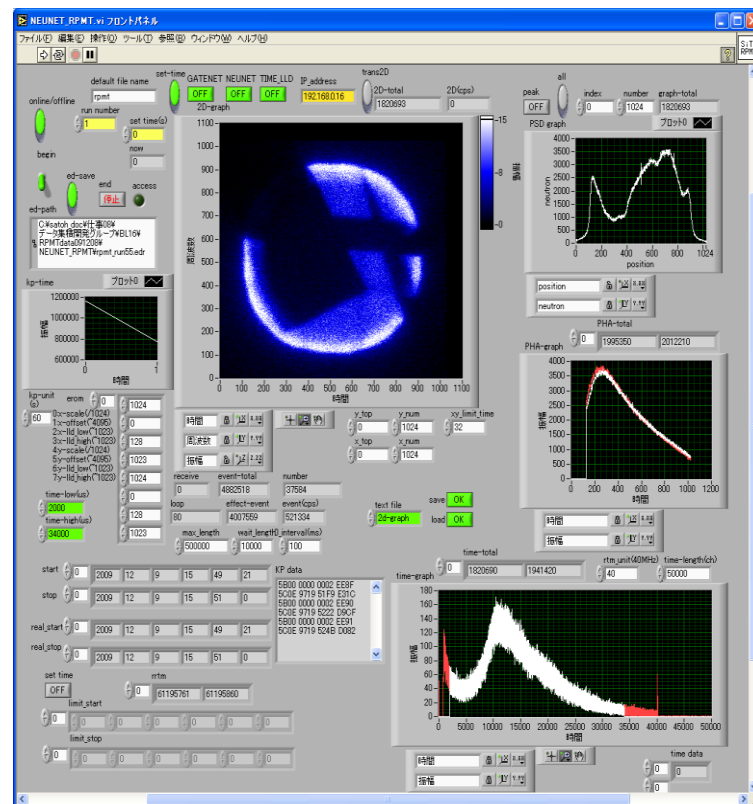
# RPMT位置2次元中性子検出器



NEUNETモジュールを使用した。



NEUNETシステムで2次元表示できるようにした。

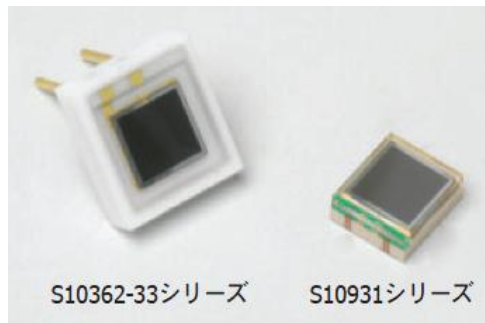


位置2次元画像、波高分析、時間分析が同時にできる。

# MPPCの中性子検出器



1mm角MPPC

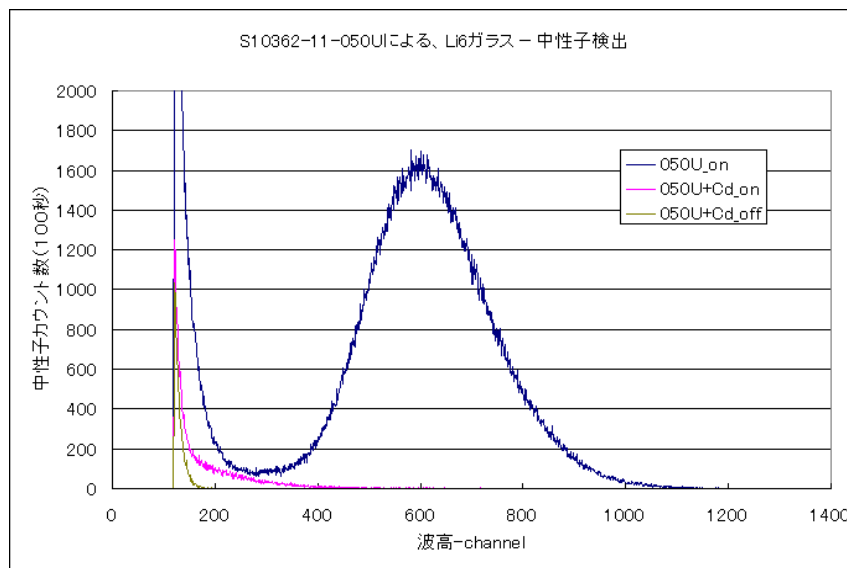


3mm角MPPC

1mm角と3mm角が  
浜松ホトニクス社から  
販売されている。



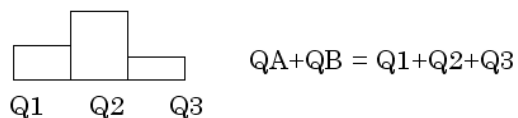
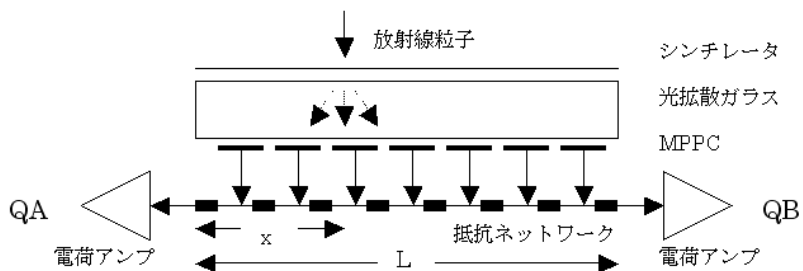
$^6\text{Li}$ ガラス  
シンチレータ  
取り付け



$^6\text{Li}$ ガラスシンチレータで  
中性子が非常に良く  
識別できる。  
>>PMTの代替え可能。

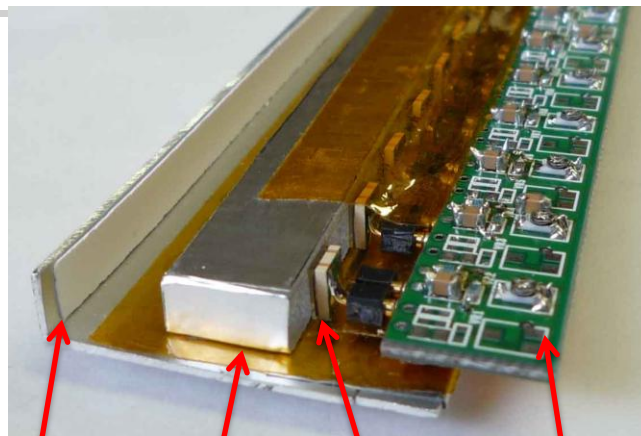


# MPPCを使用したMPDの開発



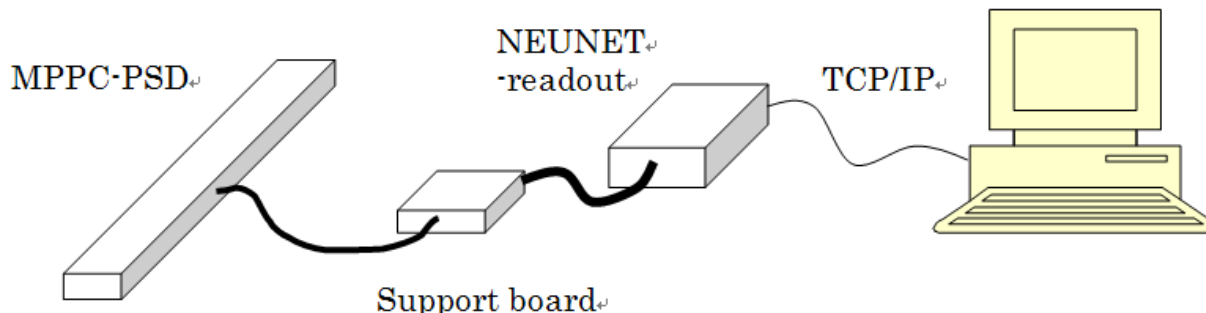
$$x/L = QB/(QA+QB)$$

MPDの測定原理はハードウェアで重心を求める。



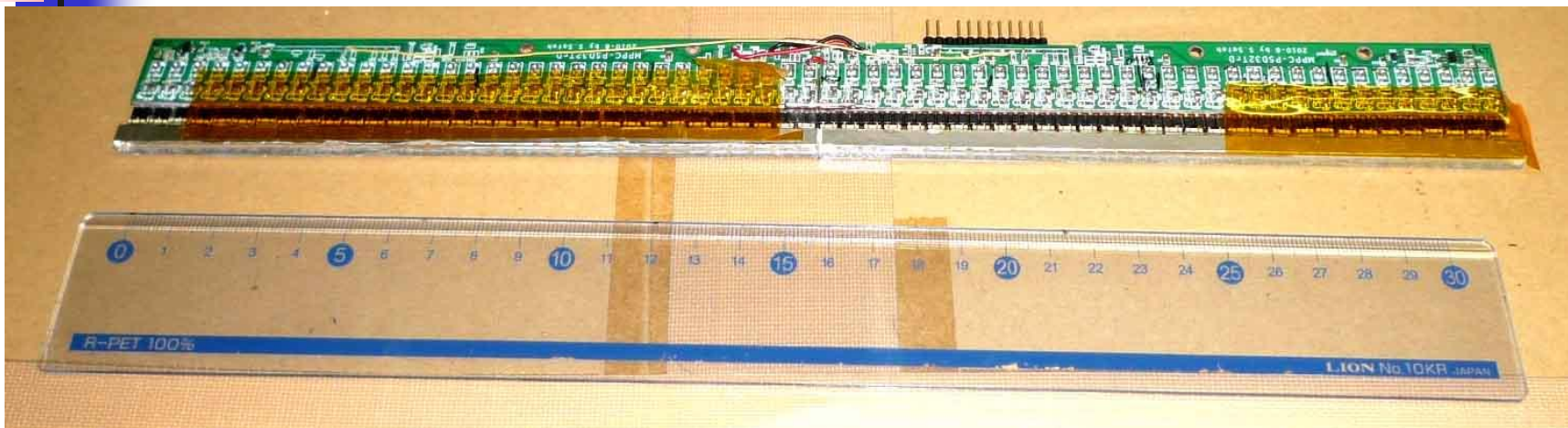
シンチレータ 拡散ガラス MPPC 処理回路

MPDの内部構造



MPDの読み出し回路には、既存のNEUNETシステムが使用できる。

# MPPC-PSD、試作4枚目(32cm)

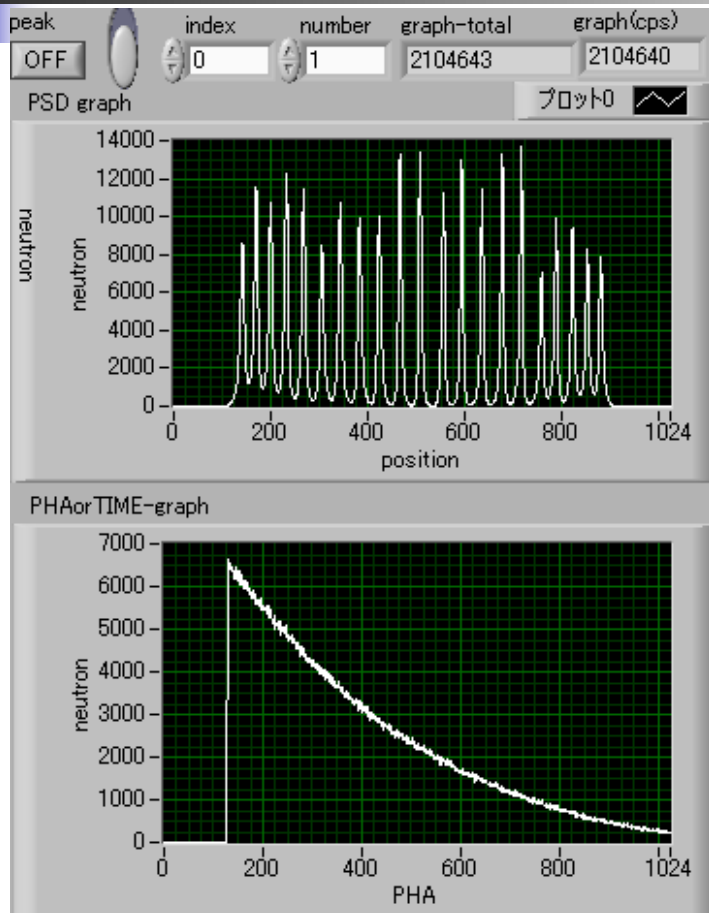


拡散ガラス+基板

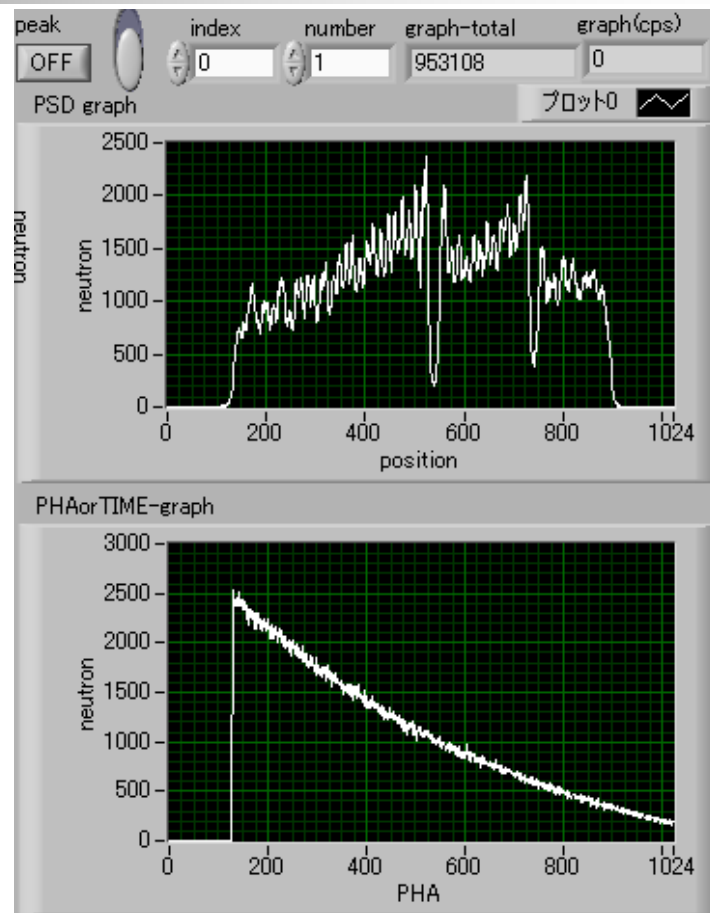


ケーシング

# MPPC-PSD、試作4枚目(32cm)



位置分布図(上)、波高分布図(下)  
21点照射、FWHM=2.77mm, 29%



位置分布図(上)、波高分布図(下)  
一様ビーム照射

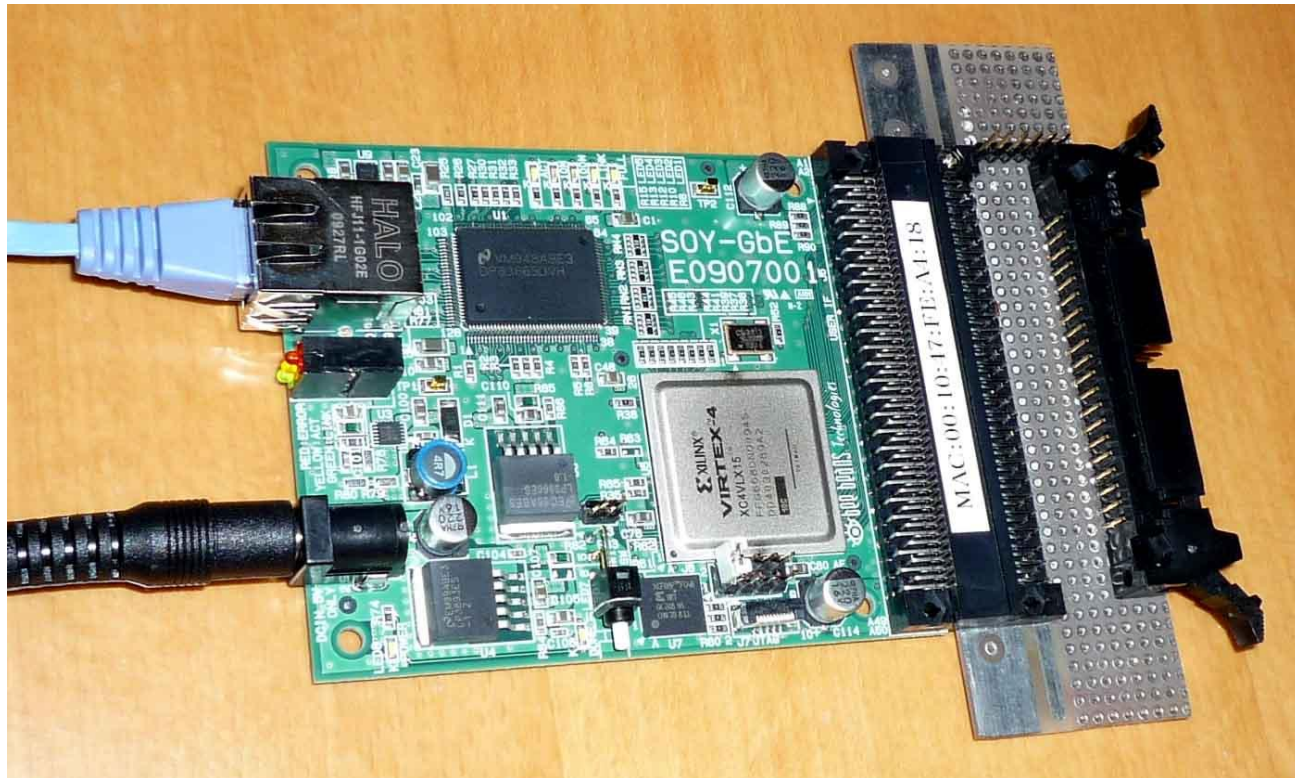


# MPSD開発のまとめ

---

- 現在、 $\text{He}^3$ ガス検出器が採用されているが、 $\text{He}^3$ ガス高騰により、MPPCを中性子検出器用に開発を始めた。
- $^6\text{Li}/\text{ZnS}$ 中性子シンチレータを使用し、重心計算方式の電荷分割法で位置1次元検出器システムを作製した。
- 5mm幅、32cm長の位置1次元検出器で、位置分解能：2.8mmが、検出効率：29% ( $^3\text{He}$ ガス検出器比較)が得られた。
- 高電圧がいらない、配置が自由、手軽、等の大きな長所があり、ぜひ完成させたい。

# Gbit-SiTCPの導入

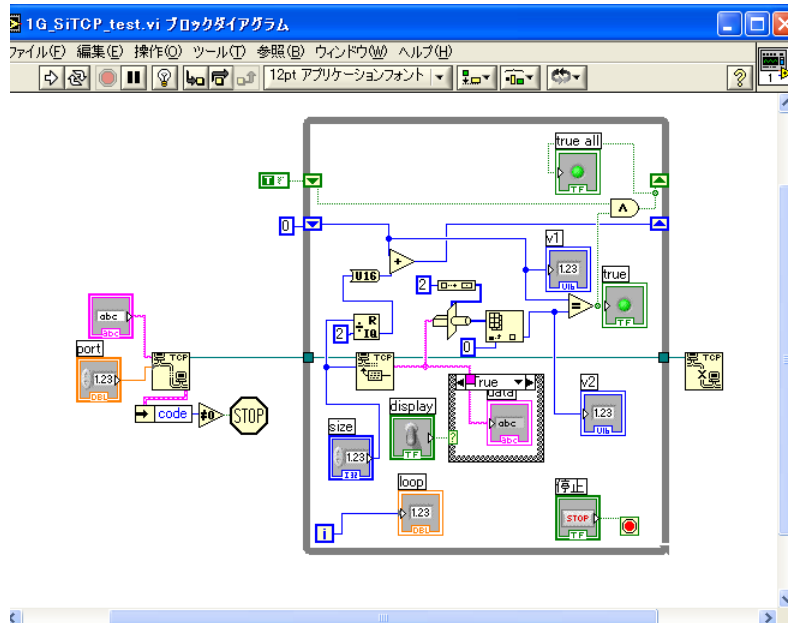


BBTで販売。

JTAGにより、プログラムが可能。組み込み基板で利用予定。

# Gbit-SiTCPの導入

FPGAをプログラムし、  
LabVIEWテストプログラムで  
90%使用率 >>  
90MB/S !



The screenshot shows the LabVIEW interface running the '1G\_SiTCP\_test.vi' program. The front panel displays the IP address '192.168.0.16', port '24', size '100000', v1 '5F60', v2 '9C10', a stop button, a display indicator, and a loop count of '73950'. The 'data' array is populated with hexadecimal values from 5200 to 52F7. The Windows Task Manager is open, showing the 'ローカル エリア接続 2' (Local Area Connection 2) network adapter with a usage of 93% and a speed of 1 Gbps. The system status at the bottom shows 'CPU 使用率: 58%' and 'コミット チャージ: 660MB / 5463MB'.

アダプタ名	ネットワーク使..	リンク..	状態
VMware Networ..	0 %	100 Mb..	稼働中
ローカル エリア接..	93 %	1 Gbps	稼働中
ワイヤレス ネット..	0 %	150 Mb..	非稼働



# Gbit-SiTCPの導入

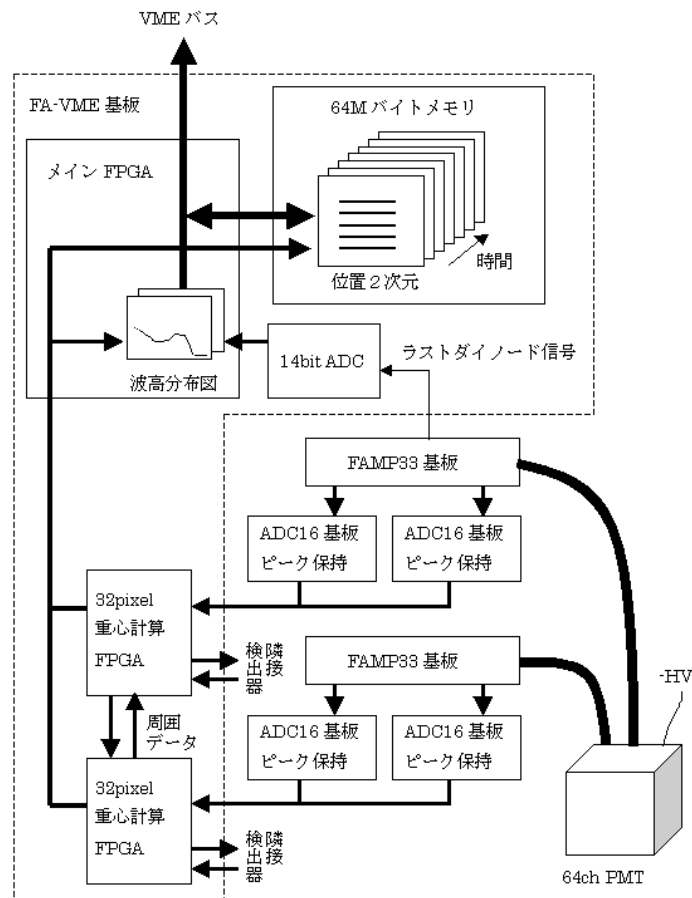
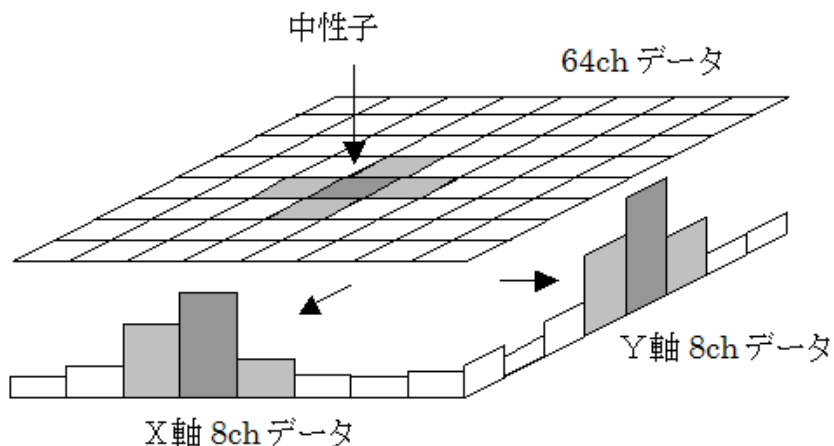
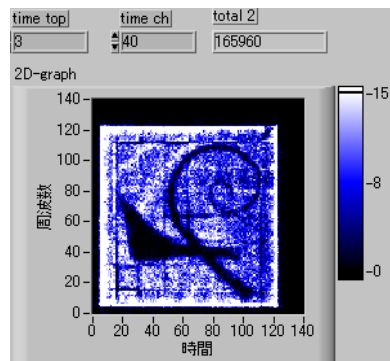
---

- ライセンスつきで約15万円／基板が買え、すぐに使用できた。
- テストプログラムで、90Mバイト／秒以上の転送速度が確認できている。
- プログラム開発により、変換基板として使用可能。  
>>プログラムの公開。
- 高計数率位置2次元中性子検出器システムを検討中。

# 開発済みの位置2次元検出器

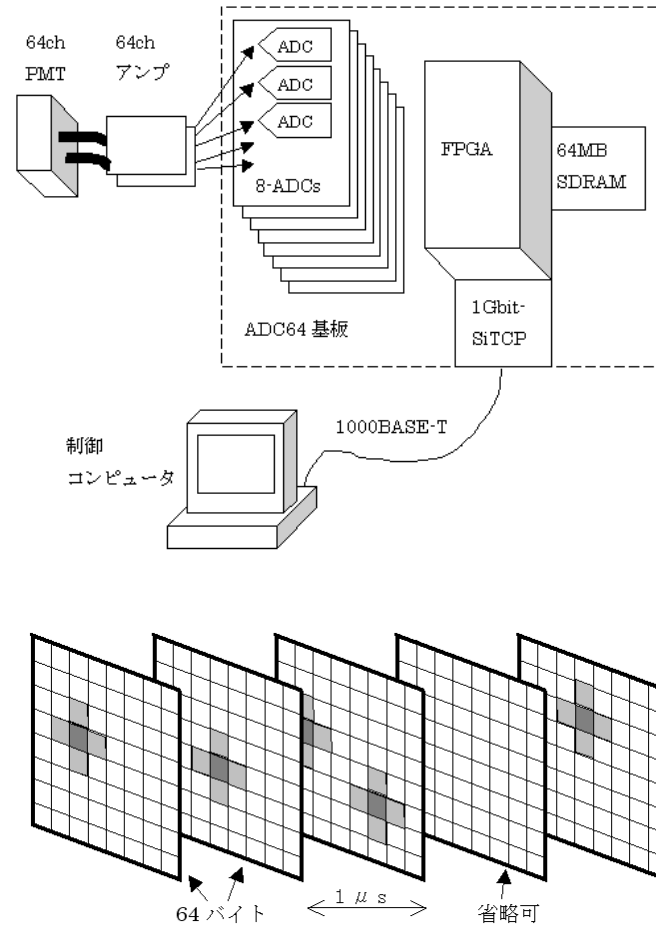
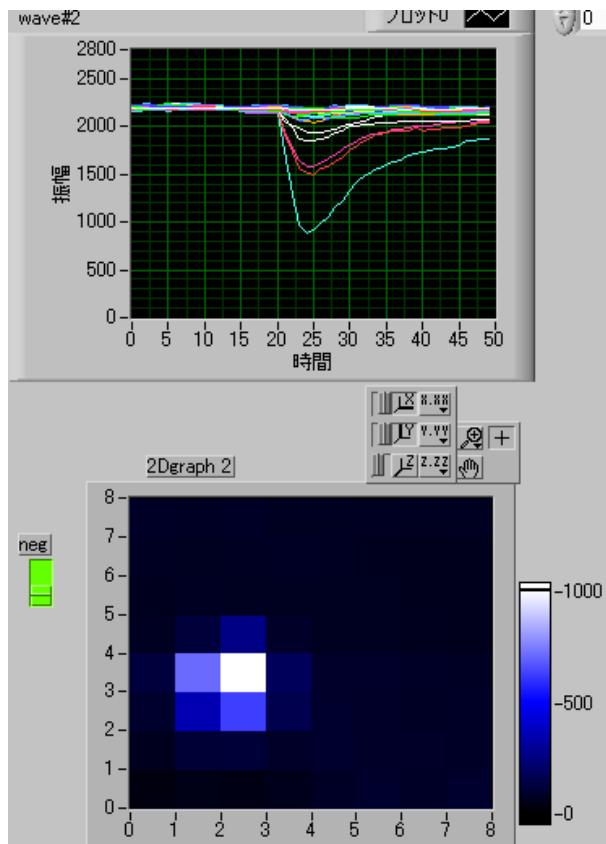


Left: H8500, Right: H8500B





# MPPCを2次元にし、Gbit-SiTCP





# まとめ

---

- SiTCPを中性子計測に取り入れたNEUNETシステムを開発し、中性子計測をオンライン・ヒストグラム型から、イベント保存型に変更できた。J-PARC/MLFのHe3検出器を使用する全ての装置で採用。約600台製作された。
- 位置2次元検出器(RPMTシステム)と、MPPC位置1次元検出器(MPSDシステム)にSiTCP採用のNEUNETシステムが使われている。
- Gbit-SiTCPを使用して、高計数率位置2次元中性子検出器システムの開発を検討している。