

32ch MPPPC読み出し モジュールの開発

大阪大学 石島 直樹

大阪大学

花垣 和則

東野 聡

東北大学

本多 良太郎

三輪 浩司

KEK

吉村 浩司

中村 勇

内田 智久

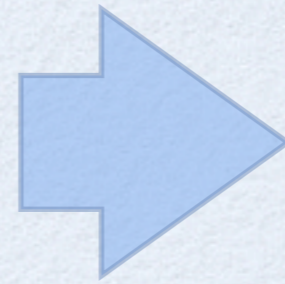
池野 正弘

田中 真伸

五十嵐 洋一

MPPCの多チャンネル読み出し

- 小型 (数 mm^2)
- 優れたフォトンカウンティング能力
- 低バイアス電圧($\sim 70\text{V}$)で作動する
- 磁場中で使える



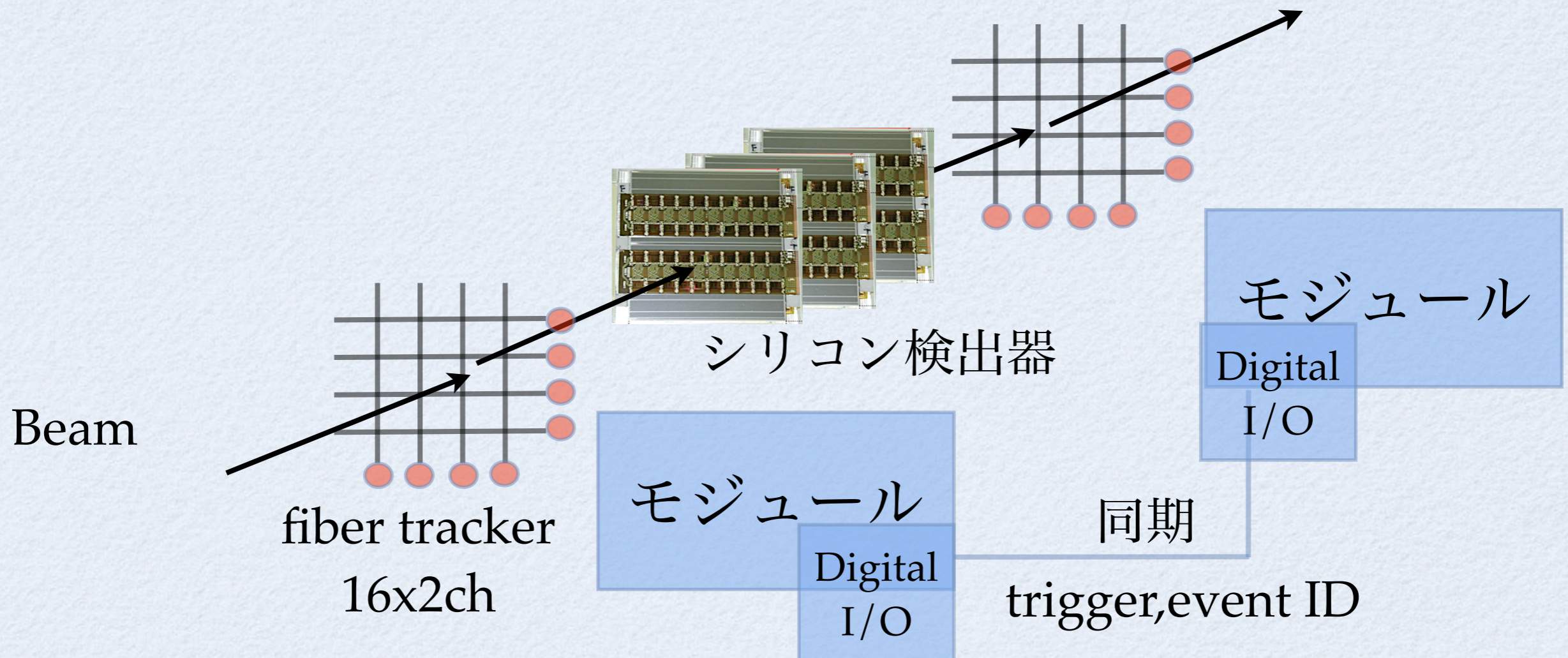
簡単に使える
MPPC用の多チャンネル読み出し回路があれば便利

- 小型故の多チャンネル化
- gainが 10^6 程度のためAMPが必要
- バイアスにSensitiveで 10mV オーダーの調節が必要

大規模実験用にカスタマイズされたものはあるが、簡単に使える汎用的なものがほしい

大阪大学ATLASグループの場合

- シリコン検出器のビームテストの為に
ビームプロファイルモニターが欲しい



Open-it

MPPC読み出しモジュールを作りたいがノウハウがない



KEK Open-it への参加

KEK測定器開発室（吉村さん、中村さん）をはじめ、
KEK内外の様々な機関の協力を得て開発中

東北大学
(三輪さん、本多さん)

EASIROC ASICを用いた多チャンネル
MPPC読み出し試作ボード開発のノウハウ

KEKエレクトロニクスG
(内田さん、池野さん
五十嵐さん、田中さん)

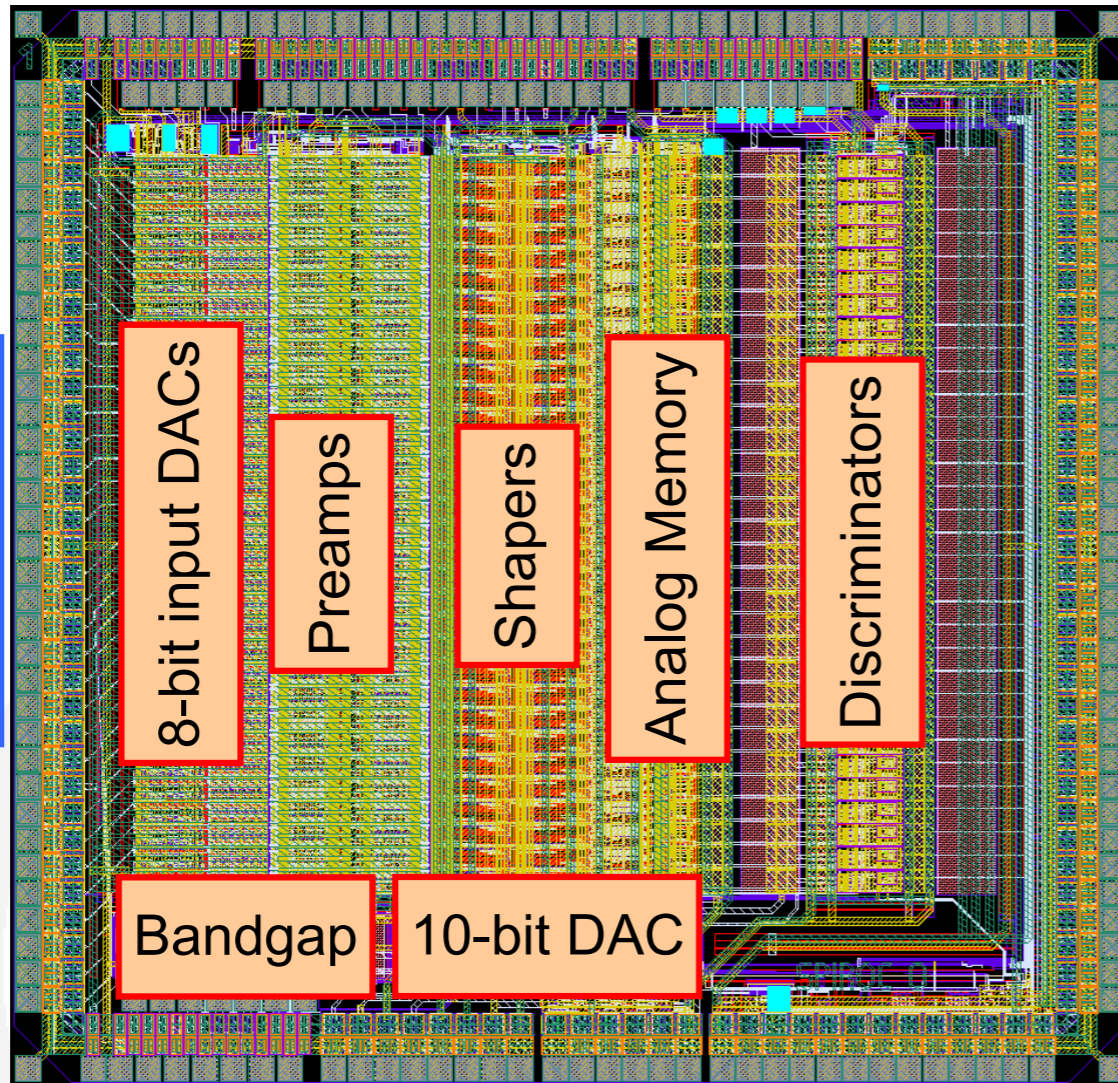
回路設計、FPGA、DAQsystem
などのノウハウ

EASIROC

フランスLALで開発されたMPPC読み出し用ASIC

EASIROC LAYOUT

Omega



Technology :
AMS 0,35 μ m SiGe

Die size : 16.6mm²
4.157 x 4.013 mm²

Package :
- Naked (PEBS)
- TQFP160

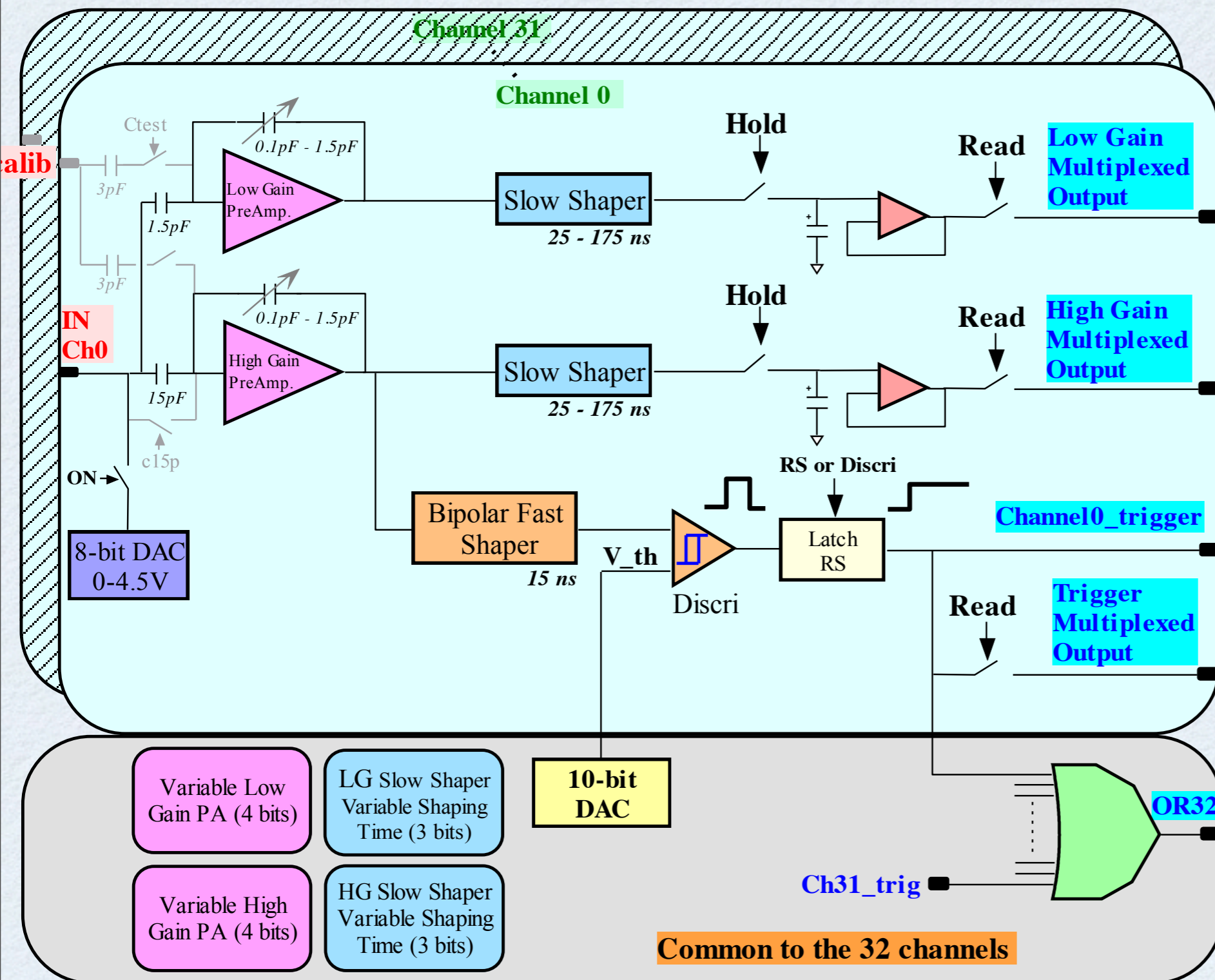


TQFP: height=1.4 mm

EASIROC ASIC

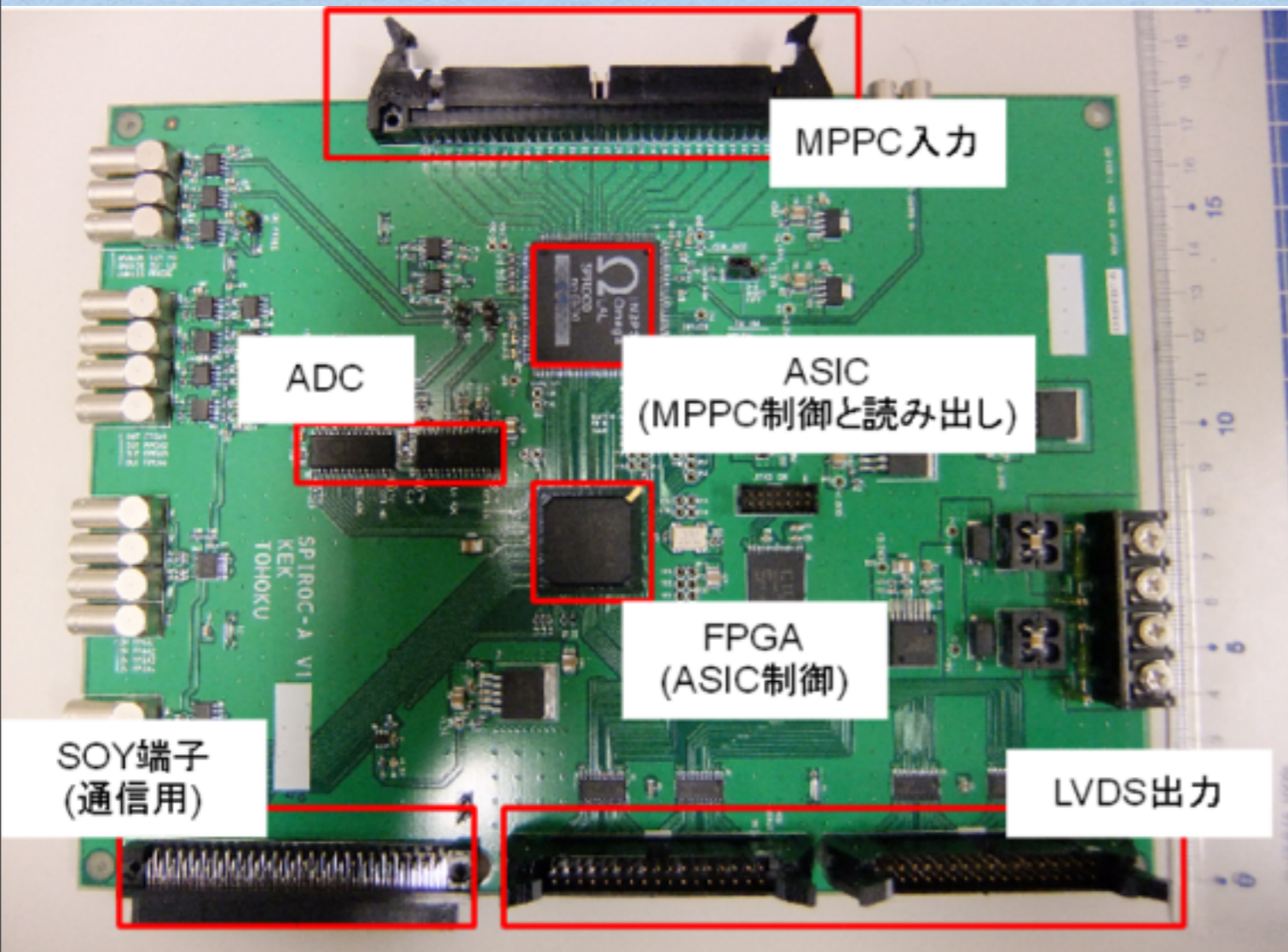
32chのMPPC同時駆動が可能

4.5V 8bit での、32ch個別のHV 調節が可能



アンプ、シェーパ、ディスクリミネータを内蔵し、そのGainやシェーピング時定数、 V_{th} などを調節可能

EASIROCボード



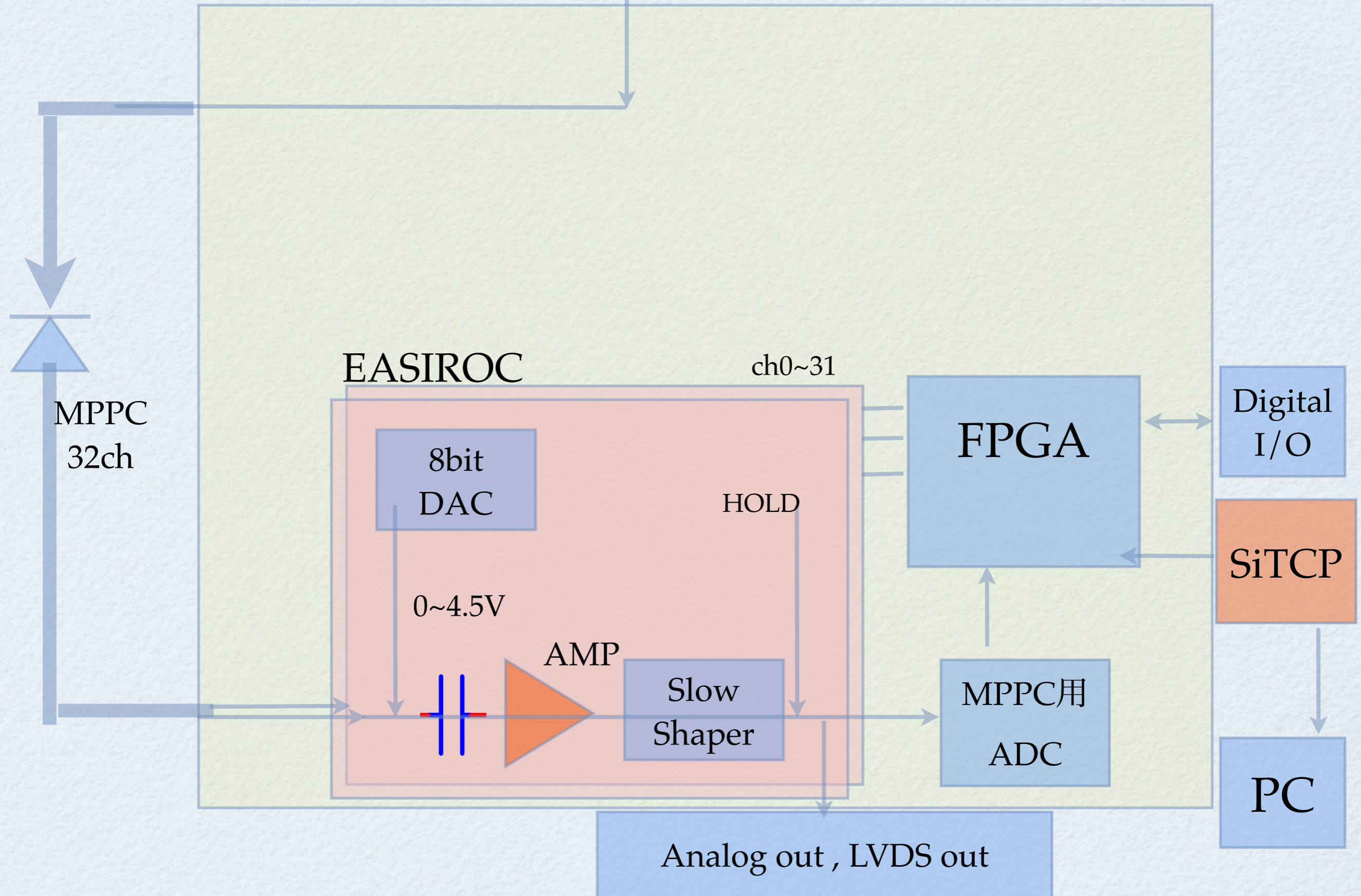
EASIROCボード

(東北大学、KEK 測定器開発室)

- On FPGA TDC、または各チャンネルのDiscr outのLVDS出力による外部TDCによる時間情報の取得
- ASICからの信号をボード上のADCによって取得可能
- SiTCP(KEK 内田氏)による制御が可能

EASIROCボード

HV(外部)



汎用MPPC読み出しモジュール

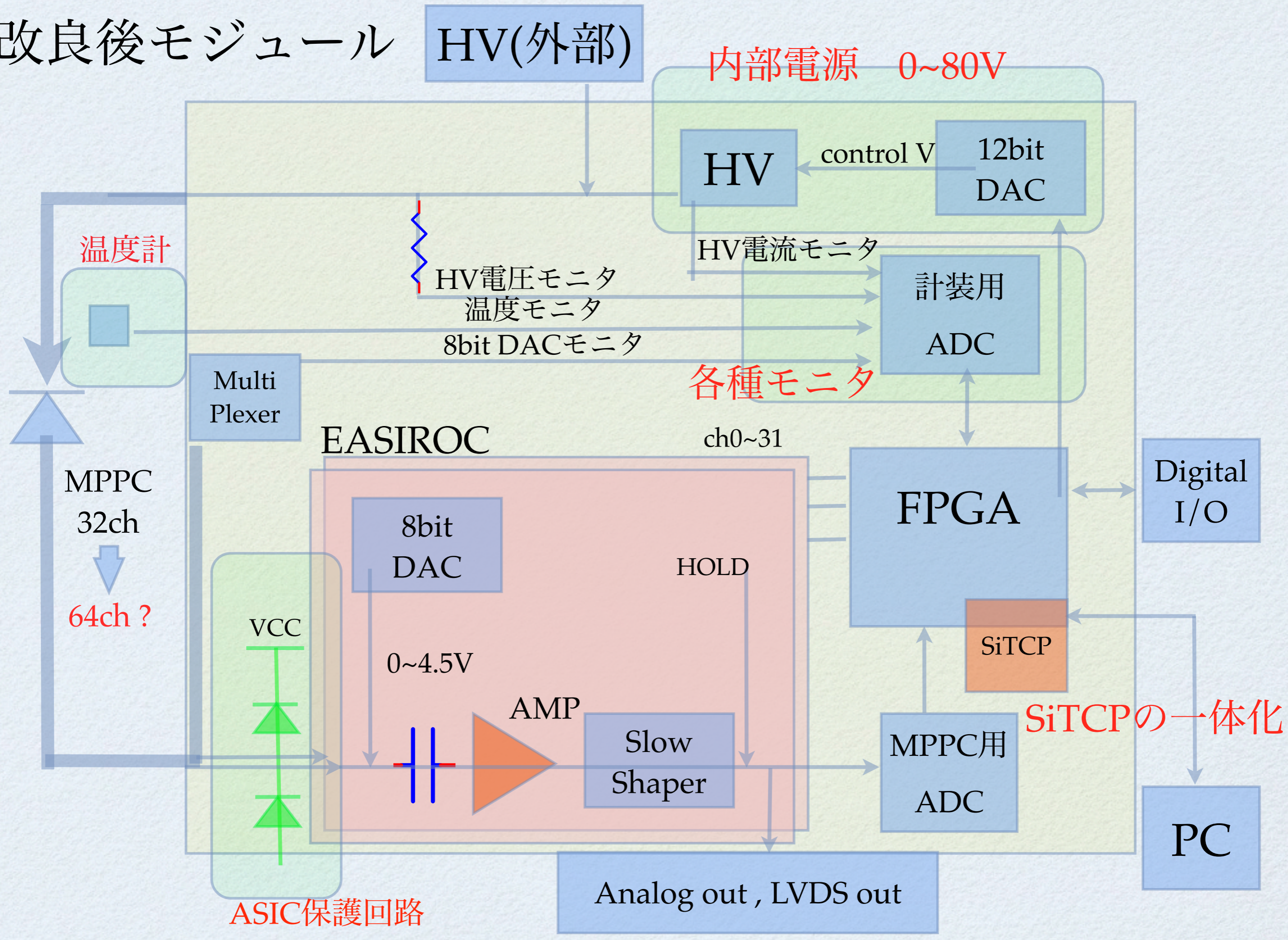
EASIROCボードを改良してより使いやすい形にしたい



- より使いやすく
 - NIMモジュール化
 - 過電圧、過電流への対策 (EASIROCボード故障の報告多数)
- より便利に
 - HV電源を内蔵(従来は外部から供給)
 - 温度計の実装 (MPPC近傍の温度測定)
 - HV用電流・電圧モニタ等の実装
 - モジュール間、他機器とのDigital I/Oによる同期

EASIROC
ボード使用者
の意見も参考

改良後モジュール



Module Interface

- Front Panel

- MPPC input

- Analog output (LEMO x2)

- HighGain ,Probe

- Analog input (LEMO x1)

- 外部HV入出力

- Digital output (LEMO x5)

- busy ,trigger out ,OR32 , 同期用,予備

- Digital input (LEMO x6)

- HOLD ,clear ,accept ,timing stop ,同期用,予備

温度計入力、RJ45(ethernet)

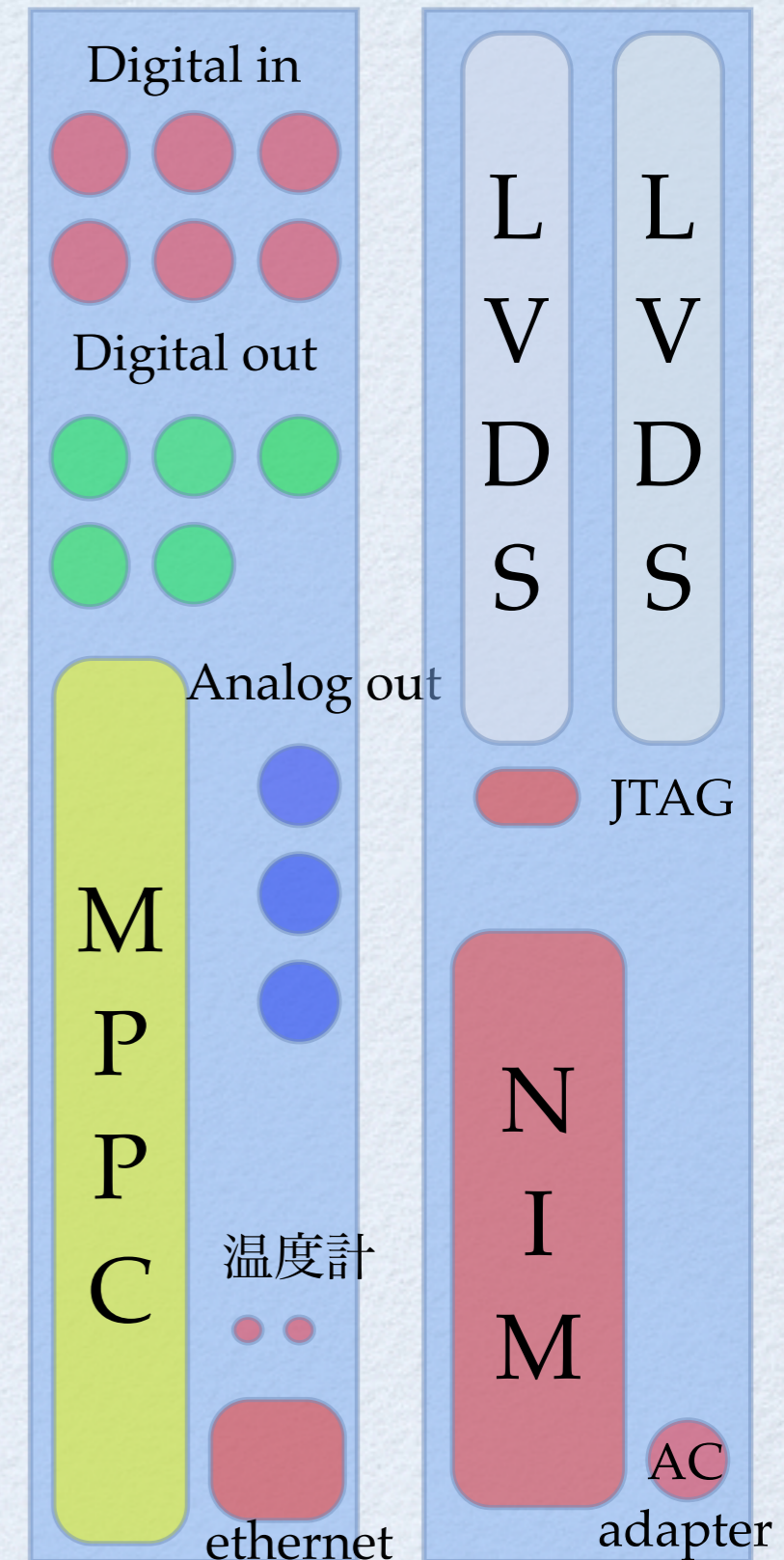
- Rear Panel

NIM用電源端子($\pm 6V$)

ACアダプタ端子(+6V)

JTAG(FPGA編集)

(LVDS output)



Module Interface(64ch)

● Front Panel

MPPC input (half pitch)

Analog output (LEMO x2)

- HighGain ,Probe

Analog input (LEMO x1)

- 外部HV入出力

Digital output (LEMO x5)

- busy ,trigger out ,OR32 , 同期用,予備

Digital input (LEMO x6)

- HOLD ,clear ,accept ,timing stop ,同期用,予備

温度計入力、RJ45(ethernet)

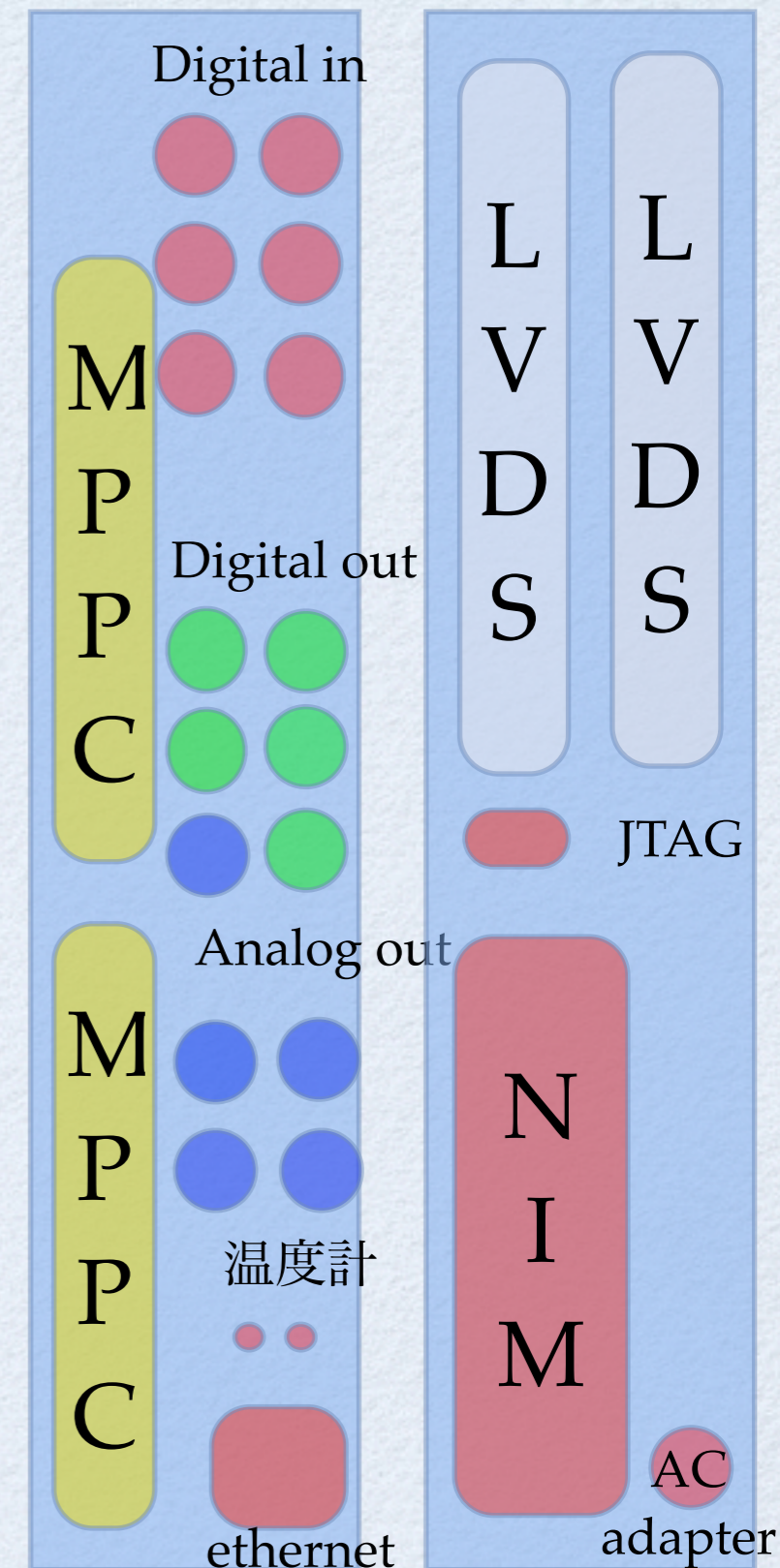
● Rear Panel

NIM用電源端子(±6V)

ACアダプタ端子(+6V)

JTAG(FPGA編集)

(LVDS output)



新規部品の選定とテスト

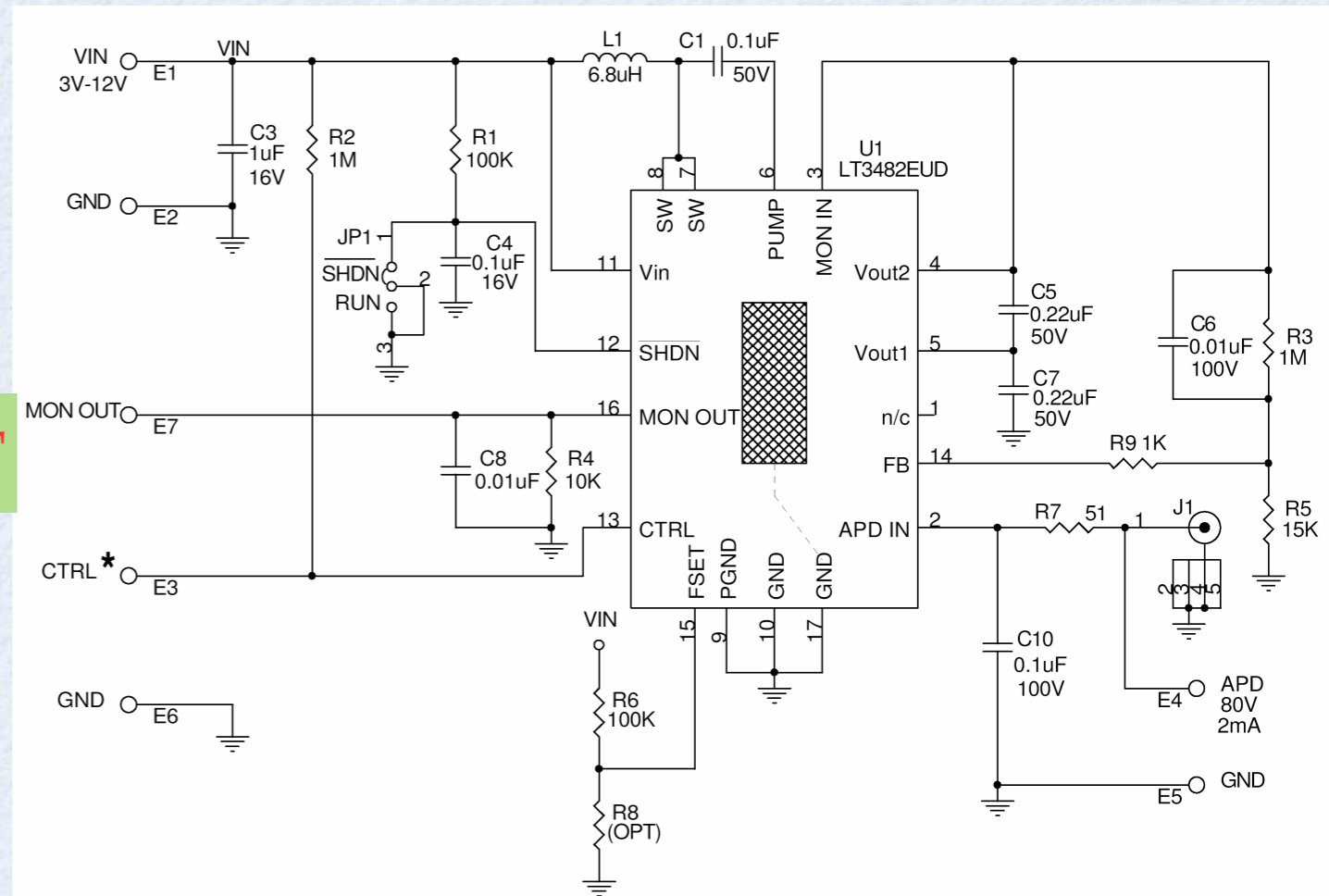
- MPPCバイアス用HV電源IC
- HV電源制御用DAC
- 計装用ADC(HV電圧・電流、バイアス調整用DAC、温度、)
- FPGA
- ASIC保護回路

内部HV電源

- LT3482 (リニアテクノロジー) 大きき3 mm x 3 mm
- 光学レーザーのAPD用 90V昇圧DC/DCコンバータ

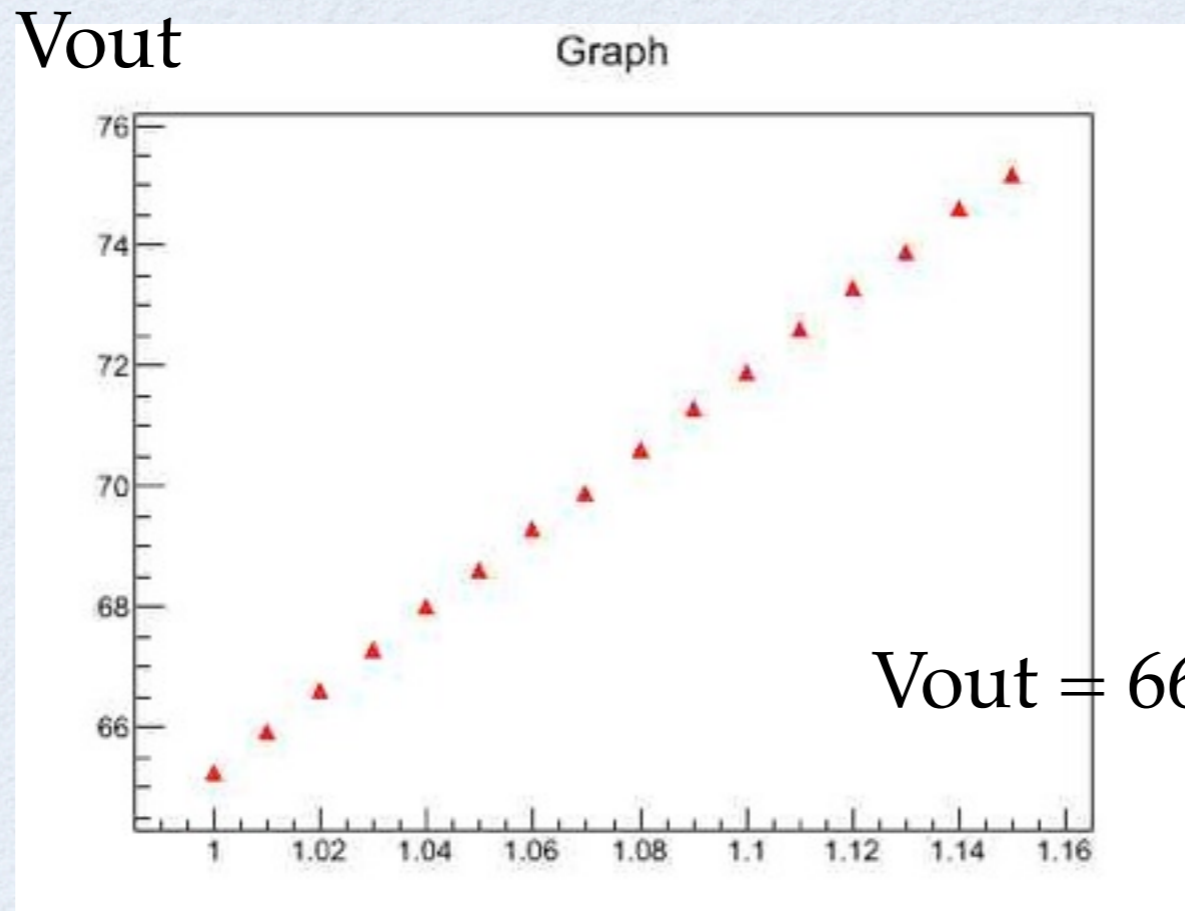


LT3482 test board



0.1V - 1.25V at CTRL Varies APD Voltage from 6V - 80V

電源のCTRL電圧と出力電圧



LT3482

Vctrl

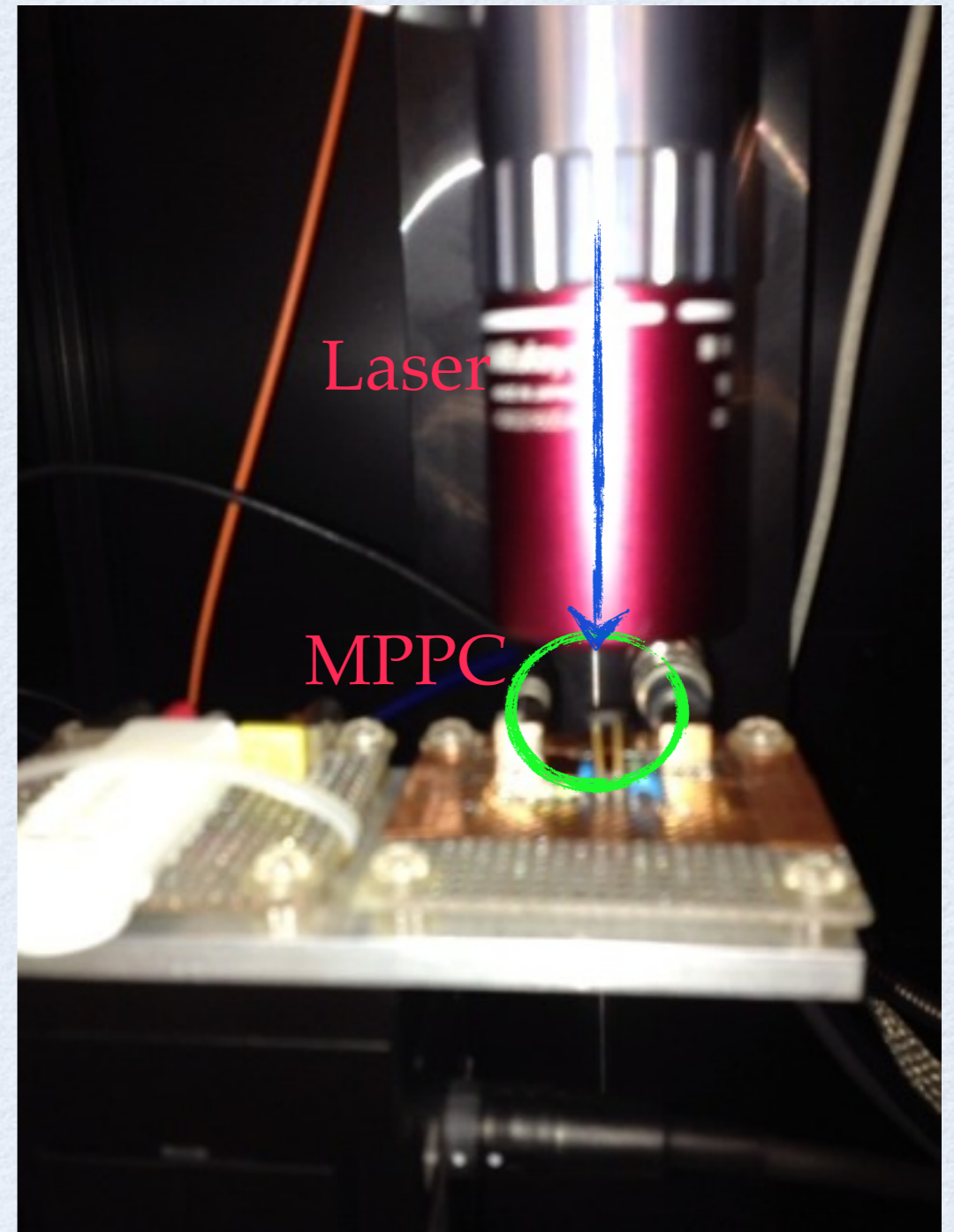
コントロール電圧を与える事により出力電圧を調節できる



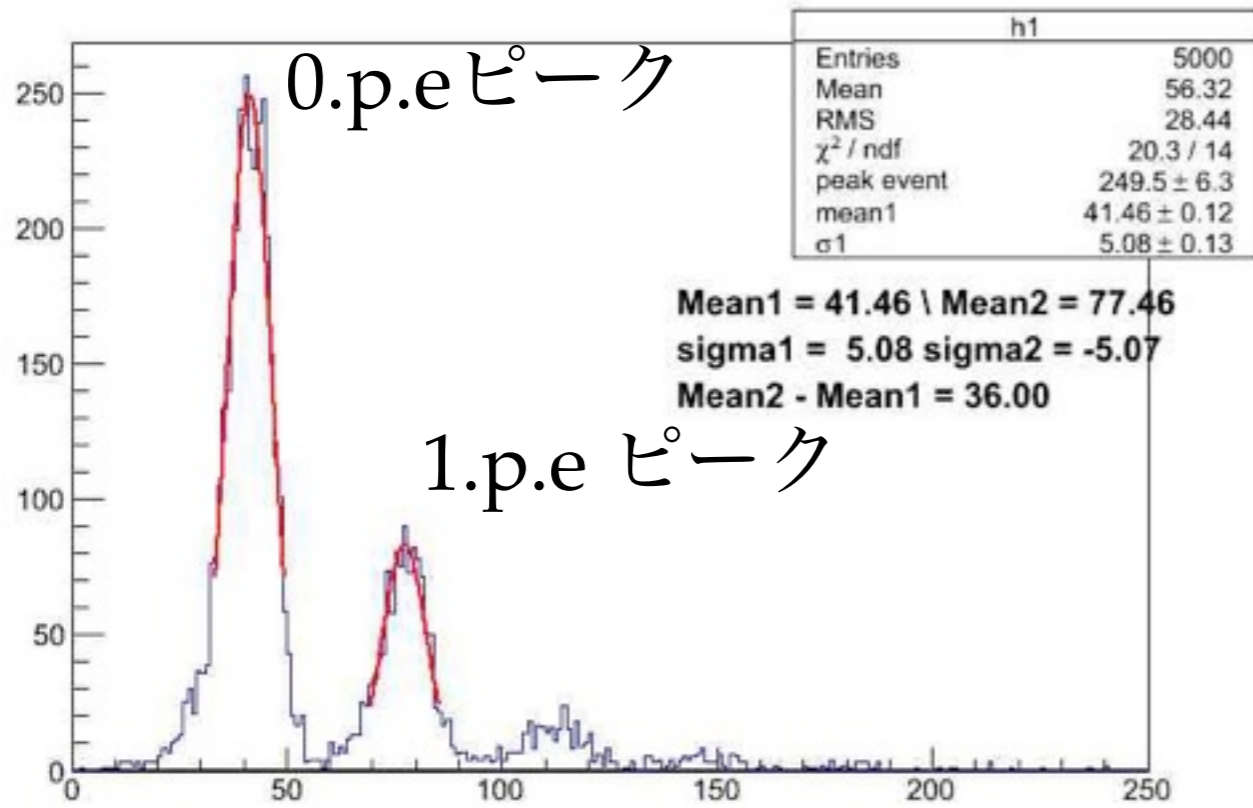
FPGAを通してDACで調節 (0~1.25V)

MPPCのデータ測定(LT3482によるバイアス)

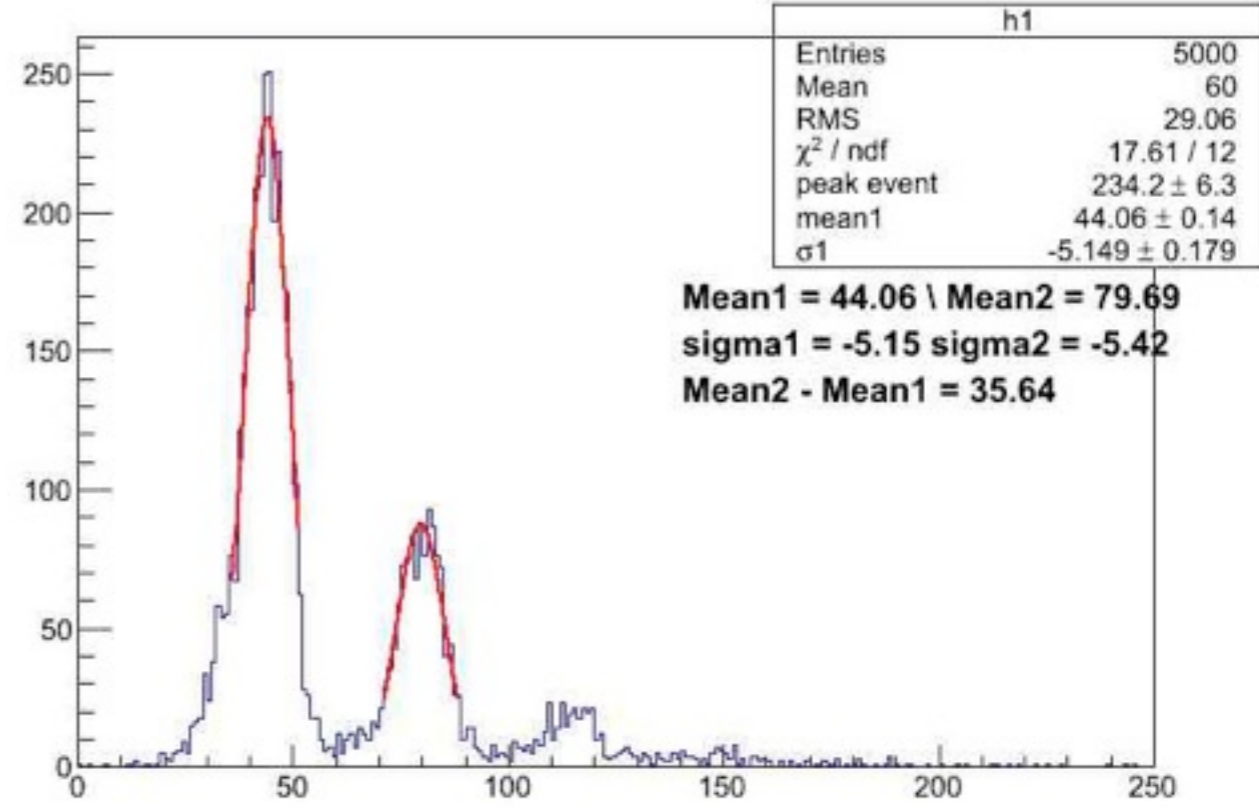
- 1p.e程度のレーザーをMPPCに当て、CAMACのADCでデータを取得した。
- レーザーはMPPC 1セルにのみ当たるように絞られている。
- ADCのゲートはレーザーのパルスと同期している
- MPPC : S10362-11-050C(400Pixel)



電源によるSN比の比較



GS610(ソースメーター)



LT3482

測定時 MPPC gain $\approx 8.9 \times 10^5$

SN比

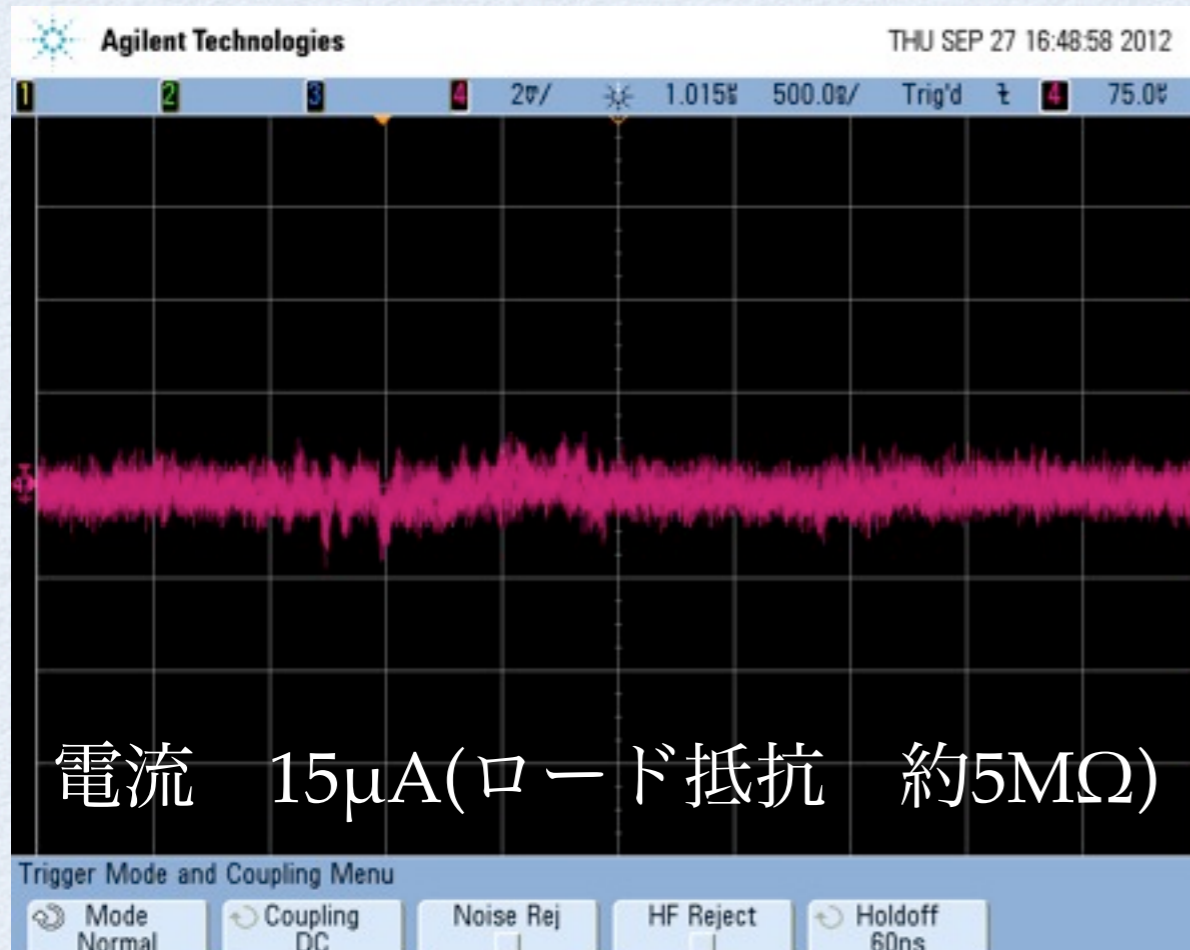
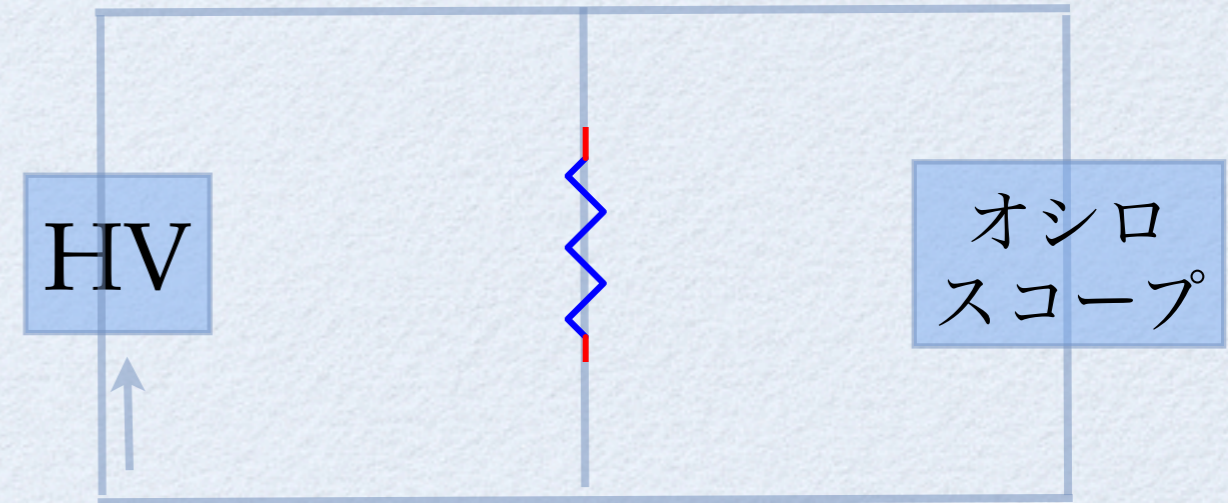
GS610	7.09 ± 0.18
LT3482	6.92 ± 0.24

$\frac{1\text{p.eピーク} - 0\text{p.eピーク}}{0\text{p.eピーク幅}}$

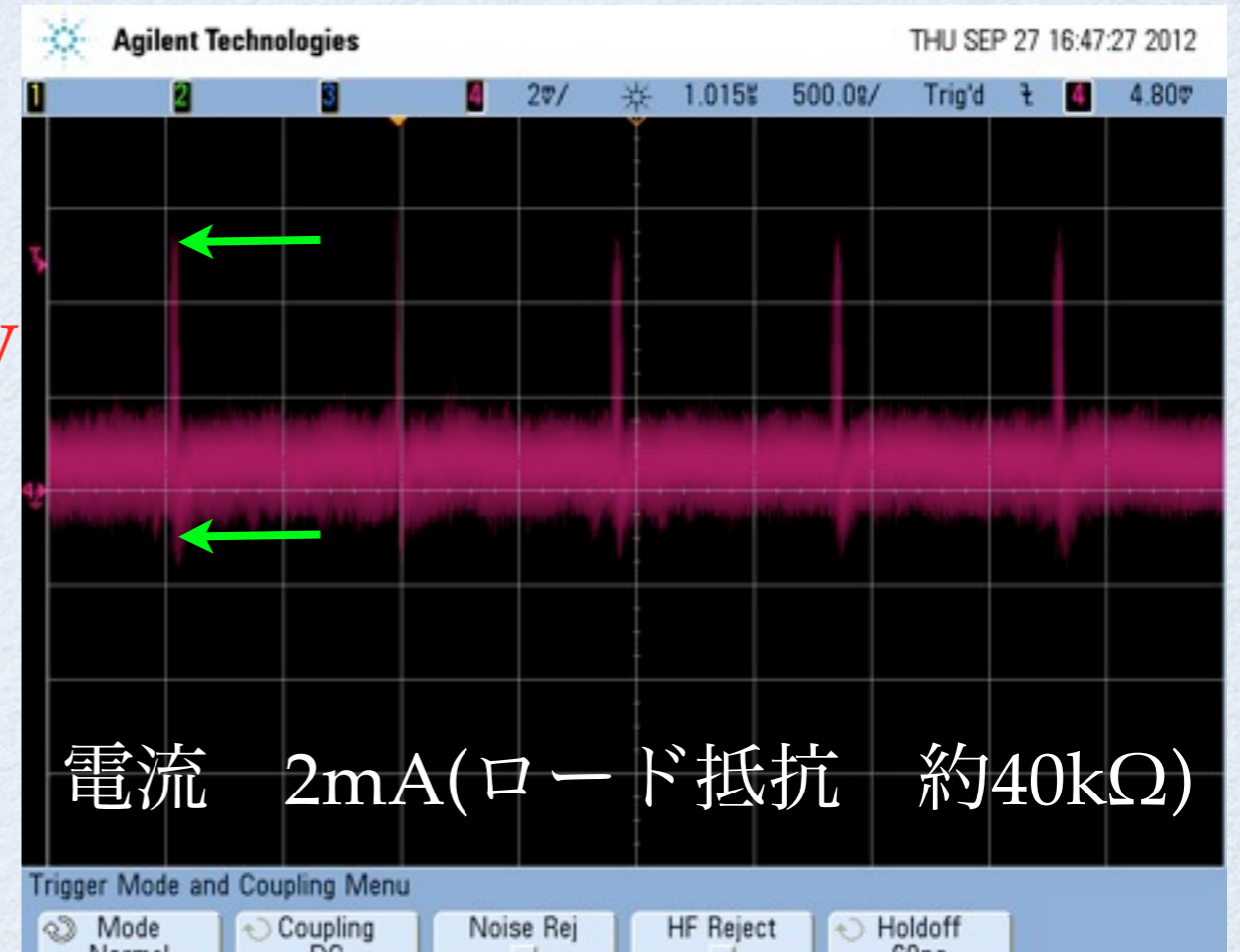
0p.eピーク幅

LT3482の高負荷特性

電源チップにMPPC32ch分の電流
($15\mu\text{A}$ 程度)が流れた時でも問題な
く使えるか



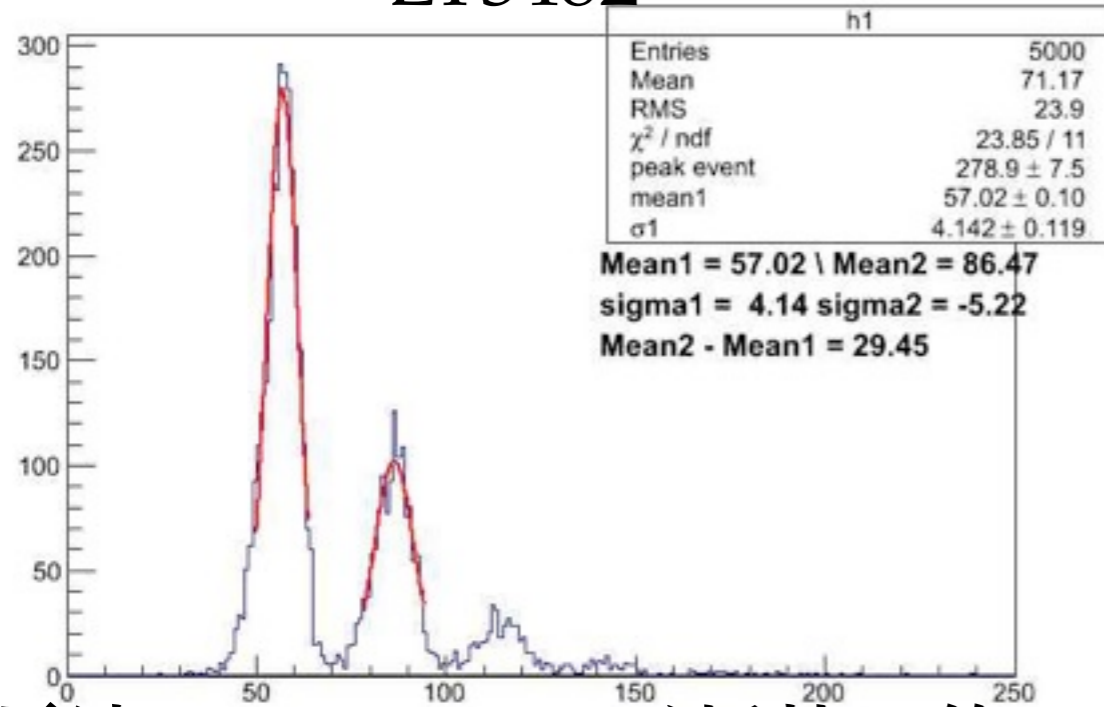
電流 $15\mu\text{A}$ (ロード抵抗 約 $5\text{M}\Omega$)



電流 2mA (ロード抵抗 約 $40\text{k}\Omega$)

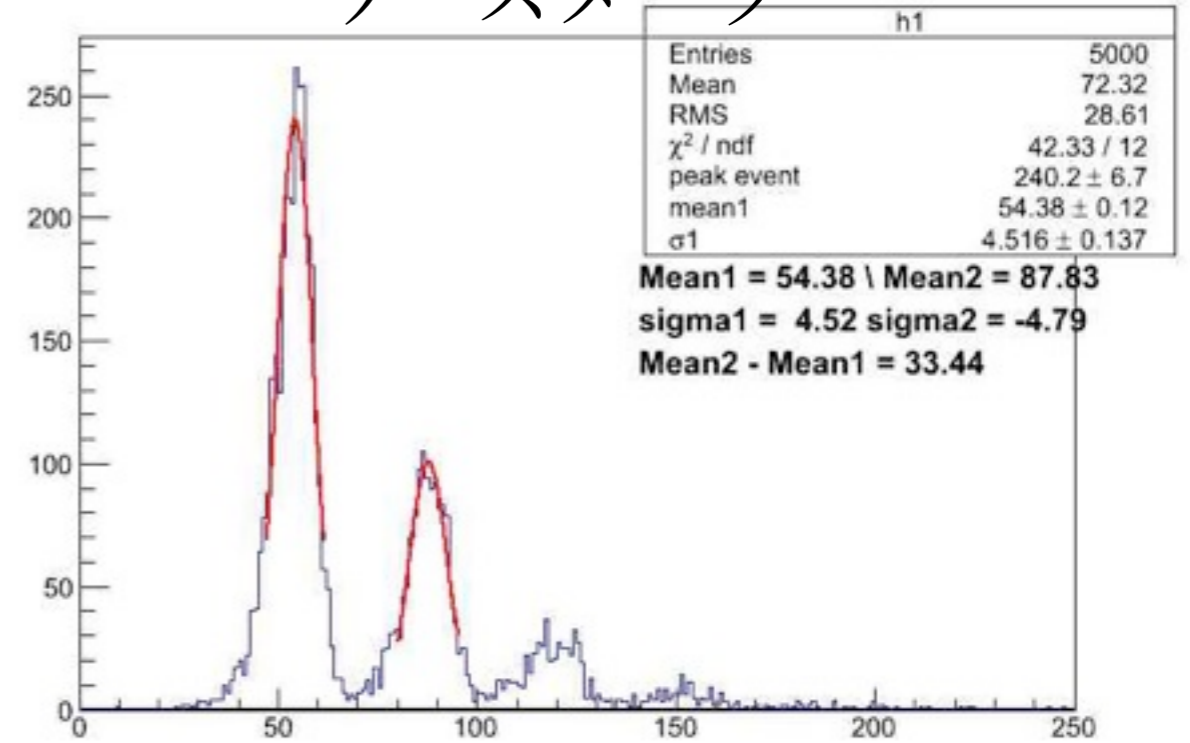
電流が流れている時のノイズ

LT3482

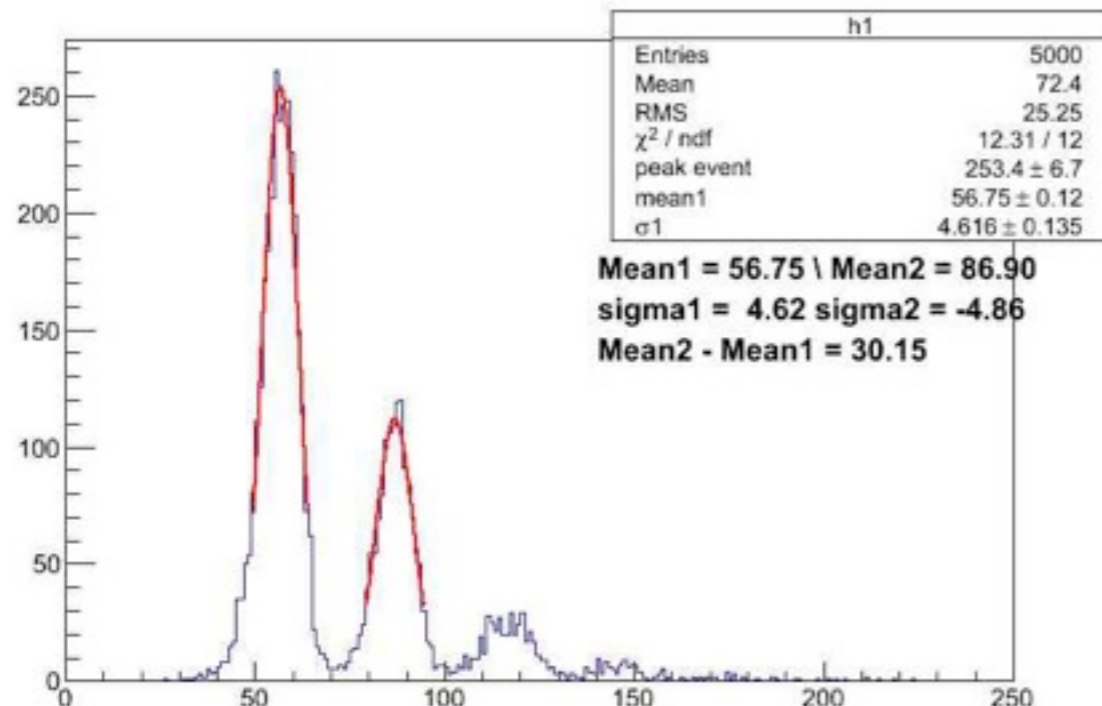


電流 15 μ A(ロード抵抗 約5M Ω)

ソースメーター



電流 1 μ A以下



電流 7.5 μ A(ロード抵抗 約10M Ω)

ソースメーター: 0p.eのピーク幅: 4.52 ± 0.14

15 μ A 0p.eのピーク幅: 4.14 ± 0.12

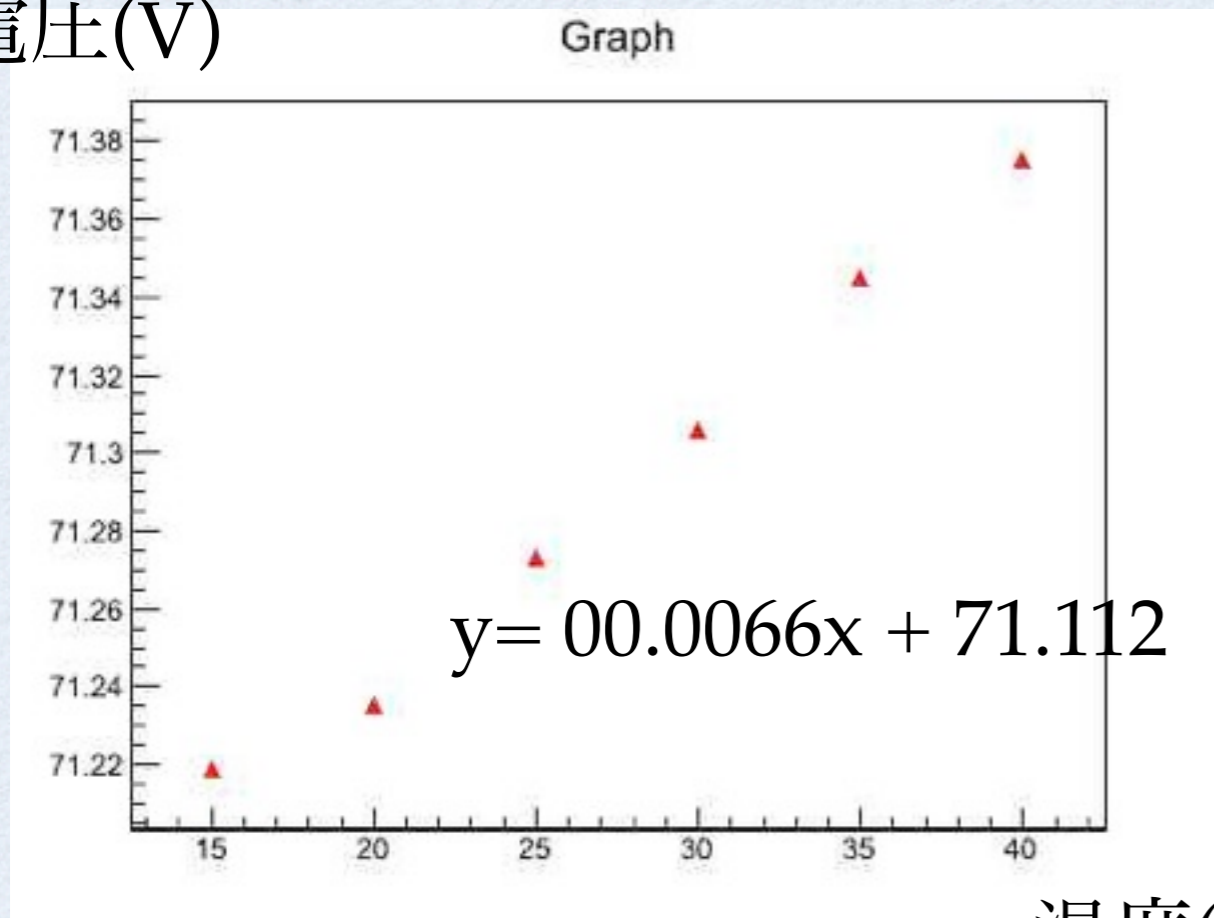
7.5 μ A: 0p.eのピーク幅: 4.62 ± 0.14

MPPC32ch相当の電流が流れていても

電源チップのノイズは問題ない

温度依存性

電圧(V)



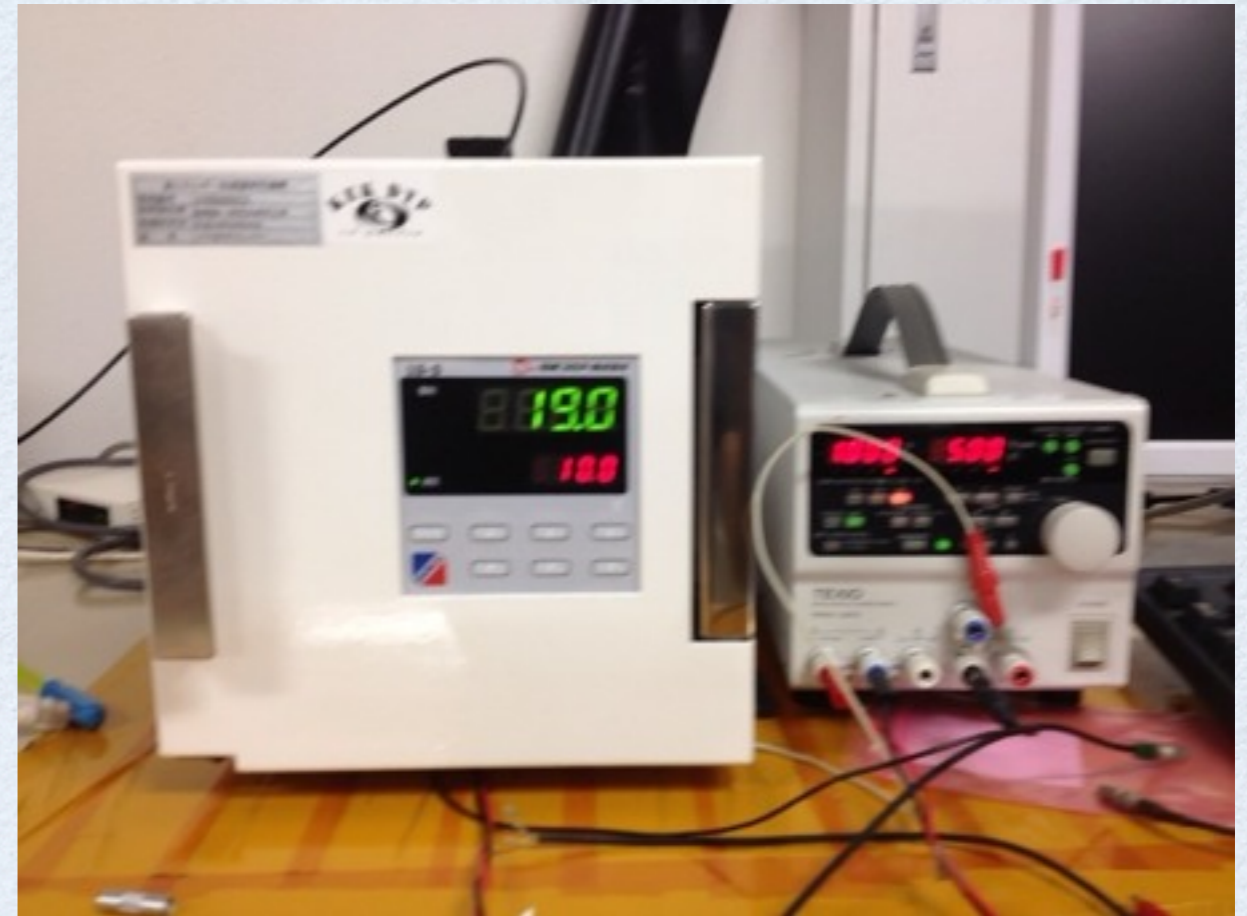
LT3482

温度(°C)

温度依存性

LT3482

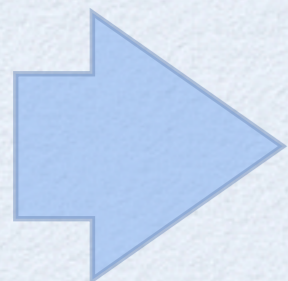
6.6mV/°C



恒温槽に電源チップだけを入れ、
出力電圧の温度依存性を調べた

内部電源まとめ

	GS610 (ソースメーター)	LT3482 (リニアテクノロジー)	HAPM (松定プレシジョン)
SN比(同gain時)	7.09±0.40	6.92±0.31	7.02±0.40
温度依存性		6.6mV/°C	67.4mV/°C
値段		¥ 500 (ICのみ)	¥ 12000 (周辺回路込み)



性能、値段からLT3482に決定

DAC候補

- HV電源制御用のDAC
- 1chでいい
- HV0~80Vを10mVオーダーで制御したい -> 16bit
- 1mV以下の高安定性

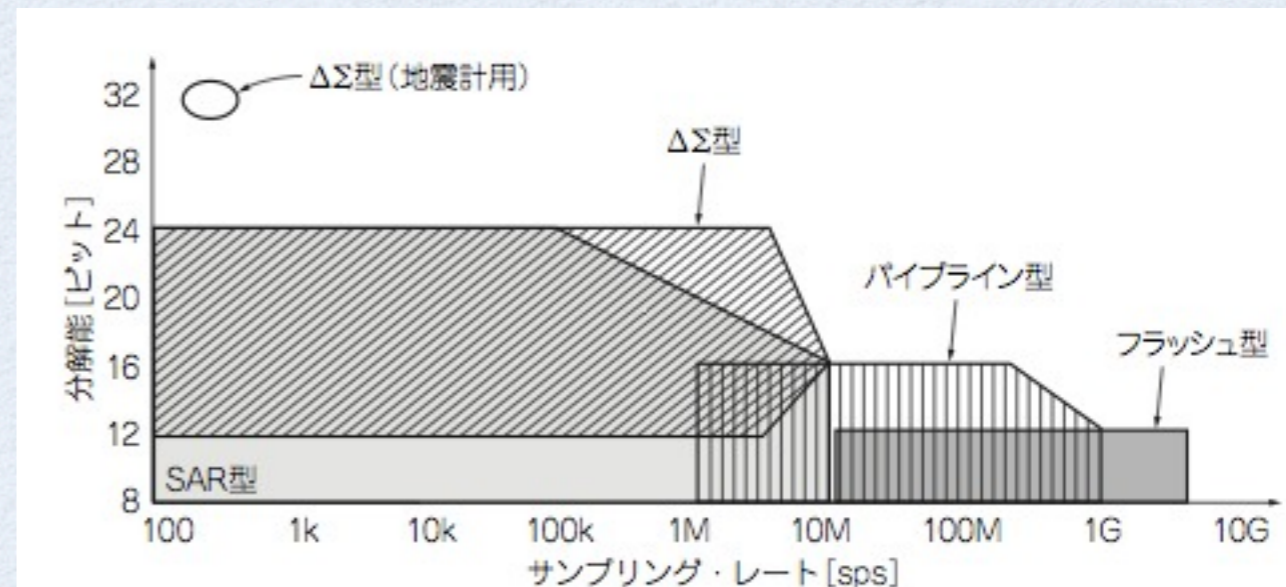
- 候補： LTC2630 AD5620

- 高精度リファレンスを内蔵
2.5Vフルスケール10ppm/°C (LTC2630-L)
4.096Vフルスケール10ppm/°C (LTC2630-H)
- 最大INL誤差:1LSB (LTC2630A-12)
- 低ノイズ:0.7mV_{p-p} (0.1Hz~200kHz)

ADC候補

- 計装用ADC
- 4ch(64chなら6ch)必要 (HV電圧・電流、温度、EASIROC inputDAC)
- HVを10mV単位でモニタできる -> 16bit
- できるだけ高精度
- サンプリングレートは低くていい

- 候補： LTC2488(4ch)
AD7795(6ch)
両方 $\Delta\Sigma$ 型



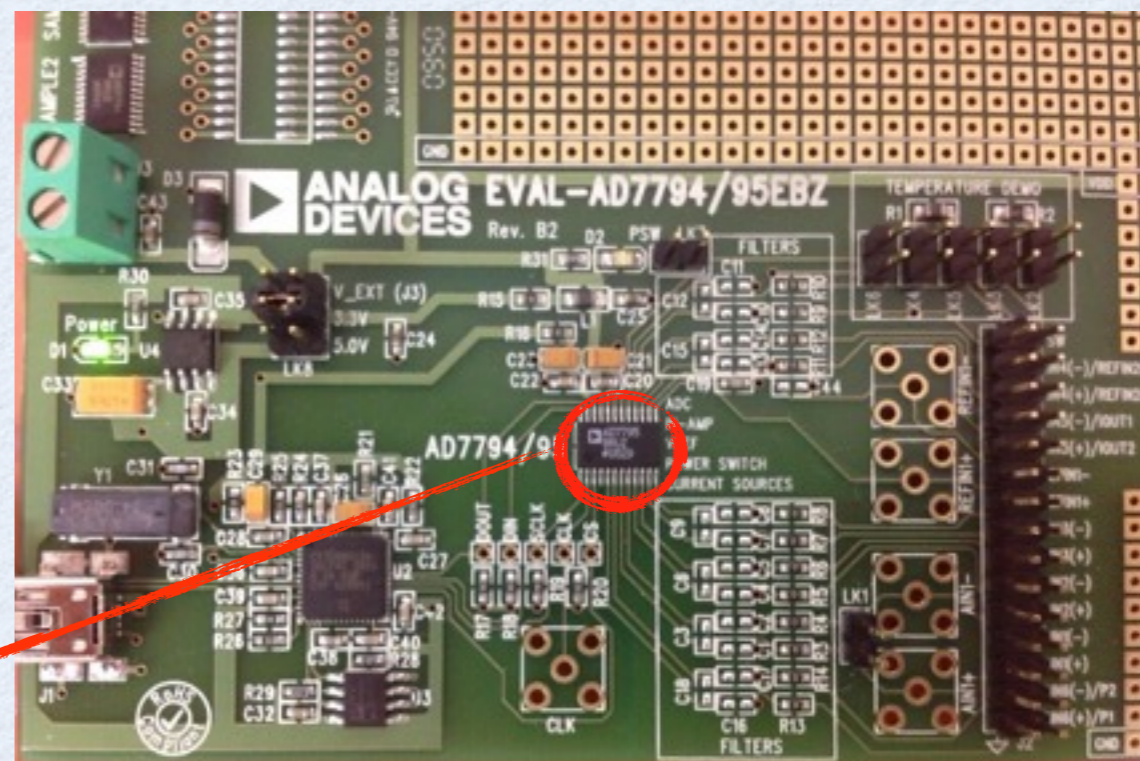
DAC,ADCの試験

- 温度依存性
- 安定性
- 温度計のモニタ
- HV電流モニタ
- HV電圧モニタ
- EASIROC input DAC モニタ

LTC2630



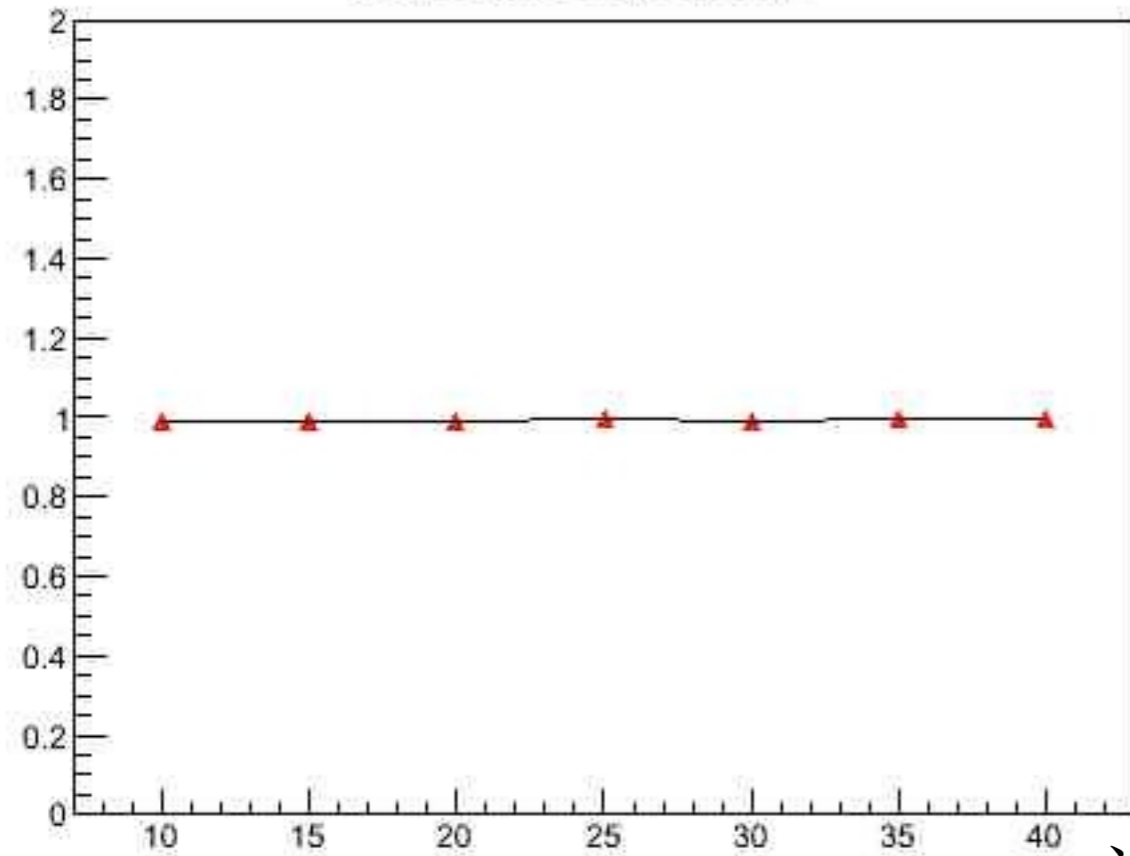
AD7795



温度依存性

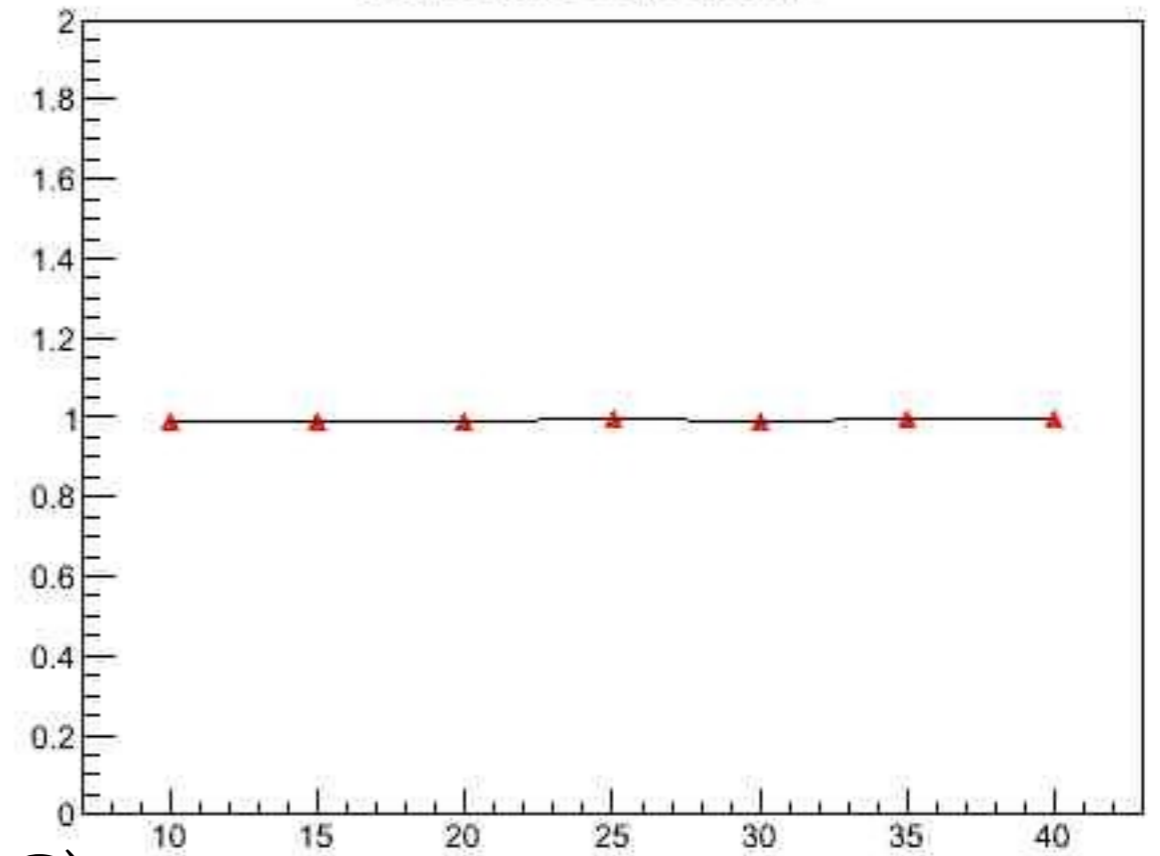
出力電圧(V)

Temperature dependent



読込電圧(V)

Temperature dependent



温度(°C)

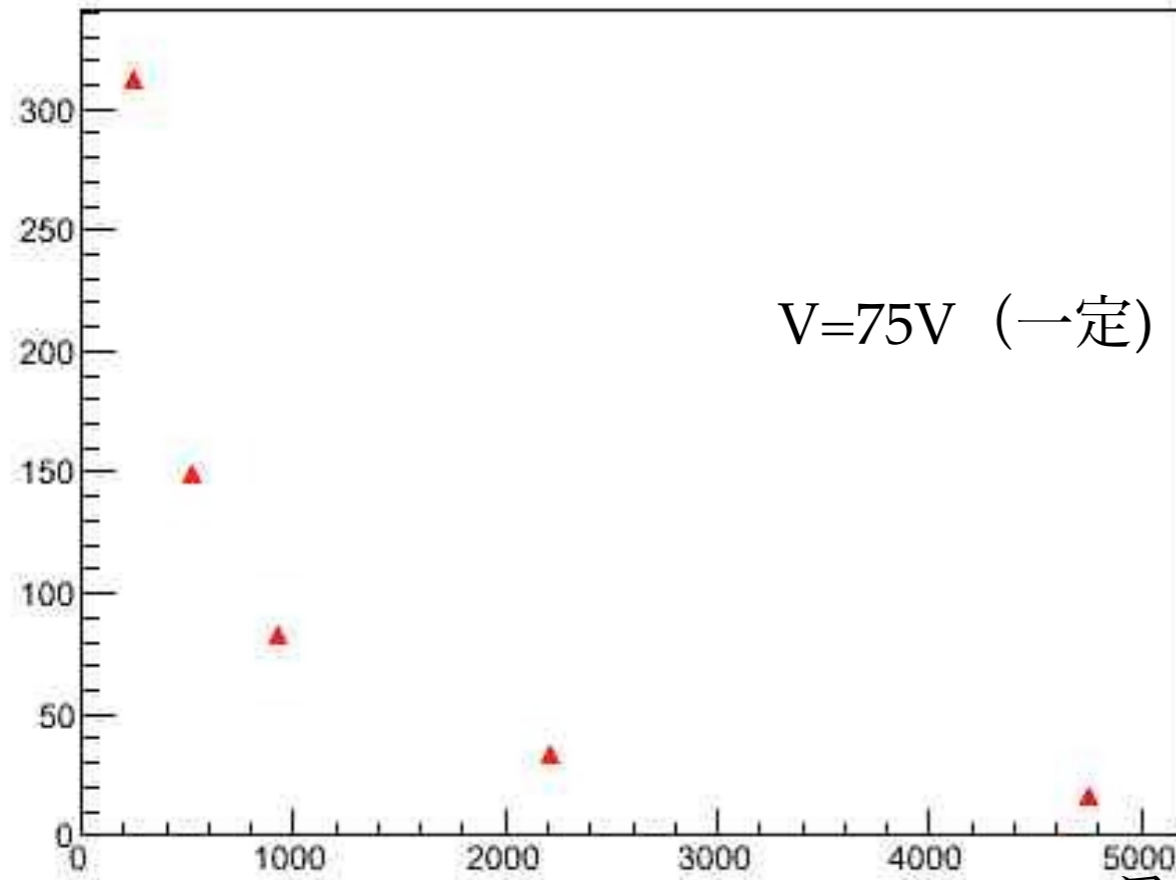
DAC

ADC



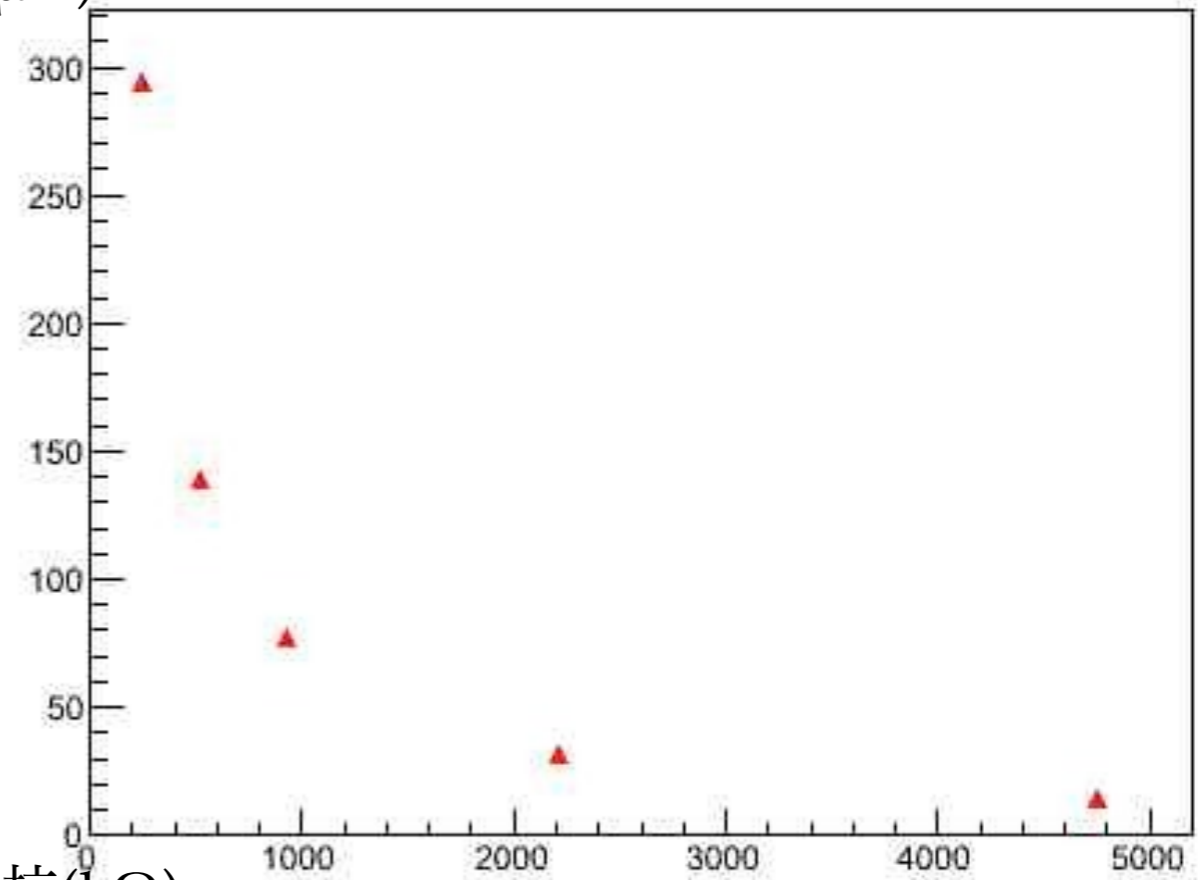
電流モニタ

Graph



ロード抵抗($\text{k}\Omega$)

Graph



理論値

出力電圧(一定)とロード抵抗をマルチメーター (Keithley 199 DMM)で測り、計算した電流の理論値


ADCによる測定

電源チップの電流モニタピンから出力される電圧をADCで読み込んで計算した結果

FPGA

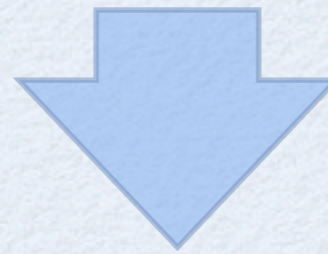
ESIROCボード : spartan6のXC6SLX25

新しい候補 : kintex7のXC7K160T、artix7のXC7A100T

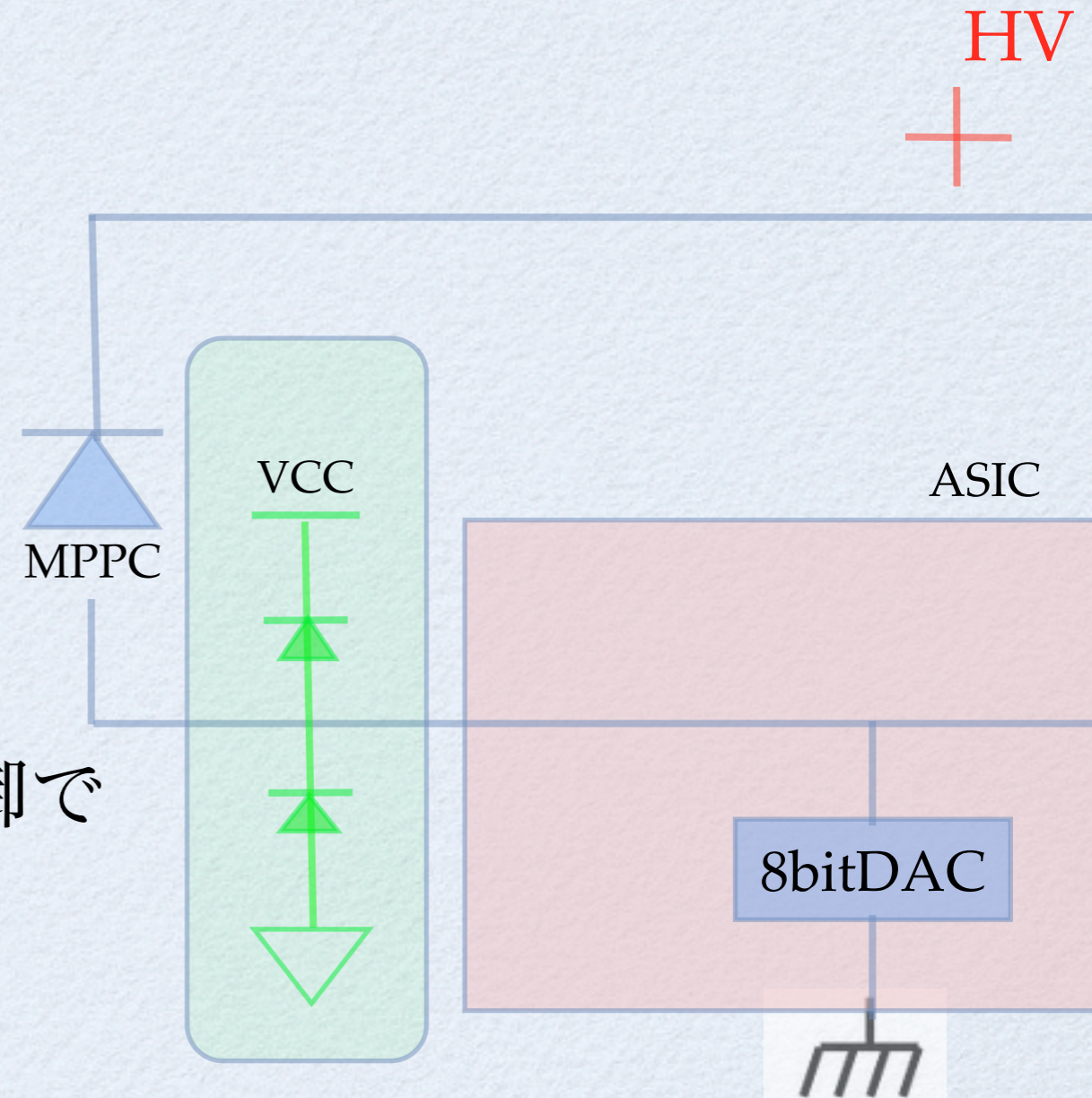
- 容量、ユーザーI/Oピン 今のままでは容量が足りない(ピンはOK)
- spartan6ではMHTDCで1nsのtime resolution を出す事が難しい
-  artix7 が有力候補

保護回路

- MPPCに印加しているHVをショートさせてしまう
(MPPCの極性を間違える、PROBE端子をショートさせてしまう、等)
ことで、ASIC内部に過電圧、過電流がかかりASICの一部が破損してしまう



- 基板上に新たにダイオードによる保護回路を設置する
- HV電流モニタによるプログラム制御で極性間違いを防ぐ

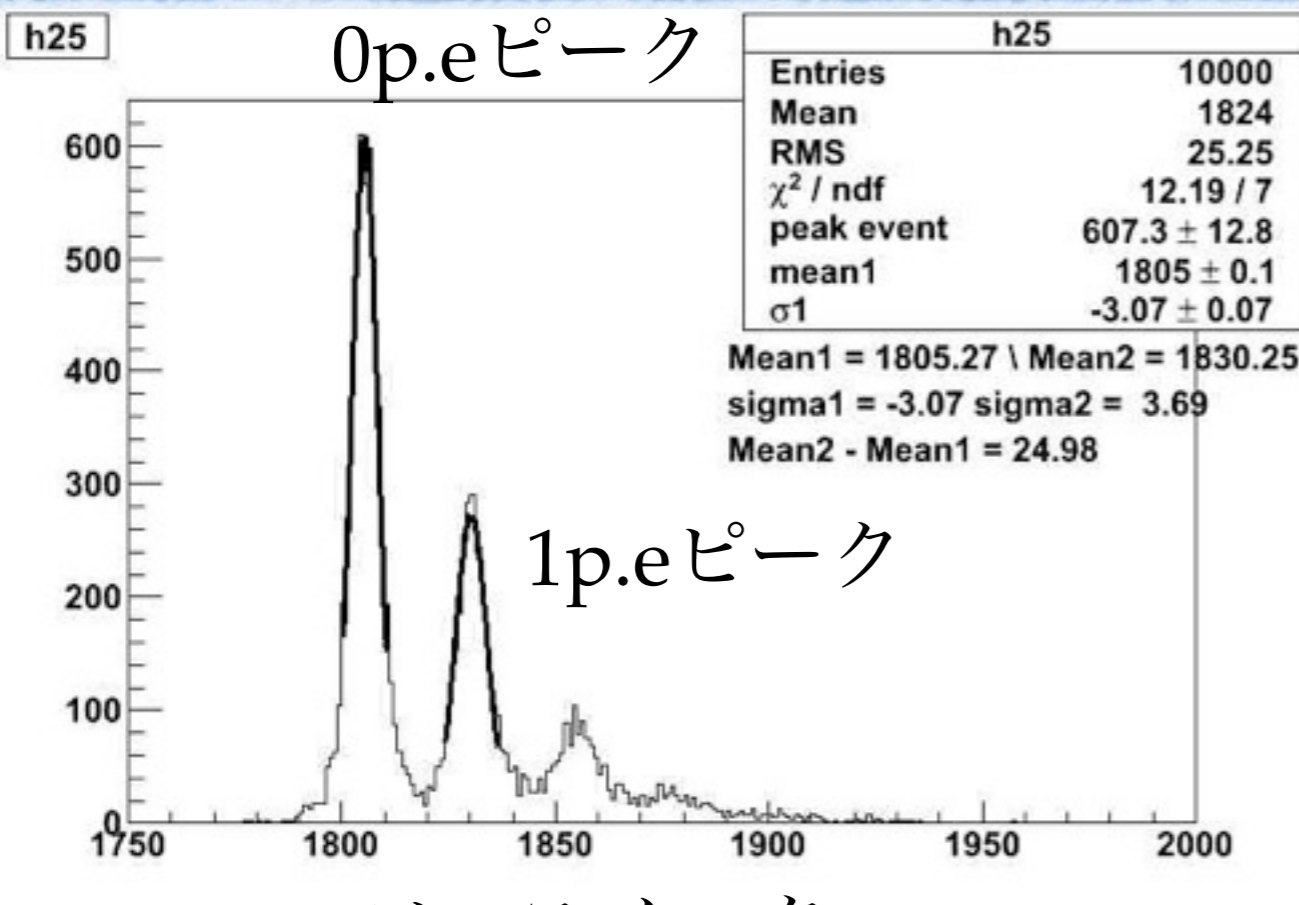


今後の予定

- HV調整用のDACの選定と試験
 - 温度、電圧、電流モニタ用のADCの選定と試験
 - 過電流を防ぐ方法の模索
 - 32ch or 64ch
 - 回路図設計
- 要望受付中!
- 今月中に回路図を完成させて、
年度内に試作機の完成を目指す。

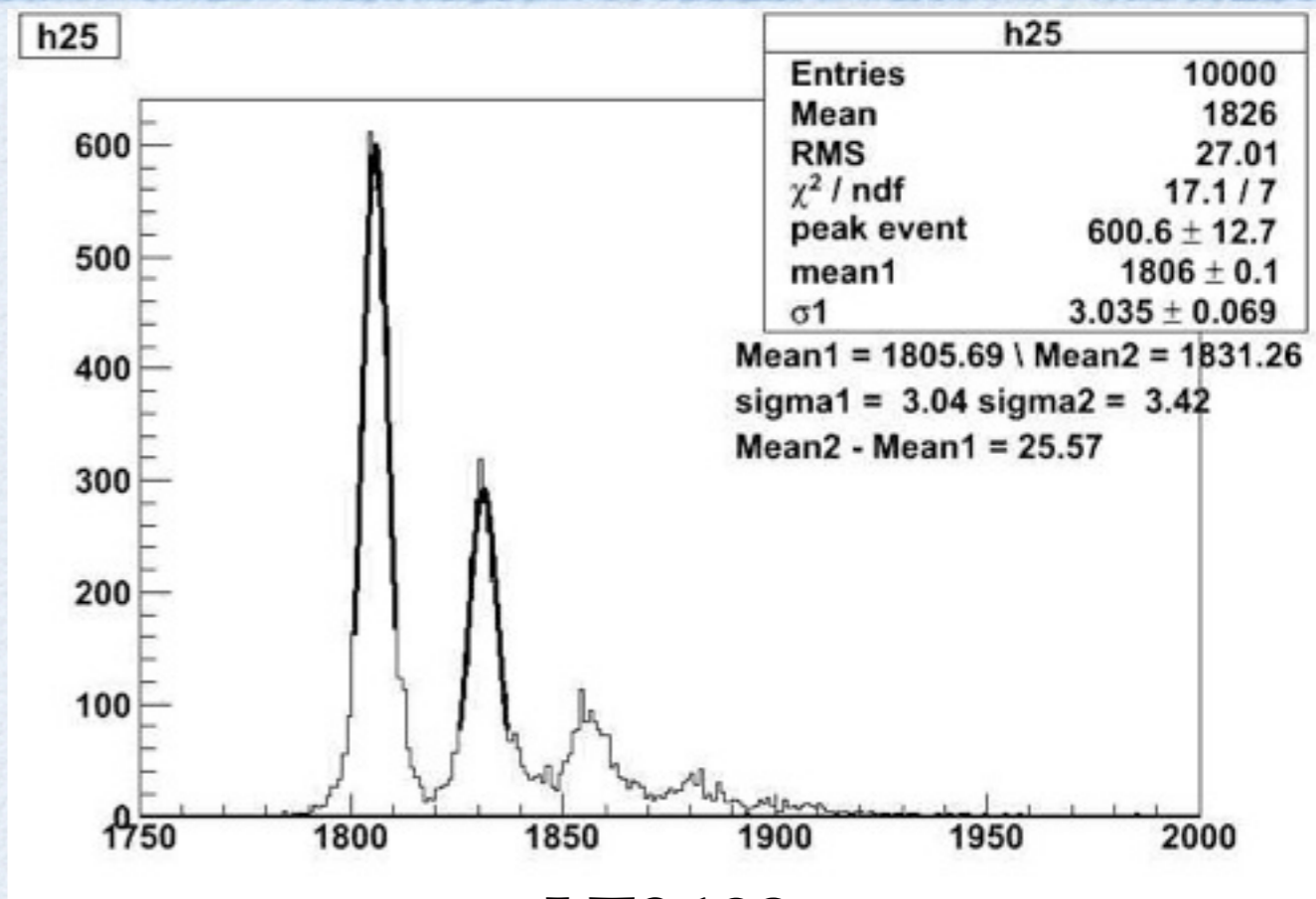
Back up

ソースメーターとのSN比の比較(LEDとeasirocボードによる測定)



ソースメーター

(Keithley2400シリーズ)



LT3482

MPPC : S10362-11-050C(400Pixel)

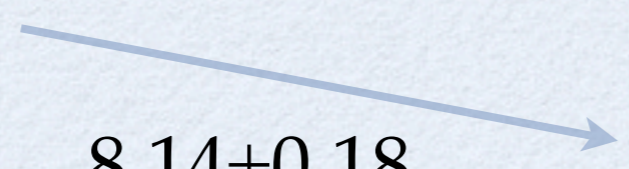
SN比

ソースメーター 8.14 ± 0.18

LT3482 8.41 ± 0.19

1p.eピーク - 0p.eピーク

0p.eピーク幅



主な仕様

- 32chのMPPC同時駆動が可能
- 4.5V 8bit での、32ch個別のHV 調節が可能
- TCP/Ethernetによる制御が可能
- 信号読み出しは内蔵ADCによって取得可能
- Digital I/O のデイジーチェーンによるモジュール間、及び外部機器との同期
- On FPGA TDC、または各チャンネルのDiscr outのLVDS出力による外部TDCによる時間情報の取得

モジュール作成 作業行程

- 主な仕様の決定
- Interfaceの決定
- 新しい部品の選定(内部電源、計装用ADC、HV用DAC、等)
- 回路図の作成
- 発注

EASIROCボードのユーザーによるテスト

- チェレンコフ望遠鏡の読み出し
 - 東海大西嶋さんのグループ
- ビームテスト用のbeam defining counter
 - 大阪大学花垣グループ
- TREK (K時間反転実験) のアクティブターゲット
 - TIPPの発表EASIROC, トライアンプが興味を持っている
 - **偏極ミュオンビーム**
東大駒場松田グループ
- ミュオンビーム用スペクトロメータ用トラッカー
 - KEK MLF Dラインのミュオンモニタ
 - **ミュオンニウム超微細構造**
MLFグループ
- MuSicのビームモニタ
 - 大阪大学久野グループ
 - **MEG グループ**
- T2K前置検出器
 - **ILCカロリメータ**
信州大

検出器に求めるもの

- ビームプロファイルモニタとして使える
- 入射粒子の位置情報が分かる
- event by event で入射粒子の検出ができる
- ビームテストだけでなく多様な場面で使える



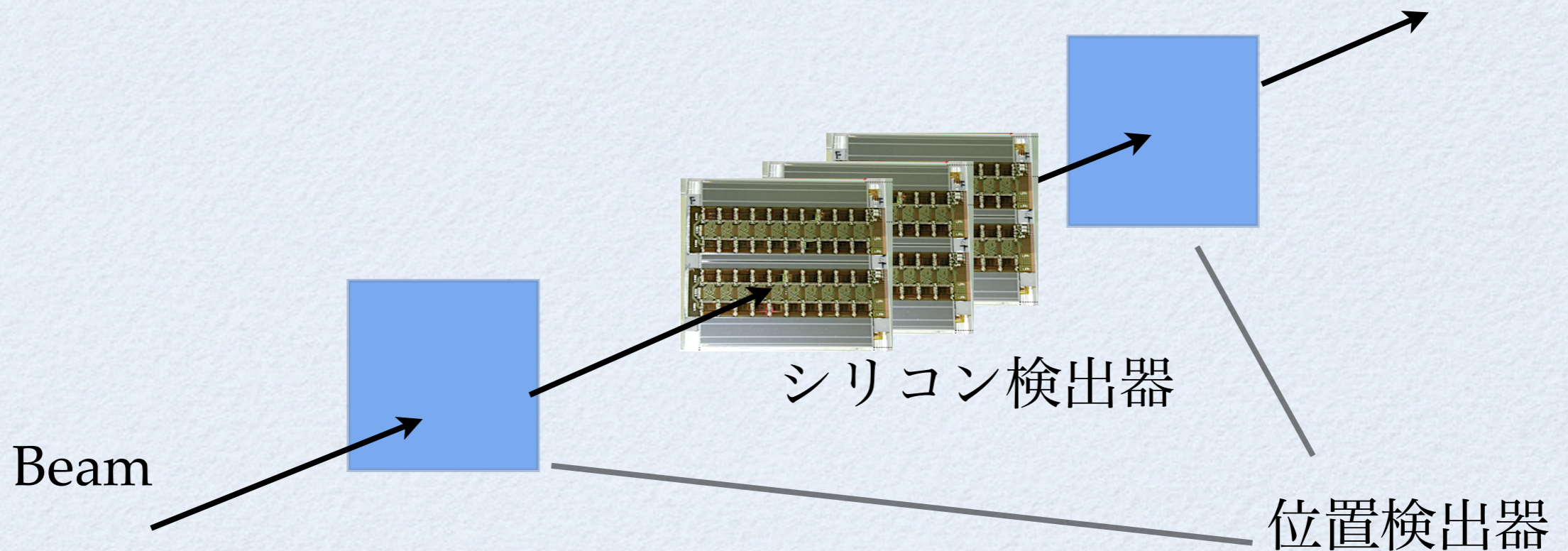
MPPCを用いたScintillating Fiber Tracker

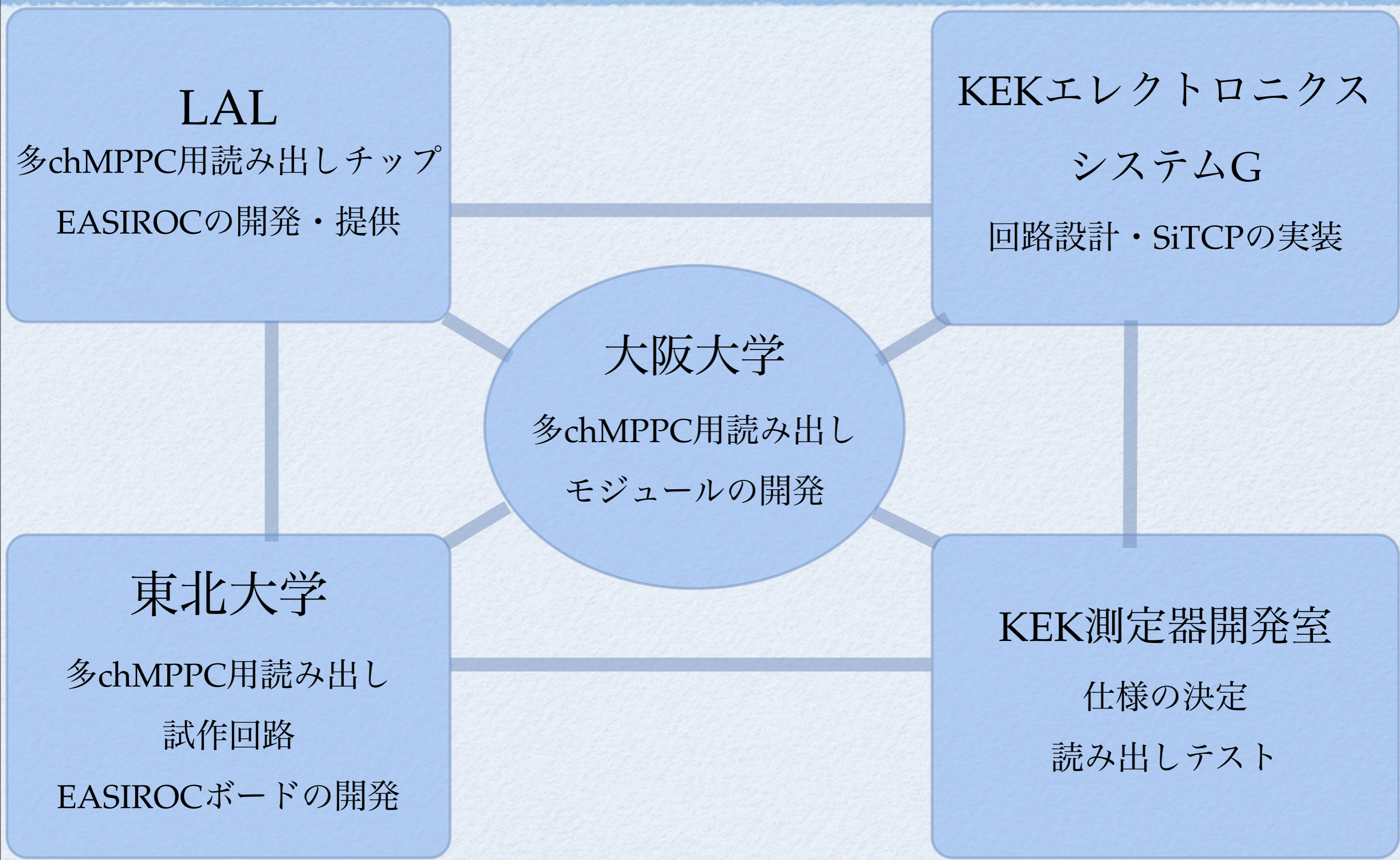
Feedback Capacitance	Low gain value	High gain value
1.5 pF	1	10
1.4 pF	1.07	10.7
1.3 pF	1.15	11.5
1.2 pF	1.25	12.5
1.1 pF	1.36	13.6
1.0 pF	1.5	15
900 fF	1.66	16.6
800 fF	1.875	18.75
700 fF	2.14	21.4
600 fF	2.5	25
500 fF	3.0	30
400 fF	3.75	37.5
300 fF	5.0	50
200 fF	7.5	75
100 fF	15	150

Table 1 – Theoretical preamplifiers gain value vs feedback capacitance

大阪大学ATLASグループの場合

- シリコン検出器のビームテストの為に
ビームプロファイルモニターが欲しい





回路図

書けるところから製作中

