

AXEL実験：長パルス信号を取得可能な多ch MPPC読み出し回路の試作機の性能評価

京大理^A, 神戸大理^B, 横国大工^C,
東大宇宙線研^D, 東北大ニュートリノセ^E, KEK^F, Open-it^G

田中駿祐^{AG}

市川温子^{AG}, 中家剛^A, 中村輝石^{BG}, 潘晟^{AG},
中村和広^A, 吉田将^A, 広瀬昌憲^A, 南野彰宏^C, 関谷洋之^D, 中島康博^D,
上島考太^E, 身内賢太郎^{BG}, 内田智久^{FG}, 池野正弘^{FG}

2018/3/22

日本物理学会 第73回年次大会@東京理科大

目次



- AXEL検出器
- 読み出し回路の構成
- 電源供給方法
- まとめ

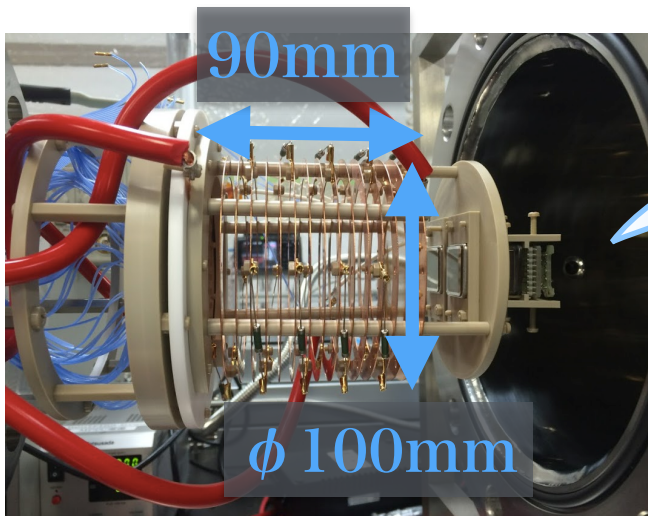


AXEL検出器



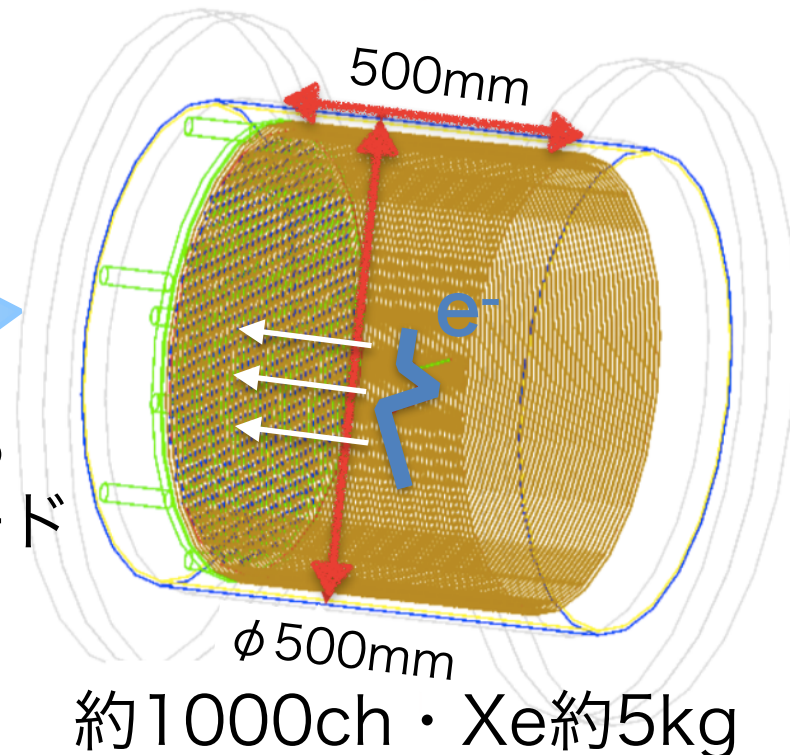
- ニュートリノを伴わない二重 β 崩壊($0\nu\beta\beta$)を観測するための
高エネルギー分解能 高圧Xeガス TPC 検出器

目標**0.5%(FWHM)**@2458keV **大質量** **飛跡検出(背景事象除去)**



64ch · Xe約40g

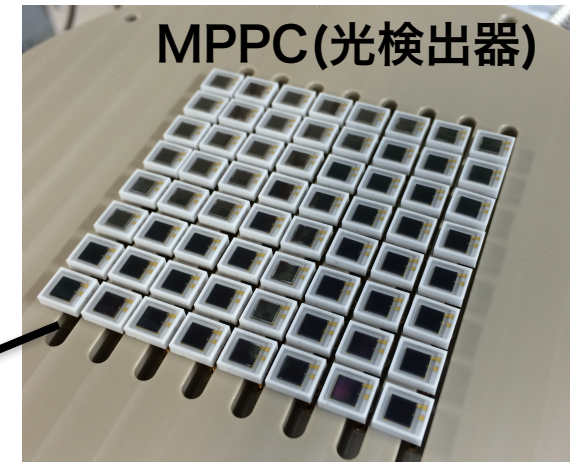
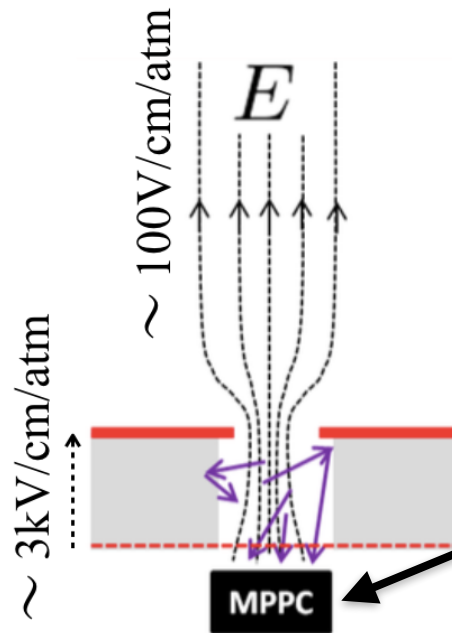
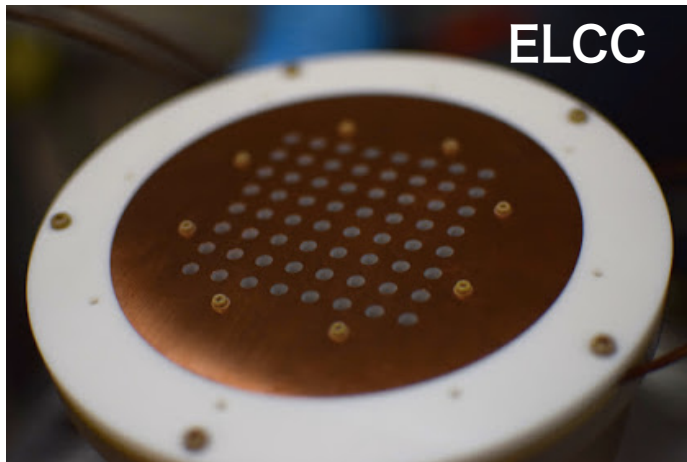
今年中にも
アップグレード
予定



約1000ch · Xe約5kg

電離電子検出器 (ELCC)

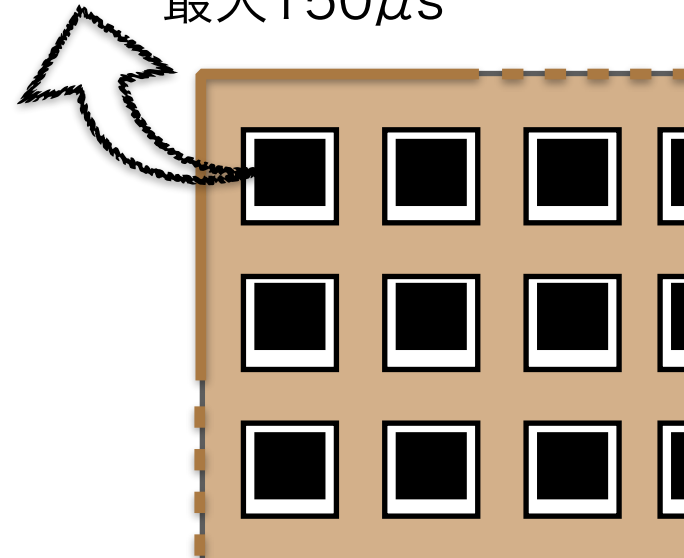
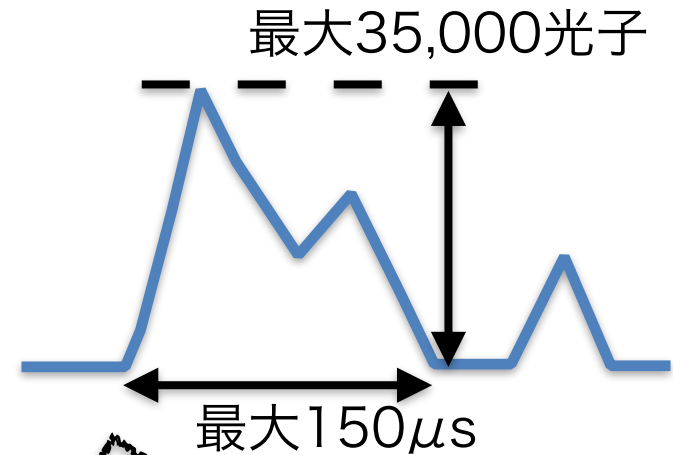
- 多数のMPPCを使用したセル状の検出器
 - 強い電場をかけて、電離電子を穴の中に収集
 - Xeと電子を衝突させ、Xeの脱励起光を観測
- 比例増幅過程を用いることで**精度の高い増幅**が可能



読み出し回路への要求



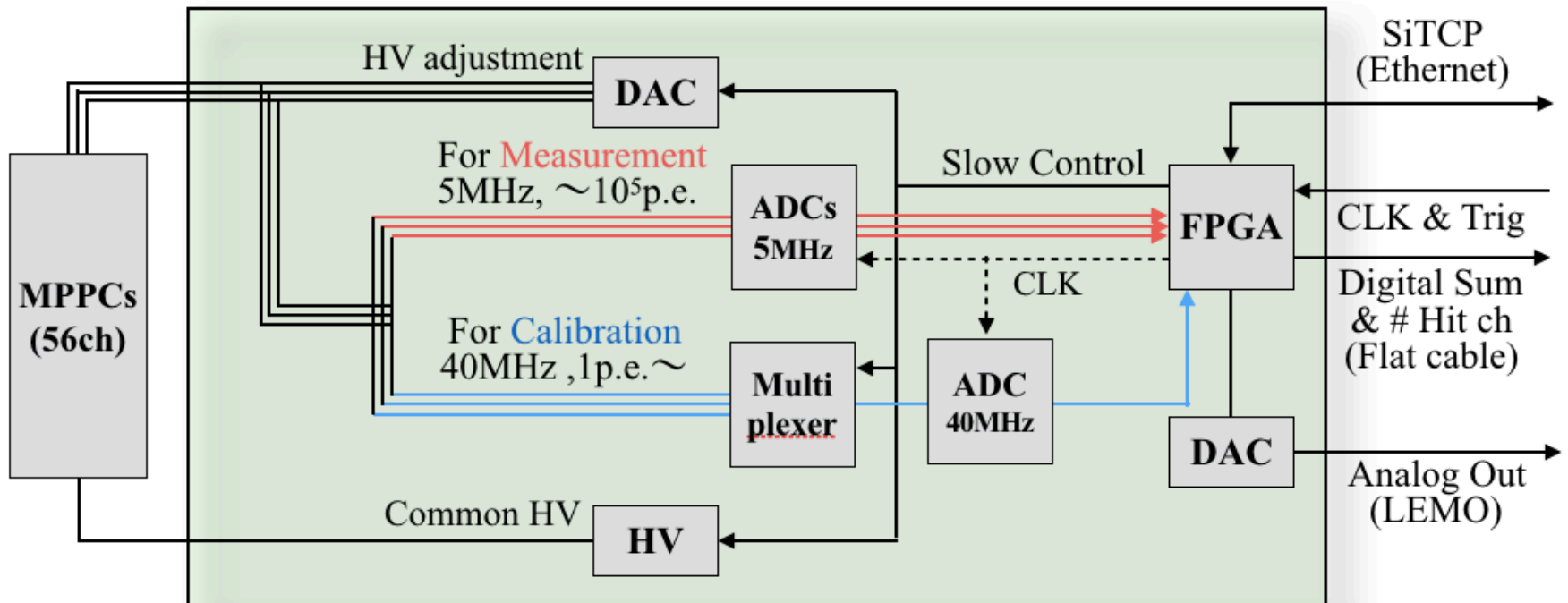
- **20 ~ 35,000個/ μs** の光子数の正確な測定
 - 3桁のダイナミックレンジが必要
- 最大**150 μs** 継続する信号の読み出し
- キャリブレーションのためのMPPCの**1光子波形**(約40ns)の測定
- 56個のMPPCへの**個別の電源供給**
- **低コスト**



読み出し回路の構成

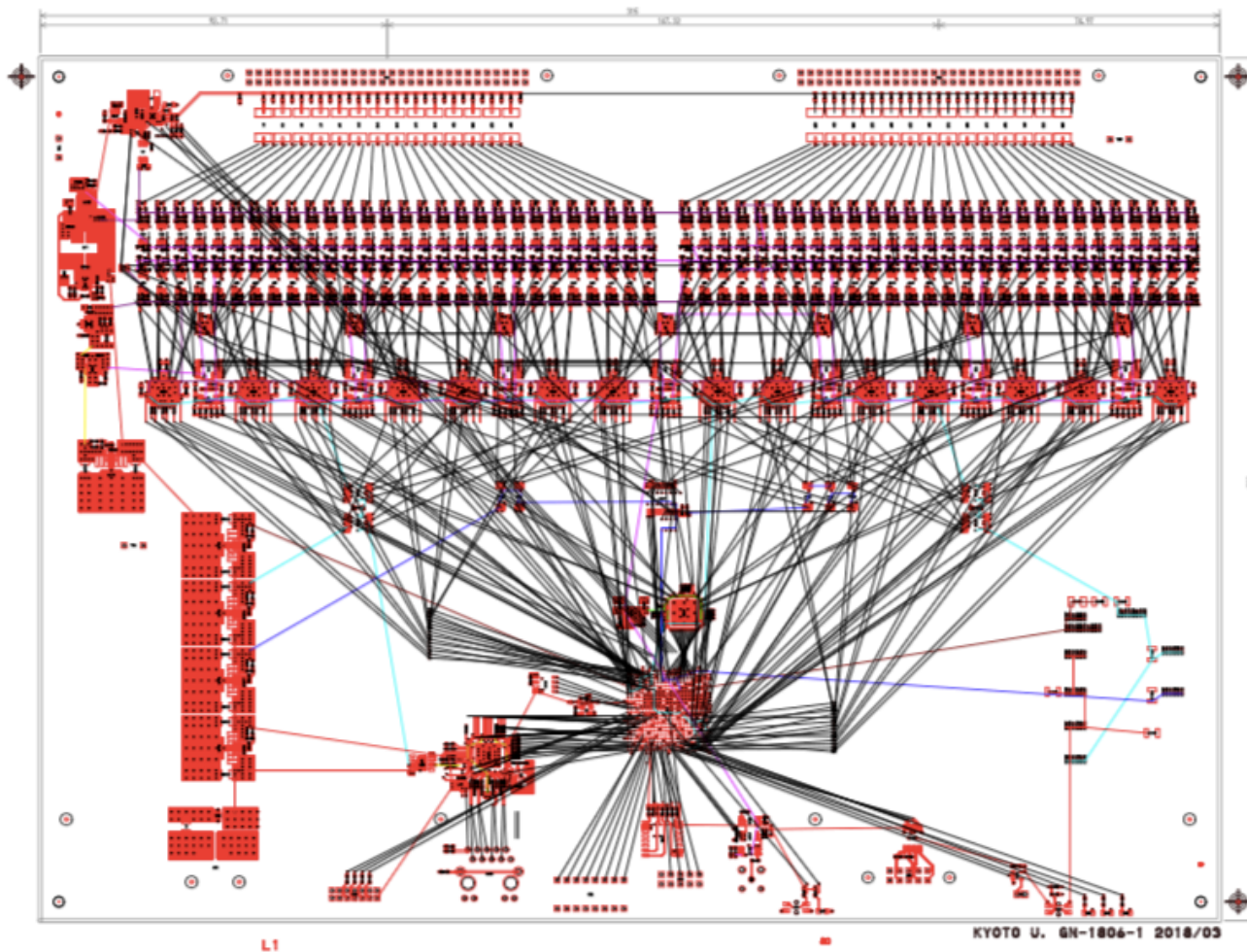
6

- 信号波形測定用 と 1p.e.用 の2種類のADC
- 75V昇圧素子とDACを用いたMPPC個別の電源供給
- 全素子をFPGAで制御



開発状況

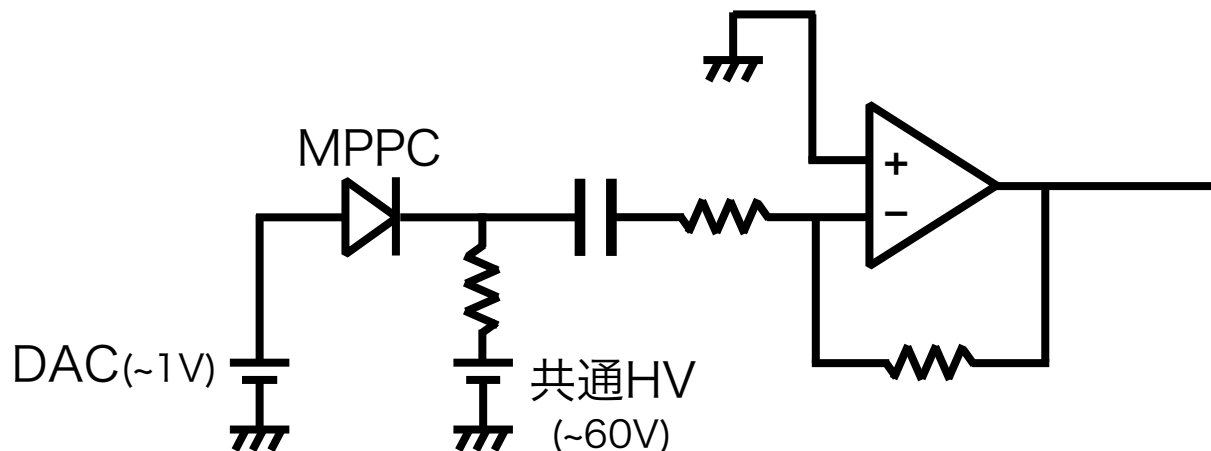
- 5月ごろに納品予定



電源供給(ACカップリング)

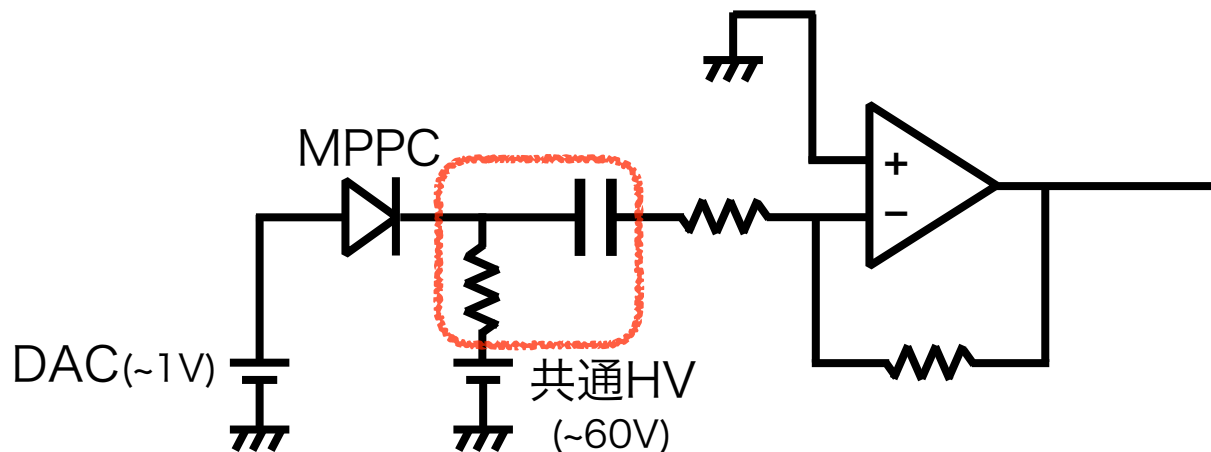
8

- MPPCへの個別の電源供給でよく用いられるのは以下の方法
- 2つの電圧源を用いて、MPPCの両足に電圧を印加
 - 共通HVで、必要電圧より少し高い電圧を供給
 - 逆足から**DAC**で微調整
- 両足ともに電圧がかかっているため、ACカップリングで接続する必要がある



ACカップリングの問題点

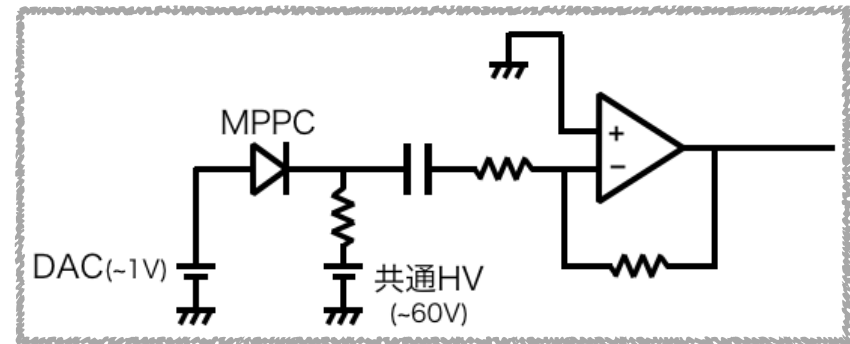
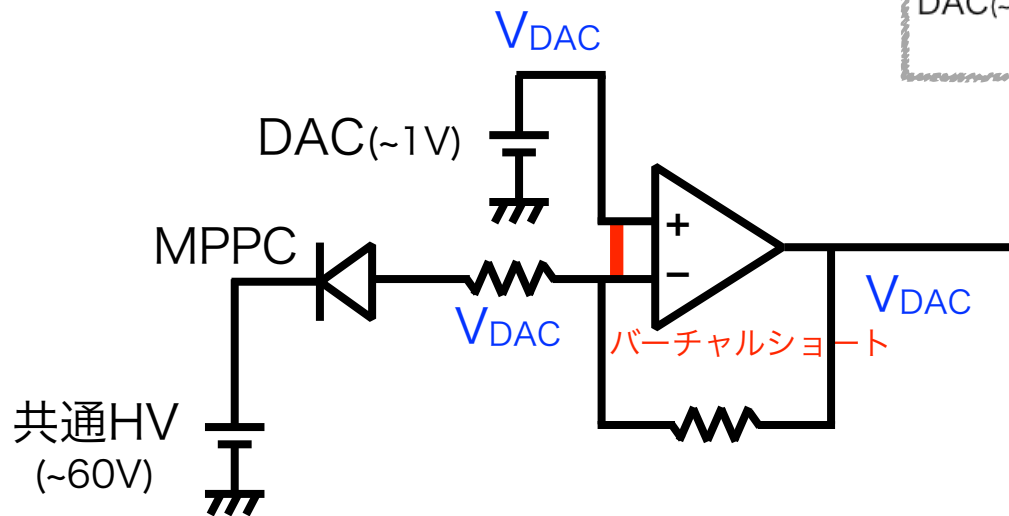
- 赤枠部分がハイパスフィルターを形成する
- $150\mu\text{s}$ もの長い信号を波形のゆがみなく読み出すためには、 100ms 程度の長い時定数が必要
 - レート耐性が非常に低い
- なんとかDCカップリングにしたい



DCカップリング



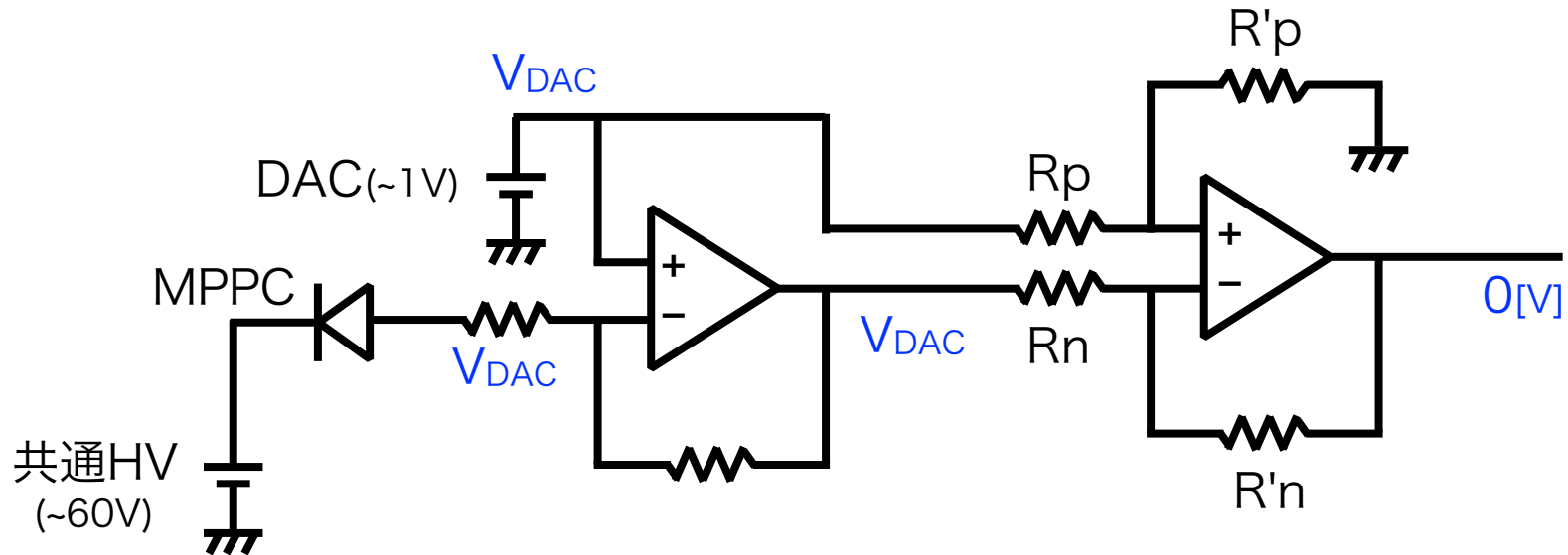
- OpAmpのバーチャルショートを利用して、**MPPCに電圧を印加**
- 出力にも V_{DAC} だけ電圧が印加されてしまう
 - ダイナミックレンジの減少



DCカップリング

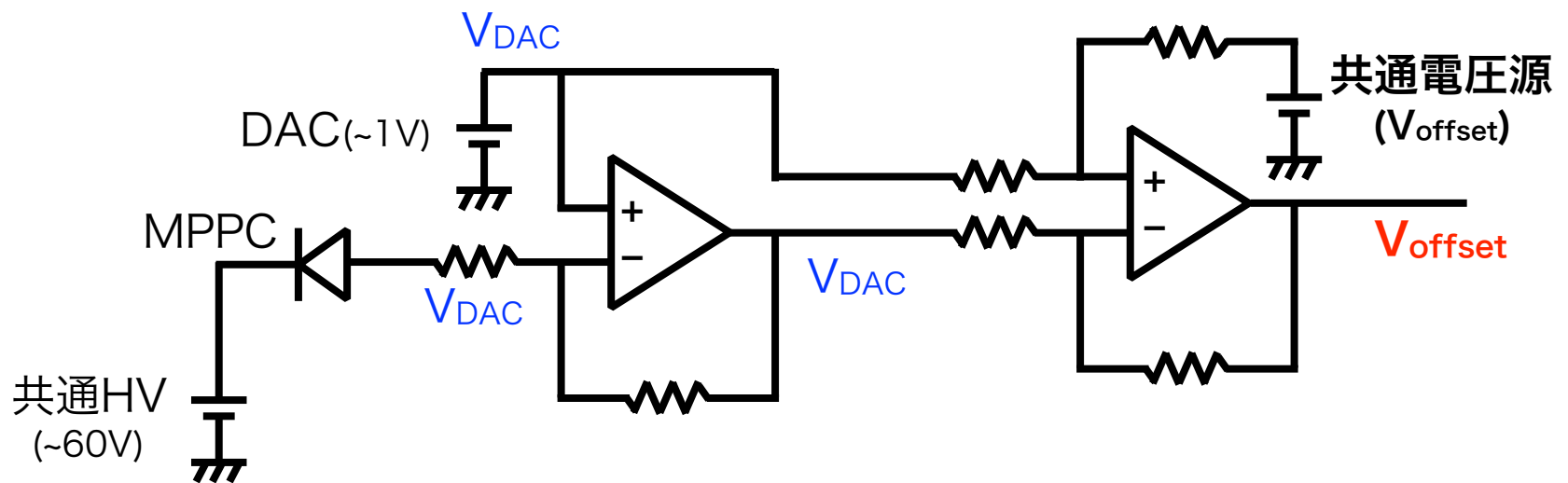


- OpAmpを追加することで、 V_{DAC} を**打ち消すことが可能**
 - 抵抗の比をそろえることで差動増幅回路となり、マイナス側の入力とプラス側の入力の差のみを増幅する



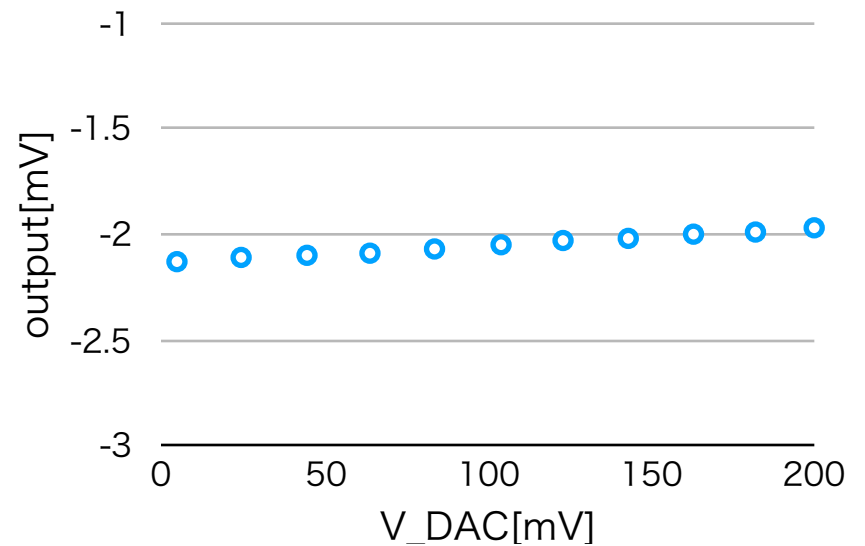
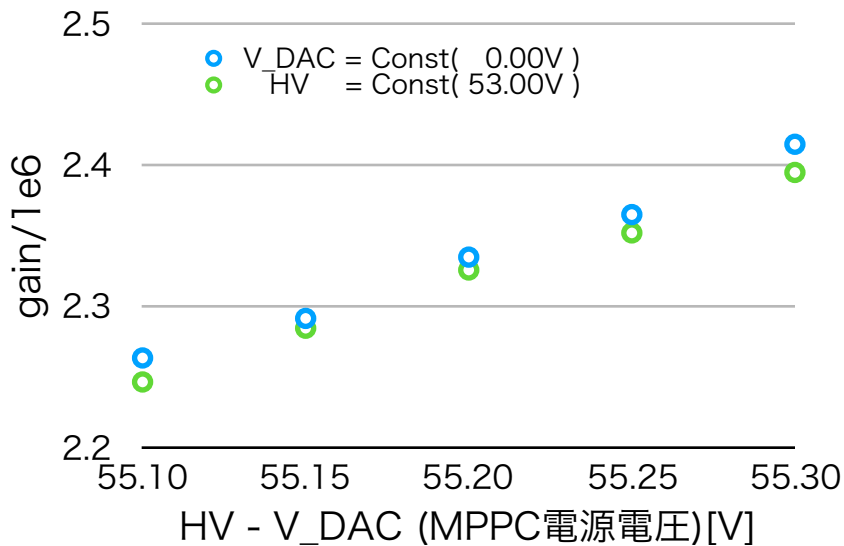
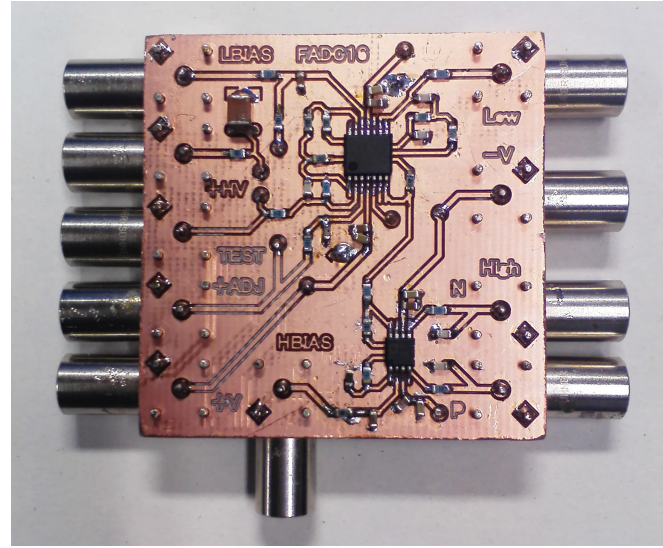
DCカップリング

- OpAmpを追加することで、 V_{DAC} を**打ち消すことが可能**
 - 抵抗の比をそろえることで差動増幅回路となり、
マイナス側の入力とプラス側の入力の差のみを増幅する
- さらに後段の入力に電圧源を接続することで、
オペアンプの出力オフセットを補正することも可能



試作機の評価

- 試作機を作成し、性能評価を行った
- V_{DAC} の変化に応じて
 - MPPCのゲインが変化すること
 - 出力のオフセット電圧がほとんど変化しないことを確かめた



まとめ



- 高圧XeガスTPCを用いた $0\nu\beta\beta$ 探索実験 AXEL
- 検出器の大型化・多ch化のために読み出し回路を開発中
 - 5月にも試作品が完成。性能評価の後 量産へ
- MPPCへの**個別の電圧供給**と**レート耐性**を両立したい
 - OpAmpを1つ増やすことで、
MPPCとの接続を**DCカップリング**に
- 試作機を作成して、電源電圧の微調整が可能なことを確認