

チャージセンシティブ型プリアンプ

APG1603

取扱説明書

第1.2.0版 2023年4月

株式会社 テクノエーピー

〒312-0012 茨城県ひたちなか市馬渡 2976-15

TEL : 029-350-8011

FAX : 029-352-9013

URL : <http://www.techno-ap.com>

e-mail : info@techno-ap.com

目 次

1.	概要.....	4
2.	仕様.....	4
3.	外観.....	5
4.	接続.....	6
4. 1.	入力.....	6
4. 2.	出力.....	6
4. 3.	バイアス入力.....	6
4. 4.	プリアンプ電源.....	6
5.	ブロック図.....	7
6.	出信号例.....	11
6. 1.	入力容量最小時（弊社テスト入力回路接続時）.....	11
6. 2.	検出器接続例.....	13

安全上の注意・免責事項

このたびは株式会社テクノエーピー（以下「弊社」）の製品をご購入いただき誠にありがとうございます。ご使用前に、この「安全上の注意・免責事項」をお読みの上、内容を必ずお守りいただき、正しくご使用ください。

弊社製品のご使用によって発生した事故であっても、装置・検出器・接続機器・アプリケーションの異常、故障に対する損害、その他二次的な損害を含む全ての損害について、弊社は一切責任を負いません。

禁止事項

- 人命、事故に関わる特別な品質、信頼性が要求される用途にはご使用できません。
- 高温、高湿度、振動の多い場所などでのご使用はご遠慮ください（対策品は除きます）。
- 定格を超える電源を加えないでください。
- 基板製品は、基板表面に他の金属が接触した状態で電源を入れないでください。

注意事項

- 発煙や異常な発熱があった場合はすぐに電源を切ってください。
- ノイズの多い環境では正しく動作しないことがあります。
- 静電気にはご注意ください。
- 製品の仕様や関連書類の内容は、予告無しに変更する場合があります。

保証条件

「当社製品」の保証条件は次のとおりです。

- 保証期間 ご購入後一律 1 年間といたします。
- 保証内容 保証期間内で使用中に故障した場合、修理または交換を行います。
- 保証対象外 故障原因が次のいずれかに該当する場合は、保証いたしません。
 - (ア) 「当社製品」本来の使い方以外のご利用
 - (イ) 上記のほか「当社」または「当社製品」以外の原因（天災等の不可抗力を含む）
 - (ウ) 消耗品等

1. 概要

APG1603は超小型のチャージセンシティブ型プリアンプです。CZT、CdTe、Siなどの半導体検出器やHe-3やB-10などの中性子検出器等に幅広く対応が可能です。

本書は、APG1603（以下本機器）の取り扱いについて記載するものです。

2. 仕様

(1)	雑音特性 (*1)(*4)	
	• ENC RMS	88 electrons
	• 入力容量	OpF 750eV@1MeV (si) 2 μ ST 時
	• 入力容量	100pF 2.7 keV@1MeV (si) 2 μ ST 時
	帰還回路	1G Ω 0.5pF
(2)	Rise-time	40nsec (*1)
(3)	Decay-time	100usec (*1)
(4)	感度	11 V/pC (*1)
(5)	検出器バイアス	\pm 1000V(Max)
(6)	出カインピーダンス	50 Ω
(7)	入力カップリング	AC
(8)	電源	\pm 12V \pm 30mA (無負荷時)
(9)	入力コネクタ	BNC
(10)	出力コネクタ	BNC (*2)
(11)	検出器バイアスソケット	LEMO 社製 00.250 互換 (*3)
(12)	プリアンプ電源・信号コネクタ	多治見無線電機社製 R03-R5M
(13)	外形寸法	20 (W) x 82 (D) x 20 (H) mm (*5)
(14)	重量	約 50g (*6)

(*1) 弊社テスト入力回路接続時、本機器にテスト入力機能はありません

(*2) 専用複合ケーブル（別売）接続時

(*3) 専用複合ケーブル（別売）使用

(*4) 温度 20 $^{\circ}$ C湿度 50%以下での値

(*5) コネクタ、ネジ、ゴム足は除く

(*6) 専用ケーブルを除く

※ 専用複合ケーブル（型式：CBL-APG1603-2）は別売りになります。

3. 外観



写真1 APG1603

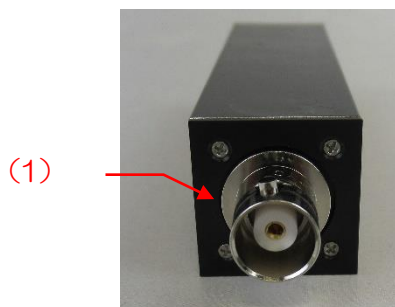


写真2 入力側

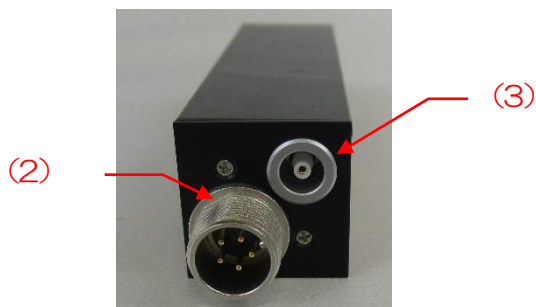


写真3 出力側

- (1) 入力 (検出器) 側 BNC コネクタ
- (2) プリアンプ電源、信号出力用 R03-R5M コネクタ
- (3) バイアス入力用 LEMO 社製 00.250 互換ソケット **※プリアンプ出力信号用ではありません**

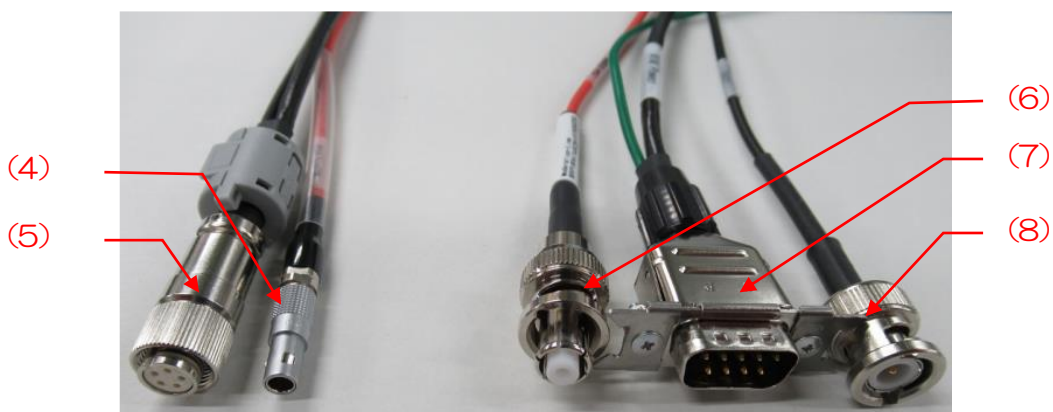


写真4 別売りの専用複合ケーブル (左側: プリアンプ側、右側: バイアス、プリアンプ電源、計測器側)

- (4) バイアス入力 LEMO 社製 00.250 互換プラグ 上記 (3) に接続
- (5) プリアンプ電源及びプリアンプ出力信号用 R03-RB5F コネクタ 上記 (2) に接続
- (6) バイアス入力用 SHV コネクタ
- (7) プリアンプ電源用 Dsub9pin コネクタ
- (8) プリアンプ出力信号用 BNC コネクタ

4. 接続

※ ケーブルの接続作業は、機器を破壊する恐れがありますので、必ず本機器及び接続機器の電源を切った状態で行なって下さい。

4. 1. 入力

本機器の入力側 BNC コネクタに検出器を接続します。信号は AC カップリングです。
バイアス電圧が $1\text{G}\Omega$ を経由して印加されます。

4. 2. 出力

本機器の出力側 R03-R5M コネクタより出力され、別売の専用ケーブルにて BNC ケーブルに変換して出力されます。出カインピーダンスは 50Ω です。

4. 3. バイアス入力

本機器の出力側バイアス入力用 LEMO 社製 00.250 互換ソケットに入力します。専用複合ケーブルのバイアス入力用 LEMO 社製 00.250 互換プラグを接続します。LEMO 社製 00.250 互換プラグから SHV コネクタケーブルに変換してバイアス電圧を接続します。

4. 4. プリアンプ電源

本機器の出力側 R03-R5M コネクタより入力します。専用複合ケーブルで Dsub9pin コネクタに変換します。Dsub9pin コネクタに $\pm 12\text{V}$ を供給します。ピン配置は下表の NIM 規格準拠です。

表 1 プリアンプ電源コネクタピン配置

1	GND	6	NC
2	NC	7	NC
3	NC	8	NC
4	+12V	9	-12V
5	NC		

5. ブロック図

本プリアンプ回路の内部ブロック図を以下に示します。

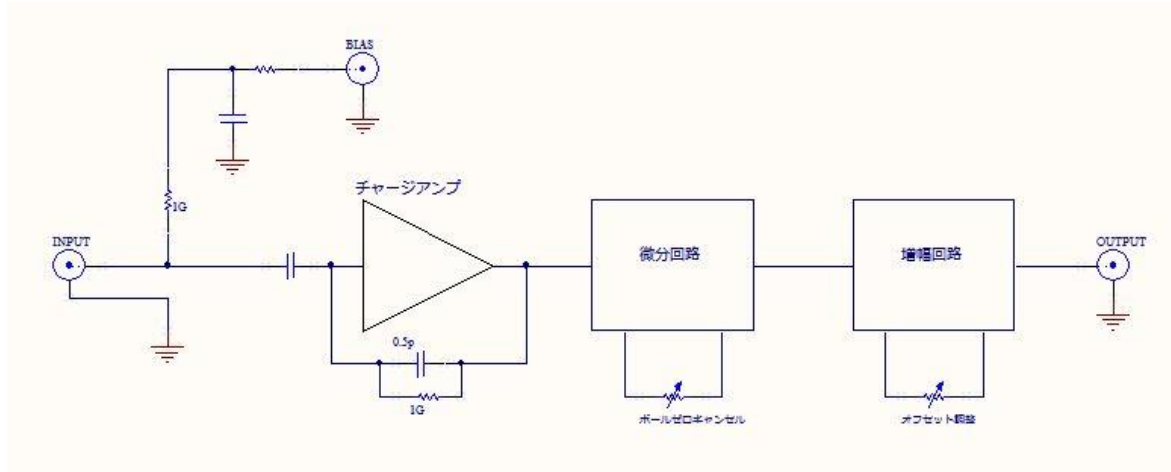
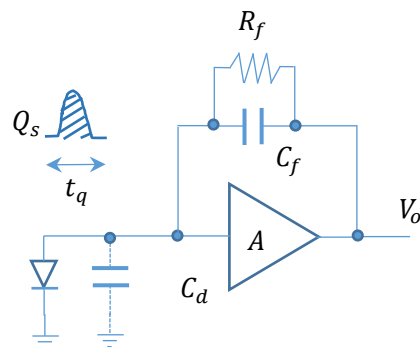


図1 内部ブロック図

APG1603 は超小型で超低雑音特性を実現したチャージセンシティブ型プリアンプです。CZT、CdTe、Si などの半導体検出器 や He-3 や B-10 などのガス型中性子検出器等に幅広く対応が可能です。入力段には超低雑音で高gmの最新のFET を採用しております。また自社開発した回路構成によって雑音特性を失わずに小型化が可能となりました。

【動作原理】



X 線やγ線、中性子線、荷電粒子などが半導体検出器やガス型検出器等の放射線検出器に入射すると、電離作用により電子正孔対が生成され、電荷が生成されます。その電荷量は放射線のエネルギーに比例して出力されますが、非常に微小です。ここで半導体検出器にチャージセンシティブ型プリアンプを使用すると、放射線エネルギーの大きさに比例して十分に増幅した電圧パルスとして取り出すことが可能になります。

Q_s は電荷パルスの信号でフィードバックコンデンサ C_f にすべて積分された信号が電圧 V_o に変換されます。フィードバック抵抗 R_f は、フィードバックコンデンサ C_f と並列に接続して C_f に貯まった電荷を減衰させます。これは次々に電荷パルスが発生してパイルアップしてパルス波形が飽和しないようにするためです。減衰時間は $\tau = R_f C_f$ になります。

検出器が $t=0$ から t_q までの時間間隔で一定の電荷を生成すると仮定すると、入力電荷はラプラス変換にて

$$Q(s) = Q_s \left(\frac{1}{s} - \frac{e^{-st_q}}{s} \right)$$

ここで、 Q_s は $t=0$ と $t=t_q$ の間に注入された総電荷です。

同様に、チャージセンシティブ型プリアンプの伝達関数のラプラス変換は次の式であたえられます。

$$T(s) = -\frac{1}{C_f} \frac{1}{s + 1/\tau}$$

出力電圧の式は次の通りです。

$$V(s) = Q(s)T(s) = -Q_s \left(\frac{1}{s} - \frac{e^{-st_q}}{s} \right) \left(\frac{1}{C_f} \frac{1}{s + 1/\tau} \right)$$

さらに、 $t_q \ll \tau$ と仮定すると、次のように簡略化できます。

$$V_o(t) = -\frac{Q_s}{C_f} \frac{1 - e^{-t/\tau}}{t_q/\tau} \quad 0 \leq t \leq t_q$$

$$V_o(t) = -\frac{Q_s}{C_f} e^{-t/\tau} \quad t_q \leq t$$

【Gain】

検出器内で吸収されたエネルギーを E 、生成された電荷を Q 、検出器の静電容量 (C_d) とチャージセンシティブ型プリアンプの入力端における静電容量を C_i 、フィードバック抵抗を R_f とした場合、チャージセンシティブ型プリアンプの増幅度 A が十分に大きい場合、フィードバックコンデンサ C_f で決まる一定の値になります。

$$V_o = \frac{AQ}{\{(C_d + C_i) + (1 + A)C_f\}} \cong \frac{Q}{C_f}$$

実際の放射線エネルギーに対する出力電荷 Q は、下記の式であたえられます。

$$Q = \frac{E \cdot e^-}{\varepsilon} \text{ (coulomb)}$$

E : energy (eV)

e^- : elementary charge 1.6×10^{-19} (coulomb)

ε : 電子正孔対を1ペア作るのに要するエネルギー

材料	ε
Si	3.62
Ge	2.96
CdTe	4.43
CdZnTe	4.6

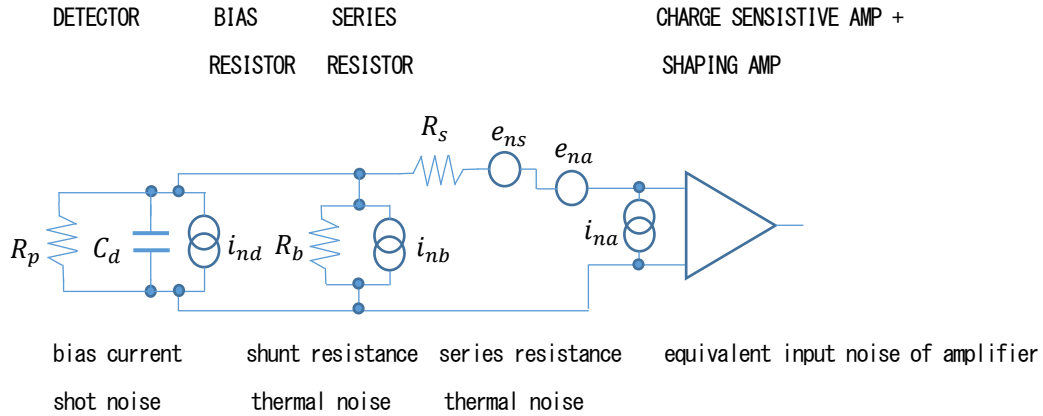
ここで APG1603 の使用した場合の 1MeV あたりの出力電圧いわゆる感度は Si 半導体検出器の場合、APG1603 のフィードバックコンデンサ C_f が 0.5pF なので

$$\frac{e^-}{C_f} \cdot \frac{1}{\varepsilon} = \frac{1.6 \times 10^{-19}}{0.5 \times 10^{-12}} \cdot \frac{1}{3.62} = 8.8 \times 10^{-8} (V/eV)$$

$$= 88 (mV/MeV)$$

となります。

【等価雑音電荷】

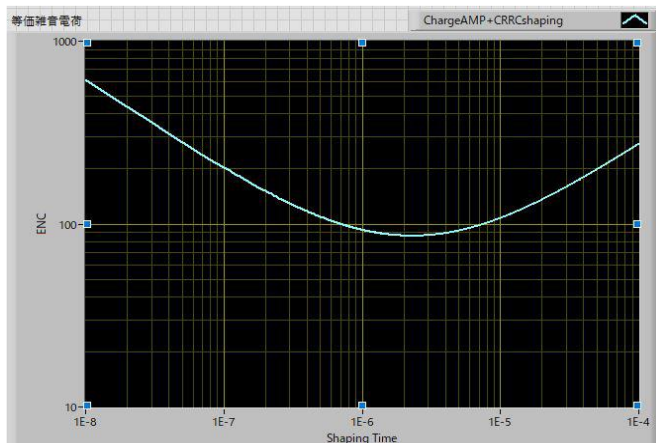


等価雑音電荷 Q_n は下記の式で表すことができます。

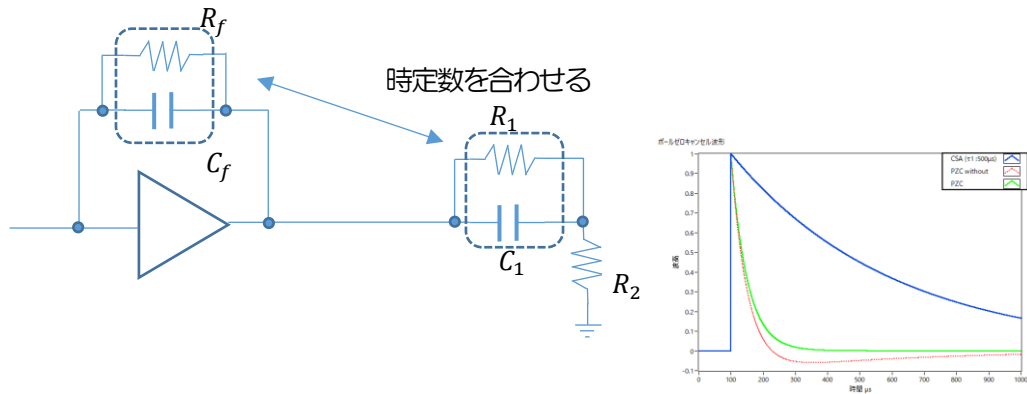
$$Q_n^2 = \left(\frac{e^2}{8}\right) \left[\left(2q_e I_D + \frac{4kT}{R_p} + i_{na}^2\right) \cdot \tau + (4kTR_s + e_{na}^2) \cdot \frac{C_D^2}{\tau} + 4A_f C_D^2 \right]$$

$$e_{na}^2 = e_{nw}^2 + \frac{A_f}{f}$$

- K : ボルツマン定数
- T : 絶対温度
- τ : シェイピングタイム
- $1/f$: $1/f$ ノイズ
- A_f : Amplifier Gain



【Pole Zero Cancellation】



$$T_1 = -\frac{R_f}{1+sC_fR_f} \text{の分母を } T_2 = \frac{R_2}{R_1+R_2} \frac{1+sC_1R_1}{1+sC_1(R_1/R_2)} \text{の分子で相殺することによりポールゼロキャンセルが}$$

できます。APG1603 の初段のチャージセンシティブアンプの時定数は $0.5\text{pF} \times 1\text{G}\Omega = 500\mu\text{s}$ です。これでは、パイルアップの確率が高まりますので、次段のポールゼロキャンセル微分回路で $50\mu\text{s}$ に整形しています。

ポールゼロキャンセルは調整された状態で出荷されます。

【電圧増幅回路】

APG1603 の出力はケーブルでリニア増幅器等に接続されますが、ケーブルが長かったり電源環境が悪い場合、チャージセンシティブアンプやポールゼロキャンセル回路にノイズが混入し、S/N を悪化させる可能性があります。その為ケーブルドライバ、バッファ増幅器の意味も含めて APG1603 には最終段に電圧増幅回路が内蔵されてます。

出荷時の増幅率は 7 倍ですが、変更可能です。ガス検出器などは出力する電荷が大きいので増幅率は 2 倍程度が望ましいです。

6. 出信号例

6. 1. 入力容量最小時（弊社テスト入力回路接続時）

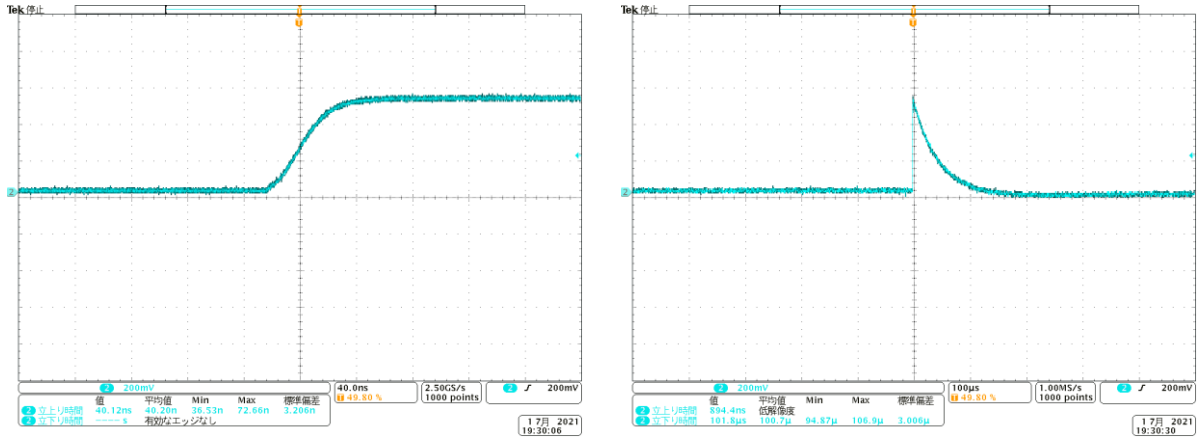
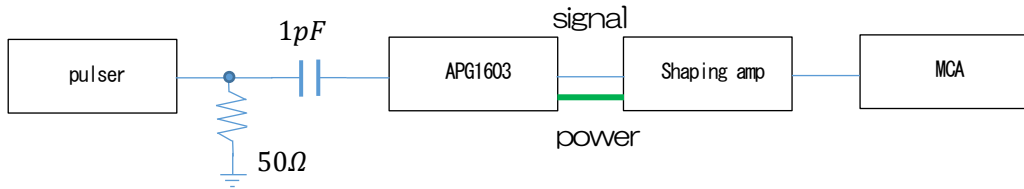


図2 プリアンプ出力信号波形（左側：Rise-time 40nsec、右側：Decay-time 100μsec）



パルサーの出力は1MeV換算の88mV。

Shaping ampの時定数は2μs。

上記テストパルスでのエネルギースペクトルは下図の通りです。

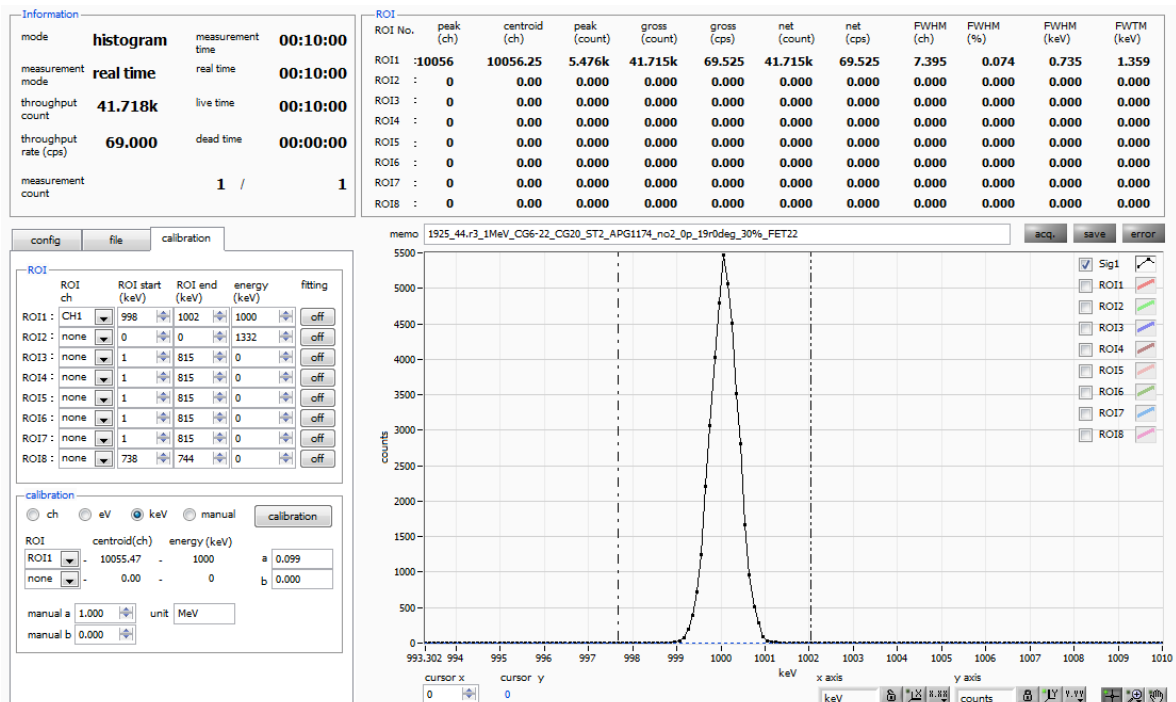


図3 分解能 735eV@1MeV (si)

検出器接続例

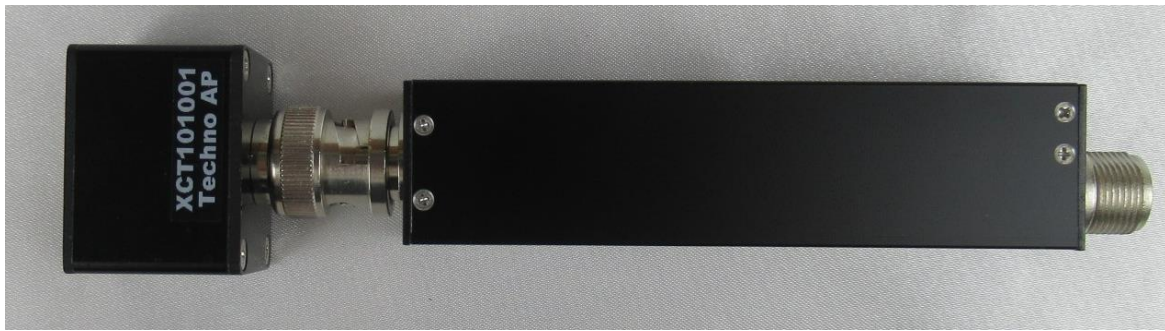
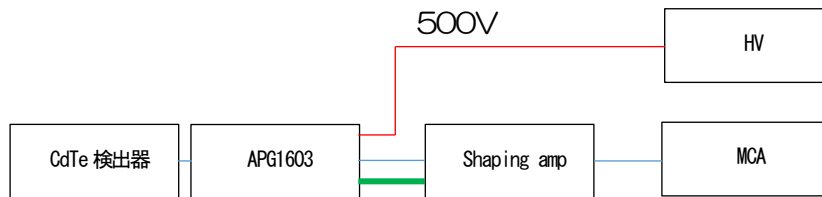


写真 5 検出器（テクノエーピー社製 CdTe 検出器 XCT101001 10×10×1mm）接続例



上記検出器を使用した際のエネルギースペクトルは下図の通りです。

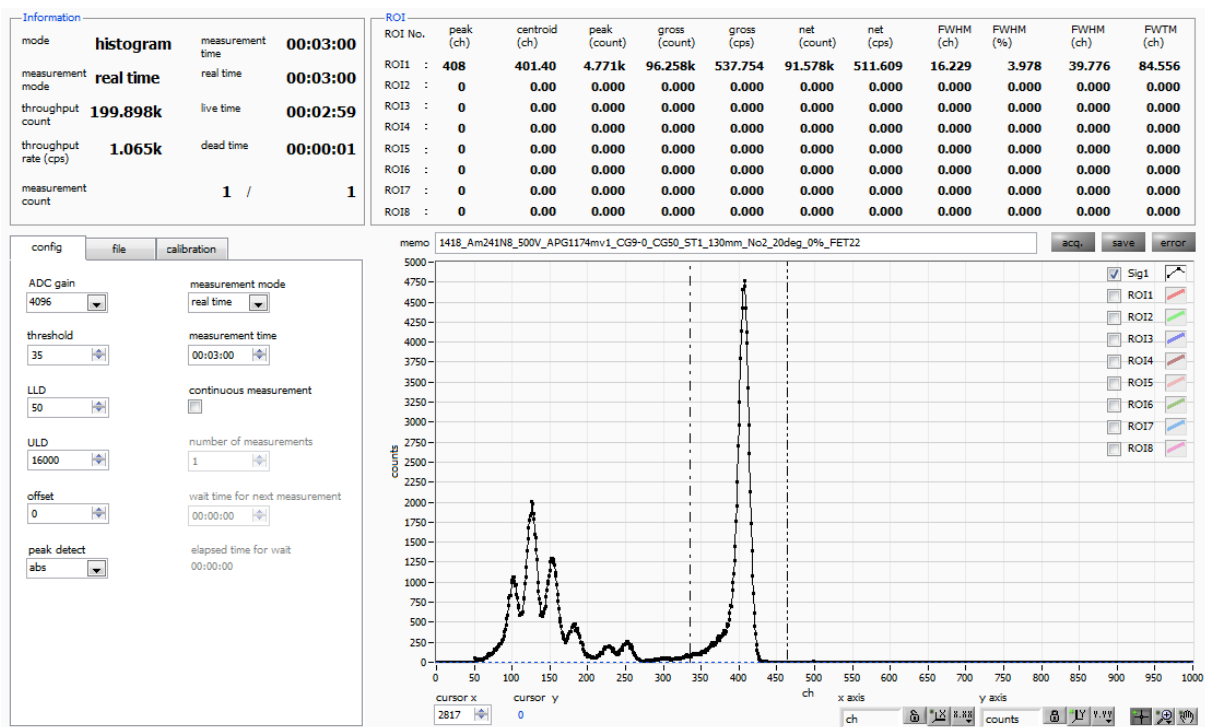
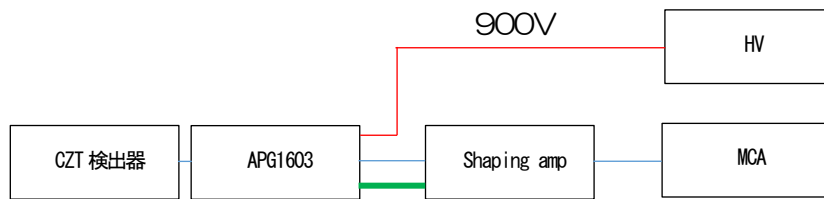


図 4 分解能 3.98%@20°C Am-241

6. 2. 検出器接続例

検出器 (テクノエーピー社製 CZT 検出器 10×10×5mm)



上記検出器を使用した際のエネルギースペクトルは下図の通りです。

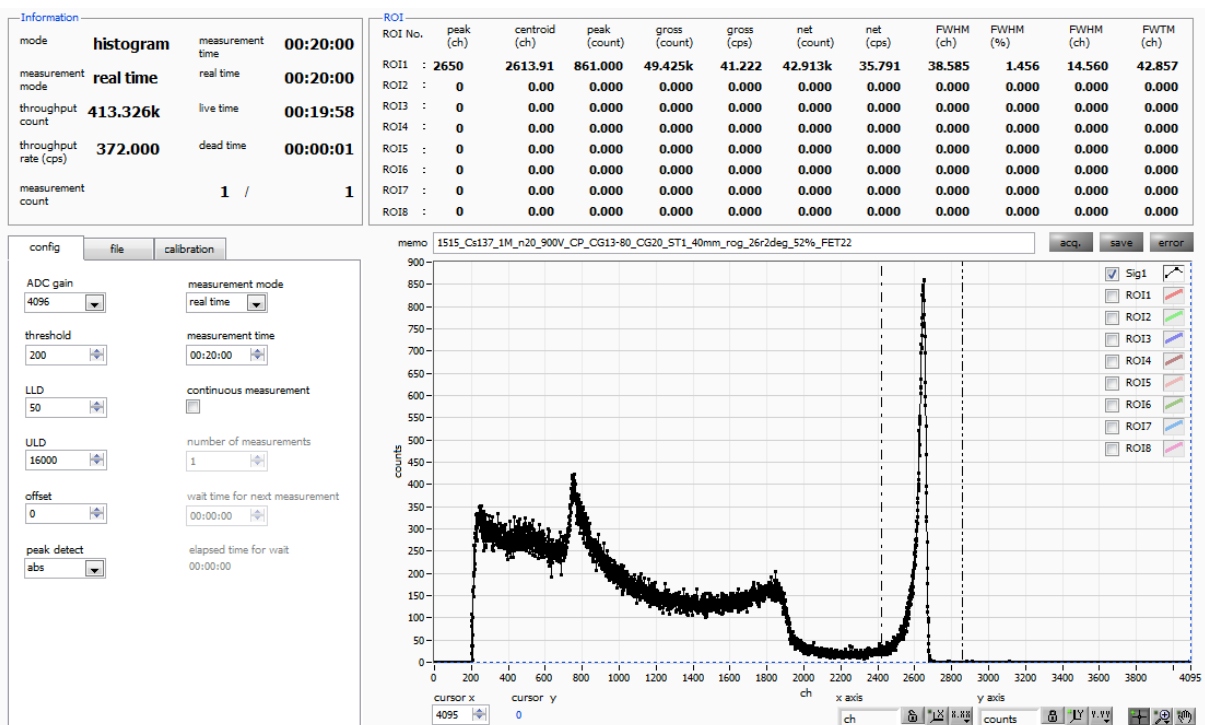


図5 分解能 1.46%@ 20°C Cs-137

株式会社テクノエーピー

住所：〒312-0012 茨城県ひたちなか市馬渡 2976-15

TEL. : 029-350-8011 FAX. : 029-352-9013

URL : <http://www.techno-ap.com> e-mail : info@techno-ap.com