

電子飛跡検出型コンプトンカメラの組み立て調整

仕 様 書

令和7年7月

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

1. 件名

電子飛跡検出型コンプトンカメラの組み立て調整

2. 目的

本件は、原子力規制庁からの受託事業「令和7年度原子力施設等防災対策等委託費(電子飛跡検出型コンプトンカメラを使用した放射性プルームの可視化手法の検討)事業」として、電子飛跡検出型コンプトンカメラ(ETCC)を環境放射線モニタリングで使用するために必要な改造を進めるためのものである。屋外でのETCCの長期安定作動を目的として、耐候性向上及び連続稼働時間の延長などを可能とする改造のうち、Time Projection Chamber(TPC)容器及びシンチレータ部の組み立て並びにETCC全体の組み立て及び調整を行う。

京都大学が開発したETCCは、コンプトン散乱の反跳粒子飛跡を3次元計測することで事象毎にコンプトン散乱現象を再現し、核ガンマ線の全単射画像測定を実現できる計測装置である。ETCCを原子力施設における長期間の放射線モニタリングに利用するためには、耐候性向上及び連続稼働時間の延長などの改良を行う必要がある。特にETCCの電子飛跡計測を行うためのガスTPC部では、内部の2次元ガス増幅位置検出装置マイクロピクセルチェンバー(μ PIC)からの信号を圧力容器外に取り出して処理しているが、信号処理回路が湿度に弱いという欠点がある。それを克服するため、昨年度には、図1に示すように回路も圧力容器内に入れる改造を行うことで、容器外部の環境変化に影響されないようにした。

昨年度の課題として、高圧電源の真空耐性の問題が解決されたので、その対策を施した高圧電源も組み込み、(1)TPC部の再組み立てを行う。次に、(2)シンチレータ部の構造体を設計、製作を行う。最後に、(3)シンチレータ部の組み立て、TPCへの取り付け、調整を行う。

3. 作業実施場所

受注者の作業場所

4. 納期

令和8年2月27日

5. 作業内容、及び、参考情報

5.1 作業内容

(1) TPC部の再組み立て

図1に示すETCCの電子飛跡計測を行うガスTPC部のうち、真空耐性を持たせるために改造した小型高圧電源を組み込むために再組み立てを行う。ここでは、改造した小型高圧電源を含め、 μ PIC基板、信号処理回路基板、容器内配線基板、ドリフトケージ及びガス電子増幅器(GEM)枠をガス圧力容器に再度組み込み、ガス純化装置を接続する。接続後、真空引きの前に電源を入れ、回路等が正常に動作することを確認し、その後真空引きを実

施し、空気漏れがないことを確認後、測定に使用するガスを充填する。その後、TPCの動作確認試験に立ち合い、試験を支援する。動作確認試験の実施場所は、追って共有する。

(2) シンチレータ部構造体の設計、製作

ETCC用のマルチピクセルフォトンカウンタ(MPPC)にGSO結晶を取り付けたシンチレータ部をETCCのTPC部ガス圧力容器へ取り付けるための構造体(治具、ケーブルを含む)を設計する。設計のときにはMPPC回路からの排熱機構を盛り込み、MPPCを常温(10度から50度)以内で動作できる仕様にする。サイズ等の仕様においては、組み立て後に圧力容器下部に収まるように設計し、製作を行う。製作した構造体については、TPCガス圧力容器に確実に取付けられ、不具合の生じないことを確認する。

(3) シンチレータ部の組み立て、TPCへの取り付け、調整

MPPCやGSO結晶からなるシンチレータ部を組み立て、(2)で製作した構造体を利用してTPC部ガス圧力容器へシンチレータ部を取り付け、電源投入まで(重要部品への通電確認を含む)の調整を行う。

本機器(ETCC)の組み立てに当たっては、その特殊性や要求される検出精度から、同様の組み立て、これに必要な構成部品(機構)の取り扱い、試験計測に関する知識・技術・経験が必要となる他、要求を満たす構造体を製作する技術力が必要となる。組み立て後の調整や試験計測の詳細については、原子力機構との協議の上、決定する。

上記の(1)から(3)の作業内容とその結果をまとめ、報告書を作成する。報告書の電子ファイルはMicrosoft WORD形式(.docx)、またはPDFとする。なお、報告書および報告書に用いた図を作成した表計算ソフトや図作成ソフトの電子ファイルは、9.(3)で定めた電子媒体に格納する。

5.2 TCP部の再組み立てに使用する部品

組み立てに必要な部品のうち、8.1の表1の①から⑩にある物品については支給する。

(1) TPC部ガス圧力容器

令和5年度(契約番号：0501C00654)において設計したガス圧力容器(型番：A0043、図1)を令和6年度に製作(契約番号：0601C00474)。以下の仕様を満たしている。

- ・内部空間として394mm×394mm×288.7mmを有している。
- ・1気圧の真空から+1気圧までの気密を保つことができる。
- ・容器内部のガス交換及び気圧モニタ用のガス配管接続口を2か所設置している。
- ・HV導入入口を3か所以上、±5v、±3vの電源、及び2つのイーサネットを内部に導入できるように、電源接続及びイーサネット接続のための導入機構を設置している。

(2) 容器への各部品(機構)の組み込み、接続など

令和6年度(契約番号:0601C00630)で進めた「電子飛跡検出型コンプトンカメラのTPC容器組み立て調整」を参考にして、以下の部品(機構)を(1)のTPCガス圧力容器に部品(機構)を組み込むとともに、必要な接続を行う。

① イーサネット及び電源中継基板。

電源接続のための基板(D-sub9実装品)とLAN接続のための基板(RJ45コネクタ12個実装品)を容器の導入機構に設置し、電源供給およびイーサネット接続を可能とさせる。

② 電源分配基板

各機構へ必要な電源の分配を可能とするための基板(4個の電源コネクタ及び高電圧用の12V端子を持つ)を容器内に接続させ、各機構への電源分配を可能とさせる。

③ 信号中継基板

検出信号を中継する基盤(信号中継基板)を容器内に設置し、電源共有、イーサネット通信を可能とするための接続を行う。

④ 小型高圧電源、マイクロPC及びTCU

真空耐性を持たせた高圧電源モジュール2台(エレメント社製のEL5-1.5K001P/LRP/12x3型及びEL5-10K01N/LRP/12x1型)、高圧電源を制御するマイクロPC(アルディーノ)、及び信号通信制御に必要なTCUを容器内に取付ける。

アルディーノ及びTCUについては、電源供給、イーサネット通信を可能とするための接続を行う。

⑤ ドリフトケージ

底板、連結スペーサ、ドリフト電極、GEM取り付け枠を角柱4本で下から支える構造を有している。これを放射線検出に必要な電場を与えられるよう、圧力容器内部へ組み込む。

⑥ GEM枠

ガス電子増幅器(GEM)を取り付けるための枠で、他に抵抗チップ保護用に枠を添付しており、樹脂ネジを用いて、ドリフトケージ上部へ取り付ける。

⑦ μ PIC 基板

電子飛跡を検出するマイクロピクセルチェンバー(μ PIC)(20cm直径のサイズを持つ)のすべての陽極、陰極ストリップが中継基板に電氣的に接続された構造を持ち、 μ PICの各電極へ電圧供給が可能となっている。これをドリフトケージ上部に取り付けた中間増幅器GEM取付枠の上部に取り付ける。

⑧ ガス純化装置

IBS社製ダイアフラムポンプ、ダイアフラムポンプP/N:H21C11C2 FD-15DCを容器内のガス循環が可能となるように、取り付ける。

5.3 シンチレータ部の構造体の設計・製作、組み立て・取り付けに関する部品の参考情報
後述する支給物品のうち8.1の表1の⑪から⑬については、シンチレータ部を構成する主要な

部品(機構)となる。これらを5.1.(2)で設計、製造する構造体を利用して、TPC部ガス圧力容器へ確実に取り付ける。

参考として、既存ETCCに組み込まれている部品(機構)のイメージを図2に示す。

(1) GSO結晶(シンチレータ)

GSO(Gd_2SiO_5)結晶は、エネルギー分解能、放射線吸収・耐久性に優れている特徴がある。環境モニタリング用ETCCのMPCC部については、宇宙線計測等実績のある既存のETCCを参考にして、下記の構造を持たせる予定としている。

単体で約 $6x6x26mm^3$ のGSO結晶をラッピング、これを8x8アレイとして約 $48x48x26mm^3$ の形状に一体(パッケージ)化させ、一体化させて8x8アレイを3x3に配置させる。

(2) MPPC

MPPCは受光感度を上昇させた光ダイオード(APD, avalanche photodiode)をマルチピクセル化した光子計測デバイスで、計測能力に優れており、微弱光も検出できる。

本件では、宇宙線計測等実績のある既存のETCCでも適用された下記の製品を組み込む予定である。

浜松ホトニクス社製のMPPC(S14161-3050HS-08)

(3) MPPC用回路

MPPCで計測した信号を処理するため、増幅基板(AMP)、アナログデジタル変換基板(ADC)及び集積回路(FPGA)で構成される。

本件では、宇宙線計測等実績のある既存のETCCでも適用された下記の製品を組み込む予定である。

BeeBeans Technologies社製のBBTX-121-01_MPPC_HA01_システム

なお、(2)MPPC 及び(3)MPPC 用回路は一体化させた状態で構造体へ組み込む。

6. 検査

「9. 提出書類」の確認並びに、原子力機構が仕様書の定める業務が実施されたと認められた時を以て、業務完了とする。

7. 業務に必要な資格等

なし

8. 支給物品および貸与品

8.1 支給物品

5.2及び5.3に記載した組み立てに必要な部品及び本作業の参考資料となる作業報告書(下表)を支給する。支給場所、支給時期、支給方法については、別途指示する。なお、機構に支給品がある場合には、作業の開始前と完了後に基本的に郵送等の発送により行う。

表1 支給物品一覧

品名	数量
① TPC部ガス圧力容器	1個
② 容器内配線基板	2枚(電源接続基板とLAN接続基板を各1枚)
③ 電源分配基板	1枚
④ 信号処理回路基板	4枚
⑤ 小型高圧電源	2台(EL5-1.5K001P/LRP/12x3型と EL5-10K01N/LRP/12x1型を各1台)
⑥ マイクロPC及びTCU	各1台
⑦ ドリフトケージ	1個
⑧ GEM枠	1個
⑨ μ PIC基板	1枚
⑩ ガス純化装置	1個
⑪ GSO結晶(パッケージ化したもの)	9個
⑫ MPPC	50個(※)
⑬ MPPC用回路	一式(※)
⑭ 作業報告書[契約番号：0501C00654, 0601C00474, 0601C00630]	3つの電子ファイル

※⑫MPPC及び⑬MPPC用回路は一体化させて支給

8.2 貸与品

なし

9. 提出書類

- | | |
|--|-------------|
| (1)実施計画書および実施工程表 | 1部(契約後速やかに) |
| (2)作業報告書 | 1部(納品時) |
| (3)上記(1)、(2)を収めた電子媒体(DVD-R等)
(提出場所) | 1部(納品時) |

茨城県ひたちなか市西十三奉行 11601-13

日本原子力研究開発機構 原子力緊急時支援・研修センター

研修棟 モニタリング技術開発グループ 指定場所

1 0. 検収条件

第6項に定める検査に合格することを以って、検収とする。

1 1. 検査員および監督員

検査員

- (1) 一般検査 管財担当課長

監督員

- (1) モニタリング技術開発グループ グループ員

1 2. グリーン購入法の推進

- (1) 本契約において、グリーン購入法(国等による環境物品等の調達に関する法律)に適用する環境物品(事務用品、OA機器等)が発生する場合は、これを採用するものとする。
- (2) 本仕様書に定める提出図書(納入印刷物)については、グリーン購入法の基本方針に定める「紙類」の基準を満たしたものであること。

1 3. 特記事項

受注者は異常事態等が発生した場合、原子力機構の指示に従い行動するものとする。また、契約に基づく作業等に起因して異常事態等が発生した場合、受注者がその原因分析や対策検討を行い、主体的に改善するとともに、結果について機構の確認を受けること。

1 4. 協議

本仕様書に記載されている事項及び本仕様書に記載のない事項について疑義が生じた場合は、原子力機構と協議の上、その決定に従うものとする。

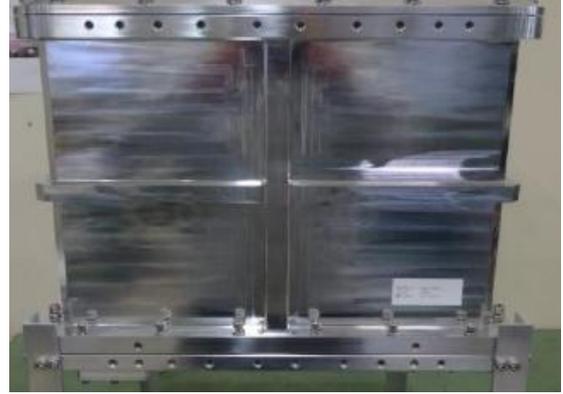


図 1. TCP 部の再組み立てイメージ(左：内部、右：外観)

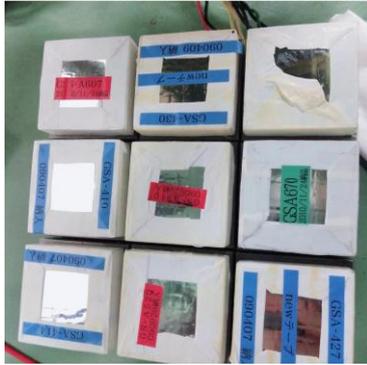


図 2 MPCC 部の構成部品(左：GSO 結晶をラッピングし配置、右：MPCC と MPCC 用回路)