

電子飛跡検出型コンプトンカメラの動作確認

仕 様 書

1. 件名

電子飛跡検出型コンプトンカメラの動作確認

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行った後の動作確認を行うためのものである。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い、その組み立てた状態のETCCを用いて、放射性プルームを検出する測定システムとして必要とされる各部及び全体の動作確認を行う。

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、TPC部の再組み立て、構造体を設計、製作したシンチレータ部の組み立て、TPCへの取り付け、調整を行うが、その組み立てたETCCに対して、(1) TPCの動作確認、(2) シンチレータ部の個別の動作確認、(3)ETCCとしての性能確認試験ならびに全体の測定を行う。

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の動作確認

図1に示 ETCC の電子飛跡計測を行い、環境モニタリング用に改造されたガス TPC 部

について、改造部品を組み込み、回路等が正常に動作すること及び空気漏れがないことを確認する。その後、測定に使用するガスが充填されたものについて、放射線源等からのガンマ線に対する電子飛跡検出の動作確認試験を行う。また、降雨時等の高湿度状態での試験により耐候性の向上を確認するとともに、長時間連続運転の確認試験を実施する。

(2) シンチレータ部の個別の動作確認

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に対して、放射線源等を用いて個別のMPPCピクセルからMPPC回路を通して出力される信号の情報（波形、エネルギー等）が正常であることを確認する。また、シンチレータ部の温度適用範囲を確認するために、出力信号の温度依存性測定試験を実施する。

(3) ETCCとしての性能確認試験ならびに全体の測定

TPC 部及びシンチレータ部を含む ETCC 全体としての性能確認試験を行う。放射線源等からのガンマ線に対して、ETCC としての全単射撮像を行えることを確認する。また、線源位置を時間的に移動するなどの放射性ブルームを模擬した測定状況に対して、放射性ブルームの検出及び時間的推移を捉えられることを確認する。

(4) 実用化へ向けての課題の整理

上記試験により問題点を抽出し、改良が必要な事項を整理するとともに、機器の設置条件、周辺機器、運用方法等について検討し、今後の実用化に向けた改善等の提案を行う。

本機器(ETCC)の取り扱いに当たっては、その特殊性や要求される検出精度から、同様のETCCの取り扱い、これに必要な構成部品(機構)の取り扱いや試験計測に関する知識・技術・経験が必要となる他、要求を満たす動作確認試験を実施し、データ解析を行う技術力が必要となる。動作確認試験の詳細については、原子力機構との協議の上、決定する。

上記の(1)から(4)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 部の試験における改造部品についての参考情報

環境モニタリングに用いるため既存 ETCC を改良し、令和 5 年度において設計(契約番号：0501C00654)し、令和 6 年度に製作したガス圧力容器(図 1、型番：A0043)は。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。
- ・ 真空[≤ 1 Pa]から2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導入用口を3か所以上、 $\pm 5\text{v}$ 、 $\pm 3\text{v}$ 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。

さらに、令和6年度ではTPC容器の組み立て調整を進め、以下の部品(機構)をTPCガス圧力容器に部品(機構)を組み込み、必要な接続が行われている。

- ・イーサネット及び電源中継基板。
- ・電源分配基板
- ・信号中継基板
- ・小型高圧電源、マイクロPC及びTCU
- ・リフトケージ
- ・GEM 枠
- ・ μ PIC 基板
- ・ガス純化装置

詳細は支給する仕様書(「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」)を参照のこと。

5.3 シンチレータ部の試験に関係する部品の参考情報

ETCCのシンチレータ部に組み込まれる主要部品(機構)は、GSO結晶(シンチレータ)及びMPPCとなる。参考として、既存ETCCのシンチレータ部の全体イメージを図2に示す。

- ・ 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。本件では、単体で約 $6\text{x}6\text{x}26\text{mm}^3$ のGSO結晶をラッピング、これを $8\text{x}8$ アレイとして約 $48\text{x}48\text{x}26\text{mm}^3$ の形状に一体(パッケージ)化させ、一体化させて $8\text{x}8$ アレイを $3\text{x}3$ に配置させる。

- ・ 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、既存ETCCで宇宙線計測等実績のある浜松ホトニクス社製のMPPC(S14161-3050HS-08)を実装させる。また、計測信号の処理は、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、既存ETCCでも実績のあるBeeBeans Technologies社製のBBTX-121-01_MPPC_HA01_システムを実装させる。

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に記載した部品を組み込みTPC部ガス圧力容器の空気漏れがないことを確認後、測定に使用するガスが充填されたETCC及び本作業の参考資料となる作業報告書を支給する。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。

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) 1 部(納品時)

(提出場所)

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
支援棟 モニタリング技術開発グループ 指定場所

10. 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。

11. 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

12. 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の推進等に関する法律)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。

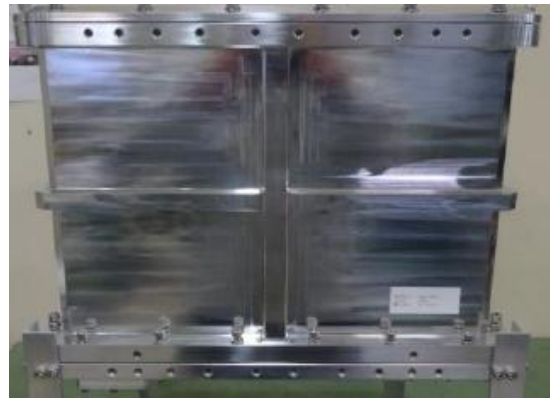


図 1. TCP 部の再組み立てイメージ(左：内部、右：外観)



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)