

ターミナル真空計の新設 Development of the terminal vacuum gauge system

大和 良広*・吉田 哲郎・石井 聡

Y. Yamato*, T. Yoshida and S. Ishii

筑波大学 放射線・アイソトープ地球システム研究センター 応用加速器部門 (UTTAC).

* Correspondence to: Yoshihiro YAMATO; E-mail: yamato@tac.tsukuba.ac.jp

Abstract

NEC の 6MV タンデム加速器(18SDH-2)は高電圧ターミナルの内部真空測定のために低真空用のサーモカップルしか付属していない。これは偏極ビームのための高真空計測、ガストリッパーのニードルバルブ全閉ターン位置の確認や少量ガス導入時の圧力監視に不都合であった。

市販のコールドカソードゲージの外側に 5 気圧以上かけてもリークや破壊が起こらないかオフラインテストを行い、問題ないことを確認し 18SDH-2 の高電圧ターミナルに装填したので報告する。

Keywords: 高耐圧真空計; LAN フィードスルー; POF 固定具; リモート監視; EPICS

1. 機器の選定とオフラインテスト

加速器タンクを模した真空、高圧環境を実現するテストチャンバーを用意し、BNC/LAN 端子フィードスルーを用いたニップルを新たに設計、製作した後、それらを使い市販のコールドカソードゲージ(各社への仕様問い合わせで唯一耐久性がありそうだったミラプロ CCTG200C) の外側に 5 気圧以上加圧してもリークや破壊が起こらないかテストした。(図 1) その結果、真空計内部は 6×10^{-6} torr、真空計外部は 5.5 kg/cm^2 の N_2 ガスと言う環境で問題なく動作した。

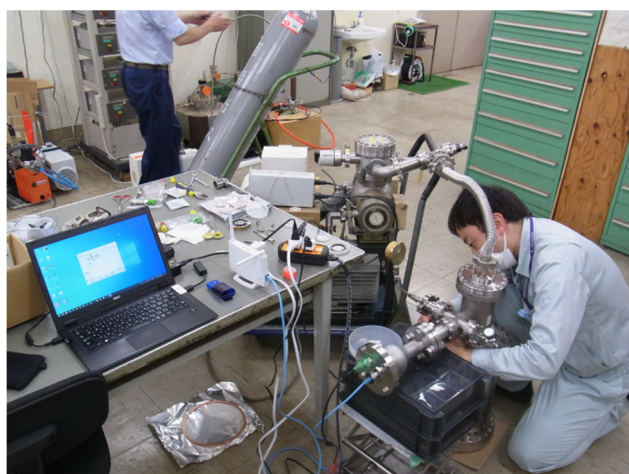


図 1 真空計外装のオフライン加圧テスト

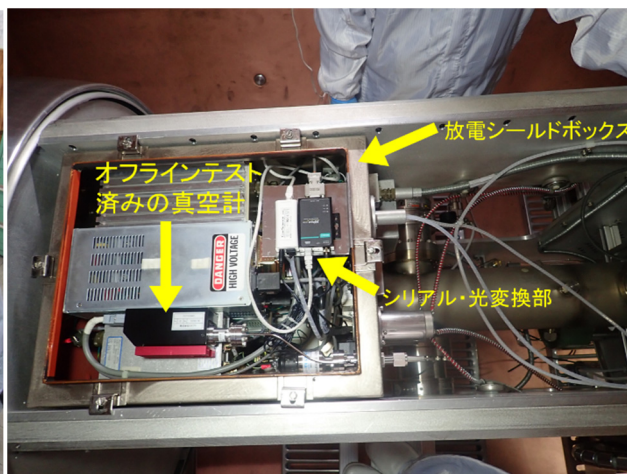


図 2 ターミナルシールドボックスに装填した真空計と通信機器

2. 加速器への実装

オフラインでのテストが成功したので、18SDH-2 の高電圧ターミナルに装置一式を装填した。(図 2)高電圧ターミナルは最大 6 MV(600 万ボルト)の電圧になるため通信路は光ファイバーで絶縁しな

なければならない。LAN を高電圧ターミナルで使用するために高電圧ターミナルからアース電位の加速器タンクビーム出口方向(高エネルギーHE 側)へ 2 本のプラスチック光ファイバー(POF)を敷設した。ファイバーは放電を招かない様に新設計のオリジナル固定具で全カラムに電位固定した。(図 3) 高電圧ターミナルへのイーサネット通信は今後、ターミナルカメラやマイク、振動、回転、温度センサー等を追加する時に新たに通信路を設けなくて良いメリットがあるが放電(タンクスパーク)による機器故障の可能性がアナログ回路より高い。現に 2023 年 5 月 24 日 6:19~6:20 間の AMS 実験中の放電でターミナル真空計の通信系が故障してしまい使用不可になってしまった。2024 年 3 月の定期整備時に原因究明と修理、再発防止対策を行う予定である。

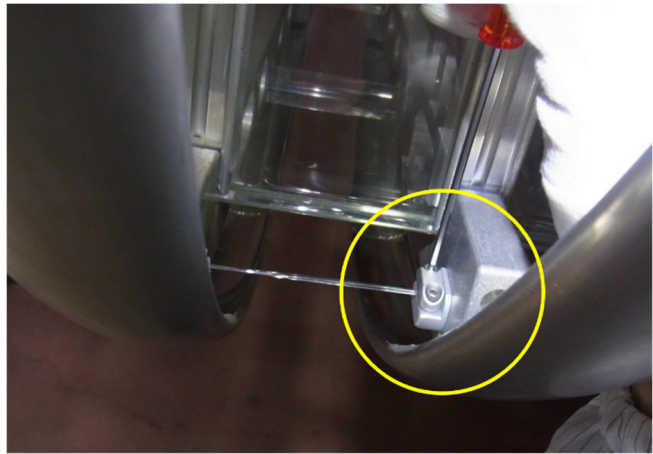


図 3 POF の敷設(固定具での電位固定)

3. リモート制御

リモート制御系の概略を図 4 に示す。コールドカソードゲージ CCTG200C の制御通信は RS-232C なので、Experimental Physics and Industrial Control System (EPICS) の StreamDevice で扱いやすいシリアルデバイスサーバ (NPort 5110A) を用いてイーサネット変換する。加速器タンク内のイーサネットの信号伝送は 6 MV の電氣的絶縁のため無被覆の POF 素線を必要な長さに切って敷設使用する必要があるが、コネクタ不要で接続できる POF メディアコンバータキット(サンワサプライ LAN-POF200)を用いることで解決した。POF は、三菱レイヨンスーパーエスカ SK40 を使用した。高電圧ターミナルには 400Hz の 115VAC の RS(発電機)がありその電力でこれら機器を動作させている。高エネルギー(HE)側の LAN-POF コンバータの電源は BNC 同軸ハーメチックシールコネクタ(TECSAM Inc. D#14013)フィードスルーよりタンク外から供給している。LAN 端子(RJ45)の高圧 SF₆ ガス(5 気圧)のシールには LAN ハーメチックシールコネクタ(TECSAM Inc. D#15013)フィードスルーを初めて使

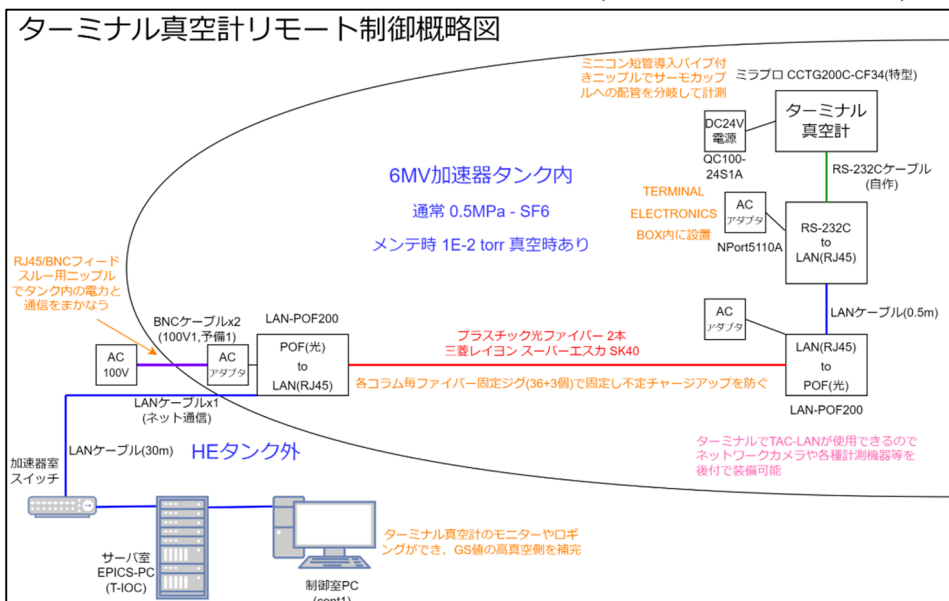


図 4 リモート制御系概略図

用した。加速器タンクからは Cat.6 の STP ケーブルで加速器室内のスイッチを介して LAN に接続されサーバ室の EPICS-PC(T-IOC/Ubuntu)を介して制御室の HMI-PC(cont1/Win11)で Control System Studio(CSS)によりコントロールする。

4. ソフトウェア開発

EPICS と CSS を用いてリアルタイム表示とトレンドグラフを実現した。(図 5) 勉強を兼ねて OS も EPICS も全て最新版を使ってみたところ様々な不都合があった。使用したバージョンは下記の通り。

OS : Ubuntu 22.04 LTS
 EPICS : 7.0.7 asynR4-43,StreamDevice-2.8.23,calc-R3-7-4,seq2.2.9..
 CSS : 4.5.10-SNAPSHOT (KEK)

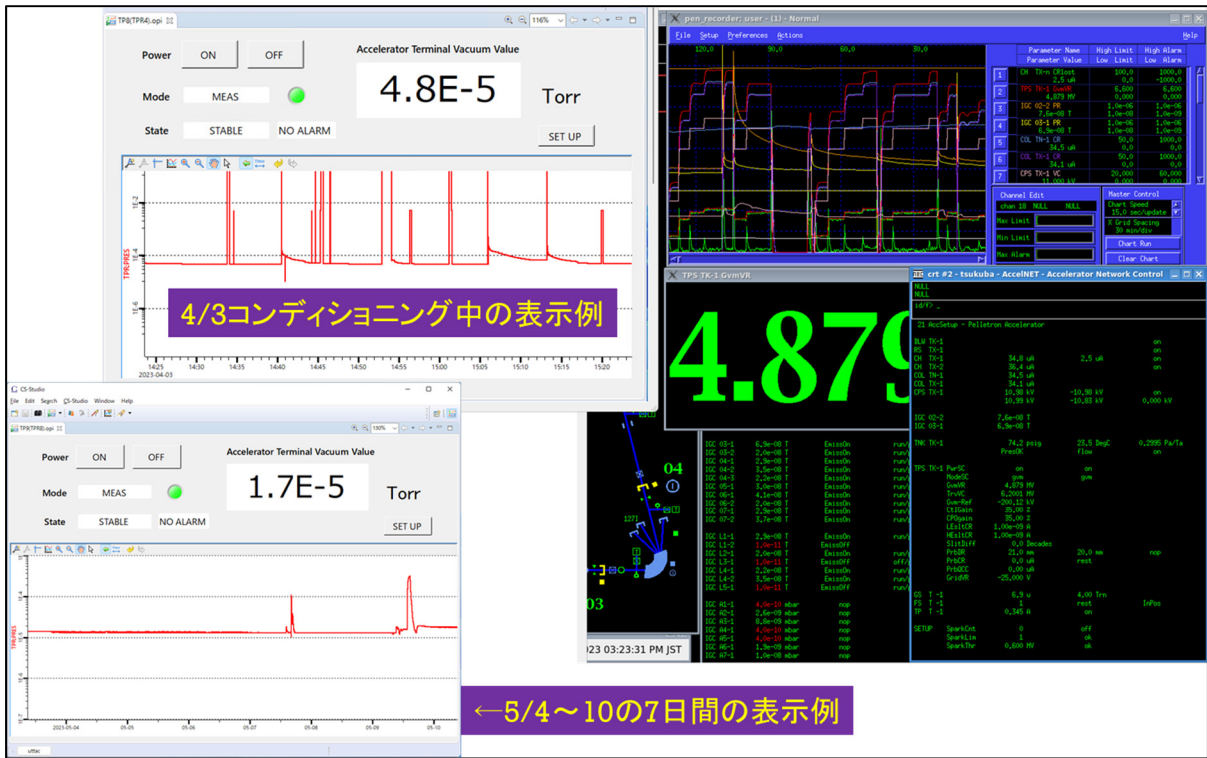


図 5 ターミナル真空度の表示ソフトウェアスナップショット 2 例

OS が (開発開始当時) 最新なのでアップデートが頻繁にありカーネルが変わると NPort ドライバがエラーで動かなくなることもあった。これに対する対策は年 2 回(8,3 月)のみ手動アップデートで運用することとした。EPICS もモジュールも最新版だと make でエラーが多発した。それらをクリアし、開発環境が整うと今度はコールドカソードゲージ CCTG200C の送信文字列のおかしさに悩まされた。真空計からのデータが "5.1 E-6" と E の前にスペースがありそれを実数化するのに苦労した。仮数部と指数部を別レコードにして CALC を使用し解決した。(図 6)

```
record(ai, "TPR:REAL")
{
    field(DTYP, "stream")
    field(INP, "%s %f E%d %s %d")
    field(SCAN, "Passive")
}
record(ai, "TPR:EXP")
{
    field(DTYP, "stream")
    field(INP, "%s %f E%d %s %d")
    field(SCAN, "Passive")
}
record(calc, "TPR:PRES_CALC")
{
    field(INPA, "TPR:REAL")
    field(INPB, "TPR:EXP")
    field(INPC, "Mode_RB")
    field(CALC, "C=1?(A*10^B):0")
    field(SCAN, "1 second")
}
```

図 6 真空計の送信文字列実数変換

5. トラブルと成果

- 5MV 以上で放電するとタンク内機器が仮死状態になる事が多いが RS(発電機)を止めて電源の off/on で復旧する。
- ストリッパガスを沢山入れると測定範囲外になるので 4E-3 Torr 以上で OFF し、元からあるサーモカップルの GS 値を使用する。(表 1)
- 今までサーモカップルの GS 値では GS DC 3.00 Trn と 4.00 Trn の違いがわからなかったが、GS DC 3.00 Trn で Ar リークがほぼ無いことが確認でき偏極ビーム使用時の値を決定できた。(表 2)
- ストリッパガスを少量入れた時の圧力の変化がわかるようになった。(表 3)
- ターミナル TMP 停止でターミナル真空度が 2 桁良くなる事がわかった。これにより偏極ビームの偏極度向上を期待したが、間接的なデータ上は Ar 循環用 TMP を回してターミナルの真空が悪い時の方が偏極度が高い様である。

表 1 GS 使用時のターミナル真空計との対比

| Terminal (Torr) | GS PR (mpsi) | GS DC (Trn) | IGC 02-2 PR(Torr) | IGC 03-1 PR(Torr) |
|-----------------|--------------|-------------|-------------------|-------------------|
| 9.6E-05 | 7.0 | 4.0 | 8.7E-08 | 5.9E-08 |
| 1.4E-04 | 7.1 | 4.5 | 8.6E-08 | 5.9E-08 |
| 2.8E-04 | 7.2 | 4.8 | 8.6E-08 | 6.0E-08 |
| 7.7E-04 | 7.6 | 5.0 | 9.4E-08 | 6.5E-08 |
| 1.3E-03 | 8.0 | 5.1 | 1.0E-07 | 7.1E-08 |
| 1.8E-03 | 8.5 | 5.2 | 1.1E-07 | 7.7E-08 |
| 4.1E-03 | 8.9 | 5.3 | 1.2E-07 | 8.6E-08 |
| 4.9E-03 | 9.9 | 5.4 | 1.3E-07 | 9.6E-08 |
| 5.6E-03 | 13.6 | 5.5 | 1.5E-07 | 1.1E-07 |

OFF
↓

表 2 通常時と 3Trn 全閉偏極ビーム使用時との対比

| condition | Terminal (Torr) | GS PR (mpsi) | GS DC (Trn) | IGC 02-2 PR(Torr) | IGC 03-1 PR(Torr) |
|----------------|-----------------|--------------|-------------|-------------------|-------------------|
| normal | 1.8E-05 | 7.3 | 4.0 | 4.8E-08 | 5.9E-08 |
| polarized beam | 9.3E-06 | 7.4 | 3.0 | 4.6E-08 | 5.7E-08 |

表 3 通常時と AMS 少量 Ar 導入時(4.3Trn)との対比

| condition | Terminal (Torr) | GS PR (mpsi) | GS DC (Trn) | IGC 02-2 PR(Torr) | IGC 03-1 PR(Torr) |
|------------------|-----------------|--------------|-------------|-------------------|-------------------|
| normal | 2.4E-05 | 7.4 | 4.0 | 6.9E-08 | 5.7E-08 |
| little argon gas | 3.9E-05 | 7.4 | 4.3 | 6.8E-08 | 4.3E-08 |

6. まとめ

高真空が読めなかった高電圧ターミナル荷電変換部に真空計を新設し制御室でモニターやロギングが出来る様に開発を行った。

外は高圧ガス、中は真空で全体が 6MV という高電圧上で動作させなければならない特殊環境で使用する真空計が必要であったが、市販品のコールドカソードゲージをオフラインテストで耐压性能、耐真空性能を確認し使用できたので安価に構築できた。BNC/LANなどのフィードスルー用ニップル、ファイバー固定具はオリジナルの設計で製作し、ソフトウェアは EPICS/CSS を用いて自作した。これにより、ガスストリッパによる減偏極の対策や少量の荷電変換ガス導入時の正確な値を知ることができるようになった。

放電(タンクスパーク)で機器が故障してしまう事があるため、今後、放電によるノイズ耐性(対策)を強化する予定である。また、荷電変換後の偏極度向上のためにターミナル TMP を停止した時などこれまで試したことのない状態でポラリメータによる偏極度の測定を予定している。