

## ターミナル真空計の開発

### DEVELOPMENT OF THE TERMINAL VACUUM GAUGE SYSTEM

大和良広<sup>#</sup>, 吉田哲郎, 石井聡

Yoshihiro Yamato <sup>#</sup>, Tetsuro Yoshida, Satoshi Ishii

Advanced Accelerator Section, CRiES (UTTAC), University of Tsukuba

#### Abstract

NEC's 6MV tandem accelerator (18SDH-2) is originally equipped with a thermocouple to monitor the internal low vacuum of the high-voltage terminal. However, monitor of high vacuum is needed not only to accelerate polarized beams, but also to confirm the fully closed state of the needle valve of the gas stripper. Hence, a new vacuum gauge system has been developed and installed in the high-voltage terminal of the 6MV tandem accelerator.

#### 1. はじめに

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、ガスストリッパ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。

#### 2. 機器の選定とオフラインテスト

まず、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(Fig. 1)。その結果、真空計内部は $6 \times 10^{-6}$  torr、真空計外部は $5.5 \text{ kg/cm}^2$ の $\text{N}_2$ ガスと言う環境で問題なく動作した。

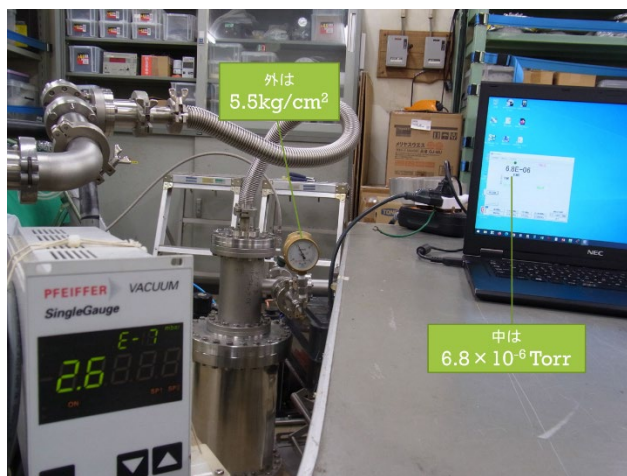


Figure 1: Offline tests of the vacuum gauge.

#### 3. 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(Fig. 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(Fig. 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。

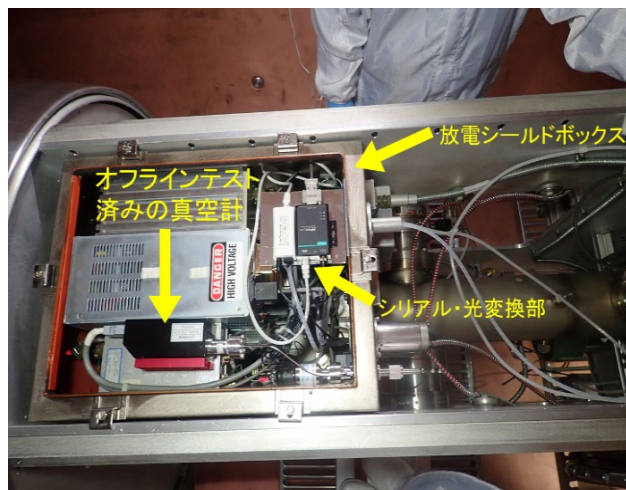


Figure 2: Inside the shielded terminal box with the connected new vacuum gauge.

<sup>#</sup> yamato@tac.tsukuba.ac.jp

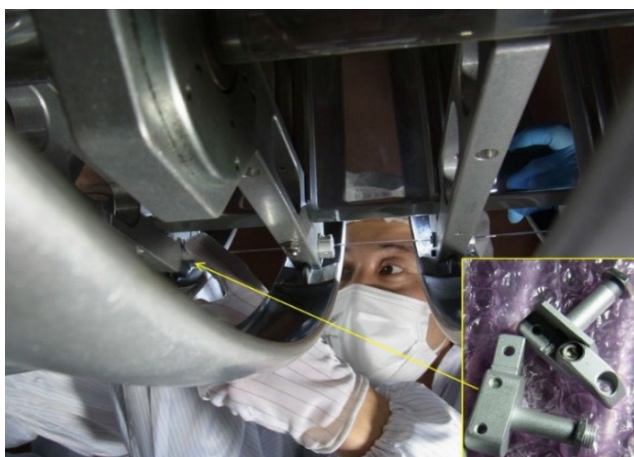


Figure 3: Work of fixing POF to the column, using the newly designed fixtures.

#### 4. リモート制御

リモート制御系の概略図を Fig. 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ので、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 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 の発電機(RS)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 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 SF<sub>6</sub> ガス(5 気圧)のシールには LAN ハーメチックシールフィードスルーを初めて使用した。

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。

#### 5. 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(Fig. 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等は下記の通りである。

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)

### ターミナル真空計リモート制御概略図

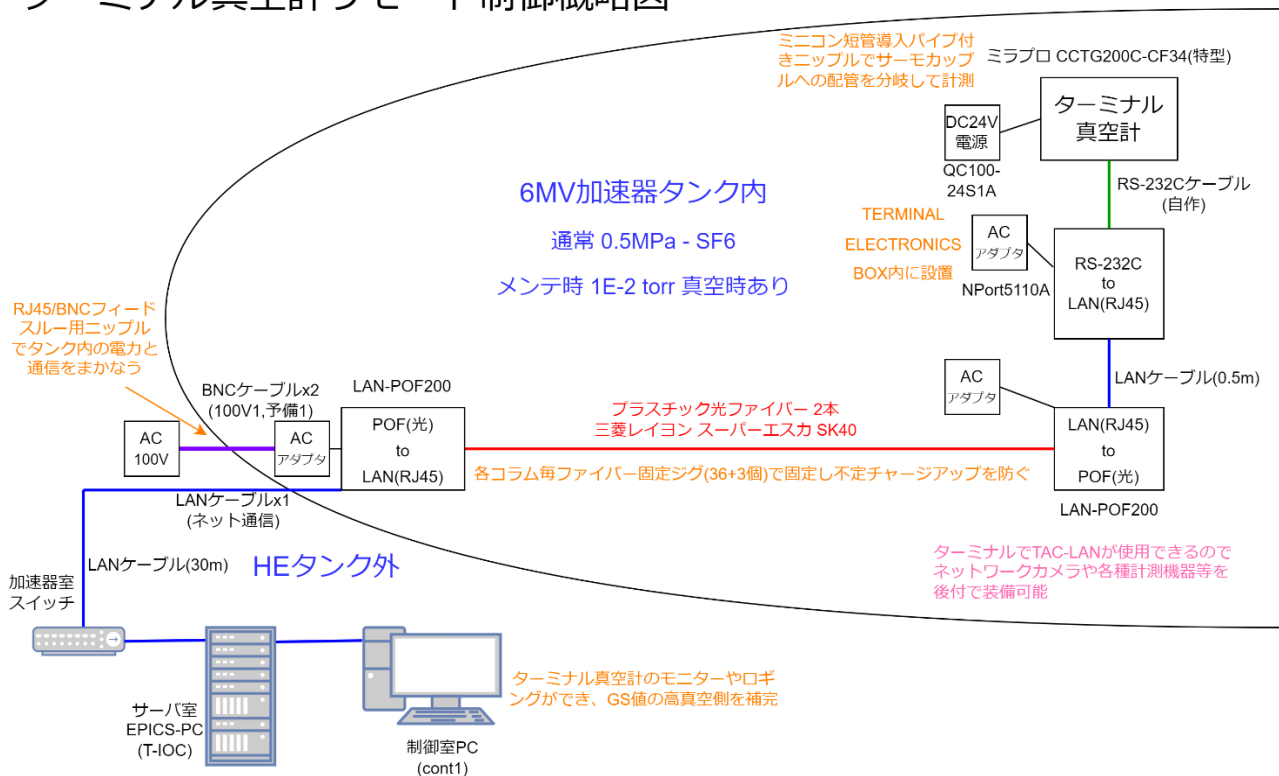


Figure 4: Terminal vacuum gauge remote control schematic.

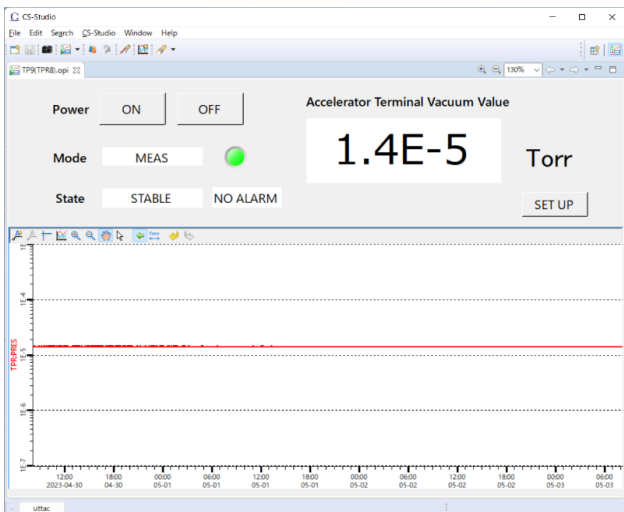


Figure 5: Real-time display for the terminal vacuum gauge.

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った。moxa のベータ版ドライバ等で対応したり、ドライバが最新カーネルに対応されるまで待たなければならぬこともあった。この OS をアップデートしたら「port PS1 not connected」エラーになってしまう事に対する対策は年 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(Fig. 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")
}
```

Figure 6: Example of resolving a strange transmission string.

CSS プログラムはコントロールとリアルタイム表示、短期間(1ヶ月程度)のトレンドグラフを担当し、長期間データは、1chしか無いので EPICS/CSS 系のアーカイバを使わず、perl で caget を使い csv 保存するスクリプトを cron で 1 分おき等に動かすことにした。

実運用を開始すると加速器の放電で仮死状態になり通信不可になった時の CSS アラーム表示に苦労した。perl で NPort に ping で生死判断することは出来たが EPICS で完結させるため PV の severity を使って、通信が途絶えた際 EPICS で制御する方法に変更し解決した。

## 6. トラブルと成果

- A) 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発電機(RS)を止めて電源の off/on で復旧する。
- B) ストリッパーガスを沢山入れると測定範囲外になるので 4E-3Torr 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。(Table 1)
- C) 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。(Table 2)
- D) ストリッパー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。(Table 3)
- E) 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。

Table 1: GS DC/GS PR/TPR Data When GS Is Used

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	
OFF	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

Table 2: The difference between the vacuum values when the GS is not used and when the polarized beam is used (fully closed) was found with the new vacuum gauge.

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

Table 3: Terminal Vacuum Value with a Little Argon (4.3 Trn)

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

## 7. 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圧性能、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、ガストリップパー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。

## 謝辞

タンク内ファイバーなどの情報をご提供くださいました、  
JAEA 東海タンデム加速器 松田氏、松井氏、沓掛氏  
EPICS に関してご助言くださいました、  
KEK 帯名氏、上窪田氏、ITER 藤田氏、  
東日技研 路川氏 ら epics-users ML のみなさま  
に感謝を申し上げます。