

## RRDtool を用いた加速器のガス圧力・温度 Web モニター

大和 良広

筑波大学研究基盤総合センター（応用加速器部門）

〒305-8577 茨城県つくば市天王台 1-1-1

### 概要

筑波大学研究基盤総合センター応用加速器部門では、タンデム型静電加速器主タンクの電気絶縁ガスとして六フッ化硫黄 ( $\text{SF}_6$ ) ガスを使用している。このガスの圧力と温度をRRDtool と lighttpd を使用してWeb上でモニターできる簡易ロガーの開発を行った。これにより高精度なデータを自動記録でき部門内どこからでも現在値と過去の変動を見られるようになった。利用されなくなった旧型PCの有効利用も目的の1つである。

キーワード：RRDtool、Web モニター、簡易データロガー、パソコン再利用

### 1. はじめに

筑波大学研究基盤総合センター応用加速器部門では、タンデム型静電加速器主タンクの電気絶縁ガスとして六フッ化硫黄 ( $\text{SF}_6$ ) ガスを使用している。このガスの圧力や温度は、加速器の安定動作に深く関わるコロナ電流の流れ方に関与しているため監視が不可欠である。今まで我々は図1のようなアナログメータで圧力や温度を読み取りログブックに記入していたが、図1下側の遠隔監視用メータが故障し新規に購入する必要に迫られた。そこで、せっかく新しくするのであれば高精度な物を購入して、記録は自動で表示も見やすく施設内部のどこからでも見られる方がよいと考え、開発を行った。



図1. アナログの圧力計

### 2. 圧力計、温度計の更新

これまでの計器は、図1のようなアナログ針の圧力計を使用していたため、読み取る人間により小数点以下2桁目 (0.01 MPa) 程度の誤差が生じていた。高压ガス保安法による圧力単位の  $\text{kg/cm}^2 \rightarrow \text{MPa}$  への変更も読み取り誤差を大きくしてしまった原因の1つである。

旧来の圧力計・温度計では誤差が大きすぎて加速器主タンク内の全ガス容量の計算も正確に出来なかった。そこで、新しい計器にはなるべく高精度で安価な圧力計・温度計の選定を心掛けた。加速器主タンク内のガス圧力は真空から0.6 MPa程度まで変化があるので、対応製品の選択が難しかった。最終的に採用したのは、2.1, 2.2の機器 (図2) である。

#### 2.1 圧力計

圧力センサー：

バルコム VPRNP-A3(-0.1~1MPa)-5

表示器：バルコム C37N-SRS

-0.1~1 MPa を4桁で表示し、RS-232Cで通信可

#### 2.2 温度計

測温抵抗体：

林電工 SR2N-P-S-H2-6.4-134/50-R1/2-316

指示調節計：

山武 C40A5G0AS3D0

-20~50°C を3桁で表示し、RS-232Cで通信可

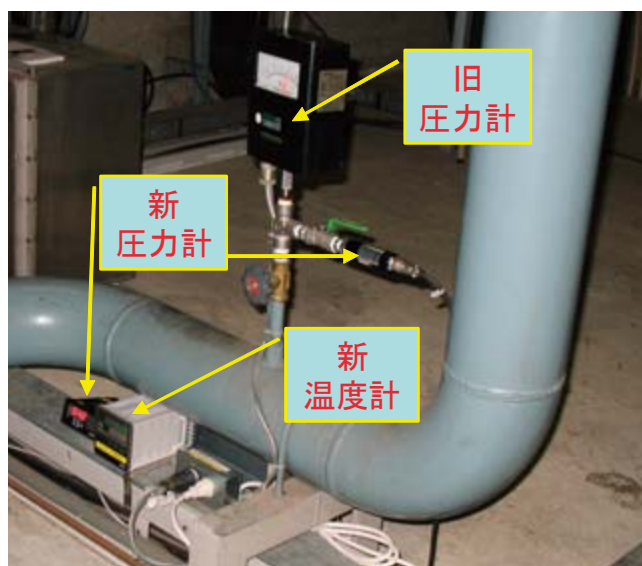


図2. 新しい圧力計と温度計

### 3. 使用した PC と OS

Windows95 英語版として使用されていた 8 年以上前に購入した PC を使用した。スペックとしては、CPU: Celeron 466 MHz, Memory: 128 MB で HDD も古いままである。OS は FreeBSD 6.0-RELEASE を使用した。比較的旧型の PC には RS-232C シリアルポートが標準で 2 つ付いており、これも圧力計・温度計との 2 系統の通信のためには都合が良かった。

### 4. Web サーバ

PC が非力で資源が乏しいため、高速性が重視される環境に最適化された、BSD ライセンスのフリーソフトウェア `lighttpd`<sup>1</sup> を使用した。これにより、メモリの消費量が少なく、CPU への負荷が少ない高速な動作を実現できている。

### 5. RRDtool

RRDtool<sup>2</sup> (Round Robin Database TOOL)<sup>[1]</sup> は、Tobi Oetiker<sup>3</sup> 氏が開発した、データを効率的・系統的に格納して分析処理し、図 3 の様なグラフィカルな表示を可能とする GNU General Public License<sup>4</sup> のソフトウェアである。

このソフトウェアを利用する最大のメリットはデータログを長期間取る場合にグラフプロットのためのデータの間引きをユーザーが考えなくて良いことである。逐次データを RRDtool に渡すだけで非常にうまく長期ログも短期ログもデータベースより読み出して表示してくれる。また、データの間引く間隔が自由に設定できる。その他の特徴として、

- ・描画処理とデータ格納処理のコマンドが分離している。
- ・データファイルに RRD (ラウンドロビンデータベース) を採用しているので運用中にファイルサイズが増えない。

などがある。

ネットワークのトラフィック管理などの用途で様々な所で利用されている。

今回開発した Web モニターソフトウェアはこの RRDtool を Perl から利用して実現している。

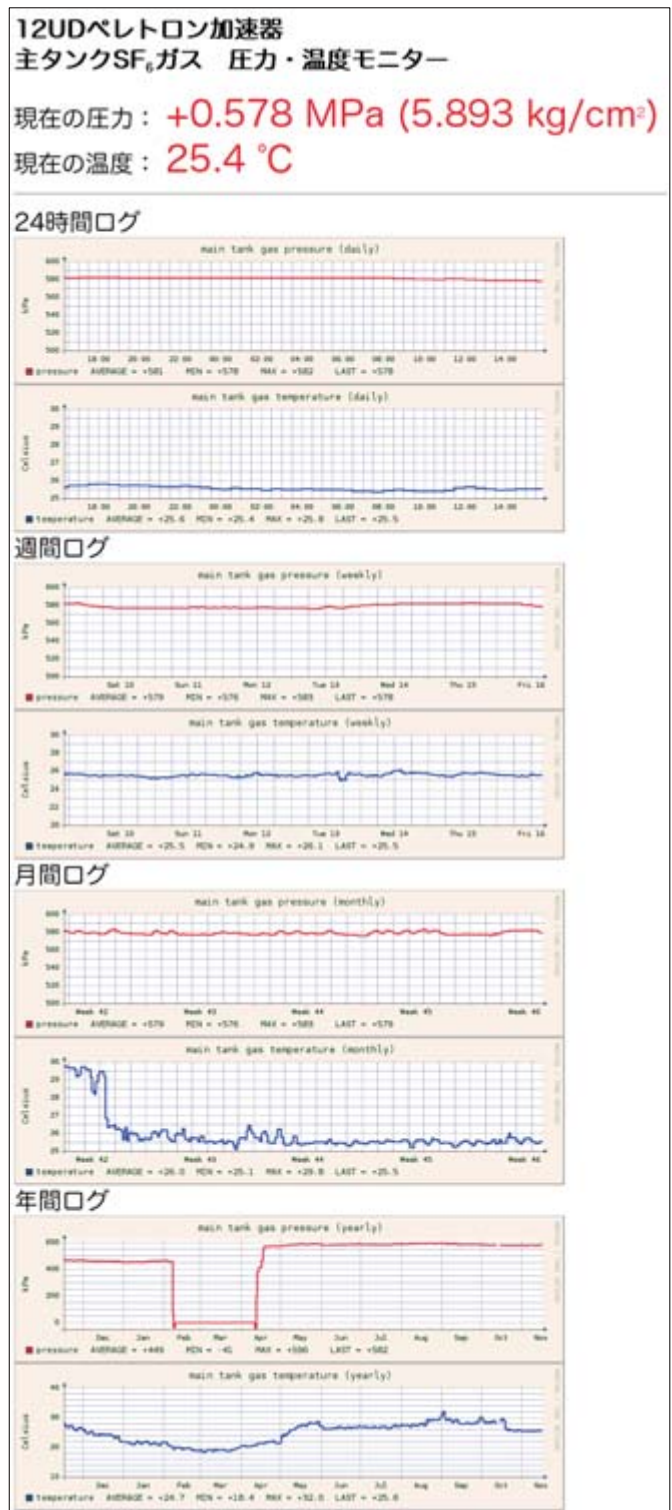


図 3. 開発したモニターの Web ブラウズ画面例

<sup>1</sup> <http://ja.wikipedia.org/wiki/Lighttpd>

<sup>2</sup> <http://oss.oetiker.ch/rrdtool/>

<sup>3</sup> <http://tobi.oetiker.ch/>

<sup>4</sup> [http://ja.wikipedia.org/wiki/GNU\\_General\\_Public\\_License](http://ja.wikipedia.org/wiki/GNU_General_Public_License)

## 6. ソフトウェアの開発・設定

計器を加速器主タンク本体に取り付ける前に現場以外の居室や開発室で PC とのシリアル通信の配線をして、ソフトウェアの開発を行った。

接続及びソフトウェアの様子を図 4 に示す。

### 6.1 圧力計・温度計との通信部

はじめに、通信部の開発を行った。それぞれの計器に現在値を返してくれるようリクエスト命令を送り、送られてきたデータを記録するだけの単純なものである。Perl プログラムは、KEKの小菅隆氏<sup>5</sup>の平成 9 年度技術研究会報告書<sup>[2]</sup>を参考とした。実際の開発はそれぞれの機器の通信命令が全く違い試行錯誤しながら動作するように仕上げた。勉強不足や理由がわからず計器との正常な通信ができるまでに時間がかかってしまった部分を図 5 に示す。また、図 6 に最終的なソースプログラム ( present\_value.pl ) を示す。このプログラムを cron で 2 分おきに実行し、半リアルタイムデータ ( real\_press\_temp.txt ) としてファイルに上書きしている。これは、Webアクセスの度に計測器にタリクエストに行くと複数のユーザーが同時に瞬時値を見たときに不具合が生じるのを防ぐ安易な方法である。

また、後述する RRDtool のデータに問題が生じた場合のバックアップとして、csv ファイル ( main\_tank\_press\_temp.csv ) にも cron で毎正時に追記でデータを記録している。

### 6.2 RRDtool の設定

RRDtool の設定は Web 検索すると沢山の使用例を見ることが出来る。筆者もいくつかの Web サイトを参考にさせていただいた。それらを参考に設定ファイルを試行錯誤して完成させた。

データベースを作成するシェルスクリプト ( rrdtool-create-p\_t.sh ) は、図 7 の通りである。最初にこれを起動し、データベースファイル ( main\_tank\_press\_temp.rrd ) が出来たら、cron によりデータベースに 10 分おきにデータを追加するプログラム ( rrd-record.pl ) でデータを更新する。

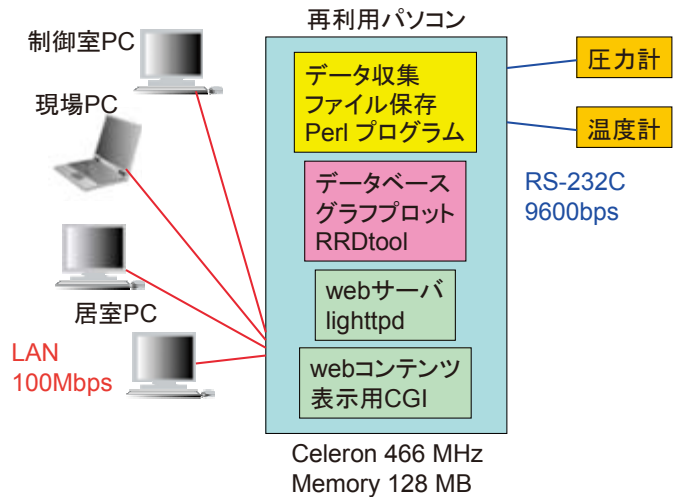


図 4. 接続及びソフトウェア

rrd-record.pl の中身は present\_value.pl とほぼ同じなので省略するが、違いは書き出し部分を、

```
$RRD = "/usr/local/bin/rrdtool";
$RRA = "/usr/home/yamato/main_tank_press_temp.rrd";
# write data to RRD tool
system("$RRD update $RRA N:$press_log:$temp_log");
```

としているだけである。

24 時間、週間、月間、年間ログのグラフ png 画像ファイルを作成するシェルスクリプト ( rrdtool-graph-p\_t.sh ) の一部は、図 8 の通りである。これを、cron により約 15 分おきに実行しファイルを以下の順で作成する。

press-daily.png	24 時間圧力ログ
temp-daily.png	24 時間温度ログ
press-weekly.png	週間圧力ログ
temp-weekly.png	週間温度ログ
press-monthly.png	月間圧力ログ
temp-monthly.png	月間温度ログ
press-yearly.png	年間圧力ログ
temp-yearly.png	年間温度ログ

#### com1 (圧力計と) でエラーが帰ってきてしまった

毎回コマンド列の先頭から終わりまでのデータの HEX コードで 1 バイトずつ足した数の下位 2 桁を 2 バイトの ASCII コードにしたもの (チェックサム) を追加しないとイケなかった。

× "S00RD¥r"

○ "S00RD49¥r"

CR は ¥n ではなく ¥r な事に気付くのに時間もかかった。

#### com2 (温度計と) の通信が出来なかった

制御コードの表記方法がわかっていなかった

"¥x020100XRS,506W,1¥x03¥r¥n"

で行けると思っていたが、¥n は単体で 0x0D 0x0A を送ってしまっていたため

"¥x020100XRS,506W,1¥x03¥n" として送信命令は OK

受信が出来なかったのは、(ETX) が Ctrl-C なので、FreeBSD の /dev/cuad1 が横取りしてしまっていた。

`stty -f /dev/cuad1 speed 9600 parenb -parodd -cstopb cs8 intr undef`;

の intr undef を付けることで解決。

図 5. 計器との通信がうまくできず解決に時間がかかってしまった部分とその解決方法

<sup>5</sup> <http://pfwww.kek.jp/kosuge/>

```

#!/usr/bin/perl
# This is the main tank pressure gauge and the thermometer data collection program.
# for Real Time monitor
#      2006/3/2 by Yoshihiro Yamato

open (OUTFILE, ">/home/yamato/real_press_temp.txt");

# Device opening to transmit
open (BUFF0, ">/dev/cuad0"); # cuad0 = com1
open (BUFF2, ">/dev/cuad1"); # cuad1 = com2

# Device opening to receive data
open (BUFF1, "</dev/cuad0");
open (BUFF3, "</dev/cuad1");

# com port initialization
$press=`stty -f /dev/cuad0 speed 9600 -parenb -cstopb cs8`;
$temp =`stty -f /dev/cuad1 speed 9600 parenb -parodd -cstopb cs8 intr undef`;

print BUFF0 "S00RD49¥r";
$recv_press="";
for ($a=1; $a<=25; $a++){
    $bp = read(BUFF1, $press, 1);
    if($bp != 1){
        last;
    }
    $recv_press .= $press;
}
# Pull out only the pressure data part.
$press_log = substr($recv_press, 7, 5);
# Addition of decimal point
substr($press_log, 2, 0) = ".";

# send      "(STX 0 1 0 0 X R S , 5 0 6 W , 1(ETX)(CR)(LF)"
#print BUFF2 "¥x02¥x30¥x31¥x30¥x30¥x58¥x52¥x53¥x2c¥x35¥x30¥x36¥x57¥x2c¥x31¥x03¥x0d¥x0a";
print BUFF2 "¥x020100XRS,506W,1¥x03¥n";
$recv_temp="";

for ($b=1; $b<=15; $b++){
    $bt = read(BUFF3, $temp, 1);
    if($bt != 1){
        last;
    }
    $recv_temp .= $temp;
}

# Pull out only the temperature data part.
$temp_log = substr($recv_temp, 9, 3);
# Addition of decimal point
substr($temp_log, 2, 0) = ".";

print OUTFILE "$press_log,$temp_log";

close (BUFF0);
close (BUFF2);
close (BUFF1);
close (BUFF3);
close (OUTFILE);

```

図 6. 圧力計・温度計との通信プログラム present\_value.pl ソースコード

```
#!/usr/local/bin/tcsh
/usr/local/bin/rrdtool create /usr/home/yamato/main_tank_press_temp.rrd --step 1800 ¥
DS:press:GAUGE:1800:-0.1:0.6 ¥
DS:temp:GAUGE:1800:0:40 ¥
RRA:AVERAGE:0.5:1:600 ¥
RRA:AVERAGE:0.5:6:600 ¥
RRA:AVERAGE:0.5:24:775 ¥
RRA:AVERAGE:0.5:288:797 ¥
RRA:MIN:0.5:1:600 ¥
RRA:MIN:0.5:6:600 ¥
RRA:MIN:0.5:24:775 ¥
RRA:MIN:0.5:288:797 ¥
RRA:MAX:0.5:1:600 ¥
RRA:MAX:0.5:6:600 ¥
RRA:MAX:0.5:24:775 ¥
RRA:MAX:0.5:288:797
```

図 7. rrdtool-create-p\_t.sh の内容

rrdtool graph コマンドをシェルスクリプト内で行うと、メッセージの標準出力がエラーメールとして大量に送信されて来た。これを回避するため、

```
rrdtool-graph-p_t.sh > /dev/null
```

としてエラーを解決した。

データ収集、ファイル書き出し、データベース更新の Perl プログラムやグラフ作成のシェルスクリプトがどのようなタイミングで実行されているかをまとめた物を図 9 に示す。

### 6.3 Web コンテンツ CGI

ユーザーの Web ブラウザからのリクエストに回答し、図 3 の様な画面を出すために CGI ( index.cgi ) でデータファイルの読み込み、計算処理、html での出力を行っている。詳細は図 11 の通りである。

### 6.4 Web ブラウザでの自動更新

加速器主タンクガス移送時や加速器運転時などガス圧力や温度の変化が比較的多いときには現場や制御室ブラウザからのリクエスト・表示更新を ReloadEvery<sup>6</sup> という Firefox の拡張機能を使用し、1 分おきや 5 分おきなどに設定しデータログの再読み込みを自動化している。(図 10)

### 6.5 全データのバックアップ

本システムの PC は、全てを 1 台で担っているためハードディスクのクラッシュが起こると損害が大きい。そのため、Samba サーバを立ち上げ、重要なファイルを 1 日 1 回定時に筆者の常用 PC に自動的にバックアップコピーを取るようになっている。

```
#!/usr/local/bin/tcsh
/usr/local/bin/rrdtool graph /usr/home/yamato/press-daily.png ¥
--start -1days ¥
--end -1800 ¥
--imgformat PNG ¥
--width 640 ¥
--height 120 ¥
--color BACK#f0e6 ¥
--color CANVAS#ffffff ¥
--color GRID#191970 ¥
--color MGRID#999999 ¥
--color FONT#003300 ¥
--color FRAME#003300 ¥
--color ARROW#0000ff ¥
--vertical-label 'kPa' ¥
--units-exponent 0 ¥
--title 'main tank gas pressure (daily)' ¥
DEF:press=main_tank_press_temp.rrd:press:AVERAGE ¥
CDEF:kp_press=press,1000,* ¥
LINE2:kp_press#ff0000:"pressure" ¥
GPRINT:kp_press:AVERAGE:"AVERAGE = %+3.01f %S" ¥
GPRINT:kp_press:MIN:"MIN = %+3.01f %S" ¥
GPRINT:kp_press:MAX:"MAX = %+3.01f %S" ¥
GPRINT:kp_press:LAST:"LAST = %+3.01f %S"

/usr/local/bin/rrdtool graph /usr/home/yamato/temp-daily.png ¥
--start -1days ¥
--end -1800 ¥
--imgformat PNG ¥
--width 640 ¥
--height 120 ¥
--color BACK#f0e6 ¥
--color CANVAS#ffffff ¥
--color GRID#191970 ¥
--color MGRID#999999 ¥
--color FONT#003300 ¥
--color FRAME#003300 ¥
--color ARROW#0000ff ¥
--vertical-label 'Celsius' ¥
--title 'main tank gas temperature (daily)' ¥
DEF:temp=main_tank_press_temp.rrd:temp:AVERAGE ¥
LINE2:temp#0000ff:"temperature" ¥
GPRINT:temp:AVERAGE:"AVERAGE = %+4.11f" ¥
GPRINT:temp:MIN:"MIN = %+4.11f" ¥
GPRINT:temp:MAX:"MAX = %+4.11f" ¥
GPRINT:temp:LAST:"LAST = %+4.11f"
..... 週間、月間、年間分へと続く
```

図 8. rrdtool-graph-p\_t.sh の内容の一部

<sup>6</sup> <http://norahmodel.exblog.jp/321560/>



```

#!/usr/bin/perl
# This is the main tank pressure gauge and the thermometer data collection program.
#      2006/3/2 by Yoshihiro Yamato

open (INFILE, "</usr/home/yamato/real_press_temp.txt");

$load_value="";
for ($a=1; $a<=11; $a++){
    $v = read(INFILE, $value, 1);
    if($v != 1){
        last;
    }
    $load_value .= $value;
}

# pressure data part
$press_log = substr($load_value, 0, 6);
$press_kg_log = $press_log/0.0980665;
$press_kg_log = substr($press_kg_log, 0, 5);

# temperature data part
$temp_log = substr($load_value, 7, 10);

close (INFILE);

##### ↓html で出力 #####

print "<HTML>\n";

print "<HEAD>\n";
print "<META http-equiv=¥\"Content-Type¥\" content=¥\"text/html; charset=EUC-JP¥\">\n";
print "<TITLE>主タンク圧力・温度モニター</TITLE>\n";
print "</HEAD>\n";
print "<body text=¥\"#000000¥\" bgcolor=¥\"#FFFFFF¥\">\n";
print "<H1>12UD ペレトロン加速器<br>主タンク SF<FONT SIZE=¥\"+1¥\"><SUB>6</SUB></FONT>ガス
圧力・温度モニター</H1>\n";
print "<FONT SIZE=¥\"+3¥\">\n";

print " 現在の圧力 : ¥\n";
print "<FONT SIZE=¥\"+4¥\" COLOR=¥\"#FF0000¥\">$press_log MPa ($press_kg_log kg/cm<FONT
SIZE=¥\"+2¥\"><SUP>2</SUP></FONT></FONT><BR>\n";
print " 現在の温度 : ¥\n";
print "<FONT SIZE=¥\"+4¥\" COLOR=¥\"#FF0000¥\">$temp_log °C</FONT><BR>\n";

print "<HR>\n";
print "24 時間ログ<BR>\n";
print "<IMG SRC=¥\"press-daily.png¥\" ALT=¥\"[press-daily.png]¥\"><BR>\n";
print "<IMG SRC=¥\"temp-daily.png¥\" ALT=¥\"[temp-daily.png]¥\"><BR>\n";
print "週間ログ<BR>\n";
print "<IMG SRC=¥\"press-weekly.png¥\" ALT=¥\"[press-weekly.png]¥\"><BR>\n";
print "<IMG SRC=¥\"temp-weekly.png¥\" ALT=¥\"[temp-weekly.png]¥\"><BR>\n";
print "月間ログ<BR>\n";
print "<IMG SRC=¥\"press-monthly.png¥\" ALT=¥\"[press-monthly.png]¥\"><BR>\n";
print "<IMG SRC=¥\"temp-monthly.png¥\" ALT=¥\"[temp-monthly.png]¥\"><BR>\n";
print "年間ログ<BR>\n";
print "<IMG SRC=¥\"press-yearly.png¥\" ALT=¥\"[press-yearly.png]¥\"><BR>\n";
print "<IMG SRC=¥\"temp-yearly.png¥\" ALT=¥\"[temp-yearly.png]¥\"><BR>\n";
print "</FONT>\n";
print "</BODY>\n";
print "</HTML>\n";

```

図 11. Web コンテンツ作成 CGI ( index.cgi )

## 7. まとめ

RRDtool と lighttpd を使用する事によって非力な旧型PC (Celeron 466 MHz) でもタンデム型静電加速器主タンクの六フッ化硫黄 (SF<sub>6</sub>) ガスの現在の圧力・温度及び 24 時間ログ、週間ログ、月間ログ、年間ログを高速に複数ユーザーに提供できた。これは加速器の状況把握の一手段としても有効なツールとなった。例えば、加速器のコンディショニングを V<sub>t</sub>=10 MVで行っているときに約 1 時間で 1 kPa (0.001 MPa) ガス圧力が上昇することは今回の開発機器を使用して初めて知ることができた。また、外気による温度変化で加速器主タンクのガス圧力がめまぐるしく変化していることも視覚的に把握できた。これらのデータにより温度上昇でコロナ電流の流れが減らないように空調機の温度設定を下げ調整するなどの措置を取ることもできた。

本報告書が、遠隔で計器のデータログを取りたいといった同じような目的を持つ方々の参考となれば幸いである。

システム構築時にご助言、ご協力を頂きました応用加速器部門技術専門職員 木村博美氏、圧力センサー・温度センサーの加速器主タンク配管への取り付けを行ってくださった同 石井聡氏に感謝いたします。

## 参考文献・参考 Web site

- [1] 「RRDtool の使い方」「RRDtool 1.2 系を使う」  
Takuro KUBOTA 氏 Web ページ  
<http://www.bonz.squares.net/~takuro/>
- [2] 小菅隆, ワンボードマイコン及び FreeBSD マシンを使用した遠隔電圧測定システム, 平成9年度核融合科学研究所技術研究会報告書 (1997) 186-189.  
<http://pfwww.kek.jp/kosuge/paper/giken97.pdf>

## Gas pressure and temperature monitor of the accelerator tank on the Web site by using the RRDtool

Yoshihiro Yamato

Tandem Accelerator Complex, Research Facility Center for Science and Technology,  
University of Tsukuba,  
1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8577 Japan

Gas pressure and temperature in the accelerator tank in our facility are able to be watched on the Web site at all hours. The variations of the pressure and the temperature are logged on the Web site and can be shown as graphs. The monitoring system was developed by using the RRDtool and lighttpd, and it works on an old model personal computer which was not in use. As the result, the accelerator condition is able to be diagnosed in detail.

**Keywords:** RRDtool ; Web monitor; simple data logger