

プラズマリミターにおける ADC を用いた水冷系統監視システム構築

杉山 泉

九州大学 応用力学研究所 技術室

1. はじめに

九州大学応用力学研究所高温プラズマ理工学研究センターでは、球状トカマク発生装置である QUEST (図 1) にてプラズマを生成している。本装置には、7 本の水冷配管が組み込まれた可動式プラズマリミター (図 2) が設置されている。各配管への注入前後の温度と、注入時の流量の計 21 つのアナログ信号を ADC で変換し、常時監視するシステムを構築した。本発表では、開発中の失敗談とその対処法を中心に報告する。

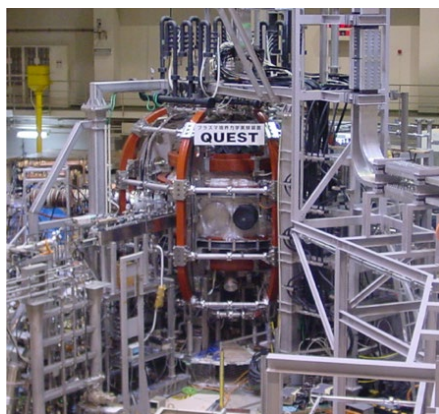


図 1 QUEST

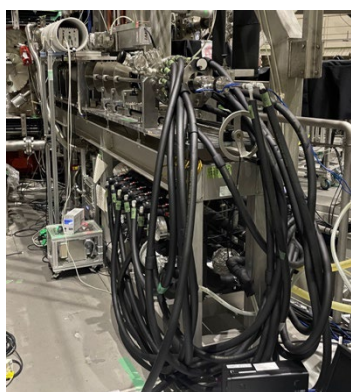


図 2 プラズマリミター

2. プラズマリミター

プラズマリミターとは、プラズマが真空容器壁に直接接触して壁を損傷させないように、その形状と位置を制限するために設置される構造物である。その性質上、先端が超高温のプラズマに接触するため、

リミター自体が溶け出さないように冷却を行わなければならない。したがって、リミターとして動作させている間は、冷却水の温度と流量のデータを常に取り得し、異常がないか監視する必要がある。

本報告にて対象となるプラズマリミターは、真空容器の壁側に設置されており、可動範囲は容器の主半径位置 0.9–1.4 m である。リミターへの冷却水配管は 7 本となる。各管の流入側に流量計 (FD-H10) と温度計 (FI-T15) を 1 台ずつ、流出側には温度計を 1 台設置している (図 3)。温度計を流入・流出側に 1 台ずつ設置する理由は、両者の差から除熱量を計算するためである。以上、1 配管につき 3 台、全体で 21 台からの温度・流量データを一齐に収集・監視するため、NI 社製の ADC を用いた。



図 3 温度計 (左) と流量計 (右)

3. 冷却システムシステム

3.1 ADC

今回の冷却システムシステムの ADC として、NI 社製 8 チャンネルアナログ入力モジュール NI-9224 を 3 台、同社製コントローラ cRIO-9053 に組み込んで使用している (図 4)。NI-9224 のサンプリングレートは 1kS/秒/ch である。



図 4 ADC

3.2 ADC 制御 LabVIEW プログラム

上記 ADC に組み込む冷却水温度・流量監視プログラムを、ビジュアルプログラミング言語である

LabVIEW で作成した (図 5)。当該プログラムの要件を以下に示す。

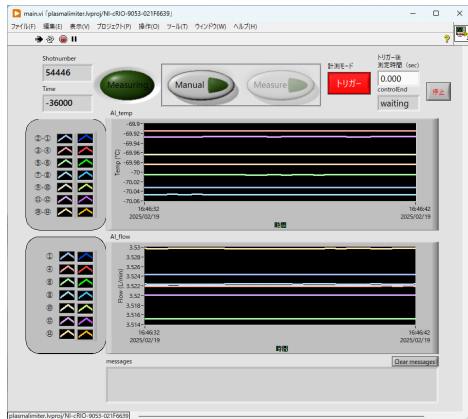


図 5 冷却水温度・流量監視プログラム

- 冷却水温度・流量のリアルタイム表示
入力電圧信号 (1 – 5 V) を、流量 (0 – 30 L/min) と温度 (-20 – 180 °C) に変換し、チャート機能を利用して常に表示するようにした。
- 温度・流量データのバイナリファイル保存
プラズマ点火トリガー入力から、指定秒数だけデータを保存するトリガーモードと、カウントダウン秒数を元にデータを保存するゲートモードを実装し、任意で切り替えられるようにした。温度・流量データは各々バイナリファイルとして cRIO に一時的に保存される。
- 保存ファイルを QUEST データベースへ転送
cRIO に保存されたバイナリファイルを、FTP 通信を用いて QUEST データベースに転送する。転送完了後は cRIO からバイナリファイルを削除する。

3.3 電流-電圧変換基板および保護ボックス加工

温度・流量計は電流信号を出力するが、NI-9224 のアナログ入力は電圧信号であるため、電流信号を電圧信号に変換する必要がある。出力電流の範囲は 4 – 20 mA であり、入力電圧信号の範囲を 1 – 5 V とすると、変換に必要な抵抗値は 250 Ω となる。したがって、1 k Ω 抵抗を 4 つ並列接続するようプリント基板を設計し、業者に発注した。基板が手元に届いた後は、ケーブル用コネクタと抵抗を基板に実装した (図 6)。

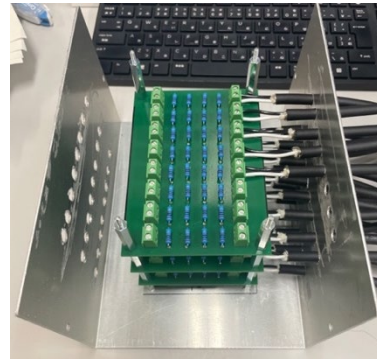


図 6 電流-電圧変換基板

また、基板は ADC と共にプラズマリミター近傍の 19 インチラックに設置することになる。したがって、プラズマ生成時に発生する X 線から保護するため、アルミ製ボックスを加工して当該基板を収納した (図 7)。

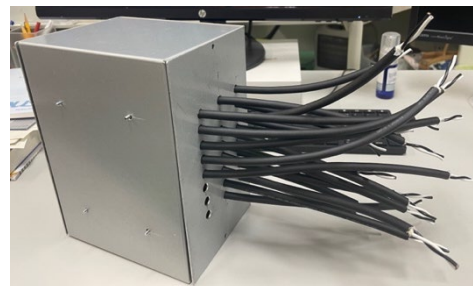


図 7 アルミ製ボックス

3.3 システム設置作業

プラズマリミター用冷却水配管への温度計・流量計の設置と、分電盤への電源供給用および電流信号用ケーブルの配線は完了していたため、以下の作業を実施した。

- 分電盤から電流-電圧変換基板への信号線の配線
- 電流-電圧変換基板から ADC への信号線の配線
- ディレイパルスジェネレータおよび ADC へのトリガーケーブル・イーサネットケーブル・電源供給ケーブルの配線

上記作業後の冷却系統監視システムの概略図を図 8 に示す。

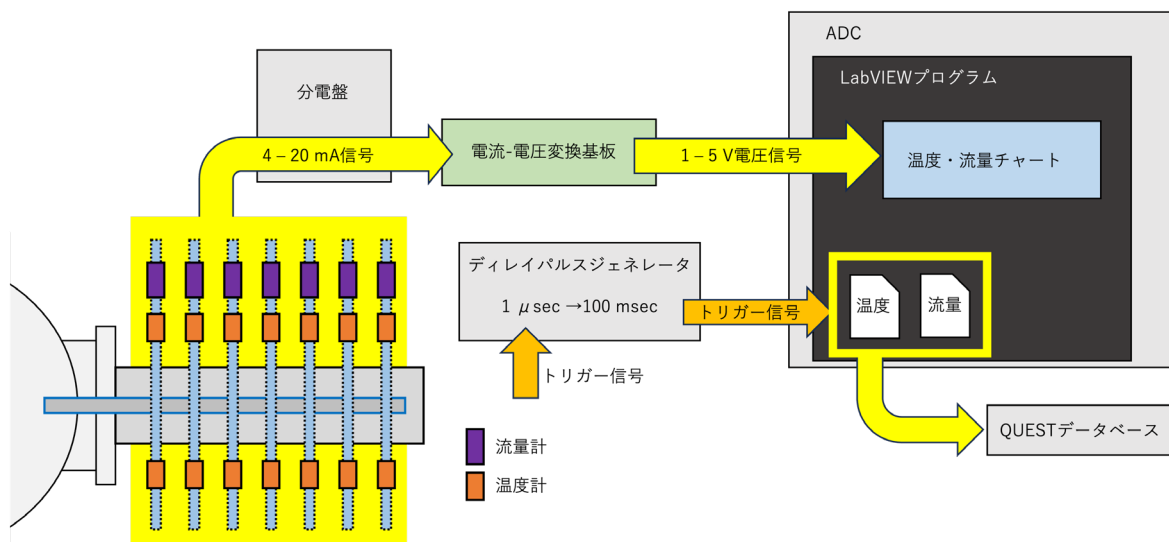


図 8 冷却系統監視システム概略図

4. 失敗談とその対処

4.1 トリガー信号が検知できない問題

トリガーモードにおいては、QUEST 実験共通の 1 μsec 幅 TTL 信号をトリガー信号として利用している。ところが、本プログラムは 10 Hz、すなわち 100 msec ごとに動作する仕組みのため、上記トリガー信号を検知できない問題が発生していた。対処法として、ツジ電子株式会社製のディレイパルスジェネレータ T3965-02 を用い、トリガー信号のパルス幅を 100 msec まで伸長した（図 9）。その結果、当該プログラムでトリガー信号を検知可能になった。

図 9 ディレイパルスジェネレータ

4.2 電流-電圧変換基板への実装トラブル

電流-電圧変換基板の電子部品実装時、用意した抵抗のサイズおよびケーブル用コネクタの足のサイズが基板設計時の想定よりも大きく、実装に困難をきたす事態となった。原因は、各々の購入時にサイズ確認をおろそかにしていたことである。抵抗に対しては、足を基板の穴に合うよう畳んで半田付けした。また、コネクタに対しては、基板の穴をドリルで拡張することで対応した。

4.2 ケーブル選定の失敗

本システムにおいて、分電盤と電流-電圧変換基板間および基板から NI-9224 間でのケーブル配線が必要となった。ケーブル選定の際には、接続部の許容断面積を確認し、発注した。ところが、導体部分が太ければよいと短絡的に考え、許容範囲ギリギリを狙いすぎた結果、接続部への固定が困難になってしまった。また、ケーブルが太くなったために、分電盤と電流-電圧変換基板間の長い配線時には重量が増し、接続部への加重によってケーブルが外れる事案が発生した。

5. まとめ

QUEST で用いるプラズマリミターの冷却系統監視システムを構築した。プラズマリミターの冷却管に既設の温度計・流量計から ADC までの信号線を配線した。また、ADC にて温度・流量データを保存する LabVIEW プログラムを作成し、動作確認を完了した。

来年度、プラズマリミターを用いた実験が実施される予定である。本システムも同時に運用再開される予定である。