

プラズマリミターの冷却系統監視システム構築

杉山, 泉
九州大学応用力学研究所

<https://doi.org/10.15017/7375874>

出版情報：九州大学応用力学研究所技術室 技術室報告. 7, pp.44-48, 2025-07. Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University

バージョン：

権利関係：



プラズマリミターの冷却系統監視システム構築

杉山 泉

要 旨

高温プラズマ理工学研究センターの QUEST 装置においては、球状トカマクの定常運転に向けて静電プローブとしても動作可能なプラズマリミターを準備している。リミター先端が超高温のプラズマに接触するため、稼働中は常に冷却を行い、同時に冷却水の温度と流量を監視する必要がある。今回、冷却水の温度と流量を常時監視するシステムとして、プラズマリミターの冷却系統監視システムを構築したので、報告する。

キーワード

QUEST プラズマリミター 冷却系統監視システム LabVIEW ADC 基板設計

1. はじめに

球状トカマク装置 QUEST を用いた実験では、プラズマの長時間放電やプラズマ-壁相互作用の研究を実施している。現在、球状トカマク型プラズマ (図 1) の定常運転に向けて、静電プローブとしても動作可能なプラズマリミターを準備中である。プラズマリミターとして動作させるためには、リミターに組み込まれた冷却系統の温度と流量を常時監視しなければならない。対象となるリミターの冷却水配管には、温度および流量センサーが設置されており、それらの温度・流量データはアナログ信号として出力可能である。それらアナログ信号をデジタル信号に変換する ADC を用いて、冷却系統監視システムを構築したので、報告する。

2. プラズマリミター

プラズマリミターは、真空容器内に発生させたプラズマが、容器に直接接触して壁を損傷させることを防ぐために、プラズマの形状と位置を制限する目的で設置される。図 1 のようなトカマク型プラズマの場合、プラズマ内側の位置を制限するために容器中央に設置されるものと、外側の位置を制限するために容器の壁に設置されるものがある。その性質上、リミター先端が超高温のプラズマに接触するため、それ自体が溶け出さないよう冷却し続けなければならない。したがって、リ

ミターとして動作させている間は、それを冷却する水の温度と流量のデータを取得し続け、異常がないリアルタイムで監視を行う。

本報告にて対象となるプラズマリミター (図 2) は、QUEST 真空容器の壁側に設置され、可動範囲は主半径位置 0.9~1.4m となる。本リミターは、タングステン製の中心電極とシールド電極で構成されている (図 3)。中心電極は直径 2cm、高さ 2cm の円筒型であり、それを囲むようにシールド電極を 6 枚配置する。両電極とも、SUS 製パイプによって支持される。電極の裏側には銅製の構造物があり、そこに冷却水配管が組み込まれている。冷却水配管は、中心電極に 1 本、シールド電極に合計 6 本、総数は 7 本となる。

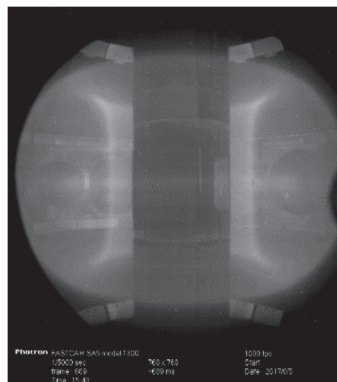


図 1 トカマク型プラズマ

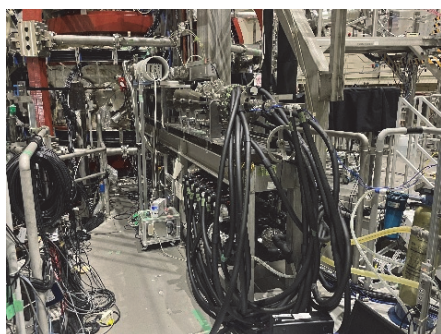


図2 プラズマリミター外観

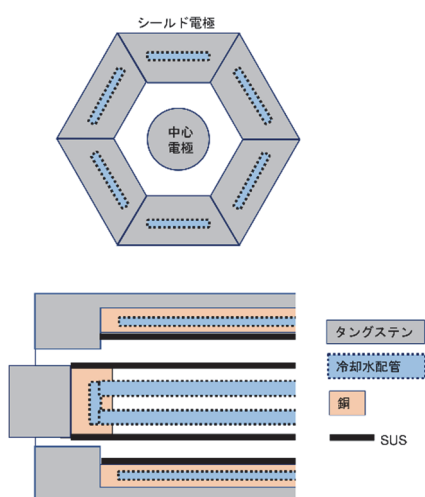


図3 プラズマリミター概略図
(上) 真空容器内側から見た図
(下) 横側から見た断面図

3. 冷却系統監視システム構築

プラズマリミターと冷却系統監視システムの配置を図4に示す。リミターは、真空容器から見て北西側の架台上に設置されている。架台の手すり部分に分電盤が設置されており、冷却水配管に取り付けられた温度センサーと流量センサーに電源を供給し、なおかつ両センサーからの信号を中継する。中継された信号は、架台上の19インチラックに設置したADCによって温度・流量データに変換されて収集され、ネットワークを介してQUESTデータベースへ転送・保存される。以降、冷却系統監視システム内の各設備について詳述する。

3-1. 温度・流量センサー

先述の通り、当該プラズマリミターには7本の冷却水配管が組み込まれている。それぞれの配管には、キーエンス社製の温度センサー (FI-T15) と流量センサー (FD-H10) を設置している (図5)。温度センサーは流入側と流出側に1台ずつ設置され、それぞれの位置の水温を測定する。一方、流量センサーは流入側に1台設置され、流量を測定する。両センサーのアナログ出力は、0~20mAと4~20mAの2パターンから選択可能であり、温度および流量の測定範囲は任意で設定可能である。本実験における設定値と設置台数を表1に示す。

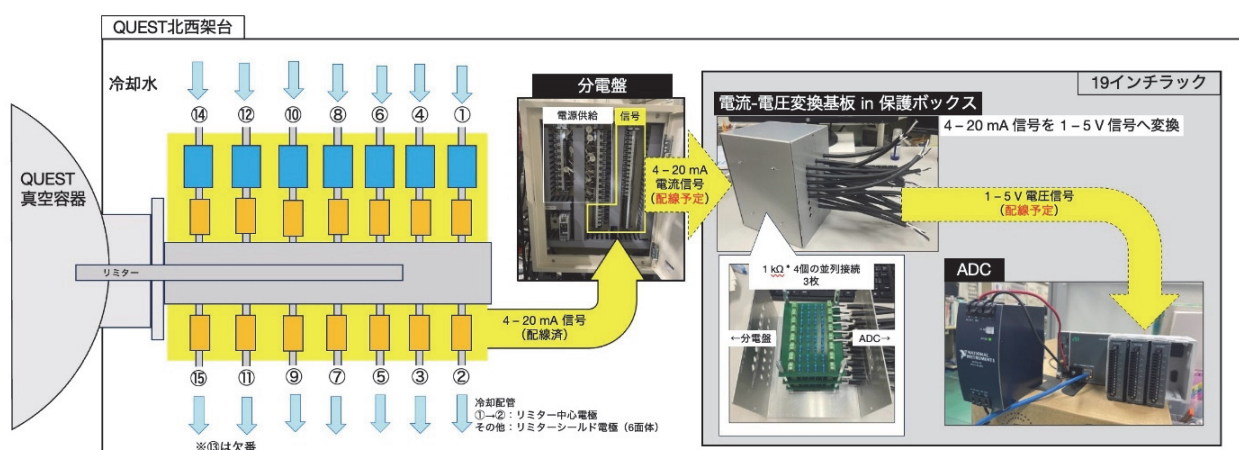


図4 プラズマリミターおよび冷却系統監視システムの配置予定図



図 5 温度センサー（左）と流量センサー（右）

表 1 温度・流量センサー設定

	温度センサー FI-T15	流量センサー FD-H10
アナログ出力	4~20mA	4~20mA
測定範囲	-20~180℃	0~30L/min
設置台数	14 台	7 台

3-2. ADC

今回の監視システム開発では、NI 社製 8 チャンネルアナログ電圧入力モジュールである NI-9224 を 3 台用意し、それらを同社製コントローラである cRIO-9053 に組み込んで ADC として使用している（図 6）。ADC で設定したパラメータを表 2 に示す。



図 6 ADC 外観

表 2 ADC 設定

アナログ入力範囲	1~5V
サンプリングレート	1kS/秒/ch
使用チャンネル数	21

3-3. 冷却水温度・流量監視プログラム

上記 ADC を用いた冷却水温度・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 にて作成した（図 7）。作成後、プログラムを cRIO-9053 にインストールした。当該プログラムの機能を以下に示す。

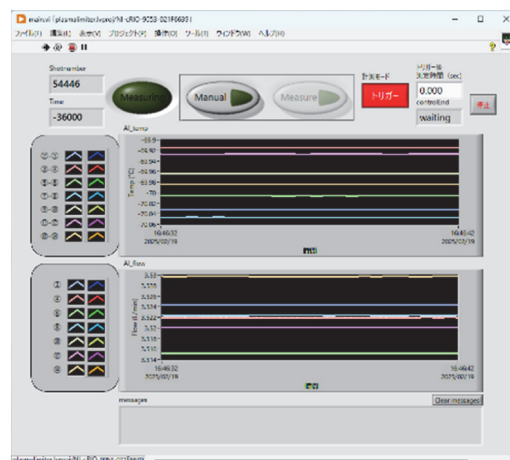


図 7 温度・流量監視プログラム

- 冷却水温度の計算
先述の通り、温度センサーからの信号は、流入側と流出側の 2 種類ある。本プログラムにおいては、これらの差をとって除熱量を計算し、冷却水温度データとして利用する。
- 冷却水温度・流量のリアルタイム表示
NI-9224 に入力される信号を 10Hz 間隔で取得して温度と流量に変換し、チャート機能を利用してリアルタイムで表示する。
- 2 つのモードによるデータ保存
上記リアルタイム用データと同時に、保存用データを取得するモードを 2 つ組み込んだ。1 つ目はトリガーモードであり、プラズマ点火トリガーの検知から指定秒数だけデータを保存する。2 つ目はゲートモードであり、プラズマ点火シーケンスのカウントダウン秒数を基にデータを保存する。これら 2 つのモードは、任意で切り替え可能である。
- バイナリ形式でのファイル保存
温度・流量データは、それぞれバイナリ形式ファイルで cRIO-9053 に一時的に保存する。
- ファイルの転送
cRIO-9053 に保存されたファイルを、FTP 通

信により QUEST データベースに転送する。
転送完了後は、cRIO-9053 からファイルを削除する。

3-4. 電流-電圧変換プリント基板

温度・流量センサーのアナログ出力は電流信号である一方で、NI-9224 のアナログ入力信号は電圧信号である。したがって、NI-9224 でデータを取得するには、電流信号を電圧信号に変換しなければならない。両センサーの出力電流範囲は 4~20mA を選択したため、入力電圧信号の範囲を 1~5V とすると、変換に必要な抵抗は 250Ω となる。このことから、以下の要件でプリント基板を設計した。

- $1k\Omega$ 抵抗を 4 つ並列接続し、 250Ω とする
- 基板 1 枚につき変換回路を 8 ライン実装する
- 固定のため、3mm 径の穴を四隅に設ける

設計は DesignSpark アプリで行い、プリント基板の作成は業者に発注した。基板が手元に届いた後は、3 枚の基板に対して、ケーブル用コネクタと抵抗をはんだ付けで実装した (図 8)。



図 8 電流-電圧変換用基板

3-5. 基板保護ボックスとケーブルの加工

上記基板は、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予定である。この位置は QUEST 真空容器に近いので、プラズマ生成時に発生する X 線から基板を保護しなければならない。また、3 枚の基板がお互いに接触しないよう、間隔を固定する必要もある。以上の理由から、アルミケースを加工して基板保護ボックスを作成し、その中に基板を収納することにした。

基板同士の間隔は 30mm とし、六角スペーサーを用いて確保した (図 9)。ケースに対しては、基板の足となる六角スペーサーを留める穴を底部

に、絶縁ケーブルを通す穴を両側面に空けた (図 10)。

次に、分電盤と基板の間および基板と ADC の間に配線する絶縁ケーブルの加工を行った。前者は 1.5m を 21 本用意し、分電盤に接続する側には Y 型圧着端子を圧着した。後者はボックスを ADC の斜め前方に設置することを考慮して、30cm を 5 本、25cm を 8 本、20cm を 8 本用意した。また、基板側は被膜を剥いてコネクタに接続した (図 11)。

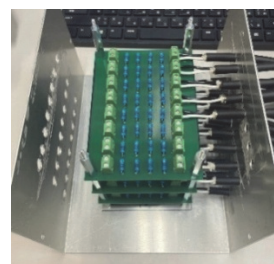


図 9 スペーサーを用いた基板の固定



図 10 加工後のアルミケース

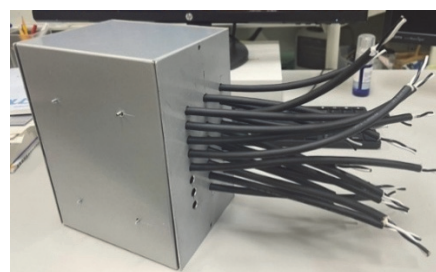


図 11 基板保護ボックスと絶縁ケーブル

4. 今後

ADC 制御 LabVIEW プログラムは完成したため、まずは ADC 単体で、QUEST 実験のシーケ

ンス情報やトリガーを利用した動作試験を行う。その後、図 4 に示すように、分電盤と基板の間および基板と ADC の間をそれぞれ絶縁ケーブルで配線し、実際に通水しながら再度動作試験を行う予定である。

謝辞

高温プラズマ理工学研究センターの永島芳彦准教授には、冷却系統監視システムの開発を任せ

ていただき、多数のご助言やご指導をいただきました。同センターの技術スタッフである山下雅典氏にはアルミケース加工に関して、同じく川崎昌二氏には基板実装に関して、補助をしていただきました。技術室の永田貴大氏には、物品の選定や手配、19 インチラックの設置などでお世話になりました。同じく技術室の野田穰士朗氏には、プリント基板設計にて指導していただきました。厚くお礼申し上げます。