

QUEST磁気計測に係るLabVIEW制御プログラムの開発

関谷, 泉
九州大学応用力学研究所

<https://doi.org/10.15017/6794449>

出版情報 : 九州大学応用力学研究所技術室 技術室報告. 5, pp.31-35, 2023-07. Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University

バージョン :

権利関係 :

QUEST 磁気計測に係る LabVIEW 制御プログラムの開発

関谷 泉

要 旨

高温プラズマ理工学研究センターのプラズマ境界力学実験装置（QUEST 装置）では、生成プラズマに対し、磁気計測により特性を研究している。この磁気計測のために、真空容器内や高速駆動プローブ内に複数のソレノイドコイルが設置されている。それらのコイルから電圧データを取得する複数の計測器に対し、LabVIEW 制御プログラムを開発した。本報告では、開発および計測器ごとの不具合対策も併せて紹介する。

キーワード

LabVIEW プログラム開発 磁気計測 計測器 QUEST

1. はじめに

高温プラズマ理工学研究センターでは、QUEST 装置を用いてプラズマを生成する。そのプラズマの特性を研究するために、プラズマから生じた磁気を計測する。磁気計測のための機器やそれらの制御に用いるソフトウェアは、各メーカーが独自に設計・製作しているため、計測条件設定やデータ保存などの基本操作が異なり、混乱することがある。したがって、基本操作を統一するために、プログラミング言語である LabVIEW を用いて、磁気計測機器の制御用プログラムを開発した。

2. プラズマ磁気計測

QUEST においては、小型のソレノイドコイル（以下、ピックアップコイル）を用いたプラズマ磁気計測を行う。巻き数 N 、断面積 S のコイルを貫く磁束密度 B が時間変化すると、式 1 に示すように、その変化を打ち消す方向に誘導起電力 V が発生する。この値を計測器で測定し、磁束密度を導出する。

$$V = -N \frac{\Delta B \cdot S}{\Delta t} \quad (1)$$

ピックアップコイルの設置箇所を以下に示す。

- 真空容器内（図 1 左）
 - ・トロイダルアレイ：16 個（緑丸）
 - ・ポロイダルアレイ：15 個（赤丸）
 - ・センタースタック：12 個（ピンク丸）
 1 個のコイルにつき 1 方向の磁場を計測する。したがって、電気信号の数は 43 となる。
- 高速駆動プローブ内（図 1 中央上）
 - 高速駆動プローブは、プローブをプラズマに高速で接近させ、近距離で磁場を計測する装置である。コイルはプローブ先端・中間・根本に 1 個ずつ組み込まれ、それぞれ 3 方向の磁場を計測する。したがって、電気信号の数は 9 となる。

以上、合計で 52 の電気信号に対し、3 台のオシロスコープ（DLM3054、DLM4058、HDO8038A）と、1 台のシグナルアナライザ（EXA N9010B）を用いて計測を行う。なお、これら計測器の合計チャンネル数は 21 であるため、実験目的に合わせて計測対象コイルを変更する。磁気計測時の機器配置を図 1 に示す。図中にもある各計測器の詳細は、4 章にて後述する。

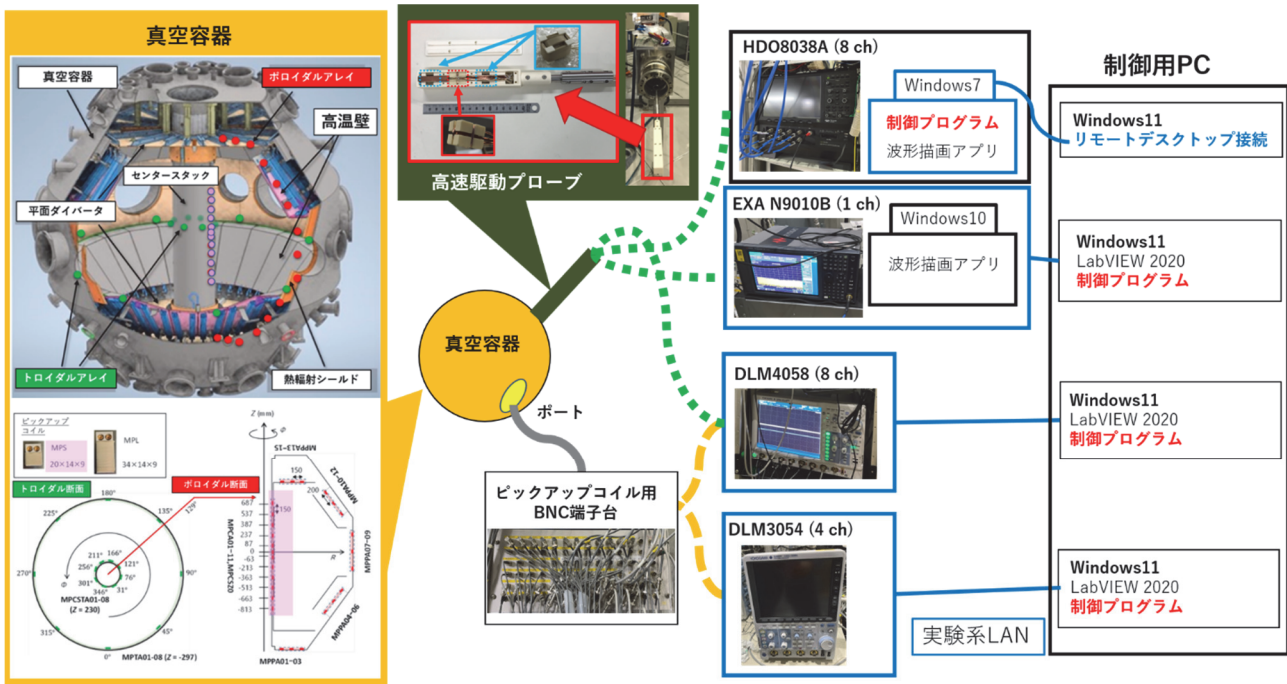


図 1 QUEST 磁気計測における機器配置

3. LabVIEW 制御プログラム要件

磁気計測機器の LabVIEW 制御プログラムに求められる基本要件を以下に示す。

- ① プラズマ用トリガ・カウントダウンを利用した自動連続測定
 QUEST 実験は、トリガによるプラズマ点火と、待機時間(5~10分のカウントダウン)を繰り返して進行する。そのため、プラズマ用トリガとカウントダウンを利用して、制御プログラムの進行を自動化する。また、ノイズをトリガと誤認してプログラムが誤動作しないよう、休止時間を設定する。
- ② 計測条件の遠隔書き込み
 QUEST 実験中は X 線が放出されるため、本体室内に設置された計測器を直接操作できない。そのため、実験系 LAN を利用し、遠隔で計測条件を書き込む。
- ③ 計測条件・取得データのファイル保存・サーバ転送
 計測条件・取得データの保存ファイルをショット毎に作成し、それらをサーバに転送する。なお、ファイル名にはショット番号を組み込む。

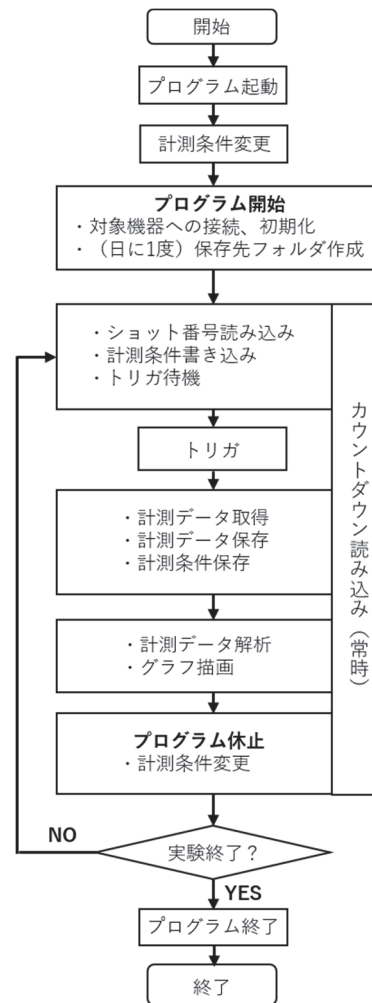


図 2 LabVIEW 制御プログラムフロー図

④ 取得データ解析とグラフ描画

③で得たファイルを読み出し、解析とグラフ描画を行う。なお、例外的にグラフ描画をプログラム外で実行することがあり、本報告書では HDO8038A が該当する。詳細は 4 章で後述する。

⑤ MEMO 欄の実装・保存

計測コイル名などをメモする欄を設ける。内容は計測条件用ファイルに保存する。

以上の要件を満たす LabVIEW 制御プログラムのフロー図を図 2 に示す。

4. LabVIEW 制御プログラム開発

図 1 で示した 4 台の計測器に、それぞれ LabVIEW 制御プログラムを開発した。

LabVIEW プログラム開発時は、LabVIEW 自体の仮想メモリ上限に注意する必要がある。QUEST では 32 bit 版 LabVIEW を使用しており、仮想メモリは最大 4 GB となる。LabVIEW はデータの受け渡しやグラフ作成時に、仮想メモリ上にデータをコピーする仕様である。そのため、扱うデータ量が大きくなると、メモリ不足でプログラムが停止したり、保存と転送にかかる時間がショット間の待機時間 (5~10 分) を超過したりする可能性がある。今回は、DLM4058 と HDO8038A の開発時にメモリ上限を超過した。対処法は各々の項目で説明する。

4-1. DLM3054

DLM3054 は、横河電機製のオシロスコープである。スペックを表 1 に示す。

表 1 DLM3054 スペック

チャンネル数	4
周波数帯域	500 MHz
最高サンプルレート	2.5 GS/s
垂直分解能	8 bit
最大レコード長 (単チャンネル測定時)	50 M ポイント

DLM3054 を用いた別の計測において、3 章で示した要件のうち、②と④の機能を持つ LabVIEW 制御プログラムを開発したことがあつ

た。それをベースに、不足していた①、③、⑤の機能を追加した (図 3)。本プログラムでは、縦軸が電圧、横軸が時間のグラフと、FFT 解析したグラフを作成する。DLM3054 は主に真空容器内のピックアップコイル計測に使用された。



図 3 DLM3054 制御プログラム画面

4-2. DLM4058

DLM4058 は、横河電機製のオシロスコープである。スペックを表 2 に示す。

表 2 DLM4058 スペック

チャンネル数	8
周波数帯域	500 MHz
最高サンプルレート	2.5 GS/s
垂直分解能	8 bit
最大レコード長 (単チャンネル測定時)	6.25 M ポイント

DLM4058 の制御プログラムは、DLM3054 のプログラムを 8 チャンネルに拡張したものであり、機能や作成するグラフは同じである (図 4)。本機器は 8 チャンネルを同時に計測できるため、主に高速駆動プローブによる計測に使用された。

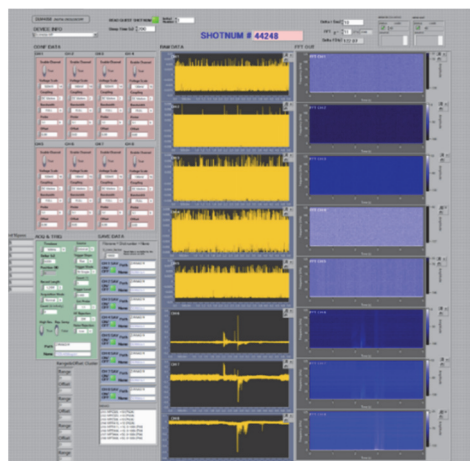


図 4 DLM4058 制御プログラム画面

なお、8 チャンネル分の計測とグラフ作成によってデータ量が増大し、前述の仮想メモリ上限を超過した。対処法として、取得する際のデータ形式を変更した。図 5 に示すように、DLM4058 は整数 (INT16) で計測して電圧値 (DBL) に変換する仕組みである。そこで、変換前の整数値を取得することにより、電圧値と比較してデータ量が 1/4 に軽減され、メモリを節約できる。なお、この整数データを LabVIEW 上で電圧グラフとして表示する場合、整数値を電圧変換してしまうとメモリを圧迫するため、軸の方を電圧変換する。DLM4058 における変換式は、式 2 となる。

$$V = \frac{Range \times Data}{3200} + Offset \quad (2)$$

ここで、*Range* はオシロスコープの縦軸 1 目盛りあたりの電圧値、*Data* は取得した整数値、*Offset* は電圧のオフセットである。

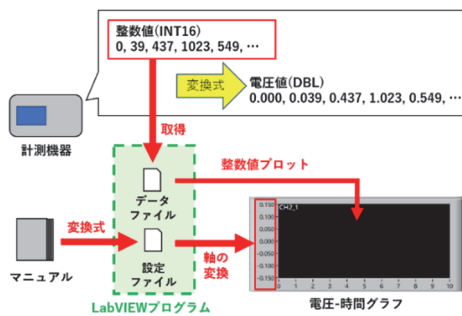


図 5 整数値データの保存・利用例

4-3. HDO8038A

HDO8038A は、TELEDYNE LECROY 製のオシロスコープである。スペックを表 3 に示す。本機器は高速駆動プローブ計測に使用した。

表 3 HDO8038A スペック

チャンネル数	8
周波数帯域	350 MHz
最高サンプルレート	2.5 GS/s
垂直分解能	12 bit
最大レコード長 (単チャンネル測定時)	50 M ポイント →250M ポイント

制御プログラムは、メーカーが提供するサンプルプログラムをベースに作成した。また、本機器

は Windows 7 ベースで動作しているため、他機器とは異なり、制御室 PC 内の制御プログラムからは操作できない問題が発生した。そのため、機器本体に直接 LabVIEW 2017 と制御プログラムをインストールし、プログラム自体の操作は、制御室 PC から Windows 7 へのリモートデスクトップ接続を利用して行った。

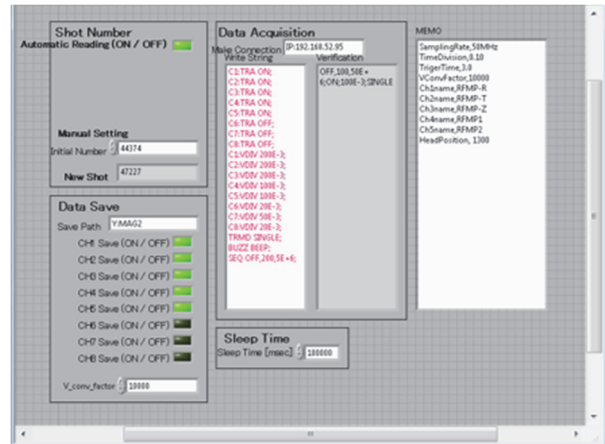


図 6 HDO8038A 制御プログラム画面

なお、DLM4058 と同様に、本機器においても仮想メモリ上限を超過した。対処法として、専用アプリと LabVIEW プログラムとの間で役割を分担した。本機器には専用の波形描画アプリ (図 7) が実装されていたため、グラフ描画はそちらで行い、LabVIEW プログラムでは機器制御と電圧データの取得・保存を実行することでメモリを節約した。



図 7 HDO8038A 波形描画アプリ画面

後に本体メモリを増設し、1 チャンネルあたりのレコード長上限を 50 M ポイントから 250 M ポイントへアップグレードした。これにより、磁気変化をさらに長時間計測できるようになった。ただし、LabVIEW 仮想メモリの上限に加え、データ保存にかかる時間と QUEST ショット間の待機

時間（5～10 分）との兼ね合いにより、110M ポイントがレコード長の現実的な上限となった。

4-4. EXA N9010B

EXA N9010B は、Keysight 製のシグナルアナライザである。スペックを表 4 に示す。

表 4 EXA N9010B スペック

チャンネル数	1
最大周波数	44 GHz
スイープ時間	1 ms ~ 4000 s
ADC 分解能	14 bit
最大時間レコード長 (単チャンネル測定時)	4 M ポイント

本機器は複雑な変調のある信号も検出可能であり、計測結果は横軸が周波数、縦軸が振幅となる。本機器は高速駆動プローブ計測に使用した。



図 8 EXA N9010B 制御プログラム画面

LabVIEW 制御プログラムは、DLM4058 をベースに作成した。このプログラムにおいては、横

軸が周波数、縦軸が振幅のグラフに加え、横軸が時間、縦軸が周波数の強度グラフも作成する（図 8）。これにより、プラズマによる磁気変調の時間変化を一目で確認できるようになった。

5. おわりに

現在、真空容器内のピックアップコイル 43 個に対しては、多チャンネルデジタイザによる一括測定を行っている。一方、高速駆動プローブ内のピックアップコイル 3 個に対しては、引き続き HDO8038A を使用している。本報告で紹介した他 3 台に関しては、QUEST の他実験に利用されている。

LabVIEW の仮想メモリ不足問題に関しては、今年度中に LabVIEW を 32 bit 版から 64 bit 版に入れ替えることを検討している。64 bit 版では、最大仮想メモリが 4 GB から 16 TB まで増加するため、より大容量のデータを取り扱えるようになる。入れ替え後は、本報告で取り上げたプログラムを含め、複数の LabVIEW 制御プログラムに対して移行作業を行う予定である。

謝辞

池添竜也准教授におかれましては、磁気計測に係る LabVIEW 制御プログラムの開発を、著者の入職当初から一任してくださいました。さらに、本報告執筆時には、磁気計測の理論や構造についてご教授くださり、写真や図を提供していただきました。この場を借りて厚く御礼申し上げます。

また、開発後の LabVIEW 制御プログラムを実際に操作し、改善点を提案してくださいました学生の皆様にも、感謝申し上げます。