

パイプガン式固体水素ペレット入射装置制御システムの改造

井上知幸、鷹見重幸、小川英樹、坂本隆一、山田弘司

核融合科学研究所

概要

固体水素ペレット入射装置は、大型ヘリカル装置(LHD)でのプラズマ実験において、閉じ込め領域への燃料供給を行うための装置である。今年度、ペレット挿入数の追加のため、冷凍機の増設やガス供給系の最適化などの改造を実施した。装置の改造とともに制御システムの改造も必要となったが、既存の制御システムは外注で作られていたため、PLCのラダープログラムの解析などをおこない、プラント制御部分は InTouch、タイミング制御部分は Visual Basic を利用し、制御システムを再構築した。本研究会では、その詳細について報告する。

1 パイプガン式ペレットについて

パイプガン式固体水素ペレット入射装置は、高信頼性を実現するためにコンベンショナルなニューマチック・パイプガン方式を採用している。この方式ではひとつの入射バレルから1個のペレットしか生成・入射出来ないが、準静的に固体水素ペレットを生成するためにペレットサイズ、ペレット速度の再現性が良く、精度の高い実験が出来る。また、本装置では10系統の独立したペレット入射バレルを装備しており、1回のプラズマ放電あたり、最大10発の固体水素ペレットを入射可能である。スクリー押し出し方式の固体水素生成方式を用いた連続ペレット入射装置[1]と比べると入射数に制限があるが、入射タイミングを各バレル独立して任意(1ms単位)に設定できるため、柔軟にプラズマ実験に対応できる利点がある。

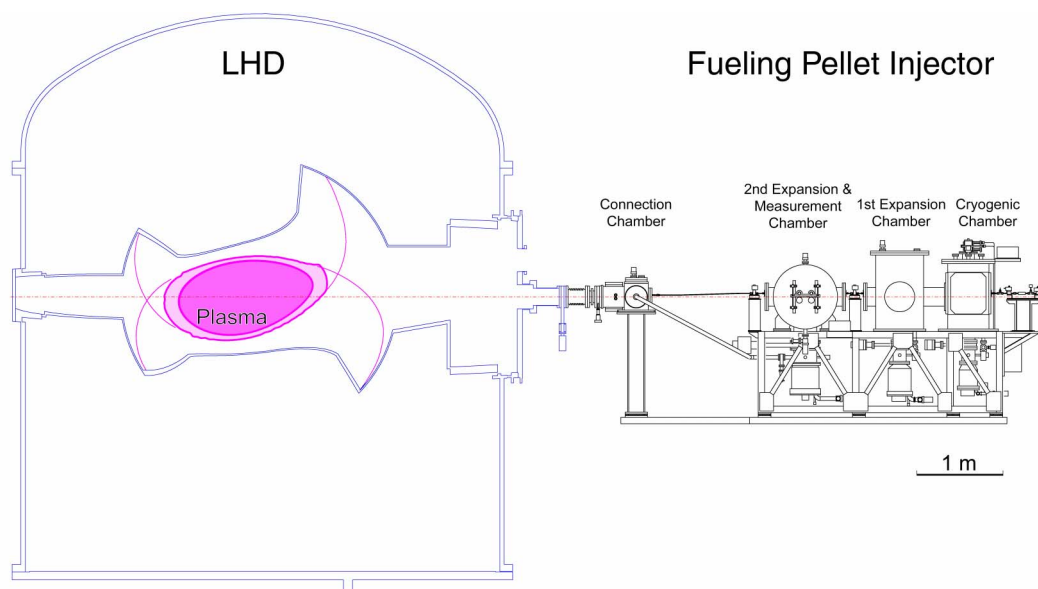


図1. パイプガン式固体水素ペレット入射装置配置図

図1に装置の配置図、図2にペレット生成部の概略図を示す。装置はペレット生成・入射部(クライオチャンバ)と3段の差動排気部からなる。クライオチャンバでは、内径3mmのステンレス鋼製のバレルが、冷凍

機によって 10K 程度に冷却された銅製のブロックへ幅 3mm で接触しており、この部分へ水素ガスを導入することによって水素ガスが固化する。固体水素ペレットが生成されるとバレルが閉塞し、水素ガス供給部の圧力が上昇する。その後、設定したタイミングで高速射出弁を開閉することにより高圧のヘリウムガス(2.5 - 5MPa)を印加してペレットを加速し、プラズマへ入射する。加速ガスとして用いたヘリウムガスがプラズマ真空容器内へ流入することを防ぐために、大排気量の真空ポンプを備えた 3 段の排気チャンバを設け、差動排気をおこなっている。

プラント制御、入射タイミング制御ともに、制御系には PLC を用い、PC から GUI により操作する。PLC は三菱電機製の MELSEC、GUI ツールとして、プロセス制御監視アプリケーションとして実績のある Wonderware 社の InTouch を採用した。制御対象としては、バルブ・ポンプ・冷凍機などの ON/OFF 制御点が約 50 点、真空度・温度計などのプラント監視が約 30 点、全体で約 80 点の制御点数がある。但し、これは改造前の仕様であるので、改造後については第 3 章で述べる。

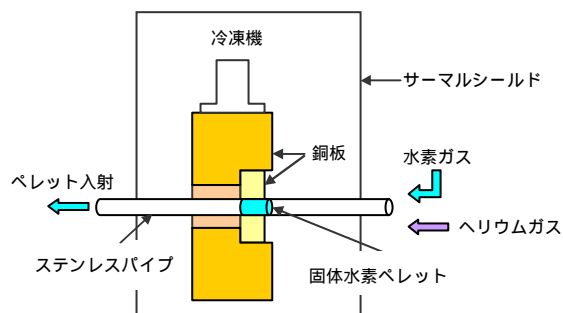


図 2. ペレット生成部概略図

2 装置の改造部分

今年度実施した装置の改造部分は以下の 4 点である。

A) LHD 本体取り合いゲートバルブの二重化

LHD 本体側のゲートバルブの前に、機器側で開閉可能なゲートバルブを取り付け二重化した。

B) 固体水素ペレット生成冷凍機の追加

今までは 10 バレルを 1 台の冷凍機で冷やしていたため、冷凍能力が不足しており、到達温度が 12K 程度であった。ペレットの質向上のため、10K 以下を目標として、冷凍機を 1 台追加した。また、それに伴い、クライオチャンバの改造およびガイドパイプの変更も実施した。

C) 差動排気系ルーツポンプの追加

排気能力向上のために、第 3 拡散層(接続チャンバ)にポンプを 1 台追加した。

D) ガス供給系の最適化

これまで 2 バレルを対にして固体水素生成を制御してきた。すなわち、5 系統の制御系で 10 バレルの固体水素生成をおこなっていた。そのため、ペレット生成運転上の制限があった。今回、全てのバレルに独立した制御系を設け、10 系統完全独立制御とした。

3 制御システムの改造

上記の装置の改造に伴い、制御システムの大幅な改造も必要となった。改造前の制御システムは、外注であったが、予算的な問題と今後の改造時の対応の柔軟性向上のため、今回の改造では全て所内でおこなうこととした。信頼性向上と費用節約のため、従来からの制御システムからの変更点を出来る限り少なくなるよう、以下の手順で改造を実施した。

3.1 制御系の解析

制御システムの改造に伴い、従来からの制御系全体の解析を実施した。具体的には、InTouch のタグ変数のリストアップ及びプログラムの解析、PLC ラダープログラムの解析をおこなった。ラダープログラムについては、

装置の改造予定が当初第2章D)のガス供給系の系統追加のみだったということもあり、制御対象追加部分のみを修正する予定であったが、改造部分の増加で修正範囲が広範囲にわたるということと、ゲートバルブの二重化により、LHD 実験シーケンスに合わせた自動運転のシーケンスを見直す必要も出てきたことから、既存プログラムを参考に、全て新規に作成し直すことにした。

3.2 PLC ラダープログラムの作成

PLC ユニットは、デバイス番号、配線の変更などを極力減らすために、既存のものをそのまま流用することとした。制御対象の新規追加による入出力点増は、全体で約 30 点発生したが、追加分は、既存入出力ユニットの空きを利用し、一部不足したアナログ入力については、ベースの空き部分に新規 A/Dc ユニットを追加した。ラダープログラムの作成には、GX Developer6.0(MELSEC 用プログラミングツール)を利用した。新規に作成するにあたって、従来のシーケンスを見直し、必要な機能のみを取り入れることによりプログラムの最適化を図った。

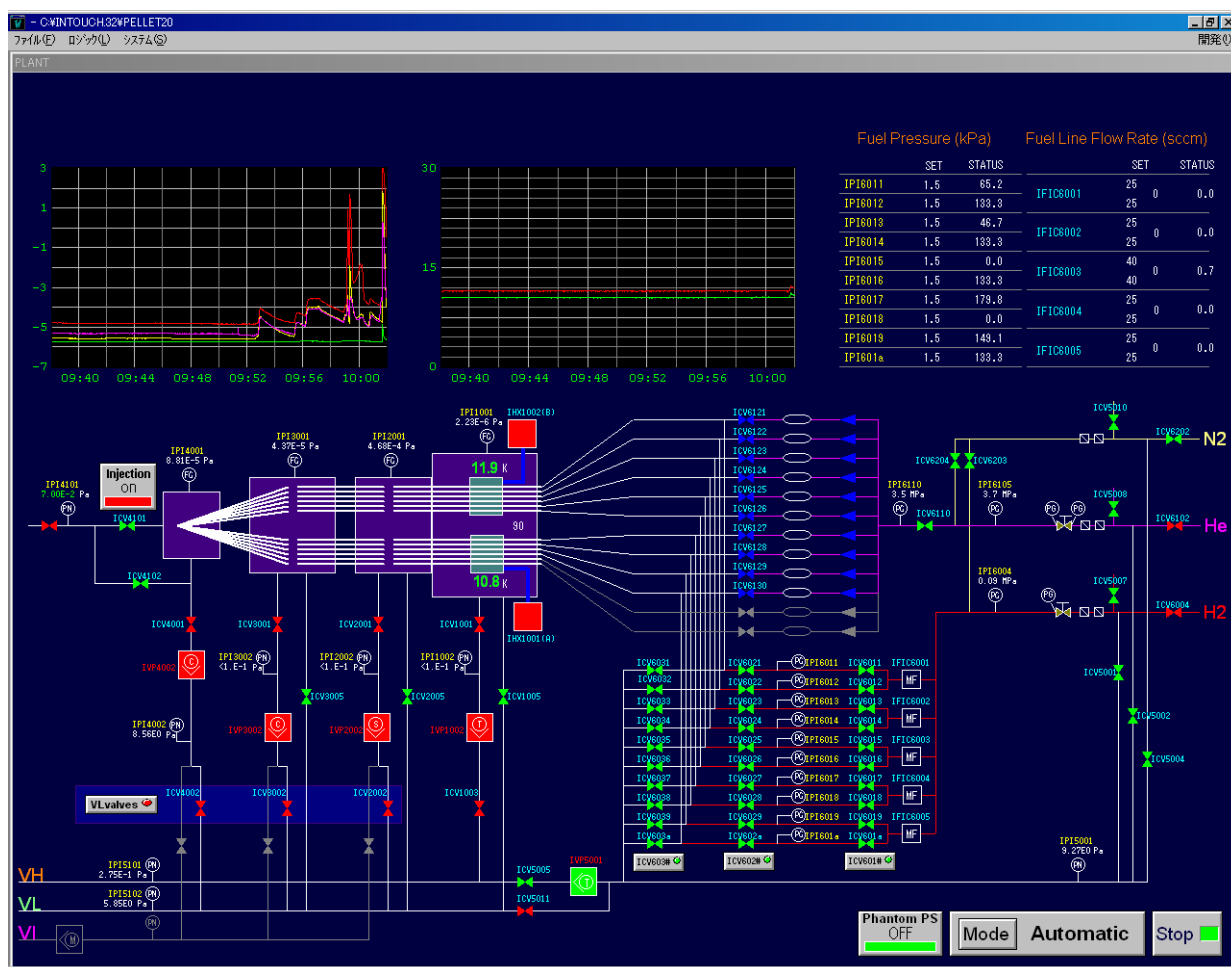


図 3. プラント制御画面

3.3 プラント制御

第1章で述べたように、既存システムのプラント制御は InTouch と呼ばれる SCADA(Supervisory Control and Data Acquisition)ソフトを採用していた。Intouch は PLC 入出力点の管理や、DDE サーバを通して入出力点の状態を取得・設定する機能を標準装備しているため、開発期間を大幅に短縮でき、機器が追加・削除された場合の柔軟性も非常に高い。そのため、今回もプラント制御に関しては InTouch を採用した。図 3 にプラン

ト制御画面を示す。この画面では、バルブ状態の表示・操作、ポンプの起動・停止、真空度の表示などをおこなっている。一方、LHD 実験でペレットの入射をおこなう際には、実験シーケンスに同期して入射をおこなうため、バルブの開閉は PLC ラダープログラムに沿って自動でおこなわれる。

3.4 入射タイミング制御

従来は PLC 上にある高速カウンタユニットを用いてタイミング制御をおこなっていたが、ショット番号を含む入射ログ作成が必要であることと、プログラム修正の容易さから、連続ペレット入射装置[1]で実績のあった、カウンタボードとパルス発生ボードを用い VisualBasic 6.0 で制御する方法を採用した。図 4 に入射タイミング設定画面を示す。ペレット入射タイミングは、LHD プラズマ放電開始からの秒数(1ms 単位)で設定する。カウンタボードは、LHD プラズマ放電開始信号を受け取ると同時に、パルス発生ボードからの信号を元にカウントアップし、設定画面で設定されたカウント値でヘリウムガス高速射出弁へ開信号を送ることによりプラズマへペレットを入射する。



図 4. 入射タイミング設定画面

4 まとめ

昨年 6 月の仕様検討から、装置の設置、制御システムの構築、動作試験を経て、約 5 ヶ月後の 10 月末より LHD プラズマ実験での本稼動を開始し、現在まで問題なく動作している。今後、ガス供給系のマスフローメータの追加、排気系の改造などが予定されているが、今回の改造で制御システム全体の解析を実施したことにより、制御システム修正の対応については容易であると思われる。

参考文献

- [1] 鷹見 重幸, et al, “連続ペレット入射装置制御システムの開発”, 平成 14 年度東京大学総合技術研究会報告集, 平成 15 年 3 月, P3-21- P3-23
- [2] H.Yamada, et al, “Development of pellet injector system for large helical device”, Fusion Engineering and Design 49- 50 (2000) 915- 920