

運転パラメータを読みみ式にした LHD-NBI の運転

浅野英児、河本俊和、佐藤守、近藤友紀、NBI グループ
核融合科学研究所

1 はじめに

核融合科学研究所では平成 10 年より大型ヘリカル装置 (LHD) を使ったプラズマ実験が行われている。LHD 実験においてプラズマを加熱するための装置は、電子サイクロトロン共鳴加熱 (ECRH)、イオンサイクロトロン共鳴加熱 (ICRH) そして中性粒子入射加熱 (NBI) の 3 種類の装置があり、NBI の入射は同年後期の実験から始まり今年度で 6 期目となる。この間、入射ビームのパワーを上げるべく長時間に亘る運転 (コンディショニング) とイオン源の改良が行われてきた。

実験中はその内容に応じた入射ビームのパワーレベルが求められ、所定のレベルへ迅速にもっていくことが重要である。ビームパワーを決めるパラメータはいくつかあり、コンディショニングの進み具合により固定していないものもある。運転実績を重ねるにつれ、目標とするビームレベルへ到達させるまでの過程でセットされる運転パラメータも徐々に蓄積されてきた。

ところで、この運転パラメータというものは既存の制御システムではショット毎にセットされるようになっている。つまり、操作端末の設定画面に入力されている値がショット・シーケンス毎に制御装置へ送られ、各電源機器に出力指令が出される。従って、立上げのエージングやビーム・コンディショニングで少しずつレベルを上げていくところでは、その都度設定値を変更しなければならない。この運転方式で煩雑な設定入力作業を改善するために、先の蓄積パラメータを活かして予め数ショット分の設定値をファイルに記述しておいて、それを読みみ自動設定される運転システムを考えてみた。そのことについて述べる。

2 LHD - NBI について

2.1 加熱装置としての NBI

LHD の中で生成されるプラズマを高温・高密度化するためには加熱してやる必要があり、加熱装置の一つとして NBI が導入されている。NBI 加熱の原理は、高エネルギーの中性粒子 (水素原子) ビームを LHD のプラズマ中に入射してそのエネルギーをプラズマに与えることによりプラズマの温度を上げるというものである。LHD 用 NBI の装置仕様は次のようになっている。

入射電力 : 15MW
 ビームエネルギー: 180 keV
 ビームラインの数: 3基
 負イオン源の数 : 2台/1ビームライン

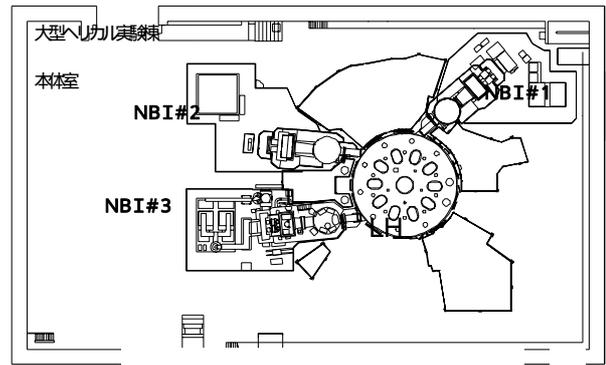


図1 ビームラインの配置

負イオン源というのはビームを生成する装置で、ここでまず負イオン(H⁻)ビームがつくられビームをガスセルに通して中性化し、LHDの中へ中性ビームが入る。3基のビームラインの配置を図1に示す。LHD真空容器の中にはドーナツ状のプラズマが形成されており、そこへ打ち込んだ中性粒子がイオン化されてできる高速イオンの閉じ込めを確保するために3基とも接線方向に入射する配置をとっている。また、磁場の向きから観たとき、NBI#1とNBI#3は互いに同方向へ入射しており、NBI#2はそれに対向している。

2.2 NBIの運転

NBIのシステムは、ビームライン、電源系、真空排気系、冷却水系そして制御系から成り、実験中はいずれも稼動している。本稿で述べる**NBIの運転**というのは特にビーム生成に関係する部分即ち、ビームラインと電源系と制御系を動かすことを云う。

ビーム生成の流れは次の様である。負イオン源の中に水素ガスを注入し、中に張られた熱フィラメントとイオン源容器との間のアーク放電によりプラズマをつくる。そして、多孔電極に数 kV の電圧を印加してプラズマから負イオン(H⁻)を引き出す。このとき容器内にセシウムを添加しておくとも負イオンが増大する。また、負イオンとともに引出される電子を抑制するために放電容器と電極との間に数 V の電圧を与える。さらに下流側の電極で百数十 kV まで加速する(図2)。この一連の過程でイオン源に供するものは

- 規定流量の水素ガス
- フィラメントの通電
- アーク放電させるための電圧
- セシウム(ガス)の添加
- 負イオンを引き出すために電極に与える電圧
- 負イオン引出しを調整するために与える電圧
- 負イオンを加速させるために電極に与える電圧

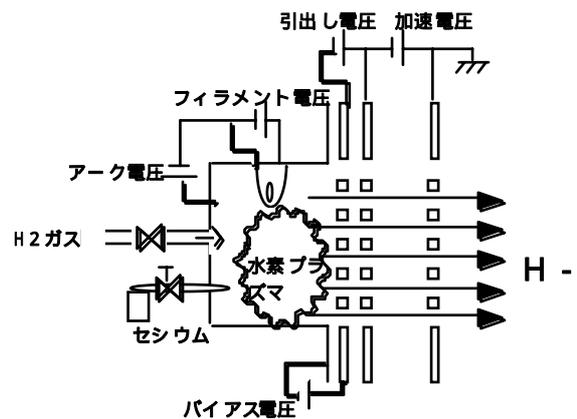


図2 イオン源内での負イオンビーム生成

であり、これらが運転パラメータとなる。当然これらを順序づけて実行させるためのタイミング信号も含む。

3 これまでの運転方法

次に、運転のタイムシーケンスについて説明する。前章の運転パラメータを**集中操作用 PC**の条件作成画面（図3）で入力/設定し、タイムシーケンスを起動する。これによりMG（外部の発電装置）からのマスタパルス（発電開始信号）受付開始となる。マスタパルスが入ると下位のタイミング制御装置に設定値が送られ更新されて、電源等の各現場機器へ動作指令を出す。続けて、トリガパルスを受けるとビームを生成する。これでショットが終わり、次のマスタパルス待ちとなる。運転を終了するときにはタイムシーケンスを停止する。以上のフローを図4に示す。

図3 運転条件作成画面

1ショットのシーケンス周期は2分～3分である。運転パラメータ全てを固定にしたままショットを打ち続けることは稀で、ビームコンディショニング時は前のショットの結果を診てシーケンスを止めずに時間内に電源基準値を上げたり下げたりする。イオン源の状態がシビアな高パワーでのコンディショニングにおいては、ショット毎にパラメータを慎重に策定することは大事であるが、低いレベルから上げる段階、または一日の運転立ち上げ時に慣習的に行うフィラメントのエージング/アーク放電等は数年来の運転実績により、初期値、目標値そして途中の増分値はほぼわかってきた。策定することは大事であるが、低いレベルから上げる段階、または一日の運転立ち上げ時に慣習的に行うフィラメントのエージング/アーク放電等は数年来の運転実績により、初期値、目標値そして途中の増分値はほぼわかってきた。

4 設定値ファイルを読み込み式にした運転

従来の運転制御システムでマンマシン・インタフェースの部分、即ち運転条件作成機能に今回追加機能を設けた。手入力によってでしかパラメータを設定できなかったところに予め定義されたパラメータファイルを使って設定/更新できるようにしてみた。この方式での流れは、目標とするレベルに達するまでのショットの数だけ既知のパラメータをファイルに記述しておいて、集中操作用 PC にそのファイルを読み込ませる。そして運転シーケンスを起動するとシーケンスに同期して順次パラメータがタイミング制御装置に送られ、定義された条件でショットが実行される。フローを図5に示す。

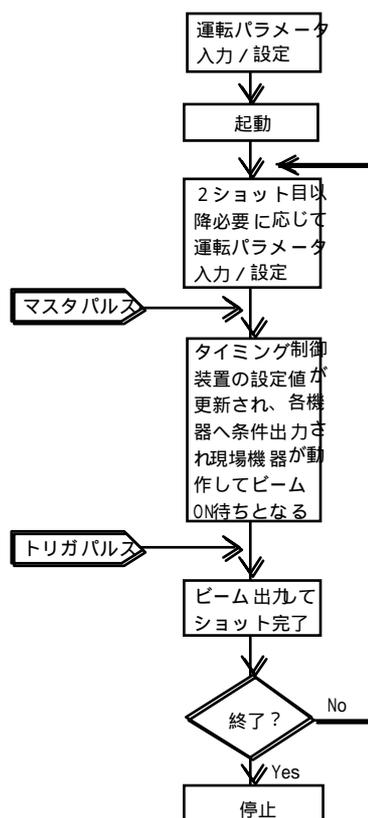


図4 運転シーケンス

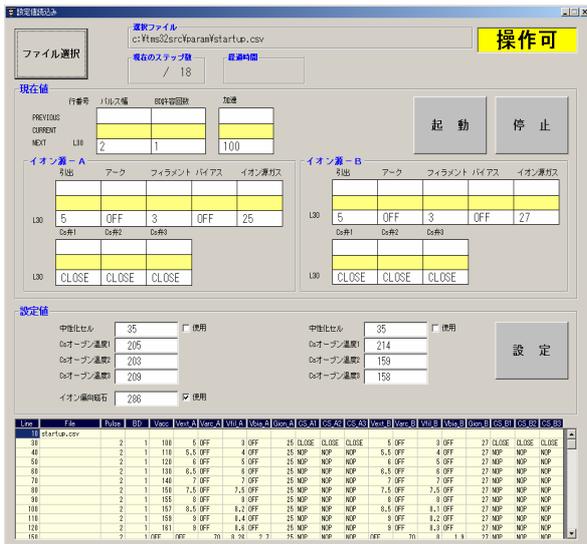


図6 実行パラメータ表示画面

運転中の状況を表示する画面が図6である。ここで実行中のショット、その前後のショットの条件値を確認することができる。また、定義ファイルの中で付けたパラメータの並びの行番号と起動してからのショット数も表示するようにして進行状況を掴めるようにしている。このモードで運転している時に異常が発生すると運転シーケンスは停止する。オペレータは然るべき処置をした後運転を再開させるわけであるが、

このモードで再度運転する場合は止まったショットのパラメータ行番号を確認して、もう一度ファイルの頭の条件値から実行させるか止まったところの少し前から実行させるかを決めて再起動をかける。定義ファイルにおいては実行処理の起点 / 終点を指定できる（記述する）ようになっている。

5 まとめと今後の課題

およそ2分の運転シーケンス周期の間にイオン源2台分の運転パラメータを入力変更して、通電波形を観測し、記録をつけることを一人のオペレータが行うのはかなりたいへんである。慌てると入力を誤ったりすることにもなりかねない。このような負荷を軽減する目的で今回の方式を考えた。数カ月実運転してみて、実験開始前の立ち上げ時に行うエージング等で役立っている。運転パラメータが自動で更新 / 設定されることで操作に余裕ができて他のことに注意を向けられる。これは新しいオペレータに運転に慣れてもらうのに重要なことである。

現段階では運転の一部でしか利用していないが、今後はビーム・コンディショニングにも対応できるように改良していきたい。今回の方式ではファイルに並べられたパラメータを順に実行するだけになっており、イオン源の状態の良し悪しに拘わらずコンディショニングを進めてしまう。イオン源の状態に合せた内容で編集することも手ではあるが、ショットの結果情報を取得するなどして次のショットのパラメータの選択も自動で行えるようにしていきたい。

謝辞

今回の新しい運転方式を既設のNBI制御システムに組込む作業を東芝システムテクノロジー（株）那波浩幸氏を中心としてやっていただきました。仕様の些細な変更にも快く相談に乗って頂き、また、システムの組込みから試験運転そして動作上問題となるところの処置までたいへんお世話になりました。

この場をかりて厚く御礼申し上げます。

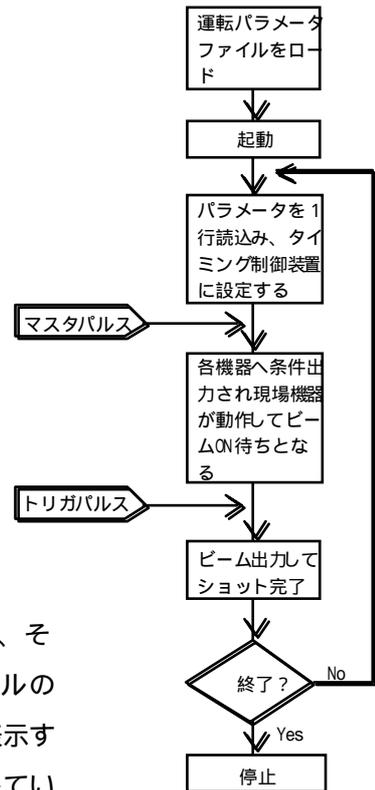


図5 ファイル読み込み式の運転シーケンス