

ITER CODAC準拠制御システムによるITER用ジャイロトロンの 発振シーケンス制御の実証試験

Demonstration of ITER gyrotron operation using ITER CODAC standard control system

小田靖久、池田亮介、梶原健、大島克己、林一生、高橋幸司、坂本慶司

Dharmesh Purohit, Mark Henderson

Yasuhisa ODA, Ryosuke IKEDA, Ken KAJIWARA, Katsumi OHSHIMA, Kazuo HAYASHI,
Koji TAKAHASHI, Keishi SAKAMOTO, Dharmesh PUROHIT, Mark HENDERSON

原子力機構, ITER機構

JAEA, ITER Organization

ITER の電子サイクロトロン加熱電流駆動システムは、170GHzRF をプラズマに対して20MW 入射する設計であり、24本の1MW出力ジャイロトロンの運転を予定している。日本は24本のうち8本のジャイロトロン[1]を調達するが、これに伴いITERで動作させるためのジャイロトロン制御システムの開発が必要となる。ITERにおける制御装置は、ITERの制御機器の標準化を規定する文書であるPlant Control Design Handbook(PCDH)[2]に記載される制御機器、ソフトウェアに準拠することが求められており、新たな制御装置の開発と実証試験が求められている。そこで、原子力機構のジャイロトロン試験装置のために、PCDHに準拠したジャイロトロンローカル制御装置のプロトタイプを開発し、実際のジャイロトロンを用いてRF発振制御の実証試験を行った。

ITERにおける標準制御システムは、主として以下の2種が定義されている。

・ Slow Controller

装置の状態監視や比較的低速のデータ収集を目的とし、SIEMENS社S7シリーズPLC機器を対象とする。

・ Fast Controller

データ収集や比較的高速の制御を目的とし、National Instruments社PXI機器などを想定している。

ジャイロトロンローカル制御システムは、ジャイロトロン駆動の電源機器に加え、超伝導コイルシステム、冷却システム、補機電源類の制御が必要であり、図1に示すようにSlow Controllerならびに、Fast Controllerの両者を使用したアーキテクチャを採用している。

本プロトタイプの開発においては、ITERが提供するITER CODAC Core System(ITER CCS)

をプラットフォームとして採用した。ITER CCSは、大規模加速器分野で開発された制御通信ソフトウェア群であるExperimental Physics and Industrial Control System (EPICS)を採用しており、ヒューマンインターフェース(HMI)などはEPICSツールが標準採用されている。

本プロトタイプは、ITERの全システムの制御情報を統括管理することを目指して構成されているSelf-Description Data(SDD)ツール[4]を通じて設計を行うとともに、Fast Controller、Slow Controllerともに宿主機材にEPIC iocサーバーを構築することで、ITER CODACネットワークへの直接接続が可能なシステムとして開発を行った。

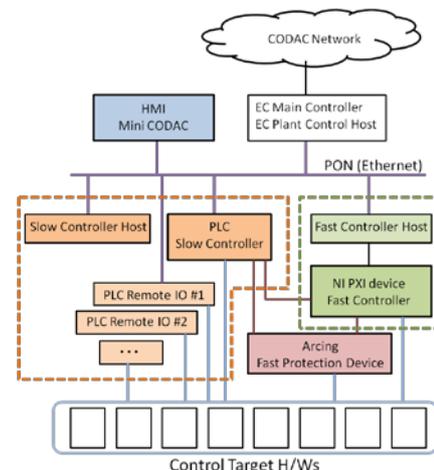


図1 ITER用ジャイロトロンローカル制御システムのアーキテクチャ

日本が調達するITER用ジャイロトロンのための電源システムの構成を図2に示す。三極管型電子銃を有する日本のITER用ジャイロトロンは、主電源(MHVPS)に加え、アノード電源(APS)、ならびにCPD運転用のボディー電源

(BPS)という複数の電源を配置し、さらにダブルスイッチ型アノードスイッチにより NTM に同期させた高速変調運転を実現する。原子力機構では、ジャイロトロン試験装置を ITER における電源構成に変更し、ITER に近い環境でのジャイロトロン動作環境での試験を進めている。ITER 用ジャイロトロンの制御システムにおいては、特に各々の電源の立ち上がり時間を考慮した統括制御シーケンスが必要である。そこで、Fast Controller のデジタル入出力から各電源のスタートタイミング指令を制御するシステムを構築し、各電源の高電圧発生のスタートトリガと回路への電圧印加を制御する高電圧スイッチの動作タイミングを設定した。

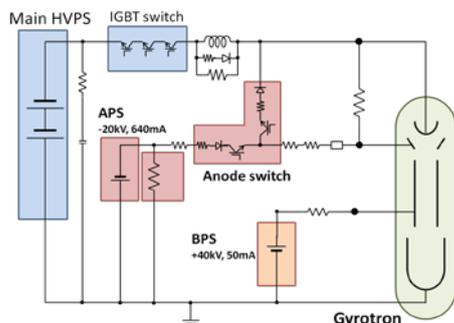


図2 ITER 用ジャイロトロンの電源構成

ITER 用ジャイロトロンの発振シーケンスでは、主電源（カソード電源）、ボディー電源、アノード電源をスタートさせ、同じ時刻に設定電圧に到達するようにスタートタイミングを制御する。続いて、主電源からの供給を行う IGBT 主回路スイッチを動作させ、カソードに電圧を印加する。この時、ダブルスイッチ型アノードスイッチによりジャイロトロンのアノード・カソード間電位を短絡させることにより、ジャイロトロンにおけるビーム電流を停止させる。その後、所定のタイミングでアノードスイッチを動作させてアノード・カソード間電圧を印加することにより、ビーム加速電圧の変化に伴う過渡的状态を経ずにジャイロトロンのビーム電流を発生させることが可能となる。ジャイロトロン試験装置での実証試験では、図3に波形を示すように各電源の立ち上がり後、主回路スイッチとアノードスイッチを Fast Controller より時間差をもたせて動作させ、ジャイロトロンのビーム電流発生を制御するとともに、所定のタイミングにて 170GHz 帯 RF ビームを発振させることに成功した。

ITER での運転に準拠した電源構成ならびに

制御機器を用いたジャイロトロン運転シーケンスは、長パルス運転ならびに、高速変調動作でも用いられる予定であり、現在は、長パルス動作に向けた試験の準備を進めている。

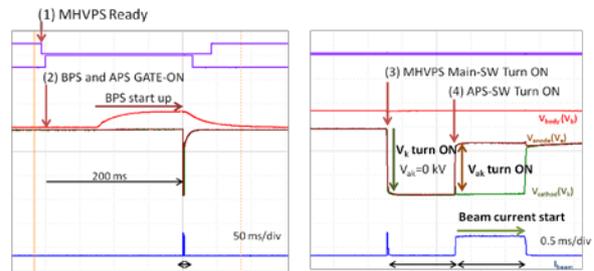


図3 ジャイロトロンの 1ms パルス運転の運転波形

現在、原子力機構では ITER 機構からの有償タスクにより、ITER EC システム全体の制御アーキテクチャの実証試験を目指している。ITER の EC システムは、RF 発振源となるジャイロトロンのほか、電源設備、伝送系、ランチャーといったサブシステムが異なる極から調達されるため、サブシステムごとに制御システムを持たせ、これを EC システムの Plant Controller Host となる EC Main Controller が、EC システム全体を統括制御することが求められている。なお、EC Main Controller はトカマク本体やプラズマ制御システムなどからの制御情報のゲートウェイとしての機能を有している。原子力機構では、ITER 用長パルスジャイロトロンの試験装置に、ITER 準拠の導波管を用いた長距離伝送系の試験設備、ならびに ITER 用水平ポートランチャーの実物大モックアップを有しており、実機システムに近い条件でのシステム統括試験を実施することが可能である。現在は、EC システム全体の制御アーキテクチャ案をベースとし、原子力機構の試験設備に適用できるアーキテクチャの設計を進めており、来年度中の実装と統括動作の実証試験を実施する予定である。

参考文献

- [1] K. Sakamoto, et al., "Progress of high power 170 GHz gyrotron in JAEA," Nuclear Fusion, 49, 095019 (2009).
- [2] ITER document "Plant Control Design Handbook," ITER_D_27LH2V_v7
- [3] ITER document "Plant System I&C Architecture," ITER_D_32GEBH_v2.4
- [4] ITER document "Self-description Data Documentation and Guidelines," ITER_D_34QXCP_v2.1