

ITER 及び JT60-SA 用ジャイロトロン及び ECH/ECCD システムの現状

梶原 健

1. 概要

ITER 及び JT-60SA では電子サイクロトロン加熱 (ECH) 及び電子サイクロトロン電流駆動 (ECCD) が計画されている。ITER や JT-60SA においてその役割は NTM 不安定性の抑制、中心部及び周辺部プラズマ電流駆動による電流分布制御、Sawtooth 不安定性の抑制、プラズマ着火等多岐に渡りその重要性は高まりつつある。本発表では、ジャイロトロンの原理と共に ECH/ECCD システム、特に ITER と JT-60SA についてその概要を示す。

2. ITER

ITER における ECH/ECCD システムは合計 24 本のジャイロトロン、12 組の独立電源、24 本の伝送ライン、4 つのポートに設置される選択可能なランチャーからなる。ジャイロトロンの周波数は 170GHz で、要求されるスペックは 1MW/500 秒/効率 50% 以上という非常に高い物であるが、2008 年に JAEA において 1MW/800 秒/効率 55% を達成し、すべてのパラメータを同時に満たす事に成功している。また、2009 年には 800kW/600 秒/効率 53% を 20 分の休止時間で終日運転する ITER を想定した運転を 8 日間、合計 82 ショット続ける事に成功している。ジャイロトロンは日欧露の 3 極から 8 本ずつ供給される予定であり、現在の所ロシアにおいては 1.05MW/200 秒/52%、欧州では W-7X 向けに 140GHz であるが 0.92MW-1800 秒を達成している。電源は 55kV-90A の 12 台で一台辺り 1MW ジャイロトロン 2 本を駆動する。また、24 台の独立したボディ電源と呼ばれる 45kV-0.1A の電源を 5kHz で矩形波変調する事により NTM 不安定性の抑制のためのパルス変調運転に対応する。

伝送系 24 本は米国が担当し導波管直径 63.5mm のコルゲート導波管を用いて約 150m の伝送を行なう。マイターバンド (2 台の偏波器を含む) は 1 ライン辺り 7 個から 8 個あり、ジャイロトロンと導波管を結合する Matching Optical Unit も含めて伝送損失 15% 以内をめざす。ランチャーは大きく分けて二つの種類に分類される。一つは日本が担当する水平ポートランチャーと呼ばれるランチャーであり、水平 1 ポートに一つあたり 8 本のビームを入射するランチャーユニットを 3 つ挿入する。主に中心部の電流駆動を担当し、高い電流駆動効率をめざす。また、もう一つは欧州が担当する斜め上ポートランチャーであり、一つあたり 8 本のビームを入射するランチャーユニットを 3 つのポートに挿入する。主に NTM の抑制に用いるため、共鳴面で強く集光するように設計されている。水平ポートランチャーはトロイダル方向のみ掃引が可能で、斜め上ポートランチャーはポロイダル方向にみ掃引可能。ただし中心部へはアクセスできない。

3. JT-60SA

JT-60SA の ECH システムは段階的な設置を計画している。2016 年に開始を予定している Initial Research Phase では、4 系統の 1MW ジャイロトロン、電源、伝送ライン及び 2 機のランチャーを設置し、100s × 2 系統 + 5s × 2 系統を予定している。Integrated Research Phase においては、9 系統 (ランチャーは 4 機) とし、ジャイロトロン出力 9MW (プラズマ入射 7MW) × 100s を計画している。ジャイロトロンは ITER 向けに開発が進んでいる 170GHz ジャイロトロンを基調とした設計をしており発振周波数は 110 GHz を選択している。JT-60U での成果として、4 台の同時運転によりプラズマ入射の総エネルギー 14.5 MJ (2.9 MW × 5 s) を 2008 年に達成した。また、1 系統のみの使用で、12MJ (0.4MW/30s) を達成した。これらは稼動しているトカマクの加熱装置としてはいずれも世界最高のものである。また模擬負荷運転では 1.5MW × 4s の高出力を 2009 年に世界で初めて達成した。JT-60SA に向けて、既存 110GHz ジャイロトロンのうち一本の改造を行ない、JT-60SA で要求される 1MW × 100 s をめざした調整運転を行っており、現在 17s まで進捗している。伝送ラインは 60.3mm の導波管を基本とした設計を進めている。また、ランチャーは一つあたり 2 本のビームを入射し、トロイダル方向、ポロイダル方向共に掃引する事が可能なものにする。