

# IFERC-CSC 大型計算機利用報告書(プロジェクト枠)

2021 年度

研究課題名	Joint transport analyses using integrated modeling with first principle simulations
上記の頭文字	IMFPS

\* 申請時のタイトル、略称を記載してください

## 研究代表者 (PI):

研究代表者名	本多 充
--------	------

### 1. 成果の概要 (200字程度)

定常輸送コード GOTRESS を核とした統合モデル GOTRESS+を改良し、ペDESTALの幅と高さを予測する EPED1 モデルを組み込んだ。プラズマ境界からコアに至るまで、プラズマ流体量の分布を無矛盾に決定することが可能になった。改良された GOTRESS+を用いて、JT-60SA の運転シナリオ開発を行った。GOTRESS に最新型 TGLF を組み込み、シミュレーションができるようになった。

### 2. 成果の詳細 (図、表等を含めて A4 で 2~3 ページ程度)

JT-60SA/ITER/DEMO などの運転シナリオ開発のため、GOTRESS を核とした統合モデル GOTRESS+の開発を進めている。近年の開発の進展により、ペDESTAL幅を予測する EPED1 モデルを組み込みプラズマの磁気軸から表面までを一貫してシミュレーションできるようになった。一方で、そもそも OFMC のような並列計算コードを擁する GOTRESS+はそれなりの計算資源を必要としていたが、EPED1 モデルの実装によって稼働させる Fortran プログラムが 4 種類も増えた上に、MHD 安定性計算コード MARG2D は並列計算を必要とするなど、要求する計算資源の量は大きなものになった。そこで、GOTRESS+のワークフローを制御する Python スクリプトを改良することで、これまで作動していた imaging PC クラスタのみならず JFRS-1 でも GOTRESS+が稼働するようになった。ユーザはジョブスケジューラ名とプロジェクト名を TOML 形式で書かれた GOTRESS+の入力ファイルに記載するのみで、動作環境を意識する必要はなく

PC クラスタで動作していたものがそのまま JFRS-1 でも動作する。これにより、GOTRESS+のユーザ数の増加を促し、より簡便に運転シナリオ開発に取り組める環境が整ったと言える。

GOTRESS+を使って、JT-60SA の運転シナリオ成立性を検証するシミュレーションを行った。ITER-like 誘導運転シナリオ#4-1 では、定格 NB パワー34MW に対して、 $\beta_N/H_{98(y,2)}/f_{BS} = 2.8/1.1/0.3$ という目標値が設定されていた。CDBM を用いた GOTRESS+シミュレーションにより、 $\beta_N/H_{98(y,2)}/f_{BS} = 2.67/1.06/0.23$ という理想 MHD 安定なプラズマが得られることが分かった。目標値よりやや低い値に留まったため、138GHz の ECH を 2MW 重畳したところ、 $\beta_N/H_{98(y,2)}/f_{BS} = 2.93/1.14/0.25$ が得られ、自発電流割合以外は目標値を達成出来る事が分かった。これは規格化小半径  $\rho = 0.42$  を中心に電流駆動の無い電子加熱が行われたことにより、その近辺での磁気シアが当初のフラットシアから弱負磁気シアとなり、それにより乱流輸送が低減し内部輸送障壁の性能が向上したためである。

次に、原型炉パラメータ領域を開発するための完全非誘導高ベータ運転シナリオ#5-1 の検証に取り組んだ。シナリオ#4-1 と異なり、誘導電流が無い定常運転シナリオであるため、全電流を駆動電流と自発電流で賄わなくてはならず、高ベータが要請される一方で理想 MHD 安定も保たなくてはならない、開発が難しいシナリオとなっている。NB と EC の加熱はそれぞれ 16MW, 7MW となっており、目標値は  $\beta_N/H_{98(y,2)}/f_{BS} = 4.3/1.3/0.68$  である。コアでのビーム駆動電流が必要であるが他方で周辺での自発電流も稼がなくてはならないため、周辺部分に急峻な密度勾配を設けるわけには行かない。それらの課題を両立させる二重バリア形状の密度分布を想定しシミュレーションを行った結果、 $\beta_N/H_{98(y,2)}/f_{BS} = 4.33/1.61/0.68$  と目標値を満たすプラズマが成立することが分かった (図 1)。負磁気シアによる内部輸送障壁形成が高い自発電流割合を実現することとなった。また、高い形状因子と安定化板による MHD 安定化が理想 MHD 安定に寄与している。

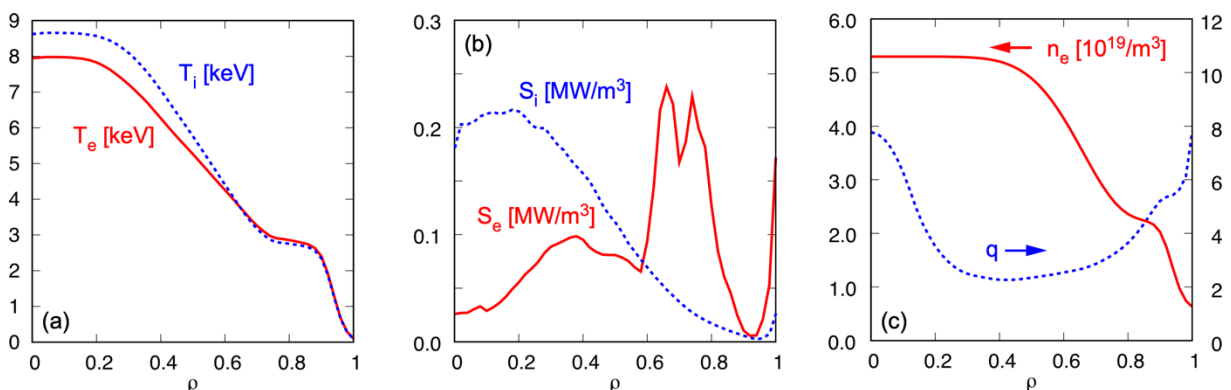


図 1 #5-1 に対する GOTRESS+シミュレーションの結果。(a)電子・イオン温度分布、(b)電子・イオン加熱分布、(c)電子密度分布と安全係数分布

ジャイロ流体モデルに基づく準線形乱流輸送モデル TGLF の最新飽和モデルである SAT2 を取り込んだ最新型の TGLF を GOTRESS に組み込んだ。SAT2 は 3 次元モードカップリング飽和モデルと呼ばれており、ポテンシャル揺動のポロイダル角依存性を含めた点が、かつての SAT0/SAT1 とは異なっている。実装面では、SAT2 になってミラー配位による平衡形状表現し

か許容しないなどの制約が増えているため、それに適合させるための改良を行った。実用面では、新飽和モデルによって L モードプラズマの輸送計算の境界を  $\rho_b = 0.98$  というかなり外側まで置くことができるようになった。これまでの飽和モデルでは L モード周辺領域での乱流を上手く表現できていなかったが、それが改良されている。新しい TGLF を用いて SAT1 w/  $\rho_b = 0.8$ 、SAT2 w/  $\rho_b = 0.8$ 、SAT2 w/  $\rho_b = 0.98$  の 3 ケースで、JT-60U #39117 の再現シミュレーションを行った。図 2 から分かる通り、 $\rho_b = 0.8$  とした場合は SAT1 でも SAT2 でも差は見られなかったが、SAT2 は  $\rho_b = 0.98$  でもコアに至るまで妥当な温度分布が予測できていることが分かる。 $\rho_b = 0.8$  に境界を置いた時に比べて  $\rho = 0.8$  での温度予測が実際より下がってしまったために stiffness からコアの温度も下がってしまったが、それでも十分良い再現結果であると言える。なお、これまで本ケースをベンチマークケースとして使用してきたため今回も使用したが、#39117 は穏やかとはいえず H モード放電であるため、その点がやや下振れした予測となった可能性があることを付記しておく。

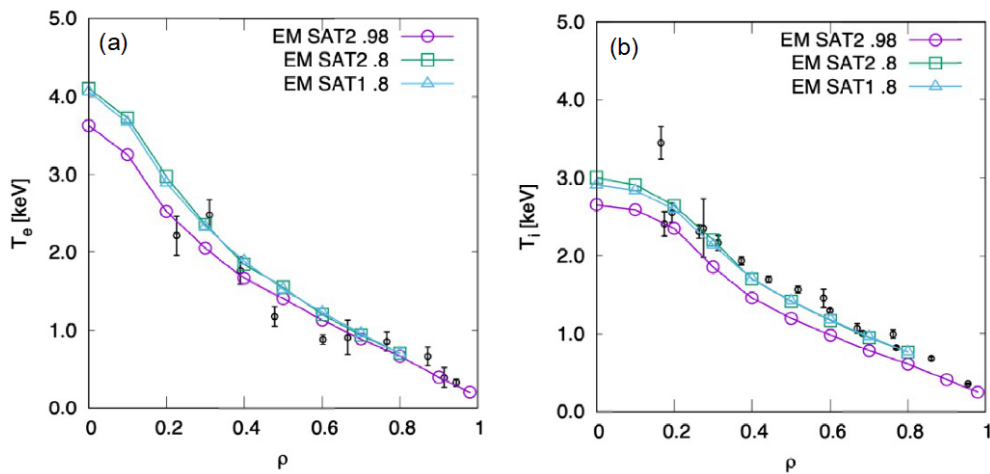


図 2 TGLF を用いた 3 パターンの (a) 電子温度分布と (b) イオン温度分布の予測結果

### 3. 研究のキーワード

1. Integrated modelling	2. Transport simulation	3. Edge physics	4. JT-60SA	5.
-------------------------	-------------------------	-----------------	------------	----