

乱流のシミュレーション研究の主要な関心事の一つは、乱流によるエネルギースペクトルのべき則と、これに影響を与える散逸スケール近傍でのダイナミクスである。この性質の理解は、短波長成分を現象論的なモデルで代替し、長波長成分のみを数値的に解く、**Large Eddy Simulation** を進めるうえで重要な情報となる。MHD 乱流の場合、散逸領域近辺のスケールで MHD 近似が破綻する。我々の研究では、MHD 方程式に短波長効果（たとえばイオン表皮長効果、有限ラーマー半径効果など）を導入した場合の短波長成分の変化とこれがもたらす空間構造の変化、そしてこれらの情報に基づいた、LES を実施するためのサブグリッドスケール(SGS)モデルの開発である。

本研究では、前年度までの減衰性一様 Hall MHD 乱流の直接数値シミュレーション(DNS)を参照データとして、Hall MHD 乱流の LES を実施し、その有用性を確認した。DNS の格子点数は 1024^3 、粘性係数、抵抗係数を無次元化して得られる参照 Reynolds 数、Lundquist 数はともに 2000 である。LES では格子点数 128^3 であり、時間刻み以外のコントロールパラメータは DNS と同一である。LES の実施に当たっては、1)運動および磁気エネルギースペクトルの再現、2)空間構造の特徴の再現をもって、成功とした。ここでいう空間構造とは、渦度の 2 乗（エンストロフィー密度）の管状構造と、2 乗電流密度の層状構造である。これらの構造については、Miura and Araki (PoP, 2014)を参照されたい。

LES にあたっては、Hamba and Tsuchiya (PoP,2010)による MHD 乱流用の SGS モデルを採用した。速度場および磁場に関する SGS モデルの係数(Smagorinsky 定数)を変えたいくつかの組み合わせについて LES を行い、これらの LES がエネルギースペクトルを良く再現することを示した(図)。これに加えて空間構造を比較し、最適な Smagorinsky 係数(図中の pset0004)を決定した。この LES では、単にシミュレーションに必要なメモリが小さくなる（1 変数あたり 1/512）だけではなく、計算時間が DNS の 1/2048 かそれ以下に短縮されるなど、計算負荷の削減に大きな効果を発揮することが示された。

これらの成果は、第 25 回プラズマシミュレーション国際会議(2015 年 8 月、ゴールデン、米国) で発表、その後、*Journal of Computational Physics* 誌に投稿、掲載された。

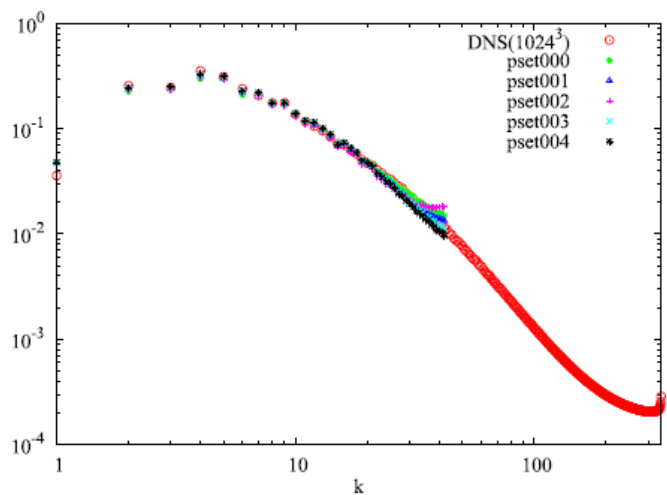


図:Hall MHD 乱流の磁気エネルギースペクトル。Smagorinsky を変化させたいくつかの LES(pset000, pset001, pset002, pset003, pset004)のスペクトルと DNS のスペクトル (赤い丸印) の比較から、どの LES もエネルギースペクトルを良く再現することがわかる。(出典: Miura, Araki and Hamba, *J.Comput.Phys.*, 2016)