

3. 高エネルギー密度状態の科学

3. Innovation of High Energy Density Science

米田仁紀

電気通信大学レーザー新世代研究センター

Hitoki Yoneda

Institute for Laser Science, University of Electro-Communications
yoneda@ils.uec.ac.jp

慣性核融合では、固体燃料を圧縮、高温化させることを行なうため、自ずと他分野のパラメータ領域より桁違いに高いエネルギー密度状態を対象とした研究になる。このような高いエネルギー状態を利用して、惑星・恒星内部の極限状態を地上で模擬する実験や、高温で高いオパシティを持つ高強度放射源への応用や、内部に生じる高い電場勾配を利用した粒子加速などに利用されるようになってきている[1]。このような加速器科学、光源開発、物質科学へ核融合研究から発展した背景には、大型レーザー実験施設であっても、その最終相互作用実験部のみ変更することで様々な科学実験へ対応が可能であったり、核融合研究で開発された高時間/高空間分解能計測器がそのまま利用できたり、さらには、超短パルスレーザーの出現で市販ベースでも高い照射強度を実現できるようになった理由がある。

最近、このような様々な応用研究と核融合を含む全体の高エネルギー密度状態の物理を、その本質を理解し学問として体系化しようとする試みが行なわれつつある。このことは、例えばFig.1のように考えると分かりやすい。ここでは、固体物理学、プラズマ物理学、天体物理学の視点で見た(高密度)物性モデルの要素が挙げられている。ここで、固体物理学とプラズマ物理学の間で輸送問題を考えると、固体金属とプラズマでは同じ自由電子近似であるDrudeモデルが用いられることが多いが、その中間領域にあるWDM領域では、数桁導電率が低下し、金属-絶縁体遷移が観測されているものがある。このことは、現在一般的に用いられているモデルが、互いの領域に外挿できないことを示している。これに対しSNLのDesjarlaisは第一原理的なQMD計算により間を生めることが可能であることを示した。

また、状態方程式問題では、固体、液体、気体、プラズマ領域をカバーするために、cold (Thomas-Fermi + bonding model), ion thermal (Debye-Gruneisen + Lindemann Melt + scaling fluid model),

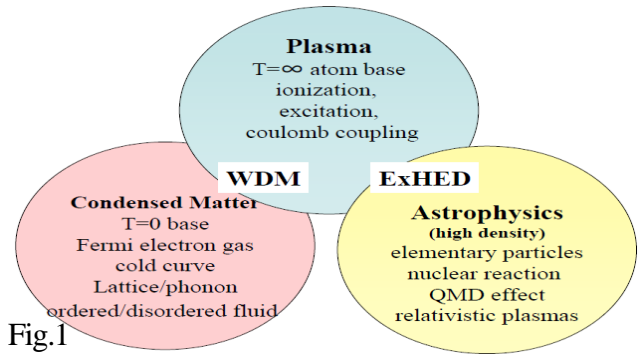


Fig.1

electron thermal(Thomas-Fermi or Dirac atom model)などのエネルギーをすべて考慮したグローバルモデル構築も行なわれようとしている[3]。このような詳細物理モデルの評価・検証には、核融合研究以上の高い精度が実験データに要求され、計測技術に新たな高精度化へのモチベーションを生んでいる。

この様な詳細モデルは、核融合研究にも貢献が期待されている。低温固体からスタートする慣性核融合では、固体物理学的温度でのわずかな物理パラメータのずれでも最終核融合出力を大きく変化する場合があると言われている。(例えばグリューナイゼン定数が変わると、Double Shellと呼ばれるような固体同士が衝突するターゲット設計では利得に桁違いの差が出るという報告もある。[3])さらに、このような広範囲で高精度なモデルは、慣性核融合の新しい経路での圧縮/燃焼の可能性評価、圧縮/加熱経路の最適化を行なうガイドラインになりうる。特に、慣性核融合は、本質的にフィードバック制御が困難な系であり、エネルギードライブとターゲットによりすべてを決め、さらに強い非線形性の問題でもある。現在は、点火燃焼実現に研究課題が集中しているが、将来の炉では、これらの物理システムをいかに安定に運転していくかを考える必要があり、科学としても大きな挑戦的研究課題となるであろう。その意味において学術・目的指向の研究が相補的に発展させていく必要が出てきている。

[1] プラズマ・核融合学会誌 Vol.81 suppl. (2005)

[2] M. Desjarlais, Contrib. Plasma Phys., 41, 267 (2001)

[3] discussions in Accelerator Driven WDM Workshop 2006