

☆1999年3月の用語解説☆

モンテカルロシミュレーション

Monte Carlo Simulation

電磁場中を運動する荷電粒子が他粒子と衝突しながら移動、拡散していく過程において、衝突ならびに衝突後の散乱方向、衝突の種類（運動量移行、各種励起、電離、電子付着等）の確率現象を乱数を用いて模擬する方法をモンテカルロシミュレーションとよんでいる。現在の電算機能力においては、電子数密度が低い限界（タウンゼント放電領域；電子の移動、拡散、電離係数の測定条件に対応）のもとでは、電極間における全電子を追跡することは十分可能である。しかし、グロープラズマ（電子数密度が 10^{10} cm^{-3} 以上）領域になるとプラズマ系内の全荷電粒子を追跡することは困難であり、確率現象を何個かの電子に代表させ乱数を用いて模擬するが、残りの電子は重みづけをして代表電子に背負わせて処理し、プラズマの巨視的特性を得ることができる。この際空間電荷の効果を考慮する必要があり、ポアソン方程式の考慮が不可欠である。本方法の特徴は荷電粒子の運動の式と乱数を用いた衝突の決定のみでプラズマ特性が決定できるため、1. 流動平衡状態にない電極近傍荷電粒子の振る舞い、ならびに境界条件のモデル化が容易、2. 微分方程式を説かないために数値的不安定を伴わない、ことである。しかし、常に統計変動を伴うことを認識しておかなければならない。

（北大工 酒井洋輔）

PIC コード

PIC Code

電磁場中を運動する多くの荷電粒子が運動方程式に従い移動、衝突を繰り返しながら拡散する現象は、実空間を Δr なるセルに分割し、その中のプラズマ特性を時間 Δt ごとに模擬することができ、この方法は PIC (Particle in Cell) と呼ばれ、そのシミュレーションコードが提案されている（例えば、C.K. Birdsall, IEEE Transactions on Plasma Science, Vol.19, No.2, 64-85, 1991）。この方法は一般に電荷密度の高い放電プラズマのシミュレーションに利用されており、ポアソン方程式と組み合わせて用いられる。この際、衝突過程をボルツマン方程式に従って確定論的に決定する方法やモンテカルロ法を用いる方法（PIC + MCC (Monte Carlo Collisions)）がある。PIC はプラズマの分野で1950年代から報告があり、多くの経験が蓄積されている。詳細は上記文献参照のこと。

（北大工 酒井洋輔）

D-³He 核融合

D-³He Fusion

重水素 (D)-ヘリウム 3 (³He) 核融合反応：



は DT 燃料以外の核融合であるアドヴァンスド燃料核融合の一つである。DT 核融合で問題となっている中性子は主反応からは発生しないが副反応の DD 反応や DD 反応で発生した T との DT 反応によって発生する。しかし、その量は自己点火状態で DT 核融合の1/10以下と非常に少なく、安全性、環境保全性の観点から次世代の核融合と期待されている。しかしこの核融合反応を維持させるためには閉じ込めパラメータ（粒子密度×閉じ込め時間）が約 10^{21} sec/m^3 で約 100 keV（10億度）のプラズマ温度が必要となる。磁場によるプラズマ閉じ込めにおいて、このような高温プラズマでは電子のシンクロトロン輻射損失（温度の自乗、 $1-\beta/\beta$ に比例： β = プラズマ圧力 / 磁場圧

力）が膨大となるために炉として成立するためには高ベータプラズマ配位（磁場反転配位、球状トーラス等の20%以上の β 値）が要請される。さらに、この核融合の利点は核融合出力のおよそ2/3を荷電粒子が担っておりその運動エネルギーを直接電気エネルギーに高効率で変換でき経済的な炉が可能となる。その変換効率は熱・電気変換の40%に比べて高い60%以上が期待されている。この直接エネルギー変換のためには荷電粒子を外部に引き出すためにプラズマ周囲が開いた磁力線で囲まれた配位が必要となる。燃料の重水素は海水中に存在するが、ヘリウム3は地球上にごくわずしか存在しない（³He/⁴He = 1.4×10^{-4} ）が月表面に少なくとも100万トンの経済的に採掘可能なヘリウム3が埋蔵されていることがわかっている。これは21世紀中頃の全世界のエネルギー需要を約500年間まかなえる量に相当する。

（核融合研 富田幸博）