

京都大学工学部 学生員 ○吉藤 尚生
 京都大学大学院工学研究科 正会員 後藤 仁志
 京都大学大学院工学研究科 正会員 五十里 洋行

1. はじめに

近年、連続体を粒子に分割し計算する粒子法が注目されており、その一つとして微分演算子を粒子間相互作用モデルでモデル化する Moving Particle Semi-implicit (MPS) 法¹⁾がある。この MPS 法においては、初期粒子配置の際、粒子数密度が一定となるように配置しなければならないが、従来はこれをプログラム上で行っており非常に手間がかかった。これを改善するため、鷲見²⁾は GUI で表現された利用しやすいプリプロセッサの開発を行なったが、操作性などいくつかの点で不満が残り、また、配置がより複雑になりやすい三次元計算には対応していなかった。

そこで、本研究では、MPS 法における、特に複雑となりやすい 3 次元計算のための、モデリングから粒子への変換までの一貫して行なうことの出来る、対話型のプリプロセッサを開発する。

2. MPS 法の概要

本研究では、非圧縮性ニュートン流体の運動を対象として考える。その運動は、非圧縮性ナビエ=ストークス方程式と、連続式で記述される。

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + (\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} = \mathbf{g} - \frac{1}{\rho} \nabla p + \nu \nabla^2 \mathbf{u} \quad (1)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{u} = 0 \quad (2)$$

このうち、連続式については MPS 法では、式 (3) で定義される粒子数密度 n_i を一定とすることで満足させる。

$$n_i = \sum_{j \neq i} w(r) \quad (3)$$

ここで $w(r)$ は 2 粒子間の影響の度合いを表す重み関数であり、式 (4) で定義される。

$$w(r) = \begin{cases} \frac{r_e}{r} - 1 & (r \leq r_e) \\ 0 & (r > r_e) \end{cases} \quad (4)$$

ここに、 r は 2 粒子間の距離、 r_e は相互作用の計算範囲を与える半径である。

さらに、ナビエ=ストークス方程式については、各項を式 (5)、(6) で与える微分演算子モデルによりモデル化する。

$$[\nabla p]_i = \frac{d}{n_0} \sum_{j \neq i} \left[\frac{p_j - p_i}{|\mathbf{r}_j - \mathbf{r}_i|} \frac{\mathbf{r}_j - \mathbf{r}_i}{|\mathbf{r}_j - \mathbf{r}_i|} w(|\mathbf{r}_j - \mathbf{r}_i|) \right] \quad (5)$$

$$[\nabla^2 \mathbf{u}]_i = \frac{2d}{\lambda n_0} \sum_{j \neq i} [(\mathbf{u}_j - \mathbf{u}_i) w(|\mathbf{r}_j - \mathbf{r}_i|)] \quad (6)$$

$$\lambda = \frac{\sum_{j \neq i} [w(|\mathbf{r}_j - \mathbf{r}_i|) |\mathbf{r}_j - \mathbf{r}_i|^2]}{\sum_{j \neq i} w(|\mathbf{r}_j - \mathbf{r}_i|)} \quad (7)$$

ここに、 d は空間の次元数、 λ は分配による変数分布の分散の増分を解析解と一致させるための係数であり式 (7) で計算される。

実際には、まず、外力項と粘性項のみを計算し、仮の位置と流速を得る。しかし、この仮の位置では粒子数密度が基準粒子数密度 n_0 から外れているため非圧縮条件を満たさない。残る圧力項により、粒子数密度を基準粒子数密度と等しくなるように、修正する。このようにして得たから圧力勾配を式 (5) で計算することで、必要な速度修正量が計算出来、最終的な流速と位置を得ることが出来る。

3. プリプロセッシング概要

MPS 法計算のためのプリプロセッシング作業は、まず、実際の計算空間における物体の形状や配置を表す「モデル」の作成を行ない、その後、粒子へ変換するという 2 段階に分けることが出来る。本研究では、更に前者のモデルを「要素」「材質」「環境」の 3 つに分けて考える。これらはそれぞれ、作成する物体の形状、初期粒子間距離や密度などのパラメータ、重力加速度など計算空間全体に関するパラメータである。このような考え方で作成したプリプロセッサが図 -1 に示す “LWisteria Mps Preprocessor” である。先の要素、材質、環境はそれぞれ、図 -1 の A, B, C の部分

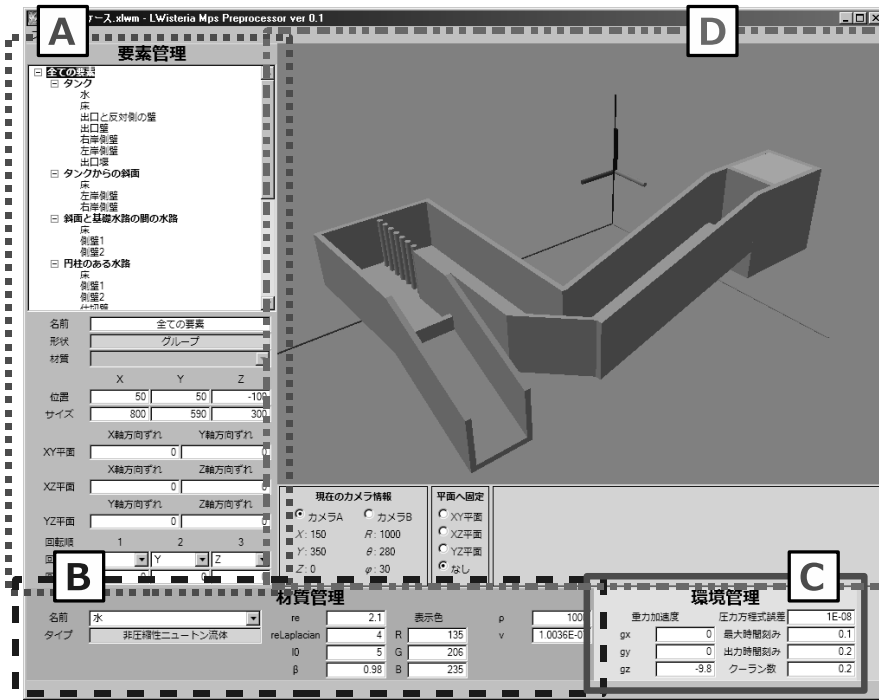


図-1 プリプロセッサのスクリーンショット

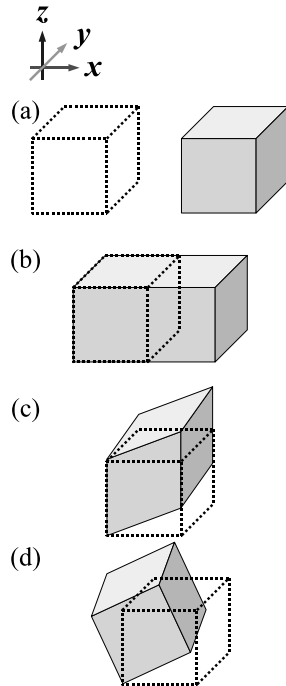


図-2 要素の変形

で設定する．また，Dの部分では，作成中のモデルがリアルタイムで表示されており，マウスを使って直感的にカメラ（視点）の移動が可能となっている．

多くの場合，この3つのうち，プリプロセッシング作業時間の大部分を占めるのは，要素の設定である．要素は四角柱と三角柱があらかじめ基本形状として与えられており，それらを図-2のように変形させ，それらを組み合わせて目的の形状のモデルを作成する．図-2のa, b, c, dはそれぞれ(x 方向)平行移動，(x 方向)大きさ変更，(xz 平面 z 方向)ずれ，(y 軸周り)回転を表す．作成中の要素は図-1Aの上半分に木で表示されており，いくつかの要素をグループにまとめて管理することも出来る．グループで管理することで，一覧上での折りたたみ表示により見通しがよくなるだけでなく，グループ全体の変形（平行移動とサイズの変更）を行なうことが出来る．

作成中のデータはXLWMという，XML (Extensible Markup Language) をベースとしたファイル形式で保存する．XMLベースで保存形式を定義することで他のファイル形式との相互変換などの再利用性を高めている．また，グループごとでのファイル(XLWME)の書き出しと読み込みも可能となっており，これにより鷲見²⁾が開発したプリプロセッサでは不可能であった，利用者側でテンプレートを作成し使用することが可能となっている．

作成後は，粒子へと変換するが，この時，与えられた

要素の変形に追従する形で，かつ粒子数密度をほぼ一定とする配置を内部で計算し，ALWMというファイルへ保存する．このALWMも，XLWMと同様に再利用性を重視して，実体はCSV (Comma-separated Values) ベースで定義されている．

このように，モデルの作成から粒子の変換を，このプリプロセッサ上で完結して行なうことが可能となっている．

4. おわりに

本研究では，MPS法計算のためのプリプロセッシング過程を整理し，より負担が少なく分かりやすいプリプロセッシング手法を提案した．また，この提案した手法を実装した，3次元MPS法計算のためのプリプロセッサを開発し，特にWindowsOS環境における計算のためのデータ入力の作成が，コード上で作成する方法に比べ，容易に，かつ，迅速に行なうことができるようになった．

参考文献

- 1) Koshizuka, S. and Oka, Y. (1996) : "Moving-Particle Semi-implicit Method for Fragmentation of Incompressible Fluid", *Nucl. Sci. Eng.*, Vol.123, pp.421-434.
- 2) Gotoh, H., Sumi, T. and Sakai, T. (2004) : "Preprocessor for human interface of numerical wave flume", *Proc. of the 6th ICHE*.