

MPS-RYUJIN機能一覧

プリ・ポスト機能

- ファイル読み込み
  - 粒子ファイル(.pcl)
    - …粒子座標、速度、圧力、粒子数密度
  - 設定ファイル(.pos)
    - …視点、配色等の設定情報
  - 形状ファイル(.ply)
    - …独自のポリゴン形状ファイル、三角形要素、プロパティID、STL形式(.stl)またはNastran形式(.nas)をインポート可能
  - 計算条件ファイル(.slv)
    - …計算パラメータ、オプション、物性値
- 描画機能
  - 粒子
    - 名前…粒子タイプ単位でのネーミング
    - 色…固定、ミックス、コンター(流速、圧力)
    - スタイル…点表示、球表示(粒子径指定)、表示/非表示切り替え
    - プロパティ…カット・スライス表示時の適用/非適用指定
  - ポリゴン
    - 名前…モデル単位でのネーミング
    - スタイル…ソリッド、ワイヤーフレーム、透過表示(透過度指定)、表示/非表示切り替え
    - プロパティ…カット・スライス表示時の適用/非適用指定
  - 流跡線
    - 色…固定、ミックス、コンター(流速)
    - スタイル…線の太さ、表示区間画指定、表示/非表示切り替え
  - グラフ
    - 時系列データ(.csv)に基づいたグラフ作成機能
  - その他
    - コンターバー、テキスト(任意の文字列、フォントスタイル指定)
- ビュー操作機能
  - 基本操作…回転、並進、拡大縮小
  - カット表示…マウスドラッグによるカット面移動(並進、回転)、複数(最大3)のカット面適用
  - スライス表示…マウスドラッグによるスライス面移動(並進)、スライス厚指定

ソルバー機能

- 解析機能
  - 非圧縮粘性流体解析(3次元非定常)
    - 自由表面:表面張力、接触角、大気圧New!を考慮可
    - 熱解析:流体の熱伝導、構造物の熱伝導(粒子モデルのみ)
      - 固体-流体間の熱伝達、(質量密度の温度変化による)浮力
      - 温度変化による粘性変更
  - 流体-剛体連成解析(ポリゴンモデル可 New)
  - 流入条件(移動流入条件・シャワー条件 New!)
  - 内圧考慮した圧力計算 New!
  - 表面流量・表面速度算出 New!
  - 攪拌トルク算出
- 解析条件
  - 流体計算パラメータ(影響半径、クーラン条件、計算領域等)
  - 移動境界条件(粒子・ポリゴン壁の回転、振動、並進、多軸回転)
  - 剛体の拘束条件(軸・バネ拘束、回転トルク入力)
  - 荷重条件(重力、時間変化する任意の慣性力)
  - 各種熱境界条件(断熱、温度固定、発熱、境界での熱伝達率)
  - 物性条件(密度、動粘度、表面張力係数、熱容量、熱伝導係数)
  - 圧力振動低減機能 New!
- 並列計算機能
  - OpenMPを用いたスレッド並列計算機能
  - MPI2を用いたプロセス並列計算機能
  - ハイブリッド並列計算機能 New!
  - (ノード間プロセス並列・ノード内スレッド並列の同時実行可)
- 推奨ハードウェアスペック等
  - ハードウェア
    - CPU AMD Opteron以上
    - Intel Core2 2GHz以上
    - RAM 2GB以上(64bit動作時は、8GB以上)
    - ディスク装置 HDD空き容量10GB以上
  - ソフトウェア
    - OS Windows XP SP3(32bit/64bit)
    - Windows 7/Vista(32bit/64bit)
    - Red Hat Enterprise Linux Release4以上(32bit/64bit)
- \*他のディストリビューションでも、カーネルバージョンが2.4以上ならば動作可能ですが、動作保証外



粒子法流体解析ソフトウェア

MPS-RYUJIN  
www.ftr.co.jp



- 本社
  - 〒220-6215 神奈川県横浜市西区みなとみらい2-3-5 クイーンズタワーC15階
  - TEL.045-650-6650(代表) FAX.045-650-6653 galaxy@ftr.co.jp
- 豊田テクニカルセンター
  - 〒473-0901 愛知県豊田市御幸本町2-204-5
  - TEL.0565-25-3830(代表) FAX.0565-25-3831
- 名古屋テクニカルセンター
  - 〒460-0008 愛知県名古屋市中区栄5-28-19 アルティメイトタワー栄V11F
  - TEL.052-269-1321(代表) FAX.052-269-1322
- 宇都宮テクニカルセンター
  - 〒321-0953 栃木県宇都宮市東宿郷3-1-1 中央宇都宮ビル201
  - TEL.028-610-0870(代表) FAX.028-610-0871
- 横浜研究所
  - 〒240-0003 神奈川県横浜市保土ヶ谷区天王町1-19-17
  - TEL.045-331-2770(代表) FAX.045-337-3038

●お問い合わせは



MPS-RYUJINは、流体の流れを粒子の動きに置き換える粒子法に独自の手法を導入することにより、ギアによる攪拌、洗浄、スロッシング等、液面が大きく変化する複雑な流れの解析に優れたソフトウェアです。

粒子法を用いた結果、モデル化は従来のようにソリッドメッシュの準備が不要なため、スピーディーに流体解析を実行することができる作業効率と使い勝手に優れたソフトウェアを実現しました。

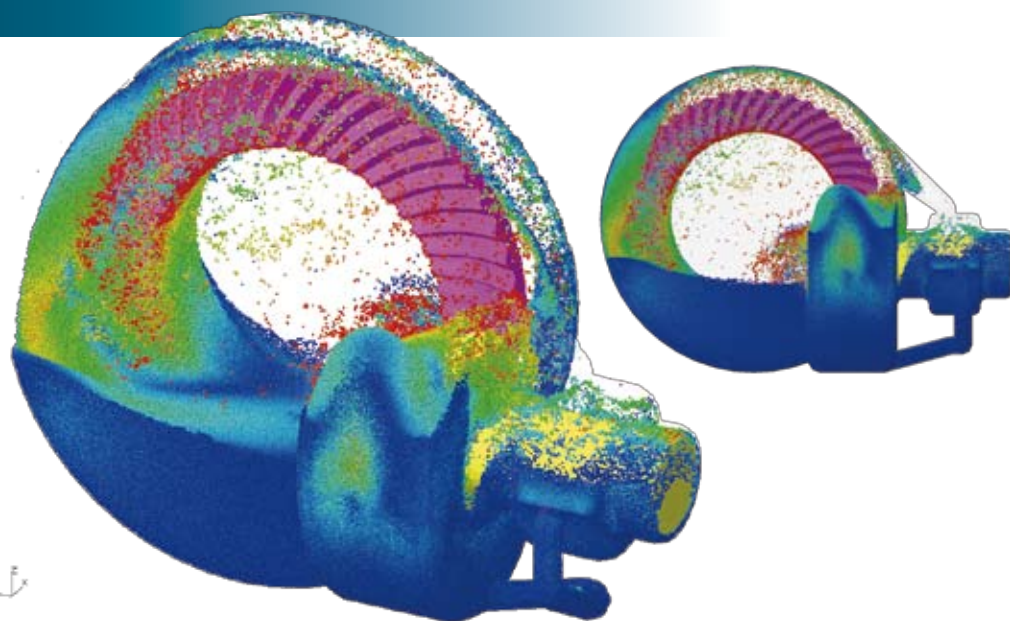
さらに新バージョンでは、独自の動的負荷分散技術を用いて、より高速で大規模な計算が可能になりました。

## ファイナルドライブのギア攪拌解析

ギアをポリゴンで表現し回転させた時のオイル潤滑の解析例です。

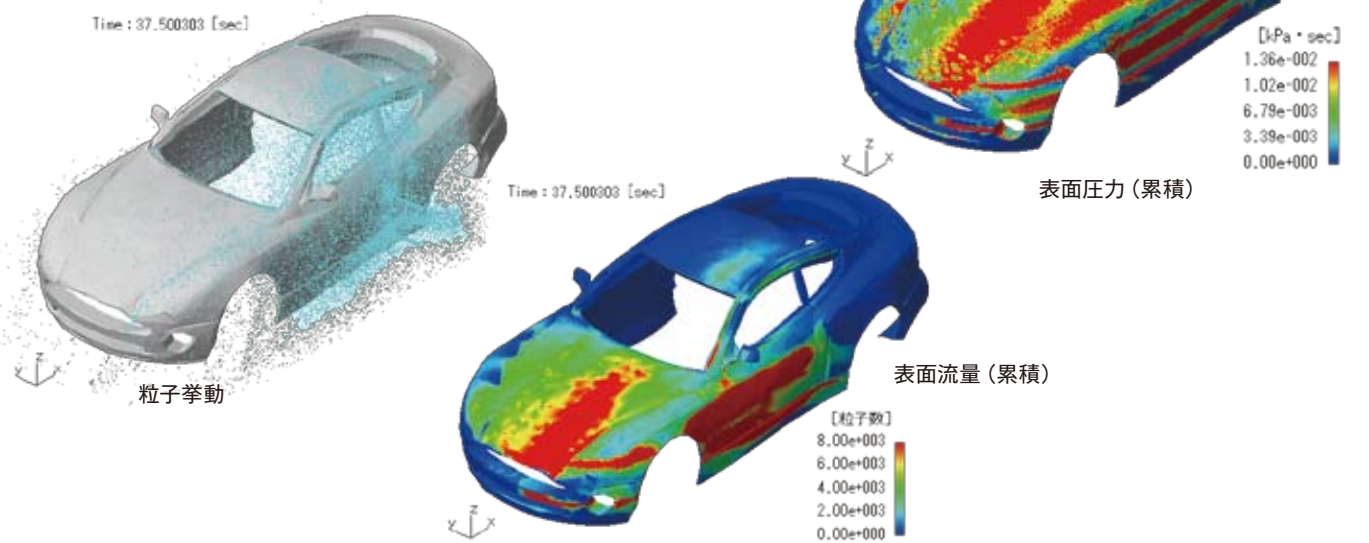
液面の形状が絶えず大きく変化する、飛沫を多く含んだ激しい流れの計算は、MPS-RYUJINの最も得意とする分野です。

最新バージョンでは、外気圧部分の圧力変化まで計算が可能になりました。



## シャワー洗浄解析

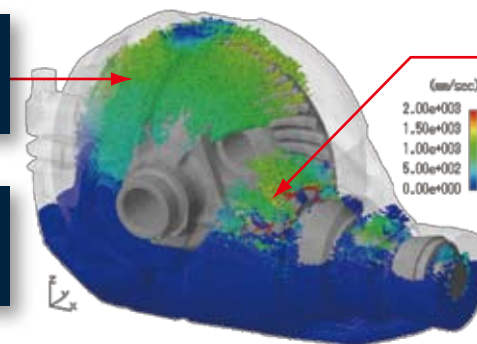
シャワーノズルから吹き出した液体による車体フルボディの洗浄解析例です。製品の表面の圧力だけでなく、表面を伝う液体の流量・流速を求め、それに基づいて応力を算出することで、洗浄効果を評価することが可能です。



## MPS-RYUJINの特徴

ソリッドメッシュ  
モデル不要

モデリング工数を大幅削減  
数週間⇒数日未満



液面の大変形、  
飛沫や破波を表現

従来の手法では難しかった攪拌、  
スロッシング、洗浄等の解析に最適

## 津波解析

地形と建物の形状データを用いて、津波解析を行った例です。RYUJINで津波解析を行った場合、砕波による波の分裂や合体や波の速度・高さ、構造物への圧力等を解析で求めることができます。

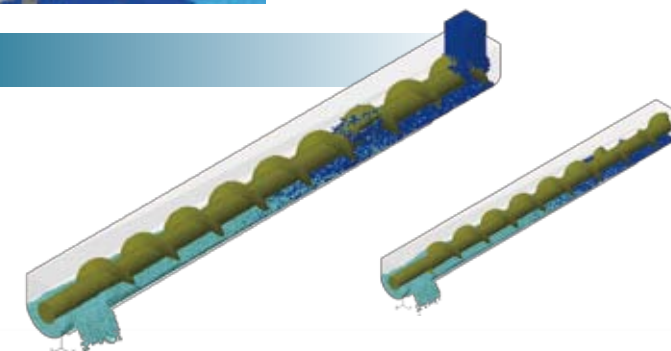
このため、波圧、越波量や構造物の移動量等、津波だけではなく、構造物への影響を評価することが可能になりました。



## スクリーコンベアによる輸送解析

MPS-RYUJINは、メッシュモデルを作成する必要がないため、複雑な動きを設定することが可能です。

また、物性値が違う粒子モデルを複数設定できるため、違う材料の輸送解析も可能です。



## MPS-RYUJINによる解析手順

### RYUJIN Pre データを準備する

モデルのデータファイルを読み込み  
MPS-RYUJINでの解析用データを作成します

CADデータからコンバートしたSTLデータまたはNASTRANデータをインポートし、RYUJINの解析データを作成するソフトです。ここで行う作業は、液体に相当する粒子モデルを生成し、解析条件を設定するだけです。

### RYUJIN Solver 解析を実施する

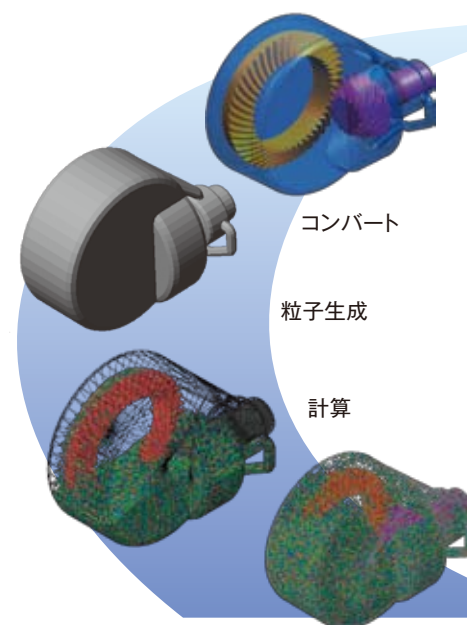
RYUJIN Preで作成した解析用データを読み込み、粒子法により流体解析を行います

RYUJIN Preで作成した解析データに基づいて、粒子法による流体解析を実施するソフトです。粒子の位置、粒子の速度、粒子の圧力を時間ステップごとに計算し、粒子の動きで流れを解析します。

### RYUJIN Post 結果を可視化する

RYUJIN Solverで計算された解析結果を可視化します

粒子の流れを的確に表現するために様々な可視化技術を用いています。断面図表示やコンタ一表示、流跡線表示機能など、様々な描画方法を用いて、流れの動画ファイルを作成します。

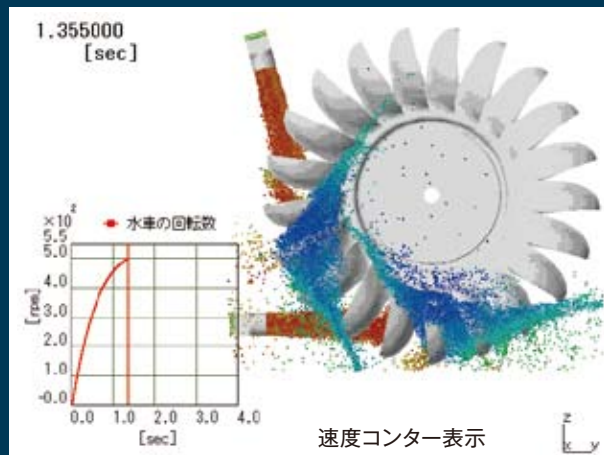


## RYUJINの機能適応例

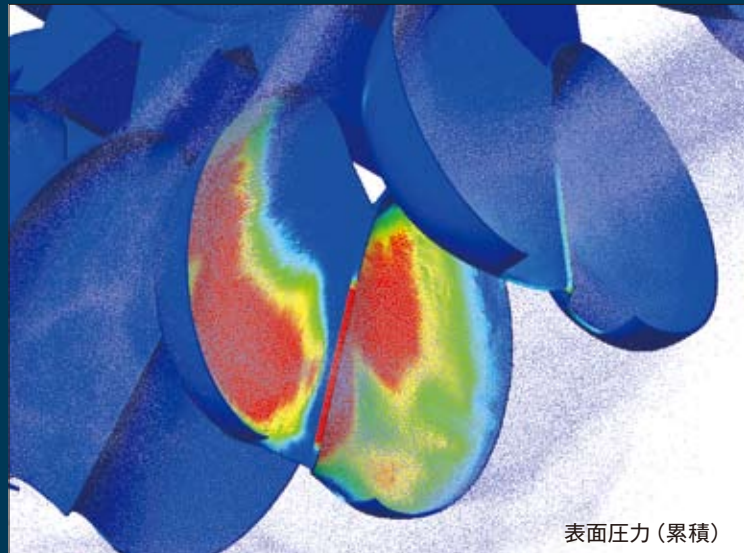
### 剛体-流体連成解析機能

#### ペルトン水車ランナ回転挙動解析

ペルトン水車をポリゴンでモデル化し、水をノズルから噴出させることで、水車が回転する剛体-流体の連成解析の例です。RYUJINで解析を行うことで、羽表面にかかる圧力・回転数・トルク値などを算出することが可能になりました。また、従来の手法では難しい複数ノズルによる回転挙動解析を行うことで、流水の干渉状況の解析も可能です。



ペルトン水車回転挙動解析

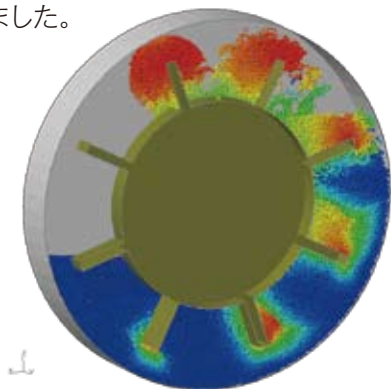


### 高粘性ソルバー機能

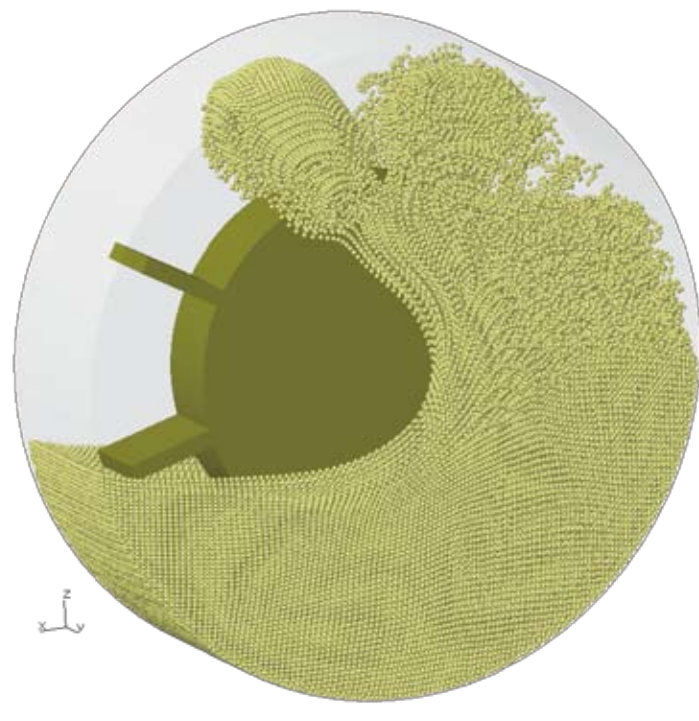
#### 高粘性オイルによるギア攪拌解析

従来のMPS法では、粘性が上がると時間刻み幅が小さくなり、計算時間が大幅に増大しました。

MPS-RYUJINでは、粘性を計算する部分を陰解法で解くことによって、高粘性流体の解析時間を大幅に短縮しました。これによって、寒冷地などで粘性が高くなったオイルの攪拌抵抗の算出などが、短時間で可能となりました。



速度コンター表示



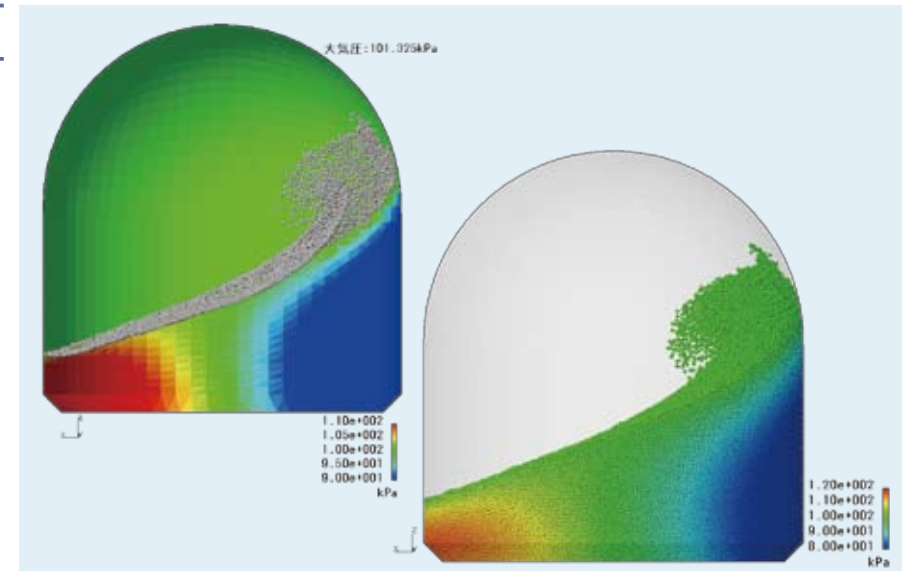
粒子表示(単色)

### 外気圧と負圧考慮機能

#### 外気圧と負圧考慮したタンクスロッシング解析

従来のMPS法は、液面にかかる圧力を0と定義して計算を行っていたため、負圧を考慮することができませんでした。MPS-RYUJINは独自の圧力計算アルゴリズムを開発することで、外気圧と負圧を考慮した流体解析が可能になりました。

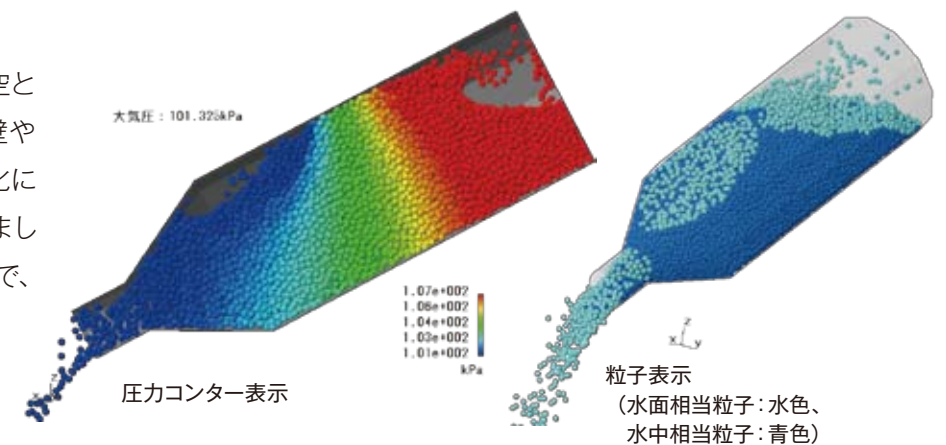
これらによって、スロッシング解析で正圧による構造物への負荷だけではなく、負圧による負荷も解析可能になりました。



### 体積変化を考慮した圧力計算機能

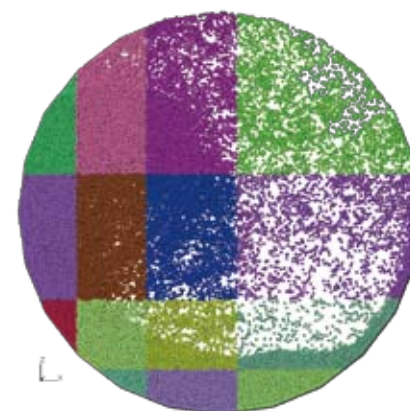
#### ボトルから流出解析

従来の粒子法は、粒子のない空間を真空と扱ってきました。MPS-RYUJINは、構造壁や粒子によって閉じられた空間が、体積の変化による圧力変化を考慮ができるようになりました。その閉空間の圧力を液面に与えることで、気泡を表現することが可能になりました。

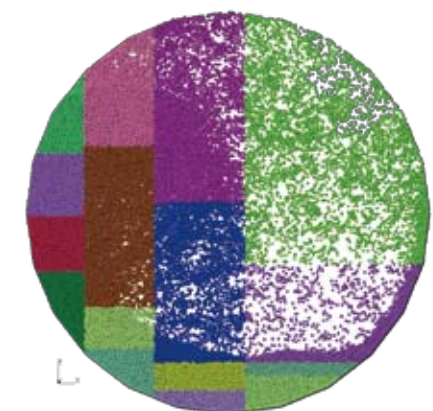


### 動的負荷分散機能

従来の粒子法で並列計算では、流速分布の変化に伴う、領域ごとの、計算負荷の変化に対応していませんでした。新しいバージョンでは、激しい流れに伴う計算負荷の変化にも対応できる、柔軟な領域分割と動的負荷分散を導入し、並列化効率を大きく向上させました。



従来の領域分割



新しい領域分割

## MPS (Moving Particle Simulation method) 法について

**■概要**  
MPS-RYUJIN Solverでは、連続体を有限個の粒子によって表現する粒子法を用いています。流体粒子の運動は運動方程式にしたがって更新されますが、方程式の離散化にはMPS法の粒子間相互作用モデルを用いています。主に非圧縮流体を対象とし、半陽半陰的アルゴリズムにより計算を行います。

**■非圧縮流れの支配方程式**

$$\frac{D\rho}{Dt} = 0 \quad \dots \text{連続の式}$$

$$\frac{D\mathbf{u}}{Dt} = -\frac{1}{\rho} \nabla P + \nu \nabla^2 \mathbf{u} + \mathbf{f} \quad \dots \text{ナビエ・ストークス方程式}$$

$\frac{1}{\rho} \nabla P$ : 圧力勾配項     $\nu \nabla^2 \mathbf{u}$ : 粘性項     $\mathbf{f}$ : 外力項

**■計算手順**

- ①粘性項、外力項を前時刻の値を用いて計算し、粒子の仮の速度と位置を得ます(陽的計算)。粘性項の計算にはMPS法のラプラシアンモデルを用います。
- ②密度一定の条件に基づき圧力のポアソン方程式をたて、それを解くことで粒子の圧力を得ます(陰的計算)。
- ③②で求めた圧力から圧力勾配項を計算し、粒子の速度と位置を修正します。勾配の計算にはMPS法の勾配モデルを用います。
- ④計算結果を出力し、終了条件を満たしていない場合①に戻ります。

## RYUJINにおける負圧考慮について

自由表面

急減な加速で移動するポリゴン。

負圧考慮

従来

負圧とは基準とする圧力より低い圧力のことをいい、MPS-RYUJINでは主に自由表面に設定された圧力(外気圧)よりも低い圧力を指します。

例として、急激な加速度で液中のポリゴンが移動した場合を考えます。負圧を考慮しない場合、ポリゴンと粒子の間に発生した隙間は自由表面と判定され、ポリゴンと粒子の間の隙間を埋めるような圧力差は発生しません。一方、負圧を考慮するとその隙間で負圧が生じ、ポリゴンと粒子の隙間を埋めるような圧力差が発生します。

## 表面流量・流速算出について

MPS-RYUJINには、ポリゴンの表面を流れる粒子の個数を測定する機能を実装しています。

その測定方法として、右図の方法をとっています。

ポリゴンの法線方向に仮想の三角柱(デフォルトの高さ=粒子径×影響半径)を設定し、粒子がその空間に入り、その後その空間から出た瞬間にカウントされます。なお距離などによる重み付けはせず、入った位置(上面または側面)による区別もしていません。

また、流速算出については、右図に示した空間内に存在する粒子の平均速度を算出しています。

カウント

影響半径

## 粒子法におけるトルク値算出について

MPS-RYUJINでは、トルク値をギヤが流体に与えた力の反作用として、次のように算出しています。

$$\tau = -\sum \{ \mathbf{a} \cdot (\mathbf{r}_i \times \mathbf{F}_i) \}$$

$\tau$ : トルク(回転の負荷)

$\sum_i$ : 壁から一定の距離内にあるすべての流体粒子についての和

$i$ : 流体粒子のインデックス

$\mathbf{a}$ : 回転軸方向の単位ベクトル

$\mathbf{r}$ : 回転軸上の一点と力の作用点を結ぶベクトル

$\mathbf{F}$ : ギヤが粒子に与えた力

また、ギヤが粒子に与える力は、Navier-Stokes方程式の粘性項と圧力勾配項の計算時に算出される値を用います。また、必要に応じてギヤの慣性力を考慮し、流れに反映させています。

## 粒子法における熱計算について

一般的に熱の移動は、流体そのものの移動と流体間の熱伝導によって行われます。しかし、ラグランジュ法である粒子法では、計算点である粒子が移動するため、粒子間の熱伝導のみ考慮すれば、良いことになりません。手順として、まず、粒子ごとに温度を変数として保持します。そして熱源は境界条件によるものや粘性散逸に伴う内部発熱も考慮して、熱伝導計算を行います。次に、粒子の移動を計算することで、解析を行っています。

また、温度変化による体積変化の影響は、Navier-Stokes方程式の右辺に浮力項を追加することによって、近似的に考慮します(Boussinesq近似)。浮力項は粒子の温度や熱膨張率から計算しています。

$$C_v \frac{DT}{Dt} = \lambda \nabla^2 T + Q_s$$

$C_v$ : 熱容量     $\lambda$ : 熱伝導率  
 $T$ : 温度     $Q_s$ : 熱源

$$\rho \frac{Du}{Dt} = (\text{圧力勾配項}) + (\text{粘性項}) + (\text{重力項}) + (\text{浮力項})$$

## 表面張力について

粒子間に分子間力に似た外力を与える

気液界面

●: 流体粒子

MPS-RYUJINでは濡れ性の表現のため、粒子間引力による表面張力モデルを採用しています。これは、粒子間(流体-流体、流体-壁)に分子間力に似た引力を作用させることで、結果的に表面張力が作用しているような挙動を示すものです。

また壁への濡れ性も統合的に考慮でき、接触角に応じ流体粒子-壁粒子間の引力の大きさをコントロールすることも可能となっています。

## MPS-RYUJIN Solverの並列計算について

MPS-RYUJINは、SMPとMPIを組み合わせた並列計算を行うことができます。このためユーザの計算機環境や解析内容に合わせて、効率的で高速な並列計算が可能になりました。なお、各並列方式の違いは以下の通りです。

並列方式	SMP	MPI	ハイブリッド
メモリ空間	筐体内で共有	計算コアごとに分割	同一プロセスで共有
通信	なし	すべての計算コア同士で通信	メモリ空間同士で通信

