

流体解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/redとCube-it・ParaViewの利用

塩谷 仁* 清野 多美子*

Application of Cube-it and ParaView for Advance/FrontFlow/red

Hitoshi Shiotani* and Tamiko Seino*

2013 年よりアドバンスソフト株式会社では、メッシュ作成ツールキット Cube-it CFD の販売と、オープンソースの可視化ソフトウェア ParaView の利用サポートサービスを開始した。本稿では、これらのソフトウェアを流体解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/red で使用する方法を紹介する。

Key word: 流体解析、プリポスト

1. はじめに

アドバンスソフト株式会社では流体解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/red（以下 AFFr）とプリポストプロセッサ Advance/REVOCAP を開発し、3 次元熱流体問題に関するソリューションを提供しているが、周辺ツールを拡充することで、より使いやすい環境の構築を目指している。

ここでは、メッシュ作成と可視化機能の拡充のため販売を開始した Cube-it と利用サポートサービスを開始した ParaView について紹介する。

2. メッシュ作成ツールキット Cube-it CFD

2013 年よりアドバンスソフト株式会社では、M&T 社との業務提携により Cube-it CFD の販売を開始した。Cube-it CFD は全自動ヘキサメッシュを目標として日々進化している、Cubit プロジェクトから誕生した汎用のメッシュ生成ソフトである。Cubit プロジェクトは 1990 年代初頭に Sandia National Laboratories（アメリカ合衆国・エネルギー省管轄の研究機関）で、ロバストな自動ヘキサメッシングアルゴリズムの構築を目的として研究開発が開始された。「Cubit」とは形状から Cube（ヘキサメッシュ）を切りだすことを意味している。

*アドバンスソフト株式会社 第2事業部
2nd Computational Science and Engineering
Group, AdvanceSoft Corporation

本項では Cube-it CFD の特徴と Cube-it CFD で作成したメッシュを AFFr で使用する方法を、例題を用いて紹介する。

2.1. Cube-it CFD の特徴

Cube-it CFD は、表 1 に示すインターフェイスを持ち、その機能としては形状およびメッシュの作成・編集、境界条件の設定、およびメッシュ出力を備えている。GUI (Graphical user interface) によるインタラクティブな操作性に加え、すべての機能は Cube-it 独自のコマンドにより、操作内容をジャーナルファイルとして記録し、ユーザーが編集して使用できることから、自由なパラメトリックスタディに対応している。また同時に Python スクリプトを使用しての操作も可能である。メッシュの作成例として図 1 にジャーナルエディタ（ジャーナルファイル）とメッシュ図を示す。本コマンドを実行すれば図のような形状→メッシュの作成が再現できる。続いて流体メッシュ作成時に特長となる機能を紹介する。

表 1 インターフェイス

サポート要素	四面体, 六面体, 三角柱, ピラミッド
入力ファイルフォーマット	CAD ファイルフォーマット: ACIS, IGES, STEP Facet ファイルフォーマット: Facets, AVS, STL メッシュフォーマット : Exdous, Patran, Ideas, Abaqus, Nastran, Fluent
出力ファイルフォーマット	CAD ファイルフォーマット: ACIS, IGES, STEP Facet ファイルフォーマット: Facets, AVS, STL メッシュフォーマット: Exdous, Fluent
プラットフォーム	Windows, Linux

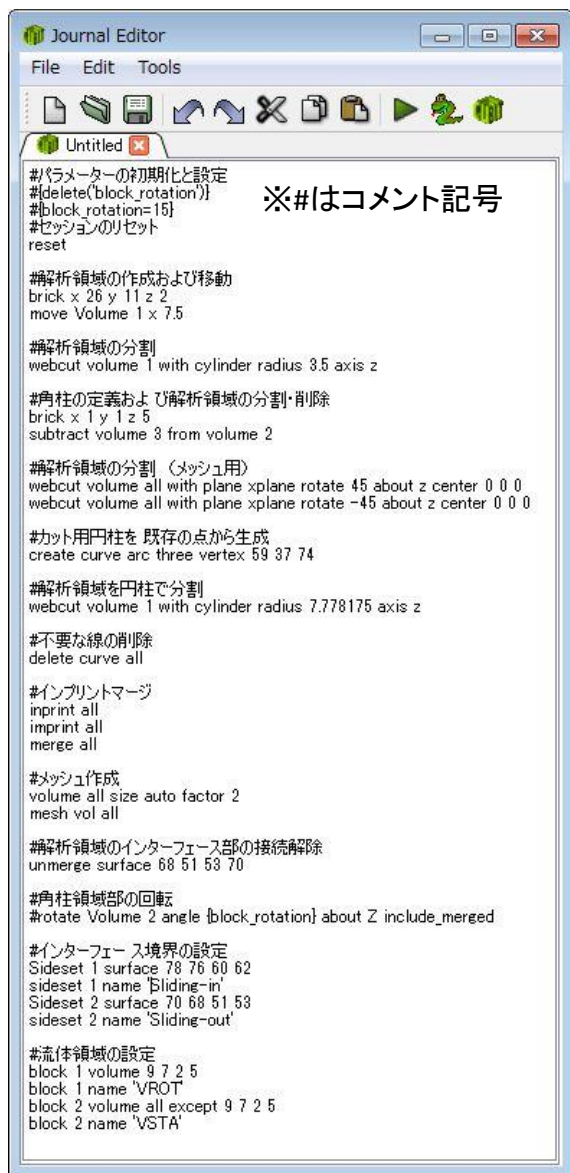
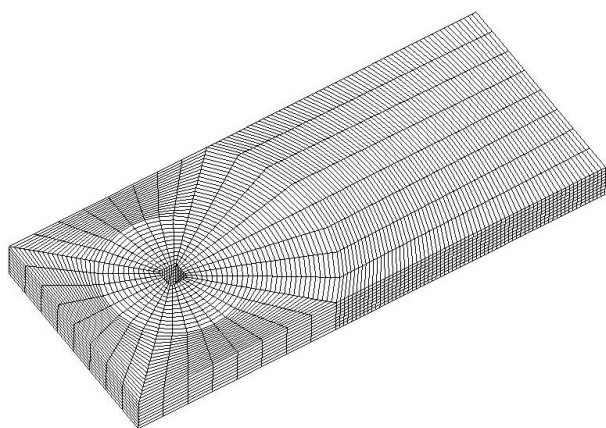


図 1 ジャーナルエディタとメッシュ図

2.1.1. 境界層機能

Cube-it CFD Ver. 14.1 (2013 年リリース予定) より流体解析用メッシュ作成に適した機能として、境界層機能が追加される。これにより短時間で精度良い境界層メッシュを作成することが可

能となった。図 2 は境界層メッシュを作成した例であるが、入口と出口で径の異なる円筒形状に対し、次の手順でメッシュを作成している。①側面から一定厚さの境界層を作成、②入口面を Pave コマンドで非構造型の四角形要素による Surface メッシュを作成、③Sweep による押し出し機能でヘキサ要素を作成。

境界層機能を使用したメッシュ作成例

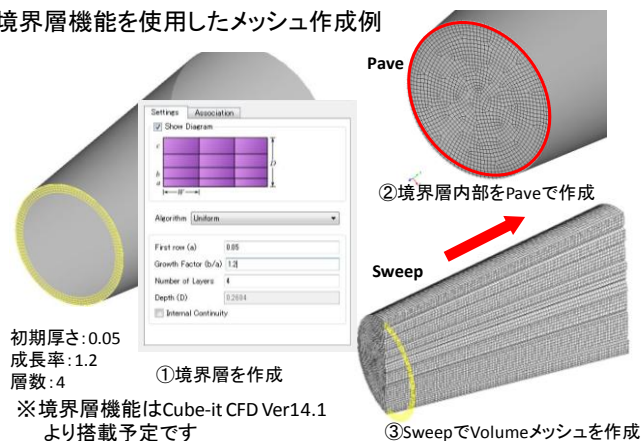


図 2 境界層機能を使用したメッシュ

また Bias 機能を用いて粗密のついたメッシュを作成する場合に推奨される手順としては、① Geometry タブでカーブの方向を揃え、② Mesh タブで Bias の設定をする。両タブ画面の切り換えが容易に行えるよう、相互に切り換えボタンが設けられている (図 3)。

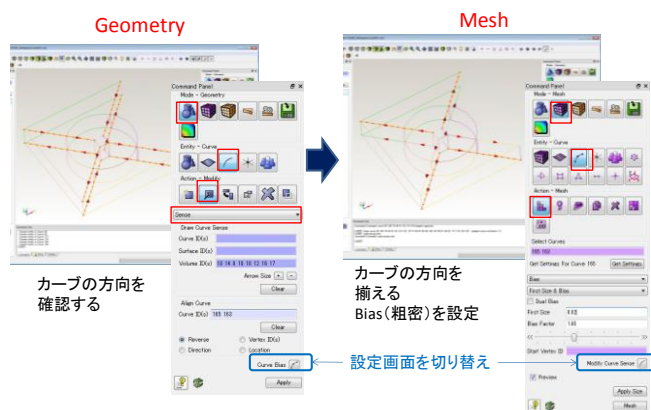


図 3 メッシュ粗密の設定

2.1.2. 大規模メッシュの生成

Cube-it CFD の特長として、大規模メッシュの生成スピードがあげられる。まず図 2 に示すよう

な T 字管の 1/4 モデル形状を Cube-it で作成し、テトラメッシュ生成スペックの比較テストを実施した。本テストでは約 3 千万のメッシュを 10 分程で作成することができた。FAQ においては、約 5 億要素の作成実績 (64bit メモリ 128GB) が紹介されており、コマンドベースで使用することで、より大規模なメッシュの作成が期待できる。ただし生成時間と使用メモリは、形状やデータフォーマットに依存し変化する。形状データをインポートして使用する場合にはあらかじめできる限り簡略化したデータを用いることが推奨されている。

表 2 テトラメッシュ作成テスト結果

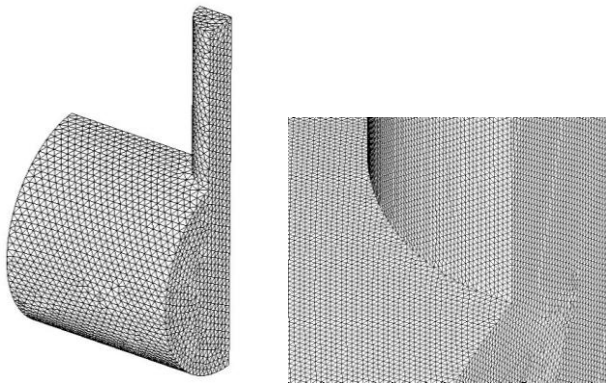
メッシュ サイズ*	要素数	節点数	使用 メモリ	CPU Time
10.0	65,415	12,678	180MB	1.2sec
5.0	417,869	76,509	240MB	4.5sec
1.0	18,301,997	3,212,353	3GB	306sec
0.8	29,303,152	5,136,673	6GB	566sec

テストマシンスペック

OS: Windows7 Pro SP1

CPU: Intel Xeon CPU E3-1220 V2 @ 3.10GHz × 2

物理メモリ: 8.00GB



メッシュサイズ10.0テスト形状

メッシュサイズ0.8, 主管と枝管の接続付近

図 4 テストメッシュ

2.2. Advance/FrontFlow/red のための設定

Cube-it で作成したメッシュを AFRr で使用するためには、材料と境界名の定義を行う。図 5 に示す回転角柱周りの流れ解析用モデルを例にとり、その設定手順を説明する。図 6 には Cube-it で使用される名前と AFRr で定義する名前の関係

図を示す。ユーザーが設定を行わなければ、Cube-it のデフォルトの名前で出力される。設定後のメッシュデータは Cube-it の Fluent 形式で出力し、.msh ファイルとして AFRr で使用する。

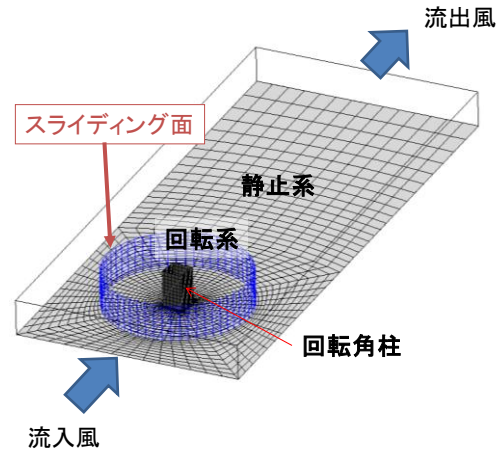


図 5 例題

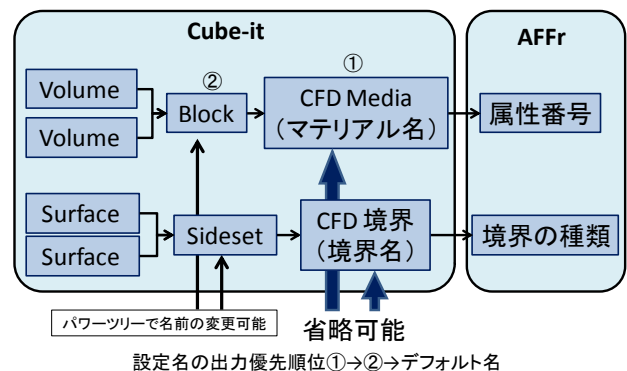


図 6 設定名の関係図 (3D モデル)

2.2.1. 材料定義手順

Cube-it で材料を定義するためには、まず材料ごとに Block を作成する。例題では回転系 (スライディング領域) と静止系を別々の材料として設定するため、2 つの Block を作成する。

複数マテリアルを用いる場合、AFRr では境界面を「interface」として扱い、各々のマテリアルに対し境界の設定を行う。Cube-it でこの境界面の設定を行うためには、複数マテリアルの境界面はマージせずに別々にメッシュを作成しておく。計算精度などの観点からインターフェイス面のメッシュパターンを一致させたい場合には、Volume がマージされた状態でメッシュを作成した後で、切り離しを行うとよい。

引き続いて、通常は図 9 に示すように Block と CFD Media を関連付けて材料種 (FLUID or SOLID) とマテリアル名を設定する。しかし AFFr では Cube-it で定義した材料種は参照しないため、関連付けは省略可能であり、図 10 のようにパワーツリー上で Block の名前を変更した場合には、それがマテリアル名として使用される。AFFr においては prefflow によるプリ処理時に、材料を属性番号で指定する。

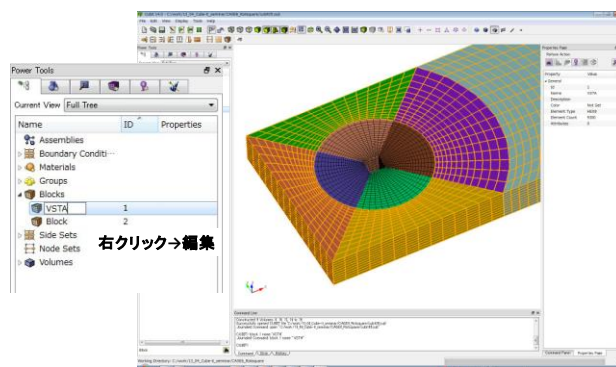


図 10 Block 名の変更

静止領域:属性番号1 (マテリアル名:VSTA)



スライディング領域:属性番号 2(マテリアル名:VROT)

図 7 マテリアル名と属性番号

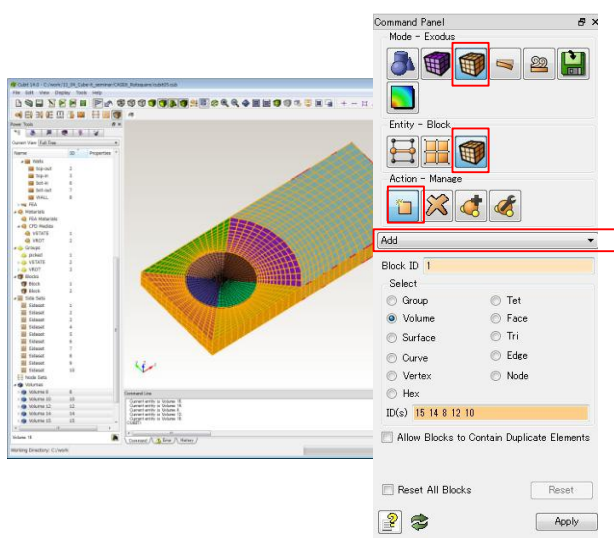
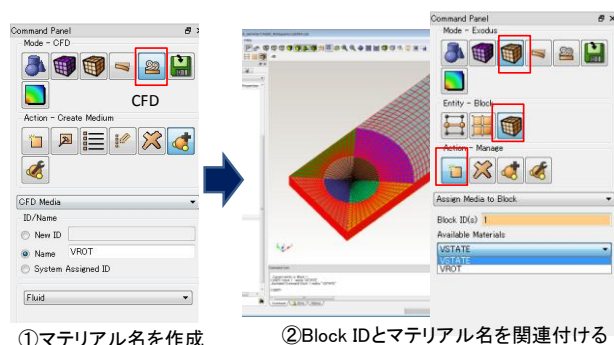


図 8 Block の作成



①マテリアル名を作成

②Block IDとマテリアル名を関連付ける

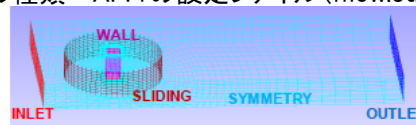
図 9 Block とマテリアルの関連付け

2.2.2. 境界条件定義手順

Cube-it では Sideset を用いて境界を定義する。図 11 に例題で使用する境界の種類と境界名を示す。回転系と静止系の境界は interface になるため、それぞれの Block の境界面に Sideset を作成する。

図 12 に示す境界条件の作成を行うと、Sideset と、境界の種類および境界名が関連付けられた状態で同時に作成される。境界名はパワーツリーで変更することが可能である。ただし AFFr では Cube-it で定義する境界の種類を参照しないため、関連付けは省略しても良い。この場合は、図 13 に示すように Sideset の作成のみを行い、その名前を変更する。AFFr ではメッシュファイルに記載された境界名を使用し、設定ファイル(fflowctl)で定義した境界の種類を使用する。

境界の種類→AFFrの設定ファイル(fflowctl)で設定



境界名→Cube-it で設定

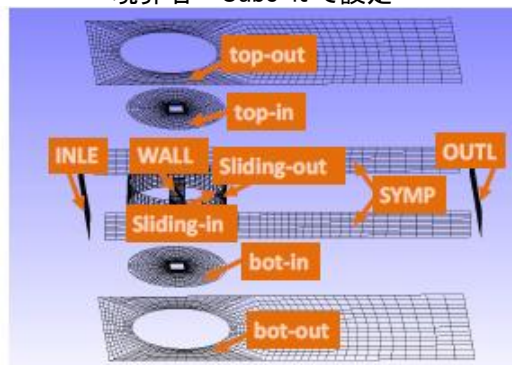


図 11 境界の種類と境界名

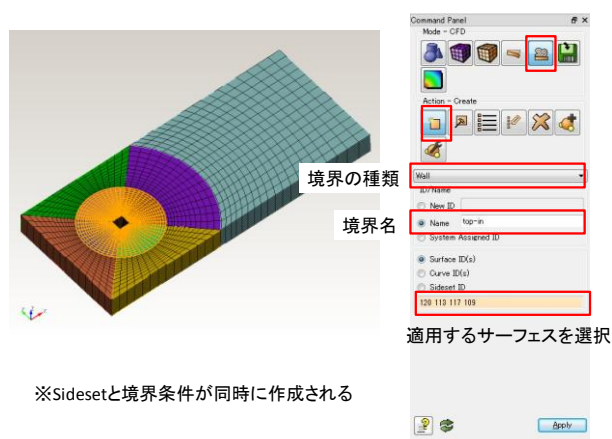


図 12 Sideset と境界条件

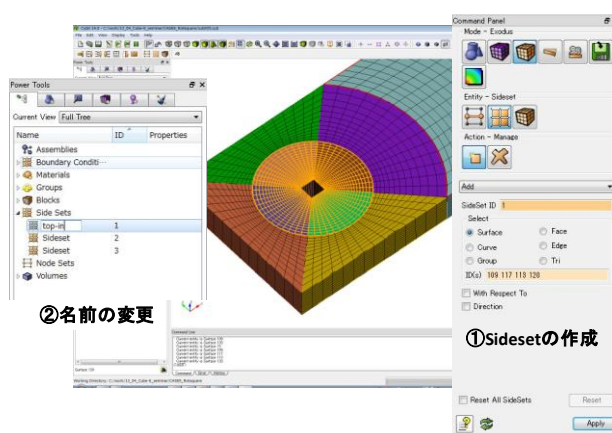


図 13 Sideset の作成

3. 可視化ソフトウェア ParaView

ParaView は、Kitware 社と米国の 3 国立研究所 (Los Alamos 国立研究所、Sandia 国立研究所、Livermore 国立研究所) の共同プロジェクトとして開発がすすめられたオープンソースの可視化ソフトウェアである。マルチプラットフォームで利用可能で並列計算にも対応しており、可視化処理に加えてデータ解析機能も有している。さらに、Python スクリプトによるカスタマイズにも対応しており、技術計算に必要と考えられるあらゆる機能が実現されている。ParaView の概要については既報で紹介済みのため、本稿では、AFFr の可視化ツールとして使用する際の、主要な機能を紹介する。

3.1. ParaView 用可視化ファイルの作成

ParaView では、データ処理とレンダリングエンジンに可視化ツールキット VTK を利用してい

るが、AFFr では可視化ファイル作成プログラム ffr2viz を用いて、結果ファイルを VTK フォーマットに変換することが可能であり、作成したファイルは ParaView での表示が可能である。

AFFr の計算結果は、定常解析では `result.frontflow`、非定常解析では `result.frontflow_####` (####は計算ステップ数) というファイル名で出力される。また、結果ファイルは、シングルコアの計算では作業ディレクトリに、マルチコアの計算では作業ディレクトリ内の並列データ用ディレクトリ `hpc_####` (####は CPU 番号) に保存される。

VTK フォーマットに変換する際には、ffr2viz 実行時に出力フォーマットに関するオプションを `-rf vtk` と指定する。

3.2. ParaView による可視化・データ処理

ParaView を用いた AFFr 結果ファイルの可視化・データ処理に関して、主なフィルターを表 3 に示す。任意の体積要素および断面上でのコンター図、速度ベクトルや流線など流れ場の状態表示など一般的に流体解析の可視化機能として要求されるものは一通り実装されており、また、2 次元プロットや時系列プロット、既存のデータを用いた関数作成機能などのデータ処理機能も実装されている。さらに、データ数値を CSV ファイルにエクスポート、アニメーションの作成にも対応している。

表 3 ParaView の主なフィルター機能

分類	フィルター名	処理内容
カット	Clip	任意断面や、境界・パラメータ値で領域を切断
	Slice	任意断面の取り出し
	Contour	任意パラメータ等値面の取り出し
	Threshold	任意パラメータによる閾値カット
表示	Stream Tracer	流線表示
	Glyph	ベクトル表示
データ処理	Plot Over Line	任意線におけるパラメータプロット
	Plot Over Time	時系列プロット
	Calculator	関数作成
	Histogram	ヒストグラム作成

3.2.1. ファイルの選択

メニューバーの File→Open と選択すると図 14 のダイアログ画面が開き、ParaView で扱える

可視化ファイルの一覧が表示される。ファイル名を〇〇###.vtk (〇〇は共通の文字列で###は数字) とした場合、これら一連のファイルは〇〇..vtk という名称のツリー構造で表示される。ツリーを展開し、ファイル名を選択 (図 14①) すると、指定したファイルのみが読み込まれ、ツリーのトップにある〇〇..vtk を選択 (図 14②) すると、ツリーに含まれるファイル一式が読み込まれる。(アニメーションの作成を行う際には②の方法で読み込む)

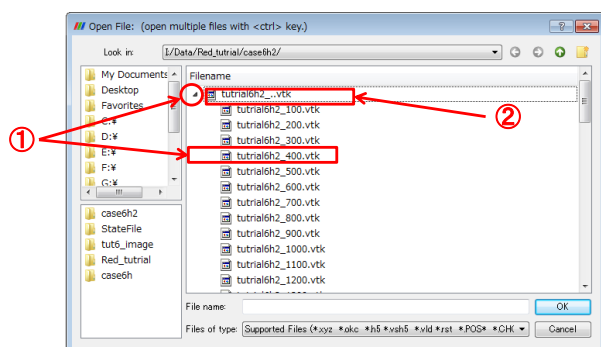


図 14 Open File のダイアログ画面

3.2.2. カット関連機能

カット関連の主な機能としては、任意断面で切断した残りの体積領域を表示する Clip 機能、切断面のみを表示する Slice 機能、選択したスカラー量に対する等値面で切断する Contour 機能などがある。Clip の設定画面は図 16 の通りで、座標軸に垂直な面でカットする際は “** normal” のボタンで選択し、任意の面については、Origin に基準点の座標、Normal にカット面の法線ベクトル成分を指定することになる。カット面は平面以外に Box、Sphere があり、さらに、Clip 機能では、任意のスカラー量の等値面で指定することもできる。ParaView では境界面の表示を明示したフィルターは実装されていないが、境界面に関する情報はスカラー量として保持されており、Clip や Contour 機能を用いることで境界面のみを表示することができる。図 17 に Clip 機能で境界面を表示する場合の設定例を示す。また、Clip 機能を複数回適用することで、詳細な範囲指定も可能となる (図 18 参照)。

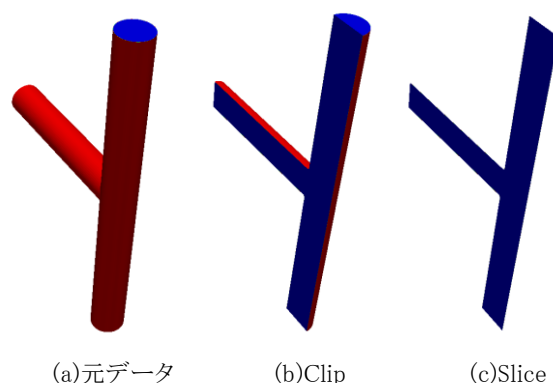


図 15 カット機能の使用例

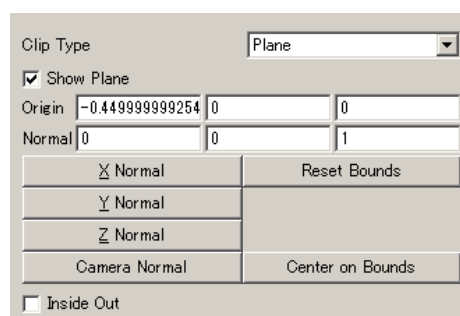


図 16 Clip の設定画面

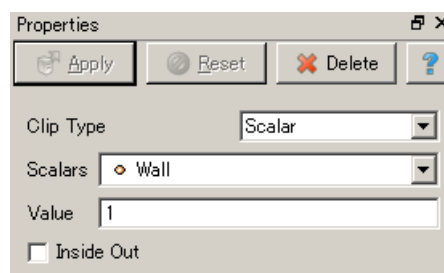


図 17 Clip 機能を用いた境界面の表示方法 (境界名 “Wall” を表示する設定)



図 18 Clip 機能を用いた境界面の表示 (図 15(b)に対して境界 “Wall” を表示)

3.2.3. 表示関連機能

流れ場の可視化に関する機能として、ベクトル

分布を表示する Glyph 機能や、流線を表示する Stream Tracer 機能が実装されている。Glyph 機能は読み込んだ VTK ファイルにそのまま適用するとモデル領域全体のベクトル分布が表示されるが、Clip 機能や Slice 機能と併用することで、指定した範囲または断面上のベクトル分布を表示することができる（図 19 参照）。

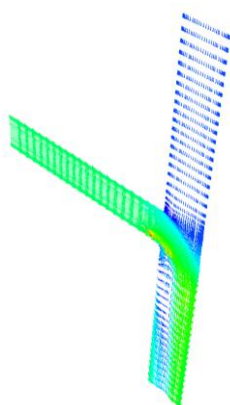


図 19 速度ベクトル分布の表示例
(Slice 断面に対して表示)

Stream Tracer 機能では、図 20 のように中心座標と半径、個数を設定して、指定した円の範囲内に Seed を配置し、流線を表示することができる。（図 21 参照）

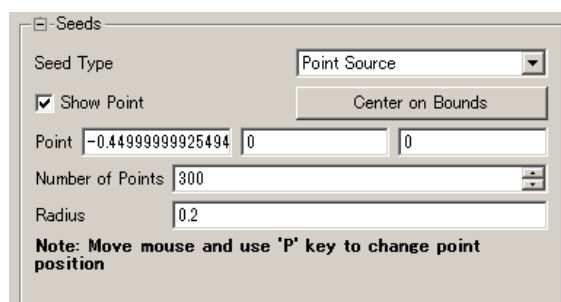


図 20 Seed の設定画面



図 21 流線の表示例

なお、AFFr では、粒子の移動を Lagrange 的に取り扱う粒子追跡機能が実装されており、ParaView には Particle Tracer 機能が実装されているが、現時点では ParaView で表示可能な形式への出力には対応していない。

3.2.4. データ処理関連機能

ParaView では、コンターやベクトル等の可視化処理を行うだけでなく、指定した点や線上における数値データの取得や、グラフ描画も可能である。特定点の数値データを確認する際には Probe Location 機能を用い、データを見たい位置座標を指定する（図 22、図 23）。指定した位置における各種数値データは Information で確認できるが（図 24）、View 画面を分割し、Spreadsheet View を選択（図 25）することで、一覧表を表示することができる（図 26）。なお、Spreadsheet View では、Probe Location に限らず、VTK ファイルそのものを指定すれば全節点の情報が、Clip や Slice、後述の Plot Over Line に適用すれば、該当する体積や面、線上の数値データの一覧表が表示される。数値データは CSV 形式で出力することも可能である。

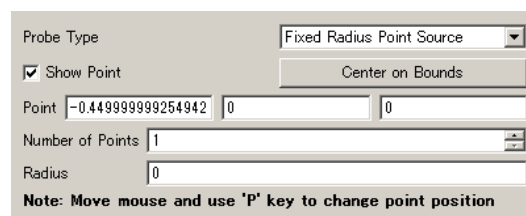


図 22 Probe Location の設定画面

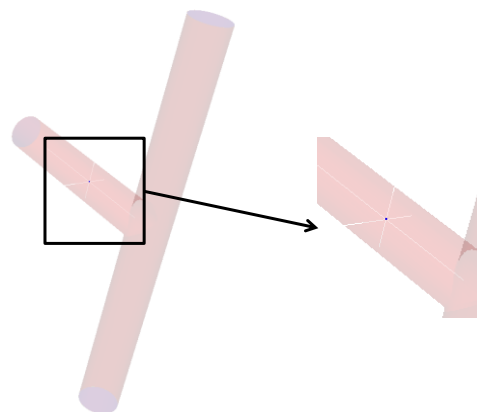


図 23 Probe Location による座標指定

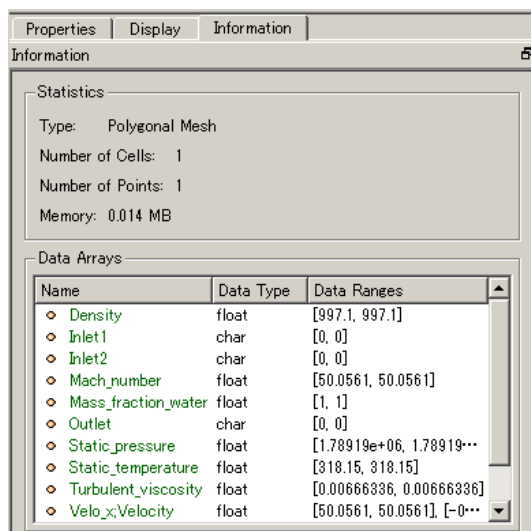


図 24 Probe Location の Information 画面

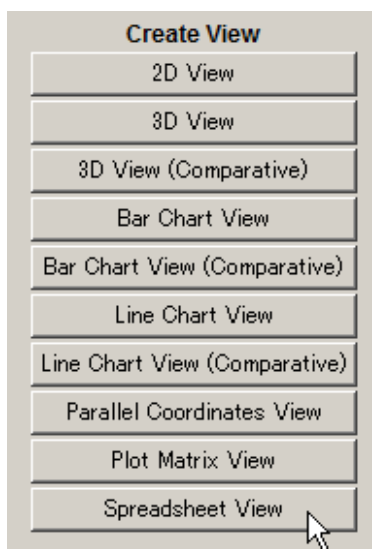


図 25 View 画面の分割

Showing		ProbeLocation2	Attribute	Point Data	Precision	6		
	Wall	Velo_x_Velocity	Outlet	Inlet2	Inlet1	Static_pressure	Mach_number	
0	0	50.0561 ~0.0302877...	0	0	0	1.78919e+06	50.0561	997.1

図 26 Spreadsheet View の表示

線上のプロファイルを取得する際には Plot Over Line 機能を使用し、線の両端の座標を指定すると、図 27 のように View 画面が分割され、各種データのプロファイルを描画したグラフが表示される。

また、Calculator 機能によって、VTK ファイルに保持されているスカラー量等を用いて演算処理を行うことも可能である。AFFr では、各種データを SI 単位で扱っているが、温度分布を摂氏で表示したい場合には図 28 のような計算式で新たなスカラー量を定義すればよい。

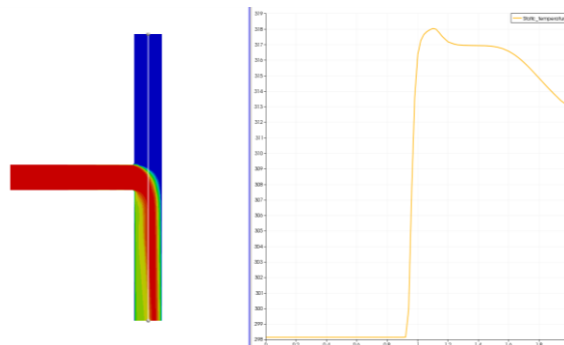


図 27 Spreadsheet View の表示

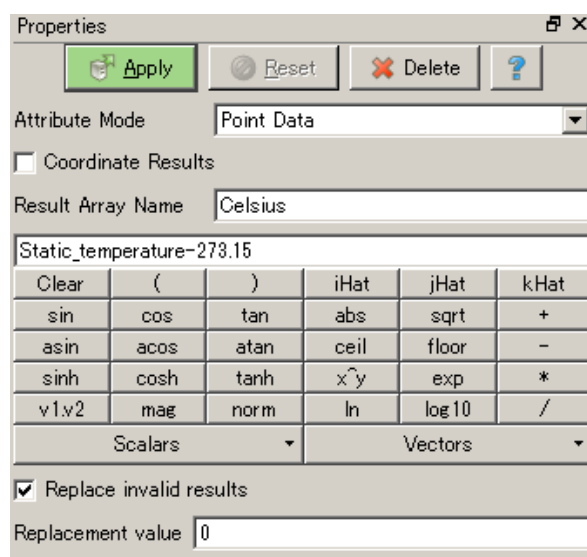


図 28 Calculator の設定画面

3.2.5. 時系列データ処理

図 14②の手順で読み込まれた一式のファイル群は時系列データとして扱われる。この場合、図 29 に示す VCR Controls (左) と Current Time Controls (右) の 2 つのツールバーによって表示するフレームを指定することになる。また、時系列データで読み込んだ場合には、コンター図やベクトル分布図、流線図をアニメーションファイルとして保存することもできる。メニューバーの File→Save Animation を選択すると、図 30 のダイアログ画面が表示され、フレームレートや解像度等を設定し、AVI 形式で動画ファイルが作成される。

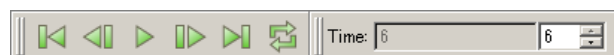


図 29 時系列データに関するツールバー

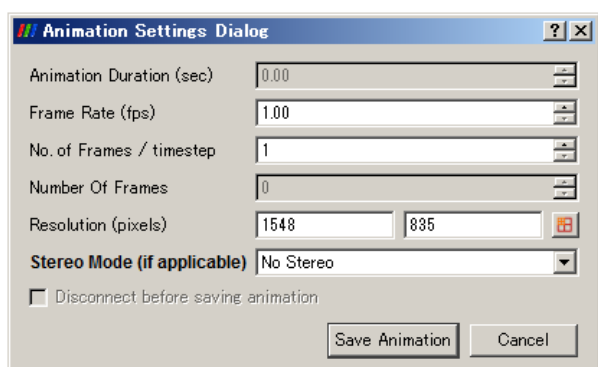


図 30 アニメーション作成のダイアログ画面

4. おわりに

メッシュ作成ツールキット Cube-it CFD およびオープンソースの可視化ソフトウェア ParaView の AFFr への適用について紹介してきた。いずれのソフトも基本的な操作手順は本稿に記載した通りであるが、Cube-it CFD に関しては、AFFr に適したメッシュ作成基準の確立やサンプルジャーナルファイルの整備、ParaView に関しては、粒子追跡の可視化対応や本稿では紹介しなかった Python を用いたスクリプト処理を整備し、使いやすさを向上させていくことなどが今後の課題と考えている。

参考文献

- [1] 松原 聖ら: “商用可視化ソフトウェアの代替となるフリー可視化ソフトウェア ParaView Ver. 3.98”, アドバンスシミュレーション vol. 15

※技術情報誌アドバンスシミュレーションは、アドバンスソフト株式会社 ホームページのシミュレーション図書館から、【カラー版】がダウンロードできます。(ダウンロードしていただくには、アドバンス/シミュレーションフォーラム会員登録が必要です。)