

管路系流体解析のGUI(Graphical User Interface)の紹介

石井 義隆* 出浦 智之** 秋村 友香*

Introduction of Graphical User Interface for Fluid Analysis in Piping Systems

Yoshitaka Ishii*, Tomoyuki Deura** and Yuka Akimura*

管路系流体解析は流れ方向の1次元解析であり、配管と流体機器で構成されるシステムの解析である。3次元流体解析では、メッシュによって解析対象の形状を忠実に再現することが重要であるが、1次元システム解析では流体機器や構造物は“モデリング”として抽象化される。1次元システム解析で重要になってくるのは流路、流体機器、熱伝達、輻射などの接続関係から成るシステム全体をユーザーが視覚的に認識できるか、また、システムをモデリングに従い間違いなく構築できるかである。本記事では、アドバンスソフト株式会社の管路系流体解析ソフトウェアの専用 GUI として自社開発されている Advance/FrontNet/Ω GUI および Advance/FrontNet/Γ GUI の機能や開発の工夫点を紹介する。

Key word: GUI、管路系流体解析、入力支援、可視化

1. はじめに

管路系流体解析の解析対象は、上下水道パイプライン、都市ガスパイプラインなど何十 km にも渡る長い配管を中心とするものから、ポンプ、圧縮機、熱交換器、タンク、弁、燃焼器など、流体機器の影響が大きいエンジンシステムや冷凍サイクルなど、さまざまである。これらの解析の準備にあたり、ユーザーは流路がどのような構成か（配管がどこで分岐・合流しているか）、流体機器はどこに配置しているか、熱の出入りをどこまで考慮するかについて計算のモデルを組み立て、管路系流体解析の入力ファイルを作成する必要がある。

管路系流体解析の GUI の第一の目的は管路系流体解析の入力ファイル作成支援を行うことである。管路系流体解析の入力項目は多岐大量に渡るため、大規模な管路系を解析対象とする場合は

特に、これらをミスなく計算設定するための GUI の入力支援機能は有用である。

ここで特記したいのは、管路系流体解析では流れや流体と構造物の伝熱については、実物形状を再現することにより計算対象が決定するのではなく、1次元モデルの接続関係によって計算対象システムが決定されることである。ここで、モデリングの例を挙げると、複数流路を1本の代表流路で模擬し、圧損は等価直径を用いて複数本分の圧損を模擬する“モデリング”や、管路構造物中を流れる水と管路構造物の外を流れる空気の伝熱を考慮する場合に、水と管路構造物内側の熱伝達、管路構造物中の熱伝導、管路構造物外側と空気の熱伝達によって模擬する“モデリング”がある。1次元モデルの接続関係を GUI 上で視覚的に表すことは、ユーザーのモデリングの理解を助けるために重要である。

本記事では、管路系液体過渡解析ソフトウェア Advance/FrontNet/Ω および管路系単相過渡解析ソフトウェア Advance/FrontNet/Γ の専用 GUI の機能、開発の工夫点や課題をまとめる。

*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

**アドバンスソフト株式会社 総合企画部

Planning Department, AdvanceSoft Corporation

2. 管路系流体解析専用 GUI の役割と構成

管路系流体解析専用 GUI のシステムは、図 1 に示すように、ユーザーが Solver を動かすための準備を行うプリプロセッサ、数値計算を行う Solver の実行部、そして Solver で解析結果を確認・評価するためのポストプロセッサ部から成り立っている。

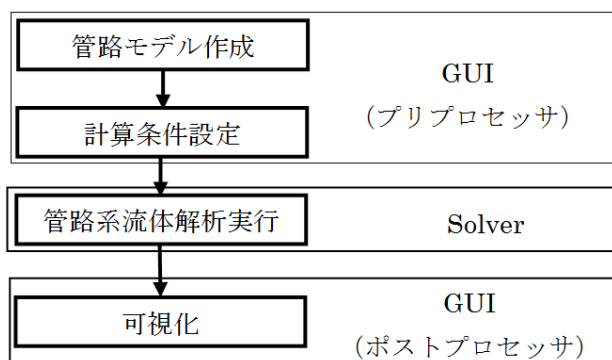


図 1 管路系流体解析専用 GUI システム構成

プリプロセッサ部では、管路系の接続関係の構築および計算条件設定を行う。ここで、接続関係の構築では Microsoft®Visio®機能を一部利用している。プリプロセッサ部では Solver の入力ファイルが作成される。

Solver の実行部では、Solver の実行および実行中のログ表示や強制終了など、Solver の動作を管理する。

ポストプロセッサ部では、解析結果を XY グラフやコンター図により可視化し、ユーザーに分かりやすいかたちで表示する。

管路系流体解析専用 GUI の動作環境は一般的に普及している OS である Microsoft® の Windows® XP, Windows®7, Windows®8 の PC に Visio® 2007, Visio®2010, Visio®2013 のいずれかをインストールした環境である。表 1 にソフトウェアの動作環境をまとめる。ここで、本ソフトウェアを 64bit オペレーティングシステムにて動作させる場合にも本ソフトウェアは 32bit プログラムとして動作する。

ライセンス認証方式は、Mac アドレス指定のマシン固定ライセンス方式を採用している。サーバーによるライセンス認証や、USB によるライセン

ス認証については導入検討中である。

表 1 管路系流体解析専用 GUI の動作環境

OS	
- Windows® XP (32bit)Service Pack 3 以上 - Windows® 7 (32bit,64bit) - Windows® 8 (64bit)	
必要ソフトウェア	
- Microsoft®.NET Framework 4 - Microsoft® Visio® 2007、2010、2013(有償)	
推奨ハードウェア	
CPU	Intel® Pentium®4 2GHz 以上
メモリ	1GB(32bit)、2GB(64bit)以上
空きディスク	1GB 以上

3. 管路系流体解析専用 GUI の機能

ここでは、アドバンスソフト株式会社が自社で開発を行っている、管路系の水撃解析を主目的としたソフトウェア Advance/FrontNet/Ω と、管路系内を流れる単相流体の圧力波および熱流動解析を目的としたソフトウェア Advnce/FrontNet/Γ の GUI の機能を紹介する。

3.1. Advance/FrontNet/Ω Ver. 1.0 の例

3.1.1. 画面構成

図 2 は、Advance/FrontNet/Ω の画面構成（メインウィンドウ）である。画面は、①作業の流れに沿った「作業タブ」、②管路モデル作成時に使用する機器アイコンシート、③管路モデル作成時や計算設定、結果の可視化時に使用または参照する管路系設定シートで構成されている。

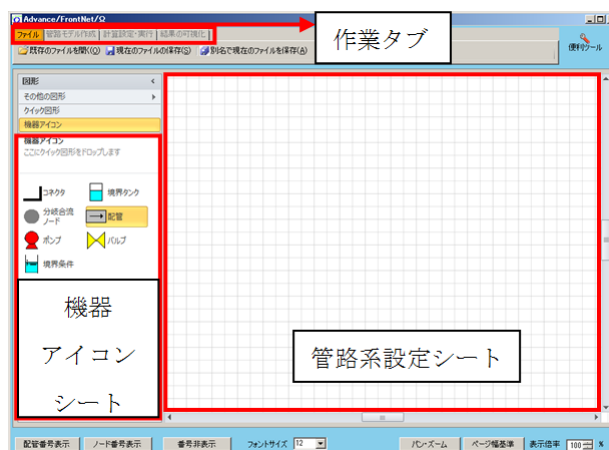


図 2 Advance/FrontNet/Ω の画面構成

3.1.2. ソルバー定義点

Advance/FrontNet/ Ω のソルバー内では、図 3 に示したように、配管とノードが定義される。配管は体積が定義され、液体が流れる流路である。流路は図 4 のように内部分割して計算される。ノードは体積を持たず、配管の両端に必ず定義され、接続関係を認識するために使われる。分岐や合流はノードにおいて質量保存式を解くことにより模擬される。ベンド、エルボなどの局所損失やバルブ、ポンプなどの流体機器はノード上に定義される。ソルバー内ではどの配管がどの配管と接続しているかのみを認識している。

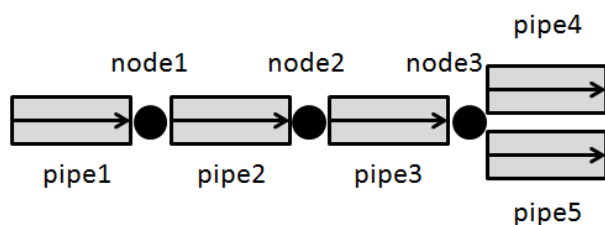


図 3 Advance/FrontNet/ Ω ソルバー内概念

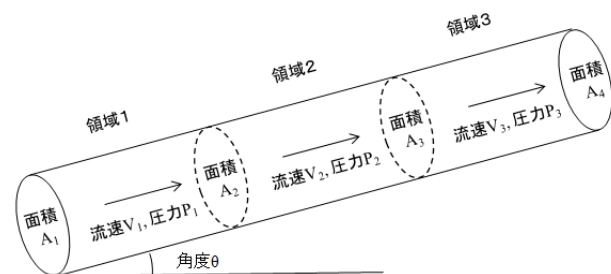


図 4 Advance/FrontNet/ Ω 配管内部分割

3.1.3. アイコン

表 2 に Advance/FrontNet/ Ω のアイコンとアイコンのソルバー内での意味をまとめる。

表 2 Advance/FrontNet/ Ω のアイコン

アイコン	説明
	境界条件を表す。圧力指定または流量指定境界条件が設定できる。ノード上に定義される。

配管 	配管を表す。
コネクタ 	アイコン同士を接続する。
分岐合流ノード 	接続・分岐・合流部に使用するノード。
バルブ 	バルブを表す。開度に応じて圧力損失を変化させる。開度の時間変化を設定し、遮断や開放を模擬する。ノード上に定義される。
ポンプ 	ポンプを表す。QH 曲線または定格値だけ昇圧するモデルである。指定時刻にトリップさせることができる。ノード上に定義される。
境界タンク 	液位を計算により求めるタンクを表す。計算液位に従い、境界条件が設定される。ノード上に定義される。

3.1.4. 接続関係

図 5 は、管路モデル作成の画面である。ユーザーは、機器アイコンシートよりアイコンを管路系設定シートにドラッグ&ドロップして機器を配置する。その後「アイコンを接続」ボタンを使用して管路モデルを作成する。

分岐とバルブの入った管路系モデルの例が図 6 である。計算の際に必要なノード番号と配管番号の表示も可能である。

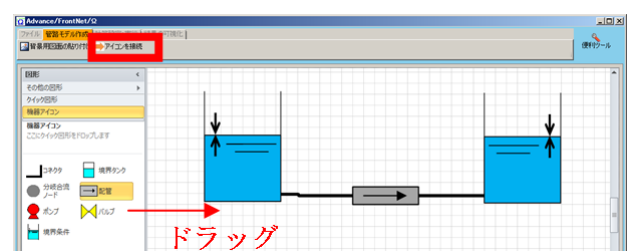


図 5 Advance/FrontNet/ Ω の管路モデル作成

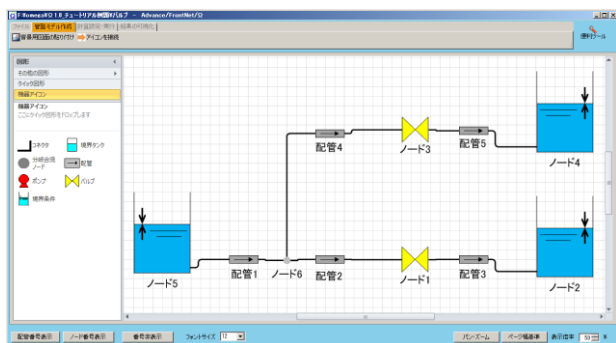


図 6 Advance/FrontNet/Ω の管路モデル完成

3.1.5. 計算設定

計算条件の設定は図 7 の計算設定ウィンドウで行う。計算設定ウィンドウでは、左側に誘導設定項目が並び、誘導設定項目を上から順に設定していく。上側の設定項目がそれ以降の設定に反映される場合があるため、上から順に設定を進める。表 3 は Advance/FrontNet/Ω の設定項目である。

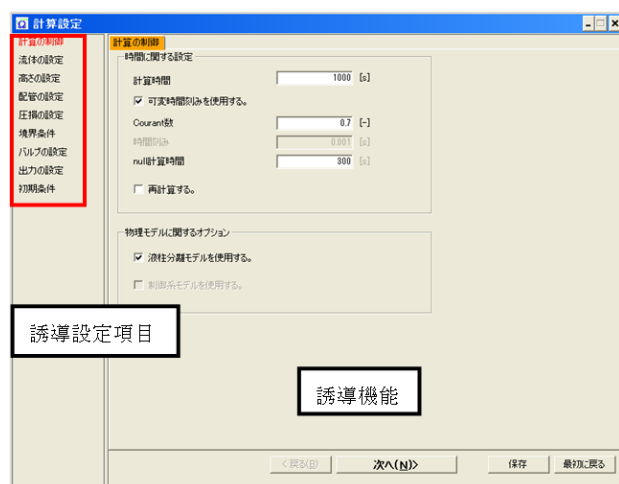


図 7 Advance/FrontNet/Ω の計算設定画面

表 3 Advance/FrontNet/Ω の主要設定項目

項目	設定内容
計算の制御	計算制御や計算時間
流体の設定	流体の物性設定
高さの設定	基準位置からの高さ
配管の設定	配管形状や材質、音速の計算方法、メッシュ分割方法
圧損の設定	管摩擦の設定および局所損失
境界条件	境界条件の選択 (圧力指定/流量指定)

バルブの設定	バルブ特性およびバルブ遮断の設定
タンクの設定	タンク形状の設定
ポンプの設定	定格値、トリップ時刻
出力の設定	出力頻度、出力位置
初期条件	初期流量、初期圧力

3.1.6. 計算実行

図 8 は、Advance/FrontNet/Ω の計算実行画面である。計算のログが画面中央部に、全体計算の進捗状況がバーで表示され、計算状況を確認することができる。

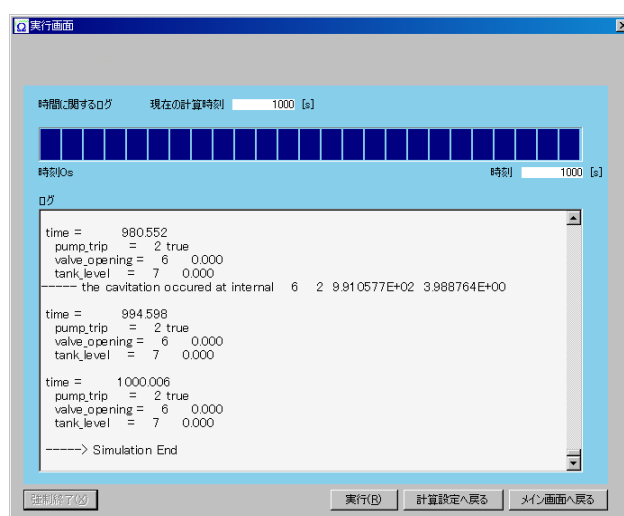


図 8 Advance/FrontNet/Ω の計算実行画面

3.1.7. 結果表示

時系列データのグラフ可視化ウィンドウを表示することができる (図 9)。この例では、水撃による圧力の時間変化を確認することができる。

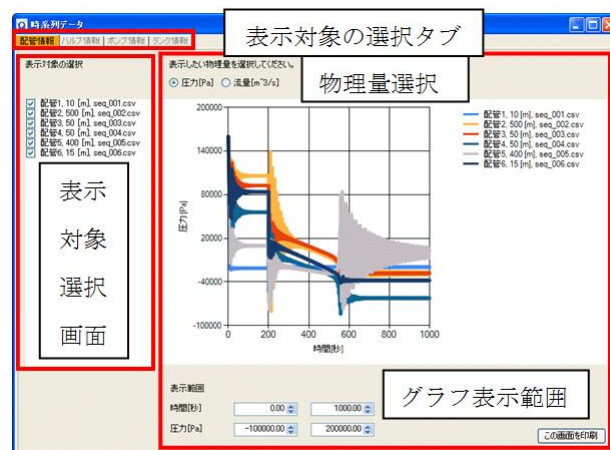


図 9 Advance/FrontNet/Ω の時系列グラフ

3.2. Advance/FrontNet/Γ Ver. 2.0 の例

3.2.1. 画面構成

図 10 は、Advance/FrontNet/Γの管路モデル作成タブの画面構成である。破線の枠内は管路系を構築するためのアイコンウィンドウ、実線枠内は「管路系設定シート」であり、アイコンウィンドウから管路系設定シートにアイコンをドラッグ&ドロップして管路系の接続関係を構築する。

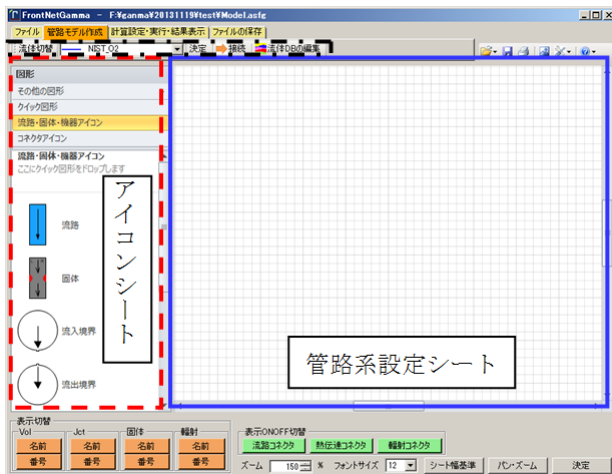


図 10 Advance/FrontNet/Γ の画面構成

3.2.2. ソルバー定義点

ソルバー内では、体積が定義されるボリューム（GUI内では Vol と表示）と、体積が定義されないジャンクション（GUI内では Jct と表示）によって流体の流れが構築される(図 11)。既出(図 4)の Advance/FrontNet/Ω と同様に、ボリュームは内部分割される。

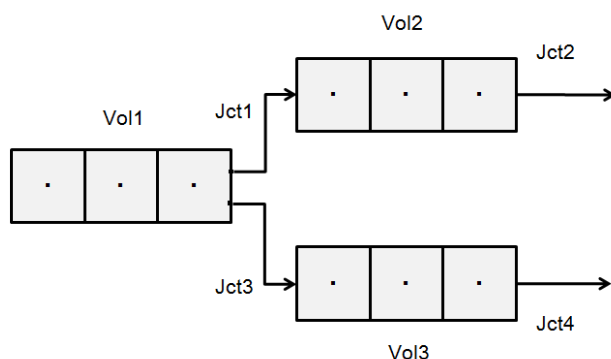


図 11 Advance/FrontNet/Γ の Vol と Jct

構造物は固体(GUI内では Sld と表示)という概念で定義され、左側と右側の概念を持つ。また、形状は平板と円筒の 2 種類の形状を持つ。平板の

場合は平板に対する熱伝導方程式が解かれ、円筒の場合は円筒に対する熱伝導方程式が解かれる。図 12 に板型固体と流体の伝熱機構の接続例を示す。固体は材質の異なる二層からできており、固体左側で流体と熱伝達をしている。固体右側でも流体と熱伝達をしている。固体の内部は平板に対する温度分布が仮定される。図 13 に円筒型固体と流体の伝熱の例を示す。固体左側は円筒の中心側に定義される。固体右側は円筒の外側に定義され、それぞれ流体と熱伝達をする。固体は材質の異なる二層からできており、固体内部は円筒に対する温度分布が仮定される。

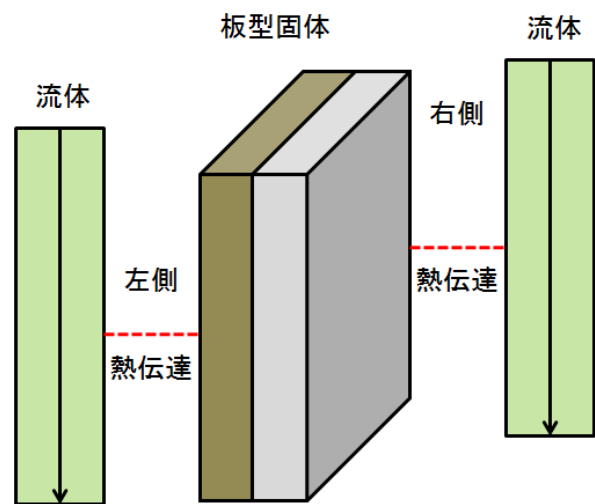


図 12 板型固体と流体の熱伝達

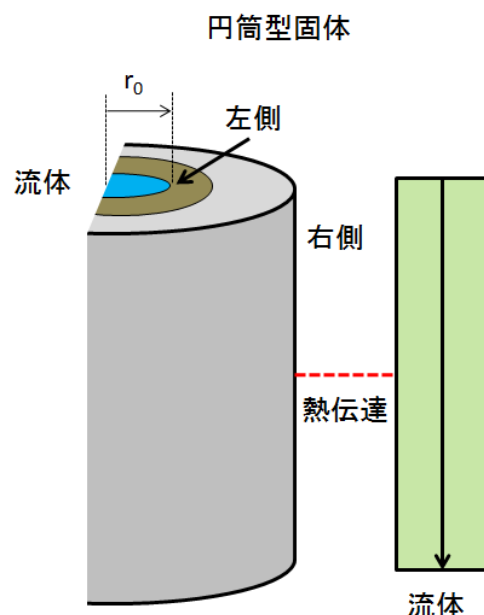
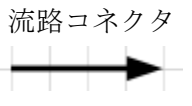
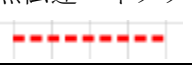
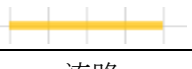
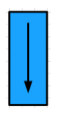
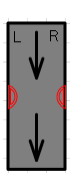
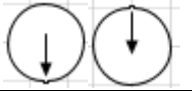
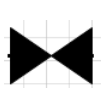
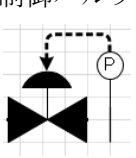
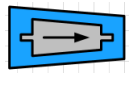


図 13 円筒型固体と流体の熱伝達

3.2.3. アイコン

表 4 に各アイコンの意味をまとめる。

表 4 Advance/FrontNet/ Γ のアイコン

アイコン	説明
	流体（流路）の接続関係を表す。ソルバー内ではジャンクションを表す。
	流体と固体の熱伝達の接続関係を表す。
	固体と固体の間の輻射の接続関係を表す。
	流れ（流体および流路）を表す。ソルバー内ではボリュームとして定義される。
	固体を表す。左側と右側の概念を持ち、流路と熱伝達接続することができる。固体と輻射接続することができる。
	流体の境界条件を表す。ソルバー内ではボリュームとして定義される。
	バルブを表す。開度に応じて径および圧力損失が変化する。ソルバー内ではジャンクションとして定義される。
	制御バルブを表す。制御系に従い指示開度を変化させる。ソルバー内ではジャンクションとして定義される。
	タービンを表す。流体に仕事をされ、減圧する。ソルバー内ではボリュームとして定義される。
	送風機を表す。流体に仕事を与え、昇圧する。ソルバー内ではボリュームとして定義される。

3.2.4. 接続関係

アイコンを用いて接続関係を構築する。図 14 は、分岐のある管路のモデルの例である。Vol 番号および Jct 番号が自動で振られる。

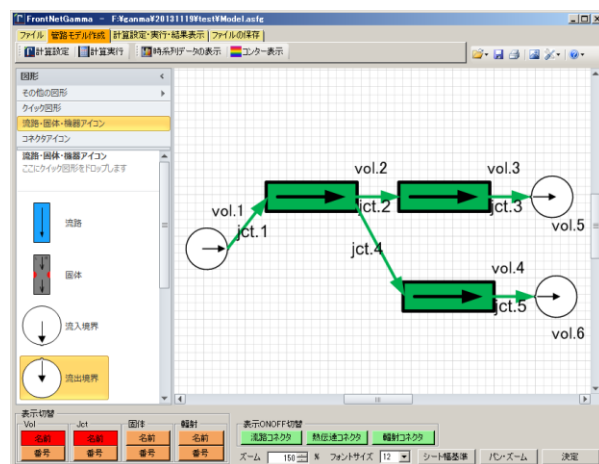


図 14 Advance/FrontNet/ Γ の分岐のある管路

図 15 は、流路アイコン、固体アイコン、熱伝達コネクタを用いた管路モデルの例である。異なる流体の流れる流路は異なる色で表示される。この計算モデルでは、アイコンとして流路アイコン 1 つを用いているが、流路直径と等価直径として異なる値を用いることにより、図 16 のようなシェルチューブ型熱交換器を表すことができる。ここで、チューブ側の流路直径は細管の本数分の流路面積に相当するものを与える。等価直径は細管の直径を与え、実際の細管の圧力損失を模擬する。シェル側も同様の扱いをする。

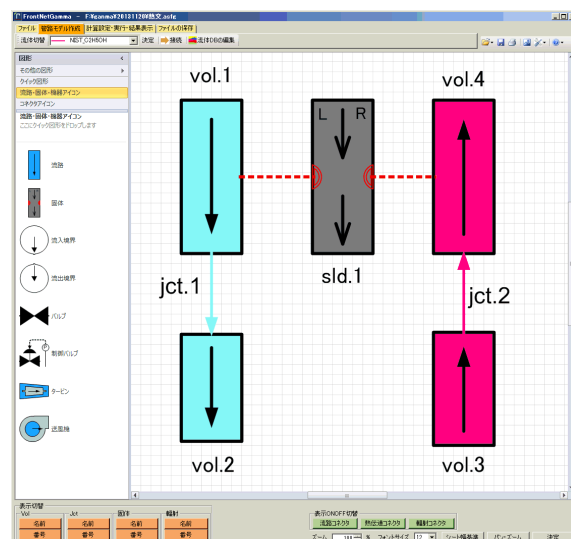


図 15 流体と熱伝達、熱伝導のモデル例

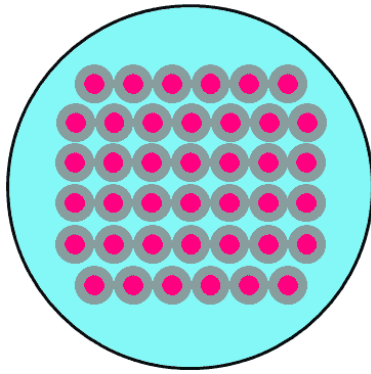


図 16 熱交換器の流路

3.2.5. 計算設定

計算条件の設定は図 17 の計算設定ウィンドウで行う。図 17 において、実線の枠で囲った部分が誘導設定項目である。主要設定項目の内容は、表 5 の通りである。

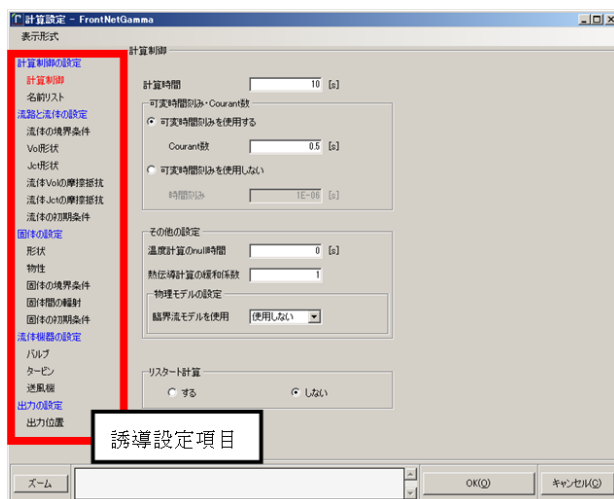


図 17 Advance/FrontNet/Γ 計算設定ウィンドウ

表 5 Advance/FrontNet/Γ 主要設定項目

項目	区分	主要設定内容
計算制御 の設定	計算制御	計算や再計算など計算制御
	名前 リスト	Vol, Jct, Sld に名前を 設定
流路と流 体の設定	流体の境 界条件	流量、圧力、温度、モル 分率の各境界条件
	Vol 形状	メッシュ分割と長さ、等 価直径と流路直径
	流体の摩 擦抵抗	管摩擦モデル、局所損失 係数

固体の形 状	形状	固体の形状（円筒/板）、 長さや層の数、固体の径 方向の厚みと分割数
	物性	固体各層の物性設定
	固体の境 界条件	固体の左側と右側の境 界条件の設定、固体の発 熱密度の設定
流体機器 の設定	バルブ	開度 100%時の直径 開度と Cv 値
	制御 バルブ	開度 100%時の直径、初 期開度、開度と Cv 値 計測器の設定、制御系の パラメータ
	タービン	定格値、タービン効率
	送風機	ファン効率、性能曲線

3.2.6. 計算実行

図 18 は、Advance/FrontNet/Γ の計算実行画面である。計算のログが画面中央部に、全体計算の進捗状況をバー表示で確認することができる。

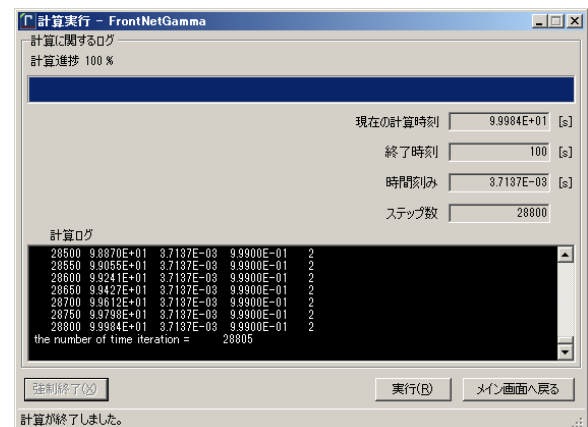


図 18 Advance/FrontNet/Γ の計算実行

3.2.7. 結果表示

結果表示機能はグラフ表示とコンター表示の 2 通りから選択できる。図 19 はグラフ表示の例である。指定位置での物理量の時間変化を確認できる。

図 20 は圧力のコンター表示、図 21 は流量のベクトル表示の例である。解析結果のコンター表示はモデル全体の物理量を見たい場合に有用である。図 22 は、圧力のコンターのアニメーションである。これは図 20 の圧力のコンターより、VTK ファイルを出力し、フリーの可視化ソフトウェア ParaView[2]で読み込み、avi 形式の動画フ

ファイル出力したものである。出力した動画ファイルは、図 22 のように Windows Media® Player など、一般的な動画再生ソフトで再生可能である。

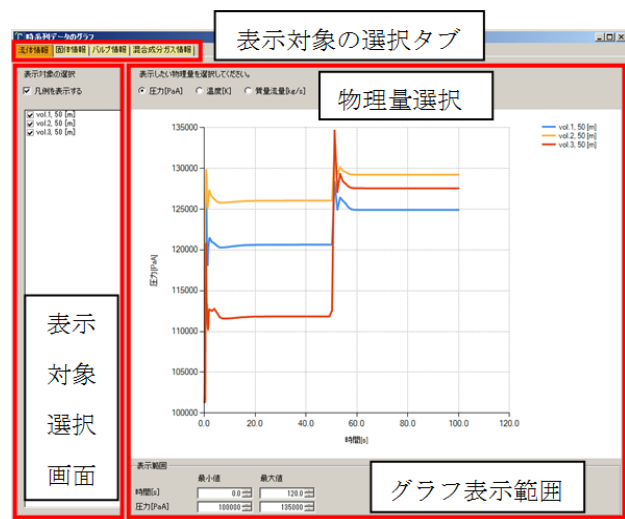


図 19 Advance/FrontNet/Γの時系列データ画面

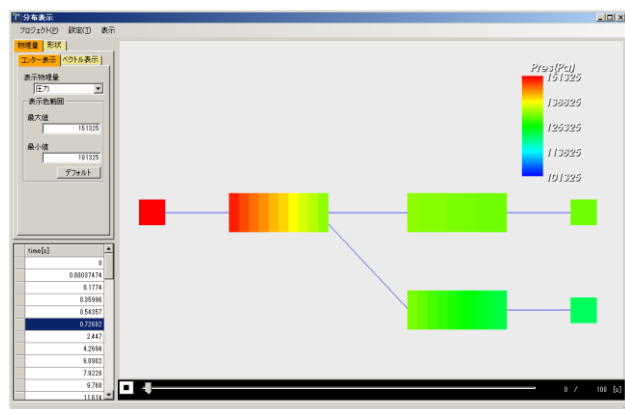


図 20 Advance/FrontNet/Γの圧力のコンター図

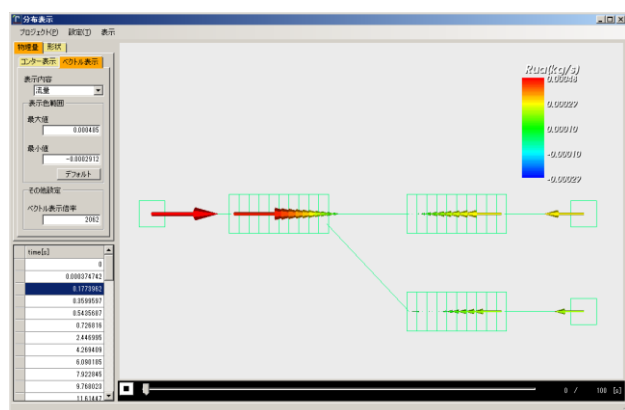


図 21 Advance/FrontNet/Γの流量のベクトル図

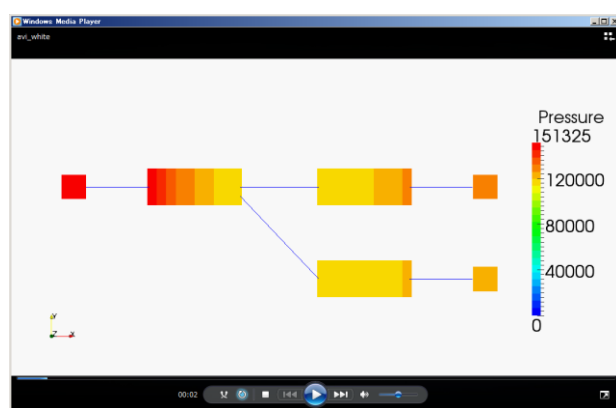


図 22 Advance/FrontNet/Γのアニメーション

4. 管路流体解析専用 GUI の開発

アドバンスソフト株式会社では管路系流体解析専用 GUI を自社開発しているが、開発で特に工夫している点や課題について以下にまとめる。

4.1. 特に工夫している点

管路系流体解析専用 GUI では、モデル作成のしやすさに重点を置いて開発している。例えば、計算設定画面において配管ごとに配管長や材質などを設定する際、選択している配管をモデル上でハイライト表示し、ユーザーにどの配管に設定しているのか分かりやすくしている。計算設定の入力項目では、エラーチェック機能を充実させている。例えば、計算時間などの正の数しか入らない箇所に負の値を入れた場合や、入力漏れなどのミスに対し、入力ミスのあるセルの背景を赤くすると共に「計算時間を 0 より大きな実数を設定して下さい。」などのエラーメッセージを表示させ、ユーザーが正しく解析できるように注意を促している (図 23)。

設定値には、デフォルト値を設けており、入力値の参考とすることができる。ただし、デフォルト値が存在するということは、ユーザーが真に設定したい値を入力せずにデフォルト値のまま先へと進んでしまう、“入力漏れ”が起こるリスクがあった。そこで Advance/FrontNet/Γ Ver. 2.0 の計算設定では、デフォルト値とユーザー入力値との文字を別の色で表示する機能を導入した。ユーザー入力値の色をデフォルト値と別の色とすることによって、入力漏れリスクを軽減している (図 24)。

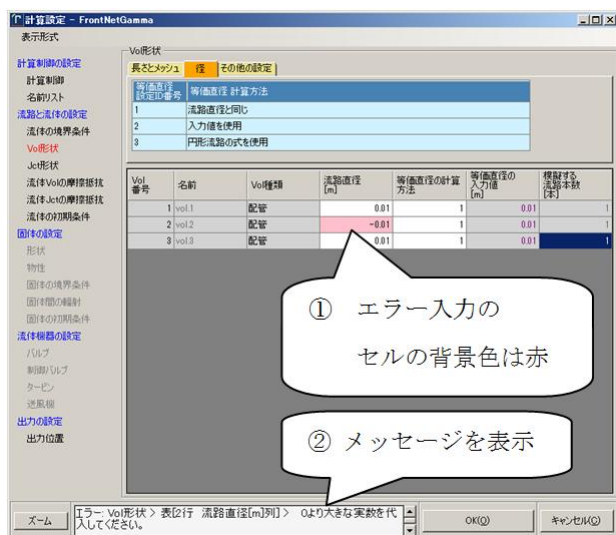


図 23 エラーチェック機能の例

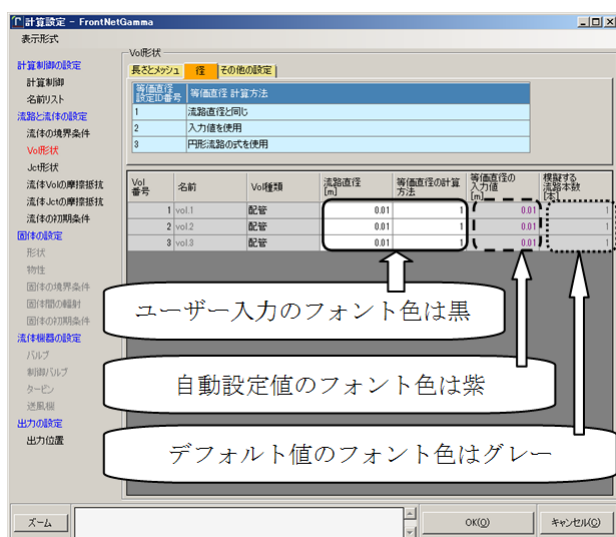


図 24 デフォルト値と入力値の判別例

Advance/FrontNet/ΓではVer. 1.0で大規模モデル適用時に処理速度に問題が出たことから、Ver. 1.4以降、特に高速化を意識して開発している。Advance/FrontNet/Γ Ver. 2.0では、マルチスレッドの利用やファイルからの読み込み処理を工夫することによって旧バージョンより最大で36倍の処理速度を実現している。

さらに、ユーザーからの個別要望に対応すべく、カスタマイズ時の汎用および専用性を意識した設計に力を入れている。

4.2. 現在の GUI の課題

アドバンスソフト株式会社の管路系流体解析

専用 GUI は、接続関係構築部分に Microsoft®Visio®を利用して開発している。表 6 に Microsoft®Visio®を使用する際のメリット・デメリットをまとめる。Microsoft®Visio®を利用することで、操作性や外観の向上が図られており、また、開発期間も短縮できたが Microsoft®Visio®の購入が必要になる点がデメリットである。また、Microsoft®Visio®側の制約により、処理速度の問題や、自由に機能を実装できない問題などが起きている。将来的には Microsoft®Visio®に相当する部分の自社開発も視野に入れる必要があると考えている。

表 6 Microsoft®Visio®を使用することの
メリット・デメリット

メリット
・ Windows®の操作に慣れている人が使いやすい ・ 画面の見栄えがよい ・ GUI の開発期間の短縮
デメリット
・ 導入に Visio®の購入が必要（有償） ・ Visio®の機能により GUI の機能や性能に制限がかかる

5. 今後の開発計画

今後の GUI の開発では、さらなる機能の充実や、ユーザーフレンドリー性の向上を目指していく。今後の Advance/FrontNet/Ω GUI の開発予定項目を表 7 にまとめた。現在の平面図表示とアイソメ図表示の切り替えがあるとユーザーにとって便利である。また、現在はユーザーの数値入力設定となっている配管形状等をデータベースから選択できるようにしていく。ソルバー実行機能では、あるパラメータの最大最小値とその振りを設定し、GUI 上で複数回実行し、パラメータ感度を調べる「パラメータスイープ実行機能」の実装も検討している。

Advance/FrontNet/Γ GUI の開発予定項目を表 8 にまとめた。Advance/FrontNet/Ω GUI と重複する機能もあるが、特に 1 つのアイコンに複数

のアイコンの意味を持たせた複合アイコン機能の実装を予定している。Advance/FrontNet/Γでは、流路と構造物間の熱のやりとりを考慮するが、現在は流路アイコンと構造物（固体）アイコンは独立して設定し、接続する。複合アイコンとは、予め流路アイコンと固体アイコンが接続された状態となっているものを意味する。

表 7 Advance/FrontNet/Ω GUI 開発予定項目

分類	開発予定項目
接続/ アイコン	・アイソメ表示
入力設定 支援	・配管形状やバルブ等のデータベース参照による入力設定、データベースの充実
ソルバー 実行	・パラメータスイープ実行機能
可視化	・コンター表示機能の追加 ・動画機能の追加 ・計算実行中の数値表示、グラフ表示、アイコンによる物理量表現（バルブ開度、タンク液位等）
サマリー	・計算結果のサマリー表示

表 8 Advance/FrontNet/Γ GUI 開発予定項目

分類	開発予定項目
接続/ アイコン	・アイソメ表示 ・熱伝導を考慮する配管や、熱交換器の複合アイコン表示 ・熱交換器やバルブのデータベース化
入力設定 支援	・配管形状やバルブ等のデータベース参照による入力設定、データベースの充実
ソルバー 実行	・パラメータスイープ実行機能
可視化	・計算実行中の数値表示、グラフ表示、アイコンによる物理量表現（バルブ開度等）
サマリー	・計算結果のサマリー表示

6. まとめ

アドバンスソフト株式会社で開発している管

路系流体解析ソフトウェア専用 GUI の機能とモデリング方法について紹介した。本記事では GUI の表現方法の説明を通して、その裏にあるソルバーの考え方を説明している。

今後の GUI の課題については優先度をつけて、随時対応していく予定である。

参考文献

- [1] アドバンスソフト株式会社ホームページ,
http://www.advancesoft.jp/product/advance_frontnet/
- [2] ParaView ホームページ,
<http://www.paraview.org/>
(ウェブアドレスは 2013 年 11 月時点。)

他社商標

- ・ Microsoft, Windows, Office, Visio, Windows Media は、米国 Microsoft Corporation の、米国およびその他の国における Microsoft Corporation の登録商標または商標です。
- ・ Intel, Pentium は、米国およびその他の国における Intel Corporation の商標です。

※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。）