

オンラインセミナー 管路系流体解析「超」難問セミナー ～超臨界、超高压-超低压、大規模モデルを 扱う管路系シミュレーション～

2025 年12 月11日(木)開催

プログラム

1. アドバンスソフト株式会社のご紹介 主催者あいさつ 1
2. 管路系流体解析「超」難問セミナー 5
 - 超臨界、超高压-超低压、大規模モデルを扱う管路系シミュレーション
 - a. 物性値の急変や熱伝達特性の特異性を伴う超臨界圧領域から亜臨界圧領域への遷移
 - b. 複雑な状態方程式による実在流体の熱力学物性
 - c. 圧縮性、臨界流れ、分子流領域などの考慮が必須の超高压から超低压（高真空）へ
 - d. 大規模連立方程式の解法、大幅な計算コスト、計算コストと相反する計算安定性の確保などを必要とする大規模複雑管路ネットワーク
3. 価格と関連サービスのご紹介 30

AdvanceSoft



アドバンスソフト株式会社のご紹介

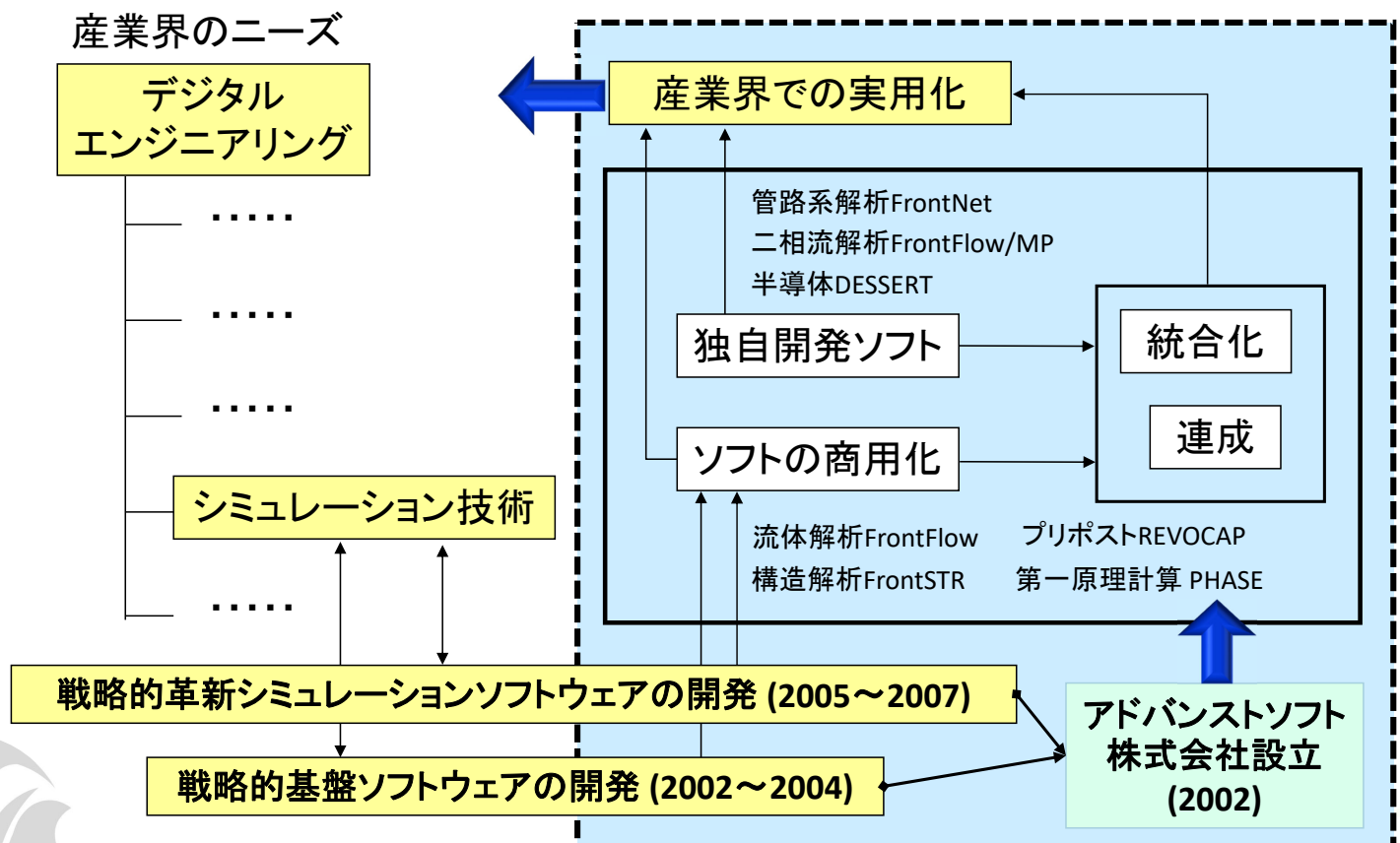
管路系流体解析「超」難問セミナー
超臨界、超高压-超低压、大規模モデルを扱う管路系シミュレーション

2025年12月11日（木）
アドバンスソフト株式会社

Copyright ©2025 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

1

アドバンスソフトとは

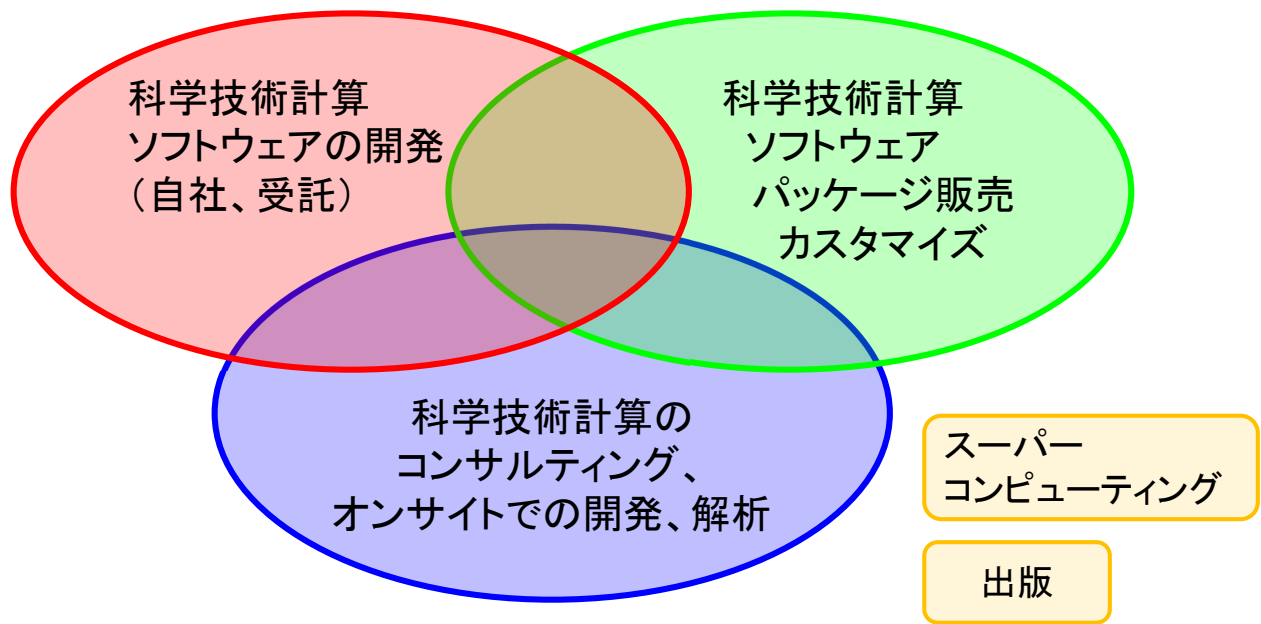


Copyright ©2025 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.



事業内容

アドバンスソフトがご提供するサービス



科学技術計算ソフトウェアの開発を基礎とした、
科学技術計算に関する様々なソリューションをご提供します。



アドバンスソフトの特徴

- ・ シミュレーションソフトウェアの開発力
 - 自社でソースコードを所有し、事業化
 - ニーズに対し自社でカスタマイズが可能
 - 計算原理とその限界を熟知した技術者



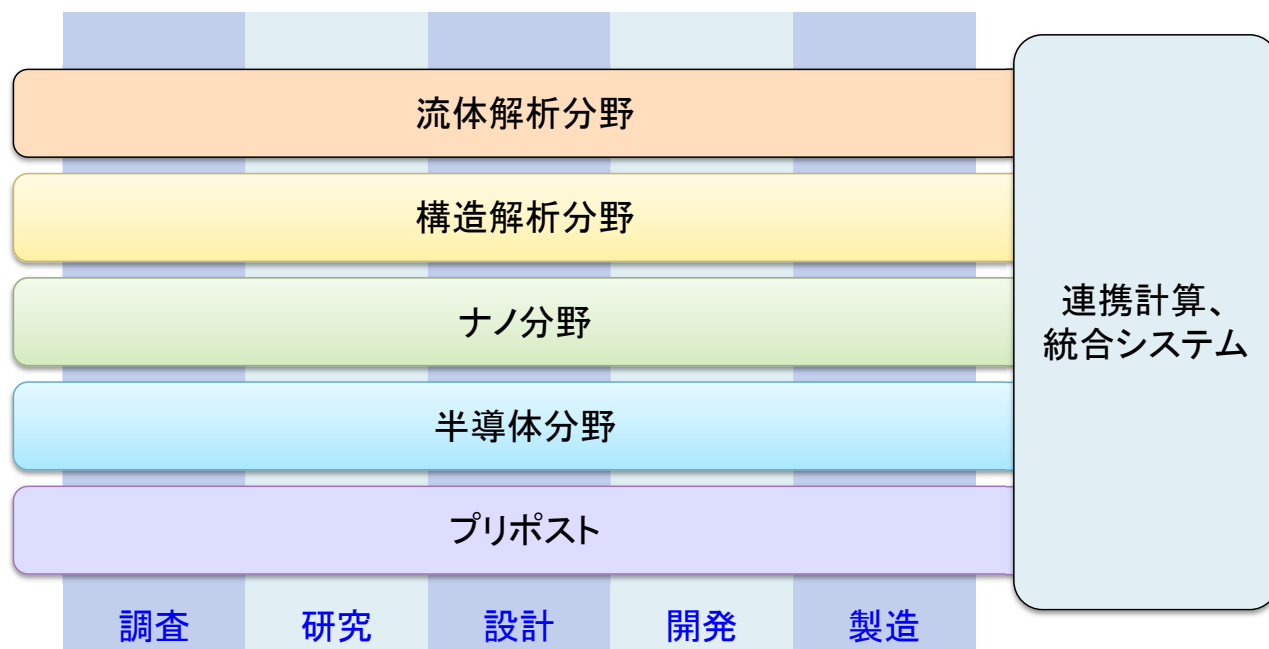
✓ 幅広い分野

- ナノから構造・流体分野の幅広い技術
- 製造業・原子力から材料・半導体産業までの幅広いニーズに対応
- お客様に多種多様な提案が可能

```

eps=1.0d-10
do i=1,nbc1
  do j=numbc(i),numbc(i+1)-1
    if (indbc(1,j)).lt.nesta.or.indbc(1)
      if (abs(bcval(3,i)).le.eps.and.abs(
    else
      do k1=1,3
        do k2=1,3
          xx(k2,k1)=xpos(k2,ielm(i)
          xx(k2,k1)=xpos(k2,ibcelm(i)
        end do
      end do
      area=area3d(xx)
      qcoef1=area/12.0d0*cp1x(bcval(1
      /cp1x(bcval(3,i),bcval(4,
      qcoef2=area/3.0d0*cp1x(bcval(5,
      /cp1x(bcval(3,i),bcval(4,
    do k1=2,4
      inode=ielm(indbc(k1,j),indl
      abvec(inode)=abvec(k1,j),j)
      do k2=2,4
        inode=ielm(indbc(k2,j),ii
        inode=ibcelm(indbc(k2,j),j)
        ofac=acoeff1
  
```

事業分野



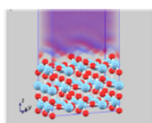
産業の主要な分野のあらゆるフェーズで直面する課題に対し、科学技術計算によるソリューションをご提供します。

ソフトウェアご紹介

第一原理計算ソフトウェア

Advance/PHASE

密度汎関数理論に基づき、物質の性質を原子・分子レベルから解析する第一原理計算ソフトウェアです。



ナノ材料

GUI 付属

ナノ材料解析統合 GUI

Advance/NanoLabo

材料解析ソフトウェア QuantumESPRESSO と LAMMPS に対応した統合 GUI です。



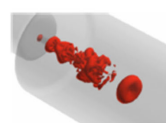
ナノ材料

プリポスト

流体解析ソフトウェア

Advance/FrontFlow/red

非圧縮性から圧縮性流れまで、広範囲で複雑な流れに対応した汎用 3 次元流体解析ソフトウェアです。

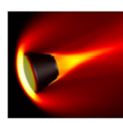


流体

圧縮性流体解析ソルバー

Advance/FOCUS-i

非構造格子に対応した圧縮性流体解析ソルバーです。特に超音速や超音速の流れに適しており、高い並列化効率で計算出来ます。

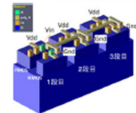


流体

大規模 3 次元 TCAD システム

Advance/TCAD

超微細半導体デバイスからパワーデバイスまで、高度な機能と使いやすい GUI を備えた 3 次元 TCAD システムです。



半導体デバイス

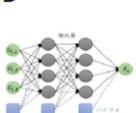
GUI 付属

ニューラルネットワーク

分子動力学システム

Advance/NeuralMD

Neural Network Potential に基づいた分子動力学のソフトウェアです。第一原理計算の結果を教師データとして分子力場を作成します。



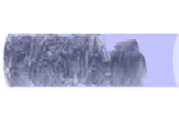
ナノ材料

AI・機械学習

気液二相流解析ソフトウェア

Advance/FrontFlow/MP

沸騰と凝縮を伴う気液二相流の流動特性や伝熱特性を 3 次元で解析するソフトウェアです。

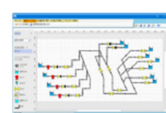


流体

管路系流体過渡解析ソフトウェア

Advance/FrontNet

配管や流体機器から成る管路系内流体に対する 1 次元過渡解析の実用的なソフトウェアです。



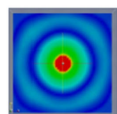
流体

GUI 付属

大規模電磁波解析ソフトウェア

Advance/ParallelWave

マクスウェル方程式を FDTD 法で 3 次元に解く電磁波解析ソフトウェアです。アンテナの電波解析から光の干渉や回折を考慮した光波解析まで幅広く適用できます。

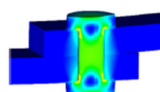


光波・電磁波

構造解析ソフトウェア

Advance/FrontSTR

固体の変形や熱伝導を、有限要素法を用いた 3 次元で解析するソフトウェアです。

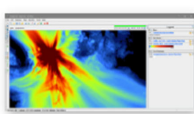


構造

大気拡散影響予測システム

Advance/Emerg

大気拡散物質の挙動予測と影響評価のためのソフトウェアシステムです。



流体

GUI 付属

深層学習用ツール

Advance/iMacle

機械学習のうち、ニューラルネットワークによる深層学習に特化、最小限の機能に絞り込んだ比較的軽いツールです。

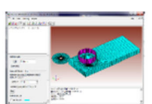


AI・機械学習

汎用プリポストプロセッサ

Advance/REVOCAP

解析の一連の流れをスムーズに行う事を実現した汎用プリポストプロセッサです。

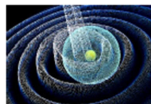


プリポスト

音響解析ソフトウェア

Advance/FrontNoise

環境騒音、機器内の共鳴等における音場を有限要素法を用いた 3 次元で解析するソフトウェアです。



音響

自社による開発（国プロ含む）

開発チームによる質の高いサポートサービス

カスタマイズや機能追加も応相談

並列数無制限（追加料金なし）

ソフトウェアの解析事例

解析事例Webページをご覧ください。

アドバンスソフト 事例集

検索

<http://case.advancesoft.jp>

- ソフトウェア名からだけでなく、産業分野別、解析分野別の検索が可能となりました。
- 最新の事例を掲載しました。今後も逐次最新事例を紹介します。

産業分野別	解析分野別
自動車・運輸	流体
材料・化学	爆発・燃焼
産業機械	構造
航空宇宙	振動音響
エレクトロニクス	ナノ・バイオ
建設土木	プリポスト
原子力	半導体デバイス
エネルギー	光・電磁波
環境・防災	

facebook、YouTubeでも関連記事を掲載中

<http://www.facebook.com/advancesoft.jp>

<http://www.youtube.com/user/advancesoft>





超臨界、超高压－超低压、大規模モデルを扱う管路系シミュレーション

管路系流体解析「超」難問セミナー

2025年12月11日（木）

アドバンスソフト株式会社

2025年12月11日

Copyright©2025 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

1

内容

http://www.advancesoft.jp/

AdvanceSoft



1. はじめに
2. 計算に用いた解析ソフトウェアの概要
 - 2.1 Advance/FrontNet/Γの概要
 - 2.2 Advance/FrontNet/Γの解析機能
 - 2.3 Advance/FrontNet/Γの基礎方程式
 - 2.4 大規模解析や難易度高の解析のための数値計算上の工夫
3. 状態方程式による実在流体の熱力学物性
4. 超臨界圧領域から亜臨界圧領域へ遷移の計算例
5. 超高压から超低压への計算例
6. 大規模複雑管路ネットワークの計算例

2025年12月11日

Copyright©2025 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

2

1. はじめに

本セミナーでは「管路系流体解析『超』難問セミナー」と題し、従来の解析アプローチでは困難な高度に複雑かつ非線形な管路系流体解析に焦点を当て、数値計算上の stiffness やプログラミング上の実装の複雑性などによってシミュレーションにおける安定性・収束性の確保が極めて困難となる事例として以下のキーワードに関連する技術的課題をピックアップして取り上げる。

- A) 物性値の急変や熱伝達特性の特異性を伴う超臨界圧領域から亜臨界圧領域への遷移
- B) 複雑な状態方程式による実在流体の熱力学物性
- C) 圧縮性、臨界流れ、分子流領域などの考慮が必須の超高圧から超低压（高真空）へ
- D) 大規模連立方程式の解法、大幅な計算コスト、計算コストと相反する計算安定性の確保などを必要とする大規模複雑管路ネットワーク

これらの「超」難問に対し、適切な基礎方程式系の定式化、数値解法（陰解法/陽解法、離散化スキーム、安定化手法）、および効率的なシミュレーション技術（解法アルゴリズム、物性値の計算方法など）について、具体的なアプローチを解説する。さらに、以上に関連した計算例を取り上げ、解析モデルや解析方法の他、計算上の工夫や注意点なども紹介する。ただし、時間の制約や設定の困難さから、ここに取り上げた事柄すべてが網羅できていないことをお断りしておく。

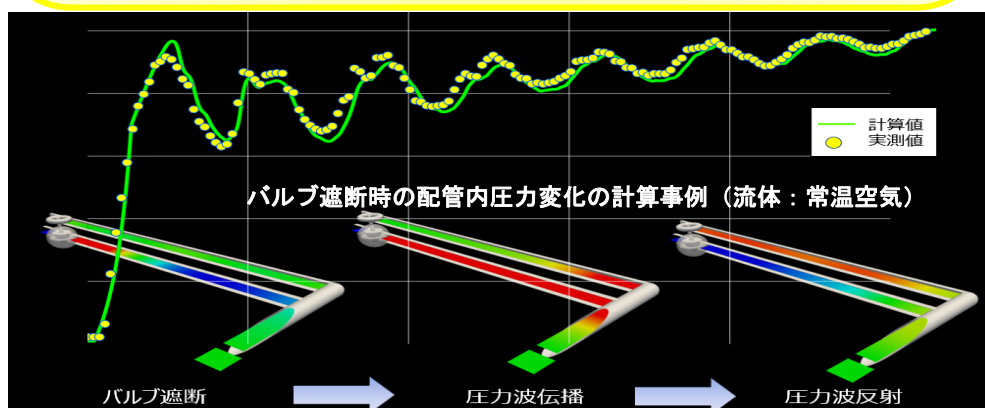
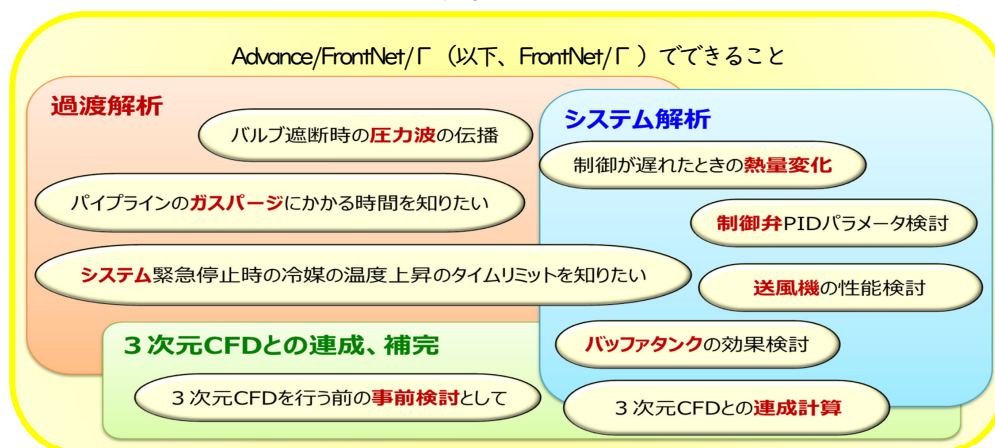
2025年12月11日

Copyright©2025 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

3

2. 計算に用いた解析ソフトウェアの概要

2.1 Advance/FrontNet/Γの概要



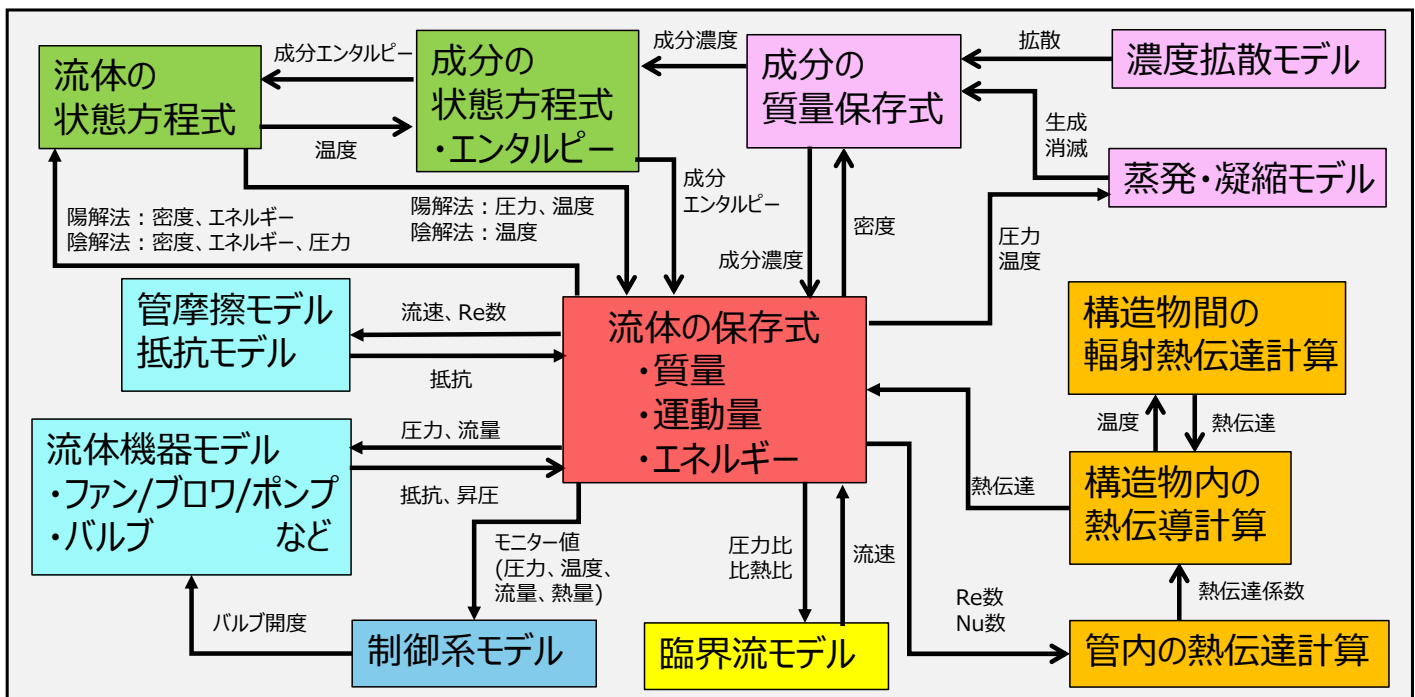
2025年12月11日

Copyright©2025 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

4

2. 計算に用いた解析ソフトウェアの概要

2.2 Advance/FrontNet/Γの解析機能



2025年12月11日

Copyright©2025 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

5

2. 計算に用いた解析ソフトウェアの概要

2.3 Advance/FrontNet/Γの基礎方程式

(1) 質量保存式

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot \rho u = S_\rho$$

(2) 運動量保存式

$$\frac{\partial \rho u}{\partial t} + \nabla \cdot \rho u u = -\nabla p - \rho g + S_{\rho u}$$

(3) エネルギー保存式

$$\frac{\partial E}{\partial t} + \nabla \cdot \left(\frac{E + p}{\rho} \right) \rho u = S_E$$

(4) 成分ガス濃度の質量保存式

$$\frac{\partial \rho Y_p}{\partial t} + \nabla \cdot \rho u Y_p = \nabla \cdot \left(\rho D_{pq} + \frac{\mu_t}{\sigma_c} \right) \nabla Y_p + S_p$$

ρ :密度、 t :時間、 u :流速ベクトル、 p :圧力、 g :重力加速度、 E :全エネルギー、 T :温度、 Y_p :成分ガス濃度、 $S_\rho, S_{\rho u}, S_E, S_p$:各保存式の生成消滅項

2025年12月11日

Copyright©2025 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

6

2. 計算に用いた解析ソフトウェアの概要

2.4 大規模解析や難易度高の解析のための数値計算上の工夫

(1) 運動量保存式の対流項の離散化

$$\begin{aligned}\frac{\partial \rho u A}{\partial V} &= \frac{(\rho u)_p A_p - (\rho u)_m A_m}{\Delta V} \\ &= \frac{(\rho u)_p u_p A_p - (\rho u)_m u_m A_m}{A_x \Delta x} \\ &= \frac{(\rho u)_p u_p \left(\frac{A_i}{A_p}\right) - (\rho u)_m u_m \left(\frac{A_j}{A_m}\right)}{\Delta x}\end{aligned}$$

ここで、

$$\frac{A_p}{A_x} = \frac{A_i}{A_p} \quad \frac{A_m}{A_x} = \frac{A_j}{A_m} \quad (\text{台形相似則より})$$

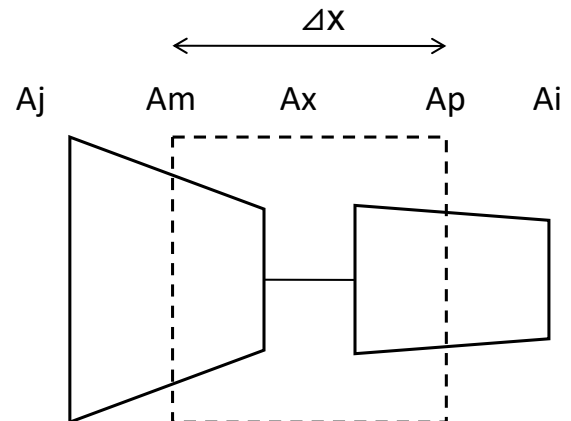
$$(\rho u)_p = \begin{cases} \rho_p u_x, & u_p \geq 0.0 \\ \rho_p u_i, & u_p < 0.0 \end{cases}$$

$$(\rho u)_m = \begin{cases} \rho_m u_j, & u_m \geq 0.0 \\ \rho_m u_x, & u_m < 0.0 \end{cases}$$

2025年12月11日

Copyright©2025 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

7



2. 計算に用いた解析ソフトウェアの概要

2.4 大規模解析や難易度高の解析のための数値計算上の工夫

(2) 運動量束における密度の取り扱い

運動量束 $(\rho u)_{j+1/2}$ から流速 $u_{j+1/2}$ を求める場合、格子中心で定義されている密度から格子面の密度 $\rho_{j+1/2}$ を流れの状態により次のように求めることが勧められる。

$$u_{j+1/2} = (\rho u)_{j+1/2} / \rho_{j+1/2}$$

a) 高速流れの場合(中央差分的な扱い)

$$\rho_{j+1/2} = 0.5 * (\rho_j + \rho_{j+1})$$

これにより後述の空間的に奇異な分布となることを避けることができる。また、比較的安定な計算が行える。

低速流れで適用すると空間的に**チェッカーボード**的な結果となり、それが圧力振動を引き起こし計算不安定性を招く場合がある。

b) 低速流れの場合(上流差分的な扱い)

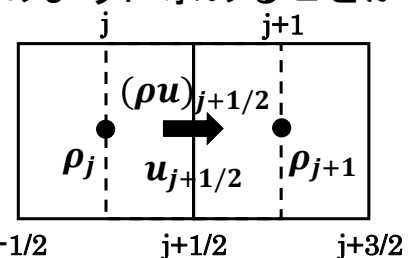
$$\rho_{j+1/2} = \rho_j \max[0, \text{sign}\{1, +(\rho u)_{j+1/2}\}] + \rho_{j+1} \max[0, \text{sign}\{1, -(\rho u)_{j+1/2}\}]$$

これにより前述の**チェッカーボード**的な結果が避けられ、計算安定性が保たれる。高速流れに適用すると空間的に奇異な分布となることがあり、場合に寄っては計算できないことがある。

2025年12月11日

Copyright©2025 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

8





2. 計算に用いた解析ソフトウェアの概要

2.4 大規模解析や難易度高の解析のための数値計算上の工夫

(3) 多段階法による計算安定化と計算精度向上

① 予測子修正子法(陽解法)

陽解法において、計算精度向上のために予測子修正子法を用いる。また、単純なEuler陽解法に比べてCourant数が1.0ギリギリでも安定に計算できる。予測子修正子法においては次のように各保存式に対して**2段階の計算**を行う。なお、圧力は得られた密度とエネルギーから状態方程式を用いて求める。

(a) 予測子の計算

$$\tilde{\rho}^{n+1} = \rho^n - \left(\frac{\partial(\rho u)}{\partial x} \right)^n \Delta t \quad (\text{質量保存式})$$

$$(\tilde{\rho} \tilde{u})^{n+1} + \frac{1}{2} \frac{K_{wall}}{L} 2(\tilde{\rho} \tilde{u})^{n+1} |\tilde{u}^n| \Delta t = (\rho u)^n + \left\{ - \left(\frac{\partial \rho u u}{\partial x} + \frac{\partial p}{\partial x} \right)^n + \frac{1}{2} \frac{K_{wall}}{L} (\rho u)^n |\tilde{u}^n| - \rho^n g \sin \theta + F^n \right\} \Delta t \quad (\text{運動量保存式})$$

$$\tilde{E}^{n+1} = E^n + \left\{ - \frac{\partial(E+p)u}{\partial x} + \frac{\lambda A(T_w - T_f)}{V} \right\}^n \Delta t \quad (\text{エネルギー保存式})$$

2025年12月11日

Copyright©2025 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

9



2. 計算に用いた解析ソフトウェアの概要

2.4 大規模解析や難易度高の解析のための数値計算上の工夫

(3) 多段階法による計算安定化と計算精度の向上

(b) 修正子の計算

予測子の計算結果($\tilde{\rho} \tilde{u}$ 、 $\tilde{E}$ などの変数)を用いて次のように修正子の計算を行う。

$$\rho^{n+1} = \rho^n - \left(\frac{\partial(\tilde{\rho} \tilde{u})}{\partial x} \right)^n \Delta t \quad (\text{質量保存式})$$

$$(\rho u)^{n+1} + \frac{1}{2} \frac{K_{wall}}{L} 2(\rho u)^{n+1} |\tilde{u}^{n+1}| \Delta t = (\rho u)^n + \left\{ - \left(\frac{\partial \tilde{\rho} \tilde{u} \tilde{u}}{\partial x} + \frac{\partial \tilde{p}}{\partial x} \right)^{n+1} + \frac{1}{2} \frac{K_{wall}}{L} (\tilde{\rho} \tilde{u})^{n+1} |\tilde{u}^{n+1}| - \tilde{\rho}^{n+1} g \sin \theta + \tilde{F}^{n+1} \right\} \Delta t \quad (\text{運動量保存式})$$

$$E^{n+1} = E^n + \left\{ - \frac{\partial(\tilde{E} + \tilde{p})^{n+1} \tilde{u}^{n+1}}{\partial x} + \frac{\lambda^n A(T_w - T_f)}{V} \right\} \Delta t \quad (\text{エネルギー保存式})$$

2025年12月11日

Copyright©2025 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

10



2. 計算に用いた解析ソフトウェアの概要

2.4 大規模解析や難易度高の解析のための数値計算上の工夫

(3) 多段階法による計算安定化と計算精度の向上

② SETS(Stability Enhancing Two Step Method)法(陰解法)(注)

文字通り1タイムステップの**計算を2段階**で行うことによって計算の安定化を図っており、計算条件によっては数百、数千のCourant数でも計算可能な方法である。

1タイムステップの計算は**安定化ステップ**(Stabilizer Step)と**基本ステップ**(Basic Step)に分かれ、次の手順で計算を行う。

(a) 運動量保存式の安定化式の計算(安定化ステップ)

$$\frac{(\bar{\rho}u)_{j+1/2}^{n+1} - (\rho u)_{j+1/2}^n}{\Delta t} + \frac{(\bar{\rho}u)_{j+1}^{n+1}u_{j+1}^n - (\bar{\rho}u)_j^{n+1}u_j^n}{\Delta x_{j+1/2}} + \frac{p_{j+1}^n - p_j^n}{\Delta x_{j+1/2}} + \frac{1}{2} \frac{K_{j+1/2}^n}{L_{1+1/2}} [2(\bar{\rho}u)_{j+1/2}^{n+1} - (\rho u)_{j+1/2}^n] |u_{j+1/2}^n| - \rho_{j+1/2}^n g \sin \theta_{j+1/2} - F_{j+1/2}^{n+1} = 0$$

上式を運動量束の予測値 $(\bar{\rho}u)_{j+1/2}^{n+1}$ に関する連立方程式としてBiCGStab法などによる行列計算を用いて解く。

(注) J. H. Mahaffy, "A stability enhancing two-step method for one-dimensional two-phase flow", Los Alamos Scientific Laboratory Report LA-7951-MS, US Nuclear Regulatory Commission Report NUREG/CR-0971 (1979).

2025年12月11日

Copyright©2025 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

11



2. 計算に用いた解析ソフトウェアの概要

2.4 大規模解析や難易度高の解析のための数値計算上の工夫

(3) 多段階法による計算安定化と計算精度の向上

② SETS(Stability Enhancing Two Step Method)法(陰解法)

(b) 基本式の半陰解法の計算(基本ステップ)

本計算では、圧力と運動量束の最終値が得られ、密度と全エネルギーは次の安定化式の計算のための中間値となる。計算手順は次のとおりである。
なお、半陰解法の計算には下記以外にNewton法やSMAC法などの方法もある。

i) 圧力項を陽的に扱った運動量保存式を用いて、運動量束 $(\bar{\rho}u)_{j+1/2}^{n+1}$ を求める。
なお、対流項の運動量束には、(a)で求めた予測値 $(\bar{\rho}u)_{j+1/2}^{n+1}$ を用いる。

ii) エネルギー保存式をベースとした圧力Poisson方程式の圧力修正量 δp_j^{n+1} に関する連立方程式を構築し、BiCGStab法などによる行列計算を用いて解き、得られた圧力修正量から圧力 p_j^{n+1} と運動量束 $(\rho u)_{j+1/2}^{n+1}$ の最終値が得られる。

iii) 質量保存式に、新しい時刻の運動量束を代入して新しい時刻の密度の中間値 $(\bar{\rho})_j^{n+1}$ を求め、さらに流速 $u_{j+1/2}^{n+1}$ を求める。

2025年12月11日

Copyright©2025 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

12



2. 計算に用いた解析ソフトウェアの概要

2.4 大規模解析や難易度高の解析のための数値計算上の工夫

(3) 多段階法による計算安定化と計算精度の向上

② SETS(Stability Enhancing Two Step Method)法(陰解法)

(b) **基本式の半陰解法の計算(基本ステップ、続き)**

iv) ここまで得られた新しい時刻の圧力、密度、流速から全エネルギー $(\tilde{E})_j^{n+1}$ 、比エンタルピー $(\tilde{h})_j^{n+1}$ 、比内部エネルギー $(\tilde{e})_j^{n+1}$ の中間値を求める。

v) この計算の最後に状態方程式を用いて新しい時刻の温度 $(\tilde{T})_j^{n+1}$ の中間値、および熱力学物性値や輸送係数を求める。

(c) **質量保存式の安定化式の計算(安定化ステップ)**

$$\frac{(\rho)_j^{n+1} - (\rho)_j^n}{\Delta t} + \frac{\rho_{j+1}^{n+1} u_{j+1}^{n+1} A_{j+1} - \rho_j^{n+1} u_j^{n+1} A_j}{\Delta V_j} = 0$$

上式を密度 $(\rho)_j^{n+1}$ に関する連立方程式としてBiCGStab法などによる行列計算を用いて解く。なお、 u_j^{n+1} は既知の $(\bar{\rho}u)_j^{n+1}$ と $(\bar{\rho})_j^{n+1}$ から求める。



2. 計算に用いた解析ソフトウェアの概要

2.4 大規模解析や難易度高の解析のための数値計算上の工夫

(3) 多段階法による計算安定化と計算精度の向上

② SETS(Stability Enhancing Two Step Method)法(陰解法)

(d) **エネルギー保存式の安定化式の計算(安定化ステップ)**

$$\begin{aligned} & \frac{(E)_j^{n+1} - (E)_j^n}{\Delta t} + \frac{\left(\frac{E+p}{\rho}\right)_{j+1/2}^{n+1} (\rho u)_{j+1/2}^{n+1} - \left(\frac{E+p}{\rho}\right)_{j-1/2}^{n+1} (\rho u)_{j-1/2}^{n+1}}{\Delta x_j} - \frac{H_j^n A_{w,j} T_{w,j}^n}{V_j} \\ & + \frac{H_j^n A_{w,j} T_j^n}{V_j} \frac{(E)_j^{n+1}}{(E)_j^n} = 0 \end{aligned}$$

上式を密度 $(E)_j^{n+1}$ に関する連立方程式としてBiCGStab法などによる行列計算を用いて解く。

(e) 最後に状態方程式を用いて新しい時刻の温度 $(T)_j^{n+1}$ 、および熱力学物性値や輸送係数を求める。

2. 計算に用いた解析ソフトウェアの概要

2.4 大規模解析や難易度高の解析のための数値計算上の工夫

(4) 大規模解析のための行列解法

a) 確実に解けるのは**直接法**であり、逆行列を解かなくて済むLU分解法による直接法が良く利用されている。LU分解法による代表的なものとしてCrout法やDoolittle法などがある。ただし、**もともとのゼロだった要素が計算の過程で非ゼロ要素になるフィルイン**により疎行列が密行列になるため大規模解析では記憶容量と計算量の増大によって計算メモリ不足と計算時間の大幅な増大で計算は不可能となる。

b) そのため、大規模解析では記憶容量と計算量を抑えた**反復解法**の使用が一般的であり、現在ではBiCGStab、BiCGStabL、BiCGSafe、GPBiCGなどの**BiCG系**ソルバーが良く利用されている。

c) ただし、大規模解析ではBiCG系のソルバーだけでは不十分であり、**前処理法**との併用が不可欠であり、前処理法としては、ILU(n)、ILUT、Additive Schwarzなどの方法がある。

2. 計算に用いた解析ソフトウェアの概要

2.4 大規模解析や難易度高の解析のための数値計算上の工夫

(4) 大規模解析のための行列解法

d) ILU(n)、ILUTは**不完全 (Incomplete) LU分解法**であり、フィルインをどのレベルまで考慮するかによるものである。ILU(n)ではnレベルまで、ILUTはある数値 ϵ_T より大きい要素まで考慮、nが大きいほど、 ϵ_T が小さいほど要素が増え、直接法のLU分解法に近くなり、収束性が良くなる。なお、ILU(0)とするとフィルインは無視され、元の行列と同じ形となる。

e) Additive Schwarz法は行列を部分行列に分けて、それぞれをJacobi法と類似の方法によって計算することで、直接法のLU分解法により近くなる方法である。

f) 大規模解析によっては、ILU(n)またはILUTとAdditive Schwarz法の併用で利用されることがある。

g) 反復解法の行列計算が上記の方法によって、LU分解法の行列計算に近づかせることは反復回数は大幅に減って収束性が向上するものの、記憶容量と計算量が大幅に増えることに注意が必要である。

2. 計算に用いた解析ソフトウェアの概要

2.4 大規模解析や難易度高の解析のための数値計算上の工夫

(4) 大規模解析のための行列解法

h) 以上挙げた行列解法と前処理法を包括した日本発の反復解法ライブラリ **Lis** (Library of Iterative Solvers for linear systems, <https://www.ssisc.org/lis/>) が公開されており、FrontNet/Γに組み込んで利用できるようにしている。

i) 多くの計算では、行列解法にはBiCGStab法またはBiCGStabl法とし、前処理法には、ILU(2)または計算条件が厳しい場合にはAdditive Schwarz法を併用して用いている。ILU(n)のnは規模や計算条件によって適宜変更している。

j) さらに計算条件が厳しい場合には、BiCGStab法やBiCGStabl法の上位互換であるBiCGSafe法やGPBiCG法などを用いることがある。なお、BiCGSafe法やGPBiCG法はBiCGStab法やBiCGStabl法に比べて計算量が多くて計算時間が増えるので使用には注意が必要である。

なお、Lisを用いた3次元流体解析の並列計算の場合、行列解法にはGMRES法、前処理法にはSA-AMG法とするのが経験的に最も計算効率が良い。

2. 計算に用いた解析ソフトウェアの概要

2.4 大規模解析や難易度高の解析のための数値計算上の工夫

(5) 臨界流モデルの適用

高圧から低圧に流れる場合、上流(in)と下流(out)の圧力比によって流速が制限され、上流圧力が固定された状態で下流圧力がどんなに下がっても流速は変わらない。その流速は**臨界速度**と呼ばれ、臨界速度に密度を掛けた**臨界質量流束**を求めるモデルが**臨界流モデル**であり、FrontNet/Γでは解析的なモデル(注)を適用している。

もし、臨界流モデルを用いなかった場合、上流(in)と下流(out)の圧力差で非現実的な流速が計算されて、計算不安定性を招くことがある。

解析的な臨界流モデル(注)では澱み圧力、澱み温度などで臨界質量流束Gを評価している。添え字に” 0”が付いている変数が澱み点での諸量であり前反復の値から評価している。

$$G = \frac{p_0}{RT_0} \sqrt{2g_c C_{p0} T_0 \left[\left(\frac{p_{out}}{p_{in}} \right)^{2/\gamma} - \left(\frac{p_{out}}{p_{in}} \right)^{(\gamma+1)/\gamma} \right]}$$

(注) M. M. El-Wakil, “Nuclear Heat Transport”, International Textbook Company, pp.356-358 (1971).

3. 状態方程式による実在流体の熱力学物性

実在流体の状態方程式として代表的なものは次のとおりである。

① Cubic型

圧力、温度、密度の3変数で表される理想気体の状態方程式に、**van der Waals** が分子間力や分子体積を導入した状態方程式をさらに発展させていくつか提案されている。代表的なものとして、**Soave-Redlich-Kwong (SRK)** 式、**Peng-Robinson (PR)** 式がある。

② Virial型

分子間力や分子体積を考慮するために圧力を温度や密度に依存する係数（Virial係数）の級数で表したもので、代表的なものとしてBWRS（Benedict-Webb-Rubin-Starling）式がある。

③ Helmholtz型

Helmholtz型関数の状態方程式に基づいており、無次元化Helmholtz自由エネルギーを用いて線形結合した多項式で近似される。代表的なものとして米国NISTから提供されている**REFPROP** (<https://www.nist.gov/srd/refprop>) がソフトウェアとしてまとめられている。

3. 状態方程式による実在流体の熱力学物性

「Helmholtz型」は実測値を極めて高精度に再現できるが、計算量が多いことやREFPROPそのものを解析ソフトウェアに組み込むことは可能であっても著作権の問題がある。そのため、当社の解析ソフトウェアには**圧力と温度のテーブル化**して参照するようにしている。ただし、**圧力や温度の範囲に制限**されてしまう欠点がある。

「Virial型」は「Cubic型」に比べて精度が良いともいえず、また、熱力学物性を求める際、**微分積分がとても煩雑**であること、圧力と温度から密度を求めるには**6次以上の方程式を解く必要**があることなどから扱いづらい。なお、亜臨界においてBWRS式を密度について解くと、最大値と最小値以外の根は真ん中付近にまとまっていることが多い。

そこで以下ではFrontNet/Γ に組み込んだ「Cubic型」の**Soave-Redlich-Kwong (SRK)** 式と**Peng-Robinson (PR)** 式について実在流体の熱力学物性を求める方法を示す。

3. 状態方程式による実在流体の熱力学物性

「Cubic型」の実在流体用の状態方程式の代表的なものは次のとおりである。

① Soave-Redlich-Kwong (SRK) 式

$$p = \frac{\rho RT}{1 - b\rho} - \frac{a\rho^2}{1 + b\rho}$$

② Peng-Robinson (PR) 式

$$p = \frac{\rho RT}{1 - b\rho} - \frac{a\rho^2}{1 + 2b\rho - b^2\rho^2}$$

$$\begin{aligned} (\text{注}) \quad a &= \sum_i \sum_j X_i X_j (a_i a_j)^{0.5} & b &= \sum_i X_i b_i \\ a_i &= a_{ci} D(T)_i = \left[1 + m \left[1 - \left(\frac{T}{T_c} \right)^{0.5} \right] \right]^2 \\ a_{ci} &= \left[\frac{f_a}{P_c} \left(\frac{R}{M} T_c \right)^2 \right]_i = \text{const.} & b_i &= \left(f_b \frac{R T_c}{M P_c} \right)_i = \text{const.} \\ m_i &= 0.48 + 1.574\omega_i - 0.176\omega_i^2 = m_i(\omega_i) = \text{const.} \\ f_a &= \begin{cases} 0.45723553 & (\text{PR}) \\ 0.42748 & (\text{SRK}) \end{cases} \\ f_b &= \begin{cases} 0.077796074 & (\text{PR}) \\ 0.08664 & (\text{SRK}) \end{cases} \end{aligned}$$

いずれも圧力と温度を固定して密度について書き下すと3次方程式となる。実在流体の熱力学物性を求める際、理想気体の物性値が必要となるが、FrontNet/Γでは温度のみの関数とし実測に基づいた温度の多項式によって求めている。多項式中の係数は物質ごとにNASAより提供されるデータベース(注)を基に主要な物質について外部ファイルに設定しておいて物質名を指定することで利用できるようにしている。

(注) Bonnie J. McBride, Sanford Gordon and Martin A. Reno, Coefficients for Calculating, Thermodynamic and Transport Properties of Individual Species, NASA, Technical Memorandum 4513, 1993

2025年12月11日

Copyright©2025 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

21

3. 状態方程式による実在流体の熱力学物性

実在流体の状態方程式を用いて比エンタルピー、定圧比熱、定積比熱に対して実在流体の扱いが可能になるように、解析ソフトウェアに実装するために次のように定式化した。

(1) 実在流体の比エンタルピー

実在流体の比エンタルピー h_r と理想気体の比エンタルピー h_{ig} との差は次式で定義される。右辺はDeparture Functionと呼ばれている。

$$h_r - h_{ig} = RT \int_0^\rho \left[-\frac{1}{\rho R} \left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_\rho + \frac{p}{\rho RT} \right] \frac{d\rho}{\rho} + \frac{p}{\rho} - RT$$

上記の定義式に実在流体の状態方程式を p に代入して微分して積分すると次のようになる。密度の2次式や3次式の分数関数の積分がやや煩雑であり間違いやすい。

① SRK式

$$\begin{aligned} h_r - h_{ig} &= T \left(\frac{1}{b} \right) [\ln|1 + b\rho|] \sum_i \sum_j X_i X_j \left[-m_i \left(\frac{a_c a_i}{T_c T} \right)_i^{0.5} \left(\frac{a_j}{a_i} \right)^{0.5} - m_j \left(\frac{a_c a_j}{T_c T} \right)_j^{0.5} \left(\frac{a_i}{a_j} \right)^{0.5} \right] \\ &\quad - \left(\frac{a}{b} \right) [\ln|1 + b\rho|] + \frac{RT}{1 - b\rho} - \frac{a\rho}{1 + b\rho} - RT \end{aligned}$$

2025年12月11日

Copyright©2025 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

22

3. 状態方程式による実在流体の熱力学物性

② PR式

$$\begin{aligned}
 & h_r - h_{ig} \\
 &= T \left(\frac{1}{b} \right) [k_1 \ln|1 + r_1 b \rho| + k_2 \ln|1 + r_2 b \rho|] \sum_i \sum_j X_i X_j \left[-m_i \left(\frac{a_c a_i}{T_c T} \right)_i^{0.5} \left(\frac{a_j}{a_i} \right)^{0.5} \right. \\
 & \quad \left. - m_j \left(\frac{a_c a_j}{T_c T} \right)_j^{0.5} \left(\frac{a_i}{a_j} \right)^{0.5} \right] - \left(\frac{a}{b} \right) [k_1 \ln|1 + r_1 b \rho| + k_2 \ln|1 + r_2 b \rho|] + \frac{RT}{1 - b\rho} \\
 & \quad - \frac{a\rho}{1 + 2b\rho - b^2\rho^2} - RT
 \end{aligned}$$

ここで、

$$r_1 = 1 + \sqrt{2} \quad r_2 = 1 - \sqrt{2} \quad k_1 = \frac{1}{2\sqrt{2}} \quad k_2 = -\frac{1}{2\sqrt{2}}$$

3. 状態方程式による実在流体の熱力学物性

(2) 実在流体の定圧比熱と定積比熱

実在流体の定圧比熱 $C_{p,r}$ と定積比熱 $C_{v,r}$ の定義は次のとおりである。なお、第1式と第3式は一般的な定義式である。

$$\begin{aligned}
 C_{p,r} &= C_{v,r} + T \left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_\rho \left(\frac{\partial v}{\partial T} \right)_p \\
 C_{v,r} &= C_{v,ig} - \int_0^\rho T \left[\left(\frac{\partial^2 p}{\partial T^2} \right)_\rho \right] \frac{d\rho}{\rho^2} \\
 C_{v,ig} &= C_{p,ig} - R
 \end{aligned}$$

ここで、定圧比熱 $C_{p,ig}$ と定積比熱 $C_{v,ig}$ は、理想気体のものであることを示しており、 $C_{p,ig}$ は温度のみの関数とし実測に基づいた温度の多項式で表される。多項式中の係数は物質ごとにNASAより提供されているデータベースを基に設定する。

実在流体の定圧比熱 $C_{p,r}$ と定積比熱 $C_{v,r}$ の定義式に実在流体の状態方程式を p に代入して微分して積分すると次のようになる。こちらも密度の分数関数の積分がやや煩雑であり間違いやすい。また、係数の $a_i a_j$ の温度の1次微分、2次微分にも注意する必要がある。

3. 状態方程式による実在流体の熱力学物性

① SRK式

$$\begin{aligned}
 C_{p,r} &= C_{v,r} + T \left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_\rho \left(\frac{\partial v}{\partial T} \right)_p \\
 C_{v,r} &= C_{v,ig} \\
 &+ T \left(\frac{1}{b} \right) [\ln|1 + b\rho|] \sum_i \sum_j X_i X_j \frac{1}{2} \left[-\frac{1}{2} \left\{ a_i^{-1.5} a_j^{0.5} m_i \left(\frac{a_c a}{T_c T} \right)_i^{0.5} - \left(\frac{1}{a_i a_j} \right)^{0.5} m_j \left(\frac{a_c a}{T_c T} \right)_j^{0.5} \right\} m_i \left(\frac{a_c a}{T_c T} \right)_i^{0.5} \right. \\
 &+ \left(\frac{a_j}{a_i} \right)^{0.5} (1 + m_i) \left(\frac{a_c m}{2 T_c T} \right)_i \left(\frac{T_{ci}}{T} \right)^{0.5} + \frac{1}{2} \left\{ a_j^{-1.5} a_i^{0.5} m_j \left(\frac{a_c a}{T_c T} \right)_j^{0.5} - \left(\frac{1}{a_i a_j} \right)^{0.5} m_i \left(\frac{a_c a}{T_c T} \right)_i^{0.5} \right\} m_j \left(\frac{a_c a}{T_c T} \right)_j^{0.5} \\
 &\left. + \left(\frac{a_i}{a_j} \right)^{0.5} (1 + m_j) \left(\frac{a_c m}{2 T_c T} \right)_j \left(\frac{T_{cj}}{T} \right)^{0.5} \right] \\
 \left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_\rho &= \frac{\rho R}{1 - b\rho} + \frac{\rho^2}{1 + b\rho} \sum_i \sum_j X_i X_j \left[-m_i \left(\frac{a_c a_i}{T_c T} \right)^{0.5} \left(\frac{a_j}{a_i} \right)^{0.5} - m_j \left(\frac{a_c a_j}{T_c T} \right)^{0.5} \left(\frac{a_i}{a_j} \right)^{0.5} \right] \\
 \left(\frac{\partial v}{\partial T} \right)_p &= - \frac{\left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_\rho}{\left(\frac{\partial p}{\partial v} \right)_T} = - \frac{\left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_\rho}{-\rho^2 \left[\frac{RT}{(1-b\rho)^2} - \frac{a\rho(2+b\rho)}{(1+b\rho)^2} \right]}
 \end{aligned}$$

3. 状態方程式による実在流体の熱力学物性

② PR式

$$\begin{aligned}
 C_{p,r} &= C_{v,r} + T \left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_\rho \left(\frac{\partial v}{\partial T} \right)_p \\
 C_{v,r} &= C_{v,ig} \\
 &+ T \left(\frac{1}{b} \right) [k_1 \ln|1 + r_1 b\rho|] \\
 &+ k_2 \ln|1 + r_2 b\rho| \sum_i \sum_j X_i X_j \frac{1}{2} \left[-\frac{1}{2} \left\{ a_i^{-1.5} a_j^{0.5} m_i \left(\frac{a_c a}{T_c T} \right)_i^{0.5} - \left(\frac{1}{a_i a_j} \right)^{0.5} m_j \left(\frac{a_c a}{T_c T} \right)_j^{0.5} \right\} m_i \left(\frac{a_c a}{T_c T} \right)_i^{0.5} \right. \\
 &+ \left(\frac{a_j}{a_i} \right)^{0.5} (1 + m_i) \left(\frac{a_c m}{2 T_c T} \right)_i \left(\frac{T_{ci}}{T} \right)^{0.5} + \frac{1}{2} \left\{ a_j^{-1.5} a_i^{0.5} m_j \left(\frac{a_c a}{T_c T} \right)_j^{0.5} - \left(\frac{1}{a_i a_j} \right)^{0.5} m_i \left(\frac{a_c a}{T_c T} \right)_i^{0.5} \right\} m_j \left(\frac{a_c a}{T_c T} \right)_j^{0.5} \\
 &\left. + \left(\frac{a_i}{a_j} \right)^{0.5} (1 + m_j) \left(\frac{a_c m}{2 T_c T} \right)_j \left(\frac{T_{cj}}{T} \right)^{0.5} \right] \\
 \left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_\rho &= \frac{\rho R}{1 - b\rho} + \frac{\rho^2}{1 + 2b\rho - b^2\rho^2} \sum_i \sum_j X_i X_j \left[-m_i \left(\frac{a_c a_i}{T_c T} \right)^{0.5} \left(\frac{a_j}{a_i} \right)^{0.5} - m_j \left(\frac{a_c a_j}{T_c T} \right)^{0.5} \left(\frac{a_i}{a_j} \right)^{0.5} \right] \\
 \left(\frac{\partial v}{\partial T} \right)_p &= - \frac{\left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_\rho}{\left(\frac{\partial p}{\partial v} \right)_T} = - \frac{\left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_\rho}{-\rho^2 \left[\frac{RT}{(1-b\rho)^2} - \frac{2a\rho(1+b\rho)}{(1+2b\rho-b^2\rho^2)^2} \right]}
 \end{aligned}$$

3. 状態方程式による実在流体の熱力学物性

(3) 計算上・プログラミング上の工夫

- ① 実在流体の状態方程式を用いて計算される水蒸気、酸素、窒素の定圧比熱にくらべて、ヘリウムや水素の**定圧比熱は5倍から10倍大きい**。ヘリウムや水素が充満しているところに水蒸気などを急激に流入させると平均の定圧比熱が急激に減少し、比エンタルピーは保存式の計算によって時間遅れがあるため、温度が急上昇して**計算が破綻**することがある。この場合、流入時点で時間刻み幅を小さくするか、比エンタルピーと理想気体の比エンタルピーとの差分の1タイムステップあたりの変化量を制限するように入力で制御する必要がある。
- ② PR式やSRK式は圧力と温度に対しての密度の3次方程式で表される。密度を**Newton法の反復法**で求める場合、特に超臨界状態では**反復の初期値**が問題になる。適当に与えると反復法が収束せずに発散することがある。そこで過渡計算中は前のタイムステップの密度を反復の初期値として計算するようにしている。しかしながら、**計算に入る前の最初では適当な初期値がない**ため、FrontNet/Γに組み込まれている**REFPROPのデータテーブルから初期値を与える**ようにしている。

3. 状態方程式による実在流体の熱力学物性

(3) 計算上・プログラミング上の工夫

- ③ **PR式の方が式自体が複雑なため、Newton法の反復法の収束性が良くない**。そこで3次方程式の根を求める**Cardanoの式**も利用している。Cardanoの式(<https://manabitimes.jp/math/749>)を用いた方がNewton法の反復法より時間が速く確実に解が得られる。しかしながら、亜臨界では後述するように3つの根は、気相密度、平均密度、液相密度にあたり、また、超臨界では3つの根のうち、2つの根は虚数となる。**必要なのは平均密度**のため、これらを吟味するためにプログラミング上で工夫している。
- ④ 温度変動が少ないのに**圧力が大きく振動するとCardanoの式が解けない**場合がある。この場合は、自動的に**Newton法の反復法に切り替える**ようにしている。
- ⑤ 理想気体の状態方程式と比べて**PR式やSRK式の状態方程式の計算量は膨大**となるため、計算時間が大幅に増える。そこで、状態方程式に含まれる係数や係数の温度の1次微分、2次微分およびそれらの積算などを**纏めて計算して格納**して計算時間を抑えるようにしている。これにより計算時間は現実的なものとなった。

3. 状態方程式による実在流体の熱力学物性

(4) 気液二相流解析への拡張(将来的に)

PR式やSRK式は圧力と温度に対しての密度の3次方程式で表されることは前述した。

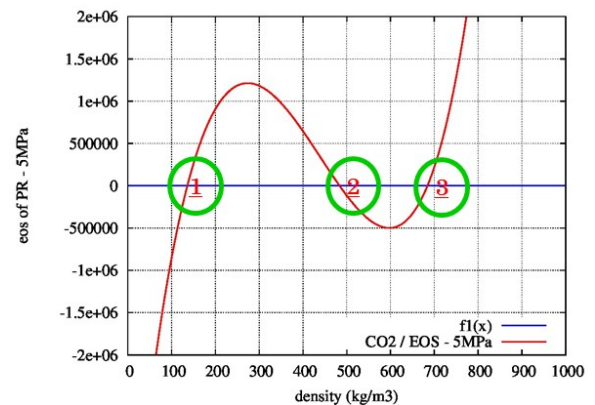
3次方程式を解くと3つの根が求まり、**亜臨界では3つの根は、気相密度、平均密度、液相密度**にあたる。圧力と温度を固定して密度と圧力の関係をプロットすると下図のようになる。下図では設定圧力を5MPaとして、縦軸から5MPaを引いてプロットしている。この図から縦軸ゼロの線上に3つの根があることが分かる。1の根を**気相密度**、3の根を**液相密度**とすると、2の根に当たる**平均密度**からボイド率を求めることができる。なお、得られた気相密度と液相密度はREFPROPにより得られる値と同等の結果である。圧力、温度と得られた気相密度と液相密度を個別に比エンタルピー、定圧比熱、定積比熱の式に代入すると、気液各相の比エンタルピー、定圧比熱、定積比熱が得られる。比内部エネルギーは圧力、密度、比エンタルピーから得られる。

さらに**臨界点**では密度と圧力の関係の曲線上に変曲点を持つということを利用して、状態方程式とその式の密度の2次微分がゼロとした式および状態方程式内の係数 a に含まれる臨界温度を未知数とした式($T_r = 1$ となるようにした式)の**3本を連立**させて**臨界点の圧力、温度、密度を推算**することができる。

以上によりCubic型の状態方程式を用いて気液二相流への拡張が可能となる。

2025年12月11日

Copyright©2025 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.



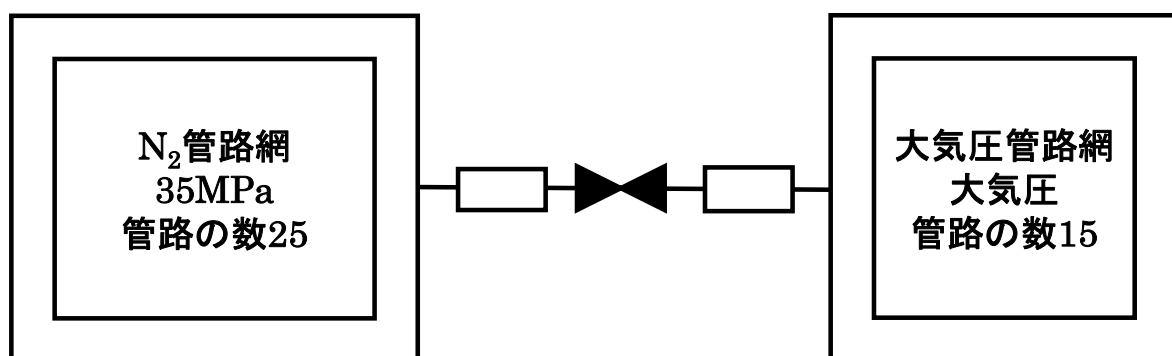
29

4. 超臨界圧領域から亜臨界圧領域へ遷移の計算例

I. 計算例1

① 解析モデル

本計算は検証のために行い実測値の比較を行った。計算モデルは下図(イメージ図)に示した**2組の管路網**にて、バルブを全開にして**断熱膨張圧縮過程**の計算を行った。初期条件は、 N_2 側は超高压の35 MPa、大気圧側は低圧の0.1 MPaとして計算を**陽解法**を用いて実施した。



管路網計算モデルのイメージ図

4. 超臨界圧領域から亜臨界圧領域へ遷移の計算例

② 状態方程式

実在流体のCubic型状態方程式との比較のために実在流体物性用のデータベースREFPROP、および完全理想気体、実在流体のCubic型状態方程式(SRK、PR)を適用して計算結果の比較を行った。

③ 計算上の工夫や注意点

計算は簡単にはできなかったもので、下記の計算パラメータなどを試行錯誤しつつ計算を実施した。

- 計算初期の時間刻み幅
- 最大Courant数まで時間刻み幅の増加率
- デッドエンドの末端において運動量保存式の対流項を省略
- オリフィス、バルブ、その他抵抗係数の大きいジャンクションにおいて運動量保存式の対流項を省略
- 臨界流モデルの使用と流量振動を抑えるために時間緩和の考慮
- 温度計算における時間緩和の考慮
- Cubic型実在流体状態方程式の計算における比エンタルピーと理想気体の比エンタルピーとの差分の1タイムステップあたりの変化量を制限

4. 超臨界圧領域から亜臨界圧領域へ遷移の計算例

④ 計算結果

下表にN₂管路網側と大気圧管路網側の実測点での圧力の計算結果の比較を示す。カッコ内の数値は実測値との差異を示す。圧力が低いところを除けば、REFPROP、SRK、PRとも実測値とは最大6%の差異と良好な結果が得られている。理想気体の状態方程式だけ実測値との差異が大きく、超高压に対する計算に無理があることがいえる。

N₂管路網側の実測点での圧力の比較(圧力の単位はMPa)

時間(s)	実測値	REFPROP	SRK	PR	理想気体
0.1	28.0	29.4(+5%)	29.2(+4%)	29.7(+6%)	32.7(+17%)
0.6	22.1	22.6(+2%)	22.2(+0.5%)	23.0(+4%)	27.5(+24%)

大気圧管路網側の実測点での圧力の比較(圧力の単位はMPa)

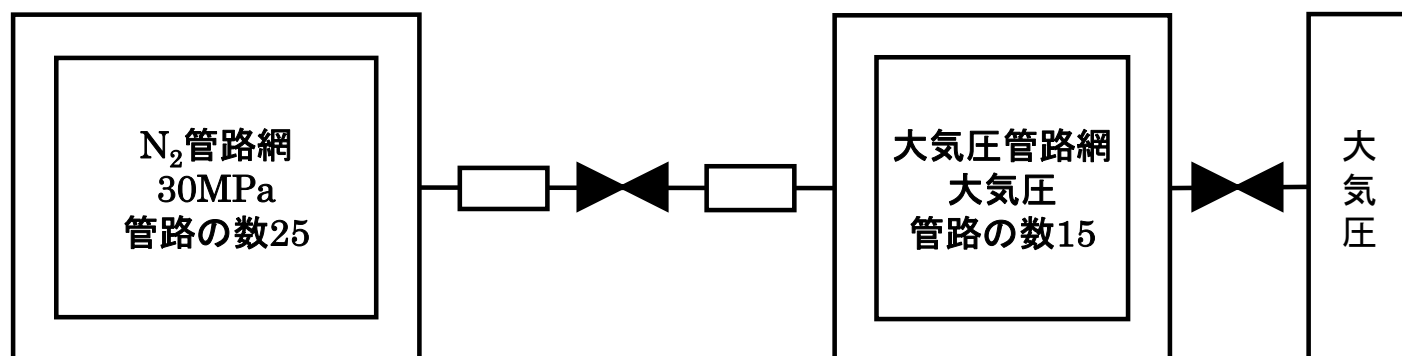
時間(s)	実測値	REFPROP	SRK	PR	理想気体
0.1	4.2	5.2(+24%)	5.3(+26%)	5.4(+13%)	5.0(+12%)
0.6	22.0	22.7(+3%)	22.2(+1%)	22.9(+4%)	24.7(+11%)

4. 超臨界圧領域から亜臨界圧領域へ遷移の計算例

II. 計算例2

① 解析モデル

計算例1では、大気圧側で亜臨界から超臨界領域への推移があったものの、 N_2 側で超臨界状態が維持されたままであった。そこで、2組の管路網にて、2つのバルブを全開にして陽解法を用いて大気圧開放時の減圧過程の計算を行った。初期条件は、 N_2 側は超高圧の35 MPa、大気圧側は低圧の0.1 MPaとして計算を実施した。管路網計算モデルのイメージを下図に示す。



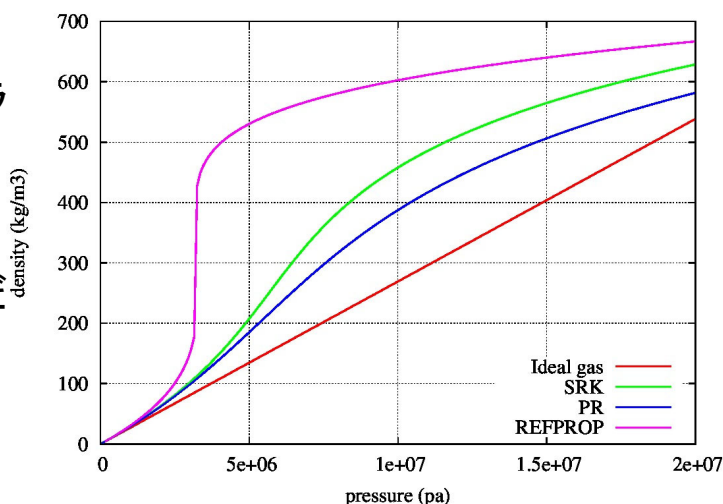
管路網計算モデルのイメージ図

4. 超臨界圧領域から亜臨界圧領域へ遷移の計算例

② 状態方程式

比較のために実在流体物性用のデータベースREFPROP、完全理想気体および実在流体のCubic型状態方程式(SRK、PR)による圧力と密度の関係の比較を行った。

状態方程式による N_2 の圧力と密度の関係の一例をプロットしたものを右図に示す。 N_2 の臨界圧は資料によってバラツキがあり、3.29MPa～3.89MPaである。REFPROPの場合、臨界圧付近で密度が不連続に変化しているが、SRKやPRなどの状態方程式では比較的なだらかな変化となっている。これら状態方程式に対して臨界圧付近の精度向上が必要との指摘があり、状態方程式中の係数に対する修正モデルが多く提案されている。今後、これらを取り込んでいく予定である。



状態方程式による圧力と密度の関係の比較

4. 超臨界圧領域から亜臨界圧領域へ遷移の計算例

③ 計算上の工夫や注意点

この計算例でも計算例1と同様に計算は簡単にはできなかったため、下記の計算パラメータなどを試行錯誤しつつ計算を実施した。

- 計算初期の時間刻み幅
- 最大Courant数まで時間刻み幅の増加率
- デッドエンドの末端において運動量保存式の対流項を省略
- オリフィス、バルブ、その他抵抗係数の大きいジャンクションにおいて運動量保存式の対流項を省略
- 臨界流モデルの適用と流量振動を抑えるために時間緩和の考慮
- 温度計算における時間緩和の考慮
- Cubic型実在流体状態方程式の計算における比エンタルピーと理想気体の比エンタルピーとの差分の1タイムステップあたりの変化量を制限
- 高圧側を別の物質を変更すると計算が破綻する場合があるため、これら計算条件等については更なる検討が必要

2025年12月11日

Copyright©2025 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

35

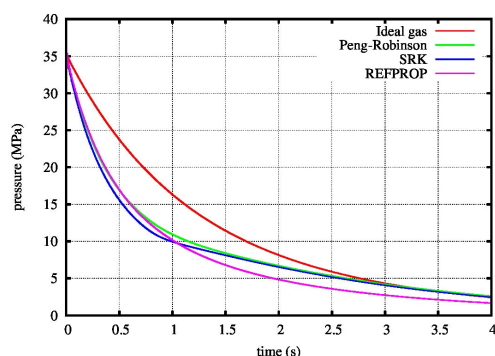
4. 超臨界圧領域から亜臨界圧領域へ遷移の計算例

④ 計算結果

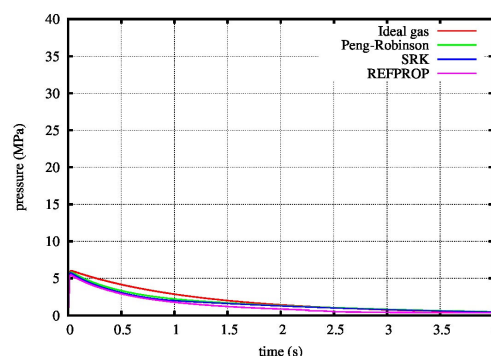
以下に各状態方程式を使用して計算した N_2 管路網側と大気圧管路網側の圧力、温度、流速の変化の比較を示す。

N_2 管路網側の圧力変化については、バルブ開後1秒まではREFPROP、SRK、PRとも似たような変化を示しているが、その後SRK、PRとも理想気体に近づく変化となった。これは先に示した圧力と密度の関係が反映されている。**REFPROPでは圧力と密度の関係が不連続に変化しているにもかかわらず、計算パラメータの調整もあって比較的滑らかな変化となった。**

大気圧管路網側の圧力のバルブ開後大気圧から5MPaに急上昇し、その後大気開放により減少し続けている。圧力変化は理想気体以外はほとんど同様である。



N_2 管路網側の圧力変化の比較



大気圧管路網側の圧力変化の比較

2025年12月11日

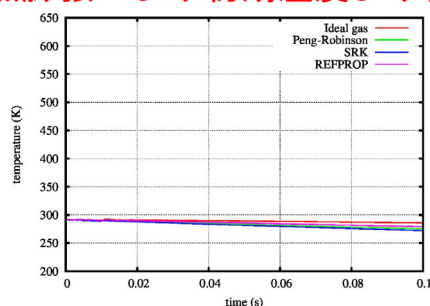
Copyright©2025 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

36

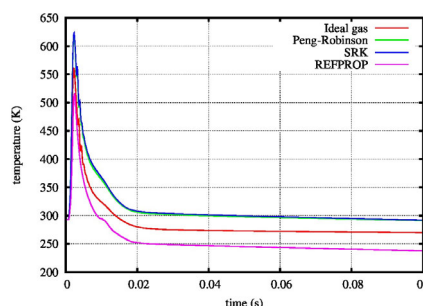
4. 超臨界圧領域から亜臨界圧領域へ遷移の計算例

④ 計算結果

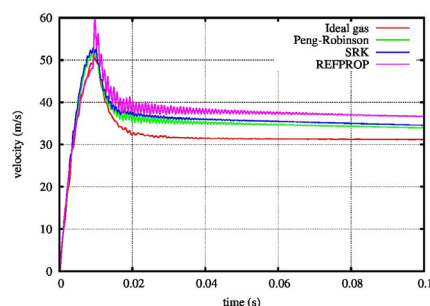
N₂管路網側の温度変化、流速変化ともバルブ開による衝撃による**圧力波の発生**で計算初期に振動が見られる。REFPROPによる結果が他よりやや振動が大きい。大気圧管路網側の実測点での圧力の計算結果の比較を示す。圧力と密度の関係が影響していることが考えられる。大気圧管路網側ではいずれも**断熱膨張で温度は急上昇**し流速は臨界速度まで上昇するが、その後はゆっくりと安定する変化を示し、**温度は断熱膨張により初期温度より低く推移する**。



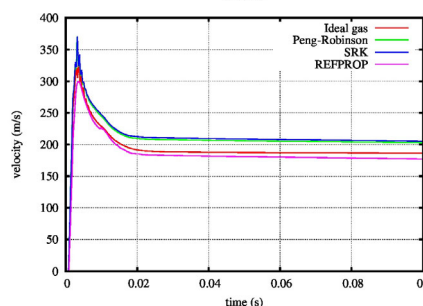
N₂管路網側
の温度変化
の比較



大気圧管路
網側の温度
変化の比較



N₂管路網側
の流速変化
の比較



大気圧管路
網側の流速
変化の比較

2025年12月11日

Copyright©2025 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

37

5. 超高压から超低压への計算例

超高压と超低压が接している場合、圧力比によっては計算できない場合が多かった。使用している**ソフトウェアの改良や下記に挙げた計算上の工夫などによって計算できるようになった**。複数の状態方程式を使用して圧力比を変えた計算を試した。なお、運動量束における密度の取り扱いについては、高速流れに適した中央差分的な取り扱いを基本としているが、**理想気体の状態方程式を使用した場合、発散するため上流差分的な扱いとして何とか計算できた**。

① 解析モデル

両端にタンクが設置されている管路系にて、バルブを全開にして断熱圧縮の過程の計算を行った。初期条件は、N₂タンクは超高压の**30.1 MPa**、O₂タンクは低压の**0.1 MPa**、超低压の**1 Pa**と超超低压の**1.0 × 10⁻³ Pa**の3ケースについて実施した。なお、より厳しい計算条件となるようにバルブの抵抗係数はゼロとした。

② 状態方程式

実在流体のCubic型状態方程式を扱うため、比較のために実在流体物性用のデータベースREFPROP、完全理想気体および実在物性用理想気体型状態方程式を適用して計算結果の比較を行った。なお、REFPROPは、データテーブルの制限から超低压が適用範囲外であるため、O₂タンクの初期条件が超低压の1 Paと1.0 × 10⁻³ Paのケースは計算していない。

2025年12月11日

Copyright©2025 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

38

5. 超高压から超低压への計算例

③ 分子流への対応

$1.0 \times 10^{-3} \text{Pa}$ の超超低压では連続体として見做せるのか疑問はあるが、あえて連続体近似とすると流れによって生じる摩擦圧損が非現実的な過大評価となる。そこで下記(1)(2)を参考に圧力、平均自由行程、代表長さにより算出したKnudsen数に応じて滑り領域を考慮した摩擦係数に乘じる係数を算出するモデルを導入した。

(1)<https://ja.wikipedia.org/wiki/%E5%B9%B3%E5%9D%87%E8%87%AA%E7%94%B1%E8%A1%8C%E7%A8%8B>

(2)<https://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%82%AF%E3%83%8C%E3%83%BC%E3%82%BB%E3%83%B3%E6%95%B0>

④ 計算上の工夫や注意点

計算は簡単にはできなかったもので、下記の計算パラメータなどを試行錯誤しつつ計算を実施した。

- 計算初期の時間刻み幅
- 最大Courant数まで時間刻み幅の増加率
- デッドエンドの末端において運動量保存式の対流項を省略
- 臨界流モデルの適用と流量振動を抑えるために時間緩和の考慮
- 温度計算における時間緩和の考慮
- Cubic型実在流体状態方程式の計算における比エンタルピーと理想気体の比エンタルピーとの差分の1タイムステップあたりの変化量を制限

5. 超高压から超低压への計算例

⑤ 解析結果

O_2 タンクが大気圧のケースでは、圧力の低下が理想気体の状態方程式を使用した計算以外は同様となっている。これはSRK式もPR式もREFPROPと性能が同等であることがいえる。 N_2 タンク側の流速は圧力波の伝播によって数m/sの範囲で振動しながらゼロに整定する変化となっている。 O_2 タンク側の流速は臨界速度まで急上昇するが、下流圧力の上昇に伴って急速に減少し、比較的長めの周期で振動しながらゼロに近づいている。

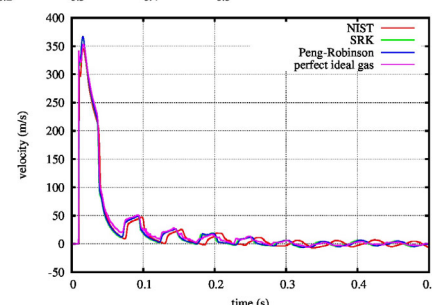
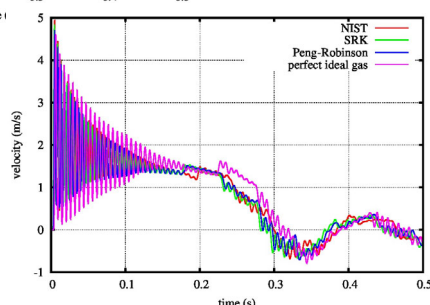
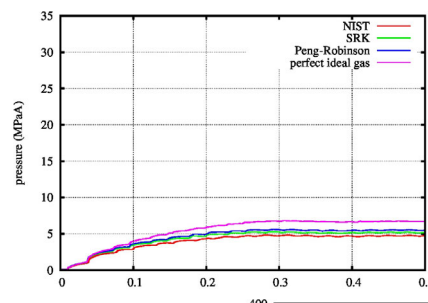
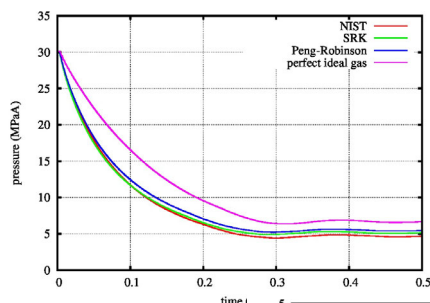
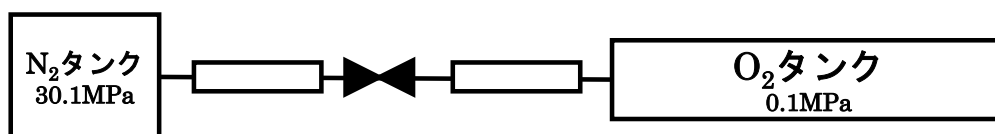
O_2 タンクが超低压、超超低压のケースとも0.5秒まで計算しているが、 O_2 タンク側の圧力変化がわかりにくいので、プロット図では0.1秒までとして表示している。また、 O_2 タンク側の圧力変化の縦軸は対数で表示した。

O_2 タンクが超低压のケースでは、 N_2 タンク側については大気圧ケースと同様の変化となっている。 O_2 タンク側の圧力変化は、0.01秒で大気圧付近まで急上昇しその後徐々に上がり続けている。流速変化は大きく急上昇した後、下流圧力の上昇に伴って急速に減少し、ゼロ付近まで推移する。

O_2 タンクが超超低压のケースの計算結果は、 O_2 タンク側の圧力変化の急上昇以外は超低压のケースとほとんど同様であり、定性的に妥当な結果となっている。

5. 超高圧から超低圧への計算例

REFPROP、完全理想気体、実在流体用Cubic型状態方程式による計算結果の比較



バルブ開後のN₂タンクの圧力・流速変化

バルブ開後のO₂タンクの圧力・流速変化

2025年12月11日

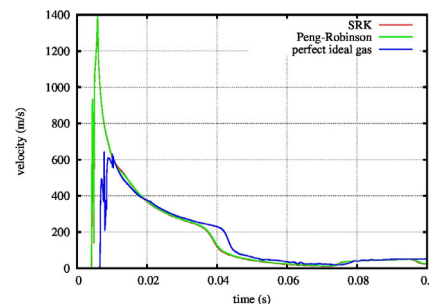
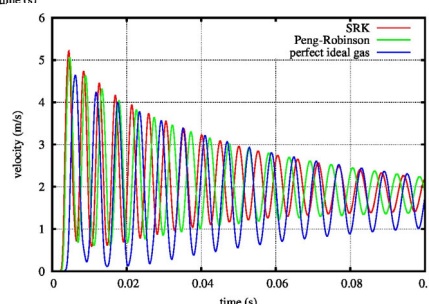
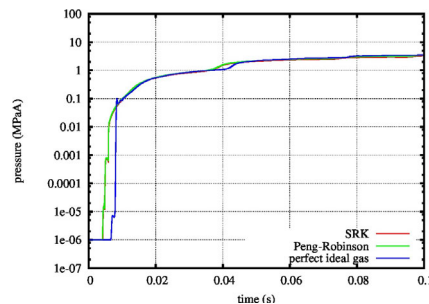
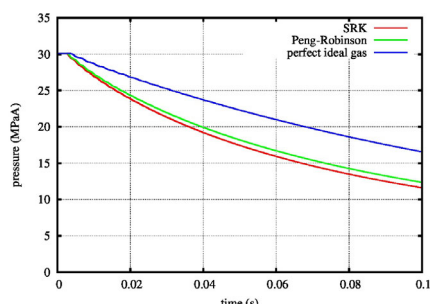
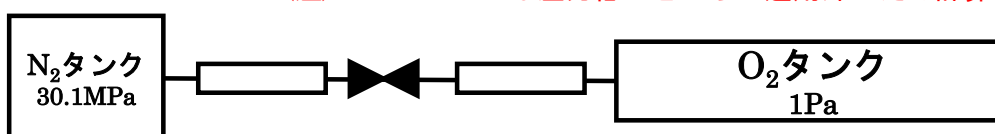
Copyright©2025 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

41

5. 超高圧から超低圧への計算例

超高圧超低圧混在時の完全理想気体、実在流体用Cubic型状態方程式による計算結果の比較

(注) REFPROPでは圧力低いところが適用外のため計算してない



バルブ開後のN₂タンクの圧力・流速変化

バルブ開後のO₂タンクの圧力・流速変化

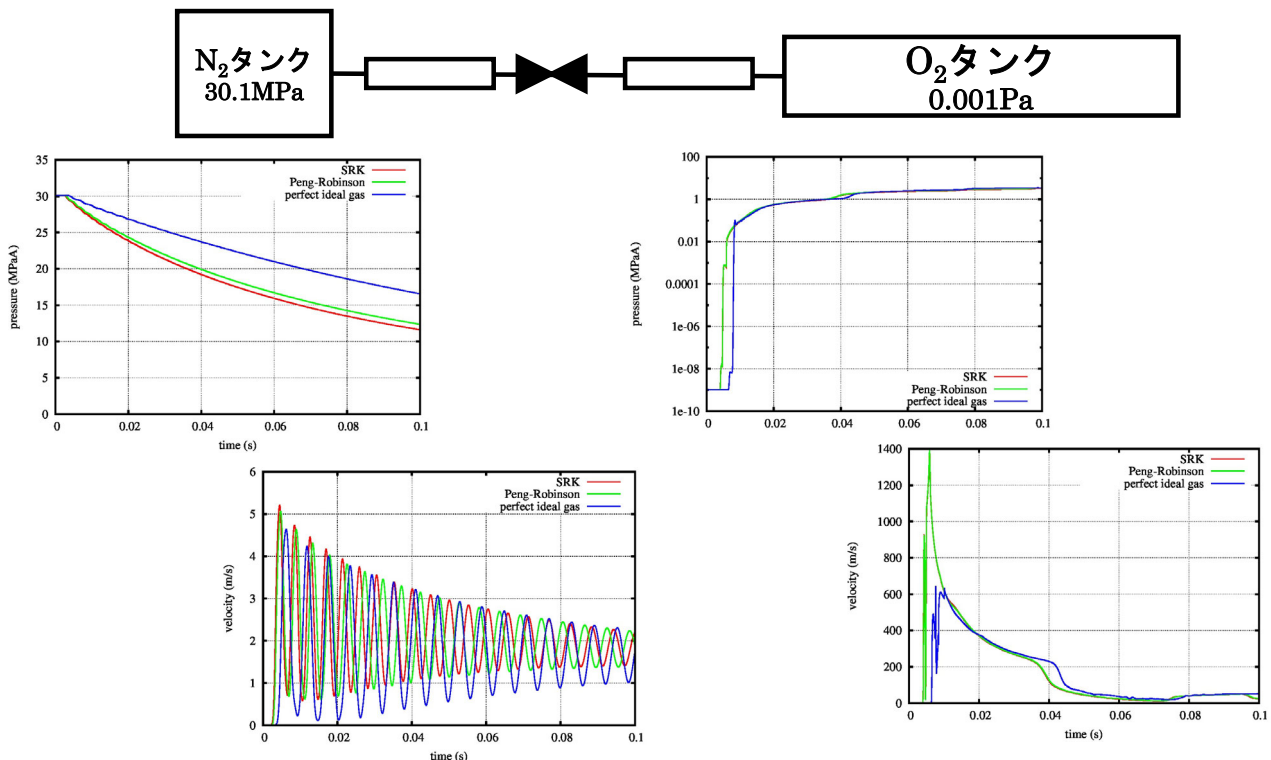
2025年12月11日

Copyright©2025 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

42

5. 超高压から超低压への計算例

超高压超超低压混在時の完全理想気体、実在流体用Cubic型状態方程式による計算結果の比較 (注) REFPROPでは圧力低いところが適用外のため計算してない



バルブ開後のN₂タンクの圧力・流速変化

バルブ開後のO₂タンクの圧力・流速変化

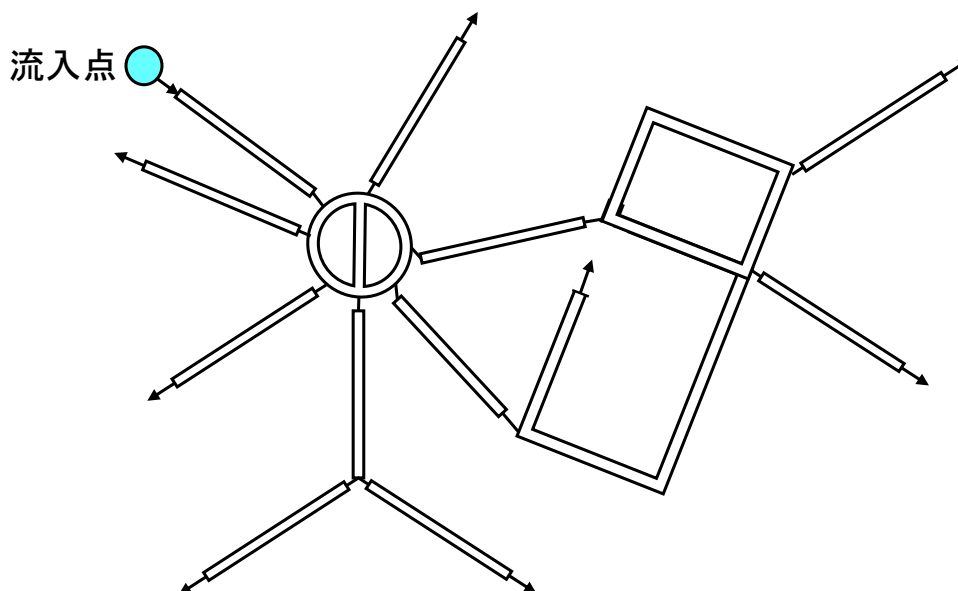
2025年12月11日

Copyright©2025 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

43

6. 大規模複雑管路ネットワークの計算例

全長100km超のガス管路網についてボリューム総数1,000、ジャンクション総数1,000でモデル化し、数値解法と総格子数を変えて40,000秒の解析を行い、大規模解析に対する性能比較を行った。40,000秒という時間は流入点の流量が急変化した時に管路網全体が整定するまでの時間に相当する。なお、ここでいう大規模とは管路網としての大規模と膨大な総格子数の大規模のand/orのことである。



全長100km超のガス管路網モデルのイメージ図

(注)
各管路には枝管多数
各管路には流出点有
デッドエンド有
極端に短い管路有

2025年12月11日

Copyright©2025 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

44

6. 大規模複雑管路ネットワークの計算例

① 本解析に用いた数値解法

No	数値解法	時間刻み幅制限	適用性	安定性	解法ベース	圧力Poisson方程式
1	陽解法	音速基準のCourant数	強圧縮性	◎	密度ベース	—
2	半陰解法1	流速基準のCourant数	弱圧縮性	◎	圧力ベース	質量保存式ベース
3	半陰解法2		強圧縮性	○		エネルギー保存式ベース
4	準陰解法1	理論的には制限なし	弱圧縮性	◎		質量保存式ベース
5	準陰解法2		強圧縮性	○		エネルギー保存式ベース
6	SETS法	理論的には制限なし	中圧縮性	◎		エネルギー保存式ベース

② 本解析に用いた行列解法

a. 圧力Poisson方程式の行列解法

反復解法ライブラリLis、行列解法はBiCGStab1 (安定化多項式の次数 $l=2\sim 4$)、前処理法はILU分解法 ($n=8\sim 120$)、 n はフィルインレベルでAdditive Schwarz法を併用

b. 運動量保存式、質量保存式、エネルギー保存式の行列解法

当社開発のBiCGStab法、前処理法は重み付ILU(0)分解法

2025年12月11日

Copyright©2025 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

45

6. 大規模複雑管路ネットワークの計算例

③ 状態方程式

状態方程式にはREFPROPデータベースを使用

④ 計算上の工夫や注意点

計算は簡単にはできなかったもので、下記の計算パラメータなどを試行錯誤しつつ計算を実施した。

- 計算初期の時間刻み幅
- 最大Courant数まで時間刻み幅の増加率
- デッドエンドの末端において運動量保存式の対流項を省略
- 極端に短い管路に繋がるジャンクションでの運動量保存式の対流項を省略
- 温度計算における時間緩和の考慮
- 後述の100万を超える格子数の解析では、圧力Poisson方程式以外に使用した当社開発のBiCGStab法の前処理法の重み付ILU(0)分解法オプションを、圧力Poisson方程式に使用したLisの前処理法ILU(n)の n によっては、変更が必要な場合があった。重み付ILU(0)分解法オプションと n の組み合わせによっては、20,000秒から30,000秒に掛けて計算が破綻することがあり、解明できていない。
- 運動量束から密度と流速を求める際、質量保存式計算と一体化する方法を導入

2025年12月11日

Copyright©2025 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

46

6. 大規模複雑管路ネットワークの計算例

⑤ 計算結果

陽解法と5種類の陰解法の性能比較を行うために、比較的少ない総格子数12,000として40,000秒の解析を行った。

解析で得られた計算時間、Courant数、圧力Posisson方程式の平均反復回数などの比較を以下の表に示す。計算結果は初期の立ち上がりが異なるもの、整定後の計算結果は同等なものとなっている。

陽解法では**1,000時間**近く計算時間が掛かるのに対して、半陰解法では**20時間**前後、陰的により強化した準陰解法とSETS法では、**1時間**以内で計算できている。なお、準陰解法についてはCourant数として50程度が計算の限界であるのに対して、SETS法ではCourant数をさらに大きくしても計算ができている。

そこで、更なる大規模解析ということで、SETS法を使用して**総格子数を110万**程度まで増やし、行列解法はBiCGStabl法(**安定化多項式の次数 $l=2\sim 4$**)、前処理法はILU分解法(**フィルインレベル $n=8\sim 120$**)にAdditive Schwarz法を併用して解析を行った。**これらの組み合わせは試行錯誤の結果**であり、安定化多項式の次数 $l=1$ に相当するBiCGStabl法では計算が不安定であり、計算が破綻するか計算できても計算時間も多大になってしまう。Additive Schwarz法を使用しないと反復回数が大幅に増えてしまい、計算時間が大きく増えてしまう。

6. 大規模複雑管路ネットワークの計算例

⑤ 計算結果(続き)

SETS法を使用して総格子数を110万程度まで増やした解析で得られた計算時間、Courant数、圧力Posisson方程式の平均反復回数などの比較を以下の表に示す。なお、Courant数は3,000とした。計算結果は初期の立ち上がりがやや異なるもの、整定後の計算結果は同等なものとなっている。

BiCGStabl法の安定化多項式の次数 l 、前処理法はILU分解法のフィルインレベル n を増やすと圧力Posisson方程式の平均反復回数が減り、計算時間も大きく減っている。ただし、 **n を100から120に増やすと平均反復回数が減るが、計算量がさらに増えるため、計算時間は逆に増えている**。本解析では、 **$n=100$ が良さそう**な結果となっている。安定化多項式の次数 l も増やすと収束性は良くなるが、記憶容量と計算量は激増し、計算メモリと計算時間が大幅に増加し、計算が不可能となることがある。このことから本解析では **$l=4$ 程度までが良さそう**である。

6. 大規模複雑管路ネットワークの計算例

大規模解析に対する陽解法と陰解法の性能比較（注1）

No.	数値解法	Courant条件 (注2)	全タイムステップ 数	計算時間	高速化倍率 (注3)	平均反復回数 (注4)
1	陽解法	0.8	71,660,757	996 h 36 min	—	—
2	半陰解法1	0.8	1,314,397	21 h 47 min	46	16
3	半陰解法2	0.8	1,203,387	16 h 56 min	59	11
4	準陰解法1	50.0	20,054	30 min	1993	33
5	準陰解法2	50.0	20,375	55 min	1087	30
6	SETS法	50.0	19,911	38 min	1574	31
7	SETS法	100.0	10,359	25 min	2392	53
8	SETS法	500.0	2,824	11 min	5436	116
9	SETS法	1000.0	2,896	11 min	5436	89

(注1) 全長100kmの管路網、ポリウム総数1,000、ジャンクション総数1,000、**総格子数12,000**、40,000秒の解析

(注2) ケースNo.1は音速基準、それ以外は流速基準

(注3) 陽解法に対する計算時間の比の逆数

(注4) 圧力Poisson方程式の行列計算の反復回数の1タイムステップ当たりの平均値

2025年12月11日

Copyright©2025 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

49

6. 大規模複雑管路ネットワークの計算例

SETS法とLis（注4）の組み合わせによる大規模解析に対する性能比較（注1）

No.	総格子数	Courant条件 (注2)	Lisソルバー	Lis前処理法	計算時間	反復回数 (注3)
1	110万	3,000	BiCGStab(l=4)	ILU(8) + Additive Schwarz	123 hr 50 min	139
2	110万	3,000	BiCGStab(l=4)	ILU(16) + Additive Schwarz	54 hr 15 min	111
3	110万	3,000	BiCGStab(l=4)	ILU(40) + Additive Schwarz	41 hr 20 min	68
4	110万	3,000	BiCGStab(l=4)	ILU(60) + Additive Schwarz	34 hr 40 min	55
5	110万	3,000	BiCGStab(l=4)	ILU(80) + Additive Schwarz	30 hr 55 min	50
6	110万	3,000	BiCGStab(l=4)	ILU(100) + Additive Schwarz	27 hr 10 min	41
7	110万	3,000	BiCGStab(l=4)	ILU(120) + Additive Schwarz	29 hr 55 min	38
8	110万	3,000	BiCGStab(l=3)	ILU(100) + Additive Schwarz	31 hr 21 min	42
9	110万	3,000	BiCGStab(l=2)	ILU(100) + Additive Schwarz	33 hr 24 min	48

(注1) 全長110kmの管路網、ポリウム総数1,000、ジャンクション総数1,000、40,000秒の解析

(注2) 流速基準

(注3) 圧力Poisson方程式の行列計算の反復回数の1タイムステップ当たりの平均値

(注4) Library of Iterative Solvers for linear systems (<https://www.ssisc.org/lis/>)

2025年12月11日

Copyright©2025 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

50

価格および関連サービスのご紹介

Copyright ©2025 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.



◇価格について

■ Advance/FrontNet/Γ

- 年間ライセンス → 別途お問い合わせください。
- 買取ライセンス → 別途お問い合わせください。
- 保守サポート → 別途お問い合わせください。

- 保守サポートサービス（最新バージョンの使用権、E-mailによる問い合わせ対応）
年間ライセンス・買取りライセンスには保守サポート（1年分）を含みます。
- 教育機関向け（アカデミック版）はライセンス料金半額。

※評価版ライセンス（1ヶ月）あります。

Copyright ©2025 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

◇業界別のパンフレットあります

プラントの安全対策関係者様向け 管路系流体解析のご案内

アドバンスソフト株式会社

流体機器と配管から成るプラントの安全対策の検討において、事故を未然に防ぐための流体過渡シミュレーションが難しいのは、主に次のような事柄によるものです。

- ① 圧力・温度の広範囲にわたって高精度な流体物性が必要
- ② 境界流、圧力波伝播、水撃など複雑な物理現象への対応
- ③ 沸騰・凝縮などの相変化や気液・気固相などの混相流への対応
- ④ 配管内の流体とさまざまな流体機器との連成が必要

当社がソースコードから自社開発しているソフトウェアでは、以下の特性で、事故を想定したシミュレーションおよび対策検討を行うことができます。

- ① 流体物性：Nist/REFPROP, SRK式、Peng-Robinson式、NASA多項式DB
- ② 現象：圧縮性の考慮、臨界流モデル、水撃特化モデル
- ③ 流体の相：気相、液相、超臨界状態への対応とバッチパスカラーによる多様な相の表現
- ④ 機器連成：制御弁、安全弁、ファン・プロワ、ポンプ、ガスホルダーなど

アドバンスソフト株式会社では、管路系の流体解析ソフトウェアを開発しています。ソフトウェア販売のほか、解析受託や、個別の問題に応じたモデル作成、カスタマイズも承っています。

主要実績

プラントエンジニアリング会社様向け 管路系流体解析のご案内

アドバンスソフト株式会社

プラント安全評価の過渡シミュレーションは、実績豊富な当社にお任せください。無料でご相談承ります。まずはお問合せください。

お問合せ先 アドバンスソフト株式会社 TEL: 03-6826-3971
URL: <http://www.advancesoft.jp/> E-mail: office@advancesoft.jp

アドバンスソフト株式会社 (過渡シミュレーション) → エンジニアリング会社様 (設計・プラント安全評価) → プラント (安全評価)

過渡シミュレーションで分かること 当社製品の特長

- ① 過渡シナリオ毎の最高圧力
- ② 弁のシグナルの妥当性
- ③ 対策の検討とその効果
- ④ 圧縮性を考慮した数値流体シミュレーション
- ⑤ 圧力波伝播、応答遅れ、熱量変化の解析
- ⑥ 自社開発のため、個別の細かいシミュレーション問題が起こった場合の対応が可能

プラントで想定される過渡イベント

分類	プラント過渡イベント
トリアップ系	ポンプ、気化器、圧縮機、タービンのトリップ
弁閉	緊急遮断弁閉止、安全弁作動、ベントスチーク
制御系	圧力・流量・熱量変動時PID制御・シーケンシング
起動停止	ポンプ起動/停止と各種操作シーケンス
その他	配管破断、漏洩、熱源遮断、サイバールタイム

鉄鋼業界のみならず向け 管路系流体解析のご案内

アドバンスソフト株式会社

アドバンスソフトでは、管路系（1次元）の流体解析ソフトウェアを開発しています。ソフトウェア販売のほか、解析の受託や、個別の問題に応じたモデル作成、カスタマイズも承っています。

条件変更時のシミュレーション **機器更新時のシミュレーション** **事故時のシミュレーション**

冷却水系統
実績・バルブ遮断時水撃解析
・ポンプトリップ解析
・流量制御解析

ガス系統(Bガス、Cガス)
実績・フロートトリップ/発電所トリップ解析
・ガスホルダー体積制御解析
・水取器高さ検討解析

シミュレーション事例 1（発電所トリップ時のスタック解析）

制御弁応答、ガスホルダー体積変化、管内圧力変化を計算→制御系の設定見直し検討

Copyright ©2025 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

◇各サービスについて

■アドバンスソフトのパッケージソフト

第一原理計算ソフトウェア Advance/PHASE 密度汎関数理論に基づき、物質の性質を原子・分子レベルから解析する第一原理計算ソフトウェアです。	ナノ材料 GUI 付属 Advance/NanoLabo ナノ材料解析統合 GUI 材料解析ソフトウェア QuantumESPRESSO と LAMMPS に対応した統合 GUI です。	流体解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/red 非圧縮性から圧縮性流れまで、広範囲で複雑な流れに対応した汎用 3 次元流体解析ソフトウェアです。	圧縮性流体解析ソフトウェア Advance/FOCUS-i 非構造格子に対応した圧縮性流体解析ソフトウェアです。特に超音速や超音速の流れに適しており、高い並列化効率で計算出来ます。
大規模 3 次元 TCAD システム Advance/TCAD 超微細半導体デバイスからパワーデバイスまで、高度な機能と使いやすい GUI を備えた 3 次元 TCAD システムです。	ニューラルネットワーク 分子動力学システム Advance/NeuralMD Neural Network Potential に基づいた分子動力学のソフトウェアです。第一原理計算の結果を教師データとして分子力場を作成します。	気液二相流体解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/MP 沸騰と凝縮を伴う気液二相の流動特性や伝熱特性を 3 次元で解析するソフトウェアです。	管路系流体過渡解析ソフトウェア Advance/FrontNet 配管や流体機器から成る管路系内流体に対する 1 次元過渡解析の実用的なソフトウェアです。
大規模電磁波解析ソフトウェア Advance/ParallelWave マクスウェル方程式を FDTD 法で 3 次元に解く電磁波解析ソフトウェアです。アンテナの電波解析から光の干渉や回折を考慮した光波解析まで幅広く適用できます。	構造解析ソフトウェア Advance/FrontSTR 固体の変形や熱伝導、有限要素法を用いた 3 次元で解析するソフトウェアです。	大気拡散影響予測システム Advance/Emerg 大気拡散物質の挙動予測と影響評価のためのソフトウェアシステムです。	深層学習ツール Advance/iMacle 機械学習のうち、ニューラルネットワークによる深層学習に特化、最小限の機能に絞った比較的軽いツールです。
汎用プリポストプロセッサ Advance/REVOCAP 解析の一連の流れをスムーズに行う事を実現した汎用プリポストプロセッサです。	音響解析ソフトウェア Advance/FrontNoise 環境騒音、機器内の共振等における音場を有限要素法を用いた 3 次元で解析するソフトウェアです。	自社による開発（国プロ含む） 開発チームによる質の高いサポートサービス カスタマイズや機能追加も応相談 並列数無制限（追加料金なし）	

AdvanceSoft

Copyright ©2025 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

◇各サービスについて

パッケージソフトウェアの販売・サポート

取り扱っているパッケージソフトウェアは、ほとんどが自社開発です。
ソースコードを熟知した開発者が直接お客さまのご質問にお答えいたします。

ソフトウェアの受託開発サービス

お客さまの課題解析に則した、シミュレーションソフトを新規開発いたします。
また、お客さまがご利用になっているソフトウェアの改良も対応いたします。

解析サービス

計算科学用ソフトウェアを用いた解析計算を行います。シミュレーションの専門家
ならではの見識をもって評価し、ソリューションをご提案いたします。

コンサルティング

CAEに関わるさまざまな課題をお客さまと一緒に解決すべく、専門研究者が
コンサルティングサポートをさせていただきます。

Copyright ©2025 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

アドバンスソフトの開発・解析サービス

お客さまのご要望に応じて科学技術計算ソフトウェアの
新規開発、機能追加、受託解析等のサービスをおこないます。

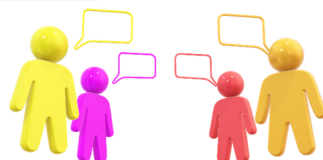


1. 流体・構造・ナノ関連など幅広い分野の
ソフトウェアを開発し、解析経験がある技術
者がお客様のご要望をお伺いいたします。

2. 最適な解析方法をご提案いたします。

3. お客さまのご了解が得られましたら、
モデリングを行い、解析を実施いたします。

4. 解析結果を可視化し、解析結果の
評価や考察を行なって報告書を作成
いたします。



お問い合わせ先：ご担当営業まで

TEL：03-6826-3971 FAX：03-5283-6580

E-mail：office@advancesoft.jp

Copyright ©2025 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.





警告

このレポートに収録されている文章および内容については、ご自身のために役立てる用途に限定して無料配布しています。
このレポートを、販売、オークション、その他の目的で利用するには、著作権者の許諾が必要になります。
このレポートに含まれている内容を、その一部でも著作権者の許諾なしに、複製、改変、配布を行うことおよびインターネット上で提供する等により、一般へ送ることは法律によって固く禁止されています。