

オンラインセミナー 圧縮性流体解析ソルバー Advance/FOCUS-i 製品・事例紹介セミナー

2025 年 11 月 21 日 (金) 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. 圧縮性流体解析ソルバー Advance/FOCUS-I について 5
 - ① Advance/FOCUS-i の概要、理論説明
 - ② プリ処理からポスト処理までの解析手順デモ
 - ③ Advance/FOCUS-i 事例紹介
～拡散・爆発/燃焼/乱流/キャビテーションでの事例紹介～
3. 価格と関連サービスのご紹介 32

AdvanceSoft



アドバンスソフト株式会社のご紹介

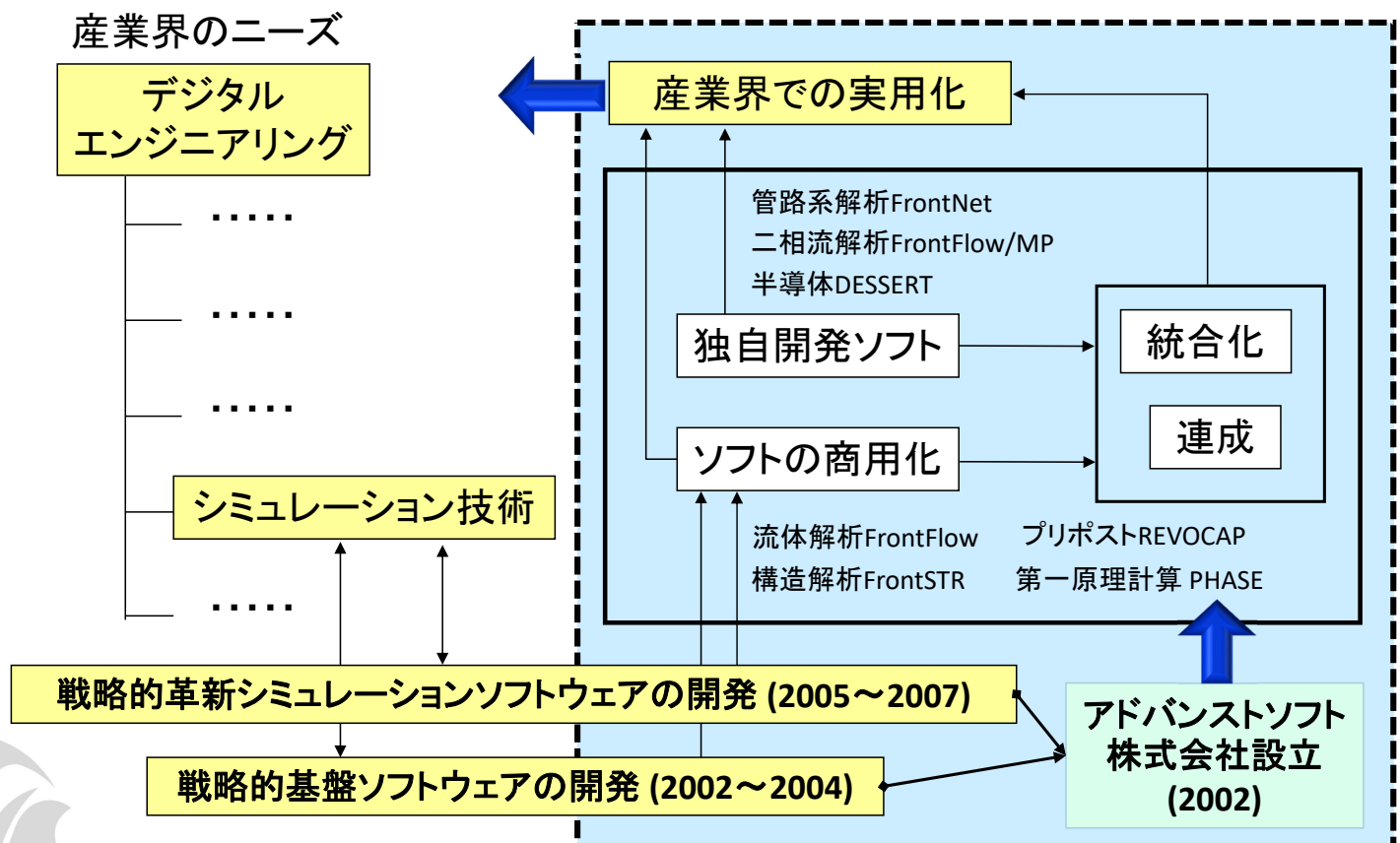
圧縮性流体解析ソルバー Advance/FOCUS-i
製品・事例紹介セミナー

2025年11月21日（金）
アドバンスソフト株式会社

Copyright ©2025 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

1

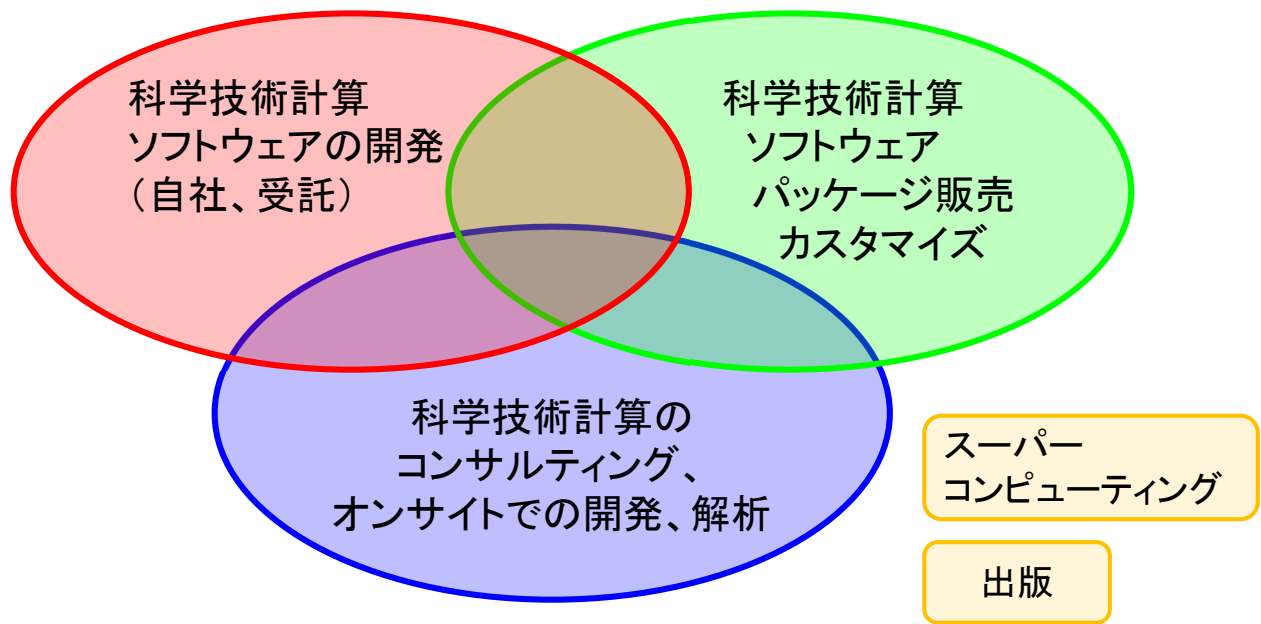
アドバンスソフトとは



Copyright ©2025 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

事業内容

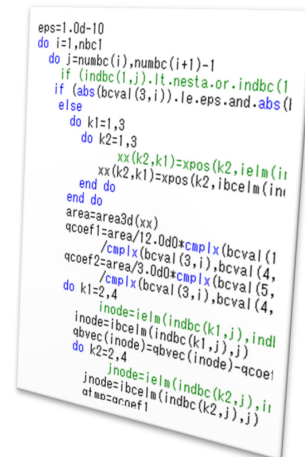
アドバンスソフトがご提供するサービス



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

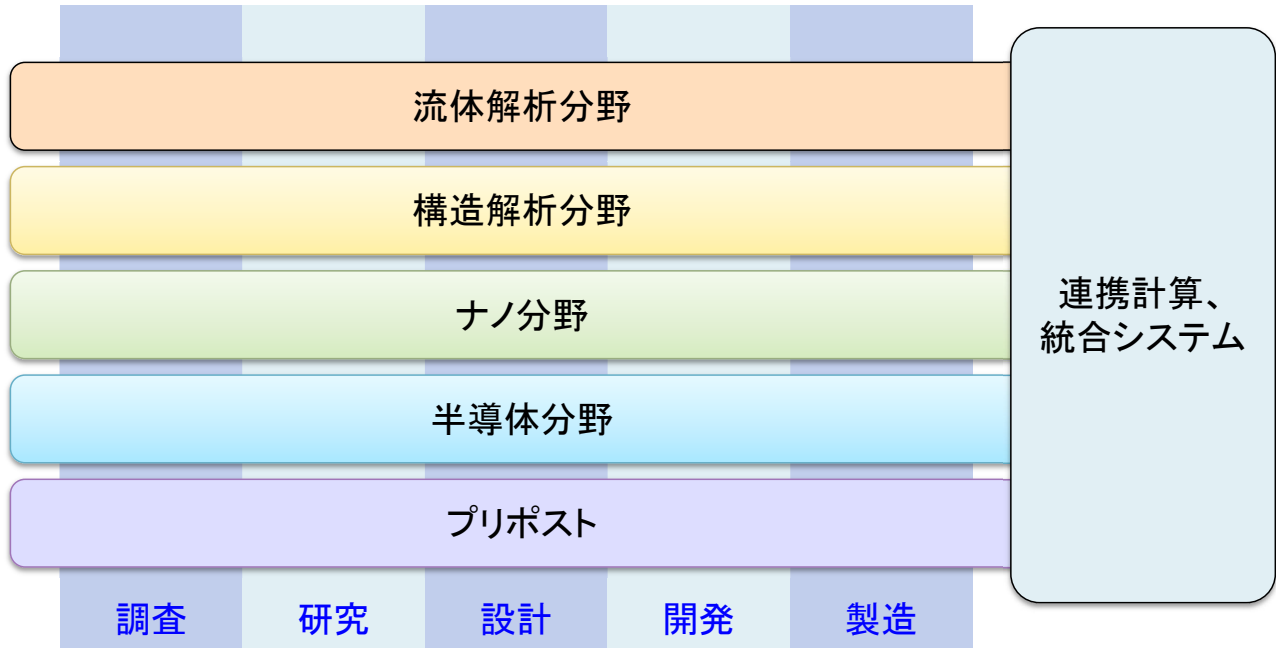
- シミュレーションソフトウェアの開発力
 - 自社でソースコードを所有し、事業化
 - ニーズに対し自社でカスタマイズが可能
 - 計算原理とその限界を熟知した技術者



✓ 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

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力学システム Advance/NeuralMD Neural Network Potential に基づいた分子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>



FOCUS-iセミナー

2025年11月21日
アドバンスソフト株式会社

Copyright ©2025 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

1

内容

- Advance/FOCUS-iの概要と理論説明
- 解析手順の説明
- 解析事例紹介
 - 拡散、爆発解析
 - 部分開放空間での水素拡散挙動解析(実験との比較検証)
 - Liイオン電池の爆発による有毒ガス拡散解析
 - 燃焼解析
 - 水素燃焼による爆燃爆轟挙動解析(実験との比較検証)
 - タンクから漏洩した水素の燃焼解析
 - 原子炉建屋での水素燃焼(爆燃、爆轟)解析
 - 乱流解析
 - 翼周りの定常RANS解析
 - URANS(k- ω SST)とSST-DDESによる円柱周りのレイノルズ数効果に関連する非定常乱流の解析
 - 超音速流解析
 - 超音速流れの検証例(空力加熱の理論値と比較)
 - キャビテーション解析(気液二相流)
 - 種々のキャビテーションに関連する実験を対象とした検証計算
 - 球状物体の水面突入によるキャビテーション解析

Copyright ©2025 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

2

Advance/FOCUS-iの概要と理論説明

Advance/FOCUS-iの概要と理論説明

FOCUS-iとは？

あらゆる「流れ」と「燃焼」と「二相流」を解き明かす、自社開発のCFDツール

FOCUS-iは、多様な流体現象をシミュレーションするための汎用CFD(数値流体力学)ソルバー

- **自社開発ソルバー:** 当社で開発されており、手厚いサポートを提供
- **幅広い対応範囲:** 水素拡散のようなゆっくりとした流れから超音速流まで、一つのソルバーで対応可能
- **複雑な物理現象:** 乱流、気液二相流、燃焼・爆轟など、産業界で求められる高度な物理モデルを多数搭載
- **高い安定性:** 長年の研究開発に裏打ちされた、安定かつ高速な計算を実現

解析の基礎理論

流体の動きを支配する基本方程式

FOCUS-iは、以下の3つの保存則に基づく流体の運動を記述する圧縮性ナビエ-ストークス方程式をベースに計算を行う。

- 質量保存則
- 運動量保存則
- エネルギー保存則

産業応用で重要な乱流現象に対しては、RANS(Reynolds-Averaged Navier-Stokes)モデル、またはDES(Detached Eddy Simulation)モデルという、計算負荷と精度とのバランスに優れた手法を用いている。

FOCUS-iの3大特長

FOCUS-iを支える先進的な解析技術

FOCUS-iは、産業界の幅広いニーズに応えるため、3つのコア技術を搭載している。

1. **全速度対応ソルバー**
水素漏洩のような極低速の流れから超音速流まで、あらゆる速度域を単一のソルバーで高精度に解析
2. **DDT・爆轟解析**
建屋スケール内での緩やかな燃焼が爆燃を経て超音速燃焼(爆轟)へと遷移するDDT現象を、現実的な計算コストで予測
3. **気液二相流/キャビテーション解析**
密度ベースソルバーの優位性を活かし、キャビテーションクラウド生成・消滅と強い圧力波/衝撃波の伝播挙動現象を高精度に予測

これらの特長により、定常的な流れの評価から、プラントの安全性評価まで、幅広い課題解決に貢献します。

特長① 全速度対応ソルバー

水素拡散から衝撃波まで、流れを選ばない

密度ベースソルバーは、低速流で遭遇する密度の硬直性と、バルク流体速度が音速よりも遥かに下回ることによる時間刻みの極小化という二重苦により、そのままでは低速流を精度良く、なおかつ迅速に解くことは困難

FOCUS-iの解決策:

気液二相流と多化学種を包括する独自の「前処理 (Preconditioning) 法」を導入これにより、マッハ数が極めて小さい流れから超音速の流れまで、安定かつ高精度な解析が可能; dual timeステップ法も導入し非定常現象の解析が可能

適用例:

- 極低速流れ: 水素漏洩・拡散シミュレーション
- 高速流れ: 遷音速～極超音速で飛翔する対象のシミュレーション
- 燃焼流れ: ゆっくりと燃えながら最終的に爆轟波となる現象のシミュレーション
- 気液二相流れ: 相変化時の音速の大幅な変化に伴う低マッハ数と高マッハ数が混在する流れのシミュレーション

Copyright ©2025 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

7

特長② DDT・爆轟解析

緩やかな燃焼から、超音速燃焼(爆轟)への遷移(DDT)を高精度に予測

FOCUS-iは、燃焼現象の中でも特に予測が難しいDDT(爆燃から爆轟への遷移)の解析を得意としている。

FOCUS-iの解決策:

火炎面の位置をG値で表現するG方程式モデルを採用

- 低コストでの実現: 詳細な化学反応計算を回避することで、計算コストを大幅に削減
- 高精度なDDT予測: 乱流による火炎加速を模擬するWrinklingモデルと、条件に応じて爆轟を発生させる起爆モデルを組み合わせることで、複雑なDDT現象を現実的な計算時間で再現
- 実証された信頼性: 大規模実験との比較検証により、高い予測精度を実証

Copyright ©2025 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

8

特長③気液二相流/キャビテーション解析

キャビテーションを含む気液二相流を高精度に予測

FOCUS-iは、気液二相流動現象の解析を、密度ベースソルバーの形式を使用しつつ可能にしている。

FOCUS-iの解決策:

- 圧縮性と非圧縮性とみなせる領域を同一の枠組みで扱い、キャビテーションのように急激な密度変化を伴う現象に強い
- ウォーターハンマーのような圧力波の影響が支配的な流れにも適用可能
- 均質媒体モデルの採用により、気相/液相の界面の複雑な追跡が不要
- 気相・液相の状態式を用い、既存のキャビテーション発生モデルの使用が可能
- リーマンソルバーに基づく低マッハ数流れ対応版のソルバーを使用することにより、圧力波、衝撃波・爆轟波/界面の干渉流れ、キャビテーション/衝撃波干渉流れの解析に強い

使いやすい操作環境と拡張性

モデル準備から結果可視化までをスムーズに

複雑形状への対応:

- OpenFOAM®形式のポリヘドラル(多面体)格子フォーマットに対応しており、複雑な形状も柔軟にモデル化が可能

専用GUI:

- 計算条件の設定や実行、境界条件の指定などを、分かりやすいGUIを通じて実行可能

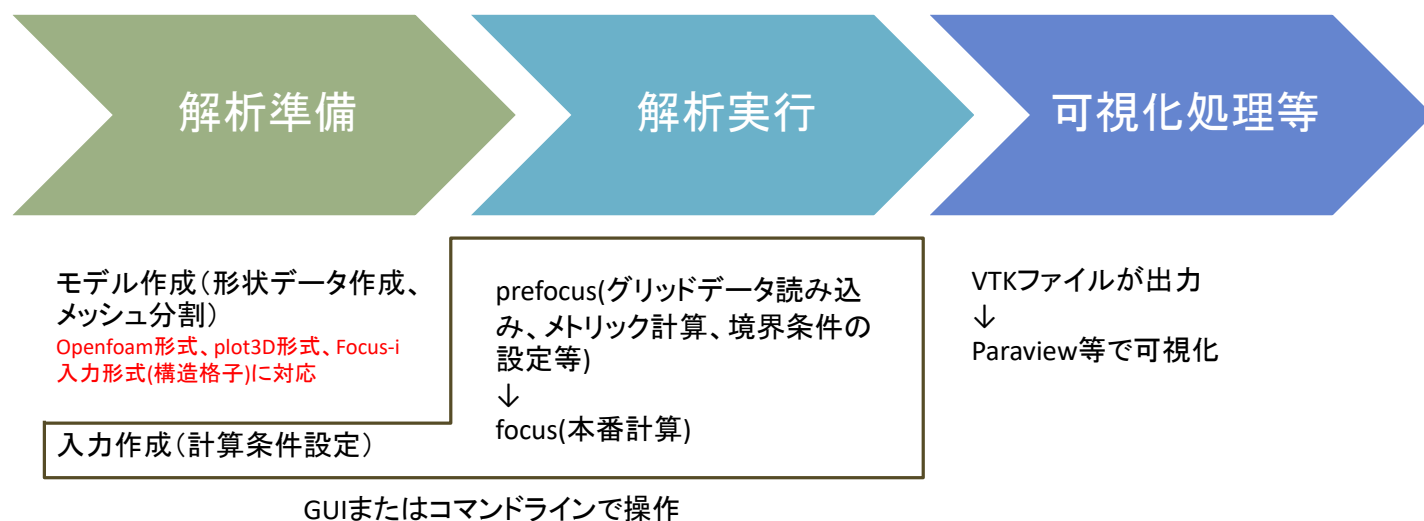
多様な物理モデル:

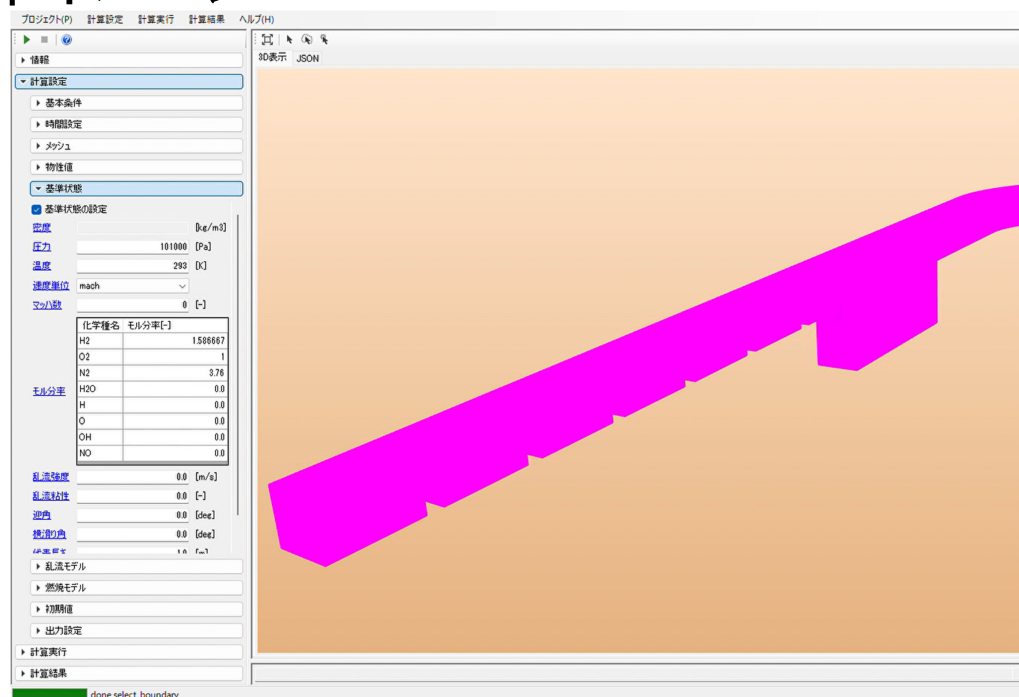
- 乱流、浮力流れ、気液二相流など、様々な物理モデルを搭載しており、幅広い現象に対応が可能

解析手順の説明

解析手順の説明

解析の流れ





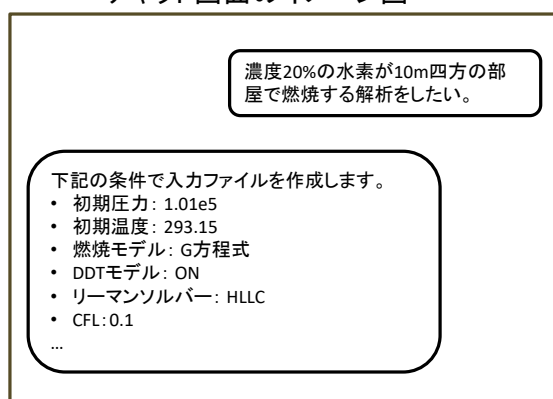
AI支援による入力作成(開発中)

入力ファイル作成にはある程度習熟が必要で、初心者にはハードルが高い。

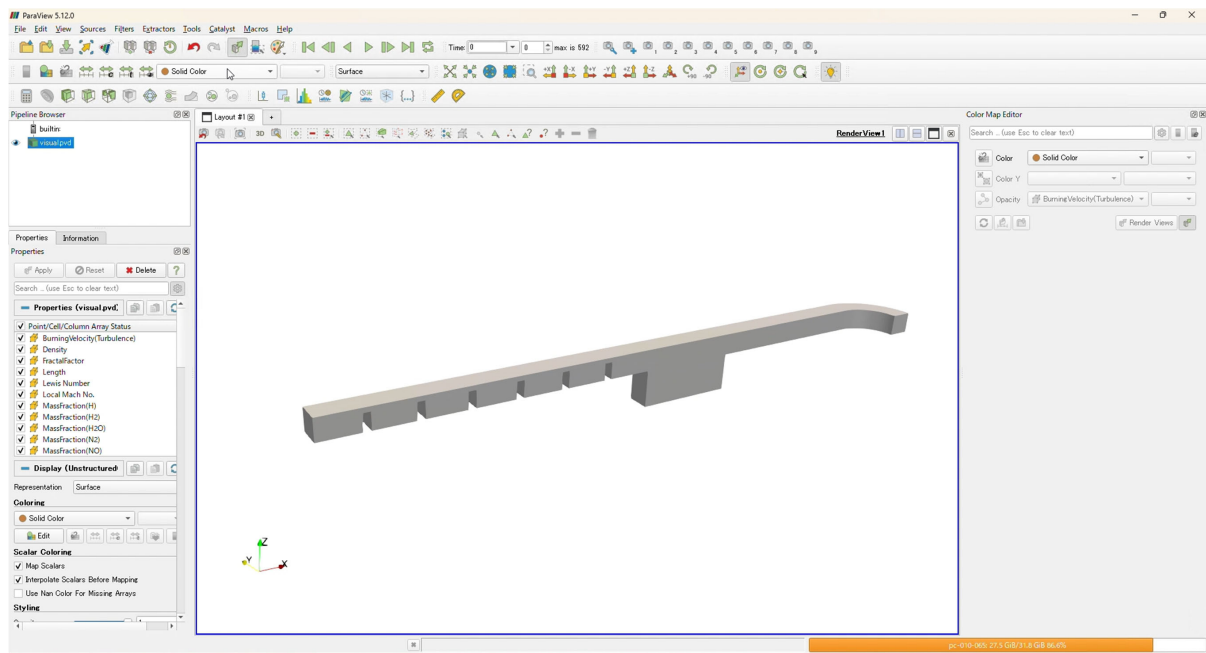
↓

簡単なチャット形式で入力ファイルを作成するためのシステムを開発中

チャット画面のイメージ図

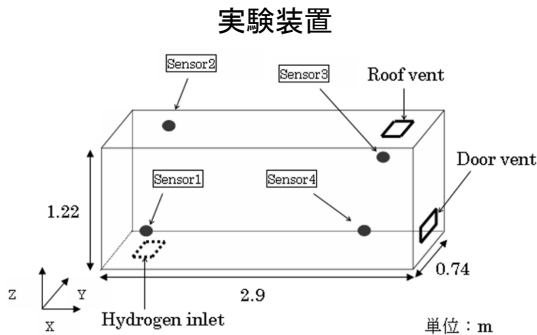


ParaViewによる可視化

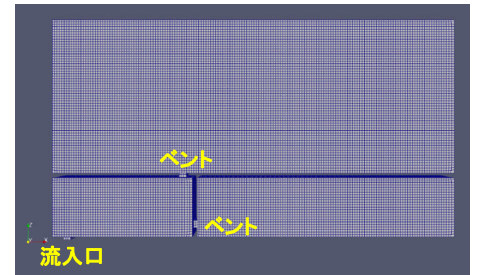
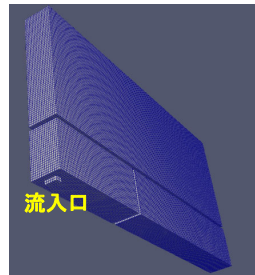


解析事例紹介

①部分開放空間での水素拡散挙動解析(実験との比較検証)



計算格子(11万要素)

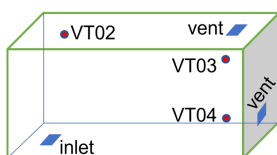
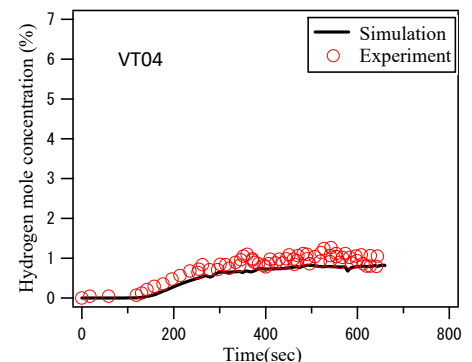
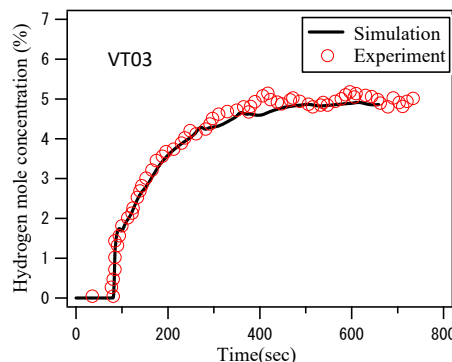
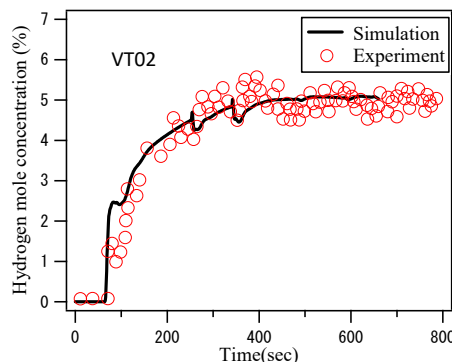


- snappyHexMeshを使用して計算格子を作成
 - 低マッハ数流れに対応した流束評価法とPreconditioning対応のDual time ステップ法により音速に拘束されずに数値解を時間発展させた。
 - 下側から15.2cm × 30.4cmの流入口から濃度100%の水素が流入し、その流入速度は実験[※]に合わせて2cm/sとしている。
 - 実験[※]では天井と側壁にベントが設けられており、それらのサイズもそれぞれが15.2cm × 30.4cmである。
 - 排気口の外側は空気で満たしており、本シミュレーションは解析対象の外側にも計算領域を設けた。
 - こうすることにより、ventから水素が排気される際の圧力損失を含めて自然に流体解析ができ、流出境界条件に関わる煩雑さを回避することができる。
- ※ 月川久義, 金山寛, 松浦一雄, 井上雅弘:「部分開放空間に漏洩する水素の自然換気状態における非定常濃度変動の評価に関する検討」, 水素エネルギー・システム, Vol.33, No.3, pp28-35 (2008).

Copyright ©2025 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

17

①部分開放空間での水素拡散挙動解析(実験との比較検証)



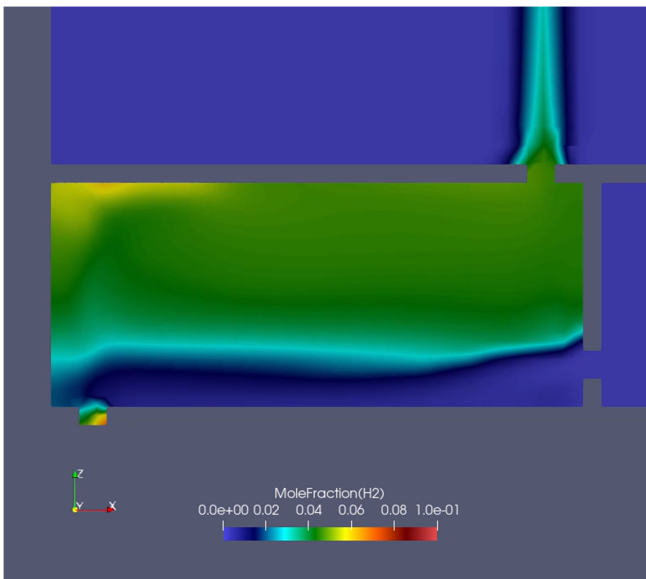
- 実験(※)では60秒で水素流入が開始され約300秒で一定値(約5%)に達する
 - 水素流入は2cm/sと非常にゆっくりしている
 - シミュレーションにかかる時間は2時間程度(11万要素、時間刻み幅0.1秒、6000タイムステップ、8並列計算)
 - 密度ベースソルバーであるがDual timeステップ法と低マッハ数用の前処理を用いているため非圧縮性流体のソルバーと同等の計算時間で解析処理が可能
 - 密度ベースソルバーであるため、restartファイルを用いて点火・燃焼/爆轟解析にすぐ使える
- ※井上雅弘, 月川久義, 金山寛, 松浦一雄:「室内における漏洩水素の拡散に関する実験的研究」, 水素エネルギーシステム, Vol.33, No.4, pp32-43 (2008)

Copyright ©2025 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

18

①部分開放空間での水素拡散挙動解析(実験との比較検証)

中心断面内の水素濃度分布の非定常挙動(動画)



Advance/FOCUS-iによる水素漏洩拡散のシミュレーション例

Copyright ©2025 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

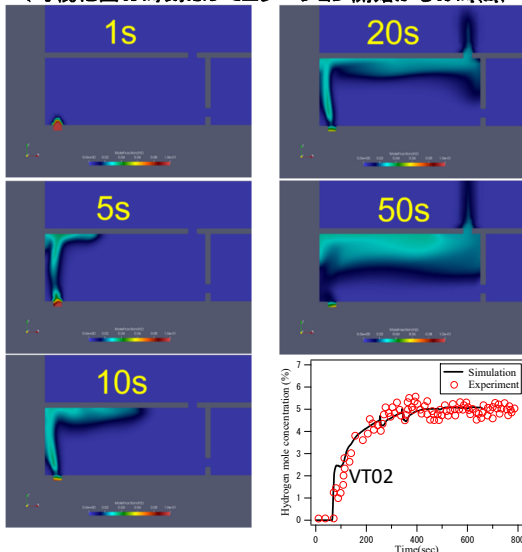
- 天井ベントから排気、側壁ベントから空気が流入する様子が見てとれる
- 側壁ベントから流入する空気と天井の水素が逆行し不安定層を形成している
- 圧縮性流体専用のアルゴリズムに非定常計算のための前処理法を組み込み、マッハ10万分の1程度の低速流れに対応している
- RANSは非定常物質拡散に不向きとされるが乱流変数の取り扱いを他の物理量と併せて時間発展を追跡することにより精度良く解析できると考えられる

19

①部分開放空間での水素拡散挙動解析(実験との比較検証)

中心断面内の水素濃度分布の非定常挙動

(可視化図の時刻はシミュレーション開始からの時間)



Advance/FOCUS-iによる水素漏洩拡散のシミュレーション例

Copyright ©2025 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

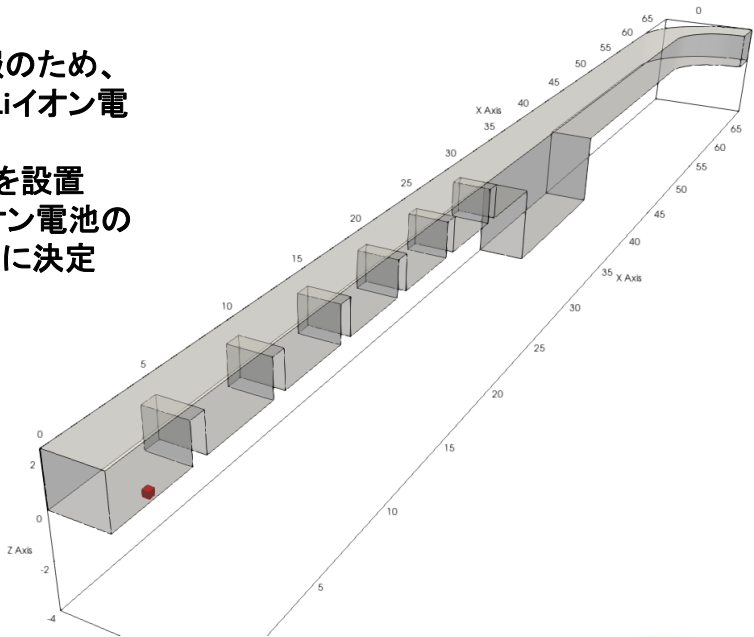
- ✓ Advance/FOCUS-iソフトウェアで採用する低マッハ数流れのためのpreconditioning手法を適用した
- ✓ dual-time stepping手法を併用し、時間積分の精度を物理量と乱流変数の双方に対して確保した
- ✓ マッハ数が $M=0.1$ を遥かに下回る低速流から超音速流の範囲の非定常流に対応させた
- ✓ 浮力を伴う物質拡散現象を正確にシミュレートできることを検証した

20

②Liイオン電池の爆発による有毒ガス拡散解析

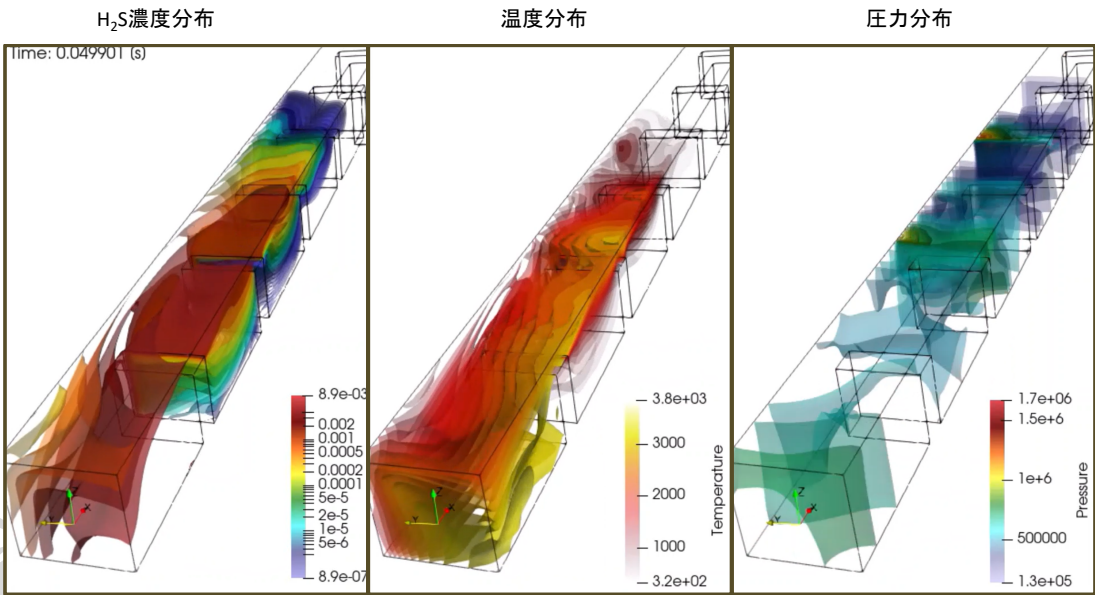
- Liイオン電池工場の解析モデルは非公開情報のため、代替としてある実験施設を模した建屋内でのLiイオン電池爆発解析を実施
- 右図の赤で示した位置に爆発源(30cm四方)を設置
- 爆発源の圧力、温度、ガス成分は、予めLiイオン電池の燃焼反応の化学平衡計算を行い、下表のように決定

項目	値
圧力	10605 × 10 ⁵ [Pa]
温度	6093 [K]
気体組成比	0.80885:0.19053:0.00062 (空気:SO ₂ :H ₂ S)
密度	631.7 [kg/m ³]



②Liイオン電池の爆発による有毒ガス拡散解析

解析結果



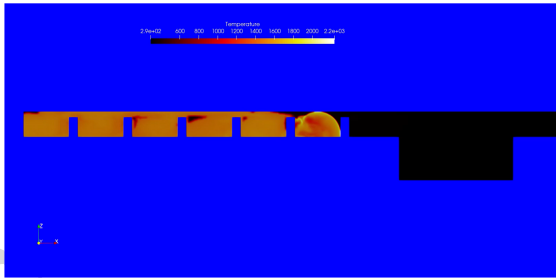
- 爆風圧が建築物に及ぼす影響や、有毒ガス、熱風が人体に及ぼす影響などについて評価が可能
- 爆発放散口による被害軽減の程度についても評価が可能

③水素燃焼による爆燃爆轟挙動解析(実験との比較検証)

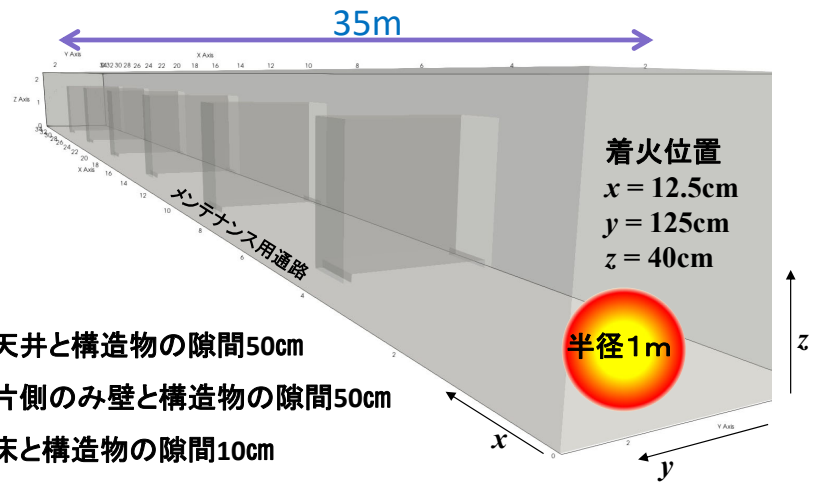
使用した解析格子(56万要素)



断面内の温度分布の可視化例



- ✓ 天井と構造物の隙間50cm
- ✓ 片側のみ壁と構造物の隙間50cm
- ✓ 床と構造物の隙間10cm
- ✓ 計算要素数:29万、38万、56万の3通り

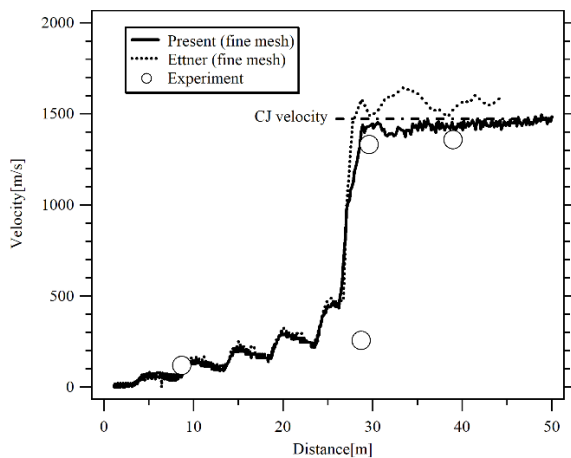


※Experimental results : Dorofeev S. B., Sidorov V. P., Dvoynishnikov A. E., and Breitung W., "Deflagration to Detonation Transition in Large Confined Volume of Lean Hydrogen-air Mixtures," Combustion and Flame, Vol. 104, Issues 1-2, pp. 95-110, 1996.

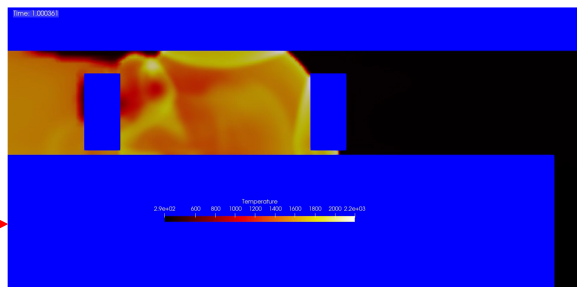
Copyright ©2025 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

23

③水素燃焼による爆燃爆轟挙動解析(実験との比較検証)



- ✓ 左の図は計算格子の解像度が5cm
- ✓ 計算格子の解像度をDDT近傍で20cm、10cm、5cmで検証し、いずれの場合も、本方法はCJ速度を正しく評価することを確認した
- ✓ 他のDDTモデル手法と比較しても優位性がある
- ✓ 35mという長さスケールの対象であるが計算時間は16時間程度(56万要素の場合)



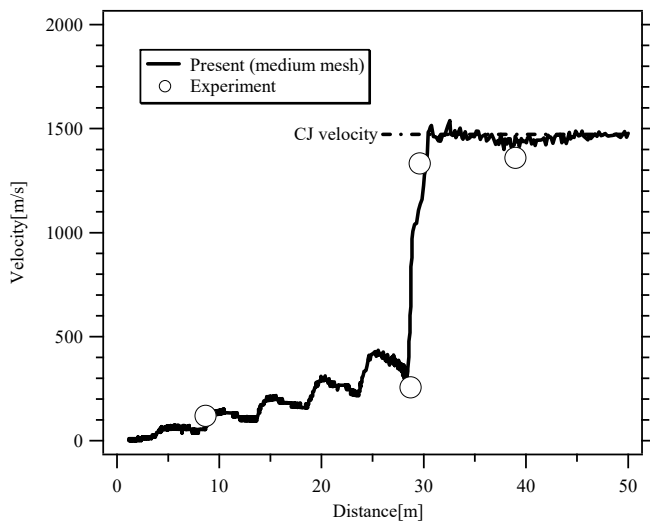
※Experimental results : Dorofeev S. B., Sidorov V. P., Dvoynishnikov A. E., and Breitung W., "Deflagration to Detonation Transition in Large Confined Volume of Lean Hydrogen-air Mixtures," Combustion and Flame, Vol. 104, Issues 1-2, pp. 95-110, 1996.

Copyright ©2025 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

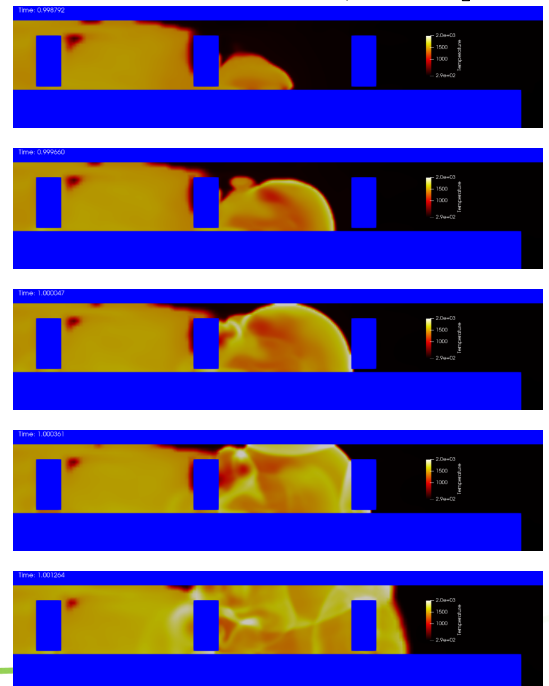
24

③水素燃焼による爆燃爆轟挙動解析(実験との比較検証)

火炎伝播速度のシミュレーション結果



断面内の温度分布(DDT, Close-up)



Copyright ©2025 Advance!

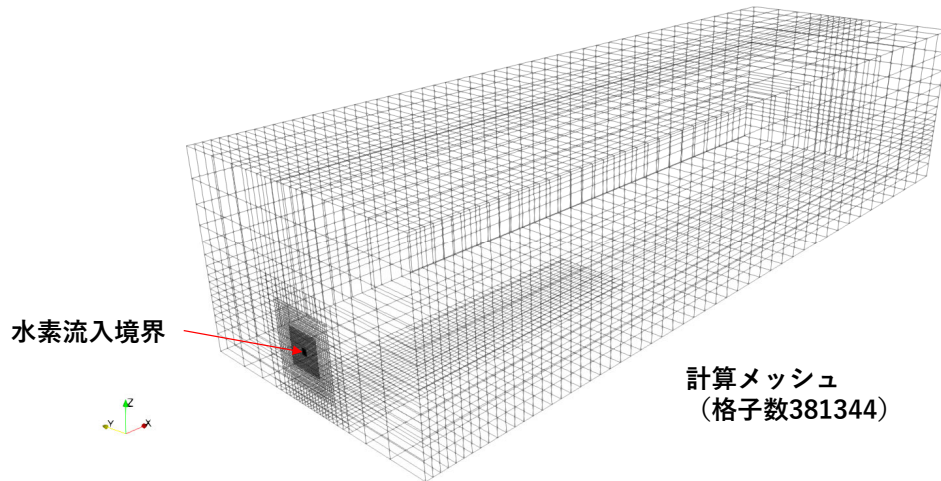
25

③水素燃焼による爆燃爆轟挙動解析に関する近年の社外発表リスト

1. 中森 一郎, 桐原 亮平, “爆轟遷移モデルを用いた密閉空間内の燃焼計算,” 第61回航空原動機・宇宙推進講演会, 2022.
2. 中森 一郎, 富塚 孝之, 高橋 淳郎, 大西 史倫, 小玉 貴司, 玉内 義一, 佐藤 直弥, 林 光一, 坪井 伸幸, “再処理工場の重大事故に係る重要現象に関する評価手法の高度化; 火炎面モデルに係る燃焼速度モデルと起爆項モデルを用いた実スケール施設内での爆轟遷移の予測性能の検証,” 原子力学会春の年会2023.
3. Ichiro Nakamori, Takayuki Tomizuka, Atsuo Takahashi, Fumitomo Onishi, Takashi Kodama, Yoshikazu Tamauchi, Naoya Sato, A. Koichi Hayashi, and Nobuyuki Tsuboi, “Numerical Simulation on DDT in Real and Large Scale Combustion Chamber Using a Combustion Velocity Method and Ignition Model with a Detailed Chemical Reaction System,” The 29th International Colloquium on the Dynamics of Explosions and Reactive Systems, 2023.
4. 中森 一郎, 高橋 淳郎, 大西 史倫, 林 光一, “建屋スケール内におけるDDT再現シミュレーションのための火炎面の燃焼速度モデルに関する改良,” 第63回航空原動機・宇宙推進講演会／北部支部2024年講演会ならびに第5回再使用型宇宙輸送系シンポジウム, 2024.
5. 中森 一郎, 高橋 淳郎, 大西 史倫, 富塚 孝之, “原子力発電所の重大事故に係る現象に関する評価手法の高度化,” 原子力学会秋の年会2024.
6. A. Koichi Hayashi, Ichiro Nakamori, Takayuki Tomizuka, Atsuo Takahashi, Fumitomo Onishi, Mikhail Kuzunetsov, Takashi Kodama, Yoshikazu Tamauchi, Naoya Sato, Nobuyuki Tsuboi, “Numerical Study on Hydrogen/Air DDT in a Large Scale Channel: physical and chemical models and initial and boundary conditions,” The 30th International Colloquium on the Dynamics of Explosions and Reactive Systems, 2025.

④タンクから漏洩した水素の燃焼解析

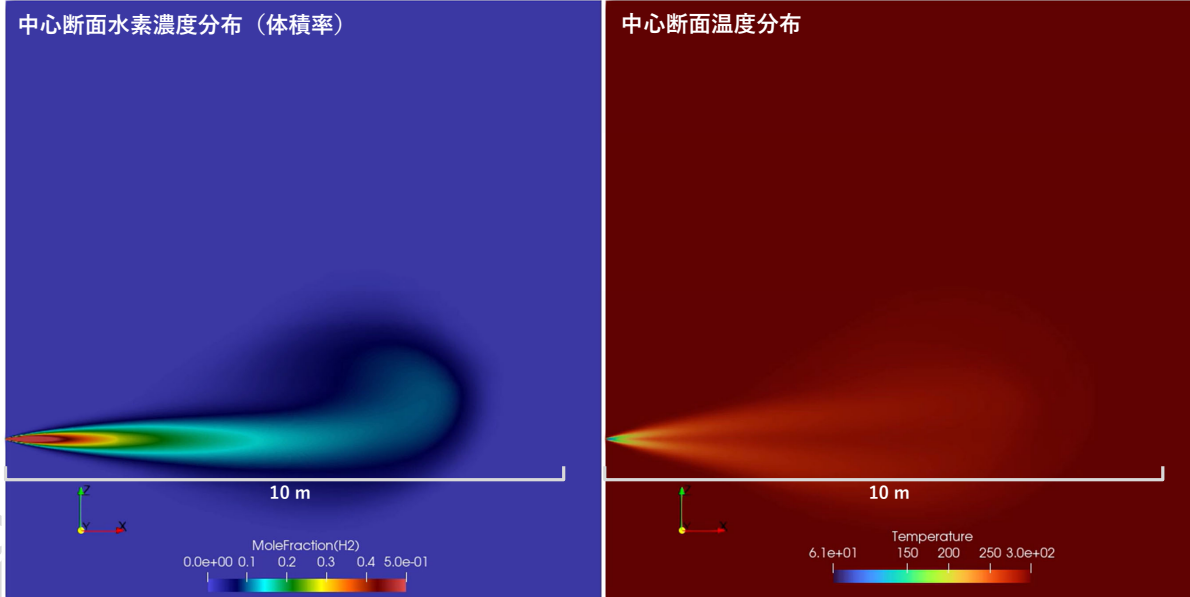
- 液化水素タンクから高圧の水素が漏洩、噴出し、拡散した水素ガスに着火したという想定での解析
- 第1段階で漏洩した水素の拡散解析を実施
 - ✓ 高圧高速で噴出する水素ガスと、遠方で速度が小さくなった水素塊の浮力による上昇をシームレスに解析可能
- 第2段階で拡散解析のリスタートファイルを読み込み、その時点の水素濃度分布での燃焼解析を実施
 - ✓ 水素拡散解析の結果をrestartファイルとして利用することが可能



④タンクから漏洩した水素の燃焼解析

第1段階の拡散解析

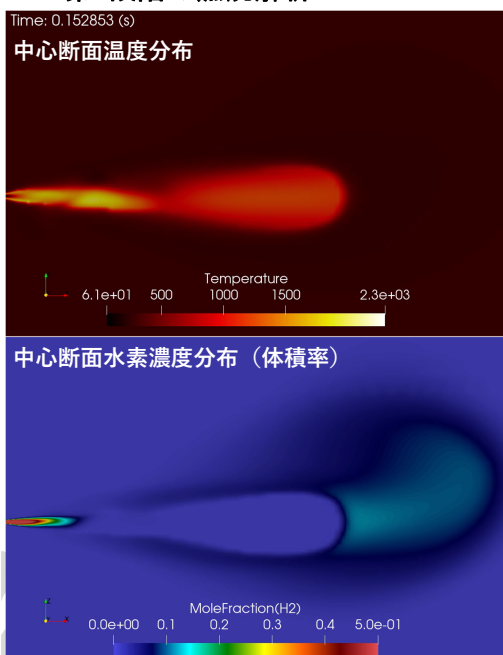
Time: 3.140000 (s)



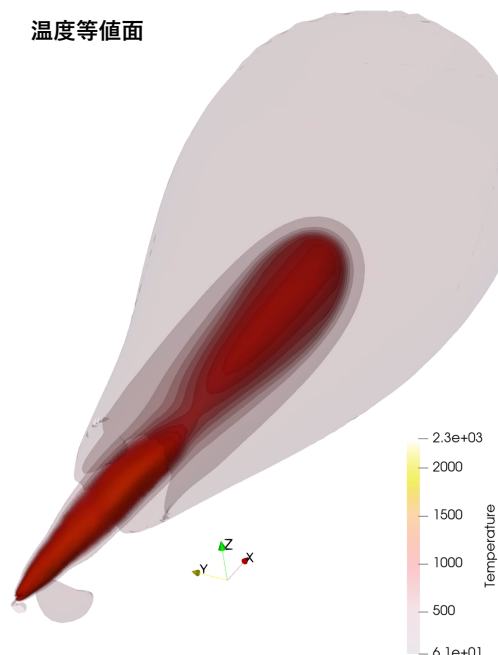
- 水素の噴流速度は 597m/s
- 水素噴出口の面積は 167mm²
- 噴出する水素の温度は 61K

④タンクから漏洩した水素の燃焼解析

第2段階の燃焼解析



温度等値面



- 拡散した水素に着火し燃焼
- 燃焼中も水素の噴出は継続
- 水素の温度は既燃部分においては高温で低密度になるため、噴流の速度が減速するにつれて浮力の効果で上昇を開始する
- 不均一な水素濃度分布での燃焼解析が可能

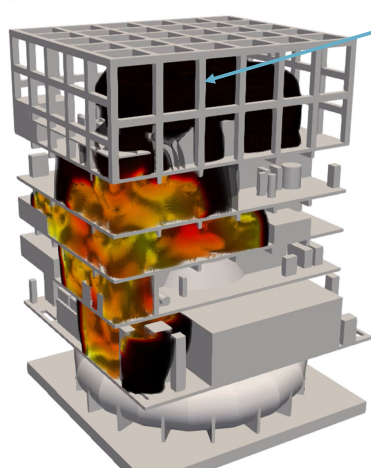
Copyright ©2025 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

29

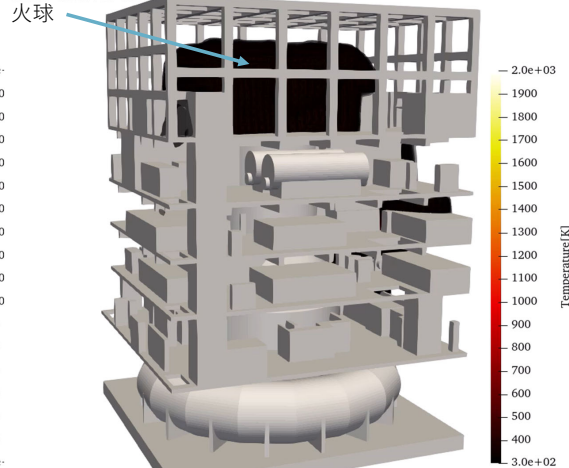
⑤原子炉建屋での水素燃焼(爆燃、爆轟)解析

- Advance/FOCUS-iによる初期水素濃度14%に対する爆轟遷移解析の例
- 対象は福島第1原発1号機 (1F1)
- 火炎の等値面に温度情報を付けた可視化動画
- 計算要素数は約38万要素

Time: 4.367709 sec 東から見た方向



Time: 4.367709 sec 西から見た方向



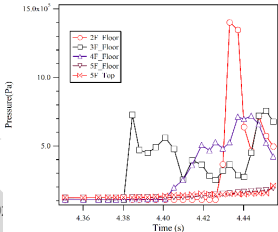
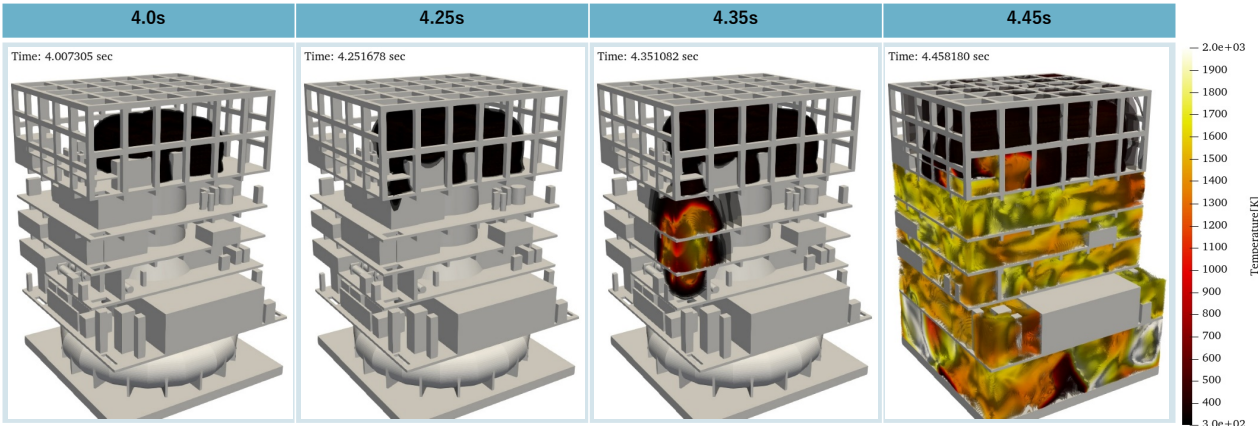
参考文献: 中森 一郎, 高橋 淳郎, 大西 史倫, 富塚 孝之, "原子力発電所の重大事故に係る現象に関する評価手法の高度化," 原子力学会秋の年会2024.

Copyright ©2025 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

30

⑤原子炉建屋での水素燃焼(爆燃、爆轟)解析

- ◆ 各時間における温度の静止画を示す
- ◆ 爆轟に遷移したのは非常階段の中ほどと推測される



- ◆ 5階天井部と2階から5階までの階段施設の圧力の時間変化を左のグラフに示す
- ◆ 2階の階段部で最大14気圧まで圧力が上昇している
- ◆ 本条件の解析条件では3階付近の階段で爆轟が発生し、その影響で4階と2階でも圧力の急増が見られた

参考文献：中森 一郎，高橋 淳郎，大西 史倫，富塚 孝之，“原子力発電所の重大事故に係る現象に関する評価手法の高度化，” 原子力学会秋の年会2024.

erved.

31

⑥翼周りの定常RANS解析(NACA0012翼型)

解析条件

※解析条件はHarris¹の実験を参照した

M_∞	Re_∞	α
0.799	9×10^6	2.26°

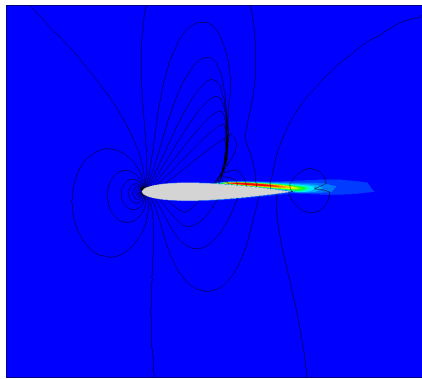
解析機能	
乱流モデル	k- ω SST
対流項	AUSMV-type + MUSCL-TVD
時間進行法	LU-SGS
時間刻み	CFL=1,000,000
計算要素数	256 × 64セル

[1] Harris, C. D., "Two-dimensional aerodynamic characteristics of the NACA 0012 airfoil in the Langley 8-foot transonic pressure tunnel", NASA TM 81927, 1981.

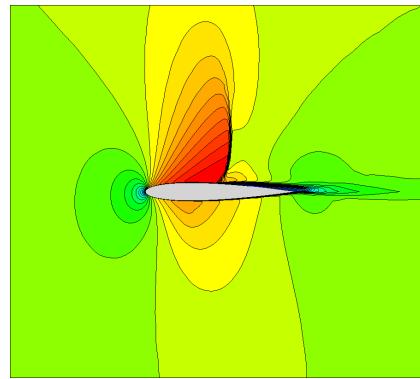
⑥翼周りの定常RANS解析(NACA0012翼型)

解析条件 ※解析条件はHarris¹⁾の実験を参照した

M_∞	Re_∞	α
0.799	9×10^6	2.26°



pkの分布(等高線は圧力)



マッハ数分布

[1] Harris, C. D., "Two-dimensional aerodynamic characteristics of the NACA 0012 airfoil in the Langley 8-foot transonic pressure tunnel", NASA TM 81927, 1981.

Copyright ©2025 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

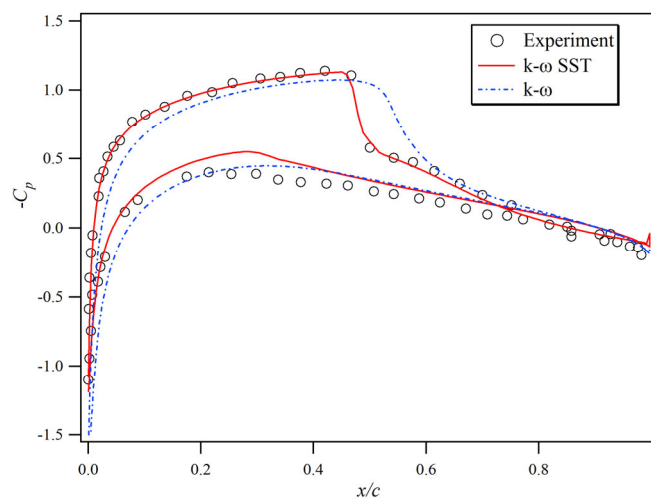
33

⑥翼周りの定常RANS解析(NACA0012翼型)

解析条件 ※解析条件はHarris¹⁾の実験を参照した

M_∞	Re_∞	α
0.799	9×10^6	2.26°

表面圧力分布



- ✓ 比較のためk- ω モデルによる結果も図示
- ✓ k- ω モデルでは負圧面に現れる衝撃波の背後の剥離領域中に過大な渦粘性が生成され、剥離領域が実験より小さく予測され、圧力分布が実験と合わない
- ✓ k- ω SSTモデルではその傾向が改善されていることが見てとれる

[1] Harris, C. D., "Two-dimensional aerodynamic characteristics of the NACA 0012 airfoil in the Langley 8-foot transonic pressure tunnel", NASA TM 81927, 1981.

Copyright ©2025 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

34

⑦翼周りの定常RANS解析(ONERA M6 Wing)

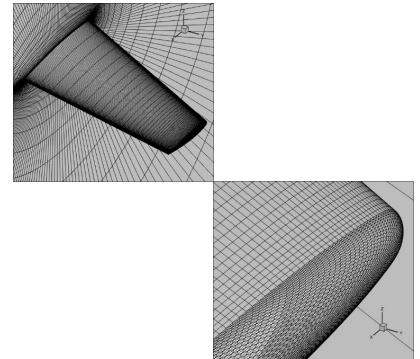
解析条件

※解析条件はHarris¹の実験を参照した

M_∞	Re_∞	α
0.84	11.76×10^6	3.06°

解析機能

乱流モデル	k- ω SST
対流項	AUSMDV + MUSCL-TVD
時間進行法	LU-SGS
時間刻み	CFL=10,000
計算要素数	84,000、403,200、ならびに1,075,200 (Hexa/Prizm複合格子)



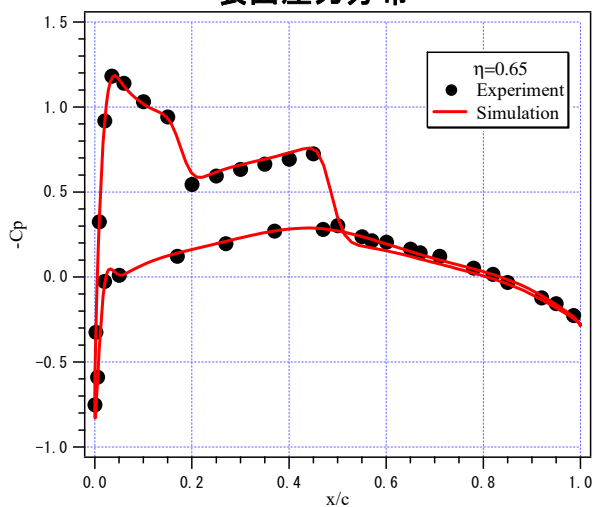
[1] Harris, C. D., "Two-dimensional aerodynamic characteristics of the NACA 0012 airfoil in the Langley 8-foot transonic pressure tunnel", NASA TM 81927, 1981.

Copyright ©2025 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

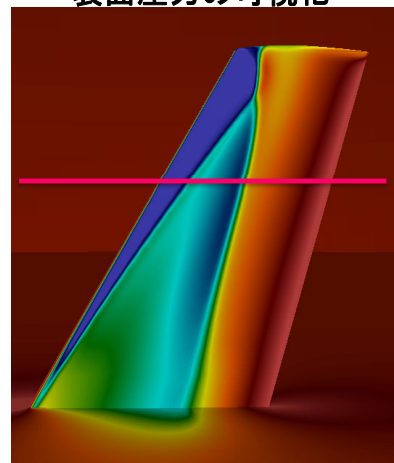
35

⑦翼周りの定常RANS解析(ONERA M6 Wing)

表面圧力分布



表面圧力の可視化



- ✓ スパン方向における翼端位置を $\eta=1$ として正規化 $\Rightarrow \eta=0.65$ における圧力分布で比較
- ✓ 翼の付け根のほうでは衝撃波により圧力上昇が2回生じる

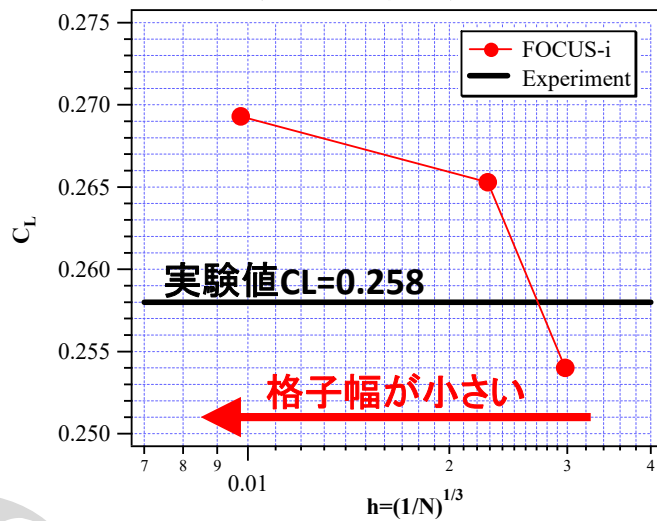
[1] Harris, C. D., "Two-dimensional aerodynamic characteristics of the NACA 0012 airfoil in the Langley 8-foot transonic pressure tunnel", NASA TM 81927, 1981.

Copyright ©2025 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

36

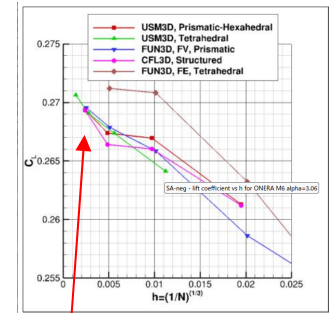
⑦翼周りの定常RANS解析(ONERA M6 Wing)

揚力係数の格子解像度依存の確認



要素数 N	揚力係数 C_L
84,000	0.2540
403,200	0.2653
1,075,200	0.2693

- ✓ 実験の揚力係数は $CL=0.258$
- ✓ Fineメッシュで $CL=0.2693$
 - ・ 誤差4%程度



- ✓ 米国のいずれの計算コード※も $CL=0.266 \sim 0.271$ の間に収まる傾向
- ✓ 実験の揚力係数は $CL=0.258$

※実験値と他のコードの結果は次のWebサイトを参照: https://turbmodels.larc.nasa.gov/onerawingnumerics_val_sa.html

Copyright ©2025 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

37

⑧ URANS(k- ω SST)とSST-DDESによる円柱周りの非定常乱流解析例

1. 背景と課題

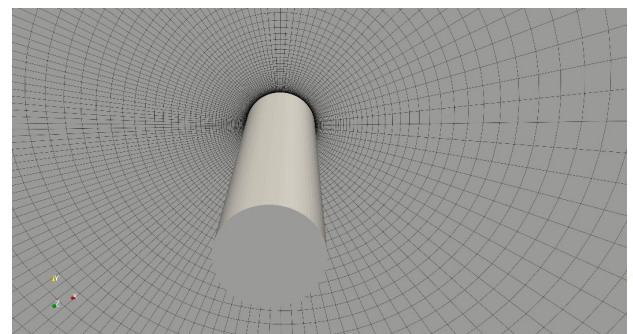
- RANS(定常・非定常 URANS)は高レイノルズ数における乱流高周波成分の再現が困難。
- 乱流特性長さ以下の空間変動成分がアンサンブル平均に埋没するため。
- ➡ 非定常乱流挙動と平均的特性の両立が課題。

➢ 2. DDES/DESモデルの適用

- DDES (Delayed Detached Eddy Simulation) ➡ 高精度化が期待される
- アルゴリズム: 格子スケールと乱流特性長さを比較し、領域を空間平均(LES的)とRANSに動的に分割
 - ✓ 結果的に、壁面近傍の乱流境界層はRANS、壁から遠方の大渦挙動はLESモードで解析する乱流モデル
- 効果: 高レイノルズ数での非定常乱流挙動と平均特性の両方で高精度な予測

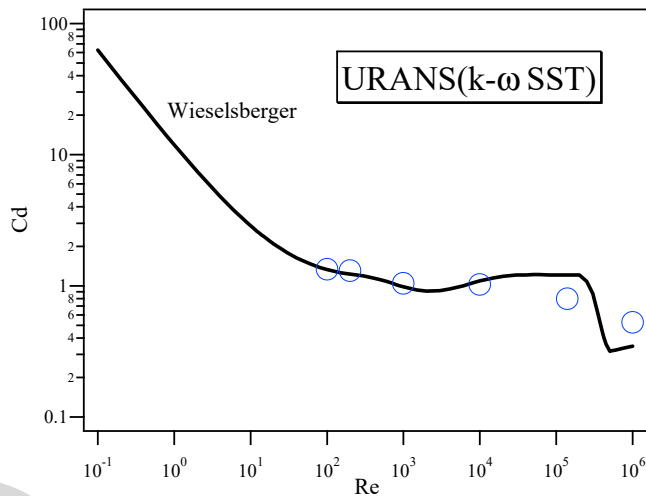
➢ 3. 検証事例と解析条件

- 検証: 円柱周りの抗力係数について、k- ω SSTモデル(URANS)とSST-DDESモデルを比較。
- SST-DDES: k- ω SSTモデルのDestruction項を修正
- 計算格子: 高解像度な6面体格子を使用



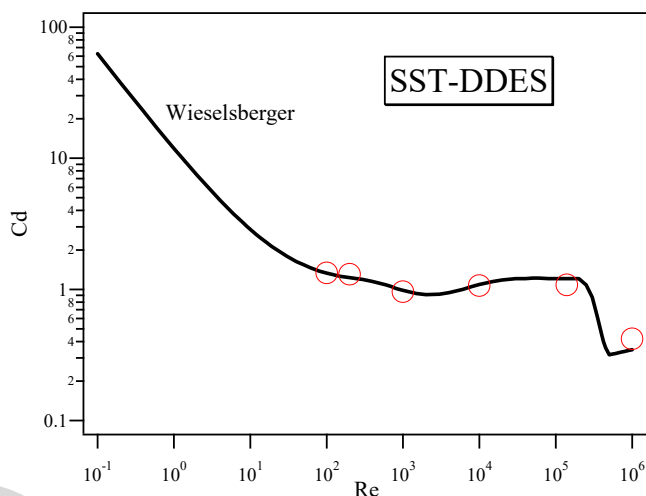
Copyright ©2025 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

38

⑧ URANS(k- ω SST)とSST-DDESによる円柱周りの非定常乱流解析例

- URANSの結果は、特にレイノルズ数が $Re=140,000$ 以降の drag crisis前後から予測精度が低下する
- その Re 数以降では、乱流モデルにおける乱流特性長さ以下の空間変動成分がアンサンブル平均の中に埋没しやすく、一般に言われている通り、URANSの非定常乱流解析は空力特性の予測性能に関して脆弱であることがわかる

実験値: Wieselsberger, C., "Neure festellungen uber die gesetze des flussigkeits- und luftwiderstands," Phys, Z., 22 (1921) pp. 321-328

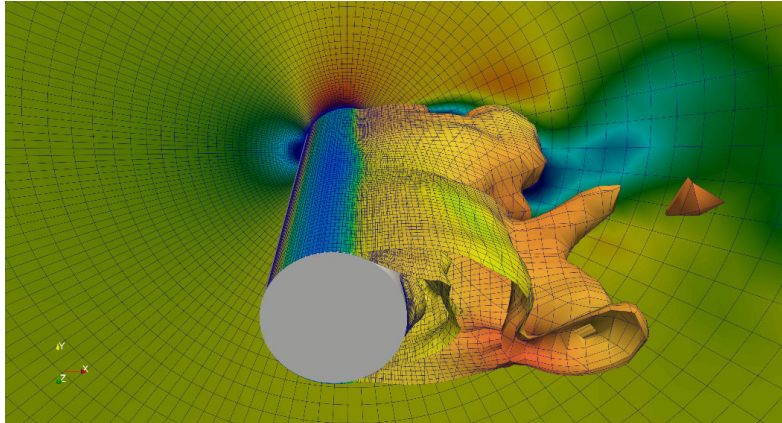
⑧ URANS(k- ω SST)とSST-DDESによる円柱周りの非定常乱流解析例

- $Re=100, 200$ は渦粘性がほぼ0で層流剥離とカルマン渦放出が特徴的な流れ場である
- $Re=140,000$ の場合は層流剥離を起こし、乱流付着する、いわゆる臨界レイノルズ数の状態であり、レイノルズ数が増えるにつれて抗力係数 Cd が若干増加する
- $Re=1,000,000$ 以降では乱流剥離をし、剥離渦は速やかに小渦に変化しながら大規模スケールの渦列も構成するという特徴を有し、乱流境界層の存在のために剥離点が円柱の最大投影面よりも後方で生じ、抗力が急減少する、いわゆる drag crisisの領域を再現することを確認した
- SST-DDESモデルはこれらの全てを網羅的に解くことが可能であり、抗力係数は実験[1]と良く一致する

[1] Wieselsberger, C., "Neure festellungen uber die gesetze des flussigkeits- und luftwiderstands," Phys, Z., 22 (1921) pp. 321-328

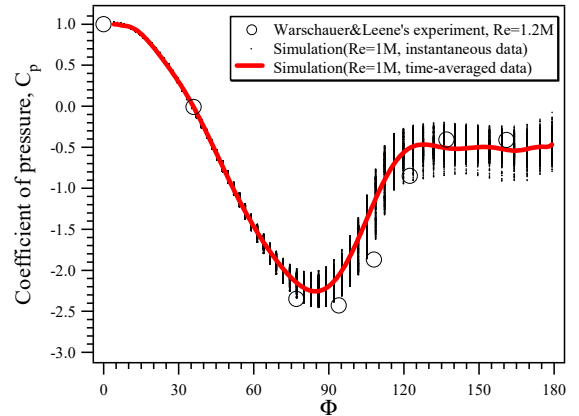
⑧ SST-DDESによる円柱周りの解析例

SST-DDESモデルによる、 $Re=1,000,000$ の流れの
スナップショット



- $z=0$ 平面での速度の絶対値の可視化
- 乱流エネルギーの等値面に圧力でカラーリング

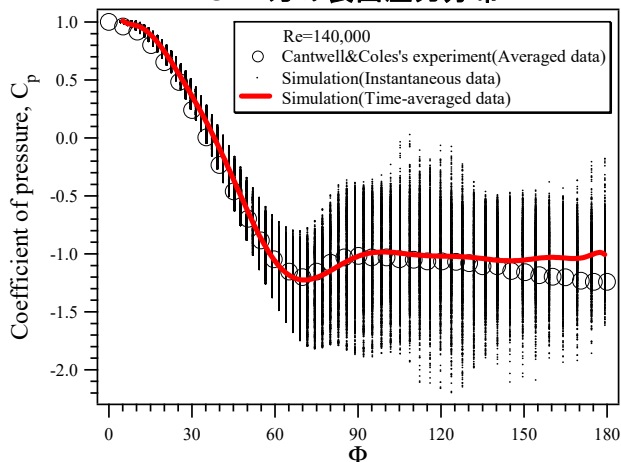
SST-DDESモデルによる、 $Re=1,000,000$ の場合の
円柱周りの圧力分布



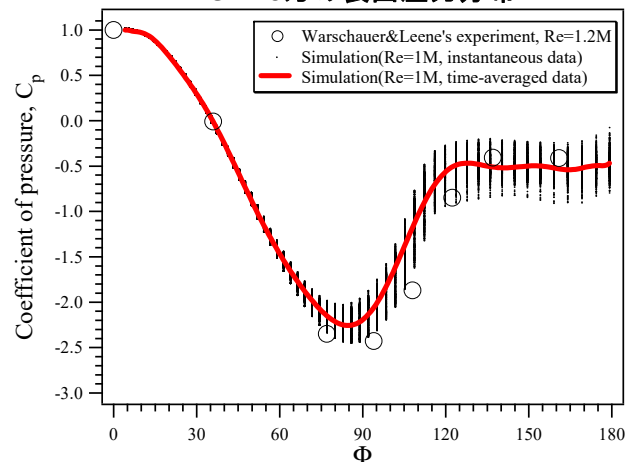
- 時間平均解のみならず非定常成分も解析可能
- $\Phi \sim 120$ 度まで付着乱流境界層を維持し、そこから乱流剥離が生じる特徴を再現可能

⑧ URANS(k- ω SST)とSST-DDESによる円柱周りの非定常乱流解析例

Re=14万の表面圧力分布



Re=120万の表面圧力分布



- ✓ $Re=140,000$ の場合は層流剥離を起こし乱流付着する、いわゆる臨界レイノルズ数の状態である
- ✓ $Re=1,000,000$ 以降では乱流剥離が生じ、drag crisisの状態となる再現することを確認した
- ✓ URANS並みの格子解像度で時間平均はもとより、非定常データの再現性も良好である

⑨超音速流れの検証例(M=8.1)

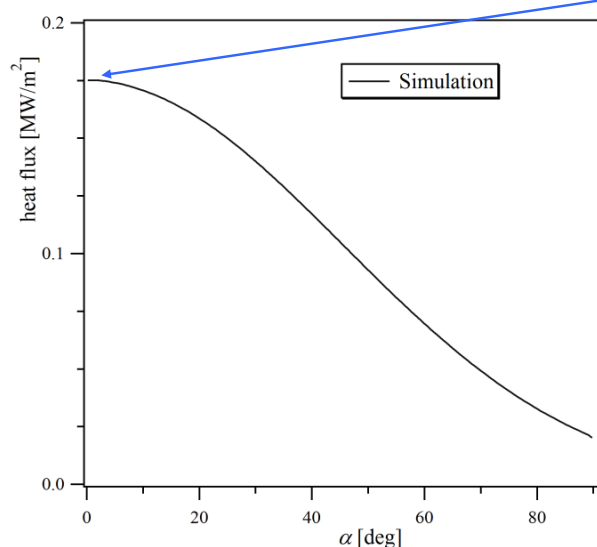
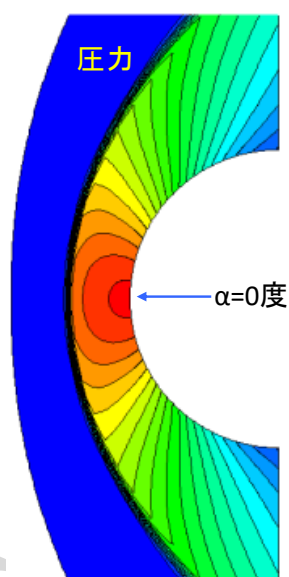
解析条件

M_∞	P_∞	T_∞	T_w	r
8.1	370.6Pa	63.7K	300K	20mm

解析機能

対流項	AUSMV-type + MUSCL-TVD
時間進行法	LU-SGS
時間刻み	CFL=500
計算要素数	12,800セル

⑨超音速流れの検証例(空力加熱の理論値と比較)



熱流束の検証

Fay-Riddell※	0.173MW/m ²
Simulation	0.175MW/m ²

- 定常解までの計算時間は約10分
- 圧力場に示す通り、強い衝撃波を含む流れ場を安定に解くことが可能
- 極超音速流で重要な温度場については、熱流束の空力加熱で検証
 - ✓ Fay-Riddellの解析解と比べて差は1%で予測

※Fay-Riddell(cylinder) :

$$q_w = \frac{0.57}{(Pr_w)^{0.6}} (\rho_e \mu_e)^{0.4} (\rho_w \mu_w)^{0.1} \left[(h_0)_e - h_w \right] \left[\frac{du_e}{dx} \right]^{0.5}$$

※ Fay, J.A., and Riddell, F.R., "Theory of Stagnation Point Heat Transfer in Dissociated Air," J. Aeronautical Sciences, 25, 1958, pp. 73-85.

気液二相流の解析例

気液二相流は均質媒体モデルを使用している。気液界面は均質媒体の密度が急峻に変化しているものとして扱われる。キャビテーションクラウドは、無数の気泡が液相に混ざったものであり、これも計算セル内では気相含有率により混合密度が変化するものとして扱っている

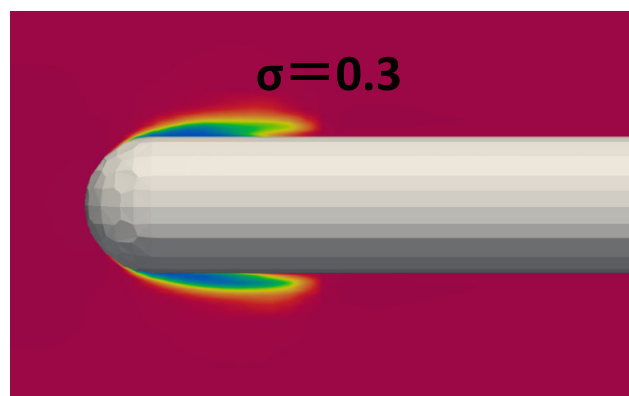
Advance/FOCUS-iによる解析事例(キャビテーション解析)

⑩ RouseとMcNownによるキャビテーション実験の検証計算 ($V=4.3\text{m/s}$)

定量的な検証を実施することを目的として

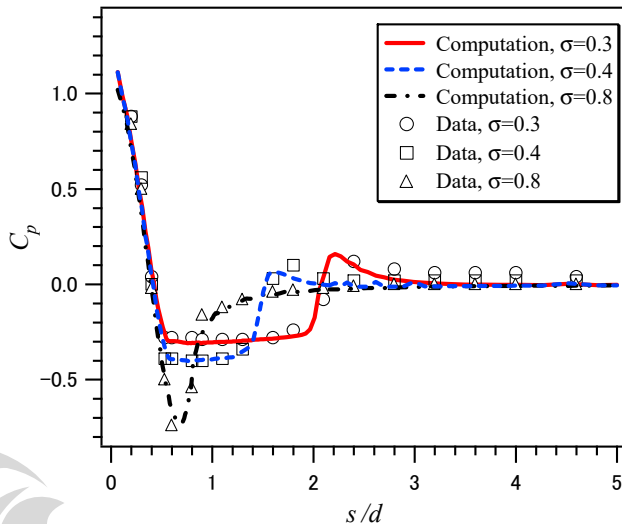
Rouse-McNown(1948)の実験を対象

- 直径0.0254m(1 inch)の球頭円筒形状
- 水流速度4.317m/s
- キャビテーション数 $\sigma=0.3, 0.4, 0.8$
 - ✓ $\sigma=0.3$ ($p_{\infty}=5,198\text{Pa}$)
 - ✓ $\sigma=0.4$ ($p_{\infty}=6,800\text{Pa}$)
 - ✓ $\sigma=0.8$ ($p_{\infty}=10,500\text{Pa}$)



⑩ RouseとMcNownによるキャビテーション実験の検証計算 ($V=4.3\text{m/s}$)

表面圧力の実験と計算の比較

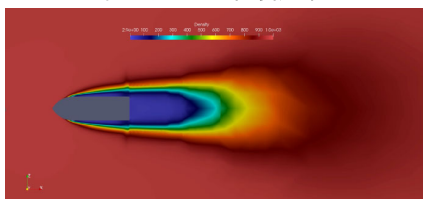


- ✓ $\sigma=0.8$ のノンキャビテーションの実験を再現
- ✓ $\sigma=0.3$ と 0.4 のそれぞれの場合において、低圧沸騰領域でキャビテーションの発生を確認
- ✓ Advance/FOCUS-iにより実験値[※]を再現することを定量的に確認

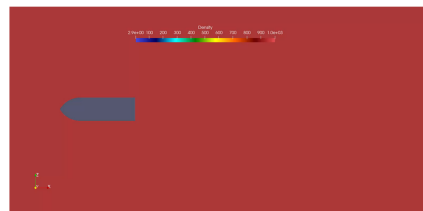
※ Rouse, H. and McNown, J. S., *State Univ. of Iowa, Engineering Bulletin 32*, Ames.(1948).

⑪ 高速流のキャビテーション実験の検証計算 ($V=102\text{m/s}$)

中心断面内の密度分布



静止画



動画

Advance/FOCUS-iによるシミュレーション結果

- ✓ 抵抗係数に関する検証計算を実施
- ✓ 形状はogive cylinder(全長30mm)
- 水流速度 102.3m/s
- 周囲圧 $101,300\text{Pa}$
- 形状はogive cylinder(全長30mm)
- 物体は低圧沸騰による水蒸気に覆われるスーパーキャビテーション状態にあることがわかる
- 抵抗係数で比較し抵抗値を精度良く予測することを確認
- ※実験値: $C_d=0.319$
- 計算値: $C_d=0.310$

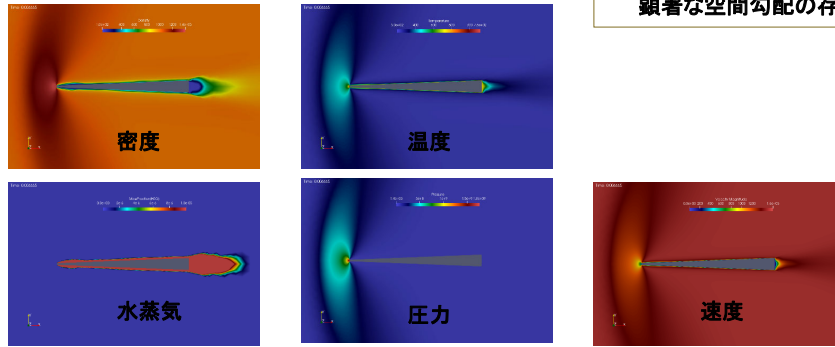
※ Guo, Z., Zhang, W., Xiao, X., Wei, G. and Ren, P., An investigation into horizontal water entry behaviors of projectiles with different nose shapes, *International Journal of Impact Engineering*, Vol.49 (2012), pp.43-60.

⑫ 超音速流のキャビテーション実験の検証計算 ($V=1,540\text{m/s}$ 、 $\text{Mach}=1.03$)

(配布版では削除)

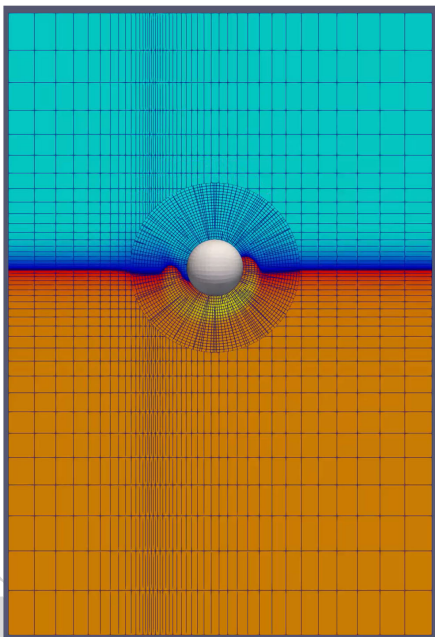
左の画像出典:
J. D. Hrubes, "High-speed imaging of supercavitating underwater projectiles," Experiments in Fluids volume 30, pp. 57-64 (2001).

- ✓ 実験では、画面奥からストロボを焚いている
- ✓ 物体前方の衝撃波は密度不連続がレンズ効果で目視可能
- ✓ 飛翔体は逆光で黒く映る
- ✓ 後流は、キャビテーションバブルが光の透過性に影響し黒く映る
- ✓ シミュレーションは、密度コンターと水蒸気(キャビテーション)コンターで顕著な空間勾配の存在する箇所が実験写真と符合する

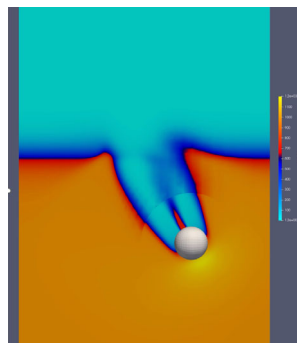


Advance/FOCUS-iによるシミュレーション結果

⑬ 球状物体の水面突入によるキャビテーション解析 突入速度 $V=1000\text{m/s}$ 、俯角 60°



- ✓ 前頁の解析例では物体の周りに水流を与えたが、この解析例では静止した水面に対して物体を移動させた移動重合格子機能も併用した解析例を紹介している
- ✓ 空気中を衝撃波を伴って空気の音速の約3倍で水面に衝突するテストケースを実行
- ✓ dual timeステップ法を採用して実時間刻み幅が音速に直接には制約せず非定常解析に適応させ、結果的にシミュレーション時間を20分程度へ大幅に短縮している
- ✓ 密度分布から、空気の巻き込み(エアレーション)が発生していることがわかる



移動重合格子による気液界面へ物体が突入する際のエアレーション/キャビテーションの解析例(密度分布)

⑥翼周りの定常RANS解析(RAE2822翼型)

解析条件

※解析条件はCookら¹の実験を参照した

M_∞	Re_∞	α
0.75	6.2×10^6	2.8°
0.72	6.5×10^6	2.8°

解析機能

乱流モデル	k- ω SST
対流項	AUSMV-type + MUSCL-TVD
時間進行法	LU-SGS
時間刻み	CFL=1,000,000
計算要素数	256×64 セル

[1] Cook, P.H., M.A. McDonald, M.C.P. Firmin, "Aerofoil RAE 2822 - Pressure Distributions, and Boundary Layer and Wake Measurements," Experimental Data Base for Computer Program Assessment, AGARD Report AR 138, 1979.

Copyright ©2025 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

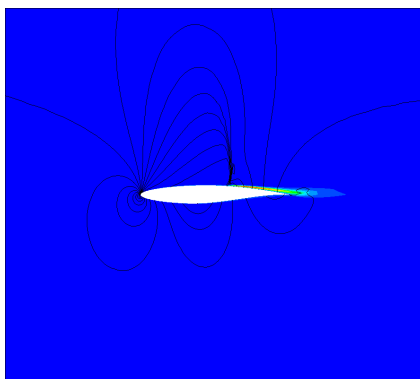
51

⑥翼周りの定常RANS解析(RAE2822翼型)

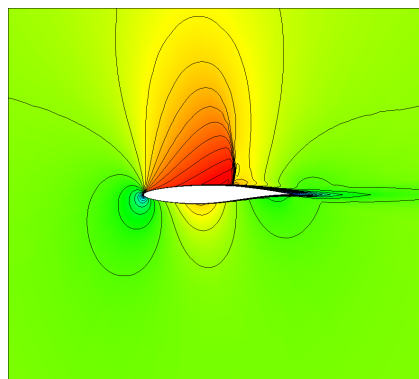
解析条件

※解析条件はCookら¹の実験を参照した

M_∞	Re_∞	α
0.75	6.2×10^6	2.8°



pkの分布(等高線は圧力)



マッハ数分布

[1] Cook, P.H., M.A. McDonald, M.C.P. Firmin, "Aerofoil RAE 2822 - Pressure Distributions, and Boundary Layer and Wake Measurements," Experimental Data Base for Computer Program Assessment, AGARD Report AR 138, 1979.

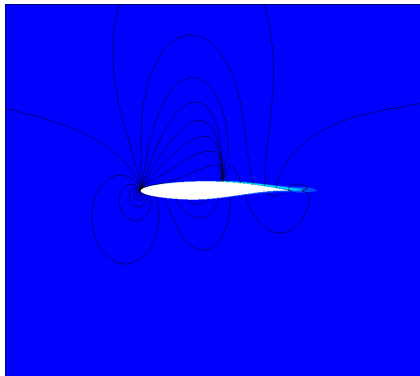
Copyright ©2025 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

52

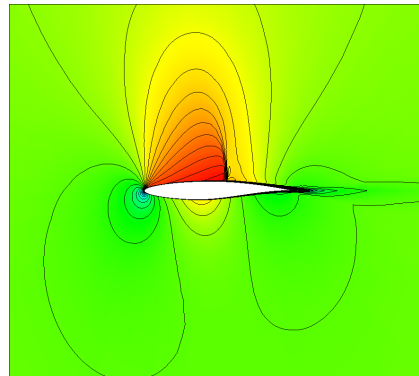
⑥翼周りの定常RANS解析(RAE2822翼型)

解析条件 ※解析条件はCookら¹の実験を参照した

M_∞	Re_∞	α
0.75	6.2×10^6	2.8°



pkの分布(等高線は圧力)



マッハ数分布

[1] Cook, P.H., M.A. McDonald, M.C.P. Firmin, "Aerofoil RAE 2822 - Pressure Distributions, and Boundary Layer and Wake Measurements," Experimental Data Base for Computer Program Assessment, AGARD Report AR 138, 1979.

Copyright ©2025 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

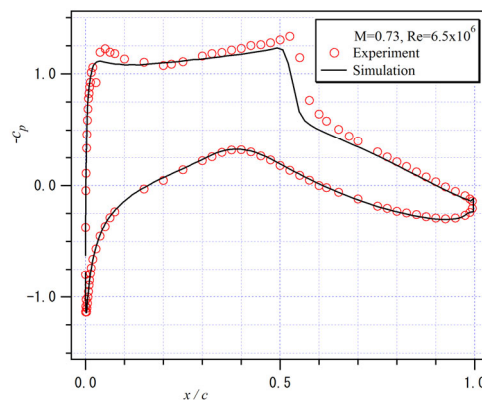
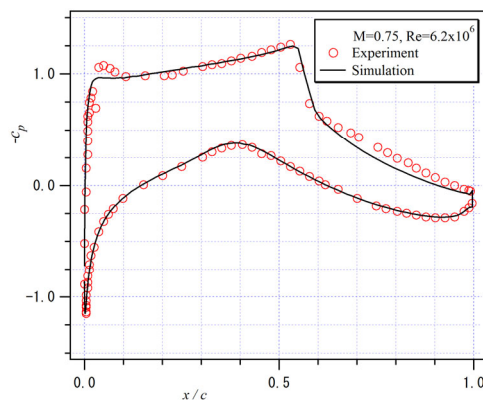
53

⑥翼周りの定常RANS解析(RAE2822翼型)

解析条件 ※実験値はCookら¹の実験を参照した

M_∞	Re_∞	α
0.75	6.2×10^6	2.8°
0.72	6.5×10^6	2.8°

表面圧力分布の比較



[1] Cook, P.H., M.A. McDonald, M.C.P. Firmin, "Aerofoil RAE 2822 - Pressure Distributions, and Boundary Layer and Wake Measurements," Experimental Data Base for Computer Program Assessment, AGARD Report AR 138, 1979.

Copyright ©2025 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

54

価格および関連サービスのご紹介

Copyright ©2025 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.



価格のご案内

■ 高速流解析ソフトウェア Advance/FOCUS-i

- 年間ライセンス → ￥3,000,000- (税別)
- 買取ライセンス → ￥9,000,000- (税別)
- 保守サポート → ￥1,500,000- (税別)

■ 教育機関向け(アカデミック)価格

高速流解析ソフトウェア Advance/FOCUS-i

- 年間ライセンス → ￥1,500,000- (税別)
- 買取ライセンス → ￥4,500,000- (税別)
- 保守サポート → ￥ 750,000- (税別)

ー保守サポートサービスを含む（最新バージョンの使用権、E-mailによる問い合わせ対応）

ー買取ライセンスは、次年度以降に保守サポートが必要となります。

ー教育機関向け（アカデミック版）はライセンス料金半額になります。

Copyright ©2025 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.



各サービスのご紹介

1. パッケージソフトウェアの販売・サポート

アドバンスソフトが取り扱っているパッケージソフトウェアは、国家プロジェクトまたは自社により開発した日本の国産製品です。
ソースコードを熟知した開発者が直接お客様のご質問にお答えするため、迅速で的確なサポートサービスをご提供することが出来ます。また、お客様のご要望に沿ったカスタマイズを行うことも可能です。

2. ソフトウェアの受託開発サービス

お客様の解決すべき課題に則した、計算科学技術用のソフトウェアを新規に開発いたします。また、お客様が現在ご利用になっているソフトウェアへの機能追加および改良にも対応いたします。

3. 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。さらに、その結果を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ご報告いたします。各種分野の専門技術者が、「お客様の課題解決にはどのような手法が有効であるか。」といったご相談にも対応させていただきます。

4. コンサルティング

C A Eに関わる様々な課題をお客様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。また、「フリーソフトを使ってみたがサポート体制が無いので不安がある。」といった声にお応えして、ParaView、LAMMPSといったフリーソフトのコンサルティングもいたします。

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。

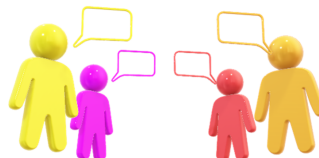


1. 流体・構造・ナノ関連など幅広い分野のソフトウェアを開発し、解析経験がある技術者がお客様のご要望をお伺いいたします。

2. 最適な解析方法をご提案いたします。

3. お客様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。