The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	3次元リアルタイム流体解析システムα-FLOW/SXの概要
Author(s)	高原, 浩志; 五十嵐, 和博
Citation	大阪大学大型計算機センターニュース. 1997, 103, p. 51-62
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/66194
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

３次元リアルタイム流体解析システムα－ＦＬＯＷ／ＳＸの概要

ＮＥＣ（株）汎用アプリケーション事業部・サイエンス技術部
高原　浩志
五十嵐　和博

1.はじめに

近年、さまざまな研究や設計／製造の現場において、数値流体力学（ＣＦＤ：Computational Fluid Dynamics）が定着しつつあります。これは、スーパーコンピュータを初めとする大容量メモリおよび高性能ＭＰＵを搭載したハードウェアの進歩と、ベクトル処理あるいは並列処理向けのアルゴリズムをはじめとするソフトウェアの進歩により、実用的な規模の問題を、現実的な時間内にシミュレートできるようになったことによるものです。たとえば、自動車や航空機の空力特性を把握するために、従来の風洞実験に替わり計算機上でシミュレートすることにより、設計上の時間とコストを削減するという効果をＣＦＤがもたらしています。

また、ＣＦＤの対象となるモデルの複雑化、大規模化にともない、扱うデータの量もかなり大規模化しており、そのため結果を可視化するためのコストも無視できない状況にあります。従来、この可視化作業すなわちポストプロセッシングは、その名のとおりシミュレーション実行後のプロセスとして、ファイル等を介して行われてきました。

こうした中で、本来、シミュレーション専用機であるスーパーコンピュータを有効活用して、可視化の問題を解決したいという、ＣＦＤの利用現場からの要求があがっています。すなわち、

- 特定の領域、特定の時間における結果だけを保存しておきたい。
- シミュレーションの任意の時刻で可視化を行い、途中結果を検討したい。
- シミュレーションを実行しつつ、途中で境界条件などのパラメータを変更したい。

ＮＥＣではこうしたＣＦＤ環境を実現すべく、ＣＦＤコードにリアルタイムビジュアリゼーション（ＲＶＳ：Real-Time Visualization System）機能を組み込んだ３次元リアルタイム流体解析システムα－ＦＬＯＷ／ＳＸ[1]を、ＳＸ－４シリーズ向けのアプリケーションとして開発／提供しています。

---

[1] α-FLOW/SX は流体解析システム研究会（1988～1992 年）において、共同開発されたソフトウェアをベースに、ＮＥＣが強化を行い製品化したものです。

本稿では、α－ＦＬＯＷ／ＳＸの概要についてご紹介いたします。

2.システムの特長

α－ＦＬＯＷ／ＳＸは、ＳＸ－４シリーズ上の高速な解析能力とワークステーション上のＧＵＩ（Graphical User Interface）環境を融合した流体解析システムであり、以下のような特長を有しています。

2.1.高速処理

有限差分法にもとづいた数値計算法を採用しており、ＳＸ－４シリーズ向けに最適化された処理アルゴリズムにより、高速な解析を行うことができます。

注意：現在、並列処理には対応していません。

2.2.豊富な解析機能による適用性の向上

流体現象を記述する基本方程式である Navier-Stokes 方程式は、流体自体の圧縮性の考慮の有無によって、その扱いが異なってきます。α－ＦＬＯＷ／ＳＸでは、非圧縮流、圧縮流の各々に対応した専用ソルバを用意しており、多様な解析ニーズにお応えします。さらに、化学反応や燃焼を伴う流れや自由表面を伴う流れの解析機能も用意しています。

2.3.最新の流体解析技法の採用

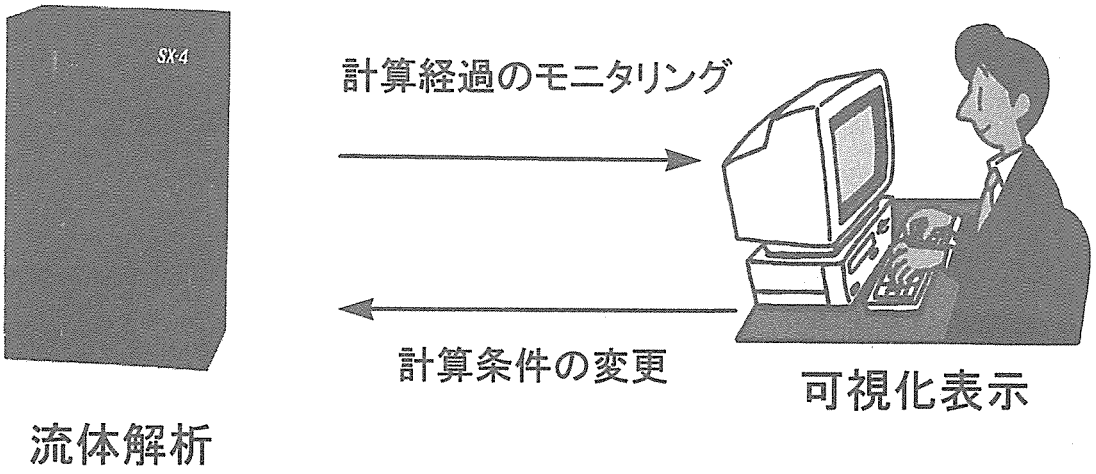
解析機能の中でも特に演算時間の大きい連立一次方程式の求解部分に、最新のアルゴリズムを採用しました。また、乱流計算では、適用実績の高いｋ－εモデルとともに、研究から実用化の方向にあるＬＥＳ（Large Eddy Simulation）モデルも採用しています。

2.4.ワークステーション上のＧＵＩを活用した操作環境

形状生成、計算格子生成、計算条件の設定、さらに計算結果の可視化等の機能は、マウスを基本とした操作によって簡単な入力が行えます。また、これらの機能はすべてＸ端末からも利用できます。

2.5.リアルタイムビジュアリゼーション（ＲＶＳ）

本機能は、シミュレーションの進行と同時に結果をグラフィック表示するものです。これにより、シミュレーションの途中でも結果の妥当性を視覚的に把握することが可能となり、試行錯誤を伴うようなシミュレーションの実行において威力を発揮します。図１に本機能の構成を模式的に示します。



… あたかも実際の実験装置で測定・
観測／制御しているように

図１（ａ）　ＲＶＳ機能の概念

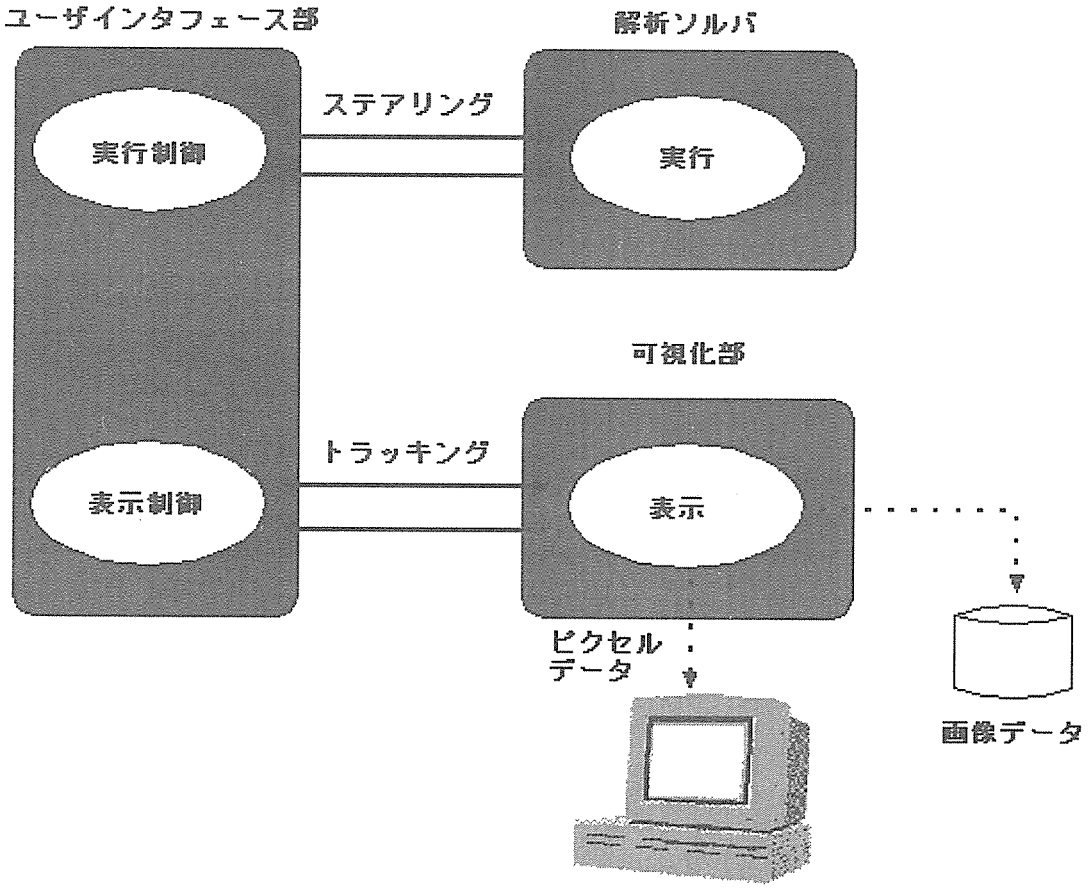


図１（ｂ）　ＲＶＳ機能におけるデータ／処理フロー

図１（ｂ）中の、トラッキング機能に関しては実現済みであり、現在開発中のステアリング機能が完成すれば、解析ツールとして強力なシステムとなります。

3.システム構成と処理の流れ

α－ＦＬＯＷ／ＳＸは、次のようなコンポーネントから構成されています。全体構成を図２に示します。

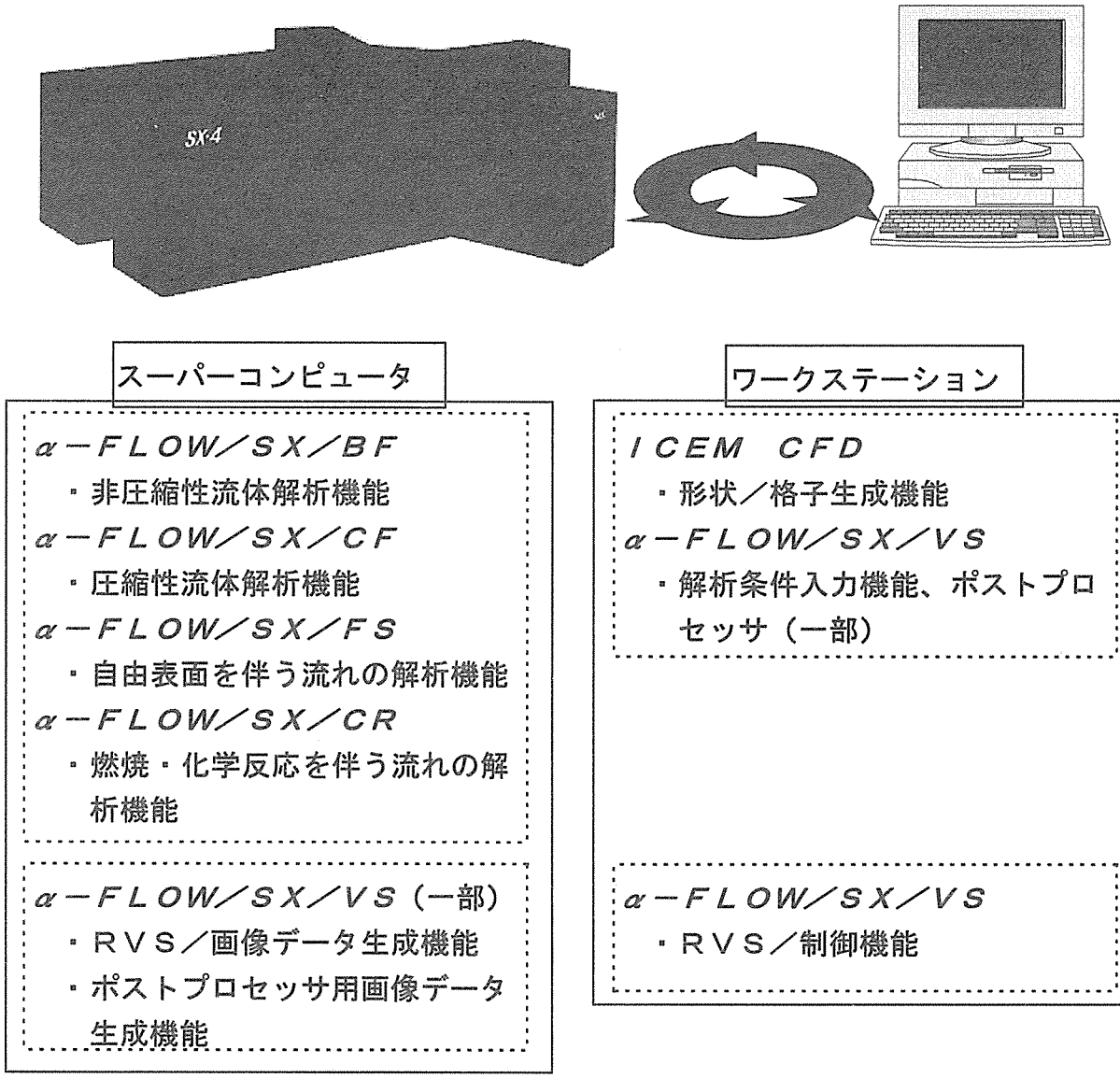


図２　α－ＦＬＯＷ／ＳＸの構成

3.1.解析系機能

3.1.1.α－ＦＬＯＷ／ＳＸ／ＢＦ　（非圧縮性流体解析機能）

圧縮性の無視できる流体の運動、熱伝達の解析。物質移動や固体中の熱伝導との連成も可能。座標系として、直交・円筒座標系および境界適合座標系をサポートしています。一般的な流れを解析する機能であり、最も適用範囲が広い解析機能です。

3.1.2.α－ＦＬＯＷ／ＳＸ／ＣＦ　（圧縮性流体解析機能）

遷音速、超音速などの圧縮性流体の解析。粘性流に対する完全 Navier-Stokes 方程式、薄層近似 Navier-Stokes 方程式、さらに非粘性流向けに

Euler 方程式による解法が可能。高精度差分スキームや解適合格子の採用により、衝撃波の捕捉も可能。

3.1.3. α－ＦＬＯＷ／ＳＸ／ＦＳ　（自由表面を伴う流れの解析機能）

自由表面を伴う非圧縮性流体の解析。VOF 法（Volume of Fluid）を用いて自由表面形状の変化を追跡。

3.1.4. α－ＦＬＯＷ／ＳＸ／ＣＲ　（燃焼・化学反応を伴う流れの解析機能）

多成分気体の化学反応を伴う流体の解析。微粒子・液滴モデルによる燃料噴霧や乱流燃焼も解析可能。

これらの解析ソルバは、ＳＸ－４上で動作します。なお、ＲＶＳ機能を利用する場合を除き、基本的にはＮＱＳ[2]などによるバッチ処理で実行します。

3.2. ユーザインタフェース系機能

3.2.1. α－ＦＬＯＷ／ＳＸ／ＶＳ　（ビジュアルインタフェース）

解析条件入力機能、ポストプロセッサ、およびこれらを起動させるためのプログラムマネージャ、そしてＲＶＳ機能から構成されます。前の３つの機能に関してはワークステーション上で動作しますが、最後のＲＶＳ機能に関しては、画像データの生成をＳＸ－４で行い、生成された画像の表示および表示機能の制御をワークステーションで行います。

注意：ポストプロセッサについても、ＳＸ－４上で画像データを生成することが可能です。ＳＸ－４とワークステーションのどちらで画像データを生成するかは、利用者が任意に設定することができます。

3.2.2. ＩＣＥＭ　ＣＦＤ　（プリプロセッサ）

本コンポーネントは米国ＩＣＥＭ　Ｅｎｇｉｎｅｅｒｉｎｇ社の製品です。このコンポーネントにより形状生成および格子生成を行います。

図３にはＳＸ－４とワークステーションとの間のデータの受け渡しを模式的に示します。利用者は、ワークステーション上で動作するコンポーネントを操作することにより、解析形状の設定、計算格子の生成、解析条件の設定から結果の可視化までを、一貫して行うことができます。

---

[2] NQS は、NASA Ames Research Center のために、Sterling Software が開発した Network Queuing System です。

ワークステーション上で作成された格子データや解析条件入力データ、またＳＸ－４上で生成された解析結果などの機種間相互の転送に関して、ｆｔｐによる方法が標準的にサポートされています。

＊スーパーコンピュータとワークステーションとでファイルを共有する場合にはｆｔｐの必要がありません。

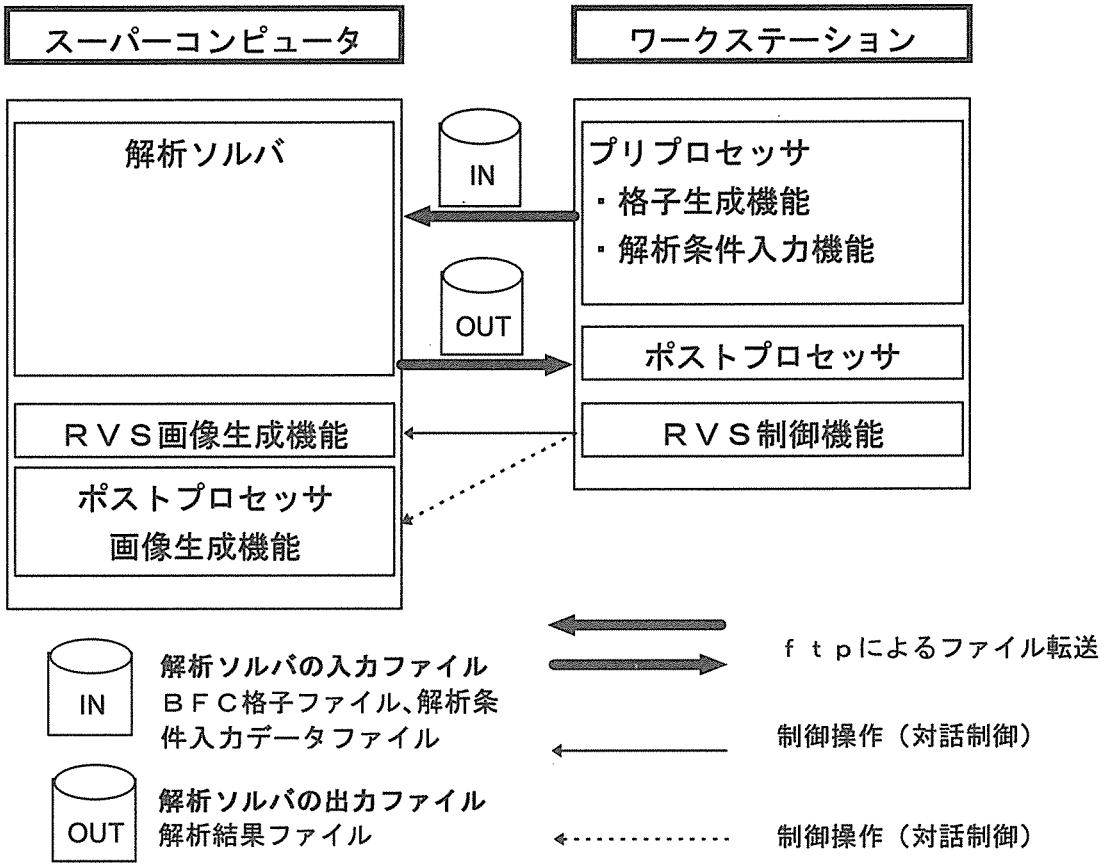


図３　解析の概略フロー

図３中において、破線の矢印は利用者が設定した場合にのみ有効となるものです。ポストプロセッサは、標準ではワークステーション側のみで動作します。また、直交・円筒座標系の格子データは解析条件入力データファイルに含まれています。

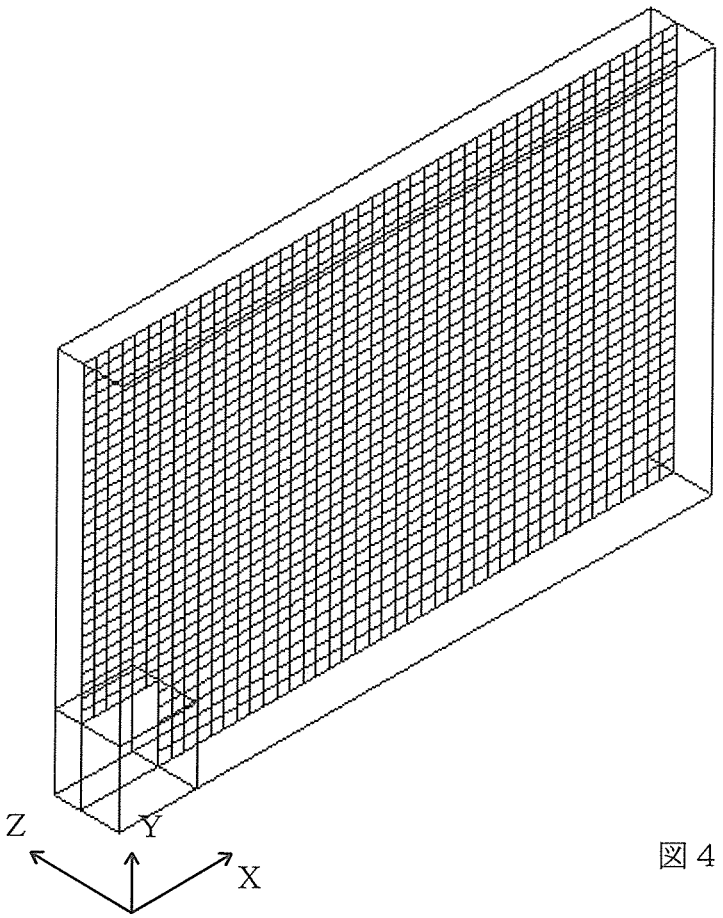
4.適用例

本システムは基礎研究から実用的な製品設計・製造までの幅広い分野における適用が可能ですが、代表的な適用例は表１のとおりです。

表１　α－ＦＬＯＷ／ＳＸ適用事例

解析機能	事例	概要
α-FLOW/SX/BF 非圧縮性流体解析機能	ビル風	建造物周囲の気流の乱れによる環境への影響評価
	自然対流	偏心二重円筒の外側と内側で温度差を与えた場合の流れの解析
	空調設備	実験室に配置された空調設備による気流の解析
α-FLOW/SX/CF 圧縮性流体解析機能	翼形状	航空機の翼の空力特性を解析
	ノズル	流出口の口径が拡大する管（ノズル）における流れの解析
α-FLOW/SX/FS 自由表面を伴う流れの解析機能	燃料タンク	急制動時における自動二輪の燃料タンク内の燃料の挙動解析
	水槽	衝撃を与えた場合の水槽内の水の挙動を解析
α-FLOW/SX/CR 燃焼・化学反応を伴う流れの解析機能	エンジン	ディーゼルエンジンの燃焼特性の解析

解析の具体例として、２件ほどご紹介します。まず表１中の“水槽”の解析について解析格子を図４に、解析結果を図５に示します。なお、この解析ではα-FLOW/SX/FS を使用しています。解析条件の詳細は付録に示します。



格子数：46×36×6
（直交座標系）
領域サイズ：46cm×30cm
×5cm
初期水位：満水時の 60%
加速度　：重力加速度以外に時間依存の加速度（外力）を付加

図４　解析格子

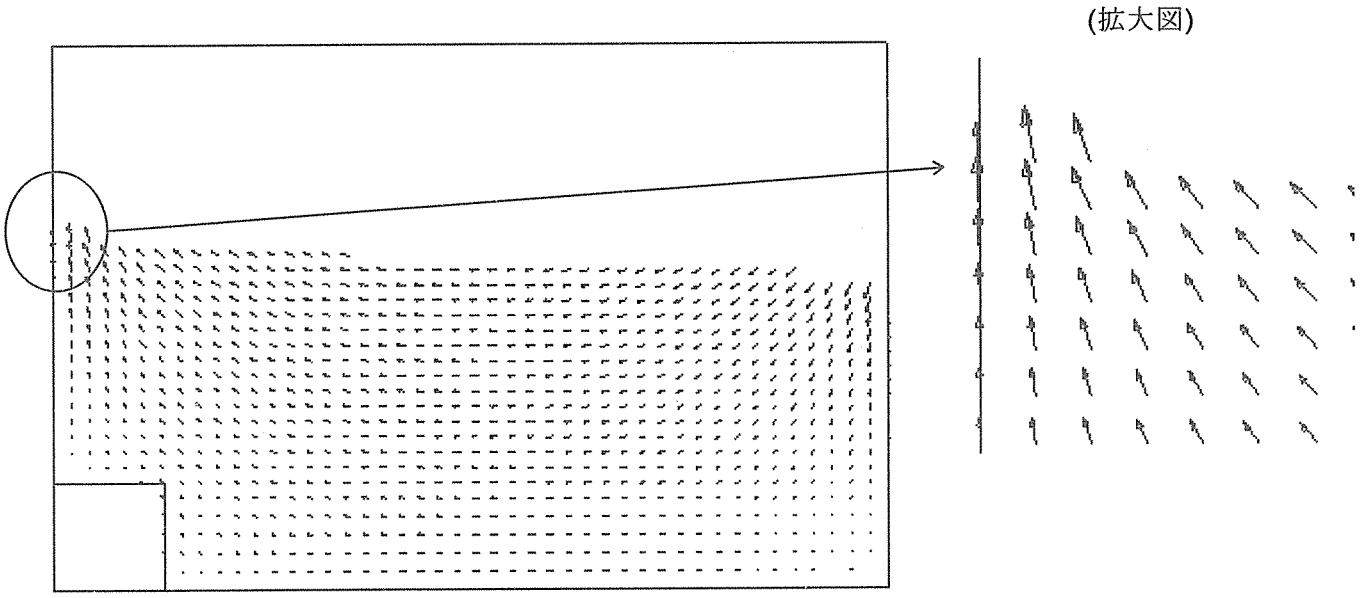


図５　解析結果（X-Y 断面における流速ベクトル図）

次に、表１中の“ノズル”の解析について解析格子を図６に、解析結果を図７に示します。なお、この解析では α-FLOW/SX/CF を使用しています。

格子数：61×11×11
（境界適合座標系）
流入口半径：52.5 cm
流出口半径：87.2 cm
管長さ　　：10 m
流入速度：420 m／s

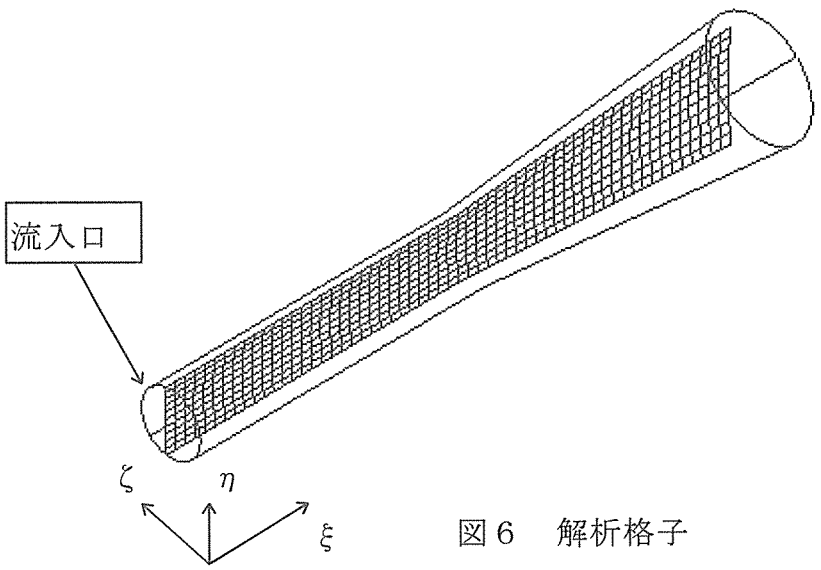


図６　解析格子

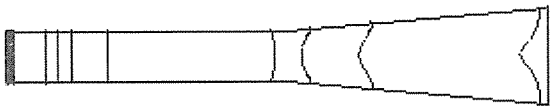


図７　解析結果（ξ-η 断面における圧力コンタ）

5.関連文書

本システムのご利用にあたって、関連する説明書は表３のとおりです。

表３　関連説明書一覧

対応ｺﾝﾎﾟｰﾈﾝﾄ名	Rev.	タイトル	コード
α-FLOW/SX/BF	R3.1	３次元ﾘｱﾙﾀｲﾑ流体解析ｼｽﾃﾑ α-FLOW　利用の手引 ＜非圧縮性流体解析機能編＞ α-FLOW/SX/BF　R3.1　ﾘﾘｰｽﾒﾓ ＜説明書補足＞	Y6910021 ﾘﾘｰｽﾒﾓ
α-FLOW/SX/CF	R1.2	３次元ﾘｱﾙﾀｲﾑ流体解析ｼｽﾃﾑ α-FLOW　利用の手引 ＜圧縮性流体解析機能編＞ α-FLOW/SX/CF　R1.2　ﾘﾘｰｽﾒﾓ ＜説明書補足＞	Y6940021 ﾘﾘｰｽﾒﾓ
α-FLOW/SX/FS	R1.2	３次元ﾘｱﾙﾀｲﾑ流体解析ｼｽﾃﾑ α-FLOW　利用の手引 ＜自由表面を伴う流れの解析機能編＞ α-FLOW/SX/FS　R1.2　ﾘﾘｰｽﾒﾓ ＜説明書補足＞	Y6920021 ﾘﾘｰｽﾒﾓ
α-FLOW/SX/CR	R1.2	３次元ﾘｱﾙﾀｲﾑ流体解析ｼｽﾃﾑ α-FLOW　利用の手引 ＜燃焼・化学反応を伴う流れの解析機能編＞ α-FLOW/SX/CR　R1.2　ﾘﾘｰｽﾒﾓ ＜説明書補足＞	G1AY03 ﾘﾘｰｽﾒﾓ
α-FLOW/SX/VS	R3.1	３次元ﾘｱﾙﾀｲﾑ流体解析ｼｽﾃﾑ α-FLOW　利用の手引 ＜ビジュアルインタフェース編＞ α-FLOW/SX/VS　R3.1　ﾘﾘｰｽﾒﾓ ＜説明書補足＞	G1AY01 G1AY02[3] ﾘﾘｰｽﾒﾓ

注意：

- ＩＣＥＭ　ＣＦＤに関しては、本体のヘルプ機能を参照して下さい。
- ビジュアルインタフェース編はＥＷＳ４８００版とＩＲＩＳ版とで共用しており、機能としてＩＲＩＳ版には存在しない記述があります。
- 上記の他にも「α－ＦＬＯＷ　入門」がありますが、入力データの作成および解析結果の可視化手順の記述は、ＥＷＳ４８００版に基づいています。

---

[3] ビジュアルインタフェース編は２分冊に分かれています。１分冊は解析条件入力機能について、２分冊はＲＶＳ機能について説明しています。

6.おわりに

本稿では３次元リアルタイム流体解析システムα－ＦＬＯＷ／ＳＸについて、現在ご提供中のコンポーネントを中心に簡単にご紹介いたしました。基礎方程式など詳細に関しましては、関連する説明書をご覧ください。

7.付録　例題の解析条件詳細

以下に、図４に示した解析例について解析条件を示します。なお、物性値等の単位はＭＫＳ単位系です。

(1) 時間依存テーブルデータ

テーブル名称	;	'ACCEL'
物理量種別名	;	'BODY-FORCE'
データ数	;	9　（時刻、外力のペア）
	;	

0	0	0.01
-29.4	0.02	-117.6
0.038	-333.2	0.047
-333.2	0.06	-274.4
0.071	-196	0.09
0	0.1	0

(2) 座標系の選択と周期境界条件

座標系	;	'CARTESIAN'　…　直交座標系
Ｙ方向周期境界	;	'NO-PERIODIC-Y'　…　周期境界なし

(3) 運動方程式の形式

計算の有無	;	'CALCULATE'　…　有り
対流項計算の有無	;	'CONVECTION'　…　有り
粘性項計算の有無	;	'VISCOSITY'　…　有り
重力項計算の有無	;	'GRAVITY'　…　有り
外力項計算の有無	;	'BODY'　…　有り
抵抗力項計算の有無	;	'NO-RESIST'　…　考慮せず

(4) エネルギー方程式の形式

計算の有無	;	'NO-CALCULATE'　…　考慮せず

(5) 乱流モデルの選択

乱流モデル名	;	'NO-CALCULATE'　…　考慮せず

(6) ポーラスメディアの使用

計算の有無	;	'NO-POROUS'　…　考慮せず

(7) 密度の計算方法

密度計算方法	;	'CONSTANT'　…　一定値
密度一定値	;	780

(8) 解析モードの選択と定常判定

解析モード	;	'TRANSIENT'　…　非定常解析
収束判定を行なうタイムステップ間隔	;	1
収束判定方法	;	'AND'
ノルム計算方法	;	'SQUARE'
速度の収束判定値　相対誤差	;	1E-06
速度の収束判定値　絶対誤差	;	1E-06
圧力の収束判定値　相対誤差	;	1E-06
圧力の収束判定値　絶対誤差	;	1E-06

(9) 時間刻み

時間刻みの計算方法	;	'AUTO' … 自動時間刻み法
時間刻みを再設定するタイムステップ間隔	;	1
時間刻み幅	;	1E-10
安全係数	;	0.2
時間刻み幅下限値	;	1E-10
時間刻み幅上限値	;	1
重力波による時間刻みの制限	;	'NO-CALCULATE'
表面張力波による時間刻みの制限	;	'NO-CALCULATE'

(10) 時間積分

時間積分方法	;	'EULER' … Ｅｕｌｅｒ法

(11) 運動方程式の対流項スキームの選択

対流項スキーム	;	'DONOR'

(12) 対流項スキームのパラメータ

ドナーセルパラメータ（運動方程式）	;	1

(13) 重力加速度

Ｘ方向重力加速度	;	0
Ｙ方向重力加速度	;	-9.8
Ｚ方向重力加速度	;	0

(14) 外力

Ｘ方向外力加速度	;	'TRANSIENT' … 時間依存
Ｙ方向外力加速度	;	'CONSTANT' … 一定
Ｚ方向外力加速度	;	'CONSTANT' … 一定
Ｙ方向一定値	;	0
Ｚ方向一定値	;	0
Ｘ方向テーブル名称	;	'ACCEL'

(15) 連立一次方程式の解法

解法	;	'CGSTAB' … ＩＬＵＣＧＳＴＡＢ法
ノルム計算方法	;	'SQUARE'
絶対誤差判定値	;	1E-16
行列解法の反復回数上限値	;	1000
未収束時の再計算回数上限値	;	1

(16) 表面処理

表面張力の計算の有無	;	'NO-CALCULATE'

(17) 流体の物性値

密度設定方法	;	'CONSTANT'
密度一定値	;	780
粘性係数設定方法	;	'CONSTANT'
粘性係数一定値	;	0.000468
定圧比熱設定方法	;	'CONSTANT'
定圧比熱一定値	;	1
熱伝導率設定方法	;	'CONSTANT'
熱伝導率一定値	;	1
表面張力設定方法	;	'CONSTANT'
表面張力一定値	;	0.0725

(18) 格子データ

X方向格子点数	; 46
Y方向格子点数	; 36
Z方向格子点数	; 6
X方向格子点座標	;
最小値	0
最大値	0.46
Y方向格子点座標	;
最小値	0
最大値	0.3
Z方向格子点座標	;
最小値	0
最大値	0.05

(19) 立体障害物

立体障害物の数	; 1
	;

1 1 1 6 6 6

(20) 流速境界条件の既定値

境界条件	; 'NON-SLIP'

(21) VOF 値境界条件の既定値

境界条件	; 'FREE'

(22) 接触角の既定値

接触角	; 90

(23) 温度境界条件の既定値

境界条件	; 'ADIABATIC'

(24) 全領域の初期流速

X方向流速成分の設定方法	; 'CONSTANT'
Y方向流速成分の設定方法	; 'CONSTANT'
Z方向流速成分の設定方法	; 'CONSTANT'
X方向流速値	; 0
Y方向流速値	; 0
Z方向流速値	; 0

(25) 全領域の初期圧力

圧力の設定方法	; 'HYDROSTATIC'
圧力値	; 0

(26) 全領域の初期 VOF 値

VOF 値の設定方法	; 'BUILT-IN-FUNC' … 内部関数による指定
VOF 値設定のための各方向のセル分割数	; 5

(27) 初期 VOF 値の関数指定

内部関数の設定	; 'BOX'
パラメータ	;
0.05 0 0	
0.46 0.181 0.05	
関数定義領域の種別	; 'POSITIVE'
複数領域の論理演算	; 'OR'

(28) 初期 VOF 値の関数指定

内部関数の設定	; 'BOX'
パラメータ	;
0 0.05 0	
0.05 0.181 0.05	
関数定義領域の種別	; 'POSITIVE'