

## VorCat 社ソフトウェア概説と応用事例

### VorCat ソフトウェアパッケージ：

VorCat は、以下の品目を含む、完全サポート付きのソフトウェアパッケージである。

- VorCat Flow Solver –v.flow(乱流モデリングソフト)および v.heat(熱流解析ソフト)、v.particle(粒子流れ解析ソフト) への拡張機能を含む

VorCat Flow Solver は、様々な複雑な形状の物体の周りにできる乱流の流れ場をシミュレートする為に、それを支配している数学方程式を解く数値的な方法とアルゴリズムで構成される。乱流のシミュレーションを明確にするため、複雑な構造は三角形の「表面格子」という形で flow solver にインプットされる。図 1 は、ミニバンの車体を模したジオメトリの三角形の表面格子である。流れ場中の固体表面に並べて「ボルテックスシート」を置き、流れ場の「境界層」をあらわす。境界層というのは、固体表面の真上の流れの集まりであり、粘性力が顕著なところである。境界層は乱れた渦 (eddies) を発生させ、その渦は固体表面から流れ場へと「噴出」される。渦は「ボルテックス素子によってチューブやフィラメントという形で flow solver」に表現される。「チューブは小さく直線で渦巻き運動状態を伝え、フィラメントはそれらチューブがつながったものである。」

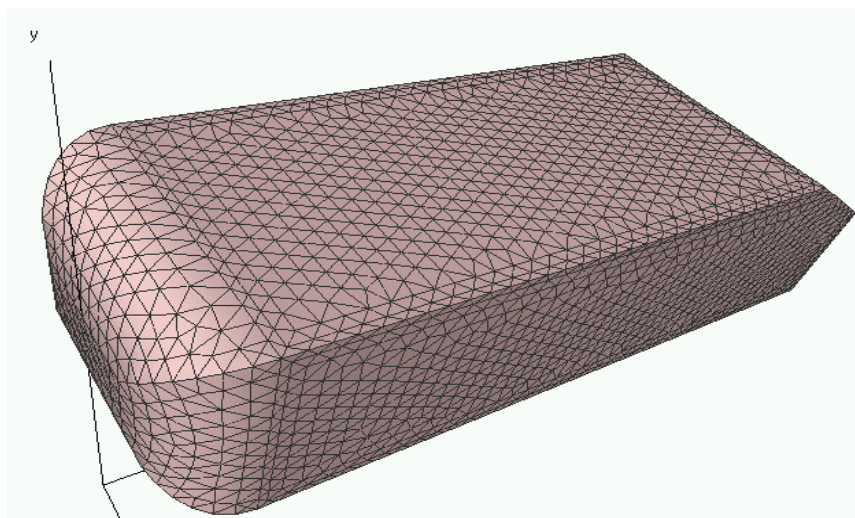


図 1. 単純な陸上車輛のジオメトリのための VorCat®三角形表面格子

VorCat Flow Solver は三角パネルの形に分離可能な、いかなる個数の個体または境界の周りの流れをもシミュレートできる。個体の例としては、乗り物でも飛行機の翼でもよく、境界の例としては乗り物の下の地表面が上げられる。将来はたとえば AutoCAD のような商用の CAD パッケージで作ることができる各種の三角形にも対応する予定である。

VorCat Flow Solver は C, C++, フォートラン 77 などのプログラム言語で書かれており以下の環境で使用できる。

- SGI-Origin 2000 & 3000
- Cray T3E
- IBM SP2 & 3
- Compaq Supercomputers
- HP Supercomputers
- Linux Clusters

v.particle (粒子流れ解析ソフト) と組み合わせることにより、v.flow は埋め込み粒子のシミュレーションを行うことができる。

v. heat (熱流解析ソフト) と組み合わせることにより、v.flow は以下のシミュレーションが可能となる。

- 乱れた強制対流
- 任意のブシネスク近似での自然および混合対流
- 放射、分散位相との連結
- 放射熱の粒子への移動を含む放射モデル (v.particle が必要)

- v.viz - VorCat 万能可視化ソフト

v.viz は、独特の VorCat データを取り扱う為にデザインされた、VorCat ソフトウェアと一緒にパッケージされた可視化ツールである。v.viz は前処理、監視、後処理の作業に使用される。前処理作業には、ジオメトリ、境界、流れ領域の初期流れ条件のベリファイ作業を含む。監視作業は、ランタイム中の流れ場の進行を、視覚により監視するものである。v.viz は広範な後処理能力を有しており、流れ場速度、渦度、圧力の完全かつ詳細な解析ができる。

従来から販売されている可視化ツールは、「格子に基づいた」データのために特別にデザインされた方法を用いており、したがって「無格子」の VorCat データとは互換性が無い。微粒子に基づいた符号のための可視化ツールは存在するものの、VorCat が狙う典型的なアプリケーションの対象となる多数の「ボルテックスチューブ」と複雑なジオメトリを扱うのには向かない。したがって、v.viz はビデオゲーム業界で通常利用されている効率的なレンダリング手法を用いて、伝統的な科学的可視化の機能を提供するために開発されたものである。

その結果は、いくつもの強力な能力を持った可視化ツールである。材質、照明、色付け手法、注解とポーションとベクトルの表現を含む可視化パラメータは、特定のモデリング環境に合わせて変更が可能であり、したがってデータに関するコヒーレントで、意味のある、高品質の表現が保証される。流れのデータはまた、一定時間間隔ごとに動画化もできる。

v.viz は、伝統的なシャッター付きめがね技術を用いて立体的に見ることもサポートしている。これにより深さの知覚ができ、計算された流れソリューションのよりよい理解が得られるものである。流れの可視化は、このようなバーチャルリアリティ技術における進展から多大な利益を被っている、3次元グラフィックスの数少ない領域の一つである。

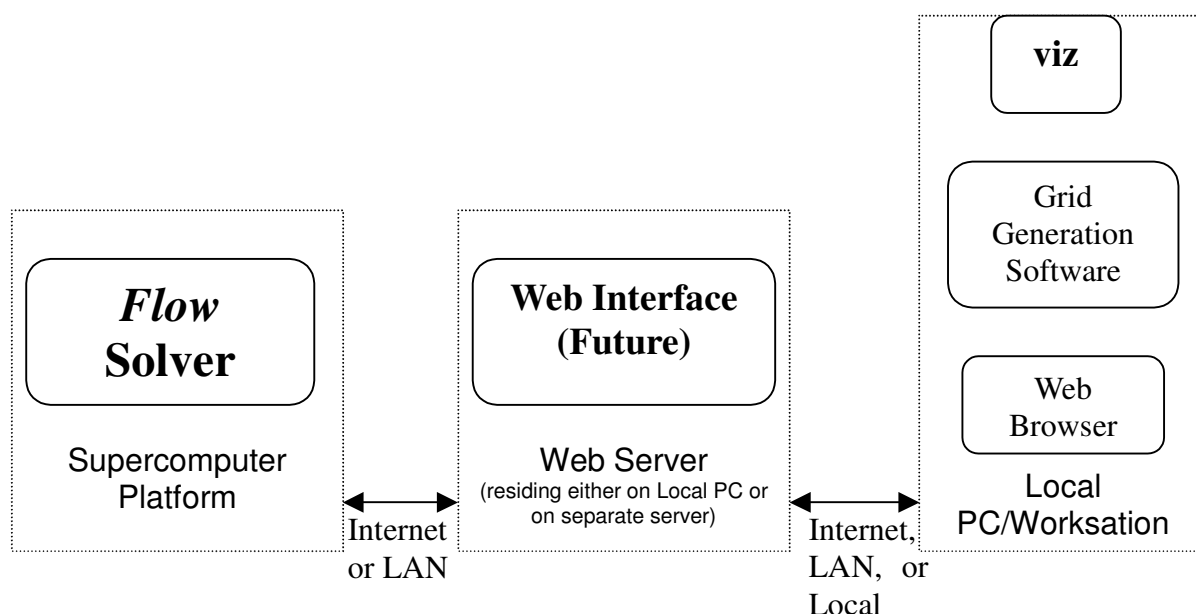


図 2. VorCat®ソフトウェアアーキテクチャ

もっと特殊な可視化のニーズを持ったユーザに対しては、v.viz は API (Application Program Interface)を含めて提供する。それによりユーザは、自らの可視化を更にカスタマイズしたり、自らが今もっているアプリケーションに VorCat データをレンダリングする能力を持たせることができる。

v.viz は、Windows 2000, XP のプラットフォームで提供される。Windows XP プラットフォームは、ますます能力の増す高性能グラフィックスを可能にするので、特に有望である。

- ユーザマニュアル

VorCat のソフトウェアパッケージには、インストールと操作の手順を説明したマニュアルがついてくる。このマニュアルは VorCat 社のホームページからオンラインで、CD-ROM で、あるいはハードコピーで入手できる。

- ウェブを使った自学資料

VorCat 社のホームページから入手できる自学資料により、VorCat ユーザはインストールと操作の手順を知ることができる。

## VorCat を用いて得られた優れた応用例

- 陸上車輻ボデーの場合

図3は、陸上車輻の VorCat による流れ場シミュレーション結果を示す。もとよりこのような流れ場を理解し正確に予測することは、自動車メーカーにとっては大きな関心事である。車輻を取り巻く流れ場の主な特長は、分離された乱流の領域であり、とりわけ物体後方の航跡である。これらの分離された領域は車輻の空気力学的抵抗の主な根源であり、それがまた燃費に大きな影響を与えている。流れの分離領域はノイズの主な原因でもあり、ある種の陸上車輻、例えば超高級車、においての重要なデザイン・パラメータの一つである。図3に示した VorCat 解析結果は、VorCat 社の親会社である Krispin Technologies 社 (KTI) が、米国エネルギー省 (DOE) のために、乱流予測の新技术開発を目標になされたものである。この仕事にはダイムラー・クライスラー社 (前クライスラー社) と SGI 社も参加している。図1および図3の陸上車輻については、風洞試験により膨大な実験データが存在する。これらのデータは、VorCat のような流れ場モデリング技術の実証ベンチマークとして利用できるものである。

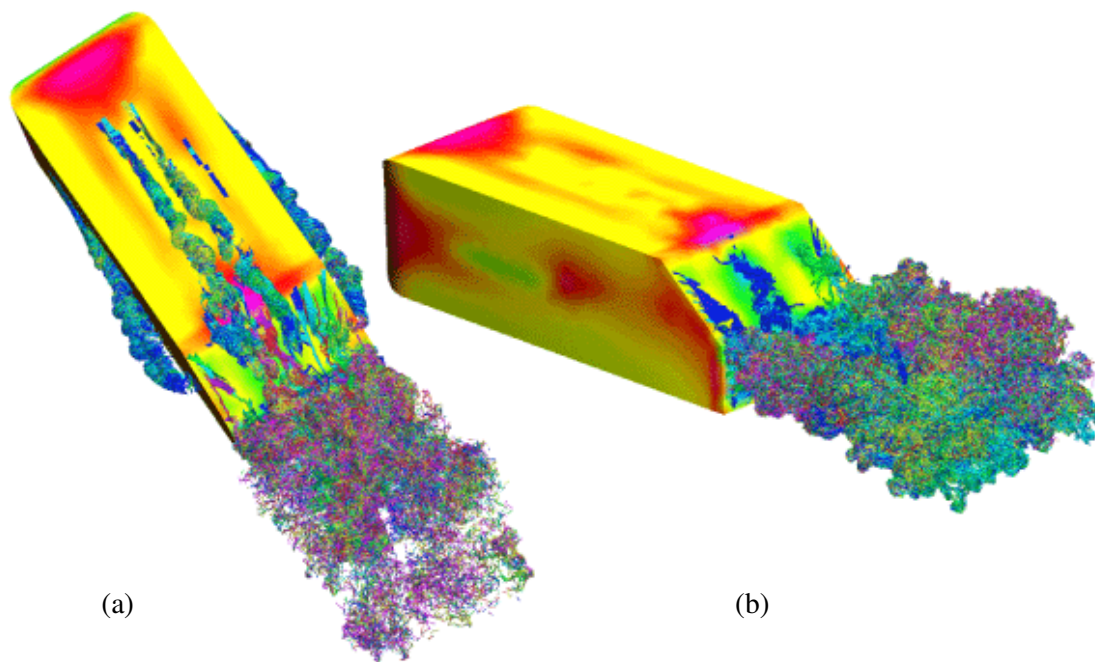


図3. 陸上車輻：(a) 上後方から見た図 (渦度の弱い領域を示す)、(b) 側後方から見た図(渦度の強い領域を示す)

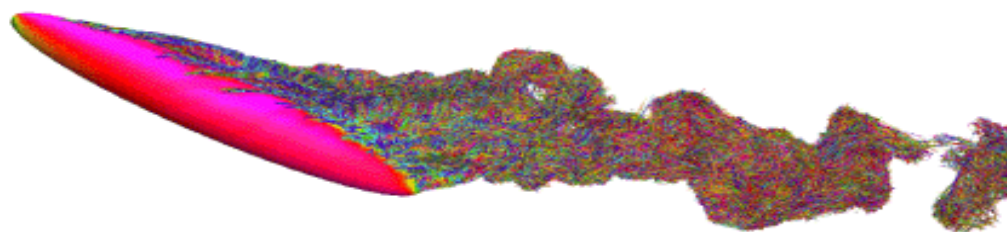
結果は二つの視点から示している、すなわち車輻の上後方から見た図3 (a) と、側後

方から見た図 3 (b) である。物体表面のカラースケールは、流れ方向の速度を示す。ボートンのカラーは、その強度すなわち循環速度に応じて変化する：青は最も弱いボートンで、マゼンタは最強ボートンを示す。航跡中の大きなかたまりは実験での観察と良く一致する、とりわけ車輻の両側面と上部からの剪断層が巻き上げられて、航跡中にある長手方向の渦になることである。車輻の上部と側壁にできている渦を捉えるため、図 3 (a) においては、図 3 (b)におけるよりは弱いボートンの領域を示していることに留意いただきたい。これらの渦のかたまりは、後部ならびに航跡中のかたまりよりもずっと弱い。

- 長球回転楕円体の場合

図 4 は、潜水艦に似た長球回転楕円体についての、VorCat によるシミュレーション結果を示す。このジオメトリは、三次元の分離された流れの複雑性を解析的、実験的に理解する試みとして多大の注目を浴びたものである。図 4 に示す結果は、KTI が DOE(米エネルギー省)のために行なった研究の一部である。渦の管の色はその強度(すなわち循環速度)に応じて変えてある。この図は進入角度 30 度の場合の結果で、個々の管が、一連の大きなコヒーレントな渦を形成することにより、航跡に明確な構造を与えている。この結果と、抵抗力の妥当な予測を併せると実験結果とよく一致する。

(a)



(b)

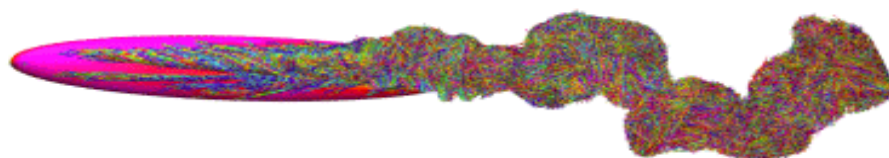


図 4. 進入角度 30 度の長球回転楕円体 (a) 側方から見た図、(b) 上方から見た図

- 航空機エンジンの場合

図5は、地表近くの航空機エンジンの VorCat によるシミュレーションを示す。航空機が静止または誘導滑走している高推力時の、航空機ジェットエンジン吸気口と地面との間の空気流は、強力な渦巻運動を発生させることがある。これらの渦巻き運動状態は、地上に発生する小さな渦の形で現れ、エンジンの吸気口に引き込まれる。これらの渦は、滑走路上の異物を吸い上げ、エンジンに噴出する、あるいは空気圧縮機のブレードの前での流れをみだし、圧縮機の停止に至るほどの強い吸引力を発生するので、安全をそこなう恐れがある。

現在の CFD 技術では、航空機エンジンによる、地上での吸気により引き起こされる分離流れによる基本的な渦発生の予測は無理である。VorCat の能力を米国の航空機メーカーに見せるため、ジェットエンジンを、実物と同じ長さ対直径、高さ対直径の比率(それぞれ3および1.5)の円筒に置き換えてシミュレーションを行なった。図5に示すこの結果は、地上で発生した渦が吸気口に引き込まれる様子をよく示している。

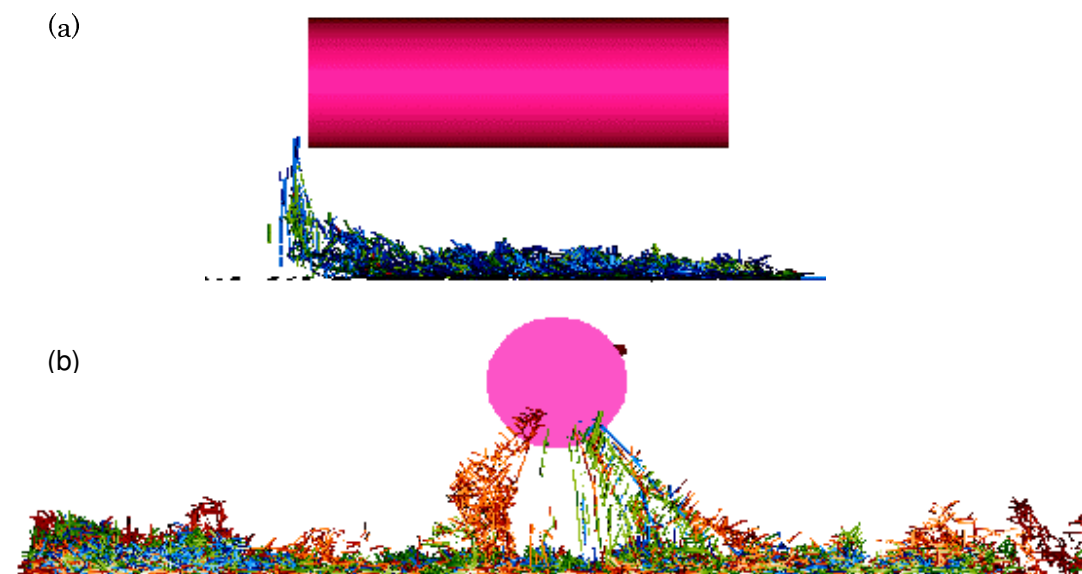


図5. 地表付近の航空機エンジン (a) 側方からの図、(b) 前面からの図



- 交差ジェット流の場合

図6は、二つの乱流ジェットの VorCat によるシミュレーションを示す。この結果は、現在 KTI が米国防総省のために行なっている研究の一部である。目標は、生物学的ならびに化学的な危険物の中和戦略の効果を推測することを狙って、乱流による混合を予測する正確な手法を編み出すことにある。VorCat の持つ無格子、計算速度、乱流の基本的な物理的行動の表現力、といった諸特性から来る融通性などのユニークな能力により、VorCat は非物理的拡散性モデルにもとづく格子式、囲い込み式、ならびに LES(大渦系)式といった伝統的な手法よりも、スカラーミキシング (scalar mixing) にあたっての小規模な渦の基本的効果のモデリングには、より適している。

図6において、ポーションは青色で、微粒子トレーサーはそれ以外の色で表している。両ジェットとも微粒子をばら撒いてあり、その初期位置は図に示すとおりである。ある微粒子はジェットの縁に噴出され、他の微粒子は混合が始まるボルテックスの中に移動させられている。プロセス産業でも、図6に示したような乱流混合を含むアプリケーションがいくつもある。

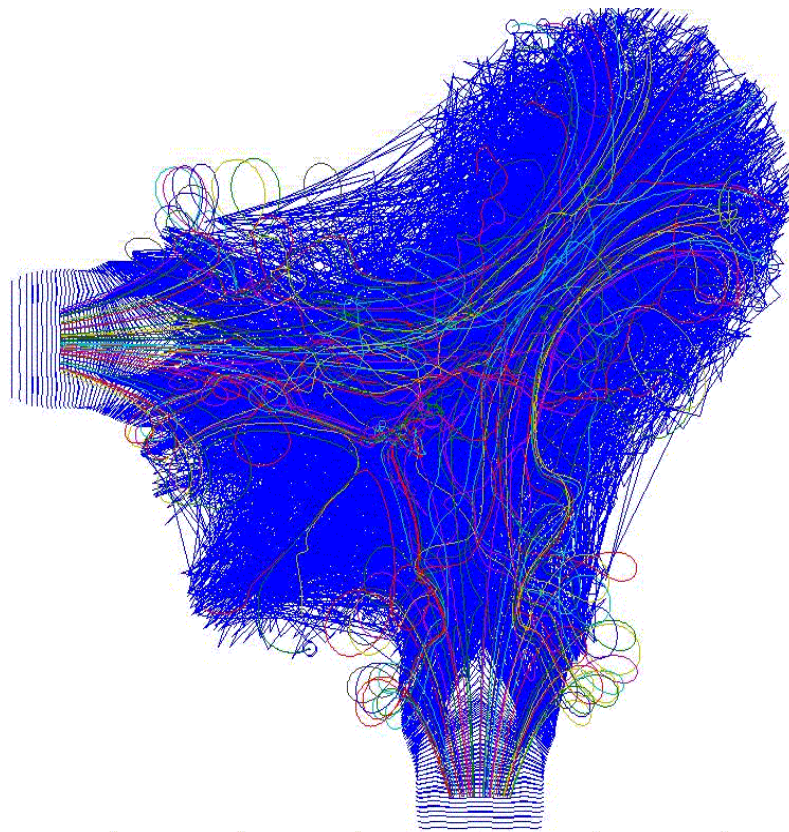


図6. 二つの乱流ジェットのシミュレーション



- ミニチュアバルブの場合

フォード・モーター・カンパニーより、自動車の自動変速装置に使われている減圧弁スプールバルブ内の流れを VorCat を使用して時間的誤差なくシミュレーションするという依頼を受けた。流体の流れをコントロールするのに利用される、このような構造での流力は数的に予測するのは非常に困難で通常実験的テストが必要となる。バルブの断面図は図 7 (a)の通り。図 7 (b)は順方向流、逆流の 2 つの条件に対する、VorCat の予測、他の数的解析法による予測および実験データを示している。結果は明らかで、VorCat による予想は実験データと非常に一致している。一方、他の 2 つの数的解析法は実験データを下回る予測をしている。図 7 (b)において、“numerical”と示されているのは（マツダ自動車の）日本人研究者らが実施した RANS ソリューションで、“PowerFlow”とあるのは PowerFlows ソフトによる予測である。なお、PowerFlow ソフトによる予測は順方向流、逆流とも同じであったので結果は一組のみ示した。

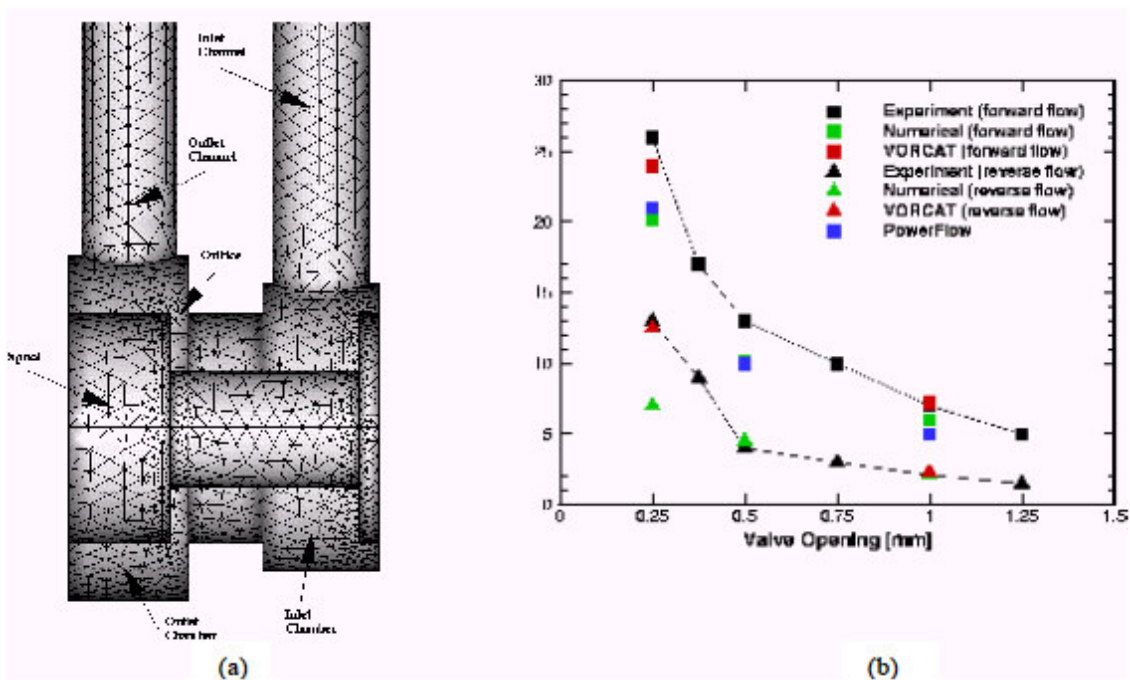


図 7. (a) スプールバルブ断面図

(b) VorCat 予測結果と実験結果および他の数値解析法による予測結果との比較

- 多素子の先端的な翼構造の場合

NASA Langley Research Center が資金提供して現在続行中のプロジェクトにおいて、高角度からの攻撃および高レイノルド数における多素子の先端的な翼構造に関する空力の計算に VorCat が使用されている。ベンチマークセッティング、つまり中程度のレイノルズ数における平板な流れ場境界層の予備的計算は完了し、乱流統計量結果はベンチマーク結果と非常に一致している。翼構造に関する流れの計算結果は図 8 の通り。今回の結果は、2001 年 9 月 26~28 日にトルコのイスタンブールで開催される「ボルテックス・スメソッドに関する第 2 回世界会議」で行われる招待講演においてピーター・バーナー博士が発表する予定。

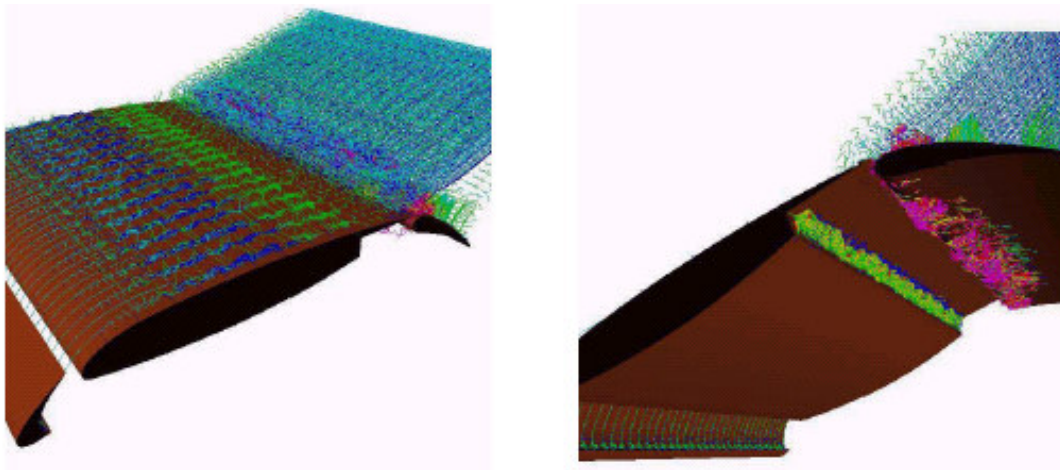


図 8 .  $Re = 9,000,000$  and  $\alpha = 19^\circ$  で  $t \approx 2$  for the 30P30N foil の時の  
ボルテックス・フィラメント・フィールドの上面と底面

(VorCat 製品の解説と応用例)