

## 口腔流体シミュレーションを題材とした大規模分散並列可視化

文部科学省 ITプログラム「革新ソフトプログラム」で開発された非構造有限要素法 LES 解析コード FrontFlowBlue (FFB) を用い、NEC 社製スーパーコンピューター SX8-R 上で、264 万、2117 万 6 面体要素での発音時口腔内気流解析を行った。大規模データは株式会社 KGT 社製 AVS PST を用いて可視を行い、HOPE システムにて表示した。

大阪大学サイバーメディアセンター  
野崎一徳  
(株)KGT  
吉川 慈人、岩田 恭

### 口腔気流シミュレーション

近年の数値流体計算手法の進歩により、渦の詳細な解析が可能となったことで、数値流体音響計算による騒音解析が盛んにおこなわれるようになってきている。一方で、Quality of Life に関係する発音、特に摩擦音の発音障害に関する解明と治療方法の開発に対する期待も高まっている。しかしながら、口腔内を流れる気流を計算し、さらにその気流から発生する音を計算するには、さまざまな困難を伴うことが分かってきている。特に、渦から発生する音をシミュレートするには、RANS の様な時間平均化モデルを用いることはできず、空間平均モデルを用いなければならない。しかしながら、こういった空間平均モデルはその解析精度が大部分メッシュサイズ、品質に左右されることから、本研究では、可能な限り精度のよい流体解析を行うかに焦点を当て、現在のサイバーメディアセンターのスーパーコンピューター SX-8R を活用し実験を行った。対象となる発音時の口腔内形状モデルは、短時間撮像可能なコーンビーム CT から得られた DICOM データを元に、KGT 社製 REAL INTAGE を用いてセグメンテーションを行った後、STL データとして出力し、それを元にメッシュジェネレータの Gridgen によって構築した。メッシュ生成の際には、より高精度な解析結果が得られるように、6 面体メッシュとし、境界部分には可能な限り均等なメッシュを配置することを心がけた。さらに高周波音が卓越する摩擦音を解析することから、メッシュを 8 分割する手法を用いて、8 倍詳細なメッシュを作成し、メッシュ数による計算精度への影響を考察した。またこの手法により複雑形状に関しては困難な大規模 6 面体要素格子を構築できたことで、Gridgen のみで作成した計算格子では得られなかった、詳細な解析が行えることになった。さらに、FFB は SX シリーズに最適化されているため、90% 台後半のベ

クトル化率と並列化率を維持しており、非常に高速な演算が出来、数十万ステップの計算が現実となった。

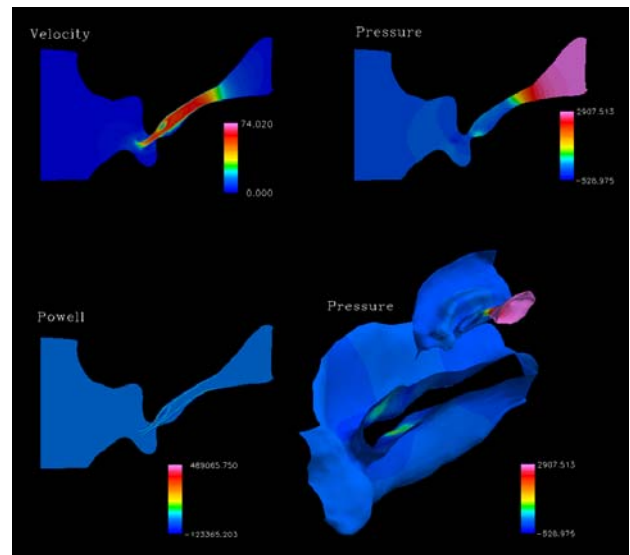


図 1 : LES 解析による口腔内気流の可視化結果  
3 次元的に複雑な形状のため、音源は前歯部後方から前方部に分布していることが分かってきた。

### CMC大規模可視化システム

現在、サイバーメディアセンターの PC クラスタシステムには、シングルノード版の AVS/Express と並列対応版の AVS/Express PST が利用できる環境にある。シングルノード版は、従来より多くのユーザに利用されてきたが、並列版は昨年度末に導入されたばかりで、多くの可視化事例はない。ここでは、本研究の一環として、この並列処理を評価すると共に、並列レンダリング機能を実装したカスタマイズ版 (AVS/ExpressMPE/PST-DDR : Distributed Data Renderer) を試験的に導入し、その評価も行っている。なお、並列化効率は、KGT がサイバーメディアセン

ターの旧システム (SGI 製 Onyx300、16CPU、16 GB メモリ、2 グラフィックス・パイプ) で評価した際には、以下の結果が得られている。

表 : 並列化効率のテスト結果 (参考)

	シングルノード	並列版
データの読み込み	20 sec.	2 sec.
等数値面生成	150 sec.	17 sec.
レンダリング	1.6 frame/sec.	2.6 frame/sec.

テストデータ : 1024 x 1024 x 1024 byte 型 約 1GB  
等数値面は、約 100 万ポリゴン

現在の PC クラスタシステムでは、1 ノード当たりの処理能力が非常に高いため、簡易テストでは 8 並列処理で概ね 2 倍の処理速度が得られている。

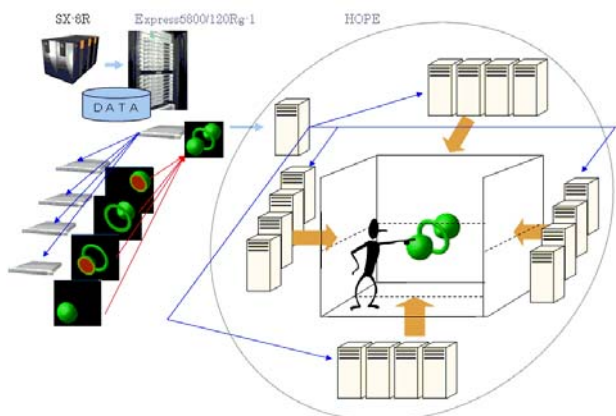


図 2 : 可視化システムの概要

## HOPE 没入型可視化システム

サイバーメディアセンターのバーチャルリアリティ・システム HOPE は、イリノイ大学で開発された CAVE™ を原型とする約 3m の 4 面のスクリーンで構成された高解像度の没入空間を得るためのシステムである。現在は、Windows PC クラスタ上の AVS/ExpressMPE (Multi-Pipe Edition) によって、シングルマスターノードでデータの読み込みや可視化を行い、16 台のスレーブノードでレンダリング、立体表示までを行っている。

本研究では、高精度の大規模シミュレーション結果を本システムの大画面立体表示して観察することで、通常のモニタ表示では得難い口腔内の詳細な気流を直感的に把握するのに優位であることがわかった。そこで、さらに大規模なデータに対応するよう、データの読み込みや可視化処理を並列化することが可能なカスタマイズ版 (AVS/ExpressMPE/PST) を試験的に導入し、その評価も行っている。

## 大規模分散並列可視化の今後

現在、ここで紹介したシステムは、まだ個々に独立して稼働している状態であるが、本研究の事例を通して、スーパーコンピュータのシミュレーション結果から並列可視化、並列レンダリング、バーチャルリアリティ表示までを高速に一貫して行える可能性を見ることが出来た。これは、今後ますます、全ての研究者の身近に普及していくであろう大規模シミュレーションの結果を評価する上で非常に重要であり、大阪大学ではその環境が整いつつあることを実感する。

今後は、以下の改良を図り、誰もが、いつでも、簡単にその恩恵が得られるよう、研究の一環として提言していく。

- ・ ネットワークの高速化
- ・ 並列可視化手法の開発
- ・ システム連携のための開発
- ・ 可視化処理のポータルサイト化

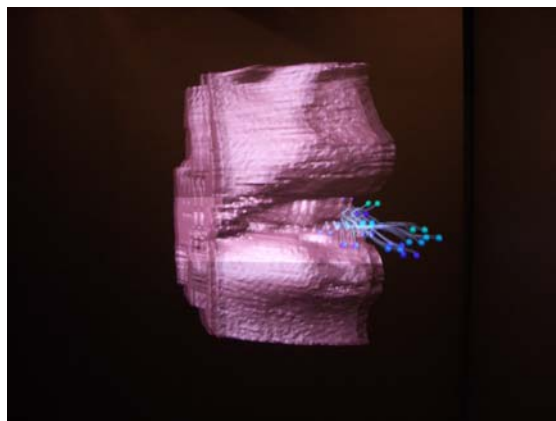


図 3 : HOPE 没入型可視化システムによる LES 解析の流線とパーティクル可視化結果。口腔領域右半側部分を Clip し、内部流の流れを空間的に把握出来た。

## まとめ

これら、大規模データのポスト処理技術、性能の向上は、データの空間分布を直感的に観察すること可能にし、研究者へシミュレーション結果の空間的情報をフィードバックすることで、研究への新たな好奇心の発揚と、楽しみを増やすだけではなく、他者への情報伝達においても、直感的理解を促し、研究者と市民の間の共有空間を醸成する可能性を秘めている。今後これらの環境をより手軽に活用できるよう、さまざまな研究開発が必要であると考えられる。