

# グリッドを利用したPIV仮想研究所の構築

## PIV Web Laboratory Using Grid Technology

### あらまし

流体研究の実験的手法としてPIV（粒子画像流速測定法）があり，シミュレーションを補完する技術として自動車・航空・土木・医学などの分野で活用されている。レーザやカメラなどの光学技術の進歩により「流れ場」の3次元解析が可能となってきたが，そのためには高性能計算機や大容量ストレージ，可視化エンジンが必要となる。

そこで，著者らは，このような流体解析の課題を解決する問題解決環境システムとして，PIVを活用した流体研究者のためのPIV仮想協調研究所“PIV Web Laboratory”を開発した。

本システムは，グリッドミドルウェアUNICOREをベースに構築し，複数ジョブの管理機能，3次元遠隔可視化機能を持つ。本システムを「デルタ翼」の実験データに適用し，遠隔から複数ユーザが可視化結果を操作する協調研究を実現した。

### Abstract

Particle Image Velocimetry (PIV) is an experimental method of researching fluids that is employed in the fields of automobiles, aviation, civil engineering, and medicine as the technology to complement computer simulation. The advances made in such optical technologies as laser beams and CCD cameras have made three-dimensional analysis of the flow field possible. However, three-dimensional analysis requires a high-performance computer, large-capacity storage, and a visualization engine. Accordingly, we have developed the “PIV Web Laboratory” for researchers studying fluid by using PIV as the Problem Solving Environment (PSE) system that satisfies such fluid analysis requirements. This system is based on UNICORE Grid middleware, and has multi-job management and three-dimensional remote visualization functions. We used this system to analyze the flow field on the delta wing, and created a collaborative research environment where many users can manipulate visualization results simultaneously by remote control.



田子精男（たご よしあ）  
金沢大学 理学部 計算科学科 教授  
現在，グリッド，問題解決環境の研究に従事。



大西尚樹（おにし なおき）  
金沢大学大学院 自然科学研究科 数  
物科学専攻 所属  
現在，PIV研究のためのグリッド，  
遠隔可視化の研究に従事。



門岡良昌（かどおか よしまさ）  
ITコア研究所 所属  
現在，グリッドコンピューティング  
関連の研究に従事。

## まえがき

情報技術（IT）の急速な進化は、流体解析分野の発展に大きく貢献している。一つはコンピュータシミュレーションによる「流れ場」の解析技術であり、もう一つはPIV（Particle Image Velocimetry：粒子画像流速測定法）<sup>(1)</sup>による広域流れ場の画像解析による計測手法である。産業の発展は予測・制御すべき現象をますます複雑にしており、これらの解明または予測にコンピュータによる数値解析または模型を用いた物理実験だけで対応していくことは現状では困難であり、両者の技術の高度化と融合は流体解析における大きな課題となっている。

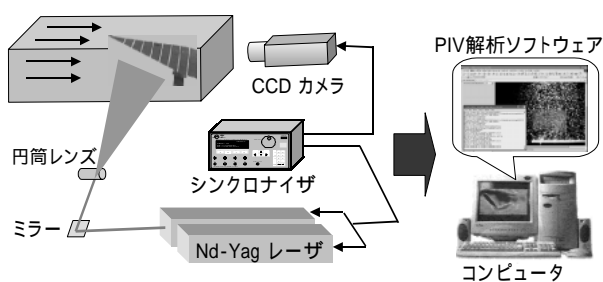
著者らは、このような流体解析の課題を解決する協調研究のための問題解決環境（PSE：Problem Solving Environment）として、「PIV仮想研究所」（PIV Web Laboratory，以下PIV-WL）を構築した。このPIV-WLでは、グリッド技術を用いて、地理的に離れた複数の研究者が、協調して流体解析を容易に行える環境構築を目指している。

本稿では、まずPIVについて紹介し、その上でPIVを支援するPSEであるPIV-WLシステムの開発上の課題と、それを解決するための具体的な施策について著者らの研究成果を紹介する。

## PIV（粒子画像流速測定法）

PIVとは、実験と画像解析によって、流れ場の速度分布を計測する方法である。図-1はPIVの装置全体を表す。

実験では、測定したい流れ場に微小な粒子を混入し、その粒子挙動をカメラで撮影する。画像解析では、実験で撮影した画像データ群をもとに、粒子の移動距離から、各時刻における流れ場全体の速度分



Copyright© 2002 Korea Maritime University

図-1 PIVの装置  
Fig.1-Instruments of PIV.

布を計算する。この画像解析を行うPIV解析ソフトウェアには、韓国海洋大学が開発した“KMU-PIV”<sup>(2)</sup>など様々なものがある。

PIVの特徴は、従来の流れ解析の実験的手法と比べ、瞬時に多点同時刻の流れ場の計測が可能であり、その計測が比較的容易ということである。そのため、実験によって流れ場を解析する手法として、標準的に利用されている。PIVの応用分野は、流れが関係するあらゆる分野である。例えば、航空機の翼周りの空気の流れ、自動車のエンジン内部の流れ、医療における血液の流れの解析などに応用される。

## PIV Web Visualization System

PIVの画像解析処理を行う際、KMU-PIVは大変有効なソフトウェアである。しかし、KMU-PIVは単一のWindowsパソコンの上では利用できるが、ネットワークを介して遠隔から利用することはできなかった。そのため研究者が、PIV解析結果を参照するためにはKMU-PIVの設置場所まで移動する必要があった。また離れた場所にいる共同研究者のために、解析結果を開示することも困難であった。

そこで、著者らはグリッドの技術を利用し、KMU-PIVシステムをWebから利用できるシステムを構築した。このシステムをPIV Web Visualization System（PIV-WV）<sup>(3)</sup>と呼ぶ。PIV-WVシステムの構成を図-2に示す。PIV-WVシステム構築には、グリッドミドルウェアとしてデファクトスタンダードであるGlobus Toolkit 2.0を利用した。

その結果、ユーザはWebブラウザでポータルサーバにアクセスし、2次元のPIV解析のパラメタを入

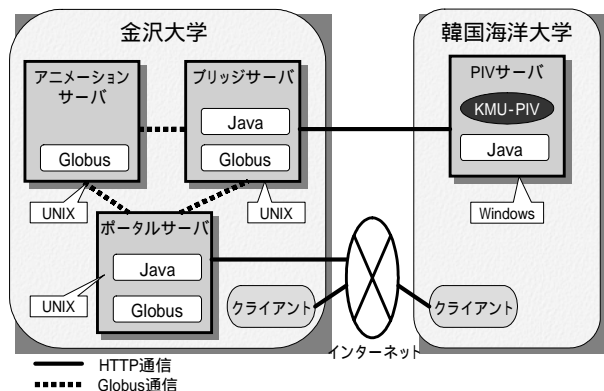


図-2 PIV-WVシステムの構成  
Fig.2-Architecture of PIV-WV.

力し命令を送るだけで、KMU-PIVによるPIV解析を行い、その結果をアニメーションとして閲覧することが可能となった。

## 3次元PIV対応への課題

現在PIVの分野において、2次元の解析が主流である。しかし、2次元のPIV解析では、航空機の燃焼器内の流れのように空間的に旋回流が発生するような複雑な流れ場に対しては、その現象の理解が大変困難である。そのため、ステレオPIVなどの3次元情報を持ったPIV解析が必要となってくる。

3次元のPIV解析を行うためには、計算時間、必要なデータ量が大幅に増加するため、高性能計算機や大規模ストレージなどが必要となる。また、高性能可視化エンジンも必要となる。しかし、これらの環境を用意し、ITを習得することは、PIV研究者にとってきわめて高いハードルとなる。そこで、3次元のPIV解析ができる仮想研究環境として、PIV-WVシステムを拡張し、PIV-WLシステムの構築を目指した。しかし、その実現には二つの大きな課題があった。

一つは、地理的に離れた計算機リソースの接続である。PIV-WVシステムでは、Globus Toolkit 2.0をベースとした通信処理のために、複数の固有の通信ポートを用いる。そのため、ファイアウォールなどで保護されたイントラネットの中のサーバと通信させるためには、ファイアウォールに多くの穴を開ける必要があり、このようなサーバ間の連携は現実的ではなかった。

もう一つの課題は、3次元可視化への対応である。PIV-WVシステムでは、可視化結果を2次元平面情報として表示することにのみ対応していた。しかし、3次元PIVにおいては、測定対象の周囲の流れ場を空間的に観察するため、回転、拡大・縮小などの操作を可能とする高度な可視化技術が必要となる。

## UNICOREベースのBrokerサーバ開発

最初の課題を解決するために、Globus ToolkitではなくUNICOREを採用した。UNICOREは欧州富士通研究所が開発したグリッドミドルウェアである。Globus Toolkit 2.xと異なりファイアウォールを越えた環境でも利用することが可能である。

著者らは、まず、WindowsでLinuxの環境をエ

ミュレートできるソフトウェアである“Cygwin”用にUNICOREのTSI (Target System Interface) を改良した。これによりWindows環境でのみ動作が可能であったKMU-PIVエンジンをUNICOREのサーバの機能で管理することが可能となった。

また、従来UNICOREを利用するにはPallas社が開発したGUI (Graphical User Interface) を利用することが前提となっていた。しかし、この仕組みでシステムを構築する際に、著者らが開発したポータルサーバからUNICOREの機能で命令を送ることができなかった。そこで、UNICORE用のAPI (Application Program Interface) <sup>(4)</sup>を独自に開発した。その結果、UNICOREをベースとしたシステム開発が可能となった。

さらに、このAPIを利用して汎用性の高いBrokerサーバ<sup>(4)</sup>を開発した。Brokerサーバの構成を図-3に示す。Brokerサーバは、計算機リソースの管理を行い、複数の利用者からの要求に応じ、適切な計算機リソースに適切なジョブを割り振り、ジョブ結果を受け取ることが可能である。このBrokerサーバを利用することにより、UNICORE機能を生かしたシステム構築を容易に行えるようになった。

## 3次元遠隔可視化機能の実現

もう一つの課題である3次元可視化に対応するため、高機能遠隔可視化を行う可視化サーバを構築した。可視化サーバ構築には、最先端の3次元高機能可視化エンジンAmira<sup>(5)</sup>を利用した。また、遠隔操作機能のため、VNC (Virtual Network Computing) <sup>(6)</sup>

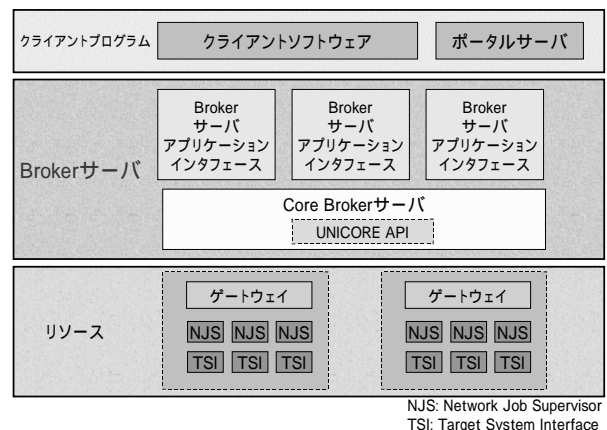


図-3 Brokerサーバの構成  
Fig.3-Architecture of Broker Server.

を利用した。さらに、Javaプログラムによって、Amiraの可視化設定ファイル“Amira Script”を自動で作成する機能を開発した。

その結果、ユーザはPIVの可視化のためのパラメータをWeb上で入力するだけで、簡単に高度な3次元の可視化を行うことができるようになった。そして、可視化が行われた画面をマウスで操作することにより、回転、拡大・縮小、平行移動、アニメーションの再生などを行えるようになった。さらに、複数の利用者が別々の遠隔地からアクセスし、同じ画面を同時に操作することも可能である。研究者同士の協調には、Yahoo! Messenger<sup>7)</sup>のビデオチャット・音声チャット機能を利用するとよい。

## PIV仮想研究所 (PIV-WL) の構築

前述のような改良に加え、3次元PIV解析機能、データ管理機能、ポータルサーバなどをそれぞれ新たに構築した。その結果、図-4に示すようなPIV-WLシステム<sup>8)</sup>を完成させた。

PIV-WLシステムは、クライアントのコンピュータ、ポータルサーバ、Brokerサーバ、PIVサーバ、データベースサーバ、可視化サーバなどによって構成される。これらのシステム構築には、UNICORE、Java、Java Servlet、JSP (Java Server Pages)、Java Beans、XML (eXtensible Markup Language)、

3D Stereo KMU-PIV、Amira、VNC、PostgreSQL、JDBC、スレッドなどの技術を利用した。

PIV-WLシステムのユーザには、2種類のユーザグループが想定される。一つは、PIVの実験装置を持っており自身のPIV実験データをアップロードし、解析・可視化を行うPIVデータ解析グループ (PIV Data Acquisition Group) である。もう一つは、登録されているデータおよび可視化結果を閲覧するだけのPIVデータ閲覧グループ (PIV Data Retrieval Group) である。ユーザはWebブラウザを利用するだけでPIV-WLシステムを利用することができる。

処理の流れとしては、まずユーザがWebブラウザを利用してポータルサイトにアクセスする。初めてアクセスしたユーザは、PIV-WLシステムにユーザ登録を行う。すでにシステムに登録済みのユーザは、ユーザIDとパスワードを入力することによって、PIV-WLシステムの仮想環境にログインが可能である。

つぎにユーザは、自分のPIV実験データをアップロードする。アップロードした実験データは、管理情報とともにデータベースに保存される。

つぎは、PIV解析を行う。ユーザは、利用可能な実験データ一覧の中から、解析を行いたい実験データを選択する。このとき、一覧表示されているデータに対し、登録日やファイル名ごとの並び替え、

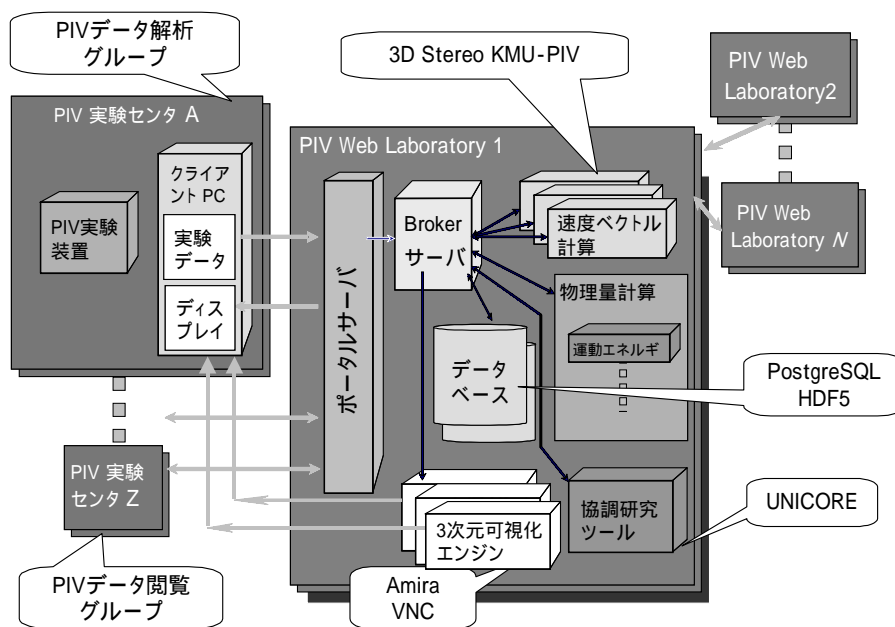


図-4 PIV-WLシステムの構成  
Fig.4-Architecture of PIV Web Laboratory.

PIV実験時の詳細データを表示することも可能である。つづいて、PIV解析のためのパラメタを入力する。PIV解析は、四つステップがあり、それぞれのステップにおいて15個程度のパラメタ入力が必要である。図-5は、速度ベクトル解析の際のユーザインタフェースの例である。ここで入力された命令は、UNICOREの機能によって、PIV解析を行うPIVサーバに伝えられる。PIVサーバでは、入力パラメタを感知し、KMU-PIVを利用し、速度ベクトル計算、ステレオマッチング、誤ベクトル除去などの後処理計算、運動エネルギー、渦度、乱流成分、レイ

ノルズ応力などの各種物理量計算を行う。また、可視化用にデータ変換も行われる。

最後にユーザは、解析結果の可視化を行う。可視化するデータも、一覧表示されたデータの中から選択する。そして、可視化を行いたい物理量を選択する。この命令も、UNICOREの機能で可視化サーバへ伝わり、可視化の処理が実行される。ユーザは可視化が行われたURLにアクセスし、そこでVNCのパスワードを入力する。するとAmiraによって可視化された画面を閲覧し、操作を行うことができる。研究者同士の協調研究も可能である。

## PIV-WLの適用と考察

韓国海洋大学のPIV研究者が、PIVデータ解析グループの利用者としてPIV-WLシステムを利用し、戦闘機のデルタ翼の上に発生する二つの渦の解析を行った。その結果について述べる。

利用したデータは、2種類のデルタ翼を障害物とした流れのデータである。一つは、渦の発生を増加させるために効果的な先端拡張部（Leading Edge Extension：LEX）を持っているデルタ翼の実験データである。もう一方は、LEXを持たないデルタ翼である。

PIV-WLシステムを利用して、このPIV実験データにPIV解析処理をし、可視化を行った。図-6は速度ベクトルおよび乱流強度を同時に表示した結果で

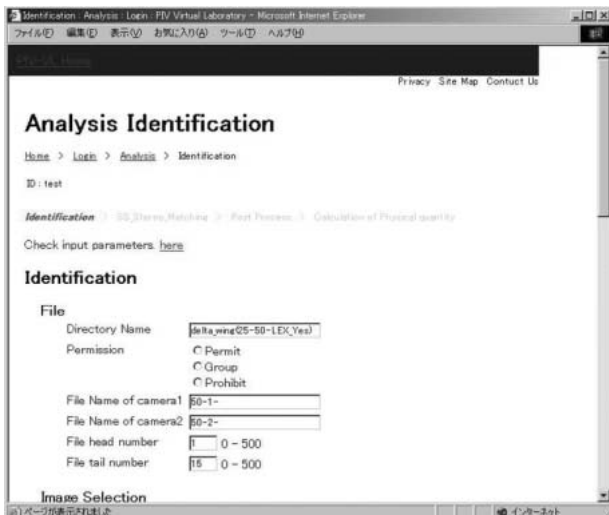
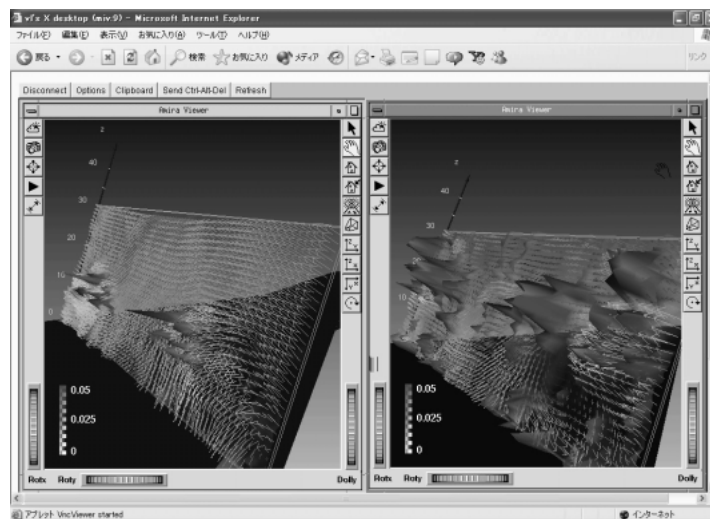


図-5 ユーザインタフェースの例  
Fig.5-Example of user interface.



Copyright© 2003 Korea Maritime University

画面左：LEXを持つデルタ翼 画面右：LEXがないデルタ翼

図-6 デルタ翼データの可視化結果  
Fig.6-Visualized result of delta wing data.

ある。可視化結果からLEXを持つデルタ翼は、LEXがない場合と比べ乱流成分が少なく、安定した渦が発生することが確認できた。この現象は、LEX型デルタ翼において典型的な現象であり、近代的な戦闘機の操縦に必要な上昇力の基本原理になっている。

今回は、PIV解析部分の高速化は行っていないが、グリッドミドルウェアUNICOREによる分散処理技術を導入することにより、速度ベクトル計算時間をほぼ台数に比例して高速化を図れるめどを付けることができた。この適用によって、PIV-WLシステムが、実際にPIV研究者が利用している有用なデータに対し、3次元のPIV解析を行い、データを共有することが確認できた。また、遠隔地にいるPIV研究者同士が、同じ可視化結果画面を見て操作・議論ができる協調研究も実現できた。米国（テキサスA&M大学）から実際にPIV-WLシステムにアクセスしたが、可視化における応答性を含め、ネットワーク上の計算機リソースを利用することによる遅延の研究への影響は感じられなかった。

この共同研究環境は、新たな物理現象発見を生み出す可能性を含んでいる。

### む す び

本稿では、グリッドの技術を用いてPIV研究者のための仮想協調研究環境であるPIV-WLシステムの開発結果と、PIV-WLシステムの適用事例について紹介した。このシステムは、UNICOREを実装したBrokerサーバ、Amiraによる高機能遠隔可視化を行う可視化サーバ、ポータルサーバ、3次元PIV解析機能、PIV研究のためのデータ管理機能などによって構成されている。

本システム開発の結果、PIV研究者は、容易にネットワーク上での3次元ステレオPIV解析を行うことができるようになった。また、研究者同士のPIVデータの共有も可能になった。そして、地理的に離れた共同研究者同士が、3次元の可視化結果を同時に閲覧し、議論を行える協調研究を実現した。グリッド技術としては、まずUNICOREをベースと

したシステム構築の基盤を開発した。そして、特定のアプリケーションに対し、仮想協調研究環境の提供に成功した新たな一例を示すことができたと言える。

今後の課題として、大規模分散処理による計算パワーの強化、大容量のストレージの配備やセキュリティ機能の強化などがある。また、PIV-WLの自動車分野への適用や、マイクロPIVを利用した医療分野へ適用することも検討している。著者らは、これらの課題解決やPIV-WLの適用分野の拡大によって、流体研究の発展に寄与する仮想協調研究環境の構築を目指している。

本稿は、著者らと韓国海洋大学のLEE Young-Ho教授、CHOI Jang-Woon氏、富士通研究所の小橋博道氏、金沢大学の大橋英雄氏、高瀬裕治氏による共同研究成果である。

### 参考文献

- (1) 可視化情報学会：PIVハンドブック．森北出版，2002．
- (2) KMU-PIV．  
<http://iit.Kmaritime.ac.kr/>
- (3) Y. Kadooka et al. : PIV Web Visualization System Toward PIV Visualization Grid . *Journal of Visualization* , Vol.6 , No.3 , p.283-291 ( 2003 ) .
- (4) 大橋英雄ほか：UNICOREベースの問題解決環境システムの構築．第6回問題解決環境ワークショップ論文集，p.129-136 ( 2003 ) .
- (5) Amira .  
<http://www.amiravis.com/>
- (6) VNC .  
<http://www.realvnc.com/>
- (7) Yahoo! Messenger .  
<http://messenger.yahoo.com/>
- (8) Y. Kadooka et al. : A Study on the PIV Virtual Laboratory by Web Grid Technology. 5TH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PARTICLE IMAGE VELOCIMETRY , Busan, Korea , Paper No.3208 , 2003 .