

第9回問題解決環境ワークショップ

(PSE ワークショップ)

# 論文集



平成18年 9月4・5日  
宇都宮大学 工学研究科



## 第9回 PSE ワークショップ 2006 開催にあたって

皆様のご支援とご協力のもと、今年度も PSE (Problem Solving Environment (問題解決環境)) ワークショップを開催することができました。感謝申し上げます。今年は、2 件の招待講演、15 件の一般発表、4 件のポスター発表があります。活発な議論が期待されます。PSE 研究の内容も、第 1 回 PSE ワークショップ開催当初から比べ幅が広がり、シミュレーション支援環境としての PSE から、Grid コンピューティング、教育支援、協調環境などを含めて、広がりを見せてきました。

PSE 研究会が 10 年ほど前に発足し、すぐにこの PSE ワークショップを開催するようになり、今年に至っております。PSE 研究会のホームページ[1]はその当時のままの形を残しています。古典的な PSE として 20 年以上前に始まった PSE 研究は、当時は PSE という名前すら無く、Library や CAE などの開発、さらに数学モデルなどからプログラムを生成する PSE などに向かいました。

コンピューティング科学には、コンピュータのパワーとアルゴリズムのパワー、さらにプログラミングのパワーが必要です。ご存知のように、前者の二つは飛躍的に進展してきましたし、進展しています。しかし 3 番目のプログラミングのパワーについての進展には、いまだに目を見張るものはありません。古典的 PSE はこの点を解決しようとしてきました。コンピュータパワーの進展にともなって、近年 PSE 研究が盛んになってきました。

その後、ハイパフォーマンスコンピューティングの支援環境はもとより、ソフトウェアやハードウェアを使いやすくしさまざまな問題を解決するために、PSE 的な発想があちこちで役立つようになりました。第 1 回の PSE ワークショップの頃には、PSE という単語自身や PSE の定義について多くの議論がなされました。現在でも PSE という単語が少々わかりにくいいため、誤解を招くこともあります。しかし、逆に PSE の懐の広さが幸いし、多くの方々の PSE への参入のしやすさが特徴のひとつになっています。国際的にも、PSE Workshop/PSE Session [2] を国際会議の中で、PSE 研究会として、開催するようになってきました。今後ともよろしくお願い申し上げます。最後に、事務局として活動してくれた杉浦秀明君、開催のお手伝いをいただいた田子研究室・川田研究室の皆さんに感謝します。

平成 18 年 9 月 4 日

川田重夫 宇都宮大学 工学研究科

### 第9回 PSE ワークショップ組織委員会

石川通、伊藤昇平、宇佐見仁英、梅谷征雄、榎生逸雄、荳口 隆重、門岡良昌、川田重夫、田子精男、西浦光一、丹羽量久、姫野龍太郎、保志克則、牧野徹、宮澤君夫、宮地英生

<http://www.ee.utsunomiya-u.ac.jp/~kawatalab/pse/workshop/j2006/2006.html>

[1] PSE 研究会 : <http://www.ee.utsunomiya-u.ac.jp/~kawatalab/pse/psetop.html>

[2] PSE Workshop / PSE Session at IEEE Conference on e-Science:  
<http://www.ee.utsunomiya-u.ac.jp/~kawatalab/pse/workshop/i2006/e-schedule2006.html>;  
<http://www.escience-meeting.org/eScience2006/>

# 目次

## 招待講演

次世代スーパーコンピュータ開発プロジェクトとアプリケーション	1
－ 姫野 龍太郎 (理化学研究所)	
デンソーグループにおける PSE の現状と将来	7
－ 伊藤 昇平 (株式会社デンソーアイテック)	

## 一般講演

サイエンスゲートウェイにおける アプリケーション共有機構としての「NAREGI-PSE」	13
－ 宇佐見 仁英 (国立情報学研究所)	
GRMS : グリッドの自律化に向けて	19
－ 加藤 佳則 (金沢大学大学院 自然科学研究科)	
利用者から見た CAD-Grid システムの活用	23
－ 梅田 雅敬 (株式会社富士通研究所)	
3次元創造システムを活用した解析支援環境の構築	27
－ 寺元 貴幸 (津山工業高等専門学校 情報工学科)	
LAN 内の分散計算ができる PSE ツールキット “Instant PSE” の開発と適用	31
－ 梅舘 典也 (金沢大学大学院 自然科学研究科)	
クラウド分散計算機環境内におけるジョブ実行支援システム	37
－ 尾崎 哲也 (宇都宮大学大学院 工学研究科)	
PIV 速度ベクトル計算の高速化に向けて	41
－ 武田 真 (金沢大学大学院 自然科学研究科)	
Design and Implementation of NAREGI Problem Solving Environment for Large-Scale Science Grid	45
－ 金澤 宏幸 (金沢大学, 富士通株式会社)	
モード解析に基づくピアノ響板シミュレータの高速化	51
－ 伊藤 航 (静岡大学 情報科学研究科)	
フロントエンドに MicroAVS を用いたリモート並列可視化システムの紹介	55
－ 松本 陽司 (株式会社ケイ・ジー・ティー)	
可視化ポータルサイトの開発と適用	59
－ 福田 博之 (財団法人高速道路技術センター)	
オープンソースを活用した教育改善システムの開発	65
－ 古賀 掲維 (長崎大学)	

PIC プログラム環境としてのワークフローツールの構築 .....	71
－ 早勢 欣和           (富山商船高等専門学校)	
ポアソン方程式のための問題解決環境 “PowerWorkbench” の構築 .....	75
－ 中井 純           (金沢大学大学院 自然科学研究科)	
分散型問題解決環境 “D-NCAS” におけるモデル化支援モジュールの開発 .....	79
－ 齋藤 祐一           (宇都宮大学大学院 工学研究科)	

## ポスター発表

問題解決環境としての可視化システムの開発 .....	83
－ 宮地 英生           (株式会社ケイ・ジー・ティー)	
高校生が体験するビジュアル・サイエンスの世界 .....	87
－ 木下 祐介           (金沢大学理学部 計算科学科)	
e-Learning コンテンツの配信 .....	91
－ 田中 望           (金沢大学理学部 計算科学科)	
分散型 PSE システム “D-NCAS” におけるステアリング .....	95
－ 杉浦 秀明           (宇都宮大学大学院 工学研究科)	
講演プログラム .....	99



# 招待講演





# 次世代スーパーコンピュータ開発プロジェクトとアプリケーション

The Next Generation Supercomputer Development Project and the Applications

姫野 龍太郎<sup>1)</sup>  
Ryutaro Himeno

1)理化学研究所

The aerodynamics simulation results of passenger cars from 1985 to 1995 are shown here, which shows remarkable and revolutionary progress. Recent simulation results at RIKEN, such as curving baseball simulation, blood flow simulation, air conditioning, etc. are also presented. We started the next generation supercomputer development project at the beginning of 2006 to boost the progress of simulation not only in scientific application but also engineering one. The target performance is currently set as 10 Peta FLOPS in theory and will start its operation in 2011. Nano-science and Life science are selected as two grand challenge applications.

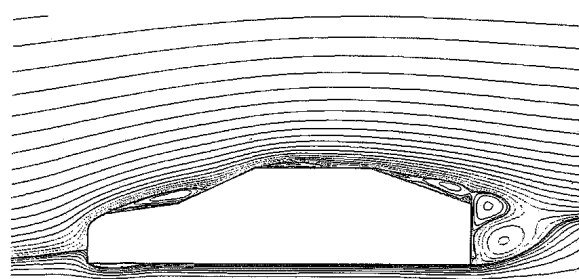
**Keywords:** supercomputer, simulation, numerical analysis

## 1. はじめに

1980年代から日本でも開発が始まり、広く使われるようになったスーパーコンピュータによって、それまではとても不可能だと思われていた種々のシミュレーションが可能になってきた。その結果、我々の身近なところでも、さまざまな工業製品の設計にシミュレーションが使われるようになり、また、天気予報にも使われている。ここでは、筆者の行ってきた主に流体のシミュレーションを取り上げ、その進歩の様子と現状を述べてみたい。さらに現在理研で来年度から開始される次世代スーパーコンピュータ開発プロジェクトの計画についても触れることにする。

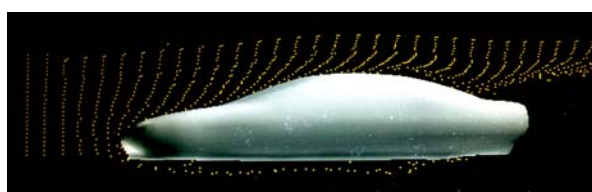
## 2. 自動車空力解析でのシミュレーションの進歩

筆者は1979年から1997年まで日産自動車(株)で勤務した。その中で1985年から1995年までの約10年間に公表した筆者らが手がけた自動車の空力解析の結果を図1に年代毎に示す。わずか10年の間に形状を表す近似度は飛躍的に進歩したことが分かる。同時にこの間、図2から分かるように精度も飛躍的に進歩し、実際の設計に使える十分使えるレベルに達した。このような飛躍的進歩は、この間にスーパーコンピュータの性能が計算速度・記憶容量共に格段に向上し、扱える計算点数が大幅に増えたことによる。この間、計算点数は約百倍にも増えている。もちろん、この間に計算精度や計算速度を向上させるためのソフトウェアの改良とともに、計算メッシュをより簡単に作成するためのプリプロセッサの開発と改良、計算結果をより理解しやすいものとするためのポストプロセッサの開発・改良が行われたことは言うまでもない。



(a) 1985年 (2次元計算)

(a) 1985 (2-dimensional calculation)



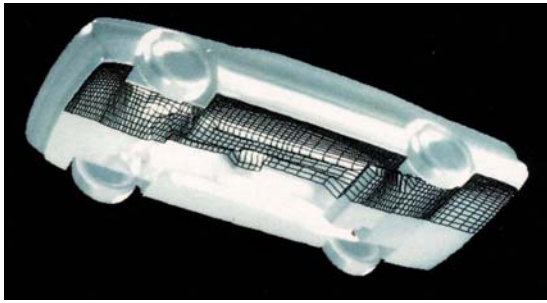
(b) 1987年 (3次元車輪なしモデル)

(b) 1987 (3-dimensional calculation without wheels)

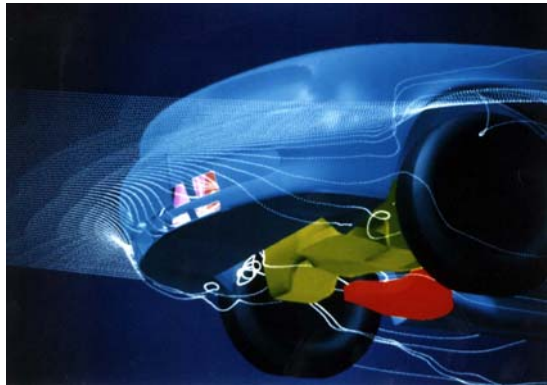


(c) 1988年 (3次元車輪有り)

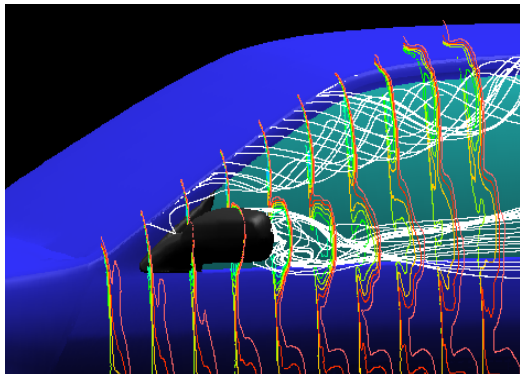
(c) 1988 (3-dimensional calculation with wheels)



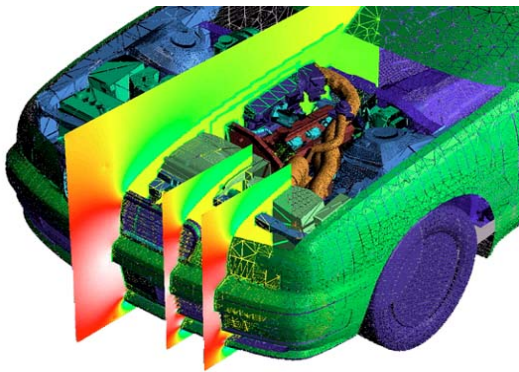
(c) 1990年(床下部品モデル)  
(c) 1990 (3-D model with under-floor roughness)



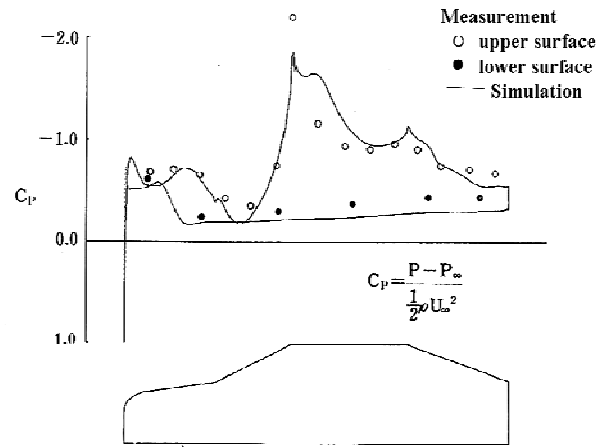
(d) 1992年(エンジンルームモデル)  
(d) 1992 (3-D model with engine compartment)



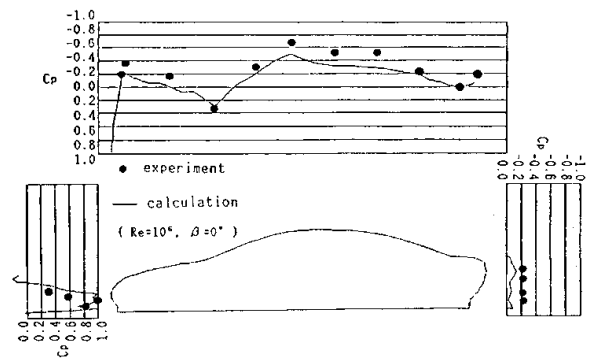
(e) 1993年(ドアミラーモデル)  
(e) 1993 (3-D model with door mirrors)



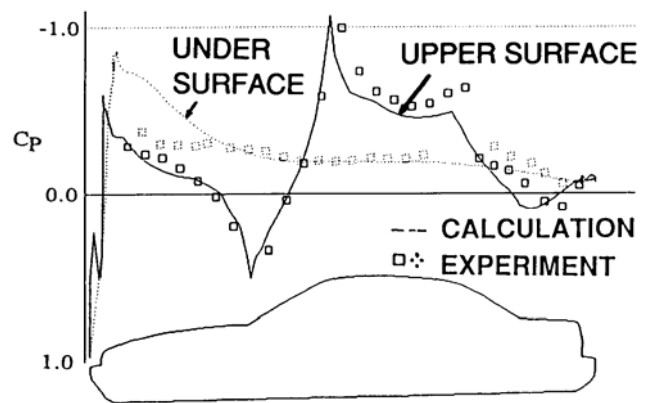
(f) 1995年(エンジンルーム詳細モデル)  
(f) 1995 (complex engine compartment model)



(a) 1985年(2次元計算)  
(a) 1985 (2-dimensional simulation)



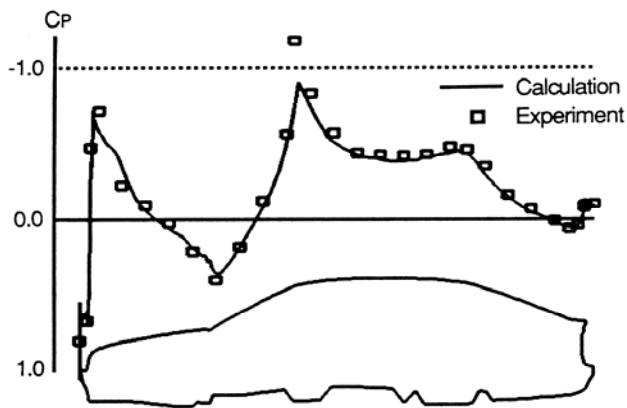
(b) 1987年(3次元車輪なしモデル)  
(b) 1987 (3-dimensional calculation without wheels)



(c) 1990年(3次元車輪なしモデル)  
(c) 1990 (3-dimensional calculation without wheels)

図1 計算モデル近似度の進歩

Fig.1 Progress of simulated results



(d) 1990年(床下部品モデル)

(d) 1990 (3-D model with under-floor roughness)

図2 計算精度の進歩(車体中心線上の圧力分布の比較)

Fig.2 Progress on precision of simulation (comparison of pressure coefficients on the body center line)

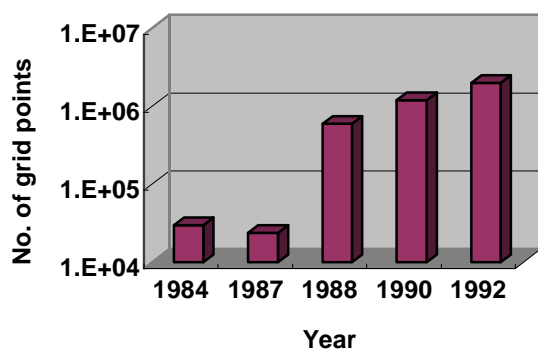


図3 計算点数の推移

Fig. 3 Increase of the number of grid points

### 3. 理研に移ってからのシミュレーション

1998年から筆者は理研の計算機センターである情報環境室(現・情報基盤センタ)に移った。その後、野球の変化球のシミュレーション、生体力学シミュレーション、ものづくりに関連した熱流体シミュレーションを行ってきている。

#### 1) 野球変化球のシミュレーション

野球のボールには特徴的な縫い目模様があり、この縫い目の影響でボール表面には高さ約1mmほどの畝ができている(図4)。ナックルボールやパームボールではこの縫い目によってボールが変化するとされている。そこで、この直径に比して1.4%しかない高さの違いがもたらす変化が、コンピュータシミュレーションで予測可能かどうかを調べてみることにした。図5はその計算用メッシュの様子である。実際に計算してみると、縫い目が流れに対してどの位置にあ

るかによってボール後方の流れは大きく変化することが分かった。図6の(a)と(b)はボールをわずか15度回転させて流れに置いただけの違いであるが、後方の流れは大きく異なり、(a)では抵抗以外の力はほとんど働いていないのに対して、(b)ではボールに大きな下向きの力が働くことが分かった。

ここでは結果を示すことはしないが、様々な角度を設定して計算すると、ナックルボールやパームボールのような変化球が再現できた。

その後、ボールが回転している場合のシミュレーションなども行い、現在、新たなピッチングマシンの開発や実験も手がけている。



図4 野球ボールの縫い目とその盛り上がりの様子

Fig. 4 Seam lines and their shape on a baseball

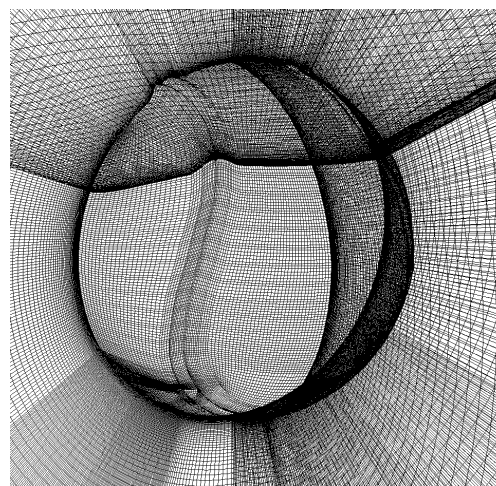
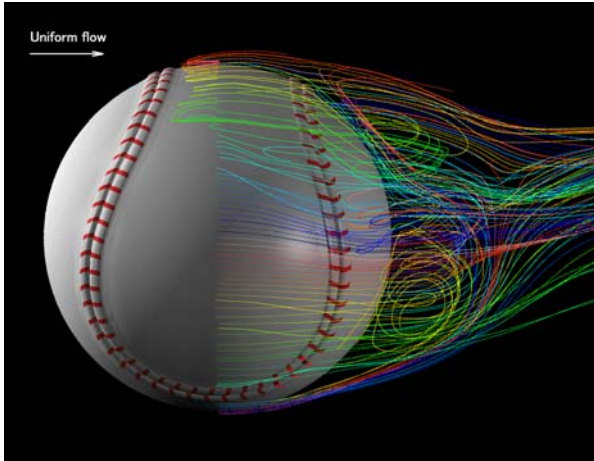


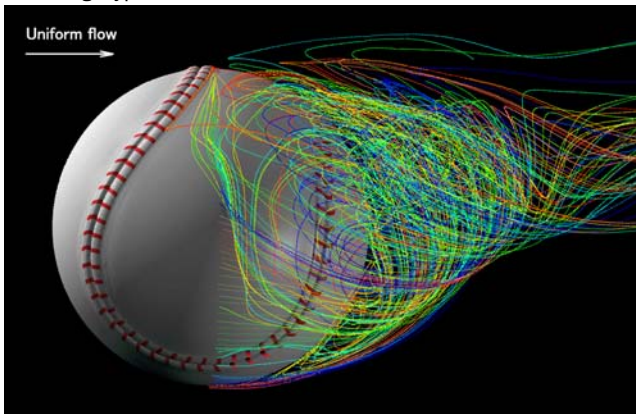
図5 野球ボールのメッシュ(計算点数約600万点)

Fig. 5 Computation mesh for a baseball with 600 million grid points



(a) ボール後ろにドーナツ状の渦ができた状態

(a) a ring-type vortex in the wake of a baseball



(b) ボール後ろ上側に伸びる渦のようす

(b) a pair of vortex in the wake of the baseball

図6 縫い目が流れのどこにあるかで流れが変わる様子

Fig. 6 Changes in the flow behind the ball as the seam line position changes

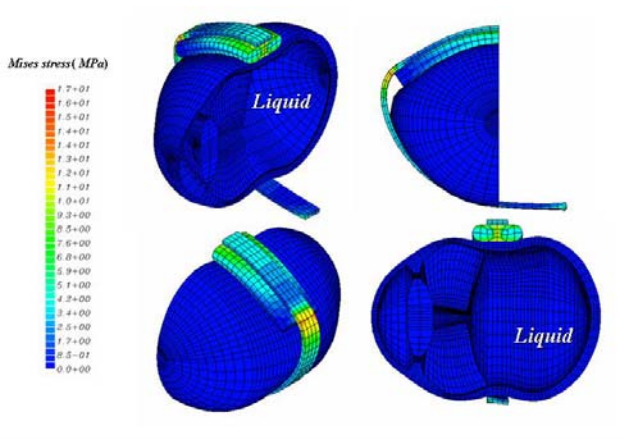


図7 網膜剥離の輪状締結手術のシミュレーション

Fig. 7 Simulation of treating detached retina

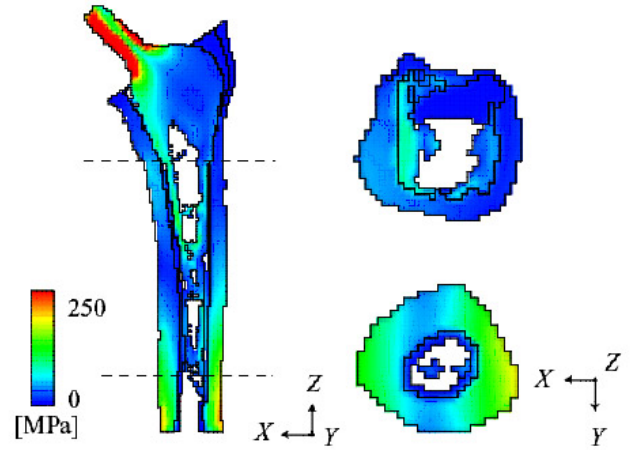


図8 人工股関節に置換したときの大腿骨と人工股関節の応力分布のようす

Fig. 8 Stress distribution of artificial hip joint and bone

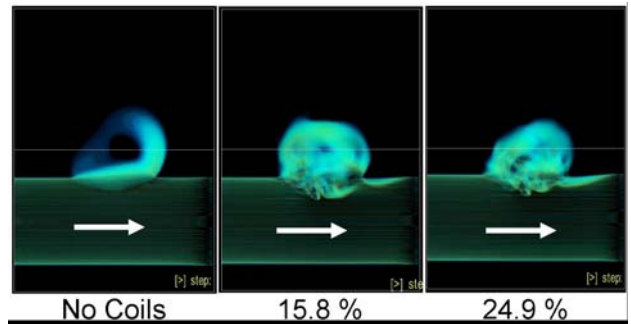
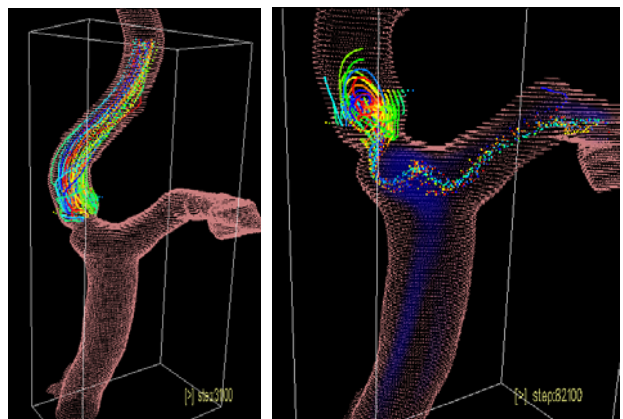


図9 動脈瘤に詰めるコイル量を変化させたときの内部の流速の違いのシミュレーション

Fig. 9 Simulated results of the changes of the flow in the aneurysm with different amount of coil



(a) 平常時

(b) 左側血管閉塞時

(a) control

(b) balloon inserted in left artery

図10 頸動脈狭窄部手術時のシミュレーション

Fig. 10 Simulation of carotid artery operation for stenosis

## 2) 生体力学シミュレーション

最終的にはコンピュータ上に人体を再現しようという試みであるが、まずは方程式のよく分かっているところから始めてみることにした。具体的には、眼球や骨の構造解析、血流、人の動きの3テーマである。現在、開始から7年目であり、いろいろなことがシミュレーションによって可能になってきている。主な結果を図7から10に示す。図7は網膜剥離を起こした患者の治療で行われる輪状縮結術をシミュレーションしたものである。眼球にバンドを巻き、変形させて、剥離した網膜を再びくっつけようとするものであるが、これまでは医者の経験と勘によって、バンドの幅、締め付け強さ、縫い止め方などが選ばれてきた。シミュレーションによって、合理的に判断できるようになれば、名医でなくとも適切な処置ができるようになると考えている。

図8は股関節を悪くした場合に行われる人工股関節への置換を計算によってシミュレーションしたものである。人工股関節は、あらかじめ作られているものの中から適切なものを選び、それがうまく固定できるように大腿骨を加工して埋め込む。これらのことが適切に行われないと、緩んでくることもある。これは骨が与えられる負荷に応じて成長したり、退化したりすることにも関連している。このため、シミュレーションでは、この骨のリモデリングと呼ばれる特徴を考慮して行っている。

図9、10は血流のシミュレーションである。9では脳動脈瘤を模した球状の突起物を円管につけ、動脈瘤治療で使われるコイルをどれだけ詰めると流速がどの程度遅くなるかを計算したものである。この場合、コイルの一部が円管に出ているために、入れない場合よりも入れた場合の流速が上がっているが、コイルの量を増やすと流速が落ちることが分かる。図10では頸動脈の狭窄を血管内治療で行う場合を想定したもので、狭窄のある側の動脈をバルーンで塞いだ場合の流れを調べている。計算結果から分かるのは、塞いだ場合でも狭窄付近まで流れがあり、そのままの上程で狭窄部を治療すると破片が脳の方に運ばれる可能性があることを示している。これは梗塞を招くので好ましくなく、何らかの対策が必要なことを表している。

## 3) ものづくりに関連したシミュレーション

複雑な形状での熱流体の解析ができることを目指して、解析コードの開発を行ってきた。現在は小野謙二氏がチームを率いてくれている。図11はその応用例の一つで、理研の計算機室の冷却の様子をシミュレーションしたものである。コンピュータの熱によって暖められた空気が再度コンピュータに吸い込まれると、局所的に温度が上がり、好ましくない。計算ではこのような再循環がないことが確かめられた。

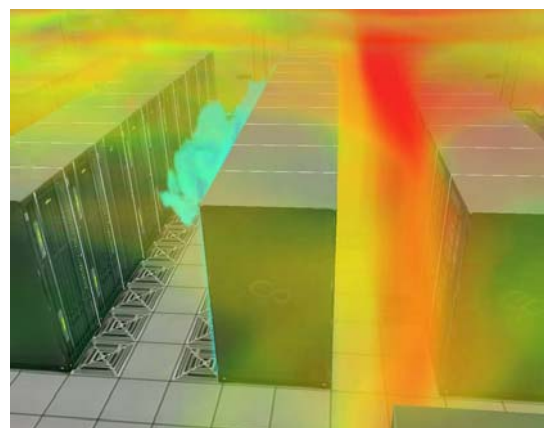
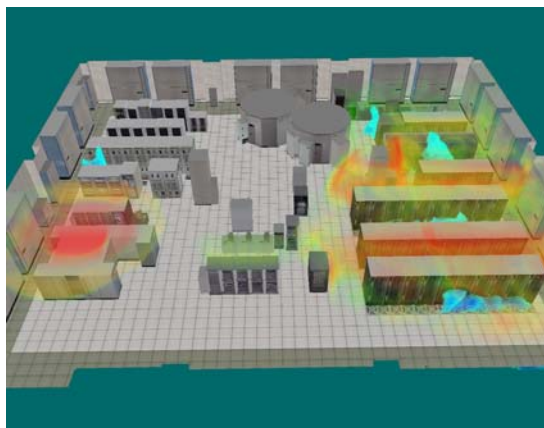


図 11 計算機室の空調の様子(温度分布)

Fig. 11 Air-conditioning in a computer room

## 4. 次世代スーパーコンピュータ開発プロジェクト

来年1月、文部科学省ではスーパーコンピュータ整備推進本部ができる。この本部は来年度から始まる次世代スーパーコンピュータの開発だけにとどまらず、日本の計算科学技術を支えるインフラとして整備してゆこうというものである。実際の開発は理化学研究所が実施本部を作り、平成18年度からこれにあたることとなっている。

昨年度から開催され活動している文部省・計算科学ワーキンググループでは今後5年から10年を見通した計算需要を調べてきた。その結果、

- 1) 生命科学やナノサイエンス分野で近々飛躍的に大きな

計算需要が予想される

2)核物理などに代表される,従来の計算科学の分野でも,引き続き大きな計算需要があること

3)科学工学を問わず,広い分野で一つの物理現象の計算から複数の物理現象が連成した計算に移ってゆくこと,また,メートル,ミクロン,ナノといった単一のスケールの物理現象から,スケールが4桁以上違う現象を複合して計算する需要が高まっていること(マルチフィジックス・マルチスケール)

4)分子動力学などでは専用計算機が有効なこと

などが分かった。複数の物理現象や複数のスケールにまたがる複合計算では,それぞれの物理現象やスケールに対応した個々の計算モデルがあり,それぞれに適した計算機アーキテクチャーが存在する。そこで,このような計算需要が伸びることを考えると,複数の計算要素を高速の内部通信で結合するシステムが有望で,昨年予算要求時にはその想定で費用を見積もった。

今年に入って,計算機シミュレーションの第一人者30名弱に集まって頂き,2010年頃重要と予想されるアプリを21本選定して頂いた。これを元にベンチマークテストプログラムを作成した。これらのベンチマークテストプログラムから,アーキテクチャー案を評価して,設計に入る予定である。

現在,想定している目標性能は,

- i) 理論性能で 10PetaFLOPS
- ii) メモリー対演算性能=1:4
- iii) 部分完成 2010年度末
- iv) 2011年度から部分稼働,能力増強
- v) 完成 2012年度末

であるが,コスト・技術的な課題等の関係から,まだ修正されることもありえる。図8にイメージ図を示す。

今後,この計算機の性能を十分に引き出すためのアプリ開発としてナノサイエンスとライフサイエンスの二つの分野をグランドチャレンジ問題として選定している。これらの二つの領域では,新しいソフトウェアを開発し,それぞれの分野での大きな課題に挑戦することとなっている。なお,ナノサイエンスでは分子研が拠点として既に選定されているが,ライフサイエンスでは8月中旬に拠点が選定されることになっている。

この次世代スーパーコンピュータは国のインフラとして

共同利用施設となり,所属や使用目的によらず,誰でも利用を申し込むことができる。その選考には課題選考委員会が組織されてあたることになっている。

## 5. まとめ

計算方法とスーパーコンピュータの10年間の進歩は適応領域により革命的な変化をもたらすことを示した。同じような革命的な変化が次にナノサイエンスとライフサイエンスの領域にもたらされるのではないかと現在予想している。ただ,質的な変化はどの分野でも起こる可能性がある。現在,コンピュータが遅いからと言って計算方法を単純化しているとしたら,それはすぐ近い将来には全く必要のないものになってしまうだろう。

完成が待ち遠しい。

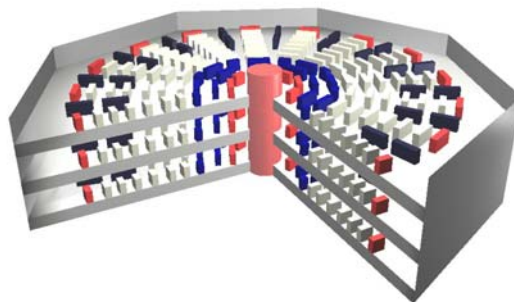


図 12. 計算機イメージ鳥瞰図

## 参考文献

- 1) 姫野龍太郎: 自動車の空気抵抗と空力騒音の予測, 熱流体とコンピュータアナリシス, 熱流体フォーラムシリーズ 5, 日刊工業新聞社
- 2) 姫野龍太郎: 魔球をつくる, 究極の変化球を求めて, 岩波科学ライブラリー57, 岩波書店, 2000年
- 3) 姫野龍太郎: 変化球の大研究, 岩波アクティブ親書46, 岩波書店, 2002年
- 4) <http://www.comp-bio.riken.jp/1/>
- 5) <http://www.riken.go.jp/lab-www/V-CAD/>

# デンソーグループにおけるPSEの現状と将来

## INTRODUCTION OF BEST PRACTICE AND FUTURE PLAN FOR PSE IN DENSO GROUP COMPANIES

伊藤 昇平<sup>1)</sup>, 赤池 茂<sup>2)</sup>, 遠竹 秀樹<sup>1)</sup>, 古木 建吾<sup>1)</sup>, 近藤 俊之<sup>1)</sup>

Shohei Ito, Shigeru Akaike, Hideki Totake, Kengo Furuki, Toshiyuki Kondo

1) (株)デンソーアイテック (名古屋市中村区名駅南1-27-2)

2) (株)デンソー (刈谷市昭和町1-1)

The automotive manufactures require their suppliers to shorten development period and to reduce development cost. To respond them, DENSO group companies have been utilizing CAE on development processes. However the engineers cannot fully utilize CAE before acquiring CAE specialist knowledge and CAE tool operational skills. "SOL!BOX" which DENSO I-Tech has developed is an easy-to-use system for engineers, embedding CAE specialist knowledge and simplifying operations of CAE tools. In this report, we introduce "SOL!BOX" as the best practice of Problem Solving Environments in DENSO group companies.

**Key Words :** CAE, SOL!BOX, Problem Solving Environments

### 1. 緒言

近年の自動車業界では、新車開発の期間短縮が益々加速され、そこに部品を提供するメーカとしても、これまで通りの開発手法を継承することが難しくなってきた。従来、製造業における“モノづくり”のプロセスは、設計/試作/実験の繰り返しが基本であった。このサイクルを何度も繰り返すことにより、製品開発の品質を高めてきた。しかし近年、製品の多機能化と高精度化が要求されるようになると、設計初期段階で製品仕様を絞込み、試作・実験回数を抑えなければ開発費、開発工数は膨大となってしまう。そこで、各社は、製品開発プロセスにCAEを効果的に組み込んで、コンピュータの中で製品性能を作り込むデジタルエンジニアリングに、競って取り組んできた。

デンソーグループでは、デジタルエンジニアリングにいち早く取り組んできた。1997年、他社に先駆けデジタルエンジニアリングを促進することをミッションとした技術系情報システムの専門集団として弊社を設立した。CAEの製品開発プロセスへの適用は、弊社の主要な業務の一つである。

本稿では、デンソーグループにおけるデジタルエンジニアリングの取り組みの中から、エンジニアリングを支援するPSEである「SOL!BOX」<sup>1)</sup>とその今後の課題について紹介する。

### 2. 「製品開発」におけるCAEの現実

一般に、CAEを製品開発プロセスに組み込むためには、“モノづくり”の専門家である設計者自らが、日常業務の常套手段としてCAEを容易に使用できる環境が必須要件となる。しかし、次の2つの障壁がある。

#### (1) CAE専門知識の習得に対する障壁

要素の種類とサイズ、節点と自由度、境界条件と拘束条件、対称条件などという、本来の設計業務とは、およそ無関係なCAE専門知識の習得が設計者に要求される。

#### (2) 各種ツールの操作習熟に対する障壁

設計者は全設計業務の中でCAEを活用する割合が一般的に少ないので、一度身につけた操作方法を忘れてしまいがちである。また、各種ツールの操作が複雑なため、操作スキルは定着しにくい。最近、設計者向けの各種市販ツールが続々と売り出され、操作性はめざましく向上してきた。しかし、設計者にとっては、それすら、まだまだ充分とは言えない。

この2大障壁を克服し、CAEを設計現場に定着させるため、CAE専任者による社内教育や講習会、あるいは操作手順書やシミュレーションのマニュアル化といった方法を中心に取り組んできた。しかし、これらは、設計者とCAE専任者の両方の人的な負担を軽減させるものではなかったため、一部の設計現場にしかCAEを根付かせることはできなかった。

### 3. 設計部門におけるCAEの位置づけ

製品開発プロセスを図1に示す。このプロセス中で、いかに設計初期段階で顧客からの要求を製品仕様に織り込み、試作、実験の期間短縮、回数低減を図ることができるかが、最重要課題である。

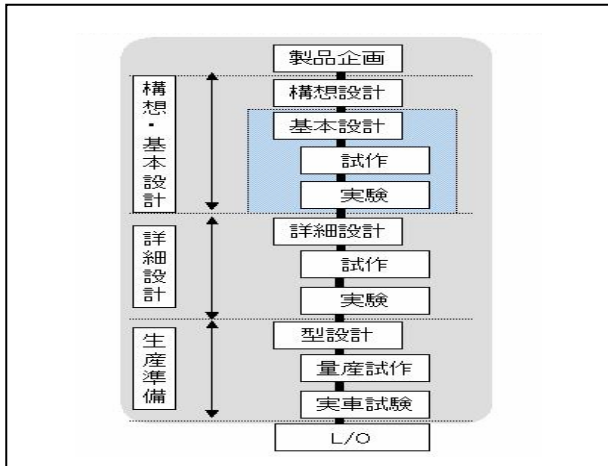


図1 製品開発プロセス

試作・実験という設計評価サイクルの前に、デジタルエンジニアリングによる仮想の設計評価サイクルを組み込んだ製品開発プロセスを図2に示す。

アイデア創出からその妥当性評価までを設計評価サイクルと捉え、灰色でハッチングしたプロセスがCAEの守備範囲である。

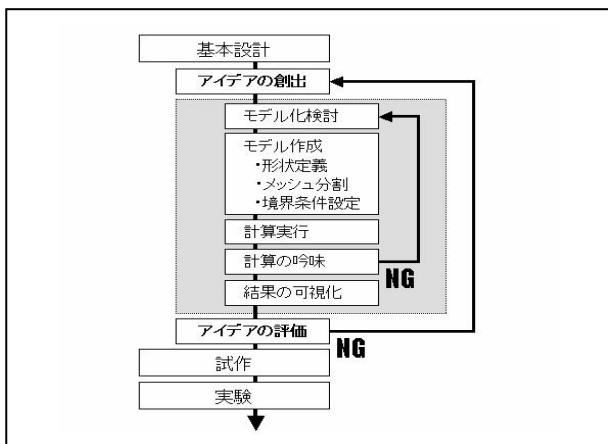


図2 CAEを組み込んだ製品開発プロセス

図2に示すサイクルにおいて、CAEの役割は、解析結果を出すことである。本来設計者が期待されている創造的な知的活動とは、異なると考える。設計者の付加価値は、設計上の問題を解決するためにどのようなアイデアを産み出すことと、CAEから得られた解析結果から、何を読みとり、それを次のアイデア創出に繋げることである。(ここには工学的センスが必要となるが、CAEによって、物理現象を可視化したことが、アイデア創出に役立つことは大いにある。)

### 4. 設計へのCAE活用推進ステップ

ある製品のある特定の解析が、製品開発工程に業務として定着するまでには、概ね以下のようなステップを経ると考えられる。

#### ステップ I 非定型解析

従来、計算で求めることが不可能か、あるいは極めて難しい問題が、新しい計算手法の開発やコンピュータの性能向上に伴って解けるレベルにまでになった段階。ただし、一般の設計者にとっては縁遠いものであり、ごく一部のCAE専任者にしか使いこなせない段階。この段階では、計算結果を得るまでの作業は、設計部門からの依頼に従って、通常CAE専任者が担当する。

#### ステップ II 類似解析の繰り返し

形状や条件を少し変えて計算を実行する。或いは、パラメータスタディをすることで、製品開発業務への活用を目指す段階。この段階においても、計算結果を得る作業は、設計部門からの依頼に従って、CAE専任者が担当するのが大半であると考えられる。

#### ステップ III 解析手順の標準化

ステップ IIが更に進み、操作の定型性が高まるにつれて、解析手順書/ノウハウ集/事例集という媒体と、教育を手段とした技術移管(CAE専任者から設計者)が始まるのがこの段階。前述したとおりの障壁が原因し、現実の世界では「ステップ IIまで」の場合が多い。

### 5. SOL!BOX (ソルボックス)

ステップ I~IIIへと進む課程で、CAE専任者が、一連の定型的解析手順を自動化して設計者に提供すれば、(1) CAE専門知識の障壁(2)各種ツールの操作習熟に対する障壁を克服できると考えられる。

すなわち、CAE専任者は、メッシュサイズや境界条件など解析専門ノウハウを手順化した上で、自動化・シミュレータ化する。設計者は、シミュレータのナビゲーションに従ってCAEを実行する。これにより、従来CAE専任者が行っていたレベルの解析を、設計者が容易な操作で実現できる。即ち、設計者は、専門的なCAEの知識と用語や、種々のツールの操作から解放され、また、統一された操作方法で、定型的解析を繰り返し実行できる。

SOL!BOXは、このシミュレータ提供というCAE専任者の業務、およびシミュレータ活用という設計者の業務を支援するためのPSEである。図3に基本コンセプトと目指す姿を示す。



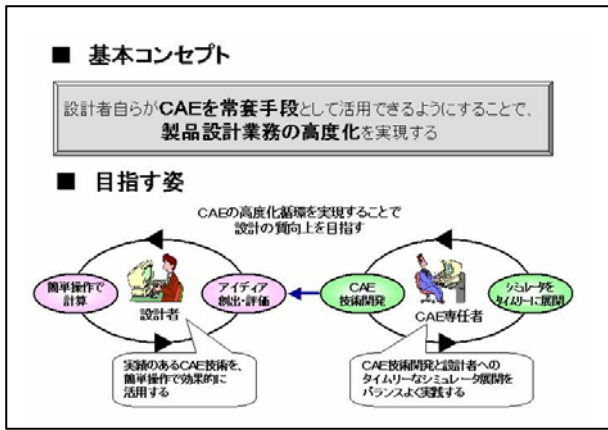


図3 SOL!BOXの基本コンセプトと目指す姿

SOL!BOXの基本的なコンセプトは、設計者、CAE専任者の双方に、業務効率上げる環境を提供することである。即ち、

- (1) 設計者に使いやすい環境を提供する
- (2) CAE専任者にシミュレータを構築しやすい環境を提供する

これを満たすべき実現要件を、表1に示す。

表1 SOL!BOXの実現要件

視点	ポイント	実現要件
設計者の業務	CAE専任者が構築したシミュレータを <b>簡単操作で効率よく</b> 活用する	・統一された操作感で利用できること ・複数パターンの条件による計算が効率よく実施できること
CAE専任者の業務	CAE専任者が開発したCAE技術を、 <b>シミュレータとしてタイムリー</b> に設計者に提供する	・短時間でシミュレータ構築が可能であること ・プログラミング言語の知識が不要であること ・市販ツールを用いて確立した手順がそのまま活かせること ・シミュレータの保守に手間がかからないこと

また、システム要件として、表2に示す。

表2 SOL!BOXのシステム要件

目指す姿の実現要件	システム要件
統一された操作感で利用できること	市販ツールに <b>依存しない統一感のあるGUIを、開発・利用できる</b> ようにする
複数パターンの条件による計算が効率よく実施できること	<b>実験計画法に基づく、計算パラメータの組合せ設計、バッチ処理、結果分析</b> が出来るようにする
設計者によるシミュレータ活用状況を把握できること	シミュレータを <b>データベースで一元管理し、利用実績を踏す</b> ことで、管理に必要な情報を <b>いつでも取得</b> できるようにする
プログラミング言語の知識が不要であること	<b>ビジュアル操作でシミュレータ構築ができる</b> ようにすることで <b>プログラミング作業を不要</b> とする
短時間でシミュレータ構築が可能であること	シミュレータ構築で利用する <b>機能をあらかじめ部品化</b> し構築の際に <b>すぐに利用</b> できるようにしておく
シミュレータの保守に手間がかからないこと	<b>再利用性の高い機能の組み合わせをユーザが部品化</b> して登録可能とすることで、 <b>生産性を高める</b>
市販ツールを用いて確立した手順がそのまま活かせること	<b>部品の集合体=シミュレータ</b> といった <b>階層構造</b> を持たせることで、 <b>部品のメンテナンスでシミュレータの保守を実現</b> する
	専任者が技術開発で利用している <b>市販ツールの機能をシミュレータ構築にそのまま利用</b> できるようにする

これらのシステム要件を満たすため、SOL!BOXは、大きく以下の3つの基本機能から構成されている。

- (1) シミュレータ実行機能
  - (2) レポート作成・管理機能
  - (3) シミュレータ構築機能
- } 設計者  
} CAE専任者

(1) シミュレータ実行機能 (図4)

自動化する解析全体を適度な粒度の工程(例:形状作成→メッシュ分割→境界/拘束条件付加→計算実行→結果表示)に分解する。そして、設計者が、PCの画面からの指示に従った対話形式で各工程を実行していく。設計者は、解析する形状ファイルやパラメータを指示することで解析が実行できる。解析用のメッシュサイズやメッシュタイプなどは、あらかじめCAE専任者が設定しておく、或いは、正しい解析結果を得るための上/下限値を設けたスライダーを用意し、許容範囲内で設計者に選択させる。このような工夫を組み込むことにより、間違っただけの解析を行い、間違っただけの解析結果を出してしまう問題は回避できる。この特長が、市販されている設計者向けCAEツールと違うところである。

■市販ツール:

簡単な操作で、基本的な解析(応力、強度など)ができる

■SOL!BOX:

簡単な操作で、製品仕様上の制約、設計ノウハウ、解析専門知識、解析ノウハウなどが織り込まれた質の高い解析ができる

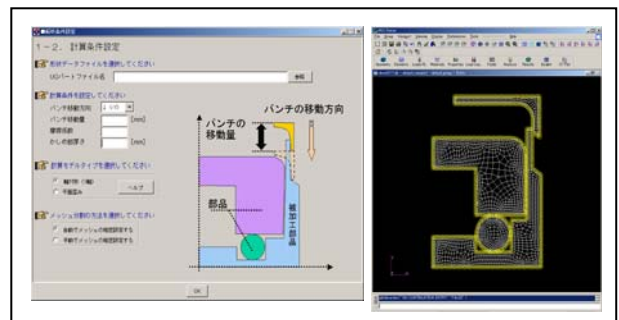


図4 シミュレータ実行機能

(2) レポート作成・管理機能 (図5)

シミュレータ実行後は、自動的に、レポート作成機能が実行され、解析結果はレポート形式で保管される。解析結果をビジュアルデータ(VRML)や、テキスト、表形式データなどで残すことができる。また、レポートはサーバに保管されているため、関係者間で解析結果の共有化ができる。

これにより、設計者個人の解析結果を、設計チーム間で共有化することで、チーム全体でみた解析レベルの高度化、解析ノウハウの蓄積を狙う。

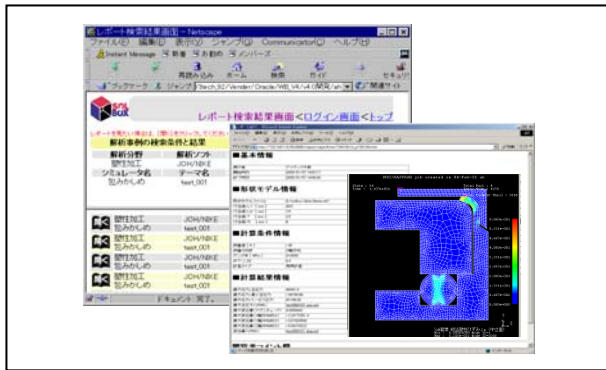


図5 レポート作成・管理機能

(3) シミュレータ構築機能 (図6)

シミュレータを構築するための機能で、分解された解析工程毎に、詳細な処理ロジックを定義する。あらかじめ、SOL!BOXで用意された基本部品をライブラリから選択して画面に張り付け、それらの入出力情報を繋げることで、ビジュアルに処理ロジックを定義することができる。

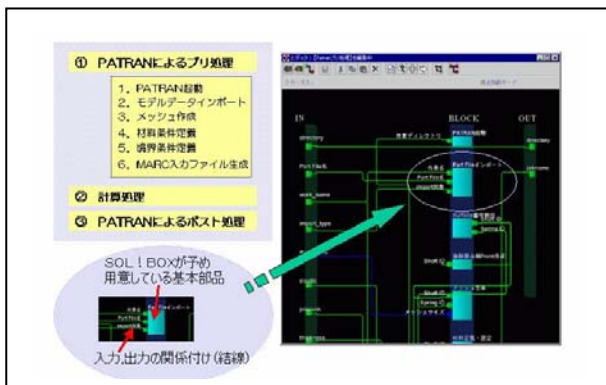


図6 処理ロジックの定義イメージ

これらの作業は、シミュレータの基本部品の配置やレイアウトが中心で、特別なコーディングは一切必要ない。コーディングレスを実現することで、CAE専任者が、CAE手順の自動化のみを考えてシミュレータが構築できる。さらにその後の変更や改良要望に対しても柔軟に対応できる。

6. 適用事例：スパークプラグかしめシミュレータ

SOL!BOXの製品設計での適用事例としてスパークプラグ<sup>2)</sup>を取り上げる。

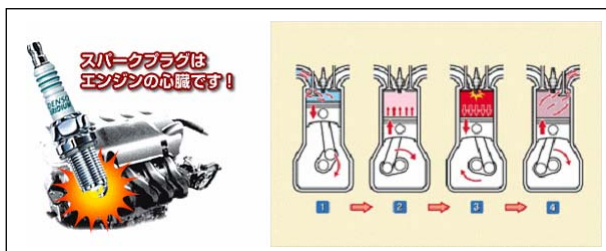


図7 スパークプラグ

スパークプラグは、ガソリンエンジンにおいて、ガソリンを、タイミングよく燃焼させるための点火装置である。(図7)

近年の燃費・排気ガス規制強化により、本製品への要求仕様は、年々高度化する一方、開発期間の短縮要求も一段と厳しくなっている。

図8に示すように、従来の試作、実験を繰り返す設計手法では、試作・実験に膨大な時間がかかるため、飛火・着火性能の向上をはじめ、気密性、絶縁性、寿命(信頼性)など多くの設計検討課題を、限られた設計期間内で検討し、製品に織り込むことは、難しくなっている。

そこで、製品性能に及ぼす影響度やバラつきを、設計者が自らSOL!BOX上に構築したシミュレータにより、事前に検証し、製品仕様を絞り込むことで、試作、実験の短期化、回数低減をはかる設計手法に変革した。

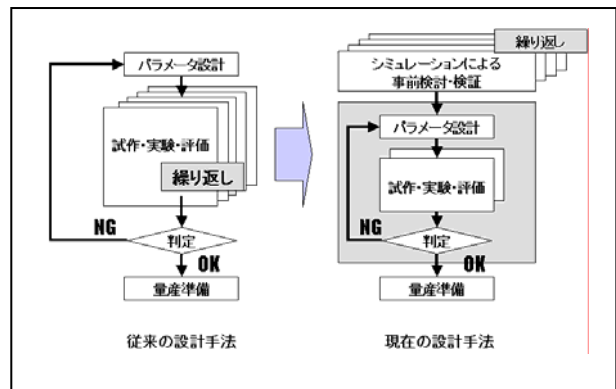


図8 設計手法の変革

適用事例として、スパークプラグのかしめ解析を紹介する。かしめは、スパークプラグの気密性を保つ。製品品質を向上させるためには、かしめ部割れやハウジングと碍子間の気密性の保持などに細心の注意を払った設計が要求される。図9にかしめシミュレータの概要を示す。

SOL!BOXでかしめシミュレータを開発するために、まず、かしめ解析技術を確立した。かしめ解析には、弾塑性、大変形、大歪、リメッシュ、接触摩擦など複雑な解析技術が必要である。CAE専任者と生産技術者とで技術検討を重ねた。

次に、かしめ解析技術を設計業務に定型化した。CAE専任者と生産技術者とで確立した解析技術を、設計者を交えて手順化した。すなわち、この手順には解析ノウハウと設計ノウハウが組み込まれている。

最後に、CAE専任者が、定型化された手順をSOL!BOXシミュレータ構築機能を用いて、かしめシミュレータを開発した。

こうして設計者は、かしめタイプとかしめ条件を設定するだけで、従来、CAE専任者が行っていた高度な解析を実行できるようになった。

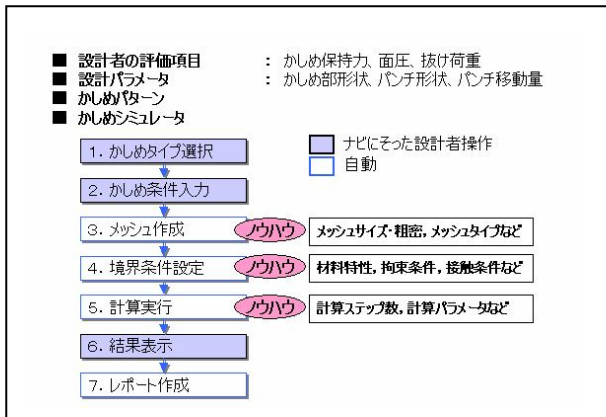


図9 かしめシミュレータ概要

本適用事例では、従来の設計手法に比べ、開発期間は、3ヶ月から1.5ヶ月と半減し、期間短縮とコスト削減を果たした。また、今回の取り組みにより、

- (1) 従来、CAE専任者や生産技術者に解析依頼していたが、今回、設計者自らが解析を実施することができた。
- (2) また、試作・実験のケーススタディが、従来に比べ、10倍ものパターンが事前検討できた。  
(従来：4パターン、今回：40パターン)

など、設計での製品品質検討に大いに貢献できた。

現在、各製品における解析技術の確立とあわせ、デンソーの世界シェアNO.1製品であるカーエアコン、ラジエータなどへの適用展開を推進中である。

## 7. 今後の課題とその取り組み

現在、市販解析ツールの自動化・ナビゲーション化はでき、設計現場でCAEを活用できる環境は整った。今後、SOL!BOXを設計現場で常套手段として定着させていくために、さらなる機能強化と適用範囲の拡大を狙っている。(図10)

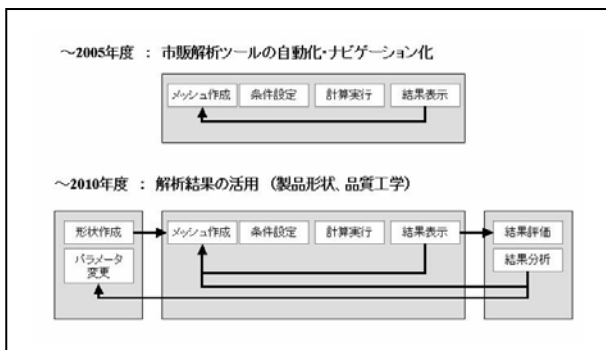


図10 SOL!BOXの機能強化と適用範囲拡大

### 7.1 現状の機能強化

狙い：自動化レベルの高度化と解析計算の高速化により、設計者のアイデア創出・評価のサイクルを支援・強化する。

#### (1) 操作性の向上

一つの設計パラメータだけではなく、種々のパラメータを一度に、簡単な操作で入力できるしくみづくり。

#### (2) 計算時間の短縮

解析パターン、解析頻度の増加に合わせ、解析計算実行の時間を短縮できるしくみづくり。

#### (3) 解析結果の可視化方法

設計者がアイデアのアイデア創出を導き出す、解析結果可視化方法の検討し、蓄積できるしくみづくり。

## 7.2 適用範囲の拡大

狙い：品質工学に基づく効果的な解析、解析結果のCADモデルへの反映など、解析結果の活用度をあげ、設計初期段階での製品仕様の絞込みを強化する。

#### (1) 解析結果の評価・分析力の強化

各設計パラメータの因果関係、性能への寄与度が分析できるように、品質工学に基づいた手法を導入する。

#### (2) 解析結果のCADモデルへの反映

解析結果に基づく最適形状をCADモデルへ反映できるCAD/CAE連携のしくみづくり。  
(製品モデルのパラメータ設計との連携)

これらの取り組みを通して、設計初期段階での効果的な製品仕様の絞込みを強化し、試作、実験のさらなる期間短縮、回数低減を図っていく。

## 8. 結び

自動車部品メーカーは、様々な製品を生産しているため、製品毎に必要なとされるCAEの分野が変わり、さらに強度、流れ、熱など、様々な市販ツールを組み合わせるCAEを実行せねばならない場合が多々ある。日常の製品開発プロセスの中で、CAEを定着させるためには、単に各ツールをカスタマイズするのではなく、SOL!BOXをコアとした統合環境を提供することで、どの工学分野の解析も統一した操作感で自動化することが、必要となる。今後、様々な市販ツール(プリ・ポストプロセッサ/最適化エンジン/グラフツール/ポストビューワ/データ管理ツール等)を、コントロールし、CAE統合環境に取り込んでいく。又、来るべきIT技術の進展を見越し、自動化レベルを上げ、設計者が設計に専念できる環境を提供し、設計者本来の仕事である創造性のある設計ができる世界を実現していきたいと考えている。

#### 謝辞：

SOL!BOXの適用事例の紹介においては、株式会社デンソーセラミック技術部と生産技術開発部に協力いただいた。

また、本稿を執筆、投稿するにあたり、金沢大学 田子教授にご指導いただいた。特に、ご紹介いただいた「PSE BOOK」<sup>3) 4)</sup>は、我々の今までの活動を振り返り、今後の計画を検討していく上で大変参考になった。先生からの多くの貴重な助言に心より謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 樫村，近藤：全自動シミュレーションシステム「CAE/WB」の紹介，計算工学講演会論文集Vol.6, 2001
- 2) デンソー：DENSO SPARK PLUGS,  
<http://www.denso.co.jp/PLUG/index.html>
- 3) 川田重夫，田子精男，梅谷征雄，南 多善 共著：  
PSE BOOK シミュレーション科学における問題解決のための環境[基礎編]，培風館，2005
- 4) 川田重夫，田子精男，梅谷征雄，南 多善 共著：  
PSE BOOK シミュレーション科学における問題解決のための環境[応用編]，培風館，2005

# 一般講演



# サイエンスゲートウェイにおける アプリケーション共有機構としての「NAREGI-PSE」

NAREGI-PSE AS AN APPLICATION CO-SHARING MECHANISM FOR A SCIENCE GATEWAY

宇佐見 仁英<sup>1)</sup>, 金澤 宏幸<sup>2)</sup>, 伊藤 泰善<sup>2)</sup>,  
山田 基弘<sup>2)</sup>, 宮原 豊<sup>2)</sup>, 川田 重夫<sup>3)</sup>

Hitohide USAMI, Hiroyuki KANAZAWA, Yasuyoshi ITOU,  
Motohiro YAMADA, Yutaka MIYAHARA and Shigeo KAWATA

- 1) 国立情報学研究所 (usami@grid.nii.ac.jp)
- 2) 富士通株式会社 (kanazawa.h, itou.yasuyoshi, moto.yamada, yutaka@jp.fujitsu.com)
- 3) 宇都宮大学 (kwt@cc.utsunomiya-u.ac.jp)

In this paper, we describe a PSE (problem solving environment) called NAREGI-PSE developing in the NAREGI (National Research Grid Infrastructure) program. The NAREGI-PSE focuses on application deployment and co-sharing of scientific applications in order to perform real-time collaboration among research communities realized by grid VO (Virtual Organization). We had developed NAREGI-PSE β release based on OGSA (Open Grid Service Architecture)/WSRF (Web Service Resource Framework) technology using Globus Toolkit Version 4.0 for a science gateway.

**keyword:** NAREGI, PSE, Grid services, OGSA, WSRF, Science gateway, Grid

## 1. はじめに

国立情報学研究所では、次世代の学術情報基盤としてのサーバーサイエンスインフラストラクチャの構築に着手している。サーバーサイエンスインフラストラクチャは、全国の大学情報基盤センター等の分散したコンピュータ群を国立情報学研究所が運営している 10 ギガビットの光通信技術を用いた高速ネットワーク (SuperSINET) で結び、NAREGI ミドルウェアをベースとしたグリッド環境を構築して運用するもので、世界最高水準のコンピューティング環境の実現を目指したプロジェクトである。ベースとなるグリッドミドルウェアの開発は、NAREGI (National Research Grid Infrastructure) プログラムが担当している。NAREGI プログラムは、21 世紀 IT 技術基盤となるグリッドコンピューティング環境の研究開発を強力に推進し、これからの日本を支える先端科学技術開発や、「ものづくり」における新製品開発のプロセスを大きく変えうる日本の e-Infrastructure の基盤ミドルウェアとなることを目指している。NAREGI-PSE グループでは、NAREGI プログラムの一環として、グリッド利用の煩わしさを隠蔽し、単一システムに近い使い勝手を実現するための問題解決環境 (PSE) の研究開発に取り組んでいる。特に、グリッド利用においてグリッド上に特定領域の研究コミュニティを一つの仮想組織 (VO: Virtual Organization) として形成し、その領域で有効な様々なサービスを提供することによって研究者の利便性を高め

るとともに、グリッドの煩わしさを解消させようとするサイエンスゲートウェイが注目されている。

本論では、サイエンスゲートウェイにおける一つの有効なサービス機能であるアプリケーション共有機構としての NAREGI-PSE の概要について述べる。

## 2. サイエンスゲートウェイ

インターネットの世界では、インターネットゲートウェイに対する各種サービスがビジネスのレベルまで発展している。インターネットにおけるゲートウェイサービスとしては、外部のインターネットと内部のイントラネットをセキュリティ面で切り離すためのファイアウォールの設定、メールサーバ、Web 利用のための Proxy サーバの立ち上げ、或いは内部業務用としてファイルサーバやグループウェアサーバの設置等、一般的なサービスとして定着してきている。一方、グリッドにおいても、特に既に運用を開始している運用グリッドにおいてサイエンスゲートウェアが定義され、様々なサービスが立ち上がり始めている。

グリッドにおけるサイエンスゲートウェイは、インターネットゲートウェイと目的とサービス内容が大分異なる。サイエンスゲートウェイは、グリッドサービスと資源 (計算パワー等) を研究コミュニティのオーダーメイドアクセスとして提供することを目的としており、このことによって、既存のスパコンセンターの伝統的なユーザ

でない新しい層のユーザをも研究コミュニティに参画させることを期待している。サイエンスゲートウェイのイメージを図-1に示す。

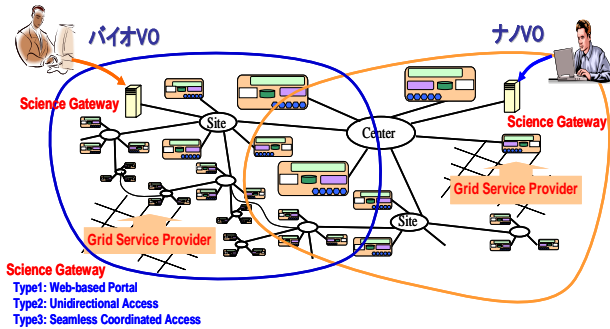


図-1 サイエンスゲートウェイのイメージ

サイエンスゲートウェイには3タイプあり、タイプ1は利用者向けウェブベース・ポータルで、ポータルを使って利用者が簡単にグリッド環境に入れるようにするもの、タイプ2は一方向アクセス (Unidirectional Access) で、何か自前の設備があり、それをグリッドの環境にアタッチして一方通行的に使うもの、タイプ3は双方向アクセス (Seamless Coordinate Access) で、他のグリッドと対等にアクセス可能な状態とし、それらをシームレスにつないで相互連携していくものである。特にタイプ1は、グリッドを「組織と資源」の仮想化と捉えると極めて重要なサイエンスゲートウェイで、テラグリッドでは既に、天文、気象、地球、ライフサイエンスなどの特定分野の研究コミュニティ向けのサイエンスゲートウェイが多数形成され、それらの殆どが使い勝手の観点でポータルを持ったタイプ1である。また、テラグリッド可視化ゲートウェイ (TeraGrid Visualization Gateway) のように共通的な機能を提供するサイエンスゲートウェイもある。可視化ゲートウェイは、研究者にとって可視化のバリアが非常に高く、計算結果の可視化が難しいとの認識から、ポータルを使って簡単に可視化ができる環境をテラグリッドとして提供しようというものである。このようなサイエンスゲートウェアを作るためのサービスコンポーネントを提供するのが、グリッド上位層であるグリッドアプリケーション環境である。

グリッドアプリケーション環境は、下位のグリッドコアミドルウェア (NAREGI の資源管理ミドルウェア、データグリッド環境など) と利用者との間に位置づけられるもので、グリッド環境でのグリッドの煩わしさを隠蔽し、できるだけ利用者が簡単にグリッドを利用できるように各種サービスを提供するインタフェースの役割を果たす。NAREGI が提供するグリッドアプリケーション環境のサービスをテラグリッドのサイエンスゲートウェアの一つである LEAD (Linked Environments for Atmospheric Discovery) プロジェクトが提供するソフトウェア階層に対応させたのが図-2である。図では、エンドユーザ

サービスとしてのポータル、ポータルを通して直接エンドユーザにサービスを提供するゲートウェイサービス群、資源管理などのグリッドミドルウェアの中核をなすコアグリッドサービス群、物理資源をセキュアに接続するネットワーク資源、それに実際の様々な計算サーバ群が階層的に位置づけられている。グリッドアプリケーション環境は、この階層のゲートウェイサービスの階層に相当するもので、テラグリッドでもアプリケーションサービスと位置づけているプロジェクトもある。特に、大規模広域分散環境ゆえのグリッド利用の煩わしさを隠蔽すると共に、研究コミュニティ (仮想組織) での研究資源 (データ、アプリケーション、ノウハウ等) の共有化等、高度なグリッド利用環境を提供するもので、グリッド普及には欠かせないサービス階層である。

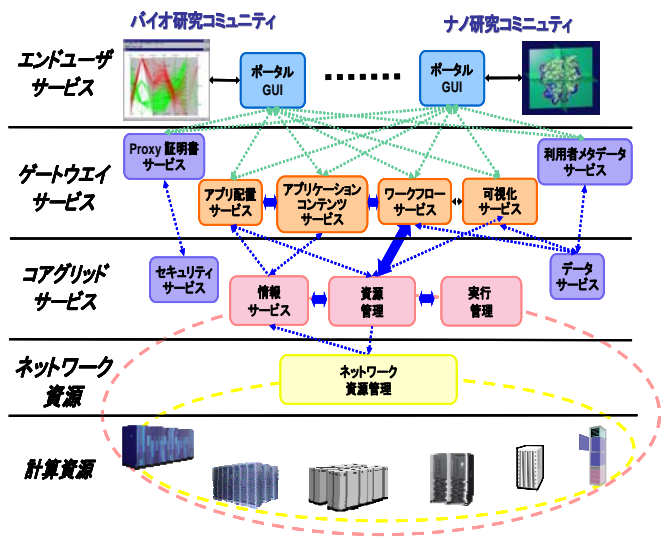


図-2 サイエンスゲートウェイにおけるソフトウェア階層

### 3. NAREGI-PSE

NAREGI-PSE は、NAREGI プログラムの一つのサブシステムとして研究開発されている。NAREGI プログラムの概要と NAREGI-PSE の位置づけを紹介する。

#### 3. 1 NAREGI プログラム

NAREGI プログラムは、日本の先端科学技術を支えるリーディングプロジェクトの一環として 2003 年度から5 年プロジェクトとしてスタートした。近い将来の広域分散型の研究用大規模計算環境を想定し、産・学・官連携で大規模シミュレーションなどのために必要とされる e-インフラとしてのグリッド基盤ソフトウェアの研究開発を実施している。NAREGI は、7 大学センターのような大規模で広域に分散した計算機センター等での実運用に耐えられるグリッド基盤ソフトウェア、セキュアでグリッドに適したネットワーク環境、ナノアプリケーションのグリッド化、さらにナノサイエンスの分野を例に単一システムでは不可能であった大規模シミュレーション



のグリッド計算環境での実証実験を行うプログラムである。本年4月から文部科学省の「最先端・高性能汎用スーパーコンピュータの開発利用」プロジェクトに統合され、その一環の「サイエンスグリッド NAREGI プログラム」として、次世代スーパーコンピュータの利用環境を視野にいたれた新たな目標に向かって再スタート（～2010年度）を切っている。

国立情報学研究所では、グリッド基盤ソフトウェアを中心に、6つのサブグループ（WP1～6；Work Package）に分かれて研究開発を実施している。本年5月に、全コンポーネントをGT4のWSRFをベースとしたNAREGI統合ミドルウェアβ版を開発、オープンソースとして配布を開始した。各開発コンポーネント間の関係を図-3に示す。

NAREGI-PSEの属するグリッドアプリケーション環境（WP3）は、図中、アプリケーション層（WP6）と基盤となるグリッド基盤ミドルウェア層（WP1）の中間に位置づけられ、利用者と資源管理とのインタフェースの役割りを担っている。

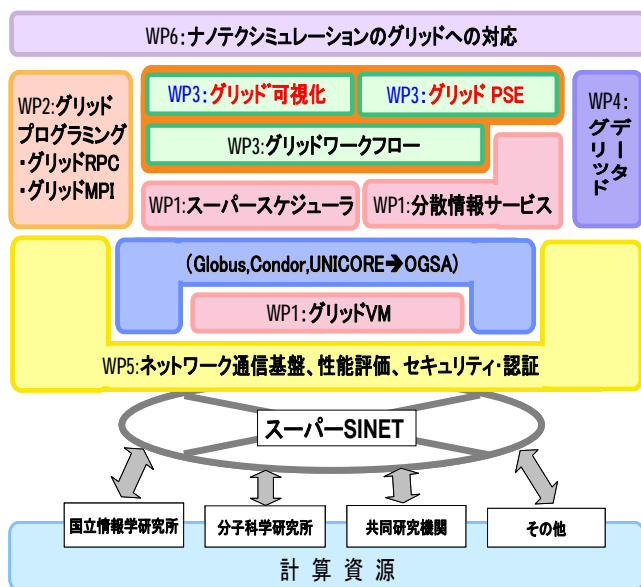


図-3 NAREGI ソフトウェアスタック

### 3. 2 NAREGI-PSE の概要

#### (1) グリッドアプリケーション環境とグリッドPSE

グリッドアプリケーション環境の利用シナリオを図-4に示す。利用者がポータルからシングルサインオンでグリッド環境に入り、グリッドPSEを利用して自分のアプリケーションの要求資源要件を満たすサーバ等でコンパイルし、正常に実行できる事を確かめて、その要求資源要件を満たす実際に実行処理をする可能性のある候補計算サーバにオブジェクトコードを配置する。要求資源要件とは、ジョブ投入記述言語（JSDL）に記述するためのもので、アプリケーションが実行するのに適した計算サーバとマッチングさせるための要件を記述している。

NAREGI ミドルウェアを使ったグリッド環境での実行のポイントは、アプリケーションが利用する計算サーバがジョブ投入時点で動的に選択される点にある。このことは、スーパースケジューラによってブローキングされてジョブの実行予約がなされるまで、どの計算サーバで実行されるかが決まらないということになる。通常の計算機システムの利用では、ジョブを投入する段階で、計算機は当然特定されており、それぞれの計算機の特徴を利用者は理解してジョブの投入を実施している。しかしながら、アーキテクチャーの異なる大規模計算機群が広域分散環境に配置されているようなグリッド環境では、利用者がアプリケーション特性を理解して最適な計算サーバをグリッド環境から探し出してジョブ投入を実施するのは非常に困難な作業となる。ましてや、マルチフィジックスのような複合問題で、解析手法別に違ったアーキテクチャーの計算サーバで実行させたいような場合、利用者が計算モジュール別に計算サーバを探し出し、そのアーキテクチャーの計算サーバに同時実行可能なようにジョブを投入する必要があり、利用者にとって更に困難な状況となる。このように、次世代のシミュレーションを実行するには、アプリケーションと実行環境の親和性が極めて重要となる。大規模複合計算では、計算モジュール毎に別々のアーキテクチャーの計算サーバにアプリケーションが配置され、これらの配置情報が情報サービスに登録（ステップ1）される。次にグリッドワークフローツールを使って、登録されたアプリケーションをグリッドPSEから呼び出してグリッドワークフローツールのGUIキャンパス上で、アプリケーションに対応するアイコンを貼り付け、アイコン間を繋ぎ合わせてワークフローを作成する。最後にバッチ可視化をワークフローに組み込む。完成したワークフローを資源管理のスーパースケジューラに投入して実行を依頼（ステップ2）する。スーパースケジューラは、アプリケーションが配置された情報に基づき、そのなかで負荷が軽く早い時間に予約できる計算サーバを探してきて、実際のジョブの実行依頼をその計算サーバのローカルスケジューラにかける。予約時間になり、実行が開始されると、計算の進行に伴ってリアルタイム可視化のモジュールが組み込まれた所から、その時点の可視化結果が利用者へ送付される。計算途中の可視化結果をモニタリングし、ジョブの実行状況を監視し、途中結果の状況によってはジョブをキャンセルする等のステアリングが行える。最終的な計算結果は、計算実行サイトの同一マシン、或いは同一サイト内の並列サーバ等によってバッチ的に可視化され、リモート可視化機能によって遠隔地である利用者の元へ送付され、ビジュアルに大規模シミュレーションの結果を確認できる（ステップ3）。グリッドアプリケーション環境の典型的な利用例として以上のようなシナリオを想定している。

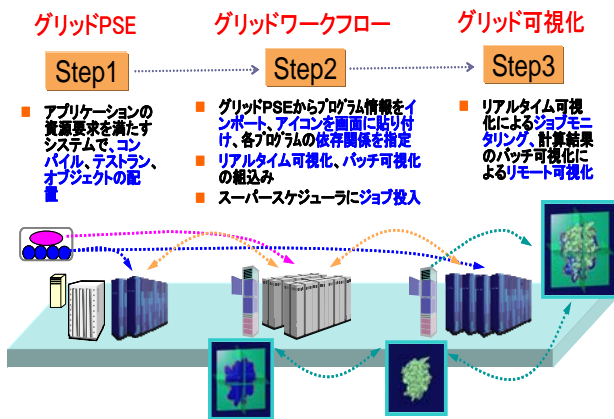


図 - 4 グリッドアプリケーション環境の利用シナリオ

## (2) NAREGI-PSE の基本機能

NAREGI-PSE の基本となるアプリケーションの配置登録処理フローを図-5に示す。

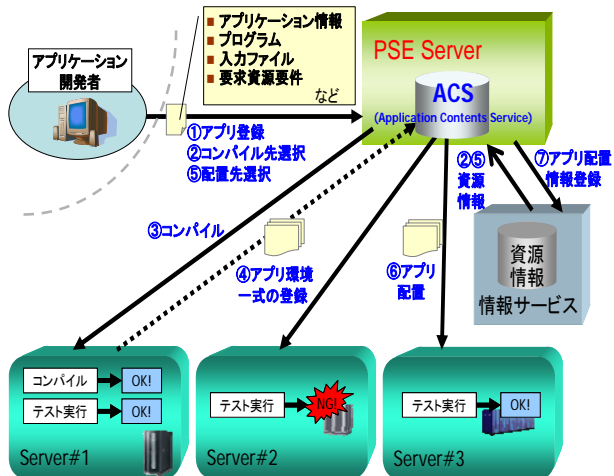


図-5 アプリケーションの配置登録処理フロー

### ① 環境定義

アプリケーション開発者は、アプリケーションのソースコードと共に、make コマンド等の環境定義ファイルを PSE サーバにアップロードする。アップロード後、アプリケーション情報登録画面よりアプリケーション情報を登録する。特に、アプリケーションが必要とする資源要求を記述する部分は、配置可能計算機資源を選択するためのマッチングのためのキーワードとなる重要な項目である。この資源要求をベースに NAREGI ミドルウェアの資源管理のブローキングのための JSDL の資源要求のドラフトもこの情報から生成する。現在、GGF の JSDL-WG で詳細な仕様を検討中である。これらの資源要求と分散情報サービスに登録されている計算機資源情報とをマッチングさせ、配置先サーバの候補リストを利用者に提示する。利用者は、これらの配置可能リストから配置させたい計算機資源にマーキングして配置計算機資源を決定

する。全ての資源に配置する場合は、Any ボタンで一括処理をすればよい。

### ② 転送

配置先サーバにコンパイル、テストランのためにアプリ環境一式を転送する。コンパイルだけを専用サーバで実行する場合は、コンパイルサーバに転送する。

### ③ コンパイル

コンパイルを実行し、コンパイルが成功すればバイナリを PSE サーバへ転送する。

### ④ テストラン

実行サーバへバイナリを転送し、テストランを実行する。

### ⑤ 登録

テストランが成功すれば、バイナリを PSE サーバへ転送し実行可能なアプリケーションとして ACS に登録する。

## (3) NAREGI-PSE の全体構成

NAREGI-PSE の全体構成図を図-6に示す。

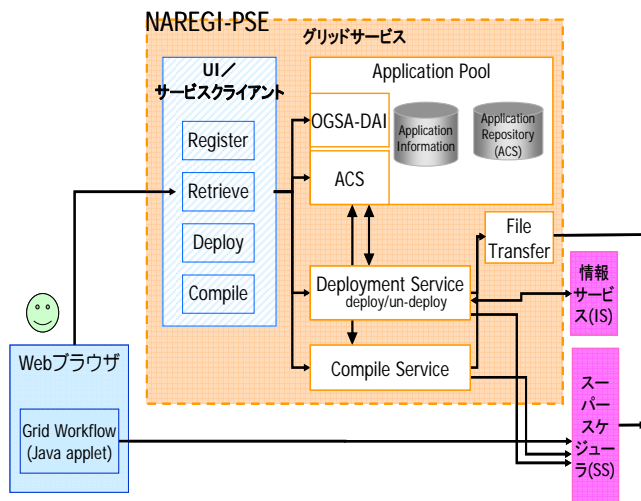


図-6 NAREGI-PSE の全体構成図

昨年度に開発した NAREGI-PSE α 版をベースに、コンパイルとデプロイ機能を包含したデプロイメントサービスを WSRF ベースのグリッドサービスとして実装した。グリッドサービスのためのグリッドのベースミドルウェアには GT4 を使用している。本来ならばデプロイされたアプリケーション自体をグリッドサービスとして実行サーバ上に立ち上げるべきとの意見もあるが、研究者の個人持ちのアプリケーションを基本とした本システムのような場合での適用等での検討の余地が多いため、実行環境の整備をグリッドサービスとして実現する実装とした。また、ライフサイクルマネジメントに関して検討した結果、Web サービスとは根本的な思想が異なるので、永続的な指定とした。利用者は意識的にサーバから配置済みアプリケーションを削除することにし、そのためのサービス (Un-deploy) を提供することとした。WSRF の一つの基本的な考え方である「状態を持つリソース」として

各コンポーネントを記述し、それらのサービスを連携させることで複雑な処理が可能な枠組みで実装することができた。特に、アプリケーション管理機能として新たにアプリケーションコンテンツ管理機能を作成してアプリケーション情報管理機能と分離した。また、アプリケーションコンテンツ管理機能については、将来的に PSE 以外のコンポーネントから利用されることを想定し、GGF において標準化が進められている ACS(Application Contents Service)の仕様に基づいた WSRF ベースのサービスとする。これに伴い、アプリケーション管理機能に関連するコンパイル支援機能、アプリケーション配置機能の各機能については、アプリケーションコンテンツ管理機能に対応させるための開発とした。利用者インタフェースについては、各機能に独立した GUI とすることで、各機能別の再利用性を高めている。

### 3. 3 情報共有機構としての NAREGI - PSE

アプリケーションを ACS に登録しておくことで、他の研究者もアプリケーションを簡単に利用できる。最新のアプリケーション実行環境を研究コミュニティで常に共有することができるようになる。ACS に登録されるアプリケーションリポジトリの対応関係を図-7 に示す。

ここで、アプリケーションリポジトリ (AR : Application Repository) は、ソフトウェアのソースや情報、動作システム、関連する技術情報などを蓄えるデータベースのことで、アプリケーションアーカイブ (AA : Application Archive) は、AR で定義されたアプリケーションに関する複数のファイルを一つのファイルにまとめて蓄積管理するためのファイルの実態である。AA には、1) ソースコード、対象計算機種別オブジェクトコード、2) 実行のための要求資源要件、3) ファイル転送、構成、ビルト情報等の配置のための手続き情報、4) コンパイルのためのスクリプト、makefile などの手続き情報、5) 実行のための入出力情報などが格納されている。ACS は、GGF の ACS V1.0 に準拠した標準化がなされているため、ACS に登録されているアプリケーションは、NAREGI ミドルウェアでなくても他のグリッドシステムからもアクセス可能である。ACS の部分を複数のグリッド間で共用するような運用形態にすれば、他のグリッドシステムからでも ACS にアクセスしてアプリケーションの参照、実行が可能であり、アプリケーションレベルでのインターオペラビリティが実現する。また、グリッド PSE の研究コミュニティでのアプリケーション共有機構は、サイエンスゲートウェイが仮想組織化された研究コミュニティ独自のサイバーインフラとしてアプリケーションの実行環境まで含めた形で構築されており、研究コミュニティの他の研究者の開発した最新のアプリケーションを実行環境まで含めて共有することになる。これは、アプリケーション開発者と利用者のアプリケーション利用における時間的な遅れを無くするもので、アプリケーションから見た研究者間の実時間コラボレーションが実現しているといえる。通常の Web ベースのポータルによるア

プリケーション共有機構での一般的な方法は、アプリケーション開発者が最新のバージョンをポータルのダウンロードサイトに登録しておき、そのアプリケーションを利用したい研究者がダウンロードサイトからアプリケーションを取り出して、自分の環境にインストールして初めて利用可能となる。折角ダウンロードしたアプリケーションが往々にして自分の計算機環境に適合しなくて利用を諦めてしまうケースや、コンパイラやライブラリが無くて環境を整えられない場合もある。グリッドにおけるアプリケーションの実時間コラボレーションは、アプリケーションを含めた計算環境を自然な形で共有するグリッドならではの特徴であり、新しい研究コミュニティのインフラとしてグリッド環境が無くてはならない理由の一つになっている。

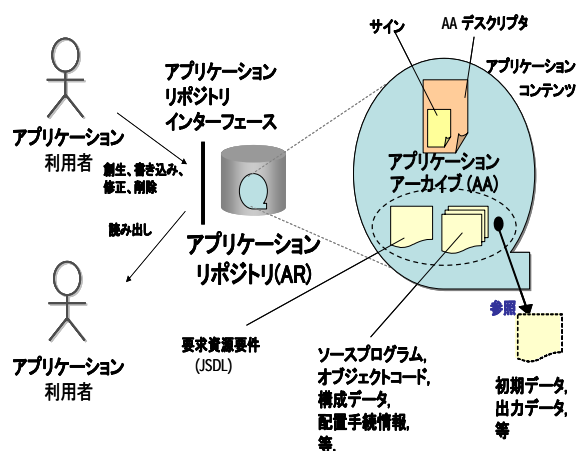


図-7 アプリケーションリポジトリの構成

### 4. まとめ

ブロードバンドネットワークの進展により、地球上に分散配置されているコンピュータを有機的に結合してあたかも一つのコンピュータのように活用できるグリッド技術が注目を浴びている。一方、インターネット上での様々なサービスが展開され、Web サービス基盤が確立されてきている。次世代の情報基盤として Web とグリッドが融合したグリッドサービスの重要性が増してきている。特に、グリッドはヘテロジニアスなコンピュータ環境を考慮したアプリケーション実行を考慮しなければならず、利用者にとって使い勝手のよいシステムとはならない。グリッドのもたらす巨大なコンピュータパワーを、特殊な IT 知識を必要としなくても研究者が簡単に使いこなせるようにするには、高度な PSE の構築が重要となる。今回の検討では、WSRF でのグリッドサービスを概観すると共に、WSRF を基盤とした NAREGI-PSE のシステム構築を中心に紹介した。NAREGI 統合 β 版は、既にオープンソフトウェアとして一般配布がなされており、実用性を考慮した利用者の使い勝手の良い NAREGI-PSE に仕立てていく必要がある。また、今年度末予定の NAREGI 統合 β 2 版では、各コンポーネントの WSRF 化により独立

性の高いサービスが連携する形でシステム全体が有機的に機能するシステムとなる予定である。特に、配置・登録依頼の処理量が多いとは思えないが、グリッドサービス化した場合の性能問題も重要となる。状態を持つサービスは性能と頑強性の面で課題も多く、サイバーサイエンスインフラとしての実際の環境を想定した性能測定をしていくことも重要課題として捕らえている。

最後に、NAREGI-PSE プロジェクトも3年半を経過しグリッドサービスをベースとした次世代のPSEシステムが見えてきた。システムが巨大化し複雑になればなるほど関連知識やノウハウの集大成が重要となってくる。従来の人工知能技術を超える新たな枠組みが必要となってくる。今後4年半のNAREGIプロジェクトを通して、知識ベースを具備したグリッドPSEの世界標準化、及び実用的なシステムの構築を図って行きたい。

## 謝辞

NAREGI-PSEに関し、日頃から多くのご助言を頂いているNAREGIプロジェクトリーダーである国立情報学研究所の三浦謙一教授、サブリーダーである九州大学の青柳睦教授、東京工業大学の松岡聡教授、特にPSEに関して討論に参加して頂いている金沢大学理学部の田子精男教授、宇都宮大学の菊池崇志助手、(株)富士通の藤崎正英氏、(株)富士通九州システムエンジニアリングの古賀憲太郎氏に深く感謝いたします。

尚、本研究の一部は、文部科学省「経済活性化のための重点技術開発プロジェクト」の一環として実施している、超高速コンピュータ網形成プロジェクト (National Research Grid Initiative) の成果である。

## 参考文献

- 1) 松本, 宮原, 宇佐見, "Web インテリジェンス実現に向けた分散統合利用環境", PSE Workshop2002, 2002
- 2) 宇佐見, 宮原, 藤崎, 松本, 早勢, 川田, "Web intelligence から Knowledge grid へ, PSE を通して", PSE Workshop2003, 2003
- 3) 宇佐見, 宮原, 藤崎, 早勢, 仙田, 川田, "サイエンスグリッドにおける問題解決環境", 計算工学講演会論文集 Vol.9 (2004年5月)
- 4) 藤生, 稲葉, 北向, 早勢, 宇佐見, 菊池, 川田, "分散コンピュータ環境におけるジョブ実行支援 PSE の構築", 計算工学講演会論文集, Vol.9 (2004年5月)
- 5) 宇佐見仁英, 黄淳郁, 宮原豊, 山田基弘, 藤崎正英, 早勢欣和, 川田重夫: "グリッドサービスを基盤とした問題解決環境「NAREGI/PSE」", PSE Workshop2004, 2004.
- 6) 杉浦秀明, 藤生英昭, 稲葉真純, 早勢欣和, 宇佐見仁英, 菊池崇志, 川田重夫, "分散環境におけるデータの分散処理の構築", PSE Workshop2004, 2004.
- 7) 藤生英昭, 稲葉真純, 杉浦秀明, 早勢欣和, 宇佐見仁英, 菊池崇志, 川田重夫: "分散コンピュータ環境におけるジョブ実行支援システムに関する研究", PSE Workshop2004, 2004.

- 8) S.Matsuoka, S.Shimojo, M.Aoyagi, S.Sekiguchi, H.Usami, K.Miura, "Japanese computational grid research project: NAREGI", Proceedings of the IEEE, VOL. 93, NO. 3, pp.522-533, March 2005.
- 9) S.Kawata, H.Usami, Y.Hayase, Y.Miyahara, M.Yamada, M.Fujisaki, Y.Numata, S.Nakamura, N.Ohi, M.Matsumoto, T.Teramoto, Y.Senda, Y.Tago and Y.Umetani, "A Problem Solving Environment (PSE) for Distributed Computing", accepted by Int. J. High-Performance Computing and Network (IJHPCN) as a special issue of 5th Int. Symp. on High Performance Computing (Tokyo, 2003), 2004.
- 10) S.Kawata, H. Usami, M. Yamada, Y. Miyahara, Y. Hayase, S. Hwang, K. Miura, "NAREGI-PSE and ACS", ACS-WG, GGF13, Seoul, March 13-16, 2005.
- 11) 宇佐見仁英, 山田基弘, 宮原豊, 藤崎正英, 早勢欣和, 川田重夫; "サイエンスグリッドにおけるNAREGI-PSEのProvisioning方式", 計算工学講演会論文集 Vo2.0 (2005年6月)
- 12) 杉浦秀明, 藤生英昭, 稲葉真純, 早勢欣和, 宇佐見仁英, 菊池崇志, 川田重夫; "分散計算機環境におけるジョブマネージメントシステムの開発, 計算工学講演会論文集 Vo2.0 (2005年6月)
- 13) H.Usami, H.Kanazawa, M.Yamada, Y.Miyahara, Y.Hayase, Kawata, "Problem Solving Environment (PSE) for scientific Grid computing, SC2005 CD-ROM Conference Proceedings, Seattle, USA, Nov., 2005
- 14) H.Kanazawa, H.Usami, M.Yamada, Y.Miyahara, Y.Hayase, S.Kawata, "Problem Solving Environment based on Grid Services: NAREGI-PSE", Workshop on Innovative and Collaborative Problem Solving Environment in Distributed Resources, Melbourne, Australia, Dec., 2005
- 15) NAREGI プログラム  
<http://www.naregi.org>  
<http://nanogrid.ims.ac.jp/nanogrid/>
- 16) GLOBUS プロジェクト  
<http://www.globus.org/>
- 17) <http://www.teragrid.org/>
- 18) CONDOR プロジェクト  
<http://www.cs.wisc.edu/condor>
- 19) Cactus プロジェクト  
<http://www.CactusCode.org/>
- 20) フォスター, "ネットワーク社会を変革するグリッドコンピューティング", pp30-41, 日経サイエンス, 2003年7月号, <http://www.mca.anl.gov/~foster>
- 21) Hai ZHUGE, "Knowledge Grid: Concept, Model, and System- An Internet-based Knowledge Management Approach, <http://kg.ict.ac.cn>
- 22) 浦本, 佐藤, 中村, "Web サービス合成のための振舞い記述のしくみ, Vol.17, No.4, pp408-415, 人工知能学会誌, 2002年7月

# GRMS:グリッドの自律化に向けて

## DEVELOPMENT OF GRMS: AN ATTEMPT TO REALIZE GRID AUTONOMY

加藤佳則

Yoshinori Kato

金沢大学大学院 自然科学研究科 博士前期課程

(〒920-1192 石川県金沢市角間町, katou@superdry.s.kanazawa-u.ac.jp)

Grid Resource Management System (GRMS) is developed using simple network management protocol (SNMP). GRMS makes it easier to get the operation status information data of computing resources on LAN (Local Area Network) grid system at university laboratory. By using GRMS, it is shown that an addition of computing resources to LAN grid system is much easier than before.

**Key Words:** LAN Grid, Autonomy, GRMS, SNMP

### 1. はじめに

地理的に離れたコンピュータをネットワークでつないで使用する概念"グリッド"<sup>1)</sup>がある。近年では、研究室内の研究・教育業務やオフィス内でのオフィス業務に使用されているパーソナルコンピュータ(PC)をネットワークで接続し、計算リソースとして用いることで余剰CPUパワーを有効活用できるグリッドも普及してきている<sup>2)</sup>。

グリッドの三本柱として、多数のコンピュータをあたかも1台のコンピュータのように操作を行えるようにする「仮想化」、必要なときに必要なリソース(計算リソースをはじめ、ストレージや、ルータなどのネットワーク構成機器も含む)にアクセスできるようにリソース間でさまざまな情報をやりとりして連携する「協調化」、グリッドシステムが自分の状態を自分自身で管理しシステムの調整や障害対応を行う「自律化」が挙げられる。

本研究では、グリッドの自律化の実現を目指し、リソースの状態を管理し監視するシステムGrid Resource Management System (GRMS)の構築と、本研究室で運用しているグリッド<sup>2)</sup>への適用を行った。

本稿では、第2章でLAN (Local Area Network)グリッドの自律化に向けて実現した機能と今後予定している機能について述べる。第3章では構築したシステムについて述べる。第4章では実現した機能、第5章では適用結果、第6章では本研究のまとめを述べる。

### 2. グリッドの自律化に向けて

PCを用いたグリッドでは、リソースとなっている

PCが普段は研究・教育業務やオフィス業務などの日常業務に使用されているため、常時使用可能とは限らない。PCはサーバ専用機等と比較して、エラーが発生しやすく、フリーズなどの障害が発生してしまう頻度も高い。PC使用者が電源を切って帰宅してしまう場合もある。

そこで、日常業務で使用されている時間や障害が発生している時間はグリッドシステムから切り離し、正常に使用できるリソースのみでシステムを運用するGRMSの実現を試みた。

電源が切られたリソースに関しては、不要であればそのままとし、必要となれば電源投入を試みる。

切り離しの要因となった日常業務が終了した場合や障害が復旧した場合には、自動的にグリッドシステムへ再接続し、継続運用したい。

以下で必要とされる主要な機能の詳細を述べる。

#### 2. 1 グリッドのリソースの管理

グリッドで使用するリソースの管理を行う。

リソースの登録を行うことでそのリソースがグリッドシステムに追加されたことを認識し、グリッドのリソースとして使用可能になる。

定期的(通常5分毎)にリソースに状態を問い合わせることで、リソースの使用率などを把握する。

#### 2. 2 リソースの確保

グリッドアプリケーションがリソースを要求した場合、確保可能台数を調べる。要求台数に満たない場合、電源が入っていないと思われるリソースの起動を試みる。それでもなお不足している場合は、確保できたリソースのみでジョブ実行を行う。

ジョブが投入されていない時、リソースでは日常業

務のみ行われているため、1日の平均CPU使用率は5%程度である(図1)。ところがジョブが投入されると50%程度までCPUが継続的に使用されている時間帯がある(図2)。今後ジョブ数の増加とともにCPU使用率が増加しリソースが不足することが考えられるので、簡単にリソースをシステムに追加できる必要がある。

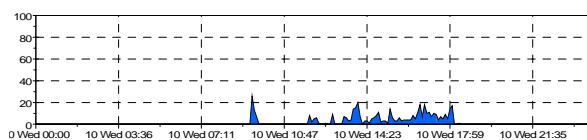


図1 ジョブ非投入時のCPU使用状況

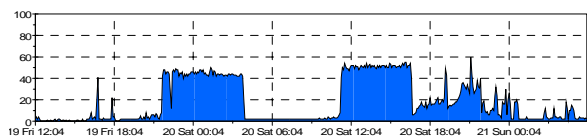


図2 ジョブ投入時のCPU使用状況

### 2.3 使用不能な状態の検出

前述の通り、リソースはときどき使用不能になる場合がある。そこでリソースの状態を監視し、使用不能な場合はシステムから切り離し、復旧を試みる。

リソースの状態は、後述のGRMSを用いて検出する。ただし、日常業務が行われている場合の使用可否の基準は、これから実行しようとしているジョブによって異なり、ジョブ投入者が要求する性能を満たしているかどうかで判断する。

ハードウェアの故障や電源が入っていないことが検出された場合は、ジョブに関係なく使用不能とする。

### 2.4 使用不能機器の切り離し

リソースが使用不可の場合は使用可能リソースのリストから除外する。これによってシステムから切り離されたのと同様となる。

登録されているリソースのリストは別途保持しているので、これを用いて低頻度(1時間毎)で定期的にチェックを行うことで、使用可能となるのを待つ。

## 3. GRMS

### 3.1 概要

本システムはグリッドのリソースの管理を行い、リソースの情報収集を行う。ここで収集した情報をもとにグリッドの自律化の実現を目指す。

リソースの情報収集、情報保存などはすべてリソース管理サーバと各リソースの間で通信することによって行う。

本システムは大学研究室のLANなど、接続が限られている上、セキュリティが確立されたネットワーク上での使用を想定している。そのため本システムではセキュリティの機能は省略する。

図3は今回構築したシステムの構成図である。以下で各部の詳細を述べる。

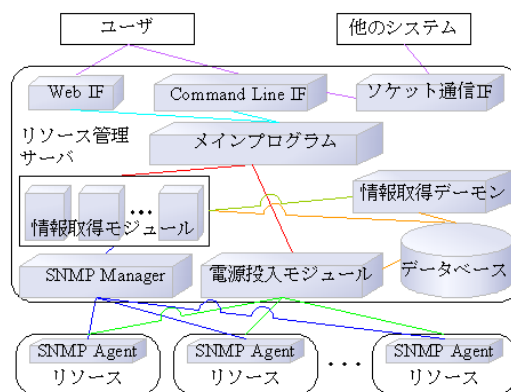


図3 GRMSシステム構成

### 3.2 GRMSの開発

本システムは主にPerlを用いて構築した。PerlはOS依存が少ないため、様々なサーバに比較的容易に設置することができる。

本システムの利用者はインターフェースとして特別なソフトウェアを導入することなくブラウザから利用できるように、Webインターフェースを備えた。

グリッドミドルウェアなど他のシステムとの連携を行うため、ソケット通信を用いて接続するインターフェースも備えた。これにより、他のシステムからのリソースについての問い合わせに対応することができる。

リソースからの情報取得をより簡単に行えるよう、取得する情報の種類ごとに情報取得モジュールを開発した。これは後述のSNMPを用いてリソースから情報を取得する。情報取得に必要なIPアドレスなどはデータベースから自動的に取得する。

以下では構築の際に使用したソフトウェアについて述べる。

### 3.3 SNMP

GRMSを動作させるサーバと各リソースとの通信にはSimple Network Management Protocol (SNMP)<sup>3)</sup>を用いた。(図4)

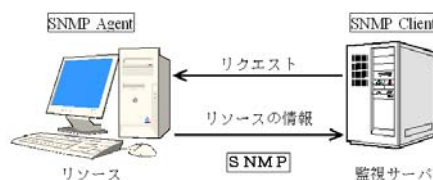


図4 SNMPでの情報取得

SNMPはOS非依存であるため、WindowsやLinuxなどが混在した環境でも機能を実現できる。さらにSNMPは組み込み系OSにも対応しているため、ルー

タやハブなどとも通信を行うことができ、ネットワーク障害などへの対応も可能となる。

### 3. 4 データベース

本システムではリソースから取得した情報をシステム運用に使用するため、高速性を追求して開発され、世界的に有名で参考資料が多く、本研究室でもよく利用されているMySQL<sup>4)</sup>を用いた。ただし、さまざまな環境で運用できるよう、MySQL依存の部分を極力避けてシステムを構築した。

### 3. 5 電源投入モジュール

本システムからシャットダウンされたリソースの電源を投入するため、電源投入モジュールとして、Wake On LAN (WOL)を実現するPerlで書かれたソフトウェアWakeonlan<sup>5)</sup>を用いた。

## 4. GRMS で実現した機能

本システムの構築によって実現した機能について述べる。

### a) リソース追加

グリッドに新しくリソースを追加する。

リソース追加時の手間の軽減と入力ミスの防止のため、リソース情報自動入力機能を備えた。

リソースをあらかじめSNMPに対応させておけば、登録時に入力を求められる項目はほとんどすべて自動的に入力される。

本システムの管理画面のリソース追加ページ(図5)でIPアドレスを入力し「次へ」を押すと、図6のようにSNMPで取得できた情報が自動的に入力されている。

あとは未入力の箇所や情報取得間隔などのみ設定を行う。

図5 リソースの追加1

図6 リソースの追加2

### b) リソース編集

ハードウェア構成などの変更に対応するため、リソース登録編集機能を備えた。

情報取得間隔などに変更があった場合も、この編集機能で変更できる。

### c) リソース削除

リソース管理の効率化のため、ハードウェア故障などで使用不能となったリソースを削除する機能を備えた。ただし、定期情報取得によって得られた情報は以後の運用でも生かすため削除しない。

### d) リソース一覧表示

登録されているリソースの情報を一覧で表示する(図7)。

表示項目はリソース名、CPU、CPUクロック周波数(Hz)、CPU使用率(%)、物理メモリ容量(MBytes)、物理メモリ使用率(MBytes)、OS、ネットワークスピード(Mbps)、IPアドレス、MACアドレス、リソースの状態である。これらの項目を登録リソースそれぞれについて表示する。

各リソース名のボタンをクリックすると、そのリソースの詳細が表示される。

リソース管理										
リソース一覧表示										
更新										
Name	CPU	Clock (Hz)	CPU Usage (%)	Memory Size (MBytes)	Memory Used (MBytes)	OS	Network (Mbps)	IPアドレス	MACアドレス	状態
TAG021	Intel Pentium 4	3200	1	1015	466.1875	Windows 2000 Version 5.1 (Build 2600 Multiprocessor Free)	100	192.168.54.21		作動中
TAG022	Intel Pentium 4	3200	0	1015	0	Unknown	100	192.168.54.22		起動
TAG023	Intel Pentium 4	0	-	1015	-	-	1000	192.168.54.23		取得停止中

図7 リソース管理画面—一覧表示

#### e) リソース詳細表示

ある一つのリソースについて、システムで扱っている情報をすべて表示する。

一覧表示では省略されている、ハードディスク容量に関する情報についても、各パーティションごとに表示する。

どのリソースにどのソフトウェアがインストールされていて、どのソフトウェアが実行中なのかを把握できるように、現在実行中のプロセスの一覧やインストールされているソフトウェアの一覧も表示する。

#### f) リソース起動

WOL に対応したリソースの場合、リソース一覧表示画面の起動ボタンを押すことで、ネットワーク経由でリソースの電源を投入することができる。

この起動ボタンは、該当リソースの電源が入っていないと本システムが判断したときに表示される。

#### g) 定期情報取得

リソースの使用率などの推移をシステム運用に生かすため、登録画面で設定された定期情報取得の有無と定期取得間隔に従って、情報取得デーモンが各リソースの情報取得を定期的に行う。

取得する情報は、CPU 使用率、メモリ使用量、OS、ハードディスク全容量、ハードディスク使用量である。ハードディスクに関する情報は、起動中の OS が管理している各パーティションすべてについて取得する。

### 5. 適用

#### 5. 1 適用したグリッドの構成

本研究室で運用しているグリッドは、リソースとして Windows PC を 18 台使用している。管理用サーバは主に Linux を使用し一部 Windows も使用している。各リソースとサーバは 100BASE-TX または 1000BASE-T の LAN で接続されている(図 8)。

グリッドミドルウェアは UNICORE<sup>6)</sup>をはじめ、複数使用している。

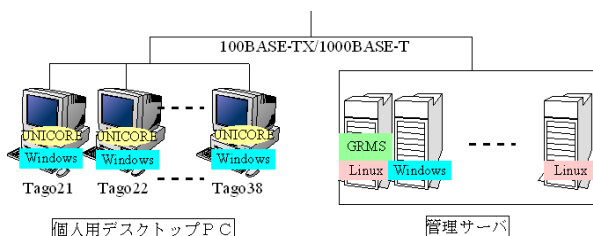


図 8 本研究室のグリッド構成

#### 5. 2 適用した結果

本システムを本研究室のグリッドに適用し、以下の結果が得られた。

リソースの定期情報取得の有無や間隔を設定可能にしたことで、故障などのため長期的に停止しているリソースの情報取得を停止し、システム全体の効率が向上した。

リソースをシステムに追加する際はリソースに関するさまざまな情報を登録する必要があり時間がかかるが、自動入力によってリソース 1 台あたり約 20 秒で追加できるようになった。リソース追加に伴う作業の省力化と時間短縮を図ることができた。

リソース情報の取得と保存、リソースの遠隔電源投入は正常に動作した。

### 6. まとめ

本研究では、グリッドのリソースを管理するシステム GRMS の構築とグリッドへの適用を行った。今後はまだ実現できていない機能の追加などを行う。

現時点では、グリッドシステムの障害として電源 OFF にしか対応していないため、今後はネットワーク障害などへの対応も行っていきたい。

#### 参考文献

- 1) Ian Foster and C. Kesselman, editors, " The GRID 2: Blueprint for a New Computing Infrastructure", Morgan Kaufmann Publishers, Inc., 2004.
- 2) 崔伶準, 笠口隆重: Web から UNICORE を利用したハイスループット計算, 計算工学講演会論文集, Vol.10, pp.753-756, 2005
- 3) J.D. Case, et al. A Simple Network Management Protocol (SNMP). RFC 1157, 5 1990.
- 4) MySQL AB :: The world's most popular open source database, <http://www.mysql.com/>
- 5) Wakeonlan, <http://gsd.di.uminho.pt/jpo/software/wakeonlan/>
- 6) UNICORE Forum e.V., <http://www.unicore.org/>



# 利用者から見た CAD-Grid システムの活用

IMPRESSION OF THE CAD-Grid SYSTEM SEEN FROM USER

梅田雅敬, 古舘英樹, 斎藤直之, 岩松隆則

Masataka UMEDA, Hideki FURUDATE, Naoyuki SAITOU and Takanori IWAMATSU

{umeda.masataka, furudate.hideki,saitou.naoyuki, iwamatsu }@jp.fujitsu.com

株式会社富士通研究所 (〒211-8588 神奈川県川崎市中原区上小田中 4-1-1)

The 'CAD-Grid' environment using grid technology was built for improvement in the miscellaneous simulation work. In CAD-Grid, we can execute complex simulations by using the OJC script. In this paper, we introduce our CAD-Grid system and the concrete example actually simulated in CAD-Grid. And the advantage of using Grid seen from the user is described as a summary.

*Key words: Grid system, mobile communication system simulation, Organic Job Controller*

## 1. はじめに

第3世代移動通信システム(IMT-2000)はNTT DoCoMo, KDDI(au)などがサービスを開始し, 高い普及率を誇っている。現在では, メールや動画配信などを利用するユーザーが増加し, さらに大容量通信サービスを必要とするより高機能な第3.5世代システムの提供も始まっている。

このような, 移動通信システムの無線基地局開発における課題は対雑音性, 低消費電力化などの技術的課題に加え, 開発期間の短縮および開発コストの低減を行うことである。この課題に対し, 我々はCAD-Gridというグリッドコンピューティング技術を利用したシミュレーション環境を利用し, 国内および海外向け第3世代移動通信システム(IMT-2000)の基地局開発の作業効率向上に役立てている<sup>1)</sup>。

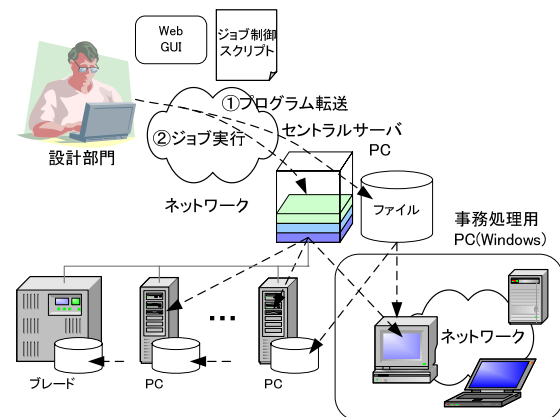
CAD-Gridでは, 開発者のニーズである「シミュレーションに要する時間を短縮し, かつ容易・効率的に運用できる」システムを目指しており, ジョブ投入条件および実行などの操作をグリッドシステムで意識することなく行うことができるようになってきている。またCAD-Gridでは, グリッドミドルウェアGMW<sup>2)</sup>(Grid Mediator for Windows)を自分のPCにインストールするだけで参加することができるようになっており, 全国各地のオフィス業務で利用しているWindowsマシンも簡単にCAD-Gridに参加することができる。現在, CAD-Gridは移動通信システムの開発業務だけでなく, 半導体デバイスの回路設計業務などでも利用されており, そこで設計されたものが実際に製品として出荷されている。

本論文は, 利用者の立場から見た, CAD-Gridの使用感について検証したものである。2章ではまずCAD-Gridの投入方法の概要について述べ, ユーザーの視点から見たジョブ投入作業の課題について述べる。3章では今回

CAD-Gridで使用した移動通信シミュレーションLLSについて述べる。4章では, 2章で述べたジョブ投入の問題点がLLSでどのように表面化したのか述べ, 今回行ったジョブ投入プロセスの変更作業とその結果について述べる。5章では今回の作業を通し感じたCAD-Gridの所感についてまとめる。

## 2. ジョブ投入とその課題

CAD-Grid<sup>3)</sup>は, シミュレーションを容易かつ効率的に運用することを目的に開発したグリッドシステムである。CAD-Grid利用者はWebポータルサイトにアクセスし, 自分が実行したいシミュレーションプログラムをセントラルサーバに投入し, このプログラムを実行するスクリプトファイル(OJCスクリプト)を記述する。あとは, OJCファイルに記述されたジョブの特性と, ユーザーからの指定条件に基づき, 最適なマシンを選び出し, シミュレーションの実行, 結果の出力などの一連の処理を行う。結果, ユーザーはジョブがどこで処理されたかを意識することなく, 効率的にシミュレーションを行うことができる。



## 図 1. CAD-Grid 概略図

### 2.1. OJC スクリプトの概要

CAD-Grid では、ジョブセットの記述、制御を容易に行うため、OJC スクリプトと呼ばれるジョブコントローラを使用している。OJC スクリプトは既存のスクリプト言語である perl 言語や sh 言語を利用し、ジョブの定義や繰り返し処理を簡単に行うことができる。

図 2 は OJC スクリプトの例を表している。図中の top{ } や do\_job{ } など{ } で囲まれている部分は OJC 特有の部分であり、それ以外の部分と混乱しないようになっている。このスクリプト例では \$paramA が 3 から 13 まで 5 段階、\$paramB が 1 から 100 までの値を取っており、このスクリプトを実行することで合計 500 通りのシミュレーションパターンを持つジョブセットを CAD-Grid に投入することができる。このように、OJC スクリプトを使用することにより大量のジョブをグリッドシステム上に投入することが可能である。

```
# シミュレーションジョブ制御本体
top {
# パラメータ A は、3 から 13 まで 5 段階に変化
for $paramA (3, 5, 7, 11, 13) {
  for ($paramB=0;$paramB<100;$paramB++) {
    $ENV{paramA} = $paramA;
    $ENV{paramB} = $paramB;
    do_job{ {paramA=$paramA
paramB=$paramB} } {
      header {
        deploy = llsv2L30
        output = result.$paramA.$paramB
        OS = Ia_Linux
      }
    }
    system ("${Clush::DEPLOY_DIR}test_bin3 >
      result.$paramA.$paramB");
  }
}
}
```

図 2. OJC スクリプト例

### 2.2. 利用者の立場から見たジョブ投入時の課題

CAD-Grid を活用することにより、シミュレーションに掛かる時間を大幅に減らすことができる。しかし、そのシミュレーション時間短縮に比例しジョブを投入する頻度が格段に増えるため、ジョブ投入に掛かる時間と手間が問題となる。特に、変数パラメータや評価項目が多いシミュレーションの場合、実行するシミュレーション条件に合う OJC スクリプトを作成し、それらをグリッド上で実行する必要があった。そして、ジョブを実行する上で必要なファイルがある場合はそれらのファイルを一つ一つ作成し、一つの作業ディレクトリに集める手間を要した。

その問題に対し、我々利用者は外部スクリプトを利用した OJC スクリプトの一斉処理やシミュレーションモデルに合ったパラメータ変換など、煩雑な投入処理の自動化や省略を行い、作業効率を上げる努力が必要であった。

## 3. ジョブ投入とその課題

### 3.1. 移动通信システムの最近の動向

次世代移动通信システム Beyond 3G を補完もしくは置き換えとして検討されているワイヤレスブロードバンドシステムとして、IEEE 系の安価で拡張性/互換性に優れた無線 LAN の広域無線システムである「WiMAX<sup>4)</sup>」という規格が注目されている。

WiMAX とは IEEE 802.16<sup>5)</sup> ワーキンググループが仕様作成を進めるワイヤレスブロードバンド規格である。WiMAX は当初、通信事業者の無線基地局とオフィスや家庭との間を接続する固定無線アクセスを目的としていた。しかし、固定無線アクセスの規格として標準化された IEEE802.16-2004 にモビリティ機能を追加した IEEE802.16e の標準化が進められるようになり、携帯事業者各社の注目を浴びるようになった。

IEEE802.16e は、現在の 3G システムよりも高速なシステムであり、20MHz の帯域幅で最大 75Mbps の伝送速度を実現することができる。また、端末が時速 120km で移動した場合でも、無線基地局間のハンドオーバーを行える仕様になっており、その一つの基地局でカバーできる範囲は約 5~8km とされている。WiMAX ではこの IEEE802.16e 規格を元に、ベンダ間での相互運用を実現することを計画しており、従来の 3G 携帯電話事業の設備投資より安い投資コストで導入できると期待されている。

また、WiMAX では各ユーザー端末が同時に通信できるように、接続方式として OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) を用いている。OFDMA とは直行分割周波数方式 (OFDM) をベースとした多元接続方式であり、OFDM のサブキャリアをいくつかのグループに分け、その各グループにユーザーを割り当てることにより別のユーザーからの干渉を防いでいる。OFDMA の利点は、サブチャンネル単位でユーザー割り当てを行うことができる点であり、従来の 3G で使用されている CDMA (Code Division Multiple Access) 方式より自由な設計をすることができる。

現在国内では、この WiMAX を携帯電話事業者が使用できる周波数帯の割り当てとして 2.5GHz 帯が予定されており、KDDI (au) や NTT DoCoMo など携帯事業者数社が周波数獲得に名乗りを挙げるものと予想される。

### 3.2. リンクレベルシミュレータ (LLS)<sup>6)</sup>

我々の LLS は移动通信システムのベースバンド処理ブロックの特性評価を行うことを目的としたシミュレータであり、仕様検討から開発製品の評価まで幅広く利用されている。LLS の概要を図 3 に示す。

LLS は、移動端末と基地局間のデータ通信のやり取りをモデル化したものであり、基地局と端末、およびその間に位置する伝播路をモデル化し、実際の環境と同じ条件下でシミュレーションを行う。基地局部や端末部では、実際の

ハードウェアやソフトウェアの仕様に従い、OFDMA 変復調を行うハードウェア部と、アンテナから電波を送信する RF 部でモデル化されている。一方、伝搬路部では電波の反射や屈折などの影響によるフェージングや雑音などがモデル化されている。LLS では基地局・端末の設計仕様を求めるための評価パラメータを多く持っており、それらのパラメータをまとめるため、シナリオファイルと呼ばれるファイルにまとめて記述する。そして、シミュレーション実行時はそのシナリオファイルから記述されているパラメータを読み込み、LLS が実行するようになっている。

なお、LLS では伝送方式、ユーザー数、伝播路状況により性能が変わる。特に、WiMAX の場合、ユーザーに対する OFDMA のサブキャリアの割り当て方によっても性能が変わるため、性能評価を行うために大量のシミュレーションを実行する必要がある。そのため、ジョブの実行時間だけでなく、投入作業に必要な手間をいかに掛けないかが重要となる。

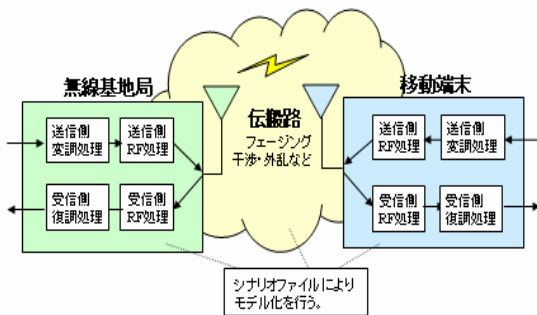


図 3. LLS シミュレーションの概要

#### 4. ジョブ投入処理の自動化とその結果

今回、CAD-Grid で実行した LLS のように、実行するジョブごとにシナリオファイルを必要とする場合、OJC スクリプトにその実行するシナリオファイルを一つ一つ記述する必要がある。そして、さらにジョブ投入単位ごとに作業ディレクトリを作成し、実行するシナリオファイルと OJC スクリプトを格納する手間を必要とした。そのため、LLS を CAD-Grid 上で動作させるとき、次のような問題点が生じた。

- LLS では実行するジョブ毎に対応するシナリオファイルが必要であり、そのシナリオファイルの作成とファイル管理を手作業で行う必要があった。
- CAD-Grid で投入作業を行う分だけ、作業ディレクトリと OJC スクリプトとシナリオファイルが必要であり、投入処理を行うたびにそれらを用意し、実行作業を行う必要があった。

このような、問題点を解決するには perl 言語の正規表現や外部スクリプトなどを利用しグリッドへのジョブ投入処理を自動的に行えるようにする必要がある。そこで今回、我々はジョブの投入プロセスを一から見直し、外部スクリプトにより、一つのシナリオファイルから複数のパターンのジョブ定義・実行を行えるように工夫を行った。

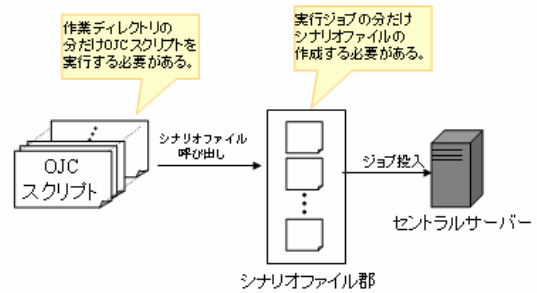


図 4. LLS のジョブ投入プロセス(変更前)

#### 4.1. シナリオファイル作成の自動化

先に述べた LLS ジョブ投入の課題を解決するため、図 6 で示すような外部スクリプトファイルを作成し、たった一回のジョブ投入処理で大量のジョブ実行一式への展開・実行が行えるようにジョブ投入手法を変更した。図 5 に変更後のジョブ投入プロセスを示す。

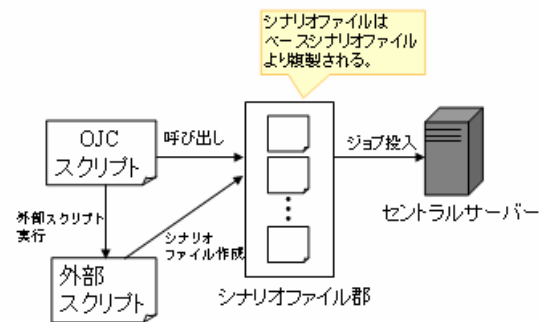


図 5. LLS のジョブ投入プロセス(変更後)

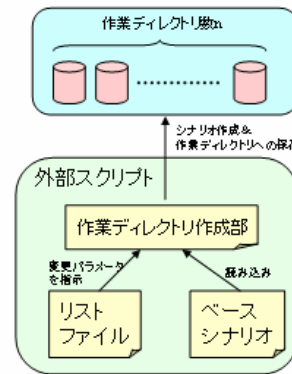


図 6. 外部スクリプト

ジョブ投入プロセス変更後は、まず OJC スクリプトを拡張し、大量のジョブの実行を一回で済むように、複数のシナリオファイルをまとめて実行できるようにした。そして、シミュレーション条件が変わるたびに OJC ファイルを直接書き換えずに済むように外部スクリプトの中にあるリストファイルからジョブ投入条件を取り出す方式を取った。さらに、シナリオファイル作成の手間を省くために、外部スクリプトから作業ディレクトリを自動的に作成できるようにした。この作業ディレクトリ作成部ではリス

トファイルに書かれているパラメータの変更条件に従い、(1)シナリオファイルの基本となるベースファイルの書き換え、(2)保存ディレクトリの作成、そして(3)保存ディレクトリへのシナリオファイルの複製の3つの処理を行っている。そうすることで、自動的にシナリオファイルの生成を行うようにした。

以下に、ジョブ投入方法変更後のOJCスクリプトの大きな流れについて説明する。

- ① まず初めに、リストファイルに使用するベースシナリオファイル名、及びそのベースシナリオファイルから変更したいパラメータ名とその変換範囲を記述する。
- ② OJCスクリプトを実行し、外部スクリプト内のリストファイルを参照する。そして、リストファイルに記述されているベースシナリオファイルを読み込む。
- ③ ②で読み込んだベースシナリオファイルから、変更したいパラメータの検索し、一致したパラメータの値を変更する。そして、その作成されたファイルを一意に定義された作業ディレクトリ内にコピーする。
- ④ ③を変更したいパラメータ値の変換範囲分だけ行う
- ⑤ ③で自動作成したシナリオファイルを実行するために、OJCスクリプトがリストファイルを参照し作成したシナリオファイルのパスを検索し、発見したシナリオファイルをセントラルサーバに投入する。

こうすることにより、ジョブ投入の自動化が達成された。

## 4.2. 結果と考察

ジョブ投入方法を見直すことにより、シミュレーションの投入作業を簡単に行えるようになった。以下に、投入方法を変更後、作業効率がよくなった点を述べる。

- ・ 外部スクリプトを使用しシナリオファイルの自動作成を行うことで、1ファイル約30秒掛かっていたシナリオファイルの作成の手間を省略することができた。
- ・ OJCスクリプトを拡張し、リストファイルからジョブ投入条件を取り出す方式を取ったため、シミュレーション条件が変わるごとにOJCスクリプトを書き換える必要がなくなった。
- ・ 外部スクリプトによるシナリオファイル作成の自動化により、シナリオファイルの記述誤りの防止、シナリオファイルと出力ファイルの自動管理などを行う事ができた。

また、今回のジョブ投入プロセスの変更作業で主に追加した機能は、③のシナリオファイルのパラメータの検索・変更を行う部分と作業ディレクトリの作成&シナリオファイルのコピーを行う部分である。それらの作業はOJCスクリプトで利用できるperl言語の文字検索、書き換えなどの正規表現を用いることにより簡単に実現することができた。

## 5. まとめ

本論文では、利用者側からみたCAD-Gridの使用感について述べ、LLSを利用する上で問題となるジョブ投入処理の問題点とその解決策について述べた。そして、利用者にとってCAD-Gridを使用する上で一番重要な部分はOJCスクリプトなどのジョブ投入の定義を行う部分であることを認識し、今回のLLSシミュレータの例ではこのジョブ投入のプロセスを変更し、従来必要だった作業を自動化することにより作業効率を上げることができた。そしてその結果、OJCスクリプトで使用することができるperl言語を旨く利用すれば複雑なジョブ操作を行うことができることを確認した。

また、今回ジョブ投入の問題以外にもCAD-Gridを使用することで課題を感じたことが幾つかある。1つ目は、ジョブ投入のロバスト性の問題である。CAD-Gridでは日常業務で使用しているオフィスPCの空きリソースを利用しているため、参加しているオフィスPCの作業状況によりリソース量が増減する。さらにPCの再起動時には突然ジョブが中断するなどの影響を及ぼす。そのため、一部のジョブがなかなか終了せず、全体の終了が大幅に遅れる場合がある。現在はCAD-Gridのセントラルサーバで自動的にジョブの投入処理を行う仕様となっているが、ユーザー側から、ジョブの優先度の変更、実行ノードの指定・変更など、ジョブ投入スケジューリングを実行中に変更できる機能があればよいと感じた。

2つ目は、これはCAD-Gridとは直接関係がないが、評価項目が多いため最適なモデルやパラメータの評価・探索に時間が掛かるという点である。現在、BERの評価を行うために、出力結果をグラフに変更する作業を手作業でおこなっている。この作業の自動化し、作業効率を上げることを今後の課題とする。

## 参考文献

山下智規, 中村武雄, 上田晴康, 今村信貴, 岩松隆則, 斉藤直之, 「グリッド環境「CAD-Grid」構築と移動通信システムシミュレーションへの適用」, PSE Workshop in Sapporo(2003年7月)

- 1) 中村武雄, 山下智規 「製品開発を加速するCAD-Gridシステム」, 雑誌FUJITSU VOL.55, No.2 (2004)
- 2) 安里彰, 上田晴康 「ジョブ実行制御システム「オーガニックジョブコントローラ」の機能拡張」, PSE Workshop in Hiroshima(2005年9月)
- 3) <http://www.WiMAXforum.org/>
- 4) <http://wirelessman.org/>
- 5) 斉藤直之, 岩松隆則 etc. 「DSPを利用したハード開発におけるシステムシミュレーション手法」, 電子通信学会2002総合大会

# 3次元創造システムを活用した解析支援環境の構築

## CONSTRUCTION OF THE ANALYSIS SUPPORT ENVIRONMENT WHICH UTILIZED A 3D CREATION SYSTEM

寺元貴幸

Takayuki TERAMOTO

津山工業高等専門学校 情報工学科(〒708-8509 津山市沼 624-1, Tel. 0868-24-8289,teramoto@tsuyama-ct.ac.jp)

The handling of three dimension data became easy by evolution and price reduction of a computer. And a price of the device which input and output three dimension data was reduced. We introduced a three dimension creation system, and the system can handle various three dimension data comprehensively. We report a summary of this system. Then we suggest that analysis support applies this system.

**Keywords:** *3Dimension Creation System, Input and Output Device, Simulation, Analysis Support*

### 1. はじめに

ハードウェア・ソフトウェアの進歩により、パソコンで3次元データを扱うことは簡単になってきた。近年3次元コンピュータグラフィック(3DCG)は急速に進歩し、現実と区別できないほど精巧なコンピュータグラフィックスも可能になってきた。このようにリアルな3DCGは視覚的な用途だけでなく、製品開発や分析など工学的にも広い応用分野があり、現代のものづくりには不可欠な手法といえる。また、3次元可視化システムは解析結果の表示など PSE の分野でも本格的な活用が始まっている。

しかし、実際の教育現場ではこのような3次元のデータを扱う機会が少なく、体系的な学習をすることはなかなか困難状況にある。また若い学生は3DCGの作成作業に憧れる事が多いが、物体の形状や動きを3次元データとして入力するには膨大な時間と労力が必要であり、しかも十分な精度や現実感が得られなどから、多くの学生がこの部分で3DCGの挫折を味わい、同時にコンピュータへの興味を失うこともある。

そこで、3次元の形状データや人間の動作を含めた空間データの入力を行う装置を導入し、高精度なデータを高速に入力することが可能になれば、専門教育における効果は大きいと期待できる。

また、様々な物体の入力データを加工・分析することで工業デザインの試行錯誤や力学的な構造解析分析が可能となる。そして、実際に3次元データを物体として出力する装置や擬似的に3次元表示を行う可視化装置を利用することで、3次元物体の造形のための創造的学習がさらに進められると考える。さらに、ABS樹脂による複雑な曲面を有する3次元物体を容易に製作することは各種製造業など地域企業と連携することなど、非常に広い

範囲への応用が期待できる。

本報告では津山高専が新たに導入した3次元創造システムの概要を報告し、本システムを利用した解析支援について検討してみる。

### 2. 3次元創造システム

#### 2.1 3次元物体形状データ入力装置

3次元物体の形状を入力する装置にはいくつかの種類があるが、今回は非接触で高速にデータが入力できる事を考え、デジタルカメラを二つ用いて計測を行うタイプのデジタイザを選択した。

導入した機器は「独国 GOM 社製 ATOS I/Model 350 システム」であり、カメラヘッド本体、専用カメラスタンド、データ処理用ノートパソコン、そして制御用ソフトウェアからなる。実際に物体の計測を行っている様子を図1に示す。

この装置は、真ん中にあるプロジェクタから縞模様など特徴的な画像を対象物に投影して、2つのデジタルカメラで3点測量を行う原理で、物体の空間的な位置を検出する。1回の測定は5秒ほどで終了し、物体全体を撮影するために10回から20回程度の撮影を行う必要がある。レンズの種類により測定物のサイズ(および精度)が変わるが、今回購入したものは1度に一辺50cmの立方体内を測定できる。これより大きなものも、データをつなげ合わせることで測定できる。



図1 3次元物体形状データ入力装置

### 2.2 3次元モーションキャプチャ装置

人間の動作をリアルタイムで入力するモーションキャプチャ装置には、測定方法によっていくつかの形式があるが、今回は人間の素早い動作にも対応できる応答速度と、体の陰になっても連続的に測定できるという特徴から磁気センサー方式を採用した。

導入した機器は「米国 Ascension Technology 社製 MotionStar-TK6S システム」であり、このほかに広域トランスミッタ ERT、広域コントローラ ERC、センサー(6個)および、データ処理装置、トランスミッタ据え付け台他である。また、入力した3次元情報をもとにリアルタイムで3次元キャラクターを動作させるためのソフトウェア Autodesk MotionBuilder 並びに専用のパソコンを購入した。それぞれのパソコンは 100Base-TX で接続されデータのリアルタイム転送が行われる。1つのセンサーが6自由度を同時に測定でき、1/60秒程度のサンプリング周波数で計測できる。

磁気センサーを使用している関係から、磁石や金属があると精度が悪くなるが、概ね普通の部屋でも問題なく計測できた。



図2 モーションキャプチャ装置

### 2.3 3次元データ入力・加工システム

デジタイザやモーションキャプチャ装置から入力したデータを加工したり、他の形式に変換するために「韓国

INUS Technology 社製 Rapidform 2004ARES(PC付)+Exchange-Solidworks」並びにパソコンを購入した。これはデジタイザで入力した3次元データの不正ポリゴンの除去、複数も形状データの比較、3DCADデータの分離・変換・結合を行う。また解析用ソフト用のデータに変換するなどの役割を持つ。

### 2.4 触覚式3次元モデリングシステム

カメラ式のデジタイザはその動作原理から深い凹み部分や物体の内部構造を入力する事が困難である。また、入力されたデータを加工する場合、通常のマウスだけは作業が困難な形状も数多くある。そこで3次元CADが苦手とする複雑な曲線の構造を簡単に入力できる装置として、フォースフィードバック機能を備えた3次元マウスを導入した。

導入した機器は「米国 SensAble Technologies 社製 FreeForm Plus(PC付)」であり、パソコン、ソフトウェア、触覚デバイス(3Dマウス)から構成される。

この装置はフィードバック機能により、直感的な入力が可能であり、いままで苦勞していた穴開けや引っ張り、切り出し、表面の塗装といった作業を簡単に行う事が可能である。



図3 触覚式3次元モデリングシステム

### 2.5 ABS樹脂造形システム

入力した3次元データを実際の物体として具現化する装置として、ABS樹脂造形システム(3Dプリンター)を導入した。これは高温によって溶かしたABS樹脂を細いノズルから絞り出し、基盤上に薄く塗り、それを積層することで物体を形作ることができる。導入した装置は「米国 Stratasys 社製 Dimension SST 3D Printer 250-00200-1」であり、そのほかに無停電装置、超音波洗浄機、据え付け台他からなる。



図4 ABS樹脂造形システム

## 2.6 立体視システム

3次元の動画情報を立体視する装置として、プロジェクタと液晶シャッターを利用した立体視システムを導入した。これは赤外線専用メガネのシャッターをコントロールし、右目用と左目用の画像を交互に表示することにより、立体視を可能にしている。導入したのは「米国 Stereo Graphics 社製 Depth Q」であり、高速な動作が可能なDLPプロジェクタと立体視用メガネ(2個)からなる。

## 3. 解析支援

今回導入した造形システムを用いて物づくり教育を行っている例を以下に三つしめす。それぞれ、学生の卒業研究のテーマになっており、これらをベースに低学年の実習等へ組み込む準備を行っている。

### 3.1 構造計算支援

構造計算には物体の構造データを入力する必要がある。最初からコンピュータシミュレーションを目的として3Dデータが存在する場合は問題ないが、既存の部品の構造計算には、3次元データの入力不可欠となる。近年リバースエンジニアリングがますます注目をあつめおり、このような既存品や設計図面のない部品の構造計算を依頼されることがある。このような場合に、3次元デジタイザと画像変換ソフトが効果を発揮する。

津山市はステンレス加工が盛んで、多くの製品を出荷しているが、カスタム製品が中心なため、強度計算を必要としたり、攪拌のためのシミュレーションを要求されることがある。このような場合に本システムは大きな効果が期待できる。

また、全く別の要求であるが、学生が作成するロボット部品の計算と作成を依頼された。これはレスキューロボットを作成する時に学生が設計した特性のギアに関するものであり、全部で20個作成した。設計は3次元CADであるSolid Worksで行い、STLデータに変換してABS樹脂造形システムで作成を行った。

また、ANSYSにより簡単な応力計算を実施し、全体の個数を決定した。

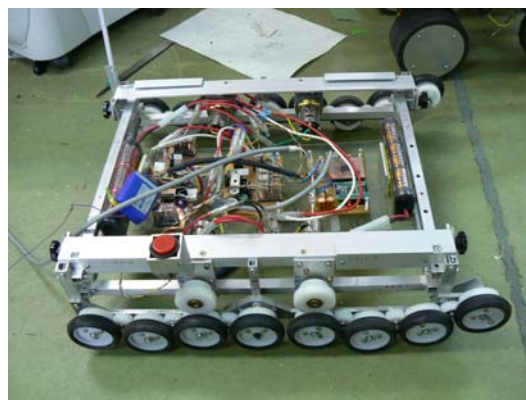


図5 ロボット用オリジナルギア

### 3.2 埋蔵物の研究

我々が導入した3次元物体形状データ入力装置は非接触で測定が可能のため、非常に貴重な文化財等の形状データ入力が可能である。津山市でも、周辺の古墳から発掘される土器などの埋蔵物が多数あり、津山市弥生の里文化財センター[1]で管理・復元作業が行われている。これらの文化財のデジタルアーカイブ[2]やレプリカの作成には、デジタイザが不可欠となる。

また、いままで手作業に頼っていた埋蔵物の分析にも大きく貢献することができる。特に別の場所で発掘された土器の比較検討に効果を発揮している。複数の土器の形状を数値的に比較検討する事ができれば年代測定や製造順番など有益な情報が特定できると考えている。現在は津山市で発掘された瓦の数値化を行っている。



図6 埋蔵物のデジタルアーカイブ

### 3.3 ロボット研究

モーションキャプチャ装置は映画やゲームのCG作成で大きな成果を上げている。また、人間動作を精密に測定できることからロボットや介護の分野でも活用されはじめている。本校でも外骨格型のロボット開発に利用している。

外骨格(エグゾスケルトン)型のロボットの場合、人間の動作を忠実に再現して、装着者の動作をサポートする役割がある。そのため、人間の動作パターンを綿密に入力

する必要がある。今回は歩行支援を行うために、歩行時の足の動作を測定し、ロボット開発の基礎データとして活用している。

このほかにも、スポーツ分野として野球やゴルフのスイング運動の入力などを行う予定となっている。



図7 ロボット開発の基礎研究

#### 4. あとがき

今回3次元データを総合的に扱うことができる装置を複数導入し、3次元創造システムとして教育、研究そして地域協力なのでに導入できるシステムを導入した。早速

ロボコン、地域協力、研究分野で具体的な使用例があり、そのほかにも利用希望が出ている。多くの学生の教育に利用するには台数が足りない面があるが、データの入力・加工・出力を一通り経験できる装置が導入されたことにより今までにない教育が実施可能となった。

今後は更にリバースエンジニアリングへ応用し、より製造現場に近い形での物作りを体験できるよう実験等を準備したいと考えている。また構造解析ソフトとの関係を進めることで、強度計算や製品の最適化手法等も行っていきたいと考えている。

#### 参 考 文 献

- 1) 津山弥生の里文化財センター：  
[http://www.city.tsuyama.okayama.jp/bunka/archaeology\\_folder/archaeology/](http://www.city.tsuyama.okayama.jp/bunka/archaeology_folder/archaeology/)
- 2) 愛知県埋蔵文化財センター：  
<http://www.maibun.com/mt/>



# LAN 内の分散計算ができる PSE ツールキット

## ”Instant PSE”の開発と適用

DEVELOPMENT OF PSE TOOLKIT “INSTANT PSE” FOR DISTRIBUTED COMPUTING ON LAN  
AND IT'S APPLICATION

梅舘典也<sup>1)</sup>, 前田太陽<sup>2)</sup>, 大熊俊明<sup>3)</sup>, 加藤佳則<sup>4)</sup>, 武田真<sup>5)</sup>

Noriya Umedachi, Taiyo Maeda, Toshiaki Ohkuma, Yoshinori Katou and Makoto Takeda

- 1) 金沢大学大学院 自然科学研究科 博士前期課程 (〒920-1192 石川県金沢市角間町, umedachi@superdry.s.kanazawa-u.ac.jp)
- 2) 理博 金沢学院大学 美術文化学部 講師 (〒920-1392 石川県金沢市末町 10 番地, mae.del.sol@gmail.com)
- 3) 理博 五大開発株式会社 技術本部 技術研究所 研究員 (〒921-8051 石川県金沢市黒田 1 丁目 35 番地, ohkuma@godai.co.jp)
- 4) 金沢大学大学院 自然科学研究科 博士前期課程 (〒920-1192 石川県金沢市角間町, katou@superdry.s.kanazawa-u.ac.jp)
- 5) 金沢大学大学院 自然科学研究科 博士前期課程 (〒920-1192 石川県金沢市角間町, takeda@superdry.s.kanazawa-u.ac.jp)

We have developed a toolkit named “Instant PSE” for development of distributed and high throughput computing system on LAN. Using the following the functions; PC resources monitoring, job allocation and data grid, developers can construct grid system on LAN. We have applied to two applications. The first is a soil retaining calculation based on 2-dimensional finite element method package “Dodomemaru”. The second is to find perfect numbers on Microsoft Excel. As a result, it has been shown to reduce man power of PSE system development significantly.

**Key Words:** *problem solving environment, distributed computing, LAN*

### 1. はじめに

近年の急激なPC(Personal Computer)の性能向上と普及により、安価に高性能なPCが手に入る時代となった。また、そのようなPC等の有効活用として、グリッドコンピューティングが注目され、様々な研究機関でグリッドのシステムが開発されている。グリッドのシステムはグローバルなリソースを利用する大規模なグリッドのシステムと、LAN内のPCなどの計算機リソースを利用する小規模なグリッドのシステムに分けることができる。本稿では、前者をグローバルグリッドシステム、後者をローカルグリッドシステムと呼ぶ。これらのグリッドのシステムを構築する際、PSE研究者はGlobus<sup>1)</sup>やUNICORE<sup>2)</sup>に代表されるグリッドミドルウェアを用いて、その上部の層にPSEを追加し、システムを構築する。また、システムを構築するPSE研究者は、コミュニケーションツールやワークフローなどのPSEをシステムと統合し、エンドユーザの支援を行う。

我々は過去のグリッドのシステムの構築の経験や調査から、単にグローバルグリッドシステムを参考にローカル

グリッドシステムを構築するには、いくつか問題点があることが分かった。小規模な研究機関ではその様なグリッドミドルウェアを用いてシステムを構築するには、インストールやグリッド特有の技術を身に付けるために、多くの手間と時間がかかってしまう。一方、システム構築者は既存のPSEや新たに開発したPSEをローカルグリッドシステムに追加する際、既存のシステムやミドルウェアが複雑な構成になっているため、システム構築に手間と時間がかかってしまう。それゆえ、システムの構築に多くの工数がかかってしまう。小規模な大学や企業の研究機関の学生や研究者では、短期間でプログラミング等のITスキルを磨き、かつ、システムを構築することが望まれる。

そこで本研究の目的はターゲットを本研究室の様な小規模な研究機関に絞り、PSE研究者が容易にローカルグリッドシステムを構築するため、分散計算に必要なミドルウェアを含めたPSEツールキット”Instant PSE”の開発を行った。

第2章ではInstant PSEの開発について述べ、第3章でユーザインターフェイスとなるワークフローシステム

との統合を述べ、アプリケーションへの適用事例を述べる。そして、第4章で評価、考察を行い、第5章でまとめを述べる。

## 2. Instant PSE の開発

### 2. 1 Instant PSE の概要

Instant PSEの開発に着手するにあたり、まず我々は現状のグリッドのシステムやPSEを調査した。調査したものはNAREGI PSE<sup>3)</sup> やCyberGRIP<sup>4)</sup>等である。また、本研究室ではPIV-WL(PIV Web Laboratory)<sup>5)</sup>等のグリッドのシステムを構築した経験がある。これらの事から以下の様な考えに至った。グリッドのシステムは通常、図1の様に4つのレイヤに分かれる。

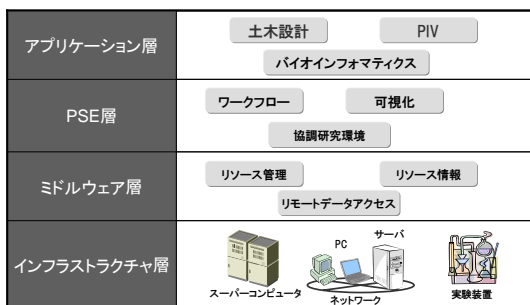


図1 グリッドの4層

一般的にグリッドのシステムの構築にはグリッドミドルウェアを用いる。Globus や UNICORE に代表されるグリッドミドルウェアの導入にはインストールが容易でなかったり、複数のサーバがありシステム構成が複雑であったり、ミドルウェアを用いて分散計算をさせるにはミドルウェアの API の利用方法を把握したり、とローカルグリッドシステムの構築は敷居が高い。これらの事が PSE 研究者の負担となってしまう。また、ワークフローなどの PSE を新たに追加しづらい。そこで、PSE 層とミドルウェア層に分ける事にこだわらず、新たに“Instant PSE”を開発することとなった。Instant PSE は LAN 内で分散計算を行う環境と、PSE を容易に構築しやすい仕組みを提供する。よって、Instant PSE の構成は、できる限りシンプルかつコンパクトにした。また、Instant PSE のインストールも容易に行えるようにし、プラットフォームの汎用性を考慮し、Java ベースで開発した。そして、Instant PSE のインターフェイスをプログラミングの基本的な技術のみで統合できるようにした。また、PSE を追加しやすい仕組みとした。シンプルかつコンパクトにするため、LAN 内で分散計算を行うローカルグリッドシステムにおいて、特に重要な機能を挙げた。以下にその機能を記す。なお、本稿で、ジョブアロケーションとは、ジョブを動的に計算機リソースに割当ててを指す。

- ・ 計算機リソースのモニタリング
- ・ ジョブアロケーション
- ・ データグリッド

これらの項目を基本機能とし、Instant PSE を実装した。図2に Instant PSE のシステム構成を示す。

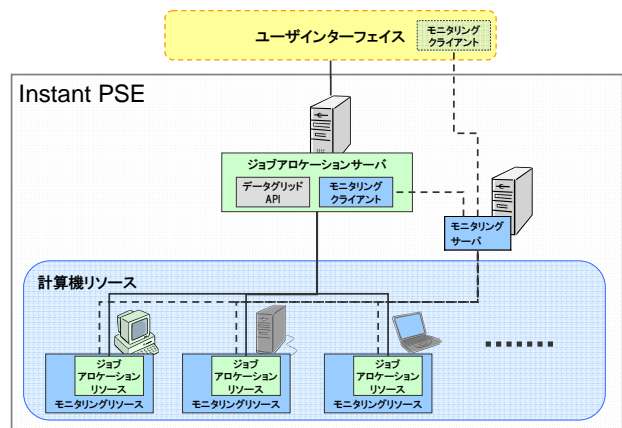


図2 Instant PSE のシステム構成

図2の様に、本システムはモニタリングプログラムにクライアント、サーバ、リソースがあり、ジョブアロケーションプログラムにサーバ、リソースがある。また、データ転送を行うデータグリッド API がある。なお、図2上部のユーザインターフェイス (UI) は、システム構築者が Instant PSE を用いてシステム全体を構築する際に開発するソフトウェアまたはシステムである。システム構築者はそれぞれの環境に応じて、UI を Web システムやローカル PC のソフトウェアとし、Instant PSE と統合することが可能である。以下にそれぞれの機能について説明を行う。

#### a) 計算機リソースのモニタリング

本モニタリング機能は計算機リソースを利用するシステムまたはユーザが、ジョブアロケーションやシステムの管理、構築に必要な情報をモニタリングし、その情報を提供する。3つのプログラムで構成され、1つ目は計算機リソースとする PC の CPU のクロック数と使用率、メモリの容量と空き容量などを取得するリソースプログラムである。2つ目はリソースプログラムから計算機リソースの情報を受け取り、管理するサーバプログラムである。そして3つ目は計算機リソースの情報を取得するクライアントプログラムである。

リソースプログラムはリソースとする PC で常に稼働しており、定期的にサーバプログラムに CPU、メモリなどの情報を送信する。リソースプログラムの状態は3つあり、1つ目はリソースが停止して通信できない状態、2つ目は通信可能だが、ジョブが実行できない状態、3つ目はジョブが実行できる状態である。なお、ジョブ実行可能な状態になったリソースプログラムは、後に述べるジョブアロケーション機能からジョブを受け取り、受け取ったコマンドを外部実行し、標準出力を返す。

リソースプログラムは現状では Windows 版、Linux 版の2種類があり、Java Runtime1.4 以上がインストールされている PC やサーバで稼働することが可能である。Windows 版は WSH(Windows Script Host)を外部実行し

CPU やメモリなどの情報を取得する。Linux 版は bash を外部実行し、同様の情報を取得する。そして、これらの情報からジョブ実行可能な状態を判定する。ジョブ実行可能な状態は、CPU、メモリの使用率やログオフ中などをリソースプログラム内の設定ファイルで指定できる。リソース PC の提供者はこれらの設定を変更し、柔軟に各自の適した環境に変更できる。この Windows 用設定 GUI を図 3 に示す。

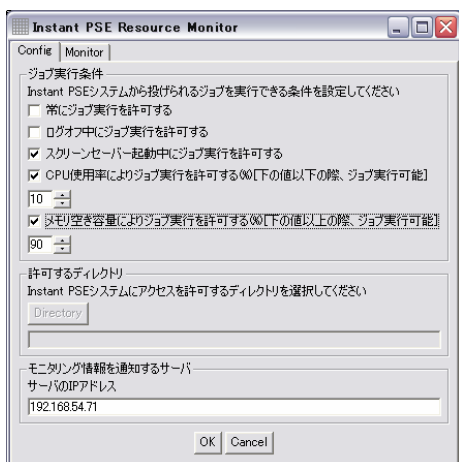


図 3 Instant PSE リソースプログラム設定 GUI

また、サーバプログラムも常に稼動しており、受信した計算機リソースの情報をメモリ内に格納している。なお、サーバプログラム内の XML ファイルを編集し、リソースの登録、削除を行う。そして、クライアントプログラムからリソース情報の提供を即すメッセージを受信すると、リソースのジョブ実行可能状態、CPU やメモリの状況などを返信する。メッセージのやり取りにはソケット通信で実現し、Instant PSE の通信方法に則ってソケット通信のメッセージを送信すると、Java 以外の言語のプログラム間でもモニタリング状況を取得することができる。図 4 にサーバプログラムがリソースをモニタリングしている様子を示す。

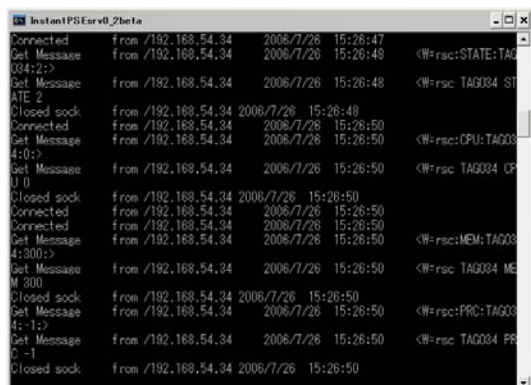


図 4 Instant PSE モニタリングサーバプログラム

## b) ジョブアロケーション

ジョブアロケーション機能では実行したいジョブと、ジ

ョブを投入する計算機リソースを自動的かつ動的に決定する。また、最適なジョブアロケーションとジョブの削除等を行う。他にも計算機リソースの停止等によって通信が遮断された場合は、実行中のジョブを他の計算機リソースに自動的に再投入する。LAN 内の PC を計算機リソースとして用いる場合、空きリソースが動的に変わる可能性が大きいため、この機能は非常に重要である。Instant PSE を利用するシステム、またはユーザはこのジョブアロケーションサーバをインターフェイスにジョブの実行、結果の取得を行う。この機能により、システムまたはユーザはリソースを意識せずにジョブを実行できる。

まず、ジョブアロケーション機能の利用の特徴として以下のことが挙げられる。

- XML ファイルであるジョブファイルにより、ジョブを投入する。ジョブファイルには実行するコマンド、入出力ファイルを記述する。
- それぞれのリソースの Host 名がファイル名となるテキストファイルを、ジョブを実行するためのチケットとし、チケットを管理することで、投入するリソース先を決定する。

また、チケットの有無を監視するだけで実行経過をモニタリングすることができる。この様なテキストファイルの書き込み、保存、ファイルの有無はプログラミングの基本的な技術であり、Java、PHP、Perl など様々な言語で行うことができる。

## c) データグリッド

データグリッドでは入出力ファイルの送受信を担う。現在、SMB(Server Message Block : Windows 共有フォルダ)、FTP、HTTP、UNICORE のファイル転送の 4 つの既存のプロトコルでファイルの転送が可能である。データグリッドを用いてシステムを構築する場合は、これらの中から自システムに最適なプロトコルを選んでシステムを構築する。これにより、様々な LAN 環境において柔軟な対応が期待できる。

なお、SMB、FTP、HTTP の通信には Jakarta VFS(Virtual File System)<sup>6)</sup>をラッピングし、UNICORE でのファイルの転送は外部とのデータ交換を想定し、UNICORE用のAPIをラッピングして実装している。

## 2. 2 Instant PSE を用いたシステムの構築

ワークフローなどの PSE の開発、ローカルグリッドシステムの構築、ジョブの実行の順に説明する。

まず、システム構築者が開発、適用する UI とソルバーについて述べる。図 2 の様に、システム構築者はジョブアロケーションサーバを Instant PSE のインターフェイスとして UI と統合する。以下に統合方法の詳細を説明する。まず始めに、ユーザが入力した値を元にしてジョブファイルを生成する。ジョブファイルには実行するコマンド、入出力ファイルがある場合はそのファイル名を記述する。コマンドベースで実行できるソルバーを利用でき、そのコマ

ンドをジョブファイルに記述する。図5にその例を記す。

```
<jobfile>
<head>
<user>UserName</user>
<resource>hostname</resource>
</head>
<job>
<cmd>
cscript .\#kanzen_instant8a.vbs
</cmd>
</job>
<files>
<input>
kanzen_instant8a.vbs
kan_input.xls
kan_output.xls
</input>
<output>
kan_output.xls
</output>
</files>
</jobfile>
```

図5 ジョブファイルの記述例

そして、入力ファイルとジョブファイルを特定のディレクトリに配置し、ジョブアロケーションサーバを実行する仕組みを開発する。以上で、ジョブを実行するための統合は完了である。ジョブの実行結果の取得には、特定のディレクトリ内のテキストファイルを読み込み表示させるだけである。これだけで、Instant PSE と統合することができる。なお、ジョブのモニタリングを行う際には、ジョブアロケーションのチケットの有無を確認する。他にも、計算機リソースの詳細な状態を知る必要がある場合は、モニタリングクライアントを用いて、計算機リソースの状態を取得する。

次にローカルグリッドシステム全体の構築方法を述べる。Instant PSE は大きくジョブアロケーションサーバプログラム、モニタリングサーバプログラム、リソースプログラムに分かれる。インストールは非常に簡単で、それぞれのプログラムを解凍し、適当なディレクトリに保存するだけである。後は、モニタリングサーバに利用する計算機リソースのドメインや IP をサーバプログラム内の XML ファイルに記述し、各計算機リソースにサーバのドメインまたは IP を登録する。そして、モニタリングサーバとリソースプログラムを稼動するだけである。そして、各アプリケーションに必要な PSE と統合し、全体としてローカルグリッドシステムを構築する。

次に分散計算を実行する方法を述べる。実行するにはジョブファイルを特定のディレクトリに配置し、ジョブアロケーションサーバを実行すると自動的にジョブが実行される。以下にその仕組みについて述べる。まず、ジョブアロケーションサーバはモニタリングクライアントを用いて、計算機リソースの状況を得る。それからジョブ実行可能なチケットを生成する。次に、そのチケットに則ってジョブファイルと計算機リソースを割当てる。そして、計算機リソース上でジョブを実行する。なお、リソースの割当てには高性能なスペックで、かつ CPU、メモリの使用率が低い PC から順に割当てられる。また、計算機リソースや OS を指定したジョブの実行も可能である。正常にジョブが終了した際は、その標準出力を記載したテキストファ

イルと、出力ファイルを得る。

### 3. グリッドシステムの構築とアプリケーションへの適用

Instant PSE のユーザインターフェイスとして、本研究室で開発しているワークフローシステムと統合した。本章ではまず、ワークフローシステムとの統合について述べ、次に統合したシステムでの適用事例について述べる。

#### 3. 1 ワークフローシステムとの統合

本研究室で開発しているワークフローシステムは Web ベースのワークフローシステムである。このワークフローシステムのシステム構成を図6に示す。

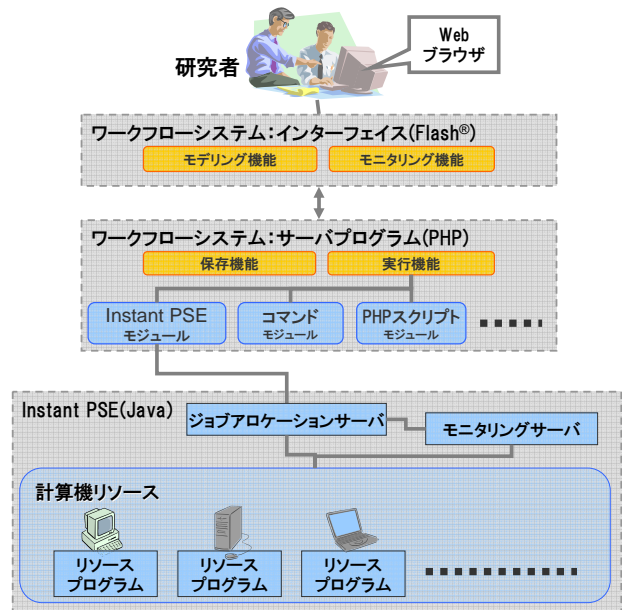


図6 本システムの構成

本ワークフローシステムは、基本機能としてワークフローモデリング機能、実行機能、保存機能、モニタリング機能を搭載している。ユーザインターフェイスはブラウザとなり、グラフィカルにワークフローをモデリングするため、Flash® を用い、内部エンジンのプログラムを ActionScript2.0 で開発している。また、サーバサイドのプログラムはPHPを用いている。現在、PHPはLAMP環境に代表されるようにWebアプリケーションを構築する際のデファクトスタンダードであるため、これを用いている。

また、ワークフローシステムは実行環境にモジュールを追加することが可能である。Instant PSE 用のモジュールを追加した。このモジュールは Instant PSE での分散計算に必要な XML 形式のジョブファイルを出力し、Instant PSE へジョブ実行の命令を行うモジュールである。そのため、ワークフローシステムの Instant PSE モジュールは数十行を記述するだけで開発できた。

#### 3. 2 土木設計ソフトウェア土留丸への適用

Instant PSE とワークフローシステムを統合したローカルグリッドシステムを利用して、土木分野で用いられている FEM (Finite Element Method) の地盤解析ソフトウェアの土留丸へ適用した。土留丸は土留め工設計支援のための 2 次元 FEM 解析支援ソフトであり、盛土、切土、アンカー工などに対応している。土留丸は、プリポスト処理を行うプログラムと FEM 計算エンジンである”ImpCAM”から構成されている。

まず、今回適用したアプリケーションについて述べる。土留丸では図 7 のようなメッシュで分割された複数の地層からなる地盤に 2 本の土留め壁を立て、その間を掘り下げ溝を作り土留め壁の変位を求める。実際には土壌のヤング率、粘着力、内部摩擦角などのパラメータを様々な値に変更して計算を行う。これを分散計算環境でパラメータサーベイすることで、全体のスループット時間の高速化が期待できる。

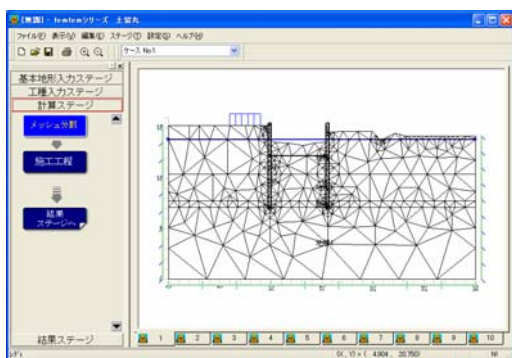


図 7 土留丸での解析例

次に Instant PSE による分散計算方法について述べる。前述したように、土留丸ではプリポスト処理を行うプログラムと FEM 計算エンジンで構成されている。今回の適用では FEM 計算エンジンでの計算をパラメータサーベイを行い、前処理であるパラメータの設定と変更をワークフローシステムにより自動的に行った。実際には、ワークフローシステムで計算に必要なパラメータを自動的に生成し、これを入力ファイルとして FEM 計算エンジンを各計算機リソースに転送し、FEM 計算を実行させ、計算結果を取得した。

以下に、Instant PSE でパラメータサーベイを行った結果とローカル PC1 台で行った結果から、高速化率を図 8 で示す。なお、台数  $n$  台での高速化率  $S(n)$  は以下の式から求めた。 $T(n)$  は  $n$  台での実行時間を示す。

$$S(n) = \frac{T(1)}{T(n)} \quad (1)$$

今回はそれぞれ、2 台、4 台、8 台で計測した。計算機リソースとして利用した PC のスペックは全て Pentium4 3.20GHz、メモリ 1Gbyte で、100Mbps の LAN 内である。

Windows 用のソフトウェアであるため、OS は Windows XP を利用し、ファイル転送には SMB を利用した。なお、PC1 台での 1 ジョブの実行時間は約 50 秒である。図 8 の結果より、台数を増やすごとに台数効果を得ることができた。

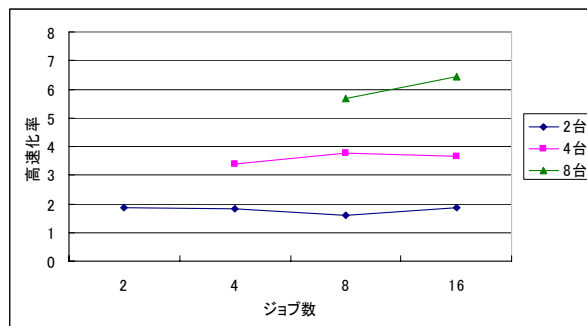


図 8 土留丸の FEM 計算の高速化率

### 3. 3 完全数を求める Excel の計算への適用

本章 3 節と同様のローカルグリッドシステムを利用して、Microsoft Excel の VBA (Visual Basic for Applications) を用いた完全数を求める計算へ適用した。完全数とは、ある自然数の自分自身以外の約数の和が自分自身の数と同じになる数である。本アプリケーションは四則演算のみの計算で求めることができ、高校生などを対象としたグリッドコンピューティングの教育用コンテンツとして利用できる。本研究室でも 2005 年度に開催したいしかわ e-サイエンス (Ie-S) で利用した<sup>78)</sup>。なお、完全数を求めるには、1 から順に数を増やし、その自然数が完全数かどうかを確かめる。本プログラムは数が増えるほど計算に時間がかかる特徴がある。

次に、Instant PSE での分散計算方法について述べる。まず、コマンドから Excel を実行するため、Excel を実行する WSH を記述し、この WSH と VBA を記述した Excel ファイルを Instant PSE で転送し、分散計算を行った。なお、本計算は単純に 1 から 1 万、1 万から 2 万と言った様に分散計算をするのではなく、全体のスループットを上げるため、1 から 2 ステップずつ 2 万までの計算と、2 から 2 ステップずつ 2 万までの計算、と言ったようにパラメータを設定した。

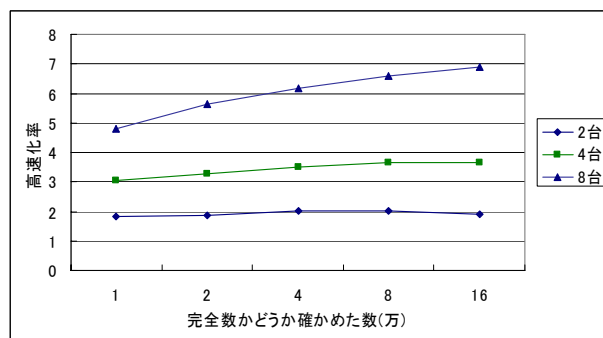


図 9 完全数を求める計算の高速化率

図9は土留丸の適用事例と同様に Instant PSE で分散計算を行った結果とローカル PC1 台で行った結果から、高速化率を算出したグラフである。計算機リソースも同じ PC を利用した。なお、PC1 台で 1 から 16 万までの間の完全数を求める計算を実行する時間は約 50 分である。図9の結果より、今回も台数を増やすごとに台数効果を得ることができた。

#### 4. 評価, 考察

Instant PSE の評価, 考察をシステム構築者の視点とエンドユーザの視点から述べる。

まず、システム構築者の視点から述べる。Instant PSE を用いなかった場合、システム構築者はグリッドミドルウェアを用いてローカルグリッドシステムを構築する。そのために、インストールやグリッド特有の技術を身に付け、既存の PSE や新たに開発した PSE をローカルグリッドシステムに追加する。しかし、既存のローカルグリッドシステムやミドルウェアは複雑な構成になりがちである。よって、システムの構築に多くの工数がかかってしまう。Instant PSE を用いてシステムを構築する場合、Instant PSE で定義した XML ファイルの記述と保存を行うだけで、LAN 内の分散計算を行うことができる。また、モニタリングが必要な際は、チケットのファイルの有無を監視するだけである。これらはプログラミングの基本的な知識のみの習得ですむ。これらのことから、ワークフローシステムと統合する際、Instant PSE のモジュールを容易に開発できた。また Instant PSE のインストールも容易である。そのため、ローカルグリッドシステムを構築する際の工数を削減でき、より質の高いシステムを構築することが可能となるだろう。なお、データグリッド API では様々なプロトコルに対応しており、計算機リソースが様々な OS に対応しているため、容易にファイルを転送とジョブの実行ができた。

次に、Instant PSE とワークフローシステムを統合したローカルグリッドシステムのエンドユーザの視点から述べる。エンドユーザがグリッドに必要な要素の 1 つは分散処理による高速化である。本システムは LAN 内での運用を前提としているため、高い高速化率を容易に実現できた。

#### 5. まとめ

本研究では本研究室のような小規模な研究機関をターゲットとし、PSE 研究者の容易なローカルグリッドシステム構築のため、分散計算ができる PSE ツールキッ

ト”Instant PSE”を新しく開発した。そして、ユーザーフェイスとして、ワークフローシステムと統合し、容易に分散計算可能で、2つのアプリケーションに柔軟に対応できるグリッドシステムを構築した。また、本システムを土留丸の FEM 計算と、Microsoft Excel の VBA を利用した完全数を探す計算に適用した。その結果、プログラムの基本的な技術のみで Instant PSE の分散計算環境との統合ができ、開発した PSE と容易に連携できる事を示した。また、分散計算によるスループット時間の高速化を実証した。今後は、この Instant PSE を用いたローカルグリッドシステムに協調研究環境などの PSE を追加する事や、適用事例を増やし、改善点の見直しを行う。また、本システムの普及と発展のため OSS(Open Source Software)として公開することを予定している。

謝辞：本研究には本研究室 OB, OG の井上智文氏、庄司朱澄氏、高瀬裕治氏、萩原智穂氏、吉田大輔氏に多大なる協力をして頂いた。また、研究を指導して頂いた田子精男先生、本研究室の崔伶準氏、金澤宏幸氏、中井純氏、木下祐介氏、田中望氏、GridPSE を開発した大橋英雄氏、またその他研究に関わった様々な方々に心より感謝の意を表す。

#### 参考文献

- 1)Globus : <http://www.globus.org>
- 2)UNICORE : <http://www.unicore.org>
- 3) NAREGI : <http://www.naregi.org>
- 4)小橋博道, 清水智弘, 今村信貴, 上田晴康, 野口弘, 山下智規, 門岡良昌, 宮沢君夫: グリッドミドルウェア CyberGRIP による組織を横断した計算機利用, 第7回問題解決環境ワークショップ&グリッドセミナー in 大分論文集, P63-68 (2004年10月)
- 5)高瀬裕治, 庄司朱澄, 吉田大輔, 門岡良昌, 大石正道, 大島まり, 田子精男: “PIV Web Laboratory の改良”, 計算工学講演会論文集, Vol.10, No.2, pp.795-798(2005年5月)
- 6)Jakarta VFS : <http://jakarta.apache.org/commons/vfs/>
- 7)中井純, 梅舘典也, 加藤佳則, 外浦均, 村西昇, 辻民生: “AVS/Express, Excel, UNICORE を用いたグリッドコンテンツの作製”, 第8回 PSE Workshop & 第3回グリッドセミナー論文集, pp. 28-31 (2005年9月)
- 8)萩原智穂, 瓜生和也, 武田真, 外浦均, 村西昇, 辻民生: “高校生のグリッドへの挑戦”, 第8回 PSE Workshop & 第3回グリッドセミナー論文集, pp. 24-27 (2005年9月)

# クローズド分散計算機環境内における ジョブ実行支援システム

## JOB EXECUTION SERVICE SYSTEM IN A CLOSED DISTRIBUTED COMPUTER ENVIRONMENT

尾崎哲也<sup>1)</sup>, 藤生英昭<sup>2)</sup>, 斉藤祐一<sup>2)</sup>, 杉浦秀明<sup>2)</sup>, 長野一<sup>1)</sup>,  
早勢欣和<sup>3)</sup>, 宇佐見仁英<sup>4)</sup>, 菊池崇志<sup>2)</sup>, 川田重夫<sup>1)</sup>

Tetsuya Ozaki, Hideaki Fujii, Yuichi Saitoh, Hideaki Sugiura, Hajime Nagano,  
Yoshikazu Hayase, Hitohide Usami, Takashi Kikuchi and Shigeo Kawata

1)宇都宮大学工学研究科エネルギー環境工学専攻 (〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東 7-1-2)

2)宇都宮大学工学研究科電気電子工学専攻 (〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東 7-1-2)

3)富山商船高等専門学校電子制御工学科 (〒933-0293 富山県射水市海老江練合 1-2)

4)国立情報学研究所 (〒101-8430 東京都千代田区一ツ橋 2-1-2)

In this paper, we discuss and develop a robust job execution service system in a closed distributed computer system. This system does not require special middleware such as Globus and so on. The job execution service system consists of a dynamic system management server (DSM server), dynamic assistant server (DA sever), execution servers and data servers. A client accesses the web page on the DSM server, submits jobs and retrieves calculation data. The DSM and DA servers move dynamically to new servers, if the present servers become busy. This system also has a function of automatic system construction, so that users can manage the setup of the job execution service system easily on their closed distributed computer environment.

**Key Words** : Distributed Computing, Job Execution Service, PSE, Simulation Assistant System

## 1. はじめに

近年, 多数の分散した汎用計算機と高速なネットワークに対しGrid[1-2]技術を用いることで, 分散したコンピュータ群の有効利用が可能になると共に, 仮想的に計算能力を集約させて高い計算能力を得られるようになった。

しかし, Gridの導入においてインストールやセキュリティの設定は難しく, その多くはGridミドルウェアが必要となることが多い。また, 構外に亘るネットワーク利用を行わず, LANや研究室内のみでのクローズな環境での利用にあたっては, Gridの通信におけるセキュリティ認証が障害となりパフォーマンスが低下する可能性がある。

我々はPSE[3-8]について研究を行っており, 本研究ではクローズな分散計算機環境でのジョブ実行支援を行うジョブ実行支援システム[5-7]の開発を目的としている(図1を参照)。このシステムはWebベースで利用可能なシステムであり, ユーザは管理サーバ(DSMサーバ)のWebページを通じて, ジョブ投入から結果データの取得までを行うことができる。また, DSMサーバと情報を同期するアシスタントサーバ(DAサーバ)を構築し, かつ管理を動的にすることで, トラブルの際に耐障害性を提供する。MPIジョブのサポートもしており, さらに結果データの2重化保存によるロバスト性の高いシステムとなっ

ている。本システムの構築においては, Webベースの構築支援とCUIベースの構築支援を行うことで, 必要なソフトウェアや内部構造, 依存関係などを一切知ることなくインストールが可能となっている。

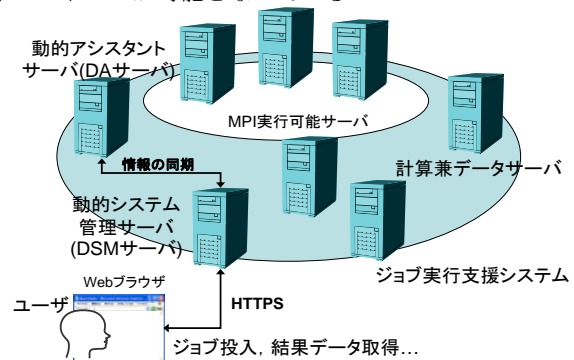


図1 ジョブ実行支援システム概念図

## 2. ジョブ実行支援システム

### (1) システム環境

本システムの稼動条件を図2に示す。システム環境として, サーバOSにLinux, HTTPサーバにはApache2, そしてCGIが動作する環境が必要である。ユーザ側の環境としては, Webブラウザが正常に動作し, Webブラウザの設定でJavaScriptが有効化されている必要がある。

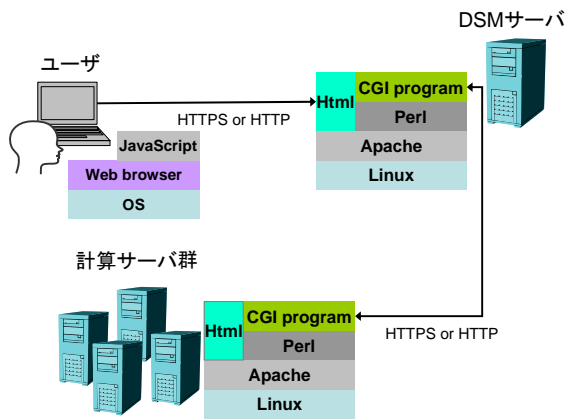


図2 システム環境

## (2) ユーザの権限

本システムを利用するにあたり、ユーザ登録が行われていない場合ユーザを作成する必要がある。本システムではユーザ権限が3段階に分かれており、図3にユーザ権限の範囲図を示す。admin権限は全ての操作ができ、subAdmin, generalの順に権限が狭くなる構成となっている。ユーザ登録を行うにあたり、上位の権限の者が下位の権限を持つユーザを登録できる。

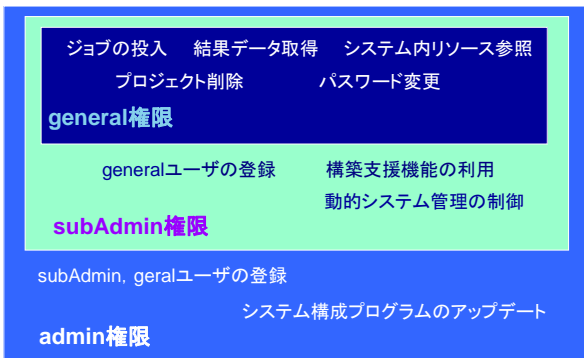


図3 ユーザの権限範囲

## (3) ジョブ設定

ジョブ実行支援システムでは、DSMサーバがユーザからWebページを通じてジョブのソースファイルを受け取り、ユーザが望む計算サーバへ投入を行うことができる。ジョブ実行の概念図を図4に示す。

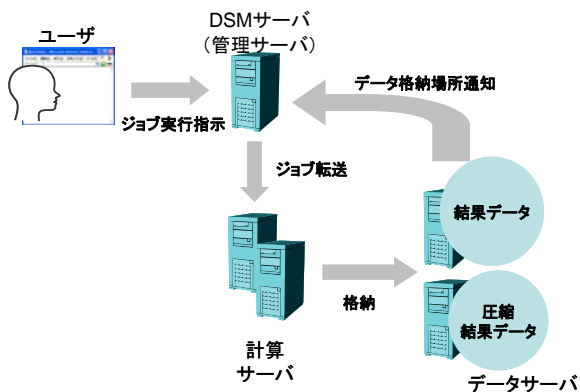


図4 ジョブ実行概念図

ユーザが本システムを利用してジョブ設定を行うには、プロジェクト作成し、投入するジョブの数を指定し、Webを介してソースファイルのアップロードを行う。投入可能ジョブは単一ファイルジョブ、ZIPファイルまたはtar.gzファイルとなっている。

ソースファイルアップロード後は、ジョブ実行の際に使用するコンパイラ及び実行パスの指定を行う。これらはコマンドラインによる実行又はコマンドが記述されているシェルスクリプトを用いることができる。もし、出力結果などを格納するためのディレクトリなどを事前に作成したい場合には、システム上で新規にシェルスクリプト作成することができ、自身のジョブファイルに追加することで解決する。

次に、ユーザは対象計算サーバの選択を行う(図5を参照)。計算サーバのリストは計算に最適な順にソートされており、ユーザは利用に適切でないサーバがある場合はチェックボックスのチェックを外すことで対象から除外することができる。

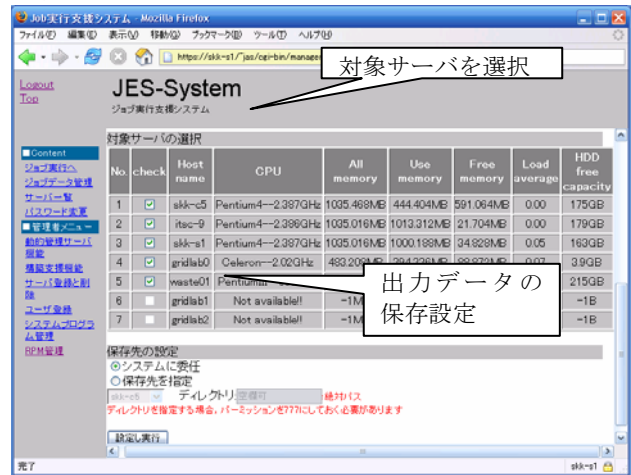


図5 計算サーバ選択画面

ジョブ終了時の結果データ保存先は、システム委任にするかユーザが結果データ出力サーバを指定する。

## (4) ジョブ投入

DSMサーバはジョブ投入命令を受けると、ユーザが指定した計算サーバに対しジョブ投入が可能であるか状態確認を行い、ジョブ投入が可能と判断されると、そのサーバにジョブの投入を行う。ジョブが投入された計算サーバでは、ジョブ設定による実行前処理を行った後ジョブの実行を行う。もし、ユーザが選択したすべての計算サーバが作業中などで投入が不可能であった場合、投入可能なサーバが現れるまでスケジューリングされる。投入されたジョブ情報はプロジェクトに記されており、Webページから閲覧することで現在のジョブ実行状態がわかる。プロジェクトについては項目(6)で説明する。

ジョブが終了した際、その計算サーバはDSMサーバへ最適なストレージ場所を問い合わせる。DSMサーバは、HDD容量の大きいデータ格納サーバ候補に対し、ストレージ要求を行う。



### (5) 結果データの2重化保存

本システムでは、結果データを2重化して保存することで一方のサーバがトラブルでアクセスできない場合でも、もう一方より参照・取得が可能となるロバストなデータストレージを実現している。

データ保存の際にはメインの保存先とサブの保存先を決め、サブの保存先には結果データを圧縮したものを保存することで、HDD容量を節約している。図6に結果データを2重化して保存しているときの概念図を示す。

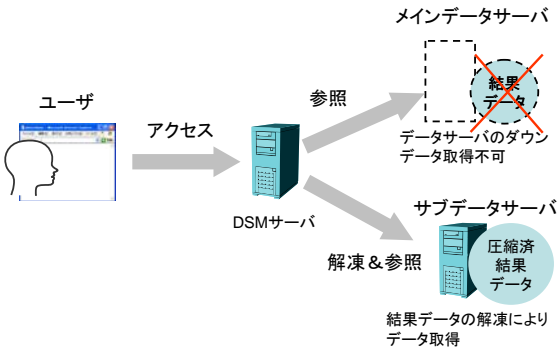


図6 結果データを2重化して保存しているときの概念図

### (6) プロジェクト管理

本システムでは、ジョブを実行する際にプロジェクトを作成しジョブ情報を保持する。前述のジョブ実行作業によりジョブが投入されると、現在のジョブ実行の詳細をWeb上から参照でき、現在のジョブが実行中であるか終了しているかの情報、ジョブKILL機能によるジョブの中断、ジョブ実行終了後のデータ取得などをサポートしている。図7にジョブ実行中におけるプロジェクト内容を示す。

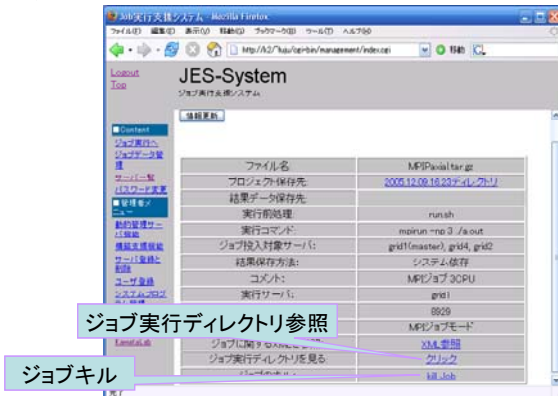


図7 ジョブ実行中におけるプロジェクト内容

## 3. 動的システム管理とシステム構築支援

### (1) 動的システム管理

本システムは、管理サーバであるDSMサーバがシステム内サーバの負荷に応じて自立的かつ動的にシステム管理機能を移譲する機能を有している。また、DSMサーバをサポートするDAサーバを構築し、DSMサーバと管理情報を同期して監視することで耐障害性を高めている。

DSMサーバ、DAサーバは定期的にシステム内リソース情報の取得を行い、負荷の軽いサーバへ移動を行う。ま

た、DSMサーバでトラブルが発生した場合にはDAサーバが監視・同期しているため、トラブル時はDAサーバ側でシステムの再構築を行う。

DSMサーバは、自身のサーバに本システム以外の作業により負荷が生じた際やハイパフォーマンスなサーバを発見した場合、図8のように動的システム管理移譲を行う。DSMサーバは仮変更リクエスト、決定リクエスト、確認リクエストを順に発行し、段階ごとに正常に処理されたか検証する。

この際、通信可能なサーバ中1台でも失敗した場合、手続き取消リクエストが発行され、現在のDSMサーバは管理機能を継続する。全サーバで成功した場合、全サーバに対し確認リクエストを送信し、全サーバより確認に対する成功リクエストを受けると自身の管理サーバ機能を停止する。

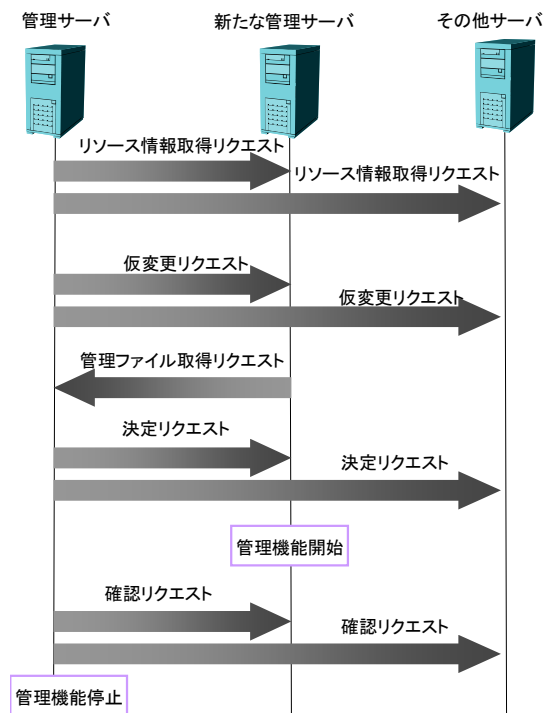


図8 動的システム管理移譲

### (2) 動的なDSMサーバへのアクセス

本システムでは管理サーバが動的に移動するため、本システムはCGIによるHTTPリダイレクトを利用し、現時点のDSMサーバへ導くシステムとなっている(図9を参照)。ユーザが本システムにアクセスする場合、システム内の少数のサーバのURLさえ知っていれば、その時点のDSMサーバへ自動でアクセスする。

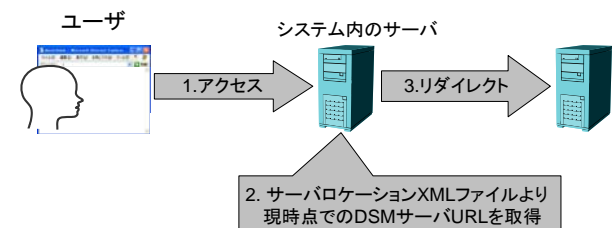


図9 HTTPリダイレクト

### (3) システム構築支援

本システムは一般ユーザが容易に構築できるよう必要最小限のソフトウェア構成で極力依存性を排除しているが、Windowsに慣れ親しんでいる一般ユーザにとってはLinux上でサーバソフトウェアのインストールと設定は想像以上に困難である。

本システムでは、ユーザに対しシステム構築支援を行うことで、ユーザの負担を軽減する。システム構築支援としては、セットアップCDの提供と既存システム上でのインストールスクリプト生成支援のサポートをしている。

セットアップCDを用いたインストールは、CD内のインストールスクリプトを実行することでCUIによる対話形式のインストール作業が開始される（図10を参照）。新規環境を構築する場合にはセットアップCDを用いる必要がある。

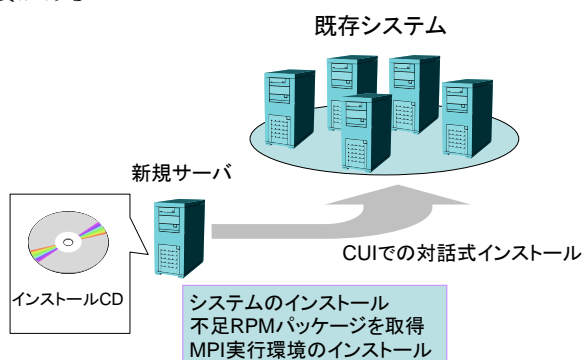


図10 インストールCDを用いた既存システムへの新規サーバ追加

既存システム上でインストールスクリプトを生成する場合は、DSMサーバにて構築支援機能を利用し、必要な入力項目を満たすことでインストールスクリプトが生成される。これをユーザが対象サーバ上で実行することで、自動インストールが行われる（図11を参照）。

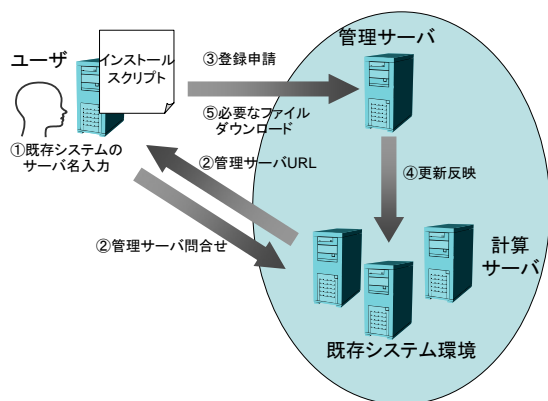


図11 DSMサーバで生成したインストールスクリプトを用いた既存システム環境への新規サーバ追加

インストールスクリプトの実行を行うと、WebサーバであるApacheのインストールチェックを行い、インストールされていない場合はyumやapt-getを利用したイン

ストールを行う。

次にMPI設定の可否をユーザに問い、ユーザがMPI導入を決定した場合、mpichのインストールを開始する。MPI設定では通信を行う全てのサーバを登録する必要がある。

MPI設定後、新規環境構築の場合（インストールCDを用いた場合のみ）は、管理者ユーザ登録及び諸設定ファイルの生成を行う。既存環境に追加する場合は、既存環境に登録されているサーバURLを入力することで、DSMサーバに対し登録申請を行うと共に必要なファイルを取得し、既存システムへ配備される。

### 4. まとめ

我々は、クローズな分散計算機環境においてジョブ実行支援システムを開発した。本システムは、ジョブの投入及び結果データの取得をWebブラウザから行え、かつGridミドルウェアを用いない分散計算機システムである。

また、DSMサーバは負荷に応じた動的管理委譲とDAサーバとの管理の2重化によってロバスト性を高めている。さらに、本システムではインストールCDとインストールスクリプト生成機能による構築支援を行うことで、容易にインストール可能となっている。

### 参考文献

- GGF : <http://www.ggf.org/>
- The Globus Alliance : <http://www.globus.org/>
- Inaba, M., Fujii, H., Kitamuki, R., Kawata, S., Kikuchi, T. : “Computer-Assisted Documentation in a Problem Solving Environment (PSE) for Partial Differential Equation Based Problems”, Trans. of the Japan Society for Computational Engineering and Science, Paper No.20040025, 2004
- 藤生英昭, 稲葉真純, 齊藤祐一, 杉浦秀明, 早勢欣和, 菊池崇志, 川田重夫 : 分散型問題解決環境 “D-NCAS” におけるモジュール連携, 計算工学講演会論文集, Vol.10, pp.735-738, 2005
- 杉浦秀明, 藤生英昭, 稲葉真純, 早勢欣和, 宇佐見仁英, 菊池崇志, 川田重夫 : 分散計算機環境におけるジョブマネージメントシステムの開発, 計算工学会講演会論文集, Vol.10, pp.739-742, 2005
- Fujii, H., Sugiura, H., Saitoh, Y., Hayase, Y., Usami, H., Yamada, M., Miyahara, Y., Kanazawa, H., Kikuchi, T., Kawata, S. : “Job Execution Service System in a distributed computer environment”, 第8回問題解決環境ワークショップ/第3回グリッドセミナー論文集, pp.52-57, 2005
- 尾崎哲也, 藤生秀明, 齊藤祐一, 杉浦秀明, 長野一, 早勢欣和, 宇佐見仁英, 菊池崇志, 川田重夫 : 分散計算機環境におけるジョブ実行支援システムの開発, 計算工学会公演論文集, Vol.11, pp.537-540, 2006
- 大熊俊明, 鱸洋一, 小島義孝, 田子精男 : 企業内パソコンを活用した分散計算機と土留め変形解析への適用, 計算工学会公演論文集, Paper No.20060011, 2006

# PIV 速度ベクトル計算の高速化に向けて

## TOWARD HIGH SPEED CALCULATION OF PIV VELOCITY VECTOR

武田真<sup>1)</sup>, 大熊俊明<sup>2)</sup>, Young-Ho LEE<sup>3)</sup>

Makoto Takeda, Toshiaki Ohkuma and Young-Ho LEE

1) 金沢大学大学院自然科学研究科数物科学専攻博士前期課程

(〒920-1192 石川県金沢市角間, takeda@superdry.s.kanazawa-u.ac.jp)

2) 理博 五大開発株式会社 技術研究所 (〒921-8051 石川県金沢市黒田 1 丁目 35 番地, ohkuma@godai.co.jp)

3) 工博 韓国海洋大学機械情報工学科 教授 (〒609-791 韓国釜山市, lyh@mail.hhu.ac.kr)

We have developed distributed computing system using middleware EnGrid for Particle Image Velocimetry (PIV). It is composed of PIV researcher's personal computers (PC). When applied to Karman vortex data and standard PIV data, the throughput time by KMU-PIV and PIV analysis program is shown to be shortened.

**Key Words :** Particle Image Velocimetry(PIV) , distributed computing , EnGrid

### 1. はじめに

流れを解析する実験的な方法の 1 つに PIV (Particle Image Velocimetry : 粒子画像流速測定法) がある. PIV は水槽内に観測したい流れを発生させる. そこにトレーサと呼ばれる粒子を混入し, この粒子をレーザやカメラ等を用いて撮影する. 撮影した画像は解析ソフトウェアや解析プログラムを利用して解析して流速を抽出する. 流速から物理量の計算や可視化を行って流れを研究する (図 1).

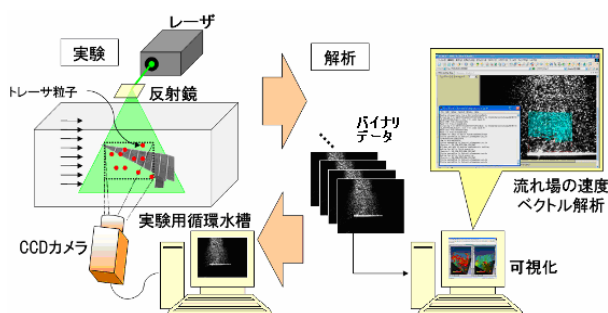


図 1 PIV 実験と解析

この PIV 研究では近年の実験機器の高性能化により 1 回の実験で非常に多くのデータが取得できるようになっている. また, 解析アルゴリズムが発展して精度高い解析や複数台のカメラで撮影した PIV 画像から 3次元の流速を解析することが可能になっている. しかし, その反面, 解析にかかる時間が増大している. 現在, PIV の研究者の多くは, 解析には主に PC(Personal Computer) を利用している. そのため, 解析時間の増大に対してコンピュータの

性能が追いつかない状況であり, 解析の高速化は PIV 研究の課題の 1 つである.

本論文では PIV 解析の高速化を目的として, グリッドミドルウェアの EnGrid<sup>1)</sup> を利用した分散計算環境の構築について述べる. 第 2 章では, PIV 解析とその問題点について述べ, 第 3 章では構築した分散計算環境について説明する. 第 4 章で分散計算環境を利用した分散計算について述べ, 最後に第 5 章でまとめと今後について述べる.

### 2. PIV 解析

#### 2. 1 PIV の基本原理

微細なトレーサ粒子を混入して可視化させた流れにレーザなどの光源で瞬間的に 2 時刻 (時刻  $t_0$  と時刻  $t_1$ ) 連続して照明する. そして, トレーサ粒子からの散乱光を CCD (Charge Coupled Device) 素子などの撮影装置を用いて 2 時刻の瞬間的な粒子画像を記録する. この粒子画像には撮影方法によって多重露光画像, 単一露光画像, 粒子軌跡画像の 3 つに分類することができる<sup>2)</sup>. この粒子画像から連続する 2 時刻の画像に写ったトレーサ粒子像から画像上の移動距離  $\Delta X$  を求める. この  $\Delta X$  と連続する 2 時刻の時間間隔  $\Delta t (= t_1 - t_0)$  と画像変換係数  $\alpha$  から流れ場空間の局所速度  $u$  を次のように求めることができる.

$$u = \alpha \Delta X / \Delta t \quad (1)$$

このようにして, 各点の流速を測定する (図 2).

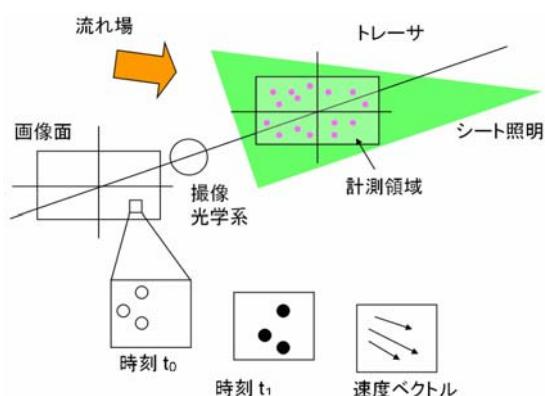


図 2 PIV の基本原理

## 2. 2 解析手順

解析は実験で得られた PIV 画像をコンピュータ上で PIV 解析ソフトウェアや解析プログラムを使って行う。解析の手順は前処理、速度ベクトル計算、後処理の 3 つの工程で行われる。この工程はほとんどの PIV 解析ソフトウェアや解析プログラムで同様に行われる。それぞれの工程について説明すると、前処理では、画像処理アルゴリズムを利用して画質改善や背景除去などを行う。これにより、実験で得られた PIV 画像の画質を改善し、必要な情報を簡単かつ正確に得ることができる。次に、速度ベクトル計算では画像相関法、粒子追跡法、高解像度法などを利用して速度ベクトルを計算する。最後に、後処理では速度ベクトル計算で得られたデータから、誤ベクトルの検出と消去、データ欠落領域の補間などを行う。また、得られた速度ベクトルから渦度、せん断ひずみ速度などの各種物理量の推定も行う。このようにして得られた速度ベクトルや各種物理量は可視化ソフトウェアを利用して可視化して流れを研究する。

## 2. 3 PIV 解析の問題点

近年の PIV 研究では、実験機器の高性能化による PIV 画像のデータ量の増加や解析アルゴリズムの発展により今までと同じ実験時間に対して解析時間が非常に増大している。PIV 研究者は主に実験を中心に行い、解析で得られた結果から実験のトレーサの量や大きさ、レーザやカメラの設定を微調整して何度も実験と解析を繰り返す。そのため、PIV 研究者にとって解析時間の増大は本来の研究以外に時間を費やすことになってしまい、大きな問題である。

## 3. 分散計算環境の構築

PIV 解析は 2. 2 節で説明した解析手順の中で速度ベクトル計算が解析時間の大部分を占めていることに着目した。そこで本研究では PIV 解析の高速化を目的として、速度ベクトル計算を分散計算によって高速化する分散計算環境を構築した。分散計算を行うコンピュータには PIV 研究者が普段解析を行う PC を複数台利用することにした。PIV 解析で分散計算を行うためには基本的な機能としてリソースの PC の情報の取得、各 PC へのデータの転送、解析の実行、解析結果の回収の機能が必要である。これらの

基本的な機能はグリッドミドルウェアの EnGrid を利用した。この EnGrid の機能や独自に開発したプログラムを利用して構築した。

### 3. 1 EnGrid

EnGrid はピア型の P2P (Peer to Peer) を利用したグリッドミドルウェアである。EnGrid は中央集権サーバといった分散計算用の専用コンピュータを用いることなく分散計算ができる特徴がある。また、EnGrid の導入はインストーラの指示にしたがって「次へ」をクリックしてだけで複雑な設定はなく非常に簡単である。EnGrid は PIV 研究者が計算機環境の変更や導入の手間をかけることなく実現できるという大きな利点である。分散計算を行うクライアントのコンピュータと解析を行うコンピュータにそれぞれ EnGrid Job Submitter と EnGrid Job Environment をインストールする。さらに、EnGrid Job Submitter に MainJob、EnGrid Job Environment に SubJob と呼ばれる Java のプログラムを作成する。MainJob は主に SubJob を投入する役割、SubJob はそれ自身で計算を実行するか外部のプログラムを実行して計算させる役割を持っている。これらのプログラムを作成することで、計算用の PC の情報の取得、データの転送、コマンドの実行などを簡単に利用することができる。

### 3. 2 分散計算環境の機能

構築した分散計算環境では PIV 解析を分散計算するためにリソース決定機能、PIV 画像の分割機能、データ転送機能、解析実行機能、データ削除機能を持つ (図 3)。それぞれの機能の詳細は以下の通りである。

#### a) リソース決定機能

PC の CPU やメモリの使用率の情報を取得して、PC が使用可能かどうかを判断して使用する PC を決定する。また、ユーザはリソースとして使用したい PC や台数を指定することで、条件にあったリソースを使用することも可能である。

#### b) PIV 画像の分割機能

PIV 画像の種類とリソース PC の台数に合わせて PIV 画像を分割する。PIV 解析は撮影方法によって数枚単位で行われ、それぞれが独立している。そのため、PIV 画像を解析枚数単位で分割することによって、解析精度を全く落とすことなく分散処理を行うことが可能である。

#### c) データ転送機能

EnGrid Job Submitter と EnGrid Job Environment 間でデータ転送を行う。複数の EnGrid Job Environment に対して並行して転送することが可能である。分割した PIV 画像や解析に必要なファイルをリソースに、リソースからは解析結果をユーザに転送する。

#### d) 解析実行機能

SubJob が解析コマンドを実行することで解析を行う。各リソースが実行するコマンドは解析ソフトウェアや解析プログラムによって異なる。また、解析する PIV 画像の名前や枚数によって引数も異なる。そのため、PIV 解析ソフトウェアや解析プログラムの基本情報を記入

した設定ファイルを作成することでこの問題を解決した。また各リソースのためにMainJobで解析を行うPIV画像の情報、実行するコマンドや引数を記入したJobFileを作成する。作成したJobFileはデータ転送機能で各リソースに転送してSubJobを実行する。SubJobではJobFileを読み込むことで解析のコマンドを実行する。

#### e) データ削除機能

リソースのPIV画像、設定ファイル、解析結果を消去する。解析データ消去機能によってデータ漏洩防止やリソース内のデータ増加を防止する。

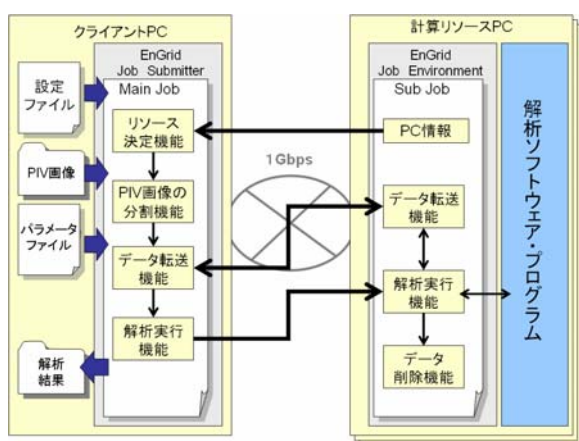


図3 開発した分散計算環境の構成

### 3.3 分散計算の手順

構築した分散計算環境は以下の手順で行われる。これらの手順は分散計算環境が自動で行い、利用者が分散計算を意識しなくとも良い。

- ① EnGrid Job Environment がインストールされているPC情報を取得する。
- ② 使用する計算用のPCを決定する(設定ファイルで指定可能)
- ③ 実験データの分割
- ④ 実験データ、各種設定ファイルの転送
- ⑤ 解析実行
- ⑥ 解析結果の回収
- ⑦ 計算用PCのデータを削除
- ⑧ 終了

## 4. 分散計算

構築した分散計算環境を利用して分散計算を行い、高速化の効果を実証する。

### 4.1 計算環境

普段研究に使用している研究室内のPCを利用して分散計算環境を構築した。すべて同じ性能PCを利用し、それぞれのPCは1Gbpsのネットワークで接続されている(表1)。分散計算環境を利用しないで1台のPCを利用して解析を行った場合と分散計算環境を利用して複数台のPCを利用した場合の解析時間の計測を行った。また、解析時間の計

測を行う際にはすべてのPCが利用されていない状態で行った。ここで、1台の場合は速度ベクトル解析と解析を行った画像の削除の合計時間を、複数台の場合はデータの分割、データの転送、速度ベクトル解析、解析データの回収、解析を行った画像と解析結果解析データの削除の合計時間を示す。計測した結果から(2)式を利用してn台で分散計算を行った場合の高速化率 $S_n$ を求めた。高速化率はnに近いほど分散計算による効果が良い。

$$S_n = (\text{1台での解析時間}) / (\text{n台での解析時間}) \quad (2)$$

表1 PCのスペック

CPU	Intel(R) Pentium(R)4 3.2GHz
メモリ	1GB
ハードディスク	80GB
OS	Windows XP Professional
回線	1Gbps

## 4.2 パッケージソフト KMU-PIV を利用した分散計算

### a) 分散計算の詳細

PIVの解析ソフトウェアは韓国海洋大学が開発したパッケージソフトウェアのKMU-PIV<sup>3)</sup>を利用して分散計算を行った。KMU-PIVのライセンスの制限から現実的な台数としてリソースのPCを最大4台利用した。

解析を行うPIVの実験画像には、実際の実験で得られた2次元のカルマン渦のPIV画像を利用した。このPIV画像は多重露光画像10枚である(表2)。これらの画像を複製して1000枚のPIV画像として2台と4台のPCで分散計算を行い、解析時間を計測して高速化率を算出した。

PIV画像の複製による解析時間への影響について説明する。速度ベクトル計算の手法は2枚のPIV画像を利用して行われるため、複製によって他のPIV画像の解析時間に影響がでることがない。そのため、実際に実験で得られたPIV画像1000枚の解析時間と同じであるといえる。

表2 カルマン渦のPIV画像の詳細

大きさ	640×480
画像のサイズ	302KB
PIV画像の種類	多重露光画像
保存形式	BMP

### b) 結果と考察

計測結果から高速化率は2台で最大1.91、4台で最大3.91の台数効果が得られた(図4)。すべての場合において高速化を実現できているとともに、PIV画像の枚数が100枚以上で高速化率は非常に良い値となっている。この分散計算の計測結果では分散計算環境を利用することによって速度ベクトルの高速化が十分に実現できているといえる。

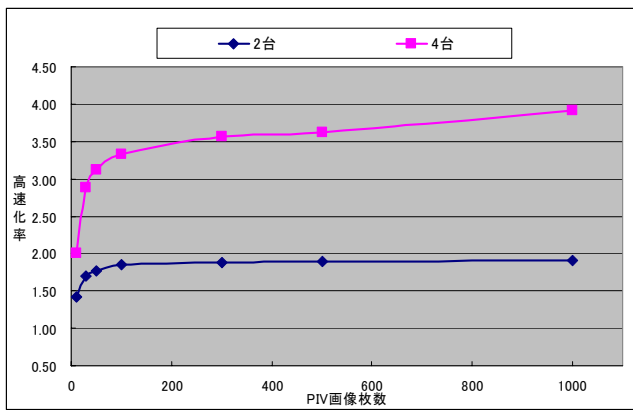


図4 高速化率のグラフ (KMU-PIV)

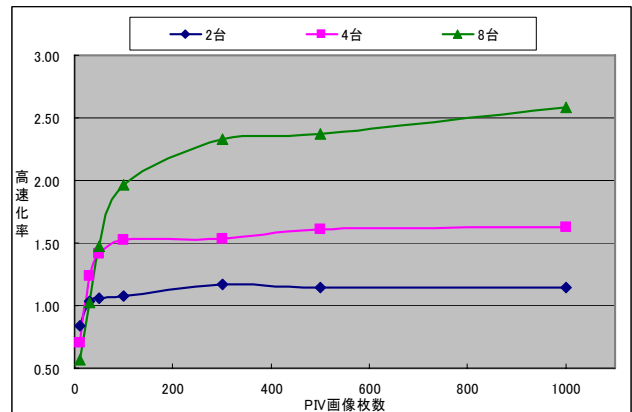


図5 高速化率のグラフ (解析プログラム)

#### 4. 3 PIV 解析プログラムを利用した分散計算

##### a) 分散計算の詳細

東京大学の岡本教授が作成した解析プログラムを利用して分散計算を行った。この場合はライセンスに制限がないため、リソースのPCは最大8台利用した。解析を行うPIVの実験画像には、(社)可視化情報学会<sup>4)</sup>が提供している2次元のPIV標準画像を利用した。このPIV画像は単一露光画像4枚である(表3)。先に行った分散計算の計測と同様に複製して1000枚のPIV画像として2台、4台、8台のPCで分散計算を行った場合の解析時間を計測し、高速化率を算出した。

表3 PIV標準画像の詳細

大きさ	256×256
画像のサイズ	65KB
PIV画像の種類	単一露光画像
保存形式	BMP

##### b) 結果と考察

計測結果から高速化率は2台で最大1.14、4台で最大1.63、8台で最大2.58の高速化率が得られた(図5)。PIV画像の枚数が30枚以上で高速化を実現している。高速化率はKMU-PIVを利用した場合に比べて良い値が得られなかったが分散処理によって高速化を実現できることを示せた。

高速化率が良い値が得られなかった原因として、KMU-PIVに比べて解析プログラムはPIV画像枚数当りの解析時間が短いことが挙げられる(表4)。使用した解析プログラムは1998年に開発されたもので、サイズの大きいPIV画像に対応していない。今回は比較的小さなPIV画像を利用したために解析時間が短く、PIV画像の転送に多くの時間がかかってしまった。そのため、全体として高速化率が上がらなかったと考えられる。今後、最新の解析プログラムを利用し、よりサイズの大きいPIV画像の解析を行うことで良い高速化率の結果が得られると考えている。

表4 解析時間の比較

	KMU-PIV	解析プログラム
画像のサイズ	302KB	65KB
1回の速度ベクトルの計算の時間	約6秒	約0.2秒

#### 5. まとめと今後

本研究ではPIV解析の高速化を目的としてEnGridを利用した分散計算環境を構築した。PIV研究者は構築した分散計算環境を利用することでPIVの速度ベクトル計算を高速化することができる。分散計算ではKMU-PIVを利用した場合で2台で最大1.91、4台で最大3.91の高速化率がえられ、岡本教授の解析プログラムを利用した場合で2台で最大1.14、4台で最大1.63、8台で最大2.58の高速化率を得ることができた。

今後は解析プログラムを利用した場合の高速化率の向上を目指すとともに、実際に膨大な時間が必要なPIV画像に対して分散計算環境を利用して高速化の実証を行う。

謝辞：本研究を行うにあたり、東京大学の岡本孝司教授にはプログラムの提供とご指導して頂き、大変お世話になった。深く御礼を申し上げます。

#### 参考文献

- 1) Toshiaki Ohkuma, Yoichi Suzuki, Yoshitaka Kojima, and Yoshio Tago : Distributed Computing Middleware for Small and Medium-size Enterprise, Proceedings of PSE Workshop 2005 of International Conference on e-Science and Grid Computing, pp. 494-501, 2005
- 2) 可視化情報学会 : PIVハンドブック, 森北出版株式会社, 2002年7月
- 3) CACTUS, <http://www.iitpiv.com>
- 4) (社)可視化情報学会, <http://www.vsj.or.jp/>

# Design and Implementation of NAREGI Problem Solving Environment for Large-Scale Science Grid

Hiroyuki Kanazawa<sup>1)2)</sup>, Yasuyoshi ITOU<sup>1)</sup>, Motohiro Yamada<sup>1)</sup>, Yutaka Miyahara<sup>1)</sup>,  
Yoshikazu Hayase<sup>3)</sup>, Shigeo Kawata<sup>4)</sup>, and Hitohide Usami<sup>5)</sup>

1) Fujitsu Limited, Shiodome 1-5-2, Higashi-Shinbashi, Minato-ku, Tokyo 105-7123, Japan

2) Division of Mathematics and Information Science, Graduate School of Natural Science & Technology, Kanazawa University, Kakuma-machi, Kanazawa, Ishikawa, 920-1192, Japan

3) Department of Electronic Control Engineering, Toyama National College of Maritime Technology, 1-2 Ebie Neriya, Shinminato, Toyama, 933-0293, Japan

4) Graduate School of Engineering, Utsunomiya University 7-1-2 Yohtoh, Utsunomiya 321-8585, Japan

5) National Institute of Informatics, 2-1-2 Hitotsubashi, Chiyoda-ku, Tokyo 101-8430, Japan

NAREGI is a Japanese National Grid Project started in 2003, whose chief aim is to develop a set of Grid middleware to serve as a basis for future e-Science. In this paper, we describe a software tool called NAREGI-PSE (Problem Solving Environment), which aims to support the scientists' works for scientific computer simulations on widely-distributed heterogeneous grid computing environment. Its core component is implemented as WSRF services based on some grid standards, such as Application Contents Service specification. NAREGI-PSE achieves functions sharing peculiar applications in each research community, which is implemented as Virtual Organization. The shared application program is easily compiled and deployed to grid environment using NAREGI-PSE.

**Key Words:** *Computing Grid, Distributed PSE*

## 1. Introduction

NAREGI is a Japanese National Grid Project started in 2003, whose chief aim is to develop a set of Grid middleware to serve as a basis for future e-Science. The NAREGI project is one of the core projects within Cyber Science Infrastructure (CSI), which is comprehensive framework in which Japanese universities and research institutions are collaboratively constructing an information technology based environment to boost scientific research and education activities<sup>10)</sup>.

The large-scale grid project to integrate hi-performance computer resources dispersed geographically is promoted in many countries. For example, TeraGrid in the United States integrates resources include more than 102 teraflops of computing capability over 100 high-performance networks<sup>8)</sup>. In such grid environment, it is quite difficult for users to

know the detailed specification of the distributed computer system they can use.

The other hand, most grid users will not write programs<sup>3)</sup>. Instead, they will use grid-enabled applications that make use of grid resources. These applications may be widely distributed general purpose software or applications that are used only in specific fields. In advanced science research, the latter is very important. Probably such applications are developed by small groups of researchers, and most researchers only use it on the grid resources.

We addressed needs of application developers and application users in advanced science research. Application users want to use applications by minimum knowledge of the applications and the grid environment. Therefore, application developer should set information of the application beforehand.

NAREGI-PSE focuses functions to share applications, to deploy applications onto the grid, and to compose workflow using shared applications.

## 2. The NAREGI Project

The NAREGI project is a five-year project that was instituted in fiscal 2003 in Japan<sup>1)2)</sup>. NAREGI aims to research and develop high-performance, scalable grid middleware for the national scientific computational infrastructure. Such middleware will help facilitate computing centers within Japan as well as worldwide in constructing a large-scale scientific “research grid” for all areas of science and engineering, to construct a “National Research Grid”. NAREGI also aims to lead the way in standardization of Grid middleware.

The middleware R&D work is being conducted at Center for Grid Research and Development, hosted by the National Institute of Informatics (NII) in Tokyo, Japan. The grid-enabled nano-science application work is under the auspice of the Center for Applications Research and Development, hosted by the Institute for Molecular Science (IMS) in Okazaki, Japan. These two centers are collaborating to establish and operate a dedicated NAREGI testbed with Japan’s SuperSINET as the underlying network infrastructure. The testbed will facilitate nearly 18 teraflops of computing power distributed over nearly 3000 processors.

### 2.1. The NAREGI middleware framework

The grid middleware R&D work consists of six research and development groups, as shown in Figure 1, which are referred to as “Work Packages” (WPs). WP-1 focuses on lower- and middle-tier middleware for resource management, such as a super scheduler, GridVM (providing local resource controllers), and distributed information service. WP-2 covers basic parallel programming tools for the grid, mainly consisting of two key middleware pieces, GridRPC (for task-parallel applications) and GridMPI (for data-parallel applications). WP-3 works on grid tools for end users, including grid workflow, problem solving environment (PSE), and visualization tools. WP-4 deals with data grid for the federation of spread world wide on the grid environment, while WP-5 investigates networking, security, and user management issues for high-performance grid infrastructures, such as real-time traffic measurement, QoS provisioning, and optimal routing for VOs and robust file and data transfer

protocols. Finally, WP-6 acts as a liaison with the Center for Applications Research and Development, developing application-specific middleware components in order to grid-enable large-scale nano-science applications, including those that require coupling of multiple applications on the Grid.

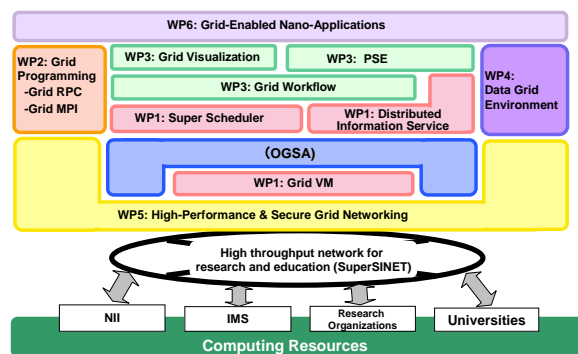


Figure 1. NAREGI grid middleware stack

## 3. NAREGI-PSE

NAREGI-PSE is a part of results of the grid application environment (WP-3) group activity. NAREGI-PSE facilitates sharing, deploying and execution of application programs, without detail computer-related knowledge or skills on the grid on the user's side.

The present research target issues of the NAREGI-PSE include the followings: (1) Simple and easy execution of users’ application programs on distributed computers. (2) Simple and easy deploy of users’ program onto the distributed computer environment. (3) Simple and easy software register into the application pool in the PSE server to provide a software-reuse environment. In this mechanism the NAREGI-PSE supports users to reuse previous software for their own purposes. (4) Problem solving scenario written by the workflow is stored in the application pool the same as single application. End users easily reuse the stored workflows developed by themselves or by others for a new problem solving scenario.

Based on the NAREGI-PSE presented in this paper, users may work smoothly on a distributed computer system: users need not have precise information about hardware location behind the PSE, and execute their software without difficulties.



## 4. Implementation

NAREGI-PSE is implemented based on OGSA with WSRF. WSRF provides ability to model stateful resources in a framework of Web services. WSRF defines conventions for managing “state”, so that applications can reliably share dynamically changing information.

The NAREGI-PSE system consists of four WSRF grid services and client GUI, as shown in Figure 2.

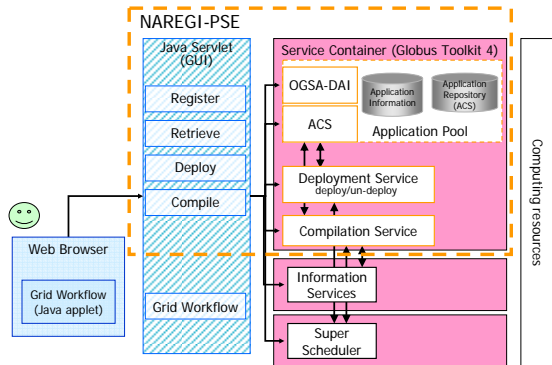


Figure 2. NAREGI-PSE System Structure

The NAREGI-PSE client GUI serves a user interface to users, who work on distributed computer systems. The Deployment Service provides the function that transfer files of an application to remote computing resources, and execute “post-procedure” to configure and/or examine deployment. The Compilation Service provides the service that transfer source files of an application to remote computing resources, and execute compile script, then collects and store binary files to ACS if compile script succeeded.

The application pool is implemented by using the Application Repository interface and Application Archive format of the ACS specification. And Application Information utilizes OGSA-DAI and PostgreSQL.

### 4.1. Related component of NAREGI

NAREGI-PSE operates cooperatively with the grid-workflow, the super scheduler, the distributed information service that is developed in NAREGI.

The information service of NAREGI is a distributed information service, which maintain various kind of information; CPU, memory, OS, job queue, account, usage record, etc. The information is aggregated and accumulated in relational databases hierarchically. CIM (Common Information Model) based schema is used to describe the

resources in the computing grid<sup>9)</sup>. VO (virtual organization), access control for application is supported by using the information service.

The super scheduler of NAREGI is a scheduling system for large-scale control and management of a wide variety of resources shared by different organizations in the grid environment. The system will be aimed primarily at identifying resources that can meet requests from batch job users and allocating these resources to specific jobs.

The grid workflow is a visual tool for seamlessly preparing and submitting distributed jobs running on remote computing resources. It handles programs and data explicitly, and is independent of specific Grid middleware. Complex workflow descriptions such as loops and conditional branches are supported for nano-science applications. Graphically described workflow jobs are converted to an enhanced workflow language based on WFML (WorkFlow Modeling Language), which is a common interface with other systems such as the PSE.

## 4.2. Application pool

### 4.2.1. ACS Specification

Application Contents Service (ACS)<sup>7)</sup> is a set of requirements and specifications that is being worked on by ACS-WG (Working Group) within the Global Grid Forum (GGF), which is an international standards and community body focusing of Grid technologies. The ACS Specification Documents defines a standardized way to manage and handle a grid application as a deployable logical unit so as to maintain their consistency, reduce management overhead, and enable automation throughout the lifetime of an application.

ACS architecture is described as follows. ACS provides a repository for grid applications. Application producer create Application Archive (AA) instances accompanied with the meta-information describing the contents. The AA is a logical bundle of files that is used for provisioning and executing a task in a Grid system. Such information may include, but is not limited to, the application executable code, configuration data necessary for initial deployment of the application and the deployment descriptor documents.

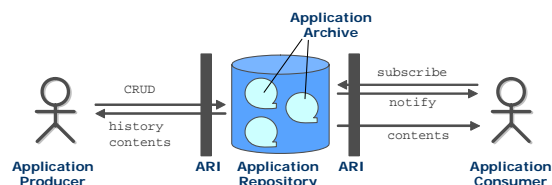


Figure 3. ACS Concepts diagram

An AA consists of an Application Archive Descriptor (AAD) and zero or more Application Contents. ACS repository will parse and make use of the AAD. AAD may contain information such as identification, access constraint policy, and information associated with the structure of the AA contents. In order to realize Application Contents retrieval, ACS repository needs to know the meta-information of the Application Content files, such as the names and types of the files. They should be provided by the Application Provider and be included in the AAD.

#### 4.2.2. Implementation

Application Archive of a single application contains the followings:

- Source files (optional)
- An executable file (required, but it may be generated by compilation procedure.)
- A compilation procedure (optional)
- A deployment procedure (required)
- Files required for executing the application (optional)

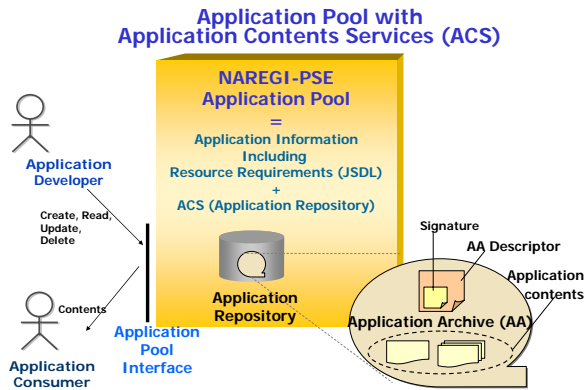


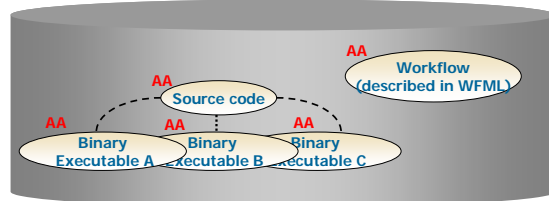
Figure 4. Application Pool of NAREGI-PSE and ACS

An application stored in Application Repository will be a part of a complex application, using the grid workflow. A workflow consists of some applications can be registered in NAREGI-PSE, too. Application Archive of a workflow contains a workflow file described in WSML.

Resource requirements of applications in NAREGI-PSE are described based on Job Submission Description Language

(JSDL). The application with a different resource requirement is stored as another application archive, as shown Figure 5.

Figure 5. Application Archive of NAREGI-PSE



#### 4.3. Compilation and Deployment

The Compilation Service provides function of remote compilation, according to the following procedure.

- 1) Retrieve and select a application to compile
- 2) Display candidate set of computing resources from resource requirement of the application
- 3) Select (a) computing resource(s) for compilation
- 4) Transfer files to the selected computing resources and execute compilation
- 5) If compilation is succeeded, the result files is stored in the application repository
- 6) The Deployment Service provides the deployment function, according to the following procedure.
- 7) Retrieve and select a application to deploy
- 8) Display candidate set of computing resources from resource requirement of the application
- 9) Select (a) computing resource(s) for deployment
- 10) Transfer files to the selected computing resources and execute "post-procedure"
- 11) If post-procedure is succeeded, deployment information is stored in NAREGI-IS

On the other hand, an application will be required by other application. For example, an application using the function which is provided other application may link library files when it is compiled or executed. In such situation, these related applications must be deployed on same computer resources. Therefore, application developer can register the applications required when the target applications is compiled or executed.

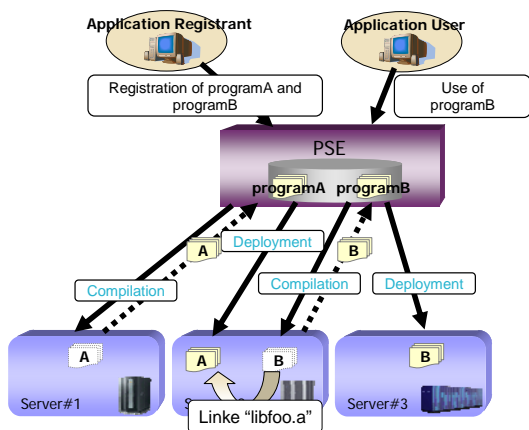


Figure 6. Compilation of related two applications.

## 5. Applications and results

### 5.1. Grid-enabled nano-science application

Grid-Enabling Team (WP-6) in NAREGI is developing application-specific middleware components to grid-enable large-scale nano-science applications, including those that require coupling of multiple applications on the grid. One example of such applications is multi-scale and/or multi-physics simulation, where each application component utilizes different mathematical and physical modeling approaches and cooperates on spatially or temporally different calculations. To advance such multi-scale and/or multi-physics applications, users have wasted large amounts of effort in developing custom codes and decomposing original codes for semantic-level communication between heterogeneous scientific application components

To facilitate easier usage and minimize customization processes of original user programs which may be legacy codes, WP-6 have been developing a middleware system, called a “Mediator” on top of the GridMPI, that provides high-level transparency in automatically transferring and transforming data between heterogeneous application components<sup>1)</sup>. The Mediator provides Application Programming Interface (API) as a statically linked library. The programs communicating through the Mediator should link the library when compiling the programs.

By using NAREGI-PSE, we composed a workflow consists of two applications having different model and the Mediator.

### 5.2. Using NAREGI-PSE

The Mediator is the application tool, and it may share the application in a research community (VO). However the programs using the Mediator may have more specific purpose. For this reason, it should be registered each program separately in NAREGI-PSE.

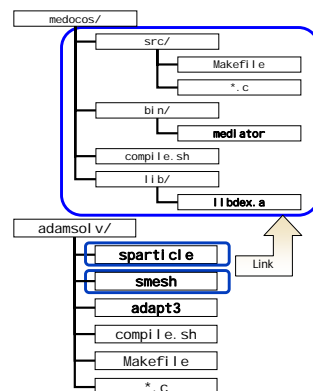


Figure 7. Source tree structure of sample applications.

Source codes of the application are shown in Figure 7. Registration of the Mediator program is same as an ordinary single program. When registering the program using the Mediator, the registrant should set the relation to the Mediator. In this example, there is the relation only when compiling the program. By the way it can be set a relation which deploying if needed, like a relation referring a dynamically linked library.

When compiling the program, it should be known the path of the Mediator program is deployed, because it is dynamically decided by NAREGI-PSE. NAREGI-PSE provides the path information using environment variables. Figure 8 shows a compile procedure (Makefile) of the program using the Mediator. A name of environment variable can specify/modify by the registrant when registering the program.

We used computing resources are four clusters of IA32 architecture nodes (OS: Linux) and one SMP computer (OS: AIX). When compiling the programs using NAREGI-PSE, application users do not have to know where the Mediator program is deployed.

We composed and ran a workflow using the Mediator, as shown in Figure 9.

```

# Makefile for MEDOCOS example
#
MPICC = $(MPIROOT)/bin/mpi cc

CFLAGS = -I$(PSE_AP_mediator)/include\
-DVIEW -DMPI
LHDR = $(PSE_AP_mediator)/dexlibrary.h
LIBS = -lm
DEXLIB = -L$(PSE_AP_mediator)/lib -ldex

all: smesh sparticle adapt3
sparticle: sparticle.o readparam.o
$(MPICC) -o sparticle sparticle.o
readparam.o $(LIBS) $(DEXLIB)
smesh: smesh.o readparam.o avs.o
$(MPICC) -o smesh smesh.o
readparam.o avs.o $(LIBS) $(DEXLIB)
adapt3: adapt3.o
$(MPICC) -o adapt3 adapt3.o

.c.o:
$(MPICC) -c $(CFLAGS) $<

```

Figure 8. Modified Makefile of the application

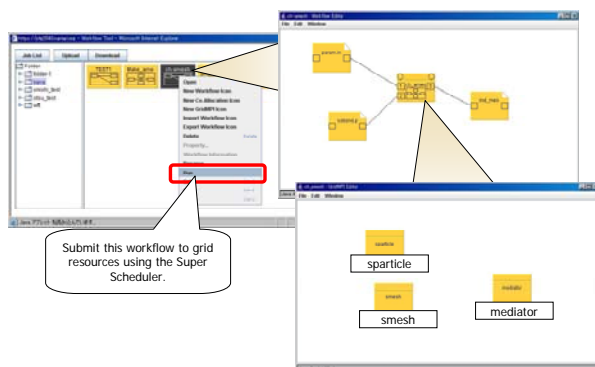


Figure 9. Workflow using the Mediator

## 6. Conclusions

We presented an overview of the NAREGI Problem Solving Environment, which is a software tool for sharing and deployment applications in large-scale heterogeneous computing grid environment. Implementation of NAREGI-PSE is based on grid standards, such as ACS. We applied NAREGI-PSE to nano-science multi-physics simulation using application tool “Mediator”. NAREGI-PSE facilitates sharing and using application tools developed in groups of advanced science researcher, such as nano-science.

The NAREGI project has been released beta version of NAREGI integrated Grid middleware including NAREGI-PSE at May 2006. One of the first implementation of ACS

specification is also included. Although there are some extensions that we discussed in this paper, they will be released in the next version.

## Acknowledgments

This work was partly supported by a grant from the Ministry of Education, Sports, Culture, Science and Technology (MEXT) of Japan through the NAREGI (National Research Grid Initiative) Project. We would like to express special thanks to Prof. Kenichi Miura (NII), Prof. Mutsumi Aoyagi (Kyushu University), Prof. Yoshio Tago (Kanazawa University) and other members in the NAREGI project for valuable discussions and useful comments.

## References

- 1) S. Matsuoka, S. Shimojo, M. Aoyagi, S. Sekiguchi, H. Usami, K. Miura, “Japanese computational grid research project: NAREGI”, Proceedings of the IEEE, VOL.93, NO.3, pp522-533, March 2005.
- 2) NAREGI: National Research Grid Initiative  
<http://www.naregi.org/>
- 3) I. Foster, C. Kesselman, “*The GRID Blueprint for a New Computing Infrastructure*,” Morgan Kaufman Publishers, 1998
- 4) ACS-WG: <https://forge.gridforum.org/projects/acs-wg/>
- 5) TeraGrid  
<http://www.teragrid.org/>
- 6) Common Information Model (CIM) Standards  
<http://www.dmtf.org/standards/cim/>
- 7) M. Sakauchi et al., “Cyber Science Infrastructure Initiative for Boosting Japan’s Scientific Research,” CTWatch Quarterly, Vol. 2, No. 1, 2006.  
<http://www.ctwatch.org/quarterly/articles/2006/02/cyber-science-infrastructure-initiative-for-boosting-japan-scientific-research/>

# モード解析に基づくピアノ響板シミュレータの高速化

## HIGH SPEED EXECUTION OF PIANO SOUNDBOARD SIMULATOR BASED ON MODE ANALYSIS METHOD

伊藤航<sup>1)</sup>, 梅谷征雄<sup>2)</sup>

Wataru Ito and Yukio Umetani

1)静岡大学 静岡大学情報科学研究科情報学専攻 (〒432-8011 浜松市城北3-5-1,gs06006@s.inf.shizuoka.ac.jp)

2)工博 静岡大学教授 情報学部情報科学科 (〒432-8011 浜松市城北3-5-1,umetani@cs.inf.shizuoka.ac.jp)

We designed functions for high speed Execution in soundboard simulator based on mode analysis method. In the paper, we describe a damping coefficient adjusting function based on measurement and mode analysis module using sockets network.

**Key Words** : Modal analysis Method , high speed execution, damping ,sockets network,

### 1. はじめに

ピアノのシミュレータでは、弦、駒、響板の各部品の振動を相互作用を含めて解析している。しかし響板の解析では、扱うモデルが複雑であり、その結果、計算速度の遅さによって効果的な可視化が行われず十分なシミュレーション時間を確保できない問題がある。

この問題を解決するためにピアノシミュレータでは従来の方法である直接過渡解析法<sup>1)</sup>に比べて計算時間がかからないモード重ね合わせ法<sup>2)</sup>という手法を用いてピアノの振動をシミュレートしているが、正確かつ高速に解析が行われるためには機能の拡張や追加を行う必要がある。

### 2. シミュレータの拡張

#### 2.1 減衰調節機能の追加

モード重ね合わせ法では、有限要素法<sup>3)</sup>に基づく離散化行列の固有値・固有ベクトルを求め<sup>4)</sup>、その値から振動をシミュレートするが、そのほかに振動を決定するパラメータとして減衰係数がある。減衰係数は振動が時間がたつにつれどのくらい減衰するかを決定するパラメータであるがピアノのモデルによる違いがあり一概に決めることができない。ピアノ音を忠実にシミュレートするためには、微妙な減衰調整が求められ、この部分を高速に行うことが必要である。

そこで、減衰係数を実測で測定することを踏まえて減衰定数を高速に変更できる機能を開発する。

#### a). 減衰係数の導出

減衰係数を変更する機能を追加するに当たって、特定のモデルの外力点ごとの正確な減衰係数をあらかじめ導出しておく必要がある。減衰定数を求める方法として、モデルの

密度や減衰率から算出する公式があるが、今回は一般的な方法として、実測から減衰定数を導出する方法を用いる。減衰係数を求めるための響板の振動のシミュレーションを有限要素法構造解析ソフトANSYS<sup>5)</sup>を用いて行った。

以下に、モデルの材料特性を示す。

形状：グランドピアノ響板(8×1420×1180)

要素数：17136 節点数：4997

材料特性：(Z方向)

- ・ ヤング率： $4.998 \times 10^6$  (kg/mm/S<sup>2</sup>)
- ・ ポアソン比：0.37
- ・ 密度： $3.9 \times 10^{-7}$  (kg/mm<sup>3</sup>)
- ・ 減衰率：0.3(%)

以上のパラメータを与えた上で、C4の駒位置に外力を与えたときの振動の波形を図1に示す。

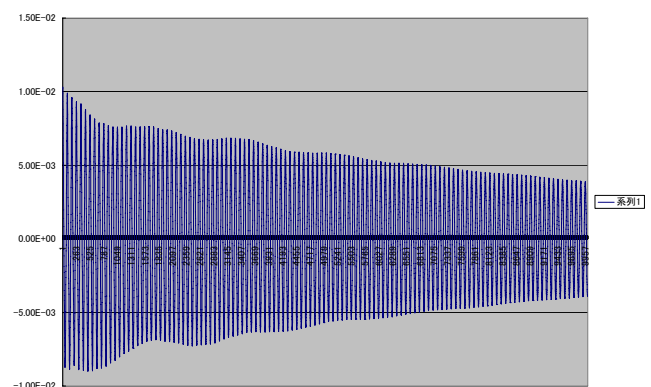


図1 C4駒位置で外力を与えたときの変位値

ここから得られた変位値をモード重ね合わせ法の公式に合わせて減衰係数を導出する。

モード重ね合わせの自由振動解は以下のようになる。

$$w_f = \sum_{j=1}^n C_{fj} x_j e^{-\frac{R}{2M}t} e^{i\omega t} \quad (2.1)$$

$C_{fj}$  は初期条件から決まる係数、 $x_j$  が固有ベクトル、 $R$  は減衰係数、 $M$  が密度、 $\omega$  がモード周波数である

この式をモードごとに分けある時刻  $t_1$  と  $t_2$  の比を取ると

$$\frac{w_1}{w_2} = \frac{C_{fj} x_j e^{-\frac{R}{2M}t_1} e^{i\omega t_1}}{C_{fj} x_j e^{-\frac{R}{2M}t_2} e^{i\omega t_2}} \quad (2.2)$$

が得られる。係数や固有ベクトルは時刻に依存しないので

$$\frac{w_1}{w_2} = \frac{e^{-\frac{R}{2M}t_1} e^{i\omega t_1}}{e^{-\frac{R}{2M}t_2} e^{i\omega t_2}} \quad (2.3)$$

となり  $W=Ae^{i\omega t}$  とおくと

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{e^{-\frac{R}{2M}t_1}}{e^{-\frac{R}{2M}t_2}} \quad (2.4)$$

となる。さらに、式を変形すると、

$$R = \frac{2M}{(t_2 - t_1)} \log \frac{A_1}{A_2} \quad (2.5)$$

で表される減衰定数を導出する式が得られる。

外力点ごとの変位値に対しフーリエ解析を行い、各周波数ごとの振幅の値を上記の式に代入し減衰係数を得る。

#### b). システムの実装

前項で求めた減衰係数をモード固有値、固有周波数を用いてモード重ね合わせの公式を用いて振動をシミュレートするシステムを実装する。モード重ね合わせ法の公式は以下の式で表すことができる。

(2.1)式の必要なパラメータを設定し、計算した結果である振動の様子を可視化したシミュレーションを開発した。

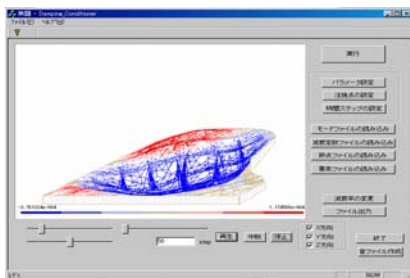


図2 システムの概観

#### c). 減衰調整機能の追加

減衰は減衰係数のような内部的パラメータのほか、一周期のうちにどのくらいの割合で減衰するかを表す減衰率がある。一般的には、減衰率  $r$  と減衰係数  $R$  の関係は以下のようになる。

$$R = 2Mr\omega \quad (2.6)$$

現システムでは、減衰率のパラメータを調整することで減衰が調節できるシステムとする。上式からわかるように、減衰率と減衰係数は比例関係にある。つまり、ユーザが減衰率を変更した場合に、それまでの減衰率との比が変更する前と後の減衰係数の比になる。その関係を利用し、減衰を変更して再度モード重ね合わせ法による計算を行う際は、減衰係数を測定しなおす作業が不要であり速い時間で行うことができる。

#### d). 検証

このシステムによる測定結果および測定時間の検証を行う

まず、測定結果が正しいかどうかを検証するために ANSYS によるモデルのモード重ね合わせ法と比較した

形状：グランドピアノ響板 (8×1420×1180)

要素数：17136 節点数：4997

材料特性：(Z方向)

- ・ ヤング率： $4.998 \times 10^6$  (kg/mm/S<sup>2</sup>)
- ・ ポアソン比：0.37
- ・ 密度： $3.9 \times 10^{-7}$  (kg/mm<sup>3</sup>)
- ・ 減衰率：0.3 (%)

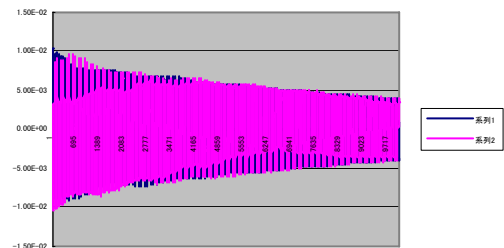


図3 C4 駒位外力点の本システムと ANSYS の比較

C1～C7での駒位置での外力において、ANSYSで得られた解析結果はほぼ一致していることがわかった。

次に、減衰率を変えて測定した場合に正しく減衰しているかどうかを調べる。ここでは、C4駒位置点の外力を与えた場合のみ調べる

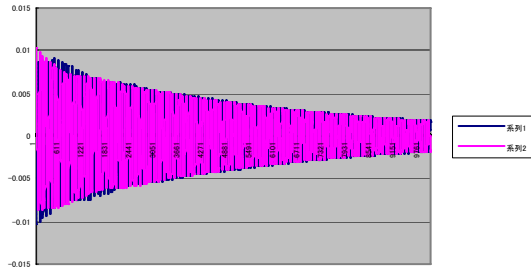


図4 減衰率0.6%の場合の ANSYS と本システムの比較

減衰を変えた場合においても,ANSYSでの解析と一致することがわかった.

このシステムを開発することによって,シミュレーションを行うことなく減衰係数を変更することが可能となった.具体的には,外力点ごとのシミュレーション,解析,減衰係数の計算にかかる約1時間をこのシステムを用いることによって30秒もかからずに減衰係数を変更できた.

さらに,ANSYSにはない振動可視化機能の細かい設定が可能となり,高速で正確にシミュレーションが行えるANSYSと比べても優位性が保たれているといえる.

## 2.2 モード解析機能の拡張

前項ではモデルの固有値,固有ベクトルを求めるツールとして,ANSYSを用いた.しかし,ANSYSはC++で記述されたピアノシミュレータとは互換性がなく,モード固有値や固有ベクトルをファイルに書き出し,そのファイルを読み込むことによってモード重ね合わせに用いるモード固有値や固有ベクトルを求めている.しかし,高速化の観点や拡張性から考えれば,ピアノシミュレータから直接呼び出せるモード解析機能を開発するのが重要である.

### a). 固有値解析モジュール

モード解析を行うにあたり問題となるのは固有値問題のメモリサイズである.今回用いる形状データは節点数  $n$  が5000個前後と非常に多い上に, $(n \times 3) \times (n \times 3)$ の行列を2つ同時に扱わなければならない.この行列の固有値問題において,プログラム上でメモリを確保することはまず不可能である.そこで,大規模行列用の固有値解析 C++ライブラリ ARPACK++<sup>6)</sup>を用いて固有値問題を解決する.なお,ARPACK++では大規模な行列に対して0要素を圧縮する CSC format(Compress Sparse Column format)という形式を用いる.そのため,今回扱う行列を CSC format に変換する作業が必要となる.

### b). ARPACK++の問題点

ARPACK++は確かに高速で安定したソルバを使った高性能なライブラリであるが,これをピアノシミュレータにそのまま組み込むためには,いくつかの問題点がある.

一つの問題として,ARPACK++のプラットフォームはUNIXであるということである.ピアノシミュレータはMicrosoft社の VisualC++によって記述されており,コンパイラの仕様によって VC 上では ARPACK++が使用できない.

また,ARPACK++は大規模な疎行列を扱うことができるといっても,やはりメモリは大量に使用される.今回のモデルでは約 1GB 必要となり,ピアノシミュレータ上でさらに固有値解析ライブラリを実行することはリソースの面から見ても難しい.

### c). サーバ・クライアントシステムの構築

前述した二つの問題を解決するために,固有値解析を行う,UNIX サーバを用意し,そのサーバと通信することで,固有値と固有ベクトルを求める方法を用いる.具体的には,固有値解析を行うべきモデルの形状や各種パラメータから求まる係数行列をライブラリで扱うことのできる CSC形式に変換し,そのデータをソケット通信により,サーバプログラムに送る.サーバプログラムは受け取ったデータに対し固有値解析を行い,求めた固有値,固有ベクトルデータをクライアント(ピアノシミュレータ)に送り返すシステムを組み込む.

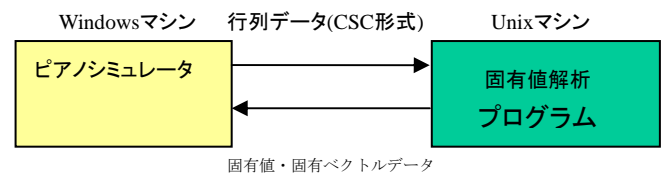


図5 サーバ・クライアントシステム間のデータの流れ

### d). 結果

以前までは,構築された疎行列を一度手動でサーバマシンに転送しなければならず,その作業にのぼりのデータ 11.2MB の送信と下りのデータ 38MB の受信合わせて10分弱の時間がかかっていた.サーバとクライアントが直接通信することによって約7分の短縮になった.パラメータを変えながら何度も解析を場合において全体の解析時間がかなり短縮できる.さらに,システムの拡張性から見て,特に負荷のかかるモジュールを分散することは,将来的に有用なことである.

## 3. 今後の課題とまとめ

今回拡張した2つのシステムによって,時間のかかる解析をモデルを変えながら何度も計測したい場合に,計測と計測の間にかかるパラメータ変更にかかる時間を短縮することができた.外部のソフトやほかのマシンを直接操作することなくピアノシミュレータのプログラム上でパラメータが調節できるようになったことはシミュレータの操作性を向上につながった.

ピアノシミュレータの高速化を検討するにあたり,機能の拡張とともに,解析時間の短縮という概念もある.モード重ね合わせ法は従来の方法である直接過渡解析よりは計算速度は速いが,理想的な速度であるリアルタイムシミュレーションを行うまでには至らない.モード重ね合わせ法における解析で大きな割合を占めているのが,1節点に対するモード数分の足し合わせである.足し合わせるモー

ドを大きく寄与するものだけを選び足し合わせるなどの工夫によって計算を減らすことができる。

また,今回は響板に対して外力を一瞬だけ与えるインパルス応答,一定の振幅,周期を与え続ける強制振動を対象に解析を行ったが,実際のピアノは,弦から与えられる複雑な張力によって響板は振動している.モード重ね合わせ法は動的な振動を捕らえるのは困難であるが,外力を時間ごとに区切り,その時間内での静的な振動を捉えることで複雑な弦振動を外力に与えることができるシミュレータを目指していく。

#### 4. 参考文献

1)梅谷征雄他, : 楽器研究 PSE (Problem Solving Environment) の開発に向けて, 情報学ワークショップ, 2003 年

2)池池和恭,梅谷征雄: 可視化対話シミュレータ向けモード重ね合わせ機能の開発,第 8 回問題解決環境ワークショップ,第 2 回グリッドセミナー論文集,pp42-55,2005

3)菊池文雄, : 有限要素法概説,サイエンス社, pp57-76, 1999 年

4)近藤恭平, 工学基礎 振動論, 培風館, pp195-210, 1993 年

5)柘植敦司他, : ANSYS におけるピアノ響板シミュレーション, 日本計算工学会講演論文集 Vol. 7 , No. 1, pp83-86

6)Francisco M. Gomes, Danny, C. Sorensen: ARPACK++ User' s Guide



# フロントエンドに MicroAVS を用いた リモート並列可視化システムの紹介

## Introduction of Remote and parallel visualization system using MicroAVS as front end user interface

松本陽司\*<sup>1</sup>、林幸子\*<sup>1</sup>、黒木勇\*<sup>1</sup>、中井陽一\*<sup>1</sup>

Youji Matsumoto \*<sup>1</sup>, Sachiko Hayashi \*<sup>1</sup>, Isamu Kuroki \*<sup>1</sup> Youichi Nakai \*<sup>1</sup>

1) 株式会社ケイ・ジー・ティー ビジューアリゼーション事業部  
(〒160-0022 東京都新宿区新宿 2-8-8 とみん新宿ビル 4F youji-m@kgt.co.jp)

In this paper , we present a remote and parallel visualization system. The feature of this system is shown as follow 1) Adopting MicroAVS as a front end user interface, users could select visualization methods and set parameters easily, 2)Parallel AVS/Express operates on PC cluster so it handles large data, and users can visualize simulation result without downloading these data on their desktop PC. 3) Users can extract region of interest form simulation output on PC cluster and visualize them on client PC. 4) The visualization parameters of MicroAVS are send to parallel AVS/Express in XML form. It becomes easy to operate more by cooperating with the HPC portal.

**Key Words :** Parallel visualization, front end user interface, visualization portal , XML

### 1. はじめに

近年、数値計算が大規模化するにつれ、大学の計算機センターや、各自で導入したクラスタをサーバとして計算を行うケースが増えてきている。こうした数値計算の結果としてサーバ上に保存されたデータに対し可視化を行う場合、データを自分の PC に転送した後 PC 上で可視化アプリケーションを実行する方法と、数値計算を行った計算機上で可視化アプリケーションも実行する方法の 2 通りが考えられる。

PC 上で行う場合、大規模なデータは転送自体に時間がかかる上、日常の作業を行う PC のグラフィックス性能では、結果を表示することができない場合がある。

X-Window システムなどで並列計算機にログインし、可視化アプリケーションを使用する方法の場合、計算機上のアプリケーションが普段 Windows 上で使用しているものと操作性が異なるために、思うように作業が進まない可能性が考えられる。

このような問題を解決するために、汎用可視化ソフト MicroAVS をフロントエンドのユーザインタフェースとして使用し、実際の可視化処理は並列計算機上の並列対応 AVS/Express により行うシステムを開発している。本稿は、システムの概要及びその機能について紹介する。

### 2. システム構成

本稿で紹介するリモート並列可視化システムは、フロントエンドとしてユーザが実際に使用するクライアント

PC と、バックエンドで並列可視化処理を行う PC クラスタとで構成される (図 1)。

クライアント PC ではフロントエンド用の MicroAVS が動作し、ユーザは標準の MicroAVS と同様の操作で可視化メソッドの選択と可視化パラメータの設定を行う。

PC クラスタでは並列対応の AVS/Express が動作し、クライアント PC 上で設定された可視化メソッドとパラメータを基に、PC クラスタ上の実データに対して可視化処理が行われる。並列対応 AVS/Express として、AVS/Express PCE<sup>[1][2]</sup>と AVS/Express PST<sup>[3]</sup>が使用できる。

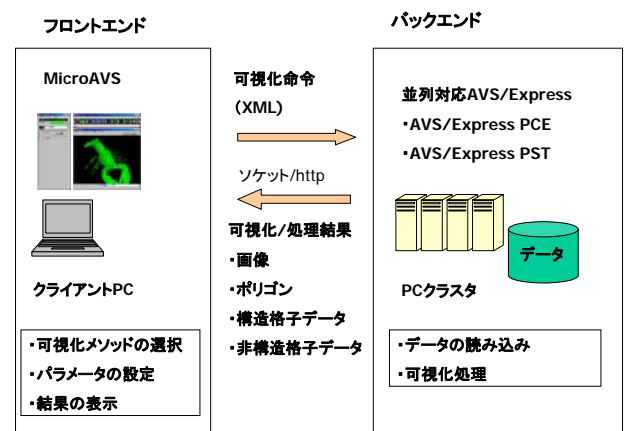


図 1 システム構成

MicroAVS で設定された可視化メソッドおよびパラ

メータは XML に変換され、PC クラスタ上の並列 AVS/Express に送信される。XML を採用した理由としては汎用性があげられる。XML からの変換プログラムを作成することにより、並列 AVS/Express 以外のアプリケーションへ対応させることも考慮したものととなっている。

並列 AVS/Express で行われた可視化処理の結果は画像やポリゴンの形式で MicroAVS に送信される。

MicroAVS が結果データを受信すると、そのデータに応じて“絵の表示窓”等のビューが生成され、結果の表示が行われる。クライアント PC と PC クラスタ間の通信手段として、ソケット及び http に対応している。

### 3. 可視化処理の概要

図 2 に可視化処理の流れを示す。このシステムで可視化処理を行うためには、まず PC クラスタ上にある実データの情報を記述した“情報ファイル”を作成する必要がある。この情報ファイルには、PC クラスタ上にある実データのファイル名及びその格子数などの情報を記述しておく。作成した“情報ファイル”を実行すると、クライアント PC 上で MicroAVS が起動し、PC クラスタ上では並列 AVS/Express が起動する。

MicroAVS が“情報ファイル”を読み込み起動すると、内部でダミーデータが生成される。同時に“情報ファイル”の記述をもとに、実行可能な可視化メソッドのアイコンを列挙した“可視化メソッドバー”が表示される。この“可視化メソッドバー”には、標準の可視化メソッドではなく、並列 AVS/Express での処理に対応している可視化メソッドのアイコンのみが表示される。現時点ではデータ領域線、等数値面、カラー面コンターが並列処理に対応している。

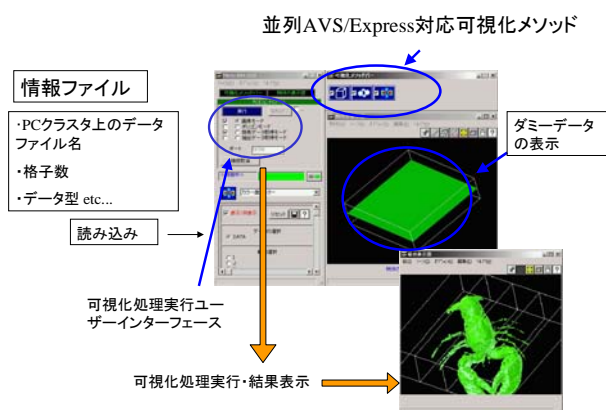


図 2 可視化処理の流れ

ユーザは実行したい可視化メソッドをチェックし、コントロールパネル上に表示されるユーザーインターフェースからレベル値等のパラメータ設定を行う。この時点ではダミーデータに対しての可視化結果が表示され、処理結

果をある程度予測することができるようになっている。

可視化モード（次節にて説明）を選択し実行ボタンを押すと、可視化のためのスクリプトが XML 形式で生成され、PC クラスタ上の並列 AVS/Express に送信される。並列 AVS/Express の側では、受信した XML 形式のスクリプトを AVS/Express のプログラミング言語である v 言語に変換し、可視化処理を実行する。その結果は、先に選択した可視化モード毎に画像・ポリゴン等の異なった形式としてクライアント PC 上の MicroAVS に送信される。MicroAVS では受信したデータに応じた表示窓が生成され、結果が表示される。

### 4. 可視化モード

本システムには、可視化モードとして“画像モード”、“ポリゴンモード”、“簡易データ取得モード”、“抽出データ取得モード”の4つが用意されている。以下でその詳細について紹介する。

#### 4.1 画像モード

画像モードでは、PC クラスタ上での処理結果を画像の形式でクライアント PC に転送する（図 3）。転送するデータが画像であるため、解像度にもよるが結果のデータサイズはせいぜい 1 MB ～数 MB 程度である。表示に関してもクライアント PC のグラフィックス性能に依存しない。通信と表示の負荷が元の実データのサイズに依存しないため、大規模なデータの可視化に有効なモードと言える。

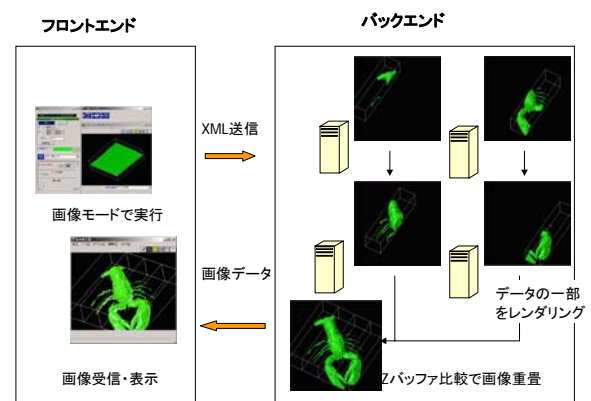


図 3 画像モード

画像モードにおけるレンダリングは、以下のように PC クラスタ上で並列に処理される。

まず各ノードがそれぞれ分割されたデータに対する可視化処理を行い、Z バッファ（奥行き情報）付きの画像として結果を出力する。これらの画像は重畳されつつマスターに収集され、最終的に全データに対する可視化結果が表示された 1 枚の画像に合成される。画像の重畳処理は基本的に Z バッファの比較により行うため、画像モ

ードには半透明オブジェクトの表示に対応できないという欠点がある。

重畳された画像データを受信した MicroAVS では、“画像の表示窓”が新規に作成され、画像の表示が行われる。画像データであるためオブジェクトを回転させる等の幾何変換は行えず（画像自体の幾何変換は可能）、オブジェクトの位置を変えたい等といった場合は再計算が必要となる。

なお、標準の MicroAVS 同様、結果画像を 1 枚ずつキャプチャすることにより簡単に動画を作成することが可能である。

#### 4.2 ポリゴンモード

ポリゴンモードでは、PC クラスタ上で可視化処理を行った結果はポリゴンの形式で MicroAVS に送信される（図 4）。ポリゴンデータに対するレンダリング処理はクライアント PC 上で行われるため、レンダリング速度はクライアント PC のグラフィックス性能に依存する。また、PC クラスタからのデータ転送量も作成されたポリゴンの量に依存する。このため大規模なデータには不向きなモードと言えるが、オブジェクトの幾何変換や半透明表示といった、画像モードにはない操作をクライアント PC 上で行うことが可能という利点を持つ。

MicroAVS がポリゴンモードの結果を受信すると、“物体の表示窓”が新規に作成され、結果の表示が行われる。

ポリゴンモードでは、結果画像のキャプチャによる動画作成に加えて、AVS/Express の 3D 形状アニメーションファイルである GFA ファイルの作成・保存も可能である。

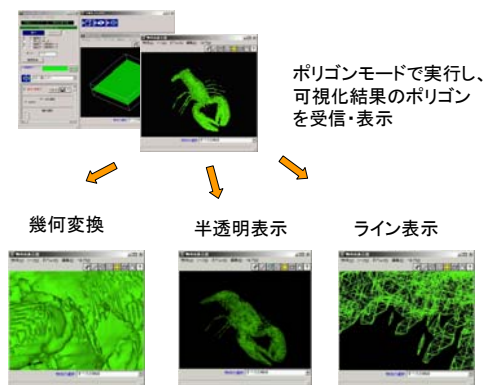


図 4 ポリゴンモード

#### 4.3 簡易データ取得モード

簡易データ取得モードで実行させると、PC クラスタ上では実データの間引が行われ、間引いたデータ（これを“簡易データ”と呼ぶ）がクライアント PC に送信される（図 5）。

MicroAVS は、受信した簡易データをダミーデータと置き換えて表示を行う。ダミーデータを簡易データに置

き換えることにより、クライアント PC で可視化パラメータを設定する際に、より処理結果に近いイメージで設定することが可能になる。なお、簡易データは外部ファイルとして保存することができるため、一度保存した後、標準の MicroAVS で読み込むことで、標準の可視化メソッドを使用しての可視化を行うことも可能である。

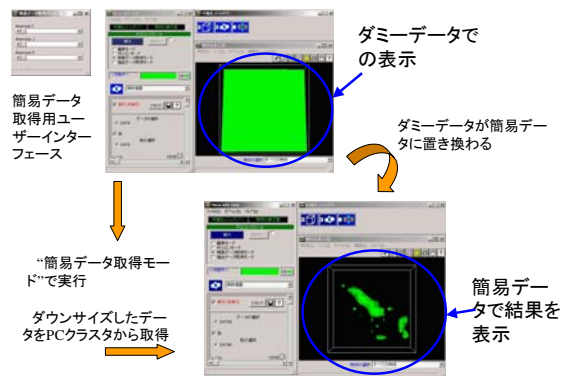


図 5 簡易データ取得モード

#### 4.4 抽出データ取得モード

抽出データ取得モードを選択すると、データの抽出範囲を指定するユーザインターフェースが表示される（図 6）。このユーザインターフェースを用いて、構造格子であれば IJK の格子の範囲と間引きのファクターを、非構造格子であればデータを抽出する範囲の座標値の最大・最小を設定する。抽出範囲を指定すると指定した範囲の領域線が表示される。ユーザが注目したい領域を指定した後実行ボタンを押すと、PC クラスタ上で抽出処理が行われ、抽出データが MicroAVS に送信される。

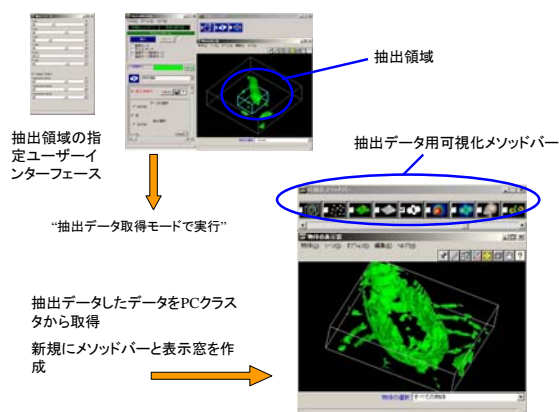


図 6 抽出データ取得モード

MicroAVS が抽出データを受信すると、抽出データ用に“物体の表示窓”と“可視化メソッドバー”が新規作成される。この新規作成された可視化メソッドバーに表示されるメソッドは、標準の MicroAVS と同じものとなる。

どのメソッドが選択できるかは、受信した抽出データのタイプに依存する。可視化メソッドバーのアイコンを選択すると、抽出データに対する可視化処理が MicroAVS 内で行われ、物体の表示窓に結果が表示される。

## 5. HPC Portal との連携

本システムは、富士通 HPC Portal との連携機能も予定されている。HPC Portal は、Web サイト上から PC クラスタ上のファイル操作、ジョブの投入、管理、アプリケーションの実行を行うシステムである。HPC ポータルは、ユーザ及び計算資源の管理も行うことができるため、本リモート可視化システムと組み合わせることにより、計算機センターでの運用を行う場合の利便性が飛躍的に向上する (図 7)。

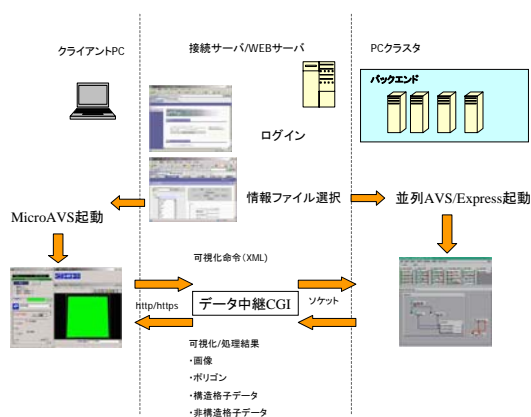


図 7 HPC Portal との連携

HPC Portal を利用する場合、ユーザは HPC Portal にログインする必要がある。ログインすると、登録されている“情報ファイル”の一覧が表示されるので、可視化を行うデータに対応したファイルを選択し“Visualize”ボタンで処理を開始する。まず情報ファイルがクライアント PC にダウンロードされ、MicroAVS が起動する。PC クラスタ上では HPC Portal が空いている CPU を検索し、必要な数の CPU を並列 AVS/Express に割り当てて AVS/Express の起動を行う。起動後の MicroAVS と並列 AVS/Express は、Web サーバ上の CGI 経由で通信を行う。この CGI と MicroAVS は http または https で通信を行うため、Web サイトにアクセスできる環境であればどこからでも可視化処理を行うことができる。ただしポリゴンデータなど、通信量が大きいデータを転送する場合は、やはり通信速度が問題となる。

## 6. まとめ

本稿で紹介したリモート可視化システムは、以下のような特徴を持ち、このシステムを利用することで、計算サーバとデスクトップ PC 間で共通の操作による可視化が可能となると考えられる。

- 1) フロントエンドのユーザインタフェースとして MicroAVS を採用することで、ユーザは、日常使用している PC をクライアント PC として使用し、簡単な操作で計算機センター等での計算結果を可視化することができる。
- 2) バックエンドに並列対応 AVS/Express を使用することで、大規模なデータも扱うことができる。また、並列 AVS・Express は PC クラスタ上で動作するため、計算データを手元の PC に転送する必要がなくなる。
- 3) 簡易データの取得/データの抽出機能を利用することで、PC クラスタ上のデータから注目している部分のみを取得することができるため、領域を限定すればクライアント PC のマシンスペックでも可視化操作を行うことができる。
- 4) 富士通 HPC Portal との連携により、運用面での機能が向上する。

なお、MicroAVS から送信される可視化命令は XML 形式で記述されているため、変換プログラムを作成することで並列 AVS/Express 以外の可視化アプリケーションへの対応も可能であり、また MicroAVS 以外のアプリケーションをフロントエンドとして使用することも可能となっている。実際にこれら以外のアプリケーションを使用することも将来的には想定している。

## 参考文献

- [1] 宮地英生、林幸子、中井陽一、伊藤嘉晃、白崎実、姫野龍太郎、クラスタシステムで動作する並列可視化システムの開発、計算工学会講演論文集 Vol. 8, No. 2, pp. 893-894 (2002)
- [2] 宮地英生、林幸子、中井陽一、伊藤嘉晃、白崎実、姫野龍太郎、ユーザ環境とデータサイズに適應する並列可視化システム、計算工学会論文集, Paper No. 200521
- [3] 松本陽司、吉川慈人 AVS/Express PST を用いた大規模データの並列可視化処理 可視化情報 25-Suppl. No. 1 第 33 回可視化情報シンポジウム講演論文集, pp. 273-274

# 可視化ポータルサイトの開発と適用

## DEVELOPMENT OF PORTAL WEB SITE FOR VISUALISING NUMERICAL DATA

福田博之<sup>1)</sup>，丹羽量久<sup>2)</sup>，安東祐樹<sup>3)</sup>

Hiroyuki Fukuda, Kazuhisa Niwa, and Yuki Ando

- 1) 財団法人高速道路技術センター 情報技術研究部(〒100-0013 東京都千代田区霞が関 3-7-2, h\_fukuda@extec.or.jp)  
 2) 工博 JIP テクノサイエンス株式会社 事業企画部(〒103-0025 東京都中央区茅場町 1-2-5, kazuhisa\_niwa@cm.jip-ts.co.jp)  
 3) ショーボンド建設株式会社 補修工学研究所(〒305-0003 茨城県つくば市桜 1-17, andoh-y@sho-bond.co.jp)

The portal web site “e-Axis” has been developed for visualizing numerical data by using the open source software and the chart library OpenViz. The e-Axis prepares several two- and three-dimensional graphs which are dynamically updated on your demand, i.e. changing target data, viewpoint, etc. The e-Axis has been customized for applying to the strain monitoring system with optical fiber sensor.

**Key Words:** visualization, portal web site, data bank

### 1. はじめに

インターネットが一般家庭にも広く普及し、日本国内においてはブロードバンド化も日々進んでいる。最近ではブログの公開も広まり、さまざまな情報を個人レベルで簡単に世界中に発信できる環境が整っている。しかしながら、膨大な数値データをインターネットで公開する手法は昔も今もさほど変わっていない。たとえば、総務省の電子政府<sup>1)</sup>で取り上げている統計数値情報<sup>2)</sup>は、依然として表形式あるいは画像化されたグラフが用いられており、一方的に提供される公開手法では利用者にとって受動的であり、ニーズに必ずしも応えていない。

著者らは、この問題を解決するために、可視化ポータルサイト「e-Axis」を開発した。e-Axisは誰でも数値データを登録し、グラフを用いて公開できる可視化システムで、二次元表示、三次元表示の他、複数のグラフを組み合わせることで相関関係を視覚的に分かりやすく表現できる機能を有している。e-Axisの利用者は目的に応じて数値情報の表現方法を自由に選択できる。本論文では、まず、インターネットにおける数値データ公開の問題点を挙げ、次にe-Axisについて解説する。最後に、光ファイバセンサによる構造物の変状モニタリングへの適用例を紹介する。

### 2. インターネットにおける数値データ公開の問題点

昨今、広く普及したインターネットは情報公開の場として世界中で利用されている。たとえば、総務省の電子政府の総合窓口<sup>2)</sup>では、国勢調査や人口推計をは

じめとして、各種統計データや実験・研究結果等の公開先として活用されている<sup>2)</sup>。また、各企業においても同様に、決算報告や年度別の売り上げ推移等、さまざまな数値データが公表されている。ただし、それらの情報のほとんどは、表形式またはグラフの画像としてWebページに貼り付けたものである。

データ量が少ない場合は、前述のような公開方法で利用者(閲覧者)は十分理解できるが、データ量が膨大であったり、公開内容が多岐に渡ったりする場合は、表形式やグラフ画像という静的な情報だけでは全体の傾向を掴むことはできても、その特徴を詳細に把握し分析することは難しい。たとえば、データがある部分に集中している場合や、似通ったデータが連なる場合、個々のデータを把握しづらくなる。また、過去のデータと照らし合わせたり、別のデータと組み合わせたりするなど、違った視点から分析を行いたい場合は、元データを入手し、利用者側で自ら加工する必要がある。

総務省が公開する統計データ・ポータルサイト<sup>3)</sup>は、白書の各統計データを、年次別や項目別にデータ選別し、結果を表形式あるいはグラフにて表示できる環境を提供している。しかしながら、同サイトは、図1に示すように、表およびグラフを作成するための設定項目が煩雑で、誰にでも簡単に利用できる環境とは言い難い。

一方、数値データ公開には、そのデータを用意する以外に、グラフ画像を作成し、Webページに整形する仕組みを備えたWebサイトを構築し、運用管理しなくてはならない。したがって、データを頻繁に追加・変更・削除する必要がある場合は公開者の負担が大きくなる

と考えられる。

また、統計データ・ポータルサイト<sup>3)</sup>に装備されている検索やデータ抽出の機能を用意するためには、別途 Web サーバ側のシステムを対応させる必要がある。



図 1 統計データ・ポータルサイト

このように、現状ではインターネットにおける数値データ公開にはさまざまな問題があり、簡便に活用できる Web システムが必要である。

### 3. 可視化ポータルサイト「e-Axis」

2. の問題を解決するため、数値データを多彩なグラフを用いて公開できる可視化ポータルサイト「e-Axis」を開発した。この e-Axis は、図 2 に示すように、登録した数値データをグラフ化し、インターネットをはじめ、各種ネットワーク上にて公開できる Web システムである。

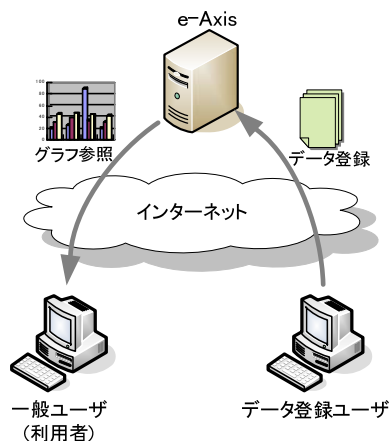


図 2 e-Axis のシステムイメージ

e-Axis の利用者は目的に応じて棒グラフや円グラフ、散布図など適当なグラフを自由に選択・組み合わせることができる。オンデマンド型のシステムであるため、同じデータを分析対象としても利用者が異なれば描画されるグラフは異なったものとなる。利用者は簡単なマウス操作により、表示するデータ内容を変更したり閾値を設定したりインタラクティブにグラフ表示内容を変更することができる。すなわち、従来の画像変換された静的なグラフに比べて、より柔軟で深い分析を

支援可能なグラフを利用できる汎用可視化システムである。

また、e-Axis を利用すると、公開者が Web サイトを管理する必要がなくなり、e-Axis が装備するさまざまなグラフを利用して簡単に数値データを公開することが可能となる。

システム面では、できるだけ広い分野に適用できるよう、モジュール化やウィザード機能など、システムの拡張性および操作感であるユーザインターフェース、セキュリティに重点をおいたシステム構成とした。

次項より、e-Axis の特徴である、数値管理、グラフ機能、MyPage、システム構成について解説する。

#### 3. 1 数値データの書式

ここでは、データファイルの書式について考える。数値データを管理するほとんどのユーザは、Microsoft 社の Excel<sup>4)</sup>に代表される表計算ソフトを用いているため、表計算ソフトのデータファイルをそのままアップロードできることが望ましい。しかしながら、ほとんどの表計算ソフトのデータファイル書式はバイナリ形式となっており、複数の表計算ソフトの各バージョンに対応するのは開発面で非効率となる。そのため、e-Axis では、一般的な表計算ソフトに標準で装備されており、ファイル形式としても一般的である CSV ファイルをアップロード対象とした。CSV ファイルを利用することは、固定長テキストファイルで管理されているデータにおいても、表計算ソフトに取り込んで簡単に書式変換できるメリットがある。

#### 3. 2 数値データの管理

アップロードされた CSV ファイルは、e-Axis で自動的にデータベースに取り込まれ、管理される。データベースへ格納時には、ユーザ情報、ファイル情報、列情報およびデータ型等を属性データとして付加しているため、元の CSV ファイルに戻すことも可能である。

データベースの利用は、データ取り込み処理が必要となるが、以下のような利点がある。

##### a) 読み込み処理速度の向上

CSV ファイルをそのまま利用すると、1 行ずつ読み込み、カンマにてデータ分割処理を行う必要があるが、データベースでは SQL 発行により即時にデータ取得できるため、取り込み時間が速くなる。また、開発言語の標準ライブラリに含まれるデータベース関数やクラスを利用できるため、開発効率も良くなる。

##### b) 細かなセキュリティ設定

CSV ファイルはグループ、ユーザ、ファイルといったファイル単位以上のレベルに対してのみセキュリティ設定ができる。一方、データベースを利用すると、列単位およびデータ単位といった細かなセキュリティ設定が可能となる。また、改ざんや不正閲覧への対策についても、データベースへのアクセスを適切に管理することにより、OS のファイルシステム上に存在する

CSV ファイルに比べてセキュリティ対策が容易になる。

### c) データ加工

必要となるデータ範囲を指定したり、時系列のデータ群を集約したりすることが容易となる。また、アップロードされた同一フォーマットデータをはじめ、データの型が一致していれば、任意の異なったデータファイルの任意の一行のデータを連結し、新しいデータ群を生成するといった細かなデータ加工も可能となる。

### 3. 3 グラフ機能

e-Axis の核となるグラフによる可視化機能の開発においては、棒グラフや折れ線グラフ、散布図等の標準的なグラフ作成機能に加え、利用者がより深い分析的な視覚的に行えるよう、インタラクティブ性を備えた視覚的なユーザ支援機能を搭載することに重点をおいた。具体的な機能を以下に示す。

- ・ 各軸を任意のデータ列に自由に設定できる
- ・ 各軸に閾値を設けることができ、マウスクリック等で詳細なデータ内容を確認できる
- ・ 3次元の散布図や棒グラフに対応し、簡単なマウス操作によって、移動・回転・拡大・縮小等の視点を自由に変更できる
- ・ 複数のグラフを連携し同時表示させることで、多次元データの相関関係や依存関係等の分析を支援できる

これらの機能の実装にあたっては、KGT 社の「OpenViz」<sup>5)</sup> を利用した。OpenViz は米 AVS 社が開発したオブジェクト指向型のグラフ作成コンポーネントであり、Web 上でのインタラクティブなグラフによる可視化の実現をコンセプトに開発されている。COM<sup>6)</sup> および JavaBeans<sup>7)</sup>アーキテクチャ双方をサポートしており、Windowsをはじめ UNIX や Linux といったさまざまなプラットフォームでの開発が可能となっている。

図3と図4は e-Axis で実装したグラフで、それぞれ、3次元散布図と、4次元のデータを2つの散布図(2x2次元散布図)で連動表示させたグラフを示す。

図3の3次元散布図では、グラフ内部に CSV ファイルの全データを保持しているため、初期表示は公開者の設定した軸データで表示されるが、利用者は X・Y・Z 軸データそれぞれを自由に変更することができる。

また、図3では丸印でプロットされているグリフの色および大きさについても、CSV ファイルのデータを割り当てるのが可能となっている。X・Y・Z 軸に設定できる3属性データと、グリフへ設定できる2属性データを合わせ、最大5属性のデータを表現することが可能である。

3次元のグラフで大量のデータを同時に可視化すると、奥行き側に表示されるデータが隠れて見づらくなる傾向にある。このような場合、e-Axis では OpenViz

の標準装備機能を用いてグラフを自由に回転させたり、拡大・移動させることで対処できる。このマウスを用いた操作はすべてのグラフに共通しているため、利用者が操作面でとまどうことは少ないと考えられる。

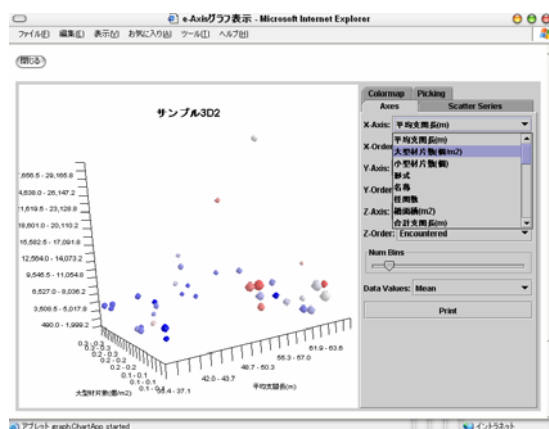


図 3 3次元散布図

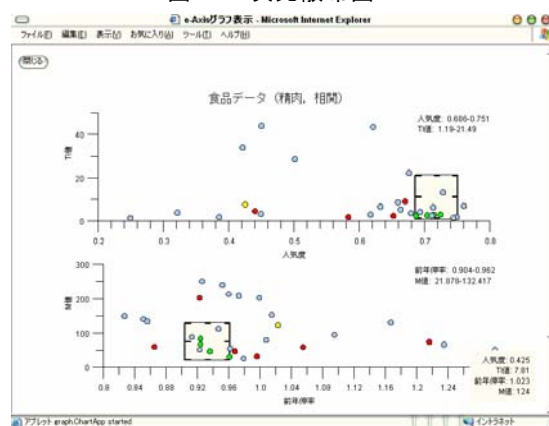


図 4 2x2次元散布図

次に図4の2x2次元散布図では、4次元のデータを2つの2次元散布図を用いてグラフ化している。それぞれのグラフには矩形領域が表示されており、上グラフの矩形領域に存在しているデータ群は下グラフでは赤色でプロットされ、下グラフの矩形領域に存在しているデータ群は上グラフでは赤色でプロットされる。両矩形領域に共通して存在しているデータ群は緑色でプロットされる。矩形領域の位置や大きさは自由に変更することができるため、ユーザは気になる箇所に矩形領域を移動させ、上下グラフ間での相関関係や依存関係を視覚的に把握することが可能である。

また、システムの操作感に直結するユーザインターフェースには、初めてのユーザでもとまどうことなくグラフ作成が可能であり、慣れたユーザであっても修正・確認が簡単にできるといった点を考慮し、図5に示すようなウィザード形式によるグラフ作成機能を装備した。

以上のように、e-Axis は、OpenViz の標準装備機能の助けもあり、従来のグラフにはない、ユーザ指向に合わせた柔軟な可視化表示と簡易なシステム操作性を装

備している。



図 5 グラフ作成ウィザード

### 3. 4 MyPage 機能

CSV ファイルの登録あるいはグラフの作成・公開は、公開者毎に用意される専用ページ“MyPage”にて行う。あらかじめ登録しておいた ID とパスワードで e-Axis にログインすると、図 6 に示す MyPage 画面に自動的に遷移する。

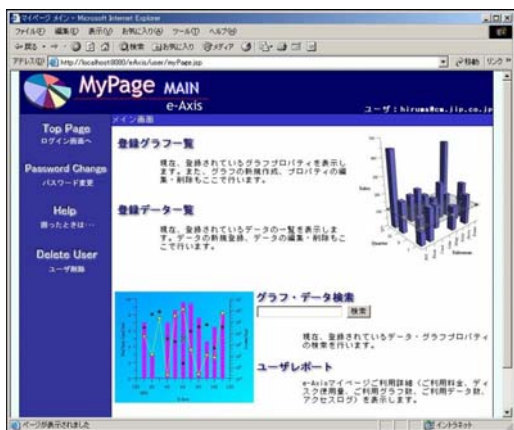


図 6 MyPage

MyPage で登録した CSV ファイルおよびグラフはデフォルトでは他の利用者からは参照できない非公開設定となっている。ただし、グラフについては公開設定することで、図 7 に示す e-Axis のトップ画面および各分野でカテゴリズされたメニューより誰でも参照することが可能となる。

また、CSV ファイル登録とグラフ作成・編集機能は独立させている。そのため、1つの CSV ファイルに対して公開設定のグラフと非公開設定のグラフを別々に設定することが可能であるとともに、グラフを作成せずに e-Axis を CSV ファイルのファイルサーバとして利用することも可能である。

e-Axis はグラフによるデータ公開を目的とした Web システムであるが、公開者・利用者の目的に応じて、さま

ざまな活用方法を提供可能なシステムとなっている。

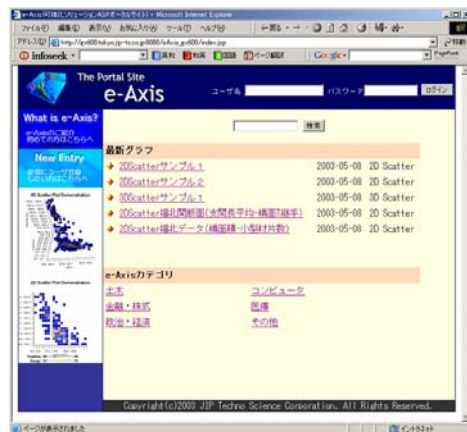


図 7 e-Axis トップ画面

### 3. 5 システム構成

e-Axis は Java を用いて開発し、クライアント側でのグラフ表示には Java アプレット<sup>7)</sup>を用いた。図 8 に e-Axis のシステムフローを示す。データ登録からグラフアプレット生成までの各システムフロー内には、CSV ファイル処理、利用データの指定や加工、グラフ作成といった様々な内部処理があり、機能別にコンポーネント化しているため、システムの拡張・変更が容易である。

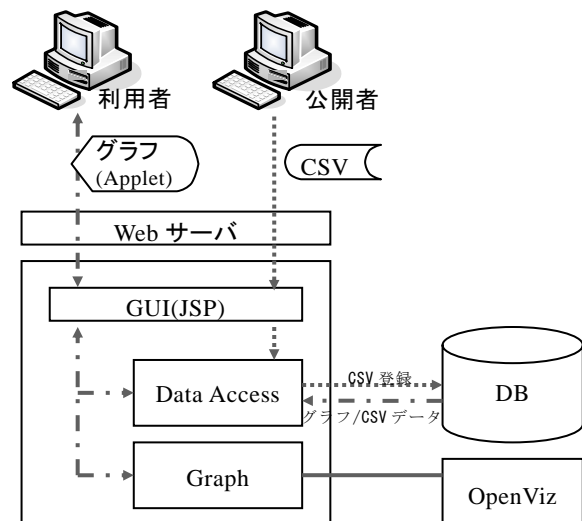


図 8 システムフロー

e-Axis のソフトウェア構成は、グラフコンポーネントである OpenViz を除き、オープンソースソフトウェアを用いることを基本とした。オープンソースを用いた理由として、開発費用の削減だけでなく、昨今では商用製品に劣らない高い品質を有するものが多く、不具合が発生した場合であってもコミュニティによりパッチが即座に公開される。開発ツールも充実しており、Windows/UNIX/Linux といったさまざまな



OS 上で動作させることができる。また、独立行政法人情報処理推進機構(IPA)をはじめ、官公庁においてもオープンソースを活用する動きが活発となってきている<sup>8)</sup>といったことが挙げられる。採用したシステム構成を表 1 に示す。

表 1 システム構成

OS	Fedora Core 2
Web サーバ	Apache 2.0.x/ Tomcat 4.1.x
DB	MySQL 4.x/ postgresSQL 7.4.x
グラフ	OpenViz 2.2
開発言語	Java(J2SDK 1.4.x)
開発環境	Eclipse2.1.x

#### 4. 光ファイバモニタリングへの適用事例

道路、鉄道、公園や電気・水道・ガスなどのライフラインは、我々の日常生活に欠かすことができない重要な社会基盤であり、問題なく継続利用するための維持管理が要求される。たとえば、橋梁構造物では、その現況を把握するために目視点検が実施されるが、多数の橋梁の状況を継続的に把握するには多大なコストを要するため、光ファイバに情報技術を適用することにより構造物の変状を常時監視する新たな取り組みも進められている。近年、構造物を適切に診断するモニタリング手法に関心が高まりつつある中、著者の一人は補修後の経過観察を非破壊かつ効率的に行うため、劣化した構造物に対し光ファイバセンサの適用を試みている<sup>9)</sup>。ここでは、この光ファイバセンサから得られる計測結果の可視化表示について、e-Axis の可視化(グラフ)機能を拡張させて適用した概要をまとめる。

##### 4. 1 光ファイバセンサの概要

ひずみを計測する光ファイバセンサは、1980 年代に研究開発が始まり、1990 年代に次々と実用化された。電気を用いるセンサと比べると、①電磁波等の外的環境影響を受けにくい、②長寿命、③設置後の較正が容易、④引火性がない、⑤細径で埋込みが可能といった特徴を有している。また、光ファイバにて計測するセンサには、現在、分光型光ファイバセンサ(Brillouin Optical Time Domain Reflectometer 以下 BOTDR)とファイバブラッググレーディングセンサ(Fiber Bragg Grating 以下 FBG)の 2 つのセンサがあり、中でも BOTDR は、図 9 に示すような一般通信用光ファイバセンサに生じたひずみの分布を、数 km 以上にわたって計測することが可能であるため、大型構造物のひずみ計測に適している。それに対し、FBG では、局所的なひずみを高精度かつ動的に計測することが可能であり、従来のひずみゲージと同様の使い方ができる。

この BOTDR の測定原理は図 10 に示すように、光ファイバにレーザー光を通したときに生じる散乱光(ブ

リルアン後方散乱光)の周波数がひずみの大きさに比例して変化する特徴を利用してひずみを計測するものである。また、得られたひずみは、入射した波長の長さの平均値となる。

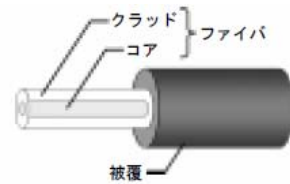


図 9 光ファイバセンサ概要

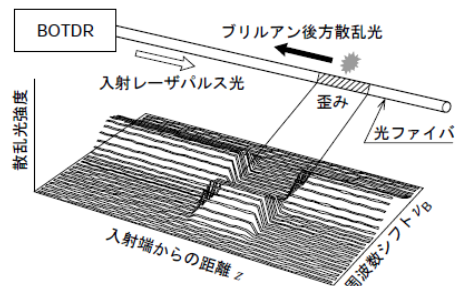


図 10 BOTDR の計測原理<sup>10)</sup>

##### 4. 2 e-Axis による可視化表示

BOTDR 装置から得られる光ファイバセンサの計測結果より各計測箇所のひずみ値を算出するにあたり、現状は表計算ソフトを利用しているが、次に挙げるような課題があった。

- ・ 距離(計測位置)およびひずみを別途算出する
- ・ 複数の計測結果を同時に分析する
- ・ 温度による補正を行う
- ・ ある範囲における平均値を用いた補正(ドリフト)を行う
- ・ ある計測結果を基準に他の計測結果を補正(インシヤル)する
- ・ 表示範囲を数値入力により指定する

また、計測結果として採用するひずみを算出するには、技術者が上記の各補正について、結果を確認しながら幾度か検討する必要があった。補正結果を適切に判断するためにはグラフ表示が最適であり、各種分析支援機能を有している e-Axis のグラフ機能がまさに必要とされていた。

e-Axis のグラフを適用するにあたり、光ファイバセンサに特化した各種補正機能を有していないため、e-Axis の Data Access 部および Graph 部に改良を加え、あらたに光ファイバセンサ用の可視化モジュールを開発した。なお、ネットワークに接続されていない環境での利用が想定されていたこととプロトタイプとして既存の e-Axis システムとは切り離して開発する関係上、

開発環境および実行環境を Windows に限定した。

図 11 に開発した光ファイバ用可視化モジュールを、図 12 に各種補正の一例としてドリフト補正画面を示す。

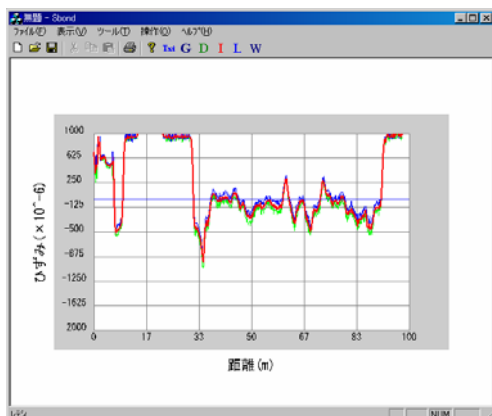


図 11 光ファイバ用可視化モジュール

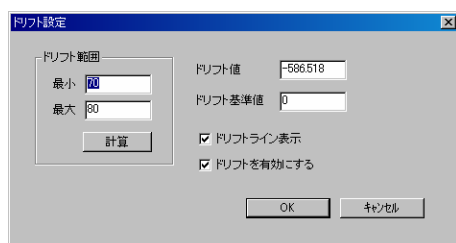


図 12 ドリフト補正画面

#### 4. 3 適用結果

適用結果を以下にまとめる。

- 光ファイバ用可視化モジュールにて解析されたひずみの分布傾向と、従来の測定手法であるひずみゲージを用いた分布傾向が概ね一致することが確認できた
- 画面上のグラフを確認しながら、インタラクティブに各種補正を行えたことで、表計算ソフトを用いた従来の計算方法に比べ分析効率が良いことが確認できた。
- e-Axis が機能別にコンポーネント化されているため、多言語へのコンバートや機能拡張が比較的容易に行えた。

今後、特定の場所に保存されたデータや常時送られてくるデータを、e-Axis 側で自動的に取り込む機能を拡張することで、散在する橋梁構造物の変状を遠隔監視する常時モニタリングシステムへの適用も考えられ

る。

#### 5. おわりに

さまざまな分野の数値情報についてインターネット上でインタラクティブなグラフを用いて公開できるポータルサイト e-Axis の開発・構築を行った。この e-Axis を光ファイバセンサを用いたモニタリングへ適用し、有用性が確認できた。

e-Axis はインターネットと Web ブラウザがあれば誰もが利用できるため、さまざまな分野で適用可能な汎用可視化システムとなる可能性がある。利用者はインタラクティブで多彩なグラフを活用して、多方向からより深い分析を行うことが可能となる。公開者は運用管理が軽減され、データの保存先としての利用もできる。

今後は e-Axis を Web サービスに対応させ、他システムから利用できるように拡張していくことを検討していきたい。

#### 参考文献

- 総務省：電子政府の総合窓口 e-Gov, <http://www.e-gov.go.jp/>, 2004
- 総務省：電子政府の総合窓口 e-Gov 白書, 年次報告 [http://www.e-gov.go.jp/link/white\\_papers.html](http://www.e-gov.go.jp/link/white_papers.html), 2006
- 総務省：統計データ・ポータルサイト, 政府統計の総合窓口, <http://portal.stat.go.jp/Pubstat/top.html>, 2006.
- Excel 2003 : Microsoft, 2004
- OpenViz Release 2.1 Java Edition : Advanced Visual Systems, 2004
- Dale Rogerson : Inside COM, Microsoft Press, 1997
- Sun Developer Network(SDN) : <http://java.sun.com/>
- 日本 OSS 推進フォーラム : <http://www.ipa.go.jp/software/open/forum/>
- 安東祐樹, 松本 茂, 奥尾政憲, 仲田慶正 : 炭素繊維シートにより補修した T 型橋脚の光ファイバセンサによるモニタリング適用事例, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集, 日本材料学会, 第 5 巻, pp.321-326, 2005
- 神野昌明・長井謙宏・酒井 茂・鎗 孝志・清水隆之: 知的材料手法の研究開発, 三菱重工技報, Vol.39, No.1, pp.44-47, 2002

# オープンソースを活用した教育改善システムの開発

## WEB-BASED SYSTEM FOR FACULTY DEVELOPMENT USING OPEN SOURCE SOFTWARE

古賀掲維<sup>1)</sup>, 福田博之<sup>2)</sup>, 丹羽量久<sup>3)</sup>

Aoi Koga, Hiroyuki Fukuda and Kazuhisa Niwa

- 1) 工修 長崎大学 大学教育機能開発センター (〒852-8521 長崎県長崎市文教町 1-14,  
aoi@redc.nagasaki-u.ac.jp)
- 2) 財団法人高速道路技術センター 情報技術研究部 (〒100-0013 東京都千代田区霞が関 3 丁目 7 番 2 号,  
h\_fukuda@extec.or.jp)
- 3) 工博 JIP テクノサイエンス株式会社 事業企画部 (〒103-0025 東京都中央区日本橋茅場町 1-2-5,  
kazuhisa\_niwa@cm.jip-ts.co.jp)

The web-based systems by using the open source software have been constructed for supporting the faculty development in Nagasaki University. These systems provide services for improvement of education. For example of the course evaluation, many portfolios for each learning history of students can be analyzed by using the text mining technology. In addition, the storage management technique is introduced in detail with the specification of the composed servers.

**Key Words:** Faculty Development, Class Evaluation, e-Portfolio, Text Mining, LAPP

## 1. はじめに

近年、長崎大学では、ファカルティ・ディベロップメント(FD)、学生による授業評価といった教育改善活動に IT を活用し、より効果的、効率的に教育改善を行う取組を推進している<sup>1)</sup>。特に、学生による授業評価においては、長崎大学で学生による授業評価が全学的に開始された平成 14 年度からオープンソースソフトウェア(以下、OSS)を活用したシステムの開発を開始し、翌平成 15 年度から運用を始め現在に至っている。この授業評価システムでは、アプリケーション開発環境として OSS の組み合わせである LAPP(Linux, Apache, PostgreSQL, and PHP)を採用している。一部 PDF の出力などに商用のソフトウェアを用いているが、それ以外はほとんどが OSS で構築されたシステムとなっている。また、この授業評価システムの他にも、長崎大学では、文部科学省の「特色ある大学教育支援プログラム(特色 GP)」<sup>2)</sup> や、「特別教育研究経費」の補助を受け、

OSS を活用して教育改善の支援システムを開発している。

本報告では、OSS の教育改善への活用事例として、長崎大学において構築・運用されているいくつかのシステムを紹介する。

## 2. 各システムの概要

現在、長崎大学では、「オンライン授業評価システム」、「教育マネジメントポータル」、「テキストマイニング型授業評価・ポートフォリオ分析システム」の開発・運用(一部、試験運用)を行っている。以下、これらのシステムのシステム基盤、各システムの概要について説明する。

### 2.1 システム基盤の概要

前述の 3 つのシステムは、次項以下に示す複数のサーバーおよびストレージ等から構成されるシステム基盤で運用している。

a) AFE アプライアンス(アレイネットワーク株式会社製：

Array Network TMX 3000)

- ・ L4-L7 負荷分散機能
- ・ SSL アクセラレーター機能
- ・ WebWall 機能
- ・ NAT 機能

b) ストレージサーバー(デル株式会社製 : PowerEdge 2600)

- ・ CPU : Xeon 3.2GHz(2MB L3 cache)×2
- ・ Memory : 6GB
- ・ HDD : SCSI 36GB×2(RAID1), SCSI 73GB×4(RAID10)
- ・ OS : Red Hat Enterprise Linux AS 3.0

c) アプリケーションサーバー(デル株式会社製 : PowerEdge 2850×2)

- ・ CPU : Xeon 3.4GHz(2MB L2 cache)×2
- ・ Memory : 3GB
- ・ HDD : SCSI 36GB×2(RAID1)
- ・ OS : Red Hat Enterprise Linux ES 3.0

d) データベースサーバー(デル株式会社製 : PowerEdge 2850)

- ・ CPU : Xeon 3.6Hz(2MB L2 cache)×2
- ・ Memory : 6GB
- ・ HDD : SCSI 36GB×3(RAID1+HS)
- ・ OS : Red Hat Enterprise Linux ES 3.0

e) 自由文分析兼可視化サーバー(デル株式会社製 : PowerEdge 2850)

- ・ CPU : Xeon 3.6GHz(2MB L2 cache)×2
- ・ Memory : 4GB
- ・ HDD : SCSI 73GB×3(RAID1+HS)
- ・ OS : Windows 2003 Server Standard Edition

f) 自由文検索サーバー(デル株式会社製 : PowerEdge 850)

- ・ CPU : Pentium D 950(2MB×2 L2 cache)
- ・ Memory : 2GB
- ・ HDD : SATA 80GB×2(RAID1)
- ・ OS : Windows 2003 Server Standard Edition

g) 管理用サーバー(デル株式会社製 : PowerEdge 750)

- ・ CPU : Pentium 4 2.8GHz(1MB L2 cache)
- ・ Memory : 512MB
- ・ HDD : SATA 80GB×2(RAID1)
- ・ OS : Windows 2003 Server Standard Edition

h) FC 接続外付けストレージ(デル株式会社/EMC 製 :

CX200)

- ・ HDD : FC 73GB×9(RAID10+HS), FC146GB×6(RAID5+HS), ATA 320GB×15(RAID10+HS)

i) iSCSI 接続外付けストレージ(デル株式会社/EMC 製 : AX100i)

- ・ HDD : SATA 250GB×12(RAID10,RAID5+HS)

図1にこれらシステム基盤の概略を示す。

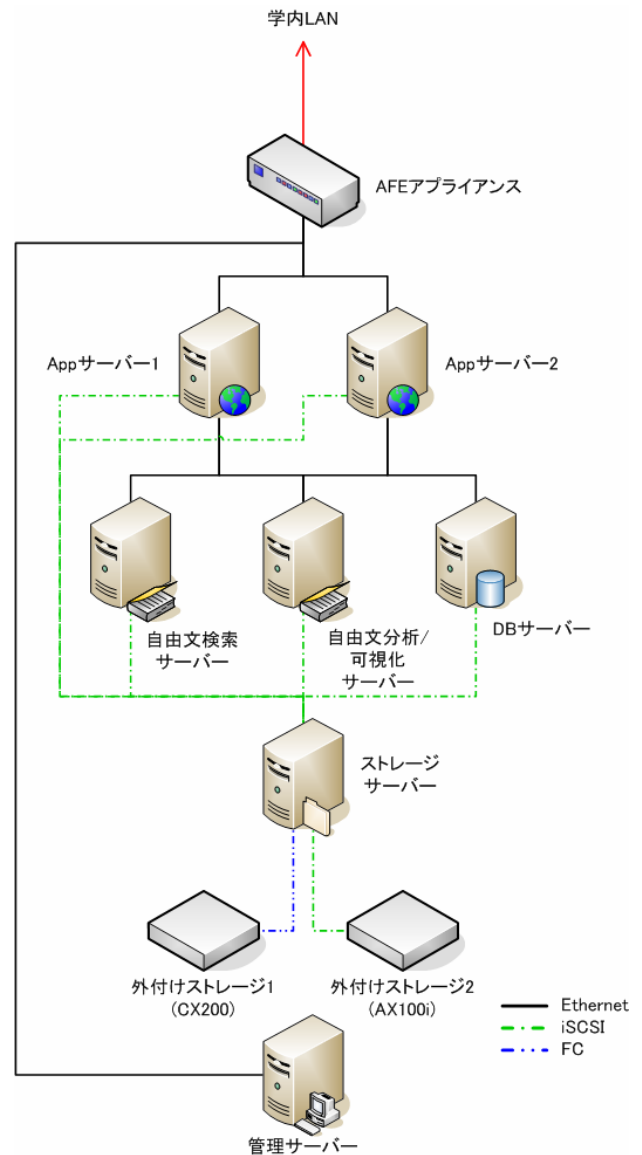


図1 システム基盤の概要

図1に示したシステム基盤の概要のうち、本システム基盤の特徴となっている AFE(Application FrontEnd)アプライアンス、ストレージの仮想化(Storage Virtualization)および iSCSI(Internet Small Computer System Interface)による SAN(Storage Area Network)について説明する。

まず、AFE アプライアンスについてであるが、本システム基盤のサーバー群へのアクセスは、全て AFE アプライアンスを経由して行われる。本システム基盤の AFE アプライアンスでは NAT(Network Address Translation)機能を用いて外部 LAN(学内 LAN)と内部 LAN を接続している。本システム基盤では、外部 LAN の公開アドレスへのアクセスを2つの方法で内部 LAN のアプリケーションサーバーに転送している。1つ目の方法は、NAT の Port Forwarding を用いた方法で、アクセスされた Port 番号の情報に基づきアクセスを内部のアプリケーションサーバーに転送している。2つ目の方法は、AFE アプライアンスの負荷分散機能を用いた方法で、URL や HTTP ヘッダ情報に基づきあらかじめ決めておいたルールで転送(負荷分散)を行っている。なお、負荷分散機能を用いる場合には、クライアントソース IP アドレス、Cookie(参照/書き換え/挿入)、URL、ホスト名、SSL セッション ID 等を利用してセッションを維持することが可能となっており、将来的にシステムの負荷が増大した場合でも、アプリケーションサーバーを増設することによって簡単に拡張できるようになっている。

次に、ストレージの仮想化についてであるが本システム基盤では、重要なデータは全てストレージサーバー上のストレージに格納するようにしている。ストレージサーバーに接続されたストレージは、一旦全て仮想化し、必要な容量を、それぞれのデータに求められる冗長性を持たせた上で、各サーバーに割り当てるようにしている。本システム基盤で導入しているストレージ管理ソフトウェア (FalconStor Software, Inc.製 IPStor 4.5)では、下記のようなストレージ管理が可能となっている。

- 1) ストレージの仮想化
- 2) ストレージパスの仮想化
- 3) 仮想ストレージの同期・非同期ミラーリング
- 4) 仮想ストレージへのシークエンシャルアクセスキャッシュの配置
- 5) 仮想ストレージのローカルレプリケーション
- 6) 仮想ストレージの 16 世代分のスナップショットの作成
- 7) 仮想ストレージのローカルレプリケーションの 16 世代分のスナップショットの作成

図2に、本システム基盤のデータベースサーバーにおけるデータ領域のストレージマッピングを示す。

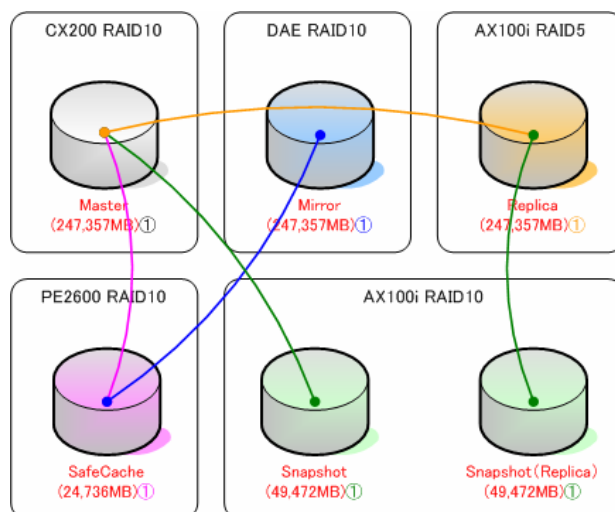


図2 データベース用領域のストレージマッピング

図2に示すように、この領域は全部で6つの仮想ストレージから構成されている。それぞれの仮想ストレージを見ていくと約250GBの本番用領域(Master)があり、非同期ミラーリングのための領域(Mirror)として約250GBを割り当て、ローカルレプリケーションのための領域(Replica)として約250GBを割り当てている。また、非同期ミラーリング実行時の速度改善のため、約25GBのシークエンシャルアクセスキャッシュ領域(SafeCache)を配置している。さらに、本番用領域の世代管理のための約50GBのスナップショット領域(SnapShot)およびローカルレプリケーションの世代管理のための約50GBのスナップショット領域(SnapShot(Replica))を作成している。このような構成をとり、ストレージの仮想化を行うことによって、本システム基盤では、高い冗長性をもったデータ領域を確保することに成功している。

最後に、iSCSIによるSANについてであるが、本システム基盤では、仮想ストレージを各サーバーに接続するためのプロトコルとしてiSCSIを採用し、iSCSIによるSANを構築している。iSCSIによるSANを実現するには、iSCSI InitiatorとiSCSI Targetが必要になる。本報告執筆時点(2006年7月)、どちらもOSSとして公開されたものが存在しているが、本システム基盤では、安定性を重視しiSCSI Targetについては前述の商用ストレージ管理ソフトウェアのiSCSI Target機能、iSCSI InitiatorはLinux OSについてはOSSで公開されているもの、Windows OSではMicrosoftが公開しているものを利用することとした。

## 2.2 オンライン授業評価システムの概要

このシステムは平成 14 年度の長崎大学学長裁量経費プロジェクトとして、長崎大学における「学生による授業評価」に関連した業務を効率化し、教育改善に資するために開発されたものである。本システムは本報告執筆時点(2006年7月)も長崎大学における様々なニーズに対応して改良が行われている。図 3, 4 に本システムの画面例を示す。



図 3 オンライン授業評価システム(運用者画面)

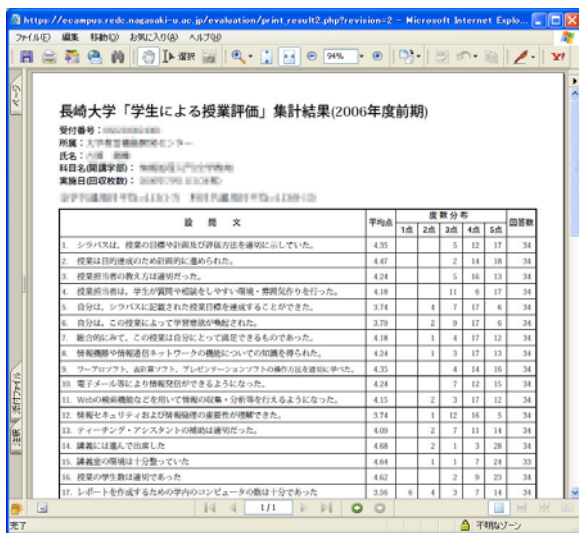


図 4 オンライン授業評価システム(結果閲覧画面)

### 2.3 教育マネジメントポータル

このシステムは、平成 15 年度「特色ある大学教育支援プログラム(特色 GP)」に採択された「特色ある初年次教育の実践と改善～教育マネジメントサイクルの構築」<sup>3)</sup> 事業において、長崎大学が提唱している「教育マネジメントサイクル」の構築を IT でサポートするために開発されたものである。図 5 に長崎大学が提唱している教育マネジメ

ントサイクルの概略を示す。

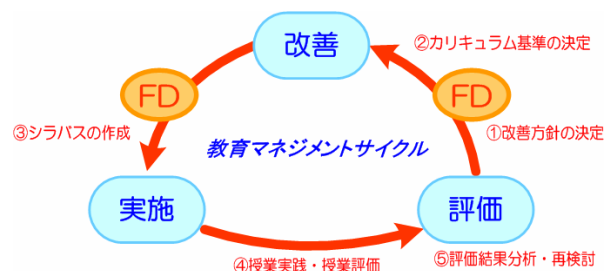


図 5 教育マネジメントサイクル

本システムは、図 5 に示す教育マネジメントサイクルにおける①～⑤のステップサポートするために、「スケジュール管理」、「シラバス管理」、「授業評価管理」といった機能を提供している。図 6 に本システムの構成図を示す。

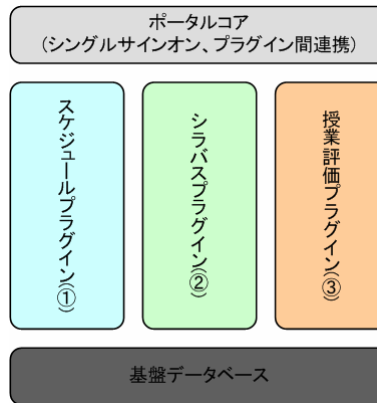


図 6 教育マネジメントポータルの構成

図 6 に示すように、本システムは「ポータルコア」、「各プラグイン」、「基盤データベース」の 3 つの部分から構成される。ポータルコアは本システムの入り口となり、ログイン時の認証、各プラグイン間の連携を担当する。各プラグインは本システムを中心となる部分で、様々な機能を提供する。本報告執筆時点(2006年7月)では、「スケジュールプラグイン」、「シラバスプラグイン」、「授業評価プラグイン」が用意されている。本システムでは、このようなプラグインを必要に応じて追加できるように設計されている。なお、本システムのプラグインは、それぞれ別個のアプリケーションとして開発されているが、ポータルコアのシングルサインオン機能を用いて、各プラグイン間を自由に移動することができる。そして、基盤データベースは、各プラグイン間で共通に利用する教務関連のデータを格納し

ている。

## 2.4 テキストマイニング型授業評価・ポートフォリオ分析システム

このシステムは、特別教育研究経費として、平成 17 年 4 月～平成 19 年 3 月の 3 年間で開発が行われているものである。本システムは、長崎大学が全学的に推進している「学生による授業評価」の自由記述回答データおよび初年次教育向け学習指導で活用している「学習ポートフォリオ」の記述データに、テキストマイニングの手法を取り入れることによって、これまで難しかった記述データの分析を簡単な操作で行うことが可能なシステムを構築し、各教員が長崎大学の新生にきめ細かい効率的・効果的な学習指導を行うために開発されている。

図 7 に本システムの構成図を示す。



図 7 テキストマイニング型授業評価・ポートフォリオ分析システム

図 7 に示すように、本システムは「テキストマイニング型授業評価分析システム」、「テキストマイニング型ポートフォリオ分析システム」、「統計分析サービス」、「テキストマイニング分析サービス」、「可視化サービス」で構成されている。各サービスは、Web サービスとして構築され、各分析システムがこれらのサービスを呼び出すような設計となっている。「統計分析サービス」はオープンソースの R 言語、「テキストマイニング分析サービス」では、商用の分析ツール(ジャストシステム株式会社製 ConceptBase V, CBMI 1.4), 「可視化サービス」では、商用の OpenVIZ を各サービスのエンジンとして利用している。

## 3. オープンソースソフトウェアの活用

### 3.1 オンライン授業評価システム

本システムは、Linux OS 上で Apache, PostgreSQL, PHP(4.x), PHPLIB<sup>4)</sup> といった OSS を活用して開発されて

いる。以下、システム開発の要点について OSS の活用例を説明する。

#### a) 認証システム関連

ユーザー認証、ユーザー毎の権限設定および設定された権限によるアクセス制限には、PHPLIB に付属する auth クラスをカスタマイズして利用している。認証時のデータ送受信は、SSL を用いることを前提としているため、別途暗号化等の特別な仕組みは用いていない。なお、認証に必要なデータは PostgreSQL を利用しデータベース中に格納している。

#### b) データベース接続関連

データベースの接続には、PHPLIB の db クラスを利用している。データベース管理システムとしては PostgreSQL を利用しているが、データベース接続に関しては PHPLIB によって抽象化されているため、わずかな変更で他のデータベース管理システムの利用も可能となっている。

#### c) セッション管理関連

セッション管理には、PHP で用意されている機能は用いず、PHPLIB の session クラスを利用している。セッション情報、セッション変数等については、PHPLIB の db クラスを利用しデータベースに格納している。

#### d) ビュー関連

本システムのビュー部分の構築にあたっては、特別なテンプレートシステムは用いていない。各種処理、出力データの変数への設定を PHP スクリプトで行い、その結果を PHP のコードを埋め込んだ HTML で表示するようにしている。

## 3.2 教育マネジメントポータル

本システムは、Linux OS 上で Apache, PostgreSQL, OpenLDAP, PHP(4.x), PEAR<sup>5)</sup>, Smarty<sup>6)</sup> といった OSS を活用して開発されている。以下、システム開発の要点について OSS の活用例を説明する。

#### a) 認証システム関連

ユーザー認証、ユーザー毎の権限設定および設定された権限によるアクセス制限には、独自に開発した認証システムを用いている。この認証システムはチケットベースの認証システムとなっており、シングルサインオンに対応している。認証時のデータ送受信は、SSL を用いることを前提としているため、別途暗号化等の特別な仕組みは用いていない。なお、認証に必要なデータは LDAP のディレ

クトリ中に格納している。

#### b) データベース接続関連

データベースの接続には、PEAR の DB クラスをカスタマイズしたものを利用している。なお、データベース管理システムとしては PostgreSQL を利用しているが、PEAR の DB クラスが対応しているデータベース管理システムであれば、置き換えも可能である。

#### c) セッション管理関連

セッション管理には、PHP 4.x 以降で用意されたセッション機能を本システムで開発した認証システムと連携するようにカスタマイズして用いている。

#### d) ビュー関連

ビュー部分の構築にあたっては、OSS のテンプレートシステムである Smarty を採用している。

### 3.3 テキストマイニング型授業評価・ポートフォリオ分析システム

本システムは、Linux OS 上で Apache, PostgreSQL, OpenLDAP, PHP(5.x), Smarty および PHP 用のフレームワークである Symfony<sup>7)</sup> といった OSS を活用して開発されている。また、本システムは要求される機能を実現するため、いくつか商用のシステムを利用しているが、商用システムの利用にあたっては、できる限りそれらシステムを Web サービス化し、OSS を利用した部分と分離して構築するようにしている。以下、システム開発の要点について OSS の活用例を説明する。

#### a) 認証システム関連

ユーザー認証、ユーザー毎の権限設定および設定された権限によるアクセス制限には、Symfony の認証機能を教育マネジメントポータルシングルサインオン機能と連携できるようにカスタマイズして用いている。

#### b) データベース接続関連

データベースの接続には、データベース抽象化レイヤーである Creole を用い、データアクセスには、O/R マッパーである Propel を用いている。ともに、Symfony に組み込まれているものを用いている。なお、データベース管理システムとしては PostgreSQL を利用しているが、現在、Creole, Propel の制限により、一部 serial 等の特殊なデータ型につ

いては制限があるので注意が必要である。

#### c) セッション管理関連

セッション管理は、Symfony の機能を用いて実現している。Symfony にはいくつかのセッション管理の方法が用意されているが、本システムではデータベースを利用したセッション管理方法を採用している。

#### d) ビュー関連

ビュー部分の構築にあたっては、Symfony のテンプレート・ヘルパー機能、Smarty を併用して行っている。

## 4. まとめ

本報告では、長崎大学における OSS を活用した教育改善システムについて、システム基盤、各システムの概要、各システムにおける OSS の活用例を紹介した。大学における教育改善活動は大学内外からの様々な要望を受け日々改善が行われており、教育改善活動をサポートする IT システムには、そのような要望に柔軟に対応できることが望まれている。長崎大学におけるこれまでの著者らの経験からすれば、OSS を活用したシステムは、これら要望に十分に応えてくれる状況にあると言える。今後は、OSS をさらに活用し、サービスを提供するだけでなく、ユーザー同士のコミュニティを構築できるような Web2.0 的なシステムへ拡張していきたい。

## 参考文献

- 1) 長崎大学「特色ある教育」：  
[http://www.nagasaki-u.ac.jp/chara/cht\\_kyouiku03.html](http://www.nagasaki-u.ac.jp/chara/cht_kyouiku03.html)
- 2) 文部科学省「特色ある大学教育支援プログラム」：  
[http://www.mext.go.jp/a\\_menu/koutou/tokushoku/shien.htm](http://www.mext.go.jp/a_menu/koutou/tokushoku/shien.htm)
- 3) 平成 15 年度特色 GP「特色ある初年次教育の実践と改善」：  
<http://www.redec.nagasaki-u.ac.jp/col/index.html>
- 4) PHP Base Library(PHPLIB) : <http://phplib.sourceforge.net/>
- 5) PEAR – PHP Extension and Application Repository :  
<http://pear.php.net>
- 6) Smarty – Template Engine : <http://smarty.php.net/>
- 7) Symfony – open-source PHP5 web framework :  
<http://www.symfony-project.com>



# PICプログラム環境としてのワークフローツールの構築

Development of a workflow tool for PIC programming environment

早勢欣和<sup>1)</sup>, 梅伸司<sup>2)</sup>, 成瀬喜則<sup>3)</sup>

HAYASE Yoshikazu, TOGA Shinji and NARUSE Yoshinori

- 1) 工修 富山商船高等専門学校 電子制御工学科  
(〒933-0293 富山県射水市海老江練合1-2, hayase@toyama-cmt.ac.jp)
- 2) 工修 富山商船高等専門学校 電子制御工学科  
(〒933-0293 富山県射水市海老江練合1-2, toga@toyama-cmt.ac.jp)
- 3) 学博 富山商船高等専門学校 電子制御工学科  
(〒933-0293 富山県射水市海老江練合1-2, naruse@toyama-cmt.ac.jp)

A workflow tool for PIC (Peripheral Interface Controller) program environment was developed as a learning system using a robotic car. The project using the system was undertaken for collaborative works with a foreign school. PIC can control a motor etc. using a program written in the memory. However, the target students in the project are beginners of programming. Therefore, an easy programming environment for PIC program creation is required. In this paper, we present a workflow tool of PIC programming environment that can also use the object for beginners of programming.

**Key Words:** workflow tool, PIC programming, problem solving environment

## 1. はじめに

コンピュータシミュレーションは、実験・理論に次ぐ第3の手法として、研究・開発でも欠かせない基盤技術になっている<sup>1)</sup>。

しかし、教育現場では実際に実験・実習を通して科学的な概念や技術を習得することも大変重要である。さらに、ものづくりや科学的手法の重要性を認識するためにも、自らデータを取り、考えるというプロセスを学ぶことが必要になっている。

また、外国の教育機関との共同学習を行うなどして、異文化の理解力、語学力、共同プロジェクトを遂行できる力などを養い、グローバル社会に対応できる人材を育成することも重要になってくる。

我々は、この2つの立場から、新しい学習システム開発のためのプロトタイプとして、図1に示すロボットカーを活用した協調学習環境を構築し、バリークレア(北アイルランド)の学生7名を対象として共同実験学習を試みた<sup>2)</sup>。

このプロトタイプ学習システムで用いたロボットカーを制御する、図2に示すPICのプログラムを生成するためのユーザ支援環境として、ワークフロー<sup>3)</sup>を利用したツールを今回作製したので紹介する。

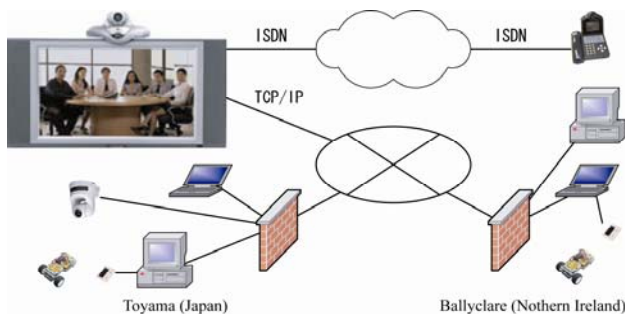


図 1 北アイルランドの学校との協調学習環境

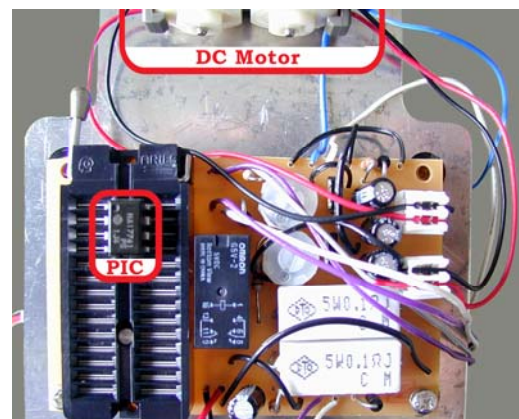


図 2 ロボットカー制御のための PIC 回路

## 2. 協調学習における習得目標

ロボットカーが利用できる総電力量に制限を設け、ロボットカーへの電力の供給配分パターンとロボットカーの加速や走行距離の関係を考えさせる。これによって、モーターの特性、トルク、デューティ比などの基礎的な知識の習得を促す。

本学習のために開発したロボットカーでは、搭載された電池から駆動モーターへの電力供給をPICで制御する。利用できる総電力は制限されており、範囲内である間走行する制御を行うPICと、デューティ比(電力の供給パワー)と供給時間の制御を行うPICの2種類が組み込まれている。

今回試作したロボットカーのデューティ比と走行距離特性は、概ね図3に示すようなものとなっている。

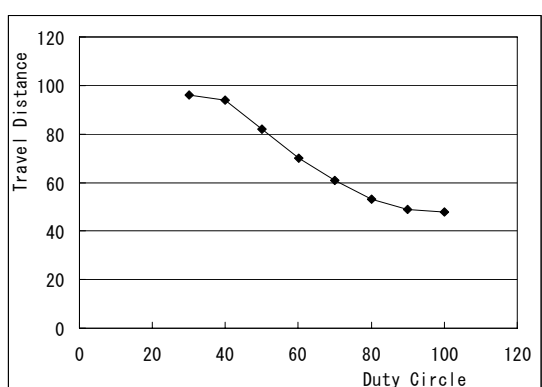


図 3

ロボットカーのデューティ比－走行距離特性

学習者は、デューティ比と供給時間の組み合わせパターンを考えて自分でPICのプログラムを作成する。実際にロボットカーを動かして、加速と走行距離に関する実験を行い、実験データを得る。これらのデータから、限られたエネルギーをどのように加速と走行に分配すればよいかを検討し、最適な走行パターンについて考えさせる。

## 3. 実践概要

今回の実践では、英国の高校生7名を対象にして試みを行った。なお、これらの高校生はこれまでにICT教育は十分に受けてきているが、プログラミングの授業を受けてはいない。

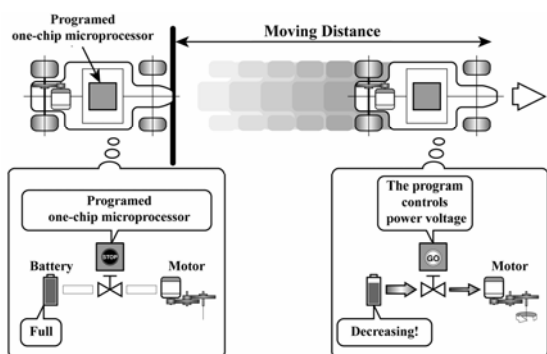


図 4 電力制御とロボットカーの走行に関する教示資料

まず、学習者には図4,5の資料を渡して、本授業の趣旨とロボットカーの仕組みの説明を行った。特に、スタート時に加速を大きくしようと電力を使用すると、その後の走行のために利用できる電力が少なくなってしまうことや、デューティ比をある程度低くした場合には、走行距離は伸びるが加速が得られないといったことを理解させた。

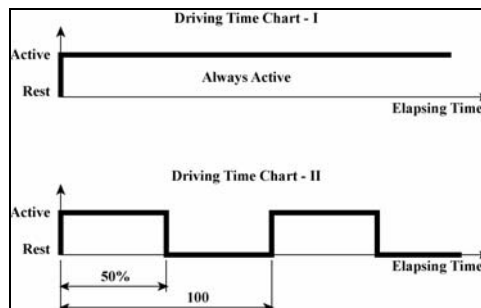


図 5 デューティ比に関する教示資料

以上のことを踏まえて、ロボットカー制御におけるデューティ比と走行距離の関係を予想させる。次に電力供給制御を行うプログラムを作成させ、ライターを用いてPICに書き込ませる。最後に、これをロボットカーに装着し、走行させて評価させる。これを何度か繰り返して最適走行パターンを予想させる。

## 4. PICのためのプログラム支援ツール

PICを用いた制御のためのプログラムは、通常、アセンブラやC言語などで記述し、それをコンパイルして作成する。ロボットカーの制御では、供給電力のデューティ比と供給時間の組み合わせパターンをもとに制御を行うので、このためのプログラムは比較的単純なものとなるが、今回の実践でプログラムを作成するのは、これまでにプログラミング教育を受けていない初心者であることから、簡単なものであってもソースプログラムから記述することは非常にハードルが高いものとなる。

そこで、図6に示すワークフローツールによる支援環境を作製し、マウス操作と、キーボードからの数値入力のみ簡単にプログラムの記述ができるようにした。



図 6 PIC プログラミング支援のためのワークフローツール

## 5. プログラム生成

ロボットカー制御のためのプログラムは、デューティ比と供給時間の数値データをキーボードから入力欄に記述し、PWMブロックを右のリスト欄にドラッグして作成する。

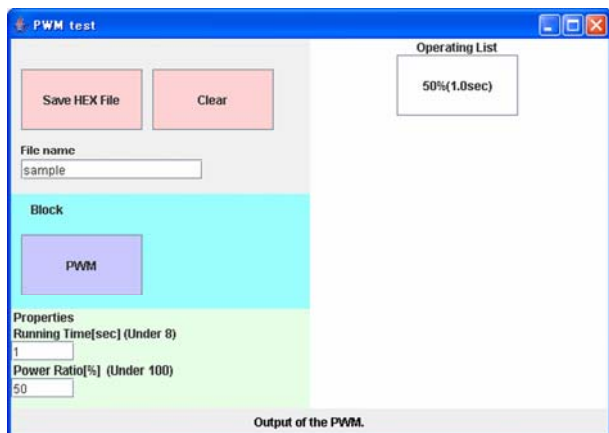


図 7 ワークフローツールを利用したプログラム記述の例

電力供給におけるデューティ比と供給時間のパターンを記述した後、Save HEX Fileボタンをクリックすると、ローカルコンピュータにPICのためのHEXファイルが生成される。

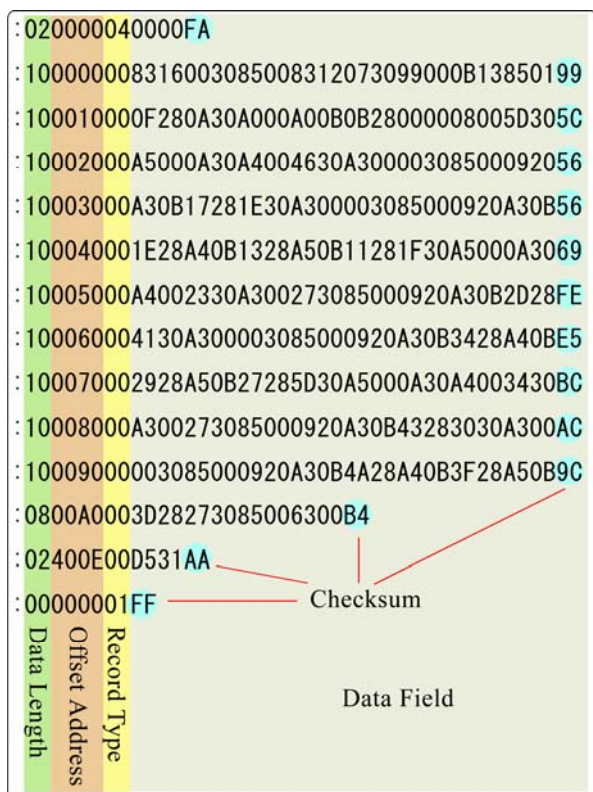


図 8 生成された HEX ファイル

今回のプロトタイプシステムでは、ロボットカーは前進のみを行い、走行時の電力供給パターンを変化させるだけのプログラムが記述すればよいので、複数の出力の組み合わせを行うにはブロックを続けて並べることになる。



図 9 複数のブロックを並べたプログラム記述

今回作成したワークフローツールで生成したPICプログラムの動作確認を行った際の実出力波形を図10,11に示す。

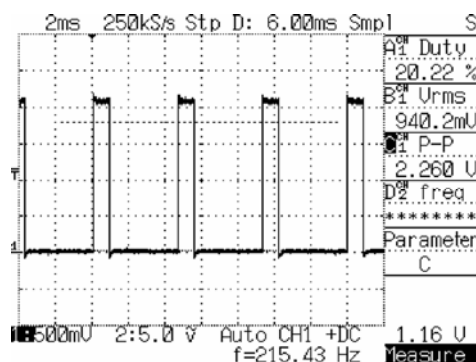


図 10 デューティ比 20%とした PIC プログラムの出力波形

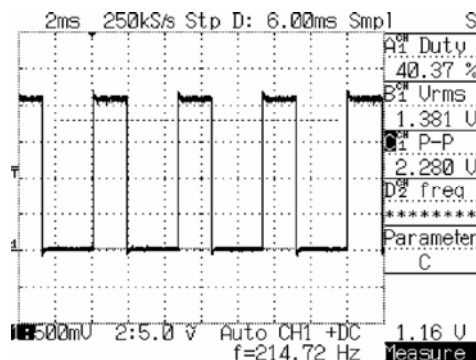


図 11 デューティ比 40%とした PIC プログラムの出力波形

## 6. PICプログラム生成支援システム環境

ワークフローツールは、Java アプリケーションとして作成されている。動作確認は Windows2000, Windows XP Home Edition 英語版および Professional 日本語版のそれぞれで行った。

PICを動かすためのマシン語となるHEXファイルはローカルコンピュータに生成され、この内容はPICライターを用いてPICに書き込むことになるが、現時点では、この作業はライター機器に付属しているアプリケーションを利用する必要がある。

## 7. 遠隔協調学習のためのプロトタイプ環境

今回のプロジェクトでは、射水市(日本)とバリークレア(北アイルランド)との遠隔地での協調学習を行うことから、ワークフローツールはスタンドアロンで利用するものに加えて、サーバ・クライアント環境によって利用するものも作製している。

図12に示すように、遠隔地にいる学習者はワークフローツールクライアントからサーバにアクセスしてプログラムの記述を行い、ネットワークカメラが送信する映像(Motion JPEG)をWebブラウザで見てロボットカーの動きを確認する。なお、HEXファイルのPICへの書き込みや、ロボットカーへの搭載及びロボットカーのスタート作業はサーバ側にいる共同学習者が行う。

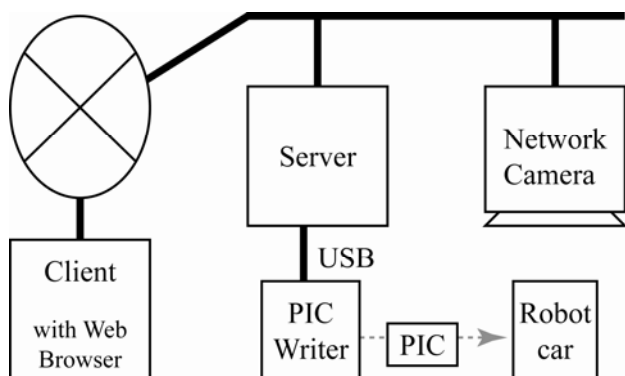


図 12 遠隔協調学習のためのプロトタイプ環境

## 8. 実践後のアンケート結果

本実践終了後に今回の実践に参加してくれた学習者に対して行った、授業についてのアンケートの結果を図13に示す。

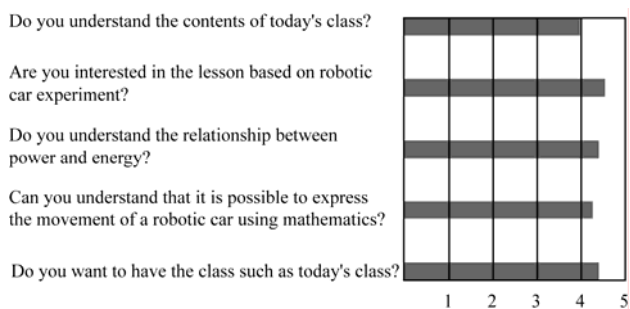


図 13 アンケート結果

授業に対しては、概ね好意的であることがわかる。今回の参加者のほとんどは、積分などの基礎数学の概念がないため、数学的な考察を深めることは難しいが、それぞれの学生がノートに自分の考えをまとめるなど、論理的に考察を深めようとしている様子が見えられた。

## 9. おわりに

遠隔地の学校との協調学習環境の構築のための要素として、PICのためのプログラムを簡単に記述するための支援環境としてワークフローツールを作製した。しかし、今回のテーマにおいてはロボットカー制御のための命令数が少ないため、シンプルなフローの記述のみで対応できてしまい、ワークフローの記述のための機能に不足があり、例えば分岐、繰り返し処理といった制御構造の記述ができないものとなっている。

また、インターネット環境を利用することで、遠隔地でお互いにロボットカーの動作環境がなくても演習が行えるようになっているが、現実には、今回共同で行った北アイルランドの教育機関においてはFireWallの制約が非常に大きく利用できなかったように、このような問題は避けて通れないと考えられる。なお、今回はお互いに同じ仕様のロボットカーを用いて演習を行うことで対処した。

今後は、汎用的に利用できる環境となるよう、ワークフローで制御構造も記述できるように改良する必要がある。またネットワーク環境での利便性の向上のために、アプリケーションをFlashによる記述に書き換え、Web Browserのみで利用できるようにすることなどを検討している。

### 参考文献

- 1)川田重夫, 田子精男, 梅谷征雄 編: シミュレーション科学への招待, 日経サイエンス社, 2000
- 2)Naruse, Y., Toga, S., Hayase, Y. and Yamanishi, J., Development of Educational System using Robotic Experiment and ICT, The Society for Information Technology and Teacher Education 2006 The 17th International Conference,1715-1720 (2006.3)
- 3)梅館典也, 井上智文, 苫米地功, 牧野徹, 荳口隆重, 田子精男, ワークフローシステムの構築と遺伝子解析への適用, 計算工学講演会論文集, 第10巻, pp.783-786, 2005

# ポアソン方程式のための問題解決環境 “PowerWorkbench” の構築

Development of Problem Solving Environment for Poisson equation.

中井純<sup>1)</sup>, 前田太陽<sup>2)</sup>

Jun Nakai and Taiyo MAEDA

- 1) 金沢大学大学院自然科学研究科博士前期課程数物科学専攻2年 (〒920-1192 石川県金沢市角間町,  
nakai@superdry.s.kanazawa-u.ac.jp)
- 2) 理博 金沢学院大学美術文化学部情報デザイン学科 講師 (〒920-1392 石川県金沢市末町10,  
mae.del.sol@gmail.com)

Fluid e-Laboratory which makes research and development of fluid easier has been developed as problem solving environment (PSE) for scientist and engineers. Developing the system, we developed the system that solves Poisson equation, and it applied to the problem of the structure analysis. Using a web browser, Scientists and engineers who don't know IT well can solve the problems. As a result, it came to be able to research at the 1/3 time and compare result easily.

**Key Words** : PSE, Poisson equation, Web, Workbench

## 1. はじめに

流体力学研究の発達により、自動車、航空機、半導体、医学、天体物理学などさまざまな分野の研究が飛躍的に発達しつつある。流体研究の研究手法を大別すると、実験とシミュレーションとに分けることが出来る。これらの手法にはそれぞれの特徴がある。例えば、実験を用いた研究手法では正しい結果が得られるが、膨大なコストがかかる。またシミュレーションを用いた研究手法では、実験に比べて精度は落ちるが、コストがかからないということが言える。このように流体研究の研究手法は、それぞれが相反する特徴がある。しかし、現在の多くは、実験、シミュレーションは互いに独立しており、補完が出来ていない状況である。

そこで我々は非圧縮性粘性流体を対象として、流体研究者のための問題解決環境 [1] システム (PSE : Problem Solving Environment) ” Fluid e-Laboratory [2] ” を構築した。実験環境とシミュレーション環境を連携し、結果の比較と検討を行うことにより実験とシミュレーションの補完を実現し、研究者の無駄な手間の軽減と流体研究の促進を実現した。

Fluid e-Laboratoryではさまざまな分野において起こる自然現象は、偏微分方程式で記述されることが多い。特に物理学の問題を解く場合、偏微分方程式を解くことが非常に重要である。ラプラス方程式やマクスウェルの方程式やガウスの微分方程式がこれらの例である。このような微分方程式の中でも特に、ポアソン方程式は、物理学上非常に重要な方程式であり、定常熱伝導、静電場、無電流静磁場、重力ポテンシャル場、渦なし密度一定の流体などの数多く

の物理問題を解く場合に利用されている。しかし、物理学者などの研究者は研究者自身が研究者自身の解きたい方程式を解くために、プログラムを作成し、実験との結果との比較や検討を行っているのが現状である。これには、複雑なITの知識が必要となり、非常に煩雑な作業となっているためFluid e-LaboratoryのようなWorkbenchが必要となっている。

そこで本稿ではFluid e-Laboratoryを構築したノウハウを生かし、偏微分方程式、特にポアソン方程式を利用して解を求める問題のPSEシステム” PowerWorkbench ” を構築した。ポアソン方程式で現される物理現象を解くために、研究者の負担とならない問題解決環境を構築することを目的とした。これにより、物理学研究者はポアソン方程式で現される物理現象のシミュレーションを容易に行うことの出来る環境を目指した。そしてFluid e-Laboratoryの機能の一つである、結果同士の比較や検討もPowerWorkbenchに導入することによって容易に行える環境を提供した。

本稿の構成を述べる。第2章で既存のFluid e-Laboratoryの概要を述べる。第3章で既存のFluid e-Laboratoryの問題点を挙げる。第4章で構築したPowerWorkbenchについて述べる。第5章では適用事例と評価を述べる。第6章でまとめと今後の課題を述べる。

## 2. Fluid e-Laboratoryの概要

実験と、シミュレーションを用いた研究手法の連携・補完においてそれぞれの結果の比較が非常に重要になってくる。しかし、このような環境はまだ整っていない。流体

研究者がシミュレーション結果と実験結果の比較の作業を容易に実行可能な環境を実現するためのPSEシステムが必要である。そこで我々は、このような要求を満たし、効率的な研究実現という課題を解決するためのシステムとしてFluid e-Laboratoryを構築した。

Fluid e-Laboratoryは実験機能、シミュレーション機能、結果比較機能、データ管理機能を一連のシステム内に実装することにより、シームレスに一連の研究作業を行えるようにした。また、作業の多くを自動化することにより研究の効率化を目指した。各研究環境の連携や、煩雑なデータ管理、データの共有などを考慮し、Webシステムとして構築した。利用した技術としては、WebシステムとするためのApache、PHPのほか、RDBのMySQL、インタラクティブかつリアルタイムなWebシステムとするためのAjaxなどがある。

実験解析機能では、本研究室で開発した、PIV-WL[3]を用いた。これにより、システム利用者は画像ファイルのアップロードといくつかのパラメータの入力を行うだけで、実験解析を行うことができる。シミュレーション機能では、独自のバッチシステムを用いて、バックグラウンドに汎用熱流体シミュレーションソフトウェアFLUENTを実装した。これにより、システム利用者はWebブラウザからファイルのアップロード、いくつかのパラメータの入力のみで、シミュレーションを行える。結果比較機能は、実験結果とシ

ミュレーション結果や、シミュレーション結果同士の比較などを数値的なレポートや、可視化結果を添えて表示する機能である。データ管理機能は、過去に入力されたパラメータや、実験解析結果、シミュレーション結果などをRDBに保存する機能である。これにより、システム利用者は過去に入力したパラメータや、そのときの結果を簡単に呼び出すことが出来る。これらの機能を本研究室で開発した、フレームワークシステム[4]上に実装することにより、各機能をモジュールと呼ばれる部品を行った。これにより、システム構築者が煩雑となるユーザマネジメントや、セッション管理などを省くことができ、機能の追加を行いたい場合でも、使用したい機能をモジュールの形で提供するだけで、簡単に機能の追加を行うことが出来る(図2)。

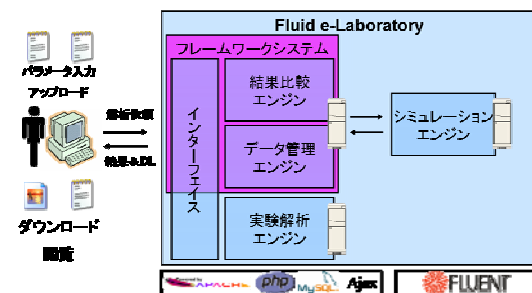


図1 Fluid e-Laboratory

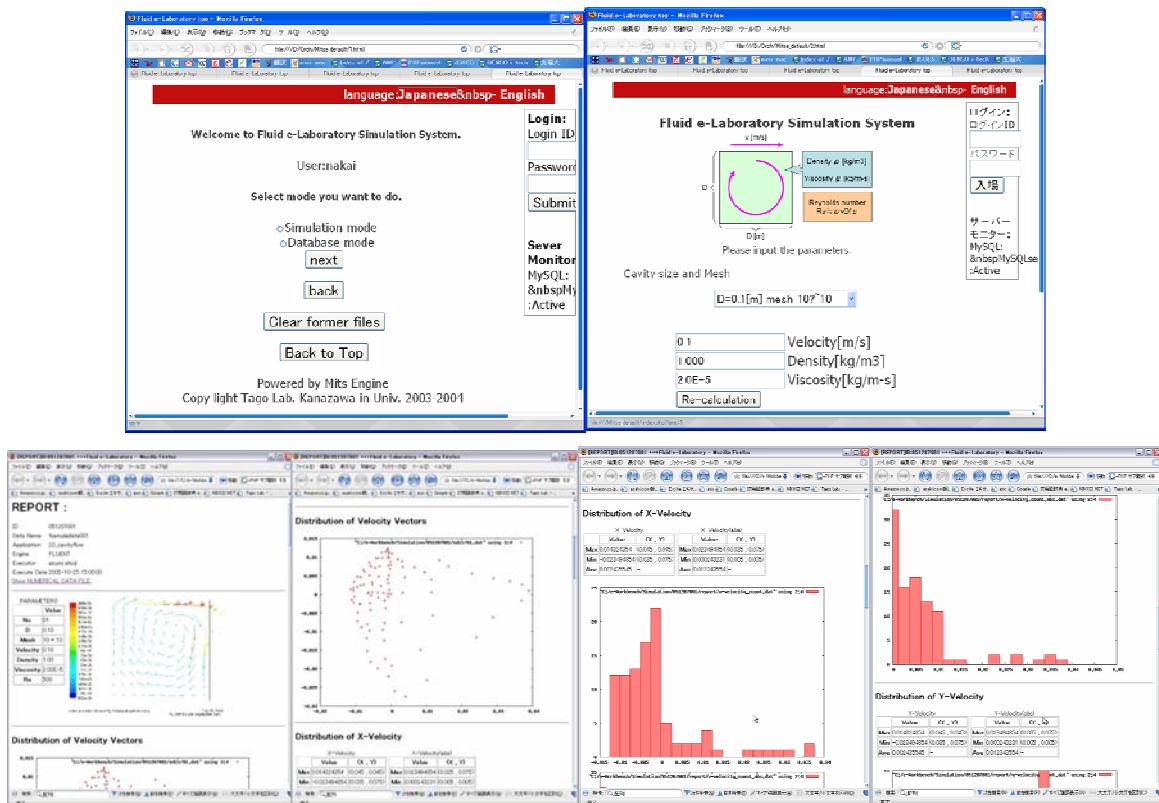


図2 Fluid e-Laboratory利用画面

Fluid e-Laboratoryでは利用者は、以上に述べたように複雑なITの知識を有することなく、実験解析、シミュレ

ーション、結果比較、データ管理を行うことができる。このシステムにより、シミュレーションにおける大幅な

時間短縮だけでなく、煩雑なデータ管理の軽減を達成した。

### 3. Fluid e-Laboratoryの問題点

Fluid e-Laboratoryでは、流体研究の実験環境、シミュレーション環境、結果比較環境、データ管理環境を一連のシステム内に実装することにより、一連の研究作業を行えるようにした。しかし、実際の大学の研究や、企業での製品開発では、流体問題だけが解ければよいわけではなく、構造解析や、熱伝導や、電磁場などの影響も考慮しなければならない場合も多い。よってFluid e-Laboratoryのように、流体研究に特化しているPSEシステムではなく、流体研究以外の研究環境を持ったPSEシステムが必要であり、このようなシステムを構築することとした。

構造解析や、熱伝導問題、電磁場問題において、頻繁に使用されるのが偏微分方程式である。偏微分方程式は自然科学の分野での物理現象の記述に多く用いられ、特にその中でもポアソン方程式は、熱伝導、重力場、電磁場など幅広い分野での現象を現す方程式として知られている。よって、流体以外の場におけるシミュレーション環境の機能を持ったPSEシステムの構築には、ポアソン方程式を解く機能が重要であると考え、これを実装することにより汎用的な研究環境を提供できると考えた。また、Fluid e-Laboratoryの既存の結果比較環境、データ管理環境などの機能を利用して構築することにより、より実験とシミュレーションによる研究・開発をより促進するとする。そして、本稿において構築したポアソン方程式のための問題解決環境を”PowerWorkbench”と名づけた。

### 4. PowerWorkbenchの構築

PowerWorkbenchの構築はFluid e-Laboratoryを構築した際に得た経験に基づいて行った。ユーザが容易にシステムを利用でき、データの共有なども容易に行えるように、Apache, PHP, MySQL, Ajaxを利用したWebシステムとした。結果比較機能、データ管理機能などのFluid e-Laboratoryでのノウハウを生かすためにそのまま利用した。また、Fluid e-Laboratoryでは、Fluentを用いて可視化を行っていたが、汎用性の高い可視化を行うために、可視化エンジンとして、gnuplotを導入した。これにより、今後機能追加を行う場合にも、簡単な数値可視化であれば手軽に可視化することができる。拡張性の高いシステムとするために本研究室で開発したフレームワークシステムを用いた。

ポアソン方程式を解くプログラムはGauss-Seidel法を用いて、プログラミング言語はFortranで作成した。このプログラムを外部から呼出し、引数を与えて実行し、出力をテキストファイル形式出力でき、これにより、様々なアプリケーションに対応できる汎用的なポアソン方程式のためのエンジンとなる。Fortranを用いた理由は、数値計算に非常に適しているためである。

このポアソン方程式を解くプログラムをシミュレーションエンジンとしてバックグラウンドで実行し、従来流体

シミュレーションしか行えなかったものを、ポアソン方程式を用いて現される自然現象に対応できるようにした。

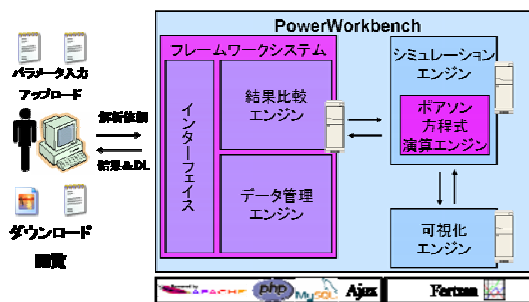


図3 PowerWorkbenchシステム構成図

システム利用者がWebブラウザからこのシステムを利用することによって、システム利用者はプルダウンメニューやラジオボタン、ファイルのアップロードなどの、基本的なIT知識さえあれば、実験解析・シミュレーションを行う環境を構築した。言い換えれば、システム利用者はと来た問題の専門的な知識だけで、このシステムを利用することが出来る。

### 5. 適用事例と評価

構築したPowerWorkbenchを以下のような3次元構造解析問題に適用した(図4)。一辺の長さLの正方形の板が、四辺上を固定された状態で設置されていて、鉛直方向(z方向)から、力Fを加えられたときに、正方形の板の変位を求めめるプログラムである。本プログラムはFortranを利用し自作したプログラムである。

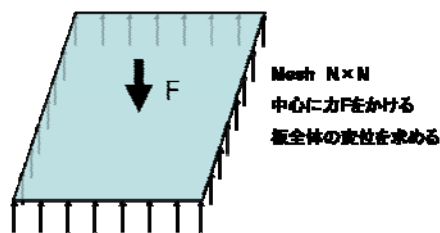


図4 適用した問題

この問題を、PowerWorkbenchを利用し以下の表の条件のもと、シミュレーションを行った。利用画面と結果は以下の図ようになっている(表1, 図5)。

表1 シミュレーション条件

格子数N	4×4~32×32
1辺の長さL	0.4~1.0[m]
ヤング率	3.0e7~1.0e10[Pa]
ポアソン比	0.1~0.5

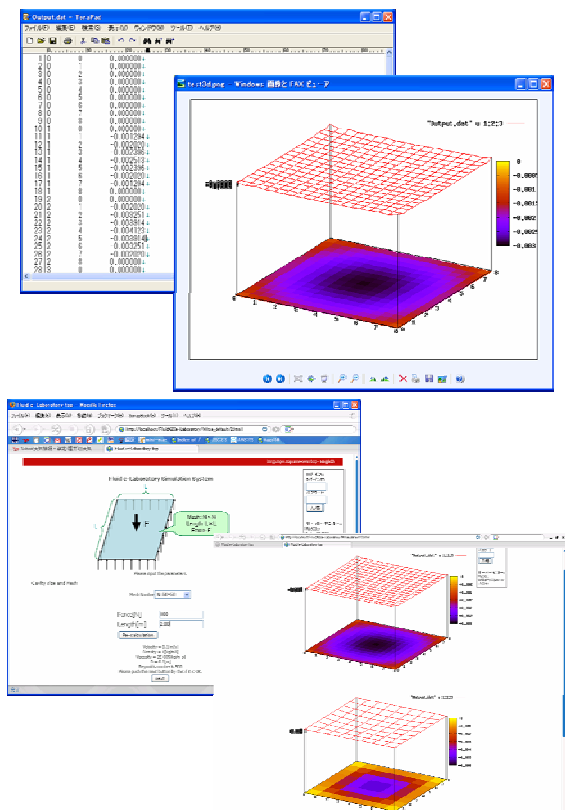


図5 PowerWorkbenchの利用画面

また、このシミュレーションを本システムを利用して行った場合と本システムを利用して行った場合のかかった時間は以下のような違いが出た。

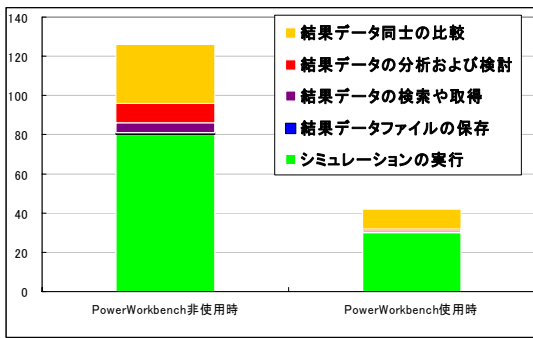


図6 本システム使用時、非使用時の時間の比較

本システムを使用時と非使用時の一連の作業に掛かった時間を比較してみた。本システム非使用時はシミュレーションに掛かる時間が多く、また、結果同士の比較も手作業で比較を行わなければならないので、時間が多く掛かり大変面倒である。しかし、本システムを利用すると、ポアソン方程式を解くプログラムを作成する時間が省け、結果

同士の比較もシステムのレポートを利用するので、大変簡単に比較が行え、結局、システム非使用時に比べ、約3分の1の時間で一連のシミュレーションを行うことが出来た。

PowerWorkbenchを用いることで、複雑なITの知識を有することなく、Webブラウザからのいくつかのパラメータ入力やファイルのアップロードを行うだけで、ポアソン方程式を用いたシミュレーションを行うことが出来た。また、Fluid e-Laboratoryの機能である結果比較環境、データ管理環境を生かしてPowerWorkbenchを構築したことにより煩雑なデータ管理をユーザから開放した。

6. まとめと今後の課題

本研究では、数多くの物理現象を現すポアソン方程式を解くPowerWorkbenchを構築した。

これにより、研究者はポアソン方程式を利用して解を求める数値計算、シミュレーションをWebブラウザからのパラメータ入力だけで行うことが出来るようになった。また、Fluid e-Laboratoryの構築の経験を生かしてPowerWorkbenchを構築したことにより、結果の比較、検討が容易に行える環境を提供した。また、研究に費やす時間もシステム非使用時に比べ、約3分の1に短縮することができた。研究者は、複雑なITの知識なしに数値計算、シミュレーションを実行でき、研究者の煩雑な作業の軽減を実現した。

今後は、このポアソン方程式で解くことの出来るアプリケーションを追加し、汎用的なシステムとすることで、このシステムの有用性を更に示す。

参考文献

- 1) 問題解決環境 川田重夫, 田子精男, 梅谷征雄, 南多善 PSE BOOK-シミュレーション科学における問題解決のための環境 基礎編/応用編
- 2) Fluid e-Laboratory 庄司朱澄, 中井純, 高瀬裕治, 武田真: “流体研究者のための問題解決環境Fluid e-Laboratoryの構築”, 第8回PSE Workshop & 第3回グリッドセミナー論文集, pp. 68-71, 2005
- 3) PIV-WL 門岡良昌, 高瀬裕治, 大西直樹, 大橋英雄, 前田太陽, LEE Young-Ho, 田子精男: PIV Web Laboratoryの開発とその応用, 計算工学会講演会論文集, Vol. 9, pp. 649-652, 2004
- 4) フレームワーク 前田太陽, 田子精男: “協調型問題解決環境のためのフレームワークシステム”, Transactions of JSCES, Paper No. 20060009



# 分散型問題解決環境“D-NCAS”における モデル化支援モジュールの開発

MODELING SUPPORT IN DISTRIBUTED PROBLEM SOLVING ENVIRONMENT “D-NCAS”

齋藤祐一<sup>1)</sup>, 杉浦秀明<sup>1)</sup>, 尾崎哲也<sup>2)</sup>,  
長野一<sup>2)</sup>, 早勢欣和<sup>3)</sup>, 菊池崇志<sup>4)</sup>, 川田重夫<sup>2)</sup>

Yuichi Saito, Hideaki Sugiura, Tetsuya Ozaki,  
Hajime Nagano, Yoshikazu Hajime, Takashi Kikuchi and Shigeo Kawata

- 1)宇都宮大学大学院工学研究科電気電子工学専攻 (〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東 7-1-2)  
2)宇都宮大学大学院工学研究科エネルギー環境科学専攻 (〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東 7-1-2)  
3)富山商船高等専門学校電子制御工学科 (〒933-0293 富山県新湊市海老江練合 1-2)  
4)宇都宮大学工学部電気電子工学科 (〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東 7-1-2)

In this paper, we present a distributed problem solving environment (PSE) system “D-NCAS” and a modeling support module in it. D-NCAS inputs partial differential equation and supports generation of programs in C-language. The system consists of several modules: a problem description module, an equation manipulation one, a program generation one, a documentation one, etc. These modules of the system are distributed on network-linked computers. Extensible Markup Language (XML) is employed to describe all the information in the system. The concept of the distributed PSE extends the potential of conventional PSE systems. The modeling support module serves two function: 1) support of modeling database construction by experts and 2) suggestion of mathematical model based on keywords. The modeling support module is developed to enhance the input support module.

**Key Words :** *Problem Solving Environment, Computer-Assisted Program Generation, Distributed Computing*

## 1. はじめに

現在、数値シミュレーションによる物理現象などの解析は、理論・実験に次ぐ第三の解析手法として、その地位を確固たるものにしてきている。それに伴い、シミュレーションを行うための環境、またその手法自身も大きな発展をとげた。しかしその一方で、シミュレーションを行うために多大な労力を費やさねばならなくなっており、これは本来の現象の解析に加えて要求される作業である。このような問題を解決するため、数値シミュレーションを行う際に生じる負担やコストを軽減することを目的としたProblem Solving Environment (PSE)と呼ばれる分野が生まれ、近年盛んに研究が行われている。

一方、ネットワーク関連技術が現在急速な発展を続けている。通信網は世界中に張り巡らされ、大量のデータを高速で送受信することが可能になり、それらを利用するための技術の標準化も広く進められている。

このような背景のもと我々は、数値シミュレーションプログラムの自動生成支援を行う分散型PSEシステム“D-NCAS”の研究開発が行われている。D-NCASは、ユーザが解きたい物理現象を表す偏微分方程式 (PDE) や、時間・空間についての情報、プログラム内で使用する変数

についての情報などを入力することにより、有限差分法 (FDM) や有限要素法 (FEM) などを解法として用い、最終的に数値シミュレーションプログラムを自動的に生成するシステムである。数値シミュレーションプログラム開発の行程を自動化することでユーザの負担を軽減し、支援を行う。さらに数値シミュレーションプログラムと同時にそのプログラムについてのドキュメントの自動生成機能も備え、内容の把握などの観点からもユーザ支援を行うことを目指している。

数値シミュレーションの行程には物理現象の物理モデル化、数学モデル化、離散化、プログラミング、プログラム実行、データ処理、可視化といったいくつかの行程が存在するが、今回この行程のうちのモデル化の部分に着目し、D-NCASへのモデル化支援の機能の追加を試みた。本稿では分散型PSEシステム“D-NCAS”の概要について述べるとともに、今回開発を行ったモデル化支援モジュールについて述べる。

## 2. 分散型PSEシステム“D-NCAS”

我々の研究開発している分散型PSEシステム“D-NCAS”の構成の概略を図1に示す。

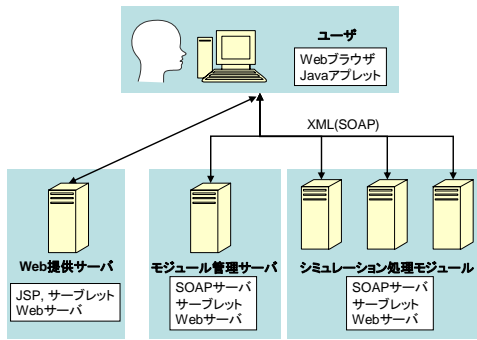


図1 D-NCAS概略図

D-NCASシステムはWeb提供サーバ・モジュール管理サーバ・シミュレーション処理モジュール群の三つに大別される。Web提供サーバではユーザにD-NCASに関する情報やJavaアプレット形式の入力インターフェイスを提供する。「モジュール管理サーバ」は、数値シミュレーションプログラム生成までの処理を行う複数の「シミュレーション処理モジュール群」の情報を管理する。このシミュレーション処理モジュール群には数式や変数などの情報を入力するための「入力支援モジュール」、数式を離散化し整理する「離散化・式整理モジュール」、離散化された数式データからシミュレーション用ソースコードを出力する「プログラム生成モジュール」、シミュレーション情報をXHTML形式でドキュメント化する「ドキュメント自動生成モジュール」などがある。

これらの間の通信はSOAPによって行われ、また通信データフォーマットには文書定義の一般規格であるXMLを用い、コンピュータ環境への依存性を低くしている。

### 3. モデル化支援モジュール

今回、上記のD-NCASシステムのシミュレーション処理モジュールにおける「入力支援モジュール」を拡張するため、モデル化支援を行うモジュールの開発を行った。D-NCASにおいて入力支援モジュールはユーザインターフェイスに相当し、ユーザはここから数式モデルやパラメータを入力する。モデル化支援モジュールは以下の2つの機能を持っている。

1. テンプレートの利用：D-NCASを利用する際に、特定のシミュレーションに必要な数式モデルやパラメータなどに関する情報をテンプレートにまとめユーザに提供することで支援を行う。

2. テンプレート編集機能：データベースへユーザ自身がテンプレートを追加・編集できる機能。ユーザが編集できるデータは数式や数式の組み合わせ方、シミュレーションに対するコメント等があり、これらの情報は権限の設定次第で他のユーザによって修正を受けることもできる。データベースへのデータの拡充をシステム管理者

だけでなくユーザ自身が行えるようにすることで、データベースの充実化を図る。

今回モデル化支援モジュールを開発するにあたって、数式モデルを中心に扱った。モデル化支援モジュールは主にJavaプログラム・Webサーバ・データベースによって構成される。

#### (1) モデル化支援モジュール設計

扱うデータ形式はXML形式を用い、これを格納・管理するデータベースシステムにはリレーショナルデータベース(RDB)を用いる(RDBのカラムにテキスト型を設定、XMLをテキストデータとして格納する)。

一つのテンプレートに対し一つのXMLデータとし、テンプレートにはMathMLによって記述された数式(複数可)、数式名、数式に対するコメント、テンプレートの作成者、項や変数に対する名前・コメント、数式に関わるキーワードなどが登録される。

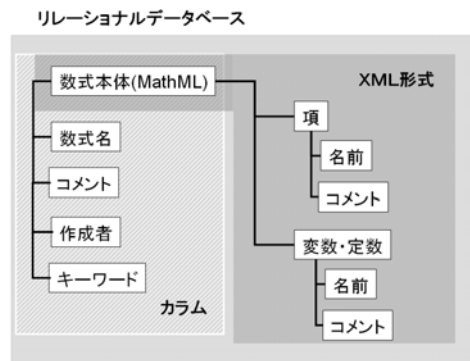


図2 データベース概要

モデル化支援モジュールの概念図を次の図に示す。

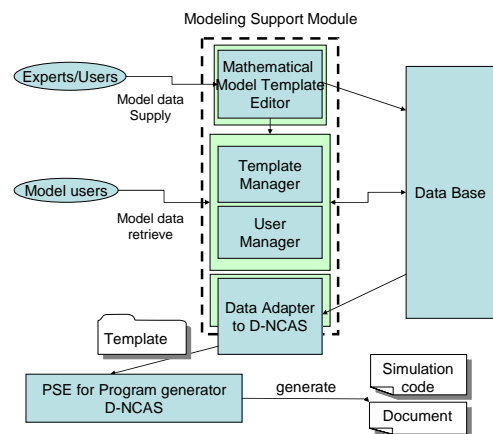


図3 モデル化支援モジュール概要

このモジュールは大きく分けて「データ管理プログラム」、「データアダプタ」、「ユーザ管理プログラム」、「テンプレートエディター」、の4つのパーツによって構成される。

それぞれの役割を次の項で述べる。

## (2) データ管理プログラム

データベースマネジメントシステム(DBMS : Data Base Management System)とユーザとの仲介を担うプログラム。具体的にはデータベースの情報の書き込み・読み込み、一般ユーザへのデータの提供、ユーザ管理プログラムとの連携で権限の管理、他のプログラムへのライブラリの提供を行う。一般ユーザへのデータの提供について、一般ユーザはデータベースに存在するテンプレートデータの中からキーワードによる検索を行う、または数式の一部を手がかりに検索を行うことで目的のテンプレートを入手できる。主にJSP(Java Server Page), JavaBeansで構成される。

## (3) データアダプタ

データベースで管理しているデータベース用テンプレートデータを、D-NCASの通信に対応したフォーマットへ整形するプログラム。データベース用のフォーマットはデータ管理のためXMLツリー構造が通信のフォーマットと異なり、不要なコメントなどの情報が組み込まれているためそれらを書き直す。このプログラムは既存の数式入力支援モジュールの一部を流用している。

## (4) ユーザ管理プログラム

モデル化支援モジュールが扱うテンプレートデータは主に、ユーザとユーザが所属するグループの単位で利用権限が管理される。ユーザ管理プログラムではこのユーザとグループを管理する。主にJSP, JavaBeansで構成される。

ユーザには3つのレベルがあり、一つはテンプレートを閲覧・利用するだけの権限、二つ目はそれに加え後述のエディターを利用できる権限、三つ目は管理者権限である。エディターを利用する権限はグループに所属し、グループリーダーから得る。グループリーダーは各グループに一人設定され、グループメンバーの管理を行う。

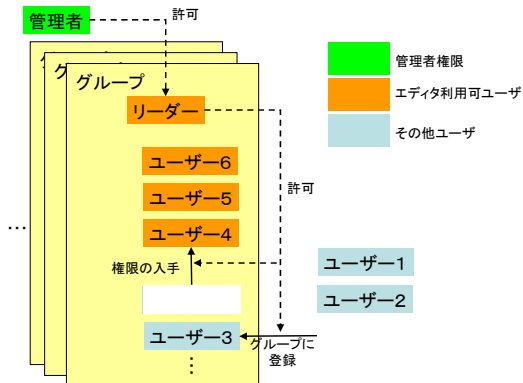


図4 ユーザ管理概要

モデル化支援モジュールで扱うテンプレートはテンプレートを製作したユーザによって再編集・削除の権限を設定できる。これによりユーザが所属するグループのメンバーにのみ利用の許可を与えたりできる。

## (5) テンプレートエディター

モデル化支援モジュールにはデータベースの充実化や利便性を高めるために、ユーザ自身がデータベースへ数式モデルを追加および編集をすることができる機能を持たせた。

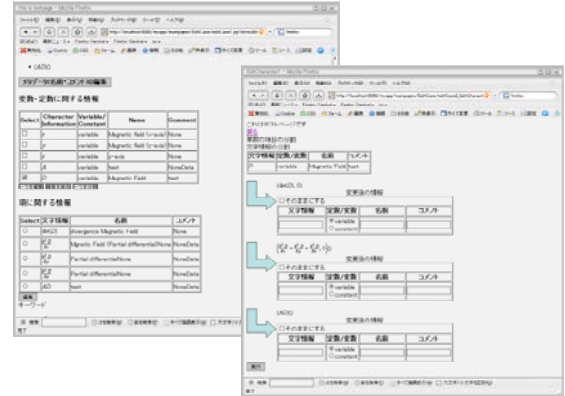


図5 テンプレートエディタ(一部)

エディターでは数式の入力、数式内の変数、項に関する情報の入力、数式に対するコメントの記述・キーワードの設定、他ユーザへの編集権限の設定を行うことができる。エディター内部で扱う情報は主にMathMLでDOMを用いて操作を行う。

主にJSP, JavaBeansで構成される。またリクエストによる作業の煩雑化を解消するために、JSPとともにAjax (Asynchronous JavaScript + XML)を用いている。

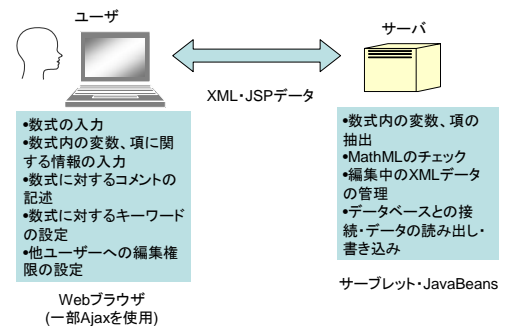


図6 テンプレートエディタ概要

## 4. まとめ

PSEに分散技術の概念を取り入れ、数値シミュレーション・ソースコードを自動生成する分散システム、“D-NCAS”の構築およびモデル化支援モジュールの開発を行った。モデル化支援モジュールにはまだ開発の余地が残っており今後更なる機能の充実を目指す。たとえばいくつかの数式と条件などを組み合わせシミュレーションに必要なセットを提供し管理するシステムなどが考え

られる。また“D-NCAS”との連携も柔軟に行えるシステムの開発を目指したい。

#### 参考文献

- 1) Rice, J. R. and Boisvert, R. F. : "Springer Series in Computational Mathematics 2, Solving Elliptic Problems Using ELLPACK", Springer-Verlag, New York, 1984
- 2) Umetani, Y. : "DEQSOL A Numerical Simulation Language for Vector/Parallel Processors", Proc. IFIP TC2/WG22, 5, pp. 147-164, 1985
- 3) Fujio, H. and Doi, S. : "Finite Element Description System as a Mid-Layer of PSE, Proceedings of Conference on Computation Engineering and Science", Vol. 3, No. 2, pp. 441-444, 1998
- 4) Hirayama, Y. , Ishida, J. , Ota, T. , Igai, M. , Kubo, S. and Yamaga, S. : "Physical Simulation using Numerical Simulation Tool PSILAB", the 1st Problem Solving Environment Workshop, pp. 1-7, 1998
- 5) Kawata, S. , Boonmee, C. , Fujita, A. , Nakamura, T. , Teramoto, T. , Hayase, Y. , Manabe, Y. , Tago, Y. and Matsumoto, M. : "Visual Steering of the Simulation Process in a Scientific Numerical Simulation Environment -NCAS-", Enabling Technologies for Computational Science, edited by Houstis, E. N. and Rice, J. R. , Kluwer Academic Publishers. , pp. 291-300, 2000
- 6) Boonmee, C. and Kawata, S. : "Computer-Assisted Simulation Environment for Partial-Differential-Equation Problem : 1. Data Structure and Steering of Problem Solving Process", Trans. of the Japan Society for Computational Engineering and Science, Paper No. 19980001, 1998.
- 7) Boonmee, C. and Kawata, S. : "Computer-Assisted Simulation Environment for Partial-Differential-Equation Problem : 2. Visualization and Steering of Problem Solving Process", Trans. of the Japan Society for Computational Engineering and Science, Paper No. 19980002, 1998.
- 8) Teramoto, T. , Nakamura, T. , Kawata, S. , Machide, S. , Hayasaka, K. , Nonaka, H. , Sasaki, E. and Sanada, Y. : "A Distributed Problem Solving Environment (PSE) for Partial Differential Equation Based Problems", Trans. of the Japan Society for Computational Engineering and Science, Paper No. 20010018, 2001.
- 9) Kawata, S. , Usami, H. , Hayase, Y. , Miyahara, Y. , Yamada, M. , Fujisaki, M. , Numata, Y. , Nakamura, S. , Ohi, N. , Matsumoto, M. , Teramoto, T. , Inaba, M. , Kitamuki, R. , Fuju, H. , Senda, Y. , Tago, Y. and Umetani, Y. , "A Problem Solving Environment (PSE) for Distributed Computing", accepted by Int. J. High Performance Computing and Network, 2005.
- 10) 藤生英昭, 稲葉真純, 斉藤祐一, 杉浦秀明, 早勢欣和, 菊池崇志, 川田重夫 : 分散型問題解決環境“D-NCAS”におけるモジュール連携, 計算工学会講演会論文集 Vol. 10, pp735-738, 2005
- 11) 稲葉真純, 藤生英昭, 北向亮治, 早勢欣和, 菊池崇志, 川田重夫 : 分散型問題解決環境“D-NCAS”の開発, 計算工学会講演会論文集 Vol. 9, pp. 689-692, 2004
- 12) Inaba, M. , Fuju, H. , Kitamuki, R. , Kawata, S. , Kikuchi, T. : "Computer-Assisted Documentation in a Problem Solving Environment (PSE) for Partial Differential Equation Based Problems", Trans. of the Japan Society for Computational Engineering and Science, Paper No. 20040025, 2004
- 13) Fuju, H. , Sugiura, H. , Saitoh, Y. , Hayase, Y. , Usami, H. , Yamada, M. , Miyahara, Y. , Kanazawa, H. , Kikuchi, T. , Kawata, S. : "Job Execution Service System in a distributed computer environment", in this issue, 2005
- 14) W3C, SOAP, <http://www.w3.org/TR/SOAP/>
- 15) W3C, XML, <http://www.w3.org/TR/REC-xml/>
- 16) W3C, MathML, <http://www.w3.org/TR/REC-MathML/>
- 17) Techexplorer, IBMtechexplorerHypermedia Browser, <http://www.ibm.com/software/network/techexplorer>
- 18) W3C, XHTML, <http://www.w3.org/TR/xhtml1>

# ポスター発表



# 問題解決環境としての可視化システムの開発

The Development of Visualization System based on the concept of Problem Solving Environment

宮地英生<sup>1),2)</sup>, 大島まり<sup>3)</sup>, 大島伸行<sup>4)</sup>

Hideo MIYACHI, Marie OSHIMA and Nobuyuki OSHIMA

- 1) ㈱ケイ・ジー・ティー ビジュアルリゼーション事業部(〒160-0022 東京都新宿区新宿2-8-8, miyachi@kgt.co.jp)  
 2) 東京大学 生産技術研究所 後期博士課程(〒153-8505 東京都目黒区駒場4-6-1, miyachan@iis.u-tokyo.ac.jp)  
 3) 東京大学 生産技術研究所 教授 (〒153-8505 東京都目黒区駒場4-6-1, marie@iis.u-tokyo.ac.jp)  
 4) 北海道大学大学院 工学研究科 機械宇宙工学専攻 教授(〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目, oshima@eng.hokudai.ac.jp)

Now, visualization system is an important component of the system to support computer science. So far, many kinds of visualization technique and system have been developed. Looking from the viewpoint of PSE concept, visualization system should not support to only a data visualizing, but also all area of research cycle. Visualization system should support the presentation, the collaboration with co-researcher, the archive of the researches and new budget acquisition. Expanding the visualization system, the integration with existing systems is one of efficient way to develop the new type of visualization system. To do that, we propose a concept "visual fusion" which is the idea to mix some outputs as computer graphics only in visual. This paper introduces the concept and some systems implemented along the concept. This is a summary of the University of Tokyo doctor thesis.

**Key Words:** Visual Fusion, Visualization, PSE

## 1. はじめに

コンピュータグラフィックスによる数値計算結果の可視化は計算科学にとって不可欠なものになってきた。特にグラフィックス機能を標準装備したワークステーションが台頭してきた1990年代始めから、可視化ソフトウェアは発展し、表示技術については1990年代半ばに完成されたと言われている。その後、大規模データの取り扱いが課題となり、並列化、グリッド可視化など、計算機の高速度化、大容量化を進める研究が進められてきた。

しかし、PSEの観点から言えば、高速な表示、判りやすい表示は、1つのデータの1つの可視化画像に対する解決であり、もっと大きな研究プロセス全体(図1)の問題解決に注目することもできる。

通常、1つの計算結果に対して1枚の画像を作るだけでなく、非常にたくさんの角度から、パラメータを変更しながらビジュアル・データマイニングを行う。さらに、1つの研究は1回の数値計算で結果が出るわけではなく、多くの計算を試行錯誤し、それを可視化で評価した後、成果となる。さらに、1つの研究課題は複数の研究の集合であり、また、研究成果を積み重ねながら、新しい研

究の方向性を探していく。その間に、研究者同士でブレインストーミングを行い、新しい研究方向を決定し、そして、新しい予算獲得を行う。そして、予算獲得の後、新しい研究がスタートし、新しい研究計画に沿って、再び計算や実験が始まる。

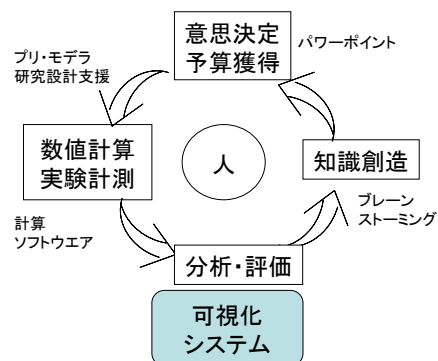


図1 一般的な研究サイクル

このような大きな枠組みにおける計算科学の問題解決のために、可視化システムは従来の結果の分析評価だけ

でなく、議論やプレゼンテーションといった領域を支援する機能も必要となる。その際、議論用の可視化システムやプレゼンテーション用の可視化システムを新たに開発したのでは効率が悪く、また、利用者が多くのソフトウェアマニュアルを理解することも困難である。そこで、我々は、既存のシステムの組み合わせによって新しいシステムを開発する方法を提案する。

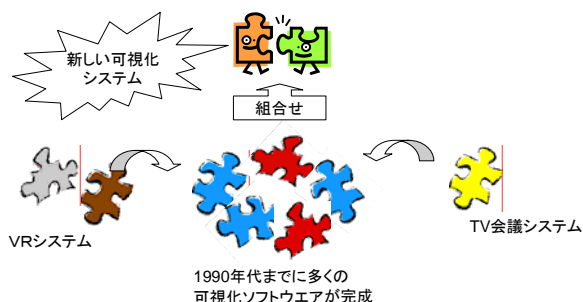


図2 既存システムの組み合わせによるシステム開発

現在、対話的なソフトウェアはグラフィカルユーザーインターフェイスを用いている。したがって、そのGUIを上手く構築することで、利用者には背後で動作するソフトウェアの構成を意識させないシステム開発ができるはずである。すでに入力のインターフェイスを統合することで、利便性を上げるツールはいくつか開発されている。そこで、我々はグラフィックス出力、特に3次元グラフィックスを統合する方法を開発し、その概念をまとめて「ビジュアルフュージョン」と名づけた。

## 2. ビジュアルフュージョン

複数のソフトウェアを連携させてシステムを構築するとき、通常、最初にソフトウェア間のインターフェイスを設計する。これは古くから、オブジェクト指向やコンポーネント開発の思想で具現化されてきた。ある目的のシステムを開発するとき、ソフトウェアの再利用性と保守性を高めるには有効だが、もともと別々の目的で開発されたソフトウェアを結合するためには、一度、ソフトウェアを再設計してから、コンポーネント化しなければならない。結局、最初から新しい設計に沿って開発する方法が取られることが多かった。

そこで、もっと大きな単位で部品化し、緩い関係でシステム統合を試みるWebサービスが登場し、近年、SOA(サービス指向アーキテクチャ)というソフトウェア開発の概念も出てきている。これらは、部品となるサービスが、それぞれ単体として利用できるという点で、オブジェクト指向の開発概念と異なる。

ビジュアルフュージョンは、既存の可視化ソフトウェアおよび3次元グラフィックスのソフトウェアをビジュアルにディスプレイ上に統合して表示するという概念で、SOAなどの概念に近い。しかし、決定的な違いは、コンピュータグラフィックス上での統合に限定することで、

ソフトウェア間のインターフェイスを決める必要が無いことである。

従来、複数の3次元表示物を合成するには、一旦、形状ファイルに出力し、そして1つのソフトウェアがそれらを読み取ることが行われてきた。しかし、この方法は次の2つの問題が発生する。

- (1) 複数のソフトウェアが1つの共通なファイル形式をサポートしていなければならない。または、1つのソフトウェアが全てのファイル形式をサポートしなければならない。
- (2) ファイルを経由するときデータの劣化が発生する。例えば、共通フォーマットをSTLファイルにすると、すべての情報はポリゴン化されるので、球は多角形になってしまう。

これは、3次元形状の概念が複雑で多様なことに起因する。しかし、どのように複雑な形状であっても、ディスプレイ上では画像であり、グラフィックス命令では線やトライアングルといったグラフィックスプリミティブに展開されているはずである。そこで、オリジナルのソフトウェアが持つ3次元情報の世界と、人間が見ているコンピュータ倉庫の世界を分離して、後者の領域で合成するのがビジュアルフュージョンの概念である。

具体的には、グラフィックスボードで扱われる情報を使って表示を合成することと、現状では、ほぼ一致している。フレームバッファやグラフィックスエンジンは、数値解析やCAD、映画作成といった利用用途に関係なく使われている。このように「表示する」という単純な機能になった後、画像信号やグラフィックスボードのインターフェイスにしたがって複数のソフトウェアの合成を行えば、新たにソフトウェア間のインターフェイスを設計することなく合成が可能になる。

このように映像的に合成を行うことは、放送業界で実用化され、例えば、野球中継のときに野球場に存在しない広告がフェンスの上に挿入されている。バーチャルリアリティの研究分野では、オーグメンティッドリアリティ(拡張現実感)として、実写とCGを合成表示する研究が行われている(図3)。



図3 オーグメンティッドリアリティ(日本SGI社提供)



ビジュアルフュージョンでは、実写とCGではなく、ソフトウェアの統合のためにCGとCGを合成する。しかし、一方的に配信されるテレビと違って、対話操作を必要とする可視化ソフトウェアで、映像的に合成することに意味があるのかという疑問もある。これは、これまでの可視化ソフトウェアが人間に判断を委ねる表示と、距離計測を行うときのように入力支援としての表示を併せ持っていたからである。入力支援が中心であるCADシステムでは、CADデータを作成することが主体で、その支援としてCGが利用されている。一方、映画で使われるCGは人間が見ることを前提に考えられており、スクリーンに操作されることは考えない。したがって、映画では実写とCGの合成が普通に行われるが、2つのCADを映像的に合成することはほとんど無意味なので、そのようなシステムは無い。可視化システムは、これらの中にある。例えば、流体・構造連成解析の結果を、流体部は流体用可視化ソフトで、構造部や構造解析用可視化ソフトで表示し、ビジュアルフュージョンで合成したとする。

ここで流体のある部分と構造のある部分をマウスでクリックし、その距離を測ることはできないが、全体としてどのような様子になっているかを知ることができる。そして、後者の点で言えば、連成解析用ポストプロセスを開発したとしても、結局、同じ表示結果にしかならないはずである。

今後も計算規模の大規模化が進み、表示装置の解像度が不足する。マルチディスプレイなどで解像度を上げることはできるが、最終的には人間がどこまで認識できるのかという問題になる。極端に言えば、現状でも「絵にしたところで何も解らない」という意見はある。一方で、絵にしなければ全く解らないという人もいる。どちらも正しいが、結局、可視化システムの価値は、人間が判断する部分にある。したがって、人間が判断する機能については、表示上の合成で十分に機能するはずである（図4）。

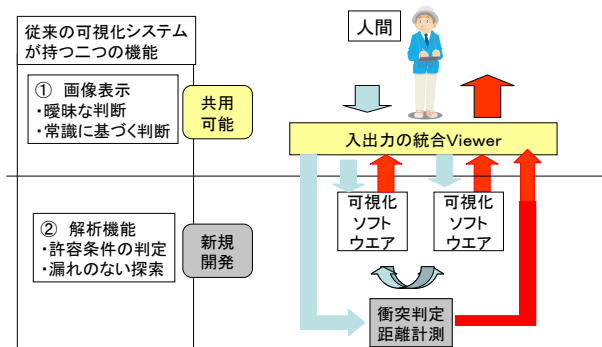


図4 可視化システムにおける映像的な合成の価値

可視化システム間でインターフェイスを決めて、情報交換が必要な部分は、別途プロトコルを決めて、新しく開発するしかない。しかし、その部分はほとんど表示と

は関係ない部分で実装されるだろう。

### 3. ビジュアルフュージョンの実装例

ここではビジュアルフュージョンの概念で実装した3つのシステム開発事例を紹介する。

#### 3.1 画像重畳による並列可視化<sup>[1]</sup>

フレームバッファの画像情報とZバッファの奥行き情報を使って、複数の3次元グラフィックスを1つに統合できる。例えば、データ規模が大きくて1台のコンピュータで可視化できない場合、データを適当なサイズで複数に分割し、それぞれバラバラに可視化を行い最後に画像合成することで大規模可視化が可能となる。

AVS/Express PCEは、この画像重畳の概念を取り入れた実装例で、並列可視化システムとして製品化されている。800ノード越えのシステムを用いて130GBのデータ（340億格子）から15億トライアングルの等値面を生成し、読込時間を含めて3分20秒で表示した実績がある。

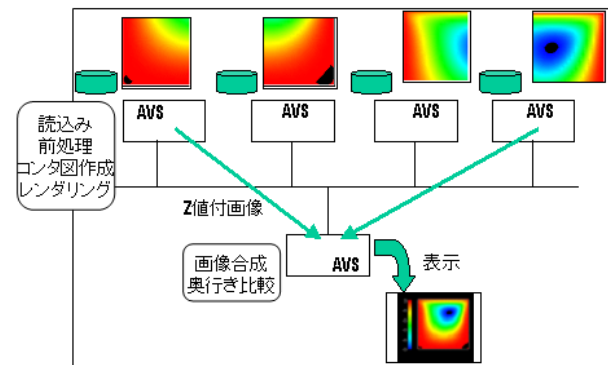


図5 画像重畳による並列可視化システム

図5は1つのデータを4分割し、4台で並列可視化をするときの概念図だが、このように分割数とクラスタのノード数が、常に一致するとは限らない。そこでストリーミング可視化の概念を取り入れ、1台のPCでも繰り返し可視化をすることで、無限大のサイズの可視化する機能も実装した。さらに、グリッドミドルウェア（AD-Powers）と連携して、ストリーミング可視化を高速化するインターフェイスも開発し、PC35台の教育システム（1台512MB）を用いて非定常36時刻の108GBのデータを約25分で可視化した。

#### 3.2 CG画像からの3次元形状復元<sup>[2]</sup>

可視化結果から教育用のコンテンツを作成する場合、研究に使った可視化結果では精密すぎてデータ量が大きすぎる場合がある。このようなとき、ポリゴンリダクションなどでデータを間引きするが、一般に使われるポリゴンリダクションでは、可視化結果の分布状態が無くなってしまふ。そこで形状と表面の色を一旦分離して、それぞれ圧縮を行い、復元する手法を開発した。画像からの3次元形状復元は、複数の実写画像から3次元形状を復

元するときに使うシルエット法を用いた。

この方法はオリジナルの形状の複雑さに関係なく、一定のサイズのコンテンツを作成できるという利点がある。

図6は、CTから生成した脳の表示画像から、脳の凡その形状をシルエット法で復元し、表面に脳の皺をテクスチャで貼り付けて復元するときの処理手順を示している。

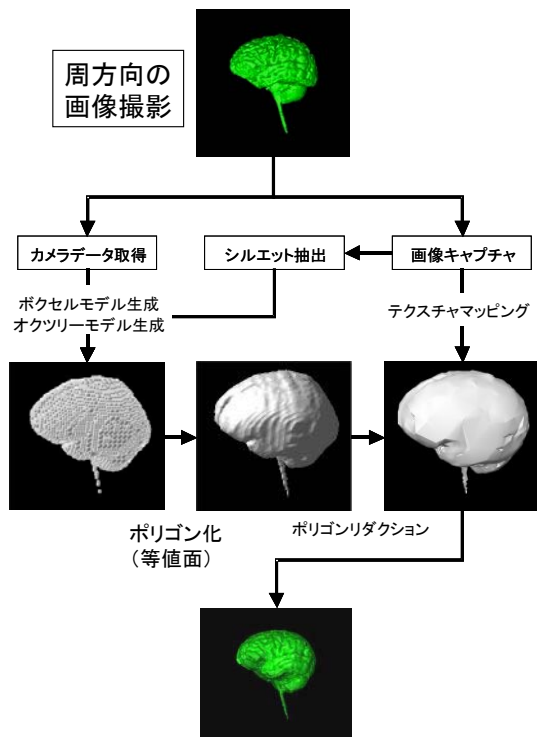


図6 脳の3次元データの復元プロセス図

この手法も、フレームバッファの画像だけを利用するのでインターフェイスを開発することなく、任意の3次元グラフィックスソフトウェアの表示結果から3次元形状を構築することができ、その複数の結果を1つに合成することができる。

### 3.3 OpenGLフュージョン<sup>[3]</sup>

OpenGLフュージョンは、ソフトウェアが出すOpenGLコマンドをキャプチャして、それを1つのウィンドウに合成表示する。コマンドのキャプチャはChromiumなどで広く使われているGL-DLLリプレースと呼ばれる技術で、タイルディスプレイに3次元コマンドを分配することに使われていたが、ここでは、それを集めて合成した。GLコマンドの合成時にはグラフィックスコンテキスト(GC)の管理が問題になるが、ここではすべてのGCを合成表示プログラムが保持し、SwapBuffer命令をキーとしてスイッチする機構を取り入れた。図7は、CAVEのような没入感システム内で複数のソフトウェアを合成表示した事例である。魚が泳ぐアニメーションを生成するデモプログラムAtlantisと、遠隔地のビデオカメラで撮影した人間をCAVE内に復元するビデオアバタなどが1つに合成

されいている。ここではCAVE用のアプリケーション開発を容易にするためにOpenGLフュージョン技術を利用している。

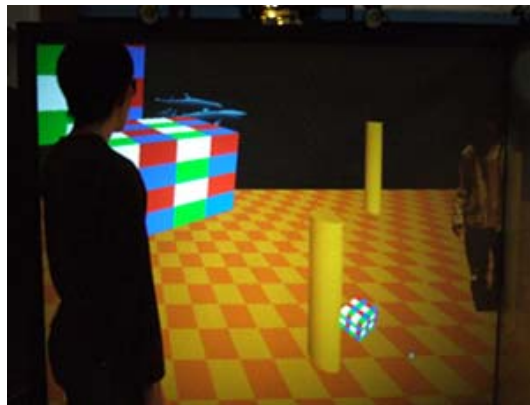


図7 OpenGLフュージョンでIPTシステム内に4つのプログラムを合成表示した様子。

## 4. まとめ

問題解決環境としての可視化システムを構築するためにビジュアルフュージョンという概念を提案し、その実装例を紹介した。本レポートは同名で提出した東京大学学位論文のサマリーである。

### 参考文献

- 1) 宮地英生, 林 幸子, 中井陽一, 伊藤嘉晃, 白崎 実, 姫野龍太郎: データサイズに対してスケーラブルな並列可視化システムの開発、計算工学会論文番号 No.2005021、2005
- 2) Miyachi, H and Sakamoto, N.: Data Reduction by Applying Image-Based Modeling and Rendering Technique to CG models, Journal of Visualization, Vol.8, No.4, pp.331-338, 2005
- 8) H.Miyachi, Marie Oshima, Yoshitaka Ohayoshi, Takehiro Matsuo, Taiki Tanimae, and Nobuyuki Oshima: Visualization PSE for Multi-Physics Analysis by using OpenGL API Fusion Technique, Proc. of IEEE 1st Intl. e-Science and Grid Computing, pp.530-535, 2005

# 高校生が体験するビジュアル・サイエンスの世界

## “VISUAL SCIENCE” FOR HIGH SCHOOL STUDENTS

木下祐介<sup>1)</sup>, 武田 真<sup>2)</sup>, 田中 望<sup>3)</sup>, 梅舘典也<sup>4)</sup>, 加藤佳則<sup>5)</sup>, 表 幸嗣<sup>6)</sup>, 村西 昇<sup>7)</sup>  
Yusuke Kinoshita, Makoto Takeda, Nozomu Tanaka, Noriya Umedachi, Yoshinori Kato,  
Koji Tawara, and Noboru Muranishi

- 1) 金沢大学理学部計算科学科 (〒920-1192 石川県金沢市角間町, yusuke@superdry.s.kanazawa-u.ac.jp)
- 2) 金沢大学大学院自然科学研究科博士前期課程数物科学専攻  
(〒920-1192 石川県金沢市角間町, takeda@superdry.s.kanazawa-u.ac.jp)
- 3) 金沢大学理学部計算科学科 (〒920-1192 石川県金沢市角間町, nozomu@superdry.s.kanazawa-u.ac.jp)
- 4) 金沢大学大学院自然科学研究科博士前期課程数物科学専攻  
(〒920-1192 石川県金沢市角間町, umedachi@superdry.s.kanazawa-u.ac.jp)
- 5) 金沢大学大学院自然科学研究科博士前期課程数物科学専攻  
(〒920-1192 石川県金沢市角間町, katou@superdry.s.kanazawa-u.ac.jp)
- 6) 石川県企画振興部高等教育振興室 (〒920-8580 石川県金沢市鞍月1-1, k-tawara@pref.ishikawa.jp)
- 7) 石川県企画振興部高等教育振興室 (〒920-8580 石川県金沢市鞍月 1-1, mings@pref.ishikawa.jp)

The 8th Ishikawa e-Science which is intensive course on science using information technology for senior high school students in Ishikawa prefecture was held during July 15-17, 2006. Under the main theme of visual science, lectures, training, and case study of simulation, computer graphics, text data compression, stereo image, robot, and presentation were carried out. This paper shows the details of this intensive course.

**Key Words :** *Ie-S 2006, visual science, IT, education*

### 1. はじめに

本研究室では石川県庁と合同で高校生を対象とした科学技術講座である Ie-S (いしかわ e-サイエンス<sup>1)</sup>) を平成 11 年から毎年開催している。この Ie-S では過去に CG (コンピュータ・グラフィックス), 雪の結晶の作成シミュレーション, コンピュータに果物や野菜を取り込んで触れてみよう, などコンピュータとサイエンスを題材とする授業を行ってきた。なかでも実際に自分の目で見てサイエンスを体験できる CG の授業は, 生徒から「面白かった」や「今後も CG 作成をやっていききたい」といった感想を多く得る好評な授業で, 毎年カリキュラムの中に含めている。

20 世紀, 我々は CG による数表の可視化や, 静止画, 動画の技術の進歩により, 数値データをより視覚的に表現することができるようになった。そして, 21 世紀に入り可視化技術はさらに進歩し, より視覚的に表現することができる立体視が注目を浴びている。近年, 裸眼で映像を立体的に見ることができるディスプレイや地理情報システム (GIS: Geographic Information System) などに用いられている。このように可視化技術は現在においても目覚しく進歩を続けている。また, 数年前まで可視化は性能の良いコンピュータを持った研究者だけの世界であった。しかし,

最近では学校や家庭に高性能なコンピュータが普及した。また, 高性能かつ無償の CG や動画の作成ソフトウェアなどが開発されたことにより, 現在では可視化は誰でも気軽に行える時代となった。

そこで本研究室では, Ie-S 2006 に近年注目を浴びている立体視をコンテンツに含めて, CG などの可視化技術を含めたコンテンツをより発展させることを考えた。

このように Ie-S 2006 では, 可視化により自然現象や社会現象の解釈, 説明, 発見を行う「ビジュアル・サイエンス」をテーマとした。そして, 新しいコンテンツである立体視を通して, CG などの可視化技術に興味をもって学んでもらうためのカリキュラムを組んだ。Ie-S 2006 では高校生にこの可視化技術を通して, コンピュータとサイエンスの世界に興味をもってもらい, きたるべき高度情報化社会に対応できる人材を育成することを目的とした。

本稿の構成について述べる。まず第 2 章では, Ie-S 2006 を開催するにあたっての準備や取り組みなどの概要について述べ, 実際の授業のカリキュラムについて述べる。第 3 章では, アンケートに基づいた Ie-S 2006 の生徒による評価と講師側から見た評価を述べる。そして最後に第 4 章では, 本年度の Ie-S を終えてのまとめと今後の課題に

ついて述べる。

## 2. Ie-S 2006 への取り組み

### 2.1 Ie-S 2006 の概要

本年度の Ie-S は 7 月 15 日(土)、16 日(日)、17 日(月)の 3 日間で開催し、15 日(土)は午後のみで、16 日(日)、17 日(月)は終日授業を行った。

場所は例年通り県内の高校生が集まりやすい旧石川県庁で行った。生徒の参加人数は 10 名であり内 2 名は昨年の参加者でもある。指導には本研究室の、教官 1 名、院生 3 名、学部生 2 名があたった。会場には 5 台のコンピュータが設置してあり、参加人数を考えて 1 台につき 2 名ずつ生徒を割り当てた。

次に開催にあたって生徒の募集方法についてだが、これは例年、石川県庁の担当の方が県内の高校に募集をかけており、本年度も県庁をお願いした。募集をかける際に必要な Ie-S 2006 の概要を記載したチラシは本研究室で作成した。

また、授業の準備は本年度も本研究室が主体となっており、授業に必要な資料などを作成した。そして事前に会場に足を運んで、授業を行う上で必要なソフトウェアをインストールし会場の設備を整えた。

### 2.2 カリキュラム

Ie-S 2006 において、我々は「ビジュアル・サイエンス」をテーマに可視化技術を通して、高校生にコンピュータとサイエンスの両方に興味を持ってもらうことを考えねばならなかった。しかし、テーマと目的を結びつけたカリキュラムを組むことが難しく、実際のカリキュラムが決まるまでには本研究室内で様々な意見が出た。議論した結果、授業項目を大きく分けて CG、圧縮、立体視、LEGO®の 4 つとした。以下の表 1 に実際に Ie-S 2006 で行われた授業スケジュールを示す。

表 1. 授業スケジュール

	1 限目	2 限目	3 限目	4 限目	5 限目	6 限目	7 限目
7/15 (土)	開校式			ビジュアルシミュレーション	CG を作ろう		
7/16 (日)					圧縮体験	写真やCGを利用した立体視	CG を作ろう
7/17 (月)	お絵描きロボットを作ろう (LEGO®)		プレゼンテーション道場	終了式			

上で挙げた 4 つの授業についての詳細をこれ以降で述べる。

#### a) CG を作ろう

CG を作ろうの授業では、まず準備として会場のコンピュータに CG 作成ソフトウェアである Metasequoia<sup>2)</sup> をインストールした。このソフトウェアを選んだ理由は、CG 作成における有名なフリーソフトウェアであり、講座後も生徒が家庭で利用できると考えたからである。

授業では、初めに CG の仕組みについて講義を行った。

まずこの講義では CG とは何かを述べ、アニメーションを通して CG がサイエンスを含め、身近の多くの分野で適用されていることを学んでもらった。次に、実際に我々が作った CG 作品を例に CG の作成手順などを教えた。このようにこの講義では楽しみながら分かりやすく CG の仕組みについて学んでもらうことを考えた。

次に、実際に生徒に CG のペットボトルを作成してもらった。題材にペットボトルを用いた理由は、ペットボトルは身近で Metasequoia の基本操作法を学ぶために適していると考えたからである。先程述べたように、昨年から継続して本講座を受講した生徒が 2 名いる。彼らにも満足してもらえるように、彼らには複雑な形のペットボトルの作成に挑戦してもらった。また、我々はペットボトルを作成する上で必要な Metasequoia の操作法を詳しく記した資料を作成した。さらに、我々講師が生徒 1 人 1 人に対して指導につくことで生徒全員に作品を完成させてもらうことを目標とした。これにより本授業では、CG 作成の楽しさを感じてもらい、それを通して可視化技術に対する感心を深めてもらおうと考えたのである (図 1)。

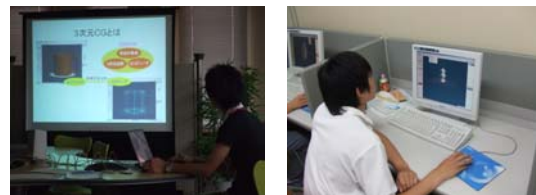


図 1. CG の授業風景

#### b) 圧縮体験

圧縮の仕組みを教える際は、専門用語が多く内容が難しくなってしまう場合が多い。よって今回は高校生でも理解できる内容の易しい授業を行う必要があった。そこで専門用語を控え、高校生でも理解できる身の回りの例を交えながら分かりやすい授業をすることを心掛けた。

そして最後に、データ圧縮の古典的な手法であるハフマン法を用いて、生徒に圧縮率を計算してもらった。様々な種類がある圧縮の手法の中からハフマン法を選んだ理由は、アルゴリズムが易しく高校生でも理解できると考えたからである。実際に自分の目で見て圧縮前後の値の違いを確認し、圧縮の原理を実感してもらった。

#### c) 写真や CG を用いた立体視

次に立体視の授業についてだが、この授業では誰でも簡単に立体視を作成できる 3DView<sup>3)</sup> と高性能なレンダリングが行える Pov-Ray<sup>4)</sup> の 2 つのソフトウェアを用いた。これらもフリーソフトウェアであり、講座後も生徒が家庭で利用することができる。

まず初めに、立体視についての講義を行った。この講義では立体視の仕組みを分かりやすく伝えるために、実際に立体視の作品を多く見てもらいながら授業を進めた。立体視を見るには様々な手法があるが、今回は赤青めがねを用

いる手法を選択した。理由はめがねをかけるだけで簡単に立体視の世界を体験できるからである。本授業で生徒に配布した赤青めがねは、そのまま自宅に持って帰ってもらった。それにより、生徒が自宅でも立体視の世界を体験できるようにした。

次に実際に生徒に立体視の作品を作成してもらう実習を行った。この実習では2つの立体視の作品を作成してもらった。まず1つ目は身近な風景を写真に撮ってもらい、3DView を用いて立体視の作品を作成することである。これは自分で撮った写真を立体視の作品にすることで、立体視を身近なものとして捉え、興味を持ってもらうことを考えた。そして2つ目は、CG を作ろうで作成したペットボトルを Pov-Ray を用いてレンダリングし、それを立体視の作品にすることである。ここでも上で述べたことが1つの目的ではある。しかし、ここでは Pov-Ray を通して可視化技術において重要な概念である視点の位置や動き、光源の位置などを理解してもらうことをより重点において授業を行った(図2)。



図2. 生徒が作成した立体視作品(左図)と立体視の授業風景(右図)

#### d) お絵かきロボットを作ろう

最後に LEGO®の授業についてだが、ここではレゴブロックを主とした LEGO MINDSTORMS™<sup>5)</sup> とこれを動かすために必要なプログラミングソフトウェアである ROBOLAB™<sup>6)</sup> の2つを用いた。

この授業では、LEGO®を用いて題名にもなっているお絵描きロボットを作ってもらうことにした。この理由は LEGO®の組立とプログラミングにより、LEGO®がどのような動きをするかより目で見て確認できると思ったからである。ところが、本研究室で試作品を作ってみた結果、与えられた時間内では到底作ることができないと判明した。そこで、ヒントのみを所々で示し、それぞれのグループに1人ずつ講師がついた。そして、生徒には組立やプログラミングの基本操作法のみを教えた。

ここで我々は、お絵描きロボットを完成させることを1番の目的とは考えていない。そのこと以上に、我々は生徒に組立やプログラミング、また動作確認を試行錯誤してもらい、自分自身で考えて作業をしてもらうことを重視して考えた。その結果どのような動きをするか実際に自分の目で見て確認してもらいたかったのである。科学技術の分野でも同様の事を行う場合が頻繁にある。例えばシミュレーションの計算をする際、様々なパラメータで何回も計算を

行い、どのパラメータが最適かなどを検討する。また、場合によってはプログラムを書き換えることもある。本授業では LEGO®を用いて、上記のことを体験してもらった。これらのことを通して、生徒がコンピュータサイエンスの世界を少しでも体験してもらうことができるのではないかと考えたのである(図3)。



図3. 左上から LEGO®の組立、プログラミング、完成品

### 3. Ie-S 2006 の評価

#### 3. 1 講師による評価

Ie-S 2006 を終えて、まず講師側から見た Ie-S 2006 の評価について述べる。

##### a) 開催状況について

まず開催期間についての評価を述べると、昨年の Ie-S は4週間にも渡る長い期間で6日間かけて行われ、生徒から期間が長いといった意見が出ていた。そこで本年度は当初4日間の日程を2週に渡って実施する予定であった。しかし、最終的に3日間といった短い期間に集中させたカリキュラムを組むことにした。当初の予定と変わった理由は次で述べる。3日間に集中させたことで、昨年度課題として挙げた授業が1週間空くことにより生徒が授業内容を忘れてしまうことを避けることができた。このように結果的には、より内容の濃いカリキュラムが組めたと言える。

次に生徒の募集方法についての評価を述べると、上のように予定が変わった理由はテスト期間中で、生徒が集まらなく延期になってしまったためである。また当日に2名が欠席するといった問題も生じた。昨年の Ie-S では実際に県内の高校2校に対して直接訪問を行い、校長に面会の上、Ie-S を紹介した。それにより昨年は何の問題も生じずに生徒を募集することができた。本年度もそうすべきであったことが我々の反省すべき点である。

##### b) 授業形式について

まず授業の準備についての評価を述べると、昨年は授業を行う上で教科書を用意した。しかし生徒から教科書の量が多く、内容も難しいといった意見が大多数を占めていたので本年度は教科書を無くした。その代わりに本番前にリハーサルを行うなどして実際の指導に力を入れ、ソフトウェアの基本操作法などを記した必要な資料のみを配布することにした。

そして、カリキュラムを組む上で、生徒により多く手を動かしてもらい、実際に自分の目で見てサイエンスの世界を体験してもらうことを考えた。そのために講義の時間をなるべく少なくして実習がメインとなるカリキュラムを組んだ。実際にビジュアルシミュレーション以外の全ての授業に実習の時間を取り入れている。特に LEGO®の授業では、昼食も取らずに組立やプログラミング、動作確認を試行錯誤していた生徒がいた。これより我々は、自分の手を動かして作業を行い、実際に自分の目で見て確認するといった実習形式の授業がいかに重要かを改めて確認させられた。しかし、アンケート結果や実際に時間が延長したことからも、この授業の時間をもっと多くとるべきだったといった、我々が見直すべき点もあった。

#### c) 立体視について

最後に、Ie-S 2006 のテーマである「ビジュアル・サイエンス」を決定付ける上で一番の要素となった立体視についての評価を行う。

可視化技術を通して、高校生にコンピュータサイエンスの世界に興味を持ってもらうことを目的とした Ie-S 2006 のカリキュラムの中で、立体視の授業はその中心を担うものである。結果として、「画像が飛び出て見えるのが面白い」や「自分で撮った写真が立体視に見えた時に感動した」など生徒が満足いったことを示す回答が多く得られ、立体視の授業は成功であったと言える。そして「ビジュアル・サイエンス」をテーマに立体視をコンテンツに含む可視化技術を学んでもらうことを通して、高校生のコンピュータサイエンスに対する感心がより深まったと言える。

#### 3. 2 アンケート結果による生徒視点の評価

次に Ie-S 2006 を受講した生徒の視点から見た評価を本講座の前後で行ったアンケート結果に基づいて記す。まず、Ie-S 2006 では人気のカリキュラム毎に順位をつけてもらったのだが、可視化をテーマとした LEGO®, CG, 立体視の3つが人気カリキュラムの上位3つをほぼ独占した。これら3つに対してはアンケートからも好評価を得ることができ、生徒に可視化技術に興味を持ってもらえたことが言える。なかには「やっていて楽しい」や「人のために役立つ」といった理由から可視化に関わる仕事をしたいと回答した生徒もいた。さらに LEGO®の授業では、「自分で試行錯誤して組立とプログラミングを行い、LEGO®の動作を確認することが面白かった」という回答を得ることができた。これより、生徒が身を持ってコンピュータサイエンスの世界を体験できたことが言えるであろう。そして8人中7人の生徒から今後もこのような講義を開いて欲しいといった回答を得ることができた。

また、「コンピュータを用いたサイエンスとはどのようなものか」といった質問を講座の前後で行い、その変化を考察した。その結果、「身近なイメージが変わった」や「科学を発展させる上で重要なものだと分かった」などの回答を得ることができた。以上から、生徒がコンピュータサイエンスの重要性を理解し、その世界がより身近なものにな

ったと言えるであろう。

しかしながら、授業によっては「分かりにくく難しかった」といった回答もあった。そこで、事前に生徒のコンピュータの知識レベルを調査しておくなど、我々が見直すべき点もあった。

#### 4. まとめと今後の課題

Ie-S 2006 は、近年注目を浴びている立体視をコンテンツに取り入れ、テーマを「ビジュアル・サイエンス」として開催した。我々は可視化技術を学ぶことにより2つの目的を掲げた。1つ目は高校生にコンピュータサイエンスに興味を持ってもらうことであり、2つ目は高度情報化社会に対応できる人材を育成することである。

これらの目的を達成するために、授業項目を大きく分けてCG、圧縮、立体視、LEGO®の4つとし、実習を中心とするカリキュラムを組んだ。その結果生徒からは、「おもしろかった」や「今後の役に立ちそう」などの回答を得ることができ、なかには「科学の発展に関わることをしたい」や「CGを使ってサイエンスの問題を発表してみたい」といった積極的な回答を得ることもできた。そのことから可視化技術を学ぶことにより、上で掲げた2つの目的は達成されたと言える。

また、Ie-S 2006 により実際に手を動かして、自分の目で見てサイエンスの世界を体験することの重要性を改めて確認させられた。そこで、今回のような科学技術講座において我々が再度指導者の立場に立つ時は、これらのことを念頭に置いて、生徒がいかに興味を持って取り組める授業を行うかが、今後の課題として挙げられるであろう。

謝辞：本研究室の田子精男教授には Ie-S 2006 を開催するにあたり、講義を担当して頂き、大変お世話になった。また、石川県企画振興部高等教育振興室の方々には、受講者の募集から、講座会場の管理などにおいて大変お世話になった。Ie-S 2006 の開催にあたっての関係者の方々に、深く御礼を申し上げる。

#### 参考文献

- 1) 萩原智穂, 瓜生和也, 武田真, 外浦均, 村西昇, 辻民生: 高校生のグリッドへの挑戦, 第8回 PSE Workshop & 第3回グリッドセミナー論文集, pp. 24—27 (2005年9月)
- 2) Metasequoia  
<http://www.metaseq.net/metaseq/>
- 3) 3DView  
<http://stereo.jp.org/muttyan/>
- 4) POV-Ray  
<http://www.povray.org/>
- 5) LEGO MINDSTORMS™  
<http://www.mdstorm.com/robolab/>
- 6) ROBO LAB™  
<http://www.mdstorm.com/robolab/>

# e-Learningコンテンツの配信

## e-LEARNING CONTENTS BROADCASTING

田中 望<sup>1)</sup>, 武田 真<sup>2)</sup>, 木下祐介<sup>3)</sup>, 梅舘典也<sup>4)</sup>, 加藤佳則<sup>5)</sup>, 中井 純<sup>6)</sup>

Nozomu Tanaka, Makoto Takeda, Yusuke Kinoshita, Noriya Umedachi, Yoshinori Kato, and Jun Nakai

- 1) 金沢大学理学部 計算科学科 (〒920-1192 石川県金沢市角間町, nozomu@superdry.s.kanazawa-u.ac.jp)
- 2) 金沢大学大学院 自然科学研究科 博士前期課程 数物科学専攻  
(〒920-1192 石川県金沢市角間町, takeda@superdry.s.kanazawa-u.ac.jp)
- 3) 金沢大学理学部 計算科学科 (〒920-1192 石川県金沢市角間町, yusuke@superdry.s.kanazawa-u.ac.jp)
- 4) 金沢大学大学院 自然科学研究科 博士前期課程 数物科学専攻  
(〒920-1192 石川県金沢市角間町, umedachi@superdry.s.kanazawa-u.ac.jp)
- 5) 金沢大学大学院 自然科学研究科 博士前期課程 数物科学専攻  
(〒920-1192 石川県金沢市角間町, katou@superdry.s.kanazawa-u.ac.jp)
- 6) 金沢大学大学院 自然科学研究科 博士前期課程 数物科学専攻  
(〒920-1192 石川県金沢市角間町, nakai@superdry.s.kanazawa-u.ac.jp)

The methods to broadcast e-Learning contents have been investigated. The methods are web page, vodcasting, and internet video site. Advantage and disadvantage of these methods are shown and discussed in conjunction with the contents of Ishikawa e-science. Vodcasting is shown to be the most powerful and useful method for broadcasting the contents of Ishikawa e-science 2006.

**Key Words:** Web page, vodcasting, Internet video site, e-Learning

## 1. はじめに

平成11年から毎年夏に、石川県と金沢大学田子研究室と共同で、石川県の高校生へ「いしかわe-サイエンス」(Ie-S)を金沢大学や金沢市にある旧県庁で開催してきた<sup>1)</sup>。Ie-Sには毎年、10名程度の高校生が参加してきた。しかし、広域にわたっている石川県では、能登半島の輪島市や珠洲市などから参加したくても、金沢市への日帰り移動が困難で参加できない高校生がいた。講師の我々が出張し、授業をすることも時間的制約から難しかった。そこで我々は今までIe-Sに参加できない高校生のためにIe-Sのコンテンツをホームページ上で提供してきた。

一方で、最近の情報インフラの急速な進歩は、色々なコンテンツの配信を可能にしている。有名なものでは、Apple Computer社の携帯オーディオプレーヤー「iPod」を利用する「Podcasting」がある。これが発展し、動画の受信や配信も可能になったものに「vodcasting」がある。また、動画共有サイトも情報インフラの急速な進歩の顕著な例である。動画共有サイトのパイオニアであるYouTube<sup>2)</sup>の躍進をきっかけに、多くの企業がYouTubeと同様の動画共有サ

イトを次々に登場させている。

我々はIe-Sのコンテンツをe-Learningとしてこれらの方法を利用しようと考えた。しかし、これらの配信方法はe-Learningの観点から長所、短所が明らかにされていない。この論文では、2006年7月15日-17日に開催したIe-S2006のコンテンツを、CD-R、ホームページ、vodcasting、動画共有サイトへそれぞれ適用し、長所、短所を抽出したので報告する。

Ie-S2006のコンテンツの特徴を第2章で示す。第3章では、コンテンツ配信方法とその仕組みや要求される技術をレビューする。Ie-S2006のコンテンツを、第3章で述べた配信方法へ適用した結果を第4章で示す。その評価と考察を第5章で行い、第6章で結論と今後の課題を与える。

## 2. Ie-S2006のコンテンツ

Ie-Sのコンテンツとして配信する内容について説明する。今回のIe-Sでは「ビジュアルサイエンス」をテーマに可視化技術を通して、コンピュータとサイエンスの両方に興味を持ってもらうことが目的である。

講座は「ビジュアルシミュレーション」「CGを作ろう」「圧縮体験」「立体視」「LEGO®」「プレゼンテーション道場」の6つを開講した。授業方法には全ての講義、実習にPowerPointを使用した(図1)。また、授業内容を示す資料も配布した。1コマ50分、16コマの授業である。なお、「ビジュアルシミュレーション」は講義のみで、可視化する重要性を初めの授業で説いた。「CGをつくろう」はCGのしくみや原理を説明し、その後CGの作り方の講義を行い実際に生徒にCGを作ってもらった。説明にはソフトウェアの操作をわかりやすく説明するため、アニメーションを多用した。「圧縮体験」ではテキストの圧縮について基本的な考え方を教えた。その後アルゴリズムに従って短い文章を圧縮する演習を行った。「立体視」では平面の画像を立体的に見せる方法を説明し、野外に出てデジタルカメラで撮影した写真を立体視する実習を行った。また、「CGをつくろう」で作ったCGも立体視化した。「LEGO®」の授業は、レゴブロックを主としたLEGO MINDSTORMS™とこれを動かすために必要なプログラミングソフトであるROBOLAB™の2つを用いて行った。車体にボールペンを取り付け、簡単な文字を書くことができた(図1)。「プレゼンテーション道場」はPowerPointの説明をし、「Ie-S2006について」を題にした資料を作成し、2人1組で3分間ずつ発表してもらった。

今回の授業内容には視覚的な要素を多く含んでいるため、e-Learningのコンテンツも文章だけでなく写真や動画を利用したいと考えた。そこですべての講義、実習をビデオカメラとデジタルカメラで撮影した(図1)。



図1 PowerPointを用いた授業(左上)、  
「LEGO®」の授業(右上)、授業の撮影(下)

### 3. コンテンツ配信方法

コンテンツを配信する方法として、CD-R、ホームページ、vodcasting、そして動画共有サイトが考えられる。それぞれについて使用されている配信方法と技術を紹介

する。

#### 3. 1 CD-R

CD-Rには700MBの容量があり、テキストはもちろん、写真や動画も書き込むことができる。例えばwmv形式の動画は、480 x 360のサイズで1分間再生するためには6~7MBの容量が必要である。よってCD-R一枚で100分間程度の動画を収めることができる。再生にはCD-Rドライブ付きのPCが必要である。作成するためには一枚のCD-Rで約100円のコストがかかり、書き込むための時間も必要である。配信方法は郵送や手渡しである。

#### 3. 2 ホームページ

一般的に使われているインターネットを通じ、ホームページ上にテキストや写真、動画をアップロードし公開する方法である。世界中には無数のホームページが存在している。ホームページは、インターネットに繋がっているPCがあればいつでも見ることができる。

ホームページを開設するためにはWebサーバが必要である。レンタルサーバを使う場合は容量などに制限がある場合が多い。そのためファイル容量が大きい動画を多く使用する場合は、可能であれば個人で所有しているWebサーバを利用した方がよいだろう。この場合、HTMLの知識やサーバの管理をする技術が必要になる。

#### 3. 3 vodcasting

Podcastingが発展して動画も視聴できる仕様になったものがvodcastingであり、Webサーバ上にある動画をクライアントがダウンロードする手法である。ダウンロードした動画はPCや専用の携帯端末を用いて見ることができる。

Webサーバ上にアップロードされた動画ファイルのURLがブログなどのRSS内に関連付けられる。そのRSSから動画のURLを抽出することで、様々なソフトウェアやウェブサイト上で動画ファイルを読み取り、PCやiPodでダウンロード保存や再生することが可能な技術である。

配信はRSSに対応した既存のブログを使う方法と個人的に構築したホームページやブログをRSSに対応させて行う方法がある。既存のブログを使う場合、vodcastingとRSS2.0に対応したブログに加入すればすぐに動画をアップロードし、配信できる。レンタルサーバ等ではアップロードできるファイルには容量の制限がある。個人的にブログを構築する場合はCMSなどを使う。この場合は容量の制限は考慮しなくてよい。

#### 3. 4 動画共有サイト

動画を共有し、閲覧できるウェブサイトである。ウェブサイト動画に動画をアップロードすると自動的に形式サイズが変換されて配信される。

代表的なものにYouTubeが挙げられる。YouTubeは、Flash Video形式、QVGAサイズ(320x240、一部例外あり)、音声はモノラルのMP3に変換される。Macromedia Flash



Player 7以降がインストールされていれば、Webブラウザでストリーミング再生を閲覧できる。アップロードできるのは動画ファイルのみで、音声ファイルなどはアップロードできない。YouTubeは海外のWebサイトであるが、UTF-8で運営しているため動画名やコメントは日本語を含む多国語に対応している。またアップロードできるファイルには容量及び再生時間の制限があり、YouTubeの場合1つのファイルにつき100MB以下で、一般的には10分以内のファイルでなければならない。

YouTubeのサービスに参加する方法は非常に容易である。氏名、E-mail、生年月日、性別、国名、パスワードを決めてメールを受け取り、その中にあるリンクにジャンプし、登録する。登録すれば動画をサイト上に公開できる。

#### 4. Ie-S2006のコンテンツ配信

第3章で紹介した配信方法で、実際にIe-Sのコンテンツをそれぞれの配信方法に適用した。

##### 4.1 CD-Rの配布

CD-Rに講座の様子などの映像を書き込んでおけばいつでもPCで見ることが出来る利点がある。しかし、3日間全ての授業は合計で800分間にもなり、1分間で約7MBの容量を必要とする動画ファイルを、700MBのCD-Rに収めるためには8枚のCD-Rが必要である。また、すべてのCD-Rにコンテンツを書き込み配布するためにはコストと時間が膨大に必要なため、不特定多数の人に配信する方法としては不相当だと言える。よってCDによるコンテンツの配信は行わなかった。

##### 4.2 ホームページによる公開

本研究室は自前のWebサーバを利用したホームページ(図2)を持っており、そこにテキストや写真、動画を掲載できる<sup>3)</sup>。そのため容量の面でレンタルサーバのような制限はない。この方法はコストもかからず、不特定多数の人が閲覧できるため以前から行ってきた。しかしテキストや、授業風景などの写真の掲載は行っていたが動画の掲載はしてこなかった。

そこで今年は動画の掲載を新たに実施した。掲載したコンテンツは6つの講座の概要と、それぞれの動画、テキスト、写真である。Ie-Sに興味を持ってくれた生徒が本研究室のホームページにアクセスすれば手軽にe-Learnigができる。



図2 本研究室のホームページ

#### 4.3 vodcasting

ホスティングサービスのブログには一般的にコミュニティができており、同ブログの利用者は頻繁に同じホスティングサービスのブログを訪問している。また多様なジャンルのブログが存在し、教育を目的としたものもある。今回は既存のブログであるSeesaaBLOG<sup>4)</sup>を使ってコンテンツを配信する方法を選んだ。この方法を使えば手軽にコンテンツを配信できるため、新しくブログを構築する方法は使わなかった。なお、ブログにはデファクトスタンダードと言えるものが見当たらない。多数あるブログの中でSeesaaBLOGを選んだ理由として、vodcastingとRSS2.0に対応している点やSeesaaBLOG利用者の訪問が期待できる点、教育用のカテゴリがある点が挙げられる。

一度ブログに加入すると、ブラウザ上でvodcastingの設定をするだけで容易に動画を配信することができる(図3)。また、SeesaaBLOGではブラウザ上で動画を見ることが出来る。なお、ブログ側にファイルをアップロードできるが、SeesaaBLOGでは1つのファイルの容量が5MB以下という制限がある。そのため、動画ファイルは本研究室のWebサーバにアップロードし、ブログからリンクを貼った。

掲載したコンテンツはホームページと同じく、動画、テキスト、写真である。



図3 vodcastingの設定を行う画面

#### 4.4 動画共有サイトによる公開

動画共有サイト上への公開は、多数あるサイトの中からYouTubeを選んだ。YouTubeを選んだ理由として、アクセス数や動画の総数が最も多く、動画共有サイトのデファクトスタンダードと言えることが挙げられる。また、特徴としてファイルにタグが付けられるため、動画の検索が簡単にできる点がある。YouTubeは米国から発信しているサービスであるが、日本にも動画共有サイトは存在する。フジテレビのワッチミー!TVや、amebavisionなどがあるが知名度は低い。

本来は自作動画の共有が目的のサービスであるが、実際にはテレビ番組のコピーなど著作権を無視した映像が多数公開されており、著作権の面で問題視されている。また、公開されている動画の中には教育上不適切なものも存在していることも問題だと言える。

Ie-Sの動画は自作のものであるため著作権の問題には

触れることはないが、生徒の肖像権を考慮し、事前にビデオ撮影を行う事とWeb上に公開する事の同意を得て同意書にサインをしてもらうことで解決した。

3章でも示したように、YouTubeへのアップロードの容量制限は1つのファイルにつき100MB以下で10分以内となっている。よってIe-Sの講座の動画は長時間になることを避け、ファイルを分割した。

YouTubeで配信したコンテンツはすべての講座の動画である。アップロードできるファイル数に制限がないことから、多くの動画を配信することができた。



図4 YouTube (左) とブログ (右) のトップページ

## 5. 評価・考察

第4章でまとめた特徴について評価と考察を行う。

CD-Rでの配信はコスト面や、e-Learningの見地からは不適切であり、行わなかった。本研究室のホームページでのコンテンツの配信は、テキスト、動画、写真すべてを行った。Ie-Sに来ることができなかった生徒に対し、ホームページへのアクセスは最も手軽にe-Learningを行える方法と言える。また、Ie-Sとは関係なく、本研究室に興味を抱きホームページを訪れた人に対するコンテンツの公開も、少しでも多くの人にサイエンスに興味を持ってもらうという意味で重要であると考えられる。

SeesaaBLOGでの配信は、教育用のカテゴリがあるためe-Learningに興味がある人に見てもらえることができる。既存のブログであるため利用者が多いのでアクセス数にも期待できる。ブログ上に載せられるファイルの容量が少ない点から、動画ファイルは本研究室のWebサーバ上にアップロードし、リンクさせた。よってブログでのe-Learningもテキスト、写真、動画すべてを掲載することができた。

YouTubeへは、動画のアップロードがしやすいため多くの動画を掲載した。YouTubeは利用者が多いため、タグを利用した検索によりe-Learningに興味を持っている人が閲覧することを望める。しかし高校生が利用する際は、教育に不適切な動画が多数存在することが問題である。

## 6. 結論と今後の課題

今回Ie-S2006では「ビジュアルサイエンス」「CGを作ろう」「圧縮体験」「立体視」「LEGO®」「プレゼンテーション道場」の6つの講座を開き、すべての講座のコンテンツを

配信することができた。

配信を検討した方法はCD-R、ホームページ、vodcasting、動画共有サイトの4つである。CD-Rは再生が容易であるが、コスト面の問題から配信は行わなかった。ホームページでの公開は大容量の動画を配信可能であるため、今年は動画の掲載も新たに行った。

vodcastingを使用する方法では、アップロードできるファイルの容量が少ないことから、配信する動画は本研究室のWebサーバ上にアップロードしたファイルへリンクさせた。ブログはSeesaaBLOGを使用した。SeesaaBLOG内の利用者からの訪問を期待できるためである。動画共有サイト上への公開は、多数あるサイトの中からYouTubeを選んだ。配信が容易であり、利用者も多く、ブラウザ上で動画を見られるためである。教育に不適切な動画が存在することが問題であった。

このようにコンテンツを配信する方法は複数あり、それぞれに長短所があった。今回のようにIe-Sに来ることができなかった生徒にコンテンツを配信するという目的では、ホームページからの配信が最も適していると言える。しかし、Ie-Sに限らずe-Learningを行う上で動画を多く含むコンテンツを配信する場合は、ブログと自前のWebサーバを使う方法が最もよいと考える。vodcastingを用いて、Webサーバへアップロードしたコンテンツを配信することにより、容量、アップロードの容易さ、コスト、アクセス数の問題を全て解決できるためだ。このように色々な方法を組み合わせることで動画を公開することにより、少しでも多くの人にe-Learningを知ってもらい、サイエンスを学ぶ人が増えることを期待する。

今回の調査を活かし、今後は教育を目的とした動画共有サイトを自ら構築することを課題とする。

**謝辞:** 今回論文を執筆するにあたり、金沢学院大学講師前田太陽氏には多くの助言をして頂き、大変お世話になった。深く御礼を申し上げる。

## 参考文献

- 1) 萩原智穂, 瓜生和也, 武田真, 外浦均, 村西昇, 辻民生: “高校生のグリッドへの挑戦”, 第8回PSE Workshop & 第3回グリッドセミナー論文集, pp. 24-27 (2005年9月)
- 2) YouTube  
<http://www.YouTube.com/>
- 3) 田子研究室  
<http://superdry.s.kanazawa-u.ac.jp/>
- 4) SeesaaBLOG  
<http://blog.seesaa.jp/>

# 分散型PSEシステム “D-NCAS” におけるステアリング

## STEERING IN DISTRIBUTED PSE SYSTEM “D-NCAS”

杉浦秀明<sup>1)</sup>, 斉藤祐一<sup>1)</sup>, 尾崎哲也<sup>2)</sup>, 長野一<sup>2)</sup>, 早勢欣和<sup>3)</sup>, 菊池崇志<sup>1)</sup>, 川田重夫<sup>2)</sup>

Hideaki Sugiura, Yuichi Saitoh, Tetsuya Ozaki, Hajime Nagano,  
Yoshikazu Hayase, Takashi Kikuchi and Shigeo Kawata

1)宇都宮大学大学院工学研究科電気電子工学専攻 (〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東7-1-2,  
mt053216@cc.utsunomiya-u.ac.jp, mt053212@cc.utsunomiya-u.ac.jp, tkikuchi@cc.utsunomiya-u.ac.jp)

2)宇都宮大学大学院工学研究科エネルギー環境科学専攻 (〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東7-1-2,  
mt063603@cc.utsunomiya-u.ac.jp, mt063617@cc.utsunomiya-u.ac.jp, kwt@cc.utsunomiya-u.ac.jp)

3)富山商船高等専門学校電子制御工学科 (〒933-0293 富山県射水市海老練合1-2,  
hayase@toyama-cmt.ac.jp)

In this paper, we present a steering function in distributed problem solving environment (PSE) system “D-NCAS”. D-NCAS inputs partial different equations and outputs C-language source codes to solve problems in FDM/FEM. The system consists of several modules: a problem description module, an equation manipulation one, a program generation one, a documentation one, etc. We present a steering function in a distributed PSE. The system reduces users’ load and improves recycling of projects by the steering function.

**Key Words** : Problem Solving Environment, Distributed Computing, Steering

## 1. はじめに

数値シミュレーションによる物理現象の解析は、理論・実験に次ぐ第三の解析手法と言われてから久しく、現在ではその地位を確かなものとしている。科学・工学分野の研究者にとってシミュレーションプログラムの作成という作業は、本来の物理現象の解析とはかけ離れた作業である。また、大規模なシミュレーションプログラムの場合、1000行あたり7つの誤りがあると言われて<sup>1)</sup>。このエラー修正にも大きな時間をとられてしまい、研究者にとって大きな負担となっている。そこで、これらの研究者の負担を軽減することを目的とした数値シミュレーションを支援する環境、PSE (Problem Solving Environment)<sup>2-8)</sup>と呼ばれる研究分野が生まれた。PSEによってシミュレーションプログラムを自動生成することができれば、研究者はプログラミングやエラー修正といった作業から解放され、本来の研究に没頭することができる。

我々は、解きたい物理現象を表す偏微分方程式 (PDE) や変数情報などの必要な情報を入力することで、数値シミュレーションプログラムを自動生成するシステムの開発に取り組んできた。機能追加や更新ごとにシステムが肥大化してしまう集中型PSEシステムに代え、分散コンピューティング環境を意識したネットワーク分散型PSEシステム “D-NCAS”<sup>9-13)</sup>を開発している (図1)。分散型システムにすることにより、機能追加などによるシステムへの影響

を最小限に留めることが可能であり、進歩し続ける手法にも柔軟に対応することができる。また、過去の遺産となったモジュールの再利用も容易になり、分散型PSEの概念は飛躍的にPSEの世界を広げる。

本稿では、分散型PSEシステム “D-NCAS” の概要とステアリングについて述べる。

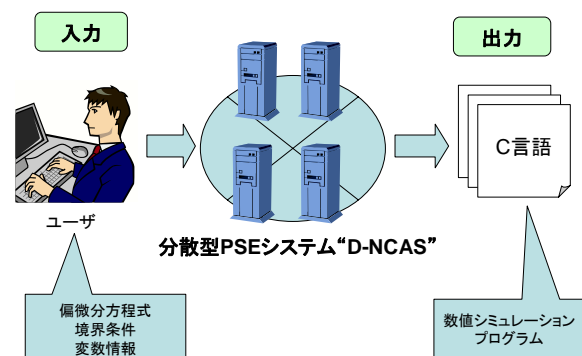


図1 分散型PSEシステム “D-NCAS” の概念図

## 2. D-NCASの概要と機能

### 2.1 D-NCASの概要

本システムは、特定の環境に依存しないシステムを可能にするため、通信プロトコルにSOAP (Simple Object Access

Protocol)<sup>14)</sup>、通信データフォーマットにXML (Extensible Markup Language)<sup>15)</sup>を用いた。また、数式の記述にはXMLの一種であるMathML (Mathematical Markup Language)<sup>16)</sup>を採用した。ユーザは、特別なアプリケーションをインストールすることなく、Webブラウザのみで本システムを利用することができる。

## 2.2 入力支援機能

ユーザは、入力支援インタフェースを通して、偏微分方程式、境界条件、変数情報などを入力する。偏微分方程式はMathMLで記述するため、それを支援する数式エディタを使用する。数式エディタは、GUIを用いて入力された偏微分方程式をMathMLに変換する。なおMathMLは、Internet ExplorerなどのWebブラウザにIBM社製のtechexplorerやMathPlayerをプラグインすることで可視化が可能である。

## 2.3 数式処理機能

数式処理機能は、入力した数式を有限差分法 (FDM)、または有限要素法 (FEM) を用いて離散化し、式整理を行う。有限差分法の場合、離散化手法が記述されたXMLを読み込み、その情報をもとに、風上差分、中心差分、QUICK法などの離散化手法に加えて、ユーザ自身が定義した手法にも対応することができる。

## 2.4 プログラム生成機能

数式処理された数式は、時間・空間情報などをもとに数値シミュレーションプログラムを生成する。図2に生成されたプログラム例の一部を示す。図2に示すようにプログラムはC言語で記述され、コンパイルのみで実行することができる。また、生成されるプログラムは分の区切りや関数、制御文の範囲に合わせて適切なインデントや関数についてのコメントを付加した可読性の高いものとなっている。

```

/* ----- Information Data -----
Subject : 一次元移流拡散方程式
date : 06/03
note : 有限差分法による一次元移流拡散方程式のシミュレーション解説
----- Information Data End -----
*/

#include <stdio.h> /* 標準入出力ライブラリ */
#include <math.h> /* 数学ライブラリ */

/* 空間のデータの宣言 */
#define IMAX 50 /* i方向 */
#define JMAX 50 /* j方向 */
#define dx 0.1 /* i方向の */
#define dy 0.1 /* j方向の */

/* 関数の宣言 */
void calculate_Diffuse2AD(); /* Diffuse2ADの計算 */
void boundary_Diffuse2AD(); /* Diffuse2ADの境界条件 */

/* 時間のデータの宣言 */
#define NMAX 1000 /* */
#define dt 0.01 /* 時間ス */

void writeData(); /* ファイル出力関数 */
void initial(); /* 初期値の計算 */
void calculateSpace(); /* 計算領域の計算 */
void nextTimeStep(); /* 次のタイムステップへ移行 */

/* Main関数 */
void main() {
    /* 定数値の計算 */
    /* 初期値の設定 */
    initial();
}

```

図2 生成されたシミュレーションプログラム例

## 2.5 ドキュメント生成機能

入力情報及び処理モジュール群が生成するXMLデータをもとに、XMLの一種であるXHTML<sup>17)</sup>形式でドキュメントを自動生成する。図3に生成されたドキュメント例の一部を示す。ドキュメントは、問題に関する数式や用語・手法解説を取り入れることで数値シミュレーション初学者向けの教材にもなる。詳細情報からリングをたどることで、ドキュメントの内容やシミュレーションプログラムの理

解を支援する。

## 2.6 モジュール連携機能

分散型PSEシステムは、モジュールの追加や更新により機能の拡張を行うが、新たに追加したモジュールは既存のモジュールとの連携が困難な場合がある。そこで、既存のモジュールと新規モジュールの間に設置するアダプタの生成を支援することで、モジュールの再利用性を高めるとともに、新たな機能の追加や更新を容易にしている。

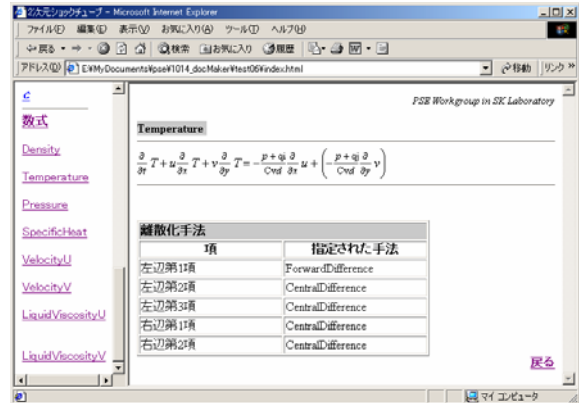


図3 生成されたドキュメント例

## 3. ステアリング

### 3.1 ステアリングの概要

現在、分散型PSEシステム“D-NCAS”において、ステアリングへの対応化に取り組んでいる。ここで、“ステアリング”とは「訂正、修正」といった意味である。本システムは、数式の処理過程をユーザに対して示すホワイトボックス型システムである。システムは、ブラックボックス型システムを理想としたところだが、ブラックボックス型システムは途中の数式処理過程が見えないため、途中過程で修正をすることはできない。それに対して、ホワイトボックス型システムは、途中の数式処理過程が見えるため、修正が容易になることに加えて、生成されるシミュレーションプログラムの信頼性を高めることができる(図4)。しかし、これまでは数式のパラメータを変更したい、計算手法を変更したいといった場合、始めの数式の入力や境界

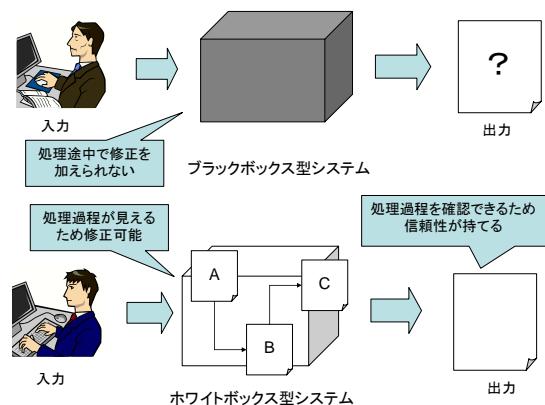


図4 ブラックボックス型システムとホワイトボックス型システム

条件, 変数情報を入力し直す必要があった. そこで, このようなユーザの負担を軽減させるために, 本システムをステアリングできるようにする必要がある.

### 3.2 ステアリングの処理概念

本システムで行うステアリングには次のようなものがある.

- a) 数式のパラメータの変更
- b) 離散化手法の変更や新たな計算手法の適用
- c) 項の追加
- d) プログラムやドキュメントからのステアリング

本システムは, これら全てのステアリングを可能にする必要があるが, ここでは, a), b)のステアリング処理について述べる.

ステアリングの処理概念を図5に示す. まず, ユーザはモジュール管理サーバへアクセスし, 既に処理したプロジェクトの処理結果を閲覧する. モジュール管理サーバは, プロジェクトの全ての処理結果のURLをデータベースで管理しており, ユーザはモジュール管理サーバへアクセスするだけで, プロジェクトの処理結果を参照することができる.

ユーザからステアリング指示が出されると, モジュール管理サーバはステアリングモジュールを呼び出す. このとき, モジュール管理サーバは, そのプロジェクトの処理過程で生成された結果ファイルのURLをステアリングモジュールへ送信する. ステアリングモジュールは, 取得したURLをもとに, 各処理サーバからそのプロジェクトに関連する結果ファイルを取得する. その後, 結果ファイルをWebページでユーザに対して示す. ユーザはこのWebページでステアリングを行うことになる.

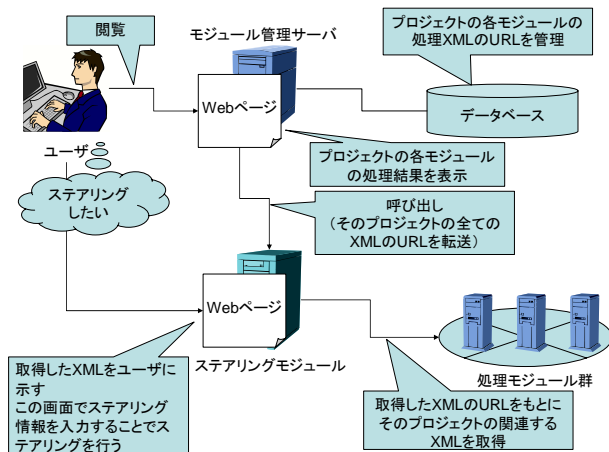


図5 ステアリング処理概念図

ステアリングは, 処理過程のタイミングやステアリングの内容によって派生の範囲が異なる. 数式の離散化後の結果をステアリングする場合は, 上記のa)とb)の両方とも上流にも下流にもその結果を派生させることができる. 一方, 式整理結果をステアリングする場合は, a)のステアリングについては上流にも下流にもその結果を派生させること

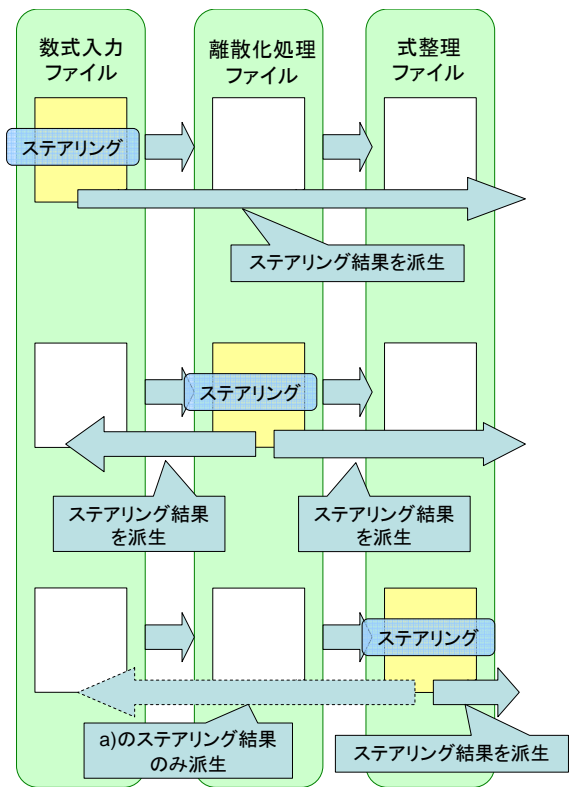


図6 ステアリング結果の派生

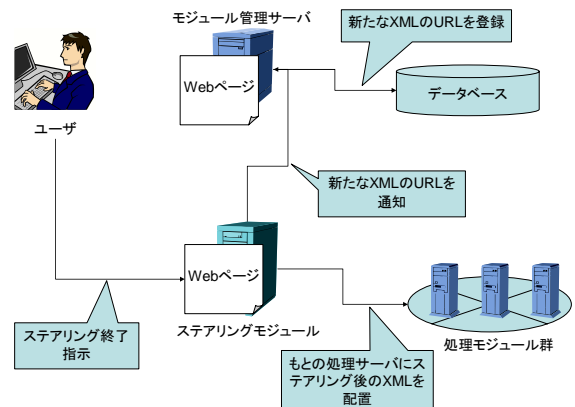


図7 ステアリング後の処理

ができるが, b)のステアリングについては下流にのみその結果を派生させることができる. その様子を図6に示す. 図6において, 式整理ファイルの後にプログラムやドキュメントの生成が行われる.

ユーザがステアリング終了指示を出すことでステアリングが完了する. ステアリングが完了したあとの処理概念を図7に示す. ステアリングが終了した各処理結果ファイルは, もとの処理サーバに配置される. ここで, ステアリング前の処理ファイルは消去されずに保存しておく. これは後に, 更新履歴を残しておき, すべてのステアリングのタイミングでも呼び出せるようにする予定だからである. このようにすることによってプロジェクトの再利用性がより高まると考えられる. ステアリングモジュールは, その後モジュール管理サーバに対して, 各処理モジュール

群に配置した新たなURLを通知する。モジュール管理サーバは通知された新たなURLをデータベースに登録しステアリング後の処理が完了する。

#### 4. まとめ

PSEに分散技術の概念を取り入れ、数値シミュレーションプログラムを自動生成するネットワーク分散システム、D-NCASの構築を行っている。現在、そのD-NCASにおいてステアリングについて取り組んでいる。ステアリング可能なシステムとすることで、システムを利用する上で修正が容易になり、ユーザの負荷を軽減させることができ、また、プロジェクトの再利用性も高められると考えられる。今後は、ユーザがステアリングする際、使いやすいユーザインタフェースの作成に取り組みたい。

#### 参考文献

- 1) Post, D. E. and Votta, L. G.: Computational Science Demands a New Paradigm, Physics Today, Vol.58, No.1, pp.35-41, 2005
- 2) Rice, J.R. and Boisvert, R.F.: "Springer Series in Computational Mathematics 2, Solving Elliptic Problems Using ELLPACK", Springer-Verlag, New York, 1984
- 3) Umetani, Y.: "DEQSOL A Numerical Simulation Language for Vector/Parallel Processors", Proc. IFIP TC2/WG22, 5, pp.147-164, 1985
- 4) Fujio, H. and Doi, S.: "Finite Element Description System as a Mid-Layer of PSE, Proceedings of Conference on Computation Engineering and Science", Vol.3, No.2, pp.441-444, 1998
- 5) Hirayama, Y., Ishida, J., Ota, T., Igai, M., Kubo, S. and Yamaga, S.: "Physical Simulation using Numerical Simulation Tool PSILAB", the 1st Problem Solving Environment Workshop, pp.1-7, 1998
- 6) Kawata, S., Boonmee, C., Fujita, A., Nakamura, T., Teramoto, T., Hayase, Y., Manabe, Y., Tago, Y. and Matsumoto, M.: "Visual Steering of the Simulation Process in a Scientific Numerical Simulation Environment -NCAS-", Enabling Technologies for Computational Science, edited by Houstis, E.N. and Rice, J.R., Kluwer Academic Publishers., pp.291-300, 2000
- 7) Boonmee, C. and Kawata, S.: "Computer-Assisted Simulation Environment for Partial-Differential-Equation Problem : 1. Data Structure and Steering of Problem Solving Process", Trans. of the Japan Society for Computational Engineering and Science, Paper No.19980001, 1998.
- 8) Boonmee, C. and Kawata, S.: "Computer-Assisted Simulation Environment for Partial-Differential-Equation Problem : 2. Visualization and Steering of Problem Solving Process", Trans. of the Japan Society for Computational Engineering and Science, Paper No.19980002, 1998.
- 9) Teramoto, T., Nakamura, T., Kawata, S., Machide, S., Hayasaka, K., Nonaka, H., Sasaki, E. and Sanada, Y.: "A Distributed Problem Solving Environment (PSE) for Partial Differential Equation Based Problems", Trans. of the Japan Society for Computational Engineering and Science, Paper No.20010018, 2001.
- 10) Kawata, S., Usami, H., Hayase, Y., Miyahara, Y., Yamada, M., Fujisaki, M., Numata, Y., Nakamura, S., Ohi, N., Matsumoto, M., Teramoto, T., Inaba, M., Kitamuki, R., Fujio, H., Senda, Y., Tago, Y. and Umetani, Y., "A Problem Solving Environment (PSE) for Distributed Computing", accepted by Int. J. High Performance Computing and Network, 2005.
- 11) 杉浦秀明, 齊藤祐一, 藤生英昭, 長野一, 尾崎哲也, 早勢欣和, 菊池崇志, 川田重夫: ネットワーク分散型PSE "D-NCAS", 計算工学会講演会論文集 Vol.11, pp.515-518, 2006
- 12) 藤生英昭, 稲葉真純, 齊藤祐一, 杉浦秀明, 早勢欣和, 菊池崇志, 川田重夫: 分散型問題解決環境 "D-NCAS" におけるモジュール連携, 計算工学会講演会論文集 Vol.10, pp.735-738, 2005
- 13) Inaba, M., Fujio, H., Kitamuki, R., Kawata, S., Kikuchi, T.: "Computer-Assisted Documentation in a Problem Solving Environment (PSE) for Partial Differential Equation Based Problems", Trans. of the Japan Society for Computational Engineering and Science, Paper No.20040025, 2004
- 14) W3C, SOAP, <http://www.w3.org/TR/SOAP/>
- 15) W3C, XML, <http://www.w3.org/TR/REC-xml/>
- 16) W3C, MathML, <http://www.w3.org/TR/REC-MathML/>
- 17) W3C, XHTML, <http://www.w3.org/TR/xhtml1/>

## 第9回PSEワークショップ プログラム

会場：宇都宮大学 工学研究科 アカデミアホール

2006年 9月4日(月)

13:25~13:30	開会の辞:川田重夫	
	招待講演1 座長:川田重夫	
13:30~14:30	姫野 龍太郎 様	次世代スーパーコンピュータ開発プロジェクトとアプリケーション
14:30~14:40	休憩10分	
	一般講演1 座長:梅谷征雄	
14:40~15:00	宇佐見 仁英	サイエンスゲートウェイにおけるアプリケーション共有機構としての「NAREGI-PSE」
15:00~15:20	加藤 佳則	GRMS:グリッドの自律化に向けて
15:20~15:40	梅田 雅敬	利用者から見た CAD-Grid システムの活用
15:40~15:50	休憩10分	
	一般講演2 座長:門岡良昌	
15:50~16:10	寺元 貴幸	3次元創造システムを活用した解析支援環境の構築
16:10~16:30	梅舘 典也	LAN内の分散計算ができるPSEツールキット“Instant PSE”の開発と適用
16:30~16:50	尾崎 哲也	クローズド分散計算機環境内におけるジョブ実行支援システム
16:50~17:10	武田 真	PIV速度ベクトル計算の高速化に向けて
18:00~20:00	懇親会(会場:雅秀殿(宇都宮総本店) 会費:5,000円)	

2006年 9月5日(火)

	招待講演2 座長:田子精男	
9:00~9:40	伊藤 昇平 様	デンソーグループにおけるPSEの現状と将来
9:40~10:00	休憩20分	
	一般講演3 座長:西浦光一	
10:00~10:20	金澤 宏幸	Design and Implementation of NAREGI Problem Solving Environment for Large-Scale Science Grid
10:20~10:40	伊藤 航	モード解析に基づくピアノ響板シミュレータの高速化
10:40~11:00	松本 陽司	フロントエンドにMicroAVSを用いたリモート並列可視化システムの紹介
11:00~11:20	福田 博之	可視化ポータルサイトの開発と適用
11:20~11:40	古賀 掲維	オープンソースを活用した教育改善システムの開発
11:40~13:00	昼食	
	一般講演4 座長:丹羽量久	
13:00~13:20	早勢 欣和	PICプログラム環境としてのワークフローツールの構築
13:20~13:40	中井 純	ポアソン方程式のための問題解決環境“PowerWorkbench”の構築
13:40~14:00	斉藤 祐一	分散型問題解決環境“D-NCAS”におけるモデル化支援モジュールの開発
14:00~14:10	休憩10分	
	ポスター発表(ポスターは10時まで掲示をお願いします)	
14:10~15:00	宮地 英生	問題解決環境としての可視化システムの開発
	木下 祐介	高校生が体験するビジュアル・サイエンスの世界
	田中 望	e-Learningコンテンツの配信
	杉浦 秀明	分散型PSEシステム“D-NCAS”におけるステアリング
~14:30	出席者による論文発表賞の投票締め切り	
15:00~15:15	休憩15分	
15:15~	表彰式, 閉会の辞: 田子精男, 梅谷征雄, 川田重夫	





本論文の一部あるいは全部について、PSE 研究会の許諾を得ずに、複製することは、法律で認められる場合を除き、禁じられています。

No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, without the prior permission in writing of the PSE Research group.

---

## 第 9 回問題解決環境ワークショップ論文集

---

平成 18 年 9 月 4 日発行

編集発行：PSE 研究会

〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東 7-1-2

TEL/FAX : 028-689-6080/6081

---