

東京工業大学 学術国際情報センター

グリッド・コンピューティングの研究開発を通じて、 科学技術の進展に貢献。

グリッド・コンピューティングへの期待が高まる中で、それを社内の情報インフラストラクチャーとして活用しようとするITエンジニアや、ビジネスに応用しようとする企業にとって、その仕組みや有効性を正しく理解することはますます重要になってきています。

東京工業大学 学術国際情報センター 教授の松岡 聡氏は、長年にわたってグリッド・コンピューティングの研究に携わり、自らの研究室で国内最速のコモディティ（商用）PCクラスターの開発に成功。2002年6月にはスーパーコンピューターの世界的なランキングである「Top500スーパーコンピューター」の47位にランクインするという快挙を成し遂げただけでなく、「東工大キャンパス・グリッド」と呼ばれる国内最大規模のグリッドを構築してその運用研究を進めています。

また、GGF (Global Grid Forum) のステアリング・グループ委員ならびにエリア・ディレクターとしても活躍し、2003年3月に東京・新宿で開催された第7回GGFの推進役の一人となりました。

松岡氏の今までの研究活動を中心に、グリッド・コンピューティングの現在と今後の展開について語っていただきました。

Interview with IBM Customer | Global Scientific Information and Computing Center, Tokyo Institute of Technology

Contributing to the development of science and technology through research and development in the field of grid computing.

Expectation of grid computing are constantly rising. For IT engineers who make use of grid computing as a type of in-house information infrastructure and for companies wishing to use grid computing for business purposes, it is becoming more and more important to achieve a proper understanding of the methods and effects of grid computing.

Professor Satoshi Matsuoka of the Global Scientific Information and Computing Center of the Tokyo Institute of Technology has been involved for many years on research into grid computing and has succeeded in developing Japan's fastest commodity PC cluster in his laboratories. In June 2002 he achieved the conspicuous feat of having his computer ranked in 47th position amongst the world's top 500 super-computers, in addition to which he has been carrying out research aimed at constructing Japan's largest grid testbed, known as the "Tokyo Institute of Technology Campus Grid."

Professor Matsuoka is also active as a committee member and area director of the steering group of the Global Grid Forum (GGF), and he was one of the directors of the 7th GGF conference held in Shinjuku in Tokyo in March 2003.

We asked Professor Matsuoka to talk about the current status of grid computing and its future prospects, centering on his own past research activities.

東京工業大学 学術国際情報センターの役割

現在、私は東京工業大学の学術国際情報センターに所属し、主に科学技術計算などに用いられる次世代の高性能ソフトウェア基盤を研究しています。

当センターは、2001年4月に、従来の総合情報処理センターと理工学国際交流センターを統合して設立された組織です。もともと情報処理センターは学内の情報関係のサービスを、国際交流センターは学外との研究の連携と支援活動を行っていましたが、インターネットの普及により共通化できる業務も多く、また研究部門の拡充の必要性も叫ばれていました。そこで、いわゆるセンターとしての支援業務だけでなく、次世代のスーパーコンピューティングやネットワーキング、e-ラーニングといった研究と密着させたり、次世代の国際ネットワークを使った国際交流を推進するために統合化され、新たに学術国際情報センターとして統合され再出発しました。

最近の情報技術の発展は極めて急速であり、またITを利用したサービス(研究用計算機、情報教育、キャンパス・ネットワーク)も多彩になるなど、センターとしても常に新しい情報技術を取り入れて研究・教育支援の業務を心掛けることが重要になってきています。

発足の経緯からもお分かりいただけると思いますが、当センターの組織は三つの柱で構成されています(図1)。特に情報系2部門(情報基盤、研究・教育基盤)は、常に最先端の情報技術レベルを維持しつつ、ユーザーからの要望にこたえるために15名近くの専任/客員教官を配置し、お互いに連携して効率的に研究・開発を進めるとともに、その成果を国内外の研究・教育機関などに発信して研究・教育の活性化に努めています。

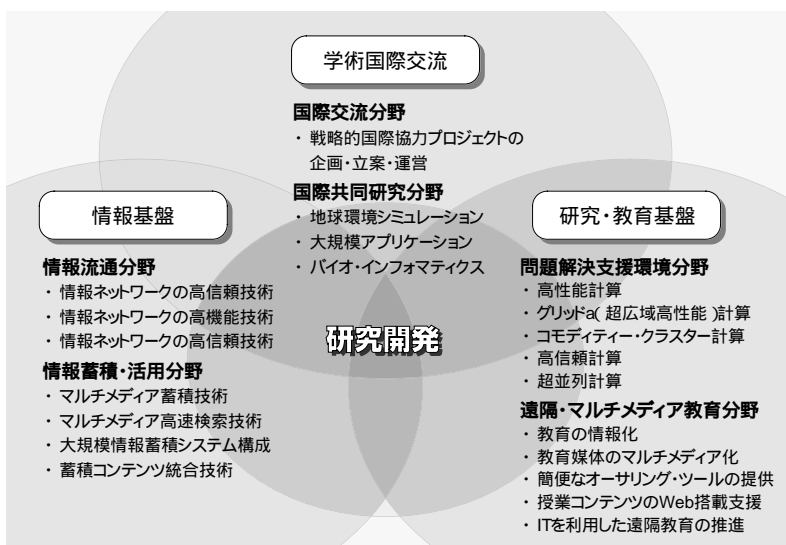


図1. 学術国際情報センターの概要

東京工業大学
学術国際情報センター
教授

松岡 聡氏

Satoshi Matsuoka, Dr. Sci.
Professor
Global Scientific Information and
Computing Center
Tokyo Institute of Technology



[プロフィール]

1986年、東京大学 理学部情報科学科卒。
1989年、同大学 大学院博士課程から情報科学科 助手に採用。同大学 情報工学専攻講師を経て、1996年に東京工業大学 情報理工学研究所 数理・計算科学専攻 助教授。2001年4月に東京工業大学 学術国際情報センター 教授、2002年より国立情報学研究所の客員教授を兼任。博士(理学)。

私自身は、研究・教育基盤部門における問題解決支援環境分野の責任者として、学内の計算科学インフラストラクチャーの整備を推進するとともに、その基盤となる研究開発を行っています。

情報インフラストラクチャーの整備

当センターにおける研究開発は、大学の各専攻の研究室の取り組みとは異なり、その内容はむしろ企業の情報部門に近いでしょう。企業における情報部門の役割は、経営戦略の具現化とユーザーの業務支援が中心となるでしょうが、当センターの役割も、学内における研究開発の支援にほかなりません。現在は、

増加する一方の学内の計算需要にいかに対応するかが大きなミッションとなっています。

ご存じのように国立大学の独立行政法人化の方針が打ち出される中で、大学の研究といえどもコスト意識が求められるようになってきています。これは単にコストを削減すればいいという消極的な取り組みではなく、少ない投資でいかに大きな成果を上げていくかということです。独立行政法人化が進んでいけば、研究予算の割り振りにしても、各大学の研究成果が反映することになるでしょう。センターとしては大学間の競争で優位に立てるように十分な計算インフラストラクチャーを用意しなければならないということです。

もちろん大規模なスーパーコンピューターを何

台も導入すればユーザーの需要には対応できるわけですが、コスト面からいっても現実的に不可能です。また、センターでの計算リソースの利用状況を分析すると、小/中規模(8プロセッサ程度)の計算がほとんどであり、大規模高速計算を得意とするスーパーコンピュータを単体で追加していても、それだけのコスト・パフォーマンスを発揮するとは思えません。

当学における計算需要に対応するには、むしろグリッド・コンピューティングの運用が最適解であると考えました。

国際競争力をより高めるために

大学間の競争といっても、今日の研究は、ただ単に成果を競い合うだけではありません。もはや研究そのものがインターネットの活用を前提とした大学間の協力なくしては成り立たなくなっています。特にバイオテクノロジー系や高エネルギー物理、天文などの分野では、世界中の何千人という研究者が一つのテーマで合従連衡しつつ研究を進めています。お互いにオンライン・データベースにアクセスして、あるときは共同で処理を行ったり、あるときにはお互いに競争するといった状況であり、この動きはますます加速しています(図2)。

そうした国際的な協力関係の中で、当学がリーダーシップを発揮していくには、学内の研究基盤として計算インフラストラクチャーを強化していかなばなりませんし、センター自身がそうした計算インフラストラクチャーの運用や研究で高い国際競争力を持つ必要があります。

実際、国際競争力という見地からは、われわれの研究は着実に成果を挙げつつあります。

例えば、2002年にスタートした当センターのプロジェクト“東工大キャンパス・グリッド”では、後から述べるようにIBM @server™ p670が大きな役割を担っていますが、これは米国IBMのSUR

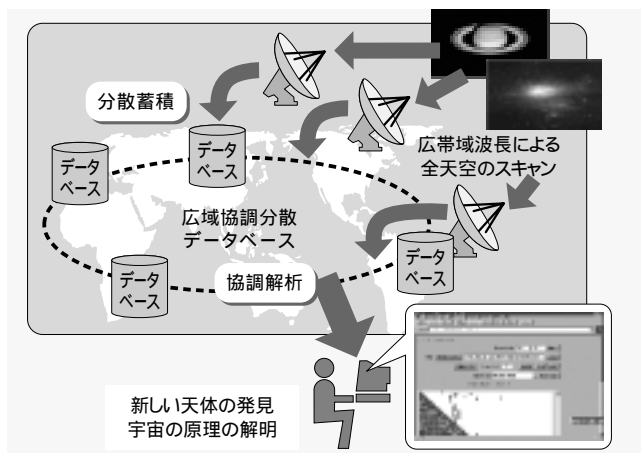


図2. アプリケーションの画面例1

(Shared University Research)という奨学金プログラムを通じて提供していただいたものです。これはグリッド・コンピューティング分野におけるわれわれの競争力を高く評価していただいたからにほかなりません。

また、米国の2大スーパーコンピュータ・センターの一つであるSDSC(San Diego Supercomputer Center)と2003年から共同研究の交流協定を結ぶことになっていますが、これもわれわれを、国内におけるグリッド・コンピューティング研究のリーディング・サイトと見なしていただいたからでしょう。

仮に、当センターが学内向けの支援サービスの提供だけに熱心で、情報インフラストラクチャーの研究開発にそれほど力を注がなかったとすれば、海外のITベンダーや研究機関に認知され、パートナーを組むことも求められなかったと思います。センターが国際競争力を持つことは当学の競争力強化に通じますし、ひいては日本のこの分野における研究開発の競争力を高めることになるわけです。

分散コンピューティングの さまざまな研究プロジェクトに参加

それでは、私の研究活動についてお話ししましょう。

現在、私は当センターでグリッド・コンピューティングの運用研究を行っていますが、それだけでなく自らの研究室でより基礎的なグリッド・コンピューティングやクラスター・コンピューティングの研究にも取り組んでいます。

グリッド・コンピューティングに最初に興味を持ったのは10年前のことです。当時はまだ「グリッド・コンピューティング」という言葉はなく、「メタコンピューティング」とか「グローバル・コンピューティング」と呼ばれていました。

日本におけるクラスター・コンピューティングの研究においても、私にとってもエポック・メイキングとなったのが、1992年に通商産業省(現・経済産業省)により10年計画で立ち上がったRWCP(Real World Computing Project)です。今日でもこのプロジェクトのメンバーは、それぞれの大学や研究所においてクラスター・コンピューティングやグリッド・コンピューティング研究で活躍しています。

やや遅れて1994年には電子技術総合研究所(現・産業技術総合研究所)と東工大を中心にNin(Network based Information library for High Performance Computing)というプロジェクトがスタートしました。

こうしたプロジェクトに参加するうちに、私はグリッドやクラスター・コンピューティングによってハイパフォーマンス・コンピュー

ティングを実現したいと強く思うようになりました。

というのは、当時のパフォーマンス・コンピューティング分野の研究者は、グリッドやクラスター・コンピューティングに一定の興味は示すものの、実用的な計算インフラストラクチャーにはなり得ないと考えていたからです。そうした評価を何とか覆したいと研究を進めていたわけですが、その機会が1998年に訪れました。科学技術振興事業団の「さきがけ研究21」の研究テーマの一つに私の「超広域高性能計算環境の基礎的研究」が採用され、その後、3年間にわたってグリッドおよびクラスター・コンピューティングの基礎的な研究を行うことができたのです。この研究は、後から説明するようにキャンパス・グリッド・プロジェクトへつながっていきます。

コモディティーPCクラスターの開発

「さきがけ研究21」の成果の一つに、私の研究室で開発したPCクラスターPRESTO IIIを挙げることができます。このPCクラスターは、2001年上半期に「Top500スーパーコンピューター」に初めてランクインし、翌年の上半期には国内のPCクラスターとしては最速の47位に輝いたのです。

「Top500スーパーコンピューター」とは、一言でいえば世界のスーパーコンピューターのランキングであり、年2回春と秋に更新されます。現在のトップは、横浜の海洋科学技術センターにある地球シミュレーターです。トップ争いは熾烈で毎回順位に変動があるのですが、下位の競争もそれに劣らず激しいものがあります。コンピューターの性能は、いわゆるムーアの法則により3年間で4倍になるといわれていますが、Top500の争いでは3年で6倍です。つまり、ムーアの法則では6年間で16倍になるわけですが、Top500では36倍になるといことです。

こうした熾烈な世界にチャレンジしようと考えたのは、ハイパフォーマンス・コンピューティングの世界でPCクラスターの実用性を示したいということがありました。

例えば、当センターのグリッドを含む計算リソースはすべてを合わせて1.8T FLOPS程度なのですが、PRESTO IIIの計算能力もほぼ同じです。つまり、Top500の上位に載るには一般の計算機センター並みのリソースが必要だということです。

実際、開発に取り組んでみると予想以上に大変でした。例えば、空調や電源といった建物設備のせいで十分に冷却できないといった問題が生じました。くだらない話に思えるかもしれませんが、そうした問題を一つひとつ解決していかなければならなかったのです。

また、われわれの専門はソフトウェアであり、自らハードウ



図3. PCクラスターPRESTO III

アを開発することはできません。ハードウェアはコモディティー（市販品）を使います。ですから各コンポーネントをいかにアセンブリするのかといったノウハウが重要となります。また、ソフトウェアについても、十分な性能を引き出すためのチューニングに今までにないノウハウが求められました。最初のうちはまさに手探りだったのです。

ハイパフォーマンス・コンピューティング分野の研究者も注目

PRESTO IIIが2002年上半期にリストの47位にランクされたことで、ハイパフォーマンス・コンピューティングの研究者の方々にもPCクラスターの実力を認められるようになりました。

ただ、PCクラスターの研究は、当然ながらTop500のリストに載ることが目的だったわけではありません。

われわれはミドルウェアを研究していますから、その上でアプリケーションが稼働することを実証していかなければなりません。それを動かすテスト・ベッドとして、大規模・高速なPCクラスターが必要でした。そのための開発だったわけですが、リストに載ったことでわれわれの研究に新しい地平を開いてくれたことも事実です。

先ほど述べたように、理工系大学における計算インフラストラクチャーは、スーパーコンピューターを単体で増強していくのでは、コスト的にも電源供給や冷却の面からも限界があり、グリッド・コンピューティングに活路を見いだすべきだろうというのがわれわれの考えでした。ところが、ハイパフォーマンス・コンピューティング分野の研究者の方々には、PCグリッドをなかなか信頼していただけません。そんな閉塞状況を一気に打破したのがPRESTO IIIなのです。

もちろん研究面でのノウハウを蓄積し、工学的な成果を出したということも大きな成果ですが、何よりもハイパフォーマンス・コンピューティング分野の方々から信頼を勝ち得たということ

表1. 東工大キャンパス・グリッドにおけるアプリケーション一覧

物性物理学専攻	数値計算を用いた物性研究・物質設計の研究、特に分子動力学法や統計アンサンブル
情報環境学専攻	モンテカルロ・シミュレーション、有限要素法または境界要素法など
知能システム科学専攻	シミュレーション、システム解析、最適化問題求解など、特に、ゲーミング・シミュレーションによる社会システムの解析、人工市場シミュレーションによる経済システムの解析、災害シミュレーションを通じた自律ロボットによる救助システムの構築、モジュール型ロボットの進化的プログラミング、脳神経系の解析、タンパク質立体構造の進化シミュレーション、数値最適化問題の高速解法など
生体分子機能工学専攻	バイオ・インフォマティクス、タンパク質の分子動力学計算、特に、タンパク質やペプチドのエネルギー最小構造の探索を目的としたマルチカノニカル分子動力学
分子生命科学専攻	バイオ・インフォマティクス、特にタンパク質および核酸の結晶からのX線散乱データの解析によるタンパク質立体構造の決定、決定された立体構造にも基づく最適構造の探索、タンパク質および核酸の立体構造に基づく新規結合分子の探索による受容体および酵素阻害因子候補探索のための計算機実験、タンパク質の力学特性の測定結果と立体構造関連を解析するための分子動力学計算(分子ナノテクノロジー研究基盤)などを目的とする
ベンチャー・ビジネス・ラボ	多様な立体映像空間生成、3次元物体の衝突検出の並列化、CGプロダクション
環境理工学創造専攻	MPIによる流体解析
土木工学専攻	社会基盤システムのさまざまな応答や現象のシミュレーション。例えば、連続高架橋の多点地震動入力振動シミュレーション、材料試験による橋脚のハイブリッド再現実験の開発などの構造物地震シミュレーション、コンクリート構造物/地盤の破壊シミュレーション、河川における物質循環シミュレーションなど
創造エネルギー専攻	大気環境数値シミュレーション・システム、特に独自に開発した輸送スキームを用い、高精度・高効率な計算モデル
GSIC(国際)	数値流体力学、複雑形状、地球環境シミュレーション、流体・構造体連成問題、計算物理、医用診断画像、高密度プラズマ、並列計算、PCクラスター、コンピューター・グラフィックス
機械宇宙システム専攻	乱流の微細構造について
電子機能システム専攻	半導体デバイス・シミュレーション高機能LSIの大規模シミュレーション(物理情報システム創造専攻との共通テーマ)
国際開発工学専攻	都市の温熱/大気環境シミュレーションを目的として、並列計算機による大気/地表モデルの連動解析を行う。計算負荷の大きい、総観気象場の大気流動シミュレーションと都市近傍の乱流/熱/放射交換過程のシミュレーション技術を連動させ、次世代型環境評価モデルの開発に取り組む
物理情報システム創造専攻	隠れマルコフ・モデルの大規模トレーニング高機能LSIの大規模シミュレーション

グリッド・コンピューティングにおける 「大中小」モデルとは

今回のプロジェクトで実現するグリッド・コンピューティングを、われわれは「大中小」モデルと呼んでいます。

ユーザーにとってグリッド・コンピューティングの最大の魅力は、普段使っているPCの環境から仮想スーパーコンピューターを利用できることです。実際、自分のPCを使うときと、センターのスーパーコンピューターを利用する場合は、使用するファイルも異なりますし、アカウントも、OSも、コマンドも、ライブラリーも違います。環境が何から何まで違うといっても過言ではありません。当然ながらユーザーは、それぞれの環境に合わせて使い方を変えなければなりません。一方、運用する側にとっても、環境ごとにアカウントを用意しなければならないなど、管理は複雑で面倒なものになります。

グリッド・コンピューティングは、そうした環境の違いを吸収し、ユーザーに使いやすさと高速処理をもたらします。つまり普段通りに自分のPCを操作すると、計算パワーが必要なときには、その裏で仮想スーパーコンピューターが大規模な超高速処理を行ったり、あるいは何カ所にも散らばって保存されている膨大なデータを一つのまとまったデータとして処理してくれる

のです。

つまり、「大中小」モデルとは、普段は「小」で作業をし、処理の内容や規模によっては、グリッド側が自動的に「中」や「大」のアイドル状態を検知して、処理を代行する仕組みです。

今回のプロジェクトでポイントとなったのは、各専攻の計算機をボランティアで提供してもらおうのではなく、「中」も「大」も計算リソースそのものはセンター側の管理下に置いたことです。確かにSETI@homeのようなプロジェクトであれば、動作するアプリケーションも限定され、セキュリティの面でも万全の対策が取られていますし、もともと個人が所有するPCが対象です。ボランティアで計算リソースを提供してもらおうのは容易でしょう。また、一般の企業であれば、部門の計算リソースにしても基本的には会社の資産ですから、トップダウンで全部門から提供してもらうことも可能でしょう。また、部門によって計算パワーに余剰もあるはずですが、しかし、大学は専攻や研究室は独立性の強い組織ですし、計算リソースは普段から限界に近い使われ方をしています。実際問題として、その上でどんなアプリケーションが動くのか分からないわけですから、セキュリティ面でも不安が残ります。そこでセンター側が計算リソースを管理することで、初めて本格的な運用が可能となったわけです。

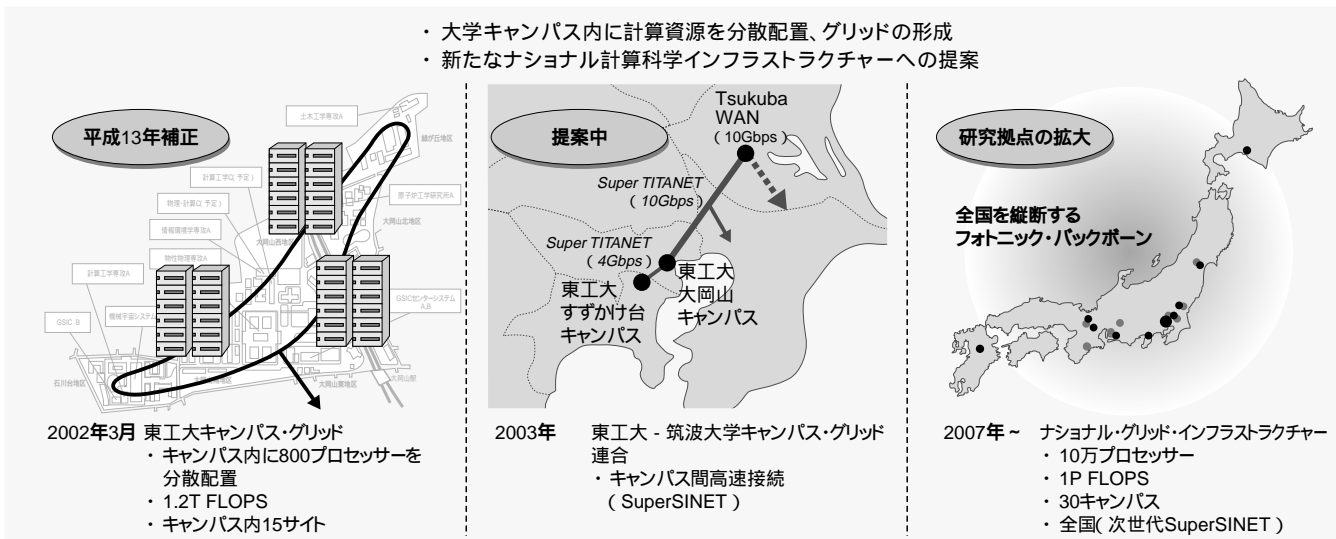


図5. 東工大キャンパス・グリッドからナショナル・グリッド構想へ

ナショナル・グリッド構想も視野に

東工大キャンパス・グリッドは、2003年中に計算リソースをさらに追加した上で、筑波大学のグリッドと超高速光ネットワーク“SuperSINET”を用いて10Gbpsで接続することで大規模なキャンパス間グリッドを構築し、仮想スーパーコンピューターとして運用する予定です(図5)。

さらに、各大学のグリッドを結び付けて、将来的には^{ペタ}P FLOPS級のナショナル・グリッドにまで発展させたいと考えています。東工大以外にも、わが国では大阪大学がバイオ医療グリッドに取り組んでおり(図6)、このようなインフラストラクチャー構築への下地は出来つつあります。

先ほどの国際競争力の話にもつながりますが、米国では全米科学財団(NSF)の主導で、全米スーパーコンピューティング・アプリケーションズ・センター(NCSA)、カリフォルニア大学サンディエゴ校 サンディエゴ・スーパーコンピューティング・センター(SDSC)、カリフォルニア工科大学、アルゴンヌ国立研究所が中心となり“テラグリッド”というナショナル・グリッド・インフラストラクチャーの構築を進めていて、このプロジェクトには米国IBMも協力しています。またNASAではIPG(Information Power Grid)プロジェクトで、全米中に点在するNASAの研究所間で分散機体設計やシミュレーションを運用しています(図6)。こうしたナショナル・グリッド構築の動きは、米国だけでなく各国にありますから、わが国も早急に取り組むべきプロジェクトといえるでしょう。

とはいえ、ナショナル・グリッドともなれば非常に大規模なプロジェクトになりますから、相応の準備が必要です。そこで、まずは運用研究やミドルウェアの開発、アプリケーション・ソフトウェ

ア開発、性能評価などを行う必要があり、そう簡単に立ち上げられるプロジェクトではありません。そのためにも東工大キャンパス・グリッドで実績を重ねていくことが大切だと考えています。

e-ビジネス・オンデマンドの基盤技術として

話が若干それますが、当センターはさまざまなサービスを提供していて、その中でメール・サーバーやWebサーバーの代行サービスの人気が高まっています。

Linuxが登場した当時は、どの研究室でも面白がってサーバーを立ち上げたわけですが、やはり管理に手間が掛かる上、最近では頻繁にアタックを受けることから、本来の研究に支障が出るほどです。そんなことからメール・サーバーやWebサーバーの運用はセンターに集約されていく傾向にあります。センターに任せることで安定した運用が実現しますし、集約化することで全学的に見るとコスト効率も良くなるわけです。

グリッド・コンピューティングも同じです。

PCグリッドが注目されているせいか、グリッドというと満遍なく薄く広がった計算リソースを利用するというイメージを持つ方が多いようですが、実はそうではなくて、状況に応じて計算を集約したり分散化できることに意味があります。その透過性を利用して、集約したり分散できるということです。

特にビジネスの面から見ると、グリッド・コンピューティングの魅力は、その技術を用いてe-ビジネス・オンデマンドを実現できることでしょう。利用するお客様にしてみればITインフラストラクチャーやアプリケーション、ビジネス・プロセスの使用量に応じて支払うことで大幅なコスト削減が実現するわけですし、その一方で、ITベンダーにとってはシステムやエンジニアをパッ

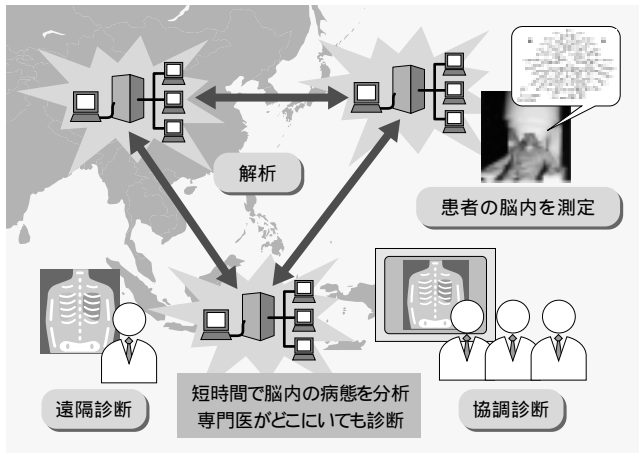


図6. バイオ医療グリッド(脳機能解析)

クエンドに集約できます。つまり非常に効率的かつ効果的な集約化/分散化が実現するという事です。

グリッド・コンピューティングの今後の展開を考える上で、こうしたビジネスからの視点はますます重要になるでしょう。

第7回GGFを日本で開催

グリッド・コンピューティングは、次世代の計算科学にとって根幹的なインフラストラクチャーとなります。われわれのように計算科学にかかわる研究者には、この技術を積極的に広めていく義務があると考えています。そのためには、ユーザーが利用しやすい環境をつくっていくことです。便利でさえあれば、需要は自然に増えていきますから。

グリッドの普及に当たって注意したいのは、先ほども少し触れましたが、グリッドについて次のような誤解があることです。

- スーパーコンピュータをつないだものがグリッドである。
- SETI@homeのように多数のPCの余剰計算リソースを裏で使うのがグリッドである。
- グリッドとはWebサービスである。

それぞれグリッドの側面をとらえてはいますが、決してそれだけでありません。先ほども述べたように、グリッドの最大のポイントはその透過性です。こうした正しい理解が、グリッド・コンピューティングの普及の大前提になると思います。

国内のITエンジニアの方々にとっては、グリッド・コンピューティングを正しく理解するための機会となったのが2003年3月4~7日の4日間にわたって東京・新宿の京王プラザホテルで開催された第7回GGF(Global Grid Forum)です。GGFは、グリッド・コンピューティングの国際標準化団体であり、世界中の主要な大学・研究機関、さらにはIBMをはじめとするITベンダーがスポンサーに名を連ねています(<http://www.globalgrid>

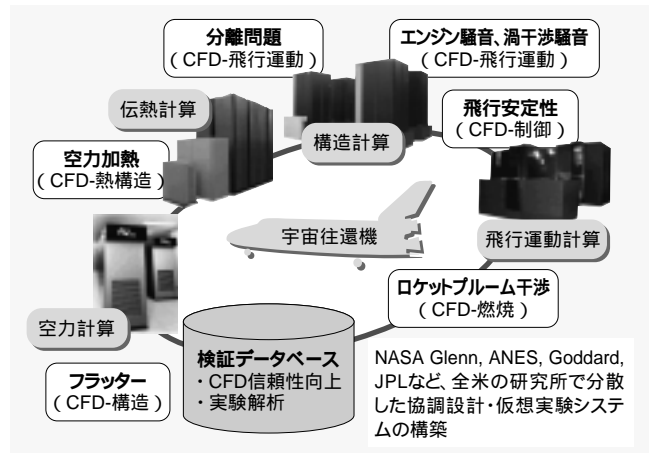


図7. IPGグリッド

forum.org)

実は私は、GGFの運営を行うステアリング・グループのメンバーの一人であり、APME(Application, Programming Models, Environments)という研究領域のエリア・ディレクターを担当させていただいています。今回、各方面に働き掛けた結果、国内で初めてGGFを開催できました。

グリッド・コンピューティングの普及に向けて

GGFは規模の大きい世界大会ですから、初めて参加された方には全貌をつかみきれなかったかもしれません。また、今回のGGFは国内のグリッド・コンピューティングにとって歴史的なイベントとなりましたが、あくまでも4日間だけの大会であり、その意味では一過性のものです。

そこで、グリッド・コンピューティングの情報を継続的に収集したいというお考えの方々には、グリッド協議会に参加されることをお勧めします(<http://www.jpgrid.org>)

グリッド協議会は、日本アイ・ビー・エムをはじめとする国内のITベンダーや大学・研究機関が参加して2002年6月に設立された組織であり、産業技術総合研究所に事務局があります。グリッド・コンピューティングに関する研究会や講習会を通じて、技術普及活動、技術・標準化動向の調査活動および情報交換などを行っていますから、貴重な情報源となるでしょう。

また、グリッド協議会では、GGFのプレナリーやワーキング・グループの活動の報告会を定期的に行っていますから、今回のGGFに参加されなかった方もグリッド・コンピューティングの最新動向を収集することも可能です。ぜひご参加ください。