

## 解説

## グリッドコンピューティングの動向について

三浦 謙一

(情報・システム研究機構国立情報学研究所 情報基盤研究系)

## Recent Trends in Grid Computing

MIURA Kenichi

*Research Organization of Information and Systems, National Institute of Informatics, Tokyo 101-0051 Japan*

(Received 27 July 2004)

Grid computing is a technology which allows uniform and transparent access to geographically dispersed computational resources, such as computers, databases, experimental and observational equipment etc. via high-speed, high-bandwidth networking. The commonly used analogy is that of electrical power grid, whereby the household electricity is made available from outlets on the wall, and little thought need to be given to where the electricity is generated and how it is transmitted. The usage of grid also includes distributed parallel computing, high throughput computing, data intensive computing (data grid) and collaborative computing. This paper reviews the historical background, software structure, current status and on-going grid projects, including applications of grid technology to nuclear fusion research.

**Keywords:**

grid computing, grid middleware, distributed parallel computing, datagrid, Problem Solving Environment (PSE), NAREGI Project, fusion grid

**1. はじめに**

ここ数年来グリッドコンピューティングという技術が注目を集めている。グリッドコンピューティングの語源は今日ではよく知られているように、電力供給ネットワーク (Electrical Power Grid) のアナロジーからきている。すなわち、あたかもコンセントに電化製品のプラグを差し込めば、電気がどこで発電されたか、どんな経路で送電されてきたかを気にすることなくサービスを享受できるように、コンピュータの世界でも利用者がネットワーク上に分散しているサーバ・ストレージ・データベースといった広義の計算資源を、それらの所在を意識せずとも一つの仮想的な計算機室の中に置かれているかのようにどこからでも使い勝手良くアクセスできるようになるというコンセプトである (Fig. 1)。

特に計算機の演算能力や主記憶の容量、外部記憶 (例: 磁気ディスク) の容量、そしてネットワークのデータ転送能力などが飛躍的に進歩してくるとそのような考え方が現実的になってくる。その適用対象は計算機、データベースから粒子加速器のような巨大実験装置、すばる望遠鏡のような巨大天体観測装置、さらには研究者までを含めた仮想組織 (Virtual Organization) を形成する方向へ向かいつつある。

本稿においてはこのようなグリッド技術の動向について概説する。なおグリッド技術の最新の解説書としては

[1, 2] があげられる。

**2. グリッドコンピューティングとは****2.1 歴史的背景**

グリッドが米国で早い時期にはじまったのはいくつかの理由が考えられよう。第一に米国のように国土が広いと計算機資源の地理的分散は避けられないため、広く研究者にサービスを提供する必要があったことがあげられる。事実グリッドのコンセプトは米国では70年代からすでにあったように思われる。現在ではあまり知られていないが、ARPANET (ARPA: 国防省の Advanced Research Program Agency (当時)。後に Internet へと発展) はそもそも, Illiac IV (1960年代後半から70年代前半にかけてイリノイ大学で開発され Burroughs 社で製造された世界初の並列型スーパーコンピュータ) [3] を全米の研究機関から使えるようにというのが大きなモチベーションであった。当時でもカリフォルニア大学ロサンゼルス校のデータベースを使って Illiac IV で計算し結果はユタ大学のコンピュータグラフィックスに出すといった異機種間の接続をした使い方とか、ARPANET 上に接続された複数台の DEC System10 のうち空いている任意の CPU にジョブを割り当て計算結果を返すという同機種間の接続をした使い方までが構想として存在していたという。

このような考え方はその後1980年代後半に入り NSF

author's e-mail: kenmiura@grid.nii.ac.jp

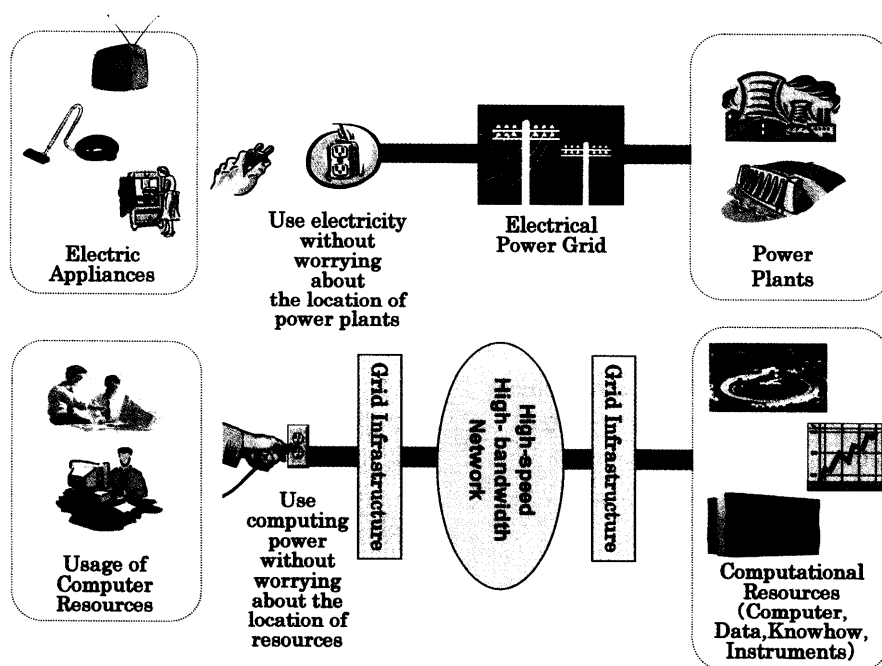


Fig. 1 Concept of grid.

(National Science Foundation: 全米科学財団) がスーパーコンピュータセンターをカリフォルニア大学サンディエゴ校 (SDSC), イリノイ大学 (NCSA), コーネル大学 (Theory Center), プリンストン市 (von Neumann Center) に設置したときにも受け継がれ, これらのセンターマシンは NSF-NET (当初 56 Kbps, その後 1.5 Mbps) によって接続されることとなった。これがその後 Metacomputing[4] とか National Machine Room (“国中がひとつの計算機室” という意味) といった考え方へと発展していくことになるのである。

米国でグリッドが広まった第2の理由として, 90年代の前半に NASA (航空宇宙局), NSF などスーパーコンピュータセンターへの予算額が頭打ちになり計算資源の共有化, 統合化指向を余儀なくされた時期があったこと, 一方では Gigabit Test Beds と呼ばれる 5つのプロジェクトをはじめ高速ネットワーク分野には政府の積極的な投資がなされたことなどの事情があげられよう。事実90年代に入り NASA においては傘下の Ames, Langley, Glenn 等のスーパーコンピュータセンターのミッションの統合化とリソースの共用化が推進され, NASA 内の専用高速ネットワーク NREN (NASA Research and Educational Network) で接続されたシステムが考えられた。これを発展させたのが IPG (Information Power Grid) [5] である。

このように研究機関や大学が中心となり, アプリケーション指向・ユーザ指向で研究がおこなわれてきたグリッドは90年代後半になり, IEEE (Institute for Electrical and Electronic Engineers 米国電気通信学会) の Computer Society と ACM (Association for Computing Machinery 米国情報処理学会) 共催の Supercomputing Conference などにおいて I-way[1], GUST test bed[2] といったプロジェクトのデモなどを通してさらに広まってきている。

## 2.2 従来の分散並列処理との違い

複数のコンピュータを利用して計算処理を高速化するという観点からは, グリッドは従来の分散並列処理の延長にある技術といえよう。しかし従来の技術と異なる点はグリッドが「動的な仮想組織」を前提としていることである。「仮想組織」とはネットワークで接続された異機種混合の計算機・実験装置・人的資源 (研究者) 等を動的に結合して, あたかもひとつのシステムとしてみせる技術である。その実現のためには認証や認可などのセキュリティや, 動的で柔軟な資源の配分・データの共有連携といったさまざまなソフトウェアの機能が必要となる。この構造については次節以下でさらに述べる。

なおグリッドの例としてよく引き合いにだされる, 世界中の数百万台の空いたパソコンをインターネットでつないで宇宙から受信された電波を解析して宇宙人 (ET) の存在を探索しようという, SETI@HOME というプロジェクトがあるが[6], これはグリッドの本来の姿をかならずしも伝えていない例であることに注意したい (グリッドと区別する意味でこのような考え方を Megacomputing と呼ぶ研究者もいるくらいである)。

## 3. グリッドを構成するソフトウェア

### 3.1 Grid の階層構造

グリッドの考え方とは冒頭に述べたように, 地理的に分散したサーバー, ストレージといった計算資源・データ資源のみならず実験装置, 観測装置, 研究者をも含んだものを対象として, 高速ネットワークにより遠隔ユーザも物理的な距離や計算機の構成の差異などを意識せずに信頼度高く使うことができるようなインフラと計算環境を提供することにある。そのためにグリッドのソフトウェアは必然的に階層構造をとることになるが, 階層間のインターフェー

スを標準化・共通化することによって、拡張性、システムの構築の容易性が格段に向上することになる。

現在のグリッドの考え方では、その構成は大雑把に分類すると

- (1)物理層(ネットワーク, コンピュータ(OSも含めて), ストレージ)
- (2)グリッド基盤ミドルウェア層  
資源管理, スケジューリング, セキュリティ, ファイルの一元管理, 通信ライブラリなど
- (3)上位ツール層  
ワークフローツール, Problem Solving Environment (PSE), プログラミングツール, 可視化ツールなど
- (4)アプリケーション層  
グリッド上で動かす実際のアプリケーションソフトウェア

の4層(レイヤー)に分かれる (Fig. 2)。

これまでのGridの活動は②のグリッドミドルウェアの研究開発が中心であり, ソフトウェアとしてはGlobus Toolkit[7], Legion[8], AVAKI[9], Condor[10], UNICORE[11], ITBL計画におけるSTA[12, 13]などがあげられる。グリッド基盤ミドルウェア層の最近の動向としてはOGSA (Open Grid Services Architecture) [14]と呼ばれるウェブサービスとの融合性をはかった仕様に集約しつつあり, Globus, UNICOREなどの基盤ミドルウェアにおいてもOGSAの動向を視野に入れた開発が進行している。

以下においては③の上位層のひとつであるCACTUS [15]について紹介する。

### 3.2 グリッド上の Problem Solving Environment (問題解決環境) の例: CACTUS

CACTUSとは, アインシュタインの重力方程式の数値解を研究している欧米の研究者によるコード開発および実行の両面における共通の計算研究環境として開発されてきた, オープンソースのProblem Solving Environment (PSE)である。ドイツのアルバート・アインシュタイン研究所が中心的存在である。CACTUSとはその名のとおりサボテンのような構成をとっており肉の部分 (Flesh) ととげの部分 (Thorn) からなっている。その構造をFig. 3に示す。Fleshは結合部分であり, Thornは研究者が自身の応用計算のために適宜付け加えるカスタム計算モジュール (Application Thorn), 通信のような標準的ライブラリ・ツールキット等 (Infrastructure Thorn) からなる。

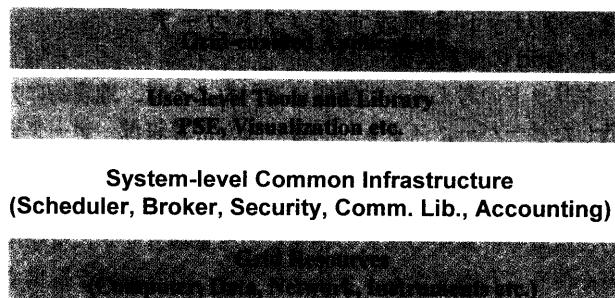


Fig. 2 Hierarchical structure of grid middleware.

CACTUSはGlobusの機能およびグリッド上の通信ライブラリであるMPICH-G2(MPI: Message Passing Interface)の上位層として位置づけられるが, ローカルな並列環境でMPIだけでプロセッサ間の通信を行う使い方も可能である。CACTUSは多くのプラットフォームに移植がなされている。CACTUSの最新版は4.0版beta14である。

CACTUSをベースにした代表的な研究プロジェクトとしては, その起源となったNumerical Relativity (アインシュタインの相対論的重力方程式の数値解法) があげられる。その一例として, 2個のブラックホールがたがいに引き合って衝突する過程で発生する重力波が, 地球上でどのような波形として観測されるかのシミュレーションがある。さらに天体物理学分野の研究者向けに, インターネットから一度のログインでグリッド上のアプリケーション群が使えるような簡易型ユーザインターフェース (グリッドポータルと呼ばれる) として, Astrophysics Simulation Col-laboratory (ASC)が提供されている[16]。

その他Chemical Engineering, Climate Modeling, Bio-Informatics, Early Universe, Geophysics, Crack Propagationなどの分野においてもProblem Solving Environmentのフレームワークとして注目されている。またCACTUSの構造は連成問題 (Multi-physics) 用のカプラー (計算モジュール間を結合してデータの変換や同期処理を司るプログラム) としても適していると思われる。

### 4. グリッドコンピューティングの応用形態と例 4.1 Distributed Supercomputing (Metacomputing [4])

グリッド環境を利用して, 単一の巨大なジョブを実行する, あるいはマルチスケール・マルチフィジクスの連成問題を実行することで, より高速にあるいはより大規模な問題が計算できるようになると考えられる。但し, もとのプログラムがすでに分散メモリ型コンピュータシステム用に並列化がなされていても, グリッド環境においては最適な計算量とデータ転送量とのバランスがもとのシステムとは大きく異なるため (CPUの処理能力, メモリーのサイズ, ネットワークの遅延 (Latency) とデータ転送容量等の

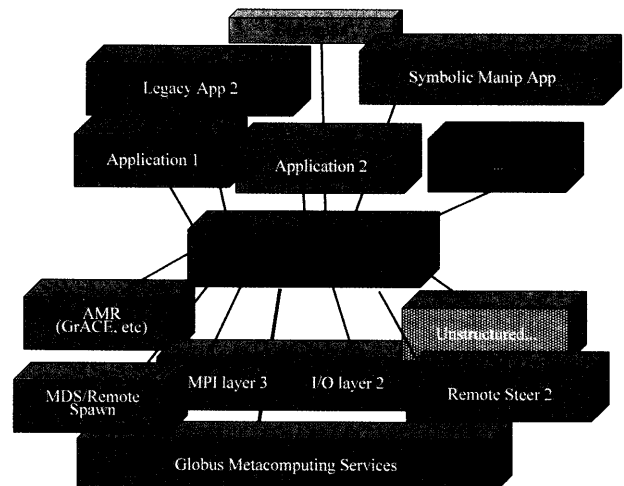


Fig. 3 Structure of CACTUS (Flesh and Thorn).

差異による), 高性能を達成するためにはチューニングやコードの再構成が必要となることが多く, アプリケーションプログラムによってはグリッド環境においては性能が出ない可能性もあると考えられている. いっぽう連成計算については, 個々の計算モジュールがすでにコンピュータのアーキテクチャに適合性良く開発されているものを連成させて解く場合には, 異機種間の接続をしたグリッド環境における分散・並列計算が効率よく実行できる可能性が高くなるものと期待される.

## 4.2 High-throughput Computing

パラメータサーベイ, モンテカルロ計算のように, 個々のジョブは1台あるいは少数台のCPUで処理できるが, 初期条件や入力データを変えた独立したジョブとして数百ケースないし数千ケース実行してそれらの結果の統計的な平均を取りたい, あるいはそれらの結果の中から最適解を探索したいという需要はサイエンス・エンジニアリング分野で非常に多く見受けられる. このような場合にはグリッド上に接続された計算機資源に順次ジョブを投入して結果を集約する手法が計算時間の短縮に非常に効果的となる. このような目的で作られたミドルウェアで代表的なものとしてはウィスコンシン大学で開発された Condor-G[10]がある.

## 4.3 Data-Intensive Computing (データグリッド)

冒頭でも触れたように, 単に計算機の演算能力だけではなく, 世界的に見ても数の少ない特殊で高価な実験装置(粒子加速器, 放射光設備, 超高電圧電子顕微鏡等)から得られる実験データ, あるいは巨大光学/電波望遠鏡や地震観測装置から得られる観測データに代表される, 分散した膨大な量のデータへの一元的アクセス, あるいはデータの共有化を目的としたグリッド技術に対する要請が近年になり高まってきている. とくに国際協力プロジェクト等において大規模な実験装置あるいは観測装置から得られる巨大なデータを研究者間で共有化するためのグリッド技術が非常に注目されている. データそのものが対象となるため「データグリッド」とよばれることが多い. 高エネルギー物理学, 天文学, 地震工学などの分野が先行している. 高エネルギー物理学の場合は例えばスイス国ジュネーブ市にある欧州高エネルギー物理学研究機構(CERN)で2007年稼動を目指して建設中の Large Hadron Collider (LHC) 計画[17]では, 年間1ペタバイト(Peta Bytes:  $10^{15}$ バイト)以上の実験データの処理と欧州・日本・米国の共同研究機関への配信が必要であるとされている. また天文学の分野では, 世界中に分散した(それも地理的に不便な場所に設置されている)天文台に蓄積される総データ量は年間数百テラバイト(Tera Bytes:  $10^{12}$ バイト)ないしペタバイト級の領域に達すると予測されており, 可視光, 赤外, 電波など異なった波長領域での観測データを付き合わせるにより初めて解明される現象もあると考えられているため, 観測データベースをグリッドを用いて研究者間で共有する仮想天文台(Virtual Observatory)構想への関心が世界的に非常に高まってきている. 米国の NVO(National Virtual Observatory)[18], 英国の AstroGrid[19], 日本の JVO (Ja-

pan Virtual Observatory)[20]などが代表的である.

## 4.4 Collaborative Computing

グリッドという仮想組織の中には研究者そのものもコンポーネントとなりうる. 実行中の大規模シミュレーションの遠隔モニタリング・遠隔ステアリング, 遠隔可視化などのように, 地理的に分散した研究者間の協調・連携をはかりながら実験あるいは計算を行う場合がこれに当たる. たとえば, 大阪大学に設置されている世界一の超高電圧電子顕微鏡を, 米国カリフォルニア大学サンディエゴ校にある National Center for Microscopy and Imaging Research (NCMIR) の計算機からグリッドを介してアクセスし, 遠隔でサンプルの操作を行い, 得られた画像データをグリッドを用いて転送して解析した例がある[21].

## 5. グリッドコンピューティングの現状と日本の関連プロジェクト

### 5.1 米国の動き

現在米国においては NASA の Information Power Grid (IPG) 計画[5], エネルギー省の Science Grid[22], NSF の Extensible TeraGrid Facility (ETF) [23]などのプロジェクトが進行中である. 特に ETF は SDSC(サンディエゴ), NCSA (イリノイ), PSC (ピッツバーグ) のスーパーコンピュータセンタ等を 30 Gbps (幹線は 40 Gbps) のネットワークで接続し, 本年1月より運用フェーズに入っている (Fig. 4).

### 5.2 ヨーロッパの動き

ヨーロッパにおいてはこれまでに EUROGRID (EU) [24], e-Science(UK) [25], UNICORE(ドイツ) [11]といった EU のプロジェクトと各国独自のプロジェクトの両方が先行してきている. さらに今年4月には, EUの予算による EGEE (Enabling Grids for e-Science in Europe) 計画[26]がスタートしているが (Fig. 5), これは CERN (European Center for Nuclear Research) で始められた Datagrid プロジェクトの発展形ともいうべきものである.

### 5.3 日本のグリッド関連プロジェクト

ここ数年来日本でも文部科学省の下に産・学・官連携によるいくつかのグリッドプロジェクトが発足して研究開発が促進されるようになってきている. 具体的には文部科学省傘下の ITBL 計画[12], NAREGI 計画[27], BioGrid 計画[28], VizGrid 計画[29]などがあげられる. これらのプロジェクトはいずれも国立情報学研究所のスーパー SINET (10 Gbps の光バックボーンネットワーク) をネットワークインフラとして使用している[30]. また経済産業省傘下では産業技術総合研究所 (AIST) のグリッド研究センター (GTRC) [31]においてもグリッド研究がおこなわれている. 以下に ITBL プロジェクトと, NAREGI プロジェクトを概説する.

#### 5.3.1 ITBL プロジェクト

ITBL (Information Technology Based Laboratory) プロジェクトは平成13年4月から5ヶ年計画でスタートした. IT 技術を活用して研究機関の持つスーパーコンピュータやデータベース等の計算機資源を高速ネットワークで接続

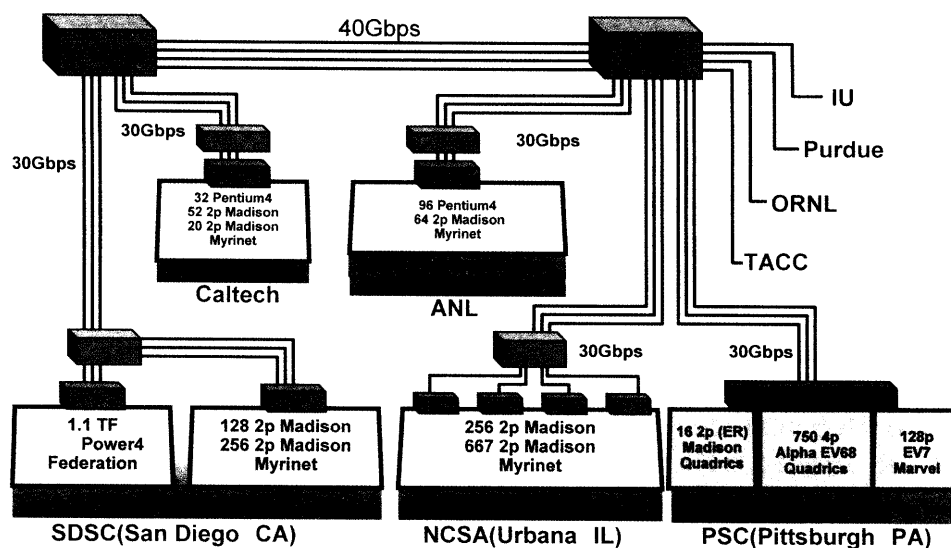


Fig. 4 Teragrid project in U.S. (Extensible Teragrid Facility).

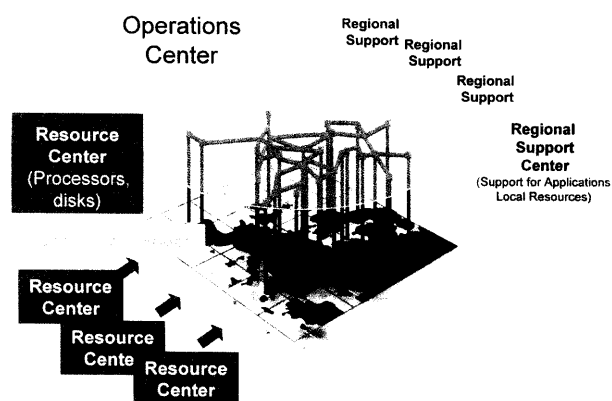


Fig. 5 EGEE project in EU.

することにより、複雑で高度なシミュレーションや遠隔地との共同研究を可能とする仮想研究環境を構築しスーパーコンピュータ等を有効活用することを目指している。具体的な目標としては①各研究機関をネットワークにより結んだ仮想研究環境の構築、②仮想研究環境を活用する計算科学アプリケーションの研究開発、③計算科学の普及・教育を含む ITBL の利用推進の3項目があげられている。初年度から参加している機関は、独立行政法人 物質・材料研究機構、独立行政法人 防災科学技術研究所、独立行政法人 宇宙航空研究開発機構、独立行政法人 理化学研究所、日本原子力研究所、独立行政法人 科学技術振興機構の6機関である。このうち、日本原子力研究所と理化学研究所は ITBL 計画の推進に必要な共通基盤技術の開発にあたっている。計算資源としてはプロジェクトの拠点となる日本原子力研究所関西研究所の ITBL 共同利用センターに設置された1テラフロップス (Tflop/s: 1秒間に $10^{12}$ 回の浮動小数点演算を実行できる計算性能) のシステムをはじめとして現在9機関28システムが接続されている。それぞれの研究機関では ITBL で利用可能なアプリケーション・ソフトウェアの開発にあたり、①材料設計統合シス

テムの開発、②実大三次元振動破壊実験シミュレーションシステム、③航空宇宙統合シミュレーションシステム、④細胞フルシミュレーションシステム、⑤生命機能情報解析システム、⑥地域数値環境システムといった分野でプログラムが開発されている。ITBL の応用分野の一例としての核融合グリッドについては後述する。

### 5.3.2 NAREGI プロジェクト

NAREGI (National Research Grid Initiative) プロジェクトは文部科学省が推進している「経済活性化のための研究開発プロジェクト」の一環であり、平成15年より5年計画として産・学・官連携の研究開発体制で開始された。正式名称は「超高速コンピュータ網形成プロジェクト」である。

#### (1) プロジェクトの目的

NAREGI プロジェクトでは、大規模シミュレーションなどのために必要とされるグリッド基盤ソフトウェアの研究開発を行い、5年後に100テラフロップス級の研究系の計算環境を想定して、実運用に耐え得るスケーラブルなグリッド計算環境の実証を目指している。実証のためには産業界でも重要なアプリケーション分野と見なされている最先端のナノ分野が選択された。

本プロジェクトは大きく分けて①グリッド基盤ソフトウェアの各コンポーネントの研究とその成果の実証・運用システムとしての統合、②高速ネットワークのグリッド技術への適用の研究、③最先端ナノ分野での大規模シミュレーションプログラムの研究開発とそれらをグリッド環境で最適化してグリッドの有用性を実証するための研究という三本柱から成り立っている。将来はこのような研究グリッドが産業界にまで波及することを視野に入れている。

#### (2) 参加機関

本プロジェクトはグリッド基盤ソフトウェア・ネットワークの研究拠点としての情報・システム研究機構 国立情報学研究所およびナノ分野の最先端のアプリケーションソフトウェアを研究開発する拠点としての岡崎国立共同研究機構 分子科学研究所を中心として組織されている。さ

らに前者については東京工業大学、大阪大学、九州大学、九州工業大学、宇都宮大学、産業技術総合研究所などの研究機関、後者については東京大学物性研究所、東北大学金属材料研究所、物質構造科学研究所、産業技術総合研究所などの研究機関、さらに情報およびナノ分野の産業界をも含めての共同研究体制である。

### (3) グリッド研究開発拠点の研究テーマ

これまでの説明でもわかるように、NAREGI プロジェクトは超高速の計算機を新規に開発するものではなく、むしろ既存の計算機資源をつなげてひとつに見せる技術であり、研究・開発はソフトウェア（グリッド基盤ミドルウェア）が中心となる。そこでの研究テーマにはグリッド上の計算機資源の管理やジョブのスケジューリング、プログラムをグリッド上で並列に動かすための通信ソフトウェア（GridMPI）や遠隔ジョブの実行を起動するソフトウェア（GridRPC）、PSE (Problem Solving Environment)、可視化ツールといった研究者のためのソフトウェア開発環境、セキュリティ、ネットワーク利用技術、アプリケーションソ

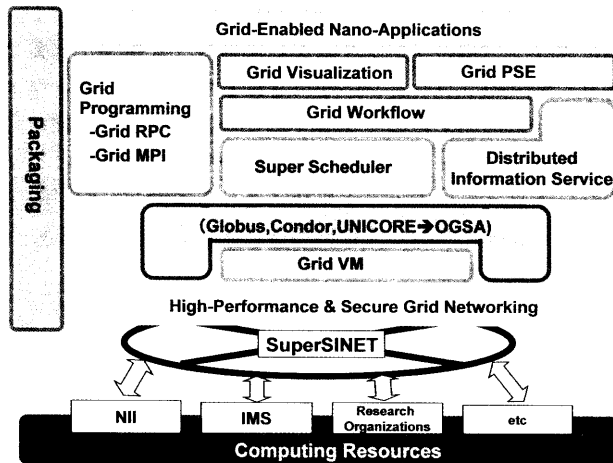


Fig. 6 Software stack as defined in NAREGI project.

フトをグリッド環境に適合させる手法やツール類の研究等が含まれる。本プロジェクトでは国際互換を基調としているため UNICORE, Globus, Condorなどをベースとしてグリッド基盤ミドルウェアを構築している (Fig. 6)。

これらソフトウェアの開発と実証のために、国立情報学研究所にはグリッド開発のための「グリッド基盤ソフトウェア研究開発システム」(5テラフロップス相当)が、分子科学研究所にはナノサイエンス実証研究のための「アプリケーション研究開発システム」(10テラフロップス相当)がそれぞれ本年3月に導入されスーパー SINET に接続されている。これらのマシンは共同研究機関の計算システムとともに NAREGI テストベッドを構成している (Fig. 7)。

## 6. 核融合研究分野でのグリッド

### 6.1 米国エネルギー省(DOE)の National Fusion Grid[32]

米国のエネルギー省が5ヶ年計画で進めている SciDAC (Scientific Discovery through Advanced Computing) では、テラスケールの計算科学のためのアプリケーションソフトウェアとハードウェア環境を整備することになっているが、その一環として磁気核融合の共同研究を加速するための National Fusion Grid (または NFC: National Fusion Collaboratory) プロジェクトがある。参加機関はプリンストンプラズマ物理学研究所 (PPPL), General Atomics (GA), マサチューセッツ工科大学 (MIT), アルゴンヌ国立研究所 (ANL), ローレンスバークレー国立研究所 (LBNL), ユタ大学, プリンストン大学などである。プロジェクトとしてはセキュリティのしっかりしたグリッド環境を提供して、地理的に離れていても実験データの解析, シミュレーション, 可視化などが研究者に容易に行えるようにするためのソフトウェアツール作りを主要な目的としている。すでに National Fusion Grid を活用して TRANSP (PPPL で開発されたトカマク実験のためのデータ解析コード) を遠隔実行した例が報告されている [33]。

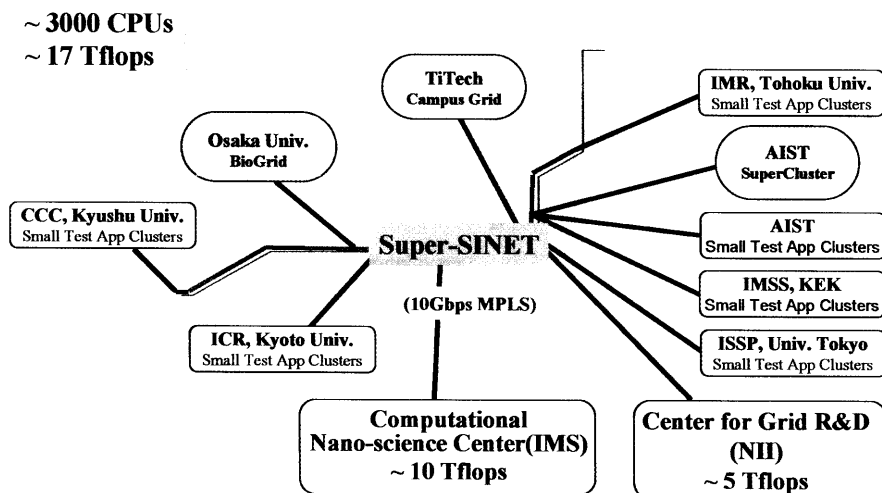


Fig. 7 NAREGI Testbed.

## 7. グリッドコンピューティングの展望

## 7.1 海外の動き

## 7.2 国際協力と標準化

### 1) 遠隔操作システム

## 2) 遠隔解析プログラム

### 3) 遠隔会議システム

## 8. 終わりに

これまでに述べたように、グリッドとは高速ネットワーク上のさまざまな計算資源を柔軟かつトランスペアレントに使いこなす技術とインフラである。概念としては70年代にまでさかのぼることができるが実用に向けてまだ解決しなければならない課題もある。これまで報告されているグリッドの適用例という意味では、巨大な実験データを共有



する目的の「データグリッド」の分野が先行しているように思われる。

グリッド技術のこれからの動向としては、これまでの研究フェーズからより広く使う実用フェーズへ成熟しつつあるが、そのためには実運用に耐えうる基盤ソフトウェアの研究開発がさらに必要となる。さらにグリッドの考え方はサイエンス系への応用にとどまらず、より汎用的なビジネス系も含んだ分野へと適用され拡大しつつあるのが今日の姿である。

まさにグリッド技術は「21世紀のIT社会の基盤技術」として捉えられるべきものである。

## 謝辞

核融合グリッドに関して計算科学技術推進センター原子力計算機科学技術開発グループ 鈴木喜雄氏より貴重な情報をいただいた。ここに感謝の意を表する。

## 参考文献・URL

- [1] Ed. I. Foster and C. Kesselman, *The Grid, Second Edition: Blueprint for a New Computing Infrastructure* (Morgan Kaufman, 2004).
- [2] Ed. F. Berman, G. Fox and T. Hey, *Grid Computing: Making the Global Infrastructure a Reality* (Wiley, 2003).
- [3] W.J. Bouknight *et al.*, Proc. IEEE **60** (4), 369 (1972).
- [4] C. Catlett and L. Smarr, Comm. ACM **35** (6), 44 (1992).
- [5] NASA IPG Home Page: <http://nas.nasa.gov/ipg>
- [6] SETI@HOME Home Page: <http://setiathome.ssl.berkeley.edu>
- [7] Globus Home Page: <http://www.globus.org>
- [8] Legion Home Page: <http://www.cs.virginia.edu/~legion/>
- [9] AVAKI Home Page: <http://www.avaki.com>
- [10] Condor Home Page: <http://www.cs.wisc.edu/condor/>
- [11] UNICORE Home Page: <http://www.unicore.org>
- [12] ITBL Home Page: <http://www.itbl.jp/>
- [13] K. Higuchi *et al.*, "Grid Computing Supporting System on ITBL Project, High Performance Computing", Veidenbaum *et al.* (Eds.) *5th International Symposium ISHPC2003* (Tokyo-Odaiba, Japan 20-22 October 2003, Proceedings) LNCS2858, pp.245-257 (2003).
- [14] I. Foster, C. Kesselman, J. Nick and S. Tuecke *The Physiology of the Grid: An Open Grid Services Architecture for Distributed Systems Integration* (Globus Project, 2002). <http://www.globus.org/research/papers/ogsa.pdf>.
- [15] CACTUS Home Page: <http://www.Cactuscode.org/>
- [16] ASC Home Page: <http://www.asc.org>
- [17] LHC Computational Grid Home Page: <http://lcg.web.cern.ch/LCG/>
- [18] NVO Home Page: <http://us-vo.org>
- [19] Astrogrid Home Page: <http://www.astrogrid.org>
- [20] JVO Home Page: <http://jvo.nao.ac.jp>
- [21] NCMIR Home Page: <http://ncmir.ucsd.edu/>
- [22] DOE Science Grid Home Page: [grid.org](http://www.doescience</a></li>
</ol>
</div>
<div data-bbox=)

- [23] TeraGrid Home Page: <http://www.teragrid.org>
- [24] EUROGRID Home Page: <http://www.eurogrid.org>
- [25] e-Science Home Page: <http://www.e-science.clrc.ac.uk>
- [26] EGEE Project Home Page: <http://public.eu-egee.org>
- [27] NAREGI Home Page: <http://www.naregi.org> (情報学研究所)  
<http://nanogrid.ims.ac.jp/nanogrid/> (分子科学研究所)
- [28] BioGrid Home Page: <http://www.biogrid.jp>
- [29] VizGrid: <http://www.vizgrid.org>
- [30] SuperSINET Home Page: <http://www.sinet.ad.jp>
- [31] GTRC Home Page: <http://www.gtrc.aist.go.jp/jp>
- [32] National Fusion Grid Home Page: <http://www.fusiongrid.org>
- [33] J.R. Burrus *et al.*, "Remote Computing Using the National Fusion Grid", *4th IAEA Technical Meeting on Control, Data Acquisition and Remote Participation for Fusion Research* (San Diego CA, July 21-23, 2003). <http://www.fusiongrid.org/research/papers/iaea03-burruss-paper.pdf>
- [34] JT-60 Home Page: <http://www-jt60.naka.iaeri.go.jp/f2-J.html>
- [35] ITER Home Page: <http://www.naka.iaeri.go.jp/ITER/index.html>
- [36] CyberInfrastructure Home Page: <http://www.cise.nsf.gov>
- [37] eInfrastructures Home Page: <http://www.einfrastructures.org/>
- [38] DEISA Project Home Page: <http://www.deisa.org>
- [39] Asia Pacific Grid Home Page: <http://www.apgrid.org/>
- [40] GGF Home Page: <http://www.globalgridforum.org>



み う ら けん いち  
三 浦 謙 一

大学共同利用法人 情報・システム研究機構 国立情報学研究所 情報基盤研究系  
ハイエンド・コンピューティング研究部門  
教授, リサーチグリッド連携研究センター  
長, 超高速コンピュータ網形成プロジェクト (NAREGI) プロジェクトリーダー, 株式会社富士通研究所顧問 (フェロー). 1968年東京大学理学部物理学科卒業, 1973年米国イリノイ大学計算機学科博士課程修了 (Ph.D., Computer Science), 1973年富士通株式会社入社, 1985年 Fujitsu America, Inc. 出向, 1992年—1996年同社 Vice President and General Manager 就任, 米国におけるスーパーコンピュータビジネスに従事, 1998年同社コンピュータ事業本部技師長就任, 2000年—2003年九州大学情報基盤センター客員教授, 2002年株式会社富士通研究所フェロー就任, 2003年12月現職. 専門: グリッドコンピューティング, スーパーコンピューティング, 並列・ベクトル計算アルゴリズム, 計算物理学, モンテカルロシミュレーション. 趣味: アマチュア天文, そば打ち, 科学オモチャの収集と製作.