

## 特集②

## グリッド技術の動向

## —次世代インターネット利用の中核技術になるか—



情報通信ユニット 巨理 誠夫

## 1. はじめに

最近「グリッド」という言葉を見る機会が多くなってきた。グリッド技術とは、ネットワークを介して計算資源をいつでも必要なだけ利用できるようにする技術である。もともとグリッドは、電力の送電線網のことを指す言葉で、発電機のことを気にせずコンセントから電力を自由に使えることから、この名前がついた。

グリッド技術を用いて優れた性能を出した例が出現して注目され始めた。ネットワークに接続された複数の高性能コンピュータを一つの巨大なコンピュータのように使用したり、多数のパソコンの遊休時間をインターネットを介して収集し、スーパーコンピュータ並の計算をさせている。さらに、最

近では、計算パワーの共有化だけでなくデータや大規模実験装置などの共有化技術が研究されており、高エネルギー物理や宇宙科学など巨大科学研究を進めるための基盤として注目されている。また、IT（情報通信技術）とバイオ、ナノとの融合領域でも、グリッドが有効なツールとして注目され、欧米では、多くのグリッド応用プロジェクトが開始されている。このようなグリッド技術が科学研究のスタイルを変えていくとも言われている。

このグリッド技術は、インターネット利用を一段階広げていく技術とも考えられ、世界中の多くの研究者、技術者、コンピュータメーカー、ソフトウェアベンダーに

よって、研究、標準化、ビジネス化が勢力的に進められている。

本稿では、今注目されているグリッド技術やそのプロジェクトを紹介し、この技術の日本の強み弱みを述べ今後の課題を述べる。

尚、「グリッド」という言葉は、スーパーコンピュータの利用技術から発展してきたため、当初グリッドコンピューティングと言われていた。しかし、グリッドが発展し、単にコンピューティング（計算）のみならず、大規模データや、特殊実験装置の共有化する利用環境までを含むようになったため、本稿では、広い意味で捉えて、グリッドと呼ぶことにする。

## 2. グリッド技術の狙い

グリッドの概念は、電力供給のユーティリティモデルのように、計算資源や情報資源をネットワークを介してユーザーに必要なとき必要なだけ使える環境を提供することにある。もう少し厳密な定義をすると「グリッドとは、ネットワーク上に分散した多様な計算資源や情報資源（コンピュータ、記憶装置、可視化装置、大規模実験観測装置）を仮想組織のメンバーが一つの仮想コンピュータとして利用する環境」となる。具体的には、図表1に示すように、ネット

ワーク上にある計算資源や情報資源を仮想コンピュータとして捉え、それを利用するために、現実の組織を超えてある目的のために造られた仮想的な組織のメンバーとして登録して、利用する。これらの機能は、それぞれのサイトに埋め込まれたグリッドミドルウェア<sup>①</sup>が動作し実現する。さらに、自分がプログラミングした所望の計算を実行する（計算サービス）だけでなく、他のサイトにある有用なプログラムやデータを利用して自分の目的にあったデータの処理・加工をする（アプリケーションサービス）ことが可能である。

## 用語説明

## ①ミドルウェア

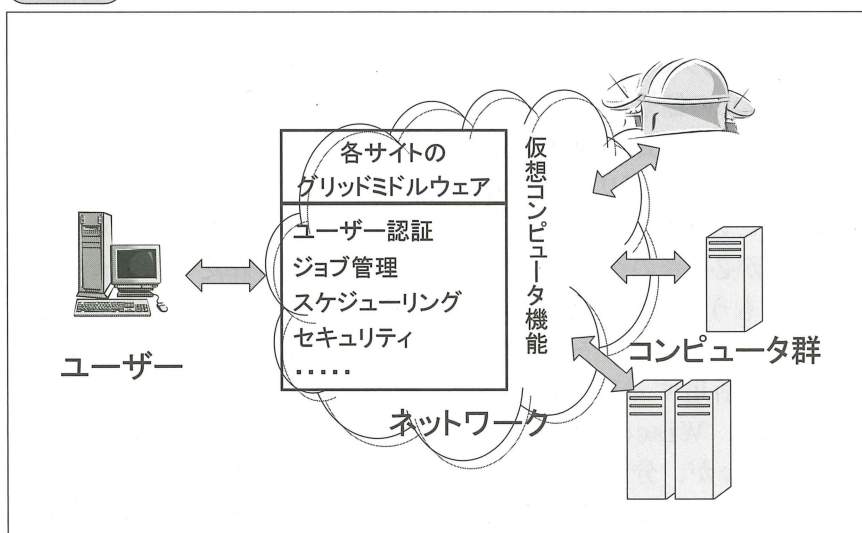
OSなどの基本ソフトウェアと応用ソフトウェアの中間に位置するソフトウェアで、OSには含まれないが、多くの応用ソフトウェアにて共通に利用される基本的機能を実現するソフトウェア群を指す。

このようなグリッドを構築することによる効能は、第一に、科学者・技術者に分散環境での効率のよい共同作業のツールを与えることである。例えば、EUのData Gridでは、世界各国の3000人の高エネルギー物理学者がグリッド上でデータやプログラムを共同開発し、共同利用して研究の効率を上げつつ、研究競争が行われている。巨大科学研究では、実験装置やデータの巨大化、大規模計算への要求が顕著であり、研究効率向上のためにも研究資源の共有化が求められている。

効能の第二は、分散資源の有効活用、使い勝手の向上である。例えば、ネットワーク上の遊休資源を活用して、スーパーコンピュータ並の計算能力を得たり、資源をネットワーク上で共有化して、一カ所では得られない大規模な資源として利用することを可能とする。ただし、この場合、ネットワークの速度を十分考慮しないと、データ転送に時間が取られ、高速な計算性能が得られないことがある。

効能の第三は、負荷分散と信頼性向上である。資源が分散化されているので、個々に大きな負荷が

図表1 グリッドのイメージ



発生してもネットワーク上の他の装置に負荷を分散できる。個々にはピーク時の最大負荷に耐えられる設備を持つ必要はなく、ネットワーク全体として耐えられる設備を準備すればよい。また、個々の装置がダウンしてもシステム全体としては運用が持続しており、信頼性が高くなる。ある部分が集中的にサイバーアタックに狙われた場合も、その部分を切り離し、業務・サービスは他の部分にて対応可能なため、危機対応としても有用である。

ところで、グリッド技術は、コ

ンピュータの高性能化技術ではなく、コンピュータの利用技術である。「グリッドがあれば大きなスーパーコンピュータはいらない」「大きなスーパーコンピュータがあれば、グリッドはいらない」などは誤解である。ネットワークを介すると計算効率が著しく低下する種類の計算も多くあり、スーパーコンピュータの性能向上は必要である。グリッドにとっても個々の高性能コンピュータの性能向上はグリッド全体の計算能力向上になる。

### 3. グリッド技術研究の歴史

グリッド技術は、80年代のコンピュータ遠隔利用研究や分散コンピュータ利用研究から発展してきている。これらの研究は、90年代に入り、理論だけでなく高速なネットワークを用いて実証することも可能になり、研究が加速していった。

1992年に、米国国立スーパーコンピュータ応用研究所（NCSA：National Center for Supercomputing Applications）のCharlie CatlettとLarry Smarrが「メタコンピューティング」という概念を発表<sup>1)</sup>し、ネットワーク上に仮想的なコンピュータ環境を構築し大規模な並列処理を行うシステムの研究を

進めた。1995年に、イリノイ大Tom De Fantiとアルゴンヌ国立研究所のRick Stevens等が、I-Way（The Information Wide Area Year）プロジェクトにおいて、最初の大規模なメタコンピューティングの実験を行った。このプロジェクトでは、広域高速ネットワークにて全米17カ所の計算センターを結合し、仮想現実実験など多くのアプリケーションを走らせるデモを行った。このI-Wayプロジェクトをルーツとして、1996年にアルゴンヌ国立研究所Ian Fosterと南カリフォルニア大Carl KesselmanのチームがGlobus

プロジェクト<sup>2)</sup>を開始し、高性能分散コンピューティングのためのミドルウェアが開発され、1998年には、「グリッド技術」の概念を示す青写真<sup>3)</sup>が出された。ここでグリッドとは「ユーザーがコンピュータの所在などを意識することなく、いつでも必要なだけ計算資源を利用できる環境」と定義された。

このGlobusプロジェクトにて開発されたソフトウェアGlobus Toolkitは、ユーザー認証、グリッド資源配分管理などグリッドミドルウェアの基本機能を提供している。このソフトウェアは、アル

## 用語説明

### ②Tera

10の12乗すなわち、1兆を示し、Gigaの千倍でもある。

ゴンヌ国立研究所からオープンソースとして提供され、多くのグリッド構築研究プロジェクトで利用され、事実上の標準となっている。ただし、このGlobus Toolkitは基本機能のみであり、グリッドを構築するにはこの他に多くのソフトウェア開発が必要なのが現状である。

一方、もう一つの研究の流れとして、インターネットを介して遊休CPUを活用する研究がある。1985年に、Wisconsin大学のMiron Livnyが、分散したワークステーションの遊休CPUを使用して、計算実行を行うことを提案した。1991年にはCondorプロジェクトの中で、400CPU相当を集めることに成功している。1997年には、Scott KurowskiがEntropia社を設立し、2年後には、インターネットを介して遊休パソコンを集め、当時のスーパーコンピュータの最高性能に近いTera<sup>②</sup>

Flops並の計算を実現した。

メタコンピューティングと遊休CPUの活用は、共に、ネットワーク上に分散されたコンピュータを仮想的に一つのコンピュータとして捉える技術であり、グリッドの要素技術となっている。

一方、日本でも遠隔地からコンピュータを利用するグローバルコンピューティングの研究が進められており、1994年からは、電子技術総合研究所（現産業技術総合研究所）関口智嗣、東京工業大学松岡聡等を中心に、Ninf（Network Infrastructure for Global Computing）プロジェクトが開始された。クライアントサーバ型のグローバルコンピューティングとして、クライアントがネットワークを介し

てサーバーに計算を実行させるプロトコルRPC（Remote Procedure Call）の設計と実証が進められた。この研究成果は、現在グリッドミドルウェアの一部として標準化が検討されており、独立して始められた同様の研究プロジェクトであるテネシー大のNetSolveプロジェクトと協力して、精力的に研究開発が進められている。また、日本原子力研究所、理化学研究所、大学の計算センターなどでは、スーパーコンピュータのネットワーク遠隔利用、共同利用の研究も進められてきた。これらは、グリッド技術を発展させていく上での重要な下地を作ってきている。

## 4. グリッド出現の背景

グリッドが今大きく発展している背景には、技術シーズが成長してきた点と応用ニーズが高まってきた点がある。技術面でみれば、最近のインターネットのバックボーンは、国内では10 Gbpsクラス、国際間で1 Gbpsクラスとなり、

いわゆるブロードバンド時代が到来している。また、インターネットの利用の拡大とともにネットワークの高速化、信頼性の向上が進み、使い勝手の良いインターネットを介した分散コンピューティング環境をグリッドが提供できるよ

うになってきた。

一方、応用面では、e-Science<sup>③</sup>に代表されるようなITを駆使した科学研究、バイオやナノテクノロジー研究においてグリッドが研究ツールとして必須のものとして考えられ始めている。また、高エネルギー物理、宇宙科学など巨大科学は、高価で特殊な実験装置やデータ解析を共有化することで研究の効率アップを図ろうとしており、グリッドが研究環境の基盤として考えられている。

## 用語説明

### ③e-Science

ITを用いて科学研究を推進加速させること。または、強力なITにより研究を推進している研究分野を指す。ITとして、インターネット、高性能コンピュータ、グリッドなどがあるが、ITは研究の単なるツールだけではなく、研究の方法スタイルなども変えていき、例えば、バイオインフォマティクスのような新しい研究分野も作り出す。英国の有名なプロジェクトの名前であるが、そのプロジェクトの目指している概念をe-Scienceと言うことも多い。

## 5. グリッドの応用例

グリッドは、様々な応用が考えられており、これからどのような応用展開が考えられるかグリッド応用の代表例を説明する。

### (A)メタコンピューティング

ネットワーク上に分散配置されたスーパーコンピュータなどの高

性能コンピュータ（HPC）複数台を同時に使用して、1台では得られない大規模な計算を行う。仮想的な巨大コンピュータを実現させようとする。グリッドにて実行さ

せる計算のタイプとしては、単一プログラムであるが内部計算を分散し並列に複数のコンピュータにて計算するタイプと、同じプログラムを複数のコンピュータに格納しそれぞれに異なったデータを入力して並列に計算させその結果を解析する(パラメータスイープ)タイプが考えられる。ネットワークのデータ転送はコンピュータ内のデータ転送とは桁違いに遅いため、グリッドでは計算中のデータアクセス範囲が狭いいわゆる粒度の小さな計算でないと効果が出ない。

## (B)研究グリッド(仮想研究所)

研究者や研究機関がコミュニティを形成し、相互の計算資源、データ資源、実験装置をネットワークを介して共有化する。データを相互利用することに加えて、各研究機関がもっている応用プログラムを相互にカップリングして複合シミュレーションすることも可能となる。

従来の遠隔利用は、個別にソフトウェアを構築していた。グリッドではインターフェースが共通化され、より広範に接続できるようになった。

例としては、図表2-1に示すように米国では高エネルギー物理研究Grid Physics Network、核融合研究Fusion Grid、宇宙観測研究National Virtual Observatory、気象研究Earth System Grid、バイオインフォマティクス研究Biomedical Informatics Research Network(BIRN)などがあり、欧米でも同様のプロジェクトにてグリッドが構築されている。

## (C)Access Grid

Access Gridでは、遠隔地の共同研究者と同じ画面、同じ計算結果を共有して、共同研究を円滑にスピーディに進める環境を提供す

る。高速なネットワークを介したマルチキャスト通信を利用しており、テレビ会議システムに比べ、画質もよくファイル共有など共同作業を効率よく進めるためのツールが備えられている。

## (D)データグリッド

一つの場所には格納しきれないような大規模なデータや各地に分散配置されたデータをネットワークを介して遠隔地からアクセス可能とするもので、Data Intensive Computingとも言われる。このデータグリッドは、現在研究中であり、大容量のデータの効率よい格納、読み出し、インターネットの大容量通信などが研究テーマである。ここで注意すべき点は、データの転送時間である。超高速ネットワークを用いても大容量データの送信時間は非常に長くなるため、データの発生した場所で一次解析計算などを行う必要もある。

例えば、欧州原子核共同研究機関(CERN)の巨大加速器の実験では、500研究機関の研究者7,000名が年間に数億回の実験を行い6~8 PetaByteのデータが発生する。このような高エネルギー物理の実験データを解析し研究者間で共有するためのグリッドを、欧州のEU Data Gridや米国のGrid Physics Network(GriPhyN)プロジェクトで開発中である。この他、複数の宇宙観測所にて得られたデータから全宇宙を記述しようとする研究でもグリッドが使われており、データグリッドにより巨大科学を効率よく推進することができる。

## (E)計算サービスグリッド

ある組織内の複数の計算サーバーをネットワークに接続し、計算サーバーのタイプを意識せずに必要とときに必要なだけ計算パワー

を利用できる環境を提供する。計算サービスグリッドは、いわば仮想コンピューティングセンターである。例としては、東工大キャンパスグリッドがある。キャンパス内に分散設置されたPCクラスター(合計約800プロセッサ)と25 TeraByteのストレージをギガビットクラスの高速キャンパスネットワークを介して利用する。この他、企業内において、計算センターを企業内イントラネットで結合して計算サービスグリッドを構築している例がある。

この発展形として、計算サービスの事業化が検討されているが、現状では、課金やセキュリティの問題が残っている。従って、現在は、大学内に閉じたキャンパスネットワークや企業内のイントラネットを使用して実現されている。

## (F)グリッドASP (Application Service Provider)

グリッドASPとは、高性能コンピュータに整備された応用プログラムを遠隔地からネットワークを介してデータを与えて実行し、結果を得るサービスである。前記の計算サービスグリッドでは、ユーザーがプログラムを作成しているが、グリッドASPは、既に作られた有用なプログラムを利用する。さらには、ゲノムデータなど有用なデータセットを利用するサービス提供も考えられる。例えば、医療データはプライバシー保護のため外部に出すことはできないが、グリッドにより、解析プログラムをデータベースサイトで実行させ、その結果のみ得ることなどが可能となる。

## (G)デスクトップグリッド コンピューティング

個人のパソコンには空き時間が結構あることに注目し、その空き

時間の計算パワーを集めて一つの目的の計算実行を実現する。空き時間の提供はボランティア的に無償の場合がほとんどであるためボランティアコンピューティングとも言われている。

この例としては、宇宙観測データ解析 (SETI@home: Search Extraterrestrial Intelligence at Home) や癌、エイズ、白血病の新薬開発 (Parabon's Compute-against-Cancer, Entropia's Fight-AidsAtHome, United Devices' Cancer Research Project, Intel's Philanthropic Peer-to-Peer Program) などがある。SETI@homeの例では、400万人のボランティアがパソコンの空き時間を提供し

ており、40 TeraFlops性能のスーパーコンピュータと同等の計算能力を得ている。

このデスクトップグリッドコンピューティングでは、一つ一つのコンピュータの能力は小さくかつ速度の遅いネットワークにて接続されているため、このグリッドで対応できる計算のタイプは限定される。同じ処理を多量の異なる入力パラメータに対して計算するパラメータスイープ型が向いている。また、ソフトウェアの更新、セキュリティ、プライバシー保護、対故障性 (故障しても再開可能) 等の対策が必要である。

最近では、企業内のパソコンの空いている計算パワー利用して、

受発注業務を実行させている例もある。ここでのパソコンは企業内のイントラネットに接続されているため、セキュリティや課金の問題は回避できている。

## (H) センサーグリッド

ユビキタスコンピューティング環境におけるグリッドの究極の形であり、いたるところに置かれたセンサ群がインターネットに接続され、そのデータを利用しようとする未来のグリッドである。例えば、遠隔地に配置した多数のセンサのデータを収集解析して地球環境のモニタリングなどが考えられる。

## 6. グリッドプロジェクト

グリッドは、基礎科学、特に巨大科学を進める上での重要な基盤となるのみでなく、さらには、ITとバイオ、ナノとの融合領域においても不可欠の基盤であるとの認識から、欧米で積極的に国家プロジェクトが実施されている。ここでは、米国、欧州、アジア諸国の取り組みを紹介する。その一覧表を図表2-1から図表2-5に示す。

### (A) 米国のプロジェクト

グリッド技術はスーパーコンピュータをネットワークを介して利用する米国の研究から始まっており、米国には過去のグリッド技術開発と実証システム開発の蓄積がある。その上に、さらなるグリッド技術開発、大規模な実証システム、グリッド応用開発が積極的に進められている。

例えば、NSFのTera Gridプロジェクトでは、TeraByteスケールの大容量データ処理の研究が行われており、大規模実証システムとして全米の4つの計算センターが参加し、13.6 TeraFlopsの高性

能コンピュータと576 TeraByteの巨大ストレージが40 Gbpsの高速ネットワークに接続される計画である。もう一つの注目すべきプロジェクトとして、NIHのBiomedical Informatics Research Network (BIRN) がある。このプロジェクトでは、カリフォルニア大サンディエゴ校を中心とする全米10の医療研究機関によって、アルツハイマー病などの研究のため、脳の様子を可視化し、データを共有するグリッドを開発中である。これには医療の現場を含め多くの研究者が参加している。

一方、昨年9月の同時多発テロ事件をきっかけに、米国政府ではホームランドセキュリティの強化に向けた検討が進められており、サイバーテロ対策も重要な項目の一つである。グリッドプロジェクトにおいてもこの観点からのセキュリティの再検討が進められており、グリッドにおけるセキュリティの問題は他の問題より優先度が高くなっている。

### (B) 英国と欧州のプロジェクト

英国では、2000年度からe-Scienceプロジェクトを開始している。このプロジェクトの狙いは、科学研究をITにより推進加速させることにある。具体的にはグリッド技術をベースにして、高価なコンピュータや高価な実験装置の共同利用、世界的に分散した大規模データの共同利用を実現するプロジェクトを精力的に進めている。グリッド基盤としては、英国9カ所に国立e-Scienceセンターを設立し、高性能コンピュータを高速ネットワークにより接続したグリッドを構築している。このグリッド上に作られる応用は、高エネルギー物理、ゲノム、バイオ、たんぱく質構造解析、医療・保健、環境、気候、宇宙、化学・材料など多岐に渡っている。e-ScienceのリーダーであるJohn Taylor (Director General, Research Councils UK OST) は「グリッドは、英国にとって、国際的な科学研究に参加するために必要な基盤であ

る」と言っている。

欧州には、スーパーコンピュータのメーカーはないが、スーパーコンピュータ応用の蓄積は大きく、グリッド応用への取り組みは早い。EUの代表的なプロジェクトとしては、大規模データを取り扱う EU Data Gridがある。CERNが中心となり米国、日本とも連携を取って進められている。

EUのプロジェクトはEU加盟の複数国の共同開発が条件であるが、グリッドは共同研究の基盤を構築するものでなので、EUプロ

ジェクトによく適合している。一方、英国以外の欧州各国でも、ドイツの Unicore、イタリアの INFN Grid (Italian National Institute for Research in Nuclear Physics)、オランダの Grid-based Virtual Laboratory Amsterdam (VLAM) などのプロジェクトが進められている。

### (C)日本のプロジェクト

2001年から開始された ITBL (IT-Based Laboratory) プロジェ

クトでは、日本原子力研究所と理化学研究所を中心に仮想研究所の構築を目指し、スーパーコンピュータを通信回線で接続し共同研究の環境を作っている。グリッドを前面に出したプロジェクトとしては、2001年度補正予算にて、産総研グリッド研究センター設立、東工大キャンパスグリッド構築などが動き出した。2002年度には、阪大を中心としたバイオグリッドプロジェクトが開始され、また、科研費「ゲノム情報科学」研究の中で、東大、北陸先端大、徳島大、

図表2-1 米国主要グリッドプロジェクト

プロジェクト	機関	予算	期間	目標
PACI National Technology Grid	NCSA, SDSC	NSF	1998～	Globusを普及させ、分散した研究所支援のため計算グリッドを構築
Information Power Grid	NASA	NASA (インフラを除いた応用への資金は\$7～8M)	1999～	異機種分散コンピューティングシステムにより Multi-disciplinary Simulation を実行、可視化
Access Grid	ANL, LBNL, LANL, NCAR, NCSA, 他	DOE, NSF \$2M/年	1999～	グリッド上に遠隔会議システムなどコラボレーション用システムを開発・運用する。この成果の一部を利用して、GGFの会議が Access Grid メンバーには放映された。
ASCI Grid (DISCOM)	Sandia NL, LLNL, LANL	DOE	1999～	ASCIのグリッド応用。セキュリティ開発
Grid Physics Network (GriPhyN)	ANL, U of Florida, Fermi Lab, 他	NSF \$12M/5年	2000～	高エネルギー物理や天文学におけるデータの共有化
Particle Physics Data Grid (PPDG)	ANL, LBNL, Caltech, SDSC, 他	DOE \$9M/3年	2000～	素粒子物理のデータの共有化
Tera Grid	NCSA, SDSC, ANL, Caltech	NSF \$12M@2001, \$53M@2002	2001～	One Peta byte Gatewayの構築: 13.6TF, 6.8TB メモリ, 79TB 内部ディスク, 576TB ネットワーク結合ディスク
International Virtual-Data Grid Lab (iVDGL)	U of Florida, U of Chicago, Indiana U, Caltech, Johns Hopkins U, 他	NSF \$13.7M/5年	2001～	米国、欧州、日本等のデータグリッドを結合し、データグリッドの技術開発、普及を図る
Network for Earthquake Eng. Simulation Grid (NEES)	U of Southern California, U of Michigan, ANL, NCSA, 他	NSF \$10M/3年	2001～	地震シミュレーション
National Virtual Observatory (NVO)	Johns Hopkins U, Caltech, 他	NSF \$10M		仮想宇宙観測研究所
Grid (Grid Research Integration Deployment and Support) Center	U of Chicago, U of Southern California, U of Illinois, U of Wisconsin, 他	NSF \$12M	2001～	グリッド基盤ソフトウェアの統合、運用、サポート
DOE Science Grid	DOE			DOEの科学グリッド全体の総称。グリッドの普及と運用、研究者の支援ツールを開発。
Fusion Grid	ANL, LBNL, Princeton Plasma Physics Lab, General Atomics, MIT, 他	DOE \$6M/3年	2001～	核融合研究のグリッド
Earth Systems Grid	ANL, LLNL, NCAR, 他	DOE \$5M/3年		気象研究のグリッド
Biomedical Informatics Research Network		NIH \$20M	2002～2006	脳や神経系の可視化技術とデータベースの共有化

ANL=Argonne National Lab, LANL=Los Alamos National Lab, LBNL=Lawrence Berkeley National Lab, LLNL= Lawrence Livermore National Lab, NCSA=National Center for Supercomputing Applications, SDSC=San Diego Supercomputer Center, NCAR=National Center for Atmospheric Research

(各種ホームページより科学技術動向研究センターにて作成)

理化学研究所などによるバイオインフォマティクス用グリッド構築が開始されている。2003年度には世界最高水準のグリッド構築を目指したナショナル・リサーチグリッド・イニシアティブや、グリッドによる柔軟なサービスの提供

するソフトウェアを開発するビジネスグリッドプロジェクトなど本格的なグリッド構築が計画されている。

なお、2000年から開始されたスーパー SINET プロジェクトによって、大学や国立研究所の計算セ

ンターが高速ネットワークにて接続され、これらは、グリッド構築のための重要な基盤となっている。

## (D)アジアのプロジェクト

アジア地区では、韓国、中国を

図表 2-2 欧州主要グリッドプロジェクト

プロジェクト	機関	予算	期間	目標
Grid in 6th Framework Program		EC 300 M Euro/5年	2003～2007	FP6全体はIT、バイオ、ナノ、宇宙、食品、環境、エネルギー、知的社会が対象。その各分野で合計300MEuroにてグリッド構築を計画。
EU Data Grid	CERN, U of Heidelberg, IBM UK, CNRS, INFN, PPARC, SARA, 他	EC 9.8 M Euro/3年	2001～2003	ペタバイトのデータ処理をリアルタイムで実行するネットワーク。
EuroGrid	Forschungszentrum, Pallas GmbH, U of Bergen, CNRS, Warsaw U, U of Manchester, ETH Zurich, 他		2001～2003	グリッド応用開発：分子生物モデル、気象予測、CAEシミュレーション、グリッドミドルウェア開発
GRIP (Grid Interoperability Project)	U of Southampton, Deutscher Wetterdienst, U of Manchester, Pallas GmbH, U of Warsaw U, 他	EC	2002～2003	UNICOREとGLOBUSの互換性の確立
MAMMOGRID	U of West England, U of Pisa, U of Oxford, U of Cambridge, Mirada Solutions, 他	EC	2002～2005	Develop Mammogram database for healthcare research

図表 2-3 英国主要グリッドプロジェクト

プロジェクト	機関	予算	期間	目標
eScience		£ 120M/3年	2001～2004	科学研究推進のためのグリッド開発の全体プログラム。その内£ 75Mはグリッド応用開発
Grid Particle Physics	Universities of Birmingham, Bristol, Cambridge, Edinburgh, Glasgow, Lancaster, Liverpool, Manchester, Oxford, Sheffield, Sussex, Imperial College, CERN, 他	DTI PPARC £ 17M/3年		EU DataGrid (CERN)、US GriPhyNとPPGridと共同で素粒子物理研究
Astro Grid	Universities of Edinburgh, Leicester, Cambridge, Queens Belfast, 他	DTI PPARC £ 5M	2001～2004	EU AVOとUS NVOと共同で宇宙観測研究
DAME (Distributed Aircraft maintenance Environment)	Universities of York, Oxford, Sheffield, Leeds, 他	DTI EPSRC £ 3M	2002～2004	航空機のメンテナンスにおいて航空データ、エンジンデータなどを共有化する
Reality Grid	Universities of London, Manchester, Edinburgh, Loughborough, Oxford, 他	DTI EPSRC £ 3M		材料研究のツール
myGrid	Universities of Manchester, Southampton, Nottingham, Newcastle, Sheffield, 他	DTI EPSRC £ 3M	2001～	バイオなどのデータをIT技術者だけのものにするのではなく、医者など自分のものとして使用できる環境を作る。
Biology, Medical, Environmental Science	計画中	DTI £ 23M		バイオ、医療、環境分野でのグリッド

DTI=Dep. of Trade and Industry, PPARC=Particle Physics and Astronomy Research Council, EPSRC=Engineering and Physical Sciences Research Council, NERC=Natural Environment Research Council

(各種ホームページより科学技術動向研究センターにて作成)

初め、台湾、シンガポールなどでグリッド研究が進められている。米国、オーストラリアを含めたアジア太平洋地区のグリッド活動を推進する母体として、アジア太平洋グリッドAPGridとアジア太平洋GRID応用会議（PRAGMA: Pacific-Rim Application & Grid-Middleware Assembly）があり、日本がリード役となってこの地区のグリッド活動を推進してきている。また、Asia-Pacific Advanced Network (APAN) の活動によって、グリッドのベースとなる高速ネットワークが構築されてきている。このような活動の実績から、世界の標準化団体グローバルグリッドフォーラム（GGF）中でアジ

アが世界3極の一つとして発言権を確保できている。アジア各国とも積極的にプロジェクトを立ち上げてきており、キャッチアップは早い。日本もさらに先に進まなければすぐ追いつかれてしまうと思われる。

### (E)日本のプロジェクトにおける課題

欧米でのグリッドプロジェクトは、グリッド技術開発と共に応用開発に力を入れている。応用開発では、バイオやナノなどの分野とIT分野の協力関係が重要である。日本では研究者が積極的に他の分野に入り込んで研究すること

が過去少なかったと思われる。グリッド応用開発では、IT技術者が応用分野に飛び込んでその分野のソフトウェアを作っていくことが求められている。

欧米には、大学生まれのソフトウェアが多くある。グリッドの場合も、既にグリッドソフトウェアのベンチャーが大学から生まれている。1993年に開始されたバージニア大のLegionプロジェクトをベースにプロジェクトリーダーのAndrew Grimshaw教授がその商用化のためApplied MetaComputingを設立（現在はAVAKI社）している。

一方、日本の大学のプロジェクトにおいて、ソフトウェアが作ら

図表2-4 日本主要グリッドプロジェクト

プロジェクト	機関	予算	期間	目標
IT-Based Laboratory (ITBL)	原研、理研、他	文科省50億円 52億円@2000 27億円@2001	2000～	スーパーSINETを介してスーパーコンピュータを接続した仮想研究環境を構築。
科研費特定領域研究「情報学」A05グリッド	阪大、東工大、国立天文台、他	文科省8億円/5年	2001～2005	医療グリッド阪大下條班 P2Pデータグリッド東工大松岡班 国立天文台、他
東工大キャンパスグリッド	東工大	2001年度補正 予算2億円	2001	学内キャンパスグリッドの構築
阪大バイオグリッドセンター	阪大	2001年度補正 予算2億円	2001	グリッドインフラ構築
eサイエンス実現プロジェクト「スーパーコンピュータネットワークの構築」	阪大、他	文科省5.5億円 @2002	2002～2006	大規模データグリッドとコンピューティンググリッドの連携技術の開発
ネットワークコンピューティング技術の開発「グリッドクラスタ・フェデレーション」	産総研、東工大、筑波大、東大	経産省13億円/5年	2002～2006	クラスタ技術、グリッド技術、10ペタバイト級の大容量データ処理の実現
ナショナル・リサーチグリッド・イニシアティブ (NAREGI)	計画中	文科省（計画中）	2003～2007	世界最高水準のグリッド環境を構築し、バイオ、ナノ分野等と情報通信分野との連携の下で行う融合領域研究を推進
グリッド・コンピュータ「ビジネスグリッドコンピューティング」	計画中	経産省（計画中）	2003～2005	ネットワーク上の多数のコンピュータ、記憶装置をあたかも一つのコンピュータのように使い、柔軟なサービスを提供するソフトウェア開発

（各種ホームページより科学技術動向研究センターにて作成）

図表2-5 韓国・中国主要グリッドプロジェクト

プロジェクト	機関	予算	期間	目標
Korea Grid Initiative	韓国科学技術情報研究所 (KISTI) が中心	43億円/韓国情報通信省 (NWを含まず)	2002～2006	グリッドミドルウェア開発、Data Access, 応用開発（予算の半分以上は応用開発）
China Computational Grid	中国科学技術院	\$ 40M/中国科学技術省		10のHPCセンターをNWにて接続。応用の一つはゲノム

（各種ホームページより科学技術動向研究センターにて作成）

れているが、商品化へつながっていない。その原因は、大学のプロジェクトでは多くの技術者を抱えることが難しいため、プログラムのコア部分のみを作成し要素機能の実証をすることまでしか行われていないことにある。しかし、製品化するためには、周辺部のプログラムを作成し、より規模の大きい実証を行う必要があり、多くの技術者による開発が必要である。

米国の大学のプロジェクトでは、多くの技術者を採用することが可能なため、比較的大規模な実

証実験まで行っている。米国政府はプロジェクトにおいて基礎研究のみならず、その産業可能性の検証までも求めているケースが多い。このようなプロジェクトにて採用された技術者たちは、プロジェクトが終了するとベンチャーを起業したり、別のプロジェクトなどに移動するというような流動性がある。最近でこそ日本でも大学プロジェクトにおいて人を採用することが可能となったが、技術者の流動性はまだまだ乏しくまた人材難である。大学における知的財

産権の取り扱いも、各種制度が整備されつつあるが、まだ過渡期にある。

今後、日本の大学の大規模なプロジェクトの成果をベースにソフトウェアが多く生まれてくることを期待したい。欧米を見ても、革新的なソフトウェアは、やはり大学を中心としたプロジェクトから生まれており、これがソフトウェア技術力のベースにある。日本のソフトウェア技術力向上のためにも大学でのソフトウェア作成力の向上、技術力の蓄積が求められる。

## 7. 標準化動向

グリッドは、世界各国と接続できて初めて機能するものであるため、インターフェースの標準化が重要な課題となっている。

グリッド標準化活動は、1998年末に、米国でグリッド研究プロジェクト関係者が集まりグリッドフォーラム (GF) が結成されたこ

とを契機に、開始された。その後、欧州では E-Grid (European Grid Forum)、アジア太平洋では AP-Grid (Asia-Pacific Grid Forum) が、それぞれの地区のグリッド開発を推進していた。2001年には、グリッドフォーラム (GF) が、E-Gridと AP-Gridの標準化活動を

吸収合併し、全世界的な標準化団体グローバルグリッドフォーラム (GGF) が結成された。このグローバルグリッドフォーラムには、日本から運営委員会に2名、外部諮問委員会に1名が参加しており、日本のプレゼンスを示している。GGFの標準化の進め方は、イン

図表3 Global Grid Forum における活動グループ一覧

Area	Working Groups	Research Groups
Applications and Programming Environments		<ul style="list-style-type: none"> <li>● Advanced Collaborative Environments (ACE-RG)</li> <li>● Advanced Programming Models (APM-RG)</li> <li>● Applications and Test Beds (APPS-RG)</li> <li>● Grid Computing Environments (GCE-RG)</li> <li>● Grid User Services (GUS-RG)</li> </ul>
Architecture	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Open Grid Service Infrastructure (OGSI)</li> <li>● Open Source Software (OSS)</li> <li>● New Productivity Initiative (NPI)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Grid Protocol Architecture (GPA)</li> <li>● Accounting Models (ACCT)</li> <li>● Service Management Frameworks (JINI)</li> </ul>
Data	<ul style="list-style-type: none"> <li>● GridFTP</li> <li>● Data Access and Integration Services (DAIS)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Data Replication (REPL)</li> <li>● Persistent Archives (PA)</li> <li>● Grid High-Performance Networking</li> </ul>
Information Systems and Performance	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Discovery and Monitoring Event Description (DAMED)</li> <li>● Network Measurement (NM)</li> <li>● Proposed: Grid Information Retrieval (GIR)</li> <li>● Proposed: CIM based Grid Schema</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Relational Grid Information Services (RGIS)</li> <li>● Grid Benchmarking (GB)</li> </ul>
Peer-to-Peer	<ul style="list-style-type: none"> <li>● NAT/Firewall</li> <li>● Taxonomy/Nomenclature</li> <li>● P2P Security</li> <li>● File Services</li> <li>● Instant Messaging Interoperability</li> </ul>	
Scheduling and Resource Management	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Grid Resource Allocation Agreement Protocol (GRAAP)</li> <li>● Management Application API Working Group (DRMAA)</li> <li>● Scheduling Dictionary (DICT)</li> <li>● Scheduler Attributes (SA)</li> </ul>	
Security	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Grid Security Infrastructure (GSI)</li> <li>● Grid Certificate Policy (GCP)</li> <li>● Open Grid Service Architecture Security (OGSA-SEC)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Kerberos</li> </ul>

出典：グローバルグリッドフォーラムホームページ [http://www.gridforum.org/L\\_WG/wg.htm](http://www.gridforum.org/L_WG/wg.htm)

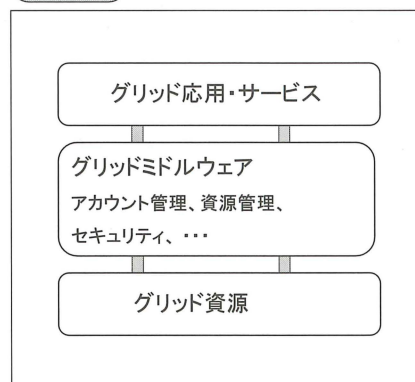
ターネットの標準化を進めている IETF (Internet Engineering Task Force) と同じ方式をとっている。すなわち、個別技術ごとに研究グループまたはワーキンググループが作られ、目的、目標を明確にして議論を進め、その使命が終了すれば解散する。現在、GGF には図表 3 に示すように、7つの領域に 21 のワーキンググループと 14 の研究グループがある。年 3 回の全体会議の他に個別会議、E-Mail による意見交換などにより議論を進めており、標準化の議論の進展は早い。この活動に海外からついて行くにはかなりの労力を必要とする。この GGF の標準化は強制力がある標準 de jure とはならないが、事実上の業界標準 de facto に

なっている。

現在まで、グリッド技術標準化の中心は、図表 4 に示すような共通横断的なグリッドミドルウェアにあり、上位の応用・サービスや下位のグリッド資源とのインターフェースの制定における覇権競争である。グリッド技術は広範囲にわたっており、単独のソフトウェアパッケージや、また、新たなミドルウェアパッケージによる支配は不可能である。従って、日本の独自性または一企業の独自性を出して標準化の覇権を取ることは不可能で、国際協力の中で相補的役割を担い、優位性のある技術を創出しながら作り上げていく標準化である。

今年 6 月には、日本においてグリッド協議会が設立され、グリッ

図表 4 グリッドシステムの階層



ド技術開発や標準化の動向調査、標準化への取りまとめ、グリッド技術の普及、情報交換等が進められることになった。インターネットソフトウェアでは、一般に標準化から開発、製品化は非常に時間が短い。標準化動向には十分注意する必要がある。

## 8. グリッド技術の課題

現在は、Globus Toolkitを始めとするミドルウェアが提供されるようになり、多くのプロジェクトで、グリッドの構築や構築されたグリッド上の応用開発が行われている。しかし、簡単にシステムを作れるほどまだソフトウェアは整備されていないのが現状である。また、現在のグリッド技術にはいろいろな制約があり、この解決に向けて研究が進められている。

その研究テーマとしては、組織を跨がるセキュリティ、運用ポリシーの整合、課金処理、故障時の対応、QoS (Quality of Service) による優先的通信路確保、動的資源配分・管理、大規模データ処理などがある。より具体的には、組織を外部進入者より守る Firewall と他組織に進入しなければならないグリッドにおけるセキュリティ制御、QoS 制御により広帯域の通

信路を確保しなければならない大規模データ転送、ネットワーク上の資源を常時モニタリングする動的資源管理、組織ごとに異なるコンピュータ運用ポリシーとグリッドユーザーに対する運用ポリシーとの整合、組織外メンバーに対する課金処理などが課題であり、これらは、今後 3～5 年のテーマとして考えられている。

## 9. 国内外のメーカーの最近動向

グリッドの構築には、ハードウェアとして高性能コンピュータと高速ネットワークが必要である。米国では、グリッド技術開発には、高性能コンピュータを持っている IBM、Sun、HP (旧コンパックを含む) が積極的であり、グリッドミドルウェアにはマイクロソフトも注目している。

IBM は、2002 年 3 月に、グリッドミドルウェアに Web サービスの標準を取り入れることを提案し、GGF にて承認された。これが

実現されれば、電子商取引などとの親和性が高まるため、急速にグリッドのビジネス展開へ期待が高まっている。このように IBM は高性能コンピュータのハードウェアを販売するだけではなく積極的にグリッドミドルウェアを開発しその普及に力を入れている。

欧州にはコンピュータメーカーはなく、欧州におけるグリッド構築のためのハードウェアは米国コンピュータメーカー製であり、グリッドの応用開発も共同で進めて

いる。

日本を除くアジアでもグリッド構築が盛んに進められている。最近の PC クラスタや高性能計算サーバーの性能は飛躍的に向上しているため、米国製のコンピュータを持ち込み比較的容易にグリッドの構築ができています。

一方、日本のコンピュータメーカーはグリッド開発では米国のコンピュータメーカーに比較し出遅れており、現在キャッチアップに懸命である。

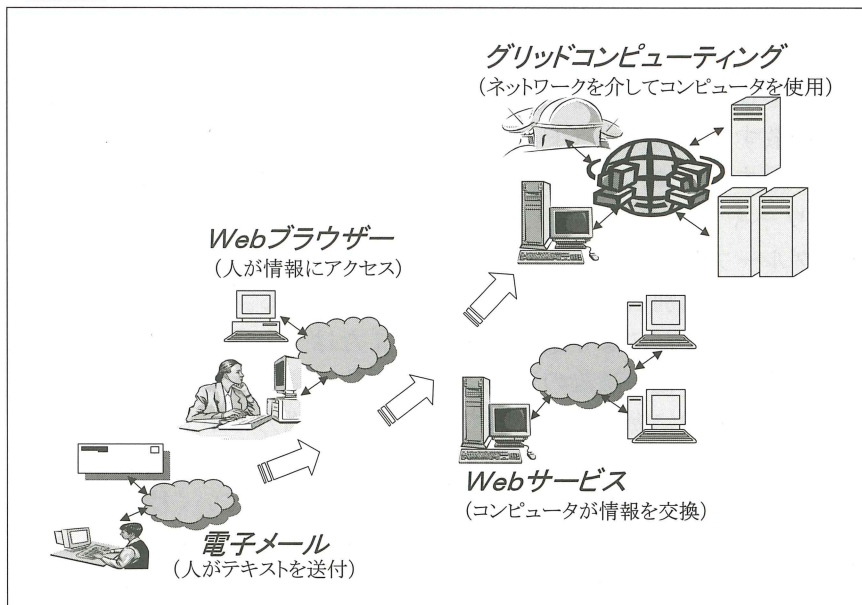
## 10. グリッド技術の位置づけ

グリッド技術はインターネット利用技術の一つであるが、過去のインターネット技術の流れから見ると大きく発展していく素地を持っていると考えられる。その流れを図表5に示す。

インターネット利用は、ネットワークを介してメールをやりとりする電子メールから始まった。遠隔地の情報を見るためWebブラウザが作られ、その利便さから爆発的に世界中に広まった。この普及は、Webブラウザが、端末のハードやOSによらず情報を閲覧できることにあった。インターネットの普及とそのネットワークの信頼性向上によって、企業の業務でもインターネットが使われるようになってきている。

さらに、人間が情報を閲覧するだけでなく、コンピュータ同士が情報交換することによってより広範に自動的に情報検索・交換を可能にするWebサービスが登場している。従来、コンピュータ同士のデータ交換（EDI：Electric

図表5 インターネット利用の発展



Data Interchange) は、個別の規約に従って行われていたが、Webサービスは、このデータ交換をオープンなインターネット上で行うことを可能とする。これによって安全な電子商取引、企業間取引などが広く普及していくと見られている。

グリッドは、Webサービスをさ

らに発展させたものとして捉えることができる。Webサービスではインターネット上にあるデータや情報にアクセスしていたが、グリッドは、インターネット上にあるコンピュータやデータや実験装置など計算資源にアクセスし使用することを可能とするものである。

## 11. グリッドの将来と今後の課題

### (1)グリッドの重要性

グリッド技術は、ネットワーク上の計算資源を一つのコンピュータのように見せ、使い勝手を向上させる技術であり、次世代インターネット利用の中核技術として期待されている。また、グリッドは、高価なコンピュータ、大規模データ、有用な解析プログラム、高価な実験装置を遠隔地から利用することを可能にすることから、研究分野での有用な研究基盤を提供する。具体的には、高エネルギー物理、宇宙科学など巨大科学においては、巨大コンピュータ、高価な

実験装置、遠隔地の設備などの共同利用によって研究効率向上が可能になる。また、ITとバイオ、ナノとの融合研究領域においては、データ、解析プログラムの共同開発、共同利用が可能となり、共同研究が活発化する。グリッドは基礎研究分野の研究基盤として必要不可欠のものとなるであろう。さらには、研究スタイルをも変えてしまうポテンシャルがある。

このようなグリッドは共同研究を活性化していく力を持っている。複数の異なる専門分野に跨る境界領域にて共同研究を活性化すれば、新しい研究分野が誕生する可能性がある。従来、日本では、

専門分野に閉じた自己完結型の研究が多く、複数の専門分野を集め開拓していく水平統合型の研究は研究組織の壁などもあって活発ではなかった。このような共同研究を活発化するためにもグリッド構築は重要である。

### (2)グリッド技術の発展に向けて

グリッドの概念は米国で生まれ、米国中心に発展してきている。欧州はコンピュータメーカーを持っていないことから米国の高性能コンピュータを導入し、米国の研究機関と協力してグリッド応用開

発を積極的に進めている。一方、日本は、幸いにもグリッド技術の研究蓄積があり、産業としてコンピュータメーカーを持っている。グリッドプロジェクトにおいて、大学、国立研究所、メーカーが協力して特長のある技術を創っていくことが可能である。ただ、昨年の米国の同時多発テロ以降、米国では、ホームランドセキュリティ強化が検討されており、グリッドにおいてもセキュリティには十分配慮した技術開発が必要である。

グリッド技術はインターネット利用のソフトウェアであり、標準化が重要である。この標準化では、一社または一国が独自性を出して覇権を取るのではなく、国際協力の中で優位性のある技術を創出しながら作り上げていく標準化であ

る。もちろん、優れた日本発技術を持たなければ標準化技術として取り上げられない。優れた技術を多く持ちグリッド技術の標準化に貢献していくことが、次世代インターネット利用技術の中で日本の技術力を示すことになる。グリッドプロジェクトによるグリッド技術開発を、米国が主流のインターネットの世界に日本の技術を売り込むチャンスとすべきであろう。

## 謝 辞

本稿をまとめるに当たり、産業技術総合研究所関口智嗣グリッド技術センター長、東京工業大学学術国際情報センター松岡聡教授、大阪大学サイバーメディアセンター下條真司教授から、グリッド技術動向に関して貴重なご意見を頂

きました。ここに深く感謝いたします。また、本文中では、大変失礼ながら、敬称を省略させて頂きました。

## 参考文献

- 1) C. Catlett and L. Smarr, "Meta-computing," Communications of the ACM, Vol35, No.6, pp44-52, June 1992
- 2) C. Kesselman, I. Foster, "Globus: Around the World and onto Your Desktop", enVision, Vol 14.3, NPCI External Relations
- 3) The Grid: Blueprint for a New Computing Infrastructure, Ian Foster and C. Kesselman, ed., Morgan Kaufmann, July 1998

.....