

# 製品開発を加速するCAD-Gridシステム

## CAD-Grid System for Accelerating Product Development

あらまし

近年、IT基盤製品や移動体製品の開発においては、要求される機能の多様化や高性能化に伴い設計の複雑さや規模が増大している。さらに早期市場投入のために開発期間の短縮も求められており、最適設計と検証のためのシミュレーションや解析を実施する計算需要が急増している。他方で計算機の高性能化、ネットワークの広帯域化を背景に地理的に分散した計算機リソースをネットワークで接続し、一つの計算機システムのように利用するためのグリッドコンピューティング技術が実用化されつつある。

著者らはこれらを背景に、製品開発における大量のシミュレーションを短期間で実施するためのグリッド環境である“CAD-Grid”システムを構築し、移動通信システムのシステムシミュレーションへ適用してその効果を確認した。

本稿では、構築したグリッドコンピューティング環境とその仕組み、適用したシステムシミュレーションと適用結果、今後の予定について報告する。

### Abstract

Recently, there have been demands for greater functional diversity and higher performance in the information technology (IT) infrastructure and mobile communication products. As a result, the complexity and scale of product design in the product development phase have increased. In addition, development periods need to be reduced so products can be marketed sooner. These requirements have rapidly increased the need to efficiently simulate and analyze in order to achieve optimum designs and verification. Also, grid computing technology is coming into practical use as a new way of using geographically distributed computer resources connected to a network. This technology is based on advances achieved in high-performance computing and broadband networking. The authors have constructed the “CAD-Grid” grid computing system to quickly perform computationally intense simulations in the product development phase. This system has been used to simulate a mobile communication system and confirm its effects. This paper describes the grid computing environment of CAD-Grid, its structure, the system simulation to which CAD-Grid was applied, and the application results. This paper also describes the future development plan for the CAD-Grid system.



中村武雄（なかむら たけお）  
システムCAD開発統括部第一システム開発部 所属  
現在、システムレベル設計・検証技術の開発に従事。



山下智規（やました ともりの）  
システムCAD開発統括部第一システム開発部 所属  
現在、システムレベル設計・検証技術の開発に従事。

## まえがき

近年のIT社会を支えるサーバ、ストレージ、ネットワーク、移動通信などプラットフォームを支える技術は日々急速な発展を遂げている。これらの装置開発において要求される機能の多様化、性能の高度化に伴い、数年前に比べて検討すべき内容が広範囲でかつ複雑になっている。とくに低消費電力、小型化、環境対策などの技術的課題に加え、早期市場投入や開発期間の短縮という要求もある。

このような厳しい環境下での開発では、システムの仕様設計やハードウェアとソフトウェアの分割、LSI/FPGA (Field Programmable Gate Array) 仕様設計など、設計の上流段階からの最適設計と検証を行うためのシミュレーションが不可欠である。また下流の実装設計工程でもノイズ対策や製造歩留まり向上のための解析が盛んに行われており、製品開発現場における計算需要が高まっている。

一方、近年のコンピュータの高性能化、およびネットワークの広帯域化を背景に、地理的に分散した多様な計算機資源をネットワークで接続し、あたかも一つの計算機システムのように利用するためのグリッドコンピューティング技術が研究・開発されており、研究段階から実用化の段階に移ろうとしている。

これらを背景にして、製品開発における大量のシミュレーションを効率良く短時間で実行し最適な製品開発を行うために、設計検証向けのグリッドコンピューティング環境である“CAD-Grid”<sup>(1)</sup>システムを構築し、移動通信システム (UMTS<sup>(2)</sup>) の基地局装置開発、および移動機開発における無線インタフェースのシステムシミュレーションへの適用を行い、その有効性を実証した。

本稿では、構築したグリッドコンピューティング環境とその仕組み、適用した移動通信システムシミュレーションと適用結果、今後の予定について報告する。

## CAD-Gridシステム構成

構築したCAD-Gridのシステム構成を図-1に示す。ハードウェアとしては、CAD-Gridポータルと呼ぶジョブ投入・リソース管理サーバと、計算処理を行うための多様な実行計算機リソース、およびそれらを接続するネットワークで構成される。実行計算機群はイントラネットで接続されているUNIXサーバやIAサーバ、Linux PCクラスタ、Windowsパソコンである。

ジョブや実行計算機リソースを管理するミドルウェアは、富士通研究所の開発したCyberGRIP<sup>(3),(4)</sup>

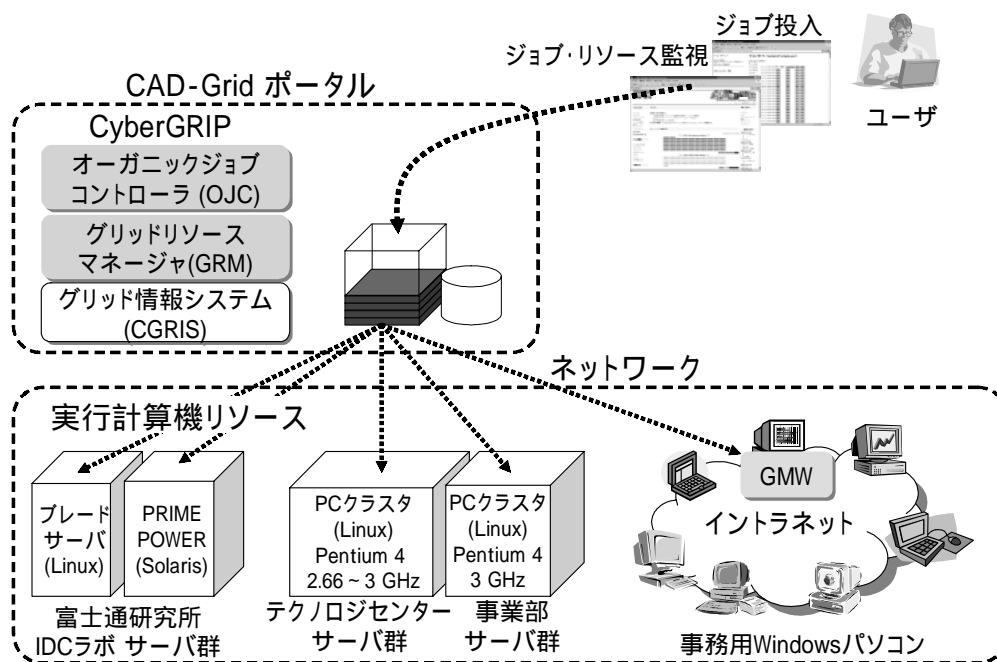


図-1 CAD-Gridシステム構成  
Fig.1-CAD-Grid system.

を核として、一部にウィスコンシン大学が開発したミドルウェアであるCondor<sup>®</sup>を利用している。ミドルウェアは大量のジョブを効率良く実行するとともに多くの実行計算機リソースを運用・管理するために不可欠である。CyberGRIPのオーガニックジョブコントローラ（OJC）機能は、関連性のあるジョブ群をまとめて実行・管理するために設計されており、シミュレーションに適した環境構築を行える。

ユーザである設計者は、CAD-Gridポータルでジョブを投入し結果を確認すればよく、バックエンドの実行計算機リソースを意識する必要はない。また、ユーザインタフェースとしてWebインタフェースを構築しており、Webブラウザから容易にジョブ投入や状況の確認、ファイルの送受信、実行計算機リソースの状態確認が行える。

#### グリッドミドルウェア：CyberGRIP

本章では、CAD-Gridシステムのコア技術であるCyberGRIPのOJC機能とGRM（Grid Resource Manager）/GMW（Grid Mediator for Windows）について説明する。

##### オーガニックジョブコントローラ（OJC）

システムシミュレーションや解析などでは、事前に検証のシナリオを作成し、そのシナリオに沿って条件を変えた一連のジョブをまとめて実施することが多い。例えば移動通信システムシミュレーションにおける伝搬路の条件による通信品質の測定には、一連のシミュレーションジョブを10～250本単位のジョブセットとして実施する。

一般にこのようなジョブセットの実行はスクリプト言語を用いてジョブ生成と投入スクリプトを記述する。しかし、グリッドコンピューティング環境では同時に投入した複数ジョブでもその完了時刻は一致しないため、依存関係がある場合のジョブ制御が難しい。また、ジョブセットを投入した後、実行途中でのキャンセルや再実行も個々のジョブの完了状況を人手で確認してから行う必要があり、手間のかかる作業であった。

これらの課題を解決するために、ジョブセットの記述、制御を容易に処理できるコントローラとしてオーガニックジョブコントローラ（OJC）を開発した。OJCのスクリプトは複数のパラメタ指定や

非同期でのジョブ待合せ制御のワークフロー記述が容易なセマンティクスを持っている。さらに実行を中断したジョブセットの中から必要なものだけを一括再実行する機能も備えている。

##### GRM/GMW

設計の複雑化・大規模化を考慮すると、シミュレーション需要は今後ますます増大することが明白である。しかし、開発コスト削減を考慮すると設備投資は抑制しなければならない。そこでシミュレーションに必要な実行計算機リソース拡大の手段として、事務処理や設計業務に使われているWindowsパソコンの利用を検討した。近年、事務処理などの業務に利用されているパソコンは高性能になり、シミュレーションなどの計算用途にも十分利用できる。しかも、通常の文書作成やメールなどの対話的な処理では、そのCPU資源はほとんど利用されていない。

GRM/GMWはパソコンなどの実行計算機リソースを管理し、そのCPU空き時間にジョブを実行する機能を備えたミドルウェアである。GRMはCAD-Gridポータルサーバ上で動作し、Windows実行端末の管理とジョブの送受信を管理する。一方のGMWは、Windowsパソコン側で動作し、GRMと連携してジョブの送受、実行監視を行う。ジョブ実行に際しては、そのパソコンのオーナーが行っている文書作成などの業務に影響を与えないように、グリッドのジョブの走行優先度を最低レベルにする。これによりWindowsのシステムアイドルプロセスと同等のレベルでグリッドのジョブが実行され、CPUの空き時間のみを利用することが可能となる。

UNIX系の計算機リソース管理・ジョブ実行制御ミドルウェアにはCondorを利用しているが、ジョブの投入はOJCで共通に行える。OJCスクリプト内にジョブの実行OS種別（Solaris/Linux/Windows）を記述し、GRMがそれを判断してCondorまたはGMWにジョブを依頼する仕組みとなっている。

また、Windowsパソコンは導入目的と導入時期によって性能差が大きいことから、GRMは実行ランクと呼ぶ処理の重み指定により、長時間の計算を要するジョブは高性能なパソコンに割り当て、ジョブのTAT（Turn Around Time）を短縮する機能を備えている。

## グリッド情報システム：CGRIS

CAD-Gridシステムでは、ユーザの操作性を改善し、作業を軽減するためにWebベースのユーザインタフェースを備え情報管理を一元化する環境として、図-2に示すグリッド情報システムCGRIS（CAD-Grid Information System）を開発した。

### ジョブキュー状況・マシン状況の監視

CAD-Gridのミドルウェアは、UNIX用にはCondorを用い、Windows用にはGRM/GMWと呼ぶ独自開発ミドルウェアを用いている。そのままではユーザがジョブ処理履歴の参照や実行状況の分析処理を行う場合にそれぞれ別々のコマンドを利用しなければならない。この操作性を改善するため、データベースとスクリプト言語を用いて動的にキュー状況やマシン状況をWeb表示するシステムを開発した。

この結果、ユーザはグリッドミドルウェアの差異を意識することなく、ジョブの状況やジョブ処理統計情報、各計算機の稼働状況などを容易に得ることができる。

なお、グリッドを構成するサーバ系計算機のCPU負荷やメモリ使用状況、ディスク使用状況などの基本的なシステム状況についてはSNMP（Simple Network Management Protocol）により情報を取得して監視している。

### ジョブ結果の収集・可視化

グリッドコンピューティング環境では一度に大量のジョブを実行するため、完了したジョブの結果回収や確認作業を効率良く行わないと、ジョブそのも

のは短時間で完了しても作業全体の短TAT化に結びつかない。そこでジョブ結果や実施状況をジョブの完了と同時に自動的にデータベースに格納し、参照するための枠組みを開発した。

ユーザはデータ登録用の簡潔なライブラリをOJCスクリプト内で利用することで、データベースアクセス言語を用いずに、ジョブ結果をその実行条件などとともにデータベースに自動的に格納することができる。この結果、大量のジョブでも確実に迅速に処理結果を収集・管理できるようになった。

さらに収集したデータからグラフを生成し、Web上で参照するためのグラフアーマジュールを用意した。これによりユーザはジョブ完了後すぐに結果をグラフとして参照して、結果の解析や検討を行える。また、データはダウンロードできるのでWebブラウザ内から表計算ソフトへ取り込み、より詳細な分析やグラフ作成に活用できる。

## 移動通信システム

本章では、今回CAD-Gridシステムに適用した移動通信システムの背景と開発課題について述べる。

携帯電話を中心とする移動通信は現在、マルチメディア通信や高速データ通信、グローバルローミングなどを特徴とする第3世代（IMT-2000：International Mobile Telecommunications-2000）と呼ばれるサービスが行われている。第3世代の技術的な特徴として、通信の多重化方式として直接拡散による広帯域のCDMA（Code Division Multiple Access）を利用することと、すべての基地局で同じ無線周波数を使用することがあり、これらが装置設計や検証を難しいものとしている。

CDMAは元の信号に拡散符号と呼ぶ信号を掛け合わせ拡散処理により複数の通信で同じ周波数を利用する技術である。また、拡散することで元々の信号が広帯域に広がり個々の通信の信号レベルが下がることで、通信の秘匿性を高めると同時に、収容回線数や通信速度を向上させることができる。

しかし複数の通信で同一の周波数を利用していることから、無線インタフェースの設計では信号間の干渉やフェージングを防ぎ、所望の信号を取り出すために、送信電力制御、レイク受信、複数の誤り訂正方式などの高度な技術が要求される。さらに空間を伝搬する電波は、地物などの地理的要因や自然現

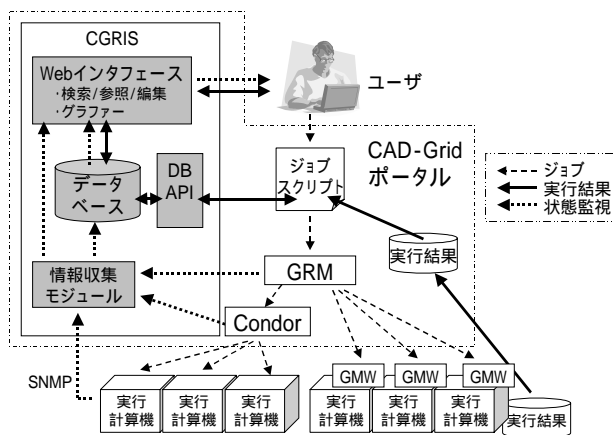


図-2 グリッド情報システム（CGRIS）  
Fig.2-CAD-Grid information system (CGRIS).

象に依存してその性質が大きく変わる。このため様々な条件下で十分な通信品質を保証するために多くの回路やアルゴリズムの検証を行わなければならない。

通信品質は信号誤りの発生頻度として、BER (ビットエラーレート)、BLER (ブロックエラーレート) やSIR (信号対干渉比) などいくつかの指標を用いて測定することが多い。シミュレーションにおいても、これらの指標をもとに回路やアルゴリズムの検証を行っている。図-3は実際にシミュレーションで得られた伝搬路状態によるEb/No (Energy per bit to Noise power density ratio) とBLERの関係の一例である。

### シミュレーションモデル

実際にCAD-Gridシステムで実行した移动通信システムシミュレーションの例として、海外向け基地局装置開発のために移动通信システム設計部門が作成したシミュレーションモデル<sup>6)</sup>の概略を図-4に示す。

このモデルは、基地局装置内のベースバンド処理ブロックの特性を取得するために開発し、基地局、伝搬路、複数の端末の通信を実際の装置と同じ条件でシミュレートするC++言語で記述されたシステムシミュレーションモデルである。実際の基地局装置はこのシミュレーションモデルをリファレンスモデルとして開発され、LSI/FPGA/DSP (Digital Signal Processor) など複数のハードウェアデバイスとファームウェア、ソフトウェアで実現される。

基地局部分は、CDMA変復調を行うハードウェア

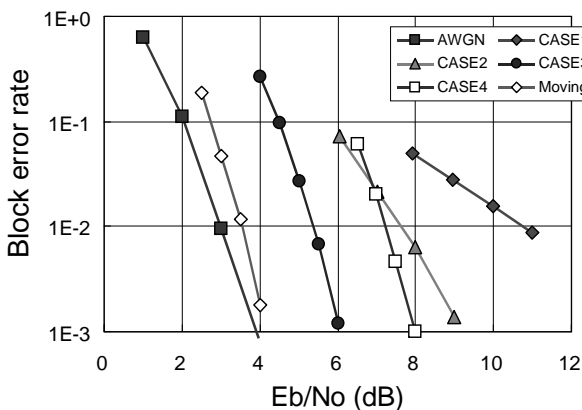


図-3 伝搬路状態による誤り特性の一例  
Fig.3-Sample of block error rate characteristics.

アブロックと電波としてアンテナから送受信する無線処理ブロックをモデル化し、伝搬路部分は、雑音、フェージング、反射波および端末までの距離と速度の関係などをモデル化している。また、端末部分は基地局と同様に送受信した電波をCDMA変復調する処理のモデル化を行っている。

シミュレーションで検証すべき項目は、図-4内に示すパラメタの組合せとなる。伝搬路の条件が多い上にシステムが大規模で複雑であり個々のパラメタがほかに影響を与えるため、アルゴリズムや回路の最適解を探索するには大量のシミュレーションが必要となる。

なお、移動機開発のためのシミュレーションには基地局装置向けと異なる専用のモデルを作成し、アルゴリズムや回路の検討を行っている。

### 適用効果

CAD-Gridシステム環境の実証実験として、約6箇月間に実施した移动通信システムの基地局、移動機開発のシミュレーションジョブ量と効果を表-1に示す。利用計算機はLinux PCクラスタとWindows パソコンである。

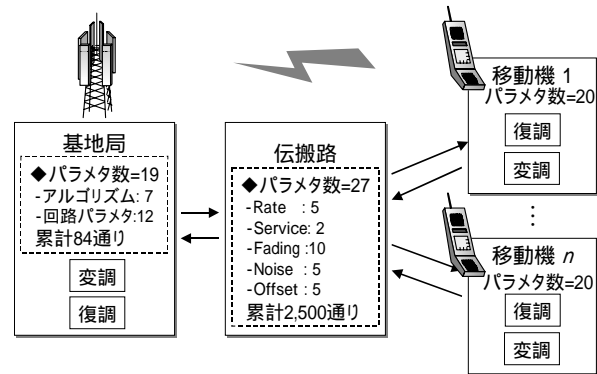


図-4 基地局シミュレーションモデル  
Fig.4-Base station simulation model.

表-1 シミュレーション実績と効果

	基地局開発	移動機開発
合計ジョブ数	約9,000	約10,000
合計処理時間	2,900日	2,200日
平均処理時間	7.3 h/ジョブ	5.3 h/ジョブ
使用CPU数	45 ~ 80 CPU	
総CPUクロック	80 ~ 100 GHz	
検証TAT	約1/4	約1/2
付帯作業工数	約1/4	約1/3

基地局，移動機の開発部門はともに，CAD-Gridシステムの実行計算機リソースのほかに部門専用のリソースも保有しており，それらのリソースだけでシミュレーションを行った場合と比較した検証TATは，基地局開発部門で約1/4，移動機開発部門で約1/2となった。これは投入した計算機リソースを増強したのが大きな要因ではあるがそれだけではない。

シミュレーション実行には前準備や実行中の監視，結果の確認や解析作業などの付帯作業が必要であるが，それらの作業を効率化するためのOJCによるスクリプト記述や実行制御，およびCGRISによる状況確認や集計機能により，シミュレーションのための付帯工数が削減されたこともTAT短縮の大きな要因となっている。

従来の環境では人手で計算機ごとにプログラムやスクリプトをコピーし，かつジョブのスケジューリングを行い，結果を回収する必要があった。CAD-GridシステムではこれらをCAD-Gridポータル上でのみ行えば済むため，シミュレーションの付帯工数を基地局開発で約1/4，移動機開発で約1/3にすることができた。両者の差は，シミュレータの違いによるパラメタ設定などの作業内容の差とシナリオごとのジョブ投入数の差によるものである。

さらに，計算機資源の有効活用という面から稼働率を見ると，Linuxマシンは70～80%の稼働率となった。従来の人手による計算機別のジョブスケジューリングでは空き時間が生じてしまうケースがあったが，CyberGRIPにより1.5～2倍の稼働率向上を実現することができた。とくにWindowsパソコンは通常の事務作業での平均CPU利用率は10%未満であり，その空き時間を有効利用したことで10倍以上の稼働率向上を確認できた。

### む す び

CyberGRIPを核としたグリッドコンピューティング環境を構築し，移動通信システムシミュレーションにおいて大量ジョブの効率的な実行とシミュレーション期間短縮に大きな効果のあることを実証することができた。とくに，基地局開発では短期間のシミュレーションによって装置の最適パラメタの絞込みが十分に行えたことで，実機での調整期間短縮の効果を確認できた。

今回のCAD-Gridシステムの取組みで，製造業に

おける「ものづくり」の仮想化による試作機レス開発環境の推進に向けてグリッド技術が利用可能なことを示すことができたと考える。

現在，CAD-Gridシステムでは社内の実行計算機リソースを多数接続し，C++言語によるモデルのほかに，抽象度の高いハードウェア記述が行えるSystemC言語<sup>(7)</sup>によるシステムレベルシミュレーションや，HDL（Hardware Description Language）による論理シミュレーションを実施中である。さらには社内製のノイズ解析ツールSIGAL<sup>(8)</sup>や，電磁波解析ツールACCUFIELD 2000<sup>(9)</sup>など解析系へ適用範囲を拡大する計画である。また，富士通研究所の技術を利用して，最適パラメタ探索のために統計解析手法によるパラメタの自動チューニング機能を研究・開発しており，この仕組みをOJCスクリプトに組み込み，パラメタ探索ジョブの自動生成と実行を計画している。

### 参考文献

- (1) 山下智規ほか：グリッド環境CAD-Grid構築と移动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）。
- (2) Universal Mobile Telecommunication System.  
<http://www.umtsworld.com/>
- (3) 上田晴康ほか：ジョブ投入と待ち合わせの出来るジョブ制御スクリプト：オーガニックジョブコントローラの試作．情報処理学会システムソフトウェアとオペレーティング・システム研究会報告，2003-OS-94，2003年8月．
- (4) 安里彰ほか：計算機リソースを有効活用するグリッドミドルウェア：CyberGRIP．FUJITSU，Vol.55，No.2，p.146-151（2004）。
- (5) Condor．  
<http://www.cs.wisc.edu/condor/>
- (6) 齊藤直之ほか：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．
- (7) Open SystemC Initiative．  
<http://www.systemc.org/>
- (8) 佐藤敏郎：ノイズ解析検証システム  
DesignsynthesisSIGAL．EMC 2000.7.5（NO.147）。
- (9) ACCUFIELD 2000．  
<http://salesgroup.fujitsu.com/plm/eda/html/ACCUFIELD.html>