

# キャンパスグリッド

## Campus Grid

### あらまし

大学の計算機利用には、大きく教育用途と研究用途がある。研究用途では、最先端の研究を推進するために、大規模な解析が可能な研究支援環境が求められてきた。一方、大学運営では、効率化が必須であり、限りある予算で高性能な計算サーバを導入し運用することは困難な状況となっている。

富士通は、教育用PC群を夜間や休日に研究用PCクラスターに切り替えることで、研究支援環境を創出する「キャンパスグリッドソリューション」を提供している。

本稿では、キャンパスグリッドの概要、最大の特徴であるパラメトリックスタディにおけるジョブ操作の省力化・自動化、教育用PC群の運用切替え方式について解説する。さらに、キャンパスグリッドの活用事例と効果について述べる。

### Abstract

Computers are employed at universities for research and educational use. Promoting advanced research requires a computing environment where large-scale problems can be analyzed. At the same time, universities need efficient forms of management. Given the limited budgets of universities, however, it is difficult to introduce and manage high-performance computers. Under such circumstances, Fujitsu offers its Campus Grid solution for switching educational-use PCs to the research support environment of PC clusters at night and on holidays.

This paper describes “Parametric study,” the most unique feature of Campus Grid, can reduce and automate job operations. It also describes the methods of switching educational-use PCs to the research support environment of PC clusters and cites case examples and the effect of using Campus Grid.



石坂 晃 (いしさか あきら)  
計算科学ソリューション統括部  
所属  
現在、文教分野向けグリッドソリューションの企画・開発、グリッドシステムの提案・設計・構築に、ITアーキテクトとして従事。

## ま え が き

大学は、高等教育機関として、教育と研究の二つの役割を担っている。教育では、人材育成を通し社会に貢献し、研究では、新しい知識や技術の創造によって、社会の発展を支えてきた。

近年、大学を取り巻く環境では、大きく二つの変化が起こっている。まず、大学就学人口（18歳人口）の減少問題がある。今後、大学間の学生獲得競争が激しくなると予想される。現実には、平成18年度には、私立大学の約4割が定員割れを起こしている。つぎに、平成16年度に施行された国立大学の法人化がある。法人化では、大学の独自性が認められるようになるとともに、大学運営の効率化も求められている。

このような状況から、各大学では、運営改革を積極的に推進してきている。とくに、「特色ある大学づくり」、「最先端研究と研究成果の産業界・社会への還元」、「大学運営の効率化」の三つを重点目標としている。

富士通では、これらの目標を達成するためのアプローチの一つとして、大学内の計算機を有効に利用し、研究業務を支援する「キャンパスグリッドソリューション」を提供している。

本稿では、キャンパスグリッドの概要、最大の特徴であるパラメトリックスタディにおけるジョブ操作の省力化・自動化、教育用PC群の運用切替方式について解説する。さらに、キャンパスグリッドの活用事例と効果について述べる。

## 大学の計算機利用

大学の計算機利用には、大きく教育用途と研究用途がある。教育用途では、学生向けに情報教育環境を提供し、研究用途では、研究者向けに研究支援環境を提供している。それぞれの用途における計算機利用の概要を以下に示す。

### (1) 情報教育環境

大学では、学生向けに、情報処理カリキュラムを提供するために、授業で利用可能なPC教室を整備している。PC教室には、数十～数百台の教育用PCを設置している。一般にOSには、Windowsを採用し、最新のソフトウェア群を利用可能としている。

学生は、Windowsデスクトップ環境を使用し、

プログラミング実習、e-Learning受講や、課題レポート作成などに利用している。

### (2) 研究支援環境

教官を中心とした研究者には、研究を推進するための計算機環境を提供している。研究に必要な解析処理を実行できるように、情報基盤センタなどに研究用計算サーバを設置している。高性能な計算サーバが必要な場合、スーパーコンピュータ、PCクラスタなどが採用される。研究者は、Unix環境にリモートログインし、自作解析プログラムの開発や実行、ISV (Independent Software Vendor) 製の解析ソフトウェアの実行などに利用している。

## 研究業務に用いる大規模処理手法

最先端の研究を推進するためには、高性能な計算サーバを用いた、大規模な解析を行う。大規模な解析処理を行う手法には、パラメトリックスタディ、並列処理の二通りがある。それぞれの特徴を表-1に示す。

### (1) パラメトリックスタディ

パラメトリックスタディとは、解析するための条件である入力データやパラメタの値を変えながら、数百～数千の大量のジョブを実行し、最適解などを求める計算手法である。

大量のジョブの処理時間は、多くの計算資源を同時に利用することで、短縮することができる。

### (2) 並列処理

並列処理とは、大規模な解析処理を分割し、複数の計算資源 (CPU) 上で分割された処理単位を同時に計算することによって高速化する手法である。

並列処理を行うには、同時実行する数 (並列数) に応じた計算資源 (CPU) を必要とする。

表-1 大規模解析処理の種類と特徴

	パラメトリックスタディ	並列処理
処理形態	ハイスループット コンピューティング	ハイパフォーマンス コンピューティング
ジョブ 特性	<ul style="list-style-type: none"> <li>ワークフロー処理</li> <li>大量ジョブ実行</li> <li>逐次プログラム</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>単一実行</li> <li>大容量高速処理</li> <li>並列プログラム (MPI)</li> </ul>
ねらい	分散した計算資源を 束ねて利用	業務の高速処理 (スーパーコンピュータ、 PCクラスタ的な利用)
効果	10時間のバッチ処理× Nパラメタを同時実行 し、スループットを向上	10時間のバッチ処理を 1時間の実行に短縮

### 研究支援環境の実現における課題

大規模な解析を可能とする研究支援環境の実現における課題を、以下の三つの観点で抽出する。

#### (1) 利用環境

・研究者にとって使いやすいユーザインタフェース  
研究者が煩わしい操作をせず、研究に専念できるためには、使いやすいユーザインタフェースを整備する必要がある。

従来は、コマンドで操作する利用環境のみを提供していたため、コンパイルやジョブ操作のためのコマンドも習得しなければならず、すぐに利用を開始できないという問題があった。

・ジョブ操作の省力化・自動化

研究者がパラメトリックスタディを行う際には、大量のジョブが実行されるため、その状態を一括して把握する必要がある。さらに、ジョブの結果を判断し適切な後続ジョブを実行する必要がある。

従来は、研究者自身が適宜監視し、操作する必要があった。とくに、夜間や休日に監視することは難しいため、つぎのジョブを実行するまでに長時間のロスタイムが発生するという問題があった。

#### (2) ジョブ実行環境

大規模なパラメトリックスタディや並列処理を、効果的に実行するためには、十分な計算資源を確保する必要がある。しかし、予算の限られた中小規模の研究機関では、高性能な計算サーバを導入できないため、このような研究支援環境の実現は困難であった。

#### (3) 運用管理

多数の計算資源を有する環境の運用管理には、多大な工数を必要とする。従来は、多数の計算資源を効率的に運用管理することが課題であった。

### キャンパスグリッド

富士通では、前章で述べた課題を解決するために、キャンパスグリッドソリューションを整備した。その概要を以下に述べる。

#### (1) 利用環境

・使いやすいユーザインタフェース：GRID Portal

GRID Portalは、HPC Portal<sup>①</sup>をカスタマイズし、研究者が行う一連のジョブ操作を、計算サーバの専門知識がなくても簡単に行うことを実現したソフト

ウェアである。GRID Portalは、Webブラウザからメニュー形式で直感的に各機能进行操作することができる。

主な機能として、ファイル操作、コンパイルリンク、ジョブ投入、ジョブ状態表示・削除を提供している。例えば、ジョブ投入操作では、コマンドのオプションに関する知識がなくても、簡単に操作できる使いやすいユーザインタフェースを提供している。

・ジョブ操作の省力化・自動化：OJC

OJC (Organic Job Controller)<sup>②,③</sup>は、大量のジョブの監視の省力化や制御の自動化を目的に、富士通研究所で開発され、Systemwalker CyberGRIPの主要機能として製品提供されている。

このOJCを利用することによって、大量ジョブの実行状態の監視が容易になる。さらに、ジョブの結果に応じた後続ジョブの実行が可能となり、夜間や休日のジョブ操作を自動化できる。

#### (2) ジョブ実行環境

キャンパスグリッドでは、高性能な計算サーバを導入できない研究機関において、計算資源を確保する手段として、教育用PCの有効活用を図る仕組みを提供している。

具体的には、運用環境切替え機能で、平日日中に利用している情報教育環境を、夜間や休日に研究支援環境に切り替えて、大規模な解析処理に必要な計算資源の確保を可能としている。

#### (3) 運用管理

運用管理Portal<sup>④</sup>は、システム管理者が行う大量の教育用PCの監視や起動・停止などの操作を省力化するソフトウェアである。システム管理者は、運用管理業務の専門知識がなくても、Webブラウザからの簡単な操作で稼働状況などを確認することができる。

また、スケジュール機能によって、定められた日時に、情報教育環境と研究支援環境の運用切替えを実施している。これにより、システム管理者の運用管理操作の軽減が可能となる。

### キャンパスグリッドの構成要素

前章で述べたキャンパスグリッドソリューションの構成とその関連を図-1に示す。

なお、ジョブ実行環境では、パラメトリックスタディの大量ジョブや並列処理の大規模ジョブを実行

するため、オープンソースを含む、種々のジョブスケジューラの利用を可能としている。

## キャンパスグリッドの特徴

本章では、キャンパスグリッドの最大の特徴であるSystemwalker CyberGRIPの自律ジョブ管理機能OJC<sup>(2),(3)</sup>および教育用PCの運用切替え方式について述べる。

### (1) 自律ジョブ管理機能OJC

自律ジョブ管理機能OJCでは、パラメトリックスタディで必要になるジョブ操作の省力化・自動化を記述できるPerlライクなスクリプト言語を提供している。

例えば、パラメタの異なる5個の解析ジョブを実行し、条件によって、後続ジョブで実行するパラメタを動的に決定することを記述できる。この処理の流れを図-2に示し、対応するOJCスクリプトの記述イメージを図-3に示す。

本スクリプトでは、最適なパラメタXとYの組合せを探索する処理を実行する。第一段階では、Y=10を固定し、Xが1から5までの5ジョブを実行する。第二段階では、第一段階のすべてのジョブが終了した時点で、良い結果が得られた上位三つのパラメタXに対して、Y=20のジョブを実行する。最後に、第三段階として、第二段階のすべてのジョブが終了した時点で、最も良い結果が得られたパラメタXに対して、Y=30のジョブを実行する。

このように、OJCでは、多数のジョブに対して、柔軟な待合せ条件を設定し、先行ジョブの結果を判断することで、後続ジョブの処理内容を決定することができる。

### (2) 小規模から大規模まで対応できる運用切替え

キャンパスグリッドでは、教育用PCの台数に応じて運用切替え方式を選択できるようになっている。小規模構成向けには、ディスクレスクラスタ方式<sup>(4)</sup>中・大規模構成には、ネットワークブート方式、ディスクブート方式を提供している。

#### ・ディスクレスクラスタ方式

ディスクレスクラスタ方式では、4~16台の教育用PCを対象にLinux環境への切替え機能を提供している(図-4)。特徴としては、各教育用PCのハードディスクへのLinux設定を不要としている。教育用PCのLinux環境は、制御サーバに構築し、PXE

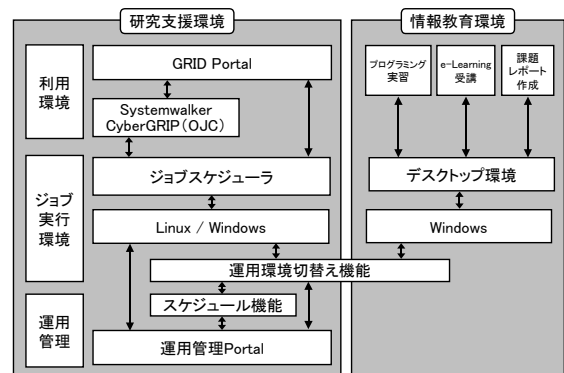


図-1 キャンパスグリッド機能構成  
Fig.1-Component of Campus Grid.

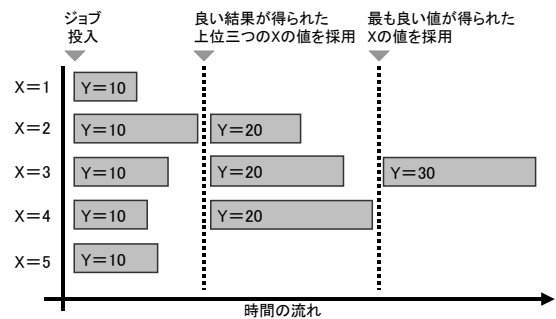


図-2 パラメトリックスタディの実行イメージ  
Fig.2-Job execution flow of Parametric Study.

(Preboot eXecution Environment)によって起動を行う。本方式では、制御サーバ1台の導入のみで環境を構築できるため、短期間に稼働が可能である研究室向けのソリューションパターンとして提供している。

・ネットワークブート方式およびディスクブート方式  
ネットワークブート方式とディスクブート方式では、16台以上の教育用PCを対象にLinux環境への切替え機能を提供している。

ネットワークブート方式は、システムイメージを一元管理し、効率的に構築・保守が可能である。

一方で、I/O性能を重視する場合は、ローカルハードディスクを使用するディスクブート方式も選択できる。この場合、システムイメージを配信する「MAGICCLASS瞬快」<sup>(5)</sup>によって、構築・保守の効率化が図れる。

これらの方式では、多数台構成での効率的な運用を考慮しているため、PC教室モデルおよびセンタモデルのソリューションパターンとして提供している。

```

top {{
# 各段階でのパラメタXの最大値を指定する。
$Y10_Xmax = 5;
$Y20_Xmax = 3;
$Y30_Xmax = 1;

# 第一段階の5つのジョブを実行する。
foreach $X (1..$Y10_Xmax) {
do_job {{ X=$X Y=10 }} {{
system("./a.out -X $X -Y 10");
}}
}
}}

# 第一段階のジョブ終了の待合せ。
when {{ {{ X=* Y=10 }} }} {{
・ 第一段階の結果ファイルから、リスト@list_Y10を作る。
・ リスト@list_Y10を並び替えて(昇順)、リスト@sort_list_Y10
を作る。
# 処理内容の例
# <@list_Y10> ----> <@sort_list_Y10>
#   X result      X result
#   ---
#   1   100        3   120
#   2   110        4   115
#   3   120        2   110
#   4   115        5   105
#   5   105        1   100
# 良い結果が得られた上位3つのパラメタXのジョブに
# 関してY=20のジョブを実行する。
foreach $i (0..($Y20_Xmax-1)) {
・ リスト@sort_list_Y10から、Xの値を取り出し、
$Xiに設定する。

# 第二段階の3つのジョブを実行する。
do_job {{ X=$X Y=20 }} {{
system("./a.out -X $X -Y 20");
}}
}

# 第二段階のジョブ終了の待合せ。
when {{ {{ X=* Y=20 }} }} {{
・ 第二段階の結果ファイルから、リスト@list_Y20を作る。
・ リスト@list_Y20を並び替えて(昇順)、リスト@sort_list_Y20
を作る。
# 処理内容の例
# <@list_Y20> ----> <@sort_list_Y20>
#   X result      X result
#   ---
#   2   215        3   220
#   3   220        2   215
#   4   210        4   210

# 最も良い結果が得られたパラメタXに関して、Y=30 の
# ジョブを実行する。
foreach $i (0..($Y30_Xmax-1)) {
・ リスト@sort_list_Y20から、Xの値を取り出し、
$Xiに設定する。

# 第三段階の一つのジョブを実行する。
do_job {{ X=$X Y=30 }} {{
system("./a.out -X $X -Y 30");
}}
}
}}

```

図-3 OJCスクリプト例  
Fig.3-Example of OJC script.

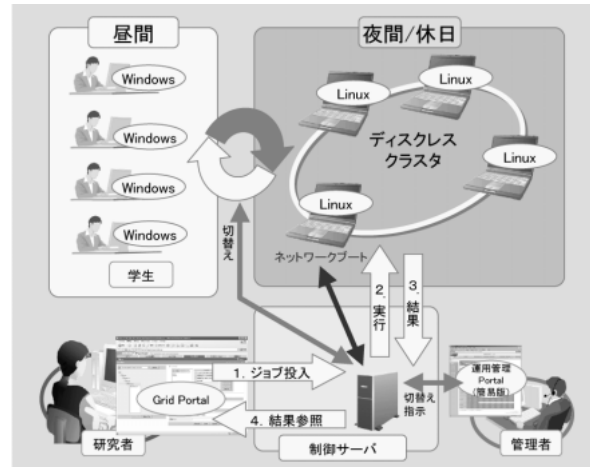


図-4 ディスクレスクラスタ運用イメージ  
Fig.4-Operation process of diskless cluster.

### キャンパスグリッド活用事例と効果

本章では、キャンパスグリッドの活用事例と効果を示す。

(1) ジョブ操作の省力化・自動化の実現例 (大阪経済大学様)

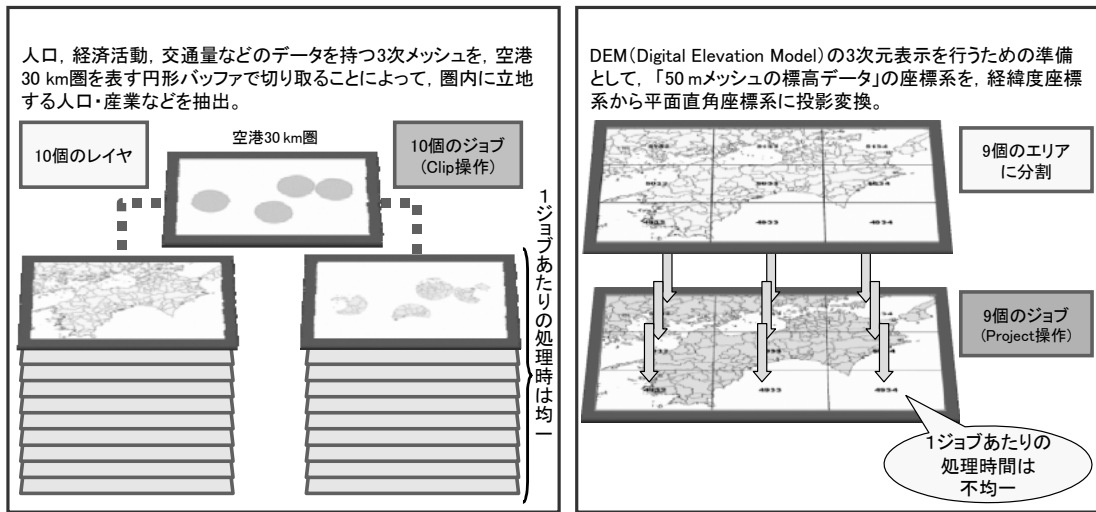
大阪経済大学様では、グリッド技術を用いた空間情報の分散処理<sup>⑥</sup>を研究している。空間情報は、位置情報を伴う事象（人口、経済活動、交通量など）・事物（地形、道路、施設など）に関するデータを表すものである。そのため、空間情報を分散処理する場合には、データ種別ごとのレイヤ分割と、地域によるエリア分割が可能である（図-5）。

従来、1台のPCで実行していた空間情報処理を、キャンパスグリッド環境で分散実行し、スループットの向上を実現した。

今回、空間情報処理を行うGIS（Geographic Information System）アプリケーションは、分散実行の起動に失敗する場合があるため、OJCスクリプトで、その復帰コードに応じて、再投入を行うように処置した<sup>⑦</sup>これにより、研究者はエラーが発生しても、エラージョブの特定や再投入を行う必要がなくなり、処理を中断することなく実行することが可能となった。

上記の安定化対策を講じた上で、教育用PC 10台のキャンパスグリッド環境で、四国をモデルとしたレイヤ分割は、約3分の処理が30秒程度、エリア分割では約40分の処理が約10分に短縮できた。

エリア分割の対象を日本全国に拡大したケースを



(a) レイア分割処理  
(垂直分散)

(b) エリア分割処理  
(水平分散)

図-5 空間情報の分散処理  
Fig.5-Spatial data processing on Grid Computing environment.

想定した場合、1日程度の処理が数時間で処理可能となるが見込まれ、空間情報処理を用いた研究の効率化に貢献が期待できる。

## (2) 大規模キャンパスグリッドの運用管理 (広島大学様)

広島大学様では500台規模のキャンパスグリッド<sup>(8),(9)</sup>を、大規模なPC教室モデルとして構築し、運用している。平日日中は情報教育を行うPC教室として、多くの学生に利用されている。これらのPC群を夜間や休日にPCクラスタに切り替え、研究者が最先端の研究を行っている。

2005年には、このキャンパスグリッドを用いた産学の共同研究で、実用レベルの自動車の衝突解析(LS-DYNAによるシミュレーション)が可能であることを実証した<sup>(10)</sup>

この成果によって、夜間や休日に創出される計算サービスが、製造業のCAE分野に利用できる可能性を示すことができた。

## む す び

本稿では、教育用PC群を夜間や休日に研究用PCクラスタに切り替えることで、新たな研究支援環境を創出する「キャンパスグリッド」について、その特徴、活用事例と効果を紹介した。

キャンパスグリッドソリューションにより、大学

の計算資源を有効活用し、最先端の研究や地場産業との共同研究を推進する環境が構築できることを実証した。

このソリューションを適用することによって、「研究成果の産業界・社会への還元」や「特色ある大学づくり」に貢献できると考えている。

今後は、容易にグリッド環境を構築できる研究室モデルを活用し、キャンパスグリッド適用の裾野<sup>すそ</sup>の拡大を目指していく。

## 参考文献

- (1) 鈴木孝一郎ほか：製造業におけるHPCソリューション事例. *FUJITSU*, Vol.59, No.5, p.547-554 (2008).
- (2) 富士通マニュアル.  
Systemwalker CyberGRIP / Systemwalker CyberGRIP Developer 13.0 使用手引書 開発編.  
<http://systemwalker.fujitsu.com/jp/man/job/cybergrip/v13.0/operation/>
- (3) 上田晴康ほか：ジョブ投入と待ち合わせを記述するスクリプト言語オーガニックジョブコントローラーCAD-Gridへの適用－. 第6回問題解決論文集, 2003, p.37-42.
- (4) 井上俊介：市販パソコンによる分散コンピューティング環境の構築と評価. 第13回ビジュアルゼー

ションカンファレンス，東京，2007.

(5) 瞬快ホームページ.

<http://jp.fujitsu.com/group/shikoku/services/packages/shunkai/>

(6) 草薙信照ほか：グリッド技術を用いた空間情報の分散処理．地理情報システム学会 講演論文集，Vol.16/2007，No.36，p.157-160.

(7) 草薙信照ほか：グリッド技術を用いたGIS処理の制御と効率化．情報処理学会 第69回全国大会，2007年3月.

(8) 庄司文由：教育用PC端末群のPCクラスタ的利用と

その運用について．情報処理学会研究報告，2004-DSM-34，p.65-69.

(9) 富士通：導入事例 広島大学様 夜間遊休の教育用PC500台を資源に仮想的なスーパーコンピュータ規模の計算機環境としての「次世代キャンパスグリッド」を実現.

<http://jp.fujitsu.com/featurestory/2005/1116hiroshima-u/>

(10) 富士通：実用レベルの自動車衝突解析をキャンパスグリッド上で実現.

<http://pr.fujitsu.com/jp/news/2005/11/7.html>

