

## Windows Compute Cluster Server による教育用 PC クラスターの構築実験

柴田 良一 \*1 林 憲一 \*2

\*1 岐阜工業高等専門学校 \*2 マイクロソフト株式会社

PC クラスターは、情報工学の先端的研究から広がり、工学を中心とした問題解決手段として広く利用されるようになって来た。さらに今後は教育機関においても、並列プログラミングの演習用などへの応用が考えられる。この場合、教育用計算機群は Windows ベースで構築されることが多く、通常利用している Windows デスクトップ環境からの延長線上での PC クラスターが求められており、またユーザーアカウントやマシンの管理制御などを行う Active Directory との連携も望まれている。そこで本研究では、このような教育用計算機システムに親和性の高い PC クラスターシステムとして、Windows Compute Cluster Server を取り上げ、このシステム構築の方法を解説し、教育用 PC クラスターの可能性を検討することを目的とする。

### An Experimental Project on Implementation of Educational PC Cluster Using Windows Compute Cluster Server

Ryoichi SHIBATA \*1 Kenichi HAYASHI \*2

\*1 Gifu National College of Technology \*2 Microsoft Co., Ltd.

Recently, PC clusters have moved from the laboratories of cutting edge computer science research to become widely adopted as a powerful tool for problem solving in engineering and other fields. The use of PC clusters can also be considered in parallel programming in educational environments. If this is implemented it would be preferable that access to the PC cluster be via Windows desktop, given that in educational contexts many computer networks are constructed based on the Windows system. Application interaction with Active Directory, which manages and controls user accounts and machines, is also important. In this project, Windows Compute Cluster Server was adopted as the PC cluster system because of its affinity with educational computer networks. The report describes the system's construction method, and discusses the effectiveness of PC clusters in educational environments.

#### 1. はじめに

PC クラスターは、HPC など様々な可能性を持った技術として、多面的な開発が進められている。これまでは、専用計算機を用いての、大規模な PC クラスターやグリッドシステムの開発が進められてきた。しかし、中小企業や研究室などでは、比較的小規模で、容易に構築可能な PC クラスターの需要も大きい。この場合には、日頃利用している Windows デスクトップ環境の拡張として、Windows ベースの PC クラスターシステムが必要である。

また今後は、PC クラスターを活用する応用技術の開発が求められており、教育現場においても PC クラ

スタを用いた並列分散処理のプログラミング演習などが必要であろう。この場合にも、多くの教育用システムは Windows ベースで構築されており、普段利用している計算機環境での並列分散処理演習を実現する意義は大きい。

このような理由により、本研究では Windows ベースで利用できる PC クラスターシステムとして、2005 年 11 月にマイクロソフトより技術評価版が公開された Windows Compute Cluster Server 2003<sup>1)2)</sup> を活用する。これを用いて、教育用計算機を活用した PC クラスター構築を目指し、以下を目的とした研究を行う。

- 1 : PC クラスター構築技術を確立すること
- 2 : PC クラスターの性能を評価すること

## 2. Windows で PC クラスタを構築する意義

これまでの PC クラスタでは、Linux などの UNIX 系 OS を利用することが多く、大きな成果と実績を挙げている。そこで、新たに Windows で PC クラスタを構築する意義をまとめる。

### 2.1 本研究で想定する PC クラスタの状況

本研究で構築する PC クラスタでは、以下のような状況において利用されることを前提にする。

状況 1：高専などの教育機関で、専用計算機による PC クラスタの導入が難しく、一方で教育演習用 PC を多く保有している場合に、これを転用して教育研究用 PC クラスタを実現する。

状況 2：数値解析手法を利用している研究室で、大規模数値解析が単一 CPU の処理では処理しきれなくなり、手元にある複数の計算機を転用して、これまでの環境を維持して容易に PC クラスタを実現する。

### 2.2 利用者側の利点

上記の利用状況を想定した場合、そこでは多くの PC で Windows デスクトップが利用されている。インターネット利用からオフィスソフト利用まで、殆どの作業が Windows 上で行われている。

研究開発においても、慣れ親しんだ Windows 環境を利用する場合も多く、Visual Studio などの開発環境が整備され、各種の商用コンパイラも数多く提供されている。さらに、商用の数値解析ソフトや CAD ソフトにおいては、その多くが Windows をプラットフォームとする場合が多く、これらの利用を前提とした研究開発も多い。

そこで、日常的に利用している Windows 環境において、オフィスソフトや研究用アプリケーションを活用しながら、その延長線上に PC クラスタが実現されることは、シームレスな研究環境を構築できることになり、大きな利点である。

### 2.3 管理者側の利点

上記の利用を想定した場合、既存のシステムが Windows ベースで構築されていることが多い。その場合、Active Directory などを用いて、PC の運用やユーザーの管理などを統合化することで、安全で効率的な計算機環境が実現されている。

PC クラスタの利用においても、構築した特定のユーザーだけで無く、広く利用されるためには、何らかのユーザー管理システムが必要である。そこで、Windows ベースの PC クラスタシステムであれば、既に構築されている Active Directory のユーザー管理などをそのまま利用することが可能になる。

これによって、PC クラスタを含めた計算機環境を統一的に管理できることが、大きな利点である。

## 3. Windows Compute Cluster Server 2003 による PC クラスタの概要

本研究では、2006 年 4 月時点でマイクロソフトより技術評価版が提供されていた Windows Compute Cluster Server 2003 を用いて、PC クラスタを構築する手法について説明する<sup>3)</sup>。

### 3.1 利用するシステムソフトウェア

本研究では、Windows Compute Cluster Server 2003 Beta を利用し、以下では、これを CCS と略記する。これは、PC クラスタのベースになる OS と、PC クラスタの機能を実現するミドルウェアから構成されている。図式的には次のようになる。

Windows Compute Cluster Server 2003 : CCS
Compute Cluster Pack : CCP
Windows Server 2003 Compute Cluster Edition x64 only : CCE

#### • Windows Server 2003 Compute Cluster Edition x64 only : CCE について

これは、サーバー OS として現在マイクロソフトより提供されている Windows Server 2003 の様々な特定機能専用版である。これは Compute Cluster を構築し、HPC の利用を前提に作られたものである。なお利用に当たっては、サーバー OS であるため、ハードウェアの周辺機器のドライバに注意する必要がある。

#### • Compute Cluster Pack : CCP について

これは、PC クラスタに必要なシステムを統合して、一括して導入するためのソフトウェアパッケージである。内容としては、並列処理を実現する MPI ライブラリ、計算ジョブを分配するディスパッチシステム、PC クラスタの管理ツールなどが含まれている。なお、CCS で動作するプログラムを開発するためには、CCP-SDK も同時に利用する。

### 3.2 利用するハードウェア

本研究で利用するハードウェアは、通常の PC であるが、CCS を利用するためには、CPU が 64bit 対応であることが条件となる。これまで、64bit CPU はハイエンド PC のみに搭載されていたが、Windows Vista の登場を前にして、最近発売される PC の多くが 64bit 対応である。

本研究で利用する PC は、平成 18 年度に教育用計算機として導入したものであるが、これも 64bit 対応の Intel Celeron CPU を搭載している。その他には特別な条件は無く、教育用計算機や研究室の PC を、そのまま利用することが可能な場合が多い。

### 3.3 CCS のシステム構成

CCS のシステムは、最も単純な構成として、以下の3種類のノードより構成される

- **Head Node**

PC クラスタのシステム全体を管理するノードで、システムに1台設置される。通常は、このノードからジョブを投入することになる。

- **Compute Node**

投入された並列処理や分散処理を実行するノードで、システムに複数設置される。構築実験では教育用計算機2台と比較用2台とで4台を利用した。

- **Active Directory + DNS Node**

CCS のシステムは、構成する PC の管理に Active Directory を利用している。また、ここでは PC クラスタを効率的に利用するために、サブネット内での構築を行い、システム専用の Active Directory と DNS を準備する。以下、AD Node と略記する。

PC クラスタのネットワークとしては、通常の LAN と同様の、100Mbps の Ethernet を利用して各ノードを結合し、これをルーターを経由して LAN に接続する形式である。(図1を参照)

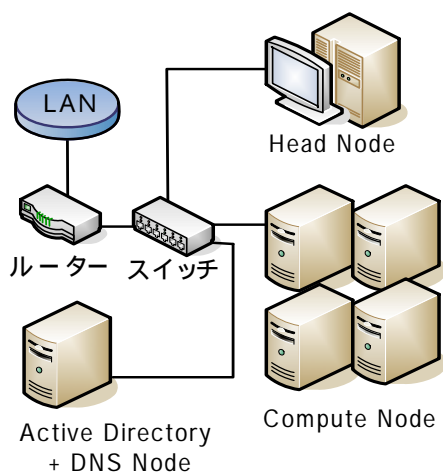


図1 構築した PC クラスタの構成

## 4. CCS による PC クラスタ構築手法の概要

### 4.1 構築実験で利用する PC の仕様

図1に示した構築実験用 PC クラスタの、PC の仕様を表1に示す。

なお、AD Node は直接 PC クラスタの計算に関与しないため、32bit システムを利用することも可能である。本システムでは、Windows Server 2003 R2 32bit 英語版を利用している。以下、R2 と略記する。

また、HostE の Compute Node は、後に述べるように開発用としても利用する。

表1 PC クラスタのノードの仕様

Head Node	HostA (64bit)
	RAM: 1024MB CPU: AMD Athlon64 3200+
Compute Node	HostB (64bit) + HostC(64bit)
	RAM: 2048MB CPU: AMD Athlon64 3000+
Compute Node	HostD (64bit) + HostE(64bit)
	RAM: 512MB CPU: Intel Celeron 2.53GHz
AD Node	HostF (32bit)
	RAM: 512MB CPU: AMD Sempron 1.0GHz

### 4.2 CCS 構築手順 1 OS やネットワークの準備など

(1) **ネットワークの準備**: PC クラスタの構築においては、Active Directory の設定を単純にするために、PC クラスタのネットワークを専用のサブネット内で構築する。ただし、OS のインストールなどにおいて、インターネットからのダウンロードが必要となるため、適切に設定されたルーターを経由して LAN に接続している。

そこで、PC クラスタのネットワークは、C クラスのプライベートアドレス 192.168.1.11 ~ 16 を利用している。なお、PC クラスタ専用の DNS を Active Directory と同時に設定することになるので、これに対応するホスト名を設計しておく。

(2) **R2 のインストール**: AD Node に R2 をインストールする。これは、通常の Windows Server 2003 のインストール手順と同様なので、省略する。なお、システム全体に必要な HDD 容量は、4GB 程度である。PC クラスタ特有の設定条件等はない。

(3) **CCE のインストール**: Head Node と Compute Node に対して、CCE をインストールする。CCE は、Windows Server 2003 Standard Edition x64 がベースとなっているため、インストール手順もこれと同様である。Install CD を入れて起動し、インストーラーの指示に従って進めてゆく。なお、必要な HDD 容量としては、Head Node と Compute Node ともに、5GB 程度である。なお、この段階では AD Node のサービスが利用できないため、ネットワークは仮の設定にしておく。

(4) **AD Node の OS の初期設定**: 先に設計したネットワーク情報とルーターの設定に合わせて、AD Node のネットワークを利用可能にする。

次に、OS のアクティベーションを行う。これは、デスクトップ下のツールバーに表示される指示に従って行う。最後に、セキュリティアップデートを行う。これは、デスクトップ前面にウインドウが表示されるので、この指示に従って行う。

(5) **AD Node の Active Directory の設定**: この段階が、CCS で PC クラスタを構築する場合に最も戸惑うところなので、少し詳しく要点を説明する。

01: Manage Your Server ツールで、Adding Roles to Your Server で add or remove a role を選択する。

(省略)

02: Domain Controller Type で Domain Controller for a new domain を選択する。

03: Create New Domain で Domain in a new forest を選択する。

04: New Domain Name で PC クラスタのドメインを選択する。ここでは、ccs.dalab とした。

なお、サブネット内で PC クラスタを独立させているため、ここでの Active Directory のドメインと後で設定する DNS のドメインを一致させる。

(省略)

05: Summary Active Directory Installation Wizard で構築する。

06: Install CD を入れて必要なファイルをコピーして、インストールが続く。完了したら再起動する。

構築された Active Directory には、Domain Controller のみが登録されているため、この PC クラスタで用いる PC を全て登録しておく。

**(6) AD Node の DNS の設定:** Active Directory の設定において DNS が構築されているので、これを利用する。構築された DNS には、Domain Controller のみが登録されているため、この PC クラスタで用いる PC を全て登録しておく。ただし、逆引き Reverse Lookup Zones が定義されていないので、これを追加し、PC の登録を行う。

**(7) Head Node と Compute Node のネットワークの設定:** Head Node と Compute Node で、先に設定した DNS に合わせて、ネットワークを利用可能にする。このとき、Active Directory のドメインに参加するように設定変更する。

次に、OS のアクティベーションを行う。これは、デスクトップ下のツールバーに表示される指示に従って行う。最後に、セキュリティアップデートを行う。これは、デスクトップ前面にウインドウが表示されるので、この指示に従って行う。

**(8) Active Directory の確認:** 各 Node において、ccs.dalab ドメインへのログインが可能かどうか確認する。

#### 4.3 CCS 構築手順 2: CCP のインストールなど

PC クラスタの Head Node と Compute Node に対して、CCP をインストールする。共通の手順としては、HDD の C ドライブの下に CCP ディレクトリを作り、ここに CCP のソフトウェアパッケージを置く。

**(1) Head Node での CCP のインストール:** CCP ディレクトリの中の setup.exe を実行する。これより、Microsoft Compute Cluster Pack Installation

Wizard が起動するので、指示にしたがってインストールを進める。

01: Getting Started

Microsoft Software License Terms

02: Selection Installation Type で

Create a new compute cluster with this server as the head node を選択し、Head Node は Compute Node として利用せず、計算は実行しない。

03: CCS の Head Node が持つ機能として、Compute Node を自動的にインストールする Remote Installation Service :RIS があるが、本システムでは、条件を満足していないため、この機能は利用しない。

04: Select Installation Location はデフォルトで、C:\Program Files\Microsoft Compute Cluster Pack\ としている。

05: Install Required Components は以下の 5 つであり、この順序に 1 つずつインストールしてゆく。

1: Microsoft SQL Server 2000 Desktop Engine

2: Microsoft .NET Framework 2.0

3: RIS QFE - KB907639(Download required)

4: MMC 3.0(Download required)

5: Microsoft Compute Cluster Pack

まず、1 と 2 は CCP に含まれるパッケージからインストールが進む。

次に、3 と 4 は IE で接続して、インターネットからダウンロードしてインストールを進める。

最後に、5 は CCP に含まれるパッケージからインストールが進む。

06: Cluster Deployment Tasks の To Do List が表示され、完了する。

**(2) Compute Node での CCP のインストール:** CCP ディレクトリの中の setup.exe を実行する。これより、Microsoft Compute Cluster Pack Installation Wizard が起動するので、指示にしたがってインストールを進める。

01: Getting Started

Microsoft Software License Terms

02: Selection Installation Type で

Join this server to an existing compute cluster as a compute node を選択して、

Enter the name of the head node of the compute cluster へは、Head Node のホスト名を入力する。また、Compute Node からはジョブを投入しないので Client Utilities はインストールしない。

03: Select Installation Location はデフォルトで、C:\Program Files\Microsoft Compute Cluster Pack\ としている。

04: Install Required Components は以下の 2 つであり、この順序に 1 つずつインストールしてゆく。

1 : Microsoft .NET Framework 2.0

2 : Microsoft Compute Cluster Pack

1と2は CCP に含まれるパッケージからインストールが進み、しばらく待って完了する。

**(3) PC クラスタの設定** : Cluster Deployment Tasks の To Do List を用いて初期設定を行う。設定のポイントとしては、ネットワーク Topology の設定では、Head Node で NIC を 2 枚利用した形式ではないので、public network を選択する。次に、現在のネットワーク設定が表示されるので、確認する。

#### 4.4 CCS 構築手順 3 動作確認など

以上で CCS を用いた PC クラスタが構築できたことになる。これを確かめるために、動作確認を行う。

**(1) Head Node での Compute Node の認識**: Head Node で、Start からメニューの Microsoft Compute Cluster Pack の Compute Cluster Administrator を起動する(図 2 参照)。このツールの左のメニューから Node Management を選択すると、Head Node が認識している Compute Node の CPU 数やメモリ容量などのリソース一覧が表示される。

なお、中央のリストにおいて緑色のチェックマークが無い場合には、Node を選択し、左のメニューから Approve Resume を実行し、認識させる。

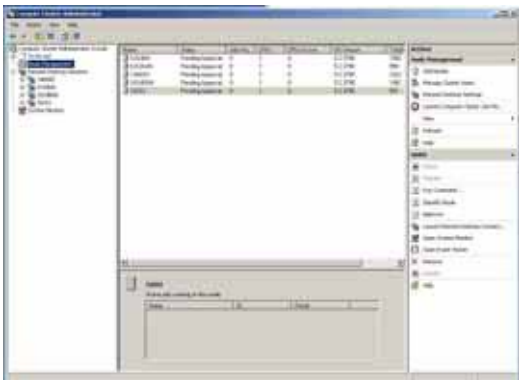


図 2 Compute Cluster Administrator

Head Node から各 Compute Node が制御可能であるかを確認するには、Node を選択し、右のメニューの Run Command を実行する。このときパスワードを求められるときは、ccs.dalab ドメインのパスワードを入力する。ここで ipconfig などを実行して、各 Compute Node の設定が表示されるか確認する。

これが CCS による PC クラスタの GUI となり、このツールを用いて様々な設定管理が可能であり、非常に有用なツールである。

**(2) Remote Desktop の設定** : Compute Cluster Administrator は、各 Compute Node のデスクトップを手元に表示して操作する機能を持っている。これより、Compute Node が手元に無い場合やモニターやキーボードが接続されていなくても、操作するこ

とが可能である。

設定方法は、Compute Cluster Administrator で Remote Desktop Session を選択し、ユーザー名・ドメイン名・パスワードを設定する。

次に、各 Compute Node において My Computer の System Properties の Remote の設定を行う。

これで、Compute Cluster Administrator で、Node を選択し、Launch Remote Desktop Connection から接続し、図 3 のように表示される。

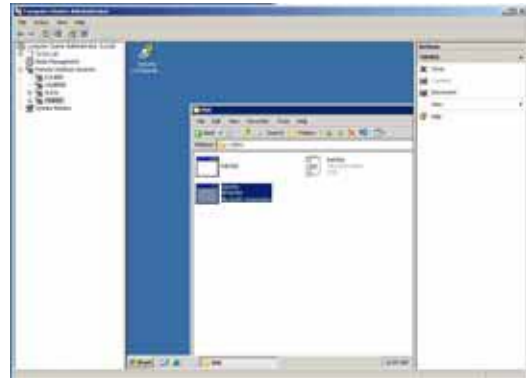


図 3 Remote Desktop

#### 5. アプリケーションの開発手法

構築された PC クラスタの計算性能を評価するために、ここでは姫野ベンチマークプログラム<sup>4)</sup>を利用する。このプログラムは、手軽に計算速度が計測できるが、MPI を用いた並列処理版では、UNIX 系 OS 用のソースプログラムのみが公開されている。

そこで、UNIX 用の MPI ソースプログラムを、CCS の PC クラスタで利用するための開発手法を解説する。

##### 5.1 開発環境の準備

ここでは、Compute Node の 1 つ HostE を用いて、プログラム開発環境を準備する。

**(1) CCP-SDK のインストール**: CCS と同様にダウンロードしたインストールパッケージ sdk\_x64.msi を起動し、指示に従ってインストールを進める。

インストール先は C:\Program Files\Microsoft Compute Cluster Pack になる。Compute Node として CCP をインストールした状態では、このディレクトリには、Bin, License, LogFiles があるが、SDK をインストールすることで Doc, Include, Lib が追加される。

なお、CCS は 64bit 専用システムであるが、アプリケーションは 64bit だけでなく 32bit も動作する。以下の説明は、両方の実行形式の場合を示す。

**(2) Visual Studio 2005 Professional のインストール**: CCP-SDK で提供される MPI ライブラリは、

Visual Studio での利用を前提にしているため、開発環境を整備する。これは Install CD の指示に従って、容易に行える。

**(3) 姫野ベンチマークプログラムのコンパイル：**  
このプログラムは、問題領域のサイズや分割数を設定したヘッダファイルを、シェルスクリプトで生成してコンパイルする必要がある。そのため、他の UNIX 系 OS でこのスクリプトを実行して、予めヘッダファイルを作っておく。もし、Windows 環境で行う場合には、Cygwin や Subsystem for UNIX-based Application : SUA、Services for UNIX : SFU などを用いることも可能である。

01：ソースプログラムとして、以下のファイルを用意する。

himenoBMTxps.c：MPI 版 C 言語ソースプログラム  
param.h：上記の方法で生成したヘッダファイル  
mpi.h mpio.h：CCP-SDK のインストール先の

Include の中からコピーしておく

mssmpi.lib：MPI のライブラリで、CCP-SDK のインストール先の Lib¥AMD64 または Lib¥i386 からコピーしておく。

02：コンパイルは、Visual Studio 専用のコマンドプロンプト内で、コンパイラ cl を利用する。

cl /O2 himenoBMTxps.c /link mssmpi.lib

これより himenoBMTxps.exe が作られる。

## 5.2 アプリケーションの実行

CCS の PC クラスタ上では、Head Node からジョブを投入し、Compute Node で並列分散処理が行われる仕組みである。そのため、ジョブで動作するプログラムを、Compute Node と共有する。

また、ジョブの投入は、Head Node のコマンドプロンプトから job submit コマンドを用いて行う。

**(1) プログラムの共有場所を作る：**Head Node の C ドライブに、C¥PDC ディレクトリを作り、これをクラスタ全体から共有できるようにし、Full Control の権限を与えておく。ここに、先に作った姫野ベンチマークのプログラムをコピーする。

**(2) ジョブをサブミットする：**プログラムを共有する C¥PDC に移動し、以下の行を繋げたコマンドラインを入力する。

```
job submit ( CCS のジョブサブミットコマンド )
```

```
/stdout:¥¥HostA¥PDC¥himeno.out
```

( 並列処理の計算結果を出力するファイル指定 )

```
/numprocessors:2 mpiexec
```

( 並列処理は 2 つの CPU で mpi を用いて行う )

```
-hosts ^%CCP_NODES^%
```

( 並列処理するノードの定義を設定する )

```
¥¥HostA¥PDC¥himenoBMTxps.exe
```

( 並列処理するプログラムの実行形式 )

## 6. 並列処理の結果

以上の姫野ベンチマークプログラムを用いて、並列処理の計算速度を検証する。表 1 に示した Compute Node を 4 台用いた結果を、表 2 にまとめる。表中の数値は計算速度 MFLOPS の値で、2 回実行した平均値であり、上段が 64bit の場合、下段 0 内が 32bit の場合である。

表 2 姫野ベンチマークプログラムの結果

HostB	HostC	HostD	HostE
Athlon64 3000+		Celeron2.53GHz	
969 (881)	972 (881)	803 (606)	784 (612)
1438 (1243)		1202 (920)	
1562 (1347)			

この結果より、Compute Node の性能差の影響があるものの、台数に応じた性能向上が見られる。

## 7. まとめ

CCS を活用した PC クラスタ構築手法を概説し、姫野ベンチマークプログラムでの並列処理の計算性能を評価した。その結果、姫野ベンチマークプログラムを用いた計算性能評価では、他の PC クラスタと同様な速度向上が確認できた。また、32bit の実行形式よりも 64bit の方が高い計算性能であり、HPC として適していることが確認できた。

今後は、スケーラビリティの検討や Linux クラスタとの比較などの基本的検証を進め、最終的には教育用計算機を数百台規模で結合した大規模 PC クラスタの構築を目指している。

## 参考文献

- 1) Windows Compute Cluster Server の公式ページ  
<http://www.microsoft.com/japan/windowsserver2003/ccs/default.msp>
- 2) 東京工業大学松岡研究室 TokyoTechWinCCS  
<http://winccs.gsic.titech.ac.jp:8080/TitechWINCCS>
- 3) 岐阜高専柴田研究室 CCS の情報  
<http://dalab.gifu-nct.ac.jp/xoops/modules/pukiwiki/index.php?WindowsComputeClusterServer>
- 4) 姫野ベンチマークプログラム  
<http://acc.riken.jp/HPC/HimenoBMT/>