

特 別 研 究 報 告 書

題 目

組織内クラウドの実現に関する検討

指導教員

報 告 者

諸富 公彦

岡山大学工学部 情報工学科

平成 22 年 2 月 5 日 提出

要約

現在，コンピュータの利用形態としてクラウドコンピューティングが広まりつつある．クラウドコンピューティングでは，自身の計算機で情報を処理するのではなく，サーバに処理を全て任せるため，高度な処理を行う計算機を自前で用意する必要がない．このため，コスト削減が望めるとして注目が集まっている．これらのクラウドコンピューティングの利用に対してのノウハウや便利さは，多数の顧客をもつ事業者から語られることが多い．しかし，情報セキュリティや信頼性の面でクラウド利用に二の足を踏んでいる企業も多い．

このような不安を解決し，クラウドコンピューティングから恩恵を得るためにクラウド環境を組織内で構築，利用したいという動きがある．しかし，クラウドコンピューティングサービスを提供するための方法や利用者からの利点の詳細な結果は語られていない．

そこで，本研究では，組織内でクラウドコンピューティングを構築，運用するための方法の検討を行った．

検討では，クラウド基盤ソフトウェアである Eucalyptus を用いて，実際にクラウド環境を構築して実験を行った．実験では Eucalyptus で，サービスを提供する方法，クラウド環境を運用するために必要な金額，および Eucalyptus の負荷実験を行った．

実験結果より，組織内でクラウド環境を構築してサービスを提供する有用性を示した．

目次

1	はじめに	1
2	クラウドコンピューティング	3
2.1	クラウドコンピューティングの概要	3
2.2	クラウドコンピューティングの長所・短所	4
2.2.1	クラウドコンピューティングの長所	4
2.2.2	クラウドコンピューティングの短所	4
2.3	クラウドコンピューティングサービスの特徴的技術	5
2.4	クラウドコンピューティングサービスの種類	6
3	組織内でのクラウド利用に関する調査方針	8
3.1	目的	8
3.2	方法	8
4	Eucalyptus	10
4.1	概要	10
4.2	システム構成	10
4.2.1	概要	10
4.2.2	Node Controller	12
4.2.3	Cluster Controller	12
4.2.4	Cloud Controller	13
4.3	利用手順	14
5	実験	18
5.1	実験概要	18
5.2	IaaS,PaaS,SaaS などの有効なサービスのレベルの調査	20
5.2.1	Eucalyptus での各サービス提供方法	20

5.2.2	各サービスの使用結果	21
5.3	クラウドコンピューティングの導入による金銭的なコスト	21
5.3.1	試算で使用するマシン	21
5.3.2	クラウド環境に必要な初期設備投資金額	23
5.3.3	クラウド環境での電気代	24
5.3.4	現環境での費用を用いてクラウド環境を構築した際の計算機資源	26
5.4	Eucalyptus インスタンスの性能調査	28
5.4.1	Eucalyptus 環境	28
5.4.2	CPU ベンチマーク	28
5.4.3	ネットワークベンチマーク	30
5.5	実験結果の考察	31
6	おわりに	35
	謝辞	36
	参考文献	37

目 次

2.1	クラウドコンピューティング利用の流れ	3
2.2	クラウドの種類と提供するもの	7
4.1	Eucalyptus 構成	11
5.1	クラウド環境での 1 人あたりの初期設備投資費用	24
5.2	現環境とクラウド環境での全体での初期設備投資費用	25
5.3	組織に所属する人間の使用率を考慮した 1 人あたりの初期設備投資費用	25
5.4	クラウド環境での 1 人あたりの 1 ヶ月の電気代	26
5.5	現環境の予算でクラウド環境を構築した場合の、仮想マシン 1 台あたりに掛 けられる資源の平均 (メモリ)	27
5.6	現環境の予算でクラウド環境を構築した場合の、仮想マシン 1 台あたりに掛 けられる資源の平均 (プロセッサコア)	27
5.7	インスタンスの個数に対する dhrystone ベンチマーク測定結果	29
5.8	サーバとインスタンスの dhrystone ベンチマーク測定結果	30
5.9	apache ベンチマーク測定結果 (1 秒あたりの処理リクエスト数)	31
5.10	30 人での現環境とクラウド環境での総合的な金銭的成本	33
5.11	dhrystone ベンチマーク測定	34

表 目 次

5.1	研究室で使用しているマシン	21
5.2	フロントエンド用サーバ	22
5.3	ノード用サーバ	22
5.4	Firefox の動作に必要な計算機資源	23
5.5	クライアント用マシン	23
5.6	Eucalyptus を起動させているノードの計算機資源	28
5.7	インスタンスの計算機資源	28
5.8	資源を最大限割り当てたインスタンスの計算機資源	29

第 1 章

はじめに

コンピュータの利用形態として「クラウドコンピューティング」がある。クラウドコンピューティングでは、サービスを提供しているサーバに情報の処理を依頼し、処理結果をもらう。このため、自身の計算機では処理を行う必要がない。現在では、このようなクラウドコンピューティングの利用が広まりつつある。例えば、アメリカでは高等教育機関の 10 校に 4 校が自前でのメールサーバの運用をやめ、Google や MicroSoft および Yahoo いずれかのメールサーバに切り替えている。[1] また、個人の利用では Web アプリケーションが人気である。Web アプリケーションのプログラムが動いているのは Web ブラウザでなく、サービス提供者のサーバである。このように、自身の計算機で情報を処理するのではなく、企業のサーバに処理を全て任せるクラウドコンピューティングに注目が集まっている。

こうしたクラウドコンピューティングサービスとして、Amazon 社の仮想マシン、データストレージの時間貸しサービスである「AmazonEC2, AmazonS3」[2] や Salesforce 社の、企業向けのプラットフォームを提供する「Force.com」[3]、および Google 社の開発者向けのプラットフォームを提供する「GoogleAppEngine」[4] などがある。

これらのクラウドコンピューティングサービスを利用している企業やサービスとして、animoto[5] や日本郵政公社などがある。animoto は AmazonEC2 を用いてサーバを管理している。また、日本郵政公社は Force.com を用いて事業を展開している。

このように、現在ではクラウドコンピューティングのサービスを提供する企業や、クラウドコンピューティングを利用している企業が存在する。その中で、クラウドコンピューティングのノウハウや便利さは、多数の顧客をもつ事業者から語られることが多い。

しかし、情報セキュリティや稼働時間の信頼性の面でクラウドコンピューティングサービス利用に二の足を踏んでいる企業も多い。

このような不安を解消し，クラウドコンピューティングから恩恵を得るために，クラウドコンピューティングを組織内で構築，利用したいという動きがある．しかし，中小規模でのクラウドシステムと大規模でのクラウドシステムとの構造の差異や管理手法，および管理者や利用者からの利点に関する詳細な解析結果は語られていない．このため，組織内にクラウドシステムを構築する際の構築方法や利用方針などが不明である．

本研究では，組織内などの中小規模でのクラウドコンピューティングの利用におけるシステムの構造，利用者や管理者それぞれにクラウドシステムが与える利点や欠点，及びクラウドシステムを使用する指針を解析し，明確化するのが目的である．

2 章では，クラウドコンピューティングの概要について述べる．3 章では，大学の研究室内でクラウドコンピューティングの使用するための調査方法について述べる．4 章では，調査に用いる Eucalyptus[6] について述べる．5 章では，実際に行った実験について述べる．6 章では，5 章のまとめとして，組織内クラウドの利用に対して述べる．

第 2 章

クラウドコンピューティング

2.1 クラウドコンピューティングの概要

クラウドコンピューティングでは、利用者はクラウドコンピューティングサービスを提供するサーバに、ソフトウェア、データ、および実行環境を置く。ユーザはクラウドコンピューティングサービスを提供するサーバに処理依頼をネットワーク経由で出し、処理結果を受け取る。ユーザは、処理結果を確認することができればよいので、高度な処理を行う計算機を自前で用意する必要がない。

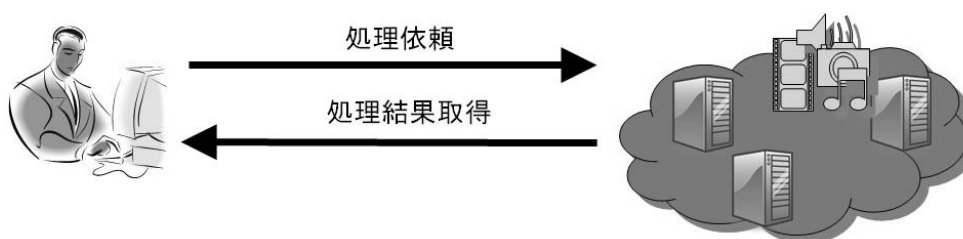


図 2.1 クラウドコンピューティング利用の流れ

ただし、クラウドコンピューティングはまったくの新しいものではない。過去からある概念の、グリッドコンピューティングやオンデマンドコンピューティング、およびユビキタスコンピューティングなどを発展させたものと考えることができる。ただし、クラウドコンピューティングが指すものは幅広く、従来はネットワークを介することが考えにくかったストレージなども含まれる。

2.2 クラウドコンピューティングの長所・短所

2.2.1 クラウドコンピューティングの長所

(1) 投資費用が少なく済む。

ソフトウェア、データ、および情報を処理する実行環境はクラウドコンピューティングサービスを提供するサーバにすべて置く。ユーザはクラウドコンピューティングサービスを提供するサーバに接続するためのネットワークの接続環境だけで、データを保存したり、ソフトウェアを使って情報を処理できる。そのため、自分でソフトウェアやデータを保有する計算機を用意する必要がなくなるのでコストを抑えることができる。

(2) サーバが持っている情報処理性能を利用することができる。

クラウドコンピューティングでは、高機能なサーバマシンを使用してサービスを提供する。サービスを提供するサーバマシンの情報処理能力やストレージは膨大である。この情報処理能力は、個人の利用する計算機より優れている。(1) で示したように、ユーザはサーバマシンで情報の処理を行うので、サーバマシンの所有する情報処理性能を使用することができる。

(3) 内部構成を考える必要がない。

クラウドコンピューティングでは、(2) で示したようにサーバマシンの持っている計算機資源を用いて情報の処理を行う。ユーザはサーバが提供する確立された環境を使用するので、自分で環境構築や設定を行う必要がない。

(4) 変更 (追加や縮小) に強い。

クラウドコンピューティングでは、(3) で示したようにサーバが提供する環境を使用する。そのため、データストレージの規模や情報処理能力を変更したい場合は、クラウドコンピューティングサービスを提供している企業との契約を変更するだけで済む。

これらの特徴によって、計算機環境を簡単に素早く構築できるので、新しく会社を設立する際に便利である。また、サーバを購入する必要がないのでコストを抑えることができる。

2.2.2 クラウドコンピューティングの短所

(1) 情報セキュリティへの不安

クラウドコンピューティングでは、所有するデータをクラウドコンピューティングサービスを提供するサーバに保存する。保存するデータには、企業にとって大切な顧客情報や機密情報が含まれる。このため、クラウドコンピューティングサービスを提供しているサーバが攻撃を受けた場合、情報が流出する危険がある。

(2) データ保管場所が不明

(1) で示したように、所有するデータはクラウドコンピューティングサービスを提供するサーバに保存される。クラウドシステムではクラスタ環境を構築し、サービスを提供しているため、保存されたデータはクラスタ環境を構築するマシンのいずれかに保存される。このため、クラウドコンピューティングサービスを利用するユーザには、どのサーバマシンにデータが保存されているかわからない。

(3) サービスを提供しているサーバのインフラ設備への不安

(1) に加え、クラウドコンピューティングサービスでは、情報処理を行う実行環境もクラウドコンピューティングサービスを提供するサーバに全て保存している。そのため、ネットワーク回線が切断されたり、サービスを提供するサーバが停止してしまうとたちまち業務が停止してしまう。

このような短所のため、クラウドコンピューティングサービスを利用するのに二の足を踏んでいる企業も多い。

2.3 クラウドコンピューティングサービスの特徴的技術

従来のデータベースでのトランザクションは、ACID トランザクションという考え方が一般的であった。ACID とは、Atomicity, Consistency, Isolation, Durability の頭文字をつなぎ合わせたトランザクション性質である。

ACID 特性をもったトランザクションでは、トランザクションに含まれる個々の手順が「すべて実行される」か「一つも実行されない」のどちらかの状態になる。(Atomicity) また、トランザクションの前後でデータの整合性が保たれ、矛盾の無い状態が継続される。(Consistency), そして、実行中の処理過程が外部から隠蔽され、他の処理などに影響を与えない。(Isolation) トランザクションが完了したら、その結果は記録されてシステム障害などが生じても失われることがない。(Durability)

しかし、クラウドシステムでは従来の ACID を実現するのは困難である。クラウドシステムではサーバ処理を分散させているため、一貫性を保とうとすると 2 フェーズコミットのような大掛かりな仕組みが必要だからである。

そこで、新しい概念として登場したのが BASE トランザクションである。BASE とは、Basically Available, Soft-state, Eventual Consistency の頭文字を取られて作られた。

例えば、ノード A,B 間で同期を取ることを考える。BASE トランザクションでは、情報を送り出すノード A だけに責任を持つ。ノード A,B 間には確実な伝達路が存在し、基本的に利用できることと仮定される。(Basically Availability) また、ノードの状態はそれが結びついた情報伝達路からの情報によって変化する。(Soft State) このようにすると、トランザクション操作はノード A の情報を伝達路に送った時点で終了できる。その後、伝達路に送られた情報は一定の時間をかけた後にノード B に到達する。こうして、結果としては整合性が保たれる。(Eventual Consistency)[7]

2.4 クラウドコンピューティングサービスの種類

クラウドコンピューティングサービスは、SaaS・PaaS・IaaS の 3 種類に分類される。

(1) SaaS (Software as a Service)

ソフトウェアがサービスとして提供される。

(A) 何も準備しなくても、有効なサービスをすぐに使用できる。

例：Force.com(SalseForce), Gmail(Google)

(2) PaaS(Platform as a Service)

プラットフォームがサービスとして提供される。

(A) ミドルウェアまで提供されるため開発言語は限定される。

(B) スケーリング (高負荷時の資源増強作業) の考慮が不必要である。

例：GoogleAppEngine(Google), Windows Azue(Microsoft)

(3) IaaS (Infrastructure as a Service)

インフラストラクチャがサービスとして提供される。

(A) 任意の OS をインストール可能である。

(B) スケーリングの考慮が必要である。

例：AmazonEC2, AmazonS3(Amazon)

図 2.2 は、3 種類のクラウドコンピューティングサービスがそれぞれ提供する設備とシステムのレベルを示している。

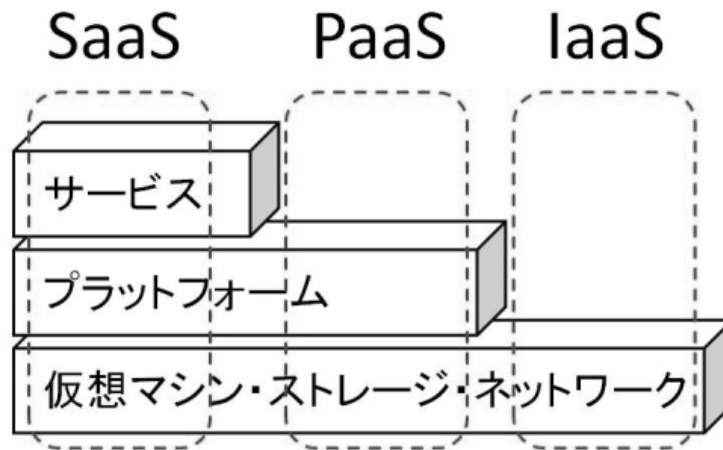


図 2.2 クラウドの種類と提供するもの

第 3 章

組織内でのクラウド利用に関する調査方針

3.1 目的

大学のキャンパスや特定の組織内においてクラウドを構築し、クラウドコンピューティングサービスを提供した場合、エネルギー効率、管理コストの問題を解決してくれる可能性がある。本研究では、組織内にクラウドコンピューティングを導入し運用するための構築方法や管理の指針を明確化するために、以下の 4 つの点について調査する。

- (1) IaaS,PaaS,SaaS などの有効なレベルのサービス
- (2) 資源の活用率
- (3) 管理者から見たコスト
- (4) サービスを行うのに適切な規模

3.2 方法

本研究の調査方法として、研究室にクラウド基盤ソフトウェアである「Eucalyptus」を導入し、運用を行う。また、研究室のユーザに Eucalyptus 上で作業をしてもらい、3.1 節で挙げた各項目について調査を行う。各調査方法を以下に述べる。

- (1) IaaS,PaaS,SaaS などの有効なレベルのサービス

Eucalyptus 上で各サービスを提供できるかどうか調査を行う。

サービスを提供する準備をした後，サービスの使用方法を研究室のユーザに説明する．研究室ユーザにサービスを利用してもらい，必要としている機能と比較して有用なサービスのレベルを調査する．

(2) 資源の活用率

日常の作業を行うのに必要な計算機資源の量を調査する．

日常の作業を行うのに必要な計算機資源より，クラウド環境を構築する際に必要なサーバの数を試算する．

(3) 管理者から見たコスト

クラウド環境を構築する上で必要になる投資金額を試算し，現環境との投資金額との差異を調査する．また，現環境での資金をもとにクラウド環境を構築した場合，インスタンスにどれくらいの計算機資源を割り当てられるかも試算する．

(4) サービスを行うのに適切な規模

Eucalyptus は実際に組織内で使用できるかの調査するために負荷実験を行う．

また，調査項目 (1) ~ (3) より，サービスを適応するのに適切な項目を検討する．検討する項目は次のものである．

(A) 組織の人数

(B) サーバに必要な計算機の台数と性能

第 4 章

Eucalyptus

4.1 概要

Eucalyptus とはクラウド環境を実装するためのコンピューティングクラスタを構築するオープンソースのインフラストラクチャである。

Eucalyptus の特徴として、以下のものがある。

- (1) Amazon EC2,S3 との互換インターフェースを持つ。
- (2) Eucalyptus の動作環境を大部分の Linux ディストリビューションで構築できる。
- (3) WS-security プロトコルを使った SOAP 通信により、内部の通信を安全なものにしている。

4.2 システム構成

4.2.1 概要

図 4.1 は、Eucalyptus を構成しているコンポーネントと働きを示したものである。Eucalyptus は主に 3 つのコンポーネントと 2 種類のマシンで構成されている。

- (1) Node Controller

インスタンスと通信し、インスタンスの作成や停止を行う。また、Node Controller が動作しているサーバの計算機資源を調査し、Cluster Controller に送る。

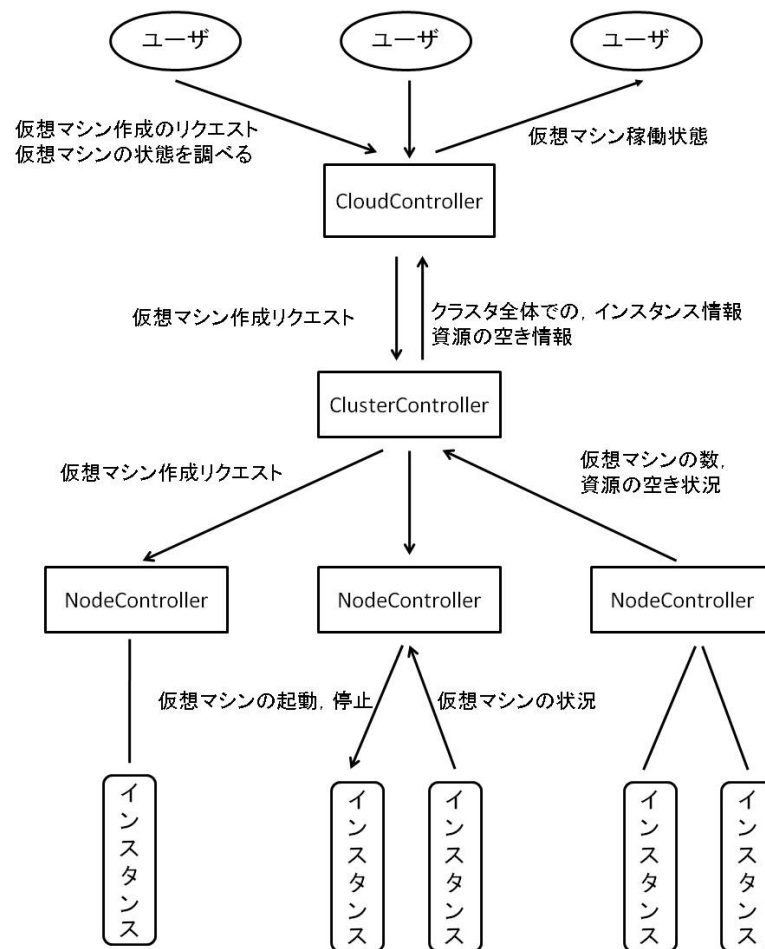


図 4.1 Eucalyptus 構成

(2) Cluster Controller

複数登録されている Node Controller と通信を行い，それぞれが所有している計算機資源の情報を集める．また，サーバにインスタンスを作成するかスケジューリングを行う．

また，Cloud Controller と通信し，Cluster Controller と Node Controller で構成されたクラスタ全体の空き資源や，Node Controller 下の各インスタンスの情報を送る．

(3) Cloud Controller

ユーザからインスタンスの作成リクエストを受け付ける．また，ユーザに対してインスタンスの起動状況や Eucalyptus システム内の空き資源などの情報を提示する．

また，Cloud Controller，Cluster Controller が動作している計算機をフロントエンドと呼び，Node Controller が動作している計算機をノードと呼ぶ．

4.2.2 Node Controller

(1) Eucalyptus 中でユーザが要求したインスタンスの管理を行う．

Node Controller は，起動している物理マシン上にインスタンスを作成する．Node Controller は Eucalyptus で構成された 1 つのクラウドシステムに複数登録されている．

Node Controller は，インスタンスを起動させるために Cloud Controller が持っているレポジトリ，またはローカルなキャッシュからインスタンスイメージファイルをコピーし，インスタンスをブートするようハイパーバイザに命令する．また，インスタンスを停止する際は，Node Controller は仮想マシンを終了するようハイパーバイザに命令し，停止するインスタンスに関連しているファイルを全て消去する．そのため，インスタンスが終了するとファイルは保存されない．仮想マシンを作成するハイパーバイザとして，Xen や KVM が用いられる．

(2) 計算機資源を管理する．

ノードの計算機資源の情報を集め，Cluster Controller に送る．

4.2.3 Cluster Controller

(1) インスタンスの割り当てを行う

Node Controller 上で動作しているインスタンスの実行情報を集め、スケジューリングを行う。Cloud Controller から新たにインスタンスを走行させるように指示を受けた時、要求されたインスタンスに割り当てる計算機資源を持っているノードを探す。最初に見つけたノードの Node Controller に、インスタンス作成指示を出す。

(2) インスタンスが接続する仮想ネットワークを設立、管理する。

クラウド環境を構築するためには、広い範囲に分散されていたり、ファイアウォールによって保護されたノード中の Node Controller にも接続する必要がある。そのようなネットワークを実装するために、Virtual Distributed Ethernet (VDE) [8] で仮想ネットワークを構築する。

仮想ネットワークを構築すると、各インスタンスに外部から接続するためのパブリックなネットワークインタフェースと Eucalyptus 内部で使用するプライベートなネットワークインタフェースを構築する。このインターフェイスには、物理的なイーサネットに VDE へのブリッジを通して実現する。

4.2.4 Cloud Controller

Cloud Controller はインターフェイス、データレポジトリ、および資源管理の 3 層で構成されている。

(1) インターフェイス

Eucalyptus システムのインターフェイスの役割を果たす。ユーザからインスタンスの作成命令を受け付けたり、Eucalyptus システム全般の情報を表示するインターフェイスの役割を果たす。

(2) データレポジトリ

ユーザやシステムのデータを管理する。インスタンスに適応するパラメータ (OS のイメージファイルや、ユーザがインスタンスと接続を行うための SSH 鍵など) やユーザデータを保存、管理する。

(3) 資源管理

Cluster Controller と連携を行い、インスタンスの資源の割り当て、開放などの指示を出す。

4.3 利用手順

Eucalyptus のインスタンスを操作するために、Firefox のアドオンである「Elasticfox」[10]を用いる。これにより、ウェブブラウザを通して Eucalyptus 上のインスタンスを操作することができる。ただし、Elasticfox はもともと AmazonEC2 でのインスタンス操作をするためのアドオンであり、アマゾンの URL がハードコーディングされているため、Eucalyptus には使用できない。そのため、本実験では Eucalyptus 用に改造された Elasticfox[11]を用いる。利用手順は以下の通りである。

(1) Elasticfox の初期設定

Elasticfox のツールバーの「ツール」 「Elasticfox」より起動する。接続先・使用者を設定する。

(A) 接続先

「Regions」をボタンを押すと、設定ダイアログが開かれる。各項目を以下のよう
に設定する。

- Region Name Eucalyptus
 - Endpoint URL `http:// < Eucalyptus Frontend IP > :8773/services/Eucalyptus`
- 設定後、Add ボタンを押して設定を追加する。

(B) 使用者

「Credentials」をボタンを押すと、設定ダイアログが開かれる。各項目を以下の
ように設定する。

- Account Name 各自の Username
- AWS AccessKey (1) でメモした Query ID
- AWS SecretKey (1) でメモした Secret Key

設定後、Add ボタンを押して設定を追加する。それぞれの設定後「Regions」「Cre-
dentials」横のプルダウンメニューより、設定したものを選ぶ。

(2) インスタンスにアクセスする鍵 (キーペア) の作成

Eucalyptus で作成されたインスタンスにはユーザ名やパスワードは設定されていないので、公開鍵認証でログインする必要がある。そのため、公開鍵認証の鍵 (キーペア) を作成する。Elasticfox を起動させ「KeyPairs」タブを選択する。「Create new keypair」(緑色の丸いボタン) を押し、インスタンスと SSH 接続する際に用いる秘密鍵をダウンロードする。その後、秘密鍵を PuTTY で接続するための形式に変換する。puttygen(PuTTY と

同じディレクトリにある) を起動させる。ツールバーの「File」「Load Private Keyfile」を選択し、先程入力した秘密鍵を選択する。(この時、選択対象ファイルは「AllFiles」にしておく。) ファイルを選択後、「Save private key」ボタンを押し、PuTTY で用いる形式に変換した秘密鍵を保存する。

(3) インスタンスのセキュリティグループの設定

初期設定ではインスタンスへの接続プロトコルが何も認めてられていないので、SSH を認めるように設定する。「SecurityGroups」タブを選択し、「YourGroups」の一覧から「default」のセキュリティグループを選択する。選択後、右の「Group Permissions」の「Grant Permission」(緑色の丸いボタン) を押す。設定ダイアログが開かれるので、許可するプロトコルを設定する。以下の項目を設定する。

- Prototol Details SSH
- Host/Network Details Host 0.0.0.0/0

設定後、Add を押し、設定を反映させる。

(4) インスタンス (仮想マシン) を起動

Elasticfox を起動させ、「Images」タブを選択する。ID が「ami-XXX」となっているものを選択し、「Lanch Instance(s)」(丸い緑色の、電源のマークがついたボタン) を押する。

(5) インスタンスの確認と接続

Elasticfox の「Instances」タブを選択することで、インスタンスの状態を確認できる。インスタンスの状態が「running」になったらインスタンスに接続できる。PuTTY を起動させ、ホスト名にインスタンスの「Public DNS」を入力し、PuTTY の「SSH」「認証」を選択し、「認証のためのプライベートキーファイル」に (4) で作成した秘密鍵を選択する。その後、「開く」を押すことによりインスタンスに接続できる。

(6) インスタンスの操作

SSH でインスタンスに接続を行い操作する。インスタンスを作成した際に指定した秘密鍵を使用してログインする。

(7) インスタンスの停止

インスタンスを停止させる時は Elasticfox の「Instances」タブを選択し、停止させたいインスタンスを選択後、「Terminate Selected Instances」(丸い赤色の、電源のマークが

ついたボタン) を押す。インスタンスで電源を落とすようにコマンドを入力しても、インスタンスは停止しない。(OS のみ停止し、インスタンス自体は消えないため)

インスタンスを停止させた場合、インスタンス内のデータはすべて消去されてしまうことに注意する。

(8) データの保存

インスタンスを停止させると、インスタンス中のデータは消去されてしまう。インスタンス中のデータを保存する場合、ElasticBlockStorage(EBS) を用いるかインスタンスのマシンイメージを作成する必要がある。

(A) EBS の使用

ファイルを保存する場合は、こちらの方法を用いるのが簡単である。外付けハードディスクにデータを保存するような機能を持っているのが EBS である。

(a) EBS の作成

「Volumes and Snapshots」のタブを選択し、「Create Volumes」の「Create new volume」(緑色の丸い、プラスマークのボタン) を押す。設定ダイアログが表示されるので、確保したいディスクサイズを入力し、「Create」を押す。

(b) EBS をインスタンスに接続

インスタンスに接続させたい EBS を選択し、「Attach this volume to an instance」(緑色の丸いチェックマークのボタン) を押す。設定ダイアログがあるので、以下の設定を行う。

- ・ Instance ID 接続したいインスタンスの ID を指定する。
- ・ Device EBS を接続するデバイス名を選択する。

(c) インスタンスで EBS を確認し、ファイルシステムを作成

インスタンスで指定されたデバイスが増えていることを確認し、ファイルシステムを作成する。ここでは、デバイス名を「/dev/sdc」として説明を行う。インスタンスで以下の操作を行う。

```
# ls /dev/sd*           //デバイスを認識しているか確認
# mkfs -t ext3 /dev/sdc //ファイルシステムの作成
# mkdir /vol
# mount /dev/sdc /vol    //ファイルシステムをマウント
# df                    //マウント出来ているか確認
```

(d) EBS にデータを保存

マウントが完了したら，マウントした先 (例では /vol) に保持したいファイルを保存する．

(e) EBS の取り外し

インスタンスで以下の操作を行う．

```
# umount /vol
```

その後，Elasticfox で「Volumes and Snapshots」のタブを選択し，「Create Volumes」の「Detach this volume its instance」(赤色の丸い，バツマークのボタン) を押す．

(f) EBS 中のデータの取り出し

EBS に保存したファイルを読み込むには，EBS を再度インスタンスに接続してマウントを行う．接続方法は (b)(c) と同じである．ただし，ファイルシステムを作成すると保存されているデータが消されるので，ファイルシステムは作成しない．

(g) EBS の削除

「Volumes and Snapshots」のタブを選択し，「Create Volumes」の「Delete this volume」(赤色の丸い，ゴミ箱マークのボタン) を押す．

(B) インスタンスのマシンイメージの作成

インスタンスで構築した環境なども保存する場合は，こちらの方法を使用する．しかし，本実験使用した Eucalyptus version 1.6.1 のバグにより，保存することができない．

第 5 章

実験

5.1 実験概要

実験，調査する項目は次の 3 点である．

(1) IaaS,PaaS,SaaS などの有効なサービスのレベルの調査

目的 組織内でクラウド環境を構築してサービスを提供する際，クラウド環境を有効に活用するために適切なサービスのレベルを調査する．

調査項目と調査方法

(A) Eucalyptus 上での IaaS,PaaS,SaaS の各サービスの提供方法の調査

本実験では Eucalyptus を用いてクラウド環境を構築している．実際に各サービスを研究室内で提供するため，Eucalyptus 上で各サービスの提供方法を調査する．

(B) サービスを研究室内で提供し，各サービスの有用性の調査

研究室内で必要とされている機能と各サービスの提供するものを比較し，有効なサービスのレベルを調査する．

(2) クラウド環境を構築するのに必要な投資金額の試算

目的 組織内でクラウド環境を構築するために必要なコストを試算する．また，現環境でのコストと比較し，クラウド環境でのコスト面でのメリットを調査する．

調査項目と調査方法

(A) クラウド環境を構築するために必要な金額の試算

クラウド環境を構築するマシンを例示し，クラウド環境を構築するのに必要な初期投資金額を試算する．この結果を現状の環境での初期投資金額と比較する．この時，個人の必要な計算機資源を考慮して試算を行う．

(B) 計算機を使用する割合を考慮した場合のクラウド環境の構築に必要な金額の試算

組織に属する人間が同時に仮想マシンを動作させるとは限らない．例えば，企業の営業部署などでは，所属する人間が会社外にいて仮想マシンを必要としていないことも多い．このため，クラウド環境では組織に属する人間の分だけ仮想マシンを作成する必要があるとは限らない．これより，必要分のみ仮想マシンを用意するだけの計算機資源を用意場合の初期投資金額を試算する．この結果と，現状で必要な金額を比較する．

(C) クラウド環境での電気代の試算

クラウドを運用する上で，電気代でもコスト面に現状との差が生じる．(A)で例示したマシンでクラウド環境での1ヶ月にかかる電気代を試算し，現環境でかかる電気代と比較する．

(D) 現環境の試算を用いてクラウド環境を構築した際に，仮想マシンに割り当てられる計算機資源の試算

現状の環境を構築するのに必要な投資金額でクラウド環境を構築した際に仮想マシンに割与えることができる計算機資源を試算し，作業に必要な計算機資源と比較する．

(3) Eucalyptus のインスタンスのベンチマーク測定

目的 クラウド環境を構築するのに Eucalyptus を用いた場合，組織内での使用に耐えられるかどうか調査する．

調査項目と調査方法

(A) CPU ベンチマーク測定

Eucalyptus のインスタンスに対し，dhrystone ベンチマークを用いて CPU の性能を調査する．この時，複数台のインスタンスに対して同時にベンチマークを測定し，インスタンスに同時に負荷がかかった時の CPU 性能の変化を調査する．

(B) ネットワークベンチマーク測定

Eucalyptus のインスタンスに対し、Apache ベンチマークを用いてネットワーク速度を測定する。複数台のインスタンスに対して同時にベンチマークを測定することで、インスタンスへのアクセスが集中して起きた時のネットワーク速度の変化を調査する。

5.2 IaaS,PaaS,SaaS などの有効なサービスのレベルの調査

5.2.1 Eucalyptus での各サービス提供方法

(1) IaaS

IaaS は、ユーザからの要求に従い仮想マシンのようなインフラストラクチャを提供するサービスである。本実験でクラウド環境を構築するために導入した Eucalyptus は、AmazonEC2 と互換の機能を持ち、ユーザの要求に従い仮想マシンを提供するソフトウェアである。Eucalyptus が提供するサービスは、ユーザからの要求に従い仮想マシンを作成するものである。そのため、IaaS は Eucalyptus を構築するだけで提供することができる。

(2) PaaS

PaaS は、ユーザにプラットフォームを提供するサービスである。(1) で示したように、Eucalyptus は IaaS を提供する。そのため、PaaS を提供するためには、PaaS サービスを提供するソフトウェアが必要である。PaaS サービスである GoogleAppEngine を提供している Google 社は、GoogleAppEngine を構築しているソースコード (AppScale[12]) を公開している。AppScale は Eucalyptus 上でインスタンスとして起動させる仮想マシンイメージとして提供されている。

しかし、Google 社は、ハイパーバイザとして Xen を用いた AppScale のイメージしか提供していない。本実験で構築した Eucalyptus は、ハイパーバイザとして KVM を用いている。ハイパーバイザが異なるマシンイメージを仮想マシンとして走行させることはできないので、本実験では AppScale を使用して PaaS を提供することができなかった。PaaS を提供するようなソフトウェアは他には公開されていないため、本実験では PaaS を提供することができなかった。

(3) SaaS

SaaS は、ユーザにソフトウェアを提供するサービスである。(1)で示したように、Eucalyptus は IaaS を提供する。そのため、SaaS を提供するためには SaaS サービスを提供するソフトウェアが必要である。しかし、SaaS を提供するソフトウェアは公開されていないため、現段階では組織内で SaaS を提供するクラウド環境を構築することができなかった。

5.2.2 各サービスの使用結果

5.2.1 項より、本実験で構築したクラウド環境では IaaS しか提供することはできなかった。そのため、本実験では Eucalyptus を用いて組織内で IaaS を提供する場合は試算や実験を行った。

5.3 クラウドコンピューティングの導入による金銭的なコスト

5.3.1 試算で使用するマシン

現在では、個人ごとに計算機を所有し使用する。しかし、このコンピュータ利用形態では、計算機資源の 70 % 程は利用されず、無駄となっていることが指摘されている。[13]

表 5.1 で、現在研究室で使用している計算機を示す。

表 5.1 研究室で使用しているマシン

プロセッサ	Intel Core2Duo E6750 2.66GHz
メモリ	2.00GB
電源定格出力	275W
価格	76,650 円

クラウド環境に必要な計算機は、クラウドコンピューティングサービスを提供するサーバと、従来のマシンに変わりサービスを受けるクライアントが必要である。以下に試算で使用するマシンを例示する。

(1) サーバマシン

これらのサーバは、A 社が販売しているサーバの中で、Eucalyptus を構築するのに必要な性能を持ち、最も販売価格が低いものである。

(A) フロントエンド用サーバ

表 5.2 フロントエンド用サーバ

プロセッサ	Intel Celeron430 1.8GHz
メモリ	2GB
ハードディスク	160GB
電源	345W
価格	59,800 円

(B) ノード用サーバ

Eucalyptus を用いたクラウド環境構築方法は、ハイパーバイザとして KVM を用いる場合しか実際に確認していない。そのため、ここではハイパーバイザに KVM を用いる場合での試算を行った。KVM では CPU が Virtualization Technology[9] に対応している必要があるため、CPU を Virtualization Technology に対応しているものに変えた。

表 5.3 ノード用サーバ

プロセッサ	Intel Xeon L3110 3GHz
メモリ	2GB
ハードディスク	160GB
電源	345W
価格	121,750 円

(2) クライアントマシン

Eucalyptus 上のインスタンスで作業を行うためには、クライアントマシンとして以下の操作を行える必要がある。

(A) Web ブラウザの操作

Eucalyptus 上のインスタンスを操作するのに、Firefox のアドオンである「Elasticfox」を用いる。表 5.4 は、Firefox を動作させるのに推奨されるハードウェア構成 [14] である。

(B) SSH クライアントの操作

作成したインスタンスに接続して、操作をするために必要である。

表 5.4 Firefox の動作に必要な計算機資源

プロセッサ	Pentium 500MHz 以上
メモリ	256MB 以上
ハードディスク	52MB 以上

クライアントには高い性能は求められないので、既存のマシンを再利用すればよい。しかし、新規購入するには販売されているマシンはどれも計算機資源が必要過剰である。そのため、組織内ですでにマシンがある場合はそれを用いることができる。試算では、B 社が販売している個人向けの計算機をクライアント用マシンとして使用する。性能を表 5.5 で示す。このマシンは、私が探した中で最も販売価格が低かったものである。

表 5.5 クライアント用マシン

OS	WindowsVista homeBasic
プロセッサ	Intel Celeron 430 1.8GHz
メモリ	1GB
ハードディスク	80GB
電源	300W
価格	36,480 円

ここでは、クラウド環境を構築する際に使用する計算機として、フロントエンドに表 5.2 の計算機を、ノードに表 5.3 の計算機を使用すると仮定する。

個人に必要な計算機資源を表 5.1 の現状で使用しているマシンの 30 % とすると、表 5.3 の計算機では、1 台あたり 3 つの仮想マシンを作成することができる。

5.3.2 クラウド環境に必要な初期設備投資金額

図 5.1 では、クラウド環境構築に必要な 1 人あたりの初期設備投資費用を示した。ここでは、組織の人数分だけのインスタンスを同時に作成するのに必要な計算機資源を用意するという前提で計算を行った。

クラウドコンピューティングサービスを使用する人数が 3 人増える度にノードとなるサーバが新たに 1 台必要なので、グラフは上下にぶれながら推移する。また、この例では 8 人以上でクラウド環境を用いると、1 人あたりのコストが大体一定になることがわかる。

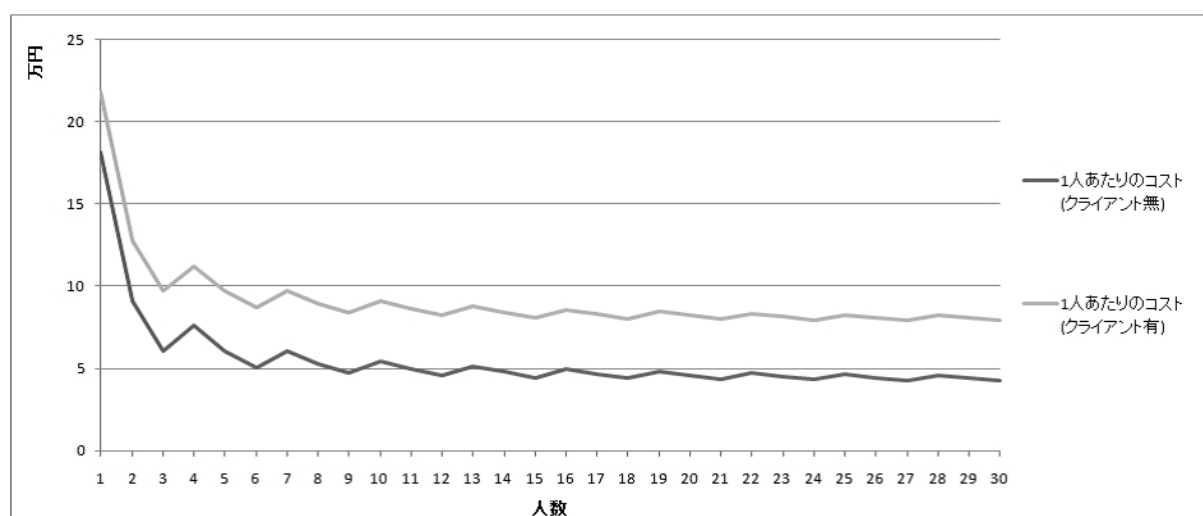


図 5.1 クラウド環境での 1 人あたりの初期設備投資費用

図 5.2 は，クライアントを購入せずにクラウド環境を構築する場合の現環境との全体でのコストの差額を示したものである．これより，例で示したマシンを用いてクラウド環境を導入すると，クライアントも購入することにより現状よりコストがかかる事がわかる．

しかし，5.3.1 項 (3) で示したように，クライアントには高い計算機資源は必要とされておらず，昔の計算機を用いることができる．そのため，組織にすでに使用していない計算機がある場合は，その計算機をクライアントマシンとして使用することにより，クラウド環境を現状より低いコストで構築することができる．

図 5.3 は，同時に仮想マシンを起動させる割合を考慮して，必要な分だけのマシンを購入する時の初期投資金額を示したものである．ここではクライアントは購入しない前提で試算を行った．今回の試算で用いたマシンを使用すると，組織に大体 30 人以上の人間がいる場合は，それぞれの同時に仮想マシンを起動させる割合で，コストはほぼ一定になることがわかる．

5.3.3 クラウド環境での電気代

図 5.4 は，クラウド環境を運用するために必要な電気代について比較したのものである．ここでは，次の条件を仮定して電気代を算出した．

- (1) 電力の価格は「中国電力株式会社 料金単価表 業務用電力」[15] に基づいて 1kWh あたり 12 円 33 銭とする．

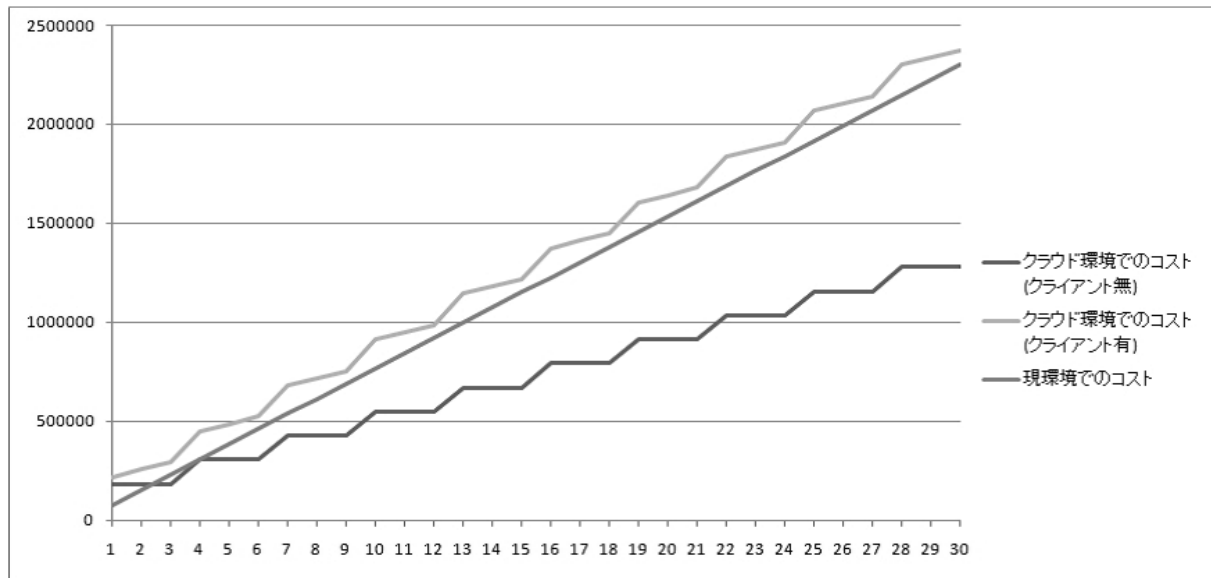


図 5.2 現環境とクラウド環境での全体での初期設備投資費用

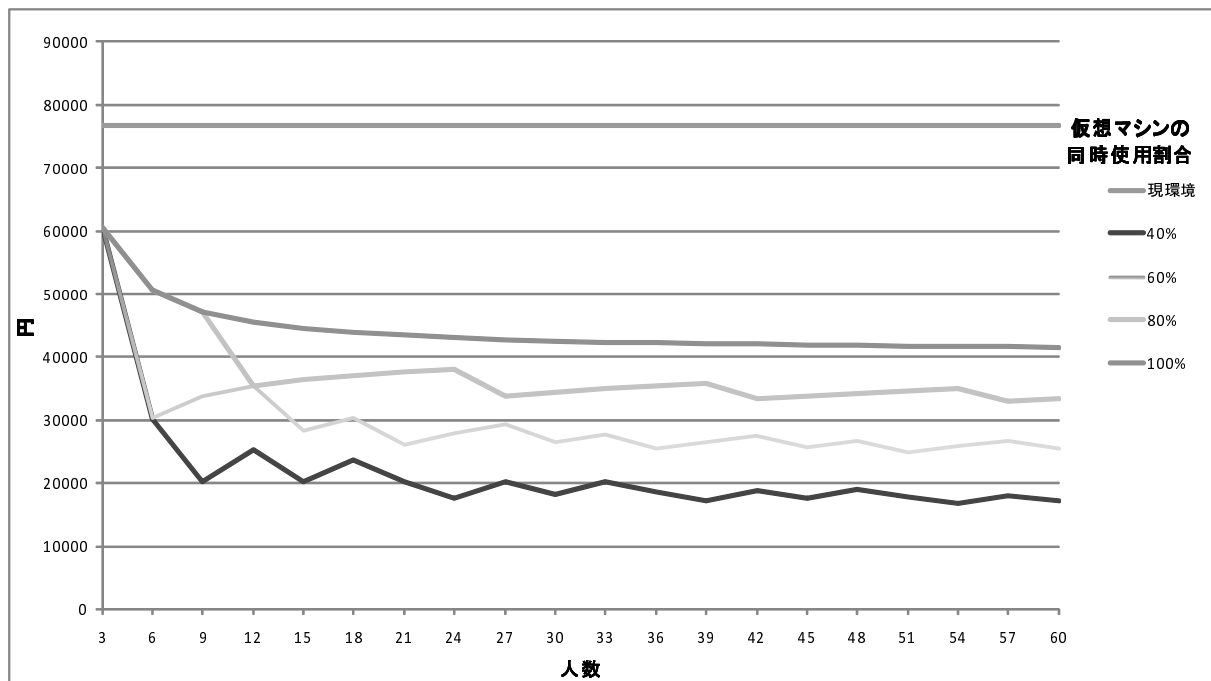


図 5.3 組織に所属する人間の使用率を考慮した 1 人あたりの初期設備投資費用

- (2) サーバマシンは常に稼働させ、電源を切らない。
- (3) クライアントマシンは 1 日当たり 8 時間稼働させる。
- (4) マシンの消費電力は、電源に等しいとする。

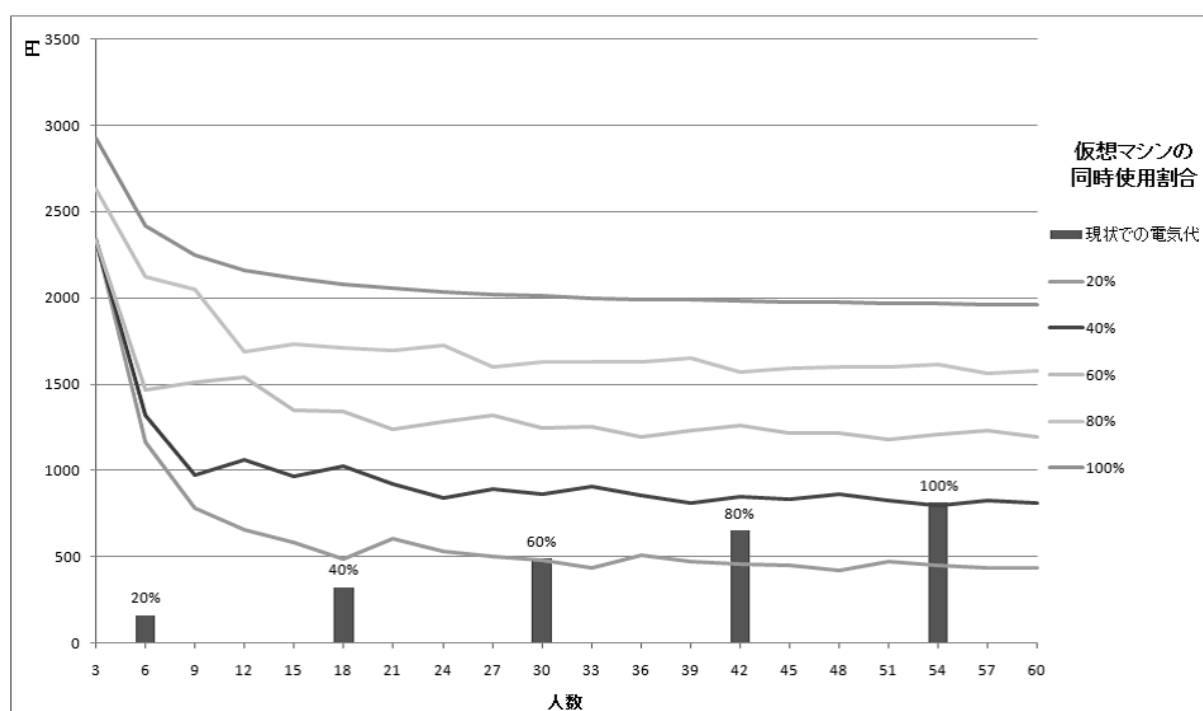


図 5.4 クラウド環境での 1 人あたりの 1 ヶ月の電気代

現状では、組織の人数に関係なく、マシンの使用率に比例する。電気代は一定である。

例で示したマシンでは、組織に大体 20 人以上の人間がいる場合は、同時に仮想マシンを起動させるそれぞれの割合で、コストはほぼ一定になることがわかる。

5.3.4 現環境での費用を用いてクラウド環境を構築した際の計算機資源

図 5.5, 図 5.6 は、現環境で必要な金額を用いてクラウド環境を構築する際、それぞれの仮想マシンに割り当てることができる資源を示したものである。ここでも、仮想マシンを同時に起動させる割合を考慮している。

また、現状のコンピュータ利用形態で必要な計算機資源 (現状のマシンの 30 %) も示す。

ただし、インスタンスは複数のノードにまたがって起動させることはできないので、インスタンスに割り当てられる計算機資源はノードの計算機資源を超えることはできない。

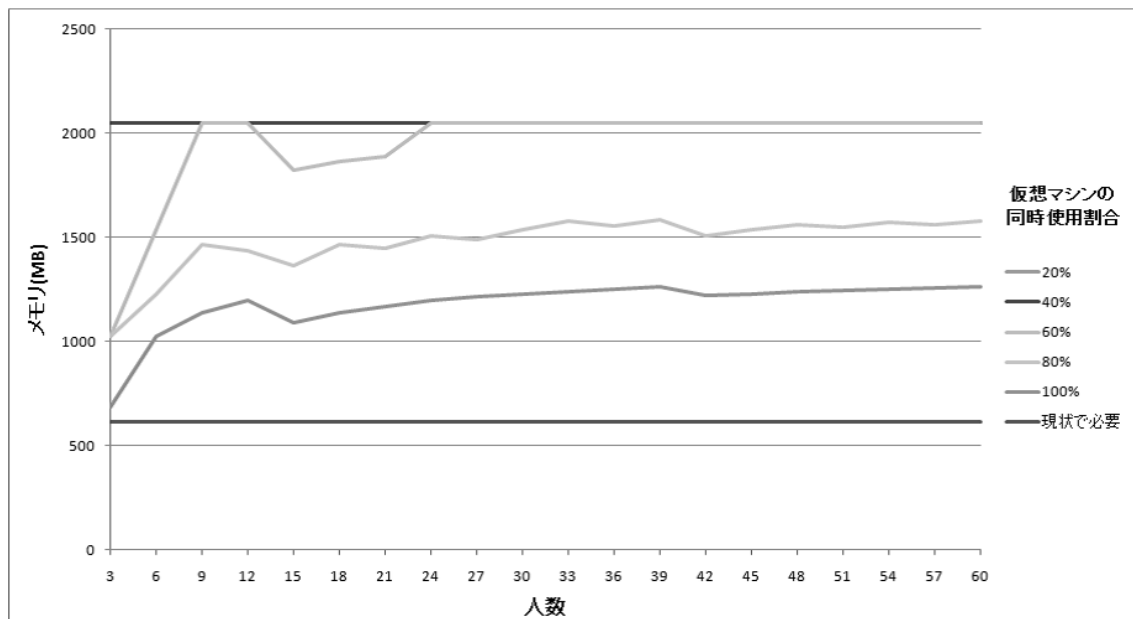


図 5.5: 現環境の予算でクラウド環境を構築した場合の、仮想マシン 1 台あたりに掛けられる資源の平均 (メモリ)

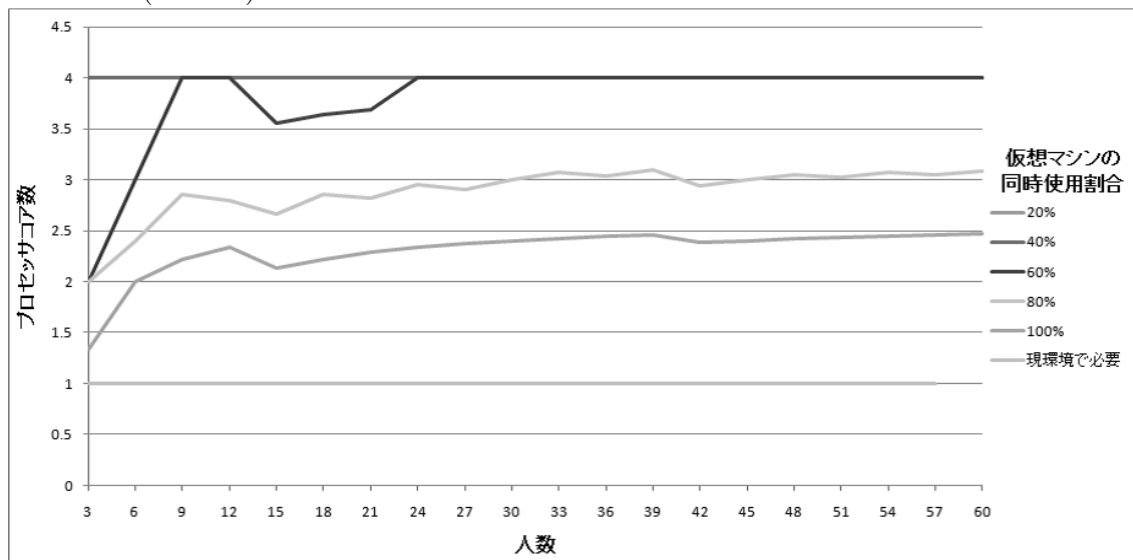


図 5.6: 現環境の予算でクラウド環境を構築した場合の、仮想マシン 1 台あたりに掛けられる資源の平均 (プロセッサコア)

5.4 Eucalyptus インスタンスの性能調査

5.4.1 Eucalyptus 環境

Eucalyptus でインスタンス (仮想マシン) を走行させるノードの性能を表 5.6 に示す。

表 5.6 Eucalyptus を起動させているノードの計算機資源

プロセッサ	Intel Corei7 i7-860
メモリ	8.00GB
OS	Ubuntu 9.10

インスタンスを稼働させるノードのプロセッサには、コアが 4 つ装備されており、マルチスレッド処理を行っている。OS から見るとコアが 8 個あるように見えるため、Eucalyptus もノードにはコアが 8 個あるものとして処理を行っている。Eucalyptus は、インスタンス 1 つにつき 1 つ以上のプロセッサコアを割り当てるため、本実験で用いたノードではインスタンスを 8 つまで起動させることができる。

5.4.2 CPU ベンチマーク

インスタンス環境

本実験では、Eucalyptus で作成する仮想マシンのインスタンスとして表 5.8 の計算機資源を割り当てた。

表 5.7 インスタンスの計算機資源

プロセッサコア数	1 個
メモリ	256MB
OS	Ubuntu 9.10

測定結果

図 5.7 は、複数のインスタンスに対し、同時刻にそれぞれのインスタンスで、CPU の演算性能を測定する dhrystone ベンチマークを実行した結果を示したものである。同時に dhrystone

ベンチマークを実行するインスタンスの個数を増やしていき，10 回測定したベンチマーク結果の平均をまとめたものである．

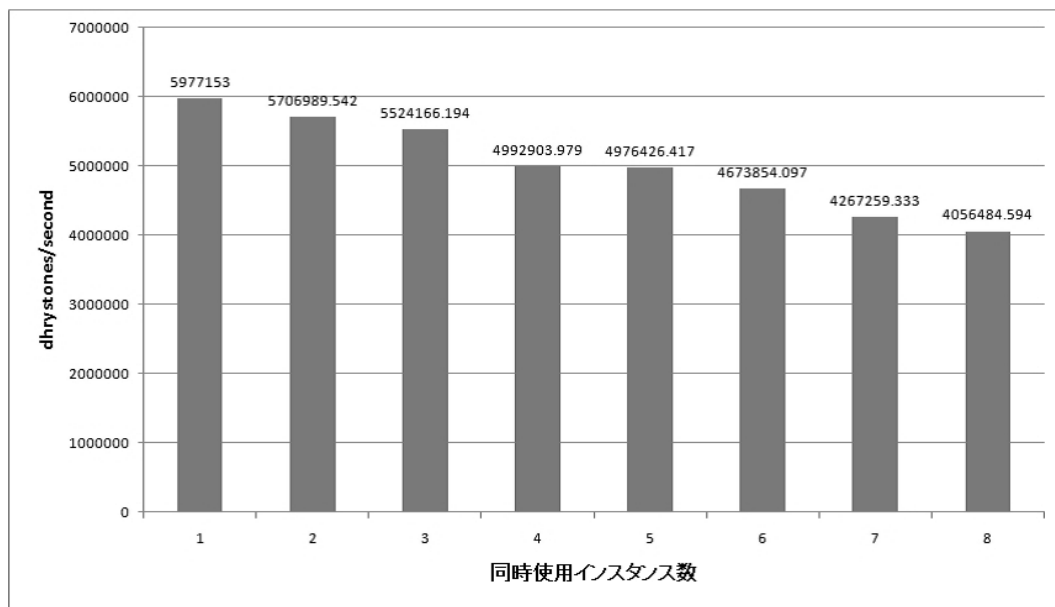


図 5.7 インスタンスの個数に対する dhrystone ベンチマーク測定結果

同時に負荷をかけるインスタンスを増やしていくと各インスタンスの CPU 処理性能が低下することがわかる．この結果より，インスタンス同士は仮想化して独立しているが，内部的には影響を及ぼしていることがわかる．

また，同時に負荷をかけるインスタンス数を増やすごとに，各インスタンスの性能は単純に低下している．これより，Eucalyptus では実プロセッサコアとマルチスレッド処理によって作成された仮想プロセッサコアを区別することなく使用している事がわかる．

また，同様の dhrystone ベンチマークをインスタンスを起動させるサーバと計算機資源を最大限割り当てたインスタンスでも測定した．インスタンスにはサーバが持っている計算機資源全てを割り当てることができなかった．そのため，表 5.8 の計算機資源を割り当てた．

表 5.8 資源を最大限割り当てたインスタンスの計算機資源

プロセッサコア数	8 個
メモリ	7808MB
OS	Ubuntu 9.10

図 5.8 は，サーバと計算機資源を最大限割り当てたインスタンスでのベンチマーク測定結果を示したものである．

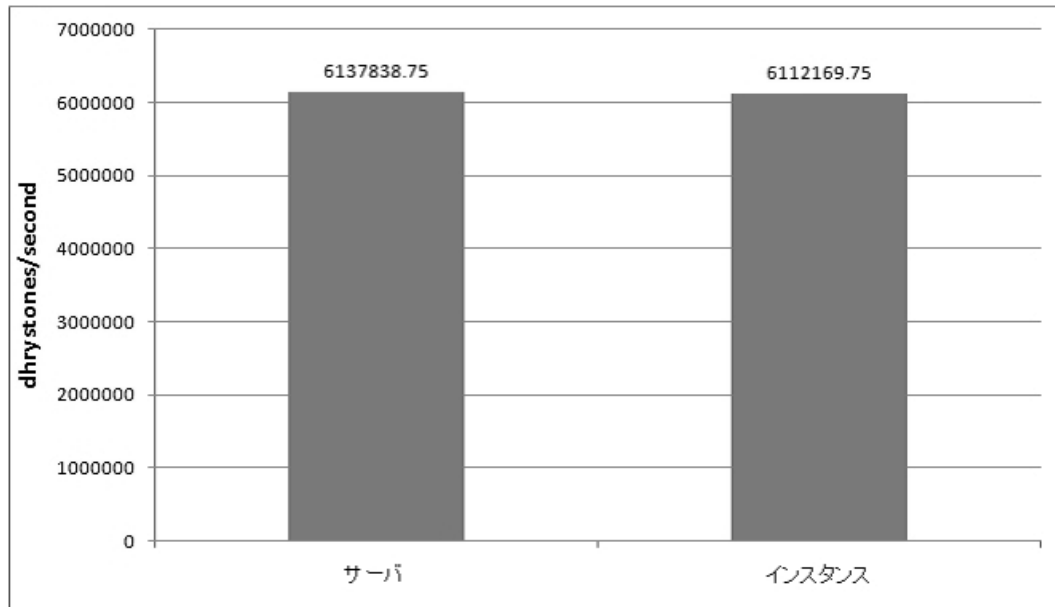


図 5.8 サーバとインスタンスの dhrystone ベンチマーク測定結果

5.4.3 ネットワークベンチマーク

インスタンス環境

本実験では，Eucalyptus で作成するインスタンスに表 5.8 と同じ計算機資源を割り当てた．

測定結果

図 5.9 は，複数のインスタンスに対して，ネットワーク速度を測定する apache ベンチマークを同時に実行した結果を示したものである．図 5.9 では，1 秒あたりの処理リクエスト数の結果を示している．apache ベンチマークを測定するインスタンスは，いずれも同じノード上で起動している．同時に apache ベンチマークを実行するインスタンスの個数を増やしていき，10 回計測を行い，平均を求めた．それぞれのインスタンスにはリクエスト数が 3000，同時リクエスト数が 100 の負荷をかけた．

また，インスタンスが起動するサーバに対しても，同様の apache ベンチマークを測定した．

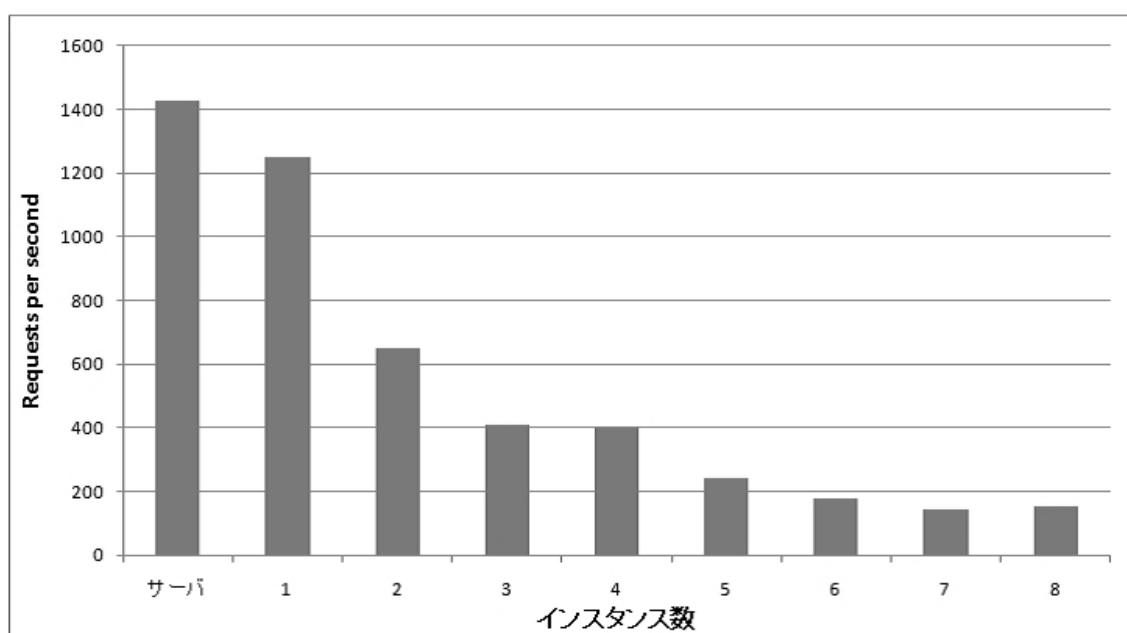


図 5.9 apache ベンチマーク測定結果 (1 秒あたりの処理リクエスト数)

同時にネットワークに負荷をかけるインスタンスの数が増えるにつれ，リクエストの返答に時間がかかることがわかる．

また，サーバとインスタンスでも差がでている．これは Eucalyptus のネットワークの特性にあると思われる．

Eucalyptus では，外部からインスタンスにアクセスする際には直接サーバ内のインスタンスにアクセスするのではなく，一旦 Eucalyptus のフロントエンドにアクセスし，インスタンスの位置を取得する．そのため，インスタンスのネットワークベンチマーク結果はサーバよりも低下する．

5.5 実験結果の考察

本実験で判明したことは次の 3 点である

- (1) クラウドコンピューティングは現環境よりも金銭的成本が低いとは限らない

クラウドコンピューティングは 2.2.1 項で示したように，金銭面でのコストが低いとされている．しかし，組織内でクラウド環境を構築して利用するには，クラウドコンピューティングサービスを受ける端末の電気代に加え，クラウドコンピューティング

サービスを提供するサーバの電気代もユーザが支払う必要がある．現環境では個人が使用する計算機の電気代しか必要ないので，クラウド環境の方が電気代が掛かるのは明らかである．図 5.4 では，1ヶ月間の電気代は 500 円から 1000 円ほど現環境の方が低いことがわかる．

しかし，5.3.2 項では初期設備投資はクラウド環境の方が現環境よりも低いことがわかった．図 5.3 より，組織内でクラウド環境を構築するにも関わらず，一定の人数が所属しているならば仮想マシンを同時に起動させる割合それぞれで，金銭的なコストはほぼ一定になることがわかる．今回の例では，30 人以上が所属している組織では仮想マシンの同時起動割合に関係なく 1 人あたりの初期設備投資金は大体一定であり，1 人あたり約 3 万円から 6 万円をクラウド環境の方が初期設備投資金額を抑えることができる．

また，図 5.2 では組織全員分の仮想マシンが同時に起動できる計算機資源を用意する際，必要な初期設備投資金額がわかる．今回の例では，クライアントマシンを購入しない場合は，組織の人数が 3 人以上の時に現環境よりもクラウド環境の方が初期設備投資は少なくて済む．そして，人数が増加するほど，現環境との差は大きくなる．これより，組織に属する人数が 3 人未満の場合を除き，現環境に比べてクラウド環境の方が初期投資金額を少なく抑えられることが分かる．

この結果より，図 5.10 では，30 人の組織での現環境とクラウド環境を運用した際の初期投資金額と電気代を合わせた，総合的な金銭的成本を示す．ここでは仮想マシンの同時使用割合を 100 % として試算を行った．これより，組織に属する人間が 30 人であれば，運用から約 30 ヶ月で現環境の方がクラウド環境よりも低くなることがわかる．また，計算機のレンタル価格は，現状で使用している計算機資源を持つものは一人当たり 6,000 円/月から 9,000 円/月ほどである．30 ヶ月の運用では計算機を用意する金額で 18 万円から 27 万円であり，現環境，クラウド環境よりも金銭的成本が掛かるのは明らかである．これより，クラウド環境は現環境と比較して金銭的成本が低いとは限らない．しかし，30 ヶ月未満の中期的な運用であるならば，クラウド環境は有益であるといえる．

- (2) 現環境の試算でクラウド環境を構築した場合，個人には十分な計算機資源が割り当てられる

5.3.4 項より，現環境でクラウド環境を構築した際の個人に割り当てることができる計算機資源がわかった．図 5.5，5.6 より，現環境での試算でクラウド環境を構築した場合，作業に必要な資源と比べてメモリを約 2 倍から 3 倍，CPU コアを約 2 倍から 4 倍

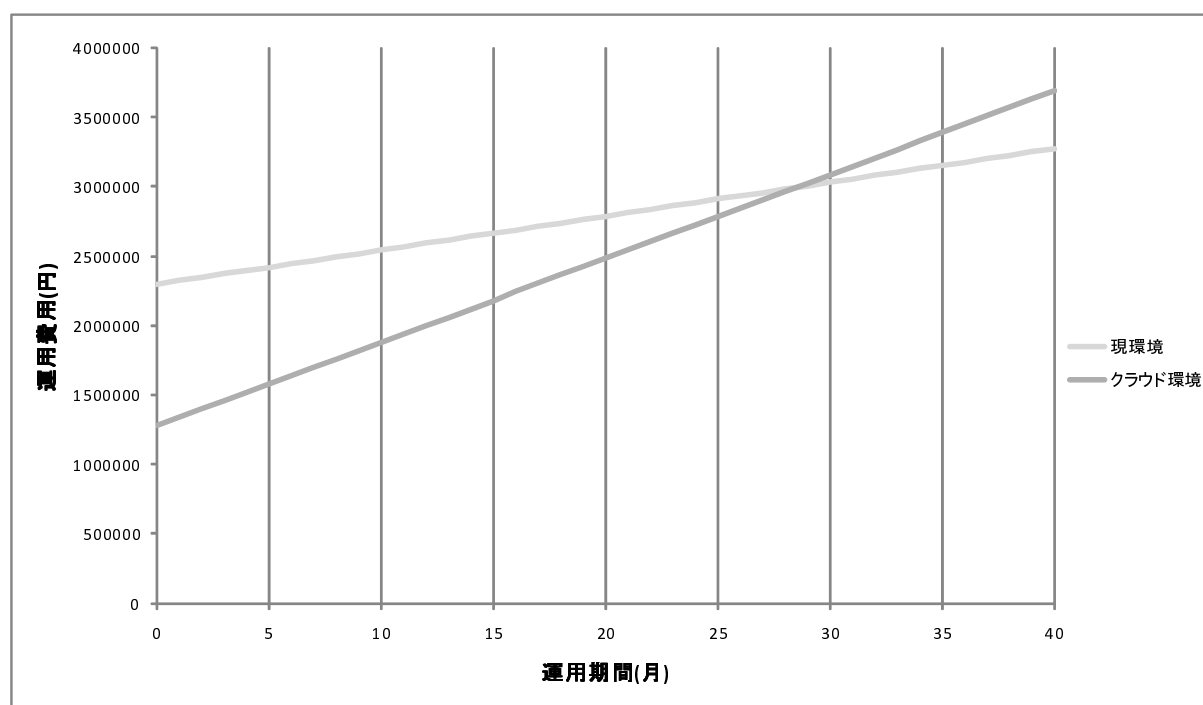


図 5.10 30 人での現環境とクラウド環境での総合的な金銭的成本

割り当てることができることが示されている。これより、現環境を構築するのに必要な初期投資金額でクラウド環境を構築すると、個人には作業するのに十分な計算機資源を割り当てることができることがわかる。

(3) Eucalyptus で構築したクラウド環境は組織内で使用するだけの性能がある

5.4 項より、Eucalyptus でのインスタンスの負荷に対する性能を測定した。図 5.11 は、図 5.7 の結果に加え、現環境で使用しているマシンの dhrystone ベンチマーク測定結果を示したものである。これより、今回の実験環境で作成したインスタンスは、同時に負荷をかけても現環境で使用しているマシンの、作業に必要である性能の 30 % 以上の結果を示す事がわかる。

図 5.9 は Eucalyptus のインスタンスに apache ベンチマーク測定を行った結果である。ネットワーク速度は同時に負荷を掛けるインスタンスを増やしていくと、ネットワーク速度は大きく低下している。しかし、ウェブサーバでもない限り、頻繁にリクエスト要求がくるとは考えにくい。そのため、作業を行うためにはこの性能でも十分であると判断できる。

これより、Eucalyptus を用いたクラウド環境は、組織内で使用するだけの性能がある

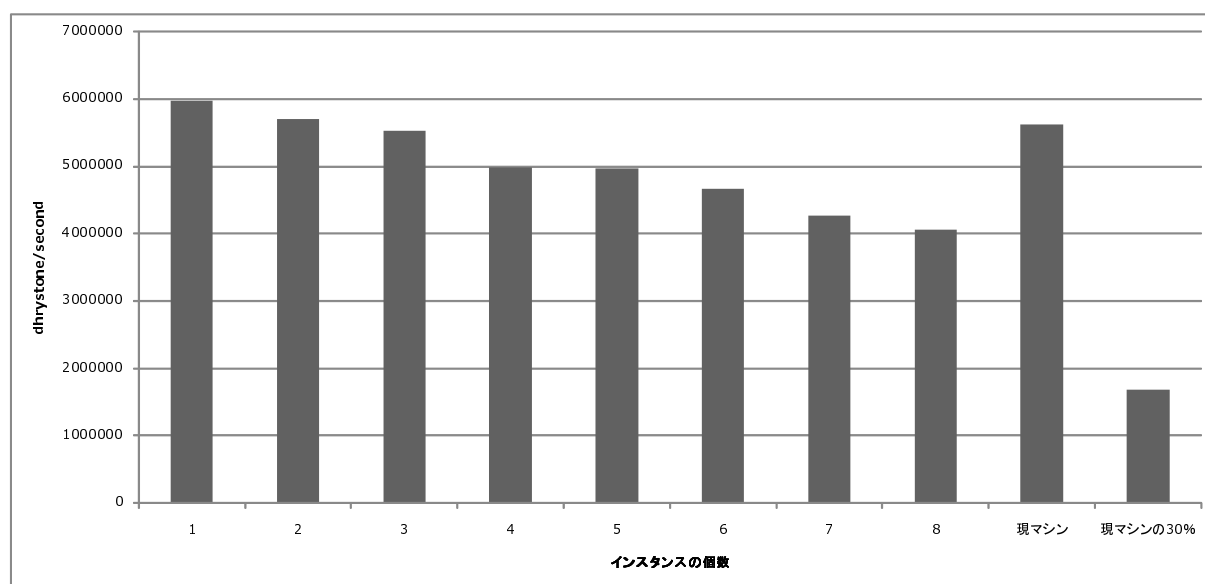


図 5.11 dhrystone ベンチマーク測定

ことがわかる .

第 6 章

おわりに

本論文では組織内でのクラウドコンピューティングの利用について述べた。まず、クラウドコンピューティングの概要と長所、短所について述べた。次に、組織内でクラウドコンピューティングを構築する際の不明な点について述べた。ここで、不明な点について調査するため、研究室にクラウドコンピューティング基盤ソフトウェアである Eucalyptus を導入し、クラウド環境を構築して実験を行った。

調査として、クラウド環境と現環境での初期投資金額や電気代を試算し、運用に掛かる金額の試算を行った。また、Eucalyptus に負荷実験を行い、Eucalyptus で構築した組織内クラウドは使用に耐えられるかどうか調査した。これらにより、現環境とクラウド環境の運用資金の差異、クラウド環境を構築するのに適切な組織の規模について示した。

残された課題として、組織内でのクラウドコンピューティングの運用方法の確立、クラウドコンピューティングサービスを提供する企業との運用上での差異の明確化がある。

謝辞

本研究を進めるにあたり，懇切丁寧なご指導をしていただきました乃村能成准教授に心より感謝の意を表します．また，研究活動において，数々のご指導やご助言を与えていただいた谷口秀夫教授，田端利宏准教授，および後藤祐介助教に心から感謝申し上げます．

また，日頃の研究活動において，お世話になりました研究室の皆様に感謝いたします．

最後に，本研究を行うにあたり，経済的，精神的な支えとなった家族に感謝いたします．

参考文献

- [1] 中田 敦, “ クラウド大全 ”, 日経 BP 社 (2009) .
- [2] Amazon, “ Amazon Elastic Compute Cloud (Amazon EC2) ”, <http://aws.amazon.com/ec2/>.
- [3] Salesforce, “ クラウド・プラットフォーム Force.com - salesforce.com 日本 ”, <http://www.salesforce.com/jp/platform/>.
- [4] Google, “ Google App Engine - Google Code ”, <http://code.google.com/intl/ja/appengine/>.
- [5] animoto, “ animoto ”, <http://animoto.com/>.
- [6] Eucalyptus, “ Eucalyptus ”, <http://open.eucalyptus.com/>.
- [7] 情報処理学会, “ 『情報処理』第 50 巻第 11 号 ”, 情報処理学会, (2009) .
- [8] VDE - Virtual Distributed Ethernet, “ VDE - Virtual Distributed Ethernet ”, <http://vde.sourceforge.net/> .
- [9] Intel, “ Intel Virtualization Technology List ”, <http://ark.intel.com/VTList.aspx> .
- [10] Amazon, “ Amazon Web Services Developer Community : Elasticfox Firefox Extension for Amazon EC2 ” , <http://developer.amazonwebservices.com/connect/entry.jspa?externalID=609> .
- [11] Eucalyptus (OSS Elastic Computing) 日本語情報, “ Eucalyptus 対応の Elasticfox ”, <http://eucalyptus.linux4u.jp/wiki/index.php?Elasticfox> .
- [12] Google, “ appscale - Project Hosting on Google Code ”, <http://code.google.com/p/appscale/>.
- [13] I. Foster and C. Kesselman, “ Computational grids, ” in The Grid: Blueprint for a Future Computing Infrastructure, ch. 2, Morgan Kaufmann , (1998).

-
- [14] mozilla, “ Firefox3.5 システム要件 ”, <http://mozilla.jp/firefox/system-requirements> .
- [15] 中国電力株式会社, “ 料金単価表 (平成 20 年 9 月 1 日以降) < 高圧 (契約電力 500kW 未満) のお客さま [業務用] > ”, <http://www.energia.co.jp/business/free/high-3a.html> .