

Eucalyptus を用いたプライベートクラウドのシステム構成 変化時における消費電力量評価

笠江優美子[†] 豊島 詩織[†] 小口 正人[†]

[†] お茶の水女子大学 〒112-8610 東京都文京区大塚 2-1-1

E-mail: [†]{yumiko,shiori}@ogl.is.ocha.ac.jp, ^{††}oguchi@computer.org

あらまし 近年、ネットワーク技術や仮想化技術の発展などによりクラウドコンピューティングが様々な形で社会に普及している。しかし、それに伴いクラウドを提供する側における IT 機器の消費電力量増加が問題となっている。そこで本研究では、特にセキュリティの観点からも今後の発展が予想されるプライベートクラウドに注目し、クラウド構築ソフトウェア Eucalyptus を用いて実際にプライベートクラウドを構築し実験を行った。構築したクラウドにおいて、インスタンス数を変えるなどシステム構成を変化させ、ベンチマーク実行時やインスタンス起動、終了時における実行時間と消費電力を測定し、性能と消費電力の相関関係等の評価を行うことで、省電力を考慮したプライベートクラウド実現を目指す。

キーワード Eucalyptus, クラウドコンピューティング, プライベートクラウド, 消費電力量, 省電力化

Study on Evaluation of Energy Consumption using Private Cloud System with Various Configuration

Yumiko KASAE[†], Shiori TOYOSHIMA[†], and Masato OGUCHI^{††}

[†] Ochanomizu University 2-1-1 Otsuka, Bunkyo-ku Tokyo 112-8610 JAPAN

E-mail: [†]{yumiko,shiori}@ogl.is.ocha.ac.jp, ^{††}oguchi@computer.org

1. はじめに

近年、インターネット回線の高速化や、仮想化技術、グリッドコンピューティング技術の進展によって、クラウドコンピューティングという新しいコンピュータの利用形態が生まれた。クラウドコンピューティングとは、ネットワークの向こう側からコンピュータシステムを使う上での様々な機能をサービスとして提供するというものである。ユーザとしては、最低限の接続環境のみでも利用ができ、デバイスを選ばないなど多くのメリットがある。このことから、クラウドコンピューティングは様々な形となって社会に急速に普及している。

しかし、この普及に対し、世界的なエコ志向による IT 機器のグリーン化の考えが浸透することによって、クラウドを提供する側がかかえるサーバなどの IT 機器の消費電力の増加が問題となっている。その解決策として、電源供給装置や空調設備などのファシリティの改善や、IT 機器の消費電力量低減があるが、これらを導入することはコストの観点からも必ずしも容易ではない。そこでソフトウェアおよびシステム構成の観点からの消費電力量の削減が望まれている。

このことから、本研究では、クラウドの中でも特にプライベートクラウドに注目し、その消費電力の低減をソフトウェアの観点から考えていく。そのために、クラウド構築ソフトウェア Eucalyptus [1] を用いてプライベートクラウドを実際に構築し、そのシステム構成を変化させた場合における消費電力を測定、評価を行った。

2. 研究背景

2.1 プライベートクラウド

クラウドは、パブリッククラウドとプライベートクラウドに大別できる。パブリッククラウドとは、プロバイダから提供されるクラウドであり、Amazon EC2 [2] や salesforce.com [3] の提供するクラウドが代表例としてあげられる。ユーザが余分な IT 機器を持たずとも、インターネットの向こう側から提供されるコンピュータシステムの様々な機能を、手軽に利用できることがメリットであるが、その際に一時的にでもデータをプロバイダ側に預けなければならず、セキュリティ上の不安がある。また、一般にパブリッククラウドは、地理的に遠方に存在する可能性が多いため、アクセス性能などが問題になることがある。

その問題点を解決するものとして、プライベートクラウドが期待されている。プライベートクラウドは、ユーザ自身がクラウドを構築することによって、セキュリティに配慮するなどのユーザのニーズに合ったクラウドを提供することが可能である。特に大規模な企業などが使うクラウドとして注目されている。

これら 2 種類のクラウドの普及により、クラウドを提供する側における消費電力量の増大が問題となっているが、その解決へのモチベーションは両者では異なる。パブリッククラウドでは、すべてのユーザにサービスとして様々な機能を提供しなければならないため、安定供給を重視しなければならない。省電力化へ取り組みづらい面を持つ。それに対し、プライベートクラウドは、その取り組みがユーザ自身に還元されるため、今後取り組みへの活発化が予想される。そのことから、本研究では、プライベートクラウドに注目し、実際にプライベートクラウドを構築したうえで、その消費電力量の削減を考えていく。

2.2 Eucalyptus

本研究では、クラウド構築基盤ソフトウェア Eucalyptus を用いてプライベートクラウドを構築した。Eucalyptus とは、カリフォルニア大学サンタバーバラ校の研究プロジェクトとして開発されたものであり、クラスタ化した複数のサーバのリソース管理機能を備えたオープンソースソフトウェアである。Amazon EC2/S3 と互換性があることも特徴である。

そのシステム構成を図 1 に示す。Eucalyptus では、Cloud controller (CLC)、Cluster controller (CC)、Node controller (NC) の 3 層構造となっている。CLC では EC2 互換のインターフェイスを備え、ユーザから指示された内容に基づいた各種の制御を行い、CC ではインスタンス間、インスタンスとクラウドの外部の間のネットワークの制御や、NC のスケジューリングを行う。NC は実際にインスタンスを動作させる。インスタンスとは、クラウドから提供される仮想マシンである。Eucalyptus のシステム構成では、CLC と CC を同一のサーバで、NC は一つのサーバだけでも動作させることが可能なため、最低 2 台のサーバでクラウドを構築可能である。

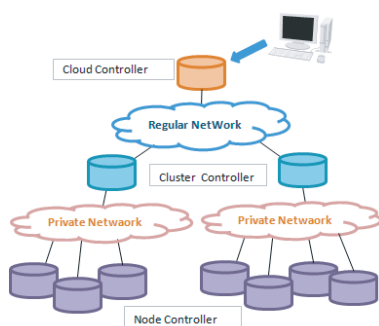


図 1 Eucalyptus のシステム構成

3. 実験システム

本章では本実験で使用した実験環境を示す。本研究では、プライベートクラウドのシステム構成を 3 パターンに変化させ、その上でさらに、使うインスタンスの個数を変化させた場合において、インスタンスの起動処理、終了処理、データベースバ

ンチマーク pgbench を使ってインスタンスのローカルディスクに負荷をかけたときの消費電力を測定し、評価した。図 2~5 に本研究の実験環境を示す。

3.1 実験環境

本研究で構築したプライベートクラウドを図 2 に示す。

CLC と CC が動作する Frontend サーバ 1 台と、NC が動作する Node サーバ 3 台の計 4 台でクラウドを構築した。frontend サーバとしては、DELL DIMENSION 9200, CPU が Intel Core 2 Duo 2.13 GHz, Memory が 1GB, OS が Debian GNU/Linux 5.0 を用いた。Node サーバ 1,2 では、Power Edge T100, CPU が Intel Quad-Core Xeon CPU 2.60GHz, Memory が 8GB, OS が Xen 3.2-1-i386/Debian GNU/Linux を用いた。Node サーバ 3 では、DELL DIMENSION 9200, CPU が Intel Core 2 Duo 2.13 GHz, Memory が 1GB, OS が Xen 3.2-1-i386/Debian GNU/Linux を用いた。

Frontend サーバには、ネットワークの口が 2 つあり、1 つが Node サーバへ、もう一つが外部のネットワークへ繋がっている。これによって、Node サーバは外部のネットワークからは独立されている。

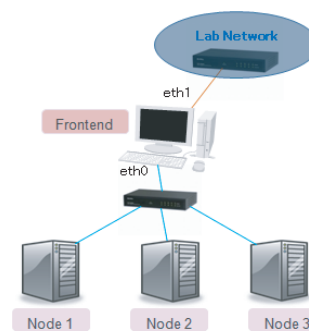


図 2 構築したプライベートクラウド

この実験環境で電力を測定するための測定機として、システムソフトウェア製の高精度小型電力計ワットアワーメータ SHW3A [4] を用いた。これは、コンセントに接続させたワットアワーメータに電気製品を繋ぐと、瞬時に消費電力を測定、表示するというものである。

3.2 システム構成の変化

3.2.1 実験環境 1: Node サーバ 1 のみでインスタンスを動作させる場合

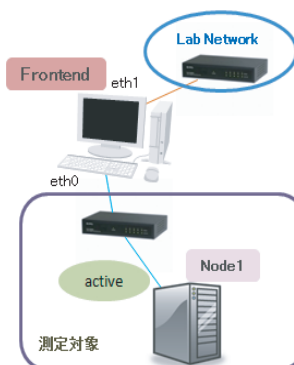


図 3 実験環境 1 でのプライベートクラウドのシステム構成

まず、消費電力の測定対象を、図3に示すように、Nodeサーバ1と、NodeサーバとFrontendサーバを繋ぐHubとした場合の実験を行った。この環境ではインスタンスが最大4つまで利用可能なため、インスタンス個数を1から4まで変化させた場合における、インスタンスの起動、pgbenchによる負荷、インスタンスの終了の消費電力を測定した。

3.2.2 実験環境 2:Nodeサーバ1と2を測定対象し、Nodeサーバ1のみでインスタンスを動作させる場合

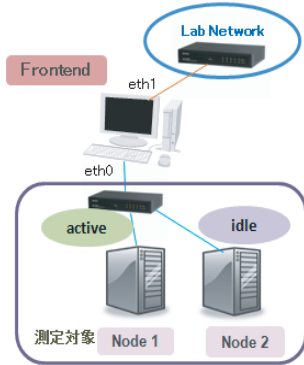


図4 実験環境2におけるプライベートクラウドのシステム構成

次に図4のように、消費電力の測定対象をNodeサーバ1,2と、FrontendサーバとNodeサーバを繋ぐHubにした場合の消費電力を測定した。しかし、この環境では、Nodeサーバ1のみでインスタンスを動作させ、Nodeサーバ2は常にアイドル状態である。この環境でも、インスタンス個数を1から4まで変化させた場合における、インスタンスの起動、pgbenchによる負荷、インスタンスの終了の消費電力を測定した。

3.2.3 実験環境 3:Nodeサーバ1と2を測定対象とし、その2台でインスタンスを分散させて動作させる場合

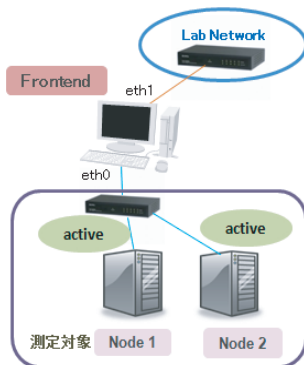


図5 実験環境3におけるプライベートクラウドのシステム構成

最後に図5のように、消費電力の測定対象をNodeサーバ1,2と、FrontendサーバとNodeサーバを繋ぐHubにした場合の消費電力を測定した。これは、実験環境2と変わらないシステム構成であるが、実験環境3では、使うインスタンスをNodeサーバ1と2で分散させる。この実験環境でも、利用するインスタンスを1から4まで変化させ、その起動、pgbenchによる負荷、インスタンスの終了の消費電力を測定した。

実験環境3は、複数ノード私用時に、出来るだけ均等に負荷を分散した場合であり、逆に実験環境2は負荷を最も偏らせた場合と考えられる。

4. 消費電力測定結果

実験環境1から3において行った各実験の結果を、インスタンスの起動、pgbenchによる負荷、インスタンスの終了の3つに分類し、比較を行う。

4.1 システム構成変化による起動時の消費電力の比較

図6から図8に、上記3つの実験環境における、インスタンスの起動処理時の消費電力の推移を示す。

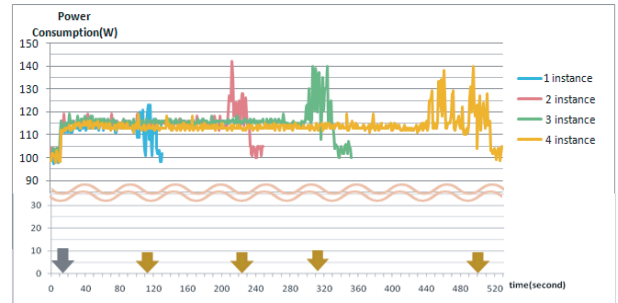


図6 実験環境1における起動時の消費電力の推移

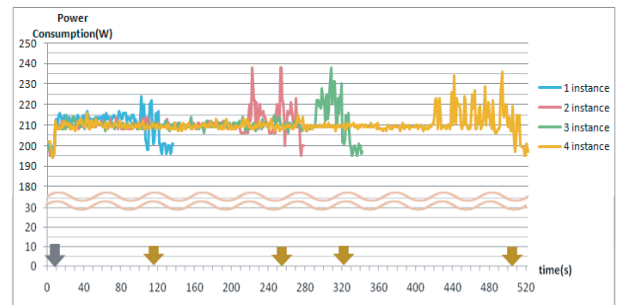


図7 実験環境2における起動時の消費電力の推移

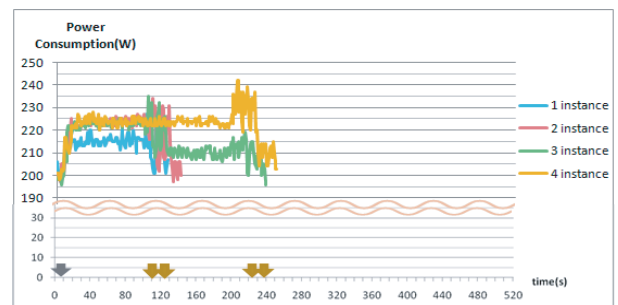


図8 実験環境3における起動時の消費電力の推移

各図では、一番目の矢印がインスタンスを起動させるコマンドを発行したタイミングで、二番目の矢印以降が順に、1つのインスタンスを起動させた時に起動が完了した場所、インスタンスを2つ起動させた時に起動が完了した場所、インスタンスを3つ起動させた時に起動が完了した場所、インスタンス4つを起動させた時に起動が完了した場所である。起動が完了し、消費電力が落ち着いたところで測定を終了している。

この3つの図から共通して言えることは、インスタンス数に

関わらず、起動を開始してからある程度までは一定の消費電力が続く、起動が完了する前後で消費電力の値が上下しているということである。

また、図 6 と図 7 では、インスタンスを動作させる環境がほぼ変わらないことから、グラフの形状が似ているが、図 8 では異なっている。これは、実験環境 3 においては、インスタンスを Node サーバ 1 と Node サーバ 2 で分散させて起動させるためである。また、この図から、起動させるためにかかった時間も実験環境 1,2 と比較して少なくなっていることがわかる。

各測定において、起動にかかった時間と消費電力量をまとめたものを表 1 に示す。また、図 9、図 10 にインスタンス数による、起動時の消費電力量と起動にかかった時間の比較結果を示す。

表 1 起動にかかった時間と合計消費電力量

インスタンス数	1	2	3	4
実験環境1				
起動完了までの時間(s)	123	238	358	505
消費電力量(W・s)	14354	27751	41858	59632
実験環境2				
起動完了までの時間(s)	125	236	369	507
消費電力量(W・s)	26547	50000	78344	107580
実験環境3				
起動完了までの時間(s)	122	132	225	249
消費電力量(W・s)	26149	29686	49096	55774

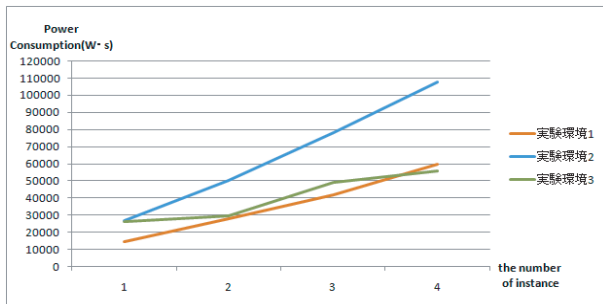


図 9 本実験におけるインスタンス数による起動時の消費電力量の比較

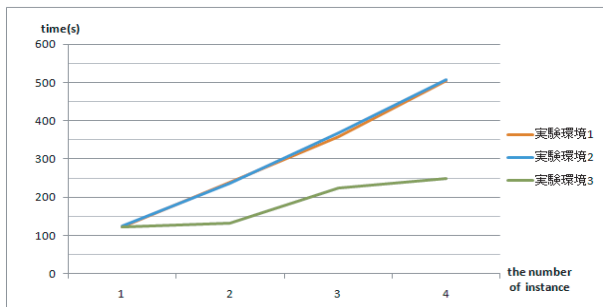


図 10 本実験におけるインスタンス数による起動時間の比較

表 1 と図 9、図 10 により、実験環境 1 と 2 では、インスタンスの数が上がるにつれて、起動にかかる時間や消費電力量が比例的に増えていくのに対し、実験環境 3 では、増加傾向であるが異なっていることがわかる。

また、実験環境 3 と実験環境 2 で消費電力量を比べると、全体的に実験環境 3 の方が小さいことが分かる。それに対し、実験環境 3 と実験環境 1 を比べると、実験環境 3 では 2 台のサーバを動かしているため、ベースの消費電力が大きくなっており、インスタンス数 1 から 3 では、実験環境 3 のほうが実験環境 1 より消費電力量が大きい、実験環境 1 ではインスタンスの数を増やしていくとその起動に時間がかかり、消費電力量が大き

くなっていくため、4 つのインスタンスを起動させた場合になると、その大小関係が逆転していることが分かる。

4.2 システム構成変化による pgbench を使った負荷の消費電力量の比較

図 16 から図 18 に、上記 3 つの実験環境における、pgbench 実行時の消費電力の推移を示す。

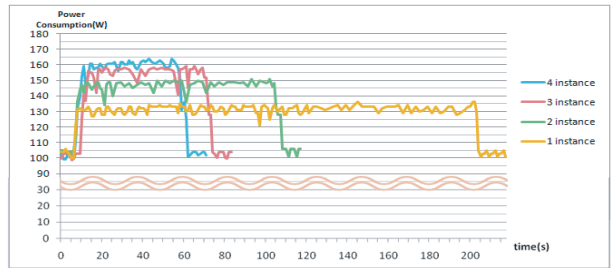


図 11 実験環境 1 における pgbench の負荷の消費電力の推移

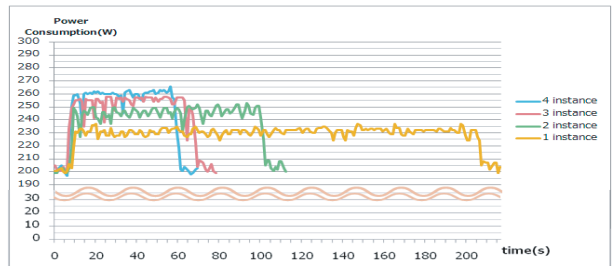


図 12 実験環境 2 における pgbench の負荷の消費電力の推移

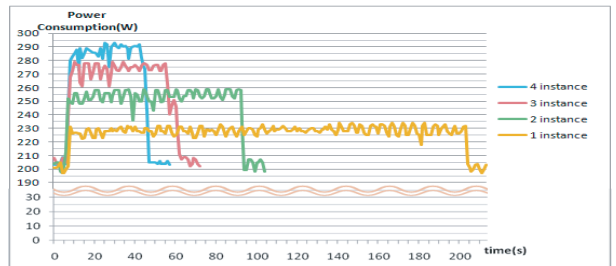


図 13 実験環境 3 における pgbench の負荷の消費電力の推移

pgbench というベンチマークは、PostgreSQL のベンチマークテストを行うためのプログラムであり、サーバ側データベースの基本的なベンチマークに用いられる TPC-B を基に作成されている。pgbench では、クライアント数、トランザクション数が指定できることから、本実験では、利用するインスタンスで合計クライアント数が 24(つまり、1 インスタンスあたり 24/利用するインスタンス数) となるようにし、また 1 クライアントあたりのトランザクション数は 10000 と指定した。

各図において共通にいえることは、インスタンス数が増えるにつれて実行時間は短くなっていくが、単位時間当たりにおける消費電力は大きくなっていく。これは、分散して負荷をかけられている分、実行時間は短くなっていくが、同時に多くの CPU (コア) を使うため、消費電力が大きくなっていると考えられる。

表 3 に、各測定において、pgbench による負荷をかけた場合の、実行時間と単位時間当たりにおける平均消費電力、およ

び、その消費電力量を示す。また、図 19、図 20 にインスタンス数による、pgbench 実行時の消費電力量と実行時間の比較結果を示す。

表 2 pgbench の実行時間と平均消費電力、および消費電力量

インスタンス数	1	2	3	4
実験環境1				
実行時間(s)	196	96	60	52
実行時の平均消費電力(W)	133	148	160	162
消費電力量(W・s)	26063	14176	9607	8490
実験環境2				
実行時間(s)	197	96	61	52
実行時の平均消費電力(W)	231	246	252	257
消費電力量(W・s)	45408	23676	15453	13314
実験環境3				
実行時間(s)	196	88	54	40
実行時の平均消費電力(W)	230	253	268	285
消費電力量(W・s)	45051	22262	14584	11256

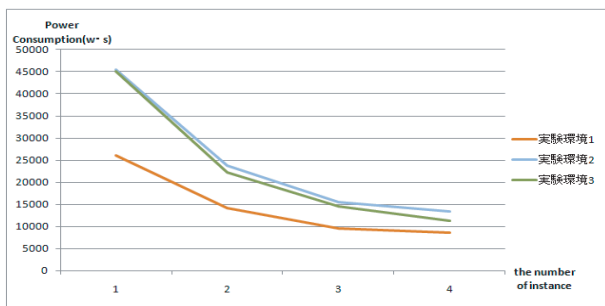


図 14 本実験におけるインスタンス数による pgbench 実行時の消費電力量の比較

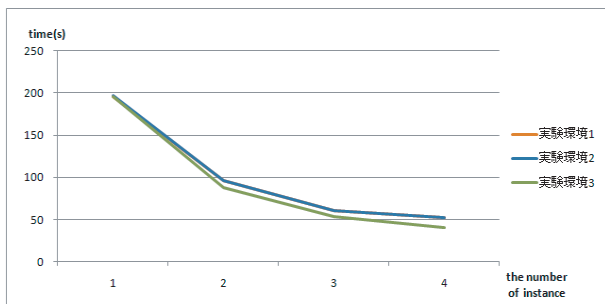


図 15 本実験におけるインスタンス数による pgbench 実行時間の比較

表 3 と図 19,20 により、各実験環境では、インスタンス数が増えれば、単位時間当たりの平均消費電力は増えるが、実行時間が短くなるので、消費電力量は小さくなっていくことがわかる。表 3 において、実験環境 3 と実験環境 2 を比べると、単位時間当たりの平均消費電力は、基本的に実験環境 3 のほうが大きいのにに対し、実行時間は実験環境 2 のほうが長いことから、消費電力量は実験環境 3 のほうが小さくなっている。さらに、図 19 において、実験環境 2 と 3 を比べるとかなり似たグラフとなっているが、インスタンス数が増えるに連れて徐々に値の開きがみられる。このことから、この 2 つの実験環境において、もしこれ以上インスタンス数を増やすことが可能な場合には、その値の差はさらにひらいていくことが予想される。

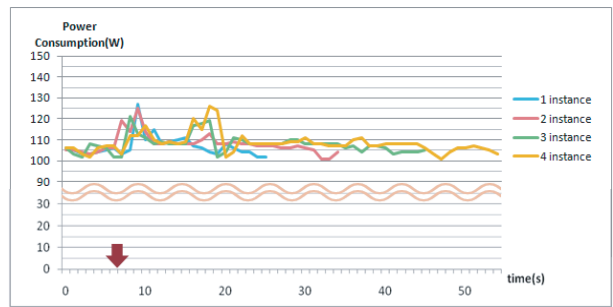


図 16 実験環境 1 における終了時の消費電力の推移

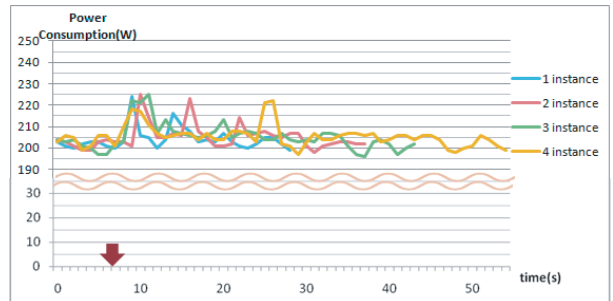


図 17 実験環境 2 における終了時の消費電力の推移

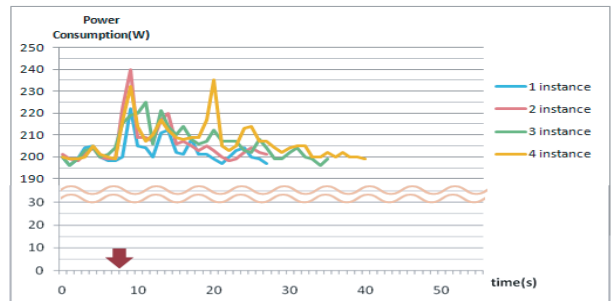


図 18 実験環境 3 における終了時の消費電力の推移

4.3 システム構成変化による終了時の消費電力の比較

図 11 から図 13 に、上記 3 つのシステム構成を変化させた場合の、インスタンス終了処理時の消費電力の推移を示す。

各図では、矢印がインスタンスの終了処理を開始した場所であり、そのタイミングがすべて同じになるようにグラフを作成した。インスタンスの終了処理が完了し、電力値が落ち着いてから測定を終了している。

インスタンスの終了処理は必ずしもベストな方法で行う必要がないため、各実験環境における推移としては共通点が見つづらい結果となった。

表 2 に、各測定において、終了するまでにかかった時間とその消費電力量を示す。また、図 14、図 15 にインスタンス数による、終了処理時の消費電力量と終了にかかった時間の比較結果を示す。

表 3 終了にかかった実行時間と消費電力量

インスタンス数	1	2	3	4
実験環境1				
終了完了までの時間(s)	12	19	29	37
消費電力量(W・s)	1324	2086	3178	4070
実験環境2				
終了完了までの時間(s)	10	20	30	38
消費電力量(W・s)	2133	4159	6077	7826
実験環境3				
終了完了までの時間(s)	11	11	19	25
消費電力量(W・s)	2352	2273	4021	5341

表 2 と図 14、図 15 により、どの実験環境でもインスタンスの

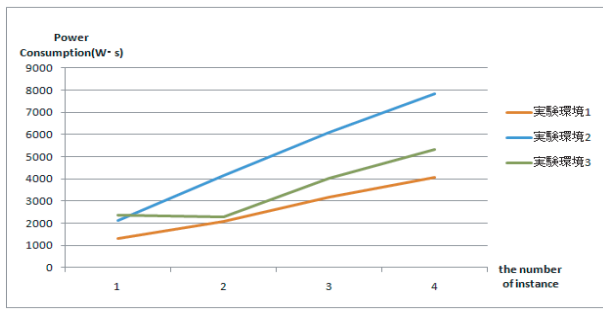


図 19 本実験におけるインスタンス数による終了時の消費電力量の比較

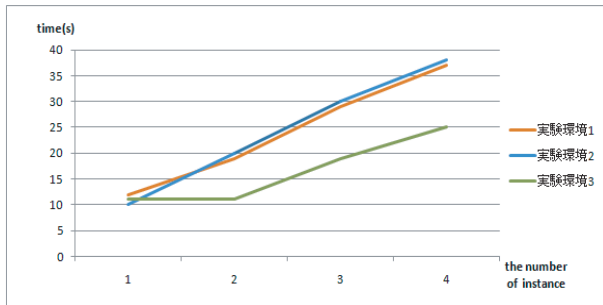


図 20 本実験におけるインスタンス数による終了完了時間の比較

個数が増えれば、終了が完了するまでの時間と消費電力量が増えていることがわかる。ただし、起動時と同様に、実験環境 1 と 2 では、インスタンス数が増えると、消費電力量と終了完了までの時間が比例的に増えていくが、実験環境 3 では異なっている。

5. 評価

本章では、インスタンスの起動、pgbench による負荷、インスタンスの終了の 3 つによる総消費電力量と性能の評価を行う。そのために、これら 3 つのインスタンスの状態の変化を一連の流れとしてとらえ、それにかかった時間や消費電力を比較していく。つまり、インスタンスの起動を行った後、pgbench によって負荷をかけ、その後終了処理を行った場合の評価を行う。

5.1 総消費電力の評価

表 4 に、この流れにおける総消費電力量と、その内訳を示す。本研究では、起動、負荷、終了にかかった消費電力量の合計を総消費電力量としている。

これらは各測定結果の表の消費電力量をひとつにまとめたものである。また、図 21 に、インスタンス数による総消費電力量の比較結果を示す。

表 4 本実験における総消費電力量とその内訳

インスタンス数	1	2	3	4
実験環境1				
起動(W·s)	14354	27751	41858	59632
負荷(W·s)	26063	14176	9607	8490
終了(W·s)	1324	2086	3178	4070
総消費電力量(W·s)	41741	44013	54643	72192
実験環境2				
起動(W·s)	26547	50000	78344	107580
負荷(W·s)	45408	23676	15453	13314
終了(W·s)	2133	4159	6077	7826
総消費電力量(W·s)	74088	77835	99874	128720
実験環境3				
起動(W·s)	26149	29686	49096	55774
負荷(W·s)	45051	22262	14584	11256
終了(W·s)	2352	2273	4021	5341
総消費電力量(W·s)	73552	54221	67701	72371

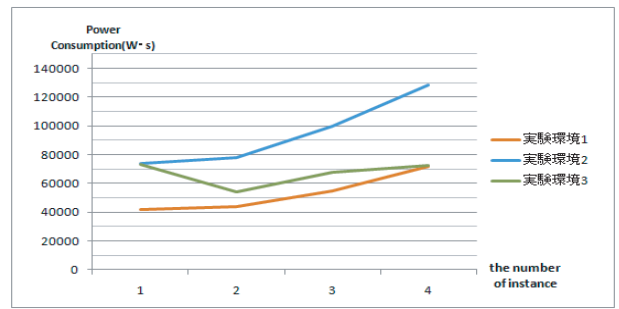


図 21 本実験におけるインスタンス数による総消費電力量の比較

図 21 によると、どのインスタンス個数においても実験環境 2 での総消費電力量が大きいということが分かる。このことから、負荷を偏らせると、消費電力の観点から不利であることがわかる。

実験環境 3 でのインスタンス数 2 の場合の総消費電力量が下がっているのは、起動、負荷、終了における消費電力量のバランスがよかったためであると考えられる。

また、本実験においては、消費電力を考慮したシステム構成として、実験環境 1 がふさわしかったということが読み取れるが、インスタンス数 4 の場合は、実験環境 1 と 3 で、ほぼ総消費電力量が等しくなっていることがわかる。このことから、もしインスタンス数をさらに増やすなど、負荷がさらに大きくなった場合は、その大小が逆転する可能性もあるということがわかる。

5.2 実行時間の合計による評価

表 5 に、この流れにおける実行時間の合計と、その内訳を示す。これらは各測定結果の表の実行時間をひとつにまとめたものである。また、図 22 にインスタンスの個数による実行時間の合計の移り変わりを示す。

表 5 本実験における合計実行時間とその内訳

インスタンス数	1	2	3	4
実験環境1				
起動(s)	123	238	358	505
負荷(s)	195	96	60	52
終了(s)	12	19	29	37
合計実行時間(s)	330	353	447	594
実験環境2				
起動(s)	125	236	369	507
負荷(s)	197	96	61	52
終了(s)	10	20	30	38
合計実行時間(s)	332	352	460	597
実験環境3				
起動(s)	122	132	225	249
負荷(s)	196	88	54	40
終了(s)	11	11	19	25
合計実行時間(s)	329	231	298	314

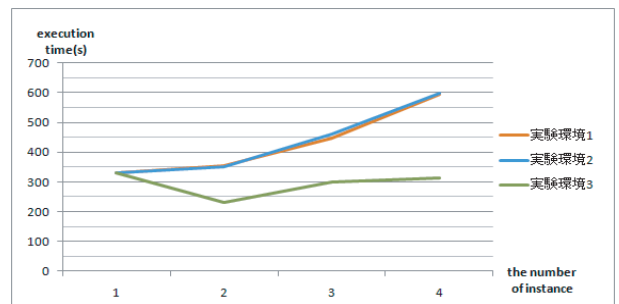


図 22 本実験におけるインスタンス数による合計実行時間の比較

実験環境 3 でのインスタンス数 2 の場合の実行時間の合計が下がっているのは、起動、負荷、終了における実行時間のバランスがよかったためであると考えられる。実験環境 1 と 2 は、ほぼ似たようなグラフとなっているのに対し、実験環境 3 は、どのインスタンスの個数の場合でも値が小さいことが分かる。

このことから、本実験においては、性能を重視した場合におけるシステム構成として、実験環境 3 がふさわしく、インスタンスの起動から考えると、特にインスタンス数 2 の場合が最も速く実行出来ることが分かった。

6. ま と め

Eucalyptus を用いたプライベートクラウドを構築し、そのシステム構成を変化させた場合における、インスタンスの起動、終了、および pgbench による負荷をかけた場合の消費電力を測定した。

本実験においては、性能を重視するには、サーバ台数が多く、負荷を分散させた実験環境 3 のシステム構成がふさわしいが、消費電力を考えるとサーバ台数が少ない実験環境 1 がよいことがわかった。しかし、インスタンスの数を増やすなどにより負荷が増加した場合には、その負荷を分散させ、早く実行させることを目指した方が、消費電力的にも良くなる傾向があるということがわかった。

また、負荷を分散させた場合において、インスタンスの起動から考えると、インスタンス数を増やせば増やすほど、その総消費電力が増えたり、実行時間の合計が短くなったりする訳ではなく、適切なインスタンス数があるということがわかった。

7. 今後の課題

今回の測定では、pgbench というベンチマークのみでの評価であったため、その他様々なベンチマークを使って評価を行っていき、より現実的な環境を想定して実験を行っていきたい。また、ネットワークストレージを使ったときは、どのようなふるまいになるか見ていきたいと考えている。

謝辞 本研究は一部、文部科学省科学研究費基盤研究「電力消費を制御するスケーラブルな情報の蓄積と検索」によるものである。

文 献

- [1] Eucalyptus:<http://www.eucalyptus.com/>
- [2] Amazon EC2:<http://aws.amazon.com/jp/ec2/>
- [3] salesforce.com:<http://www.salesforce.com/>
- [4] SHW3A:<http://www.system-artware.co.jp/shw3a.html>