

学 位 論 文 題 名

# クラウドシステムにおける資源管理の最適化に関する研究

(A Study on Optimization of Resource Management for Cloud Systems)

## 学位論文内容の要旨

必要な時に必要な IT リソースを必要な分だけ使うことにより「所有から利用へ」の転換を促進するクラウドコンピューティングが注目されている。近年、社会状況やビジネス環境の変化はますます速くなっている。その変化に対応しようとする自治体や企業、大学等の組織には、迅速性と弾力性を兼ね備えた IT 基盤が必要である。すなわち、必要に応じて、適切な IT リソースを素早く提供し、必要がなくなった際には切り離して余計なコストを削減することが求められる。本要件を満たすものとして期待されるのがクラウドである。

自治体や企業、大学等の組織には、一般に IT リソースを調達・管理する IT 部門と、業務遂行やサービス提供のために IT リソースを使用してアプリケーションを実行するユーザ部門がある。我々が想定している IaaS のハイブリッドクラウドは、IT 部門がパブリッククラウドと自組織が保有するプライベートクラウドとからなるハイブリッドクラウド環境を管理し、ユーザ部門に対しては各々のクラウドを隠蔽するものである。つまり、アプリケーションをどのクラウドで稼働させるかはその組織の IT 部門が責任を持ち、ユーザ部門は自分のアプリケーションがどのクラウドで稼働しているかを気にしなくてよい。

このようなクラウド環境を実現するにあたり、あらゆる要求に応えられるように、様々なハードウェアを保有し、常に余剰のリソースを維持することで、ユーザ部門の要求を満たすことは可能である。しかし、IT 基盤に求められる要件はますます多様になり、実行しなければならない処理や格納すべきデータ量も爆発的に増加することが見込まれているのに対し、IT 投資額の伸びはそれほど増えないとされている。したがって、ユーザ部門が IT 基盤に対して求める要件を確保しつつ、IT 基盤に対する投資を抑える資源管理の最適化が重要な課題となる。

本研究では、IaaS のハイブリッドクラウドを対象として、クラウドシステムにおける資源管理の最適化のための監視手法ならびに資源管理手法を提案し、シミュレーション実験による評価によってその有効性を示す。

本論文は全 5 章から構成される。各章の概要は以下の通りである。

第 1 章では、本研究の背景および目的について述べる。

第 2 章では、クラウド環境における監視手法について述べる。資源管理の最適化を実現するためには、ユーザ部門が稼働させているアプリケーションのサービスレベルが適正な範囲で守られていることを監視することが重要である。すなわち割り当てられている IT リソースが過剰もしくは過少であった場合、迅速にこれを検出し、改善することが必要である。監視の観点として、本論文では性能管理と可用性管理を取り上げる。性能管理としては、クラウド環境にデプロイされたアプリ

ケーションのボトルネック検出方法に着目する。オブジェクト間の呼び出しをハイパーバイザから取得し、得られたデータから処理シーケンスを再現することによりボトルネックを切り分ける処理シーケンス再現法を提案する。本手法は、呼び出し元と先の因果関係を厳密に特定できないケースがあるものの、そのようなケースを含め、性能上の問題に対して、その原因が通信路にあるのか、オブジェクト内部の処理にあるのか、あるいは、あるオブジェクトへの処理の集中に起因するのかを切り分けることが可能である。また、可用性管理としては、クラウド間のディザスタリカバリ構成に着目する。サービスの継続性を維持するためには、復旧時間と復旧時点の二つを管理することが必要である。高可用なシステムであるほど復旧時間と復旧時点に対する要求が厳しくなるが、復旧時点はネットワーク帯域やアプリケーションの負荷に大きく影響を受けるため、常時監視が必要である。そこで、Consistent Continuous 型の非同期リモートコピーにおける復旧時点監視において、監視精度の管理、正サイトのみの監視、デファクトスタンダードの利用の3要件を示し、これらを満たすバッファ滞留時間計測法を提案する。さらにシミュレーション実験から、提案手法の有効性を示す。

第3章では、組織が保有するプライベートクラウドに着目し、設備投資コストを最小化するための資源管理手法について述べる。具体的には、SSDの普及に伴いストレージ装置で一般的になりつつある動的階層制御機能を有する複数台のストレージを持つクラウドシステムを対象に、設備投資を最小化するための5要件を示し、本要件を満たす仮想ボリュームクラスタリング法を提案する。本手法は、同じようなI/O特性を持つアプリケーションが同一のストレージ装置を使用する状態を保つべく、ボリュームの割り当てやマイグレーションを行うことを特徴とする。シミュレーション環境にて本手法を評価し、提案手法適用によりストレージのメディアコストを最大43.0%削減できること、動的に変化する環境に対する適応性を持つことを示す。

第4章では、ハイブリッドクラウドに着目し、利用の有無に関わらず保有のコストを生じるプライベートクラウドと、利用量および時間に応じて従量課金されるパブリッククラウドのコスト構造の違いを活用して、その総コストの最小化を実現する資源管理手法について述べる。具体的には、定常的な負荷をプライベートクラウドで稼働させ、突発的に発生する負荷や変動の激しい負荷をパブリッククラウドで稼働させるべくデプロイとマイグレーションを組み合わせることによりプライベートクラウドの使用率を一定に保つ動的配置法を提案し、その有効性をシミュレーション環境で評価する。その結果、アプリケーションのデプロイ要求の発生頻度や、各々のアプリケーションの負荷特性がわからないハイブリッドクラウド環境において、従来手法と比較して5年間で43.9%の総コスト削減効果があることを示す。

第5章では、本論文の結論および残された課題について述べる。

# 学位論文審査の要旨

主 査 教 授 高 井 昌 彰  
副 査 教 授 水 田 正 弘  
副 査 教 授 棟 朝 雅 晴

## 学 位 論 文 題 名

### クラウドシステムにおける資源管理の最適化に関する研究

(A Study on Optimization of Resource Management for Cloud Systems)

本論文では、クラウドシステムにおける資源管理の最適化のための監視手法ならびに資源管理手法を提案し、実際のアプリケーションのトレースデータに基づくシミュレーション実験により、提案手法の有効性を論じている。

近年の社会情勢やビジネス環境の急激な変化に対応するため、自治体や企業、大学等の組織活動を支える IT 基盤には、迅速性と弾力性が必要である。すなわち、動的に変化する環境に適応して、最適な IT リソースを素早く提供するとともに、不要となったリソースは直ちに切り離し、システム全体のコストを削減することが求められる。これらの要件を満たすと期待されているのがクラウドシステムである。一般に、自治体や企業、大学等の組織には、IT リソースを管理する IT 部門と、IT リソースを利用して業務を遂行するユーザ部門がある。本論文は、パブリッククラウドとプライベートクラウドからなる IaaS ハイブリッドクラウドシステムを想定し、ユーザ部門が IT 基盤に求める性能要件を確保しつつ、IT 基盤全体に対するコストを抑える資源管理の最適化のための具体的手法を提案するもので、クラウドシステムを用いた効率的な IT 基盤の実現と運用に係る技術的観点から極めて重要な研究課題である。

本論文の構成および内容は以下の通りである。

第 1 章では、本研究の背景および目的について述べている。

第 2 章では、クラウドシステムにおける監視手法について、性能管理と可用性管理の観点から論じている。性能管理としては、アプリケーションのオブジェクト間の呼び出しをハイパーバイザから取得し、得られたデータから処理シーケンスを再現することにより、クラウドにデプロイされたアプリケーションのボトルネックを切り分ける処理シーケンス再現法を提案している。本手法は、性能上の問題に対して、その原因が通信路にあるのか、オブジェクト内部の処理にあるのか、あるいは負荷の集中に起因するのかを切り分けることが可能である。また、可用性管理としては、クラウド間のディザスタリカバリ構成に着目し、サービスの継続性を維持するための復旧時間と復旧時点の管理手法について論じている。特に高可用なシステムに求められる性能要件を満たす監視手法としてバッファ滞留時間計測法を提案し、シミュレーションによる評価実験から、提案手法の有効性を示している。

第3章では、組織が保有するプライベートクラウドに着目し、設備投資コストを最小化するための資源管理手法について論じている。一般的な動的階層制御機能を有する複数台のストレージを持つクラウドシステムを対象に、設備投資を最小化するための仮想ボリュームクラスタリング法を提案している。本手法は、統計的に類似した I/O 特性を持つアプリケーションが同一のストレージ装置を使用する状態をできるだけ維持するように、ボリュームの割り当てやマイグレーションを動的に行うことを特徴としている。実際のアプリケーションのトレースデータから抽出した CPU 負荷や I/O パターンを用いてシミュレーション実験を行い、提案手法の適用によりストレージのメディアコストを最大 43.0% 削減できること、ならびに、動的に変化するアプリケーションの実行環境に対する優れた適応性を有することを示している。

第4章では、ハイブリッドクラウドのシステム全体に着目し、利用の有無に関わらず保有のコストを生じるプライベートクラウドと、利用量に応じて従量課金されるパブリッククラウドのコスト構造の違いを活用して、その総コストの最小化を実現する資源管理手法について論じている。定常的な負荷をプライベートクラウドで稼働させ、突発的な負荷や変動の激しい負荷をパブリッククラウドで稼働させるべくデプロイとマイグレーションを組み合わせることによりプライベートクラウドの使用率を一定に保つ動的配置法を提案し、実際のアプリケーションのトレースデータから抽出した負荷パターンを用いたシミュレーション実験を行い、提案手法の有効性を評価している。その結果、アプリケーションのデプロイ要求の発生頻度や負荷特性が未知のハイブリッドクラウド環境において、従来手法と比較して5年間で43.9%の総コスト削減効果があることを示している。

第5章では、本論文の結論および残された課題について述べている。

これを要するに、著者は、クラウドシステムにおける資源管理の最適化について、監視手法ならびに資源管理手法を提案し、実際のアプリケーションのトレースデータに基づくシミュレーション評価実験から、その有効性を示しており、情報科学ならびに情報基盤技術の発展に貢献するところ大なるものがある。よって、博士(情報科学)を授与するに値すると認める。