クラウド運用管理技術

System Management and Operation for Cloud Computing Systems

● 安達基光　● 小高敏裕　● 河場基行　● 松本安英

あらまし

クラウドシステムは仮想化技術の進展などから本格的な導入が開始されている。一方，運用管理の面では，その管理対象のサーバが膨大になるとともにサーバ間の依存関係も複雑に構成されているため，安定した品質で運用するためには多くの課題がある。しかしクラウド環境ではシステムを構成するインフラがある程度画一した要素で実現されているために，これまでのように業務アプリケーションやサービスを個別に運用するのではなく，アプリケーションのライフサイクル管理や障害予兆検知技術など共通的な運用管理基盤や手法を用意できることが期待されている。

本稿では，そのようなクラウドの特質を活用し，PaaS領域で提供するアプリケーションの開発とその運用フェーズを連携し，アプリケーションの特性や個別のSLA(Service Level Agreement)に合わせ，アプリケーションの最適配備を実現する技術のほか，アプリケーション変更時に本番環境と同一のテスト環境を自動または簡易な操作で構築し，自動テストを実行する技術について紹介する。また，このようなアプリケーションのライフサイクル管理を実現する上で核となる業務の監視，可視化技術についても触れる。さらに，運用時にシステムから発行されるログを統計処理することによって障害の予兆検知を実現する技術について紹介する。

Abstract

With the progress of virtualization technology, cloud systems have been started to be deployed on a full-scale basis. However, there are many issues in terms of managing cloud systems in a stable and high-quality way. This is because the number of servers becomes immense and dependencies between servers become complex. Conventionally, individual business applications and services have been operated in systems. However, in the cloud there is a degree of uniformity in the infrastructure that makes up systems. Consequently, there are hopes that it will be possible to prepare common management platforms and methods such as those to manage application life cycles and predictive fault detection technology. This paper introduces technology that integrates the development and system management phases in the PaaS region by leveraging such characteristics of clouds. This technology functions according to the characteristics of the applications or individual service level agreements (SLA), and makes it possible to configure applications that deploy applications on the cloud. This paper also introduces technology that allows operators to automatically or simply build a test environment the same as the real environment when changing applications and run automated tests. In addition, this paper touches on technology to monitor and visualize work that is core technologies for the life cycles management. Moreover, this paper describes technology that can conduct statistical processing of the logs that are issued from the system during operation to detect the prediction of fault phenomenon.

ま え が き

仮想化技術の進展などから本格的なクラウドコンピューティングの活用が期待される。クラウドコンピューティングを利用することにより，ユーザは，サーバやストレージをはじめ，ネットワーク，ミドルウェア，業務アプリケーションなどの機能を，インターネット経由で必要なときに必要なだけ使うことができる。このように，ユーザにとっては，経済性や柔軟性，迅速性など様々な期待がある一方，クラウドシステムにおけるデータ管理の安全性を保証し，サービスを24時間365日提供し続けるために，提供サービスの継続性や安定性といった運用管理面での新たな課題も生じている。

本稿では，クラウド時代の運用管理技術について述べる。まずは，新しい運用管理に期待される機能，役割を述べ，その核となるライフサイクル管理を実現するためのアプリケーション配備技術，ボトルネックの分析技術などについて述べる。とくに，可視化技術についてはこれまで実現していたインフラの可視化を基盤とした業務レベルの可視化技術について述べる。さらにシステムを安定に運用するために必要となる障害対処について，システムの障害の予兆をとらえ，障害の事前回避を可能にする技術について述べる。

クラウドシステムの運用管理

本章では，クラウドシステムの運用管理で提供すべき機能とそれを実現する技術について述べる。

● 運用業務の役割の変化

一般にICTコストの7割が運用管理費であるとの報告があり，新規の開発には3割のコストしか向けることができない。その原因は，現場における運用ノウハウが属人化しており，自動化やスキルレス運用ができないことが大きい。従来のICTシステムの運用は，業務管理者の指示に基づき，インフラ運用管理者がインフラの構築・運用のオペレーションを実施していたが，クラウド環境では，業務管理者がセルフサービスで，インフラの構築・運用を実施する形態へ変化する。このことは，ある業務に特化したインフラの運用管理者は不要となり，センター全体について，大規模インフラの稼働監視，保守作業，インフラ要素間の関係管理，業務とインフラの関係管理などを運用管理するセンター運用管理者と業務ステータス，課金状況，業務の品質監視などを管理する業務運用管理者に役割が委譲されることとなる。また，クラウド利用者は，従来のシステム利用に比較して安価な構築，運用の期待も大きく，これまでと異なる運用管理技術が必要となる。以下では，クラウド時代に期待される新しい運用管理技術について述べる。具体的には，仮想化技術などにより，画一的なインフラの制御が可能になったことを前提としてPaaS視点での設計，構築，運用保守のライフサイクル全体での管理を実現する技術などについてその特徴と差異化ポイントについて述べる。

● ライフサイクルの実現

クラウドコンピューティングを利用するメリットの一つは，初期構築の期間を大幅に短縮できることである。これは，すでに構築された環境の一部をオンデマンドに利用することで，インフラ構築作業や非機能要件実現のための設計・実装を省略できることによる。とくにPaaSのようなプラットフォームを提供するクラウドサービスでは，IaaSと異なりアプリケーションの作り方に制約を設けることで，スケールアウトやデータ冗長管理を自動化するなどの手法により，可用性や性能などの非機能要件において一定のSLA（Service Level Agreement：サービス品質に関する合意事項）に基づくアプリケーションの運用を代行する。

しかし，現在PaaS事業者が提供するSLAは固定的なものとなっており，利用者であるアプリケーション開発者がSLAを自由に決定，選択することはできない。このため，クラウドを利用してPaaS事業者が提供する以上のSLAが必要な場合には，PaaSを利用しながら利用者自身がシステムの監視を行いアプリケーションの工夫で対処する，あるいはPaaSの利用を諦めてIaaSの上で利用者自身が運用設計や日々の運用管理を実施するなどの対応が必要である。この場合，運用設計とアプリケーション開発のプロセスが分断されてしまうことが指摘されており，アジャイル開発手法を使って，短期間で開発から運用までの全体サイクルを回すことが難しいという課題がある。

YahooのFlickrチームは，一般的に機能追加を求める開発部門と，安定運用を目指す運用部門と

が対立することでリリースサイクルが長期化してしまい，1回のリリースで行う変更量が増加し，結果としてリリース時のリスクも増大することを指摘している。[1] このような対立をなくし，開発と運用，品質保証を融合する新しい開発方法論として，DevOpsが注目されている。DevOpsでは開発と運用の壁を取り払って全体の最適化を図り，アジャイルで継続的な開発を実現することで上記リスクの低減をねらう。ほかにクラウド上でアジャイルに運用を実現するためのフレームワーク[2]も提案されている。

著者らはSaaS事業者をターゲットとして，アプリケーションやSLAに合わせてクラウド上にシステムを構築し，インフラからアプリケーションまでの運用を自動化するPaaS運用管理技術の開発を推進する。複数のアプリケーションでインフラを共有することでコストを抑えながら，Google App Engineなど他社のPaaSと異なり，利用者ごとに個別のSLAに対応できることを特徴とする。アプリケーションから最適な運用に必要となる情報を抽出するとともに，運用中に起きた問題やボトルネックを開発者にフィードバックすることで，開発と運用の一体化，つまりDevOpsの実現を目指す。これにより，リリースサイクルを短縮し，業務やインフラ環境の変化に素早く対応することができる。具体的には，必要なときに必要なだけコンピューティングリソースを利用できるクラウドの特性を利用して，以下の技術を開発する。

(1) アプリケーション特性・SLAに合わせた最適なアプリケーション配備技術

アプリケーションの特性やSLAに合わせ，クラウド上にアプリケーションを配備する。SLAを充足するために必要となる，VM（Virtual Machine）のプロビジョニング（動的にリソースを割り当てること），メモリやCPUリソースの割当て，それらを組み合わせた仮想システムの構築などを実施する。さらにアプリケーションが必要とするミドルウェアを自動でインストールし，最後にアプリケーションを配備する。負荷の変動や仮想システム内部の障害などに応じて動的な構成変更も自動で行う。

(2) 動的な構成変更時の動作を保証する検証技術

アプリケーションの構成変更時に，本番環境と同一のテスト環境を自動または簡易な操作で構築し，自動テストを実行する。このテストで合格しなければ新しい構成変更は行わない。これにより，仮想システムの構成や各VMのスペック，ミドルウェアのチューニングパラメータなどを状況に応じて動的に変化させたり，ミドルウェアやOSのセキュリティパッチを適用したりしても，正しくアプリケーションが動作することを保証する。自動テストとしては，変更前の構成におけるパケットをキャプチャしておき，テスト環境でプレイバックする方法や，テストシナリオを開発者が作成する自動テストツールの利用が考えられる。

(3) 運用ボトルネック分析から開発にフィードバックする技術

配備したシステムの動的な構成変更のための基礎情報を収集し，どのように対処を行えば良いかを決定する。まず，スケールアウトやスケールアップなど，運用管理による自動対処が可能な範囲で構成変更を実施する。しかし，運用管理による対処には限界があるため，以上の運用管理による構成変更では問題が解決しないことがある。そこで，そのような場合にはアプリケーションの書き方を含めた変更方法を開発者に提示する。例えば性能要件を充足するのであれば，プログラムレベルで実行に時間がかかっている場所を分析し，分散キャッシュサーバを追加するなどの修正方法案を提示する。

今後もクラウドの世界では，より良いサービスが次々と生み出され，IaaS上にミドルウェアを個別に搭載するよりも効率的になっていくことが予想される。例えばRDB（Relational Database）では，Amazon EC2上にMySQLをインストールするよりも，database.com[3]のようなサービスを利用する方が，バックアップが不要，スケーラブル，マルチテナントによる効率化などの点で，メリットが多い。このようにミドルウェアやサービス間でも常に競争原理が働き，新しいミドルウェア・サービスの誕生と淘汰が繰り返される。この状況では，アプリケーションも変化し続け，常に最新のサービスの動向に追随していくことが求められる。業務や機能に関しても，利用者の使い方を分析しニーズを掘り起こさなければアプリケーション自体が淘汰されてしまうため，常に変革が求められる。

これまで，運用管理技術は安定的にシステムやサービスを稼働するための作業をいかに効率化するかという「守り」の位置付けで議論されてきた。著者らは，運用管理技術の位置付けを再定義し，進化するインフラの上でアプリケーションや業務も進化し続けるLCMを実現する「攻め」の運用管理技術の開発を推進する。

● **インフラ（サーバ）監視から業務監視へ**

本節では，ライフサイクル実現に向けた性能監視技術について説明する。

クラウド上でのアプリケーションのライフサイクル管理実現に向けた性能監視の方向性として，従来の運用者視点に加えて，ユーザ視点での監視が重要になると考えられる。すなわち，インフラ監視から業務監視へのシフトである。クラウドユーザにとって，クラウドインフラそのものの稼働状況よりも，その上で動いている業務アプリケーションの状況の方が重要であり，関心が高い。例えば，SLA保証についても，インフラの可用性という観点よりも，業務アプリケーションのレスポンスなどエンドユーザから見た性能維持の方が重視されると考えられる。ただし，業務アプリケーションの性能を維持するには，インフラ可用性が前提になることには変わりはない。このように，インフラ監視をベースにしつつ，その上で業務監視を強化することが，クラウド上でアプリケーションのライフサイクル管理を実現させるために不可欠である。こうした性能監視の方向性として，「インフラからアプリケーション開発者にフィードバックする監視情報の高度化」と，「開発者自身による監視項目の拡充」がある。前者は，従来の監視技術を組み合わせることでアプリケーション開発者にとって優しい監視情報に加工していくことである。後者は，アプリケーション開発者が望む監視項目を容易に入手するためのフレームワークを作り上げることで，開発者寄りの監視を装備していく動きである（**図-1**）。いずれにおいても，監視機構が提供する情報としては，これまでインフラ監視寄りだったものが業務監視へとシフトしていくことになる。

インフラからアプリケーション開発者にフィードバックする監視情報の高度化には，既存の監視技術の統合が必須である。なぜなら既存の監視技術で，インフラ監視で発見した問題と，原因となるアプリケーションコードを結び付けるものがないからである。これまでの監視技術をまとめたものを**表-1**に示す。

表-1に掲示した，アプリケーション監視やサーバ内監視技術は，サーバのハードウェアやソフトウェアの構成単位に個別監視するものが主で，性能低下が発生したときに処理時間の遅れが発生した箇所は分かるものの，問題を引き起こした原因となるアプリケーションコードを特定することは難しい。またサーバ間メッセージ監視についても，そのままではサーバ間にまたがる問題の波及とア

表-1　既存の監視技術

アプリケーション監視	メソッドプロファイル，関数プロファイル，アプリケーションログ（Webアクセスログ，SQLログ）
サーバ監視	リソースメータ（CPU，I/O，メモリ使用量）
サーバ間メッセージ監視	ネットワークトラフィック解析，システム可視化技術

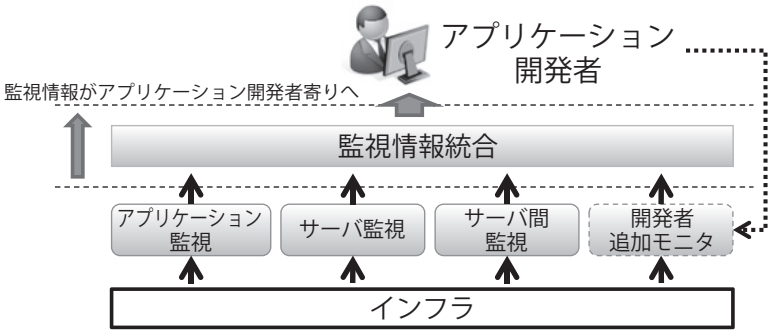

図-1　監視情報統合
Fig.1-Integrated monitoring information.

プリケーションコードとの対応を結び付けられるものはない。

ところが，これらの監視情報を統合することにより，アプリケーション開発者に優しい情報を作り出すことが可能である。その一例として，ネットワークメッセージをベースにした可視化技術との組合せによるメソッドレベルの原因箇所抽出を紹介する。

システム可視化技術[(4), (5)]は，著者らが開発した技術で，個々のユーザリクエストに関してサーバ間のリクエストの流れをエンドツーエンドで監視することを可能にする技術である。サーバ間のネットワークデータだけを基に解析することが可能なため，プラットフォームからの独立性を持ちながら業務レベル監視ができる技術である。この技術とアプリケーション監視のメソッドプロファイル情報を組み合わせれば，サーバ間にまたがった問題に関しても原因となるアプリケーションコードを追跡することが可能になる。メソッドプロファイル機構に簡単な仕掛けが必要であるが実現可能である（**図-2**）。

アプリケーション開発者自身による監視項目の拡充は，通常の監視機構では入手困難な情報を開発者の手により入手可能にするフレームワークにより実現される。これによりアプリケーションコードの一部の機能を監視したり，アプリケーションの挙動に応じて条件付きで監視したりすることが可能になる。このフレームワークを図-1の監視情報統合アーキテクチャに組み込むことにより，アプリケーション開発者による監視情報取得が容易になる。

著者らは，ここで述べた監視情報統合のアーキテクチャを推し進め，開発と運用のライフサイクルを実現する業務監視を実現していく。

安定したシステム

本章では，大規模なシステムを安定したサービス品質で運用させるための新しい障害対処技術を紹介する。

● 障害に対しての考え方

大規模化するクラウドコンピューティングの中で，大量の障害が発生した場合，障害対処を行う運用管理者の負荷も膨大になる。障害対処の負荷を下げるための考え方として事前検知という考え方がある。すなわち，障害発生を事前に検知することで，障害発生の前に対応ができ，障害対処の初動が速くなるため，障害の事前回避や，障害影響範囲の大規模化を抑えることを目指す。

● 障害予兆と対応－事前検知の実現に向けて

障害の事前検知に向けて必要なことは，どのような種類の障害が，いつ起きるかという，障害種類の特定と障害発生時刻の特定である。この二つの点を特定する技術をここでは，障害予兆検知技術と呼ぶこととする。事前検知の価値としては，直前に分かっても回避できない場合は事前検知とは言えないので，事前検知時刻と障害発生時刻との間の時間は，できるだけ長い方が良い。

また，3箇月後，1年後といったスパンでの事前検知を目指さず，数十分～数時間という単位での事前検知をターゲットとしている。これは，ライ

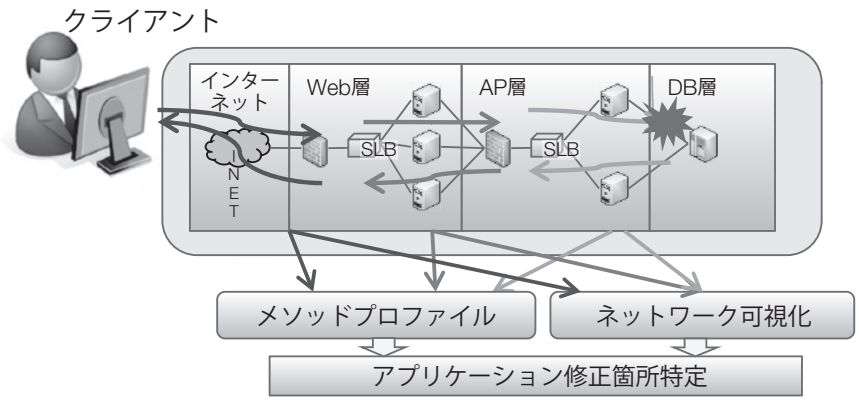

図-2　原因アプリケーションコード追跡
Fig.2-Tracing code of causal application.

ブマイグレーションや診断機能といった運用管理にかかわる自動化機能を適切に使うためのきっかけとして使うことを想定しているからである。

障害予兆検知技術に関してはこれまでに様々な研究が行われている。Fuらはシステムで計測される性能情報に着目している。[6] 各障害で計測された性能情報を時間的な近さと空間的な依存関係で分類し，分類結果から各障害タイプの特徴を抽出し，抽出したモデルを基に障害を予測している。この方式は時間軸では障害発生間隔で各障害タイプを特徴付けている。そのため，定期的に起きる特性のある障害の予測ができても，不定期に発生するような障害には向かない。またSalfnerらは，障害の予兆は特定のエラーイベントのパターンで特徴付けられると考え，障害発生までのエラーイベントの状態遷移を遷移にかかる時間も含めてモデル化している。[7], [8] これらの手法では現在時刻tからリードタイムΔt_l後に障害が発生することを予測することが可能になる。しかし予測時間が秒レベルとなっており，障害の予兆を検知してから対処を行えるだけの時間が確保できない。

著者らは，過去の障害記録とメッセージログから各種類の障害を特徴付けるメッセージパターンを抽出し，そのパターンを使って監視を行うことで障害発生を早期に検知する障害検知技術を開発している。[9] 予兆が現れる障害では，障害が発生する前にもその障害に特徴付いたメッセージパターン（予兆パターン）が現れると考えた。そこで，障害発生時刻より前の時間帯を対象に学習すれば予兆パターンが抽出できる。予兆パターンの検知から発生時刻までの時間（リードタイム）を，予兆パターンと対応付けて学習する。このリードタイムを使って発生予想時刻を算出できる（**図-3**）。この技術を用いることで，観察しているログメッセージの中で予兆パターンが検知された場合に，予兆パターンに対応するリードタイムから障害発生時刻を推定することが可能である。

本方式を評価するため，評価中の社内システムで記録したメッセージログと障害対処記録を用いた。発生事例数が特に多かった以下の2種類の障害｛種類1：閾値超え（30事例），種類2：プロセスダウン（166事例）｝の各事例について，発生時刻の直前60分間を10分間隔に分割（タイムスロット）し，上記のログを入力にしてタイムスロットごとに予兆パターンを学習した（**図-4**）。その結果，検知精度（検知が正解する割合）に着目すると，どちらの障害の結果もほとんどのタイムスロットにおいて0.7以上とかなり高い値が得られた。しかし，障害発生時刻に近づくにつれて値が高くはならなかった。一方でカバー率（発生した障害をカバーできた割合）に着目すると，プロセスダウン系障害の50-60分前の値が5割程度と低めだが，それ以外のタイムスロットでは0.7以上の高い値が得られ

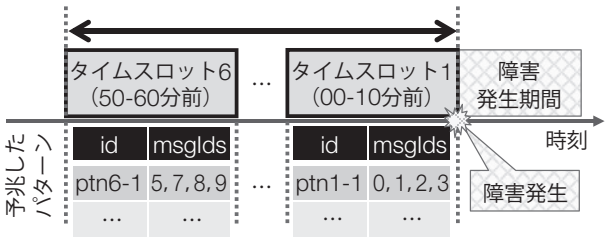

図-4　本評価での予兆パターンの学習方法
Fig.4-Method of learning predictive patterns in this evaluation.

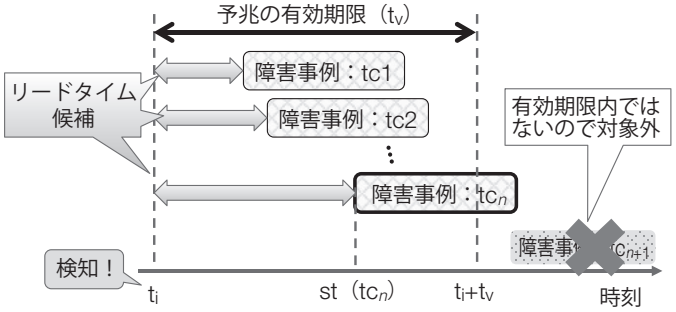

図-3　各抽出でのリードタイム候補の算出
Fig.3-Calculation of lead time candidates for each extraction.

た。また，カバー率では障害発生時刻に近づくにつれて値が高くなる傾向が見られた。以上の結果より，リードタイム推定の有効性を確認できた。

今後は，大規模なシステムでの適用に向けた処理能力の向上や，実運用に向けた人間系を含めた運用プロセスの設計を行う予定である。

む　す　び

本稿では，クラウド環境の運用管理技術として，アプリケーション特性・SLAに合わせた最適なアプリケーション配備や動的な構成変更時の動作を検証し，業務アプリケーションのライフサイクル管理を実現する技術やそれらを支える業務アプリケーションを監視するための監視情報統合技術について紹介し，さらに安定したシステム運用のための障害事前検知技術について述べた。今後は，富士通のクラウドシステムのミドルウェア基盤として，成熟させていく予定である。

参考文献

(1) J. Allspaw et al.：10 deploys per day：Dev&Ops cooperation at Flickr. Velocity 2009.

(2) 原田暢彦ほか：IaaS上でのContinuous Integrationによる運用支援フレームワークの提案．情報処理学会研究報告，2011.

(3) Salesforce database.com. http://database.com

(4) 武 理一郎：システム稼働状況をリアルタイムで可視化するシステム可視化技術．*FUJITSU*，Vol.59，No.1，p.33-38（2008）.

(5) 森永正信ほか：ネットワークセンシング－監視診断技術への取組み－．*FUJITSU*，Vol.60，No.4，p.381-386（2009）.

(6) Song Fu et al.：Quantifying Temporal and Spatial Correlation of Failure Events for Proactive Management. SRDS2007，p.175-184.

(7) F. Salfner et al.：Predicting Failures of Computer Systems：A Case Study for a Telecommunication System. IPDPS2006.

(8) F. Salfner et al.：Using Hidden Semi-Markov Models for Effective Online Failure Prediction. SRDS2007，p.161-174.

(9) Y. Watanabe et al.：Trouble Detection with Message Pattern Learning. IOTS2009.

著者紹介

安達基光（あだち　もとみつ）
クラウドコンピューティング研究センター 所属
現在，運用管理技術の研究開発に従事。

河場基行（かわば　もとゆき）
クラウドコンピューティング研究センター 所属
現在，インフラからアプリケーションの監視・可視化に関する技術の研究開発に従事。

小高敏裕（こだか　としひろ）
クラウドコンピューティング研究センター 所属
現在，アプリケーションの開発・運用のライフサイクル管理技術の研究開発に従事。

松本安英（まつもと　やすひで）
クラウドコンピューティング研究センター 所属
現在，運用保守についての研究開発およびクラウド関連技術の標準化についての業務に従事。