

AIST Super Green Cloud における ストレージシステムの構築と運用

谷村 勇輔^{1,a)} 浜西 貴宏¹ 高野 了成¹ 田中 良夫¹

概要: AIST Super Green Cloud (ASGC) は高性能かつスケールアウト可能な HPC クラウドである。本研究では、ASGC において仮想計算機のディスクイメージやアプリケーションデータを提供するストレージシステムを設計し、計算ノードのローカルディスクの活用、仮想計算機と外部のユーザストレージの直接接続、仮想計算機のディスクイメージ管理を実現する 3 つのストレージサービスを提供することとした。そして、実際に構築した各種ストレージサービスの基本性能を評価し、一部の性能改善にも取り組んだ。また、構築・初期運用を通して本システムに必要なであった既存のクラウドミドルウェアの改善を行った。本稿では HPC クラウドにおけるストレージシステムの事例としてこれらについて報告する。

1. はじめに

AIST Super Green Cloud (ASGC) は産業技術総合研究所（産総研）が運用する高性能計算向けのプライベートクラウドである [1]。その特徴は、従来の HPC アプリケーションだけでなく、大規模データ処理や Web サービス等の異種アプリケーションとの共同利用を想定しており、ユーザが自分専用のアプリケーション開発・実行環境を構築できる点にある。これは仮想化技術と仮想計算機をホストする資源管理技術により実現されており、オンデマンドでの環境構築や資源の追加・削減にも対応している。加えて、我々は一度構築した仮想計算機のディスクイメージをテンプレート化して他のクラウドに持って行き、そこで ASGC と同等のアプリケーション開発・実行環境を構築可能にする「Build Once, Run Everywhere」の実現に向けた研究開発を進めている [2,3]。

ASGC は 2014 年 7 月に産総研内のユーザ向けに運用が開始されたが、その設計において重要であった議論の 1 つがストレージサービスの提供方法である。従来の HPC アプリケーションにとっては、ユーザのホームディレクトリが全計算ノードで共有されていることと高速アクセス可能なスラッシュ領域が提供されることが重要であったが、他のアプリケーションにとってそれらは必ずしも必要ではなかった。また、I/O 特性はアプリケーションによって大きく異なり、全てのアプリケーションに対して、十分な性能を提供できるストレージシステムを限られた予算内で構

築することも現実的に不可能であった。そのため、我々は計算ノードのローカルディスクを最大限活用できるシステム構成を採用し、それと同時に、ユーザが自身のアプリケーションに適したストレージシステムを自身の仮想計算機に直接接続できるサービスを提供することにした。そして、仮想計算機のディスクイメージを管理するストレージのみを共用として持ち、全アプリケーションに対して一律にサービスを提供することにした。

本稿では、ASGC におけるストレージシステムの設計について述べ、各ストレージサービスにおいてユーザが享受できる基本 I/O 性能を評価し、一部に関しては性能改善を行った結果を報告する。また、システムの構築やこれまでの運用において顕在化した問題とそれらの対処・改善に関する事例を報告する。

2. ストレージシステムの設計

2.1 ASGC の概要

ASGC は Cray 社製「Cray CS300-AC」クラスタ・スーパーコンピュータがベースであり、主な機器のスペックは表 1 の通りである。155 台の計算ノードによる論理ピーク性能は 69.44TFLOPS である。この計算環境が仮想化され、リクエストに応じてユーザに提供されている。ユーザの資源要求や操作のリクエストを受け付けたり、物理計算ノードを管理し、各仮想計算機に割り当てたりするためのクラウド・ミドルウェアとしては CloudStack (Version 4.3.0 をベースに ASGC 向けに拡張が施されたもの) [4] が用いられている。各計算ノードの仮想化には QEMU/KVM (Version 0.12.1.2) が用いられ、Infiniband アダプタは PCI

¹ 産業技術総合研究所 情報技術研究部門

^{a)} yusuke.tanimura@aist.go.jp

表 1 ASGC を構成する主な機器のスペック

Compute node	Cray H2312 blade server ×155
CPU	Intel Xeon E5-2680v2 (10 cores, 2.8GHz) ×2
Memory	128GB (DDR3-1866)
Disk	Intel SSD DC3500 600GB ×1
Infiniband adaptor	Mellanox ConnectX-3 (FDR)
10GbE adaptor	Intel X520-DA2
OS	(Currently) CentOS 6.6
Infiniband switch	Mellanox SX6025F-1SFR ×14 (Two-level fat-tree configuration)
10GbE switch	Extreme Networks BlackDiamond X8

パススルーにより直接アクセスできるように設定されている。なお、ASGC の仮想環境における計算性能が物理環境に比べてそれほど劣らないことは、Chakthranont らによって検証されている [5]。

2.2 ストレージシステムに対する要件

ASGC のストレージシステムの設計においては、アプリケーション毎にストレージシステムに求める要件が異なるため、どのようにそれに対応するか問題であった。従来の HPC アプリケーションだけを考えるのであれば、並列ファイルシステムの提供は多くのユーザに恩恵をもたらすが、ASGC ではその恩恵を受けられないアプリケーションが少なくない。ユーザ間の公平性を保つ観点では、複数の仮想環境からの同時データアクセスに起因する性能干渉を抑制し、求められる性能を個々に提供できることが理想ではある。一方、I/O 特性や求める性能だけでなく、求める容量もアプリケーションによって大きく異なり、種々の要求がトレードオフの関係となる場合もある。結果として、予算的な制約がある中で、全てのユーザを公平に満足させる共用のストレージシステムを用意することは非常に困難であった。

システムの導入に関する問題だけでなく、その後の運用についても懸念があった。ディスク故障に対する作業やネットワーク・ストレージに障害が発生した時の影響を考えると、できる限り障害の可能性が少なく、かつ障害時の作業負荷が小さいシステムを構築する必要があった。

そして、CloudStack を用いてクラウド環境を構築するため、CloudStack のストレージ設計に適合したストレージシステムを用意する必要があった。具体的には、CloudStack がプライマリストレージ、セカンダリストレージと定義する 2 種類のストレージである。プライマリストレージはデプロイされる仮想計算機のディスクイメージを格納するストレージであり、セカンダリストレージは仮想計算機のディスクイメージのテンプレートやスナップショット等を格納するストレージである。

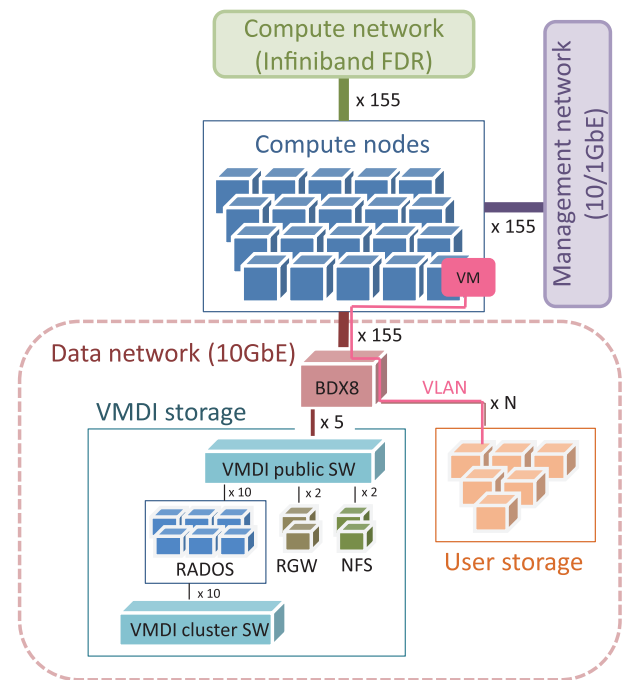


図 1 ASGC のネットワークと外部ストレージ構成

2.3 提供するストレージサービス

前節で述べたストレージシステムに対する要件を総合的に検討し、ASGC では以下に述べる 3 つのストレージサービスを提供することとした。

2.3.1 ローカルストレージ

ASGC の計算ノードに SSD を搭載し、容量の 8 割程度を「ローカルストレージ・サービス」としてユーザに提供する。ローカルストレージは CloudStack のプライマリストレージとして登録され、仮想計算機の OS 用のルートボリューム (22GB) のデプロイ場所となる。また、計算ノード全体を占有する仮想計算機を実行する場合には、データボリューム (450GB) としても利用できる^{*1}。SSD であるために高速なアクセスが可能であり、仮想計算機がデプロイされた後は、ASGC の他の箇所に障害が発生した場合でも仮想計算機内部の計算処理に影響はない。なお、表 1 に示す SSD は、カタログ値での比較において、同容量の SAS HDD (15000RPM) に比べて MTBF は 1.25 倍、消費電力はアクティブ時で 27% である。

2.3.2 持ち込みストレージ

ASGC のサービスとしてアプリケーション向けの共用ストレージを提供しない代わりに、ユーザが所有するストレージを ASGC 上にデプロイされた仮想計算機に直接接続できる「持ち込みストレージ・サービス」を提供する。図 1 に示すように、ASGC では計算用ネットワークとは別に 10Gbps のデータ用ネットワークを用意しており、その基幹スイッチに対して 10GbE での接続を許可する。

^{*1} ASGC では HPC インスタンスタイプを提供しており、それは計算ノードを占有し、Infiniband アダプタのパススルーによる利用、データボリュームの利用がサービスに含まれている。

ASGC は産総研内のユーザ向けに運用されるため、ユーザが ASGC と同じ計算機室にストレージ機器を持ち、ネットワーク接続することは比較的容易である。また、別の計算機室にストレージ機器がある場合でもネットワークの延長により対応可能である。本サービスの利点は、並列ファイルシステム、データベース、アーカイブ用途のストレージ等をユーザが選択し、自身で管理できること、図 1 に示すようにユーザの仮想計算機と持ち込みストレージの間には仮想ネットワークが設定されるため、セキュリティやユーザ毎の性能確保が容易になることにある。

2.3.3 VMDI ストレージ

仮想計算機のディスクイメージ (VMDI: Virtual Machine Disk Image) を永続的に格納するための「VMDI ストレージ・サービス」を提供する。VMDI ストレージは CloudStack のセカンダリストレージとして登録され、CloudStack を介して、デプロイされる仮想計算機のテンプレートやスナップショット等の保存に利用される。その実装として、我々はスケールアウトが可能であり、Amazon S3 [6] 互換インタフェースを持つオブジェクトストアを構築した。それは表 2 のストレージノードを用いて、RADOS (Reliable Autonomic Distributed Object Store) [7,8] を組み、フロントエンドノードにおいて RADOS Gateway (RGW) [9] を稼働させ、S3 互換アクセスを ASGC に提供するという構成である。フロントエンドノードは現在は Active-Stanby の構成であるが、負荷に応じて Active-Active への移行やノード数の増強が可能になっている。合計の物理容量は 160TB であるが、3 コピーのレプリカ設定を採用しているため、サービス向けの実効容量は約 48TB である。また、図 1 に示すように 2 系統のネットワークを持ち、レプリカ作成等の RADOS 内通信と ASGC 向けのサービスに用いるネットワークを分離している。ASGC のデータ用ネットワークの基幹スイッチとの間は 5 リンクのアグリゲーションを設定している。

一方、現在の CloudStack では、S3 インタフェースを持つストレージをセカンダリストレージに用いる場合でも NFS によるステー징・キャッシュを介す必要がある。ASGC では 2 台の NFS サーバを Active-Stanby 構成で運用し、6 台の SSD を RAID0 の構成にしてキャッシュ領域を作成し、サービスを提供している。

ASGC において、ユーザがカスタマイズした仮想計算機のディスクイメージやそのスナップショットの管理は重要であり、全ユーザが VMDI ストレージ・サービスの恩恵を受ける。そのため、本サービスについては上記のように性能や冗長性に配慮した実装としている。

3. 基本性能評価

設計したシステムを構築した後、3 つのストレージサービスのうち、ローカルストレージと VMDI ストレージに関

表 2 VMDI ストレージを構成する主な機器のスペック

Frontend node	Supermicro SuperServer ×2
CPU	Intel Xeon E3-1230v3 (4 cores, 3.3GHz) ×2
Memory	8GB (DDR3-1600)
Disk	Intel SSD 530 120GB
10GbE adaptor	Intel X520-DA2
OS	Ubuntu 12.04.5
Storage node	Supermicro custom server ×10
CPU	Intel Xeon E5-2630Lv2 (6 cores, 2.4GHz) ×2
Memory	32GB (DDR3-1600)
System disk	Intel SSD 530 120GB or 240GB
Journal disk	Intel SSD 530 480GB ×2
Data disk	Seagate ST2000NM0023 (6Gbps SAS, 7200RPM, 2TB) ×8
10GbE adaptor	Intel X520-DA2
OS	Ubuntu 12.04.4
10GbE switch	Arista Networks 7124SX ×2
NFS server node	Dell PowerEdge R420 ×2
CPU	Intel Xeon E5-2407 (4 cores, 2.2GHz) ×2
Memory	48GB (DDR3-1066)
System & data disk	SSD 200GB (3Gbps SATA) ×8
10GbE adaptor	Broadcom 57810S (Dual port)
OS	CentOS 6.6

して基本性能の評価を行った。後者についてはさらに性能改善も試みた。

3.1 ローカルストレージの性能評価

ローカルストレージの性能評価では、CPU を 20 コア、メモリを 120GB、ルートボリュームとは別に 450GB のデータボリューム (ディスク) を割り当てて物理ノードをほぼ占有できる仮想計算機 (VM) を起動して、ディスクアクセスの性能を測った。これは ASGC における HPC インスタンスタイプと同等の資源割り当てである。ディスクは Ext4 ファイルシステムでフォーマットし、その上で Fio [10] ベンチマーク (Version 2.2.5 を使用) を実行した。ベンチマークの実行前には仮想計算機、物理計算機の両レイヤにおいてキャッシュを解放し、実行時は Direct I/O を用いてディスクアクセスを行うようにした。図 2 がその測定結果であり、仮想計算機をホストする物理計算ノード (Host) 上で同様のベンチマークを実行した結果と比較している。仮想計算機上の I/O 性能は逐次アクセスでは物理計算ノード上の性能と遜色ないが、ランダムアクセスではかなり低い性能になっている。これは HPC における中間データの書き出しでは問題にならなくても、このディスク上にデータベースを構築するような場合には問題となり、SSD の性能を十分に活用できているとは言い難い。ASGC で利用している QEMU/KVM のバージョンではなく、最

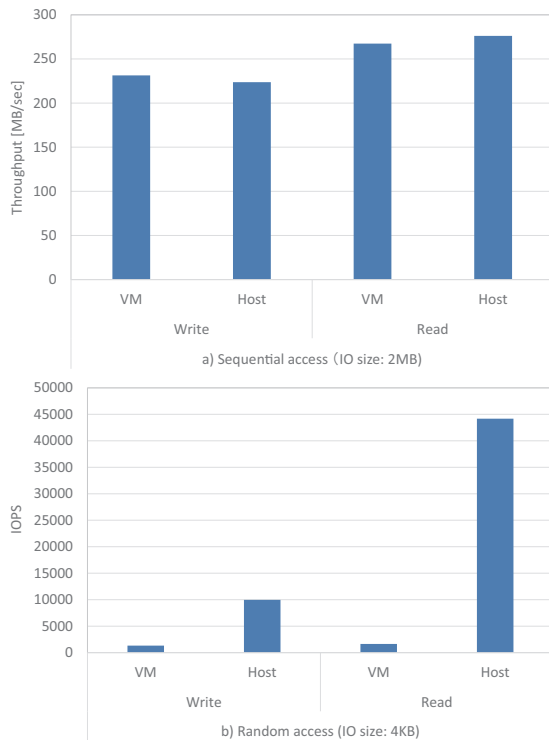


図 2 ローカルストレージの基本性能

新のバージョンを利用した場合でも目立った性能改善は見られず，ランダムアクセスの性能向上は大きな課題の1つである。

3.2 VMDI ストレージの性能評価

VMDI ストレージの性能測定では，実際に仮想計算機をデプロイする際に RGW からステージング・キャッシュ・サーバに VMDI テンプレートを S3 転送によりダウンロードする速度と，仮想計算機のテンプレートを作成する際にステージング・キャッシュ・サーバから RGW に VMDI テンプレートをアップロードする速度を測定した．1つのテンプレートを転送する場合に加えて，ダウンロードでは異なるテンプレートを2並列，アップロードでは3並列同時に転送する場合の合計スループットも測定した．これは HPC インスタンスタイプを利用して仮想クラスタを構築する場合には，Frontend と Compute の2種類のテンプレートを同時にダウンロードする必要があり，またテンプレートの作成も同時に複数行われることが想定され，その際の性能を確認するためである．なお，CloudStack ではステージング・キャッシュ・サーバは NFS によるファイル共有を前提としており，計算ノード上で Secondary Storage Virtual Machine (SSVM) を起動し，SSVM がリモートマウントした NFS 領域上に RGW からの VMDI をダウンロードしたり，逆にそこからアップロードを行ったりする．このため，S3 によるデータ転送も SSVM が介在し，NFS 越しのデータ転送を伴う．図 3 のグラフは，CloudStack から起

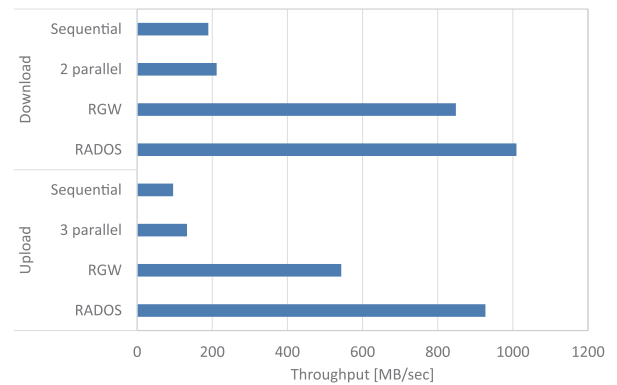


図 3 VMDI ストレージの基本性能

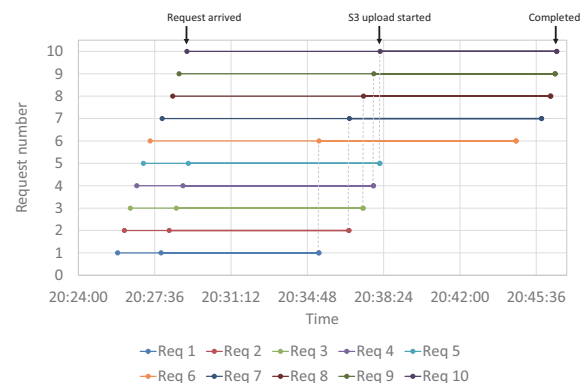


図 4 同時に 10 個のテンプレート作成を要求した際の要求毎の S3 転送の開始・終了時刻

動された SSVM において確認できる S3 のデータ転送性能と SSVM を経由せずに RGW や RADOS に直接アクセスした時の性能を比較した結果である．RGW や RADOS へのアクセスは VMDI ストレージのスタンバイ用のフロントエンドノードより行った．本結果より，RGW や RADOS への直接アクセスの性能と SSVM で確認できる RGW へのアクセス性能には大きな差があることが分かる．

次に，アップロードに関して同時に 10 個のテンプレートの作成要求を行い，S3 のクライアント数が増えた時の合計スループットの伸びを確認した．しかし，図 4 に示すように，同時に 10 個の要求を行っても CloudStack 内部では RGW への同時アップロードが 5 並列に制限された．また，5 並列の合計スループットは 133[MB/sec] であり，3 並列でのアップロードの合計スループットとほぼ同じであった．

これらの結果を踏まえ，SSVM に割り当てる資源を増やし，そのスペックを高めることでまず S3 の単体の転送性能を向上させることを試みた．表 3 は，SSVM のスペックと S3 のマルチパート・データ転送のパラメータであるパートサイズ，スレッド数の上限の関係を調査した実験結果である．なお，この実験では CloudStack Version 4.3.0 に含まれる AWS SDK Version 1.3.22 ではなく，Version 1.7.7 を使用し，S3 のデフォルトの転送パラメータを適宜変更し

表 3 SSVM のスペックと S3 の転送パラメータによる性能の違い (単位: MB/sec)

	SSVM specifications (Number of CPU cores, Memory size)				
	1 core		4 core		16 core
	Mem. 0.5GB	Mem. 2GB	Mem. 0.5GB	Mem. 2GB	Mem. 32GB
Default setting (Part size=5MB, # of threads=10)	76	74	143	146	142
Setting the part size=64MB	95	103	271	361	384
Setting the number of threads=40	79	79	149	146	146

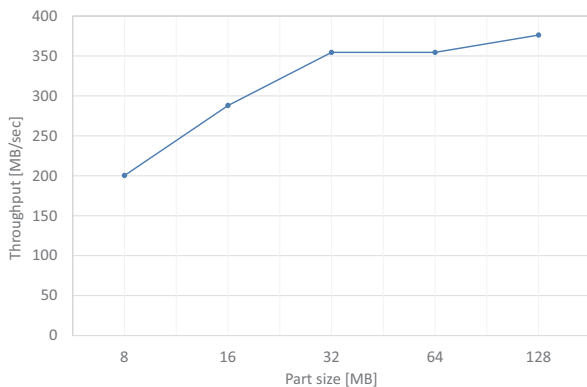


図 5 パートサイズによる S3 の転送性能の違い

た. 表 3 より, SSVM のスペックを高めることで S3 の転送性能が改善されることが確認できる. また, S3 の転送パラメータに関してはパートサイズを大きくすることが効果的であるといえる. この結果より, 我々は ASGC において SSVM に割り当てる CPU コア数を 4, メモリ量を 2GB に変更することを現在検討中である.

そして, SSVM のスペックを検討案に設定した暫定環境において, パートサイズについて更なる調査を行った. その結果が図 5 である. これより, ASGC の環境ではパートサイズを 32MB 以上に設定することが望ましいと考えられ, 上記と合わせてパラメータ調整を行う予定である.

同時に複数の S3 転送が行われる際の合計スループットの向上に関しては, 先述の 5 並列に制限される問題に加えて, SSVM の起動数の調整を今後進めていきたい. 今回の実験では SSVM が 1 つしか起動していないが, CloudStack では SSVM に対する転送リクエスト数が増えると追加の SSVM を起動する仕組みが実装されており, 合計スループットの向上が望める可能性があると考えている.

4. 構築および初期運用

2 章で述べた設計に基づいたストレージシステムの構築, および実運用においては CloudStack のストレージ部分の実装に関して複数の問題に直面した. いずれも実装上のバグであり, a) プライマリストレージにローカルディスクを利用, b) セカンダリストレージに S3 を利用するという ASGC で採用した構成に該当する問題であった. つまり, a) で発生する問題はプライマリストレージが NFS 等の共有ファイルシステムを利用する構成では発生しない. b) で

発生する問題も NFS 上のステージング・キャッシュの取り扱いに原因があり, S3 を利用せず, NFS だけを利用する場合には発生しない. しかし, NFS のスケラビリティや 2.2 節で述べた要件を踏まえると, ASGC において a) や b) に NFS を利用することは解決にならず, これらのバグを随時修正しながらの構築・運用となった. なお, 各問題の具体的な説明は一部ではあるが, [11] の Web ページで公開している.

VMDI のボリューム・スナップショットは, 実質的にルートボリュームに関してのみ利用可能であり, その復元は VMDI のテンプレートを作成して仮想計算機をデプロイし直すことでしか行えない. これは上記の CloudStack のバグにより, ディスクのアタッチによる復元が動作しないためである. また, ASGC で利用している QEMU/KVM のバージョンではライブ・スナップショットがサポートされていないため, 特に PCI パススルーを利用するインスタンスタイプにおいて起動中のスナップショットを取得できない問題もあり, 未解決である.

データ用ネットワークに関しては, CloudStack のデフォルト設定では仮想計算機間, および仮想計算機と持ち込みストレージの間のネットワーク性能が 200Mbps に制限されるが, ASGC では無制限の設定で運用している. インスタンスタイプ毎のレート設定が可能であるため, 今後, データ用ネットワークの利用が増加した場合には再検討する予定である.

ローカルストレージや VMDI ストレージに関しては, 2014 年 7 月の運用開始以来, 2015 年 2 月 2 日現在までディスク故障も含めて障害は発生していない. 現在の VMDI ストレージの使用量はレプリカも含めて 6147GB, 使用可能容量の 4.13% の使用である. 使用量が少ない一因には, 上記のボリューム・スナップショット機能の利用に制約があり, VMDI ストレージの利用がテンプレートの保存に限られている点が挙げられる.

5. 関連研究と今後の課題

Amazon Web Services (AWS) [12] では, VLAN を使用して AWS 上に構築されたユーザの仮想環境 (VPC) と外部のユーザネットワークを専用線で接続可能にする Direct Connect [13] を提供している. ASGC の持ち込みストレージ・サービスは Direct Connect の考え方に近いが, スト

レージサーバの直接接続を目的としたものである。

AWSではさらに、ASGCのローカルストレージやVMDIストレージに相当するサービス以外にも、ブロックストレージ(EBS)やデータベース(RDS)、オフラインバックアップ(Glacier)等、様々なストレージサービスをユーザに提供しており[14]、ユーザの選択肢が広い。ASGCはAWSに比べてずっと規模が小さいため、そのような複数のストレージサービスを提供することは今後も容易ではないが、ブロックストレージについては検討を進めている。それはVMDIストレージのRADOSの上位にRBD[15]を提供し、CloudStackのプライマリストレージとしての利用を目指すものである。

RBDによってASGCのストレージサービスの選択肢が広がり、4章で述べたCloudStackのバグを回避できる可能性がある。さらに、プライマリストレージがローカルディスクである場合には利用不可であったマイグレーション機能が利用可能になる。一方、仮想計算機のルートボリュームをネットワーク越しに提供する際の欠点とそれを補う対策の検討が必要だと考えている。このため、我々は長時間の計算を行う仮想計算機が、データ用ネットワークやVMDIストレージに発生する問題によって停止する等の影響を受けないよう、仮想計算機の起動後にルートボリュームをローカルストレージに移動し、切り替える手法の研究も行っている[16]。まだ研究段階ではあるが、RBDの利用開始と合わせてASGCへの適用を検討していきたい。

6. おわりに

ASGCにおけるストレージシステムには、一般的なクラウドで必要とされるストレージサービスに加えて、ASGCにおいて我々が目指しているHPCやデータ処理のプラットフォームを支えるサービスの提供が求められている。このため、独自性の強いシステムになったことから、クラウドミドルウェアにおける利用事例が少ない機能の実装の問題に苦労した点は否めない。しかし、我々が解決した問題が開発コミュニティに還元され、技術やノウハウの蓄積、課題の共有が行われ、将来的に同様のシステムの構築が容易となるのであれば幸いである。

本システムはコモディティのハードウェアの利用、アプリケーション用のストレージのユーザ負担、フリーのソフトウェアの活用等により、低コストでの構築が実現した。その一方で、重要な部分については冗長性を確保し、必要に応じて拡張可能な構成になっていることも言及しておきたい。まだ解決すべき課題も多いが、着実に改善が進んでおり、今後は大規模データ処理等の実アプリケーションを用いての検証も進めていきたいと考えている。

謝辞 本研究の遂行にあたり、ASGCの構築および運用を担当しているASGCサポートチームに多大なるご協力を頂きました。深く感謝いたします。

参考文献

- [1] 高野了成, 谷村勇輔, 竹房あつ子, 広瀬崇宏, 田中良夫: 高性能かつスケールアウト可能なHPCクラウド AIST Super Green Cloud, 情報処理学会研究報告, Vol. 2014-HPC-145(4) (2014).
- [2] 産業技術総合研究所 研究成果記事: クラウド間の垣根を超える高性能計算を実現, http://www.aist.go.jp/aist-j/press_release/pr2014/pr20140718/pr20140718.html (2014).
- [3] Tanimura, Y., Takano, R., Hamanishi, T. and Ohashi, H.: Improving Personalized Virtual Cluster Deployment Across Clouds, Poster presentation at the Annual Meeting on Advanced Computing System and Infrastructure (ACSI) (2015).
- [4] Apache CloudStack: <http://cloudstack.apache.org/>.
- [5] Chakthranont, N., Khunphet, P., Takano, R. and Ikegami, T.: Exploring the Performance Impact of Virtualization on an HPC Cloud, *Proceedings of the 6th IEEE International Conference on Cloud Computing Technology and Science* (2014).
- [6] Amazon S3: <http://aws.amazon.com/s3/>.
- [7] Weil, S. A., Leung, A. W., Brandt, S. A. and Maltzahn, C.: RAODS: A Scalable, Reliable Storage Service for Petabyte-scale Storage Clusters, *Proceedings of the 2nd International Workshop on Petascale Data Storage*, pp. 35-44 (2007).
- [8] RADOS: Reliable Autonomic Distributed Object Store: <https://ceph.com/docs/master/rados/>.
- [9] RADOS Gateway: <http://ceph.com/wiki/RADOS.Gateway>.
- [10] Fio (Flexible I/O Tester): <https://github.com/axboe/fio>.
- [11] CloudStack Advent Calendar, Day 22, 2014: AIST Super Green CloudにおけるCloudStack運用話, <http://d.hatena.ne.jp/oraccha/20141222/1419237098> (2014).
- [12] Amazon Web Services (AWS): <http://aws.amazon.com/>.
- [13] AWS Direct Connect: <http://aws.amazon.com/directconnect/>.
- [14] Baron, J. and Kotecha, S.: Storage Options in the AWS Cloud, http://media.amazonwebservices.com/AWS_Storage_Options.pdf (2013).
- [15] Devices, R. B.: <https://ceph.com/docs/master/rbd/rbd/>.
- [16] Tanimura, Y. and Hamanishi, T.: Virtual Cluster Deployment with Dynamically Detachable Remote Shared Storage, *Euro-Par 2014: Parallel Processing Workshops*, Vol. LNCS 8806, No. 2, pp. 508-518 (2014).
- [17] Tanimura, Y., Takano, R., Hamanishi, T., Nakada, H. and Tanaka, Y.: Performance Study on Virtual Machine Provisioning and Backup for Storage Design of the HPC Cloud, Poster presentation at the 22nd International ACM Symposium on High Performance Parallel and Distributed Computing (HPDC'13) (2013).