

IBM Real-time Compression Appliance
富士通 ETERNUS NR1000F/PRIMERGY RX300

検証レポート

2012年12月

日本アイ・ビー・エム株式会社
株式会社アルゴグラフィックス
株式会社富士通エフサス
富士通株式会社

目次

目次	2
1. 検証の目的	3
2. 検証の実施概要	3
3. 検証項目	4
4. 検証結果	4
4.1 圧縮率	4
4.2 圧縮時のデータ転送性能	5
4.3 既存データの圧縮機能の実行速度	8
4.4 Data Recovery Utilityの実行速度	9
5. まとめ	11
6. 付録. 参考情報リンク集	12

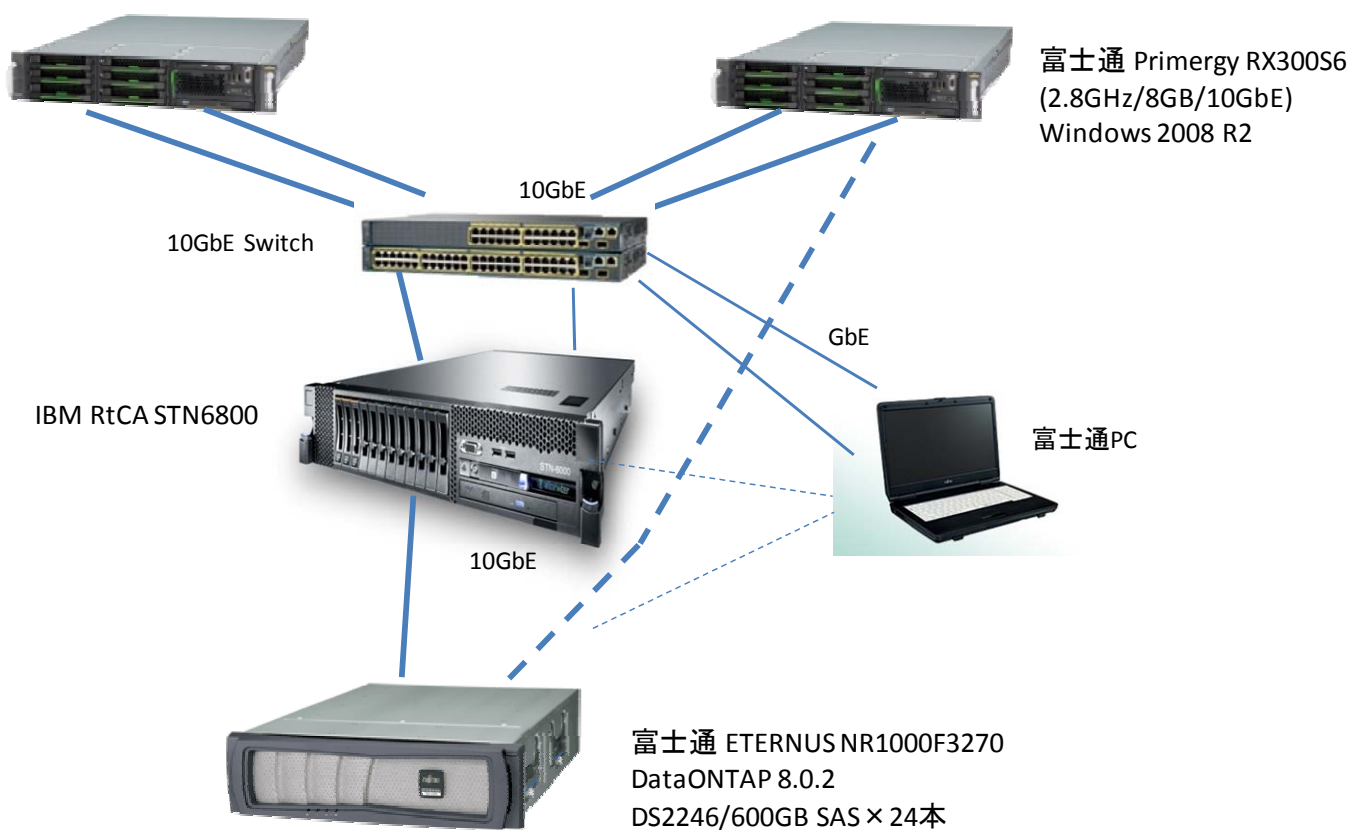
1. 検証の目的

ユーザー・データが増えるにつれてストレージの容量だけでなく、運用・監視コストも増加している。増加するストレージ容量に対して、リアルタイムにデータを圧縮することで効率的なストレージシステムを構築するソリューションとして、IBM のデータ圧縮アプライアンス製品「Real-time Compression Appliance」(以下 RtCA)と、富士通の NAS 製品「ETERNUS NR1000F シリーズ」および PC サーバ「PRIMERGY」の組合せが提供されている。

本検証では、NAS のデータ圧縮ソリューションにおける圧縮率やデータ転送性能など、各種動作性能を計測し、参考情報として提供することを目的とする。

2. 検証の実施概要

- (1) 実施日 2012年9月7日～9月13日
- (2) 検証場所 IBM 幕張センター
- (3) 検証構成



(4) 参加メンバー

日本アイ・ビー・エム株式会社
株式会社アルゴグラフィックス
株式会社富士通エフサス
富士通株式会社

3. 検証項目

本検証では以下の4項目を実施、測定した。

(1) 圧縮率

CAD、MS Office、ログ（テキスト）のそれぞれのファイルの圧縮率を計測した。

(2) 圧縮時の転送性能

サーバーからNASへの書き出し時のデータ転送速度を測定した。

(3) 既存データの圧縮機能の実行速度

NAS上にある圧縮されていないデータを、RtCAの機能で圧縮する機能の実行速度を測定した。

(4) Data Recovery Utilityの実行速度

圧縮されているデータを、RtCAを使わずに元データに復元するツールである「Data Recovery Utility」の実行速度を計測した。

4. 検証結果

4.1 圧縮率

CAD、Microsoft Office、ログ（テキスト）の3種類のサンプルファイルを用意し、RtCAの圧縮による容量削減の効果を計測した。アプリケーションやファイルの特性により圧縮による容量削減率が異なるため、サンプルファイルの説明とそれぞれの計測結果についても記載した。

(1) CAD

CADの出力ファイルのRtCAによる圧縮結果を下表に示す。結果は以下のようにまとめられる。

- 広く使われているNX CADやICAD/MXなどのデータは圧縮により概ね50~70%の容量を削減することができ、効果が大きい。
- 受け渡しデータであるigesファイルも66%減と圧縮効果が大きいですが、Autodesk Inventor独自の部品情報であるiptファイルはバイナリデータであるためか、容量削減率は小さい。
- 構造解析ソフトLS-DYNAの出力データは25%程度の容量削減率にとどまった。

アプリケーション	ファイル特性	非圧縮容量 (MB)	圧縮容量 (MB)	容量 削減率	平均ファイル サイズ(KB)
Autodesk Inventor	iges ファイル	72.40	24.60	66.0%	36,200
Autodesk Inventor	ipt ファイルのみ	95.05	93.92	1.2%	13,579
LS-DYNA	出力ファイル	581.77	432.46	25.7%	22,376
NX CAD	3次元CAD部品データ	181.81	66.45	63.4%	202
NX CAD	3次元CAD製品設計データ	41.91	21.99	47.5%	466
NX CAD	3次元CAD製品データ	0.51	0.12	76.6%	26
ICAD/MX	2D図面データ	0.53	0.23	55.7%	177
ICAD/MX	大規模3Dモデルデータ	276.70	95.89	65.3%	264
ICAD/MX	小規模3Dモデルデータ	78.02	27.45	64.8%	877
ICAD/SX	CAD図面データ	193.93	118.80	38.7%	96,966

(2) Microsoft Office

Microsoft Office のファイルの圧縮結果を下表に示す。

Excel ファイルの容量削減率が最も大きく、Word や Power Point のファイルの容量削減率は相対的に低かった。これはサンプルファイルの Word および Power Point ファイルが図を多く含んでいるためであると考えられる。

ファイル形式	非圧縮容量(MB)	圧縮容量(MB)	容量削減率	平均ファイルサイズ(KB)
Word	5947.77	3920.67	34.08%	2704.80
Excel	201.21	60.80	69.78%	227.10
Power Point	1257.40	1080.62	14.06%	4874.03

(3) ログデータ

ログデータはテキスト形式のために容量削減効果は大きく、8割以上が削減された。

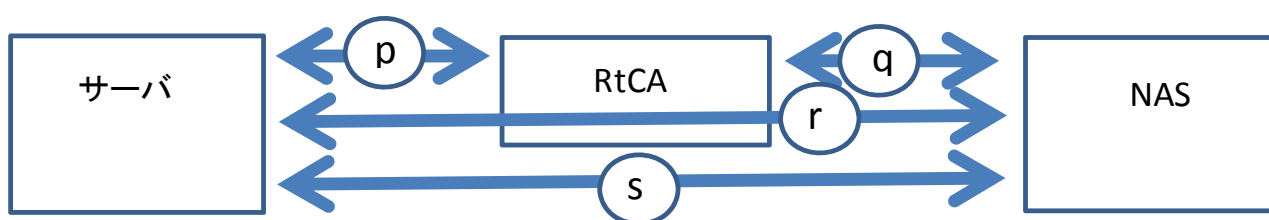
ファイル形式	非圧縮容量(MB)	圧縮容量(MB)	容量削減率	平均ファイルサイズ(KB)
テキスト	20618.46	2760.51	86.61%	27915.90

4.2 圧縮時のデータ転送性能

(1) 検証概要

10GbE 環境での圧縮時のデータ転送性能を検証するために、RtCA によって圧縮した場合の NAS へのデータ転送性能を、NAS へ直接書き込む場合と、RtCA は経由するものの圧縮を行わない場合とで比較した。

本検証のデータ転送経路を下図に示す。



p: RtCA 経由で圧縮したデータを NAS へ転送する経路。データは圧縮されていない。

q: RtCA 経由で圧縮したデータを NAS へ転送する経路。データは圧縮されている。

r: RtCA を経由するが、圧縮対象外のデータを NAS へ転送する経路。データは圧縮されていない。

s: RtCA を経由せずに、サーバーと NAS を直結し、データを転送する経路。

サーバーは 1 台または 2 台用意し、コピー元ファイルを XCOPY コマンドで転送するプロセスを複数並列に実行した。なお、1 プロセスあたりで使用するコピー元ファイルの特性を下表にまとめ

る。

ファイル数	756
非圧縮容量	19.6GB
圧縮容量	2.6GB
圧縮率	86.6%

(2) 測定方法および結果

各ケースでは、データ転送速度及び各機器のリソース使用率として、RtCA の CPU 使用率や NAS の CPU 使用率などを計測した。表には、参考値として NAS のサービス IP ポートにおける、秒あたりの cifs コマンド発行数(#cifs/s)も表記した。これにより、RtCA の動作として、NAS への CIFS コマンド数は変わらず、コマンドあたりのデータ量が 32KB から 4KB 程度(注:圧縮率に依る)に削減されていることが理解できる。

なお、このテストではコピー元の内蔵ディスクが性能上のボトルネックとなることも考慮されるが、リソース使用率などと併せて、RtCA の圧縮能力の目安を得られる。

(2-1) ケース 1 : サーバー 2 台、10 プロセス

2 台のサーバーの内蔵ディスク上のデータを、サーバーあたり 5 プロセスずつ、計 10 プロセスで並列に転送した。NAS へのデータ転送量は計 198GB である。計測結果は下表のとおり。

測定結果から、圧縮の効果により、データ転送量が大幅に削減されることに伴い NAS の負荷が軽減され、コピー完了までの時間も短縮されていることが分かる。

測定パターン	コピー完了 時間(分)	転送速度 (MB/s)	転送 経路	NAS %CPU	NAS %disk	RtCA %CPU	#cifs/s
RtCA 圧縮時	10.1	45.6	q	30.3	10.7	14.4	8886
		340.6	p				同上
RtCA 非圧縮時	11.1	254.3	r	59.9	46.6	1.2	7952

(2-2) ケース 2 : サーバー 2 台、20 プロセス

2 台のサーバーの内蔵ディスク上のデータを、サーバーあたり 10 プロセスずつ、計 20 プロセスで並列に転送した。NAS へのデータ転送量は計 392GB である。計測結果は下表のとおり。

測定結果から、XCOPY のプロセス数を増やした結果、ケース 1 よりも転送速度が向上している。また、RtCA の圧縮を有効化した場合と無効化した場合を比べることで、圧縮を有効化した場合にデータ転送時の NAS の負荷が軽減されることが分かる。

測定パターン	コピー完了 時間(分)	転送速度 (MB/s)	転送 経路	NAS %CPU	NAS %disk	RtCA %CPU	#cifs/s
RtCA 圧縮時	20.9	46.3	q	35.1	10.6	17.0	11034
		345.9	p				同上
RtCA 非圧縮時	25.9	265.5	r	61.9	48.5	1.1	8300

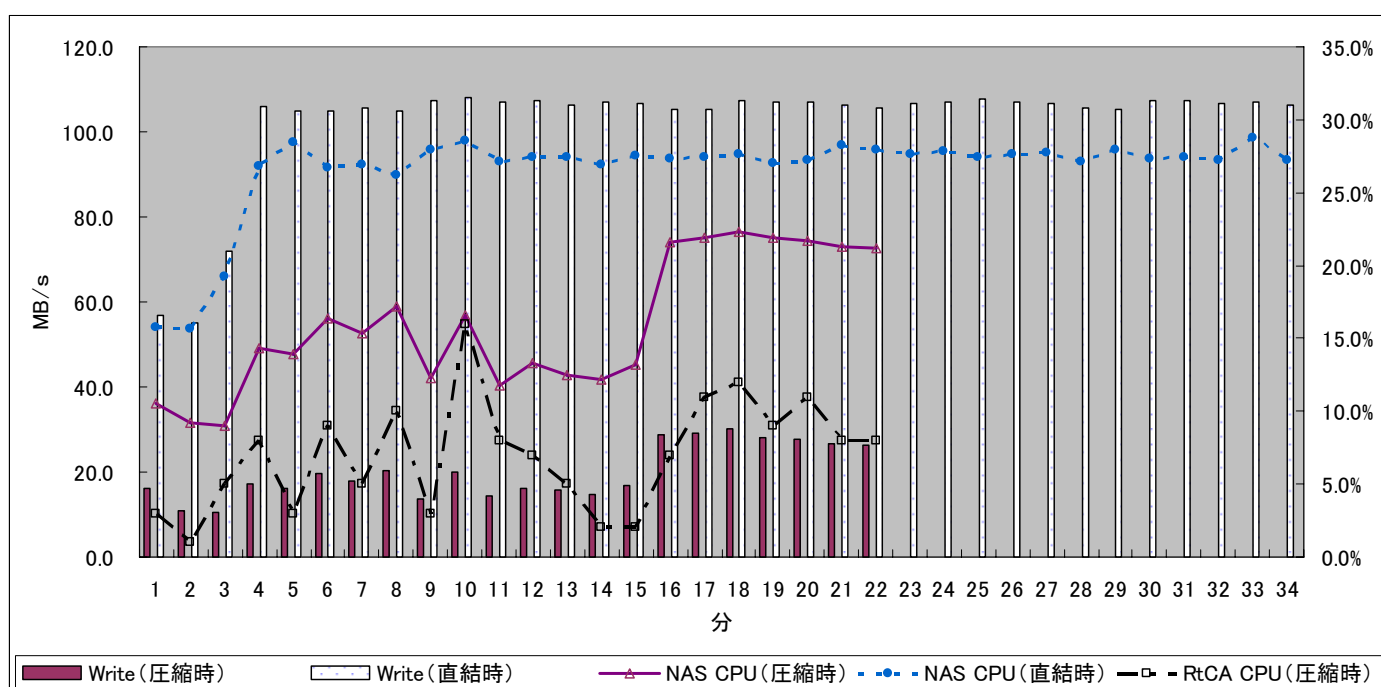
(2-3) ケース 3：サーバー1 台、10 プロセス

1 台のサーバーの内蔵ディスク上のデータを 10 プロセスで並列に転送した。NAS へのデータ転送量は 196GB であった。計測結果は下表の通り。

測定結果から、圧縮により NAS 直結時よりもコピー完了までの時間が約 2/3 に短縮されていることが分かる。

測定パターン	コピー完了時間(分)	転送速度(MB/s)	転送経路	NAS %CPU	NAS %disk	RtCA %CPU	#cifs/s
RtCA 圧縮時	22.4	20.0	q	16.0	5.0	6.4	4650
		149.4	p				同上
NAS 直結時	34.8	102.5	s	26.6	21.5	N/A	3235

下のグラフは NAS で計測した、データ転送速度および NAS CPU 使用率の変化を時系列（1 分間隔）で示している。RtCA の圧縮により転送時間が短縮されているだけでなく、NAS CPU 使用率が非圧縮時に比べて低く推移していることが分かる。



(2-4) ケース 4：サーバー1 台、3 プロセス（NAS-NAS のコピー）

1 台のサーバーで、NAS 上のデータを NAS 上の別ディレクトリにサーバー経由で転送する処理を 3 プロセス並列に実行した。NAS へのデータ転送量は 58.8GB であった。なおコピー元データは、RtCA 経由のテストでは NAS 上にすでに圧縮されたファイルを用意し、NAS 直結の場合には非圧縮ファイルを用意した。計測結果は下表の通り。

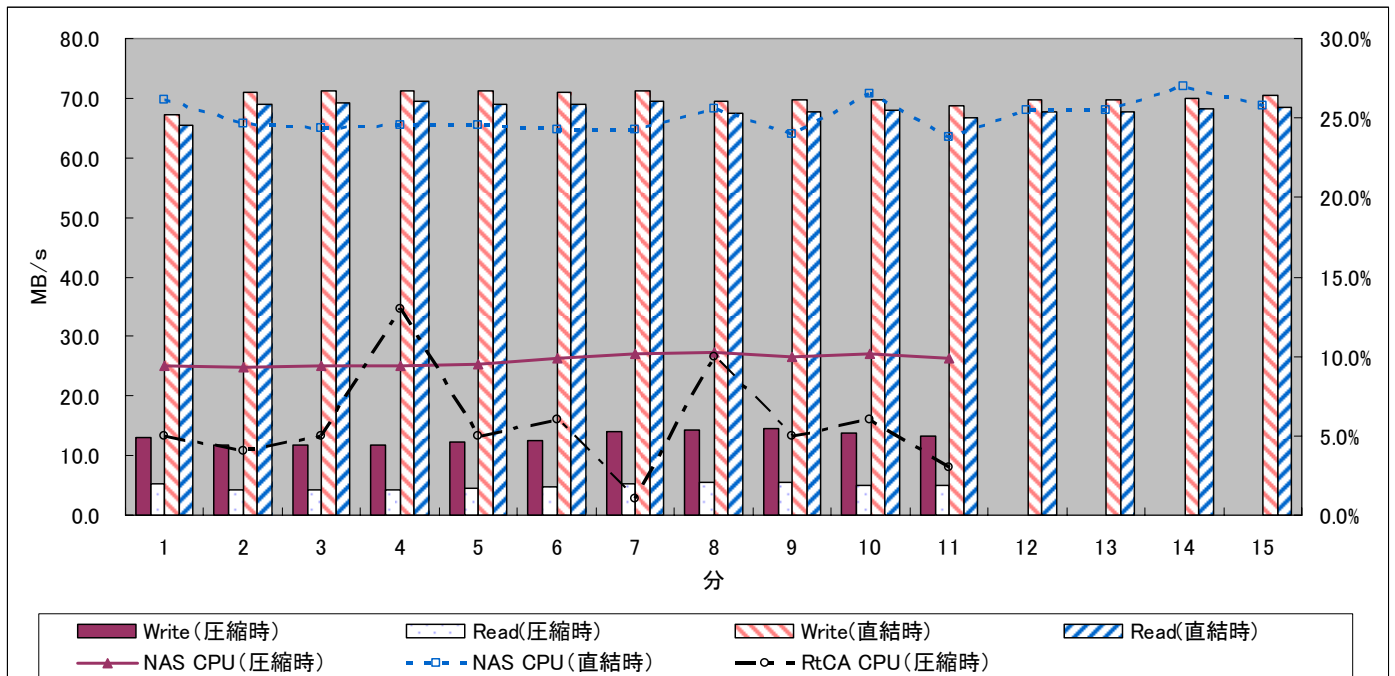
測定結果から、圧縮によりデータ転送量が大幅に削減されたため、NAS の負荷が軽減され、コピー完了までの時間も短縮されていることが分かる。また、RtCA を使用した方がデータの読み出

し回数 (#cifs/s) が少ない。これは同一データを読み出すテストであるために、RtCA のリードキャッシュ効果により、NAS からデータを読み出す回数が軽減され、NAS の負荷軽減につながっているものと推測される。

測定パターン	コピー完了時間 (分)	転送速度 (MB/s)	転送 経路	NAS %CPU	NAS %disk	RtCA %CPU	#cifs/s
RtCA 圧縮時	11.5	W:13.1 R:4.9	q	9.8	4.8	5.7	2688
		W:97.9 (R:*)	p				同上
NAS 直結時	15.6	W:70.1 R:68.2	s	25.1	22.5	N/A	4285

*RtCA のリードキャッシュ効果があるため、NAS からのデータ転送速度と圧縮率だけでは算出できない

下のグラフはデータ転送および NAS CPU 使用率の変化を時系列 (1 分間隔) で示している。



4.3 既存データの圧縮機能の実行速度

現在 NAS をご利用中のお客様も、RtCA を追加することで容量の削減を行うことができる。そのため、RtCA は Compression Accelerator (以下 CA) と呼ばれる、NAS 上のファイルをポストプロセスで圧縮する機能を持つ。

この機能はバックグラウンドで実行され、通常のファイルアクセスへの影響を抑えるように設定されているが、以下 2 つの設定パラメータにより、CA の実行速度や負荷を調整することができる。

- インターバル … 個々のファイルに対する圧縮処理のインターバル (ms)
短くすると CA 実行速度は上がるが、NAS クライアントのファイルアク

セスへ影響を与えやすくなる。

- スレッド数 … RtCA 内部で実行する圧縮スレッド数。
スレッド数を増やすと CA 実行速度は上がるが、通常のファイルアクセスへ影響を与えやすくなる。

(1)テキストファイルの圧縮（計 98.2GB, 3780 ファイル）

4.1 の(3)で使用したログデータをコピーして作成したサンプルファイルを CA により圧縮した。計測結果は下表のとおり。

設定	インターバル	スレッド数	経過時間 (分)	元データに対する 処理速度(MB/s)
1.初期設定	10ms	2	6.38	262.5
2.速度優先設定	1ms	100	2.05	817.5

測定結果から、インターバルとスレッド数の 2 つのパラメータの変更により、速度優先設定にすると、初期設定に比べて 3 倍の速度で実行していることが分かる。

お客様環境では処理速度を向上させたい場合には、速度優先のパラメータ設定とし、NAS クライアントのファイルアクセスに対する影響を抑えたい場合には、デフォルト設定とした方がよいだろう。

(2)NX CAD のファイル（計 887MB, 4500 ファイル）

4.1 で圧縮率の測定に利用した NX CAD のファイルをコピーしたサンプルファイルを用意し、CA による圧縮を行った。計測結果は以下の通り。

設定	インターバル	スレッド数	経過時間 (分)	元データに対する 処理速度(MB/s)
1.初期設定	10ms	2	3.5	4.18
2.速度優先設定	1ms	100	1.97	7.52

テスト(2)結果も(1)の結果と同様、速度優先設定の方が処理時間は短い。

また、全体の容量が(1)に比べて 1/100 以下であるにも関わらず、CA による処理時間は 1/2~1/3 程度であった。これは NX CAD のサンプルファイルの平均サイズが約 200KB と小さく、ファイル数はテスト(1)よりも若干多く、メタデータ処理に時間がかかっていることが原因であると考えられる。なお、RtCA が介在しない、サーバーと NAS の間の読み書きの場合でも同様の傾向となるため、RtCA の有無に関わらない一般的な傾向であると考えられる。

4.4 Data Recovery Utility の実行速度

RtCA によって圧縮されたファイルは、ファイルシステム上は通常のファイルと同様に見えるが、RtCA で復元せずに読み込むことはできない。障害時など RtCA が利用できないような場合に備え、IBM から Data Recovery Utility という、RtCA によって圧縮されたファイルを NAS クライアントが各自で復元するツールが無償提供されている。

Data Recovery Utility を利用することで、個々のファイル属性（作成日や更新日などの情報）を維持したまま、圧縮されたファイルを復元することができる。

このツールは、RtCA 障害時の緊急対応用として用いることや、災対サイトでの利用を意図して提供されている。災対サイトに RtCA を設置しない場合は、RTO が伸びるものの、Data Recovery Utility で個々のファイルを復元することで、災対先に RtCA が無い場合でも圧縮データの読出しが可能となる。

本検証では、サーバー上の Data Recovery Utility の実行速度の目安を得ることを目的とする。ログデータと CAD データの 2 種類のサンプルファイルを RtCA で圧縮したうえで、サーバーと NAS を直結し、Data Recovery Utility による処理速度を計測した。下表に計測結果を示す。

#	データ種別	書き出し先	実行時間 (分)	実行速度(MB/s)	
				圧縮容量に対して	復元容量に対して
1	ログデータ(19.6GB)	内蔵ディスク	7.0	6.2	46.7
2	(圧縮時 2.62GB)	NAS	5.87	7.4	55.7
3	CAD データ(1.51GB)	内蔵ディスク	1.85	8.8	13.6
4	(圧縮時 0.98GB)	NAS	1.57	10.4	16.1

復元データの書き出し先としては、NAS とサーバー内蔵ディスクの 2 つのケースが想定できるため、テストもこの 2 つのケースで実施した。CAD データの実行速度がログデータに比べて遅いのは、CAD データが個々のファイルサイズが小さく、大量のファイル数で構成されているため、復元処理、および書込みでの速度が上がらないためだと考えられる。

5. まとめ

本検証では、Windows サーバーから ETERNUS NR1000F シリーズへ CIFS プロトコルでアクセスする環境で、RtCA の圧縮による容量削減効果とパフォーマンスの測定および付加機能の検証を行った。以下に各々の結果を総括する。

【圧縮率】

- CAD データは、一般に 60～70%程度の圧縮が見込める。しかし、データ種別により大きく異なるので、実データを事前に検証することを推奨する。
- Microsoft Office のデータは、テキストが含まれる割合が多ければ容量削減効果は大きいですが、図が多く含まれるデータでは容量削減率は小さい。
- ログデータはテキスト形式であり、80%程度の圧縮率が期待できる。

【圧縮時のデータ転送性能】

- 今回は RtCA がボトルネックになるような負荷を与えるまでの検証は行っていないが、サーバーから 350MB/s 程度の転送速度でファイルコピーができることを確認した。
- RtCA のデータ圧縮により、NAS のリソース使用率が軽減されていることを確認した。
- RtCA のメモリはリード・キャッシュとしても利用されるために、ファイルの読み出しで NAS に与える負荷を軽減させることを確認した。

【既存データの圧縮】

- NAS 上の非圧縮データを圧縮する機能 (Compression Accelerator) は、NAS クライアントのファイル・アクセスへの影響を抑えたデフォルト設定で 250MB/s 程度の処理速度であり、既存ファイルの圧縮を優先する設定にした場合は 800MB/s 程度であることを確認した。
- お客様環境では、ファイル圧縮の処理速度と、NAS クライアントのファイルアクセス状況を考慮し、設定を選択することが望ましい。

【Data Recovery Utility】

- サーバーによる圧縮データの復元は、データ種別(圧縮率)により実行速度が異なるが、圧縮したデータに対する実行速度として 6～10MB/s が計測された。

本検証結果から、RtCA の圧縮によって、ファイル容量の削減だけでなく、データ転送や NAS のリソース使用率にも効果があることが分かる。実際のお客様環境では、ファイルやアプリケーション、ハードウェアの構成などにより、圧縮による容量削減率や転送速度などの効果は変化する。

RtCA は Lempel-Ziv という広く利用された圧縮アルゴリズムを採用しており、OS 標準の圧縮ツールも同様のアルゴリズムを採用している。そのため、圧縮後の容量を見積もるには、お客様環境のファイルのうち、代表的なものをいくつかサンプルとして圧縮していただくことで、全体の圧縮率を予測することが有用である。

6. 付録. 参考情報リンク集

【この検証報告書に関するお問い合わせ先】

株式会社富士通エフサス サービスビジネス本部サービス企画統括部

お問い合わせ窓口

電話：0120-860-242

E-mail：fsas-service@cs.jp.fujitsu.com

Web：http://jp.fujitsu.com/group/fsas/contact/

【製品・サービスに関するお問い合わせ先】

1) 日本アイ・ビー・エム株式会社

アライアンス事業..システム事業開発 ストレージソリューション担当 加藤 正則

e-mail；e18677@jp.ibm.com

URL； http://www.ibm.com.jp

About IBM アライアンス事業；

アライアンス事業システム事業開発は IBM のハードウェア製品事業の一環として、お客様とのアライアンス事業(OEM, 組み込みソリューション,共同マーケティングなど)を推進しております。

2) アルゴグラフィックス株式会社

社会公共事業部メディア営業部 市川 孝夫

e-mail; Takao_Ichikawa@argo-graph.co.jp

URL； http://www.argo-graph.co.jp

About アルゴグラフィックス；

株式会社アルゴグラフィックスは1985年に設立され、以来、主に国内製造業各社および官公庁・研究開発機関等に対する設計・開発、研究部門へのIT技術支援とコンピュータ・システム構築支援ビジネスを展開しております。

特にメディア営業部はHPC領域以外にもPLM(CAD/CAM/CAE)やストレージソリューションを得意とし、専門部隊もごさいます。

今後とも、データベース、ソフトウェア、システムの最適化など高度なシステム構築技術にて最先端技術サービスを提供してまいります。

3) 富士通株式会社・株式会社富士通エフサス

富士通株式会社へのお問い合わせは、以下のお客様お問い合わせ窓口にお願いします。

[富士通コンタクトライン(総合窓口)] 電話：0120-933-200

-PRIMERGY お問い合わせ窓口

<http://jp.fujitsu.com/platform/server/primergy/contact/>

-ETERNUS お問い合わせ窓口

<http://storage-system.fujitsu.com/jp/contact/>

株式会社富士通エフサスは上記の検証報告書のお問い合わせ窓口と同じです。

【製品紹介サイト】

IBM Real-time Compression Appliance (RtCA)

<http://www-06.ibm.com/systems/jp/storage/products/nas/rtc/>

【各種マニュアル】

RtCA v3.9

IBM Real-time Compression Appliances Release Notes V3.9

<http://www-01.ibm.com/support/docview.wss?uid=ssg1S7003976>

IBM Real-time Compression Appliances Configuration and Administration Guide V3.9

<http://publib.boulder.ibm.com/infocenter/rtca/rtcaic/topic/com.ibm.storage.rtca.help.doc/GA32-2217-00.pdf>

IBM Real-time Compression Appliances CLI Command Reference V3.9

<http://publib.boulder.ibm.com/infocenter/rtca/rtcaic/topic/com.ibm.storage.rtca.help.doc/GA32-2219-00.pdf>

IBM Real-time Compression Appliances Troubleshooting Guide V3.9

<http://publib.boulder.ibm.com/infocenter/rtca/rtcaic/topic/com.ibm.storage.rtca.help.doc/GA32-2218-00.pdf>

IBM Real-time Compression Appliances Installation and Planning Guide V3.9

<http://publib.boulder.ibm.com/infocenter/rtca/rtcaic/topic/com.ibm.storage.rtca.help.doc/GI13-1221-03.pdf>

RtCA v3.9 日本語版

IBM Real-time Compression Appliances Configuration and Administration Guide Version 3 Release 9

http://publib.boulder.ibm.com/infocenter/rtca/rtcaic/topic/com.ibm.storage.rtca.help.doc/cfg_GA88-4705-00.pdf

IBM Real-time Compression Appliances CLI Command Reference Version 3 Release 9

http://publib.boulder.ibm.com/infocenter/rtca/rtcaic/topic/com.ibm.storage.rtca.help.doc/cl_GA88-4707-00.pdf

IBM Real-time Compression Appliances Troubleshooting Guide Version 3 Release 9

http://publib.boulder.ibm.com/infocenter/rtca/rtcaic/topic/com.ibm.storage.rtca.help.doc/tr_GA88-4706-00.pdf

IBM Real-time Compression Appliances Installation and Planning Guide Version 3 Release 9

http://publib.boulder.ibm.com/infocenter/rtca/rtcaic/topic/com.ibm.storage.rtca.help.doc/in_GI88-4273-01.pdf

【Support サイト】

Real-time Compression Appliances STN6500-STN6800 (2452-650,680)

[http://www-947.ibm.com/support/entry/portal/Overview/Hardware/System_Storage/Network_Attached_Storage_\(NAS\)/Real-time_Compression_for_NAS/Real-time_Compression_Appliances_STN6500-STN6800_\(2452-650,680\)](http://www-947.ibm.com/support/entry/portal/Overview/Hardware/System_Storage/Network_Attached_Storage_(NAS)/Real-time_Compression_for_NAS/Real-time_Compression_Appliances_STN6500-STN6800_(2452-650,680))

IBM Real-time Compression Appliance (RtCA) Information Center V3.9

<http://publib.boulder.ibm.com/infocenter/rtca/rtcaic/index.jsp?topic=%2Fcom.ibm.st>

【Related publications (HW)】

IBM System x3650 M3 Types 4255, 7945 and 7949 Problem Determination and Service Guide

<http://publib.boulder.ibm.com/infocenter/rtca/rtcaic/topic/com.ibm.storage.rtca.help.doc/00D3228.pdf>

Rack Installation Instructions for IBM Gen-II Slides Kit

<http://publib.boulder.ibm.com/infocenter/rtca/rtcaic/topic/com.ibm.storage.rtca.help.doc/00D9198.pdf>

【FixCentral】

Real-time compression for NAS, Real-time Compression Appliances STN6500-STN6800 (2452-650,680) (All releases, All platforms)

[http://www-933.ibm.com/support/fixcentral/swg/selectFixes?parent=ibm~NetworkAttachedStorage&product=ibm/NetworkAttachedStorage/Real-time+Compression+Appliances+STN6500-STN6800+\(2452-650,680\)&release=All&platform=All&function=all](http://www-933.ibm.com/support/fixcentral/swg/selectFixes?parent=ibm~NetworkAttachedStorage&product=ibm/NetworkAttachedStorage/Real-time+Compression+Appliances+STN6500-STN6800+(2452-650,680)&release=All&platform=All&function=all)

上記リンク先では RtCA software および firmware の最新バージョンの入手だけでなく、各種マニュアル、リリースノートへのリンク先も掲載されています。

【Redbooks】

Introduction to IBM Real-time Compression Appliances

<http://www.redbooks.ibm.com/abstracts/sg247953.html?Open>

IBM Real-time Compression Appliance Application Integration Guide

<http://www.redbooks.ibm.com/abstracts/sg248029.html?Open>

NAS / N series Solution Design for Real-time Compression Appliances

<http://www.redbooks.ibm.com/redpapers/abstracts/redp4770.html?Open>