

クラウドにおけるデータトレーサビリティ 機能の検討および大規模分散ストレージ システム上での実装と評価

大西 健司[†] 長谷川 亙[†] 竹内 成和[†]
高杉 英利[†]

クラウドの利用拡大が進む一方、ユーザがクラウドに預けているコンテンツ、データの所在あるいは扱われ方が分からないことから、利用や導入に躊躇する場面がある。ユーザが安心してクラウドを利用できるため、事業者がユーザに対してアカウントビリティ（説明責任）を果たす必要がある。本研究では、アカウントビリティの整理と併に、その中で重要な機能のひとつである責任追跡性の要件定義および設計を行い、大規模分散ストレージシステム上にて実装を行った。機能性や性能などについて評価を実施し、良好な結果が得られた。

Design, Implementation and Evaluation of Data Traceability on a Large-scale Global Distributed File System for Cloud Computing

Kenji ONISHI[†] Wataru HASEGAWA[†]
Shigekazu TAKEUCHI[†] and Hidetoshi TAKASUGI[†]

While the cloud computing is spreading, some users hesitate to use it, because they don't know where the data is stored and how to deal with it in the cloud. For users use the cloud computing at ease, cloud service providers should fulfill their accountability about questions and requests from users. This paper discusses the design and implementation of data traceability, which is an important function for accountability, on a large-scale global distributed file system ("Gfarm") for cloud computing, and briefly shows functionality and performance evaluation results.

1. はじめに

近年、個人や企業においてクラウドコンピューティングに対する関心が高まっており、その利用範囲も拡大を続けている。しかしながら一方では「高度情報化社会における情報システム・ソフトウェアの信頼性及びセキュリティに関する研究会（経済産業省）」の調査[1]にあるように、利用者がクラウドコンピューティングの利用を控える理由・利用にあたっての懸念として、「セキュリティ対策（情報漏洩対策等）」が十分かどうか分からない」が最も高い懸念事項となっている。利用者が安心してクラウドコンピューティングを活用するには、セキュリティ面の信頼性やクラウドコンピューティングの安全性を確保することが重要な課題となっている。「クラウドコンピューティングの利用を控える理由・利用にあたっての懸念」を図1に示す。

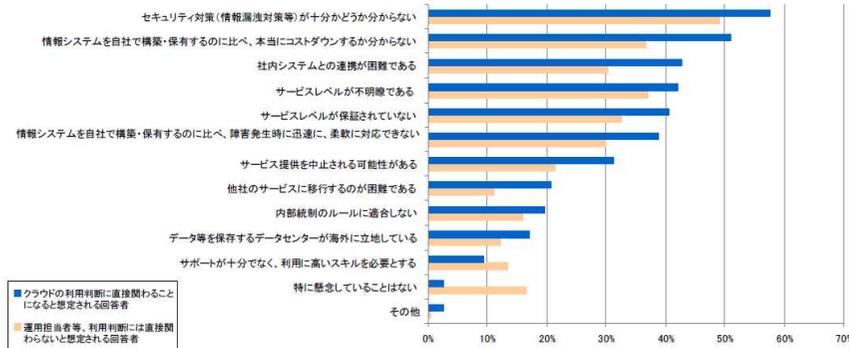
クラウド事業者が、ユーザに対して安心して利用できるクラウドサービスを提供するためには、アカウントビリティ（説明責任）果たす必要がある。「アカウントビリティ」とは、「Account：口座、理由や原因を説明するに、Ability（能力）を加えた概念」であり、「一般的に個人や組織の行動を対外的に正確に説明する能力」であるが、クラウドコンピューティングにおいては、「データの証跡」、「提供する品質やリスクに対する対処」、「価格の妥当性」などをユーザの要望に基づいて説明できるようになるということである。アカウントビリティを向上させるためには、従来の情報セキュリティ三大要素「機密性（Confidentiality）」、「完全性（Integrity）」、「可用性（Availability）」と「真正性（Authenticity）」、「信頼性（Dependability）」の各機能に加え、「責任追跡性（Traceability）」が不可欠である。「クラウドサービスにおける必要機能とアカウントビリティの位置づけ」を図2に示す。

本研究では、責任追跡性として、データのライフサイクルに基づくトレースを可能とする「データトレーサビリティ機能」について、システム要件から必要とされる機能の検討、設計を行いプロトタイプによる実装を行った。更に、本プロトタイプを用い機能性および性能評価を実施し、商用利用に向けての課題などの考察も行った。

今後ユーザは、コストの低減や柔軟なシステムリソースの調達などシステム最適化を目指し、プライベートクラウド間、パブリッククラウド間、あるいはプライベートとパブリック相互間のハイブリッドクラウドといった様々なクラウド連携をさせた活用を行う。そのような環境下で、データがクラウド間を往来する場合においても、データトレーサビリティ機能の提供が可能となる必要がある。今回の実装環境の検討にあたり、大規模分散ストレージプールを実現でき、クラウド連携機能を有する「Gfarm」（グローバル大規模分散ファイルシステム）[2][3]を活用し、Gfarm上でのデータトレーサビリティ機能の実装を行うこととした。

[†] NTTコミュニケーションズ（株）
NTT Communications Corporation

本稿では、2章でデータトレーサビリティ機能の設計および機能の詳細について述べる。3章では、大規模分散ストレージプールにおける実装について説明する。4章では、実装したプロトタイプを用いて実施した評価について観点や結果について説明し、5章でまとめと今後の課題について整理する。



(出典) Web アンケートにより 500 人を対象に調査を実施 (2009年3月)

アンケート回答者は、従業員 300 人以上の企業に勤める社員で、社内向のソフトウェア開発、システム開発・運用・保守に携わる方⁵⁵。

図 1 クラウドコンピューティングの利用を控える理由・利用にあたっての懸念

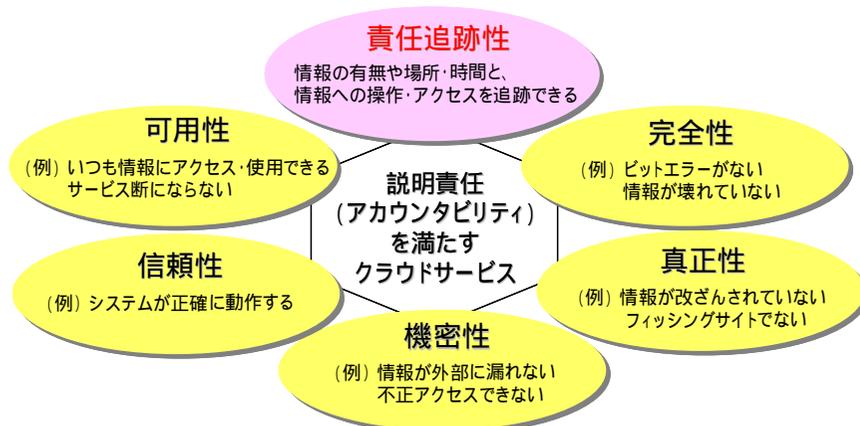


図 2 クラウドサービスにおける必要機能とアカウントビリティの位置づけ

2. データトレーサビリティ機能の設計

データトレーサビリティ機能の設計を行うにあたり、重要ポイントである「時刻」、
「場所」、「人」を追跡できること、「追跡できる範囲が十分広いこと」を考慮し、設計を行った。

2.1 データトレーサビリティ機能が要求されるイベント

まず、データトレーサビリティ機能において、検知、情報収集、分析、表示すべきイベントとして以下が考えられる。今回は、これらイベントの中でも人の判断を必要としない「1. データの確実な消去」と「2. データの保管場所 & 依存関係」についてから実現を目指すこととする。

1. データの確実な消去
2. データの保管場所 & 依存関係
3. データ漏洩の有無/データ漏洩発生時の原因
4. 第三者による誤操作 & データ破壊の有無/
第三者による誤操作 & データ破壊時の原因
5. なりすましの有無/なりすまし発覚時の原因
6. データ改竄の有無/データ改竄時の原因
7. データ処理誤りの有無/データ処理誤り発生時の原因
8. データ偽造の有無/データ偽造発生時の原因
9. データ消失の有無/データ消失時の原因

データトレーサビリティ機能には、データの来歴や行方、所在、構成や内容、変更履歴などを後から確認できるといったデータのライフサイクルを把握できることが要求される。データのライフサイクル把握のためには、データの作成(最初)と削除(最後)が把握されない限り、中間でのデータ更新や複製などについて把握することができない。そのため、データ作成、削除、移動についてのデータトレーサビリティ機能実現から行う。「データのライフサイクル」について図 3 に示す。

また、データのライフサイクルを把握するにあたり、「時刻」情報のみで正確なトレース(追跡)を実現することは難しい。「時刻」に加え、操作された「場所」、操作した「人」に関する情報を常に取得し、関連性について分析することにより把握可能となる。

データトレーサビリティ機能実現に向け、下記の管理機能と分析機能を実現する。

- (1) 「データ所在の把握」, 「データ生成から削除の把握」の管理機能
- (2) 「データの依存関係」, 「確実な削除判定」のための分析機能

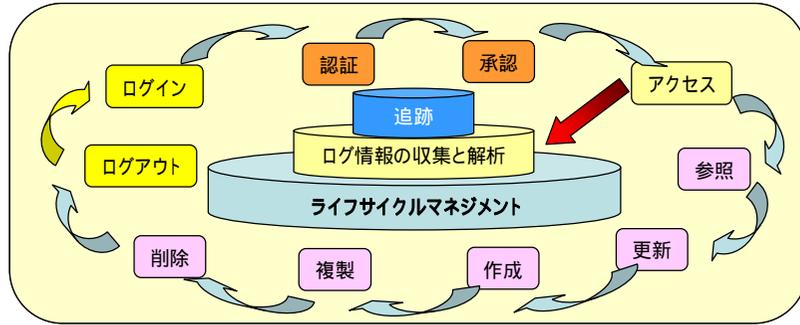


図 3 データのライフサイクル

2.2 データトレーサビリティ機能モジュール

前項で示した 2 つの機能を実現するため,以下の 3 つの機能モジュールを実装した.

- (1) 証跡ログ出力機能
- (2) ログ転送エージェント/証跡保管/高度検索機能
- (3) 証跡検索・表示機能

2.2.1 証跡ログ出力機能

データライフサイクル追跡のために必要となる証跡を,全てログとして出力する機能である。「ファイル作成」,「ファイル移動」,「ファイル削除」などの証跡ログを出力するものである.

2.2.2 ログ転送エージェント/証跡保管/高度検索機能

データライフサイクルの追跡対象からログを収集する証跡収集機能となる「ログ転送エージェント機能」,収集したログを一定のルールに従って整形処理を行ないデータベースで管理する「証跡保管機能」,想定したユーザ数のデータ操作に伴うログを現実的な時間内に検索ができ,更に収集したログをライフサイクル追跡に適した形式としてログの紐付け処理を行なう「高度検索機能」である.

2.2.3 証跡検索・表示機能

利用者がデータライフサイクルを容易に視認できるよう,証跡ログのデータベース格納時における紐付けインデックスに基づいて画面出力する「証跡検索・表示機能」である.特に,データの所在の追跡,確実な消去の事実の把握,任意の期間を経過したデータの特定を可能にする.

今回実装されたデータトレーサビリティ機能の表示画面例を,「データトレーサビリティ機能表示例」図 4 に示す.

親	子	ログID	日時	ホスト名	ログ種別	Gfarmユーザ	操作	対象
	1		2011年02月01日 04時07分38秒	hls14	ΔDS	test	ファイルメタデータ作成	dir.1
	350091		2011年02月01日 04時07分38秒	hls211	CN	test	ファイル作成	dir.1
	2		2011年02月01日 04時07分38秒	hls14	ΔDS		ファイル実体作成	
	3		2011年02月01日 04時07分38秒	hls14	ΔDS		メタデータ世代番号更新	
	350092		2011年02月01日 04時07分38秒	hls11	CN	test	ファイル作成	dir.2
	4		2011年02月01日 04時07分38秒	hls14	ΔDS	test	ファイルメタデータ作成	dir.2
	5		2011年02月01日 04時07分38秒	hls14	ΔDS		ファイル実体作成	
	6		2011年02月01日 04時07分38秒	hls14	ΔDS		メタデータ世代番号更新	
	350093		2011年02月01日 04時07分38秒	hls11	CN	test	ファイル作成	dir.3
	7		2011年02月01日 04時07分38秒	hls14	ΔDS	test	ファイルメタデータ作成	dir.3

図 4 データトレーサビリティ機能表示例

3. 大規模分散ストレージプール上での実装

今後ユーザが,複数のクラウド利用を行うことを考慮し,データがクラウド間を往来する場合においても,データトレーサビリティ機能を提供可能とする必要がある.今回の実装環境の検討にあたり,大規模分散ストレージプールを実現でき,クラウド連携機能を有する「Gfarm (グローバル大規模分散ファイルシステム)」を活用し,Gfarm上でのデータトレーサビリティ機能の実装を行うこととした.

3.1 大容量分散ストレージ「Gfarm」

Gfarm は,大規模な PC クラスタで必要とされる大容量,高性能なファイルシステ

ムを実現することを目的として、2001年にオープンソースとして公開され、2007年に現在のメジャーバージョンとなるバージョン2系が公開されたソフトウェアである。Gfarmは、ファイルの管理情報などを集中管理しているメタデータサーバ、ファイルの実体を保持しているファイルシステムノード、Gfarmを利用するクライアントから構成され、それらにはライブラリ、各サーバ向けのプログラム、管理コマンドなどが含まれている。また、これらのサーバを1台の物理サーバ上で兼ねることも可能である。

3.2 データトレーサビリティ機能の実装

データトレーサビリティ機能は、GfarmのメタデータサーバとGfarmクライアントのそれぞれに実装する。そのため、Gfarmのライブラリ部分(libgfarm)、メタデータサーバ部分(gfmd)、Gfarmクライアント部分について新規機能追加を実施した。ファイルの作成処理、更新処理、削除処理の各処理完了直前に証跡ログ出力処理を追加し、ファイルの証跡として扱える情報取得を可能とする。また、ファイルの追跡を可能にするためGfarmファイルシステム上ファイルの世代番号が更新される箇所でも証跡ログ出力を行う。収集された証跡情報は、証跡管理プラットフォームに保管され分析、検索、表示機能を提供する。「データトレーサビリティ各機能と処理の流れ」について、図5に示す。

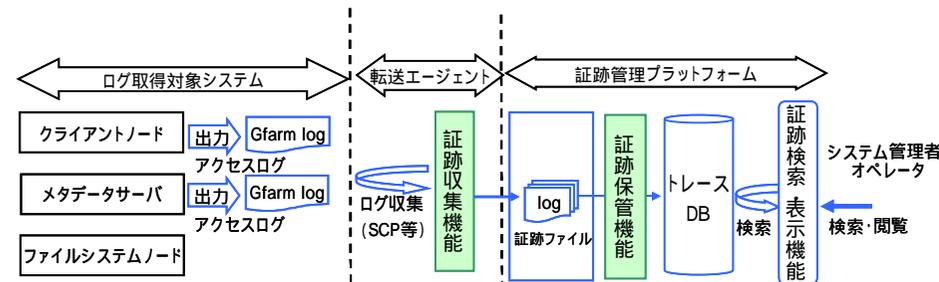


図5 データトレーサビリティ各機能と処理の流れ

3.3 機能実装に伴う新規性

データは、作成後、更新、移動やコピーなどが行われ、時間が経つと共に大量の類似データが生成され、散在することが多い。同じ内容を保持するデータの所在を漏れなく確認する、あるいは確実に削除したい場合、データの関係付けが行われていないと実施できない。今回、この関係付けのための「データのライフサイクルを意識した番号」の新規導入を行った。具体的には、Gfarmファイルシステム上にて一意になる

「inode番号」「世代番号」「メタデータサーバID」に、データのライフサイクルを意識した番号「ファイルID」を関連付けて管理することにより、データに対する生成から削除までのトレースが可能となった。「ファイルID」の具体実装について表1に示す。

表1 データのライフサイクルを意識した番号「ファイルID」の実装

項目	PK	概要
inode番号		ファイルのinode番号
世代番号		ファイルの世代番号
メタデータサーバID		メタデータサーバ番号
ファイルID		ファイルのライフサイクルに紐付けられた番号

PK：プライマリキー

3.4 機能実装に伴う証跡情報およびログメッセージ

3.4.1 ファイル操作に対する証跡情報

ファイルの作成処理、更新処理、削除処理の各処理において、作成する証跡情報について、表2から表4にて示す。

表2 ファイル作成時に作成する証跡情報

項番	内容
1	ファイルを一意に識別するもの
2	ファイルの作成が終了した時刻
3	オペレーションを実行したGfarmクライアント
4	オペレーションを実行したユーザ
5	ファイルの実体で作成されたファイルシステムノード

表3 ファイル削除時に作成する証跡情報

項番	内容
1	ファイルを一意に識別するもの
2	ファイルの削除が完了した時刻
3	オペレーションを実行したGfarmクライアント
4	オペレーションを実行したユーザ
5	削除時にファイル実体が存在したファイルシステムノード

表 4 ファイル移動時に作成する証跡情報

項番	内容
1	ファイルを一意に識別するもの
2	ファイルの移動が完了した時刻
3	オペレーションを実行した Gfarm クライアント
4	オペレーションを実行したユーザ

3.4.2 Gfarm クライアントおよびメタデータサーバにおける証跡情報

前項では、ファイルの作成処理，更新処理，削除処理の各処理における証跡情報を示したが，それら証跡情報は，Gfarm クライアントおよび Gfarm メタデータサーバそれぞれにおいて証跡が出力されることになる。それぞれの証跡内容を表 5 と表 6 にて示す。

表 5 Gfarm クライアント側証跡情報

項番	内容
1	オペレーション名
2	オペレーションを実行したローカルユーザ名
3	オペレーションを実行したグローバルユーザ名
4	オペレーション対象ファイルの Gfarm 上のファイルパス
5	オペレーションの終了時刻

表 6 Gfarm メタデータサーバ側証跡情報

項番	内容
1	オペレーション名
2	オペレーションを実行したグローバルユーザ名
3	オペレーションの発行元 Gfarm クライアントのホスト名または IP アドレス
4	オペレーションの完了時刻
5	オペレーション対象ファイルの Gfarm 上のファイルパス
6	オペレーション対象ファイルのファイルメタデータ
7	オペレーション対象ファイルのファイル実体が置かれたファイルシステムノード名

今回のデータトレーサビリティ機能においては、ファイルの作成処理，更新処理，削除処理の各処理に対して，Gfarm クライアントおよび Gfarm メタデータサーバそれぞれの組合せにて証跡情報が出力されることとなる。

3.4.3 証跡ログメッセージフォーマット

証跡ログメッセージは，Gfarm クライアントおよびメタデータサーバそれぞれにて出力される。表 7 および表 8 にて，共通フォーマットを示す。本フォーマットを基本に，ファイルへの各操作に合せたメッセージに整形し，出力されることになる。

表 7 Gfarm クライアント側証跡ログメッセージ共通フォーマット

```
<ローカルユーザ名><グローバルユーザ名><クライアントノードアドレスまたはホスト名><接続ポート番号><オペレーション名><メタデータサーバ名><メタデータサーバポート番号>/// " <ファイルパス 1>"/" " <ファイルパス 2>"
```

「ファイルパス 1」には必要に応じ，「作成・削除するファイルパス」「移動元パス」「リンク元パス」のいずれかが入る。

「ファイルパス 2」には必要に応じ，「移動先パス」「リンク先パス」のいずれかが入る。

表 8 Gfarm メタデータサーバ側証跡ログメッセージ共通フォーマット

```
<シーケンス番号><操作完了時刻><グローバルユーザ名><クライアントノードアドレスまたはホスト名><クライアントノードポート番号><オペレーション名><メタデータサーバ名><メタデータサーバポート番号><ファイルシステムノード名><inode 番号><世代番号 1><世代番号 2>/// " <ファイルパス 1>"/" " <ファイルパス 2>"
```

「ファイルパス 1」には必要に応じ，「作成・削除するファイルパス」「移動元パス」「リンク元パス」のいずれかが入る。

「ファイルパス 2」には必要に応じ，「移動先パス」「リンク先パス」のいずれかが入る。

「inode 番号」および「世代番号 1」には必要に応じ，「ファイルパス 1」が指し示す inode 情報」「ファイル実体制成・削除対象の inode 情報」のいずれかが入る。

「世代番号 2」には必要に応じ，世代番号更新時の「次の世代番号」が入る。

3.5 実装にあたっての考慮および課題事項

3.5.1 性能低下問題への考慮

データトレーサビリティ機能追加により，従来の Gfarm の性能低下が起こる可能性がある。特にメタデータサーバ内で証跡を取得するとき，オペレーションの直後にファイル名が変更されるなどの，証跡が取得できなくなるようなオペレーションが実行される可能性が否定できない。そのため証跡の取得はオペレーションと同じジャイア

ントロック内で取得する必要がある。この影響により、Gfarm の逐次実行部分の処理時間が増加し性能が低下する可能性がある。本性能低下への解決策として、必要な処理以外はジャイアントロックの外で行うことで回避する。

3.5.2 inode 番号と世代番号の割り当て一巡の課題

inode 番号と世代番号の組み合わせは Gfarm 上で一意であるが、Gfarm を長時間運用することを考慮すると inode 番号と世代番号の割り当てが一巡し、過去の組み合わせと重複することが発生する。対象ファイル数が本制限内であれば問題ないが、クラウド連携をした大規模ストレージプールでは本制限を超えることが想定される。本事項は、早急に対応する必要がある課題である。

4. プロトタイプによる評価結果

4.1 評価環境

検証環境として、データトレーサビリティシステム（Web サーバ/トレース DB/クライアント）および Gfarm システム（メタデータサーバ（MDS）/ファイルシステムノード（FSN）3 台/クライアント）を構築した。

【主なハードウェア/ソフトウェア仕様】

- ・ネットワークスイッチ：24 ポート ギガビットイーサネット
- ・サーバ：IA サーバ
 - （MDS CPU：2.53GHz，MEM：8GB）
 - （FSN CPU：3.40GHz，MEM：2/3.5/4GB）
 - （Web サーバ CPU：2.66GHz，MEM：6GB）
 - （トレース DB CPU：2.53GHz，MEM：8GB）
- ・OS：CentOS 5.4 64bit 版
- ・ストレージ：GfarmFS-E（Gfarm Ver2.4.0(r4830)）

「データトレーサビリティ機能検証環境概要」を図 6 に示す。

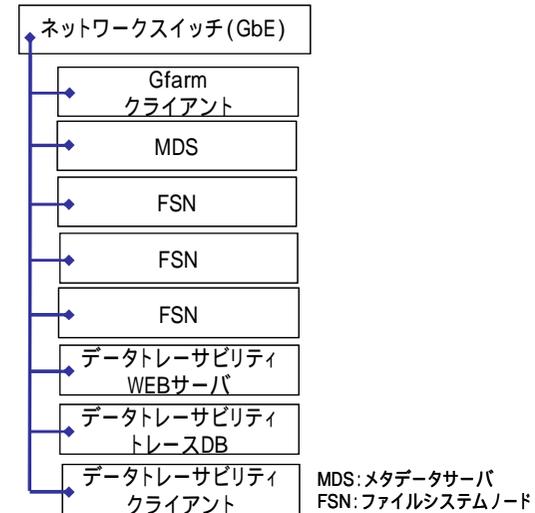


図 6 データトレーサビリティ機能検証環境概要

4.2 評価ポイント

データトレーサビリティ機能の機能性、運用性、負荷への耐久性、性能の各観点における評価ポイントを下記に示す。

(1)機能性

通常運用、監査、障害発生 of 各事象において、設計通りの機能にて動作するかどうかを確認する。

(2)運用性

実際のシステム運用を想定し、Gfarm ログ出力機能設定の有効時と無効時の動作、Gfarm ファイルシステムノードの増設時および減設時の動作について機能通り正常動作するか確認する。

(3)負荷への耐久性

下記想定条件に該当する試験用証跡ログメッセージ数 3,600 万件に対し、複数ユーザが同時にレコード検索を実施した場合の耐久性（システム停止や挙動が不安定になることがないこと）を確認する。

【想定条件】

- ・社員規模：1,000 人
- ・1社員の1日当りのファイルアクセス数：100 ファイル（/日・人）
- ・1ファイルオペレーション（作成/削除/移動）当りのログメッセージ数：4
- ・保管ログファイル数：3,600 万ログメッセージ
= 100 ファイル/日・人 × 1,000 人 × 4 × 90 日
(3ヶ月(90日)分のログが保管されていると仮定)

(4)性能

上記想定条件と同じ試験用検証ログメッセージ数が存在する環境において、複数ユーザが同時にレコード検索を実施した場合の性能が、利用者に対して利便性を損ねるようなレスポンスタイムの低下となっていないか確認する。(目標値：1秒以下)

レスポンスタイム：検索ボタン押下から結果表示までの時間

4.3 機能性評価結果

機能性については、「機能性 評価結果」表 9 に示すように、通常運用、監査時には、設計通りの動作となっている。また、障害発生時には、適切なエラーメッセージ表示となり、機能性については問題ないことが確認できた。

表 9 機能性 評価結果

試験内容	試験概要	結果
ファイル登録/削除	Gfarm 上からファイル登録および削除を実施し、証跡管理プラットフォーム上でファイル登録および削除した証跡ログがあることを確認する	
ファイルリネーム/削除	Gfarm 上からファイル登録およびリネーム、削除を実施し、証跡管理プラットフォーム上でデータライフサイクルの証跡ログがあることを確認する	
削除対象検索	証跡管理プラットフォーム上で削除対象検索を実行し、対象ファイルが正常であることを確認する	
ライフサイクル検索	証跡管理プラットフォーム上でライフサイクル検索を実行し、対象ファイルの生成から削除までの履歴を確認する	

試験内容	試験概要	結果
利用者運用ログ検索	証跡管理プラットフォーム上でポータルサイト利用者の運用ログ検索を実行し、利用者の操作が正常であることを確認する	
ログ転送エージェント故障	SSH に障害を発生させ、ログ転送エージェント故障させると、エラーが表示される	
Web サーバ故障	証跡管理プラットフォームの Web サーバをダウンさせ、ポータルサイト表示がエラーになること、Gfarm 上の操作に影響ないことを確認する	
DB サーバ故障	証跡管理プラットフォームの DB サーバをダウンさせ、ポータルサイト上からのログインエラーになること、Gfarm 上の操作に影響ないことを確認する	

4.4 運用性評価結果

機能性については、「運用性 評価結果」表 10 に示すように、ログ出力の設定に応じた動作や Gfarm ファイルシステムノードの増設/減設時にログ情報が適切に継続されることが確認でき、運用性についても問題ないことが確認できた。

表 10 運用性 評価結果

試験内容	試験概要	結果
Gfarm ログ出力停止	Gfarm 上からログ出力を停止させ、確認する	
Gfarm ログ出力開始	Gfarm 上からログ出力を有効にし、ファイル登録などを実施し、正常に動作するか確認する	
Gfarm ファイルシステムノードの減設	Gfarm ログ出力を有効にした状態で Gfarm ファイルシステムノードを減設した場合、正常に動作するか確認する	
Gfarm ファイルシステムノードの増設	Gfarm ログ出力を有効にした状態で Gfarm ファイルシステムノードを増設した場合、正常に動作するか確認する	

4.5 負荷への耐久性評価結果

以下の状況下において、負荷への耐久性の確認を行った。

- ・背景負荷：なし、他に1ユーザが検索中、他に5ユーザが検索中

・検索結果件数： 1件, 10件, 100件, 1,000件, 10,000件, 99,999件

上記全組合せによる試行に対し, 正常に検索処理が完了し, システム停止や挙動が不安定になる事象は一度も発生することが無かった. 負荷への耐久性に問題ないことが確認できている.

4.6 性能評価結果

以下の状況下において, 性能確認を行った.

- ・背景負荷: なし, 他に1ユーザが検索中, 他に5ユーザが検索中
- ・検索結果件数: 1件, 10件, 100件, 1,000件, 10,000件, 99,999件

上記全組合せによる試行に対し, レスポンスタイムは1秒以下であり, 性能に問題ないことが確認できている. 今後は更に社員規模10,000人での性能向上を目指し, 詳細な性能分析を進め, 性能評価を実施することとしたい.

4.7 評価結果の考察

データトレーサビリティ機能の機能性, 運用性, 負荷への耐久性, 性能について評価結果から, 想定目標を達成しており, 今後商用レベルにて活用できる見通しを得た.

5. まとめと今後の課題

本研究では, ユーザが安心してクラウドサービスを利用できるよう, アカウンタビリティを向上させる責任追跡性としての「データトレーサビリティ機能」の検討および実装を行った. 今後のユーザのクラウド利用形態を考慮し, クラウドストレージ連携を実現できる大規模分散ストレージシステム(Gfarm)上にてプロトタイプ実装を行い, データの作成, 更新(移動および名前変更), 削除のデータのライフサイクルに基づくトレースを可能であることが確認できた. 機能性, 運用性, 負荷への耐久性, および性能について, 商用レベルでの活用に向けて目処が得られた.

今回, ストレージ(ファイルシステム)層でのデータトレーサビリティ機能の主要な機能については実現できたが, データとしてOS層やアプリケーション層にて行われた操作(ファイルコピーやマージ, 複数データでの圧縮など)までのトレースはできていない. 今後の課題としては, 多層データ管理情報を垂直統合する機能拡張を行う必要がある. 更に, 実際に大規模分散ストレージ環境を構築しての実証検証や利用者からの使用感などのフィードバックを反映した利便性向上も今後の課題である.

謝辞

本研究を遂行するにあたり貴重なご助言, ご討論をいただいた筑波大学計算科学研究センター 建部修見准教授, 産業技術総合研究所情報技術研究部門, Gfarm 開発コミュニティプロジェクトメンバ諸氏に感謝いたします. 本研究の一部は, 産業技術研究開発委託費(次世代高信頼・省エネ型IT基盤技術開発事業)クラウドコンピューティングのアカウントビリティを向上させる研究・開発事業, 経済産業省による.[4]

参考文献

- 1) 経済産業省 高度情報化社会における情報システム・ソフトウェアの信頼性及びセキュリティに関する研究会, “情報システム・ソフトウェアの信頼性及びセキュリティの取組強化に向けて～豊かで安全・安心な高度情報化社会に向けて～ 中間報告書 - ”平成21年5月28日 <http://www.meti.go.jp/press/20090528001/20090528001.html>
- 2) Osamu Tatebe, Kohei Hiraga, Noriyuki Soda, "Gfarm Grid File System", New Generation Computing, Ohmsha, Ltd. and Springer, Vol. 28, No. 3, pp.257-275, 2010.
- 3) <http://datafarm.apgrid.org/index.ja.html>
- 4) 平成22年度経済産業省 平成22年度産業技術研究開発委託費(次世代高信頼・省エネ型IT基盤技術開発事業)クラウドコンピューティングのアカウントビリティを向上させる研究・開発事業 事業報告書(2011) http://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/joho/cloud/2010/index.html