

Gfarm ファイルシステムを用いた医用画像保存通信システム

南 谷 祥 之[†] 廣 安 知 之^{††}
吉 見 真 聡^{†††} 三 木 光 範^{†††}

本研究では、広域分散ファイルシステムである Gfarm を利用した Picture Archiving and Communication Systems (PACS) を提案する。対象とする画像は医用画像データであり、複数箇所に広域的に分散していることを想定している。DICOM (Digital Imaging and communications in Medicine) は医用画像の標準的な規格の一つであり、実データと患者情報を含む各情報を有するメタデータからなっている。Gfarm は XML をメタデータとして格納するメカニズムを有している。提案システムでは、DICOM のメタデータを Gfarm のメタデータサーバに格納する。これにより、各画像を保存する拠点ではそれ以外のアプリケーションのインストールなどが必要なく、分散された医用画像を取り扱う上で非常に簡便である。さらに、いくつかの画像操作はメタデータの利用のみで行うことが可能である。たとえば、DICOM のメタデータ情報のみで検索できるような画像については、DICOM のすべてのデータをダウンロードすることなく検索が可能である。通常は DICOM データのほとんどは実画像データである。そのため、すべてのデータをダウンロードすることなく画像が検索できれば、ファイル検索は非常に高速に行うことが可能である。本論文では、構築した提案システムについて説明を行い、評価実験として Gfarm と NFS の速度比較を行う。

Picture Archiving and Communication Systems using Gfarm File System

YOSHIYUKI MINAMITANI,[†] TOMOYUKI HIROYASU,^{††}
MASATO YOSHIMI^{†††} and MITSUNORI MIKI^{†††}

In this paper, PACS (Picture Archiving and Communication Systems) using large area distributed file system Gfarm was proposed. The target images and pictures are medical images which are existed in several distributed hospitals and sites. DICOM (Digital Imaging and communications in Medicine) is one of typical medical image standards and they consist of real images and information meta data. Gfarm has mechanism to treat XMLs as meta data. In the proposed system, meta data of DICOM is registered into meta data server of Gfarm. In each distributed sites, medical images are stored on Gfarm file system and it is unnecessary to install other applications. Thus it is very easy to manage distributed medical images. Furthermore, several operations can be performed only using meta data. For example, if images can be searched only by information which is stored in DICOM meta data, the client ask Gfarm meta data and can find the target image without downloading whole DICOM data. Usually, most of DICOM data is real image data and if file can be found without downloading whole data file search can be attained very quickly. In this paper, the construction of the proposed system was explained and the transfer speeds of Gfarm and NFS were compared as assessment experiments.

1. はじめに

医療現場において、的確な診断や治療に資するものとして医療 IT の構築が進められており、計算機の機

能の拡大、性能の向上、ネットワーク化により、医療情報の蓄積と共有がより重要視されるようになってきている。政府より 2001 年に「e-Japan 戦略」、2006 年にはそれに続く「IT 新改革戦略」が発表され、2008 年に発表された「重点計画ー 2008」においても、医療 IT が第一の課題として推進されている¹⁾。なかでも、医用画像は正しい診断や治療方針の決定などのために多数の医用画像を観察することが重要であることから、様々な機器やソフトウェアで利用可能な規格が策定されている。その医用画像の規格として DICOM は広く知られている。

[†] 同志社大学大学院工学研究科

Graduate School of Engineering, Doshisha University

^{††} 同志社大学生命医科学部

Department of Life and Medical Sciences, Doshisha University

^{†††} 同志社大学理工学部

Department of Science and Engineering, Doshisha University

DICOM は、検査情報や患者情報などのメタデータが、撮影された画像データとセットにされ1つのファイルとして保存される。このような医用画像 DICOM を管理するため、医用画像保存通信システム (PACS: Picture archiving and communication systems) が医療機関に広く普及している。PACS の目的は CR, CT, MRI といった画像撮影装置から受信した医用画像データを保管、閲覧、管理することである。DICOM を対象とする場合に効果が上がると考えられる画像格納方法として、メタデータと画像データを分離し、検索をメタデータサーバ、画像保存を画像ストレージが行う手法が考えられる。この手法により、メタデータのみを対象とした検索ができ、メタデータの高速な抽出結果を得ることが可能である。またメタデータ、画像データに区別された柔軟なアクセス制御も提供可能である。医用画像は画像サイズが大きいだけでなく、毎日膨大な枚数が追加されるため分散ファイルシステムに格納される。医療機器やシステムの発展にともない、蓄積される情報量は爆発的な増加を続けている²⁾。その際に考えられる大きな課題のひとつに、高いアクセス性と柔軟なセキュリティポリシー運用の両立がある。高速かつ容易にアクセスできる環境である一方で、患者のプライバシーを守る工夫は必須である。DICOM は画像データと個人情報である患者情報がセットになっておりその切り離しが課題である。提案されてきた様々な分散ファイルシステムの中で、データとその要約であるメタデータを分離して保存し、大規模かつ高速度な環境を提供するシステムとして広域分散システムファイル Gfarm が挙げられる。Gfarm の特徴として、「オープンソース」「豊富な実績と連続的な更新・発展」「多数の研究・応用報告の存在」がある。

本研究では Gfarm を応用し、DICOM 規格の医用画像を格納するファイルシステムを提案する。このシステムでは、DICOM のメタデータを Gfarm のメタデータ XML に格納し、画像データをストレージノードに分散保存する。画像データはメタデータ XML を検索することできるが、その際にはユーザに応じて適切なアクセス制御が行われる。

以下、2 章で関連研究、3 章で DICOM について、4 章で Gfarm について、5 章でシステムの提案、6 章でシステムの実装、7 章で速度評価、最後に 8 章でまとめと今後の課題について述べる。

2. 関連研究

2.1 PACS

医療機関が連携して患者情報を共有するシステムと

して、「K-MIX:かがわ遠隔医療ネットワーク」が稼動している。2003 年度から稼動している K-MIX は、香川県と香川県医師会、香川大学医学部による、画像を主体とする遠隔診断を支援するシステムである。K-MIX は Web を介した ASP 型のシステムであり、インターネット環境から容易にアクセスできる。しかし同時に、ユーザ認証などにおけるセキュリティ確保問題があったり、シングルサインオンを用いたスムーズな運営が実施できなかったりと、様々な課題が挙げられる。また、医療画像の送受信には撮影病院の許可を要するため、セカンドオピニオン等の目的で患者による医療情報の活用ができるとはいえない状況にある³⁾。

2.2 分散ファイルシステム

GFS(Google File System) は Google が独自に開発した分散ファイルシステムである⁴⁾。GFS では MapReduce という Map と Reduce という 2 つのプロセスを組み合わせ、大量のデータ処理を PC クラスタ上で行っている。ただし、ソフトウェアは公開されていない。

この GFS を参考にしてオープン実装された分散ファイルシステムが HDFS(Hadoop Distributed File System) である⁵⁾。GFS, HDFS では数百 MB 規模のサイズの大きいデータの扱いに適した設計がされており、小さな大量のファイルを読み書きする用途向きではない。また、通常のファイルシステムと異なりクライアントからのファイル操作が API を通じて行われるため汎用的ではない。

それに対して、Gfarm は POSIX 標準 API をサポートし、分散並列処理を可能とする。GFS と HDFS との性能比較では、ほぼ同程度の読み込み性能と、HDFS より約 30% 高い書き込み性能を示したという研究報告がある⁶⁾⁷⁾。

3. DICOM

DICOM は、米国放射線学会 (ACR) および北米電子機器工業会 (NEMA) による医用画像フォーマットとそれらを扱う医用画像機器間の通信プロトコルを定義した標準規格である。MRI や CT などで撮影したデジタル医用画像について定められ、ISO TC-215 では国際標準化が議論されている現在唯一の規格である。DICOM は画像を主とする様々なデータを内包できるコンテナフォーマットであり、内包物のフォーマットやデータ長を記載するタグ情報を保持している。図 1 に DICOM の概要を示す。

医用画像フォーマットとしての DICOM では、画像そのものに加えて、データサイズや画像サイズなどの画像情報、患者の氏名や住所などの個人情報、撮影機

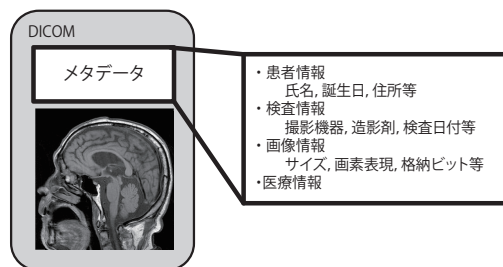


図 1 DICOM の概要図
Fig.1 Outline of DICOM

器や造影剤などの検査情報がメタデータとして付加される。メタデータは 3000 項目以上が規定されており、患者の検索や診断に大きく寄与している。その反面、プライバシー保護の観点から情報共有への障害にもなっている。

4. Gfarm

Gfarm 広域分散ファイルシステムは、ネットワークで接続された PC のローカルストレージを束ねて構成されるオープンソースのファイルシステムである。LAN 上の PC や PC クラスタ、広域のクラスタ群など、様々な規模での利用が可能であり、NFS や AFS に代わる大規模かつ高性能なファイル共有システムとして研究開発が続けられている⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾。

Gfarm ファイルシステムは、3 種に分類できるノード群で構成される。データ本体が格納されるファイルシステムノード、各ファイルの保存位置が格納されるメタデータサーバ、ファイルにアクセスするクライアントである。メタデータサーバは、仮想的なディレクトリ階層、実際のファイルの所在などのファイルシステムデータをメタデータとして管理することからメタデータサーバと呼ばれる。Gfarm に格納されたファイルにアクセスする際には、まずメタデータサーバに位置を問い合わせ、得られたファイルシステムノード中にアクセスする。図 2 に Gfarm アーキテクチャを示す。

Gfarm メタデータサーバは、ファイルの保存先の管理だけでなく、“XML 拡張属性”と呼ばれる、XML をデータとして格納する機構を持つ。これは、保存ファイルごとに関連付けられる XML ファイルを指定し、XPath によるファイルの検索を可能とする機能である。ファイルへ直接アクセスすることなく検索が可能となることから、広域のファイル共有においても高速な情報検索を可能としている。

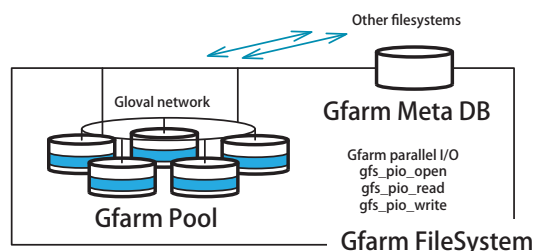


図 2 Gfarm アーキテクチャ¹¹⁾
Fig.2 Gfarm architecture¹¹⁾

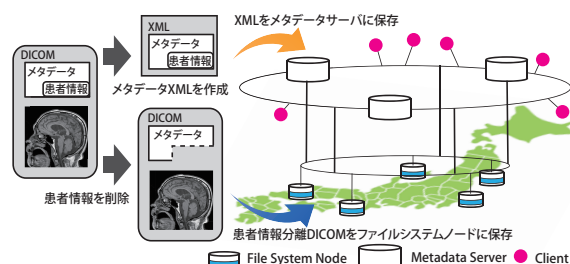


図 3 提案システム概要
Fig.3 Outline of proposal system

5. システムの提案 (DICOM on Gfarm)

5.1 提案システム概要

本章では、広域分散ファイルシステム Gfarm を利用した医用画像 DICOM 向けストレージシステムを提案する。図 3 に提案システムの概要を示す。

1 章で述べたとおり、医用画像が広域で共有される環境には、高速性とアクセス性に関する 2 つの要求を両立する必要がある。これらは、Gfarm の XML 拡張属性に DICOM のメタデータを指定することで向上を期待できる。DICOM ファイルにクライアントのアカウント情報を設定し、個人情報へのアクセスを適切に制御する。また、ファイルサイズの大きな画像情報にアクセスすることなく XML のみを利用することもできるため、DICOM ファイルを蓄積し広域での共有に向けた構成を持つことができる。Gfarm 上の DICOM ファイルへの処理は、以下の 3 種類で実現される。

- DICOM ファイルの書き込み
Gfarm に DICOM ファイルを格納する際には、DICOM ファイルから患者情報を分離し、ファイルの保存先とともに DICOM メタデータをメタデータサーバに登録し、患者情報を含まない DICOM ファイルをファイルシステムノードに格納する。
- DICOM ファイルの読み出し
DICOM ファイルにアクセスする際には、アカウントに設定された権限に応じて、メタデータサーバ

バから患者情報を読み出し、ファイルシステムノードから得られた DICOM ファイルとクライアント側で結合してアクセスする。

- DICOM メタデータの検索

Gfarm に格納された DICOM メタデータは、メタデータサーバで検索が行われる。また、検索に使用する XML をダウンロードすることで、メタデータのみの利用を行う事が可能である。

5.2 提案システムのメリット

提案システムによるメリットは以下の 4 つである。

- 遠隔医療の促進

現在、医用画像診断において撮影を行った病院外の画像診断医に読影を依頼するという遠隔医療サービスが導入されつつある。読影の際、患者の個人情報が必要ではないため、患者情報を分離して DICOM を保存することにより、読影に必要なデータのみを取得することが可能であり遠隔医療の促進に寄与することができる。

- 医療クラウドの実現

各病院がこのシステムに参加することで、患者は複数病院での同一医用画像を用いた診察を受けることができる。撮影した医用画像を別病院での診察に利用する際撮影病院への請求が必要であるが、本システムにより患者の判断でセカンドオピニオンを行うことを容易にし医療クラウドを実現する。

- 医用画像の学術的利用

医用画像の学術的利用の際、患者の個人情報は不必要であるため、DICOM から患者情報を分離することで DICOM の学術的利用も促す事ができる。

- ファイルシステム自体の検索機能

DICOM はメタデータ項目が非常に多いファイルである。また撮影される枚数は数百枚以上にもなりそのデータ量は膨大なものである。Gfarm の機能「XML 拡張属性」を用いることでクライアントは DICOM データを直接ダウンロードすることなく DICOM メタデータの高速検索を行う事が可能である。

6. 実験システムの実装

本章では実験システムの実装を行う。同志社大学に 2008 年に導入された PC クラスタ「Misc」の 1 ノードを利用し、Windows Server HPC Edition 2007 の Hyper-V 機能を利用して仮想的にシステムを構築した。図 4 に Misc クラスタの外観を示す。

仮想ノードとして、メタデータサーバ×1 台、ファイルシステムノード×2 台、クライアント×1 台を構



図 4 Misc クラスタの外観
Fig. 4 Overview of Misc Cluster

表 1 Misc におけるホストの仕様
Table 1 Specifications of a Misc host

CPU	Quad-Core AMD Opteron 2.3GHz × 2
Memory	DDR2 667 MHz 8GB
OS	Windows Server HPC Edition 2007

表 2 仮想ノードにおける仕様
Table 2 Specifications of each virtual nodes

プロセッサ数	1
Memory	512MB
OS	CentOS 5.5
Kernel	2.6.18-194.el5
gfarm	2.4.0
gfarm2fs	1.2.1

築した。表 1 に Misc におけるホストの仕様を、表 2 に仮想ノードの仕様を示し、図 5 に提案システムの流れを示す。以下、図 5 を実現する Gfarm およびコマンドについて述べる。

6.1 Gfarm 導入

メタデータサーバでは、XML 拡張属性を利用するため GFARM_CONFIGURE_OPTION に -enable-xmlattr を設定し、Gfarm のインストールを行った。XML 拡張属性を有効にしてその他はデフォルトで設定し、認証方式は共通鍵認証で行った。なお、メタデータサーバ、ファイルシステムノードにおいて追加アプリケーション等はない。

6.2 作成コマンド

作成したコマンドを表 3 に示す。なお、表 3 のコマンドはクライアントでのみ使用される。

- dcm2xml
DICOM を指定しメタデータ XML の作成を行う。
- dcm_ptt_ers
DICOM を指定しその患者情報を削除する。

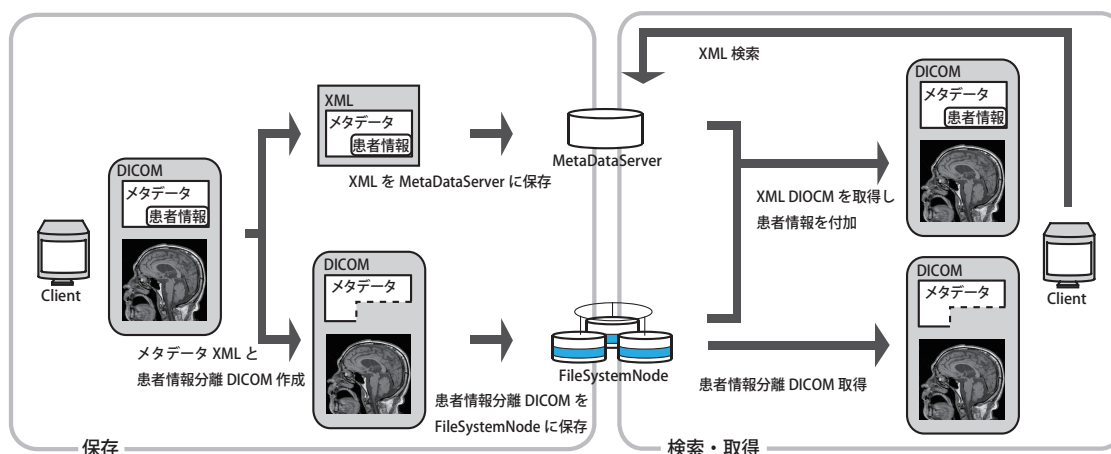


図 5 提案システム流れ図
Fig. 5 flow of proposal system

表 3 作成したコマンド
Table 3 produced commands

コマンド名	機能	使用言語
dcm2xml	XML 作成	Python
dcm_ptt_ers	患者情報削除	Python
dcm_ptt_cmb	患者情報付加	Python
dgf_up	DICOM 保存	Shell Script
dgf_down	DICOM 取得	Shell Script

```
dcm2xml <dicom>
dcm_ptt_ers <dicom>
cp <dicom> <gf_pass>
gfxattr -x -s -f <xml> <gf_dicom> <xmlattr>
```

図 6 dgf_up の流れ
Fig. 6 a flow of dgf_up

- dcm_ptt_cmb
患者情報分離 DICOM に XML から患者情報を付加する。
- dgf_up
患者情報分離 DICOM をファイルシステムサーバに保存し、Gfarm コマンド”gfxattr”を利用しメタデータサーバにて XML 拡張属性を付加する。図 6 にその流れを示す。
- dgf_down
ファイルシステムサーバから患者情報分離 DICOM を、メタデータサーバから XML を取得する。XML から患者情報を読み取り、患者情報分離 DICOM に患者情報を付加する。図 7 にその流れを示す。

```
cp <gf_dicom> <download_pass>
gfxattr -x -g -f <xml> <gf_dicom> <xmlattr>
dcm_ptt_cmb <dicom> <xml>
```

図 7 dgf_up の流れ
Fig. 7 a flow of dgf_up

7. 評価実験

本章では、実装した提案システムを用いて、医用画像向けのファイルシステムとして Gfarm が十分な性能を示すことを確認するとともに、患者情報の分離と検索が行われることを確認する。DICOM の患者情報の分離結合処理およびファイルシステムごとの処理のオーバヘッドに注目し、通信時間等の影響を低減するため、6 章で述べた PC クラスタ”Misc”の 1 ノード上に、2 台の仮想マシンを作成して評価実験を行った。評価は小規模なファイル共有システムとしてよく知られている NFS を比較対象として用いる。NFS は必ずしも広域を対象としたファイルシステムとは言えないが、XML 検索やファイルアクセスの際の容易性、高速性を考慮して選択した。

Gfarm の実験環境として 3 台の仮想マシンを構築した。1 台はメタデータサーバ、2 台はファイルシステムノードとして使用する。一方 NFS では、仮想マシンを 2 台構築し、1 台に患者情報を削除した DICOM を保存し、もう 1 台に患者情報付きの XML ファイルを保存する。

実験に使用したファイルサイズを表 4 に示す。XML データは指定された患者情報であり、DICOM のファイルサイズは患者情報を含まない。1000 枚の DICOM

表 4 DICOM と XML のファイルサイズ
Table 4 file size of DICOM and XML

ファイル	サイズ	個数	合計サイズ
DICOM	135KB	1000	132MB
XML	16KB	1000	16MB

表 5 DICOM と XML を保存した時の測定結果
Table 5 results when saving DICOM and XML

処理	Gfarm	NFS
real	5m22.507s	5m48.150s
user	0m20.957s	0m05.509s
system	0m56.123s	1m53.721s

表 6 XML を保存した時の測定結果
Table 6 results when saving XML

処理	Gfarm	NFS
real	2m29.210s	1m23.912s
user	0m14.642s	0m00.098s
system	0m26.630s	0m13.922s

ファイルおよび XML データを対象に、書き込みと削除処理に要する時間を計測し、評価した。処理に要する時間は time コマンドによる計測を 5 回行った。

7.1 DICOM と XML 保存

本節では、Gfarm と NFS に DICOM と XML を同時に保存した場合の処理速度の比較を行った。NFS では 1 台に DICOM の保存、もう 1 台に XML の保存を行った。Gfarm ではファイルシステムノード 2 台に DICOM を保存し、メタデータサーバで XML 拡張属性を付加した。DICOM と XML をそれぞれ 1000 ファイルずつ保存したときの測定結果を表 5 に示す。なお、real は実経過時間、user はユーザ CPU 時間、system はシステム CPU 時間を表す。

7.2 XML 保存

本節では、Gfarm と NFS に XML のみを保存した場合の処理速度の比較を行った。NFS では 1 台に XML の保存を行った。Gfarm では既にファイルシステムノードに保存してある DICOM に対してメタデータサーバで XML 拡張属性を付加した。XML を 1000 ファイル保存したときの測定結果を表 6 に示す。

7.3 DICOM 保存

本節では、Gfarm と NFS に DICOM のみを保存した場合の処理速度の比較を行った。NFS、Gfarm とともに DICOM のみの保存を行った。DICOM を 1000 ファイル保存したときの測定結果を表 7 に示す。

7.4 XML 作成

本節では、DICOM から XML を作成する時の速度計測を行った。なお、実装には Python を用いた。DI-

表 7 DICOM を保存した時の測定結果
Table 7 results when saving DICOM

処理	Gfarm	NFS
real	2m47.496s	4m03.428s
user	0m00.156s	0m00.149s
system	0m02.200s	1m49.631s

表 8 DICOM から XML を作成した時の測定結果
Table 8 results when creating XML from DICOM

処理	時間
real	8m06.603s
user	7m34.788s
system	0m31.611s

表 9 DICOM から患者情報を削除した時の測定結果
Table 9 results when deleting patients info from DICOM

処理	時間
real	12m08.176s
user	11m29.293s
system	00m32.916s

COM 1000 ファイルから、XML を作成した時の測定結果を表 8 に示す。

7.5 DICOM 患者情報削除

本節では、DICOM から患者情報を削除する速度計測を行った。なお、実装には Python を用いた。DICOM 1000 ファイルから、患者情報を削除した時の測定結果を表 9 に示す。

8. 議 論

表 5 に示したとおり、Gfarm は NFS よりも書き込みに要する時間が短い。Gfarm は HDFS と同等以上の性能を持つことが報告されており、書き込み処理時に発生するオーバーヘッドが NFS よりも小さい効果が確認された。

次に、表 6 に示したとおり、XML ファイルを個別のサーバに書き込む処理では、Gfarm は NFS よりも長い処理時間を要した。これは、Gfarm の XML 書き込みに要する時間は、XML 拡張属性の関連付けの処理によるものと考えられる。

表 7 に示したように、DICOM 保存における処理では、NFS が表 6 の XML と比べてファイルサイズに応じた時間がかかる一方で、Gfarm は NFS よりも処理時間が短い。また、システム CPU 時間は NFS よりも Gfarm が小さいことも確認された。これは、Gfarm はオーバーヘッドを小さく抑える機構が実装されていることによると考えられる。

表 8 に示したように、DICOM から XML1000 件の作成に 8 分以上の時間を要し、表 9 に示したように

DICOM から患者情報を削除するために 12 分以上の時間を要した。これは改善する方法としては、プログラムの改良もを行うことも必要であるが、スクリプト言語である Python を変更し、高速処理が可能な言語で実装する方法が挙げられる。

9. まとめと今後の展望

本論文では、医療 IT の展開を進める医用画像の共有および検索のためのプラットフォームとして、Gfarm ファイルシステム上に医用画像規格 DICOM を保存する医用画像保存通信システムを提案した。NFS との比較実験を通して、提案システムが高いアクセス性と広域分散システム向けの Gfarm の特徴を利用すると同時に、DICOM が持つメタデータファイルを XML 拡張属性として Gfarm のメタデータサーバに保存する方法でアクセス制御と検索性の向上を図れることが確認された。今後は、医療 IT に寄与する実システムを構築するために、格納されるデータと Gfarm の双方が大規模になった場合のスケラビリティに関する検討を行う。同時に、アクセス制御機構を実運用の観点から検討し、実装と評価を行う予定である。

謝 辞

本研究を遂行するにあたり、同志社大学 寄付教育プロジェクト Windows HPC コンソーシアムの提供する Windows クラスタ (OS: Microsoft Windows Server HPC Edition) を利用した。関係者に感謝する。

参 考 文 献

- 1) 原量宏, 横位英人: 病院情報システムと遠隔医療かがわ遠隔医療ネットワークから日本版 EHR の実現へ, 医療機器システム白書 2008~2009, pp. 358-360 (2008).
- 2) 日経メディカルオンライン: 事例研究: 静岡県立総合病院. <http://medical.nikkeibp.co.jp/leaf/all/special/it/casestudy/200906/510970.html>.
- 3) 横井英人, 福井敏樹, 寅野貴史, 尾藤茂, 原量宏: 遠隔医療ネットワークシステムにおける画像通信機能の強化. <http://www.kcgh.gr.jp/department/d48/files/25th/jcni25/paper/p10273/p10273.html>.
- 4) GHEMAWAT S.: The Google File System, *Proceedings of 19th ACM Symposium on Operating Systems Principles (SOSP-19), 2003* (2003).
- 5) The Apache Software Foundation: Apache Hadoop. <http://hadoop.apache.org/>.
- 6) 三上俊輔, 太田一樹, 建部修見: 広域分散ファイルシステム Gfarm 上での MapReduce を用いた

大規模分散データ処理, 情報処理学会研究報告, SWoPP2010 (2010).

- 7) 建部修見: Gfarm ファイルシステム 最新機能概要, IPAB セミナー Gfarm Workshop 2010 (2010-07-2).
- 8) 建部修見, 曾田哲之: 広域分散ファイルシステム Gfarm v2 の実装と設計と実装, 情報処理学会研究報告. [ハイパフォーマンコンピューティング], Vol. 2004, No. 81, pp. 145-150 (2004-07-30).
- 9) 建部修見, 曾田哲之: 広域分散ファイルシステム Gfarm v2 の実装と評価 (グリッド I), 情報処理学会研究報告. [ハイパフォーマンコンピューティング], Vol. 2007, No. 122, pp. 7-12 (2007-12-07).
- 10) Tatebe, O., Hiraga, K. and Soda, N.: Gfarm Grid File System, *New Generation Computing*, Vol. 28, pp. 257-275 (2010). 10.1007/s00354-009-0089-5.
- 11) 建部修見, 森田洋平, 松岡聡, 関口智嗣, 曾田哲之: 広域大規模データ解析のための Grid Datafarm アーキテクチャ, 情報処理学会研究報告. [ハイパフォーマンコンピューティング], Vol. 2001, No. 77, pp. 177-182 (2001-07-25).