

jh150033-IS02

## クラウドを活用したビッグデータポスト処理環境実現のための データ伝送実験

村田健史（情報通信研究機構）

**概要** 現在、計算科学基盤であるスーパーコンピュータ（以下スパコン）による計算規模は大規模化しており、その結果出力されるビッグデータのポスト処理環境の重要性が指摘されている。大規模スーパーコンピュータにより生成されたビッグデータのポスト処理を高速かつ低遅延で処理するためには、スパコンからデータを直接書き出し、即時にポスト処理システムからも参照できる遠隔ストレージが有効である。遠隔高速ストレージは古くから研究開発が進められてきたが、スパコンとポスト処理環境を直接接続できるようなユーザランドで動作する（すなわちアプリケーションレベルで利用できる）高速ファイル伝送ツールは存在していない。また、スパコン計算に合わせて非同期的にデータを伝送するためには小データサイズのデータを IP ベースで効率的に（高速に）伝送する必要があるが、これまでの TCP ベースの通信プロトコルまたは TCP ベースのストレージアプリケーションでは実現が容易ではなかった。本研究では、独自の通信プロトコルを開発し、これを分散ストレージシステムに組み込むことにより、上記の問題の解決を試みる。

### 1. 共同研究に関する情報

南里豪志：九州大学情報基盤研究  
開発センター実験担当

#### (1) 共同研究を実施した拠点名

京都大学 学術メディアセンター  
大阪大学 サイバーメディアセンター  
名古屋大学 情報基盤センター  
九州大学 情報基盤研究開発センター

#### (2) 共同研究分野

- 超大規模数値計算系応用分野
- 超大規模データ処理系応用分野
- 超大容量ネットワーク技術分野
- 超大規模情報システム関連研究分野

#### (3) 参加研究者の役割分担

村田健史・長屋嘉明・建部修見・木村映善：  
HpFP および HbVRS の設計・試験・実装  
深沢圭一郎：  
京都大学学術メディアセンター  
実験担当  
伊達進・木戸善之：  
大阪大学サイバーメディアセンター  
実験担当  
荻野正雄：名古屋大学情報基盤センター  
実験担当

### 2. 研究の目的と意義

現在、計算科学基盤であるスーパーコンピュータ（以下スパコン）による計算規模は大規模化しており、その結果出力されるビッグデータのポスト処理環境の重要性が指摘されている。大規模スーパーコンピュータにより生成されたビッグデータのポスト処理を高速かつ低遅延で処理するためには、スパコンからデータを直接書き出し、即時にポスト処理システムからも参照できる遠隔ストレージが有効である。遠隔高速ストレージは古くから研究開発が進められてきた。マルチポイント・マルチポイントの並列ストレージシステムの高速化の研究（例えば、Henschel et al., SC12, 2012）は多くあるが、シングルクライアントから利用できる遠隔高速ストレージはほとんど存在しない。これは、実用性の高いデータ伝送プロトコルが存在しない、ストレージ側の I/O 速度のボトルネック、データ伝送プロトコルとストレージシステムを効果的に組み合わせることが容易ではないことなどが理由である。

本研究では、まず、遠隔ファイルシステムの基

盤となるデータ通信プロトコルである **HpFP** (High performance and Flexible Protocol) の設計・開発を行う。**HpFP** は TCP と同様の高信頼データ通信を行うためのプロトコルである。詳細については後述する。

さらに本研究では、スパコンの計算ノードから直接データを遠隔ストレージに書き出したり、遠隔ストレージから直接データを読み込んでポスト処理を行ったりするためのツール (**HbVRS** : High-bandwidth Virtual Remote Storage) を **HpFP** と **Gfarm** を基盤として開発する。この **HbVRS** クライアントを京都大学、九州大学のスパコンおよび大阪大学、名古屋大学のポスト処理環境・可視化環境に実装する。NICT サイエンスクラウドが構築・運用している分散ストレージシステムに **HbVRS** サーバを実装し、これを遠隔ストレージシステムとして利用する。これらをもとに、実データを用いて実環境実験を行う。スパコンからの遠隔ストレージ利用では、32~128 コアで 1 ステップあたり 100GB 程度のデータファイルを数時間に一度書き出す仕組みを実現する。また、L2 環境下のポスト処理では、可視化サーバからバンド幅 (1Gbps または 10Gbps) でのデータファイル読み出しを達成する。

### 3. 当拠点公募型共同研究として実施した意義

本申請では、理想環境での動作検証実験ではなく、実利用システムでの実現を目標としている。したがって、最終目標はスパコンユーザが遠隔ストレージ・ポスト処理環境をローカル環境のように使いこなし、さらに得られた可視化データを遠隔地の大規模ディスプレイに表示するなどの実際のアプリケーションを実現するインフラを提供することである。そのために、本研究では実際の計算科学研究者 (スパコンユーザ) が実際に利用している環境 (スパコンおよびポスト処理) において高速仮想遠隔ストレージの実験を行う。具体的には、京都大学や九州大学のスパコンで実際に掲載されているシミュレーションコードを用いてのデータ書き出しを行う。また、遠隔ストレ

ージに保存されている実際の気象データやシミュレーションデータを本研究で開発するツールを用いてポスト処理や可視化を行う。これにより、**SINET** 上での遅延、輻輳やパケットロス、各大学の **Firewall**、スパコンから遠隔ストレージまでのルーティング、データ書き出しとデータ保存、およびポスト処理のコンカレント処理など、実際にシステムを利用する際に想定される問題を一つずつ解決することで実用化に近づくことが期待される。

図 1 に、本研究の全体構成と本年度の計画を示す。本年度は、**HpFP** の設計・実装・データ通信試験および **Gfarm** への **HpFP** の組み込みによる **HbVRS** システムの試作および室内実験を行う。

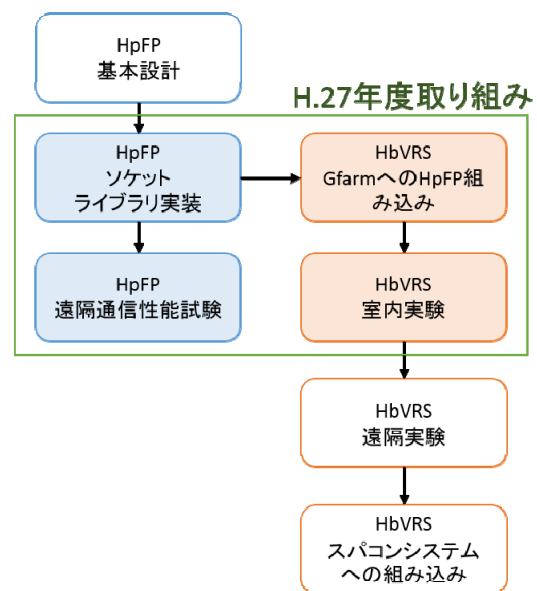


図 1 本プロジェクトの計画図

### 4. 前年度までに得られた研究成果の概要

前年度は申請していない。

### 5. 今年度の研究成果の詳細

#### 5-1 HpFP プロトコル開発

中間報告においては、図 1 において **HpFP** のソケットライブラリ実装、遠隔通信性能試験は完了した。以下では、**HpFP** について報告する。インターネット環境は、バックボーンとなる 10G 以上の WAN (広域ネットワーク) の普及とネットワーク機器の低価格化に伴い、現在の 1G から

10G へのデータ通信環境の高速化が進んでいる(図2)。それに伴い、Web やファイル伝送など様々なインターネットアプリケーションの高速化(10G 化)の需要が高まっている。インターネットアプリケーションの多くは、データ伝送の基盤となる通信プロトコルに TCP を用いているが、TCP は遅延やパケットロス環境においてデータ通信速度が大きく損なわれることが問題であった。10G 環境に備えて、ハードウェアによる高速化や TCP の改良などが試みられているが、利用環境が限定されることや一定以上の条件下(例えば、遅延 100 ミリ秒・パケットロス 1%)での大幅な通信性能劣化が課題である(図3)。

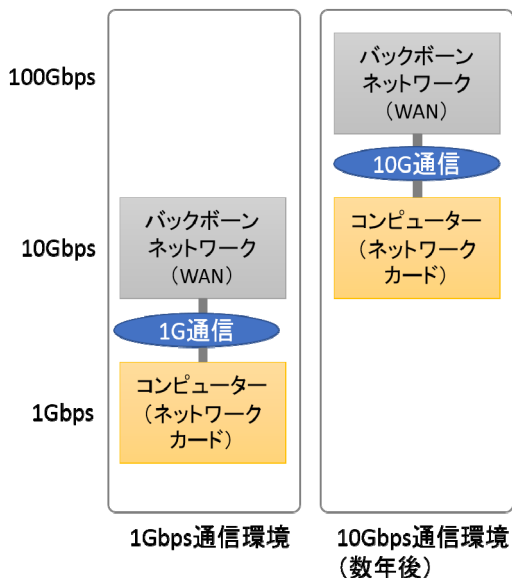


図2 1G 通信環境から 10G 通信環境へ

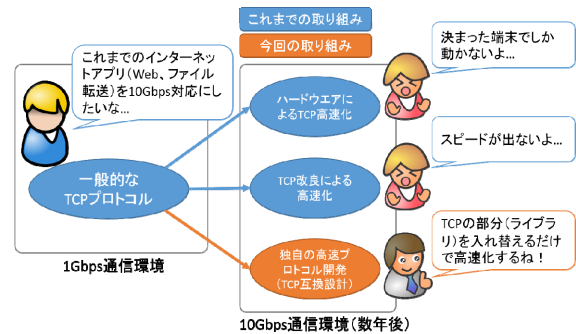


図3 10G 環境での通信プロトコル利用イメージ

本研究では 10G の高速通信環境において、遅延やパケットロスに強い独自設計のデータ通信プロトコル HpFP の基本設計とソケットライブラリ実装を行った。HpFP は、NICT がこれまでに JGN-X テストベッド環境で行ってきた 10G を超える長距離広帯域伝送網(LFN)におけるデータ通信実験成果を基に、クリアリンクテクノロジー社が開発した TCP 高速化パケット伝送制御技術を用いて、独自のアルゴリズム設計により実装したトランスポート層の TCP 互換(プログラムレベルで置き換え可能な)通信プロトコルである。

HpFP の基本設計では、再送制御、輻輳制御、送出制御、フロー制御を TCP とは異なる独自のアルゴリズムで設計を行った。図4はこれらの独自制御に基づいた HpFP プロトコルの仕組みある。HpFP では、受信パケットを使って受信サーバがパケットロスや遅延などの通信パラメータを計測し、さらに予測する。通信パラメータは確認応答

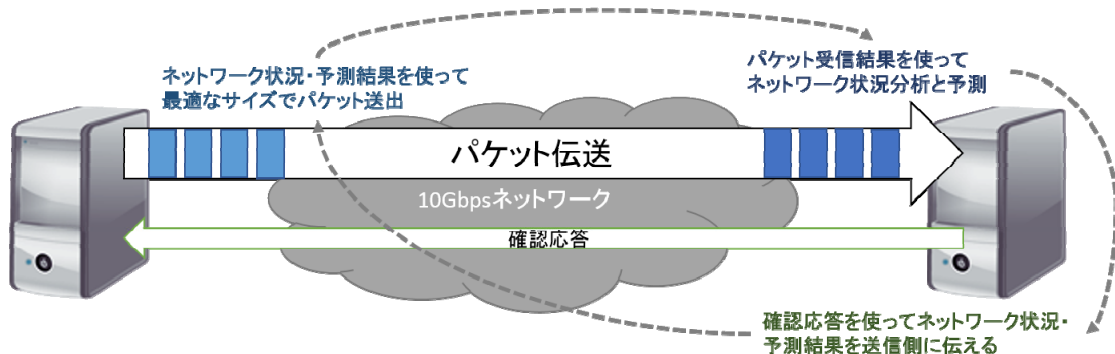


図4 HpFP プロトコルの基本的な設計概念

(ACK) を使って送信側に伝えられる。これにより、送信サーバは、最適なサイズ及びタイミングでパケット送出を行う。

一方、パケットロス 0.01%かつ遅延 (RTT) 10 ミリ秒又はパケットロス 0.1%かつ遅延 (RTT) 1 ミリ秒などの環境では、TCP は通信性能が 10

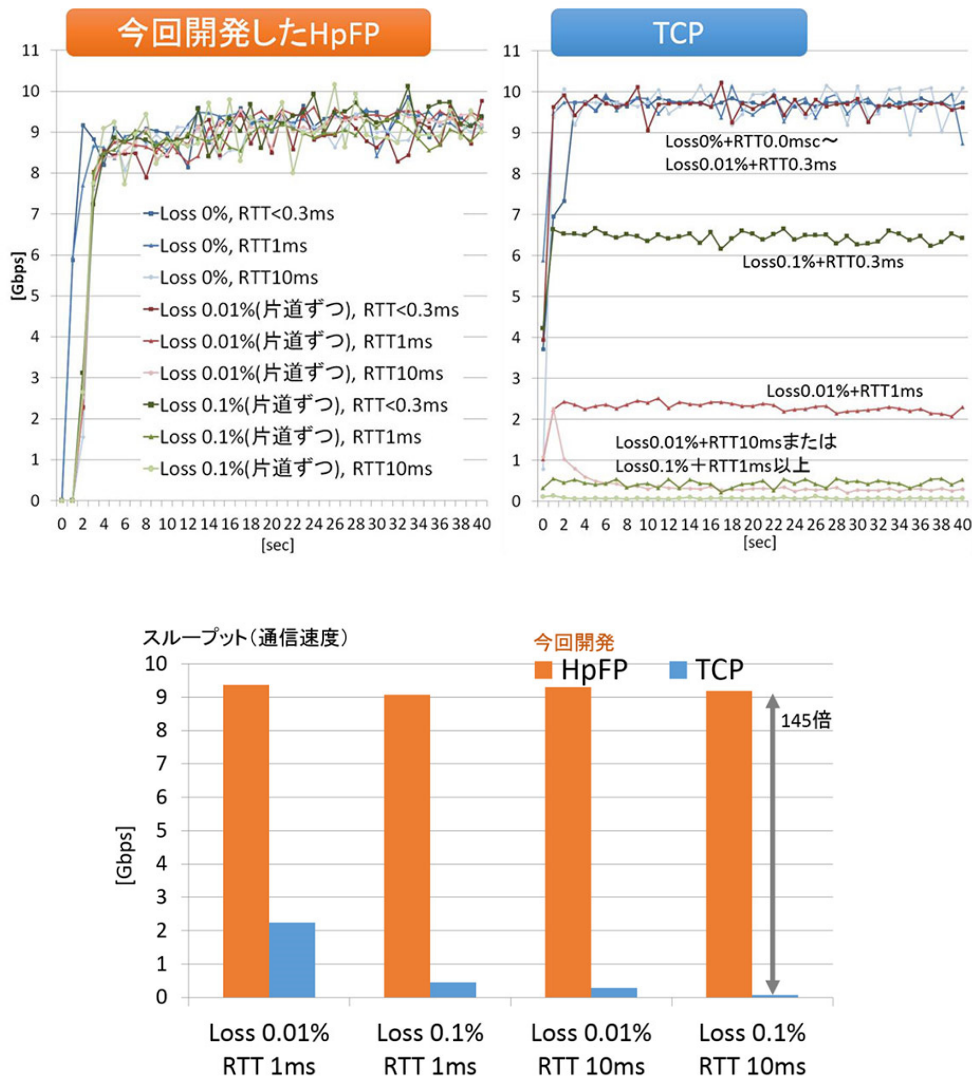


図5 HpFP と TCP の比較：遅延 (RTT) とパケットロスの通信性能測定 (上) と 4 つの場合の性能評価 (下)

HpFP と TCP による 10Gbps 環境での室内実験を行った (図 5)。TCP については標準的な通信環境測定ツール iperf を用い、HpFP は独自の通信環境測定ツール hperf を用いた。遅延 (RTT: Round Trip Time) 0 ミリ秒かつパケットロス 0% の場合から、遅延 (RTT) 10 ミリ秒かつパケットロス 0.1% の場合までの基本的な通信性能 (スループット) を評価した。パケットロス 0.01%かつ遅延 (RTT) 0.3 ミリ秒程度までは、HpFP と TCP は、ほぼワイヤーレートを達成していることが分

分の 1 以下になるのに対して、HpFP は性能劣化がほとんど見られない。なお、HpFP は、パケットロス 1%で遅延 (RTT) 500 ミリ秒の場合でも、同様の性能を確認した (図 6)。

HpFP は、1 つの通信セッションで約 15Gbps の高速通信が可能である。これをマルチリンク化することにより、100G を超える通信が期待される。マルチリンク版 HpFP は現在開発中 (2015 年 10 月現在) であるが、予備試験により 90Gbps を超える通信性能を達成している (図 7)。

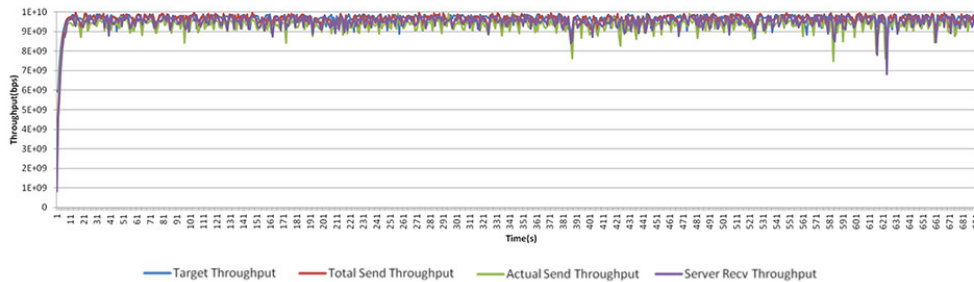


図 6 10Gbps 環境での高遅延 (RTT 500msec) とパケットロス (1%) における HpFP 性能評価

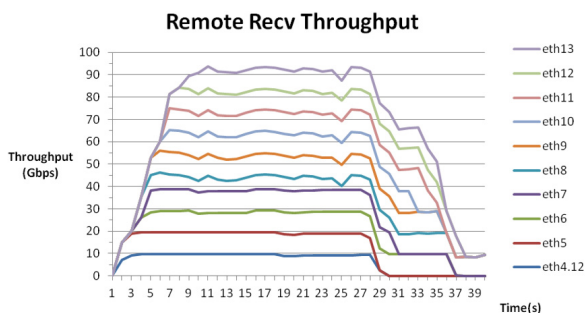


図 7 100Gbps 環境での HpFP の通信性能 (スケラビリティ) : 1 コネクション 10Gbps でスケールアウト

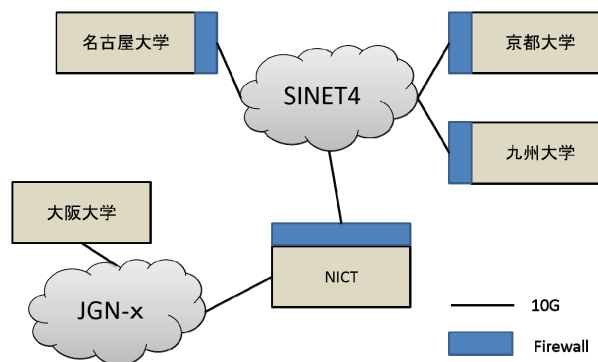


図 8 拠点間ネットワーク

延やパケットロスが大きな長距離ネットワーク環境測定に利用できないのに対し、hperf は高い性能を示すことが分かっている。

### 5-2 拠点間ネットワーク環境計測

図 8 に、本計画に参加している 5 機関の通信ネットワーク環境を示す。大阪大学を除く 3 大学のサーバは SINET4 (H.28 年 4 月からは SINET5) に接続されており、一方で NICT は JGN-x (H.28 年度からの名称は未定) に接続されており、両者は大手町で IX (インターネットエクスチェンジ) によりインターネットを介さずに直接、10Gbps での通信が可能である。大阪大学のサーバは JGN-x 上にあり、VLAN で NICT サイエンスクラウドに接続されている。したがって、大阪大学-NICT サーバのみ、両者のファイアウォールを介さずに接続が可能である。

本研究では、HpFP をベースに開発したネットワーク環境測定ツールである hperf (以下、HpFP と表記することもある) を用いてこれら 5 つの機関間でのネットワーク環境を測定した。hperf は一般にネットワーク環境を測定するツールである iperf を模して作成したツールである。iperf が遅

図 9 は SINET4 により HpFP を用いた京都大学学術メディアセンター、九州大学情報基盤研究開発センターおよび情報通信研究機構の間でのデータ通信速度測定結果である。各組織のネットワークにおいてそれぞれのサーバに対するポートを空けることで L3 接続し、HpFP の速度測定ツール (hperf) により通信速度測定を行った。京都大学と九州大学は大学 FW が 10Gbps 処理能力を有している。図 9 の各グラフの曲線は HpFP の目標スループット値 (MT 値) に対する測定されたスループットを示している。これにより、京大-九大間はおおむね 1Gbps で通信ができていることが分かる。NICT は 200-300Mbps までは安定しているが、それ以上の結果は測定時により変動している。これは NICT サイエンスクラウドがひまわり 8 号リアルタイム Web を公開してから定常的に外部アクセスがあり、200-300Mbps を超える FW の処理能力が一定でないためである。どの場合にお





図 9 各メディアセンター間の通信測定結果：(上) NICT-京都大学、(中) 京都大学-九州大学、(下) 九州大学-NICT

いても通信ボトルネックは FW であり、HpFP の通信性能は十分であることが確認された。

本研究では図 8 の他の拠点間のネットワーク環境測定も同様に行った。その結果を、表 1 に示す。おおむねどの環境においても 500Mbps~1Gbps またはそれに近いスループットを実現している。ボトルネックはいずれの場合も大学および NICT の FW であり、ネットワーク環境（特に SINET および JGN）はボトルネックになっていない。

### 5-3 HpFP プロトコルによる遠隔ストレージシ

### テム室内実験

本研究では、分散ストレージシステム Gfarm を用いた HbVRS（広帯域仮想遠隔ストレージシステム）への HpFP プロトコルの組み込みを行った。図 9 はシステム概要である。Gfarm で構成したファイルシステムから独自に開発した MMAP（メモリマップ）関数を用いた簡単なプログラムによりデータファイルを読み出す。これは、2014 年度までに UDT プロトコルをベースに開発した HbVRS[1]の通信プロトコルを HpFP に置き換え

表 1 hperf (HpFP による) 拠点間のネットワーク環境試験結果

		受信				
単位 Gbps msec %	NICT	名大	京大	阪大	九大	
NICT	—	710Mbps 8.37ms 常時0.01~0.5%	400Mbps 19.5ms 0%	2.75Gbps 7.7ms 約2秒毎に最大1%	280Mbps 28.6ms 0%	
名大	480Mbps 7.2ms 常時0.1~0.5%	—	未計測	未計測	未計測	
京大	540Mbps 9.42ms 常時0.2~1%	未計測	—	未計測	580Mbps 17.5ms 0%	
阪大	4.74Gbps 8.1ms 0%	未計測	未計測	—	未計測	
九大	520Mbps 26.3ms 約2秒毎に1~4%	未計測	930Mbps 17.8ms 0%	未計測	—	

図 10 において 1 並列で 5.8Gbps の I/O 速度からは 6 並列では 30Gbps 以上が期待されるが、測定結果は 20Gbps 程度にとどまった。十分なスケーラビリティが達成できない理由は、RAM ディスクの I/O 性能の限界 (別測定によると 20Gbps 程度であった) と HpFP のイントラ公平性の問題がある。HpFP のイントラ公平性について図 11 で示す。左図は HpFP で帯域をシェーピングしなかった場合の 8 コネクショ

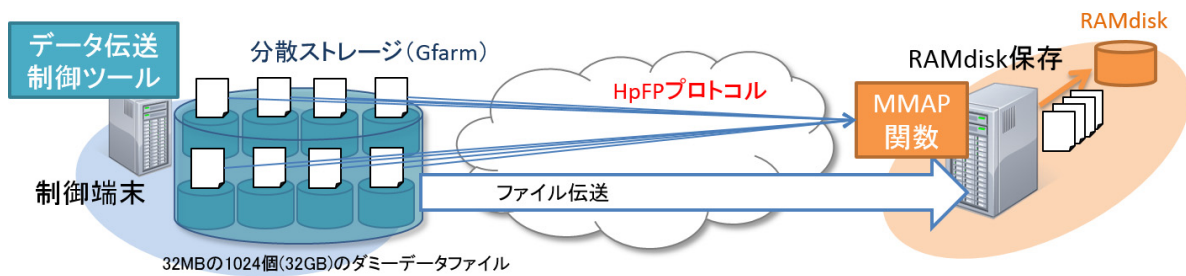


図 9 本研究での HbVRS システム : HpFP プロトコル

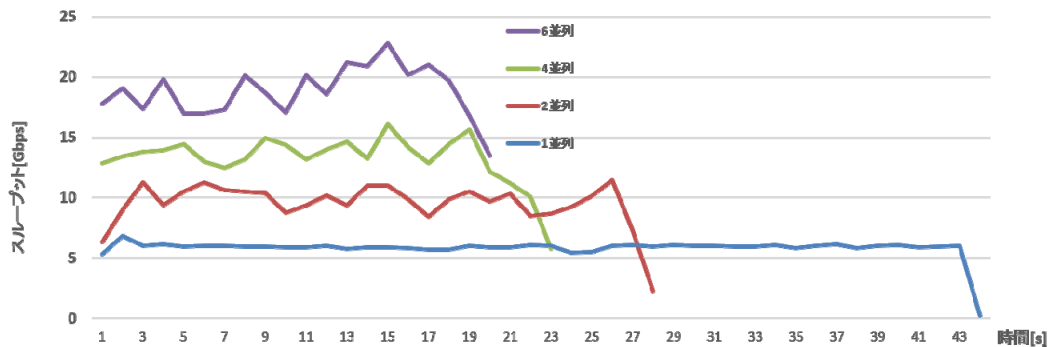


図 10 図 9 システムでのバルク通信結果 (32GB 分のデータファイル転送)

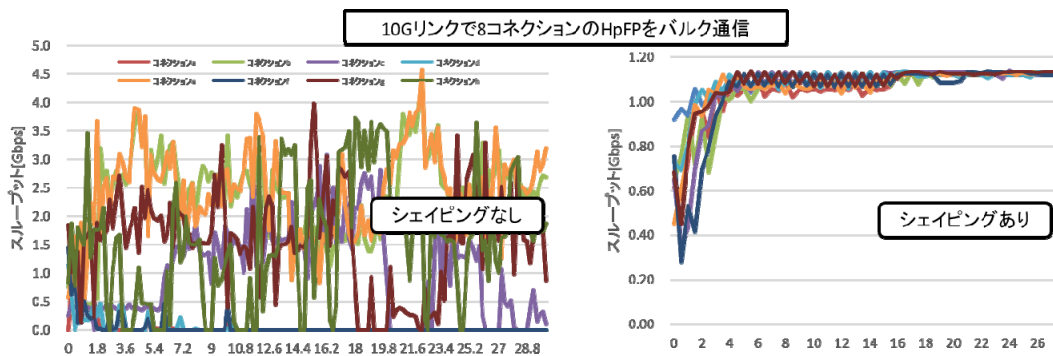


図 11 10Gbps リンクでの HpFP プロトコルのバルク通信結果

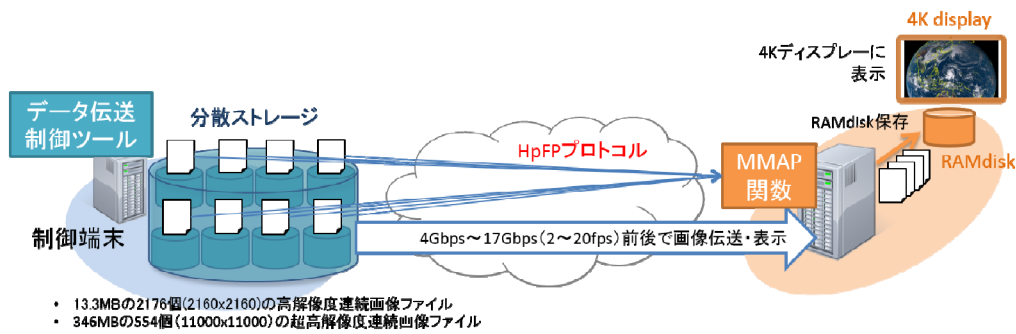


図 1 2 図 9 システムを基にした 4K 画像連続表示システム

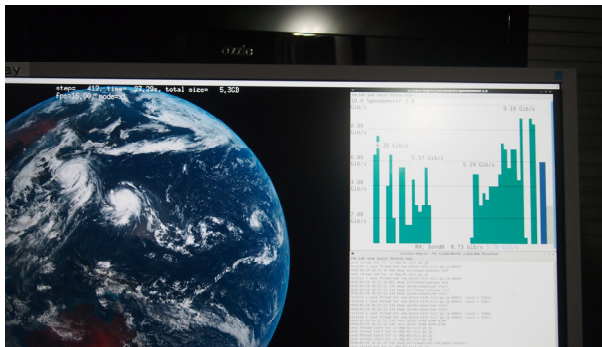


図 1 3 4K ディスプレーへのデータ表示

ンのスループットの時間変化である。実験帯域(リンク)は 10Gbps である。図 11 より、この実験時には HpFP ではイントラ公平性が達成できていなかったことが分かる。一方、10Gbps のリンクに対して 1.25Gbps のシェーピングをかけたところ、図 11 の右図のようにすべての接続がほぼ 1.1Gbps 以上を達成した。HpFP はシェーピング時の目標スループットに対して高い性能で追従するため、このような結果になったと考えられる。なお、この実験の後で HpFP のイントラ公平性の実装を進め、現在は、TCP と同程度の公平性を達成している。ただし HpFP が高い目標スループット達成性能を有すことから、HbVRS においては均一な複数台の Gfarm ファイルシステムノードを用意できる場合にはシェーピングを行う方が有利である。

図 9 のシステムの応用として、Gfarm 分散ストレージから高速にデータを読み出し、4K ディスプレー上に表示するアプリケーションを開発し、クライアントサーバ上に設置した(図 12)。図 12

のシステムは、図 9 のシステムにおいて読み出したデータファイルを順次 4K ディスプレー上に表示するものである。サンプルデータとして、ひまわり 8 号の高解像度画像(PNG 形式)を用いた。実験では、346MB の 554 個(11000×11000)の超高解像度連続画像ファイルを 4K ディスプレー上に表示する。画像解像度がディスプレイ解像度を超えるため、地球の一部のみが表示されることになる(図 13)。なお、4K ディスプレーへの表示速度が遠隔 I/O 速度よりも低いため、図 9 のデータ読み込み実験と異なり図 10 と同様のスループットを得ることはできなかった。それでも、4Gbps~17Gbps 程度のスループットを達成することができた(図 13)。

## 6. 今年度の進捗状況と今後の展望

本研究では、図 1 に示した当初の目的である、①HpFP ソケットライブラリ実装、②HpFP 遠隔通信性能試験、③HbVRS への HpFP プロトコルの組み込み、④HbVRS の室内実験(4K ディスプレーへの表示)の全てを行い、おおむね目標を達成することができた。①については後述の通り、特許出願を完了した。また、①および②については NICT よりプレスリリースを行い、多くの反響を得た。今後は④を実際に大学間ネットワークで実現し、当初の目的である遠隔高速ストレージ利用を実現したい。ここでは、データ交換速度で 1Gbps を目標として、そのために必要な技術等について以下に考察する。

図 14 は拠点間で高速にデータ交換を行うシステムイメージである。図 14(a)はキャンパス LAN



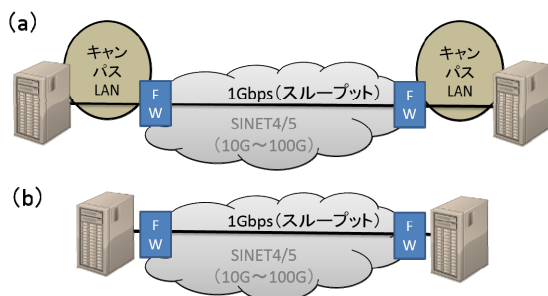


図 1 4 大学間高速データ通信イメージ

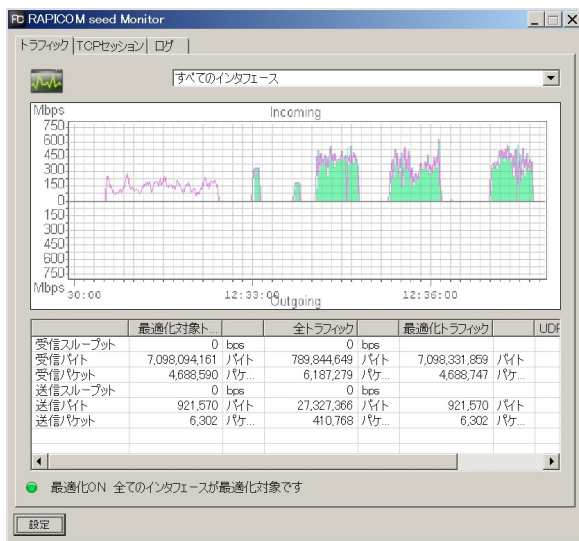


図 1 5 名古屋大学—NICT 通史実験結果：TCP（赤線のみ）と HpFP（赤線+緑）による通信速度比較

を介して両者がデータ交換する場合、図 14(b)はキャンパス LAN を介さずに（事実上）サーバが大学ファイアウォールに直結している場合である。ここでは、2016 年に追加実験として行った HpFP と TCP の比較実験結果（図 15）について議論する。図 15 は図 14(b)の場合に該当し、名古屋大学情報基盤センターと NICT のサーバ間でのデータ伝送（5GB のファイルを連続転送）を行う。図 15 は（本稿では詳細は省略するが）HpFP プロトコルを基に開発したソフトウェア WAN アクセラレータ（PEP：Performance Enhancing Proxy）ツールによる結果である。本 PEP ツールは TCP プロトコルに介入し、HpFP 技術により TCP プロトコルの高速化を行う。WAN アクセラレータを OFF にした場合（図の前半）と ON にした場合（図の後半）を比較すると、前者では 150Mbps 程度

であったデータ伝送速度（スループット）は後者では 500Mbps 程度と向上している。表 1 では NICT から名古屋大学へのスループットは 700Mbps 程度であるが、500Mbps と最高速度に到達していないのは NICT サーバのディスク I/O による制限である。この結果より、HpFP を用いることで通常の TCP 通信よりも 3 倍から 5 倍程度の高速化が見込まれる。なお、TCP による通信速度が 100Mbps に達しない理由は表 1 に示されるパケットロスである。名古屋大学と NICT 間の遅延は 10msec 以下と大きくないが、パケットロスが 0.01~0.5%程度である。これが TCP 通信のボトルネックとなっている。

図 6 の結果より、HpFP（による PEP）を用いることで表 1 のどの場合でもデータ通信は表 1 の最高スループットを達成することは可能である。特に SINET5 では主拠点間が 100Gbps、他の拠点でも 10Gbps を達成しており、バックボーンネットワーク環境にはボトルネックはない。拠点間でのファイル伝送のボトルネックとなるのは①各拠点の FW による制約、②キャンパスネットワーク環境、③ディスク I/O 速度などである。①については本計画に参加している拠点は NICT を除いて 1Gbps 程度での処理が可能な FW を有していると予想される（表 1）。③のディスク I/O については近年 1Gbps（125MB/sec）程度の I/O 速度を達成するストレージは珍しくない。したがって、今後検討する必要があるのは②の図 14(a)に示されるキャンパスネットワークである。キャンパスネットワークにおいて大きな輻輳がある場合には、これがパケットロス要因となり TCP のスループットは低下する。一方で HpFP のような公平性・親和性が未実装のプロトコルを用いる場合には、キャンパスネットワーク内において他のトラフィックへの弊害となる。

そこで、遅延・パケットロスが存在する長距離ネットワークでも 1Gbps を達成でき、さらに公平性・親和性を実装したソフトウェア型の通信アプリケーションが望まれる。ソフトウェア型であることは、だれがもこのような環境を実現するため

には重要である。2016 年度に研究代表者が設計・実装した HpFP をベースにした PEP アプリケーション (図 15) はこれらの要件をすべて満足している。平成 28 年度にはこのアプリケーションにより各拠点間での実用的な 1Gbps 通信 (ファイル転送) を実現したい。

## 7. 研究成果リスト

### (1) 学術論文

- [1] 渡邊英伸, 黒澤隆, 木村映善, 水原隆道, 村田健史, 建部修見, 広域分散ファイルシステムにおける UDT マルチストリームファイル転送ツール, 電子情報通信学会論文誌 (D), vol. J99-D, no. 5, pp. 514-525, May, 2016. DOI: 10.14923/transinfj.2015AIP0009
- [2] 矢木大介, 村田健史, 笠原禎也, “科学衛星で観測された波形データ処理を用いた NICT サイエンスクラウド上での並列分散処理の評価,” 情報知識学会誌, vol. 25, no. 1, pp. 3-22, 2015.

### (2) 国際会議プロシーディングス

なし

### (3) 国際会議発表

なし

### (4) 国内会議発表

1. 村田健史, 水原隆道, 高木文博, 福島啓介, 山本和憲, 長屋嘉明, 村永和哉, 木村映善, 遅延・パケットロス環境で高速データ伝送を行うための UDP ベースの高信頼性通信プロトコル: HpFP –HpFP プロトコル設計–, 信学技報. IN, vol.115, no.484, IN2015-109, pp7-12, 2016.
2. Murata, K., Mizuhara, T., Takaki, A., Fukushima, K., Yamamoto, K., Nagaya, Y., Muranaga, K., Kimura, E., Ikeda, T., Ikeda, K., Tanaka, J., Proposal of HpFP (High-Performance and Flexible Protocol)

based on UDP for 10 Gbps LFN – An Application for Network Quality Tester–, IEICE Tech. Rep., CQ, vol.115, no.496, CQ2015-124, pp.95-100, 2016.

3. 村田健史, 山本和憲, 長屋嘉明, 深沢圭一郎, 伊達進, 木戸善之, 荻野正雄, 南里豪志, 建部修見, 木村映善, クラウドを活用したビッグデータポスト処理環境実現のためのデータ伝送実験: 基礎実験編 HPC と高速伝送の融合を目指して, 京都大学 学術情報メディアセンター 全国共同利用版 [広報], vol.14, no1, 2015.
4. 人工衛星や超長距離に最適, TCP 互換の通信プロトコル, 日経エレクトロニクス, pp.22-23, 2016 年 1 月号.
5. 村田健史, 長屋嘉明, 長妻努, 特集「科学ビッグデータとサイエンスクラウド」, 東海情報通信懇談会会報誌, vol.107, pp.1-8, 2015
6. 子供の科学 (誠文堂新光社) 全国 2015 年 11 月号 『ひまわり 8 号活用術』企画 (pp.22-25)
7. 毎日新聞 全国 (朝刊「気象・防災」欄) 2015/10~ (週 1 回) 『ひまわり EYE』企画・執筆 (平成 27 年度連載: 25 回)
8. 沖縄タイムズ+プラス 2015/11/20 地球の映像も 台風の動きも NICT と共同研究 ひまわり 8 号リアルタイム Web <http://viewer.okinawatimes.co.jp/books/viewer/app/P000002314/2015/11/19> 全国
9. 科学新聞 (2 面) 2015/11/13 インターネットのイライラ解消へ 高速でも遅延・パケットロスに強い NICT が新たな通信プロトコル
10. 電波新聞 (3 面) 2015/11/12 NICT など 10Gbps 高速インターネット 新データ通信技術開発
11. 電波タイムス (1 面) 2015/11/11 パケットロスに強い通信プロトコル ネットのイライラ解消、新データ通信技術を開発 NICT
12. 日刊工業新聞 (25 面) 2015/11/10 遅延やパ

ケットロスに強い 通信プロトコル開発 情  
通機構

13. 電経新聞 (4 面) 2015/11/9 HpFP 開発に成  
功、実装版公開 10 ギガ超の伝送網でも遅延  
やパケットロスに強いプロトコル NICT
14. Yahoo!ニュース Japan 2015/11/9 NICT、  
TCP 互換で 10Gbps 環境に最適化した通信プ  
ロトコル「HpFP」開発、遅延・パケットロ  
ス環境下でも高速通信
15. [http://headlines.yahoo.co.jp/hl?a=20151106-  
00000042-impress-sci](http://headlines.yahoo.co.jp/hl?a=20151106-00000042-impress-sci)
16. 沖縄タイムズ 全国 2015/9/30 『台風画像  
くっきり ～ひまわり 8 号リアルタイム  
Web』

#### その他 (特許, プレス発表, 著書等)

特許出願 (負荷変動およびパケット伝送損失  
がある LFN 伝送路で高信頼通信を行うための  
データ通信制御方法、発明者: 村田健史・水  
原隆道、出願番号: 特願 2015-179510、出願  
日: 2015/9/