

# 業務開始時刻に基づくディスク読み書き量の制限による バックアップとユーザのファイル転送時間の両立

高橋 風太<sup>1</sup> 飯島 貴政<sup>2</sup> 串田 高幸<sup>1</sup>

**概要:** ファイルサーバとバックアップサーバを用いる映像制作会社では、ユーザがファイルサーバへ合計100GBの動画ファイルを転送する事例がある。この時ファイルサーバのバックアップ中であると、ネットワークの帯域幅がディスクの帯域幅よりも広い場合、ユーザのファイル転送に要する時間がバックアップ中でない時と比較して増加し、業務の進行が妨げられる。ファイルサーバは動画ファイルの受信のために書き込み、バックアップのために読み取りを行う。この時読み取りと書き込みが衝突しハードディスクの使用率が100%になることで、ユーザのファイル転送時間が増加する。基礎実験では、バックアップにより単位時間当たりの書き込み量が15.5%減少することを示した。本研究の提案方式では、ユーザのファイル転送が増加した場合、バックアップのためのハードディスクの読み取りを制限する。ディスクの読み取りの制限量として、企業の業務開始時刻までに転送が完了する読み取り速度とする。評価では、提案方式を用いない場合と用いた場合の、単位時間当たりのハードディスクの読み取り量、書き込み量、ファイル転送時間を比較する。

## 1. はじめに

### 背景

アプリケーション層では、データをバックアップと呼ばれる追加のコピーに複製する。これにより、データが失われた場合に元の情報を復元できるようにする [1]。バックアップは、様々な損害からデータを保護する。損害の例として、アプリケーションやオペレーティングシステムの破損、ストレージの破損、ネットワークの破損、停電、ユーザーエラー、地震、洪水、噴火、津波が挙げられる [2][3][4]。

バックアップの利用例として、東映アニメーションを挙げる。ここでは映像、テレビ、キャラクター商品の開発事業が展開され、これらのコンテンツの制作のための画像データや動画データを共有する。社員間でのデータの共有や管理のため、ファイルサーバが使用される。ファイルサーバのデータを保護するため、ファイルサーバのデータはバックアップされる。複数のコンテンツ制作を同時進行することがあるため、オンプレミスのシステムは24時間稼働している\*1。他にも、システムの継続を前提とする企業

や組織は存在する。例として、デルタ航空会社が運営するOIS(Operational Information System)が存在する。OISは、企業または組織の日常業務を継続的にサポートする大規模な分散システムである。OISのパフォーマンス要件として、99.99%の可用性が挙げられている [5]。

コンピューティングシステムは指数関数的な速度でより多くの並列処理を活用できるため処理速度が速いが、ストレージインフラストラクチャのパフォーマンスは大幅に低い速度で向上している。この例は、スーパーコンピュータであるMiraである。Miraのコンピューティングノードでは、ネットワーク帯域幅が1536 GB/sで転送できる一方で、ストレージシステムは250GB/sの実行速度である。この状況はI/O輻輳を引き起こし、アプリケーションのパフォーマンスを低下させる [6]。Ruofan Xiaらの研究では、バックアップ中にシステムにアクセスできる場合、システムパフォーマンスが影響を受ける可能性を指摘している。これは、バックアッププロセスがシステムリソースの通常のサービスプロセスと競合し、ディスクI/Oに集中するためである [7]。

### 課題

課題は、ファイルサーバのバックアップ中にユーザがファイルサーバへ動画ファイルを転送すると、バックアッ

<sup>1</sup> 東京工科大学コンピュータサイエンス学部  
〒192-0982 東京都八王子市片倉町1404-1

<sup>2</sup> 東京工科大学大学院バイオ・情報メディアコンピュータサイエンス専攻  
〒192-0982 東京都八王子市片倉町1404-1

\*1 Tech Target Japan, "社外とも簡単データ共有、「東映アニメーション」のアニメ制作を支えるツールとは",

<https://techtargget.itmedia.co.jp/tt/news/1704/12/news07.html>  
(2022/6/15)

中でない時と比較して転送開始から完了までに要する時間が増加し、業務進行の妨げになることである\*2。業務の妨げには、修正や確認作業の遅延、伝達の遅れ、進捗への影響がある。映像制作会社の映像制作工程において、ファイル転送時間の長さが課題となっている\*3。バックアップが動作する影響によるファイル転送時間の増加を遅延と呼ぶ。図1に通常動画ファイル転送を示し、図2に、動画ファイル転送の遅延を示す。

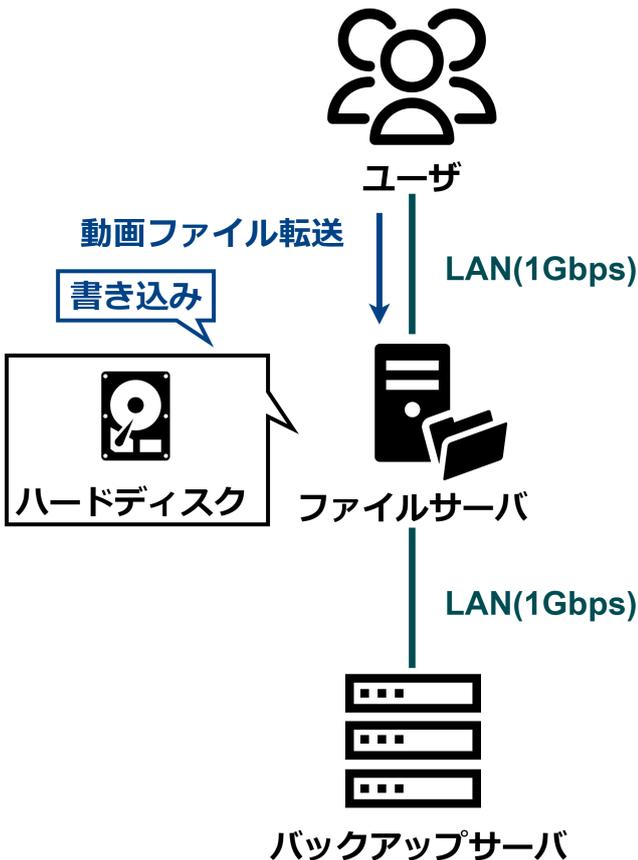


図1 動画ファイル転送

ファイルサーバは動画ファイルの受信のために書き込み、業務データのバックアップのために読み取りを行う。読み書きが衝突した結果、ハードディスク(ディスク)の帯域幅使用率が100%以上になり、単位時間当たりの書き込み量が減少する。業務データには映像、画像、企画書といったコンテンツ制作のためのデータがあることを想定する。ユーザは、ファイルサーバへ動画ファイルを転送する。この時、ファイルサーバはバックアップ中であると想定する。ファイルサーバはユーザからの動画ファイルを書き込む。また、バックアップサーバへの転送のために業務データを

\*2 NTT Communications, "業務効率に影響するオンラインストレージの転送速度", [https://www.ntt.com/business/services/application/online-storage/bst-sh/lp/article-online-storage-transfer-speed.html\(2022/7/19\)](https://www.ntt.com/business/services/application/online-storage/bst-sh/lp/article-online-storage-transfer-speed.html(2022/7/19))

\*3 SKEED, "導入事例", [https://skeed.jp/case/\(2022/6/22\)](https://skeed.jp/case/(2022/6/22))

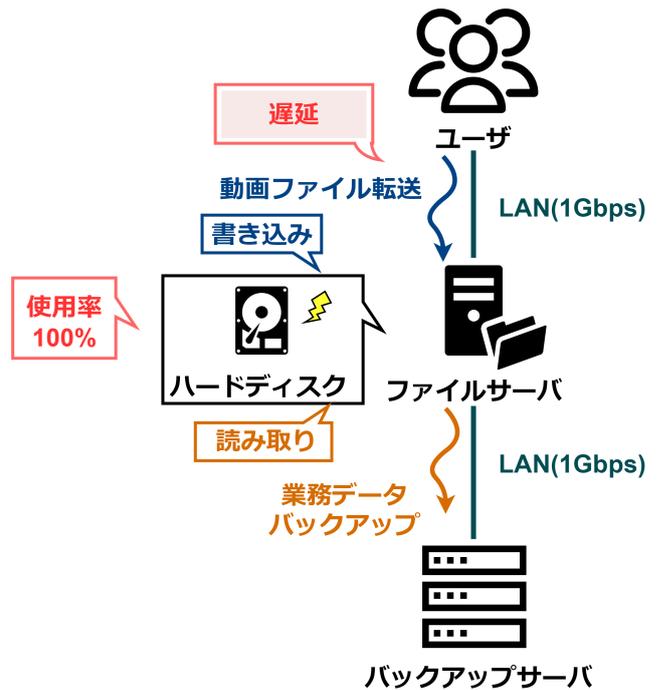


図2 動画ファイル転送の遅延

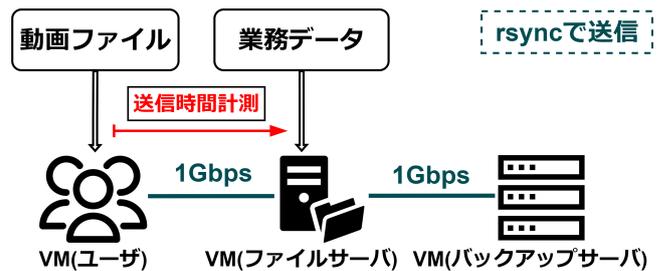


図3 基礎実験環境の全体図

読み取る。

### 基礎実験

課題を実証するため、基礎実験を行った。図3に基礎実験環境の全体図を示す。実験環境には仮想マシンを用いた。以降、仮想マシンをVMと表記する。ハイパーバイザとしてESXiを用いる[8]。ユーザ、ファイルサーバ、バックアップサーバをそれぞれ異なるVMとして作成する。以下に、基礎実験に用いる各VMの構成情報を示す。vCPUは、VMに割り当てるCPUを表す。

- VM 構成情報 (ユーザ)
  - OS Ubuntu-20.04.2
  - vCPU 2 コア
  - RAM 8GB
  - HDD 120GB
- VM 構成情報 (ファイルサーバ)
  - OS Ubuntu-20.04.2
  - vCPU 2 コア

RAM 8GB  
HDD 300GB

- VM 構成情報 (バックアップサーバ)
  - OS Ubuntu-20.04.2
  - vCPU 2 コア
  - RAM 8GB
  - HDD 120GB

映像制作会社において、100GB の動画ファイルを転送する例がある\*4。したがって、実験では 100GB の動画ファイルを用いる。実験では、100GB になるように 10GB の動画ファイルを 10 個複製した。これを 1 つのディレクトリに入れ、動画ファイル、業務データとして用いる。動画ファイルと業務データは、それぞれユーザとファイルサーバのストレージ内に保管しておく。ユーザとバックアップサーバは NAS にマウントし、ファイルサーバは別の NAS にマウントしている。ユーザとバックアップサーバは同じ NAS を用いるが、パーティションは区切られている。それぞれの VM は最大通信速度 1Gbps の LAN ケーブルにより接続されている。これは、ネットワークがボトルネックになることを防ぐためである。各 VM に用いられる NAS は、それぞれ 10Gbps の LAN ケーブルにより接続されている。したがって、VM と NAS の間にボトルネックが発生することはない。各 VM へのファイルの転送には、rsync コマンドを用いる。

基礎実験では、2 つの異なる実験を比較する。動画ファイルの転送時間を計測する。計測区間はユーザからファイルサーバである。図 4 に 1 つ目の実験を示す。

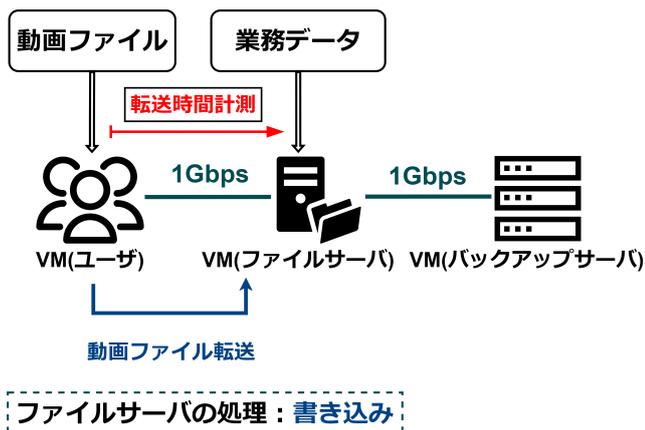


図 4 1 つ目の実験

1 つ目の実験では、ユーザからファイルサーバへ動画ファイルを転送する。動画ファイルの転送開始から完了までの

\*4 DIRECT!EXTREME,  
"導入企業インタビュー映像制作プロダクション様"  
<https://www.directextreme.com/case/interview2.html>  
(2022/6/22)

時間を計測する。

図 5 に 2 つ目の実験を示す。2 つ目の実験では、ユーザ

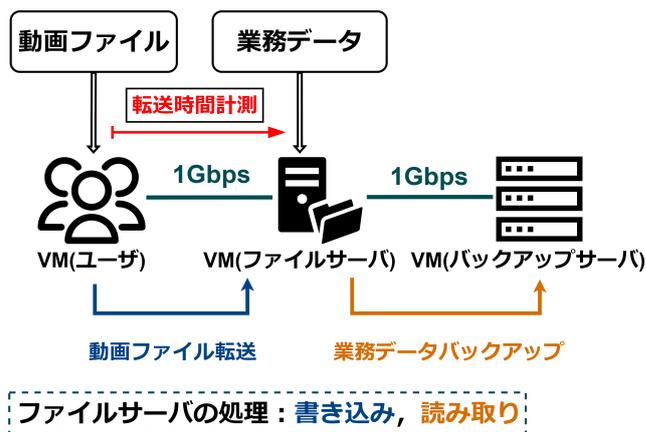


図 5 2 つ目の実験

からファイルサーバへの動画ファイルの転送と、ファイルサーバからバックアップサーバへの業務データのバックアップを同時に行う。動画ファイルの転送開始から完了までの時間を計測する。2 つ目の実験の計測時間が 1 つ目の実験の計測時間より長い場合、ユーザのファイル転送開始から完了までの時間はバックアップにより増加したことになる。図 6 に、ユーザのファイル転送時間の差を示す。縦

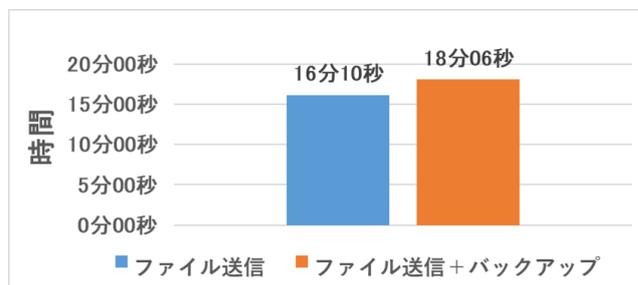


図 6 ユーザのファイル転送時間の差

軸は、ファイル転送開始から完了までの時間を表す。横軸は、どのようにファイルが転送されたかを表す。ファイル転送は 1 つ目の実験を表し、ファイル転送+バックアップは 2 つ目の実験を表す。1 つ目の実験と比較すると、2 つ目の実験はファイル転送時間が長い。したがって、バックアップによりファイル転送時間が長くなることを示している。

次に、1 つ目の実験と 2 つ目の実験の書き込み量を比較する。計測は iostat コマンドで行い、1 秒間に書き込んだセクタ数を取得する。1 セクタには 512 バイト保存できるため、iostat で取得した値に 512 を掛けた値を書き込み量とする。

図 7 に、2 つの実験のファイルサーバへの書き込み量の差を示す。縦軸はディスクへの書き込み量 [MB/s] を表し、横軸は時間 [s] を表す。青の点線はファイル転送を表す。こ

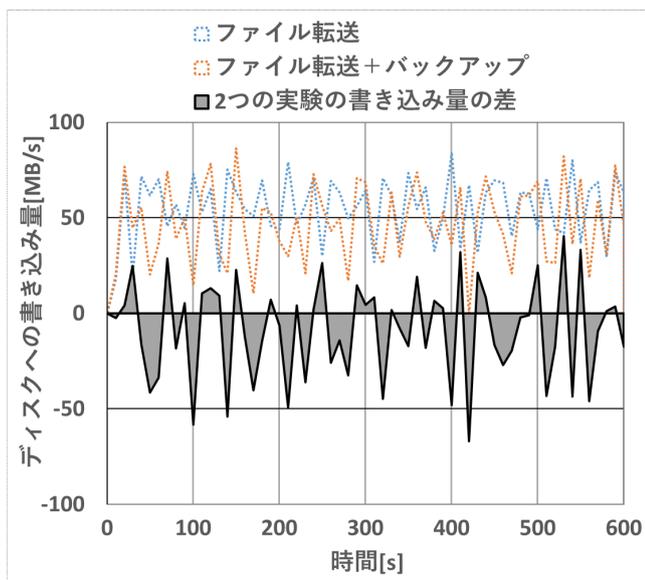


図 7 2つの実験のファイルサーバへの書き込み量の差

れは、1つ目の実験で転送した動画ファイルの書き込み量である。オレンジの点線はファイル転送+バックアップを表す。これは、2つ目の実験で転送した動画ファイルの書き込み量である。黒の面は、1つ目の実験の書き込み量から2つ目の実験の書き込み量を引いたものを表す。バックアップにより、600秒までの書き込み量は合計5166.75MB少なくなっている。1秒当たりの書き込み量は、15.5%減少している。これらは、バックアップにより単位時間当たりの書き込み量が減少したことを示している。

## 各章の概要

第2章では、関連研究について述べる。第3章では、本研究の提案方式とユースケースについて述べる。第4章では、提案方式の実装と評価のための実験方法について述べる。第5章では、提案方式の評価と分析について述べる。第6章では、本研究が残す議論について述べる。第7章では、本研究の成果とまとめについて述べる。

## 2. 関連研究

Zhou Zhouらは、ベタスケールコンピューティングシステムにおける、進行中のI/O要求を調整するための新しいI/O対応バッチスケジューリングフレームワークを提案している[6]。課題は、複数のアプリケーションからの同時ストレージアクセスによって引き起こされるI/O輻輳により、パフォーマンスを4倍抑制していることである。実験結果として、IBM Blue Gene/Qシステムと呼ばれるスーパーコンピュータのジョブパフォーマンスを30%以上向上させている。しかし、本研究は映像制作会社をユースケースとしている。そのため、スーパーコンピュータを導入し、環境を変更する必要がある。

Jürgen Kaiserらは、信頼性の高いマルチキャストベ-

スのアプローチを提案している[9]。課題は、データセンターにおけるデータダウンロードでは、中央のファイルシステムがボトルネックになることである。また、この課題が複数のVMによるファイルサーバからのダウンロードでも発生することを指摘している。これを解決するため、MCDシステムを提案している。MCDシステムは、物理ネットワークポロジに基づいて論理マルチルートツリーを構築し、2フェーズアプローチの論理ビューを使用する。論理ビューへの変換により、階層構造を置き換える。この階層構造により、ルーターレベルでのパケット損失を処理する。2フェーズアプローチの最初のフェーズでは、データはすべてのノードにマルチキャストされる。2番目のフェーズでは、信頼性の低いマルチキャストの欠点を補うため、論理ツリーを使用して効率的なエラー訂正を行う。評価では、MCDシステムが既存のシステムより9.9倍から14.29倍高速になったことを示している。しかし、データダウンロードのみに焦点を当てているため、ノード間の送受信を前提とした環境に適していない。本研究ではバックアップサーバやファイルサーバへ送受信するユーザが存在するため、データセンターをユースケースとしているMCDシステムを組み込むことができない。

Huaiming Songらは、並列ファイルシステムのためのサーバーレベルの適応型データレイアウト戦略を提案している[10]。課題は、並列ファイルシステムにおいてI/Oパフォーマンスがピークになることがないことである。実験により、ファイルの要求サイズが1KB未満の場合はファイルサーバの要求サービス率がボトルネックになり、要求サイズが256KBを超える場合はI/O帯域幅がボトルネックにすることを調査した。提案では、帯域幅を十分に活用できるファイルサーバが保持するデータを増やし、サービスレートが制限されているファイルサーバが保持するデータを少なくしている。評価では、提案方式によりI/Oパフォーマンスを80.3%向上させている。しかし、本研究のユースケースではファイルサーバを1つとしている。適応型データレイアウト戦略を適用するため、複数のファイルサーバを導入し、環境を変更する必要がある。

## 3. 提案方式

### 提案方式

図8に本研究の概要図を示す。課題を要約すると、ファイルサーバのバックアップ中にユーザがファイルサーバへ動画ファイルを転送することで動画ファイルの転送開始から完了までに要する時間が増加し、業務の進行が妨げられることが課題であった。これは、ファイルサーバのバックアップによる読み取りと動画ファイルの受信による書き込みが同時に発生しディスクの帯域幅使用率が100%になることで、単位時間当たりの書き込み量が減少するためである。バックアップが動作する影響によるファイル転送時間

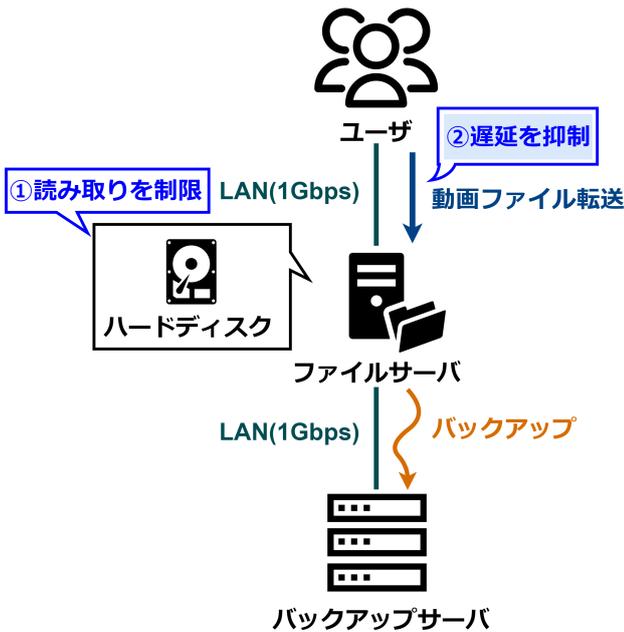


図 8 提案の概要図

の増加を遅延と呼んでいる。

本研究では、①のようにディスクの読み取りを制限する。これによりファイルサーバの読み取り量が減少するため、ディスクの帯域幅使用率が減少し、単位時間当たりの書き込み量の減少が抑制される。結果、ユーザからファイルサーバへの動画ファイルの転送開始から完了までに要する時間の増加が抑制されることになる。つまり、②のように遅延が抑制される。

バックアップの実行プロセスが利用するディスクの読み取り量を決定するため、バックアップに期限を設ける。バックアップの期限は、企業の業務開始時刻までとする。これは、ユーザによるファイルサーバの利用が始まり、ファイルサーバの書き込み量が増加することを防止するためである。

バックアップの実行プロセスが利用するディスク読み取りの制限量決定の条件を以下に示す。1秒あたりの転送速度を  $S$  とする。バックアップ予定のデータの容量を  $C$  とする。バックアップ期限を  $L$  とする。

$$S = \frac{C}{L} \quad (1)$$

図 9 にディスク読み取りの制限量決定プロセスを示す。

バックアップ期限が 5 分で、バックアップ予定のデータが 60GB だった場合を想定する。この場合、1秒に 200MB 転送すると転送完了までの時間は 5 分となる。この時間であれば、期限内にバックアップを完了できる。

プロセスが利用するディスク読み取りの制限は、以下の 2 つの条件に該当した場合に行う。

1 つ目の条件は、ファイルサーバの読み書き処理に遅延が発生している場合である。遅延が発生していると判断する条件は、ディスクの帯域幅使用率が 100% に達した場合

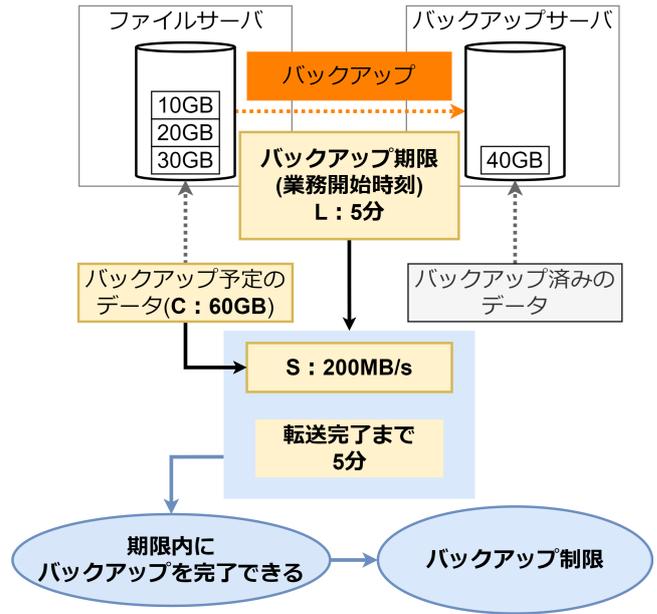


図 9 ディスク読み取りの決定プロセス

である。

2 つ目の条件は、ユーザがファイルサーバにファイルを転送している場合である。これは、1 つ目の条件が短時間に連続で満たされた場合にバックアップの制限を行うことが、制限の命令のために CPU を使用し、却ってファイルサーバの処理性能を低下させることになるためである。

各条件を満たしているかの判定は 1 秒間隔で行う。これは、監視可能な最短の時間かつパフォーマンスに影響がない間隔である。vmstat による監視中の CPU のアイドル率は 95 から 100% であった。

バックアップ開始後、ユーザがファイルサーバからファイルを受信しようとした場合、バックアップを中断する。バックアップはユーザの利用が少ない夜間に行われるため、ファイルサーバのユーザによる夜間の利用は、納期が近いことを例とする、緊急性のあるものとしたためである。ユーザによるファイルの受信が終了すると、ファイルサーバはバックアップを再開し制限量を決定する。この時、制限量は最初のバックアップ開始時より少なくなる。ユーザとファイルサーバ間でファイルを送受信している状態でバックアップが期限までに間に合わない場合、ファイルサーバはプロセスが利用するディスク読み取りを制限しない。これは、以下の 2 つの理由からバックアップを優先するためである。1 つ目は、災害や電源障害を例とする、有事に備えるためのバックアップを達成できない可能性につながるためである。2 つ目は、業務の開始時刻になるとユーザからのファイルの転送が多くなり、バックアップの整合性を保つことが難しくなるためである。バックアップ期限後、バックアップのためにユーザの動画ファイルの転送を中断することはしないが、遅延が生じることになる。

電話口で 30 秒以上待たされると 400 人のうち 200 人以

上がイライラを感じる\*5。映像制作会社において電話のやり取り中にファイルを転送する場合、30秒以上待たされるとユーザにストレスがかかる。したがって、ファイル転送時間の増加を30秒に抑制することを目標とする。

### ユースケース・シナリオ

ユースケースとして、映像制作会社を考える。ユーザ、ファイルサーバ、バックアップサーバから構成される環境を想定する。ファイルサーバは24時間稼働するものとする。Ruofan Xiaらの研究より、バックアップは1日1回行われることを想定する[7]。図10に、バックアップ帯域幅の制限を示す。

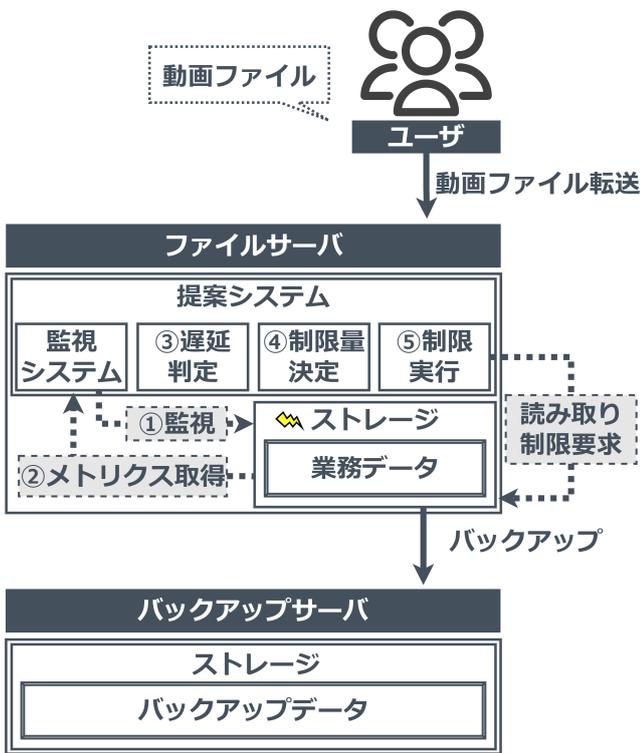


図10 バックアップ帯域幅の制限

ユーザは、ファイルサーバへ共有や管理をしたい動画ファイルを転送する。この時、ファイルサーバはバックアップサーバへ業務データをバックアップする。ファイルサーバには、本研究の内容を取り入れた提案システムが入っている。図10の①から⑤までの手順を以下に示す。

- ① 提案システム内の監視システムはストレージを監視する。
- ② メトリクスを取得する。今回は、ディスクの使用率を表す。
- ③ メトリクスから、ディスクの処理に遅延が発生しているかの判定を行う。

- ④ ユーザがファイルサーバにファイルを転送しているか、ディスクの処理に遅延が発生しているかから、バックアップのためのプロセスのディスクの読み取り量を決定する。
- ⑤ バックアップのためのプロセスのディスク読み取り量の制限を実行する。

## 4. 実装と実験方法

### 実装

提案方式を実現するためのソフトウェアを実装する。ソフトウェアはファイルサーバ内に配置する。

図11に、実装機能のフローチャートを示す。

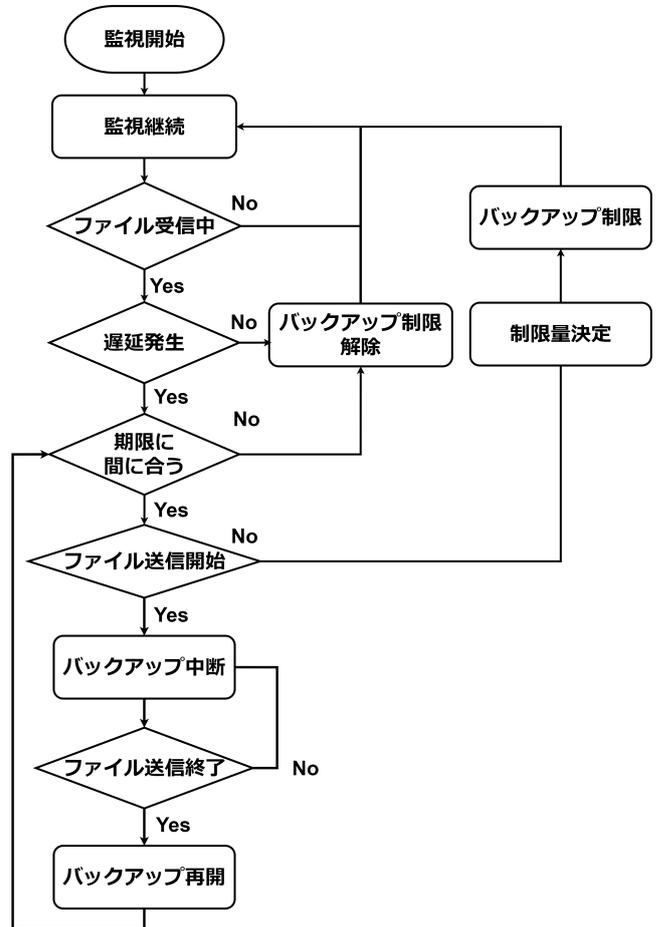


図11 実装機能のフローチャート

監視を開始すると、ファイルサーバがユーザからファイルを受信しているかを判定する。受信している場合、ディスクの帯域幅使用率が100%に達しているかを判定する。達している場合、遅延が発生したと判断する。次に、現状のバックアップが期限までに間に合うかを判定する。間に合う場合、ファイルサーバがユーザにファイルを送信しているかを判定する。送信していない場合、バックアップの

\*5 CITIZEN, "ビジネスパーソンの「待ち時間」意識", <https://www.citizen.co.jp/research/time/20180531/02.html>

期限とバックアップ予定の容量から、制限量を決定し制限する。転送している場合、バックアップを中断する。ファイルの送信終了後、バックアップを再開する。

監視では、ファイルを受信しているか、ファイルサーバのバックアップのためのディスク読み取り量、バックアップ完了時刻の見込み、ファイルを送信しているかを1秒間隔で確認する。ファイルの送受信状況はAPIである inotify で確認する。ファイルサーバのディスクの読み取り量は iostat で確認する。バックアップ完了時刻の見込みは、ソフトウェアが rsync コマンドで表示される転送量と転送予定の容量を取得し計算する。ディスクの読み取り量の制限及び制限の解除は cgroups を用いる。ディスクの読み取り量の制限量は、バックアップ期限に間に合うディスクの読み取り量をバックアップ予定の業務データの容量から決定する。

### 実験環境

基礎実験と同様の環境で実験を行う。評価実験環境の全体図を図 12 に示す。

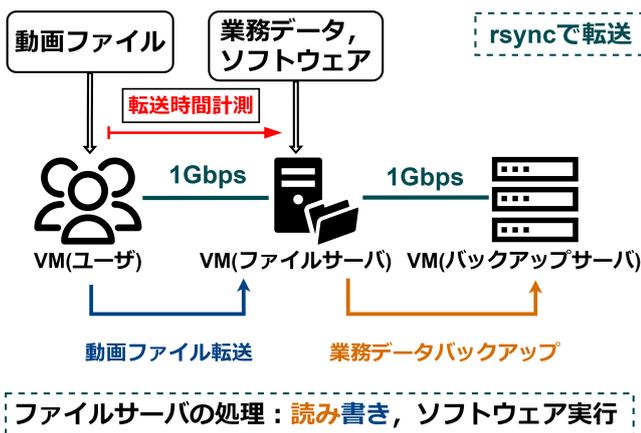


図 12 評価実験環境の全体図

ファイルサーバには提案方式の機能を実装したソフトウェアを配置し、実行する。ユーザからファイルサーバへの動画ファイルの転送及び、ファイルサーバからバックアップサーバへのバックアップを同時に行う。この時、ユーザが動画ファイルを転送開始してから完了するまでの時間を計測する。計測区間はユーザからファイルサーバである。

## 5. 評価と分析

提案方式を用いない場合と用いた場合の、ユーザからファイルサーバへの動画ファイルの転送の開始から完了までに要する時間を比較する。iostat により、以下のファイルサーバのリソースを計測する。

- (1) ディスクの帯域幅

デバイスに I/O リクエストが発行される経過時間の割合

- (2) 読み取り量 (rkB/s)

1秒あたりのデバイスからの読み取り量

- (3) 書き込み量 (wkB/s)

1秒あたりのデバイスからの書き込み量

- (4) 読み取り回数

1秒あたりのデバイスからの読み取りが完了したリクエスト数

- (5) 書き込み回数

1秒あたりのデバイスからの書き込みが完了したリクエスト数

実験は、以下の条件で行う。

- (1) 10GB の動画ファイルを合計 100GB 転送
- (2) 100MB の動画ファイルを合計 100GB 転送
- (3) 上記の条件に加え、ユーザがファイルサーバから動画ファイルを 10GB 受信

(1) は、ソフトウェアを実行している点を除き、基礎実験と同様の実験である。(2) を行う理由は、読み書きの回数が 10GB より多い場合に、提案によりファイル転送時間が抑制されるかを検証するためである。(3) を行う理由は、バックアップの中断によるバックアップ時間の増加を確認するためである。

## 6. 議論

本研究では、バックアップを行っていることで書き込み可能なディスク帯域幅が減少することによるユーザの書き込みにおける遅延への対策を述べた。しかし、バックアップが期限までに間に合わない状態でユーザがファイルサーバからファイルを送受信するとバックアップを優先する。したがって、ユーザの要求するファイルの書き込みに要する転送時間は増加する。バックアップの期限を業務開始時刻としている理由に、ユーザからの動画ファイルの転送によりバックアップするファイルの整合性を保つことが難しいことが挙げられる。したがって、バックアップファイルの整合性を保つことでバックアップ期限を延ばし、ユーザの要求するファイルの書き込みに要する転送時間の増加を防ぐことができる。これは、期限を伸ばすことで読み取りの制限が可能な時間を確保でき、ユーザからの動画ファイルの転送のためにユーザを優先できるためである。図 13 に、バックアップ期限延長による書き込み量の確保を示す。

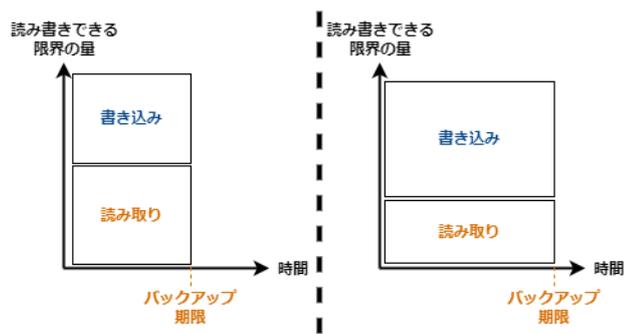


図 13 バックアップ期限延長による書き込み量の確保

ディスクは、時間当たりの読み書きできる限界の量が決まっている。したがって、図の左のグラフと比較して、バックアップ期間が長い右のグラフは読み取りを制限できる分、書き込みを優先することができる。

ファイルの整合性を保つ例として、バックアップ中のファイルのロックが挙げられる。ファイルがロックされるとユーザはそのファイルにアクセスできないため、ファイルが変更されず整合性が保たれる。ユーザがロックしているファイルにアクセスしたい場合、GUIからユーザがファイルのロックを解除しそのファイルのバックアップを中断する仕組みを作成することでファイルにアクセスできる。

## 7. おわりに

課題は、ユーザのファイル転送時間に遅延が生じ、業務の進行が妨げられることである。基礎実験では、ファイルサーバのバックアップ中にユーザがファイルサーバへ100GBの動画ファイルを転送すると、ファイルサーバのディスクの読み取りと書き込み処理のため、ディスクの帯域幅使用率が100%に達し単位時間当たりの書き込み量が15.5%減少することで課題が発生する。本研究の提案方式では、ユーザのファイル転送時間がバックアップにより増加した場合、バックアップのためのプロセスのディスク読み取り量を制限する。評価では、提案方式を用いない場合と用いた場合の、ファイルサーバのディスクの5つのメトリクスとユーザのファイル転送時間を比較する。提案により、ユーザのファイル転送時間のバックアップによる増加を抑制することが期待できる。

## 参考文献

- [1] Min, J., Yoon, D. and Won, Y.: Efficient Deduplication Techniques for Modern Backup Operation (2011).
- [2] Cheng, H., Ho, Y. H., Hua, K. A., Liu, D., Xie, F. and Tsaur, Y.-P.: A Service-Oriented Approach to Storage Backup, *2008 IEEE International Conference on Services Computing*, Vol. 2, pp. 413–421 (online), DOI: 10.1109/SCC.2008.132 (2008).
- [3] Pokharel, M., Lee, S. and Park, J. S.: Disaster Recovery for System Architecture Using Cloud Computing, *2010 10th IEEE/IPSJ International Symposium*

- on Applications and the Internet, pp. 304–307 (online), DOI: 10.1109/SAINT.2010.23 (2010).
- [4] Nayadkar, P. P.: Automatic and secured backup and restore technique in Android, *2015 International Conference on Innovations in Information, Embedded and Communication Systems (ICIIECS)*, pp. 1–4 (online), DOI: 10.1109/ICIIECS.2015.7193103 (2015).
- [5] Gavrilovska, A., Schwan, K. and Oleson, V.: A practical approach for 'zero' downtime in an operational information system, *Proceedings 22nd International Conference on Distributed Computing Systems*, pp. 345–352 (online), DOI: 10.1109/ICDCS.2002.1022272 (2002).
- [6] Zhou, Z., Yang, X., Zhao, D., Rich, P., Tang, W., Wang, J. and Lan, Z.: I/O-Aware Batch Scheduling for Petascale Computing Systems, *2015 IEEE International Conference on Cluster Computing*, pp. 254–263 (online), DOI: 10.1109/CLUSTER.2015.45 (2015).
- [7] Xia, R., Yin, X., Alonso Lopez, J., Machida, F. and Trivedi, K. S.: Performance and Availability Modeling of IT Systems with Data Backup and Restore, *IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing*, Vol. 11, No. 4, pp. 375–389 (online), DOI: 10.1109/TDSC.2013.50 (2014).
- [8] Đorđević, B., Timčenko, V., Nikolić, E. and Davidović, N.: Comparing Performances of Native Host and Virtualization on ESXi hypervisor, *2021 20th International Symposium INFOTEH-JAHORINA (INFOTEH)*, pp. 1–4 (online), DOI: 10.1109/INFOTEH51037.2021.9400648 (2021).
- [9] Kaiser, J., Meister, D., Gottfried, V. and Brinkmann, A.: MCD: Overcoming the Data Download Bottleneck in Data Centers, *2013 IEEE Eighth International Conference on Networking, Architecture and Storage*, pp. 88–97 (online), DOI: 10.1109/NAS.2013.18 (2013).
- [10] Song, H., Jin, H., He, J., Sun, X.-H. and Thakur, R.: A Server-Level Adaptive Data Layout Strategy for Parallel File Systems, *2012 IEEE 26th International Parallel and Distributed Processing Symposium Workshops & PhD Forum*, pp. 2095–2103 (online), DOI: 10.1109/IPDPSW.2012.246 (2012).