

# クラウドサービスを用いた 分散型インターネットライブ放送システムの実装と評価

松本哲<sup>1</sup> 石芳正<sup>1</sup> 義久智樹<sup>1</sup> 川上朋也<sup>2,1</sup> 寺西裕一<sup>3,1</sup>

**概要:** 近年、インターネットを介したリアルタイム映像配信（インターネットライブ放送）が普及している。インターネット放送を快適に行うために、映像効果や音声効果を付加した映像を配信することがあり、筆者らの研究グループでは、異世界放送システムと呼ぶ分散処理型インターネットライブ放送システムを研究開発している。異世界放送システムでは、異世界放送サーバが効果付加処理を行うことで、従来配信端末にかかっていた効果付加による処理負荷を分散できる。異世界放送システムでは、配信者が所有する計算機や、クラウドサービスで提供されている仮想計算機を異世界放送サーバとして用いていることを想定している。一般に、クラウドサービスでは複数の仮想計算機を利用できる。これらの仮想計算機を異世界放送サーバとして用いる場合には、異世界放送サーバ間で負荷を分散させることで、高速に効果付加を行える。しかし、これまでの研究では単一計算機の利用を想定していたため、異世界放送サーバ間の負荷を分散できなかった。そこで本研究では、クラウドサービスを用いた異世界放送システムの実装と評価を行う。

## 1. はじめに

近年、TwitCasting やニコニコ生放送等、インターネットを介したリアルタイム映像配信（インターネットライブ放送）が普及している。インターネット放送を快適に行うために、映像効果や音声効果を付加した映像を配信することがあり、筆者らの研究グループでは、異世界放送システムと呼ぶ分散処理型インターネットライブ放送システムを研究開発している[1, 2]。異世界放送の概念図を図1に示す。

異世界放送では、カメラで現実世界を撮影した映像にぼかしなどの効果を付加し、視聴者に配信する。異世界放送システムでは、異世界放送サーバがビデオ効果付加処理を行うことで、従来配信端末にかかっていたビデオ効果付加による処理負荷を分散できる（図2）。異世界放送システムでは、配信者が所有する計算機や、クラウドサービスで提供されている仮想計算機を異世界放送サーバとして用いていることを想定している。

しかしながら、これまで進めてきた研究では、配信者が所有する計算機を異世界放送サーバとして用いることとして異世界放送システムを構築してきた。このため、多くの視聴者が短期間にエフェクト付加を要求する場合や、負荷の大きいエフェクトが要求された場合、配信者の計算機が全ての処理を行う事となることから、エフェクトのレンダリングに時間がかかり、スムーズな視聴ができる配信フレームレートが維持できなくなる。このため、現状では配信フレームレートを優先し、利用できるエフェクトを軽負荷なエフェクトのみに制限しており、結果として異世界の臨場感が損なわれる。

これに対し、本研究では、エフェクトを付加する異世界放送サーバとしてクラウドサービス上の仮想計算機の利用を想定する。一般に、クラウドサービスでは複数の仮想計

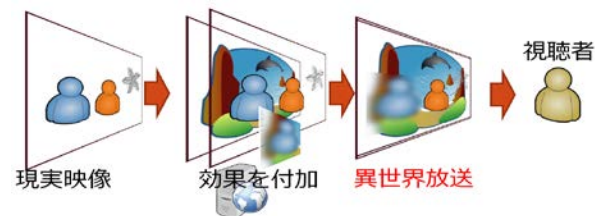


図1 異世界放送の概念図

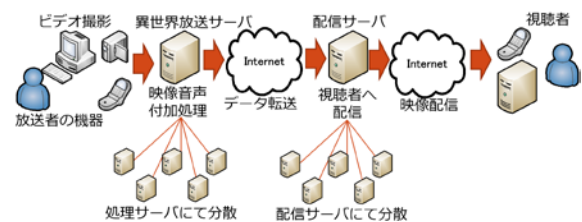


図2 効果付加処理の負荷分散の概要

算機を容易に利用できる。このため、複数の仮想計算機を異世界放送サーバとして用いることで、異世界放送サーバ間で負荷を分散し、配信フレームレートを維持しつつ高速なエフェクト付加の実現が期待できる。しかし、これまでの研究では単一計算機の利用のみを想定していた。そこで本研究では、クラウドサービスを用いた分散型インターネットライブ放送システムを実装し、その性能評価を行う。実装したシステムでは、クラウドサービスで提供される仮想計算機を用いて効果付加処理を行う。仮想計算機に割り当てる処理を ECA ルールを用いて決定することで、処理を行う計算機を柔軟に変更できる。評価の結果、実装したシステムを用いることで、効果付加処理のターンアラウンドタイムを短縮できることを確認した。

以降、第2章で関連研究を紹介する。第3章でクラウドサービスを用いた異世界放送システムの設計と実装を説明

1 大阪大学  
2 奈良先端科学技術大学院大学

3 情報通信研究機構

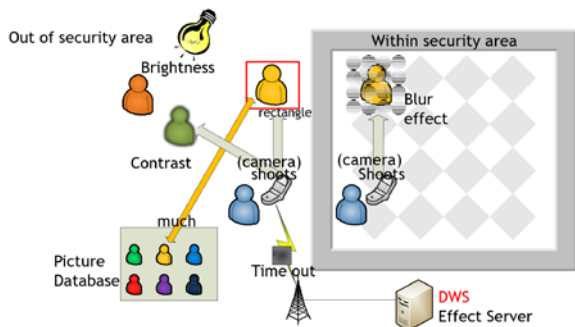


図3 ECAルールで表せるイベント、状態、処理の概念図

し、第4章で評価を行う。最後に第5章で本論文をまとめる。

## 2. 関連研究

これまでに処理負荷を分散させる多数の方式が提案されているが、あらかじめ負荷分散システムを構築するものが殆どであり、ライブ放送中の多数の映像撮影端末それぞれにあらかじめ負荷分散システムを構築しておくことは、ライブ放送利用開始が容易であり、映像配信端末が不特定多数となるため設定が困難である。映像撮影端末を含めた負荷分散システムをあらかじめ構築することなく（ゼロコンフィグ）、負荷を分散できる映像処理システムを用いることでライブ放送開始をすぐに行える提案をし、その実装が行われている研究がある [3]。この提案では、負荷分散システムを P2P 型エージェントプラットフォームである PIAX<sup>\*1</sup> を用いて実装している。この方式では映像撮影端末が異世界放送サーバに接続する際に、その接続に割り込み、その接続先を複数台の異世界放送サーバからランダムに選択することで負荷を分散する。さらに、複数の異世界放送サーバと映像撮影端末を用いた実験により、映像処理を完了するまでの時間への影響が良好であることが確認されている。これに対し、本研究では、より多くの異世界放送サーバで処理を行えるように、商用クラウドサービスで提供される仮想サーバを用いて実装と実験をおこない、映像処理を完了するまでの時間への影響を評価する。また、商用クラウドサービスで提供される仮想サーバはネットワーク距離や性能にばらつきがあるものとされることが多く評価結果にその影響があるかも確かめることとした。

文献[6]では P2P ネットワークを用いてライブ放送を行う場合に、少し前から視聴（追っかけ再生）ができるシステムを実装している。これらの映像配信システムでは、放送者が任意の映像処理を行えない点が本研究で提案するシステムとは異なる。インターネットライブ放送において、

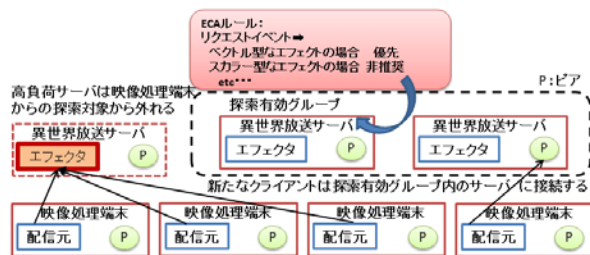


図4 負荷分散にECAルールを適用する概要

映像配信の遅延時間を削減する幾つかの手法が提案されている。SmoothCache 2.0 [8] では、P2P ネットワークを用いてライブ放送を行う場合に、他のピアに映像データをキャッシュし、キャッシュしたピアから配信することで映像撮影端末にかかる通信負荷を低減させて遅延時間を削減する手法を提案している。文献 [7] では、遅延時間を理論上最小にする P2P ネットワーク上の配信経路決定手法を提案している。

## 3. クラウドサービスを用いた異世界放送システムの設計と実装

異世界放送システムにおける異世界放送サーバと映像撮影端末それぞれに負荷分散機構を施した。その設計の概要、負荷分散機構の概要と、映像付加処理を動的に割り当て実行するために用いる記述方式の設計、実装について以下に記述する。

### 3.1 設計概要

クラウドサービスを用いた異世界放送システムでは、仮想計算機の負荷を分散させるため、各仮想計算機に割り当てる処理を記述できる必要がある。処理内容が頻繁に変化しない場合には明示的に記述して割り当て、頻繁に変化する場合には処理内容に応じて動的に割り当てることが考えられる。本研究では、これらの処理割り当てを柔軟に記述できるように、ECAルールを用いて処理を割り当てる。

これまでの設計として [9]、配信者の操作負担の軽減へとつなげる為、撮影時の様々なイベントを起点とし、ECA (Event, Condition, Action) ルールによるイベントドリブン処理を自動的に実行し最適な状態になるようにリアルタイム処理(エフェクタ)を各分散処理サーバに逐行させていた。イベントドリブン処理として、例えば、肖像権保護の為、あるエリア内に入ると、顔認証システムによりデータベース内の特徴情報と合致する特定の人物以外には自動的にモザイクをかけて配信をしたり、照明の輝度により自動的に映像の明るさを調整したり、コントラストを調整したりできる (図3)。

\*1  
PIAX: P2P Interactive Agent eXtensions -<http://www.piax.org/>

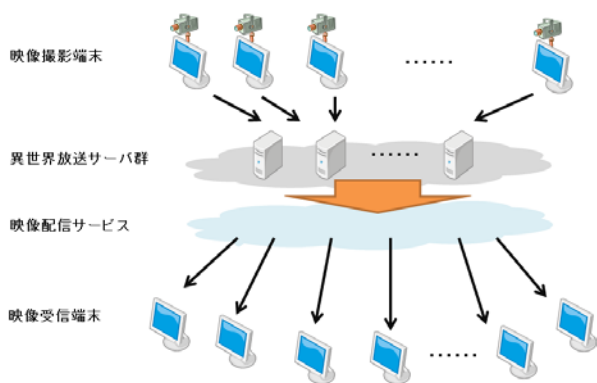


図5 映像処理配信システムの配信環境

これまでの研究では、上記のように、主に配信者の操作負担軽減を目的として、異世界放送サーバ側へ ECA ルールを適用していたが、本研究では、負荷の高いサーバに向けての映像処理要求を避けるように負荷分散ルールを ECA ルールにて記述し、ECA ルール配信サーバから映像処理サーバに配信する設計とした (図4)。

### 3.2 負荷分散機構の概要

図5に本研究で想定している配信環境を示す。想定環境では映像撮影端末、異世界放送サーバ、映像受信端末の3種の端末・サーバがそれぞれ複数台存在する。映像撮影端末は、必要な映像処理を行える異世界放送サーバを選択し、映像効果ライブラリや撮影した映像を送信する。異世界放送サーバは、クラウドサービスの仮想計算機上で動作し、映像撮影端末から送られた映像を映像撮影端末からの指示に従い画像加工処理を施す。異世界放送サーバで処理された映像は、映像配信サービスを介して映像受信端末に配信される。映像受信端末は、各々が受信したい映像を扱っている映像配信サービスのサーバやチャンネルを選択することで、処理済みの映像を受け取ることとなる。

本研究では、映像撮影端末が異世界放送サーバを選択する部分に着目して異世界放送サーバの負荷分散を実現する。既存のシステム [3] では、映像撮影端末が異世界放送サーバに接続する際に、負荷分散機構を介して接続することにより、負荷分散が実現されている。この方法では、負荷分散機構が映像撮影端末からの接続確立をトリガとして利用可能な異世界放送サーバを選択し、その間の通信を中継することから、映像撮影端末と異世界放送サーバは負荷分散機構の存在を意識すること無く利用できる。その反面、映像が送信されている最中に異世界放送サーバを切り替える場合、例えばシーンやエフェクトに応じて適した異世界放送サーバに切り替えようとした場合、映像撮影端末が既存の接続を切断し、再接続しなければ異世界放送サーバを切り替えることができない。このため、映像配信をスムーズに継続しつつ異世界放送サーバを切り替えることは困難となる。また、映像撮影端末からの指示により負荷分散機構が異世界放送サーバを切り替えるように変更した場合であ



図6 映像撮影端末と異世界放送サーバの内部構成

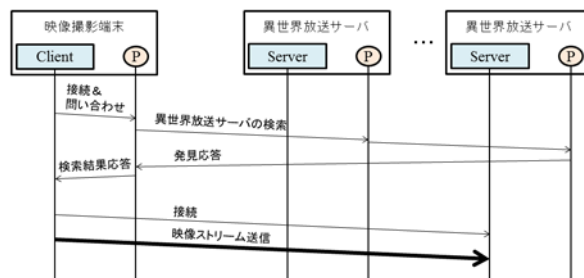


図7 通信手順のデータフローとタイミングチャート

っても、負荷分散機構は自身が中継している通信内容を、単なるバイトストリームとして中継するため、映像フレームの境界といったデータ構造を無視して切り替え、映像データが破損する場合は生じる。そこで本研究では、負荷分散機構は異世界放送サーバの選択機能のみとし、映像撮影端末が必要に応じて負荷分散機構に異世界放送サーバの選択を要求し、その結果に応じて映像撮影端末が異世界放送サーバに直接接続することとした。これにより、映像撮影端末は撮影中のシーンや映像フレームの境界に応じて任意のタイミングで異世界放送サーバを切り替えることが可能となる。

図6に映像撮影端末と異世界放送サーバの内部構成を示す。映像撮影端末には映像撮影端末ソフトウェアと PIAX プロセス、異世界放送サーバには異世界放送サーバソフトウェアと PIAX プロセスを配置する。PIAX [4]とは、オーバーレイネットワークが持つ探索機能を利用することにより、サーバレスで効率の良いリソース探索を実現する Java ベースのプラットフォームミドルウェアであり、オープンソースソフトウェアとして公開されている。映像撮影端末と異世界放送サーバに配置された PIAX プロセスは、相互にオーバーレイネットワークを介して接続される。

映像撮影端末上の PIAX プロセスは、映像撮影端末ソフトウェアの要求に応じて、オーバーレイネットワークを探索し、複数ある異世界放送サーバから利用可能なサーバ 1 台を選択し、そのサーバの IP アドレスと異世界放送サーバソフトウェアの待ち受けポート番号を応答する。その応答を元に、映像撮影端末ソフトウェアは異世界放送サーバソフトウェアとの間に接続を確立し、映像の送信を始める。映像撮影端末ソフトウェアと PIAX プロセス間の通信には JSON-RPC を用いるが、一般の JSON-RPC で使用される HTTP は過剰品質なため、本システムでは TCP コネクション上で直接 JSON-RPC を送受信する。

```

{
  "Rule A":{
    "eventname":"Set_effect",
    "condition":{
      "name":"Num_Find_Object",
      "object":"http://object1_haar.xml",
      "Value":">=1"
    },
    "action":{
      "name":"REQ_IP",
      "IP_address":"xx.xx.xx.xx"
    }
  },
  "Rule B":{
    "eventname":"Set_effect",
    "condition":{
      "name":"Blur"
    },
    "action":{
      "name":"REQ_IP",
      "IP_address":"yy.yy.yy.yy"
    }
  }
}

```

図8 エフェクト毎の初期間い合わせ先ECAルール

異世界放送サーバ上のPIAXプロセスは、異世界放送サーバソフトウェアからの指示に従い、自身の被探索状態を制御する。自身が負荷の高い状態と判断した異世界放送サーバソフトウェアはlocalhostのPIAXプロセスの制御ポートに接続し、検索からの離脱要求コマンドを送信する。これにより、その異世界放送サーバはそれ以降の映像撮影端末からの検索の対象から外れ、現在以上の接続は生じないこととなる。異世界放送サーバソフトウェアの負荷が下がり、再び新たな接続を許容できる状態となると再びlocalhostのPIAXプロセスの制御ポートに接続し、検索からの離脱解除要求コマンドを送る。このコマンドを受けたPIAXプロセスは、再び映像撮影端末からの検索を受け付ける状態となる。

以上の動作により、映像撮影端末から参照される新規接続先が異世界放送サーバソフトウェアの負荷状態に応じて制御されることとなるため、異世界放送サーバソフトウェアの過負荷を避けることができる。通信手順のデータフローとタイミングチャートを図7に示す。

### 3.3 負荷分散の為のECAルール設計

3.2節で述べた負荷分散機構により、事前に負荷分散システムを構築すること無く、高負荷になっている異世界放送への新規処理要求は回避可能となるが、さらに、映像撮影端末側でどの異世界放送サーバへ最初に問い合わせるかを効率化することにより、処理完了までの時間を短縮できると著者らは考えた。また、付加する映像エフェクトの種類によっては、特殊な処理演算ライブラリソフトを実装しているサーバでのみ行われる場合がある。この問い合わせの初期値問題をスムーズに解決するために、著者らはECAルールをクライアントソフトウェアに持たせることとした。

クライアントソフトウェアに持たせる負荷分散の為のECAルールには、クライアントソフトウェア利用者のエフェクト選択をイベントとし、それに対応した初

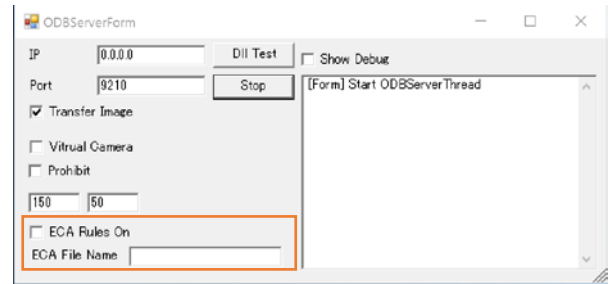


図9 異世界放送サーバソフトウェアのインターフェース

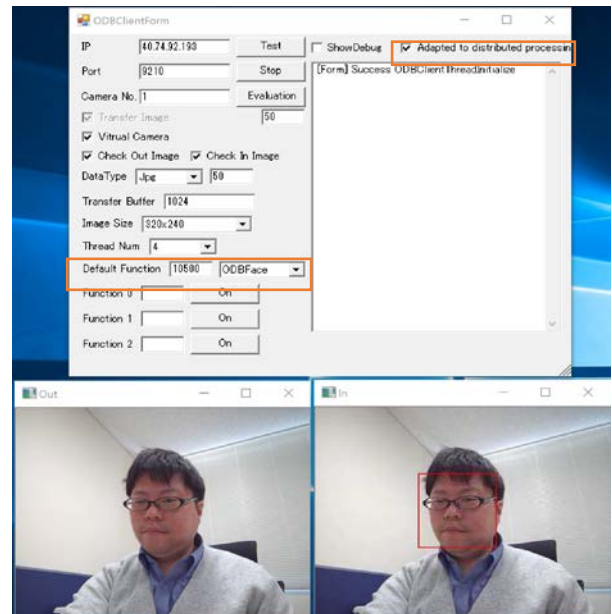


図10 映像撮影端末のクライアントソフトウェアのインターフェース

期の問い合わせ先の一覧をIPアドレスとして予め設定しておく。これにより、特殊な映像効果付加処理にもサーバ選択が自動的にスムーズに行われる。ECAルールの例を図8に示す。この例では、イベントとしてプルダウンメニューにより映像効果が選択された場合についての状態とアクションの関連を記述している。コンデションとして顔認識やぼかし処理が選ばれた場合についてのアクションとしてIPアドレスを求める機能呼び出す記述がされている。予めこのルールを記述していることにより、利用者のサーバ探索操作が大幅に軽減され映像効果を選ぶだけで最適なサーバへ映像処理要求が動的に行われる。このルールは初期値として用い、全クライアントソフトウェアに一斉配信することや、クライアントソフトウェア起動時にダウンロードするようにすれば、管理者にとっては1度だけの設定で、利用者にとってはゼロコンフィグでシステム利用が可能となる。

### 3.4 実装

クラウドサービスの計算機を利用して稼働するシステムとして実装を行った、クラウドサービスとしてMicrosoft

Azure を用い、Azure サービスで提供される仮想計算機を異世界放送サーバとして用いた。各仮想計算機間は、Microsoft Azure のサービスの一つである Virtual Network (VNet) によりそれぞれ論理的に接続する。映像効果付加処理を請け負う異世界放送サーバソフトウェアのインターフェースを図 9 に示す。映像配信端末にて映像を配信し、エフェクト処理を映像に施した結果の視認を行えるクライアントソフトウェアのインターフェースを図 10 に示す。異世界放送サーバソフトウェアのダイアログボックスにある ECA ルール On のチェックボックスをオンにすると映像効果付加が ECA ルールに基づき映像撮影端末の利用者側で何も操作しなくても異世界放送サーバ側で自動的に撮影時のイベント処理が行われるインターフェースとなっている。クライアントソフトウェア側の ECA ルールには異世界放送サーバへの映像処理要求のための IP アドレスが保持されており、Default Effect プルダウンメニューより選択したエフェクトに対応した IP アドレスを用いてアクションとして映像処理要求を異世界放送サーバに向けて行う。この時、クライアントソフトウェアのダイアログボックスの Attached to Distributed processing チェックボックスを On にした場合、クライアントソフトウェアが保持している ECA ルールに基づき、異世界放送サーバへ初期の映像処理要求が送られる際、PIAX による負荷分散機構を用いて、余裕のある異世界放送サーバへ処理要求を行う。この場合、ECA ルールのアクションとして、負荷分散機構に低負荷な異世界放送サーバの IP アドレスを問い合わせをするよう記述する。

## 4. 評価

提案手法の有効性を確認するため、Microsoft Azure サービスの仮想サーバに構築した実装システムを用いて評価を行った。その評価方法と評価環境、評価結果について以下に記述する。

### 4.1 評価手法

ECA ルールの判定時間や映像処理時間を含めたターンアラウンドタイムを評価に用いた。ECA ルールを用いない映像効果処理サーバに視聴者から映像効果処理要求が集中している場合と、ECA ルールを用いた映像効果処理要求が集中していない場合のターンアラウンドタイムの比較評価を行った。

評価のためにクラウドサービスに複数の同一の性能の計算機を配置した。異世界放送サーバへのデータの送受信には、設計の章で記述した、オーバーレイネットワーク PIAX を用いた。複数台ある異世界放送サーバの内から特定のサーバが過負荷になった場合、そのサーバから通知を受けとり、利用者がエフェクト処理に利用要求可能なサーバの IP

アドレス一覧から、負荷が減るまでその IP アドレスを除外し、過負荷のサーバへ向けてそれ以上要求をさせず、別のサーバに処理要求が向かうように促す機能を持たせた。

異世界放送サーバ 5 台の内 1 台に 4 台のクライアントソフトウェアの要求が集中した時と 4 台のクライアントソフトウェアそれぞれが別々の Microsoft Azure サービスの仮想サーバに映像処理要求を分散させた場合のターンアラウンドタイムを実測した。

本評価では、映像処理に関する評価を行うため、ライブ放送ソフトウェアは用いていない。評価では、ECA ルール中のエフェクトを使用した例を想定し、映像中の人の顔を検出する映像処理を用いた。数フレーム毎に人の顔を検出する精度を上げて、計算負荷をかけて測定した。ターンアラウンドタイムとしてフレームデータの送受信にかかる時間を比較評価した。フレームデータの送受信には、前回の受信完了から次に送信を開始するまでの、カメラから映像を取得するなどの前処理、映像撮影端末から異世界放送サーバにフレームデータ等を送信する送信完了までの時間、異世界放送サーバで映像処理を行う時間、映像撮影端末が異世界放送サーバからフレームデータ等を受信する受信完了までの時間が含まれる。映像処理時間とは、映像データを受信して映像処理を開始してから、終了するまでの時間である。

### 4.2 評価環境

評価に使用した異世界放送サーバは Microsoft Azure サービスの Virtual Machine であり、OS 及び仮想サーバの性能を表 1 に示す。評価に使用する異世界放送サーバは Microsoft Azure サービス Virtual Machine を利用する。異世界放送サーバとする Virtual Machine のスペックは表 1 の通りである。この異世界放送サーバを 5 VM 用いる。異世界放送サーバにて映像処理を行うライブラリとして、Intel の並列計算ライブラリ TBB [5] で並列化された Open CV を利用している。

映像撮影端末は、大阪大学学内に設置された PC を利用する。映像撮影端末 PC のスペックを表 2 に示す。この PC を 2 台使用し、それぞれに映像撮影端末ソフトウェアを 2 プロセスずつ起動させ、合計 4 プロセスの映像撮影端末ソフトウェアを動作させる。これらの PC は、ネットワークの輻輳を避けるため、異なる学内ネットワークを介して異世界放送サーバにアクセスする。

表1 Virtual Machine のスペック (異世界放送サーバ)

構成要素	性能
OS	Microsoft Windows Server 2016 Datacenter
Microsoft Azure 仮想サーバサービスプラン	Standalone Server Microsoft Corporation Virtual Machine x64-based PC
CPU	Intel E5-2697 v3 相当 2.4 GHz
メモリ	3,584 MB

表2 映像撮影端末の性能一覧

構成要素	性能
OS	Microsoft Windows 10 Pro ビルド 14393
CPU	Intel i7-6500U 相当 2.4 GHz
メモリ	8,118 MB

### 4.3 評価結果

4.2 節で説明した評価環境におけるターンアラウンドタイムの評価結果を図 11, 図 12 に示す。異世界放送サーバ 1 台に負荷が集中する図 11 の散布図では、単調にターンアラウンドタイムが増え、異世界放送サーバ 4 台で映像効果処理要求を分散した図 12 では、後半のフレームカウントにて計算負荷を増加させているため、後半ではターンアラウンドタイムの増加が見受けられる。しかしながら、前半のフレームカウントでは図 11 ほど急にはターンアラウンドタイムの増加が見受けられない。また、商用クラウドサービスの同一性能の仮想サーバを用いたが、異世界放送サーバへのネットワーク経路や他の原因によりターンアラウンドタイムにばらつきが見られた。前半のフレームカウント時点では、図 11 に比べ図 12 のターンアラウンドタイムがなだらかに増加していることから、映像効果処理要求の集中は避けられている。

この結果、異世界放送サーバ間で ECA ルールに基づいて処理要求が割り当てられ、負荷を分散できることを確認した。また、通信遅延等の影響で、仮想サーバのハードウェア性能が同等であってもターンアラウンドタイムばらつきがあることが分かった。

## 5. まとめ

本研究では、クラウドサービスを用いた分散処理型インターネットライブ放送 (異世界放送) システムの実装と評価を行った。ECA ルールで処理割り当ての方針を記述することで、処理を行う仮想計算機を柔軟に変更できる。実装したシステムでは、仮想計算機との探索や通信に P2P 型エージェントプラットフォームである PIAX を用いた。これにより、仮想計算機が増減してもインターネットライブ放送における効果付加処理の割り当てを継続して行える。評

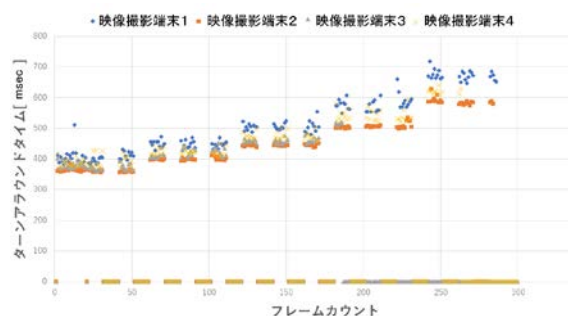


図 11 異世界放送サーバが 1 台の場合

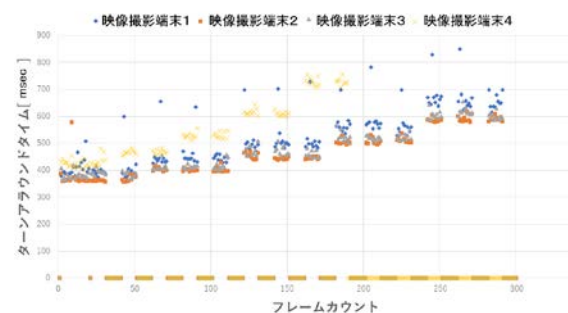


図 12 異世界放送サーバが 4 台の場合

価の結果、実装したシステムを用いることで、効果付加処理のターンアラウンドタイムを短縮できることを確認した。

今後、異世界放送サーバのハードウェア性能を考慮して処理を割り当てることや、軽微な処理を異世界放送クライアントで行うことを考えている。

## 謝辞

本研究の一部は、文部科学省科学研究費補助金・基盤研究(B)(15H02702)および、本研究の一部は NICT・大阪大学共同研究「大規模分散コンピューティングのための高機能ネットワークプラットフォーム技術の研究開発」による成果である。ここに記して謝意を表す。

## 参考文献

- [1] 義久智樹, 川上朋也, 石 芳正, 寺西裕一: 異世界放送: 映像効果と音声効果を伴う分散型インターネットライブ放送システム, 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム (DICOMO), pp. 1827-1832 (2016).
- [2] 松本 哲, 義久智樹, 川上朋也, 石 芳正, 寺西裕一: 異世界放送システムのための映像処理ルール記述方式, 情報処理学会第 24 回 マルチメディア通信と分散処理ワークショップ (DPSWS), pp. 199-201 (2016).
- [3] 川上朋也, 義久智樹, 寺西裕一: ライブ放送のための映像処理システムにおける負荷分散方式の設計と実装, 第 8 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM 2016) 論文集, (2016).
- [4] 吉田 幹, 奥田 剛, 寺西裕一, 春本 要, 下條真司: マルチオーバーレイと分散エージェントの機構を統合した P2P プラットフォーム PIAX, 情報処理学会論文誌, Vol. 49, No. 1, pp. 402-413 (2008).

- [5] Thread Building Blocks, <https://www.threadingbuildingblocks.org/>
- [6] Y. Gotoh, T. Yoshihisa, H. Taniguchi, and M. Kanazawa, Brossom: a P2P streaming system for webcast, *Journal of Networking Technology*, Vol.2, No.4, pp.169-181, Dec. (2011).
- [7] R. Roverso, R. Reale, S. El-Ansary, and S. Haridi, "Smooth-Cache 2.0: CDN-quality adaptive HTTP live streaming on peer-to-peer overlays, Proceedings of the 6th ACM Multi-media Systems Conference (MMSys 2015), pp.61-72, March (2015).
- [8] J. Dai, Z. Chang, and G.S.H. Chan, Delay optimization for multi-source multi-channel overlay live streaming, *Pro-ceedings of the IEEE International Conference on Commu-nications (ICC 2015)*, pp.6959-6964, June (2015).
- [9] Satoru Matsumoto, Yoshimasa Ishi, Tomoki Yoshihisa, Tomoya Kawakami, and Yuuichi Teranishi, Different Worlds Broadcasting: A Distributed Internet Live Broadcasting System with Video and Audio Effects, in *Proc. of 31st IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA 2017)*, pp.71-78 March (2017).