

平成24年度研究開発成果概要書  
新世代ネットワークを支えるネットワーク仮想化基盤技術の研究開発  
(149 ウ 08)

課題ウ 新世代ネットワークアプリケーションの研究開発  
副題 超分散分割保存された大容量コンテンツの即時配信システムの研究開発

(1) 研究開発の目的

本研究課題の目的は、コンテンツの視点から必要とされる新世代のデジタルコンテンツの流通・伝送プラットフォームを構築し、その有用性を確認することにある。すなわち、ネットワークから来る種々の制約に基づいてプロトコル開発やプラットフォームを構築するのではなく、まずアプリケーションが求める機能を具現化し、その上でこの機能をどのようにネットワーク上で実現するかについて検討を行い、実現化を図るものである。

本研究課題では、コンテンツ市場におけるサプライチェーンのグローバル化やコンテンツ提供時間の即時化といった要求に対し、既存のインターネットで用いられている伝送／蓄積技術よりも効率よく対応可能なシステムを実現すべく、超分散分割保存した大容量コンテンツの即時配信システムを構築する。具体的には、デジタルデータに冗長符号を施した上でネットワークの PACKET サイズで細切れにし(以下、細切れデータをチャンクと呼ぶ)、これらを世界中のストレージに分散保存しておく。言うなれば、ネットワークを巨大な「バス」と見立ててネットワークに接続された無数のストレージを用いて「RAID」を構成するプラットフォームを構成する。このプラットフォームを用いることで、ネットワークにつながる端末からは世界中のどこからでも、キャッシュやレプリカを用いなくとも、ほぼ同一時間でコンテンツを取得することを可能とし、また、ネットワーク内での PACKET ロスや局所的なストレージ故障等によるチャンクの損失には冗長符号により回復可能にすることをめざしている。

本プラットフォームの実現により、コンテンツアクセスの際に利用者が待たされる時間は、だれがコンテンツを作成したかやどの事業者のサービスを用いて配信しようとしているかによらず、利用者のアクセスリンク帯域に反比例した時間となる(利用者のアクセスリンクがボトルネックだと仮定)。さらには、各ストレージは高々数パケットのチャンクデータを読み出し各利用者へ送出するだけなので、アクセス集中によってサーバが動作しなくなりコンテンツを提供できなくなることもなくなる。一方、キャッシュやレプリカを用いなくとも高速なコンテンツ閲覧が可能になるため、配信システム内での、コンテンツ制作側が危惧する意図せぬコンテンツの流出を防ぐことができる。

一方で、本プラットフォームの実現にあたり必要となるネットワークは現在のネットワークと前提や要求条件が異なる。具体的には、パケットがフローを構成して流れるのではなく、単発のパケットが世界のあちこちから一カ所に伝送される点、指定した時刻までに利用者にデータを届ける点、にある。このような many-to-one の通信形態は既存の point-to-point の通信を前提に構成された TCP によるフロー制御やフローを前提にしたトラフィック制御とは本質的に異なる。すなわち、上記プラットフォームを実現するには、トラフィックの分散化

や流れるパケットの時間管理を可能とするネットワークが必要である。

本研究課題ではネットワーク仮想化基盤により、これを実現する。具体的には、物理ネットワークの空間分割や、トラフィック種別、パケットロス率、利用者、時間、ルーティングプロトコルといった属性に基づいてネットワーク仮想化基盤上に複数の仮想ネットワーク（スライス）を生成し、スライス単位でトラフィック流量を把握することで、その重ね合わせとして物理ネットワークのトラフィックを制御する方式を検討する。さらに、ネットワーク品質に応じたデータの冗長化方式、データの利用者への到達時間を指標としてネットワークの品質評価技術を確立し、大容量映像コンテンツを配信しその有用性を明らかにする。

本研究課題で実施するコンテンツ配信システムの研究開発は大容量映像コンテンツを例に研究を進めるものであるが、必要な時に必要な帯域を得たいという要求は映像コンテンツの配信にのみに求められるものではなく、大規模なデータの移動、蓄積制御に適用可能であり、応用範囲の広い技術である。すなわち、本研究課題はネットワーク仮想化が標榜する柔軟なネットワーキングを活用するアプリケーションを映像コンテンツの切り口から開発するものであるが、ネットワーク仮想化の提供する機能を有効に活用し一般的に利用可能なまったく新しい安全な大規模データ配信手法を実現するものであるため、本成果は広く利用される可能性のある意義深いものである。

(2) 研究開発期間

平成 23 年度から平成 26 年度（4 年間）

(3) 委託先

日本電信電話株式会社<幹事者>、学校法人慶應義塾

(4) 研究開発予算（百万円単位切上げ）

平成 23 年度	35（契約金額）
平成 24 年度	29（ 〃 ）
平成 25 年度	38（ 〃 ）
平成 26 年度	36（ 〃 ）

(5) 研究開発課題と担当

- ウ-2-1. 複数スライスの組み合わせによるトラフィック制御技術  
(日本電信電話株式会社)
- ウ-2-2. 複数スライスネットワーク環境における通信品質評価技術  
(学校法人慶應義塾)
- ウ-2-3. 超分散分割保存コンテンツのための高効率冗長符号化伝送技術  
(日本電信電話株式会社)
- ウ-2-4. 大容量コンテンツ配信システム構成技術  
(日本電信電話株式会社)

(6) これまで得られた研究開発成果

		(累計) 件	(当該年度) 件
特許出願	国内出願	2 (出願手続中)	2 (出願手続中)
	外国出願	0	0
外部発表	研究論文	1	1
	その他研究発表	15	8
	プレスリリース	0	0
	展示会	8	4
	標準化提案	0	0

具体的な成果

ウ-2-1 複数スライスの組み合わせによるトラフィック制御技術 (NTT)

- (1) 課題アの研究者と連携して、異なるスライスに属する同一 vNODE 上のノードスリバー間を接続してスライス間のデータ伝送を可能にする簡易型のスライス間連携機能を実現。本機能を用いて、あるスライスのノードスリバー上でパケット欠落を発生させ、一部のパケットを当該パケット欠落箇所の手前でパケット欠落の無い別スライスに迂回する実験を実施。パケット欠落率に応じてパケットの迂回率を適切に制御することにより 4K 映像 (JPEG2000 圧縮、約 180Mbps) の伝送品質保持が行えることを確認し、上記機能の有効性を確認。
- (2) チャンク伝送システムの受信端末から受信データのパケットロス率の通知を受け、必要に応じてチャンク伝送システムの各送信元サーバの収容先スライスを別のスライスに収容替えする命令をゲートウェイ装置 (NTT 版 AGW) に発行し、スライス内の輻輳を回避して受信端末側でのパケットロス率を所望の値以下に抑制する制御システムを実現。本制御システムを用いて、3 箇所の拠点 (NTT 版 AGW) に分散配置した 7 台の送信チャンクサーバと、1 箇所の拠点に設置した受信端末を使い、パケットロス率に応じて各サーバの収容先スライスを輻輳の無いスライスへ自動切替えする実験を実施。実験では、vNODE の VM (Linux) 上の TC (traffic control) コマンドにより可用帯域を制限したスライス A (伝送遅延 23ms) と、十分な帯域を要するが end-to-end の伝送遅延が大きい (伝送遅延 43ms) スライス B の 2 つのスライスを用意し、スライス A に収容された 7 台のサーバからパケットロスを伴って伝送されてくるデータの受信側でのパケットロス率を上記制御システムで監視しながら、パケットロス率を所望の値以内に抑えるようにサーバを収容するゲートウェイ装置を制御した。実験の結果、パケットロス率の所望の抑制値に応じて必要な台数のサーバを十分な帯域を有するスライス B に自動切り替えできること、および、一部のサーバのトラフィックが遅延の大きいスライス B を経由してもチャンクデータ伝送が正しく行えることを確認できた (なお、高ビットレートでのデータ伝送を行った際のネットワーク仮想化基盤上でのパケットロス率が高かったため、本実験では 7 台の各サーバから 40Mbps のデータを送信し、合計 280Mbps となる UDP ストリームを用いた)。

- (3) スライス間連携、送信サーバのスライス選択/切替え、スライス動的生成、の3つの要素技術を組み合わせた、個別課題ウ-2-1で最終的に実現すべきスライス制御方式についての大まかなアルゴリズム策定を行った。
- (4) 上記の研究、実験により H24 年度実施計画で提案した目標をほぼ達成した。仮想化基盤上でのギガビット級映像を用いた実証実験については、同基盤上のパケットロスの原因解明を行いながら検討を進める。なお、(1)のスライス間連携の実現については、H24 年度実施計画の目標に先だって達成したものである。
- (5) 信学会 IN 研究会 (10 月) において、本受託研究の提案方式・全体コンセプトについての発表を実施。また、信学会 NV 研究会 (11 月) において、スライス制御方式のアルゴリズムとスライス間連携伝送実験結果についての発表を実施。
- (6) 仮想ネットワーク (スライス) の輻輳状況に応じてチャック送信サーバの收容スライスをダイナミックに切り替えて通信品質を保持する方式を特許化 (出願手続き中)。
- (7) NICT 主催 (総務省後援) の第 5 回新世代ネットワークシンポジウムにおいて、本受託研究で提案するスライスベースの輻輳回避制御手法の全体コンセプトをポスター形式で発表するとともに、要素技術の 1 つであるスライス間連携による輻輳回避技術のデモをビデオ上映の形で実施。また、GEC14 (14th GENI Engineering Conf.) / CineGrid@TIFF 2012 / NTT R&D フォーラムにおいて、端末の收容先スライスをゲートウェイ装置の機能によってダイナミックに切替える技術を紹介。4K の受信映像の切替えにより分かり易く可視化し、プロジェクト毎に分離された遠隔コラボレーション NW の切替え使用等の応用可能性についてのプレゼンを実施した。

#### ウ-2-2 複数スライスネットワーク環境における通信品質評価技術 (慶大)

- (8) 複数のストレージサーバに分割分散保存されたファイルを仮想化基盤を通して読み込み、受信端におけるパケットの到着状況の解析からパケット単位で利用経路を制御できることを確認した。
- (9) ファイル読み込み時の各サーバの送出レートを変化させ意図的にパケットロスを発生させた環境におけるファイル復元にかかる時間を明らかにした。
- (10) スイッチ内処理遅延時間をモニタし、遅延時間変動に基づき通信品質をネットワーク内ノードに通知する機構の設計実装を行った。
- (11) 上記の研究、実験により H24 年度実施計画で提案した目標を達成した。仮想化基盤上でのギガビット級映像を用いた実証実験については、通信品質評価技術を使いながら同基盤上のパケットロスの原因解明を進める。

#### ウ-2-3 超分散分割保存コンテンツのための高効率冗長符号化伝送技術 (NTT)

- (12) 実網上および実計算機処理上での LDGM 復号・チャック復元時間のモデル化を行った。また、このモデルを基に映像ストリームの遅延時間とネットワーク帯域効率性を条件にしたパラメータ設計手法を考案した。
- (13) 上記の内容の特許化を行った。

- (14) 上記システムにおいてネットワーク上で意図的なパケット棄却を発生させ、ネットワーク帯域を効率化させた状況下で LDGM 復号が成功することを確認した。
- (15) 上記システムを実網上に展開し、チャンク配信実験(HD 非圧縮ストリームに相当する 1.5Gbps のチャンク配信・LDGM 復号処理)を実施し、受信可能であることを確認した。
- (16) 上記の研究、実験により H24 年度実施計画で提案した目標を達成した。

#### ウ-2-4 大容量コンテンツ配信システム構成技術 (NTT)

- (17) 分散保存したコンテンツ配信での送信サーバの収容スライス切替え実験を通して、1つのコンテンツを複数のスライスを介して配信するシステムアーキテクチャを確立するための技術課題を抽出した。具体的には、送信サーバのスライス収容替えを行う際の、スライス内の L3 アドレスやルーティング情報との整合性を確保する方法、および、複数のスライスから到達する受信トラフィックをユーザ拠点側で簡便に一元化する方法など。
- (18) スライス間連携機能を使った輻輳回避実験を通して、パケット単位での伝送経路(スライス)振り分けを効率よく行うための今後の検討課題を抽出した。実験ではアプリケーションレイヤでパケットの振り分け機能を実現したが、vNODE のノードスリバー上の Linux カーネルレベルでの振り分け機能の実現検討や、通信品質計測装置と vNODE との連携アーキテクチャの検討など。

- (7) 研究開発イメージ図  
別添のイメージ図参照

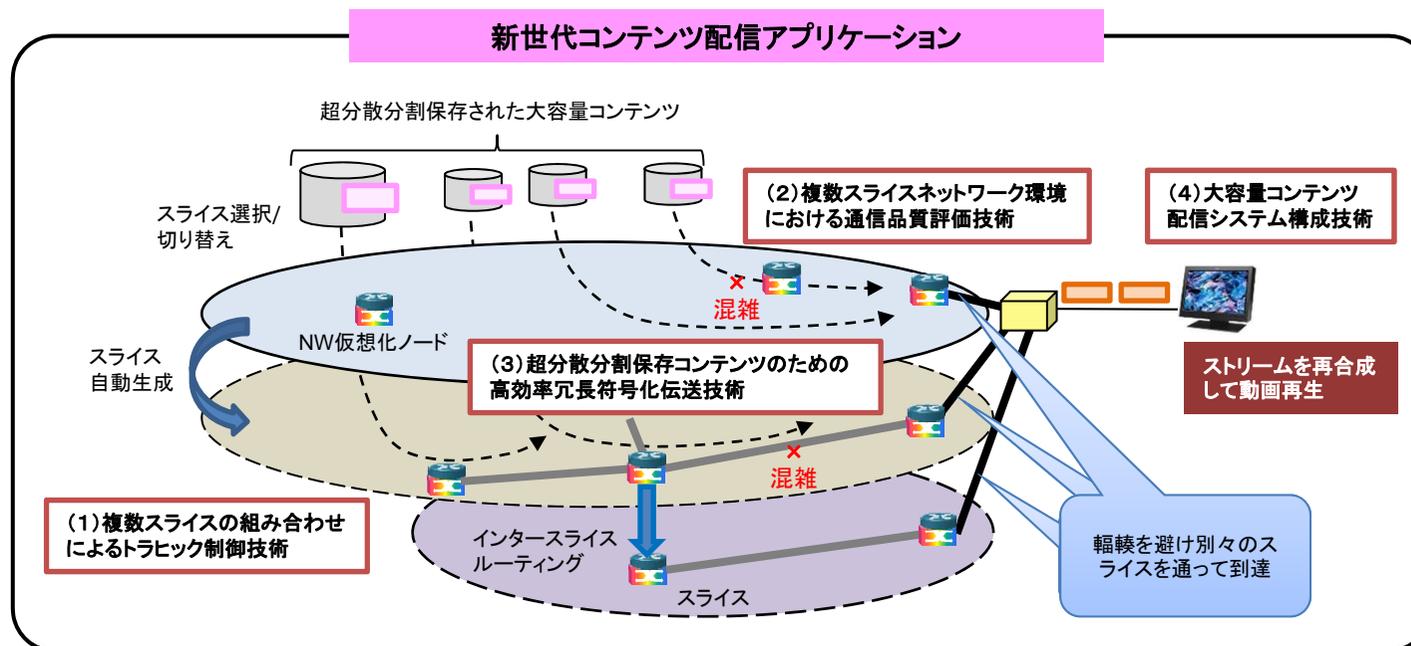
# 平成24年度「超分散分割保存された大容量コンテンツの即時配信システムの研究開発」の研究開発目標・成果と今後の研究計画

## 1. 実施機関・研究開発期間・研究開発費

- 実施機関 日本電信電話株式会社(幹事者)、慶應義塾大学
- 研究開発機関 平成23年度から平成26年度(4年間)
- 研究開発費 総額138百万円(平成24年度 29百万円)

## 2. 研究開発の目標

本研究課題の目標は、データの冗長性やサーバの負荷分散を目的として複数拠点に分散分割保存された大容量コンテンツを配信する際のネットワーク上の輻輳制御を、フロー毎の送信レートや伝送経路制御といった複雑な制御ではなく、ネットワーク仮想化基盤を用いて実現する方式を確立することである。そして最終的には、分散分割保存された大容量コンテンツを利用者に即時配信可能なシステムとして実現し有用性を実証する。研究開発課題を、仮想ネットワーク(スライス)ベースのトラフィックの制御、輻輳状況の監視、トラフィックデータの冗長符号化制御、およびコンテンツ配信システムの構築に分割し、課題アおよびイが提供するネットワーク仮想化基盤の基本機能を利用しながら研究開発を進める。具体的には、ネットワーク品質の計測や評価を行いながらその状況を複数スライスの制御や冗長符号化へ反映して、輻輳制御を実現する。目標とするコンテンツ配信アプリケーションの概要を下図に示す。

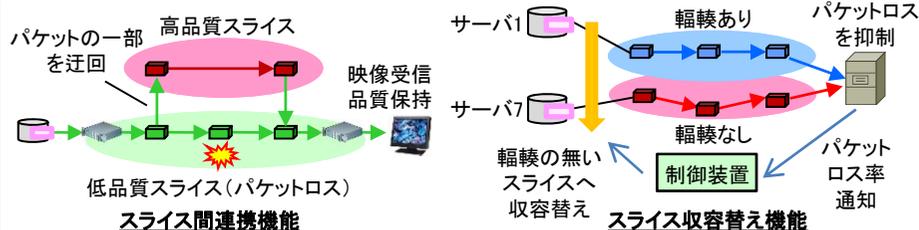


## 3. 研究開発の成果

今年度の研究開発の成果は次ページに示す通りである。

# 研究開発の成果

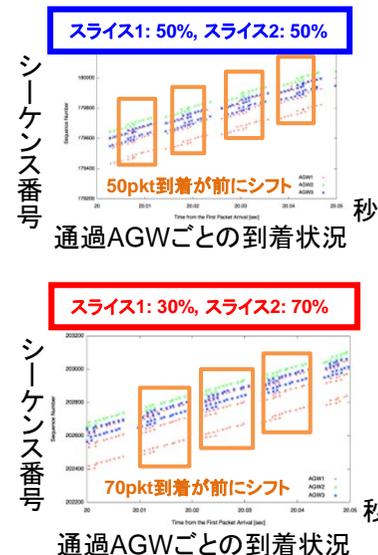
## (1) 複数スライスの組み合わせによるトラフィック制御技術



- 異なるスライス間でのデータ伝送が可能なスライス間連携機能を簡易的に実現。本機能を用いて、あるスライスのパケット欠落箇所を別のスライスに迂回し、4K映像の伝送品質が保持できることを実験で確認した。
- 3拠点に分散保存したコンテンツ配信の受信端でのパケットロス率の通知を受け、7台の送信サーバの収容スライスを個別に、動的に切替える機能を実現。必要な台数のサーバを輻輳の無いスライスに収容替えする制御を行ってトータルのパケットロス率を抑制できる事を実験で確認。
- スライス間連携、送信サーバのスライス切替え、スライス動的生成、の要素技術を組み合わせたトラフィック制御アルゴリズムの概略を策定。

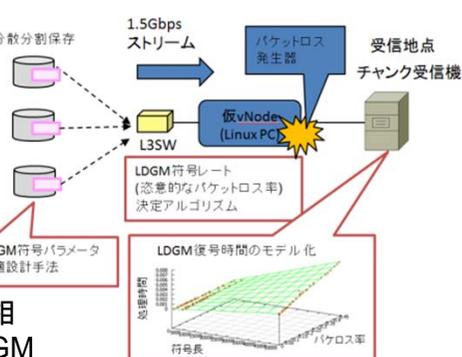
## (2) 複数スライスネットワーク環境における通信品質評価技術

- 複数のストレージサーバに分割分散保存されたファイルを仮想化基盤を通して読み込み、受信端におけるパケットの到着状況の解析からパケット単位で利用経路を制御できることを確認した。
- ファイル読み込み時の各サーバの送出レートを変化させ意図的にパケットロスが発生させて、ファイル復元にかかる時間の計測と解析を行った。
- スイッチ内処理遅延時間をモニタし、遅延時間変動に基づき通信品質をネットワーク内ノードに通知する機構の設計実装を行った。



## (3) 超分散分割保存コンテンツのための高効率冗長符号化伝送技術

- 実網上および実計算機処理上でのLDGM復号・チャンク復元時間のモデル化および映像ストリームの遅延時間とネットワーク帯域効率性を条件にしたパラメータ設計手法を考案した。
- 上記システムにおいてネットワーク上で意図的なパケット棄却発生の下でLDGM復号が成功することを確認した。



- (4) 実网上でHD非圧縮ストリームに相当する1.5Gbpsのチャンク配信・LDGM復号処理を実施し可用性を確認した。

## (4) 大容量コンテンツ配信システム構成技術

- 分散保存したコンテンツ配信での送信サーバの収容スライス切替え実験を通して、1つのコンテンツを複数のスライスを介して配信するシステムアーキテクチャを確立するための技術課題を抽出した。具体的には、送信サーバのスライス収容替えを行う際の、スライス内のL3アドレスやルーティング情報との整合性を確保する方法、および、複数のスライスから到達する受信トラフィックをユーザ拠点側で簡便に一元化する方法など。
- スライス間連携機能を使った輻輳回避実験を通して、パケット単位での伝送経路(スライス)振り分けを効率よく行うための今後の検討課題を抽出した。実験ではアプリケーションレイヤでパケットの振り分け機能を実現したが、vNODEのノードスリバー上のLinuxカーネルレベルでの振り分け機能の実現検討や、通信品質計測装置とvNODEとの連携アーキテクチャの検討など。

4. これまで得られた成果(特許出願や論文発表等) ※成果数は累計件数と( )内の当該年度件数です。

	国内出願	外国出願	研究論文	その他研究発表	プレスリリース	展示会	標準化提案
超分散分割保存された大容量コンテンツの即時配信システムの研究開発	2(2) ※出願手続き中	0(0)	1(1)	15(8)	0(0)	8(4)	0(0)

5. 研究成果発表会等の開催について

(1) 第5回新世代ネットワークシンポジウムにおいて研究コンセプト発表とスライス間連携のデモを実施

NICT主催(総務省後援)の上記シンポジウムにおいて、本受託研究で提案するスライススペースの輻輳回避制御手法の全体コンセプトについてポスター形式での発表を実施。また、その要素技術であるスライス間連携による輻輳回避技術のデモをビデオ上映の形で実施。NICTや総務省の担当者、受託研究の他課題の担当研究者に加えてネットワーク分野の関連研究者・技術者が広く集まる本イベントで本受託研究の提案コンセプトをアピールした。従来のトラフィック制御の考え方とは異なる新規性の高い研究提案であり技術的に興味深い、等のコメントを多数受け、好評であった。

(2) GEC14/CineGrid@TIFF2012/NTT R&Dフォーラム2013において仮想NW切替えデモ実験と遠隔コラボレーションへの応用についてのプレゼンを実施

上記の各ワークショップ/展示会において、端末の收容先スライスをゲートウェイ装置の機能によってダイナミックに切替える技術を紹介。4Kの受信映像の切替えにより分かり易く可視化したデモ実験を実施した。また、プロジェクト毎に分離された遠隔コラボレーションNWの切替え使用等の応用可能性についてプレゼンを実施。GEC14(14th GENI Engineering Conf.)では海外のNW仮想化分野の研究者に対して、CineGrid@TIFF2012では映像業界関係者に対して本技術を広くアピール。約5000人が来場したNTT R&Dフォーラム2013では、本受託研究課題アの研究者と連携して3日間にわたりデモを実施。課題アの仮想化基盤技術と合わせて本技術を広く一般にアピールした。

6. 今後の研究開発計画

(1) 複数スライスの組み合わせによるトラフィック制御技術

今年度までに実現したスライス間連携、スライス選択/切替え等の各要素技術を統合し、通信品質評価技術や冗長符号化技術との連携も加味しながら、制御方式の全体像の具体化を進め、JGN-X ネットワーク仮想化基盤への実装設計を実施する。

(2) 複数スライスネットワーク環境における通信品質評価技術

現行のストリーミング方式と本研究で実現される超分割分散保存されたコンテンツの分散ストリーミング方式の共存を目指し、通信品質の集約型フィードバック技術の確立、およびパケット順序感度ごとの通信品質モニタリング技術の確立を図る

(3) 超分散分割保存コンテンツのための高効率冗長符号化伝送技術

LDGM符号構造を考慮した優先度付きチャンク棄却のアルゴリズムにより、配信のネットワーク容量効率化・復号処理の高速化を行い、6Gbpsストリーム受信の実現を行う。

(4) 大容量コンテンツ配信システム構成技術

1つのコンテンツを複数のスライスを介して配信するアーキテクチャを検討、確立を図り、6Gbpsストリーム複数伝送の実現を行う。