高能率ＬＤＧＭ-ＦＥＣを用いた
共用ＩＰ網での大容量８Ｋ映像伝送

藤井竜也　木村直宏　山口高弘　小河原成哲

NTT 未来ねっと研究所〒239-0847 神奈川県横須賀市光の丘１－１
E-mail:　{fujii.tatsuya, kimura.naohiro, yamaguchi.takahiro, ogawara.masanori}@lab.ntt.co.jp

あらまし　4K 映像や 8K 映像のような次世代の大容量映像メディアを安定かつ経済的に伝送するため、大きなブロックサイズに対しても少ない計算量で損失した IP パケットの回復が可能な LDGM-FEC を用いた高信頼 IP 伝送システムを開発し、日米欧・南米など広範囲に及ぶ研究教育 NW を多段接続した用いた伝送実験を行い、8K 映像の安定した素材伝送を実現した。また、こうした高い誤り耐性を持つトランスポートのニーズが高まる中、MPEG で標準化が進められている次世代トランスポート規格 MMT について説明する。

キーワード　4K 映像、8K 映像、スーパーハイビジョン、LDGM-FEC、MMT

８K Video Streaming on Shared IP Networks
using High-efficiency LDGM-FEC

Tatsuya FUJII, Kimura NAOHIRO, Takahiro YAMAGUCHI and Masanori OGAWARA

NTT Network Innovation Laboratories　1-1 Hikari-no-oka, Yokosuka, Kanagawa, 238-0847 Japan
E-mail:　{fujii.tatsuya, kimura.naohiro, yamaguchi.takahiro, ogawara.masanori}@lab.ntt.co.jp

Abstract　We have developed a high-speed reliable IP transmission system for the live streaming of video content beyond HDTV. Secure IP Terminator is a key technology that consists of high-efficiency forward error correction called LDGM-FEC. The IP terminator offers extremely stable video transmission on shared networks constructed by multi-domain research and educational networks throughout the world. We verify system performance by transmitting coded 8K Super Hi-Vision signals from London and Brasilia to Tokyo. We also introduce the standardization of MPEG Multimedia Transport (MMT) that involves the high efficiency FEC function.

Keyword　4K-Video, 8K-VIdeo, Super Hi-Vision, LDGM-FEC, MMT

This article is a technical report without peer review, and its polished and/or extended version may be published elsewhere.

高能率LDGM-FECを用いた共用IP網での大容量8K映像伝送

日本電信電話株式会社
未来ねっと研究所

藤井 竜也

Outline

- 次世代映像(4K/8K)とそのIP伝送
  - 4K/8K映像伝送とアプリケーション
  - 疎グラフ符号による誤り訂正(LDGM-FEC)による高速・高信頼伝送
- LDGM-FECを用いた国際R＆Eネットワークを用いた高信頼IP伝送実験
  - ロンドン・東京間の国際伝送実験
  - ブラジリア・東京間の国際伝送実験
- 強力なFECの普及に向けて
  - MMT標準化動向と新たな応用

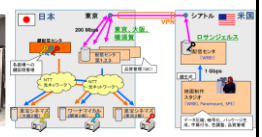
4K映像

- デジタルシネマ由来の映像フォーマット
  - Digital Cinema Initiative (ハリウッド団体)が提唱。4096×2160画素24P
  - 制作～上映までのAll Digital化に向けて、フィルムを超える品質を狙う。
  - 加速したのはSuper-HD映像配信システムを用いた評価実験
- コンテンツのネットワーク流通
  - シネコン各社とロードショー作品のNW配信実験、
    それでも、現状はHDD宅配が主流(1作品200GB)

SIGGRAPH2002 4K上映 (2001/8)

JPEG2000 4K映像配信システム

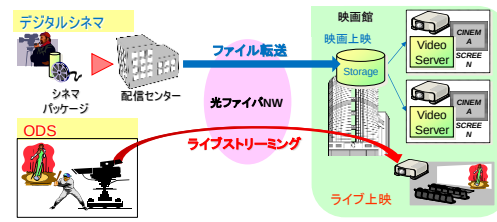
DCI準拠4Kデジタルシネマ上映機(2005)



4K Pure Cinema 配信実験(2005-2007)

4Kの活用① ODS

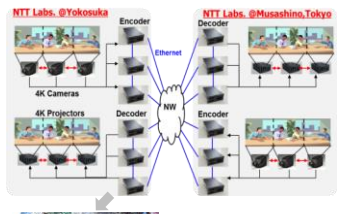
- 劇場での超高精細映像による高臨場感ライブ
  - ODS (Other Digital Stuff)
  - コンサート、ミュージカル、スポーツ、教育(訓練・研修)
  - よく調整された映像と音響の再生環境の活用
  - 映画館に"NWを引くメリット"を提供



4Kの活用② Super Tele-Presence

- 高度な"Decision Making"ツールとなるTV会議システム
  - 1人アップ時、微妙な表情の変化 "Micro Reaction"を読み取れる解像度
  - 4～5人を一面投影しても表情が判断できる。(一人あたり400～500pixel)

4K3面TV会議システム　12Kx2K pixels　200Mbps×3



スケーラブルな複数台の
同期伝送が可能な
JPEG2000-4Kコーデック

4K/8KによるTV放送へ

- 8K:スーパーハイビジョン
  - 7680×4320画素、60P(120P)、NHKにより提唱
  - 4K(放送では3840×2160)と共に、ITU-R BT.2020で規格化が完了
- 4K/8Kを用いた放送の検討開始
  - 総務省「放送サービスの高度化に関する検討会」(2012年11月～6月)
  - (社) 次世代放送推進フォーラム (2013年5月～)
    - 2014年 4K放送・視聴体験環境の実現
    - 2016年 8K放送・視聴体験環境の実現
    - 2020年 4K・8K放送の実現
- きっかけはHEVC(High Efficiency Video Coding) の規格化
  - MPEGで2013年1月に第一弾が規格化(4:2:0)、別名:H.265
  - H.264(MPEG-4/AVC)の約2倍の圧縮率
    - 4K60Pが20～30Mbps(放送)、100Mbps内外(素材)で伝送可能
    - 8K60Pは、放送100Mbps、素材伝送400Mbps

→素材伝送では100～400Mbpsの広域NW接続が衛星通信に代えて必要に

NTT

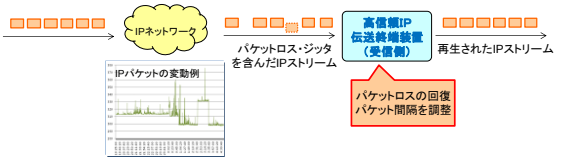
IPストリームの高信頼伝送技術

素材伝送のための“どこでもつながるNW”

NTT

- **グローバル、マルチドメイン、短期（臨時）の利用を可能にしたい**
  - 専用線だけに頼らない高信頼のIP伝送
- **End-to-Endのエラーフリーを実現したい**
  - ユーザ環境を含めた信頼性の確保
  - バックボーン・アクセス、安価なNW-HUB、受信端末の取りこぼし、etc.

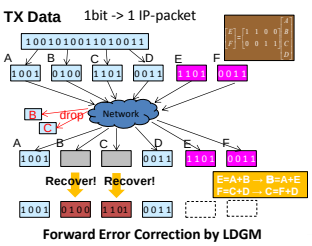
→AL-FEC（Application Level FEC）と共用網を利用した大容量映像素材伝送



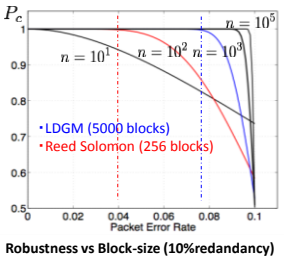
IP伝送におけるFEC（Forward Error Correction）

NTT

- **IPパケットを単位とした誤り訂正符号処理**
  - 伝送誤りはパケットロスとして観測され、シーケンス番号で検出は容易
  - 誤り訂正処理に特化する。
- **大きなブロック長を用いることで高いパケットロス耐性を実現**
  - Reed Solomon符号では計算量の制約で256ブロック程度が限界



Forward Error Correction by LDGM

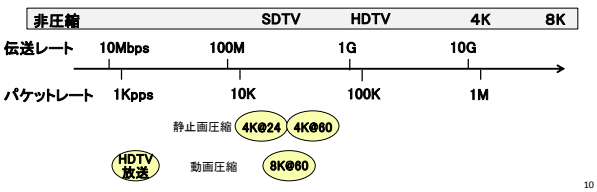


Robustness vs Block-size (10%redandancy)

AL-FECに求められる大きなブロックサイズ

NTT

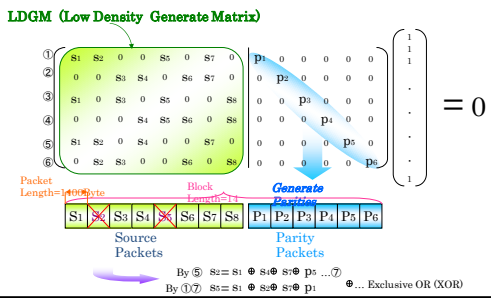
- **4K/8Kの素材伝送では100M超級の高域NW伝送が一般的に。**
- **MPEG2-TSでもっぱら使われるPro-MPEG FECでは役に立たない。**
  - 10×10の二次元パリティ
    - 20%の冗長度によりランダムパケットロスには有効
    - 10パケットを超えるバーストロスには無力
- **例：MPLS網の切替**
  - 瞬断＜50mS（サービス例）→100Mbpsで約500パケットのバーストが発生
  - 対応するには： 冗長度10%でブロック長5000、5%でブロック長10000



LDGM(Low Density Generator Matrix) FEC

NTT

- **長大な処理ブロックイサイズ（数千～）により高い誤り訂正能力を実現**
  - 念入りな行列パターン設計により、バースト・ランダム両方に強くできる。
- **XORの計算部分はごく一部（疎行列）で、符号化における計算量が少ない。**
- **MPA法とガウス消去法の併用で計算量を抑えつつ失敗の少ない復号が可能**



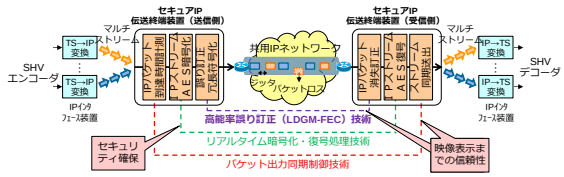
LDGM-FECのソフトウェア実装

NTT

【セキュアIP終端装置】 プロキシ型RTP/IP対応FEC

- **高能率な誤り訂正（LDGM-FEC）**
  - 1万～15万パケットを一括処理
  - PC処理できる軽量アルゴリズム
- **パケット到達間隔の調整**
  - FECデコード後に送出間隔を均等化
- **暗号化セキュリティ**

→ 3機能をストリーム伝送のネットワークの両端に挿入（最大800Mbps）



グローバルな共用網での8K映像伝送実験

NTT

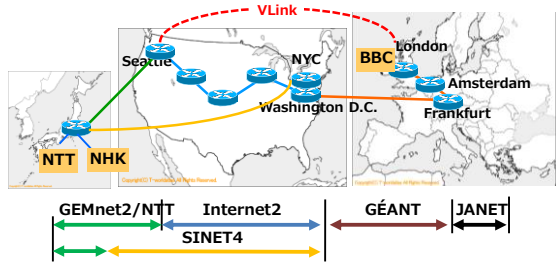
- ユーザが混在するネットワークでの大容量映像配信トライアル
  - 低コストかつ迅速な開通が可能
  - AL-FEC（FECプロキシ）による品質面でのデメリットを補償
- 国際的なR＆Eネットワークを利用
  - ベストエフォート網でのトライアル
    - Managedではない共用網の例
    - 何処とでもつながる、すぐつながる。
- Managedな共用網との比較を実施
  - Dynamic Circuit NW： 学術網向け、特定ユーザに帯域割当
  - V-LINK： キャリアサービス、複数のユーザでNW帯域をシェア

R&E-NWを用いた8K映像パブリックビューイング

NTT

- 既存のネットワーク資源を用いてロンドン・東京を接続
- 一時的な利用が可能
- ただし、R&E網内の他ユーザ利用によりパケットロス・ジッタは大きい。

→300Mbpsストリーム伝送実験、国際スポーツイベントのPV
NHK放送技術研究所と共同でSuper Hi-Vision伝送の実験（2012年7～8月）



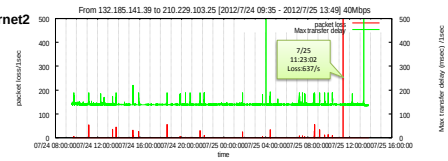
ベストエフォートNWの特性（London-Tokyo間）

NTT

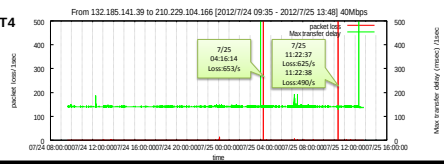
- バースト的なパケットロスが大きくPro-MPEG誤り訂正では修復不能
- 遅延時間変動も大きく、デコーダのクロック再生に支障。

【40Mbpsテストトラフィックに対する長時間測定結果】

(1) via Internet2



(2) via SINET4

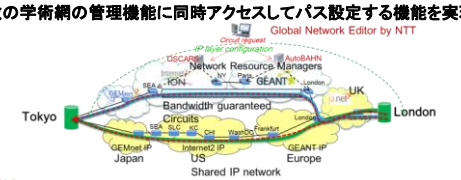


共用化にむけてNWサービスの新たな動き

NTT

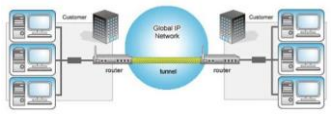
DCN (Dynamic Cirquit Network)

- ベストエフォート網からのアプローチ、特定のユーザに帯域を割り当て
- 複数の学術網の管理機能に同時アクセスしてパス設定する機能を実現



V-LINK

- 通信事業者からのアプローチ、複数のユーザでNW帯域をシェア

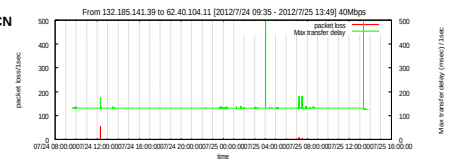


管理された共用NWの特性（London-Tokyo間）

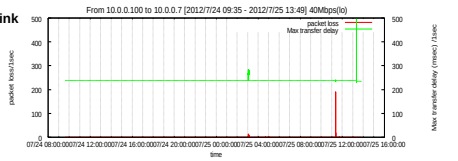
NTT

- BE網よりも低い遅延ジッタとパケットロス生起率を確認

(3) via DCN

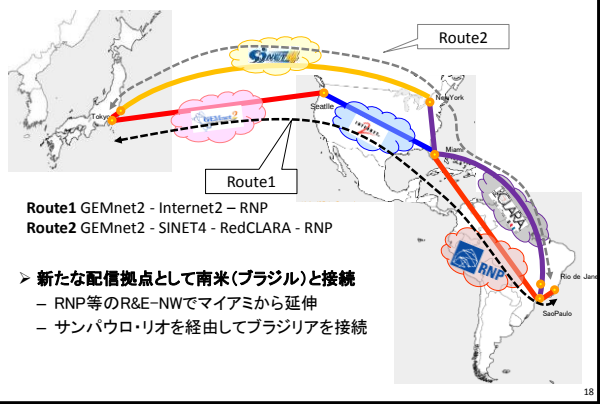


(4) via V-Link



新たなマルチドメインNWを用いた8Kストリーミング

NTT

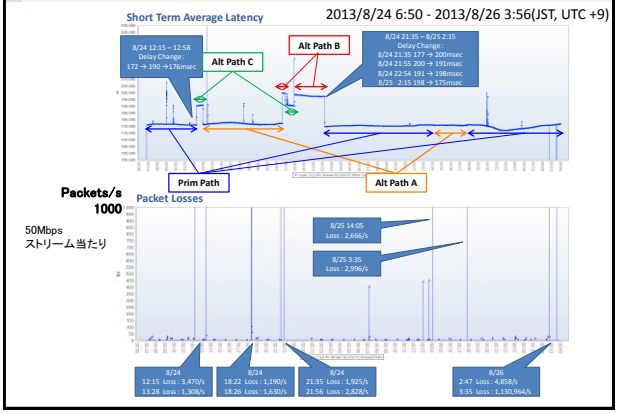


Route1 GEMnet2 - Internet2 – RNP
Route2 GEMnet2 - SINET4 - RedCLARA - RNP

- 新たな配信拠点として南米（ブラジル）と接続
  - RNP等のR&E-NWでマイアミから延伸
  - サンパウロ・リオを経由してブラジリアを接続

ブラジリア・東京間のNW特性測定結果（Root#1）

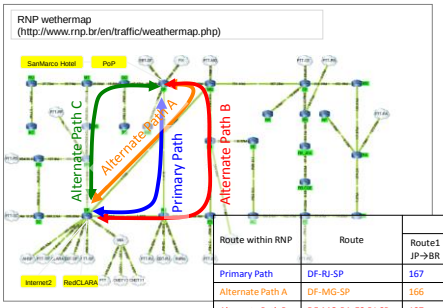
NTT



ブラジル国内で頻発するによるルート変更

NTT

- ブラジル国内では4つの経路がOSPFで切り替わる

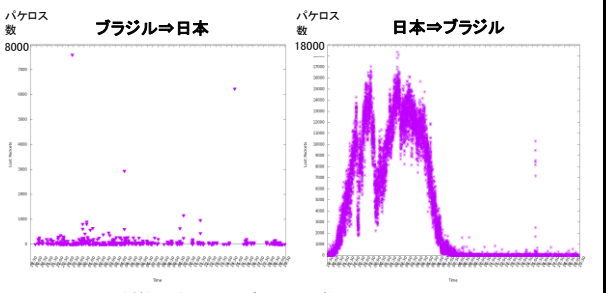


Route within RNP	Route	Typical Delays [ms]			
		Route1 JP→BR	Route1 BR→JP	Route2 JP→BR	Route2 BR→JP
Primary Path	DF-RJ-SP	167	170	172	173
Alternate Path A	DF-MG-SP	166	176	171	173
Alternate Path B	DF-MG-BA-ES-RJ-SP	187	200	193	197
Alternate Path C	DF-GO-MT-MS-PR-SP	180	190	186	187

時刻別によるパケットロス発生頻度（Root#1）

NTT

- 日本⇒ブラジルは、ブラジル時間の日中帯でパケロスが増加が顕著
- ブラジル⇒日本は、あまり変化が見られない



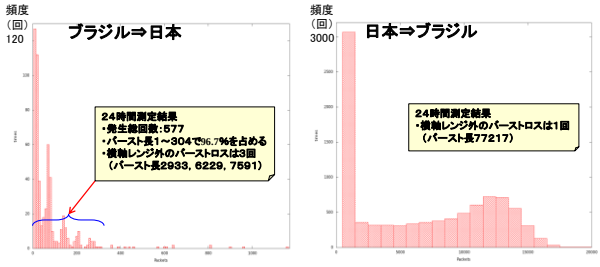
縦軸：5秒当たりのパケットロス数
横軸：観測時刻　19:30(JST)～24時間　（2013年8月27日）

バースト長によるパケットロス発生頻度（Root#1）

NTT

- 日本⇒ブラジルは、反対方向に比べて顕著にNWが混雑状態
  - FECパラメータ（ブロック長15万、冗長度20%では対バースト性が不足

→FECブロックサイズ増大でカバーするか、NWで瞬断時間を減らすか必要



縦軸：観測時間内の発生頻度（2013年8月27日　19:30(JST)～　24時間）
横軸：5秒当たりのパケットロス数

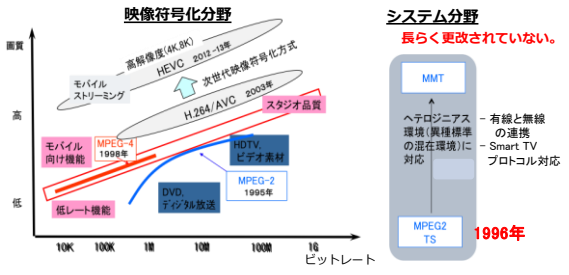
NTT

MMT：MPEG Multimedia Transportの標準化動向

ISO/IEC国際標準MPEGの状況

NTT

- 次世代標準規格として進行中
  - 映像符号化分野のHEVC (High Efficiency Video Coding)
  - システム分野のMMT（MPEG Media Transport）



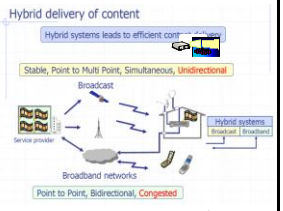
MMT（MPEG Media Transport）

NTT

- 次世代TV放送に向けたトランスポート新規格の標準化
- ヘテロジニアス環境（異種標準の混在）に対応する新しいビット・ストリームの多重化方式

- 従来のMPEG2-TSの問題点の解決
  - 映像・音声が個別に伝送ができない
  - Pro-MPEG FECは誤り耐性が不十分
  - 階層符号化に対応しない
  - 小サイズで固定(188byte)

- MMTによる課題の解決
  - 可変長パケット、複数メディア多重化
  - ハイブリッド伝送、マルチCH対応
  - レイヤード配信に対応
  - 適用範囲が広く強力な誤り訂正



MMTの応用：放送と通信のハイブリッド伝送

MPEG-Hの構成要素と規格化状況

NTT

- Part1：MMTコア
  - 蓄積、配信、シグナリングに関連するコアパート、現状DIS（2013/4）
  - 従来技術でいえばMPEG2-TS、RTP、その制御に関係する部分
  - FECのシグナリングに関連する共通フレームワークも含まれる
  - 2014年1月IS化を目標
- Part2：HEVC（4：2：0，8/10bit）
- Part3：3D Audio

：

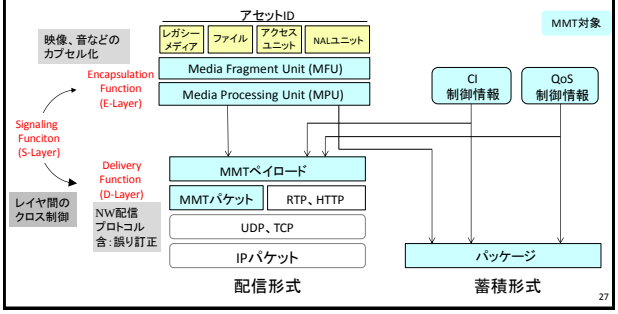
- Part10 MMT FEC Codes
  - MMTコアパートから独立して規格化、現状CD（2013/4）
  - 2014年7月ISを目標
- Part11 CI(Composition Information)
  - マルチウィンドウ制御。スマートTVで利用。Samsungが推進。（現状WD）
- Part12 Implementation Guideline

MMTの基本構成

NTT

27

- MPEG2-TSの適用領域を拡大して、幅広い領域（3つのレイヤー）を対象
- ストリーム形式に加えて、蓄積形式も規定。
  - “MMTパケットおよびMMTペイロード”、“MMTパッケージ”

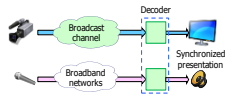


MMTの特徴①　ハイブリッド配信

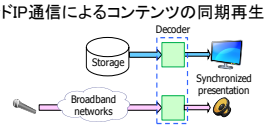
NTT

28

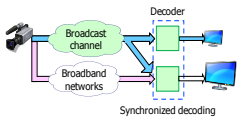
- 複数の経路で伝送したコンテンツを同期がとれる
  - UTCベースのグローバルクロックからのタイムスタンプによる同期
- 通信と放送の連携
  - 放送波コンテンツとブロードバンドIP通信によるコンテンツの同期再生



ストリーミングデータ同士の同期再生



蓄積データとストリーミングの同期再生



・通信と放送の連携
・セカンドディスプレイ同期

ストリーミングデータの同期号

MMTの特徴(続)

NTT

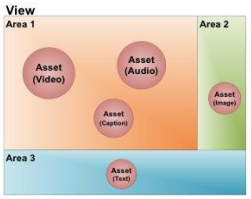
29

②FECの採用

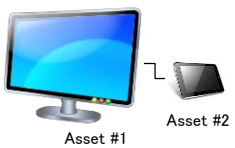
- Pro-MPEG、Reed Solomon等が選択可能、LDGM-FECも候補。

③CI（Composition Information）

- Asset/MPU単位でディスプレイへの表示位置、表示時刻などを制御できる
- 複数のディスプレイに端末に分けて表示することも可能



ディスプレイへの表示位置



セカンドディスプレイへの表示

MMTが可能にするサービス

NTT

<u>スマートTV</u>

- 放送と通信のハイブリッドサービス
  - 放送と通信により別ルートから送られるコンテンツを同期して再生が可能
  - レイアウトや時刻を指定したコンポーネントを表示
- マルチディスプレイ対応の配信サービス
  - テレビとセカンドディスプレイ（タブレット端末等）の間でコンテンツを動機

<u>映像制作にも応用が可能</u>

- 大容量ファイル転送機能を用いたデータ共有サービス
- ライブ伝送を利用した“遠隔コラボレーション”

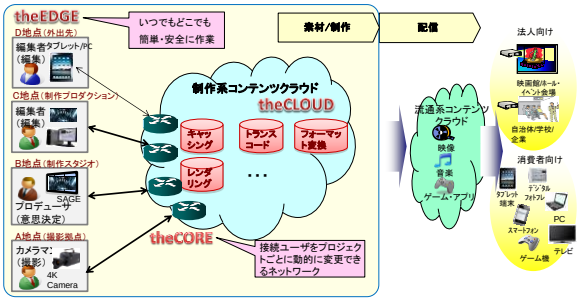
NTT

LDGM-FEC/MMTのNW仮想化アプリへの応用

コンテンツ制作コラボレーションPF

NTT

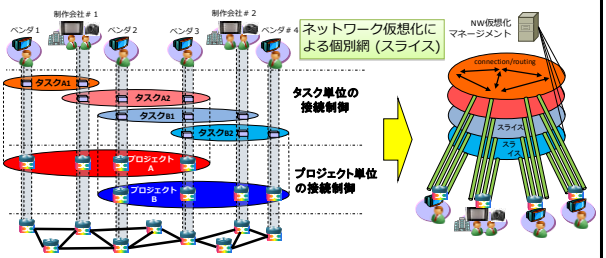
- **映像制作コラボのためのNWサービス**
  - データセンタ利用による映像ファイルトランスコード・データ蓄積・伝送サービス
  - コラボのための制作工程管理やユーザIFを追加して生産性を向上へ。



遠隔コラボレーションに必要なNW接続制御

NTT

- **2階層のNW接続管理**
  - プロジェクト・ベースの接続・・映画制作期間など時期は予測可能（SO対応）
  - タスク・ベースの接続 ・・・・・・ 日々の作業に応じてユーザが接続要求
    → ユーザに制御の一部を開放する必要

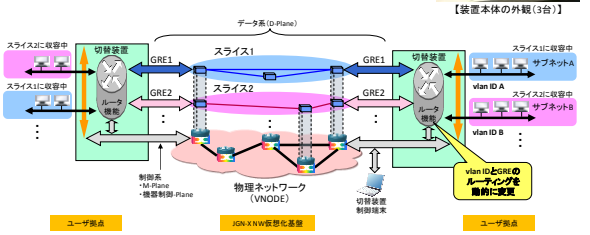


NW仮想化を用いたNW接続制御の例

NTT

- **JGN-XのNW仮想化基盤のスライスによる接続切替**
  - スライスの生成消滅によりグループ間の接続を制御
- **相手ネットワークも仮想化し、IPアドレスの衝突も回避**

【装置本体の外観（3台）】



本研究は、独立行政法人情報通信研究機構(NICT)委託研究
「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」での取り組みが含まれています。

AL-FECによるNW品質条件の緩和

NTT

大容量コンテンツ配信の方向性

- **共用網の活用**
  - 長時間の帯域確保のためにはパス切替の発生が前提
- **NW仮想化の利用**
  - 遠隔コラボのための接続機能を実現
  - 帯域確保・輻輳回避のためのスライス切替（検討中）

AL-FECがあればNWが無瞬断である必要は無い。

- **瞬断時間（or総パケロス量）の最大値が決まればAL-FECの設計が可能**
- **パラメータを自在に変えられるMMTによりシステム設計の柔軟性が向上**

課題：

- 伝送遅延と誤り耐性（ロス率、バースト長）のトレードオフの最適化
- FECとARQの使い分け、併用

まとめ

NTT

- **次世代の4K映像は普及フェーズへ**
  - カメラ、ディスプレイなど端末は普及フェーズ
  - HEVC、MMTなど通信システムはこれから2年程度で実用化段階へ
  - 8K端末の充実はこれから
- **映像通信も“次の価値”へステップアップ**
  - 専用線に頼らない広域の大容量映像伝送
  - MPEG/MMT標準化
  - 遠隔コラボレーション応用、NW仮想化による大容量・切替制御の実現へ