

デジタルシネマを支えるNTTの技術

しらかわ かずひろ のむら みつ
白川 千洋 / 野村 充

いしまる かつひろ やまぐち たかひろ
石丸 勝洋 / 山口 高弘

ふじい てつろう
藤井 哲郎

NTT未来ねっと研究所

ハリウッド標準の最高品質のデジタルシネマ規格として採用された4Kデジタルシネマ仕様について紹介するとともに、共同トライアルでの実現技術について解説します。実際の配給上映業務を通してトライアルパートナーに改めてネットワークの重要性を認識いただいております。今後の普及が期待されています。

ハリウッドが求めるDCI仕様

NTTの800万画素超高精細映像技術⁽¹⁾が盛り込まれたDCI (Digital Cinema Initiatives) デジタルシネマ仕様⁽²⁾が昨年7月に最終勧告されました。それに基づき、現在、全米映画テレビジョン技術者協会 (SMPTE: Society of Motion Picture and Television) においてデジタルシネマ規格の標準化が進んでいます。DCI仕様は、将来にわたって利用可能な映像品質と拡張性を達成することを目指しており、特にセキュリティと互換性の確保に重点が置かれています。次にその特徴点についてまとめます。

映像信号解像度

映像の解像度としてハイビジョンTV相当の2K (2048×1080)と、その4倍の解像度を有する4K (4096×2160)の2種類のフォーマットが規定されています。4Kの解像度を利用することにより、従来の35mm撮影フィルムの品質を落とさずにデジタル化することが可能となります。またフィルム上映では必須だったコピー作成に伴う品質低下がないため、劇場では従来より高画質な上映を行う

ことができます。

映像信号色再現

色信号はXYZ色空間^{*1}で表現され、データは各色12bitで量子化されます。色域制限のないXYZ色空間を利用することで、将来の広い色域を有する表示デバイスにも対応できます。またプロジェクタの色特性にマッチした色変換を行うことで、上映条件に依存しない忠実な色再現が可能となります。

フレーム周波数は、従来のフィルム映画と同じ24フレーム/秒を用います。ただし、2Kフォーマットに関しては、48フレーム/秒のモードが規定されており、ステレオ視^{*2}による立体表示等への拡張も考慮に入れられています。

映像信号圧縮方式

映像データの圧縮方式としてJPEG2000^{*3}に基づくフレーム内符号化が採用されました。JPEG2000は、従来のJPEGやMPEGに比べ、ブロック歪みのない高品質な画像を得ることができます。また4K解像度のデータから2K解像度のデータを簡単に取り出せるのも特徴です。最大ビットレートは250Mbit/sと規定されており、1コンテンツ当りのデータ量は約200~300ギガバイトとなります。

オーディオ信号

オーディオはサンプリング周波数48kHzまたは96kHz、量子化精度24bitで、最大16チャンネルまで同時利用可能です。従来のサラウンド方式で利用されていたオーディオの圧縮は行われません。

字幕

XML形式の字幕フォーマットが規定されています。静止画像ファイルを重畳する方法と、文字データを指定する2つの方法が利用できます。

データ暗号化

映像およびオーディオデータはマルチメディアデータの受け渡しフォーマットの規格であるMXF (Material Exchange Format) によりラッピングされた後、米国標準暗号規格であ

*1 XYZ色空間：表示装置に依存せずに特定の色を数値表現するための方法の1つ。人間に見えるすべての色を明度Y、色度XZにより表すことができます。

*2 ステレオ視：同一の物体を異なる2つの視点から見ることによって、その高さの情報を得るもの。

*3 JPEG2000：現在デジタルカメラで利用されているJPEGの後継である静止画像を圧縮符号化するための国際標準規格。2000年12月にもっとも基本的なコア符号化システムがISO/IEC 15444-1 Part-1として国際標準化されました。ウェーブレット変換と算術符号化を基本とし、さまざまなスケラビリティを実現できることが特徴です。

るAES (Advanced Encryption Standard) (128 bit, CBC (Cipher Block Chaining) モード) により暗号化されます。蓄積中に暗号を復号することは禁じられているため、暗号の復号は、上映時にリアルタイムに行う必要があります。

暗号鍵の配信

データを復号するための暗号鍵は、上映装置の持つ秘密鍵とペアとなる公開鍵によりRSA (Rivest - Shamir - Adleman) 法を用いて暗号化され、ライセンス期間の情報とともにKDM (Key Delivery Message) と呼ばれるメッセージフォーマットにより劇場まで配布されます。特定の上映装置でしかデータ暗号鍵を取り出せないため、高いセキュリティを実現することができます。秘密鍵を保管しデータの復号を行う上映装置には高いセキュリティ

が要求されます。

データの配信と管理

コンテンツは、映像、オーディオ、字幕データ等、複数のデータファイルで構成されたデジタルシネマパッケージ (DCP : Digital Cinema Package) により劇場まで伝送されます。規格では、具体的なデータ配信方法は規定されていませんが、安全な配信が望まれており、安全なネットワークは有望な手段です。また上映ログの生成と管理を行うことが規定されています。

電子透かし

盗撮防止のため、上映装置において上映時間と場所を特定できる情報を電子透かしとして埋め込むことが要求されています。電子透かしの方式には、高い映像品質と再撮耐性を同時に満足することが要求されます。

4 K デジタルシネマ配信システム

4 K デジタルシネマ配信システムの全体構成を図 1 に示します。

デジタルシネマパッケージ

パッケージは、DCPを作成するアプリケーションで配信用のコンテンツを作成する際に利用されます。映像データ圧縮、MXFラッピング、暗号化等のアプリケーションで構成されます。

セキュリティセンタ

パッケージで暗号化に利用された暗号鍵は、セキュリティセンタに送信されます。セキュリティセンタでは、配給スケジュールに従って、各上映装置にKDMを送付します。暗号鍵およびKDMの送信には、認証と暗号処理を含む安全な通信路が利用されます。

データセンタ

パッケージにより作成されたDCPはデータセンタに送信され、暗号鍵とは別経路で劇場まで配給スケジュールに従い配信されます。大容量のデータを多地点に配信するため、高速光ネットワークが必要となります。

劇場上映システム

劇場上映システムは上映装置 (SMB : Secure Media Box)、データストレージ、プロジェクトによって構成されます。SMBは、KDMからの暗号鍵の取り出し、データの暗号復号、データ伸張、字幕付加、透かし挿入、色変換等の処理をリアルタイムに行う装置で、高速な暗号復号とデータ伸張機能が必要となります。さらに暗号鍵の保管、暗号復号、ログの保管を行う

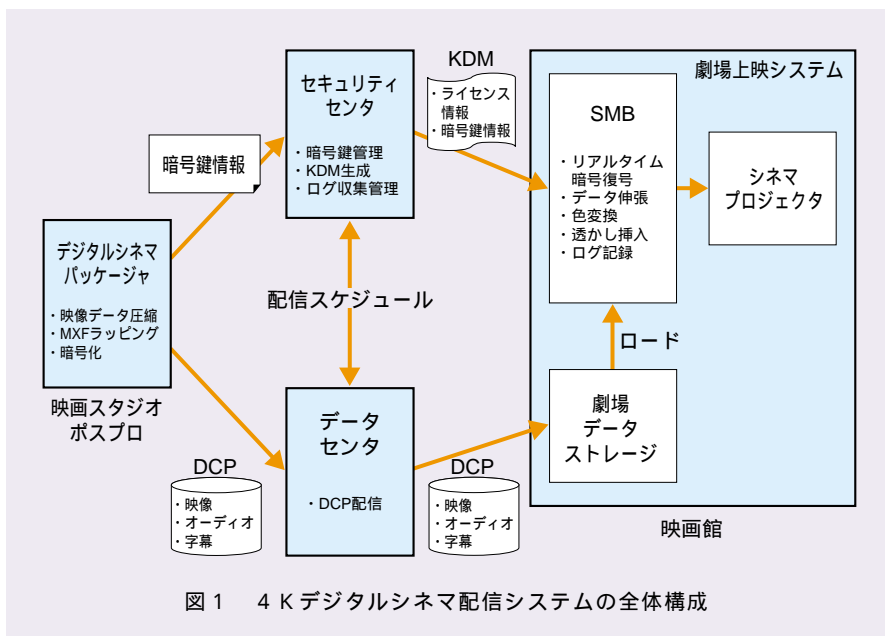


図 1 4 K デジタルシネマ配信システムの全体構成

ため、外部からのセキュリティ上の攻撃に対して高い耐性を持つことが要求されます。

SMB

4Kデジタルシネマ配信上映システムの劇場システムの中核となる構成要素が上映装置であるSMBです。本装置は、M×FラッピングされたJPEG2000符号化方式を用いて圧縮された映像データ、リニアPCMの音声データ、字幕データ等のサブピクチャデータからなる前述のパッケージにより作成されたDCPを、ギガビットイーサネット回線より受信し、いったん内部のHDDに蓄えた後、それぞれのデータの同期を行い、プロジェクタを介してスクリーン上映を行う装置です。SMBの外観を図2に、構成図を図3に示します。

上映準備の段階で、CPU基板のギガビットイーサネット・ネットワークインタフェースを介して受信したDCPの各メディアを分離し、ローカルストレージに蓄積します。映像・音声データはAES暗号で暗号化されており、別

途それらを解読するための暗号復号鍵を受信し、SMB内部の安全な場所に格納しておきます。

上映の段階では、その暗号鍵を使用して、音声データはソフトウェアで、映像データは復号処理基板（ハードウェア）で、リアルタイムに解読処理されます。映像データはさらに、復号処理基板でJPEG2000デコード処理されます。映像信号は、サブピクチャ多重基板で字幕データを映像データに多重し、出力処理基板でプロジェクタの特性に合わせて色変換処理をして、HD-SDI（High Definition Serial Data Interface）Dual Link信号で出力します。音声は、16チャンネル用意されており、それらをAES3信号として出力します。

プロジェクタへの映像出力信号も、

リンクエンクリプションを用いて保護することが期待されていますが、現在のところリンクエンクリプション機能に対応した4Kプロジェクタが存在しないため、物理的に映像信号の入出力部を保護するかたちで、セキュリティを確保しています。

4Kデジタルシネマ映像は、きわめて高品質であるがゆえに、スクリーン上に投影された映像をカムコーダ等で再撮（盗撮）したものであっても、視聴に堪え得る品質が保持されています。したがって、SMBにおいて、上映時間固有のフィンガープリントを電子透かしとして挿入することで、データ流出元を特定できるようにし、そうした再撮を抑止する必要があります。そこで使う透かし技術には、盗撮の証拠として採用できるだけ、フォーレンシッ



図2 SMBの外観

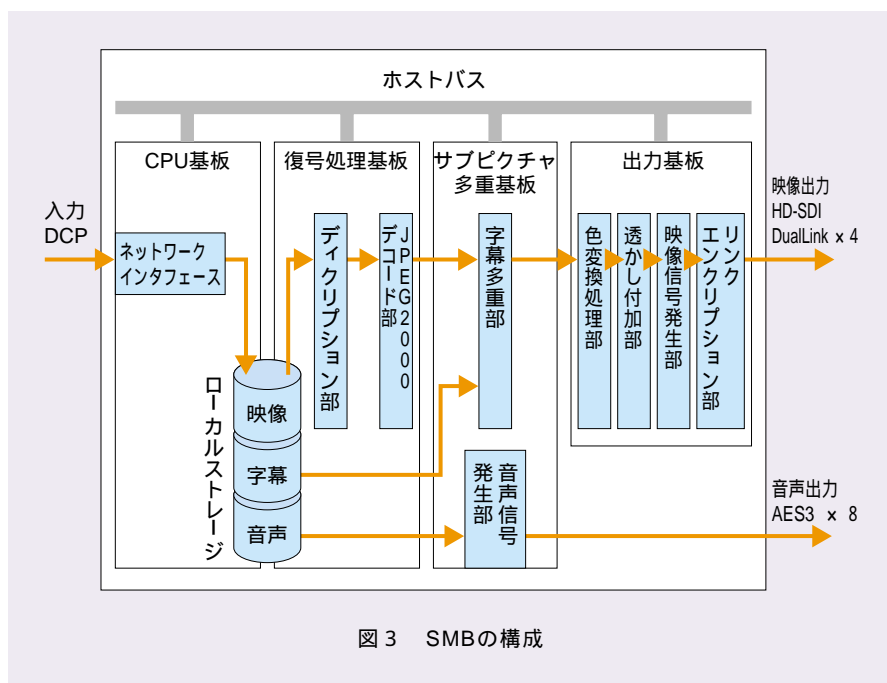
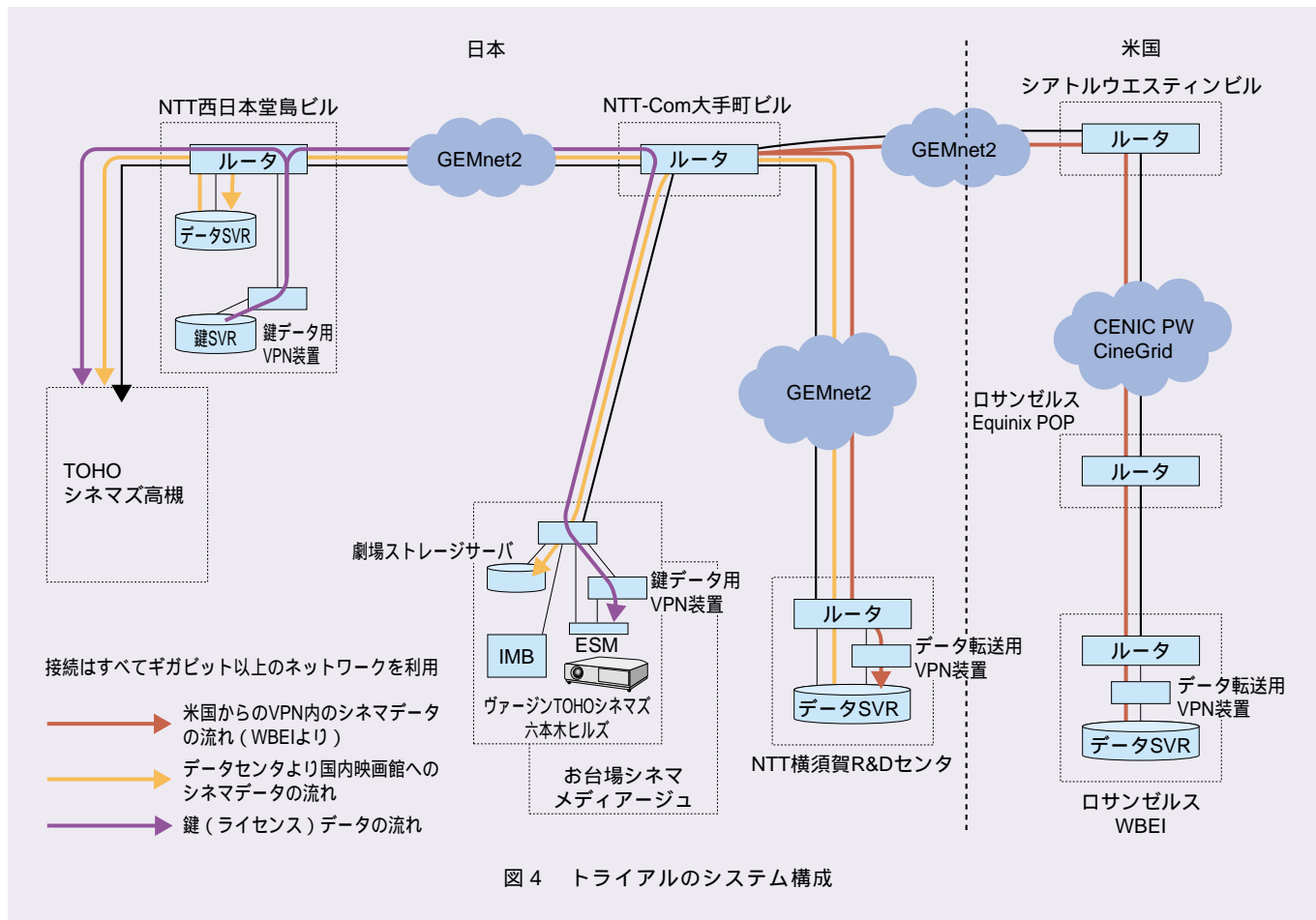


図3 SMBの構成



ク (forensic : 法的に有効な) マークとしての信用・信頼性が必要になってきます。また映画スタジオ、データ配信センタ等で挿入した電子透かしを重ねて埋め込んだときに、埋め込んだ複数の情報を読み取ることができなければならないなど、まだまだ技術的に超えなければならないハードルが存在しています。さらに、上映時間特定のためには、少なくとも上映回ごとに異なる透かしパターンをSMB上でリアルタイムに生成・埋め込み処理を行う必要があります。

トライアル用配信システム

これまで紹介したNTT研究所が開発したデジタルシネマシステムを用い、昨年10月よりトライアルを開始しています⁽³⁾(図4)。本トライアルでは、国内映画館への安全な配信を行うとともに、米国内のワーナー・ブラザーズ (WBEI: Warner Bros. Entertainment Inc.) より、DCPデータを直接受け取ることが大きなポイントとなっています。そのためのネットワーク構成と、大阪の堂島ビルに構築したセキュリティ

センタからのライセンス鍵配信ネットワークについて解説します。また本トライアルを開始するにあたり、必要なセキュリティ条件を満たすための試みについても述べます。

データ配信ネットワーク

米ロサンゼルスにあるWBEIで制作された映画は、ロサンゼルススタジオ内に蓄積されています。本トライアルではこのデータを直接アメリカ国内から横須賀のデータセンタまで安全かつ大容量のネットワークを使って映画データを転送しました。今回、NTT研

研究所の大容量実験ネットワークであるGEMnet2を主に利用して、シアトルからロサンゼルスまでは、CineGridネットワークを用い、WBEIのネットワークに接続しています。さらにセキュリティを高めるため、WBEIに設置した転送用データサーバと横須賀データセンタのデータサーバ間にVPN (Virtual Private Network) 装置を入れ、高速セキュアネットワークとしました。

いったん横須賀のデータセンタに蓄積されたDCPデータは、すぐに大阪のデータセンタに転送されます。これにより東西でのデータ転送を効率化するとともに、データの二重化も図ることができます。それぞれのデータセンタ拠点からは、1 Gbit/sの容量を持ったアクセス回線で各劇場まで接続しています。

ライセンス鍵配信ネットワーク

ライセンス鍵の配信は大阪に構築したセキュリティセンタから行います。ネットワークとしては映画データ転送と同じネットワークを用いますが、その中にさらにVPN装置を入れることによって、よりセキュリティを高めました。VPNネットワークを介してセキュリティセンタから各劇場のSMBに直接KDMが配信されます。KDMの配信が確認された後、ストレージサーバからSMBに映画データがロードされ、ライセンスに記述された期間、上映が可能となります。

データセンタ・セキュリティセンタ
横須賀データセンタではアメリカか

らのデータ受信、大阪データセンタへの転送、都内の映画館への転送を行っており、大阪では大阪府内の映画館への転送を行っています。横須賀データセンタはNTT横須賀R&Dセンタ内に、大阪データセンタは堂島ビル内にあり、ギガビットネットワークで接続を行っています。

堂島ビルはもともとデータセンタとして大変厳しいセキュリティを持っていました。また横須賀R&Dセンタは室内監視カメラ導入等の追加措置により、必要なセキュリティ条件をクリアすることができました。

各センタと同様に映画館および設置された4Kシネマシステムにもセキュリティを高めることが必要です。NTT未来ねっと研究所のシステムではSMB内で暗号を解読するため、内部のハードディスクを取り出しても上映は不可能ですが、最後にプロジェクトにデータを出力するラインから無理やり映像を取り出すことは不可能ではありません。そのため、プロジェクトを搭載する架台内にSMBを入れるとともに、プロジェクトの結線部も鉄製のカバーで覆うことにより、物理的にセキュリティ向上を図りました。

今後の予定

今後は、本トライアルで抽出された要求条件をシステムに反映するとともに、そのスケーラビリティを実現できる構築技術を確認することが必要と考えます。

参考文献

- (1) 白川・石丸・藤井・木原・小川・山根・阿久津：“800万画素デジタルシネマ配信システム 第17回東京国際映画祭4Kデジタルシネマ上映実験”，NTT技術ジャーナル，Vol.17，No.3，pp.89-92，2005。
- (2) http://www.dcmovies.com/DCI_Digital_Cinema_System_Spec_v1.pdf
- (3) 阪本・南・白川・藤井・齋藤・山根：“デジタルシネマ共同トライアル「4K Pure Cinema」”，NTT技術ジャーナル，Vol.18，No.4，pp.47-50，2006。



(後列左から) 山口 高弘/ 野村 充/
石丸 勝洋
(前列左から) 藤井 哲郎/ 白川 千洋

デジタルシネマのネットワーク配信を通して、超高精細映像による文化・教育の普及に努めていきます。

問い合わせ先

NTT未来ねっと研究所
第一推進プロジェクト
デジタルシネマDP
TEL 046-859-3152
FAX 046-859-3014
E-mail shirakawa.kazuhiro@lab.ntt.co.jp