

## 映像符号化方式等に関する調査結果

2022年6月22日

一般社団法人 放送サービス高度化推進協会

※「放送用周波数を有効活用する技術方策に関する調査検討」結果より

# 目次

調査項目	ページ番号
① 映像符号化方式の動向調査検討	p.2~4
② 知的画像処理に関する最新の技術動向調査	p.5~8
③ 次世代コンテンツ保護方式の調査検討	p.9~11

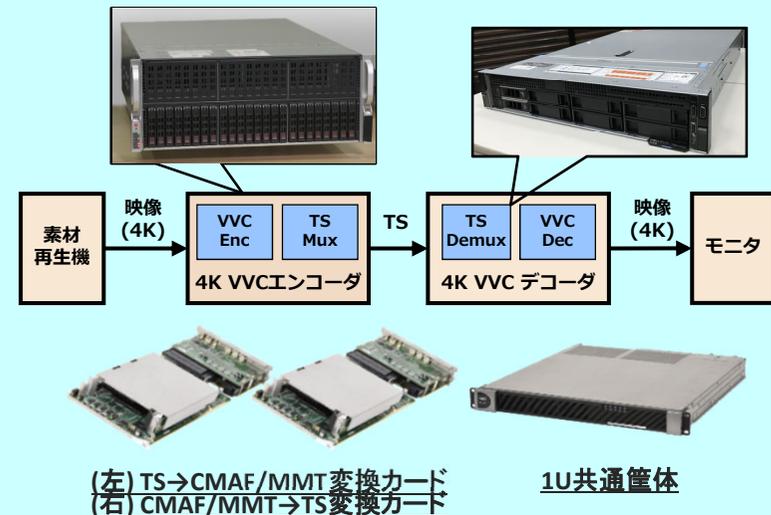
# ① 映像符号化方式の動向調査検討

「課題」 VVC (Versatile Video Coding) 方式について、4Kリアルタイムコーデック装置の製作と機能検証、CMAF/MMTの実装検討、8Kにおける画質評価を行う

- ・リアルタイムコーデック装置、CMAF/MMT⇔TS変換装置の仕様検討・実装および機能検証を実施した
- ・8K対応の画質シミュレーション環境構築、符号化条件策定および評価画像作成・画質評価を実施した

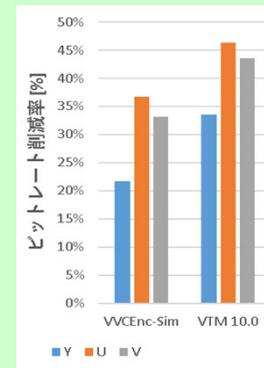
## 成果1 4K VVCリアルタイムコーデック装置の製作

- リアルタイムコーデック装置の製作
  - ・仕様検討、装置実装を完了
  - ・4K/60p映像入力からVVCエンコード・デコード、モニタ出力までの一連のリアルタイム動作の機能検証を完了
  - ・実用HEVCエンコーダと比較してビットレート削減効果を確認
- CMAF/MMTの実装検討
  - ・仕様検討・実装検討および装置実装を完了
  - ・BS4K放送用MMTエンコーダ/デコーダが持つ「TS⇔MMT変換機能」の改修によりTS⇔CMAF/MMT変換を実現
  - ・機能検証を完了し、映像/音声信号の正常疎通を確認



## 成果2 8K VVC画質評価

- ・R2年度に構築したVVCシミュレーション環境を8K対応に拡張
  - ・符号化条件を有識者で議論し策定完了
  - ・シミュレーションによる評価画像作成・画質評価を実施
    - ・8Kに対しても4Kと同等程度のビットレート削減効果を確認
    - ・HEVC参照ソフトウェア(HM)に対し21.7%のビットレート削減
- (※) 平成31年度試験事務でのHEVC実用エンコーダの性能評価結果を踏まえると、実用エンコーダ同士の比較では30~40%以上のビットレート削減効果が期待できる



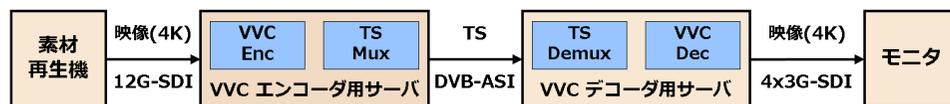
※ VVCEnc-Sim: VVC実用エンコーダシミュレータ  
 ※ VTM: VVC参照ソフトウェア  
 ※ HMとVVCEnc-Simの比較結果(固定QP)およびVVCEnc-SimとVTMの比較結果(レート制御)より算出

HEVC(参照SW HM16.22)に対するビットレート削減率

# ① 映像符号化方式の動向調査検討の詳細 (1)

## ■ リアルタイムコーデック装置の製作

- 仕様検討、装置実装を完了
- 4K/60p映像入力からVVCエンコード・デコード、モニタ出力までの一連のリアルタイム動作の機能検証を完了
- 画質評価を実施し、実用HEVCエンコーダと比較してビットレート削減効果を確認



機能検証システム図(概略)

4K VVCエンコーダ・デコーダ装置仕様概要

項目	内容	
	エンコーダ	デコーダ
SDI映像信号	12G-SDI	Quad-link 3G-SDI
	Format: 3840(H)x2160(V), 59.94Hz, Progressive	
TS信号	MPEG-2 Transport Stream (TS), I/F: DVB-ASI	
映像符号化	符号化方式: Versatile Video Coding (VVC) プロファイル/レベル: Main 10 Profile @ Level 5.1 Tier: Main tier クロマフォーマット: 4:2:0, ビット深度: 10-bit	
映像ビットレート	10Mbps~30Mbps	Max 40Mbps

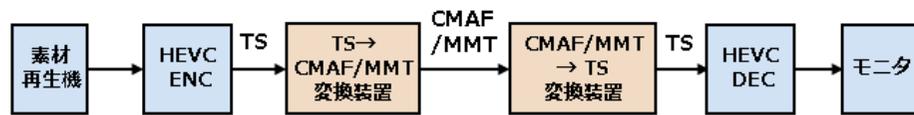
機能検証項目／検証結果

カテゴリ	検証項目	検証内容	合否
映像符号化	ビットレート	以下のビットレートで動作すること。10Mbps~30Mbps	合
	バッファ遅延量	以下のバッファ遅延量で動作すること。500ms~1000ms	合
	ダイナミックレンジ	以下のダイナミックレンジを指定し動作すること。HDR(HLG),SDR	合
多重化	stream_id指定	以下のstream_idを指定し動作すること。0xE0~0xEF	合
	PID指定	映像・PMT・PCRに以下のPIDを指定し動作すること。0x0001~0x1FFE	合
	送出周期	PAT・PMT・PCRに以下の送出周期を指定し動作すること。90ms/60ms/30ms	合
	トータルビットレート	以下のトータルビットレートを指定し動作すること。15Mbps~100Mbps	合
ENC出力	出力信号確認	VVC対応アナライザにてエラーがないこと。	合
DEC出力	出力信号確認	波形モニタにてSDI信号に問題がないこと。	合
	モニタ確認	モニタにてデコード映像が乱れなく正常であること。	合

# ① 映像符号化方式の動向調査検討の詳細（2）

## ■ CMAF/MMTの実装検討

- 仕様検討・実装検討および装置実装を完了
- BS4K放送用MMTエンコーダ/デコーダが持つ「TS⇔MMT変換機能」の改修によりTS⇔CMAF/MMT変換を実現
- 既存のHEVCエンコーダ/デコーダと接続して機能検証を完了し、映像/音声信号の正常疎通を確認



機能検証システム図(概略)

TS→CMAF/MMT変換装置、CMAF/MMT→TS変換装置 仕様概要

項目	内容
TS信号	MPEG-2 Transport Stream (TS), I/F: DVB-ASI
CMAF/MMT信号	フォーマット: CMAF/MMT形式 参考: CMAF[ISO/IEC 23000-19:2020] 参考: MMT[ISO/IEC 23008-1:2017] 参考: ARIB STD-B60、ARIB TR-B39 I/F: 1000Base-T

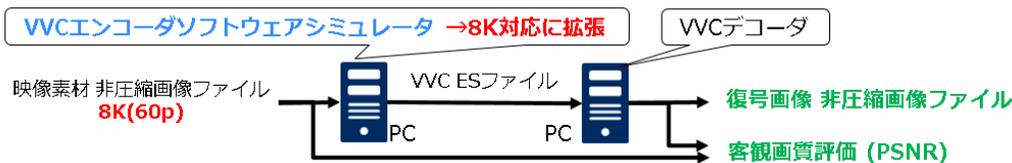
映像/音声疎通確認結果

項番	符号化方式	映像フォーマット	ES構成	可否
1	HEVC/AAC	4K	映像1ES+音声1ES	合
2	HEVC/AAC	4K	映像1ES	合
3	HEVC/AAC	4K	音声1ES	合
4	HEVC/AAC	2K	映像1ES+音声1ES	合
5	HEVC/AAC	2K	映像1ES	合
6	HEVC/AAC	2K	音声1ES	合

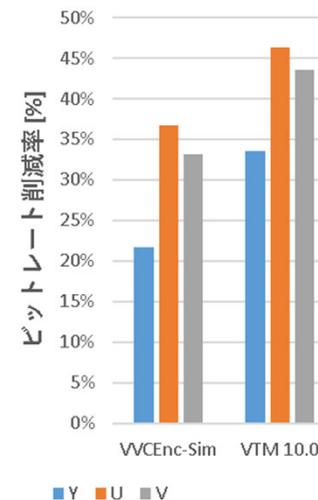
## ■ 8K VVC 画質評価

- R2年度に構築したVVCシミュレーション環境を8K対応に拡張
- 符号化条件を有識者で議論し策定完了
- シミュレーションによる評価画像作成・画質評価を実施
  - 8Kに対しても4Kと同等程度のビットレート削減効果を確認
  - HEVC参照ソフトウェア(HM)に対し21.7%のビットレート削減

(※) 平成31年度試験事務でのHEVC実用エンコーダの性能評価結果を踏まえると、実用エンコーダ同士の比較では30~40%以上のビットレート削減効果が期待できる



構築したVVCシミュレーション環境



※ VVCEnc-Sim: VVC実用エンコーダシミュレータ  
 ※ VTM: VVC参照ソフトウェア  
 ※ HMとVVCEnc-Simの比較結果(固定QP)およびVVCEnc-SimとVTMの比較結果(レート制御)より算出

HEVC(参照SW HM16.22)に対するビットレート削減率

## ② 知的画像処理に関する最新の技術動向調査（1）

「課題」 本技術動向調査の目的、およびこれまでの調査結果（2019－2020年度）

・知的画像処理を用いた映像圧縮の、技術動向、性能（伝送帯域、主観画質）について調査

◇本調査研究の目的

地上波デジタル放送の高度化で想定される帯域で、知的画像処理により8K映像を伝送することの可能性についてアルゴリズムとその性能、放送システム適合性を調査

◇調査対象

[知的画像圧縮技術およびパラメータ]

- 8K原画像を1/2の4K画像に縮小してから、符号化することで映像ストリームを圧縮、伝送。
- 伝送原画像の映像特徴を抽出し、メタデータとして伝送する。
- 受信機側では、NNRパラメータに基づき、知的画像処理の方式を修正し、8K画像に復元する。

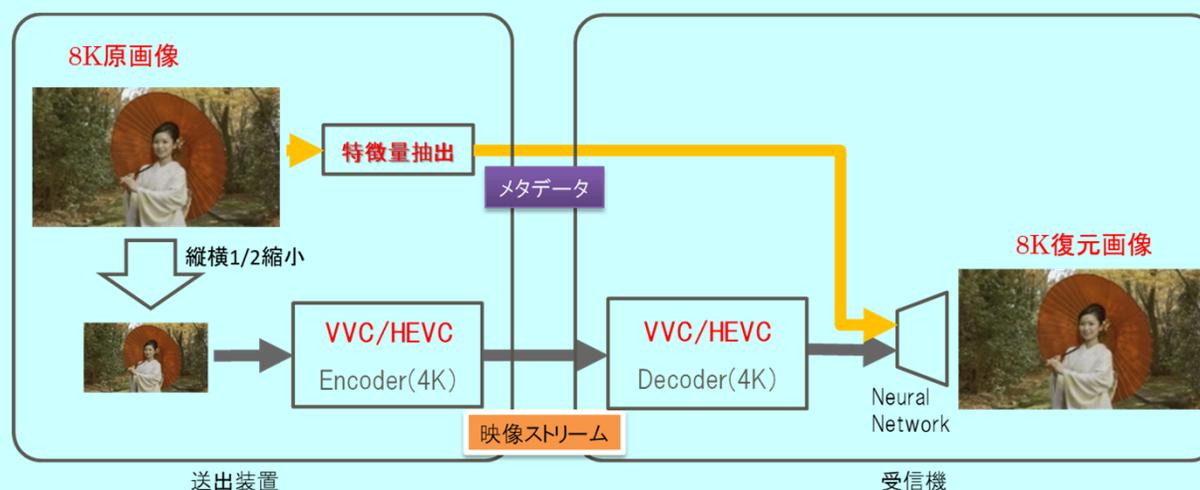
[標準化動向]

- MPEGにおける、NNC (Neural Network符号化)標準化の動向調査

[性能]

- 25Mbpsにおいて、現行8K放送に相当するHEVC 85Mbpsによる符号化映像と比較しても、有意な差がないことが確認できた。

メタデータ	伝送方式	その他	課題
画像特徴、処理抑制の切り替えフラグ	別ストリーム/SEI	PSNR以外の評価軸 (VMAF)の適用可能性	画質
伝送映像用いて再学習したネットワークと標準学習ネットワークとの差分	別ストリーム/SEI	AI処理の受信機SOC実現性	エンコーダ実現性(リアルタイム性)



### 「課題」 知的画像処理による8K画像帯域圧縮の放送システム実現性調査(2021年度)

・技術動向、性能(NN切替処理時間、伝送帯域、主観画質)の観点から調査を実施した

### 成果 知的画像処理による放送システムのリアルタイム化が可能となる見通しを得た

#### ○標準化コーデックと知的画像処理の組み合わせによる性能調査(リアルタイム性)

- MPEGのNeural Network Coding(NNC)規格による圧縮送出によってネットワークパラメータ 12kbps + VVCストリーム 20Mbpsで伝送可能であることを確認した(図1)
- NN切替による遅延時間は約30msecと、VVCの映像エンコード遅延時間の約800msec(開発目標値)未満で処理可能であった。NN切替とVVCエンコードの並列処理により、放送システムの遅延に影響を生じさせないことがわかった(図1)
- ネットワークパラメータを伝送する方式を、どのように定めるかについては議論の必要があったが、2022年4月のMPEG会合では、VVCの規格としてネットワークパラメータなどの付加情報を埋め込むための規格が策定されたことから、映像ストリームと一体化できる見通しがつき、本方式が展開しやすくなる可能性が見えた。

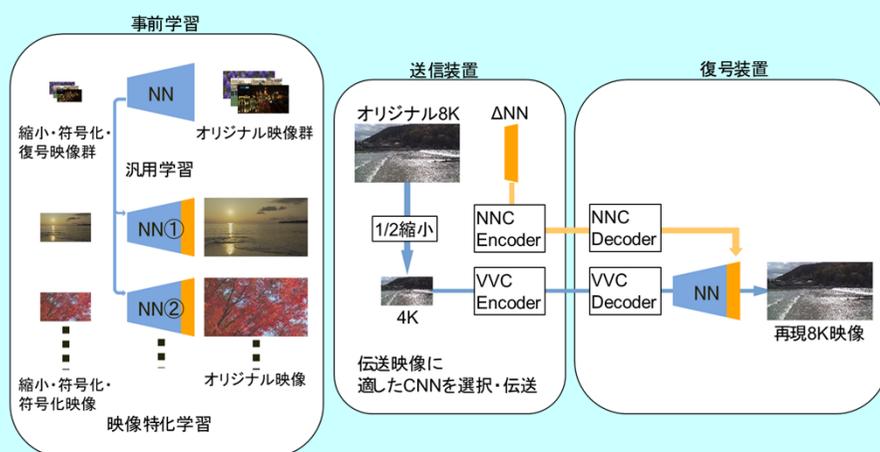


図1. 事前学習+NN切替システム図

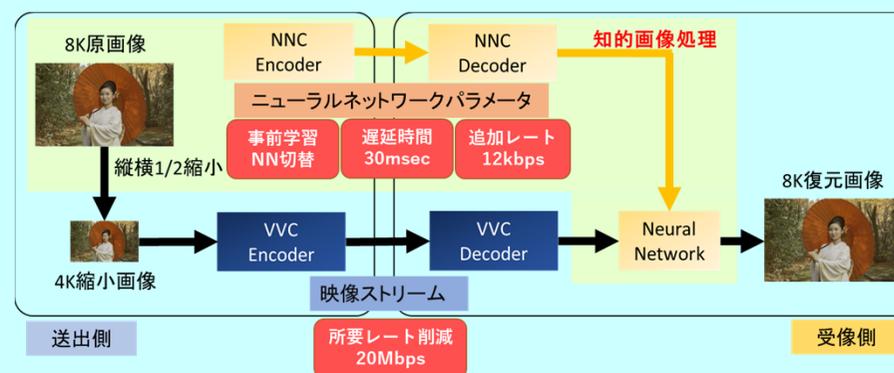


図2. 放送システム

### 「課題」 知的画像処理による8K画像帯域圧縮の放送システム実現性調査(2021年度)

・技術動向、性能(NN切替処理時間、伝送帯域、主観画質)の観点から調査を実施した

### 成果 知的画像処理による放送システムのリアルタイム化が可能となる見通しを得た

#### ○標準化コーデックと知的画像処理の組み合わせによる性能調査(画質)

- 主観評価規格ITU-R BT. 501準拠の一対比較による主観画質を行った(図3、図4)。  
知的画像処理行わない方式Bと比較して、**NN切替(方式D)は、常に優れた画質を示した。**  
9コンテンツ中6コンテンツでNN切替(方式D)がHEVC8K(方式A)と比較して、同等もしくは良い主観画質を示した
- (結論) NN切り替えによる知的画像処理(方式D)は、現行放送画質に匹敵する可能性がある。

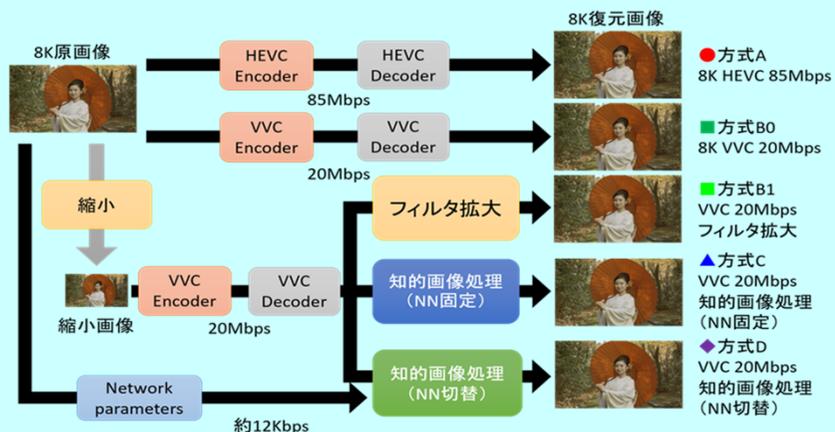


図3. 各方式の評価映像生成方法の概略

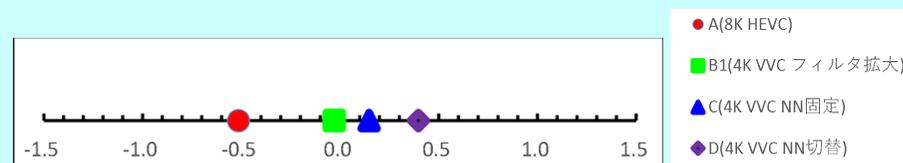


図4. 各方式の主観評価 一例(平均嗜好度の尺度図)  
横軸の右側に行くほど画質が良いことを示す

#### 主観評価における方式Aと方式Dの比較

画質	A<D	A>D	A≒D(有意差なし)
コンテンツ数 (計9コンテンツ)	4	3	2

#### 客観・主観評価における方式Bと方式Dの比較

画質	B<D
コンテンツ数 (計9コンテンツ)	9

## ② 知的画像処理に関する最新の技術動向調査（3）

### 「課題」 知的画像処理による8K画像帯域圧縮の放送システム実現性調査(2021年度)

#### ・ハードウェアの実現性、標準化動向について

##### ■デコーダSOC実現性

- ・調査モデルの超解像処理に必要な能力の見積もり(表)
- ・消費電力、チップサイズからは8コアが実用的(12nmプロセス)
- ・7nmプロセスも安定した技術になりつつあることから、2021年度調査モデル相当は現時点で、2020年度調査モデル相当でも近い将来にハード化は可能と思われる

表 4Kから8Kへ知的画像処理を60FPSリアルタイムで行う場合の要求コア数と動作周波数

NN構造	NN計算量(TOPS)	演算コア数	動作周波数(MHz)
2020年度調査モデル	約360	32	約600
2021年度調査モデル	約100	8	約700

##### ■標準化動向

###### ◇ Neural Network符号化:ISO/IEC JTC 1 SC29(MPEG)

- ・ NNC (Neural Network Coding)と呼ばれるNeural Networkのネットワークパラメータの圧縮、符号化技術の標準化が2021年4月に完了(第1版)。
- ・ さらに部分的に更新するパラメータの圧縮、符号化技術の標準化作業を推進中(第2版)。

###### ◇ Neural Network情報の映像圧縮活用:JVET ( Joint Video Experts Team )

- ・ Neural Networkを用いた符号化技術(ループフィルタ、イントラ予測、動き補償、ポストフィルタ、超解像処理)などの検討が行われている。
- ・ 超解像処理技術については、VVCのRPR(Reference Picture Resampling)と組み合わせて、1/2の解像度に落として符号化、復号して、Neural Networkによる超解像処理を用いて解像度を復元する実験条件が評価されている。
- ・ 付加拡張情報規格SEI(Supplemental Enhancement Information)で、NNCを用いたネットワークパラメータを格納可能できる仕様拡張が合意された。

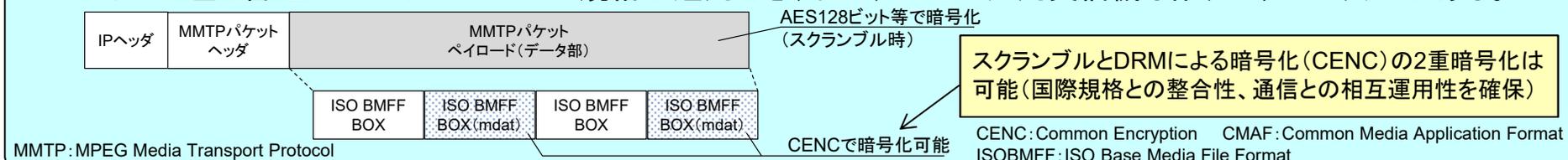
### ③ 次世代コンテンツ保護方式の調査検討

「課題」 2020年度の調査結果を踏まえ、国内外のコンテンツ保護方式について分析し、地上放送の高度化への実現可能性について取りまとめる

・コンテンツ保護方式のうち地上放送高度化に直接関わるスクランブル方式、鍵保護方式、および電子透かしの適用について調査検討した

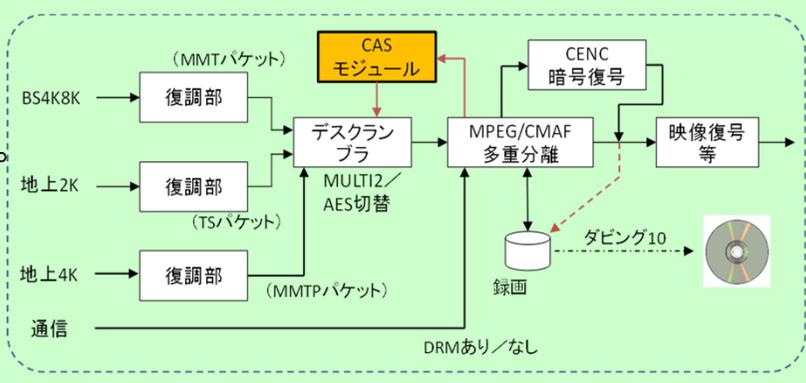
#### 成果1 地上放送高度化に対応するスクランブル方式

- 地上放送高度化の多重化方式としてMMT+ISOBMFF(CMAF)方式を想定し、通信によるコンテンツ差し替えサービスなどに適用できるスクランブル方式について検討した。その結果、MMTPパケットのペイロードを暗号化する方式(新4K8K衛星放送と同じスクランブル方式)が適当であることがわかった。
- コンテンツ差し替えについてはHbbTVの規格が適用でき、また、BSとの共用受信機も作りやすいメリットがある。



#### 成果2 上記スクランブル方式に対応する鍵保護方式、および電子透かしの状況

- 新4K8K衛星放送と同じスクランブル方式なので、既存のCASモジュールの仕組みが使える。ACASチップはUHDコンテンツを想定しているが、2K地上放送で運用しているTRMP方式は、UHDコンテンツに適用するために安全性の検証および再設計が必要。
- DRMについては、特に技術的制限はないことがわかった。
- 個別IDを重畳する電子透かしはストリーミングであまり利用されておらず、また、放送受信機に搭載可能でリアルタイムに個別IDを重畳できる電子透かしは、日本では開発されていない。一部、オンライン講演等を想定してソフトウェアによるリアルタイム電子透かしの開発は行われている。



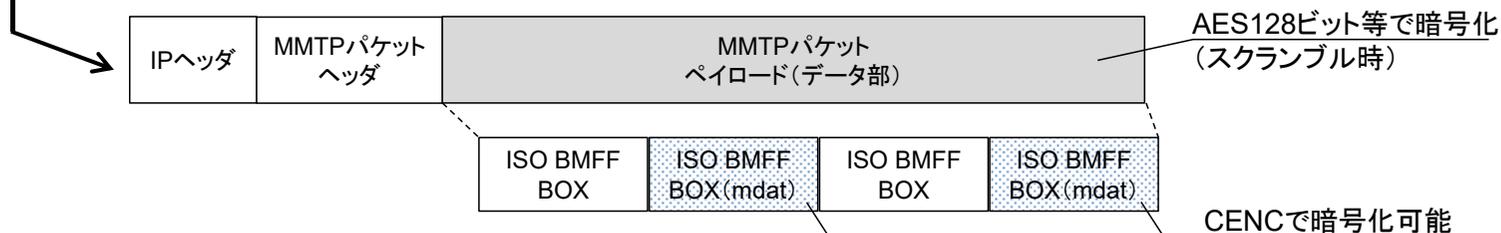
### ③ 次世代コンテンツ保護方式の調査検討の詳細 (1) 【地上放送高度化に対応するスクランブル方式】

前提条件

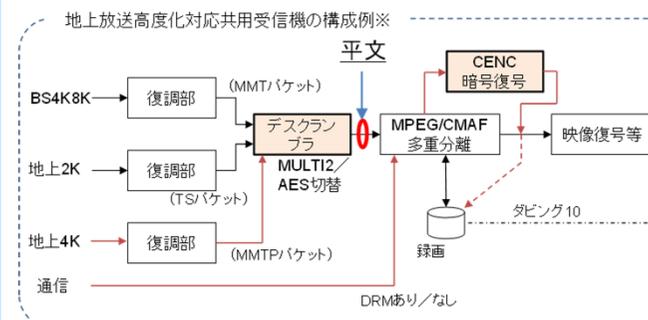
- ✓ 多重化方式は「MMT+ISO BMFF (CMAF)」とする
- ✓ 想定するサービスは放送通信連携サービス(例:通信を使ったCM差し替えサービスなど)とする

新4K8K衛星放送のスクランブル方式を踏まえ、次の4通りの組み合わせで検討を行った。

#	MMTPパケット	ISO BMFF	補足
1	MMTPパケットのペイロードを暗号化	非暗号	暗号化の範囲は新4K8K衛星放送と同じ
2	(同上)	CENCで暗号化	2重の暗号化
3	MMTPパケットのペイロードは非暗号	非暗号	いわゆる「ノンスクランブル」運用
4	(同上)	CENCで暗号化	ネット配信等における暗号化と同じ



- ✓ 新4K8K衛星放送のスクランブル方式と互換性あり
  - ◆ BS/CS共用受信機などの開発が容易
  - ◆ ACAS等の既存のCASモジュールが利用できる(次ページ)
  - ◆ 緊急災害時におけるノンスクランブル運用(NHKで実施)が送出・受信ともに容易
- ✓ 国際規格との整合性および通信コンテンツをそのまま放送することを念頭に、MMTPパケット+CMAF (CENC)の暗号化は可能とした (サービス上の要件がなければ、放送波のメディアファイルは非暗号を想定)
- ✓ デスクランブルすればCMAFレベルでは平文になり、通信サービスにDRMを掛けていなければHbbTVの規格※などが放送通信連携サービスに適用できる



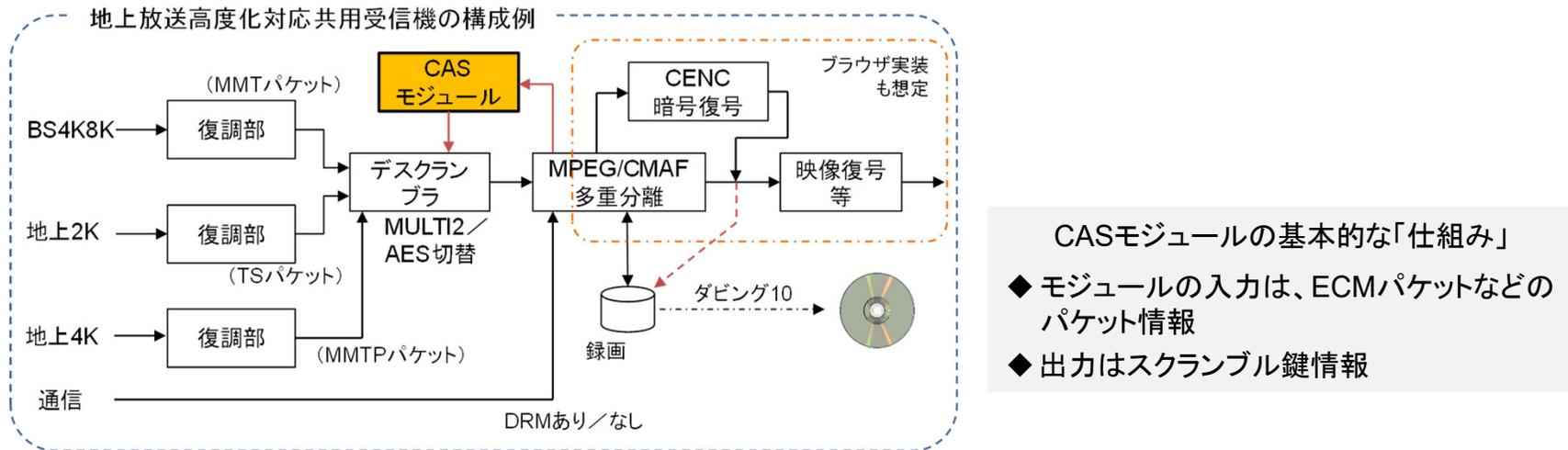
平文データ同士の切り替えで、放送・通信それぞれにデコーダを搭載する方式では、320ミリ秒程度の黒味で切り替えられることがわかっている (HbbTVの規格)

※HbbTV Targeted Advertising Specification: DRMは特に考慮されていない。

### ③ 次世代コンテンツ保護方式の調査検討の詳細 (2)

#### 【本報告のスクランブル方式に対応する鍵保護方式、および電子透かしの状況】

本報告のスクランブル方式はMMTPパケットレベルで暗号化するので、現行のCASモジュールの「仕組み」が適用できる。  
 なお、通信については現行のCASモジュールは使えないので、DRMを利用する。



- ✓ ACAS方式 (ARIB STD-B61 第一編第3部の方式)  
 基本的にそのまま適用できると考えられるが、ローカル実装の機能などが想定されるので、規格化・実運用の際は事前に調査が必要
- ✓ TRMP方式 (ARIB STD-B61 第一編第2部の方式)  
 基本的に方式としてそのまま適用できると考えられるが、各メーカーが実装するソフトウェア実装なのでハリウッドのコンテンツ保護要件等を満たさない可能性があり、よりセキュアな方式に再設計が必要

個別IDの重畳が可能な電子透かしの状況

➡ 長期的な調査検討課題

- ✓ 韓国の4K地上放送の規格では、個別IDの重畳が可能な電子透かし機能の受信機搭載を規定
- ✓ ネット配信では電子透かしの導入が進んでいると聞いていたが、ネット配信事業者にヒアリングしたところ、個別IDの電子透かしの運用は大規模配信に向いていないので世界的にもあまり運用されていないとのこと
- ✓ 放送受信機に搭載可能でリアルタイムに個別IDを重畳できる電子透かしは、日本では開発されていない