

＜基本計画書＞

高度衛星放送システムに向けた周波数有効利用技術の研究開発

1. 目的

我が国の衛星放送には、放送衛星を使用する BS 放送、通信衛星を使用する CS 放送の 2 種類があり、BS 放送は平成元(1989)年の放送開始以来、準基幹的メディアとして、また、CS 放送は平成 4 (1992) 年の放送開始以来、多チャンネル提供メディアとして順調に発展を遂げてきた。

いずれも 1 つの送信点（衛星軌道位置）から 1 波で全国をカバーし、比較的簡易な受信設備を用いて受信することが可能であることから、周波数利用および経済性の両面で効率的に全国放送を実現可能という特色を有している。

平成 30(2018)年 12 月には、より高精細・高画質の放送コンテンツを提供する放送サービスとして新 4K8K 衛星放送が開始され、令和 4 (2022) 年 11 月現在、衛星放送用周波数帯（12GHz 帯）の右旋帯域で 6 事業者 6 チャンネル、同左旋帯域で 5 事業者 12 チャンネルが放送されている。

新 4K8K 放送を視聴可能な機器の出荷台数も着実に増加しており、令和 3 (2021) 年度末時点で累計 1,200 万台以上が出荷されている。パリ五輪が開催される令和 6 (2024) 年度には、出荷台数は累計 2,500 万台以上に達することが見込まれている。

周波数利用の観点では、衛星放送用周波数帯の右旋帯域は、4K 放送およびそれ以前から放送されている 2K 放送によって密に使用されており、周波数がひっ迫している状況にある。一方、同左旋帯域については、一定の空き帯域は存在するものの、視聴者が放送を視聴するためにアンテナの交換や宅内・棟内の伝送設備の改修が必要となる場合が多く、受信環境の整備が進むには相当程度の期間を要するとされている。

これらの状況を踏まえて、「放送を巡る諸課題に関する検討会 衛星放送の未来像に関するワーキンググループ」報告書（令和 3 (2021) 年 10 月 総務省）では、BS 右旋帯域について、BS 左旋帯域における受信環境の整備状況も踏まえ、今後は 4K 放送普及の観点から一定の空き帯域が確保できた場合には 4K 放送に割り当てていくという方針が示されたものの、現状では右旋帯域がひっ迫しており、継続的に 4K 放送への新規参入の需要を満たす周波数の割当てを行うことは困難な状況にある。

また、4K 放送の普及過程においては、視聴者保護の観点から一定の期間、既存の 2K 放送と 4K 放送のサイマル放送を行うことも必要と考えられるが、サイマル放送を実施するための周波数を確保することも同様に困難な状況である。

さらに、新たな 4K 放送を割り当てるためには帯域再編を行う必要があるが、現状は 2K 放送と 4K 放送を同一のトランスポンダに割り当てることができないことから、帯域再編に要する行程の長期化が課題となっている。

そこで、本研究開発では、複数の変調波を同一の周波数に重畳して伝送する階層分割多重（LDM: Layered Division Multiplexing）伝送技術、並びに放送コンテン

ツを解像度の異なる映像に階層化するスケーラブルVVC(Versatile Video Coding) 符号化技術を確立する。

これらの技術を搭載した高度衛星放送システムを実現し、衛星放送用周波数帯の周波数利用効率を向上させるとともに、新たな 4K/8K 放送への周波数の割当て、2K 放送から 4K 放送、さらには 4K 放送から 8K 放送への円滑な移行等、今後の衛星放送の動向変化に伴う帯域再編等にも柔軟に対応できるようにすることで、周波数の有効利用を促進することを目指す。

2. 政策的位置付け

- ・「世界最先端デジタル国家創造宣言・官民データ活用推進基本計画」（令和 2 年 7 月 17 日閣議決定）

「4K・8K などの高度な映像・配信技術の利用機会の均等」のため、「4K・8K の普及に向けて「衛星放送の未来像に関するワーキンググループ」を再開し、有識者や関係事業者・団体を交えて、受信環境整備や周波数有効利用に係る検討を開始」し、「これらの対策によって、4K・8K の視聴可能世帯の増加を推進」する旨が記載されている。

- ・「放送を巡る諸課題に関する検討会 衛星放送の未来像に関するワーキンググループ」報告書（令和 3 年 10 月 29 日 総務省）

今後取り組むべき周波数有効利用の推進方策として、「BS 右旋帯域の空き帯域の活用」が掲げられており、「今後、BS 右旋帯域において一定帯域が確保できた場合には、当該帯域は 4K 放送に割り当てべきである。新 4K8K 衛星放送視聴可能機器の累計出荷台数は着実に伸びてきてはいるものの、新 4K8K 衛星放送の認知度は 3～4 割程度にとどまっていることから、更なる普及推進策が求められている。このため、受信環境が整っている右旋帯域において 4K 放送の番組を増やし、4K 放送を市場としてしっかり立ち上げることが必要である」旨が記載されている。

3. 目標

衛星放送用周波帯（12GHz 帯）の BS 右旋帯域については、BS 左旋帯域における受信環境の整備状況も踏まえ、4K 放送普及の観点から一定の空き帯域が確保できた場合には 4K 放送に割り当てていくという方針が示されているものの、現状では帯域がひっ迫しており、継続的に 4K 放送への新規参入の需要を満たす周波数の割当てを行うことは困難な状況にある。

今後の周波数需要の増大に対応するためには、周波数資源の拡大が必要となるが、12GHz 帯の衛星放送用として割り当てられている周波数帯は 11.7～12.75GHz に限定されているため、現行の帯域を拡大することなく、同周波数帯を効率的に利用する技術を開発することで、周波数のひっ迫の解消を図る必要がある。

そのための研究開発として、以下の技術の開発に取り組み、本研究開発期間終了

後5年以内を目途に実用化（衛星放送システムおよび受信機への実装等）が可能な技術として確立することを目指す。

- ・ 衛星放送用 LDM 伝送技術

複数の変調波を同一周波数に重ねて送信することで、異なる放送コンテンツを階層的に効率よく伝送することを可能にする技術。

- ・ スケーラブル VVC 符号化技術

解像度の低い放送コンテンツ（2K 等）を基本データ、解像度の高い放送コンテンツ（4K/8K 等）との差分を拡張データとして階層的に符号化を行うことで、個別に符号化するよりも少ないデータ量で 2K/4K/8K の放送コンテンツを柔軟に織り交ぜた伝送を可能にするとともに、降雨減衰等の受信環境に応じて放送コンテンツの解像度を選択的に復号して受信することを可能にする技術。

なお、LDM 伝送技術は、地上テレビジョン放送の高度化における伝送方式としても検討されている技術であり、衛星中継器の非線形特性に起因する歪等、衛星伝送系特有の課題を克服する必要があるものの、衛星放送の高度化においても検討すべき技術であると判断される。また、VVC 符号化技術についても同様であり、本研究開発では VVC を発展させたスケーラブル VVC 符号化技術の確立を目指す。衛星放送においても地上テレビジョン放送と互換性のある符号化技術を検討することは、受信機普及等の観点からも有益であると考えられる。

具体的な周波数有効利用の目標としては、衛星放送用 LDM 伝送技術の確立による無線伝送路の階層化、並びにスケーラブル VVC 符号化技術の確立による伝送データの階層化・高圧縮化の相乗効果により、周波数利用効率を2倍以上に向上させるとともに、受信環境等に適応した 2K/4K/8K 等の解像度が異なる放送コンテンツの柔軟な組合せによる伝送を実現することで、12GHz 帯の衛星放送用周波数帯の更なる有効利用に資する。

4. 研究開発内容

(1) 概要

衛星放送用周波数帯の周波数有効利用を促進するため、衛星放送用 LDM 伝送技術およびスケーラブル VVC 符号化技術の研究開発を行い、実際の放送衛星を利用した伝送実験による効果検証を経て、衛星放送システムの高度化に向けた基礎技術を確立する。

(2) 技術課題および到達目標

技術課題

ア 衛星放送用 LDM 伝送技術

12GHz 帯の衛星放送用周波数帯における新 4K8K 衛星放送は、振幅位相変調である 16APSK を採用することで伝送容量の拡大を図っている。ただし、衛星放送を含む高周波数帯を使用する衛星系の無線伝送路では、高い電力効率が求められる衛星中継器において、高い出力を有する一方で非線形特性による歪を生じる進行波管増幅器（TWTA）が使用されるため、当該歪による信号劣化の影響を考慮する必要がある。このため、現行の衛星放送では、200W の定格出力を有する TWTA の出力を 120W に低下させ、非線形歪の影響を低減させた条件での運用を行っている。

LDM 伝送では、高いレベルの電力を割り当てた変調波（UL: Upper Layer）および低いレベルの電力を割り当てた変調波（LL: Lower Layer）を重畳するため、16APSK と同様に振幅および位相の双方で変調をかけた信号から変調波毎の分離が必要となるが、衛星中継器で生じる非線形歪の影響により、受信信号の信号点配置に送信信号からのシフト（ずれ）が発生するという技術課題がある。

また、LDM 伝送では、複数の変調波を同一チャネルに重畳するため、変調波毎に変調方式と符号化率を割り当てることができるが、放送コンテンツの伝送レートや降雨減衰等による受信条件の変化に適応する必要がある。

したがって、2K/4K/8K 等の解像度が異なる放送コンテンツの伝送レートおよび降雨減衰マージン等を考慮した衛星放送における LDM 伝送技術の最適な伝送パラメータ（変調方式、誤り訂正符号、インジェクションレベル*等）を設定する必要がある。

※ UL と LL の電力差を示すパラメータ。

イ スケーラブル VVC 符号化技術

現行の放送サービスの符号化方式は、地上テレビジョン放送および衛星テレビジョン放送では MPEG-2、新 4K8K 衛星放送では HEVC（ITU-T H. 265）が用いられており、2K 放送は専ら 2K 受信機、新 4K8K 放送はそれぞれ 4K 受信機又は 8K 受信機で受信できるように符号化され、個別の放送波で伝送されているため、各放送に 1 対 1 で対応した受信機がなければ視聴することができない。

最新の映像符号化方式である VVC（ITU-T H. 266）の Multilayer Main 10 profile を用いて、8K 放送を解像度の低い映像（2K）から高い映像（8K）へと階層的に符号化する技術を開発することにより、受信環境等に応じて映像品質を選択的に復号し、受信することが可能となる。

当該技術の適用により、2K、4K および 8K といった異なる解像度の映像を個別に符号化するよりも効率的に 8K 放送を符号化でき、かつ、その階層化された符号化信号は、マルチレイヤ対応受信機により 2K 放送又は 4K 放送としても復号し、受信することが可能となる。

このように、異なる解像度の映像を階層化して符号化する技術では、階層化する映像間で符号化映像を共有する必要がある。具体的には、2K、4K および 8K の映像を符号化する場合、4K/8K など相対的に高解像度の映像を符号化する際

には当該映像信号よりも低解像度の符号化結果を用い、予測参照信号として利用する。そのため、個別に符号化する場合と比較して、低解像度映像信号を参照するためのメモリアクセス制御技術が新たに必要となる。また、予測参照信号の符号化品質が当該映像信号の符号化の品質に影響を与えることから、品質制御技術（階層間のレートを最適化して配分する技術、階層間予測を適応的に選択する技術等）についても、従来とは異なる技術が必要となる。

ウ 放送衛星を用いた伝送実験

「ア 衛星放送用 LDM 伝送技術」で開発した LDM 送受信装置および「イ スケーラブル VVC 符号化技術」で開発した符号化/復号装置について、衛星放送システムへの組み込みを前提とした実環境での動作実証を行うとともに、本研究開発の全体目標である「衛星放送用周波数帯の周波数利用効率を 2 倍以上に向上させるとともに、受信環境等に適応した 2K/4K/8K 等の解像度が異なる放送コンテンツの柔軟な組合せによる伝送を実現すること」の達成度を評価するためには、実際の放送衛星を利用した伝送実験による効果検証を行う必要がある。

到達目標

ア 衛星放送用 LDM 伝送技術

衛星放送における LDM 伝送技術の確立に向けて、帯域 34.5MHz 幅・シングルキャリアによる LDM 信号の送受信装置を開発する。

非線形歪に関する課題に対して、最適な歪補償技術および信号処理技術の適用を検討し、送受信装置に実装した上で、衛星中継器を経由した LDM 信号の分離および復調を確認する。

また、2K/4K/8K 等の解像度が異なる放送コンテンツの伝送レートおよび降雨減衰等の受信環境に対応した変調方式、誤り訂正符号、インジェクションレベル等の伝送パラメータの最適な組み合わせを検討し、送受信装置に実装した上で、LDM 信号の送受信を装置単体で実証する。

一例として、衛星放送の受信障害の要因である降雨減衰を考慮した高耐性の伝送パラメータで 4K 映像を 22Mbps 程度の伝送速度で伝送することを想定した場合、34.5MHz 幅当たりの伝送容量は、現行の衛星放送の伝送方式（TDM）による約 76Mbps から LDM 伝送による約 87Mbps へ拡大可能と見込まれる。したがって、当該技術単体で伝送効率（周波数利用効率）を 1.2 倍程度向上させることを目指す。

イ スケーラブル VVC 符号化技術

最新の映像符号化方式である VVC（ITU-T H.266）の Multilayer Main 10 profile を用いて 8K 等の超高精細映像を解像度の低い映像から高い映像へと階層的に符号化/復号する技術の確立に向けて、符号化装置および復号装置を開発する。

実際に階層符号化した 8K (4K) 映像をマルチレイヤ対応受信機で 8K (4K) 映像および 4K (2K) 映像に分離して受信可能であることを装置単体で確認する。

また、技術課題であるメモリアクセス制御技術、階層間レート配分最適化技術および予測モード選択技術については、最適な方式を検討し、階層符号化/復号装置に実装した上で、必要な性能を達成していることを装置単体で実証する。

一例として、同一の放送コンテンツを 4K/8K で同時に伝送することを想定した場合、スケーラブル VVC 符号化方式は、現行の新 4K8K 衛星放送で採用されている符号化方式 (HEVC) よりもデータ圧縮率を約 4 割向上させることが可能と見込まれる。したがって、当該技術単体で、伝送効率 (周波数利用効率) を 1.7 倍程度向上させることを目指す。

なお、十分な実証効果を得られる限りにおいて、8K 映像の階層符号化等の非常に大きな処理能力を必要とする装置をエミュレータ等で代替することも想定されるが、より高い実証効果を得る観点から、可能な限りリアルタイム処理を実現するハードウェア装置を開発することが望ましい。

ウ 放送衛星を用いた伝送実験

「ア 衛星放送用 LDM 伝送技術」で開発した LDM 送受信装置について、12GHz 帯の放送衛星 (実験試験局) を用いた伝送実験を行い、実際の衛星中継器を通過した条件での LDM 伝送特性、非線形補償技術の性能等を評価する。また、「イ スケーラブル VVC 符号化技術」で開発した符号化/復号装置を組み合わせる伝送実験を行い、階層符号化された映像データの分離受信、映像の解像度 (2K/4K/8K) 毎の圧縮率、受信環境に応じた映像品質の切替制御等を評価する。

さらに、「ア 衛星放送用 LDM 伝送技術」で開発した LDM 送受信装置および「イ スケーラブル VVC 符号化技術」で開発した符号化/復号装置により構成される衛星放送システムとしての伝送効率 (周波数利用効率) を測定するとともに、全体目標に対する達成度を評価する。

なお、十分な実証効果を得られる限りにおいて、8K 映像の符号化/復号等の負荷の大きい処理を一部シミュレーション等で代替することも想定されるが、より高い実証効果を得る観点から、可能な限りリアルタイム処理を前提とした実験手法を採用することが望ましい。

それぞれの課題は全体目標に密接に関わるため、各課題間の整合性を図りつつ、課題の着実な進捗管理を実施し、互いの成果を随時反映し合う形で進めていくことを想定する。

また、全体目標である「衛星放送用周波数帯の周波数利用効率を 2 倍以上に向上させるとともに、受信環境等に適応した 2K/4K/8K 等の解像度が異なる放送コンテンツの柔軟な組合せによる伝送を実現すること」について、各課題の到達目

標を踏まえてどのように達成するかを提案書に具体的に記載すること。

さらに、衛星放送システムは送信機と受信機が1対大多数の構成であること、受信機は普及促進等の観点からできるだけ簡易な構造かつ低消費電力であることが望ましいことを踏まえ、実用化・製品展開等を見据えて、可能な限り受信装置側の処理負荷が低減されたシステム設計となるように留意すること。

なお、上記の目標を達成するに当たっての年度毎の目標については、以下の例を想定している。

<令和5年度>

ア 衛星放送用 LDM 伝送技術

- ・ LDM 送信装置（変調部）および LDM 受信装置（復調部、減算部）の開発
複数の変調波を重畳した LDM 信号から、各々の変調波を分離するための基礎検証を実施

イ スケーラブル VVC 符号化技術

- ・ ソフトウェア符号化装置（4K/8K 対応エミュレータ）の開発
VVC マルチレイヤプロファイルに対応する符号化装置の基本設計およびソフトウェアエミュレータの試作
- ・ 復号装置（リアルタイムソフトウェア）の開発
VVC マルチレイヤプロファイルに対応するリアルタイムソフトウェア復号装置の試作

<令和6年度>

ア 衛星放送用 LDM 伝送技術

- ・ LDM 送信装置（符号化部）および LDM 受信装置（復号部）の開発
誤り訂正符号を開発し、LDM 送受信装置の性能を評価
- ・ LDM 送受信装置（非線形補償技術）の開発
衛星中継器を経由した際に発生する非線形歪を補償する機能を開発

イ スケーラブル VVC 符号化技術

- ・ ハードウェア符号化装置（2K/4K 非リアルタイム）の開発
VVC マルチレイヤプロファイル対応符号化装置（2K/4K 非リアルタイム）の一次試作およびメモリ制御技術の開発
- ・ 復号装置の改修（レイヤ動的切替）

VVC マルチレイヤプロファイル対応リアルタイムソフトウェア復号装置のレイヤ間を動的に切り替える機能の開発

- ・動作検証

- ハードウェア符号化装置およびリアルタイムソフトウェア復号装置が単体で安定的に動作することの確認

<令和7年度>

ア 衛星放送用 LDM 伝送技術

- ・ LDM 送受信装置（非同期対応）の開発

- 現行の衛星放送の信号に変調波を重畳して LDM 信号を形成する機能の開発

- ・ 衛星中継器シミュレータ実験評価

- 放送衛星に搭載される衛星中継器を模擬したシミュレータにより、非線形歪の影響下における LDM 伝送の性能を評価

イ スケーラブル VVC 符号化技術

- ・ ハードウェア符号化装置（2K/4K リアルタイム）の開発

- VVC マルチレイヤプロファイル対応リアルタイム符号化装置（2K/4K）の試作およびレイヤ間符号化制御技術の開発

- ・ 性能改善

- 符号化における前処理技術および演算量低減技術の開発

- ・ レート配分評価

- レイヤ間の伝送レート配分技術の改良

ウ 放送衛星を用いた伝送実験

- ・ 衛星伝送実験の実施

- 実験方法の検討および実験試験局の無線局免許申請

<令和8年度>

ア 衛星放送用 LDM 伝送技術

- ・ 衛星伝送実験

- 実際の放送衛星を用いた実験系における LDM 伝送の性能評価および非線形補償機能の効果検証

- ・ 総合評価（スケーラブル VVC 符号化技術との組合せ）

- 伝送する映像の解像度（2K/4K/8K）に合わせた伝送容量を変調波毎に割り

当てた LDM 伝送技術の総合評価

イ スケーラブル VVC 符号化技術

- ・ 衛星伝送実験

受信環境に応じた映像品質の切替の実証

- ・ 総合評価（衛星放送用 LDM 伝送技術との組合せ）

伝送容量に合わせたデータ圧縮を解像度毎に割り当てたスケーラブル VVC 符号化技術の総合評価

- ・ ハードウェア符号化/復号装置（4K/8K リアルタイム）の開発

VVC マルチレイヤプロファイル対応リアルタイム符号化/復号装置(4K/8K)の基本設計および基礎試作

ウ 放送衛星を用いた伝送実験

- ・ 衛星伝送実験の評価

実際の放送衛星を用いた実験系における LDM 伝送技術およびスケーラブル VVC 符号化技術の組み合わせによる高度衛星放送システムの機能実証

5. 実施期間

令和 5 年度から令和 8 年度までの 4 年間

6. その他

（１）成果の普及展開に向けた取組等

①国際標準化等への取組

国際競争力の強化を実現するためには、本研究開発の成果を研究期間中および終了後、速やかに関連する国際標準化規格・機関・団体へ提案を実施することが重要である。このため、研究開発の進捗に合わせて、国際標準への提案活動を行うものとする。なお、提案を想定する国際標準規格・機関・団体および具体的な標準化活動の計画を策定した上で、提案書に記載すること。

②実用化への取組

研究開発期間終了後も引き続き取り組む予定の「本研究開発で確立した技術の普及啓発活動」および令和 13 年度までの実用化・製品展開等を実現するために必要な取組を図ることとし、その活動計画・実施方策については、提案書に必ず具体的に記載すること。

その際には、今後の放送・通信に関する技術動向および将来の衛星放送に対するニーズを想定しつつ、本研究開発の成果を具体的なアプリケーションとしてどのような形で活用できるかを幅広く検討し、考慮に入れること。

（２）提案および研究開発に当たっての留意点

提案に当たっては、基本計画書に記されている目標に対する達成度を評価することが可能な具体的な評価項目を設定し、各評価項目に対して可能な限り数値目標を定めること。また、従来の技術との差異を明確にした上で、技術課題および目標達成に向けた研究方法、実施計画および年度目標について具体的かつ実効性のある提案を行うこと。

研究開発の実施に当たっては、関連する要素技術間の調整、成果の取りまとめ方等、研究開発全体の方針について幅広い観点から助言を頂くと共に、実際の研究開発の進め方について適宜指導を頂くため、学識経験者、有識者等を含んだ研究開発運営委員会等を開催する等、外部の学識経験者、有識者等を参画させること。

また、衛星放送の受信方法には、直接受信以外にもケーブルテレビや光通信回線によるサービスの活用といった複数の選択肢があることから、これらのサービスの関係者を研究開発運営委員会に参画させる等の方法により、随時、本研究開発に関する情報提供を行うこと。

なお、本研究開発において実用的な成果を導出するための共同研究体制又は研究協力体制について、研究計画書の中にできるだけ具体的に記載すること。