

研究年報

NHK
Science & Technology
Research Laboratories

2021

NHK 放送技術研究所

Science & Technology Research Laboratories

目次

ごあいさつ	1	2021年度 技研の研究	2
<hr/>			
1 イマーシブメディア- コンテンツ提示	4	5 ユニバーサルサービス- コンテンツ配信・サービス 提供技術	30
1.1 AR(拡張現実)/VR(バーチャルリアリティー)	4	5.1 スマート化社会に向けたコンテンツサービス基盤	30
1.2 3次元映像技術	7	5.2 IP配信基盤	32
1.3 イマーシブメディア基本アーキテクチャの研究	9	5.3 セキュリティー	34
2 イマーシブメディア- コンテンツ制作	10	6 フロンティアサイエンス- 計算機科学・コグニティブ サイエンス・社会科学	36
2.1 空間センシングによる新しい映像表現手法	10	6.1 機械翻訳	36
2.2 映像技術	11	6.2 自然言語処理技術	37
2.3 音響技術	14	6.3 画像・音声解析	38
2.4 伝送技術	15	6.4 コグニティブサイエンス	39
3 イマーシブメディア- 放送高度化	18	6.5 社会科学	40
3.1 地上放送伝送技術	18	7 フロンティアサイエンス- マテリアルサイエンス	42
3.2 衛星放送伝送技術	22	7.1 表示技術	42
3.3 符号化技術	23	7.2 3次元映像デバイス技術	44
4 ユニバーサルサービス- メディアアクセシビリティ	25	7.3 撮像技術	45
4.1 手話CG制作技術	25	7.4 記録技術	47
4.2 触覚情報の生成・提示	26	8 研究関連業務	49
4.3 音声合成・提示技術	27		
4.4 テレビ視聴ロボット	28		
<hr/>			
放送技術研究所の概要		58	

ごあいさつ

NHK放送技術研究所長 今井 亨

NHK放送技術研究所(技研)は、放送技術分野を専門とするわが国唯一の研究機関として、また公共メディアNHKの一員として、豊かな放送文化の創造に資する研究開発に取り組んでいます。



放送メディアを取り巻く環境が大きく変わる中、技研は昨年、2030-2040年ごろのメディア環境を想定し、公共メディアNHKの研究所として目指す目標と方向性を「Future Vision 2030-2040」として公表しました。10-20年後の多様な視聴デバイスによる視聴スタイルと、3次元空間へ進化したコンテンツ制作環境によって、単なる視聴を越えた新たなユーザーエクスペリエンスをお届けしたいと考えました。こうした未来を実現するために、よりリアルな体感をもたらす「イマーシブメディア」、いつでも・どこでも・誰もが利用できる「ユニバーサルサービス」、基礎研究により未来のメディアを創造する「フロンティアサイエンス」を3つの重点分野として、2021年度の研究開発を推進しました。

2021年度は、前年度に引き続き新型コロナウイルス感染拡大による影響を受け、研究開発や学会活動に大きな制約を受けた1年でした。しかしこうした状況の中でも、「イマーシブメディア」ではAR・VR技術などを活用して新たな視聴体験をもたらす技術、「ユニバーサルサービス」では東京オリンピック・パラリンピックで実施した手話CG実況や放送・通信のシームレスな視聴技術、「フロンティアサイエンス」ではAI等のコンピューターサイエンスから材料・デバイス技術まで、それぞれの分野で着実な成果を上げることができました。

本書は、技研における2021年度の研究成果を1冊にまとめたものです。私たちの研究開発活動をご理解いただく契機として、新たな研究開発の連携関係や研究開発成果を活用した共創の場を築く一助として、ご活用いただければ幸いです。

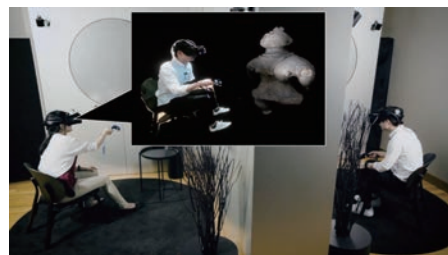
今後も変わらぬご支援、ご協力を賜りますよう、お願い申し上げます。

2021年度 技研の研究

イマーシブメディア-コンテンツ提示

これまでのテレビの枠を超えた新しい体験・感動の提供を目指して、「イマーシブメディア」の実現に向けた研究を進めた。コンテンツ提示技術では、AR(拡張現実)やVR(バーチャルリアリティー)技術を活用したサービスイメージとして、インタラクティブな空間共有視聴システムを8K番組「見たことのない文化財」に関連したAR/VRコンテンツに応用したほか、3Dモデル/360度映像ハイブリッド提示方法などの提示システムの検討を進めた。また、より自然な3D映像を視聴できるライトフィールドヘッドマウントディスプレイを試作した。裸眼視聴による自然で見やすい3次元映像技術の研究では、高精細な空間像を再生するアクティナビジョンの撮像、表示技術、携帯型端末用3次元映像技術の研究開発を進めた。イマーシブメディアのコンテンツを視聴者に統一的に提供する基本アーキテクチャについても研究を進めた。

→詳しくはp.4



AR/VRを活用した
サービスイメージの検討

イマーシブメディア-コンテンツ制作

コンテンツ制作のための空間センシング、撮像、音響、伝送の研究を進めた。被写体の3次元情報を効率的に取得するメタスタジオ基盤技術では、フォトリアルな質感表現を実現するハイブリッドレンダリング法や、HD画質の動画像を対象とした映像補償技術を開発した。撮像では、被写体の動きやシーンの明るさに応じて撮像センサーの性能を適応的に変更するシーン適応型撮像や、番組制作時に制作者の意図に応じた映像パラメーターを選択可能とするフォーマット可変映像の研究に取り組んだ。音響では、視点に応じた音を表現する音源情報生成・音場再現技術と、番組音声のカスタマイズを目指したオブジェクトベース音響技術の研究開発を進めた。伝送では、これまでに開発してきた機材を用いて、商用通信回線による8Kフルリモート制作実験を実施した。また、ミリ波大容量伝送に向け、シングルキャリア伝送方式のMIMO多重化を進めた。

→詳しくはp.10



「メタスタジオ」による演出効果

イマーシブメディア-放送高度化

地上波による4K放送や多彩なサービスの実現に向け、地上放送高度化方式の機能追加や大規模野外実験による特性評価を実施した。12GHz帯衛星放送における伝送性能の向上を目指し、送信歪補償の研究を進めた。次世代衛星放送として、同一周波数帯域で異なる2波の変調信号に電力差を付けて多重するLDM (Layered Division Multiplexing) 方式の検討を進めた。映像符号化では、最新の映像符号化方式VVC (Versatile Video Coding) を用いた8K/4K/2K映像の所要ビットレートを実験により確認した。VVC第1版に準拠したリアルタイムデコーダーを試作し、マルチレイヤー符号化規格の実証実験を行った。

→詳しくはp.18



VVCリアルタイムデコーダー

ユニバーサルサービス-メディアアクセシビリティ

手話CGによる情報提供の研究では、日本語文を元に手話CGを生成するための翻訳技術と、手話特有の表現を実現するCG制作技術の研究を進めた。視覚・聴覚情報と連動した触覚情報を提供する新たな体感型メディアの研究では、パブリックビューイング用触覚提示システムを開発した。そのほか、音声合成技術の高度化、スポーツ中継番組の自動解説音声におけるリアルタイム補完情報提示、人と一緒にテレビを視聴するコミュニケーションロボット「テレビ視聴ロボット」の研究に取り組んだ。

→詳しくはp.25

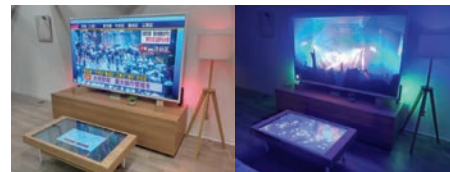


フォトリアルな手話CGによる情報提供

ユニバーサルサービス-コンテンツ配信・サービス提供技術

インターネットの活用によりスマート化が進む社会において、視聴環境によらずすべての視聴者に情報を伝えるための基盤技術の研究に取り組んでいる。メディア基盤アーキテクチャとして、放送とネット動画をシームレスに遷移できる受信機機能や、学習教育向けのコンテンツ連携技術、プライバシーを維持したパーソナルデータの活用技術などの研究を進めた。また、QoE推定に基づいて快適視聴を実現するIP配信基盤技術の配信制御手法や、暗号・情報セキュリティー分野でのマルチパーティー計算に基づくプライバシー保護機械学習システムを開発した。

→詳しくはp.30



IoTベースメディアフレームワークの動作デモ

フロンティアサイエンス- 計算機科学・コグニティブサイエンス・社会科学

計算機科学では、ニュース用の日英機械翻訳システム、自然言語処理を用いたテキストビッグデータ活用技術によるコンテンツ制作支援、画像解析による映像へのメタデータ自動付与技術、マスクを着用した顔画像認識の認識性能向上、番組映像を自動要約する技術と番組の代表画像を自動選定する技術などに取り組んだ。自動字起こし技術において、音声認識のメモリー削減と認識精度を両立させた。

コグニティブサイエンスでは、3DやAR/VRのコンテンツにおいて視聴効用を高める空間表現となる条件や、多感覚提示によるクロスモーダル効果を明らかにする認知科学の研究を進めた。

データサイエンスに基づくメディア分析や、AI技術などを活用する際のELSI(Ethical, Legal and Social Issues: 技術の社会実装の際の倫理的・法的・社会的課題)に社会科学的視点で取り組む研究を開始した。

→詳しくはp.36



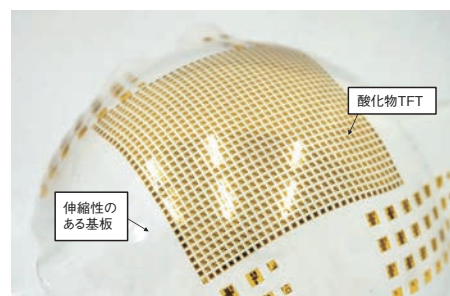
顔認識性能向上のための
学習データ自動生成

フロンティアサイエンス-マテリアルサイエンス

将来の放送メディアを支える表示、撮像、記録の各デバイスの要素技術の研究に取り組んでいる。表示デバイスでは、自由に形状を変形可能なディフォーダブルディスプレイの実現に向けて、伸縮基板上にTFT(Thin Film Transistor)を形成する技術の研究開発を進めた。2020年度に試作した30インチ4Kフレキシブル有機ELディスプレイを応用した、湾曲型ディスプレイを試作した。有機EL素子の材料開発では、電子注入機構を解明するとともに、長寿命化のための新規電子注入材料を開発した。さらに、自然な3次元映像を表示することができる空間光変調器の研究を進めた。

撮像デバイスでは、増倍膜をCMOS回路上に接合した固体撮像デバイスを試作した。また、RGB積層型撮像デバイスのSNR改善に向けて信号増幅型画素回路のアレー化に取り組んだ。物体の高精度な3次元情報取得を目指したコンピュータショナルフォトグラフィーの研究では、動画撮影に向けた複数干渉縞の一括取得技術と、デュアル光学系を用いた符号化撮像の原理検証を進めた。記録デバイスでは、4本の磁性細線に対して駆動電流を個別に印加できる並列駆動構造のデバイスを試作し、磁性細線メモリーの基本動作を実証した。

→詳しくはp.42



伸縮基板上の酸化物TFTアレー

1 イマーシブメディア・コンテンツ提示

1.1 AR(拡張現実)/VR(バーチャルリアリティ)

AR(拡張現実)やVR(バーチャルリアリティ)技術を活用して、視聴者に新たなユーザー体験を提供するサービスイメージや提示デバイスの検討を行った。2021年度は、空間共有視聴システムを活用したインタラクティブサービスを検討したほか、提示方法として3Dモデル/360度映像ハイブリッド提示方法や周辺環境適応型提示方法を検討した。また評価用の広視野ヘッドマウントディスプレイ(Head-Mounted Display: HMD)やライトフィールドHMDの表示デバイスの検討を行ったほか、理想的なHMDの要求条件を明らかにするため、眼球運動を伴う条件で視野の広さを測定した。さらに伝送技術として、3次元空間情報オブジェクトベース伝送の効率改善やオブジェクトフィルターの効果を検証するとともに、3次元空間情報伝送の検証のためにARコンテンツを試作した。

■空間共有視聴システム

2020年度に試作した空間共有視聴システムの利用シーンを多角的に検討するため、制作局と連携して8K番組「見たことのない文化財」に関連したAR/VRコンテンツを開発した。離れたところにいる友人や家族とインタラクティブにコミュニケーションしながら一緒にコンテンツを体験することで学びを深められるサービスとして提案した⁽¹⁾。ユーザーは、VRコンテンツの土偶をバーチャル懐中電灯で照らし、その操作情報をネットワーク経由で遠隔地と共有する(図1-1)。互いにどこを照らしているのかを確認しながら、同じ目的に向けて共同作業を行うことで、体感を深め、アクティブラーニングに結びつくユースケースを実現した。このシステムは、技研公開やInter BEE等で展示した。

■3Dモデル/360度映像ハイブリッド提示システム

AR/VRサービスイメージとして、空間自由度の高い静的3Dモデルと、時間的変化のある動的360度映像をHMDやタブレット上でシームレスに切り替えて視聴体験できるVRシステムを大阪拠点放送局と連携して開発した⁽²⁾。多数の静止画像から3Dモデルを生成するフォトグラメトリ技術で取得した静止3Dモデル内をウォークスルーしながら、特定の位置に移動すると

音声を含む360度映像に切り替わり、写実性の高い映像の提示を実現した。

大阪拠点放送局や岡山放送局と連携して朝ドラ「カムカムエヴリバディ」の撮影スタジオの3Dモデルと360度映像を撮影し、システムに実装して岡山放送局で展示した。任意の時空間を切り取って自在に行き来する能動的な体感の提供や、解説や補足を加えたストーリーテリングが可能であり、コンテンツの深い理解につなげられることが確認できた(図1-2)。

■周辺環境適応型提示方法

AR/VRの高い表現自由度を生かしたアプリケーションやサービスを、どのようにユーザーの周辺に提示するかという情報空間デザインを検討している。提示方法の1つとして、ARグラスのカメラで実空間を撮影した映像を解析し、放送番組を代表とする2D映像を、ユーザーの周辺状況に適応して空間中に提示する方法を提案した⁽³⁾。カメラ映像から顕著性マップを推定し、ユーザーの作業の妨げにならない位置に2D映像を提示することで(図1-3)、作業をしながら2D映像を視聴することができるシステムを試作した。

■広視野HMD

将来のHMDに必要な解像度や視野角などを明らかにするための評価用実験装置として、高精細で広視野なHMDの光学系を



図1-2 3Dモデル/360度映像ハイブリッド提示システム

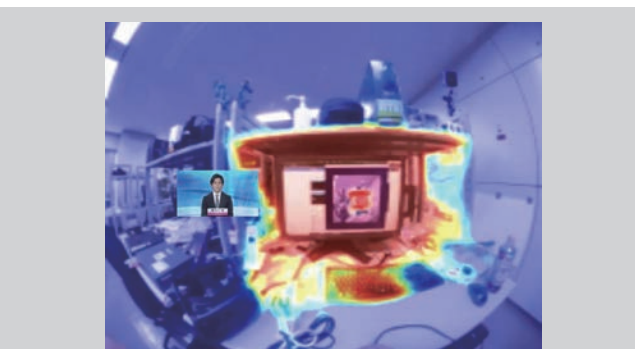


図1-3 周辺状況適応型提示手法



図1-1 共同作業を伴う空間共有視聴スタイル

検討している。左右の中心視野と周辺視野をそれぞれ提示する表示パネル4面とフレネルレンズを用いた光学系を設計して定盤上に試作し、水平視野角180度の広視野表示を確認した(図1-4)⁽⁴⁾。また、本光学系を軽量化して、頭部方向を検出するセンサーと共にヘルメットに搭載し、頭部搭載型の広視野HMDに実装した。

再生系としては16K解像度の高精細な360度映像から頭部方向の映像を切り出してHMDに表示する、高精細360度映像再生装置を開発した。高精細映像の膨大なデータ量をリアルタイムにレンダリングするために、16K信号を4分割して再生する映像再生部とレンダリング部に分けて処理することにより、高品質で高精細な360度映像をフレーム周波数29.97Hzで広視野HMDに表示できることを確認した(図1-5)⁽⁵⁾。

映像取得技術としては、複数の高精細カメラで撮影した映像から実時間で高精細なVR映像を生成する、リアルタイムステッチング装置を試作した。複数のカメラ映像から正距円筒図法に変換・合成する際に、バイリニア内挿補間法を用いることで

高画質に生成する。処理の一部をFPGAに実装することで、リアルタイムに4K解像度のカメラ3台から8K解像度の180度映像の生成を実現した(図1-6)。

■ ライトフィールドHMD

レンズアレイを用いて光線を再現するライトフィールド技術を活用して、より自然な3D映像を視聴できるライトフィールドHMDの研究を進めている。2020年度にシミュレーションで設計したライトフィールドHMDを光学定盤上に構築し、原理の検証と実機での課題抽出を行った。

光学系に起因するライトフィールドHMDのサイズが大きくなってしまいう問題を解決するため、従来手法ではレンズアレイと接眼レンズの間に実像として生成していた中間像を、ディスプレイの外側に虚像として形成する手法を考案した。この手法に最適化したレンズアレイを設計、試作し、本手法がデバイスの性能を維持しながら奥行きサイズを44%削減できることを確認した(図1-7)⁽⁶⁾。

再生系では、動的に変化する3次元物体の要素画像群を、光線追跡法により4K解像度でリアルタイムレンダリングするプログラムを開発し、左目と右目用の2枚の表示パネルにフレーム周波数25Hzで表示できることを確認した。また、頭部運動を検知するセンサーにレンダリングプログラムを対応させることで、3DoF(Degree of Freedom)のレンダリングに対応させ、頭部搭載型の実現の見通しを得た。

■ 理想的なHMDの要求条件

将来の広視野・高精細VR映像に対応した理想的なHMDを目指し、裸眼での視聴と区別がつかないような体験を提供するた



図1-4 広視野HMD光学系

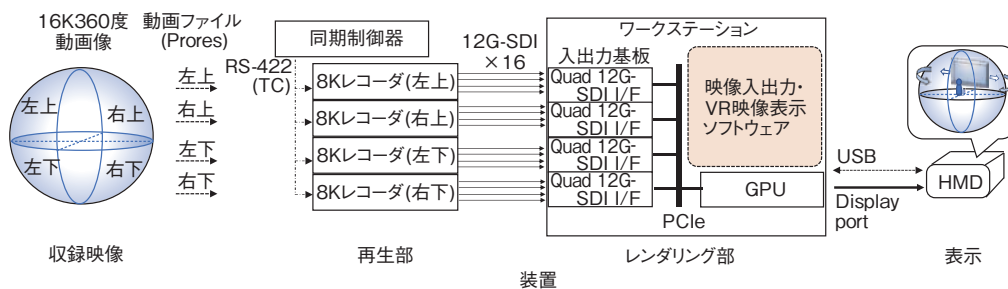


図1-5 高精細360度映像再生装置のシステム構成図

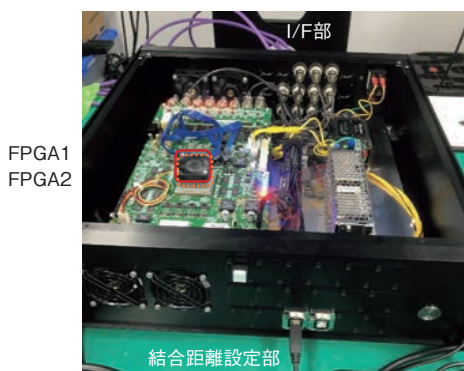


図1-6 リアルタイムステッチング装置

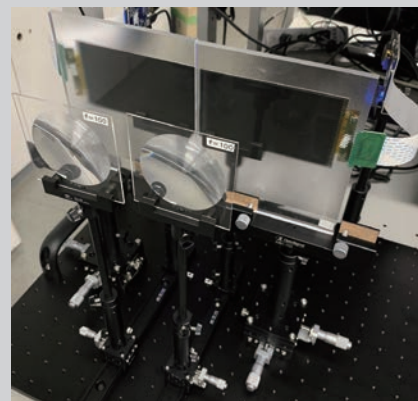


図1-7 光学定盤上に構築したライトフィールドHMD

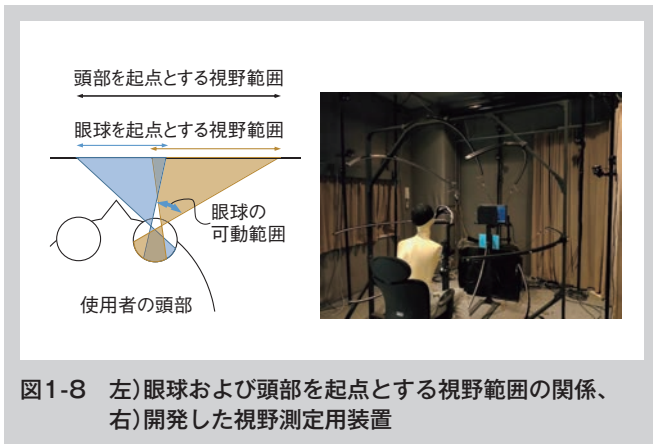


図1-8 左)眼球および頭部を起点とする視野範囲の関係、右)開発した視野測定用装置

めの条件を明らかにする研究を進めている。2021年度は、ディスプレイに求められる視野角の導出に資する基本的な知覚特性として、頭部を起点とした視野の広さを心理実験により測定した。

理想的なHMDには、人間が検知可能な範囲全体に映像を提示する性能が期待される。人間の視野の広さについては古くから研究の蓄積があり、眼球を起点とした視野範囲はよく知られている。しかし、HMDは頭部に固定されており、その中で使用者は自由に眼球を動かすことができるため、頭部を起点とした視野範囲を知る必要がある(図1-8左)。

眼科用の装置や通常のコンピューター用ディスプレイでは不可能な位置にも視覚刺激を提示するため、新たに実験装置を開発した。本装置は、実験参加者の眼球を中心とした半径1,000mmの仮想球面に沿うように湾曲したアルミフレーム8本を設置し、その内面に7mm間隔でLED素子が配列されたテープを貼り付けたものである(図1-8右)。これらのLED素子のうち1か所を光らせ、検出可能な最大の範囲を測定した。

測定の結果、水平方向には鼻側約70度、耳側約130度、垂直方向には上側約70度、下側約80度の範囲に視野が広がっていることがわかった。眼球を起点とした視野と比較すると特に耳側で約30度の拡張が生じていることがわかった。これらの値は単眼で計測されたものなので、両眼に換算すると水平方向に約260度の視野があることが示された⁽⁷⁾。理想的なHMDはこれらの値で示される視野角を備えるべきものと考えられる。今後は他の時空間特性を測定し、理想的なHMDの要求条件策定に向けた検討を進める。

■ 3次元空間情報オブジェクトベース伝送の効率改善

複数の出演者や背景物のオブジェクトから構成される3次元空間情報コンテンツを対象に、各オブジェクトをそれぞれ独立した3次元データとして符号化して伝送するオブジェクトベース伝送技術⁽⁸⁾の開発を進めた。

オブジェクトベース伝送では、コンテンツ全体の3次元空間に対するオブジェクトの配置位置を指示するトランスフォーム(座標変換)情報を3次元データの伝送フレームに付与して伝送する。トランスフォーム情報の構造体は、従来、トランスレーション(平行移動)、ローテーション(回転)のみの固定長データ構造であったが、新たにスケール(拡大率)を加えて使用パラメーターだけを効率的に伝送できる可変長データ構造に改良した。

伝送フレームには民間標準化団体のKhronosが策定するgITF

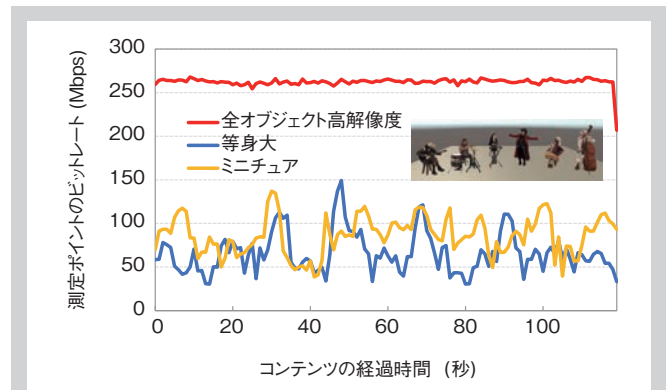


図1-9 オブジェクトフィルター適用効果の例



図1-10 「ストリートダンス」コンテンツのAR視聴

(GL Transmission format) 2.0、3次元ジオメトリ圧縮にはGoogle社が開発するDracoを採用した。10,000頂点程度のオブジェクトではDraco圧縮したジオメトリに対してJPEG圧縮したテクスチャ画像の方が伝送ビットレートに占める割合が大きく支配的であることが問題であった。そこで、伝送効率改善のため、テクスチャ画像の圧縮に映像符号化方式HEVCのイントラ圧縮を使用する独自の拡張を実装し、同程度の画質において伝送ビットレートの削減効果を確認した。

■ オブジェクトフィルターの効果検証

オブジェクトフィルター⁽⁹⁾は、コンテンツサーバーとAR視聴端末の間に配置して、AR視聴端末からコンテンツ座標系における視点位置座標と視点方向の回転情報、画角情報からなるカメラパラメーターのフィードバックを受け、視聴端末のAR表示画面の視野外となるオブジェクトのバケットを破棄する機能を有する。また、複数の解像度パターンを放送局から伝送し、AR視点位置とオブジェクトの距離に応じて最適な解像度パターンのみを中継することで視聴端末への効率的な伝送も可能になる。

このオブジェクトフィルターの適用効果を、実際の視聴環境を模擬して検証した⁽¹⁰⁾。検証では、提示するARコンテンツのスケールに着目して実験を行った。番組「ムジカ・ピッコリーノ」を題材とした自由視点ARコンテンツを19人の体験者に視聴してもらい、オブジェクトフィルターの適用ありと適用なしの条件でオブジェクトフィルター出力の伝送ビットレートを測定した。オブジェクトフィルター適用ありの場合は、コンテンツを等身大スケールとミニチュアスケールの2パターンについて視聴してもらった。その結果、今回の検証では、提示するコンテンツのスケールや体験者に関わらず、オブジェクトフィルター適用ありの場合の伝送ビットレートをフィルター適用なしと比較して3割程度まで下げることができ、オブジェクトフィルターの適用効果が十分であることを確認した(図1-9)。また、提示するコンテンツのスケールによって適用効果が変わることが分かった。

■ ARコンテンツ試作

技術検証やサービスイメージの提示のため、ストリートダンスを題材とした3次元ARコンテンツを試作した。オブジェクト伝送の検証のため、3次元キャプチャスタジオで収録したダンサーに加えて、風船やブロックなどの背景オブジェクトを配置するシーンや、5人(異なる衣装の同一人物)のダンサーを3次元空間に配置するシーン(図1-10左)によって構成した。さらに、ARによるダンサーとシンクロする影をテレビ画面に表示する演出(図1-10右)や、テレビ画面からオブジェクトが飛び出す演出など、映像とARの同期を活かしたインタラクティブの演出にも工夫を凝らした。本コンテンツを用いた展示では、制作者からも、多くの反響や技術への期待が寄せられた。

[参考文献]

- (1) T.Handa, K.Yoshino, H.Kawakita and K.Hisatomi: "Immersive Media for Connecting with Remote Family and Friends," IMFEDK 2021, IN14 (2021)
- (2) 川喜田, 新井田, 久富: "フォトグラメトリによる3Dモデルと360度映像の連続的なトランジション," 映像学冬大, 33B-1 (2021)
- (3) 田中, 川喜田, 半田: "ARグラスにおけるSaliency Mapを利用した「ながら見」用映像配置方法," 映像学研報, HCI-197, 1-5 (2022)

- (4) D.Koide, Y.Maeda, K.Hisatomi and T.Mishina: "Wide-Field-of-View Head-Mounted Display Employing Optical Coupling Method on Retina Using Four Display Panels and Eyepieces," Proc. of IDW'21, Vol.28, PRJ5-2, pp.669-672 (2021)
- (5) 小出, 前田, 久富: "16K解像度360度動画像に対応するHMD再生装置の開発," 映像学冬大2021, 21B-5 (2021)
- (6) Y.Maeda, D.Koide, H.Sasaki and K.Hisatomi: "Depth Reduction in Light-Field Head-Mounted Displays by Generating Intermediate Images as Virtual Images," Proc. of IEEE VR (2021)
- (7) M.Harasawa, Y.Miyashita and K.Komine: "Perimetry on Head-centered Coordinate System for Requirements of Head-mounted Display," Proc. of IDW, VHF5-4L (2021)
- (8) 河村, 前田, 久富, 今村: "3次元コンテンツのオブジェクトベース伝送と複数提示方式による適応的視聴の検証," 信学技報, Vol.121, No.73, SIS2021-6 (2021)
- (9) 河村, 蛭間, 今村: "自由視点ARストリーミングの効率的配信に向けた可視オブジェクトフィルタゲートウェイの実装," 映像学技報, Vol.45, No.35, BCT2021-48 (2021)
- (10) 蛭間, 河村, 今村: "自由視点ARストリーミングの効率的配信に向けた可視オブジェクトフィルタゲートウェイ適用時におけるビットレート削減効果の検証," 映像学冬大, 22B-1 (2021)

1.2 3次元映像技術

これまでのテレビの枠を超えた新しい体験・感動の提供を目指した「イマーシブメディア」の実現に向けて、3次元映像技術の研究開発を進めている。裸眼視聴による自然で見やすい3次元映像を実現するには、空間に光学像を再生する方式(以下、空間像再生方式)が有望である。2021年度は、空間像再生方式による高精細な3次元映像の撮像や表示技術、携帯型端末用3次元映像技術の研究開発を進めた。

■ 高精細3次元映像技術の研究

高精細な3次元映像表示を目指し、多視点映像と特殊な拡散スクリーンを用いたアクティナビジョンの開発を進めた。2021年度は、多視点映像を表示するプロジェクターの台数を増加し、3次元映像の視域(正しく3次元映像を観察できる視座位置の範囲)角を拡大した⁽¹⁾。試作した表示装置では、8Kプロジェクター2台、4Kプロジェクター4台の合計6台のプロジェクターを並列配置するとともに、2020年度に開発した時分割で光線を多重表示する技術を使用した(図1-11)。プロジェクターの配置にあわせた表示光学系を新たに開発することで、2020年度の表示装置と比べて解像度は同等でありながら、水平視域角を2倍以上(30度以上)に拡大した3次元映像の表示を実現した。

アクティナビジョンでは、表示光学系を構成するレンズなどの設計により、3次元映像の解像度や視域角といった表示特性を調整できる。3次元映像のさらなる高精細化を目指して、一部のレンズを新規設計し、視域角を10度以下に限定する代わりに、設計値として解像度がこれまでで最も高いフルハイビジョン解像度の3次元映像表示装置も試作した。この試作装置を用いて解像度特性を評価し、その結果に基づき、拡散スクリーン

の拡散特性最適化など、アクティナビジョンにおける3次元映像の品質向上に向けた課題を抽出した。

またアクティナビジョンでは、多視点映像を拡散スクリーンの全面に重畳投射するために、表示光学系の奥行きが長く、表示装置の規模が大きという問題がある。この問題を解決するために、多視点映像を拡散スクリーンの全面ではなく一部分に重畳投射することで、表示光学系を薄型化した新しい表示方式を開発した。この方式について表示特性を検証した。その結果、拡散スクリーンの位置を変更することで、3次元映像の最大空間周波数を制御することが可能であることを確認した⁽²⁾。

複数台のカラー・デプスカメラを用いた高精度な3次元映像の撮像技術の研究を進めた。5台のカラー・デプスカメラで構成される撮影システムを構築し、各デプスカメラで取得した被



図1-11 複数台のプロジェクターを用いて視域を拡大したハイビジョン解像度相当のアクティナビジョン

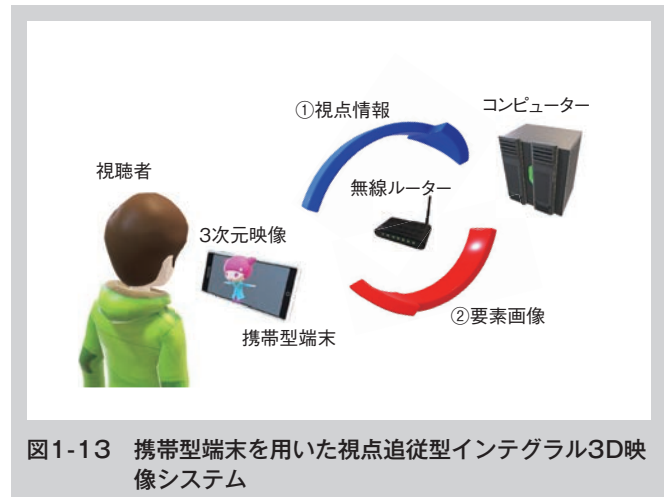


写体の奥行き情報を用いた3次元映像生成処理技術を開発した。これによりフルハイビジョン解像度のアクティナビジョンに必要となる多視点映像の生成を実現した。

■ 携帯型端末用3次元映像技術の研究

インテグラル3D方式は多くの光線を再現するため、広視域かつ高品質な映像表示のためには、光線を効率よく再生するシステム設計が不可欠である。そこで、インテグラル3D方式の携帯型端末用途への適用を想定し、観察者の視点付近に限定して3D映像を表示する、視点追従型インテグラル3Dの研究を進めている。焦点距離の長いレンズアレーを用い、光学視域(レンズアレーを構成するレンズの光学特性で決まる視域)を狭い範囲に絞ることで光線密度を高めて3D映像で表現できる奥行き範囲を広げるとともに、視点位置に応じて複数の光学視域を時分割で形成することで表示装置全体の視域を拡大することが可能である。個々の光学視域では、中央部に比べて周辺部で輝度が低下する特性を有している。そのため、隣接する光学視域間で重複領域を持たせることで、視点位置の移動に伴う輝度の変動を抑えることができる。2021年度は、輝度変動を抑えつつ、効率良く視域を拡大できるように設計した表示装置を試作し、視点追従技術を適用することで表示装置全体として水平81.4°、垂直47.6°の広い視域を実現した(図1-12)⁽³⁾。

視点追従型インテグラル3D映像システムでは、視点位置の移動に伴い、被写体の3次元情報を元に光学視域に対応する情報(以下、要素画像)を演算処理により生成している。ただし現状では携帯型端末の演算処理能力が低いため、携帯型端末で要素画像を高速に生成することが難しい。そこで、携帯型端末と高性能なコンピューター、無線ルーターで構成される表示システムを構築した(図1-13)。この表示システムでは、まず携帯型端



末で視聴者の視点位置の情報を取得し、次に無線ルーターを介して取得された視点位置の情報をコンピューターへ送信する。コンピューターでは、視点位置に対応する要素画像を生成し、無線ルーターを介して携帯型端末へ返信する。この一連の処理を繰り返すことにより、自由に持ち運ぶことができる携帯型端末の利点を維持しながら、視聴者の視点位置に追従した要素画像を生成することを実現した。

インテグラル3D映像システムでは、ディスプレイの赤色、緑色、青色(RGB)のサブピクセル構造を、周期的なレンズアレーを介して観察するために、色モアレが生じる。2020年度までに、ウォブリング光学素子を用いて、要素画像群を画素ずらしすることでサブピクセルを重ね合わせて表示する色モアレ低減手法を開発したが、60Hz駆動の表示素子にあわせてウォブリングを行うとフリッカー妨害が発生するという問題があった。2021年度には要素画像群の表示とウォブリング光学素子の両方を120Hz駆動に対応させることで、実効的なフレームレートを高め、フリッカー妨害の発生を抑制できることを実証した⁽⁴⁾。

[参考文献]

- (1) M.Kano, T.Omura, H.Watanabe, J.Arai and M.Kawakita: "High-Definition Equivalent 3D Imaging and Display System," Proc. of IDW, Vol.28, 3D2-1, pp.431-433 (2021)
- (2) 渡邊, 大村, 河北, 洗井: "多視点映像投射型3次元ディスプレイにおける光学系の薄型化," 映像学冬大, 13C-3 (2021)
- (3) N.Okaichi, H.Sasaki, M.Kano, J.Arai, M.Kawakita and T.Naemura: "Integral three-dimensional display system with wide viewing zone and depth range using time-division display and eye-tracking technology," Optical Engineering, pp.013103-1 - 013103-14, Vol.61, No.1 (2022)
- (4) 佐々木, 岡市, 渡邊, 洗井: "高フレームレートウォブリングによる直視型インテグラル3D表示の色モアレ低減," 映像学冬大, 13C-4 (2021)

1.3 イマーシブメディア基本アーキテクチャの研究

現実の映像と仮想の映像とを区別なく使用した映像空間内を自由に移動し、視聴者が好きな視点からの全方位映像を楽しむことができる、没入型の高臨場感メディアである「イマーシブメディア」の実現に向けて、基本アーキテクチャの研究を行っている。

これまで開発してきたシーン記述プレーヤーの改修およびコンテンツ制作を行い、360度映像と3次元映像を組み合わせたイマーシブコンテンツをさまざまな視聴端末で体験できることを、技研公開2021において示した⁽¹⁾ (図1-14)。展示内容に関連して、国際電気通信連合無線通信部門 (ITU-R) でイマーシブ映像のためのシステムアーキテクチャについての新勧告草案を提案した。

2021年度は、さまざまな端末に、イマーシブコンテンツを统一的に提供するために、レンダリングをサーバーで行い、プレーヤーは2次元映像の処理だけを行う上流レンダリングの仕組みを開発した⁽²⁾ (図1-15)。また、同じ帯域で、効率よく3Dオブジェクトを伝送するために、3Dオブジェクトを方向ごとに分割して、符号量に差をつけた複数のビットストリームを生成する符号化方式を開発するとともに、見る方向が高品質となるようなビットストリームを選択するためのシーン記述での指定方法を開発した⁽³⁾ (図1-16)。

イマーシブメディアにおける3次元映像の画質評価法について一般的な手法は確立されていないが、その端緒としてレンダ

リングしたポイントクラウド3Dオブジェクトと2次元映像との解像感比較実験を行った(図1-17)。現状、最も高品質な環境で作成した人物の全身データ(約250万ポイント)が横方向約1,000ピクセル(アスペクト16:9)の2次元映像と同等の解像感となることを明らかにした⁽⁴⁾。

ポイントクラウド3Dオブジェクトを簡便に生成することを目的に、2次元映像と距離情報を同一光学系で取得することができる撮像装置を試作し、その動作を確認した⁽⁵⁾。

〔参考文献〕

- (1) 若原, 青木, 瀧口: “ポリュメトリック映像と全天周映像を組み合わせて表示するシーン記述プレーヤーの実装,” 映情学技報, Vol.45, No.18, ME2021-64, pp.13-16 (2021)
- (2) 青木, 若原, 瀧口: “シーン記述に対応したレンダリングシステムの一検討,” 情処学全大, 6D-05 (2022)
- (3) 若原, 青木, 瀧口: “ポリュメトリック映像の射影面に応じた品質可変型符号化方法の一検討,” 信学総大, D-11-21 (2022)
- (4) 三浦, 若原, 林田, 瀧口: “レンダリングされた3Dオブジェクトと2D実写映像の解像感比較評価,” 信学総大, D-11-27 (2022)
- (5) 大川, 林田, 瀧口: “TOFセンサと可視光センサで構成した同軸光学系RGB-Dカメラを用いたポイントクラウド生成システムの開発,” 映情学技報, Vol.45, No.29, 3DIT2021-35, pp.21-24 (2021)



図1-14 さまざまな端末での表示(技研公開)

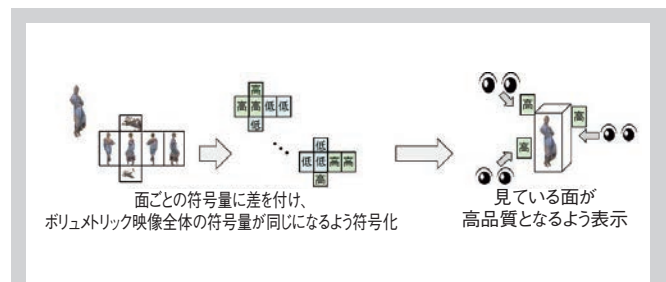


図1-16 3Dオブジェクトの複数ストリーム生成と選択

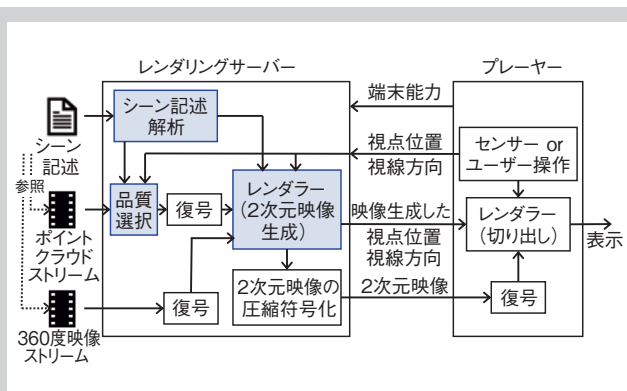


図1-15 上流レンダリングの仕組み



図1-17 解像感比較の例(左:3Dオブジェクトレンダリング、右:2次元映像)

2 イマーシブメディア・コンテンツ制作

2.1 空間センシングによる新しい映像表現手法

AR(拡張現実)やVR(バーチャルリアリティ)など多様な視聴端末向けの映像コンテンツの制作や、自由度が高い映像表現の実現を目的に、撮影映像やセンサー情報を利用し、被写体の3次元情報を効率的に取得する、メタスタジオ基盤技術の研究開発とその応用を進めている。

■メタスタジオ基盤技術

2020年度までに開発した3次元形状およびサーフェスライトフィールドの取得技術を用いて、ポリュメトリックコンテンツの試作実験(図2-1)を行い、映像演出効果の評価、制作ワークフローの課題を抽出した。また、カメラ校正の良否を視覚的にフィードバックできるカメラ校正ツールを開発し、カメラ校正の高精度化および校正作業の効率化を行った。

被写体の反射率に基づく物理ベースのレンダリング結果を、サーフェスライトフィールドで補正することによりフォトリアルな質感表現を実現する、ハイブリッドレンダリング法を開発した。また、被写体に対する質感の演出および撮影・照明の演出を、多次元空間における点から点へのシンプルな写像として表現する手法を開発した。本写像法と前記レンダリング法とにより、被写体の配置・質感変換・スケーリング・変形、カメラの位置変更・姿勢変更・画角変更・焦点位置変更・被写界深度変更、照明の配置・情景の映り込み・トゥーン(アニメ調)化など、代表的な各種演出が可能であることを示した(図2-2)。

既存のポイントクラウド形式からのインポート機能により、当所独自のメタスタジオ形式および他の形式の混在による豊かな表現に対応した。また、既存のポイントクラウド形式へのエクスポート機能を実装し、視点追従型インテグラルディスプレイや、V-PCC(Video-based Point Cloud Coding)圧縮への接続を実証した。

メタスタジオを含むポリュメトリックキャプチャー技術は、写実的な3次元モデルを生成可能であるが、レンダリングした映像には欠損などの誤差が残る。この誤差への対応を目的に、2020年度に開発した低解像度の静止画像を対象とする映像補

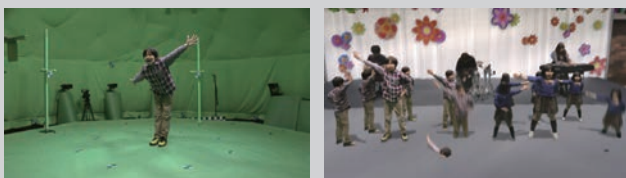


図2-1 コンテンツ試作実験(左:撮影状況、右:演出効果)



図2-2 ハイブリッドレンダリング法による質感変換例

償技術に続いて、2021年度は、HD画質の動画像を対象とした映像補償技術を開発した。時系列での整合性を考慮した一対一の映像変換ネットワークをベースにして、品質向上のために画像上で、より広範囲の特徴量の関連性を計算できるセルフアテンションレイヤーを適用した。その結果、画像劣化尺度やAI生成画像評価基準など複数の客観的評価で既存の映像ネットワークよりも優れた結果を得た⁽¹⁾(図2-3)。

よりフォトリアルで、なおかつ照明条件など多様な環境に整合可能とするには、被写体3次元モデルに反射係数や法線情報などの質感情報が不可欠である。2021年度は、これまでに開発した偏向光と偏光カメラを用いた原理検証用の小規模な質感計測装置⁽²⁾を拡張し、人物サイズに対応した質感計測装置を開発した。

■AIロボットカメラによる自動番組制作

放送カメラマンの撮影手法を学習し、自然なカメラワークの撮影を自動化するAIロボットカメラの研究開発を進めている。

サッカー中継を対象に、これまで画像解析により求めた選手の位置や顔向き、ボール位置などから試合の状況を理解し、自動でカメラを制御するAIロボットカメラを開発してきた。2021年度は、直前の撮影範囲を考慮するようAIのネットワークを改良することで時間方向のばらつきを改善し、より放送カメラマンのカメラ操作に近い動作を可能にした⁽³⁾。また、放送カメラマンのカメラ操作データを効率的に収集する仮想撮影システムを開発した。収集した操作データの学習により、カメラワークの精度が向上した。さらに、中継現場における実験において、放送カメラマンのようなメリハリのあるカメラワークで自動撮影が可能であることを確認した。

ゴルフ中継を対象に、2020年度までに試作したAIロボットカメラをショートホールの各所に複数台配置し、センサーカメラの映像から画像認識によりティーイングエリアの状況を理解することで、中継番組のように適切なタイミングで各AIロボットカメラの撮影映像を切り替えることができる、自動スイッチング装置を試作した。さらにAIロボットカメラに付加した望遠センサーカメラにより取得した映像上のボール位置を画像認識により求め、追尾制御にフィードバックさせることでAIロボットカメラによるボールフォロー精度の向上を図った⁽⁴⁾。

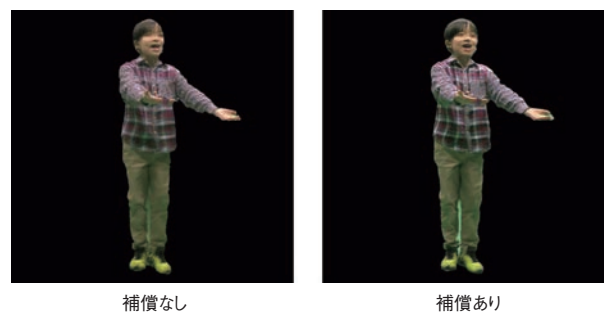


図2-3 セルフアテンションレイヤーを適用した映像補償

〔参考文献〕

- (1) 盛岡, 三須, 三ツ峰: “動画補償手法の品質向上およびその評価,” 映情学冬大, 31B-1 (2021)
- (2) 三ツ峰, 三須, 盛岡, 杉之下: “ボリュメトリックキャプチャのための偏光と照度差ステレオ法を用いた質感計測手法に関する一検討,”

映情学冬大, 32B-1 (2021)

- (3) 高橋, 三須, 三ツ峰: “AIロボットカメラによるサッカー中継の自動撮影,” 映情学冬大, 31B-2 (2021)
- (4) 加藤, 三ツ峰, 洗井, 三須: “ゴルフ中継用自動撮影ロボットカメラの検討,” 映情学冬大, 31B-5 (2021)

2.2 映像技術

将来の新しい放送メディアの実現を目指した映像技術として、シーン適応型撮像技術の研究と、制作者の意図に応じて映像パラメーターを選択可能とするフォーマット可変映像の研究を進めた。また、スーパーハイビジョン (SHV) のPV活用に向けたフルスペックSHVトータルシステムの検証を進めた。

■ シーン適応型撮像技術の研究

イマーシブメディアにおける高度なコンテンツ制作の実現に向けて、2021年度よりシーン適応型撮像技術の研究を開始した。よりリアルで没入感の高いコンテンツを体感できるイマーシブメディアでは、3次元や全視野の映像提示が想定されており、映像コンテンツの制作にはこれらをより高品質に映像化する撮像システムが求められる。従来技術の延長で撮像システムを構築することを想定した場合、高速かつ多画素で動作するイメージセンサーの開発が必要であるが、実現は容易ではない。これに対し、シーン適応型撮像技術では、カメラが撮影シーンの状態を認識し、被写体の動きやシーンの明るさに応じて解像度やフレームレートなどの撮像パラメーターを変更する。これにより、撮影シーンに適した撮像性能を割り当てることができ、主観的な画質向上が期待できる。2021年度は、シーン適応撮像を実現するための要素技術として、サブセンサーを用いたシーン情報の取得方法や、シーンの情報に応じて撮像方式を切り替えることができる撮像技術の検討を進めた。

シーン適応型撮像においても重要となる、イメージセンサーの信号読み出し雑音の低減技術の研究を進めた。高解像度のイメージセンサーでは、多数の列並列読み出し回路を用いる必要があるため、シェーディングやストリーキングと呼ばれる横線

状のノイズが顕著になる。これらを抑制しながら信号を読み出すために、画素ソースフォロアアンプのバイアス電圧生成手法に着目し、雑音を含むバイアス電圧を一時的にサンプル&ホールドすることで雑音成分をキャンセルする回路構成を開発した⁽¹⁾。8Kイメージセンサーに適用した場合の理論解析による検証により、20%程度の雑音低減効果があることを示した (図2-4)。この研究は、静岡大学と共同で実施した。

3板式8Kカメラに適したオートフォーカス (AF: Auto Focus) 技術の高度化を進めた。本技術はシーン適応型撮像において、シーンの奥行情報の取得などに活用できると考えられる。2020年度には青チャンネルに用いた像面位相差検出 (PD: Phase Detection) イメージセンサーによりAF機能を有するカメラを開発したが、AF可能な被写体が青成分を持つものに限られ、また高精細な被写体の撮影時に位相差検出誤差が生じるといった問題があった。そこでこれらの問題を解決するため、3板式カメラに適した新しいPDAF手法を3板式8Kハイスピードカメラに実装し、位相差検出性能を評価した⁽²⁾。

本手法では、2枚のPDイメージセンサーと1枚の従来のイメージセンサーを使用する。これによりプリズム分光された複数の色成分間の同位置画素から位相差を形成することができる (図2-5)。3つの色成分間の位相差情報から最適値を導出することでフォーカス精度を高めた。実際に本カメラを東京2020パラリンピックにおける8K制作実験で使用し、実用的に動作することを確認した。

8Kハイスピードカメラ用に開発した8K・240フレーム/秒のイメージセンサーは、時間的・空間的に高い解像度を持つ映像を取得することができ、ローリングシャッターひずみも軽減されることから、スポーツにとどまらず、多様なコンテンツ制作のためのカメラに用いることが期待されていた。しかし、端子数の多さや消費電力の大きさが課題であったため、これらを低減するべく、イメージセンサーの改善を行った⁽³⁾。

駆動信号生成回路のオンチップ化、出力データフォーマットの効率化、出力に用いる差動信号の高速化により、端子数の35%削減と、それに伴うパッケージサイズの小型化に成功した。ま

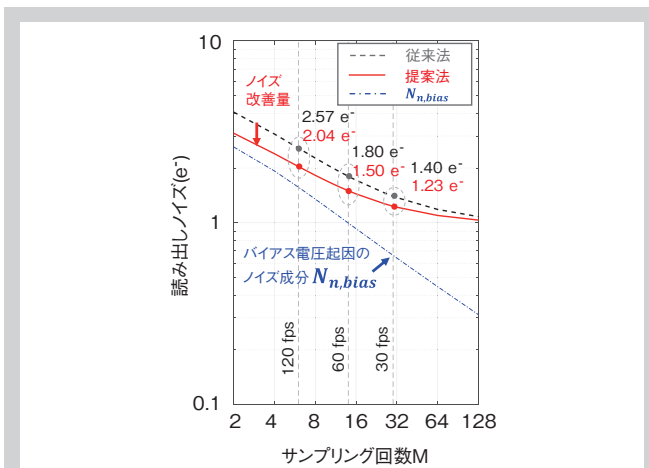


図2-4 バイアス電圧サンプル&ホールド機能による雑音成分低減効果

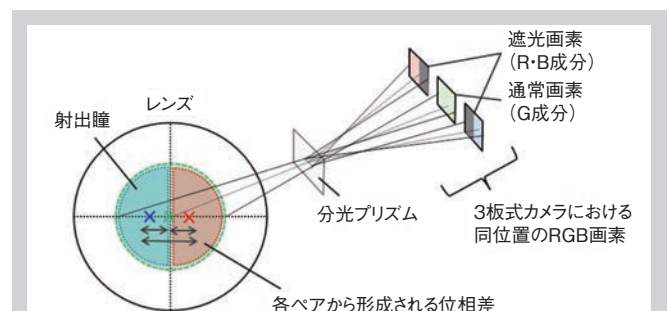


図2-5 多板式像面位相差検出オートフォーカス技術

たイメージセンサーの電力消費のうち最も大きな割合を占めるA/D変換回路について、3段パイプライン構造の処理ビットの配分を変えて動作速度と精度を緩和することで消費電力を従来の約2/3に低減した。

ショットノイズなどポアソン分布を持つノイズのウェーブレット縮退による低減手法について、リアルタイム信号処理を実現するため、演算量を低減しながら品質を確保する手法を開発し、ハードウェア化した。本手法に関する研究は、米国・デイトン大学と共同で実施した。

■フォーマット可変映像の研究

2020年度より、番組制作において制作者の意図に応じて映像パラメーターを選択可能とするフォーマット可変映像の研究を進めている。

2021年度は、放送技術者を対象とした意向調査を行い、制作意図によっては映像フォーマットを可変にしたい意向があることが分かった。また、映像パラメーターの1つであるアスペクト比に着目し、演出意図によってアスペクト比を変えることが好まれるかを調査するために、映像制作者を対象とした撮影実験を行った(図2-6)。人物と背景のどちらを主体的に伝えるかといった演出意図によって、制作者に好まれるアスペクト比が異なる場合があることを示した⁽⁴⁾。

異なるアスペクト比の映像信号を同一のインターフェースで伝送できる、アスペクト比可変映像システムの開発を進めた。2021年度は、映像内の有効領域を指定可能なSMPTE規格ST 2016を複数のコンテナで伝送できるように拡張し、既存の映像フォーマットにメタデータを付与し、さまざまなアスペクト比の映像を伝送可能とするコンテナ方式を考案して⁽⁵⁾、SDIとIPインターフェースに実装した。

4K-HDRのコンテンツを2K-SDRに変換するとき顔肌レベルが潰れることがあるため、制作現場と連携して、SDR/標準色域内に収まるように肌色補正処理を行った後に、ダイナミックレンジ変換を行う手法を開発した⁽⁶⁾。BT.2020-BT.709色域変換とHDR-SDRダイナミックレンジ変換を合わせて行う3D-LUT(Look Up Table)を作成し、生中継を含む番組制作で使用された。

映像システムにおいてアスペクト比などの映像パラメーターを変化させた場合でも映像の空間解像度特性が保持されているかを評価するため、MTF(Modulation Transfer Function)測定法の開発を進めている。2021年度はディスプレイに表示したライン応答から表示装置の動的MTFを測定する方法を考案し、高精度に測定できることをシミュレーションにより確認すると

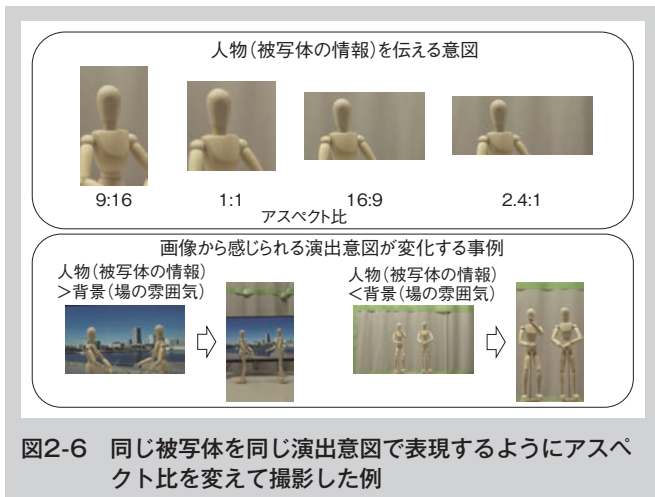


図2-6 同じ被写体を同じ演出意図で表現するようにアスペクト比を変えて撮影した例

ともに⁽⁷⁾、動的MTF測定装置を開発した。また、3次元映像を含む、さまざまな表示デバイスを測定することでMTF測定法の有効性を確認した。この研究の一部は、IEC(International Electrotechnical Commission)で標準化に参加する専門家との研究相互協力により実施した。さらに、MTF測定を多方向に拡張するとき生じる臨界角付近での測定誤差を解消するための手法として、オーバーサンプリング比を傾き角に応じて最適化するOMNI-sine法を提案し⁽⁸⁾、シミュレーションによりその有効性を示した⁽⁹⁾(図2-7)。

サブ画素配列や画素開口率の異なるディスプレイについて、映像刺激による主観評価実験と映像刺激のMTF解析を行い、画素構造が視認できないとされる30cpd(cycles per degree)の解像度においてもディスプレイのサブ画素配列や画素開口率が知覚的解像度に影響し、MTFが客観指標となりえることを示した⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾。この研究は、千葉大学との共同研究により実施した。

IECやSMPTEでMTF測定法の標準化を進めるとともに、CIE(Commission Internationale de l'Éclairage)、IEC、SID(Society for Information Display)/ICDM(International Committee for Display Metrology)で色域測定法の標準化を進め、CIE 246:2021、IEC 62977-2-1、IEC 62906-5-1、IDMS v.1.2の策定に寄与した⁽¹²⁾。色域測定法の標準化では、色温度が異なるディスプレイを模擬したシミュレーションにより、色温度6,500K以上での色度面積測定の有効性を示し⁽¹³⁾、従来の赤、青、緑の三原色の色度点で定義される、色度図上の三角形領域では表現できない明度も含めた3次元の色域立体を、2次元で表現できるGamut Ringsの表示ソフトウェアを開発するなど、寄与した(図2-8)。また、Gamut Ringsによる表示機能を実装したディスプレイ色域自動測定装置も開発した。一連の研究内容が認められ、SID Fellowを受賞した。

■PV活用に向けたフルスペックSHVトータルシステムの検証

これまで研究開発を進めてきたフルスペックスーパーハイビジョンのパブリックビューイング(PV)での活用の可能性を実

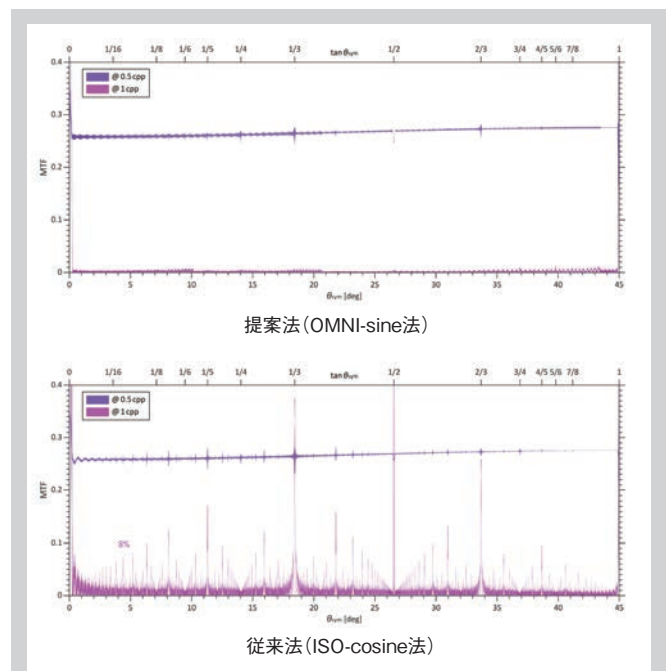


図2-7 提案法(OMNI-sine法)と従来法(ISO-cosine法)によるMTF測定誤差のシミュレーション結果

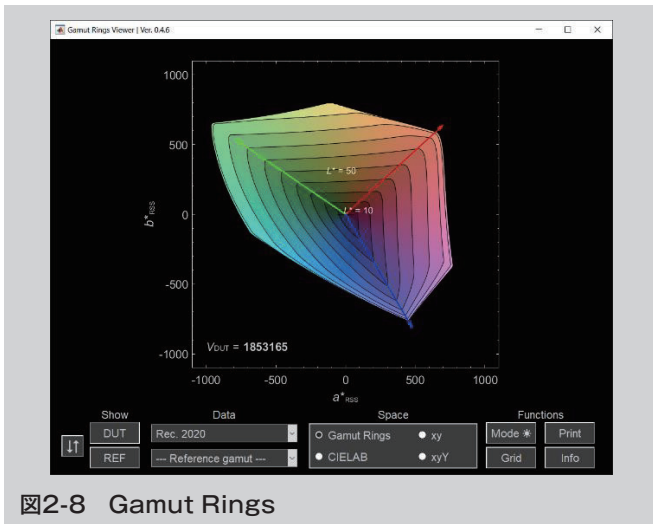


図2-8 Gamut Rings

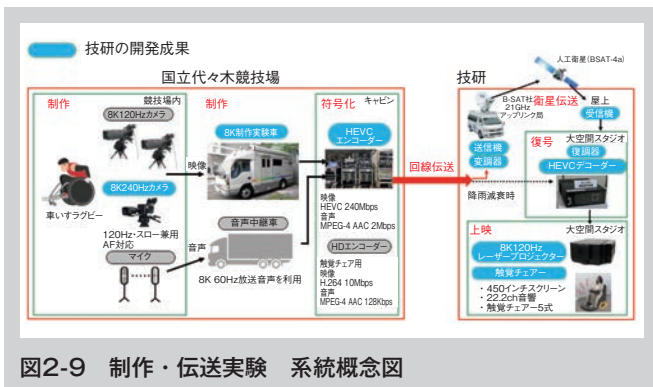


図2-9 制作・伝送実験 系統概念図

証するため、東京2020オリンピック・パラリンピックにおける8K120Hz映像によるPV実施を模索してきた。しかし新型コロナウイルス感染症の影響で一般視聴者向けのPV実施が中止となったため、ライブPVを想定したコンテンツ制作、衛星伝送(配信)、受信および上映(8K120Hz映像、22.2ch音声、イス型触覚デバイス)までの系統を構築し、リアルタイムでの制作・伝送実験を実施することとした(図2-9)。

映像制作⁽¹⁴⁾はカメラ3台とスローモーション用サーバー1台の映像信号を、プロダクションスイッチャーで効果・文字スーパーを合成しながら切り替え、制作実験車と8K放送用に集音・制作された22.2チャンネル音声信号とともにレコーダーで素材として収録する系統とした。カメラ3台中2台はフレーム周波数120Hzに対応した8Kカメラ、1台は当所で試作した8Kハイスピードカメラを使用した。このカメラにはイメージセンサー上の位相差画素情報を用いたオートフォーカス(AF)機能を搭載した。

映像はHEVC(4:2:0)で240Mbpsに、音声はMPEG-4 AACで2Mbpsに符号化されたのち、衛星伝送を行った。伝送⁽¹⁵⁾にはBSAT-4a衛星に搭載された21GHz帯中継機を利用した。衛星伝送の仕様を表2-1に示す。車載局からアップリンクされた中継波を技研屋上に設置されたパラボラアンテナで受信、復号した後、8K120Hzレーザープロジェクターと22.2ch音響再生システムを備えたスタジオにてライブ上映した。

イス型触覚デバイスである触覚チェアを用いて、競技映像と音声情報から“得点”や“車椅子の衝突”といったイベントを検出して生成した触覚データ(振動)を再現した。

8/25～29の期間中、約6時間の衛星伝送を含む実験を通して、開発した機器が安定して動作することを確認した。今回導入したAF機能についても、マニュアルフォーカスの映像と比較

表2-1 衛星伝送 実験仕様

項目	仕様
放送衛星	BSAT-4a
アップリンク/ダウンリンク周波数	18.24375/21.84375 GHz
占有周波数帯域幅	278 MHz
送信/受信 アンテナ径	1.5/1.5 m
シンボルレート	250 Mbaud
ロールオフ率	0.1
変調方式(内符号符号化率)	QPSK(2/3)
誤り訂正符号	内符号: LDPC符号 外符号: BCH符号
伝送容量	327 Mbps

して違和感なく動作することを確認した。

[参考文献]

- (1) 富岡, 安江, 菊地, 中村: “画素ソースフォロア回路のバイアス電圧サンプルアンドホールド機能によるイメージセンサのノイズ低減,” 映像学技報 情報センシング研究会, Vol.45, No.30, IST2021-59, pp.45-48 (2021)
- (2) K.Kikuchi, R.Funatsu, T.Nakamura and T.Yasue: “8K Camera System with Multi-plane Phase-detection Autofocus,” SMPTE 2021 Annual Technical Conference & Exhibition, Technical Session 5-1 (2021)
- (3) 安江, 富岡, 船津, 中村: “8K240fps撮像素子の実装性および消費電力の改善,” 映像学冬大, 23C-5 (2021)
- (4) 野村, 大出, 正岡, 池田: “制作意図に応じてアスペクト比が選択される可能性の調査,” 映像学冬大, 32A-5 (2021)
- (5) Y.Ikeda, T.Nakamura, K.Nomura and K.Nakamura: “Live production system to handle video signals with various aspect ratios,” SMPTE 2021 Annual Technical Conference & Exhibition, Technical session 6-1 (2021)
- (6) 岡田, 野村, 三橋, 日下部: “HDR/SDR一体制作における最適なHDR/SDR変換法の検討,” 映像学冬大, 12B-4 (2021)
- (7) K.Masaoka: “Simulation of Dynamic MTF Measurement Method for Pixelated Displays,” SID 2021 Digest, 721-724, Society for Information Display, 52-4 (2021)
- (8) K.Masaoka: “Edge-based modulation transfer function measurement method using a variable oversampling ratio,” Optics Express, 37628-37638, Vol.29, No.23 (2021)
- (9) K.Masaoka: “Accuracy and precision of edge-based modulation transfer function measurement method using a variable oversampling ratio,” Electronic Imaging, IQSP-332 (2022)
- (10) 中村, 田中, 堀内, 正岡: “サブ画素配列が知覚的解像度に与える影響の実験的検討,” 映像学冬大, 11D-3 (2021)
- (11) 中村, 田中, 堀内, 正岡: “画素開口率の違いが知覚的解像度に与える影響の一考察,” 映像学冬大, 11D-4 (2021)
- (12) K.Masaoka: “New Color Metrology Content in IDMS v1.1,” Information Display, 33-37, Vol.37, No.6 (2021)
- (13) K.Masaoka: “Proper application of chromaticity gamut area metrics for displays,” Optics Express, 29107-29115, Vol.29, No.18 (2021)
- (14) 中村, 大川, 山下, 瀧口: “スポーツイベントにおけるフルスペック8Kライブ制作実験,” 映像学冬大, 12B-7 (2021)
- (15) 秋山, 小泉, 横澤, 小島: “21GHz帯衛星放送に向けたデジタル直交型広帯域変復調器の開発,” 映像学冬大, 11B-4 (2021)

2.3 音響技術

音響分野では、AR/VRなどのコンテンツにおいて聴取者と発音体との距離による違いを表現し、視点に応じて発音体があるかのように音を表現できる音声サービスの実現を目指した音源情報生成・音場再現技術の研究と、聴取者の好みや再生環境に合わせて番組音声をカスタマイズできるサービスの実現を目指したオブジェクトベース音響技術の研究開発ならびに国内外の標準化を進めている。

■音の空間表現のための音源情報生成・音場再現技術の研究

イマーシブメディアの実現に資する、将来の音響技術の研究開発に取り組んでいる。

発話者の向きによる人の声(人声)の聴こえの変化を再現することができるステアリング技術の研究を進めている。2021年度は、波形を音素ごとに分割し、2019年度に構築した人声の3次元放射特性データベースに基づいて、所望の放射方向の特性を音素別に再現する装置を開発し、主観評価実験により提案手法の有効性を確認した。また、人声に距離減衰特性を付与する手法として、測定結果に基づき、口唇の前方数cmを放射点とみなすとともに頭部回折の影響を考慮することを考案し、主観実験により、頭部中心を放射点とみなす従来法よりも距離減衰特性の模擬に優れることを確認した。

聴取者の耳元で観測される音圧を、ヘッドホンを用いて再現するバイノーラル再生法において、聴取者の遠方から近傍まで3次元的に移動する音像を表現するための研究を進めている。2021年度は、2020年度に開発した近接場頭部伝達関数(Head-related Transfer Function: HRTF)測定装置とHATS(Head and Torso Simulator)を用いて、頭部中心より20cmから150cmの距離方向も含む3次元空間のHRTFを測定した⁽¹⁾。また、頭部近傍におけるHRTFの個人性を解析するため、複数の人物の頭部をモデルとするダミーヘッドを製作し、HRTF測定を実施した。更に距離方向を含む3次元空間で測定したHRTFを球面調和展開によりモデリングし、音源が任意の軌跡で移動するときの両耳位置での信号を波数領域で算出する方法を開発した。剛体球を用いた数値シミュレーションを行い、両耳位置での信号が高精度に再現されていることを数値的に確認した。

スピーカーよりも手前に音像が飛び出す音響表現を実現するための音場合成技術の研究を進めている。2021年度は、任意の軌道で連続的に移動する有指向性音源によって形成される音場のモデリング法の研究を進め、その周波数領域表現を数式に

より導出した。開発したモデルを音場合成技術に組み込み、任意の指向性を有する仮想音源がスピーカーよりも手前に飛び出して滑らかに移動する様子を音場シミュレーションで確認するとともに、ラインアレイスピーカーに実装し、試聴でその効果を確認した(図2-10)⁽²⁾。また、遮音壁のモデリング法にも着手し、仮想音源と聴取者の間に仮想的な遮音壁を再現できることを確認した。音場合成技術ではその計算量も問題になることから、音源の移動する軌道を等速直線運動の連続によって近似する計算量削減方法を開発し、計算時間が50から100分の1程度にまで削減できることを確認した。また、主観評価実験により、47Hz以上の周期で音源位置を更新し、その間を直線近似すれば、近似しない場合と遜色のない音像を提示できることを確認した。

また、遠方から近傍までの連続的な音場の再現において、人がどの程度の分解能で音像の距離を知覚できるか、主観評価実験により検証した。実験は、音波の伝搬を物理的に再現する波面合成法・バイノーラル再生法を想定し、音波面のみを手掛かりとするよう実験環境を整えて行った。側方では40cmから200cmの範囲で、音源の距離を20cmの間隔で弁別が可能であるのに対し、正面、背面ではその弁別能力が下がり、特に近距離での弁別が困難となることを確認した⁽³⁾。

■オブジェクトベース音響次世代放送方式

視聴者の好みや再生環境に合わせて番組音声をカスタマイズできる次世代音声サービスの実現を目指して、オブジェクトベース音響による次世代放送方式の研究を進めている。

2021年度は、副音声効果的に利用される次世代音声放送サービスを想定したコンテンツを制作するとともに、制作から家庭までを想定し、これまでに開発したオブジェクトベース音響対応機器の相互接続性を確認する実験(E2E実験)を実施することによって、シリアル形式の音響メタデータ(S-ADM)を用いた番組制作における開発機器の実用性を確認した⁽⁴⁾(図2-11)。

2021年度は、2020年度に開発したオブジェクトベース音響によるライブ制作に対応した音声卓に、動的な音響メタデータを出力する機能を追加した。この音声卓について、IBCやNABなどの国際会議で講演、展示を行った。さらに、基準となるダイアログに合わせて差し替えダイアログの音声レベルを調整するアルゴリズム⁽⁵⁾を実装した差し替えダイアログ用レベルバランス調整装置を開発した。また、オブジェクトベース音響用ラウドネスメータに副音声や複数のスピーカー配置での測定を可能とする機能と、音響メタデータ再送信ソフトウェアに入力した音響メタデータの送信周期や基準時刻などを別の送信周期や基準時刻に変換する機能を追加した。さらに、MPEG-H 3D Audio (3DA) Baseline (BL) プロファイルLevel4準拠の音声符号化装置に最適ビットレート分配機能やセカンドデバイス出力機能を実装した。これらの機器について、E2E実験で相互接続性を検証した。

ダイアログ制御やセカンドデバイス再生で用いられるモノ信号を、MPEG-H 3DA BLプロファイルで符号化した際のビットレートと音質劣化について主観評価実験を行い、12種の音素材中11種が48kbpsで放送品質を満足することを明らかにした⁽⁶⁾。

制作ワークフローの検証のため、動的な音響メタデータを用

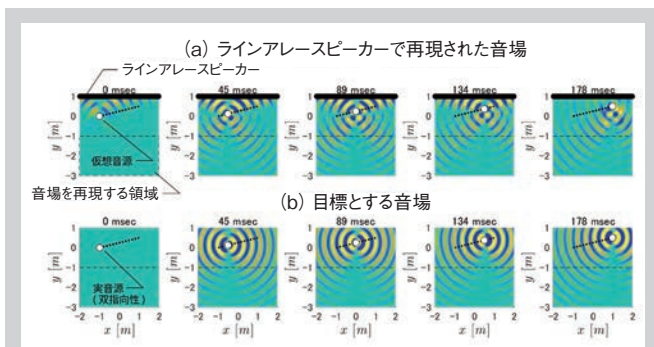


図2-10 有指向性移動音源によって形成される音場の合成



図2-11 E2E実験システム

いて伴奏を差し替える音楽コンテンツを制作し、先進映像協会グッドプラクティスアワード2021を受賞した⁽⁷⁾。この研究は、(株)フジテレビジョンとの研究相互協力により実施した。

AR技術を活用した番組への没入体験展示の楽音再生に、開発したADMレンダラーを適用させ、技研公開とInter BEEに展示した。展示コンテンツがデジタルコンテンツ協会Innovative Technologies 2021を受賞した。

低域効果 (Low-frequency effect: LFE) 用スピーカーに用いられる周波数帯域において、低域通過フィルターによって生じる群遅延が聴感に与える影響を調査し、低域通過フィルターを多段に用いることで、聴感上無視できない音質の劣化が生じることを示した⁽⁸⁾。その結果に基づき、群遅延が小さいLFE用スピーカーを技研に整備した。室内音響特性を考慮した音響調整法について、定常雑音を用いる従来法に対して、室内インパルス応答に窓かけた応答を用いた方が聴感に近い音響調整となる可能性を示した。

22.2ch音響再生品質向上のため、22.2ch音響を車室内の運転席で聴取する場合の音響調整法を検討し、運転席においてスピーカー配置を22.2ch音響の標準配置に近づけることで音の空間印象が向上することを、主観評価実験によって明らかにした⁽⁹⁾。この研究は、山梨大学、アルプスアルパイン(株)との研究相互協力により実施した。

■標準化

次世代音声サービスの実現を目指し、国内外の標準化を進めている。

ITU-Rにおいて、既存の音声インターフェースによる音響メタデータなどの非PCM音声信号の伝送方式に関する勧告ITU-R BS.2143と、先進的音響システムのテスト音源のレポートITU-R BS.2494の策定に寄与した。オブジェクトベース音響のための音声符号化方式の要求条件や音響メタデータの仕様、放送用プロファイル、ラウドネス測定法、LFEチャンネルの仕様に関する議論に対応し、5.1サラウンドの勧告ITU-R BS.775のエディトリアル修正に寄与した。また、自由視点ARの開発事例をレポートITU-R BT.2440に、オブジェクトベース音響対応音

声卓と動的メタデータによるコンテンツ制作の開発事例をレポートITU-R BS.2159に追記する改訂に寄与した。

MPEGにおいて、BLプロファイルの規定を含むMPEG-H 3DA (ISO/IEC 23008-3) 第3版の発行に寄与した。また、MPEG-I Immersive AudioにAR/VRにおける要素技術である人声の距離減衰特性の付与法を提案した。

ARIBにおいて、放送用64ビット音声ファイルフォーマットの標準規格STD-B78の策定に寄与した。総務省からの要請で設置されたタスクグループと関連する作業班において、オブジェクトベース音響に対応した音声符号化方式の比較検討を推進し、放送品質を満たすビットレートを確認する主観評価実験とレンダリング技術の音質差を確認する主観評価実験に寄与した。また、情報通信審議会地上デジタル放送方式高度化作業班で、これらの比較検討結果の最終報告を行った。

総務省の周波数ひっ迫対策技術試験事務「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（効率的な周波数利用の実現に向けた調査検討）」を受託した一般社団法人放送サービス高度化推進協会(A-PAB)から一部の業務を請け負い、MPEG-H 3DA BLプロファイルLevel4に準拠したエンコーダライブラリーとデコーダソフトウェアを試作し、動作検証および音質評価を実施することにより放送導入の実現性を示した。

〔参考文献〕

- (1) 松井, 伊藤, 木下, 北島: “近接場頭部伝達関数の測定,” 日本音響学会聴覚研究会, H-2021-66, pp.345-350 (2021)
- (2) 佐々木, 松井, 中山: “指向性を有する移動音源によって形成される音場の再現,” 音響学会秋季演説文集, 1-2-6, pp.187-190 (2021)
- (3) 木下, 松井, 伊藤: “点音源からの距離の変化による音の弁別能力の検証,” 音響学会聴覚研究会, H-2021-94, pp.509-513 (2021)
- (4) 久保, 西口, 杉本, 大出: “オブジェクトベース音響に対応した音声卓の開発とMPEG-H 3D Audioエンコーダとの接続検証,” 映情学冬大, 21B-7 (2021)
- (5) 久保, 西口, 大出: “測定時間が異なる複数のラウドネス値を基準とした副音声制作におけるダイアログレベルの自動調整法,” 音響学会秋季講演論文集, 2-2-10, pp.1355-1356 (2021)
- (6) 杉本: “MPEG-H 3DAによるモノ信号の圧縮符号化,” 音響学会秋季講演論文集, 2-2-11, pp.1357-1358 (2021)
- (7) 飯田, 鹿又, 大村, 武田: “オブジェクトベース音響によるインタラクティブ制御可能な音楽コンテンツ制作,” 映情学冬大, 21B-6 (2021)
- (8) 小野, 杉本, 大出, 大久保: “低域効果用スピーカによる群遅延が聴感に与える影響,” 音響学会秋季講演論文集, 2-1P-1, pp.349-350 (2021)
- (9) 柏木, 小澤, 伊勢, 久保: “車室サイズの22.2ch音響再生システムにおけるスピーカ配置が聴感評価に及ぼす影響,” 音響学会春季講演論文集, 1-12-2, pp.1465-1468 (2022)

2.4 伝送技術

イマーシブメディアのコンテンツ制作における伝送技術の研究開発に取り組んでいる。コンテンツ制作の効率化のため、IP (Internet Protocol) 伝送技術を活用した番組制作・素材伝送システムの研究開発を進めている。また、さまざまな情報を無線

伝送する技術の確立を目指して、ミリ波帯を活用した大容量無線伝送技術、適応送信制御MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) 技術の高度化とそれらのIPリモートプロダクションへの応用の研究を進めている。

■ 8Kフルリモート制作実験

番組制作に必要な素材をすべて中継現場から放送局にIP伝送し、放送局で番組制作を行うフルリモート制作の検討を進めた。これまでに、中継現場の2K/4K/8K映像フォーマットの素材を、伝送帯域を効率的に利用しながら高画質かつ低遅延で放送局側と共有する「マルチフォーマット軽圧縮IP伝送装置」を開発し、室内実験で検証してきた。2021年度は、開発した伝送装置と、実運用でIP回線として利用が想定される商用通信回線を用いて、8Kフルリモート制作実験を行った。実験では700kmの回線を用いて8Kフルリモート制作を模擬した環境を構築し、マルチフォーマット伝送（高解像度の画像については画面を空間的に分割して複数の低解像度の画像とした後に圧縮して伝送）が商用通信回線上で疎通でき映像再生されるか、また、遅延量がフルリモート制作の要件を満たすかを検証した。実験の結果、問題なく映像が再生され、提案技術であるLLD（Linear Line Division）による映像分割を用いた場合に遅延量の要件を満たすことができ、開発装置が設備と回線の効率化に有用であることを確認した⁽¹⁾。

本研究の一部は、(株)インターネットイニシアティブとの研究相互協力により実施した。

■ 無線双方向IP伝送を実現するIPマルチボックス

IP回線の整備コストを抑え、効率的なIPリモート制作を可能にするべく、現用の無線伝送装置（FPU：Field Pickup Unit）を対向で使用して双方向IP伝送を可能とするIPマルチボックスの開発を進めた。2021年度は、IPリモート制作において機器間の時刻同期に用いられるPTP（Precision Time Protocol）をIPマルチボックスとFPUで伝送するために、IPマルチボックスを含めた無線区間で発生するPTPパケットの伝送遅延時間変動を補正する技術に関する検討を行った。PTPパケットの伝送遅延時間を測定するために、対向IPマルチボックス間で遅延計測TSパケットを送受信することで、使用するIPマルチボックスに搭載した時刻カウンターを位相同期させる手法の開発、および時刻カウンターの源振クロックを外部入力クロックに同期させる改修を実施した。これにより外部入力クロックによる対向IPマルチボックス間の時刻カウンターの時刻同期、周波数同期が可能となる。室内実験を行い、IPマルチボックスとFPUで伝送したPTPの時刻同期精度が、番組制作で運用可能な精度を満たすことを確認した⁽²⁾。また、IPマルチボックスとミリ波FPUを組み合わせて、2021年広島平和記念式典のIPリモート制作による生中継のバックアップシステムを構築した(図2-12)。本線システムの回線が万が一切断されても、バックアップシステムを用いてIPリモート制作を継続可能なシステムとすることができた。

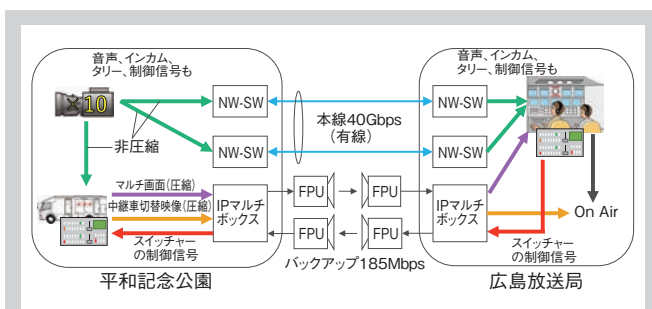


図2-12 広島平和記念式典IP制作システムの伝送システム

■ 複数のNMOSシステム接続方式の研究

IPを使った番組制作システムの標準技術であるNMOS（Networked Media Open Specifications）を用いたシステムでは、システム内の機器の情報をRDS（Registration & Discovery System）と呼ばれるサーバーに登録し、機器を制御するアプリケーションはRDSから機器情報を取得する。NMOSのRDSでは機器ごとのアクセス制御ができなかったり、制作システム内で複数のRDSを運用できなかったりするため、システム構築や運用の柔軟性が低いことが課題であった。そこで、複数のNMOS対応番組制作システムを接続して規模の大きい番組制作システムを構築し、さまざまな番組制作で共有して利用できる技術の開発を進めてきた。

2021年度は、システムを共有する際に番組ごとに利用できる機材を制限するなど柔軟なアクセス制御を実現する「Schedule API」の設計とPoC（Proof of Concept）システムの試作を行った。PoCシステムでは、Schedule APIを用いて番組ごとに使用機材に登録する。機器を制御するコントローラーはQuery API（NMOSで定義される機器情報を取得するためのAPI）ではなくSchedule APIから番組を指定して機器の情報を取得することで、使用登録された機器のみの情報を得ることができる。Schedule APIはRDSからリアルタイムに機器の情報を取得しているため、番組制作機材は従来通りRDSに機器情報を登録すればよく、NMOS対応の機器を利用することができる点が特長となっている。

NMOSに対応した制作機器を備えた既存システムにSchedule API提供サーバーとSchedule API対応コントローラーを追加することで、複数のNMOS対応システムを接続し、複数の番組間で排他的に利用するためのアクセス制御が実現できることを確認した。

本研究の一部は、日本電気(株)との研究相互協力により実施した。

■ 番組制作機能のソフトウェア化 圧縮伸張処理の分散化

番組制作システムのIP化の先には、映像や音声などの信号処理を、汎用サーバーで行う「番組制作機能のソフトウェア化」の実現が期待されている。2020年度は、非圧縮映像信号の処理で必要となる大容量のデータを高速に送受信することを可能にするライブラリーを作成した。2021年度は、ソフトウェア化された番組制作機能間の映像伝送における圧縮伸張処理について検討を進めた。汎用サーバーやクラウドでの利用を想定し、処理遅延量と要求リソースの大きな8K映像処理を、複数の2K映像の処理として分散処理化するソフトウェアを開発した。本ソフトウェアを用いて、8K映像伸張処理を低遅延化させ、要求リソースを低減させることで、汎用サーバーで機能が実現できることを確認した。

■ ミリ波大容量伝送技術の研究

3次元映像やAR/VRなどの新しい放送サービスの実現に向けた大容量伝送技術として、SC-FDE（Single-Carrier Frequency Domain Equalization）方式のMIMO多重化の研究を進めている。SC-FDE方式は周波数領域で波形等化を行うシングルキャリア伝送方式であり、MIMO多重化によって大容量化を実現する。2021年度は、2送信のMIMO SC-FDE方式について、4受信の受信ダイバーシティを計算機シミュレーションにより評価し、時間インターリーブと組み合わせることで、移動環境にお

いて2受信の場合よりも所要C/Nが10dB以上改善する見通しを得た(図2-13)。さらに、受信ダイバーシティに対応した2送信4受信の400Mbps級2×4 MIMO SC-FDE方式の変復調部を試作し、MIMO分離が可能であることを確認した(図2-14)。

さらに、これまでに開発した送信側が1送信のSC-FDE方式によるミリ波8Kワイヤレスカメラの実用化に取り組んだ。番組での運用を想定した野外伝送実験により安定伝送が可能であることを確認し、8K番組での生中継を実現した⁽³⁾(図2-15)。また、2022年度の標準化を目指して、本方式をARIB STD-B43に追加する改定に寄与した。

■ 高度無線制御システム

大容量伝送が必要なイマーシブメディアの無線中継を目指して、TDD (Time Division Duplex) による双方向伝送を導入して動的に伝送パラメータを制御する適応送信制御MIMO方式の高度化の研究を進めた。これまでは、ビームフォーミングによって形成される4つのストリームで伝送する変調ビット数の合計を固定とし、誤り訂正符号の符号化率を制御して伝搬路の品質の変化に追従していた。しかし、伝送レート拡大のために合計変調ビット数を拡大すると、誤りなく受信できる所要C/Nの下限も高くなり、伝送可能なエリアが狭まってしまうという課題があった。2021年度は、この合計変調ビット数を自動的に拡大・縮小制御するアルゴリズム⁽⁴⁾を試作機に実装し、室内実験による評価を行った。その結果、通常は合計変調ビット数を16 bitに下げた低い受信C/Nでも伝送を可能にしつつ、受信C/Nが高い良好な伝搬路品質の時は合計変調ビット数を自動的に20 bitに上げて伝送レートが拡大することを確認した(図2-16)。

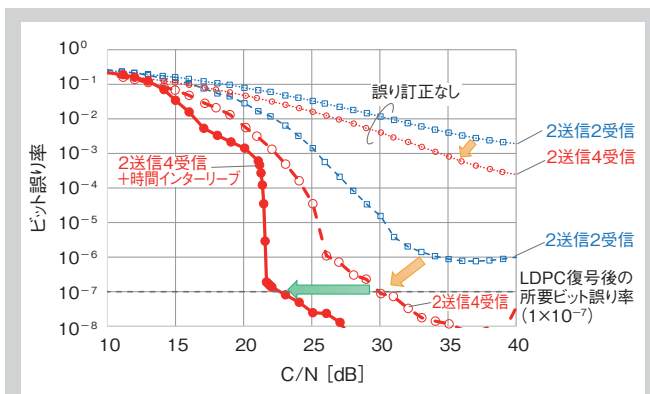


図2-13 MIMO SC-FDE方式のC/N対ビット誤り率特性



図2-14 2×4 MIMO SC-FDE方式変復調装置

また、双方向伝送の利点を生かし、移動する中継車内のカメラなどの機器を、IP信号によって遠隔制御するリモートプロダクションへの応用検討を進めた⁽⁵⁾。リモートプロダクションにおいて重要な遅延時間に注目し、映像を高品質に伝送するために伝送レートを重視した従来のチャンネルに加えて、機器の遠隔制御に適した低遅延重視のチャンネルも多重して伝送する方式を設計した。伝送特性や実装規模等の観点から、TDDフレーム内のOFDMシンボルの伝送パラメータを、各チャンネルに求められる品質に応じて2種類用意して時分割多重する方式を採用し、試作システムへの実装に取り組んだ。

〔参考文献〕

- (1) 白戸, 川本, 倉掛, 中戸川: “8Kフルリモート制作の検証実験,” 映情学技報, Vol.46, No.11, BCT2022-25, pp.17-20 (2022)
- (2) 山口, 伊藤, 中川, 中戸川, 倉掛, 今村: “FPUを用いたPTP無線伝送における時刻同期精度の室内実験結果,” 映情学技報, Vol.46, No.11, BCT2022-28, pp. 29-32 (2022)
- (3) 山岸, 松崎, 島崎, 中川, 居相: “ミリ波8Kワイヤレスカメラの伝送実験と番組運用,” 映情学技報, Vol.46, No.11, BCT2022-24, pp.13-16 (2022)
- (4) 伊藤, 佐藤, 牧野, 中川, 居相: “SVD-MIMO方式における合計変調ビット数の切替アルゴリズムの検討,” 映情学冬大, 11B-3 (2021)
- (5) 佐藤, 牧野, 伊藤, 中川, 居相: “次世代移動中継用FPUによるリモートプロダクションの検討,” 映情学技報, Vol.45, No.27, BCT2021-43, pp.23-28 (2021)

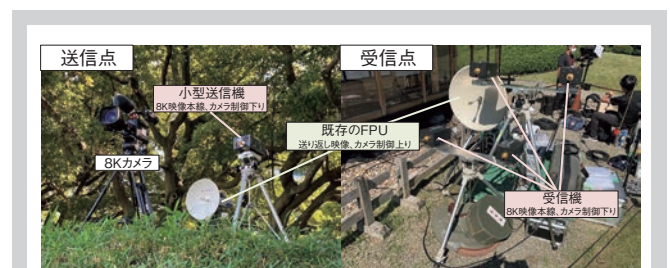


図2-15 8K番組での運用の様子

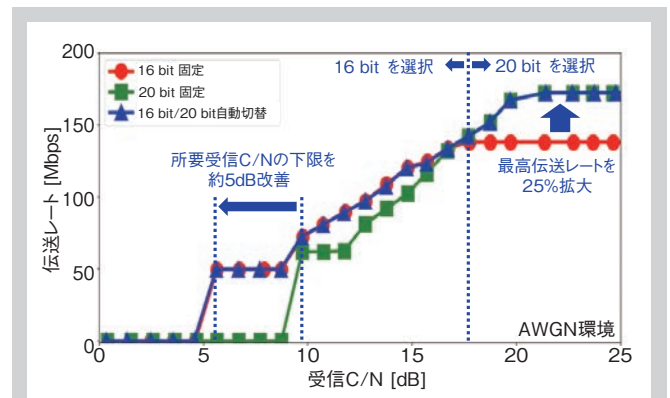


図2-16 合計変調ビット数の適応制御

3 イマーシブメディア-放送高度化

3.1 地上放送伝送技術

地上波による4K放送や多彩なサービスの実現に向け、地上放送高度化方式の機能追加や大規模野外実験による特性評価を行った。また、高度な放送通信融合を可能とする多重化技術、STL/TTL (Studio to Transmitter Link/Transmitter to Transmitter Link) や放送波による中継方式技術を検討した。さらに、現行のFDM (Frequency Division Multiplexing) を用いた方式とは異なるTDM (Time Division Multiplexing) を用いた方式の研究開発、第5世代移動通信システム (5G) の放送利用の調査、ITU-R (International Telecommunication Union - Radio Sector) やDiBEG (Digital Broadcasting Experts Group) などを通じた国際連携を進めた。これらの研究の一部は、総務省の周波数ひっ迫対策技術試験事務「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 (新たな放送サービスの実現に向けた調査検討)」を受託した一般社団法人放送サービス高度化推進協会 (A-PAB) から業務を請け負い、実施した。

■ 地上放送高度化方式への機能追加

複数の物理チャンネルを同時に用いて伝送容量を拡大させるチャンネルボンディング (CB: Channel Bonding) 伝送機能を検証するため、試作装置を用いて野外実験を実施した。HEVC (High Efficiency Video Coding) で40Mbpsに圧縮した8K映像のIPストリームを2分割し、NHK技研実験試験局の2つのチャンネルで伝送した。4.5km離れた地点で2つのチャンネルを受信し、信号合成後に8K映像が復号できることを確認した⁽¹⁾。また、緊急情報等の伝送を想定した低遅延高耐性伝送機能を検証するため、室内および野外実験を実施した。室内実験で伝送遅延を測定した結果、0.3秒未満であり現行の地上デジタル放送で運用中の緊急地震速報に比べ低遅延であることを確認した。野外での固定受信実験では、受信機の熱雑音電力 (-104.7 dBm/5.83MHz) よりも3dB以上低い超低受信電力でも受信可能であった (図3-1)。移動受信実験では、正受信率90%と比較して移動受信向けサービスを伝送する階層の所要受信電力 (-81.6dBm) に比べ4.2dB低くなることを確認した⁽²⁾。

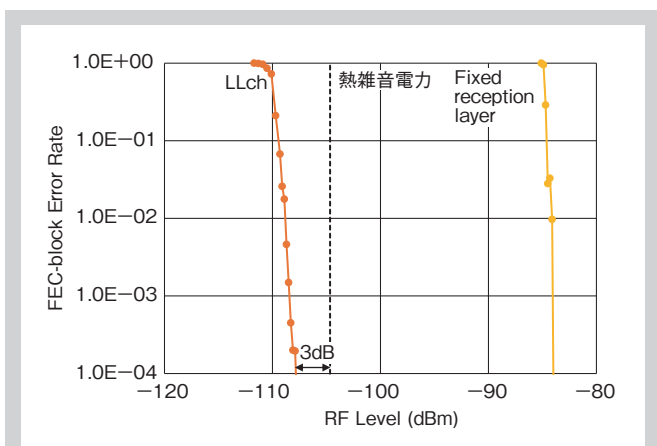


図3-1 低遅延高耐性伝送の固定受信実験結果

■ 大規模野外実験

2019年度、2020年度に引き続き地上放送高度化方式の調査検討と、大規模野外実験による実証を行った。

大阪の実験試験局を用いた野外実験により、固定受信向けとして有力な伝送パラメーターの伝送特性を検証した。現行の地上デジタルテレビジョン放送と同程度の放送エリアの確保を想定し、所要C/N (Carrier to Noise Power Ratio) が約16dB、20dB、22dBとなるキャリア変調方式とLDPC (Low Density Parity Check) 符号化率を、固定受信向けサービスを伝送する階層 (B階層) に設定して評価した (表3-1)。大阪府内の101地点で測定した所要受信電力 (疑似エラーフリーとなる最小受信電力) について、最小値、中央値、最大値を示す (図3-2)。伝送パラメーターによらず、所要C/Nの最小値と中央値の差は1dB程度となった。今回検証した有力なパラメーターにより、現行地上デジタル放送の所要C/Nに近い16~22dBで固定受信のサービスエリアを構築できることを確認した。

福岡の実験試験局を用いて、地上放送高度化方式の回線設計に資する電波の長期観測データを取得した。福岡実験試験局から水平および垂直偏波により信号を送信し、見通し環境の受信点で電界強度と受信信号品質を長期間測定し、変動を評価した。図3-3に実験試験局と受信点の位置関係を示す。図3-4に、郷ノ浦中継局における2021年6月~2022年1月の電界強度の累積確率を示す。電界強度50%値と1%値の差は水平 (H) 偏波で8.5 dB、垂直 (V) 偏波で9.3 dBであった。地上放送高度化方式の回線設計における時間率マージン量を現行の地上デジタルテレビ

表3-1 伝送パラメーター (SP: Scattered Pilot)

No.	所要C/N	偏波	FFT	SP	キャリア変調	符号化率
			サイズ			
p1	20dB	H	16k	6,4	1024 QAM	9/16
p2		H	32k	12,2	1024 QAM	9/16
p3	16dB	H	16k	6,4	64 QAM	12/16
p4	22dB	H	16k	6,4	1024 QAM	10/16

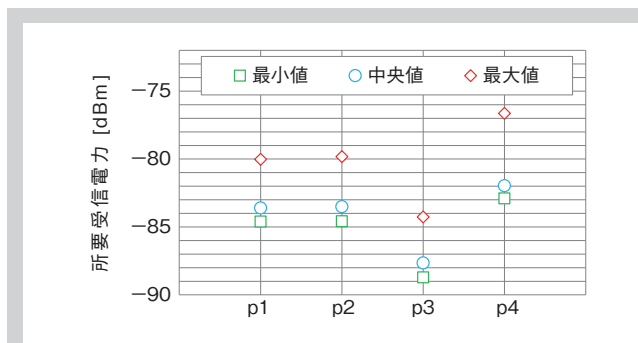


図3-2 所要受信電力

ジョン放送と同程度の9dBとすることで時間率99%を確保できる見通しを得た。

途切れにくい移動受信サービスの伝送について検討した。映像+音声の放送サービスに加え、高耐性な階層により補完用の音声データを同時に伝送することで、受信品質が劣化しても音声だけは途切れにくくさせることができる。音声のみを効率よく伝送するために階層よりも小さい単位（1/3セグメント単位）で伝送容量の指定が可能なサブ階層を導入した。移動受信向けサービスを伝送する階層(A階層)を2つのサブ階層(A0、A1階層)に分割し、各サブ階層ではキャリア変調方式と誤り訂正符号化率を個別に設定できるようにした。サブ階層導入の効果を野外実験により検証した。A1階層では映像+音声の放送サービス、A0階層では高耐性な音声サービスを行う場合を想定し、A0階層にはA1階層よりも所要C/Nが12dB低い伝送パラメータを用いた。補完の効果が顕著に現れたトンネル内を走行した際



図3-3 送受信点の位置関係

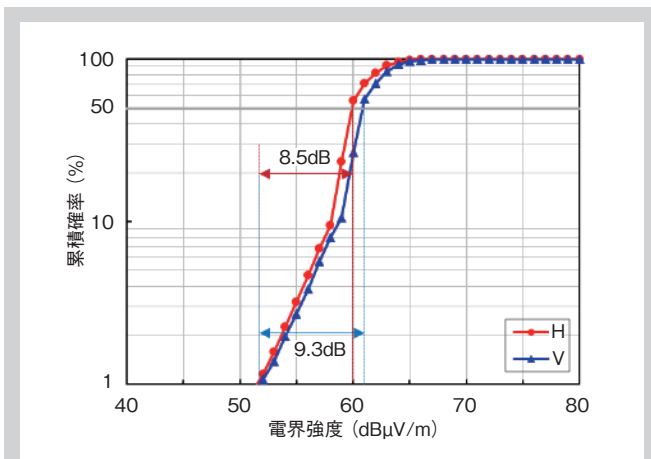


図3-4 電界強度の累積確率

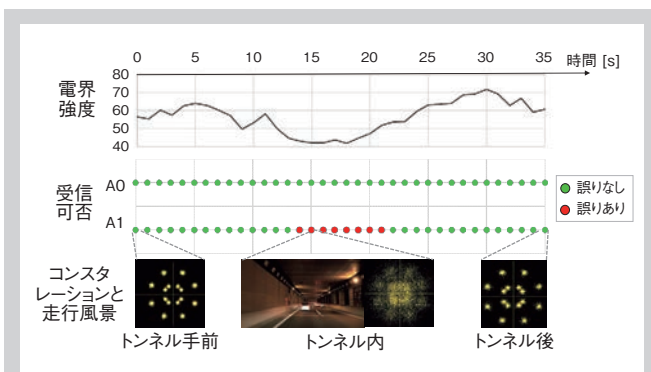


図3-5 トンネル内走行時の受信可否

の電界強度の変動と各サブ階層の受信の可否をまとめた結果を示す(図3-5)。トンネル内では遮蔽により10dB以上電界強度が低くなりA1階層には誤りが生じているが、A0階層は継続して受信可能であることを確認した。

■ 地上放送高度化方式の多重化技術

地上放送の高度化に向け、通信技術との親和性を高める放送通信融合伝送アーキテクチャの研究として、ソフトウェア送出、ホームゲートウェイの試作とこれらを使用したオープンネットワーク上での動作検証を進めた。

高度な放送通信融合サービスを実現するためのソフトウェアベース送出システム(図3-6)の機能モジュールとして、STLP(STL Protocol)⁽³⁾に対応した再多重化モジュールと誤り訂正を付加することが可能なFEC(Forward Error Correction)モジュールを製作・実装した。STLPは、演奏所の送出システムから送信所向けに送出するプログラム伝送信号であり、従来のXMI(eXtensible Modulator Interface)と比較してより伝送容量を削減できる。誤り訂正を付加することが可能なFECモジュールにより、高度化STL/TTLの有線IP(Internet Protocol)回線伝送において伝送品質の向上が図れる。また、緊急情報を送出できる低遅延高耐性伝送用の多重化方式を新たに考案し実装した。この多重化方式は、緊急情報等が多重されるOFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)フレームの低遅延高耐性伝送シンボル・キャリアを一意に特定でき、複数の変調器によるSFN(Single Frequency Network)の構築が可能となる。

また、送信所のパケット監視装置として開発したXMIモニター装置には、送出システムで実装した誤り訂正を復号するDe-FECモジュールおよび本線(STL/TTL)回線のパケットロスを予備(有線IP)回線からのパケットで補完する冗長化モジュールを製作・実装した。なお、技術試験事務で整備しているSTLP非対応の地上高度化対応OFDM変調装置を有効活用するためのSTLP-XMI変換モジュールも本モニター装置に実装している。

これらの装置を用いて、室内検証および技術試験事務での機能検証を実施し、装置の有効性を確認した。

通信によるコンテンツ差し替えやスマートフォンでの放送視聴など放送通信融合サービスを実現するホームゲートウェイの研究として、ネット動画配信方式のマニフェストファイルの生成、マニフェストファイルの放送信号への多重化方法、放送信号またはユーザーが視聴するブラウザからのゲートウェイの制御信号などの技術仕様の検討を進めた。さらに、放送と通信を一元的に処理するための機能を整理し、ゲートウェイを中心と

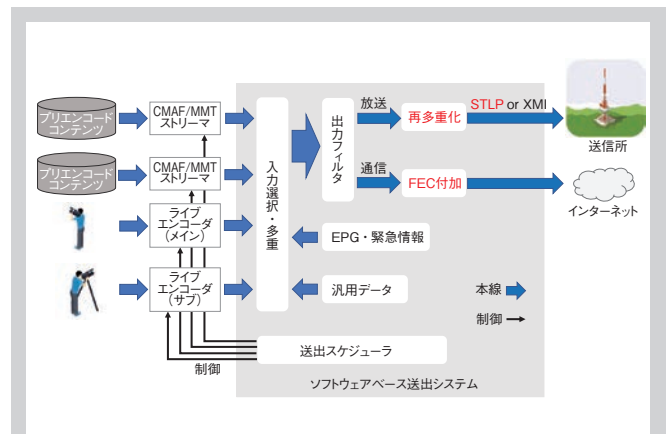


図3-6 ソフトウェアベース送出システム構成図

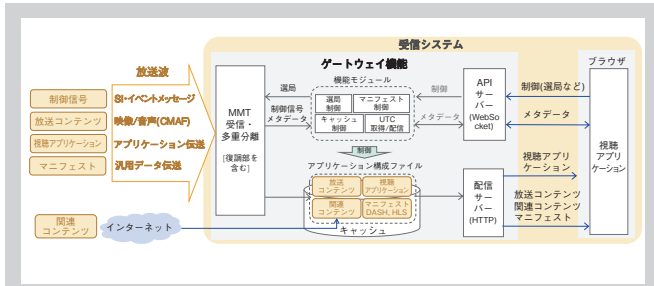


図3-7 放送通信融合サービス対応ゲートウェイの設計

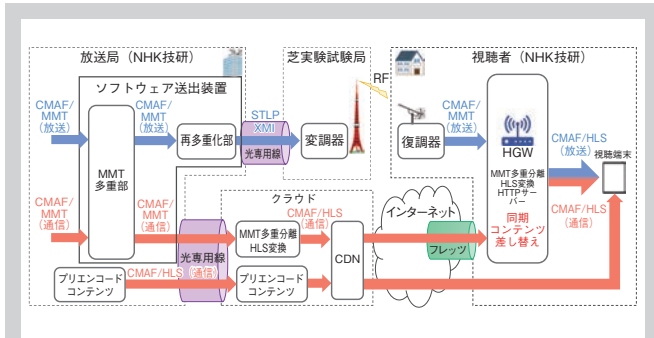


図3-8 放送通信融合技術の検証環境

した受信システムの基本アーキテクチャを設計した(図3-7)⁽⁴⁾。この検討に基づき、技術試験事務でゲートウェイ機能検証装置を試作し、コンテンツの差し替えや同期の基本動作を確認し、実サービスに向けた課題を抽出した。

放送通信融合サービスのオープンネットワーク環境における検証として、通信コンテンツを配信するためのCDN(Content Delivery Network)と連結できるMMT(MPEG Media Transport)多重分離機能をクラウド上に実装した。構築した環境では、送出装置からCMAF(Common Media Application Format)/MMT形式で受信した通信コンテンツをCMAF/HLS(HTTP Live Streaming)形式に変換し、CDNでライブ配信できる。CDN経由の通信コンテンツを、開発したホームゲートウェイで取得し、モバイル端末で視聴できることを確認した。さらに、技術試験事務において、放送波とオープンインターネットを利用した送出から受信までの検証環境(図3-8)を構築し、放送コンテンツと通信コンテンツの同期再生および差し替えを検証した。配信するCMAF/HLSのセグメントファイル長およびマニフェストファイルのキャッシュ有効期限を短く設定することで、配信遅延を低減できることを確認した。

■ 地上放送高度化STL/TTL

地上放送高度化方式に対応したSTL/TTLの伝送方式に関する調査・検討を2020年度に引き続き実施した。2021年度は、伝送方式に関する詳細検討、高度化STL/TTL試験装置・多段中継用TTL試験装置の試作および中京地区でのフィールド試験を実施した。

伝送方式については、2020年度に試作した高度化STL/TTL試験装置の性能評価結果より、遅延時間に課題があることが分かった。遅延時間が増加している要因を精査した結果、回路実装においてバッファ回路が複数存在していたため、バッファ回路の使用を最小限にする、倍速でバッファ処理を行うなどの回路実装の工夫と、システムとして必要なバッファサイズを小さくすることなどにより、遅延時間の基準を満たせる見通しを得た。そのため、バッファサイズに関連するLDPC符

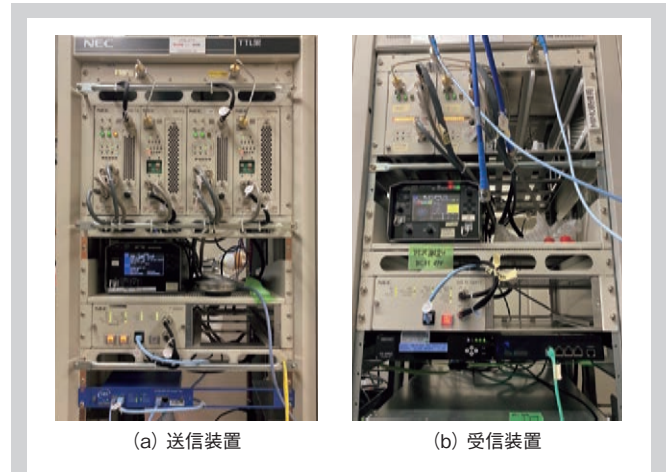


図3-9 高度化STL/TTL試験装置

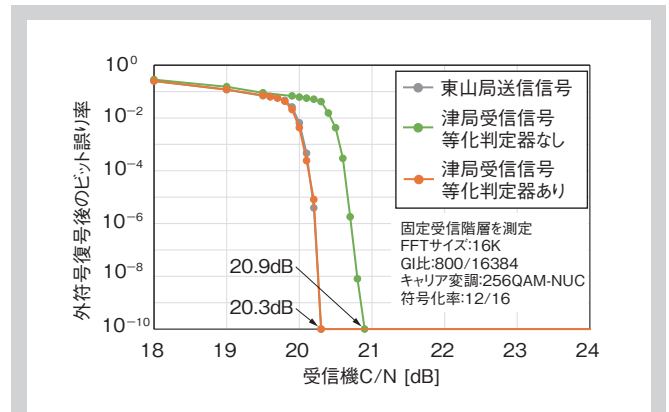


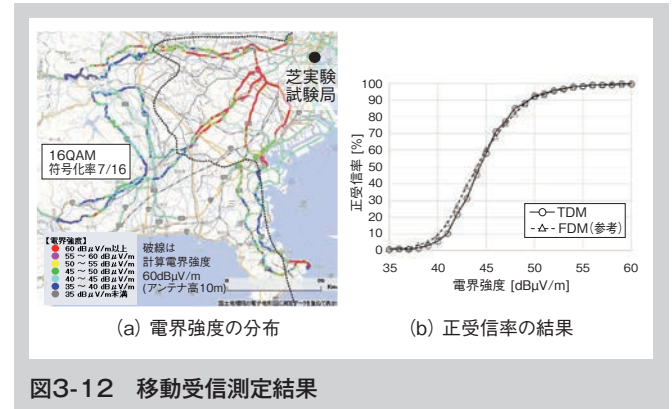
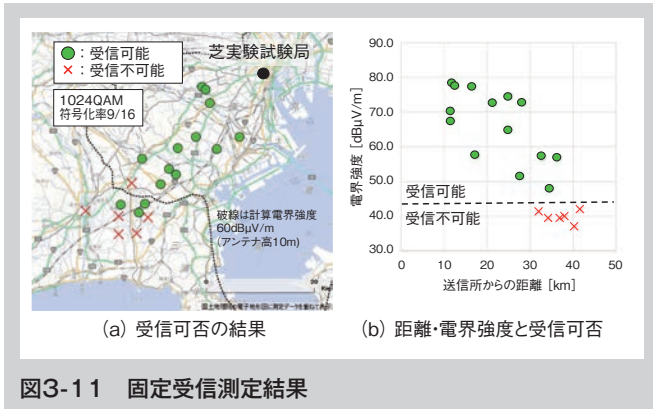
図3-10 再送信信号の誤り率特性

号長を44,880ビットから17,280ビットに、OFDMのFFT(Fast Fourier Transform)サイズを8k(8,192)から4k(4,096)に見直し、伝送パラメーター、伝送フォーマットなどの伝送方式の詳細検討を実施した⁽⁵⁾。

詳細検討した伝送方式を高度化STL/TTL試験装置に実装し(図3-9)、中京地区(東山局-津局間マイクロ波TTL回線)にてフィールド試験を実施した。高度化STL/TTL試験装置と地上放送高度化方式の再多重化器やOFDM変調器との接続動作確認を行うとともに、フェージングなどの伝搬特性、受信電力対BER(Bit Error Rate)特性などの伝送特性や空間ダイバーシティによる改善効果の分析を行った。フィールド試験により、東山局-津局間マイクロ波TTL回線は長距離海上伝搬によるフェージングが発生する伝搬環境であり、フェージングによって受信電力が低下した状況においても、最低受信電力以上では高度化STL/TTLは安定して受信することができ、高度化STL/TTLの伝送方式が有効であることを確認した。さらに、空間ダイバーシティを用いることで、より安定した受信が可能であることを確認した。

■ 地上放送高度化方式対応等化判定器

地上放送高度化方式による放送ネットワークの構築に向けて、等化判定器を用いたMFN(Multi Frequency Network)放送波中継を検討した。2020年度に試作した高度化方式対応等化判定器を用いて電波伝搬環境における検証を実施した。名古屋地区に設置した東山実験試験局を上位局、鍋田実験試験局およ



び津実験試験局を中継局として放送波中継環境を構築し、中継局での受信信号を等化判定器に入力したときの再送信信号の伝送特性で評価した。津実験試験局における受信信号を用いた場合の再送信信号の誤り率特性を示す(図3-10)。等化判定器を用いない場合、サービスエリアにおける所要C/Nは20.9dBとなり、東山局の送信信号に対して0.6dBの劣化となるが、等化判定器を用いた場合の再送信信号の所要C/Nは東山局の送信信号と同等の20.3dBとなり、劣化のない放送波中継が実現できることを確認した。

また、プリアンプルを導入した地上放送高度化方式に対応する等化判定器の試作に着手した。2021年度は、受信信号の時間領域での分離、プリアンプルの復調・再生成および時間領域での多重機能を実装し、これらの動作を確認した。

■ 地上放送高度化方式へのプリアンプル導入

地上放送高度化方式の機能を向上させるために、プリアンプルを導入した方式を検討している。プリアンプルはフレーム先頭で伝送される同期用の信号であり、これを導入することにより、柔軟な信号構造を実現することが可能となる。例えば周波数分割多重(FDM)と時分割多重(TDM)を組み合わせるなど多様な階層伝送が可能となるほか、将来、拡張用の信号多重も容易となる。一方でプリアンプルによる信号同期はこれまでの地上放送高度化方式における手法とは異なる点もあるため、実現可能性についての検証が必要である。2021年度は、プリアンプルを導入したTDM変復調装置を用いて野外実験を行い、信号同期の実現性を確認するとともに、固定受信・移動受信特性を評価した。固定受信の測定では、必要な電界強度が得られれば受信可能であることを確認した(図3-11)。移動受信の測定では、自動車で行きながら電波を受信して電界強度とパケット誤り率を同時に記録した。電界強度に対する正受信率の結果はFDMを用いたこれまでの地上放送高度化方式と同等であり、プリアンプルの導入が受信特性に大きな影響を与えないことを確認した(図3-12)。

上記の検証結果を踏まえ、プリアンプルの導入とともに、より多様な階層伝送が実現可能な変復調装置を試作した。室内実験により基本的な伝送特性を評価し、計算機シミュレーションと同等の結果が得られることを確認した。

■ 国際連携

ITU-R WP6A(地上放送)において、各国のUHDTV(Ultra High Definition Television)の地上波野外伝送実験の情報をまとめたレポートの改訂が進められている。2021年度は、NHK技研で実施したチャンネルボンディング技術を用いた野外実験の結果を寄与文書として入力し、上記レポートに記載された。

ARIBのDiBEG活動に参画し、2021年7月に公表されたブラジル次世代地上放送方式の技術募集に対して、日本の地上放送高度化方式の技術情報を提供することで、ブラジルとの地上放送技術分野での連携を促進した。

EBU(欧州放送連合)と連携して、次世代地上放送への5Gの通信規格利用の可能性を検討している。2021年度は、5Gの標準化を行う3GPP会合において、大セル向けのLTEベース5G放送モードおよびNR(New Radio)ベースでマルチキャスト・ブロードキャスト伝送を行う技術の仕様に関する審議や、2022年から規格化が始まるRelease18における研究項目、作業項目に関する審議の動向を調査した。

〔参考文献〕

- (1) 佐藤, 朝倉, 神原, 岡野, 斎藤: “地上放送高度化方式におけるトランスポート層でのチャンネルボンディング機能の検証,” 映情学技報, BCT2021-38, pp.13-16 (2021)
- (2) 古屋, 朝倉, 神原, 岡野, 斎藤: “地上放送の高度化に向けた低遅延高耐性伝送特性の野外実験による検証,” 信学技報, RCS2021-168, pp.130-135 (2021)
- (3) 永田, 河村, 大西, 大槻, 今村: “地上高度化STLの多重伝送方式の一検討,” 映情学技報, Vol.45, No.24, BCT2021-40 (2022)
- (4) 大西, 蛭間, 兜森, 永田, 河村, 大槻, 今村: “地上放送高度化に向けたホームゲートウェイの検討,” 映情学技報, Vol.45, No.35, BCT2021-49 (2021)
- (5) 島崎, 松崎, 中川: “地上放送高度化に対応した高度化STL/TTL伝送方式の検討,” 映情学技報, Vol.45, No.33, BCT2021-45, pp.9-14 (2021)

3.2 衛星放送伝送技術

12GHz帯衛星放送の伝送性能向上や21GHz帯放送衛星を用いた次世代衛星放送の研究に取り組んでいる。

■ 12GHz帯衛星放送の研究

12GHz帯衛星放送における伝送性能の向上を目指し、DPD (Digital Pre-Distortion) を用いた送信歪補償の研究を進めている。これまで、DPDを搭載した高度広帯域衛星デジタル放送の伝送方式 (ISDB-S3) 対応の送信装置 (内蔵型DPD) を開発し、伝送性能の向上を示してきた。今回、DPDの汎用性向上を目的に、送信装置から出力されるアナログ信号に対する補償信号の生成を可能とするDPD装置 (外付型DPD) を開発した。ISDB-S3を越える多値変調方式として開発した64APSK (Amplitude Phase Shift Keying) 符号化変調対応の送受信装置を用いた、12GHz帯衛星中継器シミュレーターによる室内伝送実験の結果、外付型DPDにより所要C/N (Carrier to Noise ratio) が1.6dB改善することを確認した⁽¹⁾ (図3-13)。

放送衛星BSAT-4bを用いて、32APSK (符号化率3/4) における衛星伝送性能と内蔵型および外付型DPDによる効果を評価した。衛星中継器の出力値と所要C/Nから回線マージンを導出し、伝送性能として最適となる回線マージンを比較した結果、DPDがない場合と比較して、外付型DPDは内蔵型DPDと同程度の0.35dB改善することを確認した。この研究の一部は株式会社放送衛星システムと共同で実施した。

■ 次世代衛星放送の研究

次世代衛星放送として、降雨減衰など受信環境に応じた柔軟な放送サービスの提供を目指し、同一周波数帯域で、異なる2波の変調信号に電力差を付けて多重するLDM (Layered Division Multiplexing) 方式の検討を開始した。LDM方式の受信信号の分離手法はUL (Upper Layer) 信号を抽出、再生成し、受信信号から減算することでLL (Lower Layer) 信号を得るSIC (Successive Interference Cancellation) が一般的であるが、高負荷な処理が課題となっている。この低減を目的として、LL信号の復号部において、先に復号したUL信号の情報をフィード

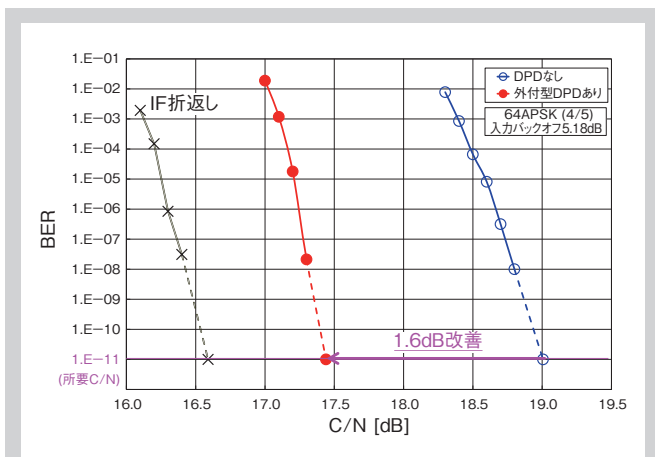


図3-13 12GHz帯衛星中継器シミュレーターでの伝送性能比較

バックし、基準点を絞り込む手法を検討した。本手法は、SICと同等の伝送性能を維持しつつ、SICで必要となるUL信号の再生成および減算が不要となることを確認した。

21GHz帯衛星放送における右左旋円偏波の利用に向けて、放送衛星搭載用アンテナとして、12素子のホーンアンテナを回転させて配置し、合成時にホーンアンテナ単体の非対称性を低減するシーケンシャルアレーを用いた鏡面修正2枚鏡アンテナを設計し、交差偏波識別度 (XPD) の向上を図った。右左旋円偏波ともに、日本列島の形状に沿った主偏波の放射パターンを形成しつつ、約25dB以上のXPDが得られることを確認した。

12GHz帯と21GHz帯の衛星放送を1台のアンテナで受信可能とするため、家庭用オフセットパラボラアンテナの一次放射器として、2周波共用ホーンアンテナの設計を行った。21GHz帯は、12GHz帯に比べて波長が短いため、一般的なホーンアンテナを共用すると開口が大きく見え、指向性が狭まるという課題がある。そこで、開口部に溝を設けて周波数特性を持たせたホーンアンテナ (図3-14) を設計し、開口径45cm反射鏡を組み合わせたときの特性について、計算機シミュレーションにより検討した。12GHz帯衛星放送と21GHz帯の両帯域において、開口効率は70%以上であり、放射パターンは勧告ITU-R BO.1213およびBO.1900の規格を満たすことを確認した⁽²⁾。

大容量コンテンツの提供を目指し、1つのコンテンツを12GHz帯と21GHz帯衛星放送、および地上IP (Internet Protocol) 回線で分割して伝送する大容量バルク伝送装置を開発した。本装置は、異なる経路で伝送された信号間のフレーム同期機能や遅延補正機能を実装し、入出力をIP信号とすることで容易な機器間接続を実現している。12GHz帯衛星放送のISDB-S3信号を最大2波、21GHz帯衛星放送の広帯域信号を1波、ならびに地上IP回線の信号を用いることで、最大1Gbps程度の伝送を可能とした。

[参考文献]

- (1) 小島, 小泉, 亀井: "Study on digital pre-distortion with I/O interfaces for analogue baseband signal over satellite channel," 信学技報, Vol.121, No.189, SAT2021-52, pp.47-50 (2021)
- (2) 長坂, 亀井: "衛星放送受信パラボラ反射鏡用2周波共用ホーンアンテナの検討," 信学総大, B-3-10 (2022)

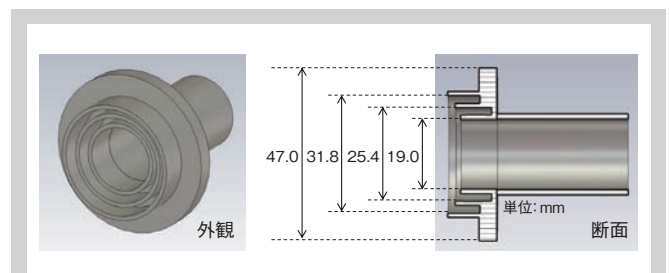


図3-14 設計した12/21GHz帯共用ホーンアンテナ

3.3 符号化技術

次世代地上放送における放送の高度化を目指した映像符号化およびイマーシブメディアにおける映像符号化要素技術の研究開発を進めている。

■ 放送高度化に向けたVVCの所要ビットレート導出

次世代地上放送などの放送の高度化における映像の所要ビットレートを明らかにするために、最新の映像符号化技術であるVVC (Versatile Video Coding) を用いた8K/4K/2K符号化映像の主観品質の評価実験を実施した。8K映像の所要ビットレートはリアルタイムハードウェアエンコーダーを想定したパラメーター設定において50Mbps、性能重視設定において40Mbpsであった。また4Kおよび2K映像を用いた主観評価実験をARIB映像符号化方式作業班において実施し、2025年に実現可能なリアルタイムハードウェアエンコーダーを想定した設定において、所要ビットレートはそれぞれ30Mbps(4K)、7Mbps(2K)であった。また、符号化難度の高い映像の符号化における画質改善に効果的な符号化ツールとして、解像度変換処理の検討を進めた。VVCの符号化ツールの1つであるRPR (Reference Picture Resampling) による画素数変換手法と、符号化入力画像にプリフィルタを適用する手法について、それぞれ主観的な画質を調査した。いずれの手法でも符号化劣化の低減効果が認められ、特に画素数変換手法では符号化難度の極めて高い映像における有効性を確認した⁽¹⁾。

■ マルチレイヤー符号化の研究

VVCにおいて、解像度の異なる映像を同時に符号化するマルチレイヤー符号化を用いた空間スケーラブル符号化技術の研究を進めた。

空間スケーラブル符号化は低解像度の符号化情報 (ベースレイヤーストリーム: BL) と、BLを用いて高解像度映像を再構成するための符号化情報 (エンハンスメントレイヤーストリーム: EL) からなる符号化を行う方式で、異なる解像度の映像間の相関を利用して効率的に圧縮を行うことができる。ELに対するビットレートの効率的な割り当てを実現するために、精細感を構成する信号を抽出する手法を開発し、この信号のビットレートとひずみの関係を分析することで、精細感を再現するために必要なビットレートをVVCの参照ソフトウェア (VVC Test Model, VTM) を用いて調査した。調査の結果、2K/4K空間スケーラブル符号化において、ELに必要なビットレートは最大6Mbpsとなることが分かった。ELのビットレートを6Mbps以下に設定して、開発したビット割り当て手法を用いて符号化した高解像度映像の画質確認を行ったところ、従来手法に比べ高解像度復号映像の精細感が改善することを確認した⁽²⁾ (図3-15)。また、VVC第1版に準拠したリアルタイムデコーダーを開発し、VVCのマルチレイヤー符号化規格の実証実験を行った (図3-16)。

■ 超解像応用技術を用いた符号化効率改善

動画の画面内や画面間でぼやけ具合が異なる場合の予測効率を改善するために、昨年度開発した符号化ユニットごとに超

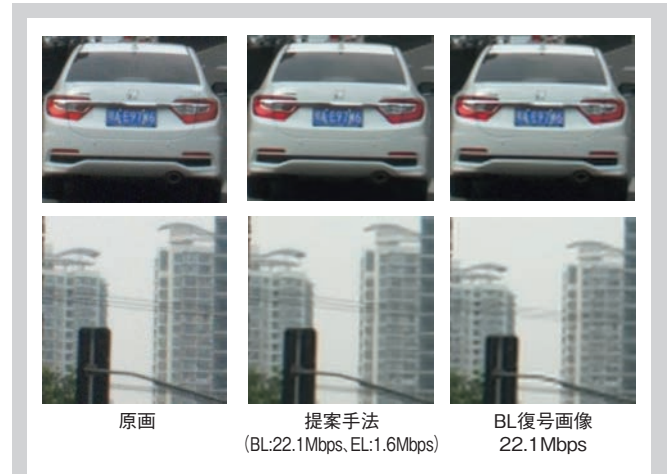


図3-15 画質比較



図3-16 開発したVVCリアルタイムデコーダーと復号映像

解像・ぼやけ画像を生成して画面内・画面間予測に用いる技術を用いた。提案法は従来のVTM に対して同一画質におけるビットレートが輝度Yで最大-0.8%、色差Cbで最大-1.4%、色差Crで最大-1.6%改善することを示した⁽³⁾。さらに実験結果などを基にパラメーター最適化やシンタックス最小化などの改善技術を開発して、VTMへ実装した。

将来の放送高度化で8K原画像を4Kなどに縮小して符号化する場合において、符号化難度の極めて高い映像で発生しやすいブロック歪などのアーティファクトを低減するために、空間ウェーブレット縮退技術⁽⁴⁾を時空間方向に拡張したローパスフィルタリング・雑音除去による符号化プリ処理としての解像度縮小技術を開発し、プログラム実装を行った。

■ 映像符号化の国際標準化および技術探索

MPEG/ITU-Tの合同標準化会議において、VVC第2版 (高ビット深度・高ビットレート対応のための拡張) の標準化、および次世代映像符号化技術の技術探索に参画した。HDR (High Dynamic Range) の符号化性能評価に用いられる共通実験条件の管理を行い、標準化に寄与するとともにHDRの日本方式の普及促進に貢献した。

■ 画質指標の開発と符号化制御への適用

将来の映像符号化の基礎検討として、符号化劣化映像の特徴

量と主観的品質の関係を調査・分析し、画質指標の開発を進めている。2021年度は、HDR/広色域画像用画質指標の枠組みを開発し、その画質指標を符号化制御に適用した。

HDR/広色域カラー画像の三原色信号に対して、HDR信号をSDR (Standard Dynamic Range) 信号に変換するトーンマッピングとSDR画像用の画質指標 (SDR指標) を適用して重み付けする、HDR/広色域画像用画質指標の枠組みを開発した (図3-17)。この枠組みで、240種類のHDR/広色域符号化画像から成るデータセットを用いて、色空間3種類、トーンマッピング5種類、SDR指標3種類を組み合わせた45種類の画質指標を開発、評価した。その結果、1) 先行研究ではトーンマッピングとSDR指標の組み合わせはHDR画像専用開発された画質指標 (HDR指標) よりも性能が低いとされていたが、開発した画質指標は既存のHDR指標に比べて主観評価実験結果との相関が高く (PLCC (Pearson Linear Correlation Coefficient) : 0.9248→最大0.9745) 性能が高いこと、2) 色空間に応じて適したトーンマッピングの組み合わせが異なること、を確認した。

開発したHDR/広色域画像用画質指標を符号化制御に適用し、主観画質が改善することを確認した。画質指標を用いてブロックごとの主観的なひずみを導出し、ブロックごとのビットレートとのバランスを考慮する符号化制御手法を開発して、ビットレートが削減されるとともに、開発した画質指標値が向上する例を確認した。

■ 符号化制御技術の開発

符号化制御技術の1つであるR-D (Rate-Distortion) 最適化は、目標ビットレートにおいてひずみを最小化する最適符号化パラメータを決定する処理である。VTMでは、R-D曲線を双曲線で近似できることを利用して符号化制御を行う。しかし、この近似曲線は比較的符号化難度の低い映像を用いて決定されており、符号化難度の高い映像でも適しているとは限らない。実際に4K/8K映像を用いて分析したところ、高符号化難度の映像では対数曲線の方がR-D曲線をより高精度に近似できることが分かった。そこで、対数曲線を用いた符号化制御手法を開発しVTMに実装した。その結果、同一画質におけるビットレートをVTMと比較して最大4%削減できた。また、開発手法では、画質指標であるPSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio) のフレーム間変動が減少することも分かり、フリッカー状の劣化が抑制されることによる主観画質の改善も示唆された⁽⁵⁾。

残差信号の階調を間引く処理で用いられる量子化係数の最適化は、計算量の大きな処理であるため、一般的には計算の高速

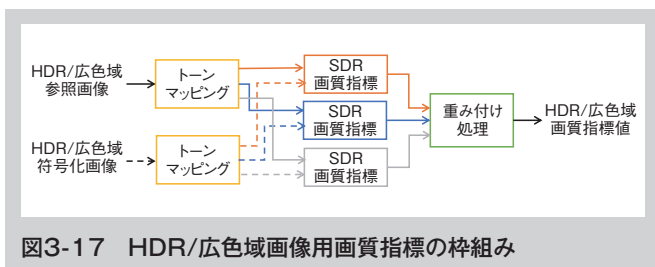


図3-17 HDR/広色域画像用画質指標の枠組み

化を考慮した実装がされており、必ずしも最適な量子化係数が算出されていない。この課題に対し、2次元CNN (Convolutional Neural Network) を用いた深層学習による最適手法が提案されている。しかし、この手法では変換係数を1次元に並べ替えて行われるエントロピー符号化の順序が考慮されていない。そのため、エントロピー符号化順序に沿って1次元化した係数列を入力とする、エントロピー符号化順序を考慮した深層学習による量子化手法を開発した。416×240画素の映像4種類で実験した結果、2次元CNNを用いた手法に対し、提案手法は同一画質におけるビットレートを平均0.25%削減できることを示した⁽⁶⁾。

■ 専門家・非専門家による主観画質評価実験の結果解析

同じ8K映像を専門家および非専門家が評価した主観画質評価実験を実施し、実験結果を解析した。主観画質評価実験の評定者は慣習的に非専門家が好ましいとされてきたが、これまでの研究により、画質劣化の評価で専門家が優れている用途があることを示している。しかし、この分析は専門家・非専門家異なる画像を評価した結果に基づいており、評価結果を直接比較することができなかった。

合計66種類の8K 120/60Hz HDR映像を、ITU-R勧告 BT.500に規定のDSIS (Double Stimulus Impairment Scale: 二重刺激劣化尺度) 法に基づいて、専門家15名および非専門家24名が評価する主観画質評価実験を実施した。実験結果を専門家、非専門家に分けて解析し、比較することで、1) 専門家は評定の範囲に適合させて画質を評価することができること、2) 専門家の実験結果にはITU-T勧告P.913に新たに採用された最尤推定法による品質値導出法を適用する必要がないこと、を明らかにした⁽⁷⁾。

〔参考文献〕

- 根本, 岩村, 市ヶ谷: “VVCにおける8K映像の所要ビットレートの検討,” 信学総大, D-11-20 (2022)
- 近藤, 市ヶ谷: “VVC空間スケーラブル符号化における発生情報量,” 信学総大, D-11-19 (2022)
- 松尾: “符号化単位の局部復号画像の鮮鋭化・ぼやけ画像を用いた画面内・画面間予測符号化,” 映像学冬大, 21B-1 (2021)
- 松尾, 井口, 神田, 境田: “動画画像符号化の画質劣化抑制のための低域通過濾波・雑音除去装置の開発,” 信学論D, Vol.J104-D, pp.82-93 (2021)
- 近藤, 杉藤, 市ヶ谷: “VVCにおける4K8K映像用RD最適化モデルの検討,” FIT, No.3, I-034, pp.237-238 (2021)
- 新井, 岩村, 市ヶ谷: “深層学習によるエントロピー符号化順序を考慮した量子化手法の検討,” PCSJ / IMPS, P2-16, pp.91-92 (2021)
- Y.Sugito and Y.Kusakabe: “A Comparison of Non-Experts and Experts using DSIS Method,” Human Vision and Electronic Imaging (HVEI) (2022)

■ データから手話CGを生成するシステム

スポーツ実況と気象情報を対象に、外部から提供されるデータを元に定型的な表現の手話CGを自動生成する技術の研究開発を進めた。

スポーツ実況については、2021年度に開催されたスポーツ大会において、リアルタイムに配信される競技データをもとに自動生成した手話CGと字幕による実況を提供するサービスをインターネット配信により実施した。バスケットボール、車いすバスケットボール、車いすラグビーの3競技、大会期間中1日1～2試合を対象に、ライブストリーミングと試合後の見逃し配信で提供した。

2020年度から継続して、表情豊かでより実写に近い“フォトリアル”手話CGのレンダリングシステムの改修を進めた。聴覚障害者を対象とした評価実験において、従来のアニメ調のCGモデルと比較して内容理解度と自然さが改善したことを確認した。手話CG実況生成システムに組み込むことで実況サービスの品質向上に貢献した。

このほか、競技の反則発生時に関連するルールを手話CGで解説する機能や、試合会場の盛り上がりや音声をレベルメーターで可視化する機能、試合後に得点や反則などのイベントを選んで見逃し視聴できる機能を提供した(図4-4)。

手話CGによる気象情報提供システムについては、これまで全国47都道府県の県庁所在地の気象情報(天気予報、予想気温、降水確率)を提供してきた。2021年度は、提供する情報量を通常の天気予報と同じ全国142地点に拡充した⁽²⁾。地点数の拡充によってデータ処理が約3倍に増大したが、クラウド上に構築したシステムの構成変更と映像生成処理プログラムの並列化により、これまでと同時間での処理を実現した。構築したシステムは完全自動で安定動作し、常に全国各地の最新の気象情報が手話CGにより提供できることを確認した。

[参考文献]

- (1) 梶山, 金子, 佐野: “手話翻訳用データベース作成支援ツールの開発,” 信学技報, Vol.121, No.418, WIT2021-47, pp.24-28 (2022)
- (2) 気象手話CG評価サイト <https://www.nhk.or.jp/strl/sl-weather/>

4.2 触覚情報の生成・提示

■ 体感メディアを実現する触覚情報の生成・提示技術

視覚・聴覚障害者を含む多くの方々が放送コンテンツを楽しめるユニバーサルサービスを目指して、視覚・聴覚情報と連動した触覚情報を提供する新たな体感型メディアの研究を進めている。2021年度は、パブリックビューイング(PV)環境で、スポーツの生中継映像と連動した触覚刺激を提示するPV用触覚提示システムを開発した⁽¹⁾⁽²⁾。

図4-5にPV用触覚提示システムの処理の流れを示す。柔道や車いすラグビーの生中継映像を解析し、解析結果より得られるプレーに対応した触覚刺激をリアルタイムに提示する。大型ディスプレイに表示される映像音声と同期した触覚刺激をユーザーに提供することで、あたかも試合会場にいるような臨場感が得られるよう設計した。

PV用触覚提示システムは、競技情報取得部と触覚刺激提示部で構成される。競技情報取得部では、柔道と車いすラグビーの生放送映像を解析し、各競技で触覚提示に有効な試合イベント

を自動・リアルタイムに検出した。

柔道では、映像から「投げ」や「寝技」の主要動作イベントを検出し、その結果に応じて触覚デバイスを制御した。イベント検出では、柔道の試合映像に姿勢推定アルゴリズムを適用し、画像内の選手の関節位置を取得した。その履歴から関節軌跡画像を作成し、これを深層学習することで、PV用途に十分な速度と精度を実現した⁽³⁾。

車いすラグビーでは、「得点」や「衝突」などの試合イベントを自動検出し、各イベントに応じた触覚刺激を提示した。これらのシーンでは、映像の特徴以外にも審判の笛の音や、車いす同士の衝突音が特徴量として有効に作用する。そこで、画像と音響のクロスモーダル特徴を深層学習し、各イベントを自動検出した。

触覚刺激提示部に関しては、PVでの活用を想定し、三日月型触覚デバイスといす型触覚デバイスを新たに開発した(図4-6)。振動子やモータを内蔵しており、試合イベントが検出された際に座面や足元、および手元に刺激を提示することで、ス

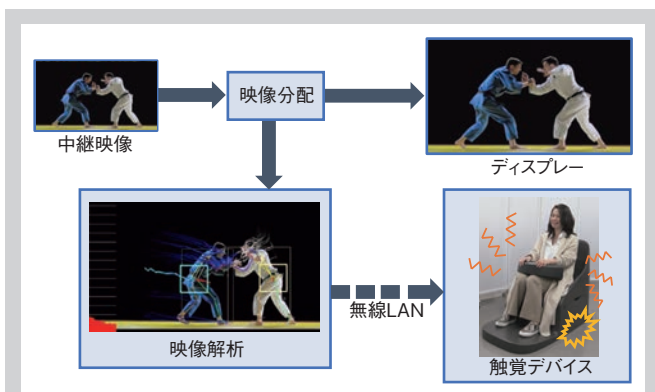


図4-5 PV用触覚提示システムの処理の流れ



図4-6 三日月型触覚デバイス(左)といす型触覚デバイス(右)



図4-7 PV会場に設置した触覚デバイス

スポーツ中継映像への没入感を高めた。

本システムをPVの会場に設置した(図4-7)。新型コロナウイルス感染拡大の影響を受けて一般視聴者が自由に参加できるイベントは見送りとなったが、8K120Hz制作システムと接続し

たライブでの実証実験で、生中継映像と連動した触覚提示の有効性を確認した。

また、ITU-Rの先進的没入型映像音響システムに関するレポートに本システムのユースケースを寄稿し、ITU-R BT.2420が改定された。

〔参考文献〕

- (1) M.Takahashi, M.Azuma, T.Handa, T.Ishiwatari, M.Sano and Y.Yamanouchi: "Public viewing with haptic devices synchronized with live sports broadcasts," ACM SIGGRAPH2021, Posters, No.25 (2021) <https://doi.org/10.1145/3450618.3469135>
- (2) M.Takahashi, T.Ishiwatari, M.Azuma, T.Handa, T.Mochizuki and M.Sano: "Haptic-perception system synchronized with live broadcasts," NAB BEIT Conference, pp.1-9, TV Enhancement (2021)
- (3) 高橋, 石渡, 東, 半田, 望月, 佐野: "スポーツ中継映像と連動したりアルタイム触覚提示," 映像学冬大, 31A-5 (2021)

4.3 音声合成・提示技術

視覚障害者も含むあらゆる方々に放送サービスを楽しんでいただくため、音声合成・提示技術の研究に取り組んでいる。音声合成技術の高度化を進めることでコンテンツ制作の効率化と多様な放送サービスの創出を目指すとともに、スポーツ中継番組などにおいてリアルタイムに補完情報を提示できる自動解説音声の研究を進めた。

■ 音声合成技術

コンテンツ制作のさまざまな場面で活用できる音声合成システムの実現を目指し、合成音声の品質・表現力の向上と話者のバリエーションの拡大、システムのユーザビリティの向上に取り組んでいる。

合成音声の品質・表現力向上と話者のバリエーションの拡大のために複数話者音声合成モデルを構築し、さまざまな話者性の合成音声を高品質に生成できることを確認した。このモデルは、2020年度に構築した約150時間の学習用大規模音声データベースに含まれる複数の話者データを用いて学習した。読み仮名とアクセント・ポーズなどの韻律情報を表すテキストから音声波形を直接推定するEnd-to-endのモデルとして実現し、合成時に話者を指定することで異なる合成音声を生成できる。

また、専門知識がなくても、学習データの準備、目的に応じた最適な音声合成方式の選定、合成音声の生成までを1つの画面上で容易に実行できる音声合成プロトタイプシステムを試作した。

■ 自動解説音声

視覚に障害がある方にもスポーツ中継番組を楽しんでいただくために、番組を補完する解説音声を自動で付与する研究を進めている。従来の解説放送では、番組の主音声と重ならないように「間」を予想しながら、今補足すべき情報を瞬時に判断して適切に解説内容を表現する必要があるため、生放送への解説付

与は困難であった。そこで、従来の解説放送とは異なる方法で、放送番組の内容に合わせてスマートフォンやタブレット端末に解説音声を配信する新しい形の解説音声サービスの実現を目指している。2021年度は、野球、卓球、テニス、バドミントン、バスケットボールといった多様な競技に対応可能な解説音声の制作・配信システムを構築した(図4-8)。解説文を生成するために試合状況を手動で入力するツールに関しては、試合状況や選手の細かい動作など、伝える情報の精査を行うとともに、入力効率を向上させた(図4-9)。また、解説音声を再生するスマートフォンのアプリケーションについては、テレビの音声と一緒に聴く場合の聴き取りやすさを考慮し、話者や話速の選択を可能とした(図4-10)。アプリケーションの操作画面は、視覚障害者の方からの意見を踏まえ、全盲の方、弱視の方がともに使いやすいインターフェースに改修した。

5つの健全者競技と、車いすテニス、車いすバドミントン、車いすバスケットボールといった障害者競技において、実際の中継番組に合わせて利用者のスマートフォンに解説音声を配信する実証実験を行った。視覚障害者、晴眼者を合わせて約450名によるアンケートの結果では、総合満足度や今後の利用意向がともに高いことが明らかになった。これにより、提案する新しい形の解説音声サービスの有用性を示した⁽¹⁾。

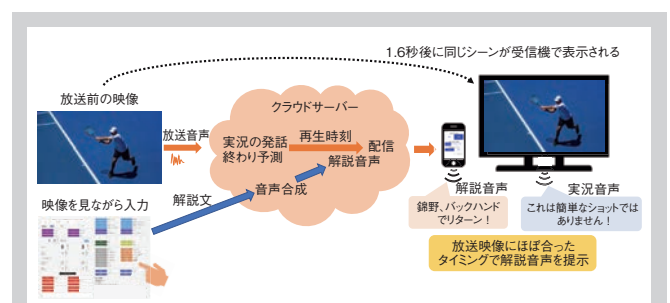


図4-8 解説音声の制作・配信システム(テニスの例)



図4-9 実験で試用した入力ツール(テニスの例)

■ 音声合成技術の応用展開

ラジオ気象情報番組を自動で制作するAIアナウンスシステムのNHK全国配備に際して、DNN(ディープニューラルネットワーク)音声合成技術のコアエンジンとその周辺技術の開発を支援した。また、多様な合成音声を効率的に作成する技術として、既存の音声合成モデルを少量の音声データで微調整する手法の有効性を確認した。

また、解説音声制作・配信システムにおいて、デジタル放送の遅延時間を考慮して受信アプリケーションでの再生時刻を指定

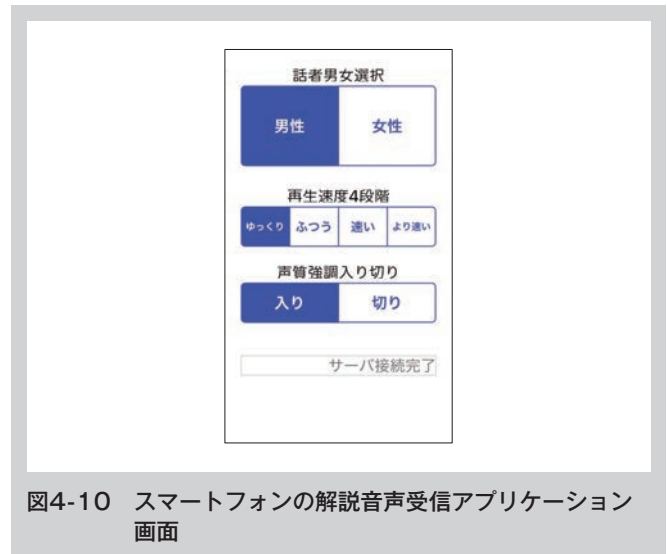


図4-10 スマートフォンの解説音声受信アプリケーション画面

する機能を開発し、テレビ音声と同期して解説音声を提供できることを実証した。

[参考文献]

- (1) 一木, 宮崎, 今井, 都木: “スポーツ中継番組への解説音声サービスの実証実験における視覚障害者の受容性調査,” 信学技報, Vol.121, No.287, pp.28-33 (2021)

4.4 テレビ視聴ロボット

テレビをより楽しく視聴するためのパートナーとして、人と一緒にテレビを視聴するコミュニケーションロボット「テレビ視聴ロボット」の研究を継続し、これまでの成果をIBC2021において海外に発信した⁽¹⁾。2021年度からは、より深い人とのコミュニケーションを目指し、ロボットが人や番組への興味に基づき動作することを課題とする研究開発を始めた。

■ 人への興味に基づく対話技術

人にロボットとの対話によるコミュニケーションを楽しんでもらうには、人が興味を持っている対象に関してロボットが発話し、人からの発話に対しては自然で魅力的な応答をすることが課題となる。

人の興味対象を推定するため、視聴した番組の電子番組表内の単語の頻度に基づき、各単語の興味度を推定する手法を開発した。提案手法では、一定期間の単語の出現頻度だけでなく、各番組内の単語の出現頻度も利用することで、人が興味を持っている対象を含む番組の放送頻度が少ない場合でも、興味度が小さくなってしまふことを回避できる。提案手法で推定した興味度を、過去の視聴履歴を用いた番組推薦に応用し、その妥当性を確認した。

人同士がテレビを視聴しているときの対話のように、ロボットに自然で魅力的な応答をさせるため、テレビ視聴時の2人の発話対を取得し、それを用いた発話の応答モデルを開発した。応答モデルの学習には、機械翻訳で用いられているRNN(Recurrent Neural Network)を用いた。開発した応答モデル

では、テレビを視聴しながら人同士が対話するのと同じように、短い応答文を生成することを確認した。また、応答文の主観評価では、開発した応答モデルは、汎用的な対話の発話対を用いた応答モデルに比べ、自然性と魅力度において高い評価となった⁽²⁾。

■ 番組への興味の獲得技術

人が日々のロボットとのテレビ視聴を飽きずに継続するには、ロボットが人の興味に基づいた対話をするとともに、ロボット自体が人のようにテレビ番組や番組内の人や物に興味を持ち、その興味に基づき人とコミュニケーションをとる必要がある。さらに、日常的にテレビ視聴を続けるうちにロボットの興味に変化していくなど、ロボットの個性や成長を人に感じさせることも必要である。ロボットが独自の興味を獲得するため、人が番組への興味をどのように獲得しているかを解明する研究を開始した。

人がテレビ番組映像を視聴しているときに注目しやすい対象物を推定する、注視物推定技術の研究を開始した。2021年度は、テレビ番組の視聴時の注視点を、非接触型アイトラッカーを用いて計測する実験システムを構築し、12ジャンルの番組映像に対して12名による計24時間分の注視点データを取得した。また、取得した注視点データから、映像の画素ごとの注視度を表す注視点マップを生成するソフトウェアを開発した。

さらに、人の長期的な視聴履歴データから番組や対象物への興味の変化を解析し、ロボットに人のような興味の変化を持た

せることで、個性や成長を感じさせるための研究も開始した。2021年度は3,000人の視聴履歴データから、家族構成などの個人の属性や視聴傾向が近い人同士を見つけるため、ロジスティック回帰分析や主成分分析を応用したアルゴリズムを開発し、異なる人の視聴履歴データをつなぎ合わせることで、90人分の15～69歳までの疑似的な視聴履歴データを作成した。また、作成した疑似視聴履歴データから、番組ジャンル別の平均視聴時間などの長期的な変化を分析するための可視化ソフトウェアを開発した。

■ 人に伝わりやすい感性動作表現技術

人がロボットと楽しくテレビ視聴するためには、ロボットの外観の印象が良く、感情豊かにロボットが動作し、ロボットの伝えたい感情が人に正しく伝わるのが課題となる。

2021年度は、これまで用いてきた人型ロボットに加え、目、おなか、しっぽのLEDや、ロボットの背後からでも感情が伝わるように左右に動くしっぽを搭載した動物型のテレビ視聴ロボットを開発した。この試作機を技研公開2021でオンライン展示した(図4-11)。

また、これまで用いてきた人型と、新たに開発した動物型の2体のロボットを対象に、外観が人へ与える印象や、身体的な感情表現動作の人への感情の伝わり方などについて調査した。動物型の外観は人型に比べポジティブな印象を与える一方、現状の感性表現動作では、人型の方が意図した感情が人に伝わりやすいことなどが分かった⁽³⁾。

この研究の一部は芝浦工業大学と共同で実施した。

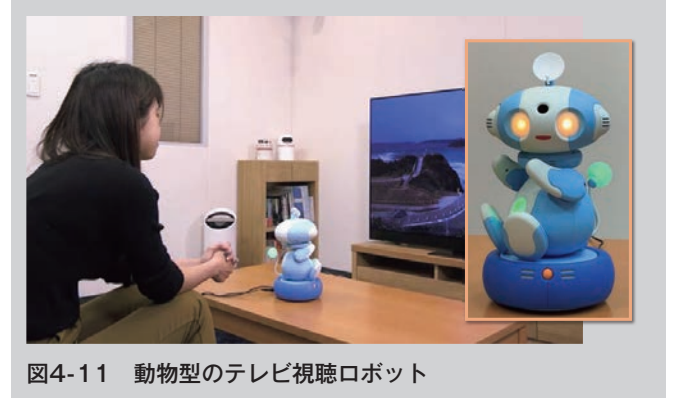


図4-11 動物型のテレビ視聴ロボット

〔参考文献〕

- (1) Y.Hagio, M.Kamimura, Y.Hoshi, Y.Kaneko and M.Yamamoto: "TV-Watching Robot: Toward Enriching Media Experience and Activating Human Communication," IBC Technical Conference (2021)
- (2) 星, 奥田, 萩尾, 上村, 金子, 西本: "テレビ視聴時における人同士の発話を用いた応答文生成と評価," 人工知能学会第94回 言語・音声理解と対話処理研究会, SIG-SLUD-94-03, pp.13-18 (2022) <https://jsai-slud.github.io/sig-slud/>
- (3) 上村, 金子, 奥田, 星, 萩尾, 西本, 佐々木, 橋田: "感情表現動作をするコミュニケーションロボットの感情の伝わり方と人へ与える印象," HAIシンポジウム2022, P-10 (2022)

5 ユニバーサルサービス・コンテンツ配信・サービス提供技術

5.1 スマート化社会に向けたコンテンツサービス基盤

インターネットの活用によりスマート化が進む社会において、情報格差を作らず、社会と人をつなぎ、生活の安全安心を守るメディアの役割はますます重要となる。人の好みやデバイス、伝送路といった視聴環境の違いによらず、すべての視聴者に情報が伝わる「人を中心としたメディア」を実現する放送メディアの基盤となる技術の確立を目指して、研究を進めている。2021年度は、メディア基盤アーキテクチャと非集中型データモデルの研究を進めた。

■メディア基盤アーキテクチャの研究

将来の放送サービスを担う基盤技術の検討を進め、その構成として、3つの要素「コンテンツ」、「環境（デバイス）」、「人」に整理した。これらの要素からなるシステムを「Webベース放送メディア」として、コンセプトの提案とシステム設計を行った。

各要素をつなぐ仕組み「IoTベースメディアフレームワーク」を試作し、テレビのほか、テーブル、コーヒーマシン、触覚デバイスなど、さまざまなIoTデバイスにコンテンツが自動的に提示されるデモを通して、実現性を検証した⁽¹⁾（図5-1）。

また、多様なデバイスの連携による情報提示を目的としたデバイス選択手法を提案し、コンテンツに応じたデバイスを選択するプロトタイプを試作⁽²⁾、放送と多様なIoTデバイスとの連携サービスの開発促進を図るため、ハイブリッドキャスト・コネクト（ハイコネ）・ライブラリーを活用した視聴者向け開発環境を試作した⁽³⁾。

構成要素「環境（デバイス）」に関する研究開発として、放送非依存マネージドアプリケーションの標準仕様に基づくテレビ受信機を試作した。放送とネット動画間でのセキュアでシームレスな遷移を実現する受信機機能を開発し、Inter BEE 2021におけるIPTVフォーラムの展示として、在京民放各局の協力のもと製作した放送局ポータルアプリケーションを動作させることで、その成果を示した（図5-2）。

さらに、放送・ネットを意識せずに番組視聴を可能にする受信機モデルを提案し、試作を通じてその実現性を検証した⁽⁴⁾（図5-3）。

構成要素「人」に関する研究として、視聴履歴や位置情報などのユーザー情報をコンテンツ提示に活用するため、入力データを一般化したデータ処理モデルを提案し、デモシステムの試作と検証を行った⁽⁵⁾。

構成要素「コンテンツ」に関する研究として、コンテンツ同士や、コンテンツとデバイス要素・人要素との連携を可能にする構造化データの自動生成の検討を行った。具体的には、映像・

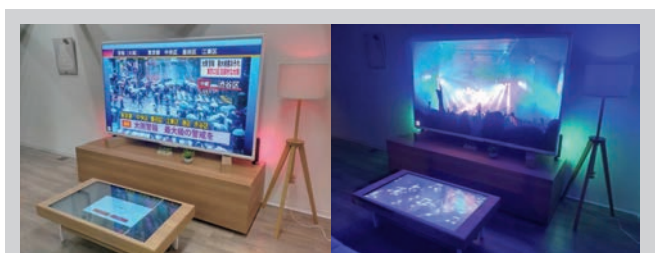


図5-1 IoTベースメディアフレームワークによるデモ展示

音声・テキストなどのマルチモーダルデータを用いて、シーン単位で番組の構造化データを自動生成する基礎的な検討を行い、技術課題を明らかにした⁽⁶⁾（7）。

また、コンテンツ連携により、教育分野で課題とされている「学びの個別最適化」を支援する仕組みの検討を行った。学習者の理解や学習の進捗に合わせたコンテンツ提示を可能にするために、キーワード間の学習順序の関係性（基礎と発展の関係性）を自動抽出する手法を検討した。抽出したキーワード間の関係性に基づき関連コンテンツを提示するシステムを試作し（図5-4）、実証実験によりシステムの有効性や課題を明らかにした⁽⁸⁾。

国内標準化活動として、IPTVフォーラムにおいて、放送非依存マネージドアプリケーションのAITURI (Application Information Table URI) 可否判定サーバーに関する運用、およびハイブリッドキャスト(4K)ビデオのCMAF (Common Media Application Format) コンテナフォーマットに関する運用の改定に寄与した。「放送非依存マネージドアプリケーション」の受信機実装について、次世代の放送通信連携システムの勉強会で



図5-2 放送とネット動画をシームレスに遷移する放送非依存マネージドアプリケーション

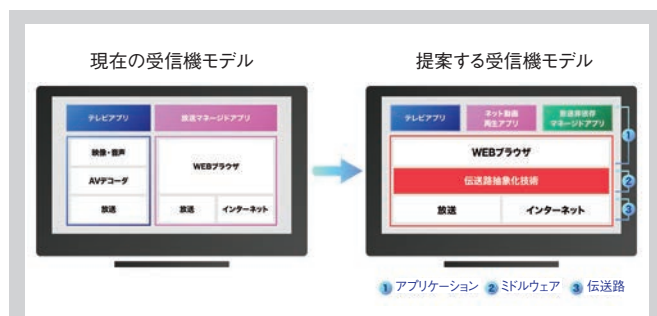


図5-3 放送・ネットを意識せずに番組視聴を可能にする受信機モデル



図5-4 実証実験用に試作した教育用コンテンツ提示システムの画面イメージ

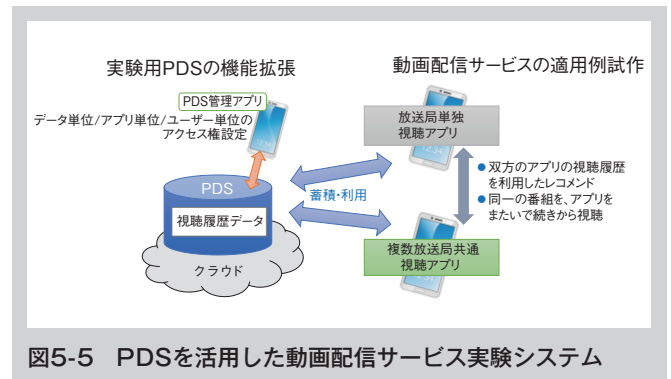


図5-5 PDSを活用した動画配信サービス実験システム

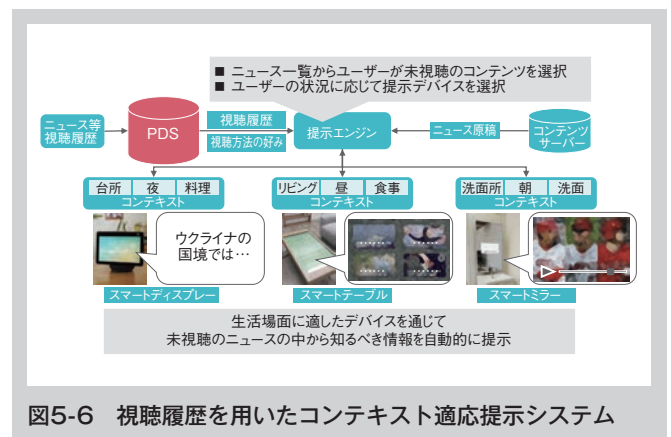


図5-6 視聴履歴を用いたコンテキスト適応提示システム

紹介し、サービス発見技術などの新しい技術課題を提起した。

国際標準化活動として、ITU-RレポートBT.2400に、「放送非依存マネージドアプリケーション」を活用して放送とネット動画をシームレスに遷移する受信機の実装例を追記する改訂に寄与した。また、W3C (World Wide Web Consortium)では、Media and Entertainment Interest Group会合で、TVにおけるWebアプリケーションの処理性能上の課題や端末間通信の安全性に関する課題を共有した⁽⁹⁾。さらに、WoT (Web of Things) IG/WG会合で、一般家庭におけるデバイス発見上の課題やメディア関連ユースケースにおける語彙定義の不足について課題を共有した⁽¹⁰⁾。

研究開発した成果を広く社会還元するために、オープンソースソフトウェアによる展開を進めた。2021年度は、テレビ向け動画配信プレーヤーを公開したほか、ハイコネ関連ツールを更新した⁽¹¹⁾。

■非集中型データモデルの研究

公共メディアとして個々の視聴者に寄り添ったサービスを提供するためのパーソナルデータ活用技術の研究を進めている。この研究では、個人のプライバシー維持を最優先に視聴履歴などのパーソナルデータを活用する手段として、視聴者自身がデータを保持・管理する仕組みであるパーソナルデータストア (PDS) を放送サービスに適用するための技術検討を進めている。2021年度は実験システムの詳細な機能の実装と、より具体的なサービス例の試作検証を行った。

PDSを用いることで視聴データなどの利用範囲をユーザー自身が確認・制御しやすくなることに加え、提供者が異なる別のサービスの利用履歴等も活用することで、よりユーザーの状

況や好みに即したサービスを楽しむことが可能になる。2021年度はPDSの動画配信サービスへの適用例として、番組視聴履歴をユーザーが保持・管理することでパーソナライズやアプリケーション間連携によるサービス向上を図る仕組みを試作実装したほか、2020年度に試作開発したPDSにアクセス制御機能などを拡張した(図5-5)⁽¹²⁾⁽¹³⁾。

また、将来の放送サービスにおけるパーソナルデータ活用例として、ユーザー状況に応じた受容しやすい方法で情報提示(コンテキスト適応提示)することで、個々のユーザーの好みに偏らず、政治ニュースなどの知るべき情報に自然に接触する機会を提供するための検討を進めた。2021年度は、生活行動と同時に行う「ながら視聴」に着目し、実態把握のためWebアンケートやインタビューによる調査・分析を行った。この結果、「ながら視聴」で得た情報は後で詳しく知りたいという意見が多いことなどの知見が得られた⁽¹⁴⁾⁽¹⁵⁾。これを元に「ながら視聴」を促すための適応提示システム(図5-6)を試作し、動作検証を行った。

視聴データの活用はユーザーが属性や好みに沿ったサービスの享受が期待できる一方、その扱いにおいて本人の同意のないまま転用される等の懸念がある。安心して便利な視聴データ活用サービスの実現に向けて今後のPDS研究開発の指針を得ることを目的に、Webアンケートを実施し、視聴データに関する説明をすることで、ユーザーの視聴データに対するリスク認知の傾向に変化がみられる可能性があることを把握した⁽¹⁶⁾。さらに、ユーザーの視聴データに対する理解度の違いがサービス利用に対する意識に及ぼす影響を調査するため、情報システムや通信関係の業務に従事・関与している人(IT従事者)、および従事・関与していない人(非IT従事者)に回答者を分類してアンケートを実施した。その結果、IT従事者の回答者は非IT従事者と相対的にリスク認知の差が有意に認められ、視聴データに関するリスクを理解・解釈し分析できる傾向があることが示された⁽¹⁷⁾。

〔参考文献〕

- (1) H.Endo, T.Sato, H.Ogawa, S.Abe, S.Fujitsu, K.Matsumura and H.Fujisawa: "IoT-based Media Framework for Public Service Media: Expansion of Current Digital Broadcasting Systems," IBC, [Technical Papers: Orchestrated Devices] (2021)
- (2) 阿部, 佐藤, 佐藤, 小松, 藤沢, 藤津: "情報提示へ向けたWebベースおよび力学モデルによるデバイス選択手法," FIT2021, No.4, M-026, pp.233-234 (2021)
- (3) 溝川, 遠藤, 小川, 松村, 藤沢: "放送とIoTデバイス連携アプリケーションの視聴者向け開発環境の試作," 情処学全大, 7D-04 (2022)
- (4) 瀧口, 松村, 藤沢: "端末連携機能の拡張により伝送路抽象化を可能とする受信機アーキテクチャ," FIT2021, No.4, M-027, pp.235-236 (2021)
- (5) 佐藤, 遠藤, 松村, 藤沢: "ユーザ情報を活用した多様な視聴環境に対応するコンテンツ提示の一検討," 映情学冬大, 22B-3 (2021)
- (6) 小松, 藤井, 阿部, 藤津, 藤沢: "コンテンツデータ連携のためのコンテンツディスクリプション生成技術の開発," 映情学冬大, 32A-4 (2021)
- (7) 小松, 藤井, 阿部, 藤津, 藤沢: "コンテンツデータ連携のためのメタデータ生成技術の開発," 信学総大, D-23-6 (2022)
- (8) 藤井, 阿部, 小松, 藤津, 西村, 藤沢: "教材文書の構造にもとづく基礎発展関係の抽出," 信学総大, D-15-28 (2022)
- (9) T.Sato: "Recent Update and Remaining Issues on Hybridcast," W3C TPAC 2021, <https://www.w3.org/2011/webtv/wiki/images/5/52/NHK-update-MEIG-TPAC-2021.pdf>
- (10) H. Endo: "Media Use Cases and Issues," W3C TPAC 2021, <https://github.com/w3c/wot/tree/main/PRESENTATIONS/2021-10-online-f2f/2021-10-26-WoT-F2F-UseCases-NHK-Endo.pdf>
- (11) <https://www.nhk.or.jp/strl/oss/hybridcast/index.html>
- (12) D.Sekine, K.Matsumura and A.Fujii: "Personal Viewing History Collection Method for Video Streaming Services in User-Centric Model," Proc.IMX, ACM, 284-289 (2022)
- (13) 山上, 上野, 松村: "パーソナルデータストアを活用したユーザ中心型放送サービスのエンドツーエンド検証システムの構築," 情処学DPS研資, No.39 (2022)
- (14) H.Ogawa, K.Matsumura and A.Fujii: "Voice News Notification at Appropriate Timing," Proc.IMX, ACM, 194-198 (2021)
- (15) 小川, 松村: "コンテキスト適応情報提示に向けた生活行動中のメディア視聴行動の実態調査," 信学技報, Vol.121, No.363, 101-106, HCS2021-60 (2022) <https://www.ieice.org/ken/paper/202201283C7d/>
- (16) 伊藤, 村崎, 松村, 藤井, 藤本: "視聴データを用いたサービス運用で想定される利用者のリスク認知の調査," 情処学EIP研資, No.1 (2021)
- (17) 村崎, 松村, 伊藤, 藤本: "ユーザー主体の視聴データ利活用を前提としたコンテンツサービスへのリスク認知," 情処学EIP研資, No.13 (2022)

5.2 IP配信基盤

屋内外での個人視聴、スポーツ会場やイベント会場での集団視聴など、インターネットを活用して視聴者がコンテンツを視聴するさまざまな利用シーンに応じて、適切なタイミングでのコンテンツ提供および快適視聴を実現するIP (Internet Protocol) 配信基盤技術の開発を進めている。

■ QoE推定に基づく動画配信技術

ネットワークが混雑する状況においても、体感品質を損なうことのない安定した動画視聴の実現に向けて、動画配信のQoE (Quality of Experience) 推定に基づき、端末ごとに配信リソースを制御し、品質変動を抑える配信手法の開発を進めた。

開発した手法では、配信側で複数ビットレートのストリームを用意し、各ストリームを構成するセグメント(配信単位)ごとのQoE評価値を基に、全端末の配信ビットレートの組み合わせを決定する。

2020年度は、一定の配信帯域の中でQoE評価値の最低値が最も大きくなるよう全端末の配信ビットレートの組み合わせを決定することで、局所的な受信映像品質の劣化を抑制する手法を開発した。

2021年度は、あらかじめ設定したQoEの品質保証値を満たすように、総配信帯域と各端末の配信ビットレートを制御する手法を開発した。全端末のQoE評価値が品質保証値を上回っても配信帯域に余剰がある場合には、配信帯域の上限まで各端末の配信ビットレートを向上させる。一方、配信帯域の不足により品質保証値を下回る端末が出そうな場合は、全端末が品質保

証値以上となる最小限の配信帯域を動的に確保することにより、配信帯域を効率的に利用しつつ品質保証を行う。QoE評価指標として主観品質と相関の高い映像品質評価指標を用いて動作検証を行い、確保した配信帯域に余剰を生じさせずに全端末のQoE評価値を品質保証値以上に制御できることを確認した⁽¹⁾。

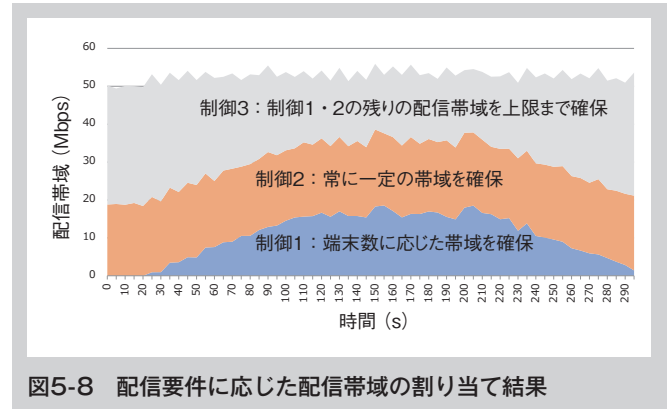
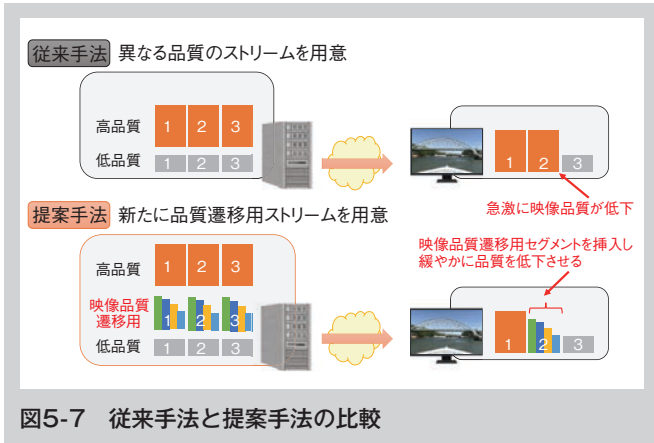
■ 心理的效果を活用した動画配信技術

動画視聴時の心理的状況を考慮することにより、ネットワーク輻輳時におけるQoEの維持・向上を図る動画配信手法として、心理的效果の一つであるアンカリング効果(先に与えられた情報がその後の意思決定に影響を与える現象)に着目した配信ビットレート制御手法を開発した。

近年の動画配信で主流のアダプティブストリーミング(従来手法)では、ネットワークの輻輳時には高品質から低品質のストリームに瞬時に切り替えるのが一般的である。提案する手法では、アンカリング効果を基に映像品質を緩やかに低下させるとQoEが低下しにくいという仮説を立て、高品質から低品質に切り替える際に段階的に品質が低下する映像品質遷移用セグメントを挿入することで、緩やかに映像品質を低下させる(図5-7)。

実験参加者21名による主観評価実験を行った結果、提案手法の方が従来手法よりも品質切り替え時の伝送量が約50%少ない条件においても、両手法の主観品質に有意差が生じず、QoEを維持しつつトラフィックを削減できる可能性を確認した⁽²⁾。

この研究は、大阪大学と共同で実施した。



度が低下するが、逐次ARでは精度低下が抑制される傾向が見られた。また、帯域変動パターンに応じて係数算出に利用する学習サンプル数を変更することにより、予測精度が向上する可能性を確認した⁽⁵⁾。

■ 配信要件に応じた品質制御を可能とする仮想リソース制御技術

サーバーだけでなくネットワークも含めて仮想化され、それらリソースをAPI経由で制御可能な将来のネットワークを想定し、放送事業者が自ら配信品質を管理可能な配信基盤の実現に向けた、仮想リソース制御手法の開発を進めた。

開発した手法では、配信基盤上で同時実行される各種配信制御ソフトウェアからの要求を受け付け、その優先度に応じて動的に配信帯域を割り当てる。仮想環境上に構築した配信基盤において、全端末の品質が基準値以上になるように配信帯域を確保する配信制御（制御1）、上限が固定の配信帯域の中で全端末の配信ビットレートを最適化する配信制御（制御2）、利用可能帯域の推定値に基づき配信ビットレートを制御する配信制御（制御3）の各ソフトウェアを同時実行した場合について、動作を検証した。検証では、全体の配信帯域を50Mbpsに設定し、制御2および制御3それぞれの端末数を一定として配信している状態で、制御1の端末数を変化させて配信した。その結果、制御1が端末数に応じて動的に配信帯域を確保し、制御2は常に一定帯域を確保し、制御3が残りの配信帯域を使い切るように制御された（図5-8）。また、全端末が制御1から3それぞれの制御方針に従って途切れなく安定して再生できていたことから、各配信制御ソフトウェアが配信要件を満たしつつ同時実行されることを確認した⁽⁶⁾。

■ ユーザー操作に応じたスムーズな映像切り替え技術

動画配信における新たなユーザー体験の提供に向けて、動画ストリームにユーザーが選択するオブジェクト映像をスムーズかつ高品質にワイプ表示する手法を開発した。

開発した手法では、配信サーバー側にはベース映像と各オブジェクト映像と、各オブジェクトを縮小して連結した低解像度のサムネイル映像を用意し、視聴端末ではベース映像とサムネイル映像を常に受信する。ユーザーがワイプ表示するオブジェクトの切り替え操作を行うと、選択したオブジェクト映像を配信サーバーから受信し、再生準備が整うまでの間、同オブジェクトをサムネイル映像から切り出して拡大表示することにより操作レスポンスの向上を図る。さらに、拡大映像に深層学習を活用した超解像処理を施すことにより、品質劣化を抑える。

■ 配信制御の数理最適化技術

大規模かつ効率的な配信制御の実現を目指して、量子アニーリングをはじめとする組み合わせ最適化問題に特化した計算技術であるイジングマシンを活用した、配信制御手法の開発を進めた。

その一手法として、視聴端末における利用可能帯域と再生バッファ量の予測値を基に、イジングマシンにより配信ビットレートを選択する手法を開発した。この手法では、高ビットレートのストリームを優先的に選択する評価式、ビットレートの変動を抑制する評価式、および再生バッファを一定量に保つ評価式それぞれを、イジングマシンに適した演算式であるイジングモデルとして定式化し、各評価式に重み付けて加算した値をQoE推定値として最適解を求める。モバイル回線の実測データを用いた数値シミュレーションの結果、各評価式の重み調整パラメーターの変更により、重視する指標に比重を置いたビットレート選択が実現されていることを確認した⁽³⁾。

さらに、配信側で用意した複数ビットレートの配信ストリームそれぞれの、セグメントごとの映像品質評価値に基づき、イジングマシンにより全端末の配信ビットレートを最適化する手法を開発した。開発した手法では、一定の配信帯域の中で、映像品質評価値の最低値をできる限り向上させるよう、全端末の配信ビットレート選択を組み合わせ最適化問題として定式化し、イジングマシンにより求解する。数値シミュレーションの結果、各端末の配信ビットレートを固定し配信帯域の使用率を100%とする手法と比較して、端末ごとの映像品質評価値のばらつきを抑制できることを確認した⁽⁴⁾。

■ 時系列解析による帯域変動予測技術

安定かつ低遅延な動画配信の実現に向けて、動画視聴プレイヤーにおいてネットワークの帯域変動を高精度に予測する手法の開発を進めた。

2020年度は、非正常時系列データの解析に適した時系列解析モデルであるARIMA (Auto-Regressive Integrated Moving Average) モデルを利用し、事前に決定した係数で継続的に予測する帯域変動予測手法(事前ARIMA)を開発した。

2021年度は、時間経過に伴う帯域の平均や分散の変化に追従し予測精度の低下を防止するため、低負荷であり短期間での係数更新に対応可能なAR (Auto-Regressive) モデルを基に係数を逐次更新する予測モデル(逐次AR)を構築し、性能を評価した。事前ARIMAおよび逐次ARを動画視聴プレイヤーに実装し、インターネットの混雑状況が異なる複数の時間帯で予測精度を比較した。その結果、混雑する時間帯では、両手法とも予測精

動作検証を行い、超解像により拡大映像のPSNR値が向上すること、およびオブジェクト映像が操作から1フレーム以内の遅延で切り替わることから、映像品質の劣化を抑えつつ操作レスポンスを向上できることを確認した⁽⁷⁾。

[参考文献]

- (1) 福留, 北田, 黒住, 西出, 西村, 奥山, 趙, 山本: “映像評価指標に基づく配信帯域制御による品質管理型ABR配信手法の検討,” 信学技報, CQ2021-61, pp.115-120 (2021)
- (2) S.Nishide, D.Kominami, S.Nishimura, T.Otoshi, M.Kurozumi, D.Fukudome, M.Yamamoto and M.Murata: “Cognitive-effect-based bit rate control to improve quality of experience for video

streaming,” ICETC2021, D4-3 (2021)

- (3) 森, 西村, 山本: “モデル予測制御に基づく動画ビットレート選択アルゴリズムのイジングモデルによる定式化,” 信学論B, Vol. J105-B, No.03 (2022)
- (4) 森, 福留, 西村: “イジングマシンによるユーザの視聴品質を考慮した配信ビットレート最適化,” 映像学冬大, 22B-2 (2021)
- (5) 板倉, 黒住, 森, 西村: “時系列解析による帯域予測の性能評価,” 信学技報, Vol.121, No.433, NS2021-134 (2022)
- (6) 黒住, 福留, 森, 板倉, 西村: “仮想環境を利用した配信要件に応じた品質制御の動作検証,” 信学総大, B-11-2 (2022)
- (7) 藤井, 福留, 西村: “動画配信におけるユーザ操作に応じたスムーズなワイプ映像切り替え手法の検討,” FIT2021, I-003 (2021)

5.3 セキュリティー

安全・安心な公共メディアの実現を目指して、暗号・情報セキュリティ技術の研究を進めた。

■ プライバシー保護機械学習システム

ユーザーのプライバシー情報や機密情報を含むデータをクラウド上で保護し、量子計算機による攻撃が生じた場合にも安全に機械学習を利用できる暗号方式を実現するための技術を開発している。2021年度は、2020年度に試作した既存のマルチパーティー計算 (MPC) に基づくプライバシー保護機械学習方式をベースにしたプロトタイプを改良し、学習と推論いずれも安全に実行可能で量子計算機による攻撃に耐性を有するプライバシー保護機械学習システムを開発した (図5-9)。手書き数字の画像データセット (MNIST) を用いた性能評価実験により、計算機の性能や通信帯域の要件を定量的に把握した。また、本システムにおける学習と推論をクラウドサーバー上で安全に実行できるように改良し、ローカルサーバーを構築した場合に比べて処理時間を大幅に削減できることを性能評価実験により確認した⁽¹⁾。放送局において画像・音声認識やビッグデータ解析を行う際、ユーザーのプライバシー情報を含むデータを扱うことがあるが、本システムでは、データをクラウド上に保存し暗号化したまま機械学習をすることができるため、放送局の個人情報漏洩リスクを低減可能である。なお、本システムは最高レベルの安全性を有するFalcon方式をベースに構成した。学習・推論いずれも安全に実行可能な方式として初めてBatch Normalizationをサポートしており、学習プロセスの安定化と学習速度の向上が期待できる。

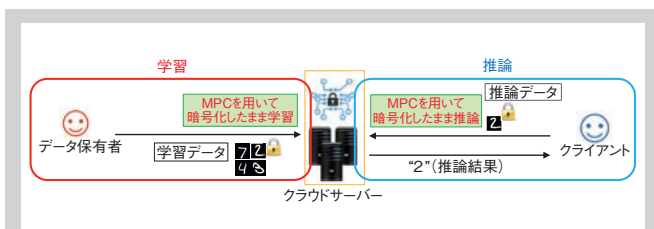


図5-9 マルチパーティー計算 (MPC) を用いたプライバシー保護機械学習システム

■ 耐量子計算機署名方式

さまざまなメディアの認証に必要な耐量子署名について、量子計算機による攻撃に対しても安全な耐量子計算機署名方式の研究を進めた。2019年度に提案した、量子計算機であっても解くことが困難と言われている格子問題に基づく署名方式について、詳細な安全性解析を行うとともに、安全性証明の改良を行った。本研究は東京大学と共同で実施した。

■ グループ鍵共有方式

コロナ禍で番組のリモート収録が増えているが、既存のウェブ会議システムでは1対1の鍵共有プロトコルを繰り返し実行するため、ユーザー数が大規模 (数千人以上) なリモート観覧などのサービスを実現することが困難である。そこで、映像・音声・テキスト等のコンテンツを多人数のユーザー同士で安全かつ効率的に通信可能なセキュアグループメッセージングを、リモート観覧などのネット利用放送サービスに応用するため、IETFで現在標準化が行われているグループ鍵共有プロトコルを改良し、1対多の放送型グループ鍵共有プロトコルを開発した⁽²⁾。開発した放送型グループ鍵共有プロトコルは1対多の構成で効率的に鍵共有が可能のため、多数のユーザーが参加するネット利用放送サービスに適した方式である。また、「誰がグループに参加しているのか」という参加者情報をグループメンバー以外のユーザーに秘匿することが可能なグループ鍵共有プロトコル、および参加者情報をグループメンバーに対しても秘匿することが可能なグループ鍵共有プロトコルを開発した⁽³⁾。本方式は、従来の放送が備えている「匿名性」をユーザーに対して保証するものであり、安全・安心にネット利用放送サービスを提供できる。本研究は国立研究開発法人情報通信研究機構と共同で実施した。

■ 放送通信連携サービス用プライバシー保護システム

2019年度に開発した移動体向け放送通信連携サービス用プライバシー保護システムについて、詳細な安全性解析および性能評価を行った⁽⁴⁾。本システムでは、サービスプロバイダーがあらかじめ暗号化してクラウドに預けた番組関連情報などの

データから、個人の視聴履歴にひも付いたデータを暗号化したまま抽出することで個人用データベースを構築するとともに、このデータベースを用いて、視聴者の位置情報に関連した番組情報を提供することにより、リアルタイムに個人向けサービスを行うことが可能である。クラウドおよびネットワーク上の全てのデータは暗号化されているため、ユーザーのプライバシーを保護することが可能である。

〔参考文献〕

(1) 梶田, 村崎, 大竹: “マルチパーティ計算による耐量子プライバシー

保護機械学習の実装評価,” 映情学冬大, 22B-4 (2021)

- (2) 梶田, 江村, 小川, 野島, 大竹: “放送サービスに適したセキュアメッセージング用グループ鍵共有,” CSS2021, 3E4-1, pp.981-988 (2021)
- (3) 江村, 梶田, 野島, 小川, 大竹: “参加者情報を秘匿する非同期グループメッセージング方式,” SCIS2022, 1E2-6 (2022)
- (4) K.Kajita, G.Ohtake and K.Ogawa: “Privacy-Preserving System for Enriched-Integrated Service,” IEICE Trans. Inf. & Syst., Vol.E104-D, No.5, pp.647-658 (2021)

6 フロントサイエンス・計算機科学・コグニティブサイエンス・社会科学

6.1 機械翻訳

外国人に対する迅速な情報提供を効率的に実現するため、ニューステキストを対象とした日英機械翻訳、多言語機械翻訳、機械翻訳の出力制御に関する研究を進めている。

■ ニュースの機械翻訳

放送局では、外国人に対する情報提供のために日本語コンテンツを翻訳して外国語コンテンツを制作しており、迅速な制作を支援するため、機械翻訳の研究に取り組んでいる。2020年度までに、合計100万文対を超える大規模な日英対訳データを整備し、このデータを学習したニュース用の日英機械翻訳システムが英語原稿制作現場で試用されている。2021年度は、日付表現曖昧性解消処理⁽¹⁾と、辞書登録結果を即時に反映する機能を機械翻訳システムに追加し、システムの利便性を向上させた。

これまで、機械翻訳システムの学習データとして、人手で翻訳した対訳データを利用してきた。コストと時間を要する人手翻訳による学習データが無くても翻訳品質を維持できるよう、2021年度からは放送局で制作される日本語ニュースと英語ニュースから翻訳システムを学習するエコシステム構築を進めている。日本語ニュースをベースとして制作される英語ニュースは、外国人に分かりやすいように情報の追加や削除が実施されている。そのため、翻訳システムの対訳データとしては追加・削除された情報がノイズとなり、そのまま機械翻訳システムで学習すると、情報の欠落などの問題が発生する。そこで、日本語ニュースと英語ニュースの対訳単語推定手法を考案し、対訳関係の情報を付与して機械翻訳を学習することにより、ノイズが多いデータからの効果的な翻訳知識の学習を実現した。また、学習データに存在するノイズを除去するための知識蒸留手法も考案した。知識蒸留では、学習済みの複雑なモデルから知識を獲得し、獲得した知識を軽量なモデルで学習する。この処理に語彙制約機能を導入することにより、翻訳品質を評価するBLEU値で日英翻訳2.3ポイント、英日翻訳3.0ポイントの向上を確認した。

日本語ニュースの機械翻訳の出力を自然な英語ニュースに近づける英語ニュース調テキスト生成技術の研究を進めた。日本語ニュースの第一文(リード文)を機械翻訳で英語に直訳した文と、英語ニュースのリード文のペアを作り、直訳の英語文を英語ニューススタイルに変換・要約するための訓練データを構築した。このデータを英語要約の大規模事前学習モデルに追加学習させた英語ニューススタイルのリード文生成手法を考案し、要約品質を評価するROUGE-1値で10.2ポイントの向上を確認した。従来の翻訳結果と比較して、英語ニュースのリード文に近い出力が確認できた。

機械翻訳システムでは、通常は1文単位で翻訳処理を実行するが、日本語ニュースでは主語が省略されるなど、1文だけでは情報が足りない場合がある。そこで、文脈を利用した翻訳の研究を進めている⁽²⁾。2021年度は、複数文における訳語を統一できる翻訳語彙制約手法を考案した。重要な単語と誤りやすい単語が翻訳結果として出力されるよう制約をかけて学習することにより、翻訳品質の改善が確認され、日英機械翻訳タスクにおける競争型の国際ワークショップWAT2021(The 8th Workshop on Asian Translation)では、4チーム中2位の成績

を得た⁽³⁾。

在留外国人の国籍は多様なため、日本語や英語だけでなく、多言語による情報提供が望まれている。そこで、日英、英日翻訳以外に、多言語翻訳システム(英語→ベトナム語、英語→ポルトガル語、英語→スペイン語、日本語→中国語、日本語→韓国語)を開発した(図6-1)。既存翻訳エンジンと比較実験を実施し、全ての言語で良好な翻訳品質を確認した。また、ノートパソコン1台のスタンドアロンで動作する多言語翻訳システムを構築し、番組制作の現場で活用された。

■ 機械翻訳の出力制御

人間の通訳士が実行しているような、高度な同時通訳を機械で実現することを目的として、長さ、スタイル、難易度、外部知識などに基づいて自然言語生成を柔軟に制御する技術の研究開発を、外部の5機関と連携して2022年1月から開始した。NHKは、日英機械翻訳の出力制御技術の研究開発を担当し、日英の新聞記事の差分を抽出して、今後取り組むべき研究課題を整理した。この研究は国立研究開発法人情報通信研究機構の委託研究「自動翻訳の精度向上のためのマルチモーダル情報の外部制御可能なモデリングの研究開発」を受託して実施した。

[参考文献]

- (1) 衣川, 伊藤, 美野, 後藤, 山田: “日英対訳コーパス中の単語の対応関係を用いたデータラベリングに基づく時間表現分類,” 2021年度(第35回)人工知能学会全国大会, 4J2-GS-6e-01, pp.1-4 (2021) https://www.jstage.jst.go.jp/article/pjsai/JSAI2021/0/JSAI2021_4J2GS6e01/_pdf/-char/ja
- (2) 美野, 伊藤, 後藤, 山田, 徳永: “目的言語側の文脈を考慮したニューラル機械翻訳,” 自然言語処理, Vol.28, No.4, pp.1162-1183 (2021) https://www.jstage.jst.go.jp/article/jnlp/28/4/28_1162/_pdf/-char/ja
- (3) H. Mino, K. Kinugawa, H. Ito, I. Goto, I. Yamada, T. Tokunaga: “NHK’s Lexically-Constrained Neural Machine Translation at WAT 2021,” the 8th Workshop on Asian Translation (WAT2021), pp.46-52 (2021) <https://aclanthology.org/2021.wat-1.2.pdf>

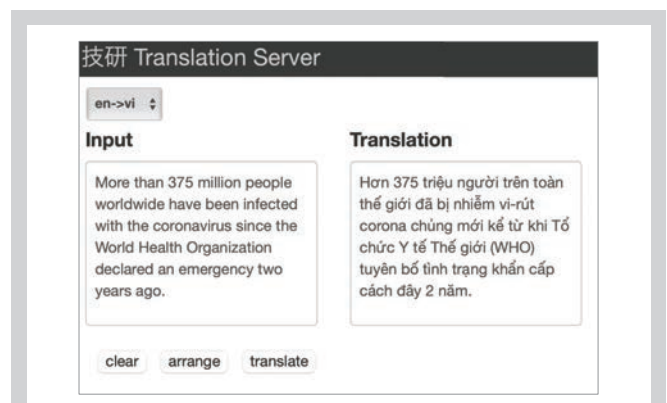


図6-1 多言語翻訳処理例(英語→ベトナム語翻訳)

6.2 自然言語処理技術

■ テキストビッグデータ活用技術

放送局では、番組制作の過程でさまざまな形でテキストデータを取り扱っている。例えば、番組の読み原稿や字幕情報、ニュースや番組に関するオンライン記事、番組の内容を示す番組概要、取材の過程で制作者が作成した取材メモ、論文・技術報告書・アンケートなどの調査資料があげられる。それらのデータの規模が拡大しているため、自然言語処理を用いたテキストビッグデータ活用技術による、コンテンツ制作支援が期待されている。

・放送コンテンツの活用

2021年度は、放送局におけるテキストデータの活用のためのメタ情報を付与することを目的に、テキストデータの内容を示す複数のラベルを付与するマルチラベル分類手法を開発した⁽¹⁾。提案手法では、ラベルの共起情報による平滑化を用いて、頻繁に出現するラベルの精度を維持したまま、低頻度ラベルの精度を向上させている。この技術を用いて、ニュース記事の内容を表すジャンルやラベル、記事中に現れる重要なキーワードなどのメタ情報を自動で付与するニュース記事分析システム(図6-2)を、放送現場と連携して開発した⁽²⁾。

また、放送局のデータベースに保存されているニュース原稿や制作者の取材メモなどの素材を活用するために、これらのテキストを分析して、対象のテキスト群における単語の出現頻度が一目で把握できるワードクラウドで提示したり、感情認識結果と地名などの位置情報と紐づけて地図上に表示する可視化システムを開発した⁽³⁾。ワードクラウド機能は、年度ごとに地域で起こった出来事の把握などローカルニュース原稿の可視化のために地域放送局で活用された。さらに、視聴者からSNSに投稿される番組への反応をリアルタイムに可視化するシステムにも応用し、生番組「今夜のひとりごと」で利用された⁽⁴⁾。

・外部情報の活用

情報番組や科学番組の制作においては、ソーシャルメディアや学術分野の最新の知見を利用することがある。例えば、新型コロナウイルス感染症(COVID-19)をテーマに取り上げた番組では、関連する論文やSNSに出現する単語の出現頻度の分析結

果が用いられている。そこで、当所においても、膨大な学術論文データベースから番組に有用な情報を効率良く見つけるための、学術論文の分析支援技術を検討し、医療分野に最適化した事前学習済み言語モデルを用いた深層学習による論文分類手法を開発した⁽⁵⁾。COVID-19に関する論文の分類タスクで評価した結果、提案手法の有効性を確認できた。

また、ソーシャルメディアを利用したトレンド分析やフェイクニュース判定のための基礎技術として、対話などの時系列情報を持つテキスト群を対象に、テキスト間の関係と時系列情報を保持するグラフニューラルネットワークを用いた感情分類手法を開発した⁽⁶⁾。評価実験の結果、これまでの最良の手法を上回る性能を確認した。さらに、機械学習による学習が困難な比較的小規模なアンケートデータを対象に、性別や年齢、特定の回答結果の条件に合う回答者とそれ以外の回答者を判別するための情報抽出手法を提案した⁽⁷⁾。

■ 視聴者生成テキストと番組との関連付けに関する研究

視聴者の生成したテキストと番組との関連付けを自動化するための研究を進めている。視聴者生成テキストで番組に対する意見が述べられている場合に、その意見対象となっている部分を自動的に抽出する研究を進めた。2021年度は、意見対象が長い単語列となる場合の抽出手法を提案した。提案手法は、自然言語処理分野での最高水準を達成している標準的な深層学習モデルに対して、意見対象区間が長くなっても頑健となるような損失関数を特別に設計してその標準モデルに組み込んでいく。これにより、意見対象が多様多様にわたる場合の効果が期待できる。NHKの番組に関する実際のツイートを用いて評価を行い、単語レベルで意見対象を抽出する従来の手法と比較して、提案手法の必要性が確認できた⁽⁸⁾。

〔参考文献〕

- (1) 安田, 石渡, 宮崎, 後藤: “マルチラベル分類における共起情報を用いたラベル平滑化手法,” 信学技報, NLC-2021-27, pp.48-53 (2021)
- (2) 安田, 後藤: “ニュース制作支援のための記事分析システムの構築,” 映情学冬大, 31A-1 (2021)
- (3) 宮崎, 石渡, 遠藤, 望月, 後藤, 霜山, 内田, 田中: “ニュース原稿の活用のための可視化手法,” FIT2021, No.2, D-020, pp.199-200 (2021)
- (4) “番組「今夜のひとりごと」にツイート分析システムで協力,” 技研だより, 11月号, No.200 (2021) https://www.nhk.or.jp/str/publica/giken_dayori/200/1.html
- (5) 奥田, 宮崎, 美野, 後藤: “文単位の分類器を用いた論文分類手法の検討,” 映情学冬大, 21A-2 (2021)
- (6) 石渡, 安田, 宮崎, 後藤: “発話順序に基づくGraph Attention Networksを用いた対話文における感情認識,” 自然言語処理, Vol.28, No.4, pp.1141-1161 (2021)
- (7) 岡本, 後藤: “アンケートデータを対象とした傾向抽出手法と評価,” FIT2021, No.1, CA-005, pp.19-26 (2021)
- (8) 小早川: “BERTに区間損失を加味した意見対象抽出,” 信学技報 Vol.121, No.281, NLC-2021-24, pp.33-38 (2021)

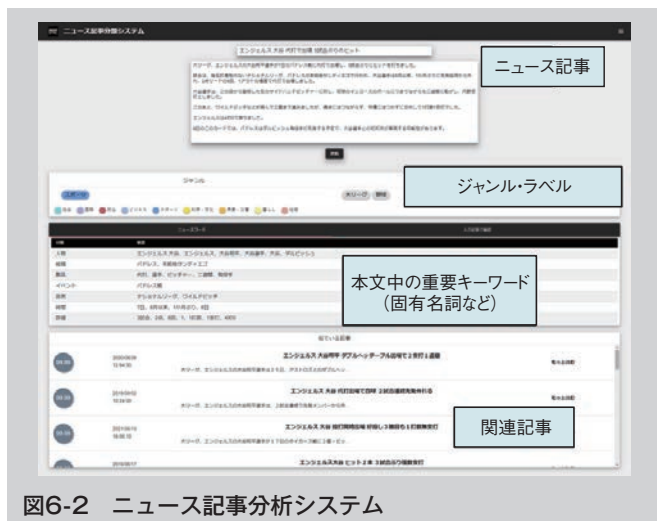


図6-2 ニュース記事分析システム

6.3 画像・音声解析

■ メタデータ自動付与

映像アーカイブスや各放送局に蓄えられた映像素材は、番組制作者にとって貴重な資料である。その利活用の促進を目的として、画像解析による映像へのメタデータ自動付与技術の研究を進めている。

メタデータは「映っている人や物の名前」が一般的であるが、放送現場では、さらに多様な情報を付与する技術が求められている。そこで、「動作」に関するメタデータの自動付与を目的として、映像における動作区間およびその動作ラベルを同時に推定する技術を開発した⁽¹⁾。従来手法のニューラルネットワークにおける、着目する時間長の違いなどにより長さが異なる特徴量ベクトルを固定長のベクトルに変換するpooling処理に着目し、それらのベクトルの加算重みを学習により適切に定める仕組みを導入した。評価用データでの実験において、従来手法に対して約3%の精度向上を実現した。

これまで研究を続けてきた顔認識技術については、コロナ禍における現場からの強い要望に応えるために、マスクを着用した顔の認識性能を向上させるための研究に着手した。学習データとして大量に集めるのが難しい「マスク着用顔画像」を、マスクを着用していない顔画像への合成処理で自動生成する新しい手法を開発した⁽²⁾。図6-3に本手法で生成したマスク着用顔画像の例を示す。人物がマスクをしているか否かを判定する評価実験により、本手法で生成した画像が学習データとして有効であることを示した。また、2021年度に放送現場での試用を開始した「顔認識によるメタデータ付与システム」のさらなる利便性向上を目的として、顔検出処理の改良と認識対象となる顔画像データの拡充などを進めた。そして、関連部局の協力のもと、報道系ファイル伝送システムで実運用を開始した人名メタデータ付与システムに、顔認識技術が実装された。

■ ネットコンテンツ生成支援／自動カラー化

番組に対する接触率の向上を主な目的として、ソーシャルメディアで配信する要約動画や番組ホームページといった「ネットコンテンツ」の重要性が高まっている。ネットコンテンツの制作には高い専門性と作業コストが必要であり、その確保が課



図6-3 生成したマスク着用顔画像の例

題となっている。そこで、番組映像を自動要約する技術および、番組の代表画像を自動選定する技術の研究に取り組んでいる。

番組映像の自動要約技術については、1次元量み込みニューラルネットワークを用いて複数の特徴ベクトルを統合する仕組みを採り入れた新しい手法を開発した⁽³⁾。この手法は、複数種類の特徴や複数の時間長で算出した特徴を入力可能であり、かつそれらを少ないパラメーターで学習することができる。評価用データでの実験において、従来手法に対する約40%の学習パラメーター削減と1.2%の精度向上を実現した。さらに、この技術を用いた番組要約動画の作成支援システムを新たに試作し、ドキュメンタリー番組の制作現場における試用を開始した。また、2020年度に地域放送局にて利用検証を開始した「ニュース要約映像作成支援システム」については、発話区間を考慮した動画の切り出し処理を導入するなどの改修を行うとともに、関連部局が主催する勉強会でのPRや、利用を希望する番組制作スタッフへのレクチャーなどを通して、利用する部署の拡大を図った。

番組代表画像の自動選定技術については、画像特徴だけでなく番組ジャンルも考慮して画像の重要性を判定する技術⁽⁴⁾を開発し、番組ホームページの一部を自動生成するアプリケーションを試作した。利用者が番組ジャンルを指定することで、これまでよりも精度の高い画像選定が可能となる。

白黒映像の自動カラー化技術については、アーカイブ部との連携のもと、番組制作への協力を継続した。独自に開発したカラー化システムの貸し出しおよびセットアップの支援などにより、歴史関連番組の制作や地域放送局における特別番組の制作に貢献した。

■ 発話内容の自動字起こし

長時間にわたる取材映像や音声素材を編集して、放送で分かりやすく伝えるためには、それらの発話内容を文字化する「字起こし」作業が不可欠である。しかし、この作業には多くの労力を要するため、番組制作の迅速性や効率を低下させる要因となっている。そこで、字起こし作業の支援を目的とした音声認識技術の研究および実用システムの開発に取り組んでいる。

音声認識技術による字起こしシステムは、さまざまな放送現場で実用化されてきた。しかし、既存システムの音声認識モデルは約25GBのサイズを有するため、利用部署ごとに高価な専用サーバーを設置して運用する必要があった。そこで、実利用のさらなる拡大を目的として、音声認識モデルのコンパクト化に取り組んだ⁽⁵⁾。まず、前段部分である音響モデルについて、音素の構成単位を縮小し、モデルの構成をTDNN(Time-Delay Neural Network)からLSTM(Long Short-Term Memory)に置き換えた。TDNNよりも長い履歴を考慮可能なLSTMを用いることで、モデルサイズの削減と認識精度の向上を両立させることができた。後段の言語モデルについても、単語連鎖の共起関係を絞り込むことで、モデルサイズの削減を図った。最終的に、精度が2.4%向上し、かつサイズが元のモデルの1/25(約1GB)となる音声認識モデルの生成に成功した。そして、この技術により一般的なノートパソコンでの稼働が可能となった音声認識モデルが、2021年10月より全局で配布された字起こしアプリ「Z-Das」に実装された。

2020年度に試用を開始した各字起こしシステムについて

も、実用化に向けた取り組みを継続した。放送センターで試用されていたシステムについては、電話音声認識技術の精度検証などを経て、全国の営業部門での実利用が開始された。また、発話者情報付与機能を有する字起こし試用システムについては、各発話者の代表顔画像を抽出する手法の改善を図るとともに、外部向けのデモ用システムを開発して技研公開2021で展示した。

近年、E2E(End-to-end)音声認識の性能が急速に向上している。しかし、従来技術のように言語モデルが独立していないため、放送サービスとしての実用で必要となる「新しい単語やその言い回しの追加学習」が難しいという課題があった。そこで、テキストのみの学習による言語知識の更新が可能な、新しいE2E音声認識モデルを開発した⁽⁶⁾。音声データとテキストの対をCTC(Connective Temporal Classification)記号列を介して学習する従来モデルに、テキストのみの追加学習できるように、従来モデルと潜在空間を共有可能なニューラルネットワークを接続する技術を提案した(図6-4)。天気予報の放送音声を用いた評価実験において、テキスト1000文のみの学習により、単語誤り率が18.7%から13.7%に低減した。

■字幕放送の品質に関する評価実験

字幕放送は、放送音声の聞き取りが難しい状況において、視聴者が番組内容を把握するために欠かせないサービスである。

2021年度は、インタビューや対話シーンで音声認識精度が低下して、誤った文字が字幕として表示されたり、オープンキャプション(OC)が付与されたインタビュー部分で、同じ内容の字幕が表示されるなど、人手による修正をしない場合の字幕品質の満足度を調べた。まず、画像解析により自動検出したOC領域や、音声認識の精度低下を検知する仕組みなどを利用して、字幕の表示タイミングや位置を制御できるシミュレーターを開発した⁽⁷⁾。このシミュレーターによるインタビューや対話シーンの動画を対象とした被験者実験により、「OCと位置が重複する字幕は表示しない方がよい」「音声無しの動画では字幕品質に対する許容度が高い」などの知見を得た⁽⁸⁾。

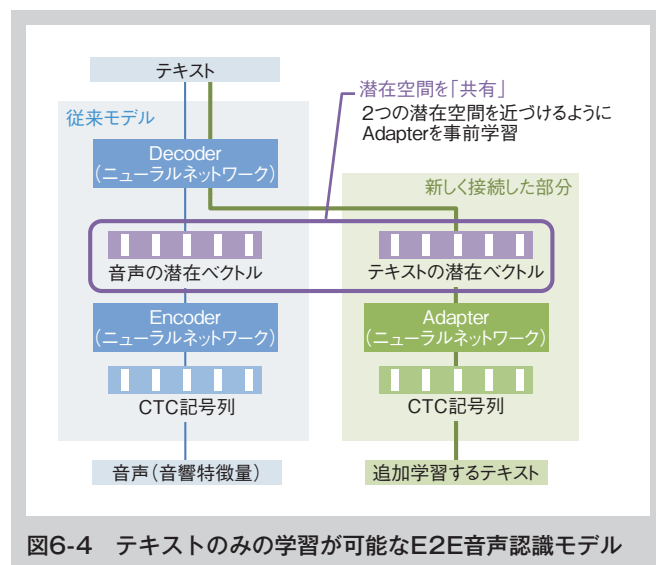


図6-4 テキストのみの学習が可能なE2E音声認識モデル

〔参考文献〕

- (1) 遠藤, 望月, 佐野: “Temporal Action Localizationのための学習可能な重み付きRoI Poolingの検討,” 映情学冬大, 11A-4 (2021)
- (2) 河合, 望月: “コロナ時代の顔画像解析に向けたマスク着用学習データの合成手法,” 映情学冬大, 21A-7 (2021)
- (3) 望月, 河合: “複数のモーダル特徴および時間尺特徴の1次元CNNを用いた統合による番組動画要約,” 信学総大, D-12-26 (2021)
- (4) 前澤, 遠藤, 藤森, 望月: “番組ジャンル情報を取り入れた代表画像選定技術の検討,” 信学技報, Vol.121, No.155, PRMU2021-15, pp.48-51 (2021)
- (5) 三島, 佐藤, 西谷, 堀川, 佐藤: “音声認識によるスタンドアロン字起こしシステムの開発,” 映情学冬大, 12B-8 (2021)
- (6) 佐藤, 小森, 三島, 河合, 望月, 佐藤: “テキストデータによるE2E音声認識モデル適応化に関する手法の提案,” 情処学研報, Vol.2021-NL-251/Vol.2021-SLP-139, No.29 (2021)
- (7) 藤森, 小森, 河合, 望月: “字幕制作の自動化に向けた字幕シミュレータの開発,” 信学総大, H-4-10 (2021)
- (8) 小森, 藤森, 河合, 三島, 佐藤, 望月, 佐藤: “オープンキャプション検出を併用した自動字幕表示手法の評価,” 信学総大, H-4-11 (2021)

6.4 コグニティブサイエンス

将来の多様な視聴形態を想定し、3DやAR/VRのコンテンツにおいて視聴効用を高める空間表現となる条件や多感覚提示によるクロスモーダル効果を明らかにする研究を進めている。

2021年度は、3次元空間で複数の物体を撮影する際の「良い」表現(撮影パラメーター)を予測するモデルを提案したほか、物体形状のわかりやすさの観点から3次元表示の効用を心理実験により明らかにした。また、新たにクロスモーダル効果の研究に着手し、体性感覚刺激を提示可能な実験環境の構築を進めた。

■視聴者が「良い」と感じる表現

任意の視点から3次元オブジェクトを観察する際、観察者が選択する「良い」表現には一定の傾向があると考えられる。本研

究では、与えられた表現に対して人が感じる「良さ」を予測するための基礎検討として、表現の「良さ」とそれを生成する撮影パラメーター(仮想カメラの位置・方向)との関係を調べる実験を行った⁽¹⁾。

本実験は、インターネットを用いたウェブ実験として実施した。実験参加者は、ウェブブラウザ上に表示された画像の「良さ」を評価した。延べ参加者数2万人を超える被験者から、さまざまなシーンにおける撮影パラメーターと「良さ」を関連づけるデータセットを収集した。

収集したデータセットを用いて「良さ」の予測モデルを提案した。その結果、従来法(視点エントロピー法)では困難であった、複数オブジェクトからなるシーンにおいても良好な予測が可能となることを確認した。提案手法による最も良い表現(撮影方

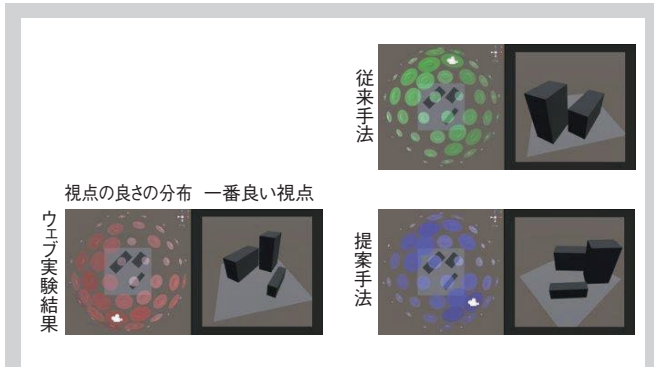


図6-5 シーンを観察する視点の良さの比較

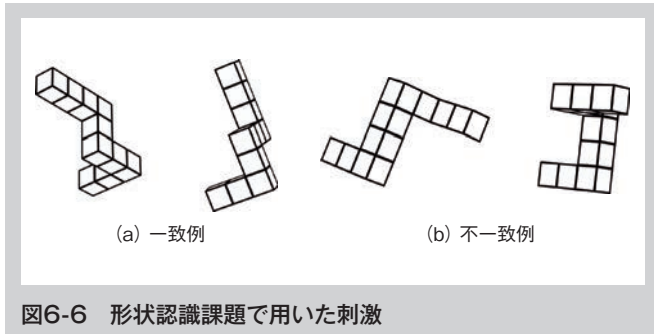


図6-6 形状認識課題で用いた刺激

向)の予測は、従来法による予測に比べ、ウェブ実験で得られた「良い」表現の視点分布に近いことがわかった(図6-5)。図中の円の大きさは予測されたスコア、または実験で選択された視点の選択率を示す。「良さ」という人の高次の判断が、画像特徴からの計算によって予測可能であることが示唆された。

■ 3次元表示の効用

3次元表示が視聴者に提供できる効果・効用として、「形状が分かりやすい」などの形状認識成績の向上効果があることを検証した⁽²⁾。3次元幾何学図形を同時に2つ表示し、それらが同一であるか否かを判断する課題を行った(図6-6)。その際、表示方法(3D / 2D)、視距離、表示時間を変えて課題成績を比較したところ、3D表示の方が2D表示よりも同等の情報を短時間で伝えることができること、視距離が短いほど3D表示の2D表示に対する優位性が高いことが分かった。空間表現(3D表示)の効果・効用が、印象増強だけではないことを示した。

■ 視聴効用を高めるクロスモーダル効果

視聴効用を高めるコンテンツ提示手法の開発を目指し、映像

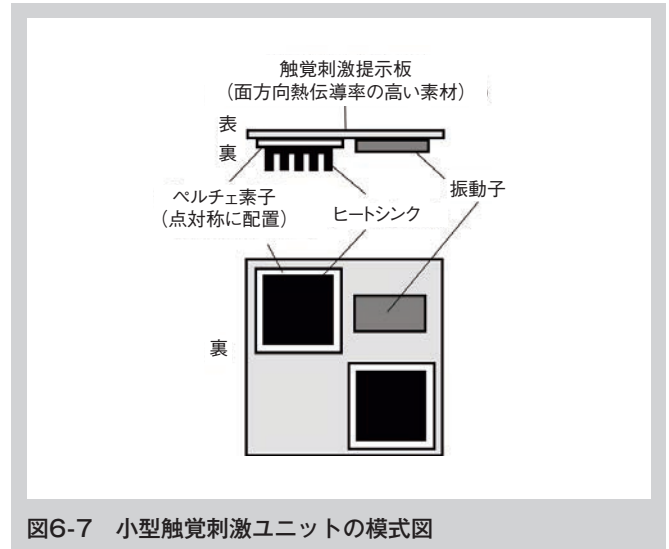


図6-7 小型触覚刺激ユニットの模式図

と体性感覚刺激によるクロスモーダル効果の研究に着手した。2021年度は、視聴覚以外の感覚刺激も提示することでクロスモーダル効果を評価するための実験環境の構築を進めた。

刺激の提示方法として、皮膚との接触面に対して温冷覚刺激と振動刺激を同時に提示可能な小型触覚刺激ユニットを開発した⁽³⁾。温冷覚の提示にはパルチェ素子を使用し、これを面方向に対する熱伝導率が高い素材と組み合わせる新たな方式を検討して実装した(図6-7)。この方式により、パルチェ素子の面積よりも広い接触面に対する一様な温度の提示を実現するとともに、パルチェ素子と同じ接触面に振動子を直接配置することで、温冷覚と振動刺激が同時に提示できることを確認した。また、振動刺激、温冷覚刺激、嗅覚刺激をそれぞれ映像音声にあわせて提示制御するソフトウェアを試作し、映像、音声、振動、温冷、香りによるクロスモーダル効果を体験できる環境を構築した。

ヘッドマウントディスプレイ(HMD)で提示する360度の全天球映像と体性感覚刺激とのクロスモーダル効果を評価する環境として、視聴覚以外の感覚刺激を非接触に提示する方式の検討を進めた。感覚間の相互作用による効果を定量的に評価するための、物理的な刺激強度の制御手法や統制方法に関する課題を抽出した。

[参考文献]

- (1) 界, 宮下, 澤島, 小峯: “ウェブ実験による3Dシーン内最適視点の評価および推定,” 映像学冬大, 13D-4 (2021)
- (2) 澤島, 小峯: “視距離と両眼視差が物体認識課題の成績に与える効果,” 映像学冬大, 11D-6 (2021)
- (3) 東, 半田, 小峯: “温度の連続値を表現可能な温度・振動提示デバイス,” ハプティクス研究会, PI-22-008 (2022)

6.5 社会科学

信頼できるコンテンツやサービスの創出を支えるため、放送文化研究所(文研)と連携し、ビッグデータを活用した放送の研究や、AI技術などを活用する際の課題を、社会科学的アプローチで分析・解析する手法の研究を進めた。

■ ビッグデータ解析を取り入れた新たな放送研究

番組データやSNSデータなどを対象に、ビッグデータ解析手

法を用いたメディア研究に取り組んだ。NHKの国際ニュース原稿を対象とした、潜在的トピックモデルおよび動的トピックモデルを用いた分析手法を提案し、各国のトピックの分布やトピックの時間的推移などを可視化(図6-8)することで当該手法の有効性を示した⁽¹⁾。またEPG(電子番組表)データについて潜在的トピックモデルによる分析を行い、EPGに含まれるテキストの分散表現を用いた制作部局のクラスタリングを行った。これにより、地域発全国放送番組の特徴およびその地域間差異などを明らかにし、地域番組制作に資する知見を得た⁽²⁾。さらに、東京五輪、リオ五輪の大会期間中のツイート进行分析し、「コロナ」や「五輪」といったトピックに関する投稿数の傾向を明らかにした⁽³⁾。

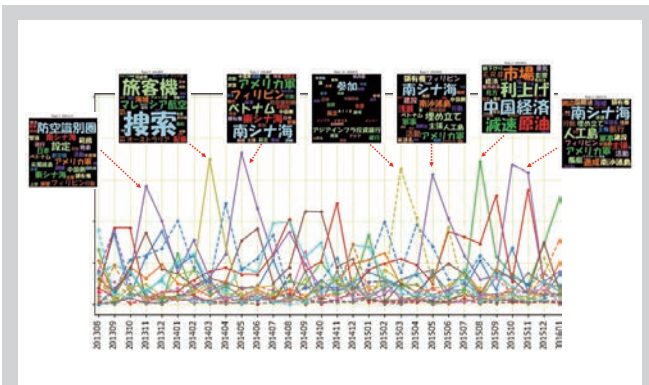


図6-8 国際ニュースのトピック推移の可視化例

■ユニバーサルサービスの社会実装における諸課題の検討

研究成果を製品やサービスといった形で社会実装する際には、技術的課題以外にも、ELSI (Ethical, Legal and Social Issues) と呼ばれる倫理的・法的・社会的課題を考慮する必要がある。2021年度はユニバーサルサービスの研究成果を社会実装する際の「手引」の策定に向けて、外部動向を調査し、課題を抽出した。国内外のAI倫理などに関するガイドラインを調査するとともに、技研および外部のユニバーサルサービス研究者へのインタビューを通じ、社会実装の際に考慮すべき項目を洗い出した⁽⁴⁾。さらに、ジェンダー学、法学、リスク学等の有識者による職場研修を実施し、NHK内におけるELSI的視点の醸成を図った。

〔参考文献〕

- (1) 豊田, 東山, 上杉, 宮崎, 後藤, 藤森, 川窪, 齋木, 田中, 内田, 霜山: “動的トピックモデルによるニュース原稿分析,” 映情学冬大, 12B-1 (2021)
- (2) 齋木, 東山, 上杉, 豊田, 川窪, 宮崎, 後藤, 藤森, 霜山: “電子番組表から見る地域放送動向に関する研究,” 映情学冬大, 12B-2 (2021)
- (3) 上杉, 東山: “コロナ禍の五輪 ニュースはどう伝えたか,” 放送研究と調査2022年2月号, pp.18-20 (2022)
- (4) 柳, 宮崎, 田高, 古宮: “ユニバーサルサービスの社会実装における課題 ～倫理的・法的・社会的課題(ELSI)の視点から～,” 放送研究と調査2022年3月号, pp.46-49 (2022)

7 フロントサイエンス-マテリアルサイエンス

7.1 表示技術

■ ディフォーダブルディスプレイ基盤技術

薄型・軽量の大大画面ディスプレイや自由に形状を変形可能なディフォーダブルディスプレイの実現に向けて、フレキシブル有機EL(OLED: Organic Light Emitting Diode)ディスプレイ、大規模な真空装置が不要で低環境負荷な塗布形成により作製できるTFT(Thin Film Transistor)、および伸縮性のある素材を用いたディスプレイの研究開発を進めた。

フレキシブルOLEDディスプレイの研究では、2020年度に試作した30インチ4KのフレキシブルOLEDディスプレイの画質改善に向けた研究に取り組んだ。OLEDディスプレイには、駆動デバイスとしてTFTが用いられている。TFTは、駆動する電圧や基板の温度、発光素子から照射される光などの影響により、電気特性が経時的に変化する。これが画面内の焼き付きの原因となり、画質低下を招く。そこで、連続表示による輝度むらや焼き付きを補償するため、パネル内の画素電流をパネルの外部に読み出し、電流値を測定することで、デバイス特性の変動を補償する外部補償方式を開発した。外部補償方式は正確に変動を推定できる一方で、フィードバックに時間がかかる課題があった。そこで、周辺画素の測定データから相互に補間することで、測定回数を減らし、測定時間を短縮する手法を開発した。本手法を4KフレキシブルOLEDディスプレイに適用した結果、22分必要であったフィードバック時間を3分まで短縮するとともに、良好な画質が得られることを示した⁽¹⁾。

また、30インチ4KフレキシブルOLEDディスプレイを応用した湾曲型ディスプレイを試作した(図7-1)。30インチのフレキシブルディスプレイ3枚を、視聴者の周りに180度取り囲むよう並べることで、没入感のある視聴体験が可能となる。この湾曲型ディスプレイは、いす型触覚デバイスと合わせて、国際放送機器展Inter BEE 2021や各地の放送局での展示に活用された。海外の街並みなどの映像により、海外旅行をしている気分が味わえると大変好評であった。本ディスプレイはシャープディスプレイテクノロジー(株)の協力により開発した。

塗布形成により作製できるTFTでは、これまでに、TFTの構

成要素である塗布型の酸化物半導体膜および絶縁膜の開発に取り組んできた。2021年度は、電極の塗布形成に向けて、インジウム-スズ酸化物(ITO: Indium Tin Oxide)のダイレクト光パターニングプロセスを開発した⁽²⁾。有機溶媒(2-メトキシエタノール)へのエチレングリコールの添加により、紫外光照射時に塗布形成したITOの膜密度が減少することを見だし、それを応用することで、ITOの光パターニングを実現した。開発した手法を用いてITO電極(ゲート、ソース、ドレイン)を塗布形成するとともに、これまでに開発した塗布シロキサン材料を用いた絶縁膜、塗布インジウム-ガリウム-亜鉛酸化物材料を用いた酸化物半導体膜と組み合わせることで、全塗布型TFT画素アレー(64画素×64画素)を試作した。その結果、アレー内で均一なTFT特性を得ることができ、大画面ディスプレイへの本手法の適用性を示すことができた。

伸縮性のある素材を用いたディスプレイは、多様な視聴スタイルに合わせて、ドームや球体などのさまざまな形状へ対応可能である。2021年度は、酸化物TFTを伸縮性のある基板へ形成する技術の研究開発に取り組んだ。伸縮する基板上でTFTを安定的に駆動するためには、基板上に非伸縮領域と伸縮領域を設けて非伸縮領域にTFTを形成する手法が考えられる。そこで、プラスチックフィルム上に形成したTFTアレーを格子状に分離した後伸縮基板へ転写する技術を開発した。転写したプラスチックフィルム領域(TFT領域)は非伸縮領域として、その他の領域は伸縮領域として機能する。また、アクリル系接着剤をプラスチックフィルムと伸縮基板の接着層に適用することで、基板伸長時のプラスチックフィルムの剥離を抑制できることを見いだした。開発した転写技術により、伸縮基板を0%から50%へ伸長した場合においても非伸縮領域のTFTは移動度30cm²/Vsの安定したスイッチング特性を示した。また伸縮基板の利点を生かし、ドームなどの形状への適用が可能なることを確認した(図7-2)⁽³⁾。

■ フリーフォームディスプレイに向けた立体配線TFTの研究

ディスプレイのサイズ、形状、アスペクト比を自由にカスタ



図7-1 湾曲型ディスプレイ

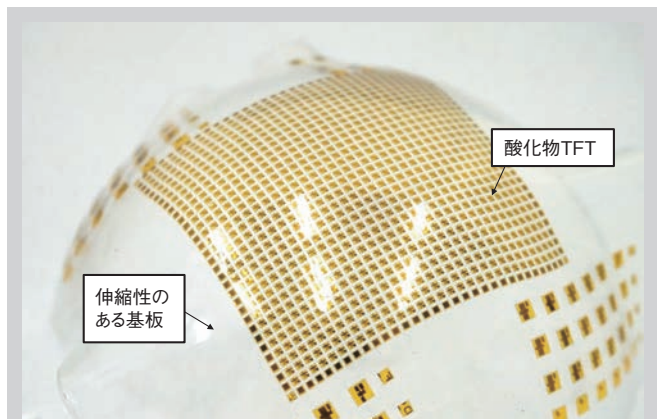


図7-2 伸縮基板上の酸化TFTアレー

マイズ可能なフリーフォームディスプレイの実現に向け、その駆動デバイスとして、基板裏面に配置可能な立体配線TFTの研究開発を進めている。2021年度は、極薄ポリイミドフィルム基板上でのTFTの微細加工プロセスを開発した⁽⁴⁾。チャンネル長3 μm までの短チャンネル立体配線TFTにおいて、オンオフ比として 10^7 以上の良好なスイッチング特性を得た。さらに、絶縁膜の応力を緩和するための絶縁膜に部分的に溝を掘ったトレンチ構造を開発することで、基板転写時のしわの発生などの欠陥の抑制に成功し、動作不良となる立体配線TFTの割合を53%から2%にまで低減した。今後、これらの技術を用い、立体配線TFTを用いた画素駆動回路の開発に取り組む。

■ OLEDマテリアルサイエンス

折りたためる・丸められるディスプレイの実現に向けて、フレキシブルOLEDの長寿命化が求められている。2021年度は、有機EL素子の電子注入機構を初めて解明するとともに、フレキシブル有機EL素子の長寿命化に大きく貢献できる新規電子注入材料を開発した⁽⁵⁾。

有機EL素子は発光材料を含む有機層（発光層）を陽極と陰極で挟んだ構造であり、陽極から正孔、陰極から電子が注入され、発光層で電荷が再結合し発光する（図7-3）。アルミニウムなど陰極に使われる材料の仕事関数は4eV程度であるのに対し、多くの発光層材料の電子親和力は2eV程度であるため、約2eV以上の電子注入障壁が存在し、陰極から発光層に直接電子を届けることは難しかった。そこで、仕事関数が3eV以下であるリチウム等のアルカリ金属を電子注入層に用いることで、電子を発光層に効率的に届けられることが見いだされたが、プラスチック等のフレキシブル基板は水分を通しやすいため、反応性が高いアルカリ金属が劣化して有機EL素子が発光しなくなるなど、フレキシブル有機EL素子の長寿命化は困難であった。また、アルカリ金属による電子注入機構も明らかにされていなかった。

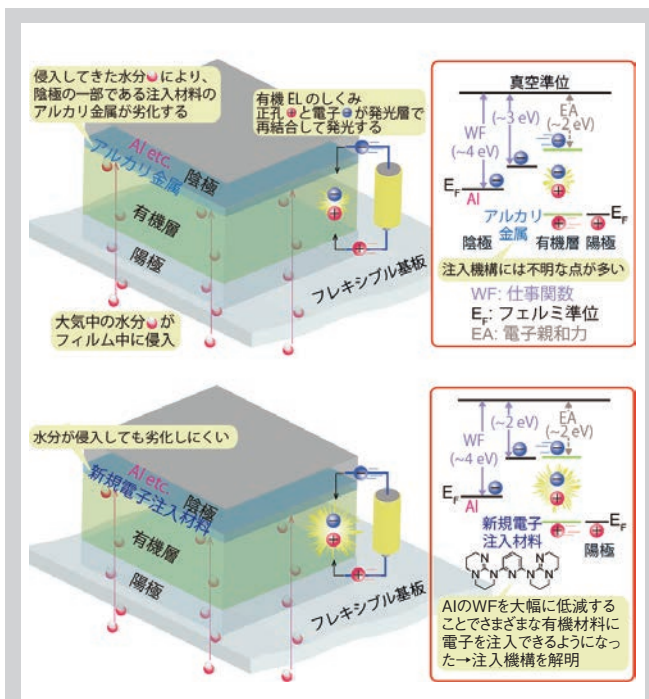


図7-3 (上) 一般的なOLEDの構成・エネルギー図とフレキシブル基板上における水分の影響のイメージ
(下) 新規電子注入材料を用いたOLEDの構成・エネルギー図

これに対し、反応性が高いアルカリ金属等を用いずにアルミニウムの仕事関数を2eVまで小さくできる新規電子注入材料を見いだした。この材料は有機超強塩基であり、アルカリ金属等と異なり大気中でも安定な材料である。新規電子注入材料を用いることで仕事関数が最も小さい金属であるセシウムと同等の仕事関数を実現できた。これにより、電子親和力が異なるさまざまな有機材料に電子を注入できるようになるとともに、有機EL素子特性と電子親和力との相関を解析することで、有機EL素子の電子注入機構を明らかにできた。開発した電子注入材料は赤色・緑色・青色のOLEDに使えることも明らかにした。なお、本研究の電子注入材料は(株)日本触媒と共同で開発した。

■ 高色純度量子ドットEL素子の研究

広色域ディスプレイへの適用を目指して、塗布成膜が可能で高色純度発光が得られる量子ドット (QD: Quantum Dot) を用いたEL素子 (QD-LED) の研究開発を進めている。量子ドット材料は、数~十数ナノメートル程度の半導体微粒子で、材料組成や粒子サイズ制御により発光波長を制御でき、粒子サイズをそろえることで発光スペクトルの半値全幅の狭い高色純度発光が得られる。カドミウムや鉛を含む量子ドット材料で高効率高色純度の発光が報告されているが、環境への配慮からカドミウムや鉛を含まない低毒性材料への転換が不可欠であり、低毒性量子ドット材料を用いたQD-LEDの開発に取り組んでいる。2021年度は青色QD-LEDを開発した。青色量子ドット材料としてセレン化亜鉛系量子ドット材料を合成し、量子ドット材料と電子輸送材料を混合した溶液をスピコートして発光層を成膜することで、輝度上昇時のELスペクトル変化がほとんどない青色QD-LED (半値全幅23nm) を実現した。この青色QD-LEDと、これまでに開発したリン化インジウム系量子ドット材料を用いた赤色および緑色QD-LEDとを合わせて、4K8Kの国際規格である勧告ITU-R BT.2020で定められている色の範囲の80%を実現した(図7-4)⁽⁶⁾。

リン化インジウム以外の低毒性緑色量子ドット材料として、硫化銀インジウムガリウム (AIGS: Ag-In-Ga-S) を用いたQD-LEDの試作にも取り組んだ。本材料は、半値全幅の狭いスペクトルが得られるものの、QD-LEDにおいて、粒子表面の欠陥に由来する幅の広い発光成分が混色することで色純度が低下する課題があった。そこで、AIGS量子ドットに電子輸送材料を混合した発光層を成膜し、量子ドットへの電荷の注入過程を改良した。その結果、欠陥由来の発光成分が抑制され、半値全幅の狭

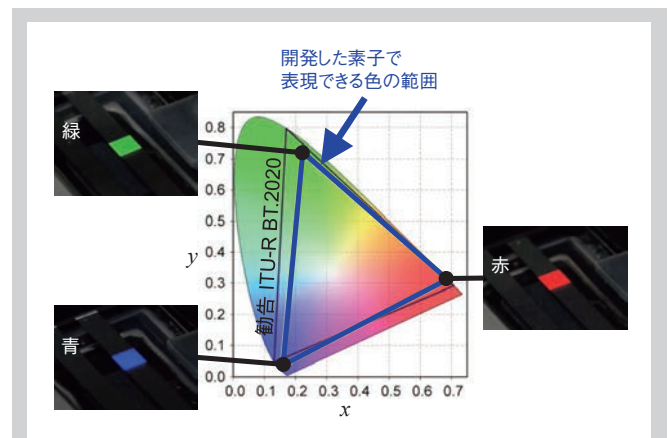


図7-4 リン化インジウム系およびセレン化亜鉛系量子ドット材料を用いたQD-LEDおよびそれらで表現できる色の範囲

い発光を主成分とする緑色EL発光が得られた⁽⁷⁾。AIGS量子ドット材料を用いたQD-LEDの研究は、名古屋大学、大阪大学と共同で実施した。

[参考文献]

- (1) T.Usui, T.Okada, T.Shimizu, K.Nakamura, M.Moriya and H.Katoh: "An External Compensation Technique for Burn-in Degradation in 30-inch Flexible AMOLED Displays," Proc. IDW '21, Vol.28, DES3-3, pp.877-880 (2021)
- (2) 田中, 宮川, 辻, 武井, 中田: "ポジ型ダイレクトパターンニングプロセスを用いた塗布電極の開発," 第69回応物春季予稿集, 25p-E202-2 (2022)
- (3) M.Miyakawa, H.Tsuji and M.Nakata: "Highly Stretchable Metal Oxide TFTs Array Using Acrylic Adhesive for Deformable Display Applications," Proc. IDW'21, Vol.28, pp.960-963, FLX5/FMC6-4L (2021)
- (4) H.Tsuji, M.Miyakawa and M.Nakata: "Oxide Thin-film

Transistors Driven from Substrate Backside Using Three-dimensional Wires," Proc. IDW'21, Vol.28, AMD2-4L, pp.143-144 (2021)

- (5) T.Sasaki, M.Hasegawa, K.Inagaki, H.Ito, K.Suzuki, T.Oono, K.Morii, T.Shimizu and H.Fukagawa: "Unravelling the electron injection/transport mechanism in organic light-emitting diodes," Nature Communications, Vol.12, 2706 (2021)
- (6) Y.Iwasaki, G.Motomura and T.Tsuzuki: "Pure-colored red, green, and blue quantum dot light-emitting diodes using emitting layers composed of cadmium-free quantum dots and organic electron-transporting materials," Japanese Journal of Applied Physics, in press (2022)
- (7) G.Motomura, Y.Iwasaki, T.Kameyama, T.Torimoto, T.Uematsu, S.Kuwabata and T.Tsuzuki: "Green Electroluminescence Generated by Band-edge Transition in Ag-In-Ga-S/GaSx Core/shell Quantum Dots," ITE Trans. on MTA, Vol.9, No.4, pp.222-227 (2021)

7.2 3次元映像デバイス技術

自然な3次元映像を表示することができる空間像再生型ディスプレイの実現に向け、空間光変調器 (SLM: Spatial Light Modulator) と光フェーズドアレイ (OPA: Optical Phased Array) の研究を進めている。

■ 高密度空間光変調器

奥行き深い自然な3次元映像を再生できる電子ホログラフィーの研究に取り組んでいる。ホログラフィック3次元映像を広い視域で表示するためには、 $1\mu\text{m}$ 以下の微細な画素で構成される高密度なSLMの開発が必要であり、液晶デバイスおよび微細な磁性体を画素とするスピンSLMの2つのデバイスについて研究開発を行っている。

液晶デバイスの狭画素ピッチ化では、2020年度までに当所で考案、試作した、強誘電性液晶 (FLC) を用いた高密度2次元画素アレイによる、3次元静止画ホログラムの再生像品質の向上に取り組んだ。2層構造電極間に形成する絶縁層を平坦化・薄層化することで、FLC画素に印加可能な実効電圧を3倍程度に増大するとともに、参照光を正面入射させることで、 $\pm 18^\circ$ の広視域で明瞭な3次元静止画ホログラムが再生できることを実証した⁽¹⁾ (図7-5)。

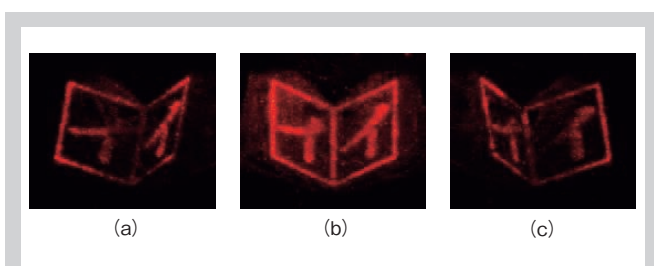


図7-5 強誘電性液晶を用いた広視域静止画ホログラムの再生像(画素ピッチ $1\mu\text{m} \times 1\mu\text{m}$ 、画素数 $10\text{k} \times 10\text{k}$): 観測角度(a) -18° 、(b) 0° 、(c) $+18^\circ$

また、高密度1次元FLC画素アレイの位相変調特性を評価し、振幅変調方式に比べて回折効率が約2倍に向上することを明らかにした⁽²⁾。さらに、試作した3次元静止画ホログラムを位相変調方式で再生することにより、振幅変調方式に比べて再生像の明るさが向上することを確認した。なお、高密度液晶デバイスの研究は、東北大学と共同で実施した。

スピンSLMの研究では、画素構造を模擬した検証用デバイスを用いて回折特性を評価した。画素の膜構成および入射光の角度、偏光方向を最適化することで、スピンSLMの回折光強度を従来に比べて5倍程度に増大できることを明らかにした⁽³⁾。

また、高密度SLMの適用を見据えたホログラフィックARガラスの検証光学系を構築し、広視野化に向けた課題を整理した。SLMの画素を斜め配置にすることで、水平・垂直のいずれか一方の画素ピッチが等価的に縮小し、視域が拡大できることを実証した⁽⁴⁾ (図7-6)。

■ 狭ピッチ光フェーズドアレイ

高密度な光線群による空間像再生型3次元映像表示を目指し、レンズアレイを用いずに各画素から出射される光線(光ビーム)の方向を高速に制御できる光偏向デバイスの研究を進めて

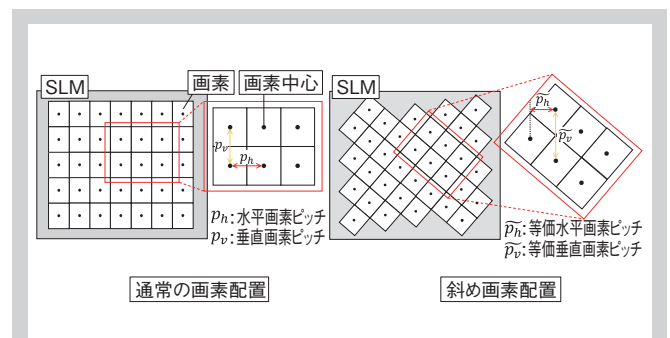


図7-6 斜め画素配置による画素ピッチの縮小化

いる。これまでに、電圧印加により屈折率を超高速で変化させることができる電気光学 (EO: Electro-Optic) ポリマーを光導波路に用いた光フェーズドアレイ (OPA: Optical Phased Arrays) を提案し、偏向角22.1度の光ビーム制御を実証した。

偏向角度のさらなる拡大には、出射部を構成する光導波路アレイの狭ピッチ化、および狭ピッチOPAの位相補償技術の開発が課題である。狭ピッチ化については、位相制御部にEOポリマーを適用し、出射部に高屈折率の無機材料である窒化ケイ素 (Si-N) を適用した有機/無機ハイブリッド光導波路の研究を進めた。2021年度は、有機/無機ハイブリッド光導波路の接合部にテーパ構造を適用した素子において、光利用効率がテーパ先端幅に反比例して改善することを理論的に示すとともに、接合部の作製精度向上により改善幅が上昇する可能性を示した⁽⁵⁾。狭ピッチOPAの位相補償技術については、遠視野像カメラで取得した出力光から、位相シフトデジタルホログラフィーに基づいて物体光を抽出し、位相補償量を求める手法 (図7-7) の改良を進めた。狭ピッチ光導波路におけるクロストークを考慮した参照光分布の推定手法を開発し、物体光の抽出精度の向上を図った。本手法の効果をシミュレーションにより検証し、光ピーク強度の大きな光ビームが形成できることを確認した。クロストークの影響を考慮することで、精度の高い位相補償が可能であることを明らかにした⁽⁶⁾ (図7-8)。

この研究の一部は、国立研究開発法人 情報通信研究機構 未来ICT研究所と共同で実施した。

〔参考文献〕

- (1) S.Aso, K.Yamamoto, K.Aoshima, J.Shibasaki, R.Higashida, N.Funabashi, T.Ishinabe, Y.Shibata, H.Fujikake and K.Machida: "Viewing Zone Evaluation and Analyses of the Holographic Images Reconstructed by 1- μ m Ferroelectric Liquid Crystal Pixel Arrays," Proc. IDW'21, Vol.28, pp.38-41 (2021)
- (2) 柴崎, 麻生, 青島, 石鍋, 柴田, 藤掛, 町田: "広視域ホログラフィ応用に向けた狭画素ピッチ1次元FLCデバイスの1次回折効率評価," 映情学冬大, 33C-4 (2021)
- (3) R.Higashida, N.Funabashi, K.Aoshima and K.Machida: "Enhancement of a Diffracted Beam in a Domain-Wall-Motion-Type Light Modulator Array," IEEE Trans. Magn., Vol.58, No.2, 4000505 (2022)

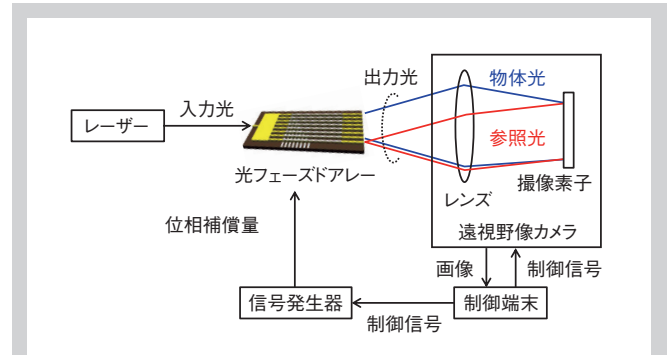


図7-7 位相シフト法を用いたOPAの位相補償手法

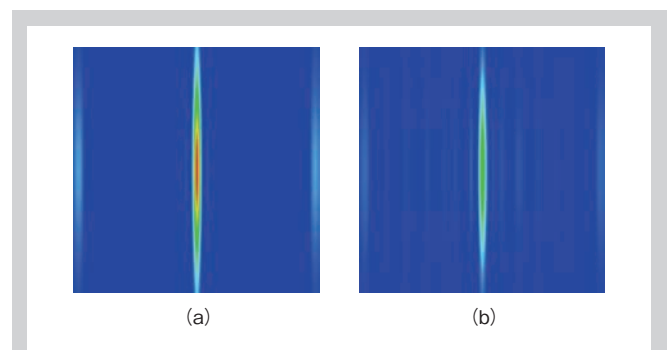


図7-8 OPAから出射される光ビームパターンのシミュレーション結果: (a) クロストークの影響を考慮、(b) クロストークの影響を無視

- (4) 山口, 三浦, 東田, 青島, 町田: "空間光変調器の斜め画素配置によるホログラフィックディスプレイの視域拡大," 映情学冬大, 12C-3 (2021)
- (5) 宮本, 三浦, 平野, 上田, 山田, 梶, 山田, 大友, 町田: "光フェーズドアレイ適用に向けた有機/無機ハイブリッド光導波路の設計と試作," 映情学冬大, 21D-6 (2021)
- (6) 三浦, 宮本, 平野, 町田: "位相シフト法を用いた狭ピッチ光フェーズドアレイ位相補償手法の一検討," 映情学冬大, 21D-5 (2021)

7.3 撮像技術

■ 電荷増倍型撮像デバイスの高SNR化

8Kスーパーハイビジョンカメラの高感度化を目指して、電荷増倍機能を有する結晶セレン光電変換膜 (増倍膜) を適用したCMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) 固体撮像デバイスの開発を進めている。これまでに、増倍率の向上を目指し、透明基板上に形成した増倍膜を信号読み出し回路基板に接合する技術の開発に取り組んできた。2021年度は、本接合技術を用いて増倍膜をCMOS回路上に接合した固体撮像デバイスを試作し、特性を評価した。

増倍膜は結晶セレンと酸化ガリウムを組み合わせ使用し、酸化ガリウムを800°Cの高温で結晶化させることで、増倍膜全体の結晶配向性が向上し、高い増倍率が期待できる。しかし、

耐熱温度が350°C程度であるCMOS回路基板上で酸化ガリウムを高品質に結晶化することは難しいことから、耐熱性が高く透光性の単結晶サファイア基板上で酸化ガリウムを結晶化し、この酸化ガリウム上に非晶質セレン膜を形成した (デバイスA)。一方、CMOS回路基板には、電子ブロッキング層となる酸化ニッケル層と非晶質セレン膜を形成した (デバイスB)。上記、デバイスAとデバイスBをセレン膜同士で加圧接合し、さらにセレンを結晶化するための加熱 (160°C) を施すことで、増倍膜接合型撮像デバイスを試作した (図7-9)。

試作デバイスの特性を測定したところ、増倍膜に印加する電圧を上昇させると信号電流はいったん飽和するが、15V以上で電荷増倍により信号電流が再び増加し、29Vで約3倍の電荷増倍率が得られた (図7-10)⁽¹⁾。さらに、本接合構造において電荷

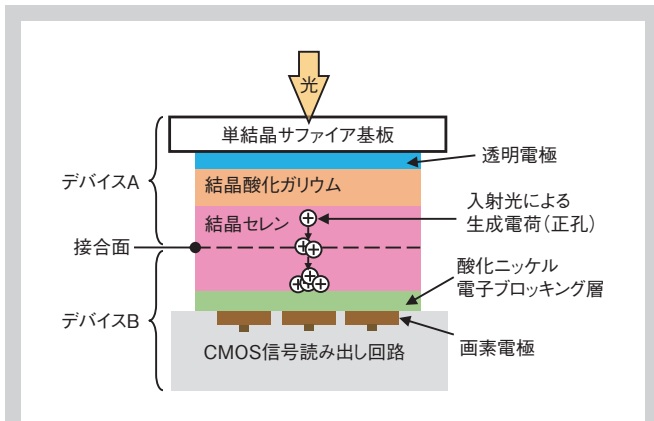


図7-9 試作した増倍膜接合型撮像デバイスの断面模式図

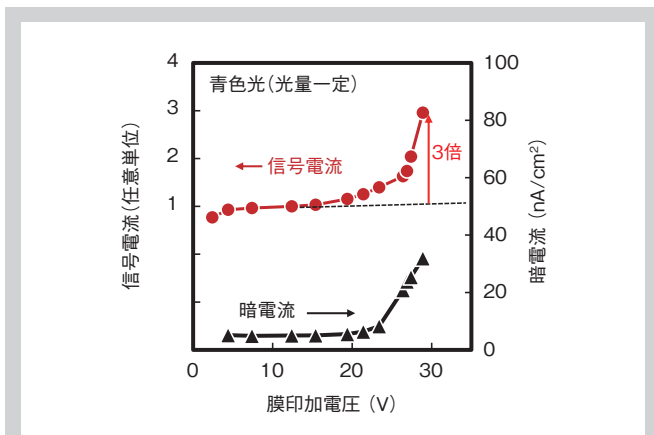


図7-10 増倍膜接合型撮像デバイスの電流-電圧特性

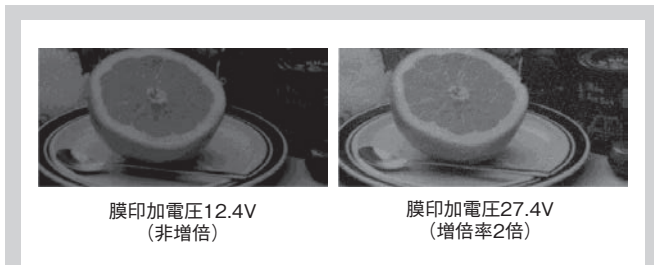


図7-11 増倍膜接合型撮像デバイスの撮像例(400×200画素)

増倍時(2倍)の映像を初めて取得することもできた(図7-11)。一方、増倍率3倍の動作時には、ノイズの原因となる膜の暗電流が約30nA/cm²まで増加した。そこで、暗電流の低減に向けて、酸化ニッケル電子ブロッキング層の強化による画素電極からの不要な電荷注入の抑制や、塩素添加による結晶セレン膜内の欠陥低減に取り組んだ。

これらの研究の一部は、東京理科大学と共同で実施した。

■ RGB積層型撮像デバイスの画質改善

小型で高精細なカラーカメラの実現を目指して、有機光電変換膜(有機膜)を用いた単板カラー撮像デバイスの研究を進めている。有機膜は特定の色の光だけを吸収して電気信号に変換し、その他の色の光を透過するため、複数の有機膜を積層することで、デバイスの深さ方向で色分離が可能なカラー撮像デバイス(RGB積層型撮像デバイス)を実現することができる。

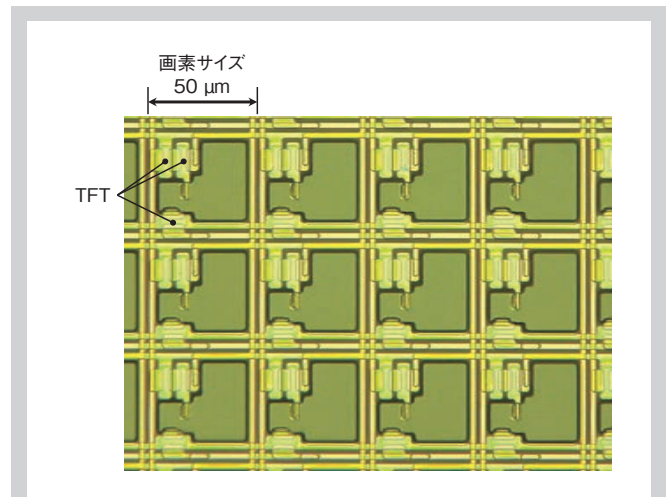


図7-12 信号増幅型画素回路アレイの顕微鏡写真

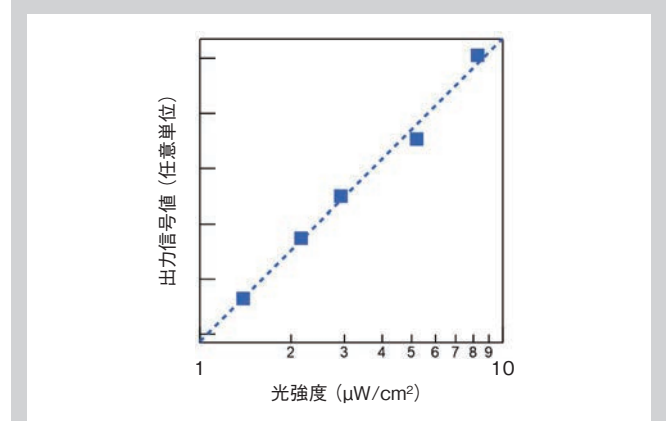


図7-13 出力信号の入射光強度依存性

2021年度は、デバイスのSNR改善に向けて、薄膜トランジスタ(TFT)を集積した信号増幅型画素回路のアレイ化に取り組んだ。

照射により有機膜で発生する電流信号が微小なため、外部ノイズの影響を受けやすい。そこで、信号を電圧に変換して読み出す信号増幅型画素回路を設置することとした。まず、2020年度に開発した画素サイズ90μmの信号増幅型画素回路上有機膜を形成し、有機膜で発生した信号を読み出せることを確認した⁽²⁾。この結果を元に、QVGA(320×240)画素数のデバイスの開発に着手した。2次元アレイでの回路動作を検証するために、画素サイズを50μmに縮小した少数画素アレイ(128×96画素)を試作し(図7-12)、有機膜からの信号読み出しを評価した。その結果、QVGA画素数・フレーム周波数60Hzでの1画素当たりの選択期間である69μs以内にアレイからの信号読み出し動作が完了することや、入射光の強度に応じた信号が得られること(図7-13)を実証した⁽³⁾。

この研究の有機膜の開発の一部は、日本化薬(株)と共同で実施した。

■ コンピューショナルフォトグラフィー基盤技術

物体の高精度な3次元情報取得を目指して、コンピューショナルフォトグラフィーの研究を進めている。コンピューショナルフォトグラフィーは、レンズで結像した物体像を撮影す

従来の撮像手法とは異なり、被写体を干渉縞や符号化パターンなどで変調して撮影し、後から計算により物体像を再構成する手法である。2021年度は、インコヒーレントデジタルホログラフィー (IDH: Incoherent Digital Holography) の動画撮影に向けた複数干渉縞の一括取得技術と、デュアル光学系を用いた符号化撮像の原理検証を進めた。

通常ホログラフィーとは異なり、IDHでは自然光やLED光など干渉性の低い照明光でもホログラムを取得して被写体の3次元情報が得られる。ホログラムの取得には位相条件の異なる4つの干渉縞を撮影する必要がある。従来は光学系に組み込んだミラーを走査して順次撮影していたため、撮影対象は静止している被写体に限られていた。今回、位相を $0, \pi$ で格子状に変更させる素子(位相格子)や偏光子を用いて、4つの干渉縞を空間的に分離して一括で撮影する光学系を構築し、動きのある被写体の撮影実験を行った。その結果、任意の奥行き位置に焦点を調節できるフレームレート1fpsの連続画像を再構成できた(図7-14)⁽⁴⁾。加えて、被写体までの距離探索のアルゴリズムとレンズの点拡がり関数を組み合わせ、IDHの再構成画像に生じるリング状の特異なぼやけを取り除き、一般的なカメラと同じ自然なぼやけを持つ画像を再構成する技術を開発した。

符号化撮像については、被写体からの光を空間光変調器に入射させ、1枚のランダム符号化パターンで2つの変調像(符号化像と逆符号化像)を生成し、これらを同時に撮影するデュアル光学系を構築した(図7-15)。画素数が 30×28 の低解像度の符号化像と逆符号化像を64枚ずつ撮影し、圧縮センシングによる再構成計算を適用した結果、256倍の画素数 480×448 の高解像度画像を取得することに成功した。また、符号化パターン数を従来の半分に減らしたことで、計算時間を含めて2.3fpsでの超解像処理を実証できた。

〔参考文献〕

- (1) 宮川, 峰尾, 為村, 新井, 渡部, 西本, 杉山, 難波: “固体撮像デバイスの高感度化に向けた結晶セレン増倍膜接合型撮像素子の試作,” 映

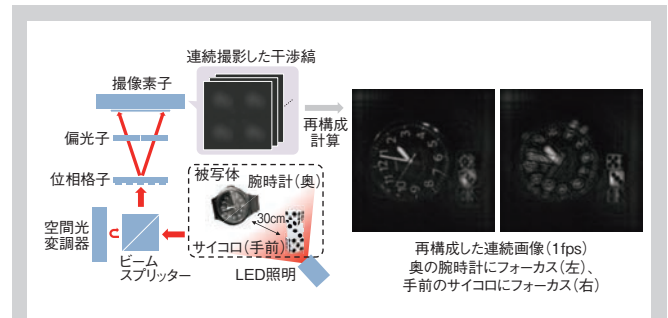


図7-14 試作したIDH光学系と再構成画像

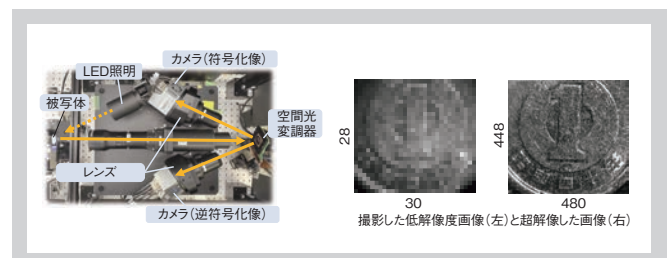


図7-15 デュアル光学系と符号化撮像による超解像画像

情学冬大, 23C-1 (2021)

- (2) 今村, 塚, 高木, 峰尾, 渡部, 佐藤, 相原: “有機光電変換膜を適用した撮像デバイス用増幅型TFT画素回路,” 信学2021ソ大, C-10-3 (2021)
- (3) 今村, 塚, 薬師寺, 橋本, 青竹, 貞光, 佐藤, 相原: “ITZO TFTを用いた撮像デバイス用信号増幅型画素アレイの試作,” 応物春季予稿集, 25p-E202-3 (2022)
- (4) T.Nobukawa, Y.Katano, T.Muroi and N.Ishii: “Common-path configuration for single-shot phase-shifting incoherent digital holography with a single diffraction grating,” Tech. Dig. ISOM'21, Tu-D-01, pp.115-116 (2021)

7.4 記録技術

■ 磁性細線メモリの記録要素技術

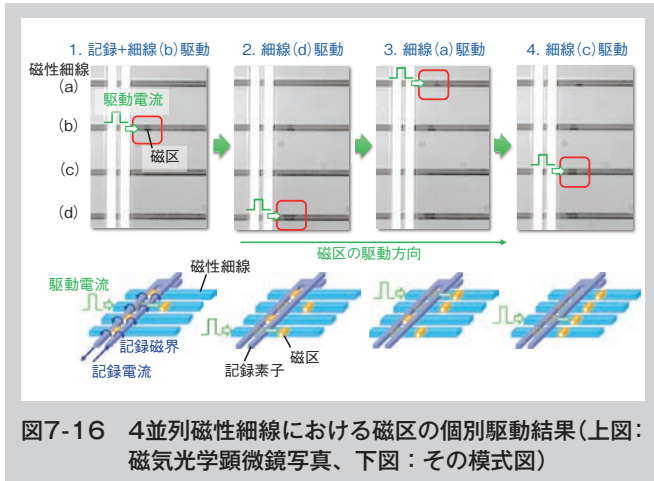
高い信頼性と高速記録を両立できる次世代の記録デバイスの実現を目指し、磁性細線メモリの研究を進めている。本メモリは、磁性細線中への微小な磁区の形成と、細線の長さ方向への磁区の駆動とを繰り返すことで、情報をシーケンシャルに記録できるデバイスを目指している。磁性細線を多数並列に配置して個別に駆動することで高速化を図れるとともに、可動部がないため高い信頼性が期待できる。これまでに、2本の記録素子を片側で連結したU字型記録素子と4本の磁性細線とを一体形成したデバイスを試作し、記録素子に電流を印加して発生する記録磁界により磁性細線中に磁区を形成した後、磁性細線に同時に電流を印加することで、それらの磁区を一括して駆動できることを実証した。

2021年度は、メモリの基本動作に必要な磁性細線に記録した磁区の個別駆動の実証とともに、磁区の長さ(磁区長)を一定に制御する技術の開発に取り組んだ。

4本の磁性細線が1組の駆動電極にまとめて接続された従来

の一括駆動構造のデバイスにおいては、4本の磁性細線に駆動電流を同時に印加し動作検証を行っていた。今回、4本の磁性細線に対して駆動電流を個別に印加できる並列駆動構造のデバイスを試作した。磁性細線はコバルト/テルビウム2層膜 [Co (0.3nm) /Tb (0.6nm)] を3周期積層した上にプラチナ [Pt (3nm)] 膜を堆積した多層構造とした。また、磁性細線と記録素子の間に層間絶縁層として酸化シリコン/窒化シリコン [SiO₂ (20nm) /Si₃N₄ (5nm)] の2層膜を挿入した。4本の磁性細線に磁区を形成した後に、それらに個別の駆動電流を印加して、磁気光学顕微鏡により磁区状態を観察する実験を行い、磁性細線ごとに磁区を独立に駆動できることを確認した⁽¹⁾(図7-16)。これにより、磁性細線メモリの基本動作である、並列磁性細線における磁区の記録と個別駆動を実証することができた。

一方、試作した並列駆動構造のデバイスでは、記録した磁区長にばらつきが生じるほか、2倍長、3倍長といった連続して同じ磁化方向の磁区を形成する際に、先に形成した磁区が消失する課題が明らかとなった。そこで、連続する磁区を形成する新



たな手法をLandau-Lifshitz-Gilbert方程式に基づくシミュレーションにより検討した。その結果、U字型記録素子の片側の記録素子によって発生する電流磁界の面内成分が2倍長以上の磁区の形成を阻害していることを解明した。解決策として、記録素子1本と、等間隔に切り欠きを入れた磁性細線とを組み合わせた構造とすることにより、磁区長を一定に制御しつつ、2倍長、3倍長の磁区を安定して形成できることを明らかにした。

■ トポロジカル表面状態を用いるスピン軌道トルク磁気メモリの創製

内部は絶縁体であるが表面は電気伝導性をもつ新奇な材料で

あるトポロジカル絶縁体を磁気メモリへ応用することで、超低消費電力の記録デバイスの実現を目指す研究を進めている。これまでに、トポロジカル絶縁体のひとつであるビスマス・アンチモン合金膜(BiSb)と、コバルト・テルビウム多層膜磁性体(Co/Tb)とを積層した構造の磁性細線を試作し、BiSbのもつ大きなスピンホール効果により磁区形成に必要な電流を従来比1/100程度まで低減できることを見いだした。

2021年度は、BiSbを適用した磁性細線中に形成した磁区の挙動を光学観察する技術の開発に取り組んだ。BiSbと磁性体を積層して磁性細線形状に加工するプロセス中の加熱により、BiやSbが磁性体中に拡散し磁気特性が劣化することや、BiSbの表面平坦性の劣化により、観察時の入射光を乱反射してしまうことが原因で、これまで磁区挙動の光学観察が困難であった。今回、加工プロセスの低温化とBiSbの表面に平坦化膜を積層することで、BiSbの磁性体中への拡散と光の乱反射の問題を解決し、磁気光学顕微鏡による磁区の観察に成功した⁽²⁾。

この研究は、国立研究開発法人科学技術振興機構の戦略的創造研究推進事業「トポロジカル材料科学に基づく革新的機能を有する材料・デバイスの創出」を東京工業大学、東京大学と共同で受託して実施した。

[参考文献]

- (1) M.Takahashi, N.Nakatai, K.Ogura, N.Ishii and Y.Miyamoto: "Magneto-optical detection of memory operation in magnetic nanowire device," TMRC 2021, H8, pp.113-114 (2021)
- (2) 中谷, 高橋, 小倉, 石井, Pham, 宮本: "トポロジカル絶縁体BiSbを接合した磁性細線における磁区の電流駆動," 日本磁気学会講演, 01aB-2 (2021)

8 研究関連業務

8.1 外部との連携

■ 標準化機関への参加

放送関係を中心とした国内外の標準化活動に積極的に参加し、当所の研究成果を寄与することで技術基準の策定に貢献した。

国際電気通信連合無線通信部門(ITU-R)のSG4(Study Group 4, 衛星業務)では、APSK伝送の総合性能の解析手法を寄与した。SG5(地上業務)では、マイクロ波帯およびミリ波帯での他業務との共用検討に用いるFPUシステム特性の勧告にSHV-FPUの仕様を反映する改訂を行った。SG6(放送業務)では、地上デジタル放送における高度化技術、イマーシブメディアのシステムアーキテクチャや試作事例、ヘッドマウントディスプレイの要求条件、ポリュメトリック映像制作技術、Webベース放送メディアの受信機システム、オブジェクトベース音響制作などを寄与した。

国際標準化機構(ISO)と国際電気標準会議(IEC)の合同委員会の作業グループであるMPEG(Moving Picture Experts Group)では、次世代映像符号化方式VVC(Versatile Video Coding)の性能評価試験に寄与した。イマーシブメディア関連ではユースケースやフォーマット、ハプティックデータの符号

化などの議論に参加した。

SMPTE(Society of Motion Picture and Television Engineers)では、4K8Kファイルフォーマットで用いるHEVCストリームのMXFへのマッピングやマルチチャンネル音響ラベリングの議論に参加したほか、カメラの解像度特性測定方法の標準化に寄与した。

アジア・太平洋放送連合(ABU)の技術委員会では、地上放送高度化方式、4K8K衛星放送、触覚提示システム、IPリモート制作などの研究開発状況を寄与した。

これらのほか、欧州放送連合(EBU)、オーディオ技術協会(AES)、モバイル通信規格を策定する3GPP(3rd Generation Partnership Project)、Webで用いられる技術標準を規定するW3C(World Wide Web Consortium)などの国際標準化機関・プロジェクト、(一社)電波産業会(ARIB)、(一社)電子情報技術産業協会(JEITA)、(一社)情報通信技術委員会(TTC)、(一社)IPTVフォーラムなどの国内標準化機関にも参加して、標準化を推進した。

■ ARIBでの主な活動

委員会名	活動概要
デジタル放送システム開発部会	
映像符号化方式作業班	次世代映像符号化方式VVCの所要ビットレート
音声符号化作業班	オブジェクトベース音響用音声符号化方式の要求条件
スタジオ設備開発部会	
スタジオ映像作業班	HDR映像信号変換の定量的評価方法、HDRの運用ガイドライン
スタジオ音声作業班	次世代音声サービス、音響メタデータ、次世代音声符号化方式
機器間インタフェース作業班	番組制作用IPインタフェース
放送素材ファイルフォーマット検討作業班	放送用音声ファイルフォーマット
音声品質評価法作業班	次世代音声符号化方式の評価方法
素材伝送開発部会	
地上無線素材伝送作業班	ミリ波帯SHVワイヤレスカメラ

■ 主な標準化機関での活動における役職者

■ ITU(国際電気通信連合)

委員会名	役職
ITU-R(国際電気通信連合 無線通信部門)	
SG6(放送業務)	議長
WP6C(番組制作と品質評価)	副議長

■ ABU(アジア・太平洋放送連合)

委員会名	役職
技術委員会	副議長

■ 総務省 情報通信審議会

委員会名	役職
情報通信技術分科会	
ITU部会	
周波数管理・作業計画委員会	専門委員
電波伝搬委員会	専門委員
衛星・科学業務委員会	専門委員
放送業務委員会	専門委員
陸上無線通信委員会	専門委員

■ ARIB(電波産業会)

委員会名	役職
技術委員会	
放送国際標準化ワーキンググループ	座長
地上放送と衛星放送	副主任
アSEMBルとアクセス	副主任
番組制作と品質評価	副主任

デジタル放送システム開発部会	委員長、幹事
権利保護作業班	主任
映像符号化方式作業班	副主任
データ符号化方式作業班	主任
多重化作業班	
ダウンロード方式TG	リーダー
データMMT伝送JTG	リーダー
デジタル受信機作業班	主任
衛星デジタル放送作業班	主任
衛星高度化実証実験TG	リーダー
モバイルマルチメディア放送方式作業班	主任
地上デジタル放送伝送路符号化作業班	主任
スタジオ設備開発部会	
スタジオ映像作業班	副主任
機器間インタフェース作業班	主任
音声品質評価法作業班	主任

素材伝送開発部会	
地上無線素材伝送作業班	主任
ミリ波素材伝送TG	リーダー
準マイクロ波帯FPU検討TG	リーダー
マイクロ波帯UHDTV-FPU検討TG	リーダー
普及戦略委員会	
デジタル放送国際普及部会	
デジタル放送普及活動作業班 (DIBEG)	幹事
新採用国対応タスクフォース	主任
日伯共同作業部会等対応次世代放送検討タスクフォース	主任
規格会議	委員長代理
■ TTC (情報通信技術委員会)	
委員会名	役職
マルチメディア応用専門委員会	
IPTV-SWG	リーダー

■ 海外の研究機関等との連携

ヨーロッパ放送連合 (EBU: European Broadcasting Union) 技術局長の立ち会いの下で、EBU内の主要な放送技術研究所と2007年2月に研究連携協定を結び、スーパーハイビジョンやバーチャルスタジオなどの分野で共同研究を開始した。各研究所長とEBU技術局長が定期的にHoR (Head of Research) 会合を開いており、当所からも連携強化に向けて継続的に会合に参加している。大規模な研究所を持たないEBU加盟機関が研究開発

やイノベーションを進めるために、「イノベーション・ハブ」の発足に向けて議論を進めている。5Gの放送応用を議論するサブグループは、2018年9月の会合でEBU技術委員会の戦略プログラム (SP Distribution) に移行し、MTS (Mobile Technologies and Standards) グループ、5GCP (5G in Content Production) グループ、5G Deploymentsグループで検討している。当所はMTSグループに参加している。

■ 共同研究、研究相互協力、連携大学院

2021年度には、放送通信連携サービスの検証からフォトニクス、新規材料開発などの基礎分野に至るまで、総数17件の共同研究および25件の研究相互協力を実施した。

また、6つの大学 (電気通信大学、東京工業大学、東京電機大

学、東京理科大学、東北大学、早稲田大学) と教育研究に対する連携・協力などを目的とした連携大学院の協定を結び、実習生の受け入れなどを行った。

■ 滞在研究員、実習生の受け入れ、研究者の海外派遣

関係各国との情報交換や相互の放送技術発展のため、国内外から滞在研究員を受け入れている。2021年度は新型コロナウイルス感染拡大による影響を受けて、国外からの受け入れおよび研究者の海外派遣は実施しなかった。

大学等からの要請により、卒業論文や修士論文作成のための実習生を3校 (東京理科大学、電気通信大学、東海大学) から7名受け入れ、指導を行った。

■ 委託研究の受託

放送技術関連の研究をより効果的・効率的に推進するために、国および公的機関の研究開発プロジェクトに積極的に参加して研究を実施している。2021年度は公的機関（NICT*、JST**、A-PAB***）から委託された3件の研究等を実施した。

- 自動翻訳の精度向上のためのマルチモーダル情報の外部制御可能なモデリングの研究開発
- トポロジカル表面状態を用いるスピン軌道トルク磁気メモリの創製

- 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業務（技術試験事務）

- *：国立研究開発法人 情報通信研究機構
- **：国立研究開発法人 科学技術振興機構
- ***：一般社団法人 放送サービス高度化推進協会

■ 委員会、研究アドバイザー、客員研究員

放送技術研究委員会を2回開催し、外部の学識経験者からなる委員の方々から研究活動に対するご意見をいただいた。研究アドバイザー会議を9回開催し、研究アドバイザーの方々から

ご助言、ご意見をいただいた。また、3件の研究題目を客員研究員に委嘱し、研究を推進した。

■ 放送技術研究委員会委員 (敬称略)2022年3月

氏名	所属
稲見 昌彦	東京大学 先端科学技術研究センター 教授
門脇 直人	国立研究開発法人 情報通信研究機構 理事
金丸 正剛	国立研究開発法人 産業技術総合研究所 上級執行役員
小池 康博	慶應義塾大学 教授
小林 哲則	早稲田大学 理工学術院 基幹理工学部 情報通信学科 教授
近藤 玲子	総務省 情報流通行政局 放送技術課長
柴田 康弘	日本テレビ放送網株式会社 取締役 執行役員 技術担当
寒川 哲臣	NTT先端技術総合研究所 所長
○高田 潤一	東京工業大学 副学長／環境・社会理工学 教授
中村 元	株式会社KDDI総合研究所 代表取締役所長
前 進	株式会社テレビ東京 取締役
松田 一朗	東京理科大学 理工学部 電気電子情報工学科 教授
的場 修	神戸大学大学院 先端融合研究環 教授
三好 正人	金沢大学 理工研究域 電子情報通信学系 教授
村田 正幸	大阪大学大学院 情報科学研究科 教授

■ 研究アドバイザー (敬称略)2022年3月

氏名	所属
伊丹 誠	東京理科大学 基礎工学部 教授
伊東 晋	東京理科大学 名誉教授
巖淵 守	早稲田大学 人間科学学術院 教授
大槻 知明	慶應義塾大学 理工学部 教授
甲藤 二郎	早稲田大学 理工学術院 基幹理工学部 教授
神里 達博	千葉大学 大学院国際学術研究院 教授
後藤 厚宏	情報セキュリティ大学院大学 学長
塩入 諭	東北大学 電気通信研究所 所長
染谷 隆夫	東京大学 工学系研究科 教授
田中陽一郎	東北大学 電気通信研究所 教授
徳丸 克己	筑波大学 名誉教授
浜本 隆之	東京理科大学 理事長／工学部 教授
板東 武彦	新潟大学 名誉教授
平栗 健史	日本工業大学 基幹工学部 教授
藤井 俊彰	名古屋大学 教授
Timothy John Baldwin	メルボルン大学 教授

■ 客員研究員 (敬称略)2022年3月

氏名	所属
芦村 和幸	慶應義塾大学 大学院 政策・メディア研究科 特任教授
池辺 将之	北海道大学 量子集積エレクトロニクス研究センター 教授
小川 哲司	早稲田大学 理工学術院 教授

8.2 研究成果の公開

■ 技研公開

2021年の技研公開は、新型コロナウイルスの影響により技研内でのリアル開催を中止し、ウェブサイト上のオンライン開催（開所記念日の6月1日から6月30日）とした。

「究める技術、高まる体感」をテーマに、よりリアルで没入感あふれる視聴体験を実現する技術など17件を展示し、研究者が分かりやすく解説する動画を多数掲載した。日英機械翻訳や、番組作りを体験できるウェブページも掲載した。

基調講演でもあらかじめ収録した動画を掲載した。若手研究者による研究発表「ラボトーク」では、視聴者に高校生を想定し、熱意を込めて研究を紹介する動画にした。

期間中のユニークアクセス数(UB数)は43,990、ページビューは247,070となった。



技研公開2021ウェブサイト

■ 基調講演

タイトル	講師	
Future Vision 2030-2040	三谷 公二	NHK 放送技術研究所長
Future media technologies that will change our world!	Judy Parnall	Head of Standards and Industry, BBC R&D/ Chair of the Technical Committee, EBU

■ ラボトーク

タイトル	発表者	
人と人をつなぐイマーシブメディア	吉野 数馬	空間表現メディア研究部
ロボットと創る新たな“お茶の間”	萩尾 勇太	ネットサービス基盤研究部
光の“波”を使いこなす ～未来の3次元映像技術～	信川 輝吉	新機能デバイス研究部

■ 特別プログラム

タイトル	ゲスト/対談者	
体感と知覚 ～可視化・可聴化によるエクスペリエンスの可能性～	脇田 玲	慶応義塾大学 環境情報学部長
公共メディアNHKにおける研究について	大里 智之	NHK 放送文化研究所長
	三谷 公二	NHK 放送技術研究所長

■ 研究展示

イマーシブメディア	空間共有コンテンツ視聴システム AR技術を活用した新たなコンテンツ シーン記述による360度映像と3次元映像の合成技術 高精細な光線再生型3次元映像システム 未来の没入型VRディスプレイ 地上放送高度化技術 放送通信融合技術による新たな地上放送サービス	フロンティアサイエンス	コンピューショナルフォトグラフィー 色純度の高い量子ドット発光素子 3次元映像の奥行き表現技術 発話者情報を付与できる書き起こしシステム ニュースを対象とした日英機械翻訳システム
ユニバーサルサービス	多様な視聴環境に対応するWebベースのメディア技術 音声合成技術 手話CG制作技術 触覚情報提示技術 共にテレビを視聴するコミュニケーションロボット	関連展示	制作現場での放送技術

■ 海外展示

例年4月に開催される世界最大の放送・メディア技術展であるNAB (National Association of Broadcasters) Showは、2021年は会期を10月に変更して準備が進められていた。NHKも研究開発成果を出展する予定であったが、新型コロナウイルスの影響のため開催中止となった。

欧州最大の放送・メディア技術展IBCは、オンラインイベント (IBC Digital) のみ10/21～3/13に開催され、NHKは出展社ページにて、Web技術を活用した未来の公共メディアに向け

た研究、生放送に対応したオブジェクトベース音響卓などを展示した。また、IBC Digitalに合わせて技研ウェブサイト内に特設ページを開設し、動画を用いてさらに詳しく研究内容を紹介した。

そのほか、ブラジルテレビ技術協会主催のSET eXPerience 2021 (オンラインイベント) の日本パビリオン内にて技研の研究成果を展示した。

■ 海外展示 2件(オンライン)

イベント名	日程	展示項目
IBC Digital	10/21～3/13	オブジェクトベース音響対応ライブ音声卓、空間共有コンテンツ視聴システム、没入型VRディスプレイ、Webベース放送プラットフォーム、マテリアルサイエンス、コンピューショナルフォトグラフィー
SET eXPerience	10/27～12/9	放送通信融合技術による新たな地上放送サービス、地上放送高度化技術、AR技術を活用した番組への没入体験、没入型VRディスプレイ、空間共有コンテンツ視聴システム、多様な視聴環境に対応するWebベースのメディア技術、手話CG制作技術、共にテレビ視聴するコミュニケーションロボット、コンピューショナルフォトグラフィー

■ 国内展示

新型コロナウイルス感染症拡大防止に配慮しながら、全国各地のNHKが主催するイベントや各種展示会などで、当所の研究開発を紹介した。

毎年11月に開催される国際放送機器展「Inter BEE 2021」は、幕張メッセ会場では11/17～19、オンラインサイトでは11/17～12/17の期間で開催された。技研はオンラインのほか、幕張メッセ会場のNHK/JEITA(電子情報技術産業協会)共同ブース内「未来のメディア」ゾーンに、没入型VRディスプレイ、空間共有コンテンツ視聴システム、AR技術を活用した番組への

没入体験など、従来のテレビにはない新しいメディア体験を提供する体験型の展示をした。

NHKの公開スペース「NHKプラスクロスSHIBUYA」(渋谷スクランブルスクエア14階)で2/26～3/26まで開催された「テクノロジーでめぐる異世界展」では、フレキシブル有機ELディスプレイや高精細湾曲ディスプレイ、触覚デバイス、22.2マルチチャンネル音響システムなどを、アーティストによる映像・音響作品とともに展示した。

■ 国内展示 22件

イベント名(主なもの)	日程	展示項目
第36回いしかわ情報システムフェア e-messe kanazawa 2021 (金沢放送局)	7/16-17	フレキシブル有機ELディスプレイ、スマートフォン型インテグラル立体ディスプレイ
ガイドツアーで昆虫展(松山放送局)	8/6-10	昆虫マイク
むらんカルチャーナイト2021(室蘭放送局)	10/8-9	昆虫マイク
ふくいITフォーラム2021(福井放送局)	10/21-22	スマートフォン型インテグラル立体ディスプレイ、手話CG、ロボット実況
デジタルまつり2021(名古屋放送局)	11/14	スマートフォン型インテグラル立体ディスプレイ、ARを活用したテレビ視聴体験 ほか
Inter BEE 2021	11/17-19	没入型VRディスプレイ、空間共有コンテンツ視聴システム ほか
札幌番組技術展(札幌放送局)	11/27-28	手話CG、ロボット実況 ほか
コロナ禍のクリエイション札幌展(札幌放送局)	12/4-26	空間共有コンテンツ視聴システム
「カムカムエヴリバディ」巡回展in岡山(岡山放送局)	12/6-24	フォトグラメトリー 3DCGと360映像のハイブリッド提示システム
NHKプラスクロスSHIBUYA	2/26-3/27	フレキシブル有機ELディスプレイ、没入型VRディスプレイ ほか
防災テクノロジーの未来展(仙台放送局)	3/11	手話CG、Before/After VR
Nスポ! in 名古屋(名古屋放送局)	3/26-27	ソードトレーサー、ロボット実況 ほか

■ 学会などへの発表

(一社)映像情報メディア学会、(一社)電子情報通信学会などの国内学会や、多数の海外学会で研究成果を発表したほか、Nature Communications、Optics Express、IEEE Transactionsなどの海外学会誌に論文が採録された。

国内学会誌	46件
海外学会誌	29件
国内学会・研究会など	224件
海外学会・国際会議など	70件
一般雑誌などへの寄稿	35件
部外への講師派遣	57件
合計	461件

■ 報道発表

当所の研究成果を中心に、2件の報道発表を行った。

年月日	発表内容
2021/6/28	オブジェクトベース音響対応のライブ音声卓を開発
2022/2/15	色域表現の新技术“Gamut Rings”が国際標準に

■ 視察、見学、取材への対応

東京オリンピック・パラリンピック関連のロボット実況や手話CG実況など14件の取材があった。視察・見学は、2020年度に続き国内外での新型コロナウイルスの感染拡大の影響があり、官公庁や大学関係など数件であった。

視察、見学	5件(国内のみ) 23人(国内のみ)
取材	14件

■ 機関誌

当所の研究活動と研究成果を国内外に周知する、以下の機関誌などを発行した。

NHK技研R&Dは、「衛星放送の伝送技術」や「空間像再生用デバイス」などを特集した。

海外向けのBroadcast Technologyでは、「気象情報手話CG」や「テレビ視聴ロボットの試作と評価」など、最新の研究内容や動向を紹介した。また、2021年度から新しい情報をタイムリーに届けるために、技研だよりを基にしたNews Express(月刊)のウェブ発行を開始した。

■ 国内向け刊行物

技研だより(和文、月刊)	No.193 ~ No.204
NHK技研R&D(和文、季刊)	No.185 ~ No.188
研究年報(和文、年刊)	2020年度版

■ 海外向け刊行物

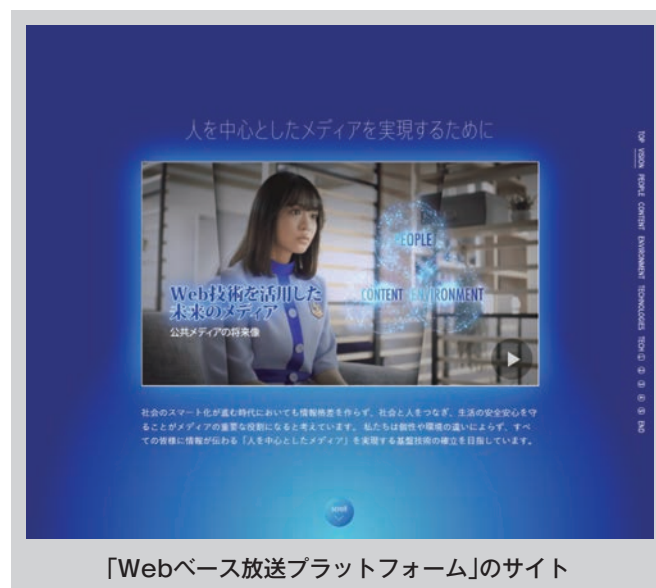
News Express(英文、月刊) Apr 2021 ~ Mar 2022
Broadcast Technology(英文、季刊) No.84 ~ No.87
Annual Report(英文、年刊) 2020年度版



■ ウェブサイト・ツイッター

当所の概要、研究内容、技研公開などのイベント情報、報道発表、機関誌などを紹介した。新たに「Webベース放送プラットフォーム」技術を紹介するサイトを公開した。そのほか、Inter BEE 2021やIBC 2021などの外部イベントに合わせた特設サイトを公開し、当所の研究成果をPRした。

また、ツイッターの公式アカウントでは技研公開の各展示を積極的に紹介したり、技研の研究開発成果が使われる番組やイベントの紹介をするなど、国内外に向けPRを推進した。



8.3 研究成果の活用

■ 番組協力

研究開発成果は、さまざまな番組で利用されている。手話CG実況やロボット実況インターネット配信を含むスポーツ中継で活用された。また、白黒映像の自動カラー化技術をはじめとす

るAI関連技術が、番組やSNSでも活用された。2021年度に実施した番組協力は41件であった。

■ 特許

研究開発成果の特許出願および権利化を国内外において推進した。また、パテントプール*への参加を通して、NHKが保有する新4K8K衛星放送や高効率映像符号化の規格などに関わる標準必須特許の利用促進を図り、放送サービスの円滑な普及に寄与した。技術移転が可能なNHKの保有技術を紹介する「技術

カタログ」を充実させるとともに、「CEATEC 2021 ONLINE」や地方自治体などと連携したイベントに参加し、NHKの保有技術を利用する仕組みを紹介した。

*多数の標準必須特許を合理的な条件で一括ライセンスする仕組み

■ 特許などの出願状況

	区分	新規出願数	年度末件数
国内出願	特許	360	1133
	実用新案	0	0
	意匠	0	0
外国出願	特許	63	178
合計		423	1311

■ 特許権などの保有状況

	区分	新規取得数	年度末保有数
国内	特許	215	1747
	実用新案	0	0
	意匠	2	2
外国	特許	22	115
合計		239	1864

■ 特許権などの実施許諾状況

(NHK総数)

	区分	新規許諾数	年度末件数
契約件数		14	300
許諾権利数		44	552
	(内訳) 特許権	35	301
	ノウハウ	9	251

■ 技術協力

(NHK総数)

	区分	件数(うち前年度からの継続)
技術協力		13(0)
受託研究		3(2)

■ 受賞、学位取得

2021年度は、前島密賞、末松安晴賞、放送文化基金賞、全国発明表彰 特許庁長官賞など国内外の団体、学会から39件受賞した。

2021年度は、新たに3名が学位を取得した。2021年度末の学位保有者は、83人となった。

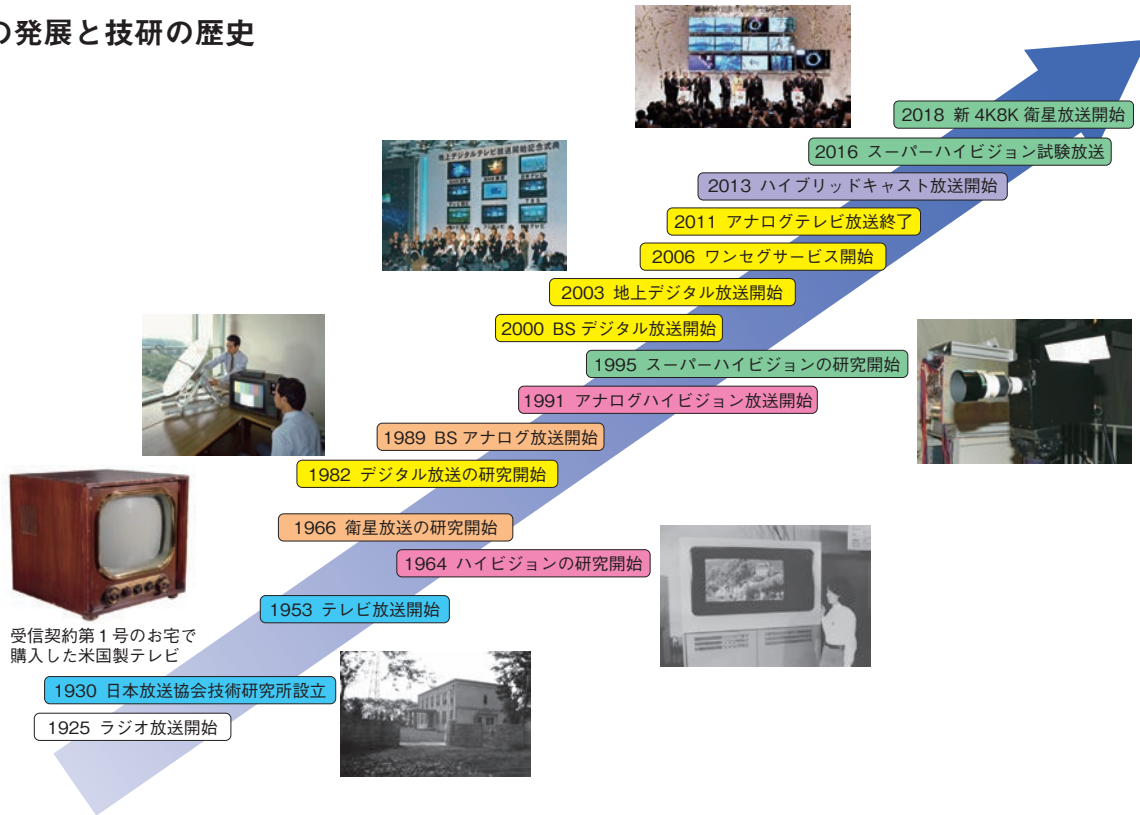
受賞者	賞の名称	授賞者	業績名・受賞事由	受賞・表彰日
東真希子、山内結子	前島密賞	公益財団法人 通信文化協会	気象情報手話CG自動生成システムの開発	2021/4/9
菊地幸大	鈴木記念奨励賞	映像情報メディア学会	70周年記念大会「3板式8Kカメラにおける像面位相差検出方式オートフォーカスシステムの開発」に対して	2021/4/22
正岡顕一郎	SID Fellow Award	Society for Information Display	Rec. 2020の表色系の設計、Gamut Ringsの発明、カメラ・ディスプレイMTF測定システムの開発	2021/5/1
亀井雅	日本ITU協会賞 奨励賞	一般財団法人 日本ITU協会	日本提案による新4K/8K衛星放送の普及に資するWRC-19議題に関する技術委員会の副議長としての活動、および今後の普及・広報活動への貢献の期待	2021/5/17
藤拓也	日本ITU協会賞 奨励賞	一般財団法人 日本ITU協会	ITU-R WP6Aへの長年の貢献、および今後のITU標準化活動への期待	2021/5/17
神原浩平	日本ITU協会賞 奨励賞	一般財団法人 日本ITU協会	DIBEG次世代放送検討国対応TFの一員として	2021/5/17
宮川幹司	映像情報メディア未来賞	一般社団法人 映像メディア学会	高移動度塗布型酸化物薄膜トランジスタの開発	2021/5/28
西田幸博	「電波の日」総務大臣表彰	総務省	国際電気通信連合無線通信部門第6研究委員会(ITU-R SG6:放送業務)の議長・副議長等を歴任し、ハイビジョンや4K・8Kスーパーハイビジョンの国際標準化など、長年にわたり放送技術の国際標準化に多大な貢献	2021/6/1
岩村俊輔	末松安晴賞	一般社団法人 電子情報通信学会	映像符号化方式VVCの研究開発および国際標準化への貢献	2021/6/3
梶田海成、小川一人(NICT)	電子情報通信学会2020年度論文賞	電子情報通信学会	暗号技術の研究	2021/6/3
NHKプラス 生字幕同期サービスの開発グループ(伊藤均)	放送文化基金賞 放送技術	公益財団法人 放送文化基金	NHKプラス 見逃し配信の生字幕同期サービスの開発に対して	2021/6/3
鈴木陽一、土田健一、松崎敬文	全国発明表彰 特許庁長官賞	社団法人 発明協会	新4K8K衛星放送誤り訂正符号の発明(特許第6539209号)に対して	2021/6/22
佐々木久幸、岡市直人、渡邊隼人、大村拓也、河北真宏	3次元画像コンファレンス2020 優秀論文賞	3次元画像コンファレンス実行委員会	ウォブリングによる直視型インテグラル3Dの色モアレ低減技術	2021/7/1
萩尾勇太、金子豊、星祐太、上村真利奈、村崎康博、山本正男	クラウドネットワークロボット(CNR)研究会 優秀講演賞	電子情報通信学会	TVAEを用いた自己教師あり学習による顔画像識別システム	2021/7/7
西出彩花	コミュニケーションクオリティ(CQ)研究会奨励賞	電子情報通信学会	アダプティブストリーミングにおける視聴状況に応じたレート制御手法の提案	2021/8/3
正岡顕一郎	Cactus Award Award for Best Interactive Paper	IS&T	CIC28で発表した"Effect of Peak Luminance on Perceptual Color Gamut Volume"	2021/8/6
小島政明	活動功労賞	電子情報通信学会	電子情報通信学会通信ソサイエティより「衛星通信研究専門委員幹事としての貢献」に対し、活動功労賞を贈呈	2021/8/9
西田幸博	日本ITU協会創立50周年記念賞	一般財団法人 日本ITU協会	1999年からITU-Rにおける放送業務の標準化活動に携わり、SG6副議長、WP6B議長、SG6議長を歴任。放送分野の標準化のみならず、ITU-Rの活動全般に貢献。特に日本提案の4K・8Kスーパーハイビジョンの放送実用化に向けて、国内外において多大な貢献	2021/9/1
佐々木陽	粟屋潔学術奨励賞	一般社団法人 日本音響学会	「簡易WFSとVBAPの融合による音源の遠近表現を目指したOBAレンダリング則」の発表に対して	2021/9/8
筋誠久	通信ソサイエティ 功労顕彰状	電子情報通信学会 通信ソサイエティ	衛星通信研究専門委員会の委員長として学会運営へ貢献	2021/9/15
杉本岳大	基礎・境界ソサイエティ表彰 貢献賞(編集)	電子情報通信学会	論文誌編集委員としての貢献	2021/9/15

受賞者	賞の名称	授賞者	業績名・受賞事由	受賞・表彰日
佐藤明彦	研究奨励賞	映像情報メディア学会 放送技術委員会	令和3年度登壇回数3回	2021/9/28
小松佑人	情報処理学会 シニア会員	情報処理学会	情報処理分野への継続的な貢献	2021/9/29
信川輝吉、片野祐太郎、 室井哲彦、石井紀彦	ISOM'21 Program Chair Award	International Symposium on Imaging, Sensing, and Optical Memory	研究発表「Common-path configuration for single-shot phase-shifting incoherent digital holography with a single diffraction grating」	2021/10/6
信川輝吉、片野祐太郎、 室井哲彦、石井紀彦	ISOM'21 the Best Paper Award	ISOM (International Symposium on Imaging, Sensing, and Optical Memory)	研究発表「Reduction of Random Noise in Parallax Images Acquired by Single-Pixel Imaging using Deep Neural Network」	2021/10/6
市ヶ谷敦郎	国際標準化奨励者表彰(産業技術 環境局長表彰)	経済産業省産業技術環境局	産業標準貢献者として	2021/10/20
市ヶ谷敦郎	経済産業省 国際標準化貢献者表 彰(産業技術環境局長表彰)	経済産業省	HEVCの標準化、符号化装置のインターフェ ースに関するTRの標準化	2021/10/20
内田翼	手話CG実況 IOC Golden Rings Award /Innovation部門 銅メダル 受賞	IOC (International Olympic Committee)	手話による競技実況のリアルタイム生成技術 の先進性が評価された	2021/11/8
河村侑輝、佐々木陽	Innovative Technologies 2021	一般財団法人 デジタルコンテ ンツ協会	3次元自由視点ARと視点に応じた立体音響が 連携するコンテンツ視聴システム	2021/11/17
川喜田裕之、新井田利之	第五回羽倉賞フォーラムエイト国 土強靱化賞	最先端表現技術利用推進協会	「Before/After VR」最先端表現技術に相応しい 優れた作品	2021/11/18
新井大地	PCSJ/IMPS 2021ベストポスタ ー賞	電子情報通信学会 画像工学研 究専門委員会	深層学習によるエントロピー符号化順序を考 慮した量子化手法の検討	2021/12/1
佐藤裕明、小森智康、河合吉彦、 望月貴裕、三島剛	情報処理学会 第二五一回自然言 語処理研究会 優秀研究賞	情報処理学会 自然言語処理研究会	本研究は新規性と実用的を兼ね備えており、 有効性が高い。提案手法の記載も明瞭であり、 論文としての完成度も高く、優秀研究賞に値 する論文である	2021/12/3
青島賢一	電気通信産業功労賞	一般社団法人 電子通信学協会	電気通信事業またはこれに関連する事業に従 事し、創意工夫により業務改善を行い、ある いは機器の開発・改良により、事業の発展に 貢献	2021/12/15
宮川幹司	IDW '21 Best Paper Award	IDW	ディフォーダブルディスプレイの要素技術研究	2021/12/25
後藤正英、本田悠葵、難波正和、 井口義則	Arnaud Darmont Award for Best Paper	Society for Imaging Science and Technology (IS&T)	Electronic Imaging (EI) 2022, Imaging Sensors and Systems (ISS) 2022における 発表「3-Layer Stacked Pixel-Parallel CMOS Image Sensors Using Hybrid Bonding of SOI Wafers」に対して	2022/1/20
後藤功雄、美野秀弥、伊藤均、 衣川和亮、山田一郎	第67回前島密賞	公益財団法人 通信文化協会	日英ニュース翻訳システムの開発	2022/2/28
上村真利奈	HAIシンポジウム2022 HAI-researcher Encouragement Award(特別奨励)賞	人工知能学会 日本認知科学会 ヒューマンインタフェース学会	研究発表「感情表現動作をするコミュニケー ションロボットの感情の伝わり方と人へ与え る印象」	2022/3/3
小川一人(NICT)	IEICE フェロー	電子情報通信学会	コンテンツ配信・放送サービスを向上させる セキュリティ技術の研究においてきわめて顕 著な功績	2022/3/17
佐々木翼	第51回講演奨励賞	応用物理学会	「OLEDにおける電子注入・輸送 メカニズムの解明」の講演	2022/3/22

放送技術研究所の概要

NHK放送技術研究所は、放送技術分野を専門とするわが国唯一の研究機関として、また、公共放送NHKの一員として、放送技術の研究開発の立場から豊かな放送文化を築く役割を担っています。

■ 放送の発展と技研の歴史



■ 数字でみる技研

設立 1930年6月	技術研究所
1930年6月～1965年1月	総合技術研究所、放送科学基礎研究所
1965年1月～1984年7月	放送技術研究所
1984年7月～現在	
職員数	248名 (うち研究者数 217名)
学位保有者	83名
特許権保有数 (NHK 総数)	国内 1,747件 外国 115件

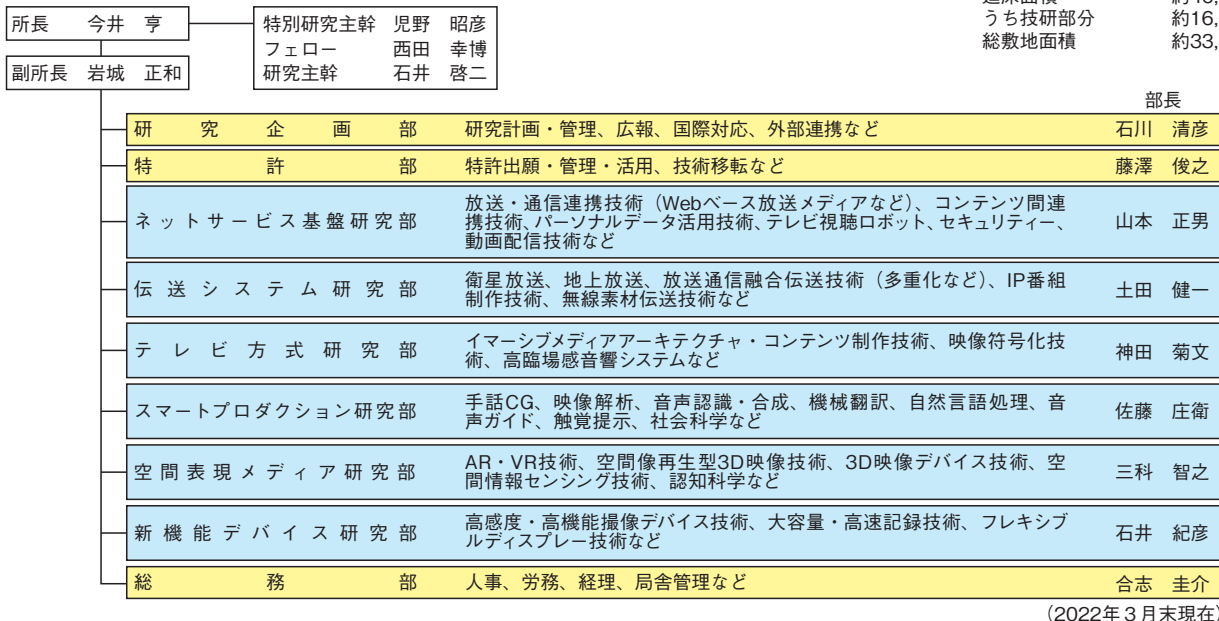
(2022年3月末現在)

■ 現在の研究棟

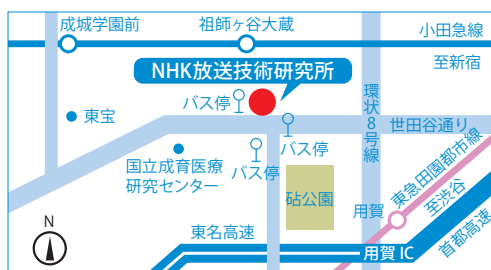


落成 2002年3月
 高層棟：地上14階、地下2階
 中層棟：地上6階、地下2階
 延床面積 約46,000m²
 うち技研部分 約16,000m²
 総敷地面積 約33,000m²

■ 技研の組織



放送技術研究所へのアクセス



交通

■小田急線成城学園前駅南口から

【小田急バス / 東急バス】

・渋 24 渋谷駅行

【東急バス】

・等 12 等々力操車所行

・用 06 用賀駅行(平日のみ)

・玉 31 二子玉川駅行

■東急田園都市線用賀駅から

【東急バス】

・等 12 成城学園前駅行

・用 06 成城学園前駅行(平日のみ)

いずれもバス停「NHK技術研究所」で下車

■ 編集 ・ 発行 ■

日本放送協会 放送技術研究所
〒157-8510 東京都世田谷区砧 1-10-11
Tel : 03-3465-1111 (NHK代表)
<http://www.nhk.or.jp/str/>

研究年報

NHK
Science & Technology
Research Laboratories

2021

日本放送協会 放送技術研究所
2022年5月発行

あなたの声と受信料で
公共放送

NHK

