

# 研究年報

NHK  
Science & Technology  
Research Laboratories

2020

**NHK** 放送技術研究所  
Science & Technology Research Laboratories

# 目 次

ごあいさつ	1	2020年度 技研の研究	2
<b>1 リアリティイメーシング</b>	<b>4</b>	<b>4 スマートプロダクション - ユニバーサルサービス</b>	<b>34</b>
1.1 3次元映像技術	4	4.1 自動字幕生成技術	34
1.2 3次元映像デバイス	6	4.2 音声合成・提示技術	35
1.3 AR・VR	7	4.3 機械翻訳技術	36
1.4 映像技術	10	4.4 情報提示技術	37
1.5 音響技術	12	<b>5 次世代放送用デバイス・材料</b>	<b>39</b>
1.6 符号化技術	14	5.1 撮像技術	39
1.7 衛星放送伝送技術	16	5.2 記録技術	41
1.8 地上放送伝送技術	17	5.3 表示技術	42
1.9 番組素材伝送技術	20	<b>6 研究関連業務</b>	<b>45</b>
<b>2 コネクテッドメディア</b>	<b>22</b>	6.1 外部との連携	45
2.1 コンテンツ提供基盤	22	6.2 研究成果の公開	47
2.2 パーソナルデータ連携基盤	23	6.3 研究成果の活用	50
2.3 IP配信基盤	25		
2.4 テレビ視聴ロボット	27		
2.5 セキュリティ	28		
2.6 IP制作基盤技術	28		
<b>3 スマートプロダクション - インテリジェント番組制作</b>	<b>30</b>		
3.1 自然言語処理技術	30		
3.2 画像・音声解析技術	31		
3.3 実空間センシングによる新映像表現手法の研究	32		
3.4 AI技術活用推進の取り組み	33		
		<b>放送技術研究所の概要</b>	<b>52</b>

## ごあいさつ

NHK放送技術研究所長 三谷 公二

NHK放送技術研究所(技研)は、わが国唯一の放送技術分野を専門とする研究機関として、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。



技研は、2020年6月1日に開所90周年を迎えました。テレビ放送の実現を目指して設立された技研は、公共メディアの進化を支える技術研究の拠点として、基礎から応用まで幅広い分野の研究開発に取り組んでいます。

2020年度は、コロナ禍の中で学会活動や研究発表、広報イベントだけでなく、研究業務自体もかなり制約を受ける状況となりましたが、“NHK技研3か年計画(2018-2020年度)”の最終年度として、それぞれの研究で目標とした成果を達成するよう取り組みました。AR・VR技術を活用して遠隔地の人と一緒にコンテンツを楽しめる空間共有コンテンツ視聴システムなど、新たな視聴体験を目指した「リアリティーイメージング」技術、インターネットやIoT機器を活用してユーザー体験の向上を目指した「コネクテッドメディア」技術、人工知能を活用した番組制作支援や手話CG制作など、ユニバーサルサービスの拡充を目指した「スマートプロダクション」技術、将来の3次元テレビ実現を目指したデバイス技術の開発など、幅広い研究分野での着実な歩みをこの年報にまとめました。

2021年6月、技研では、2030-2040年ごろのメディア環境を想定し、今後の研究開発の目標と方向性を示す「未来ビジョン」を公開しました。ビジョンが描く未来を目指し、技研はこれからも、公共メディアの進化に向けた研究開発の先導的な役割を果たすべく、新時代へのチャレンジを続けてまいります。

本書が技研の研究開発活動を理解していただく契機として、また、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、お役に立てれば幸いです。

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。

# 2020年度 技研の研究

## リアリティーイメージング

将来の新しい放送メディア技術の実現を目指して、高い臨場感や実在感を提供できる3次元映像技術の基礎的なデバイスの試作から、高精細表示技術、認知科学的な視点による評価など幅広い分野で研究開発を進めた。AR(拡張現実)やVR(バーチャルリアリティー)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ための検討を進めるとともに、音声を含む3次元空間情報の伝送技術の研究に取り組んだ。

2020年度は、高精細3次元映像技術の研究では、空間像再生方式である「アクティナビジョン」によるハイビジョン解像度相当の3次元映像表示を実現した。3次元表示デバイスの要素技術に関する研究では、高密度液晶デバイスを試作し、静止画ホログラムの再生を実証した。理想的なヘッドマウントディスプレイの開発に資する、人間の基本的な知覚特性を明らかにする研究に取り組むとともに、視聴者を取り囲む円筒型ディスプレイを評価用実験装置として開発した。

→詳しくはp.4

さまざまなコンテンツを好みの視聴端末に合わせて提供するダイバーシジョン基本アーキテクチャの研究を開始し、次世代の撮像・表示・音響・映像符号化技術の研究を進めた。撮像関係では、8Kスーパーハイビジョンカメラのオートフォーカスシステムなどの試作に取り組んだ。音響関係では、オブジェクトベース音響と音声メタデータの検討を進め、MPEG-H 3D Audio (3DA) のリアルタイム符号化・復号装置を開発した。映像符号化技術の研究では、次世代の映像符号化に向けた要素技術の検討を進め、映像符号化方式VVC (Versatile Video Coding) の要素技術を開発、提案するなど、VVCの標準化活動において広く寄与した。

伝送技術の研究では、12GHz帯や21GHz帯の放送衛星を用いた大容量の衛星放送伝送技術、4K放送や多彩なサービスの実現に向けた地上放送の高度化技術、ワイヤレスカメラを含むミリ波帯を活用した大容量無線伝送技術の研究を進めた。

→詳しくはp.10

## コネクテッドメディア

放送と通信が連携したコンテンツ提供に関する技術の研究として、放送局のコンテンツを、伝送路を意識することなく、さまざまなデバイスや視聴者の状況に適した形であまねく届けるための研究を進めた。

2020年度は、各種IoTデバイスが自律的に放送コンテンツを発見、取得、提示する仕組みである「IoTメディアフレームワーク」のプロトタイプを開発した。また、ハイブリッドキャストコネクトをWoT (Web of Things) で活用するためのツールを一般に公開した。人と一緒にテレビを視聴する「テレビ視聴ロボット」の研究では、独自形状のロボットを試作するとともに、ロボットの受容性や人への効用の調査に取り組んだ。暗号・情報セキュリティー技術の研究では、量子コンピューターによる攻撃を考慮した暗号方式の技術開発に取り組んだ。IP技術を活用した番組制作・素材伝送システムの研究では、2K/4K/8Kに対応するマルチフォーマットIP伝送装置の開発などに取り組んだ。

→詳しくはp.22



360度映像比較再生装置  
[Before/After VR]



高精細円筒型ディスプレイ



テレビ視聴ロボットを用いた  
視聴実験の様子

## スマートプロダクション - インテリジェント番組制作

AI（人工知能）技術を活用した効率的な番組制作環境を実現するインテリジェント番組制作技術の研究に取り組んでいる。

ソーシャルメディアに代表されるテキストビッグデータから番組制作に役立つ情報を取得する研究では、ユーザーの投稿から新型コロナウイルスに関連する有用な情報を特定する技術を開発するとともに、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の研究を進めた。画像・音声解析技術の研究では、映像へ人名メタデータを自動付与するシステムを試作、トライアル利用を開始した。さらに番組映像の自動要約や画像の重要性を推定するアプリケーションの試作、取材音声や音声素材を文字化する書き起こし支援のための音声認識等にも取り組んだ。実空間センシングによる新映像表現手法の研究では、AI技術を応用した制作支援や、被写体の3次元モデルなどの情報を取得するメタスタジオ基盤技術の研究を進めた。

→詳しくはp.30



メタスタジオ基盤技術の研究

## スマートプロダクション - ユニバーサルサービス

あらゆる人が必要な情報に接し、楽しむことができるユニバーサルな放送サービスを実現するための研究に取り組んでいる。

番組の音声を自動で認識し、字幕で伝える自動字幕付き放送の実現に向けた研究では、字幕データをハイブリッドキャスト対応受信機向けに配信するトライアルを7県に拡大して実施した。また、常時同時配信・見逃し配信「NHKプラス」の生字幕同期サービスの提供にも協力した。番組内容を音声で補完する研究では、合成音声の高品質化にも取り組むとともに、地域放送局でラジオ気象情報の一部を音声合成で提供するサービスの全国展開を支援した。手話CGの研究では、完全自動生成により全国47都道府県の県庁所在地で気象情報を提供するシステムを開発、運用を開始した。映像と同期した触覚による情報提示を行う研究では、映像解析による触覚情報の取得や編集・制御手法、球状の触覚デバイスによる刺激の提示の各技術を開発し、それらを融合した「体感メディア制作システム」の試作を進めた。

→詳しくはp.34



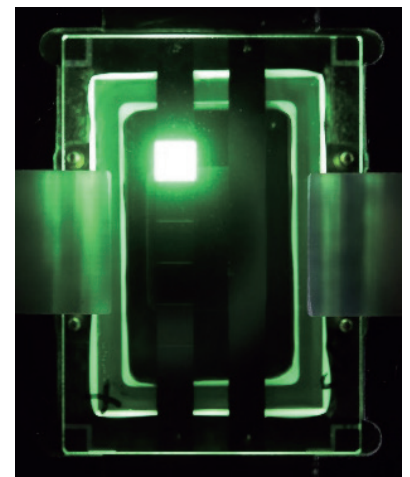
手話CGによる気象情報の提供

## 次世代放送用デバイス・材料

次世代の放送技術を支える撮像、記録、表示の各要素技術の研究を進めた。

撮像技術では、小型で高精細なカラーカメラの実現を目指したRGB積層型撮像デバイスの研究を進め、3層構造のカラー撮像デバイスを試作した。高精細な3次元情報の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、インコヒーレントホログラフィーによる3次元情報取得と、高解像度の画像を再構成する符号化撮像手法の原理検証を進めた。記録技術では、微小磁区並列デバイスを用い、記録素子を一体化形成した4並列磁性細線メモリーの研究を進めた。表示技術では、フレキシブル有機EL(Organic Light-Emitting Diode: OLED)ディスプレイの長寿命化に向け、電子注入材料の開発と高効率で動作安定性の高い逆構造OLEDの研究と、低毒性量子ドット(Quantum Dot: QD)を用いた高色純度のEL素子(QD-LED)の研究開発を進めた。

→詳しくはp.39



高輝度に適した電子注入材料を用いた有機EL発光の様子

## 研究関連業務

技研のさまざまな研究成果を広くアピールするとともに、学会発表や外部との連携、番組協力を積極的に進めた。2020年は、11月に「技研開所90周年記念イベント」を技研の特設サイト上でオンライン開催した。AR/VRを活用した空間共有コンテンツ視聴システムなど、23件の番組制作に協力した。前島密賞や電波功績賞総務大臣表彰など外部から35件の表彰を受けた。

→詳しくはp.45

# 1 リアリティイメーシング

## 1.1 3次元映像技術

将来の新しい放送メディア技術の実現を目指して、高い臨場感や実在感を提供できる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。2020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、符号化技術、携帯型端末用3次元映像技術の研究開発を進めた。

あわせて3次元映像のさまざまな視聴環境に適したインテグラル3D表示のシステムパラメーターを心理実験により導出した。さらに、視聴環境に適した映像の特徴を明らかにする研究を進めた。

### ■ 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。2020年度は、時分割で光線を多重表示する技術を開発して、再生する光線数を増加することで3次元映像の解像度を向上させた<sup>(1)</sup>。多重方法として、各多視点映像の解像度を高める画素シフト法と、多視点映像数を増やす光線シフト法の2つの方法を同時に適用できる表示光学系を開発した。120Hz8Kプロジェクター1台を用いて、時分割光線再生光学系を導入した表示装置を試作し、ハイビジョン解像度相当の3次元映像表示を実現した(図1-1)。

アクティナビジョンでは、表示光学系に大型レンズが必要で、表示光学系における光路長も長くなることから、表示装置の奥行きサイズが大きくなる。そこで、新たに大型レンズが不要かつ表示光学系の光路長が短い表示方式を提案した。この方式では、大型レンズを取り除きスクリーンをプロジェクター側に近づけ、各多視点映像を拡散スクリーン上の一部に重畳投射表示することで、3次元映像を再生する。試作装置により、表示光学系の奥行きサイズを従来の約1/3の50cmに縮小できた。

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の一つに、表示映像の輝度むらの低減が挙げられる。この輝度むらの原因は、スクリーン表面に形成されたレンズアレーの周期構造による回折光が、拡散光内に生じることである。この回折光を低減するために、スクリーン表面のレンズアレー構

造をランダム化する方法を提案し、光学シミュレーションにより、レンズアレー構造のランダム量と拡散特性の関係を解析した。解析から得られた効果的なランダム量のスクリーンを試作し、拡散特性を測定した結果、回折光が抑えられ、光拡散の均一性が向上することを確認した。

カメラアレーを用いた高精度な3次元映像の撮影と生成技術の研究を進めた。2020年度は、既存の18台のカメラアレーシステムに、1台のカメラで4視点のカラー映像と奥行き距離映像を撮影できるカメラ<sup>(2)</sup>を加え、高精細な3次元映像の生成技術を開発した。この装置により撮影された多視点映像から、ハイビジョン解像度相当のアクティナビジョンに必要な3次元映像の生成を実現した。

空間像再生方式の一つであるインテグラル3Dは、微小なレンズで構成されたレンズアレーを用いて3次元映像を表示する。この方式の3次元映像は膨大な情報量となるため、放送サービスで利用するには高効率な符号化技術の開発が必要である。2020年度は、表示する3次元映像の奥行き位置に応じて、符号化量を適応的に変更することで、効率的に情報圧縮する技術の開発を進めた。インテグラル3D映像では、レンズアレー表示面の奥行き位置の映像が最も解像度が高く、再生奥行き位置が表示面から遠ざかるに従い解像度が低下する。そのため、レンズアレー表示面付近の映像では高解像度を確保するために符号化の圧縮率を下げ、表示面から離れた奥行き映像では、圧縮率を上げて画質への影響は少ないと考えられる。4Kディスプレイとレンズアレーから構成されるインテグラル3D表示装置を用いて主観評価実験を行った結果、レンズアレーから遠い位置の再生像では、提案手法を適用して符号化後のデータ量を1/7.8～1/9.2倍としても、許容画質が得られることが分かった<sup>(3)</sup>。

2020年度も引き続きMPEG会合に参加し、マルチカメラによる広視域の3次元映像の撮影技術や光線再生型3次元映像表示技術に関する寄与文書を入力して、3次元映像符号化方式の標準化活動に取り組んだ。

### ■ 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3次元映像表示装置への適用を想定し、観察者を個人に限定して、瞳位置に応じたインテグラル3D映像を表示することで、再生像の視域を拡大し、解像度や奥行き再現範囲などの表示特性を向上させる研究を進めている。2020年度は、従来設計より焦点距離の長いレンズアレーを用いて、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)を絞ることで光線密度を高めるとともに、左目用と右目用の光学視域を時分割で交互に形成することで、視点追従型インテグラル3Dの映像品質をさらに向上させる手法を提案した(図1-2)。焦点距離の長いレンズアレーを用いることで、光線密度を水平・垂直ともに従来設計の1.5倍に高め、インテグラル3D映像の品質を向上させることができた<sup>(4)</sup>。



図1-1 ハイビジョン解像度相当のアクティナビジョン

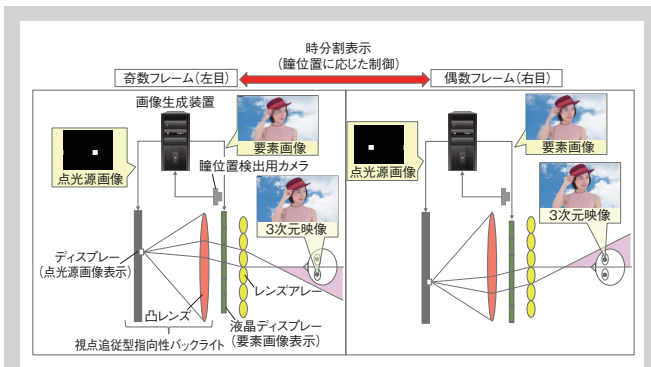


図1-2 時分割表示技術を用いた視点追従型インテグラル3D映像システム

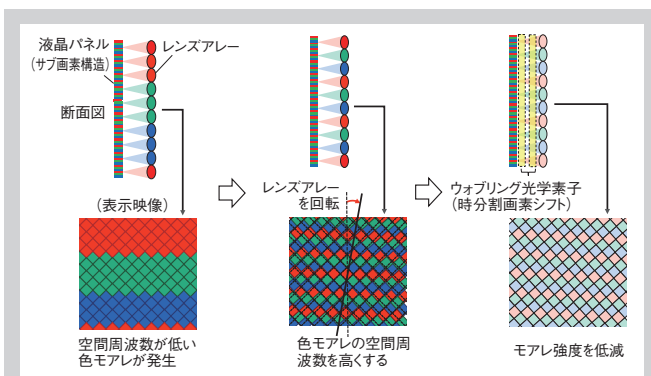


図1-3 色モアレの低減方法

インテグラル3D方式では、ディスプレイの赤色、緑色、青色のサブピクセル構造を、周期的なレンズアレイを介して観察するために、色モアレが生じる。2020年度は、2式のウォブリング光学素子を用いて、要素画像群を4回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、視点追従型インテグラル3Dに適用した。この色モアレ低減手法では、低い空間周波数の色モアレは視覚的に目立つため、画素構造に対してレンズアレイをわずかに回転させることで、色モアレの空間周波数を高い周波数にシフトさせている（図1-3）。実験では、ベイヤ配列の画素構造を持つ液晶ディスプレイとレンズアレイで構成される視点追従型インテグラル3D表示装置に、偏光回折素子と偏光制御素子で構成されたウォブリング光学素子を2式組み合わせた。実験の結果、ウォブリング光学素子適用前に比べて色モアレの強度を25%まで低減し、視点追従により形成された広い視域において、映像品質が向上することを確認した。

## ■ インテグラル3D表示のシステムパラメーターの導出

3次元映像による放送サービス実現に向け、3次元テレビが満たすべきシステムパラメーターの条件を求める研究を進めている。放送サービスとして3次元映像を提供する際には、空間像再生型の表示装置に、多様なシーンを自然で見やすく表示することが求められる。しかし、表示するシーンの奥行きが深いほど、レンズアレイ面から離れた領域において3次元映像がぼやけるなど、映像品質が低下する。この映像品質の低下を抑制するため、奥行き圧縮技術を導入して再現する奥行き範囲の条件を緩和しながら適切な画質を実現するハードウェアの仕様（システムパラメーター）を求める必要がある（表1-1）。ハードウェア

表1-1 最適なシステムパラメーターとなる条件

	条件①	条件②	条件③
表示画像の例			
再現できる奥行き範囲	狭い	中程度	広い
画質	△	○～◎	◎
開発難易度	低	中	高

画質と開発難易度のバランスが最も良い最適な条件

アの制約により再現できる奥行き範囲が狭い場合でも、奥行き圧縮技術を適用することで一定の画質が得られる（表1-1条件①）。しかし、さらに広い奥行き範囲で画質劣化を検知できない程度の高い品質を確保することを想定すると、ハードウェアに要求される条件が極度に厳しくなり、開発難易度が高くなるため現実的ではない（表1-1条件③）。そこで、本研究では主観評価実験を通して視聴者に違和感を生じさせない3次元映像の品質を明らかにし、画質と開発難易度のバランスが最も良い条件（表1-1条件②）となる最適なシステムパラメーターを導出した<sup>5)</sup>。

システムパラメーターは表示装置開発の目標値となることを想定しており、現時点では性能を満たす実機が存在しない。実験では空間像再生型表示装置による3次元映像の表示を模擬するシミュレーターを用いた。本シミュレーターでは、視点位置計測とステレオ表示の組み合わせによる運動・両眼視差に加え、装置特有の再現特性に基づいて3次元映像を提示した。

3次元映像の品質は視聴位置や再生像の大きさに依存すると考えられたため、実験は複数の画面サイズ、複数の視聴位置にて実施した。タブレット型、据置型、大画面型の視聴環境を想定し、それぞれ13.5、55、200インチの画面サイズを用いた。視聴位置は、2種の視距離（1.5H、3.0H）と2種の水平位置（画面中央、画面右端）の組み合わせによる4か所とした。これにより、表示装置の視域（正しく3D像が観察できる視聴位置の範囲）は、約30～100度の範囲を占めている。

また、奥行き再現範囲については、奥行き圧縮技術を導入することにより必要とされる範囲の緩和を試みた。奥行き圧縮技術は、シーン形状を奥行き方向に押しつぶし（圧縮し）、シーンの奥行きを減らすことで表示像の品質の改善を行う。人の視覚特性を考慮した奥行き圧縮により、見た目の不自然さを抑えながら、シーンの奥行きを大幅に浅くすることができる。本技術を併用しながら3次元映像品質の主観評価実験を行い、観察者の求める品質を過不足なく提供できるシステムパラメーター値を求めた。

主観評価実験の結果、各視聴環境（画面サイズ13.5、55、200インチ）において要求される3次元映像の品質は、それぞれ角解像度で0.51vpd (views per degree)、11.2vpd、12.1vpdとなり、インテグラル方式による空間像再生型表示装置のシステムパラメーターは、画素ピッチ：4.84μm、0.294μm、0.989μm、レンズピッチ：0.150mm、0.317mm、1.15mm、レンズ焦点距離：0.694mm、0.284mm、1.03mmとなった（最高空間周波数を30cpd (cycles per degree) とした場合）。

画面サイズ55インチ以上の複数人視聴を想定した環境では、奥行き圧縮による画質向上への寄与が十分でないと考えられることから、インテグラル方式では、13.5インチ程度の個人視聴を想定した表示装置の実現可能性が比較的高いことが示唆された。

## ■ 視聴環境に適した3次元映像の特徴

さまざまな視聴環境に適した3次元映像の特徴を明らかにする研究を進めている。昨年度に引き続き、2種類の映像表示環境（ヘッドマウント、据置型ディスプレイ環境）において、3次元映像の印象評価によって3D表示（両眼視差・運動視差）の効果の要因を探った。印象評価の結果、ヘッドマウント型では、両眼視差・運動視差とも迫力や臨場感を増加させ、特に1m以内の近接空間に主な対象が配置された場合に顕著であることが明らかになった<sup>(6)</sup>。据置型では、両眼視差よりも運動視差の効果が高く、「立体感」「実物感」「臨場感」などの印象に影響する評価因子や「速い」「きびきびした」などの印象に影響する運動性因子において顕著な効果がみられることが示唆された<sup>(7)</sup>。

[参考文献]

- (1) 大村, 渡邊, 加納, 河北: “時分割光線4多重技術を用いたハイビジョン解像度相当3次元ディスプレイ,” 映情学創立70周年記念大, 33B-4(2020)
- (2) 加納, 河北: “単一カメラによる多視点カラー・デプス映像の撮影技術,” 映情学創立70周年記念大, 33B-1(2020)
- (3) 片山, 河北: “奥行き情報を用いた3次元映像の符号化手法,” 映情学創立70周年記念大, 33B-2(2020)
- (4) 岡市, 佐々木, 加納, 河北, 苗村: “時分割表示技術を用いた視点追従型インテグラル3D映像の表示性能向上,” 映情学創立70周年記念大, 33B-5(2020)
- (5) Y. Sawahata, Y. Miyashita and K. Komine: “Estimating Angular Resolutions Required in Light-field Broadcasting,” IEEE Trans. Broadcast. in press(2021)
- (6) 森田, 宮下, 原, 澤島, 原澤, 小峯: “近距離の物体を含むVR映像の印象とその要因の分析,” 映情学創立70周年記念大, 32D-3(2020)
- (7) 原, 原澤, 宮下, 澤島, 森田, 小峯: “据置型視聴環境における3次元映像の印象に奥行き手掛かりが及ぼす効果,” 映情学創立70周年記念大, 33B-6(2020)

## 1.2 3次元映像デバイス

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）や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(SLM)の研究

奥行きの高い自然な3次元映像を再生できる電子ホログラフイ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、液晶デバイスの狭画素ピッチ化、および微小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、画素の高密度化に伴い、隣接画素間のクロストークが増大し、コントラスト比が低下す

るという課題がある。この課題について、これまでに強誘電性液晶画素の高密度1次元アレーを試作し、一般に用いられるネマティック液晶に比べて高いコントラスト比が得られることを確認した。これは、自発分極を有する強誘電性液晶に特化した駆動方法（オン・オフ画素の両方に、それぞれ逆極性の電圧を印加する方法）により、オン・オフ画素間の漏れ電界を抑制できるためと考えられる。また、上層電極に開口部を形成した2層構造電極（図1-4）を用いて、画素ピッチ $1\mu\text{m} \times 1\mu\text{m}$ の2次元液晶デバイスに静止画パターンが表示できることを確認した。

2020年度は、計算機合成ホログラム（CGH）のパターンに応じて開口部を形成した2層構造電極により、画素ピッチ $1\mu\text{m} \times 1\mu\text{m}$ 、画素数 $10\text{k} \times 10\text{k}$ の高密度液晶デバイスを試作し、静止画ホログラムの再生を実証した<sup>(1)</sup>（図1-5）。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は、磁性体の磁化の向き（磁化方向）に応じて反射光の偏光面が変化する現象（磁気光学効果）を利用したデバイス

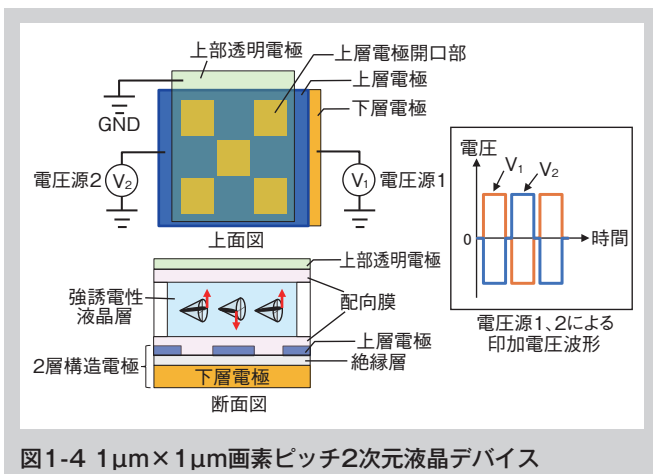


図1-4  $1\mu\text{m} \times 1\mu\text{m}$ 画素ピッチ2次元液晶デバイス



図1-5 強誘電性液晶を用いた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 $10\text{k} \times 10\text{k}$ ）



である。各画素は、磁壁移動型スピン光変調素子と呼ばれる、磁性体にパルス電流を流すことで磁壁（磁化方向の異なる2つの領域が隣り合う境界部）が移動し、磁化方向を反転できる素子から成る。

これまでに、1 $\mu$ mピッチで素子を配置した1次元アレーを試作し、電流注入による磁化反転動作に成功した。2020年度は、外部磁界印加により磁化反転可能な、画素ピッチ1 $\mu$ m $\times$ 2 $\mu$ mの検証用2次元アレーを試作し、光の回折特性を評価した。また、10k $\times$ 10k画素のCGHパターンを転写した2次元アレーを試作し、広い視域を有する静止画ホログラムの再生に成功した<sup>(2)</sup>。

## ■狭ピッチ光フェーズドアレーの研究

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、レンズアレー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（チャンネル）に用いた光フェーズドアレーを提案し、偏向角22.1度の光ビーム制御を実証した。

2020年度は、EOポリマー OPAの制御技術開発と偏向角度の拡大に取り組んだ。OPAの制御技術として、長時間の偏向制御によりOPAの動作電圧が変動する課題に対し、高周波の矩形波電圧を制御電圧に重畳することで動作電圧の変動を抑制できる駆動手法を開発した<sup>(3)</sup>。この技術により、安定した光ビームの長時間出力が可能となった。さらに、OPAの精密な制御に向け、位相シフトデジタルホログラフィーに基づく位相補償手法を開発し、狭ピッチOPAへの適用における誤差要因の特定や、垂直出射型OPAの動作解析などを進めた。偏向角度の拡大については、光ビームの偏向角度がOPA出力部の光導波路ピッチに反比例することから、光閉じ込め効果が大きく、狭ピッチ化が可能な窒化ケイ素（Si-N）無機光導波路を有機EOポリマー OPAの出力部に適用した、有機/無機ハイブリッドOPAの研究を進めた。EOポリマー光導波路とSi-N光導波路の接合部における光損失を抑制するため、テーパ構造の適用により光伝搬性能を改善した20 $\mu$ mピッチの光導波路アレーを設計・試作した。出力部の光強度にばらつきが見られるものの、すべての導波路で

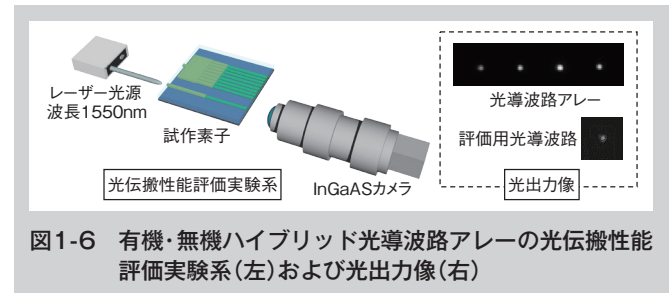


図1-6 有機・無機ハイブリッド光導波路アレーの光伝搬性能評価実験系(左)および光出力像(右)

光が伝搬することを確認した（図1-6）。導波路ピッチを十分広く設計したことから、ばらつきの主な原因はクロストークではなく、接合部の加工誤差によるものと考察される。また、1本の独立した評価用光導波路を用いて、光利用効率が22%改善されることを実証した<sup>(4)</sup>。

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) 麻生, 青島, 東田, 船橋, 柴崎, 石鍋, 柴田, 藤掛, 町田: “ホログラフィー応用に向けた1 $\mu$ mピッチ・2次元強誘電性液晶画素アレーの試作と評価,” 映情学技報, Vol. 44, No. 26, IDY2020-35, pp. 17-20 (2020)
- (2) 東田, 船橋, 三浦, 青島, 町田: “サブミクロンスケール磁壁移動型光変調素子の電流駆動と高密度アレイ化,” 映情学技報, Vol. 44, No. 25, MMS2020-52, pp. 33-36 (2020)
- (3) Y. Hirano, Y. Miyamoto, M. Miura, Y. Motoyama, K. Machida, T. Yamada, A. Otomo and H. Kikuchi: “High-Speed Optical-Beam Scanning by an Optical Phased Array Using Electro-Optic Polymer Waveguides,” IEEE Photon. Jour., 12(2), 6600807 (2020)
- (4) Y. Miyamoto, M. Miura, N. Funabashi, Y. Hirano, R. Ueda, C. Yamada, T. Kaji, T. Yamada, A. Otomo and K. Machida: “Design of an optical phased array using an electro-optic polymer waveguide serially grafted with a silicon nitride waveguide,” SPIE Photonics West, 11690-1 (2021)

## 1.3 AR・VR

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の検討を行った。2020年度は、空間共有コンテンツ視聴システムと360度映像比較再生装置、ライトフィールドHMD、高精細円筒型ディスプレイなどを開発したほか、高精細VR映像に対応した理想的なヘッドマウントディスプレイに求められる空間的な表示特性について、新たに検討を始めた。また、3次元空間情報のオブジェクトベース伝送技術の開発を進めるとともに、サービスイメージ提示のためのARコンテンツを試作し、3次元空間情報伝送の検証を行った。

### ■空間共有コンテンツ視聴システム

遠隔地の人とあたかも同じ空間で、同じコンテンツを同じタイミングで視聴しているように感じることができる、空間共有の視聴スタイルを2019年度に提案した。2020年度は、この視聴スタイルを実現するシステムを試作した。このシステムでは、遠隔地にいる人を距離カメラで撮影して取得した3次元映像を、通信経路でリアルタイムに伝送する。同様に自分の3次元映像も遠隔地の人に伝送して、VRやAR映像に合成表示することで空間共有の視聴スタイルを実現させた<sup>(1)</sup>。これにより、お互いに会話や身振り手振りを交えたコミュニケーションで、同じコンテンツを視聴することができる（図1-7）。このシステムは2020年のIBCやSET Expo、Inter BEEなどのオンラインイベントで紹介した。



図1-7 空間共有コンテンツ視聴システム

## ■ 360度映像比較再生装置

「災害直後」とその「数か月後」といった、2つの異なる時期に同じ位置から撮影した360度映像を切り替えて表示することで、変化の様子をより分かりやすく伝えることができる360度映像比較再生装置「Before/After VR」を開発した。全天球の半分に「災害直後」、残りの半分に「数か月後」の映像をマッピングし、両眼視差をつけてヘッドマウントディスプレイ（HMD）上に表示することで、その場にいるような没入感を体感できるだけでなく、2つの異なる時期に撮影された360度映像の希望の場所を同時に見ることができる（図1-8）。さらにユーザーがコントローラーで2つの映像の境界線を動かすことで、同じ場所の時間経過による違いを比較でき、変化の様子をインタラクティブに確認することができる。また、以前撮影した場所にカメラを誘導するソフトウェアを開発し、2つの映像のずれを抑制する撮影手法を提案した<sup>(2)</sup>。この装置の開発は、報道局と連携して実施し、2020年のIBCやSET Expo、Inter BEEなどのオンラインイベントで紹介した。

## ■ ライトフィールドHMD

微小なレンズが2次元に配列されたレンズアレイを用いて、光線再生型で表示するライトフィールド技術を活用し、瞳間距離調整が不要かつ眼球疲労を抑制して3次元表示できるHMDの検討を行った。光学シミュレーションにより、ディスプレイやレンズアレイなどの配置を設計し、HMDの視野角や空間周波数を評価した。この設計に基づいて光学定盤上にHMDを構成する光学部品を配置し（図1-9）、実像による検証を行い、シミュレーション通りの効果があることを確認した。さらに、要素画像群の表示から眼球までの光線を追跡し、網膜像をシミュレーションで再現するシステムを構築した（図1-10）。このシステムを用いてHMDの広視野化を検討し、従来手法の1.6倍の視野を実現できる要素画像群の生成手法を提案した<sup>(3)</sup>。

## ■ 理想的なヘッドマウントディスプレイの空間表示特性

将来の高精細VR映像に対応した理想的なヘッドマウントディスプレイを目指し、裸眼での観察と区別がつかないような視聴体験を提供するための条件を明らかにする研究を進めている。2020年度は、ディスプレイに求められる視野角や解像度の導出に資する基本的な知覚特性として、視野の広さや空間周波数特性を心理実験により測定した。



図1-8 360度映像比較再生装置「Before/After VR」

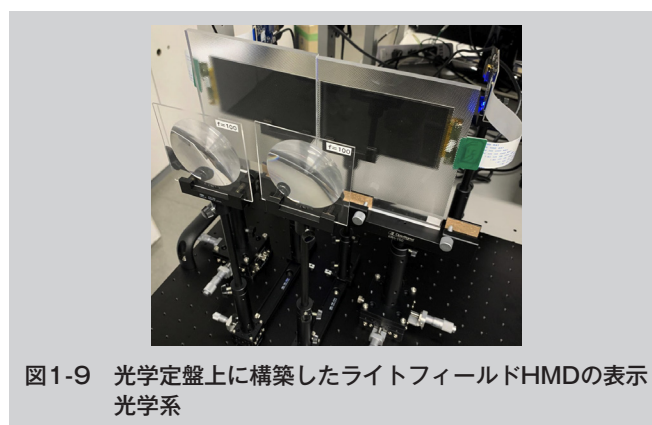


図1-9 光学定盤上に構築したライトフィールドHMDの表示光学系

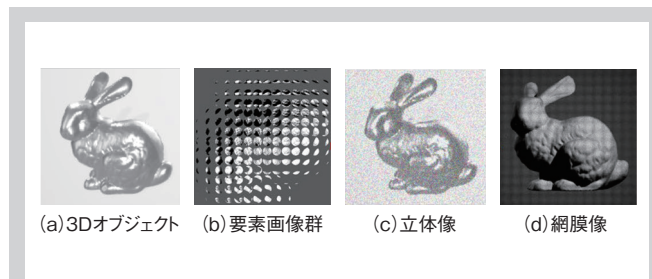


図1-10 網膜像のシミュレーション結果

視野の大きさについては前世紀初頭からいくつかの研究がなされてきたが、疾病等による視野欠損に関する研究が多く、視野周辺部分の広がりについて映像表示装置を用いた検討はなされていない。今回、65インチ4K OLEDディスプレイを複数使用し、視線をリアルタイムに計測しながら視野周辺に提示される光点を検出する実験を行った。その結果、視野の広がりは過去の知見とほぼ同様の大きさであることが確認された。

一方、人間の視覚系の空間解像度は視野中心ほど高精細であることが知られているが、映像表示装置において視野全域にこの解像度を持たせた場合、膨大な画素数が必要となる。しかし視野中心から離れるほど解像度が低下する性質を考慮すると、より少ない画素数で視野全域が高解像度であると感じさせることが理論上可能となる。これを実現するためには、視野中心からどれだけ離れた場所で高空間周波数成分が存在しないこと、すなわち画像がぼやけていることに気づくかを調べる必要がある。従来の研究では縞刺激に対するコントラスト感度を視野中心からの距離との関係で調べた例はあるが、そのような研究で用いられる視覚刺激は空間周波数次元において狭帯域であり、自然画像とは大きく異なっている。今回、空間周波数次元において広帯域となる画像を用い、特定の値よりも高い空間周波数

成分が不在となった場合に、視野中心からどれだけ離れたところで検出できるかを調べた。その結果、検出可能な範囲は、縞刺激を用いた実験で得られた従来の知見よりも大幅に狭くなる傾向が得られた。これは、従来研究から期待されていたよりも少ない画素数でも空間解像度の劣化を感じない表現が可能であることを示している。

これらの結果は視線を固定した状態で得られたものであり、ヘッドマウントディスプレイに求められる要件としては、視線を自由に動かせる状態での特性をさらに調べる必要がある。今後は視線の動きを考慮した状態において空間知覚特性を測定し、理想的なヘッドマウントディスプレイの要求条件策定に向けた検討を進める。

## ■ 高精細円筒型ディスプレイ

将来のHMDに必要な解像度や視野角などを明らかにする評価用実験装置として、自発光型で半円筒型のディスプレイシステムを開発した<sup>(4)</sup>。湾曲させた65インチの4K解像度の有機EL(OLED)パネルを水平方向に5枚連結することで、水平11K×垂直4Kの解像度と、ヒトの視野角に近い約200度の広視野な視聴環境を構築した(図1-11)。円筒の半径は約1mで、中心部分から見ると、視力1.0のヒトが画素構造をほとんど確認できない程度の画素密度となっている。このディスプレイシステムは、NHKプラスクロスSHIBUYAで開催された一般公開イベント「放送のミライ展」で展示した。

複数のカメラで撮影した映像を結合して、高精細なVR映像を生成するスティッチング手法の検討にも着手した。

## ■ 3次元空間情報のオブジェクトベース伝送技術

3次元空間情報コンテンツに登場する人物等を、それぞれ独立した3次元データとして伝送する、オブジェクトベース伝送技術<sup>(5)</sup>を開発した。3次元データを伝送するパケットにオブジェクトごとのパケットIDを付与し、パケットが伝送するオブジェクトの識別を可能とする。視聴端末の入力部や、パケットを伝送する中継ノードでは、パケットを選別して視聴端末で不要なデータを破棄することで、視聴端末の受信処理やレンダリングの処理負荷軽減が可能となる。また、各オブジェクトの3次元データは個別のローカル座標を持ち、これらをコンテンツ全体の3次元空間に配置するためのトランスフォーム(座標変換)情報をメタデータとして送信する。これにより、受信側の視聴



図1-11 高精細円筒型ディスプレイ

環境や操作に応じて、一部のオブジェクトの抽出や、オブジェクト配置をカスタマイズしてレンダリングすることも可能である。

オブジェクトの3次元データの圧縮伝送を検証するため、民間標準化団体のKhronosが策定するファイルフォーマットであるglTF(GL Transmission format) 2.0と、Google社が開発したDracoによる3次元ジオメトリ圧縮に、伝送する3次元データのフレーム構造を対応させた。

AR視聴端末(アプリ)に、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を出力するAR視点パラメーター出力機能を新たに追加した。これにより中継ノードにおいて、視聴端末からフィードバックされたAR視点パラメーターを使用して視聴端末の表示領域を推定し、その視野外となるオブジェクトのパケットを破棄するオブジェクトフィルタ機能を実現した。

## ■ ARコンテンツと連動する3次元音響技術

オブジェクトごとに独立した音源と、各オブジェクトの位置情報、AR視聴端末のカメラパラメーターを入力し、AR視点位置に応じて各音源をミックスした3次元音響をリアルタイムにレンダリングする、3次元音響レンダリング装置を開発した。ARの視覚情報と3次元音響の連動により、没入感を高めたコンテンツ視聴を可能とした。

## ■ ARコンテンツによる3次元空間情報伝送の検証

技術検証やサービスイメージ提示のため、Eテレの放送番組「ムジカ・ピッコリーノ」を題材とした3次元ARコンテンツを制作した。6人の出演者による楽曲演奏を3次元キャプチャスタジオで収録したのち、オブジェクト伝送の検証のために、出演者それぞれがローカル座標をもつ3次元データとして加工した。さらに人物と物(楽器や椅子などの静止物)を分離できるケースについては3次元データを分離し、合計10個のオブジェクトとした。

AR視聴端末では、受信したコンテンツに含まれるトランスフォーム情報に従って、標準のレイアウトでコンテンツ空間に配置したオブジェクトのAR視聴が可能であることを確認した(図1-12)。

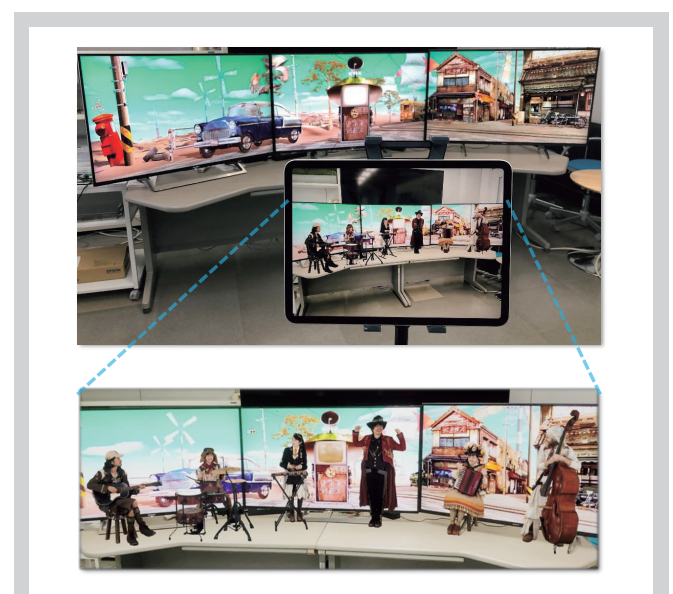


図1-12 「ムジカ・ピッコリーノ」コンテンツのAR視聴



図1-13 特定オブジェクトに注目したインテグラル3D映像視聴

同じコンテンツをインテグラル3D映像受信装置でも受信し、視聴者の操作によって特定のオブジェクトを選択することで、注目する登場人物に限定したIP立体映像で視聴できることを確認した(図1-13)。

## 1.4 映像技術

さまざまな映像ソースを視聴端末に合わせて提供するダイバースビジョンの研究をはじめ、微小画素における画質改善や放送カメラ用のオートフォーカスを実現するための次世代撮像技術の研究、番組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、大画面テレビの家庭導入を容易にするSHVフレキシブルディスプレイの研究を進めた。

### ■ ダイバースビジョン基本アーキテクチャの研究

さまざまな映像ソースを視聴端末に合わせて提供する、ダイバースビジョン基本アーキテクチャの研究開発を進めている。2020年度は、360度全天周映像と3Dオブジェクトなど複数の映像コンポーネントについて、個々のオブジェクトの時間的、位置的情報を示すシーン記述に従って、さまざまな視聴端末向けにレンダリングして合成表示するシーン記述プレーヤーを試作した。

シーン記述については、その要件を検討し、3D映像の表現フォーマットであるgITF2の拡張として設計した。フレーム単位でのオブジェクトの位置・大きさ・向きや表示・非表示フラグ、レンダリング時のカメラ位置・向き・画角(推奨ビューポート)などを指定することができ、時間方向に分割可能な構造となっている。このうち、フレーム単位での位置情報や推奨ビューポートについては、MPEGで検討中のシーン記述にも提案し、採用された。

試作したシーン記述プレーヤーを用いて、8K相当の全天周映像に250万ポイントの3Dポイントクラウドを合成し、通常のディスプレイには推奨ビューポートで、HMD(ヘッドマウントディスプレイ)には視点位置・視線方向に応じて、携帯端末については利用者の操作に応じて、映像を再生できることを確認した(図1-14)。

### 〔参考文献〕

- (1) K. Yoshino, H. Kawakita, T. Handa and K. Hisatomi: "Viewing Style of Augmented Reality/ Virtual Reality Broadcast Contents while Sharing a Virtual Experience," Proc. of VRST '20, Article 76(2020)
- (2) 川喜田, 新井田, 久富: "360度カメラを過去の撮影位置に誘導するアプリの開発," 信学技報, MVE2020-41, pp. 47-52(2021)
- (3) Y. Maeda, D. Koide and K. Hisatomi: "Improvement of Field of View in Light-Field Head-Mounted Display by Displacing Elemental Images," Proc. of IDW'20, Vol. 27, PRJ7/AIS7-4, pp. 705-707(2020)
- (4) 原, 小出, 久富, 三科: "高精細VR映像を表示する半円筒ディスプレイシステム," 映像学創立70周年記念大, 22D-1(2020)
- (5) Y. Kawamura, T. Kusunoki, Y. Yamakami, H. Nagata and K. Imamura: "Toward Tele-Experience: Enhanced Viewing Experience by Synchronized UHDTV and Free-Viewpoint AR," IBC Technical Conference(2020)

### ■ 次世代撮像技術の研究

3板式8Kカメラに適したオートフォーカス技術の開発を進めた。2020年度は、2019年度に実施したRGB各チャンネルの像面位相差検出精度に関する検討結果に基づき、位相差検出画素を持つイメージセンサーを1.25型3板式8KカメラのBチャンネルに用いた像面位相差検出方式(PD: Phase Detection)とコントラスト方式を併用した、ハイブリッドオートフォーカス(AF: Auto Focus)システムを試作した。

本システムのうちPDAFのみの性能を、AFの性能を表す $AF_{accuracy}$ (手動調整時に対するAF調整時の撮影像の限界解像度の到達度)により評価した<sup>(1)</sup>。照度に対する $AF_{accuracy}$ を従来のレンズ内蔵AFと比較したところ、開発したAFは、800luxを境にレンズ内蔵AFよりも優れた性能を示した。一方、800lux未満では、位相差が検出できずAFが正常に動作しないケースが見られた(図1-15)。照度に対する性能の違いは、それぞれのシステム上の位相差検出部の感度やダイナミックレンジに依存すると考えられる。カメラシステム側にAF機能が搭載されたことで、AF機能を持たない既存のレンズとの組み合わせでもAFを利用することが可能となった。被写体の自動追尾機能と組み合わせることで、フォーカシングが課題となっていたスポーツ制作



図1-14 シーン記述プレーヤーでの映像再生例

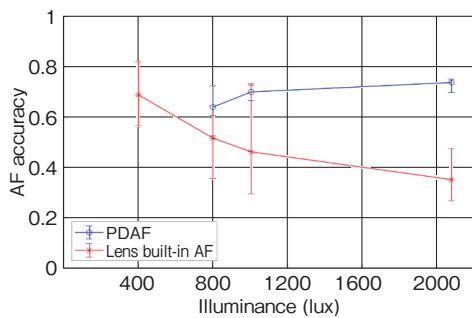


図1-15 レンズ内蔵AFとPDAFとの精度比較  
(エラーバーは各試行のうちの最小・最大値を示す)

などでの8Kカメラの活用が期待される。

8Kカメラの小型化や、VRなど超広角撮影での多画素化の必要性から、イメージセンサーの画素サイズをこれまでよりも微細化することが求められる。微細化した画素サイズでも放送画質を確保するための画質改善手法について、2019年度から開始した研究をさらに進めた。

ショットノイズなどポアソン分布を持つノイズに対するウェーブレット縮退を用いた低減手法について、2019年に開発した手法のさらなる改善を行うとともに、コア部分の信号処理をリアルタイム化するためのハードウェア開発を進めた。本手法の開発は、米国・デイトン大学と共同で実施した。

2019年度に開発したサブピクセル光学位相シフトと学習を用いた解像度改善手法<sup>(2)</sup>の動画への適用、およびハードウェア開発を進めた。動画を想定して学習方法を改良するとともに、畳み込みニューラルネットワークの学習済みモデルに対する信号処理をGPU (Graphic Processing Unit) 上での処理からFPGA (Field Programmable Gate Array) を用いたハードウェアアクセラレーター上での処理に変更することで、処理速度を大幅に高速化した。

画素サイズの縮小に伴い、光学系の撮影条件によっては被写体の高周波部分でコントラストを維持することが困難になる。例えば、2/3型8Kカメラでレンズ絞りの開口値Fを4以上にした場合、8K以上の解像度を確保できなくなるため、絞りに代わって連続的に光量を調整するために必要となる連続濃度可変NDフィルターの導入を検討した。応答速度と光の利用効率の観点から光学式を採用し、試作・評価を行った。

これらの手法の検証と、信号読み出し雑音低減技術の確立のために必要となる、画素を微細化したイメージセンサーの試作に2019年度から着手した。2019年度に設計した小面積マルチサンプリングA/D変換回路を改良したテストチップを静岡大学との共同研究で試作するとともに、低ノイズ性能を実現する1 $\mu$ m級画素を裏面照射構造にて設計した。マルチサンプリング技術のノイズ低減効果について、理論解析と1.25型8Kイメージセンサーを用いた実験により、有効性を確認した<sup>(3)</sup>。また、本理論解析手法を用いて画素サイズ1 $\mu$ m級撮像素子のノイズ低減効果を高精度に予測することが可能となった。これら検討・開発した光学系、撮像素子、信号処理の各要素技術を総合することで、実用的な撮像特性を持つ2/3型8Kカメラシステムを実現できる見通しを得た。

## ■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なフォーマット可変映像の研究を進めている。

変化させる映像パラメーターとして、まずアスペクト比に着目した。ハイビジョン方式以降、アスペクト比は16:9に固定されているが、2020年度は16:9以外のアスペクト比で映像を制作し、アスペクト比の違いによる印象の変化を検証した。評価素材としてテニス競技などの撮影を行い、同一シーンにおいて映像のアスペクト比が異なることによる撮影意図の変化や、撮影における課題について検証した。映像だけでなく、写真や絵画におけるアスペクト比に関する先行研究を調査するとともに、表示装置のアスペクト比が表示する映像フォーマットのアスペクト比と異なる場合の印象の違いについても検討を進めた。

映像パラメーターの異なる複数の映像フォーマットを同一のインターフェースで伝送するためのシステムについて、検討を開始した。IPベースの実験検証システムの構築に必要な要件も、整理した。

アスペクト比を変化させた場合でも表示デバイスの空間解像度特性(MTF: Modulation Transfer Function)が保持されているかを確認する方法として、2019年度に提案した、ディスプレイに表示したラインの輝度プロファイルを分析するMTF測定法の応用を検討した。その結果、広い範囲の画素比(ディスプレイの画素幅が測定カメラ素子上の何画素幅に対応するかの比)で安定したMTFを得られることがシミュレーションで確認できた<sup>(4)</sup>。また、従来のコントラストモジュレーション法では十分な精度が得られない低い画素比でも、非常に高い測定精度が得られることをシミュレーションと実測の両方で明らかにした<sup>(5)(6)</sup>。

また、ディスプレイのピクセル構造の違いが従来見分けられないとされた角解像度30cpd(cycles per degree)においても、サブピクセル配列の違いが視覚的な鮮鋭度に影響することを明らかにした<sup>(7)</sup>。この研究の一部は、千葉大学との共同研究で実施した。

IEC (International Electrotechnical Commission) 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た。

## ■SHVフレキシブル有機ELディスプレイ

大画面で臨場感のあるスーパーハイビジョン映像を、家庭でも手軽に楽しめるように、超薄型・軽量のフレキシブルディスプレイの研究開発を進めている。これまでに、30インチ4Kのフレキシブル有機ELディスプレイを開発した。2020年度は、画質改善に向けた研究を中心に取り組んだ。まず、画面内の輝度ばらつきを抑え、均一性を向上させる、静的補償技術の高精度化を進めた。これまでは、あらかじめ測定した画面内の輝度ばらつきデータに基づいた複数の補償テーブルを用意し、画素ごとにその輝度特性に近い補償テーブルを選択して補正していたため、輝度特性が完全には一致せず、補正精度に限界があった。そこで、画素ごとに輝度特性を何点か測定してパラメータ化し、測定点以外のデータを内挿により計算で求めて補正する手法を考案し、改善効果を確認した。

次に、動きのある被写体を鮮明に表示する技術を開発し、実機での評価を進めた。画素はフレーム期間中に一定の輝度で連続的に点灯しているため、動きのある被写体の場合は、動きぼやけが発生する。そこで、画素が点灯している時間(時間開口率)を短くし、その分、輝度を上げることによって、蓄積輝度量

をえることなく、動きぼやけを低減できる手法とした。動きぼやけ量を応答時間で評価するMPRT (Motion Picture Response Time) を測定した結果、応答時間が通常よりも25%程度減少していることを確認した<sup>(8)</sup>。

有機ELディスプレイには、有機EL素子の電流を制御する薄膜トランジスタ (TFT: Thin Film Transistor) が用いられている。TFTの特性は、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、経時的に変化するため、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、画面の表示中にTFT特性を取得し、特性の変動に合わせてリアルタイムで信号補償量を可変とする動的補償技術を開発している。2020年度は、TFT特性を短時間で取得する手法を検討するとともに、パネル実機による検証に着手した。

2019年度に開発した30インチ4Kフレキシブル有機ELディスプレイについて、各地の放送局などで展示した。また、NHKプラスクロスSHIBUYA(東京・渋谷)では、約1か月半にわたり公開した(図1-16)。開発したディスプレイは、厚みが約0.5mmと非常に薄くて軽く、小さく巻き取って収納することもできることから、さまざまなテレビの視聴スタイルが考えられる。本開発により、放送文化の発展に貢献したとして、(公財)放送文化基金から、第46回放送文化基金賞(放送技術)を受賞した。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)と共同で開発した。

## ■ 有機ELディスプレイの低輝度領域画質改善技術

有機ELディスプレイの表示の均一性改善、特に低輝度領域の画質改善に向けて、時分割駆動手法の研究を進めている。本手法では、TFT特性のばらつきが、低い電流領域よりも高い電流領域で抑制される点に着目し、1フレーム内に発光時間の短いサブフレーム期間を設け、ばらつきが少ない高い電流値のみで有機ELを駆動することにより、明るさの均一性を改善する。2020年度は、黒画像を挿入して短期間の高輝度なサブフレームを模擬した映像を、有機ELディスプレイに表示し、その効果を検証した。その結果、短期間に強い発光(高い電流値)を用いて映像を表示することで、低輝度領域の均一性が改善されることを確認した<sup>(9)</sup>。

### [参考文献]

- (1) 菊地, 船津, 安江, 富岡, 松原, 山下: “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,” 映情学創立70周年記念大, 33E-1 (2020)
- (2) 船津, 富岡, 菊地, 安江, 松原, 山下: “撮像素子の光学位相シフトと深層学習を用いたカメラ画像の解像度特性改善に向けた基礎実験,” 映情学創立70周年記念大, 32-E (2020)

## 1.5 音響技術

次世代音声サービスとして、視点に応じて発音体があるかのように音を表現するための音源情報生成技術、発音体と聴取者の距離による違いを表現するための音場生成技術、聴取者の好みや再生環境に合わせて番組音声の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。



図1-16 外部展示の様子(NHKプラスクロスSHIBUYA)

- (3) K. Tomioka, T. Yasue, R. Funatsu, K. Kikuchi, T. Matsubara and T. Yamashita: “Noise Reduction Effect of Folding-integration ADC in an 8K Image Sensor driven at Various Frame Rates,” 2020 IEEE SENSORS, pp. 1-4 (2020)
- (4) K. Masaoka: “Simulation of Line-Based MTF Measurements for Pixelated Displays,” SID Symposium Digest of Technical Papers, 57-4 (2020)
- (5) K. Masaoka: “Accuracy and precision limitations in measuring luminance modulation for pixelated displays,” Opt. Express, Vol. 28, No. 19, pp. 27865-27872 (2020)
- (6) K. Masaoka: “Line-Based Modulation Transfer Function Measurement of Pixelated Displays,” IEEE Access, Vol. 8, pp. 196351-196362 (2020)
- (7) M. Tanaka, D. Nakayama, T. Horiuchi and K. Masaoka: “An Experimental Study of the Effect of Subpixel Arrangements on Subjective Spatial Resolution,” SID Symposium Digest of Technical Papers, 80-5 (2020)
- (8) T. Sonoda, S. Murashige, K. Tanaka, K. Takase, H. Katoh, Y. Kataoka, T. Usui, T. Okada and T. Shimizu: “30-inch 4K Rollable OLED Display,” SID Symposium Digest of Technical Papers, 84-1, pp. 1261-1264 (2020)
- (9) T. Okada, T. Usui, M. Nakata, Y. Nakajima and T. Shimizu: “Uniformity Improvement with Time-division Driving for Low-level Luminescence of AMOLED Displays,” Proc. of IDW’20, Vol. 27, DES1-3, pp. 833-836 (2020)

## ■ 音の空間表現のための音源情報生成・音場再現技術

将来のAR/VRを中心としたリアリティイメージングに対応した音響技術につながる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

ことを目的に、人声の3次元放射特性のモデリング法の開発を進めている。2019年度に作成した人声の3次元放射特性データベースを用いて、測定するデータ数の軽減を目的に測定点の音圧から未測定点の音圧を推定する手法を検討し、推定精度が推定手法に大きく依存しないことを示した。また、異なる放射方向の人声を聴感上区別がつくのか調べる実験を行い、3次元放射方向の人声の再現に必要な角度の分解能は任意方向に30度程度であることを明らかにした。

ヘッドホン再生において、近距離から遠距離までの3次元空間の音を連続的に再現するため、距離方向を含む頭部伝達関数(Head-Related Transfer Function: HRTF=音源から両耳までの音の伝搬特性)のモデリング法の研究を進めている。2020年度は、方位角と仰角に加え距離も変数とした3次元空間でのモデリング手法の検討を実施した。3次元空間上の任意の位置から音が聞こえてくるように、測定したHRTFを用いて音の方向と距離を制御するため、測定したHRTFデータを距離、方位角、仰角、周波数を変数として高次特異値分解により変数分離するモデリング法を提案した。2019年度に距離を含めて測定した2次元平面HRTFデータを用いて提案法を試行し、方位角と距離と周波数について変数分離ができることを確認した。

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研究を進めている。2020年度は、移動する音像を提示することを目的に、任意の軌道で連続的に移動する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、その空間周波数領域表現を導いた。解析結果を2019年度に開発した波面合成技術に組み込み、音場シミュレーションによって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場合の波面の様子を確認するとともに、開発した技術をラインアレイスピーカーに実装し、試聴することでその効果を確認した(図1-17)<sup>(1)</sup>。

## ■ オブジェクトベース音響による次世代放送方式

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。

オブジェクトベース音響は、素材となる音声信号と音響メタデータを放送し、受信機で再生環境や視聴者の好みに合わせて音声信号を変換処理して再生する方式である。オブジェクトベース音響では、実況や背景音などの音声オブジェクトを受信機側で自由に差し替えるサービスが想定される。効率的に差し替え音声オブジェクトを制作する手法の1つとして、主音声オブジェクトの音声レベルを基準に、差し替え音声オブジェクトの音声レベルを自動的に調整する技術を開発している。2020年度は、有効測定時間が異なる複数の客観指標を、音声における発話タイミングの類似度によって異なる割合で組合せて用いるアルゴリズムを提案した。この手法によって調整した音声が、

2019年度に提案した1つの客観指標を用いる手法よりも音声エンジニアが調整した音声に近いことを主観評価により確認した。

また、番組間の音の大きさを揃えるための客観指標に用いられるラウドネスレベルの測定法について、2019年度に提案したオブジェクトベース音響用のアルゴリズムをソフトウェアに実装し、動作確認を行った。

さらに、オブジェクトベース音響の番組をライブ制作するための音声卓の開発を開始した(図1-18)。2020年度は、番組構成などが記載された音響メタデータを読み込み、当該時刻の信号処理に必要な音響メタデータだけを抜き出して音声信号に同期させて出力する機能と、モニタリング用のスピーカー配置に合わせて音声信号を変換する機能を実装し、2019年度に開発した音響メタデータの伝送装置との接続テストを行った。EBU(European Broadcasting Union)との共同実験では機器間の互換性を確認するテストを行い、映像を含めたライブ制作に適した仕様をまとめ、仕様に合わせて音響メタデータ伝送装置を改修した<sup>(2)</sup>。

オブジェクトベース音響における高品質かつ効率的な音声符号化アルゴリズムとして、2019年度に提案した音声オブジェクトごとに最適なビットレートを割り当てる方式<sup>(3)</sup>を用いたMPEG-H 3D Audio(3DA)のリアルタイム符号化・復号装置を開発し、背景音の音声オブジェクトを差し替える機能やセカンドデバイスにも音を出力する機能を実装したライブラリを開発した。

将来のAR/VRサービスを見据えて、上下の視点切り替えに対応した音声付コンテンツを制作し、想定するサービス要件に応じたユーザーインターフェースを試作してIBC2020のオンラインイベントなどで展示した(図1-19)。また、聴取位置を変えた時に遠近によって生じる音が聞こえる方向の違いを表現する手法を提案し、主観評価実験によって効果を確認した。

22.2ch音響など上下方向にもスピーカーを配置する音響方式の評価をするために、国際規格である勧告ITU-R BS.1116-3の要求性能を満たす小型モニタースピーカーを開発した<sup>(4)</sup>。強力な磁石を採用して発音部にあたるスピーカーユニットの口径を小さくすることで、体積を従来のおよそ1/3に小型化しながらも、国際規格で要求される最大音圧レベルの2倍以上の出力と、平坦な周波数特性、指向特性を実現した。

低域効果(LFE)用スピーカーの再生品質向上のために、2020年度はLFEスピーカーの性能調査として群遅延特性の測定を行い、製品による特性の違いを確認するとともに、高域遮断フィルタによる群遅延特性への影響を計算機シミュレーションと実測で確認した。

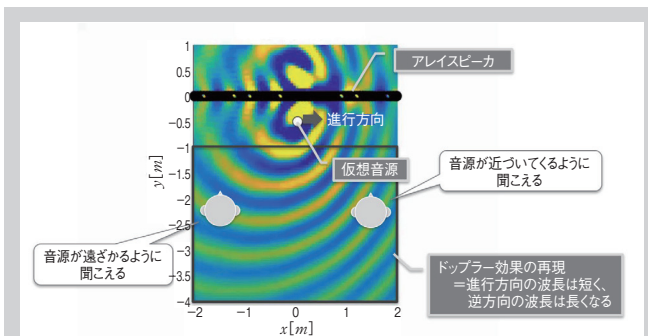


図1-17 移動音源によって形成される波面の合成



図1-18 開発したオブジェクトベース音響対応音声卓



図1-19 AR/VRを想定したオブジェクトベース音響コンテンツ

## ■標準化

次世代音声サービスの実現に向けて、国内外の標準化を進めている。

ITU-Rにおいて、アクセス性改善のレポートITU-R BT.2207とイマーシブメディアのレポートITU-R BT.2420にオブジェクトベース音響を用いた事例を追加するとともに、音声符号化方式の要求条件やラウドネスレベル測定法をオブジェクトベース音響に拡張するための議論を進めた。また、オブジェクトベース音響で用いる音響メタデータである音響定義モデル(ADM)の勧告ITU-R BS.2076とADMの共通定義の勧告ITU-R BS.2094、ADMレンダラーの勧告ITU-R BS.2127のエディトリアル改訂に寄与した。

SMPTEにおいて、制作・放送・通信等の事業者間におけるコンテンツ交換に利用可能な音声ファイル用メタデータの規格SMPTE ST 377-42に、22.2ch音響に対応したスピーカーラベルなどを追加する改定作業に寄与した。

## 1.6 符号化技術

次世代地上放送に向けてHDR映像や4K・8Kスーパーハイビジョン映像における映像符号化技術の研究開発および標準化を進めている。また、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するとともに画質指標の開発を進めている。

### ■次世代映像符号化技術の開発と標準化

次世代の映像符号化に関する要素技術の開発を進めた。2020年度は、ループフィルタや量子化の改善技術を開発した。符号化映像のブロックノイズを低減するためのループフィルタであるデブロッキングフィルタにおいて、従来では入力映像のビット深度ごとに異なる制御処理が施されていたが、処理を統一して効率化する手法を開発した<sup>(1)</sup>。さらに、ループフィルタにおける制御パラメータ符号化の冗長性削減手法を開発した<sup>(2)</sup>。

素材伝送符号化を念頭に置いたRGB4:4:4映像の符号化において、予測残差信号に適用する適応色空間変換処理の量子化制御手法およびデブロッキングフィルタ制御手法を開発した<sup>(3)</sup>。

MPEGにおいて、オブジェクトベース音響による放送サービスを従来より簡易に実装するための仕様をまとめたMPEG-H 3DA Baselineプロファイルの策定に寄与した。

ARIBにおいて、これまでの32ビット音声ファイル形式に代わる次世代の音声ファイル形式として、4GB以上のファイルサイズやオブジェクトベース音響に対応した64ビット音声ファイル形式の国内規格案を作成した。また、総務省からの要請で新しくタスクグループを立ち上げ、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行い、情報通信審議会地上デジタル放送方式高度化作業班で中間報告を行った。

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、音声符号化方式として提案しているMPEG-H 3DA Baselineプロファイルの国際会議等での動向調査を行い、準拠する音声符号化装置を試作して、動作検証により放送用途への導入可能性を確認した。

#### [参考文献]

- (1) 佐々木, 松井, 中山: “SDMを用いた移動音源によって形成される音場の再現,” 音響学会春季講演論文集, 2-1P-5, pp. 333-336 (2021)
- (2) 久保, 大出: “オブジェクトベース音響方式制作用レンダラーの開発,” 音響学会秋季講演論文集, 1-1-16, pp. 1063-1064 (2020)
- (3) 杉本: “オブジェクトベース音響の符号化のためのビットレート分配法,” 音響学会秋季講演論文集, 1-1-17, pp. 1065-1066 (2020)
- (4) 杉本, 小野, 北島: “ITU-R勧告に準拠した小型モニタースピーカの開発,” 音響学会秋季講演論文集, 1-1-19, pp. 1069-1070 (2020)

これらの技術を、ITU-TおよびISO/IECの合同作業班JVET (Joint Video Experts Team)において標準化が進められている映像符号化方式VVC (Versatile Video Coding)の要素技術として提案した。VVCは、映像の主観的な品質を損なうことなく、4K8K衛星放送で用いられているHEVC (High Efficiency Video Coding) と比べて30%から50%高いビットレート削減率を実現することを目的に開発された映像符号化方式で、HDR (High Dynamic Range) 映像を含む4Kや8Kなどの2D映像だけでなく360度映像など多様な映像フォーマットにも対応している。

このVVCを構成する処理の中に、上記のデブロッキングフィルタ制御の処理統一化、ループフィルタのパラメータ符号化における冗長性削減およびRGB4:4:4符号化における量子化制御の各技術が採用された。また、JVETにおけるHDR映像の符号化実験条件や性能評価を担当する検討グループの副議長を担当し、HLG (Hybrid Log-Gamma) 方式の符号化条件の管理を行うとともに、VVCに採用された様々な要素技術の動作検証および性能分析を実施した。

VVCは2020年7月にITU-TおよびISO/IECにおいてそれぞれITU-T H.266およびISO/IEC 23090-3として最終国際規格案



が承認された。映像情報メディア学会が頒布する超高精細・広色域標準動画Aシリーズ及びBシリーズから抜粋した8シーケンスを用いたHEVC、VVCの符号化性能比較を示す(表1-2)。また、標準化されたVVCの符号化性能を確認するため、HLG方式の評価シーケンスを提供し、標準化における性能評価を推進した。さらに、VVCの普及促進を目的に、デコーダ開発における動作検証用規格適合ストリームの標準化を進め、HDR符号化時における動作検証用ストリームの寄与を行った。

VVCの参照ソフトウェア(VTM: VVC Test Model)を用いたレート制御の改善に関する研究を進めた。VTMでは、レート(R)と歪み(D)の関係(RD曲線)からラグランジュ未定乗数( $\lambda$ )を見積もり、コスト関数( $J=D+\lambda R$ )を最小化する予測モードを選択する。VTMではRD曲線として双曲線関数を用いた近似関数が使われているが、4K・8K映像の符号化に最適なRD曲線は調べられていなかった。そこで、地上放送の高度化を見据えて5-100Mbpsのレート範囲で4K・8K映像のRD曲線を調査した結果、双曲線関数によるフィッティング精度が低い映像が存在することが分かった。さらに、精度が低い場合には対数関数を近似関数として用いることで高精度にフィッティングできることを示した。

新たな符号化技術分野として、深層学習を用いた映像符号化技術の検討を進め、機械学習によるエンコーダ制御や予測モードの決定手法の検討、機械学習におけるトレーニング環境の整備などを、明治大学との研究相互協力により実施した。

## ■ HDR/広色域画像用客観評価指標の検討

次世代地上放送におけるHDR放送(HLG方式)に適した符号化制御の実現に向け、主観的な映像品質を推定する客観評価指標の検討を進めた。これまでにHDR符号化画像に適した客観評価指標を調査し、HLG方式の品質評価においてもSDR(Standard Dynamic Range)画像用客観評価指標であるVIF(Visual Information Fidelity: 画像の統計的性質およびHVS(Human Visual System)モデルから導出される劣化指標)を適用した結果が最も優れていることを確認した。しかし、調査した客観評価指標はいずれも輝度信号のみを用いた指標で、色信号が考慮されておらず、また、輝度および色差信号を計算に利用したHDR/広色域画像用客観評価指標の先行研究は存在するが、放送で主に用いられるHLG方式の画像に適しているかは議論されていなかった。

表1-2 HEVCとVVCの符号化性能比較(PSNR)

シーケンス名(8K)	HEVC (85Mbps)	VVC (50Mbps)
製鉄所	32.19 dB	32.34 dB
けんか祭り	37.60 dB	38.38 dB
楓	34.59 dB	35.04 dB
和傘	37.71 dB	38.67 dB
気動車	38.16 dB	39.06 dB
水球(ゴール)	33.71 dB	34.24 dB
マラソン(スタート)	33.42 dB	33.54 dB
水球(縦スーパー)	32.92 dB	33.34 dB
平均	35.04 dB	35.58 dB

そこでHLG方式のHDR/広色域画像用客観評価指標における色信号の必要性を検証するため、符号化画像と原画像から輝度または色差信号のいずれかが劣化した合成画像を作成して、主観評価実験を行った。輝度および色差信号が劣化した符号化画像に対して実施した主観評価実験結果と比較し、輝度信号のみを計算に利用するVIFでは検出されない色劣化が、視覚的には認識できる場合があること、特に輝度信号の劣化が小さい場合に色差信号の劣化を視認しやすいことを確認し、客観評価指標においても色信号を考慮する必要性を明らかにした<sup>(4)</sup>。

上記合成画像を含めたHLG方式のHDR/広色域画像に対して、色信号を考慮した客観評価指標6種類(SDR画像用色差式2種類、HDR/広色域画像用色差式3種類、SDR画像用客観評価指標1種類)および基準となるVIFの性能を調査し、それぞれの客観評価指標の検出精度と映像の劣化傾向を明らかにした<sup>(4)</sup>。

また、機械学習(サポートベクター回帰)を用いたHDR/広色域画像用客観評価指標の検討を進めた。先行研究で提案された複数の客観評価指標を組み合わせた客観評価指標モデルを実装し、HLG方式のHDR/広色域画像に対する性能を調査した。同モデルでは、先行研究と同じ非HLG方式の画像で学習した場合と、HLG方式の画像で学習した場合のいずれも、単独のVIFの性能を上回らず、HLG方式のHDR/広色域画像において同モデルが適さないことが明らかとなった。

これらの研究はボンベウ・ファブラ大学と共同で実施した。

## ■ 超解像や機械学習を応用した符号化

符号化ユニット(CU: Coding Unit)毎にウェーブレット超解像・ぼやけ処理を適用し予測画像として用いる画面間予測技術および複数フレームの多重解像度成分の相似性を利用した高精度な超解像・ぼやけ処理を画面間予測に適用する基礎技術を開発した。本技術はカメラワークやオブジェクトの移動に伴うぼやけ度合の変動による予測性能の低下を補償する予測技術であり、VVC上に実装し、効果を検証した(図1-20)。

また、符号化が困難な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<sup>(5)</sup>を時空間方向に拡張した帯域制限・雑音除去による符号化前処理の基礎技術を開発した。

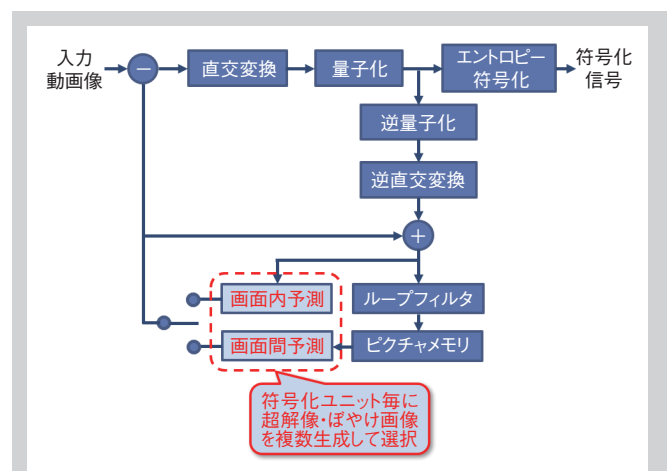


図1-20 改善技術による映像符号化の全体図

[参考文献]

- (1) 岩村, 根本, 市ヶ谷: “Cleanup of tC value derivation process for deblocking filter,” JVET-R0130(2020)
- (2) 岩村, 根本, 市ヶ谷: “AHG9: On signalling of chroma related APS,” JVET-R0132(2020)
- (3) 岩村, 根本, 市ヶ谷: “Scaling list for adaptive colour transform,” JVET-R0380(2020)

- (4) Y. Sugito, T. Canham, J. Vazquez-Corral and M. Bertalmio: “A Benchmark of Objective Quality Metrics for HLG-Based HDR/WCG Image Coding,” SMPTE 2020, Los Angeles, CA, USA, Nov. 2020, pp. 1-18 (2020)
- (5) 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, No. 1, pp. 82-93(2021)

## 1.7 衛星放送伝送技術

新4K8K衛星放送などに使用されている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帯衛星放送のさらなる有効利用に向けて、衛星伝送特性を向上する研究を進めている。2020年度は放送衛星BSAT-4bを用いて衛星出力の増力に向けた伝送特性を検証した。また、将来の32APSK (Amplitude Phase Shift Keying) 変調の利用を目指し、衛星中継器における非線形歪の影響を軽減する手法の1つとしてDPD (Digital Pre-Distortion) の研究を進めた。模擬衛星中継器を用いて、各動作点における所要C/N (Carrier to Noise ratio) とOBO (Output Back-Off) を測定し、最適となる動作点で比較した結果、DPDなしに対して0.7dB改善することを確認した(図1-21)。また、計算機シミュレーションにより衛星中継器に搭載されるリニアライザ型TWT (Traveling Wave Tube) やフィルターの非線形特性が改善量に与える影響を詳細に評価した<sup>(1)</sup>。

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

21GHz帯衛星放送の降雨減衰補償の研究を進めた。受信不可となったサービスエリア内の受信機に対して、晴天エリアで

受信した信号を公衆IP回線等の通信路でバックアップするため、両伝送路で誤り訂正符号を共通化するシステムを検討した。ビット毎に対数尤度比を最大値選択する手法により、直接受信のみでは誤りが生じる受信C/Nでも、通信路から信頼度の高いビットが部分的に補完され、通信路の packets 消失率に応じて誤りが効率的に改善することを計算機シミュレーションで確認した<sup>(2)</sup>(図1-22)。また、公衆IP回線などで生じる通信路の packets 消失率の変化に合わせて、LDPC符号の符号化率を変換

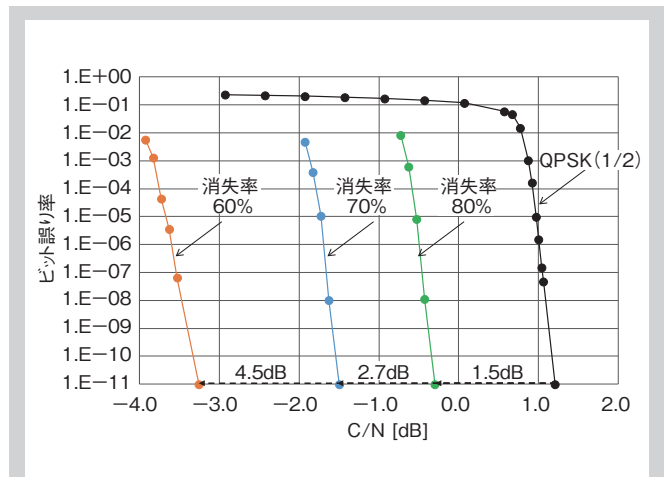


図1-22 C/N対ビット誤り率特性

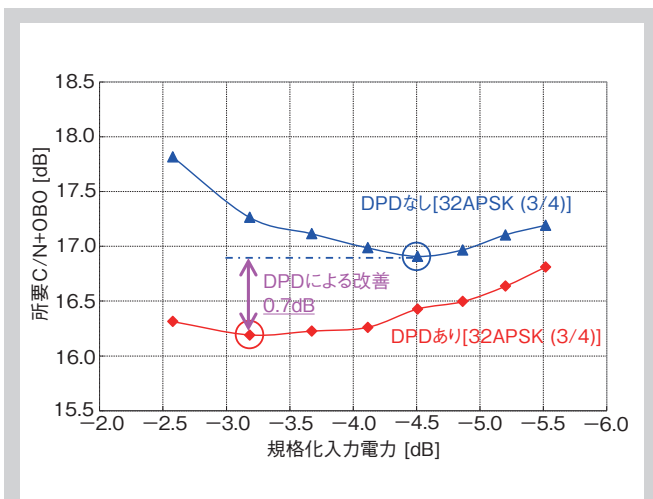


図1-21 各動作点における所要C/N+OBO(実験結果)

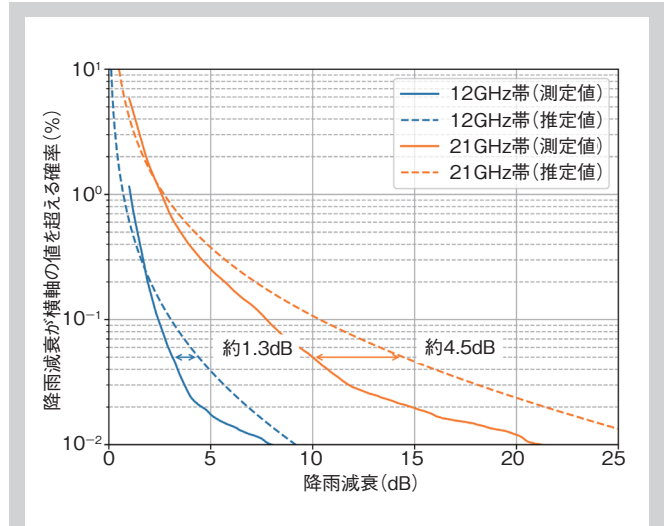


図1-23 技研における降雨減衰の累積確率分布

する手法を検討し、訂正能力が維持できることを計算機シミュレーションで確認した<sup>(3)</sup>。

21GHz帯衛星伝送の降雨減衰特性評価のため、NHK札幌拠点放送局に測定点を追加し、技研、NHK福岡拠点放送局、NHK沖縄放送局と合わせて全国4局所の測定体制を整えた。技研における2018年9月から1年間の降雨減衰の測定結果を解析し、時間率0.05%においてITU-R勧告P.618-13のモデルによる推定値と測定値を比較した結果、12GHz帯では約1.3dB、21GHz帯では約4.5dB、降雨減衰の推定値より測定値が小さくなる傾向がわかった(図1-23)<sup>(4)</sup>。今後も測定を継続し、全国各地の降雨減衰特性の詳細な解析を進めていく。

## 1.8 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や、STL/TTL (Studio to Transmitter Link/Transmitter to Transmitter Link) など中継方式の技術を検討した。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 Radiocommunication 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するチャンネルボンディング(CB: Channel Bonding)の機能追加を検討した。空きチャンネルさえあれば、受信設備の追加改修がなくても2倍以上の伝送容量を確保できる。地上放送高度化方式のCB伝送として、2つの伝送モードを検討した(図1-24)。Plainモードでは、伝送データをトランスポート層で分割するため、物理層での分割・合成処理が不要であり、チャンネル毎に伝送レートを設定するなどの柔軟な運用が可能となる。一方、MIMO likeモードでは、伝送データを物理層で単純分割するため、高度化方式のMIMO(Multiple-Input Multiple-Output)伝送機能の回路ブロックを一部流用して回路規模を削減できる。2つの物

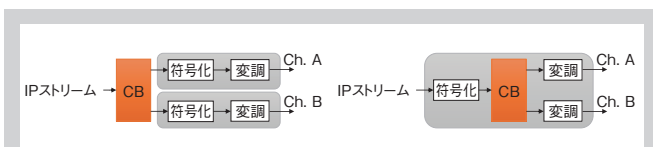


図1-24 チャンネルボンディングの概念図

### 〔参考文献〕

- (1) 小島, 亀井, 筋誠: “12GHz帯放送衛星中継器の歪成分に対する補償技術効果の検討,” 信学技報, Vol. 120, No. 287, SAT2020-26, pp. 19-23(2020)
- (2) 鈴木, 小泉, 楠, 横畑, 筋誠: “21GHz帯衛星放送の通信補完による降雨減衰補償(1) —衛星放送と通信路間の受信ダイバーシティによるLDPC復号性能向上の検討—,” 信学総大(2021)
- (3) 楠, 小泉, 鈴木, 横畑, 筋誠: “21GHz帯衛星放送の通信補完による降雨減衰補償(2) —IP伝送用LDPC符号のバンクチャによる符号化率変換の検討—,” 信学総大(2021)
- (4) S. Yokozawa, M. Kamei and H. Sujikai: “Study of 21-GHz-band Rain Attenuation Based on Annual Observations of Broadcasting Satellite Signals,” Int. Symp. on Antennas and Propag. 2020 (ISAP2020), 2F4(2021)

理チャンネルの受信レベル差が生じる場合、MIMO likeモードは周波数ダイバーシティ効果が得られるため、Plainモードに対し伝送特性が改善する。

### ■ 大規模野外実験

総務省の周波数ひっ迫対策技術試験事務を受託したA-PABとの請負契約の下で、2019年度に引き続き地上放送高度化方式の調査検討、大規模野外実験による実証を行った。

東京・大阪・福岡の実験試験局を用いた野外実験により、FFT(Fast Fourier Transform)サイズ、SP(Scattered Pilot)配置の違いによる固定受信特性を評価した。東京地区では都市近郊の10地点、大阪地区ではマルチパス波が存在する生駒山山麓の4地点、福岡地区では伝搬路が海上となる5地点で測定を行った。実験では、現行の地上デジタル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20dBとなるキャリア変調方式とLDPC(Low Density Parity Check)符号化率をB階層に設定して評価した(表1-3)。各測定点で得られた所要電力(疑似エラーフリーとなる最小受信電力)の中央値を示す(図1-25)。SP比率を揃えた8k-FFT(3,4)、16k-FFT(6,2)、32k-FFT(12,1)では、FFTサイズが小さい

表 1-3 伝送パラメーター

		8k FFT	16k FFT	32k FFT
セグメント数	A階層	4		
	B階層	31		
有効シンボル長[μs]		1296	2592	5184
GI長[μs] (GI比)		126 (800/8192)	126 (800/16384)	126 (800/32768)
キャリア変調	A階層	16QAM-NUC		
	B階層	1024QAM-NUC		
LDPC符号化率	A階層	7/16		
	B階層	9/16		
時間インターリーブ	A階層	I=2		
	B階層	I=1		
SP配置(Dx, Dy)		(3,2)	(6,1)	(12,1)
Dxはキャリア方向の間隔 Dyはシンボル方向の間隔		(3,4)	(6,2)	(12,2)
			(6,4)	

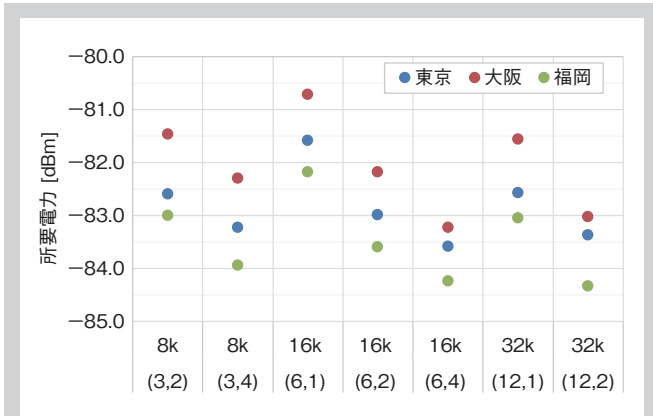


図1-25 所要電力(中央値)

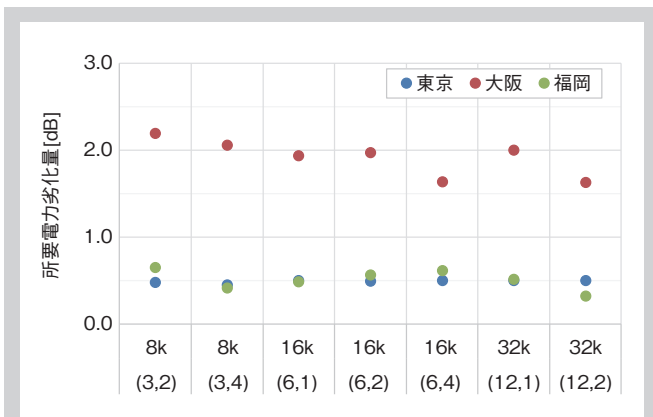


図1-26 所要電力劣化量(中央値)

パラメーターの所要C/Nが小さくなった。SP配置については、Dy (シンボル方向の間隔) が大きいほど所要電力が小さくなった。マルチパス劣化など野外環境による所要電力の増加を所要電力劣化量としてパラメーターごとに示す(図1-26)。FFTサイズやSP配置による劣化量の違いはなく、大阪地区の劣化量はマルチパス波により大きくなったが、東京、福岡地区では、室内実験から1dB未満の劣化量であった。

高速道路や主要な国道において、FFTサイズをパラメーターとして移動受信環境における伝送特性を評価した。一般に、FFTサイズが大きいほどキャリア間干渉の影響を受けやすくなるため速度耐性が低下する。FFTサイズの違いによる正受信率の比較を示す(図1-27)。移動受信階層ではFFTサイズによる特性差は生じず、高速道路の速度範囲であれば大きなFFTサイズでも使用できることが確認できた。一方、固定受信階層では大きなFFTサイズを用いるほど正受信率が低下した。正受信率が大きく低下した32k-FFTの受信特性を解析するために、移動速度と電界強度毎に受信率を色別で示した結果を示す(図1-28)。移動速度50 km/h付近から電界強度によらず誤りが発生しており、キャリア間干渉の影響が顕著に現れた。

地上デジタル放送で用いるSFN (Single Frequency Network) 方式は、複数の送信局による周波数同期放送の一種であり、各送信局の送信周波数を精度よく一致させなければならない。そこで、周波数ずれに対する高度化方式の伝送特性を評価した。表1-3に示す伝送パラメーターのうち、OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) サブキャリア間隔が最も狭く、周波数ずれの影響が顕著になる32k-FFT (SP配置 = (12,1)) について、主波とSFN波のD/U (Desired to Undesired signal ratio) と送信周波数差を変更して計算機シ

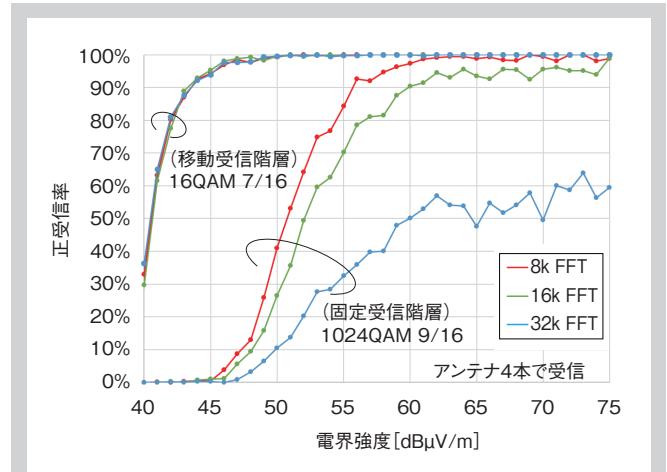


図1-27 正受信率

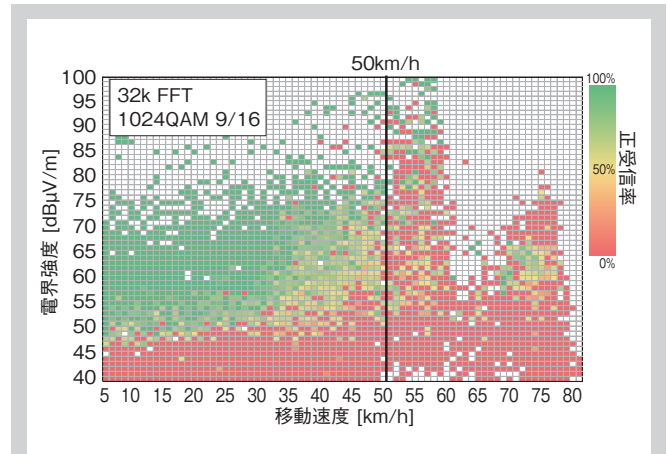


図1-28 移動速度と電界強度毎の受信率

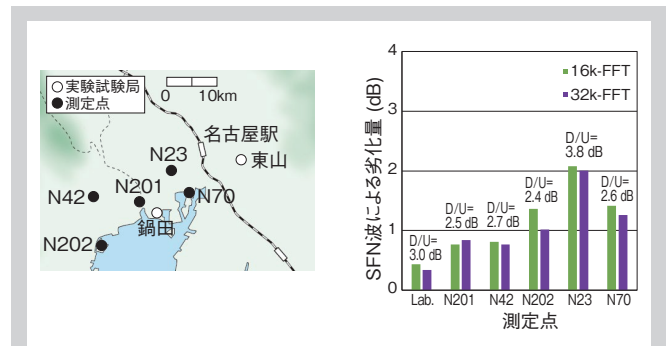


図1-29 SFN野外実験(左: 位置関係 右: 結果)

ミュレーションで伝送特性を評価した。その結果、現行の地上デジタル放送で規定されている送信局の周波数許容偏差である1Hzの周波数ずれに対し、D/U ≥ 1dBで所要C/Nの劣化は0.1dB未満に抑えられることを確認した。次に、現行の地上デジタル放送の周波数許容偏差で高度化方式のSFNが成立することを確認するため、名古屋地区にある2局の実験試験局を用いたSFNの野外実験を行った。2局の実験試験局の送信周波数は、GPS信号で校正するルビジウム発振器で生成される10MHz基準信号を外リファレンスとした。各測定点での受信環境に起因して、親局単局受信からの所要電力劣化量は異なるが、いずれも16k-FFTと32k-FFTの差はほとんどなかった(図1-29)。

## ■ 地上放送高度化方式の多重化技術

放送と通信の円滑な融合のために、双方のメディア形式の共通化を目指している。通信で標準となったCMAF (Common Media Application Format) を地上放送高度化のメディア形式に適用しMMT (MPEG Media Transport) で伝送することを検討した。地上放送高度化におけるCMAF対応<sup>(1)</sup>では、新4K8K衛星放送では採用されなかったISO BMFF (ISO Base Media File Format) のメタデータ部をCMAFに準拠したチャンクを生成して送信する。その際、CMAFのチャンク構造を利用することで、0.5秒程度のGOP (Group Of Pictures) 長の遅延を要さずにメタデータ部も生成して低遅延に送出することができ、CMAFのメリットが放送のMMTでも活かされる。

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もCMAFに対応させた。CMAF/MMT形式への対応にあたりMMT-SI (Service Information) 信号を新たに提案するとともに、緊急情報などの外部信号入力に対応するなど、2019年度に試作したソフトウェアベース送出システムに機能を追加して検証を実施した。

送出システムから放送所向けに送出するプログラム伝送信号の伝送容量削減を目的に、新たなプログラム伝送信号形式であるSTLP (Studio to Transmitter Link Protocol) を考案し、実装モジュールを製作した。STLPでは、伝送容量削減のために、STL伝送の前に構成していたFECブロックと多重フレームを構成せず、TLV (Type Length Value) パケットに同期制御信号やポインタを付加することにより複数の放送所で同一のOFDM信号波形を形成し、SFNを可能とした。この方式により、従来のXMI (eXtensible Modulator Interface) と比べて30%程度の伝送容量削減が見込まれ、STLでのプログラムの安定伝送などの効果が期待できる。

受信システムにおける放送通信融合を目指して、放送と通信のコンテンツを一元的に受信処理するホームゲートウェイの開発を進めた。試作したホームゲートウェイは、放送で受信したCMAF/MMT形式のコンテンツをCMAFチャンク単位でファイル化する機能と、そのファイルをIPユニキャストで配信するウェブサーバーで構成されており、放送受信機能を持たないスマートフォンなどのモバイル端末でも放送コンテンツの視聴を可能にした。また、通信経由でサブコンテンツを取得する機能も有しており、視聴端末に対してマルチビューサービスのように放送本線のコンテンツと関連するサブコンテンツを同時に提供することも可能である。

## ■ 地上高度化STL/TTL

地上放送高度化に用いる中継方式として高度化STL/TTLの伝送方式に関する調査・検討を実施した。

2020年度は、地上放送高度化方式に対応したSTL/TTL (図1-30) に関する要件を伝送方式に関する項目、回線設計・ネットワーク設計に関する項目、設備整備・運用に関する項目に整理し、マイクロ波帯SHV-FPU (Field Pick-up Unit) で培った偏波MIMO、超多値変調OFDMやLDPC符号の技術をベースとして高度化STL/TTL伝送方式の基本仕様を検討した。この基本仕様に基づき、高度化STL/TTL実験装置を試作し、室内実験により基本動作を評価・検証した。

また、2021年度に高度化STL/TTL実験装置に実装を行う詳細仕様を検討した。具体的には、現行地上デジタル放送の回線設計やネットワーク設計を踏襲し、地上放送高度化方式の伝送容量を確保しつつ、所要C/Nを現行の回線設計と同等以下とする各種パラメータの検討、SFNを実現するための、地デジ・

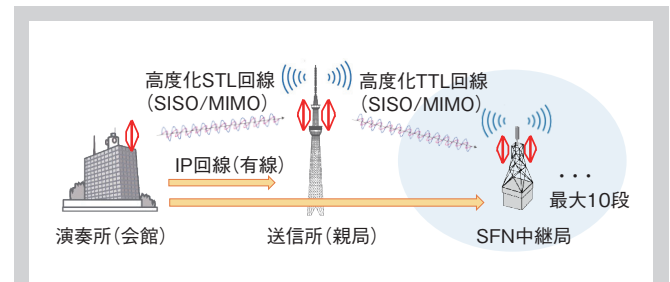


図1-30 高度化STL/TTLによる放送ネットワーク

地上高度化方式のIFFT (Inverse Fast Fourier Transform) クロックと同期可能な高度化STL/TTLクロック周波数の検討、海上伝搬によりフェージングが発生している区間の受信電力データから受信電力の変動量、変動速度や相関時間を分析し、AGC (Automatic Gain Control) 応答速度、シンボル長の目安などを検討した。

## ■ 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対応する等化判定器の実機検証に向けて、2019年度に引き続き動作アルゴリズム<sup>(2)</sup>のさらなる検討を行った。シンボル軟判定処理を行う軟レプリカ生成部はキャリア変調が4096QAM (Quadrature Amplitude Modulation) 等の多値である場合、演算量が膨大になる問題がある。これに対し、ビット割り当ておよびIQ軸に関する対称性を利用することにより必要な乗算器を12284から312個にまで削減した。さらにパイロット信号へ付加する雑音を位相偏移変調信号とすることで受信機における対数尤度比の縮退を実現しつつ、パイロット信号による情報伝送へ与える特性劣化が軽減されることを確認した。上記の検討結果を踏まえて試作した装置を用いて室内実験により伝送特性を評価し、提案手法の有効性を確認した。

## ■ TDM方式

地上デジタル放送では、固定受信と移動受信向けの階層を多重化する手法(階層多重方式)としてFDMとTDMが考えられる。地上放送高度化方式の階層多重方式として、TDMはFFTサイズの異なる階層を多重できるなどFDMとは異なる利点がある。また、FDMを用いる高度化方式では制御情報が固定長であるのに対し、TDMでは階層数に応じて可変長の構成とすることができる。2020年度は2019年度に試作したTDM変復調装置を改修して、制御情報の可変長化機能を追加するとともに柔軟なフレーム構成・伝送パラメータ設定に対応させた。また、計算機シミュレーションにより階層多重方式の違いに関する伝送特性の評価を行い、FDMに対して優位性のあるTDMの伝送パラメータを確認した<sup>(3)</sup>。この伝送パラメータを用いて室内実験を行い、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(図1-31)。

## ■ 5G放送モード

5G (第5世代移動通信システム) のNR (New Radio) の信号構造を持つ5G放送モードについて、2019年度に試作した変復調装置に、誤り訂正符号やインターリーブの機能を実装した。誤り訂正符号はNRのダウンリンク仕様に準拠したLDPC符号とし、将来の機能拡張に関する検討として、LDPC符号化後のデータを時間・周波数方向にインターリーブする仕様を設計し、装置に実装した。試作装置を用いた室内実験により、3GPP

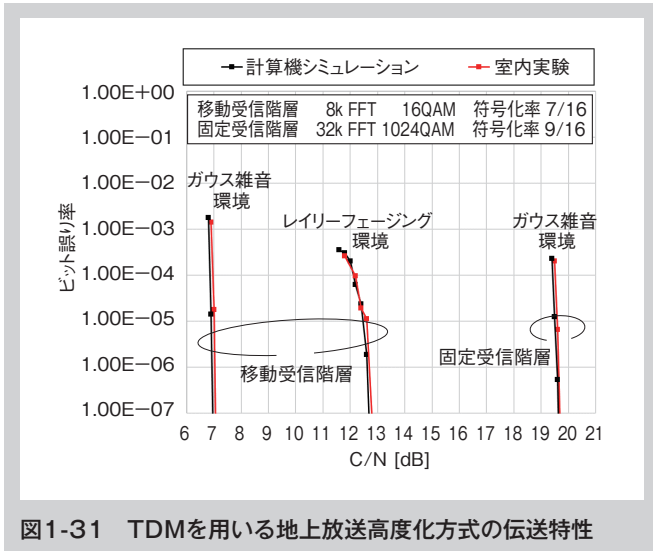


図1-31 TDMを用いる地上放送高度化方式の伝送特性

(3rd Generation Partnership Project)のRelease16仕様で追加された有効シンボル長2.7msおよびGI (Guard Interval) 長300 $\mu$ sを用いることで、放送同様に送信所間隔が数十km以上となるような大セル方式の伝送システムにおいて、誤りなく伝送可能となることを確認した。

## 1.9 番組素材伝送技術

4K・8Kや次世代の放送サービスの番組制作において、映像・音声をはじめとするさまざまな情報を無線伝送する技術の確立を目指して、番組素材の無線伝送装置 (FPU: Field Pick-up Unit) やワイヤレスカメラ、ミリ波帯を活用した大容量無線伝送技術の研究を進めている。

### ■ 1.2/2.3GHz帯移動中継用FPU

1.2/2.3GHz帯の電波を使ってマラソンや駅伝競技などの大規模な4K・8K移動中継を実現するため、TDD (Time Division Duplex) による双方向伝送を導入し、動的に伝送パラメータを制御する適応送信制御MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) 方式FPUの高度化の研究を進めた。2019年度までの方式は、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移動伝搬路の品質の変化に追従していた<sup>(1)</sup>。2020年度は、伝送レートを最大限高めつつ、幅広い伝搬路品質の範囲をカバーするために、合計変調ビット数の拡大や縮小も含めた制御が行えるよう試作システムを改修し、新しい適応制御アルゴリズムの検討を行った。

マラソンや駅伝などの大規模な中継では、遠方の基地局に設置する送受信部とスイッチングセンターに設置する制御部との間で、送受信信号や監視制御信号を光ファイバー1本で伝送することが望ましい。このため、双方向化とMIMO化によって増加した信号システムをデジタル信号のまま光ファイバー1本に多重するインターフェース (図1-32) の導入を進め、複数の基地局を

### ■ 国際連携

ITU-R WP6A (地上放送) において、地上デジタル放送への干渉評価方法とシミュレーション条件を規定する新勧告案が作成された。2020年度は、新勧告案を検討するラポータグループに参加し、干渉確率の算出手法や計算値の妥当性を検証する形で、新勧告案の作成に寄与した。

ARIBのDiBEG活動に参画し、2020年7月に募集を開始したブラジル次世代地上放送方式の技術提案募集に対して、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。

欧州放送連合EBU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。2020年度は、5Gの標準化を行う3GPP会合において、放送同様のセルのエリアでLTE (Long Term Evolution) ベースのマルチキャスト・ブロードキャスト伝送を行う技術仕様の審議を調査した。

[参考文献]

- (1) 河村, 永田, 大西, 今村: “地上放送高度化に向けたCMAF対応の検討,” 映情学技報, Vol. 45, No. 5, BCT2021-15 (2021)
- (2) 川島, 宮坂, 竹内, 岡野: “地上放送高度化方式における軟判定レプリカを用いたMFN放送波中継,” 映情学技報, Vol. 44, No. 19, BCT2020-64 (2020)
- (3) 宮坂, 竹内, 岡野: “地上放送高度化方式における階層多重方式に関する一検討,” 映情学創立70周年記念大, 22D-5 (2020)

シームレスに切り替えるために必要な送信タイミング制御の検討を行った。

また、双方向伝送の利点を生かし、FPUによるIP (Internet Protocol) 伝送機能の実装を進めた。本システムで利用しているリードソノモンパケットの先頭バイトの情報を識別することで、移動局から基地局への上り回線伝送でのTS (Transport Stream) 信号とIP信号を区別し、多重伝送を可能とした。このIP伝送機能を応用した無線回線によるIPリモート制作の検証を行い、映像伝送を行いながらカメラアイリスなどのリモート制御ができることを確認した。

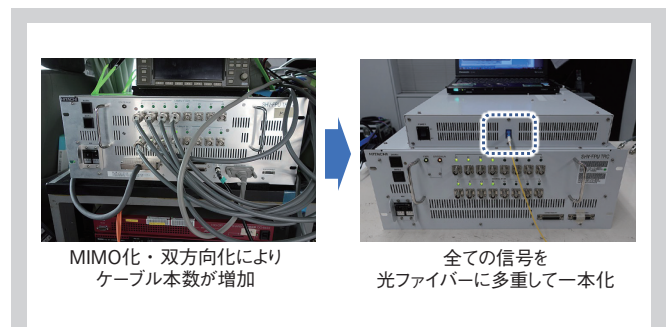


図1-32 光デジタルインターフェースの導入

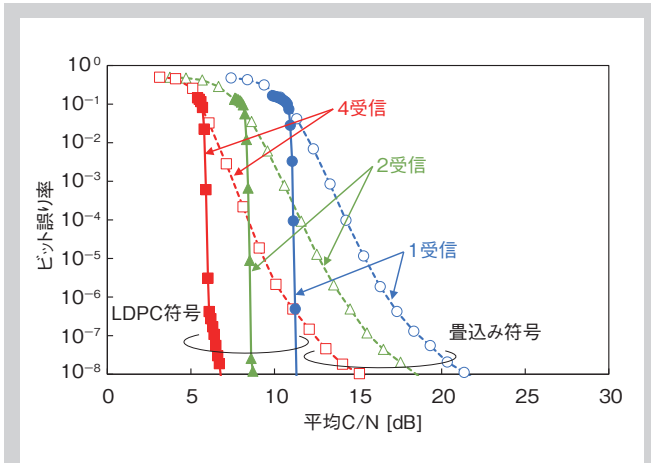


図1-33 SC-FDE方式(32APSK)の受信C/N対ビット誤り率特性

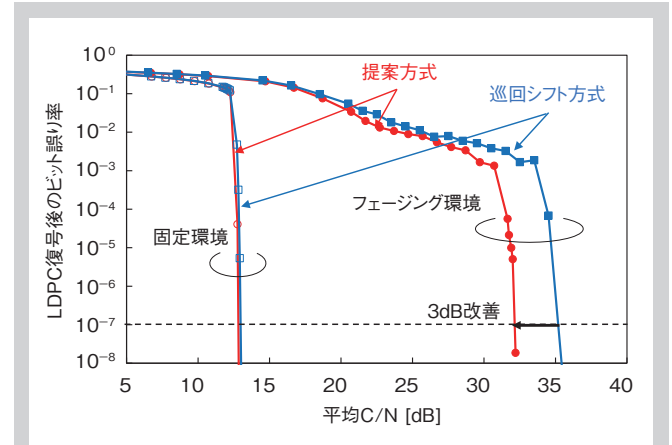


図1-34 MIMO SC-FDE方式の受信C/N対ビット誤り率特性

## ■ ミリ波帯ワイヤレスカメラ

スポーツ中継や歌謡番組などの番組制作において4K・8K映像を自由度の高い環境で撮影、伝送することを目的に、ミリ波帯(42GHz帯)ワイヤレスカメラの研究を進めた。伝送方式は電力増幅器の非線形歪に強く、かつ移動伝送に優れたSC-FDE (Single-Carrier Frequency Domain Equalization) 方式を採用している。実用化に向けた性能向上のために、伝送特性を定量的に評価した。LDPC(Low Density Parity Check)符号とダイバーシティ受信(2または4アンテナ受信)により、2019年度の畳み込み符号および1受信のシステムに比べて伝送特性が改善することを室内実験で確認した(図1-33)。さらに野外伝送実験を行い、安定した伝送が可能であることを確認した。

SC-FDE方式のパイロット信号のブースト比やデータの変調方式であるAPSK(Amplitude Phase Shift Keying)信号の最適振幅を決定し、送信電力増幅器の飽和動作付近での非線形増幅時における送信歪補償方式を検討した<sup>(2)</sup>。

## ■ ミリ波帯大容量伝送技術

3Dテレビや高精細VR映像など、大容量伝送を必要とする新しい放送サービスの実現に向けて、SC-FDE方式のMIMO多重化およびマルチチャンネル伝送方式の検討を進めた。SC-FDE方式のMIMO多重化を行う際に受信側で送信信号を分離するた

めの信号形式として、MIMOチャンネル毎のパイロット信号を直交系列とする方法を提案した。計算機シミュレーションにより、従来手法である巡回シフト方式との伝送特性を比較したところ、2送信2受信において所要C/N(Carrier to noise power ratio)が約3dB改善することを確認した(図1-34)。

マルチチャンネル伝送方式では、2対向のSC-FDE方式変復調器を用いて125MHz帯域幅の信号を2チャンネル伝送するバルク伝送実験を行った。室内実験で従来の2倍の約400Mbpsの8Kカメラ映像が問題なく変復調できることを確認した。さらに、隣接するチャンネルを使用する場合を想定し、対になるチャンネルからの干渉の影響を評価する室内実験および無線伝送実験を行った。その結果、運用を想定している見通し環境において、対になるチャンネルからの干渉を受けても伝送性能の劣化は無視できることを確認した。

### 〔参考文献〕

- (1) F. Ito, F. Uzawa, T. Sato, T. Nakagawa and N. Iai: "Performance Analysis of 4×4 TDD-SVD-MIMO System in Suburban Field Trial," IEEE GLOBECOM 2020, WC19-1 (2020)
- (2) F. Yamagishi, Y. Matsusaki, T. Shimazaki, T. Nakagawa and N. Iai: "Distortion compensation method on SC-FDE modulation using for 42-GHz band UHDTV wireless camera," 2021 IEEE Radio & Wireless Week (RWW 2021), WE2B-4 (2021)

# 2 コネクテッドメディア

## 2.1 コンテンツ提供基盤

インターネットが情報インフラとして広く普及する中で、視聴者の生活スタイルの多様化とあわせて、情報の取得手段の多様化もいっそう進んでいる。放送局のコンテンツを、伝送路を意識することなく、さまざまなデバイスや視聴者の状況に適した形であまねく届けるための研究を進めた。

### ■ IoTベースメディアフレームワーク

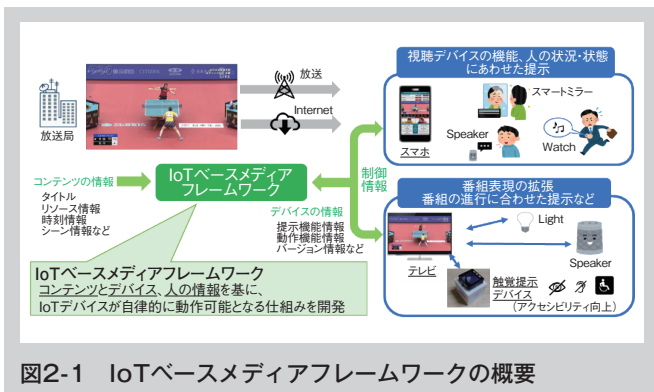
コンテンツの配信情報（放送チャンネルや配信URLなど）や内容（出演者・シーン情報など）を表すコンテンツ記述、デバイスの機能などを表すデバイス記述、ユーザーの状況などを表すユーザー記述の3つの構造化された情報を基に、テレビ・スマホを含む各種IoTデバイスが自律的に放送コンテンツを発見、取得、提示する仕組み「IoTベースメディアフレームワーク」のプロトタイプを開発した<sup>(1)(2)</sup>（図2-1）。W3C（World Wide Web Consortium）標準のWoT（Web of Things）に基づくテレビ機能とIoTデバイスの連携プロトコルを開発し、スマートミラーやアクセシビリティ向上を目指した触覚デバイスなどのIoTデバイスを、本フレームワークのユースケースとして実装した。また、さまざまなメディアとデバイスを組み合わせる際の機能検証を行うために、WoTデバイスエミュレータを開発した<sup>(3)</sup>。さらに、相互接続検証イベントであるW3C WoT Plugfestへの参加などを通じて、提案手法の実現性を検証した。

このほか、IoTベースメディアフレームワークの応用技術として、人の移動に応じてコンテンツの提示デバイスを変更可能にするために、サーバーとクライアントの両方の役割（Servient）を担う受信機<sup>(4)</sup>や、IoTデバイスの制御に関わる情報を抽出するために、番組コンテンツから物体、文字、音声を認識して番組映像中のシーンを分離する技術を開発した<sup>(5)</sup>。

### ■ 動画提供基盤技術

放送とインターネットの双方を活用し、視聴者が伝送路の違いを意識せず、テレビやスマートフォンなど多様なデバイスを使って簡単に番組を視聴できる動画提供基盤の研究開発を進めている。

一つの受信機で、放送と放送局が提供するネット動画配信サービスとを往来可能なアプリケーション方式である「放送非依存マネージドアプリ」開発のための受信機アーキテクチャを検



討・設計した。本検討結果を（一社）IPTVフォーラムに入力し、標準技術仕様を策定する議論に寄与した。本アプリ搭載の受信機を試作し、放送と配信サービス間の往来が可能であることも確認した<sup>(6)</sup>。

インターネットで放送と同等なサービスを提供することを目指し、動画の標準コンテナであるCMAF（Common Media Application Format）をベースとしたHTTPストリーミングにおけるマルチデバイス対応、低遅延配信、放送との連携サービスについて技術要件を整理した。この結果を基に、IPTVフォーラムにおける規格策定に寄与した。動画のシーンに応じて付与できるイベント情報、MTE（Media Timed Event）を多様なデバイスに向けて低遅延配信する機能については、プロトタイプシステムにより動作を検証した<sup>(7)(8)</sup>（図2-2）。

### ■ メタデータ連携基盤

幅広いジャンルで数多くのコンテンツを視聴者に提示できるよう、番組に付随するメタデータ同士を紐付ける「メタデータ連携基盤」に関する技術を検討している。

文部科学省から「学校ver.3.0」が提案され、学習の個別最適化が注目を集めている。そこで、学習者の習熟度や興味関心に合ったコンテンツを見つけることを可能にするために、メタデータ連携基盤を活用したコンテンツ提示のための実証実験を実施した（図2-3）。2020年度は、2019年度に試作したメタデータ連携基盤に単語間関連度を付与することで、関連する単語とコンテンツの抽出を可能にした。さらに、メタデータ連携基盤による関連単語抽出を評価し、有効性や課題を明らかにした<sup>(9)</sup>。





## ■ 国内外への展開・標準化活動

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とハイブリッドキャストビデオのCMAF対応に向けた技術仕様の改定<sup>(10)(11)(12)</sup>に寄与した。また、ハイブリッドキャストコネクスト(ハイコネ)に関して、受信機やアプリケーション等を認定する際に必要となるプロトコルのテスト仕様の作成やテストツールの提供などに貢献した。

国際標準化活動としては、W3C (World Wide Web Consortium)に参加し、ME (Media and Entertainment) IG会合において、テレビ関連のAPIやストリーミングのバッファに関する課題を共有した。また、WoT (Web of Things) IG/WG会合では、IoTベースメディアフレームワークについて、IoTデバイスにコンテンツを提示するユースケースとして寄書<sup>(13)</sup>するとともに、テレビと触覚デバイスを連携させるなどユニバーサルサービスの事例をデモンストレーションした。さらに、TTWG (Timed Text Working Group)において、IMSC1.2ドラフトに対して、テキストや画像の混合、日本語の文字セットの追加、ARIB-TTMLとの互換性、フォントの取扱い(異体字セレクターや外字)などの検討要件を放送事業者の要望としてとりまとめ、(一社)電波産業会(ARIB)のデータ符号化作業班を通じて提出した。

このほか、ブラジルの次世代地上放送のCFP (Call For Paper) に対しては、ISDB-Tの国際普及活用を行うARIBのDiBEG (Digital Broadcasting Experts Group) を通じてCC (Closed Caption)の提案を行った。

## ■ 研究成果の実用化対応

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への取り組みを進めている。2020年度は、ハイコネをWoTで活用するためのツールを公開した<sup>(14)</sup>。

また、国際標準規格に準拠し、放送と通信が連携する受信機で動作するアプリケーションの相互接続性を検証するための研究開発を進めている。2020年度は、2019年度に開発したHybridcastとHbbTV 2の等価アプリケーション制作環境においてATSC3.0対応を図るため、アプリケーションの機能ごとに独立して制作を可能とするコンポーネント化を行った。

### 〔参考文献〕

- (1) 遠藤：“IoTベースメディアフレームワーク,” 技研だより12月号, No. 189(2020)
- (2) H. Endo, S. Taguchi, S. Takeuchi, H. Fujisawa and A. Fujii: “Distribution Media-Independent Multidevice Cooperation System for Content Viewing,” IEEE BMSB, C6-1 (2020)
- (3) 佐藤, 遠藤, 藤津, 藤沢：“多様なIoTデバイスを活用したコンテンツ提示の検証を実現するWoT対応デバイスエミュレータの試作,” 情処学全大, 2D-05(2021)
- (4) S.Abe, T.Takiguchi, H.Endo, M.Ikeo and H.Fujisawa: “Web-Based Architecture for Broadcast and Broadband Content with Device Collaboration in a Local Network,” Proceedings of 2021 IEEE International Conference on Consumer Electronics (2021)
- (5) 小松, 藤津, 藤沢：“災害情報の拡充に向けたIoT機器による被害情報把握,” 映情学創立70周年記念大, 34C-7(2020)
- (6) 広中, 大亦, 藤沢：“放送通信連携システム仕様による放送局のテレビ向け動画配信アプリ対応受信機の試作評価,” 映情学創立70周年記念大, 21D-1(2020)
- (7) 瀧口, 池尾, 西村, 藤沢：“放送通信連携システムのためのネットワーク用イベントデータの低遅延配信,” FIT2020, M-009(2020)
- (8) 瀧口, 池尾, 西村, 藤沢：“放送通信連携サービスに利活用可能なイベント用メタデータ配信システムの開発,” 映情学技報, BCT2020-66(2020)
- (9) 佐藤, 藤沢, 藤津：“メタデータ連携基盤を活用した教育番組における関連単語抽出,” 映情学創立70周年記念大, 14D-5(2020)
- (10) IPTV-FJ 放送通信連携システム技術仕様 STD-0010
- (11) IPTV-FJ HTML5ブラウザ技術仕様 STD-0011
- (12) IPTV-FJ ハイブリッドキャスト運用規定STD-0013
- (13) <https://w3c.github.io/wot-usecases/>
- (14) <https://github.com/nhkrd>

## 2.2 パーソナルデータ連携基盤

個々のユーザーに応じた方法や形態でコンテンツ提供するサービスでは、ユーザー個人の視聴履歴やその他の行動履歴など詳細なパーソナルデータを用いることで、ユーザーの置かれた状況や状態をよりの確に反映したサービスが可能になる。この研究では、ユーザーにとってパーソナルデータを安全・安心に利用できるようにするための技術の検討を進めている。2020年度は、ユーザーが主体となってパーソナルデータを管理・活用する非集中型のデータ管理モデルにおいて、放送やネットの視聴データを扱うための基本システムの試作・検証、およびユーザーコンテキスト(ユーザーの置かれた状況や状態)を基にコンテンツの適切な提示タイミングを導出する手法の検討などを行った。

### ■ 非集中型視聴データ利活用システム

近年、ネットサービス利用に関わるパーソナルデータの多くは、サービスを提供する事業者によって収集・利用されている。一方で、一部の事業者へのデータの集中やその利用に関するユーザーへの透明性の課題が提起され、データを個人が主体的に管理・活用する非集中型モデルの検討が世界的に進んでいる。そこで、視聴者の嗜好やライフスタイルを表す貴重なパーソナルデータである視聴データを、非集中型モデルによってユーザー自らが安心して管理・活用できる環境の構築を目指し、パーソナルデータストア(PDS)を用いたデータ蓄積装置を試作した<sup>(1)(2)</sup>。試作装置では、番組の視聴データのほかウェブサイトの利用履歴や位置情報などの情報(行動データ)を蓄積し、放送

以外のさまざまなサービスとも連携できるように汎用的なデータ構造とインターフェースを持たせることで、外部アプリケーションから利用可能にした(図2-4)。

PDSを参照する外部アプリケーションとして、放送局が提供する「放送局アプリ」と、放送事業者以外の第三者が提供する「サードパーティアプリ」をそれぞれ想定して試作し、放送事業者がパーソナルデータを収集せずに個人に合わせたサービスを実現できること、事業者を問わず視聴データを活用したサービスが実現できることを確認した。試作アプリでは、PDSに蓄積されたデータの外部アプリケーションによる利用をユーザーに確認する機能、同一の番組を視聴した友人を表示する機能、視聴

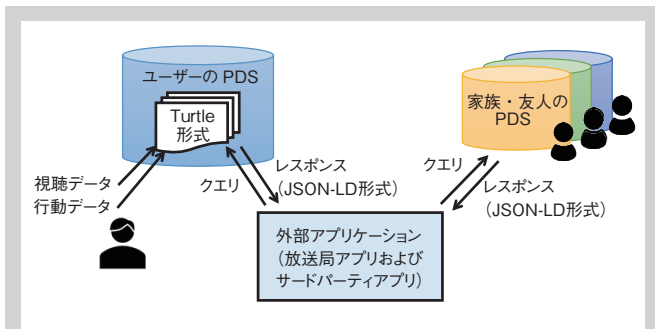


図2-4 非集中型視聴データ活用システムの構成



図2-5 放送局アプリ/サードパーティアプリの例

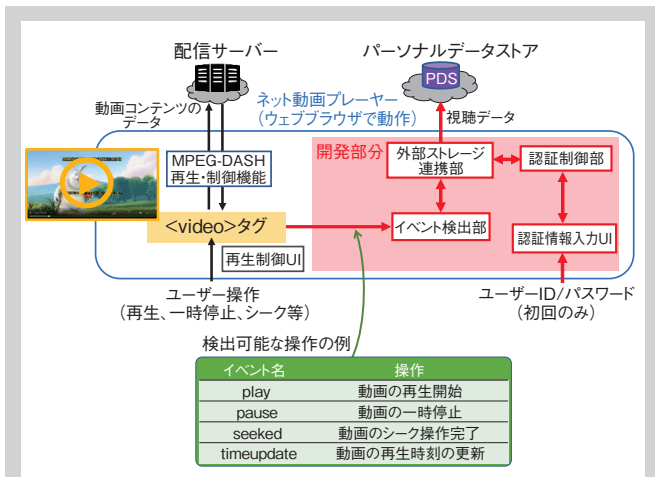


図2-6 ネット動画プレーヤー用拡張モジュール

した番組に関連する場所を地図上に表示する機能などを実装した(図2-5)。

ユーザーが管理するPDSに、ネット配信動画の視聴データを取得し蓄積するための動画プレーヤー用拡張モジュールを設計・試作した<sup>(3)</sup>(図2-6)。開発した拡張モジュールは、ウェブブラウザ上で動作してW3C(World Wide Web Consortium)のHTML5仕様で標準化されているvideo要素の様々なイベントを検出し、ユーザーが予め設定したPDSに保存する。これによりネット配信サービス事業者の仕組みとは独立して、視聴したコンテンツや動画中の再生位置などをPDSに蓄積できる。

## ■ コンテキスト推定・活用技術

ユーザーコンテキストに合わせてユーザーに必要な情報を適切なタイミング・デバイスで提示可能とするため、パーソナルデータを基にしたコンテキスト推定技術およびコンテンツ活用技術を検討した。

特定の生活行動をIoTセンサーにより検出したタイミングで、スピーカーから音声コンテンツを通知するシステムを設計し試作した(図2-7)。これを用いたユーザー実験でニュースの音声通知に適したタイミングを評価し、行動と行動の切れ目(ブレークポイント)に合わせて音声通知を行うことで、ユーザーのニュースコンテンツへの接触機会を拡大できることを示した<sup>(4)</sup>。

また、コンテンツ視聴履歴とウェアラブルデバイスを活用して、対面コミュニケーションを促進する手法を開発した(図2-8)<sup>(5)</sup>。ユーザー実験を通じてシステムの効果を評価し、偶然に遭遇したユーザーに共通するコンテンツ視聴履歴を提示することで、ユーザーのコミュニケーションを促進できる可能性を示した。

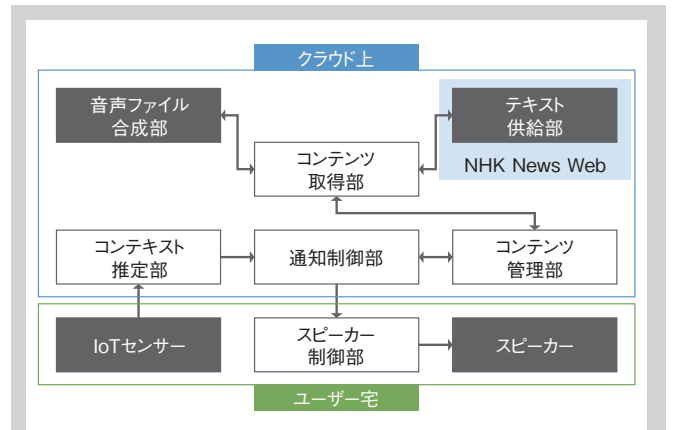


図2-7 ブレークポイントに合わせたニュース音声通知システム



図2-8 視聴履歴に基づくコミュニケーションの促進

## ■ 視聴データ活用および利用者保護に関する研究

2019年度にケーブルテレビ事業者と協力して実施した、ハイコネを利用したテレビ個人視聴データ取得実験に続き、2020年度は、被験者へのデプスインタビューを行った。放送の選局等が可能なスマホアプリで取得した個人視聴データとケーブルSTB（セットトップボックス）で取得した世帯視聴データに対する主観評価や、個人視聴データの可視化の効果などについて考察した<sup>(6)</sup>。このほか、ケーブル技術ショー 2020では「ハイコネの技術紹介と活用事例」として、実験で使用したハイコネアプリをハイコネ開発者ツールとともにオンライン展示した。

また、放送視聴データの真正性を第三者に証明可能な方式を提案し、システムを試作・検証した<sup>(7)</sup>。加えて、ユーザー主体で視聴データを管理・利用する非集中型データモデルを想定し、利用者の不安低減やサービス提供者側の説明のあり方などについて、双方のコミュニケーションを通じて理解を深める手法の調査検討を開始した。

### 〔参考文献〕

- (1) 山上, 山村, 松村, 藤井: “パーソナルデータストアを用いた視聴データ活用アプリケーションの試作,” 情処学全大, 2D-06 (2021)
- (2) S.Taguchi, C.Yamamura, H.Ohmata, D.Sekine, K.Kajita and A.Fujii: “Sharing Same Elements in User Viewing History Data Securely Through Private Set Intersection Under User-centric Data Control,” Proc.IMX, ACM, pp. 138-142 (2020)
- (3) 関根, 松村, 藤井: “非集中型モデルによる動画配信プレーヤー用個人視聴データ取得・蓄積モジュールの試作,” 情処学研報, DPS186, Vol. 2021-DPS-186, No. 73 (2021)
- (4) 小川, 松村, 藤井: “ニュース音声通知に適したブレイクポイントの検出,” 情処学研報, HCI191, Vol. 2021-HCI-191, No. 22 (2021)
- (5) H.Ogawa and P.Maes: “Smartwatch-based Topic Suggestions to Enrich Casual Conversations in Awkward Encounters,” Proc. ISWC, ACM, pp. 68-72 (2020)
- (6) 山村, 大亦, 田口, 関根, 藤沢, 藤井: “家庭環境下でのスマホ連携によるテレビ視聴関連行動データの収集と分析,” DICOMOシンポジウム論文集, Vol. 2020, No. 1, 1H-4, pp. 155-160 (2020)
- (7) 関根, 山村, 田口, 大亦, 藤沢, 藤井: “放送視聴データ利活用に向けた分散型データ管理モデルにおける真正性保証付き放送視聴データの生成方式の一提案,” FIT2020, No. 4, M-005, pp. 89-90 (2020)

## 2.3 IP配信基盤

屋内外での個人視聴やスポーツ会場・避難所での集団視聴など、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。

### ■ 複数伝送路を活用した安定かつ効率的な動画配信技術

イベント会場などアクセスが集中する場所でも快適な動画視聴環境を実現するために、多数の端末に向けて安定かつ効率的な同時配信をセキュアに行う技術の開発を進めた。この手法は、モバイル端末が持つ各伝送路の特徴に応じて通信内容を割り振る。大容量伝送が可能な伝送路では、マルチキャストにより動画コンテンツを効率的に一斉配信し、パケットロスが生じた場合は、端末同士の直接通信(端末間通信)により互いの損失パケットを補完することで安定性を向上させる。端末同士の接続に必要な制御信号のやりとり信頼性の高い認証が可能な伝送路を用いることで、セキュアな端末間通信を可能とした。

2019年度は、マルチキャスト通信にWiFiを、端末間通信にBluetoothを、制御信号の通信に自営LTE回線のsXGP (shared eXtended Global Platform)をそれぞれ使用する実験システムを試作し、制御信号により指定した端末同士で端末間通信を行い、マルチキャストにおいて損失したパケットを補完する機能を確認した。

2020年度は、損失パケットを補完する機能の向上を目指し、端末間通信を構成するペアの組み合わせを最適化する手法を開発した。開発手法では、直近のパケットロスの状況が異なる端末同士でペアを構成することにより、補完可能な損失パケット

数を最大化する。具体的には、各端末におけるパケットロスの発生状況を基に端末間通信ペアの選択を組み合わせ最適化問題として定式化し、量子コンピューティングの一手法である量子アニーリングにより求解する。端末数を4台とし、異なるパケットロスパターンを与えて数値シミュレーションを行った結果、損失パケットの補完率を最大化する端末間通信ペアが求められ、開発手法の妥当性を確認できた<sup>(1)</sup>。

### ■ QoE推定に基づく動画配信技術

アクセス集中などにより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なく安定した動画視聴を実現するための手法として、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技術を開発した。

開発した技術は、QoE推定値の算出にITU-T勧告のモデル式 (ITU-T P.1203) を利用する。まず、基準とするQoE値 (QoE基準値) を複数設定し、モデル式により導出した各QoE基準値を満たすエンコードパラメータによって映像ストリームを生成する。次に、同時に接続する端末数と、配信に利用可能なネットワーク帯域を基に、複数のQoE基準値の中から目標とするQoE値 (QoE目標値) を端末ごとに定める。このQoE目標値に対応する映像ストリームのビットレートを上限として、端末ごとに配信帯域を割り当てることで、各端末の品質変動を抑制する (図2-9)。

開発した技術を実装した実験システムを試作し、端末における提案手法と従来手法 (一般的なアダプティブストリーミング) のQoE推定値を比較した。従来手法では端末間で配信帯域の奪い合いが生じ、QoE推定値が大きく変動するのに対し、提案手法

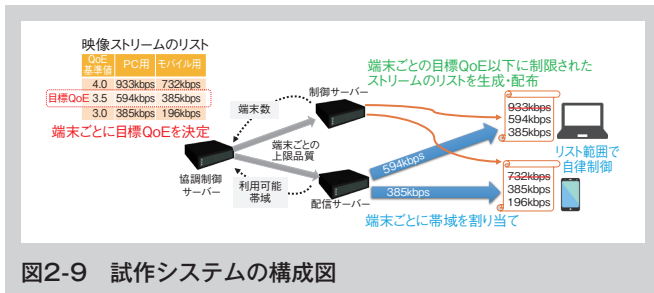


図2-9 試作システムの構成図

では配信帯域の割り当てに従って全端末がQoE目標値に収束することを確認した<sup>(2)</sup>。

さらに、他の手法として、フレーム単位の映像品質評価値の時系列変化を基に、配信リソースの制御を行う配信手法を開発した。この手法では、始めに配信側において、複数のビットレートで映像ストリームを用意し、それぞれのストリームの配信単位（セグメント）ごとに映像品質評価値を算出する。次に、連続する数セグメントごとに、同時接続する各端末に対して配信するビットレートの組み合わせを決定する。その際、各端末への配信に要する総ビットレートが利用可能なネットワーク帯域を超えない全ての組み合わせの中で、セグメントごとの映像品質評価値の最低値が最も大きくなるものに決定することで、局所的な映像品質の劣化を抑制する。

提案手法を実装した実験システムを試作し、提案手法と従来手法（一般的なアダプティブストリーミング）について、端末3台それぞれが異なる動画を視聴する条件で、受信したセグメントの時系列の映像品質評価値を比較した。提案手法では、映像品質評価値の全端末平均の低下が見られず、従来手法と比較して局所的な低下を抑制できることを確認した<sup>(3)</sup>。

## ■1フレーム適応置換を用いた低遅延映像配信技術

安定かつ高レスポンスな低遅延映像配信の実現を目指して、アダプティブストリーミングにおける任意フレームでの視聴開始や映像品質の切り替えを可能とする低遅延映像配信技術を開発した。

開発した技術は、配信ストリームと、1フレームのみで構成される置換ストリームとをCMAF（Common Media Application Format）形式でエンコードし、配信サーバーへ供給する。配信サーバーにおいては、配信ストリームをフレーム単位で端末にプッシュ配信することで低遅延化するとともに、配信ストリームの任意のフレームを置換ストリームで差し替える「1フレーム適応置換機能」を導入することで、レスポンスと安定性の向上を図る。

開発した技術を実装した実験システムを試作し、1フレーム適応置換機能あり（提案手法）/なし（従来手法）で、レスポンス性と安定性を比較した。従来手法では視聴開始までの待ち時間が、配信ストリームの1フレーム間隔の範囲でばらつくのに対し、任意のフレームで再生可能な提案手法では、短時間での視聴開始ができることを確認した。同様に、提案手法は任意のフレームで映像品質の切り替えが可能であるため、従来手法よりも途切れにくい再生が可能である<sup>(4)</sup>。

## ■時系列解析による帯域変動予測技術

アダプティブストリーミングによる安定かつ高品質な低遅延配信の実現に向けて、動画視聴プレーヤーにおいて、配信サーバーから端末までのエンドツーエンドで利用可能な伝送帯域の変動を高精度に予測する手法を開発した。

開発した技術は、非定常時系列データの解析に適した数理モデルであるARIMA（Auto-Regressive Integrated Moving

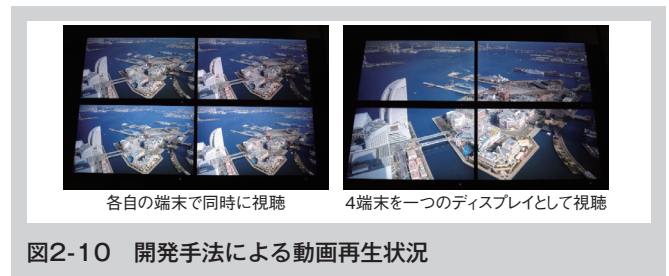


図2-10 開発手法による動画再生状況

Average) モデルを利用し、処理負荷を抑えながら予測精度の向上を図る。まず、事前準備として、あらかじめ取得した時系列の帯域実測値をもとにARIMAによる帯域変動予測モデルを構築する。動画視聴プレーヤーにおいては、構築した帯域変動予測モデルに対し、計測したセグメントごとの利用可能帯域の実測値を逐次入力し、算出された利用可能帯域の予測値を次に受信するセグメントの品質選択に利用する。

徒歩で移動しながら計測した4G回線の帯域実測値データを利用し、提案手法と従来手法（過去3セグメント分の利用可能帯域の実測値3点の平均）の帯域変動予測値を数値シミュレーションにより比較した。その結果、提案手法の方が、実測値に対する予測値の二乗平均平方根誤差が小さいこと、および予測誤差の分布に有意差があることを示し、提案手法の有効性が確認された<sup>(5)</sup>。

## ■動画コンテンツの分割配信・共有統合技術

イベント会場等で来場者が集まって動画を視聴する場面において、配信データ量を抑制しつつ、端末の利用可能帯域を上回る容量のコンテンツを提供する手法として、動画コンテンツの分割配信・共有統合技術を開発した。

開発した技術は、複数の端末で構成するグループに対し、配信サーバーから共通の1ストリーム分の動画データを配信する。配信側では、高解像度の動画ストリームをグループの端末数に応じて画面分割し、各端末に異なる分割ストリームを配信する。端末側では、各端末が受信した分割ストリームおよび動画の再生時刻情報をグループの端末間で共有することにより、高解像度動画の同期再生を可能とする。

各端末で個別に同時視聴するケースや、複数の端末を並べて一つの大型ディスプレイに見立てて視聴するケースを想定し、Webブラウザ上で動作する視聴アプリケーションを試作した。端末4台でグループを構成し、ローカル通信環境で動作検証を行った結果、各端末が動画ストリームを同期して再生できることを確認した（図2-10）<sup>(6)</sup>。

〔参考文献〕

- (1) 森, 関口, 西村, 山本: “イジングモデルに基づく端末間通信ペアの最適化の検討,” 情処学研報, Vol. 2020-QS-1, No. 24 (2020)
- (2) 福留, 北田, 黒住, 西出, 西村, 奥山, 趙, 山本: “QoE推定値に基づく協調制御によるABR配信方式の検討,” 信学ソ大, B-8-10 (2020)
- (3) 福留, 北田, 黒住, 西出, 西村, 奥山, 趙, 山本: “時系列の映像品質評価値に基づく協調的ABR配信手法の検討,” 信学総大, B-11-1 (2021)
- (4) 大西, 西村: “1フレーム適応置換を用いた低遅延映像配信方式の検討,” 信学ソ大, B-6-11 (2020)
- (5) 板倉, 森, 西村: “低遅延映像配信に向けた時系列解析による帯域変動予測手法,” 信学総大, B-11-25 (2021)
- (6) 黒住, 福留, 西村, 山本: “複数端末のストリーム共有による動画コンテンツ分割配信・共有統合技術の検討,” 映情学創立70周年記念大, 21D-3 (2020)

## 2.4 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」の研究を行っている。2019年度に続き、テレビ番組をきっかけとして、つぶやきや人と対話をする自律型ロボットの開発を進めた。また、テレビ視聴時、ロボットが人に与える楽しさや会話の活性化などの効果を調査するための視聴実験も行った。

### ■ テレビ視聴ロボットの開発

ロボットの周囲にいる人を自動的に識別するための顔画像識別システムを開発した<sup>(1)</sup>。開発した技術では、ロボット周囲にいる人物について顔画像を検出・記録し、学習用データセットを自動的に構築する。データセットの構築と識別モデルの機械学習を継続的に行うことで、ロボットの近くに来た人を自動的に学習・識別する機能を実現した。さらに、識別した人へロボットが話しかけるタイミングを見定めるため、人の行動を認識するソフトウェアの開発も進めた。

また、テレビ映像と字幕文からロボットの発話文を生成する、深層学習ベースの手法を開発した。視聴者が注視しやすい物体を自動検出する顕著性推定<sup>(2)</sup>を用いて、テレビ映像の中から物体を選択する。選択した物体に応じて字幕文から注目度の高い単語を識別し、その単語を使った発話文を生成することで、視聴中のテレビ映像の中から顕著性が高い物体に関連したロボット発話文を生成できる。そのほか、これまで実験に使用してきた市販のロボット形状に変わる、独自形状のロボットの設計と試作も進めた。

### ■ テレビ視聴ロボットを用いた実験

テレビ視聴時にロボットが存在することへの受容性や、人への効果を調査するため、2人組32グループによる視聴実験を実施した。新型コロナウイルス感染症対策のため、実験室への換気設備の増設、パーティションの設置、実験参加者へのマスク着用の依頼などを行った。実験環境については、実験参加者全体の97%が「実験で過ごした時間は楽しかった」、73%が「実験室が快適だった」と実験後のアンケートで回答した。

ロボットの受容性や印象を調べるため、視聴実験で得たアンケートの解析を行った<sup>(3)</sup>。「家に話し相手のロボットがあったらいいと思う」というロボットに対する受容性については、普段から複数人でテレビを視聴したいと思っている人や、実際にロボットと一緒にテレビを視聴した体験がある人の方が、高い受容

性を示す傾向があることを確認した。テレビ視聴ロボットを利用した印象としては、ロボットの存在により「場が和む」「会話が増えた」と感じる人が多く、また「ロボットを高齢者用に使用したい」という回答も多かった。一方で、「話しかけられるタイミングが悪い」「番組の内容に合っていない」という意見もあり、発話のタイミングや話題に対する課題があった。

さらに、テレビの視聴中にロボットが存在する効果を調べるため、実験中の参加者の様子を記録した映像・音声から、ロボットと人の対話や、笑いの回数などの解析を進めた。

この研究の一部は(株)KDDI総合研究所と共同で実施した。

### ■ ロボットの安全・安心対策

ロボットをインターネットに接続する場合、IoT (Internet of Things) 機器としての情報セキュリティ対策が求められる。そこで、IoT推進コンソーシアムなどのIoTセキュリティガイドラインを選定<sup>(4)</sup>、セキュリティ技術要件をまとめた。その技術要件に基づき、ロボットへの不正アクセス防止機能や、不正データの出入力検知機能を開発し、動作検証を行うための実験基盤を構築した<sup>(5)</sup>。さらに、ユーザーの快適性を確保するため、ロボットが不適切な用語を発話しないよう、不適切用語をフィルタリングする機能を試作した。

### ■ ロボットに求められる振る舞い

市販のコミュニケーションロボットの所有者と非所有者を対象にアンケート調査を実施した。普段からコミュニケーションロボットを利用している人は、つぶやきや質問といったロボットの能動的な振る舞いに対して、肯定的に受け止める推定結果を得た。また、能動的な振る舞いのみで設計するのではなく、ユーザーの質問に答えるといった受動的な振る舞いなど、適度な比率での能動と受動の振る舞いが望まれるといった知見を得た<sup>(6)</sup>。例えば、ロボット利用者においては、能動と受動の振る舞いは約半々の割合が適度であることが分かった。

〔参考文献〕

- (1) 萩尾, 金子, 星, 上村, 村崎, 山本: “Tripletに基づく変分オートエンコーダーを用いた自動学習による顔画像識別システム,” 映像学創立70周年記念大, 12A-3(2020)
- (2) 萩尾, 金子, 星, 村崎, 上村, 山本, 呉, 内藤, 服部, 滝嶋: “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の試作と検証,” 信学技報, Vol. 119, No. 446, BioX2019-63, CNR2019-46, pp. 7-12(2020)
- (3) 上村, 金子, 星, 萩尾, 村崎, 山本: “人と一緒にテレビを視聴するロボットの視聴実験におけるロボットに対する印象評価,” HAIシンポジウム, P-21(2021)
- (4) 村崎: “テレビ視聴ロボットに関するIoTセキュリティー,” NHK技研R&D冬号, pp. 20-33(2021)
- (5) 村崎, 星, 萩尾, 上村, 金子, 山本: “テレビ視聴ロボット用外部クラウドインターフェースにおけるセキュリティ対策,” 情処学研報, Vol. 2020-CSEC-88, No. 36, pp. 1-8(2020)
- (6) 村崎, 星, 萩尾, 上村, 金子, 山本: “コミュニケーションロボット所有者・非所有者におけるテレビ視聴ロボットに求められる形態・機能の一考察,” FIT2020, CN-005(2020)



図2-11 テレビ視聴実験

## 2.5 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方式

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、量子コンピューター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実現のための技術を開発している。2020年度は、既存のマルチパーティ計算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試作と評価を行い、課題を抽出した。

### ■ 署名方式

さまざまなメディアの認証に必要となるデジタル署名について、量子コンピューターによる攻撃に対しても安全な方式(耐量子署名方式)の研究を進めた。2019年度に提案した、量子コンピューター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、システム実装による性能評価を行い、既存方式(DM14方式)とほぼ同じ処理時間にもかかわらず、署名サイズを小さくできることを示した<sup>(1)(2)</sup>。本研究は東京大学と共同で実施した。

### ■ 秘匿共通集合計算方式

視聴履歴等の個人情報を含むデータを適切に保護し、安全・安心に利活用するため、複数のユーザー間で自身のデータを開示することなく共通の視聴履歴を抽出することができる秘匿共通集合計算方式の研究を進めた。データに含まれる番組単位の視聴履歴の数を秘匿するとともに、プロトコルを繰り返すと視聴履歴が第三者に漏洩するオラクルアタックを防止できる高い安全性を有する方式を提案した<sup>(3)(4)</sup>。本方式は、複数のメタデータを含む視聴履歴を階層化して効率的にデータを探索するとともに、視聴履歴とメタデータに対しプロトコルを並列に実行することにより、データを復号せずに共通の視聴履歴を抽出することが可能である。

[参考文献]

- (1) 梶田, 大竹, 小川, 縫田, 高木: “効率的なタグ生成を用いた署名サイズの小さい格子ベース署名方式と実装評価,” 信学技報, Vol. 120, No. 112, ISEC2020-22, pp. 53-60(2020)
- (2) K. Kajita, K. Ogawa, K. Nuida and T. Takagi: “Short Lattice Signatures in the Standard Model with Efficient Tag Generation,” Proc. of ProvSec2020, LNCS12505, pp. 85-102(2020)
- (3) 梶田, 田口: “視聴履歴のための共通集合秘匿計算の提案,” 映像学創立70周年記念大, 21D-2(2020)
- (4) 梶田, 田口, 大竹: “視聴履歴のためのPSIの構成と安全性,” 暗号と情報セキュリティシンポジウム(SCIS2021), 3B3-3(2021)

## 2.6 IP制作基盤技術

IP(Internet Protocol)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。

### ■ 2K/4K/8Kフルリモート制作を実現するIP伝送装置の開発

IP技術を用いた柔軟で効率的な番組制作システムの実現に向けて、番組制作に必要な素材の全てを中継現場から放送局にIP伝送して番組制作を行う、フルリモート制作の検討を進めている。フルリモート制作の実現には、中継現場の2K/4K/8Kの各種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ことが求められる。2020年度は、2K/4K/8Kに対応したマルチフォーマットIP伝送装置の開発と、フルリモート制作の許容遅延を考慮したネットワーク検討を行った。

マルチフォーマットIP伝送装置の開発では、制作現場ごとに異なる映像伝送の要求条件を満たすために、伝送時における2K/4K/8K各映像フォーマットの組み合わせ構成を、柔軟に変

更できる装置を開発した(図2-12(a))。4K/8K映像素材を複数の2K映像素材に分割し、2K映像フォーマットに統一して圧縮処理を行う<sup>(1)</sup>ことで、2K/4K/8Kのマルチフォーマット伝送に対応できる(図2-12(b))。装置内部には2K映像を圧縮する処理リソースを32個実装し、8K×2chや、8K×1chと4K×2chおよび2K×8chなど、リソースの範囲内で伝送する映像フォーマット本数を任意に変更できる。室内実験による基本動作の確認により、2K/4K/8K映像フォーマットの安定伝送を確認することができた。

フルリモート制作のネットワーク構築にあたっては、許容される遅延や冗長経路選択の可否など、ネットワーク構成要件の実現性を事前に把握しておくことが不可欠である。そこで、日本の主要通信事業者の実ネットワークに類似したJPN(Japan Photonic Network)モデル上で、フルリモート制作の許容遅延量(16.7ms)と冗長経路確保の実現性を評価した。その結果、受信機バッファが2msであれば、10台のルータを経由しても、87.5%の都道府県主要部と東京との間で許容遅延を満足し、冗長経路を持つネットワークが実現できることを確認した<sup>(2)</sup>。

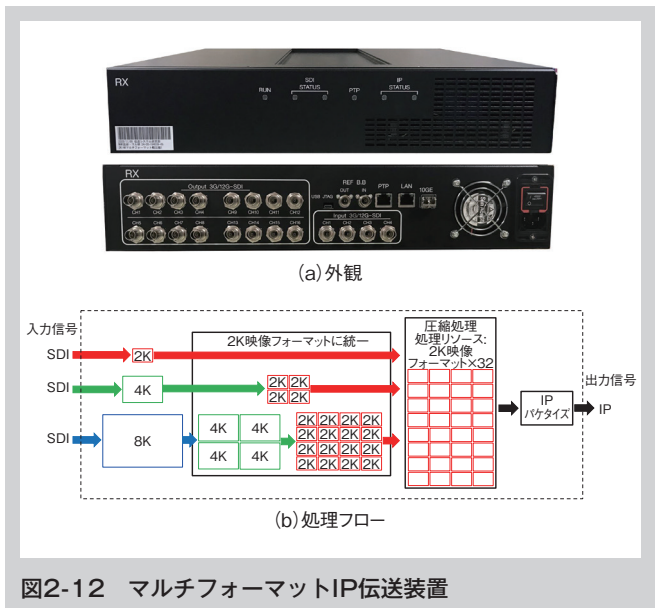


図2-12 マルチフォーマットIP伝送装置

## ■ IP番組制作システムのための自動監視ツール

IPネットワークを用いた番組制作システムでは、映像や音声信号の内容の監視のほか、IPネットワーク内の状態や機器の設定などを新たに監視することが必要である。

2019年度にネットワーク機器からの情報とIPフロー監視装置からの情報を収集するアプリケーションを開発し、2020年度は監視機能を拡張して機器制御に応じた監視を可能とした。具体的には、例えば「カメラ1の映像をモニター1に接続」といった制御を行った場合に、その制御を検出し、伝送対象となるIPフローのアドレスや機器を特定することで、機器の状態やIPフローの状態を自動的にチェックできる。本機能拡張により能動的な監視ができ、障害発生時には手動で障害調査を進める場合に比べて、障害の発見と対応を迅速化することが可能になった。

## ■ 番組制作機能のソフトウェア化のためのライブラリ制作

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、汎用サーバ上で動作するソフトウェアで行う「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。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機能のソフ

トウェア化を実現するため、パケットの送受信を高速化する技術であるXDP (eXpress Data Path) を番組制作機能のソフトウェア化に活用するライブラリを作成した。

本ライブラリを用いて実装した映像送受信アプリケーションを用いることで、従来のソフトウェアでのパケット送受信機能では不可能であった、サンプリング構造4:2:2、ビット階調10bit、フレームレート59.94Hzの非圧縮8K映像(約41.8Gbps)の送受信が実現できることを確認した<sup>(3)</sup>。

## ■ IP番組制作への無線伝送技術の適用

効率的な中継番組制作のために、IP技術を活用した番組制作システムへの無線伝送技術の導入について検討を進めた。番組制作の各種信号(カメラ映像や音声等の本線系の信号に加え、カメラ制御信号やリターン映像、インカム信号)を束ねて無線伝送することで、中継現場のケーブル量削減の実現を目指している。2020年度は、IP番組制作で機器の同期に用いるPTP (Precision Time Protocol) の伝送機能について研究を進めた。PTPはパケットの伝送遅延時間の変動によって、時刻同期精度が大きく劣化する特性を持つ。そこで、精度を改善するために、PTPパケットの伝送遅延時間の変動を自動補正する手法を検討するとともに、ハードウェアに実装して、方式の有効性を確認した。

ワイヤレスカメラの運用を効率化するために、IP無線基地局の開発も進め、2020年度は無線制御部側でアナログIF (Intermediate Frequency) 信号への変換が不要なフルデジタル処理技術に取り組んだ。IP無線基地局でデジタル化した受信信号を、アナログIF信号に再変換することなく復調するために、一旦非同期サンプリングされたデジタル信号のサンプリングレートを、シンボルレートに同期したサンプリングレートに動的に変換する手法を開発した。この手法を装置に実装して、有効性を確認した。

[参考文献]

- (1) R. Shirato, J. Kawamoto and T. Kurakake: "A Study on Video Decomposition Method on Multi-format Transmission System for Remote Production," IEEE BMSB2020, B6-1 (2020)
- (2) J. Kawamoto, R. Shirato, T. Nakatogawa and T. Kurakake: "Evaluation of Coverage from a Perspective of Transmission Delay for TV Remote Production," IEICE ICETC2020, E3-4 (2020)
- (3) 小山, 河原木, 倉掛: "XDPを用いた非圧縮映像送受信ライブラリの実装と評価," 映情学創立70周年記念大, 14D-3 (2020)

# 3 スマートプロダクション・インテリジェント番組制作

## 3.1 自然言語処理技術

### ■ テキストビッグデータ活用技術

放送局内外の大量のテキストデータ(テキストビッグデータ)から、番組制作に役立つ情報を取得する研究を進めている。これまで、ソーシャルメディアや番組アーカイブスから有用な情報を取得・提示する番組制作支援システムを開発してきた。

2020年度は、Twitterから新型コロナウイルスに関連する有用な情報を特定する技術を開発した。単語間の係り受け構造に基づくグラフ深層学習と、誤差関数に単語ごとの判別誤差に基づくCTC (Connectionist Temporal Classification) lossを利用し、精度向上を図った。開発した手法の有効性を検証するため、国際ワークショップW-NUT2020が主催する競争型タスクに参加し、上位グループと同程度の成績を獲得した<sup>(1)</sup>。

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、対話における話者間の関係性に着目した感情判定に関する研究を進めた<sup>(2)</sup>。さらに、対話の時系列情報を考慮した新たなグラフニューラルネットワークによる高性能な感情判定手法を開発し、代表的な4つのベンチマークデータを用いた評価実験の結果、世界最高性能(2020年11月時点)を確認した<sup>(3)</sup>。

ニュース記事などのテキストに記述される内容を特定し、その内容に適切な複数のラベルを付与する手法を提案した<sup>(4)</sup>。付与するラベル間の関係性を考慮し、類似したラベル間で相互に学習効果を高めるように学習することで、ラベル付与の性能向上を図った。テキスト分類技術の応用として、放送現場と協力してニュース記事に100種類以上のカテゴリラベルを自動付与するニュース分析システムを開発した。

番組制作者のデータ分析業務を支援するための情報分析技術に関する研究を進めた。実際の番組制作の過程で取得したアンケートのデータに基づき、アンケート結果から主要な特徴を抽出するための統計手法を提案した<sup>(5)</sup>。

日本野球機構が提供するリアルタイム試合データと過去の原稿に基づくテンプレートを利用した戦評制作支援システムを開発した。報道局スポーツニュース部と連携し、プロ野球の戦評制作業務で2020年の開幕戦からシーズン終了まで試用した。

### ■ 評判分析の研究

NHKの放送番組に関連したTwitterの投稿を収集する技術として、動的クエリ拡張をする方法と深層学習による方法を試作した。動的クエリ拡張をする方法では、投稿に含まれる単語ごとに「番組らしさ」を算出する際に、その「番組らしさ」を時系列

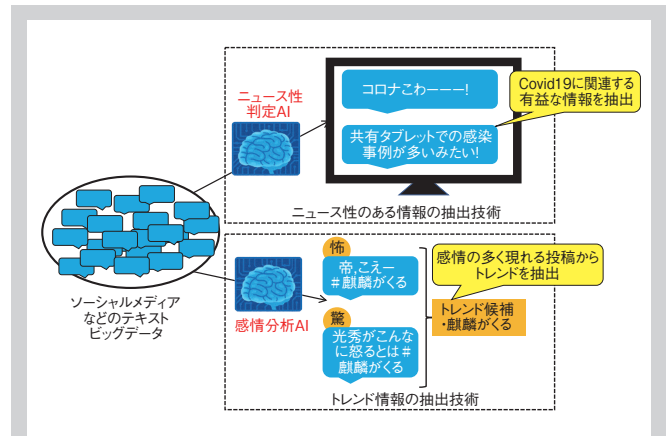


図3-1 テキストビッグデータからの有用情報の抽出例

に沿って動的に変化させることで、10%程度のTweet取得数の増加を確認した。また、一般的な深層学習の枠組みを用いたTweet分類器を作成し、広範な日本語テキストで事前学習したモデルに対して、番組関連ツイートで追加学習したモデルで、10～20%弱程度のTweet取得数の増加を確認した。

#### [参考文献]

- (1) Y. Yasuda, T. Ishiwatari, T. Miyazaki and J. Goto: "NHK STRL at Identifying Informative COVID-19 Tweets Share Task: GATs with Syntactic Dependencies as Edges and CTC based loss for Text Classification," Proceedings of the 6th Workshop on Noisy User-generated Text (W-NUT 2020), pp. 324-330 (2020)
- (2) 石渡, 安田, 宮崎, 後藤: "Relational Graph Attention Networks を利用した感情認識の検討," FIT2020, E-021 (2020)
- (3) T. Ishiwatari, Y. Yasuda, T. Miyazaki and J. Goto: "Relation-aware Graph Attention Networks with Relational Position Encodings for Emotion Recognition in Conversations," Proceedings of the Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing 2020 (EMNLP 2020), pp. 7360-7370 (2020)
- (4) 安田, 牧野, 岡本, 宮崎, 後藤: "入力文とラベル構造との関係に着目したマルチラベル分類手法," FIT2020, E-011 (2020)
- (5) 岡本, 後藤: "統計的解析を用いたアンケートデータからの特徴抽出手法の検討," 情処学全大, 7G-04 (2021)



## 3.2 画像・音声解析技術

### ■ 画像解析によるメタデータ付与技術

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。

映像に映りこんだ看板や標識などの文字情報は、撮影場所などを表すメタデータとして非常に有用であり、これらを自動で読み取るための「情景文字認識技術」の改良に取り組んだ。昨年度開発した、単独文字を検出するためのCNN (Convolutional Neural Network) と、文字の組み合わせを推定するためのGCN (Graph Convolutional Network) を組み合わせた情景文字列検出技術について、単独文字に関する正解データを疑似的に生成する手法の適用などにより、F値で約13%の精度向上を実現した。また、放送映像を対象とした日本語文字列検出用の学習データを拡充した。これに伴い、放送現場にて運用中のメタデータ付与システムに実装されている文字列検出モデルを更新し、日本語文字列に対する検出精度の改善を図った。

映像へ付与されるメタデータは「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、さらに多様なメタデータを付与する技術が求められている。そのため技術のひとつとして、「動作」や「行動」を識別するための動画分類技術の研究に着手し、動画全体における画像特徴の時間的な相関を考慮した新しい動画分類モデルを開発した<sup>(1)</sup>。このモデルは、最新の動画分類モデルであるX3Dに、新たに考案した「時間相関ブロック」を組み込んだものである。51種類の動作で構成される動画データセットを用いた評価実験により、X3Dに対して1.4%の分類精度向上を実現した。

これまで開発してきた顔認識技術について、放送現場での実用化に向けた取り組みを進めた。入力した動画に対する顔認識処理により人名メタデータを自動付与するシステムを試作し、関連部局の協力のもと、報道系の放送現場にてトライアル利用を開始した。さらに、顔領域の追跡により認識結果を修正する仕組みをシステムに適用し、性能向上を図った。顔画像の新規登録による認識対象人物の拡充も進め、国内外の政治家やスポーツ選手など、およそ1万人を認識可能なシステムとした。

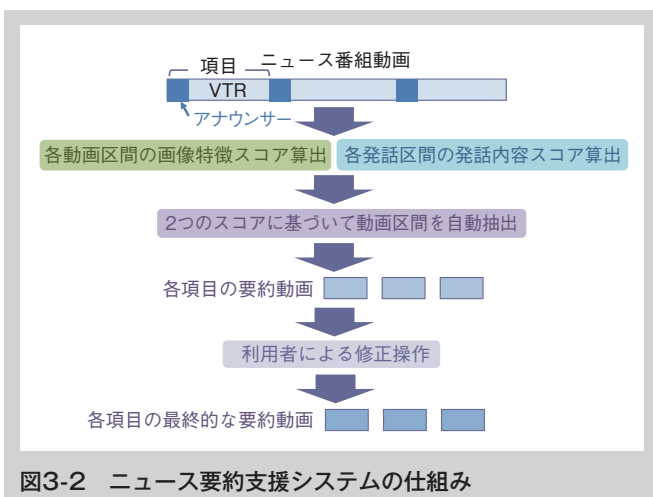


図3-2 ニュース要約支援システムの仕組み

### ■ サブコンテンツ生成支援技術／自動カラー化技術

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「サブコンテンツ」の重要性が高まっている。しかし、サブコンテンツの制作には高い専門性と作業コストが必要となっている。そこで、番組映像を自動要約する技術と、番組ホームページに掲載する画像を自動選定する技術の研究に取り組んだ。

番組映像自動要約技術については、ニュース番組を対象として、動画区間の「画像特徴スコア」と発話区間の「発話内容スコア」に基づいた要約技術を開発した<sup>(2)</sup>。

画像特徴スコアは、各動画区間について、「要約に使われやすい動画区間の画像特徴」を学習したニューラルネットワークを用いて算出する。発話内容スコアは、各発話区間とニュース冒頭のアナウンサー区間との発話内容に関する類似度であり、音声認識結果から抽出したキーワードの類似性に基づいて算出する。この技術を用いた「ニュース要約映像作成支援システム」を試作し、2つの地域放送局において試用を開始した。実用性を向上させるため、ニュース番組動画を自動で要約するだけでなく、生成された動画を利用者が修正できる機能を追加した。

番組ホームページ掲載画像の自動選定技術については、これまで開発を進めてきた、ILGNet (Inception modules with connected local and global features) により画像の重要性を推定するモデル<sup>(3)</sup>を用いて、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開発した。さらにこのモデルに対して、番組ジャンルを反映させる仕組みを導入し、精度の向上を図った。

これまで開発した白黒映像の自動カラー化技術については、アーカイブス部と連携した番組制作への活用を継続するとともに、色の修正手法および近隣フレームへの色の伝搬手法の有効性を評価した<sup>(4)</sup>。

### ■ 書き起こし支援のための音声認識技術

長時間にわたる取材映像や音声素材を編集して、わ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書き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し、番組制作の効率性や迅速性の妨げになっている。そこで、書き起こし作業の自動化を目的とした音声認識技術の改善に取り組んだ。

記者会見などでは、マイクからの距離が離れている質問者など、遠方からの発話の認識が困難であることが課題となっていた。そこで2020年度は、遠方発話の認識精度を向上させるため、放送収録音声疑似的に遠方発話の品質に変換して学習に利用する、データオーギュメンテーションの手法を新たに開発した。遠方発話の音声入力と音響モデルのミスマッチを低減するため、室内インパルス応答(RIR)を用いて遠方発話を模擬する方法、記者会見会場の収音で想定される音響的な減衰を考慮した高周波帯域減衰法、重量されるノイズへの耐性を考慮した雑音付加方法、および周波数・時間的な欠落を伴うデータを加えるSpecAugmentの手法を併用して音響モデルを構築する方法を考案した。その結果、これまでほとんど認識ができていなかった遠方発話の認識精度を、15%改善できることを確認した<sup>(5)</sup>。

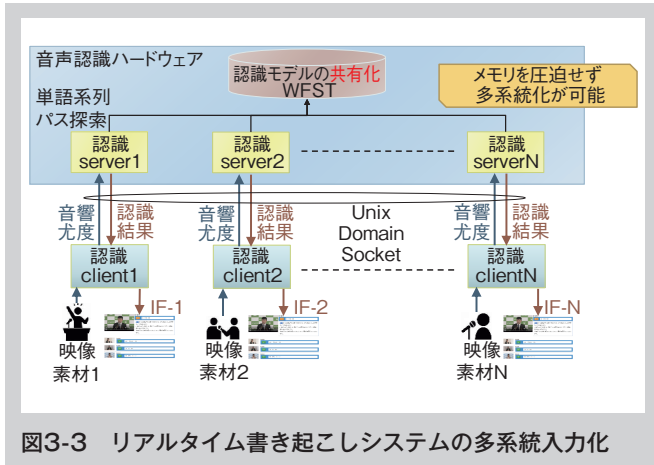


図3-3 リアルタイム書き起こしシステムの多系統入力化

### ■ 書き起こしインターフェースの開発

音声認識を用いた書き起こし制作システムの現場導入に向けて、音声認識結果の誤りを最小限の操作で効率よく修正できるインターフェースの開発を進めている。場所や環境によらずいつでも必要な時にシステムを利用できるように、Webアプリケーションをベースとして開発を進めている。また、一般的なテキストエディタの機能を踏襲し、パソコンで文章入力を経験があれば、誰でも迷うことなく使用できることを特徴としている。2020年度はシステムの運用性を改善するため、複数のライブ素材を同時に処理する方法や、書き起こし作業の待ち時間を短縮する方法を検討し、システムに実装した。

書き起こしシステムの音声認識は、様々なジャンルの入力を想定しているため、認識モデル(WFST:Weighted Finite-State Transducer)のサイズはメモリ上で70～80GBとなる。そのため、オフライン認識と並行して、複数のライブ素材を同時にリアルタイムで認識することは、ハードウェア上の制約から困難であった。そこで図3-3のように認識モデルを共有化し、認識単語系列の最適パスを探索する認識serverと、入力音声の特徴量抽出やフレームごとの音響尤度を計算する認識clientで構成されるシステムを新たに開発した。ひとつのサーバーにつき入力を2系統化した結果、2020年6月～10月期の利用時間は、

2019年度と比べて約30%増加した<sup>(6)</sup>。

一方、オフライン書き起こしシステムでは、アップロードした映像素材の認識がすべて完了するまで書き起こしインターフェースを利用した作業ができないため、作業開始までの待ち時間が課題となっていた。そこで、認識結果を文節単位で書き起こしインターフェース側に送信するWebAPIを新たに開発し、認識結果が逐次反映されるようにした。その結果、修正作業を開始するまでの待ち時間を大幅に短縮することが可能になった<sup>(6)</sup>。オフライン書き起こしシステムにアップロードされた素材の総数は200,000件以上(1日平均200件)となり、本システムが日々の番組制作のワークフローに定着していることを示している<sup>(7)</sup>。

その他の実用化事例として、営業局の書き起こしシステム整備への協力や、民放を含めた放送局の書き起こしシステムの普及促進に寄与した。

[参考文献]

- (1) 藤森, 望月: “時間相関特徴を用いた動画分類手法の検討,” 信学総大, D-12-50, p. 91 (2021)
- (2) 望月, 藤森, 河合, 浅見: “映像自動要約技術によるニュース要約映像作成支援システムの試作,” 動的画像処理実用化ワークショップ, OS5-4, pp. 345-350 (2021)
- (3) 前澤, 遠藤, 望月: “番組ホームページ制作支援のための代表画像選定技術の検討,” FIT, No. 3, H-020 (2020)
- (4) R.Endo, Y.Kawai and T.Mochizuki: “A Practical Monochrome Video Colorization Framework for Broadcast Program Production,” IEEE Transactions on Broadcasting, DOI: 10.1109/TBC.2020.3028343 (2020)
- (5) 佐藤, 萩原, 伊藤, 三島, 河合, 小森, 佐藤, 小川: “書き起こしのための遠方発話音声認識技術の検討,” 音響学会秋季講演論文集, 2-P1-5, pp. 841-842 (2020)
- (6) 三島, 佐藤, 萩原, 伊藤, 河合, 小森, 佐藤: “番組制作のための音声認識による書き起こしシステムの改善,” 映像学創立70周年記念大, 14D-6 (2020)
- (7) 三島, 萩原, 伊藤, 小森, 佐藤: “番組制作を支援する音声認識を用いた字起こしシステムの開発,” 映像学誌, Vol. 75, No. 1, pp. 118-124 (2020)

## 3.3 実空間センシングによる新映像表現手法の研究

スポーツ中継をはじめとしたライブ番組を対象に、より魅力的で分かりやすい映像コンテンツを効率的に制作するための映像制作支援技術や、映像やセンサーを利用して被写体の3次元モデルなどのさまざまな情報を取得するメタスタジオ基盤技術の研究開発を進めている。

### ■ スポーツ番組での映像制作支援

被写体の状況に応じた自動撮影の実現に向け、AI技術と熟練カメラマンのノウハウを活用したロボットカメラを開発している。2020年度は、雲台・レンズの滑らかでメリハリのある動作を実現するため、非線形制御を応用した角加速度制御部を実装した。また、サッカー中継を対象として、選手やボールの位

置などを抽出する特徴抽出部、AIによりプレーの種別を認識する状況理解部、状況に応じて撮影の構図を決定する状況適応型フレーミング部、および雲台・レンズの制御部をシステムとして統合化し、トータルでのリアルタイム動作を確認した。

ゴルフ中継を対象としたAIロボットカメラの研究においては、挙動解析の対象競技者の複数化、AIロボットカメラのボール追尾性能の改善を行い、基礎実験によりカメラワークの自動生成における精度向上を確認した。

### ■ メタスタジオ基盤技術

メタスタジオ基盤技術の研究として、被写体の形状・テクスチャー・質感情報や音響情報を取得する技術と、取得した情報

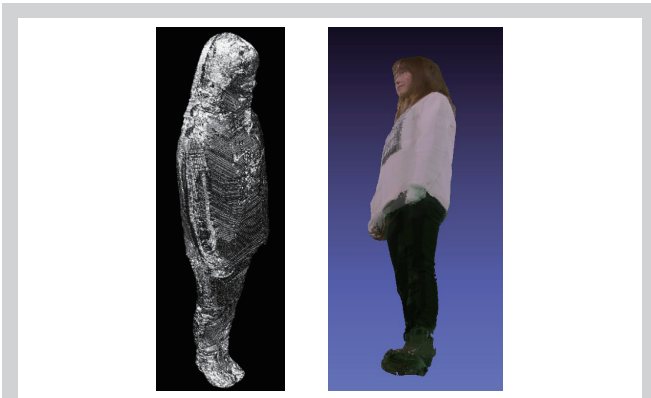


図3-4 得られた3次元モデル(左)と仮想視点画像(右)

をAIにより補償する技術の開発を進めた。

形状・テクスチャー情報を取得する技術について、CGシミュレーションによる3次元モデル生成実験の結果に基づき、直径約8mの半球状計測ドームに4Kカメラ24台を配置して、取り囲み撮影環境を構築した。また、視体積交差法とステレオ法を統合化した3次元形状再構成手法および強校正法と弱校正法を統合化したカメラ校正手法を開発した。これらの手法を取り囲み撮影した映像に対して適用し、人物の3次元形状を取得した。得られた形状に視点依存のテクスチャーを付加した3次元モデルを構築し、高品質な仮想視点映像が得られることを確認した(図3-4)。また、カメラ校正の自動化・頑健化に向け、スタジオの映像同期信号に同期して発光色を変化させる発光マーカを開発した。カメラで発光マーカを頑健に検出でき、カメラ校正用のパターンに適用できることを確認した。

音響情報を取得する技術については、様々な特性のマイクロホンを用いてメタスタジオ内で人声を收音し、結果を検証することでコンテンツ制作における收音の方針を明確化した。

実物の被写体から取得した3次元モデルを、AR等でフォトリアルかつ自然に提示するために不可欠な、被写体表面の粗さや



図3-5 多画素画像(1024×1024)の補償結果

反射係数などの質感情報を効率的に取得する偏光カメラを用いた計測手法を考案し、実験により基本原理の有効性を確認した<sup>(1)</sup>。

実測により得られる3次元モデルを用いて、自由な視点から見た画像を生成する場合、計測情報の欠落や計測誤差により、実際に撮影した画像と比べて写実性が劣化する。そこで、AIによる画像変換により、こうした劣化を補償する研究をしている。2020年度は、従来技術である、教師データを必要とする多画素の画像変換手法と、教師データを必要としない比較的多画素には不利な画像変換手法の2つの学習ネットワーク構造を融合させることによって、教師なし学習でありながら多画素画像(1024×1024画素)を補償する技術を開発した<sup>(2)</sup>。その結果、計測時の欠損や誤差に対し実写に近い形で多画素画像を補償できることを確認した(図3-5)。

〔参考文献〕

- (1) 三ッ峰, 三須, 盛岡, 杉之下, 高橋, 洗井: “偏光カメラを用いた効率的な質感計測に関する一検討,” 映情学創立70周年記念大, 21E-2(2020)
- (2) 盛岡, 三ッ峰, 洗井: “大画像における欠損ある3D再構成モデルの2次元的補償,” 映情学創立70周年記念大, 14-E3(2020)

## 3.4 AI技術活用推進の取り組み

近年、放送現場におけるAI(人工知能)技術の活用ニーズが急激に増加している。これに迅速に対応するための拠点として、2018年度に「AI活用推進事務局」を設置し、技研が開発したAI関連技術の実用化を推進してきた。2020年度は、4月に新設された放送総局メディア開発企画センターとの連携を軸として、各放送局への展開が期待されるさまざまな技術について、放送現場での試用に向けたシステム開発や環境整備の支援を継続した。具体的な成果として、取材映像書き起こしシステムの改修および機能の追加、競技団体などから配信される戦況データを利用したスポーツ戦評原稿自動生成システムの開発、顔認識技術による人物メタデータ付与システムの報道現場における試用と実用化、ソーシャルメディアなどで配信するニュース要約動画の作成を支援するシステムの開発などをサポートした。

AI活用推進事務局は、技研が開発した技術の実用推進という当初の目的を果たし、2020年8月に活動を終了した。技研は、引き続きメディア開発企画センターなど関連部局と連携して、AI技術の実用化を加速していく。

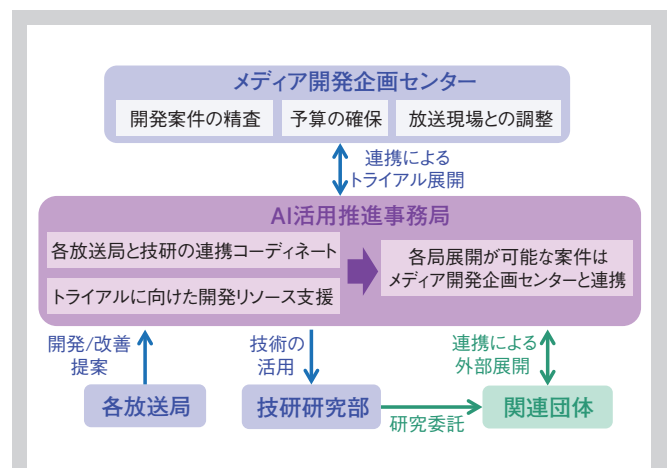


図3-6 AI活用推進事務局の役割

# 4 スマートプロダクション・ユニバーサルサービス

## 4.1 自動字幕生成技術

生放送の字幕は、規模の大きな放送局では、多人数でキーボード入力する方法に加えて、音声認識技術によって自動生成した文字の誤りを人手で修正する方法で、生成している。一方、地域放送局では、設備や人的コストの問題により現状で実現が困難であったが、ユニバーサルサービスを拡充するため、音声認識の結果を修正せずにインターネットを利用して字幕配信する実験を実施してきた。

2020年度は、ハイブリッドキャストを使った自動字幕配信の実験を7県に拡大して実施した。また、2020年8月よりNHKプラスの新たな字幕サービスとして、生放送番組における字幕の表示を発話の開始と同期して送出する生字幕同期サービスの運用を開始した。このサービスでは、番組音声を認識した結果と、すでに付与された字幕とのテキストマッチングを行うことで、字幕を発話に同期して表示させた。認識結果と字幕が一致しないケースなど、発話と生字幕がずれて送出されることも想定し、インターネット配信における字幕の適切な表示タイミングについても調査に着手した。

### ■ 地域放送局用ネット配信のための音声認識技術

人手による修正を行わずに、音声認識結果をそのままインターネットへ字幕配信するサービスの実現には、より高い認識精度が求められる。また、全国の地域放送局に音声認識設備を設置するためには、多大な設備投資と運用コストが必要になる。そこで、認識誤りを軽減する手法を開発するとともに、設備の整備・維持コストの低減を目的に、必要な設備をクラウド上に集約した。構築したシステムでは、放送番組の音声は専用ネットワークを介してクラウド上で音声認識され、認識結果は逐次

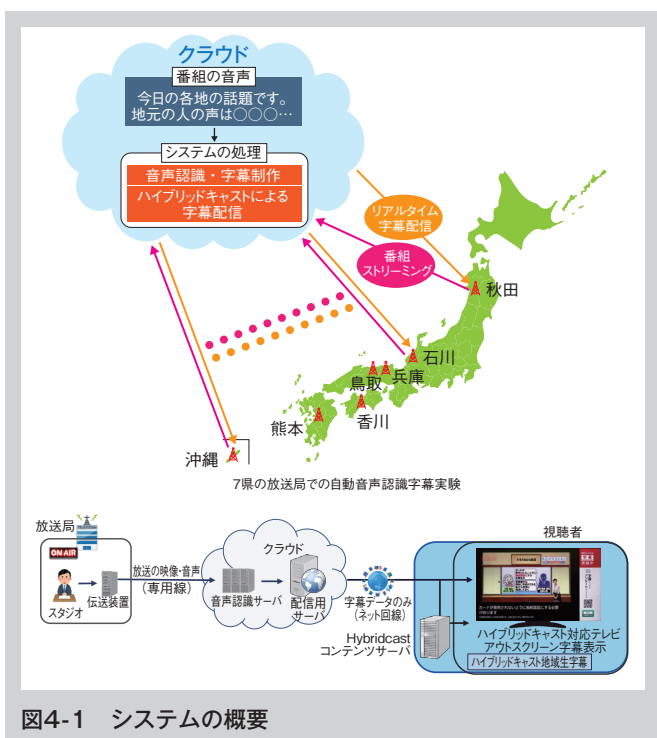


図4-1 システムの概要

ハイブリッドキャストによりリアルタイム配信される。

2019年度は、音声認識の結果をスマホやタブレット端末、ハイブリッドキャスト対応テレビにインターネット配信する実験を、福島・静岡・熊本の3県で夕方の放送番組を対象に実施した。その結果、ハイブリッドキャストを利用するテレビ画面内に字幕を表示する方法が、聴覚障害者の方々に好まれたことから、2020年5月～7月には、夕方の放送番組と夜8時45分の各局発のニュースに対して、対象局を秋田・石川・兵庫・鳥取・香川・熊本・沖縄の7県に拡大して、ハイブリッドキャストによる字幕実験を実施した。

不明瞭な発話や方言まじりの発話など、音声が聞き取りにくい箇所には、番組映像に文字スーパー（オープンキャプション）が付与され、字幕が不要となることが多い。そのような発話区間を自動的に検出して、明瞭な発話部分のみに字幕を付与する技術の検討を進めた。また、字幕の句読点をより適切に付与する手法を開発して、読みやすい字幕を表示するための改善を進めた<sup>(1)</sup>。これらの実験により「地域放送局の字幕をテレビで直接見たい」という視聴者の要望に応えることができた。今後も実験の検証結果を元に、自動字幕生成技術と字幕制作に用いられる音声認識システムの高度化を進めていく。

### ■ ネット同時配信における適切な字幕表示の調査

2020年度から総合テレビとEテレの番組を、パソコンやスマートフォン向けに常時同時配信・見逃し配信する「NHKプラス」のネット同時配信サービスが開始された。同サービスでは、2020年8月より生字幕を発話開始と同期して表示するシステムの運用を開始した。このシステムでは、放送番組のデジタル信号(SDI)から音声と字幕情報を各々取り出し、番組発話の音声認識結果と番組の字幕を単語単位でテキストマッチング処理し、それらの提示タイミングを推定する(図4-2)。推定した各字幕冒頭の単語の発話タイミングと字幕表示のタイミングを同期して送出することで、NHKプラスでは番組の発話と字幕が同期して提示される。

マッチングのミスなどにより、発話と字幕がずれて送出される事態を想定し、ネットワークを利用した生字幕放送番組における字幕表示タイミングについても、改めて調査を実施した。秒単位で字幕表示タイミングをずらして調査した結果、発話と字幕表示のタイミングが一致していることが望ましいということ

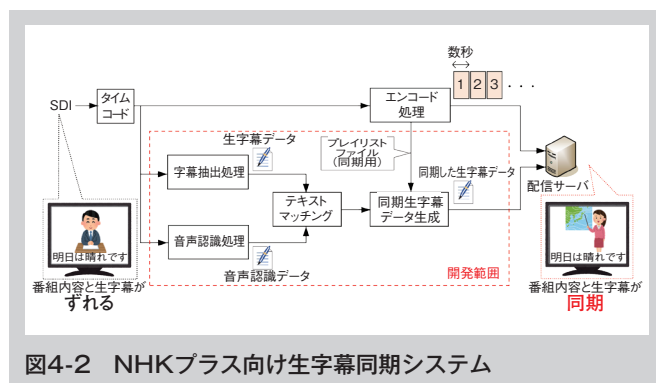


図4-2 NHKプラス向け生字幕同期システム

が分かった。また、トーク番組やスポーツ番組など発話内容や映像の切り替わりが頻繁な素材では、他のジャンルと比較して、タイミングのずれによる評価の低下傾向が著しく、番組のジャンルごとに許容される表示タイミングのずれの範囲が異なる可能性が示唆された<sup>(2)</sup>。今後もジャンルや発話内容および映像の切り替わりに応じた最適な字幕表示方法について、より詳細に検討していく予定である。

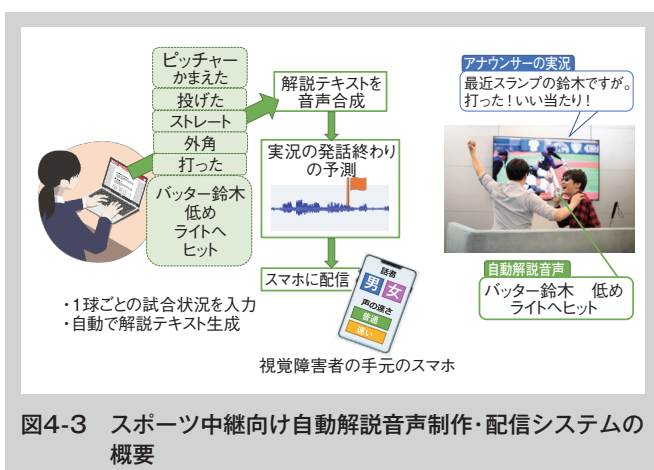
## 4.2 音声合成・提示技術

視覚に障害がある方にも放送サービスを楽しんでいただくために、さまざまな番組に対応可能な音声合成・提示技術の研究に取り組んでいる。番組を音声で補完する「自動解説」と、そのベースとなる音声合成技術の高品質化の研究を進めた。また、ラジオ気象情報の一部を音声合成で提供するサービスの全国展開支援や、音声処理技術の番組活用を進めた。

### ■ 自動解説

スポーツ中継における実況音声の発話終わりを予測する技術を開発し、番組音声と解説音声の重なりを軽減することで両者の聞き取りやすさが改善することを示した<sup>(1)</sup>。音声の重なりを完全に回避することは困難であるが、実況音声の「です」「ます」などの文意に影響しない語尾に重ねるタイミングで解説音声を提示すれば、直後の「間」を有効に活用でき、解説音声の情報を増やすことが可能となる。そこで、語尾の情報を利用した機械学習により、発話終わりよりも前に解説音声の提示が可能な予測モデルを構築できることを示した。

2020年度は視覚障害者の要望もふまえ、自動解説の対象番組を従来の卓球中継などに加え、プロ野球などのスタイルの異なるスポーツ中継や、「ひるまえほっと」などの生放送、料理番組などの収録番組まで拡大した。通年で実施されるプロ野球や卓球、バスケットボールなどの競技を対象としたデータ入力ツール・解説テキスト自動生成システムも試作した(図4-3)。プロ野球に関してはテレビとラジオの実況内容の比較調査を行い、補足すべき情報を分析してシステムに反映するとともに、データ入力やテキスト生成などの時間ロスを極力抑え、即時性を考慮したシステムとした。



### 【参考文献】

- (1) 小森：“自動音声認識字幕実験を7県の放送局で実施,” 技研だより 9月号, No. 186(2020)
- (2) 伊藤, 田中, 萩原, 佐藤, 三島, 河合, 小森, 佐藤：“ネット同時配信における字幕表示の検討,” 映像学創立70周年記念大, 14D-7(2020)

試作したシステムを使ってプロ野球の自動解説の評価実験を実施した。この評価実験では、視覚障害者が自宅にて参加できるリモート形式で試行し、障害者が他者の支援を受けられない環境でも評価が可能な手法を確立した。オンライン開催となったIBC (International Broadcasting Convention) では、NHKサイト上で自動解説のサービスイメージを動画で紹介し、ユニバーサルサービスへの取り組みをアピールした。

台本から解説テキストを取得して音声合成し、提示タイミングを自動付与したのち、試写しながら解説音声の用語の修正や再生タイミングを調整できる、自動解説音声制作実験システムを試作した。台本から取得できない補足情報は、画像解析で補完する技術の検討を進めた。生放送番組の各コーナーの位置を特定してその内容に合った解説音声を挿入するための技術を検討した。その結果、番組音声中のビデオ再生部分の冒頭やコーナーの変わり目などの予め想定可能な特定の位置の数十ミリ秒の長さの音響特徴量と、番組音声全体の音響特徴量を順次比較していくことにより、番組中の各コーナーの位置を推定する技術の基盤を構築した。

### ■ 音声合成技術

合成音声の品質・表現力向上を目的として、放送番組から大規模音声データベースを構築し、それを生じた音声合成の学習環境実現のための研究を進めた。

2019年度に開発した、音声データと「読み仮名と韻律記号」を併せて音声合成DNN (Deep Neural Network) モデルを学習する方法<sup>(2)</sup>では、学習用大規模音声データを用いるため、2020年度は韻律記号をより高精度に推定する手法を開発した。この手法では、発話内容のテキストを言語解析した結果から得られる読み仮名と、音声データを音響分析して得られる音響特徴量から、DNNモデルを用いてアクセント・ポーズを推定することにより、読み仮名のみで推定する手法の誤り率7.8%を有意に上回る6.5%を達成した。また、2019年度に開発した、NHKアーカイブスに蓄積された字幕・音声データから学習データを整備するシステムを、2020年度は放送番組に対応可能とした。さらに学習用大規模音声データを人手でも効率的に確認・修正できるように改修し、放送番組の多様な音声データを分類するアノテーション作業を効率化した。改修したシステムを利用して、ニュース番組から約150時間の学習用大規模音声データベースを構築するとともに、音声合成専用録音されておらず、放送番組音声のように背景音を含む音声データを用いて高品質な音声合成を可能とする方式の開発に着手した。さらに、即応性の高い系列変換型DNN音声合成アプリを試作し、放送番組で試行運用した<sup>(3)</sup>。

## ■ 音声合成技術の応用展開

地域放送局のラジオ気象情報の一部を音声合成で提供するサービスの全国展開に際し、システム構築の支援を行った。さらに全国各地特有の指数情報(花粉、熱中症、洗濯など)の追加発話を可能とした。

話速変換などの音声処理技術を応用して、読み書きが苦手な学習障害児童をスマートスピーカーで支援する語学学習システムを、客員研究員と連携して試作した。昨年度に続き、「テレビで中国語」の中国語学習アプリ「声調確認くん」の運用支援も行った。

[参考文献]

- (1) M. Ichiki, H. Kaneko, A. Imai and T. Takagi: "A Timing Determination Method for the Insertion of Automated Audio Descriptions into Live TV Sports Programs," Journal on Technology and Persons with Disabilities, Vol. 8, pp. 119-129 (2020)
- (2) K.Kurihara, N.Seiyama and T.Kumano: "Prosodic Features Control by Symbols as Input of Sequence-to-Sequence Acoustic Modeling for Neural TTS," IEICE Transactions on Information and Systems, Vol. E104-D, No. 2, pp. 302-311 (2021)
- (3) 栗原: "日本語End-to-End音声合成に対するNHKの取り組み," 信学技報, SP2020-11, WIT2020-12, pp. 19-20(2020)

## 4.3 機械翻訳技術

外国人に向けた迅速な情報提供を効率的に実施するため、ニュースや新聞記事のテキストを対象とした機械翻訳の研究を進めている。

### ■ ニュースの日英機械翻訳

外国人への情報提供を目的とした外国語コンテンツの迅速な制作を支援する、機械翻訳の研究に取り組んでいる。機械翻訳では、通常、ニューラルネットワークと呼ばれるアルゴリズムを用いた深層学習が利用され、この学習では大量の対訳データが必要とされる。そこで、2018年度から日本語ニュース原稿を手で翻訳した品質の高い日英対訳データの構築を進めている。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た。この日英対訳データは機械翻訳システムにおける翻訳品質向上に直結し、評価実験の結果、世の中で使われている最先端の翻訳エンジンより高品質なニュース翻訳が実現できることを確認した。

日本語のニュースでは、自明な主語などを省略することが多いが、英語では全ての文で主語が必要となる。このような日本語ニュースで省略される情報は、その周辺文脈に含まれることが多い。そこで2020年度は、翻訳対象の前の文脈を利用した2つの翻訳手法の検討を進めた。日本語ニュースの対象文の前の文脈に出現する主語・主題を対象の日本語ニュース文に与えて学習、翻訳する手法を提案し、従来手法に比べて主語が適切に補完できることを確認した。また、翻訳対象言語の英語ニュース側の文脈を利用する手法を提案し、翻訳品質の向上を確認した<sup>(1)</sup>。

英語ニュースの制作において、新しく出現する単語の訳語は翻訳者間で協議して決めることが多く、そのような単語は辞書に登録することにより固定訳として処理したいというニーズがある。しかし、ニューラルネットを利用した機械翻訳では入力と出力の対応関係が取れないため、単語を固定訳として出力することは難しい。そこで、辞書に登録された単語に目印を付け、その出現頻度により学習方法を変えて入力と出力の対応関係が取れるように翻訳する手法を考案した。このユーザ辞書機能や、日付表現や数値表現の変換機能を、英語ニュースの制作現場で試用している日英翻訳システムに実装した。さらに、日本

語ニュースの入力に対して、英語出力の適切な文数を推定して翻訳する手法を考案し、実験により有効性を確認した<sup>(2)</sup>。

### ■ 新聞記事の日英・英日機械翻訳

ビジネスシーンにおける外国人と日本人のコミュニケーションを円滑化することを目的として、会議や社交における対話・雑談、および新聞記事に対応した機械翻訳技術の研究を、外部の7機関と連携して進めている。NHKでは新聞記事翻訳技術を担当し、日英機械翻訳システムの品質向上を進めた。

通常の翻訳では、原言語と目的言語の2つの対訳関係にある言語データで学習するが、原言語データを機械翻訳システムで翻訳して対訳を作り追加学習することで、翻訳性能が改善することを確認した<sup>(3)</sup>。また、構築した日英機械翻訳システムの英語原稿制作現場などにおける評価を進め、目標としていた8割の翻訳成功率の達成を確認した<sup>(4)</sup>。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「多言語音声翻訳高度化のためのディープラーニング技術の研究開発」を受託して実施した。

[参考文献]

- (1) H. Mino, H. Ito, I. Goto, I. Yamada and T.Tokunaga: "Effective Use of Target-side Context for Neural Machine Translation," Proceedings of the 28th International Conference on Computational Linguistics (COLING 2020), pp. 4483-4494
- (2) 伊藤, 衣川, 美野, 後藤, 山田: "ニューラル日英翻訳における適切な出力文数の推定," 言語処理学会第27回年次大会, P7-6, pp. 1356-1359(2021)
- (3) 美野, 衣川, 伊藤, 後藤, 山田, 田中, 川上, 大嶋, 朝賀: "単言語データを用いた逆翻訳と順翻訳によるデータ拡張の効果の比較," 言語処理学会第27回年次大会, P1-3, pp. 118-122(2021)
- (4) I. Goto, H. Mino, H. Ito, K. Kinugawa, I. Yamada and H. Tanaka: "Neural Machine Translation for the Japanese-English Newswire Translation Task at WAT 2020," Proceedings of the 7th Workshop on Asian Translation (WAT 2020), pp. 72-79

## 4.4 情報提示技術

聴覚や視覚に障害のある人も含めたすべての方へ必要な情報を届けるために、手話CGの生成技術、触覚や嗅覚などを利用した情報提示技術の研究を進めた。

### ■手話CGの応用に向けた制作技術

手話を母語とする方への情報保障の1つとして、手話CGによる情報提供の研究を進めている。2020年度は、日本語から手話CGを生成するための翻訳技術、CG制作技術を中心とした諸技術の研究と、スポーツ実況と気象情報への応用に向けたシステムの改善・拡充を進めた。

日本語ニュース文から手話への翻訳をより高精度に実施するために、機械翻訳手法の開発を進めている。2020年度は、自然言語処理分野の幅広い研究で有効性が報告されている手法であるBERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers) を用いた機械翻訳手法<sup>(1)</sup>を開発した。提案手法では、日本語単言語の学習データを用いて性能を向上することが可能で、手話のような学習データが少ない言語の翻訳に適していることがわかった。また、小規模データで学習したモデルと対訳のない日本語文を利用し、学習データを疑似的に増やす手法の研究にも着手した。疑似的に作成した対訳データの中から、質の高いものを選んでモデルを再学習させることで、翻訳精度が向上することを確認した。

機械翻訳の精度向上に必要な対訳コーパスの作成作業を支援するために、深層学習により手話動画から手話文を認識する研究開発を継続している。社会、政治、経済、国際、気象など多様な話題を含む手話画像データセットを構築し、従来手法の学習に用いたところ、幅広い話題に対して認識性能の向上が確認できた。得られた認識結果を対訳コーパス作成アプリケーションに統合し、効率的なコーパス作成に向けた課題抽出に着手した。また、リモート環境で手話画像データセットを収録可能な簡易装置を試作し、この装置により収録された画像が学習用データとして有効であることを評価実験により確認した。

手話CGの品質を向上する上で、指差しやうなずき・表情といった手話特有の文法要素の重要性について、聴覚障害者を対象とした評価実験を実施した。単語単位のモーションデータを単純に接続したアニメーションと、文章単位のモーションキャプチャにより生成した高品質なアニメーション、手話ニュースキャスターの実写映像を交えて、理解度・自然さ・課題のある

文法要素を評価した。得られた評価結果を分析し、間(ま)や空間活用といった要素が、理解度や自然さを向上させる基礎的な部分であることを明らかにした。

任意の日本語文章を手話で表現するためには、左右の手指や顔、口など全身の動きを各部位毎に分解したうえで、再生タイミングを同期して一連の動きとして合成する必要がある。2020年度は、各部位の動作を並列に制御して合成するCG制作システムの開発に着手した。具体的には、左右の手で別々の単語を同時に再生する機能、手入力で手話単語の表出位置を制御する機能を追加した。

定型文を利用した手話CGの応用先として、スポーツ実況と気象情報の実サービスに向けてシステムの改修・拡充を行った。スポーツ実況用のシステムでは、競技関連データの受信から手話CG生成までのリアルタイム接続テストを繰り返し実施し、各システム連携時の課題抽出とその改善を進めた。併せて、実サービスの運用時に必要となるシステム起動・停止、監視、おわび送出などの機能を備えた運行制御装置を開発した。さらに、手話の伝わりやすさの向上を目的として、顔の形状や肌の質感が実写のようにリアルなCGモデルデータを開発するとともに、これまでよりも人間に近い表情制御が可能な手話CGレンダリングシステムの開発を進めた。

手話CGによる気象情報提供システム(図4-4)については、これまで関東7都県の気象情報(天気予報、予想気温、降水確率)を提供してきたが、2020年11月より、提供する情報の範囲を全国47都道府県の県庁所在地に拡充し<sup>(2)</sup>、完全自動生成による安定した運用を確認した。

これらの研究の一部は、工学院大学と共同で進めた。

### ■体感メディアを実現する触覚情報の生成・提示技術の研究

視覚・聴覚障害者を含めた多くの方々が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。2020年度は、スポーツ競技を対象とし、競技映像と同期した触覚による情報提示を検討した。スポーツ競技では、人の身体の動きが競技の進行の理解や迫力を感じる上で重要となる。触覚情報の取得、触覚情報の編集・制御、触覚刺激の提示の各技術を開発し、それらを融合した「体感メディア制作システム」を一次試作した。

触覚情報の取得に関しては、映像情報を解析し、選手の動きに関連した触覚情報を自動計測する手法を開発した。具体的には、柔道競技映像を対象とし、フレーム毎に各選手の姿勢を推定することで、触覚提示に有効な動作速度の計測や、「投げ」などの特定動作認識を行った。関節軌跡画像(図4-5)を作成する



図4-4 全国47地点の手話CG気象情報提供システム



図4-5 柔道競技での関節軌跡画像例

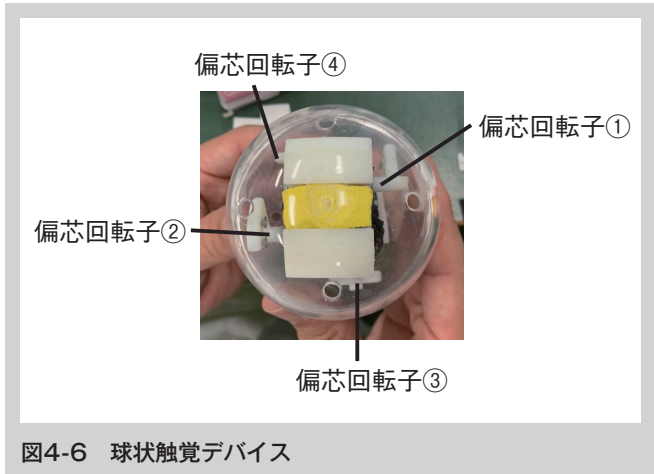


図4-6 球状触覚デバイス

ことで、CNNによる高速な動作認識を可能とした<sup>(3)</sup>。

触覚刺激の提示に関しては、テレビの映像や音に含まれる様々な情報を、触覚を介してユーザーに直感的に伝えるための、触覚デバイスの開発を進めている。2020年度は、柔道・体操・水泳などのスポーツ競技について触覚による情報提示を可能にするため、四肢の動きによる運動の様子を伝える触覚デバイスを開発した<sup>(4)</sup>。本デバイスは4つの偏芯回転子とリニア振動アクチュエータを搭載した球状の触覚デバイスで、偏芯回転子1つを四肢の1本に対応させ、動きの様子を伝えることが可能である(図4-6)。

また、本デバイスで触覚刺激を提示した際にユーザーの前腕に生じる微細な動きを計測し、運動の様子伝達可能性を検討した。偏芯回転子による触覚刺激の提示において、偏芯回転子の位置や回転方向によって、動きの様子の違いを伝達できる可能性を確認した。

ピンアレーの凹凸や振動で図形を表示する触覚ディスプレイと、指を牽引するロボットアームを融合した触覚/力覚誘導提示システムの開発を通し、言葉では説明が難しい図やグラフなどの2次元情報を視覚障害者に伝えるための触覚技術の研究を進めている。

2020年度は、視覚障害者が自らGUIの操作でコンテンツの作成を可能とすることを目的に、レイアウトの構成に必要なオブジェクトの移動や拡大縮小を、輪郭線幅上と内部で異なる効果音により区別して操作できる方式を開発した。これを基に、輪

郭幅と操作時間の関係性を評価した結果、輪郭幅の適切な条件が得られ、この条件下でGUIの操作が可能である見通しを得た。また、触覚ディスプレイ上の指定した位置にオブジェクトを再生する課題を与え、再生位置の誤差と再生時間について評価実験を行った。その結果、再生の指標となる基準点の有無、および格子状に配置し間隔の異なる基準点パターンにおいて、空間位置の認知再生能力に差異があることを明らかにするとともに、GUIにおけるコンテンツ作成に有効な基準点パターンの指針を得た。

さらに、学習(書字)障害の児童を対象とする漢字の書字教育において触覚/力覚誘導提示システムの有効性を確認するために、被験者数を拡大して長期間の学習記憶への効果の評価を継続するとともに、小学校の通級にて試用評価を実施した。これらの研究の一部は、筑波技術大学と共同で実施した。

その他、2020年度は触覚提示技術に関する標準化活動を推進した。ITU-Rにおいて、アクセシビリティに関するレポートITU-R BT.2207、および没入型映像音響サービスに関するレポートITU-R BT.2420の改定に寄与した。

## ■ 嗅覚情報提示手法に関する研究

より豊かな視聴体験の提供を目指し、嗅覚情報提示手法に関する研究を進めている。嗅覚情報提示を活かした魅力的なコンテンツの制作手法について検討し、嗅覚情報が主役となる嗅覚情報付き映像コンテンツを制作した。評価のための予備実験を行い、新たな体験を提供できるサービスとしての可能性を確認した。

### [参考文献]

- (1) T. Miyazaki, Y. Morita and M. Sano: "Machine Translation from Spoken Language to Sign Language using Pre-trained Language Model as Encoder," Proceedings of the LREC2020 9th Workshop on the Representation and Processing of Sign Languages, pp. 139-144 (2020)
- (2) <https://www.nhk.or.jp/strl/sl-weather/>
- (3) 高橋, 東, 半田, 佐野, 山内: "関節の軌跡情報を用いた柔道映像からの動作認識," 映像学創立70周年記念大, 33D-4 (2020)
- (4) 東, 高橋, 佐野, 半田: "スポーツ番組における選手の四肢の動きの様子を伝える触覚デバイスの検討," 第25回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 1D1-6 (2020)



# 5 次世代放送用デバイス・材料

## 5.1 撮像技術

### ■ RGB積層型撮像デバイスの画質改善の研究

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により、デバイスの深さ方向で色分離が可能な撮像デバイスを実現できる。2020年度は、CMOSイメージセンサー(CIS)上に2種類の有機膜を積層した3層カラー撮像デバイスの試作と、信号増幅型画素回路の開発に取り組んだ。

3層カラー撮像デバイスの試作では、まず、赤色光を電気信号に変換するCIS上に、有機膜からの電気信号を読み出すための透明な薄膜トランジスタ(TFT)アレーと緑色光にのみ感度を持つ有機膜(緑色用有機膜)を形成し、赤/緑の2層構造のデバイスを形成した。このデバイスに、2019年度に開発した、透明なTFTアレーと青色用有機膜をガラス基板上に形成した青色用デバイスを重ね合わせることで、3層カラー撮像デバイスを構成した(図5-1)。試作した撮像デバイスの画素数はQVGA(320×240)、画素ピッチは20μmであり、フレーム周波数60Hzのカラー映像出力が得られた(図5-2)<sup>(1)</sup>。

一方、これまでのTFTアレー内の画素回路は1つのトランジスタによる電流読み出し方式であり、外部ノイズの影響を受けやすいという課題があった。そこで、画素内に増幅回路を備え、電圧で信号を読み出す信号増幅型画素回路の開発に着手した。この回路を実現するためには、画素内に3つのTFTを集積する必要がある。そこで、まず、増幅回路を設計し、回路シミュレーションによりQVGA画素数でフレーム周波数60Hzでの駆動が可能なことを確認した。つぎに、TFTのチャンネル長(2μm)の微細化に取り組んだ。微細化に必要なTFT形成プロセスを開発し、ステッパー露光を導入することでチャンネル長を1μmまで微細化した。このTFTを用いて信号増幅型画素回路を試作し(図5-3)、QVGA画素数でフレーム周波数を60Hz駆動とした場合の1フレーム読み出し期間である約35μs以内で読み出し動作が完了することを実証した<sup>(2)</sup>。

この研究の青色用有機膜の開発は、日本化薬(株)と共同で実施した。

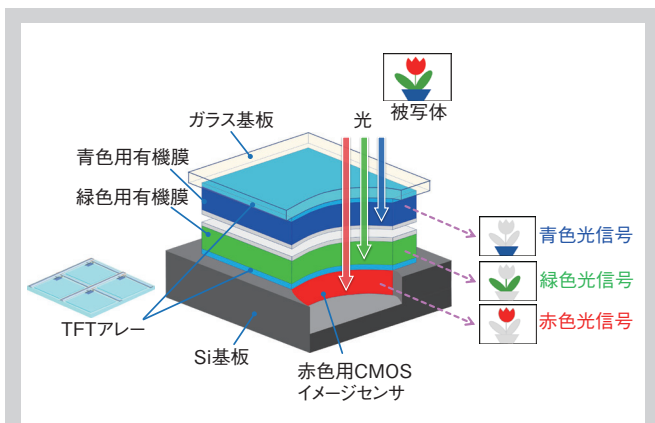


図5-1 RGB積層型撮像デバイスの構造と動作原理

### ■ 電荷増倍型撮像デバイスの高SN化の研究

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固体撮像デバイスの開発を進めている。2019年度までに、電子がCMOS信号読み出し回路の画素電極から増倍膜へ注入されて画面上の白傷の原因となることを阻止するために、電子ブロッキング層として酸化ニッケル膜を用い、増倍時の画質を大幅に改善できる技術を開発した。2020年度は、この技術による電荷増倍動作の詳細な検証と、増倍膜のさらなる暗電流の低減、増倍率の増大、そしてCMOS信号読み出し回路の低ノイズ化を進めた。

増倍膜の動作検証について、2019年度に試作した撮像デバイスを用いて、波長による電荷増倍率の違いを調べた。その結果、青色光を入射したときの増倍率(約1.4倍)と比較して、赤色光では増倍率が小さくなること(約1.2倍)がわかった。これは、青色光は結晶セレン膜の光吸収率が高く、膜の浅い位置で電荷が生成される一方、赤色光は光吸収率が低く、主に膜の深い位置で電荷が生成されるため、増倍膜内部での電荷の走行距離が異なり増倍率に差が生じたと考えられる。この特性は、電荷増倍が増倍膜内部での電荷のなだれ増倍現象であることを示唆している(図5-4)<sup>(3)</sup>。また、膜剥がれ防止のためにわずかに添加していたテルル原子が、結晶セレン膜内で拡散してセレン-セレン間の結合を切り離して欠陥となり、暗電流の発生源になることを明らかにした。この対策として、新たに塩素原子を添加することにより暗電流の発生を抑制できる見込みを得た<sup>(4)</sup>。

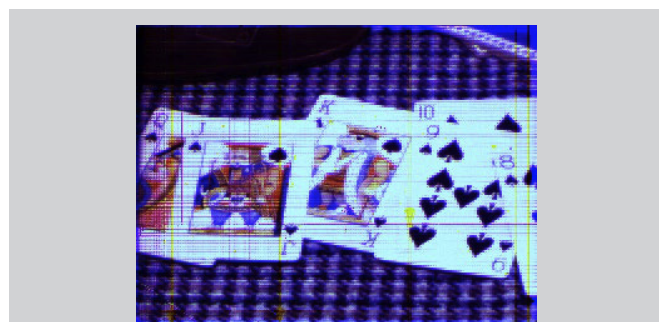


図5-2 取得画像

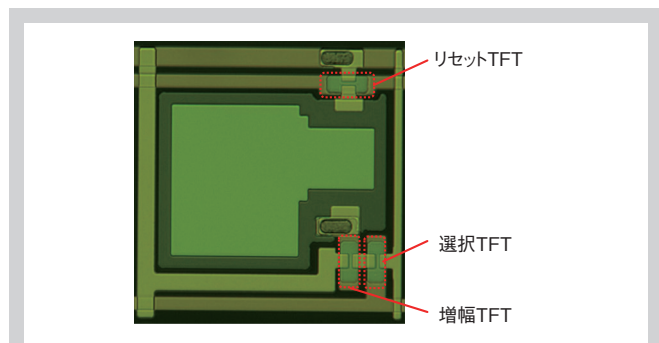


図5-3 信号増幅型画素回路

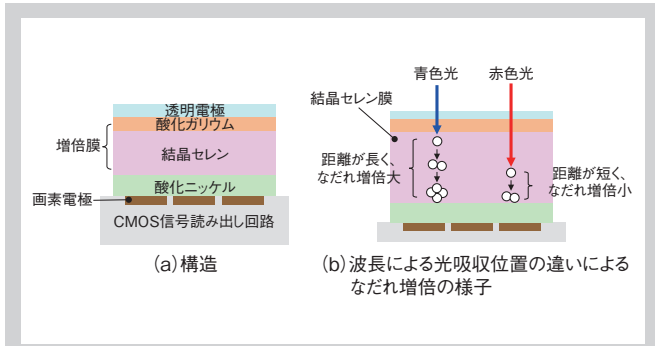


図5-4 試作デバイスの構造と光吸収位置による増倍率の違い

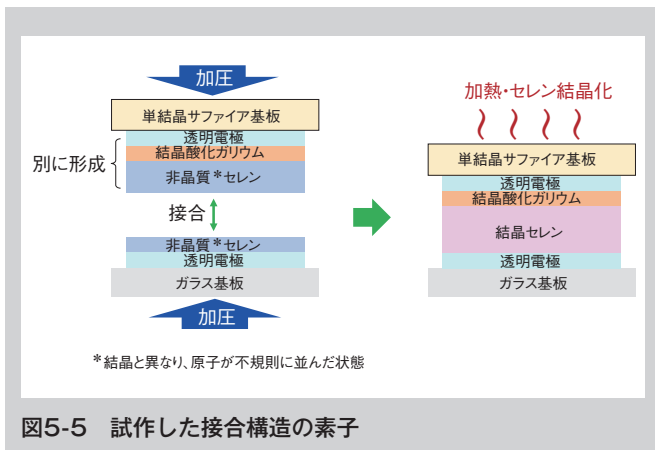


図5-5 試作した接合構造の素子

増倍率のさらなる向上に向けて、単結晶サファイア基板上に形成した増倍膜を回路上に接合する技術の開発に引き続き取り組んだ。サファイア基板上では、結晶セレンと酸化ガリウムを組み合わせるが、このような接合構造ではCMOS回路の耐熱温度を気にする必要がないため、800℃という高温で結晶化できる。そのため、増倍膜全体の結晶配向性が向上し、より高い増倍率を実現できる。2020年度は、サファイア基板上で結晶化した酸化ガリウムを含む各層を製膜した後、ガラス基板上に非晶質セレン膜を介して加圧接合し、さらにセレンを結晶化するための加熱(160℃)を施した素子を試作した(図5-5)。評価の結果、膜印加電圧18Vにおいて約10倍の増倍率が得られた<sup>(5)</sup>。さらに、本接合構造での画像取得に向けて、前述の酸化ニッケル膜および、塩素添加も適用し、信号読み出し回路上への接合を進めた。

CMOS信号読み出し回路については、2019年度に開発した、増倍膜と画素電極の浮遊容量を電氣的に分離して電荷-電圧変換利得を高めた回路の残像特性などを改善するとともに<sup>(6)</sup>、浮遊拡散層(膜からの電荷を電圧に変化する容量)のリセット動作時に発生するノイズを抑制する回路を検討した。さらに、これらの結果を反映した増倍膜用の信号読み出し回路の設計を進めた。

これらの研究の一部は、東京理科大学と共同で実施した。

### ■ コンピュータショナルフォトグラフィー基盤技術の研究

物体の高精度な3次元情報取得を目指して、コンピュータショナルフォトグラフィーの研究を進めている。コンピュータショナル

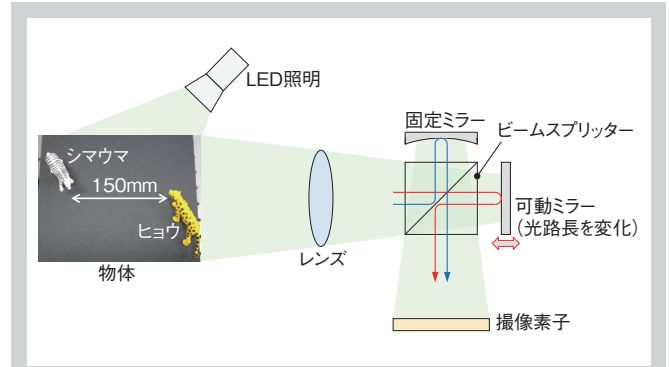


図5-6 ホログラム取得光学系

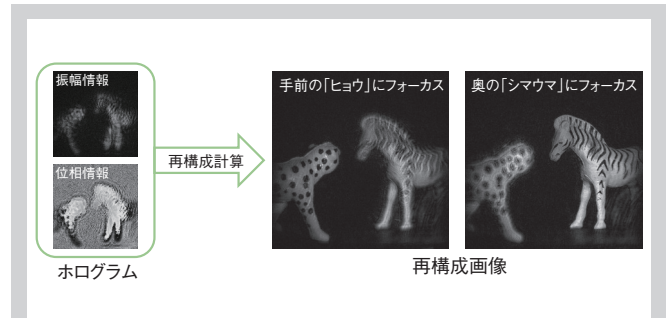


図5-7 取得したホログラムと、物体の異なる位置に焦点を合わせた再構成画像

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る従来の撮像手法とは異なり、干渉や光透過マスクにより変調された光の情報を基に、計算で物体像を再構成する手法である。2020年度は、インコヒーレントデジタルホログラフィー(IDH)による物体の3次元情報取得と、低解像度の情報から高解像度の画像を再構成する符号化撮像による手法の原理検証を進めた。

通常ホログラフィーは干渉性の高いレーザー光を照明光として使うが、IDHでは自然光やLED光など、干渉性の低い照明を使用し干渉縞を形成する手法で、撮影した干渉縞からホログラムを取得し、物体像を再構成する。ホログラムには光の振幅と位相の情報が含まれているため、逆伝搬計算により物体の形状や明暗に加えて、3次元情報を取得できる。今回、LED光で照明した物体からの光を2つに分け、両者の相対的な位相を変えることで複数枚の干渉縞を撮影してホログラムを得る光学系を構築し、3次元物体の撮像実験を行った(図5-6)。その結果、取得したホログラムから、計算により任意の位置に焦点を合わせた物体像を再構成することができた(図5-7)。加えて、干渉縞の撮影時における撮像素子のランダムノイズが再構成画像に与える影響を調べ、撮像時のノイズが再構成画像には粒状ノイズとして現れること、また、粒状ノイズは物体までの距離が遠くなるほど拡散されて少なくなることを明らかにした<sup>(7)</sup>。

符号化撮像については、物体からの光の一部を反射するマスクを光学系中に配置し、そのマスクのパターンやマスクと撮像素子の相対位置を変化させて物体を撮影する実験を行った。撮影した複数枚の低解像度画像から、計算で高解像度画像を再構成した。得られた画像の解像度は、撮影に用いられたすべての低解像度画像の画素数を合計したものよりも高いものであった。

## [参考文献]

- (1) T. Sakai, T. Takagi, K. Imamura, K. Mineo, H. Yakushiji, Y. Hashimoto, T. Aotake, Y. Sadamitsu, H. Sato and S. Aihara: "QVGA Color Image Sensor Comprising Blue/Green-sensitive Organic Films with ITZO TFT Readout Circuits Stacked on CMOS Image Sensor," Ext. Abst. SSDM 2020, pp. 671-672 (2020)
- (2) 堺, 今村, 高木, 峰尾, 渡部, 佐藤, 相原: "微細ITZO TFTを用いた撮像デバイス用画素回路の試作," 応物春季予稿集, 18a-Z33-7(2021)
- (3) S. Imura, K. Mineo, Y. Honda, T. Arai, K. Miyakawa, T. Watabe, M. Kubota, K. Nishimoto, M. Sugiyama and M. Nanba: "Enhanced image sensing with avalanche multiplication in hybrid structure of crystalline selenium photoconversion layer and CMOSFETs," Scientific Reports, Vol. 10, No. 21888, pp. 21888.1-21888.9(2020)
- (4) S. Imura, K. Mineo, K. Miyakawa, M. Kubota and M. Nanba: "Chlorine termination of selenium dangling bonds decreases tellurium-diffusion-induced acceptor states in hexagonal selenium," Applied Physics Letters, Vol. 116, No. 25, 252103, 2020, pp. 252103.1-252103.4 (2020)
- (5) 宮川, 峰尾, 為村, 新井, 渡部, 難波, 久保田: "固体撮像デバイスの高感度化に向けた接合構造による結晶セレン光電変換膜の高増倍率化," 映情学創立70周年記念大, 32E-1 (2020)
- (6) 渡部, 為村, 峰尾, 宮川, 新井, 難波, 島本, 池辺: "増倍膜積層型撮像デバイス用高変換ゲイン画素の特性評価," 信学総大, C-12-1 (2021)
- (7) 室井, 信川, 片野, 木下, 石井: "インコヒーレントホログラフィにおける干渉縞に生じるランダムノイズが再構成画像に与える影響," 映情学創立70周年記念大, 34B-5(2020)

## 5.2 記録技術

### ■振幅位相多値ホログラムメモリー基盤技術の研究

8Kスーパーハイビジョン映像を長期保存するための超大容量・高転送速度のアーカイブ用記録システムが求められている。この要求に応える記録技術として、振幅位相多値によるホログラムメモリーの研究開発を進めている。2020年度は、これまでに開発した振幅位相多値記録用信号生成手法と2019年に最適化に取り組んだ信号点配置とを用いた、記録再生実験に取り組んだ。

ホログラムメモリーは明点と暗点を二次元配列に並べたページデータと呼ばれる画像を記録再生する。振幅位相多値記録では、明点の輝度と位相に複数の値を持たせ、振幅位相分布のページデータとして記録する。明点の輝度と位相を同時に変調できる単一のデバイスはないため、従来は振幅変調用、位相変調用のそれぞれの空間光変調器 (SLM: Spatial Light Modulator) を結像光学系で合成して振幅位相分布を生成していた。しかしこの場合は光学系が複雑になり、より高精度なアライメント技術が要求される課題があった。そこで新たに、一つの位相変調用SLMで振幅位相分布を生成可能な手法を開発した (図5-8 (a))。本装置の光学系は、一つの位相変調用SLMと、空間周波数フィルター用の開口を設けた4f光学系で構成されており、図に示すように、ページデータの振幅・位相それぞれの分布 $a$ 、 $\phi$ を演算して符号化することで、記録するデジタルデータ $\psi$ を算出する。ここで、各シンボルには離散化した線形位相キャリアを加えており、線形位相キャリアの振幅値と初期値をそれぞれ変化させることで、異なるデジタルデータに対応づける<sup>(1)</sup>。レンズの焦点面では光学的なフーリエ変換がされるため、デジタルデータで変調した光のうち、ページデータに対応したフーリエスペクトルのみを開口で抽出し、再度レンズで逆フーリエ変換することにより、目的とするページデータの振幅位相分布を有する光が得られる。

本手法に、2019年に開発した多値数16の振幅位相多値記録に最適な信号点配置を適用して、フォトポリマー記録媒体に記録再生した結果を図5-8(b)に示す。再生データは記録データと

ほぼ同じ分布であり、データ誤りはなく、平均二乗誤差は0.0048であり、振幅位相16値の多値データの記録再生に十分な精度であった。提案技術によって一つの位相変調用SLMから所望の振幅位相変調を実現でき、かつホログラム振幅位相多値記録再生も可能であることを実証した。

### ■微小磁区並列デバイスの研究

可動部がなく高い信頼性が期待できる高速磁気記録デバイスの実現を目指して、磁性細線の中に微小磁区を形成しその高速移動特性を利用した、微小磁区並列デバイスの研究開発を進めている。2020年度は、U字型記録素子を一体化形成した4並列磁性細線メモリーを試作し、磁区形成と磁区駆動を一連動作させる技術を開発した。また、磁区形成に必要な記録電流を削減できる新たな記録手法の検討を継続して進めた。

磁性細線には、垂直磁化を持つPt (3nm) / [Co (0.3nm) / Tb (0.6nm)] × 5多層膜を用い、磁性細線幅3 $\mu\text{m}$ 、長さ40 $\mu\text{m}$ とした。

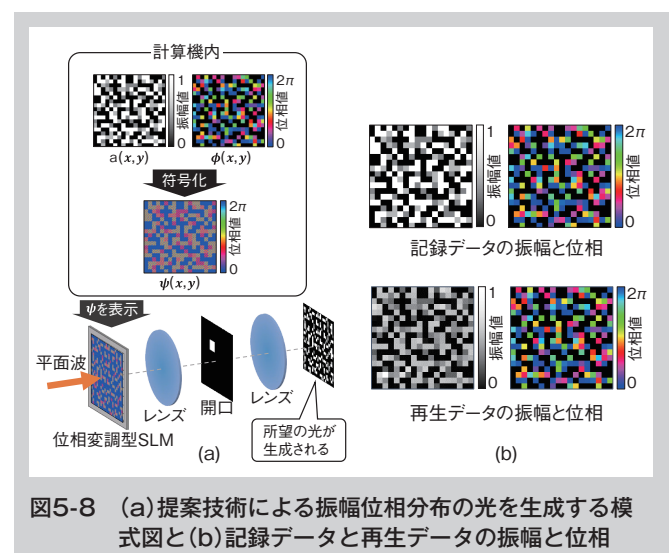
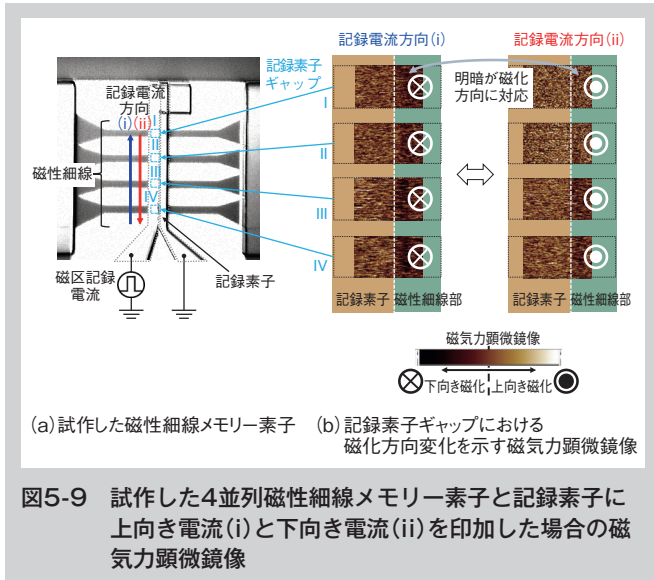


図5-8 (a)提案技術による振幅位相分布の光を生成する模式図と(b)記録データと再生データの振幅と位相



磁性細線と記録素子の層間絶縁膜として窒化シリコン $\text{Si}_3\text{N}_4$ 膜を18nmの層厚で磁性細線上に形成し、さらにその上にU字型記録素子を形成した。記録素子にはTa (3nm) /Au (85nm) /Ta (3nm) 多層膜を用い、線幅 $3\mu\text{m}$ 、U字型の記録素子ギャップ400nmで形成した。なお、層間絶縁膜、記録素子の形成には、ともにイオンビームスパッタ、電子線リソグラフィおよびレーザーリソグラフィを用いた。本デバイスでは、U字型記録素子に流す記録電流の方向によって、そのギャップに発生する合成電流磁界の方向を制御でき、その直下の磁性細線に上向き・下向きの磁区を形成することができる。図5-9に、記録電流を流した方向に対する、磁性細線の磁化状態の変化を磁気力顕微鏡で観察した結果を示す。電流の印加方向による合成電流磁界によって、磁区の磁化方向が制御できている。次に磁区の駆動特性を評価した。今回の試作では4並列の磁性細線の磁区駆動電極は共通としたため、4並列磁性細線を一括で駆動することとなる。この試料において、磁性細線へ印加するパルス電流を制御することによって記録磁区を駆動できるとともに、その駆動を磁気光学的に検出することにも成功し、4並列磁性細線メモリーの基礎動作を確認できた<sup>(2)</sup>。

記録素子に印加する各種の記録電流条件における磁区形成過程を、磁性体中の磁化の動的過程を表すLLG (Landau-Lifshitz-Gilbert) 方程式を用いたシミュレーションにより解析した。2019年度は、2本の記録素子のうち一方の電流印加開始時刻に遅延時間を設けることにより、低電流で磁区形成できる磁区形成手法を見出した。2020年度はさらに詳細に解析を行い、本手法を4並列磁性細線にも適用した。磁性細線1本のときは、電

流の遅延時間を150～180psとすることによって磁化反転が可能であったが、一方、4並列磁性細線では、この遅延時間が100～170psの範囲において、4本すべてで磁化反転が可能となることが分かった。4本の磁性細線間に働くクロストークの影響により、記録可能な遅延時間範囲が、磁性細線1本の場合の30ps幅から、4並列磁性細線では70ps幅へ拡大しており、許容遅延時間の幅が2倍以上に広がることが分かった<sup>(3)</sup>。

## ■(国)トポロジカル表面状態を用いるスピントルク磁気メモリの創製

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」において、トポロジカル絶縁体の磁気メモリーへの適用に関する研究を、東京工業大学、東京大学と共同で受託し推進している。2020年度は、トポロジカル絶縁体の一つであるビスマス・アンチモン合金(BiSb)を用いたスピン注入源と、フェリ磁性体であるテルビウム／コバルト多層膜(Tb/Co)を用いた磁性細線を接合した試料を用いて、スピントルクによる磁区形成の基礎実験を進めた。BiSbは製膜槽を汚染するため、特殊な防着板を備えたマグネトロンスパッタ装置を用いてTb/Co薄膜を製膜後、大気解放せずに直接BiSbを積層して試料を作製した。この試料において、磁区形成の低消費電力化の指標となるスピンホール角を測定したところ、2019年度に評価した大気解放してBiSbを積層した試料と比べて、2.2倍にあたるスピンホール角3.2という大きな値が得られた。また磁区形成に必要な電流も、従来の $10^7 \sim 10^8 \text{A}/\text{cm}^2$ と比べておよそ $1/50 \sim 1/100$ となる $7 \times 10^5 \text{A}/\text{cm}^2$ まで大幅に抑制できることが分かった<sup>(4)</sup>。

### [参考文献]

- (1) 信川, 片野, 室井, 木下, 石井: “光複素振幅分布の変調のための離散化した線形位相キャリアを導入した位相ホログラム,” 映像学創立70周年記念大, 12C-3(2020)
- (2) 中谷, 小倉, 石井, 宮本: “並列配置した磁性細線メモリー素子におけるU型記録素子による記録と磁気光学検出,” 映像学創立70周年記念大, 12C-1(2020)
- (3) 小倉, 中谷, 石井, 宮本: “磁性細線メモリー素子における磁区記録電流の低電流化に向けた検討,” 日本磁気学術講演, 15aC-7(2020)
- (4) N.K.D. Khang, S. Nakano, T. Shirokura, Y. Miyamoto and N.H. Pham: “Ultralow power spin-orbit torque magnetization switching induced by a non-epitaxial topological insulator on Si substrates,” Scientific Reports, 10:12185(2020)

## 5.3 表示技術

### ■フレキシブル有機ELディスプレイの長寿命化

軽くて丸められるフレキシブル有機EL (Organic Light-Emitting Diode: OLED)ディスプレイの実現に向けて、OLEDデバイスの長寿命化が求められている。特に、OLEDの電子注入層に用いられるアルカリ金属等の活性な材料は、酸素や水分

に弱く、フィルム基板を用いた際のデバイス劣化が大きな課題となっていた。そこで当所では、積層形成される陽極と陰極を入れ替えて逆構造とすることで、アルカリ金属等を用いず酸素や水分の影響を受けない、逆構造OLEDの研究開発に取り組んでいる。2020年度は、高効率で動作安定性の高い、緑色用逆構造OLEDを実現した。さらに、さまざまな発光層材料でデバ

イスを試作評価し、発光層と電極界面のエネルギーレベルとの関連性を詳細に解析することで、逆構造OLEDに理想的な緑色の発光層材料を見出した<sup>(1)</sup>。

また、窒素原子と金属電極との配位結合(化学結合の一つ)を利用することで、高い電子注入特性を有する新たなフェナントロリン(有機材料の一つ)誘導体を開発し、従来のアルカリ金属と同等の電子注入特性を得た<sup>(2)</sup>(図5-10)。この配位結合による電子注入特性の向上は、通常構造および逆構造OLEDのいずれにも有効な新しい概念である。本材料を用いることで、酸素や水分に対しても劣化がなく、高い安定性を有するOLEDを、低電圧で実現できる。また、本材料は真空蒸着法で成膜できるため、現在主流のOLEDの生産プロセスに容易に適用できる。

今後、これらの材料系を用いて、フレキシブル有機ELディスプレイのさらなる低電圧化・長寿命化を目指す。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。

## ■大画面有機ELディスプレイに向けた駆動デバイス技術

大画面有機ELディスプレイの高画質化・低消費電力化に向けて、駆動デバイスである酸化物TFTの高移動度化の研究開発を進めている。2020年度は、低寄生容量のトップゲートTFTの開発を目指して、固体パルスレーザーおよび窒素プラズマによる酸化物半導体膜の低抵抗化プロセスを構築するとともに、トップゲートTFTの作製とその特性改善に取り組んだ。

トップゲートTFTでは、TFTの半導体膜の一部をソース/ドレイン(S/D)領域として用いる。固体パルスレーザーを用いたプロセスでは、レーザー照射時間が7nsと極短時間であり、チャンネル領域へのキャリア拡散の抑制とS/D領域の低抵抗化を両立できるため、従来のアルゴンプラズマを用いたプロセスに比べて大幅に短チャンネル化できる<sup>(3)</sup>。試作では、チャンネル長1μmまでのトップゲートTFTにおいてオンオフ比 $10^6$ 以上のスイッチング動作を確認するとともに、半導体材料としてインジウム・ガリウム・亜鉛・スズ複合酸化物(IGZTO)を用いることで、 $31.0\text{ cm}^2/\text{Vs}$ の高い移動度を実現した。窒素プラズマによるS/D領域の低抵抗化では、従来に比べて抵抗を約40%低減でき、高移動度化に有利であることを見いだすとともに、低抵抗化に必要なプラズマ処理条件の許容範囲(プロセスマージン)が広く、実用面で有利なことが分かった<sup>(4)</sup>。そこで、チャンネル長10μmのトップゲートTFTを試作したところ、 $30.2\text{ cm}^2/\text{Vs}$ の移動度を実現した。トップゲートTFTの開発は、(株)神戸製鋼所と共同で実施した。

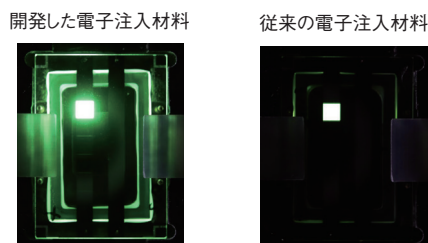


図5-10 フェナントロリン誘導体を電子注入材料として用いた有機EL発光の様子(3.5V印加時)

## ■フリーフォームディスプレイに向けた駆動デバイス技術

ディスプレイのサイズ、形状を自由にカスタマイズ可能なフリーフォームディスプレイの実現には、複数のディスプレイを隙間なく並べて組み合わせることが有用であり、それを可能にするベゼルレスな構造のディスプレイの実現には、ドライバー回路などを表示デバイスの裏側に設けることが望ましい。そこで、フレキシブルなフィルム基板を用いたディスプレイにおいて、フィルム基板を貫通する電極を持ち、基板の裏側にTFTを配置することができる、裏面駆動TFTの研究開発を進めている。2020年度は、極薄ポリイミド(PI)フィルムを用いて、裏面駆動TFTの試作を行った<sup>(5)</sup>。図5-11(a)に裏面駆動TFTの断面構造を示す。まず、PIフィルム上に、ボトムゲート・トップコンタクト型の酸化物TFT(チャンネル長200μm)を形成した。その後、ドライエッチングにより平坦化層およびPIフィルムに貫通孔を形成し、立体配線を通すことで、TFTのゲート、ソース、ドレイン電極と裏面電極を接続し、TFTの裏面駆動を可能にした。図5-11(b)にPIフィルム上に試作した裏面駆動TFTアレーの写真を示す。TFTを評価したところ、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。

## ■大画面フレキシブルディスプレイに向けた塗布型デバイス技術

大画面フレキシブルディスプレイの実現を目指して、大規模な真空装置が不要で低環境負荷の塗布プロセスにより作製できる、酸化物TFTおよびカドミウムを含まない低毒性量子ドット(Quantum Dot: QD)を用いたEL素子(QD-LED)の研究開発を進めている。

塗布型酸化物TFTでは、高品質な半導体膜の形成と大面積に適したプロセス技術の開発を目指し、水溶媒を用いた半導体材料と簡便にパターン形成可能なダイレクト光パターニング技術の検討を進めてきた。2020年度は、酸化物半導体材料のさらなる探索を進めるとともに、半導体および絶縁膜の塗布形成技術の開発に取り組み、高性能な塗布型TFTを実現した。塗布半導体材料にはインジウム酸化物を用い、これまでに開発したダイレクト光パターニング技術を適用した。さらに絶縁膜にはポリシロキサン材料を用いて、組成や成膜プロセスを最適化することで、 $30.6\text{ cm}^2/\text{Vs}$ の高い移動度を有する塗布型酸化物TFTを実現した<sup>(6)</sup>(図5-12)。この性能は、従来の真空プロセスで作製したTFTと同等以上の移動度であり、塗布型酸化物TFTの大画面ディスプレイへの適用性を示すものである。

QD-LEDは、数~十数ナノメートル程度の半導体微粒子であるQDを発光材料とした発光素子で、粒子サイズ制御により

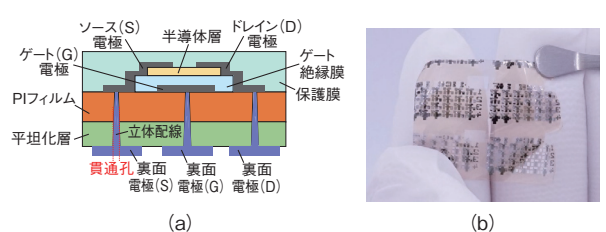


図5-11 (a)裏面駆動TFTの断面構造と(b)試作した裏面駆動TFTアレー

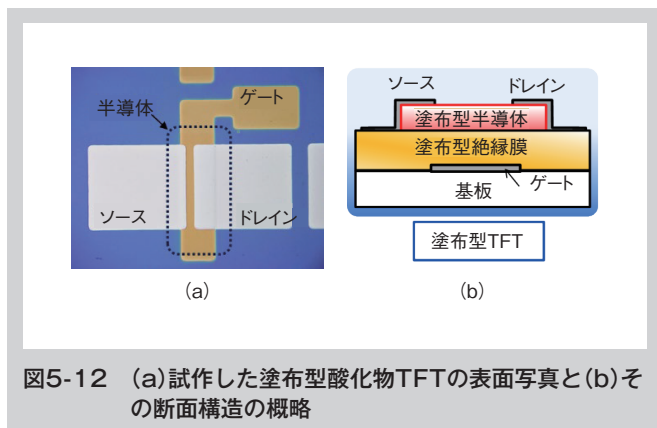


図5-12 (a)試作した塗布型酸化物TFTの表面写真と(b)その断面構造の概略

スペクトルの波長や半値幅を制御でき、高色純度の発光が期待できる。2020年度は、代表的な低毒性材料であるリン化インジウム(InP)系QDを用いた緑色および赤色発光のQD-LEDの試作に取り組んだ。緑色素子において、QDと電子輸送材料を混合して発光層を成膜することで、外部量子効率10.0%（ピーク波長530nm、半値幅42nm）を実現した。試作した素子の正孔および電子の流れ方を評価したところ、正孔電流の抑制が高効率化に有効であることを見出した<sup>(7)</sup>。また、より色純度の高いInP系QD材料を適用して素子構成を改善することで、半値幅34nmの緑色および半値幅39nmの赤色QD-LEDを実現した。

一方、InP系以外の低毒性材料として硫化銀インジウム(AgInS<sub>2</sub>)系QDを用いたQD-LEDの試作にも取り組んだ。本材料は、表面欠陥に由来する幅の広い発光が課題であったが、近年、硫化ガリウムで表面を覆った構造(AgInS<sub>2</sub>/GaS<sub>x</sub>)にすることで表面欠陥が低減し、シャープなバンド端発光を得られることが報告されている。そこで、AgInS<sub>2</sub>/GaS<sub>x</sub>を用いたQD-LEDを試作し、電荷注入過程を改良することで、バンド端発光を主成分とするEL発光を実現した<sup>(8)</sup>。AgInS<sub>2</sub>系QDを用いたQD-LEDの研究は、大阪大学、名古屋大学と共同で実施した。

#### 〔参考文献〕

- (1) H. Fukagawa, H. Ito, S. Kawamura, Y. Iwasaki, K. Inagaki, T. Oono, T. Sasaki and T. Shimizu: "Long-Lived Efficient Inverted Organic Light-Emitting Diodes Developed by Controlling Carrier Injection Barrier into Emitting Layer," *Advanced Optical Materials*, Vol. 8, Issue. 13, 2000506 (2020)
- (2) H. Fukagawa, K. Suzuki, H. Ito, K. Inagaki, T. Sasaki, T. Oono, M. Hasegawa, K. Morii and T. Shimizu: "Understanding coordination reaction for producing stable electrode with various low work functions," *Nature Communications*, Vol. 11, 3700 (2020)
- (3) M. Nakata, M. Ochi, T. Takei, H. Tsuji, M. Miyakawa, K. Nishiyama, Y. Nakajima and T. Shimizu: "Development of High-mobility Top-gate IGZTO-TFT and Suppression of Threshold Voltage Shift in Short Channel Utilizing Laser Irradiation Process," *SID 2020 Digest*, pp. 79–82 (2020)
- (4) H. Tsuji, T. Takei, M. Ochi, M. Miyakawa, K. Nishiyama, Y. Nakajima and M. Nakata: "Effect of Nitrogen Plasma on Low-resistive Source/Drain Formation in Self-aligned In-Ga-Zn-Sn-O Thin-film Transistors," *Proc. IDW '20*, Vol. 27, pp. 149–150 (2020)
- (5) 辻, 宮川, 中田: "極薄ポリイミドフィルムを用いた裏面駆動薄膜トランジスタの開発," *信学総大*, 28 (2021)
- (6) M. Miyakawa, M. Nakata, H. Tsuji and Y. Nakajima: "High-Performance Carbon-Free Solution-Processed Oxide TFTs Fabricated by Direct Patterning," *2020 virtual MRS spring/fall meeting*, F.SF04.06.03 (2020)
- (7) Y. Iwasaki, G. Motomura, K. Ogura and T. Tsuzuki: "Efficient green InP quantum dot light-emitting diodes using suitable organic electron-transporting materials," *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 117, 111104 (2020)
- (8) G. Motomura, K. Ogura, Y. Iwasaki, T. Uematsu, S. Kuwabata, T. Kameyama, T. Torimoto and T. Tsuzuki: "Electroluminescence from band-edge-emitting AgInS<sub>2</sub>/GaS<sub>x</sub> core/shell quantum dots," *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 117, 091101 (2020)

# 6 研究関連業務

## 6.1 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SG5 (Study Group 5) (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提案した。SG6 (放送業務) では、地上デジタル放送における新方式の導入方策、異なる放送通信連携方式間の調和、オブジェクトベース音響用符号化方式の要求条件、4K8K衛星放送の最新情報、臨場感・体感の向上やアクセス性改善のための触覚技術、番組制作におけるAI活用事例、AR/VRの新たなユースケースや試作事例などを寄与した。

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) の最終国際規格案発行や性能評価試験の推進に寄与した。イマーシブメディア関連の標準化では、ユースケースや要求条件やイマーシブメディアの次フェーズに向けた技術要件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を国内メーカーと共同で提案した。

アジア・太平洋放送連合 (ABU) の技術委員会では、長年に渡るABU活動への貢献が技術優秀賞として表彰されたほか、次世代地上放送、4K8K衛星放送、放送通信連携システム、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) と連携してメディアの将来に関するビジョンレポート (Broadcast Technology Futures Group Report 2020) を作成・発行したほか、米国ATSC (Advanced Television Systems Committee)、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)、IP番組制作システムの接続制御方式の標準化を行うAMWA NMI (Advanced Media Workflow Association Networked Media Incubator)、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	4K8Kファイルフォーマット、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、音響メタデータやファイル形式
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	4K8Kファイルフォーマット、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	4K8K移動中継用FPU、マイクロ波帯4K8K用FPU

### ■ 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
アセンブルとアクセス	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
デジタル送受信技術等系	
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
4K8KファイルフォーマットJTG	サブリーダー
音声ファイルフォーマットJTG	リーダー
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
次世代デジタルFPU検討TG	サブリーダー
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) の技術委員会傘下のBTF (Broadcasting Technology Futures Group) において、メディア将来ビジョンを検討するVision Reportサブグループに継続して参加した。当所からは主にユーザー体験、コンテンツ制作技術の将来像について寄与し、BROADCAST TECHNOLOGY FUTURES GROUP REPORT 2020が12月に発行された。また、BTFのメンバーであるIRT

(ドイツの放送技術研究所)が閉鎖されたことを受けて、BTFの基本方針の見直しの議論を行った。また、3GPP (3rd Generation Partnership Project) 規格を用いたMBMS (Multimedia Broadcast and Multicast Service)の放送利用を検討するMTS (Mobile technologies Standards) グループに参加し、5Gシステムの放送利用について検討した。

## ■ 共同研究、研究相互協力、連携大学院

2020年度には、放送通信連携サービスの検証から新規材料開発などの基礎分野に至るまで、総数20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、7つの大学 (千葉大学、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、非常勤講師の派遣、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。2020年度は新型コロナウイルス感染拡大による影響を受け、研究者の受け入れは行わなかった。

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6名

受け入れ、指導を行った。

海外における研究のため、アメリカに研究員1名を派遣した。当初は1年間の派遣予定であったが、新型コロナウイルス感染拡大の影響により予定より早く一時帰国し、そのまま派遣終了となった。

### ■ 研究者の海外派遣

派遣先	期間	研究テーマ
アメリカ MIT メディアラボ	2019/9/4 ~ 2020/8/31 (※3/26一時帰国後終了)	実空間における対面コミュニケーションを活性化させるウェアラブルデバイス及びソフトウェアの研究



## ■ 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。2020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。

- 多言語音声翻訳高度化のためのディープラーニング技術の研究開発
- 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8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、5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) 2021年3月

氏名	所属
◎相澤 清晴	東京大学大学院 情報理工学系研究科 教授
萩原 直彦	総務省 情報流通行政局 放送技術課長
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 副理事長
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
柴田 康弘	日本テレビ放送網株式会社 執行役員 技術統括局長
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 環境・社会理工学院 教授
高原 淳	九州大学 先端物質化学研究所 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 一郎	東京理科大学 理工学部 電気電子情報工学科 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) 2021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
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
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
羽鳥 光俊	東京大学 名誉教授
浜本 隆之	東京理科大学 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
Timothy John Baldwin	メルボルン大学 教授

### ■ 客員研究員 (敬称略) 2021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
巖淵 守	早稲田大学 人間科学学術院 教授
小川 哲司	早稲田大学 理工学術院 教授
藤井 俊彰	名古屋大学 大学院工学研究科 教授

## 6.2 研究成果の公開

### ■ 技研開所90周年企画

技研は2020年6月1日に開所90周年を迎えた。2020年は技研公開を開催せず、秋に開所90周年記念企画を実施した。この企画は新型コロナウイルスの感染拡大防止に配慮し、オンライン開催とした。

10月16日から技研ホームページに特設サイトを設け、技研の90年の技術研究の歴史を振り返る動画や、最新の研究内容を小学生や中学生の皆さんにもわかりやすく紹介するラボトークの動画などを掲載した。



■ 掲載した動画

ラボトーク1「未来のテレビ！～フレキシブル有機ELディスプレイ～」

ラボトーク2「テレビが100倍楽しくなる！立体音響技術」

ラボトーク3「AIで、白黒をカラーにするテレビ！」

NHK放送技術研究所90年の歴史

びっくり！ふしぎな地球のテレビだニャ

～ 技研の特撮・音声技術のあゆみ～

砦からの風景 - 技研屋上VR -

技研探検 (VR) - とくしゅ実験室 -

■ 海外展示

新型コロナウイルスの世界的な拡大による影響から、出展を予定していた海外の展示会はオンライン開催に変更された。毎年4月に開催される世界最大の放送機器展であるNAB (National Association of Broadcasters) Showは、NAB Show Expressとして5月にウェブサイト上で開催された。NHKは出展社ページにて、30インチフレキシブルOLEDディスプレイ、8K120Hzシステムや3D表示技術、ARを利用したTV視聴サービスなどの研究開発成果を紹介した。NAB Show Expressには世界中から約4万人のアクセスがあった。

9月には欧州最大の放送機器展IBC (International Broadcast-

ing Convention) のオンラインイベントIBC Showcaseが開催され、出展社ページにてVR・ARによる空間共有視聴システムやオブジェクトベース音響、8K関連技術、スポーツ生中継に向けた自動解説音声技術などを展示した。また、IBC Showcaseに合わせて技研ウェブサイト上に特設ページを開設し、動画を用いてさらに詳しく展示内容を紹介した。会期中のIBC Showcase訪問者数は約2万人であった。そのほか、ブラジルテレビ技術協会主催のSET eXPerienceでも日本パビリオン内にてビデオ展示を行った。

■ 海外展示 3件(オンライン)

イベント名(主なもの)	日程	展示項目
NAB Show Express	5/13-5/14	30インチフレキシブルOLEDディスプレイ、8K120Hzシステム、ミリ波帯8Kワイヤレスカメラ、8K JPEG-XSコーデック(技術局)、視点追従インテグラル3D映像、ARを利用した新しいTV視聴、放送とIoT機器の連携、アクティナビジョン
IBC Showcase	9/8-9/11	空間共有コンテンツ視聴システム、AR同期伝送技術、高精細VR、Before/After VR、オブジェクトベース音響、アクティナビジョン、30インチフレキシブルOLEDディスプレイ、8K120Hzシステム、有機膜を積層した3層カラー撮像素子、スポーツ生中継に向けた手話CG自動生成技術及び自動解説音声技術
SET eXPerience	12/1-12/3	空間共有コンテンツ視聴システム、AR同期伝送技術、高精細VR、Before/After VR、オブジェクトベース音響

■ 国内展示

新型コロナウイルスの世界的な拡大による影響から、出展を予定していた国内展示会はオンライン開催に変更された。毎年

11月に開催される国際放送機器展InterBEEは、11/18～20に「InterBEE 2020 ONLINE」としてウェブサイト上で開催さ

れた。技研はNHK/JEITAの展示コーナーの中で、空間共有コンテンツ視聴システムや360度映像の比較再生システムなどの研究成果を紹介した。

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9/28～11/23まで開催された

#### ■ 国内展示 5件

イベント名(主なもの)	日程	展示項目
昆虫大好き!Bugs Park(秋田放送局)	8/22-23	昆虫マイク
放送のミライ展	9/28-11/23	高精細VR映像ほか
InterBEE 2020 ONLINE	11/18-20	空間共有コンテンツ視聴システムほか
福岡放送局開局90周年イベント(福岡放送局)	12/5-12	フレキシブル有機ELディスプレイ
放送のミライ展in甲府(甲府放送局)	1/15-28	視点追従型インテグラル3D映像

## ■ 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で研究成果を多数発表したほか、Nature Communications、Scientific Reports、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	40件
海外学会誌	30件
国内学会・研究会など	172件
海外学会・国際会議など	79件
一般雑誌などへの寄稿	46件
部外への講師派遣	28件
合計	395件

## ■ 報道発表

当所の研究成果を中心に、4件の報道発表を行った。

年月日	発表内容
2020/6/26	有機膜を積層した3層カラー撮像素子を開発
2020/7/27	VR・ARを活用した空間共有コンテンツ視聴システム
2020/8/31	新たな有機EL用材料を開発
2020/10/21	新たな日本語音声合成システムを開発

## ■ 視察、見学、取材への対応

報道発表した空間共有コンテンツ視聴システムなどに対して、5件の取材があった。2020年度は国内外での新型コロナウイルス

イルスの感染拡大の影響により、視察・見学は国内の放送関係者など数件であった。

## ■ 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2020年度からは年4回発行の季刊とし、「光・磁気ストレージデバイス」や「番組制作支援のための画像・音声処理技術」などを特集した。

海外向けのBroadcast Technologyでは、「AR/VRを活用した空間共有コンテンツ視聴システム」や「有機膜を積層した3層カラー撮像素子」など、最新の研究内容や動向を紹介した。

#### ■ 国内向け刊行物

技研だより(和文、月刊)	No. 181～No. 192
NHK技研R&D(和文、季刊)	No. 181～No. 184
研究年報(和文、年刊)	2019年度版

#### ■ 海外向け刊行物

Broadcast Technology(英文、季刊) No.80～No.83  
ANNUAL REPORT(英文、年刊) 2019年度版



## ■ ウェブサイト

当所の概要、研究内容、報道発表、刊行物、イベント情報などを紹介する技研の公式ウェブサイトを4月にリニューアルした。リニューアル後は、記事のタイトルと大きなサムネイル写真をホームページ上に並べ、ダイレクトに記事にアクセスできるようにするなどデザインを一新した。さらに、視覚に障害のある方のアクセシビリティにも配慮したデザインを採用するとともに、研究活動への理解を深める目的で、関連記事をお勧めするレコメンドの機能も追加した。英語サイトも同様にリニューアルするとともに、ツイッターの英語アカウントも開設し、海外向けPRの充実を図った。



リニューアルしたウェブサイト

## 6.3 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。BS8K放送のスポーツ番組制作では、大相撲中継や水泳競技の番組で8Kスローモーションシステムが活用された。

ほかにも、白黒映像の自動カラー化技術や、AR/VRを活用した空間共有システムなども番組制作で活用された。2020年度に実施した番組協力は23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。特許プール\*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 2020 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	340	1096
	実用新案	0	0
	意匠	0	2
外国出願	特許	68	179
合計		408	1277

#### ■ 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	198	2030
	実用新案	0	0
	意匠	0	0
外国	特許	8	107
合計		206	2137

#### ■ 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	21	309
許諾権数	59	540
(内訳) 特許権	44	285
ノウハウ	15	255

#### ■ 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	11(2)
受託研究	3(2)

## ■ 受賞、学位取得

2020年度は、前島密賞、末松安晴賞、電波功績賞総務大臣表彰など国内外の団体、学会から35件受賞した。

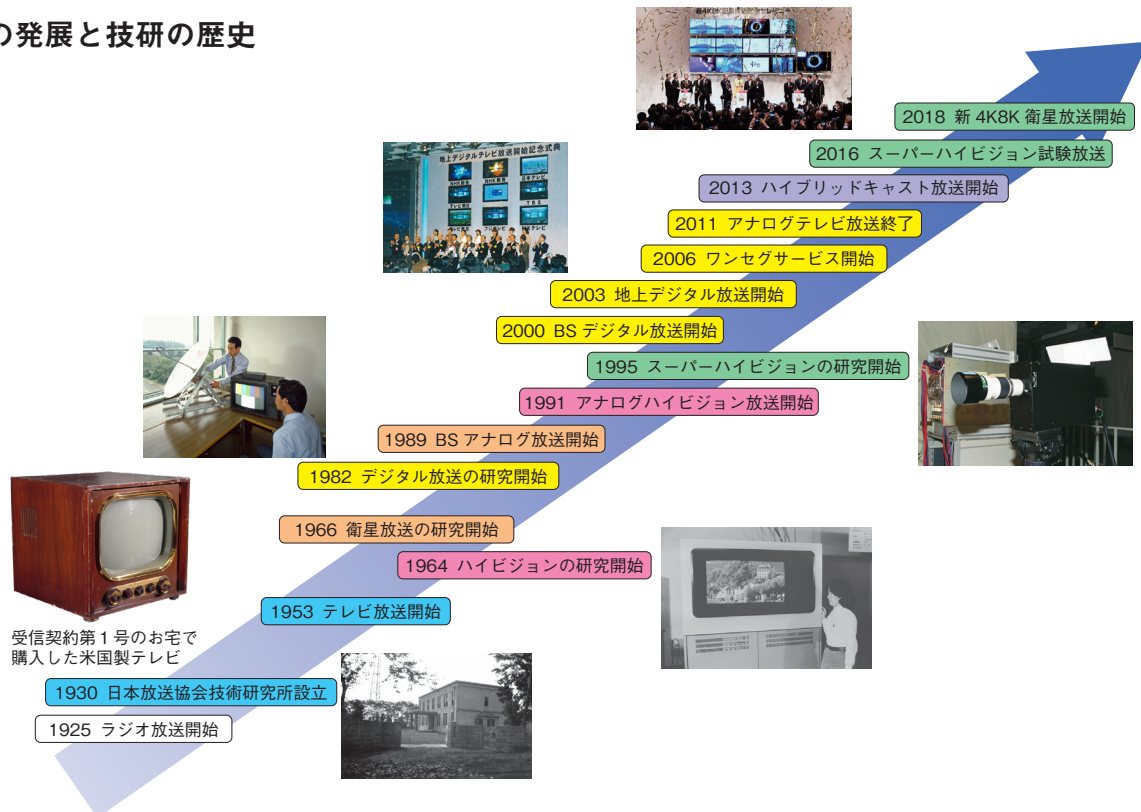
2020年度は、新たに2名が学位を取得した。2020年度末の学位保有者は、83人となった。

受賞者	賞の名称	授賞者	業績名・受賞事由	受賞・表彰日
小森智康	学会活動貢献賞	一般社団法人 日本音響学会	学会の研究委員会活動への貢献	2020/5/16
三島剛 小森智康 伊藤均 萩原愛子 佐藤庄衛(NHKエンジニアリングシステム)	技術振興賞 進歩開発賞 (研究開発部門)	一般社団法人 映像情報メディア学会	迅速・正確な報道を支援する字起こしシステムの開発	2020/5/29
鈴木陽一 田中祥次 高田政幸	業績賞	一般社団法人 電子情報通信学会	新4K8K衛星放送の方式開発と標準化/新4K8K衛星放送の伝送方式ISDB-S3の開発と標準化	2020/6/4
青木秀一	情報通信技術賞(TTC会長表彰)	一般社団法人 情報通信技術委員会	放送・通信での4K・8Kメディア伝送技術に関する研究開発及び標準化にかかわる功績	2020/6/16
居相直彦 光山和彦(技術局) 鶴澤史貴 熊谷崇(技術局) 伊藤史人 中川孝之	電波功績賞総務大臣表彰	一般社団法人 電波産業会	4K・8K移動中継用FPUの研究開発	2020/6/24
梶田海成	辻井重男セキュリティ論文賞優秀賞	一般社団法人 日本セキュリティ・マネジメント学会	電子署名の安全性に関する研究	2020/6/26
市ヶ谷敦郎	国際規格開発賞	一般社団法人 情報処理学会 情報規格調査会	ISO/IEC TR 23091-4:2020の標準化におけるプロジェクトエディタとしての貢献	2020/7/30
清水貴央 中嶋宜 中田充 薄井武延 岡田拓也 藤崎好英	放送文化基金賞	公益財団法人 放送文化基金	スーパーハイビジョン用フレキシブル有機ELディスプレイの開発	2020/9/1
川喜田裕之	情報科学技術フォーラムFIT奨励賞	一般社団法人 電子情報通信学会 情報・システムサイエティ (ISS) ヒューマンコミュニケーショングループ(HCG) 一般社団法人情報処理学会(FIT2020幹事学会)	Before/After VR再生システムの開発	2020/9/3
前澤桃子	情報科学技術フォーラムFIT奨励賞	一般社団法人 電子情報通信学会 情報・システムサイエティ (ISS) ヒューマンコミュニケーショングループ(HCG) 一般社団法人情報処理学会(FIT2020幹事学会)	番組ホームページ制作支援のための代表画像選定技術の検討	2020/9/3
東真希子	かわいい感性デザイン賞 奨励賞	日本感性工学会	おとぎボックス ~物語の情景を伝えるキューブ型触覚デバイス~	2020/9/9
松井健太郎	電子情報通信学会 基礎・境界サイエティ貢献賞	一般社団法人 電子情報通信学会	学会活動への寄与	2020/9/16
倉掛卓也	活動功労賞	一般社団法人 電子情報通信学会 通信サイエティ	論文誌編集に関する貢献	2020/9/16
大亦寿之	前島密賞	公益財団法人 通信文化協会	端末連携機能を拡張した新たな放送通信連携システムの開発・実用化と応用	2020/9/18
星祐太 金子豊 萩尾勇太 村崎康博 上原道宏(情報システム局)	CNR研究会優秀講演賞	一般社団法人 電子情報通信学会 クラウドネットワークロボット研究会	ロボット発話に向けたテレビ視聴時の人同士の対話解析	2020/9/24
朝倉慎悟	研究奨励賞	一般社団法人映像情報メディア学会 放送技術研究会	登壇回数3回	2020/9/28
佐藤明彦	研究奨励賞	一般社団法人映像情報メディア学会 放送技術研究会	登壇回数3回	2020/9/28
中村直義	東京都功労者表彰(技術振興功労)	東京都政策企画局	ケーブルテレビ伝送技術の研究開発と標準化	2020/10/1
青木秀一	日本ITU協会賞 功績賞	一般財団法人 日本ITU協会	放送及び情報通信の発展への貢献	2020/10/6
鴨田浩和	日本ITU協会賞 奨励賞	一般財団法人 日本ITU協会	ITU-R WP5Cに日本代表団メンバーとして継続的に参加し、国内標準規格となった番組素材伝送用のミリ波帯無線伝送システムを、周波数共用条件の勧告や固定業務の最新動向に関するレポートに反映。WRC-19議題に関連して、HAPSと既存業務の周波数共用条件の検討を実施し、レポート作成やCPM文書に反映した。	2020/10/6
藤井翔子	電気学会優秀論文発表賞B賞	電気・情報関連学会 中国支部大会	小窓自動切出装置の開発	2020/10/24
正岡顕一郎 山下蒼行	発明協会東京優秀賞	公益財団法人 発明協会	放送用カラーバー発生装置および表示システム	2020/11/12
渡邊隼人	光学論文賞	一般社団法人 日本光学会	Scientific Reports誌に投稿した3次元表示技術(アクティブビジョン方式)に関する論文が受賞対象	2020/11/15
岩城正和(NHKエンジニアリングシステム)	ABU技術優秀賞	ABU	長年のABU技術に対する貢献	2020/11/24
木下延博 信川輝吉 片野祐太 室井哲彦 石井紀彦	ISOM'20 the Best Paper Award	ISOM(International Symposium on Imaging, Sensing, and Optical Memory)	研究発表 [20:9 Modulation Code for Complex Amplitude Multi-Level Recording in Holographic Memory]	2020/12/2
美野秀弥 伊藤均 後藤功雄 山田一郎	Shortlisted Outstanding paper	International Committee on Computational Linguistics (ICCL)	自然言語処理の研究/優れた論文として	2020/12/3
美野秀弥 伊藤均 後藤功雄 山田一郎	Outstanding paper	The 28th International Conference on Computational Linguistics (Colint2020)	学会から優秀論文として選出	2020/12/13
境田慎一	電気通信協会 ICT事業奨励賞	一般社団法人 電気通信協会	8Kスーパーハイビジョン放送用HEVCコーデックの開発	2020/12/14
西口敏行	電気通信産業功労賞(創意工夫)	一般社団法人 電気通信協会	22.2ch音響制作システムの開発等、創意工夫や機器の改良開発により電気通信分野の事業の発展に貢献	2020/12/14
森翔平	鈴木記念奨励賞	一般社団法人 映像情報メディア学会	[8K映像を活用した解像度を維持したズームを可能とする視聴技術の開発]の講演	2020/12/23
木下延博	優秀研究発表賞	一般社団法人 映像情報メディア学会	[振幅多値ホログラムメモリにおけるノイズ低減手法の実験的検証]の講演	2020/12/23
池田善敬	優秀研究発表賞	一般社団法人 映像情報メディア学会	[データ量一定の条件下で時空間解像度パラメータへのデータ配分が動画の主観画質に与える影響]の講演	2020/12/23
川島祥吾	優秀研究発表賞	一般社団法人 映像情報メディア学会	研究会報告「地上放送高度化方式における軟判定レプリカを用いたMFN放送波中継」の講演	2020/12/23
森田祐介	学術奨励賞	一般社団法人 電子情報通信学会	手話単語のサブワード分割を利用した日本手話翻訳	2021/3/11
松井健太郎	学会活動貢献賞	一般社団法人 日本音響学会	委員会活動等による学会の活性化への貢献	2021/3/11

# 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	
	1930年6月～1965年1月	技術研究所
	1965年1月～1984年7月	総合技術研究所、放送科学基礎研究所
	1984年7月～現在	放送技術研究所
職員数	251名	(うち研究者数 223名)
学位保有者	83名	
特許権保有数	国内 2,030件	
(NHK 総数)	外国 107件	

(2021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46,000m<sup>2</sup>  
 うち技研部分 約16,000m<sup>2</sup>  
 総敷地面積 約33,000m<sup>2</sup>

## ■ 技研の組織

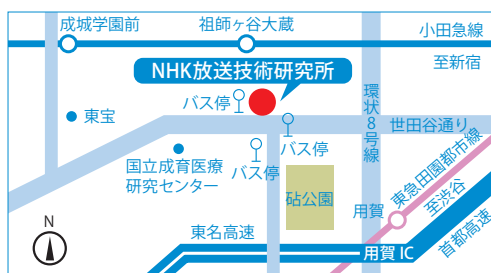
所長 三谷 公二  
 副所長 今井 亨

フェロー 西田 幸博  
 研究主幹 加藤 隆

		部長
研究企画部	研究計画・管理、広報、国際対応、外部連携など	石井 啓二
特許部	特許出願・管理・活用、技術移転など	木村 恭子
ネットサービス基盤研究部	放送・通信連携技術（ハイブリッドキャストなど）、セキュリティ、動画配信技術など	中村 直義
伝送システム研究部	衛星放送・地上放送・ケーブルテレビなどの伝送技術、多重化技術、8K素材伝送・IP利用伝送技術など	土田 健一
テレビ方式研究部	8K番組制作機器、映像符号化技術、高臨場感音響システムなど	神田 菊文
スマートプロダクション研究部	映像解析、音声認識・合成、機械翻訳、ソーシャルメディア解析、手話CG、音声ガイドなど	石川 清彦
空間表現メディア研究部	空間像再生型3Dテレビ技術、3D映像デバイス技術、AR・VR技術、映像表現技術、認知科学など	三科 智之
新機能デバイス研究部	高感度・高機能撮像デバイス技術、大容量・高速記録技術、シート型ディスプレイ技術など	島本 洋
総務部	人事、労務、経理、局舎管理など	岡本 朋子

(2021年3月末現在)

## 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

## 2020

日本放送協会 放送技術研究所  
2021年5月発行

あなたの声と受信料で  
公共放送

**NHK**

The background features a complex network diagram consisting of numerous nodes (represented by circles of varying sizes and shades of gray) connected by thin, light gray lines. Overlaid on this network are several large, semi-transparent blue circular patterns that resemble stylized orbits or signal paths. The overall aesthetic is clean, technical, and modern.