



空間表現メディア

日本放送協会 放送技術研究所

かわきた まさひろ
河北 真宏

まちだ けんじ
町田 賢司

こいで だいいち
小出 大一

かわきた ひろゆき
川喜田 裕之

よしの かずま
吉野 数馬

はん だ たくや
半田 拓也

1. はじめに

2030年～40年頃には、従来のテレビで親しんできた2次元映像コンテンツだけでなく、3次元テレビやAR (Augmented Reality)・VR (Virtual Reality) などの多彩なコンテンツを種々のデバイスで楽しめるようになることが予想される。



■図1. 多様な視聴スタイルの例

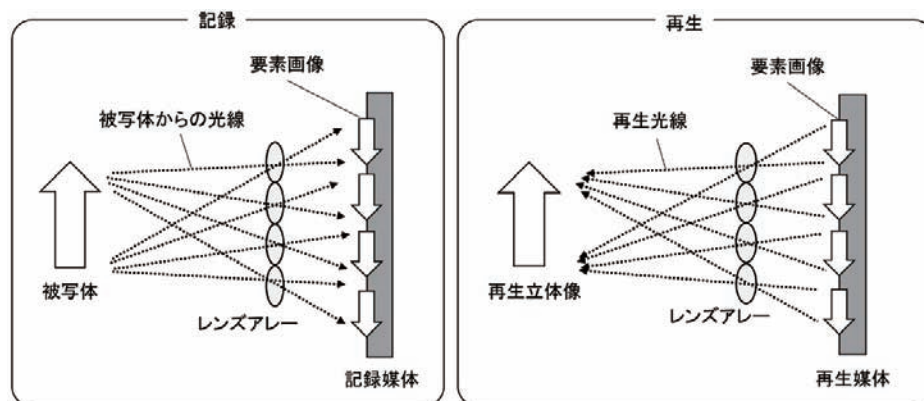
NHK技研では、図1に示すような多様な視聴スタイルに対応する未来のメディア技術「ダイバースビジョン」を提案している。2019年5月30日～6月2日に開催した技研公開2019では、ダイバースビジョンのコンセプトとともに、3次元空間にこれまでにない視聴体験をもたらす「空間表現メディア」の実現に向けた技術を展示した。本稿では、空間表現メディアに関する技術として、3次元テレビ、広視域ホログラフィー表示デバイス、そしてAR・VR技術を活用した新たな視聴スタイルについて報告する。

2. 3次元テレビ

2.1 空間像再生による3次元映像

将来の放送サービスを目指し、3次元映像の実用化に向けた研究開発に取り組んでいる。現在、様々な3次元映像方式があるが、特に光線を再現して空間に3次元映像を再生する方式（以下、空間像再生方式）は、3次元映像を観察するための特別なメガネが不要であるとともに、再生された3次元映像は水平のみならず全方向の視差を有するため、あたかも目の前に実物があるかのように自然な映像表示が可能である。

空間像再生方式の一つに、立体写真技術であるインテグラルフォトグラフィー^[1]を基本原理とする表示方式（以下、インテグラル3D方式）がある。本方式では、光線情報の記



■図2. インテグラルフォトグラフィーの基本原理



録や再生に、複数の微小レンズで構成されたレンズアレイを用いる。図2にインテグラルフォトグラフィーの基本原理を示す。物体からの光線の記録では、記録媒体の前面にレンズアレイを置き、記録媒体とレンズアレイ間の距離がレンズアレイを構成するレンズ（要素レンズ）の焦点距離と等しくなるように配置する。各要素レンズで形成された画像群（要素画像群）を記録媒体に記録する。光線の再生では、記録された要素画像群を、要素レンズの焦点距離の位置に配置されたレンズアレイを介して再生する。これにより、記録時と同じ光線が再現され、空中に被写体の光学像が形成されることで3次元画像が再生される。

インテグラルフォトグラフィーを基本原理とし、カメラやディスプレイを用いて動画の3次元映像を記録・再生することでインテグラル3Dテレビが実現できる^[2]。図3にインテグラル3Dテレビの基本構成を示す。撮影においては、レンズアレイを介して高精細カメラで要素画像を撮影する。この撮影では、奥行き制御レンズを用いて被写体をレンズアレイ近傍に結像し、レンズアレイの後の集光レンズを用いてレンズアレイからの出力光を高精細カメラに集めて撮影する。また、表示系では、撮影した要素画像を高精細ディスプレイで表示し、各要素画像に各要素レンズが対応するように再生用レンズアレイを配置することで3次元映像を再生する。

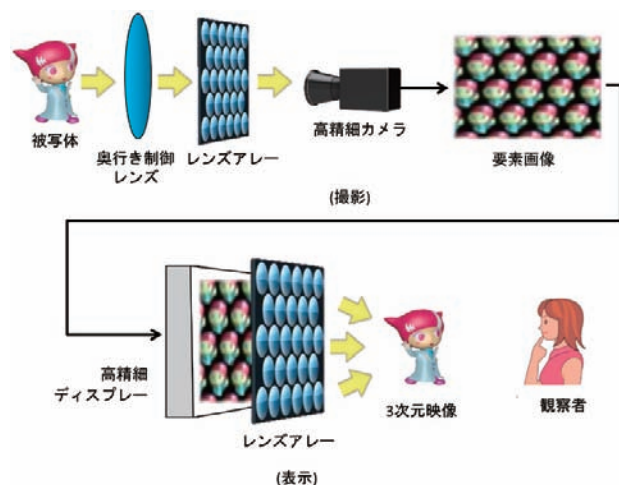
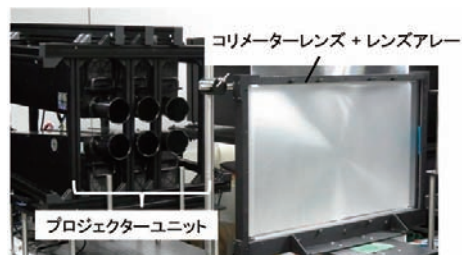
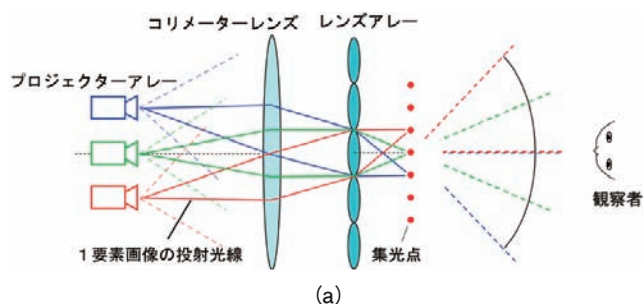
本方式では、撮影と表示側の両方に凸レンズで構成されるレンズアレイを使用すると、再生時に凹凸が反対の3次元映像が観察される。これを回避するには、凸レンズを使用して撮影した各要素画像に対して180度回転させた光学像を形成すればよい。それを実現する方法として、撮影用レンズアレイに屈折率分布（GRIN：Gradient Index）レン

ズアレイを用いる方式が提案されており、これにより実時間での撮影と表示が実現できる^[3]。

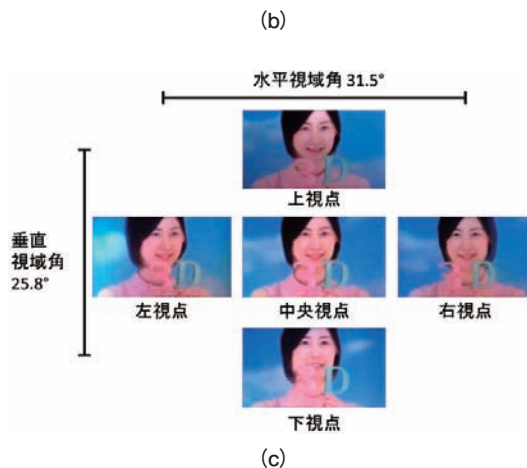
インテグラル3D方式はシステム構成がシンプルであるとともに、高精細映像技術を適用することで3次元映像の画質を向上できるため、将来の3次元テレビを実現する技術として期待されている。

インテグラル3D映像の最高解像度はレンズアレイを構成する要素レンズの数と等しくなる。そのため、3次元映像の表示性能を向上するためには、高密度で多画素なカメラやディスプレイが必要となる。そこで、8K映像や複数の映像デバイスをインテグラル3Dに应用することで、映像品質の向上を進めている^[4-6]。

複数のプロジェクターを用いることで、インテグラル3D



■図3. インテグラル3Dテレビの基本構成



■図4. 複数プロジェクターを用いた3次元映像表示
(a) 複数プロジェクターによる3次元表示の原理、
(b) 試作表示装置、(c) 各視点から観察した再生3次元映像



映像の解像度や視域角特性を向上する技術を紹介する。図4 (a) に複数のプロジェクターを用いたインテグラル3D表示の構成例を示す。位置が異なる複数のプロジェクターから、要素画像をレンズアレー上に重畳して投射表示する。所望の視域や解像度に応じて各プロジェクターの位置を最適に配置するとともに、レンズアレーに入射する光線をコリメーターレンズで平行光とすることで、均等に複数の集光点を形成できる。この集光点の数が3次元映像の画素数となるため、1つの要素レンズ内に複数の集光点を形成することで、要素レンズの数を増加することなく3次元映像の解像度を向上できる^[6]。3次元映像表示用に開発された4K解像度の小型プロジェクターを6台使用した表示装置の外観写真を図4 (b) に示す。画面の正面位置の視点では、3次元映像の画素数が要素レンズ数の6倍の約9万7千画素に高解像度化できている (図4 (c))。また、各プロジェクターの配置を工夫することで、水平方向に視域を広げることもでき、試作機では水平視域角31.5度を実現している。

2.2 視点追従インテグラル3Dディスプレイ

インテグラル3D方式では、直視型ディスプレイも使用でき、その場合は薄型で小型軽量のディスプレイに適した特徴を有する。そのため、個人視聴用途の携帯型端末3Dディ

スプレーとして、早期に実用化できる可能性が高い。しかし、従来方式では、3次元映像が観察できる視域が狭く、映像品質も低いのが課題であった。今回、観察者の瞳の位置を検出し、その位置に応じた3次元映像を再生する視点追従による3次元映像表示技術を開発し^[7]、視域の拡大と表示映像の高品質化を実現した。

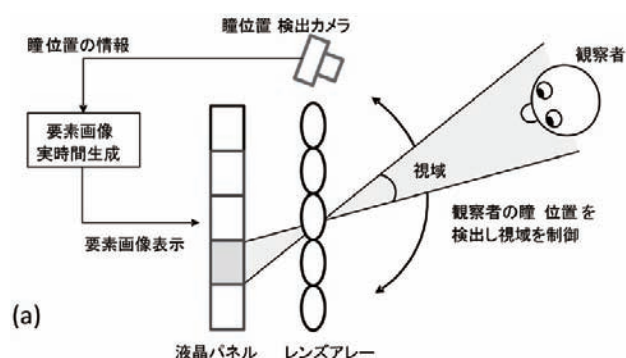
技研公開2019で展示した視点追従インテグラルの基本構成と外観写真を図5に示し、その仕様を表に示す。ディスプレイ上部に取り付けた瞳位置検出装置 (小型カメラ) で観察者を撮影し、人の動きに応じて瞳の位置をリアルタイムで検出する。瞳の位置データを基に、3次元CGモデルデータよりその瞳位置に応じて、各レンズアレーに対応する要素画像を実時間で計算し生成して、液晶ディスプレイに表示する。

液晶ディスプレイには、高精細かつ高密度な特性が要求されるため、今回の試作装置では、画面サイズ9.6インチの4Kディスプレイを用いて、画素密度457.7ppi (pixel per inch) で要素画像を表示した。また、3次元映像の最高画素数は、レンズアレーを構成するレンズ数で決まるため、従来の約半分の大きさの直径0.5mmの微小レンズで構成されたレンズアレーを製作し、解像度の向上を図った。

観察者の瞳位置に応じて、要素画像を実時間で生成する

■表. 視点追従インテグラル3Dディスプレイの仕様

液晶ディスプレイ	画素密度	457.7 ppi
	画素ピッチ	55.5 μ m
	画素数	3840 × 2160 (4K)
レンズアレー	レンズピッチ	0.5 mm
	焦点距離	2.0 mm
	レンズ構造	ハニカム構造 (30°回転)
	要素画像数	246(H) × 480(V)



■図5. 視点追従インテグラル3Dディスプレイの (a) 構成と (b) 外観写真



■図6. 視点追従インテグラル3Dディスプレイを各視点位置から観察した場合の画像



ことで、3次元映像を広い範囲で観察できる。今回の試作機では、従来の直視型ディスプレイを使った表示装置に対して、水平視域角を約3.3倍の81.4度、垂直視域角を従来の約6.6倍の47.6度に向上できた(図6)。

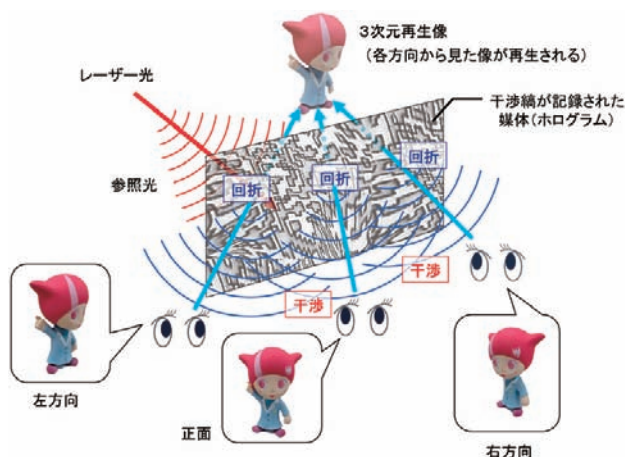
また、ディスプレイ表面のレンズアレーにより形成される視域は、両眼をカバーする狭い範囲で良いため、従来よりも再生する光線密度を水平垂直ともに約2倍に高くすることができ、これにより再生される3次元映像の奥行き再現範囲も拡大できた。

空間像再生方式は、3次元映像を観察する際に人の視覚機能に負担をかけずに、自然な3次元映像表示が可能であるため、様々な環境で視聴する3次元テレビに適した方式である。今後の課題は、実用化に向けたさらなる表示映像の高精細化や奥行き再現性の拡大などである。また、3次元映像の撮影技術や圧縮符号化技術の研究開発にも取り組み、3次元テレビの実用化を進めていく。

3. 広視域ホログラフィー表示デバイス

3.1 ホログラフィーの原理

ホログラフィー^[8,9]では、光の干渉と回折を用いて物体から出射される光の波面を忠実に再現できるため、そこに本物が存在するかのような、リアルな3次元映像を表示することができる。原理的に究極の3次元表示技術として知られている。図7にホログラフィーの再生原理を示す。干渉縞が記録された媒体に、参照光としてレーザー光など位相の揃った光を照射すると、干渉縞のいたところで回折が生じて空間で干渉し、様々な方向からの像を再生することができる。図8に静止画ホログラフィーの一例を示す。感光性の記録材料が塗布された薄いシートに、実物からの光(物



■図7. ホログラフィーの再生原理



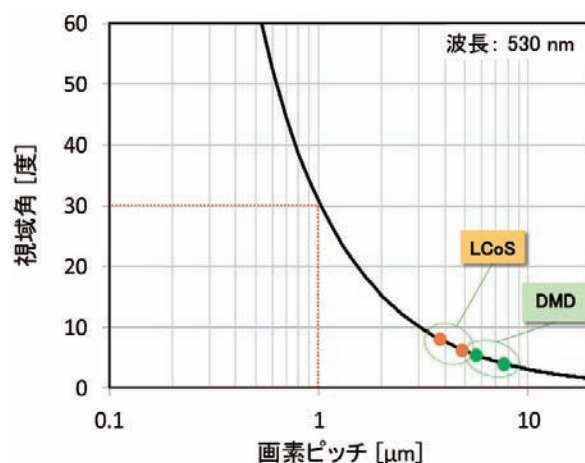
(a) 左方向 (b) 正面 (c) 右方向

■図8. 静止画ホログラフィーの一例

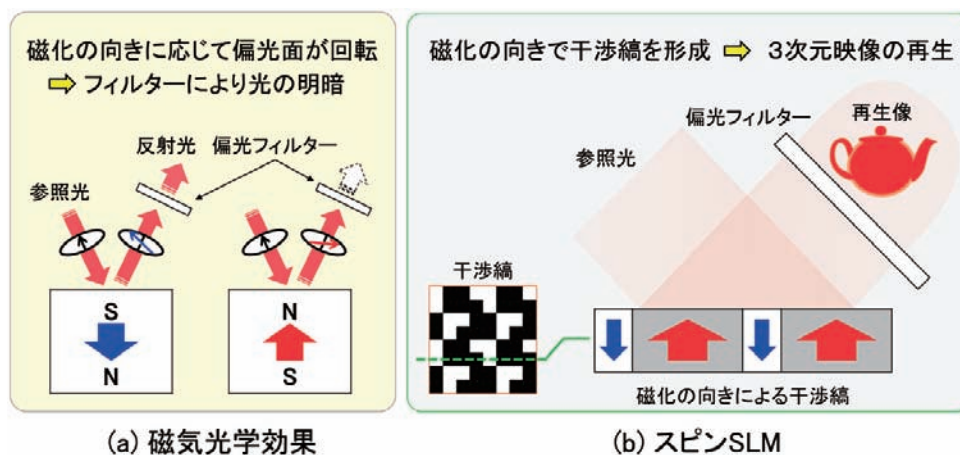
体光)に参照光を重ねた光を照射し、干渉縞が記録されたものである。見る角度に応じた映像が忠実に再現されており、奥行き深いリアルな3次元映像を確認することができる。干渉縞が記録された媒体をホログラムと呼び、ホログラムを用いて像を再生するなどの技術をホログラフィーと呼ぶ。このホログラムを空間光変調器 (SLM: Spatial Light Modulator) と呼ばれる表示デバイスに置き換え、干渉縞を高速に切り替えて表示することで、3次元映像を動画で再生することが可能となる。

3.2 スピン空間光変調器

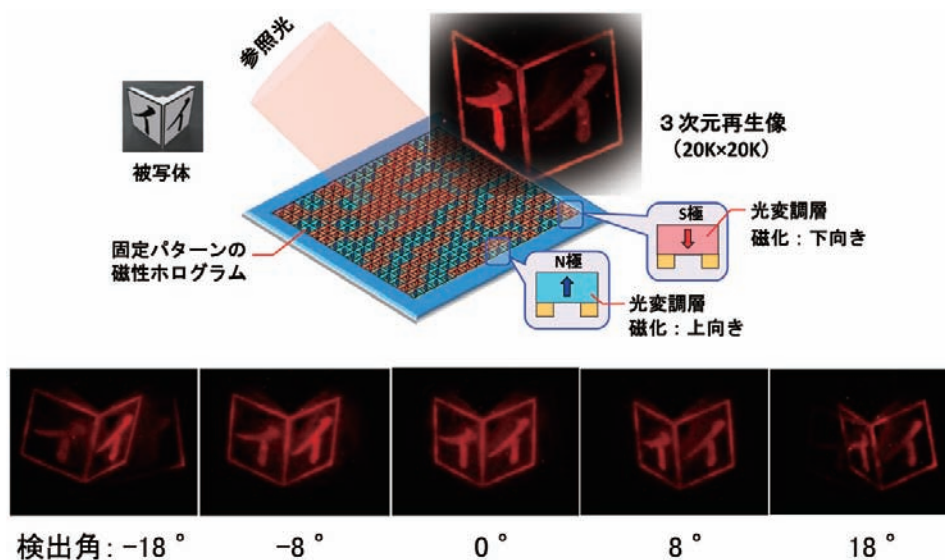
広い視域で3次元映像を表示するためには、SLMの画素ピッチを光の波長程度に十分小さくしなければならない。波長530nmの光で再生した3次元映像の視認できる範囲(視域角)とSLMの画素ピッチの関係を図9に示す。30度以上の視域角を得るためには、1μm以下の画素ピッチが必要であることが分かる。代表的なSLMとして、反射型液晶(LCoS: Liquid Crystal on Silicon)やデジタルマイクロミラーデバイス(DMD: Digital Micromirror Device)などが知られて



■図9. 視域角の画素ピッチ依存性



■ 図10. 磁性体によるホログラム再生



■ 図11. 固定パターンの磁性ホログラムによる再生像

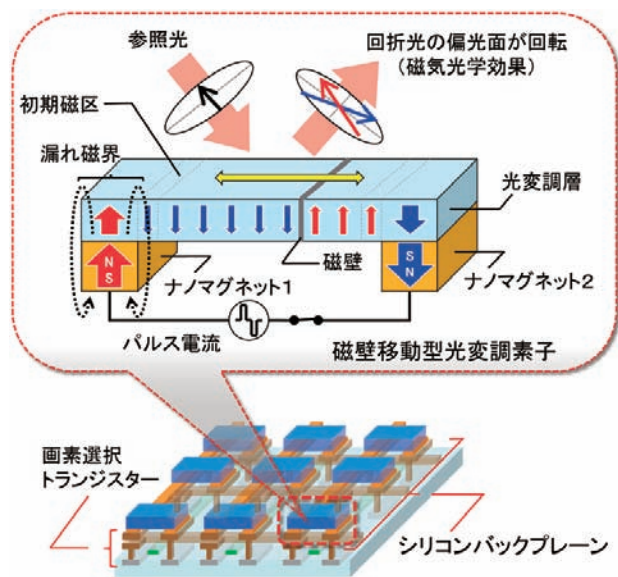
いる。現在のところ、LCoSでは画素ピッチ $3.8\mu\text{m}$ 程度、DMDでは $5\mu\text{m}$ 程度のSLMが開発されているものの、視域角は 10 度以下である。いずれのデバイスも、狭画素ピッチ化が困難であるため、当所では微小な磁性体を画素に用いたスピンSLM^[10-12]を提案し、研究開発を進めている。

スピンSLMは、微小な磁性体を画素に用いた光変調デバイスである。図10 (a) に示すように、異なる磁化方向 (上向きまたは下向き) の磁性体に偏光した光を参照光として照射すると、磁化の向きに応じて反射光の偏光面が異なる向きに回転する。これは磁気光学効果と呼ばれる現象であり、反射光の先に偏光フィルターを設けることで、一方の磁化方向 (ここでは下向き) の磁性体で反射した光のみを取り出すことができる。回折した光についても、同様の現

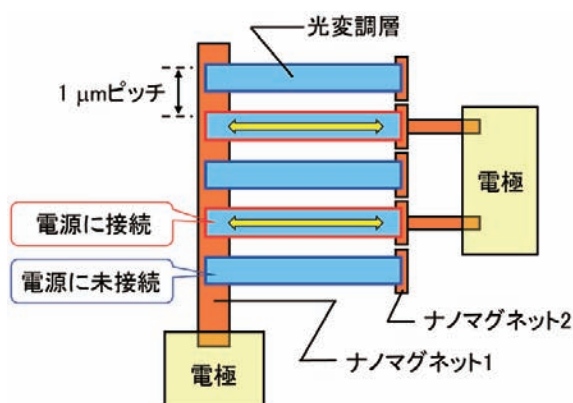
象が生じるため、図10 (b) に示すように、異なる磁化方向で干渉縞を形成し、これに参照光を照射することで3次元映像を再生することができる。

図11は、スピンSLMと同一の磁性材料を用いた固定パターンの磁性ホログラム (画素ピッチ $1\mu\text{m}$ 、画素数 $20\text{K}\times 20\text{K}$ 相当) によるホログラム再生像である。被写体は、直角に組合せた2つの面に文字「I」をそれぞれ貼り付けたものとし、波長 633nm のレーザー光により、検出角が $-18^\circ\sim 18^\circ$ の広い範囲 (視域角 36°) で再生像を得た。

干渉縞を高速に切り替えて表示するSLMを開発するため、図12に示すような、画素選択トランジスター上に磁壁移動型光変調素子^{[13] [14]}を備えたスピンSLMの研究を進めている。磁壁移動型光変調素子は、磁化方向の異なる2つ

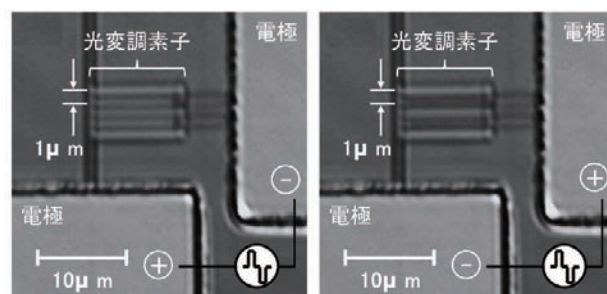


■図12. 磁壁移動型スピンSLM



■図13. 試作した磁壁移動型光変調デバイスの概要

のナノマグネットを橋渡しするように、1つの光変調層を設けた構造となっており、ナノマグネットから漏洩する磁界(漏れ磁界)によって、光変調層のナノマグネット近傍の磁化は固定され、初期磁区を形成する。2つのナノマグネットを通じてパルス電流を流すと、初期磁区が拡大(または縮小)し、光変調層の大部分を同一の磁化方向に反転させることができる。光変調層の磁化の向きは、パルス電流の流す向きにより制御することが可能であり、電流を流した後は、磁性体のメモリー機能によって、磁化の向きが記憶される。素子をアレー化したスピンSLMに偏光した光を参照光として照射すると、上述のとおり、再生像を得ることができる。また、磁性体の電氣的な応答速度は非常に高速である。本デバイスでは、100nsの駆動に成功しており^[15]、LCoSに比べて3桁程度速い。



(a) ON表示(パルス電流:左→右) (b) OFF表示(パルス電流:右→左)

■図14. 磁壁移動型光変調デバイスの基本動作実証

今回の技研公開では、磁壁移動型光変調素子の原理検証を行うため、図13に示すように、幅500nm、長さ10μmの光変調層を5個並べた磁壁移動型光変調デバイスを作製し、その基本動作をご覧いただいた。上から偶数番目の素子には電源を接続しており、電流駆動による光変調動作の結果を図14に示す。図14(a)は、パルス電流を左から右へ注入した後(ON表示)であり、図14(b)は右から左へ注入した後(OFF表示)である。パルス電流の流す向きによって、偶数番目の素子における光変調動作を実証した^[15]。さらに、1μmピッチの超微細な画素選択トランジスターで十分に駆動可能な0.8mAのパルス電流による光変調動作も確認している^[14]。今後、画素選択トランジスターアレー上に光変調素子を実装し、ホログラム再生の検証を行う予定である。

4. AR・VR

4.1 高精細VR映像

多様な視聴スタイルに対応するダイバースビジョンの一つとして、高い没入感と臨場感を兼ね備えた高精細なVR映像の放送応用の研究を進めている^[16]。2018年12月には4K/8K衛星テレビジョン放送が開始された。一方で、VR技術の発展とともにヘッドマウントディスプレイ(HMD)が市場を拡大しつつあり、360度の全天周映像を楽しめるようになってきている。しかし現行のHMDは、8Kテレビジョンに比べて表示解像度が低いため、リアリティーのある表現に十分な性能を得ているとは言い難い。将来は、これまでのテレビの枠を超えた没入感とリアリティーある表現が可能な高精細なHMDや、個人視聴用のドーム型ディスプレイを実現することで、これまでに経験したことのない新たな映像視聴を楽しめるようになると考えられる(図15)。

技研公開2019では、将来想定される高精細なVR映像の制作を、複数の8Kカメラを用いて試みた。また、このVR映像を多くの方にご覧いただけるよう、大型の円筒スクリー



■ 図15. 高精細VR映像による将来の視聴イメージ



■ 図17. 表示装置



■ 図16. 高精細VR映像撮影装置



■ 図18. 180度の円筒スクリーンによる高精細VR映像

ンに複数のプロジェクターで投影する表示システムを構築し、高精細なVR映像を体験できるデモ展示を行った。

(1) 高精細VR映像の撮影と制作

高精細VR映像として、ヒトが目で実世界を見ている状態に近づくような映像の制作を目指した。視力1.0のヒトが画面の画素構造を検知できる限界となる画素密度は30cpd (cycle per degree) である。また、ヒトが頭部を固定したまま知覚できる範囲は、中心視野から周辺視野まで含めて水平視野角で200度程度とされている^[17]。会場に設置するスクリーンの制限もあり、本映像は180度の視野角で30cpd以上となるよう、3台の8Kカメラを放射状に並べて撮影した(図16)。撮影方向の異なる映像を統合(スティッチング)することで、8Kを超える高解像度の180度映像を取得し、広視野な映像を制作した。

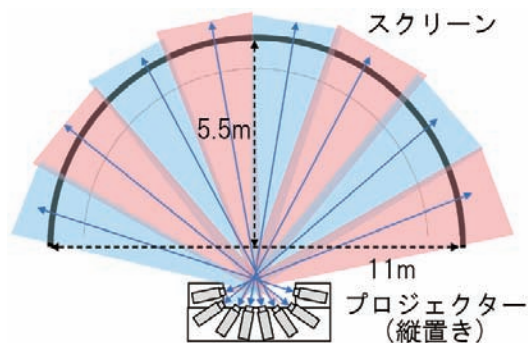
(2) 高精細VR映像の表示と再生

8台の4K解像度のレーザープロジェクター(図17)を並べ、

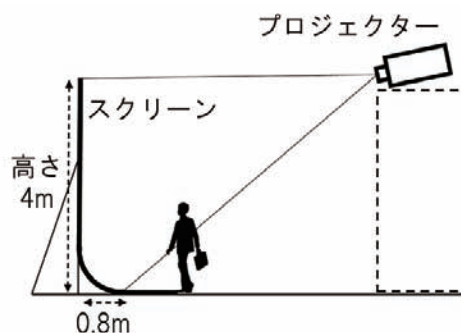
180度の円筒スクリーンに高精細VR映像を投影し表示した(図18)。

スクリーンは、ヒトの水平視野をなるべくカバーでき、スクリーン内で来場者が見たい方向の映像を自由に選択できるよう、開口11m、高さ4m、水平視野角180度の円筒形状とした。さらに垂直方向には映像の連続性を考慮し没入感を高められるよう、下部を手前に湾曲させた形状とした(図19)。

映像再生は、設計した大型円筒スクリーンの3次元形状を考慮し、8Kを超える解像度の正距円筒図(equirectangular)形式のVR用映像を実時間で幾何補正しながら8台のプロジェクターに分割し、つなぎ目が目立たないようにブレンディングさせながらスクリーンに表示した。音声は、中心の聴取位置に向けて、前面のスクリーン上下にそれぞれ7台、頭上から1台、低域再生用に2台の合計17台のスピーカーによる立体音響を構成し映像と共に再生した。技研公開2019では、独自に撮影した『東京湾、川下り、水族館、祭り、オーケストラ』に関する7つの高精細VR映像をデモ上映した。



平面図



断面図

■図19. 円筒スクリーンの模式図

来場者からは、高精細であたかもその場所にいるかのような現実感に加え、視野がこれまでのテレビよりも広く映像で覆われることで、没入感を感じたなどの感想を頂いた。

将来は、テレビの枠にとらわれず、視聴者が見たい方向の映像を視聴することができ、従来のテレビでは体験できない高い没入感と臨場感でコンテンツを様々な視聴スタイルで楽しむことができると考えられる。今後は、人間の視覚特性に近い高精細なHMDの開発などの検討も進めていく予定である。

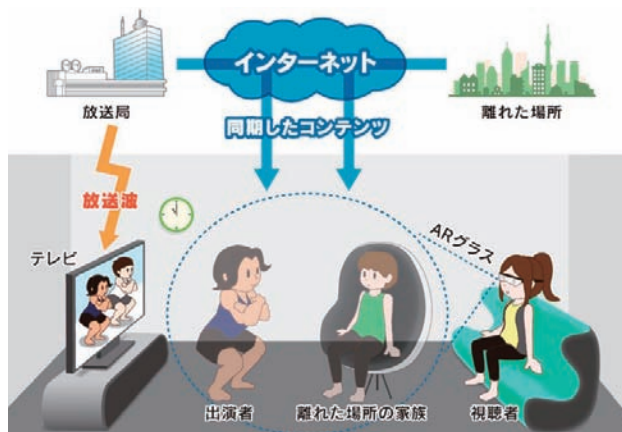
4.2 ARを活用したテレビ視聴スタイル

AR技術を活用した将来の新しいテレビ視聴サービスの研究にも取り組んでいる^[18]。ここでは、映像体験を抽象化し、メディアがどのような価値を提供すべきであるかという目的から検討を進めている「空間共有」について紹介する。

番組視聴における「空間共有」とは、視聴者がバーチャルまたはリアルに同一空間に存在し、かつ、番組のコンテ

クトを共有することと定義している。AR・VR技術の高い空間表現力により、バーチャルな人物の言動や表情から番組に対する関心度や感情が伝わるのが期待でき、同一空間にいると考えることができると考えられる。また、放送には、同報性・同時性を備える番組編成などをきっかけとして共通の体験を生み出すという大きな特徴があり、本質的に同一空間でコンテキストを共有することにより、従来のリビングやライブ会場、スタジアムでの一体感と同様に、一緒に見る家族や友人等を、より身近に感じられるという効果が期待される。

技研公開2019では、ARグラスやタブレット・スマートフォンを通して見ると、あたかもテレビ画面から出てきたかのような出演者を身近に感じながら、離れた場所にいる家族や友人と一緒にテレビを視聴するスタイル(図20)を提案した。図21に示すように、ARグラスやタブレットを通して見ると、出演者や家族・友人の3次元映像が等身大で合成表示され、



■図20. ARを活用したテレビ視聴スタイル



■図21. ARグラスやタブレットを通して表示されるバーチャルの出演者(左)や家族・友人(右)



■ 図22. 過去の番組をARで当時の自分と一緒に視聴



■ 図23. 「みんなで筋肉体操」の空間共有の体験デモ

空間を共有しながらテレビを視聴することができるというものである。

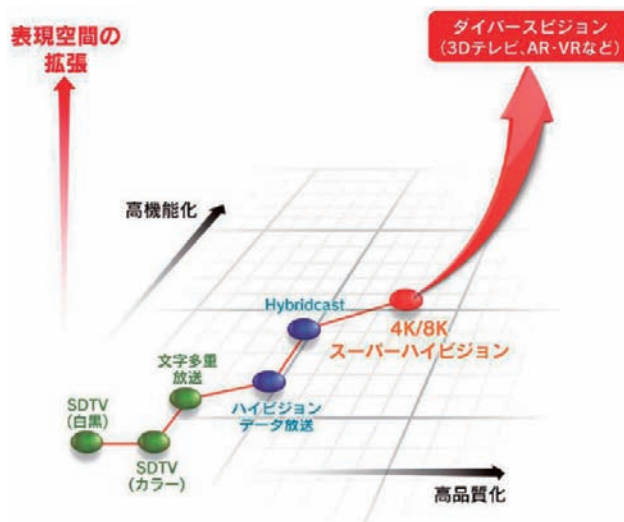
技研公開では、さらにARグラスが普及した近未来の空間共有として、「過去の番組を視聴当時（5歳の設定）の自分と一緒に見る」というコンセプトを、HMDによる360度映像で疑似体験していただいた（図22）。「過去の自分や家族」というのは、例えば過去の番組を再生した時に、その番組を見ていた家族の映像があれば、その映像から人物像を切り出して表示することを想定している。過去の人物は、写真から3次元CGモデルを自動生成する技術^[19]などにより3次元映像化することも考えられる。

2019年6月のイベント「みらいのひみつきち」では、テレビ番組「みんなで筋肉体操」を題材として実際に一種の空間共有を体験できるデモを展示した（図23）。体験者は、ARグラス（Microsoft HoloLens）を装着して専用ブースに

入ると、テレビ画面に表示された体操のトレーナーが画面をまたいで飛び出してくるのが見える。その後、画面から飛び出してきたバーチャルトレーナーの指示に従ってスクワットをする、という内容である。トレーナーが飛び出すテレビの映像とバーチャルトレーナーの3次元モデルを同期させることでスムーズな飛び出し表現とした。また、ブース外にいる体験者以外の人にも体験を伝えられるように第三者視点のモニターを設置した。図23のように、第三者視点モニターを見ていた体験者の家族と一緒にスクワットをしたり、ブース内とモニターを見比べて楽しむなど、期待した一体感が生まれたと考えられる。

5. まとめと今後の展望

3次元空間に新たな視聴体験をもたらす空間表現メディアの実現に向けた研究事例を紹介した。図24に示すように、これまでテレビ放送は2次元映像サービスの“高品質化”と“高機能化”の両面で進化してきた。空間表現メディアは、3次元テレビやホログラフィー表示デバイス、AR・VRなどの技術によって進化のワクを広げ、「表現空間を拡張」したサービスを提供する未来のメディア技術である。今後は、2次元映像コンテンツに加えて、3次元テレビやAR・VRなどの多彩なコンテンツを制作する将来のスタジオ技術、これらを種々のデバイスに届ける伝送技術、そして多様な視聴スタイルを実現する表示デバイスなどの要素技術の研究開発を進めていく。



■ 図24. 表現空間を拡張する未来のメディア技術



参考文献

- [1] Lippmann, G. "Epreuves reversibles donnant la sensation du relief," J. Phys. (4th series) 7, 821-825 (1908)
- [2] Okano, F., Hoshino, H., Arai, J., and Yuyama, I., "Real-time pickup method for a three-dimensional image based on integral photography," Appl. Opt., 36 (7), 1598-1603 (1997)
- [3] Arai, J., Okano, F., Hoshino, H., and Yuyama, I., "Gradient-index lens array method based on real-time integral photography for three-dimensional images," Appl. Opt., 37 (11), 2034-2045 (1998)
- [4] Arai, J., Okano, F., Kawakita, M., Okui, M., Haino, Y., Yoshimura, M., Furuya, M., and Sato, M., "Integral three-dimensional television using a 33-megapixel imaging system," J. of Disp. Tech. 6 (10), 422-430 (2010)
- [5] Okaichi, N., Miura, M., Arai, J., Kawakita, M., and Mishina, T., "Integral 3D display using multiple LCD panels and multi-image combining optical system," Opt. Exp., 25 (3), 2805-2817 (2017)
- [6] H. Watanabe, M. Kawakita, N. Okaichi, H. Sasaki, M. Kano, and T. Mishina, "High-resolution spatial image display with multiple UHD projectors," Proc. SPIE 10666, 106660Y (2018)
- [7] 岡市直人、佐々木久幸、渡邊隼人、久富健介、河北真宏、"8K ディスプレイを用いた視点追従型インテグラル3D映像表示," 映像情報メディア学会冬季大会、23D-3 (2018)
- [8] D. Gabor : "A New Microscopic Principle," Nature, Vol.161, No.4098, pp.777-778 (1948)
- [9] E. N. Leith and J. Upatnieks: "Wavefront Reconstruction with Diffused Illumination and Three-dimensional Objects," J. Opt. Soc. Am., Vol.54, No.11, pp.1295-1301 (1964)
- [10] K. Aoshima, H. Kinjo, K. Machida, D. Kato, K. Kuga, T. Ishibashi, and H. Kikuchi : "Active Matrix Magneto-Optical Spatial Light Modulator Driven by Spin-Transfer Switching," J. Display Tech., Vol.12, No.10, pp.1212-1217 (2016)
- [11] H. Kinjo, K. Aoshima, N. Funabashi, T. Usui, S. Aso, D. Kato, K. Machida, K. Kuga, T. Ishibashi, and H. Kikuchi : "Two Micron Pixel Pitch Active Matrix Spatial Light Modulator Driven by Spin Transfer Switching," electronics, Vol.5, No.3, 55 (2016)
- [12] 船橋信彦、金城秀和、青島賢一、加藤大典、麻生慎太郎、久我 淳、町田賢司、菊池 宏 : "電子ホログラフィ用スピン注入型空間光変調器の研究," 映像情報メディア学会誌、Vol.71, No.4, p. J131-J136 (2017)
- [13] K. Aoshima, R. Ebisawa, N. Funabashi, K. Kuga, K. Machida, "Current-induced domain-wall motion in patterned nanowires with various Gd-Fe compositions for magneto-optical light modulator applications," Jpn. J. Appl. Phys., vol.57, no.9S2, 09TC03, p.09TC03.1-09TC03.4 (2018)
- [14] 東田 諒、船橋信彦、青島賢一、町田賢司 : "電子ホログラフィ応用を目指したWスピン磁壁移動型光変調素子," 映像情報メディア学会年次大会講演予稿集、32C-3 (2018)
- [15] 船橋信彦、東田 諒、青島賢一、町田賢司 : "磁壁移動型スピン光変調素子の高密度1次元アレイ試作," 映像情報メディア学会年次大会講演予稿集、33D-4 (2019)
- [16] 小出大一、吉野数馬、川喜田裕之、久富健介 : "複数8Kカメラを用いた高精細VR用高没入感映像制作の一検討," 映情技報vol.43, no.10, BCT2019-47, pp.45-48(Mar.2018)
- [17] 畑田豊彦 : "情報受容と視野特性の計測", 人間工学、第29巻、特別号、S4-06, pp.86-88 (1993)
- [18] 川喜田裕之、吉野数馬、小出大一、久富健介、"3D空間における2D動画の形態に関する検討", HCGシンポジウム2018、HCG2018-I-1-1 (2018)
- [19] Saito Shunsuke, et al. "PIFu: Pixel-Aligned Implicit Function for High-Resolution Clothed Human Digitization." arXiv preprint arXiv:1905.05172 (2019)