

AR等のコンテンツ制作技術 活用ガイドライン 2020

2021年3月

特定非営利活動法人 映像産業振興機構

目次

第1章 はじめに.....	1
1.1 本ガイドラインの目的及びフォーカスする領域.....	1
1.2 本ガイドラインの作成.....	1
1.3 ARとは何か.....	3
1.3.1 AR.....	3
1.3.2 MRとXR.....	4
1.3.3 ARの歴史と日本.....	6
1.4 VR/AR等のコンテンツ制作を取り巻く現状.....	7
1.4.1 2020年までの市場の状況.....	7
1.4.2 コンテンツの提供方法.....	12
1.4.3 ARの特徴.....	14
1.4.4 ARのメリット.....	17
第2章 ARを取り巻く現状と未来.....	20
2.1 ARの分類.....	20
2.1.1 ディスプレイ（ハードウェア）の分類～何で見るか～.....	20
2.1.2 拡張対象の分類～何を見るか～.....	27
2.1.3 活用分野の分類～何に使うか～.....	31
2.2 ARを実現する技術.....	37
2.2.1 ハードウェアの要素技術.....	37
2.2.2 ソフトウェア.....	40
2.3 5GなどARに関連する技術分野の動向.....	42
2.3.1 5G.....	42
2.3.2 リモートレンダリング.....	43
2.3.3 ARクラウド（GPSベース・点群・画像）.....	44
2.3.4 屋内外測位技術（GPS、VPS、UWB）.....	46
2.4 ARと社会的ルール.....	47
2.5 今後のARの中長期的な展望.....	49
第3章 ARコンテンツ制作.....	51
3.1 ARコンテンツ制作のワークフロー.....	51
3.2 ARコンテンツ制作の課題.....	56
3.2.1 技術的課題.....	56
3.2.2 経済的課題.....	57
3.2.3 運用における注意点.....	58
3.3 高品質なAR体験のための開発Tips.....	58
第4章 活用事例紹介.....	62
参考文献.....	69
【参考】AR用語集.....	69

第1章 はじめに

1.1 本ガイドラインの目的及びフォーカスする領域

本ガイドラインは、これまでに学術分野や開発者コミュニティで共有されてきた、ARコンテンツ制作における知見をまとめた文書である。ARという概念の解説、現在のコンテンツの市場、コンテンツを制作する具体的な手法や、体験を上質なものにするための留意点などが含まれる。ARコンテンツ市場の活性化を目的とし、2021年に各分野の有識者により作成された。対象となる読者には、まだARコンテンツの制作を経験したことのない開発者やクリエイター、ARを使ったプロモーションを考えている広告代理店、地域の観光振興としてARを活用したいと考えている自治体など、これから事業にAR技術を取り入れることを検討している人々が想定されている。

AR技術は現在も日進月歩で発展を続けている。またスマートフォンでARができるようになったことは、モバイルなAR体験を急速に普及させている。カメラ映像にCGを重畳する「フィルター」としての利用を筆頭に、スマートフォンはAR体験の最も身近なインターフェースとなりつつある。他方、グラス型デバイスの研究開発も各社で盛んに行われており、ハンズフリーなAR体験が主流となる未来も期待されている。さらにはプロジェクションマッピングをはじめとする環境投影型のAR体験も一定の認知を得ており、至る所でパフォーマンスに取り入れられている。

本ガイドラインを読むにあたって、この文書がAR体験のための技術とハードウェア、コンテンツが群雄割拠の状態にある2021年に作成された点に注意されたい。共有された知見は、必ずしも正しいとは限らず、今後更なる改良がなされたり、例外が発見されたりする可能性がある。今後必要に応じて、本ガイドラインは更新される。

1.2 本ガイドラインの作成

本ガイドラインは、特定非営利活動法人映像産業振興機構から一般財団法人デジタルコンテンツ協会が受託して作成された。報告書の内容については、「VR/AR等のコンテンツ制作技術活用ガイドライン検討委員会」において検討を行った。

本報告書の元になるものとして、経済産業省 平成29年度「先進コンテンツ技術による地域活性化促進事業」にて作成した『VR等のコンテンツ制作技術活用ガイドライン 2018』がある。上記報告書においても一部ARについて取り扱っているが、昨今、様々な分野において、急速に取り組みが進められているARに特化したガイドラインの必要性が求められており、別冊版として『AR等のコンテンツ制作技術活用ガイドライン 2020』を作成することとした。

また『VR等のコンテンツ制作技術活用ガイドライン2018』についても、一部古くなった情報に関するリバイスを行い、『VR等のコンテンツ制作技術活用ガイドライン 2020』の作成を行ったが、本委員会では『AR等のコンテンツ制作技術活用ガイドライン 2020』についてのみ、検討を行っている。

表 VR/AR等のコンテンツ制作技術活用ガイドライン検討委員会 名簿

委員長	廣瀬 通孝	東京大学	名誉教授 先端科学技術研究センター 特任研究員
委員	清川 清	奈良先端科学技術大学院大学	先端科学技術研究科 情報科学領域 サイバネティクス・リアリティ工学研究室 教授
委員	中村 薫	株式会社ホロラボ	Co-Founder, CEO
委員	山口 征浩	株式会社Psychic VR Lab	代表取締役

本委員会には株式会社Moguraが参画し、本ガイドラインの執筆も担当している。また執筆にあたって、制作現場で実際に採用されている制作ワークフローや制作上の知見を把握するため、以下の企業にヒアリング調査を行った。

表 ヒアリング調査協力企業一覧

株式会社インフォーマティクス Informatix Inc. 株式会社Psychic VR Lab Psychic VR Lab Co., Ltd. 株式会社ティーアンドエス THINK AND SENSE トヨタ自動車株式会社 TOYOTA MOTOR CORPORATION 株式会社ホロラボ HoloLab Inc. 株式会社MESON MESON, INC.
--

1.3 ARとは何か

1.3.1 AR

AR (Augmented Reality; オグメンテッドリアリティ) は、現実環境が生み出す感覚情報を、計算機で編集（付加・削除・強調・減衰など）する技術である。一般的には、グラス型デバイスやスマートフォンなどの「フィルター」を通じて、現実の見え方に視覚情報を付加する技術として扱われることが多い。

ARという言葉は、1990年代に行われた研究が端緒であるとされている¹。ボーイングの T. CaudellとD. Mizellが、1992年にワイヤー束の配線工程を透過型ヘッドマウントディスプレイに表示する作業支援システムを発表する際、Augmented Realityという用語を使用した。近年では、スマートフォンをプラットフォームとする視覚のARが、市場において大きな盛り上がりを見せており、ARという言葉は徐々に日常生活に浸透しつつある。2016年にリリースされて以降、世界的ヒットを記録している位置情報ゲーム『ポケモン GO』やSNSアプリ『Snapchat』、『Instagram』等で顔のデコレーションなどに利用される「フィルター」（カメラ映像にCGを重畳する機能）はその筆頭だろう。



図：ポケモン GO²

¹ Thomas, P. C., and W. M. David. "Augmented reality: An application of heads-up display technology to manual manufacturing processes." Hawaii international conference on system sciences. 1992.

² <https://pokemongolive.com/ja/>

ARの定義としては、Ronald Azumaが1997年に既存のAR研究を総説した際に提案されたもの³が広く参照されており、以下の要素を満たす技術とされる。

- 現実とバーチャルの組み合わせである
- 実時間で動作するインタラクティブ性を備えている
- 三次元空間的な整合性が取れている

この定義の中にデバイスの形状や刺激する五感を限定するような記述が見られないように、ARは「視覚」の「付加」を超えた、より広い可能性を持っている。仮に視覚に限定したとしても、視界の中から特定の物を見つけ出して「強調」するアンプのようなシステムや、特定の物を消して見せるDR (Diminished Reality; 隠消現実感)、不要な情報を「減衰」させる引き算の技術も、ARの一種だと考えられる。当然「視覚」以外の感覚情報に関するAR技術も考えることができる。例えば聴覚情報を強調して提示する補聴器や、ノイズキャンセリング機能の付いたイヤホンなどは、現実の聴覚情報を編集してユーザーに提示していることから、聴覚のARと捉えることができる。



(b) Signboard removal

図：(左) DRの例⁴、(右) 光学迷彩(Optical Camouflage)⁵

1.3.2 MRとXR

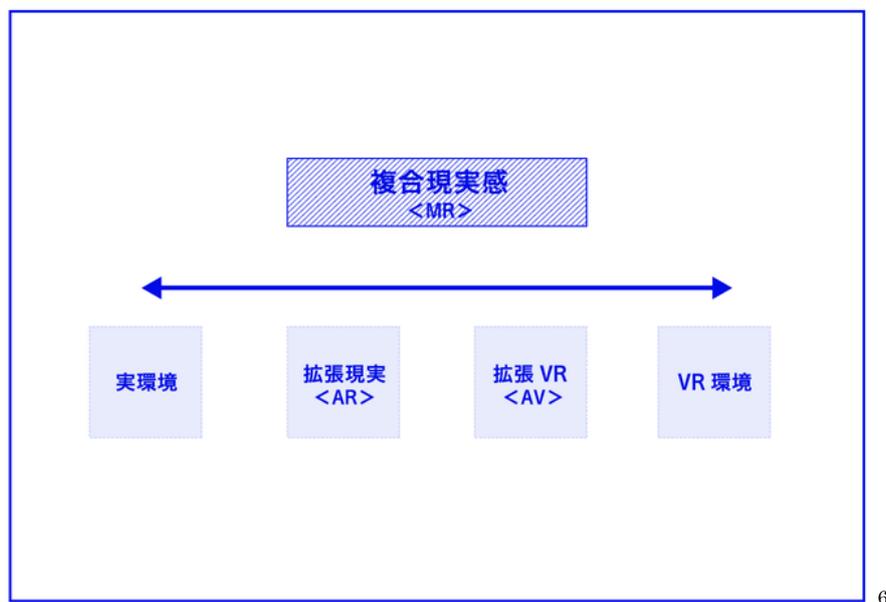
次に、ARとそれに類する言葉を紹介する。MR (Mixed Reality; 複合現実感) はその一つであり、「VR環境と現実の物質環境が融合された環境」を表す概念である [2] (図)。下図のように左端に物質からなる現実環境、右端に計算機が作り出すVR環境を置くと、この連続的なスペクトル全体がMRという概念を表す。つまりMRは、VR・AR・現実がそれぞれ独立した別の環境

³ Azuma, R. T. "A survey of augmented reality." Presence: Teleoperators & Virtual Environments 6.4 (1997): 355-385.

⁴ <https://doi.org/10.1109/TVCG.2015.2462368>

⁵ <https://star.rcast.u-tokyo.ac.jp/old/projects/5.html>

ではなく、「物質由来の環境」(モノ)と「計算機由来の環境」(CGなど)の混ざり合う比率が異なるだけの、連続的に変化していくものとして捉える考え方である。どこからがARでどこからがVRなのかと無理に区別するのではなく、(様々なデバイスが実現する)様々なリアリティがシームレスにつながり合っている環境そのものにMRという呼び名が与えられた。「物質環境が何%混じっていればARである」などといった定量的な分類をしているわけではない。こうしたMRの定義がある一方、市場で「MRデバイス」と呼ばれるものは、(既存のものより高機能な)ARデバイスであるか、または現実環境と機能的・文脈的に融合したコンテンツの提示に重きを置いたものであることが多い。



図：MRという概念を表す図。左端に現実環境、右端にVR環境を置いたとき、両者が様々な比率で混ざり合った状態の一部に、我々はARやVRなどと呼び名を与えている。

また近年では「XR」という類義語も広く使用されている。厳密な定義はなされていないが、XRはVR/AR/MRをいずれも現実(Reality)の編集に関わる同類の次世代技術・概念として捉え、ひとまとめに指す際に使われる。Xには、eXtendedやCrossを省略した文字、または他の文字が代入される変数としてのXなど、様々な解釈が存在する。MRが、AR/VRといった状態の異なる現実を地続きのものとしてまとめる概念である一方で、XRという言葉にはVR/AR/MRに関わる業界目線での表現となっている。VR向けサービス、AR向けサービスはそれぞれ異なるプレイヤーによって制作される場合が多い一方で、両者に共通する部分も多い。XRは、各分野のプレイヤーが一堂に会する際にキーワードとして用いられている。

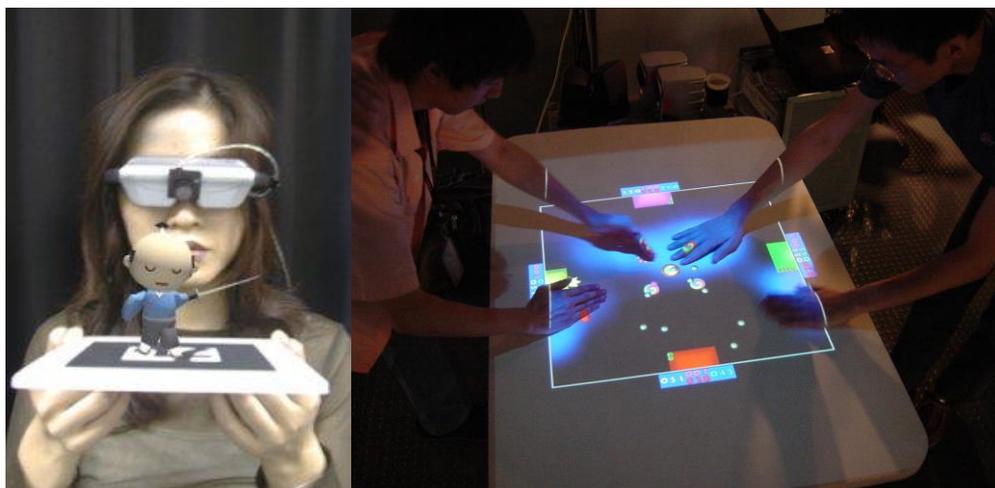
⁶ Milgram, P., & Kishino, F. (1994). A taxonomy of mixed reality visual displays. IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems, 77(12), 1321-1329.

1.3.3 ARの歴史と日本

ARという言葉の端緒が、1990年代に行われた研究にあることは先に述べた。ここでは、その技術的誕生から黎明期の分野開拓について概説する。

ボーイング社の研究者が1990年代に発表したAR技術の研究は、最終的には研究開発止まりで実用には至らなかったとされているが、既に90年代から産業への応用を意識した研究がなされていたことは注目に値する。

このAR黎明期においては、日本の先駆的な研究開発があったことには触れておきたい。例えば、先に述べたMRの概念を示した論文は、著者の一人であるPaul Milgramが90年代に日本のATR（株式会社国際電気通信基礎技術研究所）へ招聘された際、ATRの研究者と共同で執筆されたものである。さらに1997年には公的研究プロジェクトとして「複合現実感システムに関する試験研究」（通称MRプロジェクト）が始まり、半官半民の株式会社MRシステム研究所が設立されている。現在AR/MR技術を扱う国際会議として知られているISMARは、日本のMRプロジェクトの成果発表の場として開催されたシンポジウムが母体の一つとなっている。研究者の一人として、暦本純一氏（現・東京大学 教授）は、世界初のモバイルARシステムNaviCamや世界初のマーカー型ARシステムCyberCode、iPhoneに採用されたことでスマートフォンにおける「あたりまえ」となったマルチタッチシステムSmartSkinの開発者として知られている。また加藤博一氏（現・奈良先端科学技術大学院大学 教授）らは、1999年に実験室環境の外で誰もが利用できる世界初のオープンソースARソフトウェア「ARToolKit」を発表した。



図：（左）ARToolKit⁷、（右）SmartSkin⁸

⁷ <http://www.hitl.washington.edu/artoolkit/>

⁸ <https://www2.sonycs1.co.jp/person/rekimoto/smartskin/>

1.4 VR/AR等のコンテンツ制作を取り巻く現状

1.4.1 2020年までの市場の状況

2013年にGoogleがリリースした「Google Glass」は、グラス型デバイスの象徴的存在として世界的な注目を集めた。しかし、Google Glassは、あくまで視界の定位置に映像を表示することに留まっており、コンテンツに空間性がなかった。これに対して2021年現在では、「HoloLens」（2016年にMicrosoftが発売）や「Magic Leap One」（2018年にMagic Leapが発売）に代表される、現実環境にコンテンツを融合させるAR体験を実現するデバイスが登場している。こうしたデバイスは、本体に搭載されたカメラやセンサーによって現実環境の情報（平面や凹凸、ユーザーの位置など）を認識する。これにより、現実の机の上にCGのオブジェクトを「置く」、自室の壁にCGのパネルを「貼り付ける」、外出を終えて部屋に戻ってきても外出前に配置したCGがその場に残り続けているといった体験が実現する。現実環境とデジタル情報を融合する技術は、年々発展を続けている。

国内では、先に言及したHoloLensの後継として「HoloLens 2」が産業分野向けに展開しているほか、NTTドコモがMagic Leap社と提携して「Magic Leap 1」の国内販売を進めている。またNreal社が手がけるグラス型のMRデバイス「NrealLight」は、日本ではKDDIが提携することで、2019年9月末より開発者版が、2020年12月にはコンシューマー版が発売されている。



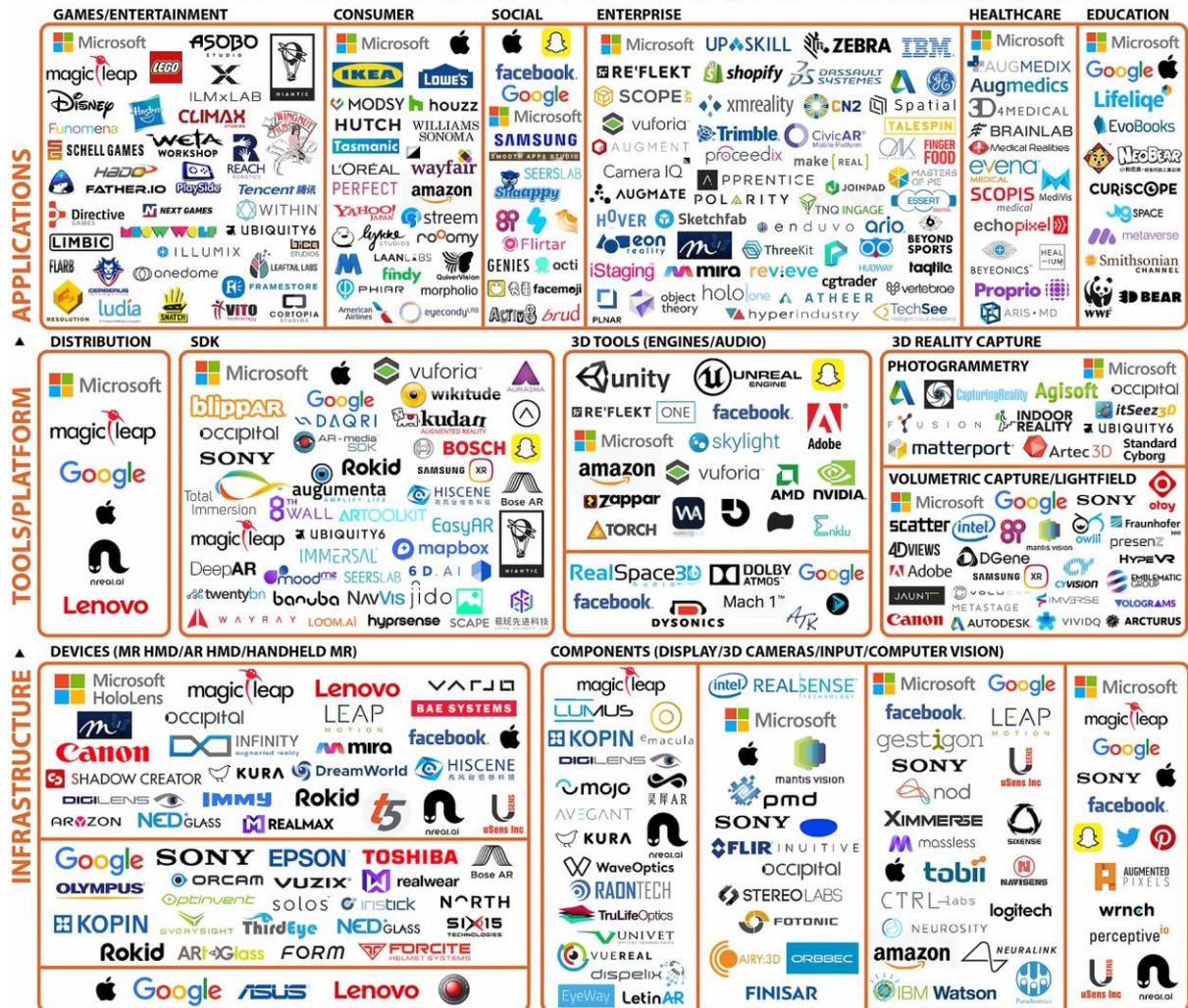
図：グラス型ARデバイスの例。（左）Nreal社の「NrealLight」はスマートフォンと接続、（右）Magic Leap社の「Magic Leap 1」は専用のLightpackと接続

こうした専用デバイスの価格はまだ数万～数十万円で、消費者が購入するには（体験価値に対して）比較的高価だとされている。そうした背景から、消費者が安価に・容易にARを体験できるプラットフォームとして広く利用されているのがスマートフォンである。スマートフォン向けのARゲーム『ポケモン GO』は、2016年にリリースされて以降、消費者向けコンテンツとして世界的なムーブメントを引き起こしている代表的な例である。

スマートフォンで体験するARコンテンツにおいても、ただカメラ画像の定位置にCGを重畳するだけに留まらず、現実の空間をセンサーで認識し、現実環境に違和感なくCGを統合して見せる方

向（例えばCGの生物が木の後ろに逃げ込んだら木に隠れて見えなくなるなど）へと技術が発展している。Appleが2017年にiOS向けのARプラットフォーム「ARKit」を、そしてGoogleが同年にAndroid向けARプラットフォーム「ARCore」をリリースしたことは、スマートフォンARの開発・体験環境の整備に大きく貢献している。両者ともスマートフォンに搭載されたカメラで現実環境の構造（平面やものの形など）を認識し、CGを現実環境へと違和感なく統合することを可能にする。リリース以降、両者ともに着実なアップデートが行われ続けており、近年では複数ユーザー間でのAR体験共有や人のモーショントラッキング、奥行きを検知など、スマートフォンで実現できるAR体験は徐々に豊かになっている。さらには、Appleが2020年にリリースしたiPad・iPhoneに距離センサーであるLiDARスキャナーが搭載されたことに象徴されるように、ハードウェア側の品質も日進月歩で向上している。

THE VR FUND 2019 AR INDUSTRY LANDSCAPE



THE VENTURE REALITY FUND

BY TIPATAT@THEVRFUND.COM

図: The Venture Reality Fundが定期的に発信しているAR領域のカオスマップ⁹ 掲載企業数は2018年から33%増加して380社を超えた。

以上で見てきたように、2016年頃から急速なARプラットフォームの整備が進み、開発ツールやコンテンツが各社から様々にリリースされてきた。2021年現在もプレイヤーの数は増え続けており、コンテンツ開発は2021年時点でまさに盛り上がっている最中である。逆に言えば、今後はプラットフォームやプレイヤーの淘汰が進む可能性も十分に考えられる。

国内ではVRと同様、インフラストラクチャー（カオスマップ下段）やツール・プラットフォーム（同中段）に従事している企業は少ない。多くの日本企業は、GAFAMを始めとするプラットフォームが提供するデバイスやSDKを用いてコンテンツ制作（同上段）を行っているのが現状である。

⁹ <http://www.thevrfund.com/>

イギリスの調査・投資会社Digi-Capitalは、ARの市場規模が将来、VRの市場規模を凌駕すると予想している。ただし、その予測に待ったをかけたのが2020年に世界的問題となったCOVID-19である。Digi-Capitalは2020年5月に、COVID-19がAR/VR市場へ与える影響について次のように分析した¹⁰。まずCOVID-19により（1）外出禁止といったロックダウン政策、（2）小売の実店舗閉鎖、（3）ネットショッピングの配送における生活必需品優先、（4）サプライチェーンの混乱、（5）景気後退、という5つの生活変化が生じる。これらは、AR/VR市場に対して次のような影響をもたらすと考察された。

○ポジティブな影響、×ネガティブな影響、-中立、△不透明

	広告	eコマース売り上げ	エンタープライズ	アプリ販売	ロケーションベース	動画視聴
(1)	○	○	○	○	×	○
(2)	×	○	-	-	×	○
(3)	×	×	×	-	×	-
(4)	×	×	×	×	×	×
(5)	×	×	×	△	×	×

¹⁰ <https://www.digi-capital.com/news/2020/04/how-covid-19-change-ar-vr-future/>



図：Microsoftが2021年3月に発表した「Mesh」¹¹ 物理世界とデジタル世界を融合させるために、AR同士、ARとVR、VR同士でのコラボレーションを可能にすることを目指す。

またARクラウド技術を開発するBlue Vision Labsが2018年にカーシェアリングの配車サービスを手がけるLyftに買収されたことに見られるように、ARクラウドに関する技術は自動運転やIoTなどとも相性がよい。ARは今後、様々な分野とコラボレーションしていく可能性がある。

1.4.2 コンテンツの提供方法

ARコンテンツの提供方法には、利用するプラットフォームやコンテンツジャンル、他コンテンツとの関係などに応じてさまざまな種類が考えられる。

企業向けのアプリケーション（例えば製造、建築、医療における作業支援や、社内教育など）は、各社がARを活用したい各々の事例に対して、開発者がカスタマイズ・コンサルティングを行うソリューションとして提供されることが多い。現場の状況やワークフロー、解決したい問題が企業ごとに多種多様であるため、一つの汎用的なアプリで全てが解決することは少ない。一方で、ある程度の汎用性をもったソフトウェアがソリューションパッケージとして販売されることもある。

他方、消費者向けのアプリケーションは、オンラインとオフラインの両方から提供されている。まず、オンラインの提供方法は、「コンテンツストア」と「Web」にの二つに大別される。

「コンテンツストア」とは、各プラットフォームが用意したアプリ配信用のストアを利用する方法である。スマートフォン、グラス型デバイスなど、各ARデバイスごとにそのプラットフォームに対応したストアサービスが提供されている場合が多い。ストアで公開されているアプリのマネタイズ方法には、アプリそのものが有料である場合、アプリ内に課金コンテンツが用意されている場合、広告効果などを期待して無料で公開される場合などがある。また、もともとAR機能を持っていなかった既存のアプリにAR機能が追加されることもある。

¹¹ <https://news.microsoft.com/innovation-stories/microsoft-mesh/>



図：スマートフォン向けゲーム「どうぶつの森 ポケットキャンプ」¹² 2020年秋に新たにARモードが追加され、ゲーム内で出会った「どうぶつ」たちと記念写真を撮るなどの遊びが可能になった。

一方で「Web」は、インターネットブラウザで特定のURLにアクセスすることでAR体験を実現する方法である。ブラウザやAPIの機能による開発上の制約はあるものの、インターネットブラウザを利用できるあらゆるデバイスでコンテンツの体験が実現できる汎用性が特徴である。



図：ブラウザで動作する8thWall¹³

オフラインのコンテンツ提供方法には、イベントの一部にAR体験の要素を取り入れるものだけでなく、AR体験そのものがイベントを成立させているケースも存在する。ARがイベントの一部である場合は、イベント会場の一角にAR体験用のスペースが設けられたり、ARアプリケーションを利用することでイベントの追加コンテンツを享受できたりするなどの活用がなされている。一方で、イベント中も常時ARアプリケーションを使用するようなコンテンツ（例えばARアプリがイベ

¹² <https://ac-pocketcamp.com/ja-JP>

¹³ <https://ar-go.jp/media/news/webar-facetimeeffect>

ントを主導するなど)も存在する。また、パフォーマンスの一部に取り入れられたプロジェクションマッピングは、既にARとは認識されないほど至る所で活用されている。

1.4.3 ARの特徴

これまで、産業・学術を問わず多様なARのユースケースが提案されてきた。教育、工業、建築、訓練、医療、ナビゲーション、広告、エンターテインメント……と様々な分野・目的で制作されてきたARコンテンツの特徴をまとめると、以下の3つに集約されていると整理することができる。

1. 物理的制約を超越したインタラクション

ARコンテンツでは、目に見える情報が物質性を伴っておらず、物理的制約を無視したインタラクティブ性を兼ね備えている。例えば、映像視聴を行うためのバーチャルモニターを実現する際、その出現と消失、位置や大きさを自在にコントロールできるために、自在なレイアウトが可能になる。道案内においては、目的地に応じてリアルタイムに標識(矢印など)を更新することもできよう。



図 : Google Map AR¹⁴

¹⁴ <https://www.moguravr.com/google-map-ar-2/>

2. 空間的情報を伴う可視化

これまでPCモニターなどで確認していた情報を、三次元の空間性や時間性を補って可視化することができる。例えば、工業ではCADモデルをその場で、実物と比較しながら、リアルタイムで見比べることができよう。また学習においては、天体や原子の可視化など、これまでビデオ教材やテキストでしか提供されていなかった情報の空間性・時間性を補った情報提示も可能になる。小売業界においては、購入前の家具を部屋に可視化してレイアウトの確認を行うことができるだろう。



図：（左）ARで遊べる！学べる！JAXAといっしょに月探査¹⁵、（右）Microsoft Guides¹⁶

ARは、これまで三次元的に提示することが難しかった情報をも可視化することを可能にする。例えば、整備・訓練・教育などの文脈で、遠隔で相手の存在する空間に三次元空間的な指示を「書き込む」こと（Gauglitz et al. 2014a, Remote Assist）や、アニメーションを用いることで時空間の両情報を損なうことなく提示することはその一例である。さらには医療教育における人の体内の可視化など、通常なら見ることでできないものを可視化することで、これまでになかった教育・作業支援に繋がることも期待されている。

¹⁵ <https://techpla.com/tansa/>

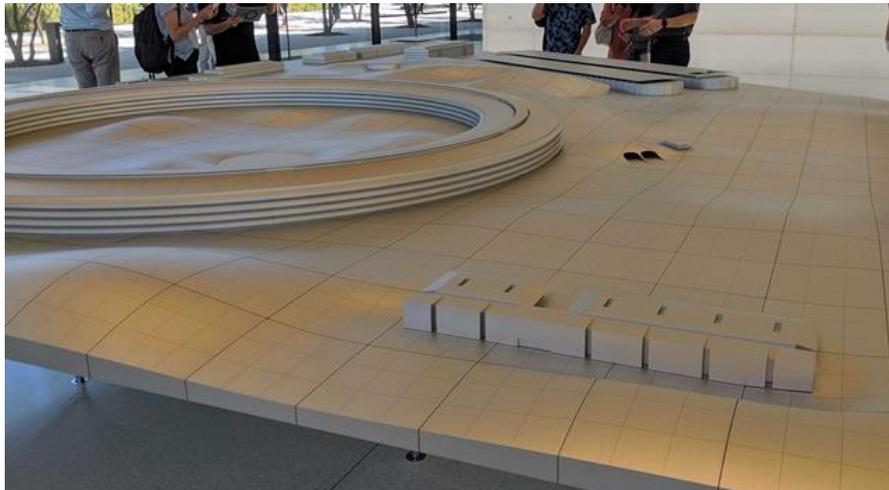
¹⁶ <https://dynamics.microsoft.com/ja-jp/mixed-reality/guides/>



図：（左）Microsoft Remote Assist¹⁷、（右）Holoeyes XR¹⁸

3. 「いま、ここ」で動作する

ARコンテンツが現実環境をベースに成立している点は、他のメディアと比べても特徴的である。これは特にVRと比較すると分かりやすい。VRが環境そのものを新しく創出する技術であるのに対して、ARはユーザーの置かれている「いま、ここ」の現実環境において動作する。家や仕事場のように慣れ親しんだ環境、公園やライブ会場のようなパブリック空間、何か商品を販売している店舗など、既にさまざまなルールや物質が存在している現実環境に対してARを適用することで、現実環境の体験をより豊かにしたり、現実環境に新しい見方を与えたりすることができる。



図：米国シリコンバレーに位置するAppleの本社ビジターセンターにある、AR専用のジオラマ。ジオラマ自体は白い味気のないものだが、iPadをかざすとアニメーションや様々なガイド付きが現れる。

¹⁷ <https://www.microsoft.com/ja-jp/p/microsoft-dynamics-365-remote-assist/9p77qgw10k9m>

¹⁸ https://holoeyes.jp/voices/tokyo_dental_college/

コラム：ARとVRの違い

上で述べたように、ARは「現実環境のいま、ここで動作する」という特徴を持っている。Augmented Realityという言葉通り、ARは何かを拡張（Augmentation）することで成立する技術であるから、自ずと拡張する対象はコンテンツ制作において重要な役割を担う。これに対してVRは「いま、ここ」から独立した新たな環境を生成する技術である。ARが持つこの文脈依存性は、現実環境での活動に大きなメリットをもたらす一方で、アプリケーションを動作させる現実環境の状況がコンテンツ制作における制約になる可能性もある。例えばARではVRのように全てのユーザーに対して同じ体験を提供することは難しく、コンテンツとそれが動作する現実環境の世界観が食い違うことでコンテンツの臨場感を損なってしまうことも考えられる。

他方、ARは現実環境のあらゆるもの、あらゆる場所がその潜在的動作対象となるため、実生活との共存において相性がいい。VRは先に述べた通り「いま、ここ」とは異なる環境に移動する技術であるため、その体験は実生活と分断されやすい。これが意味するのは、ユーザーの総体験時間において、ARはVRに比べて圧倒的に分があるということである。歩いている、誰かと話している、テレビを見ている、それと同時に体験できるARコンテンツが存在することは想像に難くない。「一日中スマートフォンを操作する」以上に、「一日中ARを体験している」時間は長くなる可能性がある。これまでスマートフォンの様々なコンテンツがユーザーの過処分時間を奪い合っていたが、今後はARが、ユーザーの「生活時間」に対して同じ存在になるかもしれない。

1.4.4 ARのメリット

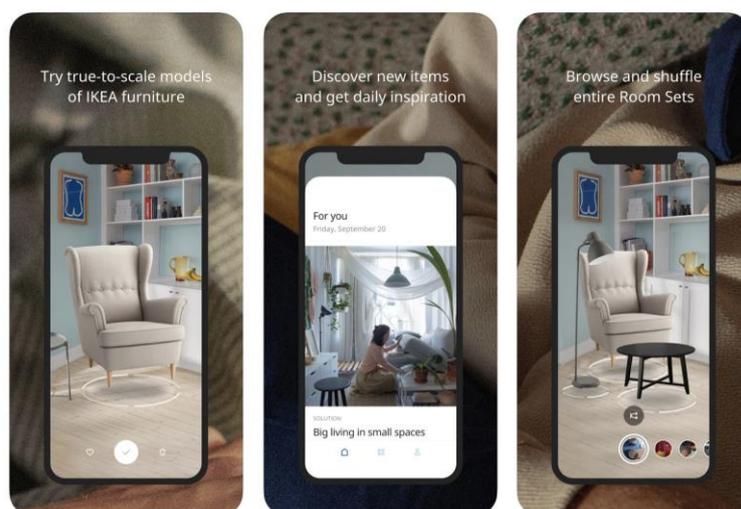
上記の特徴から得られる主要なメリットをまとめると、次の三点に集約される。

手順やコストの削減、理解の促進

ARでは、実物をCGで代替したり、三次元の空間的な情報提示を行うことができる。その特徴を活かすと、ウェアラブルデバイスではハンズフリーに、そしてUIの改善による時間短縮が可能となる。さらに、情報をより直感的に理解されうる。テキストやビデオより効率よくレクチャーを行うことは、手順やコストの削減に繋がる。さらにARコンテンツの持つインタラクティブ性や非物質性により、模型などの物質的素材を用いていたシミュレーションを何度でも・計算コストのみで繰り返すことができるようになることもコストの削減をもたらす。

ユーザーが存在する「いま、ここ」での価値創出

先に、ARはユーザーの置かれている「いま、ここ」の現実環境において動作すると述べた。この特徴を活かすことで、ARならではの価値創出ができる可能性がある。ユーザーを包む環境全てを作り出すVRにおいても環境を利用した同様の価値創出は可能だが、現実のコンテキスト（自分の身体で、自分の部屋で、自分が利用する店で、自分の暮らしている街で……）といった自己性・時空間性が必要な場合にはARの方が効果的である場合が多い。例えば、実店舗へ行かずともCGで服を試着したり、自身の部屋に購入予定の家具をレイアウトするシミュレーションをしたりするといった用途においては、コンテンツに登場する身体が自己の身体であることや、コンテンツの動作する空間が自己の生活空間であることが、そのコンテンツ利用において必須の条件となっている。自己の身体とは体型や身長が全く異なるアバター（あるユーザーをCGで表象したもの、あるいはVR環境における身体）で試着をしても意味がないし、自分の部屋とは全く異なるバーチャル環境で家具の試し置きをしても十分なシミュレーションができていたとは言い難い。



図：IKEA Place¹⁹

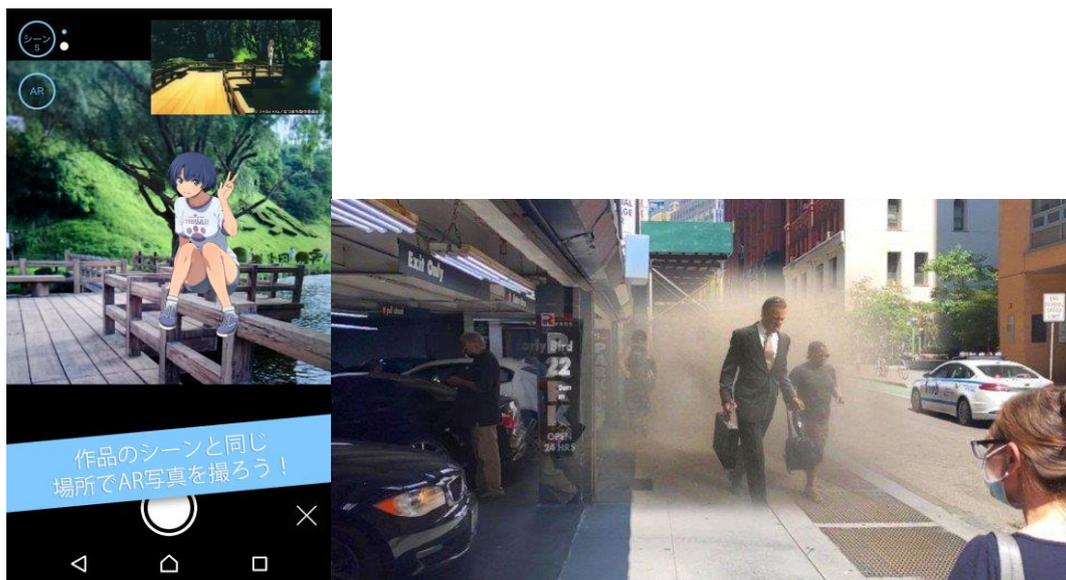
さらにARでは、その現実環境とは時空間的な関連性を持たないコンテンツを「いま、ここ」で利用することができる。例えば、自社の工場に存在しているエンジン部品について検討する社内会議について考える。会議は会議室で行いたいという要望がある一方で、議題の都合上、遠く離れた工場内のエンジン部品を手元に用意しておくことが望ましい。工場の部品と会議室には時空間的な関連性は全くないが、ARを用いれば、工場の部品をインタラクティブな形で会

¹⁹ <https://apps.apple.com/jp/app/ikea-place/id1279244498?platform=iphone>

議室において可視化することができる。たとえそれが、本来会議室という環境には持ち込めるはずがなかった巨大な部品であっても、である。

現実環境の価値の再定義

ARによる現実環境の意味づけは、様々な価値を再定義する。例えば、ナビゲーションと観光案内、日常空間を舞台にした非日常エンタメ（外に出て遊ぶようになる、街の別の側面が分かる）など。観光地にARでガイドを付与することで、現実環境をより詳細に知ることができるようになる。さらには見慣れた風景に新しいデジタル情報を付与することで、現実環境の見え方を一新する可能性もある。例えば「ReplayAR」では、特定の場所を訪れた際にその場所と紐づけられた写真を表示することができる。これを用いて、記憶の風化を防ぐアーカイブとして、2001年9月11日にアメリカで発生した同時多発テロ事件当時の写真を現地に表示するコンテンツが発表されている。



図：（左）行けるアニメ！ 舞台めぐり²⁰、（右）ReplayAR²¹

²⁰ <https://www.butaimeguri.com/>

²¹ <https://replayar.com/>

第2章 ARを取り巻く現状と未来

2.1 ARの分類

ARとひと口に言っても、様々な種類のデバイス、技術、体験が存在しているため、コンテンツ制作の際には何を何のために利用するのか検討する必要がある。本項目では特に視覚のAR体験について、「何で見るか」（ハードウェア）、「何を見るか」（拡張対象、活用シーン）のそれぞれの観点から分類した後、どのような分野でARが活用されているのか紹介する。

2.1.1 ディスプレイ（ハードウェア）の分類～何で見るか～

AR体験をユーザーに提示するディスプレイについて、まずは大きく視覚ディスプレイとそれ以外の感覚ディスプレイに分けて説明する。第1章で見てきた通り、現在市場に流通しているAR体験のほとんどは視覚によるものであり、その他の感覚体験の多くは研究開発段階にある。

視覚ディスプレイ

AR体験を実現する視覚ディスプレイには大きく分けて（1）環境設置型、（2）ハンドヘルド型、（3）ウェアラブル型の三つがある。これらはユーザーの眼から遠い順に並んでおり、それぞれに長所と短所がある。

ARを実現する視覚ディスプレイの分類

ディスプレイの位置	提示手法	デバイス具体例	特徴
環境設置	投影型	プロジェクションマッピング、4D映画	<ul style="list-style-type: none"> ・ユーザー側のデバイス装着が不要 ・多人数での体験が容易 ・大掛かりなセッティングが必要
	設置型	デジタルサイネージ、自動車フロントガラスのHUD、初音ミクライブ	
ハンドヘルド	ビデオシーサー	スマートフォン・タブレット	<ul style="list-style-type: none"> ・既に普及しているスマートフォンをプラットフォームに採用できるため、安価で容易にパーソナライズ可能な体験を実現できる ・視野角が限られる
ウェアラブル (主にグラス型)	ビデオシーサー	Varjo XRシリーズ CANON MREAL	<ul style="list-style-type: none"> ・ハンズフリー ・視界に直接働きかける体験が可能 ・パーソナライズ可能 ・専用のデバイスが必要
	光学シーサー	簡易軽量型：Google Glass 高性能型：HoloLens、NrealLight、Magic Leap One	
	網膜投影	RETISSA Display、Focals	<ul style="list-style-type: none"> ・上記に加えて、視力によらない映像体験であるため、弱視者でも体験可能 ・視野角に課題が残る一方、将来的にデバイスの小型化や軽量化が期待されている

環境設置型

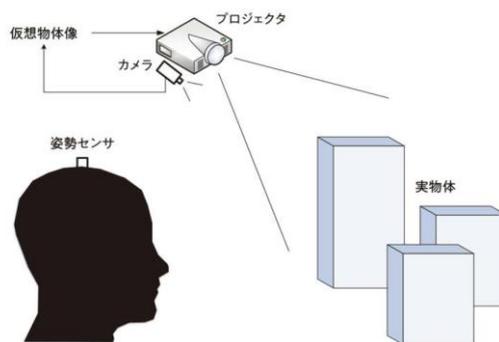


図2.7 空間投影は直接実世界の物体上に像を映し出す。合成装置は必要ない。

図：環境設置型の視覚ディスプレイ²²

テーマパークやパブリックスペースでのライトアップやプロジェクションマッピングは、環境（物）自体に視覚刺激を提示するタイプのARと言える。映像を投影することで現実環境に新たな「意味」を加えたり、美しいエフェクトに包まれた広大な空間を演出したりすることができる。一般的に環境設置型ARは体験者に特別な用意（デバイスの装着やキャリブレーション）を求めないため、体験者への負担が少ないのが特徴である。またハンドヘルド型やグラス型と異なりディスプレイがパブリックな状態で存在するため、多人数での体験にも適している。一方で、体験のパーソナライズが難しい点や、体験の実現に大掛かりなセッティングを要する点が課題である。



図：（左）チームラボボーダレス²³、（右）ヘッドアップディスプレイ「DU-200HU」²⁴

²² 著：Dieter Schmalstieg, Tobias Hollerer, 編集：池田聖, 酒田信親, 山本豪志朗, 訳：池田聖, 一刈良介, 大槻麻衣, 河合紀彦, 酒田信親, 武富貴史, 藤本雄一郎, 森尚平, 山本豪志朗；「ARの教科書」．マイナビ出版，2016年．70頁より

²³ <https://borderless.teamlab.art/images/sp-1/14780>

²⁴ <http://www.mitsubishielectric.co.jp/carele/carnavi/nr-mz200/hud.html>



図：ダイナミックプロジェクションマッピング²⁵

ハンドヘルド型

ハンドヘルド型ARの筆頭として、スマートフォンやタブレット端末のカメラを利用するものが挙げられる。例えばiOSで動作するARKitは、iPhoneやiPad端末のカメラ単体で現実環境の形状や人の動きを認識し、端末に映るカメラ映像にCGを重畳して提示する。既に世界中に普及しているスマートフォン・タブレット端末で動作するAR体験は、新たなデバイスの開発を必要としないために低コストであるとともに、開発したコンテンツを多くの人に体験してもらいやすい利点がある。一方でAR体験のディスプレイサイズが端末に制限される他、ディスプレイを手で持って動かすという特性から、没入感は低く、長時間の体験には向かない。



図：(左) ARKit²⁶、(右) ARCore²⁷

²⁵ <https://doi.org/10.1145/3272127.3275045>

²⁶ <https://www.apple.com/jp/newsroom/2018/06/apple-unveils-arkit-2/>

²⁷ <https://www.roadtovr.com/google-arcore-update-cloud-anchor>

ウェアラブル型

グラス型デバイスが象徴するウェアラブル型のARデバイスは、ハンズフリーで、個々のユーザーの視界に直接働きかけるような体験を実現できる点が特徴である。ただし、同じグラス型デバイスであっても視覚情報の提示手法と実現できる体験の品質には幅がある。

まず提示手法について、ここでは（１）ビデオシースルー、（２）光学シースルー、（３）網膜投影の三つを挙げる。

（１）ビデオシースルーでは、一度カメラで撮影した現実環境の映像を、必要に応じて編集して視界に提示する。風景の全てを一度画像データに落とし込むため、視界体験の編集が容易になる一方で、快適な体験のためには高いフレームレートやカメラ解像度を維持する必要がある。奥行き情報を合わせて取得することで、光学シースルーでは難しいオクルージョン（ものの影にCGが隠れた際にレンダリングされなくなるなど奥行きを考慮した処理）の実現が可能（ハンドヘルド型もビデオシースルーである場合がほとんどのため、このメリットを持つ）。

（２）光学シースルーは、バーチャル環境と現実環境を融合するために光の一部を透過させ、一部を反射させる特殊な光学素子を用いて作られたディスプレイのこと。ハーフミラーなどはその代表的な例。ディスプレイが半透明であるため、視力矯正用の眼鏡と同じように現実環境をディスプレイ越しに通し見ることができ、ビデオシースルーと比較して安全性が高い。他方でディスプレイが半透明であるがゆえに、明るい場所で映像が見えにくいなどの欠点もある。

（３）網膜投影は、レーザー光を網膜に照射することで視覚体験を実現する技術。網膜上に直接結像させることで、視力によらず像が常にはっきりと見える。低消費電力やデバイスの小型化などの観点からも注目されているが、現状では視野角やアイボックスが小さいという課題がある。

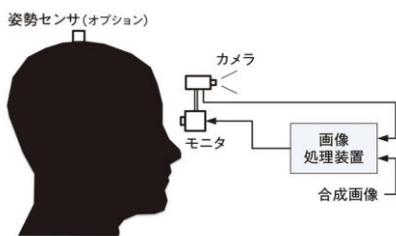


図2.6 ビデオ透過型ディスプレイでは、ビデオカメラで取得した現実画像が電子的にグラフィックス処理され、現実と仮想の融合像が表示される。

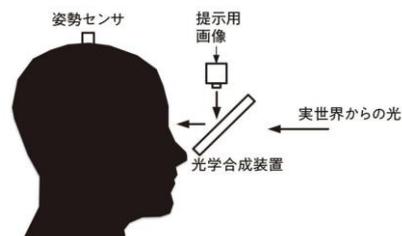


図2.5 光学透過型ディスプレイには使用者の視界中の実世界にCG画像を融合する光学素子が用いられる。

図：（左）ビデオシースルー型ディスプレイのシステム、（右）光学シースルー型ディスプレイのシステム²⁸

²⁸ 著：Dieter Schmalstieg, Tobias Hollerer, 編集：池田聖, 酒田信親, 山本豪志朗, 訳：池田聖, 一刈良介, 大槻麻衣, 河合紀彦, 酒田信親, 武富貴史, 藤本雄一郎, 森尚平, 山本豪志朗；「ARの教科書」. マイナビ出版, 2016年. 69頁より

視覚以外（聴覚、触覚、嗅覚と味覚）

一般的にARは、計算機で視覚情報を付加する技術と捉えられることが多い。しかし、ARという概念は、「視覚」や「付加」を超えた、より広い可能性を秘めている。ここでは、AR技術と捉えられる、視覚以外の五感ディスプレイについて紹介する。

聴覚ディスプレイ

博物館の音声ガイドや、視覚障害者向けの音声案内システムは、現実環境への音声情報の付加という意味で、原初のAR技術とも解釈できる。補聴器やギターアンプなどは、実際の物理信号としての音を変調させて提示することから、ARディスプレイとしての側面を持つ。（ただし、これらには三次元の空間性が欠けている。）博報堂の学習支援プロダクト「WRITE MORE」は、紙にペンで書いた時に生じる筆記音を増幅した聴覚刺激によって、集中力や作業効率、楽しさを高める効果があるとされている。



図：（左）ノイズキャンセリングヘッドホン²⁹、（右）渋谷を舞台にした音のAR「Audio Scape」³⁰

HoloLensをはじめとするAR/MRデバイスは、スピーカーが内蔵されているものが多い。提示した視覚刺激の三次元位置と整合性が取れるように（そこから音が聞こえてくるかのように）聴覚刺激を提示することができる。空間音場再現技術の向上に伴って、こうした体験はますますリアルに近づいていくことが期待されている。

²⁹ <https://www.sony.jp/headphone/products/WH-1000XM3/>

³⁰ https://www.au.com/5g/report/article_7_entertainment/

力触覚ディスプレイ

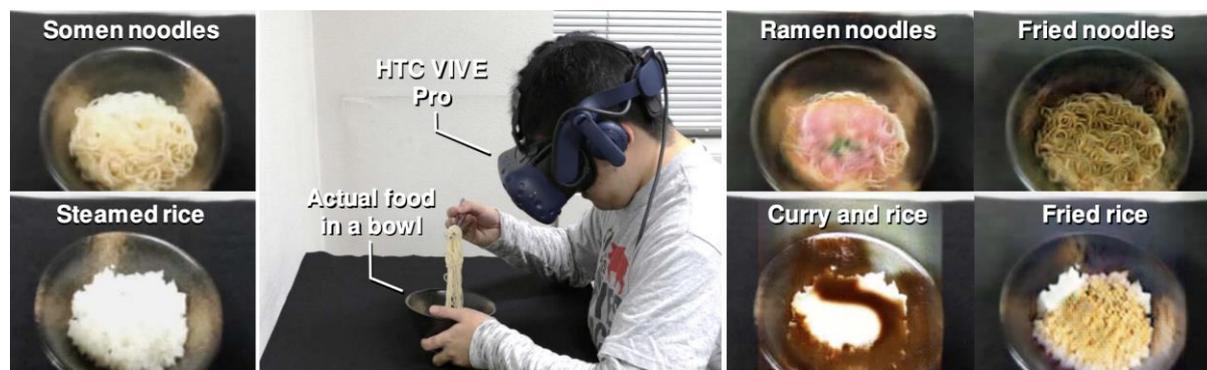
手袋をすると物体表面の手触りが（体験として）変わるように、力触覚においても感覚情報の付加・変調・消失などのARを考えることができる。その一例として、メス型の力覚提示ディスプレイ「SmartTool」が挙げられる。メスに付随したロボットアームが、メス先に搭載されたセンサーから物体表面を認識し、適切な力をユーザーにフィードバックする。これにより、茹で卵を切る際にメスが黄身の直前で止まり（メスが黄身に当たるところで抵抗力を感じ）、黄身を傷つけずに切ることができるようになる。手術支援への応用が期待される技術である。



図：SmartTool³¹

嗅覚・味覚ディスプレイ

嗅覚と味覚を提示する技術は、視聴覚や触覚ディスプレイに比べて開発事例が少なく、そのほとんどが研究段階にとどまっている。クッキーの見た目を変化させ、それに合った香りとともに提示することで味覚体験を変容させる「Meta Cookie」や、機械学習を用いて麺や米の見た目を様々な料理に「変換」する「DeepTaste」など、味覚以外の情報を変調することで味覚体験を編集する技術が開発されている。



図：DeepTaste: Augmented Reality Gustatory Manipulation with GAN-based Real-time Food-to-food Translation³²

³¹ <http://www.nojilab.org/2016/smarttool-haptic-ar/>

³² <https://doi.org/10.1109/ISMAR.2019.000-1>

2.1.2 拡張対象の分類～何を見るか～

本項では、現実環境の何を（どのようなシーンを）拡張したARなのか、という観点からARコンテンツの分類を行う。拡張対象によってどのような課題やユースケースがあるのかを整理した後で、デバイスと拡張対象を決定した後に開発者が行うべきことを述べる。

認識対象	特徴
顔（特定の身体部位）	身体の特定の部位（顔など）に対して特殊なCG効果を重畳する。画像処理技術やセンシング技術の向上により、表情筋の動きなど、より細やかなトラッキングが可能になりつつある。
もの（マーカー）	現実環境においたマーカーの周囲でAR体験を実現する。比較的安価で、マーカーを置ける場所ならどこでも体験可能。ただし、体験はマーカーの性質およびマーカーが設置された空間位置に依存するため、インタラクティブ性や汎用性が乏しい。
屋内（ルームスケール）	ルームスケールの三次元空間のデジタルマップを作成する（あるいは事前に用意する）とともに、そこにコンテンツを展開する。空間性を前面に出したAR体験は、マーカーベースのそれより体験の豊さや自由度が高い一方、相応の計算コストが発生する。
屋外（広域）	屋外や都市のように広い範囲でのAR体験を実現するためには、対象となるエリア全体の空間データを事前に収集するか、全体をカバーするようなセンシングシステムを導入する必要がある。エリアを特定できる場合は、特定のスポットのみで動作するような体験の縮小化によって対応する。現状、都市全体をカバーしようとすると、トラッキングの精度を妥協する必要があるが、広範囲にわたって体験可能なAR体験のインパクトは大きい。

顔（特定の身体部位）

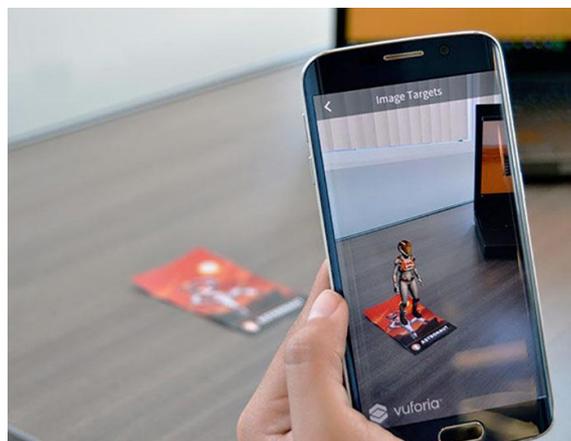
プリクラに代表されるような、顔画像にCGを重畳する体験。友達同士で楽しむためのエンターテインメント用途の他にも、ビデオチャットにおける顔画像の美化・匿名化、化粧品やアクセサリーのトライオンなどにも活用できる。ARの活用対象を顔に特化することで、開発がしやすくなることや、目や口など顔の細部の動きまで体験に取り込みやすくなることが期待される。



図：FaceApp³³

もの（マーカー）

ここで述べるマーカーとは、CG表示の位置を現実環境と合わせるために利用する目印（物質）のことである。ARデバイスがカメラを通じてマーカーを認識すると、そこを基準としてCGの提示が行われる。（奥行きセンサーなどの）特別なセンサーが搭載されていないARデバイスでも、カメラさえあればAR体験を実現できる簡易さが特徴である。それゆえスマートフォンとの相性が良く、安価に実現できるARコンテンツとして様々な場面で活用されている。



図：Vuforia³⁴

マーカー方式のメリットととして、上記で述べた導入コストの低さに加えて、マーカーという明確な基準があるために位置合わせの精度が高い点が挙げられる。一方で前述のメリットと引き

³³ <https://www.faceapp.com/>

³⁴ <https://www.cnsrd.jp/vuforia-library/cost/>

換えに、マーカー付近にしかARコンテンツを表示できないという位置的制約があること、インタラクションを始めとする表現の幅が狭いことが挙げられる。また、マーカーが隠れてしまうとARコンテンツの再生が不可能になってしまうこと、マーカーの視覚的存在感が場合によってはコンテンツの世界観を損なうことなどもデメリットである。近年ではソフトウェア（アルゴリズム）側の技術進歩によって、QRコードのような矩形マーカーだけでなく、任意の画像や物体をマーカーとして使用することが可能になりつつある。さらにはリアルタイムに取得するカメラ画像から空間認識を行う、マーカーを必要としないAR体験も実現しつつある（次項）。

屋内（部屋）

ここで紹介するのは、複数の「もの」からなるルームスケールの環境において、ユーザーがある程度の範囲を動き回ることに対応したAR体験である。こうした体験の実現において、まず何より、コンピューターがなんらかの方法で、舞台となる現実環境に関する様々な情報（例えばものの配置や形状、床面や壁など）を取得する必要がある。そうした情報を取得する代表的な手法として(a) 点群データなどの形式で人があらかじめ作成する手法か、(b) コンピューターが形状認識をリアルタイムに行いながら同時並行的に作成する手法が考えられる。

(a)の手法は、AR体験を行う環境があらかじめ決まっており、その環境に変化が少ない場合に有効である。ARデバイスは、カメラなどから入力された画像を、あらかじめ与えられたデジタルマップ（環境の3Dデータ）と照合することで、ユーザーの現在位置や向いている方向を算出する。事前に静的なマップが取得されているため、絶対位置の照合が可能になる、トラッキングロストからの復帰に強い、コンテンツの起動が早いなどの利点を持つ。

その一方で(b)の手法は、その場で逐一マップの作成・更新を行うため、動作の安定性にやや課題が残るが、様々な環境で利用できる汎用性を持つ。屋内環境ではものの配置が頻繁に変わること、動く範囲が屋外に比べて狭いことなどの観点から、(b)の手法が採用される場合が多い。



図：カメラ画像をもとにリアルタイムで空間マップを作成している様子³⁵

屋外（都市）

一つのコンテンツがその体験範囲を広範囲に拡張するためには、ユーザーが体験時にどの地点に位置しているかを把握する必要がある。『ポケモン GO』では、GPSの情報をもとに、プレイヤーの位置情報の取得・場所とコンテンツの紐付けを行っている。GPSの情報のみでは、数メートルの誤差を容認せざるを得ないため、数センチ単位の細やかなAR表現やものの配置などを考慮したAR表現を実現することは難しい。一方で、GPSが網羅する範囲（地球）で動作させることができるため、ARコンテンツを体験できる範囲は極めて大きい。こうした大規模な空間的範囲を舞台にしたARコンテンツが、特定の場所と紐づいた形で保存・再生される機能が持つことで、ARクラウドと呼ばれる体験が実現する（詳細は2.3.3を参照）。

他方、都市全体の自然特徴点を収集することで、あらかじめ都市全体のデジタルコピーを作成するといった試みも近年増えてきている。都市（建物や道など）の点群や画像によって生成されたメッシュを予め取得したデータベースを構築しておけば、ユーザーのカメラに映った画像点やエッジを検出し、それをデータベースと照らし合わせることで、ユーザーの位置や方角を同定することができる。

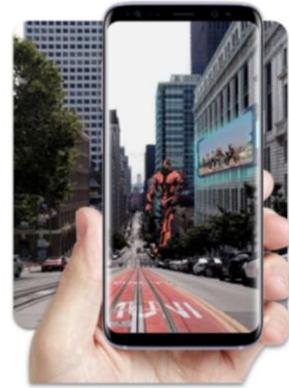
³⁵ https://www.youtube.com/watch?v=nNquPj6zt_c



<通常の街の風景>



<VPS技術で空間を認識>



<認識した情報をもとにARを表示>

図：Visual Positioning Serviceを活用した都市空間AR³⁶

2.1.3 活用分野の分類～何に使うか～

本項では、これまでARが活用されてきた分野や今後活用が期待されている分野について紹介する。Microsoftが自社の講演の中で、AR/MRが価値を生み出すまでの時間が早く、投資収益率が実証されつつある分野としていくつかのシナリオを分析してみせたように、活用分野に関する知見は今まさに整理されている最中である。

³⁶ <https://news.kddi.com/kddi/corporate/newsrelease/2020/08/31/4640.html>

Proven Enterprise Use Cases

As we have worked with thousands of enterprise customers the past several years, we have seen a handful of use cases that can be applied across many industries which have a **fast time to value (TTV)** and a **proven return on investment (ROI)**:



図：マイクロソフトが紹介している投資効率が良いとされる分野³⁷

作業支援（製造、建築、医療など）

ARという言葉が配線作業の工学的支援から生まれたことに象徴されるように、AR技術は作業を支援することと相性が良い。次の動作を視覚的に示す、見えないものを可視化する、補助線を提示するなど、視覚的補助をハンズフリーで提示することで、ユーザーの直感に訴える作業支援が可能になる。これにより、作業時間の短縮や、これまでは不可能だった新たな作業手法などが創出されることが期待される。

³⁷ <https://channel9.msdn.com/Shows/Mixed-Reality/The-State-of-Mixed-Reality-Where-Companies-are-finding-Success>



図：（左）トヨタ自動車株式会社のMRを活用した取り組み³⁸、（右）Hololab 手放しマニュアル³⁹

産業分野以外でも、日常生活の中で何気なく行っている様々な作業に対する、従来手法に革新をもたらす新しいインターフェースとして、ARは注目されている。例えば「Google翻訳」では、これまでブラウザやアプリなどに人がテキスト入力をし、出力されたテキストを読むことで翻訳を行っていた。これに対して「Google Lens」はカメラに映ったテキストを読み取り、翻訳した結果を元のテキストに重畳して表示することができる。



図：Google Lensによる翻訳⁴⁰

³⁸ <https://news.microsoft.com/ja-jp/2020/10/06/201006-toyota-motor-started-introducing-hololens-2-in-gr-garage-nationwide/>

³⁹ <https://hololab.co.jp/tebanashimanual/>

⁴⁰ <https://lens.google.com/intl/ja/>

訓練（教育、医療など）

三次元的かつインタラクティブな可視化は、次世代のマニュアル・教科書としても機能する。例えば機械の操作方法の学習において、テキストやビデオ教材では、実物とマニュアルを交互に見比べながら、脳内で三次元の空間性（場合によっては時間的な流れ）を補完する必要があった。一方でARによる三次元的な可視化は、操作対象そのものに、三次元的な・時間的流れを伴った情報を記述することができる。

さらには、これまでビデオで学習するしかなかった情報をARによって三次元的・インタラクティブに可視化することで、学習効率を高めることも期待できる。人体の構造や細胞の働き、天体運動や生き物の大きさなど、（コストがかかるので実際にはできないが）現実環境で実物を観察することで学びが深まる体験を、ARならば代替することができるかもしれない。



図：（左）LITALICO はみがき勇者⁴¹、（右）Hololab TechniCapture⁴²



図：ウェザーニュース ARお天気シミュレーター

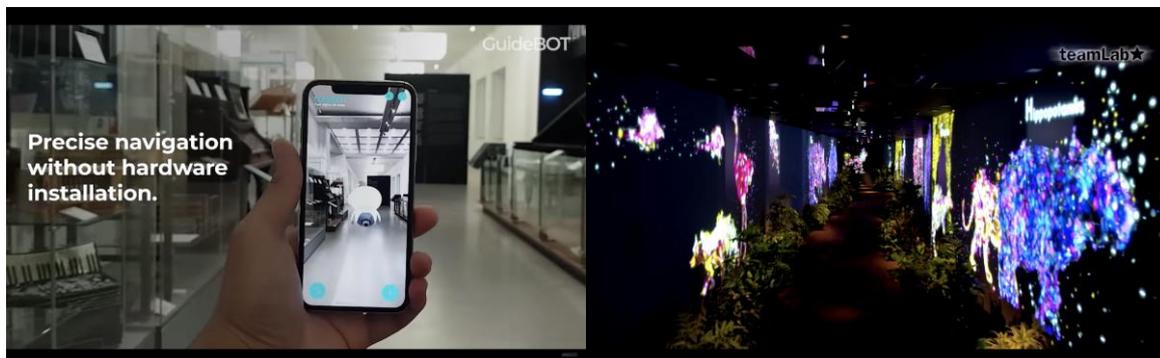
ナビゲーション

ARの活用が期待されており複数サービスで展開しているのが、道案内をはじめとする行動誘発のためのARナビゲーションである。AR技術を使えば、実空間に、個人に即した（その時々の

⁴¹ <https://app.litalico.com/jp.html>

⁴² <https://hololab.co.jp/technicapture/>

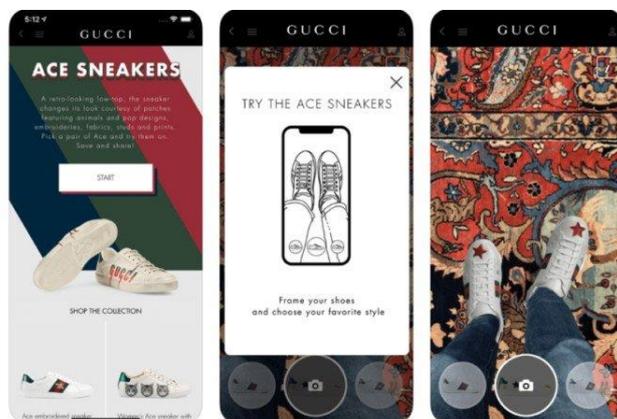
目的地に合わせた) 標識を、一時的に生成することができる。屋内外の道案内のような用法以外にも、所定の部屋を示す看板のような役割を果たすこともできる。



図：(左) GuideBOT - AR Indoor Navigation⁴³、(右) 会議室まで案内してくれる動物が住まうオフィス⁴⁴

ショッピング・コスメティック

ARを用いた「試着」などのトライオン技術も注目を集めている。実店舗に赴いたり商品を取り寄せずとも、遠隔で試すことができる他、写真や動画では伝えきれない情報（サイズ感や手にした時の印象など）を伝えることで返品を減らす効果も期待されている。



図：ARによる試着アプリ GUCCI⁴⁵

⁴³ https://www.youtube.com/watch?v=Db_PUwXFOSA

⁴⁴ https://www.teamlab.art/jp/w/office_animals/

⁴⁵ <https://www.moguravr.com/gucci-ar-try-on/>

エンターテインメント

既にそこにある現実環境の文脈に作用するARは、これまでになかったような新たなエンターテインメントを創出する可能性がある。例えば実社会には存在しない設定やキャラクターを用いることで、実社会という日常を舞台に非日常的なアクティビティを実現することができる。また、従来のデジタルメディアでは難しかった三次元の空間性を活かした遊び・インタラクションも可能になる。



図：（左）渋谷を舞台にしたアニメPSYCHO-PASSのARゲーム『渋谷ハザード』⁴⁶、（右）描いた絵が動き出す『らくがきAR』⁴⁷

「何で」「何を」が決まったら

ここまで、どのようなデバイスで、そしてどのようなシーンでAR体験を実現するか紹介してきた。拡張対象（＝何を見るか）は、ARコンテンツ制作の企画段階で、実現したいゴール（＝何に使うか）に合わせて定まることが多い。一方で使用するデバイス（＝何で見るか）は、経済面（コスト）や技術面（実現できるAR体験の質など）などの拘束条件を元に決められることが多い。

デバイスとコンテンツ内容が決まった後、次に問題になるのは「どうやって実装するか」である。特に、実装したいシステムを自社で1から作る必要があるのか、基盤技術として利用できるSDKが存在するのか、あるいは既に誰かがサービス化しているのかを知る必要がある。各ARプラットフォーマーは、それぞれが提供しているデバイスのためのSDKも併せて提供している場合が多い。そういったSDKでは、「2.2.2 ソフトウェア」の項で述べる一部の処理を、開発者は実装する必要なく利用できる。一方でより豊かな体験を実現するために、SDKに備えられた機能に加えて自社開発などをする場合もある。それぞれのARプラットフォーム公式の

⁴⁶ <https://pretiaar.com/games/3/>

⁴⁷ <https://whatever.co/post/rakugakiar/>

SDK以外にも、様々な企業が特定のAR機能を実現するためのライブラリを提供している。ただし、こうしたライブラリが、自分たちの使用する予定のデバイスに対応しているかどうか確認する必要がある。

2.2 ARを実現する技術

本項では、ARコンテンツ制作を支えるハードウェア・ソフトウェアの知識を概説する。1章で述べたように、ARは視覚（とりわけグラス型ディスプレイ）に限られた技術ではないが、現在の市場・制作状況を鑑みて、ここでは主に視聴覚のAR体験を実現する技術について述べる。

ARはVRと同様、大きく分けると、

1. 人（環境）からコンピューターへの情報の「入力」
2. コンピューター内部での「シミュレーション」
3. コンピューターから人への感覚情報の「出力」

の3つからなる。

ここからは、こうしたシステムがどのようなハードウェア・ソフトウェアによって成り立っているのかを紹介する。

2.2.1 ハードウェアの要素技術

人（環境）からコンピューターへ入力する情報には、例えば次のようなものが挙げられる。

- デバイスの位置や角度
- コントローラーのボタンやスティックの入力
- ユーザーの声やジェスチャー
- 周囲の環境の形状（平面や凹凸、奥行きなど）
- 目の前にあるモノの形や名前 等

こういった情報を取得し、コンピューターへ伝えるのがセンサーである。ウェアラブルデバイスそれ自体にセンサーが搭載されている場合もあれば、あらかじめ環境にセンサーを設置する場合もある。主に使われるセンサーとして、次のような種類が挙げられる。

- 可視光カメラ：デバイスやユーザーの位置・姿勢を取得する
- 深度センサー：複数台のカメラを利用するものや、レーザー光を照射するものがある。奥行き情報から物体の形状や、物体と物体の前後関係などを計算する
- IMU（慣性計測装置）：加速度や地磁力などを取得する
- 赤外線カメラ：視線追跡（アイトラッキング）を行う

AR体験のための主要なプラットフォームであるスマートフォンとグラス型デバイスのうち、スマートフォンには深度センサーが搭載されておらず、RGBカメラの画像をもとに平面検出や奥行きの検知を行うことが一般的であった。しかしながら、こうしたセンサー類も高性能化・小型化・低価格化が進んでいる。2020年にAppleがリリースしたiPad ProやiPhone 12 Pro / Pro Maxに、深度情報を取得することのできるLiDARスキャナーが搭載されたことは、その一例だと言える。

またユーザーがAR環境と能動的にインタラクションを行うために、専用のコントローラーや手の動き（指によるタップや摘みなど）を利用する場合もある。コントローラーはハンズフリーな体験を阻害すること、使用デバイスの数が増えることによる高価格化・セットアップの煩雑化などの課題がある一方で、カメラによるハンドトラッキングより操作が快適である場合も多く、一長一短だと言える。



図：（左）HoloLens 2のハンドトラッキング、（右）Magic Leap 1とハンドコントローラー

一方で、コンピューターから人へ感覚情報を「出力」するためのハードウェアがディスプレイである。ARディスプレイの種類については、2章で既に述べた。各ディスプレイの性能は、光学系、視野角、解像度、大きさや重量、消費電力やバッテリーなどによって異なる。



図：HoloLens 2の分解写真⁴⁸

視野角や解像度は、各デバイスにおいて年を経るごとに改良がなされているものの、2021年現在、VRデバイスほど（水平方向に90~100度）の視野角を実現できているARディスプレイはほとんど存在していない。

センサーが取得したデータを元に、CGや音を環境に適合するようにレンダリングするために必要なのが、コンピューター内部での「シミュレーション」である。このシミュレーションのための演算を行うプロセッサユニットは、ウェアラブルデバイス本体に搭載されている場合もあれば、デバイス本体から分離している（ケーブルなどによる接続が必要な）場合もある。また、固有のプロセッサユニットではなく、スマートフォンやPCに接続して使用するデバイスもある。

⁴⁸ <https://docs.microsoft.com/en-us/hololens/hololens2-hardware>

主なARデバイスと接続方式

HoloLens 2	一体型
Magic Leap 1	有線接続（専用ユニット）
NrealLight	有線接続（対応スマートフォン）
ThinkReality A3	有線接続（PC、対応スマートフォン）
Varjo XR-3	有線接続（PC）

デバイスの軽量化・小型化も同様に目覚ましい進歩を遂げているものの、まだAR体験の品質とのトレードオフにある。ヘッドセットの重量は、例えばプロセッサとバッテリーが内蔵されているHoloLens 2で566g、プロセッサを有線で接続する形式のMagic Leap 1で316gである。2020年末に国内で発売されたNrealLightは、プロセッサとバッテリーを搭載せず106gと圧倒的な軽量化、そして眼鏡に近い小型化を実現したが、性能面では他のデバイスに劣る。また、いずれも想定されている連続体験時間は2～3時間である。



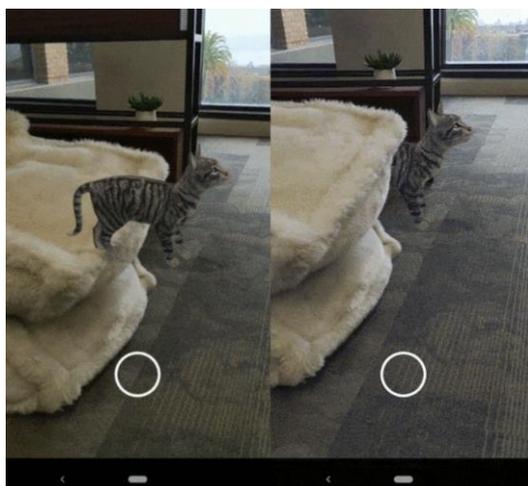
図：NrealLight

2.2.2 ソフトウェア

前項では、コンピューターへ情報を入力するため、そしてコンピューターから人へ情報を出力するために必要なハードウェアについて述べた。次に、入力された情報を処理し、処理した情報をもとにシミュレーションを行い、AR体験を構築するためのソフトウェア、およびそれを開発者にとって使いやすい形にパッケージ化したSDKについて述べる。

人（環境）から受け取った情報を元に、環境に適合したAR表現を提示するために、コンピューター内部で演算が行われる。必要となる計算には、例えば次のようなものが考えられる。

- 空間認識（平面検出、自然特徴点の抽出、メッシュ生成など）
- 視覚的調和（オクルージョンと呼ばれる遮蔽や、光源を考慮したオブジェクトの光学的整合性など）
- 物理シミュレーション（重力や物理法則に則った挙動の実現など）
- 各種トラッキング（タッチ、ジェスチャー、音声、視線、ハンドトラッキング、ポティトラッキング）
- インタラクション（タッチやボイスによる操作など）
- 外部ソフトウェアとの連携（クラウドとの通信など） 等



図：オクルージョンが考慮されていないAR（左）と考慮されたAR（右）⁴⁹

こうした種々の計算を全て自前で設計するためには大きなコストがかかる。近年では、これらの計算を実行するためのプログラムをパッケージ化したSDK・フレームワークが、各プラットフォームから開発者に提供されており、各プラットフォームにおけるARコンテンツ開発に対するハードルが下がっている。

⁴⁹ <https://developers.googleblog.com/2019/12/blending-realities-with-arcore-depth-api.html>

例えばスマートフォンで体験するARコンテンツを制作する際に利用できるものとして、AppleがiOS向けに「ARKit」、GoogleがAndroid向けに「ARCore」というフレームワークを提供している。カメラ画像を用いた空間認識を行うことを例にとれば、開発者はこれらのSDKを利用することで、スマートフォンカメラへのアクセスや、カメラ画像からの自然特徴点の抽出など、一部の計算をSDKに任せることができる。2021年現在では、様々なSDKがそれぞれの端末で平面の検出や空間の凹凸の認識（メッシュ生成）を可能にしており、日進月歩で機能の追加などのアップデートがなされている。各社SDKが提供する機能の中には、UnityやUnreal Engine 4といったゲームエンジンなどの統合開発環境に標準搭載されるものもある。

またエンジニアリングを経験したことがないようなユーザー向けのコンテンツ制作ツールも存在している。こうしたツールは、プログラミングを行わない分カスタマイズ性に乏しいものの、ドラッグ&ドロップなどの直感的操作の組み合わせでコンテンツ制作を行うことができるため、アーティストや初心者などでも利用しやすい。例として、ブラウザベースで動作するエディタ「Amazon Sumerian」の他、国内においてもマルチプラットフォームで動作し、開発からコンテンツ公開まで一貫してサポートしている「STYLY」などが挙げられる。

2.3 5GなどARに関連する技術分野の動向

2.3.1 5G

5G（第5世代移動通信システム）は、高速・低遅延・多人数同時接続の通信を実現する次世代技術として注目を集めている。5G通信は、既存のサービスの品質や生産性を向上させるばかりか、様々な産業において新たなビジネスの創出に繋がることが期待されている。国内では、NTTドコモ、KDDI、ソフトバンクなどの各通信事業者が5G通信を活用するための研究開発・実証実験に取り組んできた。

ARコンテンツは、既存のスマートフォン向けコンテンツと比べて大きなデータ容量を必要とする場合が多い。三次元の空間性を伴った映像では、既存のビデオでは録画されていなかったフレーム外のデータも保持する必要があるからである。現実感を損なわないために、高画質、低遅延でこうしたデータを通信するために、5Gは有用であるとされている。

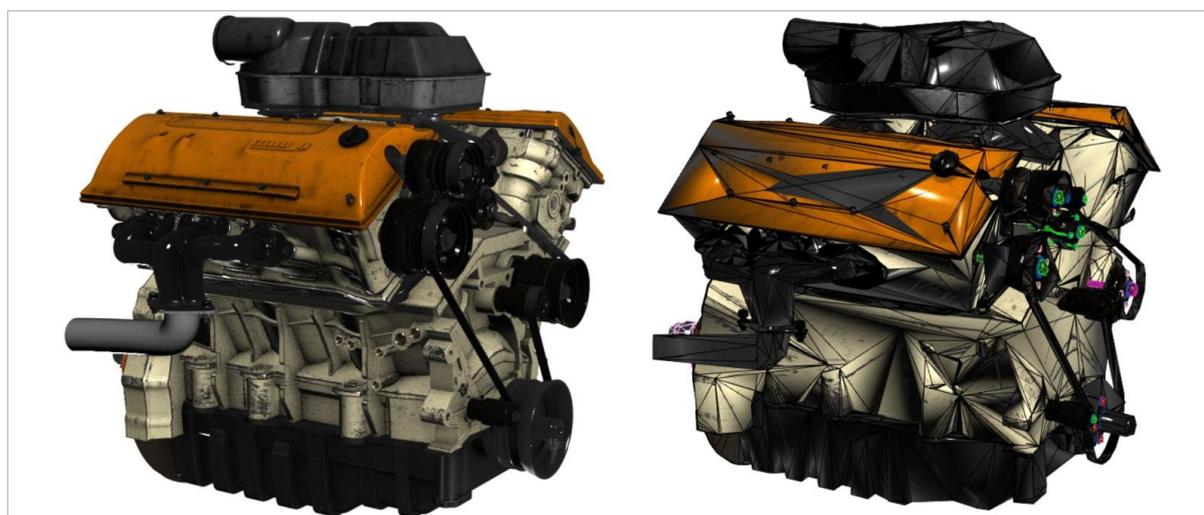
さらには、互いに遠隔地にいる複数人が、身体性を保持したままにリアルタイムで共同作業を行う場合、人の三次元的な動きの多人数同期を低遅延で維持できる通信が必要になる。

さらに提示されるアバターが現実の見た目に近い高画質なものである場合、通信容量が大規模になるだろう。

以上のように、遠隔作業、高画質な映像提示、高品質なアバターの利用、ライブ中継などの分野を中心に、5G通信の活用に向けた準備が進んでいる。これに合わせて、5G通信に最適化されたAR体験の開発に着手しているコンテンツ制作会社もある。

2.3.2 リモートレンダリング

リモートレンダリングとは、処理負荷の大きい3DCGのレンダリングなどの計算を、ユーザーが持つ体験デバイス（ローカル）のプロセッサではなくクラウド環境で行い、その結果をローカルにストリーミング配信する手法である。スマートフォンやグラス型デバイスに搭載されるプロセッサの性能は、軽量化・小型化のために限られている。それゆえ建築や製造業などの分野で活用されている高精細な3Dデータ（BIMなど）をそのまま活用・提示することが困難である場合が多い。先に述べた5Gのような高速通信技術と組み合わせることで、計算資源が限られているローカル環境においても処理負荷の大きいAR体験を実現することが可能になる。



図：約1800万ポリゴンの元データ（左）を、約20万ポリゴンにまで削減したデータ（右）。リモートレンダリングを用いることで、オリジナルの3Dデータを妥協することなくAR体験に持ち込むことが可能になると期待されている。⁵⁰

⁵⁰ <https://docs.microsoft.com/ja-jp/azure/remote-rendering/overview/about>

2.3.3 ARクラウド (GPSベース・点群・画像)

ARクラウドは、元6D.ai (2020年にNianticが買収) のCEOであるMatt Miesnieks⁵¹⁵²や、Super VenturesのOri Inbarが投稿した記事⁵³が火付け役となり広まった語とされている。Ori Inbarは、ARクラウドを次のような概念として提唱した。

A persistent 3D digital copy of the real world to enable sharing of AR experiences across multiple users and devices.

(複数のユーザーとデバイスの間で、AR体験を共有することのできる持続性を持った実世界の三次元デジタルコピー)

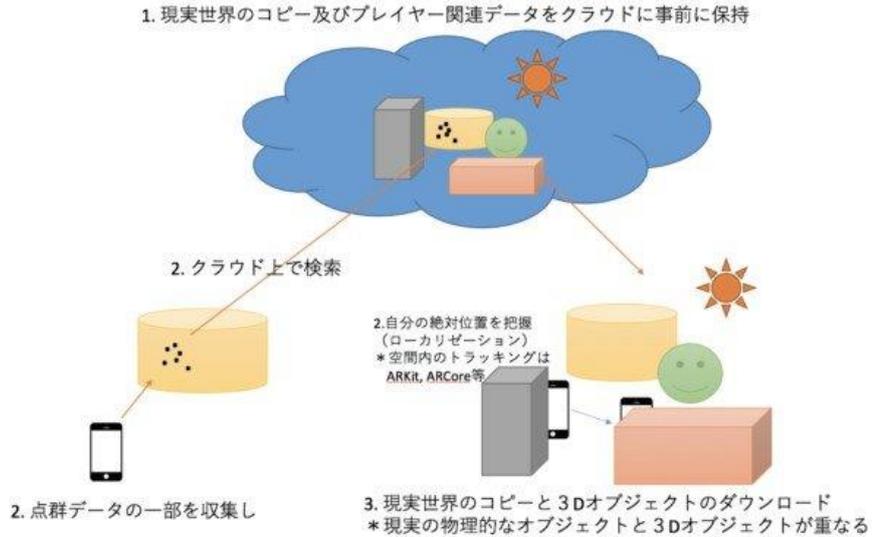
今日では、ARクラウドと同様のビジョンを示す語として、デジタルツインやミラーワールドといった表現も使われる。ARクラウドとはすなわち、屋内あるいは屋外の適当な場所に配置したARコンテンツを「その場所に」「その状態で」保持し、それらをいつでも「複数人がそれぞれの端末で」「同時に共有できる」状態へと復元することができる世界を実現する技術である。

しかし、こうしたビジョンは、今日の技術ではまだ完全な姿で実現されているとは言い難い。例えば、『ポケモン GO』では、ある地点にピカチュウが出現したとしても、複数人がそれぞれの端末において、同時に・同一のピカチュウを見ることはできない。物理的に同じ場所にいる複数人が「一匹のピカチュウ」というAR体験を共有できるのが、ARクラウドの目標とするところである。街規模のARクラウドを実現するためには、街全体のデジタルコピー (例えば点群データなどの形式) を何らかの方法で作成し、サーバ上に保持する必要があると考えられている。

⁵¹ <https://medium.com/6d-ai/why-is-arkit-almost-useless-without-the-arcloud-6ee1e7affc65>

⁵² <https://medium.com/6d-ai/dawn-of-the-ar-cloud-1b31eb4b52ac>

⁵³ <https://medium.com/super-ventures-blog/arkit-and-arcore-will-not-usher-massive-adoption-of-mobile-ar-da3d87f7e5ad>



図：ARクラウドの仕組み⁵⁴

ARへの応用を直接的に目的としていない分野であっても、ARクラウドのためのリソースが蓄積されている場合がある。例えば道路や都市の点群データは、これまでに建設予定地の確認や都市計画の材料、災害や交通のシミュレーションなど様々な分野で活用されてきた。静岡県は、静岡県を3次元点群データで再現した「VIRTUAL SHIZUOKA」のデータセットをオープンデータとして公開している。また、国土交通省は「PLATEAU」プロジェクトにおいて、日本の都市の3Dデータのオープンソース化を目指しており、2021年の公開を予定している。データベースがAR活用に最適な形式ではない場合も多いが、他分野と密接に連携することで、こうしたデータをARクラウドのために活用できることが期待される。

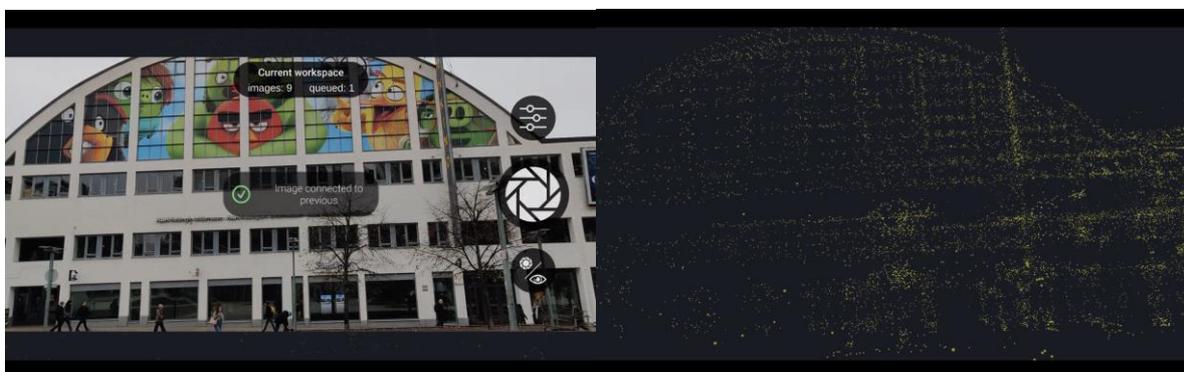
⁵⁴ <https://www.moguravr.com/silicon-valley-vr-news-2017-11/>



図：3D点群データ「VIRTUAL SHIZUOKA」⁵⁵

2.3.4 屋内外測位技術（GPS、VPS、UWB）

近年、屋内外におけるユーザーの測位技術が注目されている。GPSや準天頂衛星を用いた屋外測位システムに加えて、ビーコンやUWB（Ultra Wideband；超広帯域）、Wi-Fiや音波などを用いた屋内測位システムの発展も目覚ましい。先のARクラウドの項で取り上げた点群データやGPSに、カメラ画像を組み合わせることで測位を行う技術は、特に「VPS（Visual Positioning Service）」と呼ばれる。

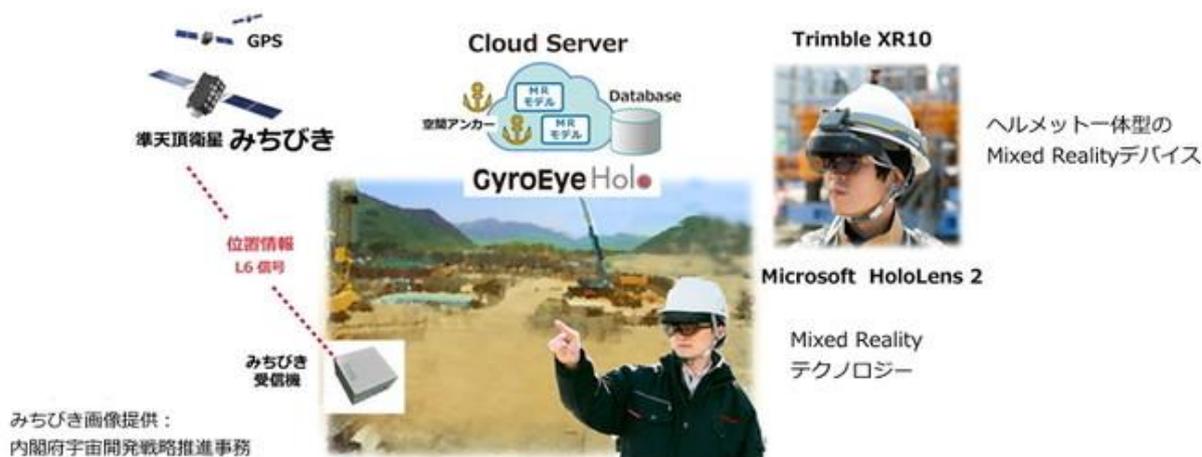


図：フィンランドの企業Immersalが提供するアプリを用いて作られたマップ。スマートフォンのカメラで環境を撮影すると、画像データにGPSとスマートフォンの向きを紐づけ、特徴点の抽出を行う。このマップを活用することで位置合わせをスムーズに行うことができる。⁵⁶

⁵⁵ <https://www.g-mark.org/award/describe/51263>

⁵⁶ <https://youtu.be/M62Bb3M1Pos>

他方、屋外測位をAR/MRに活用するための実証実験も始まっている。株式会社インフォマティクスは、同社のMRソリューションである「GyroEye Holo」と、準天頂衛星システムみちびきからの高精度位置情報を連携させ、建設・土木現場にBIM/CIMモデルを投影する実験を2020年に開始した。



図：株式会社インフォマティクス 準天頂衛星システムみちびきからの高精度位置情報を利用したMR実証実験⁵⁷

2.4 ARと社会的ルール

現実環境を実質的に再現したり、現実環境に新たなコンテキストを付与したりするAR/VR技術が社会にどのような影響を与えるか、その法的事例はまだほとんど存在しない。コンテンツを社会に展開する上で必要になる法整備は十分に進んでいるとは言い難い。ARが発展した社会を風刺した動画「HYPER-REALITY」のように、所狭しとARコンテンツが配置された社会が実現された場合、現行法では十分な取り締まりができない問題が起こる可能性がある。

⁵⁷ <https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000025.000034332.html>



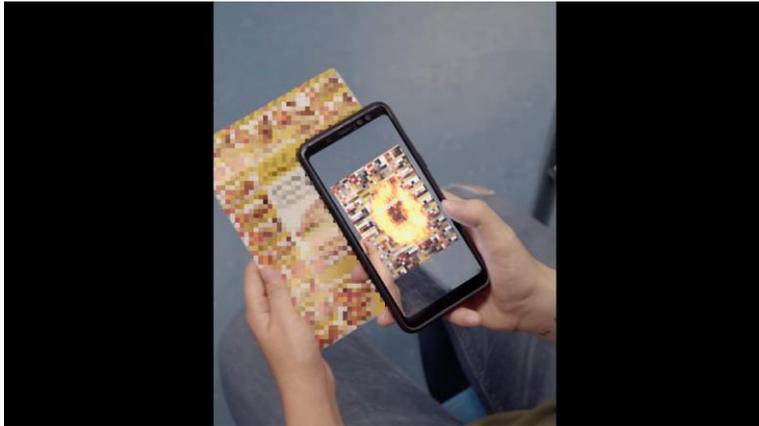
図：ARコンテンツで溢れかえる未来の都市を描いた動画作品「HYPER-REALITY」⁵⁸

例えば、著作権法の対象とされる著名な建築物や作品を無断でARコンテンツの一部としたり、AR技術によって無関係な広告を重畳すること。商標法の対象となるような特定の企業が保有するロゴをマーカーとして、関係のない別の企業のロゴや商品の宣伝に利用すること。土地の所有者に無断で、その土地をARコンテンツの舞台として利用すること（例えばスタンプラリーのスポットとして設定するなど）。こうした事例が合法か違法か、どのような問題を孕んでいるのかについて、今後検討されていく必要がある。

業界サイドでは、業界団体である一般社団法人XRコンソーシアムでAR/VRの法的課題等を検討するワーキンググループが作られており、自主規制等も視野に含めたガイドライン策定に向けて関係企業間で議論が行われている。

米国では『ポケモン GO』における「ポケストップ」（AR体験の中で意味を持つ、現実環境に紐づいたスポット）の位置に関して、近隣住民からの苦情が訴訟にまで発展した。他方、米国バーガーキングが、マクドナルドの看板やチラシをマーカーとして認識するとそれらが燃えた後にバーガーキングのクーポンが表示されるアプリなどをリリースし、話題を呼んだ。

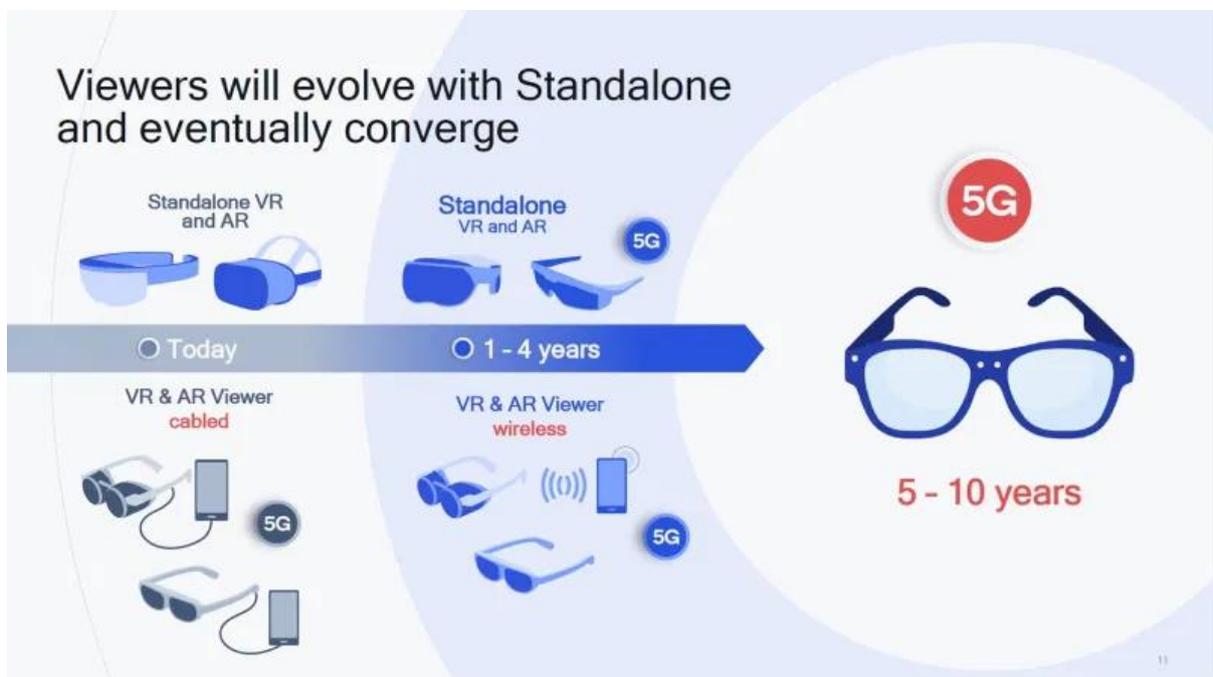
⁵⁸ <https://www.youtube.com/watch?v=YJg02ivYzSs>



図：他社の広告を燃やすバーガーキングのアプリ⁵⁹

2.5 今後のARの中長期的な展望

ARは2021年時点ではまだ黎明期であり、今後さらに普及していくものと考えられている。ハードウェアはグラス型デバイスに関するイノベーションを重ね、高性能化と同時に小型・軽量化が進む。いわゆるARグラス（眼鏡型ARデバイス）を日常的に使用する未来が目指されているのである。



図：モバイルデバイス向けプロセッサを提供するQualcommが2020年に発表したAR/VRデバイスのロードマップ。5～10年以内にグラス型デバイスが市場に投入できる準備が整うことを示唆している。

⁵⁹ <https://youtu.be/PGBYvh25uE0>

ARグラスを使うようになった世界では、ARと私たちの関係は劇的に変化する。現在は「何かをする」ためにARデバイスを装着し、用が終わればはずす。ARグラスが普及した場合には、我々は日常的にARグラスを着用しており、ARが生活、仕事、学校、移動などあらゆるシーンにおけるアクティビティやコミュニケーションをサポートする技術になるだろう。コンテンツとの接し方も変化する。

ARの普及の鍵を握るのはハードウェアだけに留まらない。OSレベルで我々が接するインターフェースは変化しなければならない。また各デバイスを同期しユーザーのAR体験を常時実現する「ARクラウド」は実用レベルになっている必要があるし、無数のアプリを作るだけ開発者が増える素地も必要だ。

日常的に様々なことを行う“プラットフォーム”となるがゆえに、ARは「スマートフォンの次のプラットフォームになる」と語られ、期待される。ハードウェアだけでも5~10年かかることが予想されるが、市場がこの莫大なビジネスチャンスを狙ってFacebook、Apple、Googleを始めとするIT大手、またMagic LeapやNianticなど新興企業も大規模投資を行っている。

第3章 ARコンテンツ制作

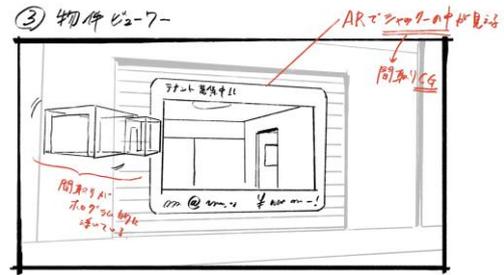
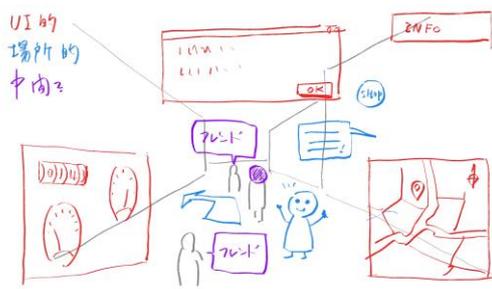
本章では、2021年3月現在、特に視聴覚体験からなるARコンテンツがどのように制作されているのか、制作における課題は何か、コンテンツの品質を高めるためにどのような工夫が凝らされているのか、複数の制作現場でヒアリングを行った結果を中心にまとめる。

3.1 ARコンテンツ制作のワークフロー

制作前

ARコンテンツ制作を始める前に、まず何より活用シナリオをきちんと策定すべきである。活用シナリオとは、いつ、どこで、どのようなユーザーによって、どのようなAR体験がなされるのか、そしてそれによって何が実現するのかをまとめたものを指す。

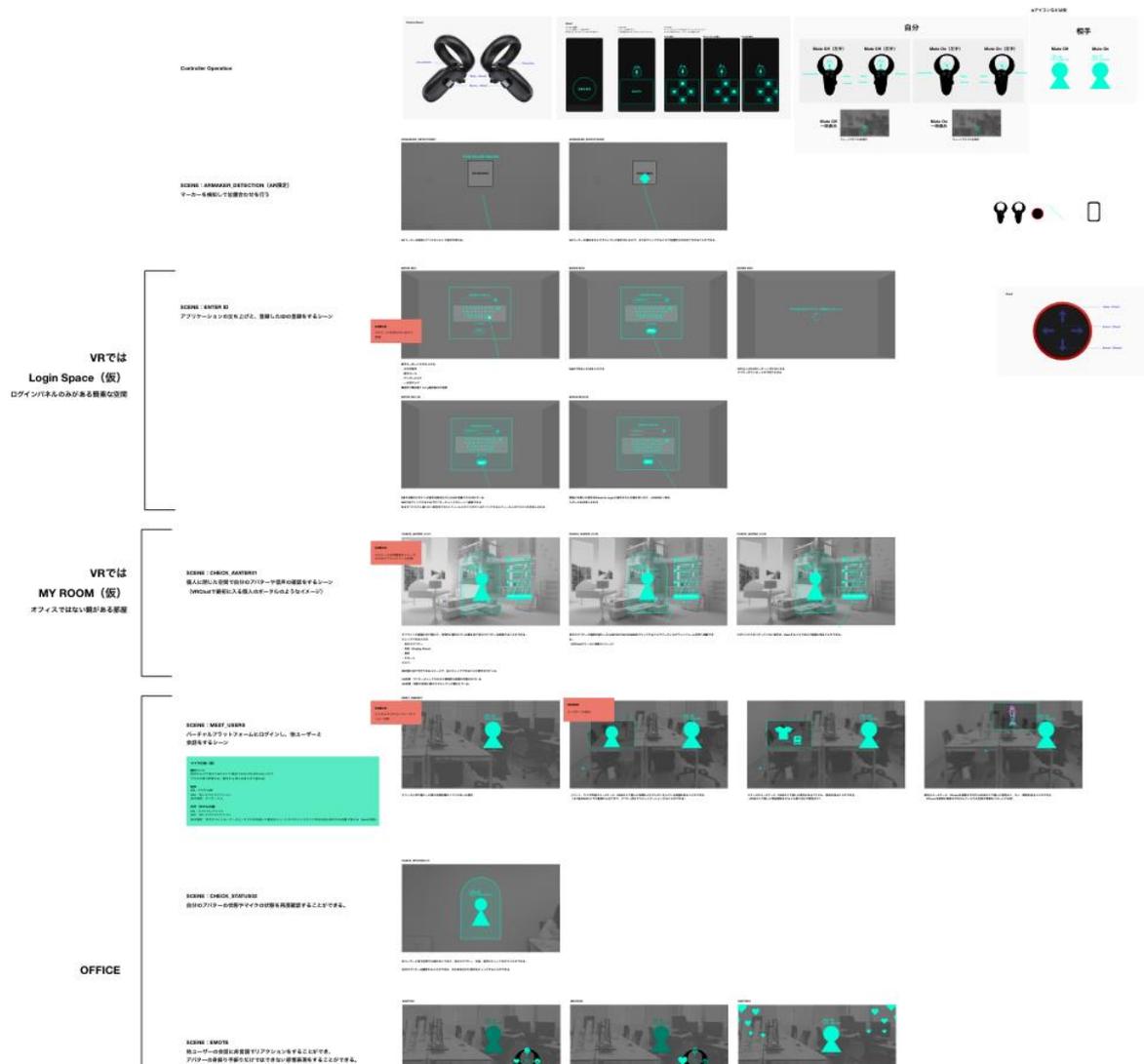
活用シナリオの策定において用いられる手法として、ブレインストーミング、テキストによる台本、絵コンテ、ビデオコンテなどが挙げられる。他にも、完成品を体験するユーザーの行動を時系列に書き出し、それぞれのタイミングで必要な機能とその優先順位を整理したストーリーマップや、誰もが一目で完成イメージを理解できる漫画、CGではなく紙や段ボールを用いて現実環境でシミュレーションを行うペーパープロトタイピングなども用いられる場合がある。これらは、ARコンテンツ制作に限らず、一般的な体験設計に見られる手法である。こうした制作前段階の準備は、出来上がるコンテンツの質を向上させるのみならず、無駄な工数の削減にも貢献する。



図：MRコンテンツの企画から絵コンテVコンまでの流れ⁶⁰

こうした企画段階においては、シナリオと合わせて、体験の核となるポイントも合わせて検討される。「ARならではの」空間性・インタラクティブ性・現実環境の拡張性を活かした体験や、エンターテインメントにおいて体験の楽しさに最も寄与するポイント、最も価値を発揮している機能などがこれに当たる。この時、「AR技術を使用していることそのものを価値にしない」と言うことも大事な教訓の一つである。AR技術を用いたコンテンツはまだまだ目新しさがある一方で、そうした価値は時代とともに薄れてしまうため、体験の本質的な価値を実現するためのツールとしてARを捉えることが望ましい。

⁶⁰ <https://www.youtube.com/watch?v=QYx00MU8TzY>



図：体験全体のフローや各シーンの表示要素の確認のために作られたコンテの例
 (提供：MESON, inc. & Hakuholdo DY Holdings Inc.)

また、その他にも企画段階に行うこととして、使用するアセットとデバイスの検討がある。特に産業向けのARコンテンツでは、各社が既に有しているアセット（CADデータ、図面など）をAR/MRアプリケーションに適用したいというシーンは多い。既存のアセットは、そのままの状態ARデバイスで動作可能なものもあれば、軽量化や形式変換などによるARデバイスへの最適化が必要になる場合もある。

デバイスの選定は、実現したい体験や制作コストに合わせて必然的に定まることも多いが、デバイスごとに特性が異なるため、必要に応じて使い分ける必要がある。

制作中

制作を開始したら、真っ先に取り掛かるべきはプロトタイプ制作である。ヒアリングを通じて明らかになったプロトタイプ制作の代表的な効用として、例えば、テキストや絵コン

テでは十分に理解することのできない、ARの持つ三次元空間性・実時間インタラクティブ性を体験できる点が挙げられる。これと同じ理由からVRコンテンツ制作においてもプロトタイプが重要であることは、「VR等のコンテンツ制作技術活用ガイドライン」でも述べられている。三次元的に・インタラクティブに動作するプロトタイプの制作を通じて、想定と異なる部分や、新たに実装を追加したい部分、さらには体験に基づいた機能の優先順位などが浮き彫りになる。プロトタイプのクオリティはケースバイケースであり、ビジュアルを全く考慮しないホワイトボックスのような形式のもの、見かけだけを模倣した実際には機能しないもの、汎用的なSDKを用いて簡単な動作を兼ね備えたものなどがある。

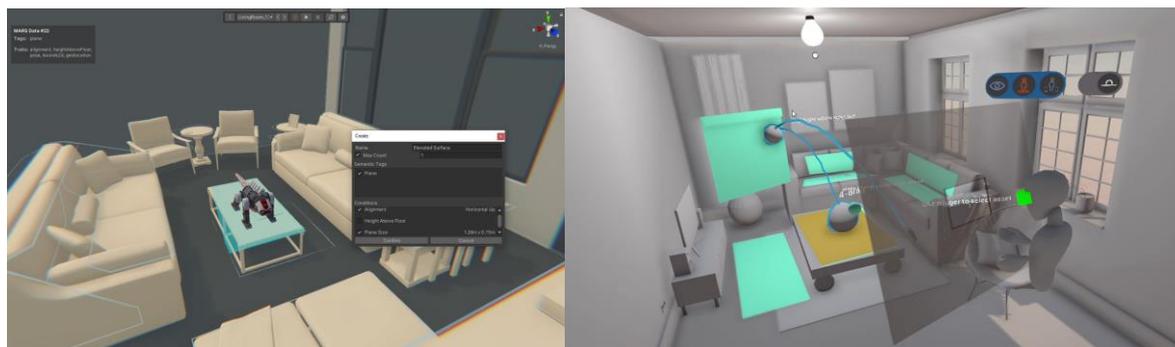


図：コントローラーを用いたARオブジェクトの操作に関するプロトタイプの例。白いCubeを使ってインタラクションの試作を行なっている。⁶¹

こうしたイメージの具体化を行っておくことで、顧客やコラボレーション相手とのコミュニケーションが円滑化するという利点もある。特に、AR技術に明るくない相手とのコミュニケーションでは、図面やイラストよりも空間性・実時間インタラクション性を備えたプロトタイプを見ながら話し合う方が、直感的な理解を促すことができるため、意思疎通を行いやすい。プロトタイプの開発とそれに基づいたフィードバックを一つのループとして、これを繰り返すことでプロジェクトに関わるメンバー間で完成イメージをすり合わせることで、コミュニケーションコストや開発コストの無駄を削減することにも繋がる。

⁶¹ <https://blogs.unity3d.com/jp/2020/02/14/designing-for-mixed-reality-learnings-from-the-mars-hmd-companion-app/>

また、体験する場所が特定されたロケーションベースのAR体験を開発する場合、制作が本格化する前に本番の現実環境をフォトグラメトリーなどの技術を用いてキャプチャーしておくが良い。これにより、プロトタイピングの目処が立つたびに現地に赴くことなく、CGの現実環境の上でAR体験のシミュレーションを行うことができる。その際、PCとARデバイスのスペックが異なるために、PC上でのシミュレーションがARデバイスでもそのまま同じように動作するかどうかは注意するべきである。



図：（左）開発用のエディター内でAR体験をシミュレーションしている様子⁶²、（右）VR環境でARコンテンツのプロトタイプを体験している様子⁶³

体験場所が屋外である場合、現行のARデバイスの特性上いくつか注意すべき点が存在するため、事前の下見や現地でのリハーサルは必須である。例えば、シースルー型のARディスプレイを日光の強い環境で用いる場合、ARの表示が見にくくなったり、トラッキングに支障が出たりする場合がある。また体験者に現実環境とは異なる視界を強いることになる場合は、歩き回った際の安全性も確保されていなければならない。

運用負荷を下げるために、現地でビルド（※）をやり直さずとも、アプリケーションの中で様々なパラメーターの調整を行えるような実装がなされていると便利である。そのために、開発者のみが使用できる隠しコマンドを用意しておく、ユーザーが立つ初期位置などをコントローラー操作のみで設定できるようにしておくなどの工夫をする場合がある。

（※）ビルド：開発したゲームやアプリなどを実行形式にすること、アプリケーションのサイズによっては1回のビルドに膨大な時間がかかることもある。

⁶² <https://unity.com/ja/products/unity-mars>

⁶³ <https://blogs.unity3d.com/jp/2020/02/14/designing-for-mixed-reality-learnings-from-the-mars-hmd-companion-app/>



図：アプリケーション内でマジックナンバーを操作している例⁶⁴

3.2 ARコンテンツ制作の課題

2021年現在、ARコンテンツ制作の現場の声を中心に、技術的、経済的、社会的課題を取り上げる。

3.2.1 技術的課題

まず、技術的な課題として、現行のデバイスのスペックが実現したい体験に対して不足している点が挙げられる。取り分けグラス型デバイスにおける視野角の狭さやトラッキング精度は、体験者・開発者の双方から改善を期待する声が上がっている。グラス型ではなくスマートフォンやタブレットを体験端末に選んだ場合、オクルージョンやハンドトラッキングなどの最新の技術を体験に取り入れることができない場合もある。

その他にも、現行の視聴覚体験用のARデバイスにおいては、触覚フィードバックを実現することが難しい。また、シースルー型ディスプレイが日光の強い場所では表示・トラッキングともに正しく動作しなくなってしまうこと、安全性・快適性の観点から現場での使用に耐えるデバイスがないことなども挙げられる。

安全性・快適性の問題の具体例としては、例えば高温の環境下ではデバイスが動作しなくなってしまうこと、グラス型デバイスとヘルメットの装着を両立することが難しいこと、視界をCGで

⁶⁴ <https://blogs.unity3d.com/jp/2020/02/14/designing-for-mixed-reality-learnings-from-the-mars-hmd-companion-app/>

上書きすることで現実環境の物理的危険に気づけない可能性があることなどがある。建設現場で使うヘルメットに関して、日本は他国と比較して満たすべき安全水準が厳しく、ARデバイスと組み合わせた状態で定められた安全性をどのように担保するのが課題となっている。



図：HoloLens 2が搭載されたヘルメット「Trimble XR10」⁶⁵

こうしたデバイススペックの問題はAR体験の質に直結しているが、市場に流通するデバイスのスペックはVRと同様に日進月歩であるため、数年後には大きく改善していることに期待したい。

またデバイスのみならず、データフォーマットの標準化に関する課題も存在する。例えば、各顧客が独自に所持しているアセット（CADデータなどの3Dモデル）は、AR体験に最適化するためには元の形式によって異なるアプローチが必要になるため、制作コストがかかる。また3Dモデルとそれに付与するモーションデータなど、複数のプロダクト由来のファイルを複合的に利用する開発を行う場合、各プロダクトに合わせたファイルフォーマットへの変換が必要になる。

3.2.2 経済的課題

経済的な課題としては、まず体験端末（グラス型デバイス）が十分に普及していないために消費者向けのコンテンツではマネタイズが難しいことである。グラス型デバイスの価格（数万～数十万円）がまだ高価であると感じている開発者・ユーザーも多い。AR体験の質が比較的高いグラス型デバイスが高価であるため、コストと体験の質とのトレードオフとして、代替りのプラットフォームとしてスマートフォンが選ばれることも多い。体験機会を増やすことやコンセプトを広めることを狙って、簡易版の体験を提供するスマートフォン・タブレット端末をグラス型デバイスと併用するケースもある。ただし、グラス型デバイスとハンドヘルド型デバイス（スマートフォン・タブレット）のAR体験では、体験の質に大きな差があると感じる開発者は多い。

⁶⁵ <https://blogs.windows.com/japan/2020/05/12/trimble-xr10/>

さらに、提供できる価値に対して制作コストが高いと感じる人が多いことも課題として取り上げられた。市場におけるAR体験の価値について、まだ一般的な相場が定まっているとは言い難いため、開発者は制作したAR体験がどのような価値を提供するのか、顧客それぞれが持つユニークな現場に即した説明をする必要がある。他方、ARコンテンツの開発を発注する顧客側は、2021年現在はまだ本格導入に向けた概念検証の段階にある場合も多く、用途によっては投資に近い姿勢を持つことが望ましい。ARコンテンツの開発は、その外見的印象からビデオゲームやスマートフォンアプリケーション、イラストや映像制作と同じように見られることが多いが、三次元空間性・インタラクティブ性の伴った体験設計は、従来の2Dコンテンツ開発より大きな制作コストがかかる場合が多い。

3.2.3 運用における注意点

運用における注意点としては、大きく分けて三点が挙げられる。一つは、従来の業務形態にARデバイスを導入することの難しさである。2021年現在までに多くの企業がARデバイスを用いた概念検証を行ってきたが、その中で、本格導入へ進むためには従来の業務システムと連携する際に多くの問題が生じることが明らかになった。データの連携方法、デバイスの管理、セキュリティなど、様々な観点から従来システムと接続することが必要であり、それゆえ多種多様な部署・ステークホルダーとの連携が求められる。業務形態の刷新を誰が、どのように行うのかが問題になる。

二つ目の課題は、ユーザーのAR体験に対する慣れが不足していることである。取り分け三次元の空間的体験を伴う操作は、PCやスマートフォンを中心とした平面的ユーザーインターフェースとは異なると感じる人が多いため、丁寧な説明が必要になる。場合によっては、空間的な体験が可能であること（例えば現実環境で歩くとそれに合わせてARコンテンツの表示が変わること）などから説明する必要があるかもしれない。

最後に、近年のコロナ禍において、デバイスの使い回しに関する衛生的問題が懸念されている。2021年現在、ARデバイスはまだスマートフォンほどには普及・パーソナライズが進んでいないため、作業現場や展示などでデバイスを共有する際には衛生的配慮が必要となる。

3.3 高品質なAR体験のための開発Tips

豊かな視覚体験と引き算の発想

視覚のAR体験において、CGを現実環境にどのように馴染ませるか、魅力的に見せるかということが、体験の質を向上させる上で重要な問題である。CGのディテール、陰影、オクルージョン、マテリアル、テクスチャ、色、ライティング、アニメーションなど、CGのリア

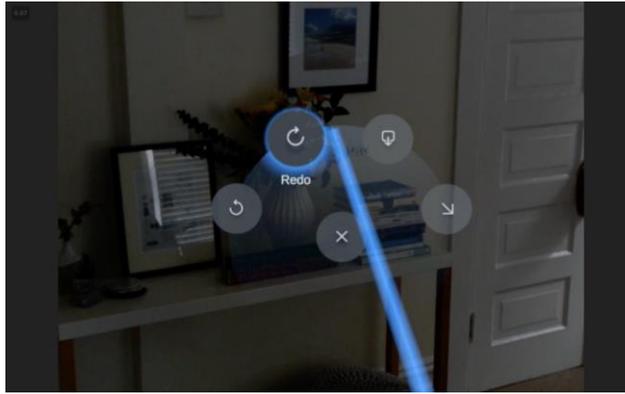
リティに関わるパラメーターは多い。そうした様々なパラメーターを丁寧に調整することで、ARコンテンツに登場するオブジェクトは現実環境に溶け込み、AR体験の質を向上させる。

他方、現行デバイスのスペックや制作コストなどの拘束条件から、こうした全ての視覚的豊かさを追求することは難しいのが現状である。そこで、実践的には、これらの要素の中でどれが最も重要でこだわるべきなのか、どれが優先度の低い削っても問題ない要素なのかを見極めることも重要となってくる。実現が難しい技術を不十分な形で無理に実装するより、そうした技術を全く見せないように回避する演出を行う方が、体験の満足度が高い場合もある。取り分けこうした「引き算」は活用シナリオごとに異なるため、正解が一律でないことに注意されたい。

操作性、快適さへの配慮

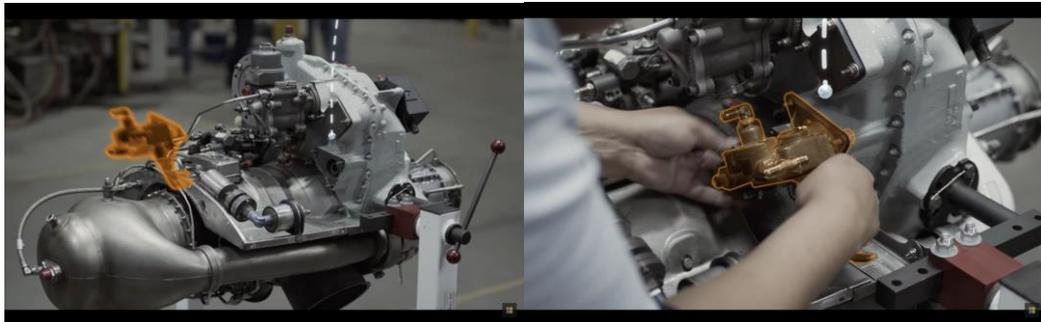
提示される情報が豊かであることとは別に、体験が快適であることも、高品質なAR体験に求められるポイントの一つである。AR体験は、社会に普及している他デジタルメディア（例えばテレビやPC、スマートフォンなど）にはない三次元空間性やインタラクティブ性を備えている。そのため、ユーザーとコンテンツがインタラクションをするためのインターフェースが従来とは大きく異なっており、その操作方法に戸惑う体験者も多い。AR体験が十分に普及しているとは言えない現状においては、AR体験に馴染みのない体験者であっても迷うことなく、体験者の行動を自然と誘発できるように、体験の流れやインターフェースをデザインする必要がある。とりわけ現行のARデバイスでは触覚フィードバックを提示することが難しいため、視聴覚の演出によってそれを補うことが望ましい。

例えば、インタラクション可能なオブジェクトは光や音、配色や変形アニメーションなどを用いてその旨を暗に伝える演出を行うと親切である。こうしたインターフェースデザインに関しては、既存のWebやスマートフォンアプリケーションから学べる事例も多い。



図：ユーザーが選択中のオブジェクトを認識しやすいように光で強調している⁶⁶

操作のインストラクションにおいては、手順を記したテキストを表示するより、アニメーションなどを用いて視覚的な理解を促す方が望ましい場合が多い。AR環境においては空間の至る所に情報を提示することが可能であるが、ユーザーに（空中に浮いた）説明書を読ませるより、三次元空間性・インタラクション性を活かしたインストラクションを行う方が望ましい。例えテキストを使用する場合であっても、色や効果音、音声ガイダンス、ピクトグラムなどを併用するとことで認知負荷を下げる効果が期待できる。



図：Dynamics 365 Guides with HoloLens 2⁶⁷

ARの強みを活かす

これまで本ガイドラインでは、ARの特性として三次元空間性、インタラクション性、そして現実環境とデジタル環境の融合の三つに着目してきた。こうした特性を活かすことで、他

⁶⁶ <https://blogs.unity3d.com/jp/2020/02/14/designing-for-mixed-reality-learnings-from-the-mars-hmd-companion-app/>

⁶⁷ <https://www.youtube.com/watch?v=2h860JT90Po>

のデジタルメディアでは実現が難しい価値を創出することができるようになるかもしれない。

例えば、ユーザーが自分の足で動き回るような体験を取り入れることは、三次元の空間性をユーザーに意識させることにつながり、「ARならではの」楽しさや利便性に貢献する。ARの持つ強みは、空間的な情報（ものの位置や移動など）をテキストや平面への写像ではなく空間にそのまま提示できることである。

ARは現実環境とデジタル環境を融合する。現実環境の持つ情報を変調させる技術であるため、実社会の他者とコンテンツを共有することがVRと比べて容易である。HMDによるVR体験が個人個人に異なる環境を作り出す性質を持っている一方で、ARでは現実環境という共通の文脈を各ユーザーが持っているため、複数人が同じ場所で体験を共有することに向いている。他者と同じのコンテンツを共有することは、臨場感やコンテンツへの没入感に寄与するとされている。さらに、現実環境の持つ文脈に介入することで、現実環境の「ルール」や「常識」に作用するコンテンツを作り出すこともできる。

第4章 活用事例紹介

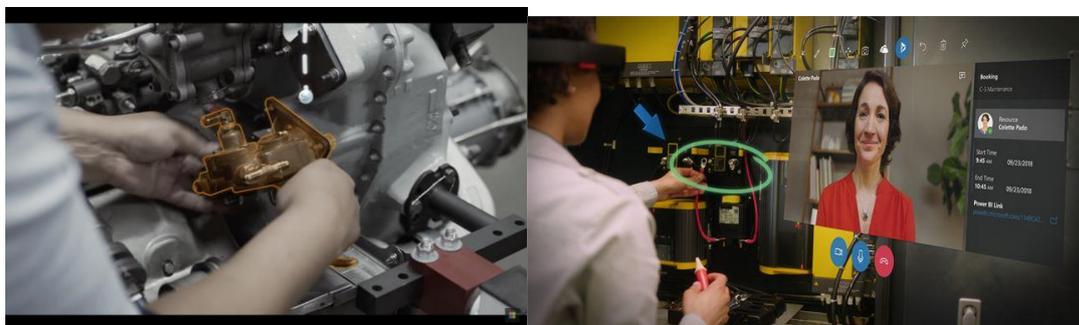
本章では、産業向けとコンシューマー向け（ユーティリティ、エンターテインメント）に分けてARの具体的な活用事例を紹介する。ハードウェア性能、インタラクションの方式など現時点の技術の限界の範囲内で実現しており、課題解決の手法としてARが実際に実装されている例として学ぶべき点は多い。

産業向け

Microsoftが提供している「Dynamics 365 Guides」というツールでは、ユーザーが自分で作業支援のコンテンツ制作ができる。作業工程などの表示順を設定することで、作業者に順番に情報を提示する。

また、同様にMicrosoftが提供している「Dynamics 365 Remote Assist」は遠隔での作業支援を目的にしたツールである。作業者はオペレーターが通話しながら、デバイスのカメラ越しに視界を共有し、オペレーターが空間に“書き込んだ”作業指示を参考に作業を行う。

作業支援のツール化は著しく、米国のScope AR社などスタートアップ発のソリューションも導入が盛んである。

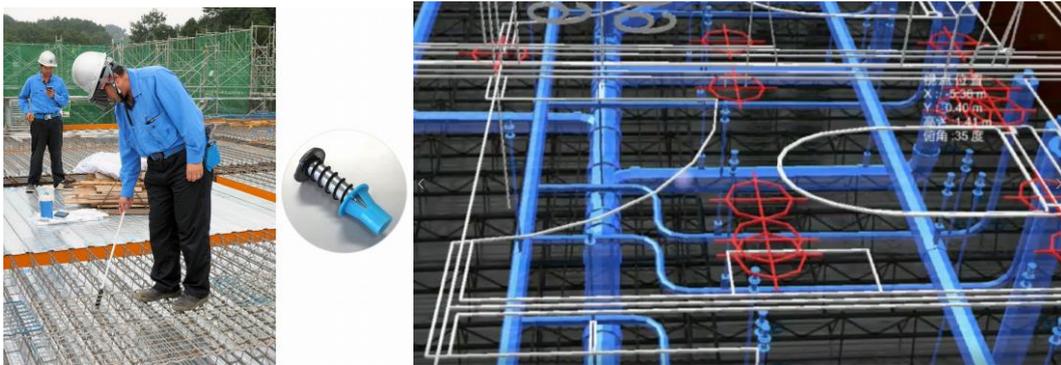


図：（左）Dynamics 365 Guides with HoloLens 2⁶⁸、（右）Microsoft Remote Assist⁶⁹

業界に特化したAR作業支援ソリューションも開発が進められている。CADやBIMなど3次元データを既に有している業界では利用が広がりやすい。例えば建築業界では、インフォマティクスの「GyroEye Holo」、ホロラボの「mixpace」、小柳建設の「Holostruction」など、建築現場、施工現場といった各段階で使えるツールが登場し始めてる。Holoeyesは医療向けに手術中に3Dモデルを表示するソリューションを提供している。

⁶⁸ <https://www.youtube.com/watch?v=2h860JT90Po>

⁶⁹ <https://www.microsoft.com/ja-jp/p/microsoft-dynamics-365-remote-assist/9p77qgw10k9m>



図：GyroEye Holoを用いた設備工事のAR墨出し作業⁷⁰



図：（左）Hololab mixpace⁷¹、（右）Holoeyes XR⁷²

ソリューション化が進んでいるもう一つのユースケースとしては、コラボレーションである。米国Spatial社の「Spatial」、日本の南国アールスタジオの「WHITEROOM」など、ARでアバターを介してコミュニケーションを行うツールが登場している。ウェアラブル型のARデバイスの単価が高いこともあり利用は限定的だが、ハードウェアの単価が下がることで導入が進む可能性を秘めている。



図：南国アールスタジオ WHITEROOM⁷³

⁷⁰ <https://www.informatix.co.jp/gyroeyeholo/>

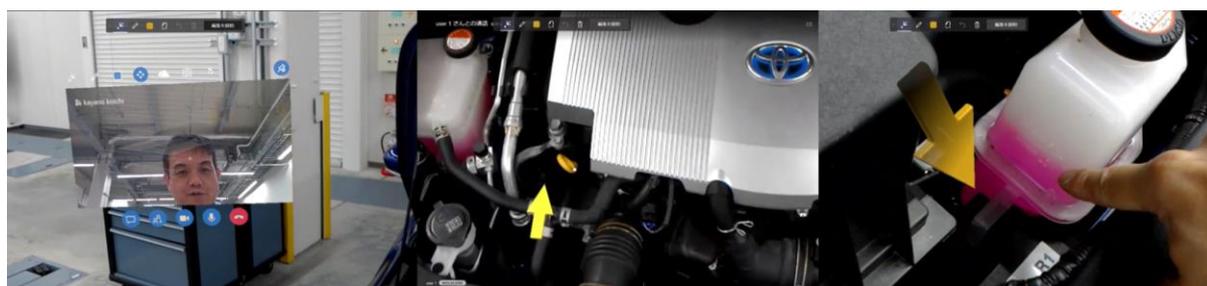
⁷¹ <https://mixpace.jp/>

⁷² https://holoeyes.jp/topics/docomo_magicleap/

⁷³ <https://whiteroom.business/>

個別企業の取組としては、トヨタが2021年より一部のディーラー店にて整備作業にARを導入している。トレーニングツールや作業支援ツールなど複数の機能を搭載しているが、作業支援機能では、従来のマニュアルでは解りづらかった部品やコネクタの配置などの配線や艤装に関する情報を、ARデバイスを活用することで立体的に表示。実車に重ね合わせて表示することで、正確な位置を直感的に理解しやすくすることを目的にしている。

他にもJR東日本、ネスレ、NASAなど国内外で導入事例は増加しており、ソリューション検討のための類例は豊富になりつつある。



図：トヨタ自動車株式会社 MRを用いた遠隔地とのコミュニケーション支援⁷⁴

コンシューマー向け

コンシューマー向けに配信されているARコンテンツの多くはスマートフォン向けであり、既存サービスの中に追加機能として搭載されていたり、モバイル向けのWebサイトの中に導入されていることも多い。

Appleは純正アプリとしてARを使った「計測」アプリを配信している。スマートフォンだけで現実空間の距離を測ることができる。Googleは同社の提供する「Google Map」の中に、AR機能を統合している。徒歩ルートの場合には交差点までの距離や曲がる方向を正確に表示する。

⁷⁴ <https://news.microsoft.com/ja-jp/2020/10/06/201006-toyota-motor-started-introducing-hololens-2-in-gr-garage-nationwide/>



図：Google Map AR

顔認識を中心に写真・動画撮影を拡張することを目的としたARフィルターは「Snapchat」、「Instagram」、「TikTok」といった各種SNSに導入されている。記事執筆時点でもARフィルターの機能は増え続けており、「Snapchat」では広告主の靴の試着などができるようになった。



図：SnapchatのARフィルター

トライオン（試着）機能に関しては、YouTubeやGoogleの検索画面に化粧品のトライオン機能が追加されているほか、パーフェクト社が提供するアプリでは化粧品・眼鏡などのトライオンができる。Amazonや日本で家具通販を手がけるLOWYA（ロウヤ）はECサイト内にAR機能を導入し、家具の試し置きができる。

ニュースアプリでのARの採用も盛んだ。ウェザーニューズは、天気や災害をARで体験できるアプリ「ARお天気シミュレーター」を配信しており、大雪・浸水などのビジュアルライゼーションを体験できる。日本経済新聞は、新聞に掲載されている画像等にスマートフォンをかざすと追加コンテンツを体験できる「日経AR」を提供している。

AR機能を使って子供の歯磨きを促進するスマートフォン向けアプリ「はみがき勇者」、絵本と組み合わせてARで宇宙の勉強ができる「ARで遊べる！学べる！JAXAといっしょに月探査」、おもちゃとARを連動させて組み立てたおもちゃが動き出すレゴのARアプリなど、子供向けのアプリも登場し始めている。



図：ARで遊べる！学べる！JAXAといっしょに月探査⁷⁵

ARゲームは「ポケモン GO」が2016年に配信開始されて以来、全世界的に多くのユーザーの心を掴み続けている。地図をベースに実世界を舞台にしたゲームデザインは、その後「ドラゴンクエストウォーク」を筆頭に位置情報ゲームとして一大ジャンルを築いている。

2020年には、スマートフォン向けアプリ「らくがきAR」がSNS上で大きな注目を集めた。著名な漫画家を始め、描いた絵がコミカルに動き出す動画が話題となり続ける様子は、ARが人々の心を夢中にさせる可能性を感じさせられる。

新型コロナウイルスの影響で盛り上がりづらくなったものの、ロケーションを利用したARコンテンツは日本国内でも体験機会が増えている。プレティア・テクノロジーズが渋谷を舞台にした「サラと謎のハッカークラブ」（スマートフォン）やcuriosityが開発した「ロイと魔法の森」（Magic Leap 1）、KAKUSINの「code name：WIZARD」（Magic Leap 1）など謎解きとARを組み合わせたエンターテインメント体験がある。

⁷⁵ <https://techpla.com/tansa/>



図：ロイと魔法の森⁷⁶

KDDI・Psychic VR Labらによる渋谷の街を舞台にした「XR ART展」（モバイル）、東京国立博物館での「5Gで文化財 国宝『聖徳太子絵伝』ARでたどる聖徳太子の生涯」（NrealLight）などアートや展示会との組み合わせも増加しつつある。



図：ARを使って渋谷の街にアート作品を出現させたXR ART展<INVISIBLE ART IN PUBLIC Vol.2 “ Synthetic Landscapes” >⁷⁷

他にも、ARでアーティストの3Dモデルがライブを繰り広げる「ARライブ」やスタジアムの観戦をARで拡張する取組み、ファッションブランドの購買体験をARで空間全体に広げる「PORTAL」（MESON社）など、日常でARを使うための様々な実験が行なわれている。

⁷⁶ <https://www.curiosity-inc.jp/roymori-ml/>

⁷⁷ <https://qetic.jp/art-culture/kddi-mutek-191211/340673/>



図：ARを用いたランウェイ PORTAL⁷⁸

⁷⁸ <https://www.meson.tokyo/en/works>

参考文献

1. 監修：蔵田武志，清川清，編集：大隈隆史；「AR（拡張現実）技術の基礎・発展・実践」．科学的情報出版，2015年．
2. 日本バーチャルリアリティ学会編；「バーチャルリアリティ学」．コロナ社，2011年．
3. 著：Dieter Schmalstieg, Tobias Hollerer，編集：池田聖，酒田信親，山本豪志朗，訳：池田聖，一刈良介，大槻麻衣，河合紀彦，酒田信親，武富貴史，藤本雄一郎，森尚平，山本豪志朗；「ARの教科書」．マイナビ出版，2016年．

【参考】AR用語集

【AR】

Augmented Reality（オーグメンテッドリアリティ）の略。日本語では「拡張現実感」。現実環境にVR環境の情報を付与することで、現実世界にVR環境の持つ機能を与え、現実における情報活動を支援する技術を指す。視覚に限らず聴覚や触覚のARなども存在する。

【Augmented Virtuality (AV)】

現実環境の物、人、環境の情報をVR環境に統合する技術のこと。ARが現実環境をVR環境の情報で修飾する技術であるとするなら、Augmented VirtualityはVR環境を現実環境の情報で修飾する技術であると言える。

【DoF】

Degrees of Freedomの略。日本語では「自由度」。AR/VR領域では、3DoFと6DoFという言葉がハードウェアの性能を示す際に頻繁に使用される。3DoFはX軸・Y軸・Z軸に関する3つの動きに対応し、回転と傾きを感知する。一方、6DoFは移動が加わり相対的な位置を感知し、より現実と同じAR/VR体験が実現する。

【Diminished Reality (DR)】

日本語では隠消現実感。一般にARが情報を付与する方向の技術であるのに対して、例えば障害物を消して見せるなど、DRは実環境の情報を引き算する技術である。

【HMD】

Head-Mounted Displayの略。日本語ではヘッドマウントディスプレイ。頭部に装着するディスプレイ装置のことを指す。

【HUD】

Head-Up Displayの略。日本語ではヘッドアップディスプレイ。透明な素子などに情報を投影することで外界を見ている視界内に情報を投影するディスプレイ装置のことを指す。HMD装着中に視界に情報が表示されることを「HUD表示」と呼ぶことがある。

【MR】

Mixed Realityの略。日本語では「複合現実感」。VR環境と現実環境を連続的なものとしてとらえる概念のこと。トロント大学のPaul Milgramは複合現実感（MR）について「拡張現実感（AR）から拡張VRまでを包括する広い概念」と定義している。

【SLAM】

Simultaneous Localization and Mappingの略。自己位置推定と環境地図作成を同時に行う技術。周囲の環境をセンサーやカメラでセンシングすることで、二次元もしくは三次元の環境地図の作成を行う。同時に自身の位置を推定することで、VR/AR体験中に正確なトラッキング、位置合わせを実現する。

【VR】

Virtual Realityの略。読みはバーチャルリアリティ。人工現実感と訳される。一般的に仮想現実と呼ばれることも多い。みかけや形は原物そのものではないが、本質的あるいは効果としては現実であり原物であること、またはそれを実現する技術を指す。

【位置合わせ】

幾何学的位置合わせとも呼ばれる。ARにおいて、バーチャルな物体を違和感なく現実世界に溶け込ませるために必要な工程。ディスプレイに2次的に表示するだけでは現実世界とバーチャルな物体は融合しているように見えないため、カメラ等を用いて現実の3次元座標にバーチャルな物体を配置しなければならない。位置合わせの手法には画像ベース（マーカベースと自然特徴点ベース）、センサーベースなど複数の手法があり、場合により組み合わせて使用される。

【インタラクション】

人間が何かアクション（操作や行動）をした時、システムや機器が対応したリアクションをすること。AR/VRにおいては、表示されているバーチャル物体等に干渉することを指す。例えば、表示されているボタンを手で押すことで表示が変化するなど。インタラクションが適切に設計されることで、AR/VR体験はより高いリアリティを得ることができる。

【トラッキング】

AR技術におけるトラッキングとは、センサーを用いて現実世界における対象物の位置を計測すること。たとえばヘッドマウントディスプレイの位置を計測して、体験者の頭部の位置・動きに応じてARコンテンツの見え方を変化させるなど。

【較正・キャリブレーション】

AR体験を行う際、現実空間における三次元座標系をハードウェアが正しく認識するための調整プロセスのこと。主に体験前に行うことで正確な位置合わせを行う。また、体験中に精度が下がった際に再度行うこともある。

【視線追跡（アイトラッキング）】

ユーザーの視線（今どこを見ているのか）を計測する技術のこと。

【ホログラム・ホログラフィ】

ホログラフィは光の干渉縞（波長・強度・位相）を記録・再生する技術。ホログラムは、ホログラフィで作った3次元写真（写真乾板など、光を記録した媒体）を指す。ホログラムを再生することで、記録した3次元物体が実際にそこにあるのと同様の像を見ることができる。波の波長・強度・位相の3つを記録・再生する技術がホログラフィであるため、光に限らず、音波や電波でもホログラムを作ることが可能。世の中に存在する空間に現れる立体的な映像の中には、ホログラムではないものも多く含まれる。