資料７－２

VRデバイスの普及とUI･UXの進化に伴う影響の分析

調査結果概要

2024.5.24

株式会社日本総合研究所
リサーチ･コンサルティング部門
通信メディア･ハイテク戦略グループ

本調査の背景・調査項目イメージ

【本調査の背景】

- メタバースの発展に代表されるように、AR、VR、MR等の仮想空間技術の進展が急速に進んでいる。入力デバイスも関連する技術も過渡期にある中で、リアルとバーチャルの連動が進み、ユーザ・インターフェース（UI）のあり方やそれがユーザに与える影響や効果についても、変化の途上にあると考えられる。
- 2023年7月公表の「Web3時代に向けたメタバース等の利活用に関する研究会」報告書において、「VRやAR、MRなどの新たなサービスは、新たな一つのUIであると考えられる。SNS等の既存サービスと比較してどのような違いがあり、人々の認識がどのように変わっていくのか、その影響を調査することは重要」とあり、また、「その際には、メタバース等の新たな技術のUXにおいて、SNS等でのレコメンデーションがもたらすフィルターバブルやエコーチェンバーなどが起きるのか、又は起きないのかといった状況についても併せて調べることが必要」とされている。
- こうした状況を踏まえVRデバイスの市場動向及び開発状況を把握するとともに、身体への影響等の観点でどのような課題が生じており、どのような対応がなされているのか等を整理した。

【本調査の項目】

【1】VR・ARデバイスに関する市場調査

【2】VR・ARの利用に際する身体への影響等に関する課題整理

【3】入出力デバイスの進化を踏まえたUI・UX の特徴整理

デスクリサーチ
〔書籍、記事、論文、ウェブページ等〕

有識者ヒアリング
〔学術機関、サービサー、デバイスメーカー等〕

出所：総務省「VRデバイス等に係る課題及びUI・UXの変化等に関する調査の請負 仕様書」等を基に日本総合研究所作成

Copyright (C) 2024 The Japan Research Institute, Limited. All Rights Reserved.

【1】VR・AR デバイスに関する市場調査　VR・ARデバイスの市場動向

- 国内における直近のVRデバイスの販売台数は数十万台程度である。今後は年率30%以上で成長する見込み。
- ARデバイスについては直近でVRよりも販売台数規模が小さいものの、今後高い成長率が見込まれる。

VR・ARデバイスの市場規模関連数値一覧※

項目		VRデバイス	ARデバイス
国内	販売台数	2023年：　40万～　50万台 2027年：130万～185万台	2023年：　8万台 2026年：47万台
	成長率	CAGR：33%～37% （2023年～2027年）	CAGR：64% （2023年～2026年）
グローバル	販売台数	2024年：　970万台 2028年：2,470万台	2024年：　100万台未満 2028年：1,090万台
	成長率	CAGR　：29.2% （2024年～2028年）	CAGR　：87.1% （2024年～2028年）

※下記のVR・ARデバイスの市場に関するレポートから該当する数値を抽出
- 矢野経済研究所「2023-2024 XR（VR／AR／MR）360°動画市場総覧 ～メタバース時代到来前夜～」（2023年4月）
- MMRI「VRヘッドセット利用動向調査」（2023年7月）
- IDC「世界AR/VRヘッドセット市場」（2024年3月）

出所：各種公開情報を基に日本総合研究所作成

Copyright (C) 2024 The Japan Research Institute, Limited. All Rights Reserved.

【1】VR・AR デバイスに関する市場調査　デバイスのスペック調査結果の総括

- 没入型・ビデオシースルー型において、複数の大手事業者が最新端末をリリースしており、画素数・画素密度の向上、軽量化が進んでいる。

項目	没入型・ビデオシースルー型	光学シースルー型
全般	**複数の大手事業者が最新端末をリリース** （2019年以前と比較して新規参入も存在）	直近数年間で**多数の事業者が撤退** （最新端末のリリースも限定的）
価格	• 過去との比較：価格は上昇傾向（スペックも上昇） ✓ 法人向け：20万円前後～70万・80万円 ✓ 個人向け：5万円～10万円	• 下記2つの用途で**価格が収れん**されている ✓ 法人向け（現場作業支援）：数十万円台 ✓ 個人向け（セカンドディスプレイ）：数万円台
表示系	• 視野角：**110度前後が最大〔以前から変化無し〕** • 画素数・画素密度：過去と比較して**大きく向上**	• 視野角：**70～90度前後が最大〔以前から変化無し〕** • 画素数・画素密度：過去よりも若干向上
重量	• **300g～500gまで軽量化** （2019年以前：600g～700g前後）	• HMD型：300gまで軽量化（以前：400g~600g） • グラス型：100gまで軽量化（以前：200g~300g）
入力方法・トラッキング方法※	• 個人向け：専用のコントローラーによる**ハンドトラッキングや指の動きやジェスチャーのトラッキング**が中心 • 法人向け：上記に加えて**アイトラッキングやフェイストラッキング**を搭載しているデバイスが多い	• 個人向け（セカンドディスプレイ）：接続する端末の入力方法に依存（マウス・キーボード、タッチパネル等） • 法人向け（現場作業支援）：専用のコントローラーによる**ハンドトラッキングや指の動きやジェスチャーのトラッキング＋音声入力**を搭載

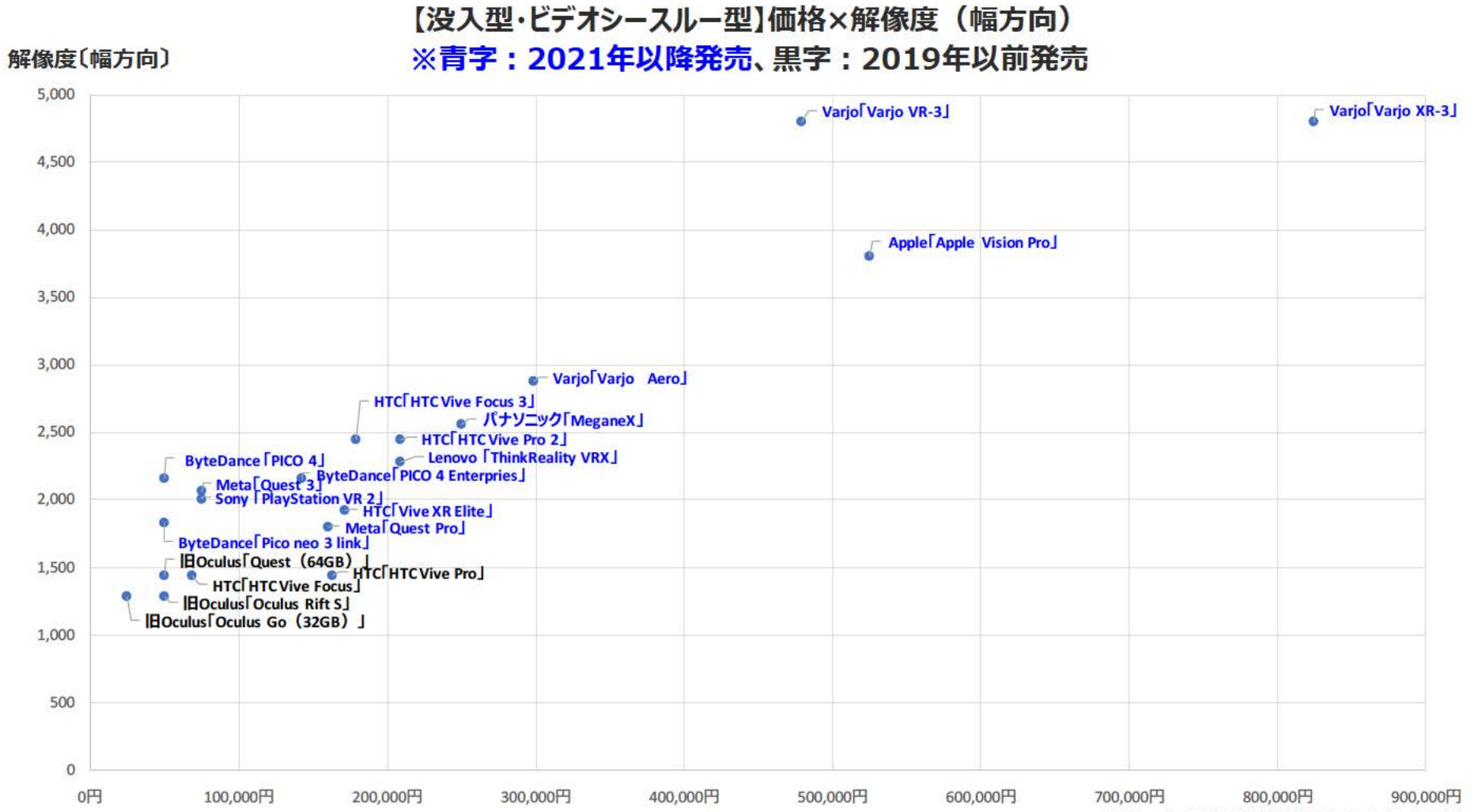
※形態別（没入型・ビデオシースル型/光学シースル型）・用途別（個人向け/法人向け）において、大半のデバイスで採用されていた代表的な入力方法・トラッキング方法を記載している。
ハイエンドのデバイスや最先端のデバイスにおいては、没入型・ビデオシースル型の個人向けでもアイトラッキングやフェイストラッキングを採用しているものや、
光学シースル型の個人向けでも専用コントローラーによるハンドトラッキング等を採用しているものは存在している。

出所：各種公開情報を基に日本総合研究所作成

Copyright (C) 2024 The Japan Research Institute, Limited. All Rights Reserved.

【1】VR・AR デバイスに関する市場調査　価格×解像度　没入型・ビデオシースルー型

- 解像度〔幅方向〕は2,000ピクセル以上が主流であり、一部の端末では3,800ピクセルや4,800ピクセルに及ぶ。
- 価格は円安の影響を加味しても上昇傾向にあると言える。

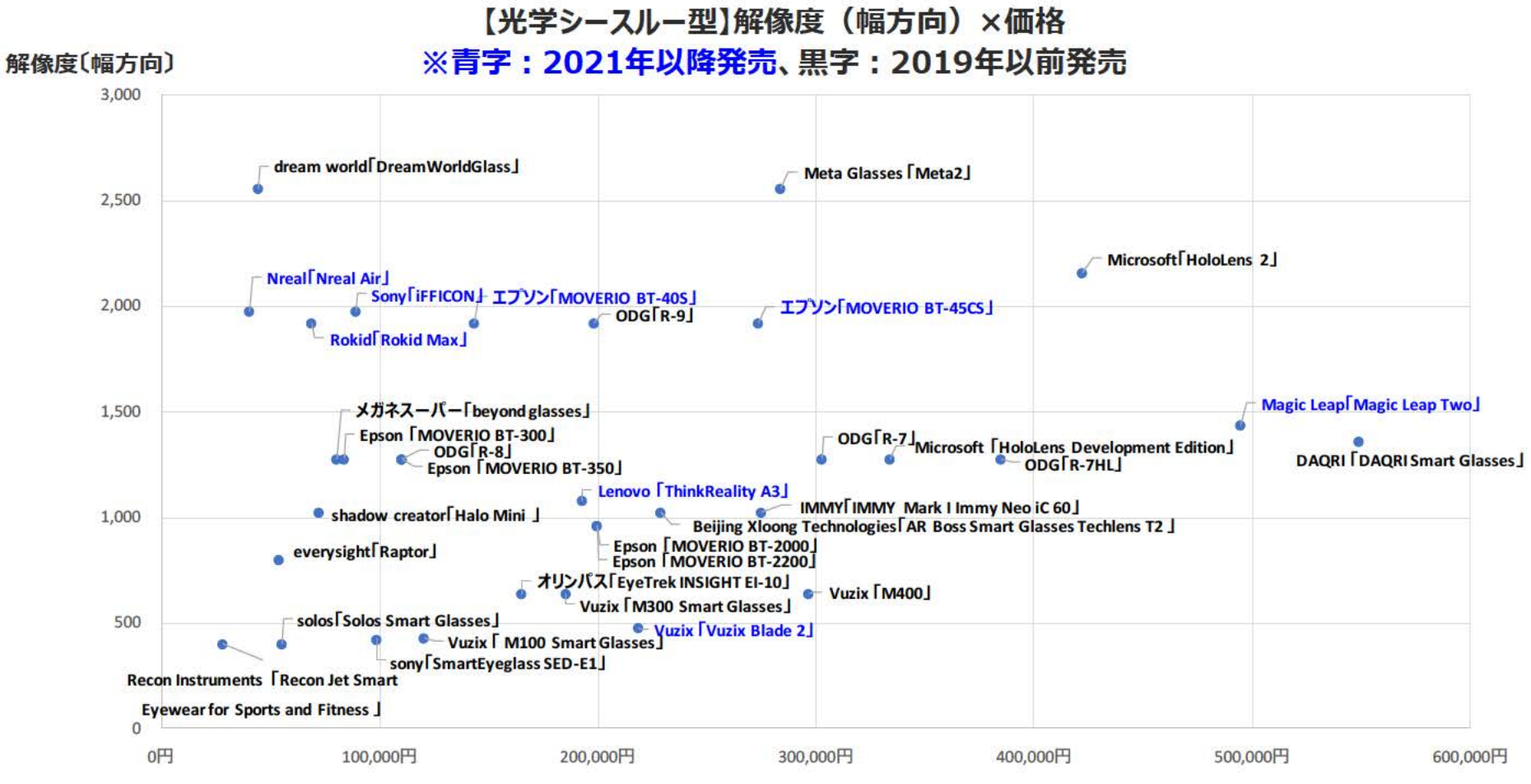


出所：各種公開情報を基に日本総合研究所作成

Copyright (C) 2024 The Japan Research Institute, Limited. All Rights Reserved.

【1】VR・AR デバイスに関する市場調査　価格×解像度　光学シースルー型

- 2019年以前は多数の光学シースルー型デバイスが存在していたが、近年の発売は少ない。
- 価格帯は「toC（動画・ゲーム用）」の数万円台と、「toB（現場作業支援）」の数十万円台が存在する。
- 解像度〔幅方向〕に関しては2,000ピクセル程度が主流（それを超えるような製品は近年は発売されていない）。

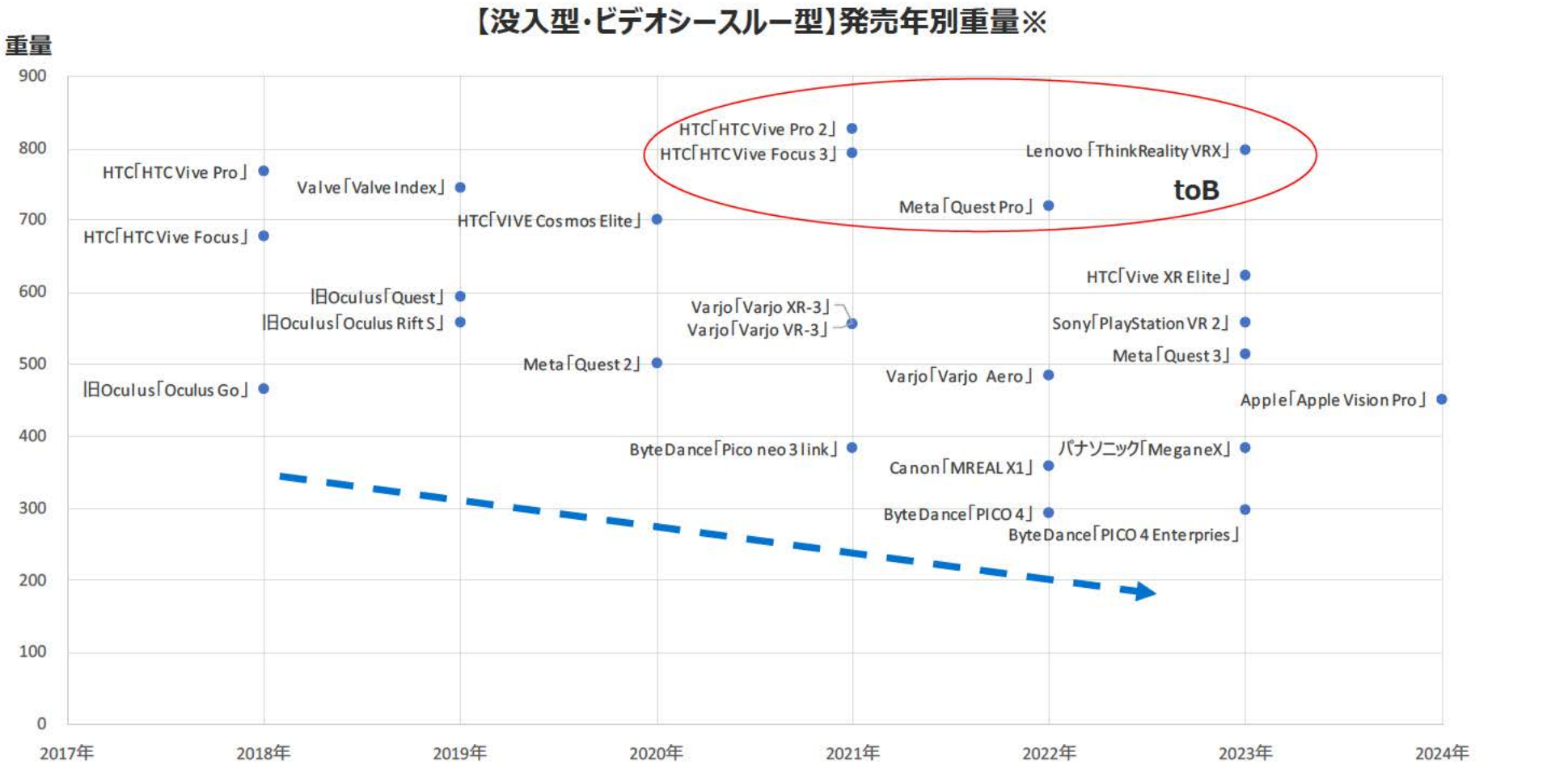


出所：各種公開情報を基に日本総合研究所作成

Copyright (C) 2024 The Japan Research Institute, Limited. All Rights Reserved.

【1】VR・AR デバイスに関する市場調査　重量の推移　没入型・ビデオシースルー型

- toBデバイスを除いて、toCデバイスは軽量化が進んでいる。最軽量のデバイスでは300g程度である。



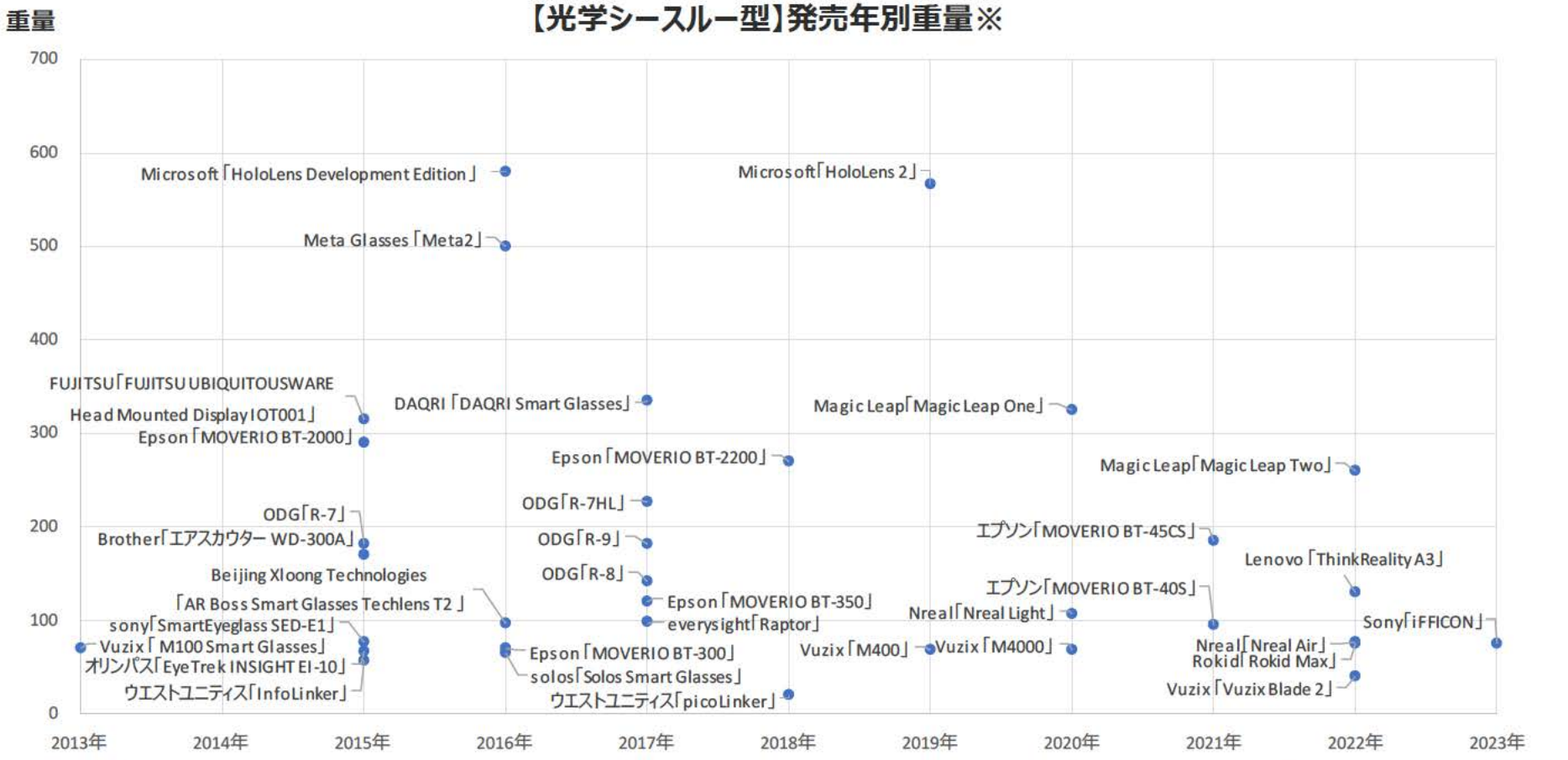
※バンドやコントローラーを含めないデバイス本体のみの重量。「Apple Vision Pro」のように外部バッテリーと有線でつないでいる端末や、ノンスタンドアロンで電源はPC等から給電される端末の場合には、バッテリーの重量が含まれていない点に留意が必要

出所：各種公開情報を基に日本総合研究所作成

Copyright (C) 2024 The Japan Research Institute, Limited. All Rights Reserved.

【1】VR･AR デバイスに関する市場調査　重量の推移　光学シースルー型

- MR向けデバイスについて、以前は400g～600gのものが発売されていたものの、Magic Leap社の最新端末では300g程度まで軽量化されている。
- AR向けデバイスついて、以前は200g～300gの端末が発売されていたものの、現在では100g前後が主流である。



※バンドやコントローラーを含めないデバイス本体のみの重量。「Apple Vision Pro」のように外部バッテリーと有線でつないでいる端末や、ノンスタンドアロンで電源はPC等から給電される端末の場合には、バッテリーの重量が含まれていない点に留意が必要

出所：各種公開情報を基に日本総合研究所作成

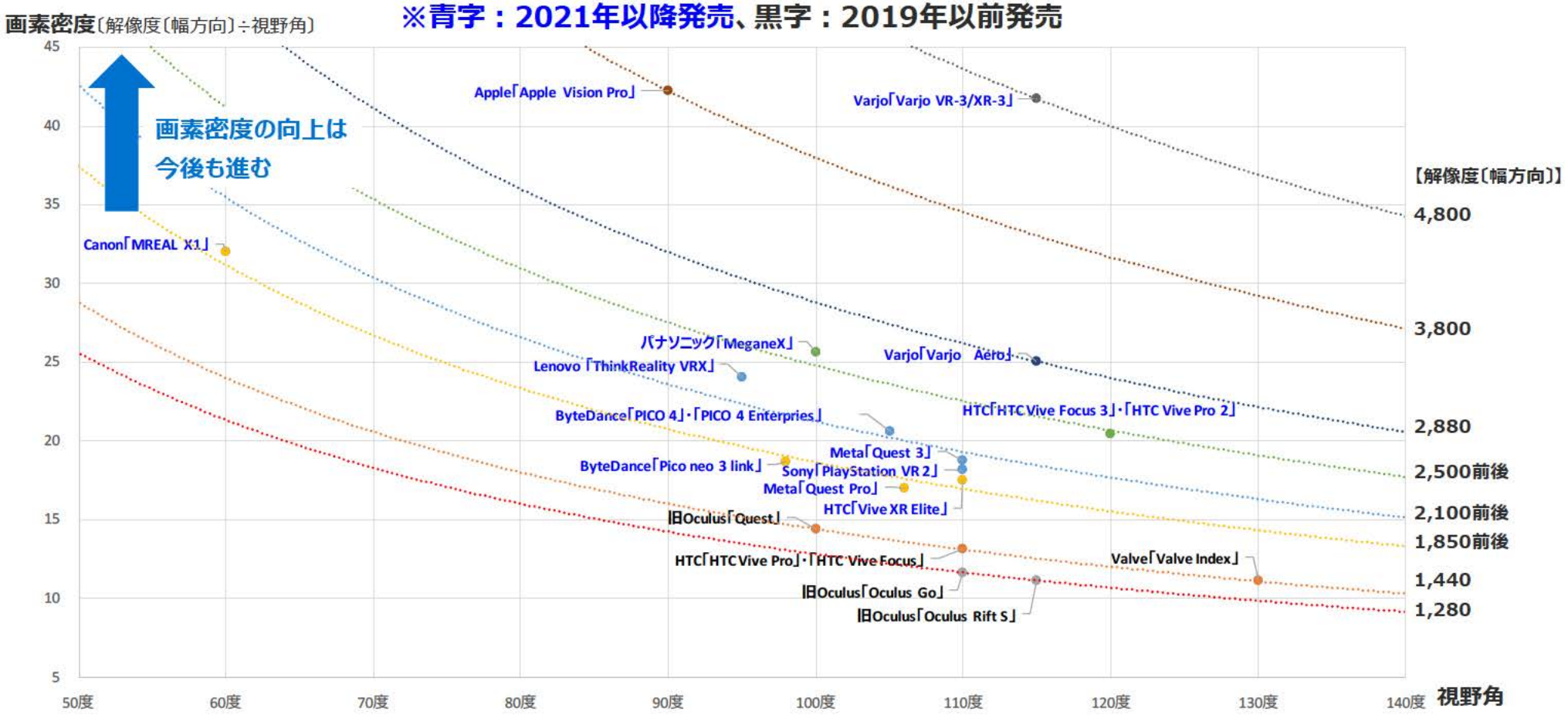
Copyright (C) 2024 The Japan Research Institute, Limited. All Rights Reserved.

【1】VR・AR デバイスに関する市場調査　視野角×画素密度　没入型・ビデオシースルー型

- 没入型・ビデオシースルー型デバイスでは、視野角に大きく変化はなく画素密度・解像度が過去よりも増加している。
- 視野角の向上はデバイスの構造上、現状以上の向上が難しくなっている。ビデオシースルー型デバイスでは、カメラから取り込んだ現実世界の映像の現実感を高めることが重要になるため、画素密度の向上が今後も進むと想定される。

【没入型・ビデオシースルー型】視野角×画素密度

※青字：2021年以降発売、黒字：2019年以前発売

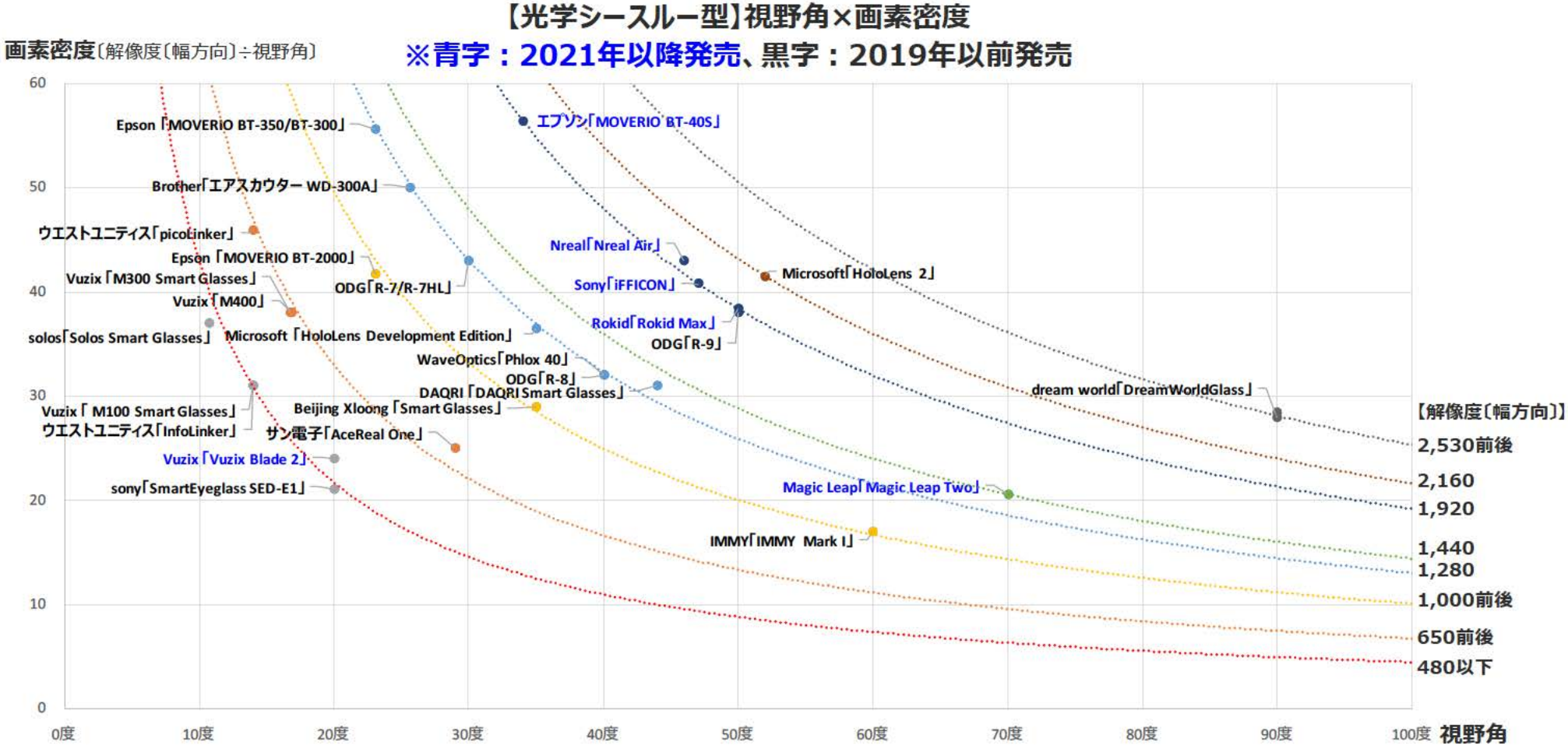


出所：各種公開情報を基に日本総合研究所作成

Copyright (C) 2024 The Japan Research Institute, Limited. All Rights Reserved.

【1】VR･AR デバイスに関する市場調査　視野角×画素密度　光学シースルー型

- 光学シースルー型デバイスでは、以前は視野角が20～40度程度の製品割合が多かったものの、近年では50度前後のものが多い。一方で、視野角が90度に達するような製品は直近では発売されていない。
- 画素密度については大きな変化が見られない。

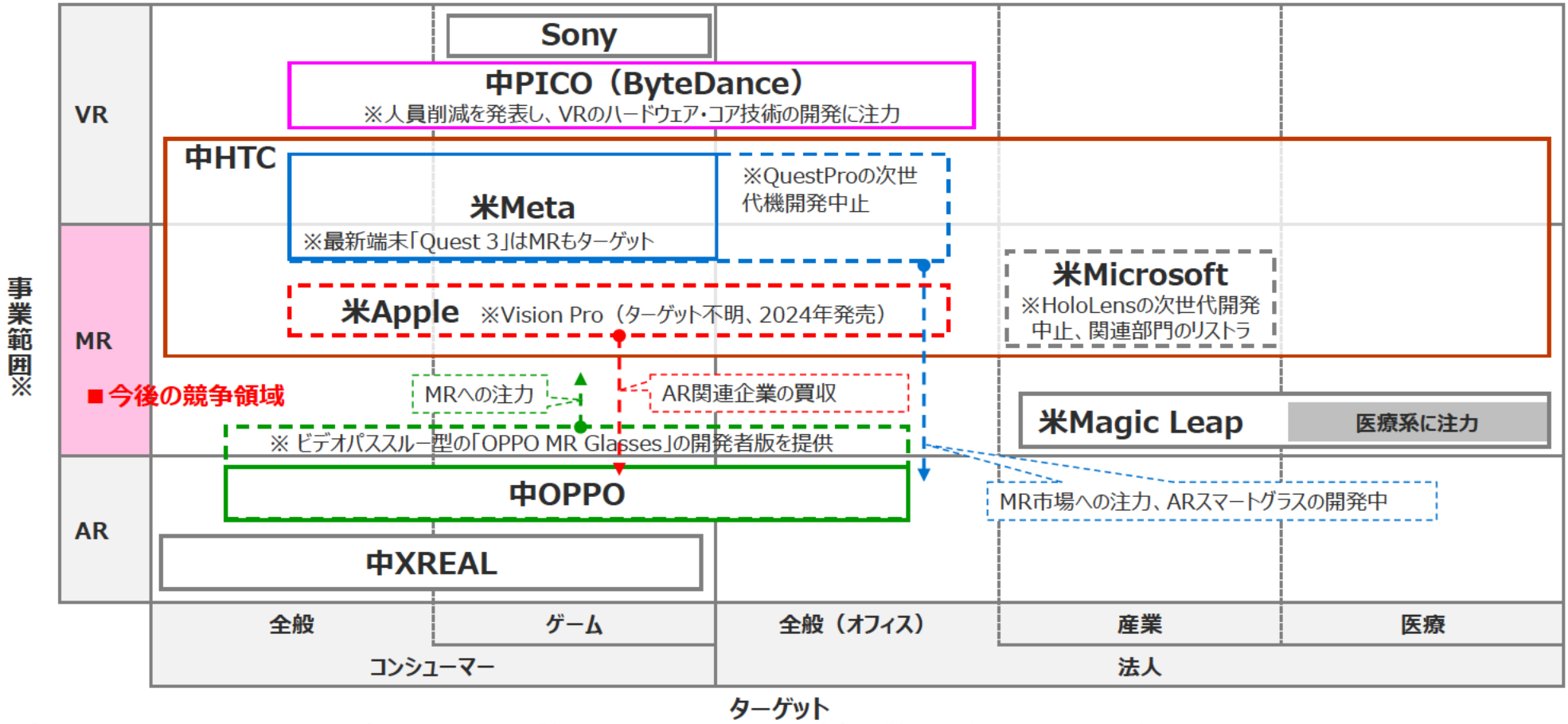


出所：各種公開情報を基に日本総合研究所作成

Copyright (C) 2024 The Japan Research Institute, Limited. All Rights Reserved.

【1】VR・AR デバイスに関する市場調査　主要事業者動向の総括

- コンシューマー・法人の両方をターゲットとして、XR全体を事業範囲と想定している主な事業者は、米Meta、米Apple、中HTC、中OPPOの4社のみで、米国・中国の事業者に限定されている。
- 一部の事業者は事業の縮小、事業範囲を特定領域へ限定することを余儀なくされている。
- 今後、競争が激しくなると想定される領域はMRの領域と推測される。



※事業範囲（「MR」や「AR」）については、各事業者が今後の戦略、製品展開の方向性のインタビュー・公表資料、製品紹介等で用いている用語で整理した。
「ISO/IEC 18038:2020」において「MR」「AR」の学術的な定義がなされているものと、XRデバイスメーカーがIR資料やニュースリリース、製品発表等で用いる「MR」「AR」の意味合いにはずれが存在すると見受けられたため（デバイスメーカーが明確に「MR」「AR」の定義を行っていない）出所：各種公開情報を基に日本総合研究所作成

Copyright (C) 2024 The Japan Research Institute, Limited. All Rights Reserved.

【1】VR・AR デバイスに関する市場調査　今後の主流となるデバイス

- 「没入型・ビデオシースルー型」と「光学シースルー型」では、物理的・技術的な制約等によりUXや利用用途が異なる市場である（棲み分け・使い分けがなされている）。
- 市場規模では「没入型デバイス」、今後の注目度では「ビデオシースルー型デバイス」が優っており、当面は「没入型・ビデオシースルー型」がXR市場の主流となると想定される。

提供UX	利用デバイス	利用用途	市場規模・事業者動向
バーチャル空間への没入体験	没入型・ビデオシースルー型	・PCのような業務を主体としたIT機器であり、屋内での利用（空間コンピューティング）	・現状、最も市場規模が大きい ・没入型デバイス提供者の中には一部事業縮小の動きもある XR市場の主流
現実空間とバーチャル空間の融合体験〔奥行等も含めて高いレベルで融合〕	ビデオシースルー型		・今後の注目市場（大手デバイスメーカーが参入・注力を宣言）
現実空間上にデジタル情報を重ねて表示：3Dコンテンツを重ねて表示	光学シースルー型 ※「3Dコンテンツ〔重ねて表示可能〕」はHololens、Magic Leapなどの一部のデバイスに限定される	・スマホの後継的存在であり、屋外で歩きながら等の利用が想定 ・遅延や位置ずれが許されない作業（手術、フィールドサービスなど）	・ここ数年で事業者の撤退や事業縮小も進んでいる
現実空間上にデジタル情報を重ねて表示：2Dコンテンツを重ねて表示			

異なる市場（棲み分け・使い分け）

出所：各種公開情報を基に日本総合研究所作成

Copyright (C) 2024 The Japan Research Institute, Limited. All Rights Reserved.

【1】VR・AR デバイスに関する市場調査　利用者動向

- 認知状況に関して、「メタバース」等の認知率、利用者数は低いものの、過去データと比較すると上昇傾向にある。
- メタバースへの主要アクセス手段に関してはスマホ等の比較的慣れ親しんだ機器での利用を好む傾向が見受けられた。
- メタバースのビジネスへの応用は期待が高まっている傾向も見受けられた。
- サービス拡大においてコンテンツの魅力よりも体験ハードルの高さがボトルネックとなっている傾向も見受けられる。

項目	概要
認知状況	• 「VR」の認知率は約半数程度と高いものの、メタバース、AR/MRの認知率はまだまだ低い傾向がみられる。 • 一方で過去データと比較した際に認知状況は増加傾向にある。
利用状況	• メタバース利用率で見たときに若年層ほど高い傾向が見られる。 • メタバースの課金サービスの利用者数、利用額ともに増加傾向にあり、市場拡大が期待される。 • Z世代と40～50代等の年代ではメタバースの利用目的が異なるため、各年代に応じたサービス提供が求められる。
アクセス手段	• メタバースへのアクセス手段では「スマホ・タブレット」等の慣れ親しんだ機器での利用を好む傾向がある。 • 一方で10代はさまざまな機器の利用に対して前向きな傾向が見受けられる。
魅力・期待	• メタバースサービスの中で「イベント」、「ショッピング」、「ゲーム」は他のサービスと比較して、満足度が相対的に高く、これらはコンテンツの内容を重視する傾向が見受けられた。 • 一方で「教育／訓練」等のB2B2C 領域では「機器の性能」や「機器の操作性」を重視する傾向が見受けられた。 • メタバース・サービスが実現する機能の中で全体的に魅力度が高いと認識されるのは「情報付加」の機能であった。 • メタバースのゲーム利用については「現在の利用状況」・「将来への期待」ともに高くなっている。 • 将来への期待が相対的に高くなっている項目として、ビジネスへの応用が挙げられている。
コンテンツを体験しない理由	• ARコンテンツを体験しない理由としては、体験ハードルの高さが、体験率を下げる一因となっている。

出所：各種公開情報を基に日本総合研究所作成

Copyright (C) 2024 The Japan Research Institute, Limited. All Rights Reserved.

【2】身体への影響等に関する課題整理　課題のまとめ

黄色：特に子供への影響が指摘される項目

- VR・ARの利用による影響・課題については、身体的な影響・課題、精神的な影響・課題、利用者のプライバシー面など様々な観点で検討・指摘がなされている。特に精神的な影響・課題が多く抽出されている。

VR・ARの利用に際する影響

身体的な影響	目・脳・頭への影響	両眼立体視の要求
		目・脳へのマイクロ波の被ばく
		脳や目など心身への刺激の大きさ
		VR酔い、これまで以上の目・頭頸部への疲労
		装着部皮膚への悪影響（かぶれなど）
	体への影響	身体（特に首や頭蓋骨）への負担・影響
		外界からの遮断による周囲の注意力の低下
		外界からの遮断による閉所恐怖症等の誘発
		概日リズムの崩れ
		現実の痛みの緩和（鎮痛剤）
精神的な影響	VRによる影響	多感覚統合的認知への影響（現実との感覚のずれ）
		手軽な満足感を得られるVR世界への依存
		孤独感などの誘発
		VR空間と現実の錯覚（感じるはずのない五感の錯覚）
		アバターとアバターの利用者の同一視（アバターの外見からなりすましを見破れない）
		アバターによる自己肯定感や自己受容感へ影響
		プレイ中に受けた感情・刺激のプレイ後の残留や反芻
		特定の感情や心理的な障壁や危機感等の緩和・感覚麻痺
		新しい感覚の発生
	ARによる影響	ARを使用していない状態でのAR上の仮想コンテンツを意識した行動（子供にのみに見られた影響）
		ARの仮想コンテンツを避ける行動
利用者の情報取得		利用時のユーザの感情や身体能力などの特定
		従来以上のユーザプロファイリングや追跡可能なデータソースの取得

将来的な課題

身体的な課題	個人	目の成長への悪影響
		電磁過敏症（EHS）の発症
		頭蓋骨の成長への悪影響（形がゆがむなど）
		利用中の体調不良、睡眠障害等の誘発
		身体活動の低下・身体的健康問題の増加
	社会	肥満など生活習慣病患者の増加
		悪意あるコンテンツによる事件・事故発生
精神的な課題	個人	重大な事故の発生（利用中、利用後）
		ユーザーの現実逃避の助長
		現実の人間関係の希薄化
		メンタルヘルスへの悪影響、トラウマや各種恐怖症の発生・誘発
		ネガティブな感情の増幅による過激な行動誘発
		暴力的行為など非倫理的な行為の助長
		利用者の感情・行動の操作や洗脳（AR・MRでは現実世界の行動に直接的に影響を与えることが可能）
	社会	サブリミナル広告の多発
		リアルでの社会的関係を形成できない人の増加
		現実世界と同等レベルのいじめ・ハラスメント・嫌がらせ・ストーカー・加害行為の発生
		世論や著名人・企業イメージ等の誘導
プライバシー面の課題		なりすましアバターや悪意のあるプログラムを通した個人情報等の漏洩
		プライバシー性の高いデータを用いた収益化
		職場における行き過ぎた監視・モニタリング
金銭面の課題		なりすましやディープフェイクを用いた詐欺（悪意あるコンテンツへの誘導）

注：あくまで文献で指摘があった課題を列挙したものであり、影響の大きさについては考慮していないことに留意が必要
（枝葉の課題や研究が進んでいない課題も列挙している、また、むしろプラスの方向に働くとされる指摘されるようなものも存在する）

出所：政府公開資料、書籍、論文、ニュース記事等の文献や有識者へのヒアリングにより得られた情報を基に作成

Copyright (C) 2024 The Japan Research Institute, Limited. All Rights Reserved.

【2】身体への影響等に関する課題整理　影響・課題の重要度

- 抽出した課題のうち、特にXR特有の課題（身体面、精神面）について着目すべきである。

		重要度・深刻度が低い影響・課題	着目すべき影響・課題	
			既存の延長線上の影響・課題	XR特有の影響・課題
身体的な影響・課題		• **マイクロ波の被ばく**：懸念が小さく、実際の影響も不透明であり、取り上げるべきではない		• **VR酔い**：VR特有の課題であり、ダメージが抜けにくい人も存在 • **悪意あるコンテンツ**：3Dアバターで視覚ジャックなども可能 • **装着部皮膚への悪影響**：長時間ヘッドセットをつけて顔のかぶれが発生するケースがある
	子供への影響	• **両眼立体視による斜視への影響**：非常に限定的なケース（幼少期に斜視傾向がある子供が長時間利用するなど）		• **頭蓋骨の成長・首への負担**：HDMメーカーの年齢制限は頭蓋骨の成長・首への負担を懸念している点もある
精神的な影響・課題		• **孤独感の誘発**：メタバース体験より、現実世界の孤独をなくせるなど効果が大きい	• **暴力行為の誘発やバーチャル空間への依存**：既にゲーム・SNS・インターネットで発生している課題であるが、VRコンテンツの方がより影響が大きい可能性はある	• **全般**：感覚・行動への影響のリスクがどの程度か不透明 • **多感覚統合的認知**：現実とは違う知覚の仕方を続けると、現実の感覚に影響が出てしまう可能性 • **行動の誘導**：MR・ARでは、反射や無意識の仕組みを利用して、現実の行動に直接影響を与えることが可能 • **感情の誘導・洗脳**：ステレオタイプを容易に変化させる研究も存在 • **いじめ・ハラスメント・ストーカー**：ノンバーバルなコミュニケーションが可能なため、現実と同等の嫌がらせ・加虐行為が可能 • **各種恐怖症の誘発**：容易に誘発されることが可能
	子供への影響		• **メンタルヘルスへの悪影響**：VR上のアバターと現実の自分自身とのギャップに悩む人が出てくる可能性は懸念される（特に子供）	• **危機感の欠如**：デフォルメされた体験になれた結果、危険意識が欠如する可能性がある
利用者の情報取得、プライバシー面の課題		• **感情や身体能力などの特定**：通常のコンテンツ利用中のデータから分析することは現時点では困難		• **職場における行き過ぎた監視・モニタリング**：視覚情報などを活用した研究の成果を参照して、事実とは異なる決めつけ等が起こる

注：「着目すべき影響・課題」は、列挙した影響・課題のうち、明らかに重要度が低いもの「以外」を取り上げたものであり、直ちに身体や精神に大きな影響を及ぼすことを意図していないことに留意が必要

出所：各種公開情報や有識者ヒアリングの結果を基に日本総合研究所作成

Copyright (C) 2024 The Japan Research Institute, Limited. All Rights Reserved.

【2】身体への影響等に関する課題整理　XR特有の影響・課題と対策の整理

- XR特有の影響・課題の多くは、悪意のある/低品質/配慮の欠けたコンテンツの利用により引き起こされるものであり、XRサービス・コンテンツによる身体的・精神的な影響の仕組みやリスクを明確化した上で、コンテンツ提供者への教育やベストプラクティスの共有、また、コンテンツの高度な事前審査等が求められる。

	XR特有の影響・課題	影響・課題を引き起こす要因	影響・課題への対策
身体的な影響・課題	着部皮膚への悪影響	長時間のHMDの装着	長時間の利用の制限や利用者の年齢制限 （既に事業者が実施済み）
	頭蓋骨の成長・首への負担		
	重度なVR酔いの発生	悪意のあるコンテンツ・低品質のコンテンツ・配慮の欠けたコンテンツの利用 （右記のような影響・課題を引きこ起こすコンテンツ）	XRサービス・コンテンツによる身体・感覚・行動への影響の仕組みやリスクの明確化 （今後の実施が期待される）
精神的な影響・課題	多感覚統合的認知への影響（現実との感覚のずれ）		コンテンツ提供者へのベストプラクティス共有、身体・感覚・行動への影響の仕組み・リスクの教育 （今後の実施が期待される）
	行動・感情の誘導・洗脳		
	各種恐怖症の誘発		コンテンツの事前審査 （既に事業者が実施済み） ※将来的にはAIによる高度な審査を期待
	現実と同等レベルのいじめ・ハラスメント・嫌がらせ・ストーカー・加害行為の発生	メタバース空間でのノンバーバルのコミュニケーションの実現	各空間のパトロール・空間のデータ取得・分析による監視 （既に事業者が実施済み）
プライバシー面の課題	職場等でのモニタリングによる事実とは異なる決めつけ等の発生	発展途上の分析技術や研究を基にした感情・思考の分析	***（言及無し）

出所：日本総合研究所作成

Copyright (C) 2024 The Japan Research Institute, Limited. All Rights Reserved.

【3】入出力デバイスの進化を踏まえた特徴整理　入力技術と進化の方向性

- コントローラーでの操作による違和感や直感的な操作〔掴む等〕の難しさから、体の動きの検知によるアバター操作やボタンを押すなどの直感的な操作を可能にする技術が高度化すると考えられる。
- 他方、筋電の計測やBMIは研究段階であり、実用化までに長い時間を要すると考えられる。

入力技術	概要（現在の用途）	現在の課題	進化の方向性（開発動向）
コントローラー（ハンドトラッキング）	• HMDと手に持つコントローラーを組み合わせて仮想空間上での手での操作を実施	• **コントローラーでアバター等を操作する違和感**（没入感が損なわれる） • ものを掴むなど、**直感的な操作が難しい**	• **手袋型のデバイスでの触覚フィードバックも含めた操作性向上** • 外部カメラにより**ハンドトラッキングを実施し、仮想空間上に反映**
ジェスチャトラッキング	• 頭や体の動きをセンサーなどで検知し、仮想空間上の動きの出力に繋げる • 外部カメラやセンサーでの測定が主流	• **外部カメラやセンサーの設置が必要**であり、機器設置の面倒さやコストが発生、VR体験の場所も限定される]	• **３自由度に加えて、上下左右前後の動きを検知する6自由度の開発** • センサーやカメラを内蔵したHMDやウェアラブルデバイスの開発及び普及
アイトラッキング	• HMDやARグラス内でのユーザーの視線の方向を、機器に搭載したセンサーなどで検知する	• VRでの視覚情報と実際の触覚等感覚の差異から生じる**VR酔い** • 映し出される映像の全てがはっきりと焦点が合った状態で映るため、**現実との差異を感じて没入感が削がれる**	• アイトラッキングにより、バーチャル空間上でアバターが視線を動かすなどリアルにより近づける • **視線とコントローラー等を組合せて、仮想空間上での操作**を実現
音声認識	• 音声を認識・伝達し、ユーザーの会話を支援。また、仮想空間内での移動やその他行動に関する命令として検知する	• 様々な環境が混在する環境では、正確な音声の認識が必要	• 音声認識技術の高度化 • **仮想空間での移動や操作を可能にする**音声技術の高度化
筋電の計測	• 手や腕などから検知した筋電からアバターの操作等に繋げる技術	• 研究開発の段階であり、精度向上や対象とする身体動作の拡張などが必要	• **センシング技術の向上（精度やトラッキング対象の拡張）**
BMI	• 神経や筋肉の電気信号を検知し、コンピュータやアバターの操作を行う	• **電気信号の検知の精度が低い**ため安定した操作が難しい	• **センシング技術の向上**
フェイストラッキング（表情）	• カメラ等での検知により表情を解析 ※無意識下での入力	• アバターやプラットフォームの仕様に依存 • 機器の重量や大きさに課題	• 精度向上に加え**端末の小型・軽量化や、共通仕様化が進む**
空間情報の計測	• センサーやカメラにより周囲の空間の形など外部情報をとらえる技術	• センサーなどを内蔵している機器は高価	• 精度向上に加え、**トラッキングに必要な機器が低廉化**

※黄色枠：早期の普及が想定され、UIの変化に対する影響が大きいと考えられる技術

出所：各種公開情報を基に日本総合研究所作成

Copyright (C) 2024 The Japan Research Institute, Limited. All Rights Reserved.

【3】入出力デバイスの進化を踏まえた特徴整理　出力技術と進化の方向性

- 現実との差異から、仮想空間などでの没入感が減少してしまう課題があるため、各出力技術領域において現実と同様の感知ができる技術開発が進んでいる。
- 視覚や聴覚は現在のVR技術開発の中心であることや、ハンドトラッキングなどに係る触覚に関する技術も今後のUIの変化における関係性が大きいと考えられる。

出力技術	概要	現在の課題	進化の方向性（開発動向）
視覚（3D映像など）	• 右目と左目それぞれのディスプレイに別々の映像を映写することで頭の動きに応じた映像を立体的に感じることが可能	• VRでの視覚情報と実際の触覚等感覚の差異から生じる**VR酔い** • 常に**鮮明な映像が映るため、現実との差異による没入感の減少**	• アイトラッキング技術を活用した映像の調整
聴覚（音響）	• 360°の立体音響による、人の話している方向や、見ていない方向からの環境音の再現	• 映画館や商業施設では増加しているものの、**個人で3D音響を実現できるシステムは少ない**	• 立体音響の精度向上や低廉化 • 特定の音を拡大することによる没入感の向上
触覚	• 電気信号や物理的な圧力によって、リアルな触覚を再現 • コントローラーの振動による刺激が現在は主流	• **振動では立体的な「もの」の手触りを感じることができない** • 没入感の減少	• スーツや手袋型のデバイスにより、仮想空間上の体験と同様の刺激やボタンを押す感覚をフィードバック
前庭感覚	• からだの傾きや揺れ、加速、回転などを感じる感覚を、実際の動きの再現もしくは電気刺激で再現	• 実際に体を動かすことで、仮想空間での動きを再現するには、**実空間のスペース確保や機器が必要**	• 電気刺激による前庭感覚の再現の高度化
嗅覚	• 鼻に装着するデバイスをHMDなどと組み合わせ、VR空間上での体験に合わせた匂いが体感	• **カートリッジが必要なため、限定的な匂いしか再現できない** • 匂いのなさによる没入感の減少	• 再現できる匂いの種類の増加
味覚	• 電気的な信号を送るデバイスを舌に充てることで味覚を再現	• **デバイスを舌に充てる必要がある** • 食事での味のなさに起因する没入感の減少	• 味覚を直接刺激する方式だけでなく、脳への低侵襲あるいは非侵襲な刺激で味覚を再現する方法の開発

※黄色枠：早期の普及が想定され、UIの変化に対する影響が大きいと考えられる技術

出所：各種公開情報を基に日本総合研究所作成

Copyright (C) 2024 The Japan Research Institute, Limited. All Rights Reserved.

【3】入出力デバイスの進化を踏まえた特徴整理　UI・UXの進化とその影響まとめ

- UI・UXの進化により、VR空間上での新たな社会形成や、精神・身体へ好影響を与えるコンテンツが生まれる一方、それを逆手に取ったユーザーへの新たな攻撃手段が生まれると考えられる。

入力	進化の方向性〔開発動向〕
コントローラー	• 触覚フィードバックを含む操作性向上 • 外部カメラでのハンドトラッキング
ジェスチャ	• 3DoFから6DoFへの進化 • センサー・カメラ内蔵のHMD普及
視線	• アバターへの視線の反映 • 視線とコントローラー等を組合せてた仮想空間上での操作実現
音声認識	• 音声認識技術の高度化 • 仮想空間での移動や操作を可能にする音声技術の高度化
筋電	• センシング技術の向上（精度やトラッキング対象の拡張）
脳波	• センシング技術の向上
表情	• 精度向上に加えて端末の小型・軽量化や、共通仕様化が進む
空間	• 精度向上に加えて、トラッキングに必要な機器が低廉化

入力手段が増えると共に、操作者の「意図」をAIが認識して補正する形で、直感的な操作の精度が急激に進化する可能性がある

出力	進化の方向性〔開発動向〕
視覚	• アイトラッキングを活用した映像の調整
聴覚	• 立体音響の精度向上や低廉化 • 特定の音の拡大による没入感向上
触覚	• スーツや手袋型のデバイスにより、仮想空間上の体験と同様の刺激やボタンを押す感覚をフィードバック
前庭感覚	• 電気刺激で前庭感覚再現を高度化
嗅覚	• 再現できる匂いの種類の増加
味覚	• 脳への低侵襲あるいは非侵襲な刺激で味覚を再現する方法の開発

ハード〔高精細化や出力手段の増加〕とソフト〔現実との遅延やずれの低減等〕の両面からのフィードバックにより没入感が増していく

操作性の向上

表現性の向上

正の影響	負の影響	結果
高性能化・操作性向上 入出力進化により疲労が少なく没入体験が実現〔XR利用の普及が加速する入口となる〕 VR酔いや疲労感が軽減される より簡易に没入できるようになる・没入体験が向上する VR上の新たなコミュニティへの参加や産業利用の促進	**スペック格差** ハイスペック化／HW・NWの要求スペックの高まり コンテンツ開発の負荷が大きくなる ※負荷増大と開発環境進化の綱引き VR体験の格差が生じる	• ユーザにVR空間上でのスキルやリテラシーが求められる ✓ VR空間上での心構え〔多様性の受入れや攻撃性の排除等〕 ✓ VRならではの攻撃に対する理解と対策知識
社会形成・価値向上 VR上での社会参画が増加する ※新たな活躍の場や就労機会の増加 高齢者、育児中の親、障がい者等が新たに活躍 業務の付加価値が向上する 空間を超えた連携、CADによる設計進化等	**社会形成の課題** VR上の生活時間が増える／新たな人間関係が形成・固定化される VR依存により現実〔フィジカル〕空間でのコミュニケーションが減少する VR上でのいじめ・ハラスメントが生じる ※記録に残りにくいノンバーバルないじめ等	
・没入時間の増加から正・負の影響が増大していく ・より細かい入力データから身体能力や認知機能が推測できるようになる		
NPCとの関係構築 AIが進化する〔人間と同等の会話〕 ユーザーの好みに応じた理想のAIが生成される リアルなNPC〔リッチ表現＋AI〕により没入体験が向上する	**NPCによる攻撃** 信頼関係とデータの悪用 NPCによるナッジやフィルターバブル、エコーチェンバー等が発生する	• リアルとバーチャルの連動による正の影響を増大させ、負の影響を最小化する必要が生じる ✓ より良い使い方〔正の影響〕の増幅・拡大 ✓ 新たな負の影響〔兆し〕に関するモニタリング ✓ ユーザーへの教育〔正しい/正しくない使い方〕 ✓ 必要に応じた産業支援等
認知への影響 表現の自由度が高まり人間の認知へ影響を与える手段が増える 身体能力を向上させる ※特に現実世界で再現できないトレーニングや教育についての期待や効果が高い ※高精細化により効果が高まる 精神状態を改善する ※心理療法〔PTSD改善等〕、苦手克服、自信向上等 ※偏見や差別を無くし多様性を許容 アバターの外見が行動や認知に影響を及ぼす〔プロテウス効果〕	**認知を活用した攻撃** 表現と身体能力の関係性の悪用／特にMRでは日常にコンテンツが溶け込む〔無意識に影響する〕／表現と精神状態の関係性の悪用 ナッジ・ダークパターン等が進化する ※誤認からの誤った選択 身体能力への負の影響〔ダメージ〕 精神状態への負の影響〔ダメージ〕 ※意図的に精神の弱い分を刺激 精神状態のコントロール ※特定思想の洗脳、暴力・犯罪の扇動等 ※偏見や差別を助長	

出所：各種公開情報や有識者ヒアリングの結果を基に日本総合研究所作成

Copyright (C) 2024 The Japan Research Institute, Limited. All Rights Reserved.

まとめ

- **身体への影響等に関する課題**
  - VR・ARの利用に際する**身体、感情・行動、利用者のプライバシー面の影響・課題は様々な観点で指摘**がある。一方で、重要度・深刻度が低い課題や、インターネット・SNS・スマートフォンの普及により既に顕在化している課題、XR特有の影響・課題が混在している点に留意が必要である。
  - 着目すべきと考えられる**「XR特有の影響・課題」の多くは、悪意のある/低品質/配慮の欠けたコンテンツの利用により引き起こされるもの**であり、これらの課題に対応するためには、XRサービス・コンテンツによる身体・感覚・行動への影響の仕組みやリスクを明確化した上で、**コンテンツ提供者に対して教育やベストプラクティスの共有を行うことや、コンテンツの高度な事前審査等の対策**が求められる。

- **入出力デバイスの進化を踏まえた特徴**
  - **入出力デバイスの進化がもたらす大きな変化**は、VR酔いの軽減や没入体験の向上を促し、利用者数の拡大や、利用時間が増加するなど、**XRの普及に寄与**するという点である。その結果として、**様々な背景の人が社会に参画する機会を得ることや、産業の付加価値向上につながる**。加えて、デバイスの表現性の向上や、取得可能なデータが増加することで、身体や精神を強化するためのトレーニングが可能となることや、生成AIが著しく進化していく中で、ユーザーとNPC（AI）の間に新たな信頼関係が築かれるようになる。
  - 他方、これらの要素について**悪意のある主体が利用すれば、ユーザーへ様々な悪影響を及ぼすことが可能**となる。例えば、VR空間での新たないじめやハラスメント、認知を活用した攻撃（精神への影響や、ナッジ・ダークパターン・フィルターバブル等）が挙げられる。また、MRでは日常生活に悪意あるコンテンツを自然と埋め込むことができるなど、**コンテンツの表現性向上と表裏一体の負の影響についても今後モニタリングが必要**となる。

- **最後に**
  - **XRコンテンツやサービスが社会や産業へもたらすメリットやその期待は大きく**、枝葉の課題を大きく取り上げて**産業を委縮させてはならない**との有識者からの指摘が多かったことから、**課題を正しく理解した上で、真に重要な課題について動向をモニタリングしながら必要に応じて解決策を検討する**ような進め方が望ましい。

Copyright (C) 2024 The Japan Research Institute, Limited. All Rights Reserved.