

2025-2030 年版

AR/VR/MR機器の技術と関連部材

～光学エンジン・センサー・AIの融合による次世代進化～

(有)カワサキテクノロジー/テック・アンド・ビズ(株)

資料集(報告書)体裁 : A4判 全380頁 (書籍/PDF)

発行: 2025年2月7日

2025年から2030年にかけて、AR(拡張現実)、VR(仮想現実)、MR(複合現実)の各分野は大きな進化を遂げるものと予測されます。これらのXR技術は、エンターテインメント、教育、医療、産業など、あらゆる分野で革新をもたらしつつあります。特に、光学エンジンとセンサーおよびAI技術の高度な融合により、ユーザーの体験はさらに没入感を増し、これまでにないインターフェースと利用価値を提供することが期待されています。

技術的には、光学エンジンの進化が凄まじい状況です。昨年報告した新しい技術/材料のコンセプトが、今年になって開発が加速し、そこで使われる材料の方向性が固まりつつある状況です。本篇ではその変化を具体的な事例を交えてまとめております。

一方、視覚を中心としたヘッドセットのセンシング機能の拡充は不可欠であり、そこにAI機能がオーバーラップし、ヘッドセットとしての「機能」と装着時の「快適性」の追及が、更なる最新技術の展開を促している状況です。

本資料集では、技術の基礎的事項を解説しながら、2023年度版から大きく内容を刷新・拡大し、最新技術の方向性とその市場動向について詳細に解説しております。次頁以降記載抜粋編もご覧いただき、是非ご検討ください。

お申込み・お問合せお待ちしております。

.....切り取り線.....

KTR 資料集 : 「2025-2030 年版 AR/VR/MR 機器の技術と関連部材

～光学エンジン・センサー・AIの融合による次世代進化～

お申込み書

コンサル会員販売価格 : () 書籍 198,000 円 (税抜)、() 書籍+PDF 248,000 円 (税抜)

著者紹介販売価格 : () 書籍 198,000 円 (税抜)、() 書籍+PDF 248,000 円 (税抜)

非会員販売価格 : () 書籍 248,000 円 (税抜)、() 書籍+PDF 298,000 円 (税抜)

↑ いずれかに○をお付けください

★PDF 付をお申込みの方は、ファイル共有サービス (BOX) にて PDF のダウンロードページをご案内いたします。

アカウント登録等は不要です。または、実物 (CD-R) にデータを書き込みしてお渡しすることも可能です。

★ご希望の方へは、著者が本資料集を解説いたします講演付プランもございます。お問い合わせください。

貴社名 _____ 部署名 _____

お名前 _____ TEL _____ FAX _____

ご住所 〒 _____

Email _____ 申込日 _____ 年 _____ 月 _____ 日

講演についての詳細案内を希望する () はい () いいえ

PDF 付き申込みの方 データ受け渡し方法 () CD-R 送付 () ファイル共有サービス (BOX)

お問合せ/申込先

(有)カワサキテクノロジー

ktr@kawasaki-tr.com, FAX : 06-6232-1056

2025-2030 年版

AR/VR/MR 機器の技術と関連部材

～光学エンジン・センサー・AI の融合による次世代進化～

2025 年 1 月 31 日

(抜粋編)

(有)カワサキテクノロジーリサーチ

企画・編集協力：テック・アンド・ビズ (株)

内容

はじめに.....	1
第1章 エグゼクティブサマリー (本書の構成)	2
1-1. 『空間コンピューティング』から『AI グラス』へ: XRの進化と未来への方向	2
1-2. XR空間の構築を目指して繰り広げられる世界の動き <第2章>.....	3
1-3. ニアアイディスプレイの開発動向 <第3章>	5
1-3-1. 「光学エンジン」のこなめ「ニアアイディスプレイ」	6
1-3-2. 高解像度化の方向性	8
1-3-3. 空間解像度 PPD (Pixels per Degree)	9
1-3-4. 高輝度化の方向性	10
1-4. 光学系の開発動向 <第4章>	11
(ポイント解説) XRの心臓部「光学エンジン」	13
(ポイント解説) AR光学系での光の利用効率	15
1-5. 車載ディスプレイの開発動向 <第5章>	16
1-6. センサーとAIの融合によるXRの拡張 <第6章>	17
1-7. 大容量高速伝送技術: ビッグデータと仮想空間を繋ぐ <第7章>	18
1-8. 非装着VR: 身の廻り全てが仮想の世界に <第8章>.....	19
1-9. XRの標準化・規制とサステナビリティ <第9章>.....	20
1-10. AR/VR/MR機器の主要プレイヤー動向、市場予測(2025-2030年).....	21
1-10-1. VR(MR)機器のメーカー	21
<追記>2025年CES、ソニーがApple Vision Proを超えるXR-HMDを発表	22
1-10-2. AR機器のメーカー.....	23
<追記(参考)> マイクロLED搭載ARグラスが続々登場.....	24
1-10-3. 2030年に向けたAR/VR/MR機器の市場	25
第2章 2024年の世界のイベントで見るXR (AR/VR/MR)の最新動向.....	28
2-1. CES (Consumer Electronics Show)、1月@米国Las Vegas.....	28
2-2. SPIE AR VR MR Exhibition、1月@米国San Francisco.....	32
2-3. ICDT (Int'l Conference on Display Technology)、3月@中国合肥.....	35
2-4. eXtended Reality Korea、3月@韓国Seoul.....	39
2-5. Touch Taiwan 展示会、4月@台湾台北.....	40
2-6. OPIC/OPIE、4月@横浜.....	43
2-7. SID/Display Week 国際会議と併設展示会、5月@米国San Jose.....	46
2-8. AWE (Augmented World Expo) USA、6月@米国Long Beach.....	50
2-9. MWC (Mobile World Congress)上海、6月@中国上海.....	53
2-10. DIC(Display Innovation China)、7月@中国上海.....	54

2-11. XR 総合展、7月@B 東京ビッグサイト	56
2-12. K-Display、8月@韓国 Seoul	57
2-13. IMID (Int' l Meeting on Information Display)、8月@韓国濟州島.....	60
2-14. CIOE (中国国際光電博覧会)、9月@中国深圳	61
2-15. CEATEC、10月@幕張.....	64
2-16. C-Touch & Display、11月@深圳.....	69
2-17. Inter Bee (映像展)、11月@幕張.....	70
2-18. XR 総合展、11月@幕張	71
2-19. IDW (Int' l Display Workshops)、2024年12月@札幌	72
2-20. XR Kaigi、2024年12月@浜松町.....	75
2-21. 中国各地で開催される XR 関連会議の数々.....	77
2-22. (追記) CES 2025、ハードウェアからコンテンツへ.....	78
2-23. (追記) SPIE AR VR MR 2025、XR および光学関連の最新情報が満載.....	79
第3章 「ニアアイディスプレイ」の開発動向.....	80
3-1. LCD : ガラスバックプレーンで 2500ppi の超高精細化.....	84
3-1-1. VR 用 LCD の超高精細化を可能にする技術	86
3-2. マイクロ OLED : Si バックプレーンで 5000ppi に迫る超高精細化と高輝度化	89
3-2-1. 高輝度化を目指すマイクロ OLED	90
3-2-2. マイクロレンズアレイ (MLA) による高輝度化	91
3-2-3. マイクロ OLED、2つの製造方法と性能への影響.....	93
3-2-4. フォトリソグラフィによるパターニングの可能性.....	94
3-2-5. 現行の製品事例 (ソニー)	95
3-2-6. ソニーに追随する他のマイクロ OLED メーカー.....	96
• Samsung Display、後発参入で巻き返しを狙う.....	99
• eMagin、ファイン Si マスクで直接パターニングを実現.....	100
• Kopin/Lightning Silicon Technology、川下にも参入.....	101
• 中国 Lakeside Lightning Semiconductor (湖畔光電科技)	104
• LG Display、後発で参入機会を狙う.....	106
• 中国 Seeya Technology (視涯科技)、パイオニアの位置をキープ.....	107
• 中国 BMOT (BOE Micro-OLED Technology, 雲南創視界光電科技).....	110
• 中国 SIDTEK (安徽熙泰智能科技)、積極的な市場獲得の動き.....	114
• 台湾 INT Tech (創王)、ダイレクトパターニングにチャレンジ.....	116
• 中国 Rayvision Technology (南京睿显电子科技)	118
• 中国 Metaways (浙江宏禧科技).....	119
• 中国 MK (美科微电子).....	120
• 中国 BCDTEK (芯視佳半導体科技)	121

3-3.	マイクロ LED : 1 万 ppi の超高精細と輝度 100 万 nits を目指す.....	122
3-3-1.	XR 応用を目指すモノリシック・マイクロ LED.....	122
3-3-2.	超高輝度を競う XR 用マイクロ LED 開発.....	124
3-3-3.	マイクロ LED を開発する世界の企業.....	125
	• 中国 JBD、マイクロ LED の実用化で先頭を走る	128
	• PlayNitride (銻創科技)、台湾聯合で実用化を目指す	131
	• Porotech、独自構造の発光制御技術と台湾での量産化で攻める	133
	• 中国 SITAN (思担科技)、先端大学の成果をバックに起業.....	138
	• 中国 Raysolve (镭昱光电科技) 量子ドット色変換で推し進める.....	141
	• 中国 Saphlux (西安賽富樂斯半導體科技)、独自の量子ドット色変換技術....	143
	• 中国 Joinwin Micro-Led Technology (JW, 紹興君万微電子科技)	146
	• 中国 Hongshi-MicroLED (鴻石智能科技)	147
	• Aledia : Si 上の 3D ナノワイヤでフランスに量産工場建設を進める.....	148
	• NS Nanotech、ナノワイヤをアピール.....	150
	• MICLEDI、300mm Si ウエハ上でのプロセスを提案	151
	• Plessey Semiconductors、GaN on Si で量産性アップを狙う.....	154
	• QubeDot、ニッチ市場を開拓.....	155
	• Q-PIXEL、QD で 1 万 PPI のマイクロ LED をアピール	156
3-4.	レーザー/DMD (Digital Micromirror Device) : 網膜直接投影.....	157
3-5.	コンタクトレンズ型デバイス	160
3-5-1.	ホログラフィック方式のコンタクトレンズ型デバイス	161
3-5-2.	Tiny Projector 型のコンタクトレンズディスプレイ.....	164
3-6.	XR 用ニアアイディスプレイの市場と今後の方向	166
第 4 章	XR 光学系の開発動向	169
4-1.	AR/VR の MR 化と顕在化する光学系技術課題	169
4-2.	VR (MR) 光学系	173
4-2-1.	基本光学系	173
4-2-2.	Fresnel (フレネル) レンズ系.....	176
4-2-3.	Pancake (パンケーキ) レンズ系の拡がり	181
4-2-4.	波動光学系	196
4-3.	AR (MR) 光学系	200
4-3-1.	Birdbath (バードバス) 方式.....	200
4-3-2.	Waveguide 方式.....	202
4-3-2-1.	Reflective Waveguide ; 反射型導光板.....	202
4-3-2-2.	回折光学系の Waveguide; Diffractive Waveguide / Holographic Waveguide	204

a) Coupler の構成.....	204
① Diffractive Waveguide;回折型導光板.....	207
b) Exit Pupil Expansion (EPE)展開.....	221
c) 回折パターン形成	222
② Holographic Waveguide.....	234
4-3-3. レーザースキャニング方式.....	241
4-3-4. Pin Mirror 方式：樹脂レンズ展開	248
4-4. 更なる波動光学デバイス展開;メタサーフェス系.....	253
4-5. XR 光学系部品市場.....	260
4-5-1. 光学樹脂レンズ市場	260
4-5-2. 導光板用ガラス基板市場.....	262
4-5-3. 回折光学素子材料/ホログラム光学素子材料市場	264
4-6. 中国の光学機器メーカー	266
4-6-1. 舜宇光学科技 (集団)、SUNNY OPTICAL Technology.....	268
4-6-2. 水晶光電 (CRYSTAL-OPTECH)	271
4-6-3. 歌尔光学科技 (Goeroptics)	274
4-6-4. 鲲游光电 (North Ocean Photonics)	277
4-6-5. 宁波鸿蚁光电 (Ningbo Hongyi Opto-electronic Technology)	278
4-6-6. 欧菲光科技 (OFILM Group).....	279
4-6-7. その他、CIOE 2024 展示会で 10 社の出展	281
第 5 章 車載ディスプレイ	282
5-1. 車載 HUD(Head up Display)	282
5-2. 自動運転で変わる車内空間とディスプレイ.....	298
第 6 章 センサーと AI の融合による XR の拡張.....	303
6-1. アップルビジョンプロ (AVP) の空間コンピューティング	304
6-1-1. AVP のセンサー構成.....	304
6-1-2. AVP のセンサーと AI 技術.....	306
6-2. XR デバイスを支える主要なセンサー	307
6-2-1. モーションセンサー (IMU : Inertial Measurement Unit)	308
6-2-2. カメラ (二次元画像カメラ).....	309
6-2-3. アイトラッキングセンサー.....	312
6-2-4. LiDAR	314
①フラッシュ LiDAR (ToF カメラ).....	314
②MEMS ミラースキャン方式	315
③メカニカルスキャン LiDAR	315
④ソリッドステート LiDAR	316

●トピックス (iToF 方式と d ToF 方式)	317
●トピックス (ToF カメラと LiDAR)	319
6-2-5. イメージセンサー (CMOS Image Sensor : CIS)	322
6-2-6. その他のセンサー	324
①MEMS マイク	324
②超音波センサー	326
6-3. センサーと AI の融合によるリアルタイム XR 環境の実現	328
6-3-1. エッジセンサー	328
①ソニーのイメージセンサー	328
②エッジセンサーの例	331
6-3-2. オクルージョン処理	334
6-3-3. AI によるセンサー情報の補完	335
6-3-4. SLAM 技術と点群データ (Point Cloud)	338
6-4. 医療用途におけるセンサーと AI の融合事例	344
6-5. 主要メーカーの代表的な最新 VR 型とセンサーの比較	349
6-6. XR ヘッドセットに搭載されるセンサーと AI、今後の展望	350
第 7 章 大容量高速伝送技術	352
7-1. グラスウエア連携含む端末の無線通信	354
7-2. 基板への光実装展開	359
7-3. 長距離無線/光通信展開	365
第 8 章 非装着 VR	367
8-1. 空間プロジェクション	367
8-2. 空中ディスプレイ	368
8-3. 3D 映像を映し出すディスプレイ：ライトフィールドとホログラフィック	369
8-4. 車載ディスプレイ、AR-HUD (ヘッドアップディスプレイ)	371
8-5. 非装着 VR でのセンシング、五感との融合	373
第 9 章 規制・標準化とサステナビリティ	374
9-1. 国際標準規格と業界規制の動向	374
9-2. サステナブルな XR デバイスの設計と環境負荷削減	375
9-3. 規制・標準化とサステナビリティにおける日本と米国の具体例と違い	376
第 10 章 まとめ	378

はじめに

2025年から2030年にかけて、AR（拡張現実）、VR（仮想現実）、MR（複合現実）の各分野は大きな進化を遂げることが予測される。これらのXR技術は、エンターテインメント、教育、医療、産業など、あらゆる分野で革新をもたらしつつある。特に、光学エンジンとAI、センサー技術の高度な融合により、ユーザーの体験はさらに没入感を増し、これまでにないインターフェースと利用価値を提供することが期待されている。

市場の拡大に伴い、XR（AR/VR/MR）機器に搭載されるキーデバイスも急速に進化している。ニアアイディスプレイでは、LCD、マイクロOLED、マイクロLEDが数千PPIから1万PPI以上の超高精細化を実現し、さらにはレーザーを活用した網膜投影技術も注目されている。また、パンケーキ（Pancake）レンズやホロケーキ（HoloCake）技術などの新しい光学系は、より薄型で高性能な機器の設計を可能にしている。これにより、XR機器の普及が加速し、さまざまな分野での応用が広がることが予測される。

一方で、センサーとAIの高度な融合は、XR体験のさらなる向上に不可欠な要素である。モーションセンサーやLiDAR、アイトラッキングセンサーなどの多様なセンサー技術が進化し、それらをAIがリアルタイムで解析・補完することにより、より直感的でリアルな仮想環境が実現される。Apple Vision Pro（AVP）のような製品は、この融合の成功例であり、今後もAIとセンサーの連携が重要な技術課題となる。

さらに、自動運転車向けの車載ヘッドアップディスプレイ（HUD）や車内ディスプレイも進化しており、車内空間がエンターテインメントや業務空間へと変貌する可能性が高まっている。車載ディスプレイ市場では、ウェーブガイド（Waveguide）方式やホログラフィック（Holographic）方式が次世代の基盤技術として注目されている。これらの新技術は、自動運転の普及とともに、車内での情報提供や体験価値を向上させることが期待される。

XR技術の普及に伴い、通信技術の進展も重要である。光電融合技術や宇宙通信を含む高速・大容量伝送技術は、XRデバイスの性能を最大限に引き出す基盤となる。さらに、サステナビリティへの意識が高まる中で、XRデバイスの設計や製造プロセスにおいても環境負荷の低減が求められている。持続可能な成長が業界全体での新たな課題となる。

本資料集では、これらの技術的進化と市場動向を体系的に整理し、2025年から2030年の方向性を分析する。光学エンジン、センサー、AI、通信技術、車載HUDに至るまで、最先端の技術情報を網羅し、業界の発展に寄与するための一助とする。本書が、材料メーカー、設備メーカー、デバイスメーカー、セットメーカーなど、XR分野でのビジネス展開を目指す企業にとって有益な指針となることを願っている。

第2章 2024年の世界のイベントで見るXR (AR/VR/MR) の最新動向

2-2. SPIE AR|VR|MR Exhibition、1月@米国 San Francisco

Main Stage に登壇した META Reality Labs の Barry Silverstein 氏の講演のポイントを図 2-5 で紹介する。META が描く未来の AR ディスプレー技術のロードマップを示しており、業界のリーダーとして、次世代技術の実現に向けた明確なビジョンを提示している。

ディスプレイエンジンの技術プラットフォームとして、LCOS、マイクロ LED、レーザーの3つの技術の成熟度と予想される導入時期を示している。LCOS は市場において準備が整った技術として、現在実用化されている一方、マイクロ LED は現在開発中の技術であり、画質や消費電力などの課題解決が求められている。レーザー技術は狭い波長特性と小型化により、AR グラスにおける最終的な理想的ソリューションとして期待されている。

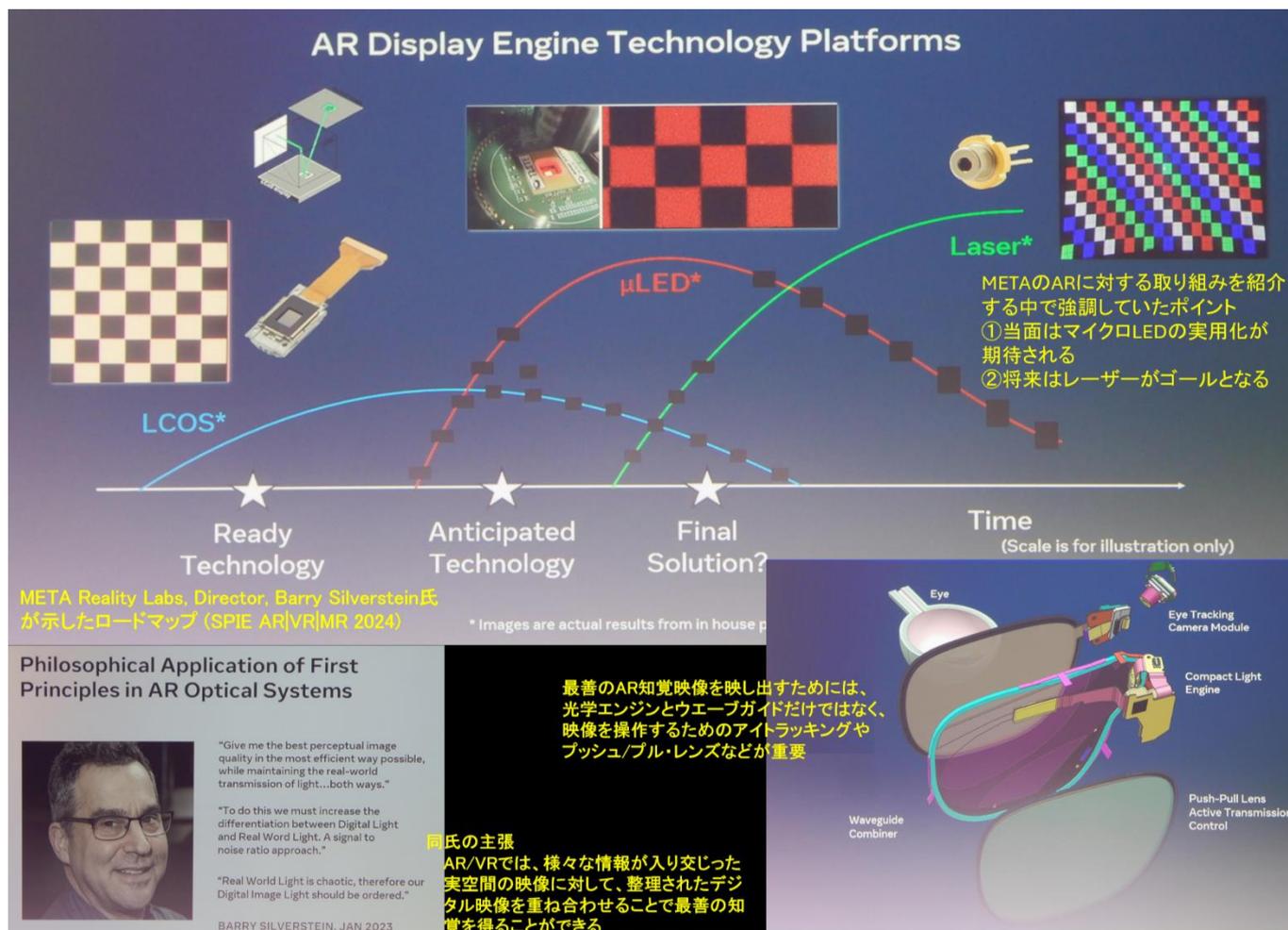


図 2-5 META Reality Labs の Barry Silverstein 氏の講演内容のポイント (講演内容から作成)

第3章 「ニアアイディスプレイ」の開発動向

3-2-2. マイクロレンズアレイ (MLA) による高輝度化

マイクロ OLED の高輝度化において、先頭を走るソニーは、マイクロレンズアレイ技術を2019年のSIDで発表した。発光効率を飛躍的に向上させる重要な手法として開発されたのがマイクロレンズアレイである。この技術では、OLEDの画素ごとに微細なマイクロレンズを配置することで、光の外部取り出し効率を向上させ、より多くの光を視認可能な方向へと導く設計を採用している。結果的に輝度を従来比で約2.2倍に引き上げることが可能となった。(図3-10)

マイクロレンズ導入による発光効率向上

下図のように画素内のOCFF(On Chip Color Filter)上にマイクロレンズを配置することで、OLED発光層からの正面方向の光の取り出し効率を従来比2.2倍にまで高めました。ARグラスなどの高輝度が必要なアプリケーションでは原理上、より平行光線化された出射光線が望まれるため発光プロファイルとしても有利です。また本技術は、高輝度が必須条件でないアプリケーションにおいても消費電力削減と長寿命化への貢献が可能となります。



マイクロレンズ導入による視野角特性向上

マイクロレンズから取り出した光は、より平行光となることから正面方向にピークを持つプロファイルとなります。このプロファイルはARグラスなどの偏光光学系や導光板光学系にとって優れた特性です。また同時にこのプロファイルは隣接カラーフィルター間との干渉を最小化することにも貢献し、右図のように視野角改善効果も生み出します。斜め方向から見ても3刺激値の乖離が少なく、色付きを抑える効果があります。

■参考文献

Youske Motoyama 他 DISTINGUISHED PAPERS, BEST OF DISPLAY WEEK2019
High - efficiency OLED microdisplay with microlens array

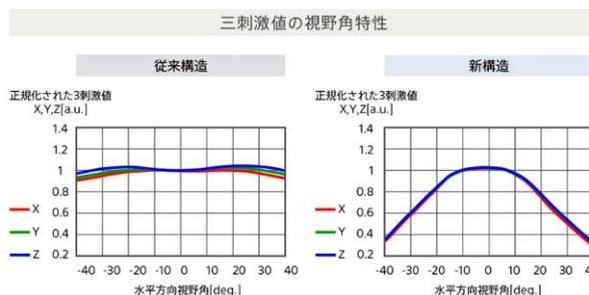


図3-10 マイクロ OLED の高輝度化の一つの手法である MLA

2019年のSIDでの発表では、MLAのレンズが下向き凸(OLED発光層の方向に向いた形)であり、効率も1.8倍と報告されていた。本図ではMLAのレンズが上向き凸の形で効率も2.2倍にアップしている。低温レジストの採用などによるプロセスの改善で、性能を向上させた事例である。(図の引用はソニーセミコンダクターソリューションズグループのHP <https://www.sony-semicon.com/ja/technology/display/oled-high-brightness.html>)

3-3-3. マイクロ LED を開発する世界の企業

AR用のマイクロLEDは、2019年に多くの企業が開発の成果をアピールした。(図3-45)
 現在、世界中の企業が実用化に取り組んでおり、生産ラインの投資や市場への出荷も始まっている。(図3-46)

開発先	シャープ	CEA-Leti	Plessey Semiconductors	LUMENS	glo	JADA BIRD Display
	日本	フランス	イギリス	韓国	アメリカ	香港
写真						
パネルサイズ (インチ)	0.38	<1	0.7	0.57	0.7	0.15
ピクセル数	352×198	873×500	1920×1200	1280×720	(640×360)	1280×720
ピクセルピッチ (μm)	24	10	8	10	24	2.5
PPI	1053	—	3235	2577	1000	10306
最大輝度 (cd/m ²)	1,000	10,000	非公開	100,000	非公開	1,000,000
コントラスト比	非公開	未発表	非公開	10000	非公開	未発表
色域	NTSC比85.3% Rec.2020比63.7%	未発表	非公開	非公開	非公開	未発表

3-45 XR用超小型マイクロLED (SID 2019などで公表された内容から整理)

マイクロLEDパネルメーカー	拠点	基板サイズ	状況
Jada Bird Display (JBD), 上海显耀显示科技 https://www.jb-display.com/	中国 上海	4"	早くからARグラス市場向け高解像度・高輝度なMicro LEDディスプレイ開発を進めており、2023年から量産開始し多くのセットメーカーが採用し始めた。2024年現在、業界内では一歩リードしている感あり。
PlayNitride, 録録科技 https://www.playnitride.com/en/	台湾 新竹	4", 6"	大画面のマイクロLED開発と並行して2020年頃からAR用にも取り組み、2022年には4500PPI品をデモ。TRI、Epistar、AUOとも協力してマイクロLEDのプロセス開発とデバイス開発を進めている
Porotech https://www.porotech.com/	英国 ケンブリッジ	8"	多孔質窒化ガリウム(GaN)技術を活用したマイクロLEDの開発に注力。台湾Foxconn、PSMC(力晶積成電子)、GISと戦略的提携し、台湾に量産工場を建設。2025年稼働予定。
SITAN, 深圳市思坦科技 https://www.szsitian.com/	中国 厦門	4", 8"	2018年に設立。大学発のベンチャー。研究開発、生産、販売から用途開発までのワンストップの技術ソリューションを目指す。2024年に厦門(アモイ)のライン稼働。
Raysolve, 耀呈光电科技(苏州) https://www.raysolve.com/	中国 蘇州	8"	2019年に設立。量子ドットフォトリソト(QDPR)を用いた独自のフォトリソグラフィ技術でカラーコンバージョン層を形成。超高輝度のマイクロLEDを開発。
Saphlux, 賽富乐斯 https://www.saphlux.com/	中国 西安	6", 8"	2015年に設立された中国の半導体企業。独自のナノボラス量子ドット(NPQD®)技術で高純度のフルカラーマイクロLEDを実現。AR用としてもアピール。
Joinwin Micro-Led Technology (JW), 君万微电子科技有限公司 https://www.joinwintek.com/	中国 上海		2016年に中国・上海で設立され、2021年に浙江省紹興市に紹興君万微电子科技有限公司を設立。CIOE2024などで、0.38"と0.6"を展示。
鴻石智能科技, Hongshi-MicroLED http://www.hongshizn.com/	中国 江蘇省		2017年設立。AR用マイクロLEDの開発と共にモジュールおよび光学系を製造し、プロジェクターなどでデモを行っている。CIOE2024に出展。
Aledia https://www.aledia.com/en/	フランス グルノーブル	8", 12"	シリコン基板上にGaNナノワイヤーを成長させる独自の3D技術を開発。8"および12"のシリコンウェハー上での製造が可能で、2025年に稼働予定。
NS Nanotech https://www.nsnanotech.com/	米國 ミンガン		ナノワイヤーを用いたサブミクロンサイズのnanoLEDを開発。カナダのケベック州モントリオールに研究開発センター「NS Nanotech Canada」を設立し、次世代のナノLED技術の商業化に向けた先進的な研究を行っている。
MICLEDI https://micledi.com/	ベルギー ルーヴェン	300mm	2019年にベルギーの研究機関imecからスピンオフして設立。半導体ファウンドリ大手のGlobalFoundries (GF)と提携し、300mmウェハー上でマイクロLEDアレイ用の基板を製造し、性能向上とコスト削減を図っている。
Plessey https://plesseysemiconductors.com/	イギリス プリマス	8", 12"	独自のGaN-on-Silicon技術を採用し、大規模生産でのコスト削減とCMOSプロセスとの統合性を実現。高輝度と省電力性能の高立を実現。現在の8"から将来300mmで生産性向上を目指す。
QubeDot https://qubedot.com/	ドイツ, ブラウンシュヴァイク		2019年に設立した大学発のベンチャー。30μm角のマイクロLEDを開発し、高精度な照明プラットフォームや新しい顕微鏡技術などへの応用を提案している。
Q-PIXEL https://www.quantum-pixel.com/	米國 ロサンゼルス		2022年に設立された米國カリフォルニア州ロサンゼルスに拠点を置くスタートアップ企業。QDを使った1万PPIのマイクロLEDを、SID2024でアピール。

図3-46 XR用超小型マイクロLEDの開発と実用化に取り組む世界の企業図 (画像データ)
 (世界各地のイベントでの活動内容をベースに整理。一部、業界情報などを参照。)

・Plessey Semiconductors、GaN on Si で量産性アップを狙う

イギリスのプリマスに本拠を置く企業で、主に GaN-on-Silicon（シリコン上の窒化ガリウム）技術を用いた Micro LED ディスプレーソリューションの開発と製造を行う。独自の GaN-on-Silicon プラットフォームとモノリシックプロセスを開発。（図 3-72）

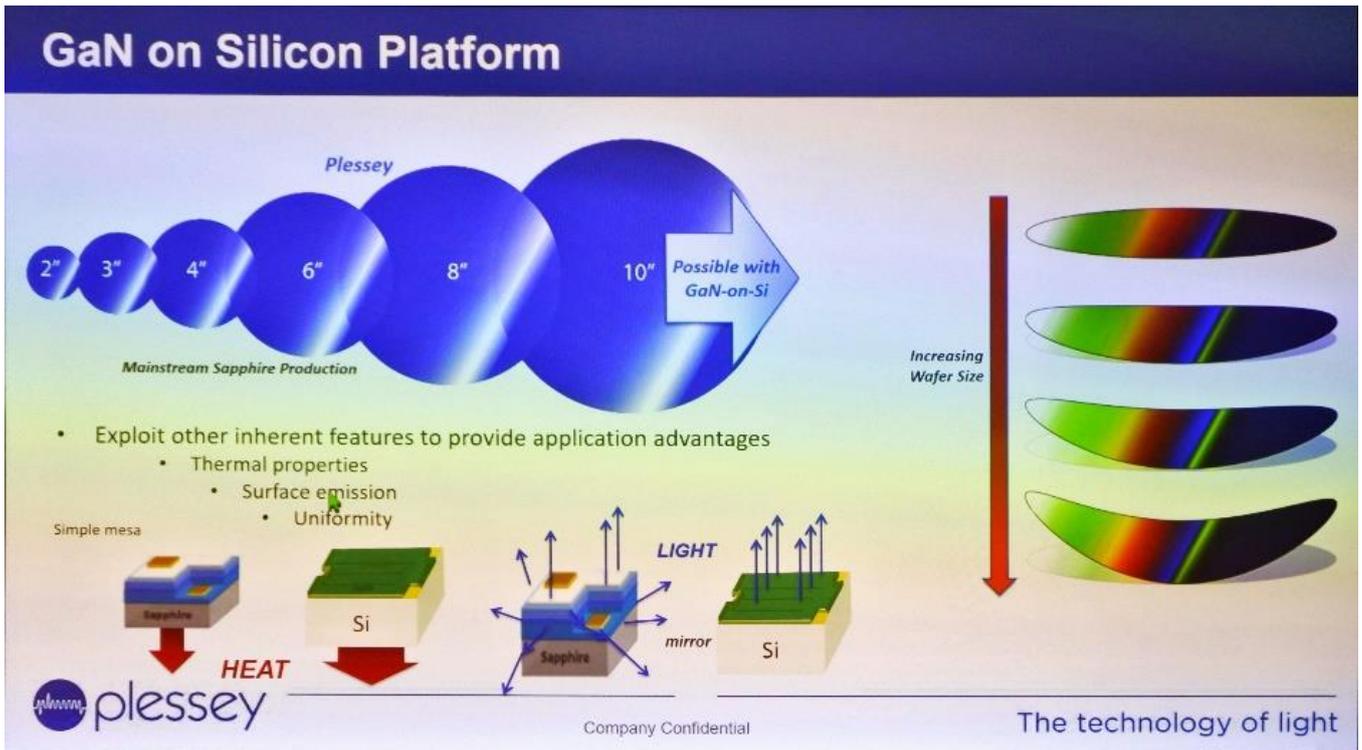


図 3-72 Plessey Semiconductor の Micro LED 技術
(SID 2018 Symposium, 52-5 の講演内容)

2020 年には、この技術で製造ラインを投資する噂もあったが、2023 年頃の情報によれば、性能および歩留まり等の観点で、量産化は見送られているようである。

また、2025 年 1 月には、Meta Platforms と共同で、AR グラスに適した世界で最も明るい赤色 Micro LED ディスプレーを開発したとの発表があった。5 マイクロメートルのチップサイズで最大 600 万ニットの輝度を達成との内容であるが、量子ドットを使った色変換方式と予想されるが、詳細な発表は未だ無い。

第4章 XR 光学系の開発動向

4-1. AR/VR のMR 化と顕在化する光学系技術課題

(occlusion、3D 映像の前後表示)、パススルー (passthrough、現実世界の映像取り込み)、などが挙げられる。

メタバース空間に没入するためのもう一つの条件として、“快適 (comfort) さ” が挙げられる。この課題を追求するためのパラメータとして、部品サイズ (form factor) の小型化が筆頭に挙げられる。他にも、画面の歪み、輻輳と調節の間の一貫性 (VAC) なども克服すべき課題である。

勿論、デバイスを使って“リアル”で“快適な”仮想空間を作るための条件として、視覚に関連する要件の充実以外にも考えられる。例えば臨場感のある聴覚情報はいうまでもなく、更には触覚等も将来的には導入されていく方向も見え隠れしている。

そして、上記で掲げた視覚に係る様々な課題をクリアしていくためには、一部、光源 (ディスプレイ) 技術の進化に負うところもあるが、主にはその光学系に関わる課題が大きい。次節では、この光学系に的を絞って関連する技術動向について紹介していくこととする。下図に項目を記述している。

没入できる (immersiveな)環境を作り出すためには、……

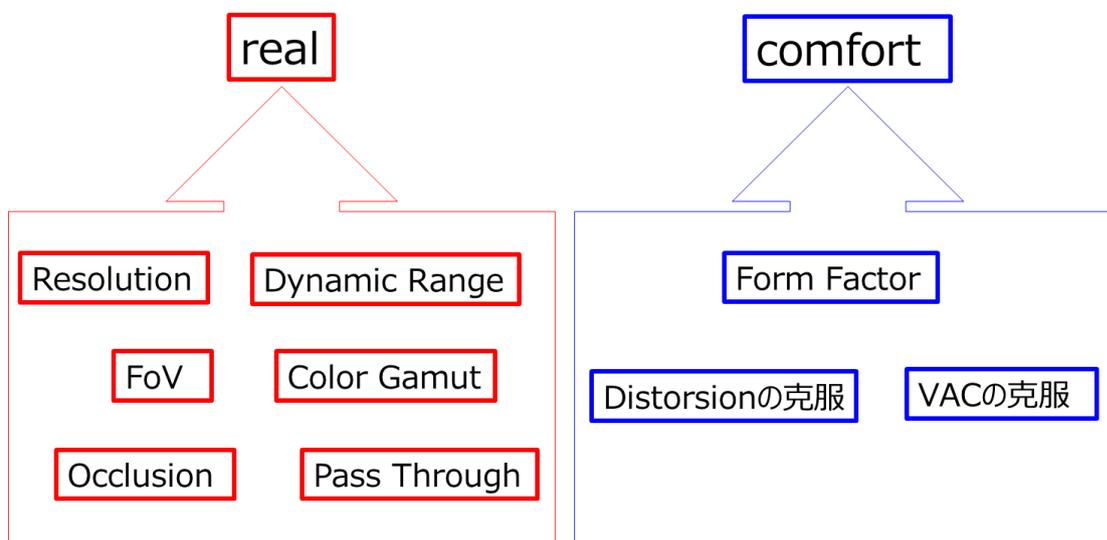


図 4-3 AR/VE/MR に求められる性能/課題 (KTR まとめ)

(左側) 没入感の向上: 視覚を中心とした感覚情報の強化。ディスプレイ解像度、視野角 (FOV)、ダイナミックレンジ、色域、オクルージョン、パススルー機能の向上が含まれる。
(右側) 快適性の確保: デバイスの小型化、軽量化、画面歪みの軽減、調節と輻輳の矛盾 (VAC) の解消が重要となる。

4-3. AR (MR) 光学系

仮想世界を現実世界の上に投影する光学系については、AR、MR いずれも同様な機能が求められると捉えられる。AR/MR の大きな違いは、MR においてセンサーを使った現実空間の空間認識が付与されることにある。MR を特徴づけるセンサーの議論については次章に譲る。ここでは、AR/MR の違いを含みながら光学系技術に特化して俯瞰する。

4-3-2. Waveguide 方式

Waveguide(導光板)方式には、更に光学系を小さく小型にできるポテンシャルと、AR グラスとしての所望の光学的性能を確保することが可能であると想定されている。以下に、今開発の主流となりつつある Waveguide 方式の詳細について記述する。

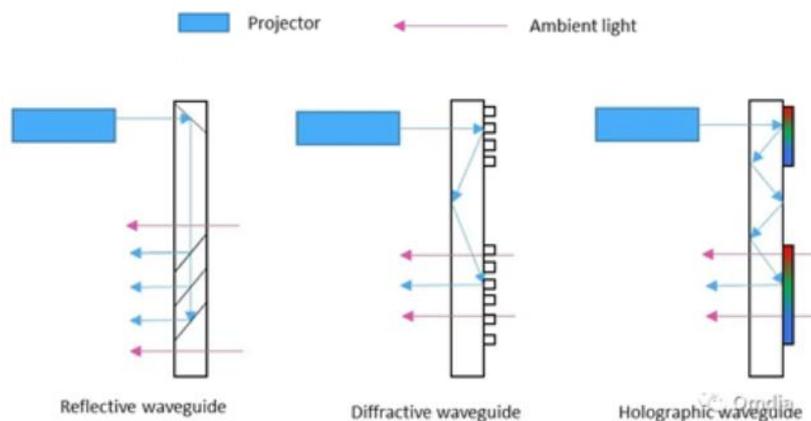


図 4-42 Waveguide 方式の種類

(出典：Ventron 社運営サイトより、<https://www.ventronchip.jp/news/Omdia-There-is-no-perfect-solution-for-AR-optical-system,diffractive-optical-waveguide-is-the-most-p.html>)

4-3-2-1. Reflective Waveguide ; 反射型導光板

反射型導光板は、Geometric Optics ともいい、幾何学的な反射を用いて光源（ディスプレイ）の信号を眼前に導く方式である。その特徴は以下のようにまとめられる。

1. 光学設計の特徴

- 光学設計がシンプルで、通常の幾何学的手法を基に構築されている。
- シンプルなデザインのため、大規模な量産に向いており、製造プロセスが比較的簡単である。

2. 特長

c) 回折パターン形成

ここでは、前記目的で展開される waveguide (導光板) 光学系の形成プロセスについて述べる。開発当初は収束イオンビームエッチングや反応性イオンビームエッチングなどの真空系での高コストのプロセスから試行された。

その後、スラント形状の SRG 形成をレプリカ手法による確立が検討され今に至っている。尚、導入にあたっては、光学性能に大きく影響する高屈折率の光学樹脂の適用が性能を大きく左右することは言うまでもない。

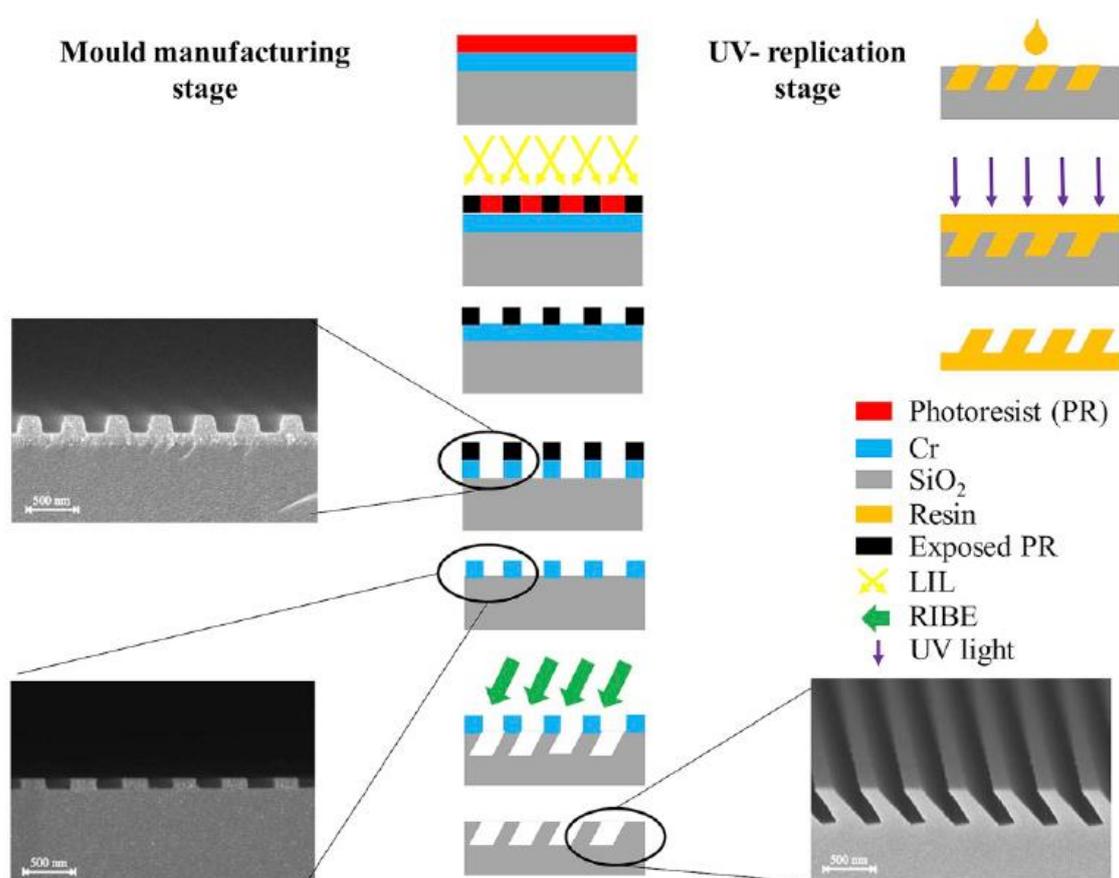


図 4-65 グレーティングパターン形成:Subtractive Process

(出典: Precision Engineering 60(2019) 482-406)

フォトレジストでパターンニングした後、reactive ion beam etching (RIBE)プロセスによりスラント (傾斜した) パターンをガラス上に形成する。得られたガラス鋳型に樹脂を入れてUV硬化するのが初期の形成プロセスであったが、プロセスが複雑であり、また、歩留まりが悪いという欠点があった。

4-4. 更なる波動光学デバイス展開;メタサーフェス系

上記の SRG タイプのウェーブガイド、Holographic タイプのウェーブガイド、いずれも光の波による回折現象を有効に利用し、光の導光板への input/output デバイスとして利用している。そこでは、用いる光の波長とデバイス上の周期（格子）構造との関係で回折光の振舞いが大きく変化する。

メタレンズの派生として昨今開発が叫ばれている“メタサーフェス”と言われる構造体（デバイス）も、実は上記の一分類として捉えることができる。

ここでは、これらの違いを明確にしつつ、新たなアプローチの状況をピックアップする。

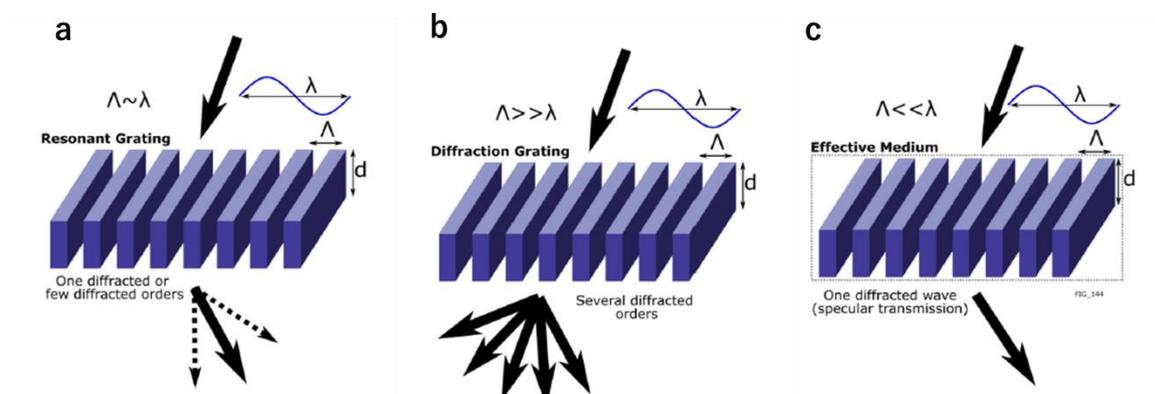


図 4-101 光の波長（ λ ）と格子構造（ Λ ）の関係による回折現象の分類図。

- a: $\Lambda \sim \lambda$: 厚い格子（Bragg 領域と呼ばれる）、**b**: $\Lambda \gg \lambda$: 薄い格子（Raman-Nath 領域）、
c: $\Lambda \ll \lambda$: サブ波長構造（メタサーフェス領域）

（出典：SID 2024, Reality Optics 資料より KTR 加筆）

a: 厚い格子（Bragg 領域）の特徴（SRG および HVG ウェーブガイドで使用）

1. 構造と挙動

- 多層・多周期との相互作用：
 - 光は格子内の複数の層や周期を通じて相互作用する。
- 回折光としての挙動：
 - 格子は特定の条件下で光を効率的に回折させる。
 - これにより、高次の回折次数は破壊的干渉によってほぼ排除され、単一の回折次数が得られる（大きな利点）。

4-6. 中国の光学機器メーカー

中国の光学部品メーカー	拠点	状況
<p>舜宇光学科技 (集団) SUNNY OPTICAL Technology https://www.sunnyoptical.com/default.html</p>	中国 浙江省	<p>1984年に設立された光学製品の設計・製造を専門とする中国の大手企業。主な製品には、携帯電話用カメラモジュールや車載用光学レンズなどがあり、ファーウェイやサムスン、BMW、メルセデス・ベンツなどの企業に供給。</p> <p>CIOE 2024 出展。SPIE2025 にも出展</p>
<p>水晶光電 CRYSTAL-OPTECH https://www.crystal-optech.com/</p>	中国 浙江省	<p>1990年代に設立された光学技術企業の大手。特に光学コーティング、光学フィルター、精密光学部品の開発と製造において高い技術力を誇る。AR/VR、スマートフォンカメラ、車載光学、センサー技術、医療機器向け光学部品など、幅広い分野の製品を提供。CIOE 2023 出展。SPIE2025 にも出展</p>
<p>歌尔光学科技 Goeroptics https://www.goeroptics.com/gegx</p>	中国 山東省	<p>Goertekの子会社。2012年に設立。VRおよびAR光学の研究開発と製造に特化したワンストップソリューションを提供。VRおよびAR光学の研究開発と製造に特化したワンストップソリューションを提供。</p> <p>CIOE2024に出展。SPIE2025にも出展</p>
<p>鯤游光电 North Ocean Photonics http://www.nophotonics.com/</p>	中国 上海	<p>光学フィルター、レーザーオプティクス、分光技術における先端の光学技術を有する企業。医療、通信、AR/VR、LiDAR、自動車分野など、さまざまな業界向けに高精度な光学部品を提供。</p> <p>CIOE2024に出展。SPIE2025にも出展</p>
<p>寧波鴻蚊光电、Ningbo Hongyi Opto-electronic Technology http://en.hyvisiontech.com/index.html</p>	中国 浙江省 寧波	<p>2018年設立。光学ディスプレイ技術や光学エンジンソリューションの開発・製造を行っている。2021年に、AR用の光学エンジンの製造を開始。</p> <p>SPIE2025に出展</p>
<p>欧菲光科技 OFILM Group http://www.ofilm.com/</p>	中国 深圳	<p>光学技術、精密部品、電子製品の研究開発と製造を手掛ける中国を代表する情報機器部品メーカー。2001年に設立。静電容量タッチパネル、強化ガラス、カメラモジュール (CCM) などの研究開発、製造、販売を行っている。</p> <p>CIOE2024に出展。</p>

表 4-6 中国の光学機器メーカー (TEXT データ、HP へのリンク可)
CIOE2023、2024に出展していた大手企業で SPIE2025 にも出展していた 6 社。

第5章 車載ディスプレイ

5-1. 車載 HUD (Head up Display)

コンテンツを表示し、モニター画面に匹敵する鮮明さを提供する事ができる。両方のタイプのディスプレイは互いに並べて配置することも可能である。Luminit フィルムはフロントガラスの層の間にラミネートされており、長寿命と温度安定性を謳っている。Luminit 社の画像形成 HUD 用ディフューザー（拡散板）を使用してスペックルを除去するレーザー プロジェクターを具備している。明るい日光の下でも、偏光サングラスを着用していても、鮮明で読みやすい映像を同じく謳っている。

更に、フロントガラス下部には周囲の反射を抑えるために「Black Vinyl Ribbon」なるアンチグレア（反射防止）機能を付与している。

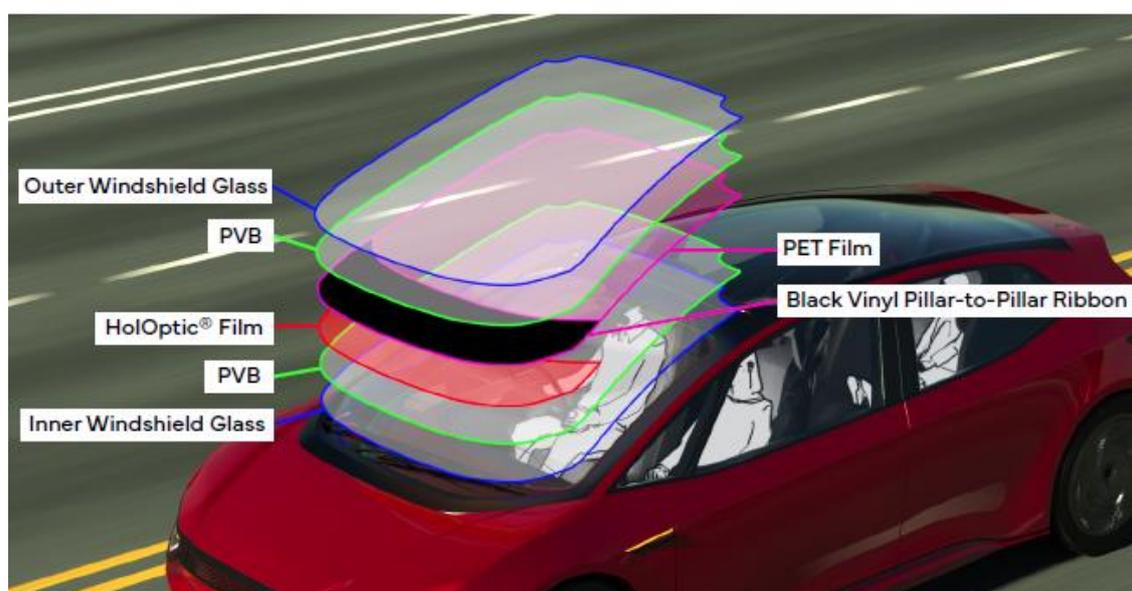


図 5-13 フロントガラスへの HOE 導入イメージ。(出典：

<https://www.luminitco.com/blog/advanced-optical-solutions-revolutionize-hud>)

当初、IP-HUD はフロントガラス埋込であるため、視認性の担保を踏まえて AR-HUD 方式に比べて導入のハードルが高いと思われていたが、導入コストのメリットが大きいためむしろ車の価格帯含めて IP-HUD の実用性に期待がされる向きも出てきている、というのが最近の実態であると捉えている。

第6章 センサーとAIの融合によるXRの拡張

6-2-3. アイトラッキングセンサー

AR/VR装置のアイトラッキングセンサーは、表示情報量の効率化（フォビエイテッドレンダリング）、操作性向上（視線入力）、体験の向上（自然なアバター動作やゲーム体験）など、幅広い用途に活用されている。また、ユーザーエンゲージメントの測定や医療分野など、応用範囲は今後も拡大が期待されている。

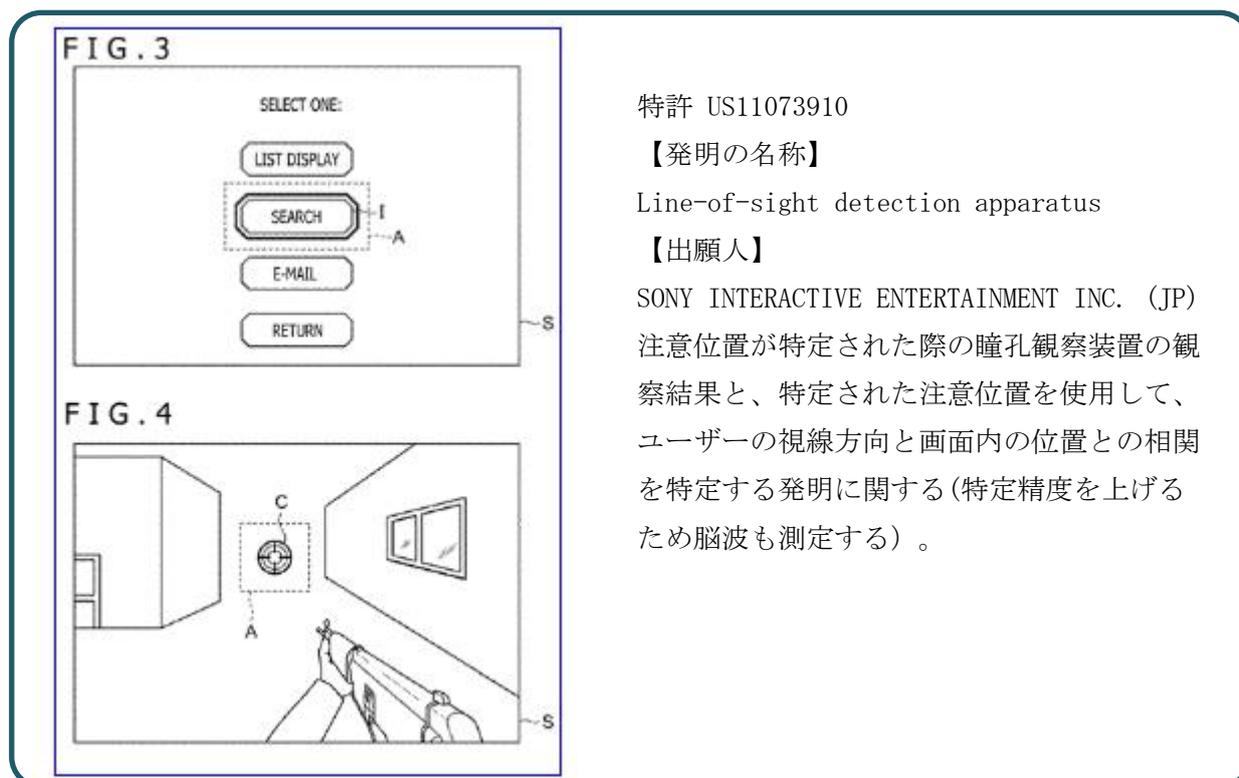


図 6-8. US11073910(登録) 【代表図】

以下(1~6)に ARVR 装置におけるアイトラッキングセンサーの利用例を示す。

1. フォビエイテッドレンダリング (Foveated Rendering)

【概要】ユーザーの視線が向いている部分(中心視野)を高解像度でレンダリングし、周辺視野は低解像度にする。

【目的】計算リソースの節約と、より高品質な映像体験を提供するため。

【効果】GPU 負荷を大幅に軽減し、複雑なグラフィック処理やバッテリー消費を最適化。

2. 視線入力インターフェース

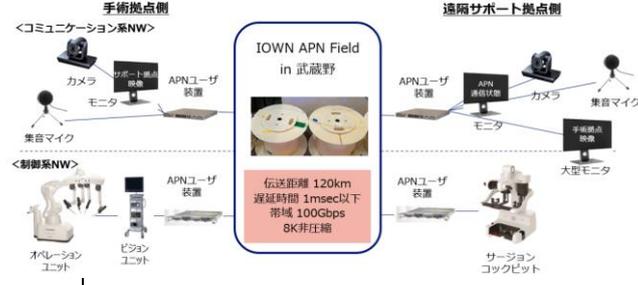
【概要】視線を使ってメニュー選択やオブジェクト操作を行うユーザーインターフェース。

【目的】手を使わずに直感的な操作を可能にし、ハンズフリーな体験を提供。

6-4. 医療用途におけるセンサーとAIの融合事例

センサーとAIを融合する技術は既に沢山存在して枚挙にいとまがない。特にアプリケーションがこのところ急激に増えていて、XR装置関連分野の市場拡大への確実性が期待される。ここでは、医療用に限定してその一部をご紹介します。

表 6-11. 医療用途におけるセンサーとAIの融合事例

分野	AR/VR技術の内容	用いられるAI技術の例(予想含む)	具体的な事例
救急医療	救急隊員が患者の元に到着した段階でスマートグラスを起動し、患者さんの状況を病院の医師や看護師に伝送。患者到着前から治療準備の開始が可能となる	画像診断、画像負荷軽減(注目箇所抽出)、ディープラーニング(臓器や病変部位の自動認識)	<p>【順天堂大学】 頭部挫創を主訴に救急車要請された患者の早期治療開始の実現。スマートグラスはVUZIX M400を使用。</p>  <p>写真の出演： https://www.vuzix.com/products/m400-smart-glasses 記事の出演： https://www.juntendo.ac.jp/news/00580.html</p>
外科手術支援①	ARを用いて患者のCT/MRIデータをリアルタイムで表示し、手術部位のガイドラインを提供。	コンピュータビジョン(画像解析)、ディープラーニング(臓器や病変部位の自動認識) NTT武蔵野研究開発センター内	<p>【日本電信電話(株)と(株)メディカロイド】 国産の手術支援ロボット「hinotori サージカルロボットシステム」とIOWNオールフォトニクス・ネットワークを接続することで、100km以上離れた拠点間を同一手術室のようにする環境を実現</p>  <p>https://group.ntt.jp/newsrelease/2022/11/15/221115a.html</p>
外科手術支援②(耳鼻咽喉科)	CTなどの画像データを手術用顕微鏡にリンクして表示できるAR(拡張現実)を導入。予め深部の情報を執刀医の顕微鏡画面に表示する	画像解析、ディープラーニング	<p>【徳島大学病院】 耳科手術において耳の骨の中にある重要な臓器を骨を削る前からCTデータを手術用顕微鏡にリンクして表示させ、安全で確実な耳科手術を実現</p>  <p>https://80thbook.tokushima-hosp.jp/specialfeature/article-06/</p>

第7章 大容量高速伝送技術

7-1. グラスウェア連携含む端末の無線通信

端末の情報通信技術は、スマートフォンを中心として劇的な変化が過去数十年にわたって繰り返されてきた。無線通信の高周波化/広帯域化とそれに伴うハードウェアの更新/開発の歴史である。更に、大容量通信とそれに伴う情報処理に係る消費電力量の増加がこの領域の最も大きな課題となっており、その課題克服のための技術開発がこれからも進むと想定される。

以下に、代表的な直近の技術方向性を、下記にまとめる。

2024年にNTTコノキューデバイスより発売された「MiRZA(ミルザ)」は、ARグラスとして充実したスペックを得つつ、新たに通信機能を付加している。まだ125gというグラスとしての軽量化は不十分であるが、これからのこのデバイスの方向性を示していると想定される。



図7-3 NTTコノキューデバイスの「MiRZA」概要 (出典:

https://www.itmedia.co.jp/mobile/articles/2410/09/news079.html#1_rk1640414_MiRZA-02.jpg)

第8章 非装着VR

VRでは、ヘッドマウントディスプレイ（HMD）などのデバイスを装着する必要があるが、特定のデバイスを身に付けることなく、周囲の環境全体を仮想空間として体験できる非装着型のVRも出てきている。現実の空間そのものを仮想の映像で置き換えて、より自由で広範囲なVR体験を行える。複数人が同時に同じ空間でVR体験を共有できることも特徴である。非装着VRには様々なアプローチが存在する。

8-1. 空間プロジェクション

空間プロジェクションでは、複数のプロジェクタや大画面LEDディスプレイなどを活用し、物理空間全体に映像を映し出す。この手法では、ユーザーはヘッドセットを装着せず、空間の中で自由に動き回りながら仮想空間のコンテンツを楽しむことができる。たとえば、CAVE（Cave Automatic Virtual Environment）と呼ばれる四方の壁面にディスプレイを配置するシステムや、目前を覆うプロジェクションマッピングが挙げられる。こうしたシステムを通じて、ユーザーは視覚的に囲まれた没入空間を体験できる。（図8-1）



図8-1 プロジェクタで仮想空間を演出する事例

高解像度（8K）・高輝度（5万lm）なプロジェクタを複数配置し、目の前を映像で覆う。CESでのパナソニックの例。

第9章 規制・標準化とサステナビリティ

9-1. 国際標準規格と業界規制の動向

AR/VR/MR（XR）技術の進展に伴い、国際的な標準規格や業界規制の整備が急速に進んでいる。これらの技術は、プライバシー保護、データセキュリティ、製品の相互運用性など、多岐にわたる領域で規制対象となり、各国の異なる規制要件に対応する必要がある。

XR分野では、以下の標準化が進んでいる。

1. 相互運用性の推進

各社のプラットフォーム間での互換性向上を目的とした標準規格が策定されている。これにより、異なるデバイス間でも一貫した体験が可能になる。

2. プライバシーとデータ保護

XR技術の普及により、ユーザーの個人情報保護が重要視されている。GDPRやCCPAなどの規制が適用されるケースが増加している。

3. 医療分野の規制

XRデバイスの医療用途では、ISOやFDA（米国食品医薬品局）の規格準拠が必要とされる。特にアイトラッキング技術やセンサーを使用した医療機器が対象となる。

4. 電磁放射要件の強化

5GやWi-Fi 6Eなど無線通信技術を使用するXRデバイスには、電磁放射基準への準拠が求められる。これにより、健康への影響を最小限に抑える必要がある。

これらの標準規格は、製品の市場投入スピードや競争力に直結している。企業は最新の規制に対応し、各国政府や国際機関が主導する新しい規格を積極的に取り入れる必要がある。これにより、グローバル市場での展開を確実なものにできる。

9-2. サステナブルなXRデバイスの設計と環境負荷削減

XR技術の拡大に伴い、環境への影響を軽減しつつ持続可能な成長を実現することが業界全体の課題となっている。以下の取り組みが不可欠である。

1. リサイクル可能な素材の使用

プラスチックから再生可能なバイオ素材やリサイクル金属への移行が進んでいる。特にWaveguideなどの光学部品には、持続可能な材料を採用することが求められる。

2. 製品寿命の延長

モジュール化設計により、デバイスの修理やアップグレードが容易な設計が推奨されている。これにより、廃棄を抑え、資源の浪費を削減できる。

執筆分担 (敬称略)

第1章	:	北原 洋明
第2章 2-1~2-7	:	北原 洋明
第2章 2-8	:	福島 功太郎
第2章 2-9~2-23	:	北原 洋明
第3章	:	北原 洋明
第4章 4-1~4-5	:	福島 功太郎
第4章 4-6	:	北原 洋明
第5章	:	福島 功太郎
第6章	:	山本 美輪
第7章	:	福島 功太郎
第8章	:	北原 洋明
第9章	:	北原 洋明
第10章	:	北原 洋明

《 調査企画担当 》

AR/VR/MR 機器の技術と関連部材

(2025-2030 年版)

～光学エンジン・センサー・AI の融合による次世代進化～

2025 年 1 月 31 日発行

頒価 (書籍+PDF) : 248,000 円 (税抜) KTR コンサル会員、著者紹介販売
298,000 円 (税抜) 非会員

(有) カワサキテクノロジーリサーチ

調査企画プロジェクトチーム

代表 川崎 徹

担当 福島 功太郎、山本 美輪

[連絡先]

〒541-0047

大阪府中央区淡路町4丁目3番8号 TAIRIN ビル 6F

(有) カワサキテクノロジーリサーチ

T E L : 06(6232)1055

F A X : 06(6232)1056

Email : ktr@kawasaki-tr.com

(企画・編集協力)

テック・アンド・ビズ (株)

代表 北原 洋明

《 無断での複写複製を禁ず 》