

情報ディスプレイ技術の研究開発動向

木村宗弘^{†1}, 石鍋隆宏^{†2}, 岡真一郎^{†3}, 清水貴央^{†4}, 山北裕文^{†5},
辻博史^{†4}, 薄井武順^{†4}, 奥村治彦^{†6}, 梶山康一^{†7}, 橋本圭介^{†8},
都築俊満^{†4}, 浦岡行治^{†9}, 吉田茂人^{†10}

1. まえがき

今年の何かを語る時、新型コロナウイルス感染症(COVID-19)の感染流行に触れずして説き起こすのは難しいのではないかと、本学会の旧名称は「テレビジョン学会」であったが、テレビの普及にはカラーコンテンツとしてのスポーツイベント開催が大きくなってきた。カラーテレビの普及においては、1964年(昭和39年)10月開催の東京オリンピックが大きな役割を果たし、2002年(平成14年)6月の日韓共催ワールドカップサッカー大会では、薄型テレビの普及を後押しし、2020年夏季に開催予定であった東京オリンピック・パラリンピックは、4K・8K対応テレビの普及を後押しするはずであった。その東京オリンピック・パラリンピックはCOVID-19の世界的流行により、2021年に開催延期となってしまった。このため、テレビの買い替え需要にブレーキが掛かることが心配された。ところが、「ステイホーム」という呼びかけにより、「おこもり需要」とも呼ばれる消費動向が喚起され、4K・8K対応テレビの需要は

堅調だという。また、企業においてはテレワーク/在宅勤務が多くなり、出張や対面型会議が激減する代わりにリモート会議/インターネット会議が普及した。大学においても遠隔授業が広く行われている。ここで課題となったのは、今の社会的状況では仕方がない部分もあるのだが、平成の頃から政府を挙げて普及促進を図るもなかなか進まなかったテレワークやe-learningを、COVID-19の感染拡大抑止の観点から急速に推し進める必要に迫られたことである。流石にe-learningコンテンツの開発は間に合わず、講義映像をインターネット配信する形態のものがほとんどである。既存のリモート会議や遠隔講義システムで配信される映像の画質は満足いくレベルではない。対面での会議や講義に匹敵するような臨場感は望むべくもなく、長時間の視聴を強いられる遠隔講義では、集中力が続かずに講義の理解が進まないといった難点が指摘され、眼精疲労は若年層にも広がっているとの声もある。小中学校では電子パッド型端末の普及が加速しているが、全国/全世界に普及させることを考えれば、一層の低価格化だけでなく、落としても壊れないような強靱かつ軽量のディスプレイの開発は喫緊の課題である。最近、学習効果の検証について一石を投じる書籍も出版されている¹⁾。つまり、ディスプレイにはまだまだ“伸び代”があるということである。

本稿では、2018年～2020年の間に学会などで報告ないし発表された情報ディスプレイ関連技術について、特に各種のディスプレイデバイス、システム、材料などの開発状況と動向をまとめた。情報ディスプレイの関連技術、デバイス・材料技術は多岐にわたるため、すべてを網羅しきれてはいないが、本稿では液晶や有機ELディスプレイ、電子ペーパー、フレキシブルディスプレイ、マイクロLED、量子ドット、駆動回路技術などのディスプレイ技術の開発動向・トレンドを概説したのち、AR/VR向けのディスプレイ技術や映像コーデック技術についても紹介する。なお、本稿に記載されている商品・サービス名等は各社の商標等である。(木村)

2. 液晶ディスプレイ

2.1 液晶ディスプレイの高画質化

近年、鮮明な色再現と階調表現が可能なHigh Dynamic

†1 長岡技術科学大学

†2 東北大学

†3 株式会社ジャパンディスプレイ

†4 NHK 放送技術研究所

†5 株式会社JOLED

†6 株式会社東芝

†7 株式会社エイ・テクノロジー

†8 E Ink ホールディングス

†9 奈良先端科学技術大学院大学

†10 シャープ株式会社

"Research Trend on Information Display" by by Munehiro Kimura (Department of Electrical, Electronics and Information Engineering, Nagaoka University of Technology, Nagaoka), Takahiro Ishinabe (Department of Electronic Engineering, Graduate School of Engineering, Tohoku University, Sendai), Shinichiro Oka (R&D Division, Japan Display Inc., Mobarra), Takahisa Shimizu, Hiroshi Tsuji, Takenobu Usui and Toshimitsu Tsuzuki (Science & Technology Research Laboratories, NHK, Tokyo), Hiroyuki Yamakita (Kyoto Technology Development Center, JOLED Inc., Tokyo), Haruhiko Okumura (Corporate Research & Development Center, Toshiba Corp., Kawasaki), Koichi Kajiyama (V-Technology Co. Ltd, Yokohama), Keisuke Hashimoto (E Ink Japan Inc., Tokyo), Yukiharu Uraoka (Graduate School of Science and Technology, Nara Institute of Science and Technology, Nara) and Shigetou Yoshida (Telecommunication and Image Technology Laboratories, Corporate Research & Development Business Unit, Sharp Corporation, Nara)

Range (HDR) が注目され、ディスプレイデバイスの高コントラスト化、高輝度化、広色域化の実現が重要な課題となってきた。液晶ディスプレイは輝度が10,000 nitsの試作機が開発されるなど、その他の表示デバイスと比較して高輝度化が容易であることから、高コントラスト化に向けた研究開発が進んでいる。現在、液晶ディスプレイの高コントラスト化技術として、液晶パネルの背面にLEDを配置し、表示画像にあわせて輝度を制御するローカルディミング法がテレビなどで実用化しているが、バックライトの分割数(セグメント数)が少ないことからハロ現象が生じること、バックライトが厚くモバイルディスプレイへの応用が難しいなどの問題があった。これらの課題に対するアプローチとして、①二つのTFT-LCDを重ねることでコントラスト比を改善するデュアルセルLCD、②Mini-LEDを用いたバックライトが注目されている。

デュアルセルLCDは、液晶パネルの背面にモノクロの液晶パネルを重ねる方式であり、原理的には画素単位でのバックライトの調光が実現できる。しかし、二つの液晶パネルの間の距離が大きくなると斜めから観察したときに画素ずれ(ゴースト現象)が生じること、偏光板を4枚必要とすることからパネルの透過率が低下すること、二つのパネルの間でモワレが生じることなど多くの課題が残されている。これらの課題に対して、40 μm 厚のTAC(トリアセチルセルロース)フィルムをLCDの基板として用いることで画素ずれを低減する手法が提案された²⁾。また、バックライトを直下型とし、一つのLEDがカバーする面積を小さくすることで高輝度化と低電力化を実現する技術³⁾、調光用に用いるモノクロLCDの画素をジグザグ構造とすることでモワレを低減する技術⁴⁾が開発され、これらの技術を用いた65インチ4K HDRテレビが実用化された。ピーク輝度1,200 nits、コントラスト比200,000:1が実現されている。

Mini-LEDはサイズが80~500 μm のLEDであり、サイズが小さいことから複数のLEDを配置することでセグメント数を増やし高画質化を実現することができる。薄型化を実現するためには液晶パネルとLEDとの距離を小さくする必要があり、非常に多くのLEDが必要となる。技術課題としては、薄型を維持したままセグメント内の輝度の均一性を保つことが挙げられる。一般に一つのセグメントには複数のMini-LEDが配置されており、通常の光拡散フィルムを用いるとホットスポットが生じて輝度の均一性が低下する。この問題を解決するため、光拡散分布がバットウイング型のMini-LEDを採用するとともに、微細構造型の光拡散フィルムを用いることで輝度の均一性を向上する技術が報告された⁵⁾。バックライトの厚さは1 mmでセグメント数は512、コントラスト比は20,000:1以上を実現した。また、セグメント数が20,000のバックライトが開発された。ハロ現象を大幅に抑制するとともに、ダイナミックスキャン駆動を用いることでドライバICの数を75%低減し、低コスト

化が可能であることが報告された⁶⁾。また、VR用ディスプレイに向けて、低温ポリシリコン(LTPS)バックプレーンを用いたアクティブマトリクス駆動のMini-LEDバックライトが開発された⁷⁾。一般にMini-LEDバックライトではパッシブマトリクス駆動が用いられるが、配線が複雑になることから高解像度化が困難である。対角2.02インチでセグメント数が1,024のバックライトを開発し、解像度1,000ppi、応答速度(MPRT)1 ms、コントラスト比100,000:1を有するVR用ディスプレイが実現された。

この他、斜め観察時におけるハロ現象の抑制に向けた最適なセグメント数と液晶パネルの視野角特性の改善について⁸⁾、高輝度化に伴うTFTのリーク電流の増加の抑制に向けたカラーフィルタオンアレイ構造やブラックマトリクスオンアレイ構造の開発が報告された⁹⁾。今後の更なる高画質化と広い用途への普及が期待される。(石鍋)

2.2 フレキシブルLCD

プラスチック基板を用いたフレキシブル液晶ディスプレイの実用化への検討が進んだ。フレキシブル液晶ディスプレイに用いられる基板はTFTのプロセス温度に依存する。大別すると、アモルファスシリコンや酸化物半導体などの既存のTFTを活用した方式と、有機半導体を活用した低温プロセスに特化した方式がある。前者は300度以上の高温プロセスが必要であるため、ポリイミドなどの高耐熱プラスチック材料を基板として用いている。一方後者は低温プロセスであるため低価格なTACフィルムを基板として用いている。両者ともメリット・デメリットがあり今後の開発が期待される。2018年まではプラスチック基板を用いたLCDの製造技術などが主な研究対象になっていたが、2019年以降は実際の応用や新たな構造が提案されるようになった。

透明ポリイミド基板を用いたLCDはガラス基板ではできないような曲率での曲面化が期待されている。しかしながらLCDを曲面化すると、上下基板のずれによる光漏れおよび色ずれや、シールのクラックが懸念される。そこで、カラーフィルタ(CF)をアレイ基板側に形成するColor Filter on Array技術の応用およびスペーサーの黒色化により対策できることが報告された¹⁰⁾。また曲げた時の応力によるシールクラック対策のため、新規にシール材料が開発された¹¹⁾。さらにピール剥がれがどのレイヤで発生するかに着目し、シール下のレイヤを削減することでピール剥離強度を向上させた。これらの技術と透明ポリイミド基板を組み合わせることで、14インチプラスチックLCDを試作し、曲率20 mmが達成された。

プラスチックLCDの新しい応用として超狭額縁LCDが提案された¹²⁾。超狭額縁LCDはポリイミド基板で作製されたLCDの端子部を含めた4辺を折りたたむことにより額縁がすべて裏側に配置された構造となっている。この構造を実現するために、レーザーにより粘着層以外を切断した偏

光板、中立面制御による配線割れ対策、レンズ効果を持たせたカバーガラスが検討されている。これらの技術を適用した4, 11インチのLCDが試作され、カバーガラスや筐体を含めてLCDモジュールの4辺額縁0.4 mmが実現されている。実際にはカバーガラスのレンズ効果があるため額縁はゼロになることが報告された。

プラスチック基板はガラスの基板と比較すると格段に薄膜化することができるため、この特徴を活かしDual Cell構造への応用が提案された²⁾。Dual Cellは2枚のLCDを貼り合わせているため、それぞれのLCDによる視差および合わせずれによるモアレが課題となる。そこで40 μm厚のTACフィルムをLCDの基板として適用し、有機TFTをTACフィルムの上に形成することにより、視差を低減しモアレを軽減している。実際にLCDを試作し、Single Cellのコントラスト比が532:1に対して、Dual Cellのコントラスト比が266000:1を達成している。さらに、LCD間の視差を低減するために偏光板のTAC基材にパシベーション膜を形成し、その上に直接CFやTFTアレイを形成する技術も検討されている¹³⁾。これは有機TFTだからこそ実現できる技術と言える。(岡)

2.3 LCDによるAR/VR

LCDのAR/VRへの応用がいくつか検討された。特にVRには高精細性能が必要である点からLCDの普及が広く進んだ。VR用LCDの課題は応答速度である。全階調の応答を高速化する必要があるため、IPSモードが優れていると考えられおり、これまでは狭ギャップIPSにより高速化が検討されてきた。しかしながら高精細化と狭ギャップ化のためプロセス負荷が高いLCDとなっていた。IPSの応答改善はラビング方向に対し垂直に櫛歯電極を形成することによりドメインを利用して高速応答を可能としたSLC-IPS (Short-range Lurch Control IPS)技術が開発されている¹⁴⁾。さらにこのSLC-IPSの電極構造を細線化することにより高精細化と高速応答化を実現し、VR用として最適化された画素設計が提案された¹⁵⁾。さらに従来の狭ギャップ化されたIPSと比較してセル厚の変化に対するのマーヅンが広く、さらにIPSと比較して同じギャップでも高速化できることが報告されている。また透過率を改善させるために従来の櫛歯電極から電極をダイヤモンド形状としたip-SFR (In-Plane Super-Fast Response)が提案されている¹⁶⁾。ただしip-SFRはスマートフォンやPCモニターへの適用が想定されている。

ARデバイスやVRデバイスはディスプレイとレンズの設計が重要になる。このレンズに液晶素子を採用する検討が進んでいる。レンズの焦点距離は1点しか持たないためARデバイスの表示が固定されてしまうことが課題となる。そこでレンズの焦点距離が円偏光方向によって異なるBerry位相光学素子を活用した焦点可変デバイスが提案されている¹⁷⁾。Berry位相光学素子は液晶によって形成されて

おり、円偏光の向きにより凹凸レンズを切り替えることができる。この素子と偏光方向を切り替えるためのTNセルとを組み合わせることにより、AR表示の焦点距離を5cmから200cmに切り替えることができた。

このBerry位相光学素子はさまざまな応用が期待されており、例えばディスプレイからの光源と外光の円偏光の方向を変えることによりシースルーの表示が可能であることが示されている¹⁸⁾。さらにVRデバイスなどで課題となっているレンズの色収差の改善にもこの光学素子が応用できる提案があった¹⁹⁾。これは、Berry位相光学素子は負の色収差を有しているため、正の色収差を持つフレネルレンズと組み合わせることにより色収差が改善できる仕組みである。同時に入射光は左右の円偏光に分かれながらそれぞれの円偏光が異なる角度で出射されるため、擬似的に解像度を向上させスクリーンドアエフェクト対策につながる事が報告された。Berry位相光学素子は反射型も提案されており²⁰⁾、この反射型素子を利用したARデバイスが提案されている。ARデバイスはHOE (Holographic Optical Element)により光線方向を制御しているが、このHOEに反射型Berry位相光学素子を適用している²¹⁾。反射型Berry位相光学素子をHOEのライトガイドに使用した構造とした場合、80%を超える光利用効率を得られている。さらにFoV (Field of View)も35度以上を達成している。これは通常の回折格子とは異なり液晶の選択反射を活用していることで、高い反射効率を得られているためである。このようにBerry位相光学素子は今後の展開が期待されている液晶素子である。(岡)

3. 有機ELディスプレイ

3.1 OLED発光材料

熱活性化遅延蛍光 (TADF) 材料は、高価なレアメタルを使わない高効率材料として2012年頃より盛んに開発が進められており、実用的な長寿命化と高色純度化が課題となっている。その改善の方向性として、TADF材料と従来の蛍光材料を組み合わせるハイパーフルオレッセンスと呼ばれる方式により、高効率・長寿命かつ高色純度なOLEDの報告が増えている。例えば、赤色の寿命1000 cd/m²からの5%輝度減衰LT95 = 37,000時間、効率32 cd/A、発光スペクトルの半値幅44 nm (中心波長617 nm)が報告された²²⁾。また同論文では、緑色のLT95 = 9,500時間、効率81 cd/A、発光スペクトルの半値幅31 nm (中心波長519 nm)、青色のLT95 = 250時間、効率43 cd/A、発光スペクトルの半値幅23 nm (中心波長470 nm)が報告された。また別の論文では、同様にハイパーフルオレッセンス方式を用いたデバイスにて、半値幅で赤42 nm、緑34 nm、青20 nmのOLEDが実現された。また、同論文では、TADF材料のドナーユニットとアクセプターユニットの間のC-N結合の強さが、デバイス寿命と相関があることを見出した²³⁾。

一方、TADF材料自体の色純度を向上させる試みも引き続き行われている。特に、近年、TADF材料のアクセプターユニットにホウ素材料が用いられ、この材料系で色純度の高い材料の報告が増えてきている。例えば、青色としては、スペクトルの半値幅18 nm (中心波長469 nm) で、外部量子効率34.4%や²⁴⁾、さらに、CIE色度図で $x, y = (0.15, 0.06)$ 、外部量子効率38.15%²⁵⁾などが報告されている。緑色では、 $x, y = (0.26, 0.67)$ 、外部量子効率19.0%で1000 cd/m²からの50%輝度減衰LT50=2,947時間²⁶⁾や、同様に緑色デバイスとして $x, y = (0.16, 0.60)$ 、外部量子効率22.0%、寿命も2000 cd/m²から10%の輝度減衰までの時間がLT90 = 45時間と比較的長い²⁷⁾。また同論文では半値幅25 nm以下で、緑色に限らず置換基を変えることで色調整が容易としており、今後の展開が期待できる。

また、高輝度における効率低下(ロールオフ)の改善も課題とされているが、TADF発光材料の三重項励起状態から一重項励起状態への逆交換交差(RISC)速度を高め、三重項の励起子を早く一重項に変換することで、ロールオフを防げることがわかってきている。例えば、ホウ素、酸素を含むラダー状の分子を用いることで、RISCの速度定数を 10^{-6} s^{-1} を実現した。このTADF発光材料により最大外部量子効率25.9%、100 cd/m²の外部量子効率23.6%、1000 cd/m²時の外部量子効率19.4%と、高効率でロールオフの比較的小さい青色デバイスが実現された²⁸⁾。さらに計算化学を用いてRISCの速度定数を小さくする試みが進められており、RISCの速度定数 10^{-7} s^{-1} も実現されている²⁹⁾³⁰⁾。(清水)

3.2 光取り出し効率向上

光取り出し効率向上技術については、OLED材料の高効率化とともに、デバイス性能向上の重要な技術である。ここ数年は、材料を配向させ、基板の正面方向に出射する光成分を増やすことで、外部量子効率30%を超えるような材料の分子設計が盛んに行われてきたが、VRなどに用いられるOLEDマイクロディスプレイの実現に向けて、マイクロレンズを用いたOLEDの取り出し効率向上技術も再び脚光を浴びている。例えば、マイクロOLEDのカラーフィルタ上に、フォトリソグラフィーにより、円柱状の樹脂を作製する。この時用いられる樹脂はTg150℃以下のもので、加熱により表面が流動してレンズ形状に変形する。これにより、レンズがない場合と比べ1.8倍の効率の向上が得られた。さらにこの報告においては、透明電極をMgAgから、InZnOに変えることでも、効率が1.3倍向上することも報告された³¹⁾。(清水)

3.3 酸素・水分で劣化しにくいOLED

大気に強いOLEDを実現するため、アルカリ金属を電子注入に用いないOLEDの開発が進められている。OLEDの積層構成を陽極と陰極を反対にした逆積層構造とし、電子注入層に酸化亜鉛を用いて、水分・酸素に強い逆構造OLEDを実現する試みが進められている。この逆構造OLEDの課題

の一つは、低電圧化にあるが、酸化亜鉛上に形成することで、低電圧化をもたらす有機材料が報告された。一つは、塩基性が高く窒素原子を含む有機材料を酸化亜鉛上に積層し、電子注入材料とした場合である。動作原理は、塩基性材料中の窒素と、その隣の有機電子輸送層材料の水素原子との間で水素結合を形成し、生じる分極が表面の仕事関数を低減し、低電圧化をもたらすというものである。仕事関数の低減は水素結合の強さに依存するということである³²⁾。もう一つは、フェナントロリン誘導体用い、金属原子との配位結合を形成することで、同様に分極を生じ、仕事関数を低減するというものである³³⁾。このように、窒素を含む安定な材料と、隣接する材料との弱い化学結合を利用することで、アルカリ金属と同等の仕事関数をもたらす新しい電極表面を形成できることが報告された。以上のような手法で、大気に対して不安定なアルカリ金属を用いないOLEDデバイスの性能が、目覚ましく向上している。(清水)

3.4 有機半導体レーザーダイオード

OLED素子を基本構造として、世界初の電流励起による有機半導体レーザーダイオードのレーザー発振が、九州大学のグループによって実現された³⁴⁾。これにより、比較的簡便なプロセスにより、可視域から赤外域にわたる任意の発振波長の実現やフレキシブルなデバイスなどへの応用が期待できる。有機レーザー材料としては、低閾値レーザー発振可能な材料であるスチルベン系の青色蛍光材料(BSBCz)が用いられ、SiO₂の微細構造により、光閉じ込め効果を示す光共振器構造を形成した。このようなデバイスを用いることで、約650 Acm⁻²以上の高電流密度下において、480.3 nmに発振ピークを有する強いスペクトルの狭帯化が観測された。発振特性に明確な閾値挙動を持つこと、発振スペクトルの半値幅が0.2 nm以下と狭いこと、偏光特性やコヒーレンス特性を有することからレーザー発振であることが確認されている。(清水)

3.5 パネルモジュール技術

有機EL(OLED)ディスプレイは、この2年間で大画面テレビやスマートフォンへの占有率を着実に伸ばしてきた。また、軽量薄型、低階調での色再現性、高速応答などの特性を生かして適用範囲も広がってきている。現在量産されているOLEDは、主として、大型は白色発光層蒸着+カラーフィルタ方式、小型はRGB発光層蒸着方式で量産されており、中型サイズではRGB印刷方式でも製造されている。

大型に関しては、2019年には88型8Kテレビが発売され、酸化物TFT構造用の自己整合型トップゲート平坦化構造とCu配線により、高輝度化のための画素構造とリフレッシュレート120 Hzを実現している³⁵⁾。さらに、反射防止と黒色性能を損なうことなく透過率を向上させた偏光板を使用することによって、消費電力と寿命を改善する技術を取り入れるなど総合的に完成度を向上させている³⁶⁾。一方、55型透明ディスプレイは、画素、配線構造の工夫によって

透過率が向上し、デジタルサイネージやショーウィンドウ用に実用化が始まっている。

小型に関しては、ファインメタルマスク (FMM) を使用する利点を生かして高精細化が進み、スマートフォンへの採用はもちろん、HMDやVR/AR用のマイクロディスプレイで5000ppi以上のものも開発されている。また、特に過酷な環境に対応する車載用に使用するために、デバイス構成を最適化することやRGB層を二層積層にすることによって高効率化、長寿命化することに加え、むらや焼き付きを補償するためのアルゴリズム開発も進められている。

RGB印刷方式は、多様な画面サイズへの展開が容易で材料利用効率が良好であるため、現在も活発に研究開発が進められている。2020年のSID国際会議では、スペシャルピックの一つとして印刷によるディスプレイが取り上げられ、OLEDのみならずQD、マイクロLEDの印刷技術についても特集された。2019年のSIDでは一つだった印刷方式OLEDのセッションは、2020年には三つのセッションが生まれ、パネルメーカーのみならず材料、装置メーカーからの発表もあり、その注目度の高さが窺い知れる。

RGB印刷方式としては、2017年に21.6型4Kディスプレイが世界で初めて製品化され、医療用モニタの他、ハイエンドモニタにも採用されている。2019年にはより大型のパネルにも対応可能なG5.5(基板サイズ1,300×1,500mm)量産ラインの稼働が開始され、32型4K、27型4Kのサンプル品も公開された³⁷⁾。SID2020では、大型テレビへの展開に関する可能性を実証した発表が複数の企業からあり、前年よりも高精細化やパネルの面内均一性が向上していることを示したインクジェット方式の55型8Kがオンラインで公開された³⁸⁾。その他、ゲーミング用にリフレッシュレート120Hzに対応する17.3型4Kも発表された³⁹⁾。印刷方式の課題として、青色の発光効率の低さと高精細化の難しさが指摘されているが⁴⁰⁾、材料そのものの特性向上に加え、塗布形状を制御するなど発光効率向上のためのメカニズム検証も行われ日々進歩している⁴¹⁾。材料メーカー、装置メーカー、そしてパネルメーカーが三位一体となって開発を進めることで、さらに改善されることが期待される。(山北)

3.6 フレキシブル有機ELディスプレイ

OLEDは高画質を生かしてさまざまな用途へ展開される一方で、マイクロLEDなど他の高画質ディスプレイの開発も活発化している。OLEDは、他方式のディスプレイに比べてシンプルな構造でフレキシブル化を実現することができるため、さまざまな使用形態が提案されている。エッジ部のみが湾曲した、あるいは任意の部分を凹状または凸状に湾曲させた固定形態に加え、自由に折り曲げたり(ベンダブル)、折り畳んだり(フォルダブル)、巻き取ったり(ローラブル)することができる形態である。

フォルダブルタイプは、6型から8型サイズで内折り、外折りのさまざまなタイプが試作されている他、CES2020で

は、フォルダブルとしては比較的大きい13.3型を使用したノートPCが展示された。ローラブルタイプは、CES2019で設置台に巻き取られるテレビ用の65型4Kが公開され、大きな注目を集めた。その後のSID2020では、上方向に巻き取られるタイプと、下方向に巻き取られるタイプの二種類の車載用12.8型の他、曲率半径5mmで巻き取られる12.3型などもオンラインで公開された。

これらのディスプレイを実用化するためには、さまざまな動作に耐える機械的強度を有するパネル構造の開発に加え、それぞれの動作に必要な機構の開発、強度の評価方法も重要である。フォルダブルディスプレイの各層にかかる応力を低減するため、中立面分離の概念に着目した研究が活発に行われてきた。接着剤の弾性率と中立面の位置を実験的に明確にすることや⁴²⁾、FEA(有限要素解析)シミュレーションによって接着層の機械的挙動を理論的に検証することで⁴³⁾、パネルの繰り返し曲げ剛性を向上させることに成功している。また、機械的強度と曲げやすさを両立する素材として低ヤング率のカバーフィルムに着目し、フィルム厚さによって中立面位置があまり動かないことを実験的に検証することによって、比較的厚くても折り曲げが可能な8.56型ディスプレイを試作した報告例もある。この試作品はタッチセンサも内蔵しており、曲率半径3mmの曲げ試験10万回を実証している⁴⁴⁾。

フォルダブルタイプのスマートフォンはすでに複数のメーカーから商品化されており、ローラブルタイプのテレビも非常に高価ではあるが発売され始めた。しかしながら、商品化後に機構面等で想定外の課題が発生することや、一部では折り曲げ部分で表示不良が生じるなどの問題点も指摘されている。信頼性向上のための地道な開発を引き続き進め、上記のような基礎的なデータを蓄積することによって、消費者の期待を裏切ることのない商品の登場を期待したい。(山北)

4. 薄膜トランジスタ、駆動技術

4.1 薄膜トランジスタ

薄膜トランジスタ(TFT)を用いたバックプレーン技術として、LTPS-TFTと酸化物TFTを組み合わせたLTPO(Low-Temperature Poly-crystalline silicon and Oxide)⁴⁵⁾が注目を集めた。移動度の高いLTPS-TFTとオフ電流が非常に小さい酸化物TFTのそれぞれの長所を活かすことで、ディスプレイの狭ベゼル化に加え、低リフレッシュレート駆動による消費電力の大幅な低減が可能になる。このLTPO技術は、スマートウォッチのバックプレーン技術として採用され、すでに実用化されている。国際会議SID2020においてもLTPOに関連する複数の発表⁴⁶⁾⁴⁷⁾が行われ、さらなる技術の進展が期待される。

また、ディスプレイの大画面化や高精細化に必要な高速駆動可能なTFTの開発も進んだ。オン電流をLTPS-TFT並みに向上させたIGZOベースのTFT⁴⁸⁾や、微量のTa添加によ

り高移動度 ($49 \text{ cm}^2/\text{Vs}$) と安定性を両立させた ZnON-TFT⁴⁹⁾ が報告された。さらに、低寄生容量化が可能なセルフアライン型 TFT に関して、ソース/ドレイン領域の低抵抗化手法として、固体レーザー照射を用いる新たな方法⁵⁰⁾ が提案された。

TFT 作製プロセスの簡素化・低コスト化に向けて、塗布材料を用いて形成可能な塗布型 TFT の開発も進んだ。ZnO 溶液への La 添加による S 値やヒステリシスの改善⁵¹⁾ や、IGZO 溶液へのフッ素添加による信頼性や移動度の改善⁵²⁾ が報告された。(註)

4.2 駆動技術

有機 EL を採用したテレビやスマートフォンなどが広く普及しつつあるが、長時間駆動による TFT の特性変動による画質劣化の問題があり、さまざまな補償方法が開発されてきた。特に近年では、単純でコストに優れることから、複雑な画素回路を必要としない補償技術の開発が進んでいる。センシング回路を用いた補償方式では、センシング時のノイズによる精度の低下が問題となっており、二つの異なるセンシング回路からのデータを用いることでノイズをキャンセルする方法⁵³⁾ が提案された。さらに、特別な回路を使用せず、有機 EL ディスプレイの劣化モデルのみで補償する方式も提案されている。これまでに、TFT や OLED の劣化モデルから劣化を推定することが試みられてきたが、ディスプレイの劣化モデルの構築には不十分であり、パネルの輝度、温度、電圧降下の影響、駆動方法、さらには製造方法などのあらゆる条件を包括的に考慮することで、高精度な補償が可能であると報告⁵⁴⁾ された。また、焼き付きの発生を抑制するために、AI によって焼き付きの発生しやすいオブジェクトを検出し、コントラストを落とすことで焼き付きを抑制する手法が提案された。この AI による検出システムをワンチップの IC に導入し、リアルタイムに検出可能なことが報告された⁵⁵⁾。

センシング回路による補償を可能とする高機能なゲートドライバを、パネル内に酸化物質 TFT で作成することで、ベゼル幅を小さくする技術も多数報告され、ベゼル幅が 6.5 mm の 65 インチ 4K 有機ディスプレイ⁵⁶⁾ や、ベゼル幅が 8 mm の 55 インチ 8K 有機 EL ディスプレイの開発⁵⁷⁾ なども報告された。(薄井)

5. AR/VR 用ディスプレイ

5.1 広視野化、奥行き感向上技術

自動車関連のヘッドアップディスプレイ (HUD) としては、AI 技術による自動運転が進む中でも、最後はドライバに判断が求められるため、HUD によるナビや注意喚起など新たなインタフェース技術 AR-HUD の重要性が増すと予想されている⁵⁸⁾。HUD のハード関連でもっとも問題となる広視野 (FOV) と HUD サイズとのトレードオフを解消するために、ウインドシールドに光学的なパワーを持たせる新たな光学

系が必要になるが、その方式は大きく分けて、ホログラフィック光学系とフレネル光学系が提案されている。前者の方式としては、2009 年に設立されたスタートアップ、Ceres Holographics (以下、Ceres) から、低コストで作成可能な Windshield 用ホログラムの作成方法と性能について発表があった⁵⁹⁾。焦点距離 10 m、 15×6 度、 $5000 \text{ cd}/\text{m}^2$ 、サイズ 10.5 L と実用レベルの性能が得られているが、まだ、視野やサイズの点で改良の余地が多々ある。また、Central Florida 大が、Waveguide 反射板として、正確にアライメントできる Photo Alignment 技術で配向させたコレステリック液晶を用い、表示デバイスとして MEMS スキャンレーザーディスプレイニングを用いることで、小型で 100° という広い FOV を実現した⁶⁰⁾。まだ原理検証レベルではあるが、今後の進展が期待される。

また、後者の方式では、東芝が単眼方式で、影や奥行き感を増強した 3D-CG 技術を用いて、人間が感じる実質的な視野や奥行き感、さらには印象まで向上させる新たな試みも行われている⁶¹⁾。人間の高度な知覚まで含めたディスプレイシステムとして、ハードとソフトが融合技術して、新たな展開が生まれることに期待したい。

5.2 オクルージョン対応技術

HUD も含めて、光学方式の AR ディスプレイでは、表示する仮想物体と重なっている背景が、完全に遮断できないため、リアルな物体が透けて見えて、その遮蔽関係がうまく表示できないオクルージョンの問題、これが原理的に解決困難な問題になっている。さまざまな方法が提案されているが、サイズと効果のトレードオフ問題が解決できない。アリゾナ大から、リアルな背景画像を一部マスキングしてナビ画像と合成させる新たな光学系に関する発表があった⁶²⁾。マスキングとして反射型ディスプレイ、ナビ画像表示として Micro Display を用いる。サイズも FOV 41.6° で $130 \times 140 \times 25 \text{ mm}^3$ と小型化できた。

5.3 高解像度化技術、高速化(遅延補償)技術

ヘッドマウントディスプレイ (HMD) では、臨場感を実現するためには、人間の視野相当の広視野化と遅延なく頭部の動きに追従できる高速化が重要となる。視野が広がるほど、より多くの画素が必要となるため、表示パネルの高解像度化は重要であるが、一方で HMD のサイズは、表示パネルサイズに依存するため、小型化と高精細化のトレードオフ問題を解決する方法が重要になる。その方式としては、大きくわけて二つ手法がある。

(1) 目の中心部分は解像度が高いが周辺は低いことを利用して、中心視と周辺視部分で解像度を変える。

(2) 光学的に、時分割などで画素をシフトさせることで高解像度化する。

(1) の方式としては、モスクワ大学から、眼球運動の数学的モデルによって視線の動きを予測することで、1000 Hz までトラッキング可能な HMD システムを提案、試作した結

果が示された⁶³⁾。

また、(2)の方式としては、Central Florida大から、偏光状態により入射光を選択的に回折させることができるPancharatnam-Berry Deflector (PBD)を3層化することで、高い回折効率と広帯域な画素シフト技術を実現する発表があった⁶⁴⁾。新しいデバイスにより、より効率の良い光学システムができる可能性を示した点、今後の研究の発展に期待したい。

(2)の高速化については、ソニーから、ディスプレイの応答性だけでなく、センシング、トラッキング、レンダリング(画像処理)などARシステムとして遅延要因を解析して、頭部の動きが平行移動や回転など限定された動きであるという特徴を活用することで画像処理量を削減し、高速化する方法についての提案があった⁶⁵⁾。

いま流行りのAI、Deep Learning (DL)に関する技術をディスプレイへ応用する取り組みも進んでおり、例えば韓国LGからは、高精細画像と低精細画像が混在している放送を、それぞれ分けて学習させることで、より高性能な超解像画像処理を実現する⁶⁶⁾など、これからも、AI、アプリ、センサなど、ディスプレイ技術の周辺技術の発表が増えて、本体であるディスプレイ技術と融合して、予想もできない新しいディスプレイの世界が広がっていくことを期待したい。

(奥村)

6. Micro LED ディスプレイ

ここ数年来の特許の公開数の急激な増加から見ても⁶⁷⁾、Micro LEDによるディスプレイの開発が急速に進んでいることが解る。2020年の国別では、LEDの生産量が多い台湾、中国での開発が盛んでありAUOやPlayNitrideがSID2018にてPanel展示している。しかし、LEDの生産とMicro LED Displayの生産はまったく異なるのでLEDディスプレイ開発を依頼されたLEDメーカーは戸惑っているように感じる。やはり、開発の中心はディスプレイメーカーになっていくと思う。またOLEDに注力している韓国はこれらの国に比べると、やや遅い立ち上がりと感じる。日本でも台湾のAUOに続き京セラ等がSID2019にてPanelの展示をしている。日本はFPDの設備メーカーが強くその開発については他国より速いと思われる。一方、FPDとして、かなり確立した技術のLCD、OLEDがすでに商業生産として確立している。この状況で、何をMicro LEDのディスプレイに期待され開発が進んでいるのかと言えば、その理由の一つとして、本来Flexibleディスプレイとして期待されていたOLEDがウェアラブルや車載等のニーズに充分応えられていないことが考えられる。これらの市場要求に従い、Micro LEDのディスプレイは、そのHigh Dynamic Range (HDR)、耐環境性、耐久性そして長寿命等の特長を生かした製品開発が望まれる。また、技術的には超高精細で高輝度を要求し、CMOS BackplaneのモノリシックなAR、VRへの応用⁶⁸⁾と、

4インチ程度のサファイア基板上に稠密に作成されたMicro LEDを大面積のBackplaneに再配列するモバイル用途から大型TVへの応用があるが、此处では後者の技術動向について紹介する。

Micro LEDとは一般的に50 μm 以下の大きさと呼び、最近では30 μm 程度が使用されている。この大きさは、応用されるディスプレイの解像力より小さいのに、さらに小さいものが要求される。この理由はMicro LEDの価格が高いためであり、サファイアウェハからとれるLEDの個数を増やし、チップの単価を下げるためである。このことがLEDチップの使用する個数の多さとともに再配列の技術的な難度を上げている。したがって、Micro LEDの技術開発とは、この微細なLEDチップを大量にかつ短時間で再配列する技術開発である。Micro LEDの再配列はサファイア上のMicro LEDをLaser Lift OFF (LLO)により剥離する技術とそれらのチップをBackplane上の電極に接続する技術からなる。LLOに関してはすでに326ppiの密度で15万個のチップに対するLLOで99.998%以上の成功率を実現している⁶⁹⁾。また、再配列と電気接続では、従来から一般的である機械的なPick and Place方式では、TV用に数百万個以上のMicro LEDを移送するには時間がかかりすぎる⁶⁷⁾。また、X-CeleprintのElastic Polymer方式はその転送確率を数十万個単位で成功した例を見ない。一方、LEDをサファイア基板から直接Backplaneに移送するDirect Bonding方式では30万個のLEDで成功率を99.99%以上に高めた事例も報告されている⁶⁹⁾。ディスプレイを発光させる方法は、R、G、Bの3色のLEDを再配列させる方法と青または紫外線で励起して蛍光体でR、G、Bの3色を作る方法がある。当然、3色のLEDを使用すれば変換効率が良いのであるが、時間のかかるLEDチップの再配列を3回実施せねばならないのと、赤色のMicro LEDの価格と発光効率のバラツキが問題として残っている。蛍光体では、主にQuantum Dotが有力視されているが、寿命と耐環境性の問題が残る、せっかくの無機LEDの耐環境性の強さを相殺してしまう欠点があるとの指摘もある。また、特にこの材料を用いてR、G、B各色のレジストを作成すると、性能が劣化する。そのため、3色とも、無機の蛍光体を使用して色変換層を開発しUV LEDでの励起としたパネルの作成についても報告されている⁷⁰⁾。

現状、UV励起の色変換層とUV-LEDの発光層の組み合わせにより326ppiの25mm角のPanelが製作可能となった。今後はActiveのBackplaneを使用しディスプレイとしての評価を行えば、Micro LEDのディスプレイとしての可能性がより明確になると期待される。

(梶山)

7. 電子ペーパー

電子ペーパーは特に電子書籍向け用途として、1990年代後半にMITメディアラボのJoe JacobsonによりLast bookが提唱され、その後E Ink社の起業、2000年代半ばには白

黒2bit gray scale電子ペーパーを用いた電子書籍端末がソニー、Amazonなどから相次いで発売されて普及した。マイクロカプセルを用いた電気泳動方式電子ペーパーは、酸化チタニウムの白色材料を使用することによりペーパーホワイトを実現し、またその広い視野角特性により、紙に近い読みやすさを実現した。その一方で、電気泳動の特徴としての書き換え時間、高諧調実現性、カラー化などの課題によってほかのアプリケーションへの適用が課題となっていたが、2010年代から現在に至るまで、電気泳動方式およびそれを取り巻く技術のさまざまな技術ブレイクスルーがあり、用途の広まりを見せている。本稿では、電気泳動方式を中心としたここ2、3年の特にカラー化の動向を中心に述べる。

カラー電子ペーパーの方式は、

- (1) ACeP (Advanced Color ePaper) Color : 2016年、マイクロカプセル方式の電子ペーパーに新たにCyan, Magenta, Yellowの色素顔料を従来のWhiteに加えて各カプセル内での4色の色素を実現、その精細な駆動技術とともに、32パレット色を有するフルカラー、高精細の電子ペーパーを実現し、サイネージ用途への展開を行っている。また、パレット色を画質に応じて調整することにより、より広範囲な、絵画等の画質の再現も可能としている⁷¹⁾。さらに、2019年頃より、前述のフルカラー電子ペーパーにおいて、複雑な駆動による混色パレット色カラー表示にこだわらず、各ピグメント色単色のみで混色表示を行わないことにより、駆動を単純化させてサイネージ・電子値札等への展開も行われている。
- (2) Spectra Color : マイクロカプセルを用いた電気泳動方式の電子ペーパーにおいて、白・黒のピグメントに赤色、もしくは黄色のピグメントを追加することにより3色表現を実現している⁷²⁾。本方式は前述のACePと比較して駆動がシンプルで、特に赤、黄色等の表現に特化するような電子値札等で広がりを見せている。
- (3) Prism Color : 単色カラー (Blue, Cyan, Green, Yellow, Brown, Red) とWhiteの2色素顔料でマイクロカプセルを構成して、アクティブマトリクスではなく、単純電極フィルムと組み合わせることにより、フレキシブルかつ、大面積で特にアーキテクチャ等の意匠デザイン用途への展開も行っている⁷³⁾。その他のカラー電子ペーパーのこの1年の特徴としては、
- (4) Kaleido Color : 2020年、電子書籍にて培ったフィルム方式のフロントライト技術の進化、フレキシブル電子ペーパーで培ったマイクロカプセルフィルムの薄型化、カラーフィルタの印刷技術の向上、TFTの高解像度化などの組み合わせにより、反射型カラー特有のパララックスによる色ずれ改善、ライティングによるcolor gamutの改善等を行った、カラーフィルタ方式の

電子ペーパーが注目を浴びている。特に、量産性が高く、先述のピグメント方式フルカラー電子ペーパーよりもより速い書き換え時間を要求される、電子書籍、電子ノートへの展開が期待されている⁷⁴⁾。

カラー化以外では、従来のディスプレイ以外の用途への展開も進んでいる。黒色素顔料のみ入ったマイクロカプセルを特定の周波数でAC駆動を行うことによって光の透過を制御することにより、スマートウィンドウの用途への展開が提案されている⁷⁵⁾。近年はエレクトロクロミック技術を用いた遮光窓が飛行機等で実用化されているが、その遮光書き換え時間の短縮を目指した本技術もまた注目されている。

白黒表示電子書籍端末から始まった電子ペーパー技術は、時間を要しているが着実に進化を遂げ、用途も広まりつつあり、単なるディスプレイとしてではなく、紙を置き換える技術として今後の展開も期待される場所である。(橋本)

8. 最新のトピック

8.1 量子ドット材料

ディスプレイの広色域化に向けた技術として量子ドット材料技術が注目を集めている。量子ドット材料はナノスケールの半導体微粒子材料である。量子ドットの中でもコロイダル量子ドットと呼ばれる材料は、溶媒に分散させたインクにより塗布成膜が可能である。量子ドット材料は粒径によってバンドギャップが変化する量子サイズ効果を示す。したがって、粒径制御によって発光波長を制御することができ、さらには、粒径ばらつきを小さくすることで高色純度発光を得ることができる⁷⁶⁾。これまでにCdSやCdSeのCd系量子ドット材料が半値全幅30nm以下の高色純度発光を示すことが報告されてきたが、毒性の高いCdを含んでいるため、Cdフリー材料の開発が望まれていた。Cdフリー材料については、当初、Cd系材料に比較して色純度や発光効率が低くとどまっていたが、最近著しく改善されてきた。例えば、InP系の緑色材料において、フォトルミネッセンス(PL)の半値全幅36nm、PL量子収率95%の高色純度かつ高効率発光が得られることが報告されている⁷⁷⁾。量子ドット材料を、LCD、OLED、マイクロLEDディスプレイ用の色変換材料として利用する研究開発が行われている。例えば、赤、緑色のフォトルミネッセンスを示すCdフリー量子ドット材料と青色光源を組み合わせることでBT.2020包含率90%を達成した報告例がある⁷⁸⁾。量子ドット材料を用いた電流注入型エレクトロルミネッセンス素子(QD-LED)の研究開発も行われ、発光効率や色純度の改善が進んでいる。InP系量子ドット材料を用いた赤色QD-LEDにおいて21.4%の極めて高い外部量子効率⁷⁹⁾、InPおよびZnTeSe量子ドット材料を用いた赤、緑、青色QD-LEDでそれぞれ19.6%、17.6%、11.5%の高い外部量子効率と40nm、39nm、29nmの狭い半値全幅が報告されている⁸⁰⁾。また、QD-LEDを用いたディ

スプレイの試作も行われている。UVフォトリソグラフィを用いてRGB量子ドットのパターンニングを行ったトップエミッション構造QD-LEDを用いたアクティブマトリックスディスプレイが報告されている⁸¹⁾。(都築)

8.2 ウェアラブルセンサ

身につけるIoTとして、ウェアラブルデバイスは、健康管理や予防、増進などヘルスケアの分野で応用が可能なキーデバイスとして、位置付けられており、腕時計型やメガネ型が代表的である。ウェアラブルデバイスは、手に持つ必要がないセンシング機器やコントローラの役割を果たす。腕時計型のウェアラブルデバイスの「Apple Watch」は、利用者の心拍数のセンシングができ、音楽再生などのコントローラとしても利用できる⁸²⁾。Apple Watchは、血管における緑色光の吸収量を光センサでセンシングすることによって脈拍を測定している。メガネ型のウェアラブルデバイスの「JINS MEME」は、利用者の眼球の動きや体の動きのセンシングができる⁸³⁾。

心身に関する情報の感知など、ウェアラブルデバイスには特徴的なセンシングがある。ウェアラブルデバイスの用途は「心身に関する情報収集」、「位置や速度に関する情報収集」、「入力・運動支援」に大別できる。センシング以外のウェアラブルデバイスの機能として、腕時計型のデバイスが振動して情報を通知するケース、メガネ型のデバイス上に情報を表示するケースもある。

「心身に関する情報収集」を行うウェアラブルデバイスでは、睡眠時の動きや呼吸数の情報等を収集できる。リストバンド型ウェアラブルデバイスのAlta HRでは、心拍センサ・加速度センサによって睡眠の深さ、睡眠時間をはじめとした情報を収集できる⁸⁴⁾。衣服型ウェアラブルデバイスのhamonは、導電性の高い銀繊維を利用して、心電、筋電、呼吸数などの情報を収集できる⁸⁵⁾。

「位置や速度に関する情報収集」を行うウェアラブルデバイスでは、利用者自身やスポーツ選手の位置や移動速度を計測することができる。「Wristable GPS for Trek」は、GPS、地磁気、加速度、温度、気圧のセンサを備えており、登山において、緯度経度・高度の情報を把握できる⁸⁶⁾。アメリカのプロフットボールリーグのNFLでは、選手の肩パッドにRFIDを埋め込み、選手の位置や速度をリアルタイムに収集し、視聴者の画面上に表示することができる⁸⁷⁾。「入力・運動支援」を行うウェアラブルデバイスとして、指輪型のコントローラやパワードスーツが挙げられる。フィンガープレゼンター黒曜石は、指にはめてプレゼンテーションを操作できる指輪型のコントローラである⁸⁸⁾。また、ロボットスーツのHALは、運動を支援するウェアラブルデバイスであり、生体電位を感知し、筋組織の動きを予測することで人間の動作を支援する⁸⁹⁾。

大阪府立大学の竹井邦晴教授らは、肌に貼ることで汗のpH値や呼吸数、心拍数、皮膚の温度など体から発せられ

る生体情報を常時計測できる薄型の素子を開発した⁹⁰⁾。樹脂のフィルムの上へ印刷によって素子の材料を塗布した。計測した情報は無線でスマホと通信して記録できる。身につけた人が熱中症になりそうな時、計測した生体情報をもとに警告できるシステムを構築した。熱中症の初期症状では心拍数や呼吸数は増え、皮膚の温度は上昇する。こうした兆候をシート素子がとらえた時、すぐさまスマホを通じて警告できる。皮膚に貼り付けた端末は紛失する心配が少なく、一般的なウェアラブル端末に比べてかさばらない。シートテックが進化すれば、多くの情報のやり取りは肌の上で完結する可能性もある。皮膚のサイボーグ化で未来の生活はさらに便利になるか。(浦岡)

8.3 タッチパネル

タッチパネルは表示と入力の二つの機能を備えており、コンピュータなどの外部から受けた画像情報をディスプレイに表示するとともに、操作者がその画面に表示された絵やピクトグラムなどの点または領域に手で触れたり専用の「スタイラス」などと呼ばれるペンや一般のペンで圧力を加える等により、触れられた画面位置の情報を感知して外部へ情報信号として出力する。動作原理としては、タッチ部分(座標)を電気的に検出する方式と電気を使わない方式がある。

電気を使う代表的な方式としては、抵抗膜方式(アナログ抵抗膜方式)、静電容量方式などがある。電気を使う抵抗膜方式や静電容量方式では、表示画面の全面に導電性のガラスやフィルムを貼るために光透過率が落ちる。また、電気を使わない代表的な方式には、超音波表面弾性波方式、赤外遮光方式、画像認識方式などがある。電気を使わない方式は、画面の前面にフィルムやガラスを置かないため光透過率に優れている。ただし、電気式に比較して現状では高価である。

スマートフォンやタブレット端末の画面のどこを触っても、指紋認証が完了する指紋センサをJDIが開発した(SID2020)⁹¹⁾。静電容量式のタッチパネルそのものを、指紋センサとして働くように作り込んだ。タッチパネルセンサ電極のメッシュを非常に細かくし、指紋の凹凸レベルも取得できるようにした。試作品では313ppi(ピクセル/インチ)の解像度を達成したという。さらに、指紋認証は、複数指にも対応している。例えば、右手の5本指を画面に押し当てれば、5本分の指紋を同時に認識できる。

新型コロナウイルスの感染拡大で、直接ボタンなどに触れず、空中に浮かぶ仮想的な画面に触れるだけで操作できる非接触型の「空中タッチ操作パネル」⁹²⁾が注目されている。空中に浮かぶバーチャルなサイネージ画面に、触れるような感覚で操作できるタッチパネル。これまではSF映画の中でしか見ることができなかったそんな技術の実用化に向け、いま各社が研究開発や実証試験を急いでいる。個人のスマホからエレベーターの操作ボタンまで、日常生活のな

かでわれわれが触らざるを得ないモノは数多くある。そうした接触する機会をできる限り減らす社会へと変容していくことが、ポストコロナの時代には求められている。

8.4 映像コーデック技術動向

昨今のコロナ禍の影響で、会議や学会等、さまざまなイベントがオンラインで開催されるようになったのは、特筆するまでもないが、そのオンライン開催において、ビデオストリーミングの進歩がそれらの土台になっていることも忘れてはならない。

特に高画質を特徴とするストリーミング用映像コーデックは、2013年に国際標準化団体ITU-T SG16とISO/IEC JTC 1/SC29が共同で策定したHEVC (High Efficiency Video Coding) と呼ばれる映像圧縮の国際標準が挙げられる⁹³⁾。

WindowsやAndroid, MacOSなど主要OSにおいてデフォルトで対応されていることから、多くのデバイスでデコード処理できるようになっており、上記のオンラインイベントのみならず、BS 8K/4K放送など広く使用されている。

しかし、HEVCで8K/4Kを伝送する場合、例えば、2018年12月より本放送が開始された現在のBS-8K放送においては、伝送ビットレートがおよそ80~100 Mbpsとなり⁹⁴⁾、そのビットレートを維持したままインターネット回線などで伝送する場合、回線容量を逼迫することになり、さらなる映像高圧縮技術が求められてきた。

そこで、2020年7月に再びITU-T SG16とISO/IEC JTC 1/SC29が共同で策定した新しい国際標準のVVC (Versatile Video Coding) に期待が集まっている⁹⁵⁾。

VVCの一部の技術要素(ツール)を表1にまとめた。VVCは、多数の技術要素を結集することにより、カメラ映像、スクリーンコンテンツ、360映像、HDR映像など多様な映像において常に以前の符号化技術よりも高い符号化効

率を実現することができる。

上記ツールにより、VVCは同等の画質に必要なデータ容量においてHEVCの約3割~5割まで低減できることから、8K/4K高精細映像がより容易に映像伝送できる。各ツールの複雑度は現時点の技術でリアルタイム処理できるレベルに抑えられており、現在各社がこのVVCのエンコーダおよびデコーダの開発を進めている。数年後には8K/4Kコンテンツがより身近に受信視聴できることになると考えられる。

一方、動画配信サイトのNetflixや、Google社のYouTubeなどVideo on Demandサービスにおいては、ここ最近AV1 (AOMedia Video 1) コーデックを推進している。こちらは産業界の団体のAlliance for Open Mediaが開発したコーデックで、HEVC同様に4K映像など高解像度映像の符号化が可能である。また、インターネットとの親和性が高いことも特徴の一つで、AOM参加団体のGoogle社のChromeブラウザやMicrosoft社のEdgeブラウザなどすでにさまざまなデコーダが市場で利用されている⁹⁶⁾。特にストリーミングのユースケースにおいて高いパフォーマンスを示すことが知られている⁹⁷⁾。

話は変わるが、2020年にも国内で大手通信キャリアがサービスを開始した第5世代移動通信システム「5G」において、5Gの特長の一つである大容量伝送を用いた8K/4K映像の伝送サービスについても注目が集まっている。特に5Gの周波数帯の中の「ミリ波」と呼ばれる28 GHz帯においては、伝送のベストエフォートは20 Gbpsとなり、4Gの約20倍の速度での伝送が可能となっており、各地で5G環境下での8K映像伝送についての実証実験が行われている。

その一例として、2019年11月には、総務省の5G総合実証試験の一環として、(株)国際電気通信基礎技術研究所、KDDI(株)、シャープ(株)、国立大学法人東京大学大学院

表1 VVCの主な技術要素

カテゴリー	HEVC	VVC (主なツールのみ抜粋)
最大ブロックサイズ	64×64	128×128
パーティション構造	4分木	マルチタイプツリー (4分木, 2分木, 3分木)
イントラ予測	DC+Planer+33方向 参照画素/境界フィルタ	DC+Planer+87方向+ワイドアングル 色コンポーネント間予測 (CCLM) マルチライン予測, 画素一混合PDPC マトリックス予測MIP
インタ予測	スキップ, マージ	アフィン予測Affine デコーダ側動き予測DMVR オプティカルフロー予測画像BDOF 可変動きベクトル制度AMVR シンメトリック動き差分SMVD 差分付きマージMMVD
変換	正方形変換4×4-32×32 固定変換 (DCT2とDST7)	矩形変換 (4, 8, 16, 32, 64) × (4, 8, 16, 32, 64) マルチ変換選択MTS (DCT2, DST7, DCT8) 低周波非分離変換LFNST
係数符号化	サインハイディング	依存量子化DQ 色成分ジョイント符号化JCCR
ループフィルタ	Deblocking Filter, SAO	非線形適応ループフィルタALF

情報学環中尾研究室, 北海道新冠郡新冠町, 日高軽種馬共同育成公社が連携し, 軽種馬の育成支援を目的に, 5Gを活用した8K超高精細映像のリアルタイム伝送を行い, 軽種馬のトレーニングの様子や厩舎内での様子を遠隔から観察, 見守りを行う実証試験を行っている。さらに, 本実証試験においてはドローンから撮影した8K超高精細映像のリアルタイム伝送に世界で初めて成功した。なお, この時の8K映像コーデックはHEVCを用いて伝送されている⁹⁸⁾。

このように, 上記コーデック技術との組み合わせで, 5G環境下での8K/4K超高精細映像伝送も近々実用化されることが容易に予測できる。

以上, ここ最近の映像コーデック技術について触れたが, 今後, 「オンライン」, 「リモート」が当たり前となるニューノーマルの時代に突入する社会において, これらの映像コーデック技術に期待されることは, 「高画質」, 「高圧縮データ容量」, 「低遅延時間」をいずれも高い基準で満たすことで, オンラインであっても, 実際にFace to Faceで話しているような環境を提供することこそが, 開発技術者の目標ではないかと考える。

(2020年12月11日受付)

〔文 献〕

- 1) H. Shibata and K. Omura: "Why Digital Displays Cannot Replace Paper: the Cognitive Science of Media for Reading and Writing", Springer (2020)
- 2) P. Cain, et. al.: "Ultra-high contrast OLED: Thin and light dual cell LCDs on TAC film", Proc. of IDW, LCT7/FLX5-2, pp.287-290 (2019)
- 3) Weidong Liu, et. al.: "4K HDR "Stacked-Panel" TV Based on Dual-Cell LCD", SID 2020 Digest, pp.243-245 (2020)
- 4) Lei GUO, et. al.: "Development of Dual-Cell LCD with Mega Contrast", SID 2020 Digest, pp.119-121 (2020)
- 5) Binyi Zheng, et. al.: "An Advanced High-Dynamic-Range LCD for Smartphones", SID 2019 Digest, pp.566-568 (2019)
- 6) Enhui Guan, et. al.: "A Novel Pixel-level Local Dimming Backlight System for HDR Display Based on mini-LED", SID 2020 Digest, pp.231-234 (2020)
- 7) Yang-En Wu, et. al.: "Active Matrix Mini-LED Backlights for 1000PPI VR-LCD", SID 2019 Digest, pp.562-565 (2019)
- 8) Chun-Chi Chen, et. al.: "Evaluate and Upgrade Picture Quality of Local Dimming Mini-LED LCD", SID 2020 Digest, pp.235-238 (2020)
- 9) Jenn-Jia Su, et. al.: "An Overview of Solutions for Achieving HDR LCDs", SID 2020 Digest, pp.224-227 (2020)
- 10) Y. Shi, et. al.: "14 Inch Flexible LCD Panel with Colorless Polyimide", SID 2019 Digest, pp.597-599 (2019)
- 11) K. Wang, et. al.: "Flexible LCD with Colorless Polyimide", Proc. of IDW, LCT7/FLX5-1, pp.284-286 (2019)
- 12) S. Oka, et. al.: "Ultra-narrow border display with a cover glass using liquid crystal displays with a polyimide substrate", J. SID, 28, 4, pp.360-367 (2020)
- 13) J. Harding, et. al.: "Organic LCDs Using Polarizers as Substrates: Enabling Pixel-level Dimming in Dual-Cell LCDs", SID 2020 Digest, pp.1279-1281 (2020)
- 14) T. Matsushima, et. al.: "New Fast Response Time In-Plane Switching Liquid Crystal Mode", SID 2015 Digest, pp.648-651 (2015)
- 15) T. Matsushima, et. al.: "Fast-response IPS-LCDs used in VR applications", SID 2019 Digest, pp.925-928 (2019)
- 16) K. Hanaoka, et. al.: "Novel Pixel Design In-Plane Super-Fast Response (ip-SFR) LCD for Smartphone and PC Monitor", SID 2019 Digest, pp.164-167 (2019)
- 17) Y.-H. Lee, et. al.: "Switchable Lens based on Cycloidal Diffractive Waveplate for AR and VR Applications", SID 2017 Digest, pp.1061-1064 (2017)
- 18) C.-K. Lee, et. al.: "Geometric Phase Doublet Lens for Augmented Reality", Proc. of IDW, 3D1-3, pp.758-761 (2018)
- 19) T. Zhan, et. al.: "Emerging Near-eye Displays with Pancharatnam-Berry Optical Elements", Proc. of IDW, LCT2-3, pp.236-239 (2019)
- 20) J. Kobayashi, et. al.: "Planar optics with patterned chiral liquid crystals", Nat. Photonics, 10, 6, 389-392 (2016)
- 21) Y. Zhang, et. al.: "A Holographic Waveguide Display with Polarization Volume Gratings", SID 2020 Digest, pp.375-378 (2020)
- 22) A. Endo, et. al.: "Innovative Technological Progress of Lifetime in Hyperfluorescence™", SID 2020 Digest, pp.57-60 (2020)
- 23) J.-Y. Kim, et. al.: "Lifetime Improvement of TADF-OLEDs", SID2020 Digest, pp.53-56 (2020)
- 24) Y. Kondo, et. al.: "Narrowband Deep-blue Organic Light-emitting Diode Featuring an Organoboron-based Emitter", Nature Photonics, 13, pp.678-682 (2019)
- 25) D.H. Ahn, et. al.: "Highly Efficient Blue Thermally Activated Delayed Fluorescence Emitters Based on Symmetrical and Rigid Oxygen-bridged Boron Acceptors", Nature Photonics, 13, pp.540-546 (2019)
- 26) X. Song, et. al.: "Strategically Modulating Carriers and Excitons for Efficient and Stable Ultrapure-Green Fluorescent OLEDs with a Sterically Hindered BODIPY Dopant", Adv. Opt. Mater., 8, p.2000483 (2020)
- 27) Y. Zhang, et. al.: "Multi-Resonance Induced Thermally Activated Delayed Fluorophores for Narrowband Green OLEDs", Angew. Chem., 58, pp.16912-16917 (2019)
- 28) T. Agou, et. al.: "Pentacyclic Ladder-Heteroborin Emitters Exhibiting High-Efficiency Blue Thermally Activated Delayed Fluorescence with an Ultrashort Emission Lifetime", ACS Materials Lett., 2, pp.28-34 (2020)
- 29) Y. Wada, et. al.: "Organic Light Emitters Exhibiting Very Fast Reverse Intersystem Crossing", Nature Photonics, 14, pp.643-649 (2020)
- 30) N. Aizawa, et. al.: "Kinetic Prediction of Reverse Intersystem Crossing in Organic Donor-acceptor Molecules", Nature Commun., doi: 10.1038/s41467-020-17777-2 (2020)
- 31) Y. Motoyama, et. al.: "High-efficiency OLED Microdisplay with Microlens Array", J. of SID, doi:10.1002/jsid.784 (2019)
- 32) H. Fukagawa, et. al.: "Universal Strategy for Efficient Electron Injection into Organic Semiconductors Utilizing Hydrogen Bonds", Advanced Materials, 31, p.1904201 (2019)
- 33) H. Fukagawa, et. al.: "Understanding Coordination Reaction for Producing Stable Electrode with Various Low Work Functions", Nature Commun., 11, p.3700 (2020)
- 34) A.S.D. Sandanayaka, et. al.: "Indication of current-injection lasing from an organic semiconductor", Applied Phys. Exp., 12, pp.061010 (2019)
- 35) K. Miwa, et. al.: "Development of 88-inch 120Hz 8K OLED TV for Mass Production", Proc. of IDW, pp.405-408 (2019)
- 36) S.H. Hwang, et. al.: "Study on the Efficiency Improvement of OLED TVs with High Transmittance Technology of the Polarizer", SID 2019 Digest, pp.850-852 (2019)
- 37) <https://www.j-oled.com/press/20191125/>
- 38) Z.W. Liangchen, et. al.: "Development of 55inch 8K AMOLED TV by Inkjet Printing Process", SID 20 Digest, pp.481-484 (2020)
- 39) P.-Y. Chen, et. al.: "17.3 Inch UHD Resolution AMOLED Panel Fabricated by Ink Jet Printing Process", SID 20 Digest, pp.595-598 (2020)
- 40) J. Kang, et. al.: "Recent Developments in Inkjet-printed OLEDs for High Resolution, Large Area Applications", SID 20 Digest, pp.591-594 (2020)
- 41) N. Akino, et. al.: "Fundamentals and Device Performance of Polymer-OLED Materials", Proc. of IDW, pp.636-638 (2018)
- 42) M. Nishimura, et. al.: "5.5-inch Full HD Foldable AMOLED Display Based on Neutral-Plane Splitting Concept", SID 19 Digest, pp.636-639 (2019)

- 43) A. Cheng, et. al.: "Study on Mechanical Behavior and Effect of Adhesive Layers in Foldable AMOLED Display by Finite Element Analysis", SID 19 Digest, pp.1060-1063 (2019)
- 44) S. Eguchi, et. al.: "A Flexible OLED Display with Robustness and Bendability", SID 19 Digest, pp.632-635 (2019)
- 45) T.-K. Chang, et. al.: "LTPO TFT Technology for AMOLEDs", SID 2019 Digest, pp.545-548 (2019)
- 46) H. Luo, et. al.: "Complementary LTPO Technology, Pixel Circuits and Integrated Gate Drivers for AMOLED Displays Supporting Variable Refresh Rates", SID 2020 Digest, pp.351-354 (2020)
- 47) R. Yonebayashi, et. al.: "High Refresh Rate and Low Power Consumption AMOLED Panel Using Top-gate n-Oxide and p-LTPS TFTs", SID 2020 Digest, pp.355-358 (2020)
- 48) K. Ito, et. al.: "Development of High Quality IGZO-TFT with Same On-Current as LTPS", SID 2020 Digest, pp.343-346 (2020)
- 49) H. Tsuji, et. al.: "Effects of Tantalum Doping on Electrical Characteristics of High-Mobility Zinc Oxynitride Thin-Film Transistors", IEEE Electron Device Lett., **40**, pp.1435-1438 (2019)
- 50) M. Nakata, et. al.: "Development of High-mobility Top-gate IGZO-TFT and Suppression of Threshold Voltage Shift in Short Channel Utilizing Laser Irradiation Process", SID 2020 Digest, pp.79-82 (2020)
- 51) R.N. Bukke, et. al.: "Effect of Lanthanum Doping on the Electrical Performance of Spray Coated ZnO Thin Film Transistor", Proc. IDW '19, pp.482-484 (2019)
- 52) M. Miyakawa, et. al.: "Impact of fluorine doping on solution-processed In-Ga-Zn-O thin-film transistors using an efficient aqueous route", AIP Adv., **10**, pp.065004-1-7 (2020)
- 53) K. Toyotaka, K. Takahashi, R. Yamamoto, S. Kawashima, D. Nakamura, N. Sugisawa, M. Dobashi, C. Misawa, M. Nakada, S. Yamazaki: "OLED Display Device Mounted with a Novel External Compensating Circuit", SID 2018 Digest, 5-3, pp.44-47 (2018)
- 54) J. Kim, J. Ko, J. Park, G. Jeong, H. Maeng*, S. Park, W. Choe: "A Compensation Algorithm for Degradation in AMOLED Displays", SID 2018 Digest, 35-4, pp.445-448 (2018)
- 55) Y. Yoo, J. Lee, B. Chun, K. Ahn, Y. Choi, J. Moon, B. You: "Novel Image Sticking Prevention Method Using Deep Learning", SID 2020 Digest, 60-1, pp.889-892 (2020)
- 56) H.-J. Shin, S.-H. Choi, S.-J. Kim, J.-K. Park, S.-H. Yun, J.-R. Seo, J.-Y. Choi, S.-J. Bae, H.-S. Kim, C.-H. Oh: "A High-Image-Quality OLED Display with Motion Blur Reduction for Ultra-High Resolution and Premium TVs", SID 2020 Digest, 7602, pp.1131-1134. (2020)
- 57) X. Feng, Y. Li, C. Yuan, Z. Yuan, P. Xu, D. Han, S. Meng, X. Wei, E. Xie, W. Bao, F. Liu, Z. Wu, J. Yu, X. Dong: "A Novel Gate Driver Circuit Employing IGZO TFTs for External Compensation", SID 2020 Digest, 38-3, pp.544-546 (2020)
- 58) H. Okumura: "Human Centric AR&VR Display and Interface Technologies for Automobile", pp.60-61, IEEE Consumer Electronics Magazine, **8**, 5 (2019)
- 59) Ian R. Redmond: "Holographic Optical Elements for Automotive Windshield Displays", pp.246-249, Proc. of SID2020 (2020)
- 60) Jianghao Xiong, et. al.: "A Scanning Waveguide Display with 100° of FOV", pp.583-586, Proc. of SID2020 (2020)
- 61) H. Okumura, et. al.: "Impressive 3D CG technologies for automotive HUDs with wide FOV", pp.101-104, Proc. of IDW2019 (2019)
- 62) A. Wilson, et. al.: "Demonstration of a Novel Single-Layer Double-Pass Optical Architecture for a Pupil-Matched Occlusion-Capable Optical See-Through Head-Mounted Display", pp.571-574, Proc. of SID2020 (2020)
- 63) A. Kruchinina, et. al.: "Prediction of Saccadic Eye Movement for Foveated Rendering", pp.803-806, Proc. of SID2020 (2020)
- 64) J. Zou, et. al.: "Increasing the Pixel Density for VR Displays with a Polarization Grating", pp.796-799, Proc. of SID2020 (2020)
- 65) H. Aga, et. al.: "Latency Compensation for Optical See-Through Head-Mounted with Scanned Display", pp.330-333, Proc. of SID2019 (2019)
- 66) M.B. Kim, et. al.: "Efficient Multi-Quality Super Resolution Using a Deep Convolutional Neural Network for an FPGA Implementation", pp.993-996, Proc. of SID2020 (2020)
- 67) Micro LED Displays: Intellectual Property Landscape, Yole Development (2020)
- 68) Xu Zhang et. al.: "High-Resolution Monolithic Micro-LED Full-color Micro-display", SID 2020 DIGEST, pp.339-342 (2020)
- 69) K. Kajiyama, et. al.: "Manufacturing Process for Mass Production of Micro-LED Displays and High-Speed and High-Yield Laser Lift-Off Systems", SID 2020 DIGEST, pp.100-103 (2020)
- 70) K. Kajiyama, et. al.: "Device Structure and Manufacturing Process for Highly Flexible Micro-LED Display", Proc. IDW, pp.239-242 (2018)
- 71) S.J. Telfer and M.D. McCreary: "Full-Color Electrophoretic Displays", IDW2016 EP1-1 (2016)
- 72) M. Wang, Y. Li, C. Lin, H. Du and H.M. Zang: "Three-Particle Electrophoretic Display", IDW2016 EP1-3 (2016)
- 73) P.G. Apen: "Application of Electrophoretic Displays in Architecture and Design", IDW2017 EP1-1 (2017)
- 74) I. French, P. Lo, R. Chung, C. Lin and J. Ding: "Kaleido Color eReader Displays", IDW2020 EP3-3 (2020)
- 75) M.D. McCreary, R.J. Paolini, Jr., J.A. Smith, S.J. Telfer and P.C.B. Widger: "Variable Transmission Electrophoretic Film", SID2019 36-1 (2019)
- 76) Y. Shirasaki, G.J. Supran, M.G. Bawendi, V. Bulovic: "Emergence of colloidal quantum-dot light-emitting technologies", Nature Photonics, **7**, pp.13-23 (2013)
- 77) Y. Kim, H. Jang, J.H. Min, E. Jang: "Bright and Narrow Green Emitting InP-based Quantum Dots for Wide Color Gamut Displays", SID 2020 Digest, **51**, pp.1186-1189 (2020)
- 78) R. Tangirala, E. Lee, C. Hotz, Y. Kunai, Y. Komatsu, Y. Harada, M. Komada, M. Tokuda and T. Fukuura: "Color Conversion Using Quantum Dots for LCD, OLED and MicroLED Displays", SID 2020 Digest, **51**, pp.1299-1302 (2020)
- 79) Y.-H. Won, O. Cho, T. Kim, D.-Y. Chung, T. Kim, H. Chung, H. Jang, J. Lee, D. Kim and E. Jang: "Highly efficient and stable InP/ZnSe/ZnS quantum dot light-emitting diodes", Nature **575**, pp.634-638 (2019)
- 80) C. Ippen, B. Newmeyer, D. Zehnder, D. Kim, D. Barrera, C. Hotz and R. Ma: "Progress in High-Efficiency Heavy-Metal-Free QD-LED Development", SID 2020 Digest, **51**, pp.858-861 (2020)
- 81) Y. Nakanishi, T. Takeshita, Y. Qu, H. Imabayashi, S. Okamoto, H. Utsumi, M. Kanehiro, E. Angioni, E.A. Boardman, I. Hamilton, A. Zampetti, V.B.-Bousquet and T.M. Smeeton: "Active matrix QD-LED with top emission structure by UV lithography for RGB patterning", J. Soc. Inf. Display, **28**, pp.499-508 (2020)
- 82) <https://support.apple.com/ja-jp/HT204666>
- 83) <https://jins-meme.com/ja/products/es/>
- 84) <https://www.fitbit.com/jp/altahr>
- 85) <https://www.mitsufuji.co.jp/service/>
- 86) <https://www.epson.jp/osirase/2017/170725.htm>
- 87) <https://slidesplayer.net/slide/14243897/>
- 88) <http://www.kokuyo-st.co.jp/stationery/fp/>
- 89) <https://www.cyberdyne.jp/products/HAL/index.html>
- 90) <https://www.nikkei.com/article/DGXMZO62122110R30C20A7X90000/>
- 91) T. Uehara et al.: "Full-Screen Capacitive Fingerprint Sensor and Touch Sensor", SID 2020 DIGEST, pp.611-614 (2020)
- 92) https://www.nomura.co.jp/eL_borde/view/0043
- 93) ITU-T Recommendation H.265|ISO/IEC 23008-2
- 94) "8K スーパーハイビジョンの伝送技術", NHK 技報R&D, **153**
- 95) ITU-T Recommendation H.266|ISO/IEC 23090-3
- 96) Alliance for Open Media, <http://aomedia.org/>
- 97) ATR ニュースリリース, https://www.atr.jp/topics/press_191113.html
- 98) R. Jullian, Y. Chen, F. Galpin, E. Francois and M. Kerdranvat: "Extra results to JVET-N605"Comparative study of video coding solutions VVC, AV1 and EVC versus HEVC", JVET Document, JVET-00898 (July 2019)



木村 宗弘 1992年、東京農工大学大学院工学研究科博士前期課程修了。同年、長岡技術科学大学工学部電気系助手。液晶の界面アンカリング測定や強誘電性液晶などの諸物性の観測に取組むほか、LCDの新しいモードの研究に従事。1998年、文部科学省在外研究員（Case Western Reserve Univ.）。帰国後、2001年、同大学電気系講師。2005年、同大学助教授。2007年、同大学准教授。2016年、同大学教授。博士（工学）。正会員。



石鍋 隆宏 2000年、東北大学大学院博士課程修了。同年、日本学術振興会特別研究員（PD）、2003年より、東北大学大学院工学研究科電子工学専攻助教。2010年～2011年まで、セントラルフロリダ大学客員教授、2013年、東北大学大学院工学研究科電子工学専攻准教授となり、現在に至る。低電力ディスプレイ、広視野角・高速液晶ディスプレイ、フレキシブルディスプレイ等の研究に従事。2020年、Society for Information Display (SID) Fellow Award受賞。博士（工学）。正会員。



岡 真一郎 2004年、長岡技術科学大学博士課程修了。同年、(株)日立製作所日立研究所入社。2013年、同社主任研究員、2014年、(株)ジャパンディスプレイ転属となり、現在に至る。液晶表示モード、3Dディスプレイ、フレキシブルデバイス等の研究に従事。



清水 貴央 1995年、東京工業大学生命理工学部生体分子工学科卒業。2000年、同大学院総合理工学研究科物質電子化学専攻博士課程修了。同年、凸版印刷(株)に入社。2010年、NHK入局。有機EL材料研究、印刷法による有機ELディスプレイの研究開発に従事。博士（工学）。正会員。



山北 裕文 1988年、早稲田大学大学院理工学研究科修士課程修了。同年、松下電器産業(株)(現パナソニック(株))に入社。中央研究所にて、フラットパネルディスプレイの研究に従事。以来、本社研究所にて、フラットCRT、LCD、PDP、有機ELディスプレイのデバイスシミュレーションおよびパネル高性能化に関する研究に従事。2015年より、(株)JOLED。正会員。



辻 博史 2005年、大阪大学大学院工学研究科博士課程修了。同年、日本学術振興会特別研究員（PD）。2007年より、大阪大学特任研究員。2011年、NHK入局。放送技術研究所にて、薄膜トランジスタ、フレキシブルディスプレイの研究開発に従事。現在、同研究所新機能デバイス研究部主任研究員。博士（工学）。正会員。



薄井 武順 2004年、東京工業大学大学院理工学研究科集積システム専攻修士課程修了。同年、NHK入局。大阪放送局を経て、2007年より、同放送技術研究所。現在、放送技術研究所にて、フレキシブルディスプレイの駆動・信号処理技術の研究に従事。正会員。



奥村 治彦 1983年、早稲田大学大学院理工学研究科電気工学専攻修士課程修了。同年、(株)東芝に入社。固体撮像装置（デジタルカメラ、ビデオカメラ）の高画質化技術、テレビ会議やテレビ電話の画像圧縮技術に関する研究開発を経て、1988年より、アクティブマトリックス型液晶表示装置の研究開発に従事。2002年、表示材料デバイスラボラトリ室長。2004年、ディスプレイ技術の研究主幹。2014年より、参事。2018年より、シニアフェローとなり、現在に至る。2012年より、千葉大客員教授。液晶ディスプレイの残像を大幅に低減するデファクトスタンダード技術であるオーバドライブ技術の発明に関して、2004年、SID Special Recognition Award受賞。2006年、関東地方発明神奈川県支部長賞受賞。2007年、市村産業賞貢献賞受賞。2009年、文部科学大臣科学技術賞受賞、恩賜発明賞受賞。2006年より、IDW DESワークショップチェア、2012年、IDW実行委員長。2015年、IDW組織委員長。2017年より、SID日本支部長、SID表彰委員会委員、SID Associate Editor。IEEEフェロー、SIDフェロー、IEICEフェロー。博士（工学）。当会フェロー認定会員。



梶山 康一 1974年、北海道大学理学部物理学科卒業。同年、(株)小松製作所に入社。非線形分光技術の応用開発、DUV露光用Excimer Laserの開発に従事。1987年、(株)Admon Scienceを設立。露光用Excimer Laserの開発、光ディスクおよび液晶用光学式自動検査装置の開発に従事。2000年、(株)ブイ・テクノロジーに入社。液晶用自動光学検査装置、レーザシステムの開発、大型基板用光配光露光装置の開発、Micro LED Displayの開発に従事。現在、同社、Micro LED 研究開発部専務執行役員。正会員。



橋本 圭介 1986年、金沢大学大学院工学研究科修了。同年、ソニー(株)入社。2004年、電子ペーパーを用いた世界初電子書籍端末Librieの開発・商品化。2011年、13.3インチフレキシブル電子ペーパー端末Sony Digital Paperの開発責任者。2011年、ソニー(株)にて、Distinguished Engineer取得。2013年、IDW '13 Best Paper Award受賞。2014年、E Ink corporationにCorporate Fellowとして入社。2016年より、IDW '16 EP WG Chair。2020年より、E Ink Holdings。正会員。



都築 俊満 1999年、大阪大学大学院工学研究科物質化学専攻博士課程修了。同年、トヨタ自動車(株)入社。2002年、NHK入局。放送技術研究所にて、フレキシブルディスプレイの研究に従事。松山局、高知局を経て、2013年より、放送技術研究所。博士（工学）。正会員。



浦岡 行治 1985年、豊橋技術科学大学大学院電気電子工学専攻修了。1985年、松下電器産業(株)半導体研究センター入社。1999年、奈良先端科学技術大学院大学准教授。2009年、同大学教授。IEEEシニアメンバ。正会員。



吉田 茂人 1990年、シャープ(株)入社。反射型ディスプレイ、低温ポリシリコンTFT-LCD等のモバイル機器向けのディスプレイ周辺駆動回路の開発に従事。2014年、同社8Kディスプレイの開発プロジェクトチームのチーフ職を歴任。現在、同社通信・映像技術研究所に所属。各種次世代ディスプレイの開発に従事。正会員。