映像情報メディア年報2015シリーズ（第2回）

情報ディスプレイ技術の研究動向

藤掛英夫[†1], 石鍋隆宏[†1], 境川　亮[†2], 馬場雅裕[†3], 沼尾孝次[†4], 中　茂樹[†5], 志賀智一[†6], 鹿間信介[†7], 高取憲一[†8], 前田秀一[†9], 藤崎好英[†10], 佐藤弘人[†10], 奥田悟崇[†11], 岡本慎二[†12], 足立昌哉[†2], 中村篤志[†13], 奥村治彦[†3], 伊達宗和[†14]

1．まえがき

近年の情報メディアの発展は，フラットパネルディスプレイの技術革新により牽引されてきた．その具体例としては，パーソナルコンピュータ（PC），携帯電話，薄型テレビ，タブレット携帯端末など枚挙にいとまがない．今後の情報ネットワーク社会においても，膨大な電子情報を人に機能的・効率的に伝えるため，ディスプレイの果たす役割はますます重要になる．

表示技術の特徴は，材料・デバイスの自由度，システム設計の柔軟性，それらから生まれる表示特性の多様性と言える．画像の入り口となり光を電気信号に変換する撮像技術は，光電変換が求められてデバイス選択が制限される．その一方，画像の出口となり電気信号を光強度に変換する表示デバイスの場合，半導体接合の発光はもとより，種々の励起法による発光現象，さらには外部光源を基にした光変調方式も使用でき，動作原理は多様である．基本的に，それらを満たす材料・デバイスは表示技術に適用できるが，コンシューマエレクトロニクスであるため，実用化の観点からは，低コスト材料で高い生産性という要件を満たさなければならない．

表示デバイスは大別して，自発光方式と非発光方式（もしくは外部光変調方式）に分類される．前者には，有機EL（OLED）ディスプレイ，プラズマディスプレイ（PDP），電界放出ディスプレイ，発光ダイオード（LED），レーザダイオード（LD），薄膜EL，分散型EL，ブラウン管などが含まれる．また後者には，液晶ディスプレイ（LCD），電気泳動ディスプレイ，エレクトロクロミックディスプレイ，微小電気機械システム（MEMS）などがある．双方の方式は，それぞれ高輝度化・高効率化・長寿命化，および光利用率向上・高コントラスト化・高速化という宿命的な課題を抱えており，現在もその改良が進められている．

また，それらを駆動する薄膜トランジスタ（TFT）技術についても複数のデバイスが存在する．大面積化が容易なアモルファス（a）Si-TFT，高移動度の多結晶（poly）Si（LTPS）-TFT，および低温形成で高移動度の酸化物半導体（IGZOなど）TFTなどである．その他にも低温で印刷形成が可能な有機半導体などが出番を控えている．

上述の表示および駆動デバイスは，これまで市場において激しい競争と盛衰を繰り返してきた．他の方式の難点を補う形で相互に発展して性能向上を遂げてきた．国内のフラットパネルディスプレイ産業では高度な専門技術が構築されながら，疲労感・閉塞感が拭えない理由には，産業拠点の海外シフトのみならず，そのような背景がある．

ヒューマンインタフェースとしての情報ディスプレイには，現在も多くの観点から技術革新が求められている．昨今，期待されている発展の方向性を図1に示す．ディスプレイ開発の王道は画質向上であるが，現在，大画面化や高精細化が一定のレベルに達し，色域拡大，視野角特性も踏

†1 東北大学 大学院工学研究科
†2 株式会社ジャパンディスプレイ 研究開発本部
†3 株式会社東芝 研究開発センター
†4 シャープ株式会社 通信・映像技術研究所
†5 富山大学 大学院理工学研究部
†6 電気通信大学 電子工学科
†7 摂南大学 理工学部
†8 NLTテクノロジー株式会社 開発本部
†9 東海大学 工学部 光・画像工学科
†10 NHK 放送技術研究所
†11 三菱電機株式会社 先端技術総合研究所
†12 株式会社東京化学研究所 開発室
†13 静岡大学 大学院工学研究科
†14 NTTメディアインテリジェンス研究所

"ITE Review 2015 Series (2); Research Trend on Information Display Technology" by Hideo Fujikake, Takahiro Ishinabe (Graduate School of Engineering, Tohoku Univ., Sendai), Akira Sakaigawa, Masaya Adachi (R&D Division, Japan Display Inc., Mobara), Masahiro Baba, Haruhiko Okumura (Corporate Research & Development Center, Toshiba Corp., Kawasaki), Takaji Numao (Telecommunication & Image Technology Laboratories, Sharp C orp., Tenri), Shigeki Naka (Graduate School of Science and Engineering for Research, Univ. of Toyama, Toyama), Tomokazu Shiga (Department of Electronic Engineering, Univ. Electro-Communications, Chofu), Shinsuke Shikama (Faculty of Science and Engineering, Setsunan Univ., Osaka), Kenichi Takatori (Development Division, NLT Technologies, Ltd., Kawasaki), Shuichi Maeda (Optical and Imaging Science & Technology, Tokai Univ., Hiratsuka), Yoshihide Fujisaki, Hiroto Sato (Science & Technology Research Laboratories, NHK, Tokyo), Noritaka Okuda (Advanced Technology R&D Center, Mitsubishi Electric Corp., Nagaokakyo), Shinji Okamoto (Research & Development Department, Tokyo Kagaku Kenkyusho Co., Ltd., Yamato), Atsushi Nakamura (Graduate School of Engineering, Shizuoka Univ., Hamamatsu) and Munekazu Date (NTT Media Intelligence Laboratories, NTT Corp., Yokosuka)

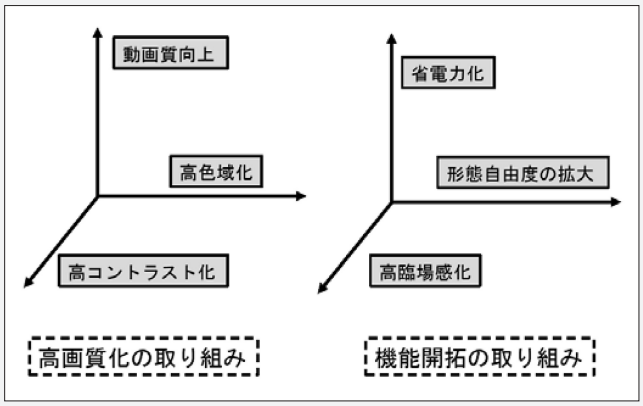

図1　情報ディスプレイの研究開発の方向性

まえたコントラスト特性（ダイナミックレンジ）・階調性の向上，動画質改善などが残された課題と言える．その一方，画質がほぼ満足できるレベルに達しているため，新しい機能を訴求する動きが強まっており，高画質の先にある高臨場感化，形態の自由度拡大（狭額縁化，任意形状化，曲面化，フレキシブル化，ウェラブル化など），省電力化（高効率化，メモリー駆動）などが求められている．同図において多くの座標軸でハイスコアが獲得できれば，それだけインパクトが強い開発に結びつく．

ここでは，2012年～2014年の期間に発表された研究開発を基にして，各種のディスプレイシステム，デバイス，材料の技術課題と開発状況を俯瞰する．また，表示分野全体にインパクトを及ぼす技術トピックについても概説する．（藤掛）

2．液晶ディスプレイ

2.1　液晶材料・動作モード

スマートフォン，タブレットPC用途として，中小型液晶ディスプレイの高性能化が進んだ．特に解像度の向上は著しく，2012年では326 ppiであったスマートフォンの解像度は2014年には564 ppiに達した．しかし，一方で高精細化による光利用効率の低下が問題となり，低電力化に向けた液晶材料・動作モードの技術開発が進んだ．

動作モードとして，表示の広視野角化と高透過率化が可能なFringe Field Switching（FFS）モードが広く普及した．FFSモードでは，誘電異方性が大きく低電圧駆動が可能であること，また低い粘性を有し高速応答が可能であることから，主に誘電異方性が正の液晶が用いられている．しかし，誘電異方性が正の液晶を用いたp-FFSモードは，電圧印加時において電極付近の液晶分子のチルト角度が大きく，また，分子の回転も充分でないことから透過率が低く，波長依存性が大きいという問題を有しており，この改善が重要な課題となっていた．

この問題を解決するため，誘電異方性が負の液晶を用いたn-FFSモードの検討が進んだ[1]．n-FFSモードでは，電界に対して垂直に液晶が並ぶため，電圧印加時において分子のチルト角度の変化が小さく，この結果，旋光性の影響が大きくなり，透過率を高く，波長依存性を小さくすることができる．このことから，誘電異方性が大きく，粘性が小さな負の液晶材料の開発が進んだ．

また，液晶ディスプレイの高精細化に伴い，ラビング配向が困難になってきており，このことからn-FFSモードのコントラストと視野角特性の向上を狙って，光配向技術の実用化が進んだ[2)3)]．これまで平行配向の光配向技術は方位角アンカリング強度が充分ではなく，このことは電圧印加で生じるトルクにより，配向膜界面の液晶ダイレクタが初期配向方位からずれ，焼き付きの原因となっていた．このことから，新たな配向膜材料と配向プロセスについての検討が進み，従来のラビングプロセスと同程度のアンカリング強度が実現された．これらの結果，従来のp-FFSモードと比較して，透過率で10%，コントラスト比で2倍（2,200：1）の特性改善が達成された．

ディスプレイの低電力化としては，バックライトを用いず，周囲光を用いて表示を行う反射型カラー液晶ディスプレイが実用化された[4]．RGBWの多色カラーフィルタを用いることで，光の利用効率を改善し，反射率25%，コントラスト比30：1，色再現性NTSC比30%を達成した．

大型液晶ディスプレイでも，高精細化が進んだ．FFS方式を用いた98型8Kディスプレイが開発された他，105型アスペクト比21：9，解像度5,120×2,160の5K湾曲液晶テレビが実用化された．

次世代の液晶技術として，ブルー相液晶，フレクソエレクトリック効果を利用した高速応答モードの検討も続いているが，駆動電圧の課題は依然として解決されておらず，今後の新たなアプリケーションに向けて，更なる開発の進展が期待される．（石鍋）

2.2　周辺部材・セット化技術

近年，飛躍的な薄型化，高画質化，低電力化を達成した液晶ディスプレイは，更なる高品位を目指した開発が進んでいる．その中で液晶ディスプレイの広色域化の技術として，量子ドット材料を用いたバックライトが開発・製品化された[5]．これは，赤と緑色に発光する量子ドット材料を細長いガラス管に封入したパッケージ構造を持ち，これをディスプレイのエッジに配置した青色LEDと導光板の間に置くことで，3波長の発光を実現するものである．また，中小型液晶ディスプレイ向けには，量子ドット材料を薄い光透過性のシート状にすることで，薄型で高効率の発光を実現した製品が開発されている[6]．

新たな高画質化の取組みとして，ハイダイナミックレンジ（HDR）技術が開発されている[7]．白色LEDを2次元に敷き詰めた直下型LEDバックライトを用い，液晶パネルに表示する映像に応じてLEDのエリア輝度制御を行う液晶ディスプレイが開発されている．これにハイダイナミックレン

ジ化された映像信号を表示することで，暗部の階調再現性ときらめく白の表現を両立する技術である．

モバイル機器においては端末の薄型化が非常に重要であり，特にLEDパッケージの薄型化が進んでいる．モバイル機器で使用されるサイドビュー型LEDは，従来の0.8 mm厚から0.6 mm厚へと薄型化が進み，さらにスマートフォン向けでは，0.4 mm厚のサイドビュー型LEDが商品化されている[8]．また，導光板に関しては，0.3 mm厚以下の製品が開発されている．薄型化と高輝度化はトレードオフの関係にある一方で液晶ディスプレイの高画素化の進行により，バックライトに対する高輝度化の要求も高まっており，薄型化と高輝度化，そして省電力化を実現するためのバックライト開発が強く求められている．

近年，ディスプレイモジュールの狭額縁化の開発が急速に進められてきている．特にスマートフォン向けのディスプレイでは，セットサイズの制約の中，ディスプレイの画面サイズを最大化するために，狭額縁化が進んでいる．この結果，スマートフォンにおけるディスプレイの面積占有率は，2013年には60～70%程度[9]であったものが，2014年には80%を超える製品が開発されている[10]．

2013年以降，ディスプレイの一つのトレンドとして『スクリーンの曲面化』が挙げられる．大型ディスプレイにおいては，スクリーンを曲面化することで，視聴者の没入感の増大や映り込みの低減などのメリットが挙げられており，有機ELディスプレイが先行して開発，製品化された．従来曲面化は難しいと言われていた液晶ディスプレイにおいても開発がなされ，65型および75型4Kテレビ[11]として製品化されている．また，PC向けに34型3,440 × 1,440画素の曲面スクリーン液晶モニタ[12]が製品化されている．一方，デザイン上の理由からも曲面スクリーンが要望されており，車載向けに半径900 mmでガラス基板を曲げた12型2,560 × 1,440画素の液晶ディスプレイ[13]が開発されている．

以上，液晶ディスプレイの周辺部材・セット化技術の動向を示した．液晶ディスプレイの品位は，あらゆる面で飛躍的に向上してきている．一方，今後のトレンドとしては，薄型，狭額縁，曲面などのデザイン面での技術開発が進むものと思われ，従来のディスプレイでは適用できなかった分野への応用が期待される．（境川）

2.3　高画質化・駆動技術

近年，スマートフォンを始めとするモバイル機器の市場が著しく拡大しており，2014年度には世界の出荷台数で13億台を超える予想が出ている．また，次世代のモバイル機器としてメガネ型の表示デバイスが市場に出始めており，それに伴ってモバイル機器向けの画像処理技術が進展している．

モバイル機器向けの液晶パネルでは，低消費電力化と高精細化が求められている．低消費電力化では，RGBの3原色のサブピクセルにWサブピクセルを追加した4色のサブピクセルで1画素を表現する方式が開発されている．このとき，入力画像のRGBサブピクセルから表示用のRGBWサブピクセルへ画質劣化が少なく，消費出力の削減効果が大きくなるような色変換が必要となるが，例えば，色相・彩度・明度で表されるHSV色空間を用いることで，人の視覚特性を利用した変換が提案されている[14]．高精細化では，低解像度の入力画像を高精細なモバイル機器に表示するための高画質化手法が求められている．特に，近年は，液晶パネルのより一層の高精細化が進んでおり，入力画像を大きく拡大して表示する必要性が出てきているが，入力画像のエッジ方向を検出し，エッジ方向に応じて画像拡大に用いるフィルタを適応的に制御することで，大きい拡大率に対応した手法が提案されている[15]．モバイル機器向けの液晶パネルは500 ppiを超える高精細化が進んでおり，今後，更なる低消費電力化，高解像度パネル向け高画質化の発展が期待される．

メガネ型表示デバイスは，ウェアラブルコンピュータのディスプレイとして古くから研究がなされているが，近年の表示素子の小型化や無線ネットワークの発展等によって，市場の立ち上がりを見せ始めている．メガネ型表示デバイスは，視界を覆い，カメラで撮影することで実景を表示するビデオシースルータイプと，(半)透明な表示領域で，実景が透けて見えている上に表示を重ねて行う光学シースルータイプに大別されるが，特に光学シースルータイプでは，実景に映像が重なるという特徴を利用した高画質化画像処理が提案されている．空間解像度については，実景のエッジを，実景に重畳表示される映像のエッジ強調と組合せることで，視力が低下した使用者に対する実景の視認性を向上させるという試みが報告されている[16]．また，色・コントラストについては，表示映像の背景にある実景の色に応じて表示映像の色を変化させて映像の視認性を向上させる技術が提案されている[17]．これらの技術は，実用化に向けては目線と表示の位置合わせなど課題もあるが，市場の拡大が予想されるメガネ型表示デバイス向け高画質化の研究開発として，今後，ますます数多くの提案が出てくると思われる．（馬場）

3．有機ELディスプレイ

3.1　有機EL材料・封止技術

有機ELディスプレイは，携帯電話/スマートフォン向け市場から実用化され，2007年には11型テレビが発売され，2013年には55型テレビが海外で発売されるに至った[18]．

この有機ELディスプレイのカラー化方式は3原色（RGB）塗り分け方式と白色発光＋カラーフィルタ方式に分かれる．大型ディスプレイの量産方式としては後者の方が低価格化できるが，それでも大型有機ELディスプレイは依然高価であり，低価格化が進んだ液晶ディスプレイとの差別化に苦しんでいる．

このため，視聴者を囲むように有機ELテレビを凹面化し臨場感を増やす試みや，有機ELディスプレイをフレキシブル化することで液晶との差別化を図る試みがなされている．

フレキシブル有機ELディスプレイは，フィルム基板の間に有機EL材料を挟んだ構成となる．しかし，透明フィルム基板として用いられるプラスチック基板はガラス基板と比べ水や酸素を透過しやすい性質を持つ．

有機EL材料は水や酸素と結合すると材料特性が劣化し短寿命化する．このため，フィルム基板表面に水や酸素を透過しないバリヤ膜を形成し，有機EL材料への水や酸素の侵入を防ぐ封止技術の開発が盛んに行われている[19]．

有機EL発光材料は蛍光を利用する材料と燐光を利用する材料に分類される．蛍光と燐光の発光効率は原理的に1：3～1：4であるが，蛍光材料と比べ燐光材料は短寿命である．このため，燐光材料の長寿命化による蛍光材料置換えが図られ，2012年ごろには赤色燐光材料と緑色燐光材料の寿命が実用化レベルに達し，次は青色燐光材料の色純度改善と長寿命化が待たれる状況であった．それから2年，照明用の水色燐光材料の長寿命化では進展があったが[20]，ディスプレイ用の青色燐光材料の長寿命化への取組みでは進展があまり見られない．

一方，熱活性化遅延蛍光発光を用い，燐光発光に用いられるエネルギーを蛍光発光に誘導し，原理的に燐光材料と同等の発光効率を実現できる蛍光材料が開発され，第3世代の有機EL発光材料として注目されている[21]．この熱活性化遅延蛍光発光を用い，燐光材料に代わる高効率で長寿命な青色発光材料の開発も試みられている．

有機EL材料の寿命は材料へ与える電流と反比例する．以前は，有機EL材料の屈折率は空気より高いので有機EL材料で発光した光のうち空気中へ取出せる光は20%程度と考えられていた．しかし，屈折率の違う有機材料/基板/空気の間に光波長レベルの凹凸を形成することで外部光取出効率を向上できることが判り，各層間の形状を工夫し，外部光取出効率を向上させる技術開発がなされてきた．近年，非常に高い外部光取出効率を示す有機ELディスプレイの報告もある[22]．これらの外部光取出効率を向上させる技術開発は，電流を低く抑えても明るくすることができるため，結果として有機EL材料の長寿命化にも寄与している．（沼尾）

3.2　パネル作製技術

有機ELディスプレイの実用化について，この2年は大型化とフレキシブル化が大きな流れとなった．大型化においては，2013年には55インチフルHDテレビ，2014年には65インチ4Kテレビが海外で販売が開始されている．また，通常のフラットタイプに加え，湾曲型テレビが主流となっている．湾曲型テレビは液晶テレビでも実現されているが，その構造上有機ELが有利と考えられている．フレキシブル化においては，湾曲型ディスプレイ，あるいは前面から側面にかけて表示が可能なディスプレイを持つスマートフォン，円形ディスプレイを持つ腕時計など，その特徴を活かした応用製品が発表された．スマートフォン用など小型ディスプレイにおいては，同サイズの液晶のトレンドと同様，高精細化が進んでいる．

上市されている55インチ有機ELテレビにはIGZO TFTバックプレーンを用いB/GRのタンデム型白色OLEDとRGBWカラーフィルタ（CF）を組合せた55インチパネルが用いられていると考えられる[23]．IGZO TFTはG8（第8世代）基板から6面取りで作製されているが，有機層の蒸着は半分のサイズで行われている．白色+CF方式は比較的低コストで生産可能であるが，CFによるロスを改善するという観点から，RGBの塗り分けも検討が続けられている．2013年のSID国際会議ではRGB各画素をメタルマスクで塗り分けし，a-IGZO TFTバックプレーンの65インチフルHDパネル[24]が，2014年のSID国際会議ではインクジェット法によるRGB各画素を塗り分けたa-ITZO TFTバックプレーンの65インチフルHDパネル[25]が報告されている．塗り分けには少なくともR，G，B各色のマスクが必要であるが，マスクを減らし，かつ塗り分けとCFの利点を組合せた方式としてBYを蒸着により塗り分けし，YをG（CF有り），Y（CFなし），R（CFあり）の3分割としたBGYRピクセルの提案[26]や，GR発光層をメタルマスクで塗り分け，B層を全面形成し，CFと組合せた構造[27]が提案されている．いずれもマイクロキャビティ効果を導入することで色純度を確保している．

パネル化には封止が必要であるが，従来中空の封止缶あるいはガラスを用い，端面は接着剤で固定されていた．近年，常温接合技術により接着剤や加熱等を用いずにガラス同士の接着が可能になり，またフィルム同士の常温接合も報告され，有機ELの封止として期待されている[28]．

フレキシブル化のプロセスはガラス基板上にデバイスを作製し，剥離後バリアフィルムをラミネートするなどで作製される．有機ELの封止には水蒸気透過率（WVTR）として10^{-5}～10^{-6} g/m^2/dayが必要とされている．2014年のSID国際会議においては，このWVTRをクリアするガスバリア膜について多数の報告がなされ，フレキシブル化を後押ししている．フレキシブル有機ELのプロセスではroll-to-roll方式が期待されている．照明分野では2014年にroll-to-rollでの量産が開始される予定であるが，ディスプレイではまだ報告がない．

大型化とフレキシブル化が進み，また有機EL照明も実用化されはじめ，今後さらなる市場展開が期待される．（中）

4．プラズマディスプレイ

プラズマディスプレイ（PDP）は，誘電体で覆われた電極間の放電による発光を表示として利用する．誘電体表面には対イオン衝撃用の保護膜を設けるため，その材料が放電

電圧や放電スピードに影響し，前者は消費電力に，後者は表示輝度や画質に影響を与える．これまで酸化マグネシウム（MgO）が保護膜として利用されてきたが，その性能を超える材料の探索が進められ，MgOに酸化ストロンチウム（SrO）または酸化カルシウム（CaO）を併用する方法の有効性が示されてきた．しかし製造上の問題があり，その解決に向けた研究が行われてきた．そのような中，パネル封着，排気過程を工夫し，安定なCaMgOを形成する方法が報告された[29]．高効率の得られる高Xeと組合せ，対角50インチで一般的なテレビ映像の平均電力を80 W程度とする可能性を示した．また保護膜上にプライミング供給層を設け，放電の安定性を高めている．

2012年のロンドンオリンピックでパブリックビューイングを行い好評を博した145インチスーパーハイビジョンPDP[30]をはじめ，4K，8Kといった超高精細化に関する研究開発も活発に行われた．超高精細化に伴う消費電力の増加を防ぐには充分な放電領域の確保が重要で，前記SHV PDPでは製造方法を見直し，隔壁幅を従来の半分の30 μmとすることで0.417 mmの画素ピッチを実現した[30]．PDPはアドレス（走査）期間と表示期間を分け，複数のサブフィールドを組合せ階調を表示する．このため超高精細化によりアドレス期間が増すと輝度や階調数が減少する．したがって，製造方法に加え，階調表示方式の開発も超高精細化において重要である．これまでに，複数ラインを同時に走査しアドレス期間を短縮する方式が提案されていたが画質劣化が問題であった．それに対し，120 Hz表示時に視覚の時間的加重効果を利用し，2フレーム間で複数ライン同時走査時の誤差を補完し合い画質を維持する表示方式が提案された[31]．

長さ1m，直径1mmの放電管を並べることで大面積かつ湾曲形状での表示が可能なPDP応用技術も大きく進展した[32]．1 m × 1 mのモジュールをつなげ大面積化するが，放電管に透明封止材を用いるためそのつなぎ目はほとんど目立たない．ガラス管の支持材が樹脂フィルムであるため，モジュールをガラス管の短軸に沿った方向に曲げることができる．2013年のSID国際会議では，駆動回路を片側にまとめて表示部をすだれのような形態とし，曲げながら表示するデモを行った．

PDPのディスプレイ以外への応用も検討されている．その一つがX線，放射線検出器で，X線等によりセル内で発生した電子を，放電により増幅して検出する．セル構造，封入ガス，駆動波形を調整したPDPを用い，硬X線を定量的に測定する方法が示された[33]．（志賀）

5．投射型ディスプレイ

簡易な構成でありながら，大光量と大きな焦点深度をもつ光学系により，自由曲面形状のスクリーンに鮮鋭な画像を投射する方法が提案された[34]．投射光学系には，小口径（790 μm）のマイクロレンズを149個，アレイ状に配列し，表面積11 × 11 mm^2，奥行き3 mmと非常にコンパクトな光学系を実現した．論文中では，2次元画像を3次元投影するための計算アルゴリズムを開発して投射光学系の設計に応用したことと，シミュレーションと試作による測定結果から，自由曲面形状のスクリーンに鮮鋭な画像を投影できたことが示されている．今後のアプリケーション展開が興味深い．

青色レーザダイオード（LD）光を蛍光体で白色光に変換する光源を搭載した，3板LCD（液晶パネル）式の4,000 1lumenプロジェクタが報告された[35]．56個の青色LDの出射光を，非球面ミラーで透過型YAG蛍光体に合成集光する小型光源モジュールを開発し，蛍光体で励起された黄色光と透過した青色レーザ光で白色光を生成している．従来，青色LD光と，青色LDで蛍光体を励起した緑色光と，赤色LEDの光を使用した，光出力4,000 lumenの製品が市販されていたが，LD光源だけで大光出力を実現しており注目される．

プロジェクタで巨大映像を作る方法として，多数の小型リアプロジェクタを縦横のアレイ状に配列する方式が知られている．この分野の新技術として，小型のレーザ走査ユニットを縦横に継ぎ目なく並べる構成の大画面ディスプレイが登場した[36]．波長405 nmの青紫色LDでスクリーンに塗布されたRGB蛍光体を励起しカラー化する方式（米国PRYSM社）である．この方式に基づき，対角数十mの大画面ディスプレイが，ディジタルサイネージとして空港，発電所や企業の役員室などに納入されている．

Agナノ粒子を塗布した透明な窓にレーザ光を照射し粒子の狭帯域反射で映像を表示するという，MITの研究が注目される．その論文発表[37]では，直径が62 nmのAgナノ粒子をスクリーン上に薄く塗布し，ここに波長458 nmの青色レーザ光を照射すると，粒子表面の電子が光と共鳴する表面プラズモン共鳴を起こし，レーザ光を拡散反射すること，また，それ以外の光はそのまま透過することが示されている．反射光の波長幅は非常に狭く，スクリーンの透明さはほとんど損なわれないという．さらにAgナノ粒子を塗布した透明窓にRGBレーザを照射すればフルカラー映像を表示することが可能になるとしている．

2012年9月に，JR東京駅舎で大規模なプロジェクションマッピングが行われたことを契機に，国内各所の集客イベントでプロジェクションマッピングが多く開催されるようになった．この技術を拡張現実感AR（Augmented Reality）に応用することで，人間の視覚をバーチャルに拡張する試みが始まっている．例えば，外科手術において患者の体表面に内臓の画像を投射して外科医の手術を補助する「術中ナビゲーション」の試みが紹介[38]され，今後の応用分野の広がりが大いに期待される．（鹿間）

6．タブレット端末ディスプレイ

タブレット端末は，タブレットPCとは異なるものとして，2010年に発表・発売された初代端末（アップル社iPad）から意識されたものであり，定義が明確ではない．ここでは，タッチ操作を前提とし，キーボードがないか分離して使用できる端末とする．また，前回の年報同様，対角7インチ以上とする．さらに，電気泳動方式の電子ペーパを用いるものは電子書籍端末として除き，電子書籍メーカの製品でも液晶ディスプレイを用いるものはタブレットとして扱う．

最近のタブレット端末ディスプレイの進化として，① 高精細化，② 色度域の拡大，③ 低温多結晶Si（LTPS）もしくは酸化物半導体（IGZO）の採用，④ 主流製品での有機ELの採用，が挙げられる．これらの進化により，タブレット端末ディスプレイは性能面で最も進化したディスプレイの一つとなりつつある．

前回同様，ほとんどのタブレットは液晶ディスプレイを採用する．タブレット端末用の液晶ディスプレイでは，前回の264 ppiからさらに高精細化が進み，7インチクラスで326 ppi，より大型のものでは339 ppiに及ぶ（画素数は2,560 × 1,600）．また，色度域はsRGBに対してほぼ100%の製品も登場している．この広い色度域の実現は，量子ドットと青色LEDを用いたバックライトの採用によるとされる[39]．粒子サイズの揃った量子ドットは青色LEDの光を波長制御された色純度の高い他の色に変換する．量子ドットは同時に低消費電力化にも寄与する．また，色度域の増加と駆動の進化等に伴い，各階調での色再現性も向上している．

一方，液晶を駆動するバックプレーンの主流は，依然としてコストの安いa-Siであるが，高性能製品ではLTPSを採用する製品が増加している．これは，高精細化に加え，より高い移動度によりTFTサイズを小さくし，開口率を向上し，高輝度化とバッテリ駆動の長時間化を実現するためである．また，a－Siのラインが転用できa-SiとLTPSの中間の性能を有するIGZOを採用する製品も出荷されている．

一方，有機ELディスプレイを用いるタブレットで高性能品が登場したことも特徴的である．最近の有機ELの情報端末[40]（Galaxy Tab S）[2]は，有機ELディスプレイの弱点を克服することで，液晶ディスプレイと表示性能面で対抗している．最大の弱点であった精細度において，液晶ディスプレイと同じストライプ状の画素配列で287 ppiを実現する10.5インチと，緑サブ画素のみを361 sppi（sppiはインチ当たりのサブピクセル数とする），赤と青は257 sppiとしレンダリング手法により361 ppi相当を実現する8.4インチがある．また，他の弱点であった強い外光下での見栄えやコントラスト低下も大幅に改善されている[41]．最大輝度では液晶ディスプレイに及ばないが，他の性能は，ほぼ同じレベルとなっている．

多くのタブレット端末は，タッチスクリーンの機能面では，大きな進化はない．しかし，詳細は省略するが，タブレット端末の薄型化や有機ELディスプレイの採用に伴い，タッチスクリーン機能を実現する構造は着実に進化している．（高取）

7．電子ペーパディスプレイ

電子ペーパは，反射表示による印刷物ライクの視認性を有し，メモリー機能による省エネ性にも優れる．その特長を生かして，タブレット全盛の現状においても，電子書籍端末として一定の評価を得ている．しかし今後は，電子書籍に代るキラーアプリケーションを見つけなければ，徐々にその存在感を失っていく可能性もある．電子ペーパの電子書籍端末では，そのほとんどが電圧の印加により白と黒の微粒子を移動させ，コントラストを得る電気泳動方式を採用している．電気泳動方式の中でも，マイクロカプセル内の絶縁性液体中で微粒子を動かす方式（E Ink社）が主流である．このマイクロカプセル電気泳動方式は，タブレットでは当たり前のカラーや動画表示を苦手としている．こういった状況を踏まえて電子ペーパの活路を探るとしたら，その特長だけを生かした特定の分野での応用展開を図るか，その特長を生かしつつも苦手な部分を克服して高機能化を図るか，のいずれかになると考える．前者の例としては，教育現場での使用を想定した書込み可能なA4サイズのマイクロカプセル電気泳動方式の電子ペーパ[42]がある．しかし本稿の趣旨は技術動向の解説にあることから，後者にフォーカスして電子ペーパの，ここ2，3年の新技術に関する開発動向について，カラー化，動画対応，大型化の観点から述べる．

まずカラー化では，電気泳動方式の一種と考えられるが，エレクトロキネティック[43]という方式が注目されている．この方式では，一つの画素の中に補色関係にある二つの粒子を入れ，それぞれを横方向に動かすことで白黒およびカラーの表示を得るというものである．電気泳動方式以外でカラー化の研究開発が盛んなのは，エレクトロクロミック方式である．エレクトロクロミックの技術は，調光窓のようなディスプレイ以外の分野でも応用されている．他分野ですでに実用化されていることから，電子ペーパ分野での実用化も近いかもしれない．

次に動画対応では，視認性やメモリー性に優れる反射型液晶の動きが見逃せない．電子ペーパに動画対応機能を持たせるのではなく，（動画対応可能な）液晶ディスプレイに電子ペーパの機能を持たせるというのが現実解のようである．新規な2色性色素を合成し，これを用いた無彩色偏光板を開発することで，紙のような白さを実現した反射型液晶ディスプレイ[44]や，縦電界と横電界の与え方を工夫してメモリー性と動画対応を両立したリバースツイストネマチック（TN）方式を用いた液晶ディスプレイ[45]などが，その

代表例である．

最後に，電子ペーパの大型化には，液晶ディスプレイと同様にマザー基板を大きくする方法以外に，額縁を狭くした電子ペーパをタイリングして大型化する方法[46]が提案されている．大型化により，電子ペーパのディジタルサイネージとしての応用の可能性が開けると考える．（前田）

8．フレキシブルディスプレイ

タブレット型の携帯端末から大画面のシート型ディスプレイまで幅広い応用を目指し，軽くて薄いプラスチックフィルムを用いたフレキシブルディスプレイの研究が活発に行われている．近年，300℃程度のプロセス温度で作製可能な酸化物TFTの性能向上に加え，ポリイミドなど耐熱性の高いフィルム基材の普及が進んだことで，フレキシブル有機ELディスプレイの研究開発が加速している．今期は，ディスプレイの高精細化が進み，10インチ以下の小型パネルを中心に携帯端末への応用を意識した機能性の高いフレキシブル有機ELディスプレイが試作・報告された．

代表的な酸化物半導体材料であるIZGO-TFTを駆動素子に用いたディスプレイとしては，9.55インチのトップエミッションタイプのフレキシブル有機ELディスプレイや，5.2インチのFHD解像度（423 ppi）の高精細パネルが試作された．この他，結晶系（CAAC: C-Axis Aligned Crystal）の酸化物半導体を画素駆動回路に使用した5.9インチのHD解像度（720 × 1280画素）のフォルダブルディスプレイ[47]や13.3インチの4K（3,840 × 2,160画素）ディスプレイ[48]が報告された．また，多結晶Si-TFTをバックプレーンに用いた5.98インチのディスプレイがスマートフォンとして商品化された[49]．

フレキシブル有機ELディスプレイの開発においては，有機ELの長寿命化が大きな課題となっている．プラスチックフィルムはガラスに比べ酸素や水蒸気を透過し易く，有機EL素子が劣化し易い．このため，無機・有機を積層した多層構造のバリヤ膜など複雑でコストの高いプロセスが必要となっている．これに対し，アルミやアルカリ金属など大気中で不安定な陰極材料を使わない逆構造型の有機EL素子が注目されている[50]．簡易的なバリヤフィルムを用いた場合でも高い安定性と長寿命が実証されており，酸化物TFTを駆動に用いた8インチ，VGAの解像度を持つフレキシブルディスプレイも試作されている[51]．

一方，低温形成可能で塗布法や印刷法を用いて作製可能な有機デバイスの研究においても大きな進展が見られた．有機半導体を用いた有機TFTにおいては，可溶性低分子半導体を用いたTFTで，移動度10 cm^2/Vsを超える素子や，結晶性の高い半導体膜の微細パターニング手法が報告されている[52]．この他，全印刷工程で作製した回路が試作されるなど，今後大面積のディスプレイを低コストで作製可能な材料・デバイス技術などの開発が進んでいくと思われる．

これまで基礎研究の段階であったフレキシブルディスプレイの開発は，一部商品化されるなど，小型パネルを中心に高性能化が一気に進んだ．今後，中型から大型のパネルの実現に向けて，研究開発が進むことを期待したい．（藤崎）

9．スーパーハイビジョン

2020年の東京オリンピック・パラリンピック開催が決まり，現行のハイビジョン放送に比べて，より高精細な映像で競技を楽しめるスーパーハイビジョン（4K/8K）テレビ放送の早期実現が望まれる．特にハイビジョンの16倍の解像度を持つ8Kテレビ放送を家庭に普及させるためには，ディスプレイの大型・軽量化に向けた作製プロセスの構築，映像フォーマットに対応した広色域化や高フレームレート化など，大画面超高精細ディスプレイの市場展開に向けた研究・開発が極めて重要となる．

8Kスーパーハイビジョン用の直視型ディスプレイでは，製造プロセスの最適化により，対角97.5インチの大型液晶ディスプレイ（LCD）が開発された[53]．この大型LCDでは，第8.5世代のガラス基板を使用して2枚のパネル生産が可能となっている．一方，自発光型のディスプレイでは，有機ELを適用したアクティブマトリックス駆動の8Kディスプレイも初めて報告され[54]，超薄型の家庭用ディスプレイ実現の可能性が示された．画面サイズは13.3インチの小型パネルで画素ピッチが細かく（664 ppi），TFT材料には酸化物半導体が適用されている．また，パブリックビューイング用の大型ディスプレイでは，リアプロジェクション方式の8Kディスプレイが開発され，比較的明るい室内でもスクリーンへの写り込みが少なく，視認性に優れた映像表示が実現されている．

スーパーハイビジョンの国際規格（ITU-R勧告BT.2020）や国内規格（ARIB標準規格STD-B56）では，実在する物体色をほぼすべて表現できる色域と120 Hzのフレームレートが規定されている[55][56]．これらに基づき，8Kディスプレイの広色域化と高フレームレート化を目指した高画質化の取組みも進められている．広色域化に関しては，現状のLCDの課題や可能性などについて理論的な解析が示されるとともに[57]，RGB光源に半導体レーザを適用した8K相当の解像度を持つプロジェクタが試作され，実物に忠実な色で表示できることが確認されている[58]（図2）．この広色域プロジェクタは120 Hz表示にも対応する．さらに，120 Hz駆動が可能なフル解像度のLCDディスプレイが開発されるなど，フルスペック8Kスーパーハイビジョンディスプレイの実用化に向けた研究開発も着実に進展している[59]．

一方，4Kディスプレイに関しては，すでにタブレットから大型テレビ用パネルまで種々の製品が市販化されており，2014年6月に開始された4Kテレビの試験放送開始に伴い，今後さらなる家庭普及が見込まれている．また，湾曲可能な4Kディスプレイとして，LCDに続いて有機ELパ

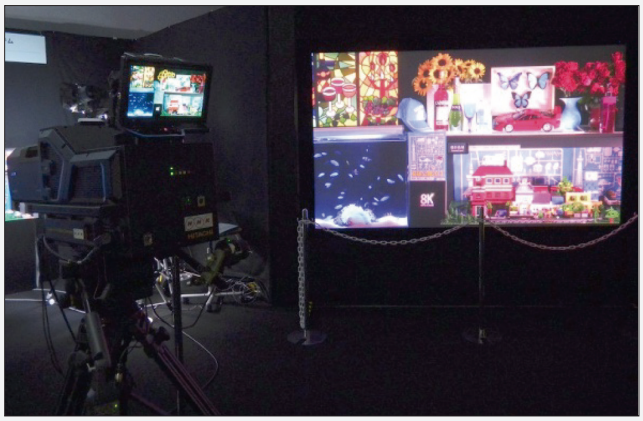

図2　広色域SHVプロジェクタによる映像表示

ネルの実用化が進められ[60]，高精細な映像表示機器としての機能性のみならず，デザイン性の観点から新たなインテリアとしても注目されている．さらに転写技術を用いたフレキシブル有機ELディスプレイも試作されており[61]，軽量なモバイル用ディスプレイや将来の8Kシート型ディスプレイへの応用など，今後の展開が期待される．　（佐藤）

10．広色域化技術と国際標準化

2012年から2014年にかけて，国内のほぼすべての大手テレビメーカが4K市場に参入し，特に2013年は，「4Kテレビ元年」であると位置付けされている．4K放送の規格としてはITU-R BT.2020が勧告されており，その中には色域の仕様も含まれている．BT.2020で勧告されている色域は従来ハイビジョン向けに規定されていたBT.709よりも大幅に広く，その原色点はスペクトル軌跡上に配置されている．ディスプレイの広色域化については，多原色液晶ディスプレイの研究などが従来から行われてきたが，4K市場の拡大と広色域規格の策定に呼応して，近年ますます盛んに技術開発が行われている．

広色域化技術の一つとして注目を集めているのが，量子ドットのディスプレイへの応用[62]である．量子ドットは，ナノスケールの半導体微粒子であり，ディスプレイにおいては主にLEDから発せられる光の波長変換を行う役割を担っている．量子ドットの微粒子の大きさによって光の波長を制御することで，比較的広いスペクトル特性を持つLEDの光からピーキーな純度の高い光を得ることができる．光の色純度を高めることによって，ディスプレイが表現可能な色域を広げることができるのである．2013年には，国内・海外メーカで量子ドットをディスプレイに採用した製品が発売されており，今後，高効率化・長寿命化の研究開発[63]などが注目される．

一方で，光源自体の色純度を向上させるアプローチで広色域化を実現している技術の一つが，レーザを光源として用いたディスプレイである．レーザを光源としたテレビとして最初に製品化されたのはリアプロジェクションタイプのレーザテレビであり，2010年には国内市場に登場している．このレーザテレビで培った技術を元に研究開発が進められ，2012年には，レーザをバックライトの光源として用いた液晶テレビ[64]が，さらに2014年には，4K対応のレーザバックライト液晶テレビも製品化された．これらの製品は赤色のみレーザを用いたものであるが，従来のLEDを用いたバックライトを持つ液晶ディスプレイよりも広い色域の表現が可能である．原理的には3原色すべてにレーザを用いたディスプレイも実現可能と考えられ，より広い色域を実現したディスプレイが待ち望まれる．

その他では，蛍光体としてカリウム，イオウ，フッ素などを用いることで純度の高い光を得ることができる長残光LEDが実用化され始めている．こうした傾向から，この分野では，いかに純度の高い光を得るかに注力した研究開発が盛んであると言えよう．

一方，色関係の標準化に関しては，先に述べたITUを始め，国際標準化機関であるIEC，ISO，ICCなどの団体でさまざまな標準化が為されている．その中で，ディスプレイの分野で特に関係が深いのはIECが策定した標準色空間であるsRGBである．sRGBは2014年で発行から15年を迎え，世の中に最も広く認知されている色空間の国際規格と言えよう．その後も広色域化技術の発展とともに，xvYCCなどの拡張色空間の規格も策定されている．近年では，コンテンツに付与するメタデータのフォーマットを規定した国際規格がIECから発行されており，これらの規格の活用によって，より豊かな色表現を可能にする仕組みの実現が期待される．　（奥田）

11．最新のトピックス

11.1　量子ドット蛍光体

励起子ボーア半径程度以下（通常10 nm以下）のナノメートルサイズの半導体微結晶（ナノクリスタル）に，自由電子や正孔・励起子などの粒子が閉じ込められると，量子力学の法則に従い，粒子としての性質だけではなく，波としての性質が顕在化する．この波としての存在条件を満たすために，閉じこめられた粒子は離散的なエネルギー準位しか持たないようになり，ナノクリスタルのサイズの減少とともに基礎吸収端やバンド端発光が高エネルギー側にシフトしていく．さらに電子・正孔が狭い空間に閉じ込められるため，それぞれの波動関数の重なりが大きくなり，理論的にはサイズの減少とともに発光効率などが増大する．このような現象を量子閉じ込め効果，または量子サイズ効果と呼び，これを発現するナノクリスタルを量子ドットと呼んでいる．

ただし，ただ単にバルク半導体のサイズを小さくしてナノクリスタルにしたのでは，体積に対する表面積の割合が大きくなるために，表面欠陥の影響が大きくなり，その結

果，発光効率が低くなる．ナノクリスタル表面を別の半導体層で修飾すると，表面欠陥を大幅に減少させ，その結果，発光効率を増大させることができる．このような二重構造の半導体ナノクリスタルをコア・シェル型量子ドット[65]と呼んでおり，現在実用化されている量子ドットの多くはこの構造を採用している．

量子ドット蛍光体を，希土類や遷移金属イオンを発光中心として用いている通常の蛍光体と比較した場合，以下のような特徴がある．

(1) 発光波長を変えることが比較的容易である．量子ドットの場合，構成元素の組成・構造を変えなくても，粒径を変えるだけで発光波長を変えることができる．代表的なCdSe/ZnSコア・シェル型量子ドットの場合，CdSeコアの大きさが直径5.5 nmでは発光ピーク波長が約650 nmに，2.3 nmでは約480 nmになる[65]．一方，通常の蛍光体では発光中心や母体の構成元素・構造を変える必要がある．

(2) 励起波長の選択性が拡がる．量子ドット蛍光体では光励起帯は短波長側に向かって連続している．したがって，励起波長をあまり選ばずに効率よく励起させることが可能である．一方，通常の蛍光体は励起波長が制限されることもある．例えば，青色LED励起用蛍光体として$YAG:Ce^{3+}$が有名だが，近紫外光励起では発光効率が大きく落ちる．

(3) 発光の半値幅が狭くなる．LED用蛍光体には発光中心としてEu^{2+}やCe^{3+}が使用されているが，これらの発光の半値幅は通常50 nm以上ある．一方，量子ドットはその粒度分布によって半値幅がほぼ決まり，現在では30 nm以下のものもできている．

上記の特長から，量子ドット蛍光体を青色LEDと組合せると，これまでより色純度や色再現性を改善したLCDバックライトができる．こうした色純度の改善により，LCDに用いるカラーフィルタの色をより薄くでき，結果として，電力消費量をこれまでより大きく低減できるという利点も生まれる[66]．これら量子ドットを用いた電流注入型発光デバイス，いわゆる量子ドットLEDの開発も進んでいる（文献67）および次節参照）．（岡本）

11.2 量子ドット発光ダイオード

電気エネルギーによって量子ドット（QD: Quantum-dot）を励起し，自発光させる量子ドット発光ダイオード（QLED: Quantum-dot Light Emitting Diode）は発光波長を半値幅で30 nm以下の狭帯域にすることが可能であり，デバイス構造の変更なく，QDのコアサイズを変えることで発光中心波長を制御できるという特徴を備える．このため，高色純度で広色域な自発光型表示装置を実現するための手段として注目が高まっている．

QLEDの一般的な構造はOLED（Organic Light Emitting Diode）と同様，QDから成る発光層の上下に陽極と陰極を設け，発光層と陽極の間にはホール注入層やホール輸送層として機能する層を，また，発光層と陰極の間には電子注入層や電子輸送層として機能する層を配置するものである．QDは結晶性の半導体ナノ粒子から成るコアをバンドギャップが異なる無機材料で覆う，コア・シェル構造を採用することで量子効率を大きく改善できる．

現在，高い発光効率を実現しているQLEDはQDのコアをCdを含む材料で構成したものである．特に電子注入/輸送層として，優れた電子注入および電子輸送性能を持つZnOナノ粒子層を用い，ホール輸送層を有機膜で構成したQLEDは，ここ数年で大幅に発光効率を向上している．例えば，エネルギーレベルを最適化したホール輸送層としてCBP（4, 4'-bis（carbazole-9-yl）biphenyl）を用いたQLEDでは赤色，緑色，青色のそれぞれで7.3%，5.8%，1.7%の外部量子効率を得たとの報告がある[68]．また，CdSe/CdSのコア・シェル構造のQDを用いた赤色発光QLEDでは，QD層の膜厚を最適化することで燐光発光OLEDに匹敵する外部量子効率18%を達成したとの報告がある[69]．3原色の中で最も効率が劣る青色については，シェル形成の工程時間を長くし，シェルを厚くすること（シェル厚さ2.6 nm）で，オージェ非輻射再結合や共鳴エネルギー移動が抑制され，外部量子効率7.1%を達成したとの報告がある[70]．

このようにQLEDは近年，急激にその性能を向上しており，5年から10年後にはOLEDと同等の性能になると予想されている[71]．

一方，世界の多くの地域ではCdなどの重金属を含む材料の使用を制限もしくは禁止しているため，Cdなどの規制対象重金属をQDに使用することには懸念がある．このためCdフリーQDの開発も精力的に行われている．CdフリーQDの候補としては，Cuをドープ したZnカルコゲナイド，InP，ZnSeなどがあり，例えば，InP/ZnSeSのコア・シェル構造のQDを用いた緑色発光QLEDでは外部量子効率3.46%を達成したとの報告がある[72]．現状，CdフリーQLEDの効率は改善が必要な状況だが，環境への影響を考慮すると，今後の更なる進展が期待される．（足立）

11.3 透明電極

透明電極は，可視光に対して透明であり導電性のある材料で，スマートフォン，LCD，OLEDや太陽電池等さまざまなデバイスの必須構成要素として使用される導電膜である．現在，液晶ディスプレイは透明導電性材料を最も利用するデバイスであるが，他にも，タッチパネル（2010年～2013年で年間20%成長率，362万台），電子ペーパ（2008年～2014年30倍の市場成長予測），薄膜太陽電池（2017年までに130億ドルの売り上げ予測）などさまざまなデバイスで需要が高まっている[73]．最近のインジウム価格の高騰，ITO（スズドープ酸化インジウム）電極自体のクラック特性でITOの使用には多くの課題点が指摘されている．これに伴い代替材料として，カーボンナノチューブ（CNT），金属

ナノワイヤー（Ag, Cu），高分子導電膜（PEDOT），透明導電酸化膜（TCO；AZO, GZO），グラフェン（Graphene）をベースにした次世代透明電極が候補として浮上している．

材料別に，CNTベースでは常圧常温でフレキシブルPET（ポリエチレンテレフタレート）フィルムに分散塗布プロセスで，可視光透過率90%，500Ω/sq.程度の透明導電膜が報告されている．マスクを使うことでパターニングも可能で素子化にも適していることから，ロールツーロール法と組合せて低コストで実用化できる可能性がある．

金属ベースの透明電極材料としての銀ナノワイヤーの特長は，直径40～60 nm，長さ15～35 μmの繊維状に絡み合ったインク原料から印刷技術を用いて製造されるため，曲面形状対応や大型パネル（15インチ）に最適な透明導電フィルムである．透過率91%，シート抵抗80Ω/sq.，ヘイズは1%が報告されている．

PEDOT［poly（3, 4-ethylenedioxythiophene）］はπ共役系導電性で，水溶性高分子のPSS［poly（styrenesulfonate）］と組合せて，塗布形成でき，透明性に優れる導電性高分子である．シート抵抗は300～400Ω/sq.で，透過率は86%程度である．少量のジメチルホルムアミドDMF（N, N-Dimethylformamide）やアルコールなどの高極性溶媒をPEDOT:PSSに添加することにより，導電性が2～3桁程度向上することが報告されている．PEDOT-PSSの仕事関数（5～5.2 eV）は，電子的に有機ELの正孔注入層に適している．多くのデバイスではITO上に薄いコーティングとして使用され，ITOの脆さをカバーすることができる．

ITOに対する低コストの選択肢としてZnO系の（AZOおよびGZO），フッ素ドープ酸化スズ（FTO）が検討されている．これらの材料は，ITOに比べて光電子特性はやや劣る．さらに，AZOの問題は，特に100 nmよりも薄くした薄膜では，湿度の高い環境にさらされると膜の電気的安定性に問題が残る．

グラフェンは最も有力な透明電極材料として期待されているが，研究開発は未だ初期段階と思われる．今後，グラフェンの合成と大量生産に関する研究成果が反映されれば実用化ステージに進むと考えられる．例えば，グラフェンと銀ナノワイヤーのハイブリッド化することで，それぞれの材料の弱点を補うことができる[74]．

ディスプレイのフレキシブル化，透明化などの次世代デバイスの関心が大きく，今後の透明電極の役割はますます大きくなっていくであろう．（中村）

11.4　AR/VRディスプレイ

拡張現実（AR）/仮想現実（VR）ディスプレイは，モバイルを中心としたウェアラブル型（ヘッドマウント型：HMD）と，ヘッドアップディスプレイ（HUD）を中心とした据え置き型の2種類に分類できる．また，前者は，実世界に重畳させるシースルー型（AR型）と，映画やゲームを楽しむ没入型（VR型）に分類できる．

ウェアラブル型は，2013年，眼鏡レベルの軽さで実現可能なメガネ型コンピュータコンセプトのデバイス発売（Google Glass[75]）を受けて，2014年のSID国際会議でWearable Displayのセッションが作られるなど，ここ1～2年で，俄かに眼鏡型，ウェアラブル型のAR/VRディスプレイが注目されてきている．ウェアラブル型では，小型軽量で，広視野，かつ，現実世界のどの奥行位置でも重畳可能な性能が求められる．そこで，立体表示技術のインテグラルイメージング技術（II）を，小型有機ELパネルの前面にマイクロレンズアレイ（MLA）を配置することでHMDに応用したNear-Eye Light Field Displays[76]や，ピンホールカメラの原理を応用して，針で無数の穴を開けた導光板の側面から光を当てることで無数のピンホール光源を作り，どこの位置でもピントを合わせることが可能なPinlight Display[77]が提案されている．これにより，現状，視野20～30°で，虚像距離2～3 mでしかピントが合わなかった問題を解決し，100°以上で，どの奥行位置でもピントが合わせることが可能になった．また，視野のスペックについても検討が行われ，表示方法に依存するものの，100°以上は必要という結果も得られている[78]．さらに，視線が動いても現実空間にリアルタイムに重畳させるため，20 KHzという超高速リフレッシュ可能なDMD（ディジタルミラーデバイス，MEMSの一種）を用いて，高速に重畳レンダリングを行う新たな技術も開発されている[79]．

また，没入タイプでは黒輝度と視野の広さが特に重要であることから，コントラストの高い有機ELパネルを用いて，視野110°でフルハイビジョン解像度のゴーグル型HMD（Oculus Rift[80]）が製品化され，さらに視野90°のHMD（Project Morpheus[81]）が開発され，今後の動向が注目される．

一方，据え置き型については，車載を中心に高速移動中でも，視線の移動なくディスプレイを見ることができることから，近年，レーザやLEDを光源とするHUDが相次いで製品化されている．特に，外界に重畳して表示させる必要性から，高輝度，広視野，奥行配置の制御が重要である．広視野については，フロントウインド上に背景を歪ませることなく，光学パワーをつける必要があるが，近年，反射像だけ拡大し，透過像はそのまま通すフレネルミラー方式の提案があった[82]．すでに提案されている単眼HUDと組合せることで，視野，奥行ともに課題を解決できる可能性がある．

2014年9月には腕時計型のウェアラブルデバイス（Apple Watch™）の発表が行われた．ウェアラブル機器として，頭部搭載だけでなく，腕に搭載，さらには，ディスプレイだけでなくセンサを身体に張り付けるなど，いろいろな形でその方向性を模索する時代に入ったといえる．これから，どのようにこれらの技術が淘汰され，棲み分けされて進化していくか，その中で，センサとディスプレイの融合が促

進され，まったく新しい技術が生まれ，ユーザに新たな体験を提供できる時代が来ることを期待したい．（奥村）

11.5 コミュニケーションディスプレイ

現在の一般的なディスプレイは，テレビ放送のようなエンタテインメント映像等の視聴や，パーソナルコンピュータ等の情報表示が想定されており，プライバシーの観点を除けば広い視域をカバーしてどの方向から見ても分け隔てなく同じ画像が見られることが目指されている．

一方，映像コミュニケーションを想定する場合には，遠隔地にいる対話の相手や物体との位置関係を正しく表すため，使用者の視点位置にあわせた方向やパースペクティブ（透視図）で映像を表示する必要がある．一般に普及している2Dディスプレイや2眼式の3Dディスプレイでは方向感を表現することは困難であり，特にカメラ方向に視線を向けた映像はどの方向から見ても使用者に視線を向けているように感じられてしまう．そのため，コミュニケーション用途を想定するとディスプレイへの要求性能が変化し，裸眼3D表示のような運動視差による正しい方向感の表現などが重要となる．

このような方向を持った映像に対し真正面から挑み，200インチの大画面を200台のプロジェクタ用いて，高い指向性密度で表示するシステムが，2013年4月にオープンしたグランフロント大阪に常設展示された[83]．プロジェクタと同じ台数のカメラで撮影された映像を表示し，忠実な映像再現の有効性を一般に向け広くアピールしている．また，物体の表現としては，3Dメガネ等の器具なしに多人数で全周からその視点位置の映像を見られるディスプレイの検討が行われており[83)84)]，一部ではリアルタイムのCGやインタラクティブ性についての検証も行われている．また，知覚の観点では映像の定位範囲と遅延の関係が示された[85]．

このような方向や視点を考慮した映像のデータ量は，8K等の高精細の2D映像や二眼式3D映像と比較しても桁違いに増加してしまう．そこで，視知覚の特性を利用してカメラ数を削減するアプローチ[86]や，使用者が注視している方向の映像を重点的に伝送する方法[87]が提案され，ヘッドトラッキングを使用したシステムにより検証されている．

また，モバイル端末によるコミュニケーションに特化したものとしてはHMDを装着しながら素顔でコミュニケーション可能なデバイス[88]や単純軽量なスクリーンと複数台のモバイルプロジェクタで人数分の指向性映像を表示する提案がなされている[89]．（伊達）

12．今後の発展性

各種の情報ディスプレイのデバイス・システムにおける動向と，表示全体に関わるトピックを概観した．主な課題と動向は，次のようにまとめられる．液晶方式は画質や製造技術が成熟しつつあり，今後，省電力化などの機能開拓が望まれる．有機ELは製造技術の確立と応用展開が必要である．タブレット端末用途のディスプレイは薄型化と高精細化が進展している．スーパーハイビジョンは，高臨場感を伴う次世代放送サービスとして機器開発が加速している．フレキシブルディスプレイの実用化には信頼性の向上が不可欠である．酸化物半導体TFTはスイッチング特性の特徴により応用が進展した．量子ドット技術は色域拡大に貢献する有力技術として注目される．透明電極については，ITOの代替を目指して種々の材料技術が提案されている．このようにディスプレイのハード技術は着実に進展しており，今後，情報授受を身近にする利便性と，感性に迫る高臨場感技術を追求することにより，エレクトロニクス産業全般を牽引する原動力になる可能性がある．

また，昨今のフラットパネルディスプレイが抱える閉塞状況を打開するためには，ウェラブル，フレキシブルなど新たな機能開拓も求められる．さらに，表示分野の特徴である多様な要素技術を融合させる，もしくは隣接分野（画像処理，通信，印刷，照明分野など）の技術や概念を積極的に導入することで，新たな価値観が見いだされる可能性がある．

現在，社会を変革する次世代ディスプレイを創出するため，国内外において産学連携の取組みも進展しており，基礎から応用分野まで研究者・技術者の挑戦は続いている．今後，斬新な発想をベースとして，情報ディスプレイ技術の飛躍と進化を期待したい．（藤掛）

（2014年12月8日受付）

〔文　献〕

1）Y. Chen, Z. Luo, F. Peng and S. -T. Wu: "High Performance Fringe-Field Switching with a Negative Dielectric Anisotropy Liquid Crystal", SID Dig., pp.334-337（2013）
2）N. Kunimatsu, H. Sonoda, Y. Hyodo and Y. Tomioka: "Photoalignment Technology for High Performance IPS-LCDs: IPS-NEO Technology", SID Dig., pp.1406-1409（2013）
3）K. Ono and H. Matsukawa: "High Performance IPS Technology Suitable for High Resolution LCDs", Proc. IDW, pp.24-25（2013）
4）M. Mitsui, Y. Fukunaga, M. Tamaki, A. Sakaigawa, T. Harada, N. Takasaki, T. Nakamura, Y. Aoki, T. Tsunashima, H. Hayashi and T. Nagatsuma: "High Image Quality Reflective Color LCD Using Novel RGBW Technology", SID Dig., pp.93-96（2013）
5）J.S. Steckel, J. Ho, C. Hamilton, C. Breen, W. Liu, P. Allen, J. Xi and S. Coe-Sullivan: "Quantum Dots: the Ultimate Down-Conversion Material for LCD Displays", SID Dig., 12.1, pp.130-133（2014）
6）J. Chen, J. Hartlove, V. Hardev, J. Yurek, E. Lee and S. Gensler: "High Efficiency LCDs using Quantum Dot Enhancement Films", SID Dig., P-119, pp.1428-1430（2014）
7）http://www.dolby.com/us/en/technologies/dolby-vision.html
8）https://www.nichia.co.jp/specification/catalogue/2013_02/NICHIA_LED_Catalogue2013_02.pdf
9）http://bgr.com/2014/02/11/slim-smartphone-bezel-infographic/
10）http://www.sharp.co.jp/products/sh01 g/service/index.html
11）http://store.sony.com/sony-sup-sup-s990-curved-led-hdtv-zid27-KDL65 S990 A/cat-27-catid-EOL-Sony-HDTVs
12）http://www.lg.com/uk/monitors/lg-34UC97
13）http://www.j-display.com/news/2013/20131018.html
14）A. Sakaigawa et al.: "Low Power Consumption Technology for Ultra-High Resolution Mobile Display by Using RGBW System", IEICE Transactions on Electronics, E96-C, 11, pp.1367-1372（2013）

15) V. Lachine et al.: "Edge Adaptive Method of Image Resampling and Enhancement", SID Dig., **45**, pp.344-347（2014）
16) A.D. Hwang et al.: "Augmented Edge Enhancement for Vision Impairment using Google Glass", Digest of Technical Papers, **45**, pp.305-307（2014）
17) J.D. Hincapié-Ramos, et al.: "Smart Color: Real-Time Color Correction and Contrast for Optical See-Through Head-Mounted Displays", Proc. ISMAR 2014, pp.187-194（2014）
18) C.-H. Oh et al.: "Technological Progress and Commercialization of OLED TV", SID Dig., 21.1, pp.239-242（2013）
19) T. Tsujimura et al.: "Flexible OLED using Plastic Barrier Film and its Roll-to-Roll Manufacturing", SID Dig., 10.1, pp.104-107（2014）
20) K. Hiyama et al.: "Performance Improvement of Blue Phosphorescent OLEDs by Designing an Intermolecular and Interlayer Combination", SID Dig. 47.3, pp.679-681（2014）
21) C. Adachi: "Third Generation OLED by Hyperfluorescence", SID Dig., 37.1, pp.513-514（2013）
22) W. Youn et al.: "High Efficient Phosphorescent OLEDs Fabricated on Corrugated High-Index- Refractive Substrates", SID Dig., 5.3, pp.40-4（2014）
23) C.-H. Oh, H.-J. Shin, W.-J. Nam, B.-C. Ahn, S.-Y. Cha and S.-D. Yeo: "Technological Progress and Commercialization of OLED TV", SID Dig., 21.1, pp.239-242（2013）
24) C.-Y Chen, L.-F. Lin, J.-Y. Lee, W.-H. Wu, S.-C. Wang, Y.M. Chiang, Y.-H. Chen, C.-C. Chen, Y.-H. Chen, C.-L. Chen, T.-H. Shih, C.-H. Liu, H.-C. Ting, H.-H. Lu, L. Tsai, H.-S. Lin, L.-H. Chang and Y.-H. Lin: "A 65-inch Amorphous Oxide Thin Film Transistors Active-Matrix Organic Light-Emitting Diode Television Using Side by Side and Fine Metal Mask Technology", SID Dig., 21.3, pp.247-250（2013）
25) P.-Y. Chen, C.-L. Chen, C.-C. Chen, L. Tsai, H.-C. Ting, L.-F. Lin, C.-C. Chen, C.-Y. Chen, L.-H. Chang, T.-H. Shih, Y.-H. Chen, J.-C. Huang, M.-Y. Lai, C.-M. Hsu and Y. Lin: "65-Inch Inkjet Printed Organic Light-Emitting Display Panel with High Degree of Pixel Uniformity", SID Dig., 30.1, pp.396-398（2014）
26) M. Hack, M.S. Weaver, W.-Y. So and J.J. Brown: "Novel Two Mask AMOLED Display Architecture", SID Dig., 40.1, pp.567-569（2014）
27) M.-T. Lee, S.-M. Shen, Z.-X. Weng, J.-J. Fu, C.-L. Chen, C.-S. Lin and Y. Lin: "One FMM Solution for Achieving Active-Matrix OLED with 413ppi Real Pixel Density ", SID Dig., 40.3, pp.573-575（2014）
28) http://www.lantechnical.co.jp/products/join/join/
29) Q. Yan et al.: "Calcium Magnesium Oxide Nano-crystal（Nano-CMO）for Improving Uniformity of High Xe Content PDP", Proc. IDW '13, pp.208-211（2013）
30) R. Murai et al.: "Development of 145-in. Diagonal Super Hi-Vision PDPs", Proc. IDW, pp.1003-1006（2012）
31) C. Suzuki et al.: "Determination Method of Pixel Values for Combined Single-Line and Multi-Line Scanning Method for 120-Hz PDPs", SID Digest, pp.53-56（2012）
32) K. Shinohe et al.: "Development of Super-Large-Area Film Display with LAFi Technology ", Proc. IDW, pp.683-686（2013）
33) Y. Shintani et al.: "Application of AC Plasma Display Panels to Radiation Detectors ", Proc. IDW, pp.687-689（2013）
34) M. Sieler, S. Fischer, P. Schreiber, P. Dannberg and A. Brauer: "Microoptical array projectors for free-form screen applications", Optics Express, **21**, 23, pp.28702-28709（2013）
35) Y. Komatsu, Y. Kashihara, J. Nishikawa, R. Yoshida, T. Nomura and K. Ishii: "New 4000-Lm Solid-State Light-Source Data Projector", SID Dig., 45, pp. 900-902（2014）
36) R.A. Hajjar: "Introducing Scalable, Freeform, Immersive, High-Definition Laser Phosphor Displays", SID Dig., 43, pp.985-988（2012）
37) H.C. Wei, B. Z., W. Qiu, O. Shapira, B.G. DeLacy, J.D. Joannopoulos and M. Soljačić: "Transparent displays enabled by resonant nanoparticle scattering", Nature Communications, 5, id. 3152（2014）
38) T. Nakaguchi: "Projector-Based Augmented Reality in Medicine", Proc. IDW, pp.1213-1216（2013）
39) http://spectrum.ieee.org/semiconductors/materials/will-quantum-dots-dominate-displays
40) http://www.samsung.com/jp/consumer/mobilephone/tablet/wi-fi/
41) http://www.displaymate.com/OLED_Tablet_ShootOut_1.htm
42) K. Hashimoto: “Optimum Approach for Product Development which is using Electrophoretic Paper-like Display System", Proc. IDW, EP3-4 L, pp.1322-1323（2013）
43) S. Mukherjee, J. Heikenfeld, N. Smith, M. Goulding, C. Topping, S. Norman, Q. Liu and L. Kramer: "The Biprimary Color System for E-Paper: Doubling Color Performance Compared to RGBW", SID Dig., 59.4 L, pp.869-872（2014）
44) N. Mochizuki, T. Ishinabe, D. Fujiwara, D. Nakamura, N. Koma and H. Fujikake: "Achromatic Polarizer Using Novel Dichromatic Dye for Low-Power Display Applications", SID Dig., P-180 L, pp.1431-1434（2014）
45) Y. Toko, K. Kato, R. Takahashi and T. Takahashi: "Reverse-Type TN-LCD with Reflective Mode Showing Permanent Memory Display and Excellent Moving Picture Quality", Proc. IDW, EP1-2, pp.1288-1291（2013）
46) 檀上英利：“電子ペーパサイネージ”，日本画像学会誌，**53**，pp.430-435（2014）
47) R. Komatsu, et al.: "Repeatedly Foldable Book-Type AMOLED Display", SID Dig., pp.326-329（2014）
48) S. Uesaka, et al.: "A 13.5-in. Quad-FHD Flexible CAAC-OS AMOLED Display with Long-Life OLED Device Structure", SID Dig., pp.271-274（2014）
49) S. Hong, et al.: "Development of Commercial Flexible AMOLEDs", SID Dig., pp.334-337（2014）
50) H. Fukagawa, K. Morii, M. Hasegawa, Y. Arimoto, T. Kamada, T. Shimizu and T. Yamamoto: "Highly efficient and air-stable inverted organic light-emitting diode composed of inert materials", Appl. Phys. Exp., **7**, 082104（2014）
51) Y. Nakajima et al.: "Flexible AMOLED Display Using an Oxide-TFT Backplane and Inverted OLEDs", Proc. IEEE Photonics Conf., pp.42-43（2014）
52) Y. Fujisaki et al.: "Direct patterning of solution-processed organic thin-film transistor by selective control of solution wettability of polymer gate dielectric", Appl. Phys. Lett., **102**, 153305（2013）
53) Y. Liao et al.: "Development of 98-inch Super Hi-Vision 8K × 4K Liquid Crystal Display Panel", IMID Dig., 20-2（2014）
54) S. Kawashima et al.: "13.3-in. 8K × 4K 664-ppi OLED Display Using CAAC-OS FETs", SID Dig., pp.627-630（2014）
55) Recommendation ITU-R BT. 2020: "Parameter values for ultra-high definition television systems for production and international programme exchange"（2012）
56) ARIB標準規格STD-B56：“超高精細度テレビジョン方式スタジオ規格”（2013）
57) K. Masaoka et al.: "Designing display primaries with currently available light sources for UHDTV wide-gamut system colorimetry", Optics Express, **22**, 16, pp.19069-19077（2014）
58) 日下部ほか：“広色域スーパーハイビジョンプロジェクタ”，映情学年次大，16-1（2013）
59) T. Soeno et al.: "Development of 8K-UHDTV system with wide-colour gamut and 120-Hz frame frequency", the Best of IET and IBC, 6, pp.51-58（2014）
60) H.-J. Shin et al.: "Technological Progress of Panel Design and Compensation Methods for Large-Size UHD OLED TVs", SID Dig., pp.720-723（2014）
61) T. Aoyama et al.: "13.5-inch Quadra-FHD Flexible AMOLED with Crystalline Oxide FET", AM-FPD'13, pp.223-226（2013）
62) B.L. Choi, T.-H. Kim, K.-S. Cho, E.K. Lee, S.J. Lee, J.M. Kim, J.W. Kim, D.H. Kim and S.Y. Lee: "Full-Color Quantum Dot Display", SID Dig., 21.1, pp.297-300（2010）
63) Y. Zhing, L. Qian, Y. Yang, A. Titov, J. Hyvonen, W. Cao, J. Xue and P.H. Holloway: "High Efficiency and Long Lifetime Quantum - Dot Light - Emitting Diodes for Flat-Panel Display Applications", SID Dig., 19.5 L, pp.221-223（2013）
64) E. Niikura, R. Murase, S. Kagawa, N. Nakano, A. Nagase, H. Sakamoto, T. Sasagawa, K. Minami, H. Sugiura, K. Shimizu and M.

Hanai: "Development of Laser Backlighting LCD Television", Proc. IDW/AD '12, DWS2/VHF2-2, pp.287-288（2012）
65）B.O. Dabbousi, J. Rodriguez-Viejo, F.V. Mikulec, J.R. Heine, H. Mattoussi, R. Ober, K.F. Jensen and M.G. Bawendi: "（CdSe）ZnS core-shell quantum dots: synthesis and characterization of a size series of highly luminescent nanocrystallites", J. Phys. Chem. B, 101, 46, pp.9463-9475（1997）
66）田中直樹：“量子ドット，ディスプレーへ”，日経エレクトロニクス，2014年3月3日号，pp.53-59（2014）
67）S. Coe-Sullivan, J.S. Steckel, W.-K. Woo, M.G. Bawendi and V. Bulović: "Large-Area Ordered Quantum-Dot Monolayers via Phase Separation During Spin-Casting", Adv. Funct. Mater., 15, 7, pp.1117-1124（2005）
68）J. Kwak, W.K. Bae, D. Lee, I. Park, J. Lim, M. Park, H. Cho, H. Woo, D.Y. Yoon, K. Char and S. Lee: "Bright and Efficient Full-Color Colloidal Quantum Dot Light-Emitting Diodes Using an Inverted Device Structure", Nano Letter, 12, pp, 2362-2366（2012）
69）B.S. Mashford, M. Stevenson, Z. Popovic, C. Hamilton, Z. Zhou, C. Breen, J. Steckel, V. Bulovic, M. Bawendi and S. C.-Sulliven: "High-efficiency quantum-dot light-emitting devices with enhanced charge injection", Nature Photonics, 7, pp.407-412（2013）
70）K.-H. Lee, J.-H. Lee, W.-S. Song, H. Ko, C. Lee, J.-H. Lee and H. Yang: "Highly Efficient, Color-Pure, Color-Stable, Blue Quantum Dot Light-Emitting Devices", ACS Nano, 7, pp.7295-7302（2013）
71）H.-M. Kim and J. Jang: "High-Efficiency Inverted Quantum-dot Light Emitting Diodes for Display", SID Dig., pp.67-70（2014）
72）J. Lim, M. Park, W.K. Bae, D. Lee, S. Lee, C. Lee and K. Char: "Highly Efficient Cadmiun-Free Quantum Dot Light-Emitting Diodes Enabled by the Direct Formation of Excitons within InP@ZnSeS Quantum Dots", ACS NANO, 7, 10, pp.9019-9026（2013）
73）D.S. Hecht, L. Hu and G. Irvin: "Emerging Transparent Electrodes Based on Thin Films of Carbon Nanotubes, Graphene and Metallic Nanostructures", Advanced Materials, 23, pp.1482-1513（2011）
74）http://www.displaybank.com/_jpn/research/report_view.html?id=938&cate=10
75）M.B. Spitzer: "Development of Eyewear Display Systems: A Long Journey", SID Dig., 18-4, pp.230-233（2014）
76）D. Lanman and D. Luebke: "Near-eye light field displays", ACM Transactions on Graphics, 32, 6, 220（2013）
77）A. Maimone, D. Lanman, K. Rathinavel, K. Keller, D. Luebke and H. Fuchs: "Pinlight displays: Wide field of view augmented reality eyeglasses using defocused point light sources", ACM Transactions on Computer Systems, 33, 4, 89（2014）
78）M. Kishishita, K. Kiyokawa, E. Kruijff, J. Orlosky, T. Mashita and H. Takemura: "Analysing the Effects of a Wide Field of View Augmented Reality Display on Search Performance in Divided Attention Tasks", Proc. ISMAR, pp.177-186（2014）
79）F. Zheng, T. Whitted, A. Lastra, P. Lincoln, A. State, A. Maimonek and H. Fuchs: "Minimizing Latency for Augmented Reality Displays: Frames Considered Harmful", ISMAR2014, pp.195-200（2014）
80）S. Parkin: "Oculus rift", Technology Review, vol.117, 3, pp.50-52（2014）
81）http://www.sony.com/SCA/company-news/press-releases/sony-computer-entertainment-america-inc/2014/sony-computer-entertainment-announces-project-morp.shtml
82）K. Horiuchi et al.: "Combiner for Head-up Displays Using Partial Transparent Fresnel Reflector", Proc. IDW /AD, PRJ2-3, pp.1991-1994（2012）
83）山本健詞：“空間再生に向けての挑戦:電子ホログラフィと裸眼立体映像を中心に”，映情学技報，37，46，pp.1-4（2013）
84）Y. Takaki and J. Nakamura: "Generation of 360-degree color three-dimensional images using a small array of high-speed projectors to provide multiple vertical viewpoints", Opt. Express, 22, 7, pp.8779-8789（2014）
85）建畠一輝，山田晋太郎，陶山史朗，石井　抱，山本裕紹：“高速位置検出を用いた単眼運動視差による3D表示の時間遅れと離散化の影響”，映情学技報，38，2，pp.49-52（2014）
86）M. Date, H. Takada, S. Ozawa, S. Mieda and A. Kojima: "Highly Realistic 3D Display System for Space Composite Telecommunication", IEEE IAS Annual Meeting, 2013-ILDC-440（2013）
87）D. Ochi: "Omnidirectional Video Streaming System with HMD", Proc. IDW, 3D3-3, pp.828-831（2014）
88）木村真治，堀越力：“複数魚眼カメラを用いたハンズフリービデオフォンの開発”，映情学会誌，68，10，pp.J425-J431（2014）
89）M. Date, T. Kawakami, M. Sasai, S. Ozawa, S. Mieda, H. Takada, Y. Suzuki and T. Uchida: "Reflective Multi-view Screen and Mobile Projectors for Communication Displays", SID Dig., 61.2, pp.892-895（2014）

藤掛　英夫（ふじかけ　ひでお）　1985年，東北大学大学院電気及通信工学専攻修士課程修了．同年，NHK入局．1988年，放送技術研究所に所属．2002年，同研究所主任研究員．2006年，東京理科大学客員教授．2012年より，東北大学教授となり，現在に至る．その間，フレキシブルディスプレイ，液晶光学デバイス，プロジェクタ，液晶/高分子材料，有機トランジスタ，有機EL，印刷/ナノインプリント技術，光情報処理などの研究に従事．2003年，当会技術振興賞開発賞，2003年・2009年，当会丹羽高柳賞論文賞受賞．2010年より，IDW国際会議Flexible Display Workshop Chair．2012年より，IEEE Consumer Electronics Society Japan Chapter Chair．2011年より，当会情報ディスプレイ研究会委員長．博士（工学）．正会員．

石鍋　隆宏（いしなべ　たかひろ）　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年から，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．低電力ディスプレイ，広視野角・高速液晶ディスプレイの研究に従事．2011年，Society for Information Display（SID）Special Recognition Award受賞．博士（工学）．正会員．

境川　　亮（さかいがわ　あきら）　1994年，埼玉大学大学院理工学研究科博士後期課程修了．同年，シャープ（株）入社．同社研究開発部門にて，強誘電性液晶ディスプレイの材料および駆動法の研究開発に従事．2000年，ソニー（株）入社．モバイルディスプレイ事業本部にて，中小型液晶ディスプレイの要素技術開発に従事．2012年より，（株）ジャパンディスプレイ勤務．研究開発本部にて，液晶ディスプレイの低消費電力技術開発，映像処理技術開発に従事．博士（Ph.D）．

馬場　雅裕（ばば　まさひろ）　1998年，慶應義塾大学大学院理工学研究科修了．同年，（株）東芝入社．現在，同社研究開発センターマルチメディアラボラトリー主任研究員．液晶ディスプレイシステム，新映像システムおよび画像処理技術の研究開発に従事．

沼尾　孝次（ぬまお　たかじ）　1983年，東北大学工学部通信工学科卒業．同年，シャープ（株）入社．同年より，同社研究開発部門に所属．強誘電性液晶駆動技術，アクティブマトリクス有機EL駆動技術，映像処理技術開発に従事．主任研究員．正会員．

中　　茂樹（なか　しげき）　1992年，富山大学大学院工学研究科修士課程修了．同年，同大学助手．2008年より，同大学准教授．有機ELをはじめ，有機エレクトロニクスデバイスの研究に従事．博士（工学）．正会員．

志賀　智一（しが　ともかず）　1999年，電気通信大学博士後期課程卒業．1999年，同大学助手．2004年，同大学助教授となり，現在，同大学准教授．主として，プラズマディスプレイや液晶ディスプレイバックライトに関する研究に従事．博士（工学）．正会員．

鹿間　信介　1981年，大阪大学大学院基礎工学研究科修士課程修了．同年，三菱電機（株）入社．同社研究所にて，光ディスク用光ヘッド，プロジェクタ光学系の研究開発に従事．2009年より，摂南大学准教授となり，現在に至る．現在，大画面ディスプレイ，画像認識・処理などの研究に従事．2010年より，IDW国際会議Projection and Large-Area Displays（PRJ）Vice-Chair．博士（工学）．正会員．

高取　憲一　1990年，東京大学教養学部基礎科学科卒業．同年，NEC入社．2001年～2002年，ベルギー王国ルーヴァン・カトリック大学客員研究員．2005年，NEC液晶テクノロジー（現，NLTテクノロジー）．LCDのシミュレーション（液晶配向，光学，TFTモデル等），高性能化（広視野角，高速応答等），高付加価値化（フィールドシーケンシャルカラー，システム内蔵，任意形状，内蔵タッチパネル等）の研究開発に従事．正会員．

前田　秀一　1989年，慶應義塾大学理工学研究科修士課程修了．王子製紙（株）にて，情報記録用紙，電子ペーパ，光学部材などの研究開発に従事．2010年より，東海大学工学部光・画像工学科にて，電子ペーパ用表示材料などの研究を開始．現在，同大学教授．技術士（化学部門，総合技術監理部門）．Ph.D（Sussex大学）．正会員．

藤崎　好英　1998年，早稲田大学大学院電子情報通信専攻修士課程修了．同年，NHK入局．2001年より，放送技術研究所にて，フレキシブルディスプレイ，薄膜トランジスタの研究に従事．現在，同研究所，新機能デバイス研究部副部長．2006年および2009年，当会鈴木記念奨励賞，丹羽高柳賞論文賞受賞．国際会議IDW AMD Workshop Chair．博士（工学）．正会員．

佐藤　弘人　1999年，千葉大学大学院修士課程修了．同年NHK入局．同放送技術研究所にて，液晶デバイス，フレキシブルディスプレイ，ディスプレイ駆動技術に関する研究に従事．博士（工学）．正会員．

奥田　悟崇　2001年，大阪市立大学工学研究科修士課程修了．同年，三菱電機（株）入社．同年より，同社研究開発部門に所属．主として，液晶テレビ，プロジェクションディスプレイ等映像機器全般の映像処理技術，光応用技術開発に従事．また，カラーマネジメントの国際標準化に従事．主席研究員．

岡本　慎二　1997年，筑波大学大学院博士課程物理学研究科修了．同年，鳥取大学リサーチアソシエイト．2000年，奈良先端科学技術大学院大学物質創成科学研究科助手．2001年，（株）東京化学研究所入社．2013年より，同社開発室長．これまでレーザ分光によるナノ構造半導体の研究や，PDP・FED・LED用など新規蛍光体の研究開発に従事．博士（理学）．

足立　昌哉　1993年，岐阜大学大学院修士課程修了．同年，（株）日立製作所入社．日立研究所に勤務．2014年より，（株）ジャパンディスプレイ研究開発本部．主に有機EL，液晶，MEMSなどの表示デバイスや，プロジェクタの光学系，バックライトなどの光学部材の研究開発に従事．正会員．

中村　篤志　2002年，静岡大学大学院理工学研究科物質工学専攻修士課程修了．2005年，同大学大学院電子科学研究科電子応用工学博士課程修了．同年，同大学電子工学研究所助手，2007年，助教，2014年，講師．2015年，同大学大学院工学研究科講師となり，現在に至る．その間，酸化亜鉛系エピタキシャル成長と発光・受光素子への展開，グラフェンCVD成長と透明電極への応用の研究に従事．2014年より，当会情報ディスプレイ研究会幹事補佐．博士（工学）．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（ディジタルカメラ，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，参事となり，現在に至る．オーバドライブ技術に関して，2004年，SID Special Recognition Award，2006年，関東地方発明神奈川県支部長賞，2007年，市村産業賞貢献賞，2009年，文部科学大臣科学技術賞，同年，全国発明賞恩賜発明賞などを受賞．2006年より，IDW DESワークショップチェア．当会編集委員会査読委員．2012年，IDW実行委員長，2014年，SID日本支部副支部長．IEEE Consumer Electronics East Japan Chapter Chair, SIDフェロー．SID Associate Editor．IEICEフェロー．千葉大客員教授．博士（工学）．当会フェロー認定会員．

伊達　宗和　1990年，学習院大学理学部物理学科卒業，1992年，東京工業大学総合理工学研究科電子システム専攻修士課程修了．同年，NTT（株）入社．2010年，NTTコムウェア（株），2012年より，NTT（株）に勤務．高分子液晶複合体によるホログラフィック光学素子，裸眼3D表示装置，3D視知覚特性，高臨場感映像通信，近接通信技術の研究に従事．現在，NTTメディアインテリジェンス研究所研究主任．SID，IEEE会員．博士（理学）．