

## Feature 02

# 幻想的な光の世界をつくる 透明スクリーン

と き た ま さ と し  
戸木田 雅利 (左)

東京工業大学 物質理工学院 准教授

1997年 東京工業大学大学院理工学研究科博士課程中退、博士(工学)。97年 東京農工大学大学院助手。2000年 東京工業大学大学院理工学研究科助手。07年より現職。

わ た な べ し ゅん じ  
渡辺 順次 (右)

東京工業大学 名誉教授、S-イノベ連携研究主任研究員

1976年 東京工業大学大学院理工学研究科博士課程修了、工学博士。東京工業大学工学部助手、米デューク大学博士研究員、東京工業大学工学部助教授、京都大学化学研究所客員教授、仏ストラスブール大学客員教授、東京工業大学大学院理工学研究科教授などを経て、14年より現職。

あべのハルカス展望台の窓ガラスに映し出されたプロジェクションマッピング映像。JXTGエネルギー社のカレイドスクリーンが採用されている。

## 生物の光り輝く 色彩に魅せられて

タマムシの羽やサンマの腹、キジの羽、アワビの殻——。東京工業大学物質理工学院の渡辺順次名誉教授は愛媛県の漁村に生まれ、鳥や昆虫、魚、貝などの光り輝く色彩に囲まれて育った。これらは実は染料や顔料などの光吸収に基づく色ではなく、表面の微細構造と光との相互作用による回折、干渉、屈折、散乱で生じる「構

造色」と呼ばれるもので、コンパクトディスクやシャボン玉の虹色もこの例だ。光を操る光学の世界に導かれた渡辺さんは構造色を生み出す生物のナノメートル(ナノは10億分の1)レベルの構造と機能を解明し、液晶などの光学材料の分子設計に応用してきた。こうしたナノ構造設計の研究を生かして挑んだのが、S-イノベの研究開発テーマ「フォトニクスポリマーによる先進情報通信技術の開発」だ。高度化する情報通信技術の根幹となる革新

的な光通信技術を生み出し、新たな光産業を創出するという目標に向けて、2010年に産学連携プロジェクトを立ち上げた。

渡辺さんは研究指導で30年以上の付き合いがあったJXTGエネルギー社(当時・新日本石油)、ビジョン開発社とともに研究を始めた。「自分たちのシーズへの理解がもともとあるので、最終ステージまで進めるに違いない」と確信していたという。渡辺さんは大学側代表として研究リーダーを務めるとともに、プロジェクトマネー

的な光通信技術を生み出し、新たな光産業を創出するという目標に向けて、2010年に産学連携プロジェクトを立ち上げた。

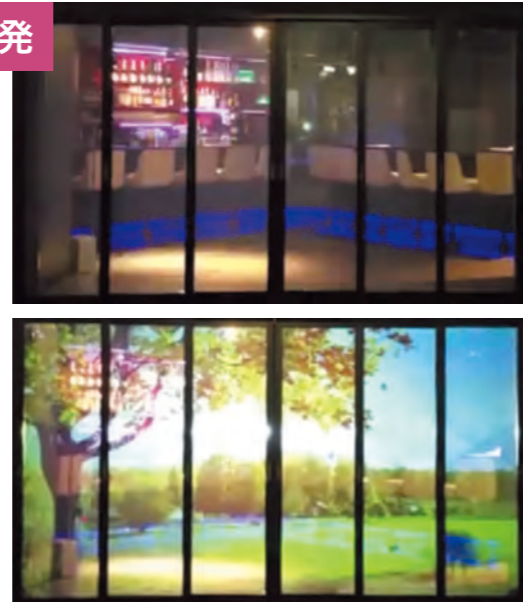
渡辺さんは研究指導で30年以上の付き合いがあったJXTGエネルギー社(当時・新日本石油)、ビジョン開発社とともに研究を始めた。「自分たちのシーズへの理解がもともとあるので、最終ステージまで進めるに違いない」と確信していたという。

渡辺さんは大学側代表として研究リーダーを務めるとともに、プロジェクトマネー

ビジョン開発



技術開発部長 塩崎 茂  
 代表取締役会長 藤村 忠正  
 研究開発部課長 柿本 誠士郎



ビジョン開発社が開発したビジョンスクリーンの使用例。映像を投影しないと内部が見えるが(上)、映像により目隠しして外観イメージを変えることができる(下)。

ジャーとしてメンバーをまとめた。企業側代表の開発リーダーはJXTGエネルギー社が務めた。2014年に渡辺さんが定年退官した後は、東京工業大学物質理工学院の戸木田雅利准教授が研究リーダーを引き継いでいる。「気心の知れたメンバーですから、うまくいくもいかないも共という気持ちでした」と戸木田さん。  
 S-Iノベは最長10年に及ぶ息の長いプロジェクトだ。3つのステージに分かれ、最初の3年間はステージ1として光学材料のシーズ探しや要素技術の確立に向けた基礎研究に充てる。次の4年間はステージ2として新材料開発に向けて企業との共同研究をより発展させ、そしてステージ3では企業とのマッチングファンドにより製品

化をめざす。セントラル硝子社は、展示会でビジョン開発社に声をかけられたことをきっかけに、ステージ3から加わった。プロジェクトは強い信頼関係で結ばれ、さまざまな光学機能を持つ光学フィルムや機器の開発をめざして精力的に研究を進めた。選択的に光を反射するフィルム、透明性と導電性を併せ持つフィルムなど多彩な機能の機器を開発して成果を挙げている。ひととき注目されているのが、ガラスやアクリル板を透明スクリーンにすることを実現した新素材だ。

全ての窓ガラスをスクリーンに

光を操る光学の研究で重要な材料は、

フォトニクスポリマーと呼ばれる高分子材料で、光学フィルムはその代表例だ。合成樹脂を薄く引き伸ばしたもので、うまく圧力や温度を制御しながら分子の並べ方を変えることで、光の方向などを制御する。例えば、テレビやパソコンのディスプレイに使われる液晶パネルの表面には何層もの高機能な光学フィルムが重ねられ、画面から透過する光や画面に反射する外光を調節するなどして、液晶画面を見やすくしている。  
 「高分子材料の研究では、分子の構造をうまく利用して光を操作することを目標としていました。その中で光の散乱を利用するという視点から生まれたのが透明スクリーンでした」と渡辺さんは開発のきっかけを語る。

透明な素材では光が全て透過してしまうが、素材を構成する高分子に屈折率の高い粒子を分散させて、光を散乱させれば映像を映し出すスクリーンにできるという発想だ。映像を表示する時はスクリーンになり、映さない時はガラス板となる。背後の商品や風景に重ねて相乗効果をもたらす新しい情報ツールとなる。

こうした研究はすでに欧米でも進められていたが、高屈折を持つ材料をいかに透明度を保ったまま、スクリーンとして機能を発揮させるか。実用化にはまだ課題が

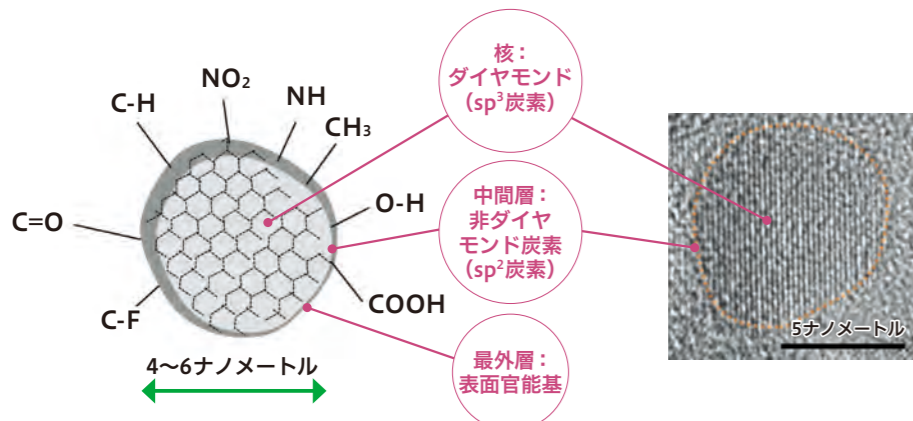


図1 爆轟法によるナノダイヤモンドの構造(左)と透過型電子顕微鏡写真(右)。中心にダイヤモンドの核、その周囲に非ダイヤモンドの炭素の中間層があり、さらに外側に炭素やその他の原子、官能基などからなる層がある。このナノダイヤモンドが母材の種類などによりさらに30~40ナノメートルの凝集体を形成する。

JXTGエネルギー



機能材事業化推進副部長 西村 涼  
 機能材研究開発部長 依田 英二

あった。従来品は厚さが数ミリメートルあり、分散粒子の量は少なくて済むが、厚み方向で視差が出るため像がぼやけるなど、条件によっては見え方が変わってしまう。また、粒子分散技術が不十分で、粒子を多く入れようとする凝集が起こって白濁する問題もあり、従来品の透明度は70パーセント程度にとどまっていた。「全ての窓ガラスをスクリーンにしたい」という夢に向かって、ガラスに貼るだけで使用でき、高い透明度を持つ厚さ1マイクロメートル(1,000分の1ミリメートル)程度の光学フィルムの開発をめざした。

ナノダイヤモンドと分散技術が鍵に

着目したのがダイヤモンドだった。母材(主要材料)となる高分子と粒子の屈折率の差が大きいほど光は散乱する。ダイヤモンドは硬度が高いだけでなく、非金属で

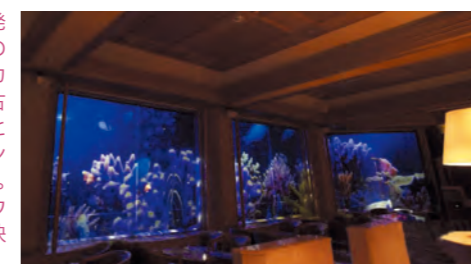
は最高レベルの屈折率(2.42)を持つので、少量の添加で済み、母材の白濁を抑える効果がある。また粒子の大きさによって透明度は変化し、粒子が小さくなる程、ガラス並みに透明度が高くなる。ナノサイズのダイヤモンドを高濃度で分散できれば、厚さ数マイクロメートルと薄く、しかも透明な光学フィルムが実現できる。しかし、ナノサイズの粒子を良好な状態で分散させるには、界面活性剤が欠かせない。この問題を解決したのが、ビジョン開発社のナノダイヤモンドだった。

ナノダイヤモンドは、「ナノカーボン」と総称される炭素材料の1つだ。爆薬を密閉容器内で爆発させ、その爆撃波を利用

する、爆轟法<sup>ばくこうほう</sup>という手法で作られる。ナノダイヤモンドは、中心にダイヤモンドの結晶構造があり、その周囲に非結晶カーボ



JXTGエネルギー社が開発したカレイドスクリーンの外観(左)。あべのハルカス(上)や東京タワー(右奥)の展望台では、夜景とプロジェクションマッピング映像を同時に楽しめる。汐美荘(右)では毎晩ラウンジで水族館や夕日の映像を楽しめる。



セントラル硝子



硝子販売部電材硝子販売課 係長  
しらい よしのり  
**白井 喜徳**

硝子研究所 主任研究員  
むらた けいすけ  
**村田 敬介**

ンとさまざまな官能基があるという層状の構造をしている(図1)。硬度が高いなどダイヤモンド特有の優れた物性を持つ一方、表面の官能基を反応させて親水性や疎水性に変えて、水や有機溶媒で分散できるので、界面活性剤が不要となる。粒径は約5ナノメートルだが、30~250ナノメートルの凝集体を作って分散する。

プロジェクトは、水分散性に優れたナノダイヤモンドと水溶性のポリビニルアルコールを用いてナノダイヤモンド複合体のフィルムを作製し、透過率や光散乱などの光学特性を評価した。材料や分散条件など改良を重ね、透明性と光散乱性を両立できる素材を作ることに成功した。

「ナノダイヤモンドを高分子の母材に高濃度で分散させるように試行錯誤してきましたが、ナノダイヤモンドが凝集したことが思わぬ光学特性を発揮しました。かなり早い段階で光を望みどおりに分散させる

技術の確立に成功し、3社の製品化が進みました」と戸木田さんは力を込める。3社の製品はいずれも映像を鮮明に映し出しながら、90パーセントと抜群の透明度を誇る。

ナノダイヤモンドを駆使した「ビジョンスクリーン」

ビジョン開発社は、ナノダイヤモンドを分散させたポリビニルアルコールをガラスの表面に塗布するフィルム「Vision Screen(ビジョンスクリーン)」を開発した。「ナノダイヤモンドは光学的に非常に面白い素材です。透明スクリーンに最適なナノダイヤモンドの開発がこの製品の鍵となりました」と同社代表取締役会長の藤村忠正さんは振り返る。

ナノダイヤモンド粒子の大きさが異なると透明度や輝度が異なることを利用し3タイプの製品を開発した。高透明タイプは粒子が小さくガラス並みに高透明で、表



セントラル硝子社のオーロヴェールは視野角が広く、どの角度からでも鮮明な画像を楽しめる。ガラスそのものに加工しているため耐久性や質感に優れる。透明度が高いクリアタイプからミドルタイプ、明るい所でも映像がよく映るビッドタイプの3種類を製品化した。

面硬度が高いので表面保護フィルムとしても使える。粒子が大きいと透明度が低くなる半面、光をよく散乱させるため、反射タイプの光拡散フィルムとして機能する。粒子が中程度のものは透明性を保ちながら輝度も高い。設置場所の条件に応じて、最適な製品を選択できる。

「お客様のニーズとともに市場をつかっていくような製品にしていきたいです。展示会では、プロジェクションマッピングやデジタルサイネージ(電子看板)に使えるのではないかとご提案をいただきました」と同社研究開発部課長の柿本誠士郎さん。技術開発部部長の塩崎茂さんは「今後は特に透明性や映像のシャープさにこだわりたいですね」とさらなる機能の向上を志す。

透明スクリーンガラス「オーロヴェール」

ガラスには映像を映せないという常識を覆したのが、セントラル硝子社の透明スクリーンガラス「Auroverre(オーロヴェール)」だ。ビジョンスクリーンの技術を応用し、ダイヤモンド粒子を分散させたコーティング剤をガラスの表面に直接塗布したもので、窓ガラスをそのままスクリーンとして使用できる。

研磨剤以外でダイヤモンド粒子を使うのは、ガラス業界でも新しい発想だったという。ガラスの質感を存分に生かすこと、特にガラス本来の透明性の確保とディスプレイ機能の両立にこだわった。

「ガラスそのものを加工しているため、耐久性が高く、光沢感も優れていることが特長です。大きなガラスは、重たい上に

表面にむらができやすいので、均一にコーティング剤を塗布するのはとても難しかった」と開発に携わった同社硝子研究所主任研究員の村田敬介さんは苦勞を語る。コーティング剤の組成を変えたり、製造ラインを改造したりするなど工夫を重ねた。

「商業施設やショールーム、オフィスビルのガラスをスクリーンにして広告を流したり、公共案内を表示したり、街中で映像を見ることができるようになりたい」と同社硝子販売部電材硝子販売課係長の白井喜徳さん。広告のポスターやディスプレイが不要なので、利便性やデザイン性が高い。今年3月に上市したばかりで、遮熱や飛散防止といった機能に次ぐ新しい機能性ガラスとして、普及に力を入れる考えだ。

貼るだけでスクリーンになる「カレイドスクリーン」

ナノダイヤモンドの代わりに、屈折率の大きなジルコニアを用いたのが、JXTG エネルギー社のスクリーン用透明フィルム「Kaleido Screen(カレイドスクリーン)」だ(図2)。窓ガラスやアクリル板に貼ると、スクリーンとして利用できる。

「他の2社と異なり、粒子を分散させた熱可塑性高分子を溶かしながら伸ばして成形する溶融押出方式でフィルムを作ります。むらなく粒子を均一に分散させてフィルムを作るには苦勞しました」と同社機能材カンパニー機能材事業化推進副部長の西村涼さんは振り返る。

カレイドスクリーンの透明度はガラスとほぼ同等の90パーセントと世界最高水準を実現しており、ガラスやアクリル板の透

明性を損なわず、背景を遮ることがない。「他社製品の透明度は70パーセント程度で、スクリーンを貼ったところが乳白色に見えますが、カレイドスクリーンは近くで見てもフィルムを貼っていることがわかりません」と同社機能材カンパニー機能材研究開発部長の依田英二さんが続ける。

開発当初、新素材の展示会に出展したところ、イベント会社から反響があり、透明度の高さや投影した映像の鮮明さなど、イベントぎりぎりまで要望に少しでも合うよう改良したという。東京タワー(東京都)やあべのハルカス(大阪府)の展望台、動物園や水族館などでプロジェクションマッピングのイベントに使われ、好評を博している。「夜景の中に映像が映し出されると大きな歓声が上がります。従来からの当社の主力製品であるガソリンでは考えられないことで、お客様が身近に感じられ、開発者冥利に尽きる思いです」と西村さんは感慨深げに話してくれた。カレイドスクリーンは、日刊工業新聞社主催2016年超モノづくり部品大賞で「生活関連部品賞」を受賞した。

深く険しい「死の谷」も乗り越えて

プロジェクトも残すところ1年余り。市場調査や経営層の説得など苦勞も多かったが、3社が事業化、量産化の段階に移行できた。互いに火花を散らすライバルではなく切磋琢磨しつつ刺激し合う関係が続き、チームワークの良さは変わらない。同じ技術的問題を抱えることもあったが、協力して解決してきた。

画像提供: JXTGエネルギー(表紙、目次、p7、p9)、ビジョン開発(p8)、セントラル硝子(p10~11) / TEXT: 佐藤成美 / PHOTO: 浅賀俊一(人物) / 編集協力: 中里浩(産学連携展開部)



図2 各社の製品の構造の違い。左からビジョン開発社、セントラル硝子社、JXTGエネルギー社のもの。JXTGエネルギー社はダイヤモンド粒子の代わりにジルコニア粒子を使用している。