平成 29 年度
戦略的基盤技術高度化・連携支援事業
戦略的基盤技術高度化支援事業

「色のバラツキが少なく、視認性に優れ疲労低減特性のある自動車内装照明用 LED の蛍光体層開発」

研究開発成果等報告書

平成３０年５月

担当局　東北経済産業局
補助事業者　国立大学法人埼玉大学

目　次

第１章　研究開発の概要

１－１　研究開発の背景・研究目的及び目標　・・・・・・・・・１

１－２　研究体制（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者）　・・・・・・・・・６

１－３　成果概要　・・・・・・・・・７

１－４　当該研究開発の連絡窓口　・・・・・・・・・８

第２章　本論

１　蛍光体層の色調ばらつきの低減　・・・・・・・・・９

【1-1】機能付加配合における蛍光体の分散性高度化

【1-2】蛍光体層の高精度成形

２　視認性・疲労低減特性を持った配合の実現　・・・・・・・・・11

【2-1】視認性の評価方法の確立

【2-2】疲労低減特性の評価方法の確立

【2-3】視認性評価方法および疲労低減特性の評価方法を反映した製品の開発

３　販路拡大　・・・・・・・・・15

【3-1】自動車照明業界他社動向調査

【3-2】蛍光体シート市場動向調査

最終章　全体総括　・・・・・・・・・16

第１章　研究開発の概要

１－１　研究開発の背景・研究目的及び目標

本研究開発において、自動車の内装照明用の光源として用いられるＬＥＤの色バラツキを低減すると共に、視認性向上や疲労低減機能を付加する為の蛍光体層を開発する。蛍光体層はＬＥＤの分光分布を調整する部材で、色バラツキ低減のため高精度成形品が必要とされている。併せてＬＥＤの分光分布の視認性や疲労に対する影響について心拍、脳波、脳血流等の生体指標から特定する研究を行い、蛍光体層の配合で視認性向上や疲労低減効果の機能性付加を狙う。

本研究開発は、ものづくり高度化指針の下記課題・ニーズと高度化目標を実現していくものである。

（九）複合・新機能材料に係る技術に関する事項

１　複合・新機能材料に係る技術において達成すべき高度化目標

（３）川下分野横断的な共通の事項

①川下製造業者等の特有の課題及びニーズ　　イ．感性価値の向上

②高度化目標　　ア．高性能・高機能な材料及び複合技術の向上

イ．感性価値の向上

（研究開発の背景）

１）自動車メーカー/内装部品メーカーのニーズ

自動車メーカーでは、自動車の付加価値向上の手段の一つとして内装照明の意匠性を近年重視している。しかしながら現在の自動車内装照明は、デザイナーの要求する色に対してバラツキが大きいため、デザイナーが意図する統一感のある内装照明を十分に実現していない。自動車メーカーは部品メーカーや光源メーカーに、色のバラツキ低減をさらに進めて欲しいと要求している。

また自動車内装照明に対する新たな付加価値として、デザインの自由度を犠牲にする事なく、各種操作部位の視認性の向上や運転時の疲労低減に寄与する分光分布を持った照明光を作れないか求めている。

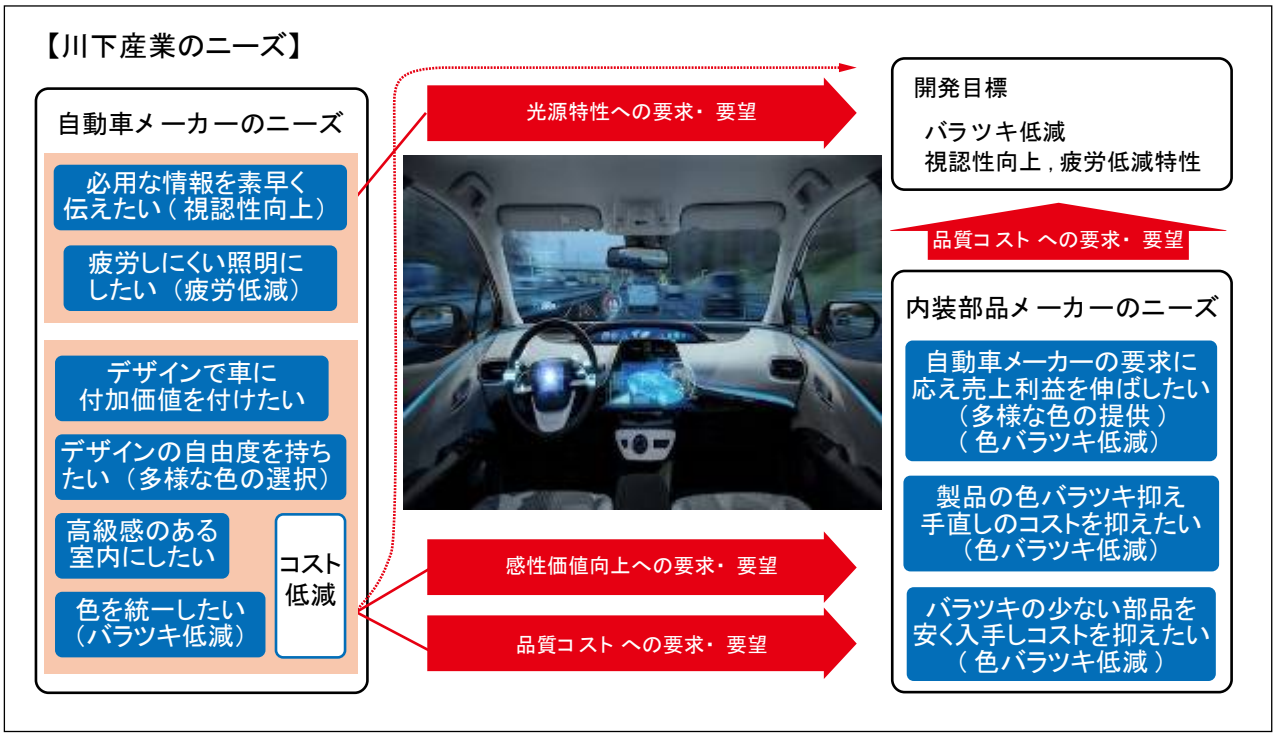
たとえば、

①緑色の光は人間の目が感度良く認識できるから視認性向上には緑色が良いといった、デザインの自由度を犠牲にする結論では無く、赤系の色ならどの様な分光分布を持ったものが視認性向上につながるのか。青系ならどの様なものが良いのか。

②人間は周囲が暗くなると青色を明るく感じやすくなる事が知られているが、自動車は使用される周囲の明るさが特定できないため、周囲が明るくても暗くても同じ様に視認性に優れたものが出来ないか。

③一般的な LED の白色光にはブルーライトが含まれるため、これを用いる事で目が疲れ易くなるのではないか、反対に目の疲れにくい照明光が出来るのではないか。

といった例を挙げ、提案して欲しいと要望されている。しかしながらブルーライト等は、人体への影響については学術的な根拠が不十分とも言われており、信頼性の高い検証結果と併せた提案が求められている。



自動車メーカーが自動車内装部品メーカーに求める、部品の内装照明の色バラツキを無くす事は簡単では無い。メーター、オーディオ、エアコンパネル、ハンドルスイッチやドアスイッチ等の自動車内装部品は、使用する部品の材質や厚みなどの寸法、LED 等の光源からキートップまでの距離などが原因で色バラツキが発生するためである。

部品メーカーでは、色バラツキを抑えるために、設計段階で部位毎に光源や塗装の色の微調整を行っているが、それでも量産になるとこれらのバラツキが累積し、デザイン上無視できないバラツキが生じてしまう。そのため自動車内装部品メーカーでは、購入部品の供給事業者に対し、一つ一つのバラツキ改善を求めており、光源も例外ではない。

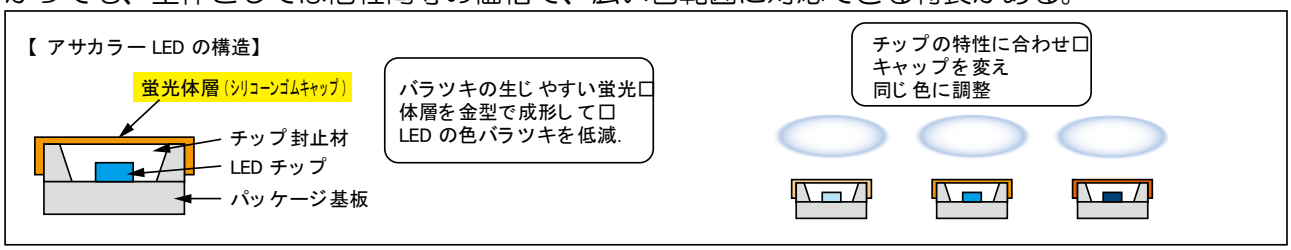
2）自動車用ＬＥＤ光源の技術動向

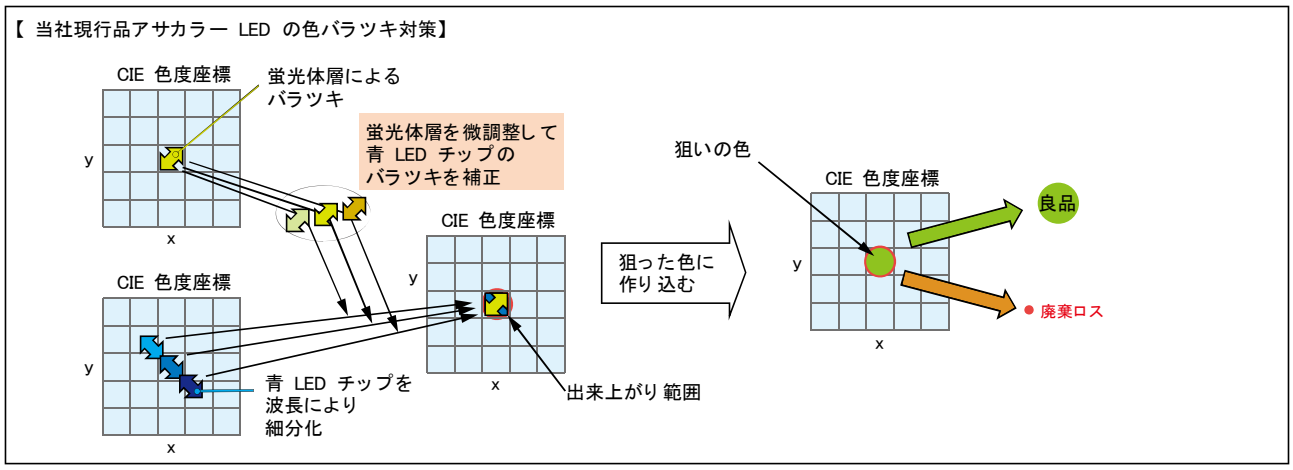
自動車内装照明は、近年では小型・低消費電力で長寿命な LED が使われているが、現状の LED は、自動車メーカー/自動車内装部品メーカーの要求に対し色のバラツキが大きい。

株式会社朝日ラバー（間接補助事業者）の現行商品（アサカラーLED）は、蛍光体層を金型でキャップ状に成形し、LED に被せた構造の LED である。

蛍光体層を成形品とすることで、他社に比べ LED の色バラツキを少なくする事に成功している。また、LED チップを波長毎に細かく分類し、それぞれのチップの波長特性に合わせて調整された蛍光体キャップと組み合わせることで、内装用光源に現状求められている色バラつき精度を実現している。

これに加えキャップ方式は、選別ロスが少なくて済むため、蛍光体層の成形コストがかかっても、全体としては他社同等の価格で、広い色範囲に対応できる特長がある。





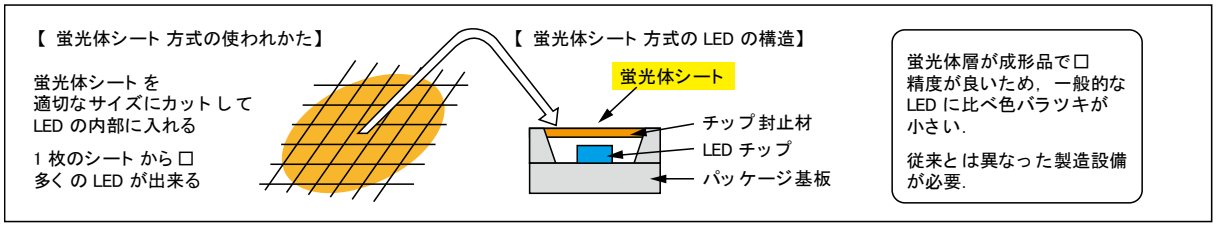
しかしながら自動車メーカー/自動車内装部品メーカーからは、小型化とコストを上げずに色バラツキ精度の向上が求められている。

既存工法の精度を上げる事でバラツキ精度を向上しつつあるが、自動車部品メーカーからはさらにバラツキの無いモノづくりを求められており、シェアと売上げの拡大の為、さらに高いレベルを達成する必要がある。

3）現状と課題

① 高精度な蛍光体層の成形技術の開発

現在（株）朝日ラバーでは、自動車メーカー/自動車内装部品メーカーが次のレベルとして要求する色バラツキ精度を現状のキャップ状蛍光体層の成形方法で解決しようとしている。しかし、キャップ形状では、金型内の材料流動が複雑で、蛍光体濃度のムラや成形精度の向上が難しくなるため、次に来るであろう色バラツキ要求に対しては、シート形状が蛍光体層の高精度化に適していると考えている。



ただし、シート状の蛍光体層を目標の色バラツキにまでするためには、材料内での蛍光体の均一分散性を高める事、成形設備の精度を上げ材料特性の違いに合わせた層厚の調整が出来る様にする事が必要になる。

材料特性の違いに合わせた層厚の調整は、高精度の蛍光体層を作る上で、蛍光体の材料ロットの違いで発生する微妙な光学特性の変化を抑えるために必要な技術である。

LED 光源に機能性を付与するために蛍光体層に複数の蛍光体を同時に使用すると、蛍光体の粒径・比重・混合比率等によって材料内に不均一な場所ができやすくなる。また、材料ロットの違いによる層厚の調整が頻繁に必要となり、蛍光体層の色バラツキの原因になるため、同じ要求特性のものを繰り返し生産する事が難しくなる。このため LED 光源への機能性付加と蛍光体層高精度化の両立の難易度は高い。

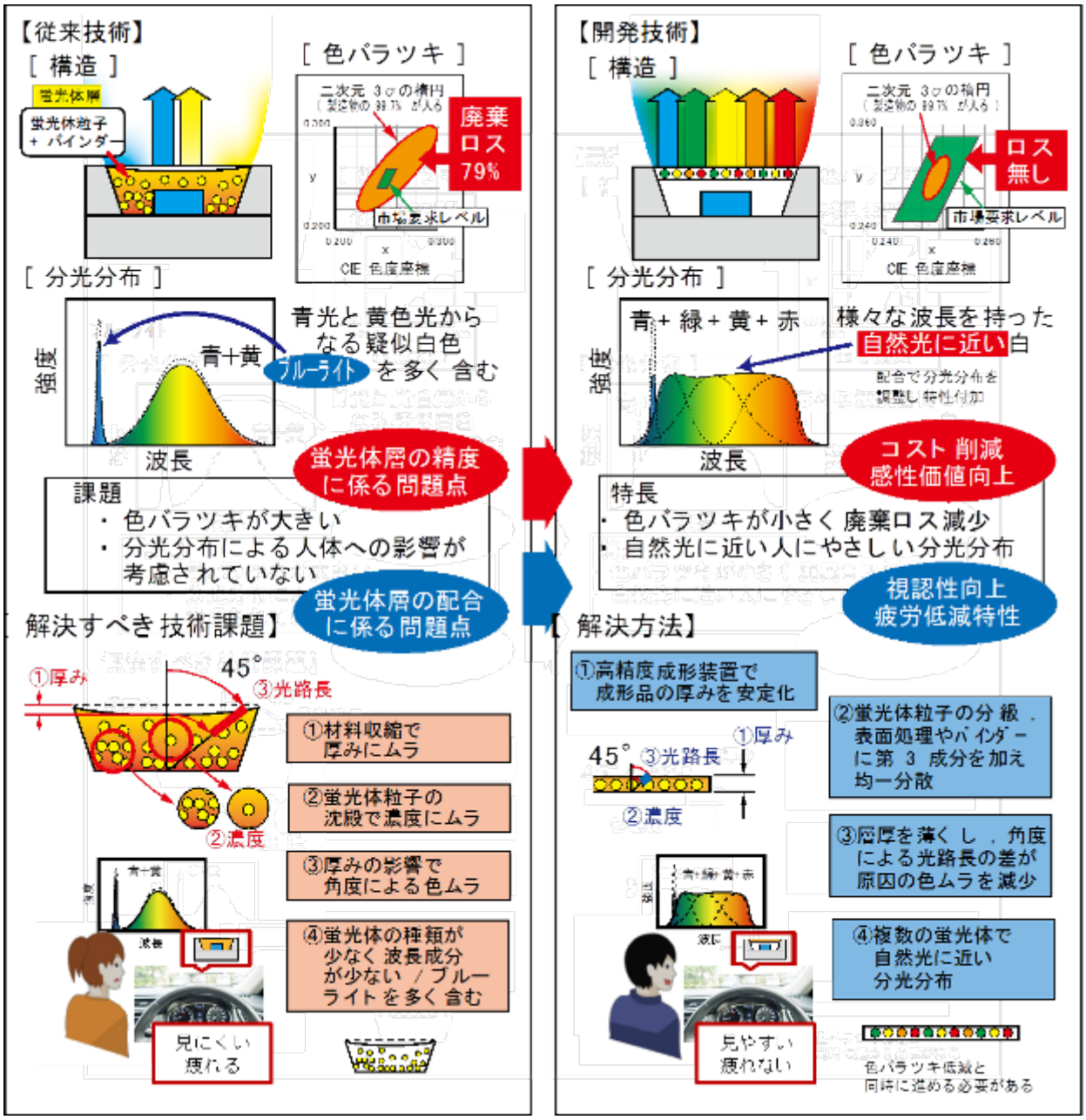
また 1 枚の蛍光体層が複数の LED に使用されるため、シート面内の色バラツキについて適切に把握する評価方法も課題となる。

② 視認性の向上及び疲労低減効果のある分光分布を持った照明光の配合作成

照明光の分光分布が人体に与える影響について、これまで視認性や疲労などの情報は、被験者の自覚症状の報告によっていたため、学術的な根拠が不十分と言われていた。

近年では、被験者の自覚症状の報告によらない、様々な生体情報による客観的な測定方法

が提案されており、視認性や疲労低減の客観的な定量化が可能になってきている。
　これらの客観的なデータを用いて、照明光の分光分布の効果について検証し、機能性を持った光源を信頼性の高い検証結果と共に自動車メーカーに提案する事が課題となる。



（研究目的及び目標）

〇研究開発の課題及び目標

サブテーマ１　蛍光体層の色調ばらつきの低減

蛍光体層内の色度バラツキを低減する。

【1-1】機能付加配合における蛍光体の分散性高度化

蛍光体の分散度を、短時間で広い面積に対し定量化する評価方法により、蛍光体層の色調ばらつきを評価し、蛍光体の分散度を低減する。

【1-2】蛍光体層の高精度成形

蛍光体層に使用される蛍光体粒子の最大粒径に応じ、層厚バラツキの低減を目標とする。蛍光体層のサイズは、新しく検討されている蛍光体層の使用方法を視野に検討する。

サブテーマ２　視認性・疲労低減特性を持った配合の実現

【2-1】視認性の評価方法の確立

視認性推定モデルによる推定精度として 80%を目標値とする。この精度とは、人間の主観評価値との一致率を指す。人間の心理的な反応を対象とする場合には、本来的に誤差が大きいため 80%程度の推定精度であっても高い推定力を持つと判断される。また、その程度の推定精度であれば、製品の良し悪しを評価する上で実際的な問題は生じないと考えられる。

【2-2】疲労低減特性の評価方法の確立

【2-1】と同様に、疲労低減特性の推定モデルによる推定精度として 80%を目標値と設定する。

【2-3】視認性評価方法および疲労低減特性の評価方法を反映した製品の開発

シミュレーションを行うために構築する、蛍光体の配合をパラメータとした視認性および疲労低減特性の推定モデルの推定精度として、75%を目標値と設定する。

サブテーマ３　販路拡大

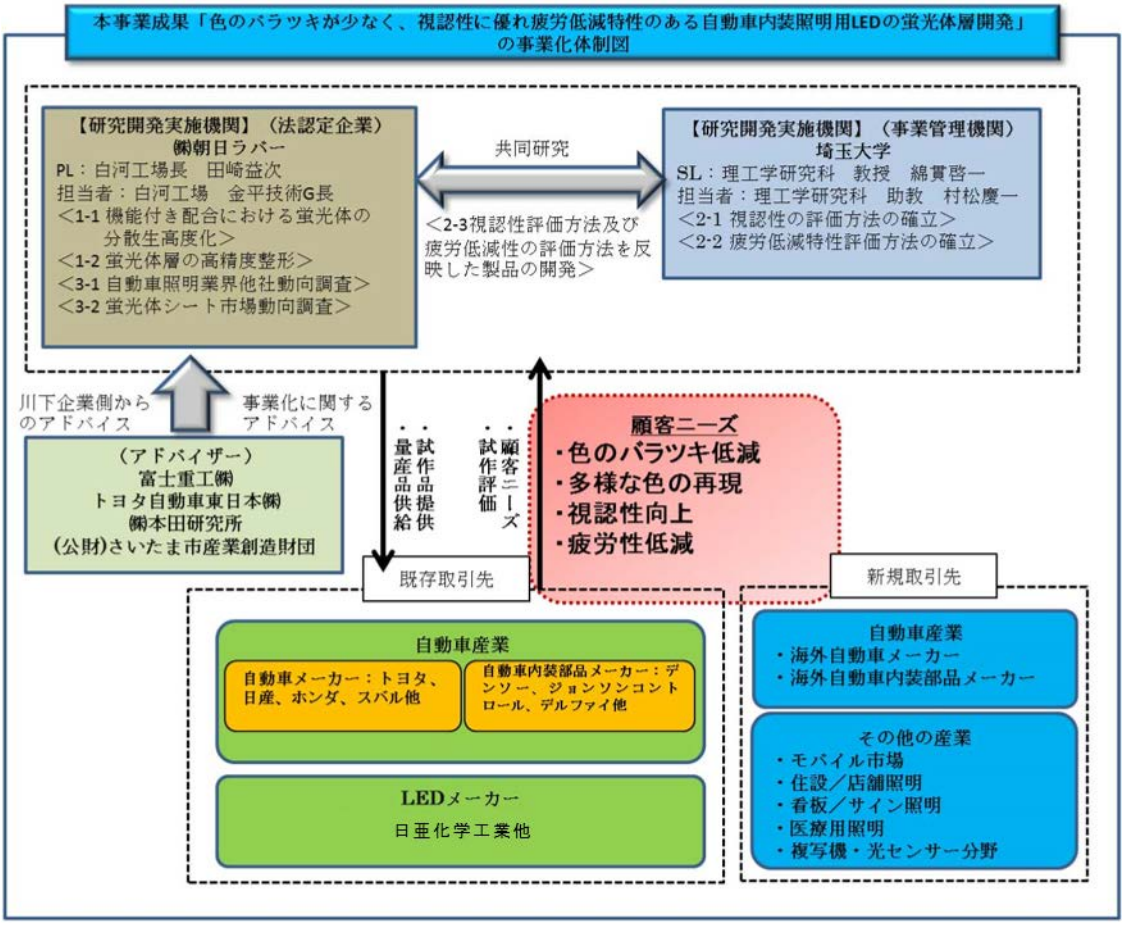
【3-1】自動車照明業界他社動向調査

自動車照明用 LED の蛍光体層として使用し、自動車メーカーに採用を働きかける。海外自動車メーカーにも積極的に採用を働きかける。

【3-2】蛍光体シート市場動向調査

自動車照明用途以外分野の LED 向けに、LED メーカーを中心に提案して行く。

１－２　研究体制（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者）



（研究者氏名）

氏名	所属・役職	実施項目
田崎　益次	株式会社朝日ラバー 管理本部 取締役本部長	１－１ １－２ ２－３
金平　隆史	株式会社朝日ラバー 営業本部 営業１部 課長	
石黒　英治	株式会社朝日ラバー 白河工場 技術１グループ 課長	
橋本　健志	株式会社朝日ラバー 白河工場 技術２グループ 班長	
五十嵐　直人	株式会社朝日ラバー 白河工場 技術２グループ 主任	
橋本　徹也	株式会社朝日ラバー 白河工場 技術２グループ	
増子　直也	株式会社朝日ラバー 白河工場 技術１グループ	
川口　武	株式会社朝日ラバー 白河工場 技術１グループ	
折笠　陽一	株式会社朝日ラバー 白河工場 技術１グループ 係長	
穂積　秀明	株式会社朝日ラバー 白河工場 技術１グループ 班長	
綿貫　啓一	国立大学法人埼玉大学 大学院理工学研究科 教授	２－１ ２－２ ２－３
村松　慶一	国立大学法人埼玉大学 大学院理工学研究科 助教	

（アドバイザー）

氏名	所属・役職	具体的な協力内容
天笠 義則 氏	富士重工業株式会社 スバル技術本部 技術開発部 主幹	川下企業側からのアドバイス
川村 洋一 氏	トヨタ自動車東日本株式会社 開発企画部 GM	川下企業側からのアドバイス
藤井 聡 氏	株式会社本田技術研究所 四輪Ｒ＆Ｄセンター デザイン開発室 Ｏスタジオ 研究員	川下企業側からのアドバイス
古河 宏一 氏	公益財団法人さいたま市産業創造財団 産学コーディネーター	事業化に関するアドバイス
丸山 修司 氏	公益財団法人さいたま市産業創造財団 ターンアラウンドマネージャー	事業化に関するアドバイス

１－３　成果概要

サブテーマ１　蛍光体層の色調ばらつきの低減
【1-1】機能付加配合における蛍光体の分散性高度化
【1-2】蛍光体層の高精度成形
　サブテーマ１では、蛍光体層内の色調バラツキを低減する為に必要な層の成形精度向上と材料内の蛍光体の分散性高度化に向け必要な加工設備や分析設備を導入し、計画通り研究開発を進め、評価を行うことにより、蛍光体層内の色度バラツキの低減ができた。また、蛍光体層の膜厚をコントロールでき、高精度成形も可能となった。
　蛍光体層内の色度バラツキを低減することによって、高品質で他社との差別化が図れる製品を提案可能となった。

サブテーマ２　視認性・疲労低減特性を持った配合の実現
【2-1】視認性の評価方法の確立
【2-2】疲労低減特性の評価方法の確立
【2-3】視認性評価方法および疲労低減特性の評価方法を反映した製品の開発
　視認性および疲労低減の機能に寄与する蛍光体層の数値化に向けて、生理指標の計測実験を行うとともに統計的な手法による解析と機械学習の手法による視認性と疲労低減特性を推定するモデルの構築を行った。その結果、計画通りに研究開発を進めることで、LED光源を呈示刺激として視認性および疲労低減の評価に用いる生理指標を取得し、モデルの構築を行うことができた。【2-1】視認性と【2-2】疲労低減特性の推定精度はそれぞれ88.8%と 87.8%であった。また、それらの知見を製品開発に携わる技術者と共有し製品開発にフィードバックするためのアプリケーションを開発した。これにより、開発の過程で視認性および疲労低減特性の機能をシミュレーションすることができるようになった。ただし、蛍光体の配合に基づく分光分布のシミュレーションと分光分布に基づく視認性および疲労低減特性の算出は、製品開発の過程における利便性を考慮して別のアプリケーションとして実装したため、当初の目標としていたような蛍光体の配合をパラメータとした視認性および疲労低減特性の推定は実現しなかった。

サブテーマ３　販路拡大
【3-1】自動車照明業界他社動向調査
【3-2】蛍光体シート市場動向調査

サブテーマ３では、平成 30 年度以降の事業展開を視野に販路拡大の為の基礎情報として、自動車照明業界および LED 用蛍光体シート市場の競合他社の仕様・価格・シェアを調査した。

その結果、自動車業界では、色バラツキの少ない製品を望む声が引き続きある事、色バラツキ低減へのニーズだけでなく「視認性に優れ疲労低減特性のある照明」へのニーズがある事も再確認できた。

次年度以降も引き続き市場のニーズを確認する等、事業化に向けた情報収集を継続する。

１－４　当該研究開発の連絡窓口

株式会社朝日ラバー　管理本部　取締役本部長　田崎　益次
電話：048-650-6051　FAX：048-650-5201
E-mail：m-tasaki@asahi-rubber.co.jp

第２章　本論

１　蛍光体層の色調ばらつきの低減

（技術的課題）

自動車メーカー/自動車内装部品メーカーは、自動車の付加価値向上のため光源となるLED に色バラツキを少なくする事を求めている。LED の色バラツキを少なくするには、LED チップの分類とチップの特性に合わせて調整された蛍光体層を組み合わせる事で低減する事が出来る。（株）朝日ラバーのアサカラーLED は、そういった技術を用いて一般的なLED に比べ色バラツキを低減する事に成功しているが、蛍光体層を高精度に成形する事が出来れば、更に精密に分類された LED チップと組み合わせる事で、LED の色バラツキを低減する事が出来る。

蛍光体層を高精度に成形するには、蛍光体を層内で均一分散する技術や高精度に層厚を成形する技術の開発が必要である。本研究開発においては、このような分散や成形に必要な、バインダー材料・分散/凝集防止剤などの選定および成形時に材料に対して成形ストレスを生じにくい、フローマークなどを生じにくい生産方法の開発が課題である。

【1-1】機能付加配合における蛍光体の分散性高度化

蛍光体はバインダーと混合した後、成形されるまでの間に材料自体の流動性が要因となって、蛍光体の粒径や比重の違いによる沈殿による層分離や凝集が発生し、分散性が損なわれる。また、成形時に材料に加えられる圧力や温度など、成形ストレスによっても凝集などが発生し、成形フローマークが発生する等、分散性が損なわれる。

加工プロセス中で発生する分散性の低下対策としては、チクソ材の添加による材料粘度の調整、蛍光体の表面処理によるバインダーとの親和性向上、加工助剤・界面活性剤などの第三成分の添加による加工ストレスの低減など原材料の配合調整があるが、分散から成形までの時間に発生する蛍光体などの沈降を防ぐには、バインダーの粘度を上げる事が効果的である。しかし粘度が高くなると、公転/自転方式の攪拌機では発熱無しに分散させる事が困難であり、分散中にバインダーが硬化してしまうといった問題が発生する。

そのため本研究開発では、分散性の高度化に取り組んだ。成形時に材料へ加わる成形ストレスについても留意し、チクソ材の添加による材料粘度の調整、蛍光体の表面処理によるバインダーとの親和性向上、加工助剤・界面活性剤などの第三成分の添加による加工ストレスの低減など原材料の配合調整による成形品への蛍光体の分散性の高度化を検証した。得られた材料特性の検証結果を考慮しつつ、さらなる添加剤の検討を進めた。

⑴ 分散性高度化設備と評価機器の導入

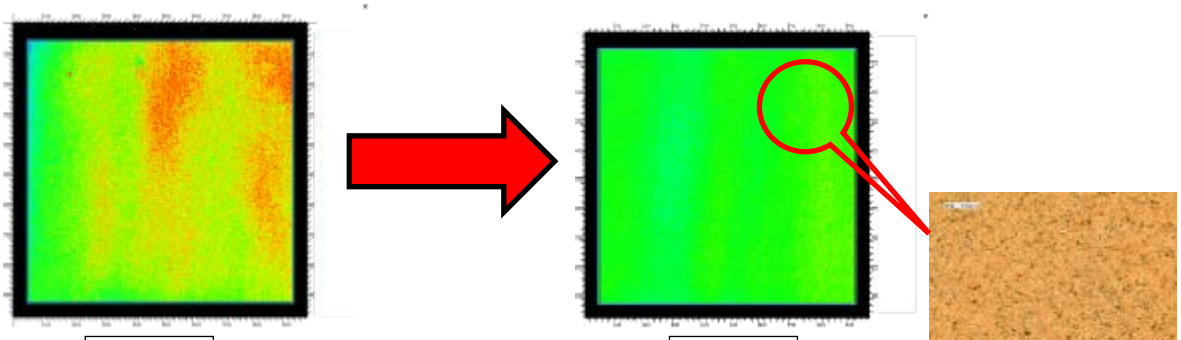
成形に使用する材料が、成形前の段階でどの程度の分散状態であるか、凝集性はどの程度なのか比較評価した。実験の結果、予備撹拌も重要である事が確認された。

また蛍光体粒子の安定性を評価し、表面処理効果の特性を確認した。

⑵ 分散性高度化と成形ストレスの影響研究

分散条件の違いによって生じる分散性や凝集性の検証や成形条件によって材料に加わるストレスと蛍光体分散の見極めを行った。

分散性向上の検討のため、第三成分として添加剤を加え材料特性を変化させた際の分散状態や、成形条件による分散状態を確認し、短時間で広い面積に対し評価する評価方法を確立した。



成形条件等の検討により成形し得られた蛍光体層内の粒子分散状態や蛍光体層内の分散度を及び色度バラツキを短時間で評価できる定量化方法を確立した。

最適条件にて量産を想定した成形を実施し、その時の分散性の確認を行った。その結果、技術的目標値である蛍光体層内の分散度目標値を達成した。

【1-2】蛍光体層の高精度成形

蛍光体層の色バラツキは、層内の蛍光体濃度のバラツキと厚みが影響するため、蛍光体層の成形では厚みの精度が重要になる。

また蛍光体層の色調を安定的に再現するには、材料ロットの違いなどで生じる蛍光体の発光特性の違いに対し配合の微調整が必要となり、またそれによって生じる粘度や蛍光体の粒径・比重などの材料特性の変化に応じて、成形条件の微調整が必要となる。配合によっては、粘度などの材料特性が材料加工中の圧力や熱によって変化する事があり、成形途中で条件の微調整が必要になる事もある。

成形条件によっては材料内の蛍光体が成形の途中で凝集などを起こす事が考えられるため、蛍光体の分散性にも注意しながら材料特性に応じて成形条件を変え、層厚を安定させる工法の確立が必要である。本研究開発では成形設備として、運転中に成形条件の変更が可能な高精度成形設備による加工を考えた。

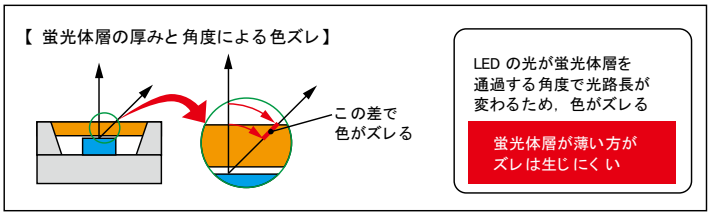
(1) 高精度成形設備と評価機器の導入

高精度成形設備と評価装置を導入し、従来品の色バラツキや品質上 NG となる膜厚を確認した。成形設備については既存品と同じ材料で成形を行い、材料特性に合わせた改造が必要な事を確認した。成形条件変更などによる、蛍光体層内の蛍光体粒子の状態を確認し条件毎の分散性の評価を行った。

(2) 高精度成形のための材料特性と成形条件の研究

材料特性と成形条件の最適な組み合わせを検証するとともに、自動車内装照明用ＬＥＤへの蛍光体層の応用検討、量産設備に必要な条件の見極めを行った。

層を精度良く成形するためには設備内でリアルタイムに分散性や膜厚の確認ができる様にするためのセンサを取り付けることが必要になると考えた。そのため、成形条件の解析を行うとともに、設備に各種センサ取り付けなどの改造を実施した。層厚については、LED メーカーの要望や使用する蛍光体の粒径を考



慮しつつ、蛍光体層の厚みが原因で生じる角度による色ズレを低減するため、出来るだけ薄い方向での成形を目指した。

蛍光体層の成形設備として導入した設備の改造を実施し、設備動作の更なる安定化を図り、その時の運転状態を確認し、最適な成形条件について試験評価した。

導入した成形設備の動作確認等で、改善点を抽出して設備改造を実施することにより、蛍光体層の膜厚目標値を達成した。

さらに、色度バラツキも解消する場合では、更なる層厚調整が必要になることを確認できた。

自動車内装照明用 LED への蛍光体層応用については、LED メーカーへ蛍光体層を部材支給という流れを検討している。量産設備条件としては、今回導入した設備と同タイプの設備もしくは、生産スケールが増加する同工法の設備が挙げられ、検討した成形条件も反映が可能と見極められている。

2　視認性・疲労低減特性を持った配合の実現

（技術的課題）

自動車メーカーからは、内装照明に対する新たな付加価値として、デザインの自由度を犠牲にする事なく、各種操作部位の視認性の向上や運転時の疲労低減に寄与する分光分布を持った照明光を求められている。視認性や疲労低減に寄与する光の波長がどの様な物か解れば、自動車メーカーに新たな機能性を持った自動車内装用照明光源を提案ができる。これを実現するためには、蛍光体層の特性を定量化する必要がある。具体的には、視認性および疲労低減の機能に寄与する光源特性の数値化である。視認性と疲労低減との関係は不明確であり、客観的な指標に基づく信頼性の高い学術的な検証が求められる。特に、自覚症状の報告によらない生体情報による評価方法の確立が課題である。

【2-1】視認性の評価方法の確立

LED光源を提示刺激とした生理指標の計測実験を行い、視認性を客観的に評価する方法を開発する。

（1）視認性の計測実験

まず、生理指標の計測実験に用いる計測装置を導入し予備的な実験を実施した。この予備実験では発光するLEDに対する人間の反応として脳血流、心電、呼吸、発汗、皮膚温などの生理指標の計測を行った。実験刺激として分光特性の異なるLEDを用いた。その結果、視認性の評価に用いる生理指標として脳血流の変化が有効であることを確認した。

次に、有彩色ＬＥＤ光源を用いた文字表示に対する評価実験を行った。本実験の目的は、色の違いによる視認性の違いを明らかにすることである。実験刺激として用いたLED光源は、青、緑、黄、橙、赤および基準としての白色である。実験に用いたLED光源を用いた文字表示とは図1に示すようなガラス板の背面からLED光源を照射したものである。実験の参加者は、暗室で発光した文章を10分間の黙読を行う課題の後に、視認性に関する主観評価アンケートに回答した。アンケートは文字が見やすかったかどうかを5段階で回答するものである。また、課題の最中には近赤外光脳機能イメージング装置（Near-infrared spectroscopy：NIRS）を用いて脳血流の変化を計測した。具体的には、NIRSで測定可能な酸素化ヘモグロビンの変化量を脳賦活反応の指標とした。また、それぞれのLED光源の輝度は30 cd/m^2（±5 %）とした。参加者は、健康な20代の男性10名である。その結果、白色が最も視認性が高く、青色で最も視認性が低い傾向がみられた。このような傾向がみられたのは、背景色が黒色であり、LEDの色度との色差が白色で大きく、青色で小さいからだと考えられる。

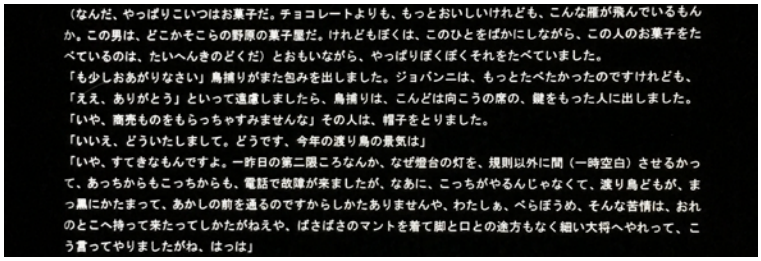


図1. ガラス板の背面からLEDを発光した文字表示

さらに、白色ＬＥＤ光源を用いた文字表示に対する評価実験を行った。本実験の目的は、分光分布による視認性の違いを明らかにすることである。実験刺激として用いたLED光源は、分光分布の異なった白色である。市販の白色、開発した二つの白色（高演色、高演色改良、それぞれ青、緑、黄、赤の色味がかった白色の計7色である。青、緑、黄、赤の色味がかった白色は単体で呈示されると白色として認識されることをあらかじめ確認している。市販の白色以外のLEDは朝日ラバーによって新しく製作されたものである。基準となる市販の白色との比較を行うために、1試行目に市販の白色を用いて計測を行い、2試行目にその他6種類のLEDのうち1つを用いて計測を行った。参加者は実験日を変えてこれらの試行を繰り返し行い、計6組合せの実験を行った。その他の実験条件は有彩色LED光源を用いた文字表示に対する評価実験と同様であり、参加者はガラス板の背面からLEDを発光した文字表示を暗室で黙読する課題を行った。参加者は健康な20代の10名である。ただし、高演色の白色については20代から50代の15名を対象とした追加実験を行った。その結果、有彩色LEDの場合と同様にすべての白色と視認性が高い傾向が明らかになった。

⑵ 視認性の推定モデル

脳血流の変化に関する生理指標（Oxy-Hb）から対象とするLEDの視認性を推定するモデルを構築した。推定には畳み込みニューラルネットワーク（CNN）を用いた。CNNは、主に画像認識に利用される深層学習アルゴリズムである。CNNでは、畳み込み層とプーリング層で画像の特徴量を抽出してからニューラルネットワーク層で学習を行う。畳み込み層はカーネルをずらしながらフィルタリングし、プーリング層はカーネルの中から代表値を取り出す。ニューラルネットワーク層は人間の脳細胞であるニューロンをモデル化したネットワークであり、出力の誤差を逆伝播して最適化することで学習を行い、入力を分類する未知の関数を導き出す。学習には、先の評価実験で得られたのべ25名分の計測データを使用した。CNNによって分類されるカテゴリとして、文字の見やすさの項目から、基準白色と比べて1.見にくい、2.見やすい、3.変化なしとした。CNNに入力するデータは上記の計測データのうち後半の5分間のデータを使用し、ここから1分間のデータを切り出したものを1サンプルとした。

2層の1次元畳み込み層および3層のニューラルネットワーク層からなるCNNを用いてデータの学習を行った。活性化関数にはReLU、学習の安定化と過学習の対策として、一部のユニットを非活性にするDropoutを適応し、最適化手法にはAdam法を用いた。学習はバッチサイズ100の学習世代200まで行った。学習では、未知のデータへの推定精度を算出するため、入力データのうちランダムで80%を訓練、20%を検証に使用した。さらに、組み合わせによる精度のばらつきを取り除くために、学習を10回繰り返して結果を加算平均化して評価した。学習の結果、視認性推定モデルの推定精度は88.8%となった。

【2-2】疲労低減特性の評価方法の確立

LED光源を提示刺激とした生理指標の計測実験を行い、疲労低減特性（ユーザの疲労）を客観的に評価する方法を開発する。

⑴ 疲労低減特性性の計測実験

前述の【2-1】と同様に予備的な実験を行った後に、有彩色および白色ＬＥＤ光源を用いた文字表示に対する評価実験を行った。ただし、疲労に関する主観評価アンケートとして、眼精疲労自覚症状項目および自覚症しらべを用いた。前者としては、「新装産業疲労ハンドブック」[1]から視覚疲労と関連があるとされる15項目を用い、7段階で評価しそれらの実験前後の合計スコアの差分を用いて疲労を評価した。後者としては、自覚症しらべ[2]の25項目を用いて5段階で評価した。これら25項目は「ねむけ感」、「不安定感」、「不快感」、「だるさ感」、「ぼやけ感」の5群に分類される。本実験ではその中から「ぼやけ感」における実験前後のスコアの差分を指標として用いた。また、疲労を評価する生理指標として、フリッカー値の計測も行った。フリッカー値とは光の点滅の融合閾またはチラツキ閾のことであり、精神疲労を評価する指標である[3]。疲労すると疲労前と比較してその値が減少することが知られている。本研究では、実験前後に融合閾とチラツキ閾をそれぞれ3回ずつ計6回測定した値の平均値を算出し、実験前後の差分を指標として用いた。その他の実験条件は前述の【2-1】と同様である。

有彩色ＬＥＤ光源を用いた文字表示に対する評価実験について、次の結果が得られた。眼精疲労自覚症状項目および自覚症しらべにおける「ぼやけ感」の結果から、特に青色と黄色のスコアが高く、緑色のスコアが低くなる傾向がみられた。一方、フリッカー値の結果から、特に黄色と白色で疲労が大きい傾向がみられた。また、脳血流の変化については疲労が起こると疲労前と比較して前頭前野の脳賦活反応が低下する[4]という知見に基づいて、青色と黄色において疲労が大きく、緑色において疲労が小さい傾向が明らかになった。

白色ＬＥＤ光源を用いた文字表示に対する評価実験について、市販の白色を基準としてその他の6種類のLEDとの差分を算出することによって、6種類のLEDが基準の白色に対してどの程度の疲労であるかを評価した。眼精疲労自覚症状項目では、特に青および黄の色味がかった白色でスコアが高く、緑および赤の色味がかった白色でスコアが低くなる傾向がみられた。また、自覚症しらべにおける「ぼやけ感」においては特に高演色の白色でスコアが高く、その他ではスコアが低下する傾向がみられた。フリッカー値では特に高演色の白色で疲労が大きい傾向がみられ、青および緑の色味がかった白色では疲労が小さくなる傾向がみられた。脳血流の変化について高演色の白色で疲労が大きくなる傾向がみられ、改良した高演色の白色および、緑の色味がかった白色において疲労が小さくなる傾向がみられた。

⑵ 疲労低減特性の推定モデル

視認性の推定モデルと同様に、脳血流の変化に関する生理指標（Oxy-Hb）から実験参加者の疲労を推定するモデルを構築した。推定には畳み込みニューラルネットワーク（CNN）を用い、先の評価実験で得られたのべ25名分の計測データを使用して学習を行った。CNNによって分類されるカテゴリとして、主観評価アンケートから得られた眼精疲労より、基準白色と比較して1.疲労傾向あり、2.疲労傾向なし、3.変化無しとした。先のモデルと同様に、CNNに入力するデータは上記の計測データのうち後半の5分間のデータを使用し、ここから1分間のデータを切り出したものを1サンプルとした。

2層の1次元畳み込み層および3層のニューラルネットワーク層からなるCNNを用いてデータの学習を行った。学習のパラメータと検証方法は視認性の推定モデルと同様である。学習の結果、疲労推定モデルの推定精度は87.8%となった。

【2-3】視認性評価方法および疲労低減特性の評価方法を反映した製品の開発

先述の【2-1】および【2-2】で構築した各特性の推定モデルでは、脳血流の変化に関する生理指標を入力としている。製品開発へのフィードバックを行うシミュレーションにおいては蛍光体の配合と関連づける必要がある。そこで、入力パラメータとして適切な蛍光体の配合について検討を行った。その上で、蛍光体の配合とそれによって得られる分光分布の関係を定量的にモデル化し、シミュレーションを行うツールを作成した。さらに、先述の【2-1】および【2-2】で実施した実験結果および推定モデルに基づいて、分光分布のデータから視認性および疲労低減特性を推定するアプリケーションを開発した。アプリケーションのスクリーンショットを図2に示す。

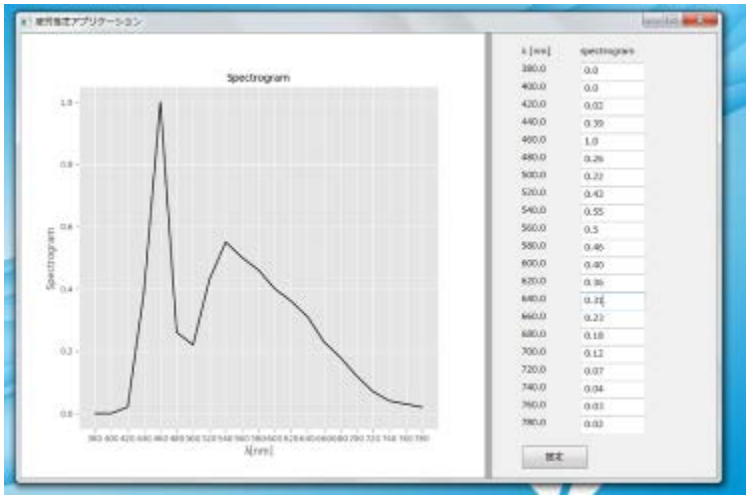


図2. アプリケーションのスクリーンショット

このアプリケーションは蛍光体の配合に対応する分光分布を入力することによって、視認性および疲労低減特性の有無を算出するものである。これによって、生体情報の計測実験で得られた知見を容易に利用することが可能となり、視認性および疲労低減特性の機能を開発の過程で評価することが可能となった。今後は、さらに多くの種類の分光分布について生体情報の計測実験を行うことで、シミュレーションツールの信頼性が高まると考えられる。

文献：

[1] 日本産業衛生学会・産業疲労研究会，”新装産業疲労ハンドブック”（1995），pp. 362-363

[2] 産業疲労研究会，自覚症しらべ(http://square.umin.ac.jp/of/jikakusyou-sirabe2.pdf)（2018/02/09アクセス）

[3] Simonson E.，“Measurements of fusion frequency of flicker as a test of fatigue of the central nervous system”，Journal of International Hygiene Taxicology, Vol. 23, No. 2（1941），pp. 83-89.

[4] 柏倉健一，根本彩香，”近赤外計測法を用いた精神疲労測定，認知神経科学”，Vol. 15, No.1（2013），pp.47-53.

3　販路拡大

（販路拡大への課題）

　販路拡大には海外メーカーへの納入拡大が不可欠である。海外メーカーは、色調バラツキ低減などで既存仕様品からの大幅な性能アップを求めて来ており製品性能の向上と海外顧客との接点増加が必要となっている。

　また、販路拡大の為の基礎情報として、自動車照明業界および LED 用蛍光体シート市場の競合他社の仕様・価格・シェアの調査が必要である他、本事業の成果に対するニーズ確認のため、展示会に成果物を出展・PR し市場の反応を見る事も必要である。

（取り組み及び実施内容）

【3-1】自動車照明業界他社動向調査

　海外メーカーへの対応力強化に必要な要員配置を行うと共に、本事業による色調バラツキ低減など、既存仕様品からの大幅な性能アップに取り組む。

　平成 30 年度以降の事業展開を視野に、販路拡大の為の基礎情報として、自動車照明業界および LED 用蛍光体シート市場の競合他社の仕様・価格・シェア調査を行う。

　合わせて、色バラツキの少ない LED に対するニーズと「視認性に優れ疲労低減特性のある照明」へのニーズについても、自動車関連の展示会でサポインの成果の一端を展示し、再確認を行うと共に新たな顧客の探索を実施する。

【3-2】蛍光体シート市場動向調査

　蛍光体シート市場についても、他社の仕様・価格・シェア調査や、自社製品に蛍光体層を使用した場合の市場性の検討、見込み客へのベンチマーク用サンプルの出荷を行い、平成 30 年度以降の事業展開の準備を行う。

（実施結果及び目標達成状況）

【3-1】自動車照明業界他社動向調査

　海外メーカーへの対応力強化のために、海外事業所の強化を行った。また合わせて本事業による色調バラツキ低減に取り組んだ。

　販路拡大の為の基礎情報として、自動車照明業界の競合他社の仕様・価格・シェア調査を行なった。結果、市場規模、シェア、仕様、価格共、本事業開始時の想定内だった。自動車照明業界では、中国系メーカーの市場参入により価格は下落傾向と考えられる。

　2018 年 1 月開催のオートモーティブワールド 2018 において、本事業の成果物を利用した自動車内装部品のデモ機を作製し、参考出展した。展示会及び営業活動の中で本事業の成果を顧客へ PR を行った。その結果、自動車業界では色バラツキの少ない製品を望む声が引き続きある事、色バラツキ低減へのニーズだけでなく「視認性に優れ疲労低減特性のある照明」へのニーズがある事が再確認できた。

　更に、色調バラツキの少ない製品を望む声が引き続きある中で、より実使用に近い製品出荷検の要望が見られるようになり、今後の対応の検討が必要となっている。

　次年度以降も引き続き市場のニーズを確認する等、事業化に向けた情報収集を継続する必要がある。

【3-2】蛍光体シート市場動向調査

　蛍光体シート市場の競合他社の仕様・価格・シェア調査を行なった。展示会等の調査で競合他社の蛍光体シートの出展を確認しているが、引き続き調査が必要である。

　自社製品に蛍光体層を使用した場合の市場性についても引き続き検討が必要な状況である。見込み客への対応としては、これまで事業開始時期に想定していた顧客に対し PR 活動を行う事に加え、2018 年の展示会に出展した結果、これまで PR していた顧客内の別の担当から問い合わせを受け、サンプル提供など行っている。

最終章　全体総括

（研究開発成果）
サブテーマ１
　機能付加配合の検討及び材料特性を考慮することで、成形し得られた蛍光体層内の色度バラつきを低減することが可能となった。
　蛍光体層内の蛍光体粒子の分散度を短時間で広い面積に対して定量化することを検討した。分散度の評価を行えるようになり、蛍光体層内の分散度を目標レベルでの蛍光体層成形を可能とした。
　成形設備条件等を検討し、最適な運転条件を定めることによって、蛍光体層に使用される蛍光体粒子の層厚バラツキを低減した。さらに、色度バラつき低減のために必要な層厚の見極めを行った。

サブテーマ２
　視認性及び疲労低減の機能を寄与する蛍光体層を有するLED光源の数値化に向けて、生理指標の計測実験を行うとともに、統計的な手法による解析と機械学習の手法による視認性と疲労低減特性を推定するモデルの構築をした。それにより、研究開発を進めることでLED光源を呈示刺激として視認性及び疲労低減の評価を用いる生理指標を取得し、モデルの構築を行った。また、それらの知見を製品開発に携わる技術者と共有し製品開発にフィードバックするためのアプリケーションの開発、視認性及び疲労低減特性の機能をシミュレーションすることが可能となった。市販されている白色LEDを基準とし、開発LEDとをマルチ生理計測システムを用いて得られた生体情報及びアンケートによる主観評価値を比較して評価した。

（研究開発後の課題・事業化展開）
　本研究で得られた蛍光体層サンプルを客先へ提出し、その評価結果から更なる改良が必要になるかの見極め及び、市場が要求する機能や品質、価格に対応が可能かの判断が必要となる。視認性及び疲労低減特性を有するLED光源のより多くのデータ収集と知見の蓄積によって、更に精度の高いシミュレーションの実現が課題となっていく。

〇想定する市場の現状と今後の動向
①自動車内装照明向け車載LED
　台湾LEDinsideの予測によると、自動車用LEDの市場規模は2017年に28億1700万ドル(約2800億円)に達する見込みである。2011年の日本政策投資銀行の2015年の予測では2400億円程度であり、おおよそ予想に沿った成長を示している。
　自動車用LEDの金額的な主軸はヘッドライト用途と見られ2000億円程度と予測される。自動車内装照明のLED市場は2017年度に日系メーカー向けで300～400億円程度と見られる。
　自動車内装照明で使用されるLEDは、電球からの切換えと、赤や緑・オレンジ色といった単色系から、室内の高級感を演出しやすい白色系LEDに徐々に切り替わっており。また加飾照明といわれる内装照明が増えており、自動車内装照明向けLEDの市場は今後も緩やかに増加すると考えられる。
　海外でも国内同様に自動車の内装照明は白色化が進むと共に、新たなLEDの用途として加飾照明の採用が進んでおり、また室内の色バラツキに対する要求も日本車に遅れながらも厳しくなって来ている。朝日ラバーのLEDも日系の内装部品メーカーを経て海外の自動車メーカーに採用される事が増えてきている。

②LEDメーカー向け蛍光体シート
　LEDメーカー向けの蛍光体シートは、LEDの色バラツキ低減に効果的な部品として認知

され始めたが、参入企業の増加やコスト競争が激しくなっており、また顧客による内製化検討もあって顧客の希望単価は下がる傾向にある。
　2018 年 1 月の展示会の後、一部の顧客に評価用のサンプルを無償貸与している。

〇販売促進戦略
①自動車内装照明向け車載 LED
　本研究開発で開発された蛍光体層を車載内装照明用 LED の部材として自社製品に搭載し販売する。本事業は、既存取引先である自動車メーカーや LED メーカーからのニーズである「色のバラツキが少なく、視認性に優れ疲労低減特性のある自動車内装照明」の実現に応える LED を供給する事業であり、最初は高級車種の採用をターゲットとしている。
　次に、視認性向上と疲労性低減特性の LED により運転の安全性を訴求することで、高級車種から低価格帯の車種まで幅広い車種での採用を狙っている。
　海外自動車メーカーの開拓については、引き合いのある自動車メーカーとの取引実績による信頼性向上と会社の認知度向上を図り、他の自動車メーカーへの営業を展開していく。
　平成 30 年度にはサンプル出荷を始め、平成 31 年度には開発品の生産量を通常の内装照明用 LED の生産量を引き上げる事を目指す計画は今の所変更していない。自動車メーカー、自動車内装部品メーカーを見込み客として想定する。
　海外展開と新たなターゲット市場への事業展開については、さいたま市産業創造財団等と連携していく。さいたま市では、ドイツバイエルン州の産業クラスターとビジネス協力に関する覚書を締結しており、様々な分野のドイツ企業を開拓しやすい環境にある。また、さいたま市産業創造財団とオープンイノベーションを推進する㈱ナインシグマ･ジャパンが連携し、各分野の国内外の大手企業と市内企業との技術マッチング・商談会が実施されており、これらの機会も活用し販売促進していく事としている。

②LED メーカー向け蛍光体シート
　この市場では顧客自身の内製化や競合他社の出現があるため、製品の性能での差別化が期待される。本事業の成果を用いて製品の差別化が出来れば、販売数量も単価も伸ばして行く事ができると考えられ、本事業の成果が望まれる。