

自然を模擬するライティング技術

Lighting Technology Mimicking Nature

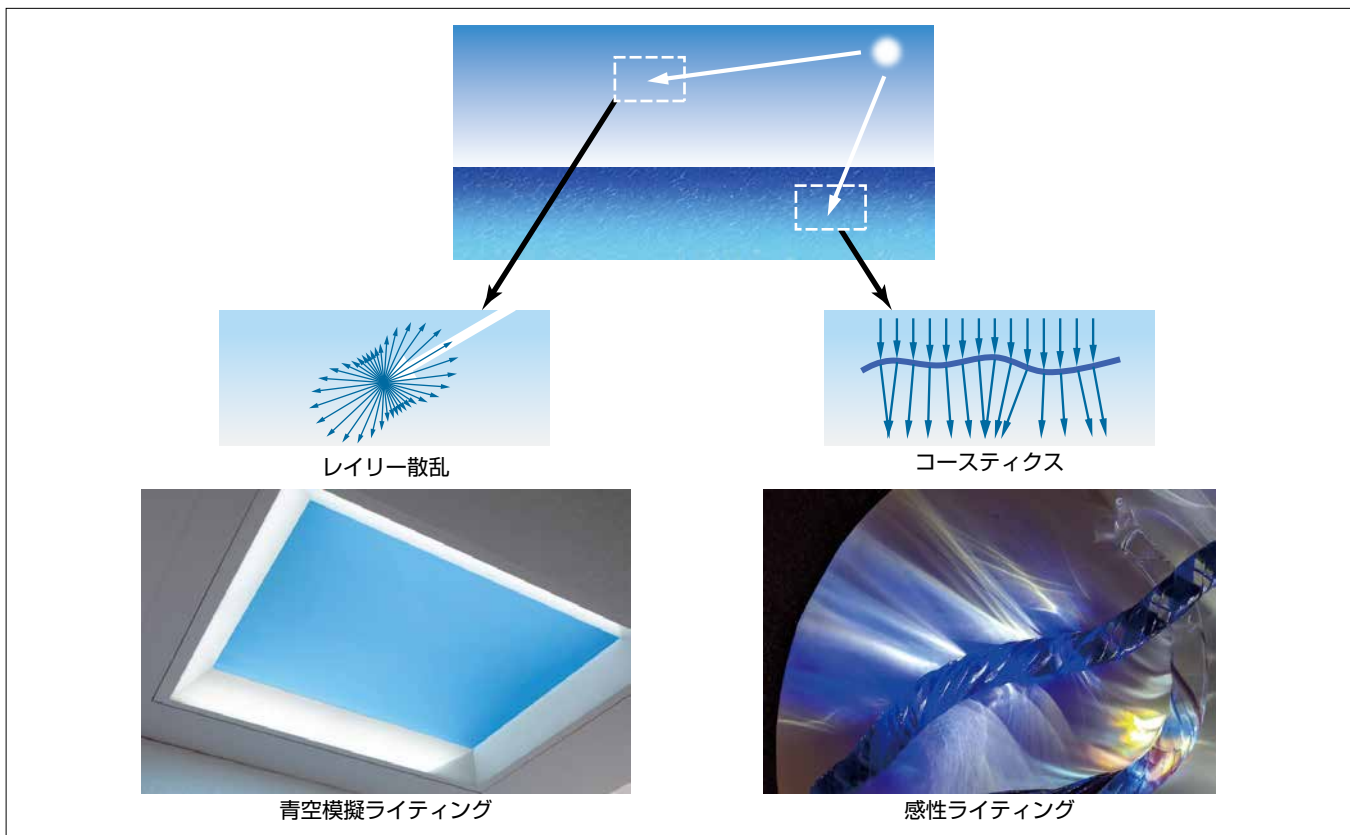
要 旨

近年、WELL認証や健康経営への関心の高まりなどから、省エネルギー等の性能面に加えて、快適性や健康性の向上といった新たな価値が照明に求められている。人類は太古から自然環境の中で生活してきたことから、自然に対して人は本質的に快適性を感じるとされている。一方で、現代人は屋内で過ごす時間が多く、自然に触れる機会が減っている。そこで三菱電機は、自然現象を人工的に再現することで人々に快適性を提供するため、自然を模擬するライティング技術を開発した。

地球に到達する太陽光が大気中の微粒子でレイリー散乱されることによって空が青く見える。この現象を用いて奥行き感のある自然な青空を再現するのが青空模擬ライティングである。これによって、自然かつ解放感あふれる室

内空間を提供し、オフィスや公共施設などの快適性向上に貢献できる。照明環境の印象評価に関する被験者実験では、一般的なLED照明に対して青空模擬ライティングの方が有意に好ましいアンケート結果が得られた。また、睡眠の質が向上する傾向も得られている。

レイリー散乱された後の光は地上に降り注ぐ。そのうち例えば海面のような凹凸面で光が屈折・反射されて生成される明暗の特有のパターンをコースティクスという。この現象を用いて、人の感性に訴えかけるような光と影のアーティスティックなパターンを生成するのが感性ライティングである。心理評価実験では、一般的なLED照明に対して、感性ライティングの方が人の心を癒す効果や創造性を高める効果があることが示唆されている。



自然を模擬するライティング

太陽からの光が地球大気中の微粒子によってレイリー散乱されることで空が青く見える。この現象を利用して青空を再現するのが青空模擬ライティングである。レイリー散乱されて地球に降り注ぐ光は、海水面の凹凸等によって屈折・反射されてコースティクスと呼ばれる特有のパターンを生成する。この現象を利用して人の感性に訴えかけるようなアーティスティックな光のゆらぎを再現するのが感性ライティングである。これら自然を模擬するライティング技術によって、癒しや快適性といった従来の照明にはなかった新たな価値を提供する。

1. ま え が き

近年、ZEB(net Zero Energy Building)に対応した省エネルギーに加えて、WELL認証や健康経営への関心の高まり等によって、人の快適性や健康性の向上が注目されている。照明分野では、光源のLED化や発光効率の改善、入退室管理と連携した点灯制御等によってZEBへの対応が進められてきたが、今後は照明にも快適性等を向上させる新たな機能が求められ、それを実現するライティング技術の開発が重要になる。従来の施設用照明は、空間を明るく均一に照明することを基本機能として開発されてきた。一方、人間は、誕生して以来長年にわたって自然環境で生活してきたことから、自然に触れたときに理屈抜きに快適性を感じると言われている。このことをヒントに、当社は自然を模擬するライティング技術を開発した。中でも、人類を含む全ての生命の源である太陽からの光に着目した。

本稿では、太陽光が大気中の微粒子によって受けるレイリー散乱を利用した“青空模擬ライティング”と、太陽光のような平行光の屈折・反射によって生成される特有のパターンであるコースティクスを応用した“感性ライティング”について、その技術及び特長、心理的な影響や効用に関する評価実験結果について述べる。

2. 青空模擬ライティング技術

2.1 青空模擬ライティングの仕組み

青空模擬ライティングは、青空を模したパネルと発光フレームによって、開放的で奥行き感のある青空と自然な光の差し込みを表現する(図1)⁽¹⁾。地球上では、太陽光が大気中の粒子によってレイリー散乱される現象によって青空が生成される(図2左)。ここで、レイリー散乱とは、波長よりも十分小さな粒子によって、波長の短い青い光が波長の長い赤い光よりも強く散乱される現象である。そこで、太陽に相当するLED光源からの光を、大気に相当する光散乱体でレイリー散乱させることによって青空を模擬した(図2右)。



図1. 青空模擬ライティング

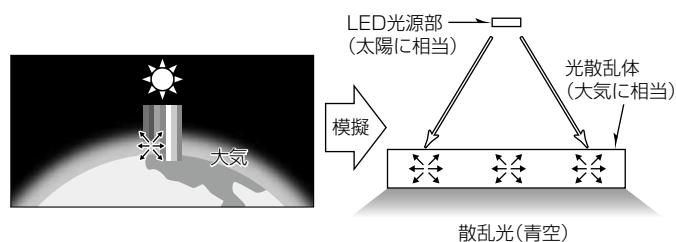


図2. 青空模擬ライティングの仕組み

2.2 青空模擬ライティングの特長

2.2.1 エッジライト方式による薄型構造

一般的な手法では、均一な青空光を得るためにLED光源と光散乱体を離して配置(図2右)することによって器具が厚型化し、設置スペースの問題から適用先が限られてしまう。よって、幅広い用途に適用するためには器具の薄型化が重要になる。そこで当社は、新たにエッジライト方式を採用することで薄型化を実現した(図3)。エッジライト方式とは、光散乱体の側面にLED光源を配置し、LED光源からの光を光散乱体内部で導光させる方式である。LED光源を光散乱体の面直方向に離して配置する必要がなく大幅な薄型化が可能になる。この方式の採用によって、一般的な埋め込み型施設用照明器具と同等の厚さ120mm以下を達成した。器具構成は、大きく分けて青空模擬パネルと発光フレームで構成される。青空模擬パネルで、LED光源からの光は光散乱体の側面から入光したのち上下面で全反射を繰り返して導光する。光散乱体には波長サイズ以下のナノ粒子が含まれており、導光中にナノ粒子でレイリー散乱された光のうち全反射条件を満たさなくなった光だけが光散乱体外部に青空光として取り出される。フレームは、青空模擬パネルの四辺を囲むように配置され、太陽光が差し込む様子を表現している。これによって奥行き感のある自然な青空を再現している。

2.2.2 時の移ろいを表現する照明の色変化

自然の空は一日の時間の流れの中でその色を変化させる。これに対応し、色温度の異なるLED光源の点灯制御によって、昼シーンだけでなく、朝/夕や夜シーンも再現

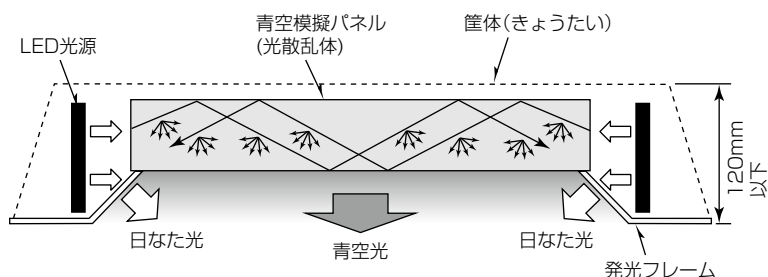


図3. エッジライト方式による薄型構造

した。時の移ろいを感じさせる色変化によって、更に自然な空を模擬することを可能にした(図4)。

2.3 青空模擬ライティングの評価実験

2.3.1 照明環境の印象評価

青空模擬ライティングが人に与える効用について被験者実験を実施した。通常照明(一般的なLED照明)だけの場合と、通常照明に加えて青空模擬照明を設置した場合で、居室空間での照明の印象についてアンケート調査を実施した(図5)。開放的、リラックス、外とのつながりなど、全ての項目で、青空模擬照明を設置した方が好印象の結果が得られた。現在、作業中のストレスや集中度など、脳波計測による感性評価も進めている。

2.3.2 睡眠への影響評価

青空模擬ライティングが睡眠の質に与える影響を被験者実験によって定量的に評価した⁽²⁾。午前9~11時の時間帯では通常照明(一般的なLED照明)下、青空模擬照明下、自然光下の三つの照明条件下で椅子に座ってのパソコン作業を、それ以外の時間は遮光制限のある室内(通常照明下)で行動させた。検査には終夜睡眠ポリグラフ装置を用いた(図6)。実験の結果、睡眠効率は“通常照明下”“青空模擬照明下”“自然光下”の順に向上し、中途覚醒割合は同じ順

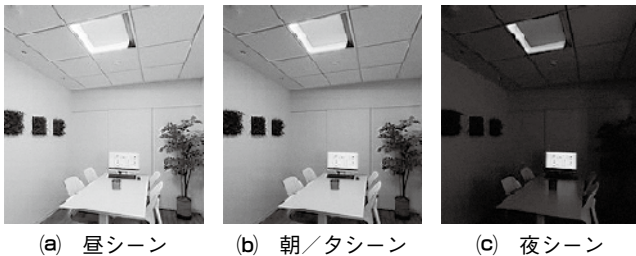
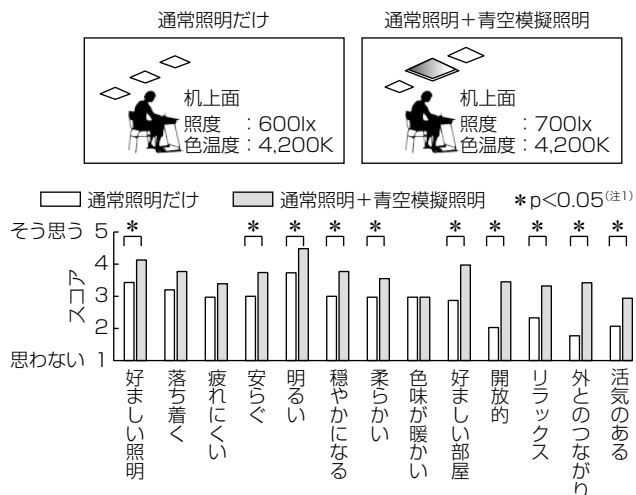
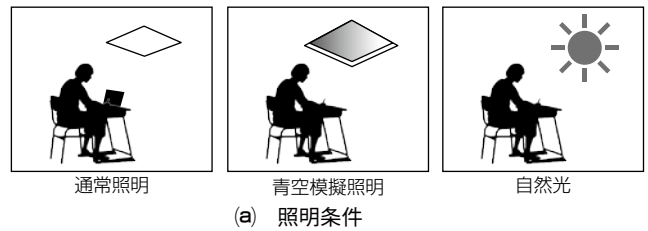


図4. 時の移ろいを表現する照明の色変化



(注1) pは有意確率で、一般に0.05以下であると統計的に有意差ありとされる。

図5. 青空模擬ライティングの印象に関するアンケート結果



被験者	男性8名(20.63±0.70歳)
1人当たりの実験時間	21時間×3回
検査測定機器	終夜睡眠ポリグラフ装置(アリスPDx, Philips社製)
照明条件	通常照明, 青空模擬照明, 自然光

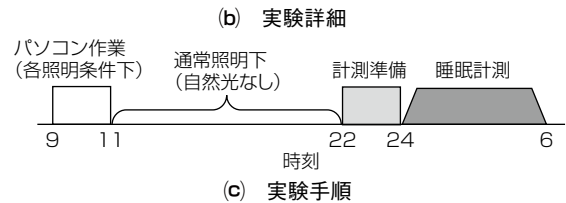


図6. 睡眠への影響評価実験

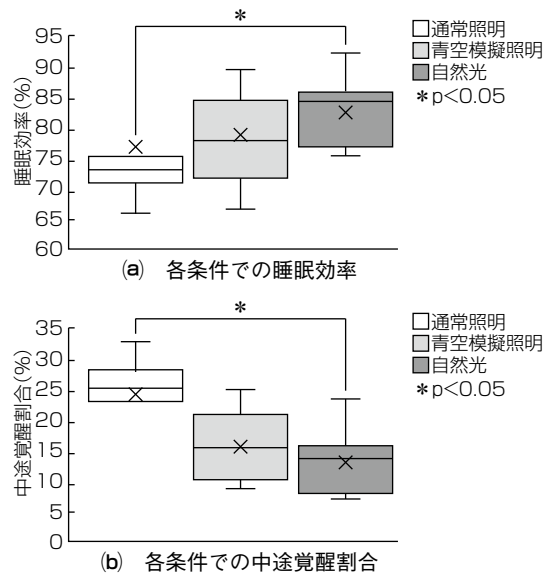


図7. 睡眠への影響に関する実験結果

に減少することが分かった(図7)。青空模擬照明では、通常照明と比較してより自然光に近い効果が得られ、睡眠の質が向上する傾向にあることが示された。

3. 感性ライティング技術

3.1 感性ライティングのコンセプト

太陽光は、地球大気でレイリー散乱を受けた後、地上に降り注ぐ。2章に述べたとおり、当社はまずレイリー散乱による青空を模擬した。次のステップとして、地上に降り注ぐ光、すなわち、木漏れ日や水面によって生成される光の明暗やそれらのゆらぎを模擬することにした。中でも、太陽と同じく生命の起源とされる海の水面などで生じるコースティクスに着目した。コースティクスは、曲面物体

等によって光が屈折・反射して生成される独特のパターンである。太陽からの平行光が海面上の凹凸で屈折されて海底にきれいな明暗のパターンが生成されるように、コースティクスは太古から自然界で日常観察されてきたものであり、青空と同様に人の感性に訴えかけて癒しを与える効果があるものと考えられる。今回、光を屈折・反射する物体としてアーティスティックなガラスオブジェクトを用い、ガラスオブジェクトとLED光源によって生成されるコースティクスを用いた感性ライティングを開発した。車載ライティング向けに開発した技術⁽³⁾を用いて太陽光を模倣する平行光を生成した。

3.2 感性ライティングのプロト機

感性ライティングのコンセプトに基づいて2種類のプロト機を製作した。プロト機1は、生け花に見立てたガラスオブジェクトに下方から照明を当てて、壁面に照明パターンを生成する(図8(a))。プロト機2は、表面に凹凸形状を持つガラスオブジェクトをテーブルに載せて側方から照明を当てて、テーブル上面に照明パターンを生成する(図8(b))。テーブルを回転させることでパターンを時間的に変化させる。水面が波打って海底の照射パターンが変化するような自然のゆらぎを感性ライティングで再現できる。

3.3 感性ライティングの評価実験

感性ライティング2種類について心理評価実験を実施した⁽⁴⁾。実験に用いた感性ライティングを図9に示す。感性ライティング1, 2はそれぞれ3.2節に述べたプロト機1, プロト機2に準じたものであるが、感性ライティング2でテーブルは静止させた。居室を模倣した空間で、通常

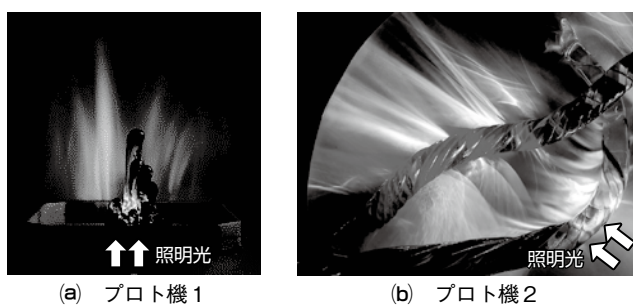


図8. 感性ライティングのプロト機

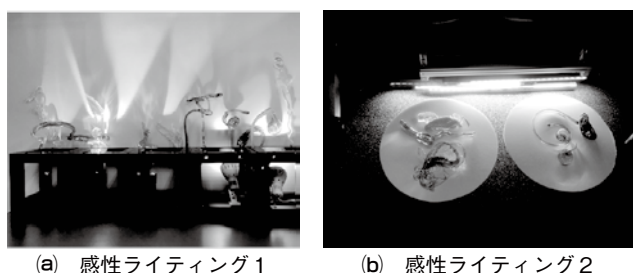


図9. 実験に用いた感性ライティング

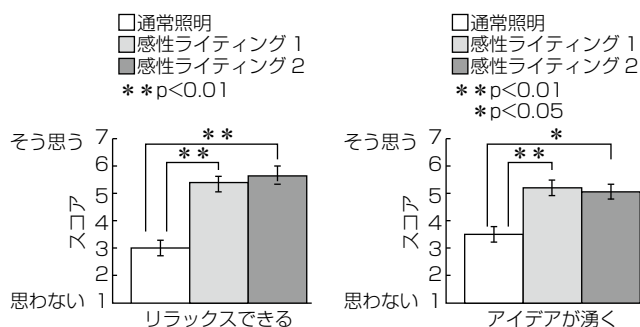


図10. 感性ライティングの印象に関するアンケート結果

照明(一般的なLED照明)、感性ライティング1、感性ライティング2に対する印象に関してアンケート調査を行った。被験者は24名(男性13名, 女性11名, 年齢20~40代)である。各被験者にそれぞれの環境で過ごしてもらった感想を7段階評価の尺度で回答してもらった。①各照明をどのように感じたか、②各照明はどのような効果があると考えるか、③各照明はどのような場面で用いるのに適しているかの三つのグループに分類される質問を行った(計19項目)。ほぼ全ての質問項目に関して、感性ライティングの方が優れているという結果が得られた。“リラックスできる”“アイデアが湧く”についての結果を示す(図10)。感性ライティングは、人の感性を癒す効果に加えて、創造性を高める効果があることを示唆している。

4. むすび

自然を模倣するライティング技術として、奥行き感のある青空を再現する青空模倣ライティングと、自然のコースティクスを模倣する感性ライティングについて、その技術や人に与える影響評価実験結果を述べた。人間は太古から自然光の下で生活してきたが、現代人は大半の時間を屋内で、すなわち室内照明下で過ごす。ウィズコロナ時代ではこの傾向が助長されると考えられるため、室内照明が人に与える影響について考慮することが重要になってくる。水や食べ物について、成分や産地を確認するなどその品質を求めるのと同じように、光にもその質が求められるであろう。今後、人の心を癒す、快適性を向上させるなど、より質の高い光の実現を目指す。

参考文献

- (1) 桑田宗晴：青空を模倣するライティング技術, Optics & Photonics Japan 2019講演予稿集, 109 (2019)
- (2) 満倉靖恵, ほか：異なる二種類の光による睡眠への影響解析, 2020年度 照明学会全国大会講演予稿集, 5-O-02 (2020)
- (3) 桑田宗晴, ほか：超小型・高機能なLEDヘッドライト用光学モジュール, 三菱電機技報, 93, No.5, 300~303 (2019)
- (4) Nakatsu, R., et al.: Evaluation of Art Lighting Combining LED Lighting and Glass Art by Psychological Experiment, Proc. of International Conference for Asia Digital Art and Design 2020, 2A-5 (2020)