

リノベーションで健康と幸福感を高める、マルチチャンネルSSLシステムーパート1

モーリー・ライト

調光可能照明やプログラム制御によって、居住空間に自然な光を届けることにより、人々の幸福感を高めることができる。二部構成のパート1となる本稿では、光に過度に敏感で睡眠の問題を抱えていた居住者のための実際の住宅リノベーションで採用された技術について説明する。

健康と幸福をもたらす照明、つまりヒューマン・セントリック・ライティング (HCL: Human Centric Lighting、人に優しい照明) という概念は、生産性の向上、さらに安らかな睡眠、治療の促進、全般的な健康維持など、多くの面で人々に好影響を与える多大な可能性を秘めている。実際、異なるスペクトルパワー分布 (SPD: Spectral Power Distribution) と相関色温度 (CCT: Correlated Color Temperature) は、人間の視覚系に好影響を与える場合も悪影響を与える場合もあり、非視覚光受容体を通して生理機能に影響を与える可能性がある。このような照明の背景にある科学や、異なる SPD と光レベルが人間に与える影響について、研究者やメーカーによる研究はまだ続行中だが、LEDを採用する調光可能なシステムに明るい未来が待ち受けていることは、ますます確かになりつつある。LEDs Magazine は、ある大掛かりな住宅リノベーション・プロジェクトで、米ケトラ社 (Ketra) 製のその種の照明システムが設置されていく過程を、実際に現場で取材する機会を得た。二部構成の第一部となる本稿では、このプロジェクトと、設置された固体照明 (SSL: Solid State Lighting) および制御の背景にある科学について解説する。続く第二部では、その新しい照

明とともに日々を過ごす居住者にもたらされた結果と影響について詳しく説明する (p.8)。

本誌はこれまでに、健康と幸福をもたらす照明や HCL に関する記事を多数取り上げてきた。それでも、人々に与える好影響を実証する決定的な医学的根拠が、照明業界に欠けていることを認識している。調光可能照明を使用して、朝早い時間には青色のスペクトルエネルギーを強化した冷色の光を供給し、夕方には青色エネルギーを抑えた暖色の光を供給することによる好ましい結果を示す事例は、確かに多数存在する。このテーマの背景については、2017年末に本誌に掲載した、商用オフィス照明の設置に関する記事を参照してほしい (<http://bit.ly/2IG5Ojd>)。照明業界は、健康や幸福感の向上を目的に調光可能照明を実験することに対し、かなり抵抗がなくなってきたように思われる。しかし本誌は常に、注意を喚起する側の役割も担いたいと思う。実際、以前取り上げたプロジェクトに携わったある照明デザイナーは、注意を喚起する記事を本誌に寄稿したことがある (<http://bit.ly/1I9Xc2d>)。

照明と健康の科学

健康に最適な光組成に関しては、正確な科学的理論というものは実は存在



図1 ダイニングエリアの制御パネル。居室者はこれを使って簡単にシーンを変更できる。その一方で、1日のうちの時間や1年のうちの時期に応じて、光環境はプログラム制御によって自動的に設定することができる。

しない。SPD、光量、時間、空間などに関連する露光については、絶えず研究されている状態にある。光が非視覚系に与える影響を特性評価するための指標についても、著名な研究者らの間で異なる概念が支持されていて、議論が続いている。

広く知られている2つの指標は、メラノピックルクス (melanopic lux) と概日刺激 (CS: Circadian Stimulus) である。メラノピックルクスは、標準の照度 (ルクス) 指標に似ているが、前者は、非視覚系の内因性光感受性網膜神

節細胞(ipRGC: intrinsically photosensitive Retinal Ganglion Cell)に対して定義されるのに対し、後者は、錐体細胞および桿体細胞と、人間の視覚系が受容するスペクトル帯域に対して定義される。CSについては本稿でもう少し詳しく説明するが、これは、概日システムを活性化させるうえでの光源の効果を定量化することを目的とした指標である。

指標をめぐる議論の詳細については、本稿の範囲を超えているので割愛する。どちらの主張も一理あり、賢明な人々によって支持されている。しかし、本稿ではCSに着目したいと思う。それに基づいてケトラ社のSSLプラットフォームのプログラムによる調光性が構築されており、また、それが米レンセラー工科大(Rensselaer Polytechnic Institute)の照明研究センター(LRC: Lighting Research Center)によって開発されたものだからである。LRCは、健康のための照明を研究する最も先進的な組織の1つである。現在LRCの所長を務めるマリアナ・フィゲイロ氏(Mariana Figueiro)は、LRCで長年にわたってLight and Health Program(光と健康プログラム)を統括してきた人物であり、ケトラ社は同プログラムのLight and Health Alliance(光と健康アライアンス)に加盟している。

フィゲイロ氏は自身の研究において、光の分光放射照度の角膜における分布を測定し、その分布をメラトニン抑制の測定値と相関させた結果を拠り所としている。フィゲイロ氏率いるチームは、多数のテストを行って収集したデータから、概日リズムに沿った光の計算値を求めた。その計算値は、その光を1時間浴びた場合の概日システムの分光感度で重み付けされている。続いてCSが、概日システムへの影響

という観点での光の有効性を表す小数値として計算される。LRCは、無料でダウンロードできるCSカリキュレータまでをも提供しており、2017年10月には同カリキュレータを更新している(<http://bit.ly/2FK0apH>)。フィゲイロ氏の研究ではさらに、1日を通した適切なCS値という形で、照明仕様に指針を与えることができる。

ケトラ社が採用する制御方針は、LRCの取り組みとCS指標に基づいている。ケトラ社のソリューションおよびサービス担当副社長を務めるトム・ハミルトン氏(Tom Hamilton)は、「LRCの研究結果を取り入れ、建造済みの環境に導入できるものに変換した」と述べた。そうして得られたのが、1日のうちの時間と、光量に関するLRCの概念に基づいて、光度とSPDを連続的に変化させるSSLシステムである。さらには、光をレイヤリングすることにより、見かけの光源の位置などの空間要素を変化させることもできる。

シーンと空間

CSを基準として、ケトラ社は、空間の使用モデルの応用例に基づいて、商用または居住空間のさまざまなエリアに取り組んでいる。住宅において、たとえばキッチンエリアとリビングや寝室では異なる照明が採用されるが、そのすべてが、CSの推奨値を指針として実装される。またそれぞれの空間において、ケトラ社のシステムの適切な仕様が、レイヤリングされた最適な光を考慮して定められる。任意の時点において、人間は、アンビエント(環境)照明、装飾照明、タスク(作業用)照明からの異なる光出力を必要とする。

ケトラ社は、人工的に照らされた空間において人々に自然な光を届けることの価値提案について、この問題をこ

れまで熟考してきた従来の照明企業よりも、おそらくメディア企業に近い見方で、捉えている。ハミルトン氏は、ケトラ社のシステムの出力を「キュレーションされたコンテンツ」と表現している。制御システムは、そのコンテンツストリームをプログラムによって24時間にわたって家中に届け、空間にいる人々からの入力を受け付けることにより、好みに合わせてその設定をさらに変更する。

ケトラ社の制御システムは一般的に、任意の空間において4つのシーンをサポートする。4つのシーンは、空間ごとに名称が異なり、動作プロファイルは大きく異なる場合がある。一般的には、ケトラ社の制御パネルの一番上は「Natural」(ナチュラル)で、最も頻繁に使用されるシーンである。図1はケトラ社の標準的な制御パネルで、本稿で取材した住宅リノベーションプロジェクトでは、ダイニングエリアに設置された。リビングやキッチンなどの共用エリア用のパネルにはそのほかに、たとえば、「Entertain」(娯楽)、「Relax」(リラクセス)、「Energize」(元気)などのシーンが含まれる。

任意の時点において、ケトラ社のシステムで制御された照明で照らされる空間では、3つのベクトルのいずれかが作用する結果として、照明のSPD、光度、空間分布(以下、照明環境と呼ぶことにする)がシステムによって生成される。1つめは、空間占有者が、壁に取り付けられたパネルかスマートフォンアプリによって、4つの設定済みシーンから1つを選択することである。2つめは、選択されたシーンに対する時系列プログラムによって、1日のうちの時間と1年のうちの時期に応じて照明環境が調整されることである。3つめは、空間占有者が、照明環境を構成



図2 同社の調光可能A形ランプを搭載する交換用電球(右下)と、従来の埋め込み型照明に取り付けられた指向性ランプ(メイン)。

する1つ以上の設定要素を上書き(無効にして手動で設定)することである。

技術スタック

以上、住宅リノベーションで設置されたシステムの基本動作について説明した。次は、基盤技術について解説する。システムを構成する主要な技術要素はすべてケトラ社が供給した。ケトラ社はSSL業界に参入したとき、照明メーカーが調光可能システムをより簡単に開発して実装できるようにするための制御技術をICの形で供給しようというのがビジネプランだった(<http://bit.ly/2FPiE8s>)。本誌では過去にさかのぼると2012年に、Light Fair Internationalの展示会場の外で初めて同社取材している。同社は当時、調光可能システム用の光を生成するためにLEDを使用できるほか、スペクトルの正確な組み合わせを確保するためのカラーセンサとして変調LEDを

使用することができると述べていた。

ケトラ社は、その当初の知的財産(IP: Intellectual Property)を今でも活用し続けているが、ビジネスモデルはシステム全体を提供する形に進化させた。ハミルトン氏によると、同社は

他社の技術要素も評価したが、システムのすべての要素を制御することによって自然な光を届けるという同社のビジョンを実現できるのは同社以外にないことがわかったという。同社は、垂直統合企業とみなすことができる。ただし、かつては垂直統合企業といえば、すべてを製造することを意味していた。たとえば、米IBM社は、マイクロプロセッサやメモリIC、ハードディスクドライブ、ディスプレイ、コンピュータを製造していた。ケトラ社は独自にLEDを製造していないが、ライトエンジンの全面的なカスタマイズに対応できる提携を確立している。つまり、知的財産の観点で、垂直統合企業であるといえる。

ケトラ社によると、ランプや照明器具の中のライトエンジンがこれまでどおり、光を生成して検知するという。検知要素によってSPDをきめ細かく制御することができ、時間が経ってLEDが古くなってもSPDが揺らぐことはない。ケトラ社は、自然な光を供給するために同社が採用するLEDとドライバのチャンネル数を定めることは



図3 リビングの制御パネルには、ケトラ社のソフトウェアを通して設定可能な標準的なシーンに加えて、白熱電球やハロゲンランプを制御できる既存の調光器が装備されている。

しない。白色点を調整可能な製品の多くが単純に、暖色 CCT と冷色 CCT の LED チャンネルを使用する。ケトラ社のシステムは色も生成できるので、間違いなくそれ以上のチャンネルが必要になる。しかし、色が変わるシステム自体が目的ではなく、LRC が算出した CS 値と、自然な光を達成するというケトラ社の理想を実現するために必要な白色 SPD を得るために、より多くのチャンネルが必要になるとケトラ社は考えている。

同社は、独自のワイヤレスネットワークも活用している。このネットワークは、(IPv6 プロトコルに基づく) ZigBee と Thread のネットワークの基盤になっているのと同じ、IEEE 802.15.4 のワイヤレスメッシュネットワークをベースとするが、ケトラ社は、同社のシステムにセキュリティやそのほかの機能を追加している。同社は、独自のネットワークゲートウェイなどの要素を供給している。ケトラ社によると、最大で1万個のノードからなるシステムを設置したことがあり、標準のネットワークスタックの機能を強化する必要があったという。

同社は照明製品として、さまざまな形状と種類の交換用 LED ランプと、いくつかの照明器具を提供している。図2において、右下に示されているのは同社の A 形電球で、メインの写真は、住宅リノベーション・プロジェクトで埋め込み型照明に組み込まれた指向性ランプ「S30」である。照明器具としては、リノベーションと新築の両方のプロジェクトに使えるダウンライト、埋め込み型とペンダント型の直線形照明器具、直線形の壁面照明器具、レール式可動照明を提供している。

ケトラ社のプラットフォームは、位相制御調光方式を採用する既存のラン

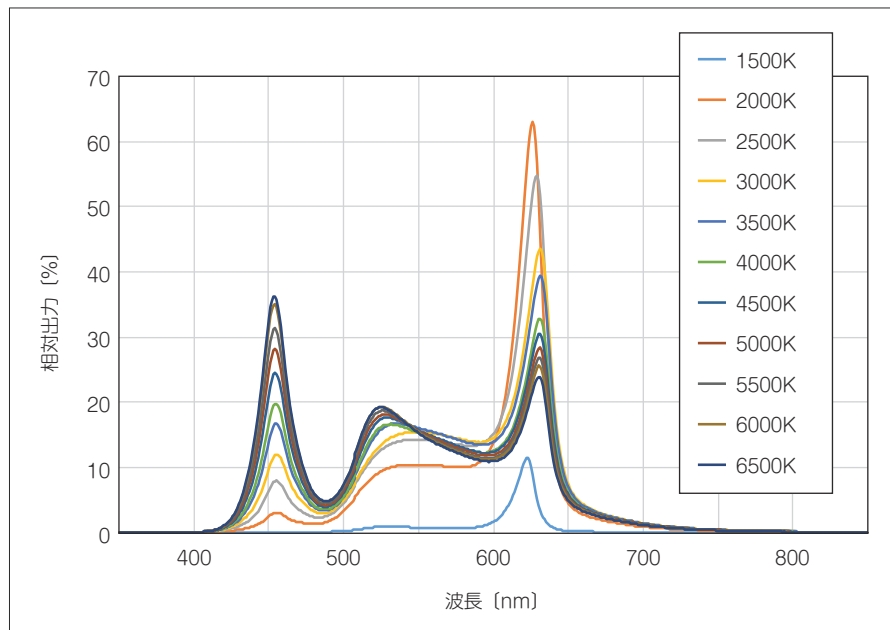


図4 このSPDグラフからわかるように、光はCCTの全範囲にわたって豊富な赤色成分を含み、高いCRIを実現する。

プにも対応する。そうした製品は、調光ではなく明るさを落とすことしかできないが、ケトラ社の制御システムは、明るさレベルを自動的に設定したり、既存の調光器をシステム設定よりも優先させたりすることができる。図3は、手動スイッチ/調光器が追加されたケトラ社のパネルで、白熱電球やハロゲンランプを制御することができる。

光品質

以上、技術スタックについて説明した。次は、生成される光の技術的側面について解説する(パート2では、空間における照明の視覚的外観について説明する予定である)。図4は、ケトラ社の照明製品をCRIが最大になるようにプログラムした場合のSPDのグラフである。このグラフは、1500K ~ 6500KのCCT範囲における光源の性能を表している。

このグラフは非常に興味深く、CCTが光出力の特性を評価するための手段として、あまり適しているとはいえない

いことを、はっきりと示している。冷色CCTの光は、青色スペクトルエネルギーが強く、赤色は含まないという話をよく耳にする。しかし、ケトラ社のマルチチャンネルシステムでは、冷色設定でも赤色エネルギーを加えて、優れた演色指数(CRI: Color Rendering Index)を実現している。また、すべての設定で、一般的な蛍光体変換白色LEDよりも青色ピークを低く抑えてSPDがより均等になるようにしている。ただし、システムの赤色チャンネルが主に光を生成することが明らかな1500Kの設定だけは例外である。

続編となるパート2にもぜひ目を通してほしい。このプロジェクトの視覚的効果、設置と試運転の様子、居住者の感想を紹介するつもりである。

本誌主催のLighting for Health and Wellbeing Conferenceでは、HCLの科学や応用分野に関するさらに詳しい情報に直に触れることができる。プログラム情報については、lightingforhealthandwellbeing.comを参照してほしい。