

ヒューマンセントリックライティングと 次世代研究照明の紹介

ケイエルバイ株式会社 営業部
栗山功一郎

1. はじめに

ヒューマンセントリックライティング（以下 HCL）という概念をご存じだろうか。

直訳すると「人間中心の照明」となり、現在アメリカ、ヨーロッパで広がりつつある概念である。人間の体の特性に合わせた、人間に優しい照明を作るという考え方であり、次世代の照明開発の重要な概念とされている。

本稿では、光のスペクトルバランスという観点から HCL の概念について説明し、またその研究の最前線で使用されている波長可変光源についてご紹介させていただく。

2. HCL とは

人間が作り出した光は白熱球から始まり、蛍光灯、LED とその姿を変えていった。その結果照明はより明るく、より長寿命で、より安価な方向へと進化を遂げている。LED によって安価で長寿命な照明が広がりつつある今、次世代照明の新しい形とは一体どんなものになるだろうか。

その答えの一つと考えられているのが HCL の概念である。ただ、人間中心の照明といわれても具体的な指標があるわけではないのでなかなか理解することは難しいが、この概念を理解するための一助となるのが太陽光である。

我々は普段蛍光灯や PC、スマホの光等様々な人口の光に囲まれているが、一説によれば人間にとって最も原始的な光とは人口光ではなく自然光、つまり太陽の光である。古来より我々は太陽の光の下で暮らし、日の出とともに起床し日が沈むと眠りにについていた。それと対照的に日中室内で過ごす人たちの多くは人口の光の下で一日の大半を過ごしている。両者の光にはどれほどの違いがあるのだろうか。

右に表示しているのは 2018 年 3 月の 12 : 40 に撮影した太陽光のスペクトル(図 1)である。すべての領域でバランスよく光が出ているのが見て取れる。次に蛍光灯の光(図 2)、と LED の白色光(図 3)を見ると太陽光とはかなり異なるスペクトルを描いているのがわかる。蛍光灯の場合は青、緑、赤の三色にピークがあり、この RGB (red, green, blue) を混ぜて白色光を作っていることが見て取れる。

LED に関しては青の光が強く出ており、赤の光の割合が少ない。よく LED の光では食肉の色がきれいに見えないという話があるが、これは照明の赤色光の割合が少ないので、肉の赤みをうまく反射できないのが原因である。肉眼で見るとこの三つの光はどれも白色光に見えるが光を構成するスペクトル情報を見ると違いがあることがわかる。

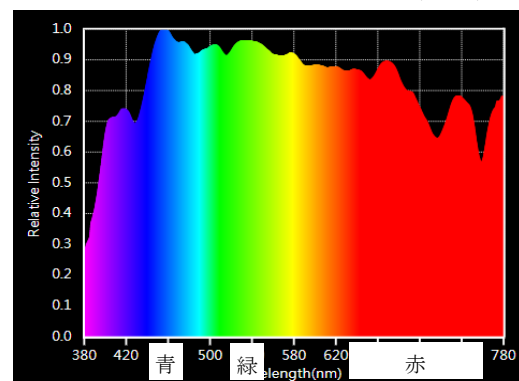


図 1 昼の太陽光

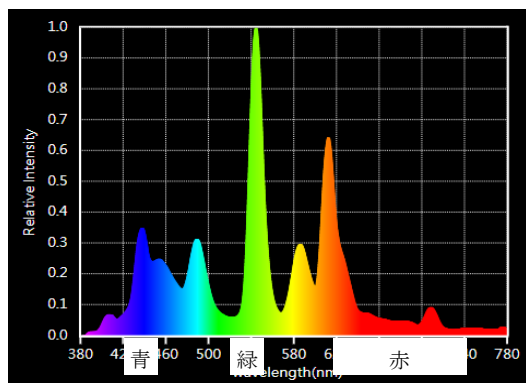


図 2 蛍光灯の光

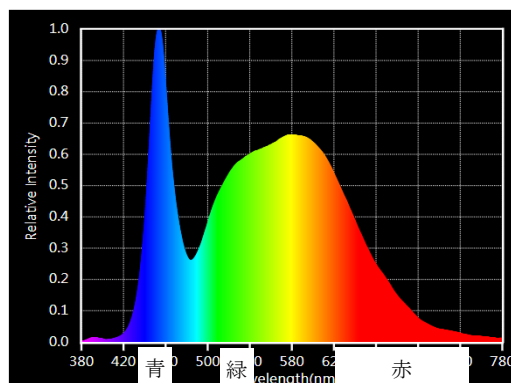


図 3 LED の光

また、昼の光と夕方の光を比較するとどうだろうか。右に表示しているのは 2018 年 3 月の 17 時の太陽光のスペクトルである(図 4)。昼の光と比べて青の光の割合が減少し、赤の光が増加している。夕日がオレンジ色に見える理由がスペクトルのバランスの変化にあるということが説明できる。太陽光が時間帯によってそのスペクトルバランスを変化していることに対して蛍光灯等の光は長期使用による劣化はあるものの基本的に光の質は変化しない。

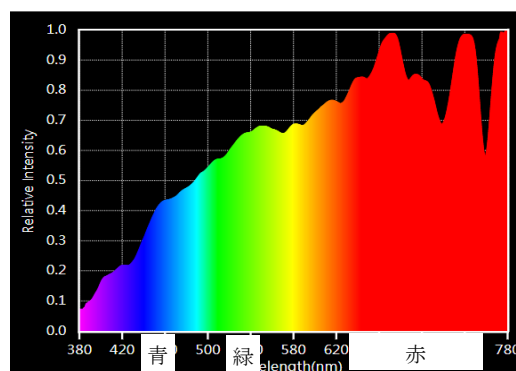


図 4 夕方の太陽光

また、時間による変化があるのは当然であるが、地域によって太陽光も微妙に変化する。例えば太陽光は日本と赤道直下、北極圏等でそれぞれ地域差があり、また富士山頂の日の出やハワイの夕日等他の地域ではなかなか見ることのできないある地域特有の光も存在する。後述する TELELUMEN 社では世界各地の光を 2 年間にわたって収集しており(図 5)、地上に降り注ぐ太陽光がかなりばらつきを持った光であることが見て取れる。

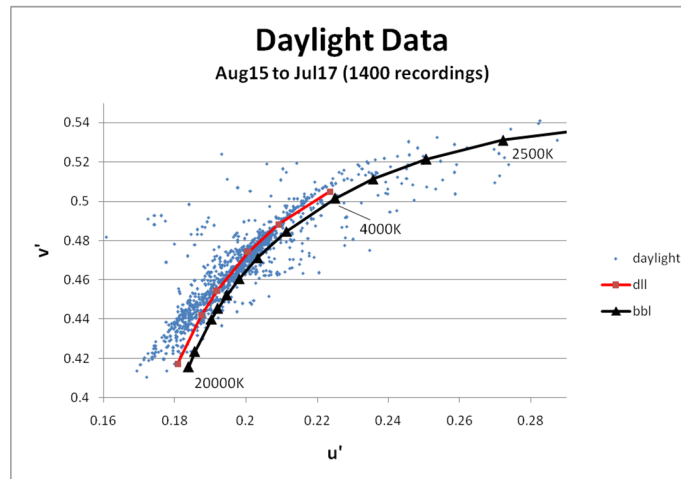
上記のことから太陽光と人工光では単に内部のスペクトルバランスの違いだけではなく、継時的な変化や地域差という部分でも違いがあることがわかる。

この太陽光のスペクトルバランスと変化を室内で再現することによって人間の生体機能が向上するのではないかという研究がある。病院での臨床実験や、24 時間/7 日間で稼働している石油のモニタールームでは上記の試みはすでに実践されており、照明のスペクトルバランスを太陽光と同じ周期で変化させることによって生産性や健康状態の向上が見られたという報告がある。

人間の本来持っている感覚に合わせた照明を使うことで、人間の持っている機能をさらに増進させようというのが HCL の考え方の一つである。これは健康の増進や生産性の向上といった目的だけではなく、もっと商業的な部分でも応用が可能である。北米繊維科学技術協会では波長可変光源を利用して様々な光を作成し、光が物の見え方に与える影響を研究している(図 6)。異なる色温度の光が物の見え方にどのような変化を与えるかを例示しており、右の箱の光は温かみがあるが多少ぼやけて見え、左の箱では逆に鮮明に物が見える。

この実験では単純に色温度を変化させたただだが、例えば内部のスペクトルバランスを変化させ、特定の色を強調して見えるようにすることで特定の製品だけを強調して見せるといった使い方も想定できる。

従来のランプや蛍光灯では難しかったこういった処理が複数色の各 LED を電氣的に制御することができる。次の項目ではこういった制御機能を持つ波長可変光源を作成しているメーカーについてご紹介させていただく。



Daylight Recording Locations

Abisko, Sweden	Melbourne, FL	Santa Monica pier, CA
Akihabara, Japan	Millbrae, CA	Saratoga, CA
Bangalore, India	Monterey Bay Aquarium, CA	Shanghai, China
Branno Island, Sweden	Mt. Hamilton, San Jose, CA	Shinagawa, Japan
Bregenz, Austria	Munich, Germany	Shinjuku, Japan
Charlotte, NC	Narita airport, Japan	Singapore
Como, Italy	Newark airport, NJ	Somerset, PA
Deep Creek, MD	Newport Beach, CA	Stockholm, Sweden
Del Garda, Italy	Orlando, FL	Styrso Island, Sweden
Denver, CO	Penang, Malaysia	Sunnyvale, CA
Gaithersburg, MD	Raleigh Durham airport, NC	Taiyuan airport, Taiwan
Garching, Germany	Saltholmen, Sweden	Various airplane windows in route
Göteborg, Sweden	San Diego, CA	Wexford, PA
Irvine NAS, CA	San Francisco airport, CA	Wilmington, NC
Kingsten, Sweden	San Francisco bay bridge, CA	Yokohama, Japan
Kuala Lumpur, Malaysia	San Jose, Giants, CA	Yosemite national park, CA
Lapland, Norway	Santa Clara, CA	

Copyright Telelumen LLC 2018 All Rights Reserved

図 5 世界 1400 箇所で撮影された太陽光のデータ

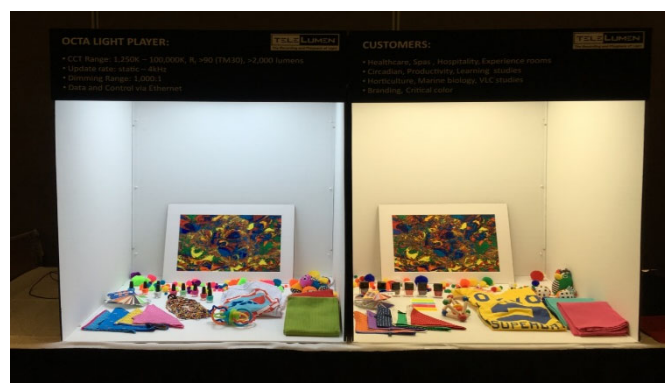


図 6 左右で色温度を変化させた時の見え方の研究

3. 波長可変光源メーカー

TELELUMEN 社は 2007 年にアメリカで創設された会社であり、波長可変光源のメーカーとして 10 年以上照明研究に携わっている。社長の Steve 氏の略歴を説明すると、大学卒業後 Hewlett Packard (以下 HP) で LED のテストの設計や開発センターの立ち上げに携わっており、HP が立ち上げた Lumileds で蛍光白色 LED に関する複数の業務を経験した。その後それまでの経歴を生かし TELELUMEN を創立した。LED 黎明期から携わった過程で「従来の LED は電球の模倣となっているが、LED の特性を生かした製品を開発したい」という思いがあり、日光やスペクトルの操作がその

重要な側面を担うとの視点から「プログラムで自在に光を出せる照明」の開発に踏み切ったのが波長可変光源の開発経緯となっている。実際に装置は照明研究者によって高い評価を受けており、アメリカでは NIST（アメリカ国立標準技術研究所）、大手照明メーカー、センサーメーカー等で使用されている。この波長可変光源が従来の光源と違う点は、単に色温度や色度座標といった指標をもとにした変化だけではなく、内部のスペクトルバランスを調整することができるといった点にある。光の色味を変えることができる光源は従来から存在するが、多くは色温度を段階的で切り替えられるといった程度の変化である。しかし、先述した通り自然光というのは非常に多彩な変化があり、且つそれらが連続的に発生する。波長可変光源では内部スペクトルを調整することで、3000-5000K への光の変化を連続的に変化させることができ、より自然光に近い環境を再現することができるようになっている。また、5000K の光を作るといった際に、実際に 5000K の光に至る解は実は一つではない。5000K を作り出すことができる光の内部のスペクトルバランスは複数存在し、そのバランスの違いによって見え方が変化することがある。

TELELUMEN 社の波長可変光源は内部に複数波長の LED を搭載し、各出力を調整することによって自在に光を作り出す装置である。主な機能としては①光の作成②光の保存③光の再生④光の記録の 4 つとなっている。以下順に説明を行う。

①光の作成に関しては自分で様々な光の性質を設定し、光を作ることができる。設定項目は「明るさ」「色温度」「Duv」「色度座標」「各スペクトルの出力」等多岐にわたりこれらをソフトウェア上で制御することとなる(図 7)。色温度を変更できる光源はほかにも存在するが、TELELUMEN 社の装置では 1400K-50000K の範囲で 1K ずつ光を設定することができるためより細かい調整ができるようになっている。

これらの設定はリアルタイムで光源側に反映され、その値はソフトウェア上に表示されるため、自分がどんな光を作っているかをリアルタイムでチェックしながら光を作成することができる。

②光の保存に関しては上記で設定した光を複数保存 PC 上、もしくは本体内部の SSD に保存しておきいつでも読み込むことができるようになっている。データは TELELUMEN 専用の形式のほかにテキストデータでの保存も可能である。

③光の再生に関しては、上記で保存した光を読み込再生することができる。また、複数の光を時系列ごとに連続で再生することも可能である。その際設定した光のフェードアップ、フェードダウンの時間を設定できるようになっており例えば一日の太陽光の継時変化等を滑らかに再現することができる(図 7)。また、フリッカーの再現機能も付いており、作成した光を高速でパルスさせることもできる。

④光の記録に関しては光源に専用の分光器を接続することが可能であり、外部光のレコーディングと保存、再生ができるようになっている。これによって例えば身の回りの光を再現することや、顧客の現在の照明環境などの特殊な照明条件を記録し再現することができる。

波長可変光源自体は TELELUMEN 社登場以前より存在しているが、従来の装置自体は大きく異なるものであった。多くはキセノン光源をベースに複数枚のフィルタを利用してスペクトルを可変させる光源装置であり、大量のフィルタを使用しなければ波長を細かく設定できないという欠点がある。またフィルタを通してしまうとどうしても光量が少なくなってしまうという欠点がある。そのため用途は限定されており、小型のサンプルを対象とした研究などで使用されてきた。本装置は複数波長の LED を足し算することによって光を作り出しているため光量を稼ぐことに成功しており、5225K で 2500lm の出力が可能となっている。1 台では間接照明程度だが、複数台合わせることによって室内照明として使うことも可能であり従来は難しかった人や生活空間を対象とした波長可変の研究が可能になっている。

TELELUMEN 社の波長可変光源の特長は①高い光量②広いダイナミックレンジ③多機能の制御用ソフトウェア④光の記録再生機能となっており、従来光源ではできなかった様々な実験を可能とする。ラインナップとしては内部に可視光の 8 波長を搭載した「Octa」、UV 領域の波長を搭載した「D65」、IR 領域の波長を搭載した「IR」タイプのほかカスタムも請け負っている。「Octa」は光を使った様々

な研究分野で使われており、「D65」機種は UV 光による物質の蛍光色を含めた見え方の実験ができるため、繊維業界や印刷、色彩研究、UV 領域に感度を持つ昆虫の視覚研究の分野で使用されている。「IR」は主に近赤外でのカメラセンサの感度やカメラのファームウェアのテストなどで使用されている。

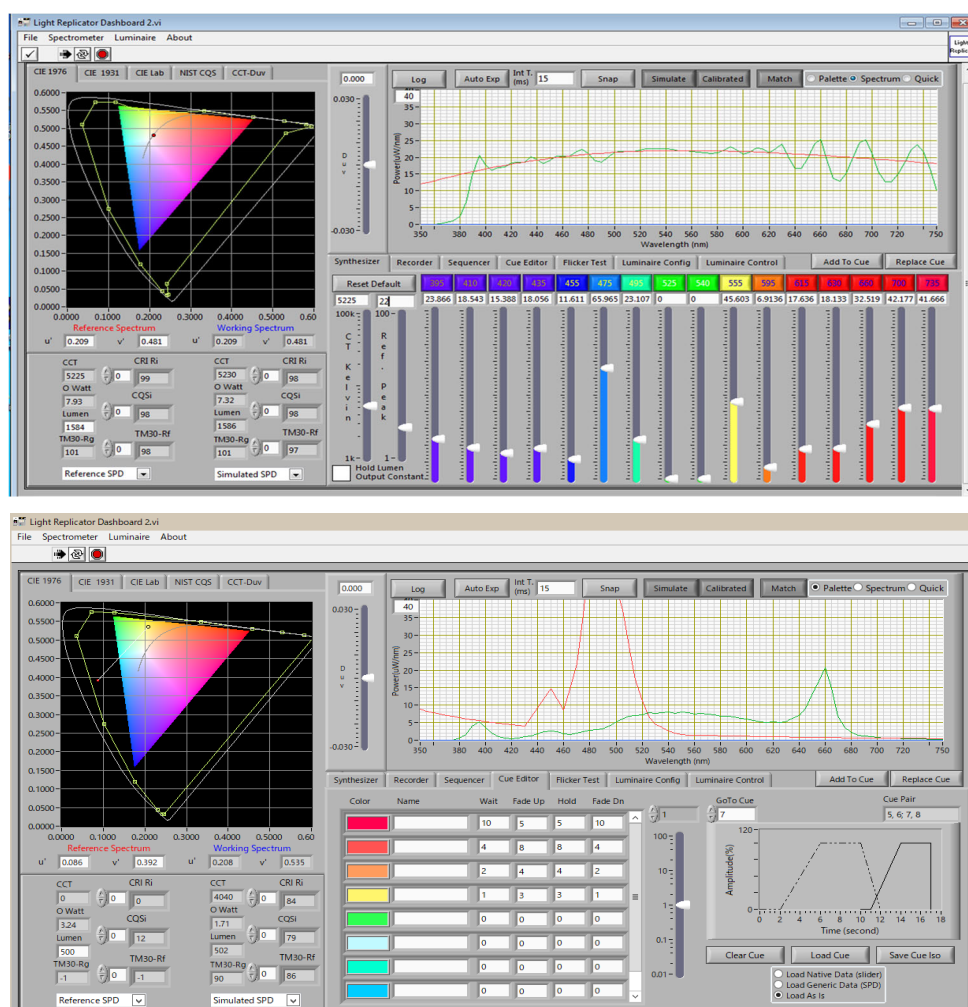


図 7 制御用ソフトウェア

次の章では実際に本装置を使った研究がどのようなものか、その実例をご紹介します。

4. 波長可変光源の使用事例

最初に紹介するのはニューメキシコ大学病院での使用事例である(図 8)。これはレンセラー工科大学との共同研究事例となっている。病室の天井に波長可変光源を 4 台設置し、外光の変化に合わせて照射する光の強度やスペクトルバランスを変化させることによって、外光の変化の影響を受けず室内の光条件を一定に保つことができる。また、それとは逆に室内で実際の 1 日の太陽光の動き(朝日～夕日)や季節ごとの太陽光の変化などを再現することもできる。

この部屋では光の身体機能に与える機能について検証が行われている。人間の身体にはサーカディアンリズム(いわゆる体内時計)と呼ばれるものが存在し、睡眠や集中力、免疫などに影響を与え

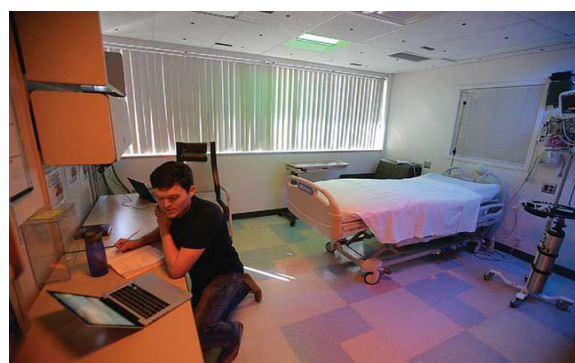


図 8 ニューメキシコ大学病院での使用事例

ている。このサーカディアンリズムに関しては医療機関などで研究が進められており、サーカディアンリズムの乱れは胃腸障害、糖尿病、肥満、心血管疾患、ガンなどの健康問題や、集中力の低下、気分障害などの害を引き起こすことで知られている。また、サーカディアンリズムの乱れは睡眠リズムの乱れによって引き起こされることがわかっており、潜水艦の搭乗員や鉱山労働者、夜勤シフトの労働者などで多くみられる症状である¹⁾。光にサーカディアンリズムの調整機能があることはすでに分かっており、ホテルなどでは光機能を調整して時差ボケの治療が行われており、医療機関では外傷性の脳の損傷に対する治療として検証されている事例もある。

天井に設置された波長可変光源はリモートで複数台同時にコントロールすることができ、被験者は通常の病室のように過ごすことができるようになっている。この部屋では従来の色味だけが変わる光源と違いスペクトルレベルでの詳細な変化を作ることができるため、サーカディアンリズムの睡眠に対する影響だけではなく、スペクトルの変化による鬱や痴呆などへの影響の研究や他様な分野での研究に使用されている²⁾。

5. ケイエルビイのラインナップ

弊社ではTELELUMEN社製品以外にも照明研究に使用できる様々な装置を取り扱っている。一つ目はスペインの「LEDMOTIVE 社」が製造している波長可変光源である。こちらの装置も複数の波長を内部に搭載しており、これらをソフトウェアで制御することによってさまざまな光を作成することができる。ラインナップとしては主にファイバ接続型のLAB(図9)とダウンライト型のHCL(図10)が存在する。

美術館や病院などでの採用事例があり、サーカディアンリズムの研究や演色性の追求などに使用されている。スペインの石油会社であるREPSOLでは同製品を24時間のモニタールームに採用しており、自然光に近い光を再現することによって夜勤による睡眠障害を軽減し従業員のパフォーマンスや幸福度を高めるといった取り組みが行われている(図11)。

この光源は10バンドの波長を採用しており、カスタムでUVやIR領域の波長を内蔵することもできる。先述したTELELUMENと同様にPCソフトで複数台の光源の波長や色温度、光量を調整できるようになっている。

次にご紹介するのがスマートフォンを利用した小型の分光器「GoSpectro」である。こちらの製品は装置をスマホのカメラにカバーするように取り付け、アプリを起動すると光のスペクトルグラフがスマホの画面上で見ることができる装置となっている。内部にグレーティングが入っており10nmの分解能で分光情報を取得することができる。非常に簡易であるが、光の分光情報を視覚と数値でとらえることができ、持ち運びも容易なため、宝石の簡易鑑定や学校の教材、照明のスペクトル測定などで使用されている。

スマートフォンを使用した計測器としては「LightingPassport」という機種も取り扱っており、こちらは小型ながらスペクトルだけではなく照度や色温度など照明関連の基準26項目を計測できる。



図9 ファイバ接続型 (LAB)



図10 ダウンライト型 (HCL)



図11 モニタールームでの採用事例

スマートフォンに Bluetooth で接続し、取得した情報をクラウド上に保管することができるため、屋外で保存した情報をいちいち持ち帰って PC に保存する、といった手間から解放され、なおかつ取得した情報はスマートフォンのカメラで撮影した写真と一緒に記録ができる。同時にスマホと連動した GPS の位置情報や撮影時間なども保存され、撮影したデータはワンタッチでレポートにまとめることができるため、情報管理と共有がかなり楽になったという声を多数いただいている。最初にご紹介した TELELUMEN が全世界で集めてきた光の情報は、実はこの LightingPassport を使用して取得されている。Steve 氏が海外出張などで全世界を移動する際に、この製品をポケットに入れて（サイズはスマホの半分程度である！）持ち歩きスマホを使って現地で旅の思い出とともに光を測定している。従来の測定器に重さや不便さを感じている方がいればこちらの製品はかなり魅力的に感じるであろう。

6. おわりに

照明のあり方は技術の進歩とともに変化していく。HCL の概念は未来の照明を考えるうえで外せない概念の一つであり、波長可変光源はその一翼を世界で担いつつある。弊社の使命はこういった海外の優れた技術を国内に紹介することであり、本記事で一人でもご興味を抱かれた方がいれば幸いである。

参考文献

- 1) Joseph D. Gleason, Meeko Oishi, Michelle Simkulet, Arunas Tuzikas, Lee K Brown, S. R. J. Brueck, Robert F.Karlicek Jr. “A Novel Smart Lighting Clinical Testbed”
- 2) Jessica Otitigbe “First of Its Kind Smart Lighting Testbed Installed in Hospital Inpatient Setting” January 15,2016



栗山功一郎 KURIYAMA, Koichiro
〒101-0052 東京都千代田区神田小川町 1-1
ケイエルバイ株式会社 営業部