

2017年7月24日

一般社団法人大阪ビルディング協会様主催 第1回技術セミナー
第三部「省エネと快適性の両立、健康オフィスの最新事情」

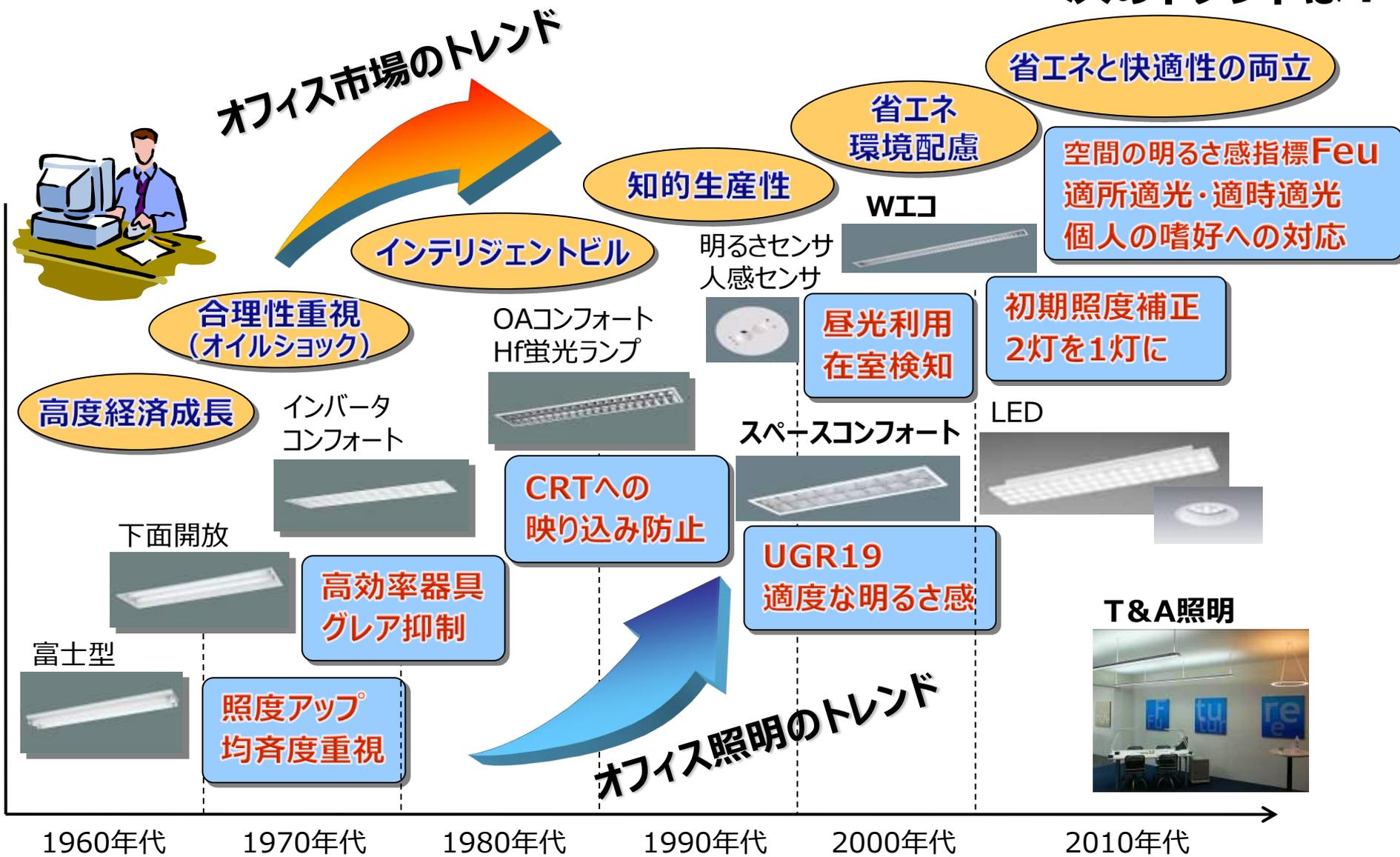
照明のトレンド

～働く人の健康に配慮した照明～

パナソニック株式会社 エコソリューションズ社
ライティング事業部 エンジニアリングセンター
岩井 彌（わたる）

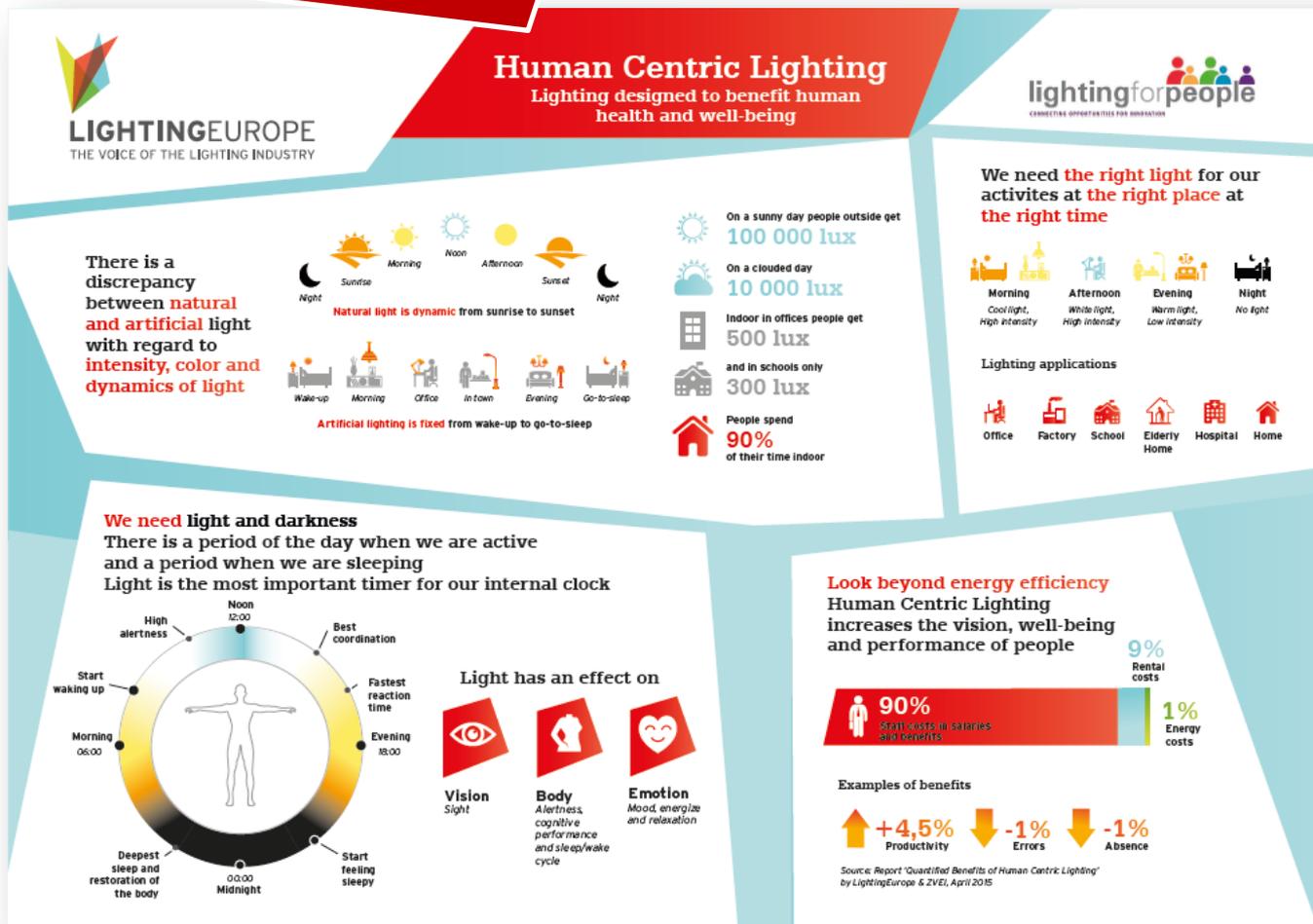
照明のトレンドの変遷：オフィス为例に

次のトレンドは？



Human Centric Lighting

Lighting designed to benefit human health and wellbeing

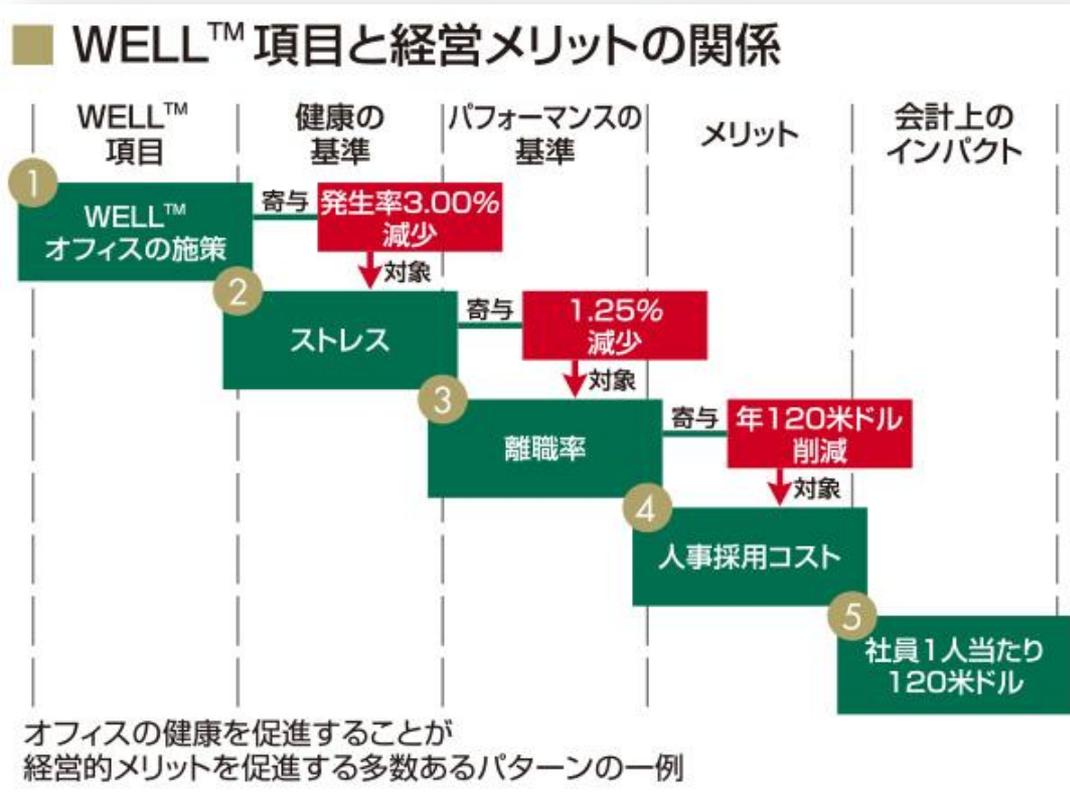


Lighting Europe(2015)より

働く人の健康に焦点を当てた新ビル認証, WELL

Well Building Standardは2012年にビル・クリントン元アメリカ大統領が主催する「クリントン・グローバル・イニシアティブ」にて提唱された。

WELL認証制度はIWBI(International WELL Building Institute)が運営し,実際の認証はLEEDの認証を手がけるGBCI(The Green Business Certification Inc.)が担う



CBREホームページより

https://www.cbre-propertysearch.jp/article/office_value_2015-vo17

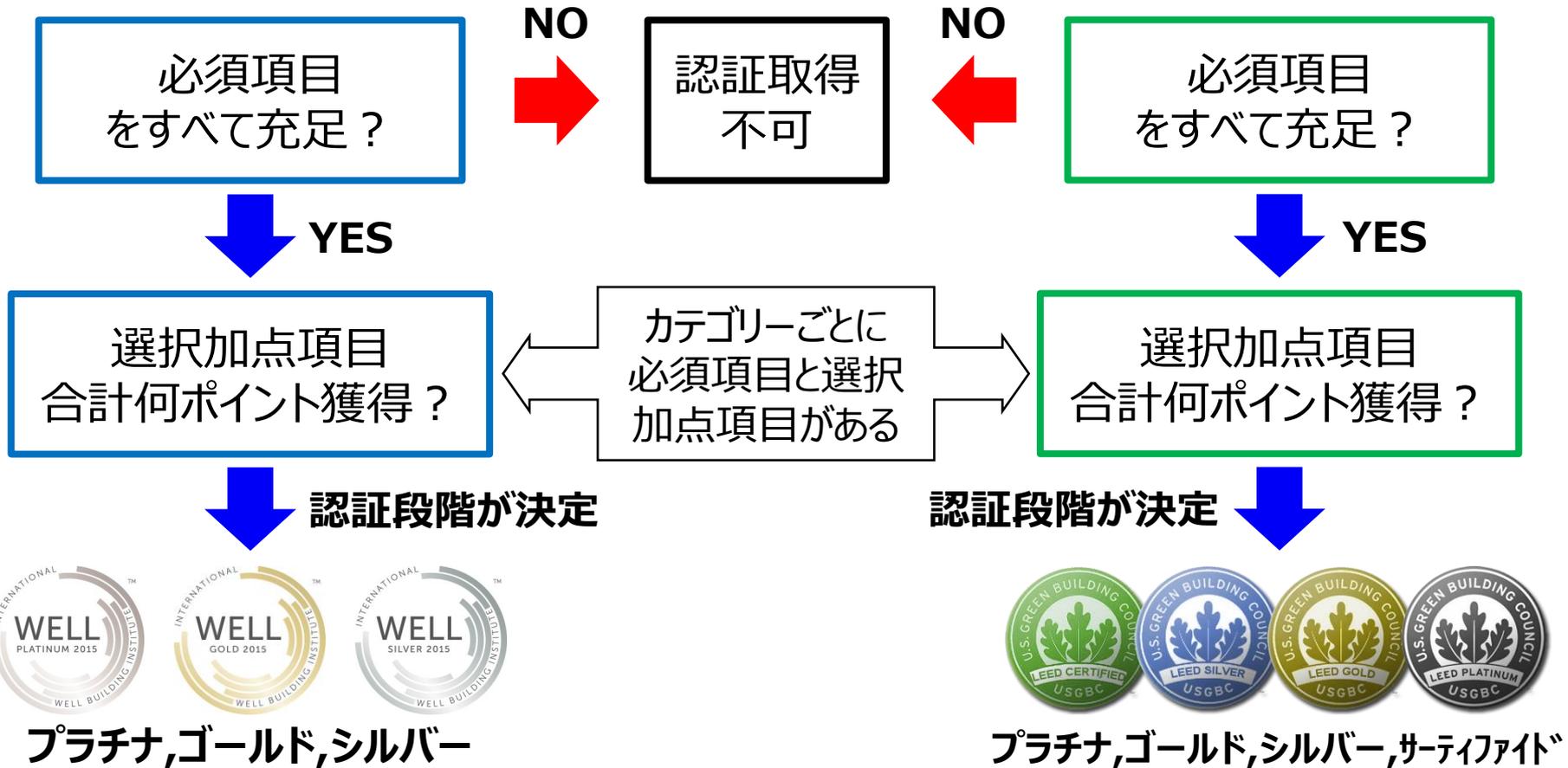
WELL認証とLEED認証

WELL認証

WELL Building Standard
健康的で生産性の高い空間を評価
するビル認証制度

LEED認証

The Leadership in Energy and Environmental Design
環境に配慮した建物やエリア開発
を評価する認証制度



WELL認証の主な評価項目

- **AIR(空気) : 29項目** ホルムアルデヒド,VOC(塗料,接着剤,家具など),PM,換気,CO₂濃度,フィルター,カビ,施工時,入口,清掃,殺虫剤,除草剤,農薬,アスベスト,PCB,湿気,気密性
- **WATER(水) : 8項目** 水質,水分摂取
- **NOURISHMENT(栄養) : 15項目** 果物・野菜摂取,添加物,トランス脂肪酸,アレルギー,手洗い,保存,レスポンシブル農業,内容情報,適量,菜園,食習慣,食事スペース
- **LIGHT(光) : 11項目** 視環境配慮設計,サーカディアン照明,器具・太陽光グレア制御,グレア低減設計,演色性,反射率設計,遮光・調光自動制御,昼光アクセス・導入,窓の配置
- **FITNESS(フィットネス) : 8項目** 階段,インセンティブ(ジム会員,レース,バイクシェア),歩行者アメニティ,公園,多様な利便施設,自転車,シャワー,ロッカー,エクササイズスペース,マシン,スタンディング・デスク
- **COMFORT(快適性) : 12項目** 障害者アクセス(ADA),人間工学(PC・机・イス高),騒音(内外),温熱環境,臭気(負圧),反響音,サウンドマスキング,反響防止(天井,壁),防音,個別空調制御,輻射空調
- **MIND(心) : 19項目** WELLガイド,メンタル・フィジカル図書,アンケート,バイオフィーリア,プライバシー,収納,昼寝(スリープサポート),出張配慮,産休,育休,介護,授乳時間,体調管理センサー,チャリティー参加,製品情報,天井高,アート作品,革新的特性

光に関するWELL認証項目 ⇔ HCLと強い関連性

● 必須項目

53 VISUAL LIGHTING DESIGN : 視環境に配慮した照明設計

54 CIRCADIAN LIGHTING DESIGN : サーカディアンに配慮した照明設計

55 ELECTRIC LIGHT GLARE CONTROL : 器具のグレア制御

56 SOLAR GLARE CONTROL : 太陽光のグレア制御

● 加点項目

57 LOW-GLARE WORKSTATION DESIGN : グレアを低減した執務空間設計

58 COLOR QUALITY : 演色性

59 SURFACE DESIGN : 内装反射率設計

60 AUTOMATED SHADING AND DIMMING CONTROLS : 遮光・調光自動制御

61 RIGHT TO LIGHT : 昼光にアクセスする権利

62 DAYLIGHT MODELING : 昼光導入

63 DAYLIGHTING FENESTRATION : 窓の配置

WELL認証項目と対応させてHCLを考え、対応する技術を紹介

● VISUAL LIGHTING DESIGN : 視環境に配慮した照明設計

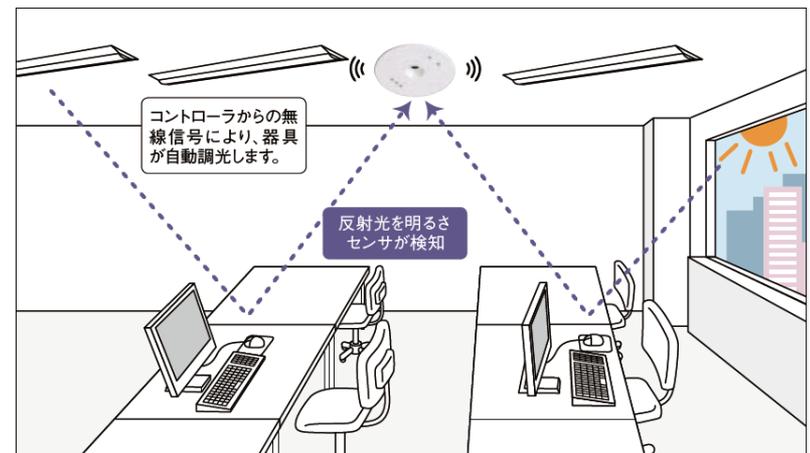
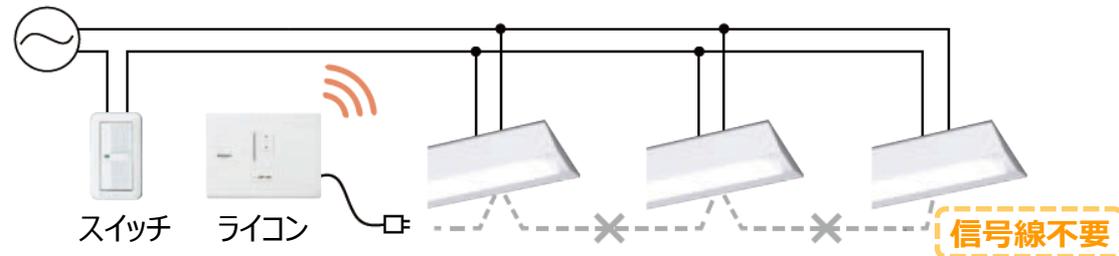
1 : Visual Acuity for Focus 対象の視認性確保

タスク&アンビエント前提で,①アンビエント215 lx以上,②ゾーン調光,③タスク300~500 lx

不在エリアのこまめなON(調光)/OFF操作は無線で可能な時代に
明るさセンサとの組み合わせで明るさ制御も可能



ハンディライコンで
個別に明るさ設定が可能



WELL認証項目と対応させてHCLを考え、対応する技術を紹介

● VISUAL LIGHTING DESIGN : 視環境に配慮した照明設計

1 : Visual Acuity for Focus 対象の視認性確保

タスク&アンビエント前提で, ①アンビエント215 lx以上, ②ゾーン調光, ③タスク300~500 lx

空間の明るさ感を確保したアンビエント照明により
快適性と省エネを両立させたタスク&アンビエント(T&A)照明

事務室・会議室 のFeu値目安



被験者実験により
明らかにした
T&A照明における
**アンビエント照明
の許容Feu値8**

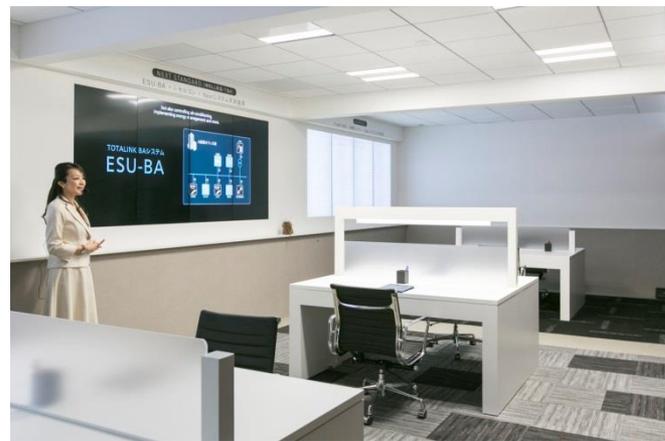
← 通常器具300 lxでのFeu値



調色用LED導光板器具
+タスク用LEDダウンライト

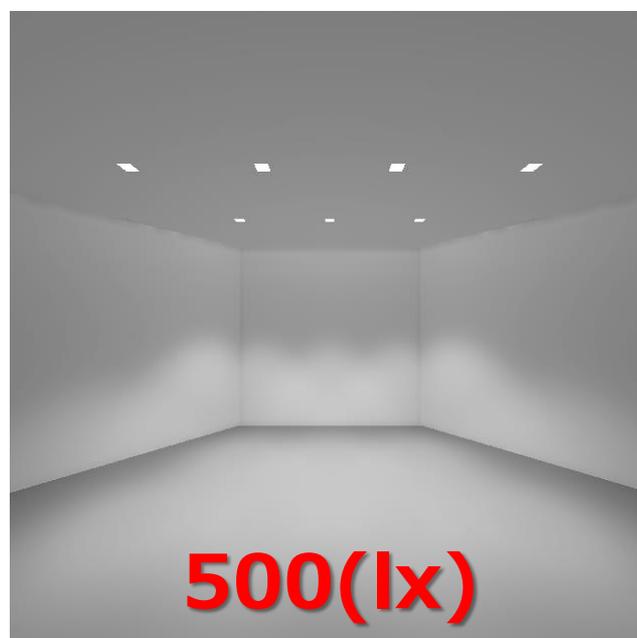
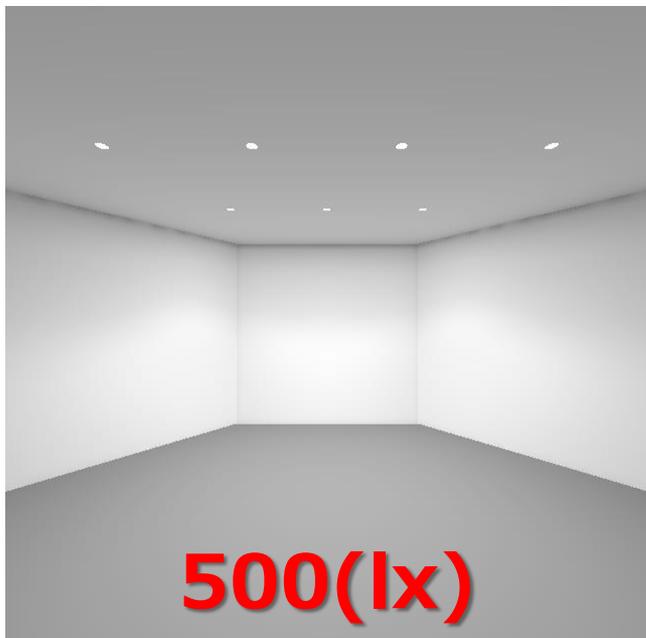
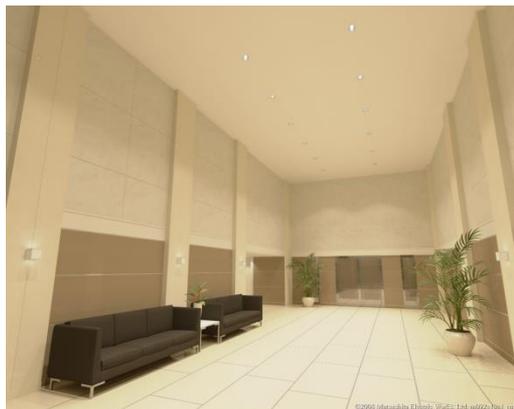


NEXTシステム天井器具



空間の明るさ感評価指標：Feu

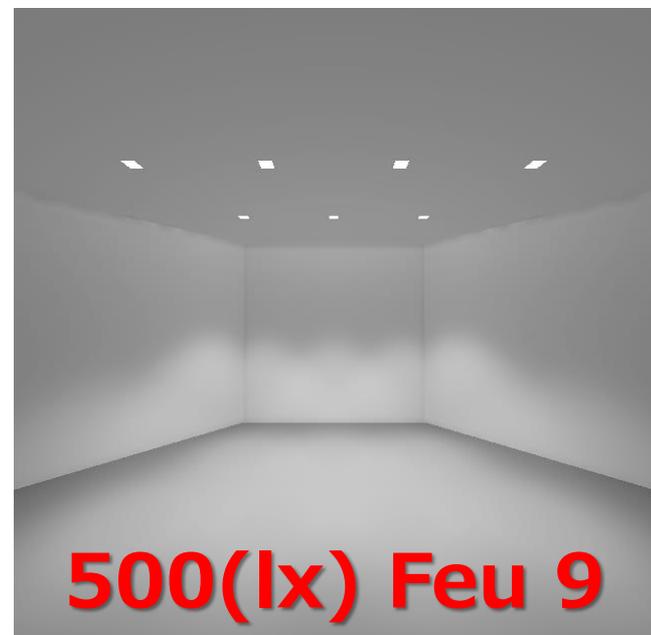
照度だけを頼りに設計するとLED照明は不安
～同じ平均床面照度500(lx)なのに～



空間の明るさ感評価指標：Feu

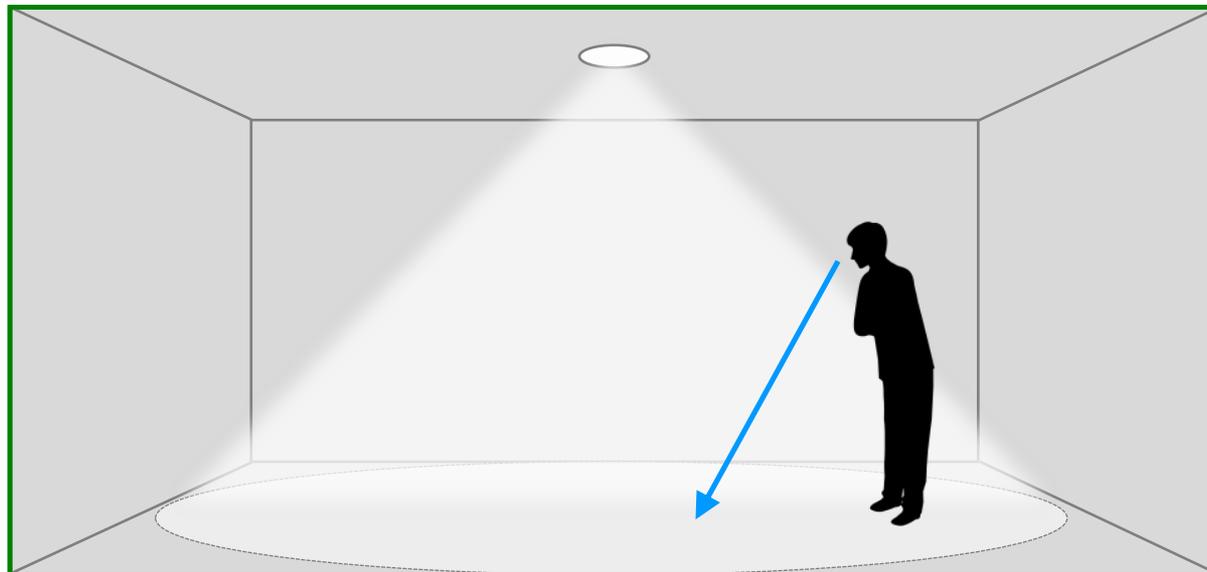
その問題を解決するために，設計指標として使える
空間の明るさ感評価指標を開発しました

空間の明るさ感評価指標 Feu

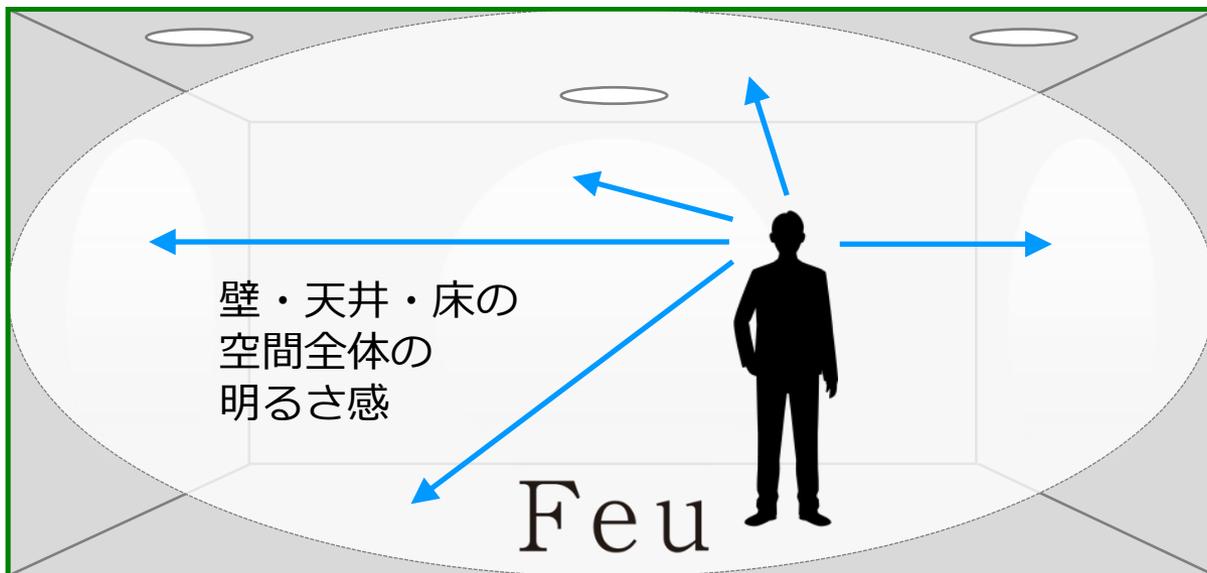


空間の明るさ感評価指標：Feu

ルクス(lx)は
床(平面)の
明るさ

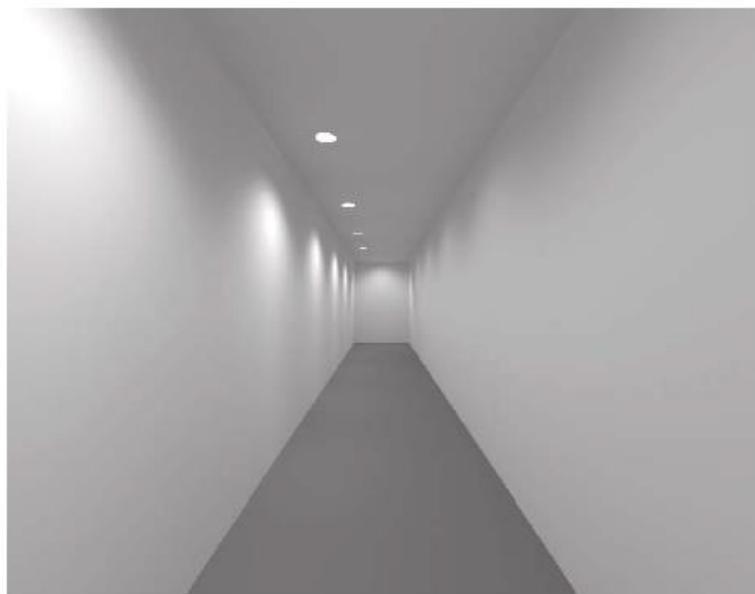


フー(Feu)は
部屋(空間)の
明るさ

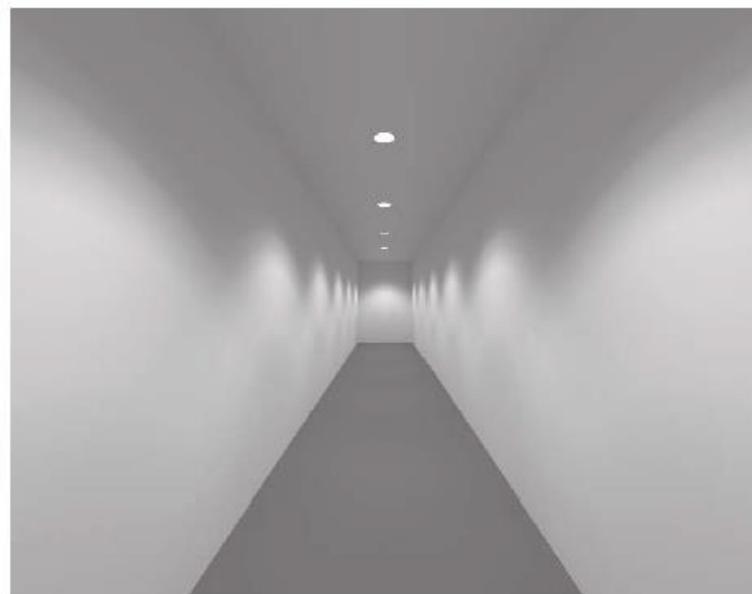


空間の明るさ感評価指標：Feu

照度デザインのテクニックで省エネルギーを実現できても
照度では説明できません



空間A



空間B

32W×6

ウォールウォッシャー
ダウンライト

Feu 9.5 150 lx
消費電力 186 W



消費電力
約16%減



Feu 9.5 180 lx
消費電力 222 W

42W×6

ダウンライト

Feuで解決可能です

WELL認証項目と対応させてHCLを考え、対応する技術を紹介

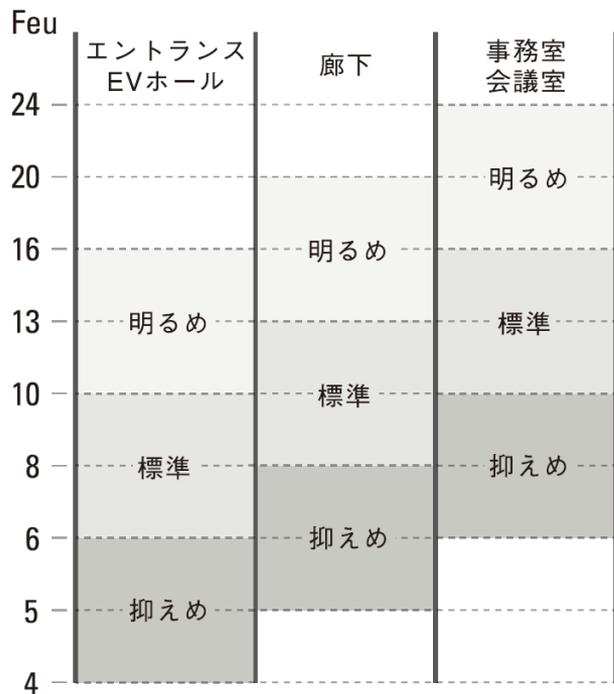
● VISUAL LIGHTING DESIGN : 視環境に配慮した照明設計

2 : Brightness Management Strategies 明るさのバランス

①廊下等の周辺空間, ②机上面周囲, ③同部屋非隣接部, ④天井照明 の2点以上配慮

VDT作業の時代に必要な明るさのバランスを考慮した照明設計
空間の明るさ感を高めることはVDTの見やすさにも貢献する

オフィスビル部位別Feu値目安



(a)従来照明



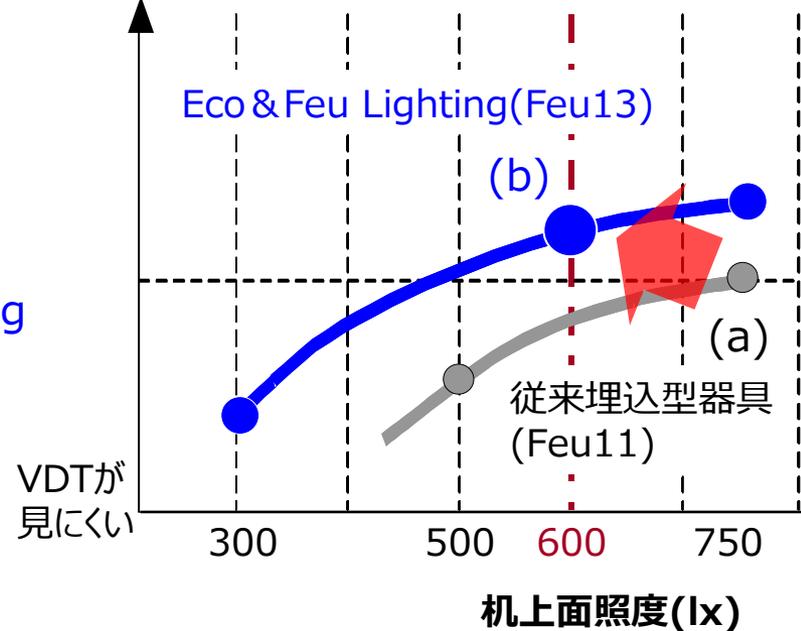
750lx Feu11

(b)Eco & Feu Lighting



600lx Feu13

VDTが
見やすい



WELL認証項目と対応させてHCLを考え,対応する技術を紹介

● CIRCADIAN LIGHTING DESIGN : サーカディアンに配慮した照明設計

1 : Melanopic Light Intensity for Work Areas

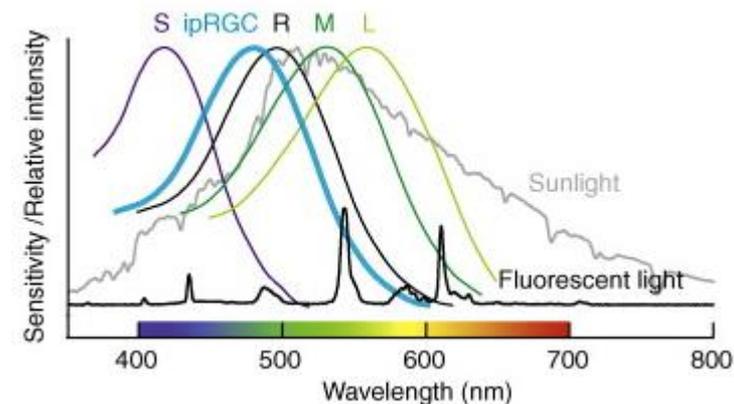
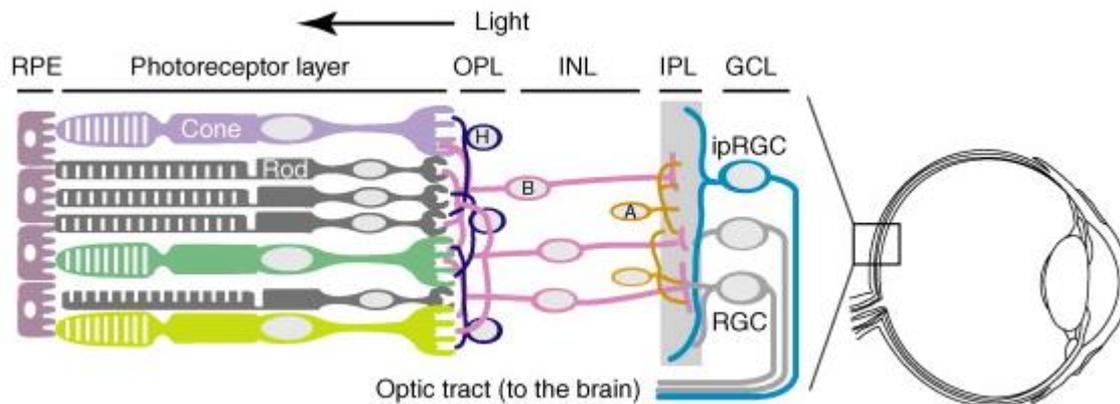
①鉛直面Melanopic等価照度が250lx以上(執務空間の75%以上,1日4時間以上)

②鉛直面がIES-ANSI RP-1-12の表B1に記載のMelanopic等価照度以上

の少なくともひとつを満足すること

Melanopic Equivalent Lux (Melanopic等価照度)が導入される
～HCLでも注目されているipRGCs～

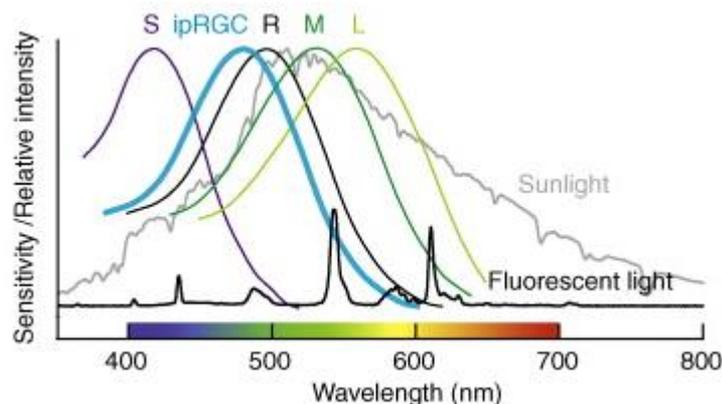
サーカディアン(概日)リズムは,**ipRGCs** (intrinsically photosensitive Retinal Ganglion Cells : 光感受性の網膜神経節細胞)からの入力の影響を強く受けていることが,近年の研究で明らかに.



Hatori&Panda:The emerging roles of melanopsin in behavioral adaptation to light, Trends in Molecular Medicine, 16-10, pp.435-446(2010)

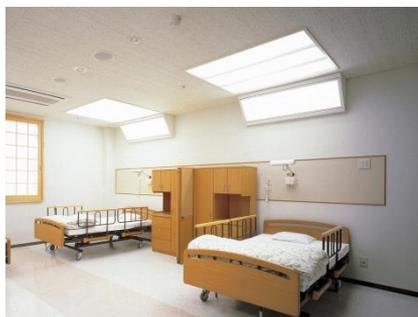
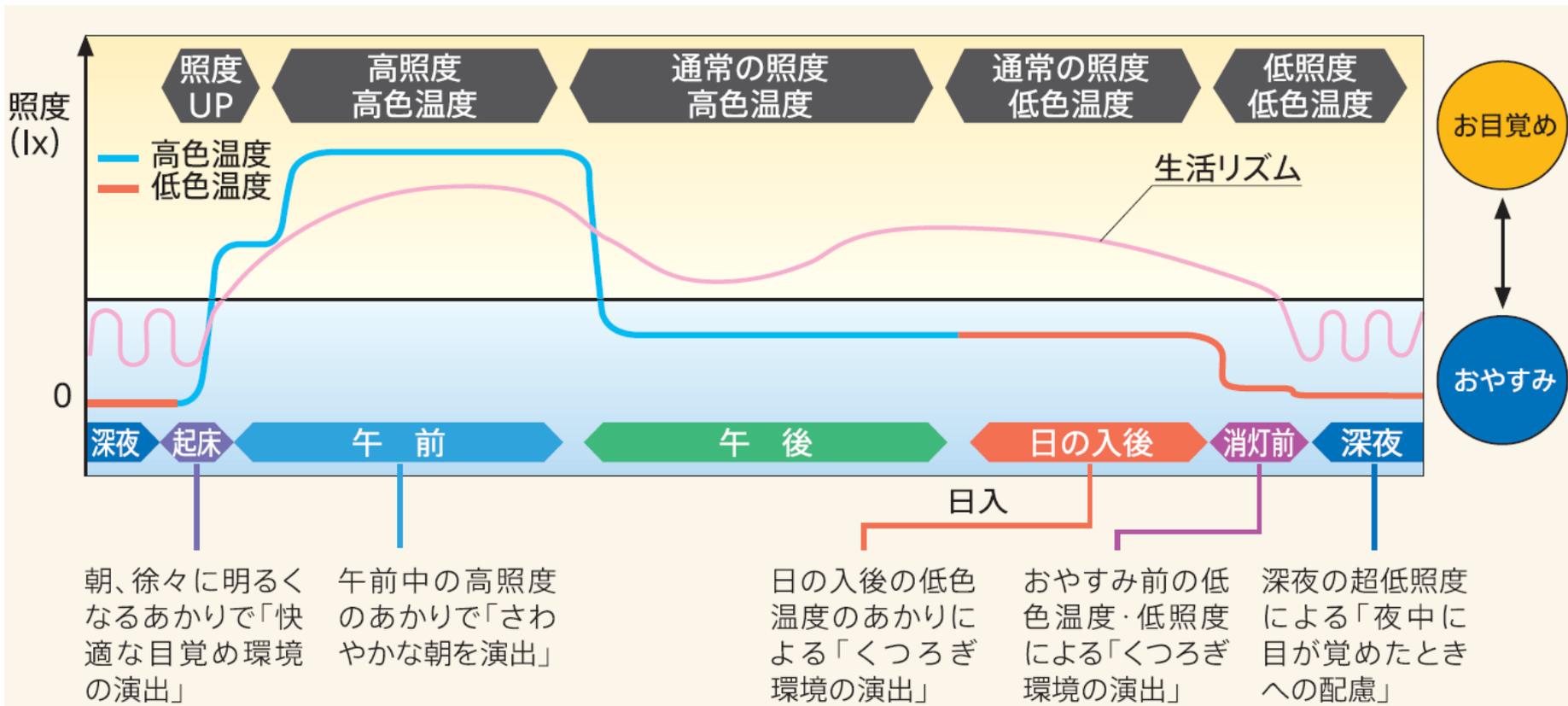
Melanopic等価照度(Melanopic Equivalent Lux)

- 英国の研究者Lucus等によって提唱されている,**サーカディアンリズムに影響する明るさを定量的に捉えるための単位。**
- サーカディアンリズムには,これまで知られていた錐体や桿体といった視細胞以外にも**網膜上の神経節細胞の一部も光感受性があり,この神経節細胞であるipRGCs** (intrinsically photosensitive retinal ganglion cells)からの入力が強く寄与していることが近年の研究により明らかになっている。
- ipRGCsには含まれる視物質はメラノプシンという錐体・桿体とは異なる視物質であるため,**同照度でも分光分布によりサーカディアンリズムに与える影響が異なる。**
- そこで,Melanopic Equivalent Lux(MEL)では,メラノプシンの分光感度特性を考慮(490nmにピーク感度をもつ)することで,**サーカディアンリズムに同等の影響を与える照度に換算**することができる。
- Lucasらは**MELを算出するためのエクセルシート(Toolbox)**を公開しており,光源の分光分布がわかれば,このシートを用いてMELを算出することができる。



Hatori&Panda: The emerging roles of melanopsin in behavioral adaptation to light, Trends in Molecular Medicine, 16-10, pp.435-446(2010)

病院照明で採用が増えてきたサーカディアン照明



午前



午後



日没後



消灯前

病院照明で採用が増えてきたサーカディアン照明

● 調光調色照明採用による効果エビデンスが得られてきています



やわたメディカルセンター(小松市)
術後回復期患者のLED病室照明
による睡眠への影響を調査



・アクチグラフによる睡眠判定では、**調光調色照明の方が睡眠潜時、連続した睡眠時間の長さが、一定条件の照明より優位であった。**

調光調色照明による術後回復期患者の睡眠への影響 —性別の違い—

The Effect on Total Knee Arthroplasty Patient's Sleep of Color Tunable Lighting for Hospital
—Difference Between Sex—

戸田 直宏^{*1} 山村 泰典^{*2} 加藤 千夏^{*3}
TODA Naohiro YAMAMURA Yasunori KATO Chinatsu

【はじめに】

ヒトは、睡眠・覚醒リズムなどに代表される約24時間周期のサーカディアンリズムを持っており、光などの環境因子により、日々リズムを調整していることが知られている。入院時には、手術や治療といった普段の生活とは異なる身体の状況にあり、かつ病室環境は普段と異なるだけでなく変化の少ない光環境でもある。そのため、退院後にスムーズにメリハリのある一般生活に戻れるよう、また単なる「治療の話」としてでなく「生活の場」として質の高い環境となるよう、当社は「ホスピタルサーカディアン照明」という明るさだけでなく、色温度も24時間自動で制御する照明制御システムを提案している。LEDにより、より幅広い色温度の変化を実現可能となり、よりメリハリのある照明制御が可能となった。そこで、やわたメディカルセンターの協力の下、術後回復期患者の病室照明による睡眠への影響を調査した。本報告では、照明条件による違いだけでなく、男女の睡眠の違いについても検討した結果を報告する。

【方法】

1. 調査対象者：病院入院中の人工膝関節全置換術の術後急性期を脱し、回復期病棟へ転入して同意の得られた患者22名（男性9名、女性13名）。
2. 調査期間：2014年11月～2015年3月及び2015年11月～2016年3月の冬季。
3. 調査方法：病院回復期病棟において、調光調色照明（ベッド面照度150lx、相関色温度5,000Kから60lx、2,400Kへと照明の明るさと色が6時から21時まで自動調整される照明）（図1）と従来の一定照明（150lx、5,000Kの照明）（図2）の2種類の照明の病室を用意し、無作為に患者を振り分けし、活動量および睡眠・覚醒の計測にはアクチグラフ（八角スリープ型、AMI社、米国）を使用した。患者の利き腕とは反対の手首にアクチグラフを2週間装着してもらい測定を行った。
4. 統計処理：アクチグラフ本体に記録されたデータは専用のソフトウェア（AW2、AMI社、米国）を使用しパソコンにダウンロードし1分間の体動数に

^{*1} パナソニック機、エコマリネーションズ社 ライティング事業部 エンジニアリング総合部 主務
^{*2} パナソニック機、エコマリネーションズ社 エンジニアリング総合部 エンジニアリング総合部 主務
^{*3} やわたメディカルセンター 看護師

変換し、Cole-Kripkeの式を用いて睡眠覚醒判定の自動解析を行った（図3）。測定した一人当たり24時間2週間分のデータを調光調色照明群と一定照明群とで比較を行った。

5. 倫理的配慮：A病院倫理委員会の承認を得て、対象者に研究の目的、参加協力の自由意志、プライバシーの保護等について口頭と文書で説明し同意を得て実施した。

【結果】

アクチグラフの睡眠判定では、照明条件間で、消灯時間帯（21時～6時）における睡眠時間や睡眠効率、覚醒時間に、有意差はみられなかったが、調光調色照明の方が、睡眠潜時、連続した睡眠時間の長さが、一定照明より優位であった。また、性別では、女性の方が、睡眠潜時、睡眠時間、睡眠効率、覚醒時間などにおいて優位があることがわかり、男性よりも女性の方が睡眠の質が高い傾向があることがわかった。

【考察】

調光調色照明制御により、入院中の患者の睡眠の質に影響があるだけでなく、男女間でも差が見られることがわかった。この点について、性別毎の照明条件の影響などについて発表にて報告したい。

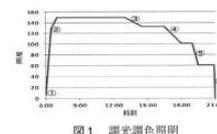


図1 調光調色照明

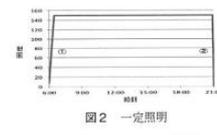


図2 一定照明

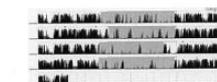
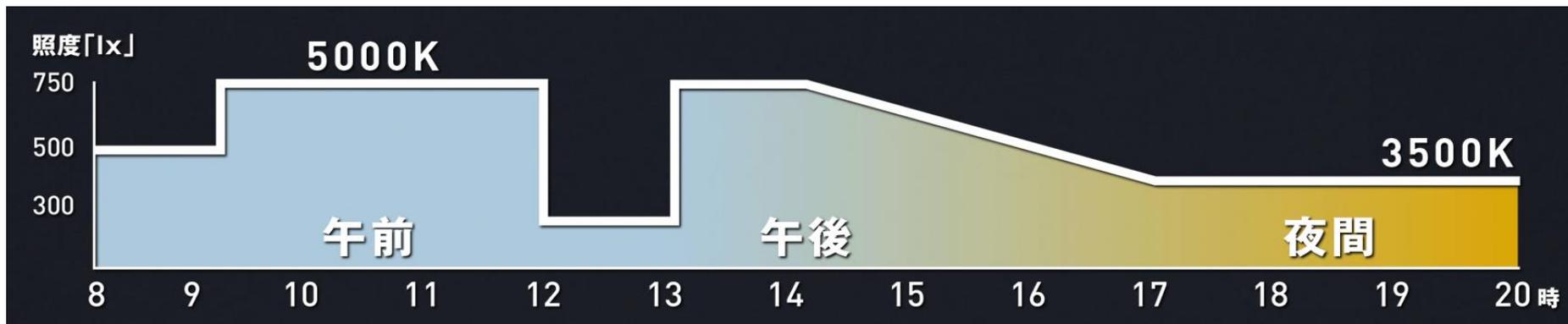
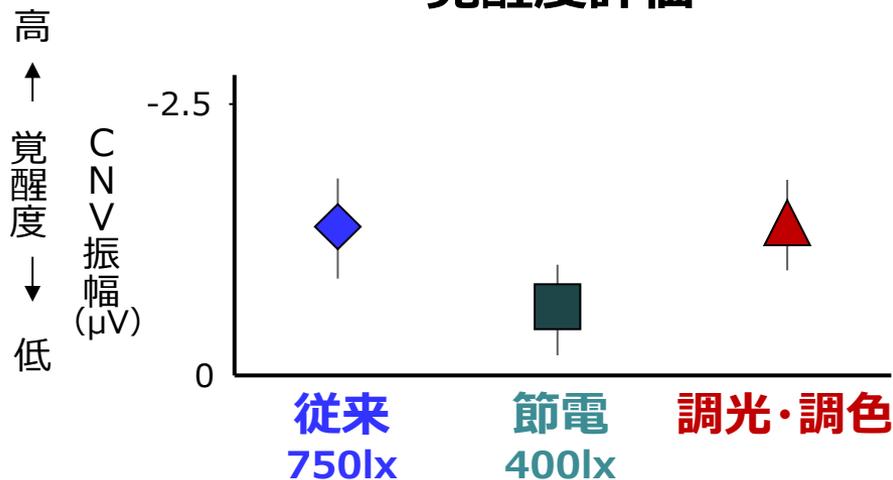


図3 アクチグラフの1例

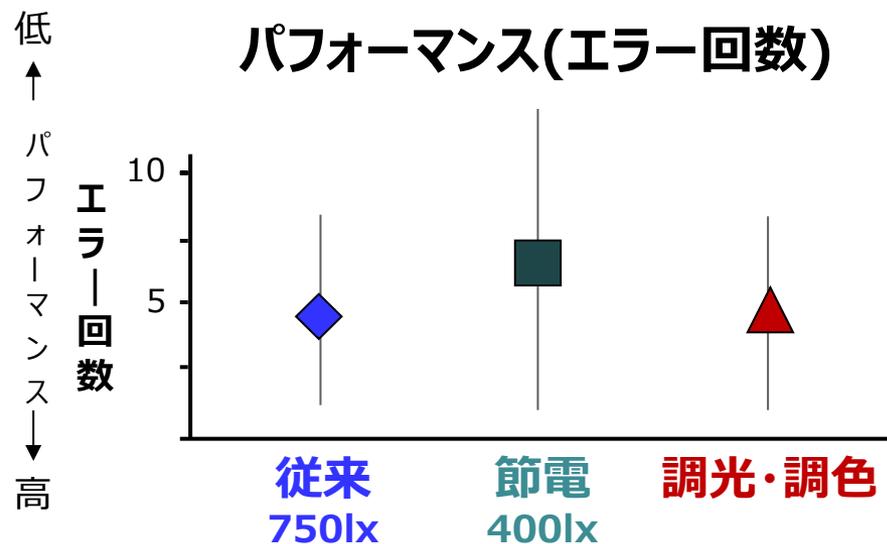
オフィスのサーカディアン照明でも効果が得られています



覚醒度評価



パフォーマンス(エラー回数)



従来照明(750lx)と同等の覚醒度・パフォーマンスを維持しながらも
省エネを実現するオフィス空間向けサーカディアン照明

WELL認証項目と対応させてHCLを考え,対応する技術を紹介

- ELECTRIC LIGHT GLARE CONTROL : 器具のグレア制御

1 : Lamp Shielding

ランプ輝度別に定められた遮光角を設定

- ① 2万cd/m²以下なら遮光角の設定必要なし
- ② 2万～5万cd/m²なら遮光角15度
- ③ 5万～50万cd/m²なら遮光角20度
- ④ 50万cd/m²以上なら遮光角30度

2 : Glare Minimization

鉛直角53度ランプ以上の輝度が8,000 cd/m²以下

グレア分類G1aでほぼ満足(65度:7,200cd/m²以下,75度&85度:4,600cd/m²以下)

- COLOR QUALITY : 演色性

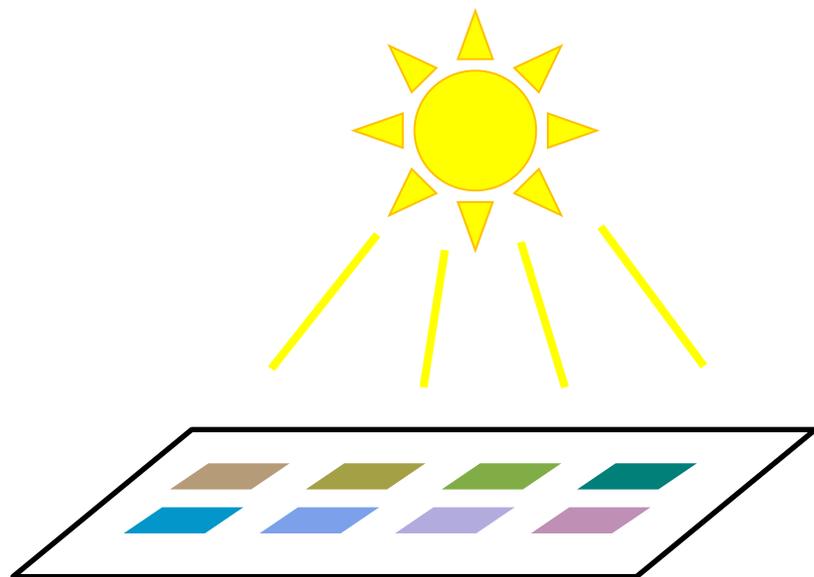
1 : Color Rendering Index

- ① 平均演色評価数Raが80以上
- ② 特殊演色評価数R9が50以上のいずれも満たすこと

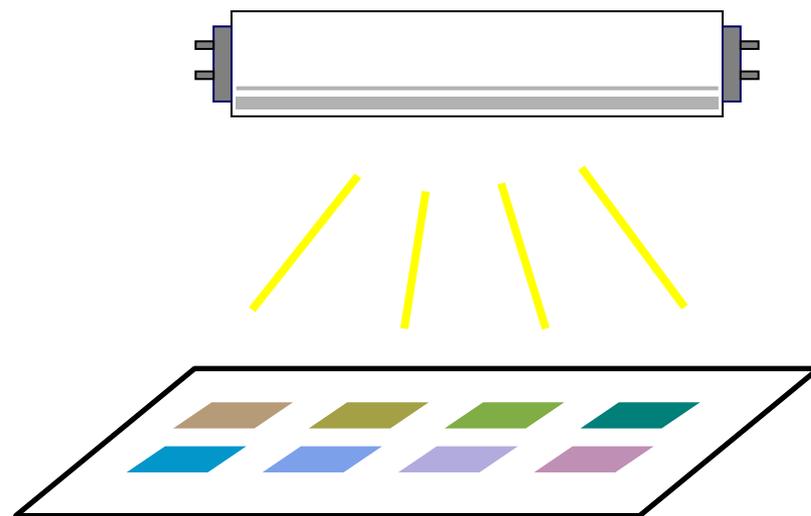
LED照明では,平均演色評価数Raだけでなく,R9～R15も重要視

忠実性の評価である

基準の光（≡自然光）



試料光源



同じ相関色温度の基準の光で照明された試験色の見えに近いほど、その試料光源の演色性は高いと評価

**試験色が全く同じ色の見え方をすれば
平均演色評価数 R_a は100となる**

特殊演色評価数と平均演色評価数 JIS Z 8726:2015

試料光源

【三刺激値算出】
試料光源と試験色の三刺激値算出

【均等色空間適用のための変換】
試料光源と試験色のCIE 1960 UCS色
度座標を算出

【von Kries則による色順応補正】
色順応補正後の色度座標を算出

【CIE 1964 均等色空間への適用】
 $U^*V^*W^*$ 値を算出

基準の光 JIS Z 8720で規定

【三刺激値算出】
基準の光と試験色の三刺激値算出

【均等色空間適用のための変換】
基準の光と試験色のCIE 1960 UCS色
度座標を算出

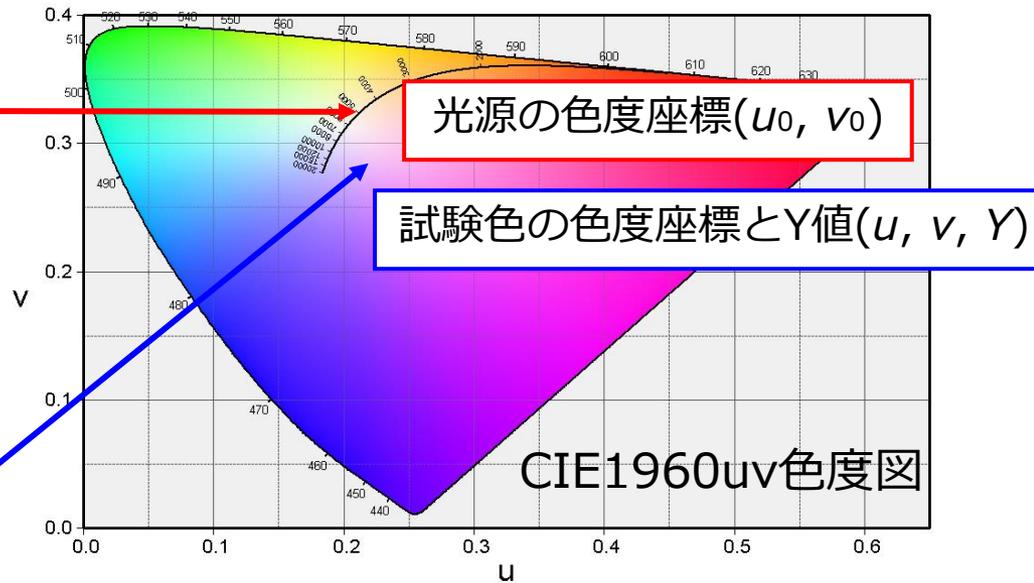
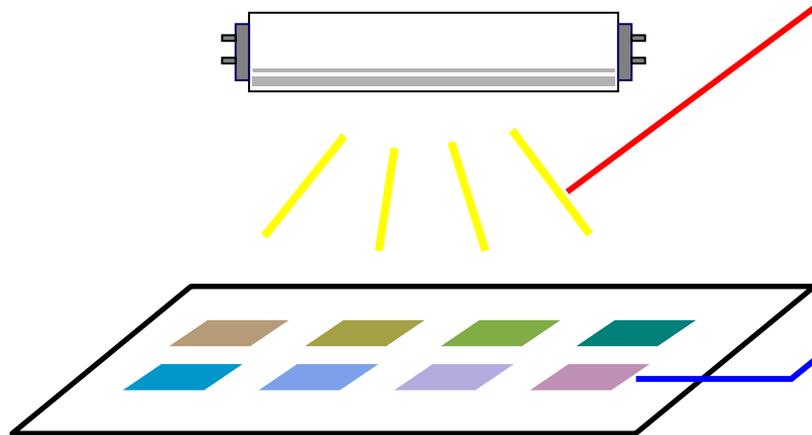
【CIE 1964 均等色空間への適用】
 $U^*V^*W^*$ 値を算出

【色ずれの計算】 $U^*V^*W^*$ 座標上の距離 ΔE_i ($i=1\sim 15$) を算出

特殊演色評価数 R_i と平均演色評価数 R_a の算出

$$R_i = 100 - 4.6\Delta E_i \quad \Rightarrow \quad R_a = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 R_i$$

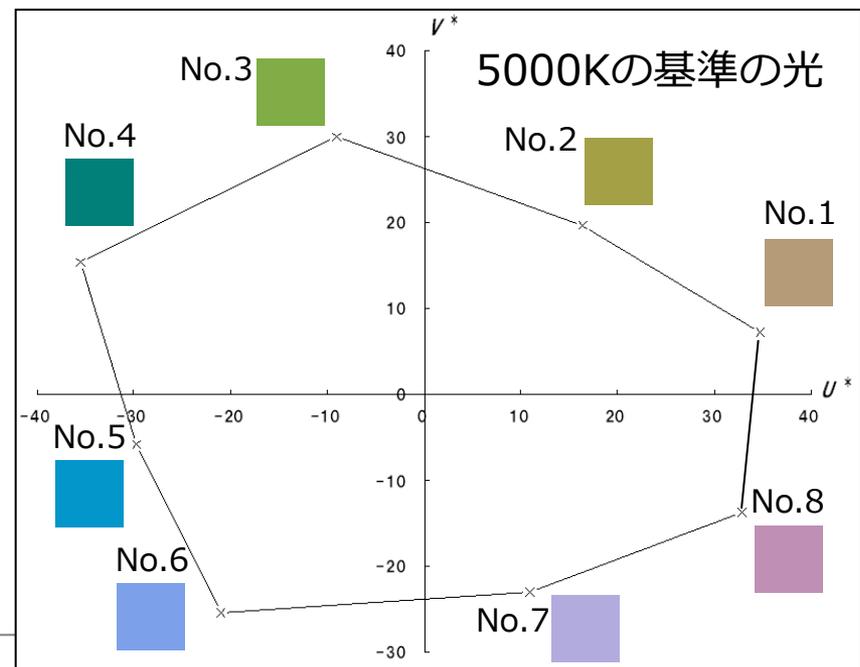
照明光の色を表現する計測量



$$W^* = 25(Y)^{1/3} - 17$$

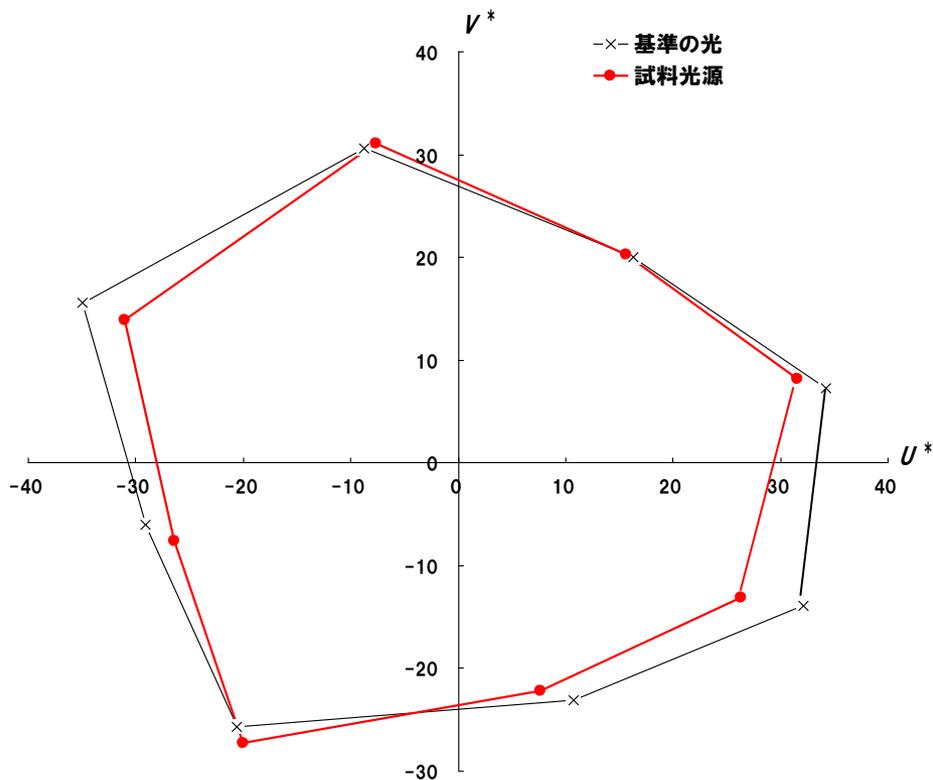
$$U^* = 13W^*(u - u_0)$$

$$V^* = 13W^*(v - v_0)$$

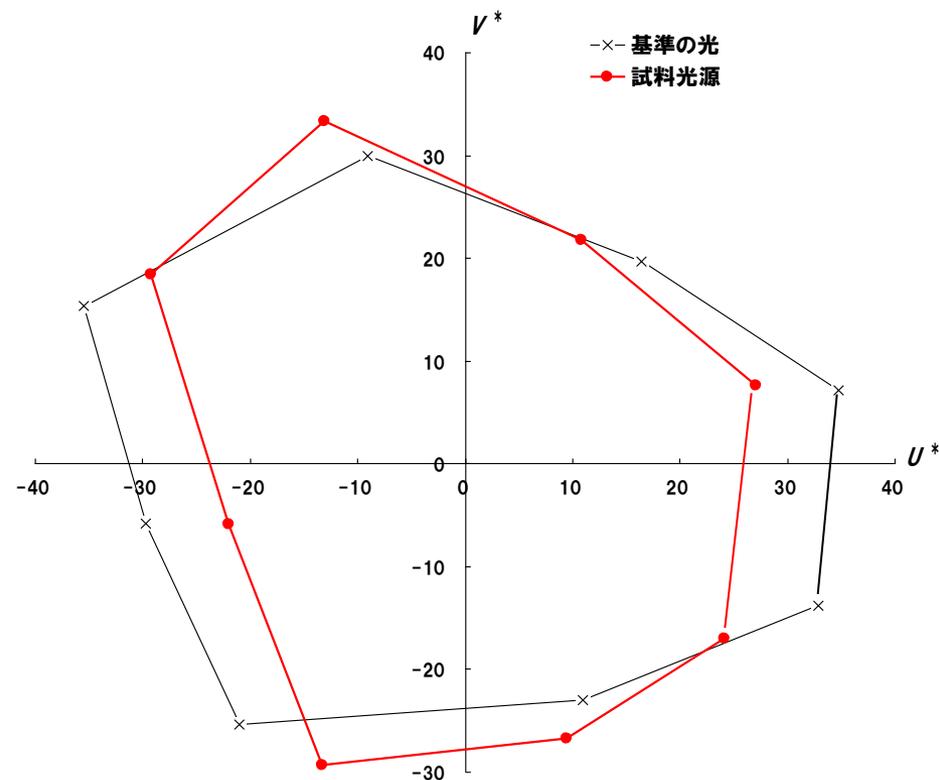


CIE1964均等色空間 $U^*V^*W^*$ 値と演色評価数

～LEDの場合～



R_a86 のLED (5000K)

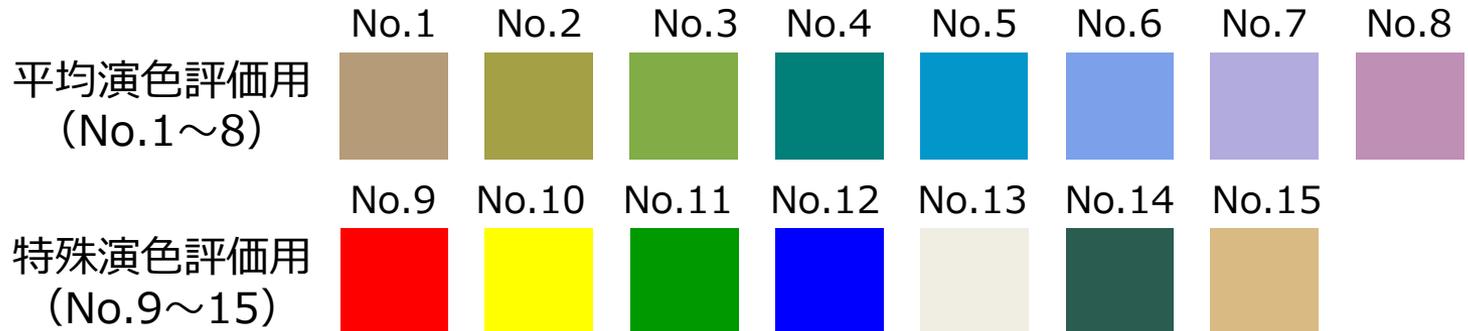


R_a67 のLED (5000K)

●とxの座標上での距離が各試験色に対する演色評価数
8色の試験色に対する演色評価数の平均値が平均演色評価数 R_a

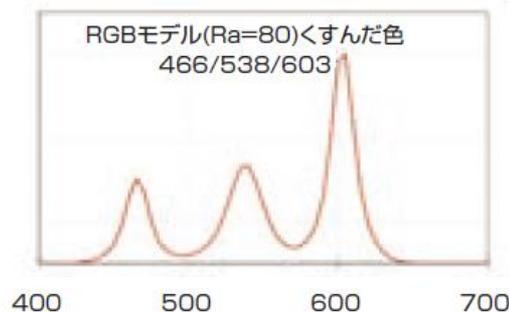
代表的な従来光源の演色評価数

ランプの種類	平均演色評価数 (Ra)	特殊演色評価数						
		R9 (赤)	R10 (黄)	R11 (緑)	R12 (青)	R13 (肌色・西洋人)	R14 (木の葉)	R15 (肌色・日本人)
白熱ランプ(2800K)	100	100	100	100	100	100	100	100
三波長形蛍光ランプ(3000K)	84	-1	59	79	60	94	70	94
三波長形蛍光ランプ(5000K)	84	25	40	66	52	93	68	96
三波長形蛍光ランプ(6700K)	84	28	52	72	64	94	75	95
白色蛍光ランプ(4200K)	61	-105	36	40	43	56	94	41
昼白色蛍光ランプ(5000K)	70	-69	50	58	64	66	94	54
演色AAA蛍光ランプ(2700K)	95	96	91	95	91	97	93	98
演色AAA蛍光ランプ(5000K)	99	98	98	98	94	98	97	99
演色AA蛍光ランプ(4500K)	90	88	76	91	80	94	89	92
演色AA蛍光ランプ(5000K)	89	92	76	92	80	94	89	92
食肉展示用蛍光ランプ(3700K)	75	70	35	82	71	75	78	78
低誘虫性蛍光ランプ(2750K)	86	79	67	70	68	79	92	87



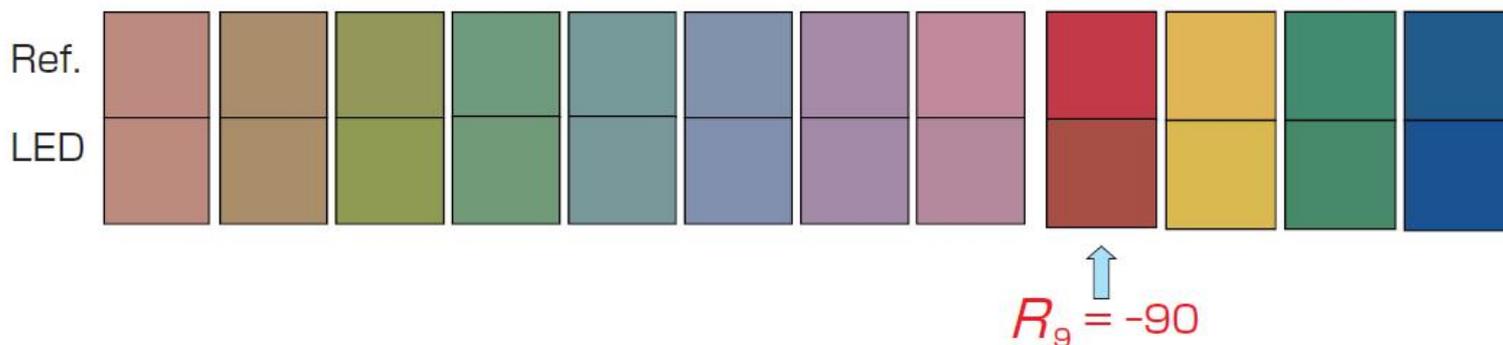
平均演色評価数取り扱いの注意点

R_a は $R_1 \sim R_8$ の平均値であり、 $R_9 \sim R_{15}$ には影響されない。



3-LEDモデル
ピーク波長：
457、540、605 nm
LER = 415 lm/W
CRI $R_a = 80$

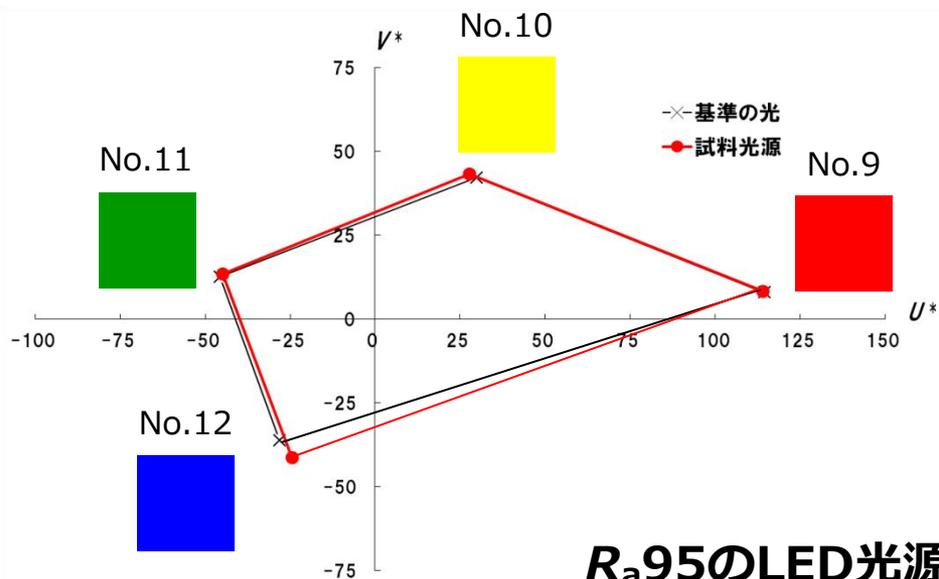
$$Ra = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 Ri$$



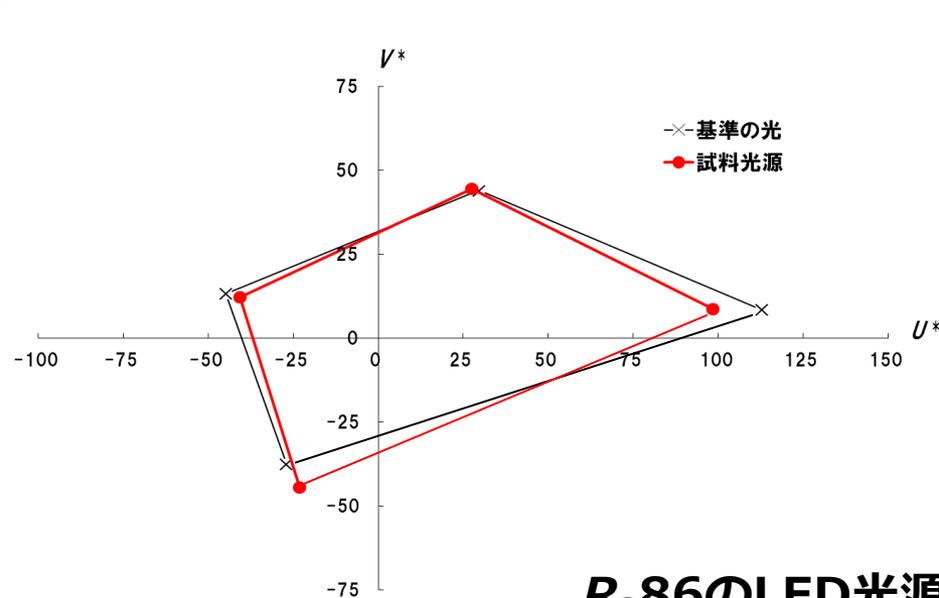
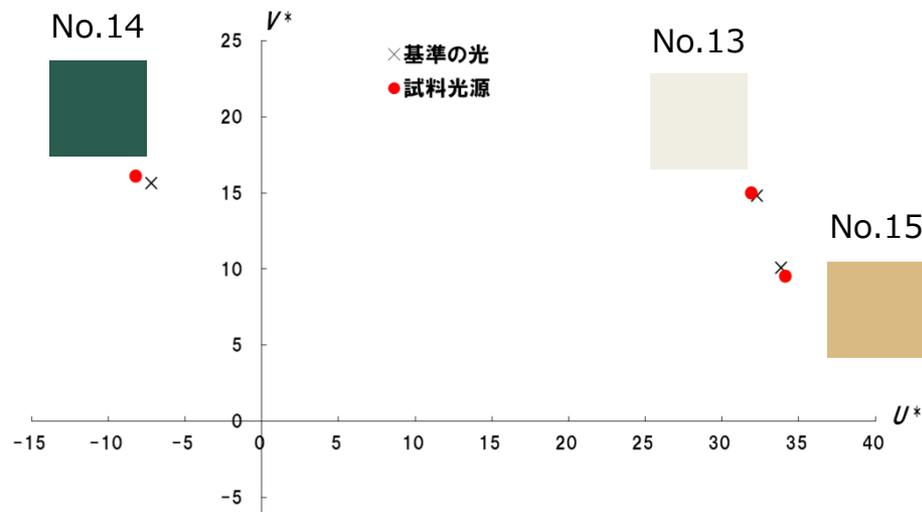
※米国の個体照明による省エネ政策と標準研究, Synthesiology, 2-2, pp.170-175(2009)

R_a が80以上でも、 R_9 が-90と極端に低い光源が
LEDなどの新光源には存在
→ CIEにて演色評価数の計算法見直しの動き

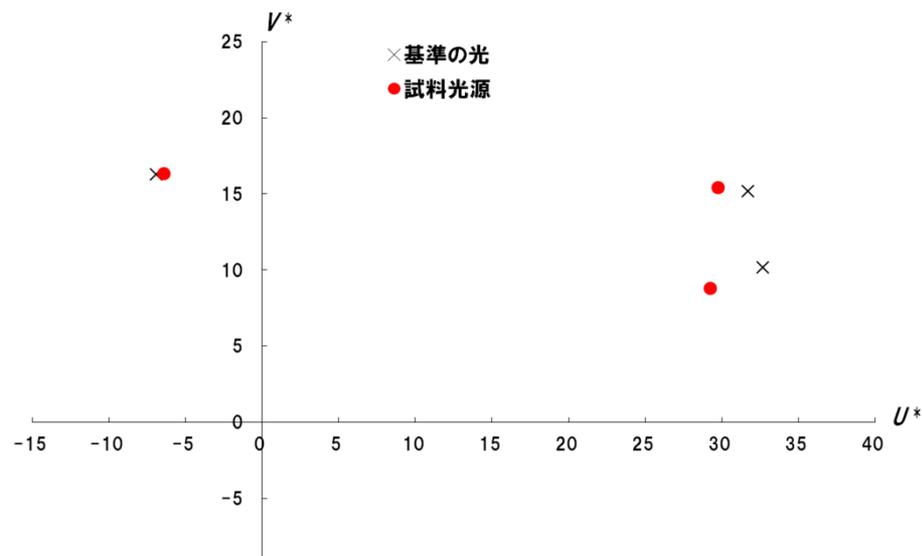
CIE1964 $U^*V^*W^*$ 値と特殊演色評価数 $R_9 \sim R_{15}$



R_a95 のLED光源の例 (5000K)



R_a86 のLED光源の例 (5000K)



高演色タイプが望まれる部位



病院の診察室



工場の検査部位



美術館・博物館

JIS Z9110:2010 照明基準総則でRa90以上が推奨されている部位

部位	領域, 作業又は活動の種類	
学校	執務空間	保健室
保険医療施設	作業 診療・検査空間	剖検
		診察室
		救急室, 処置室
		手術室
		回復室
		一般検査室
		生理検査室
		剖検室
		病理細菌検査室
		アイソープ室
		眼科暗室, 眼底検査
		視機能検査室
		霊安室
		執務空間
		技工室, 中央材料

部位	領域, 作業又は活動の種類	
事務所	執務空間	診察室
	共用空間	化粧室
美術館, 博物館, 公共会館及び劇場	美術館, 博物館	彫刻
		造形物
		模型
		洋画
		絵画
		日本画
		工芸品
		はくせい品
	標本	
	公共会館	支度室の鏡
劇場, コンサート	支度室の鏡	
宿泊施設, 公衆浴 場及び美容・理髪店	美容・理髪店	毛染
		メーカーアップ
		調髪

END