

空間の明るさ感指標Feuを用いた屋外照明設計法

Outdoor Lighting Design by Using Space Brightness Index Feu

森 星豪* ・ 松井 俊成** ・ 岩井 彌* ・ 茨 薫*** ・ 蓮尾 真****
Toshihide Mori Toshinari Matsui Wataru Iwai Kaoru Ibara Makoto Hasuo

屋内空間の明るさ感評価値と高い相関を示す空間の明るさ感指標 Feu の屋外空間への適用において、幾何平均輝度の算出範囲を視角で垂直 20 度（視点上側 8 度 + 下側 12 度）、水平 30 度の有効視野と呼ばれる範囲に設定することで、屋外空間の視環境でも明るさ感評価値と高い相関を示すことを実証した。また、これを用いることにより、屋外空間の明るさ感を定量的に評価できるとともに、安心感との相関も高いことを確認した。

この Feu と従来からの水平面照度を用いることで、屋外照明の設計品質の向上や照明方法の見直しによる省エネルギーの実現、設計期間の短縮、良好な視環境を実現する器具開発への適用など多くの効果が期待できる。

In the application of space brightness index, Feu, which shows a high correlation with the human assessment value of indoor space brightness, to an outdoor space, the same high correlation has been verified with the human assessment value of an outdoor space brightness by setting the computation range of the geometrical average brightness to the so-called effective view field, which has a 20-degree vertical view angle (8 degrees above and 12 degrees below the view line) and a 30-degree horizontal view angle. This index has been confirmed applicable to quantitative assessments of outdoor space brightness and have a high correlation with sense of security.

The use of this index, Feu, together with the traditional criteria of horizontal plane illuminance, is expected to provide many benefits such as improved design quality of outdoor lighting, energy conservation by reviewing the lighting method, reduced design lead-time, application to the fixture development for achieving a good visual environment, as well as other benefits.

1. ま え が き

最近の屋外空間では夜間景観を考慮した快適な光環境が求められており、安全・安心だけでなく、安らぎや落ち着き、にぎわいや華やかさなどの実現が重要な要素となっている。そのためには、安全に歩行できる水平面照度を確保するだけでなく、空間全体としての光環境を考慮する必要がある。たとえば、路面を明るくするだけでなく、周辺の建物や植栽をライトアップして立体的な光環境を構築することで明るさ感が高まり、視線が誘導され、空間としてのまとまりを表現できる。このように、立体的に明るさを捉えた空間の明るさ感に基づく照明設計が望まれている。

屋内空間を対象とした空間全体の光環境を評価する指標の一つに、空間の明るさ感の評価指標として提案されている Feu *¹⁾ がある^{1), 2), 3)}。Feu は観察者が空間を見たときに感じる実際の明るさ感と高い相関を示し、照明設計への応用も報告されている⁴⁾。

しかし、Feu は住宅やオフィス施設などの屋内空間を対象に開発されたため、明るさ順応レベルや空間スケールなどが屋内空間とは大きく異なる屋外空間に対しても適用できるとは限らない。

そこで筆者らは、さまざまな屋外空間の現場調査や屋外空間を想定した室内実験を行い、輝度分布測定の見視野範囲を新たに設定するとともに、照明器具の発光部輝度を考慮

* 照明事業本部 中央照明エンジニアリング総合部 Central Lighting Engineering Division, Lighting Manufacturing Business Unit

** 照明事業本部 照明エンジニアリング総合部 Lighting Engineering Division, Lighting Manufacturing Business Unit

*** 照明事業本部 施設・屋外照明事業部 Industrial & Exterior Lighting Division, Lighting Manufacturing Business Unit

**** デザイン部 Corporate Design Department

することで、Feu の屋外空間への適用を可能にした。

2. 空間の明るさ感指標Feuの概要

Feu は観察者の視野の輝度分布から算出され、次式で定義される。

$$Feu = 1.5 \times Lg^{0.7} \quad (1)$$

ここで、Lg は設定された観察者の視野の範囲内における幾何平均輝度である。

屋内空間を対象にした場合には、視角で垂直 85 度（視点上側 35 度 + 下側 50 度）、水平 100 度の誘導視野⁵⁾と呼ばれる範囲の Lg を用いる。この Lg を採用することで、図 1 の実験結果の一例⁶⁾ が示すように、Feu は空間の明るさ感評価値と高い相関関係を示す。また、住空間において十分な明るさが得られていると感じる Feu 値が 10 となるように、式 (1) の係数は 1.5 に設定されている。

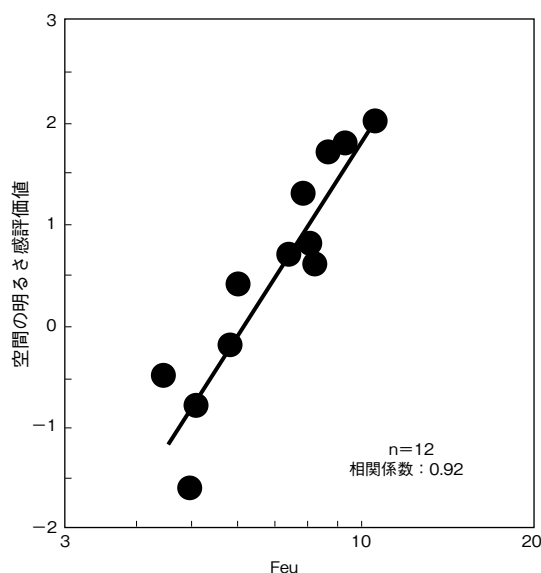


図1 Feu (誘導視野) と明るさ感評価値との関係⁶⁾

3. Feuの屋外空間の明るさ感指標への適用

3.1 屋外空間におけるFeu算出範囲の設定

Feu の屋外空間への適用を検討するため、103 地点に及ぶさまざまな屋外空間で視環境調査（視環境評価実験、Feu 測定、照度測定）を行う。主な調査箇所を以下に示し、夜景の一例を図 2 に示す。

(1) 東京地区

共同住宅：三田

公園：台場、みなとみらい

建築外構：六本木、表参道、汐留、大手町

商業地：新宿、秋葉原、新横浜

(2) 大阪地区

郊外住宅：河内山本、大和田

公園：桜島、久宝寺

建築外構：難波、淀屋橋

商業地：難波



(a) 建築外構



(b) 郊外住宅



(c) 公園

図2 調査箇所の夜景の一例

その結果、先に述べた誘導視野範囲内の輝度に基づく屋内空間に適した Feu と空間の明るさ感評価値との相関は、図 3 に示すように建築外構に関しては高い傾向を示しているが、郊外住宅や公園に関しては低い傾向を示している。相関が低い原因としては、屋外空間では屋内空間に比べ空間を捉える視野が狭くなるためと推測する。そこで、屋外空間における空間の明るさ感評価に影響を与える視野範囲を検討した結果、式 (1) の Lg を観察者の視角で垂直 20 度（視点上側 8 度 + 下側 12 度）、水平 30 度の視野内の Lg に変更する。この視野は、頭部を動かさずに眼球運動だけで瞬時に情報受容が可能な範囲をいい、有効視野と呼ばれている⁵⁾。

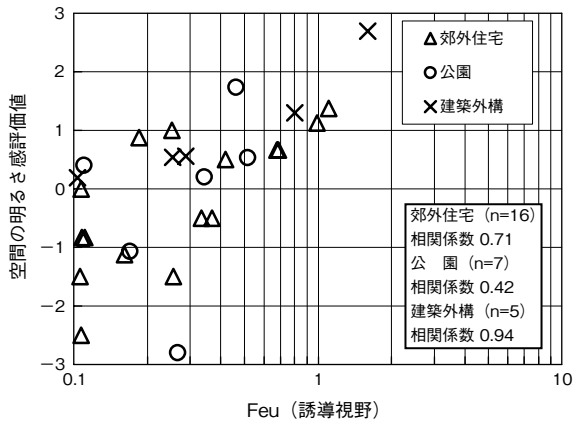


図3 Feu (誘導視野)と明るさ感評価値との関係

その結果を図4に示す。図3で相関の低かった郊外住宅や公園においても、Feuは空間の明るさ感評価値と高い相関を示している。

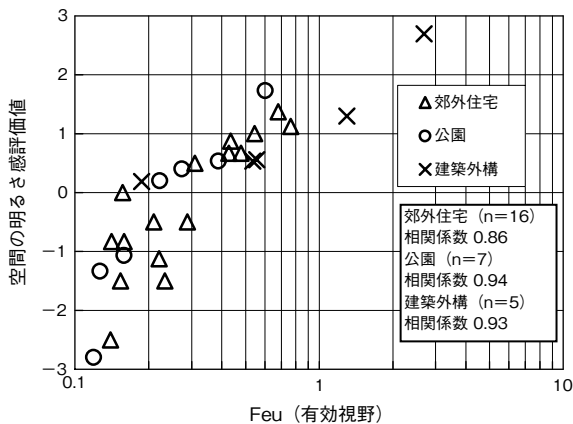


図4 Feu (有効視野)と明るさ感評価値との関係

3.2 Feuと安心感評価値

屋外空間においては、明るさ感だけでなく安心感も重要である。そこで、前節で述べた調査地点を含むさまざまな屋外空間において明るさ感や安心感などの印象評価実験および輝度分布測定を実施し^{7), 8)}、得られた輝度分布データから有効視野内のLgを算出してFeuを求めた。

その結果、図5に示すように、空間の明るさ感評価値は水平面照度との相関は低いがFeuとの相関は高く、Feuで0.5以上を満足しないとその空間はおおむね暗いと評価される。また図6に示すように、安心感評価値も水平面照度との相関は低いが、Feuとの相関は高く、Feuで0.3以上を満足しないとその空間はおおむね不安と評価される。

これらのことから、屋外空間においては有効視野に基づくFeuを用いることで、明るさ感だけでなく安心感も評価できる可能性がある。

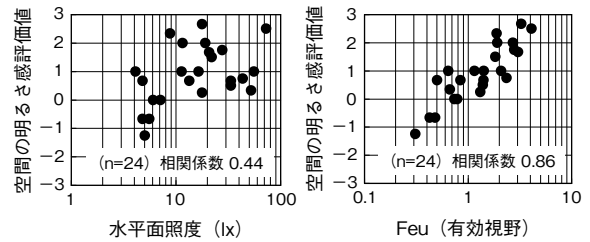


図5 水平面照度およびFeu (有効視野)と明るさ感評価値との関係

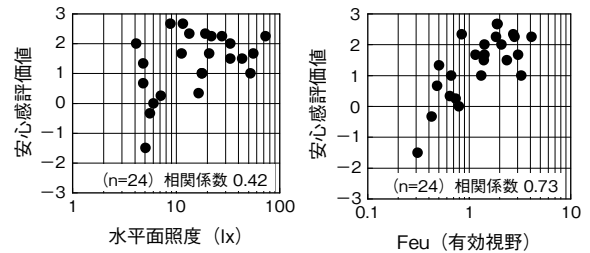


図6 水平面照度およびFeu (有効視野)と安心感評価値との関係

3.3 水平面照度とFeuによる屋外空間の視環境分類

3.1節で実施した屋外空間の視環境調査結果から算出した水平面照度とFeuとの関係は、図7に示すように、歩道・街路では水平面照度0.5～50 lx、Feu 0.1～2、建築外構では水平面照度1～60 lx、Feu 0.5～6、商業地では水平面照度10～300 lx、Feu 0.5～6と、対象施設別に分布が異なることがわかる。図8に各対象施設の事例を示す。これらの結果と明るさ感評価の結果をもとに、各対象施設別のFeuの目安を設定する(図9)。明るさ感が得られる好ましいFeuは、水平面照度にかかわらず、歩道・街路では0.5～2、建築外構では1～3、商業地では3～5程度が目安となることがわかる。

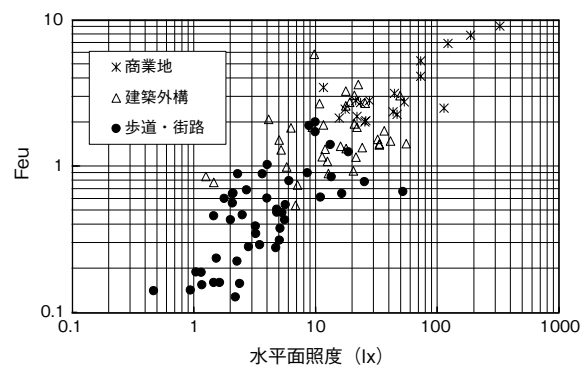


図7 屋外空間での水平面照度とFeuとの関係

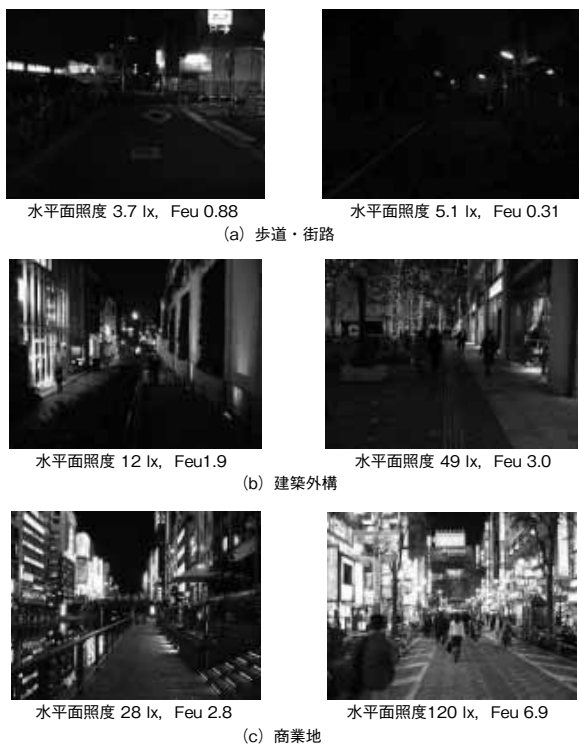


図8 各対象施設の事例

い水平面照度が低い空間の場合は、壁面や植栽のライトアップなどにより鉛直面輝度が高くなり、水平面照度は低いですがFeuの高い図10①に示す柔らかい印象の空間に分類される。

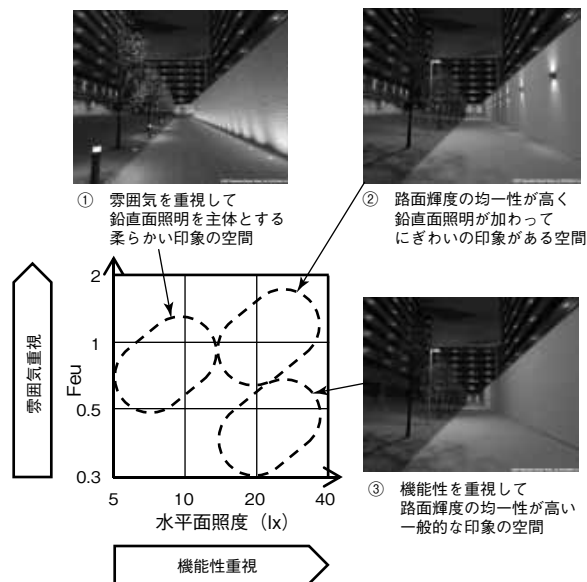


図10 屋外空間の印象分類

5			明るめ
			標準
			抑えめ
3		明るめ	
2	明るめ	標準	
1	標準	抑えめ	
0.5	抑えめ		
0.3			
	歩道・街路	建築外構	商業地

図9 屋外空間でのFeuの目安

図10に示すように、水平面照度とFeuを用いることで、機能と雰囲気の両面から空間の印象を大きく三つに分類できる。屋外空間の水平面照度は対象施設により大きく変化するが、図10に示す水平面照度とFeuとの関係は相対的に変化しない。

3～5 mの高い位置から路面を照射するポール照明方式は、効率良く水平面照度を確保できるために路面の視認性が良く安全に歩行できるが、視線方向の明るさ感が低い場合が多い。これは、照度が高くFeuの低い、図10③に示す路面輝度の均一性が高い機能性重視の空間に分類される。

また図11に示すように、器具発光部の輝きやイルミネーション、店舗の漏れ光などが存在する場合は、鉛直面輝度が高くなり、水平面照度もFeuも高い図10②に示すにぎわいの印象がある空間に分類される。

さらに図12に示すように、全般照明が設置されていない



図11 にぎわいの印象がある空間事例

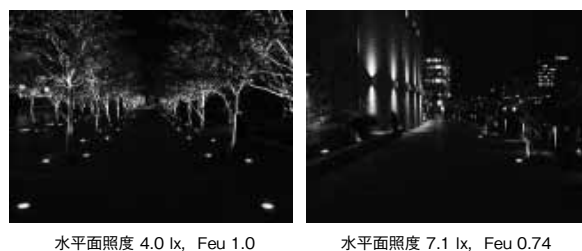
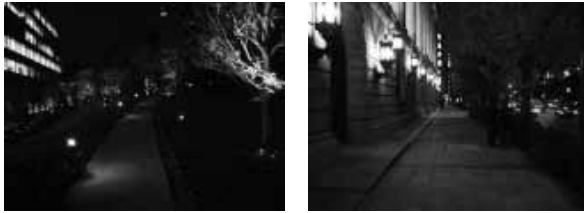


図12 柔らかい印象の空間事例

3.4 器具発光部の輝きのFeuへの影響

屋内空間においては、発光部輝度を適切に設定することにより空間の明るさ感が向上するという研究⁹⁾や、必要な空間の明るさ感を確保しながら従来よりも水平面照度を下げられるという研究がある¹⁰⁾。屋外空間においても、図13に示すように照明器具の発光部に輝きを感じる場合は主観評価による空間の明るさ感評価値が高くなるが、その影響はまだ定量的に明らかにされていない。



(a) 低ボール灯の事例 (b) 壁面ブラケットの事例

図13 器具発光部の輝きがある空間

そこで、実験室において屋外空間における発光部の輝きが空間の印象に与える影響を評価する^{11), 12)}。実験は屋外空間を模擬したCGパネルを作成し、CG上の照明器具の発光面積と発光部輝度を変化させて、7段階での主観印象評価とFeu測定を行う。

背景輝度 0.1 cd/m^2 における評価用画像の例を図14に、実験条件を以下に示す。なお、光源輝度は人工光源による調光で設定する。

- (1) 観測距離：1.44 m
- (2) 背景輝度：2種類 ($0.1, 1.0 \text{ cd/m}^2$)
- (3) 発光部の大きさ：4種類 ($0.00038 \sim 0.0027 \text{ sr}$)
- (4) 発光部輝度：5段階 ($135 \sim 4654 \text{ cd/m}^2$)
- (5) 照明器具：ダウンライト「NDFT44710」
- (6) 光源：コンパクト形蛍光ランプ (FHT32EX-L) 4灯
(3波長域発光形電球色)
- (7) 被験者：12名 (男女各6名), 22～49歳
- (8) 評価項目：明るさ感, まぶしさ, 輝き, 視認性, 快適性, 趣



(a) 発光部輝度 135 cd/m^2
発光部の大きさ 0.00038 sr (b) 発光部輝度 4654 cd/m^2
発光部の大きさ 0.0027 sr

図14 評価用画像の例

その結果、発光部の大きさと輝度を図15の①に示す領域に設定する場合は、式(1)で算出したFeuを最大1.5倍することで、実際の明るさ感と一致する。すなわち、発光部の大きさと輝度を適切に設定することで空間の明るさ感が向上するといえる。この領域を+Feu効果のある領域と呼ぶ。なお、図15の②は発光部に輝きを感じない領域、③は発光部にまぶしさを感じる領域を示している。

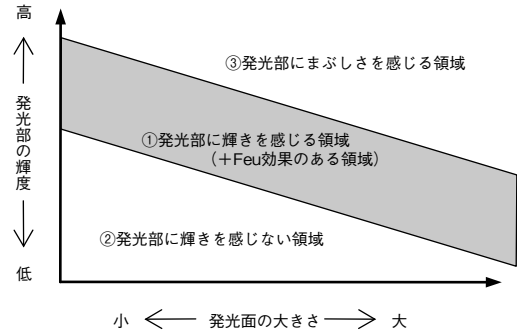


図15 +Feu効果のある領域

4. Feuを適用した屋外照明器具

4.1 開発品の概要

水平面照度だけでなく空間の明るさ感を重視した多彩な光空間の演出を照明器具の設計コンセプトとして、Feuを活用することで1台の照明器具で多彩なシーンを実現する照明器具を開発する。図16におおののシーンを示す。

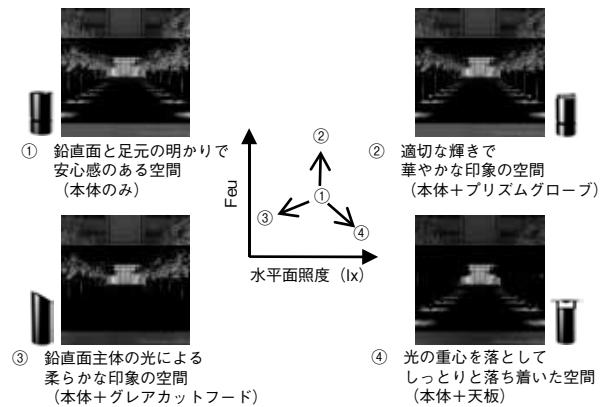


図16 照明器具の設計コンセプト

図16の②では、図17の(b)に示すように器具発光部を適切な大きさと輝度に設定することで、+Feu効果によって同じ消費電力で図17の(a)と比較して明るさ感を25%向上している。

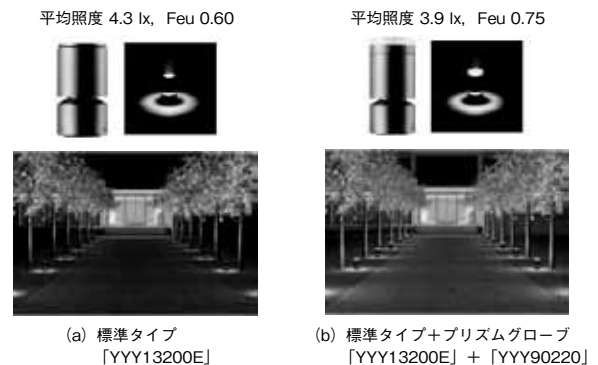


図17 +Feu効果のある器具使用による明るさ感の向上

4.2 開発品の特徴

開発品は、2種類の基本となる器具本体と3種類のオプションをそれぞれ組み合わせることにより、多彩な光空間を実現できる。

器具本体は、図18に示すように、器具高さが低くコンパクトな形状で、器具上面は雨水や落ち葉等が溜らない平面形状としている。また、45度のグレアカット角と内面の黒色塗装によりグレアにも配慮している。

基本本体は、図19に示すように、上方配光+下方配光タイプと上方配光タイプの2種類である。光源には「D25形パルックボールスパイラル蛍光灯」、材料にはアルミニウムダイカストを使用している。ライトアップだけの場合には上方配光タイプを、下方への明かりを付加することで足元の安心感も確保したい場合には上方配光+下方配光タイプの器具を選択する。

オプションとしては、図20に示す、プリズムグローブ、天板、グレアカットフードの3種類を用意している。プリズムグローブを用いることで、器具の最適な輝きによる華やかな印象の空間が実現でき、+Feu効果で効率良く明るさを向上できる。また、天板を用いることで、上方への光を遮蔽し、光を下方に導き、落ち着いた空間を実現できる。さらに、グレアカットフードを用いることで、下方向への光を遮蔽し、鉛直面主体の光による柔らかな印象の空間を実現できる。

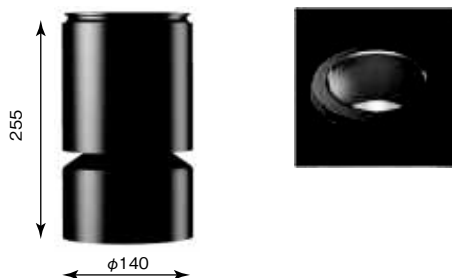


図18 器具本体

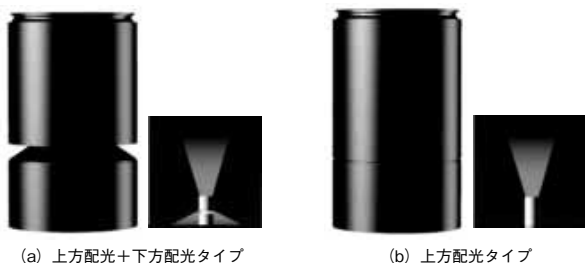


図19 基本本体

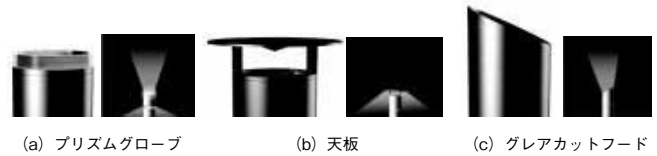


図20 オプション

5. あとがき

屋内空間の明るさ感評価値と高い相関を示す空間の明るさ感指標Feuの屋外空間への適用において、幾何平均輝度の算出範囲を視角で垂直20度（視点上側8度+下側12度）、水平30度の有効視野と呼ばれる範囲に設定することで、屋外空間の視環境でも明るさ感評価値と高い相関を示すことを実証した。また、これを用いることにより、屋外空間の明るさ感を定量的に評価できるとともに、安心感との相関も高いことを確認した。

また企画コンセプトの表現が定性的であっても、水平面照度とFeuによる屋外照明設計方法により定量的に置き換えることが可能となり、従来の水平面照度だけの設計に比べてその実現が容易になった。

以上のことから、Feuと従来からの水平面照度を用いることで、屋外照明の設計品質の向上や照明方法の見直しによる省エネルギーの実現、設計期間の短縮、良好な視環境を実現する器具開発への適用など多くの効果が期待できる。

●注

* 1) Feu：当社が提案する空間の明るさ感評価指標の名称で登録商標

*参考文献

- 1) 岩井 彌, 井口 雅行: 空間の明るさ感指標「Feu」による快適な空間創りのための新しい照明設計手法, 松下テクニカルジャーナル, Vol. 53, No. 2, p. 64-66 (2008)
- 2) 岩井 彌: 空間に対する感じ方の定量化～空間の明るさ感指標による照明設計, 建築と社会, 5月号, p. 28-29 (2009)
- 3) 岩井 彌: ユニバーサルデザインと省エネルギーを両立させるオフィス照明, 日本オフィス学会誌, vol. 1, No. 1, p. 63-67 (2009)
- 4) 澤村 晋次, 海宝 幸一他: 空間の明るさ感を考慮した視環境構築に関する研究 (その5), 電気設備学会全国大会講演論文集, p. 205-206 (2008)
- 5) 畑田 豊彦: VDT と視覚特性, 人間工学, 22-2, p. 45-52 (1986)
- 6) 井口 雅行, 岩井 彌, 藤野 雅行, 山口 秀樹, 篠田 博之: 色モード境界輝度による空間の明るさ感評価の応用事例, 平成 17 年度 (第 38 回) 照明学会全国大会, p. 161 (2005)
- 7) 森 星豪, 松井 俊成, 岩井 彌: 屋外景観における視環境の印象評価に関する研究第 1 報, 平成 19 年度 (第 40 回) 照明学会全国大会, p. 89 (2007)
- 8) 松井 俊成, 森 星豪, 岩井 彌: 屋外景観における視環境の印象評価に関する研究第 2 報, 平成 19 年度 (第 40 回) 照明学会全国大会, p. 90 (2007)
- 9) 明石 泉, 明石 行生, 田辺 吉徳, 金谷 末子: 照明器具の輝きによる明るさ感増加効果, 平成 7 年度 (第 28 回) 照明学会全国大会, p. 164 (1995)
- 10) 齋藤 良徳, 岩井 彌: 発光部輝度が空間の明るさ感に与える影響, 照明学会東京支部大会, p. 18 (1998)
- 11) 森 星豪, 松井 俊成, 岩井 彌: 照明器具の発光部輝度が屋外歩行空間の印象におよぼす影響, 平成 20 年 電気関係学会関西支部連合大会, G282 (2008)
- 12) 森 星豪, 松井 俊成, 岩井 彌: 景観照明における適切な発光部輝度に関する研究, 平成 20 年度 (第 41 回) 照明学会全国大会, p. 102 (2008)

◆執筆者紹介



森 星豪

中央照明エンジニアリング総合部



松井 俊成

照明エンジニアリング総合部



岩井 彌

中央照明エンジニアリング総合部



茨 薫

施設・屋外照明事業部



蓮尾 真

デザイン部