

# UV-Cube：屋外作業員のための紅斑紫外線量 6方向同時計測システム

横田 知樹<sup>1,†1,a)</sup> 近藤 亮磨<sup>2,b)</sup> 渡邊 慎一<sup>3,c)</sup> 森川 博之<sup>2,d)</sup> 岩井 将行<sup>1,e)</sup>

受付日 2017年12月25日, 採録日 2018年7月10日

**概要：**紫外線（以下 UV）は皮膚がんの発症や白内障などの重大な疾病につながるにもかかわらず、その健康影響の評価・予防は国内の労働現場ではあまり知られていない。さらに、反射率の高い建材の普及から過度な UV に暴露する潜在的なリスクは年々増大している。しかし、既存の UV センシング手法は、天空面などの 1 方向のみの計測を行うものばかりであり、太陽の動きや地物の UV 反射による影響を十分に考慮できていない。既存研究ではウェアラブルデバイスを用いて個人単位での UV 暴露を評価する試みがなされているが、作業員全員に UV センサを装着することはコストの観点から現実的でない。そのため、作業員の周辺環境において瞬間ごとの UV 暴露をより正確に計測することができれば、急性障害のリスクを認識することができ、繰り返し日々計測することで、反覆暴露によって積み重ねられる慢性傷害のリスクを認識することができる。そこで我々は、温熱環境分野で用いられる 6 方向からの日射と熱放射の計測により人体が受け取る熱量を推定する手法に着目して UV に応用し、地物および壁面からの反射を含めた、6 方向からの紅斑紫外線量を計測するセンシングシステムとして UV-Cube を提案・設計・実装・評価した。本論文では UV-Cube を用いて、直接天方向から光が当たらない屋外作業現場などの UV 暴露が軽視されてきた環境にも、太陽高度や反射が作用し複数方向から入射する UV による潜在的な暴露があることを明らかにした。

キーワード：紅斑紫外線量, UV インデックス, 複数方向同時計測, 屋外作業員, UV 暴露量

## UV-Cube: An Erythemal Ultraviolet Radiation Sensing System from Multiple Directions

TOMOKI YOKOTA<sup>1,†1,a)</sup> RYOMA KONDO<sup>2,b)</sup> SHINICHI WATANABE<sup>3,c)</sup>  
HIROYUKI MORIKAWA<sup>2,d)</sup> MASAYUKI IWAI<sup>1,e)</sup>

Received: December 25, 2017, Accepted: July 10, 2018

**Abstract:** Although ultraviolet rays (UV) attribute to serious diseases including skin cancer and cataract, its prevention has not been pervasive enough for outdoor workers. Furthermore, the potential risk of exposure to excessive UV is elevated because reflective materials increasingly apply to buildings in urban areas. However, existing methods to measure UV only from one direction such as the zenith direction. These methods do not cover UV from omni-direction irradiated by reflection. Other researchers attempt to evaluate the UV risk by attaching wearable UV sensors to all workers at a workplace. This approach requires much purchase cost and makes the UV measurement complicated for the workers. By measuring ambient UV at the place, is it possible to inform the potential UV risk. Consequently, we have created UV-Cube that measures ambient UV by sensing Erythemal UV from 6 directions. We import an idea of 6 directions from the research field of thermal environment to the UV measurement field. We reveal the UV risk hiding in places which appear to be safe and show the effectiveness of UV-Cube with experiments.

**Keywords:** Erythemal ultraviolet radiation, UV Index, multidirectional measurement, outdoor workers, UV dose

## 1. はじめに

紫外線（以下 UV）は日焼け（サンバーン）や雪目といった急性傷害や、皮膚がんや白内障などの慢性傷害を引き起こす要因である [1]。環境の UV を計測すれば、屋外作業員にセンサを付けるといった負担を強わずに安全な屋外作業環境を実現できる。しかし、既存の UV 計測システムは、太陽高度や反射による複数方向からの UV 暴露を考慮していないため屋外作業環境の UV 計測に適していなかった。そこで、我々は全方向からの UV を同時に計測することで屋外作業環境の UV を計測する UV-Cube を設計し、実装した。これを用いて、直接天方向から光が当たらない屋外作業現場など UV 暴露が軽視されてきた環境にも、太陽高度や反射が作用することで複数方向から入射する UV による潜在的な暴露があることを明らかにした。

### 1.1 UV リスクとその計測

波長帯域に応じて UV は UV-A、UV-B、UV-C に分けられる。特に、UV-A および UV-B の人体に対する影響は紅斑紫外線量を用いて評価される。紅斑紫外線量は、各波長の UV 強度に CIE（国際照明委員会）が定めた CIE 作用スペクトル [2] を掛けて、波長 250～400 nm で積分して求められる。これを  $25 \text{ mW/m}^2$  で除した UV Index が UV の評価指標として定義される [3]。この UV Index は 1 日の計測結果の最大値を把握することが重要とされている [4]。

### 1.2 既存計測手法の問題点

最大値はつねに天方向から照射されるとは限らないにもかかわらず、既存の計測手法は 1 方向か想定される限られた方向のみを計測していた。既存研究では、底下 [5] やビル [6]、雪面 [7]、浜辺 [8] などの環境分野で UV 反射を計測しているが、反射方向に向けて UV 計測を行っている。個々の環境に依存せずに UV 反射を考慮した UV の評価指標を検討するためには、全方向からの UV を同時に計測するシステムが必要である。また、いくつかのウェアラブルデバイスが提案されているが、作業員全員に UV センサを

装着することはコストの観点から現実的でなく、環境自体の UV 計測として全方向からの UV を計測することが必要である。

### 1.3 論文構成

本論文の構成は以下のとおりである。2 章で関連研究を論じ、3 章で我々の開発した複数方向からの紅斑紫外線量センシングシステムである UV-Cube のデザインを述べる。4 章で開放環境における評価と考察をし、5 章でビル環境での評価と考察をする。最後に 6 章でまとめる。

## 2. 関連研究

以下に、屋外労働環境における全方向からの UV 計測という観点から関連研究を整理して述べる。

### 2.1 気象観測としての UV 計測

気象観測における UV の計測は、日本では国立環境研究所の有害紫外線モニタリングネットワーク [9] や、気象庁の紫外線情報分布図 [10] で行われている。有害紫外線モニタリングネットワークは、国内の教育機関、試験研究機関、および市民団体の協力で運営されている日本各地の UV の量を観測する取り組みである。これに用いられる観測機器は、有害紫外線モニタリングシステム保守管理指針 [11] によって定められている。これによると、UV の観測機器は全天にわたり 5 度以下の仰角の UV を計測可能で、周辺建築物の反射光や遮蔽の影響が少ない環境に設置することとしている。また、気象庁の気象観測の手引き [12] で定められている全天電気式日射計も空から降り注ぐ UV のみを観測している。しかし、実際の屋外作業空間ではビルや地物からの反射の影響があるため、この UV の値だけを用いて屋外作業環境での人体への健康被害を正確に評価することは難しい。

### 2.2 ウェアラブルデバイスによる UV 計測

これまで多様な UV 計測を行うウェアラブルデバイスが提案されている。Fahrni らは、UV 計測を行う最初のウェアラブルデバイスを提案している [13]。この研究ではスノーボードや登山などの雪山での利用を想定している。雪山では、ユーザの露出部は顔だけに限られているため、UV センサは肩と胸、ヘルメット頭頂部の 3 カ所だけに装着される。Zhang らは、両腕に UV センサを貼り付けて UV を計測し、UV に暴露前の利用者の皮膚の色から、UV に暴露し続けた場合の皮膚の色を予測し、Google Glass で装着者に警告を出すデバイスを開発している [14]。また Puente-Mansilla らは、視覚障害者は自ら UV を避けることができないことに着目し、視覚障害者の肩に UV センサを装着し、UV の値が高い場合はユーザのスマートフォンから発せられる音声によって警告するデバイスを提案して

<sup>1</sup> 東京電機大学大学院未来科学研究科  
Graduate School of Science and Technology for Future Life,  
Tokyo Denki University, Adachi, Tokyo 120–8551, Japan

<sup>2</sup> 東京大学大学院工学系研究科  
Graduate School of Engineering, The University of Tokyo,  
Bunkyo, Tokyo 113–8656, Japan

<sup>3</sup> 大同大学工学部建築学科  
Department of Architecture, School of Engineering, Daido  
University, Nagoya, Aichi 457–8532, Japan

<sup>f1</sup> 現在、アマノ株式会社  
Presently with Amano Corporation

a) yokota@cps.im.dendai.ac.jp

b) kondo@mlab.t.u-tokyo.ac.jp

c) nabeshin@daido-it.ac.jp

d) mori@mlab.t.u-tokyo.ac.jp

e) iwai@cps.im.dendai.ac.jp

いる [15]. これらは UV センサの数が限られているため、太陽光や反射光の入射角によって、UV を計測できない場合がある. 装着する UV センサの数を増やすと屋外作業員の負担が増えるため適切とはいえない.

### 2.3 建築分野での UV 計測

建築分野では、建築物や環境の安全性を保証する目的で行われた測定であり、汎用的に全方向からの UV の計測を行うことを可能とする計測システムは提案されてこなかった. 遠藤らは、人の顔面に注目し、全方向からの UV の量を計測、推定する式を導出している [7]. しかしながら、事前に紫外線の入射方向が分かっている環境下で用いることが求められており、紫外線量の影響が軽視され入射方向が分かっている環境で用いることはできない. また、計測する装置は同時に全方向の UV の量を考慮することはできない. また川西らは、海浜における UV の砂面および水面反射を計測し、休憩所やパラソルなどで天方向からの UV 放射を防ぐ以外にも対策の必要性について述べている [8]. しかし、計測に用いた装置は計測方向を変えることができるが、同時に全方向からの UV 放射量を考慮することはできない. 新らは、日射反射性能の高いガラスを用いる建物の増加による光害や熱環境の悪化を問題としてあげている [6]. 天方向以外にもビル面からの UV 反射による健康影響と防御対策の必要性について述べ、反射光の測定を行っている. しかし、同時に全方向の計測は行っていない. そのため、UV が入射する方向が分かっている環境での計測しかできず、より多様な環境での UV 反射の危険性を示すことに向いていない. そのほかに、Parisi らは日除けを評価する観点から、地物からの UV 反射光の考察を行っている [5]. また Wachler は、自動車の運転手は顔の左側に皮膚がんが発症することが多いことに着目し、側面からの UV 計測を行い、自動車のサイドウィンドウの改善を行っている [16].

## 3. UV-Cube システム

提案手法および、それに基づいて我々が実装した UV-Cube について以下に詳しく述べる.

### 3.1 設計思想

日射 (短波長放射) と熱放射 (長波長放射) を 6 面 (東西南北天地) で計測を行うことで人体が受け取る熱量と同等の計測が可能であると知られており、この方法はドイツ技術者協会 (VDI) によって、VDI 3787 [17] として標準化され、一般的に利用されている. 我々は、この温熱環境分野の 6 方向の値を用いた算出方法に着目した. この既存の知見を UV 分野に展開し適用するためには、6 方向 (東西南北天地) を計測できる必要がある. しかし、UV 計測の分野では 6 方向計測は実現されていない. そこで、UV 計測

に適したデバイス設計が求められる. 6 個のセンサの距離を近くするために小型化することが望ましい. また、筐体からセンサに対して反射する UV の影響を最小限に抑える必要がある. 加えて、多様な計測環境に手軽に持ち込み設置するために可搬性も考慮しなければならない. さらに、屋外では通信環境の用意が難しいため、システムにデータが蓄積されることが好ましい. 日中に連続して計測を行うことから、約 15 時間は稼働できる必要がある.

もし、既存のシステムを組み合わせる提案手法と同等の計測を行う場合、6 台の既存システムが必要となる. その場合、購入や設置などのコストが増大し、ログデータの時刻同期が難しくなり、より設置スペースが必要になる. そのため、実装は 6 個のセンサと、ディスプレイ、記憶装置、バッテリーが 1 つのシステムとして設計されることが望ましい.

### 3.2 利用シナリオ

以下に想定される 2 つの UV-Cube の利用シナリオごとに UV 暴露の計算方法の例を示す.

#### 開放環境で体の向きが変化する屋外作業現場

土木作業現場のような見通しの良い開放環境で資材を運ぶなど、足場を組み立てるために移動が多いシナリオが考えられる. この場合、つねにランダムに体の向きを変えることを仮定すると、式 (1) のように全センサ面の UV Index の平均を用いて UV 暴露を評価する計算が適切と考えられる. ただし、 $t$  は時間、 $t_0$  は暴露開始時刻、 $T$  は任意の暴露時間、 $s = \{E, W, S, N, Z, G\} \in \mathbf{S}$  はセンサ面の集合および東、西、南、北、天、地方向のセンサ面、 $UV_s(t)$  は時刻  $t$  にセンサ面  $s$  が返す UV Index とする.

$$UV_{ave}(t) = \frac{1}{6} \sum_{s \in \mathbf{S}} UV_s(t) \quad (1)$$

#### ビル環境で体の向きが一定な屋外作業現場

ビルの窓拭きのように屋外作業員がつねに一定方向を向いているシナリオも考えられる. この場合は、つねに同じ面の皮膚が UV に暴露し続けるため、式 (2) のように UV が最も多い面の値で UV 暴露を評価する計算が適切といえる. ここで  $\max(\mathbf{S})$  は最大 UV Index を返すセンサ面とする.

$$UV_{max}(t) = UV_{\max(\mathbf{S})}(t) \quad (2)$$

### 3.3 UV-Cube の実装

以下に、我々が実装した UV-Cube の特徴を述べる.

#### 6 方向構造

我々の開発した UV-Cube の概要を図 1 に示す. 6 方向を計測するために筐体は 6 面の立方体である. それらの面に紅斑紫外線量の計測が可能な UV センサが構成される. この UV センサは商用の UV 計測器に組み込まれた実績の

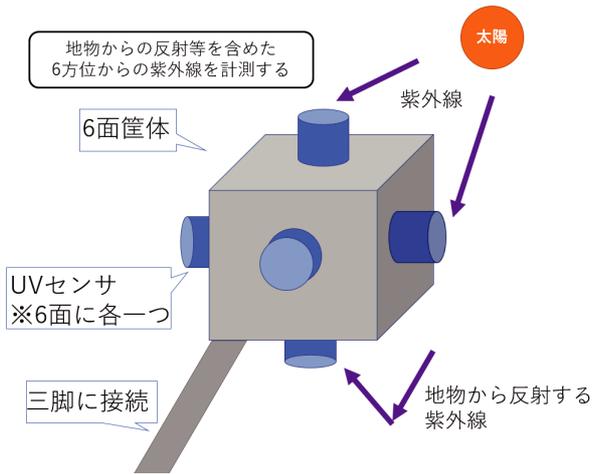


図 1 UV-Cube 提案手法図  
Fig. 1 Design of UV-Cube.

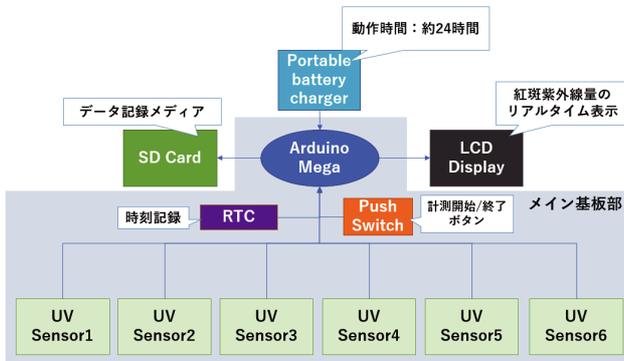


図 2 UV-Cube 基板構成図  
Fig. 2 Internal structure of UV-Cube.

ある Davis 社の Vantage Pro UV Sensor を用いた。センサの測定範囲 0~16 Index, 測定精度は 0.1 Index ( $\pm 5\%$ FS) である。角度特性は  $\pm 4\%$ FS ( $0 \pm 90^\circ$ ) であるため、6 方向で全方向の計測が十分可能である。UV-Cube は三脚に取り付けて地面から離れた高さに設置することで、地面からの反射成分の計測が可能である。設置時には筐体上面に実装された水平器とコンパスによって方向の較正ができる。筐体と計測装置の実装上の工夫点

UV-Cube の構成を図 2 に示す。UV-Cube は、UV センサ接続用モジュージャック、LCD ディスプレイ、SD カードスロット、RTC モジュール、スイッチが実装された基板および Arduino Mega、モバイルバッテリーが 1 つのシステムとして構成される。制御マイコンには、プログラマブルで安価であるため Arduino を採用した。LCD ディスプレイと RTC モジュールは I<sup>2</sup>C、SD カードスロットとは SPI、UV センサとはシリアルで通信するため、これらを同時に使用できるポートを備えた最小構成である Arduino Mega を用いた。ディスプレイは時刻および各 UV センサの UV Index を表示する。

構成部品を減らし可能な限り小型化するために、Arduino Mega のシールド基板として 6 個の UV センサを接続する

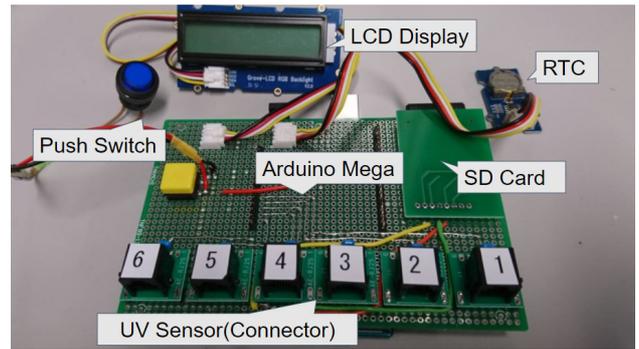


図 3 基板部外観 (89 mm × 136 mm)  
Fig. 3 Custom-developed microcontroller platform (89 mm × 136 mm) connected to UV sensors and an LCD display.



図 4 UV-Cube センサ部外観  
Fig. 4 Sensor unit of UV-Cube.



図 5 UV-Cube 設置例  
Fig. 5 Appearance of UV-Cube.

ためのモジュラを 6 つ備えた 89 mm × 136 mm の基板を設計し実装した (図 3)。筐体を黒色にすることで光の反射を抑えた (図 4)。筐体が黒色であることから熱を吸収するため、熱変形に強い木材を採用した。UV-Cube の筐体は、ワンタッチで三脚に取り付けや取り外しができるため、持ち運びがしやすい。また、6 つのセンサからの計測データは RTC モジュールで時刻同期されながら SD カードに記録される。内蔵されたりチウムイオンバッテリーの容量は 2,500 mAh であり、平均消費電力は 100 mA/h であるため充電後は 25 時間の連続稼働が可能である。以上の構成部品と UV センサの箱の内部に突出する部分のサイズを考慮し、筐体の寸法は 14 cm × 14 cm × 14 cm とした。

設置例を図 5 に示す。設置手順は、三脚の高さ、傾きを合わせ筐体を水平にし、筐体の各面に割り当てられたセンサ番号と方位を揃える。次に筐体内のモバイルバッテリーと

基板部を接続して起動する。その後、筐体外部に接続したプッシュスイッチを押すことで計測を開始する。終了時は同様にスイッチを押す、その時点で計測が終了する。

#### 4. 開放環境評価

開放環境として大同大学の滝春グラウンド (図 6, 図 7) で、UV-Cube を用いて UV Index を計測する実験を行った。実験時は 2 台の UV-Cube を日向と日陰に設置するため、コンパスを用いて南となる方向を 2 筐体間で揃えて設置した。実験時の気象条件は表 1 のとおりである。

##### 4.1 UV-Cube システムの正確性評価

本節では UV-Cube 実装の信頼性を評価するために、プロ向けの製品として流通する 1 方向の紅斑紫外線量を計測する既存システム (Data Logging Radiometer, Model PMA2100 + Biologically Weighted UV-B Detector, Model PMA2101) と UV-Cube の比較をする。既存システムと



図 6 開放環境・測定機位置図

Fig. 6 Layout of UV-Cube systems at the open space.



図 7 開放環境外観

Fig. 7 View of the open space.

表 1 開放環境測定日の気象条件

Table 1 Weather information in the measurement for open space environment.

測定日	2017 年 8 月 17 日
測定時間	12:40~14:10
最高気温 (°C)	32.1
平均相対湿度 (%)	60.4
日照時間 (h)	4.6
天気概況	雲後晴

UV-Cube を日向に設置し、それぞれの天方向の UV Index 値と相関を図 8 に示す。決定係数  $R^2$  (decision coefficient) は 0.9888 と高く、UV-Cube は高価なプロ向けの製品と遜色ない計測が可能であり、我々の実装の信頼性は十分と考えられる。

##### 4.2 開放環境における 6 方向計測結果

前節の条件に基づいて、計測結果を、日向は図 9 に、日陰は図 10 に示す。開放環境の日向では、天方向からの UV がつねに最大値となることは既存研究のとおりである。しかし、日陰では天方向よりも東方向がより高い値を示している。これは西からの太陽光が東方向にある地物に反射し

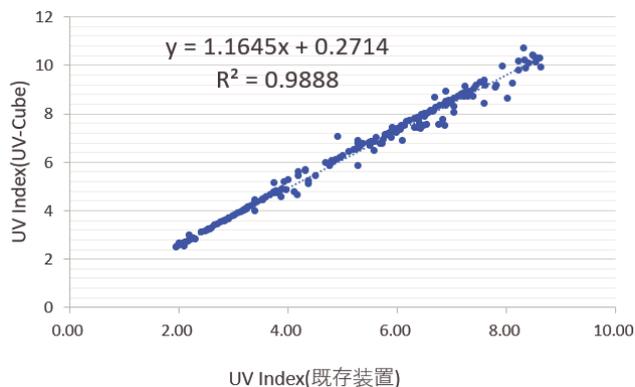


図 8 UV-Cube の正確性評価

Fig. 8 Evaluation result on accuracy of UV-Cube.

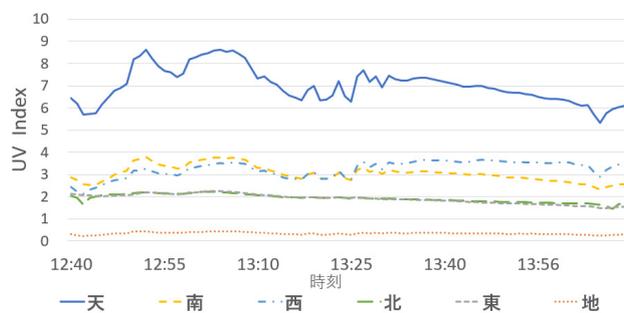


図 9 UV Index の推移 (2017/8/17, 開放環境, 日向)

Fig. 9 Changes in UV Index values of 6 directions in the sun (2017/8/17, open space measurement).

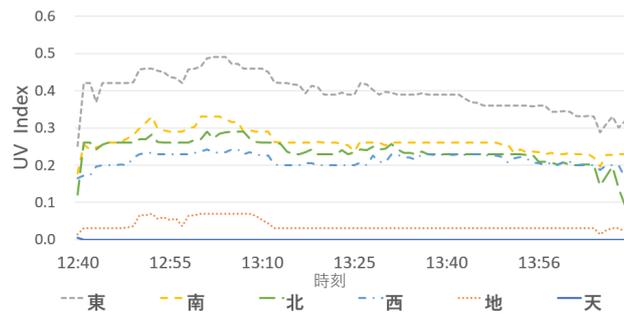


図 10 UV Index の推移 (2017/8/17, 開放環境, 日陰)

Fig. 10 Changes in UV Index values of 6 directions in the shade (2017/8/17, open space measurement).

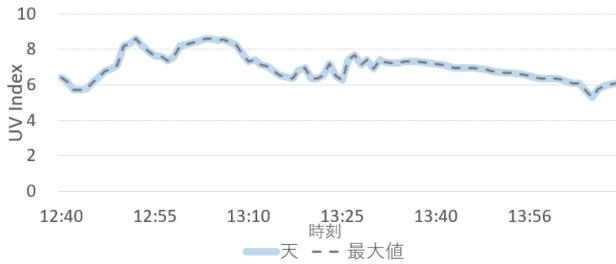


図 11 開放環境・日向における最大値と 1 方向計測の値の乖離  
**Fig. 11** Difference between maximum UV Index in 6 directions and UV Index in one direction in the sun (Open space).

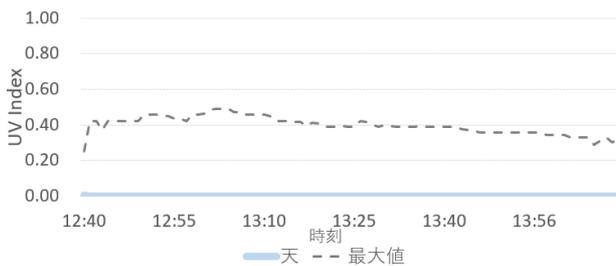


図 12 開放環境・日陰における最大値と 1 方向計測の値の乖離  
**Fig. 12** Difference between maximum UV Index in 6 directions and UV Index in one direction in the shade (Open space).

たためと考えられる。ゆえに天方向のみ計測では不十分であり、複数方向からの UV を考慮した計測が必要といえる。

### 4.3 開放環境における UV-Cube からの最大値と 1 方向計測の UV 値との乖離性評価

本節では開放環境の日向と日陰において、UV-Cube から出力される最大値 (式 (2)) と、天方向のセンサから得られる値を比較し、既存の 1 方向計測との乖離性を評価する。日向の実験結果を図 11 に、日陰の実験結果を図 12 に示す。開放環境の日向では前節で述べたとおりつねに天方向が最大であるため、既存の天方向のみの計測で十分であることが分かる。しかし、日陰では環境によって最大値となる方向が異なり、最大値と天方向の値に乖離があることから、天方向の計測だけでは不十分である。したがって、開放環境では日陰の UV 環境評価に UV-Cube による複数方向同時計測は有用である。

## 5. ビル環境評価

ビル環境として東京電機大学東京千住キャンパス内の地上 5 階の南向きのラウンジ (図 13, 図 14) で、UV-Cube を用いて UV Index を計測する実験を行った。実験時は前章の実験と同様に 2 台の UV-Cube を日向と日陰に設置するため、コンパスを用いて南となる方向を 2 筐体間で揃えて設置した。実験時の気象条件は表 2 のとおりである。

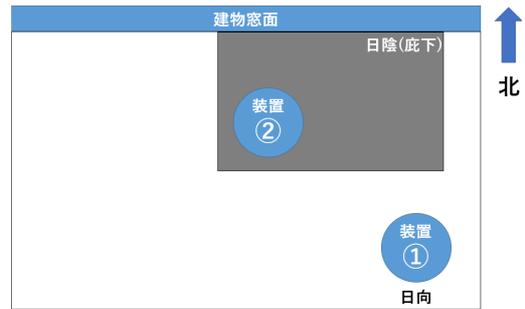


図 13 ビル環境・測定機位置図  
**Fig. 13** Layout of UV-Cube systems at the building.



図 14 ビル環境外観  
**Fig. 14** View of the building.

表 2 ビル環境測定日の気象条件

Table 2 Weather information in the measurement for building environment.

測定日	2017 年 10 月 10 日
測定時間	12:30~16:30
最高気温 (°C)	29.6
平均相対湿度 (%)	68
日照時間 (h)	10.8
天気概況	快晴

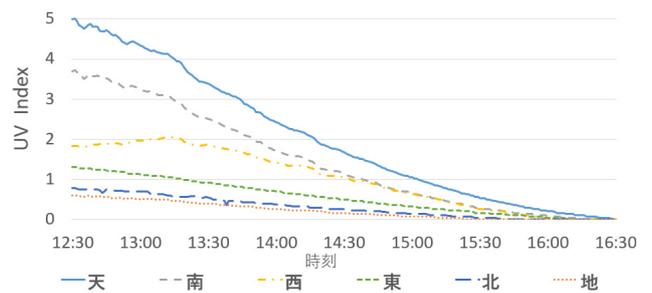


図 15 UV Index の推移 (2017/10/9, ビル環境, 日向)  
**Fig. 15** Changes in UV Index values of 6 directions in the sun (2017/10/9, Building measurement).

### 5.1 ビル環境における 6 方向計測結果

前節の条件に基づいて、計測結果を、日向は図 15 に、日陰は図 16 に示す。日向では天方向からの UV がつねに最大値であるが、日陰では天方向よりも南方向や西方向がより高い値である。そのため、日陰では天方向の計測が不適切であるばかりか、南や西の 1 方向の計測では不十分である。したがって、UV の複数方向同時計測は必要である。

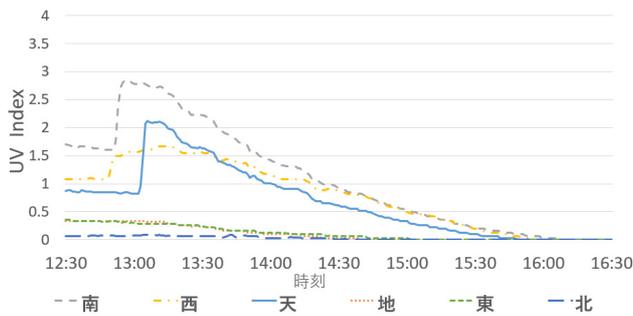


図 16 UV Index の推移 (2017/10/9, ビル環境, 日陰)

Fig. 16 Changes in UV Index values of 6 directions in the shade (2017/10/9, Building measurement).

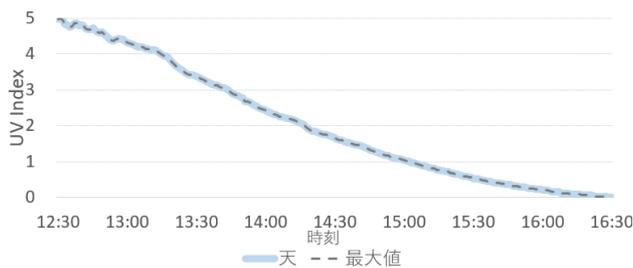


図 17 ビル環境・日向における最大値と 1 方向計測の UV 値との乖離

Fig. 17 Difference between maximum UV Index in 6 directions and UV Index in one direction in the sun (Building).

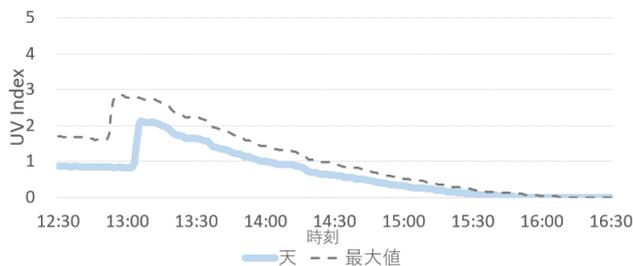


図 18 ビル環境・日陰における最大値と 1 方向計測の UV 値との乖離

Fig. 18 Difference between maximum UV Index in 6 directions and UV Index in one direction in the shade (Building).

また、この結果では計測日の日射量が少ないため数値としては UV 暴露が低く見えるが、日陰の南方向や西方向の UV Index は天方向よりも高くなっていることから、日射量が多く天方向の UV Index が高い日では、計測結果と同様に南や西方向が天方向より高い値となり日陰は想定外に UV 暴露が高い状態になると考えられる。

### 5.2 ビル環境における UV-Cube からの最大値と 1 方向計測の UV 値との乖離性評価

本節では前章と同様に UV-Cube からの最大値 (式 (2)) と天方向計測の UV 値との乖離性を評価する。日向の実験結果を図 17 に、日陰の実験結果を図 18 に示す。前章と同様に日向では天方向が最大値である。日陰では太陽高度

やビル壁面反射、庇や植木が存在することで、天方向や南方向の値がつねに最大値になるとは限らず、最大値と天方向の値に乖離が生じている。またビル環境では、前章の開放環境と比較して乖離が大きく、既存の天方向のみの計測では最も日差しが強くなる時間帯に UV 暴露が過小評価されている。したがって、天方向のみの計測では困難である、複数方向からの反射や太陽位置を考慮した計測が可能な UV-Cube は有用である。

## 6. まとめと展望

本論文では、立方体の 6 面に UV センサを備えた UV-Cube を提案・設計・実装し、開放環境であるグラウンドと都市空間の典型であるビル環境において日向と日陰に計測装置を設置した実験を行い、環境によって方向ごとに暴露する UV 量が異なることを示した。これにより、UV 暴露が軽視されてきた環境にも潜在的な UV 暴露があることを明らかにした。

今後の予定として、UV-Cube の計測結果を用いて、UV 計測分野においてこれまで想定されていなかった複数方向から入射する UV 暴露の評価方法、指標を設計する。そのために関連研究で計測が行われている環境をはじめとする様々な環境での計測を行う。特に UV を反射する壁面や床面、雪面、水辺などでの実験があげられる。それらをふまえて、長期的な評価を行う。

また展望として、労働現場に設置し、温湿度などの他の指標とあわせ、労働環境における健康影響を複合的に評価することや、医師や医療機関、建築現場作業員との連携も期待できる。また、UV-Cube から得られるデータによって、少量のセンサや、気象衛星のデータと環境情報から、あらゆる方向からの UV 量を推定する研究も促進される。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 JP16K00799 の助成を受けた。

### 参考文献

- [1] 上出良一：紫外線防御の皮膚科学的意義，日本化粧品技術者会誌，Vol.30, No.3, pp.265-272 (1996).
- [2] CIE: Erythema Reference Action Spectrum, CIE (online), available from [www.cie.co.at/?i\\_ca\\_id=611&pubid=190](http://www.cie.co.at/?i_ca_id=611&pubid=190) (accessed 2017-12-21).
- [3] WHO: UV Index, WHO (online), available from [www.who.int/uv/intersunprogramme/activities/uv\\_index/](http://www.who.int/uv/intersunprogramme/activities/uv_index/) (accessed 2017-12-21).
- [4] WHO: UV Index (For the public), WHO (online), available from [http://www.who.int/uv/intersunprogramme/activities/uv\\_index/en/index1.html](http://www.who.int/uv/intersunprogramme/activities/uv_index/en/index1.html) (accessed 2018-05-02).
- [5] Parisi, A.V. and Turnbull, D.J.: Shade provision for UV minimization: A review, *Photochemistry and Photobiology*, Vol.90, No.3, pp.479-490 (2014).
- [6] 新 聖子, 垂水弘夫, 久保猛志: ストリートキャニオンにおける紫外域日射の人体被照量推定に関する研究, 日本建築学会環境系論文集, Vol.71, No.602, pp.77-84 (2006).

- [7] 遠藤恵子, 松江浩二, 竹下 秀, 坂田俊文, 佐々木政子: 屋外の各種環境における太陽紫外 UV-B と UV-A 放射量の測定と評価, 照明学会誌, Vol.82, No.11, pp.877-883 (1998).
- [8] 川西利昌, 緒方一就: 海浜における鉛直面紫外放射照度に関する研究, 日本建築学会環境系論文集, Vol.68, No.574, pp.65-70 (2003).
- [9] 国立環境研究所: 有害紫外線モニタリングネットワーク, 国立環境研究所 (オンライン), 入手先 (<http://db.cger.nies.go.jp/gem/ja/uv/>) (参照 2017-12-21).
- [10] 気象庁: 全国の紫外線の状況が毎時間把握可能になります, 気象庁 (オンライン), 入手先 (<http://www.jma.go.jp/jma/press/1712/12a/UV1712.html>) (参照 2017-12-21).
- [11] 国立環境研究所: 有害紫外線モニタリングネットワーク活動報告, 有害紫外線モニタリングシステム保守管理指針, pp.121-134, 国立環境研究所 (2005).
- [12] 気象庁: 気象観測の手引き, 気象庁 (オンライン), 入手先 ([http://www.jma.go.jp/jma/kishou/kuow/kansoku\\_guide/tebiki.pdf](http://www.jma.go.jp/jma/kishou/kuow/kansoku_guide/tebiki.pdf)) (参照 2017-12-21).
- [13] Fahrni, T., Kuhn, M., Sommer, P., Wattenhofer, R. and Welten, S.: Sundroid: Solar radiation awareness with smartphones, *Proc. 13th International Conference on Ubiquitous Computing*, pp.365-374, ACM (2011).
- [14] Zhang, X., Xu, W., Huang, M.-C., Amini, N. and Ren, F.: See UV on your skin: An ultraviolet sensing and visualization system, *Proc. 8th International Conference on Body Area Networks*, pp.22-28, ICST (Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering) (2013).
- [15] Puente-Mansilla, F., Boza-Quispe, G., Lapa-Velasquez, G., Matos-Avalos, C. and Rosales-Huamani, J.: A wearable UV sensor and accessible smartphone application for blind people, *2016 IEEE International Symposium on Consumer Electronics (ISCE)*, pp.81-82, IEEE (2016).
- [16] Wachler, B.S.B.: Assessment of Levels of Ultraviolet A Light Protection in Automobile Windshields and Side Windows, *JAMA Ophthalmology*, Vol.134, No.7, pp.772-775 (2016).
- [17] Ingeneure, V.D.: VDI 3787, Part II: Environmental Meteorology: Methods for the Human-biometeorological Evaluation of Climate and Air Quality for the Urban and Regional Planning at Regional Level, *Part I: Climate. VDI/DIN-Handbuch Reinhaltung der Luft*, Vol.1 (1998).



横田 知樹 (学生会員)

2018年東京電機大学大学院情報メディア学専攻修士課程修了, 同年よりアマノ株式会社勤務。IoT 開発, 生体計測機器開発の研究に従事。生気象学会, 電子情報通信学会各会員。



近藤 亮磨 (学生会員)

東京大学大学院工学系研究科。2017年東京電機大学大学院情報メディア学専攻修士課程修了。データベースシステム, 防災情報システム等の研究に従事。電子情報通信学会, 土木学会各会員。WebDB Forum 2016 ヤフー株式会社賞受賞。第1回 qi WPC コンテスト特別賞受賞。



渡邊 慎一

大同大学工学部建築学科教授, 1991年名古屋工業大学工学部社会開発工学科卒業。1999年名古屋工業大学大学院工学研究科社会開発工学専攻修了。博士(工学)。現在, 大同大学工学部建築学科教授。室内および屋外における熱環境の研究に従事。日本生気象学会幹事。人間-生活環境系学会理事。日本建築学会東海賞, 人間-生活環境系学会論文賞。



森川 博之 (正会員)

1987年東京大学工学部電子工学科卒業。1992年同大学大学院博士課程修了。現在, 同大学院工学系研究科教授。博士(工学)。2002~2006年情報通信研究機構モバイルネットワークグループリーダー兼務。モノのインターネット/M2M/ビッグデータ, センサネットワーク, 無線通信システム等の研究に従事。本会論文賞, 電子情報通信学会論文賞(3回), 情報通信学会論文賞, ドコモモバイルサイエンス賞, 総務大臣表彰, 志田林三郎賞等受賞。新世代IoT/M2M コンソーシアム会長, OECD デジタル経済政策委員会(CDEP)副議長, 総務省情報通信審議会委員, 国土交通省研究開発審議会委員等。



岩井 将行 (正会員)

2004年慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科博士課程修了。博士(政策・メディア)。同大学院政策・メディア研究科特任講師(有期)を経て東京大学生産技術研究所助教。2013年より東京電機大学未来科学部情報メディア学科准教授(現職)。ユビキタスコンピューティング, センサネットワーク, 防災技術, ユーザ参加型センシング, IoT等の研究に従事。電子情報通信学会, 土木学会各会員。