

紫外放射の許容基準 (2006 年度) の提案理由

平成 18 年 5 月 9 日
日本産業衛生学会
許容濃度等に関する委員会

紫外放射 30 J/m² (実効照度の 1 日 8 時間の 時間積分値として)

ただし,

- ・レーザー放射には適用されない。
- ・角膜, 結膜, 皮膚に対する急性障害の防止に関する許容値である。

実効照度は, 次式によって定義される。

$$E_{eff} = \sum_{\lambda=180\text{ nm}}^{400\text{ nm}} E_{\lambda} S(\lambda) \Delta\lambda$$

ここで, E_{eff} は実効照度, E_{λ} は曝露面における紫外放射の分光放射照度, $S(\lambda)$ は表 1 に示す相対分光効果値, $\Delta\lambda$ は積和をとる際の波長幅である。表 1 に示されていない波長の相対分光効果値が必要な場合には, 内挿補間によって求める。

1. 定義, 性質, 発生源など

紫外放射は, 可視光よりも短く, X 線よりも長い波長をもつ電磁波である。波長の上限は 360 ~ 400 nm, 下限は 1 nm 程度である。180 ~ 200 nm 以下の波長の紫外放射は, 空気中を透過しないため, 環境中に放出されることはない。習慣的に, 波長 100 nm 以上の紫外放射を, 100 ~ 280 nm, 280 ~ 315 nm, 315 ~ 400 nm の 3 波長域に分け, それぞれ UVC, UVB, UVA と呼ぶことが行われている。ただし, この分け方には, 生物学的な意味はあまりない。紫外放射は, 目には見えないが, 直進性, 反射性など可視光と似た伝播の性質をもつ。また, 強い光化学的作用をもち, これによって種々の健康障害を引き起こすが, その一方, 殺菌, 洗浄, 樹脂の硬化, 医療など多くの目的に使用される。

紫外放射が人体へ入射した場合, 一般に, 波長が長いほど深部へ到達する。たとえば, 目の場合には, 波長約 280 nm 以下の紫外放射は, 角膜で吸収され, 眼深部へは到達しないが, 波長約 300 nm 以上の紫外放射は, 一部が角膜を透過, 水晶体へ到達し, 吸収される。

紫外放射による主な急性障害としては, 紫外眼炎 (photokeratoconjunctivitis, photokeratitis) と紫外皮膚炎 (photodermatitis), 遅発性障害としては白内障,

表 1 相対分光効果値

波長 (nm)	相対分光効果値	波長 (nm)	相対分光効果値
180	0.012	310	0.015
190	0.019	313	0.006
200	0.030	315	0.003
205	0.051	316	0.0023
210	0.075	317	0.0020
215	0.094	318	0.0016
220	0.120	319	0.0012
225	0.150	320	0.0010
230	0.190	322	0.00067
235	0.230	323	0.00054
240	0.300	325	0.00050
245	0.360	328	0.00044
250	0.430	330	0.00041
254	0.500	333	0.00037
255	0.520	335	0.00034
260	0.650	340	0.00027
265	0.810	345	0.00023
270	1.000	350	0.00020
275	0.970	355	0.00016
280	0.880	360	0.00013
285	0.770	365	0.00011
290	0.640	370	0.000094
295	0.540	375	0.000077
297	0.460	380	0.000064
300	0.300	385	0.000053
303	0.120	390	0.000044
305	0.060	395	0.000036
308	0.025	400	0.000030

皮膚がん, 皮膚の老化がある¹⁾。紫外放射の発がん性に関しては, IARC (International Agency for Research on Cancer)²⁾ は, 太陽放射を Group 1 に, UVA, UVB, UVC, sunlamp と sunbed (人工紫外放射を用いた日焼け設備) の使用による曝露を Group 2A に, 蛍光灯照明への曝露を Group 3 に分類している。

紫外放射の主な発生源は, 太陽, アーク溶接およびプラズマ切断のアーク, 殺菌灯などの低圧水銀ランプ, 工業用紫外ランプとして用いられる各種の高圧放電ランプ, 紫外域レーザーである。その中では, アーク溶接が, 産業衛生上特に重要である。奥野ら³⁾ は, 作業場においてアーク溶接が発生する紫外放射を ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists) の許容基準⁴⁾ に従って測定, 評価し, アークから距離 50 cm における実効照度は 0.68 ~ 63 W/m² の範囲にあり, これに対応する 1 日あたりの許容曝露時間はわずか 0.48 ~ 44 秒になることを報告している。

2. 急性障害

紫外眼炎は, 原因がアーク溶接やプラズマ切断のアーク, 殺菌灯などの放電ランプの場合には電気性眼炎, 太

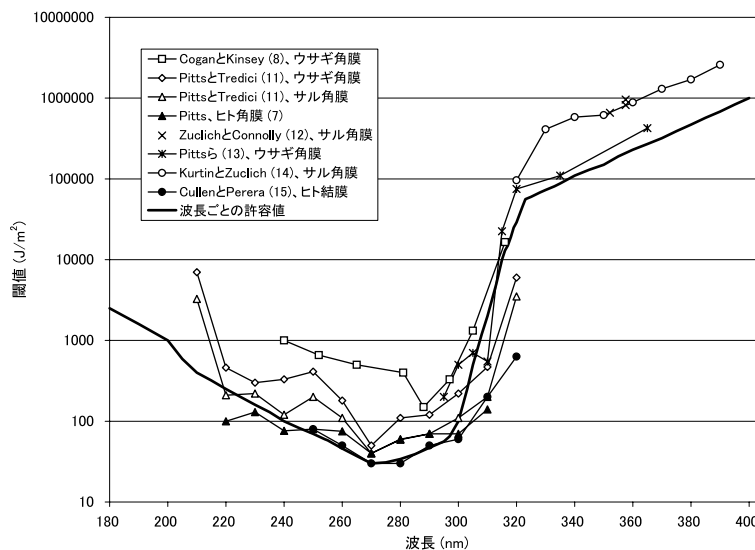


図1 眼障害に関する閾値

陽光の紫外放射の雪面における反射の場合に雪眼炎とも呼ばれる。眼痛、異物感、羞明、眼瞼痙攣、流涙、結膜充血などの症状が、通常、曝露から数時間後に現れ、1日程度で自然消失する。紫外皮膚炎は、原因が太陽光の紫外放射の場合には、日光皮膚炎と呼ばれる。紅斑が、通常、曝露から数時間後に現れ、2、3日で自然消失する。重篤な場合には、浮腫や水泡が形成される。

一般環境および作業環境中の紫外放射によって、実際に多くの急性障害が発生していると考えられるが、これについての報告は少ない。日本溶接協会⁵⁾は、溶接作業場で働く作業員に対し、紫外眼炎に関するアンケート調査を行い、有効回答者1,667名のうち86%もが過去に紫外眼炎を経験しており、さらに、その約半数が現在でも1ヶ月に1回以上の頻度でこれを経験していることを報告している。Emmettら⁶⁾は、アーク溶接を行っているある工場において、白人男性の皮膚を調べ、溶接作業場以外で働く作業員56名では紅斑は認めず、溶接作業場で働く非溶接作業員では75名中わずか4名に紅斑を認めたのに対し、溶接作業員では77名中31名に紅斑を認めている。

3. 急性障害に関する紫外放射の閾値

少なくとも数時間以内の時間では、紫外放射への曝露は、生体に対し完全に蓄積的に作用するので、その影響の有無や程度は、紫外放射の照度ではなく、その時間積分値である radiant exposure に依存する。したがって、紫外放射の閾値も、radiant exposure によって表される。

紫外放射による角膜障害に関しては、Pitts⁷⁾がヒトについて、CoganとKinsey⁸⁾、PittsとKay⁹⁾、Pitts¹⁰⁾、PittsとTredici¹¹⁾、ZuclichとConnolly¹²⁾、Pittsら¹³⁾、KurtinとZuclich¹⁴⁾が動物について、角膜上皮の granule や hazeなどを指標とする閾値を実験的に求めている

(図1)。結膜障害に関しては、CullenとPerera¹⁵⁾が、顕微鏡を用いる標準的無侵襲検査によって、ヒトに対する閾値を求めている(図1)。どちらの閾値も、紫外放射の波長に強く依存し、一般に波長270nm付近で最小値をとり、そこから短波長、長波長側に向かって増加する。波長270nmにおける閾値は、ヒトでは30~40J/m²程度である。

皮膚障害に関しては、Luckieshら¹⁶⁾、Coblentzら¹⁷⁾、Magnus¹⁸⁾、Everettら¹⁹⁾、Sayreら²⁰⁾、Freemanら²¹⁾、Bergerら²²⁾、CrippsとRamsay²³⁾、佐藤²⁴⁾、MackenzieとFrain-Bell²⁵⁾、Parrishら²⁶⁾、Gangeら²⁷⁾、Diffey²⁸⁾、Andersら²⁹⁾、Menagéら³⁰⁾、Kolliasら³¹⁾、Youngら³²⁾が、ヒトについて、紅斑を指標とする閾値を実験的に求めている(図2)。ただし、240nm以下の波長におけるデータはない。Freemanら²¹⁾は、ウサギについて、240nm以下の波長も含めて、同様に閾値を求めている(図2)。日本人に対する閾値²⁴⁾とコーカソイドに対する閾値^{16,19,20,22,23,26-32)}の間では、特に大きな差は認められない。紅斑以外の指標については、紫外放射の波長ごとに求めた閾値の報告は無い。

皮膚障害に関する閾値は、紫外放射の波長に強く依存し、一般に、250~260nm付近または290~300nm付近において最小値または極小値をとるか、または、波長の増加とともに単調に増加する。どちらの場合にも、約300nmから長波長側では、急激に増加する。ヒトの閾値は、値が大きく離れているCoblentzら¹⁷⁾のデータを除外すると、波長250~260nmでは30~330J/m²程度、波長290~300nmでは40~480J/m²程度である。一般に、皮膚障害に関する閾値は、個人差が非常に大きい。

4. 実効値

一般に、紫外放射は、さまざまな波長成分から成るが、

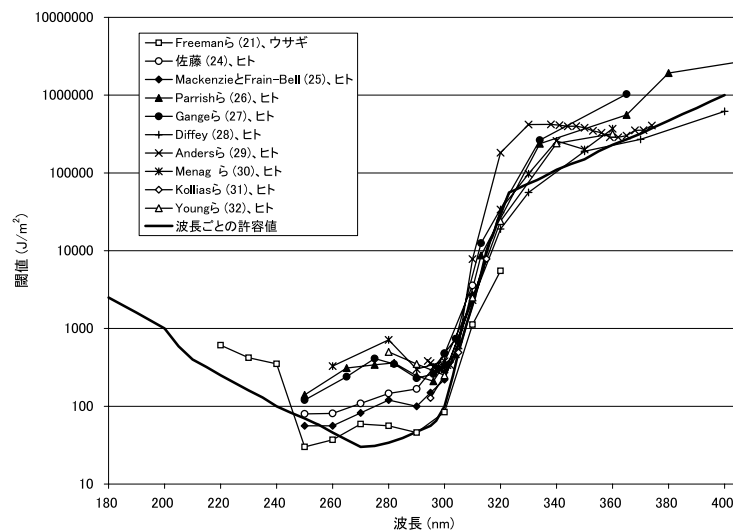


図2 皮膚障害に関する閾値

ヒトのデータは、1973年以降に報告されたデータのみをプロットした。ひとつの文献の中に、被験者や観察の条件が異なる2組以上のデータが報告されている場合には、値が最も小さいデータ1組のみをプロットした。

各波長成分は、同じ物理的強度であっても、有害性の強さが異なる。このため、紫外放射の有害性の強さは、一般に、その物理的強度で表すことができない。そこで、紫外放射の有害性の評価では、有害性の強さを表す量として、物理的強度の代わりにその実効値を用いる。実効値は、紫外放射を波長成分に分け、各波長成分の物理的強度にその波長の相対的な有害性の強さを表す量である相対分光効果値をかけ、ふたたび足し合わせた量である。一般に、異なった相対分光効果値に基づいて定義された実効値の間では、原理的に、直接の比較ができず、さらに換算することもできない。実際の評価では、通常、照度の実効値である実効照度が用いられる。

5. 既存の許容基準など

ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists)⁴⁾ は、レーザー放射以外の紫外放射の急性障害に関する許容基準として、相対分光効果値を定め、これに基づく実効照度の1日8時間の時間積分値のTLVを 30 J/m^2 としている。ただし、このTLVは、光過敏性の個人または光増感物質へ曝露している個人には適用されない。また、無水晶体眼(白内障手術の結果、水晶体を取り除いた状態の目)の個人の場合にも、網膜障害の危険性があるため適用されない。

紫外放射の許容基準としては、ほかにICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection)のもの³³⁻³⁶⁾があるが、その内容は、ACGIHの基準とほぼ同等である。

許容基準ではないが、「有害紫外放射の測定方法」JIS Z 8812³⁷⁾では、ACGIHの相対分光効果値を相対分光有害作用としてそのまま採用し、ACGIHの実効照度と同

じ量である有害放射照度を測定することによって紫外放射の有害性の評価を行うとしている。

6. 提案

本学会の許容基準は、表1に示す相対分光効果値を用いて定義される実効照度の1日8時間の時間積分値の許容値を 30 J/m^2 とすることを提案する。

この許容基準から求められる波長ごとのradiant exposureの許容値は、実験的に求められた眼障害および皮膚障害に関する閾値の多くよりも低く、または、これと同程度の大きさであり(図1, 2)、特に、実験上の精度や条件などを考慮すると、おおむね適切であると考えられる³⁸⁾。これは、この評価基準の妥当性を示している。また、この許容基準の相対分光効果値は、ACGIH⁴⁾およびICNIRP³³⁻³⁶⁾の許容基準の相対分光効果値と同じである。このため、この許容基準の実効照度は、国内外で広く使用されているACGIHまたはICNIRPの許容基準の実効照度と同じであり、両者の値を直接比較することができる。

文 献

- 1) WHO. Ultraviolet Radiation. Environmental health criteria. Geneva: WHO, 1994.
- 2) IARC. Solar and Ultraviolet Radiation. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Lyon: IARC, 1992.
- 3) 奥野 勉, 齊藤宏之, 北条 稔, 神山宣彦. アーク溶接などの作業が発生する紫外放射の有害性の評価. 産業医学ジャーナル 2005; 28(6): 65-71.
- 4) ACGIH. TLVs and BEIs. Cincinnati: ACGIH, 2004.
- 5) 沼野雄志. 溶接アークによる眼障害に関する調査結果. 労

- 働衛生工学 1986; 25: 9-20.
- 6) Emmett EA, Buncher CR, Suskind RB, Rowe KW. Skin and eye diseases among arc welders and those exposed to welding operations. *J Occup Med* 1981; 23: 85-90.
 - 7) Pitts DG. The human ultraviolet action spectrum. *Am J Optom Physiol Optics* 1974; 51: 946-960.
 - 8) Cogan DG, Kinsey VE. Action spectrum of keratitis produced by ultraviolet radiation. *Arch Ophthalmol* 1946; 35: 670-677.
 - 9) Pitts DG, Kay RK. The photo-ophthalmic threshold for the rabbit. *Am J Optom Arch Am Acad Optom* 1969; 46: 561-572.
 - 10) Pitts DG. A comparative study of the effects of ultraviolet radiation on the eye. *Am J Optom Arch Am Acad Optom* 1970; 47: 535-546.
 - 11) Pitts DG, Tredici TJ. The effects of ultraviolet on the eye. *Am Ind Hyg Assoc J* 1971; 32: 235-246.
 - 12) Zuclich JA, Connolly JS. Ocular damage induced by near-ultraviolet laser radiation. *Invest Ophthalmol* 1976; 15: 760-764.
 - 13) Pitts DG, Cullen AP, Hacker PD. Ocular effects of ultraviolet radiation from 295 to 365 nm. *Invest Ophthalmol Visual Sci* 1977; 16: 932-939.
 - 14) Kurtin WE, Zuclich JA. Action spectrum for oxygen-dependent near-ultraviolet induced corneal damage. *Photochem Photobiol* 1978; 27: 329-333.
 - 15) Cullen AP, Perera SC. Sunlight and human conjunctival action spectrum. *SPIE* 1994; 2134B: 24-30.
 - 16) Luckiesh M, Holladay LL, Taylor AH. Reaction of untanned skin to ultraviolet radiation. *J Opt Soc Am* 1930; 20: 423-432.
 - 17) Coblentz WW, Stair R, Hogue JM. The spectral erythemic reaction of the human skin to ultra-violet radiation. *Proc Nat Acad Sci US* 1931; 17: 401-405.
 - 18) Magnus IA. Studies with a monochromator in the common idiopathic photodermatoses. *Br J Derm* 1964; 76: 245-264.
 - 19) Everett MA, Olsen RL, Sayer RM. Ultraviolet erythema. *Arc Derm* 1965; 92: 713-719.
 - 20) Sayre RM, Olson RL, Everett MA. Quantitative studies on erythema. *J Invest Derm* 1966; 46: 240-244.
 - 21) Freeman RG, Owens DW, Knox JM, Hudson HT. Relative energy requirements for an erythemal response of skin to monochromatic wave lengths of ultraviolet present in the solar spectrum. *J Invest Derm* 1966; 47: 586-592.
 - 22) Berger D, Urbach F, Davies RE. The action spectrum of erythema induced by ultraviolet radiation. Preliminary report. *Proceedings 13th International Congress of Dermatology, Munich 1967*. New York: Springer-Verlag, 1968: 1112-1117.
 - 23) Cripps DJ, Ramsay CA. Ultraviolet action spectrum with a prism-grating monochromator. *Br J Derm* 1970; 82: 584-592.
 - 24) 佐藤吉昭. 紫外線の生体への効果, 皮膚. *照明学会雑誌* 1973; 57: 222-228.
 - 25) Mackenzie LA, Frain-Bell W. The construction and development of a grating monochromator and its application to the study of the reaction of the skin to light. *Br J Derm* 1973; 89: 251-264.
 - 26) Parrish JA, Jaenicke KF, Anderson PR. Erythema and melanogenesis action spectra of normal human skin. *Photochem Photobiol* 1982; 36: 187-191.
 - 27) Gange RW, Park Y-K, Auletta M, Kagetsu N, Blackett AD, Parrish JA. Action spectra for cutaneous responses to ultraviolet radiation. In: Urbach F, Gange RW, eds. *The Biological Effects of UVA Radiation*. New York: Praeger Publishers, 1986: 57-65.
 - 28) Diffey BL. Observed and predicted minimal erythema doses: a comparative study. *Photochem Photobiol* 1994; 60: 380-382.
 - 29) Anders A, Altheide H-J, Knälmann M, Tronnier H. Action spectrum for erythema in humans investigated with dye lasers. *Photochem Photobiol* 1995; 61: 200-205.
 - 30) Menagé Hdu P, Harrison GI, Potten CS, Young AR, Hawk JLM. The action spectrum for induction of chronic actinic dermatitis is similar to that for sunburn inflammation. *Photochem Photobiol* 1995; 62: 976-979.
 - 31) Kollias N, Malallah YH, Al-Ajmi H, Baqer A, Johnson BE, González S. Erythema and melanogenesis action spectra in heavily pigmented individuals as compared to fair-skinned Caucasians. *Photodermatol Photoimmunol Photomed* 1996; 12: 183-188.
 - 32) Young AR, Chadwick CA, Harrison GI, Nikaido O, Ramsden J, Potten CS. The similarity of action spectra for thymine dimers in human epidermis and erythema suggests that DNA is the chromophore for erythema. *J Invest Dermatol* 1998; 111: 982-988.
 - 33) ICNIRP. Guidelines on limits of exposure to ultraviolet radiation of wavelengths between 180 nm and 400 nm (incoherent optical radiation). *Health Phys* 1985; 49: 331-340.
 - 34) ICNIRP. Proposed change to the IRPA 1985 Guidelines on limits of exposure to ultraviolet radiation. *Health Phys* 1989; 56: 971-972.
 - 35) ICNIRP. Guidelines on UV radiation exposure limits. *Health Phys* 1996; 71: 978.
 - 36) ICNIRP. Guidelines on limits of exposure to ultraviolet radiation of wavelengths between 180 nm and 400 nm (incoherent optical radiation). *Health Phys* 2004; 87: 171-186.
 - 37) 日本規格協会. 有害紫外放射の測定方法 JIS Z 8812-1987. 1987.
 - 38) Chaney EK, Sliney DH. Re-evaluation of the ultraviolet hazard action spectrum —the impact of spectral bandwidth. *Health Phys* 2005; 89: 322-332.