

眼への入射規制について

金沢医科大学

小島 正美



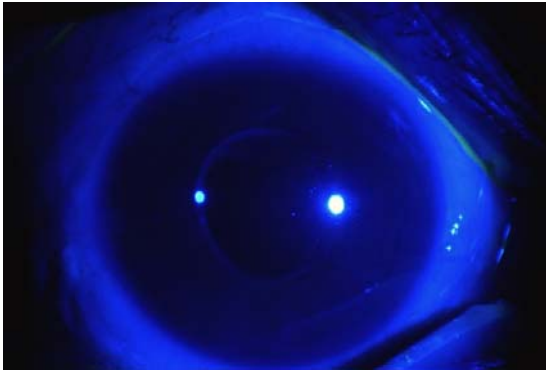
眼への入射規制 (基礎指針諮問第38号、p 19, 1990)

1. 全身平均SARの任意の6分間平均値が、 0.4 W/kg 以下であること。
2. 10 kHzから100 kHzまでの周波数では、組織内の誘導電流密度が $0.35 \times 10^{-4} f [\text{Hz}] \text{ mA/cm}^2$ 以下であること。
3. 10 kHzから100 kHzまでの周波数では、接触電流などが体外からの流入電流が $10^{-3} f [\text{Hz}] \text{ mA}$ 以下 (平均時間 < 1 秒間) であること。また、100 kHzから100 MHzまでの周波数では、100 mA以下 (平均時間6分間) であること。
4. 上記の(1)(2)及び(3)に加え、次の点に関して注意事項として考慮すること。
 - (a) 全身平均SARの任意の6分間平均値が 0.4 W/kg 以下であっても、任意の組織1 g当りのSAR (6分間平均値) が 8 W/kg (体表と四肢では 25 W/kg) を超えないことが望ましい。
 - (b) 3 GHz以上の周波数においては、眼への入射電力密度 (6分間平均) 10 mW/cm^2 以下とすること。

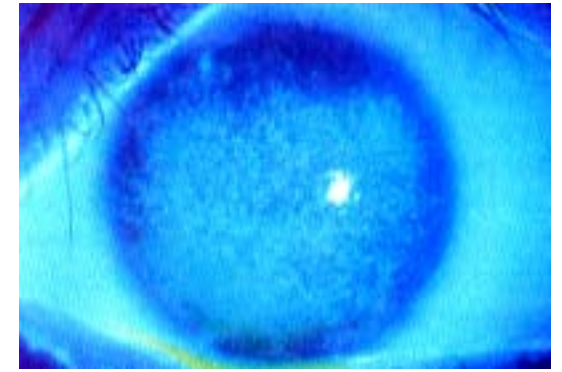
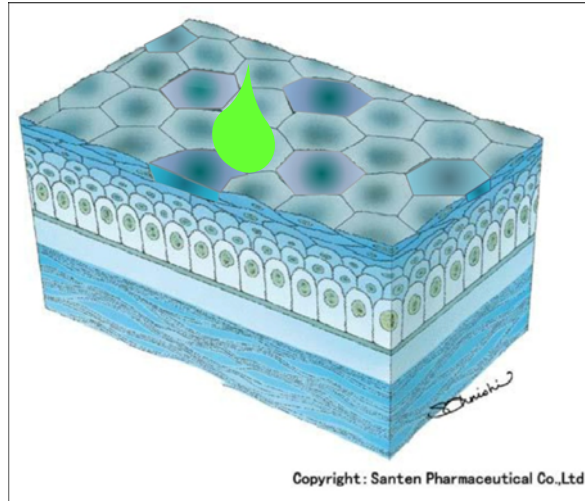
基礎指針4(b)の根拠 (基礎指針諮問第38号、p 39, 1990)

- 「3 GHz以上の周波数領域では、眼への影響と体表の広い範囲への照射による熱感などが問題となる。ウサギの角膜上皮に対する一過性の障害が35 GHz 及び107 GHzの周波数で10～50 mW/cm²程度の照射で生じ、100 mW/cm²程度を超えると一過性でない影響の可能性も考えられている。一過性の障害は、電磁波を照射しなくても検出される程度のもので重大なものではない(Ro76)。」 (報告者注 Ro76: Rosenthal, 1976)
- Rosenthalらは、角膜障害を受傷後24時間以内に治癒するsuperficial keratitis (表層角膜炎: 角膜表面にある角膜上皮細胞が剥離すること。蛍光染色所見では点状染色所見として観察させる) とdeep keratitis (深部角膜炎: 持続性の角膜炎や角膜実質部分に永久的に残存する白斑) に分類している。

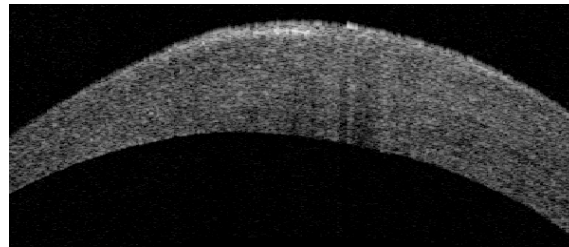
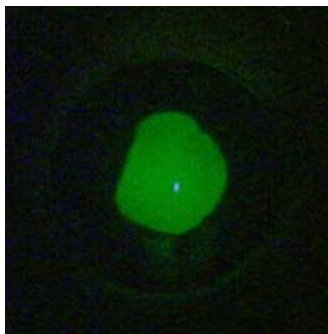
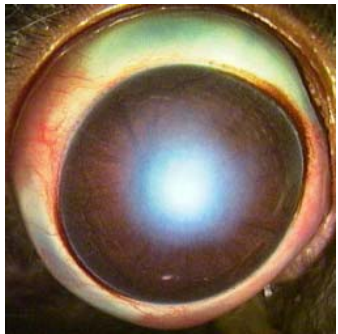
角膜上皮障害



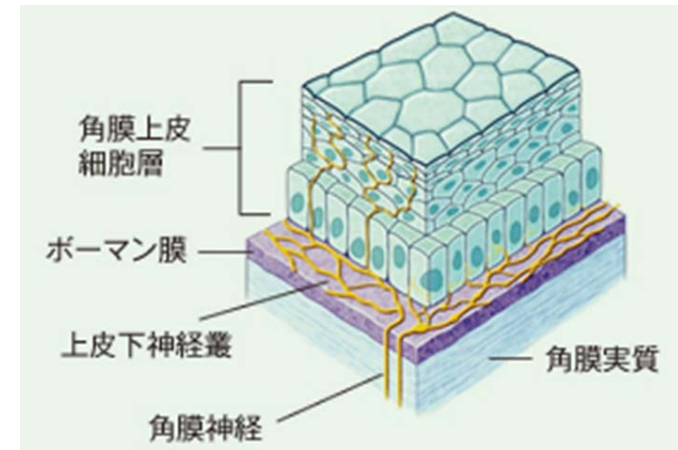
正常眼(人)



superficial keratitis
(表層角膜炎)

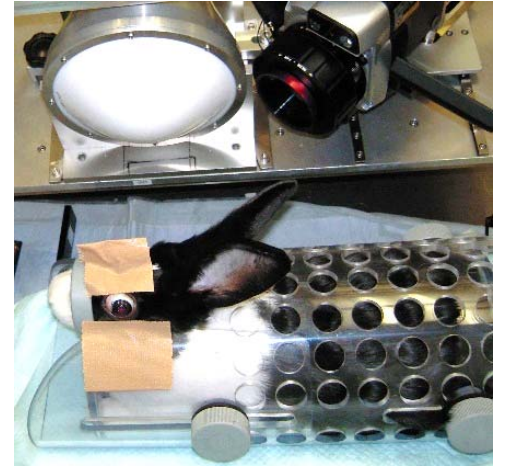


deep keratitis (深部角膜炎)

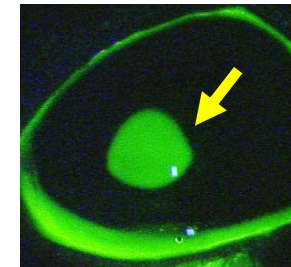


金沢医科大学での実験条件

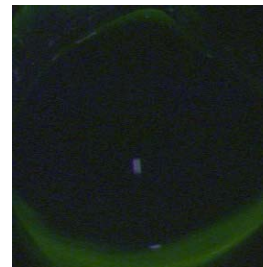
- 有色家兔(ダッチ種) ♂130匹使用
- ばく露時は眼瞼をテープで固定し、レンズアンテナを介して、40、75、95 GHzを6分又は30分間ばく露
- ばく露レベルはダッチの平均角膜径である直径13 mmで計算



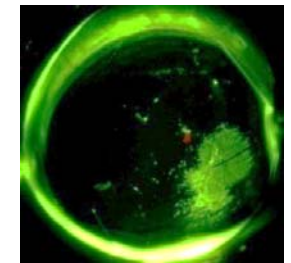
- 角膜上皮障害はばく露1日後に判定
✓ばく露眼に上皮欠損があり、非ばく露眼には障害ないこと
- 上皮障害の計上は擦過や点状のものではないこと



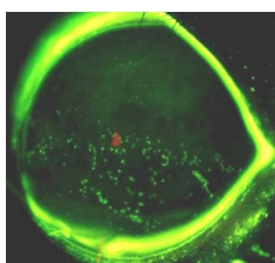
ばく露眼



非ばく露眼

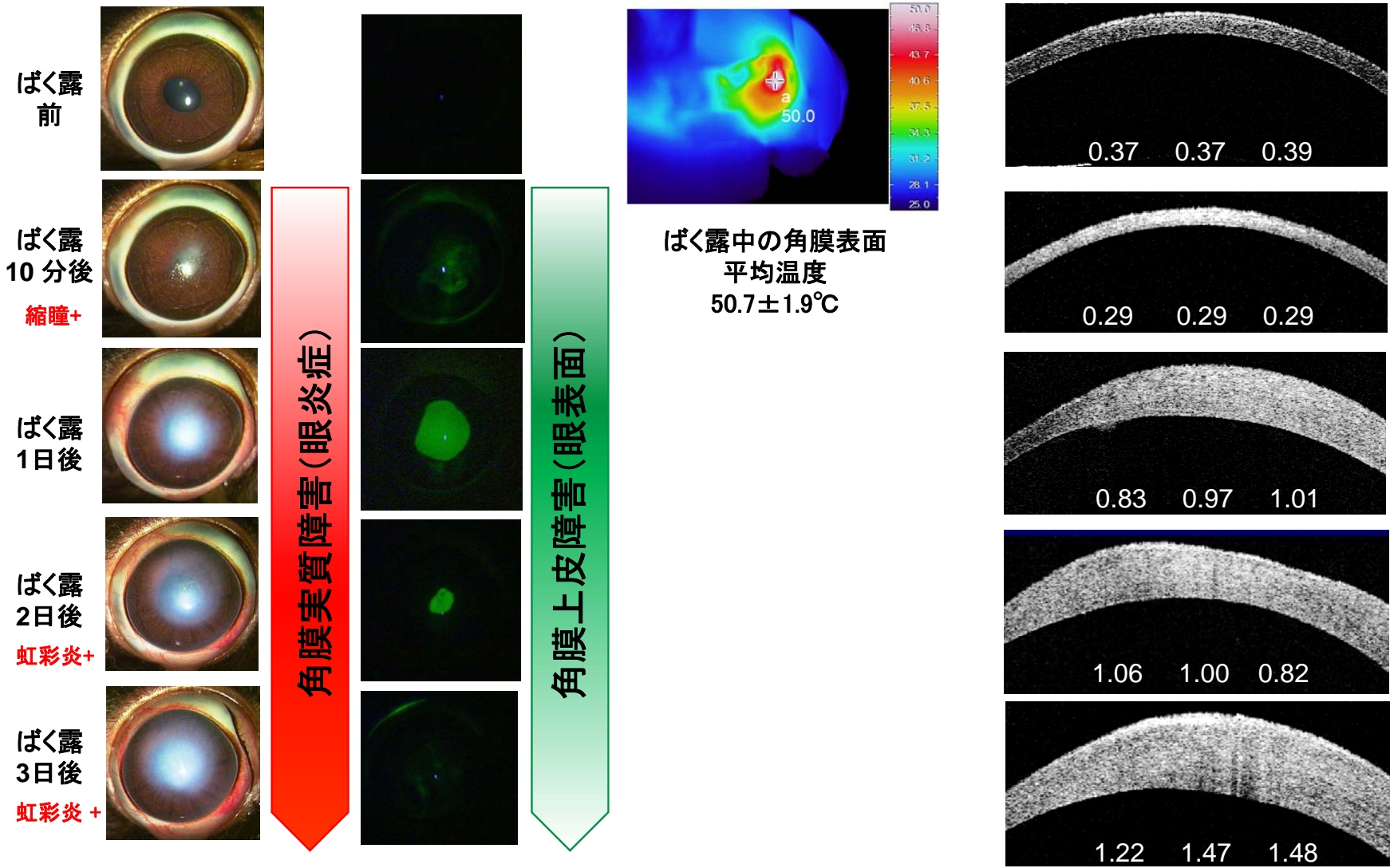


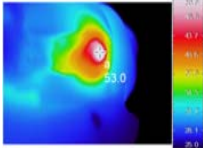
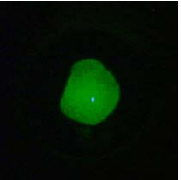
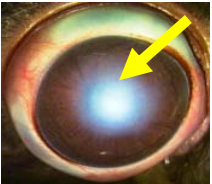
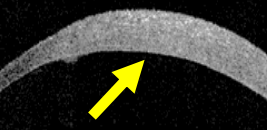
擦過所見

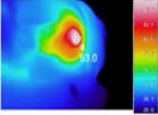
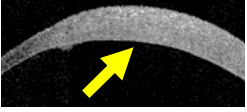


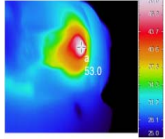
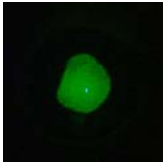

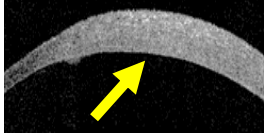
点状障害

75 GHz, 300 mW/cm² 6 min. ばく露後の眼障害の経過



<p>95 GHz One day after exposure</p>	<p>Corneal Surface Temp. (°C)</p> 	<p>Corneal Epithelium Damage</p> 	<p>Corneal Opaque</p> 	<p>Corneal Edema</p> 
300 mW/cm ² _6 min	46.5 ± 1.3	Damage + (3/3)	Damage + (2/3)	Damage + (1/3)
200 mW/cm ² _6 min	43.7 ± 1.7	Damage + (11/13)	Damage + (5/13)	Damage + (6/13)
100 mW/cm ² _6 min	37.0 ± 3.3	Damage + (1/9)	Damage + (0/9)	Damage + (0/9)
50 mW/cm ² _6 min	34.1 ± 2.3	No damage (0/4)	No damage (0/4)	No damage (0/4)

75 GHz One day after exposure	Corneal Surface Temp. 	Corneal Epithelium Damage 	Corneal Opaque 	Corneal Edema 
300 mW/cm ² _6 min	50.7±1.9	Damage + (3/3)	Damage + (3/3)	Damage + (3/3)
200 mW/cm ² _6 min	43.8±4.9	Damage + (14/15)	Damage + (13/15)	Damage + (13/15)
150 mW/cm ² _6 min	43.1±1.9	Damage + (3/6)	Damage + (3/6)	Damage + (3/6)
100 mW/cm ² _6 min	40.2±0.5	Damage + (1/12)	Damage - (0/12)	Damage - (1/12)
50 mW/cm ² _6 min	37.6±1.5	Damage - (0/7)	Damage - (0/7)	Damage - (0/7)
300 mW/cm ² _30 min	52.7±2.5	Damage + (5/5)	Damage + (5/5)	Damage + (5/5)
200 mW/cm ² _30 min	49.9±1.5	Damage + (4/4)	Damage + (4/4)	Damage + (4/4)
100 mW/cm ² _30 min	42.7±1.8	Damage + (3/4)	Damage + (3/4)	Damage + (3/4)
50 mW/cm ² _30 min	37.1±0.8	Damage + (5/5)	Damage + (1/5)	Damage + (1/5)
10 mW/cm ² _30 min	33.7±1.0	No damage (0/3)	No damage (0/3)	No damage (0/3)

40 GHz One day after exposure	Corneal Surface Temp. (°C) 	Corneal Epithelium Damage 	Corneal Opaque 	Corneal Edema 
400 mW/cm ² _6 min	43.9±3.6	Damage + (6/8)	Damage + (5/8)	Damage + (5/8)
300 mW/cm ² _6 min	41.3±1.3	Damage + (5/6)	Damage + (1/6)	Damage + (1/6)
200 mW/cm ² _6 min	41.3±1.5	Damage+ (2/4)	No damage (0/4)	No damage (0/4)
100 mW/cm ² _6 min	37.1±2.7	Damage+ (1/7)	No damage (0/7)	No damage (1/7)
50 mW/cm ² _6 min	33.6±1.8	No damage (0/8)	No damage (0/8)	No damage (0/8)

- ばく露1日後まで持続する明らかな角膜上皮障害を指標した眼障害発生閾値（6分間平均）は、50-100 mW/cm²内にあると示唆された。
- 現行の防護指針は重篤な角膜上皮障害の発生を防護している。

基礎指針の根拠となる動物実験の電波ばく露条件

(例: 75 GHz 150 mW 6分ばく露)

➤ 実験動物の忌避反応抑制



➤ 実験動物の瞬目抑制なし



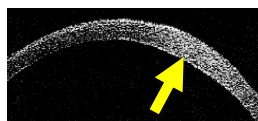
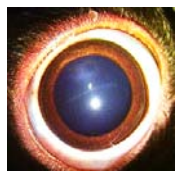
ばく露眼



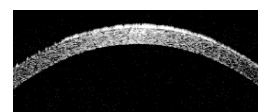
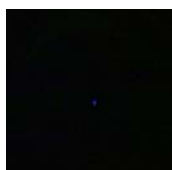
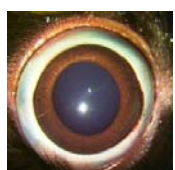
非ばく露眼

➤ 閾値以上のばく露で眼障害発生

ばく露
側眼

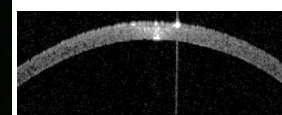
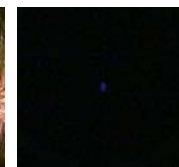
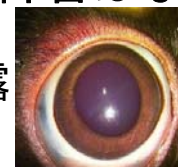


反対
側眼

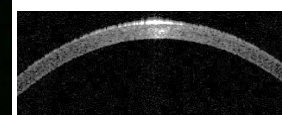
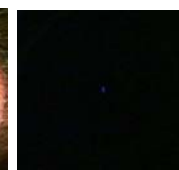
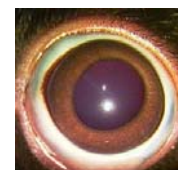


➤ 眼瞼皮膚の障害は発生するが眼組織の障害はない

ばく露
側眼



反対
側眼



➤ ばく露時に瞬目の抑制をしない条件では、眼部の障害の閾値は皮膚障害の閾値に帰属する

管理指針 (基礎指針諮問第38号、p 12, 1990)



Oculus: 1)



Google contact lens: 2)

- 電磁界強度指針は全身のばく露を想定した安全側の数値となっているため、近傍の波源や指向性のある波源による局所ばく露及び不均一ばく露については、補助指針を用いてより詳細な評価を行い、電磁界強度指針を局所的に超えるばく露も許容されるようにしている。補助指針では波源等から10 cm以上離れた空間に限って適用される。
- しかし、近年ではVirtual Realityに使用されるHead Mount Display等の波源から眼表面までの距離は10 cm以下になると考えられる。更に、Head Mount Displayは内部が閉鎖空間となるため、使用時に高温・多湿の環境になる可能性が高い。高温・高湿環境では、電波障害がより出現し易い状況になることを報告者は経験している。また、Google Contact Lens(3)に代表されるようにコンタクトレンズ内に電極を埋め込んで、種々の医療情報を得る試み(4)がされているが、これらの例では角膜上に波源があるため、今後、検討が必要であると考えられる。

1): <https://www.oculus.com/rift/#oui-csl-rift-games=robo-recall>, 2): <https://wired.jp/2014/07/18/google-and-novartis-hope-to-launch-smart-contact-lens-in-five-years/>

局所吸収指針 (諮問第89号、p 13, 1997)

- 89号では局所吸収指針が導入され、3 GHz以下(2011年の2030号答申で6 GHz以下に改定)の周波数で、それまで補助指針の不均一ばく露に対する緩和が適用できなかった10 cm以内の領域に適用できる指針として、局所SARによる制限が定められた。
- 局所吸収指針の導入に伴い、補助指針も改定され、眼への入射電力密度に2段階の数値が導入された。局所SARに5倍の付加的安全率が導入されたことから、3 GHz以上の眼への入射電力密度は2 mW/cm²の制限である。

- 瞬目の影響や長時間(6分間)にわたり、眼にミリ波ビームが照射し続けるという想定は、光(レーザ)ガイドライン等でも非現実的であるとされていることを考慮すると、現行の眼に対する防護指針値は必ずしも必用ではないかもしれない。
- バーチャルリアリティ等の近接波源による眼球への電波ばく露の可能性に対して、現行の防護指針(補助指針; 10cm以上の場合に適用)は対応していない。
- 近接波源による眼球への電波ばく露に対する適切な防護指針策定のためには、更なる研究が必要であると考えらる。