

超高周波の電波ばく露による眼部等の 人体への影響に関する定量的調査

予定実施期間:H28-H30年度

金沢医科大学

佐々木 洋（研究代表）、小島 正美、田崎 隆史

首都大学東京

鈴木 敬久、奥野 勉、多氣 昌生

福井大学

谷 正彦、立松 芳典

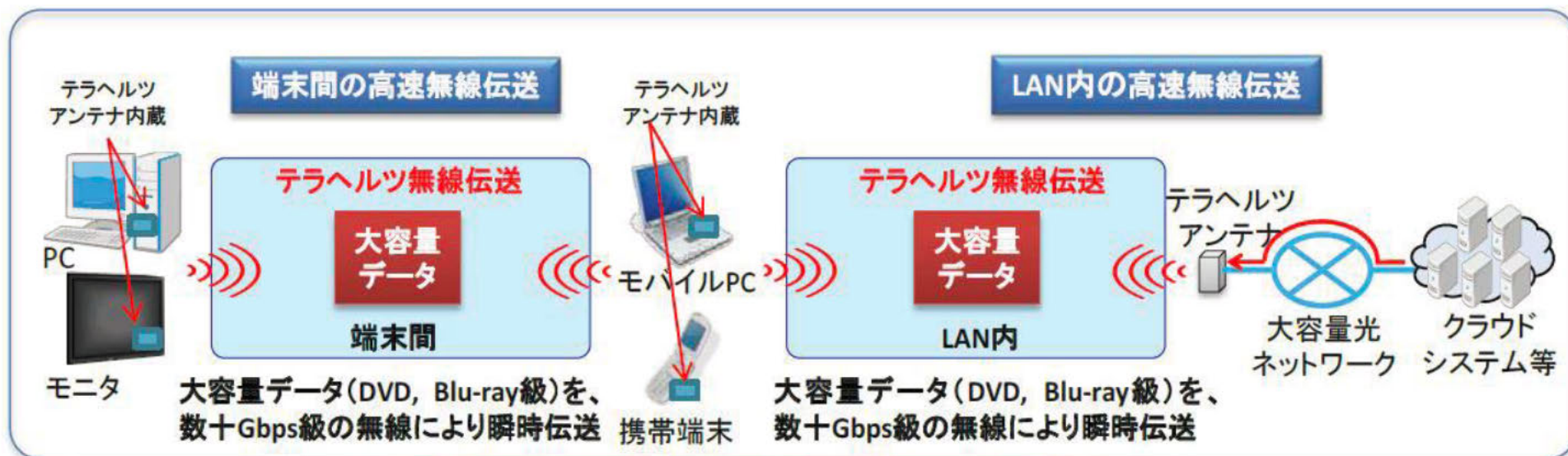
北海道大学

蔵崎 正明

100 GHz超ミリ波の利用予定

➤ 電波資源拡大のための研究開発(総務省 総合通信基盤局)

<http://www.tele.soumu.go.jp/resource/j/fees/purpose/pdf/26kenkyukaihatsu.pdf>



テラヘルツ技術

電波・エレクトロニクス

フォトニクス・ナノ技術



研究体制および目標

1. 162 GHzばく露による眼障害閾値検索(金沢医大)
2. ジャイロトロンを用いたばく露装置の開発(福井大、首都大)
3. 超高周波数帯ばく露中の角膜内外の熱輸送の動物実験とシミュレーション(金沢医大、首都大)
4. 数理モデルによる眼障害の閾値を推定シミュレーション構築
動物実験(首都大、金沢医大)、細胞実験(首都大、北大)
5. 60 GHz WiGigシステムによるヒトの眼球モデルシミュレーションによる
ばく露評価

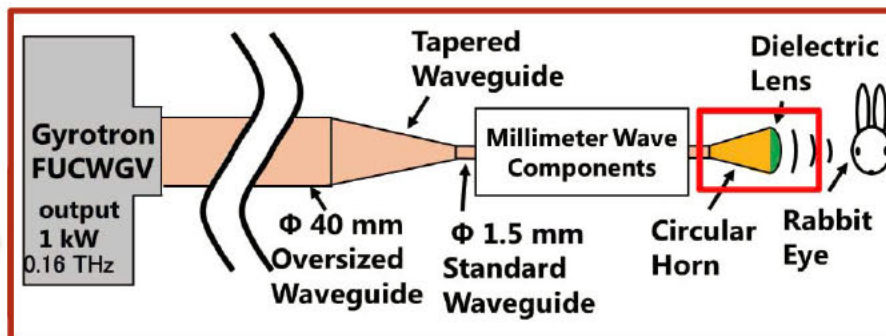


- 我が国の電波防護指針の妥当性および国際的なガイドライン・規格との整合性を検証する。
- 検証結果に基づき、将来の電波防護指針の安全性の評価方法について提言を行う。



進捗状況

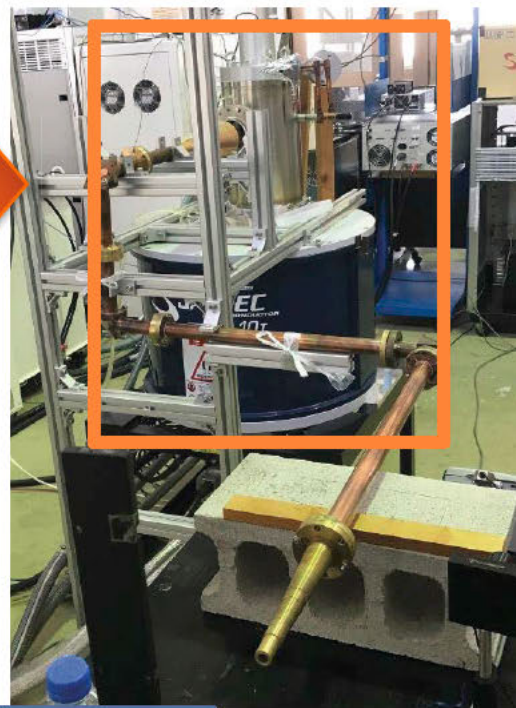
ジェイترونを利用して、
高出力のミリ波ばく露を
行う



Gyrotron FUCWGV
@ 福井大学



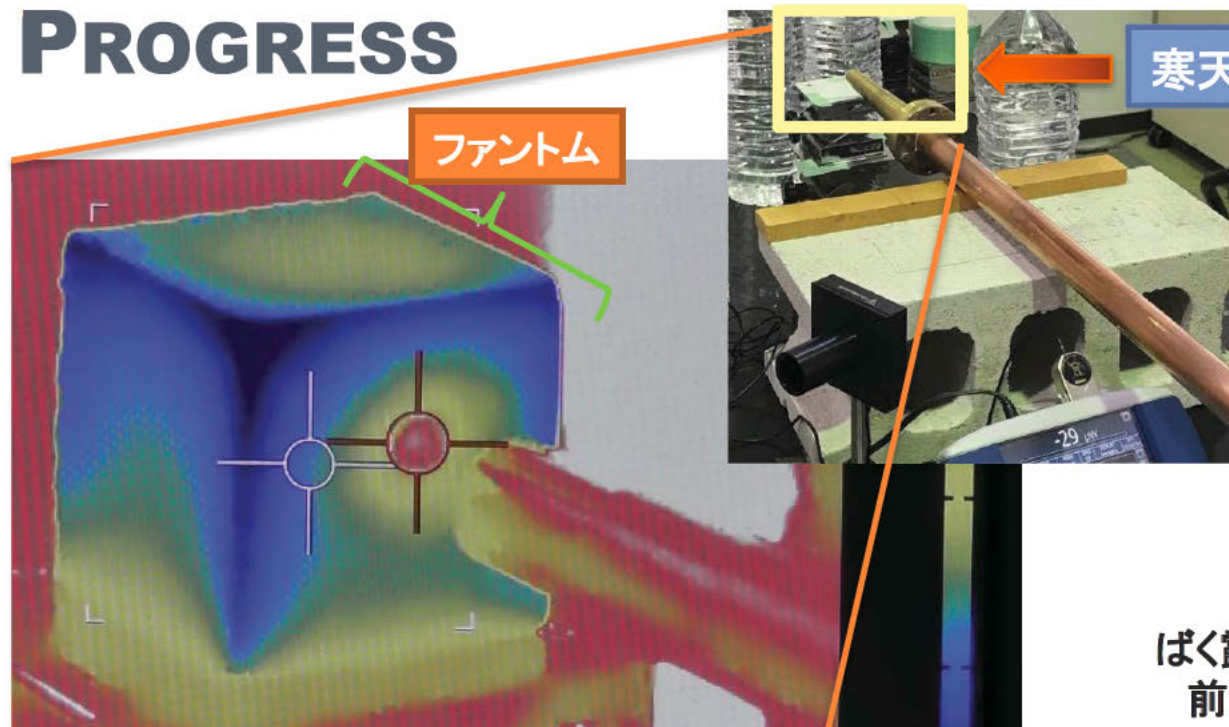
0.16 THzのばく露予備実験



福井大学工学部に仮設動物
飼育施設を設置する

- 冷凍車（レンタカー）を利用し、福井大学の動物実験指針に合致した仮設実験動物室の施設の設置を行った。
- 超ミリ波ばく露（0.16THz）ばく露による眼障害の検討を目的にジェイロトロンを利用したばく露装置の開発を行っている。
 - 予備実験として、0.16 THzをファントムにばく露中のファントム表面の温度変化を検討した。

PROGRESS

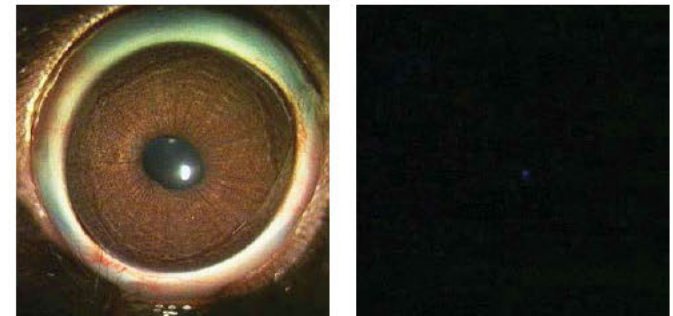


寒天ファントムはこの部分に設置

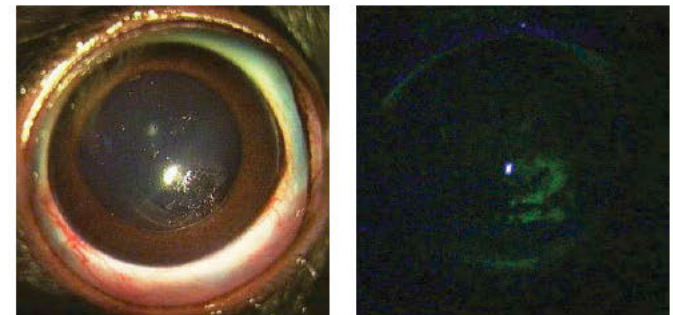
ファントム

95 GHz 6分ばく露による眼障害

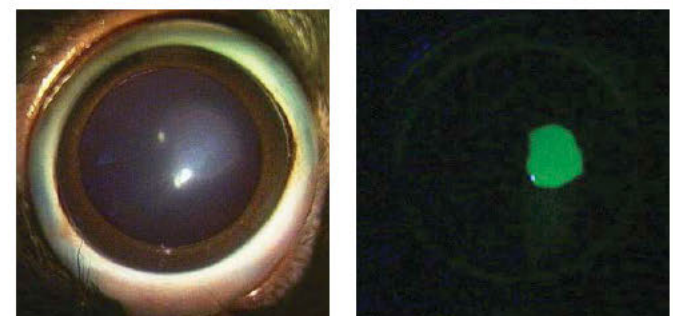
ばく露
前



ばく露
直後



ばく露
1日後



- ジャイロトロンはパルスモードで平均パワー 840 mW で運転した
 - ピークパワー: 1.2 W、Duty 比: 70%、
 - 周波数: 1 Hz
- サーモグラフィによるばく露前後での温度差 (ΔT) は $18^{\circ}\text{C} \Rightarrow 34^{\circ}\text{C}$ ($\Delta T=16^{\circ}\text{C}$) 結果が得られた
- $\Delta T=16^{\circ}\text{C}$ は 95 GHz 6分ばく露実験での右図の眼障害に相当する

過去の研究成果

眼部への電波ばく露の定量的調査に関する研究

研究実施期間：H23-H26年度

金沢医科大学

佐々木 洋(研究代表)、小島 正美、佐々木 一之

首都大学東京

多氣 昌生、鈴木 敬久、笠井 陽子

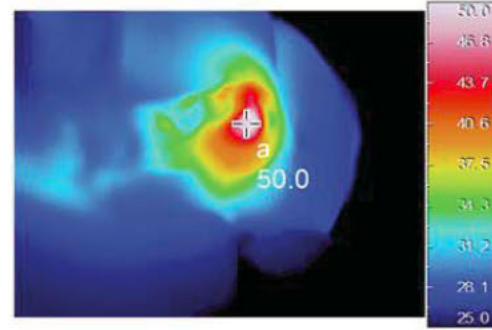
京都大学

宮越 順二、小山 眞



75 GHz, 300 mW/cm² 6 min. ばく露

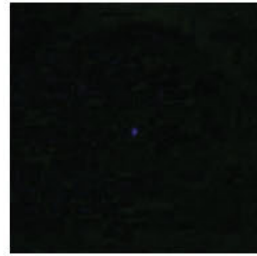
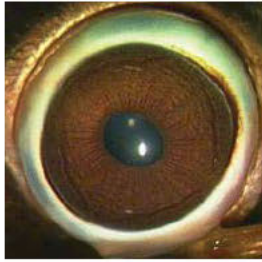
ばく露側眼



ばく露中の角膜表面
平均温度
50.7 ± 1.9°C

非ばく露側眼

ばく露前



ばく露
10分後



縮腫+

ばく露
1日後



ばく露
2日後



虹彩炎+

ばく露
3日後

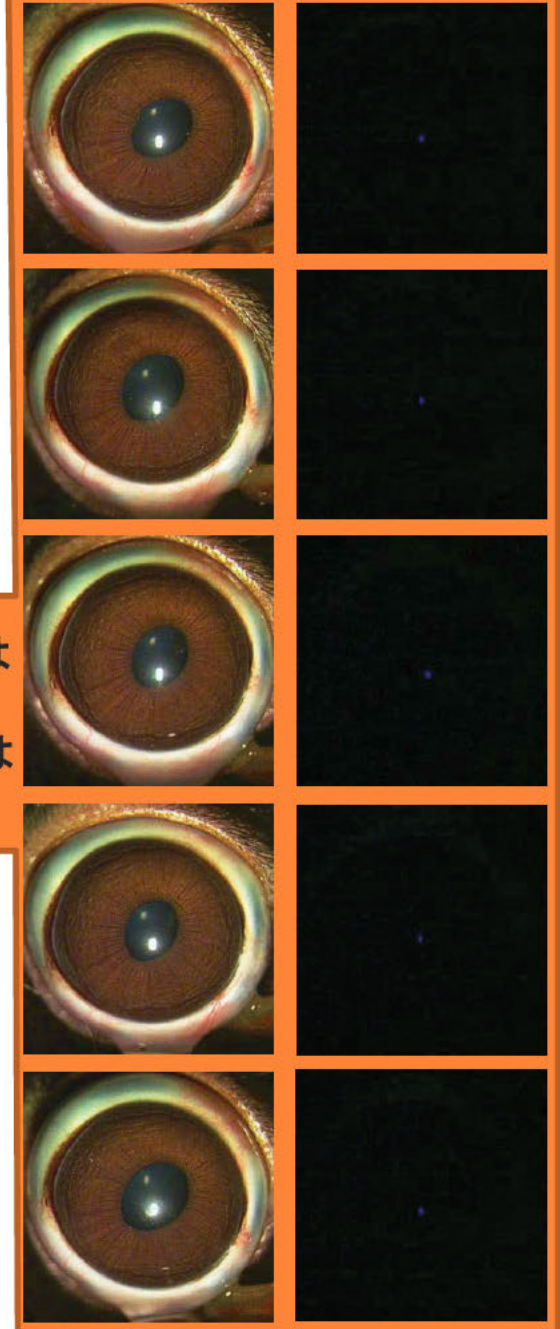


虹彩炎+

角膜実質障害(眼炎症)

角膜上皮障害(眼表面)

非ばく露側眼は
全実験期間を
通して眼障害は
認めなかった

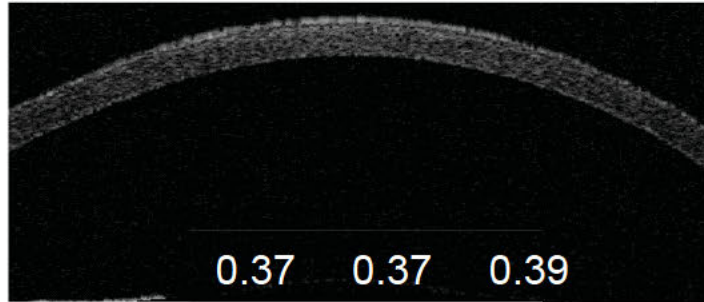


75 GHz, 300 MW/cm² 6 MIN. ばく露による角膜厚の変化

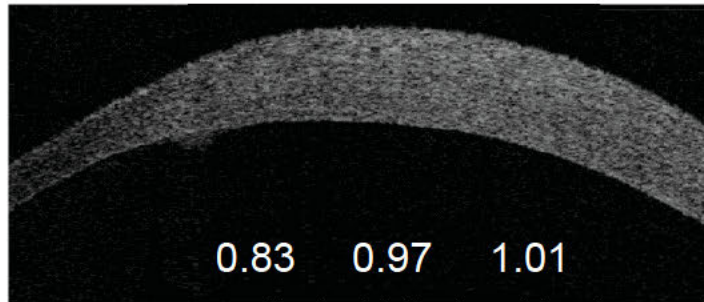
ばく露側眼

非ばく露側眼

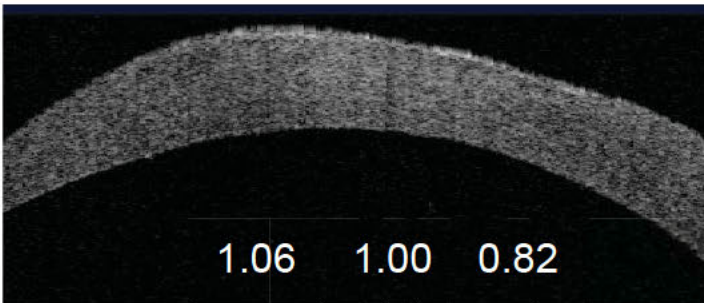
ばく露前



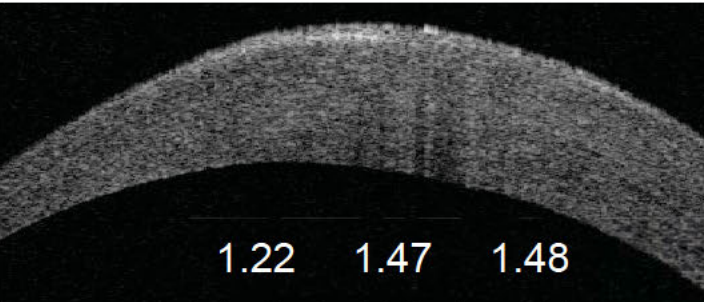
ばく露1日後



ばく露2日後



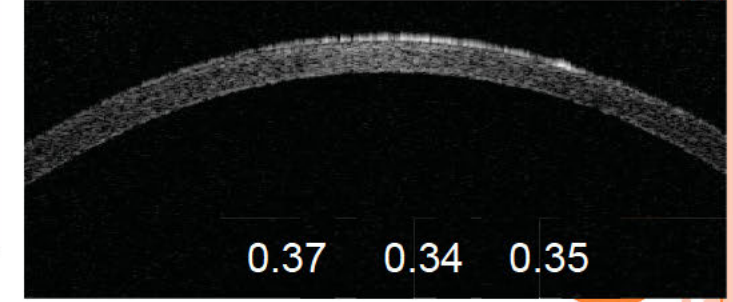
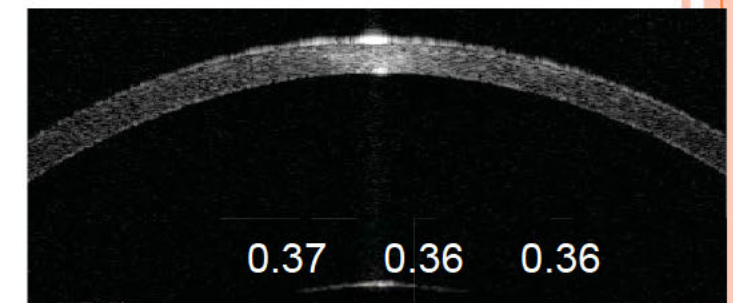
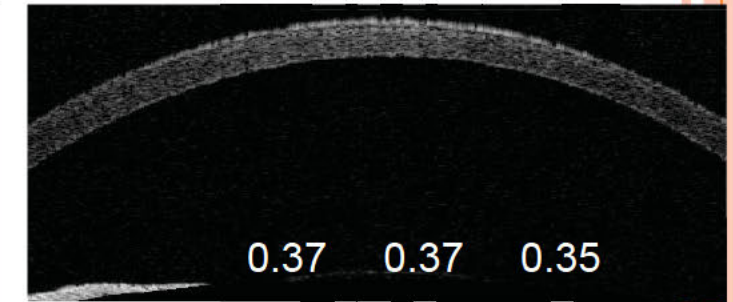
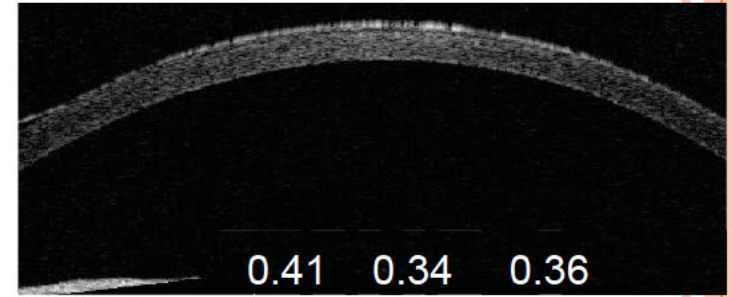
ばく露3日後

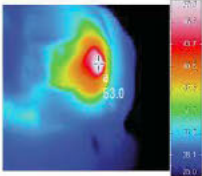
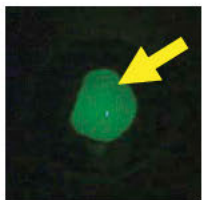
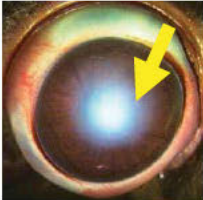



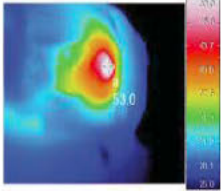
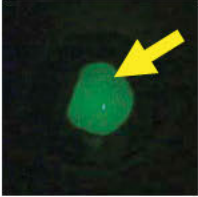


図中の数値は角膜厚(mm)を示す

角膜実質障害(浮腫)

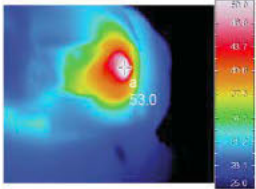
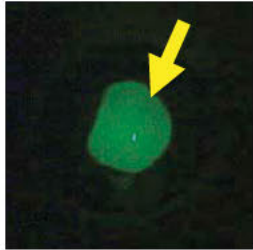
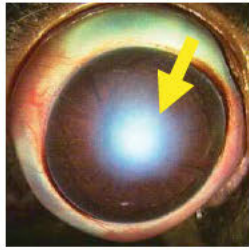

角膜実質障害なし

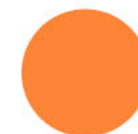


<p>40 GHz ばく露 1日後</p>	<p>角膜表面 温度(°C)</p> 	<p>角膜上皮障害</p> 	<p>角膜混濁</p> 	<p>角膜浮腫</p> 
600 mW/cm ² _6 min	49.7	障害+ (1/1)	障害+ (1/1)	障害+ (1/1)
500 mW/cm ² _6 min	45.0±2.4	障害+ (2/2)	障害+ (2/2)	障害+ (2/2)
400 mW/cm ² _6 min	43.7±3.7	障害+ (6/8)	障害+ (5/8)	障害+ (5/8)
300 mW/cm ² _6 min	41.7±1.7	障害+ (6/8)	障害+ (5/8)	障害+ (5/8)
200 mW/cm ² _6 min	41.4±1.1	障害+ (3/6)	障害- (0/6)	障害- (0/6)
100 mW/cm ² _6 min	37.2±2.9	障害+ (2/8)	障害- (0/8)	障害- (0/8)
50 mW/cm ² _6 min	33.6±1.8	障害+ (1/7)	障害- (0/7)	障害- (0/7)
10 mW/cm ² _6 min	32.9±1.3	障害- (0/7)	障害- (0/7)	障害- (0/7)

75 GHz ばく露 1日後	角膜表面 温度(°C) 	角膜上皮障害 	角膜混濁 	角膜浮腫 
300 mW/cm ² _6 min	50.7 ± 1.9	障害+ (3/3)	障害+ (3/3)	障害+ (3/3)
200 mW/cm ² _6 min	46.2 ± 2.6	障害+ (5/5)	障害+ (3/5)	障害+ (3/5)
150 mW/cm ² _6 min	43.5 ± 1.8	障害+ (3/5)	障害+ (1/5)	障害+ (3/5)
100 mW/cm ² _6 min	40.5 ± 0.6	障害+ (1/5)	障害- (0/5)	障害- (0/5)
50 mW/cm ² _6 min	37.7 ± 1.9	障害- (0/3)	障害- (0/3)	障害- (0/3)



<p>95 GHz ばく露 1日後</p>	<p>角膜表面 温度(°C)</p> 	<p>角膜上皮障害</p> 	<p>角膜混濁</p> 	<p>角膜浮腫</p> 
300 mW/cm ² _6 min	46.5 ± 1.3	障害+ (2/3)	障害+ (2/3)	障害+ (2/3)
200 mW/cm ² _6 min	43.5 ± 1.9	障害+ (13/14)	障害+ (6/14)	障害+ (6/14)
100 mW/cm ² _6 min	36.4 ± 2.9	障害+ (1/9)	障害+ (1/9)	障害+ (1/9)
50 mW/cm ² _6 min	34.1 ± 2.3	障害- (0/4)	障害- (0/4)	障害- (0/4)
10 mW/cm ² _6 min	32.5 ± 1.5	障害- (0/4)	障害- (0/4)	障害- (0/4)

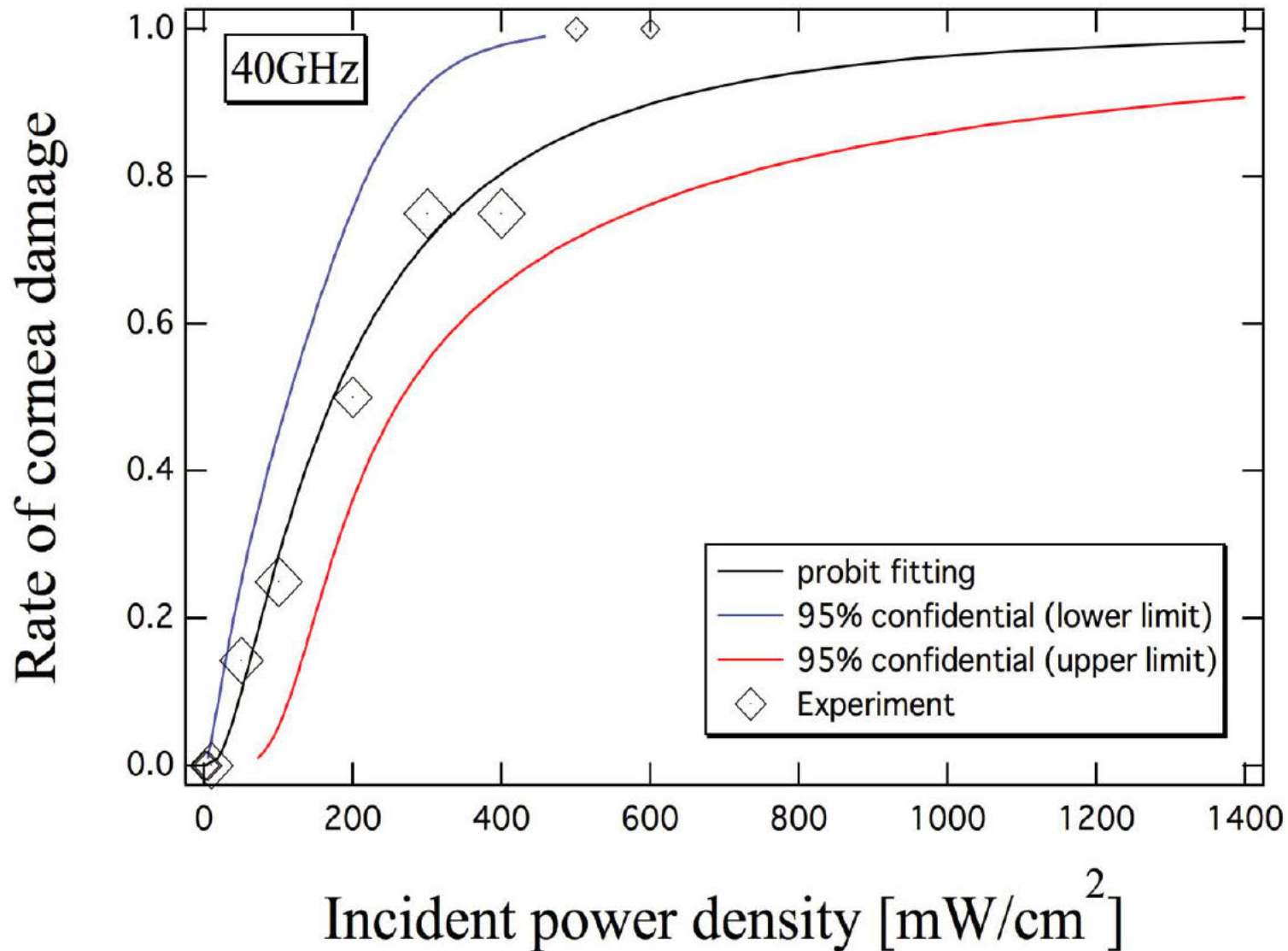


一般線形モデルによるフィッティング

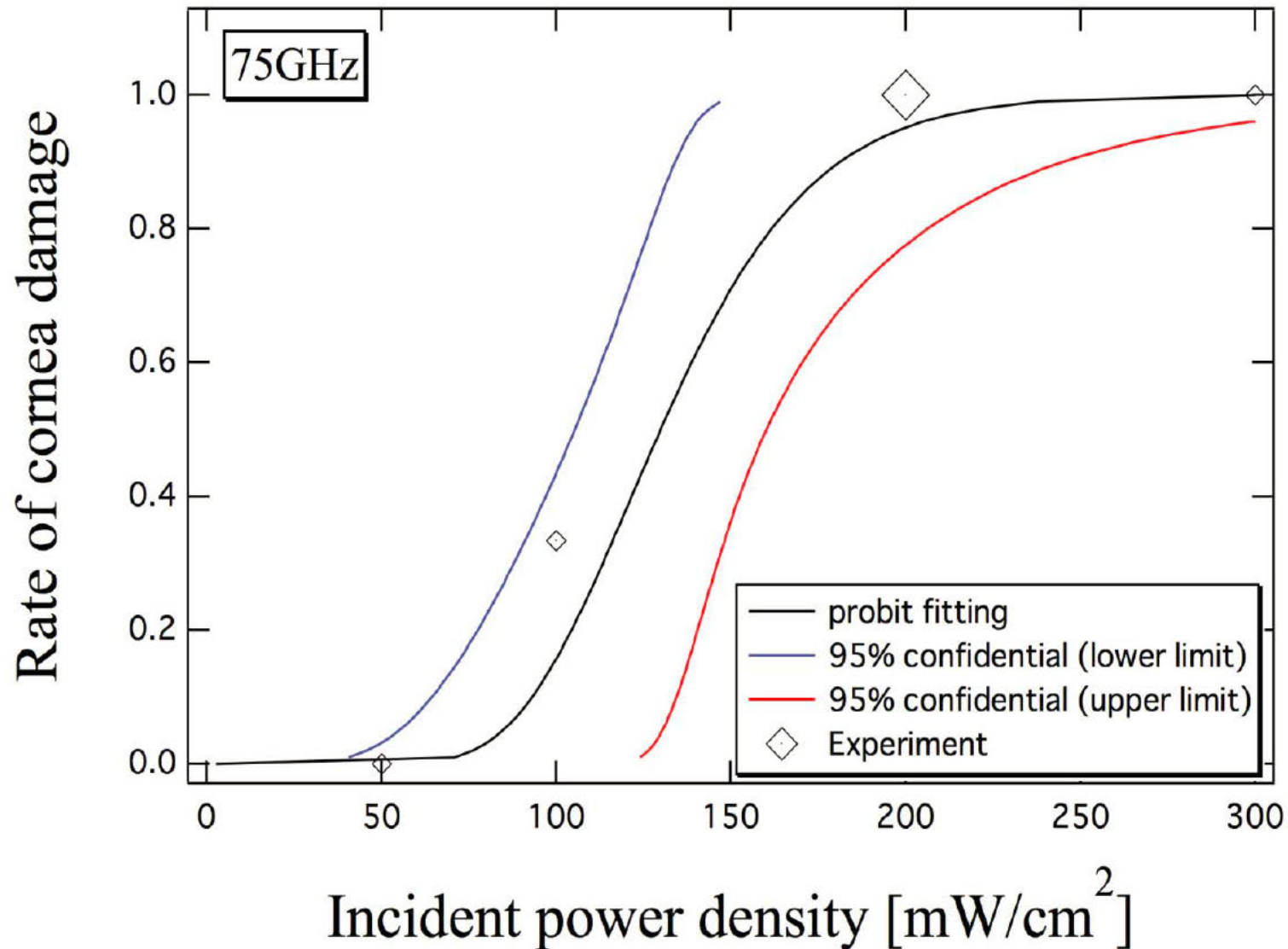
- 電波ばく露により眼障害が発生する際の電力密度の量を有効量(Effective dose : 以下、ED)と定義
- 角膜障害率を入射電力密度依存性のグラフとしてプロット
 - マーカーの大きさはその電力密度におけるトータルの兎の個体数(マーカー大→個体数が多い)
- 上記データに対してprobit模型を用いてフィッティング(R言語使用)
 - 黒線:フィッティング結果
 - 青線:95%信頼区間の下限值
 - 赤線:95%信頼区間の上限値



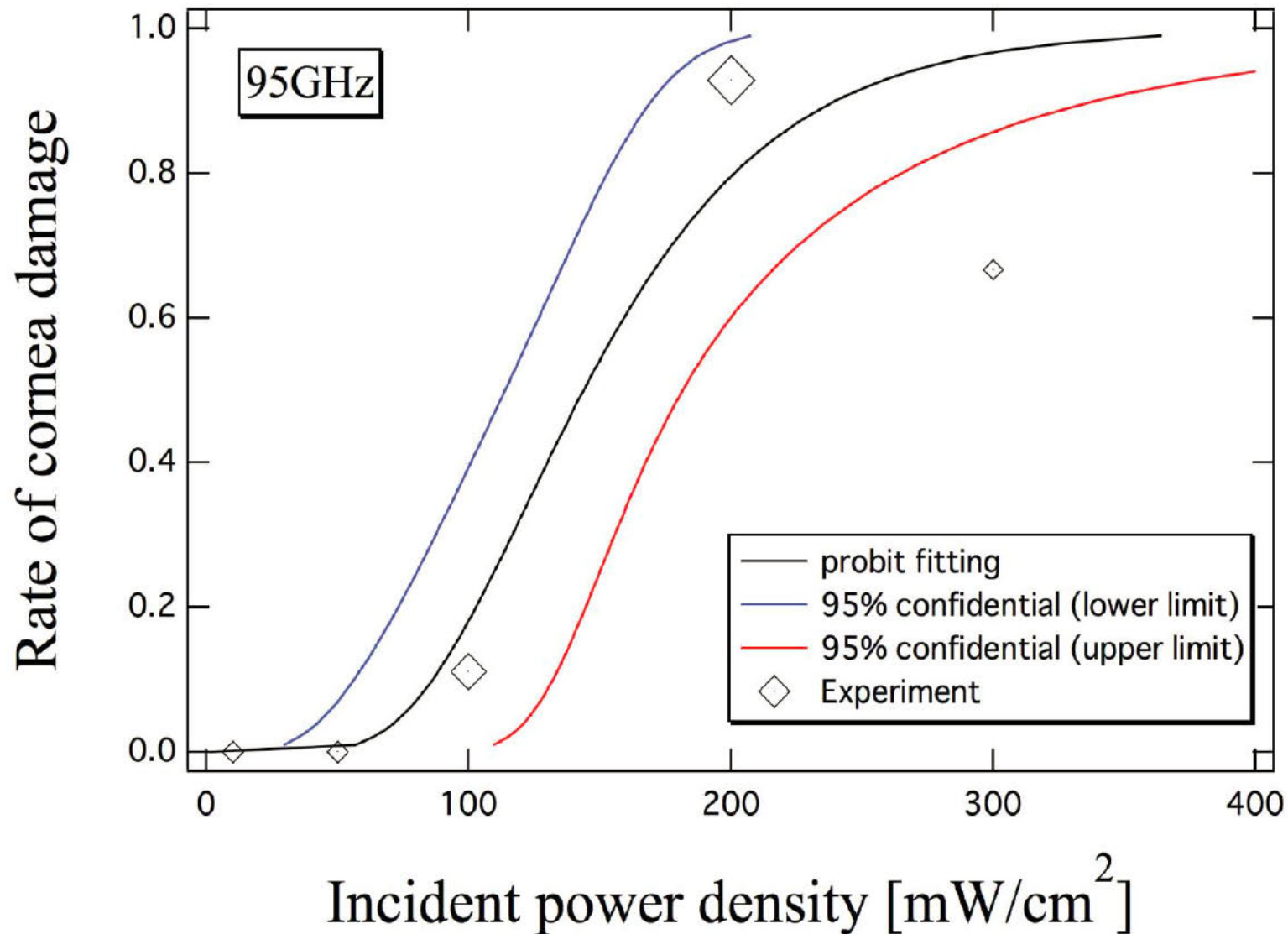
40 GHzばく露実験フィッティング結果 (角膜上皮障害)



75 GHzばく露実験フィッティング結果 (角膜上皮障害)



95 GHzばく露実験フィッティング結果 (角膜上皮障害)



角膜上皮障害誘発EFFECTIVE DOSE(ED)の推定

周波数[GHz]	ED ₁₀ [mW/cm ²]	ED ₅₀ [mW/cm ²]	ED ₉₀ [mW/cm ²]		
40GHz	50.0	+67.6	+92.0	605	+712
		-28.7	174		-60.2
75GHz	93.1	+41.3	+30.3	181	+63.8
		-28.6	130		-24.6
95GHz	86.2	+45.9	+37.8	240	+99.3
		-29.9	144		-29.9

- 40, 75, 95GHzのフィッティング結果からED₁₀, ED₅₀, ED₉₀を推定
- ±以降の値は95%信頼区間



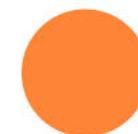
ミリ波帯の防護指針(300 GHzまで)

- 補助指針:不均一または局所的にさらされる場合
- 一般環境(諮問第38号「電波利用における人体の防御指針、平成2年6月」)
 - ✓ 体表面の入射電力密度: 10 mW/cm²以下
 - ✓ 眼への入射電力密度: 10 mW/cm²以下

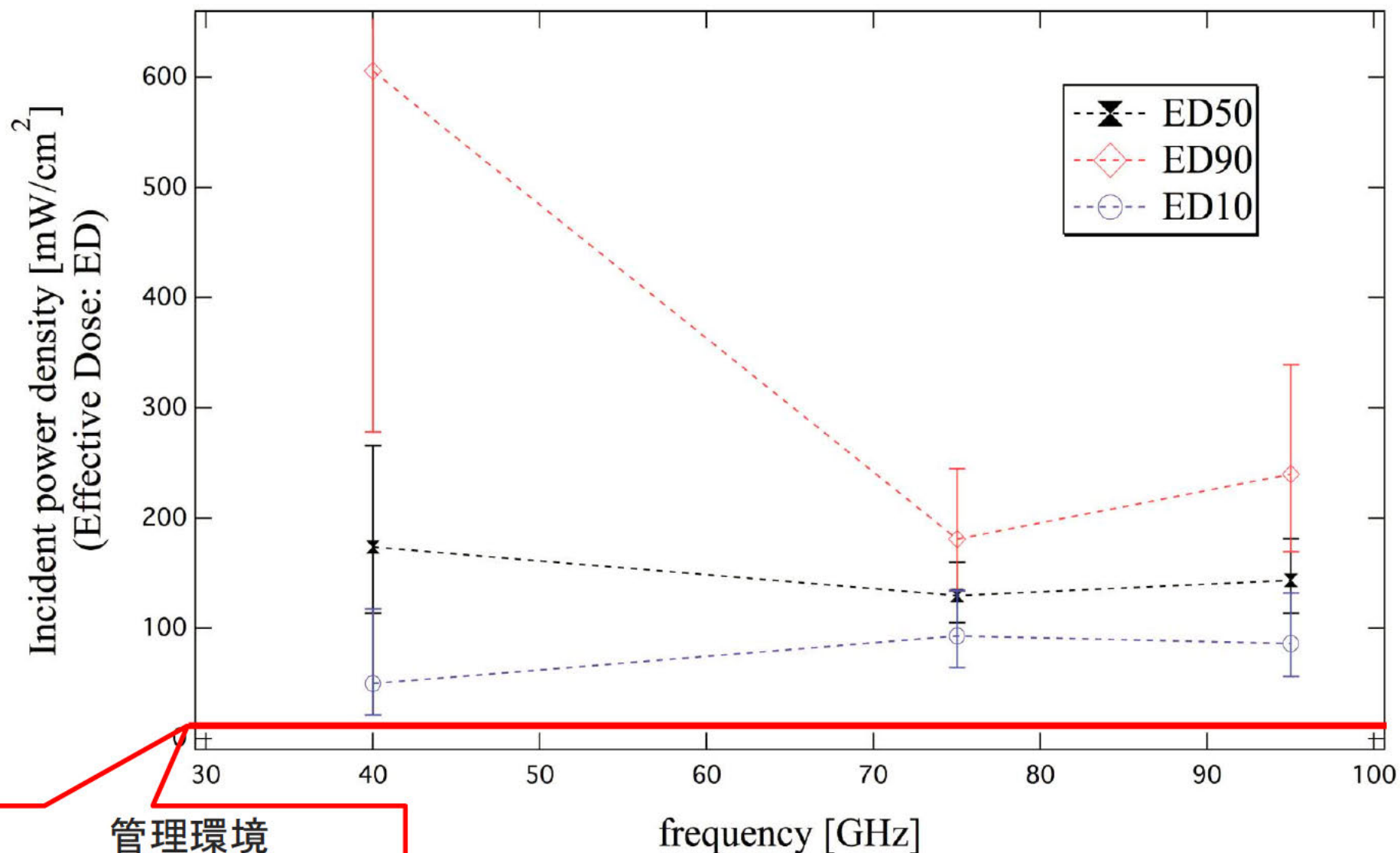
根拠:家兎の角膜上皮に対する35, 107GHzばく露の影響は、一過性障害が10-50 mW/cm²で観察され、100 mW/cm²以上では不可逆性の障害となる(Rosenthal, 1976年)

「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。」

- 管理環境(諮問第89号「電波利用における人体の防御指針、平成9年4月」)
 - ✓ 体表面の入射電力密度: 50 mW/cm²以下
 - ✓ 眼への入射電力密度: 10 mW/cm²以下
- 一般環境(諮問第89号「電波利用における人体の防御指針、平成9年4月」)
 - ✓ 体表面の入射電力密度: 10 mW/cm²以下
 - ✓ 眼への入射電力密度: 2 mW/cm²以下



角膜上皮障害発生におけるEFFECTIVE DOSE(ED)の周波数依存性



管理環境

眼: 10 mW/cm²

本研究の電波ばく露条件(例: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



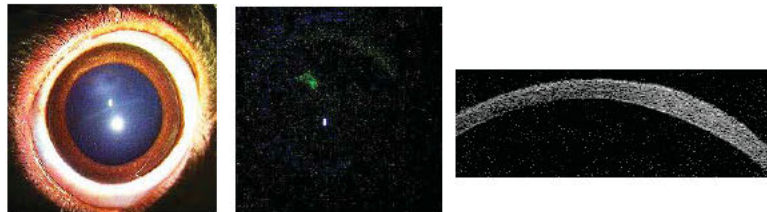
ばく露眼



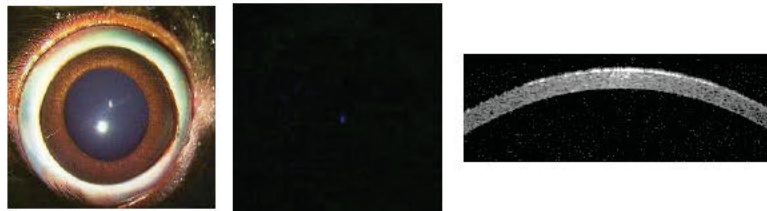
非ばく露眼

➤ 閾値以上のばく露で眼障害発生

ばく露
側眼

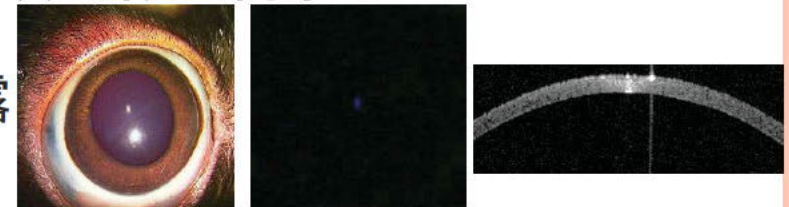


反対
側眼

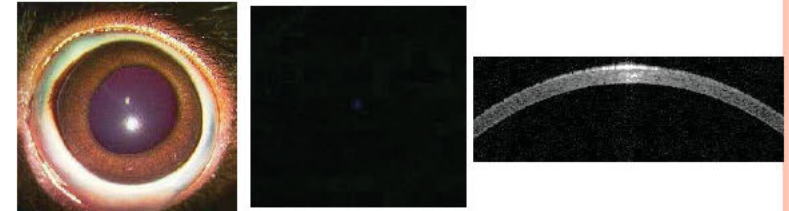


➤ 眼瞼皮膚の障害は発生するが 眼組織の障害はない

ばく露
側眼



反対
側眼



➤ 家兎の瞬目回数の報告

6.3分~20分と様々な報告があるが、
6分程度瞬目の影響がない(対照の
反対眼に障害なし)

➤ **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**

