

研究課題：

# 超高周波の電波ばく露による影響の調査

実施期間：平成25年度～平成27年度

実施機関：理化学研究所  
首都大学東京  
京都大学

研究代表者：川瀬 晃道（理化学研究所）

平成28年9月1日 生体電磁環境に関する検討会

# 研究の概要

- 世界的に急速に研究開発が進むテラヘルツ波/ミリ波が人体に及ぼす影響に関し、国民の不安を解消し、安全で安心できる電波利用社会を構築するため、
- フレーリッヒ仮説を念頭に、約70-300 GHz帯の電波について培養細胞への全周波数における非熱作用に関する研究を、広帯域周波数可変光源（UTC-PD）および超短パルス光源（TDS）の2通りを用いて実施する
- 特に、120 GHzおよび300 GHzについては、早期の実用化が見込まれることから、周波数を限定して、細胞ばく露実験を行い、防護指針の妥当性についての実証的な根拠を得ることを目的とする

フレーリッヒ仮説：1968年にフレーリッヒが発表した「細胞膜（二重リン脂質膜）が0.1～1 THzのいずれかの周波数で共鳴振動しており、その周波数の電磁波を照射することで、何らかの非熱作用が予想される」という仮説

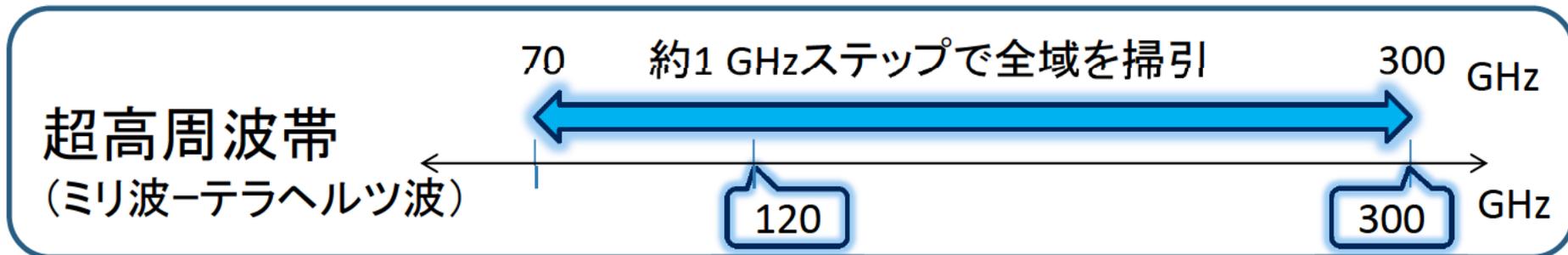
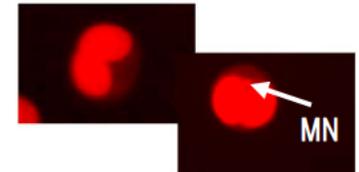
# 総務省委託研究 生体電磁環境研究 「超高周波の電波ばく露による影響の調査」

## ■ 70-300GHzにおける生体影響の有無（非熱作用の検証）

	H25年度	H26年度	H27年度	最終目標
理化学研究所	ばく露装置の開発 評価法の検討	周波数 <b>掃引型</b> 細胞用ばく露装置ならびに超短 <b>パルス型</b> （TDS）ばく露装置による70-300 GHzの細胞影響評価・非熱作用の研究		70-300 GHzの全周波数における非熱作用の研究
首都大学東京		→		120, 300 GHzのばく露装置の開発ならびにばく露量評価
京都大学		120 GHzばく露実験	300 GHzばく露実験	細胞実験による120, 300 GHzのばく露の影響評価



ばく露評価： 細胞基本動態試験  
(増殖能、コロニー形成能、細胞周期分布)      細胞毒性試験  
(小核形成頻度)

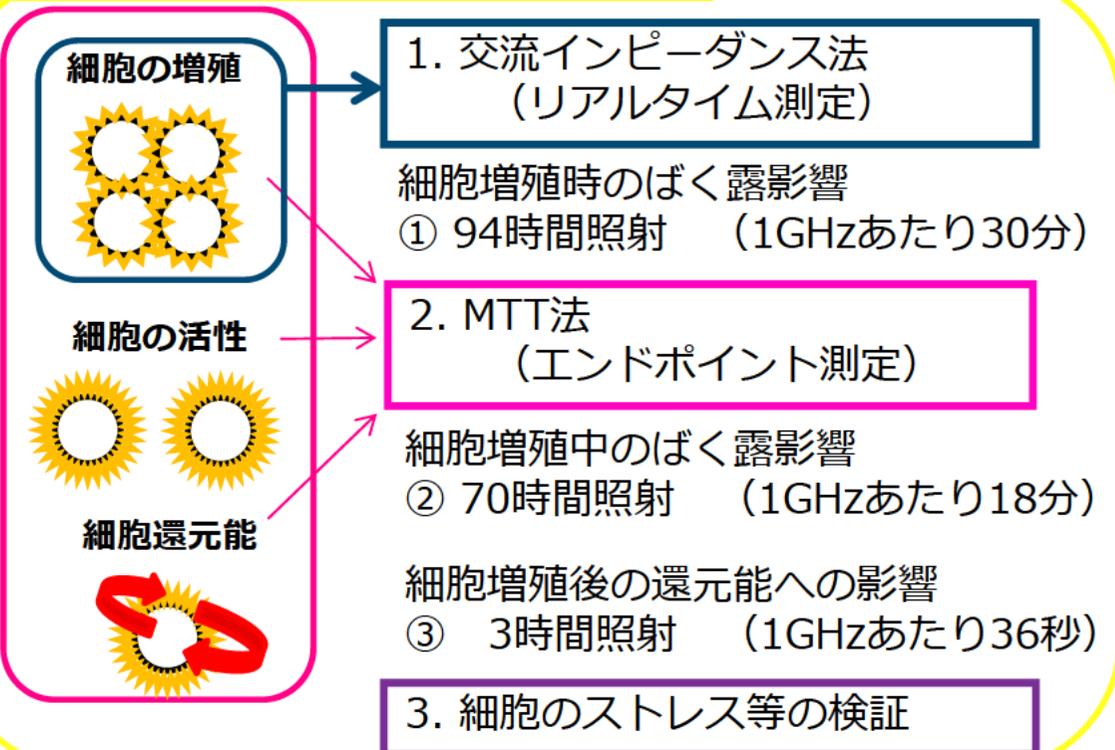


# 70-300GHz全周波数における非熱作用に関する実験

## ばく露実験に使用した細胞

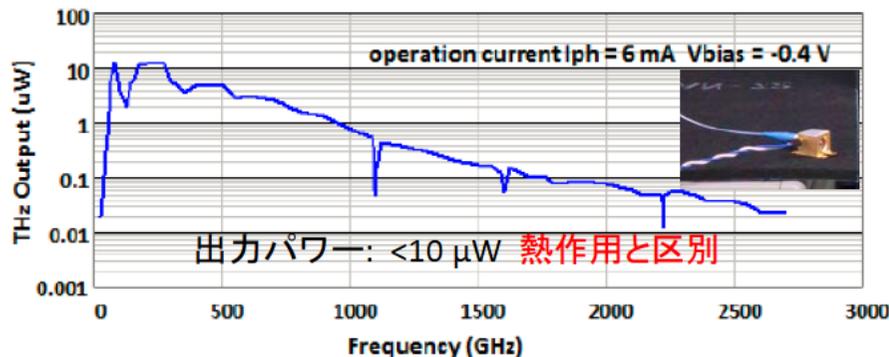
- 正常細胞
  - ヒト皮膚線維芽細胞 Fibroblast (RCB0222, 理研バイオリソース)
  - 正常ヒト線維芽細胞 NTI-4 (JCRB0220, JCRB細胞バンク)
- がん細胞
  - ヒト神経膠芽腫 A172 (RCB2530, 理研バイオリソース)

## 細胞影響の評価法と照射条件

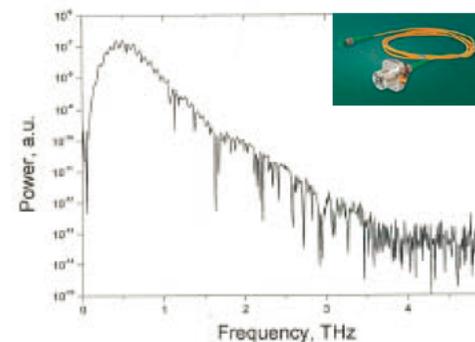


## ばく露実験に使用した光源

- CW光源：単一走行キャリアフォトダイオード UTC-PD (NTT Electronics Incorporation)



- 超短パルス型光源 TDS (EKSPLA)



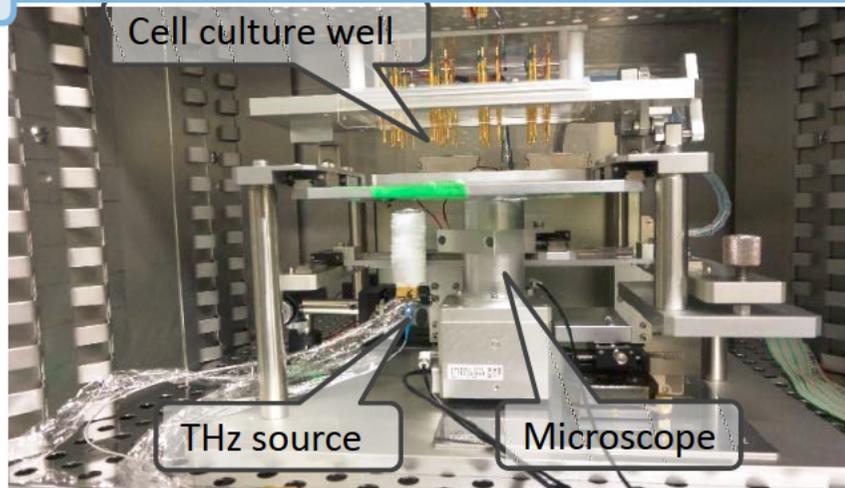
- 繰り返し周波数: 40 MHz
- パルス幅: 1 ps
- 平均出力: 5 nW
- 尖頭値: 1 mW

Fig 2. THz pulse FFT spectra in the air (THz emitter serial No.: s/n F1004E).

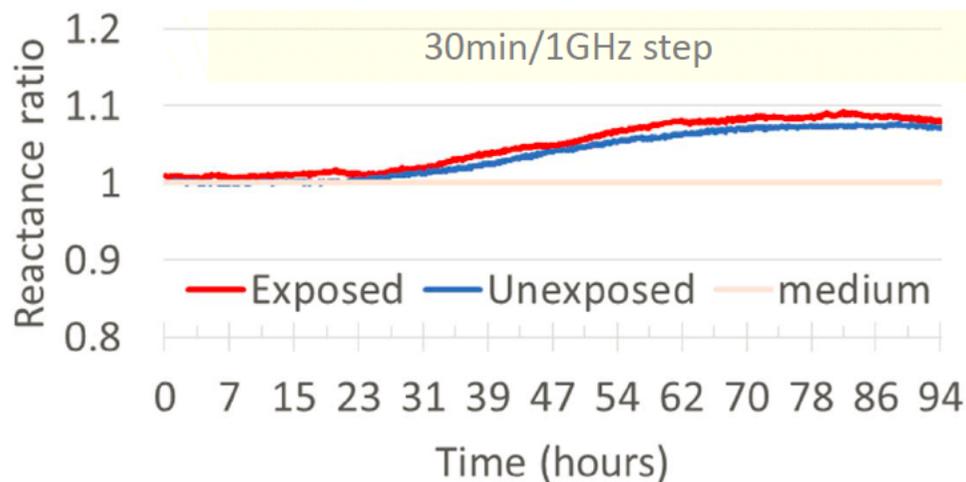
# 70-300GHz全周波数における非熱作用に関する実験結果

周波数可変光源（CW光源、UTC-PD）、超短パルス光源（TDS）による70-300GHz照射における培養細胞の**非熱作用の検討**を行った

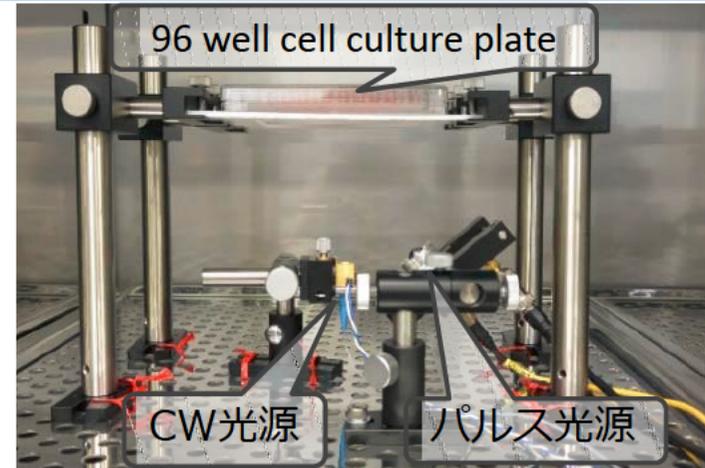
リアルタイム 細胞増殖測定  
(細胞増殖における影響)



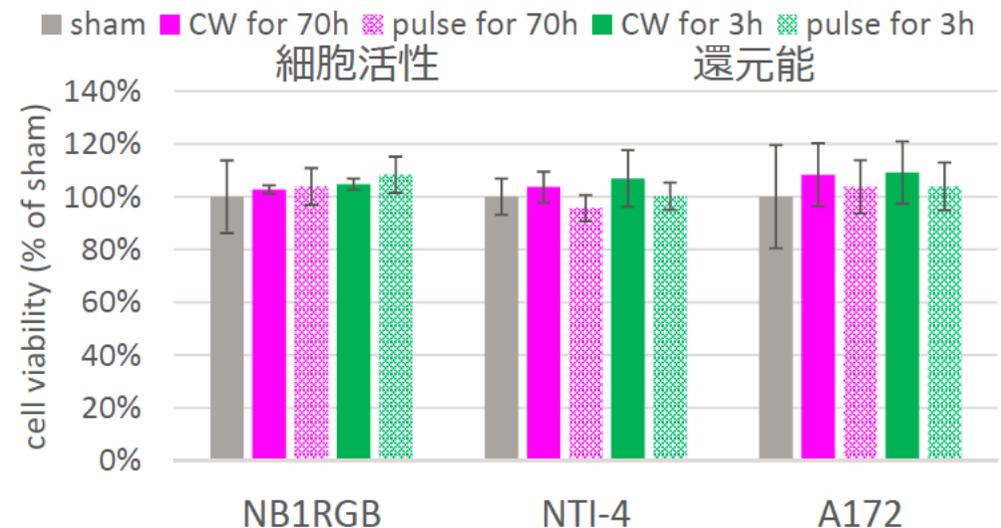
70-300 GHzをばく露したFibroblast



エンドポイント MTT測定  
(細胞活性と還元能への影響)

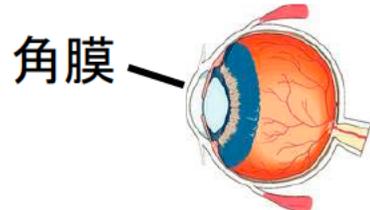


MTT法における70-300GHzばく露実験



# 120, 300 GHzにおける細胞ばく露実験

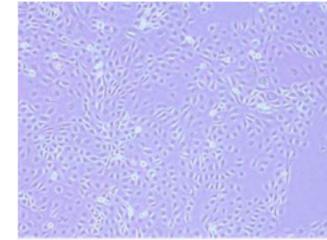
## ばく露実験に使用した細胞



<http://www.fotosearch.jp/illustration/眼球.html>

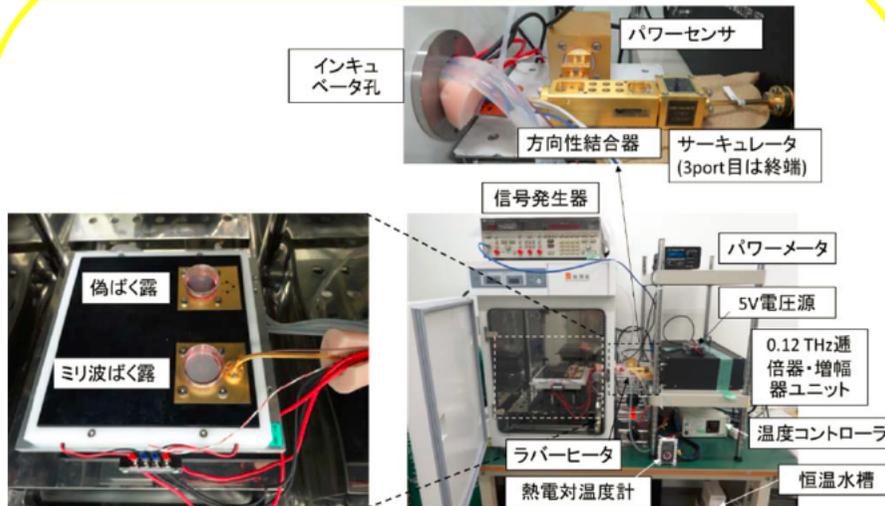
### HCE-T 細胞

(ヒト角膜由来上皮細胞)  
首都大学東京より分与

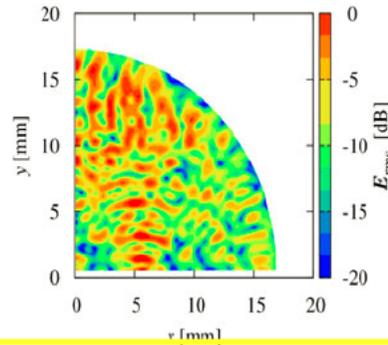


ばく露用インキュベータ  
(37°C、5% CO<sub>2</sub>、湿度100%)

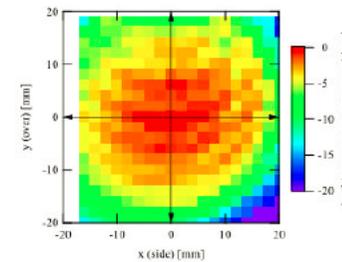
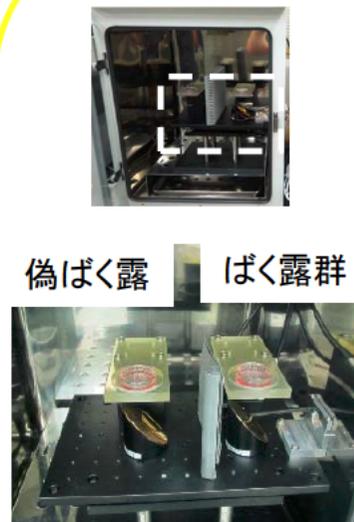
## 120GHzばく露用装置



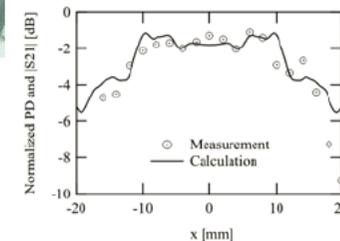
培地内底面におけるSAR分布(計算値)



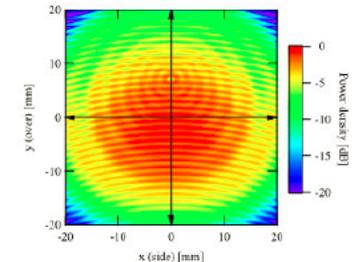
## 300GHzばく露用装置



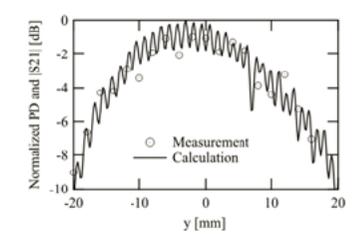
入射電力密度の実測値  
( $|S_{21}|$ で測定)



X方向ライン上



入射電力密度の計算値



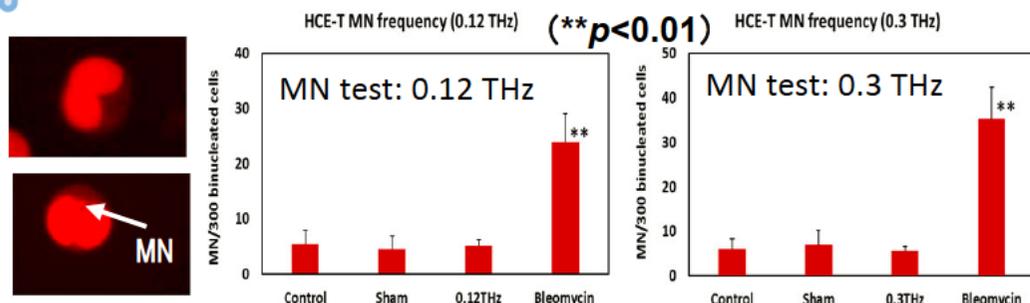
y方向ライン上

入射電力密度の実測値と計算値の比較

# 120, 300 GHzにおける細胞ばく露実験結果

各実験において120 GHz (5 mW/cm<sup>2</sup>), 300GHz (0.5 mW/cm<sup>2</sup>)の電波を24時間ばく露することによって以下の評価をした

## 細胞の遺伝毒性 (小核形成試験)



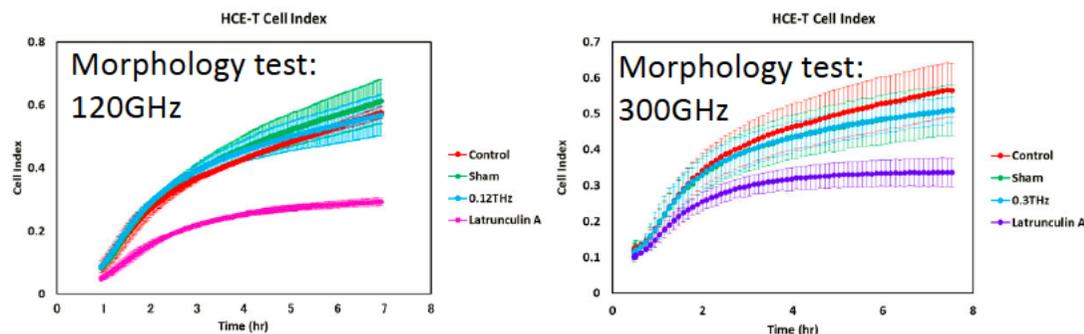
核分裂のみをおこし細胞質分裂を阻害するサイトカラシンを加え、二核細胞になった細胞における小核を顕微鏡にてカウントした

→120および300GHzばく露は、用いた条件下では統計学的に有意な影響は及ぼさなかった

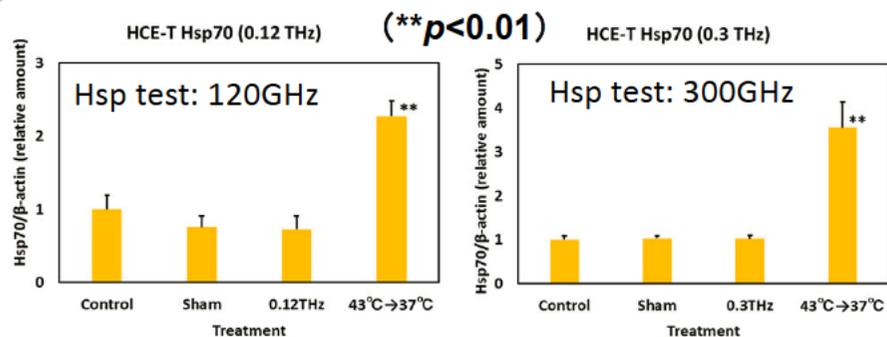
## 細胞機能 (形態変化)

播種直後から4~6時間程度で細胞は底面に定着するまでの形態変化をCell Indexにて観察した

→120および300GHzばく露は、用いた条件下では統計学的に有意な影響は及ぼさなかった



## 生理的影響評価・・・ストレスタンパクの発現 (Hsp70, Hsp90α, Hsp27)



Heat Shock Protein (Hsp) は、熱・酸アルカリなどのストレスにより発現が上昇し、細胞を保護しようとするタンパク質で、分子量により分類されており、働きが異なる。今回は、Hsp70, 90α, 27の3種類の検出を行った

→120および300GHzばく露は、用いた条件下では統計学的に有意な影響は及ぼさなかった

# 「超高周波の電波ばく露による影響の調査」 まとめ

- **約70-300 GHz帯の全周波数におけるヒト培養細胞への非熱作用に関する検討の結果、**
  - ✓ 広帯域周波数可変光源（UTC-PD）および超短パルス光源（TDS）の2光源を用いた、長時間ばく露による細胞への影響は見られなかった
  - ✓ フレーリッヒ仮説に関する非熱作用は検出されなかった
- **周波数を限定した120 GHzおよび300 GHzの細胞ばく露実験を行った結果、**
  - ✓ ヒト角膜由来上皮細胞（HCE-T）における小核形成、形態変化ならびに、ストレスタンパクの発現において、コントロール、Shamばく露、120, 300GHz超高周波帯ばく露において、有意な差は観察されなかった

よって、超高周波帯（70-300 GHz）ばく露の非熱的長期ばく露は、細胞増殖、細胞活性、小核形成、形態変化およびストレスタンパクの発現に影響を及ぼさないと考えられる