

**中間周波数帯の電磁界（特に100kHz帯の磁界）
における非熱的生体作用の検討**
（実施期間：平成27年度～29年度）

研究代表者：石井 一行（明治薬科大学）

受託機関： 明治薬科大学
首都大学東京

- 本研究課題は、中間周波数帯における非熱的生体作用の有無及び作用メカニズムに関する調査研究を実施することにより、当該周波数帯のリスク評価に資することを目的とする。
- 特に、電気自動車（EV）用WPT等により利用の拡大が見込まれる100kHz帯において、ICNIRPガイドラインの刺激作用に基づく基本制限値以下の磁界による非熱的生体作用が健康影響を及ぼす可能性の有無を明らかにする。

代表研究責任者：石井一行（明治薬科大学）

明治薬科大学ユニット

生物・医学的課題を担当

石井 一行

服部 研之

牛山 明※

（※国立保健医療科学院）

研究員A：大谷 真（H27～29）

研究員B：前田満智子（H27～29）

研究技術員：岩波洋子（H27～29）

首都大学東京ユニット

工学・物理的課題を担当

鈴木 敬久

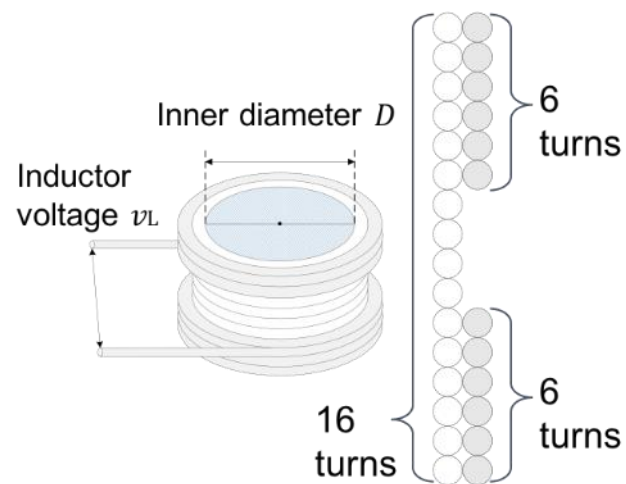
和田 圭二

リサーチアシスタント：高村政代（H27～29）

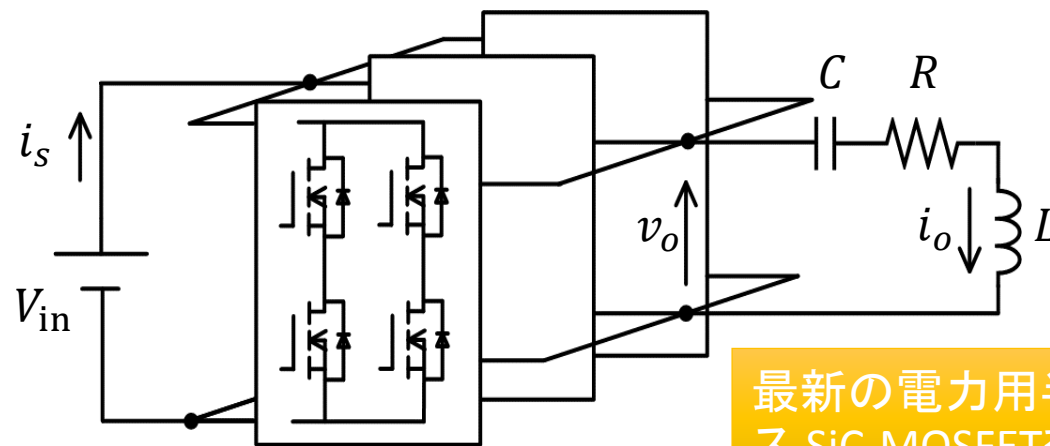
研究補助員⁺⁺：3名（H29）

協力と連携

結果概要 ア) 中間周波磁界ばく露装置の開発



ばく露用コイル構造



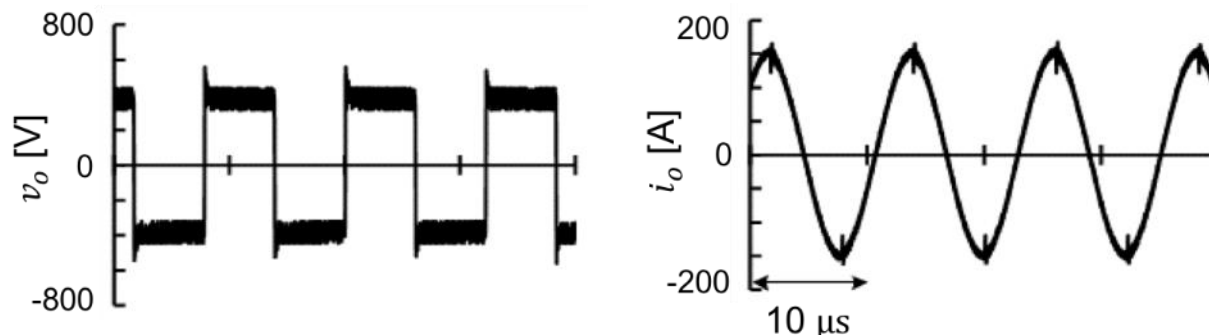
最新の電力用半導体デバイス
SiC-MOSFETを使用

電源装置の回路図

水冷のため、中空
の銅パイプを使用



コイル写真

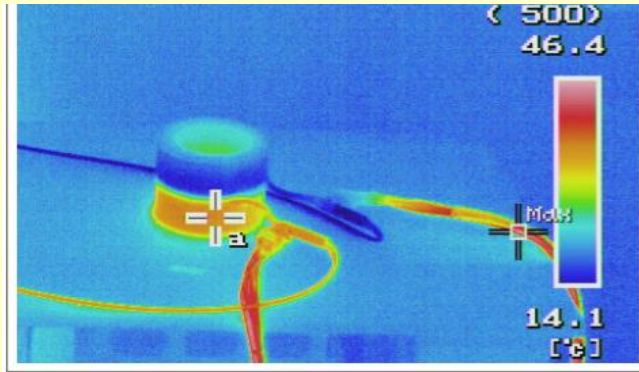


電源出力電圧(左図), コイル電流(右図)の実験結果

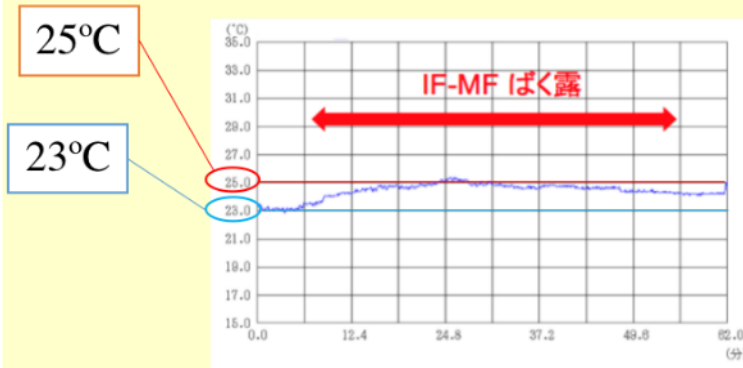
✓ 1年半にわたり安定したばく露装置動作を実現

結果概要 イ)ばく露環境における磁界以外の物理要因の検討

✓温度環境の評価

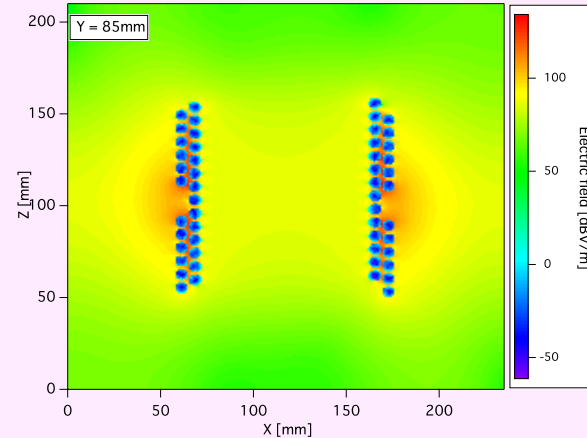


経過時間:120分, 温度:36.3°C

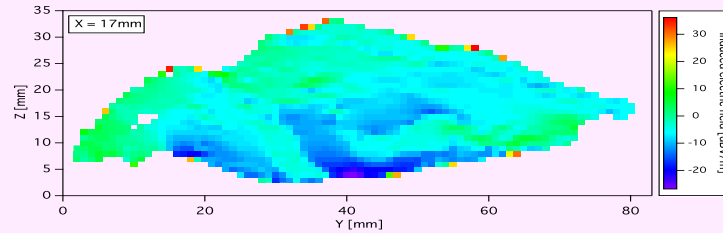


90Aの電流条件下の温度推移
(ファイバー温度計による測定)

✓電界の評価



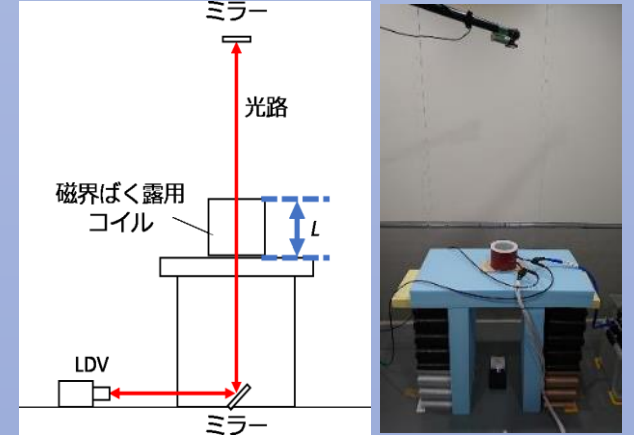
コイル断面の電界分布



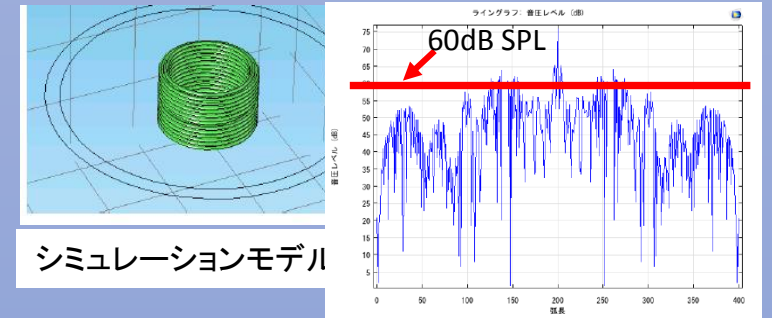
電界による体内誘導電界分布

電界による誘導電界は基本
制限の約1.5%程度であった

✓超音波の評価



レーザーマイクロフォンによる測定系

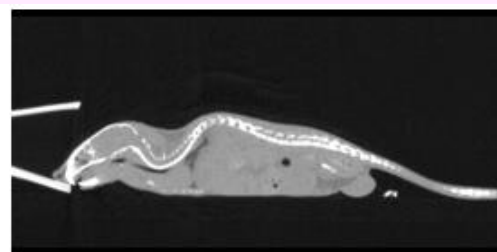


シミュレーション結果

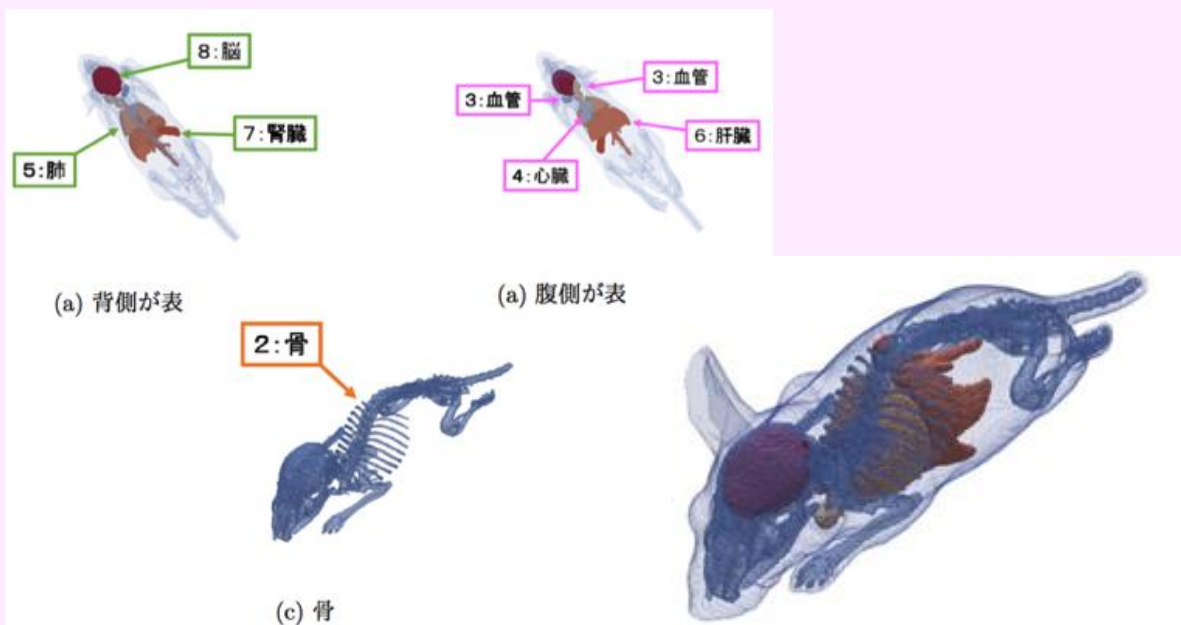
音圧の測定値: 45.0 dB SPL
(ケージ無し64dB SPL)
音圧数値シミュレーション:
60 dB SPL以下(ケージ無)

結果概要 ウ) 数値ドシメトリ解析

✓ 高精細なマウス数値モデルの開発

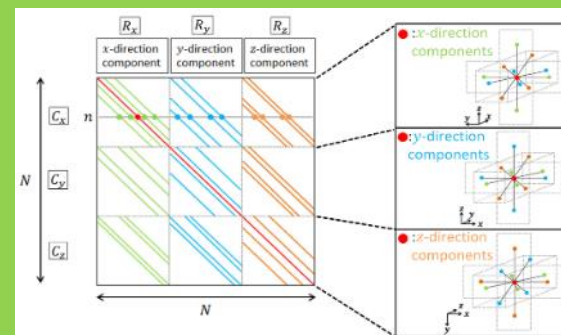


X線CT画像

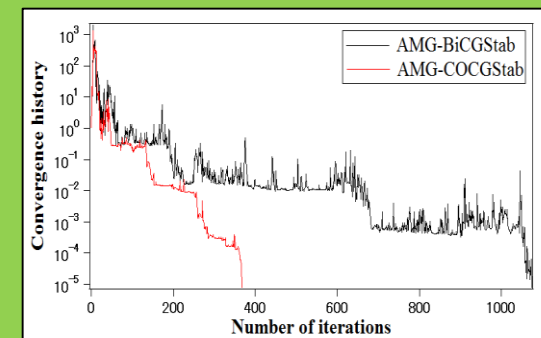


開発した高精細なマウスモデル

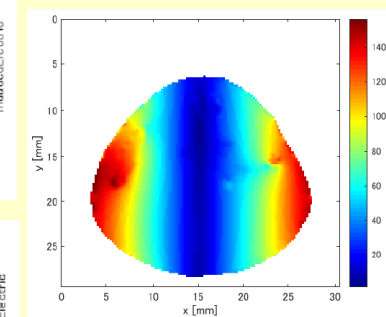
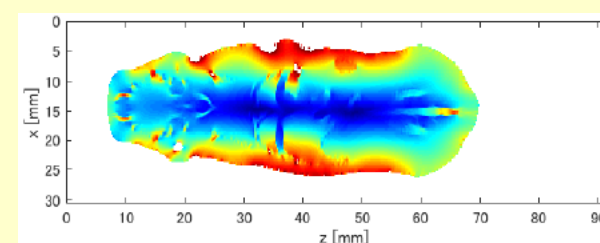
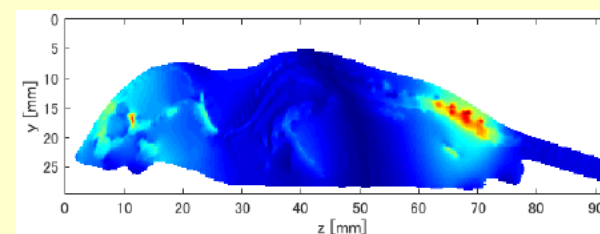
体重20.9g, 解像度236 μ m, ボクセル数約670万



インピーダンス法の行列構造の発見



AMG法+GPUによる解の収束の大幅な改善



高精細モデルを用いた磁界ばく露時のマウス体内の誘導電界計

✓ 90A駆動で全身平均56V/m(基本制限の2.4倍), 脳平均41V/m(基本制限の1.7倍)程度の誘導電界がであることが示された

結果概要 (エ)小動物に対するばく露による非熱的生体作用の検討

本研究で用いたばく露環境

◎ばく露装置



ばく露装置全体像



ソレノイドコイル



コンデンサ



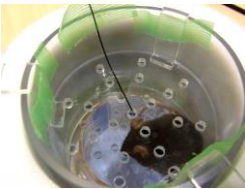
インバーター
直流電源

◎ばく露環境の整備

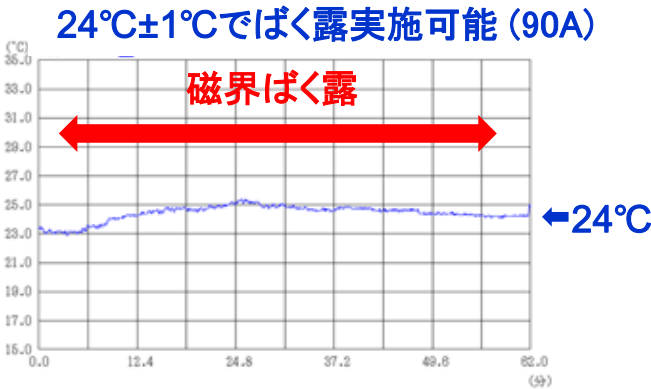


- ・水流ポンプ
 ➡ 水温制御
- ・空調設備
 (エアコン,除湿器,扇風機)
 ➡ 室温・湿度制御

コイル内の温度上昇を制御



ファイバー温度計
↓
コイル中央部温度計測
↓

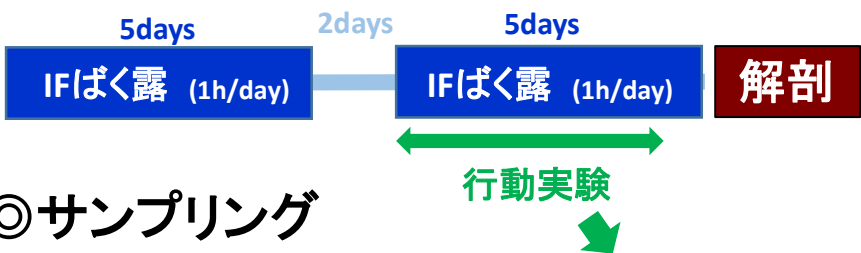


◎ばく露条件

周波数	出力電流	全身平均誘導電界
	30.3A	18 V/m
82kHz	70A	42.1 V/m
	90A	54.1 V/m

◎ばく露期間

- ・ 2 weeks (1h/d, 5d/w)



◎サンプリング

- ・ 全脳
- ・ 肝臓
- ・ 尿 (ばく露前1回
ばく露期間中3回)
- ・ 血液

行動解析
酸化ストレス検出
網羅的遺伝子発現解析
一般毒性試験

結果概要 (エ) 小動物に対するばく露による非熱的生体作用の検討

1) 一般毒性・血液毒性への影響について

ばく露期間中の体重測定、およびばく露後の血液生化学検査、多項目血球分析検査を実施。

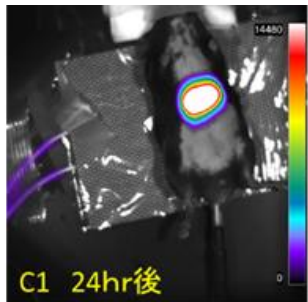
結果: 30A、70A、90Aのばく露においても、測定項目において、**ばく露群とシャム群間の統計的な有意差を認めなかった。**

2) 酸化ストレス可視化遺伝子改変マウスによる酸化ストレス影響

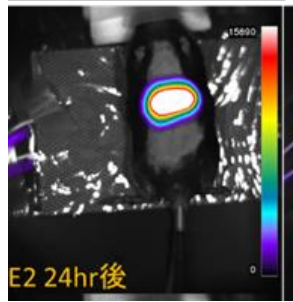
酸化ストレス可視化遺伝子改変マウスを用いてばく露後の酸化ストレス応答を可視化。

結果: 30A、70A、90Aのばく露群とシャム群間に**有意な差は見られなかった。**

シャム群



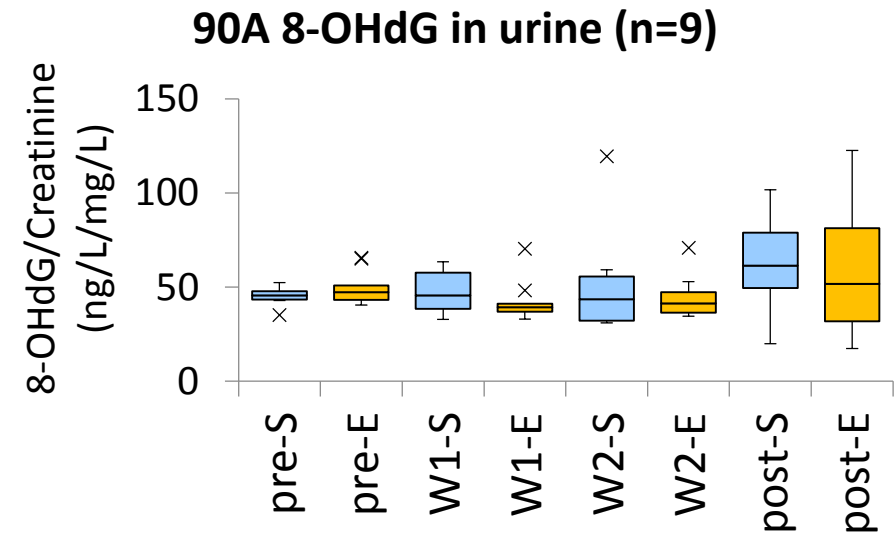
90Aばく露群



3) 酸化ストレスマーカーへの影響

尿中および臓器(肝臓)に生じる酸化ストレスマーカー(8-OHdG等)を機器分析で定量を行った。

結果: 30A、70A、90Aのばく露群とシャム群間に**有意な差は見られなかった。**



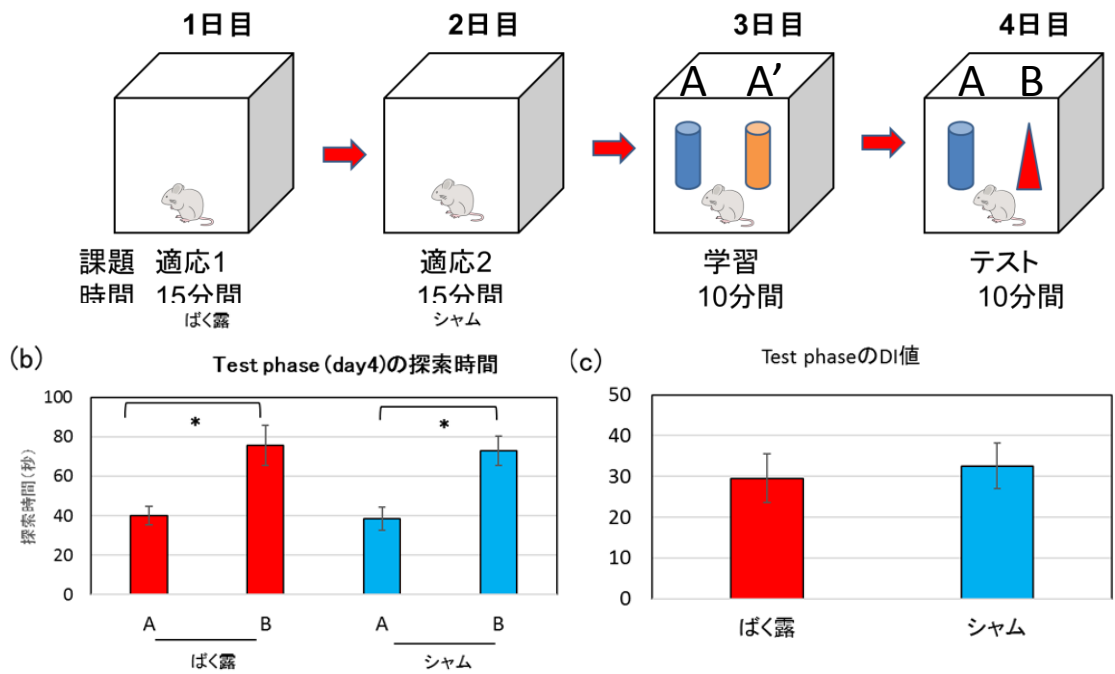
尿中ヘキサノイルリジンでも同様に、磁界ばく露による有意な差は見られなかった。

結果概要 (エ)小動物に対するばく露による非熱的生体作用の検討

3) 行動への影響 (新規物体認識試験)

ばく露群およびシャム群における新規物体認識試験によるマウスの学習記憶機能を実施

結果:ばく露群(各N=10)およびシャムばく露群で新規物体への嗜好性に関して有意な影響はなかった。



4) 遺伝子アレイによる遺伝子発現の網羅的解析

遺伝子の網羅的発現をGeneChipで検討。
結果: False Discovery Rate (FDR)を考慮(p<0.05)した場合、Cut off値を FC>1.5と設定した際に、脳および肝臓いずれにおいてもIFばく露群で発現変動を示す転写産物は検出されなかった。

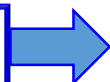
● 網羅的遺伝子発現解析の結果(脳)

		30A			70A		
		大脳	小脳	脳幹	大脳	小脳	脳幹
FDRの制御あり	FC>1.5	0	0	0	0	0	0
	FC>2.0	4	0	2	2	12	2
FDRの制御なし	FC>1.5	8	8	17	6	28	11
		全脳					
		70A	90A_1	90A_2	90A単回		
FDRの制御あり	FC>1.5	0	0	0	0		
	FC>2.0	3	4	0	0		
FDRの制御なし	FC>1.5	6	9	0	0		

結果総括

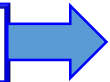
磁界による非熱的生体影響は見られず、研究班として以下の結果および見解を報告した。

説明関数(誘導量)



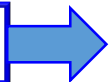
体内誘導電界を用いたが、防護指針の観点から適切である。

実験の再現性



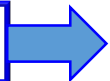
「影響がない」ことについて、繰り返しの再現性を得た。

量反応関係



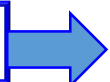
ばく露レベルを3段階にし、量反応が見られることを意図したが影響はなかった。

アーチファクトの除去



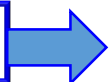
コイルの温度上昇の制御、電界の影響を懸念したが、これらの影響は排除できた。超音波の影響については要検討である。

生理的範囲内の変化か？



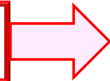
血液指標などの個体差はいずれも生理的範囲内といえた。

長期ばく露の影響



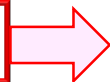
2週間という比較的長いばく露であったが、より長期のばく露については要検討。

ヒトへの外挿



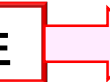
内部誘導電界値の観点でヒトへの外挿は可能だが種の違いについての検討は必要。

健康リスクの大きさの推定



限られた条件下ではあるが、本研究からは健康リスクはないと考えられた。

ガイドライン(防護指針)の妥当性



現行の防護指針値は、非熱的影響の観点から妥当であり、緩和できる可能性があると考えられた。