

図6 β -actin遺伝子発現に対する各遺伝子発現の相対値
 (a)Myl2, 0mT, (b) Myl2, 3.9mT, (c)Hba-x, 0mT, (d) Hba-x, 3.9mT

意な変動は見られなかった。代表例として、心筋マーカー遺伝子である *Myl2* と催奇形性マーカー候補遺伝子である *Hba-x* の結果を図6に示す。

これらの結果および前年度までの胚様体の心筋への分化を指標とした結果は、いずれも IF 磁界への曝露による影響が無いことを示している。したがって、3.9mT への長時間曝露によって、胎児の発生などに対する顕著な影響は生じないと考えられる。

D. 考察

人体ばく露防護のための国際的なガイドラインとして、国際非電離放射線防護委員会 (ICNIRP) や IEEE (米国電気電子技術者協会) などが発行されている。特に ICNIRP

のガイドラインは、欧州連合の指針となっているほか、日本においても同ガイドラインに準拠した磁界規制が電力設備に関して導入された。2010年に改訂されたガイドラインでは、本報告で検討した21kHzの磁界ばく露に関しては、参考レベルとして一般環境で27 μ T、職業環境で100 μ Tが示されている。ただし、このICNIRPガイドラインは、低周波磁界については神経刺激などの影響を防止するために策定されたものであり、その他の影響については、科学的根拠が確立していないため、対象としていない。その理由としては、商用周波数の磁界については、研究結果が一貫していないことが指摘されているが、IF磁界については、十分な研究が行われていないことが挙げられ

ている。

これまでに、IF 磁界の生物影響を細胞レベルで検討した結果としては、宮越らの研究や中園らの研究が主なものとして挙げられる。櫻井らは、遺伝毒性、遺伝子発現、タンパク発現などを強磁界の短時間ばく露で検討し、影響が見られないことを報告している。また、中園らは、微生物変異原性試験、酵母変異原性試験、マウスリンフォーマアッセイなど本研究で用いた試験法とは異なる一般的な変異原性評価試験法を用いて、ICNIRP ガイドラインの最大 50 倍弱の磁界の影響評価を行い、変異原性を示さないことを報告している。

本研究では、これらの報告を踏まえ、ICNIRP ガイドラインの 100 倍強の磁束密度を長時間ばく露した際の影響について、変異原性に加え、後天的遺伝子修飾、内分泌かく乱性、細胞分化など様々な可能性を考慮して評価を目的とし、今年度は特に後天的遺伝子修飾、内分泌かく乱性、細胞分化に対するフォローアップとなる試験を実施し、IF 磁界の影響が認められないことを見出した。

本研究で用いた IF 磁界 (21kHz、最大 3.9mT) は、ICNIRP ガイドラインの参考レベルよりの 150 倍弱の強度であり、実際に環境中で想定されるばく露と比較した場合、数百~数千倍となる。しかしながら、このように強い磁界であっても、そのエネルギーは化学結合などと比べると極めて小さく、例えば DNA などの生体物質を切断・分解するほどのものではない。また、磁界による電磁誘導によるエネルギーも同様である。

これ以外に、誘導による膜への影響や遺伝子発現への影響などについては、明確な根拠は確立しておらず、本研究においても

影響は見られなかったことから、少なくとも顕著な影響はないと考えられ、もって重篤な影響を持つ可能性は小さいと考えられる。

E. 結論

本研究は、日本において普及が進む家電製品などから漏洩する 20kHz 帯の IF 磁界について、一般の関心は高いものの、研究が限られ科学的な不確かさも高い生物影響に関して、科学的な不確かさを減らし必要な情報を得るために研究を実施した。具体的な評価法として、ヒトおよびげっ歯類の培養細胞を用いて 21kHz、最大 3.9mT の磁界の影響を評価した。その結果、

- ① 発がんの因子となる後天的な DNA のメチル化を誘導しない。
- ② 女性ホルモン (エストロゲン) により制御される遺伝子の発現をおこさず、またエストロゲンによる遺伝子発現へ影響を与えない。
- ③ 生物の発生初期段階の分化に際して働くと考えられる 7 種の遺伝子の発現量に影響を与えない。

ことを示した。

これらの結果から、居住環境に存在する微弱なレベルでの IF 磁界ばく露の影響については、影響が無いか、もしくは一般的な安全性評価試験では検出できないレベルの極めて弱い影響しか持たず、したがって生体影響としてのリスクは低いと考えられる。

F. 研究発表

F.1 論文発表

Masateru Ikehata, Sachiko Yoshie, Yukihisa Suzuki, Keiji Wada, Kanako Wake, Taiji Sakai, Satoshi Nakasono, Masao Taki and, Chiyoji

Ohkubo, 21 kHz Magnetic Field Did Not Affect Cell Growth And Mutagenesis in Mammalian Cells (準備中)

Sachiko Yoshie, Yuuki Ogasawara, Masateru Ikehata, Kazuyuki Ishii, Yukihisa Suzuki, Keiji Wada, Kanako Wake, Satoshi Nakasono, Masao Taki and Chiyoji Ohkubo, Evaluation of Biological Effects of Intermediate Frequency Magnetic Field Based on Differentiation of Embryonic Stem Cell (準備中)

F.2 学会発表

Yuki Ogasawara, Masateru Ikehata, Sachiko Yoshie, Satoshi Nakasono, Chiyoji Ohkubo & Kazuyuki Ishii, Effects of exposure to 21kHz magnetic fields on estrogen-regulated gene expression in MCF-7 cell, 34th Annual meeting of the Bioelectromagnetics Society, Jun. 2012, Brisbane

吉江幸子、池畑政輝他、中間周波磁界が細胞分化に与える影響の評価、日本放射線影響学会第55回大会、2012年9月、仙台
池畑政輝、中間周波磁界の生物影響の評価、

第262回鉄道総研月例発表会、2012年12月、東京

M. Ikehata, EMF issue in Railway systems

- Evaluation of Biological Effects and Trends of Regulation in Japan-, ISEF' 2013, Sep. 2013, Ohrid (invited).

M. Ikehata, S. Yoshie, T. Hayakawa, Y. Suzuki and M. Taki, EMF issue in Railway systems - Evaluation of Biological Effects and Trends of Regulation in Japan-, WCRR2013, Nov. 2013, Sydney. (accepted for oral presentation)

Sachiko Yoshie, Masateru Ikehata, Yuuki Ogasawara, Kazuyuki Ishii, Yukihisa Suzuki, Keiji Wada, Kanako Wake, Satoshi Nakasono, Masao Taki and Chiyoji Ohkubo, Evaluation of Health effect of intermediate frequency magnetic field WCRR2013, Nov. 2013, Sydney. (accepted for poster presentation)

G. 知的財産権の出願・登録状況 (予定を含む)

なし

分担研究報告書

居室における中間周波電磁界に関する研究

（実験動物を対象とした研究）

分担研究者 牛山 明 国立保健医療科学院生活環境研究部 首席主任研究官

分担研究者 櫛田 尚樹 国立保健医療科学院生活環境研究部 部長

研究要旨

IH 調理器の普及に伴って、国民が中間周波電磁界にさらされる機会が増加している。IH 調理器は調理者が機器に近づいて調理作業を行うことから、その健康影響が懸念されている。本分担研究においては、実験動物へ 21kHz の磁界をばく露できる装置を開発し、妊娠ラットの胎児器官形成期にあたる妊娠 7 日～17 日に 1 日 1 時間、腹部への局所ばく露をおこなった際の胎児への発生への影響を調べた。その結果、腹部表面の中心磁束密度で国際ガイドラインの約 400 倍にあたる 10.3mT の磁界ばく露をおこなっても奇形の発生率に影響は見られなかった。

A. 研究目的

電磁界の生体作用は、低周波領域では神経や筋の刺激作用が支配的であり、高周波領域では生体の組織で電力エネルギーが吸収されることによって生じる温度上昇（熱作用）が支配的であると言われる。

中間周波（intermediate frequency, 以下 IF と略）電磁界は、これらの間に挟まれる周波数帯、すなわち 300Hz から 100kHz 程度の周波数の電磁界であり、刺激作用を持つ低周波領域と、熱作用を持つ高周波領域の中間に属する。これまで、この周波数領域においては、工業用の誘導加熱等を除けば、生活基盤を支える技術には応用されてこなかったため、その生体影響に関する研究についても余り行われてきていなかった。しかしながら近年、20kHz～50kHz の電

磁界を誘導加熱に利用する家庭用 IH 調理器が普及し、その健康影響について心配する市民も多い。その懸念に答えるためには科学的根拠に基づくデータを示す必要があるが、しかしながらこの周波数帯の電磁界に関しては、これまで研究対象としての関心が低く、十分な科学的な知見が存在していないという現状がある。2007 年に発刊された WHO の超低周波電磁界に関する環境保健クライテリア（EHC238）(1)においても以下の通りに記載され、研究の推進が必須とされている。「この領域のデータが欠落している現状を考慮し、すべてを包括する必要事項として、通常は 300Hz～100kHz とされる中間周波電磁界に関する更なる研究が必要である。健康リスク評価に必要とされる知識ベースの極少数しか集まっておらず、

既存の研究の多くは結果が一貫していないので、更なる具体化が必要である。健康リスク評価のための十分な IF データベースを構成するための一般的な要件には、ばく露評価、疫学研究、ヒト実験室研究、動物および細胞 (*in vitro*) 研究が含まれる」(下線は分担研究者が加筆)

以上を背景に、本分担研究では最終的に中間周波磁界の動物に対する影響の有無を明らかにし、中間周波磁界の健康影響に関して科学的根拠の蓄積に資することを目的とした。

今年度は、電気工学班との協働作業によって開発した局所ばく露装置を用いて、中間周波磁界を妊娠ラットの腹部にばく露し、胎児への影響を調べた。先行研究においては、VDT (ビデオディスプレイターミナル) から発せられる磁界を模した 20kHz 前後の鋸歯状磁界によるばく露実験が多くなされている。マウスを用いた Floren ら(2)の実験では胚の吸収や低体重胎児の増加などの磁界影響が示唆されている。しかしながら Huuskonen ら(3) (4)によって行われた再現実験ではその結果は再現されないと報告されている。また、Dawson ら(5)の研究では交尾前も含めて 3 種類の異なる期間、雌雄両性のラットを 10kHz の磁界にばく露し、いずれの実験でも生殖毒性に差がないことを示している。韓国の Lee YS ら(6, 7)は 20kHz で $6.5\mu\text{T}$ (1998 年版 ICNIRP のガイドライン値に相当(8)) の鋸歯型波形を持つ磁界に対してラットを用いてその影響を調べている。彼女らの報告(6)によれば、1 日 8 時間のばく露を妊娠期間中におこなっても、仔数の変化や仔の奇形に影響はなかった。最近の研究(7)においては、ICR マウ

スを用いて、最大 $30\mu\text{T}$ のばく露を行い、妊娠マウスの胎児の発生、ならびに性別等には全く影響を与えなかったことを示している。

しかしながらこれらの先行研究は IH 調理器を念頭に置いたものではないため、電力中央研究所の西村らは、IH で使用される正弦波形 (実際の IH 調理器では正弦波形に一部低周波による変調がされている) を用いて実験を行い報告している(9, 10)。西村らは 20kHz の正弦波形の磁界を発生するばく露装置を使用し、 $0.2\mu\text{T}$ の正弦波磁界を 1 日 22 時間ラットの妊娠 7 日目から 17 日目までばく露した際の影響を調べ、胎児の外表面異常、内臓異常、骨格異常の出現率を始め、諸指標においてもばく露の影響が見られなかったことを報告している。しかしながら、妊婦が IH 調理器の使用する際には腹部を器具に接近あるいは密着させて調理器を使用することを考えると腹部への局所ばく露を行うことも重要であると考えられる。また、その場合、腹部を中心に不均一な磁界にさらされるため、精度の高いドシメトリに基づいた評価を行うことが必要である。

本研究においては電気工学班と協働して、21kHz の正弦波形の強い磁界を局所にばく露することが可能なばく露装置を開発した。そして本装置を用いたドシメトリ解析を行う一方で、妊娠ラットを用いて、現行の ICNIRP ガイドライン値(11)より 400 倍高い磁束密度である 10.3mT の磁界 (ラットの腹部中心における平均) を 1 日 1 時間のばく露を行った際の胎児への影響を調べた。なお、生殖発生毒性を評価するための試験として OECD 毒性試験ガイドラインの催奇

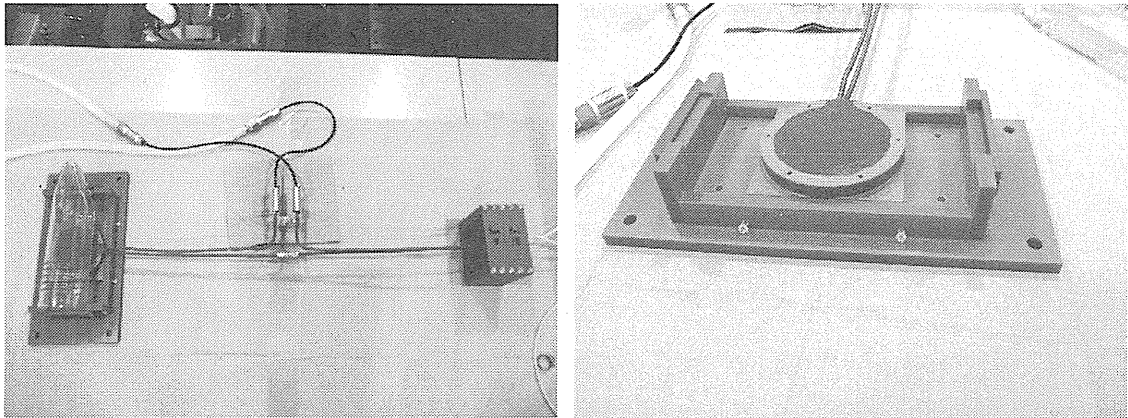


図1 磁界ばく露装置の概要

(左上) コイルとコンデンサ、(右上) コイル拡大写真、(下) ラットのばく露中の模式図

形性試験の試験法においては、ラットの使用を推奨し、交配確認後、器官形成期にあたる期間（ラットでは妊娠7日～17日）で対象物質を毎日投与することとしている。

本研究では、このうち、ラットを用いて器官形成期に中間周波磁界をばく露することでヒトへの健康リスクに関して予知的・探索的な研究を行うことを目的とする。

本年度は平成23年度に行った実験結果で、ばく露中のコイル温度の変化によるアーチファクトの影響（磁界以外の影響）が排除できていない可能性があるため、その温度制御を十分に行った条件で実験を進め、催奇形性の有無を検討した。

B. 方法

1. 磁界ばく露装置

実験動物用中間周波局所ばく露装置は、平成22年度の本補助金を用いて製作したものをを用いた（図1）。コイルは直径約10cmの円形であり、その中央を中心として強い磁界を発生することが可能なものである。コイルに通電した際に生じる熱については、コイル管内を冷却水循環装置（東京理化工機:CA-1114B）を用いて20℃の冷却水を強制循環させることにより制御できるようになっている。コイルはバリア区域内の動物実験専用室に設置した。飼育室内は温度が

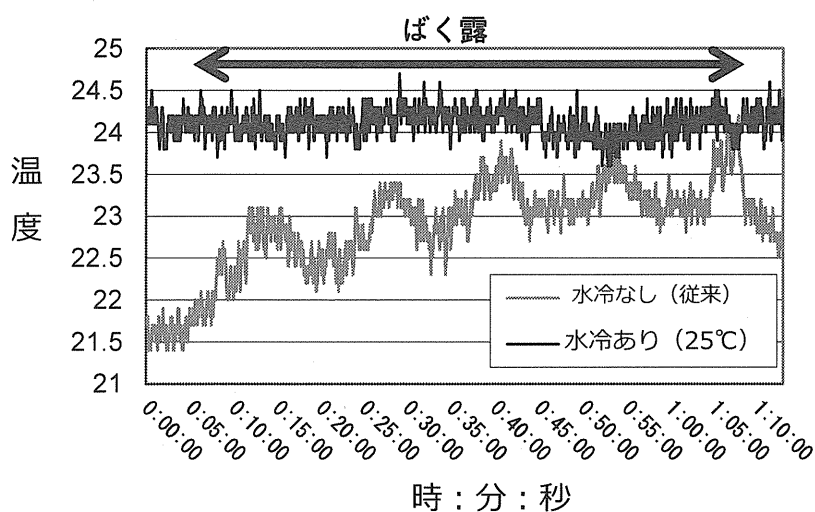
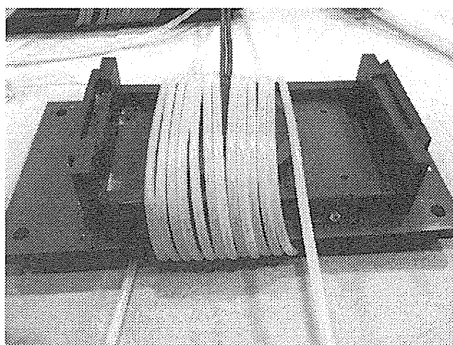


図2 ばく露装置から発生する温度を一定にするための改造

(上) コイルに水冷用ループ装着した状態

(下) 水冷あり、なしによるラットホルダー内の温度変化

23±1℃、湿度 50±20%となるように制御した。今回はばく露群用のコイルだけでなく別室に設けたシャムばく露群用のコイルにも同様の冷却水循環装置を接続し、冷水を流すことでポンプからの微振動なども同条件になるようにした。また、平成 23 年度からの改良点として、コイルの周りをシリコンチューブで巻いて、その中を 25℃に調節した水を循環させて、コイルからの発熱をその循環水で吸熱し動物の部位の温度を一定に保持した(図 2)。

2. 動物

実験に使用した動物は、Slc:SD(Splague Dawley)系統のラットで日本エスエルシー(株)から購入した。購入は実験開始日の1週間以上前におこない、実験(交配)開始日に雄は 12 週齢、雌は 10 週齢となるように購入時の週齢を調整し、実験開始まで飼育室内で馴化した。動物の飼育は、アイソレーションラック(Super Rat 1400™夏目製作所(株))を用いて、飼育中は専用ケージに 1 匹ずつ動物をいれ飼育をおこなった。飼育中、塩素を添加した水、ならびに飼料

(放射線滅菌飼料 FR-2、10kGy、フナバシファーム)は自由摂取とし、床敷きにはアルファドライを使用して定期的に床敷きを交換した。

交配と群分けは以下のとおり行った。10週齢の雌ラットの交配適期を判定するために、ラット用膣インピーダンス・チェッカー (MK-11、室町機械(株))を用いて、製品のプロトコールに従い膣インピーダンス値を測定した。その膣インピーダンス値が3.0を超える値を示した雌は交配適期であると判断し、その時点から12週齢の雄ラットを1:1で同居させた。翌朝、膣スメアをとり、ギムザ染色を行ったのちに顕微鏡下で精子の有無を調べ、精子を確認した場合を交配確認日(妊娠0日)とした。交配が確認された場合は、同居を終了させ、以後は雌1匹で飼育を継続した。交配成立後、動物は毎日体重の測定、目視に健康観察をおこなった。交配が成立したラットは無作為にシャム群、ばく露群、ケージコントロール群に割り付けをおこない、最終的に各群のN数が20になるまで実験を行った。

3. 磁界ばく露

妊娠を確認した動物は飼育室において飼育を継続し、毎日午前中に体重を記録すると共に、妊娠7日~17日まではばく露の操作を行った。ばく露群及びシャム群の動物は専用のアクリル製保定器にラットを入れた状態で、ばく露装置のコイルの上に固定し、1時間のばく露またはシャムばく露を行った(図1)。ばく露条件はばく露装置の項に述べたとおりである。1時間のばく露終了後は直ちにラットをもとのケージに戻し、無用な拘束によるストレスを与えない

ようにした。なお、ケージコントロール群は保定器に一切入れずに、ケージ内で飼育を継続した。

ばく露期間中は毎日1回体重を測定するとともに、動物を観察し外見上の健康状態を確認した。

4. 血液学的検査

雌親は妊娠20日に解剖を行った。動物はイソフルラン吸入麻酔により前麻酔をおこない、ケタミン-キシラジン混合液により深麻酔を施した。開腹し心採血をおこない、血液は直ちに血液生化学分析用にヘパリンリチウム含有微量採血管(ヘルスウェーブ社)、及び血球分析用にEDTA含有微量採血管(ヘルスウェーブ社)にそれぞれ300 μ l程度ずつ分注し混和した。

5. 血液生化学の分析

ヘパリンリチウム含有微量採血管に採取した血液は直ちに動物用・生化学自動分析装置VS2(アバクシス社)を用いて分析した。分析には、事前にすべての試薬や希釈液などがセットされた試薬ローターを用いるが、本研究においてはComprehensive Diagnostic Profile(#500-0038)ローターを用いて、以下の主要14項目の定量を行った。アルブミン(ALB)、アルカリホスファターゼ(ALP)、アラニンアミノトランスフェラーゼ(ALT)、アミラーゼ(AMY)、尿素窒素(BUN)、カルシウム(CA)、クレアチニン(CRE)、グロブリン(GLOB)、グルコース(GLU)、カリウム(K⁺)、ナトリウム(Na⁺)、リン(PHOS)、総ビリルビン(TBIL)、総タンパク質(TP)

6. 血球分析

EDTA 含有微量採血管に採取した血液は直ちに動物用・自動血球計測装置 HM2（アバクシス社）を用いて分析を行った。本装置で測定した指標は以下の通りである。

白血球関連：総白血球数、リンパ球数、単球数、顆粒球数、リンパ球%、単球%、顆粒球数%

赤血球関連：赤血球数、ヘモグロビン、ヘマトクリット、平均赤血球容積、平均赤血球ヘモグロビン量、平均赤血球ヘモグロビン濃度、赤血球分布幅

血小板関連：血小板数、血小板%、平均血小板容積、血小板分布幅

7. 剖検

雌親は生化学分析と血球分析のための採血の後、脱血させ胸腺を摘出した。また、開腹しあとで、胎児の空間的な位置情報がわかるように写真撮影・記録を行った。その後子宮を観察し胎児数、着床痕数を調べた。また胎児は生存胎児を対象として、胎児の表面の水分をガーゼで吸収したのちに体重を測定した。摘出した胎児は、基本的に子宮内での並び位置に基づき 1 匹ずつ交互に外表・内臓検査用、骨格検査用に二分した。

8. 外表検査・内臓検査

外表検査・内臓検査用の標本については摘出胎児を 1 検体ずつ 10% 中性緩衝ホルマリン液（和光純薬）に浸漬し、数日後にブアン固定液（和光純薬）に交換し、さらに数日後飽和ピクリン酸水溶液に交換して剖検に供した。

9. 骨格検査

胎児の骨格をエタノールで固定し、その後アルシアンブルー、アリザリンレッド S による染色を常法に従って行い、脱色、透明化を経て、最終的にグリセリンに浸漬した骨格標本を作成し検査に供した。

なお、外表検査、内臓検査、骨格検査は外部の専門機関に検査を委託した。作業者に対しては動物のばく露条件を伏せ、盲検法にて検査を実施した。

10. 動物実験の倫理的配慮

本研究は、国立保健医療科学院動物実験委員会の承認を得て実験をおこなった。実験の実施にあたっては、関連法令、指針を遵守しておこなった。

11. 統計処理

得られた数値データに関しては、一元配置分散分析により群間の検定を行い、群間差があった場合は、ケージコントロール群を基準として有意水準 5% で検定を行った。統計処理には統計パッケージソフト PASW Statistics (SPSS) ver.18 (日本 IBM) を使用した。

C. 結果

1. ばく露中の温度制御

平成 23 年度の研究において、ばく露を行うと、ばく露コイル近傍において若干の温度上昇が認められたため、方法で述べたように、コイルの周りに一定温度に保った水を循環させ、温度の安定化を目指した。その結果、図 2 に示すように、ばく露中の温度が安定するような環境を形成することが可能であった。水の循環はシャム群、ばく

露群ともに同様に行うことにより、両者の間に発生する磁界以外の要因による影響を排除することが可能であると判断した。

2. 妊娠動物の健康状態

今年度はばく露群、シャムばく露群、ケージコントロール群各 20 匹計 60 匹を実験に供した。ばく露群では周波数 20.8kHz、コイル中心磁束密度(ラットの腹部中心表面)は 10.30 mT の正弦波形の磁界を胎児の器官形成期である妊娠 7 日~17 日の毎日午前中に 1 時間のばく露を行った。ばく露中、母獣の健康状態は良好であった。

3. 妊娠動物の体重

体重に関しては、全ての群の母獣の体重は順調に増加した。表 1 には、妊娠 0 日(妊娠確認日)、7 日、18 日、20 日(解剖日)のそれぞれの群の平均体重と、妊娠中の体重増加量、および磁界ばく露期間中(7 日~17 日)の体重増加量を示した。その結果、妊娠中の各測定日においての体重の平均値の比較では、ケージコントロール群に比べ、ばく露群、シャム群の双方において小さい傾向が見られたが、有意差は見られなかった。また、妊娠中の体重増加量についても同様に有意差は認められなかった。しかしながら、ばく露期間中の体重増加量について同様に検討した場合、ばく露群、シャム群共にケージコントロール群に比べ、体重の増加量が有意に小さかった。体重が少ない理由としてはばく露を行う際に 1 時間保定をおこなう操作が動物にとってストレスになっている可能性がある。

一方、強いストレスがかかると動物の胸腺が萎縮し小さくなることが知られている

ため、解剖時において胸腺を摘出しその重量を測定した。その結果、ケージコントロール群では $0.385 \pm 0.067\text{g}$ であったのに対して、ばく露群では $0.375 \pm 0.078\text{g}$ 、シャム群では $0.360 \pm 0.082\text{g}$ であり、統計的有意差は認められず、重大なストレスがかかっているとはいえないと判断した。本研究では、動物の腹部に局所的に磁界をばく露した際の影響を明らかにすることを目的としているため、拘束のストレスがあったとしても許容できる範囲のものであると考えた。

4. 妊娠動物の血液生化学的検査・血液学的検査

剖検を行った妊娠 20 日目の母獣から採血をおこない、その血液生化学的検査、および血液学的検査(血球検査)を行った。その結果を表 2 および表 3 に示した。その結果、検討した全ての項目において群間の差は見られず、ばく露の影響はないものと考えられた。

5. 着床数、胎児数、胎児重量などの比較

着床数、胎児数、胎児重量などについての結果を表 4 にまとめた。着床数はばく露群 13.6 ± 1.7 匹、シャム群 13.8 ± 1.2 匹、ケージコントロール群 13.5 ± 1.4 匹であり、群間の有意差は認めなかった。また着床痕数は、ばく露群 11 匹、シャム群 11 匹、ケージコントロール群 16 匹、死亡胎児は、ばく露群 1 匹、シャム群 2 匹、ケージコントロール群 1 匹であった。

着床痕や死亡胎児は特定の母獣に頻発していることはなく、均等な頻度での発現が見

表 1 母獣の妊娠期間の体重変化

		ばく露	シャム	ケージコントロール
母獣の数		20	20	20
妊娠中の体重(g)	妊娠0日	220 ± 9	219 ± 10	221 ± 11
	7日	245 ± 10	246 ± 13	248 ± 13
	18日	302 ± 9	309 ± 19	323 ± 22
	20日	333 ± 17	329 ± 31	347 ± 22
体重増加量(g)				
妊娠0日～20日まで		112 ± 15	110 ± 27	126 ± 18
ばく露期間(妊娠7日～17日まで)		50 ± 9	50 ± 8	61 ± 10

表 2 母獣の血液生化学的検査

			高ばく露	シャム	ケージコントロール
ALB	血中アルブミン	g/dL	3.46 ± 0.38	3.48 ± 0.30	3.68 ± 0.44
ALP	アルカリホスファターゼ	IU/L	136.85 ± 59.15	146.85 ± 52.13	138.20 ± 50.69
ALT	GPT	IU/L	46.75 ± 7.33	46.35 ± 10.48	49.90 ± 6.36
AMY	アミラーゼ	IU/L	1300.8 ± 153.7	1268.4 ± 92.0	1221.3 ± 133.3
TBIL	総ビリルビン	mg/dL	0.30 ± 0.00	0.30 ± 0.00	0.29 ± 0.03
BUN	尿素窒素	mg/dL	17.35 ± 3.42	16.90 ± 2.63	17.50 ± 2.31
CA	カルシウム	mg/dL	10.09 ± 0.65	10.10 ± 0.32	10.23 ± 0.42
PHOS	リン	mg/dL	6.26 ± 1.06	5.88 ± 1.12	6.42 ± 1.01
CRE	クレアチニン	mg/dL	0.36 ± 0.08	0.31 ± 0.11	0.32 ± 0.09
GLU	グルコース	mg/dL	161.0 ± 35.1	157.4 ± 18.8	171.9 ± 27.1
NA	ナトリウム	mmol/L	133.8 ± 2.1	134.3 ± 2.1	134.6 ± 1.4
K	カリウム	mmol/L	5.43 ± 0.70	5.33 ± 0.61	5.61 ± 0.64
TP	総タンパク質	g/dL	5.79 ± 0.36	5.85 ± 0.35	5.96 ± 0.42
GLOB	グロブリン	g/dL	2.33 ± 0.19	2.40 ± 0.19	2.26 ± 0.20

平均値±標準偏差

表 3 母獣の血球検査

条件			高ばく露 (N=20)	シャム (N=20)	ケージコントロール (N=20)
WBC	白血球	10 ⁶ /mL	8.26 ± 2.09	11.14 ± 4.49	9.31 ± 3.78
LYM	リンパ球	10 ⁶ /mL	4.54 ± 1.94	6.78 ± 3.57	5.92 ± 3.27
MON	単球	10 ⁶ /mL	0.58 ± 0.20	0.68 ± 0.40	0.60 ± 0.33
GRA	顆粒球	10 ⁶ /mL	3.15 ± 1.02	3.69 ± 1.34	2.80 ± 1.23
RBC	赤血球	10 ⁹ /mL	6.38 ± 0.29	6.47 ± 0.38	6.31 ± 0.39
HGB	ヘモグロビン	g/dL	12.24 ± 0.71	12.21 ± 0.73	11.86 ± 0.70
HCT	ヘマトクリット	%	34.60 ± 1.86	34.95 ± 1.95	34.06 ± 1.95
MCV	赤血球容量	fl	54.10 ± 2.15	54.10 ± 1.59	54.00 ± 1.95
MCH	平均ヘモグロビン量	pg	19.18 ± 0.59	18.88 ± 0.61	18.83 ± 0.62
MCHC	平均ヘモグロビン濃度	g/dL	35.37 ± 1.12	34.91 ± 0.86	34.88 ± 1.15
RDWc	赤血球分布幅	%	13.94 ± 0.47	14.15 ± 0.48	14.28 ± 0.64
PLT	血小板	10 ⁶ /ml	620.1 ± 216.2	582.5 ± 232.4	608.6 ± 221.3
PCT	血小板%	%	0.45 ± 0.14	0.43 ± 0.15	0.47 ± 0.15
MPV	平均血小板容量	fl	7.50 ± 0.97	7.70 ± 1.07	7.97 ± 0.91
PDWc	血小板分布幅	%	33.39 ± 2.25	34.18 ± 2.44	34.35 ± 2.70

平均値±標準偏差

られた。

各群の生存胎児数はばく露群 13.0±2.0 匹、シャム群 13.2 ±1.2 匹、ケージコントロール群 12.3 ±1.9 匹であり、統計的な有意差は認めなかった。

また、胎児の体重について雄のばく露群 3.49 ±0.35g、シャム群 3.55 ±0.30g、ケージコントロール群 3.62 ±0.39g であり、雌に関しては、ばく露群 3.34 ±0.29g、シャム群 3.38±0.33g、ケージコントロール群 3.40±0.39g でありそれぞれ群間の統計的な有意差は認めなかった。

6. 胎児の外形異常

検査胎児の外表面観察異常についての結果

を表 5 および表 6 に示す。本研究では、全 380 検体を調べたが、そのうち一部の胎児に異常が認められた。異常に関しては、致死性であり発育や機能に悪影響を及ぼす永久的な構造の変化を奇形 (malformation)、構造的に通常範囲を超えた変化であっても生存に影響しないものを変異 (variation) と定義し解析した。異常と判定したもののうち、奇形を呈する個体は見られなかった。変異に関しては、全て口蓋ヒダ不整列の所見であった。口蓋ヒダ不整列の発生頻度は、ばく露群で 28.9%、シャム群 35.3%、ケージコントロール群 38.5% であり、ばく露条件による有意差は見られなかった。

表 4 ラット胎児の着床数および生存胎児数と体重

	ばく露	シャム	ケージコントロール
母獣の総数	20	20	20
着床総数	271	276	262
	13.6 ± 1.7	13.8 ± 1.2	13.5 ± 1.4
着床痕数	11	11	16
死亡胎児	1	2	1
着床痕+死亡胎児	12	13	17
総生存胎児	259	263	245
親あたりの生存胎児数	13.0 ± 2.0	13.2 ± 1.2	12.3 ± 1.9
胎児性比	127 : 132	138 : 125	131 : 114
オス出現率(%)	49.0	52.4	53.4
雌親あたりのオス出現率(%)	48.8 ± 13.0	52.9 ± 11.8	53.0 ± 9.5
胎児体重(オス)(g)	3.49 ± 0.35	3.55 ± 0.30	3.62 ± 0.39
胎児体重(メス)(g)	3.34 ± 0.29	3.38 ± 0.33	3.40 ± 0.39

表5 ラット胎児検体における奇形発生

	ばく露	シャム	ケージコントロール	合計
外表奇形				
検査胎児数	128 / 20	130 / 20	122 / 20	380 / 60
異常胎児数 (異常胎児 %)	0 / 0 0%	0 / 0 0%	0 / 0 0%	0 / 0 0%
内臓奇形				
検査胎児数	128 / 20	130 / 20	122 / 20	380 / 60
異常胎児数 (異常胎児 %)	0 / 0 0	2 / 2 1.5%	2 / 2 1.6%	4 / 4 1.1%
(内訳*)				
鎖骨下動脈起始異常	0 / 0	0 / 0	1 / 1	1 / 1
鎖骨下動脈食道後方走行	0 / 0	0 / 0	1 / 1	1 / 1
心室中隔膜性部欠損	0 / 0	0 / 0	1 / 1	1 / 1
心室中隔筋性部欠損	0 / 0	1 / 1	0 / 0	1 / 1
心房中隔欠損	0 / 0	1 / 1	0 / 0	1 / 1
骨格奇形				
検査胎児数	131 / 20	133 / 20	123 / 20	387 / 60
異常胎児数 (異常胎児 %)	1 / 1 0.8%	5 / 3 3.8%	0 / 0 0%	6 / 4 1.6%
(内訳)				
胸椎体二分骨化	1 / 1	5 / 3	0 / 0	6 / 4
奇形合計				
検査胎児数	259 / 20	263 / 20	245 / 20	767 / 60
異常胎児数 (異常胎児 %)	1 / 1 0.4%	7 / 4 2.7%	2 / 2 0.8%	10 / 7 1.3%

*1 重複した項目もある。

分数で示したデータは (該当する胎児数) / (該当する母獣数) を示す。

7. 胎児の内臓異常

検査した胎児の内臓異常についての結果を表5および表6に示す。全380検体を調べたが、そのうち一部の胎児で異常が認められた。異常に関しては、致死性であり発育や機能に悪影響を及ぼす永久的な構造の変化を奇形、構造的に通常の範囲を超えた変化であっても生存に影響しないものを変異と定義し解析した。

表5に示す通り、奇形はばく露群で0(発生頻度0%)、シャム群は2匹(発生頻度1.5%)、ケージコントロール群は2匹(発生頻度1.6%)であり、条件によって奇形が頻発することはなく有意差も認められな

かった。奇形の所見としてはシャム群では心室中隔筋性部欠損が1匹、心房中隔欠損が1匹であった。また、ケージコントロール群では、鎖骨下動脈起始異常と鎖骨下動脈食道後方走行が同一個体中に見られるものが1匹、心室中隔筋性部欠損が1匹であった。

一方変異については、表6に示す通り、ばく露群の23.4%、シャム群の37.6%、ケージコントロール群の28.6%に見られて、カイ自乗検定では、有意差が認められた(p=0.04)。内訳では、多くが胸腺頸部遺残であった。また左臍帯動脈、肺分葉過剰裂がそれぞれ数例見られた。

表6 ラット胎児検体における変異発生

	ばく露	シャム	ケージコントロール	合計
外表変異				
検査胎児数	128 / 20	130 / 20	122 / 20	380 / 60
異常胎児数 (異常胎児 %)	37 / 16 28.9%	46 / 19 35.3%	47 / 17 38.5%	130 / 52 34.2%
(内訳) 口蓋ヒダ不整列	37 / 16	46 / 19	47 / 17	130 / 52
内臓変異				
検査胎児数	128 / 20	130 / 20	122 / 20	380 / 60
異常胎児数 (異常胎児 %)	30 / 17 23.4%	49 / 16 37.6%	35 / 18 28.6%	114 / 51 30.0%
(内訳*) 胸腺頸部遺残	26 / 16	46 / 15	31 / 18	103 / 49
左臍帯動脈	4 / 3	1 / 1	3 / 3	8 / 7
肝分葉過剰裂	1 / 1	5 / 4	3 / 3	9 / 8
骨格変異				
検査胎児数	131 / 20	133 / 20	123 / 20	387 / 60
異常胎児数 (異常胎児 %)	20 / 9 15.2%	26 / 14 19.5%	21 / 13 15.7%	67 / 36 17.3%
(内訳*) 胸椎体ダンベル状骨化	15 / 8	17 / 10	17 / 12	49 / 30
短小過剰肋骨	4 / 4	6 / 3	6 / 4	16 / 11
頸肋	0 / 0	1 / 1	0 / 0	1 / 1
胸椎体半椎体	0 / 0	1 / 1	0 / 0	1 / 1
波状肋骨	2 / 2	2 / 1	0 / 0	4 / 3
変異合計				
検査胎児数	259 / 20	263 / 20	245 / 20	767 / 60
異常胎児数 (異常胎児 %)	75 / 19 28.9%	101 / 20 38.4%	87 / 20 35.5%	263 / 59 33.4%

*1 重複した項目もある。
分数で示したデータは (該当する胎児数) / (該当する母獣数) を示す。

8. 胎児の骨格形成の異常

検査した 387 胎児検体の骨格形成についての結果を表 5 および表 6 に示す。異常に関しても、外形・内臓異常と同様に、発育や生存に影響を及ぼす永久的な構造の変化を奇形、構造的に通常の範囲を超えた変化であっても生存に影響しないものを変異と定義し解析した。奇形に関しては、ばく露群 1 匹 (発生頻度 0.8%)、シャム群 5 匹 (発生頻度 3.8%)、ケージコントロール群 0 匹 (発生頻度 0%) という結果であった。シャム群において高い頻度で見られたが、その理由は明確ではない。しかしながら、ば

く露群では増加傾向はみられないため、磁界が催奇形性をもたらす要因になるということはない。奇形胎児の所見としてはすべて「胸椎体二分骨化」であった。

変異に関しては、全 387 胎児検体中、67 検体で異常が確認され、内訳はばく露群 20 匹 (発生頻度 15.2%)、シャム群 26 匹 (発生頻度 19.5%)、ケージコントロール群 21 匹 (発生頻度 15.7%) であった。内訳は、その他は全て変異とみなせるものであり、「胸椎体ダンベル状骨化」が骨格変異個体の約 3 分の 2 を占めていた。それ以外に短小過剰肋骨、頸肋、胸椎体半椎体、波状肋

骨が見られた。

9. 母獣の腹単位の奇形発生頻度

OECD ガイドライン(12)を始め、催奇形性の評価については、異常を呈した胎児の数で評価するよりも、異常を呈した胎児をもつ母獣の割合で評価をおこなうことが推奨されている。

本実験でも母中の腹単位での奇形発生頻度を比較した。母獣の腹単位で考えると、内臓奇形に関しては、各群 20 匹に対して、ばく露群 1 匹、シャム群 2 匹、コントロール群 2 匹であり、特定の母獣に奇形が集中するという事もなく、自然確率的な発生であると考えられた。また、骨格奇形について母体レベルで考えると、各群 20 匹の母数に対し、ばく露群 1 匹、シャム群 3 匹、ケージコントロール群 0 匹であった。

内臓と骨格を総合して考えると、奇形を呈した胎児を持った母獣はばく露群 1 匹、シャム群 4 匹、ケージ群 2 匹であり、ばく露群に有意に奇形発生率が多いということとはなかった。

D. 考察

本研究では、中間周波磁界が胎児の発生に与える影響を調べるため、ラット胎児の器官形成期にあたる期間で磁界ばく露をおこない、その生殖発生毒性を評価した。これまでに IH 調理器から放射される磁界を問題にした催奇形性試験は西村らによっておこなわれた研究があるのみである。西村らはラットに一樣な垂直磁界をばく露し、その催奇形性が見られないことを明らかにしているが、いくつかの考慮すべき問題点も考えられる。具体的には、実際の IH 調理

器での調理作業は妊婦の腹部が調理器に接近した状態で使用するため、妊婦(胎児)に対して不均一な磁界に晒される点が実際のばく露と異なる点と、西村らの用いた磁界強度が $0.2\mu\text{T}$ であり、誘導電界に換算した場合、ヒトとラットでは磁界が通過する断面積には大きな差があることからそれほど強い強度ではない点が挙げられる。本研究ではこれらの点を考慮し、ラットの腹部に局所的に強磁界をばく露するための実験系で実験を行った。腹部に局所的に磁界に晒すことはすなわち、母獣と胎児にとって不均一な磁界に晒されることを意味する。局所的に強磁界に晒すため、私たちは平成 22 年度の本研究で専用のばく露コイルを開発した。コイルでばく露するためにはラットを専用の保定筒に保定しばく露をおこなうため、妊娠ラットの数値モデルを用いて、詳細なドシメトリを実施することが可能となった。ドシメトリに関しては工学班の項を参照して頂きたい。

平成 23 年度はそのコイルを用いて催奇形性の実験を行った。その結果、通電によりコイル自身に生じる発熱が非常にわずかであるがコイル付近の温度上昇を招き、それが結果に影響する可能性があることが分かった。本年度は、たとえわずかな温度上昇であっても、磁界以外の影響の可能性は否定できないことから、その可能性を排除するために、温度を安定化するための水ループをコイルに装着し実験を行った。

動物実験では 21kHz の正弦波形磁界を SD ラットの胎児器官形成期である妊娠 7 日～17 日にばく露し、妊娠 20 日に解剖して胎児を摘出し胎児を常法に従って検査した。本研究では、ばく露群とシャムばく露群並

びにばく露時の保定を一切行わないケージコントロール群の計3つの群を作り、各群20匹の母獣を用意して結果を比較した。これら3群の間で、妊娠中の母獣の体重増加に関しては、ばく露群、シャム群においてケージコントロール群に比べ増加量が有意に少ないことが明らかになったが、これは磁界の影響ではなく、ばく露中の保定のストレスによるものであると推察された。しかしながら、血液学的検査、血液生化学検査、胸腺重量においては有意な差は見られなかった。また生存胎児数、胎児1匹あたり重量においても群間の有意な差は見られなかった。また胎児の外表検査や内臓検査、骨格検査をおこない異常の有無を調べた。異常に関しては、内臓観察の分類において、致死性であり発育や機能に悪影響を及ぼす永久的な構造の変化を奇形 (malformation)、構造的に通常の範囲を超えた変化であって生存に影響しないものを変異 (variation) と定義することが多いため、本研究でもこれに従うこととした。

結果の項で示したとおり、全部で60匹の母獣から767匹の胎児検体を得て、その半数を外表及び内臓の異常検索用に、半数を骨格の異常検索用に供した。催奇形性として問題となる奇形の発生に関しては、ばく露群で有意に多く発生することはないと考えられた。なお、本研究では外形奇形は0%、内臓奇形は1.1%、骨格奇形は1.6%、全体として1.3%の奇形発生率であったが、竹内らがまとめたSDラットの生殖に関するバックグラウンドデータ（複数研究をとりまとめたもの）では、外形奇形が平均0.29%、内臓奇形が平均2.64%、骨

格奇形が0.26%となっており、特段の差は見られないと考えられる(13)。

本研究では、通常の範囲を超えてはいるが生存に影響しない変異についても検討を行った。変異の種別に見ると、外形検査では口蓋ヒダ不整列が、内臓検査では胸腺頸部遺残が、骨格検査では胸椎体ダンベル状骨化が多く見られた。一般的に口蓋ヒダ不整列は、発生頻度が増加している場合、投与用量に対応して他の部位の異常が増加する可能性があるかもしれないと考えられている一般的な変異であるがシャム群、ケージコントロール群に比べて、ばく露群ではむしろ低い発生率であった。変異については、それぞれの群において変異をもつ胎児が検出されるものの、磁界ばく露群において有意に高い率を示すことはなく、磁界ばく露による変異のポジティブな影響はないことが明らかとなった。

Huuskonenら(4, 14)は鋸型歯状の20kHz磁界をばく露したマウスで少なくとも3個以上の骨格変異型をもった胎児の数が増加していることを報告している。その実験では骨格変異型の増加の他にもばく露による化骨進行度の増加と減少の双方の変化が報告されており、そのような骨格に関連した変化はばく露した磁界の種類や動物の種、系統に影響を受けると述べている。今回の研究では化骨進行度に関しては詳細な検討は行っていないため、比較はできなかった。

本研究において平成24年度は、動物実験用に開発した局所用ばく露装置を用いて妊娠ラットの胎児形成期に強い中間周波磁界のばく露実験を行い胎児への影響の有無を調べ、磁界ばく露による胎児の奇形の有意な発生は見られないことを報告した。平成

24 年度に得られたこの結果は OECD 毒性試験ガイドラインの催奇形性試験で推奨される各群 20 例の母獣を用いてデータを収集し、磁界の影響が見られないことを明らかにしたことから、一般的な化学物質の催奇形性データの対比も可能となるものである。また、データの収集にあたり、磁界以外の要因、たとえばコイルの発する熱についても除去する実験系を用いたため、信頼性の高いデータを得られたと考えている。本研究で得られた結果は現時点ではデータが少ない生活環境における中間周波磁界のリスク分析に資する基礎資料として活用可能な貴重なデータとなった。

1. WHO. Extremely Low Frequency Fields. 2007. Available from: http://www.who.int/peh-emf/publications/elf_ehc/en/index.html.
2. Frolen H, Svedenstal BM, Paulsson LE. Effects of pulsed magnetic fields on the developing mouse embryo. *Bioelectromagnetics*. 1993;14(3):197-204. PubMed PMID: 8323570. Epub 1993/01/01. eng.
3. Huuskonen H, Juutilainen J, Julkunen A, Maki-Paakkanen J, Komulainen H. Effects of gestational exposure to a video display terminal-like magnetic field (20-kHz) on CBA/S mice. *Teratology*. 1998 Nov;58(5):190-6. PubMed PMID: 9839357. Epub 1998/12/05. eng.
4. Huuskonen H, Juutilainen J, Julkunen A, Maki-Paakkanen J, Komulainen H. Effects of low-frequency magnetic fields on fetal development in CBA/Ca mice. *Bioelectromagnetics*. 1998;19(8):477-85.

E. 結論

妊娠ラット腹部表面中心で 21kHz、約 10mT の正弦波磁界ばく露を胎児の器官形成期にあたる妊娠 7~17 日まで 1 日 1 時間おこない、20 日目に解剖し胎児への影響を調べたところ、磁界が奇形の発生に影響を与えないことが明らかになった。IH 調理器で使用されている正弦波磁界での催奇形性試験の例は少なく、リスク評価に向けての科学的なエビデンスの一つとして活用されることが期待される。

F. 参考文献

- PubMed PMID: 9849917. Epub 1998/12/16. eng.
5. Dawson BV, Robertson IG, Wilson WR, Zwi LJ, Boys JT, Green AW. Evaluation of potential health effects of 10 kHz magnetic fields: a rodent reproductive study. *Bioelectromagnetics*. 1998;19(3):162-71. PubMed PMID: 9554694. Epub 1998/04/29. eng.
6. Kim SH, Song JE, Kim SR, Oh H, Gimm YM, Yoo DS, et al. Teratological studies of prenatal exposure of mice to a 20 kHz sawtooth magnetic field. *Bioelectromagnetics*. 2004 Feb;25(2):114-7. PubMed PMID: 14735561. Epub 2004/01/22. eng.
7. Lee HJ, Pack JK, Gimm YM, Choi HD, Kim N, Kim SH, et al. Teratological evaluation of mouse fetuses exposed to a 20 kHz EMF. *Bioelectromagnetics*. 2009 May;30(4):330-3. PubMed PMID: 19140138. Epub 2009/01/14. eng.
8. Protection) IICoN-IR. Guidelines for

limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Health physics. 1998 Apr;74(4):494-522. PubMed PMID: 9525427. Epub 1998/04/03. eng.

9. 西村泉, 今井節夫, 根岸正. 中間周波磁界の生物影響評価-20kHz 磁界のラット胚・胎児の発生に関する生殖発生毒性評価. 電力中央研究所環境科学研究所研究報告. 2008 (V07003):24P. PubMed PMID: 08A0371659. 日本語(JA).

10. Nishimura I, Oshima A, Shibuya K, Negishi T. Lack of teratological effects in rats exposed to 20 or 60 kHz magnetic fields. Birth defects research Part B, Developmental and reproductive toxicology. 2011 Oct;92(5):469-77. PubMed PMID: 21770026. Pubmed Central PMCID: 3264702. Epub 2011/07/20. eng.

11. Protection) IICoN-IR. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz to 100 kHz). Health physics. 2010 Dec;99(6):818-36. PubMed PMID: 21068601. Epub 2010/11/12. eng.

12. 催奇形性試験. OECD 毒性試験ガイドライン. 東京: 薬業時報社; 1991. p. 87-90.

13. Takeuchi T, Okuda H, Ushigome S, Kasahara Y, Kawaguchi Y, Noguchi F, et al. Background control data of reproductive and developmental toxicity study in Crj:CD (SD)IGS rats -1999. Biological reference data in CD(SD)ING rats -1999. Tokyo: Best Printing Co. Ltd.; 1999. p. 190-5.

14. Huuskonen H, Juutilainen J, Komulainen H. Effects of low-frequency magnetic fields on fetal development in rats. Bioelectromagnetics.

1993;14(3):205-13. PubMed PMID: 8323571. Epub 1993/01/01. eng.

G 口頭発表

牛山明, 大谷真, 鈴木敬久, 和田圭二, 櫻田尚樹, 大久保千代次. 中間周波磁界の全身亜慢性ばく露影響に関する研究, 第 51 回日本生体医工学会大会, 2012.5.10-12, 福岡, 日本生体医工学雑誌 (同プログラム抄録論文集) Vol.50(Suppl.1), p.241.(付属 CD-ROM, P1-07-1)

Ushiyama A, Ohtani S, Suzuki Y, Wada K, Kunugita N, Ohkubo C. The effects of 21 kHz intermediate frequency magnetic fields on blood properties and immune systems in juvenile rats. The 2012 Korea-Japan EMT/EMC/BE Joint Conference (KJJC-2012), 2012.5.18-19, Seoul, Korea, the Conference Proceedings p251-253.

Ushiyama A, Ohtani S, Maeda M, Hirai Y, Suzuki Y, Wada K, Kunugita N, Ohkubo C. Effects of abdominal local exposure of intermediate frequency (21kHz) magnetic fields on fetal development in rats. The 34th Annual Meeting of Bioelectromagnetics Society. 2012.6.17-23. Brisbane, Australia, Abstract book p.209.

牛山明. 中間周波数磁界の催奇形性に関する研究および BEMS2012 報告 (特別講演). 平成 24 年度第一回医用生体電磁気学研究会 (兼 第 22 期第一回 URSI-K 国内小委員会). 2012.8.2. 東京

牛山明. 生活環境中の電磁界：測定・規制・健康影響 (公衆衛生行政研修フォーラムシンポジスト) 第71回日本公衆衛生学会総会, 2012.10.24-26, 山口, 日本公衆衛生学雑誌 (同抄録集) Vol.59(10), p104

牛山明, 大谷真, 前田満智子, 櫻田尚樹, 鈴木敬久, 和田圭二, 大久保千代次. 家庭用IH調理器で利用される21kHzの中間周波磁界の生体ばく露による発生毒性評価. 第29回全国衛生化学技術協議会年会, 2011.11.21-22, 同講演集 p266-267.

Ushiyama A, Ohtani S, Maeda M, Suzuki Y, Wada K, Kunugita N, Ohkubo C., Lack of

teratological effects in pregnant rats being locally exposed to their abdomen of intermediate frequency (21kHz) magnetic fields. BioEM2013, Thessaloniki, Greece, June 10-14. 2013 (採択済)

Ushiyama A, Ohtani S, Suzuki Y, Wada K, Kunugita N, Ohkubo C., The 21 kHz Intermediate frequency magnetic fields do not affect on Blood Properties and Immune Systems in Juvenile Rats. the 2013 CIGRE 3rd International Colloquium on Low Frequency Electromagnetic Fields (EMF-ELF 2013), Nara, Japan, Oct 15-16, 2013 (採択済)

雑誌

資料番号	発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
1	平井佑樹、鈴木敬久、和氣加奈子、和田圭二、多氣昌生、牛山明、大久保千代次	妊娠ラット用20kHz 局所磁界ばく露装置における胎児の内部誘導電界の不確定性の検討	2012年電子情報通信学会総合大会	通信(1)	365	2012年
2	池畑政輝、吉江幸子、早川敏雄	中間周波磁界の生物影響評価	第83回日本産業衛生学会	産衛誌、52巻	p521	2012年
3	Yuki Ogasawara, Masateru Ikehata, Sachiko Yoshie, Satoshi Nakasono, Chiyoji Ohkubo, Kazuyuki Ishii.	Effects of exposure to 21kHz magnetic fields on estrogen-regulated gene expression in MCF-7 cells.	34th Annual Meeting of Bioelectromagnetics Society	abstract book	pp.95-96	2012年
4	吉江幸子、池畑政輝、小笠原裕樹、石井一行、大久保千代次	中間周波磁界が細胞分化に与える影響の評価	日本放射線影響学会第55回大会	同要旨集	165	2012年
5	Ushiyama A, Ohtani S, Maeda M, Hirai Y, Suzuki Y, Wada K, Kunugita N, Ohkubo C.	Effects of abdominal local exposure of intermediate frequency (21kHz) magnetic fields on fetal development in rats	The 34th Annual Meeting of Bioelectromagnetics Society	Abstract book	p.209	2012年
6	牛山明	中間周波数磁界の催奇形性に関する研究およびBEMS2012報告(特別講演)	平成24年度第一回医用生体電磁気学研究会(兼第22期第一回URSI-K国内小委員会)	講演資料集		2012年
7	牛山明	生活環境中の電磁界：測定・規制・健康影響(公衆衛生行政研修フォーラムシンポジスト)	日本公衆衛生学雑誌(第71回日本公衆衛生学会総会抄録集)	Vol. 59(1)	p104	2012年
8	牛山明、大谷真、前田満智子、櫻田尚樹、鈴木敬久、和田圭二、大久保千代次	家庭用IH調理器で利用される21kHzの中間周波磁界の生体ばく露による発毒性評価	第49回全国衛生化学技術協議会年会	同講演集	p266-267	2012年
9	池畑政輝	中間周波磁界の生物影響の評価	第262回鉄道総研月例発表会		1-4	2012年
10	M. Ikehata.	EMF issue in Railway systems Evaluation of Biological Effects and Trends of Regulation in Japan.	ISEF'2013			2013年