

The Magnetic Health Science Foundation Newsletter

# 磁気と健康

No.27

磁気科学健康セミナーレポート  
磁気の生体作用

岐阜医療科学大学 教授 櫻井智徳

学術報告

## 在宅での磁気刺激治療に向けた機器開発

東京大学 准教授 関野正樹

特別寄稿

## 身近にある電磁界(電磁波) 健康に影響あるの?

電磁界情報センター 所長 大久保 千代次



# 目次

小谷理事長挨拶	1
平成26年度助成金授与式レポート	2
磁気健康科学セミナー「磁気と生体」（岐阜医療科学大学 教授 櫻井 智徳）	4
特別寄稿「電磁界の安全性」（電磁界情報センター 所長 大久保 千代次）	8
コラム「地球と磁場環境」	14
学術報告「経頭蓋治療と在宅医療の展望」（東京大学 准教授 関野 正樹）	16
賛助会員の声	22
役員一覧	24
賛助会員入会／ホームページのご案内	25

# 超高齢化社会に向けて――――――――――

理事長 小谷 誠  
東京電機大学 名誉教授



わが国は、医療の進歩や国民皆保険制度によって世界有数の長寿国となり、すでに超高齢化社会を迎えております。平均寿命が伸びる一方で、医療費や介護負担の増大など様々な問題が懸念されています。

政府は「医療イノベーション 5 か年戦略」を策定し、超高齢化社会に対応した国民が安心して利用できる最新の医療環境を整備するとともに、「日本再興戦略」の一つとして「国民の健康寿命が延伸する社会の実現」をテーマとして色々な政策をうち立てております。「健康寿命」とは「健康上の問題で日常生活が制限されることなく生活できる期間」を言います。平均寿命と健康寿命の差が縮まれば、個人の生活の質の低下を防ぐとともに社会保障負担の軽減も期待できるでしょう。

私は、磁気がこの「健康寿命の延伸」の一端を担えるものだと思っております。磁気は医療分野において MRI や再生医療などの最先端医療で活躍し、予防医学、在宅医療まで幅広く利用されております。磁気の生体に対する作用のメカニズムも随分と研究が進んでおり、将来に向けて更なる医療分野で活用できる可能性を秘めております。

国をあげて健康長寿社会の実現を目指す時代において、当財団も磁気健康科学研究を支援する機関として、とても重要な時期を迎えていると思います。健康寿命を伸ばすということは、当財団の設立趣旨である「健康で心豊かな生活の実現」につながります。超高齢化社会の到来に向けて、当財団の研究成果が少しでもお役に立つことが出来れば、研究者はもとより私にとってもより一層の励みとなります。

当財団は昨年 20 周年を迎え、今年は新たな気持ちでより一層努力してまいりますので、今後とも皆様にはご支援とご協力を賜りますよう何卒よろしくお願い申し上げます。

公益財団法人 磁気健康科学研究振興財団

# 平成26年度助成金授与式

平成27年3月17日、東京の経団連会館カンファレンスにおいて第21回研究助成金授与式並びに磁気健康科学セミナーが開催されました。懇親パーティーも同時に開催され、会場は研究者の方と共に多数の賛助会員の方で賑わいました。今年度も多数のご応募をいただき、助成対象となった研究は10件、助成総額は1,000万円となりました。



## M 磁気健康科学セミナー

今年度は岐阜医療科学大学 保健科学部放射線技術学科 教授 櫻井 智徳先生により「磁気の生体作用」についてご講演いただきました。今や国民病のひとつと言っても過言ではない糖尿病の治療や筋肉再生における磁気の可能性などについて詳しくご説明していただきました。

### 講演テーマ

#### 磁気の生体作用～基礎研究と医療応用の展望～

- ・糖尿病の根治治療を効率良く行う手段として交番磁場を応用
- ・筋肉再生を試みる治療方法の効率を高め、より筋肉形成が促進されるように強定常磁場を応用

岐阜医療科学大学  
保健科学部放射線技術学科  
教授 櫻井 智徳



# M 第21回研究助成金授与式

今年度は10名の研究者の方々へ総額1,000万円の助成金が贈呈されました。将来性が期待できるレベルの高い研究が多く見られました。授与者の方々のスピーチでは研究に対する真摯な取り組みを語られ、磁気健康科学の未来を切り拓く可能性を感じました。

## 平成26年度 第21回 助成研究一覧表(敬称略)

### 基礎研究

東京医科歯科大学 生体材料工学研究所  
特任准教授 増田 宏  
血管形成過程に及ぼす静磁界ばく露影響の  
in vivoイメージング法による検討

東邦大学 医学部 生理学講座  
細胞生理学分野  
講師 田丸 輝也  
静磁場応答性クロノシグナルを介する概日  
適応システムの制御

奈良県立医科大学 健康政策医学講座  
准教授 赤羽 学  
MR装置の静磁場を夜間利用した再生医療  
に有用な骨形成促進技術の開発

京都大学 学際融合教育研究推進センター  
先端医工学研究ユニット  
教授 近藤 輝幸  
安定同位元素集積化高分子プローブの設計  
・合成と革新的分子標的MRI法への利用

東北大学 学際科学フロンティア研究所  
助教 井上 壮志  
光学磁気センサーに基づく新しい脳磁計の  
開発

埼玉大学 理工学研究科  
准教授 前田 公憲  
生体リズムへの磁気応答を探るための光  
受容タンパク質分子の磁気感受

### 応用研究

北海道大学大学院 情報科学研究科  
教授 館野 高  
耳鳴りの抑制:マルチインダクタレイによる  
経頭蓋磁気刺激法の開発とその評価

札幌医科大学 保健医療学部  
理学療法学第二講座  
助教 青木 信裕  
殿部への磁気刺激を用いた坐骨神経最大  
上刺激方法の探索

名古屋市立大学大学院 医学研究科  
リハビリテーション医学分野  
講師 植木 美乃  
パーキンソン病の姿勢障害に対する経脊髄  
磁気刺激を併用した新たな治療法の確立

### 指定テーマ研究

九州大学大学院 歯学研究院  
教授 久木田 敏夫  
磁気を用いた破骨前駆細胞体内循環の制御  
:臨床応用可能な先端的・非侵襲的骨吸収  
誘導法の開発



根本審査委員より、審査結果の説明が  
ありました。

## M 懇親パーティー

授与者の皆さまを中心に財団の役員の方、賛助会員の方を交え、和やかな雰囲気で歓談を楽しまれ、互いに親睦を深めていらっしゃいました。



講演テーマ

## 磁気の生体作用～基礎研究と医療応用の展望～

岐阜医療科学大学 保健科学部放射線技術学科

教授 櫻井 智徳

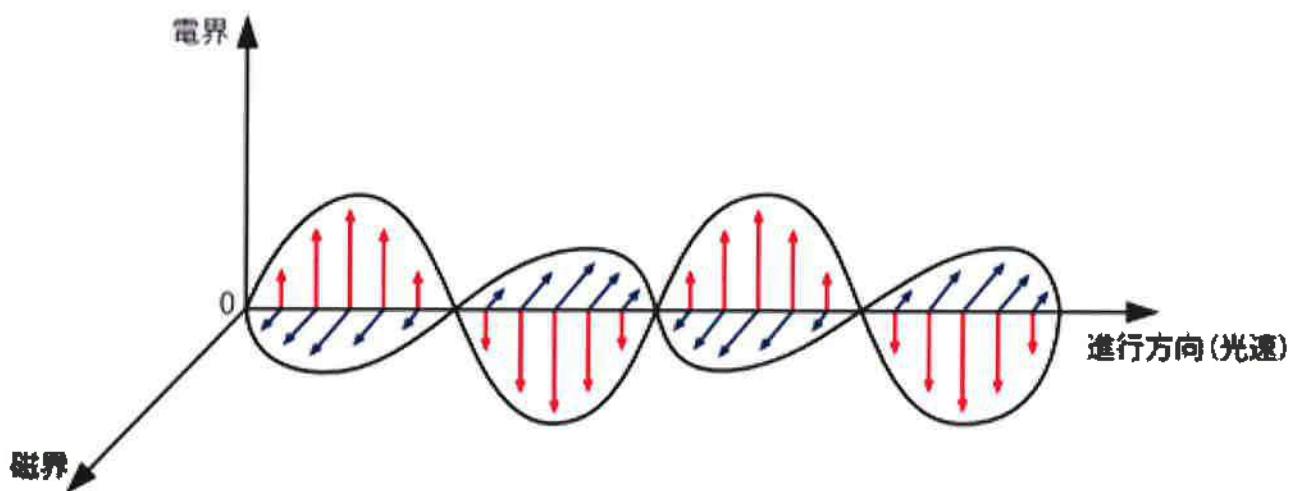
### 電磁波

「電界」と「磁界」は切っても切れない関係にあります。電界が変化すると磁界が発生し、逆に磁界が変化すると電界が発生します。ちょうど、図のように「電界」は赤い方向に変化しながら、それとちょうど 90 度折れ曲がったような形で「磁界」が青い方向に変化しながら互いに相互作用して進んで行きます。

電磁波の性質を決める大きな特徴は波長です。「波長」は波の長さで、1 秒間にどれだけ振れているかを示す「周波数」と掛け合わせると光の速度になります。ちなみに電磁波には色々なものがあり、携帯電話の電波も、X 線も、紫外線や赤外線も、全く違うイメージですが、「周波数」と「波長」を掛けると光の速度になるという点に関しては実は同じ仲間です。

話題は大きく分けて 2 つあります。ひとつはインスリン分泌細胞に対する極低周波電磁界の影響と応用の可能性です。インスリンを分泌する細胞はすい臓にあります。私たちはすい臓からインスリンを出し、血糖値をコントロールしています。このコントロール能力を失うと糖尿病を発症します。身体の血糖値コントロールに大きく関与している細胞に対して 50 ~ 60 Hz の極低周波電磁界をあてたときの影響についてお話をします。50 ~ 60 Hz は、一般的な家電製品や送電線から出ている電磁波の周波数で、我々の周囲にあふれている電磁波の周波数の 1 つです。

もうひとつは筋管分化への磁気の影響についてです。筋肉を鍛えることを「筋肉に一旦傷をつけ、その傷を再生する過程で筋肉を強くしていく」という言い方をすることがあります。筋肉を鍛える際などに筋肉の再生が起きています。この筋肉再生に対して、リニアモーターカーや MRI に使われている周波数 0 の強定常磁場をあてると、筋管の形成にどのような影響を及ぼしうるのかについて、皆さんにご紹介します。



### 糖尿病

2011 年のデータによると日本の糖尿病と言われる人たち、すなわち「糖尿病になっている人」と「少し疑わしい人（インスリンの作用が弱く、血糖値が下がりにくくなっている人）」は、あわせると約 1,070 万人います。糖尿病というとどういうイメージをお持ちでしょうか？文字通り高血糖状態が主な特徴です。通常、早朝空腹時の血糖値は 110mg/dL 未満ですが、126 mg/dL を超える状態だと糖尿病の可能性があります。最近、耳にすることが多くなってきた人もいると思いますが、ヘモグロビン A1c は検査日 1 ~ 2 ヶ月前の血糖値を反映する指標で、ヘモグロビン A1c が高いと糖尿病の可能性があります。

## 合併症の恐怖

何故、糖尿病恐ろしいかと言うと、1つには合併症を発症するからです。血糖値が高い状態が続くと細い血管が脆くなりやすくなります。例えば網膜は栄養を補給する多くの血管が走行していますが、高血糖状態が長く続くと、この血管が脆くなってしまって出血しやすくなり、進行していくと失明にいたります。腎臓が高血糖に長年さらされると、腎臓の役目であるろ過機能を担っている糸球体が損なわれ、進行していくと人工透析が必要になってきます。糖尿病から糖尿病腎症を発症し、人工透析が必要になる人は非常に多いです。あと1つの大きな合併症は、高血糖状態により手足の血行が悪くなることによって生じる神経障害です。悪化すると壊疽（えそ）を起こし、下肢切断の危険も生じます。

日本人は外国人と比べ合併症が特に発症しやすいと言われ、発症後の不幸な状態が非常に多い危ない病気のひとつなのです。糖尿病と聞くと、「良いもの（甘いもの）を食べ過ぎたのですね。」と言う人がいますが、必ずしもそうではないことに注意していただきたいと思います。糖尿病には1型と2型があります。遺伝因子と生活習慣によって起こるのが2型糖尿病で、全体の90%以上が2型糖尿病です。残り10%の1型糖尿病は、生活習慣とは無関係で遺伝的素因が非常に高く、若年で発症し、子供の頃からインスリン注射をしている人もいます。このような人に「良いもの（甘いもの）を食べ過ぎたのですね。」という発言は正しくありません。



糖尿病アトラス第5版(2011)より

## 磁気の糖尿病への作用

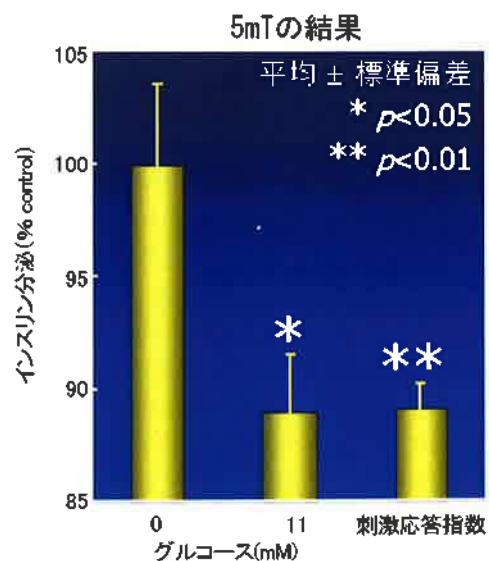
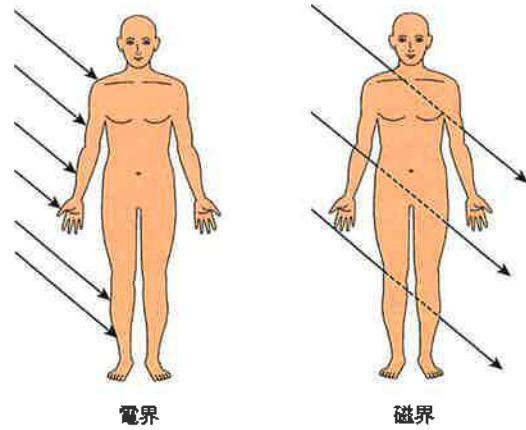
糖尿病に対して電磁波はどのような作用が認められるか？これからご紹介する私の研究は、磁界が糖尿病に関与しているインスリン分泌細胞にどのように影響を及ぼすのか、ということです。今回は、ハムスター由来のインスリン分泌細胞を使い、実際にどのような影響が起こり得るのか実験しました。

すい臓にあるインスリンを分泌する細胞はグルコースという糖に応答してインスリンを分泌します。糖濃度が高い場合と低い場合でどれだけ応答に差があるか、この差は磁界をあてた場合とあてない場合とでどれほど変化するか検討しました。

磁界を使うのには理由があります。私たちの身体は負の電荷を持っている状態なので、外から電界をかけても表面で遮蔽されてしまって内部には届きません。磁界は電荷を持っていないので、私たちの身体を突き抜けます。変動する磁界を使うことによって身体の内部に変動する電界が生じ、内部の臓器、細胞に影響を与えることが出来ます。

実験の結果、糖濃度が高いときに磁界をばく露すると、インスリン分泌量が少なくなることが明らかになりました。磁界の強度を1ミリテスラ、0.4ミリテスラと下ると差が出なくなります。今回影響がみられた5ミリテスラは、私たちの一般生活では浴びることがない磁界強度です。一般生活で身の回りにある製品から発生している磁界は大きくても100～200マイクロテスラで、それでは影響が見えません。

血糖値が上ると分泌されるインスリンは、「血液中にある糖を筋肉や脂肪の中に取り込みなさい。」「肝臓の中に栄養物質として血液中にある糖を蓄えなさい。」という命令を出します。ところがインスリンの作用が悪くなると、インスリンは十分分泌されているのに糖の取り込みが悪くなってしまって血糖値が下がらない状態になります。これをインスリン抵抗性と言っています。この状態だと、身体は「インスリンが足らないのかな？」と思ってインスリンを分泌します。でも、血糖値は下がらません。そこで、インスリンを分泌し続けることになります。この状態が長く続くと、最終的にはインスリン分泌が疲れてしまい、インスリンを分泌しなくなってしまいます。2型糖尿病が発症する前に、こういった状況になるとされています。

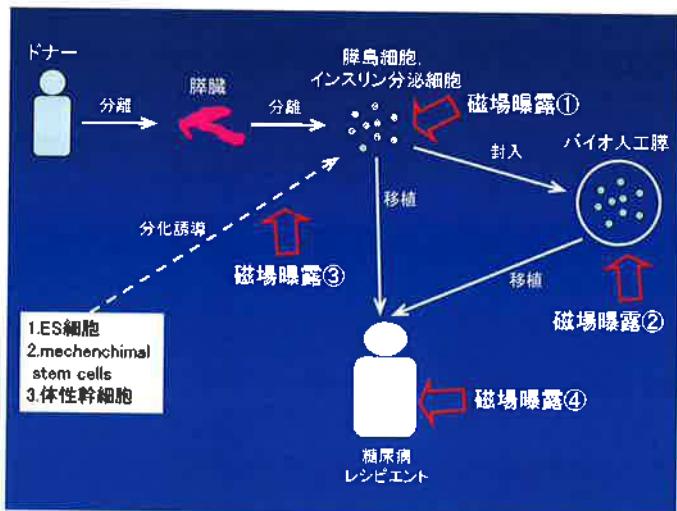


今回の実験結果は、こういったインスリン抵抗性の状況でインスリン分泌が疲弊してしまうことを防ぐことに応用できる可能性があると思われます。すい臓にだけ電磁波をばく露できるか、磁界の強度は十分か、他の細胞への影響はどうなのかといった検討がまだ必要ではあります。

ここまでは 2 時間という短時間ばく露の研究成果ですが、最大 5 日の長期に渡ってばく露するとどうなるのか？ということに関してご紹介します。糖がない状態で細胞培養すると細胞は死んでしまいますが、磁界をばく露するとこの細胞死が抑制されます。インスリンの分泌量に対しては、糖濃度が低いと比較的短時間のばく露時に分泌の増加がみられ、糖濃度が高いと比較的長時間のばく露時に分泌の増加がみされました。インスリン分泌細胞の大きな特徴として、血糖値の変化に素早く対応してインスリンを出すために細胞の中にインスリンを保持しています。電磁波ばく露によってこのインスリン含量が増加します。

このような結果は、脾島移植に応用できると考えています。すい臓器全体ではなく、すい臓のホルモンを分泌する細胞だけを移植する技術です。脳死判定を受けた人の臓器から脾島を分離して移植します。2 人の脳死患者から分離した脾島を用いて 1 人の方へ移植すると、インスリン注射をしなくて済むぐらい回復します。血糖値コントロールも良くなるので、合併症が起きにくくなると言われています。ただ、問題もあって自分の細胞ではないので、免疫拒絶が起きてしまい、インスリン注射をしなくて良い代わりに免疫抑制剤が必要になってしまこと、脳死患者から得られる細胞数に対して、必要とされる細胞数の方が圧倒的に多いことです。iPS 細胞に対する期待が高いのは、これらの問題を解決できる可能性が高いからです。iPS 細胞は増殖力が高いので十分な細胞数が得られる可能性と、自分の細胞を用いれば免疫拒絶が起きない可能性が期待できます。

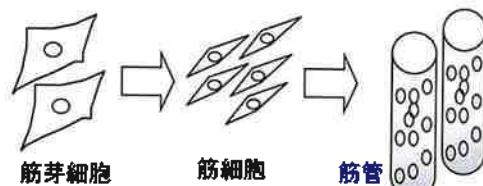
私たちの研究結果は、この技術への応用が可能と考えています。iPS 細胞等から分化させたインスリン分泌細胞のインスリン含量を増やす方法や、移植後のインスリン分泌細胞からのインスリン分泌量の増加が期待できます。この技術については特許出願していて、イギリスで特許成立しています。

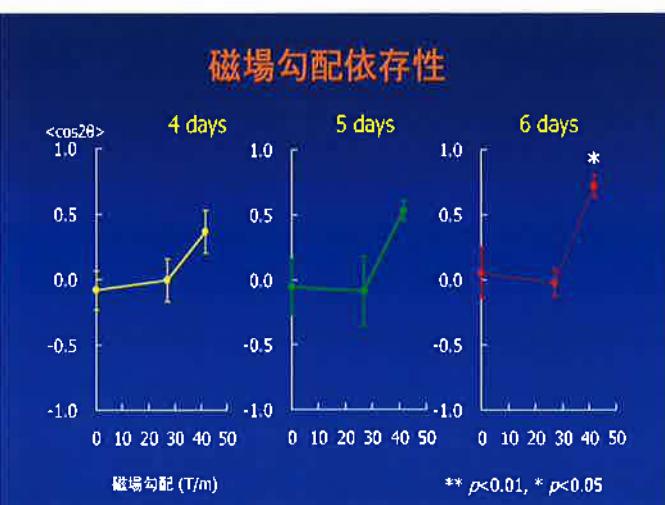
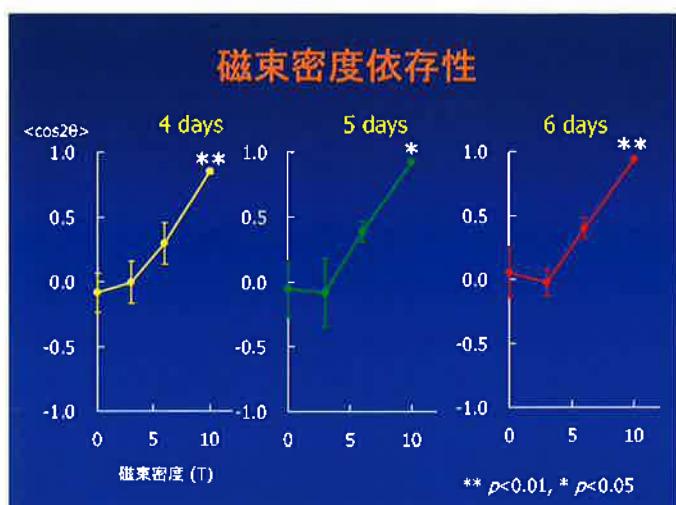
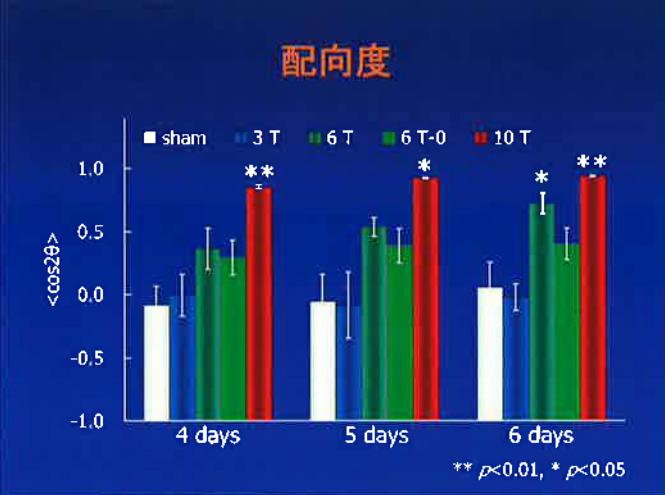
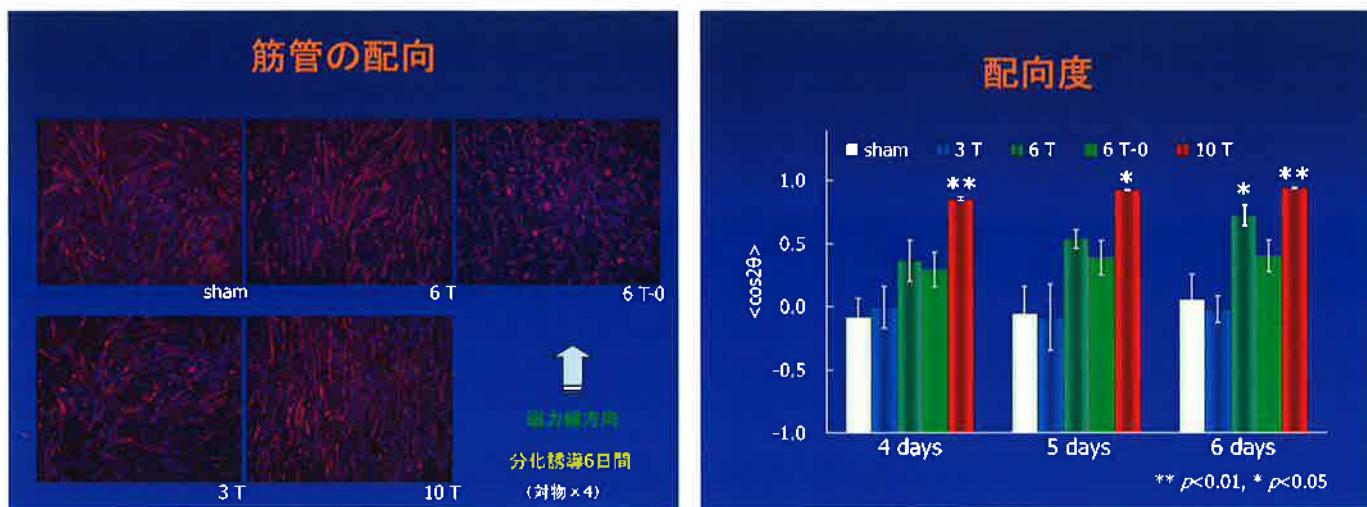


## 筋肉再生と磁気

筋肉は再生能力を持っています。筋肉の中に残っているこれから筋肉となる細胞が必要に応じて増殖し、筋肉を構成する細胞に分化し、筋肉を作っています。実際にはこういった細胞群が変化し、筋状、管状の細胞が並んだような構造をとるようになります。普通は細胞の中に核は1個ですが、筋管細胞だと細胞同士の融合が起きて、核が多数あります。通常の培養条件でこの現象を再現すると、私たちの身体の筋肉とは似ても似つかない、それぞれの筋管がばらばらの状態で存在するものが出来るだけです。これに対し、磁界をかけた状態で分化誘導するとどうなるか検討した研究をご紹介します。

磁界をかけながら、筋肉になるモトの細胞を筋肉に変化させながら 6 日培養します。使用した磁界は 10 テスラです。MRI の磁界は 1.5 ~ 3 テスラなので、その 3 ~ 7 倍も強い磁界です。磁界をかけた方向にきれいに並んで筋管が形成されていきます。この筋管と磁界方向の角度を 1 本 1 本、分度器で測り、磁界をかけた方向にどれだけ向いているのか定量し、数値化したのが次ページのグラフです。-1 は磁界方向と垂直、1 は磁界方向と平行に並んだことになります。0 はランダム状態で、配向性がみられない状態です。磁束密度を 10 テスラまで上げるか、磁場勾配の大きいところで分化誘導時間を 6 日まで延ばすと、分化誘導で形成される筋管が磁界方向と平行に並ぶことがわかります。筋管細胞への分化度は、免疫染色で抗体に染まった面積で評価できますが、分化度への影響は見られませんでした。筋管細胞は管状なので、磁界方向に対して長い方向と短い方向があります。細胞には、磁界方向に対して長い方向と短い方向のどちら側を向けたほうがエネルギー的に安定するかの違いがあるので、エネルギー的に安定するように細胞が並ぶことが、磁界中で分化誘導すると筋管が並ぶ理由と考えられています。今回の実験では、細胞融合という複雑な過程を含んでいますので、こういった現象への影響評価はこれからです。これらの研究成果の応用としては、筋管細胞の配向を促すことで、体内における筋肉の再生が手助けできるのではないかと考えています。これには、単に細胞が配向するだけでなく、筋肉が分化し、融合していく過程への影響を知る必要があります。現在検討しているところです。





岐阜医療科学大学  
保健科学部放射線技術学科  
教授 櫻井 智徳

経歴 1995年 京都大学大学院工学研究科合成・生物化学専攻  
前期修士課程修了  
1995年 帝人株式会社 高分子材料研究所勤務(～2000年)  
2004年 京都大学大学院医学研究科  
外科系専攻後期博士課程修了(医学博士)  
2005年 弘前大学 医学部保健学科助手  
2007年 弘前大学大学院 保健学研究科助教  
2010年 弘前大学大学院 保健学研究科准教授  
2010年 京都大学 生存圏研究所 特定准教授  
2012年 岐阜医療科学大学 保健科学部准教授  
2015年 岐阜医療科学大学 保健科学部教授

所属学会 日本放射線影響学会  
日本放射線腫瘍学会  
日本分子生物学会  
日本磁気科学会 理事  
Radiation Research Society  
Bioelectromagnetics Society  
European BioElectromagnetics Association

# 身近にある電磁界(電磁波) 健康に影響あるの?

～電磁界の健康リスク～



一般財団法人 電気安全環境研究所  
電磁界情報センター

所長  
大久保 千代次

少々長い文章となりますが、最初に電磁界（電磁波）とは何か？次に、科学的に証明されている短期的な強い電磁界ばく露の生体影響と、証明されていない長期的な弱い電磁界ばく露の健康影響（健康リスク）、最後に私が勤務している電磁界情報センターについて紹介します。

最近、マンションの販売広告チラシなどでオール電化住宅という言葉をよく見かけます。また、パソコン、タブレット、インターネット、携帯電話、スマートフォンなどが急速に増え、今やこれらの機器無くして生活できない時代になってきました。ふと気付くと、これまでも張り巡らされている屋内配線だけでなく、従来の一般家庭の家電製品に加え携帯電話などの電子通信機器があり、オール電化住宅に於いてはIH調理器が必ず付帯しています。生活を便利にするこれらの機器を使えば必ず電磁界が発生しますので、現代人は24時間常に電磁界を浴びて生活しています。一方、これらの機器から発生する電磁界が健康に悪影響を与えるという本や週刊誌、新聞記事、テレビ放送などメディア情報を聞きされている方も少なからず居られる筈です。

そこで、一体、電磁波とはどのようなもので、健康に悪影響があるのかないのか、WHO（世界保健機関）の見解などを説明します。

## 1. 電磁界(電磁波)とは

### ①電磁界の種類

「電界」と「磁界」をあわせたものを「電磁界」と呼びます。「電界」とは、空間に電気の力が働いている状態のことをいいます。「磁界」とは、空間に磁気の力が働いている状態のことをいいます。電界は電線などの電流を良く通すもの（導体）に「電圧」がかかっているまわりに発生し、磁界は磁石のまわりや、「電流」が流れている電線などの導体のまわりに発生します。例えば、テレビなどの電化製品をコンセントに差し込んだ状態では「電界」が発生しています。

ここでテレビのスイッチを入れると、テレビ画面を映し出すためにテレビに電流が流れ「電界」と共に「磁界」が発生します。電磁界はその周波数応じて、電界と磁界が交互に発生しながら空間を波として伝わって行きますが、この波のことを「電磁波」と言います。ここでは電磁界と電磁波は同じものと考えて下さい。電磁界には色々な種類があり、その性質は「周波数」と「波長」で決まります。「周波数」とは、電磁界の強さが1秒間に何回変化を繰り返すかを表すもので、「ヘルツ(Hz)」という単位が用いられます。

「波長」とは、電磁界の波の間隔を表すもので、「メートル(m)」が用いられます。周波数と波長の積は電磁界が空間を伝わる速度を表し、この値は光の速度と同じで、毎秒30万kmで一定です。電磁界の周波数が低いほど波長は長く、周波数が高いほど波長は短くなります。例えば周波数が50Hzの場合は、波長は6000kmで、60Hzの場合は、波長は5000kmです。電磁界は周波数によって様々な種類に分類されます。

電磁界には、周波数が低い順に、静電磁界、超低周波電磁界、中間周波電磁界、高周波電磁界があります電磁波の中で、時間で変動しない、周波数が0Hz、つまり強さが変化しない電磁界を指します。「静電磁界」は、鉄道や医療用磁気共鳴画像撮影装置(MRI)などに用いられ、地磁気や永久磁石の磁界もこれに含まれます。「直流電磁界」と呼ばれることもあります。「超低周波(ELF)電磁界」は、送電線・変電所などの電力設備や家電製品に用いられ、東日本では50Hz西日本では60Hzを含む周波数が1Hz～300Hzの電磁界を指します。「商用周波電磁界」と呼ばれることもあります。「中間周波(IF)電磁界」は、IH調理器や電子タグ、電子商品監視機器(EAS)などに用いられる周波数が300Hz～10,000,000Hz(10MHz)の電磁界を指します。

「高周波(RF)電磁界」は、TV・ラジオ放送、携帯電話などの無線通信や、電子レンジなどに用いられる、周波数が10,000,000Hz(10MHz)～300,000,000,000Hz(300GHz)の電磁界を指します。「無線周波電磁界」、「電波」と呼ばれることもあります。下の図のように、電磁波は、静電磁界、超低周波電磁界、中間周波界、高周波電磁界、赤外線、可視光線、紫外線などの光線、エックス線やガンマ線などの放射線に分類されます。

## ②電磁界の性質

電磁波は、「電離放射線」と「非電離放射線」に分けられます。レントゲンに利用されるエックス線やガンマ線などの極めて周波数の高い電磁波は、「電離放射線」に属しています。「電離放射線」は、細胞を構成する分子の原子結合を破壊することによって「電離作用(プラスやマイナスに荷電された原子や分子を生成すること)」を起こさせる非常に強いエネルギーを持っています。我々の体をつくっている細胞も電離放射線に被爆するとダメージを受けて場合によっては「がん化」し、その影響は「蓄積する」と考えられます。それ故、放射線被曝量の物差しとして使われているシーベルトは単位時間当たりどの程度被爆したかが考慮されています。

電磁界の種類	非電離放射線								電離放射線
	静電磁界	超低周波電磁界	中間周波電磁界	高周波電磁界			光	放射線	
周波数	ゼロ	300Hz以下 (50/60Hz:電力設備) 超低周波	300Hz～ 10MHz (20～90kHz: IH調理器) 中間周波	10MHz～ 300MHz	300MHz～ 3GHz (2.45GHz:電子レンジ) マイクロ波	3GHz～ 3000GHz (3THz)	3THz～ 3000THz	3000THz以上	
波長	なし	長 $10^6$ m	$10^4$ m	$10^2$ m	$10^-1$ m	$10^-3$ m	$10^-4$ m	$10^-7$ m	$10^{-10}$ m 短
主な発生源や利用例	<ul style="list-style-type: none"> <li>地磁気</li> <li>磁石</li> <li>鉄道</li> <li>MRI</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>電力設備</li> <li>家電製品電源</li> <li>鉄道</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>IH調理器</li> <li>テレビ、パソコンモニタ</li> <li>鉄道</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ラジオ放送</li> <li>テレビ放送</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>電子レンジ</li> <li>携帯電話</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>BS(衛星放送)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>太陽光</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>レントゲン</li> </ul>	

注:周波数「Hz(ヘルツ)」は1秒間に振動する数で、電磁波の伝わる速さ「 $3 \times 10^8$ m／秒」を波長で割った数です。  
k(キロ)= $10^3$ 、M(メガ)= $10^6$ 、G(ギガ)= $10^9$ 、T(テラ)= $10^{12}$

一方、電化製品、携帯電話などから発生する電磁界は、「非電離放射線」に属しています。非電離放射線は、エネルギーが原子結合を破壊するには至らない程度の電磁波です。したがって、どんなに強い非電離放射線でも体内で電離作用を起こすことはありません。その代わりに、非電離放射線は体温を上昇させたり、体内に電流を誘導するといった生体影響は持っていますが、体内に蓄積しないので、ばく露量の単位に時間の係数は含まれていません。これも大きな相違点です。

#### ①科学的に証明されている生体影響

生体作用は、中間周波電磁界の100kHzを境にして、これより低い周波数では「刺激作用」、これより高い周波数では「熱作用」が中心となっている事が分かっています。

100kHzまでの磁界(超低周波及び中間周波の一部)にばく露されると、体内に電界が誘導され、神経を刺激します。これを「刺激作用」と呼んでいます。例えば、中枢神経系への刺激作用として、網膜に生じる閃光現象(視野周辺部に点滅する微弱な光を感じる現象)があります。10~25Hzの電磁界に最も敏感に反応し、その「しきい値」(反応を生じる刺激の最小値)は1メートル当たり50ミリボルト(50mV/m)を示しています。この現象は健康への悪影響ではないものの、安全側の観点から、この値を国際的なガイドラインの根拠にして十分な安全率を設け、規制値を設定しています。なお、日常の生活環境では、このような強い磁界に遭遇することはありません。電界にばく露されると人体表面の電荷で放電を知覚します。その「しきい値」は1メートル当たり2~5キロボルト(2~5kv/m)で、この値を国際的なガイドラインの根拠にして、規制値を設定しています。

100kHzを超える電磁界(中間周波の一部及び高周波)に生物がばく露されると、電磁界のエネルギーが吸収され、生体組織を構成する分子のうち極性(プラスとマイナス)を持つもの(水分子やたんぱく質など)が振動し、温度が上昇します。これを「熱作用」と呼んでいます。この原理を応用して電子レンジで食品が加熱されるのです。例えば、全身平均で1キログラム当たり4ワット(4W/kg)の高周波電磁界に全身が一様にばく露されると、深部体温が1°C程度上昇して健康へ悪影響を生じることが分かっています。そこで、この値を国際的なガイドラインの根拠に十分な安全率を設け、規制値を設定しています。なお、日常の生活環境では、このような強い電磁界に遭遇することはありません。静電磁界(0Hz)の生体影響として、静電界は冬の乾燥した時期に経験する放電(マイクロショック)によって知覚することができます。

その「しきい値」は1メートル当たり10~45キロボルト(10~45kV/m)の範囲と考えられています。このしきい値よりも相当高いレベルでは、不快感や放電に伴う痛みが生じます。静磁界については、磁束密度が2~4テスラ(2~4T)を超える非常に強い静磁界の中で頭部を動かすと、めまいや吐き気、金属質の味覚、閃光を感じる場合があることが知られています。しかし、日常の生活環境では、このような強い静磁界に遭遇することはありません。

以上、科学的に証明されている電磁界ばく露の生体影響は、全て短期的なばく露で確認されています。ばく露防護を目的として作成された国際的なガイドライン(国際非電離放射線防護委員会:ICNIRP)は、全てこの短期的な影響を基にして、これに低減係数を乗せして設定されています。日本もこのガイドラインに沿って規制が実施されていますので、私達は、科学的に証明・確認された影響からは守られていると言えます。

#### ②科学的に証明されていない健康影響

電磁界が健康に悪影響を与えるという本や週刊誌、新聞記事、テレビ放送などメディア情報を多くの読者は既に見聞きされていると思いますが、これは、上記のガイドラインよりもかなり低いレベルの電磁界へ、長期に亘ってばく露されると、



「がん」などの悪影響が起こるのではないかという疑問です。さらには、喻えガイドラインよりもかなり低いレベルでも長期に亘れば、そのばく露影響は蓄積してやがては顕在化するのではないかという疑問です。蓄積作用に対する疑問は、既に前項の②「電磁波の性質」で説明しました。電磁界ばく露の影響は蓄積することは有りません。しかし、前者の疑問に答えるのは大仕事となります。1996年にWHOは国際電磁界プロジェクトを創設しました。その目的こそ、前者の疑問に対する答えを見つける事でした。

詳しくは、英文サイトは

<http://www.who.int/peh-emf/en/>、日本語訳は [http://www.jeic-emf.jp/note\\_who\\_japanese.html](http://www.jeic-emf.jp/note_who_japanese.html)をご覧下さい。

WHOでは、報道機関向けの資料（ファクトシート）をそれぞれのテーマに分けて公表していますが、古いものはWHOのホームページから削除されています。しかし、電磁界情報センターが削除される以前に、WHOから正式の許可を得て、それらの全ての文書を日本語に訳していますので[http://www.jeic-emf.jp/International/who/list/factsheets.html#who\\_3](http://www.jeic-emf.jp/International/who/list/factsheets.html#who_3)をご覧下さい。（ファクトシート集を入手ご希望の方は、電磁界情報センターにお問い合わせください。）

以下に、長期的なばく露の生体影響について、WHOの見解を紹介します。

#### ・静電磁界

静電磁界についての健康リスク評価書（環境保健クライテリア232）が2006年にWHOから発刊されましたが、同時にファクトシート299が公表されました。その中では、「これまでのところ、質の良い疫学研究または長期的な動物実験研究がないため、ミリテスラ範囲の静磁界へのばく露でも何らかの長期的な健康影響があるか否かを判断することはできません。」と述べています。

#### ・超低周波電磁界(0より大きく300Hz以下)

超低周波電磁界についての健康リスク評価書（環境保健クライテリア238）が2007年にWHOから発刊され、同時にファクトシート322が公表されました。ファクトシートの中で、超低周波電界については、日常の生活環境では健康影響はないとしています。

一方、超低周波磁界については、平均0.3～0.4マイクロテスラを超える磁界を長期間浴びたときの健康影響として、小児白血病（15歳未満小児が罹る白血病）との関連性を示すヒトを対象とした統計的な調査報告がある事を紹介していますが、また動物実験や細胞実験ではその関連性は確認されていません。

このような状況から、WHOは「小児白血病に関連する証拠は因果関係があると見なせるほど強いものではない」と評価しており、今後も研究を継続することを推奨しています。

また、「成人のがん、生殖機能障害、発育異常など小児白血病以外の健康影響についての科学的証拠はさらに弱い」との見解を示しています。なお、0.4マイクロテスラを超える住居に住んでいる15歳未満の子供の数は、日本では0.8%で、仮に磁界と小児白血病とに因果関係があったとして、年間4人の小児白血病患者が増えると推定されます。

#### ・中間周波電磁界(300Hz～10MHz)

2005年に出された中間周波電磁界に関するWHOの情報シートでは、「生活環境および労働環境で普通に見られるIF電磁界へのばく露により健康への有害な影響が生じることの確信は得られていません。」との見解を示しています。2007年にWHOがまとめた超低周波電磁界についての健康リスク評価書では、100kHzまでの電磁界について言及しています。その中で、「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。」と述べています。なお、IH調理器の普及にともない、妊婦や胎児への影響を心配されていますが、これまでのIH調理器を想定した研究結果からは健康に影響があるとの科学的な証拠は得られていません。

#### ・高周波電磁界(10MHz～300GHz)

携帯電話など無線技術の急激な普及や増加に伴い、現在WHOでは、携帯電話と頭部の腫瘍（しゅよう）発生との関連性を調査しています。最終的な健康リスク評価は、2016年以降に公表される予定です。

WHOによる低レベル電磁界の長期的ばく露影響評価は、高周波電磁界が未だ継続中ですが、これまでのところ影響は確認できないというのが結論です。詳しくは、WHOの国際電磁界プロジェクトのホームページ<http://www.who.int/peh-emf/en/>をご覧下さい。前述しましたが、WHOの許可を得て電磁界情報センターでは全文を日本語に訳しています。

[http://www.jeic-emf.jp/note\\_who\\_japanese/who\\_japanese\\_20130501.html](http://www.jeic-emf.jp/note_who_japanese/who_japanese_20130501.html) その中で、

「電磁界とは何か？ 科学的研究による結論」では、「この分野に関する科学的知識は今やほとんどの化学物質についての知識よりも詳しくなっています。WHOは近年実施した科学論文の詳細なレビューに基づき、現在の証拠からは低レベル電磁界ばく露により健康への影響があることは確認できないと結論しました。」と記載されています。

## Profile プロフィール



一般財団法人  
電気安全環境研究所  
電磁界情報センター

所長  
**大久保 千代次**

- ・公益財団法人 磁気健康科学研究振興財団 理事
- ・WHO 国際電磁界プロジェクト国際諮問委員会委員
- ・国際非電離放射線防護委員会 (ICNIRP)SEG メンバー
- ・明治薬科大学アドバイザー
- ・情報通信研究機構 (NICT) 客員研究員
- ・総務省生体電磁環境に関する検討会座長
- ・元世界保健機関 (WHO) 放射線・環境衛生ユニット  
サイエンティスト (国際電磁界プロジェクトスタッフ)
- ・元経済産業省 電力設備電磁界対策ワーキンググループ委員
- ・元国立保健医療科学院 生活環境部部長
- ・元国立公衆衛生院 生理衛生学部長
- ・元明治薬科大学大学院 教授

## Topic トピック

### 平成 25 年 秋の園遊会

天皇皇后両陛下が主催する秋の園遊会が平成 25 年 10 月 25 日 東京・赤坂御苑で開催され、ロンドン五輪の金メダリストや各界功労者ら 1,742 人が招かれるなか、大久保先生が総務省の推薦により電波の安全性評価の功労者として招かれ、ご夫婦でご出席されました。



雅楽演奏を背景にして

### 平成 26 年 総務大臣表彰 受賞

平成 26 年 6 月 2 日 東京・帝国ホテルにて『電波の日』総務大臣表彰を受賞されました。わが国の電波の安全性に関する研究の推進や国民の知識の向上に尽力するなど、安心・安全な電波利用の発展に多大な貢献をしたことが高く評価されたものです。



表彰式の様子

### 平成 27 年 瑞宝小綬章 受章

平成 27 年 5 月 12 日 皇居にて春の叙勲 瑞宝小綬章を受章されました。瑞宝小綬章は、公共的な職務の複雑度、困難度、責任の程度などを評価し、重要と認められる職務をはたし、成績をあげた人に天皇陛下の名のもとで勳章が授与されます。



受章後皇居にて

## 電磁界情報センターのご案内

電磁界情報センターは、経済産業省の「電力設備電磁界対策ワーキンググループ」の政策提言を受け2008年に設立された、電磁界リスクコミュニケーションの増進を目的とした中立的な常設機関です。設立に至る経緯は以下のとおりです。

私は、WHOが国際電磁界プロジェクトを創設した1996年には、旧厚生省国立公衆衛生院に勤務し、電磁界の健康影響を研究していましたので、その年からWHO国際電磁界プロジェクト国際諮問委員会政府代表として参画。2005年には厚生労働省を定年退職し、直ぐにWHOジュネーブ本部で同プロジェクト事務局サイエンティストとして2年間勤務しました。帰国後は大学で教鞭を取っていましたが、その傍らで経済産業省の電力設備電磁界対策ワーキンググループ報告書作成に関与しました。その報告書の中では、「電磁界の健康リスクを中心とする様々な情報を収集し、不安や疑問を持つ人々との信頼感の構築を目指すリスクコミュニケーションの増進を目的とした、中立的な常設の電磁界情報センター機能の構築が必要である」と提言されています。これを受け、2008年夏に一般財団法人電気安全環境研究所に電磁界情報センターが設立され、その所長に就任しました。

センターの設立理念は、中立な立場から、電磁界に関する科学的な情報をわかりやすく提供するとともに、「リスクコミュニケーション」の実践を通じて、電磁界の健康影響に関する利害関係者間のリスク認知のギャップを縮小することです。

国民の電磁界に対する健康不安（これをリスク認知といいます）とWHOの専門機関や研究者とのリスク認知には大きな隔たりがあり、このギャップを縮小するために活動しています。

電磁界（電磁波）は身の周りの様々なところから発生し、私たちはその中で生活しています。電化製品や送電線、携帯電話などさまざまな電磁界を浴びていますが、日常生活環境では、健康に影響があると確認されているレベルよりも遙かに低く、国の規制で安全性は十分に保たれています。一方、低レベルの電磁界の長時間ばく露による健康影響ですが、WHOの指摘にある通りこれまで確認されていません。今後も、さらに研究を進めることはもちろん必要ですが、私たちも電磁波に対する正しい知識を身に付けることが必要ではないでしょうか。

電磁波の健康影響についての疑問やご意見がありましたら、下記までお問い合わせください。また、WHOのファクトシート集を入手されたい方は、電磁界情報センターにご一報下さい。無料でお送り致します。

所長 大久保 千代次

### 〔お問い合わせ先〕

一般財団法人 電気安全環境研究所 電磁界情報センター

TEL : 03-5444-2631 FAX : 03-5444-2632

URL : <http://www.jeic-emf.jp/> E-mail : [gest-jeic@jeic-emf.jp](mailto:gest-jeic@jeic-emf.jp)

住所 : 〒105-0014 東京都港区芝2-9-11 全日電工連会館3F



# 地球と磁場環境

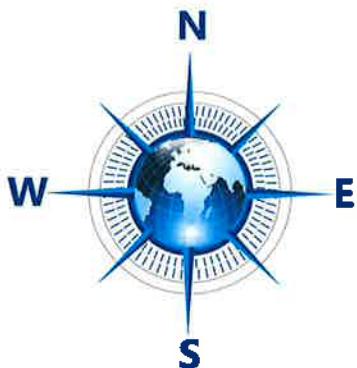
ご存知の通り、地球は大きな磁石だと言われています。人類をはじめ地球上の動植物は、すべて地球磁場の中で暮らしているわけで、多かれ少なかれ磁気の影響を受けています。

人類や動植物は、このような磁場環境のなかで何万年も生きてきたのですから、地球磁場に適応するような生体になっていると推測されます。ここでは、私達の生活環境に密接な関係のある「地球磁場（地磁気）」をご紹介します。



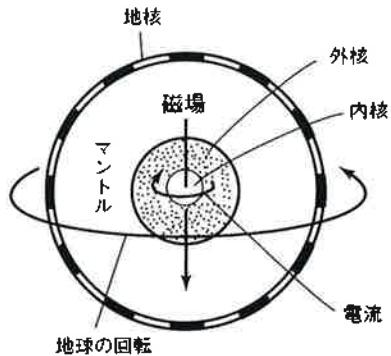
## 1. 地球全体が巨大な磁石

「地球の内部には、南北の向きに巨大な棒磁石が入っている」というふうに考えると理解しやすいと思います。地球の真北と真南の近い位置に磁場の極（磁極）があり、赤道に近づくにつれて磁場が減少すると言われています。そこで問題ですが、地球の北極は何極かご存知ですか？「N極に決まっているじゃないか」と答える人も多いのではないかと思いますが、答えは「S極」であり、南極は「N極」です。これは方位磁針が「北極を指す方向をN極」と定めだからです。



## 2. 地球ダイナモ（発電機）理論

前述では、地球に磁石が入っているという考え方を説明しましたが、実際に地球内部が磁石になっているわけではありません。地球の核は導電性の液状物質（鉄・ニッケル等）でできており、地球が自転することでこの液状物質が渦巻くことにより電流を発生して、磁場が発生・維持されていると言われています。このような機構がダイナモ（発電機）によく似ていることから「地球ダイナモ理論」と言われています。この磁場が、太陽から発せられる太陽風や宇宙に飛び交う高エネルギー粒子から地球を守っています。



## 3. 地磁気

地球から発生する磁場（地磁気）は場所によって多少のバラツキがありますが、平均すると $50 \mu\text{T}$ （0.5ガウス）です。ごく微弱な磁気ですが、磁気は見えないエネルギーとも言われ、この磁場環境こそが、自然環境や生体リズムを正常に保っていると言われています。潜水艦の乗組員は体調を崩す人が多いということを聞いたことがあります。この一因には、地磁気が遮断された状態で長期間海中に滞在するため、体内リズムに変調をきたし自律神経を崩すことによるものと言われています。



## 4. 磁気の父 ウィリアム・ギルバート

この地磁気を最初に発見した人が、イギリスの医師ウィリアム・ギルバートです。彼は、1600年に有名な「磁石論」を刊行し、大きなボール磁石を地球に見立てて実験を行い、地球が巨大な磁石になっていることを証明しました。「磁石論」の中では、地磁気という大発見の他に磁気の様々な特質が実験によって証明されており、後の電気磁気学の基礎を築いたと言われています。



ウィリアム・ギルバート  
(1544年～1603年)



磁石論（1600年）

### 【ギルバートの磁気学上の業績】

- ・ 地球は大磁石で磁極をもつ
- ・ 磁石を2個くっつけると、その強さを増す（複合磁石）
- ・ 磁石は重いほど強力である
- ・ 磁気と電気とは異なる

## 5. 生体コンパス

「渡り鳥は毎年同じコースをたどって巣にかえる」「鮭は生まれた母なる川に必ず戻る」というように動物は帰巣本能をもとに自分の巣へ戻ることができます。どうやって方角を知るのかが、長年の謎とされてきました。1979年になって、鳩の頭の中に磁鋼鉄を主成分とした「マグネタイト」という物質が発見されました。この物質が地磁気との関係によりコンパスの役目を果たし、方角が確認できたというわけです。その後、磁性体を持った動物や昆虫が次々に発見されました。ミツバチやマグロ、サメなどにも磁性体のあることが分かり、生体環境にも磁気は大切な役割を果たしています。



designed by © freepik.com

このように磁気は、地球の様々な現象や生命体の活動に大きな影響を及ぼし、私達もその磁場環境のなかで生きています。言わば地球上では磁気なくしては語れないといったところでしょう。

ご紹介したギルバートの言葉に「磁気ならんものは無用の長物にあらず、かくも優しく、かくも有用にして、かくも万能たらんことを知りたるや否や」とあります。言葉の通り、磁気は万能でありますが、あまりに身近な存在のため、その恩恵を忘れがちです。磁気は未来を科学する限りなく可能性を秘めた地球からの大きな恵みだと感じています

# 在宅での磁気刺激治療に 向けた機器開発

東京大学・大学院工学系研究科  
准教授 関野 正樹



## はじめに

経頭蓋磁気刺激法は、脳に電気的な刺激を与える手法の一つとして活発に研究がなされている。頭部表面に置いたコイルからの1T程度のパルス磁場により、大脳皮質あるニューロンに、誘導電場を発生させる。電気刺激と異なり磁場は頭蓋に妨げられないこと、また皮膚に存在する痛覚受容器を殆ど刺激しないため無痛であることが、大きなメリットであると言える。1985年、初めてヒトに対する磁気刺激が報告され[1]、以来基礎研究と臨床の双方において、脳の機能的なマッピングや、神経疾患の診断法といった位置づけで、応用が進められてきた。

近年ではより積極的に、脳の疾患の治療を行うための手法としての研究報告が多くなっている。例えば、パーキンソン病やうつ病に対する治療は、基本的には薬剤によるものが一般的であるが、患者によっては薬剤があまり奏功しない、もしくは一時的に奏功しても徐々に効果が得られなくなってしまう場合がある。これらの疾患について、反復経頭蓋磁気刺激を行うことで治療効果が得られたことを報告した例が多くあり、注目が集まっている[2-4]。

大阪大学の齋藤教授らは、脳卒中の後遺症の一つとして患者数の多い、神経障害性疼痛の治療に着目し、磁気刺激による治療に取り組んでいる。臨床研究の結果、一次運動野に対する反復経頭蓋磁気刺激が一日程度の疼痛緩和効果をもたらすことがわかっている[5-6]。一方で、疼痛緩和効果を継続的に得るためにには、できれば在宅で行える形であることが望ましい。しかしながら、これまでに実用化されている経頭蓋磁気刺激装置は、熟練した医療従事者による操作を想定しており、機器の大きさやコイルの位置決めの難しさの面で、在宅で行うにはいくつかの課題がある。これらの背景をもとに、著者らは在宅用経頭蓋磁気刺激治療装置とそれらに付随するシステムの研究開発に取り組んでおり、本稿ではこれに関連して本分野の展望を述べる。

## 1. 技術的な課題

在宅で経頭蓋磁気刺激を行う方法を模索するにあたり、これを一言で表現すると、「磁気による神経刺激をいかに簡便に行うか」ということに集約される。

いくつかある簡単さの視点として、まず、機器を安価に製作し、また機器自体をよりコンパクトにするため、より少ないコイル電流で治療効果が十分に得られるようにすることが一つの研究課題となる。すなわち、刺激にあたって必要となるコイルの電流を減らすことにより、機器に含まれる昇圧回路の縮小やキャパシタの小型化を見込むことができる。また、反復経頭蓋磁気刺激の場合、コイルの加熱によって表面温度の上昇が生じる問題があり、コイルに流す電流を減らすことがより長時間の、効果の高い治療に繋がると考えられる。

また、経頭蓋磁気刺激に特有の課題として、刺激コイルを置く「位置」を調整することが必ずしも容易でない点があげられる。コイルをより簡単に刺激位置へ誘導できるようにすることも一つの貢献となりうる。現在最も広く利用されている経頭蓋磁気刺激用コイルは、上野教授らの発明による8字コイルである[7-8]。8字コイルは、刺激の局在性、効率性に非常に優れ、高分解能で磁気刺激を行える点で画期的である。一方で、疼痛治療の効果が得られるのは一次運動野を刺激した場合に限られることが報告され、8字コイルによる刺激の局所性が、在宅治療のような環境を想定した場合、位置決め装置のより高度な要求仕様につながる可能性がある。一般的には、対象部位の前後左右5mm程度の誤差が発生すると、治療効果が得られないことが言われている。そのため、熟練した医療従事者でなければ、サポートシステムなしで治療を滞り無く行うことは容易ではない。

例えば設備の整った医療機関であれば、MRIの画像を元にコイルの位置を1mm以下の精度で追跡できるような2視点赤外線カメラを用いたシステムが利用できる[9]。しかしながら、在宅でこれを行うことは機器の導入コストを考えると困難と考えられ、コイルの位置を適切に誘導するコンパクトかつ安価に作成できる別方式のデバイスの開発が必要である。またそれと並行して、オリジナルの8字コイルをさらに発展させ、コイルの局所刺激性を任意に調整できるようにすることが研究課題として考えられる。

## 2. コイル形状の工夫

これらを達成するにあたって、まず、刺激に用いるコイルは特に設計の自由度が高く、様々な取り組みがなされてきた。臨床で主に用いられる円形や8字型のコイルに対し、四つ葉型[10]、複数の円形コイルの組み合わせ[11]、Hコイルと呼ばれる立体的巻線形状[12-13]など多くの新しい提案がなされている。

これらのコイルは、例えば、深い位置の刺激や、複数の箇所に対する同時刺激を意図するものであり、在宅治療を意図して刺激効率を高める、という視点を持った取り組みはこれまでなされてこなかった。そこで著者らは、より少ないコイル電流で高い強度の刺激を行うための偏心8字コイルを提案している。

図1のように、コイルによって脳内に誘導される電流路の概形は、おおよそコイルの巻線形状をそのまま投影した形となる。オリジナルの同心円8字コイルにおいては、巻線は図1(a)のように同心円状に形成されるが、図1(b)のように巻線を中央寄りに偏心させることで、脳内に発生する誘導電流をコイル形状と同様に中央へと局所集中させることができる[14]。

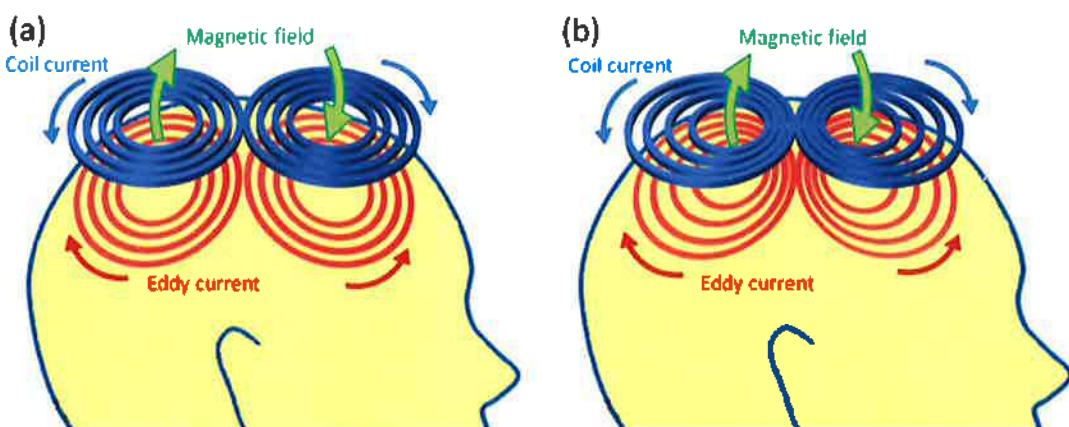


図1 経頭蓋磁気刺激用の(a)同心円8字コイルと(b)偏心8字コイルの原理[14]

巻線を偏心させることの効果を確認するため、図2に示すように、コイルモデルと、脳を模擬した半球形のモデルを用意し、有限要素法によるシミュレーションを行った。コイルモデルについては、空気領域に発生する磁場分布を空間積分することで、コイルのインダクタンスを求めることができる。インダクタンスはコイルが発生するパルス磁場の波形を決定する重要なパラメータの一つである。発生する誘導電流は、図3に示すように、偏心8字コイルがオリジナルの8字コイルに対し強度最大値において18%上昇しており、これにより刺激に必要なコイル電流量の削減を行うことができる [15]。

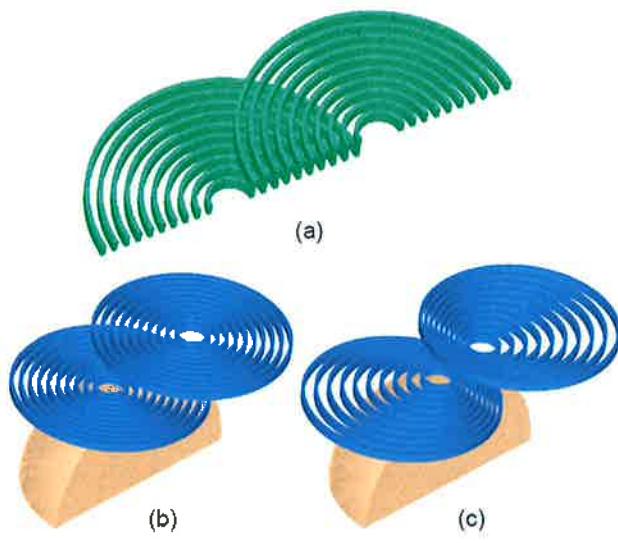


図2 (a)8字コイルの磁場分布を解析するための数値モデルと、(b)同心円8字コイルおよび(c)偏心8字コイルの誘導電場を解析するためのモデル[15].

得られる誘導電流、磁場分布、インダクタンスなどの値は、コイルの設計パラメータである外径、内径、巻き数などによって大きく変わること。解析検討を行い、これらを適切な値に調整した後、設計したパラメータを元に実際に偏心コイルの試作を行った。様子を図4に示す。製作は繊維強化プラスチック製の絶縁ケースに、数値制御の工作機械によって溝を形成し、導体を嵌めこむ形で行うことができる。加工後エポキシ樹脂を充填し、グリップ等を取り付けることで、図4 (b)のように完成した[15]。

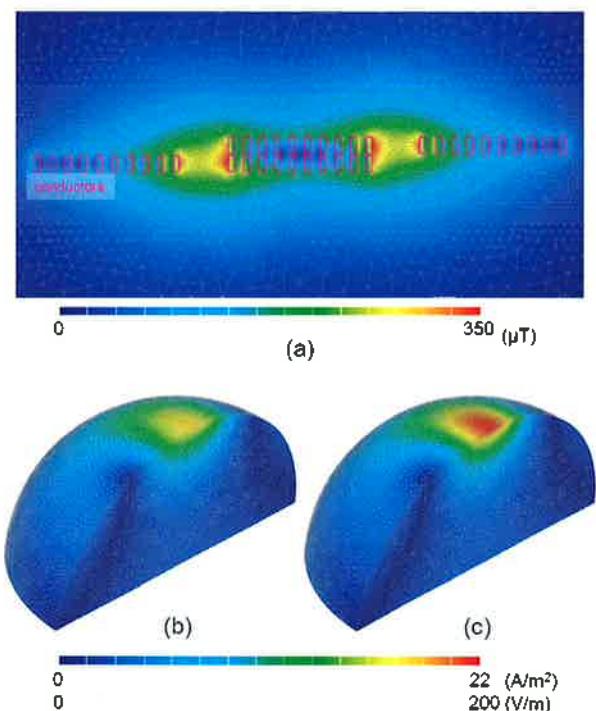


図3 (a)磁場分布の解析結果  
(b)同心円8字コイルおよび  
(c)偏心8字コイルの誘導電場解析結果[15].

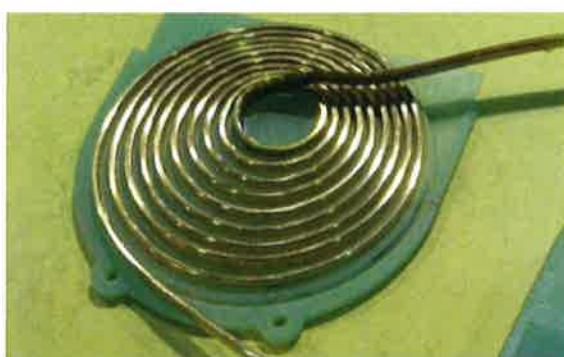


図4 (a)絶縁ケースへの導体の嵌め込み



図4 (b)完成した偏心8字コイル[15]

このように実際に製作したコイルによって、運動野に対する刺激も行った。図5(a)はコイル刺激によって対応する筋肉部位に発生する筋電図である。また図5(b)のように、偏心コイルによる刺激は、同心円8字コイルによる刺激に比べ、効果が得られるコイル電流がおよそ6%削減できた。このように、解析をもとに磁気刺激の効率化を進めていくことで、在宅での経頭蓋磁気刺激装置のコンパクト化や、加熱を抑えることによる治療可能時間の延長、冷却装置の簡易化などができると考えられる。また、刺激位置の決定が容易でないことに対しても、コイル設計という観点から取り組みを行うことができる。

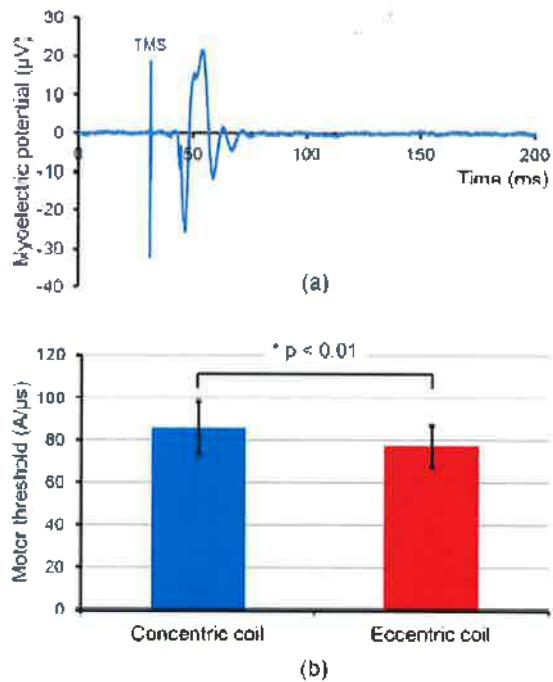


図5 (a) 偏心8字コイルによって対象部位に発生したMEP (b) 同心8字コイルと偏心8字コイルでの運動閾値の比較[15]



図7 ドーム型磁気刺激コイルの概形図[16]。

著者らは刺激位置の決定が容易になるためのコイルとして、より広い範囲を刺激できるドーム型コイルの提案を行っている。前述の通り、脳内に発生する誘導電流の電流経路はコイル形状を投影した形になることから、図6のように広範囲を導線でカバーするような形状をとることで刺激範囲を拡大し、位置ずれに強いコイルを設計することができる[16]。ただし、コイルにおける磁束線との鎖交面積が大きくなるとインダクタンスが必要以上に大きくなってしまうことから、図7のようにコイルの両端を狭め、ドーム型の巻線形状とした。

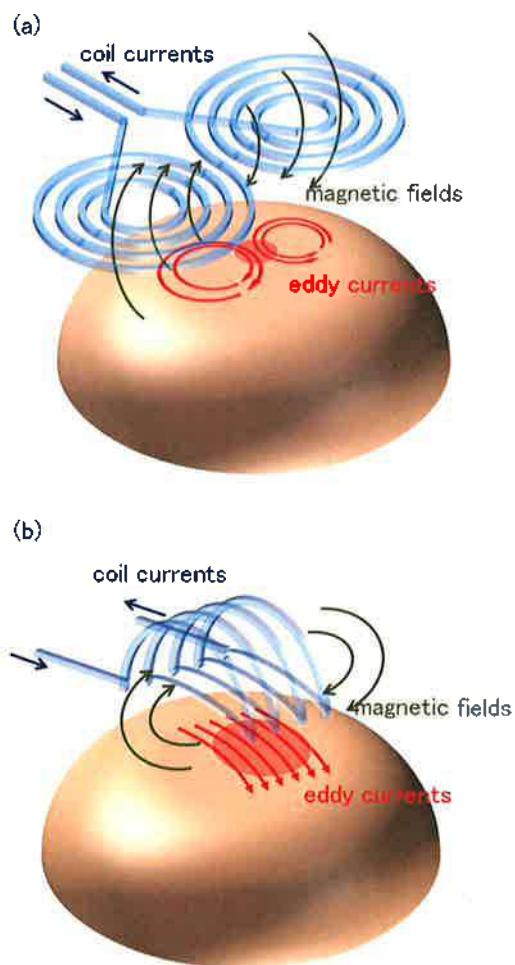


図6 経頭蓋磁気刺激用の(a)一般的な同心円8字コイルと(b)ドーム型コイルの原理

上と同様に半球の導体モデルを用意し、8字コイルによる誘導電流とドーム型コイルによる誘導電流の分布を表したのが図8である。

ドーム型コイルによる誘導電流は8字コイルと比較して効率が下がるもの、分布としてはより広範囲を刺激できるという結果が得られた。今後は、巻線形状を決定するパラメータを変更することで、刺激効率をできるだけ下げずに広い範囲を刺激できる数値を模索していくことが必要となる。

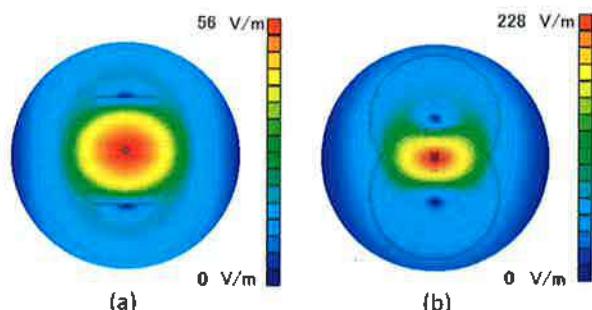


図8 (a) ドーム型コイルと(b)8字コイルによって、脳を模擬した導体球に誘導された電場[16].

### 3. コイル位置決め支援システム

信州大学の西川教授のグループでは、在宅での磁気刺激治療に適したコンパクトかつ安価なコイルの位置決めシステムとして、磁気センサを用いたナビゲーション装置を開発している[17-18]。患者が高い位置再現性で装着できるゴーグルを用意し、小型の3軸磁気センサを取り付ける。コイルに取り付けた永久磁石が発生する磁場をセンサによって計測することで、コイルの位置を推定することができる。さらに患者は、モニタに表示されたコイルの位置をリアルタイムに確認し、予め医師が指定した位置へコイルを誘導することができる。精度は5mm程度であり、コイルの刺激局所性から考えて、コイルの位置決めが可能であることが示された。

### 4. シミュレーションの利用

経頭蓋磁気刺激による刺激作用は、コイルよりも発生する磁場そのものではなく、磁場によって誘導された電場である。脳内の電場を測定する有効な手段が現在のところ無いため、数値解析によって脳内の電場の分布を求めることが刺激作用を検討するうえで非常に重要である。

前述のような半球状の導体を仮定した簡易的なモデルに加えて、図9のように実際の脳の形状を反映したモデルが公開されており、電場の解析に利用することができる[19-20]。

また著者らは、MRI撮像によって得られた頭部画像をもとに脳形状を抽出し、個々の脳形状にあわせた誘導電場の解析ができるようなシミュレーションプログラムを開発中である。図10は、8字コイルによって脳内に発生する誘導電流を、MRI撮像によって得られたモデルに対して求めた結果である。解析にはスカラーポテンシャル有限差分法を用いており、同手法は有限要素法のような一般的な解析手法に比べ、計算が高速かつ実装が容易なことが特徴である。

誘導電場の分布は複雑な脳形状の影響を受け、脳溝より脳回部分に集中して誘導電流を発生していることがわかる。個人個人の脳形状はおおまかには同じ特徴を有するものの、脳溝や脳回の形状は部分的には大きく異なる。従って、同じ装置、同じ条件で刺激を行った場合でも、標的部位に発生できている誘導電流が異なることが予想される。こういった形のシミュレーション方法の確立は治療条件の決定に大きく寄与するため、電磁気学的な解析を背景とした効率の良い刺激条件の決定によって、在宅での治療が容易になることが期待される。



図9 電磁場解析用標準人体モデルの頭部.

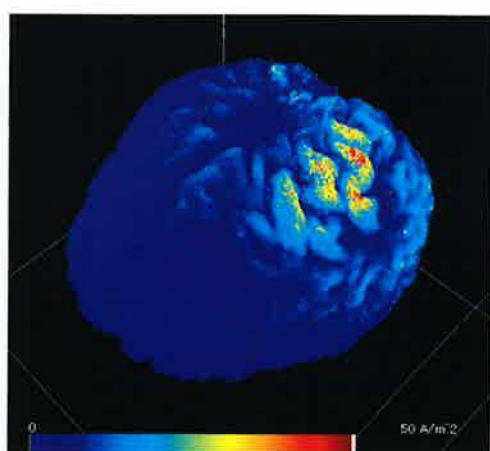


図10 MRI画像より作成した脳モデルによる経頭蓋磁気刺激シミュレーション

## 参考文献

- [1] A. T. Barker, R. Jalinous, and I. L. Freeston, : Non-invasive magnetic stimulation of human motor cortex, *Lancet*, 1, 1106 (1985)
- [2] A. Pascual-Leone, J. Valls-Sole, J. P. Brasil-Neto, A. Cammarota, J. Grafman, and M. Hallett, : Akinesia in parkinson's disease: II. Effects of subthreshold repetitive transcranial motor cortex stimulation, *Neurology*, 44, 892 (1994)
- [3] M. P. Lomarev, S. Kanchana, W. Bara-Jimenez, M. Iyer, E. M. Wassermann, and M. Hallett, : Placebo-controlled study of rTMS for the treatment of Parkinson's disease, *Movement Disorders*, 21, 325 (2006)
- [4] T. Maruo, K. Hosomi, T. Shimokawa, H. Kishima, S. Oshino, S. Morris, Y. Kageyama, M. Yokoe, T. Yoshimine, and Y. Saitoh, : High-frequency repetitive transcranial magnetic stimulation over the primary foot motor area in Parkinson's disease, *Brain Stimulation*, 6, 884 (2013)
- [5] A. Hirayama, Y. Saitoh, H. Kishima, T. Shimokawa, S. Oshino, M. Hirata, A. Kato, and T. Yoshimine, : Reduction of intractable deafferentation pain by navigation-guided repetitive transcranial magnetic stimulation of the primary motor cortex, *Pain*, 122, 22 (2006)
- [6] Y. Saitoh, A. Hirayama, H. Kishima, T. Shimokawa, S. Oshino, M. Hirata, N. Tani, A. Kato, and T. Yoshimine, : Reduction of intractable deafferentation pain due to spinal cord or peripheral lesion by high-frequency repetitive transcranial magnetic stimulation of the primary motor cortex, *Journal of Neurosurgery*, 107, 555 (2007)
- [7] S. Ueno, T. Tashiro, and K. Harada, : Localized stimulation of neural tissues in the brain by means of a paired configuration of time-varying magnetic fields, *Journal of Applied Physics*, 64, 5862 (1988)
- [8] S. Ueno, T. Matsuda, and M. Fujiki, : Functional mapping of the human motor cortex obtained by focal and vectorial magnetic stimulation of the brain, *IEEE Transactions on Magnetics*, 26, 1539 (1990)
- [9] T. Krings, K. H. Chiappa, H. Foltys, M. H. Reinges, G. R. Cosgrove, and A. Thron, : Introducing navigated transcranial magnetic stimulation as a refined brain mapping methodology, *Neurosurgical Review*, 24, 171 (2001)
- [10] F. Grandori and P. Ravazzani, : Magnetic stimulation of the motor cortex: Theoretical considerations, *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 38, 180 (1991)
- [11] K. H. Hsu and D. M. Durand, : A 3-D differential coil design for localized magnetic stimulation, *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 48, 1162 (2001)
- [12] A. Zangen, Y. Roth, B. Voller, and M. Hallett, Transcranial magnetic stimulation of deep brain regions: Evidence for efficacy of the H-coil, *Clinical Neurophysiology*, 116, 775 (2005)
- [13] Y. Roth, A. Amir, Y. Levkovitz, and A. Zangen, : Three-dimensional distribution of the electric field induced in the brain by transcranial magnetic stimulation using figure-8 and deep H-coils, *Journal of Clinical Neurophysiology*, 24, 31 (2007)
- [14] T. Kato, M. Sekino, T. Matsuzaki, A. Nishikawa, Y. Saitoh, and H. Ohsaki, : Electromagnetic characteristics of eccentric figure-eight coils for transcranial magnetic stimulation: A numerical study, *Journal of Applied Physics*, 111, 07B322 (2012)
- [15] M. Sekino, H. Ohsaki, Y. Takiyama, K. Yamamoto, T. Matsuzaki, Y. Yasumuro, A. Nishikawa, T. Maruo, K. Hosomi, and Y. Saitoh, : Eccentric figure-eight coils for transcranial magnetic stimulation, *Bioelectromagnetics*, 36, 55 (2015)
- [16] K. Yamamoto, M. Suyama, D. Kim, Y. Saitoh, and M. Sekino, : Characteristics of bowl-shaped coils for transcranial magnetic stimulation, *Journal of Applied Physics*, (in press)
- [17] A. Okada, A. Nishikawa, T. Fukushima, K. Taniguchi, F. Miyazaki, M. Sekino, Y. Yasumuro, T. Matsuzaki, K. Hosomi, and Y. Saitoh, : Magnetic navigation system for home use of repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS), *Proceedings of the ICME International Conference on Complex Medical Engineering*, 112 (2012)
- [18] Y. Yasumuro, K. Hosomi, Y. Saitoh, and T. Matsuzaki, : Uncertainty assessment of target localization for rTMS treatment, *Proceedings of the ICME International Conference on Complex Medical Engineering*, 784 (2012)
- [19] T. Nagaoka, S. Watanabe, K. Sakurai, E. Kunieda, S. Watanabe, M. Taki, and Y. Yamanaka, : Development of realistic high-resolution whole-body voxel models of Japanese adult males and females of average height and weight, and application of models to radio-frequency electromagnetic-field dosimetry, *Physics in Medicine and Biology*, 49, 1 (2004)
- [20] S. Gabriel, R. W. Lau, and C. Gabriel, : The dielectric properties of biological tissues: II. Measurements in the frequency range 10 Hz to 20 GHz, *Physics in Medicine and Biology*, 41, 2251 (1996)

東京大学・大学院工学系研究科

准教授

関野 正樹



略歴

- 2000年3月 東京大学工学部産業機械工学科卒業
- 2002年3月 東京大学大学院工学系研究科電子工学専攻修士課程修了
- 2002年4月 日本学術振興会特別研究員
- 2005年3月 東京大学大学院工学系研究科電子工学専攻博士課程修了 博士(工学)取得
- 2005年4月 東京大学大学院医学系研究科 特任助手
- 2006年4月 東京大学大学院新領域創成科学研究科 先端エネルギー工学専攻 助手
- 2008年6月 フランス原子力庁(CEA) NeuroSpin研究所 研究員 (フランス政府給費留学生)
- 2010年7月 東京大学大学院工学系研究科電気系工学専攻 講師
- 2011年4月 東京大学大学院工学系研究科電気系工学専攻 准教授

## 設立当初からのご支援に感謝!!

設立当初から 20 年、長年にわたり財団へご寄付いただき、特に平成 27 年度は多大なるご支援（ご協力）をいただいた賛助会員の株式会社マルミ 代表取締役 岡吉 一二三 様に磁気健康についてお話をうかがいました。



私が磁気と関わりを持ったのは、今から約 30 年前のことです。私の家内が病気になって有名なお医者様に診てもらいましたが、既に手遅れだと告げられました。そういう状況で磁気治療器と出会い、そこで効果を実感しました。害も痛みもなく効果ができるというところにとても、魅力を感じました。病気になれば病院へ行って治せば良いと考えていましたが、それよりも日頃から磁気により血行を良くするだけで病気にならなくてもすむということがわかりました。

磁気の魅力は周りの人たちに教えてあげる必要があると思いましたが、いざ伝えるとなるとなかなか難しいもので・・・

そこで設立したばかりの磁気財団の存在を知り、これは私達の生活に必ず役に立ってくれるものだと感じました。磁気によって症状が良くなる事実はたくさん知っているけれど、どうして良くなるのかを誰にでもわかるように科学的・医学的に証明してもらえる機関は絶対大事だと思い、設立当初から財団の活動にも携わるようになりました。

今後は、予防医学や在宅医療の分野における研究助成を期待しています。高齢化社会においても磁気は色々な可能性を秘めていると思います。高齢者は、足が老化するわけで、足の筋肉拘縮を和らげることに磁気は一番効果を発揮すると思います。

最後に磁気財団について、様々な研究データを蓄積し、各専門分野の先生方が関わってくれていることに感謝いたします。今後の更なる発展を祈念いたします。



永年功労を称え  
感謝状の贈呈



株式会社マルミの皆様



※株式会社マルミは30年以上にわたり、家庭用磁気治療器を販売されています。



**BIOBEAM®**  
バイオビーム

30  
年  
の  
歩  
み

バイオビームは1984年、日本で開発／発売開始から、  
30年目を迎えました。

アジア諸国をはじめ世界各国へと拡がり、  
これまでの販売累計本数は270万本を超え、  
世界中でご愛用いただいています。

世界販売累計本数

2,700,000 本



since 1984

2001

2009

2012

2012

**NIKKEN®**

## 理事・監事・評議員

### 理 事

- 小谷 誠 東京電機大学 名誉教授  
( 理事長 )
- 相澤 好治 北里大学 名誉教授  
( 副理事長 )
- 渡邊 利三 Nikken International Inc. Chairman Emeritus  
( 専務理事 )
- 井出 英人 青山学院大学 名誉教授
- 大久保 千代次 一般財団法人電気安全環境研究所 電磁界情報センター 所長
- 岡井 治 医療法人社団栄相会 深田クリニック 院長
- 北村 唯一 医療法人社団自靖会 親水クリニック 院長  
東京大学 名誉教授

### 監 事

- 青木 明人 平塚市民病院 元名誉病院長
- 土肥 健純 東京電機大学 工学部 機械工学科 教授

### 評議員

- 飯田 恒子 日本医療科学大学 保健医療学部 学部長  
首都大学東京 名誉教授
- 内川 義則 東京電機大学 理工学部 電子・機械工学系 教授
- 小野 哲章 滋慶医療科学大学院大学 医療管理学研究科 教授
- 多氣 昌生 首都大学東京 都市教養学部 理工学系 教授
- 武田 常廣 株式会社新領域技術研究所 代表取締役社長
- 龍岡 穂積 医療法人社団知己会 龍岡クリニック 理事長  
千葉大学 客員教授
- 根本 幾 東京電機大学 情報環境学部 情報環境デザイン学科 教授
- 岩坂 正和 広島大学 ナノデバイス・バイオ融合科学研究所 教授
- 竹内 陽二 株式会社NIKKEN 代表取締役社長

## 賛助会員入会のご案内

当財団は、「磁気健康科学」に関する研究に対する助成、更には技術動向などの調査研究に対する助成を通じて磁気健康科学の発展を推進することで、国民生活や経済社会の発展に寄与するという趣旨に賛同される皆様から納入いただく賛助会員費等によって運営されています。当財団の事業目的に賛同賜わり、賛助会員としてご入会くださいますようお願い申し上げます。

【会費】 賛助会員 1口／¥3,000(年間) ※1口以上何口でもご加入いただけます。

【申込手続き】 当財団のホームページから「賛助会員入会申込書」をダウンロードし、必要事項をご記入の上、当財団までご送付いただきますようお願い申し上げます。

- 「助成研究成果報告書」が配布されます。
- 「磁気と健康」(会報誌)が配布されます。
- 「磁気健康科学セミナー」に参加できます。

### お問合せ先

公益財団法人 磁気健康科学研究振興財団 事務局

TEL/FAX 092-724-3605

E-Mail [zai@maghealth.or.jp](mailto:zai@maghealth.or.jp)

URL <http://www.maghealth.or.jp>

## ホームページのご案内

### 1.下記URLを入力してください

<http://www.maghealth.or.jp/>

### 2.トップ画面より、ご覧になりたい項目をクリックしてください

※主な項目については以下をご参考ください

#### 応募要項

研究助成にご応募される方は、こちらをご覧ください。

#### 賛助会員

賛助会員の説明および、ご入会方法についてはこちらをご覧ください。

#### 研究成果報告書

助成金授与者の研究成果報告書については最新号および、パックナンバーをこちらに掲載しております。

#### 会報

会報誌「磁気と健康」の最新号および、パックナンバーをこちらに掲載しております。



最新情報はこちら

# 公益財団法人 磁気健康科学研究振興財団



磁気と健康 一會報 第27号 ～ 2015年6月発行

発行所・編集・発行責任者： 公益財団法人 磁気健康科学研究振興財団  
〒810-0001 福岡県福岡市中央区天神1-13-17 Tel/Fax 092-724-3605 <http://www.maghealth.or.jp/>