

JEIC NEWS

Japan EMF Information Center News

2023年8月発行

No.

67

Index

●
P2

巻頭言

新任のご挨拶

●
P3～7

EMFトレンド情報

MRI（磁気共鳴画像）検査について

●
P8～9

JEICレポート

電磁界リスクコミュニケーションの国際協力に関する
海外組織との協定書の取り交わしについて

●
P10～11

コラム

パルスオキシメータ誕生あれこれ



電磁界情報センター

新任のご挨拶

管理・受託グループ 種崎 征利

7月1日に管理・受託グループに着任いたしました種崎と申します。

この度、九州の福岡から単身赴任で東京勤務となりました。前職場は、会社の経営管理・運営業務を行う部門で、どちらかという内向きであった業務を二年間実施しており、今後は自らが情報を発信する立場となるため、新たなスキルを習得できることや、業務の内容が大きく変わることにより期待と多少の不安を感じていますが、幸いにして職場が和やかな雰囲気であり、前向きに取り組めそうだと感じています。一方、近年、全国的に大雨や荒天による災害が発生しており、単身赴任で自宅を空けることについては不安を感じていますが、高二の娘と中二の双子の息子達には日頃の姿から成長や頼もしさを感じられることも増え、こちらが心配するほどのことでもないのかな、と違う意味で寂しさを感じています。これらのマイナスイメージについては趣味のランニングで汗をかくことにより気分をリセットし、公私ともに東京生活を

楽しみたいと思います。

さて、電磁界情報センターでは、「中立的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施」に取り組んでいます。具体的にはWHO等の国際機関や公的機関等が発信する情報の速やかな提供に努めています。しかし、電磁界は目に見えず、音も聞こえないため電磁界による健康影響に関して不安を抱く方もいらっしゃると思いますので、そういった方々からのお問い合わせ対応や、身のまわりの磁界を自ら測定して確認いただく低周波磁界測定器の無料貸出サービス等を行っています。

世の中には様々な情報が溢れており、正しい情報が埋もれてしまうことがあると思います。電磁界情報センターでの日々の業務では全ての方々に科学的に根拠がある正しい情報が適切に伝わるように、そして、電磁波に不安を抱いている方の不安解消に繋がることを意識して取り組んでまいります。

情報調査グループ 川辺 史明

7月1日に情報調査グループに着任いたしました川辺と申します。

出身は都道府県魅力度ランキングで例年下位の栃木県(40位:2022年)であり、居住地は入社以来、こちらも下位の埼玉県在住(45位:2022年)です。私にとって関係が深い街の魅力が全国のみなさんに伝わっていないことに半ば諦めも感じております。東京への通勤も今年で5年目となりますが、コロナ禍の期間はテレワークが多かったことから、コロナの行動制限が解除された以降の通勤電車の混雑には未だに慣れることができません。

私はこれまで趣味の旅行等で大分県を除く46都道府県を訪れています。これまでの職場では勤務する関東以外の出張が少なかったですが、電磁界情報センターでは、講演会などで全国各地に赴く機会があると聞いています。電磁界情

報センターに在籍する間に大分県も訪れて全国47都道府県制覇できるのではないかと楽しみにしております。

さて、私が担当する情報調査グループでは、今年度の磁界測定プロジェクトとして、直流送電線とスマートメーターからの電磁波測定に取り組んでいます。一般の方が関心を持つ電磁波の発生源について、規格に基づいた方法で測定を行い、調査結果を学会等で発表するとともに、分かりやすい情報に整理してみなさんに提供することで、電磁波を不安に思われている方の不安を少しでも解消できるように努力していきたいと思います。

今回、このような貴重な経験を得られる業務に携わられることを大変光栄に感じております。何卒ご支援ご鞭撻の程よろしくお願ひいたします。

MRI（磁気共鳴画像）検査 について

国立研究開発法人情報通信研究機構 山口 さち子

みなさんはMRIという言葉を一度は耳にしたことがあるのではないのでしょうか？ MRI検査を受けられたことがある方は、大きな筒に入って大きな音がしていた事を思い出されたかもしれません。実はMRIと電磁界はとても密接な関係があります。そこで、今までに検査を受けられた方、そしてこれから検査を受けられる方、またMRIの近くで働く方のご参考のために、この記事ではMRIによる電磁界の利用や安全性についてご紹介いたします。

はじめに—MRIとは

MRIは磁気共鳴画像(Magnetic Resonance Imaging：MRI)装置の英語名の頭文字をとったもので、その名のとおり磁気(静磁界)を含む電磁界を積極的に利用した医療機器になります。MRIは医療機器の中でも画像診断装置とよばれるもので、電磁界を利用することで体を傷つけたり放射線の被ばくがなく体の中の情報を画像化することができます。MRIは電磁界をかける向きや使用するコイルを変えることで好きな画像断面を得られたり、組織と組織のコントラストに優れるなど診断をする上での利点があり、画像診断装置として診療に不可欠です。同じく大きな筒に入り撮影をするコンピュータ断層撮影(Computed Tomography：CT)と間違えられることがあります。CTとMRIは原理や撮影時間、得意とする撮影が異なり、臨床ではこれらを状況に応じて使い分けられています。

ところで、MRI装置が日本国内にどれだけあるかご存じでしょうか？実は日本は世界的にみて非常にMRI装置が普及している国であることが知られています。令和2年時点で、MRI装置は国内に7168台あり(一般病院、一般診療所、歯科医院含む)、検査

件数は1,357,548件・人です¹⁾。経済協力開発機構(Organisation for Economic Co-operation and Development：OECD)加盟国で比較すると、日本の100万人あたりのMRI装置台数は57.39台で、他のOECD加盟国で2位の米国(34.66台)、3位の韓国(34.24台)を大きく引き離して1位です。このようにMRIは日本でとても普及している電磁界を利用した医療機器であることがお分かりになるかと思います。

MRIと電磁界のかかわり

それでは、具体的にMRI検査はどのように電磁界を利用しているのでしょうか？MRI検査では表1に示すような3つの電磁界が利用されています。

MRI検査は生体分子に電磁界を外部から与えることで水素原子から共鳴信号を得ることを原理としています。そのためには、強力な静磁界で水素原子のスピン向きを揃え、傾斜磁界を用いて特定の部位の情報だけ得るようした上で、静磁界の強度に応じた周波数の高周波磁界によって水素原子を共鳴させ信号を得る必要があります。このため、MRI装置で

表1 MRI検査で用いられている電磁界の種類とその性質

種類	周波数	用途	生体作用	利用状況
静磁界	0 Hz	原子のスピン向きを揃える	力学的作用、刺激作用	常に存在(検査時以外にも存在)
傾斜磁界(パルス磁界)	周波数換算で数kHz	スライス選択	刺激作用	検査時のみ利用
高周波磁界(ラジオ波)	64 MHz (1.5 T) 128 MHz (3 T)	共鳴信号を得る	熱作用	検査時のみ利用

は表1のような多様な電磁界を用いる必要があるのです。特に静磁界については、1.5 Tや3 Tという地磁気の数万倍の強さの磁界が用いられていることに注意が必要です。また、静磁界については現在MRI装置で用いられているのは永久磁石か超電導磁石のため、一度設置すると検査をしていない時でも磁界が発生しています(表1)。この特性は、検査の時のみ使用する傾斜磁界や高周波磁界とは異なるものです。

MRI検査では検査のため強い電磁界を用いているため、生体作用が生じる恐れがあります。電磁界の生体作用は非常に強い電磁界を受けた時(ばく露された時)に起こり、周波数によって異なることが知られています。静磁界では力学作用(吸引力や回転力)や刺激作用(めまい、頭痛、味覚変化など)、傾斜磁界ではチクチク感などの神経刺激作用(重篤なものであると心臓への影響)、高周波磁界では体が熱くなる熱作用が起こる可能性があります。

MRIと健康への影響

このようにMRI検査は強い電磁界を用いており、基本的には検査中のみ発生していますが静磁界のみ検査時以外にも発生しているという特性があります。また、強い電磁界を用いることによって生体作用が生じる可能性があります。そのため、MRI検査に関して患者さんの安全のために、装置が発生する電磁界の出力や安全対策、取扱説明書に記載すべき事項について、世界的な装置規格(IEC60601-2-33)で定めています²⁾。IEC60601-2-33ではMRI装置が発生する電磁界で表1に示したような刺激作用や

熱作用が生じないように、用いてよい静磁界、傾斜磁界、高周波電磁界のレベルについて、それを算出するための計算式や手法を定めており、国内ではIEC60601-2-33と同等の内容であるJIS Z4951³⁾という形で規格化されています。医療機器として販売するための薬事承認ではMRI装置はJIS Z4951に適合する必要があります。このため、基本的に国内で流通しているMRI装置については、患者さんへの安全は装置側で担保されており、それに加えて運用側である医療従事者においても装置規格の及ばない部分で生体作用が生じないように、例えば体内の植え込み型医療機器や体外の磁性体についてチェックをしたり(電磁界によって機器が壊れたり、MRIに向かって磁性体が飛んで行ったりするため)、タオルやクッションを使用した患者さんのポジショニングの工夫(不適切な体位は刺激作用や熱作用を生じさせる恐れがあるため)などを行っており、安心して検査を受けられるようにしています。

上記は主に患者さんにおけるMRIと健康への影響ですが、MRI装置の近くで働く人(MRI検査業務従事者)は入室のたびにMRI装置からの静磁界のばく露を受けることによる影響があることに注意しなければなりません。MRI装置からは強い静磁界が常に発生しており、MRI装置のボア末端(ドーナツ状の部分の入り口)では最大1-2 Tの静磁界が存在しており、なおかつアクティブシールドという漏れ磁場抑制装置がある場合、磁界に勾配が発生します。このような特殊な作業環境では静磁界中を導電体である人体が動くことによって体内に電流が発生し、めまいや頭痛、味覚変化といった症状が現れることがわかっています⁴⁾。この症状は磁界から離れると消失します

が、MRI装置近傍ではゆっくり動作することが求められています。なお、同じ現象は患者さんがMRI装置に入る際にも生じる可能性があるため、MRI装置の寝台を装置の中に輸送するシステムは速度の考慮がなされています。

MRIと妊娠・出産(胎児MRIと就業者)

MRIと健康への影響という観点では、MRI検査と妊娠・出産について二つの側面が高い関心もたれています。一つは妊娠した患者さんの検査で胎児MRI検査というものです。もう一つはMRI検査業務従事者の妊娠における取り扱いです。ここではそれぞれについて対応や研究状況について紹介いたします。

<胎児MRI検査について>

MRI検査は被ばくがないうことや、超音波検査より得られる情報が多いことから、胎児期の疾患の特定などのため妊娠した患者さんに対してMRI検査が行われることがあります。装置規格では妊娠している患者さんへのMRI検査は熱作用防止の観点から通常操作モード(最も安全度が高い電磁界レベルでの運用)での撮影を求めています²⁾。

胎児MRI検査については胎児期にMRI検査を受けた子に対する出産後の調査が行われてきました。最も大規模なものは2016年に出版された、カナダで12年間にわたり行われた胎児MRI検査とその後の子の健康状態に関する調査です⁵⁾。これはカナダ、オンタリオ州の12年間で約140万件の出産について、母体が妊娠中の器官形成期^{脚注1)}にMRI検査を受けた1731件を対象とした胎児MRI検査の安全性に関する調査で、胎児MRI検査では、熱、騒音、造影剤の影響が懸念事項であるという出発点になっています。結果として、妊娠初期のMRI検査単体では、死産又は新生児死亡、先天性異常、視力低下、聴力低下、腫瘍有意なリスク上昇は観察されませんでした。また、先天異常の発生率は胎児MRI検査を実施した週齢ごとで差はありませんでした。

脚注1)：妊娠4週(妊娠2ヶ月)から妊娠10週(妊娠4ヶ月)で体や臓器の基が発生し始めることから器官形成期といいます。

<MRI検査業務従事者の妊娠・出産について>

MRI検査業務に従事される女性における妊娠・出産への影響は古くからの懸念事項でした。これは、患者さんは検査時のみ静磁界、傾斜磁界、高周波磁界のばく露を受けるのに対し、MRI検査業務従事者は業務でMRI室内に入室するたびに静磁界のばく露を受けるといふばく露の特性があるためです(MRI装置からの静磁界は検査時以外も常に発生し続けているため)。米国放射線学会が発行するガイドラインでは、妊娠時にMRI検査業務を行うことの制限はありませんが(ただし、検査中はMRI室内に入らないようすること)⁶⁾、妊娠中は就業制限を設ける国もあり(フランス等)、対応は国ごとに異なっています。日本国内のMRI検査施設の管理者を対象とした調査⁷⁾では、施設に就業者の妊娠時のMRI検査業務に関する取り扱いがある施設は22.9%あるものの明文化されている施設は2.1%しかありませんでした。また、統一した対応はとられていない上、52%の施設において就業者の妊娠時はMRI検査業務の配置回数を減らしたり配置しないという方針を示していました(図1)。このため、特に静磁界(より正確には静磁

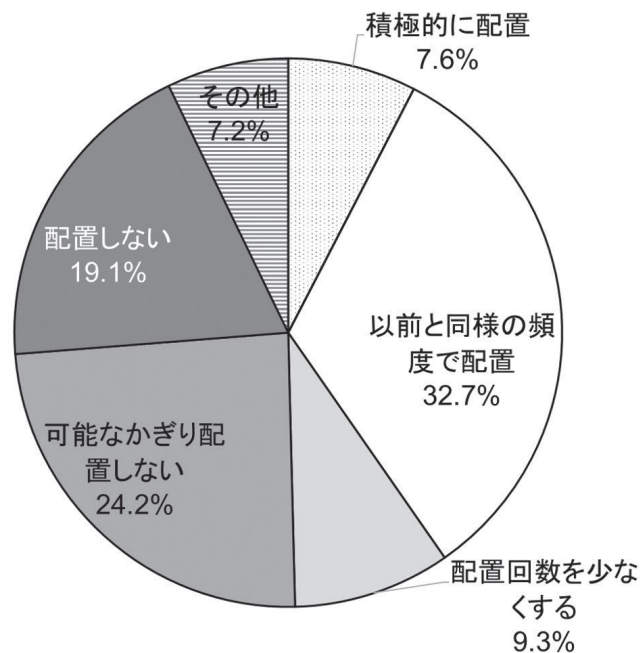


図1 MRI検査業務従事者の妊娠時のMRI検査業務配置方針(予定方針含む)

界中の動きによる影響も含む)のMRI検査従事者の妊娠・出産における影響の評価が必要とされています。

過去の研究では、1993年に米国内のMRI装置を保有する施設に勤務する女性を対象とした妊娠・出産に対する調査が行われました⁸⁾。これは当時の米国内の90%以上のMRI装置保有施設を網羅するもので、データには770人の白人女性から得られた1421件の妊娠を分析に用いられており、MRI検査業務従事者からは280件の妊娠報告がありました。流産、不妊、早産(39週前の出産)、男児出生率、低体重児出生に関して分析をすると、流産についてはMRI業務従事者v.s.主婦あるいは他の職業者v.s.主婦は有意に高いリスク比^{脚注2)}が示されましたが、MRI業務従事者v.s.他の職業者では有意差はなかったことから、MRI業務による妊娠・出産への有害な影響はないと結論付けられています。

しかしながら、この分野の報告は1993年に実施された報告のみにとどまっていた。また、回答者が使用している装置は0.15-4.7 T MRI装置(概ね1 T以下)で、現在臨床で利用されているMRI装置は0.5-3 Tであることを考えると、ばく露磁界の強度

が異なります。そこで筆者は2018年に日本国内のMRI装置保有施設のMRI検査部門に現在勤務する女性(MRI室に入室機会のある女性)を対象とした妊娠・出産の調査を行いました⁹⁾。最終的に1193名の女性就業者より回答が得られ、263名より443出産について分析を行いました。この調査では出産ごとに母子手帳の情報を記載してもらっており、過去の出産歴を聞いていることから現在MRI検査部門に勤務していても当時はそうでなかった可能性があります。MRI検査業務との関連は、妊娠中にMRI室に入室機会があった人をNIR(++)群、妊娠前にMRI室に入室機会があったものの妊娠後はMRI室に入室をやめた人をNIR(+)群、妊娠前後にMRI室に入室機会のなかった人をNIR(-)群としています。早産(37週未満で出産)と低体重児出生(2500 g未満)について分析を行いました。

その結果、早産及び低体重児出生においてMRI検査業務との関連は観察されませんでした(表2)。早産発生はNIR(-)は7.9%、NIR(+)が12.1%、NIR(++)は4.5%、低体重児出生はNIR(-)は11.9%、NIR(+)が12.1%、NIR(++)は6.5%と、いずれもNIR(+)で最も高い発生率を示しましたが、統計

表2 MRI検査施設に現在就業する女性の過去の出産状況(カイ二乗検定)

早産(なし:412件、あり:31件)					
群	なし(件)	なし(%)	あり(件)	あり(%)	有意確率
NIR(++)	163	92.1%	14	4.5%	0.09 (有意差なし)
NIR(+)	58	87.9%	8	12.1%	
NIR(-)	191	95.5%	9	7.9%	
低体重児出生(なし:401件、あり:42件)					
群	なし(件)	なし(%)	あり(件)	あり(%)	有意確率
NIR(++)	156	88.1%	21	6.5%	0.15 (有意差なし)
NIR(+)	58	87.9%	8	12.1%	
NIR(-)	187	93.5%	13	11.9%	

脚注2)：リスク比とはある特定の状況にある場合(例：MRIからの電磁界ばく露がある、等)、それがなかった場合に比べて何倍疾病に罹りやすくなるかを示すものです。

的な確からしさは検出されませんでした。表2の有意確率とはある結果が偶然発生する確率です。ここではばく露3群の早産及び低体重児出生の「なし」「あり」の回答分布がそれぞれ同じであることを仮説としており、数値の偏りがある場合それが偶然生じる確率(仮説が棄却される確率)を算出しています。統計解析では、この偶然発生する確率が0.05(5%)未満の時に、この結果は偶然起きたのではないと判断しますので、今回有意確率が0.05以上であることは3群の数値の偏りは偶然生じた可能性を排除できないという意味になります。NIR(++)群の業務を入室頻度別でも、入室機会が多いほど有害な影響があるという傾向はありませんでした。これらの結果から、1993年の結果と同様にMRI検査業務が妊娠・出産に有害であるという明確な証拠はありませんでした。

まとめ

この記事では、MRIと電磁界の関わりや健康への影響、特に妊娠・出産における影響についてご紹介しました。MRIは臨床上不可欠な画像診断装置であり、電磁界を積極的に活用しているという特性はありますが、患者さん、就業者の安全性について装置規格や各種研究によってよく考えられています。ご自身がMRI検査を受けられる際、あるいはご自身がMRI検査業務を実施されるときのご参考にできれば幸いです。

参考文献

- 1) 令和2(2020)年医療施設(静態・動態)調査(確定数)・病院報告の概況, <https://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/iryosd/20/>
- 2) IEC 60601-2-33:2022, Medical electrical equipment - Part 2-33: Particular requirements for the basic safety and essential performance of magnetic resonance equipment for medical diagnosis
- 3) JISZ4951:2017, 医用電気機器 - 第2-33部: 磁気共鳴画像診断装置の基礎安全及び基本性能に関する個別要求事項
- 4) International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP), 2009, Guidelines on limits of exposure to static magnetic fields. *Health Phys* Apr;96(4):504-14. doi: 10.1097/01.HP.0000343164.27920.4a.
- 5) Ray, J. G., Vermeulen, M. J., Bharatha, A., Montanera, W. J., Park, A. L., 2016. Association Between MRI Exposure During Pregnancy and Fetal and Childhood Outcomes. *JAMA* Sep 6;316(9):952-61. doi: 10.1001/jama.2016.12126.
- 6) American College of Radiology., 2020. ACR Manual on MR Safety.
- 7) 山口 さち子, 井澤 修平, 前谷津 文雄, 土井 司, 引地 健生, 藤田 秀樹, 今井 信也, 赤羽 学, 王 瑞生, 2018. 本邦における妊娠中のMRI検査業務担当の現況と非電離放射線(静磁場ばく露)の意識状況調査 概要報告. *日本磁気共鳴医学会雑誌*38 巻4号 103-119. <https://doi.org/10.2463/jjmr.2018-1654>
- 8) Kanal, E., Gillen, J., Evans, J. A., Savitz D. A., Shellock, F.G., 1993. Survey of reproductive health among female MR workers. *Radiology* May;187(2):395-9. doi: 10.1148/radiology.187.2.8475280.
- 9) Yamaguchi-Sekino, S., Kojimahara, N., Survey of Delivery Outcomes for Employees at MR Imaging Facilities in Japan Based on Information Recorded in the Maternal and Child Health Handbook. 2022. *Magnetic Resonance in Medical Science* Early published. <https://doi.org/10.2463/mrms.bc.2022-0080>

電磁界リスクコミュニケーションの 国際協力に関する 海外組織との協定書の取り交わしについて

管理・受託グループ兼情報提供グループ 高田 雄史



2023年4月24日にポーランドのワルシャワにあるポーランド情報技術・電気通信会議所(PIIT)を訪問し、ポーランド電磁気応用学会(PTZE)、ドイツ連邦放射線防護局(BfS)の電磁界コンピテンスセンター(KEMF)と電磁界情報センター(JEIC)の4機関で、電磁界リスクコミュニケーションの国際協力に関する協定書を取り交わしましたので、その概要についてご紹介します。

きっかけ

この取組の始まりは、2022年6月に名古屋市で開催された生体電磁界分野で最も権威のある国際会議であるBioEM 2022において、JEICが提案して開かれた電磁界リスクコミュニケーションに関するワークショップです。ここでは日本(JEIC大久保所長)、ドイツ(BfS/KEMF代表)、韓国からの参加者がそれぞれの活動や知見、今後の国際協力について意見交換が行われました。

このワークショップにオンライン参加して関心を持ったPTZEから要請を受け、2022年11月にJEIC大久保所長がポーランドを訪問し、ワルシャワ工科大学でこれまでの活動経験について講演を行いました。訪問中にPIITと意見交換を行う機会があり、



2022年11月 依頼講演のためポーランドを訪問した大久保所長とPTZE、PIITのメンバー

国際協力体制の構築に向けた動きが一気に加速しました。

PIITについて

PIITは1993年に設立され、メンバーは電気通信とICT分野の事業者で構成された、国のデジタル変革の推進を図っている組織です。

KEMFについて

KEMFは、BfS の内部組織として2020年に設立され、電磁界に関する情報提供、リスクコミュニケーション、ばく露測定等の活動を行っています。JEICが2022年5月に訪問して意見交換を行った概要をJEIC NEWS No.64号で紹介しておりますので、詳細はそちらを参照ください。

協定書の取り交わし

冒頭、PIITのAndrzej Dulka会頭が挨拶され、電磁界リスクコミュニケーションに関する国際協力の重要性と本枠組に対する期待が述べられました。

協定書では、電磁界リスクコミュニケーションの活動経験やベストプラクティス(最善の方法)の共有の他に、具体的な取組として各国で同一の方法に基づいた一般のリスク認知調査の実施し、その結果から各国に適したリスクコミュニケーション手法の確立を目指すこととしています。

協定書の署名後は、それぞれの活動や今後の協力について意見交換が行われました。

PIITとKEMFは組織も大きく、政治学者や心理学者、社会学者、ジャーナリストなど様々な分野のスタッフも所属し、ソーシャルメディアの活用やインフルエンサーを採用した動画配信など先進的な活動も行っています。一方JEICは、PIITやBfSよりも組織の規模こそ小さいものの、これまで活動実績は最も豊富であり、協力体制においても中核的な役割を果たすことができると考えております。



左からPIIT代表(2人)、BfS/KEMF代表、PTZE代表、JEIC大久保所長



ワルシャワ王宮広場

まとめ

第二次世界大戦での壊滅的な破壊から再建された美しい街並みのワルシャワの地で、電磁界リスクコミュニケーションにおける歴史的な第一歩となる協定書が取り交わされました。今後、この取組が国際的に注目され、新たな国の参加を促し更なる展開を遂げることできるよう、参加各国と連携して取り組んでまいります。

コラム

パルスオキシメータ誕生あれこれ

電気学会のホームページに、第16回電気技術顕彰「でんきの礎」として「青柳卓雄によるパルスオキシメータの発明」が決定したとの掲載があった (<https://www.iee.jp/foundation/list16/>)。「でんきの礎」は、電気学会が創立されて120年が過ぎたことを記念して、平成20年(2008年)に設けられた顕彰制度である。この顕彰制度では開発から25年以上を経過し、社会生活に貢献する電気技術が対象であり、『人』『モノ』『場所』『こと』の4つのカテゴリーが設けられている。パルスオキシメータ (pulse oximeter) の顕彰は『人』『こと』のカテゴリーに区分され、授与式は令和5年3月16日の電気学会全国大会で執り行われた。

ここ数年、世界的な規模で流行している新型コロナウイルス感染症 (COVID-19) のパンデミックで感染者の健康チェックに、酸素飽和度を簡便にモニタリングできる非侵襲 (経皮) 式のパルスオキシメータが大活躍していたことは日々メディアで取り上げられていたのでご存じの方が大勢いると思う。これはコロナウイルスが肺の毛細血管に障害をもたらし、早期に低酸素血症を発症させることから、コロナウイルス感染者の呼吸管理のために、血中の酸素飽和度を連続的にしかも簡便にモニタリングするためにパルスオキシメータが必要であった。

パルスオキシメータは動脈血中の酸素飽和度 (SpO₂: Saturation of percutaneous oxygen) と脈拍数を計測できるモニタリング装置である。SpO₂ は動脈血中を流れる赤血球に含まれるヘモグロビンでどの程度 (%) が酸素と結合しているかを調べた値である。心臓からの心拍出量の測定曲線に見られる脈波を利用すれば、血液中の酸素飽和度を測定できる。血液中のヘモグロビンの酸素と赤色光 (波長

660 nm) - 赤外光 (波長940 nm) ではそれぞれの吸収度が違うため、例えば指尖での透過光と反射光を測定・分析することでSpO₂が求められる。ヘモグロビンと多く結合した酸素が多いと、動脈血は赤外光で多く吸収される。そしてこの動脈には拍動 (パルス) があり、この拍動する動脈の血流をメータは検知している。パルスオキシメータで測定される酸素飽和度は97%以上が正常値、90%以下では十分に酸素を末端の臓器に送れなくなった状態で、呼吸不全である可能性が大きくなる。

歴史的には、1930年代、Karl Matthesが赤、青の2波長を用いた光学式メータを作ったが、実用には至らなかった。その後、赤と赤外光によるオキシメータが考えられた。1942年にはAllan Millikanが実用的な耳介型オキシメータを作り、第二次世界大戦でパイロットの飛行中に装着され大活躍をした。しかし、動脈血酸素飽和度 (SaO₂: Arterial oxygen saturation) 測定による吸光度を組織と血液とで区別ができなかったため定量的に十分でなかった。Allan Millikanはハーバード大学を卒業後、ドイツ、イギリスで研究し、オキシメータの開発者といわれる。残念なことに家族と一緒に登山中で起きた滑落事故で亡くなった。なお、Allan Millikanは油滴の実験で電子の電荷の素電荷が $1.6 \times 10^{-19} \text{C}$ (クーロン) であることを決定して1923年にノーベル物理学賞を受賞したRobert Millikanの息子である。

時間が過ぎ、1973年、日本光電工業 (株) の青柳卓雄らは第13回のME学会で、耳介型のパルスオキシメータの開発とその改良についての発表を行った (青柳、1973)。この発表に興味を持った中島進医師は同メータの試作品を作った。同医師 (現旭川市森山メモリアル病院名誉院長) は、札幌市中心部

から離れた定山溪近くの^{みすまい}簾舞にあった結核患者のための国立療養所札幌南病院（現国立北海道医療センター）に勤務していた。当時、北海道大学の応用電気研究所（現電子科学研究所）では呼吸生理研究の世界的大家、望月政司教授が生理部門を主宰していた。中島医師は同部門に試作した耳介型のパルスオキシメータを持ち込み、性能試験と並行して、療養所での患者を対象にして同メータの臨床応用に取り組んだ。その結果を、1975年に世界で初めて発表した（中島、1975）。その後、ミノルタカメラ（現コニカミノルタ）が指尖で酸素濃度を測定するメータを製作し、この指尖型パルスオキシメータについても中島医師はミノルタカメラと共同で臨床の場において性能評価を進めていった（中島、1979）。

長年、アメリカでは、新生児ケア、手術時の麻酔や集中治療時などで、血液中の酸素飽和度のモニタリングの重要性が認識されていたが、十分な機器がなかった。1970年代後半、ミノルタカメラのメータがアメリカに持ち込まれ、まずスタンフォード大学で性能評価がなされ、メータの優秀性が認識され始めた。その結果、臨床の場、医学教育の場にも用いられようになり大きなインパクトを与えた。そしてアメリカでは改良・小型化が図られ、パルスオキシメータに特化したベンチャーによる商品化もなされ、アメリカで爆発的に広がっていった。2007年にはアメリカ食品医薬品局（FDA）はパルスオキシメータを医療認可した。わが国では2014年、日本産業規格（JIS）に認定され、またISO規格も設けられている。

パルスオキシメータの活躍を目にして、カルフォルニア大学の麻酔科のSeveringhaus教授がパルスオキシメータの開発の歴史を調べて報告している（Severinghaus, 1987）。同教授の調べにより、パルスオキシメータの原理の発見は青柳卓雄氏、耳介型および指尖型パルスオキシメータの両方を最初に臨床応用に用いたのは中島進氏であるとされた。Severinghaus教授は論文で次のように述べている。日本光電工業（株）は1975年に初代のメータ（OLV-5100）を市場につぎ込んだが、この装置の改良と商

品化を続けることはなく、外国での特許を取ることもしなかった。この間、外国での特許を取得していたミノルタカメラはパルスオキシメータの改良を進め、1977年には指尖型のパルスオキシメータ（Oximet MET-1471）の商品化をはかった。この間中島医師の臨床試験が重要な役割をはたした。

パルスオキシメータはわが国で研究・開発され、開発直後の臨床への応用も行われ、有効性も報告された。しかし、国内で十分な評価は得られず、普及することもなく時間が過ぎて行った。この間、外国で評価を受け、商品化もなされ、逆輸入されて国内に入ってきた。

今では小型軽量のパルスオキシメータが世界中に普及し、コロナ感染下で活躍したように、病院内で、また救急医療、在宅介護や訪問看護など病院外での使用も増加している。またパルスオキシメータは日常の健康管理にも広く活用されるようになってきている。

パルスオキシメータを話題にする際に、わが国で研究・開発された技術であることを十分知っておくことが重要であろう。



パルスオキシメータ：左はMasimo-SET Rad-5；右はF電子製（Yクリニック所有品より）

参考

1. Severinghaus JW and Honda Y : History of blood gas analysis. VII. Pulse oximetry. J Clin Monit. 3, 135-138 (1987)
2. 青柳卓雄・岸道男・山口一夫・渡辺真一：イヤピースオキシメータの改良。第13回ME学会予稿集。90-91 (1973)
3. 中島進・久世彰彦・青柳卓雄他：新脈波型パルスオキシメータの性能－非観血的連続酸素濃度監視をめざして－。呼吸と循環。23 (8), 41-45 (1975)
4. 中島進・久保良彦・鮫島夏樹他：新脈波型パルスオキシメータ（指先型）の使用経験－術後呼吸不全の動態監視の為に－。外科。41 (1), 57-61 (1979)

電磁界情報センター賛助会入会のご案内

当センターは、センターの活動にご理解を頂ける皆さまの賛助会費によって支えられています。
賛助会員には3つの種別があります。

- | | |
|-------------------|-------------|
| ● 法人特別賛助会員 (1号会員) | 年会費 100万円/口 |
| ● 法人賛助会員 (2号会員) | 年会費 1万円/口 |
| ● 個人賛助会員 (3号会員) | 年会費 3千円/口 |

入会をご希望される方は、センターホームページへアクセス、又は電話/FAXにてお問い合わせ下さい。

電磁界情報センターホームページURL <https://www.jeic-emf.jp/>

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

（ 「JEIC NEWS」 に対してご意見・感想をお寄せ下さい ）

「JEIC NEWS」は、センターの活動報告、国内外の最新情報、電磁界（電磁波）に関する豆知識などの記事を年3回発行しています。読者の皆さまからの本誌に対するご意見・感想をお寄せ下さい。記事としての掲載など誌面づくりに活用させていただきます。

例

- 海外の専門家の記事を紹介してほしい。
- 電磁界（電磁波）に関する技術解説記事が読みたい。
- 電磁界情報センターのセミナーに参加して良かった。（もっと改善してほしい）
- 電磁界（電磁波）の説明や表現をもう少し分かりやすくしてほしい etc.

※掲載にあたり、読みやすさの観点から表現を変更・修正させて頂くことがあります。
※個人への誹謗・中傷に当たる表現は削除させていただきます。

ご投稿は、下記に掲載の連絡先（電話、FAX、E-mailのいずれか）までお願いします。
皆さまの声をお待ちしています。

編集後記

は <八>月に入り猛暑の毎日が続きますが、皆様いかがお過ごしでしょうか？今夏には、世界陸上の開催が予定されており、世界の超人達による限界を極めた戦いを見るのが楽しみです。

な <七>月に、電磁界情報センターに2名の異動がありました。今号では、新たに着任した管理・受託グループの種崎さんと情報調査グループの川辺さんが巻頭言を担当しました。また、専門家の立場から山口先生にMRI（磁気共鳴画像）検査について執筆していただきました。

び <微>力ではありますが、今後は新体制のもと、電磁界の健康影響に関する科学的な情報を分かりやすく提供できるように努めてまいりますので、どうぞよろしくお願いいたします。

Y. K

JEIC NEWS No.67 2023 (令和5)年8月10日発行

編集 電磁界情報センター

発行人 電磁界情報センター所長 大久保千代次

住所 〒105-0014 東京都港区芝2-9-11 3F

連絡先 TEL : 03-5444-2631 FAX : 03-5444-2632 E-mail : jeic@jeic-emf.jp

URL <https://www.jeic-emf.jp/>

