

令和 6 年 4 月 17 日現在

機関番号：51101

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2023

課題番号：19K20469

研究課題名（和文）暮らしに潜む電磁界リスクを正しく理解するためのAR可視化システム

研究課題名（英文）AR visualization system to correctly understand the electromagnetic field risk in our daily life

研究代表者

佐藤 健（Sato, Ken）

八戸工業高等専門学校・その他部局等・准教授

研究者番号：40714712

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：ICTや高速通信が普及するにつれ、私たちの身の回りにおける電磁界からの生体影響に関心が高まっている。電磁界は目に見えないことや直接的な刺激がほぼ感じられないため影響の有無や程度が分かりにくく、不安を引き起こす要因となっている。本研究では空間的な電磁界の分布を機械学習やAR(拡張現実)といった最新の技術を用いることで効果的に可視化し、電磁界リスクの程度をカラーマップやヘッドマウントディスプレイ上に表示することで、誰にでもわかりやすく表示するシステムの開発を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

空間的な電磁界分布を可視化することは、電磁界からの生体影響を正しく理解する上で重要である。本研究では計測した電磁界の強度を生体リスクの国際基準に照らし合わせることでその影響の程度を可視化し、AR技術を用いて効果的に電磁界リスクを理解できるシステムを実現した。このことは今後さらに利用が普及するであろう高周波帯を利用した高速通信による電磁界リスクを考慮する上においても有効であり、利便性と安全性とを両立する社会の実現に大きく貢献する成果である。

研究成果の概要（英文）：With the spread of ICT and high-speed communications, there is growing interest in the biological effects of electromagnetic fields. Because electromagnetic fields are invisible and direct stimuli are almost imperceptible, it is difficult to know whether there is an effect or not and its strength. Therefore, they are a cause of anxiety. In this study, we have developed a system that effectively visualizes the spatial distribution of electromagnetic fields by using the latest technologies such as machine learning and augmented reality (AR). It displays the risks of electromagnetic fields on a color map or head-mounted display so that everyone can understand them.

研究分野：環境電磁工学

キーワード：電磁界分布 生体電磁環境 可視化

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

国際がん研究機構(IARC)が電磁界の発がん可能性を示したことは社会に大きな不安をもたらした。電磁界による生体への影響は、疫学的、工学的なアプローチが数多くなされており、その膨大な結果を基に国際的なガイドラインが定められている。その限界値を越えない範囲においては、健康に何ら悪影響を生じないことがWHOの見解として示されており、日常生活において生体への健康影響は科学的根拠が無いというのが多くの専門家の見解である。しかし近年人々の持つ電磁界への不安は無くならずむしろ増えてさえいるのが現状である。その要因のひとつに電磁界が目に見えないということがあげられる。電磁界を可視化する取り組みは様々行われており、電子レンジやIH調理器周辺の漏洩磁界を測定し、分布をカラーマップで表現した報告例や既に実用化された製品がある。これらの手法は電磁界強度の測定位置をロボットアームや走査台で正確に走査するといった方法が取られているため、測定システムが大掛かりなる傾向があった(情報通信機構他)。また、測定位置をカメラなどにより自動追尾する測定法も提案されているが(ノイズ研究所、森田テックなど)、位置特定の精度が低かったり、測定にオシロスコープやステオカメラなどの専門機材を使用するため、手軽に測定するというニーズには見合っていなかったりという問題があった。そこで筆者らは赤外線カメラ(Wiiリモコン)と自作の赤外線マーカを用いた、「赤外線トラッキングを用いた電磁界分布の可視化とその応用に関する研究」(平成23~25年度科研費・基盤研究(C)課題番号23560319)を精力的に行い、電磁界分布を大雑把に可視化する手法の基礎技術を確立し、電磁界の「見える化」に成功した(特許取得済:特開2012-159479:電磁界分布測定装置)。さらに、測定位置のトラッキングをマーカ無しで行う方法として、ジェスチャ型入力デバイス(Kinect for Windows)を用いた測定法や、AR(拡張現実)技術を利用して電磁界分布を3次元表示する手法の基礎検討を進めてきた。図1にAR技術を用いた蛍光灯周辺の電界分布の測定例を示す。

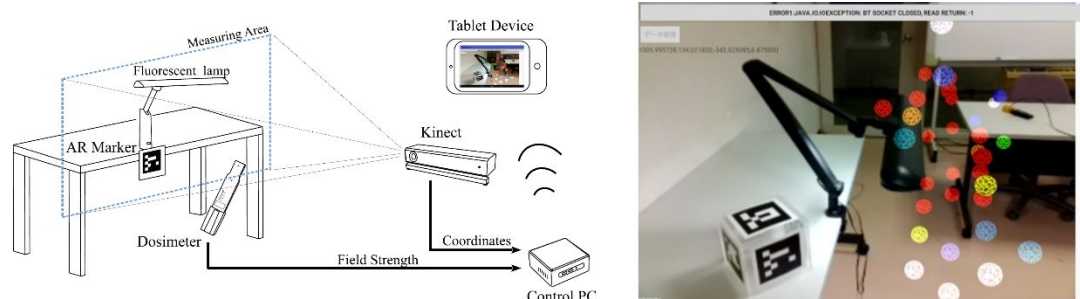


図1 AR技術を用いた蛍光灯周辺の電界分布測定例

しかし、測定に用いる機材は非常に高価であり、学校で理科の教材として使用したり、オール電化住宅において暮らしの中の電磁界を手軽に測定したりする目的には見合わない。そこで、入手しやすい簡易的な測定機器を用いた、誰でも手軽に扱える測定システムの開発が急務である。そのために簡易測定器の測定精度を向上させ、理解しやすい測定結果の表示法を見出し、さらに電磁界の安全性を効果的に理解できる手法を明かにしていくことが必要とされていた。

### 2. 研究の目的

本研究は非専門家でも容易に操作可能な電磁界分布測定法の開発を以下の3点を目的として進めた。

- 空間的な電磁界分布の表示をより簡易的に実現するために、マーカレスAR技術による電磁界強度の表示法を明かにする
- 機械学習により測定器の向きや移動方向などの走査姿勢を取得する手法を新たに確立する
- ヘッドマウントディスプレイを用いたMR表示と可搬性の向上

本研究で開発する測定システムは、オシロスコープや高価な測定器を使用せず、誰でも扱える簡便な装置で測定を実現する点、本来は固定して使用する電磁界測定器を手を持って走査し、かつその向きや移動方向に着目して測定精度の向上を図る点、加えて測定結果を国際的なガイドラインや数値シミュレーションの結果と照らし合わせることで安全基準の裏付けを得たり、波源推定の精度の向上を図ったりする点は従来の測定法には無い非常に独創的なものであり、これらを全て満たした簡便的な測定法は他に類を見ない。また、測定結果をもとに波源位置の推定や人体ばく露シミュレーションとの比較を行うことで、これまで例がなかった私たちの実際の暮らしの中における電磁界リスクを科学的な根拠を持って説明する材料としても活用することができる。また電磁環境や科学教育といったこれまで電磁界問題を取り扱ってきた分野以外にも、住宅設計や環境問題、子育てや衣・住環境などの研究分野にも恩恵をもたらすこと期待される。さらに、近年注目が集まっているBAN(Body Area Network)での利用を想定した微小ダイポールによる人

体への電力吸収の様子を可視化する手法についても研究を進める。微小アンテナから発せられた電磁波が人体へ吸収される様子をモデル化し、電力吸収率として定量化することでアンテナと人体表面との間で必要となる離隔距離を決定するための理論的な根拠を導く。

### 3. 研究の方法

#### (1) マーカレス AR による測定法

AR マーカの代わりに測定対象の IH 調理器や磁界測定器をマーカとして利用することでマーカレス AR を実現する。測定システムは「測定部」と「表示部」で構成される。測定部では磁界強度の値と測定位置の取得を行う。磁界強度は低周波磁界メータを用いて取得しシリアル通信で制御用 PC へ送られる。磁界メータのプロープ部分を深度カメラでトラッキングし測定位置の 3 次元座標を取得する。測定部で得られたこれらの値は websocket を利用して表示部のタブレットにリアルタイムに送信される。表示部では受け取った値を用いて磁界強度を表す球状のオブジェクトを AR 表示する。開発には Unity を使い AR エンジンには Vuforia を用いた。AR 表示に利用するマーカ画像として IH 調理器の焦げ付き防止カバーと測定機の操作パネルの 2 種類の画像を用意した。

#### (2) 機械学習による測定位置の推定法

簡易型電磁界メータの検出を機械学習によって行う。物体検出には Yolo v3 を用いた。様々な角度から事前に撮影した電磁界メータの画像を学習することで、測定位置を検出し電磁界分布を生成する。簡易型メータは測定を行う際に走査する向き(姿勢)によって測定値に誤差が生じるため、測定器の向きを検出することで測定値を補正する。

#### (3) ヘッドマウントディスプレイを用いた MR 表示と可搬性の向上

複合現実(Mixed Reality: MR)は仮想空間での操作を実空間に反映する技術である。ヘッドマウントディスプレイ型の MR デバイスを用いることで電磁界分布をより効果的に表示する。測定や制御用にノート PC で行っていた処理をヘッドマウントディスプレイ内蔵の組み込み OS によって行うことで可搬性をさらに向上させる。

#### (4) 人体表面への電力吸収率の解析

人体近傍の置かれた微小アンテナからの電磁波が人体に吸収される様子を解析する。理論式による計算ではアンテナが人体に近づくと電力吸収率は 100 % に近づく様子が見られた。これを計算機シミュレーションで検証する。人体を模擬した皮膚モデルを構築し、アンテナから人体に向かう電磁界を FDTD 法によるシミュレーションで求める。得られた電界と磁界の値から電力(ポインティングベクトル)を算出し、人体へ向う側の電力の比から電力吸収率を求める。

### 4. 研究成果

- (1) 図 2 にマーカレス AR による IH 調理器周辺の磁界分布可視化システムの様子を示す。磁界測定器の黄色のプロープを追従しながら、磁界強度を色つきのオブジェクトとして表示できているのが確認できる。空間中のオブジェクトは同じ場所にとどまるため、視点を変えることにより空間的な分布を確認することができる。測定結果は websocket により複数の端末で同時に受信することができるため、同時に複数の観測者が測定結果を確認することが可能になっている。

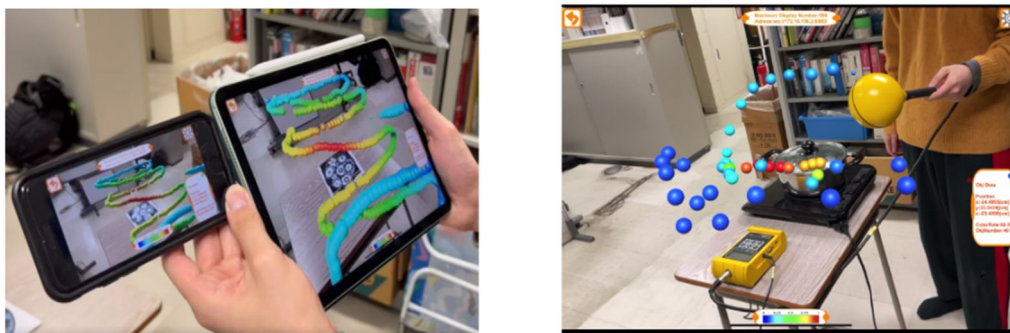


図 2 マーカレス AR による IH 調理器周辺の磁界分布測定例

- (2) 図 3 に Yolo v3 により磁界メータを検出し、磁界分布を生成した例をあげる。磁界メータの表面、背面、回転させた場合など複数の「姿勢」を学習し、手に持った磁界メータをリアルタイムに検出することで測定位置を同定し、磁界分布を生成することができた。しかしメータの検出から磁界分布の生成までは多くのコンピュータリソースを消費するため、現時点で

はシステムの小型化の課題が残った。

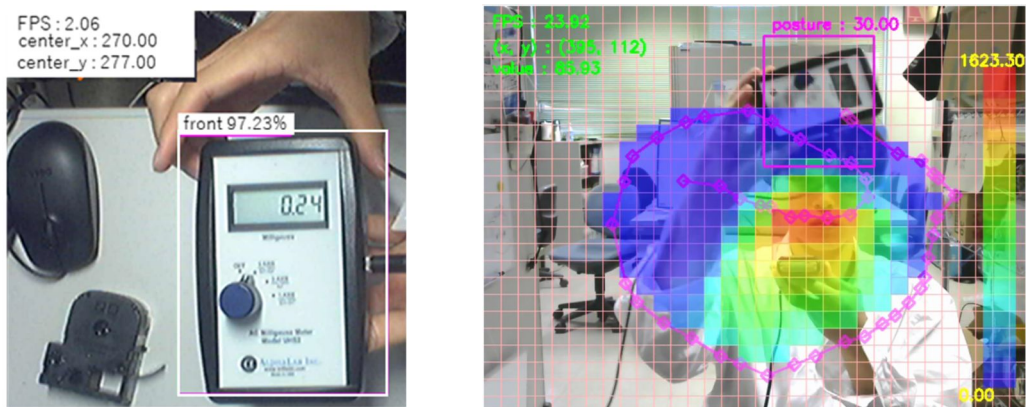


図3 Yolo v3 による磁界メータの検出

- (3) 図4にヘッドマウントディスプレイを用いたMR表示による電界分布測定例を示す。ヘッドマウントディスプレイはMicrosoft社のHololens2を用いた。この例では測定の開始やオブジェクトの表示非表示を指の動作によって制御できるよう改良しさらに可搬性を高めた。指先の位置をハンドトラッキング機能で追従し、電磁界メータのセンサー部を指先と重なるように持つことで安定した測定が可能になった。

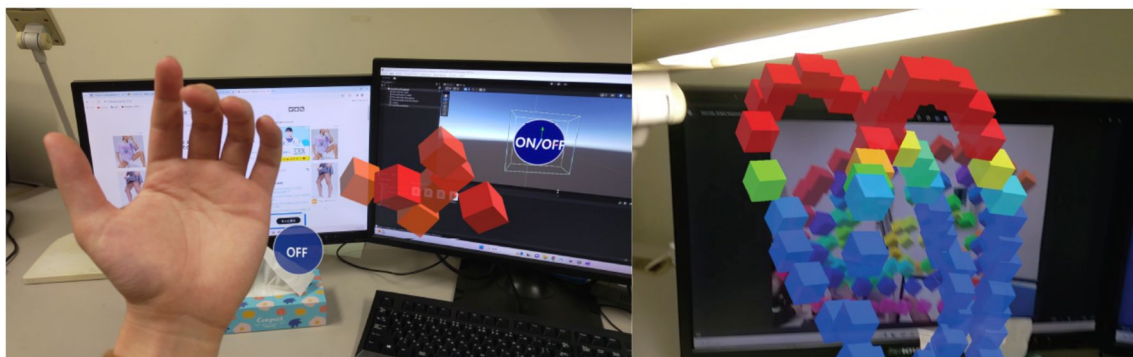


図4 ヘッドマウントディスプレイによるMR表示

- (4) 図4に微小アンテナから放射される電磁波の吸収率計算モデルと計算例を示す。微小アンテナから人体へ向かう吸収電力と反対方向へ向かう放射電力との比から電力吸収率を算出し評価した。右図にアンテナの離隔距離と電力吸収率との関係を示す。理論式から得られた電力吸収率と、FDTD法によって算出した電力吸収率とがよく一致する様子が確認できた。このモデルを用いることで実用アンテナを人体へどれだけ近づければ電力吸収率を抑えられるかの理論的な根拠を得ることができる。

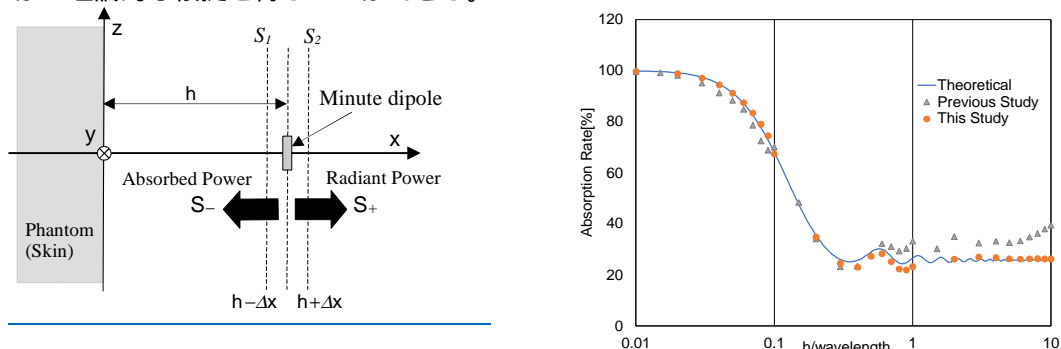


図5 微小アンテナによる電力吸収率の計算モデル

以上より様々な可視化技術やVR技術を用いて身の周りの電磁界分布をわかりやすく表示し、その生体リスクを正しく理解するシステムの開発を行った。今後は操作性を向上させ、より使いやすいシステムの開発が望まれる。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Ken Sato, Yoshitsugu Kamimura	4. 巻 vol.2 No.1
2. 論文標題 A Real-time Visualization of Electromagnetic Field Distribution with Marker-less Augmented Reality	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Transactions On Electromagnetic Spectrum	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.5281/zenodo.7699860	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Ken Sato, Kenta Someya, Chongsengchang Khamneexay, and Yoshitsugu Kamimura	4. 巻 4
2. 論文標題 Distance Characteristics of Power Absorption Ratio in a Semi-Infinite Flat Plate Model Using Sommerfeld Theory	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 URSI RADIO SCIENCE LETTERS	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.46620/22-0051	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 佐藤健, 上村佳嗣	4. 巻 7
2. 論文標題 EMCに生きる電磁界の計測と可視化	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 電磁環境工学情報EMC	6. 最初と最後の頁 60-67
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計11件（うち招待講演 2件/うち国際学会 6件）

1. 発表者名 Ken Sato, Yoshitsugu Kamimura
2. 発表標題 Distance Characteristics of Power Absorption Ratio of the Skin Based on Sommerfeld's Theory
3. 学会等名 Global EMC Conference GEMCCon 2023（国際学会）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Ken Sato, Gen Otomo, Yoshitsugu Kamimura
2. 発表標題 A Real-time Visualization of Electromagnetic Field Distribution with Marker-less Augmented Reality
3. 学会等名 Interdisciplinary Conference on Mechanics, Computers and Electrics ICMECE 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ken Sato, Yoshitsugu Kamimura
2. 発表標題 Dependence of Millimeter-wave Power Absorption in a 3-layer Half-space Model
3. 学会等名 URSI-Japan Radio Science Meeting (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐藤健, 大友玄, 上村佳嗣
2. 発表標題 マーカレスARを用いた電磁界分布のリアルタイム可視化
3. 学会等名 電気関係学会東北支部連合大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高橋駿平, 佐藤健
2. 発表標題 交流式電気シェーバのリアルタイム波源推定法
3. 学会等名 電気関係学会東北支部連合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 三浦拓弥, 佐藤 健, 細川 靖
2. 発表標題 機械学習を用いた簡易電磁界メータによる電磁界分布の可視化
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ken Sato, Takumi Miura, Yoshitsugu Kamimura
2. 発表標題 Detection and Correction of Scanning Attitude of EMF Meter using Machine Learning
3. 学会等名 ASIA PACIFIC INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐藤健, 三浦拓弥
2. 発表標題 機械学習を用いた簡易電磁界メータの走査姿勢による補正法
3. 学会等名 電気関係学会東北支部連合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐藤健, 上村佳嗣
2. 発表標題 身の回りの電磁界分布の可視化技術
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 SATO Ken、KAMIMURA Yoshitsugu
2. 発表標題 A Simple Measurement Method of Electromagnetic Field Distribution using Machine-Learning
3. 学会等名 2020 International Symposium on Electromagnetic Compatibility - EMC EUROPE (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Ken Sato, Yoshitsugu Kamimura
2. 発表標題 Magnetic Field Measurement of Electronic Article Surveillance
3. 学会等名 2019 URSI-Japan Radio Science Meeting, Tokyo (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関