

## 簡易型筋電義手システムの近傍磁界ノイズ測定

Measurement of Near Magnetic Field Noise in Simplified Myoelectric Prosthetic Hand System

○小柳駿介\*, 萱野良樹\*\*, 田中元志\*

○Shunsuke Koyanagi\*, Yoshiki Kayano\*\*, Motoshi Tanaka\*

\*秋田大学大学院理工学研究科, \*\*電気通信大学大学院情報理工学研究科

\*Graduate School of Engineering Science, Akita University

\*\*Graduate School of Informatics and Engineering, The University of Electro-Communications

キーワード：筋電義手(Myoelectric Prosthetic Hand), 近傍磁界(Near Magnetic Field),  
ノイズ(Noise), 電磁環境両立性(Electromagnetic Compatibility)

連絡先：〒010-8502 秋田市手形学園町 1-1

秋田大学 大学院理工学研究科数理・電気電子情報学専攻 電子応用研究室

小柳駿介, Tel : 018-889-2492, Fax : 018-835-4651, E-mail : koyanagi@venus.ee.akita-u.ac.jp

### 1. はじめに

現在, コンピュータや携帯電話などの電子機器は急速に普及し, 人体に身に着けて使用する機器(ウェアラブル機器)が増えてきている。ウェアラブル機器は, 一般的に, 生体情報を検出するセンサ, その信号を処理するマイクロコンピュータ(マイコン)等で構成される電子機器を指す<sup>1)</sup>。2013年度の出荷台数は40万台であり, 2020年度には600万台を超えると推測されており, 市場は拡大傾向であり需要が増大している<sup>2)</sup>。ウェアラブル機器では, 微小な生体信号(例えば, 数mVの筋電位)を検出し, 必要な振幅(数V)に増幅してマイコンで処理される。そのため, センサ部にノイズが混入・

重畳した場合, ノイズも増幅され, 誤動作の原因になる可能性が考えられる。また, マイコン部に混入・発生したノイズが導伝して生体信号に, さらに人体にも影響を与える場合が考えられる。

近年, 手を動かしたときの脳からの指令で反応する腕の筋電信号を用いて, 手の機能再現する筋電義手システムの検討が行われている<sup>3)</sup>。主に, 筋電位計測(センサ)部, 信号処理(マイコン)部, 指駆動(モータ)部で構成され, 筋電位とその波形, スペクトル等によって制御される<sup>4)</sup>。このようなシステムではアナログ信号とデジタル信号が混在し, 各部のみでは問題ない程度のノイズの場合でも他部に影響を及ぼす可能性が考えられる。特に, 人体に常時

身に着けて使用するため、ノイズによる誤動作を起こさないようにしなければならない。つまり、ノイズを出さない、ノイズを受けない、かつ高ノイズイミュニティな性能が求められ、機器の電磁環境両立性（Electromagnetic Compatibility: EMC）を考えなければならない<sup>5)</sup>。

従来のウェアラブル機器のEMCに関する研究では、個別部品単体のノイズ評価<sup>6)</sup>、国際規格（CISPR, IEC）に基づくImmunity試験における測定方法などの検討が行われてきている<sup>7,8)</sup>。一方、低ノイズウェアラブル機器の開発のためには、システムとしてのノイズ発生メカニズムを把握しておく必要がある。そこで、装着時に人体近傍となることから、システム近傍の電磁環境を測定することが考えられる。

本研究では、これまでに研究用に試作されている簡易型筋電義手システム<sup>3)</sup>を例として、手の動作時のモータ部、マイコン部における近傍磁界ノイズの測定を行い、システム内で発生するノイズとその要因を検討した。

## 2. 簡易型筋電義手システムの構成

測定に用いた筋電義手システムは、低自由度でありながら、最低限の日常生活動作を満たす機能を持つ。本システムの構成を Fig. 1 に示す。親指用と4指（固定）用の直流サーボモータ2個で構成されるモータ部、マイクロコンピュータ（クロック 20 MHz）と通信用モジュール（Bluetooth, 2.4 GHz）で構成されるマイコン部、センサとオペアンプなどで構成されるセンサ部に分けられる。モータ部とマイコン部はフォトカプラによって電氣的に絶縁される。なお、筋電位は約 100 倍に増幅され、処理される。

本システムにおけるノイズの発生源として、モータ、DC/DC コンバータ等の電源回路、CPU、通信モジュールが考えられる。そこで、これらの部品近傍において磁界測定を行った。

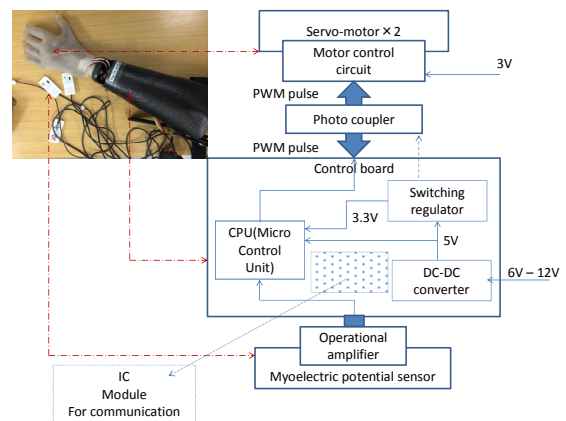


Fig. 1 Block diagram of the simplified myoelectric prosthetic hand system<sup>9)</sup>.

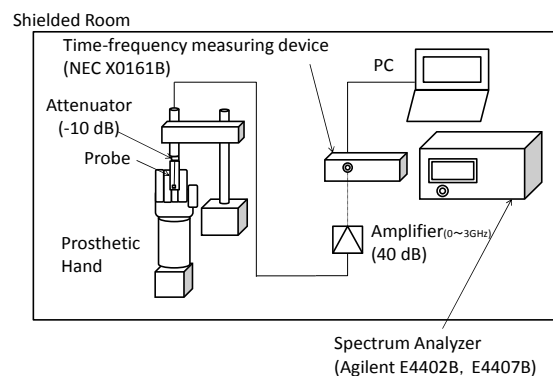


Fig. 2 Setup for near magnetic field measurement.

## 3. 筋電義手動作時の近傍磁界測定

筋電義手を動作させたときに発生する電磁ノイズを調べるため、モータ上で近傍磁界測定を行った。

### 3.1 近傍磁界ノイズの時間-周波数測定

Fig. 2 に示すように、シールドルーム内に筋電義手システムを配置し、磁界プローブと時間-周波数測定装置（NEC X0161B）を用いて測定した。測定周波数範囲を 100~200 MHz、測定時間を 5 s とした。磁界プローブには、ループ面積  $9.2 \times 9.2 \text{ mm}^2$  の Shielded Loop Probe (SLP) を用いた。

親指用モータの直上に SLP を配置し、握り動作、開き動作を繰り返したときの近傍磁界測定結果（時間-周波数特性）を Fig. 3 に示す。開いた状態から握った状態、握った状態から開

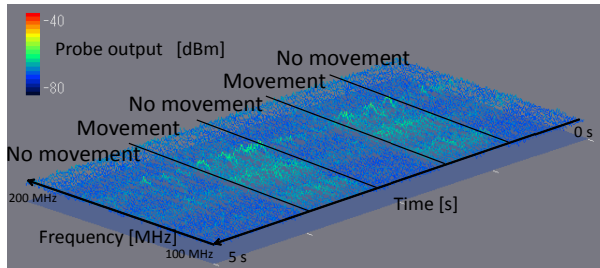


Fig. 3 Time-frequency characteristics of the motor of the myoelectric Prosthetic hand

いた状態への動作移行時に磁界強度が増加しており、ノイズが発生していることが確認できる。一方、握ったままの状態、および開いたままの状態では、磁界の変化は見られず、背景ノイズと同程度の磁界強度であった。

これらの結果から、握り動作中、開き動作中に電磁ノイズを発生する可能性が考えられる。

### 3.2 モータ直上の近傍磁界ノイズ測定

モータ作動時の近傍磁界ノイズを各モータ直上で測定し、動作による違いを比較した。

#### 3.2.1 近傍磁界の測定方法

Fig. 2 に示すように、シールドルーム内に筋電義手システムと磁界プローブ SLP を配置し、スペクトルアナライザ Agilent E4402B (0~3 GHz) と Agilent E4407B (2~10 GHz) を用いて測定した。

モータと SLP 先端の間隔を 1 mm とし、握り動作と開き動作を交互に 1 分間繰り返したときの最大磁界強度を測定した。なお、モータの回転軸に対して、SLP を直交に配置した場合と平行に配置した場合について測定を行った。

#### 3.2.2 モータ直上の近傍磁界ノイズ

動作中の親指用モータと 4 指用モータの直上の近傍磁界の測定結果の例をそれぞれ Fig. 4, 5 に示す。これらは、両モータとも同時に動作している場合の結果である。なお、測定対象のモータのみを動作させた場合も同様の結果であり、ここでは省略する。縦軸は、1.8 GHz 以上で SLP のアンテナファクタが求められてい

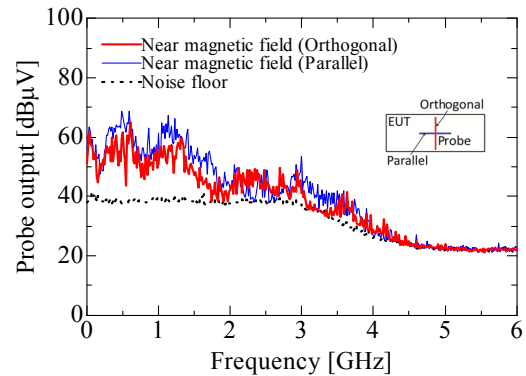


Fig. 4 Near magnetic field above thumb motor.

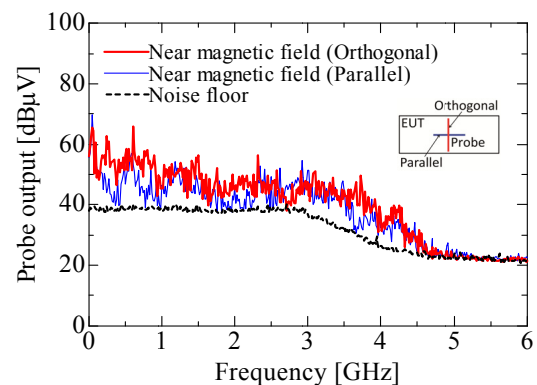


Fig. 5 Near magnetic field above 4-finger motor.

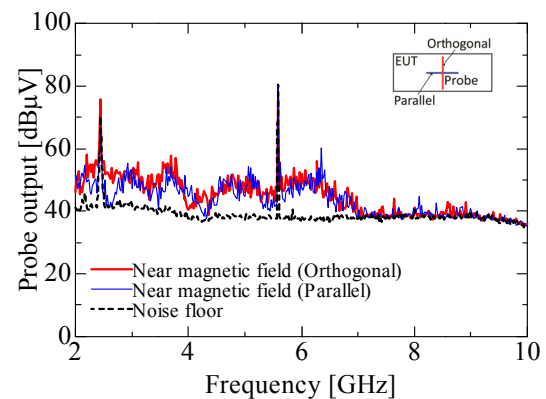


Fig. 6 Near magnetic field above thumb motor in the case with 2-20 GHz amplifier out of shielded room.

ないため、プローブ出力値 (測定値) を示した。また、帯域が 3 GHz までのアンプを使用したため、3 GHz 以上で全体的に減衰している。

親指用および 4 指用モータ上共に、背景ノイズ (無動作時) と比較して磁界強度は 30 dB 程

度増加しており、3 GHz 以上にも磁界ノイズが発生している。帯域 2~10 GHz のアンプを用いて再測定した結果の例（親指用モータ直上）を Fig. 6 に示す。シールドルーム外で測定したため、背景ノイズに無線 LAN の信号（2.4, 5.6 GHz）が見られる。約 7 GHz まで、背景ノイズと比較して 20 dB 程度増加しているのが確認できる。ノイズの小さいモータの使用が示唆される。

#### 4. マイコン近傍の磁界ノイズ測定

CPU, および通信モジュール (IC module) 近傍での磁界ノイズを測定した。

##### 4.1 測定方法

シールドルーム内で、CPU 直上と通信用 IC 直上 1 mm に SLP を配置し、近傍磁界ノイズを測定した。基本的な測定系は第 3.2 節 (Fig. 2) と同じである。スペクトラムアナライザ Agilent E4402B (0~3 GHz) と Agilent E4407B (2~10 GHz) を用い、それぞれの帯域に対応したアンプを用いた。また、筐体長辺に対して、SLP を直交に配置した場合と平行に配置した場合について測定を行った。

##### 4.2 CPU および通信用 IC 直上の近傍磁界ノイズ

CPU 直上と通信用 IC 直上での近傍磁界ノイズの測定結果をそれぞれ Fig. 7, 8 に示す。3 GHz における不連続は、測定器を切り替えたためである。CPU 直上では、約 1.5 GHz まで、近傍磁界が背景ノイズと比較して 10~30 dB 増加している。電源コネクタ上での 1.2 GHz まで予備測定<sup>9)</sup>の結果から、この周波数帯の磁界ノイズは DC/DC コンバータ等電源系および CPU の高調波によるものと考えられる。また、1.6, 2.4 GHz において近傍磁界の増加が見られた。通信用 IC 直上では、0.5 GHz 以下で近傍磁界が背景ノイズと比較して 10~20 dB 増加しており、電源系のノイズによるものと考えられる。また、約 1.6, 2.4, 6.5, 9.7 GHz におい

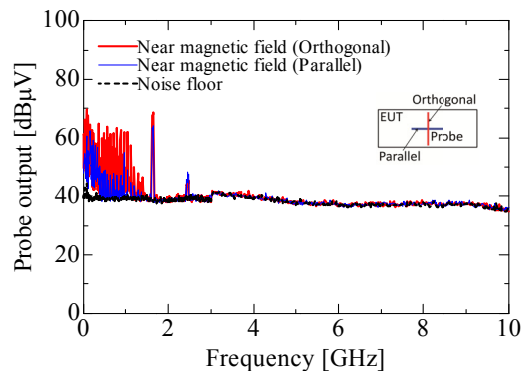


Fig.7 Near magnetic field above the CPU

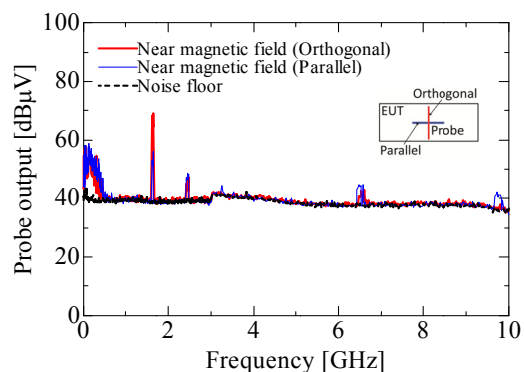


Fig.8 Near magnetic field above the IC.

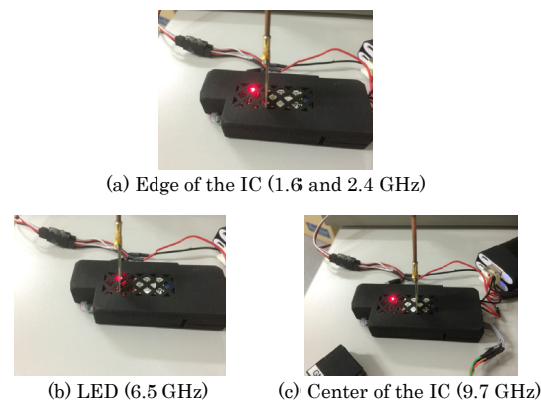
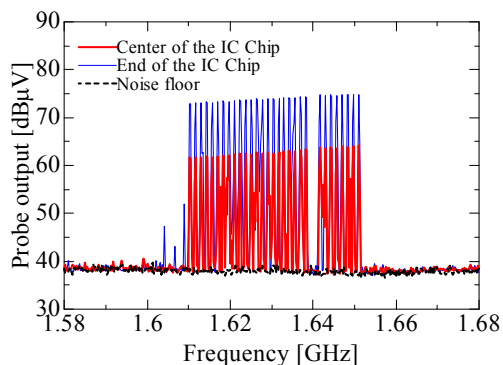


Fig.9 Probe positions during the maximum near magnetic field measurements for each frequency.

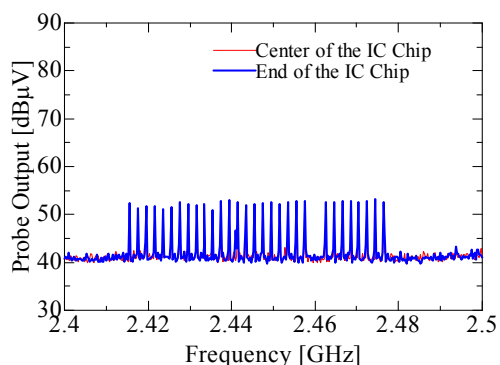
ても近傍磁界の増加が見られた。

##### 5.3 磁界変化が見られた規則的な周波数に関する検討

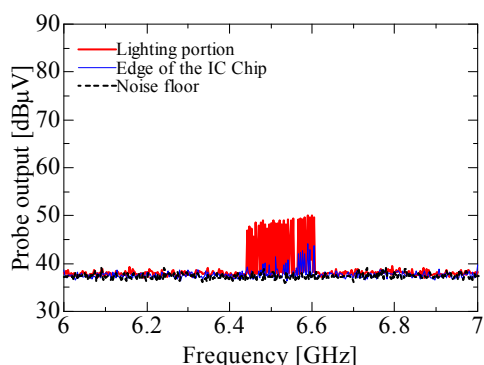
CPU および通信 Module 直上で磁界強度に増加が見られた 1.6, 2.4, 6.5, 9.7 GHz 周辺について、通信用 IC 周辺上の近傍磁界を詳細に測定した。各周波数帯で、近傍磁界が最大となっ



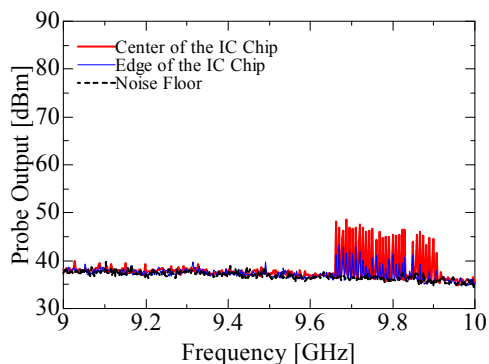
(a) 1.6 GHz



(b) 2.4 GHz



(c) 6.5 GHz



(d) 9.7 GHz

Fig.10 Near magnetic field spectra in four frequency ranges related to Bluetooth signal.

Table.1 Increment of the near magnetic field relative to the noise floor at each probe position.

	Motor	CPU	IC for Bluetooth
~1GHz	10~30 dB	30 dB	25 dB (~0.5 GHz)
1GHz ~3 GHz	10~30 dB	1.5 GHz, 25 dB	35 dB (1.6 GHz)
3GHz ~7 GHz	10~20 dB	No increase	10 dB (6.5 GHz)
7GHz ~10 GHz	5 dB	No increase	10 dB (9.8 GHz)

た部位を Fig.9 に示す. 1.6, 2.4 GHz では IC チップ端(a), 6.5 GHz では動作表示用 LED 周辺(b), 9.7GHz では通信用 IC 中央(c)であった. また, それぞれの部位での近傍磁界の測定結果を Fig. 10(a)~(d)に示す. 各周波数帯で磁界の増加が見られない周波数は 1.64, 2.46, 6.56, 9.84 GHz であり, これらの周波数は全て 0.82 GHz の整数倍であった. 周波数帯幅も同様に整数倍となっており, Bluetooth の通信に関連する信号とその影響が現れていると考えられる.

## 5. 周波数帯域毎の近傍磁界ノイズの整理と検討

近傍磁界ノイズの測定結果について, 部位毎と周波数帯域別にまとめたものを Table.1 に示す. 1 GHz 以下, 特に 0.5 GHz 以下では, CPU 直上および通信用 IC 直上において近傍磁界が背景ノイズと比較して 25~30 dB 大きい. これらのノイズの増加は, CPU の高調波や電源系, 通信モジュールの回路動作および配線が関係していると考えられる. モータ動作中の近傍磁界ノイズは, 1~7 GHz では背景ノイズと比較して 10~30 dB 大きく, 9 GHz 付近まで観測された. 1.6, 2.4, 6.5, 9.7 GHz の狭帯域においては, 近傍磁界が背景ノイズと比較して 10~35 dB 増加した. これらの周波数は, 携帯電話や無線 LAN などの通信で使用される周波

数帯（800 MHz, 2.4, 5 GHz 等）と重なっており、対策が必要と考えられる。また、本測定で用いた簡易型筋電義手では、ブラシモータが使用されていた。ノイズの発生が小さいと言われているブラシレスモータに変更することが提案される。

## 6. おわりに

低ノイズなウェアラブル機器のための一検討として、これまでに試作された簡易型筋電義手システムを例として、手の動作時のモータ部、マイコン部における近傍磁界ノイズの測定を行い、システム内で発生するノイズに関する検討を行った。その結果、低周波帯（1 GHz 以下）では電源系や CPU の高調波が、1~7 GHz では動作中のモータがノイズの要因であることが示唆された。今後の課題として、遠方電界の測定、ヒトが装着時のノイズ測定、これらの結果を基にした低ノイズ化の検討、などが挙げられる。

**謝辞** 測定で用いた簡易型筋電義手システムを御提供頂いた電気通信大学横井研究室ならびに産学官連携センターギガビット研究会に感謝する。

## 参考文献

- 1) 総務省：“平成 27 年度版 情報通信白書”，pp.175-183, 2015
- 2) 株式会社三菱総合研究所：“2020 年代に向けた電波関連産業の動向について”，電波政策ビジョン懇談会資料，pp.2-21, 2014
- 3) 星川他：“基本把持機能を有する簡易型筋電義手の開発と評価”，知能と情報（日本知能情報ファジィ学会誌），Vol.27, No.6, pp.885-897, 2015
- 4) 福田他：“生 EMG 信号による電動義手の制御”，計測自動制御学会論文集，Vol.40, No.11, pp.1124-1131, 2004
- 5) ヘンリー W. オットー：“詳解 EMC 工学実践ノイズ低減技法”，東京電機大学出版局，pp.1-4, 2013
- 6) 萱野他：“筋電義手からの放射量評価法の検討”，電気通信大学産学官連携センターギガビット研究会 筋電義手分科会第 4 回研究会資料，2015
- 7) 佐藤他：“ウェアラブルデバイスのイミュニティ試験時に用いる疑似生体信号発生器の構築”，電子情報通信学会和文論文誌 B, Vol.J99-B, No.3, pp.190-192, 2016
- 8) 浅田：“生活支援ロボットの安全とイミュニティ評価”，月刊 EMC, No.325, pp.135-151, 2015
- 9) 藤原：“シンポジウム分科会 活動状況と今後の取り組み”，ギガビット研究会第 8 回シンポジウム資料，2015