

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 6 月 4 日現在

機関番号：12605

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2014

課題番号：26630034

研究課題名(和文) パワーアシストスーツのためのBMIセンサーの開発

研究課題名(英文) Development of Brain Machine Interface sensor for Power Assist suits

## 研究代表者

遠山 茂樹 (TOYAMA, SHIGEKI)

東京農工大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：20143381

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は独自に開発した糖度センサーを利用して脳の糖の分布を調べるものである。まず、脳を模したモデルに糖分を含む液を細いパイプを通した装置を作成した。次に外部よりLED光を当て、反射光より吸光度を求めた。この実験結果より、吸光度法により糖の濃度を検出できる可能性を示すことが出来た。さらに詳細に検討するため、モンテカルロ法を用いた脳の計算モデルを開発し、光伝搬経路を求めた。これより糖度センサーを用いて脳の糖の分布を測定する可能性を示すことができた。

研究成果の概要(英文)： We have investigated distribution of the sugar of the brain, by use of the sugar sensor originally developed. First, we have developed brain model with the liquid tube including aqueous solution of sugar. Next, we have applied LED light to it to obtain absorbency from reflected light. It shows the possibility where it can detect the density of the sugar from this experimental result. Furthermore in order to examine in detail, we have developed the compute model of the brain by use of the Monte Carlo analysis and obtained optical propagation path. We have succeeded in showing possibility of measuring the distribution of sugar of brain by our sensor.

研究分野：ロボット工学

キーワード：センサー ロボット

### 1. 研究開始当初の背景

近年、日本の高齢化が進み総人口に占める 65 歳以上の高齢者の割合は 25% となっている。農業従事者については 2014 年時点で高齢者が 60% 以上を占めている。また、農作業には中腰姿勢の維持や収穫物の運搬といった重労働が多く存在し、大きな負担となっている。しかし、ブドウ等の棚作物の管理作業についてはトラクタやコンバインといった農業機械の導入が難しく、その多くが人の手によって行われているという現状である。

このような問題の解決策として、我々は図 1 に示す人間が装着することで動作を補助する農作業パワーアシストスーツ (PAS) を提案した。PAS は関節部のクラッチ機構による姿勢保持やモータによる重量物の持ち上げ動作の補助を行うことで装着者の農作業時の身体的負担を軽減することを目標としている。現在、PAS のモータ制御には筋電位の測定、あるいは音声による指令を用いているが、人の複雑な動きを補助する際には、これらのセンサでは装着者の細かい意図を反映することは極めて難しい。

そこで、本研究ではヒトの脳の活動をセンシングすることで PAS をより自由に駆動でき現場で利用可能な軽量小型ブレインマシンインターフェース (BMI) を開発することを目標とする。



Fig. 1 Power assist suit.

### 2. 研究の目的

本研究では、パワーアシストスーツ用の軽量な BMI (Brain Machine Interface) の開発を行う。これは活動している脳細胞が大量の糖を消費することに注目したセンサであり、皮質の糖濃度を測定することで、脳の活動を測定するものである。LED と受光素子を用いたコンパクトな構造でありながら、短時間で運動野の糖度 (あるいはヘモグロビン濃度) を測ることができることが特徴である。従来利用されている光トモグラフィーや fMRI に比べると、遙かに小さくできるため、パワーアシストスーツの制御には最適である。

### 3. 研究の方法

これまでに試作した LED センサを用いて脳の糖 (あるいはヘモグロビン濃度) の分布を調べる。まず、基礎実験として血液を模したグルコースとアルブミンを含む液体に近赤外光を当てて吸光度を求める。グルコースに吸収される周波数を求め、LED センサに用いる LED の周波数を決める。この後、これらのデータをもとにコンピュータ上で脳モデルをつくり、LED からの光の伝搬のシミュレーションを行う。これより、脳の活動を測定するには、センサの位置と強度を決めることができる。

### 4. 研究成果

図 2 に模式図を示す。近赤外光 (700 ~ 1400 nm) が生体組織に対して高い透過性を持つ (皮膚や骨をよく透過する)。図 3 に示すように血液中に含まれる糖および酸化ヘモグ

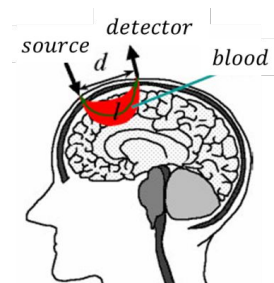


Fig. 2 Schematic diagram of NIRS.

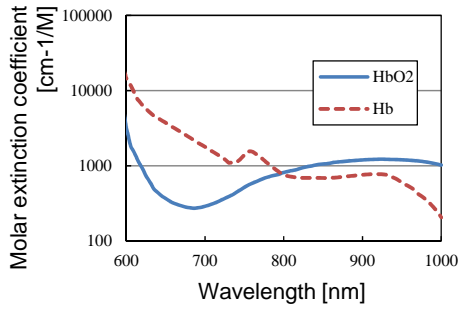


Fig. 3 Molar extinction coefficient of HbO2 and Hb.

ロピンと還元ヘモグロビンの吸収スペクトルは近赤外領域において異なっている。これらの特性を利用して、2種類以上の波長の近赤外光を入射して生体を透過させてから検出することで、以下の式(1)で示す拡張 Lambert-Beer 則から、血液中の糖および、酸化ヘモグロビンと還元ヘモグロビンの濃度の計測を行う。

$$A(\lambda) = \sum_i^n \varepsilon_i(\lambda) C_i l(\lambda) + G(\lambda) \quad (1)$$

$n$  種類の吸光物質を含む物体について、 $\varepsilon$  は物質のモル吸光係数、 $C$  は物質のモル濃度、 $l$  は平均光路長、 $G$  は散乱による減衰を表し、これらから全体の減衰率  $A$  が決定される。また  $A$ 、 $\varepsilon$ 、 $l$ 、 $G$  は入射光の波長  $\lambda$  に依存する。

脳が活動する際に、活動している神経細胞の糖、および周辺の血管の酸化ヘモグロビン濃度が上昇する現象が報告されているため、NIRS により血液中の糖、酸化ヘモグロビン濃度の変化を見ることで、脳の活動を計測することが可能であると考えられる。

NIRS による生体計測の問題点として、生体組織が強い散乱を有することが挙げられる。脳計測でも、頭部に入射した近赤外光は多重散乱されて伝播する。また、頭部は頭皮、頭蓋骨、脳などの複数の組織で構成される不均質な媒質であり、入射光の伝播経路を実測で求めることは難しい。しかし、生体組織の光学特性値を用いて頭部のモデルを構築してシミュレーションすることにより入射光の伝播経路（平均光路長、散乱による減衰）

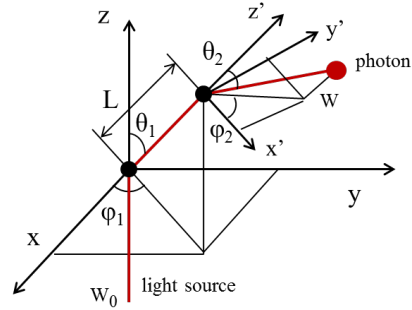


Fig. 4 Photon scattering process.

を推定することが可能である。

本研究では、NIRS による脳活動計測センサの設計の指針として、頭部のモデルに対してモンテカルロ法による光伝播のシミュレーションを行うことで、入射光の平均光路長を推定した。

モンテカルロシミュレーションは、乱数を用いたシミュレーションの総称であり、解析的に解くのが難しい問題についても十分な試行回数を取ることで近似的に評価することができる。光伝播のモンテカルロシミュレーションでは、光を光子の集まりと考えてその一つ一つの軌跡を追跡する手法を取る。図4に示すように光子は散乱体と衝突しながら生体組織内を進んでいく。散乱と吸収の過程は Wilson ら に従い以下のように設定する。

生体内で散乱された光子が次に散乱されるまでに直進する距離  $L$  は散乱係数  $\mu_s$ 、乱数  $R(0 < R < 1)$  を用いて以下の式(2)で決定する。

$$L = \frac{\ln R}{\mu_s} \quad (2)$$

光子に強度を意味する重み  $W_0$  を持たせて、組織内を伝播した距離  $L$  の総和  $l$  とその吸収係数  $\mu_a$  から以下の式(3)のように吸収による強度の減衰の計算を行う。

$$W = W_0 \exp(-\mu_a l) \quad (3)$$

散乱による光子の伝播方向は図4のように偏角  $\theta$  と  $\varphi$  を用いて表現する。 $\theta$  は乱数  $R(0 < R < 1)$  と異方性散乱パラメータ  $g$  を用いて、Heney-Greenstein 関数に基づいて式(4)のように計算し、 $\varphi$  は乱数  $R(0 < R < 1)$  を用

いて式(5)のように計算する。

$$\theta = \cos^{-1} \left[ \frac{1}{2g} \left\{ 1 + g^2 - \left( \frac{1 - g^2}{1 + g - 2gR} \right)^2 \right\} \right] \quad (4)$$

$$\varphi = 2\pi R \quad (5)$$

図5に仮定したシミュレーションモデルを示す。頭皮と頭蓋骨を表す厚み  $a = 25$  mm の上層と脳組織を表す下層に対して、波長  $\lambda = 800$  nm の点光源を入射し、距離  $d$  離れた点で  $\phi 20$  mm の検出器により検出するものとした。生体内全体の  $g = 0.9$ 、波長 800 nm に対する頭皮と頭蓋骨を表す上層の吸収係数を  $0.017$   $\text{mm}^{-1}$ 、散乱係数を  $17.5$   $\text{mm}^{-1}$ 、脳組織を表す下層の吸収係数を  $0.036$   $\text{mm}^{-1}$ 、散乱係数を  $22.0$

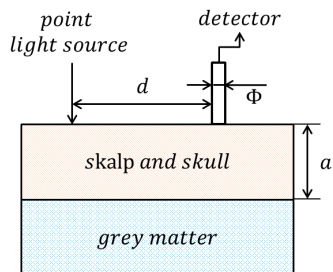


Fig. 5 Simulation model.

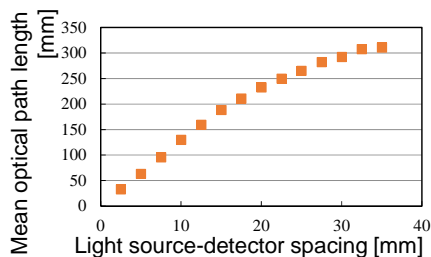


Fig. 6 Mean optical path length as function of source-detector spacing calculated by Monte Carlo method.

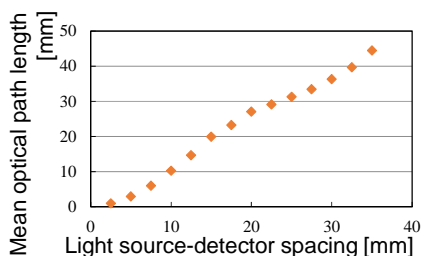


Fig. 7 Mean optical path length in grey matter as function of source-detector spacing calculated by Monte Carlo method.

$\text{mm}^{-1}$  として光子が上層から出る。または層内で  $W$  が初期値の千分の一になるまで計算を繰り返した。入射光子数は 10,000,000 個とした。

図6に光源 - 検出器間の距離  $d$  を変えたときの検出光の全体の平均光路長を図7に脳組織部分における平均光路長を示す。図6からヒトの頭部に入射した近赤外光は検出されるまでに光源 - 検出器間隔  $d$  の10倍程度の距離を伝播していると推定される。近赤外光を用いた脳計測では光源 - 検出器間の距離は30 mm程度に設定されることが多く図7からこの距離で検出光が脳組織を通っていることが推定できる。

PAS 制御用ブレインマシンインターフェースに、NIRS による脳計測を利用することを提案した。頭部をモデル化してモンテカルロ法による光伝播のシミュレーションを行うことで光源 - 検出器間隔を変化させた時の検出光の伝播経路を推定した。

< 引用文献 >

農林水産省，平成 25 年度食料・農業・農村白書，(2014) .

Scott Prahl., Optical Absorption of Hemoglobin,  
URL: <http://omlc.ogi.edu/spectra/hemoglobin>, Oregon Medical Laser Center (Feb. 2014).

Fox. P. T. and Raichle. M. E., Proc Natl Acad Sci USA, 83(4), (1986), pp. 1140-1144.

Wilson. B. C. and Adam. G., Med Phys, 10, (1983), pp. 824-830.

岡田 英史：レーザー研究，30，(2002)，pp. 630-635 .

5 . 主な発表論文等

( 研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線 )

[ 学会発表 ] ( 計 2 件 )

S. Toyama, T. Oohashi and N. Fukaya,

"Development of spherical ultrasonic motor for space," Proceedings of international conference and exhibition on new actuators and drive systems (ACTUATOR 14), Bremen, Germany, June 23-25, 2014, pp. 289-292.

T. Oohashi and S. Toyama, "Development of spherical ultrasonic motor for space," Applied mechanics and materials (OPTIROB 2014), Mangalia, Romania, june26-29, 2014, vol. 555, pp. 26-31.

## 6 . 研究組織

### (1)研究代表者

遠山 茂樹 ( TOYAMA, Shigeki )

東京農工大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号： 20143381

### (2)研究分担者

西澤 宇一 ( NISHIZAWA, Uichi )

東京農工大学・大学院工学研究院・助教

研究者番号： 80553221