

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6473110号
(P6473110)

(45) 発行日 平成31年2月20日(2019.2.20)

(24) 登録日 平成31年2月1日(2019.2.1)

(51) Int.Cl.	F I
A 6 1 B 5/01 (2006.01)	A 6 1 B 5/01 3 5 0
G 0 1 J 5/48 (2006.01)	G 0 1 J 5/48 A

請求項の数 7 (全 19 頁)

(21) 出願番号	特願2016-148339 (P2016-148339)	(73) 特許権者	000002853
(22) 出願日	平成28年7月28日(2016.7.28)		ダイキン工業株式会社
(62) 分割の表示	特願2014-177276 (P2014-177276) の分割		大阪府大阪市北区中崎西2丁目4番12号 梅田センタービル
原出願日	平成26年9月1日(2014.9.1)	(73) 特許権者	304021417
(65) 公開番号	特開2016-182504 (P2016-182504A)		国立大学法人東京工業大学
(43) 公開日	平成28年10月20日(2016.10.20)		東京都目黒区大岡山2丁目12番1号
審査請求日	平成29年9月1日(2017.9.1)	(74) 代理人	110000202
			新樹グローバル・アイピー特許業務法人
		(72) 発明者	新井 潤一郎
			東京都港区港南2-18-1 JR品川イ ーストビル10階 ダイキン工業株式会 社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 脳活動推定装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

対象者の顔面の熱画像の時系列データを取得するデータ取得部と、
前記対象者に脳機能賦活情報を付与する提供部又は前記対象者に脳機能賦活情報が付与されたことを認識する認識部と、
前記提供部が前記対象者に脳機能賦活情報を付与したときの、又は前記認識部が前記対象者に脳機能賦活情報が付与されたと認識したときの前記データ取得部が取得した熱画像の時系列データに基づいて前記対象者の脳活動を推定する推定部と、
を備える、脳活動推定装置。

【請求項2】

前記推定部は、前記提供部が前記対象者に脳機能賦活情報を付与したときの、又は前記認識部が前記対象者に脳機能賦活情報が付与されたと認識したときの、前記データ取得部が取得した熱画像のうちの、前記対象者の少なくとも副鼻腔周辺を含む顔面の熱画像の時系列データに基づいて前記対象者の脳活動を推定する、

請求項1に記載の脳活動推定装置。

【請求項3】

前記推定部は、前記熱画像の時系列データの集合を、時間分布に加えて空間分布に基づいて分解し、分解したデータに基づいて前記対象者の脳活動を推定する、

請求項1又は2に記載の脳活動推定装置。

【請求項4】

10

20

前記推定部は、前記空間分布における、副鼻腔周辺及び／又は前額部の変化に基づいて前記対象者の脳活動を推定する、

請求項3に記載の脳活動推定装置。

【請求項5】

前記推定部は、前記熱画像の時系列データの集合から、時間分布及び空間分布の組を複数抽出し、抽出したデータに基づいて、前記対象者の脳活動を推定する、

請求項1から4のいずれか1項に記載の脳活動推定装置。

【請求項6】

前記推定部は、前記脳機能賦活情報と複数の時間分布との相関関係を分析した後、空間分布を分析して、前記対象者の脳活動を推定する、

請求項5に記載の脳活動推定装置。

【請求項7】

前記推定部は、前記熱画像の時系列データの集合を特異値分解して、時間分布及び空間分布の組を複数抽出し、抽出したデータに基づいて脳活動を推定する、

請求項1から6のいずれか1項に記載の脳活動推定装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、人間の脳活動を推定するための脳活動推定装置に関する。

【背景技術】

【0002】

従来より、特許文献1（特開2013-176406号公報）に開示されているような脳波計測法（EEG）、磁気共鳴画像法（fMRI: functional Magnetic Resonance Imaging）、又は近赤外線分光法（NIRS）によって検出されたデータを利用して、人間の脳活動を推定することが試みられている。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

しかしながら、検出方法として脳波計測法や近赤外線分光法が採用される場合には、被験者に対して前処理の必要な電極やプローブを装着する必要がある。また、検出方法として磁気共鳴画像法が採用される場合には、MRI室でなければ測定することができない。すなわち、脳波計測法、磁気共鳴画像法及び近赤外線分光法のいずれかの検出方法を採用してデータを検出する場合、その準備段階で必要な作業が繁雑であったり、検出時の条件が限定されたりするという問題がある。

【0004】

そこで、本発明の課題は、簡便に人間の脳活動を推定することのできる脳活動推定装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0005】

本発明の第1観点に係る脳活動推定装置は、顔面皮膚温度取得手段と、脳活動推定手段と、を備える。顔面皮膚温度取得手段は、人間の顔面の少なくとも一部の皮膚温度を検出する。顔面皮膚温度取得手段は、検出した温度データ及びその検出部位の位置データを含む顔面皮膚温度データを時系列で取得する。脳活動推定手段は、顔面皮膚温度取得手段により取得された顔面皮膚温度データに基づき、人間の脳活動を推定する。また、脳活動推定手段は、顔面皮膚温度データを特異値分解、主成分分析或いは独立成分分析により複数の成分に分解する。さらに、脳活動推定手段は、複数の成分のうち、その成分波形の振幅が脳の安静時及び脳の賦活時の変化と相関関係にある成分を、判定用成分として抽出する。そして、脳活動推定手段は、人間の顔面の所定部位における温度変化の有無に基づき、判定用成分が人間の脳活動に関連しているか否かを判定する。

【0006】

10

20

30

40

50

本発明の第1観点に係る脳活動推定装置では、顔面皮膚温度取得手段によって取得された時系列の顔面皮膚温度データに基づき、人間の脳活動が推定される。このため、この脳活動推定装置では、脳波電極やプローブ等の装着前に処理が必要なセンサを装着しなくても、顔面の皮膚温度に基づいて人間の脳活動を推定することができる。したがって、脳波計測法、磁気共鳴画像法、及び近赤外線分光法等の従来の検出方法が利用される場合と比較して、簡便に人間の脳活動を推定することができる。

【0007】

本発明の第2観点に係る脳活動推定装置は、第1観点の脳活動推定装置において、顔面皮膚温度データには、人間に対して脳活動賦活課題が与えられている期間のデータが含まれる。脳活動推定手段は、人間に対して脳活動賦活課題が与えられていない期間を脳の安静時とする。脳活動推定手段は、人間に対して脳活動賦活課題が与えられている期間を脳の賦活時とする。そして、脳活動推定手段は、複数の成分について、相関関係にあるか否かを評価する。さらに、脳活動推定手段は、複数の成分のうち相関関係にあると評価した成分を、判定用成分として抽出する。このため、この脳活動推定装置では、人間に対して脳活動賦活課題を与えたり与えなかったりすることにより、人間の脳が賦活化したり安静化したりする状況を実際に作り、これに基づいて相関関係が評価されて判定用成分が抽出される。したがって、人間の脳活動と関連性の低い成分が抽出用成分として複数の成分から抽出されるおそれを低減することができる。

10

【0008】

本発明の第3観点に係る脳活動推定装置は、第1観点又は第2観点の脳活動推定装置において、脳活動推定手段は、取得された所定時間毎の顔面皮膚温度データに含まれる温度データを相対的な温度データに換算した顔面皮膚温度データを作成する。そして、脳活動推定手段は、取得された顔面皮膚温度データ及び作成した顔面皮膚温度データのそれぞれについて、特異値分解、主成分分析或いは独立成分分析により複数の成分に分解する。

20

【0009】

ここで、空調機の冷氣や暖気又は太陽光等が人間の顔面に当たることで顔面の皮膚温度が変化し、検出される顔面の皮膚温度が変化することがある。このような場合には、脳活動とは関連しない外的要因による顔面皮膚温度の変化（ノイズ）が、顔面皮膚温度データに混入してしまうことになる。

【0010】

本発明の第3観点に係る脳活動推定装置では、顔面皮膚温度取得手段により検出された温度データに応じた所定時間毎の顔面皮膚温度データから、相対的な温度データに換算された顔面皮膚温度データが作成される。そして、検出された温度データに応じた顔面皮膚温度データだけでなく、相対的な温度データに換算された顔面皮膚温度データについても、特異値分解、主成分分析或いは独立成分分析により複数の成分に分解される。すなわち、この脳活動推定装置では、相対的な温度データに換算された顔面皮膚温度データが作成されることで、所定時間毎における顔面の皮膚温度の相対的な変化を捉えることができる。このため、脳活動とは関連しない外的要因による顔面皮膚温度の変化を検出することができる。

30

【0011】

本発明の第4観点に係る脳活動推定装置は、第1観点から第3観点のいずれかの脳活動推定装置において、顔面皮膚温度取得手段は、赤外線サーモグラフィ装置である。この脳活動推定装置では、赤外線サーモグラフィ装置によって顔面の皮膚温度が検出されるため、顔面にセンサ等を装着して顔面の皮膚温度が検出されるよりも、検出対象となる人間の負担を軽減することができる。

40

【0012】

本発明の第5観点に係る脳活動推定装置は、第1観点から第4観点のいずれかの脳活動推定装置において、所定部位は、副鼻腔周辺及び／又は前額部である。

【0013】

ここで、脳には、選択的脳冷却機構（Selective Brain Cooling System）という体温と

50

は独立して脳を冷却する仕組みがある。選択的脳冷却機構としては、脳活動によって生じた熱を前額部及び副鼻腔周辺を用いて排熱していることが知られている。

【0014】

本発明の第5観点に係る脳活動推定装置では、脳の安静時及び脳の賦活時の変化と相関関係のある判定用成分について、副鼻腔周辺及び／又は前額部の温度変化の有無に基づき人間の脳活動に関連している成分であるか否かが判定される。これにより、人間の脳活動に関連する成分を精度よく同定することができる。

【0015】

本発明の第6観点に係る脳活動推定方法は、顔面皮膚温度取得ステップと、脳活動推定ステップと、を備える。顔面皮膚温度取得ステップは、人間の顔面の少なくとも一部の皮膚温度を検出し、検出した温度データ及びその検出部位の位置データを含む顔面皮膚温度データを時系列で取得する。脳活動推定ステップは、顔面皮膚温度取得ステップにおいて取得された顔面皮膚温度データに基づき、人間の脳活動を推定する。また、脳活動推定ステップは、分解ステップと、抽出ステップと、判定ステップと、を含む。分解ステップでは、顔面皮膚温度データを特異値分解、主成分分析或いは独立成分分析により複数の成分に分解する。抽出ステップでは、分解ステップにおいて分解した複数の成分のうち、その成分波形の振幅が脳の安静時及び脳の賦活時の変化と相関関係にある成分を判定用成分として抽出する。判定ステップでは、人間の顔面の所定部位における温度変化の有無に基づき、抽出ステップにおいて抽出した判定用成分が人間の脳活動に関連しているか否かを判定する。

【0016】

本発明の第6観点に係る脳活動推定方法では、顔面皮膚温度取得ステップにおいて取得された時系列の顔面皮膚温度データに基づき、人間の脳活動が推定される。このため、脳波計測法、磁気共鳴画像法、及び近赤外線分光法等の従来の検出方法が利用される場合と比較して、簡便に人間の脳活動を推定することができる。

【発明の効果】

【0017】

本発明の第1観点に係る脳活動推定装置では、簡便に人間の脳活動を推定することができる。

【0018】

本発明の第2観点に係る脳活動推定装置では、人間の脳活動と関連性の低い成分が抽出用成分として複数の成分から抽出されるおそれを低減することができる。

【0019】

本発明の第3観点に係る脳活動推定装置では、脳活動とは関連しない外的要因による顔面皮膚温度の変化を検出することができる。

【0020】

本発明の第4観点に係る脳活動推定装置では、検出対象となる人間の負担を軽減することができる。

【0021】

本発明の第5観点に係る脳活動推定装置では、人間の脳活動に関連する成分を精度よく同定することができる。

【0022】

本発明の第6観点に係る脳活動推定装置では、簡便に人間の脳活動を推定することができる。

【図面の簡単な説明】

【0023】

【図1】顔面皮膚温度データにおける温度と時間との関係の一例を示す図。

【図2】温度換算データに応じた顔面皮膚温度データを解析した結果の一部を示す図。

【図3】温度換算データに応じた顔面皮膚温度データを解析した結果の一部を示す図。

【図4】相対温度換算データに応じた顔面皮膚温度データを解析した結果の一部を示す図

10

20

30

40

50

。
【図5】相対温度換算データに応じた顔面皮膚温度データを解析した結果の一部を示す図

。
【図6】成分2の成分波形の振幅と、測定された脳波のうちの β 波の振幅とを示す図。

【図7】成分3の成分波形の振幅と、測定された脳波のうちの β 波の振幅とを示す図。

【図8】対照実験で得られた顔面皮膚温度データを解析した結果の一部を示す図。

【図9】本発明の実施形態に係る脳活動推定装置の概略図。

【図10】脳活動推定装置において脳機能を反映した皮膚温度の変化を示す成分を同定する際の処理の流れを示すフローチャート。

【発明を実施するための形態】

10

【0024】

本発明の実施形態を説明する前に、まず、本発明者らが本発明を為すにあたって重要な基礎となった、本発明者らによる知見について説明する。

【0025】

(1) 本発明者らによる知見の要点

人間の脳活動には、人間の知的活動（認知活動等）及び情動活動（快／不快等の活動）が反映されていることが知られている。そして、従来より、人間の脳活動を推定する試みがされているが、この場合、脳波計測法、磁気共鳴画像法及び近赤外線分光法のいずれかの方法によって検出されたデータが利用されることが多い。

【0026】

20

ところで、検出方法として、例えば、脳波計測法が採用される場合には、被験者に対して脳波電極を装着する必要がある。そして、脳波電極を装着する際には皮膚と電極との間の抵抗を小さくする必要があるため、皮膚を研磨する処理を行ったり電極にペーストを塗布したりする等の作業が必要になる。また、磁気共鳴画像法が採用される場合には、MRI室以外での測定が不可能であるとともに、測定室内に金属を持ち込むことができない等の測定条件に制約がある。さらに、近赤外線分光法が採用される場合には、被験者に対してプローブを装着する必要があるが、プローブを長時間装着することで被験者が痛みを感じたり、被験者の髪とプローブとの接触具合によっては正確に検出できなかったりすることがある。このように、人間の脳活動を測定するために従来の検出方法が採用される場合、脳波電極やプローブ等を装着する際の前処理が必要であったり、測定条件が限定されたりする等、被験者に与える負担が大きくなる。

30

【0027】

したがって、被験者の負担を軽減し、かつ簡便に人間の脳活動を推定できる手段の開発が求められている。

【0028】

ところで、脳には、選択的脳冷却機構（Selective Brain Cooling System）という体温とは独立して脳を冷却する仕組みがある。選択的脳冷却機構としては、脳活動によって生じた熱を前額部及び副鼻腔周辺を用いて排熱していることが知られている。そうすると、脳活動に伴う顔面皮膚温度の変化は、前額部及び／又は副鼻腔周辺（眉間及び鼻部周辺）に出現することになる。

40

【0029】

そこで、本発明者らは、この選択的脳冷却機構による人間の顔面の皮膚温度の変化を捉えることができれば、脳波測定等を行わなくても脳活動を推定することができる、と考えた。そして、人間の顔面の皮膚温度であれば、前処理の必要なセンサを装着することなく、そのデータを時系列で取得することができる。

【0030】

しかしながら、人間の顔面の皮膚温度は、外気温度及び／又は自律神経の活動等の様々な要因の影響を受けて変化することが知られている。このため、顔面の皮膚温度データに基づいて脳活動を推定しようとする、検出した顔面の皮膚温度が脳活動のみを反映しているかどうかを判断することは、非常に困難である。

50

【0031】

本発明者らは、鋭意検討した結果、顔面の皮膚温度を検出し、検出した温度データ及び検出部位の位置データ（座標データ）を含む顔面皮膚温度データを、特異値分解法、主成分分析法、或いは独立成分分析法を用いて複数の成分に分解し、分解した複数の成分について選択的脳冷却機構を利用した解析等を行うことで、脳活動を反映した皮膚温度の変化を示す成分を同定することができることを見いだした。すなわち、顔面皮膚温度データに基づいて人間の脳活動を推定しようとする場合には、顔面皮膚温度データを特異値分解、主成分分析或いは独立成分分析により複数の成分に分解することが有効であることが判明した。そして、本発明者らは、この点に着目することで、脳波電極やプローブ等の装着前に処理が必要なセンサを装着しなくても、人間の脳活動を推定することのできる本発明に到達した。

10

【0032】

（２）顔面皮膚温度データの取得方法、及び顔面皮膚温度データの解析方法

図１（a）は、取得した顔面皮膚温度データにおける温度と時間との関係の一例を示す図である。図１（b）は、図１（a）に示す所定時間毎の顔面皮膚温度データに含まれる温度データを相対的な温度データに換算して作成された顔面皮膚温度データにおける温度と時間との関係の一例を示す図である。

【0033】

次に、本発明者らが上記の知見を得るに際して用いた顔面皮膚温度データの取得方法、及び顔面皮膚温度データの解析方法について説明する。

20

【0034】

今回の試験では、６名の被験者から顔面皮膚温度データを取得した。具体的には、室温25℃を維持した人工気象室内に設置した椅子に被験者を座らせて、赤外線サーモグラフィ装置を用いて、被験者の顔面全体から顔面皮膚温度データを取得した。赤外線サーモグラフィ装置は、対象物から出ている赤外線放射エネルギーを赤外線カメラで検出し、検出した赤外線放射エネルギーを対象物表面の温度（本実施形態では、摂氏での温度）に変換して、その温度分布を顔面皮膚温度データ（例えば、温度分布を表した画像データ）として表示、蓄積することが可能な装置である。なお、今回の試験では、赤外線サーモグラフィ装置として、NEC Avio 赤外線テクノロジー株式会社製のR300を使用した。また、赤外線カメラは、被験者の正面であって、被験者から1.5m離れた地点に設置した。そして、顔面皮膚温度データは、30分間取得した。

30

【0035】

また、今回の試験では、顔面皮膚温度データを取得している間に、被験者に対して脳機能賦活課題を与えた。これにより、脳の安静時の顔面皮膚温度データ、及び脳の賦活時の顔面皮膚温度データを取得した。

【0036】

ここで、脳機能賦活課題としては、被験者が表示装置等に表示された映像に基づいて、計算、又は、数値、形状及び色の認知、或いは、記号、文字ないし言語の記憶などの心理的作業が挙げられる。今回の試験では、脳機能賦活課題として「かけ算の暗算」を採用し、被験者に、表示装置に筆算形式で表示される数字を計算させ、その回答をキーボードに入力させる作業を課した。なお、今回の試験では、顔面皮膚温度データの取得開始から5分経過後から10分間継続して、被験者に対して脳機能賦活課題を与えた。

40

【0037】

顔面皮膚温度データの解析としては、取得した顔面皮膚温度データを対象として、MATLAB（登録商標）のSVD（Singular Value Decomposition）を分析ツールとして用いて特異値分解を行った。特異値分解では、時系列で取得した全ての顔面皮膚温度データ（30分間のデータ）を対象とし、要因を30秒毎の時間データ（30分間で60 time point）とし、測度をその期間（30秒間）における顔面皮膚温度データ（ 240×320 pixels）とした。そして、特異値分解により、顔面皮膚温度データXを、複数の成分に分解し、それぞれの成分の時間分布Vと、空間分布Uと、各成分の大きさを示す特異値

50

Sとを算出した。なお、これらの関係は、以下の式で表される。また、 V' は、 V の行と列とを入れ替えた行列である。

【0038】

【数1】

$$X = (U * S) * V'$$

【0039】

そして、特異値分解によって求められた各成分の時間分布 V 及び空間分布 U をグラフにプロットし、各成分の成分波形図と温度分布図とを作成した。

10

【0040】

さらに、作成した各成分の成分波形図及び温度分布図について、脳活動を反映した皮膚温度の変化を示す成分を同定するための解析を行った。

【0041】

各成分の成分波形図については、その成分波形の振幅と、脳の安静時及び脳の賦活時との相関関係の有無について解析した。具体的には、各成分の成分波形図に示された振幅と、脳の安静期間／脳の賦活期間との間に相関関係があるか否かを評価した。今回の試験では、顔面皮膚温度データを取得している期間のうち、被験者に対して脳機能賦活課題が与えられていない期間であるデータ取得開始時点から5分が経過した時点までの5分間の期間、及びデータ取得開始時から15分が経過した時点からデータ取得終了時点までの15分間の期間を脳の安静時とし、被験者に対して脳機能賦活課題が与えられている期間であるデータ取得開始時から5分が経過した時点から10分が経過した時点までの10分間の期間を脳の賦活時とした。そして、各成分の成分波形図に示された振幅と、脳の安静時及び脳の賦活時との相関関係の有無について評価した。なお、相関関係の有無については、統計的相関分析を行い、有意水準(α)が0.05以下の場合に相関があると判断した。

20

【0042】

各成分の温度分布図については、顔面の所定部位における温度変化の有無について解析した。具体的には、各成分の温度分布図において、副鼻腔周辺及び前額部における温度変化があるか否かを評価した。なお、温度分布図における副鼻腔周辺及び前額部の温度変化の有無については、目視(visual inspection)による温度変化の有無、もしくは副鼻腔周辺及び前額部の温度が測定データ全体の平均温度から1標準偏差(SD)以上異なるか否かを温度変化の有無の基準とした。

30

【0043】

なお、空間分布 U 、特異値 S 及び時間分布 V の値の関係で、顔面皮膚温度データ X の極性(プラスマイナス)が決定するため、各成分の成分波形図及び温度分布図において極性が反転して現れることがある。このため、成分波形図及び温度分布図の評価に関して、極性については評価対象としないこととした。

【0044】

ここで、この赤外線サーモグラフィ装置では、上述しているように、対象物から検出された赤外線放射エネルギーを温度に変換して、その温度分布を顔面皮膚温度データとしている。ところで、人間を対象として赤外線サーモグラフィ装置を用いて顔面の皮膚温度を取得する場合、顔面の動き及び／又は自律神経の活動等の様々な脳活動とは関連しない温度変化(いわゆるノイズ)についても顔面皮膚温度データとして取得してしまう(図1(a)参照)。そこで、このような脳活動とは関連しない温度変化を検出するために、30秒毎の顔面皮膚温度データに含まれる温度データの全平均値を「0」とした相対的な顔面皮膚温度データを作成し、作成した顔面皮膚温度データについても、MATLAB(登録商標)のSVDを分析ツールとして用いて特異値分解を行い、特異値 S に応じた各成分の成分波形図と温度分布図とを作成し、脳活動を反映した皮膚温度の変化を示す成分を同定するための解析を行った。

40

【0045】

50

なお、以下より、説明の便宜上、赤外線サーモグラフィ装置で取得した顔面皮膚温度データを「温度換算データに応じた顔面皮膚温度データ」といい、所定時間毎（今回の試験では30秒毎）の温度換算データに応じた顔面皮膚温度データに含まれる温度データの全平均値を「0」とした相対的な顔面皮膚温度データを「相対温度換算データに応じた顔面皮膚温度データ」という。

【0046】

また、6名の被験者のうちの1名に対しては、赤外線サーモグラフィ装置による顔面皮膚温度の検出の他に、被験者の頭皮上に電極を接続して脳波を測定し、覚醒時や意識が緊張した時に現れる波形として知られているβ波（14～30Hzの周波数の脳波）の振幅と、成分波形図の振幅との間の相関関係についても評価した。なお、脳波測定では、国際式10-20法に基づき、6つの部位（F3、F4、C3、C4、Cz、Pz）に電極を配置した。

10

【0047】

ところで、被験者に脳機能賦活課題が与えられている間、被験者の頭が上下に動くことが考えられる。そうすると、赤外線カメラに対する被験者の顔面の位置が変化することになる。この顔面の位置の変化が皮膚温度の変化に影響しているか否かを検証するために、被験者1名に対して対照試験を行った。顔面皮膚温度データを取得する際の被験者の動きの影響を検証するための対照試験では、上記試験と同様に赤外線サーモグラフィ装置を用いて被験者の顔面皮膚温度データを取得するが、脳機能賦活課題が与えられていない間（すなわち、脳の安静時）についてもランダムなタイミングでキーボードを押す作業を被験者に課した。この対照実験によって得られた温度換算データに応じた顔面皮膚温度データ及び相対温度換算データに応じた顔面皮膚温度データについても、MATLAB（登録商標）のSVDを分析ツールとして用いて特異値分解を行い、特異値Sに応じた各成分の成分波形図と温度分布図とを作成し、脳活動を反映した皮膚温度の変化を示す成分を同定するための解析を行った。

20

【0048】

（3）顔面皮膚温度データの解析結果

図2及び図3は、温度換算データに応じた顔面皮膚温度データを解析した結果の一部を示す図である。図2（a）は、被験者1の成分2の成分波形図を示している。図2（b）は、被験者1の成分2の温度分布図を示している。図3（a）は、被験者1の成分3の成分波形図を示している。図3（b）は、被験者1の成分3の温度分布図を示している。図4及び図5は、相対温度換算データに応じた顔面皮膚温度データを解析した結果の一部を示す図である。図4（a）は、被験者1の成分2の成分波形図を示している。図4（b）は、被験者1の成分2の温度分布図を示している。図5（a）は、被験者1の成分3の成分波形図を示している。図5（b）は、被験者1の成分3の温度分布図を示している。図6及び図7は、成分波形の振幅と、脳波との関係を示す図である。図6は、被験者1の成分2の成分波形の振幅と、測定された脳波のうちのβ波の振幅とを示す図である。図7は、被験者1の成分3の成分波形の振幅と、測定された脳波のうちのβ波の振幅とを示す図である。図8は、対照実験で得られた顔面皮膚温度データを解析した結果の一部を示す図である。図8（a）は、成分3の成分波形図を示している。図8（b）は、成分3の温度分布図を示している。

30

40

【0049】

表1は、各被験者に対する顔面皮膚温度データの解析結果を示したものである。

【0050】

上記の顔面皮膚温度データの解析によって得られた結果から、時系列の顔面皮膚温度データを特異値分解により分解して得られた複数の成分のうち、成分2及び／又は成分3と、人間の脳活動との間に有意な相関があることが確認された。

【0051】

【表 1】

被験者	温度換算データに基づくデータでの相関		相対温度換算データに基づくデータでの相関	
	成分波形	温度分布	成分波形	温度分布
被験者1	成分2, 成分3	成分2, 成分3	成分2, 成分3	成分2, 成分3
被験者2	成分3	成分3	成分3	成分3
被験者3	成分1, 成分2, 成分3	成分2, 成分3	成分2, 成分3	成分2, 成分3
被験者4	成分2, 成分3	成分2, 成分3	成分2, 成分3	成分2, 成分3
被験者5	成分2, 成分3	成分2, 成分3	成分2, 成分3	成分2, 成分3
被験者6	成分2, 成分5	成分2, 成分5	成分2, 成分5	成分2, 成分5

10

【0052】

また、図6及び図7に示すように、脳波解析の結果から、成分2及び成分3の各成分波形の振幅と、脳波のβ波の振幅との間に有意な相関が確認された。

【0053】

さらに、対照実験では、顔面皮膚温度データを取得している間に被験者に動きがある状態であっても、成分3と人間の脳活動との間に有意な相関があった（図8参照）。このことから、複数の成分のうち、成分3については、顔面皮膚温度データを取得する際の被験者の動きが影響していないことが認められた。

20

【0054】

これらの結果から、本発明者らは、以下の知見を得た。

【0055】

被験者から取得した時系列の顔面皮膚温度データを特異値分解により複数の成分に分解し、分解した各成分について解析した結果、複数の成分のうちの成分3が脳活動に関連する成分であると認められた。すなわち、時系列の顔面皮膚温度データを特異値分解により複数の成分に分解し、分解した複数の成分から脳の安静／賦活と相関のある成分を抽出し、抽出した成分について選択的脳冷却機構を利用した解析を行うことで、複数の成分から脳活動を反映した皮膚温度の変化を示す成分を同定することができることが判明した。このことから、本発明者らは、人間の顔面の皮膚温度に基づいて、脳活動を推定することができる、という知見を得た。

30

【0056】

(4) 脳活動推定装置

次に、上記に説明した知見に基づいて、本発明者らが完成するに至った本発明の一実施形態に係る脳活動推定装置について説明する。なお、本発明に係る脳活動推定装置は、以下の実施形態に限定されるものではなく、要旨を逸脱しない範囲で適宜変更可能である。

【0057】

図9は、本発明の実施形態に係る脳活動推定装置10の概略図である。図10は、脳活動推定装置10において脳機能を反映した皮膚温度の変化を示す成分を同定する際の処理の流れを示すフローチャートである。

40

【0058】

脳活動推定装置10は、個人（被験者）の顔面の皮膚温度から、個人の脳活動を推定するための装置である。脳活動推定装置10は、図9に示すように、顔面皮膚温度取得手段20と、脳活動推定手段30と、を備える。

【0059】

顔面皮膚温度取得手段20は、個人の顔面の少なくとも一部の皮膚温度を検出し、検出した温度データ及びその検出部位の位置データを含む顔面皮膚温度データを時系列で取得する（ステップS1）。なお、本実施形態の顔面皮膚温度取得手段20は、赤外線サーモグラフィ装置であり、図9に示すように、赤外線カメラ21と、処理部22と、を有する

50

。赤外線カメラ 21 は、個人の顔面から出ている赤外線放射エネルギーを検出するためのものである。そして、本実施形態では、赤外線カメラ 21 は、個人の顔面全体から赤外線放射エネルギーを検出しているものとする。処理部 22 は、赤外線カメラ 21 によって検出した赤外線放射エネルギーを温度に変換して温度データとし、赤外線放射エネルギーの検出された部位を位置データ（座標データ）とした顔面全体における顔面皮膚温度の温度分布図を作成し、作成した温度分布図を温度換算データに応じた顔面皮膚温度データとして処理する。温度換算データに応じた顔面皮膚温度データは、処理部 22 の有する記憶部（図示せず）に蓄積される。

【0060】

ここで、本実施形態では、処理部 22 において、顔面全体における顔面皮膚温度の温度分布図が作成されているが、これに限定されず、少なくとも副鼻腔周辺及び／又は前額部を含む顔面皮膚温度の温度分布図が作成され、これが温度換算データに応じた顔面皮膚温度データとされてもよい。

【0061】

また、本実施形態では、顔面皮膚温度取得手段 20 により温度換算データに応じた顔面皮膚温度データが取得されている間に、個人に対して脳機能賦活課題が一定期間与えられる。すなわち、顔面皮膚温度取得手段 20 により取得される温度換算データに応じた顔面皮膚温度データには、個人に対して脳機能賦活課題が与えられている期間のデータが含まれていることになる。なお、個人に対して与えられる脳機能賦活課題としては、脳が賦活状態になると推定されるものであれば特に限定されるものではなく、例えば、脳活動推定装置 10 の利用目的に応じてその内容が適宜決定されるよう構成されていてもよい。

【0062】

脳活動推定手段 30 は、顔面皮膚温度取得手段 20 により取得された温度換算データに応じた顔面皮膚温度データに基づき、人間の脳活動を推定する。具体的には、脳活動推定手段 30 は、図 9 に示すように、換算部 31 と、解析部 32 と、推定部 33 と、を有する。

【0063】

換算部 31 は、温度換算データに応じた顔面皮膚温度データに含まれる温度データを相対的な温度データに換算し、換算した相対的な温度データに基づく顔面皮膚温度データすなわち相対温度換算データに応じた顔面皮膚温度データを作成する（ステップ S2）。具体的には、換算部 31 は、所定時間毎（例えば、30 秒）の温度換算データに応じた顔面皮膚温度データに含まれる温度データの平均値を基準値として、該温度データを相対的な温度データに換算する。そして、換算部 31 は、換算した相対的な温度データ及び位置データを利用して、相対温度換算データに応じた顔面皮膚温度データを作成する。

【0064】

解析部 32 は、時系列の温度換算データに応じた顔面皮膚温度データ及び相対温度換算データに応じた顔面皮膚温度データのそれぞれを、特異値分解、主成分分析或いは独立成分分析により複数の成分に分解する（ステップ S3）。本実施形態では、解析部 32 は、取得した温度換算データに応じた顔面皮膚温度データ及び換算した相対温度換算データに応じた顔面皮膚温度データのそれぞれを対象として、MATLAB（登録商標）の SVD を分析ツールとして用いて、特異値分解を行う。特異値分解は、時系列で取得した温度換算データに応じた顔面皮膚温度データ及び相対温度換算データに応じた顔面皮膚温度データについて、要因を所定期間（例えば、30 秒）毎の時間データとし、測度をその期間における温度換算データに応じた顔面皮膚温度データ及び相対温度換算データに応じた顔面皮膚温度データとして行われる。そして、特異値分解により、温度換算データに応じた顔面皮膚温度データ及び相対温度換算データに応じた顔面皮膚温度データのそれぞれを複数の成分に分解し、時間分布と、空間分布と、各成分の大きさを示す特異値とを算出する。

【0065】

また、解析部 32 は、特異値分解によって分解した複数の成分から脳活動を反映した皮膚温度の変化を示す成分を同定するために、各成分が第 1 条件及び第 2 条件を満たすか否

かを判定する（ステップS 4 a、ステップS 4 b、ステップS 5 a、及びステップS 5 b）。なお、本実施形態では、解析部3 2において、まず、温度換算データに応じた顔面皮膚温度データに基づく各成分について第1条件が満たされているか否かが判定され（ステップS 4 a）、ステップS 4 aにおいて第1条件が満たされていると判定された温度換算データに応じた顔面皮膚温度データに基づく成分について第2条件が満たされているか否かが判定される（ステップS 4 b）。そして、相対温度換算データに応じた顔面皮膚温度データに基づく各成分のうちステップS 4 a及びステップS 4 bにおいて第1条件及び第2条件を満たすと判定された成分と一致する成分についてのみ第1条件が満たされているか否かが判定され（ステップS 5 a）、その後、ステップS 5 aにおいて第1条件が満たされていると判定された相対温度換算データに応じた顔面皮膚温度データに基づく成分について第2条件が満たされているか否かが判定される（ステップS 5 b）。しかしながら、解析部3 2における該判定の順序は本実施形態に限定されるものではなく、例えば、温度換算データに応じた顔面皮膚温度データに基づく各成分と、相対温度換算データに応じた顔面皮膚温度データに基づく各成分とが、第1条件及び第2条件を満たすか否かがそれぞれ判定され、判定結果の一致する成分が最終的に抽出されてもよい。

10

【0066】

第1条件とは、特異値分解によって分解した成分の成分波形の振幅が、脳の安静時及び脳の賦活時の変化と相関関係にある、という条件である。解析部3 2は、複数の成分のうち、第1条件を満たす成分を、判定用成分として抽出する。なお、本実施形態では、温度換算データに応じた顔面皮膚温度データを取得している間に、個人に対して脳機能賦活課題が与えられている期間が一定期間ある。解析部3 2は、個人に対して脳機能賦活課題が与えられていない期間を脳の安静時とし、個人に対して脳機能賦活課題が与えられている期間を脳の賦活時として、脳機能賦活課題が与えられている期間及び与えられていない期間と、各成分の成分波形とを比較解析する。解析部3 2は、成分波形データに基づく比較解析結果を利用して、各成分の成分波形と脳の安静時及び脳の賦活時とが相関関係にあるか否かを評価し、複数の成分のうち相関関係にあると評価した成分を、第1条件を満たす判定用成分として抽出する。一方、解析部3 2は、複数の成分のうち相関関係にないと評価した成分を、第1条件を満たさず人間の脳活動を反映した温度変化を示す成分ではないと判定する（ステップS 6）。

20

【0067】

ここで、本実施形態では、温度換算データに応じた顔面皮膚温度データの取得時に個人に対して脳機能賦活課題が一定期間与えられており、これに基づき解析部3 2は判定用成分を抽出しているが、第1条件の内容、すなわち解析部3 2における判定用成分の抽出手段はこれに限定されない。例えば、予め実験等がされていることで複数の成分のうち脳の安静時及び脳の賦活時と相関関係にある成分波形を示す成分が特定されている場合には、解析部3 2は、複数の成分から特定されている該成分を判定用成分として抽出する。また、脳活動推定装置において眼球運動又はまたたき等の脳の賦活／安静に関連することが知られている人間の動作が検出される場合には、解析部3 2が、この検出結果と各成分の成分波形とを比較解析及び評価することで、複数の成分から判定用成分を抽出してもよい。なお、解析部3 2による第1条件を満たすか否かの判定の基準は、脳活動推定装置10の利用目的等に応じて、シミュレーションや実験、机上計算等によって適宜決定される。

30

40

【0068】

第2条件は、抽出した判定用成分において、人間の顔面の所定部位における温度変化がある、という条件である。解析部3 2は、判定用成分のうち、第2条件を満たす成分を、人間の脳活動に関連している可能性の高い成分と判定し、候補成分として抽出する。すなわち、解析部3 2は、人間の顔面の所定部位における温度変化の有無に基づき、判定用成分が人間の脳活動に関連しているか否かを判定する。具体的には、解析部3 2は、抽出した判定用成分の温度分布データに基づき、副鼻腔周辺及び／又は前額部において温度変化が生じているか否かを判定し、温度変化が生じている場合には該判定用成分が第2条件を満たす人間の脳活動に関連する可能性の高い成分であると判定し、候補成分として抽出す

50

る。一方で、解析部 32 は、副鼻腔周辺及び／又は前額部において温度変化が生じていない場合には、該判定用成分は第 2 条件を満たさず脳活動を反映した皮膚温度の変化を示す成分ではない、と判定する（ステップ S6）。なお、解析部 32 による第 2 条件を満たすか否かの判定の基準は、脳活動推定装置 10 の利用目的等に応じて、シミュレーションや実験、机上計算等によって適宜決定される。

【0069】

そして、解析部 32 は、ステップ S5b において第 2 条件を満たすと判定した成分を、脳活動を反映した皮膚温度の変化を示す成分として同定する（ステップ S7）。すなわち、ステップ S7 において脳活動を反映した皮膚温度の変化を示す成分として同定される成分は、温度換算データに応じた顔面皮膚温度データの特異値分解により分解し解析すること
10
とで抽出された候補成分と、相対温度換算データに応じた顔面皮膚温度データの特異値分解により分解し解析することによって抽出された候補成分と、の間で一致している成分ということになる。なお、両解析で一致していない候補成分については、ステップ S6 において脳活動を反映した皮膚温度の変化を示す成分ではない、と判定されている。

【0070】

推定部 33 は、解析部 32 において人間の脳活動を反映した皮膚温度の変化を示す成分として同定された成分に基づいて、人間の脳活動を推定する。具体的には、推定部 33 は、解析部 32 において同定された成分の成分波形データに基づいて、顔面皮膚温度データの取得時に、個人の脳が活動状態にあったのか、或いは脳が活動していない状態にあったのかを、推定する。
20

【0071】

このような構成によって、この脳活動推定装置 10 では、顔面の皮膚温度に基づいて、人間の脳活動を推定することができる。そして、推定部 33 による推定結果がディスプレイ等に表示されることで、個人の脳が活動している状態にあるのか、或いは、活動していない状態にあるのかを知ることができる。

【0072】

また、解析部 32 において脳活動を反映した皮膚温度の変化を示す成分が同定された後、さらに顔面皮膚温度取得手段 20 により顔面皮膚温度データが取得される場合には、脳活動推定装置 10 において、さらに取得された顔面皮膚温度データが特異値分解により複数の成分に分解され、同定された成分のみが解析されることで、その顔面皮膚温度データの取得時にその個人の脳が活動状態にあったのか、或いは脳が活動していない状態にあったのか推定されてもよい。このような脳活動推定装置 10 を利用して空調機等の設備機器を制御することで、その個人に合った室内環境に近づけることができる。
30

【0073】

(5) 特徴

(5-1)

人間の脳活動を推定するために、脳波計測法、磁気共鳴画像法及び近赤外線分光法のいずれかの方法によって検出されたデータが利用される場合、脳波電極やプローブ等の装着前に処理が必要なセンサを用いなければならなかったり、測定場所に制約が生じたりする。また、これら検出方法に用いられる機器は、非常に高額であるため、これら機器を備える脳活動推定装置を製造しようとする製造コストが大きくなってしまふ。
40

【0074】

本実施形態では、顔面皮膚温度取得手段 20 により取得された時系列の温度換算データに応じた顔面皮膚温度データに基づき、人間の脳活動が推定される。このため、脳波電極やプローブ等の装着前に処理が必要なセンサを装着しなくても、顔面の皮膚温度に基づいて人間の脳活動を推定することができる。したがって、脳波計測法、磁気共鳴画像法、及び近赤外線分光法等の従来の検出方法が利用される場合と比較して、簡便に人間の脳活動を推定することができている。

【0075】

また、本実施形態では、顔面の少なくとも一部の皮膚温度を検出できればよいため、従
50

来の検出方法に用いられる機器を備える脳活動推定装置と比較して、製造コストを抑えることができる。

【0076】

ところで、既存の研究として、顔面皮膚温度取得手段20により取得された時系列の顔面皮膚温度データに含まれる全温度データの平均値を算出し、算出した平均値に応じた顔面皮膚温度データの解析を行うことで人間の脳活動を推定する、という平均値的アプローチが行われていた。しかしながら、顔面皮膚温度データには実際に脳活動を反映しているもの以外のノイズが含まれており、身体の一部の温度データが分析されることでノイズの影響が比較的大きくなるため、平均値的アプローチでは脳活動を正確に推定することができなかつた。

10

【0077】

そこで、本発明者らは、鋭意検討した結果、顔面皮膚温度取得手段20により取得された時系列の顔面皮膚温度データを特異値分解、主成分分析或いは独立成分分析により複数の成分に分解し、分解した複数の成分から脳活動と関連する成分を同定する成分分析的アプローチを行うことを考えついた。成分分析的アプローチでは、全ての温度データを分解していくため、ノイズを含む成分を除去することができ、この結果、平均値的アプローチと比較して正確に脳活動を推定することができる。

【0078】

さらに、本発明の脳活動推定装置10を利用することで、認知症の早期発見等の医療診断を簡便に行うことができる。また、本発明の脳活動推定装置10を、客観的な快適性の評価に利用したり、学習の効果の評価や興味の客観的評価、及び虚偽検出装置等にも応用したりすることができる。さらに、脳活動推定装置において、解析部32が、眼球運動又はまたたき等の脳の賦活／安静に関連することが知られている人間の動作の検出結果と各成分の成分波形とを比較解析及び評価することで、複数の成分から判定用成分が抽出される場合には、この脳活動推定装置を自動車の運転時の眠気の評価に利用することができる。

20

【0079】

(5-2)

ところで、時系列の顔面皮膚温度データが取得される際に、人間に対して実際に脳機能賦活課題が与えられたり与えられなかったりすることにより、人間の脳が賦活化したり安静化したりする状況が作られている場合、各成分の成分波形と脳の賦活時及び安静時との間に相関関係のある成分は、脳活動を反映した皮膚温度の変化を示す成分である可能性が高い成分であるといえる。

30

【0080】

本実施形態では、顔面皮膚温度取得手段20により温度換算データに応じた顔面皮膚温度データが取得されている間に、個人に対して脳機能賦活課題が一定期間与えられている。すなわち、本実施形態では、個人に対して実際に脳機能賦活課題を与えたり与えなかったりすることにより、人間の脳が賦活化したり安静化したりする状況が作られている。そして、このように取得された顔面皮膚温度データが特異値分解により複数の成分に分解され、各成分についてその成分波形と脳の賦活時及び安静時との相関関係が評価され、相関関係にある成分が判定用成分として複数の成分から抽出される。このため、例えば、予め実験等により特定された所定の成分が抽出用成分として複数の成分から抽出される場合と比較して、人間の脳活動と関連性の低い成分が抽出用成分として複数の成分から抽出されるおそれを低減することができている。

40

【0081】

(5-3)

空調機の冷氣や暖気又は太陽光等が人間の顔面に当たることで、顔面の皮膚温度が変化し、検出される顔面の皮膚温度も変化することがある。そうすると、脳活動とは関連しない外的要因による顔面皮膚温度の変化（ノイズ）が、顔面皮膚温度データに混入してしまうおそれがある。

50

【0082】

本実施形態では、温度換算データに応じた所定時間毎の顔面皮膚温度データから相対的な温度データに換算された温度データに基づく相対温度換算データに応じた顔面皮膚温度データが作成される。相対温度換算データに応じた顔面皮膚温度データが作成されることで、所定時間毎における顔面の皮膚温度の相対的な変化を捉えることができる。このため、脳活動とは関連しない外的要因による顔面皮膚温度の変化を検出することができる。

【0083】

また、本実施形態では、顔面皮膚温度取得手段20により取得された温度換算データに応じた顔面皮膚温度データだけでなく、相対的な温度データに換算された温度データに基づく相対温度データに応じた顔面皮膚温度データについても、特異値分解により複数の成分に分解され、各成分についての解析が行われる。このため、脳活動とは関連しない外的要因による顔面皮膚温度の変化を含む成分を、ノイズ成分として除去することができる。これにより、人間の脳活動に関連する成分を精度よく同定することができる。

10

【0084】

(5-4)

本実施形態における顔面皮膚温度取得手段20は、赤外線サーモグラフィ装置である。このため、対象となる個人に接触しない状態で、すなわち非接触の状態で、顔面皮膚温度データを取得することができる。したがって、顔面にセンサを装着して顔面の皮膚の温度データが検出される場合と比較して、対象となる個人の負担を軽減することができる。

20

【0085】

(5-5)

脳には、選択的脳冷却機構という体温とは独立して脳を冷却する仕組みがある。選択的脳冷却機構としては、脳活動によって生じた熱を前額部及び副鼻腔周辺を用いて排熱していることが知られている。そうすると、脳活動に伴う顔面皮膚温度の変化は、前額部及び／又は副鼻腔周辺（眉間及び鼻部周辺）に出現することになる。

【0086】

本実施形態では、その成分波形と脳の安静時及び脳の賦活時とが相関する判定用成分について、副鼻腔周辺及び／又は前額部において温度変化が生じているか否かが判定されている。このため、判定用成分として抽出された成分が人間の脳活動に関連する成分であるか否かを精度よく判定することができる。

30

【0087】

(6) 変形例

(6-1) 変形例A

上記実施形態では、脳活動推定手段30が換算部31を有しており、換算部31によって相対温度換算データに応じた顔面皮膚温度データが作成されている。そして、解析部32が、顔面皮膚温度取得手段20により取得された温度換算データに応じた顔面皮膚温度データだけでなく、相対的な温度データに換算された温度データに基づく相対温度データに応じた顔面皮膚温度データについても、特異値分解により複数の成分に分解し、各成分についての解析を行っている。

40

【0088】

これに代えて、脳活動推定手段30が換算部31を有していなくてもよい。この場合、相対温度換算データに応じた顔面皮膚温度データを作成したり、相対温度換算データに応じた顔面皮膚温度データに基づくデータの解析を行ったりする処理を省くことができる。

【0089】

ただし、人間の脳活動に関連する成分を精度よく同定するためには、上記実施形態のように脳活動推定手段30が換算部31を有しており、解析部32によって、顔面皮膚温度取得手段20により取得された温度換算データに応じた顔面皮膚温度データだけでなく、相対的な温度データに換算された温度データに基づく相対温度データに応じた顔面皮膚温度データについても、特異値分解により複数の成分に分解され、各成分についての解析が

50

行われるほうが望ましい。

【0090】

(6-2) 変形例 B

上記実施形態における顔面皮膚温度取得手段20は、対象物と非接触の状態で温度データを取得することができる赤外線サーモグラフィ装置である。

【0091】

しかしながら、個人の顔面の少なくとも一部の皮膚温度を検出し、検出した温度データ及びその検出部位の位置データを含む顔面皮膚温度データを時系列で取得することができれば、顔面皮膚温度取得手段は赤外線サーモグラフィ装置に限定されない。

【0092】

例えば、顔面皮膚温度取得手段が温度センサを含む装置であってもよい。具体的には、個人の顔面の所定部位に温度センサを装着し、温度センサによって検出される温度データと、温度センサを装着した部位の位置データとに基づいて、時系列の顔面皮膚温度データが取得されてもよい。このように、温度センサにより対象となる個人に接触した状態で顔面皮膚温度データが取得される場合であっても、温度センサは脳波電極等のように装着前の処理が必要ではないため、脳波計測法、磁気共鳴画像法、及び近赤外線分光法等の従来の検出方法と比較して、簡便にデータを取得することができる。これにより、簡便に人間の脳活動を推定することができる。

【産業上の利用可能性】

【0093】

本発明は、簡便に人間の脳活動を推定することができるため、人間の脳活動を推定する必要のある装置への適用が有効である。

【符号の説明】

【0094】

- 10 脳活動推定装置
- 20 顔面皮膚温度取得手段
- 30 脳活動推定手段

【先行技術文献】

【特許文献】

【0095】

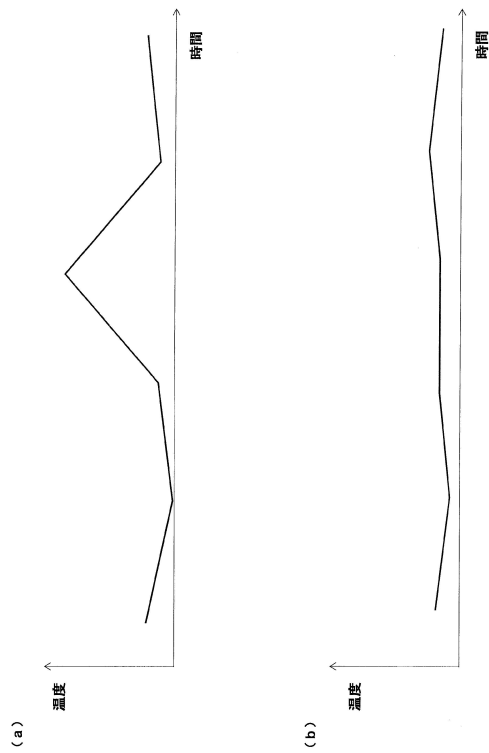
【特許文献1】特開2013-176406号公報

10

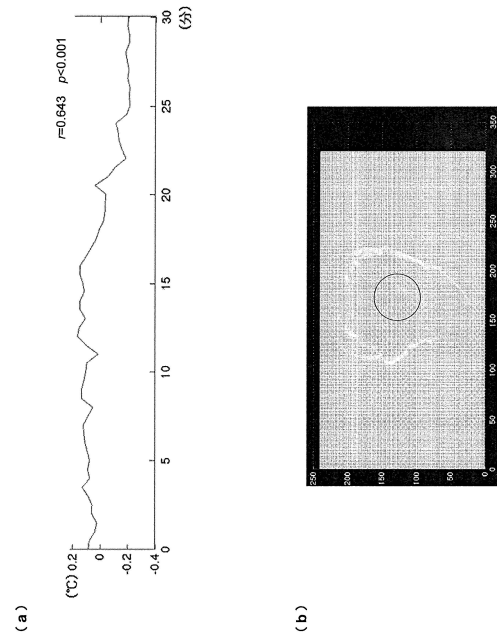
20

30

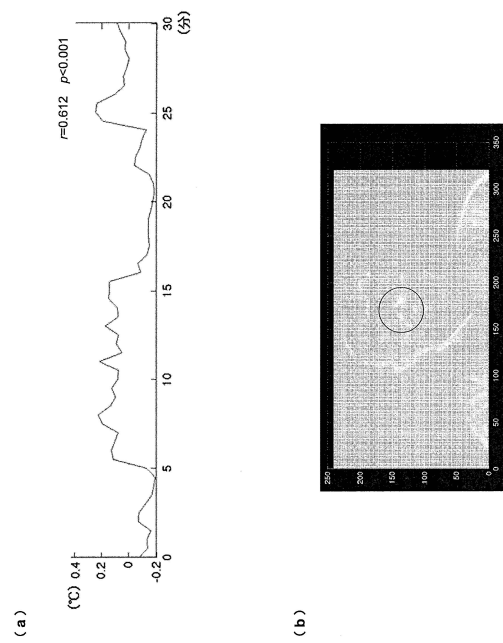
【図 1】



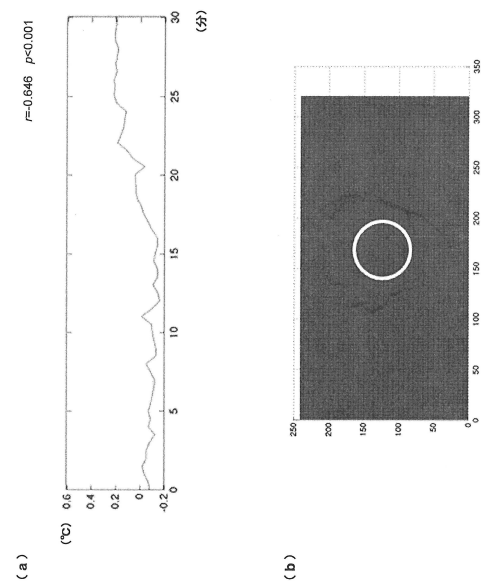
【図 2】



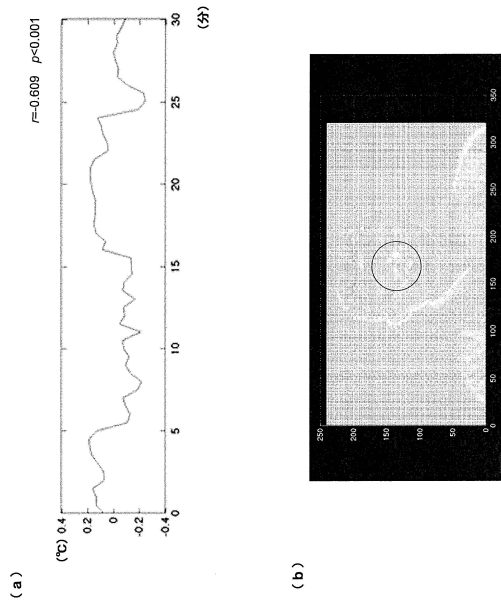
【図 3】



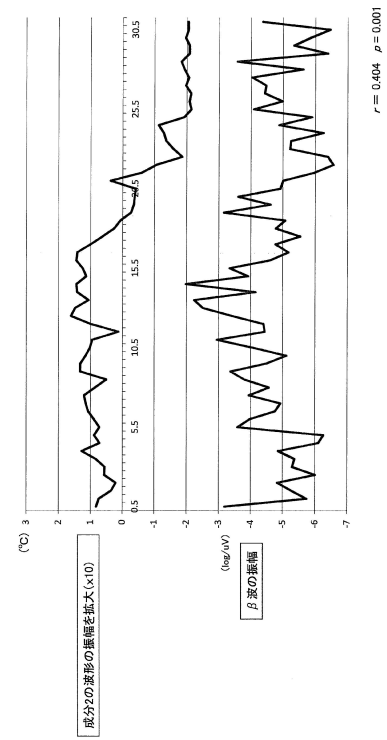
【図 4】



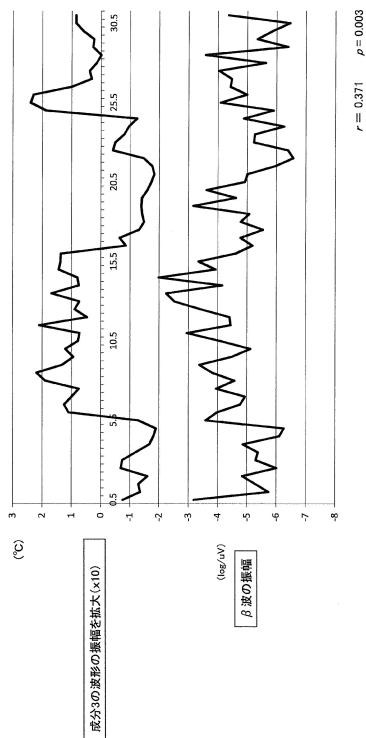
【図 5】



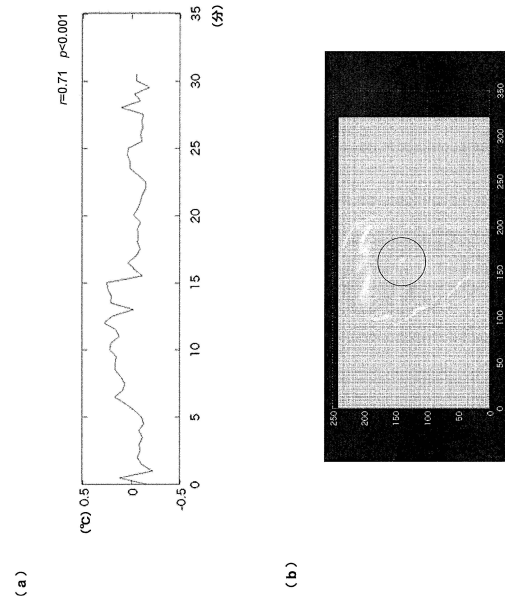
【図 6】



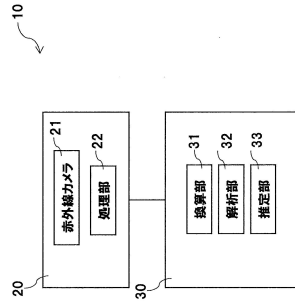
【図 7】



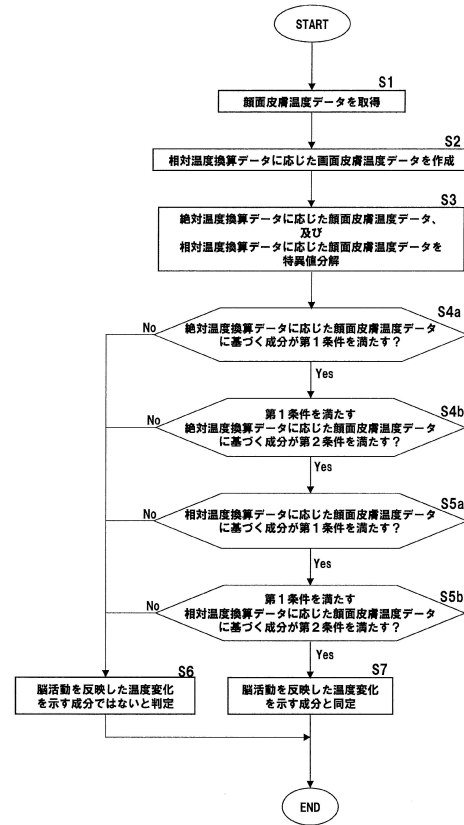
【図 8】



【図 9】



【図 10】



フロントページの続き

- (72)発明者 小谷 泰則
東京都目黒区大岡山2丁目12番1号 国立大学法人東京工業大学内
- (72)発明者 戸松 太郎
東京都目黒区大岡山2丁目12番1号 国立大学法人東京工業大学内
- (72)発明者 大上 淑美
東京都目黒区大岡山2丁目12番1号 国立大学法人東京工業大学内

審査官 清水 裕勝

- (56)参考文献 国際公開第98/008431 (WO, A1)
特開2012-034839 (JP, A)
特開平08-252226 (JP, A)
特開平9-294724 (JP, A)
特開2011-120824 (JP, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
A61B 5/00-5/01