

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6421475号  
(P6421475)

(45) 発行日 平成30年11月14日(2018.11.14)

(24) 登録日 平成30年10月26日(2018.10.26)

(51) Int.Cl.	F I
A 6 3 B 71/06 (2006.01)	A 6 3 B 71/06 J
A 6 3 B 69/00 (2006.01)	A 6 3 B 69/00 C

請求項の数 11 (全 23 頁)

(21) 出願番号	特願2014-133769 (P2014-133769)	(73) 特許権者	000001443
(22) 出願日	平成26年6月30日 (2014. 6. 30)		カシオ計算機株式会社
(65) 公開番号	特開2016-10562 (P2016-10562A)		東京都渋谷区本町 1 丁目 6 番 2 号
(43) 公開日	平成28年1月21日 (2016. 1. 21)	(74) 代理人	100096699
審査請求日	平成29年4月12日 (2017. 4. 12)		弁理士 鹿嶋 英實
		(72) 発明者	長坂 知明
			東京都羽村市栄町 3 丁目 2 番 1 号 カシオ
			計算機株式会社 羽村技術センター内
		審査官	大澤 元成

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 データ解析装置及びデータ解析方法、データ解析プログラム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

隣接する 2 つの区間が互いに繋がっている複数の区間を有し、互いに繋がっている前記区間の各々の延在方向に沿った形状が互いに異なっているコース内を移動中のユーザの身体<sup>10</sup>の体軸上又はその近傍に装着された角速度センサからの角速度データを時系列的に収集し、前記角速度データの前記コースの形状に対応した変化に基づいて、前記ユーザが前記複数の区間のそれぞれの間の複数の境界を通過した時刻に対応する、複数の区間変化点の時刻を推定する、区間推定部と、

前記複数の区間変化点の時刻と、前記各区間の距離の値と、に基づいて、前記ユーザの前記各区間における移動速度の前記ユーザの移動開始時からの経過時間における推定値を示す時系列速度データを生成する時系列速度データ生成部と、

前記複数の区間における互いに繋がっている 2 つの前記区間での前記移動速度の差を算出し、前記差の合算値を減らす方向に、前記複数の区間変化点の少なくとも何れかの時刻を調整して、前記各区間における前記移動速度の値を適正な値にする、速度データ調整部と、

を有することを特徴とするデータ解析装置。

【請求項 2】

前記各区間の前記移動速度の前記適正な値に基づく指標を運動指標として提供する運動指標提供部を備えることを特徴とする請求項 1 に記載のデータ解析装置。

【請求項 3】

前記速度データ調整部は、

- (i)前記複数の区間変化点の少なくとも何れかの時刻を調整したときの、時間的に隣接する2つの前記区間の各々における前記移動速度の差の変化、
  - (ii)前記2つの区間のうちの、時間的に前の一方の区間と、当該一方の区間と時間的に隣接して、時間的に前の前記区間の各々における前記移動速度の差の変化、及び、
  - (iii)前記2つの区間のうちの、時間的に後の他方の区間と、当該他方の区間と時間的に隣接して、時間的に後の前記区間の各々における前記移動速度の差の変化、
- に基づいて、前記各区間変化点の時刻を調整することを特徴とする請求項1又は2に記載のデータ解析装置。

#### 【請求項4】

前記速度データ調整部は、

- 前記区間推定部により推定される1つの第1区間変化点を $C P i$ とし、
- 前記第1区間変化点 $C P i$ に隣接して前記第1区間変化点 $C P i$ より前の時刻の第2区間変化点を $C P i-1$ とし、
- 前記第1区間変化点 $C P i$ に隣接して前記第1区間変化点 $C P i$ より後の時刻の第3区間変化点を $C P i+1$ とし、
- 前記第1区間変化点 $C P i$ に対し時間的に前後の前記区間における前記移動速度の推定値の差の絶対値の、前記区間変化点の時刻の調整を行う前の値を  $i0$ 、
- 前記第2区間変化点 $C P i-1$ に対し時間的に前後の前記区間における前記移動速度の推定値の差の絶対値の、前記区間変化点の時刻の調整を行った後の値を  $i-1$ 、
- 前記第1区間変化点 $C P i$ に対し時間的に前後の前記区間における前記移動速度の推定値の差の絶対値の、前記区間変化点の時刻の調整を行った後の値を  $i$ 、
- 前記第3区間変化点 $C P i+1$ に対し時間的に前後の前記区間における前記移動速度の推定値の差の絶対値の、前記区間変化点の時刻の調整を行った後の値を  $i+1$ とし、
- $c1$ 、 $c2$ を定数として、式(A)によるcostの値が最小となるように前記第1区間変化点 $C P i$ の時刻を調整することを特徴とする請求項3に記載のデータ解析装置。

$$\text{cost} = c1 \times |i - i0| + c2 \times (i-1 + i + i+1) \cdots (A)$$

#### 【請求項5】

- 前記角速度データに基づいて、前記ユーザの前記コース上の進行方向の、所定方向に対する角度の、複数の前記経過時間毎の複数の値を示す時系列角度データを生成する時系列角度データ生成部を有し、
- 前記区間推定部は、前記時系列角度データにおける前記角度の一定の前記経過時間に対する変化量の値の相違に基づいて、前記複数の区間変化点の時刻を推定することを特徴とする請求項1乃至4のいずれか1項に記載のデータ解析装置。

#### 【請求項6】

- 前記時系列角度データの前記複数の角度の値を、前記複数の角度の値の、前記経過時間に対する変化量の値の分布が互いに異なる複数のクラスタに分類するクラスタ分類部を備え、

- 前記区間推定部は、前記クラスタ分類部による前記複数のクラスタへの分類に基づいて、前記区間変化点を推定することを特徴とする請求項5に記載のデータ解析装置。

#### 【請求項7】

前記クラスタ分類部は、

- 前記時系列角度データの前記角度の複数の値を、一定の前記経過時間毎の変化量の値の順に並べ替えた結果に基づいて、前記角度の複数の値を前記複数のクラスタに分類し、
- 前記複数のクラスタにおける、前記複数の角度の値の、前記経過時間に対する変化量の値の分布の中心の値に基づいて、前記複数のクラスタの各々の、前記コースの延在方向に沿った形状に対応する属性を決定することを特徴とする請求項6に記載のデータ解析装置。

#### 【請求項8】

前記区間推定部は、

前記複数のクラスタにおける時間的に隣接する２つの前記クラスタの各々における前記時系列角度データの前記経過時間に対する変化傾向を示す直線の交点を算出し、

前記複数のクラスタに対する複数の前記交点を前記複数の区間変化点として推定することを特徴とする請求項６に記載のデータ解析装置。

【請求項９】

前記時系列角度データ生成部は、前記角速度データを前記経過時間に対して積分し、前記角速度データを前記積分した結果に対して、前記ユーザの前記体軸回りの回転動作の１周期毎の平均値を算出して、前記時系列角度データを生成することを特徴とする請求項５乃至８のいずれか１項に記載のデータ解析装置。

【請求項１０】

隣接する２つの区間が互いに繋がっている複数の区間を有し、互いに繋がっている前記区間の各々の延在方向に沿った形状が互いに異なっているコース内を移動中のユーザの身体の体軸上又はその近傍に装着された角速度センサからの角速度データを時系列的に収集し、

前記角速度データに基づいて、前記ユーザが前記複数の区間のそれぞれの間の複数の境界を通過した時刻に対応する複数の区間変化点の時刻を推定し、

前記推定した前記複数の区間変化点の時刻と、前記各区間の距離の値と、に基づいて、前記ユーザの前記各区間における移動速度の、前記複数の経過時間毎の推定値を示す時系列速度データを生成し、

前記複数の区間における互いに繋がっている２つの前記区間での前記移動速度の差を算出し、

前記差の合算値を減らす方向に、前記複数の区間変化点の少なくとも何れかの時刻を調整して、前記各区間における前記移動速度の値を適正な値にする、

ことを特徴とするデータ解析方法。

【請求項１１】

コンピュータに、

延在方向に沿った形状が互いに異なっていて、隣接する２つの区間が互いに繋がっている複数の区間を有するコース内を移動中のユーザの身体の体軸上又はその近傍に装着された角速度センサからの角速度データを時系列的に収集させ、

前記角速度データに基づいて、前記ユーザが前記複数の区間のそれぞれの間の複数の境界を通過した時刻に対応する複数の区間変化点の時刻を推定させ、

前記推定させた前記複数の区間変化点に基づいて前記ユーザが前記各区間の移動に要したと推定される時間と、前記各区間の距離の値と、に基づいて、前記ユーザの前記各区間における移動速度の、前記複数の経過時間毎の推定値を示す時系列速度データを生成させ、

前記複数の区間における互いに隣接する２つの前記区間での前記移動速度の差を算出させ、

前記複数の区間の各々における複数の前記差を合算した値を減らす方向に、前記複数の区間変化点の少なくとも何れかの時刻を調整させて、前記各区間における前記移動速度の値を適正化させる、

ことを特徴とするデータ解析プログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【０００１】

本発明は、人体の運動時の動作状態（運動状態）を可視化して提供するためのデータ解析装置及びデータ解析方法、データ解析プログラムに関する。

【背景技術】

【０００２】

近年、健康志向の高まりなどを背景に、日常的にランニングやウォーキング、サイクリング等の運動を行い、健康状態を維持、増進する人々が増えている。また、日常の運動を

10

20

30

40

50

通して、マラソン大会等の競技大会への参加を目指す人も増加している。このような人々は、自らの健康状態や運動状態を把握するため、種々の生体情報や運動情報を数値やデータで測定したり、記録したりすることに対して、意識や関心が非常に高い。また、競技大会等への参加を目指す人々は、当該競技での好成績を目標としているため、効率的かつ効果的なトレーニング方法に対する意識や関心も非常に高い。

#### 【 0 0 0 3 】

運動中に測定された数値やデータに基づいて、自らの健康状態や運動状態を把握するための指標としては、様々なものが知られている。例えば、ランニングの状況やフォームを定量的に評価する場合には、走行速度やストライド等の情報を、重要かつ基礎的な指標として用いることができる。ここで、ランニング中やマラソン中の走行速度やストライドを測定する方法としては、例えばGPS（全地球測位システム；Global Positioning System）による測位データや受信信号を利用する手法が知られている。例えば特許文献1には、人体に装着されたGPS受信装置により受信した搬送波のドップラー周波数から測定した人体の速度に基づいて算出された距離と、加速度センサにより検出された振動変位に基づいて演算された歩数と、に基づいて一步あたりのストライドを演算し、その後は、定期的にGPS電波を受信して更新されるストライドと積算される歩数に基づいて移動距離や移動速度を算出することが記載されている。また、例えば特許文献2には、GPS信号により取得されるユーザの現在位置に基づいて、ユーザの運動態様を判断し、運動エリア内にある場合には、ユーザの移動距離や移動速度、消費カロリー等の運動量を算出することが記載されている。

#### 【 先行技術文献 】

#### 【 特許文献 】

#### 【 0 0 0 4 】

【 特許文献 1 】 特開平 1 0 - 3 2 5 7 3 5 号 公 報

【 特許文献 2 】 特開 2 0 0 2 - 3 0 6 6 6 0 号 公 報

#### 【 発明の概要 】

#### 【 発明が解決しようとする課題 】

#### 【 0 0 0 5 】

上述した特許文献1、2には、GPSによる測位データや受信信号に基づいて、人体の移動速度や移動距離、ストライド等を算出したり、その補正をしたりする手法が開示されている。しかしながら、このような手法においては、屋内やビルの谷間などGPS電波の受信が困難な場所では、GPS信号を取得できなかったり、その取得状況によっては算出される移動速度や移動距離、ストライド等の精度が大きく変わってしまったりして、運動状態の的確な把握やその判断、改善に充分に役立てることができないという問題を有している。

#### 【 0 0 0 6 】

そこで、本発明においては上記問題点に鑑みて、GPSを用いることなく、時系列的に収集された各種のデータに基づいて、人体の運動状態に関わる指標を的確に推定し、運動状態の把握やその判断、改善に役立てることができるデータ解析装置及びデータ解析方法、データ解析プログラムを提供することを目的とする。

#### 【 課題を解決するための手段 】

#### 【 0 0 0 7 】

本発明に係るデータ解析装置は、

隣接する2つの区間が互いに繋がっている複数の区間を有し、互いに繋がっている前記区間の各々の延在方向に沿った形状が互いに異なっているコース内を移動中のユーザの身体の体軸上又はその近傍に装着された角速度センサからの角速度データを時系列的に収集し、前記角速度データの前記コースの形状に対応した変化に基づいて、前記ユーザが前記複数の区間のそれぞれの間の複数の境界を通過した時刻に対応する、複数の区間変化点の時刻を推定する、区間推定部と、

前記複数の区間変化点の時刻と、前記各区間の距離の値と、に基づいて、前記ユーザの

前記各区間における移動速度の前記ユーザの移動開始時からの経過時間における推定値を示す時系列速度データを生成する時系列速度データ生成部と、

前記複数の区間における互いに繋がっている2つの前記区間での前記移動速度の差を算出し、前記差の合算値を減らす方向に、前記複数の区間変化点の少なくとも何れかの時刻を調整して、前記各区間における前記移動速度の値を適正な値にする、速度データ調整部と、

を有することを特徴とする。

#### 【0008】

本発明に係るデータ解析方法は、

隣接する2つの区間が互いに繋がっている複数の区間を有し、互いに繋がっている前記区間の各々の延在方向に沿った形状が互いに異なっているコース内を移動中のユーザの身体の体軸上又はその近傍に装着された角速度センサからの角速度データを時系列的に収集し、

10

前記角速度データに基づいて、前記ユーザが前記複数の区間のそれぞれの間の複数の境界を通過した時刻に対応する複数の区間変化点の時刻を推定し、

前記推定した前記複数の区間変化点の時刻と、前記各区間の距離の値と、に基づいて、前記ユーザの前記各区間における移動速度の、前記複数の経過時間毎の推定値を示す時系列速度データを生成し、

前記複数の区間における互いに繋がっている2つの前記区間での前記移動速度の差を算出し、

20

前記差の合算値を減らす方向に、前記複数の区間変化点の少なくとも何れかの時刻を調整して、前記各区間における前記移動速度の値を適正な値にする、

ことを特徴とする。

#### 【0009】

本発明に係るデータ解析プログラムは、  
コンピュータに、

延在方向に沿った形状が互いに異なっていて、隣接する2つの区間が互いに繋がっている複数の区間を有するコース内を移動中のユーザの身体の体軸上又はその近傍に装着された角速度センサからの角速度データを時系列的に収集させ、

前記角速度データに基づいて、前記ユーザが前記複数の区間のそれぞれの間の複数の境界を通過した時刻に対応する複数の区間変化点の時刻を推定させ、

30

前記推定させた前記複数の区間変化点に基づいて前記ユーザが前記各区間の移動に要したと推定される時間と、前記各区間の距離の値と、に基づいて、前記ユーザの前記各区間における移動速度の、前記複数の経過時間毎の推定値を示す時系列速度データを生成させ、

前記複数の区間における互いに隣接する2つの前記区間での前記移動速度の差を算出させ、

前記複数の区間の各々における複数の前記差を合算した値を減らす方向に、前記複数の区間変化点の少なくとも何れかの時刻を調整させて、前記各区間における前記移動速度の値を適正化させる、

40

ことを特徴とする。

#### 【発明の効果】

#### 【0010】

本発明によれば、GPSを用いることなく、時系列的に収集された各種のデータに基づいて、人体の運動状態に関わる指標を的確に推定し、運動状態の把握やその判断、改善に役立てることができる。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0011】

【図1】本発明に係るデータ解析装置を適用した運動支援装置の一実施形態を示す概略構成図である。

50

【図 2】一実施形態に係る運動支援装置の制御方法（データ解析方法）の一例を示すフローチャートである。

【図 3】一実施形態に係るデータ解析方法において生成される角速度データの積分値と時系列角度データとの関係を示す図である。

【図 4】一実施形態に係るデータ解析方法におけるクラスタ分類処理の一例を示すフローチャートである。

【図 5】一実施形態に係るデータ解析方法におけるクラスタ分類処理を説明するための概念図である。

【図 6】一実施形態に係るデータ解析方法における区間推定処理の一例を示すフローチャートである。

【図 7】一実施形態に係るデータ解析方法における区間推定処理を説明するための概念図（その 1）である。

【図 8】一実施形態に係るデータ解析方法における区間推定処理を説明するための概念図（その 2）である。

【図 9】一実施形態に係るデータ解析方法における最適化処理の一例を示すフローチャートである。

【図 10】一実施形態に係るデータ解析方法における最適化処理を説明するための図（その 1）である。

【図 11】一実施形態に係るデータ解析方法における最適化処理を説明するための図（その 2）である。

【図 12】一実施形態に係るデータ解析方法における変化点位置決定処理の一例を示すフローチャートである。

【図 13】一実施形態に係るデータ解析方法における変化点位置決定処理を説明するための図である。

【図 14】一実施形態に係るデータ解析方法における最適化処理の効果を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0012】

以下に、本発明に係るデータ解析装置及びデータ解析方法、データ解析プログラムについて、実施形態を示して詳しく説明する。なお、以下の実施形態においては、本発明に係るデータ解析装置を運動支援装置に適用し、ユーザ（利用者）が陸上競技場等のトラックや所定のランニングコース、マラソンコース等を走った場合に収集される各種のデータ（センサデータ）に基づいて、走行中の移動速度やストライド（歩幅）を推定して、ユーザに提供する場合について説明する。

【0013】

（運動支援装置）

図 1 は、本発明に係るデータ解析装置を適用した運動支援装置の一実施形態を示す概略構成図である。図 1（a）は本実施形態に係る運動支援装置に適用されるセンサ機器等の人体への装着状態を示す概念図であり、図 1（b）はセンサ機器及びデータ解析装置の構成を示す概略ブロック図である。

【0014】

本発明の実施形態に係る運動支援装置は、例えば図 1（a）に示すように、ユーザ U S の腰部等に装着されるセンサ機器 100 と、ユーザ U S の手首等に装着されるコントロール機器 300 と、センサ機器 100 により収集されたセンサデータを解析するデータ解析装置 200 と、を有している。

【0015】

センサ機器 100 は、ランニングやマラソン等の移動を伴う運動中の人体の動作状態に関する各種のセンサデータを測定して蓄積する機能を有するモーションセンサである。ここで、本実施形態においては、センサ機器 100 としてユーザ U S の腰部に装着する構成を示したが、本発明はこれに限定されるものではない。人体の中心を通る体軸上に装着するものであれば他の位置、例えば胸部や頸部、腹部等に装着されるものであってもよい。

10

20

30

40

50

また、センサ機器 100 の人体への装着方法についても、特に限定するものではなく、例えばトレーニングウェアにクリップで挟み込む形態やテープ部材等で貼り付ける形態、ベルト等により体に巻き付ける形態等、種々の装着方法を適宜適用するものであってもよい。

#### 【0016】

センサ機器 100 は、具体的には、例えば図 1 (b) に示すように、加速度計測部 110 と、角速度計測部 120 と、記憶部 130 と、制御部 140 と、無線通信用インターフェース (以下、「無線通信 I/F」と略記する) 150 と、有線通信用インターフェース (以下、「有線通信 I/F」と略記する) 160 と、を備えている。

#### 【0017】

加速度計測部 110 は、ユーザ U S の運動中の動作速度の変化の割合 (加速度) を計測する。加速度計測部 110 は、3 軸加速度センサを有し、互いに直交する 3 軸方向の各々に沿った加速度成分 (加速度信号) を検出して加速度データとして出力する。また、角速度計測部 120 は、ユーザ U S の運動中の動作方向の変化 (角速度) を計測する。角速度計測部 120 は、3 軸角速度センサを有し、上記加速度データを規定する、互いに直交する 3 軸について、各軸に沿った回転運動の回転方向に生じる角速度成分 (角速度信号) を検出して角速度データとして出力する。加速度計測部 110 及び角速度計測部 120 により取得されたセンサデータ (加速度データ、角速度データ) は、後述する制御部 140 において生成される時間データに関連付けられて、後述する記憶部 130 の所定の記憶領域に保存される。

#### 【0018】

記憶部 130 は、加速度計測部 110 及び角速度計測部 120 により取得されたセンサデータ (加速度データ、角速度データ) を、時間データに関連付けて所定の記憶領域に保存する。なお、記憶部 130 は、その一部又は全部が、例えばメモリカード等のリムーバブル記憶媒体としての形態を有し、センサ機器 100 に対して着脱可能に構成されているものであってもよい。

#### 【0019】

制御部 140 は、計時機能を備えた CPU (中央演算処理装置) や MPU (マイクロプロセッサ) 等の演算処理装置であって、所定の動作クロックに基づいて、所定の制御プログラムを実行する。これにより、制御部 140 は、加速度計測部 110 や角速度計測部 120 におけるセンシング動作や、記憶部 130 への各種のデータ保存、読出し動作、後述する無線通信 I/F 150 や有線通信 I/F 160 における外部機器との通信やデータ転送動作等の、各種の動作を制御する。

#### 【0020】

無線通信 I/F 150 は、少なくとも、後述するコントロール機器 300 から送信される、センサ機器 100 におけるログ開始又はログ終了を指示する命令信号を受信して制御部 140 に転送する。これにより、加速度計測部 110 や角速度計測部 120 におけるセンシング動作の開始又は終了が制御されて、当該センシング動作の期間中に取得されたセンサデータが、記憶部 130 の所定の記憶領域に時系列的に保存される。ここで、無線通信 I/F 150 において、センサ機器 100 とコントロール機器 300 との間で、各種の信号を伝送する手法としては、例えばブルートゥース (Bluetooth (登録商標)) やワイファイ (WiFi ; wireless fidelity (登録商標)) 等の各種の無線通信方式を適用することができる。

#### 【0021】

有線通信 I/F 160 は、少なくとも、記憶部 130 に保存されたセンサデータを、後述するデータ解析装置 200 に転送する機能を有している。これにより、データ解析装置 200 において、ユーザ U S の走行速度やストライドを推定する所定のデータ解析処理が実行される。ここで、有線通信 I/F 160 において、センサ機器 100 からデータ解析装置 200 にセンサデータを伝送する手法としては、例えば USB (Universal Serial Bus) 規格の通信ケーブル (USB ケーブル) 等を介した各種の有線通信方式を適用するこ

10

20

30

40

50

とができる。

#### 【0022】

データ解析装置200は、ユーザUSの運動中にセンサ機器100により測定され蓄積された各種のセンサデータに基づいて、人体の運動状態に関わる指標（運動指標）として、移動速度（走行速度）及びストライドを推定して提供する機能を有している。ここで、データ解析装置200は、後述するデータ解析プログラムを実行できる機能を有するものであれば、ノート型やデスクトップ型のパーソナルコンピュータであってもよいし、スマートフォン（高機能携帯電話機）やタブレット端末のような携帯情報端末であってもよい。また、データ解析装置200は、データ解析プログラムをネットワーク上のクラウドシステムを利用して実行する場合には、当該クラウドシステムに接続された通信端末であつてもよい。

10

#### 【0023】

データ解析装置200は、具体的には、例えば図1（b）に示すように、表示部210と、記憶部230と、制御部（時系列角度データ生成部、クラスタ分類部、区間推定部、時系列速度データ生成部、速度データ調整部、運動指標提供部）240と、入力操作部250と、有線通信I/F260と、を備えている。

#### 【0024】

表示部210は、例えばカラー表示が可能な液晶方式や、有機EL素子等の発光素子方式の表示パネルを有し、少なくとも後述する入力操作部250を用いた入力操作や、センサデータに基づく解析結果に関連する情報等を所定の形態で表示する。具体的には、表示部210は、例えば、後述する記憶部230に保存されたセンサデータ（加速度データ、角速度データ）や、これらのセンサデータに基づいて算出される走行速度やストライドを示すグラフ、各種の設定メニュー等を表示する。

20

#### 【0025】

記憶部230は、後述する有線通信I/F260を介してセンサ機器100から転送されたセンサデータを所定の記憶領域に保存する。ここで、記憶部230に蓄積されるセンサデータは、例えば走行方法（練習内容等）やコース条件（コースの種類や走行距離、コーナー角度等）に関連付けて時系列的に保存される。また、記憶部230に蓄積されるセンサデータは、特定のユーザのものであってもよいし、複数のユーザのものであってもよい。また、記憶部230は、後述する制御部240において、所定の制御プログラムやアルゴリズムプログラムを実行して、走行速度やストライドを示すデータやグラフを生成する際や、表示部210に各種の情報を表示する際に使用するデータや生成されるデータを保存する。なお、記憶部230は、制御部240において実行される制御プログラムやアルゴリズムプログラムが保存されるものであってもよい。また、記憶部230は、その一部又は全部が、例えばメモ리카ード等のリムーバブル記憶媒体としての形態を有し、データ解析装置200に対して着脱可能に構成されているものであってもよい。

30

#### 【0026】

制御部240は、CPUやMPU等の演算処理装置であって、所定の制御プログラムを実行することにより、表示部210における各種情報の表示や、後述する有線通信I/F260におけるセンサ機器100からのセンサデータの転送、記憶部230におけるセンサデータの保存や読出し等の、各種の動作を制御する。また、制御部240は、記憶部130に保存されている所定のアルゴリズムプログラムを実行することにより、ユーザUSが所望するトレーニングや試技について、対応するセンサデータを記憶部230から抽出し、運動指標である走行速度やストライドを推定する解析処理を行う。ここで、制御部240において実行される制御プログラムやアルゴリズムプログラムは、制御部240の内部に予め組み込まれているものであってもよい。なお、本実施形態に係るデータ解析方法については、詳しく後述する。

40

#### 【0027】

入力操作部250は、データ解析装置200に付設されるキーボードやマウス、タッチ

50



パッド、タッチパネル等の入力手段である。入力操作部 250 は、ユーザ US が表示部 210 に表示される任意の項目やアイコンを選択したり、画面表示中の任意の位置を指示したりすることにより、当該項目やアイコン、位置に対応する機能が実行される。入力操作部 250 は、例えば、記憶部 230 に保存されたセンサデータから解析処理を行うトレーニングや試技を選択する際等の入力操作に用いられる。ここで、入力操作部 250 に適用される入力手段は、例えば上述した各種の入力手段のうち、いずれか 1 つを備えているものであってもよいし、複数の入力手段を備えているものであってもよい。

#### 【0028】

有線通信 I/F 260 は、少なくとも、上述したセンサ機器 100 から送信されるセンサデータを受信して記憶部 230 に転送する機能を有している。ここで、有線通信 I/F 260 において、センサ機器 100 からセンサデータを受信する手法としては、上述した USB ケーブル等を介した有線通信方式を適用することができる。

#### 【0029】

コントロール機器 300 は、少なくともセンサ機器 100 に対して、所定の無線通信方式を用いて接続され、ユーザ US がコントロール機器 300 の操作部を操作することにより、コントロール機器 300 からセンサ機器 100 にログ開始又はログ終了を指示する命令信号が送信される。これにより、センサ機器 100 において、加速度計測部 110 や角速度計測部 120 におけるセンシング動作の開始又は終了が制御される。ここで、コントロール機器 300 とセンサ機器 100 との間で各種の信号を伝送する手法としては、上述したブルートゥース (Bluetooth (登録商標)) やワイファイ (WiFi; wireless fidelity (登録商標)) 等の各種の無線通信方式を適用することができる。なお、コントロール機器 300 は、上記のセンサ機器 100 におけるセンシング動作の制御の他、センサ機器 100 において取得されたセンサデータや、センサ機器 100 の動作状態、時刻情報等を表示 (又は報知) する機能を有しているものであってもよい。

#### 【0030】

なお、本実施形態に係る運動支援装置においては、有線通信によりセンサ機器 100 とデータ解析装置 200 との間でデータ伝送を行い、無線通信によりセンサ機器 100 とコントロール機器 300 との間でデータ伝送を行う構成を示したが、本発明はこれに限定されるものではない。すなわち、無線通信によりセンサ機器 100 とデータ解析装置 200 との間でデータ伝送するものであってもよいし、有線通信によりセンサ機器 100 とコントロール機器 300 との間でデータ伝送するものであってもよい。また、センサ機器 100 の記憶部 130 やデータ解析装置 200 の記憶部 230 を構成するメモリカード等のリムーバブル記憶媒体を差し替えることにより、センサ機器 100 からデータ解析装置 200 にセンサデータを伝送する手法を適用するものであってもよい。

#### 【0031】

また、本実施形態においては、コントロール機器 300 として、図 1 (a) に示すように、ユーザ US の手首に装着する腕時計型 (又はリストバンド型) の形態を有する機器を示したが、本発明はこれに限定されるものでない。すなわち、コントロール機器は、例えばポケットに収納されたり、上腕部に装着されたりしたスマートフォン等の携帯情報端末や専用端末であってよいし、センサ機器 100 とは別個の機器を用いることなく、センサ機器本体にログ開始又はログ終了を指示する操作スイッチを設けたものであってもよい。

#### 【0032】

(データ解析方法)

次に、本実施形態に係る運動支援装置における制御方法 (データ解析方法) について、図面を参照して説明する。ここでは、本実施形態に係るセンサ機器 100 における運動中のセンサデータの収集、蓄積から、データ解析装置 200 における運動状態に関わる指標 (走行速度、ストライド) を推定してユーザに提供するまでの、一連の制御処理について説明する。

#### 【0033】

図 2 は、本実施形態に係る運動支援装置の制御方法（データ解析方法）の一例を示すフローチャートであり、図 3 は、本実施形態に係るデータ解析方法において生成される角速度データの積分値と時系列角度データとの関係を示す図である。図 4 は、本実施形態に係るデータ解析方法におけるクラスタ分類処理の一例を示すフローチャートであり、図 5 は、本実施形態に係るデータ解析方法におけるクラスタ分類処理を説明するための概念図である。図 6 は、本実施形態に係るデータ解析方法における区間推定処理の一例を示すフローチャートであり、図 7、図 8 は、本実施形態に係るデータ解析方法における区間推定処理を説明するための概念図である。図 9 は、本実施形態に係るデータ解析方法における最適化処理の一例を示すフローチャートであり、図 10、図 11 は、本実施形態に係るデータ解析方法における最適化処理を説明するための図である。図 12 は、本実施形態に係るデータ解析方法における変化点位置決定処理の一例を示すフローチャートであり、図 13 は、本実施形態に係るデータ解析方法における変化点位置決定処理を説明するための図である。図 14 は、本実施形態に係るデータ解析方法における最適化処理の効果を示す図である。

10

#### 【0034】

本実施形態に係る運動支援装置における制御方法（データ解析方法）は、大別して、ランニング時の運動状態に関する各種のセンサデータを収集して蓄積する手順（センサデータ収集手順）と、収集したセンサデータに基づいて運動状態に関わる指標（走行速度、ストライド）を推定してユーザ US に提供する手順（指標推定手順）と、を有している。ここで、指標を推定するための処理は、データ解析装置 200 の制御部 240 において実行される所定のアルゴリズムプログラムに基づいて実現される。

20

#### 【0035】

センサデータ収集手順においては、まず、図 1（a）に示したように、ユーザ US がセンサ機器 100 を腰部に装着した状態で、競技場のトラックや所定のランニングコース、マラソンコースのような、ユーザの進行方向におけるコースの角度が互いに異なる複数の区間（例えばトラックのストレートとカーブ等）を有し、且つ、全体の距離及び各区間の距離が既知である（判明している）コースを、ランニング等により走行する。ここで、ランニングを開始する際に、ユーザ US が手首等に装着したコントロール機器 300 を操作することにより、コントロール機器 300 からセンサ機器 100 にログ開始を指示する命令信号が送信される。これにより、センサ機器 100 の制御部 140 は、加速度計測部 110 及び角速度計測部 120 におけるセンサデータ（加速度データ、角速度データ）の計測を開始し、記憶部 130 に順次保存する。そして、ランニングを終了する際に、ユーザ US がコントロール機器 300 を操作することにより、センサ機器 100 にログ終了を指示する命令信号が送信されて、加速度計測部 110 及び角速度計測部 120 におけるセンサデータの計測が終了する。これにより、ランニング中の動作状態を示すセンサデータが、時間データに関連付けられて取得される。

30

#### 【0036】

次いで、センサ機器 100 とデータ解析装置 200 とを USB ケーブルで接続することにより、走行中に蓄積されたセンサデータがセンサ機器 100 からデータ解析装置 200 に転送され、記憶部 230 に保存される。ここで、ユーザ US は、センサ機器 100 からデータ解析装置 200 にセンサデータを転送する際（又は、記憶部 230 に保存されたセンサデータを表示部 210 で参照しつつ）、当該センサデータを取得した際のランニング（運動状態）に関する諸情報を、入力操作部 250 を用いて入力する。具体的には、ランニング時の走行方法（練習内容等）やコース条件（コースの種類や走行距離、コーナー角度等）、ユーザ名等の項目情報が入力される。

40

#### 【0037】

次いで、制御部 240 は、記憶部 230 に保存されたセンサデータのうちの加速度データに対して軸補正処理を実行する。一般に、人体の体幹に装着したセンサ機器 100 は、ランニング等の運動中の上体の揺れや傾きの影響を受けるため、重力方向の軸と、センサ機器 100 により検出される人体の上下方向の加速度の軸との間に差異が生じている。そ

50

のため、センサ機器 100 により取得された角速度データの値に基づいて、時刻ごとに異なる上記軸方向の差異成分を相殺する補正を行う必要がある。

【0038】

軸補正処理においては、具体的には、まず、制御部 240 がセンサ機器 100 により取得された角速度データに基づいて、各時刻の重力方向を推定する。そして、制御部 240 は、推定した重力方向と加速度データの上下方向が一致するように、加速度データの各軸を回転することで、加速度データの値を補正する。この補正後の加速度データと角速度データは、補正後センサデータとして記憶部 230 の所定の記憶領域に保存される。

【0039】

次いで、指標推定手順においては、制御部 240 は、上記の補正後センサデータを解析して、ランニング時の運動状態に関わる指標として、ピッチ、上下動、接地時間等をランニング動作の一步毎に計算し、さらに、走行速度及びストライドを算出して推定する処理を実行する。なお、本実施形態においては、説明を簡明にするために、典型的なストレート区間とカーブ区間の 2 種類の、コースの角度が互いに異なる 2 つの区間を有する陸上競技場等のトラックを、ユーザ US が走行する場合を想定するものとする。しかしながら、本実施形態の対象となるコースは、このようなトラックに限定されるものではなく、走行距離が既知であれば、コースの角度が互いに異なる、3 つ以上の区間（例えばストレート区間、緩いカーブ区間、急なカーブ区間等）を有するコースであっても同様の概念を適用することができる。

【0040】

指標推定処理においては、具体的には、まず、ユーザ US がデータ解析装置 200 の入力操作部 250 を用いて、記憶部 230 に保存された任意の補正後センサデータを選択する。これにより、制御部 240 は、所定のアルゴリズムプログラム（データ解析プログラム）を実行して、図 2 のフローチャートに示すように、当該補正後センサデータについて、鉛直軸回りの角速度を積分する（ステップ S102）。ここで、鉛直軸とは、地表に垂直な重力方向を示す軸であって、制御部 240 は、補正後センサデータから当該鉛直軸回りの角速度データを抽出して積分処理する。この角速度データを積分処理した結果は、例えば図 3（a）中の破線で示される。

【0041】

次いで、制御部 240 は、上記の角速度データを積分処理した結果について、ランニング動作の周期ごとに平均値を算出し、時系列角度データを生成する（ステップ S104）。この時系列角度データは、例えば図 3（a）中の実線で示される。ここで、周期とは、ランニング時に正面を向いている時を起点として、2 歩進んだ後、再び正面を向くまでの期間とする。具体的には、例えば図 3（b）に示すように、周期的な変化を繰り返す時系列角度データにおいて、ランニング動作の 2 歩分（角度が正方向及び負方向に 1 回ずつ振れる期間）が 1 周期を示す。あるいは、ランニング動作の周期は、センサデータのうちの上下方向の加速度データから検出される左右の足の着地タイミングに基づいて 1 周期を算出するものであってもよい。また、図 3（a）に示した時系列角度データにおいて、時間の経過とともに角度が増加する領域 R1 はカーブ区間を示し、時間の経過に関わらず角度が略一定（略均等）の領域 R2 はストレート区間を示す。すなわち、ユーザ US がストレート区間とカーブ区間を交互に繰り返す陸上競技場等のトラックを走行する場合、図 3（a）に示した時系列角度データは、当該トラックの連続するカーブ区間（領域 R1）とストレート区間（領域 R2）に相当する。

このようにして生成された時系列角度データは、例えば表示部 210 の画面上にグラフ等の所定の形態で表示される。

【0042】

次いで、制御部 240 は、上記の時系列角度データを、ストレートクラスとカーブクラスとに分類する一連のクラスタ分類処理（クラスタリング）を実行する（ステップ S106）。本実施形態においては、例えば周知の手法である「判別分析法（大津の二値化）」を適用して、クラスタ分類処理を実行する。具体的には、図 4 のフローチャートに示

10

20

30

40

50

すように、制御部 240 は、まず時系列角度データを角度順に昇順でソート（並び替え）を行う（ステップ S 202）。

【0043】

次いで、制御部 240 は、例えば図 5（a）に示すように、角度順にソートされた時系列角度データに対して、判別分析法を用いて、角度データを良好に分離するための閾値を決定する（ステップ S 204）。ここで、判別分離法（例えば、大津の二値化）においては、例えば図 5（a）、（b）に示すように、閾値となる角度を順次変化（増加）させて、角度データの分布において分散度（実質的にクラス間分散）の値が最大となる閾値が求められる。次いで、例えば図 5（b）に示すように、制御部 240 は、決定した閾値を基準（境界）にして、角度データの分布における当該閾値未満のクラス（図中、左側のクラスタ）の重心と、当該閾値以上のクラス（図中、右側のクラスタ）の重心を算出する（ステップ S 206）。そして、例えば図 5（b）に示すように、制御部 240 は、算出した 2 つの重心のうち、角度の絶対値が 0 に近い方の重心のクラス（図中、左側のクラスタ）をストレートクラスとし、他方のクラス（図中、右側のクラスタ）をカーブクラスとする（ステップ S 208）。このようなクラスの分類及び属性の決定は、一般にランニング等の走行動作において、ストレート区間を走行中は人体の傾斜や揺れ等を示す角度の変化が相対的に少なく、カーブ区間を走行中は角度の変化が相対的に大きいことを根拠とするものである。

10

【0044】

次いで、制御部 240 は、ストレートクラス及びカーブクラスに分類（決定）された角度データを、角度順にソートされている状態から元の時系列順にソートし直して（ステップ S 210）、クラス分類処理を終了し、図 2 に示したフローチャートに戻る。

20

【0045】

なお、制御部 240 は、上記のステップ S 208 において角度データをストレートクラス及びカーブクラスに分類した後、例えば図 5（c）に示すように、各クラスに含まれる角度データのうち、重心から大きく外れるデータを当該クラスから除外する処理をさらに実行するものであってもよい。ここで、各クラスにおいて重心から大きく外れるデータとは、ストレート区間とカーブ区間の境界において取得されたデータであったり、突発的な動きの影響を受けたデータであったりする可能性がある。そこで、例えば各クラスの標準偏差の 2 倍以上、重心から外れるデータを除外の対象とする。

30

【0046】

また、上述した一連のクラス分類処理（クラスタリング）においては、判別分析法（大津の二値化）を適用した手法を示したが、本発明はこれに限定されるものではなく、例えば「K 平均法（k-means clustering）」等の、他の周知の手法を適用するものであってもよい。

【0047】

次いで、制御部 240 は、上記のクラス分類処理の結果に基づいて、ストレート区間及びカーブ区間を推定する一連の区間推定処理を実行する（ステップ S 108）。ここで、本実施形態において実行する区間推定処理は、時系列角度データに適用することにより、センサ機器 100 により収集したセンサデータに含まれているノイズやドリフト成分の影響を除去又は低減する作用を含んでいる。

40

【0048】

本実施形態においては、上記のステップ S 106 におけるクラス分類処理の結果に基づいて、例えば図 7（a）に示すように、時系列角度データがストレートとカーブの 2 つのクラスに分類されている。ここで、図 7（a）に示す時系列角度データは、図 5 に示したような、理想的な状態における時系列角度データとは異なり、センサデータにノイズやドリフト成分が含まれている、より現実的な状態における時系列角度データの一例である。

【0049】

本実施形態における区間推定処理においては、図 6 のフローチャートに示すように、制

50

御部 240 は、時系列角度データ上で分類されているストレートとカーブのクラスタを、次の手順で所定の時間以内でのまとまりからグループ化する（ステップ S302）。

【0050】

具体的には、制御部 240 は、まず、時系列角度データ上の同じクラスタで時間的に連続している点を、例えば図 7（b）に示すように、同一のグループとしてまとめる。図 7（b）においては、ストレート 1～3 とカーブ 1～3 にグループ化した状態を示している。ここで、ストレート 2 とカーブ 2 に含まれる点は、センサデータに含まれているノイズやドリフト成分に起因する異常値である。

【0051】

次いで、制御部 240 は、同じクラスタ内のグループ同士を比較し、所定時間  $T_a$  以上離れていないグループ同士を統合する。例えば図 7（b）において、同じクラスタ内のストレート 1、2、3 の各グループに着目し、グループ相互が例えば 10 秒以上離れていない場合には、例えば図 7（c）に示すように、これらのグループが 1 つのグループ（ストレート 1）に統合される。ここで、グループ同士の統合の可否を判断するための所定時間  $T_a$  は、本実施形態のようにトラックを走行する場合には、例えば 10 秒程度に設定することが好ましい。

10

【0052】

次いで、制御部 240 は、上記のグループの統合後、例えば図 7（d）に示すように、各グループ内に存在する所定時間  $T_b$  以下のグループを削除する。図 7（d）においては、ストレート 1 のグループ内に存在するカーブ 2 のグループを削除した状態を示している。ここで、グループの削除の可否を判断するための所定時間  $T_b$  は、本実施形態のようにトラックを走行する場合には、例えば 10 秒程度に設定することが好ましい。

20

【0053】

次いで、制御部 240 は、グループ化されたクラスタごとに最小二乗法を用いて直線を算出する（ステップ S304）。具体的には、例えば図 8（a）に示すように、時系列角度データにおいてグループ  $G_1 \sim G_4$  をそれぞれ含む各クラスタについて、例えば図 8（b）に示すように、各クラスタ（グループ  $G_1 \sim G_4$ ）の角度の時間変化の傾向を示す直線  $L_1 \sim L_4$  が算出される。

【0054】

次いで、制御部 240 は、時間的に隣接する異なるクラスタの直線の交点を算出する（ステップ S306）。具体的には、例えば図 8（b）に示すように、時系列角度データ上のクラスタ（グループ  $G_1 \sim G_4$ ）ごとに算出された直線  $L_1 \sim L_4$  について、例えば図 8（c）に示すように、時間的に隣接する異なるクラスタの直線相互の交点が算出される。図 8（c）においては、直線  $L_1$  と  $L_2$  の交点  $CP_1$ 、直線  $L_2$  と  $L_3$  の交点  $CP_2$ 、直線  $L_3$  と  $L_4$  の交点  $CP_3$  を算出した状態を示している。

30

【0055】

次いで、制御部 240 は、時間的に隣接する 2 つの交点間の区間を、その区間のクラスタの属性に基づいて、ストレート区間、カーブ区間と決定して記憶部 230 に保存する（ステップ S308）。具体的には、例えば図 8（c）に示すように、時系列角度データ上のクラスタ（グループ  $G_1 \sim G_4$ ）ごとの直線  $L_1 \sim L_4$  に基づいて算出された交点  $CP_1 \sim CP_3$  について、隣接する交点間の区間が、例えば当該区間のクラスタに含まれるグループ  $G_1 \sim G_4$  における角度の時間変化の傾向（又は、直線  $L_1 \sim L_4$  の傾き）に基づいて、例えば図 8（d）に示すように、各区間がストレート区間又はカーブ区間として決定される。図 8（d）においては、交点  $CP_1$  と  $CP_2$  間の区間をストレート区間、交点  $CP_2$  と  $CP_3$  間の区間をカーブ区間と決定した状態を示している。

40

【0056】

このような区間推定処理の終了後、図 2 に示したフローチャートに戻る。なお、以下の説明においては、上記の交点を、便宜的に「区間変化点」と表記する。上述したように、区間変化点（交点  $CP_1 \sim CP_3$ ）は、各ストレート区間及びカーブ区間を規定するものであるとともに、ストレート区間とカーブ区間相互の境界を示すものである。

50

## 【 0 0 5 7 】

次いで、制御部 2 4 0 は、上記のステップ S 1 0 8 において決定（推定）したストレート区間及びカーブ区間の所要時間と、既知である各区間の距離とに基づいて、次の（１）式によりランニング中の走行速度を算出して時系列速度データを生成する（ステップ S 1 1 0）。

$$\text{走行速度 (m/s)} = \text{区間距離 (m)} / \text{所要時間 (s)} \quad \cdots (1)$$

このようにして生成された時系列速度データは、例えば表示部 2 1 0 の画面上にグラフ等の所定の形態で表示される。

## 【 0 0 5 8 】

次いで、制御部 2 4 0 は、上記のステップ S 1 1 0 において生成された時系列速度データについて、走行速度を最適化（又は適正化）するための一連の最適化処理を実行する（ステップ S 1 1 2）。本実施形態においては、陸上競技場等のトラックのように、少なくとも連続するストレート区間とカーブ区間を走行する場合には、走行速度が急激に変化することは少なく、緩やか（又は、滑らか）に変化するという仮定に基づいて最適化処理を行う。ここで、本実施形態で実行される最適化処理においては、繰り返し処理を行うことにより処理結果を徐々に解（真の値）に近付けていく手法を適用する。

## 【 0 0 5 9 】

最適化処理においては、具体的には、図 9 のフローチャートに示すように、まず、制御部 2 4 0 が一連の最適化処理の繰り返しが所定回数未満か否かを判定する（ステップ S 4 0 2）。そして、処理の繰り返しが所定回数未満の場合には、制御部 2 4 0 は、時系列速度データの隣接する区間ごとの速度差及びその総和を計算する（ステップ S 4 0 4）。一連の最適化処理が所定回数繰り返されている場合には、制御部 2 4 0 は、繰り返し処理を終了して、図 2 に示したフローチャートに戻る。

## 【 0 0 6 0 】

次いで、前回の繰り返し処理において上記ステップ S 4 0 4 により計算された速度差の総和が存在する場合には、制御部 2 4 0 は、今回と前回の速度差の総和の差の絶対値が所定の閾値以下であるか否かを判定する（ステップ S 4 0 6）。速度差の総和の差の絶対値が所定の閾値以下であれば、制御部 2 4 0 は、繰り返し処理を終了して、図 2 に示したフローチャートに戻る。すなわち、上記の速度差の総和の差の絶対値が所定の閾値以下である場合には、今回と前回の繰り返し処理において、処理結果が解（真の値）に収束したとみなすことができるため、制御部 2 4 0 は、最適化処理を終了する。

## 【 0 0 6 1 】

一方、上記の終了条件（ステップ S 4 0 2、S 4 0 6）を満たさなかった場合、すなわち、最適化処理が所定回数繰り返されておらず、かつ、今回と前回の速度差の総和の差の絶対値が所定の閾値よりも大きい場合には、区間ごとの速度差に基づいて、隣接する速度差の和（隣接速度差和）を計算する（ステップ S 4 0 8）。

## 【 0 0 6 2 】

ここで、図 1 0（a）に示すようなグラフで表される時系列角度データ（上図）及びそれに対応する時系列速度データ（下図）において、時系列角度データのある区間変化点 C P a を移動させた場合（上図中、矢印で表記）、図 1 0（b）に示すように、時系列速度データの、当該区間変化点 C P a により規定される隣接するカーブ区間 S C a とストレート区間 S C b との速度差が同時に影響を受ける（下図中、矢印で表記）ことになる。そのため、一箇所（すなわち、特定の区間）の速度差だけを考慮するのではなく、隣接する区間の速度差も考慮する必要がある。そこで、本実施形態においては、隣接する区間の速度差の和を計算して、走行速度の最適化処理に用いる。

## 【 0 0 6 3 】

具体的には、制御部 2 4 0 は、例えば図 1 1 に示すように、時系列角度データ（上図）の各区間変化点 C P a ～ C P d について、時系列速度データ（下図）における各区間の走行速度の差分 1 ～ 6 を用いて、各隣接速度差和 A ～ D を計算する。図 1 1 においては、区間変化点 C P a に着目した場合、当該区間変化点 C P a におけるカーブ区間とストレ

10

20

30

40

50

ート期間との走行速度の差 2 と、区間変化点 C P a に隣接する区間変化点 C P x におけるカーブ区間とストレート期間との走行速度の差 1 と、区間変化点 C P b におけるカーブ区間とストレート期間との走行速度の差 3 と、の総和を、区間変化点 C P a における隣接速度差和 A として算出した状態を示している。なお、詳細を省略するが、他の区間変化点 C P b ~ C P d における隣接速度差和 B ~ D についても同様に算出される。

【 0 0 6 4 】

次いで、制御部 2 4 0 は、上記のステップ S 4 0 8 により各区間変化点における隣接速度差和を算出した後、当該隣接速度差和が大きい順に、区間変化点の位置を適正な位置に決定する一連の変化点位置決定処理を実行する（ステップ S 4 1 0 ）。

【 0 0 6 5 】

変化点位置決定処理においては、具体的には、図 1 2 のフローチャートに示すように、まず、制御部 2 4 0 が一連の変化点位置決定処理を全ての隣接速度差和に対して実行したか否かを判定する（ステップ S 5 0 2 ）。全ての隣接速度差和に対して処理が完了している場合には、制御部 2 4 0 は、変化点位置決定処理を終了して、図 9 に示したフローチャートに戻る。

【 0 0 6 6 】

一方、全ての隣接速度差和に対して処理が完了していない場合には、制御部 2 4 0 は、隣接速度差和のうち、最大となるものを決定（抽出）する（ステップ S 5 0 4 ）。次いで、制御部 2 4 0 は、決定された最大の隣接速度差和の区間変化点を所定範囲内で移動させた時の、特定のパラメータを算出する。具体的には、制御部 2 4 0 は、図 1 3 に示すように、最大の隣接速度差和の区間変化点 C P i を所定範囲内で移動させつつ（上図中、矢印で表記）、次の（ 2 ）式で表されるパラメータである「cost」を算出して、そのときの区間変化点 C P i の位置（移動位置）に関連付けて記憶部 2 3 0 の所定の記憶領域に順次保存する（ステップ S 5 0 8 ）。なお、ここで、区間変化点を移動させる所定範囲内とは、対象とする区間変化点に隣接するストレート区間とカーブ区間の長さの和を 1 とした時に  $\pm 0.1$  程度に設定することが好ましい。

$$\text{cost} = c1 \times |i - i0| + c2 \times (i - i - 1 + i + i + 1) \cdots (2)$$

ここで、 $i - 1$ 、 $i$ 、 $i + 1$  は、それぞれ区間変化点 C P i - 1、C P i、C P i + 1 における速度差であり、 $i0$  は速度差の初期値、 $c1$ 、 $c2$  は係数である。

【 0 0 6 7 】

この cost を表す（ 2 ）式において、第一項は最大の隣接速度差和の区間変化点 C P i を移動させた時の速度差  $i$  と初期値の速度差  $i0$  との差の絶対値であり、cost を小さくするということは、区間変化点 C P i を初期値の位置から変化させないように作用することを意味している。また、（ 2 ）式において、第二項は区間変化点 C P i における隣接速度差和（区間変化点 C P i の速度差  $i$  と、その両隣の区間変化点 C P i - 1、C P i + 1 の速度差  $i - 1$ 、 $i + 1$  との総和）であり、cost を小さくするということは、隣接する区間の速度差を無くし（又は、低減し）、滑らかに変化するように作用させることを意味している。（ 2 ）式においては、これらの 2 つの項の影響（作用）を、係数  $c1$ 、 $c2$  の値を調整することにより最適化する処理を行う。

【 0 0 6 8 】

具体的には、係数  $c1$ 、 $c2$  の値は、本実施形態においてデータ解析の対象としているセンサデータを取得する際の練習内容が、例えばペース走等のように基本的に速度があまり変化しない走行動作の場合には、例えば、 $c1 = 1$ 、 $c2 = 1$  のように、 $c2$  の値を大きく設定して隣接する区間の速度差を無くして（低減して）滑らかに変化するように作用させる。また、練習内容が、例えばビルドアップ走インターバルトレーニング等の場合には、速度差が急激に変化する場合も想定して、例えば、 $c1 = 2$ 、 $c2 = 1$  のように、 $c1$  の値を大きく設定して初期値の影響を大きくするように作用させる。さらに、急激な速度変化に対応するために、練習内容に応じて速度差に上限を設けるようにしてもよい。

【 0 0 6 9 】

制御部 2 4 0 は、上記の cost を算出して記憶する処理を、最大の隣接速度差和の区間変

10

20

30

40

50

化点C P iが所定範囲内を移動終了するまで繰り返し実行する（ステップS 5 0 6）。そして、最大の隣接速度差和の区間変化点C P iが所定範囲内を移動終了した場合には、制御部2 4 0は、上記の（2）式により算出され記憶部2 3 0に保存された、区間変化点C P iの各移動位置におけるcostが最小となる時の移動位置を、区間変化点C P iの位置に決定して記憶部2 3 0の所定の記憶領域に保存する（ステップS 5 1 0）。

#### 【0070】

次いで、制御部2 4 0は、上記のステップS 5 1 0において着目している、最もcostが小さい区間変化点と、その両隣にそれぞれ位置する第一隣接及び第二隣接（計4点）の区間変化点とを除外した後（ステップS 5 1 2）、再びステップS 5 0 2に戻って、上述した一連の変化点位置決定処理を繰り返し実行する。すなわち、制御部2 4 0は、一連の变化点位置決定処理を、区間変化点の隣接速度差和が大きい順に実行するが、上述したように、対象とする区間変化点を移動させた場合、図10に示したように、隣接する区間の速度が影響を受けてしまうため、その影響を完全に排除するために2隣接する（第一隣接及び第二隣接の）区間変化点を繰り返し処理から除外する。

#### 【0071】

そして、制御部2 4 0は、全ての隣接速度差和に対して、上記の一連の変化点位置決定処理が完了した場合には、図9に示したフローチャートに戻り、さらに、上記の一連の最適化処理が所定回数繰り返された場合には、最適化処理を終了して図2に示したフローチャートに戻る。

#### 【0072】

次いで、制御部2 4 0は、上記の最適化処理（ステップS 1 1 2）により決定された区間変化点の位置に基づいて規定された、時系列速度データにおける各ストレート区間及びカーブ区間の値を、走行速度として記憶部2 3 0の所定の記憶領域に保存する（ステップS 1 1 4）。ここで、本実施形態における最適化処理の効果について検証したところ、図14に示すように、最適化処理前の走行速度（図中、点線で表記）に比較して、最適化処理後の走行速度（図中、実線で表記）がより正解の走行速度（真の値；図中、一点鎖線で表記）に大幅に近付いていることが判明した。

#### 【0073】

また、制御部2 4 0は、各ストレート区間及びカーブ区間について、上記のようにして得られた走行速度と、随時計算されるピッチとに基づいて、次の（3）式によりランニング中のストライドを算出して、記憶部2 3 0の所定の記憶領域に保存する（ステップS 1 1 6）。ここで、ピッチは、1分間の歩数であるので、例えば、各区間について、記憶部2 3 0に保存された加速度データのうちの上下方向の成分の信号波形における、1分当たりの周期の回数を計測することにより取得される。

$$\text{ストライド (m/歩)} = \text{走行速度 (m/s)} / \text{ピッチ (歩/s)} \quad \cdots (3)$$

#### 【0074】

このように、本実施形態においては、走行距離が既知であり（判明しており）、かつ、コースの角度が異なる複数の区間を有するコース（例えば、ストレート及びカーブを有する陸上競技場のトラック等）を走行した時の走行速度及びストライドを、GPSを用いることなく、モーションセンサにより時系列的に収集されたセンサデータのみに基づいて精度良く推定することができる。ここで、本実施形態においては、収集したセンサデータのうちの鉛直軸回りの角速度に基づいて生成した時系列角度データをクラスタリングし、その結果に基づいてストレート区間とカーブ区間を規定する区間変化点を推定することができる。そして、推定結果に基づいて生成した時系列速度データについて、各区間の速度変化が滑らかになるように最適化し、最適化された時系列速度データに基づいて各区間の走行速度及びストライドを精度良く推定することができる。

#### 【0075】

したがって、本実施形態によれば、ユーザUSのランニング中の運動状態に関わる指標（走行速度及びストライド）が自動的かつ的確に推定され、その結果を表示部2 1 0の画面上にグラフや数値の形態で表示することができるので、ユーザUSは当該運動状態を的

10

20

30

40

50



確に把握して、その判断や改善に役立てることができる。

【 0 0 7 6 】

なお、上述した実施形態においては、説明を簡明にするために、ユーザが陸上競技場等のトラックを周回走行する場合について具体的に説明したが、本発明はこれに限定されるものではない。本発明は、走行距離が既知であり、かつ、コースの角度が異なる複数の区間（ストレートや角度の異なるカーブ等）を有するコースを走行するものであれば、任意のランニングコースやマラソン大会のコース等を走る場合であっても、ストレート区間及びカーブ区間を精度よく推定して、ランニング中の運動状態に関わる指標（走行速度及びストライド）をユーザに提供することができる。

【 0 0 7 7 】

以上、本発明のいくつかの実施形態について説明したが、本発明は、上述した実施形態に限定されるものではなく、特許請求の範囲に記載された発明とその均等の範囲を含むものである。

以下に、本願出願の当初の特許請求の範囲に記載された発明を付記する。

【 0 0 7 8 】

（付記）

[ 1 ]

利用者が既知の距離を有するコースを移動する運動中に、前記利用者に装着されたセンサから時系列的に収集された角速度データに基づいて、前記運動中に移動した経路の前記利用者の進行方向における角度の時間変化を示す時系列角度データを生成する時系列角度データ生成部と、

前記時系列角度データに基づいて、前記時系列角度データの前記角度の変化傾向が異なる複数の区間相互の境界となる区間変化点を推定して、前記各区間を規定する区間推定部と、

前記各区間の移動に要した時間と前記各区間の距離の値とに基づいて、前記各区間の移動速度を示す時系列速度データを生成する時系列速度データ生成部と、

前記各区間相互の前記移動速度の変化を低減させる方向に前記区間変化点を調整して、前記時系列速度データを最適化する速度データ最適化部と、

を有することを特徴とするデータ解析装置。

【 0 0 7 9 】

[ 2 ]

更に、前記最適化された前記時系列速度データにおける前記各区間の前記移動速度に基づく指標を運動指標として提供する運動指標提供部を備えることを特徴とする [ 1 ] に記載のデータ解析装置。

【 0 0 8 0 】

[ 3 ]

更に、前記時系列角度データを、前記角度に応じた複数のクラスタに分類するクラスタ分類部を備え、

前記区間推定部は、前記複数のクラスタに分類された前記時系列角度データに基づいて前記区間変化点を推定することを特徴とする [ 1 ] 又は [ 2 ] に記載のデータ解析装置。

【 0 0 8 1 】

[ 4 ]

前記クラスタ分類部は、前記時系列角度データの分布に基づいて前記複数のクラスタに分類し、各クラスタの重心位置に基づいて前記複数のクラスタの属性を決定することを特徴とする [ 3 ] に記載のデータ解析装置。

【 0 0 8 2 】

[ 5 ]

前記区間推定部は、時間的に隣接する前記各クラスタにおける前記角速度データの変化傾向を示す直線の交点を算出して前記区間変化点とし、時間的に隣接する前記区間変化点を前記各区間と規定することを特徴とする [ 3 ] 又は [ 4 ] に記載のデータ解析装置。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 8 3 】

## [ 6 ]

前記速度データ最適化部は、時間的に隣接する前記各区間相互の前記移動速度の変化、及び、その両隣の前記各区間との前記移動速度の変化に基づいて、前記各区間相互の前記移動速度の変化が最も小さくなる前記区間変化点の位置を決定し、

前記運動指標提供部は、前記区間変化点が決定された前記時系列速度データにおける前記各区間の前記移動速度に基づく指標を、前記運動指標とすることを特徴とする [ 1 ] に記載のデータ解析装置。

## 【 0 0 8 4 】

## [ 7 ]

前記センサは、前記利用者の身体の体幹に装着されたモーションセンサを有し、

前記センサデータは、前記モーションセンサにより時系列的に収集された、前記運動中の加速度及び角速度を含むことを特徴とする [ 1 ] 乃至 [ 6 ] のいずれかに記載のデータ解析装置。

## 【 0 0 8 5 】

## [ 8 ]

利用者が既知の距離を有するコースを移動する運動中に、前記利用者に装着されたセンサから時系列的に収集された角速度データに基づいて、前記運動中に移動した経路の前記利用者の進行方向における角度の変化を示す時系列角度データを生成し、

前記時系列角度データに基づいて、前記時系列角度データの前記角度の変化傾向が異なる複数の区間相互の境界となる区間変化点を推定して、前記各区間を規定し、

前記各区間の移動に要した時間と前記各区間の距離の値とに基づいて、前記各区間の移動速度を示す時系列速度データを生成し、

前記各区間相互の前記移動速度の変化を低減させる方向に前記区間変化点を調整して、前記時系列速度データを最適化する、

ことを特徴とするデータ解析方法。

## 【 0 0 8 6 】

## [ 9 ]

コンピュータに、

利用者が既知の距離を有するコースを移動する運動中に、前記利用者に装着されたセンサから時系列的に収集された角速度データに基づいて、前記運動中に移動した経路の前記利用者の進行方向における角度の変化を示す時系列角度データを生成させ、

前記時系列角度データに基づいて、前記時系列角度データの前記角度の変化傾向が異なる複数の区間相互の境界となる区間変化点を推定して、前記各区間を規定させ、

前記各区間の移動に要した時間と前記各区間の距離の値とに基づいて、前記各区間の移動速度を示す時系列速度データを生成させ、

前記各区間相互の前記移動速度の変化を低減させる方向に前記区間変化点を調整して、前記時系列速度データを最適化させる、

ことを特徴とするデータ解析プログラム。

## 【 符号の説明 】

## 【 0 0 8 7 】

- 1 0 0 センサ機器
- 1 1 0 加速度計測部
- 1 2 0 角速度計測部
- 1 3 0 記憶部
- 1 4 0 制御部
- 1 5 0 無線通信 I / F
- 1 6 0 有線通信 I / F
- 2 0 0 データ解析装置
- 2 1 0 表示部

10

20

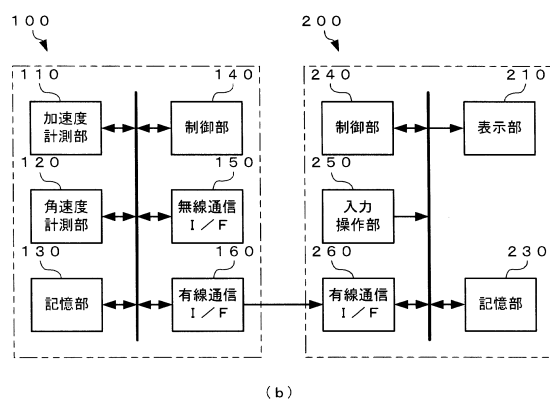
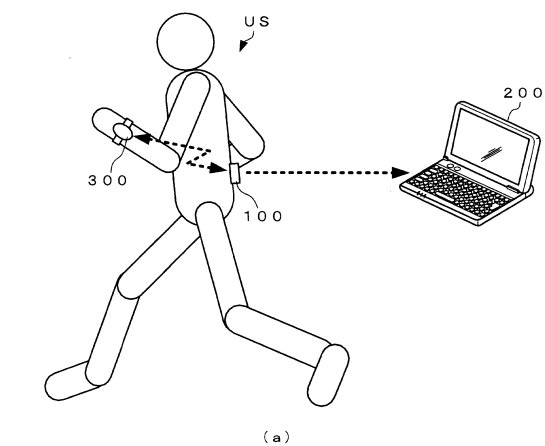
30

40

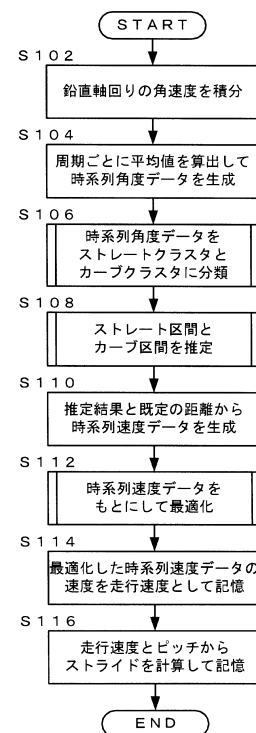
50

230 記憶部  
 240 制御部  
 250 入力操作部  
 260 有線通信 I/F  
 300 コントロール機器  
 US ユーザ

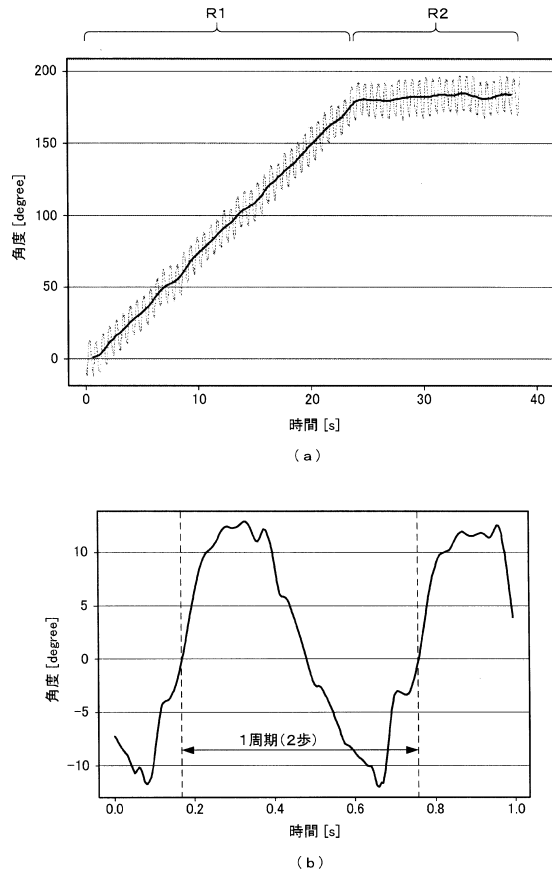
【図 1】



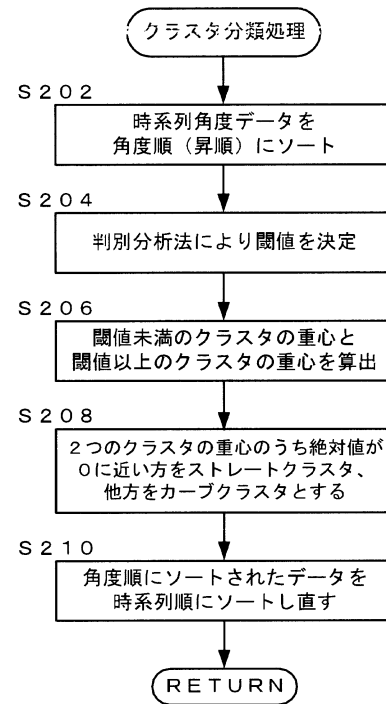
【図 2】



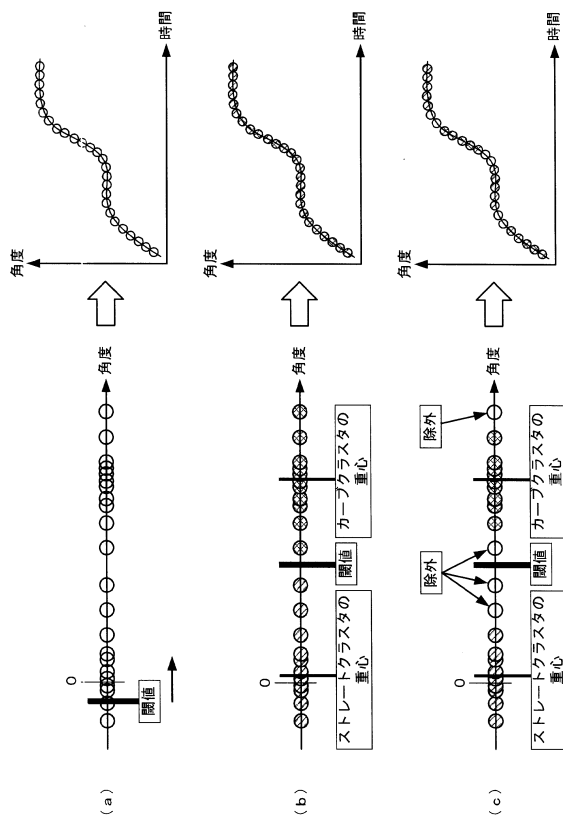
【図 3】



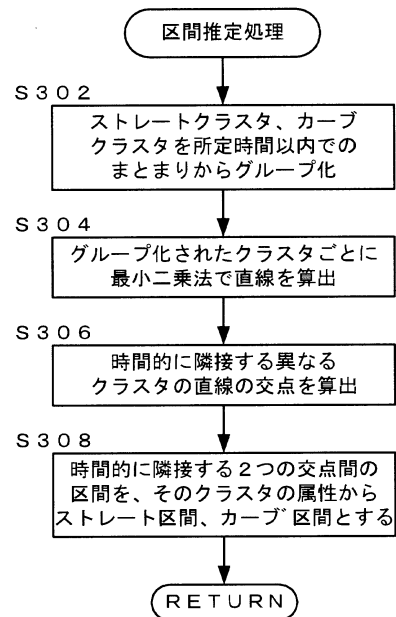
【図 4】



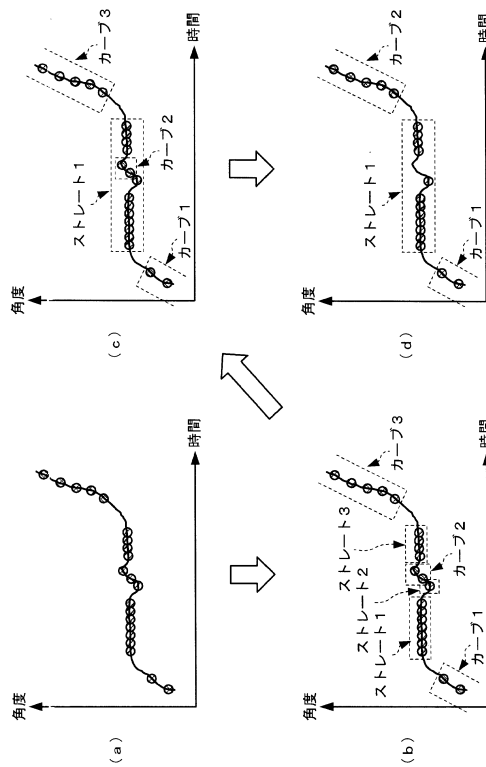
【図 5】



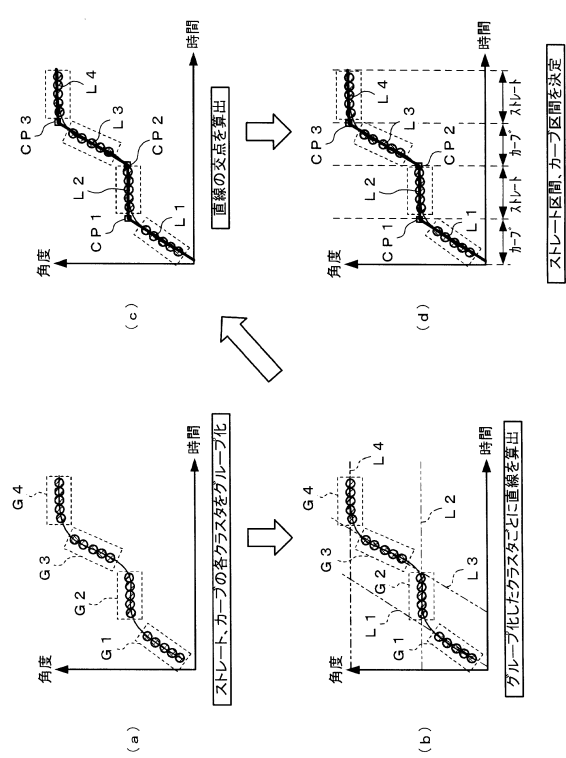
【図 6】



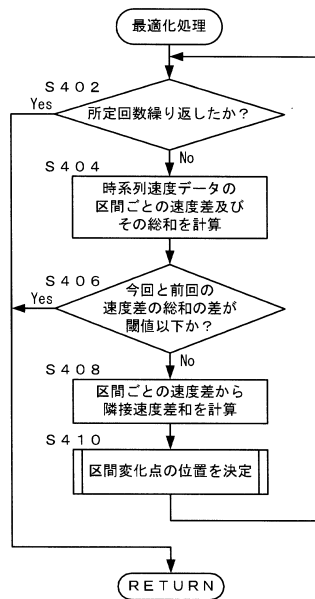
【図 7】



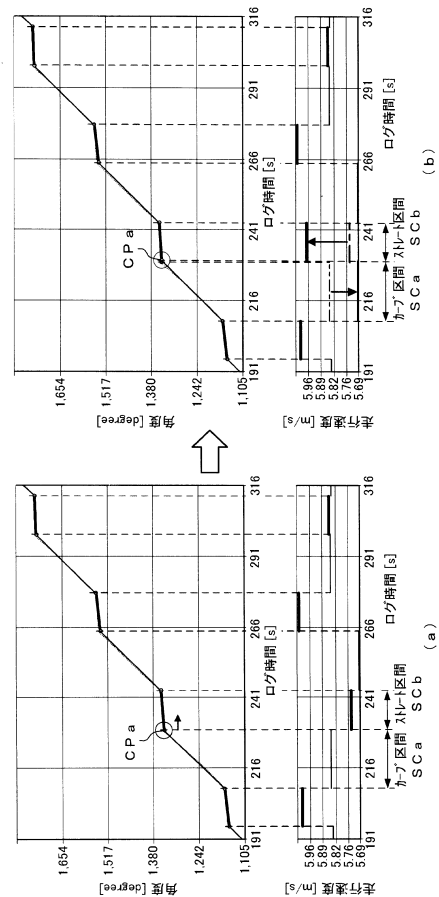
【図 8】



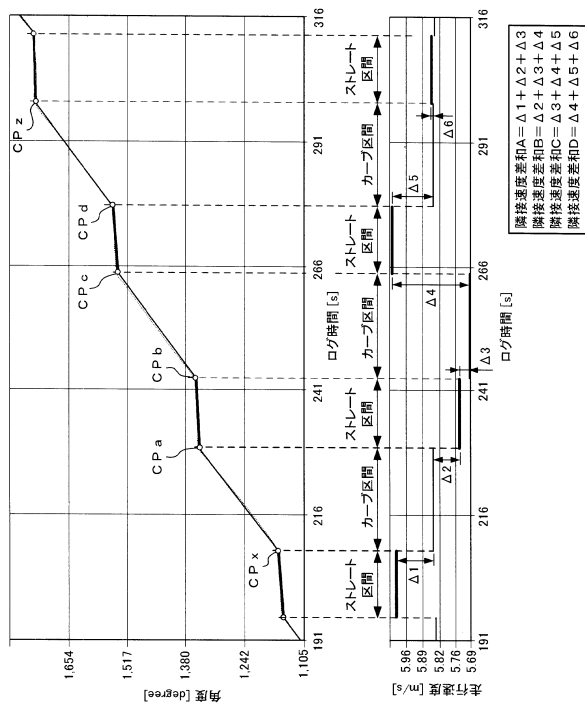
【図 9】



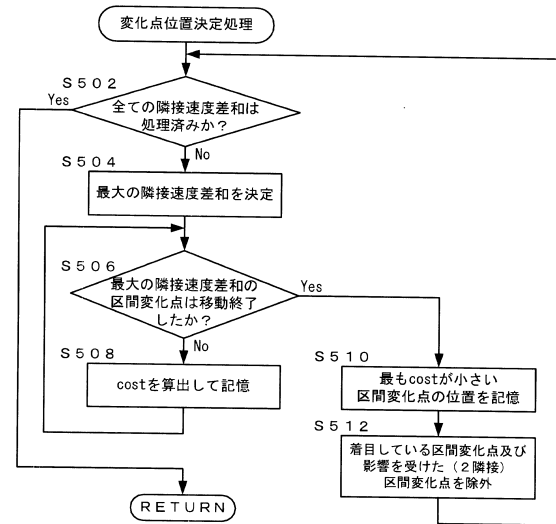
【図 10】



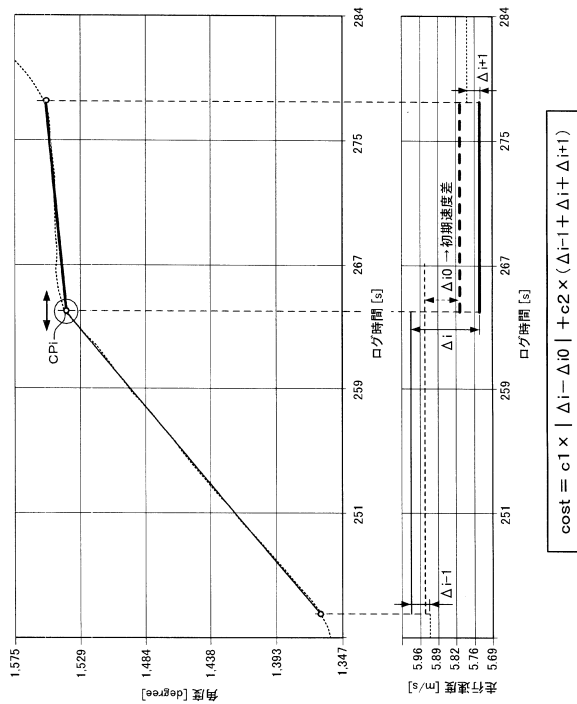
【図 1 1】



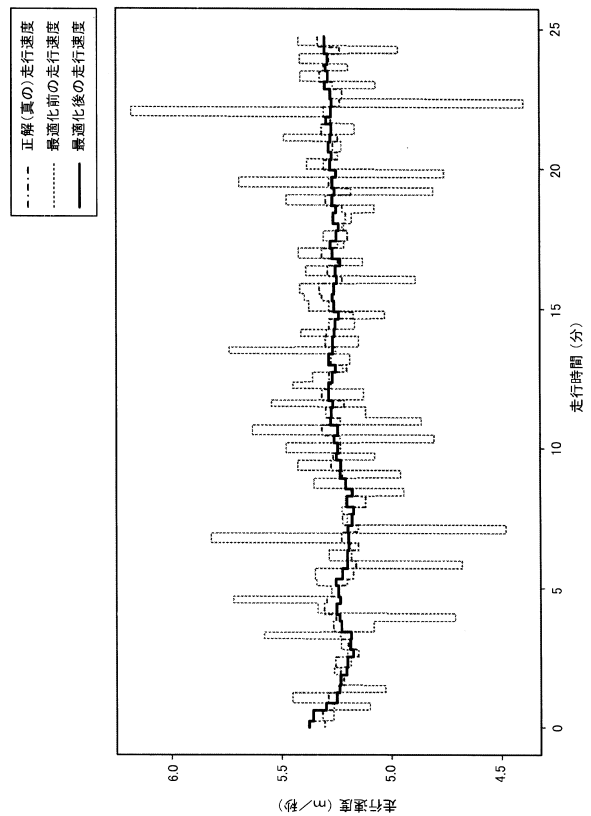
【図 1 2】



【図 1 3】



【図 1 4】



---

フロントページの続き

(56)参考文献 特開2016-010463(JP,A)  
特開平07-112048(JP,A)  
米国特許出願公開第2009/0062073(US,A1)  
米国特許出願公開第2006/0217232(US,A1)  
特開2014-098613(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

A63B 71/06

A63B 69/00

G01C 22/00 - 22/02