

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2005-293464

(P2005-293464A)

(43) 公開日 平成17年10月20日(2005.10.20)

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>

G06F 17/50

HO1B 13/00

F I

G06F 17/50

G06F 17/50

G06F 17/50

HO1B 13/00

6 1 2 H

6 3 4 Z

6 5 0 Z

5 1 3 Z

テーマコード (参考)

5 B 0 4 6

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 27 頁)

(21) 出願番号

特願2004-110989 (P2004-110989)

(22) 出願日

平成16年4月5日(2004.4.5)

(71) 出願人

000006895

矢崎総業株式会社

東京都港区三田1丁目4番28号

(74) 代理人

100060690

弁理士 瀧野 秀雄

(74) 代理人

100097858

弁理士 越智 浩史

(74) 代理人

100108017

弁理士 松村 貞男

(74) 代理人

100075421

弁理士 垣内 勇

(72) 発明者

澤井 正義

静岡県湖西市鷺津2464-48 矢崎部

品株式会社内

Fターム(参考) 5B046 AA04 BA06 JA07

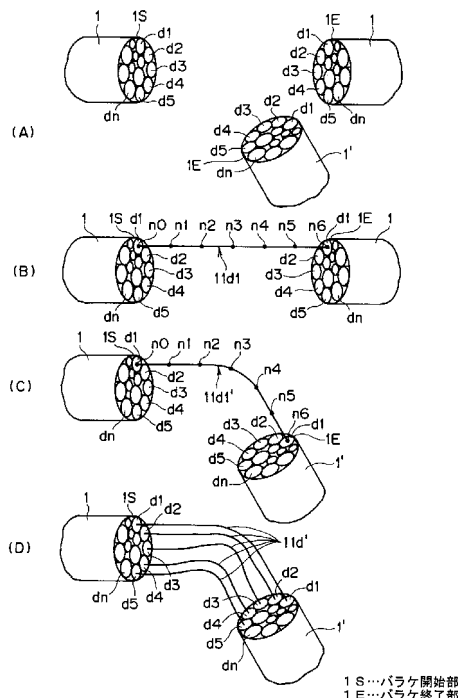
(54) 【発明の名称】 線材の予測形状計算方法、その装置及びそのプログラム

(57) 【要約】

【課題】ワイヤーハーネスのバラケ開始部とバラケ終了部との間における複数の線材のバラケ具合を把握できる方法、その装置及びそのプログラムを提供する。

【解決手段】バラケ開始部1Sとバラケ終了部1Eとの間における線材を複数の梁要素が結合された弾性体として有限要素モデル11d1が作成され、この有限要素モデルに与えられた線材の物理特性及び拘束条件に応じた、有限要素モデルの物理的に釣り合った状態である予測形状11d1が計算されその計算結果が出力される。特に、ワイヤーハーネスのバラケ開始部及びバラケ終了部における線材の位置及び向きが線材パッキング計算等により取得され、拘束条件にこれら位置及び向きを加えて線材の予測形状が計算される。

【選択図】 図1 1



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

ワイヤーハーネスのバラケ開始部とバラケ終了部との間における複数の線材の予測形状を計算する方法であって、

前記バラケ開始部及び前記バラケ終了部における前記線材の位置及び向きを取得する位置向き取得工程と、

前記線材を複数の梁要素が結合された弾性体として有限要素モデルを作成する有限要素モデル作成工程と、

前記有限要素モデルに与えられた前記線材の物理特性及び拘束条件に応じた、前記有限要素モデルの物理的に釣り合った状態である予測形状を計算する予測形状計算工程と、

前記予測形状計算工程における計算結果を出力する結果出力工程と、

を含み、

前記予測形状計算工程では、

前記拘束条件に前記位置及び前記向きを加えて前記線材の予測形状を計算する、

ことを特徴とする線材の予測形状計算方法。

10

**【請求項 2】**

請求項 1 記載の線材の予測形状計算方法において、

前記バラケ開始部及び / 又は前記バラケ終了部は、

所定の支持部材によって固定された前記ワイヤーハーネスの断面に対応し、

前記位置及び前記向きは、

前記支持部材の取り付け位置及び向きに基づいて求められる、

ことを特徴とする線材の予測形状計算方法。

20

**【請求項 3】**

請求項 1 記載の線材の予測形状計算方法において、

前記バラケ開始部及び / 又は前記バラケ終了部は、

所定の支持部材による固定部位から所定長だけ離れた、前記ワイヤーハーネスの断面に対応し、

前記位置及び前記向きは、

前記ワイヤーハーネスを複数の梁要素が結合された弾性体として有限要素モデルを作成し、この有限要素モデルに与えられた前記ワイヤーハーネスの物理特性及び拘束条件に応じて計算した予測形状に基づいて求められる、

ことを特徴とする線材の予測形状計算方法。

30

**【請求項 4】**

請求項 2 又は請求項 3 記載の線材の予測形状計算方法において、

前記位置は、

前記複数の線材の断面形状をそれぞれの外形に対応した直径を有する複数の円とみなして、これら複数の円を互いに重ならないようにできるだけ小さい円形状に束ねるようにしてパッキングしたときの前記複数の円の位置とする、

ことを特徴とする線材の予測形状計算方法。

40

**【請求項 5】**

請求項 4 記載の線材の予測形状計算方法において、

前記複数の線材に対して、それぞれの起点及び終点並びに物理特性を対応づけて予め格納する、

ことを特徴とする線材の予測形状計算方法。

**【請求項 6】**

請求項 1 記載の線材の予測形状計算方法において、

前記バラケ開始部及び / 又は前記バラケ終了部は、

前記線材の端部が固定的に接続される線材接続部に対応する、

ことを特徴とする線材の予測形状計算方法。

**【請求項 7】**

50

ワイヤーハーネスのバラケ開始部とバラケ終了部との間における複数の線材の予測形状を計算する装置であって、

前記バラケ開始部及び前記バラケ終了部における前記線材の位置及び向きを取得する位置向き取得手段と、

前記線材を複数の梁要素が結合された弾性体として有限要素モデルを作成する有限要素モデル作成手段と、

前記有限要素モデルに与えられた前記線材の物理特性及び拘束条件に応じた、前記有限要素モデルの物理的に釣り合った状態である予測形状を計算する予測形状計算手段と、

前記予測形状計算手段における計算結果を出力する結果出力手段と、

を含み、

前記予測形状計算手段では、

前記拘束条件に前記位置及び前記向きを加えて前記線材の予測形状を計算する、ことを特徴とする線材の予測形状計算装置。

10

#### 【請求項 8】

ワイヤーハーネスのバラケ開始部とバラケ終了部との間における複数の線材の予測形状を計算するために、コンピュータを、

前記バラケ開始部及び前記バラケ終了部における前記線材の位置及び向きを取得する位置向き取得手段、

前記線材を複数の梁要素が結合された弾性体として有限要素モデルを作成する有限要素モデル作成手段、

前記有限要素モデルに与えられた前記線材の物理特性及び拘束条件に応じた、前記有限要素モデルの物理的に釣り合った状態である予測形状を計算する予測形状計算手段、

前記予測形状計算手段における計算結果を出力する結果出力手段、として機能させ、

前記予測形状計算手段では、

前記拘束条件に前記位置及び前記向きを加えて前記線材の予測形状を計算させる、ことを特徴とする線材の予測形状計算プログラム。

20

#### 【発明の詳細な説明】

#### 【技術分野】

#### 【0001】

本発明は、ワイヤーハーネス等を構成する線材の予測形状計算方法、その装置及びそのプログラムに関し、特に、ワイヤーハーネスのバラケ開始部とバラケ終了部との間における複数の線材の予測形状を計算する方法、その装置及びそのプログラムに関する。

30

#### 【背景技術】

#### 【0002】

車両等においては、複数の電装品が搭載されており、これらは、複数の電線や通信線等の線材がインシュロック等の結束部材やテープ等の外装部材によって束ねられた、いわゆる、ワイヤーハーネスで接続されている。図1に示すように、ワイヤーハーネス1は、各端部に電装品等と接続されるコネクタ2a、2b、2c、2dが取り付けられている。また、その中間部には各種クリップ3a、3b、3c、3dが取り付けられ、更に、分岐点4を有している。なお、各端部から分岐点4までを構成するワイヤーハーネス1の各枝線は、基本的に、それぞれ構成される線材の数や種類が異なるので、各枝線の太さ、長さ、弾性、密度等も様々である。

40

#### 【0003】

従来、このようなワイヤーハーネスを車両等に配線するための設計は、CAD (Computer Aided Design) や CAE (Computer Aided Engineering) とよばれる汎用解析ソフトを用いて計算するか、或いは、設計者の経験や勘によって行われることが多かった。ところが、ワイヤーハーネスは、多種多様であり、単に、上記汎用解析ソフトを用いたり、設計者の経験等に頼るだけでは、それらの各部における曲げやねじりに対する剛性まで正確に予想して設計することは非常に困難なことであった。

#### 【0004】

50

そこで、本出願人は、下記特許文献 1 等にて、有限要素法を利用することにより、ワイヤーハーネス等の線条構造物の物理的特性、すなわち、材質や各部における曲げやねじりに対する剛性等も考慮して線条構造物の予測形状を計算することを可能にし、これにより最適な配線設計を支援する方法を提案した。

【0005】

ここで、本明細書中で引用する文献を以下に示す。

【特許文献 1】特願 2003 - 308509

【非特許文献 1】B. ナス著「マトリックス有限要素法」ブレイン図書出版株式会社出版、1978年8月10日、p. 7 - 15

【非特許文献 2】安田仁彦著「モード解析と動的設計」株式会社コロナ社発行、1993年11月10日、p. 54 - 56 10

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

ところで、図 3 (A) に示すように、ワイヤーハーネス 1 の途中においては外装部材が非装着のために、複数の線材 11d が剥き出しになった部位が存在することがある。また、ワイヤーハーネス 1 の端部近傍においても同様に複数の線材が剥き出しになった部位が存在することがある (図 12 参照)。

【0007】

このような、剥き出しになった複数の線材 11d は、図 3 (B) に示すように、クランプ等の支持部材 2 によって、ワイヤーハーネス 1 が折り曲げられて固定されたりすると、バラケ開始部 1S とバラケ終了部 1E との間においてバラケてしまうことが多い。 20

【0008】

上記特許文献 1 の方法は、ワイヤーハーネス等の線条構造物の物理的特性、すなわち、材質や各部における曲げやねじりに対する剛性等も考慮して線条構造物の予測形状を正確に計算できるという点で非常に秀れたものであるが、このような複数の線材が剥き出しになった部位のバラケまでも予測形状を計算するものではなく、更なる改善の余地があることがわかった。

【0009】

よって本発明は、上述した現状に鑑み、ワイヤーハーネスのバラケ開始部とバラケ終了部との間における複数の線材のバラケ具合を把握できる方法、その装置及びそのプログラムを提供することを課題としている。 30

【課題を解決するための手段】

【0010】

上記課題を解決するためになされた請求項 1 記載の線材の予測形状計算方法は、ワイヤーハーネスのバラケ開始部とバラケ終了部との間における複数の線材の予測形状を計算する方法であって、前記バラケ開始部及び前記バラケ終了部における前記線材の位置及び向きを取得する位置向き取得工程と、前記線材を複数の梁要素が結合された弾性体として有限要素モデルを作成する有限要素モデル作成工程と、前記有限要素モデルに与えられた前記線材の物理特性及び拘束条件に応じた、前記有限要素モデルの物理的に釣り合った状態である予測形状を計算する予測形状計算工程と、前記予測形状計算工程における計算結果を出力する結果出力工程と、を含み、前記予測形状計算工程では、前記拘束条件に前記位置及び前記向きを加えて前記線材の予測形状を計算する、ことを特徴とする。 40

【0011】

また、上記課題を解決するためになされた請求項 2 記載の線材の予測形状計算方法は、請求項 1 記載の線材の予測形状計算方法において、前記バラケ開始部及び / 又は前記バラケ終了部は、所定の支持部材によって固定された前記ワイヤーハーネスの断面に対応し、前記位置及び前記向きは、前記支持部材の取り付け位置及び向きに基づいて求められる、ことを特徴とする。

【0012】

また、上記課題を解決するためになされた請求項 3 記載の線材の予測形状計算方法は、請求項 1 記載の線材の予測形状計算方法において、前記バラケ開始部及び/又は前記バラケ終了部は、所定の支持部材による固定部位から所定長だけ離れた、前記ワイヤーハーネスの断面に対応し、前記位置及び前記向きは、前記ワイヤーハーネスを複数の梁要素が結合された弾性体として有限要素モデルを作成し、この有限要素モデルに与えられた前記ワイヤーハーネスの物理特性及び拘束条件に応じて計算した予測形状に基づいて求められる、ことを特徴とする。

【0013】

また、上記課題を解決するためになされた請求項 4 記載の線材の予測形状計算方法は、請求項 2 又は請求項 3 記載の線材の予測形状計算方法において、前記位置は、前記複数の線材の断面形状をそれぞれの外形に対応した直径を有する複数の円とみなして、これら複数の円を互いに重ならないようにできるだけ小さい円形状に束ねるようにしてパッキングしたときの前記複数の円の位置とする、ことを特徴とする。

10

【0014】

また、上記課題を解決するためになされた請求項 5 記載の線材の予測形状計算方法は、請求項 4 記載の線材の予測形状計算方法において、前記複数の線材に対して、それぞれの起点及び終点並びに物理特性を対応づけて予め格納する、ことを特徴とする。

【0015】

また、上記課題を解決するためになされた請求項 6 記載の線材の予測形状計算方法は、請求項 1 記載の線材の予測形状計算方法において、前記バラケ開始部及び/又は前記バラケ終了部は、前記線材の端部が固定的に接続される線材接続部に対応する、ことを特徴とする。

20

【0016】

また、上記課題を解決するためになされた請求項 7 記載の線材の予測形状計算装置は、ワイヤーハーネスのバラケ開始部とバラケ終了部との間における複数の線材の予測形状を計算する装置であって、前記バラケ開始部及び前記バラケ終了部における前記線材の位置及び向きを取得する位置向き取得手段と、前記線材を複数の梁要素が結合された弾性体として有限要素モデルを作成する有限要素モデル作成手段と、前記有限要素モデルに与えられた前記線材の物理特性及び拘束条件に応じた、前記有限要素モデルの物理的に釣り合った状態である予測形状を計算する予測形状計算手段と、前記予測形状計算手段における計算結果を出力する結果出力手段と、を含み、前記予測形状計算手段では、前記拘束条件に前記位置及び前記向きを加えて前記線材の予測形状を計算する、ことを特徴とする。

30

【0017】

また、上記課題を解決するためになされた請求項 8 記載の線材の予測形状計算プログラムは、ワイヤーハーネスのバラケ開始部とバラケ終了部との間における複数の線材の予測形状を計算するために、コンピュータを、前記バラケ開始部及び前記バラケ終了部における前記線材の位置及び向きを取得する位置向き取得手段、前記線材を複数の梁要素が結合された弾性体として有限要素モデルを作成する有限要素モデル作成手段、前記有限要素モデルに与えられた前記線材の物理特性及び拘束条件に応じた、前記有限要素モデルの物理的に釣り合った状態である予測形状を計算する予測形状計算手段、前記予測形状計算手段における計算結果を出力する結果出力手段、として機能させ、前記予測形状計算手段では、前記拘束条件に前記位置及び前記向きを加えて前記線材の予測形状を計算させる、ことを特徴とする。

40

【0018】

請求項 1、請求項 7 及び請求項 8 記載の発明によれば、バラケ開始部とバラケ終了部との間における線材を複数の梁要素が結合された弾性体として有限要素モデルが作成され、この有限要素モデルに与えられた線材の物理特性及び拘束条件に応じた、有限要素モデルの物理的に釣り合った状態である予測形状が計算されその計算結果が出力される。特に、ワイヤーハーネスのバラケ開始部及びバラケ終了部における線材の位置及び向きが取得され、拘束条件にこれら位置及び向きを加えて線材の予測形状が計算される。

50

## 【 0 0 1 9 】

また、請求項 2 記載の発明によれば、バラケ開始部及び / 又はバラケ終了部は、所定の支持部材によって固定されたワイヤーハーネスの断面に対応し、バラケ開始部及び / 又はバラケ終了部における線材の位置及び向きは、支持部材の取り付け位置及び向きに基づいて求められる。

## 【 0 0 2 0 】

また、請求項 3 記載の発明によれば、バラケ開始部及び / 又はバラケ終了部は、所定の支持部材による固定部位から所定長だけ離れた、ワイヤーハーネスの断面に対応し、バラケ開始部及び / 又はバラケ終了部における線材の位置及び向きは、ワイヤーハーネスを複数の梁要素が結合された弾性体として有限要素モデルを作成し、この有限要素モデルに与えられたワイヤーハーネスの物理特性及び拘束条件に応じて計算した予測形状に基づいて求められる。

10

## 【 0 0 2 1 】

また、請求項 4 記載の発明によれば、バラケ開始部及び / 又はバラケ終了部における線材の位置は、線材の断面形状をそれぞれの外形に対応した直径を有する複数の円とみなして、これら複数の円を互いに重ならないようにできるだけ小さい円形状に束ねるようにしてパッキングしたときの円の位置としている。

## 【 0 0 2 2 】

また、請求項 5 記載の発明によれば、複数の線材に対して、それぞれの起点及び終点並びに物理特性が対応づけて予め格納されている。これにより、バラケ開始部及びバラケ終了部間における各線材とそれらの起点及び終点並びに物理特性とを対応づけることができる。すなわち、各線材の予測形状である、各線材のバラケ具合と、それらの起点及び終点並びに物理特性とを対応づけることが可能になる。

20

## 【 0 0 2 3 】

また、請求項 6 記載の発明によれば、バラケ開始部及び / 又はバラケ終了部は、線材の端部が固定的に接続される線材接続部に対応している。

## 【 発明の効果 】

## 【 0 0 2 4 】

請求項 1、請求項 7 及び請求項 8 記載の発明によれば、バラケ開始部とバラケ終了部との間における線材を複数の梁要素が結合された弾性体として有限要素モデルが作成され、この有限要素モデルに与えられた線材の物理特性及び拘束条件に応じた、有限要素モデルの物理的に釣り合った状態である予測形状が計算されその計算結果が出力される。特に、ワイヤーハーネスのバラケ開始部及びバラケ終了部における線材の位置及び向きが取得され、拘束条件にこれら位置及び向きを加えて線材の予測形状が計算される。したがって、ワイヤーハーネスのバラケ開始部とバラケ終了部との間における複数の線材のバラケ具合も把握できるようになる。

30

## 【 0 0 2 5 】

また、請求項 2 記載の発明によれば、バラケ開始部及び / 又はバラケ終了部は、所定の支持部材によって固定されたワイヤーハーネスの断面に対応し、バラケ開始部及び / 又はバラケ終了部における線材の位置及び向きは、支持部材の取り付け位置及び向きに基づいて求められる。したがって、より現実に即したワイヤーハーネスのバラケ開始部とバラケ終了部との間における複数の線材のバラケ具合を把握できるようになる。

40

## 【 0 0 2 6 】

また、請求項 3 記載の発明によれば、バラケ開始部及び / 又はバラケ終了部は、所定の支持部材による固定部位から所定長だけ離れた、ワイヤーハーネスの断面に対応し、バラケ開始部及び / 又はバラケ終了部における線材の位置及び向きは、ワイヤーハーネスを複数の梁要素が結合された弾性体として有限要素モデルを作成し、この有限要素モデルに与えられたワイヤーハーネスの物理特性及び拘束条件に応じて計算した予測形状に基づいて求められる。したがって、より現実に即したワイヤーハーネスのバラケ開始部とバラケ終了部との間における複数の線材のバラケ具合を把握できるようになる。

50

## 【0027】

また、請求項4記載の発明によれば、バラケ開始部及び/又はバラケ終了部における線材の位置は、線材の断面形状をそれぞれの外形に対応した直径を有する複数の円とみなして、これら複数の円を互いに重ならないようにできるだけ小さい円形状に束ねるようにしてパッキングしたときの円の位置としている。したがって、できるだけ小さくパッキングされたワイヤーハーネスのバラケ開始部とバラケ終了部との間における複数の線材のバラケ具合も把握できるようになる。

## 【0028】

また、請求項5記載の発明によれば、複数の線材に対して、それぞれの起点及び終点並びに物理特性が対応づけて予め格納されている。これにより、バラケ開始部及びバラケ終了部間における各線材とそれらの起点及び終点並びに物理特性とを対応づけることができる。すなわち、各線材の予測形状である、各線材のバラケ具合と、それらの起点及び終点並びに物理特性とを対応づけることが可能になる。したがって、各線材のバラケ具合と、起点及び終点並びに物理特性と、の関係を検討することも可能になる。

10

## 【0029】

また、請求項6記載の発明によれば、バラケ開始部及び/又はバラケ終了部は、線材の端部が固定的に接続される線材接続部に対応している。したがって、ワイヤーハーネス端部からでた線材が電気接続箱等に接続される場合の、線材のバラケ具合も把握できるようになる。

## 【発明を実施するための最良の形態】

20

## 【0030】

以下、本発明の実施の形態を図面に基づいて説明する。まず、本発明をより正確に理解するために、図1及び図2を用いて、形状予測の対象となる短線材及び長線材を含む複数の線材から構成されるワイヤーハーネスの例及び代表的な支持部材について説明する。図1は、ワイヤーハーネスの例を概略的に示す図である。図2は、ワイヤーハーネスに取り付けられる代表的な支持部材と拘束自由度との関係を示す図である。

## 【0031】

ワイヤーハーネス1は、例えば、上述のように両端部に図示しない電装品と接続されるコネクタ2a、2b、2c、2dが取り付けられ、その中間部には各種クリップ3a、3b、3c、3dが取り付けられ、更に、分岐点4を有している。ワイヤーハーネス1の各枝線は、基本的に、それぞれ構成線材の数や種類が異なるので、各枝線の太さ、長さ、弾性、密度等も異なる。

30

## 【0032】

上記各コネクタ2a、2b、2c、2dは、電装品側の相手方コネクタの固定位置及びその装着方向に応じて所定の位置に着脱可能に固定され、ワイヤーハーネスの端部を完全拘束する。また、上記各クリップ3a、3b、3c、3dは、ワイヤーハーネスの所定部位を、車両のボディやステー等の所定位置に完全拘束又は回転拘束される。

## 【0033】

ここで、クリップについて説明を加える。クリップには、基本的に、長穴クリップ及び丸穴クリップがある。丸穴クリップは、回転クリップともよばれ、ワイヤーハーネスを保持する台座部とステー等に設けられた丸穴形状の取付穴に挿入される支持脚とから構成される。丸穴クリップは、Z軸(取付部位に鉛直方向)廻りに回転可能である。

40

## 【0034】

一方、長穴クリップは、固定クリップともよばれ、ワイヤーハーネスを保持する台座部とステー等に設けられた長穴形状の取付穴に挿入される支持脚とから構成される。この支持脚の断面形状は、取付穴と略同様の長穴形状をしている。長穴クリップは、Z軸廻りに回転不可能である。

## 【0035】

更に、長穴クリップ及び丸穴クリップには、X軸(ワイヤーハーネスの長手方向)廻りに回転可能な、コルゲート長穴クリップ及びコルゲート丸穴クリップがある。このような

50

各クリップの各軸方向及び各軸廻りの拘束自由度は図 2 に示す通りである。

【0036】

図 2 において、X 軸、Y 軸及び Z 軸は、ワイヤーハーネス上の各節点（又はノードともよぶ）における右手ローカル座標系での直行する 3 軸に対応する。例えば、Z 軸をクリップ軸と一致するようにしているが、これらの決定方法は、使用する関数によって適宜変更可能である。なお、図中、参考のために、分岐点の拘束自由度についても示している。また、ここでは図示しないが、上記拘束点以外に任意に設定されたワイヤーハーネス上の節点は、基本的に、完全自由である。このような拘束自由度が、ワイヤーハーネスや線材の予測経路の計算の際に、各節点にそれぞれ設定される。

【0037】

次に、図 4 ~ 図 6 を参照しながら、本発明において前提となる仮定条件、利用される理論及び基本式の概略について説明する。図 4 (A) は、線材の外観を示す図であり、図 4 (B) は、図 4 (A) の線材を離散化した様子を示す図であり、図 4 (C) は、図 4 (A) の線材を梁要素と節点とで表した図である。図 5 は、梁要素と節点とで表した線材における自由度を説明するための図である。図 6 (A) は、線材を 3 つの梁要素で表した図であり、図 6 (B) は、図 6 (A) の 3 つの梁要素を結合した状態を示す図である。なお、複数の線材を束ねたワイヤーハーネスも、1 本の線材とみなすことにより、線材と同様に扱うことが可能である。

【0038】

まず、線材の形状予測に有限要素法を利用するに際し、以下のような仮定をする。

- (1) . 線材を弾性体と仮定する。
- (2) . 線材を梁要素が結合されたものと仮定する。
- (3) . 各梁要素に直線性が保たれるものと仮定する。

【0039】

なお、梁要素と仮定することは、線材を一様断面、すなわち、均質な断面であると仮定することも意味する。また、断面を円形と仮定しているが必ずしもその必要はない。但し、以降の説明では、線材を円形断面と想定して説明していく。

【0040】

このような仮定をすることにより、線材への有限要素法の適用が可能になる。

【0041】

まず、線材を離散化する。すなわち、図 4 (A) に示すように、線材 1 1 d は連続体とみなすことができる。次に、図 4 (B) に示すように、このような線材 1 1 d を、いくつかの梁要素 C 1、C 2、C 3、... に分割（離散化）する。すなわち、線材は 1 本のロープのようなものなので、有限個の梁要素をつなげたものとみなすことができる。

【0042】

したがって、図 4 (C) に示すように、線材は、複数の梁要素 C 1、C 2、C 3、... を複数のノード N 1、N 2、N 3、... で結合したものと表すことができる。梁要素に必要な特性値は以下の通りである。

【0043】

- 長さ  $l$  (図 4 (B) 参照)
- 断面積  $A$  (図 4 (B) 参照)
- 断面 2 次モーメント  $I$
- 断面 2 次極モーメント  $J$  (ねじり抵抗係数ともよばれている)
- 縦弾性係数  $E$
- 横弾性係数  $G$

なお、上記特性値に直接表されていないが、それらを求めるために密度  $\rho$  やポアソン比  $\mu$  等も用いられる。

【0044】

なお、本明細書中、長さ  $l$ 、断面積  $A$  等のような、線条構造物等の外形を直接的に決定する物理特性に関するパラメータを外形パラメータとよび、それ以外の断面 2 次モーメン

10

20

30

40

50

ト I、断面 2 次極モーメント J、縦弾性係数 E 及び横弾性係数 G、密度、ポアソン比  $\mu$  等のような物理特性に関するパラメータを非外形パラメータとよぶものとする。

【0045】

そして、図 5 に示すように、各梁要素 C ( C 1、C 2、C 3、... ) はそれぞれ、2 つの節点 及び節点 を有する。3 次元空間においては、節点 は、3 つの並進成分と 3 つの回転成分を持つため、合計 6 つの自由度を持つ。また、節点 も同様である。したがって、梁要素 C は 1 2 自由度を持つことになる。

【0046】

なお、図中、

$F_{x_i}$  : i 番要素の  $x_i$  軸方向の節点力

10

$F_{y_i}$  : i 番要素の  $y_i$  軸方向の節点力

$F_{z_i}$  : i 番要素の  $z_i$  軸方向の節点力

$M_{x_i}$  : i 番要素の  $x_i$  軸周りの端モーメント ( 右ネジ方向を正とする )

$M_{y_i}$  : i 番要素の  $y_i$  軸周りの端モーメント ( 右ネジ方向を正とする )

$M_{z_i}$  : i 番要素の  $z_i$  軸周りの端モーメント ( 右ネジ方向を正とする )

$U_{x_i}$  : i 番要素の  $x_i$  軸方向の変位

$U_{y_i}$  : i 番要素の  $y_i$  軸方向の変位

$U_{z_i}$  : i 番要素の  $z_i$  軸方向の変位

$\alpha_{x_i}$  : i 番要素の  $x_i$  軸周りの角変位 ( 右ネジ方向を正とする )

$\alpha_{y_i}$  : i 番要素の  $y_i$  軸周りの角変位 ( 右ネジ方向を正とする )

20

$\alpha_{z_i}$  : i 番要素の  $z_i$  軸周りの角変位 ( 右ネジ方向を正とする )

は左側の節点、 は右側の節点

を示す。

【0047】

ところで、線材等のような大変形をともなう構造力学では一般に有限要素法の平衡方程式は次式の形となる。

$$([K] + [K_0]) \{x\} = \{F\} \dots (1)$$

ここで、 $[K]$  : 全体剛性マトリックス、 $[K_0]$  : 全体幾何剛性マトリックス、 $\{x\}$  : 変位ベクトル、 $\{F\}$  : 荷重ベクトル ( 力ベクトルともよぶ )

【0048】

30

但し、式 ( 1 ) は代数的には非線形連立方程式となっているため、実際の数値解析においてはそのまま解くことはできない。そのため、荷重値を細分化して逐次加算していく増分方法を採用することになる ( 強制変位の場合も同様 )。よって、式 ( 1 ) の平衡方程式も下記の増分形式で表現することになる。

$$([K] + [K_0]) \{x\} = \{F\} - \{R\} \dots (1)$$

ここで、 $\{F\}$  : 荷重増分の値、 $\{x\}$  : 増分ステップにおける増分変位、 $\{R\}$  : 荷重ベクトルの補正ベクトル

【0049】

そして、各増分区間では平衡方程式は線形方程式とみなして計算し、その際、生じる不平衡力 ( 式 ( 1 ) 中のベクトル  $\{R\}$  ) を次ステップに進む前に反復法により許容範囲まで減少させることになる。これら一連のアルゴリズムとしては、例えば、ニュートン・ラプソン法や弧長法といった公知の方法を利用する。

40

【0050】

なお、形状予測のように強制変位を指定する場合には、平衡方程式左辺のうち、第 2 項の全体幾何剛性マトリックス  $[K_0]$  を省く場合が良性となることも多く、本ケースでも省いている。

【0051】

また、左辺第 1 項の全体剛性マトリックス  $[K]$  は各増分ステップで時々刻々と座標値を変更させながら書き替えられる各要素の剛性マトリックスを全体座標系に変換して集計されたものである。この基本となる要素剛性マトリックスの具体的な表現内容が下記の式 (

50



なお、図中、

$F_{x_i}$  :  $i$  番要素の  $x_i$  軸方向の節点力  
 $F_{y_i}$  :  $i$  番要素の  $y_i$  軸方向の節点力  
 $F_{z_i}$  :  $i$  番要素の  $z_i$  軸方向の節点力  
 $M_{x_i}$  :  $i$  番要素の  $x_i$  軸周りの端モーメント  
 $M_{y_i}$  :  $i$  番要素の  $y_i$  軸周りの端モーメント  
 $M_{z_i}$  :  $i$  番要素の  $z_i$  軸周りの端モーメント  
 $U_{x_i}$  :  $i$  番要素の  $x_i$  軸方向の変位  
 $U_{y_i}$  :  $i$  番要素の  $y_i$  軸方向の変位  
 $U_{z_i}$  :  $i$  番要素の  $z_i$  軸方向の変位  
 $\theta_{x_i}$  :  $i$  番要素の  $x_i$  軸周りの角変位  
 $\theta_{y_i}$  :  $i$  番要素の  $y_i$  軸周りの角変位  
 $\theta_{z_i}$  :  $i$  番要素の  $z_i$  軸周りの角変位

を示し、

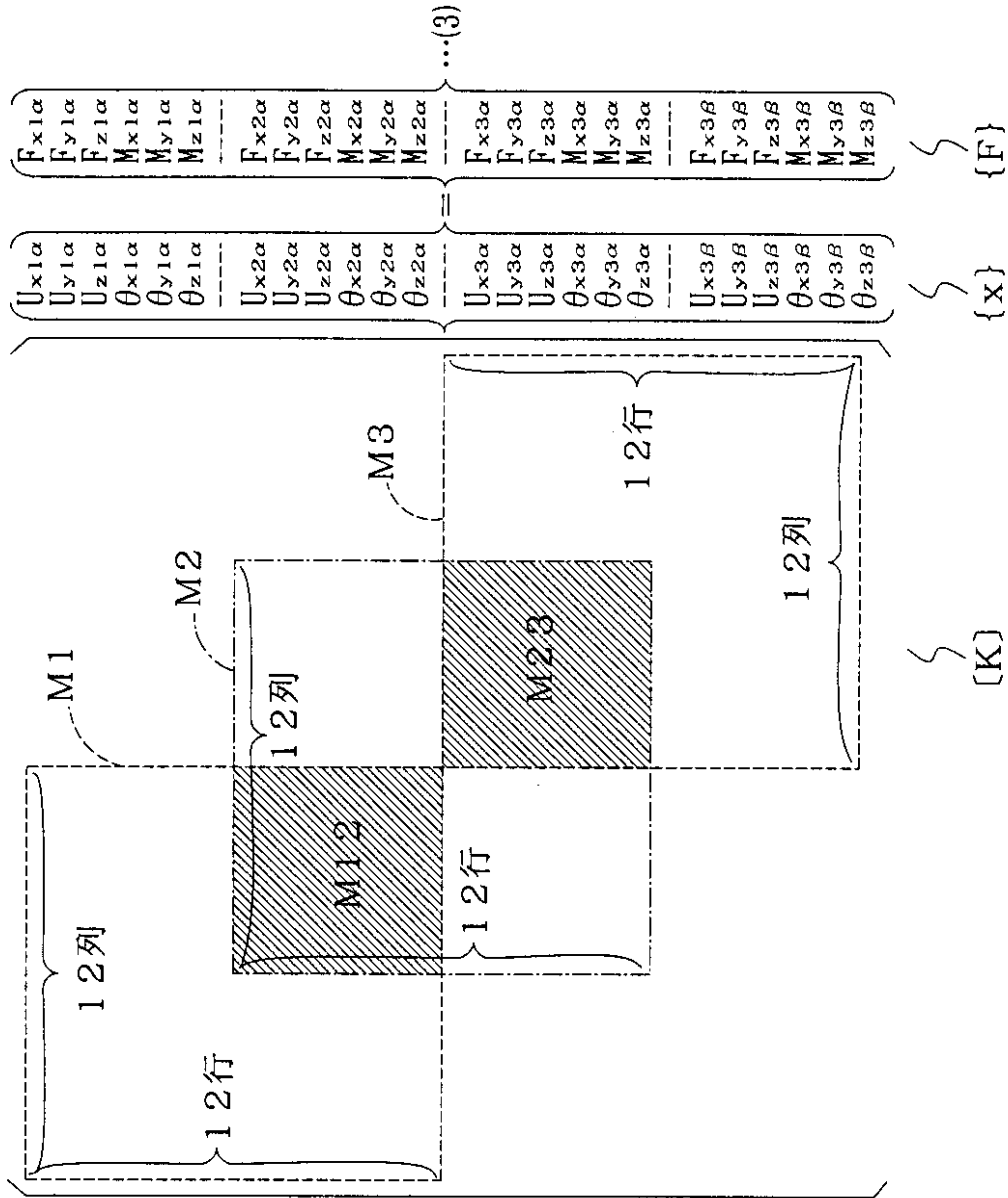
$i = 1, 1, 2, 2, 3, 3$  である。

【0055】

そして、図6(B)に示した梁要素C1、C2、C3における上記変位の連続性と力の釣り合いを上記式(2)と同様の形式で示すと、以下の式(3)のようになる。

【0056】

【数 2】



10

20

30

【0057】

ここで、式(3)中の12行12列のマトリクスM1、M2及びM3は、上記式(2)で示したものと同様である。但し、マトリクスM1、M2及びM3が重なっている部分M12及びM23は、各マトリクスの各構成要素が足し合わされたものとなる。

【0058】

なお、4つ以上の梁要素についても、同様に扱うことができる。このようにして、任意の数の梁要素に分割される線材の数式モデルを作成することができる。

40

【0059】

ちなみに、上記式(3)を簡単に表すと、

$$[K] \{x\} = \{F\} \dots (4)$$

となる。

【0060】

したがって、上記(3)や式(4)に基づき、変位ベクトル{x}の各要素を求めることにより、経路、すなわち、線材の予測形状を計算することができる。なお、上記のような一般的なマトリクス有限要素法は、例えば、上記非特許文献1中でも紹介されている。

50

## 【0061】

次に、本発明における形状予測に必要なポアソン比、縦弾性係数及び横弾性係数の求め方の一例について以下に示す。図7(A)は、断面2次モーメント及び縦弾性係数を測定する様子を示す図であり、図7(B)は、断面2次極モーメント及び横弾性係数を測定する様子を示す図である。

## 【0062】

まず、長さ $l$ 、断面積 $A$ 及び密度 $\rho$ は、対象となる線材を、ノギス、メジャー、重量計等を用いて計測した後、簡単な算出により求めることができる。

## 【0063】

また、縦弾性係数 $E$ は、図7(A)に示す測定方法を行う場合、次式(5)で表すことができる。 10

$$E = FL^3 / 3XI \dots (5)$$

## 【0064】

また、断面2次モーメント $I$ は、上記のように線材を円形断面と仮定したので、次式(6)で表すことができる。

$$I = D^4 / 64 \dots (6)$$

## 【0065】

したがって、  
 $E = 64FL^3 / 3XD^4 \dots (7)$   
 となる。 20

## 【0066】

この測定では、  
 $E = (F/X) \times (64L^3 / 3D^4)$   
 として、 $F$ と $X$ との関係を測定することにより、縦弾性係数 $E$ を求めることができる。

## 【0067】

一方、横弾性係数 $G$ は、図7(B)に示す測定方法を行う場合、次式(8)で表すことができる。

$$G = (TL / J) \times 2 \dots (8)$$

## 【0068】

断面2次極モーメント $J$ は、線材が円形断面と仮定したので、次式(9)で表すことができる。 30

$$J = D^4 / 32 \dots (9)$$

## 【0069】

また、ねじる力は、  
 $T = FS \dots (10)$   
 となる。

## 【0070】

よって、  
 $G = (32FSL / D^4) \times 2 = (F / X) (32SL / D^4) \times 2 \dots (11)$   
 したがって、 $F$ と $X$ との関係を測定することにより、横弾性係数 $G$ を求めることができる。 40

## 【0071】

なお、横弾性係数 $G$ と縦弾性係数 $E$ とは、次式(12)のような関係がある。

$$G = E / 2(1 + \mu) \dots (12)$$

ここで、 $\mu$ ：ポアソン比  
 を示す。

## 【0072】

なお、上記測定方法は一例であり、上記測定例以外の方法によって、横弾性係数 $G$ 及び縦弾性係数 $E$ 各値を取得するようにしてもよい。

## 【0073】

次に、上記理論、基本式及び測定値を利用して後述する処理手順にしたがって、線材の予測形状等を計算及び出力するための本発明に係るハードウェア構成について説明する。図8は、本発明の全実施形態に係るハードウェア構成を示すブロック構成図である。図9は、電線リストを例示する図である。

【0074】

図8に示すように、本発明では、マイクロコンピュータ21、入力装置22、表示装置23、印字装置24、記憶装置25、通信インターフェース26及びリードライト装置27を含んで構成される、例えば、パーソナルコンピュータが用いられる。いうまでもなく、パーソナルコンピュータ以外のデスクトップコンピュータやスーパーコンピュータを用いてもよい。マイクロコンピュータ21は、CPU21a(中央演算装置)、ブートプログラム等を記憶するROM21b、各種処理結果を一時的に記憶するRAM21cを含む。入力装置22は上記各値等を入力するキーボード、マウス等であり、表示装置23は処理結果を表示するLCDやCRT等であり、印字装置24は処理結果を印字するプリンタである。

10

【0075】

また、記憶装置25は、インストールされた本発明に係る予測形状計算プログラム29a、このプログラム29aによる処理結果等を記憶するハードディスクドライブである。記憶装置25には、また、図9で示すような、電線NO.1、2、...、で特定される各電線それぞれの起点(From)と終点(To)、電線特性(電線太さ、電線ヤング率、電線ポアソン比)及び図示しない電線長等が示された電線リスト25aも予め格納されている。

20

【0076】

このような電線リスト25aも予め格納しておくことにより、後述の計算による各電線のバラケ具合と、それらの起点及び終点並びに電線特性とを対応づけることが可能になる。したがって、各電線のバラケ具合と、起点及び終点並びに電線特性と、の関係を検討することも可能になる。

【0077】

また、通信インターフェース26は外部装置との間で、例えば、インターネットやLAN回線等を用いてデータ通信を行うためのモデムボード等である。リードライト装置27は、CDやDVD等の記録媒体29に格納される本発明に係る予測形状計算プログラム29aを読み込んだり、この予測形状計算プログラム29aによる計算結果を記録媒体29に書き込む装置である。これらの各構成要素は、内部バス28を介して接続されている。

30

【0078】

マイクロコンピュータ21は、リードライト装置27にて読み込まれた予測形状計算プログラム29aを記憶装置25にインストールする。また、電源が投入されると、マイクロコンピュータ21は、ROM21bに記憶されるブートプログラムにしたがって起動され、インストールされている予測形状計算プログラム29aを立ちあげる。そして、マイクロコンピュータ21は、予測形状計算プログラム29aにしたがって、線材の形状予測に係る処理をしたり、処理結果を表示装置23や印字装置24から出力させたり、処理結果を記憶装置25や記録媒体29に保存させたりする。予測形状計算プログラム29aは、上記基本構成を有する他のパーソナルコンピュータ等にもインストール可能であり、インストール後は、そのコンピュータを配線設計支援装置として機能させる。なお、予測形状計算プログラム29aは、記録媒体29のみならず、インターネットやLAN等の通信回線を経由して提供されたものであってもよい。

40

【0079】

次に、図10~図12を用いて、本発明の実施形態に係る基本的となる処理手順について説明する。図10は、本発明の実施形態に係る基本的となる処理手順を示すフローチャートである。図11(A)~図11(D)はそれぞれ、図10の各処理過程に対応する線材の状態を示す図である。図12は、バラケ開始部又はバラケ終了部の他の例を示す図である。なお、ここでは、線材として電線を想定し、図11(A)のバラケ終了部1E側の

50

ワイヤーハーネス 1 が、ワイヤーハーネス 1 のように変形されたときの、各電線のバラケ具合を求めるものとする。

【0080】

まず、図 10 に示すステップ S 1 においては、上記記憶装置 25 に格納されている電線リスト 25 a 等から、各電線の外形パラメータ、非外形パラメータが取得される。外形パラメータは、上述したように各電線の長さ  $l$  や断面積  $A$  であり、電線リスト 25 a 中の電線長や電線太さが利用される。また、非外形パラメータとしては、上述したように断面 2 次モーメント  $I$ 、断面 2 次極モーメント  $J$ 、ポアソン比  $\mu$ 、密度、縦弾性係数  $E$  及び横弾性係数  $G$  であり、リスト 25 a 中の電線ヤング率、電線ポアソン比が利用される（計算によることもある）。ここで設定される値は、上記式（3）中の剛性マトリクス  $[K]$  中の各要素に係わる。外形パラメータ及び非外形パラメータは、請求項中の物理特性に対応する。なお、図示しないが、この計算に係る各種制御値等も設定される。

10

【0081】

続いて、ステップ S 2 において、図 11 (A) に示すようなバラケ開始部 1 S 及びバラケ終了部 1 E における各電線の位置及び向きが求められる。各電線の位置及び向きの求め方については、図 13 以降で詳細に説明するが、基本的に、ワイヤーハーネスの断面の位置、向き、又は、電線の先端に取り付けられたコネクタが差し込まれる、電気接続箱側のコネクタのキャビティの位置、向きに基づく。この場合、ワイヤーハーネス及び電気接続箱は、所定の位置に固定されているものとする。

【0082】

ここでは、後述する方法によって、図 11 (A) に示すように、バラケ開始部 1 S 及びバラケ終了部 1 E における各電線の位置及び向きが求められているものとする。図 11 (A) において、 $d_1$ 、 $d_2$ 、 $d_3$ 、 $d_4$ 、 $d_5$ 、...、 $d_n$  は、各電線の断面に対応している。各電線の位置は、バラケ開始部 1 S 及びバラケ終了部 1 E においてそれぞれ求めるようにしてもよいが、バラケ開始部 1 S において電線のパッキング計算により求めた結果を、バラケ終了部 1 E にコピーするようによい。なお、ステップ S 2 は、請求項中の位置向き取得工程及び位置向き取得手段に対応する。

20

【0083】

続いて、ステップ S 3 及びステップ S 4 において、各電線  $d_i$  に対して、有限要素モデルを作成し、予測形状を求める。電線  $d_1$  を用いて説明すると、図 11 (B) に示すように、バラケ開始部 1 S 及びバラケ終了部 1 E における電線  $d_1$  の断面の中心を結び、節点を  $n_0$ 、 $n_1$ 、 $n_2$ 、 $n_3$ 、 $n_4$ 、 $n_5$ 、 $n_6$  とする梁要素で表した有限要素モデルを作成する。なお、ここでは、初期形状 11 d 1 を直線的に示しているがこれに限るものではない。そして、図 11 (C) に示すように、バラケ終了部 1 E がワイヤーハーネス 1 に対応するように強制変位されたときの予測形状 11 d を求める。

30

【0084】

補足すると、有限要素法を用いて予測形状を計算するときには、各節点  $n_0 \sim n_6$  には、上記取得した線材 11 d に対応する外形パラメータ、非外形パラメータが設定される。拘束条件としては、各節点  $n_0 \sim n_6$  に対して、図 2 で示したような拘束種類（完全拘束、回転拘束、完全自由等）や初期形状に対応する座標等が設定される。具体的には、節点  $n_0$ 、 $n_6$  には拘束種類として完全拘束が設定され（但し、節点  $n_6$  は強制変位される制御点）、それ以外の節点  $n_1 \sim n_5$  には拘束種類として完全自由が設定される。ここで設定される各値は、上記式（3）中の変位ベクトル  $\{x\}$  中の各要素に係わる。そして、このような設定値に応じた、有限要素モデルの物理的に釣り合った状態である図 11 (C) に示すような予測形状 11 d 1 が計算される。このようにして、全ての電線  $d_1$ 、 $d_2$ 、 $d_3$ 、 $d_4$ 、 $d_5$ 、...、 $d_n$  に対してそれぞれ、予測形状が計算される。なお、ステップ S 3 は、請求項中の有限要素モデル作成工程及び有限要素モデル作成手段に対応し、ステップ S 4 は、請求項中の予測形状計算工程及び予測形状計算手段に対応する。

40

【0085】

そして、ステップ S 5 において、上述のようにして計算された結果が、図 11 (D) に

50

示す予測形状 1 1 d に準じた形状で表示装置 2 3 に出力される。すなわち、図 1 1 ( D ) に示す予測形状 1 1 d を、実際の電線太さに対応するように肉付けして出力する。計算結果は、表示装置 2 3 のみならず、印字装置 2 4 にも出力したり、記録媒体 2 9 に記録されるようにすることが好ましい。なお、上記初期形状 1 1 d 1 に準じた形状も表示装置 2 3 に出力するようにすることが好ましい。ステップ S 5 は、請求項中の結果出力工程及び結果出力手段に対応する。

**【 0 0 8 6 】**

なお、バラケ開始部 1 S 及びバラケ終了部 1 E は、ワイヤーハーネスの断面のみならず、図 1 2 に示すような、電気接続箱のコネクタであってもよい。図 1 2 に示すように、電気接続箱 5 のコネクタ 5 1、5 2、5 3、5 4、5 5、及び 5 6 は、それぞれキャビティ p 1 ~ p 4、p 5 ~ p 8 等を有している。各キャビティはそれぞれ、電気接続箱 5 に内蔵される電子部品等に電気接続されている。

10

**【 0 0 8 7 】**

電気接続箱 5 の各コネクタ 5 1、5 2、5 3、5 4、5 5、及び 5 6 にはそれぞれ、ワイヤーハーネス側のコネクタ 2 3、2 4、2 5 等が嵌合される。各コネクタ 2 3、2 4、2 5 等のキャビティ h 1 0 ~ h 1 2 等には、ワイヤーハーネス 1 を構成する各電線 d 1、d 2、d 3、d 4、d 5、...、d n が接続される。なお、実際には、各電線は所定の太さを有するが、図 1 2 においては、単純化して線で表している。電気接続箱 5 は、車両内の所定位置に固定されるため、各コネクタ 5 1、5 2、5 3、5 4、5 5、及び 5 6 の位置及び向きも特定することができる。

20

**【 0 0 8 8 】**

そうすると、電気接続箱 5 のコネクタ 5 1、5 2、5 3、5 4、5 5、及び 5 6 が配置されている部位を、ワイヤーハーネスの断面と同様に、バラケ終了部 1 E (又は、バラケ開始部)として扱うことができる。各電線 d 1、d 1、d 2、d 3、d 4、d 5、...、d n のバラケ具合も、図 1 0 及び図 1 1 を用いて説明した方法と同様にして計算することができる。

**【 0 0 8 9 】**

次に、上記ステップ S 2 におけるバラケ開始部及びバラケ終了部における各電線の位置及び向きの計算方法について、図 1 3 及び図 1 4 を用いて詳細に説明する。図 1 3 は、上記図 1 1 におけるバラケ開始部及びバラケ終了部における各電線の位置及び向きの計算方法に係るフローチャートである。図 1 4 ( A ) 及び図 1 4 ( B ) は、電線束への有限要素法の適用例を説明するための図である。

30

**【 0 0 9 0 】**

図 1 3 のステップ S 2 0 1 においては、バラケ開始部 (バラケ終了部) が電気接続箱 5 に接続されるか否かが判定される。ステップ S 2 0 1 において、バラケ開始部 (バラケ終了部) が電気接続箱 5 に接続されると判定されると (ステップ S 2 0 1 の Y)、ステップ S 2 0 2 において、電線リスト 2 5 a 等からバラケ開始部 (バラケ終了部) における各電線の位置、向きが求められる。これらの求め方は、上述したように、電気接続箱 5 のコネクタ 5 1、5 2、5 3、5 4、5 5、及び 5 6 が配置されている部位を、ワイヤーハーネスの断面と同様に、バラケ終了部 1 E (又は、バラケ開始部)として扱い、電気接続箱 5 の固定位置、固定方向、及び各コネクタのキャビティの位置により、バラケ開始部 (バラケ終了部) における各電線の位置、向きを特定することができる。なお、ステップ S 2 0 1、ステップ S 2 0 2 は、請求項 6 に対応する。

40

**【 0 0 9 1 】**

また、ステップ S 2 0 1 において、バラケ開始部 (バラケ終了部) が電気接続箱 5 に接続されないと判定されると (ステップ S 2 0 1 の N)、ステップ S 2 0 3 において、更に、バラケ開始部 (バラケ終了部) にクリップ等の支持部材が取り付けられるか否かが判定される。ステップ S 2 0 3 において、バラケ開始部 (バラケ終了部) にクリップ等の支持部材が取り付けられると判定されると (ステップ S 2 0 3 の Y)、ステップ S 2 0 4 において、クリップ等の該当支持部材の取り付け位置、向きが求められる。

50

## 【0092】

続いて、ステップS205において、線材パッキング計算が行われる。この線材パッキング計算では、線材である電線の断面形状をそれぞれの外形に対応した直径を有する複数の円とみなして、これら複数の円を互いに重ならないようにできるだけ小さい円形状に束ねるようにしてパッキングしたときの円の位置から、各電線の位置を特定する。この線材パッキング計算については、図15～図18を用いて後述する。

## 【0093】

そして、ステップS206において、上記線材パッキング計算により求められた各電線の位置及び、ステップS204で求められた支持部材の取り付け位置、向きに基づいて、バラケ開始部（バラケ終了部）における各電線の位置、向きを特定することができる。なお、ステップS203～ステップS206は、請求項2、4に対応する。

## 【0094】

また、ステップS203において、バラケ開始部（バラケ終了部）にクリップ等の支持部材が取り付けられないと判定されると、バラケ開始部（バラケ終了部）の位置、向きを求めるために、まず、ステップS207において、全電線を1本の電線束（ワイヤーハーネス）として有限要素モデルを作成する。ワイヤーハーネスへの有限要素法の適用は、上述した線材の場合と同様である。すなわち、バラケ計算すべき電線を含むワイヤーハーネス全体に対して、図14（A）に示すような、節点を1a0、1a1、1a2、1a3、1a4、1a5、1a6、1a7、1a8、1a9、1a10、1a11、1a12、1a13、1a14とする梁要素で表した有限要素モデル1aを作成する。ここで、節点1a2、節点1a13に、クリップ等の支持部材12が取り付けられるものとする。また、節点1a4が例えば図11のバラケ開始部1Sに対応し、節点1a10が例えば図11のバラケ終了部1Eに対応し、節点1a5、1a6、1a7、1a8、1a9がこの間の部分に対応するものとする。

## 【0095】

そして、線材の場合と同様に、このワイヤーハーネスの物理特性（外形パラメータ、非外形パラメータ）及び拘束条件を、有限要素モデル1aに与えて、図14（B）に示すような予測形状1aを計算する。例えば、拘束条件としては、支持部材12が取り付けられる節点1a2、1a13に完全拘束を設定し、それ以外に完全自由を設定する。

## 【0096】

続いて、ステップS209において、図14（B）に示すような、計算した予測形状1aの節点1a4及び節点1a10の位置、向きから、バラケ開始部1S及びバラケ終了部1Eの断面の位置、向きを求めることができる。

## 【0097】

続いて、ステップS210において、ステップS205と同様に、線材パッキング計算が行われる。そして、ステップS211において、上記線材パッキング計算により求められた各電線の位置及び、ステップS209で求められたバラケ開始部1S及びバラケ終了部1Eの断面の位置、向きに基づいて、バラケ開始部（バラケ終了部）における各電線の位置、向きを特定することができる。なお、ステップS207～ステップS211は、請求項3、4に対応する。

## 【0098】

このようにして、バラケ開始部（バラケ終了部）における各電線の位置、向きを特定することができるので、より現実に即したワイヤーハーネスのバラケ開始部とバラケ終了部との間における複数の線材のバラケ具合を把握できるようになる。

## 【0099】

最後に、上記ステップS205及びステップS210で簡単に説明した線材パッキング計算の方法について、図15～図17を用いて詳細に説明する。図15は、線材パッキング計算処理に係る基本処理手順を示すフローチャートである。図16（A）は初期状態を示し、図16（B）は目標円からはみ出した挿込試行円を示し、図16（C）は図16（B）の挿込試行円を目標円の内部に挿し込んだ様子を示し、そして、図16（D）は最終

10

20

30

40

50

結果を示す図である。図 17 は、図 15 における探索挿込処理を示すフローチャートである。図 18 は、探索処理を示すフローチャートである。

【0100】

この線材パッキング計算では、上述したように、線材である電線の断面形状をそれぞれの外形に対応した直径を有する複数の円とみなし、これら円を断面にもつ  $n$  本の円柱を束ねた時、その全体を囲む円の大きさを調べるという問題に帰着させる。実際的には、上記コンピュータを用いて、複数の線材をできるだけ小さい円形状に束ねてパッキングしてその外径を取得するための有効な計算方法を考える。

【0101】

図 15 に示す基本処理においては、入力情報としては、ワイヤーハーネスを構成する電線等の複数の線材の断面形状をそれぞれの外形に対応した  $n$  個の円  $c_1$ 、 $c_2$ 、...、 $c_n$  の半径  $r_1$ 、 $r_2$ 、...、 $r_n$ 、1 より小さくて十分 1 に近い数  $p$ 、例えば、 $p = 0.95$ 、及び十分小さい正数である終了基準値、例えば、終了基準値  $= \min((r_1, r_2, \dots, r_n) / 100)$  が与えられる。

【0102】

また、出力情報としては、 $n$  個の円  $c_1$ 、 $c_2$ 、...、 $c_n$  を互いに重ならないように詰め込める、なるべく小さい円の半径  $R$ 、及びこのときの円  $C$ 、円  $c_1$ 、 $c_2$ 、...、 $c_n$  の位置情報が出力される。

【0103】

このため、図 15 に示すステップ T1 においては、まず、円  $c_1$ 、 $c_2$ 、...、 $c_n$  を互いに重ならないように平面上に配置し、それらを囲む大円、すなわち包含円  $C$  を見つける。

【0104】

次に、ステップ T2、ステップ T3 及びステップ T4 においては、上記包含円  $C$  と同じ中心を持ち、半径が包含円  $C$  の上記  $p$  倍である円、すなわち、目標円  $D$  を定める。すなわち、ステップ T2、ステップ T3 の  $N$  及びステップ T4 からなるループでは、包含円  $C$  と同じ中心を有し、且つこの包含円  $C$  より少し小さく、少なくとも、複数の円  $c_1$ 、 $c_2$ 、...、 $c_n$  のうちのひとつが包含円  $D$  からはみ出すような目標円  $D$  を定める。なお、以下の処理過程では、円  $c_1$ 、 $c_2$ 、...、 $c_n$  が目標円  $D$  の中に入るように配置を変更していく。

【0105】

次に、ステップ T5 においては、探索挿込処理を行う。すなわち、ここでは、目標円  $D$  からはみ出している任意のひとつの円  $c_i$  から、距離の大きい順に円  $c_i$  以外の円を取り出し、より遠くへ置けるものはできるだけ遠くへ移動させ、そのような移動ができない場合は現位置に残す。そして、このような移動によりできたスペースにひとつのこの円  $c_i$  を移動する、すなわち、挿し込むことを試みる。なお、このステップ T5 の処理については、図 17 を用いて後で説明を加える。

【0106】

次に、ステップ T6 においては、上記ステップ T5 における円  $c_i$  の挿し込みが成功したか否かを判定し、成功の場合はステップ T3 に戻り（ステップ T6 の Y）、さもなければステップ T7 に進む（ステップ T6 の N）。ステップ T3 に戻ると、他にはみ出している円があるか否かを判定し、これがあればこのはみ出している円に対して再度ステップ T5 の探索挿込処理を行い、なければステップ T4 に進んで上記と同様の処理を行うことになる。

【0107】

一方、ステップ T7 においては、上記包含円  $C$  と挿込みが成功しなかった上記目標円  $D$  との中間の大きさの円を、新たに目標円  $D$  に定める。次に、ステップ T8 において、上記ステップ T7 の処理に用いられた包含円及び目標円  $D$  のそれぞれの半径の差が上記終了基準値以下か否かを判定し、この差が終了基準値より大きければ上記ステップ T3 に戻り上記と同様の処理を繰り返し（ステップ T8 の N）、この差が終了基準値以下であればステップ T9 に進む（ステップ T8 の Y）。

【0108】

ステップ T 9 においては、この包含円 C ( 上記包含円に相当 ) の半径を最終的な、ワイヤーハーネスの半径 R としてこれを算出する。また、このときの包含円 C 及び各円  $c_1$ 、 $c_2$ 、...、 $c_n$  の位置情報も算出する。なお、上記 p 及び終了基準値 を適宜、若干変更してもよい。

#### 【 0 1 0 9 】

上記処理手順による各円のふるまいを図 1 6 を用いて示す。図 1 6 は、図 1 5 の処理手順によるふるまいを示す図であり、特に、図 1 6 ( a ) は初期状態を示し、図 1 6 ( B ) は目標円からはみ出した挿込試行円を示し、図 1 6 ( C ) は図 1 6 ( B ) の挿込試行円を目標円の内部に挿し込んだ様子を示し、そして、図 1 6 ( D ) は最終結果を示す図である。

10

#### 【 0 1 1 0 】

図 1 6 ( a ) においては、与えられた n 個の円  $c_i$  の初期配置と、それらを囲む包含円 C が示されている。図 1 6 ( B ) においては、処理の途中の状態が示され、現在得られている包含円 C より少し小さい目標円 D、及びこの目標円 D からはみ出す円のひとつであり、挿し込みが試行される挿込試行円  $c_n$  が示されている。

#### 【 0 1 1 1 】

また、図 1 6 ( C ) においては、図 1 6 ( B ) で示した挿込試行円  $c_n$  に対して、図 1 5 に示したステップ T 5 の探索挿込処理が施されたあとの状態が示されている。なお、図 1 6 ( C ) 中、円  $m_i$  ( 粗斜線を囲む円群 ) は、上記探索挿込処理において挿込試行円  $c_n$  を挿し込むために移動した移動円群を示している。なお、この図からわかるように、他のはみ出している円も、挿込試行円  $c_n$  の挿込処理の過程で、目標円 D に入ることもある。そして、図 1 6 ( D ) においては、すべてのはみだしている円に対して、挿込処理が行われた結果が示されている。

20

#### 【 0 1 1 2 】

このように、ワイヤーハーネスを構成する複数の線材を、包含円からはみ出している線材からできるだけ遠くに配置変更し、これによりできたスペースにはみ出している線材を挿し込むという操作を繰り返し計算することにより、複数の線材を囲むワイヤーハーネスの外径が効率的に取得される。

#### 【 0 1 1 3 】

次に、上記図 1 5 のステップ T 5 の探索挿込処理について、図 1 7 を用いて説明を加える。図 1 7 は、図 1 5 における探索挿込処理を示すフローチャートである。

30

#### 【 0 1 1 4 】

図 1 7 に示す探索挿込処理においては、入力情報として、n 個の円  $c_i$  の半径  $r_i$  と、それらの中心  $(x_i, y_i)$ 、 $i = 1, 2, \dots, n$ 、及び目標円 D が与えられる。但し、n 個の円  $c_i$  は互いに重なることはなく、また最後の円  $c_n$  は目標円 D からはみ出しているとする。なお、この他にもはみ出している円があってもよい。

#### 【 0 1 1 5 】

また、出力情報としては、既に目標円 D 内に入っている円をこの目標円 D からはみ出させることなく、最後の円  $c_n$  を目標円 D 内へ挿し込むことができるなら成功結果としてそれを実現する n 個の円の中心位置が出力され、できないなら失敗結果としてその旨示すメッセージが出力される。

40

#### 【 0 1 1 6 】

まず、探索挿込処理のステップ T 5 1 においては、n 個の円  $c_i$  を、上記最後の円  $c_n$  から遠い順に並べ替える。この順は、詳しくは、n 個の円  $c_i$  のそれぞれの中心と、最後の円  $c_n$  の中心と、の距離に基づく。そして、ここで、並び替えた結果の円番号を、簡単のために、新ためて  $c_1$ 、 $c_2$ 、...、 $c_n$  とする。なお、以下、この最後の円を挿込試行円とよぶ。

#### 【 0 1 1 7 】

次に、 $i = 1, 2, \dots, n - 1$  に対して、ステップ T 5 2 ~ ステップ T 5 4 a ( 又はステップ T 5 4 b ) に示す処理を行う。ステップ T 5 2 においては、探索処理を行う。すな

50

わち、円  $c_i$  が、目標円  $D$  内で他の円と重ならず移動可能な移動候補位置を探索する。詳しくは、この探索処理では、図 18 に示す探索処理が行われる。探索処理では、円  $c_i$  が目標円  $D$  内で他の円と重ならず、現在の円  $c_i$  の位置より、挿込試行円  $c_n$  から遠くなるような移動候補位置を探索する。これについては後述する。

【0118】

そして、ステップ T53 及びステップ T54a、ステップ T54b においては、上記探索処理にて移動候補位置があればその中で挿込試行円  $c_n$  から最も遠い位置へ円  $c_i$  を移動し（ステップ T53 の Y、ステップ T54a）、移動候補位置がなければ円  $c_i$  を現在位置に残す（ステップ T53 の N、ステップ T54b）。このような処理が、 $i = 1, 2, \dots, n-1$  に対して行われた後、ステップ T55 に進む。なお、上記ステップ T52 ~ ステップ T54 が請求項中の探索工程に対応している。

10

【0119】

次に、ステップ T55 においては、上記ステップ T52 ~ ステップ T54a（又はステップ T54b）からなるループ処理にてできた目標円  $D$  内のスペースに対しての、挿込試行円  $c_n$  の挿し込みを試行する。

【0120】

そして、ステップ T56 及びステップ T57a、ステップ T57b においては、上記挿し込みの試行により挿し込みが成功すれば、挿込試行円  $c_n$  をそこへ移動し（ステップ T56 の Y、ステップ T57a）、挿し込みができなければ、その旨示すメッセージを出力する（ステップ T56 の N、ステップ T57b）。なお、上記成功時には、それを實現する  $n$  個の円の中心位置が出力される。そして、これらステップ T51 ~ ステップ T57a（又はステップ T57b）からなる一連の処理が終了すれば、図 15 に示すこれに続く処理に戻る。

20

【0121】

更に、図 18 を用いて、上記探索処理について説明を加える。図 18 の探索処理においては、 $n$  個の円  $c_i$  を移動するスペースがあった時、上記挿込試行円  $c_n$  から最も遠くへ移動した状態では、円  $c_i$  は 2 つの円に接しているはずであるということに着目している。但し、この接する 2 つの円のうちのひとつは、上記目標円  $D$  の場合もある。そこで、ここでは、与えられた  $n$  個の円  $c_i$  と目標円  $D$  の全体がなす集合を  $S = \{c_1, c_2, \dots, c_n, D\}$  とおく。そして、円  $c_i$  以外の全ての 2 つの円  $c_j, c_k$   $S$  に対して、以下のステッ

30

【0122】

まず、ステップ T521 においては、半径  $r_i$  の円  $c_i$  が、円  $c_j$  と円  $c_k$  の両方に接する位置を探す。但し、円  $c_j$  又は円  $c_k$  が目標円  $D$  以外の円なら外側から接し、目標円  $D$  なら内側から接するものとする。そのような位置は、高々、2 個しかなく、その場合の中心をそれぞれ  $(x_{ij}, y_{ij})$ 、 $(x_{ik}, y_{ik})$  とする。

【0123】

次に、ステップ T522 においては、上記 2 個のうち的一方の位置に移動させると、円  $c_i$  は現在位置よりも挿込試行円  $c_n$  から遠くなるか否かを判定する。すなわち、一方の中心  $(x_{ij}, y_{ij})$  から挿込試行円  $c_n$  の中心までの距離  $X_1$  と、現在位置の円  $c_i$  の中心から挿込試行円  $c_n$  の中心までの距離  $X_2$  とを比較し、距離  $X_1$  が距離  $X_2$  より大きければステップ T523 に進み（ステップ T522 の Y）、さもなければ後述するステップ T526 に進む（ステップ T522 の N）。

40

【0124】

ステップ T523 においては、円  $c_i$ 、円  $c_j$ 、円  $c_k$  及び目標円  $D$  以外の全ての円に対して、半径  $r_i$  の円  $c_i$  を上記中心  $(x_{ij}, y_{ij})$  に置いた時、重なるか否かを調べ、その重なりをステップ T524 において判定する。ここで、どの円とも重ならないと判定されればステップ T525 に進み（ステップ T524 の N）、ステップ T525 において上記中心  $(x_{ij}, y_{ij})$  を円  $c_i$  の移動候補位置のひとつに加え、さもなければステップ T526 に進む（ステップ T524 の Y）。

50

## 【0125】

更に、上記一方の中心 $(x_i, y_i)$ を他方の中心 $(x_j, y_j)$ に置き換えて、上記ステップT522～ステップT525と同様、以下のステップT526～ステップT529の処理を行う。ステップT526においては、上記2個のうちの他方の位置に移動させると、円 $c_i$ は現在位置よりも挿込試行円 $C_n$ から遠くなるか否かを判定する。すなわち、他方の中心 $(x_j, y_j)$ から挿込試行円 $C_n$ の中心までの距離 $X'$ と、現在位置の円 $c_i$ の中心から挿込試行円 $C_n$ の中心までの距離 $X$ と、を比較し、距離 $X'$ が距離 $X$ より大きければステップT527に進み(ステップT526のY)、さもなければ直接次に進む(ステップT526のN)。

## 【0126】

ステップT527においては、円 $c_i$ 、円 $c_j$ 、円 $c_k$ 及び目標円D以外の全ての円に対して、半径 $r_i$ の円 $c_i$ を上記中心 $(x_j, y_j)$ に置いた時、重なるか否かを調べ、その重なりをステップT528において判定する。ここで、どの円とも重ならないと判定されればステップT529に進み(ステップT528のN)、ステップT529において上記中心 $(x_j, y_j)$ を円 $c_i$ の移動候補位置のひとつに加え、さもなければ直接次に進む(ステップT528のY)。このような処理が、円 $c_i$ 以外の全ての2つの円 $c_j$ 、 $c_k$ に対して行われると、図17に示すこれに続く処理に戻る。

## 【0127】

このようにして、バラケ開始部及びバラケ終了部における各電線の位置、向きを特定することにより、バラケ開始部とバラケ終了部との間における各電線のバラケ具合を計算することができる。

## 【0128】

以上のように、本発明の実施形態によれば、有限要素法を利用することにより、ワイヤーハーネスのバラケ開始部とバラケ終了部との間における複数の線材のバラケ具合を把握できるようになる。したがって、ワイヤーハーネスや線材の最適な配線設計に非常に有効となる。

## 【0129】

なお、ワイヤーハーネスの断面は一様でないことが多いので、上記線材パッキング計算等を複数回行って各電線の初期配置をランダムに設定し、それぞれの場合において各電線の予測形状を計算するようにすることがより好ましい。これにより、電線のバラケ具合を総合的に把握することができるようになる。また、実施形態におけるバラケ開始部をバラケ終了部とよび、バラケ終了部をバラケ開始部とよんでも差し支えない。更に、本発明は、円形断面の線材のみならず、矩形断面、円環断面、楕円断面、H字断面等の線材に対しても、同様に適用可能である。すなわち、本発明が適用される線材は、円形断面に限定されない。

## 【図面の簡単な説明】

## 【0130】

【図1】ワイヤーハーネスの例を概略的に示す図である。

【図2】ワイヤーハーネスに取り付けられる代表的な支持部材と拘束自由度との関係を示す図である。

【図3】図3(A)及び図3(B)は、線材のバラケを説明するための図である。

【図4】図4(A)は、線材の外観を示す図であり、図4(B)は、図4(A)の線材を離散化した様子を示す図であり、図4(C)は、図4(A)の線材を梁要素と節点とで表した図である。

【図5】梁要素と節点とで表した線材における自由度を説明するための図である。

【図6】図6(A)は、線材を3つの梁要素で表した図であり、図6(B)は、図6(A)の3つの梁要素を結合した状態を示す図である。

【図7】図7(A)は、断面2次モーメント及び縦弾性係数を測定する様子を示す図であり、図7(B)は、断面2次極モーメント及び横弾性係数を測定する様子を示す図である。

10

20

30

40

50

【図 8】全実施形態に係るハードウェア構成の一例を示すブロック構成図である。

【図 9】電線リストを例示する図である。

【図 10】図 10 は、本発明の実施形態に係る基本的となる処理手順を示すフローチャートである。

【図 11】図 11 (A) ~ 図 11 (D) はそれぞれ、図 10 の各処理過程に対応する線材の状態を示す図である。

【図 12】バラケ開始部又はバラケ終了部の他の例を示す図である。

【図 13】図 11 におけるバラケ開始部及びバラケ終了部における各電線の位置及び向き  
の計算方法に係るフローチャートである。

【図 14】図 14 (A) 及び図 14 (B) は、電線束への有限要素法の適用例を説明する  
ための図である。 10

【図 15】線材パッキング計算処理に係る基本処理手順を示すフローチャートである。

【図 16】図 16 (A) は初期状態を示し、図 16 (B) は目標円からはみ出した挿込試  
行円を示し、図 16 (C) は図 16 (B) の挿込試行円を目標円の内部に挿し込んだ様子  
を示し、図 16 (D) は最終結果を示す図である。

【図 17】図 15 における探索挿込処理を示すフローチャートである。

【図 18】探索処理を示すフローチャートである。

【符号の説明】

【0131】

1 ワイヤーハーネス 20

1 S バラケ開始部

1 E、1 E バラケ終了部

2 a、2 b、2 c、2 d コネクタ

3 a、3 b、3 c、3 d クリップ

4 分岐点

2 1 マイクロコンピュータ

2 2 入力装置

2 3 表示装置

2 4 印字装置

2 5 記憶装置 30

2 6 通信インターフェース

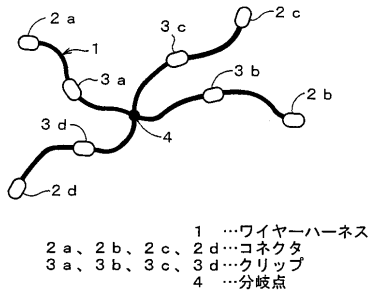
2 7 リードライト装置

2 8 内部バス

C 1 ~ C 7 梁要素

N 1 ~ N 8 節点 (ノード)

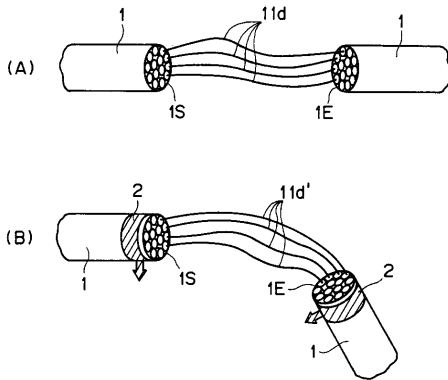
【 図 1 】



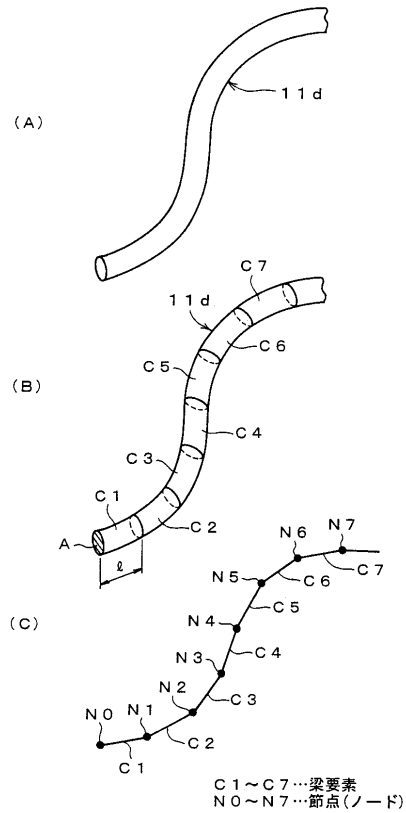
【 図 2 】

支持部材	拘束自由度		X軸方向 並進	Y軸方向 並進	Z軸方向 並進	X軸回り 回転	Y軸回り 回転	Z軸回り 回転
	拘束	自由						
コネクタ	可	不可	不可	不可	不可	不可	不可	不可
長穴クリップ	可	不可	不可	不可	不可	不可	不可	不可
丸穴クリップ	可	不可	不可	不可	不可	不可	不可	不可
コルゲート長穴クリップ	可	不可	不可	不可	不可	可	可	可
コルゲート丸穴クリップ	可	不可	不可	不可	不可	可	可	可
分岐点	可	可	可	可	可	可	可	可
完全拘束	可	不可	不可	不可	不可	不可	不可	不可
完全拘束	可	不可	不可	不可	不可	不可	不可	不可
回転拘束	可	不可	不可	不可	不可	可	可	可
回転拘束	可	不可	不可	不可	不可	可	可	可
回転拘束	可	不可	不可	不可	不可	可	可	可
完全自由	可	可	可	可	可	可	可	可

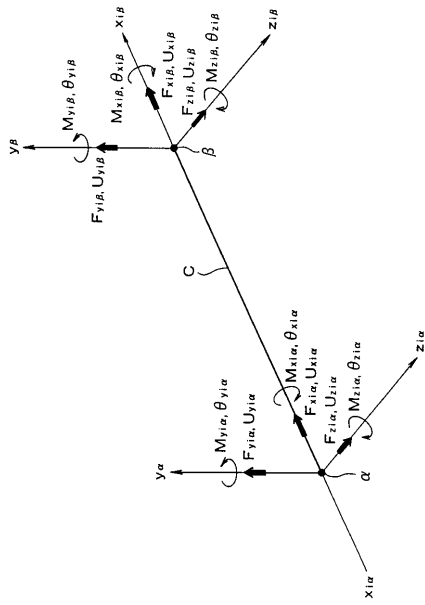
【 図 3 】



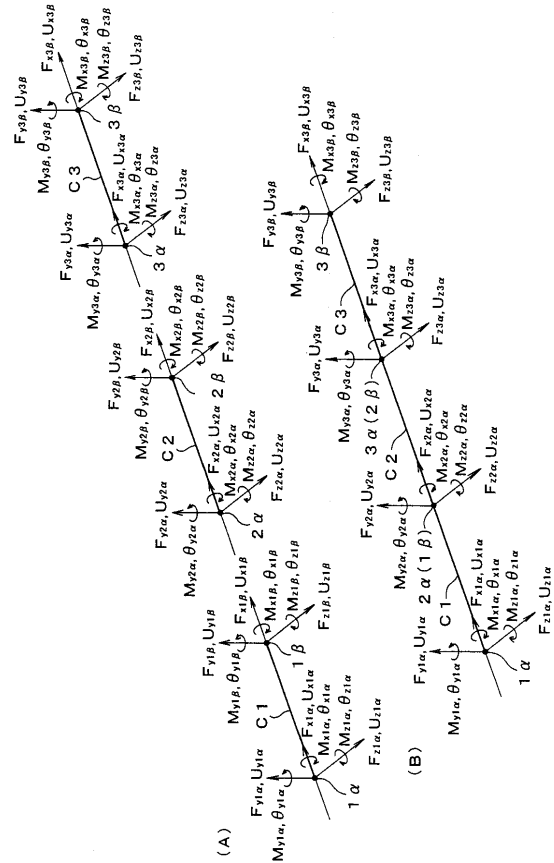
【 図 4 】



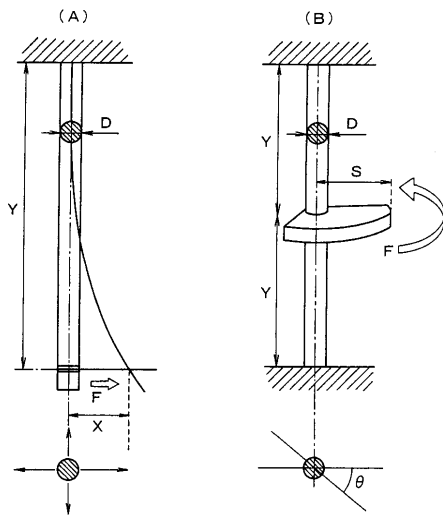
【図 5】



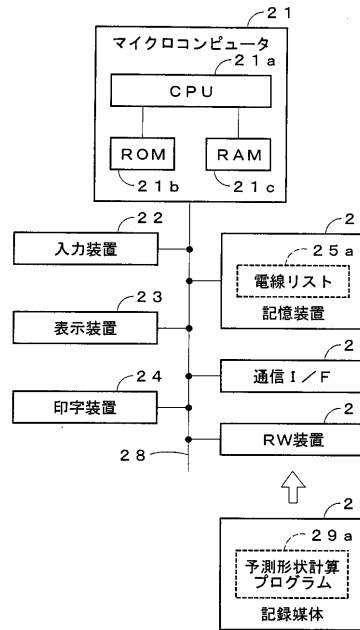
【図 6】



【図 7】



【図 8】

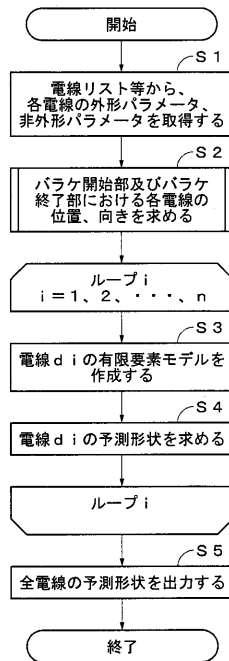


【図 9】

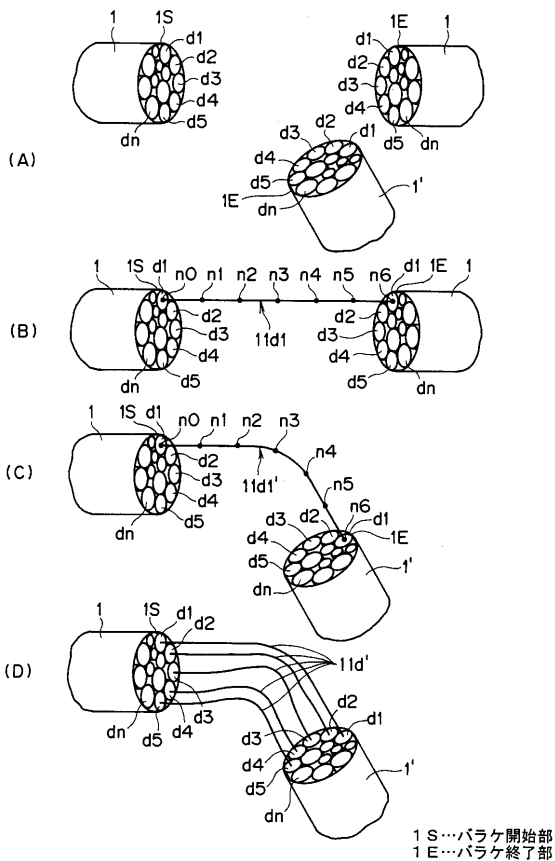
25a

電線 NO.	From		To		電線特性		電線ポアソン比
	コネクタ NO.	キャビティ NO.	コネクタ NO.	キャビティ NO.	電線ヤング率	電線太さ	
1	1	1	2	2	100	2.1	0.3
2	12	9	3	4	200	2.6	0.3
3	12	8	20	1	300	3.2	0.4
4	12	24	32	5	200	8.0	0.35
5	1	2	12	5	400	4.3	0.25
6	1	4	12	6	500	5.6	0.3
...	...	...	...	...	...	...	...

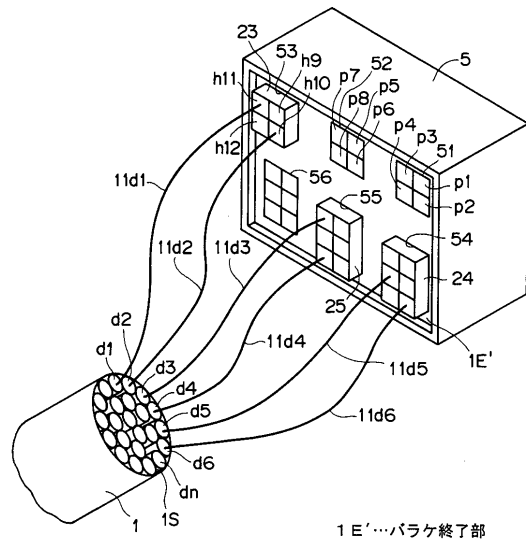
【図 10】



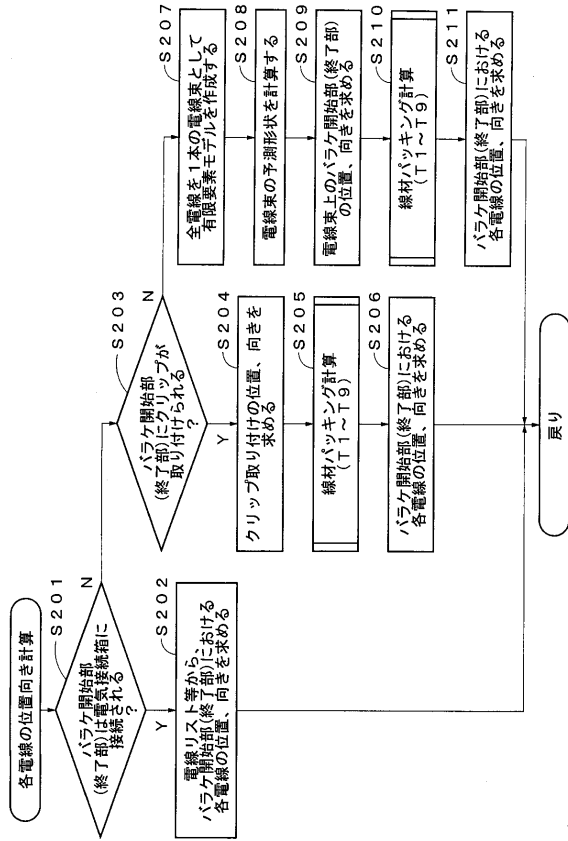
【図 11】



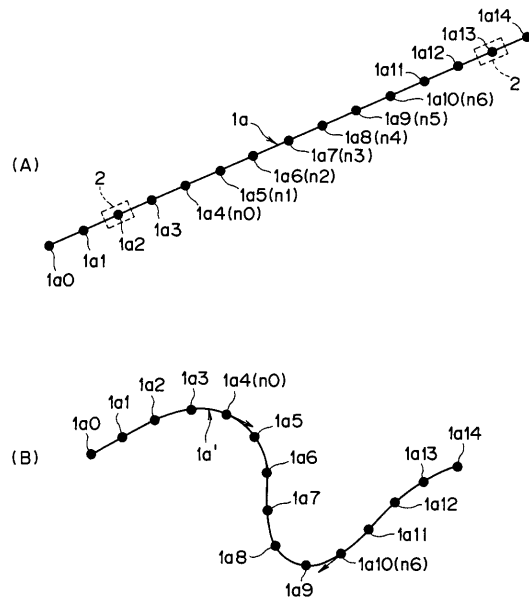
【図 12】



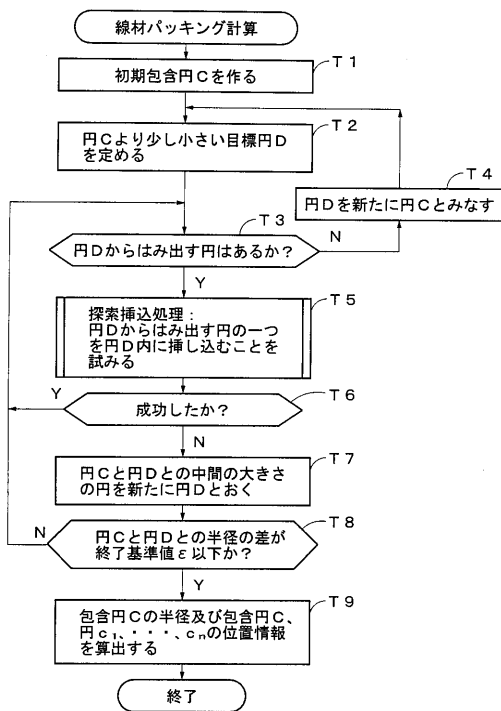
【 図 1 3 】



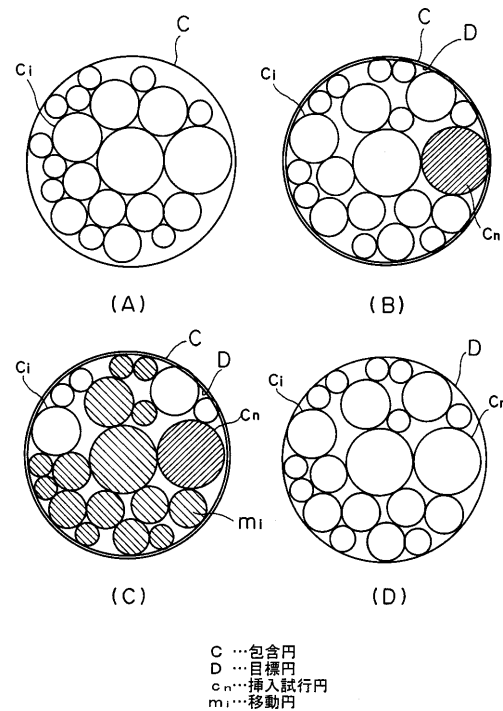
【 図 1 4 】



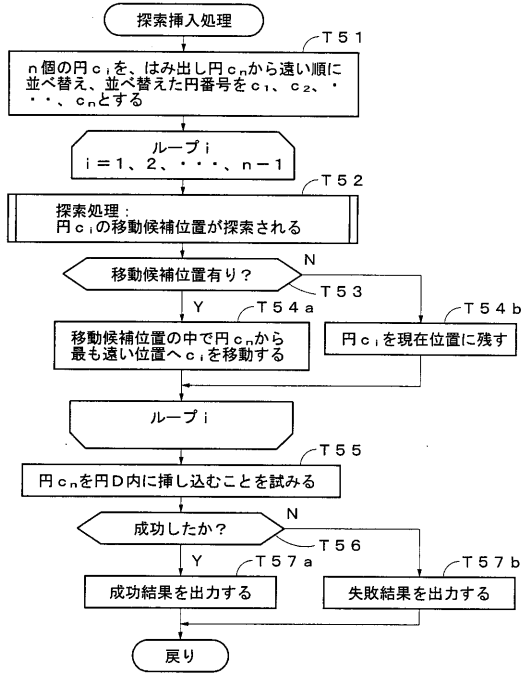
【 図 1 5 】



【 図 1 6 】



【 図 1 7 】



【 図 1 8 】

