

# 自動車用ワイヤハーネス開発におけるシミュレーション技術の適用

電装品技術部 野口雄紀<sup>1</sup>・細井貴之<sup>1</sup>・吉岡岳<sup>2</sup>・  
吉永圭一<sup>2</sup>・崎山興治<sup>3</sup>

## Application of the Simulation Technology for the Automotive Wire Harness Development

Y. Noguchi, T. Hosoi, T. Yoshioka, K. Yoshinaga, and K. Sakiyama

自動車用ワイヤハーネスの開発において、短時間で解析可能なシミュレーション技術を開発した。本技術は、ワイヤハーネスの経路シミュレーションと屈曲シミュレーションで構成される。さらに3次元CADによる製造設計の効率化手法を同時に開発し、自動車メーカーの求める開発のフロントローディングを、より確実に遂行できるようになった。

We developed an efficient simulation technology for automotive wire harness design. Our technology consists of a layout design simulation and a bending simulation for wire harness. In addition, we developed an efficient method for wire harness manufacturing design by the use of 3D CAD.

These CAE technologies conclusively lead to front-loading of automotive development which is required by automaker.

### 1. ま え が き

近年、自動車の開発においてコンピュータを利用したシミュレーション技術は不可欠であり<sup>(1)</sup>、ワイヤハーネスの開発においても、電線に端子を圧着する際の荷重変形シミュレーションやクリップの構造解析、ジャンクションボックスの温度分布解析など、多種多様なシミュレーション技術が活用されている。しかし、電線を主体とした複数部品の集合体であるワイヤハーネスは、それ自体が柔軟で不安定な形状であるため、車両内の経路や屈曲部における挙動をコンピュータで再現することが困難であり、計算に膨大な時間がかかってしまうことや、解析結果が発散してしまうなどの問題があった。

当社はワイヤハーネスの経路シミュレーションおよび屈曲シミュレーションにおいて、簡素な解析モデルを用いて短時間で解析可能な新たなシミュレーション手法を開発した。この手法は一般的な有限要素法を用いた解析に比べ、計算処理が短時間で済むことと処理能力の優れた高価な解析ツールが不要であるという特長がある。

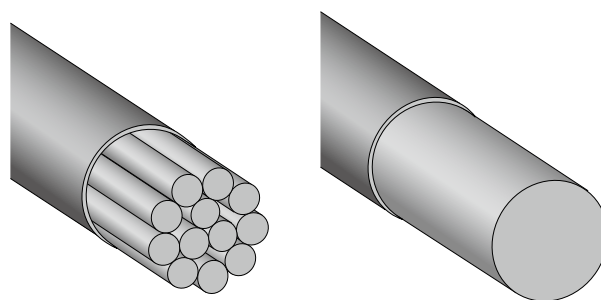
本稿では、今回開発したシミュレーション手法を詳しく述べるとともに、ワイヤハーネスの製造設計において

も3次元CADを活用した効率化手法を開発したのであわせて紹介する。

### 2. ワイヤハーネスの経路シミュレーション

車体に配索されるワイヤハーネスの経路は、一般に設計者の感性や経験に頼って設計されることが多く、実際に製作されたワイヤハーネスが設計どおりの経路で組み付かなかったり、他部品と干渉したりする問題がある。この問題を回避するため、実際のワイヤハーネスの経路をあらかじめコンピュータ上で解析する要求が高まっている。

従来の解析モデルと簡素化した解析モデルを図1に示



従来の解析モデル

簡素化した解析モデル

図1 ワイヤハーネスの解析モデル  
Fig. 1. Analysis model of the wire harness.

1 電装品技術部

2 電装品技術部主席研究員

3 電装品技術部グループ長

す。従来の解析手法は、電線一本一本が忠実に描かれた3次元モデルに各電線の物性値を入力し、有限要素法を用いて荷重変形特性を求め、それをワイヤハーネスの経路にあてはめて解析するものである。しかしこの手法は、大容量のデータを扱うため計算に膨大な時間がかかることや解析結果が発散してしまうなどの問題があり、小規模もしくは部分的な経路シミュレーションに限定されてしまう。

一方、開発した解析手法はワイヤハーネスを円柱形状のモデルで近似し、両端支持の梁のたわみ計算を用いて解析するものである。梁のたわみ計算も一種の有限要素法であるが、円柱形状のモデルに特化した解析を行うことにより計算時間は格段に短くなる。なお使用する解析ツールは、一般にステンレス製の配管やゴム製のホースなどパイプ形状の物体の荷重変形特性を解析するときを使用するものと同類のものである。

### 2.1 束電線の剛性推定

簡素化した解析モデルを用いて梁のたわみ計算を行う場合は、電線束としての剛性を計算条件として与える必要がある。通常電線束における各電線の位置は一定ではなく、電線種の組みあわせが無数にあるため、電線一本一本のヤング率から束剛性を求めるとデータ容量が膨大となり計算に時間がかかる。このためわれわれは実験にて束剛性を推定し、これを梁のたわみ計算に用いることとした。

図2に3点曲げ法により求めた電線束の束剛性を示す。これは複数の電線種を無作為に組みあわせたときの、束剛性をプロットしたものであるが、束剛性は束ねられた電線の径におおよそ依存していることがわかる。また電線束をテープで結束した場合は、テープなしに比べ束剛性が約2倍になっている。このほか、特殊電線としてシールド線が含まれている場合や外装としてコルゲートチューブやビニルチューブが装着されている場合など、実験により種々の束剛性のデータを蓄積した。

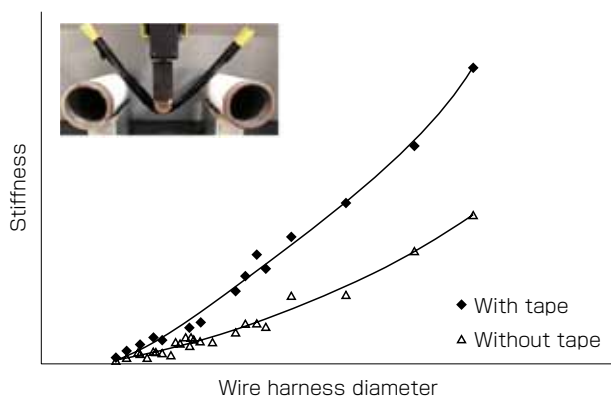


図2 3点曲げ法による束剛性の測定結果  
Fig. 2. Stiffness of wire harness measured by three-point bending test.

### 2.2 経路シミュレーションの検証結果

ワイヤハーネスの経路をコンピュータで解析する場合、まず平面レイアウトで描かれた3次元解析モデルに、実験で得られた束剛性を計算条件として与える。その後、あらかじめ設定された車体の組み付け位置にワイヤハーネスの固定部分を移動させ経路を分析する。図3にこの手法を用いて解析したワイヤハーネスの応力分布を示す。この応力分布により応力集中箇所が可視化され、実際に現物を製作することなくワイヤハーネスの組み付け作業性を設計者間で議論することができる。

次にシミュレーションで得られたワイヤハーネスの経路と、実際に製作されたワイヤハーネスの経路を図4に示す。これは実際のワイヤハーネスの経路を3次元スキャナーで取り込み、シミュレーションと合成したものである。各部位の断面を比較すると、束剛性を考慮したシミュレーション適用後の経路は実際のワイヤハーネスに近づいている。図5に示すように、その誤差は平均で半分以下に減少した。実際のワイヤハーネスのくせの影響や束剛性の温度依存性などを詳細に調べていくことが課題となる。

## 3. 屈曲シミュレーション

ドアと車体間に配置されるワイヤハーネスは、ドアの開閉動作により繰り返し曲げが加えられ、屈曲部に疲労が蓄積して断線する場合がある。通常この屈曲部にはゴム製のグロメットが装着されるが、グロメットと電線束が別の挙動を示すため、解析モデルが複雑となり同時にシミュレーションすることが困難であった。この問題を解決するため、グロメット単体とグロメット内部の電線

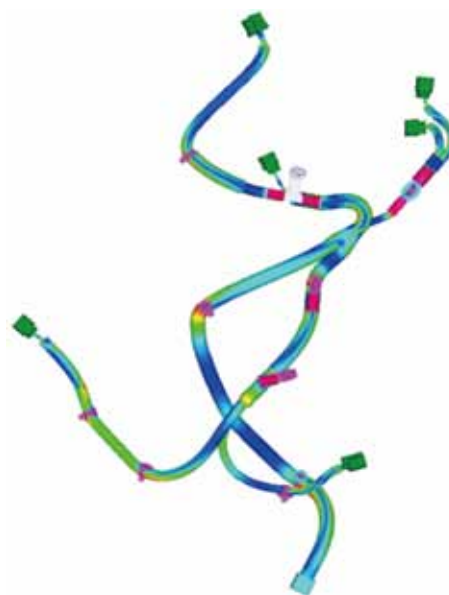


図3 ワイヤハーネス応力分布図  
Fig. 3. Analyzed stress distribution chart of wire harness.

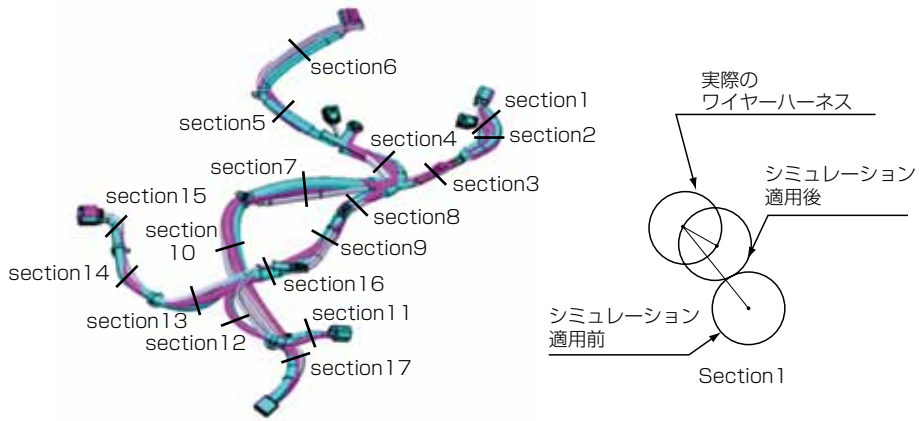


図4 シミュレーション結果と実際のワイヤーハーネスの経路比較  
Fig. 4. Route comparison between simulation result and realistic wire harness.

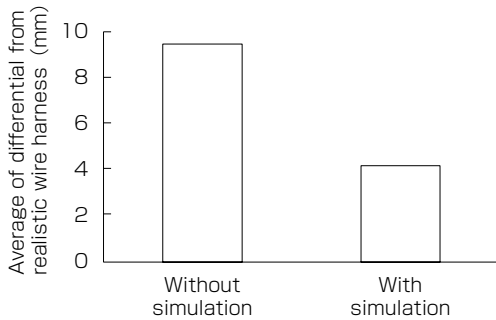


図5 実際のワイヤーハーネスとの誤差  
Fig. 5. Differential from realistic wire harness.

束に分けて解析をすることとした。これら 2 つの解析結果を合成し、電線束の最大ひずみ振幅を解析し、ワイヤーハーネスの断線を予測する。この手法を図 6 に示す。

### 3. 1 グロメット単体の変形解析

図 7 のように、ドアを開閉させた時のグロメット単体の変形を有限要素法にて解析する。

ここでは蛇腹部分のつぶれや座屈を確認し、グロメット設計にフィードバックする。

### 3. 2 電線束の経路解析

2 項で説明した梁のたわみ計算を用いてグロメット内部の電線束の経路を解析する。その結果とグロメット単体の解析結果を合成し、互いの干渉を確認する。

### 3. 3 電線束の最大ひずみ振幅解析

ドアを開閉させた時の、電線束にかかる最大ひずみ振幅を求める。ひずみ振幅とは、電線束にかかるドア開時のひずみとドア閉時のひずみの差をいう。図 8 に最大ひずみ振幅の具体的な解析方法を示す。屈曲部の電線束を n 等分し、ドア開時の曲げ半径を  $R_{10}, R_{11}, \dots, R_{1n}$ 、ドア閉時の曲げ半径を  $R_{20}, R_{21}, \dots, R_{2n}$  と定義する。ここでドア開閉時の曲げ半径の差が最も大きくなる位置を k

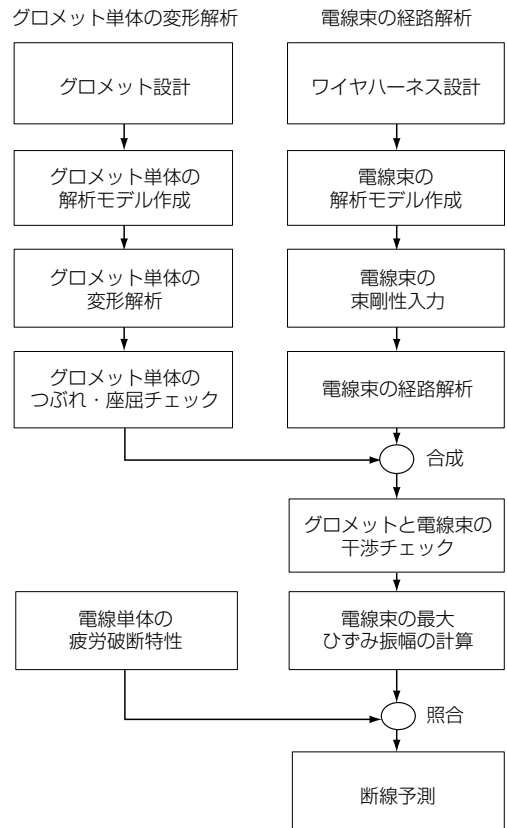


図6 屈曲シミュレーションの手法  
Fig. 6. Method of bending simulation.

とすると、電線束に加わる最大ひずみ振幅 ( $\epsilon_{max}$ ) は、ドア開閉時の電線束の曲げ半径 ( $R_{1k}, R_{2k}$ ) を用いて、次式で表すことができる<sup>(2)</sup>。

$$\epsilon_{max} = |\epsilon_{1k} - \epsilon_{2k}| = \frac{1}{2} \left| \frac{d}{R_{1k}} - \frac{d}{R_{2k}} \right| \dots \dots \dots (1)$$

d : 電線束径



図7 グロメット単体の変形解析  
Fig. 7. Deformation analysis of grommet.

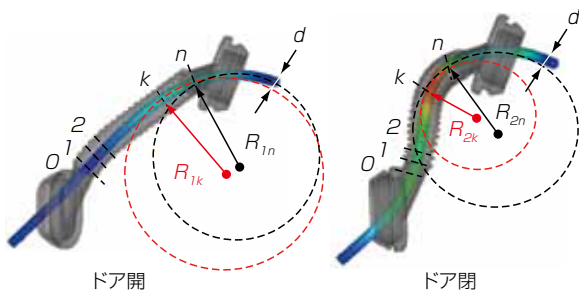


図8 ワイヤハーネスの最大ひずみ振幅解析  
Fig. 8. Maximum strain amplitude analysis of the wire harness.

### 3.4 ワイヤハーネスの断線予測

前項で求めた最大ひずみ振幅 ( $\epsilon_{max}$ ) と電線単体の疲労破断特性を照合することで断線までの屈曲回数を予測する。電線単体の疲労破断特性は、図9に示す測定方法を用いてあらかじめ求めておく。図10に屈曲の曲げ半径  $R'$  と電線が破断するまでの屈曲回数の相関を示す。

一方この試験系における電線の曲げ部のひずみ振幅 ( $\epsilon'$ ) は(2)式で表される。

$$\epsilon' = \frac{d}{2R'} \dots\dots\dots (2)$$

次に、前項で求めた電線束の最大ひずみ振幅 ( $\epsilon_{max}$ ) と電線単体のひずみ振幅 ( $\epsilon'$ ) が一致するときの曲げ半径  $R'$  を求める。

$$\epsilon' = \frac{d}{2R'} = \frac{1}{2} \left| \frac{d}{R_{1k}} - \frac{d}{R_{2k}} \right| \dots\dots\dots (3)$$

$$R' = \left| \frac{d}{R_{1k}} - \frac{d}{R_{2k}} \right|^{-1} \dots\dots\dots (4)$$

(4)式より曲げ半径  $R'$  が特定され、図10からワイヤハーネスが断線するまでの屈曲回数を推定することができる。

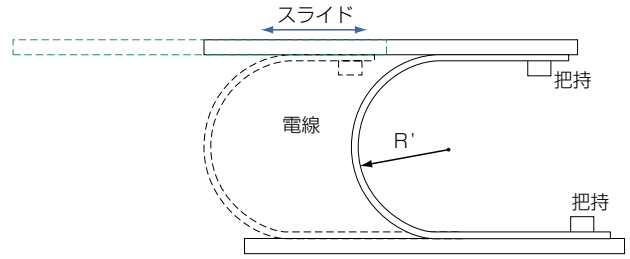


図9 電線単体の疲労破断特性の測定方法  
Fig. 9. Measurement method of fatigue breaking characteristics of wire.

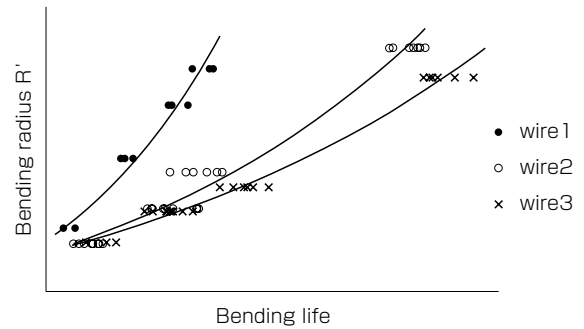


図10 曲げ半径-破断特性  
Fig. 10. Correlation between bending radius and bending life.

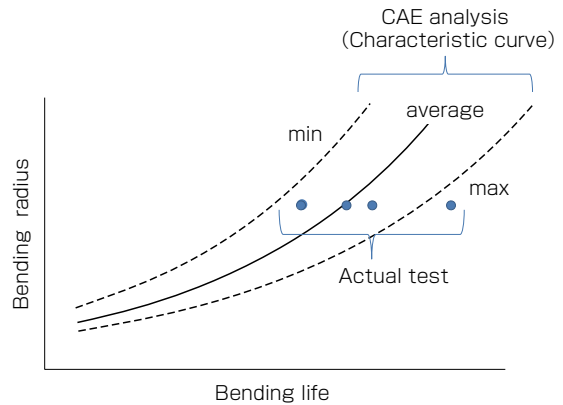


図11 解析結果と屈曲試験結果の比較  
Fig. 11. Comparison of bending life between CAE analysis and actual test.

### 3.5 屈曲試験と屈曲シミュレーションの比較

断線するまでの屈曲回数について、実際のワイヤハーネスの屈曲試験結果とシミュレーションで予測した結果を比較した。図11に示すように、実際の屈曲試験の結果は、ほぼシミュレーションでの予測範囲内に収まっていることがわかる。今後は精度向上のため、様々なグロメット形状や電線種で評価試験を行い、その結果をシミュレーションにフィードバックしていく。



図12 3次元CADを活用した製造設計の効率化  
 Fig. 12 Efficient method for wire harness manufacturing design by use of 3D CAD.

#### 4. ワイヤハーネスの製造設計における 3次元CADの活用

ワイヤハーネスの開発では、自動車メーカーから配布された図面をもとに試作を行い、製造上成立しない箇所を抽出や製造しやすくするための提案を行っている。しか

し、ワイヤハーネスの試作プロセス中には多くの検証項目があり、その作業には時間がかかる。そこでわれわれは3次元CADをワイヤハーネスの製造設計に活用することで、試作時における検証を自動で行うシステムを開発した。図12に3次元CADを活用したワイヤハーネスの製造設計の手法を示す。ワイヤハーネスの車両組み付け形状を平面上に広げたデータをもとに、ワイヤハーネス組立板を作成する。このワイヤハーネス組立板と自動検証システムを用いて、試作時の検証作業を短時間で行うことができるようになった。これにより、自動車メーカーへの迅速なフィードバックを行い、開発期間短縮にも貢献できると考えている。

#### 5. むすび

自動車用ワイヤハーネスの開発において、当社独自の短時間で解析可能なシミュレーション技術と3次元CADを活用した製造設計の効率化手法を紹介した。ワイヤハーネスに関わるシミュレーション技術へのニーズは益々高くなる一方である。当社も様々なシミュレーション技術の開発に取り組み、自動車業界の発展に貢献していく。

#### 参 考 文 献

- 1) 日経ものづくり2013年3月号, pp.61-68.
- 2) 中原一郎: 材料力学上巻, 株式会社養賢堂, pp.108-138. 1965