

車載用貫通グロメットの開発におけるCAEの活用

田中有紀*・松嶋圭吾・小林良尚
下道勝・宮島光治・谷川英己
太田浩司

Practical Use of Computer-Aided Engineering in the Development of Automotive Rubber Grommets — by Yuki Tanaka, Keigo Matsushima, Yoshinao Kobayashi, Masaru Shitamichi, Koji Miyajima, Hidemi Tanigawa and Koji Oota — Sumitomo Wiring Systems, Ltd. designs and develops rubber grommets used for the protection and sealing of automotive wiring harnesses. These grommets are required to have good sealing properties, reduce the insertion force, and increase the removing force. To evaluate the insertion and removing forces, we use computer-aided engineering (CAE), in which the calculation results conform to the experimental results by reflecting the frictional force and material properties. We can also evaluate the change of the forces according to the surface roughness of grommets by CAE. For the sealing properties, we investigate flood routes and the relations between water quantity, pressure, and leaks. This paper reports on the results.

Keywords: wiring harness, grommet, frictional force, sealing, insertion force, removing force, CAE

1. 緒言

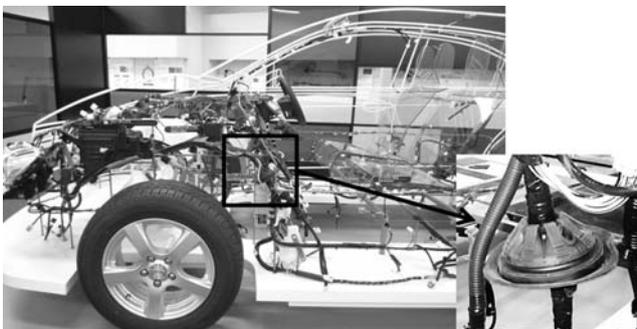
近年、自動車の高機能化が進み、エアバッグ等の重要回路も増加し、当社（住友電装㈱）の主力製品であるワイヤーハーネス^{*1}の信頼性の要求が高まってきている。ワイヤーハーネスとは、自動車に搭載された電装品に対し、相互の情報及び電力を伝送する組み電線のことで、電線と保護材（車両との干渉防止）で構成されている。写真1にワイヤーハーネスの車載状態を示す。

当社では製品の設計・製造から評価及び車両への組み付け検討に至る業務を進めている。その中で、開発実験部（旧名称：研究評価センター）は、製品評価と開発段階における信頼性向上を主業務としており、設計初期段階でのCAE^{*2}の活用を推進している。現在、ワイヤーハーネス

の屈曲耐久性（繰り返し屈曲された時の断線寿命予測）及び部材の振動解析にCAEを活用しており、さらなる適用分野の拡大を進めている。保護材のひとつであるグロメットについても、挿入力・離脱力・防水性評価に対し、要求性能を満足する形状の検討にCAE解析の活用を進めており、本稿では、それらのCAE解析手法の開発状況を報告する。

2. 車載用貫通グロメットの概要

車載用グロメットとは、電線・チューブ・ホースなどの保護や、防水性を持たせるために、ボディ等の貫通部に装備する環状のゴム製品である。当社のグロメット製品を写真2に示す。グロメットには電線等の保護・止水性能の他に、車両組み付け時の挿入力低減、高い離脱力確保が求め



貫通グロメット拡大

写真1 車載用ワイヤーハーネス(エンジンルーム・インパネ・フロア)



写真2 車載用グロメット

られている。挿入力・離脱力は目標荷重が設定されており、従来は「試作」→「試験」を繰り返して部材材質の選定や製品形状の作り込みを行ってきた。しかし、開発リードタイム短縮や開発費用削減のために、要求性能を満足する部材材質の決定や最適形状検討にCAE解析を活用することが求められている。

次の項からは、挿入力・離脱力・止水性の順に、CAEによる解析手法の検討内容を報告する。

3. 挿入力・離脱力解析手法の検討

3-1 挿入力・離脱力試験概要 挿入力・離脱力の試験概略を図1に示す。試験のサンプルは、グロメットに電線を通過本数分組み付けた状態である。挿入力は、グロメットを規定の速度で車両を模擬した金属製パネル（以下、ボディパネルと称す）に組み付ける時の荷重・ストロークを測定し、離脱力は、グロメットを規定の速度で引き抜く時の荷重・ストロークを測定する。この方法で測定した荷重・ストロークをCAEの値と比較・検証する。荷重・ストロークの考え方を図2に示す。挿入荷重・ストロークは、ボディパネルとグロメットが接触し始めてから挿入が完了するまでの電線束にかかる荷重及び電線束の移動距離とし（図2(a)）、離脱荷重・ストロークは、初期状態から、グ

ロメットがボディパネルから外れるまでの電線束にかかる荷重及び電線束の移動距離とする（図2(b)）。

3-2 挿入・離脱挙動の観察 解析手法の検討を行うにあたり、グロメットの挿入・離脱時の変形形状を観察した（図3参照）。挿入時はボディパネルとグロメットが擦られながら変形し（図3(b)）、離脱時はグロメット同士が接触しながら引き抜かれている（図3(c)）。この観察結果から特性要因図（図4）を作成し、取り組み順を決定した。STEP 1でグロメット単体での荷重・ストロークを予測可能にし、STEP 2でグロメットに電線束を組み付けた状態を、STEP 3で車両搭載環境を考慮した予測（作業者による挿入速度や挿入時の力のかけ方の違い）を検討順として、まずSTEP 1に取り組んだ。各STEPにおける具体的な取り組み手順を図5に示す。変形形状観察や特性要因図から、ゴムの応力-歪み特性（以下、S-S特性^{*3}）と摩擦がキープポイントになっていると考え、それぞれの特性を取得する試験（基礎試験）を行い、CAE解析モデルに反映させ、試験とCAE解析で変形形状・荷重・ストロークを比較した。次項からそれぞれについて述べる。

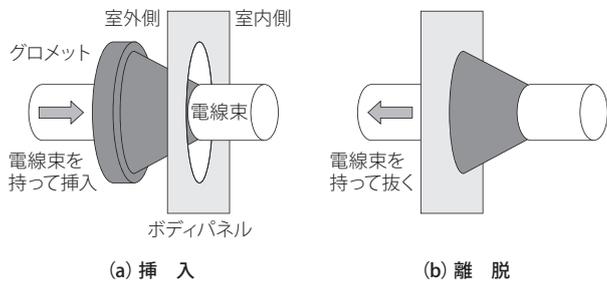


図1 試験概略

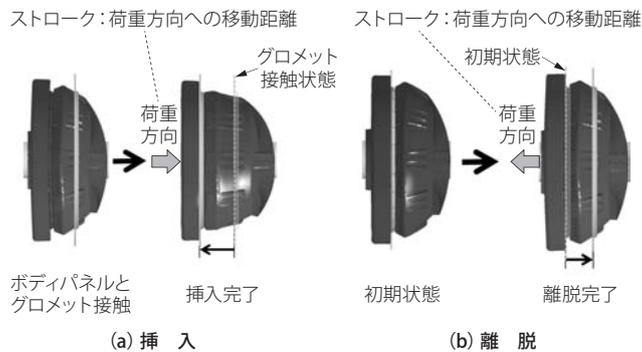


図2 荷重・ストロークの定義

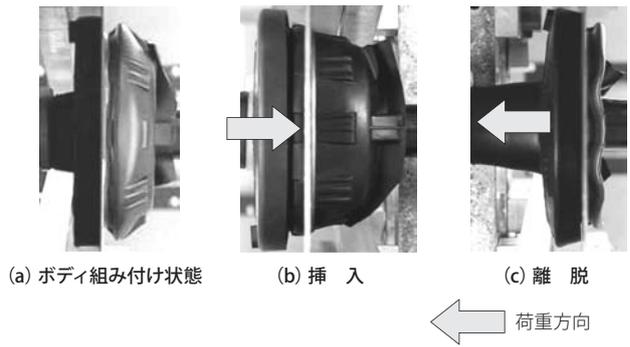


図3 変形形状 (b, cは荷重ピーク値)

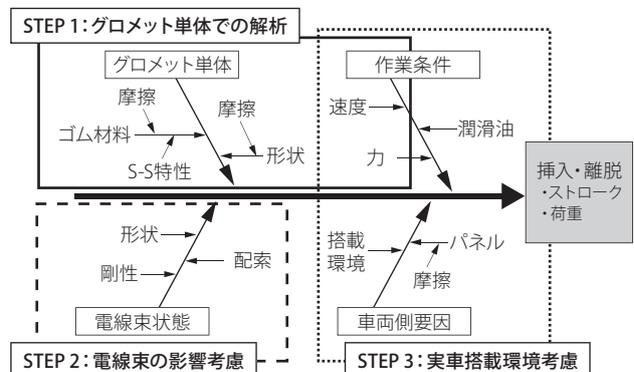


図4 特性要因図 (挿入・離脱)

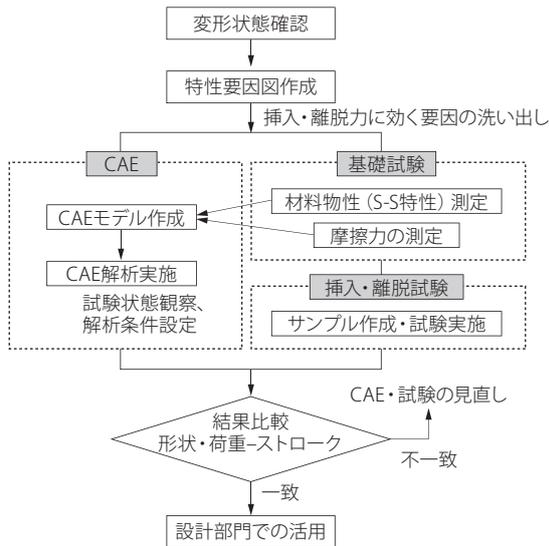


図5 取り組みフロー

3-3 基礎試験 ゴムの変形状態を考慮し、S-S特性は引張側だけでなく圧縮側も測定し、CAE解析モデルに反映させた。引張・圧縮速度が変わると特性も変わるため、挿入・離脱試験の速度に合わせて試験を実施した。図6に取得したS-S特性を示す。

次に摩擦力の測定を実施した。摩擦力は接触する部材の組み合わせで変わるので、ゴム同士、及びゴムとボディパネルについて測定した。試験はJIS K 7218に準拠し、得られた摩擦力をCAE解析モデルに反映させるために、静摩擦係数・動摩擦係数を算出した。図7に得られた摩擦力を示す。ゴム-ボディパネルの接触より、ゴム同士の方が荷重は高くなる事が確認出来た。

各種ゴム製品は、成形金型の表面粗さによって、ゴムの表面状態が異なる。表面状態は摩擦力に影響を及ぼすと考え、次にゴムの表面粗さ及び摩擦力の関係を調査した(図8)。試料は4種類で、表面に光沢がある試料A、S-S特

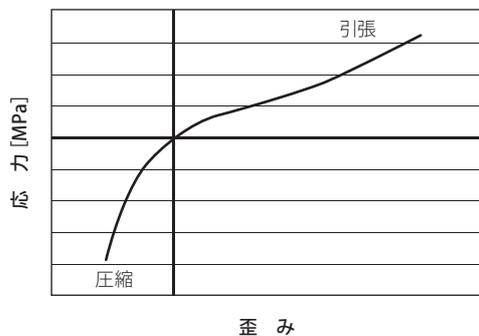


図6 ゴム材料のS-S特性

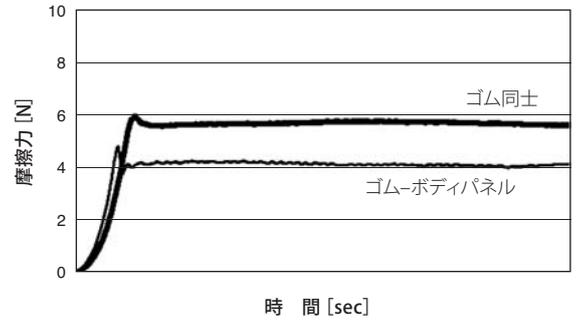
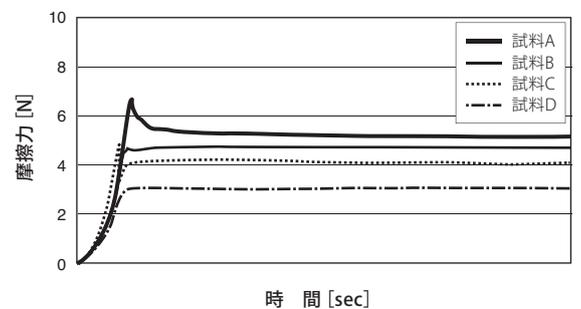


図7 摩擦比較

	試料A	試料B
表面状態		
高さ [μm]		
Ra	0.42	1.50
	試料C	試料D
表面状態		
高さ [μm]		
Ra	2.16	2.64

(a) 表面粗さ



(b) 摩擦力の違い (ゴム-ボディパネル接触)

図8 表面粗さと摩擦力の違い

性・形状が同じで表面粗さの異なる試料B・C、異なるS-S特性で表面が粗い試料Dについて比較した。試料B・Cについては、挿入力も比較した(図9)。

図8の(a)(b)を比較すると、平均表面粗さRaが小さい程、摩擦力が大きくなる事が分かる。また図9よりS-S特性が同じでも、平均表面粗さが変わると挿入荷重が大きく変わる事が分かる(図8の試料BとCで平均表面粗さが0.7倍になると、挿入荷重は約1.5倍になる)。それ故、製品設計の際には、S-S特性だけでなく、製品の表面状態(金型の表面粗さ)を考慮した上で検討を進めている。

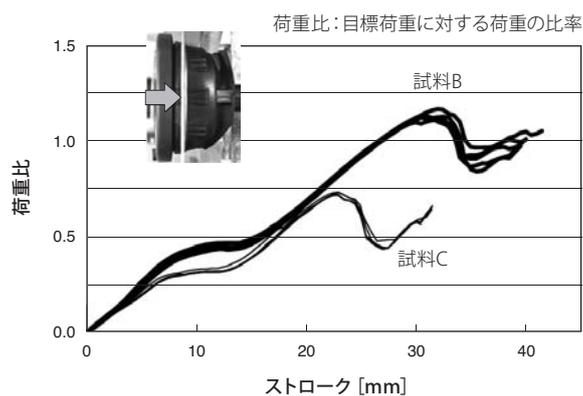


図9 挿入力比較

3-4 グロメット単体での試験とCAE解析の比較 (STEP 1)

3-3項で得られたS-S特性・摩擦係数を用いてCAE解析を行い、試験結果と比較した。STEP 1では、グロメット単体での評価手法確立が目的であるので、グロメットに組み付けられる電線の剛性が挿入・離脱荷重に影響しないよう、また試験ばらつきが大きくなるよう工夫してサンプルを作成した。

図10に変形形状比較を、図11に荷重比-ストローク値比較を示す。(荷重比は、挿入力・離脱力の目標荷重に対する比率とする)一般的に、接触現象やゴムのような大変形を考慮した構造物について、試験とCAEの整合性を検証することは、歪み速度の考慮やゴムの変形挙動に合った材料モデルの選択などで難しいが、測定したS-S特性や摩擦係数を反映させ、試験の現象に合わせたモデル化を行うことで、試験に良く一致したCAE解析の値を得る事ができた。さらに、他の形状の各種グロメットでも検証し、試験とCAE解析の値が良く一致する事より、本手法の有効性を確認した。

このCAEによる解析手法は、当社の外装設計部門へ展開済みで、形状検討段階で挿入荷重・離脱荷重を検討することにより、早期の設計仕様確立に貢献しており、数車種のグロメット設計に活用されている。

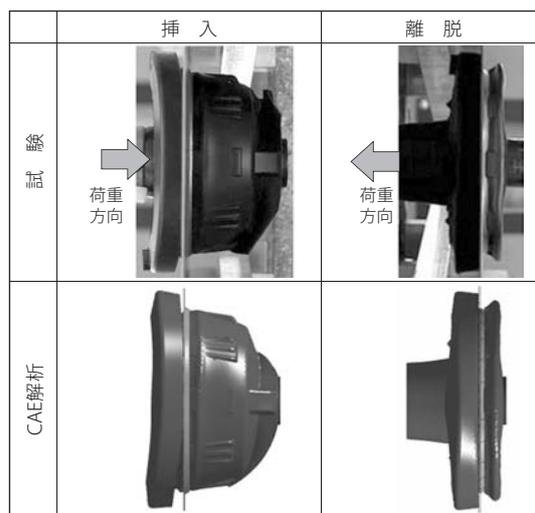
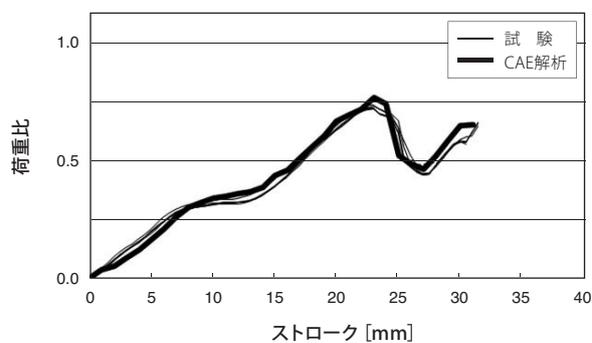
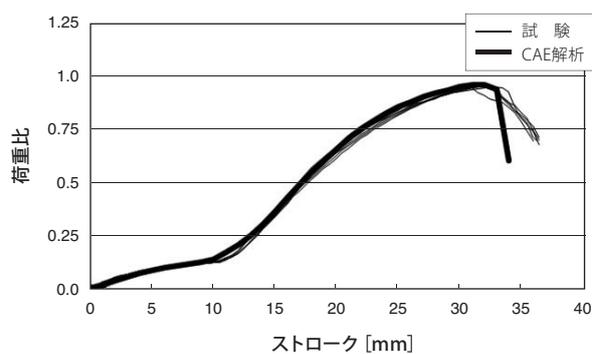


図10 変形形状比較(荷重ピーク時)



(a) 挿入



(b) 離脱

図11 荷重比-ストローク比較

3-5 電線束の影響調査 (STEP 2) 電線束をグロメットに組み付ける際、車両レイアウトにより電線引き出し部分の形状が様々ある。図12に代表的な引き出し形状を挙げる。電線の種類や本数により、電線束の剛性が変化し、挿入荷重やストロークに影響が出ると考え、各形状に

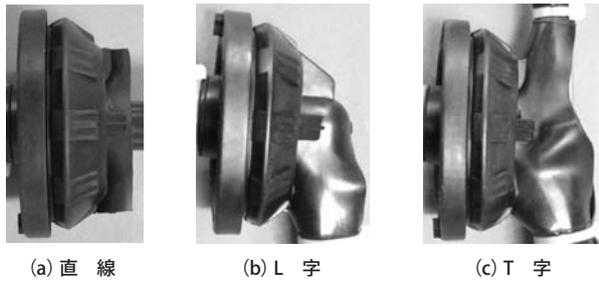


図12 電線引き出し形状

おける試験とCAE解析で荷重比-ストローク値の比較を行った。その結果を図13に示す。

図13を見ると、挿入荷重ピーク後の挙動が若干ずれるものの、最大荷重・ストローク共に、試験と解析ではほぼ整合がとれている。この結果より、グロメットに電線が組み付けられた状態でも、試験とCAE解析の整合性を確認できた。今後は車両搭載環境を考慮した解析手法の検討(STEP 3)に移るが、挿入については、作業者の車両への

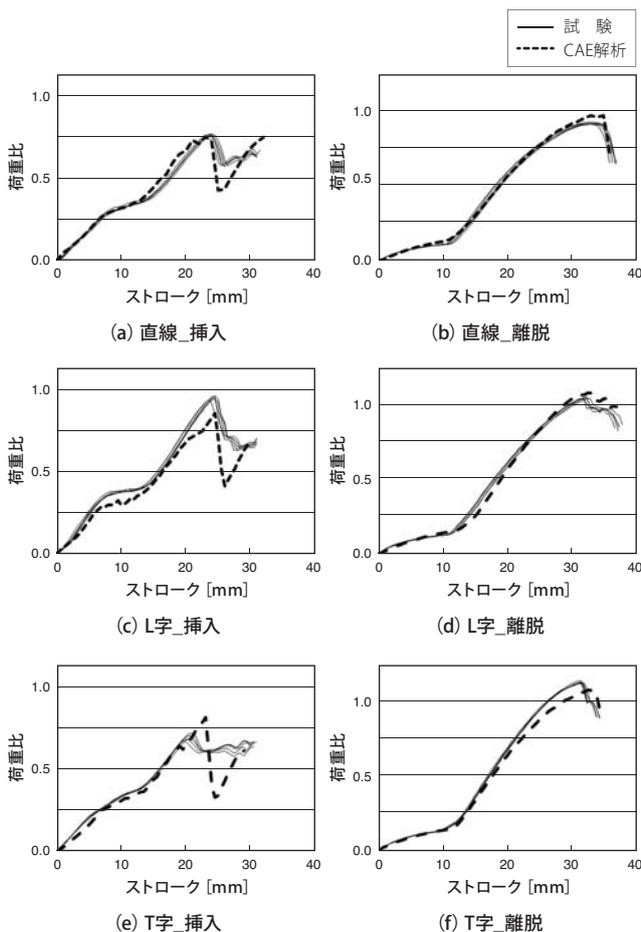


図13 荷重比-ストローク比較

組み付けやすさ(フィーリング)も要求される。組み付け作業時に低挿入力であることはエルゴノミクスの観点から重要であるが、フィーリングが良い荷重-ストローク曲線がどのようなものかについても、STEP 3で検証を進めていく必要がある。

4. 止水性解析手法の検討

次に止水性評価について述べる。車両搭載環境では、雨天時や洗車時に車体を滴ってきた水が室内に侵入する場合があります。水の進入が電気系統への不具合の原因となる。それを防ぐ為に、グロメットには止水性能が求められる。

図14に、洗車を想定した場合の止水性能評価の試験状況・解析モデルを示す。

まず、車両にグロメットが組み付けられた状態で、水の侵入経路の確認を行った。観察しやすいよう、グロメットのシール面を切り出し、水と触れると変色するペースト剤を塗布し、透明板に押し当てた。その状態で、圧力を変えて水を噴射した。その結果、水圧を上げるとシール面と板に隙間が出来て、水漏れが発生することを観察できた。(図15)。CAE解析でも図16に示すように水圧相当の荷重を付与した場合のシール面圧をCAEで解析しており、水が

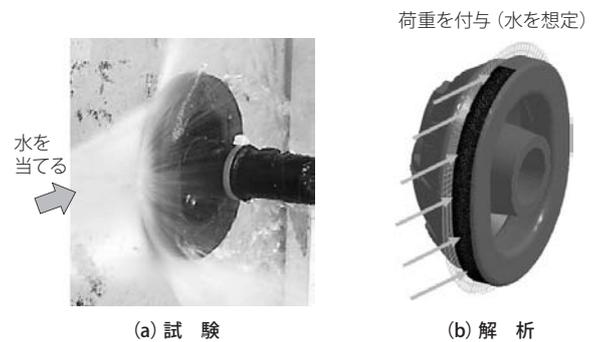


図14 洗車想定試験・解析

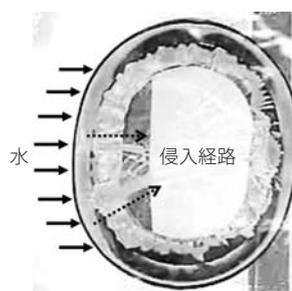


図15 水の浸入経路(水噴射)



図16 シール部分面圧分布(CAE解析)

浸入する部位でシール面圧が低い事を確認できた。今後シール面圧と水量・水圧の関係について、試験とCAE解析で検証を進める。

5. 結 言

グロメットの設計・開発時に活用可能な挿入・離脱CAE解析手法を開発した。本手法は外装設計部門での活用が進んでおり、客先にも好評で、本手法で事前検討された製品が車両に採用されている。本手法を用いることで、設計初期段階で、要求性能を満足する部材材質の選定や最適形状の検討が可能になり、設計初期段階での製品信頼性確保及び開発リードタイム短縮、開発費用や金型製造費用の削減効果が見込まれる。今後、挿入・離脱荷重については、車両への組み付け作業者のフィーリングに着目してCAE解析を活用した評価指標の検討を継続する。

また、止水性解析手法については水の進入経路を観察し、試験で水漏れする時の水圧とCAE解析のシール面圧との関係を確認することで、止水部形状違いの相対的な比較が可能となった。今回の観察結果を基に、CAEを活用してシール面圧と水量・水圧の関係を導き出し、検証事例を増やしていく。

用語集

※1 ワイヤーハーネス

自動車や複写機・プリンタ等に搭載された電子部品や電装品を電氣的に接続し、相互の情報と電力の伝送を中継する組み電線のこと。電線と保護材で構成されている。ワイヤーハーネスを構成する電線の1本1本は、電源をとるためのもの、センサーの信号を送るもの、操作情報を伝達するものなど、それぞれが違う役割を担っている。

※2 CAE

Computer Aided Engineering：コンピュータによる設計・解析支援のこと。本稿では、設計した製品が要求性能（応力・歪み・強度等）を満たすかを、コンピュータを利用した数値解析で分析し、製品開発を支援するシステムのことを指す。

※3 S-S特性

応力-歪み線図のこと。材料に荷重をかけ、応力と歪みを連続的に測定し、得られたデータでこの線図を作成することができる。圧縮、引張、ねじり試験に対してこの線図が作成される。

参 考 文 献

- (1) 住友電装 HP
- (2) JIS K6251, K6254, K7218

執 筆 者

田中 有紀*：住友電装(株) ハーネス企画本部
開発技術統轄部 開発実験部
CAEを活用した電装部品の設計支援ツールの開発に従事



松嶋 圭吾：住友電装(株) 開発実験部
小林 良尚：住友電装(株) 部品事業本部 担当部長
下道 勝：住友電装(株) 部品事業本部
宮島 光治：住友電装(株) 開発実験部 担当部長
谷川 英己：住友電装(株) 開発実験部 グループ長
太田 浩司：住友電装(株) 開発実験部 担当課長

*主執筆者