

特集：新型ロードスター

26

新型ロードスターの超軽量ソフトトップ開発  
Development of Soft-top for New Roadster松本 浩一\*1 黒田 将仁\*2 鯉淵 達夫\*3  
Koichi Matsumoto Masahito Kuroda Tatsuo Koibuchi  
武田 健二\*4  
Kenji Takeda

## 要 約

歴代ロードスターのソフトトップはモデルチェンジごとに進化を積み重ね、現在に至っても手動式のベンチマークとなっている。「人馬一体」は初代から変わらない車両としてのコンセプトであるが、ソフトトップにおいても「シンプルで軽量、開閉しやすく使い勝手が良い」という初代から不変のコンセプトがある。ルーフの重心位置は高く、開閉により位置が変動するため、ハンドリングに対する影響が大きく、軽量化は重要な要素である。また、できるだけオープンにして乗っていただきたいとの考えから、開閉操作性についても重要視している。新型ロードスターの開発にあたり、上記のコンセプトをより高い次元で実現するため、材質、構造を一新しCAEを用いて最適化した。更に、走行時の静粛性、質感についても向上させている。本稿ではそれらの実現手段と開発経緯について報告する。

## Summary

The soft-tops of the successive Roadsters have been evolved every model change, becoming the benchmark of manual type soft-tops even today. While “Jinba-Ittai” has been the concept of the vehicle itself since the first Roadster production, “Simple, light-weight, smooth open/close, easy to use” has been the unchanged concept of the soft-top. As the center of gravity of the roof is high from the ground and the position changes when the roof is opened or closed, the roof's influence to the handling performance of the car is large. Therefore the weight reduction of the roof is one of the important tasks. Ease of open/close is also a key factor for the driver to feel like to open the roof as much as possible, which is our desirable way of their riding the car. Renovated structure, materials and optimized using CAE for the full-model-changed Roadster to realize the above concept at a higher level than before. The outside and inside appearances and quietness at driving are also improved. This report describes the measures and the development process taken.

## 1. はじめに

## 1.1 開発の狙い

より多くのユーザがより多くのシーンでオープンエアを楽しんでいただける、ロードスターという車両コンセプトにふさわしいルーフシステム。これらをより高い次元で実現するために今回ソフトトップの構造を全面的に見直した。

ロードスターのソフトトップは初代から一貫して最軽量で、操作がしやすく使い勝手もよいというコンセプトで開発してきた。今回開発した新しいソフトトップにおいてもその考え方を踏襲し、飛躍的に性能を向上させることを目標に開発を行った。

## 1.2 開発構想

## (1) 最軽量ソフトトップ

前モデルのソフトトップは現在でもトップクラスの軽さを維持しているが、お客様の期待に応えるためには、大幅な軽量化が必要と判断した。具体的には開発初期に前モデル比3kg (17%) 低減を目標にした。部品形状、板厚の見直しに加え、主要部品の材料置換に踏み込んで開発を進めた。

## (2) 座ったままで開閉できる操作性

オープン走行の機会を逃さないために、座ったままで軽快に開閉できることが必要と考え、操作荷重と開閉軌跡の目標を設定している。特にオープン状態からのクローズ操

\*1 ボデー開発部  
Body Development Dept.

\*4 車両開発本部  
Vehicle Development Div.

\*2, 3 車両実研部  
Vehicle Testing & Research Dept.

作は閉め始めに力が入りにくく、操作性を最も重視した部分である。

### (3) 静粛性向上

遠出や高速走行時でも快適な室内空間を実現することにより、より行動範囲を広げ、カーライフを満喫していただきたいと考え、新しいソフトトップではクローズ時の静粛性も重視した。音の発生源を分析し、効率よく遮音・吸音させることで、軽量化と両立をさせている。

## 2. 軽量化

### 2.1 質量構成と材質選定

シンプルな2分割式のリンク、センタロック構造を実現し、板厚低減、余肉削減で軽量化を突き詰めた前モデルに対し、新しいソフトトップではシンプルなリンク、ロック機構を踏襲しながら、リンク及びロック構造にアルミニウム（以下、アルミ）を多用し軽量化した。

全体重量の55%を占めるリンクアセンブリについてはフロントヘッダ部とメインリンクをアルミ化。ルーフパネルはアルミのプレス成形品とした。前モデルは、ルーフからピラーにかけてのメインリンクを鋼管、鋼板材による5部品で構成していたが、アルミダイカスト化による一体成型とすることにより、部品点数を大幅に減らした。メインリンクは成形が難しい形状であるが、薄肉化と両立させ軽量化した。結果として、ソフトトップ全体で前モデル比3kgの軽量化を達成した（Fig. 1）。

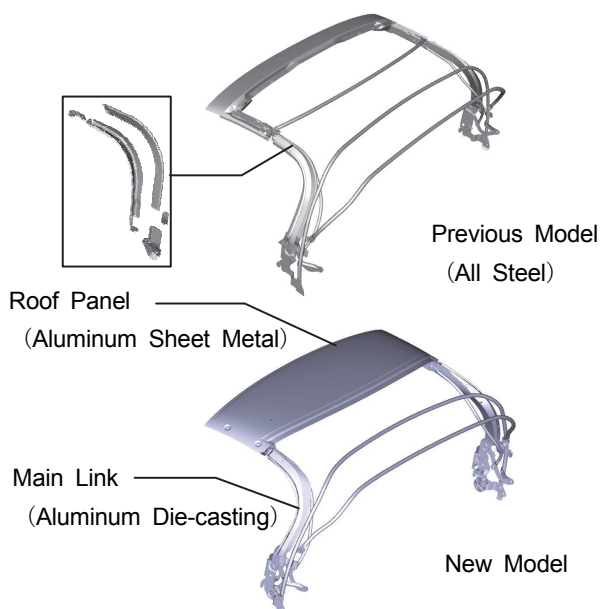


Fig. 1 Structure of the Link Assembly

単に軽量化するのではなく、質感や性能をトータルでレベルアップさせることを念頭に仕様検討を行った。ルーフパネルは前後に大型化し、ルーフの前半分の外板面の張りを持たせることでオープン/クローズ時の外観見栄え、及び遮音性を向上させている。また、一体化したリンク構造

は室内側面をフラットな形状とすることができ、内装質感向上に貢献している。

その他の部品としては、トップロックストライカ、ウェッジを亜鉛ダイカストからアルミダイカストへ変更、更に、鋼管、サブリンクの板厚低減を行った。限界板厚、限界肉厚については後述のCAE活用で見極めを行った。

### 2.2 CAE活用による最適化

ソフトトップに必要な強度・剛性を確保しながら、軽量化構造を実現するため、静的な荷重条件に加え、開閉操作時の操作荷重・ルーフたわみ量・リンクの発生応力を考慮し、リンクの剛性配分を最適化した。

開閉操作時の強度・剛性を評価したモデルをFig. 2に示す。ソフトトップ全体を機構解析でモデル化し、開閉時の操作荷重やリンクにかかる荷重を算出可能にするとともに、リンク類はFEMモデルをモーダル自由度に縮約して取り込み、ルーフのたわみ量やリンクの応力を評価可能にした。幌布の抵抗力は、非線形のパネ要素としてモデル化し、幌布の有無による操作荷重実測値とのコリレーションを取ることで、クローズ状態からオープンロック状態まで、リンクにかかる荷重が正確に予測できるモデルとなっている。

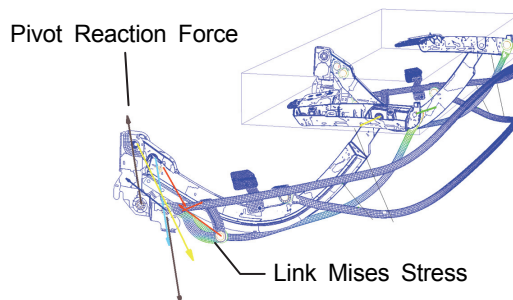


Fig. 2 Soft-top Opening and Closing Mechanism Model

この解析技術を用い、各リンクの板厚変更に対する操作荷重・ルーフのたわみ量・リンク応力への影響を調べ、各リンクの適切な剛性配分を決定した。一例として、あるリンクの板厚を低減させたときの各リンクのミーゼス応力（開閉操作における最大値）の変化をFig. 3に示す。リンクAの板厚を低減すると応力は増加するが、他のリンクの応力は低減する。このように、全体のバランスを考慮しながら、板厚低減や形状を見直し、軽量化につなげた。

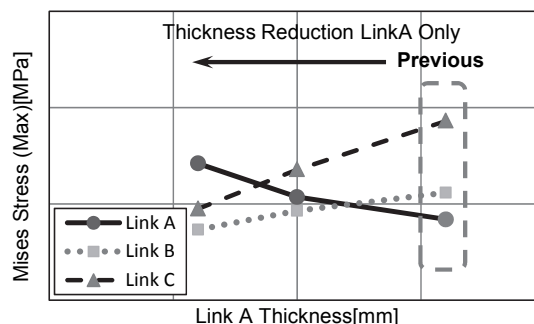


Fig. 3 Relationship of Stress and Thickness of the Link

### 3. 操作性向上

#### 3.1 狙い

ここぞというシーンを逃すことなく、“Fun To Open”をユーザに提供することをコンセプトに、シートに座ったままで、軽快に開閉できる操作性の実現のため、操作荷重の低減と開閉軌跡の適正化に取り組んだ。

着座状態での閉め操作で、操作姿勢上人が最も負担と感ずるのは、オープン状態からルーフを頭上付近まで持ち上げるエリアであり、操作性の良し悪しはここで決まる。人間工学知見とモニタ実験により、日常生活上負担と感ずないレベルの操作荷重や、手が届きやすく力の発揮しやすい操作軌跡を定量化した。前モデルからの飛躍的な操作性の進化を目指し、AM50tile 体格の一般成人男性から非力な女性までが使用することを視野に入れて目標設定を行った。ロードスター伝統の軽快で人馬一体な走り、軽快で使い勝手の良いソフトトップで、多くのユーザにマツダのオープンLWS (Light Weight Sports) を楽しんでいただきたい。

#### 3.2 実現手段

操作荷重はソフトトップ本体の自重モーメント、アシストスプリング、幌の張力、摩擦抵抗の総和で決まってくる。

最も重要視する閉め始めの操作荷重は自重モーメントとアシスト力の関係が支配的である。自重モーメントは軽量化で低減することができるが、特性のコントロールまではできない。従って、アシスト力の特性を最適化することが操作荷重低減のポイントとなる。

前モデルはメインリンク回転軸のアシストスプリングで操作荷重を低減しているが、アシスト力は開度に単純比例し、調整代に制約がある。今回はアシストスプリング力を、リンクを介して伝えることで、アシスト力の特性を最適化した (Fig. 4)。これにより閉め始めが軽く、閉め切りまでフラットな操作荷重を実現した (Fig. 5)。

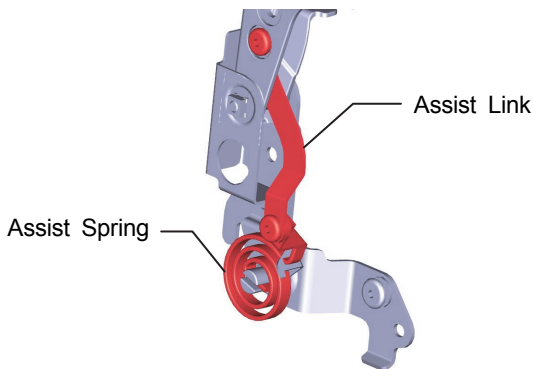


Fig. 4 Structure of the Assist Link

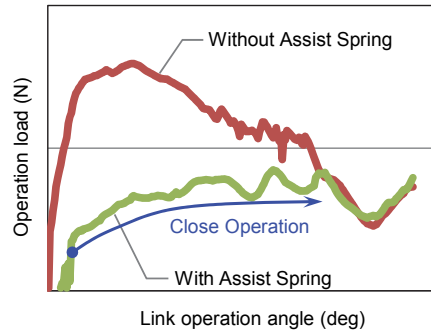


Fig. 5 Operation Load Characteristic Result

アシスト力の最適化は机上計算、CAEで行い、先行試作品を用いて幌の抵抗・自重による影響の確認、及びスプリングセット位置最適化による操作フィーリング領域のチューニングを行った。

### 4. 静粛性向上

#### 4.1 狙い

高速走行時も乗員同士の会話を阻害しない快適な室内空間実現のため、ルーフクローズ時の室内音の低減に取り組んだ。人の会話の大部分は200Hzから6.3kHzの周波数帯であり、その周波数帯の室内音を低減することを目指した。

前モデルでの室内音音源探査結果 (Fig. 6) 及び車両各部の音響インテンシティ計測によるパネル放射音の寄与分析 (Fig. 7) から、ルーフ部の音を抑制することが効率的であることが分かったため、インナクロス、ヘッドトリムを設定し遮音・吸音性能を向上させ、更に、ヘッドパネルを設定し、ばたつきを低減することで室内音を低減した (Fig. 8)。

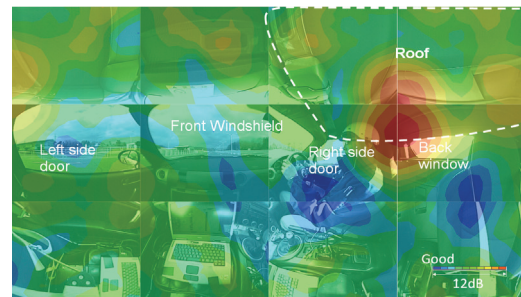


Fig. 6 Interior Noise (1kHz)

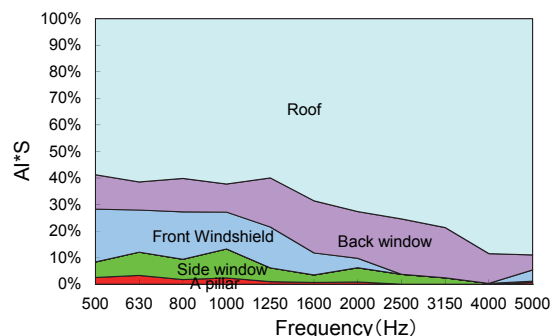


Fig. 7 Acoustic Intensity Distribution

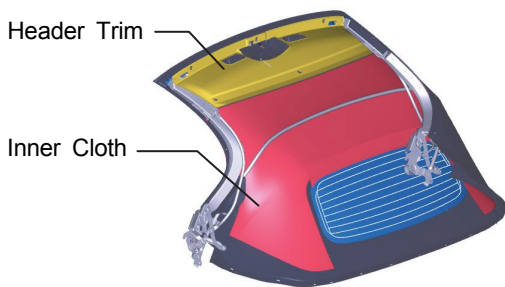


Fig. 8 Inner Cloth & Header Trim

4.2 試作評価と仕様決定

ソフトトップのクロス単体での透過損失, 吸音率 (Fig. 9) の検討, 及び先行試作品を前モデルに搭載した先行試作車による検討 (Fig. 10) を実施し, 仕様を決定した。

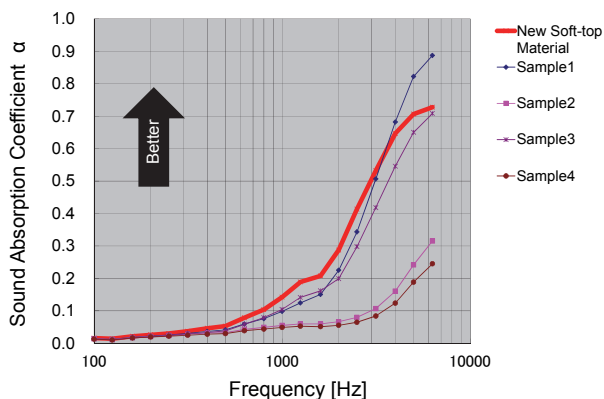


Fig. 9 Acoustic Intensity Distribution

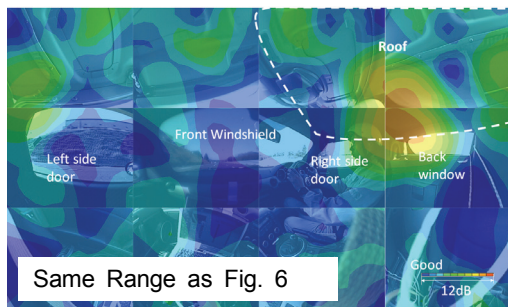


Fig. 10 Interior Noise Improvement (1kHz)

その結果, 会話の伝わりやすさを数値化したArticulation Indexの7%向上を実現した (Fig. 11)。

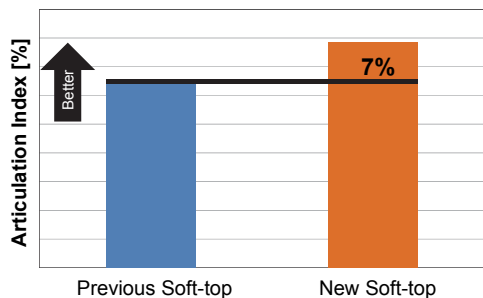


Fig. 11 Articulation Index (140km/h On-road)

5. まとめ

今回, ソフトトップに求められる商品性, 信頼性を確保した上で, 軽量化及び操作性向上を実現し, 商品化することができた。しかし, これで満足することなく, 今回得られた技術のフィードバックを基に初代から受け継いできたコンセプトを飛躍的に向上させるための活動を進めていく。その結果として, より多くの方々にオープンカーの爽快感を体験していただければと思う。

6. おわりに

今回のソフトトップ開発において, 多大な協力をいただいた (株) 東洋シート殿, 西川ゴム工業 (株) 殿, (株) ニフコ殿, 片山工業 (株) 殿, 宮川化成工業 (株) 殿, (株) イノアックコーポレーション殿に, この紙面をお借りし, 厚く御礼を申し上げます。

■ 著 者 ■



松本 浩一



黒田 将仁



鯉渕 達夫



武田 健二