

特集：新型ロードスター

15

## 新型ロードスターのソフトトップ開発 “ All-New ” Soft-top of All-New Roadster

田上 宏 紀<sup>\*1</sup> 黒田 将 仁<sup>\*2</sup> 松 延 知 昭<sup>\*3</sup>  
Hiroki Tanoue Masahito Kuroda Tomoaki Matsunobu  
加藤 幹 人<sup>\*4</sup> 執行 康 之<sup>\*5</sup> 三 浦 泰 彦<sup>\*6</sup>  
Mikito Kato Yasuyuki Shigyō Yasuhiko Miura

### 要 約

オープンカーであるロードスター特有の部品の一つとしてソフトトップがある。初代ロードスターはオープンカーブームを巻き起こし、ソフトトップは手動式のベンチマークとして君臨、2代目となる先代にて初代ソフトトップをベースに更なる進化を図った。3代目となる新型ロードスターのソフトトップは“ All-New ”として次世代手動式ソフトトップのベンチマークとなるべく、シンプルな操作性を図りながら、軽量化とデザイン性や高品質を両立させるために全ての部品に手を入れることを前提に開発構想を立てて活動を行った。Z型ソフトトップやセンタートップロックを採用してシンプルな操作性を持った上で、オープン時にはクロス面がブーツカバーの代わりとなるデザイン性や軽量化への配慮、シール性能改善による品質向上を図ったソフトトップを狙い通りに実現できた。

本稿では“ All-New ”ソフトトップの技術について紹介する。

### Summary

Soft-top system is one of unique parts in an open car. The first MX-5 set a trend in the open car, and the soft-top was a benchmarker for manual operation soft-top in those day. The soft-top of the second MX-5 refined the first one. For the third generation, we made a development framework that satisfied simple operation, lightweight, good appearance, and high-quality even if all parts were changed. Our target is to establish a new benchmarking model for manual operation soft-top in the future. The soft-top has enjoyed simple operation by use of Z-folding and center layout top-lock, high sealability, and good appearance without use of an open roof cover, and the development has proceed as planned.

This paper introduces the technologies that have enabled the development of the“ All-New ”soft-top.

### 1. はじめに

新型ロードスターのルーフシステムを開発するにあたり、“人馬一体”という車両コンセプトの下、開発方針とそれを実現する開発構想を考えた。

『Fun of Open Air Motoring -

ユーザが手軽に、気持ちよく、できるだけ長くOpenを楽しめるソフトトップ』

ルーフシステム担当者及びユーザの立場から、ロードスターという車両の魅力を損なうことなく、今までオープンカーに乗ったことのない人にも2代目ユーザにも、Open

の楽しみである開放感や快適性を更に感じてもらえるよう、ソフトトップに対して様々な更なる進化への思いがあった。

Lots of Funの一つとして左記開発方針を掲げ、Light Weight Sportsとして可動ルーフの最軽量システムである手動式ソフトトップを採用することを第一に、次世代手動式ソフトトップとして電動式にも負けない簡単な開閉操作が可能で、乗っても降りてもOpenでもCloseでも美しさを感じさせるソフトトップが、いつまでも高品質を持続できるよう、次の開発構想を立案した。

\*1~5 ボデー開発部  
Body Development Dept.

\*6 技術研究所  
Technical Research Center

【開発構想】

手軽なOpen Air Motoring

車両から降りることなくルーフを開閉できる操作力/作業性の実現。

開閉軌跡が小さくかつ自然な動きとなるリンクレイアウトを実現し、操作力に寄与するルーフ部軽量化を行う。

デザインテーマの実現

“美しい馬”として魅力的かつ先進的にデザインされたものを実現させる。

エモーショナルイメージ(“Soft” topらしさ)を感じさせるトッパクロスをOpen/Closeに関わらず見せるZ型格納の採用。

高品質/軽量化を実現する新技術・構造

“長生き”させるために高品質や軽量化を実現する陳腐化しない新技術を積極的に織り込む。

ドリップモールの設定やウェザーストリップ/ソフトトップシーリング部品の基本構造変更。

材料置換やシンプルなリンク/ロック構造への挑戦。

これらを実現した開発活動と技術について、次項より具体的に紹介する。

2. 操作性開発

2代目ロードスターや多くの競合車の手動式ソフトトップはルーフを開閉する際、一旦室内から降りて室外から作業することが前提となっており、手軽にOpen Air Motoringを楽しむ、とはいえなかった。また、女性ユーザからは2代目ロードスターは開閉する際に室外側であるトッパクロス表側を触ることになるため汚れるから触りたくない、という声もあった。新型ロードスターも室外からの開閉操作が基本であるが、手動式ソフトトップの今後の進むべき方向として既存品より手間、負担のかからない開閉作業もできることが大事だと考え、“より多くのユーザに室内から座った状態でもソフトトップ開閉操作を可能とする”ことを狙いとした。

2.1 人間工学的見地からのシステム選定

2代目ロードスター及び競合車の室内からソフトトップを開閉する作業について評価を行った際、操作力だけでなく操作姿勢上の各部筋負担という観点からアプローチすると2代目のソフトトップシステムは操作力自体は軽い(Fig.1)ものの、開閉の際、腕が伸びきってしまうため、筋負担が大きく最大筋力比で60%にも達することがわかった(Fig.2)。一般に、ある筋肉が最大筋力比40%以上の力を発揮しようとする、その周辺にある別の筋肉までもが、該当の筋肉を助けるよう協調して働き始める。この状態では、人間はその操作に対し「大きな力を出している」との認識を持つ。2代目のソフトトップを室内から開閉することは実施可能な操作としては限界に近い。

構造上、2代目ロードスターは開閉の際に掴むルーフハ

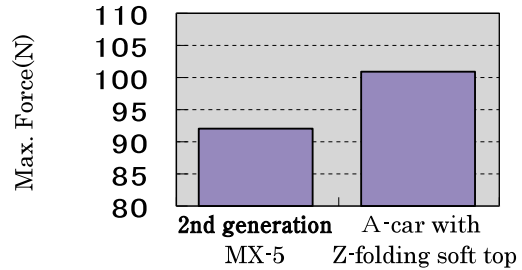


Fig.1 Maximum Force of Roof Operation

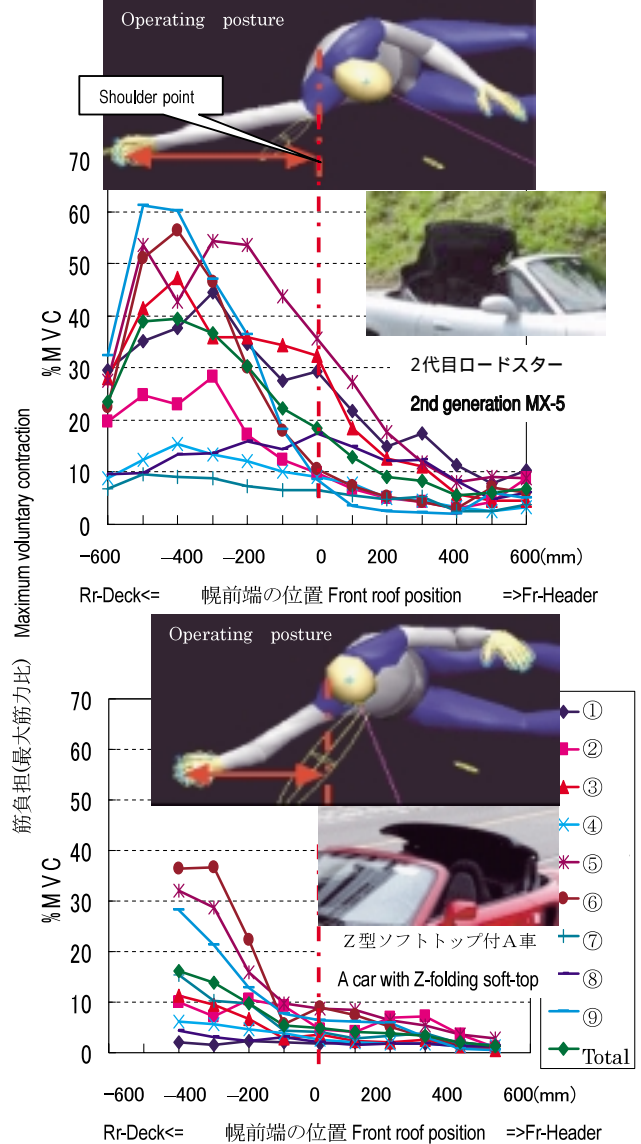
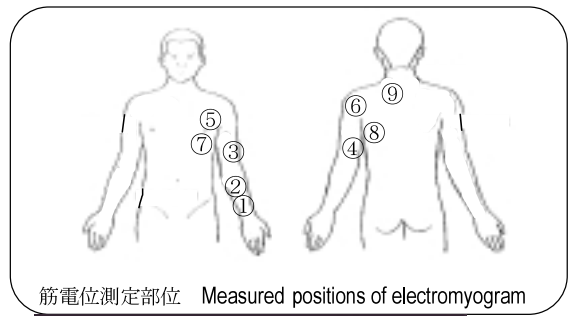


Fig.2 Maximum Voluntary Contraction of Soft-top Operation

ンドルが後方にあり、操作力を落としても体感的に負担を落とせない。これらの結果から開閉軌跡上で肩からルーフハンドルとの距離が最短となる軌跡を実現するため、Z型格納・2分割リンク式ソフトトップを採用した。

更にZ型ソフトトップを持つ競合車を用いて体型別に被験者を選定し操作性評価を行った結果、開閉軌跡に違和感をもつ声が多かった。これは被験者がルーフ開閉操作する際、どのような方向に動くのかを理解できれば全ての力が開閉操作に無駄なく伝わり負担感を減らすことができるが、競合車の初期の開閉軌跡が斜め前方から上方ではなく僅かに斜め後方であるため被験者に予期しにくく効果的な操作性改善が図られていないこともわかった。

2.2 目標とレイアウト要件

体型及び筋力によって操作性や操作力は大きく異なることや、レイアウトの制約から考えて全てのユーザを網羅することは難しく、AM50%ile体型程度（身長172~174cm程度）以上のユーザをターゲットとしたうえで人間工学上、日常の動作として負担を感じないレベルである、最大開閉操作力の競合車比20%低減をターゲットとした。

上記を達成するレイアウト要件として、

- 乗員肩部からOpen時のルーフハンドルまでの距離
- 開閉軌跡上でのルーフハンドルと肩までの距離
- 開閉軌跡が一旦斜め後方へ後退しない軌跡とする

という制約条件をそれぞれ決定した。特に に関してはリンク機構上での改善は勿論だがシートバックバーの設定などで制約条件が大きく、少しでも改善できるようにルーフハンドルの位置を肩のほぼ真上とすることで最短距離となるように設定している (Fig.3)。

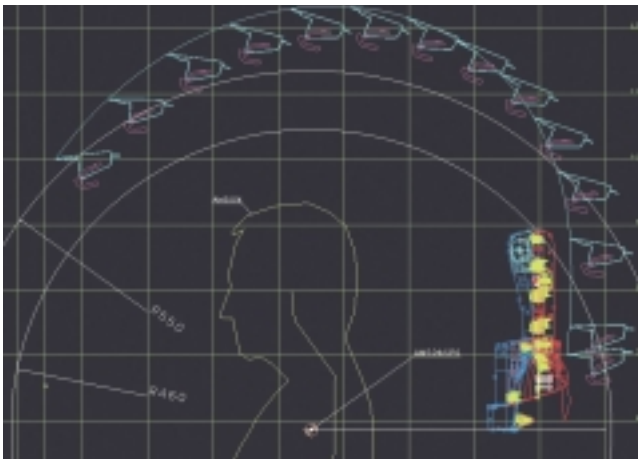


Fig.3 Roof Handle Movement of Soft-top Operation

更に操作性の改善には一般的に軽量化が有効であるが、ソフトトップ開発においても同様で重量軽減による操作性への寄与度を確認しながら適材適所の軽量化を進めた。

また、両手で作業のできる室外操作に関しては、Z型ソフトトップにより室外側を持つことなく、ルーフの持つ位

置と開閉方向がわかるラベルを車両側面から見える位置に設定し、すべての力を無駄なく伝えることができるよう配慮をしている。

2.3 アシストスプリングによる操作力低減

操作姿勢も加味した上で操作性が最も悪いのはルーフOpen状態からルーフハンドルが最も遠くなるまでであり、その中で操作力が最も大きくなるのは初期状態である。この範囲を機械的に補助する機構としてアシストスプリング (Fig.4) を設定している。

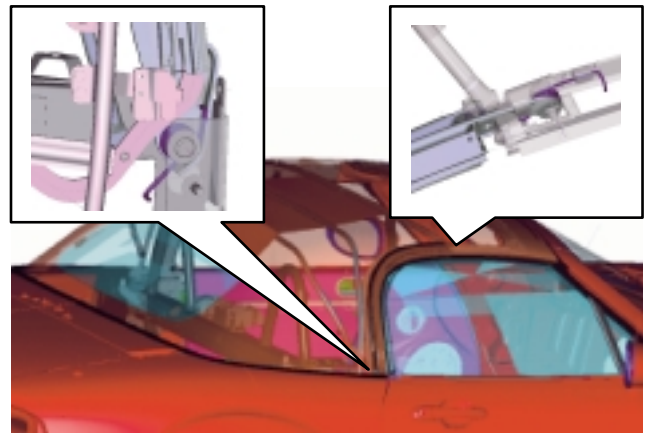


Fig.4 Assist Springs

ルーフOpen時にポップアップさせることでClose操作時のルーフハンドルへの腕のアクセス性向上を図り、更にスプリングの弾性力で操作力低減を図っている。

構造上、アシストスプリングはリンク軸部に設定しておりレイアウトスペースに限りがある中で、効果的に作用するように軸部の摩擦力低減目的で振動異音との兼ね合いもとりながら軸部に僅かな隙を設定している。このような僅かな負荷低減も含め、操作力の高いOpen位置から40度付近まで、最大で約40%の操作力低減を実現した。

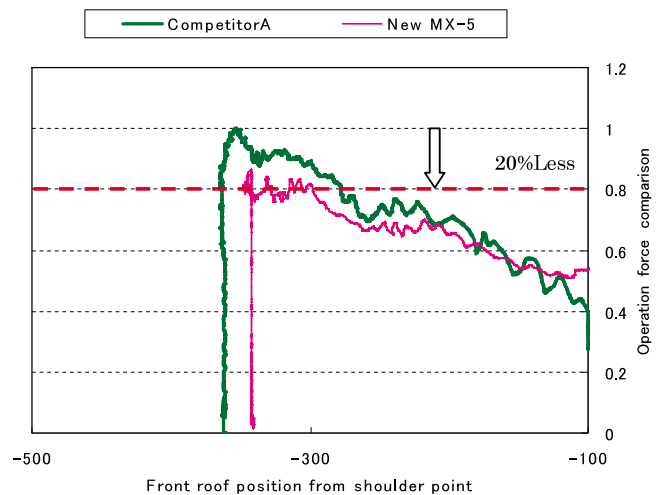


Fig.5 Comparison of Maximum Roof Operation Force

以上を実現した結果、Fig.5のように日常動作として負担を感じさせないレベルの開閉操作力を実現した。

### 3. デザイン開発

上記操作性の観点だけでなく、デザイン性からもOpen時にルーフ表面が外側となる利点からZ型・2分割ソフトトップの開発を決定していたが、デザインオリエンテッドの開発活動の中でOpenスタイルでは丸いリヤデッキ&フェンダ開口の実現に、Closeスタイルではデータ検証の難しいトップクロス形状の事前検証に注力した。

#### 3.1 Openスタイル

Z型2分割ソフトトップはOpen時にルーフ/Bピラーリンク回転軸中心が後方に来るため、リヤデッキ開口へのデザイン制約条件が大きい。その中でリヤフェンダ部はドアとつながるリヤデッキ開口を実現するため、開口面積を決める条件となるトップクロス保持用ケーブルエンドブラケットをリーフスプリングによる可動式 (Fig.6) とし、Open状態では内側に引っ張り、Close状態ではリンクの外に出て外板の機能を果たす構造としている。また、トップクロス端末に板状の樹脂板を挟み込んで縫製しクロス端末部の芯材機能及びOpen時のリンクカバーとしての機能を持たせている。

Open時のルーフ位置/形状もカバーの役目があるため、高さ及び形状をデザイナーと協力して進めた。これにより、側面視でのリヤデッキ、トリムとのつながりや平面視でのルーフ端末とトランク側端部開口ラインとのつながりなど違和感のないスタイリングを実現できた。

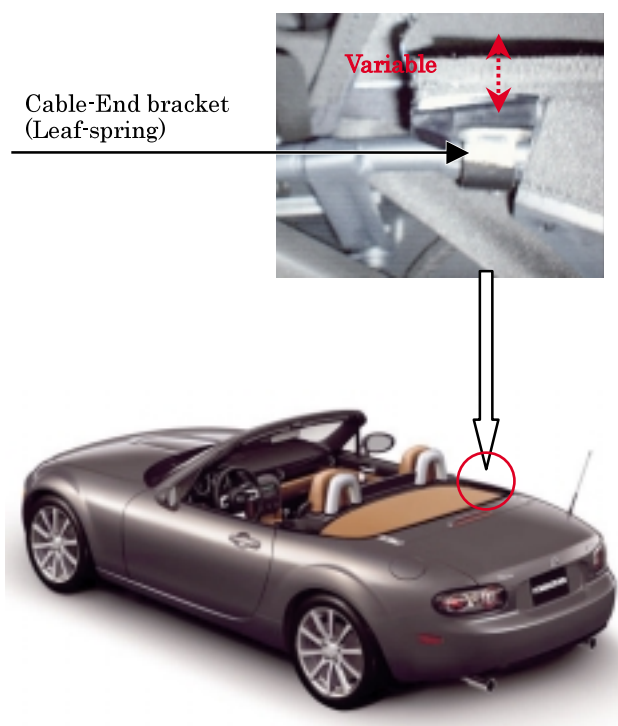


Fig.6 Solution of Open Style Problem

#### 3.2 Closeスタイル

ソフトトップシステムはClose時に外板となりユーザの目に映る重要な部品であるトップクロスが存在する。トップクロスは鉄板のような型で成形するものではなく、骨組みとなるリンク及びトップクロスの張りのみに依存するため、狙いのデザイン形状を正確に実現することが非常に難しい。

短期開発の中でデザイン開発を可能にするために、リンク形状とクロスの張りを考慮して実車でクロスの形状ルールを見出した上で3Dデータ化し開発提案を行いながらデザイナーと調整を行った。

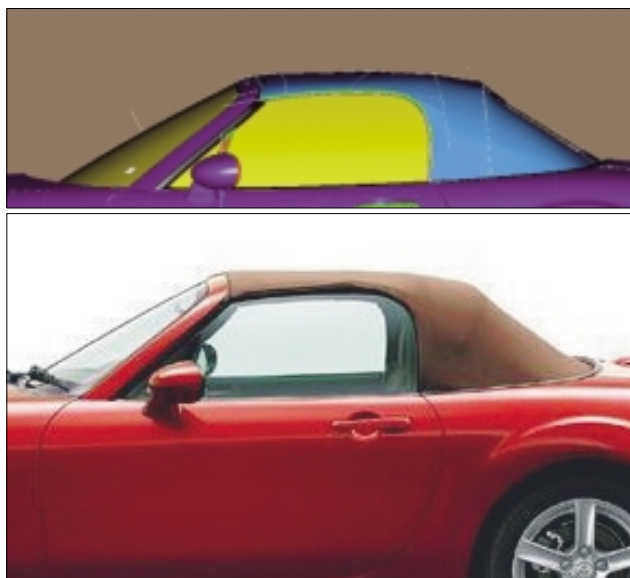


Fig.7 The Comparison of Soft-top Data and Model

結果、リンクで生じる影やクロスとリンクの間をシールするウェザーストリップの凹凸などは最終的に実車にて更なる造り込みを行ったが、ディテール育成のみとして、事前検証した3Dデータと大差のないソフトトップを実現した (Fig.7)。これにより、Closeスタイルのデザイン開発工数を削減することができた。

### 4. 高品質/軽量化開発

#### 4.1 シーリングシステム開発

オープンカーに付きまとう最大の課題の一つはシーリング性能である。次世代ソフトトップとして更なる高品質の実現は製品の信頼性向上だけでなくユーザからのクルマへの愛着にもつながる。従来まではドアガラスシール面を3分割していたが、新型ロードスターでは2分割とし、最もシール性能確保が厳しいウェザーストリップ継ぎ目部を1ヶ所減らして構造上不利な要素を減らした。またウェザーストリップも断面形状を変更しルーフ側はガラスを巻き込むタイプとしてシール面積を増やし、Bピラー側は2重リップとして風騒音も含めたシール性能をアップした。また、

ルーフ上部側面の傾斜にも着目し角度を小さくするとともにクロス端末部にルーフドリップモールを設定し、ドア開閉時の雨だれへの配慮を行った。



Fig.8 Sealing System

#### 4.2 センターロックの実現

初代ロードスターから設定している左右2ロックシステムは他社へもライセンス供与するほどの完成度を持っており、これをベースに慣れ親しんだ操作方法を踏襲しながら衝突安全性向上や更なる操作方法の向上を狙いセンターロックシステムに変更した (Fig.9)。

##### (1) センターロックの主要課題

センターロックを採用する際、必要剛性の確保と拘束条件について重点的に検討を行った。2 1ロックとすることにより固定点が減るが、現行車以上の折合い/シール性を実現するため、左右にウェッジを配して位置を規制し生産技術部門とともに各部位の必要公差の検討を重ねた。また剛性に関しては衝突時/ロック時/走行時等の入力荷重や必要剛性を測定、検証した上で剛性確保ができる適正板厚/形状を導いていった。車体への入力に関しても同様に確認を行い、ストライカーは4点締結としている。以上のことにより衝突しても外れや破損に対し必要な強度を確保したトップロック構造を実現した。

##### (2) 操作性改善

従来までの左右2ロックシステムはレイアウト位置からサンバイザーと重なるため、どうしてもロック解除/固定を行う前にサンバイザーを動かす作業が必要であった。センターロックではロックを中央に配することでサンバイザーと離してロック開閉軌跡上の干渉物をなくし、ルーフ開閉時の手間を減らした。また、ソフトトップには特有のトップクロスのテンションが存在するため、ルーフをロックフックが引っ掛かる位置まで近付ける必要がある。これに要する力をルーフ引込み力と呼ぶ。ルーフ引込み力は、初期状態や長期間のOpen放置をした場合、トップクロス

Close状態でのなじみがなくなり負担が生じやすいが、トップロックフックを従来より長くすることでユーザ負担を改善した。それ以外にもロックハンドル操作時に引掛り感をなくすなど細かい改善も取り入れている。

##### (3) デザイン性と安全性の両立

センターロック採用のメリットとして斜突時のユーザ頭部及び頸部の安全性向上がある。従来位置では斜突時に乗員頭部付近にトップロックシステムがあったが、新型ロードスターでは同部位にウェッジカバーを設けてデザイン性を向上した上で内部にパッドを設定し障害値を抑える構造をとっている。また、従来のソフトトップと同様にセーフティロックを設定して2アクションロックとしフェールセーフ構造をとっているが、ロック本体の厚みを減らすため、セーフティボタンをハンドルに対し並列配置としている。トップロックも機能を分け、本体を鉄板で剛性を出しながらカバーを樹脂製とし締結スクリューを隠すなど軽量化とデザイン性を両立させた。

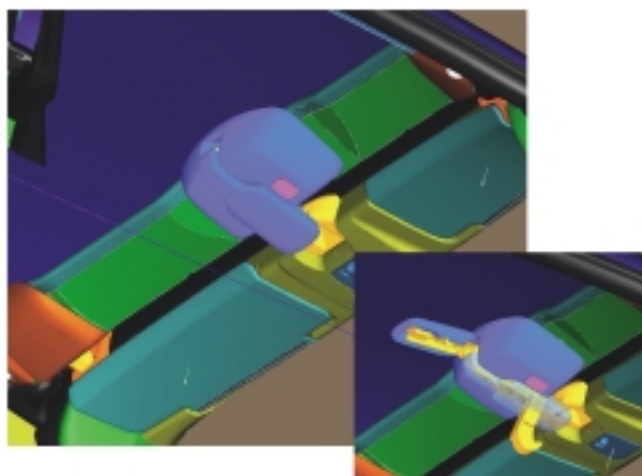


Fig.9 Center Top-lock

#### 4.3 軽量化開発

車両コンセプトの実現やルーフ開閉操作力の低減の観点から軽量化に注力した。リンクの中空化/板厚低減/肉抜きは勿論だが特に尽力したものとしてトップクロスとオープンフックについて紹介する。

##### (1) トップクロス分割数の削減

従来、しわのないソフトトップを実現するために、上面/左右側面/後面/ガラス接着面の5枚の幌材をそれぞれ別物として溶着していたが、新型ロードスターでは軽量化や見栄え改善の観点から前後2枚の幌材を接着するだけでしわのないソフトトップを実現した (Fig.10)。バックウィンドウ周辺の反り、クォータ部のしわ、ドアガラス開口部付近のクロス端末形状など開発に苦慮したが、度重なるトップクロス型紙育成を行い実現した。従来車よりも大型化したにも関わらずトップクロス重量の軽量化を果たすことができた。



Fig.10 Top-cloth Separation

(2) オープンフック材料置換

新型ロードスターのZ型ソフトトップは手動式でありアシストスプリングを設定している構造上、オープン時のルーフを固定するオープンフックが存在する。フックノブ操作方向を斜め前上方としてルーフ初期開閉方向に合わせることで、認知ミスによる操作力増加を避けられるよう配慮した。フック本体は車両段差乗り上げ等大荷重の入力もあり、先に述べたセントアーツロックの実現のため、操作ノブに対しオフセットフックとなっていてロックとしての条件は不利であるが、強度と軽量化を両立させるため、近年フロントエンドモジュールやドアモジュールキャリアで用いているガラス長繊維強化ポリプロピレン (GFPP) を採用した。また、樹脂成型品のメリットである形状自由度の高さを生かし、最大限の肉抜き / 薄肉化を行うことで、新規開発ながらBest in classの重量を実現した。



Fig.11 Roof Hook for Open Situation

5. おわりに

今回のモデルチェンジにおいて、主題であるソフトトップとともにDHT (デタッチャブルハードトップ) も今回の最新デザインに合わせてモデルチェンジを行った。バックウィンドウをDHT最下端まで延長して後付け感をなくしたデザインの実現と、時代とともに厳しくなる衝突性能の改善のため、ルーフ内部にレインフォースメントとワイヤーの設定、頭部保護性能の向上を行っている。後付けルーフ感をなくすためにもトップシーリングの設定やサイドロック / リヤデッキロックの小型化、シール性の向上を図り、ソフトトップ同様に次世代デタッチャブルハードトップを実現している。

以上のように再び世界のベンチマークとなるべく、全ての部品を“ All-New ”とし、狙い通りの商品が完成した。このソフトトップを実現できた大きな要因として、新しいチャレンジが多く試行錯誤の連続した開発の中で、商品化するにあたり“ One MAZDA ”として各開発 / 生産技術 / 組立 / 検査他関係各部門の方々の協力を頂いた結果だと考えている。まだ市場に出て日が浅いが、イベントや初期展示会での情報から数多くのお客様から支持され手ごたえを感じているのと同時に、更なる進化への想いも芽生えてきている。

最後にこの開発にあたり、多大な協力を頂いた(株)東洋シート殿、ユーシン(株)殿、(株)アンセイ殿、ダイキョーニシカワ(株)殿、西川ゴム工業(株)殿、片山工業(株)殿、(株)ニフコ殿、みのる化成(株)殿、(有)ビー・アンド・ビー殿にこの誌面をお借りし、厚く御礼申し上げます。

著者



田上宏紀



黒田将仁



松延知昭



加藤幹人



執行康之



三浦泰彦