

特集：RX-8

11

フリースタイルドアの技術的要点 Technical Aspects of Freestyle Door System

守山 幸宏*¹ 伊藤 敦*² 石井 文雄*³
Yukihiro Moriyama Atsushi Itou Fumio Ishii
二関 隆*⁴
Takashi Niseki

要約

RX-8ではセンターピラーレスの車体構造に対し、フリースタイルドアと命名された観音開きのドア構造を採用した。この特殊なドア構造方式は、この車の特長であるスポーツカーとしてのスタイリングと後席への乗降性の両立を可能とし、この車の基本コンセプトである「大人4人が乗れる4ドアスポーツ」を実現する技術的な手段となった。この形式のドアにおいては、通常ドアと異なり、技術的に特別な配慮を要することとして、まず前後ドアの開閉時に、相互のドアが干渉しないようにドアヒンジのレイアウトを工夫しておく必要がある。また、この状態における開閉操作感改善への配慮も重要な技術課題である。この点で特に、センターピラー相当の補強部材をリヤドア内に取り込むことによるドア重量増加に伴う開閉操作感の悪化を防ぐため、リヤドア本体部分をアルミ化することによる総合的な重量軽減を織り込んでいる。ドアに対するアルミ材の適用と、センターピラーレスという車体構造による、側突時の安全性の保証が重要な開発課題であり、このリヤドアにおいては、センターピラー相当部分にビルトイン・ピラーと呼ぶ高張力鋼管による縦型インパクトバーを設定し、その上下をラッチによって車体に繋ぎ止めることで、通常のセンターピラーのある車体構造以上の側突安全性能を達成している。これら上下のラッチは、車内外から操作可能なひとつのドアハンドルでリリース操作でき、また、そのハンドル構造は誤操作を防止する上でシンプルかつユニークな構造としている。

Summary

The RX-8 has adopted a rear side hinge supported rear door without a center-pillar, known as the "Freestyle Door System". This unique door system provides both the styling expected of a sports vehicle and the ease of rear seat ingress/egress of a sedan. This door system has made a major contribution to realizing the concept of the "New 4-Door Sports Car for 4-Adult".

Several technical difficulties had to be overcome during the development of this door system. The hinge layout had to provide an adequate swing clearance between front and rear doors at all opening angles, and door operating efforts were to be kept to a minimum. For the operating efforts, the rear door was constructed from aluminum, instead of steel, to achieve a weight reduction.

Use of aluminum and the disuse of the center-pillar provided a significant technical challenge to comply with side crush testing. The solution comprises of a vertical impact-bar, known as the "built-in pillar", constructed of high-tensile strength steel pipe located in the front of the rear door. Latches are installed at both the top and bottom of the "built-in pillar" which allows transmission of side crush loading directly to the body. This structure results in greater strength and safety than the conventional body structure with center-pillar. The two latches are operated via a single releasing handle, which has a simple and unique fail-safe design.

* 1 ~ 4 ボデー開発部
Body Development Dept.

1. はじめに

RX-8にはセンターピラーのない観音開きの前後ドアという特殊なドア構造を採用した。このドアシステムを「フリースタイルドア」の呼称とし、この車の大きな特徴の一つとしてアピールしている。

この形式のドア構造は従来、日本では一般的ではないものの、海外においては主にピックアップトラックのストレッチキャビンのドア構造で実施例があり、マツダにおいてもタイ生産のピックアップトラックに近年この形式のドアを採用した。これは実質的にフリースタイルドアの先行開発となり、この開発における技術的な要点はRX-8のフリースタイルドアの設計開発に生かされている。

本文においては、これらの車種開発を通じて得られたフリースタイルドア構造における技術的な要点を述べ、その構造上の特徴を紹介する。

2. フリースタイルドアのメリット

スポーツカーは速く走れそうなスタイリングの方がよい。それならば4ドアよりも2ドアの方がよりキャビンを短くでき、スポーツカーらしいスタイリングにできる。しかし2ドアは後席の乗り降りがしにくい。RX-8の基本コンセプトは「大人4人が乗れるスポーツカー」ということにあった。スポーツカーであるからには動力性能と走りの実現は当然として、まずスポーツカーらしいスタイリングにしたいというのがデザイナーの思いである。これまでも、コスモ、RX-7と受け継いできたマツダのスポーツカーのスタイリングは2ドアをベースとし、太い台形リヤピラーとすることを基本としている。

今回のRX-8においてもこの基本イメージを踏襲したキャビンを小さく見せるスポーティなスタイリング創りを行った。その結果、リヤドアの窓は逆台形形状となり、どこから見ても2ドア風の流麗なスタイリングが基本となった。これに大人4人を乗せるとなると、まず後席の乗降性、居住性を確保しなければならないが、このためには2ドアでは不都合である。しかし、改めてこれを4ドアとなるようにデザイン修正すると、この車に求められるスタイリング・コンセプトを大きく損なってしまうことになる。そこで到った結論が、リヤドアを観音開きとして前側を開くこと。そしてセンターピラーを廃止して、フロントドアを開いた時は一つの大開口になるドア構造を採用することである (Fig.1)。これによって、ドアを開いた時の圧倒的な開放感を実現するとともに、後席乗降時にフロントドアの開口エリアまで効率よく使うことができ、最小限の大きさのリヤドアで後席の乗降性を確保することが可能となった。事実、リヤドアの前後長は通常ドアの70%程度しかない。また、後ろヒンジであることから開閉操作ハンドルをドア前縁に設置でき、しかもフロントドアを開いた状態での操

作を前提としていることから、通常は車外から操作ハンドルを見えなくすることができた。

前後ドアの開閉操作には順序性があり、ドアを開く場合にはフロントドアを先に開いてからリヤドアを開く。閉じる場合はこの逆である。これは構造的に見ると、前後ドアをセンターピラー相当部分で重ね合わせることで車体からセンターピラーを廃止したことによるものであるが、実用安全上は、走行中に前開きのドアが不意に開いて走行風圧で全開してしまう危険性を避ける配慮によるものであり、この構造要件はヨーロッパでは特に法規で規定されている。

フリースタイルドアはスタイリングと後席への乗降性の両立を図るための手段として有効であるが、これは同時に後席側へのアクセスを容易にする。たとえばコンビニエンスストアなどでちょっとした買い物を、後席に置いておきたい時や、通勤外出時の上着やバッグの取り出し、あるいは後席に装着が推奨されるチャイルドシートへの子供の乗せ降ろしの補助と装着の際に大きな利便性を発揮する。このように後席へのアクセスのしやすさという点においては、通常の4ドアよりも使い勝手が良い場合も考えられる。

3. フリースタイルドアのレイアウト上の特徴

観音開きドアのレイアウトで、まず考えなければならないのは開閉時の前後ドア同士の干渉問題である。これには大きく分けて2種類の問題があり、第一に前後ドアを閉める順序を誤った場合の干渉問題。第二に閉める順序は正しいものの、ほぼ同時に前後ドアを閉めようとした場合に相互のドアのエッジ部分同士がドア全閉直前に干渉する問題である。第一の問題の場合、干渉する部分はシールラバーやトリム部材などの柔らかいものであることと、操作途中で明らかに干渉が予測できることから、実害が生ずる可能性は低く、深刻な問題ではない。



Fig.1 Freestyle Door

一方、第二の問題は通常のドア閉めの操作過程で生じる問題であり、干渉することそのものを認識しにくく、最悪の場合、干渉時に塗装面へのダメージが発生することから、その防止は特に重要である。以下にこの第二の問題の防止策を述べる。

通常のドアであれば各ドアはそれぞれ開閉作動範囲が独立しており相互に干渉することはないが、観音開きでは前後ドア端部の開閉軌跡の範囲が空間内で重複しており (Fig.2) この範囲をスイングする際はドアのエッジ同士が干渉する可能性を示している。これは冷蔵庫や家の扉のような平板による扉では問題とならないものであるが、自動車のような自由曲面による外板面で構成された扉構造ではこれを完全に回避することが困難である。原理的にはドアの端末同士を遠ざけること、すなわちドアとドアの間隙 (見切り隙) を広げることで解決できるのであるが、外観上の問題から採用するわけにはいかない。

そこで、この問題への現実的な対応を考えるため、この現象をもう少し詳細に見ると、実際に干渉が発生する範囲はドアが全閉した位置よりもいくぶん外側にある (Fig.2)。この対応策としては、下記の2点が有効であることがわかる。

- (1) 先に閉じられるべきリヤドアがこの干渉範囲に停止している可能性を低くする
- (2) 干渉範囲そのものをできるだけ小さくする

まず、干渉範囲にリヤドアが停滞する可能性を低減するためには、ドア回転軸 (ヒンジ軸) を傾けることでドアを重力で自由回転させ、この範囲に停止しにくくなるようなヒンジレイアウトとする。通常はドアが勝手に開かないよう閉まり方向に傾けることで、ドアラッチとストライカが接するところで停止するものとし、この位置がフロントドアとの干渉範囲に入らないようにする。

次に、干渉範囲そのものを小さくすることに対しても、外板面形状に沿った方向にヒンジ軸を傾げることの幾何学的な効果による改善を行うことができる (Fig.3)。

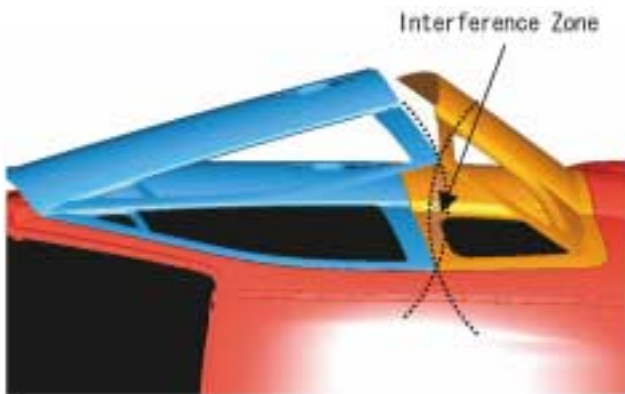


Fig.2 Plan View

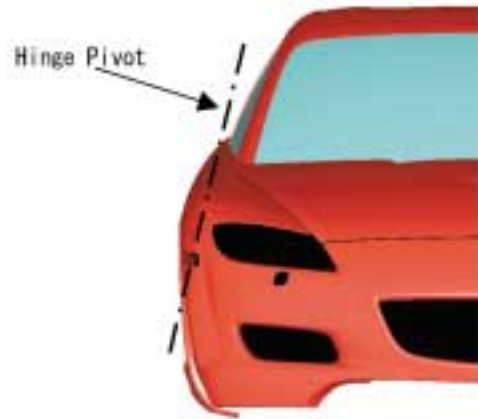


Fig.3 Front View

よって、これらの二つの効果を同時に得るためには、まずヒンジ軸を正面から見て内倒れになるようなヒンジレイアウトをとるべきであることがわかる。

しかし、一方向でのヒンジ傾斜状態のままでは、ドアの自重による開き操作力の増大を招くこととなるため、上記の効果を必要とする範囲以外ではこの影響を打ち消すようにヒンジ軸傾斜を側面方向で後ろ倒れに傾けて補正する必要がある。このため、RX-8のリヤドアヒンジ軸のレイアウトにおいては、正面内倒れ10度、側面後ろ倒れ15度の角度設定を行った。これは、干渉範囲の低減と全閉、全開状態での操作力への影響の両面から決定した値である。

また、ヒンジ軸を後方に傾けることで、リヤ・ホイールアーチ部分と形状的な関係において、この部分のドアカットラインを直線的に通したいというスタイリングの要望と、ヒンジのレイアウトスペース確保という技術的な課題の両面の整合をとることができた (Fig.4)。

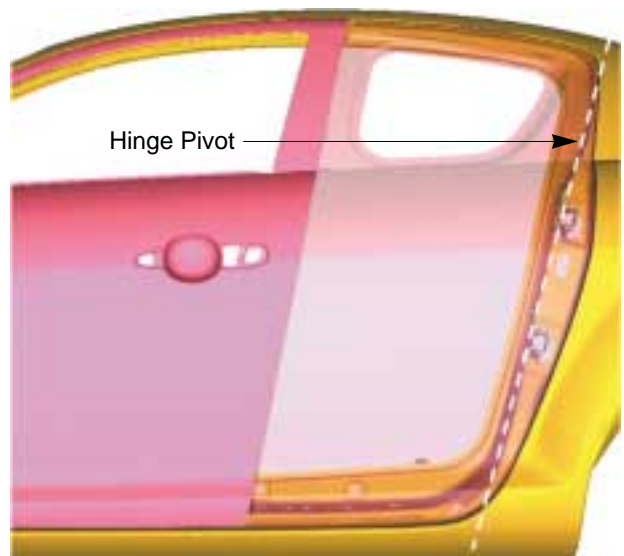


Fig.4 Side View

しかし、このように比較的大きな角度でヒンジ軸を傾けた場合、ドアの自重による開閉操作力への影響は必然的に発生する。側面から見た場合、ドア開度に伴う重心点の移動は楕円の軌跡を描き、全開開度80度に対し半開付近で開きと閉じの思案点に到達することになる (Fig.5)。この場合、全開に向かってはドアが開き方向に付勢されることになり、逆にドア閉め方向に対して大きな操作力が必要になる。RX-8ではこの操作力の増大に対し、ドアチェッカーの全開付近のモーメント特性において閉まり方向へのモーメントを発生させることでドア閉め力を補い、操作力を改善している。

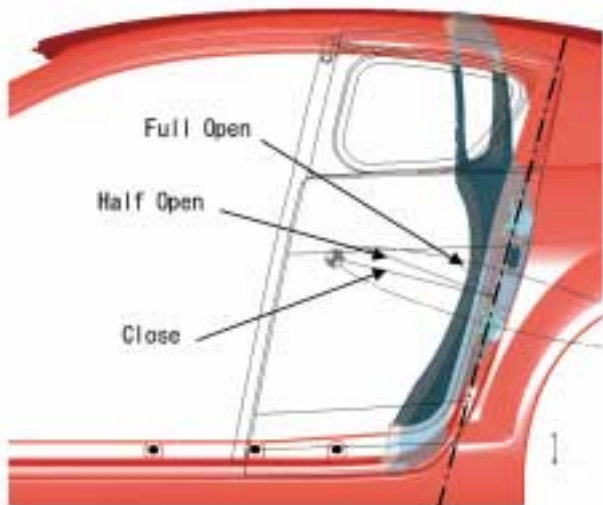


Fig.5 Gravitational Effect

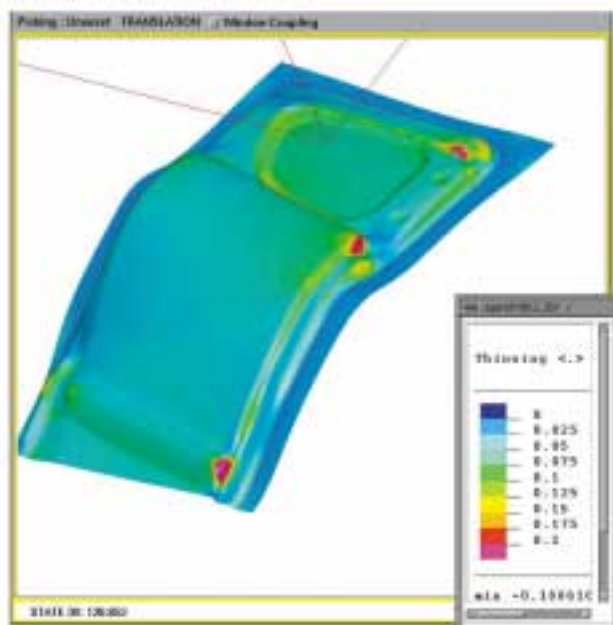


Fig.6 Stamping Analysis

4. アルミ採用による軽量化

アルミニウムはスチールの約1/3の密度であり、またヤング率もほぼ1/3の値である。薄板要素においては、剛性が板厚の3乗に比例するとみれば、アルミによるパネル構造体でスチールと等価の剛性を維持すると、およそ1/2の重量になるものと概算できる。更に引張り強さにおいては、調質によってこの差が逆転する場合もあり、強度を優先する構造体においては、アルミ化は更なる重量軽減の可能性をもたらしてくれる。

従来、マツダのスポーツカーでは、ボンネットをアルミ化することによる軽量化をいち早く取り入れてきた。今回のRX-8も重量軽減が大きな課題であり、ボンネットのアルミ化は当初より計画されていたが、更にリヤドアのアルミ化も新たな軽量化施策として取り入れた。また、ドアのアルミ化の目的は車両全体の重量軽減のみならず、前述したドア操作力の低減という目的において、特にセンターピラー相当の補強部材を取り込んでドアとしての重量増加が発生するという特異性を改善するための施策として織り込んだものである。

ドアはボンネットに比べると、多くの機能部品を内蔵することや、シール部材の取り付けのためにパネルの絞り成形深さが大きく、かつ外周部分のパネル形状はより複雑である。このため、プレス成形における材料の伸びが軟鋼板に比べて劣るアルミ板のドアへの適用実施例は少なく、スチールのドアと同等の形状にすることは事実上困難である。

この点はRX-8のリヤドアにおいても同様であり、設計計画段階よりドアの厚さや窓枠部分の絞り成形深さの制限や、絞り先端Rの拡大、形状段差の縮小や排除といった生産要件をもとに、形状創製への配慮を行った。また成形性の予測判定に関しては、CAE検証と同時に、試験用パネルによる成形結果の確認を行うことで、成形性予測精度の向上を図った (Fig.6)。この結果、ドア・アウターパネルは、センターピラーレス特有のドア前側段差形状部分の成形が困難であると判断し、この部分を分割成形して接合する構造とした (Fig.7)。



Fig.7 Outer Panel

インナーパネルは、通常のスチールドアに比べて成形が緩やかな断面形状であり (Fig.8) 総じて曲げRはスチールの場合の3倍以上となっている。それでも窓枠部分は成形条件的に厳しく、特にセンターピラー相当部 (Fig.9) は圧迫感を低減するために細くしたいというパッケージングからの要求と、反対に補強部材を通すための断面拡大の必要性という両立し得ない要件が加わり、構造決定が難しい部位であった。この部分の構造的な解決策については次章で述べる。

このように、ドア本体部分をアルミ化することによる重量軽減により、センターピラー部分相当の追加補強部材をドア内に取り込みながらも、通常ドア並みの重量に抑えることができた。これは車両全体で見ると、実質的にスチールドア構造に対して約40%の軽量化を行ったことに匹敵する。



Fig.8 Section Figure Comparison

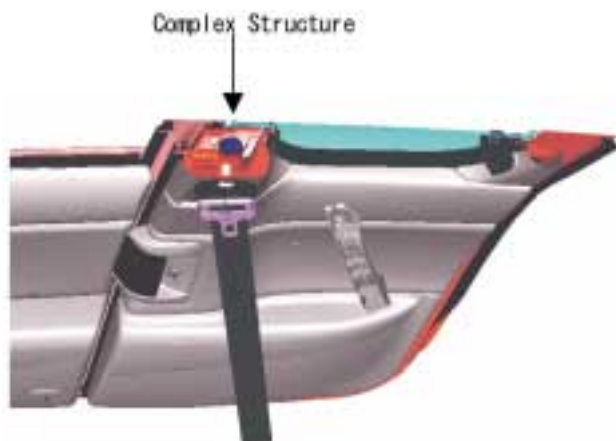


Fig.9 Center Pillar Section

5. リヤドアの補強構造

自動車における衝突安全性の確保、特に側突に対する要求性能は年々厳しくなりつつあり、こうした動向にセンターピラーレスの車体構造で対応するためには、車体側の補強とともにリヤドアの前側にセンターピラーに相当する強度部材を設定する必要がある。

側面衝突に対する安全性は、通常、一定の要件に基づく側面衝突試験において評価され、試験方法として、一定のエネルギー量で車体側面に衝突するバリアの進入をくい止めることと、乗員に加わる衝撃力をいかに低減するかにより評価される。センターピラーを有する通常の車体構造の場合、バリアの進入はセンターピラーにより支えられ、ここにかかる荷重はラーメン構造として結合されたルーフレールとサイドシルに分散して伝わる。

センターピラーレス構造においてはリヤドア部分でこの効果を発揮する必要があるが、特にドアの上下の部分は開閉機能上ラッチにて車体と係合離脱を可能とする必要があり、必然的にこの部分はピン結合の構造体となる。この点は構造力学的に通常の車体構造と最も異なる点であり、等価の強度を維持するためには、まずリヤドアのセンターピラーに相当する部分の抗屈強度を通常のセンターピラー以上に高める必要がある。更にこの部分に掛かる荷重は上下のラッチの噛み合い部分に集中した後に車体に伝達されることとなるため、補強部材はラッチ取り付け部分に至る強度的な連続性を保つことと、ラッチの噛み合い強度のみならず、ドアと車体の上下方向の重合部における荷重伝達を有効に行うことで、効率よく車体側に荷重を分散させる構造としなければならない。



Fig.10 Built-in Pillar Structure

この要件に対し、RX-8においては高張力鋼管とスチール製のブラケットを接続したビルトイン・ピラーを設定することで対応している (Fig.10)。基本構成としてドアインパクトバー用1,500MPa級高張力鋼管をドアの形状に沿って曲げ加工し、上部と概略中央部、および下部の3ヶ所に固定用の締結点を設定した構造であり、上部ブラケットには上側ラッチを搭載するとともに、このブラケット自体が側突バリアの進入に対してルーフレールに係合する形状としている。一方、下部ブラケットは、ドア内に設定されているアルミ厚板による下側ラッチの取り付けブラケットに重ね合わせ、側突バリアの進入による鋼管の下端からの荷重を、直接ラッチに伝達できるようにしている (Fig.11)。同時にこの部分もサイドシルのフランジ縦面に向かって変位することで、直接車体を押すような効果を発揮することができる。この際、ドア下部とサイドシル重合部のずれを防ぎ、より確実に荷重伝達できるように車体に係合するキャッチャーピンを設定している。

このビルトイン・ピラーは、単にセンターピラー相当の補強部材としてのみならず、前席用のシートベルト部品およびそのアンカーポイントを、ビルトイン・ピラー上の各ブラケット部分に締結することで、シートベルトの性能保障上必要な大荷重強度も確保できるようにしている (Fig.12)。

また、スチール製のビルトイン・ピラーとアルミ製のドアパネルとは、リベットによる仮固定状態で塗装乾燥炉を通し、その後のファイナル・アッセンブリ工程で各ラッチやシートベルト部品等を搭載することにより、各締結点を最終的に固定するようにすることで、塗装乾燥炉内でのインナーパネルとビルトイン・ピラーの異種金属間における熱膨張差による歪みを防止する締結構造としている。

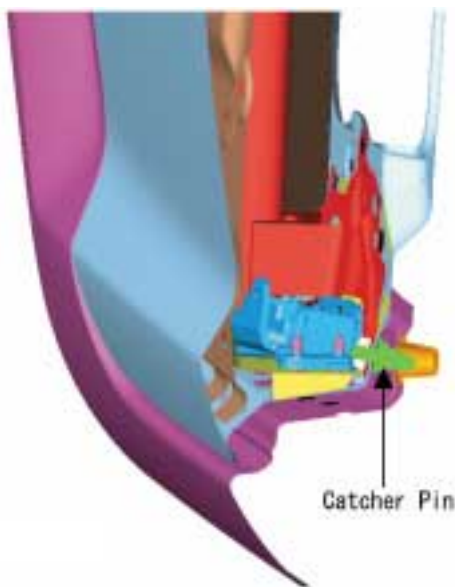


Fig.11 Lower Latch Area



Fig.12 Front Seat Belt Installation

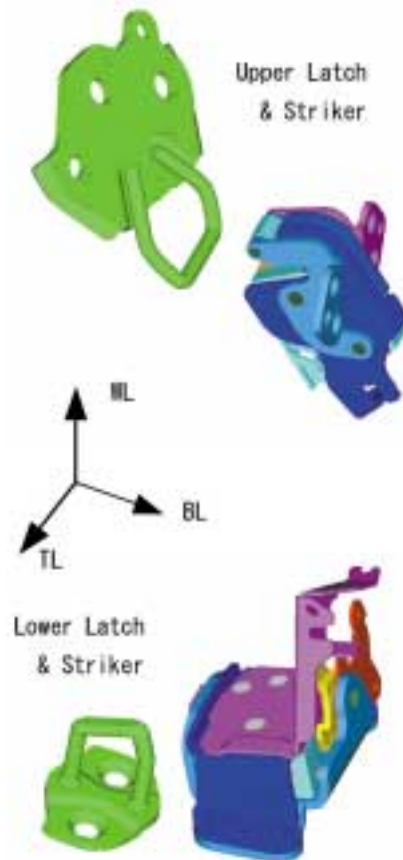


Fig.13 Upper & Lower Latches

6. ラッチとその操作系について

上下のドアラッチとストライカは噛み合いの軸線方向及び取り付け面が、いずれもほぼ直角方向にずれている (Fig.13)。これは上下ラッチ間の取り付け寸法誤差を逃がすことと、建付け調整を容易にすることを目的としたものである。一方、左右のラッチはそれぞれの噛み合い方向に向かって搭載することで、左右を完全に共用部品としている。これらのリリース系はワイヤーケーブルにより駆動され、上下ラッチのほぼ中央部分に設定されたリリースハンドルの操作により同時に解除される。このリリースハンドルは、フロントドアが開いている場合にのみ操作可能であり、フロントドアが閉じている場合には、ハンドル前縁がフロントドアトリムに当接規制されることで誤操作を防止している (Fig.14)。また、このハンドルの設定位置はリヤドア前縁室内側とし、車外と車内の両方から操作可能な構造としている。

このように、リヤドアはフロントドアが開いてからの操作を前提としており、フロントドアを閉めた状態でうっかりリヤドアをリリースしてしまうような誤操作を確実に防止するとともに、実質上フロントドアを施錠すればリヤドアを単独で開くことは不可能であることから、リヤドアの操作系はリリースのみであり、通常ドアラッチのような施錠/開錠の機構は存在しない。これらを総合的に見れば通常ドアのラッチ系に比べて非常にシンプルな構成としている。



Fig.14 Rear Door Release Handle

7. おわりに

以上のように、RX-8に採用したセンターピラーレス・フリースタイルドアには、レイアウト上の特徴、アルミ化、側突性能保障への対応、ユニークな機構によるラッチ・リリース系といった、様々の新技術要素を採りいれて開発した。これらには乗用車における先行実施例がほとんど存在しないことから、自由な発想と堅実な構造化の両面での設計構想化とともに、最新の解析技術と創造力を駆使して取り組むこととなった。こうした成果によって、RX-8のセンターピラーレス・フリースタイルドアは、新たなドア構造の一つの姿としてその存在を示すことができた。この開発の過程で得られた貴重な経験と知識、そして数多くの要素技術は、今後より新たなドア構造の可能性を導くことに貢献するであろう。

最後に、このセンターピラーレス・フリースタイルドアの開発と育成にご協力いただいた方々のご支援に感謝し、ここに深くお礼を申し上げたい。

著者



守山幸宏



伊藤 敦



石井文雄



二関 隆