

Jikencenter

NEWS

自研センターニュース

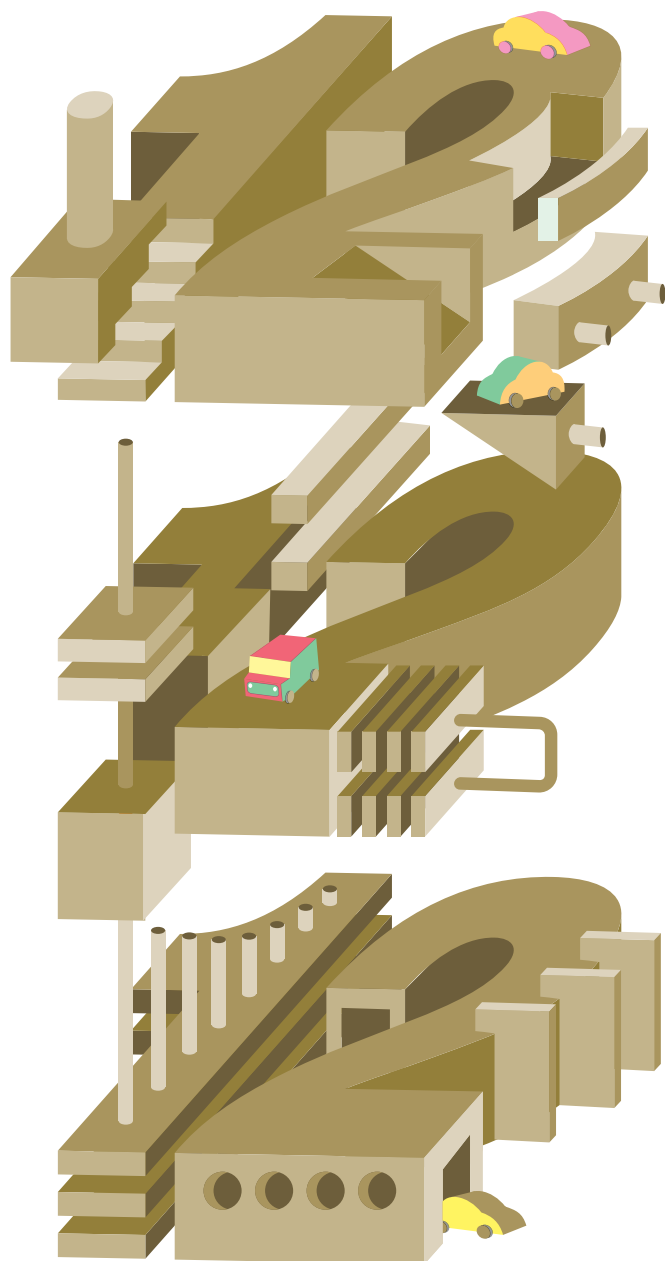
令和3年12月15日発行
毎月1回15日発行(通巻555号)

12

DECEMBER 2021

C O N T E N T S

技術情報	2
スズキ ハスラー (MR92S) 前部衝突の損傷診断	
修理情報	11
スズキ ハスラー (MR92S) 前部損傷の復元修理事例	
技術情報	26
スズキ ハスラー (MR92S) 後部衝突の損傷診断	
「構造調査シリーズ」新刊のご案内	35
修理情報	36
スズキ ハスラー (MR92S) 後部損傷の復元修理事例	
JKC 調査・研究レポート	48
自動車の衝突における運動量保存の法則の検証	



技術情報

スズキ ハスラー (MR92S) 前部衝突の損傷診断

1. はじめに

損傷診断においては、衝突により車体に作用する力の大きさ、着力部位や方向から、力がどこをどのように伝わり、どこまで車体に損傷をおよぼすのかということを、自動車の構造や材質、損傷特性を踏まえたうえで、十分に注意して確認しなければなりません。本編は新型スズキハスラー(MR92S)の前部オフセット衝突におけるボデーまわりの損傷診断について説明します。また、前型モデルとの構造や材質の変化についても説明します。

※ 構造説明の詳細については、構造調査シリーズ No.J-858 スズキハスラー、自研センターニュース 2021 年 5 月号、をご参照ください。

2. 前部損傷の衝突態様

衝突の態様は以下の条件で衝突したものです。

衝突イメージ	衝突態様説明
	上下均質な固定壁へ若干の角度をもって衝突している。 衝突速度は低速で、着力部位は前面全体の右側約 40%の幅で衝突している。

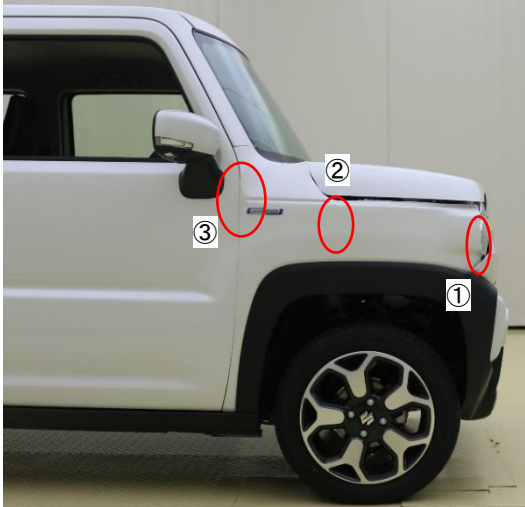
3. 損傷状態の説明

(1) 外観の損傷状態

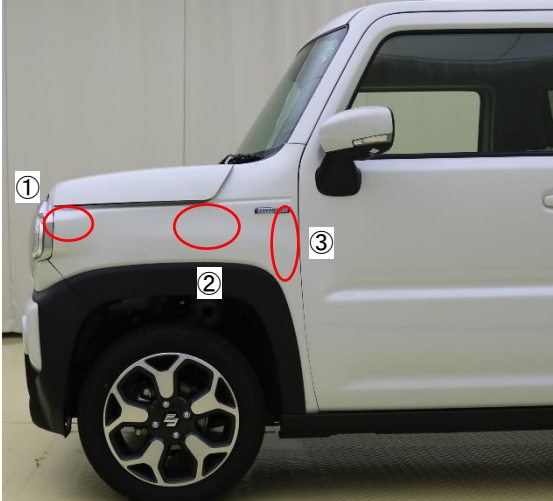
外観から確認した衝突による損傷について、力の波及経路やその状態を説明します。

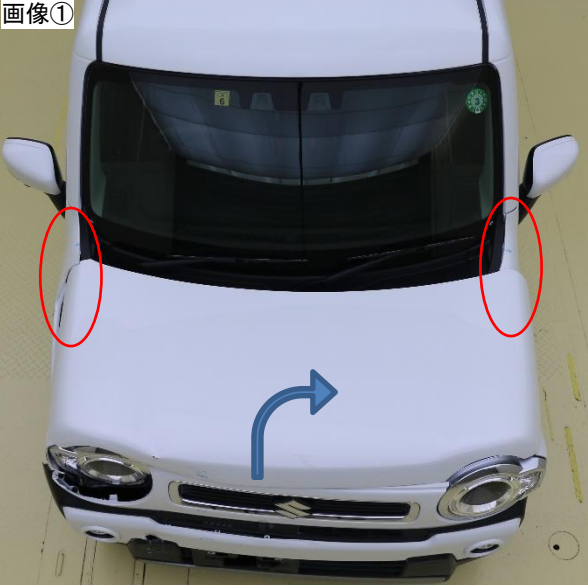
衝突前	衝突後
	

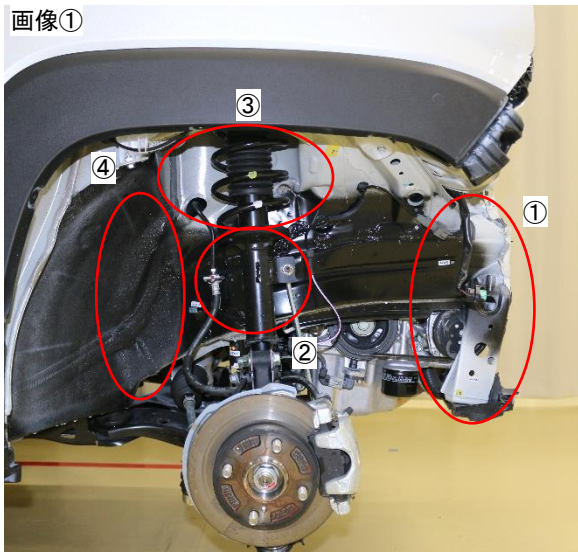
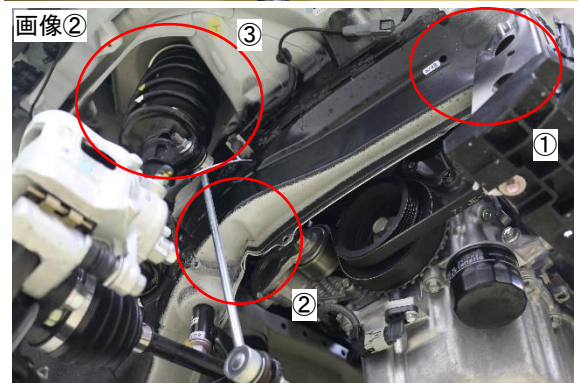
衝突前	衝突後
	
損傷状態	
・ 前部右寄り 40%の範囲で後方に押込まれている。 ・ フロントバンパ、右ヘッドランプ、フードパネル、右フロントフェンダに相手物との衝突による直接損傷が発生している。	

衝突前	衝突後
	   
損傷状態	
・ 右フロントフェンダは後退し右フロントドアと干渉している。 ・ フロントバンパ、右ヘッドランプ、衝突相手物からの押込みで右フロントフェンダは後退とともに①前端部、②中央形状変化部、③後端部で損傷が発生している。	

衝突前	衝突後
	
損傷状態	
・フードパネル右前部の押込みにより、フードロック部を中心に右回転が発生している。 ・フロントバンパからの波及により、左ヘッドランプ取付部に割れ損傷が発生している。	

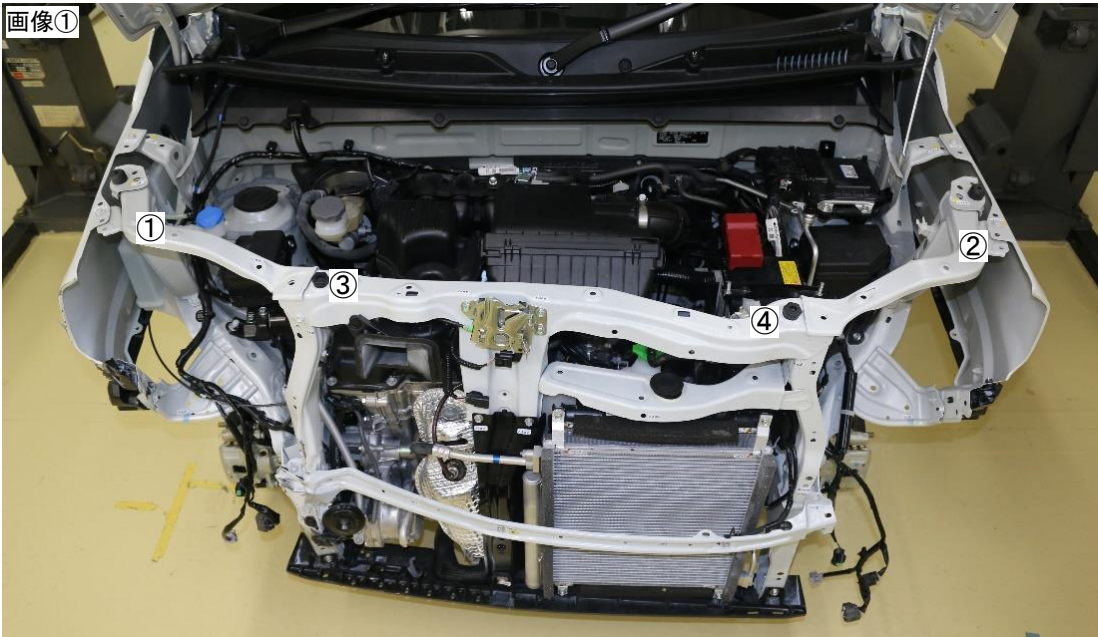
衝突前	衝突後
	
損傷状態	
・左フロントフェンダと左フロントドアの段差が上部で発生し、下部で隙間が狭くなっている。 ・左ヘッドランプ、左ランプサポートメンバからの波及（左方向への押出し）により、①左フロントフェンダ前端部、②中央形状変化部、③後部中央部で、いずれも緩やかなゆがみ損傷が発生している。	

衝突前	衝突後
	画像①  画像②  右ヒンジ部  左ヒンジ部
損傷状態	
画像① 右前部からの力によりフードパネルはフードロック部を中心に右回転するとともに、左右ボンネットヒンジはアーム部が左方向へ変形、損傷が発生している。 画像② 左ボンネットヒンジと左フロントフェンダの締結部を経由した左フロントフェンダ後部への損傷は発生していない。	

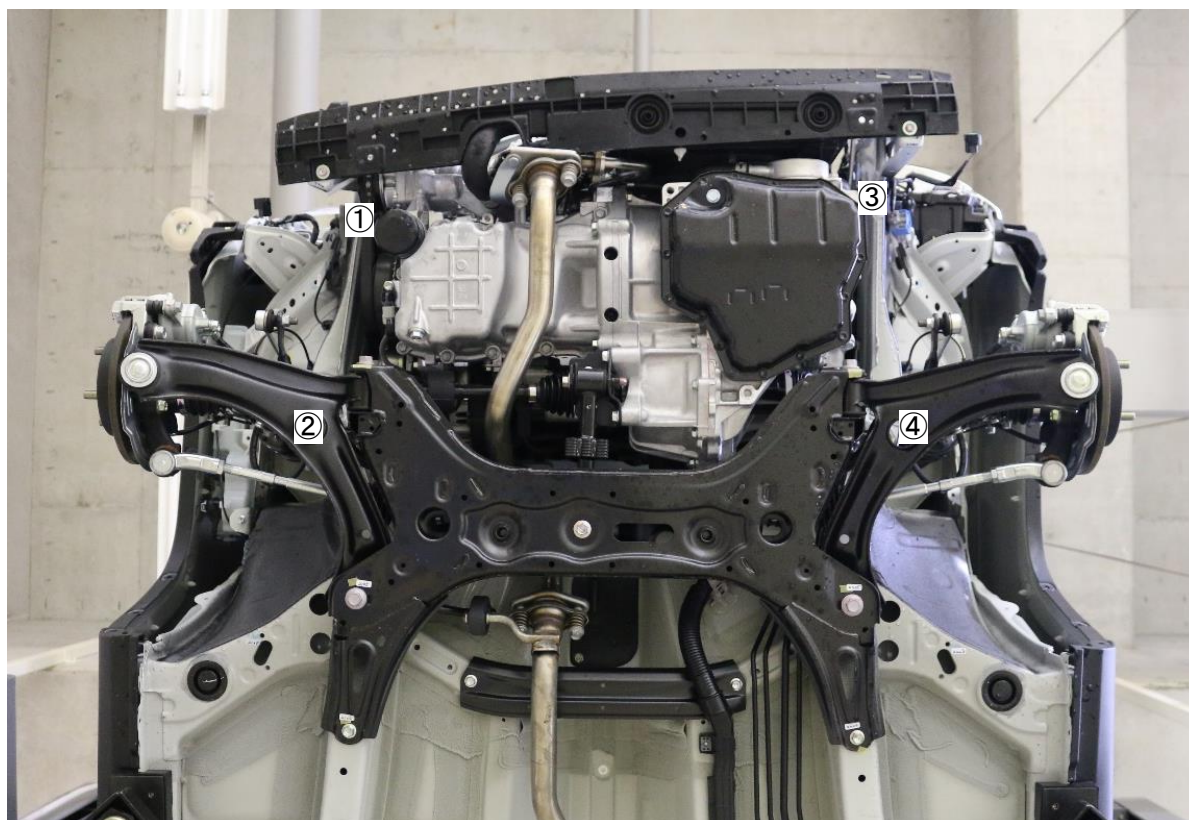
衝突前	衝突後
	画像①  画像② 
	画像③ 
損傷状態	
画像①② 前方右側からの力は、①右フロントサイドメンバの前部の潰れ、②中央部（エンジンマウント後部）での強い折れ、③右フェンダエプロンパネルタワー部での折れ、④ダッシュパネル右側での強い折れが確認できる。 画像③ 左サイドメンバおよびフェンダエプロンは目視での損傷は確認できないが、フードロックメンバ、左ランプサポートメンバ、フロントロアクロスメンバからの波及により左方向への押出し（振れ）が発生している。	

(2) 内板骨格の損傷状態

衝突による内板骨格の損傷状態を計測値や目視確認できる状態を説明します。

衝突後	
	
	
	
損傷状態	
・フロントバンパメンバ右側、フードロックメンバ右側、フロントロアクロスメンバ右側、右フロントサイドメンバ先端部は、相手物からの直接的な押込みにより強い潰れや折れが発生している。押込みによる力の波及範囲は深く、右フロントサイドメンバエンジンマウント後部での強い折れ（画像②）、右フェンダエプロンパネルタワー部の強い潰れ（画像③）、さらにダッシュパネル右側に強い折れ（画像④）が発生している。 ・左右のフロントサイドメンバ先端を強固な部材で締結している構造ではないため、左側への力の分散は小さい。フードロックメンバやフロントロアクロスメンバを介した力は、ダイレクトに左フロントサイドメンバに伝わらないため、サイドメンバからの立ち上がり寸法が長い前後のランプサポート上部では寸法変化が大きいが、左フロントサイドメンバやフェンダエプロンパネルの寸法変化は小さい。	
右（着力）側の状態（画像①）	左側の状態（画像①）
① 右ランプサポートメンバ上部は、後方へ 32mm、左方向へ 28mm、上方向へ 19mm 変化している。 ③ フードロックメンバ右上部は後方へ 53mm、左方向へ 27mm、上方へ 6mm 変化している。	② 左ランプサポートメンバ上部は、前方へ 5mm、左方向へ 22mm、下方向へ 5mm 変化している。 ④ フードロックメンバ左上部は左方向へ 23mm 変化（他は基準値内）している。

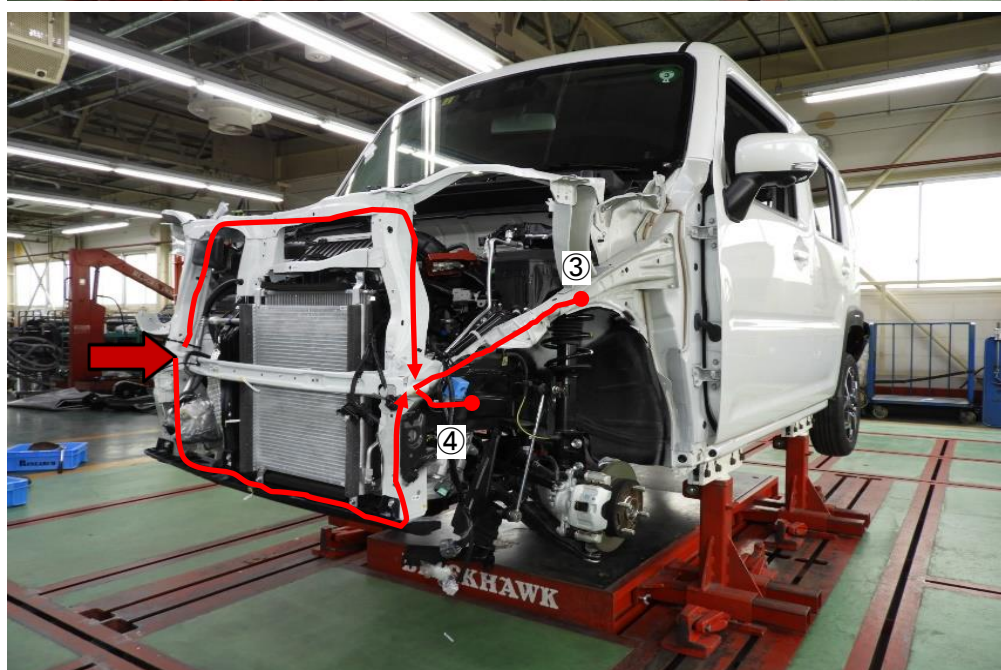
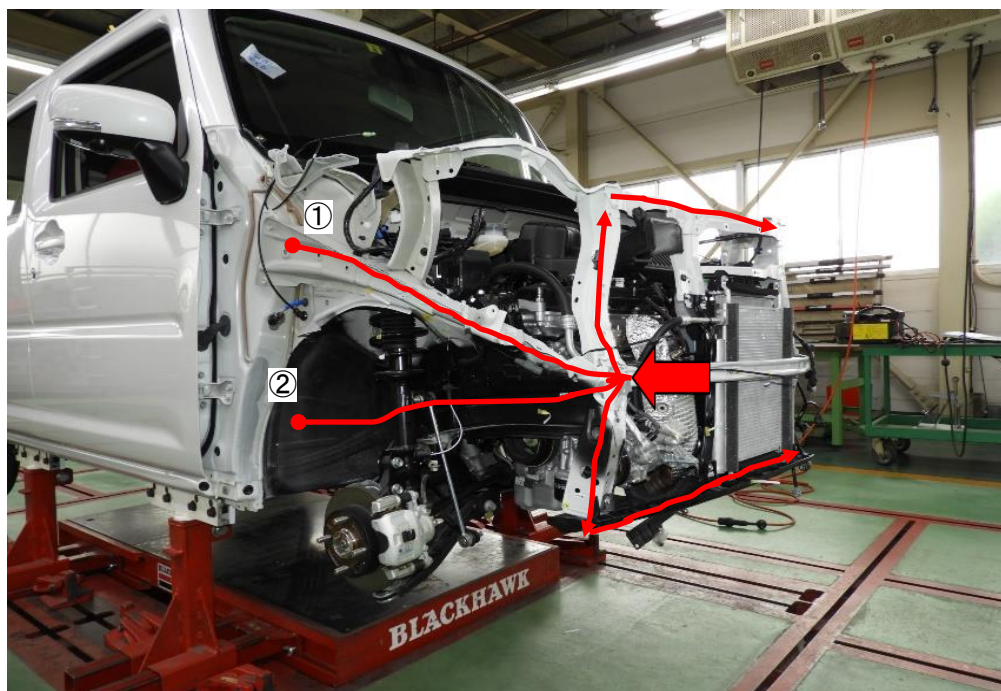
衝突後



右（着力）側の状態	左側の状態
① 右フロントサイドメンバ前部は、後方へ16mm、左方向へ28mm、上方向へ16mm 変化している。 ② 右フロントサイドメンバ中央後部（エンジンマウント後部）は、後方へ9mm、右方向へ4mm、上方向へ6mm 変化している。	③ 左フロントサイドメンバ前部は、左方向へ4mm 変化している。 ④ 右フロントサイドメンバ中央後部（エンジンマウント後部）に修理を要する変化はない。
フロントサスペンションフレーム	
フロントサスペンションフレーム取付けボルトの位置ズレは発生していないが、右前部の取付相手である右フロントサイドメンバが、取付位置付近で大きく折れている。目視による単体のねじれ傾向が確認されることから損傷の可能性が大きく、サスペンション取外後に単体点検を行う。 （単体点検の詳細は後述の修理情報 P.23 を参照）	

4. 力の波及経路と最終波及部位

衝突により内板骨格等に加わる力の経路（ロードパス）を経路別に考察し、最終の波及損傷部位を説明します。



波及経路別：最終波及部位	
① アップロードパス最終波及部位	ダッシュパネル右中央上部
② ミドルロードパス最終波及部位	ダッシュパネル右下部
③ 誘発損傷最終波及部位	左フェンダエプロンパネル中央前部左
④ 誘発損傷最終波及部位	左サイドメンバ前部

5. 損傷特性に関する前型モデルとの比較について

新型ハスラーは前型モデルのプラットフォームを一新、軽量と高剛性を両立させた新世代プラットフォーム「HEARTECT（ハーテクト）」を採用、バックドア、センタピラー、サイドドアで環状構造を形成することで、ボデー全体で剛性を高めています。

フロント部の骨格構造面では、フロントサイドメンバをストレートの箱形形状とすることで、エネルギー吸収量を最大限に確保しています。また、サスペンション部品も骨格の一部として利用しています。

構造・材質、損傷波及状況や範囲の変化（衝突態様は同一）

① 部材の材質、形状

	新型ハスラー(MR92S)	前型ハスラー(MR31S)
フロントバンパメンバ	普通鋼板(440MPa 以内)	未装着
フードロックメンバ	普通鋼板(440MPa 以内)	
フェンダエプロンパネル	フェンダエプロンパネル 高張力鋼板(440MPa) エプロンフロントエクステンション 高張力鋼板(590MPa)	フェンダエプロンパネル 普通鋼板(440MPa 以内) エプロンフロントエクステンション 高張力鋼板(440MPa)
フロントサイドメンバ	エプロンサイドメンバ 高張力鋼板(590MPa) エプロンサイドメンバアウトパネル 高張力鋼板(590MPa)	エプロンサイドメンバ 高張力鋼板(590MPa)
ダッシュパネル	普通鋼板(440MPa 以内)	
フロントサスペンション フレーム	H型ビーム式	

② 波及経路別の最終波及部位

波及経路	新型ハスラー(MR92S)	前型ハスラー(MR31S)
右側：アッパロードパス	ダッシュパネル右中央上部	衝突試験未実施
右側：ミドルロードパス	ダッシュパネル右下部	
右側：ロアロードパス	波及経路なし	
左側：誘発損傷	・左フェンダエプロン中央前部 ・左フロントサイドメンバ前部	

JKC（技術調査部、技術開発部、総務企画部）

修理情報

スズキ ハスラー (MR92S) 前部損傷の復元修理事例

1. 内板骨格の復元修理

(1) 復元を要する部位について

損傷診断の結果、今回の衝突における修正部位は以下のとおりです。修理方法の選択は、実際の車両の損傷状況にもとづき総合的な判断により実施しました。

部位名	衝突後の状態・復元作業の説明
フードロックメンバ 左右ランプサポートメンバ フロントロアクロスメンバ	アッパ、右サイド、ロアクロスメンバに押込みによる折れが発生。左ランプサポートメンバは左方向への変形があり、アッセンブリによる取替えを選択。
右フロントサイドメンバ	先端部での潰れ、エンジンマウント後部での強い折れ、ダッシュパネルへの押込みもあり、ダッシュパネルから前側で分割補給されるインナ側（エプロンサイドメンバ）・アウト側（エプロンサイドメンバアウト）での取替えを選択、残部は修正（基本修正の範囲）
右フェンダエプロンパネル	ストラットタワーの前後部で強い折れが発生している。フロントサイドメンバと共に取替えを選択。
左フロントサイドメンバ 左フェンダエプロンパネル	フードロックメンバ、フロントロアクロスメンバからの波及（誘発損傷）により左方向へ押出し（振れ）損傷が発生、基本修正の範囲。
ダッシュパネル	右フロントサイドメンバ、右フェンダエプロンからの押込みで、右側上下部で折れ、曲がりが発生している。引出し修正（基本修正）と合わせ広範囲な形状修正を要する。
フロントサスペンションフレーム	右フロントサイドメンバの変形にともないねじれ損傷が発生、取替えを選択。

(2) 内板骨格の基本修正、形状修正作業

◇ 基本修正作業概要

作業内容			目的・方法・効果等
基本修正作業	① マウント・デismマウント作業		多方向への強い引き作業が必要なため、4点固定でマウント (フレーム修正機：ブラックホーク・ウイニングアンカ)
	② 事前計測作業		メカ付き状態での測定のため、一部メーカ指定の計測点での測定ができないところもあり、左右や無損傷部位との対比計測などを補完し、損傷状態を把握している。右側の押込みは大きく、左側の振れは小さい。
	③ 寸法復元作業	エンジン・ミッション取外前	一回目 目的 : 右フロントサイドメンバの引出しと左方向への振れの修正を狙ったフロント骨格全体の粗出し クランプ位置 : 右フロントサイドメンバ先端部、フロントバンパメンバ右取付部へチェーン巻付け 引き方向 : 12時方向(やや1時寄り)、水平引き(ラム1本使用)
			二回目 目的 : 引き1回目の目的と合わせ、エンジン、ミッション取外しのための、スペース確保を狙った引き作業 クランプ位置 : 右フロントサイドメンバ先端部、フードロックメンバ右上部 引き方向 : 12時方向、水平引き(ラム2本使用)
			三回目 目的 : エンジン、ミッション取外しのためのスペース確保と合わせ、右フロントサイドメンバの引出しを狙った引き作業 クランプ位置 : 右ランプサポートベース下部 引き方向 : 12時方向、水平引き(ラム1本使用)
		エンジン・ミッション取外後	四回目 目的 : 右フロントサイドメンバ、ダッシュパネルの修正 クランプ位置 : 右フロントサイドメンバエンジンマウント前で粗切り後、先端部を上下にクランプ 引き方向 : 12時方向、下向き引き(ラム1本使用)
			五回目 目的 : 右フロントサイドメンバ、ダッシュパネルの再修正 クランプ位置 : 4回目のクランプ位置をサイドメンバ先端部上下から左右にクランプ位置を変更 引き方向 : 12時方向、下向き引き(ラム1本使用)
			六回目 目的 : 左フロントサイドメンバの左方向への振れ修正 クランプ位置 : 左フロントサイドメンバ先端部 引き方向 : 2時半方向、水平引き(ラム1本使用)

作業内容		目的・方法・効果等
④ 確認計測	一回目	目的：エンジン・ミッション取外し前、フロント骨格部全体の復元状態確認（引き 1～3 回目の結果） 結果：大きな力が右フロントサイドメンバや右フェンダエプロンパネルに伝わらず、フードロックメンバおよびフロントロアクロスメンバの引出し程度にとどまっている。この後、エンジン・ミッション取外し後、詳細な計測を行う。
	二回目	目的：エンジン・ミッション取外し後の再計測（今後の修正方法の検討） 結果：左右フロントサイドメンバとも左方向への振れあり。 特に右フロントサイドメンバは、ダッシュパネルへの押込みにより上方へ大きく持ち上がっているが、ダッシュパネルより後方で修理を要する変化は発生していない。
	三回目	目的：右フロントサイドメンバの復元状態（引き 4 回目の結果） 結果：左方向への振れは復元傾向、持ち上がりは残り、引き不足があり。クランプ位置を変え、再度の引き作業を実施する。
	四回目	目的：右フロントサイドメンバの復元状態（引き 5 回目の結果） 結果：持ち上がりも解消、基準値内を確認。
	五回目	目的：左フロントサイドメンバの振れ復元およびフロント骨格全体の復元状態（引き 6 回目の結果） 結果：左フロントサイドメンバの復元を含めフロント骨格全体の復元状態が基準値内であることを確認。基本修正は完了。 この後、取替部位（右フロントサイドメンバ、右フェンダエプロンパネル）の取外しおよび、基本修正では復元しきれない部位の形状修正（今回はダッシュパネル）を行う。
形状修正作業		ダッシュパネル右側 上部：右フェンダエプロンパネルとの接合部の押込み 下部：右フロントサイドメンバとの接合部の押込みによる外側部の折れ

◇ 基本修正作業内容

① 損傷車両のマウント状態



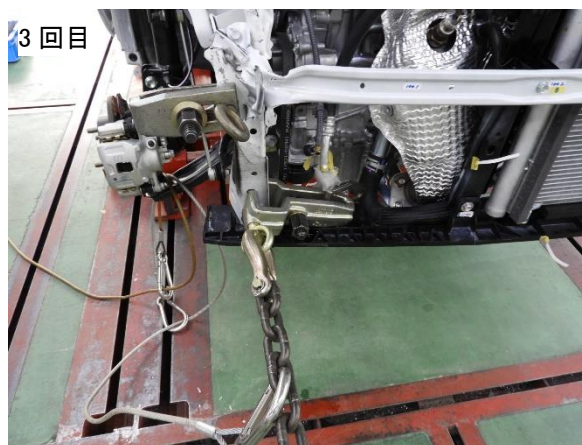
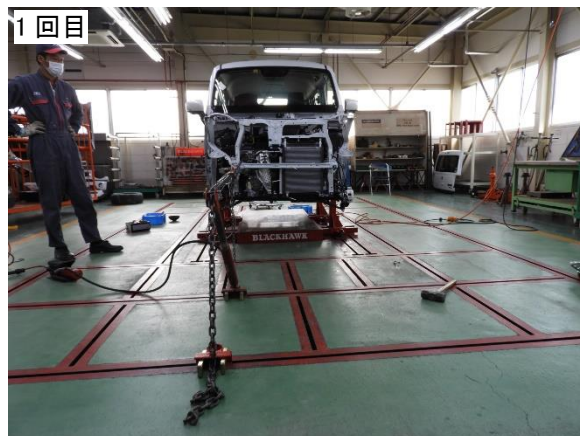
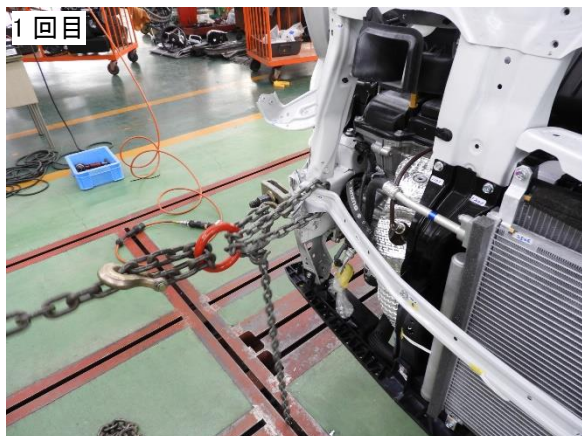
- ・ブラックホーク・ウイニングアンカによる 4 点固定の状態。
- ・多方向へ大きな力で引き作業を行うことが想定される場合、4 点固定が必要。

② 事前計測作業



エンジンやサスペンションが取付状態での計測であるため、全ての計測点での測定ができない。測定可能な計測点および無損傷部位との比較計測などを加え、計測精度を高めている。

③ 寸法復元作業（1～3回目）



基本修正に際し、軽自動車の多くは車体寸法規格内で最大限の室内長（空間）を確保するため、登録車のような強固なバンパメンバ（バンパラインホース）を装着していない。よって、バンパラインホースを直接引き、変形したバンパラインホースの形状を復元することで左右のフロントサイドメンバやフェンダエプロンパネルを修正するといった、押込みと左右部材の振れを同時に修正するといった効果的な修正方法を行うことが難しく、左右個別の修正になる場合が多いと思われる。

- 1回目 右フロントサイドメンバ前端の左右側を 12 時（やや 1 時寄り）水平方向に引き、右フロントサイドメンバ、右フェンダエプロンパネルの押込みの修正を中心に、左方向への振れを修正する。
- 2回目 右フロントサイドメンバ前端の右側とフードロックメンバ右上部を 12 時水平方向に引き、1 回目の修正効果と合わせエンジン、ミッション取外しのためのスペース確保を行う。
- 3回目 右ランプサポートブレース下部を 12 時水平方向に引き、エンジン、ミッション取外しのためのスペース確保と合わせ、右フロントサイドメンバの引出しを行う。

④ 確認計測（1回目）



- ・3回の引き作業における復元状態の確認、右フロントサイドメンバや右フェンダエプロンパネルに大きな力が伝わらず引出しは不十分。
- ・アンダボデーの詳細な状態を確認するため、この後、エンジン・トランスミッション、フロントサスペンション取外し後に再計測を行う。

④ 確認計測（2回目）

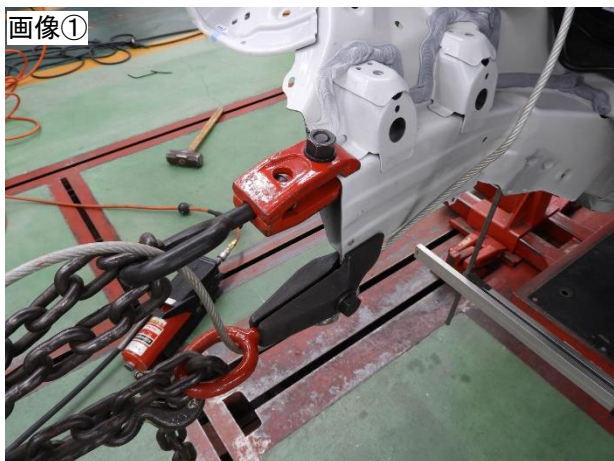


エンジン・トランスミッション、フロントサスペンション取外し後の計測

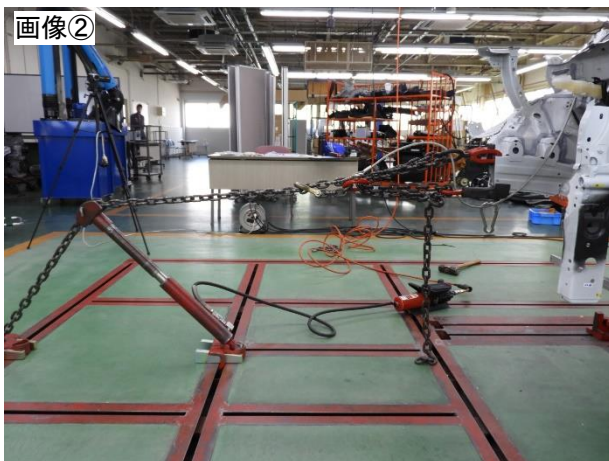
- ・左右フロントサイドメンバとも左方向への振れ残りあり。
- ・特に右フロントサイドメンバは、ダッシュパネルへの押込みにより上方への持ち上がりが残っているが、ダッシュパネルより後方で、修理を要する変化は発生していない。
- ・この後、右フロントサイドメンバを粗切りの上、フロントサイドメンバ、フェンダエプロンパネルの引出しおよびダッシュパネルの修正を行う。

③ 寸法復元作業（4回目）

画像①



画像②



画像③



画像④



画像① エンジンマウント前で粗切り後サイドメンバの上下へクランプ

画像② 12時下方向への引きにより引出しと持ち上がりの修正を行う。

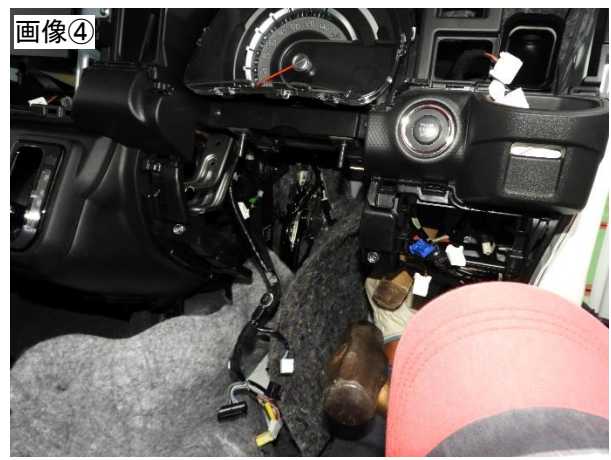
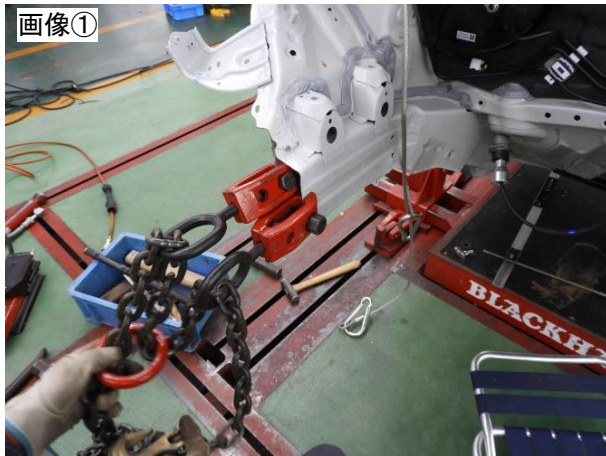
画像③④ フロントサイドメンバ、ダッシュパネルへの空打ちにより残留応力を取除き、スプリングバック量を減少させる。

④ 確認計測（3回目）



4回目の引き作業の結果確認、右フロントサイドメンバは、左方向の振れは復元傾向であるが持ち上がりが解消せず、クランプ位置を変え再度の修正を行う。

③ 寸法復元作業（5回目）



画像① クランプ位置を右フロントサイドメンバの上下から左右に変更。

画像② 12時下方向への引きにより持ち上がりの修正を行う。

画像③ フロントサイドメンバへの空打ちにより残留応力を取除き、スプリングバック量を減少させる。

画像④ ダッシュパネル室内側からの空打ち（粗出し）作業

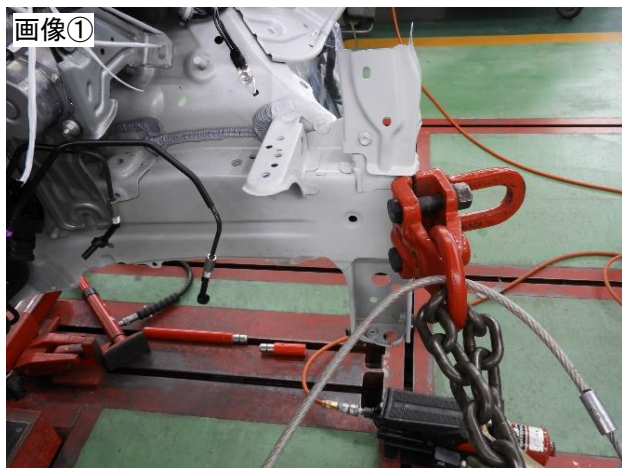
④ 確認計測（4回目）



5回目の引き作業の結果確認、右フロントサイドメンバの持ち上がりは解消、基準値内を確認し、右側の基本修正作業は終了。この後、左フロントサイドメンバの振れ修正を行う。

③ 寸法復元作業（6回目）

画像①



画像②



左フロントサイドメンバの左方向への振れ修正のため、先端内側へクランプ（画像①）の上、2時半方向水平引き（画像②）にて修正を行う。

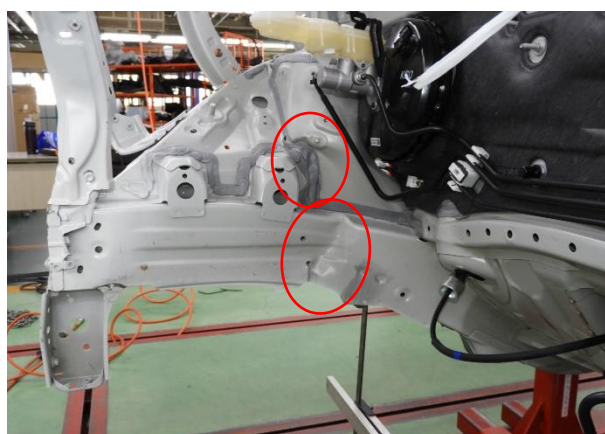
④ 確認計測（5回目）



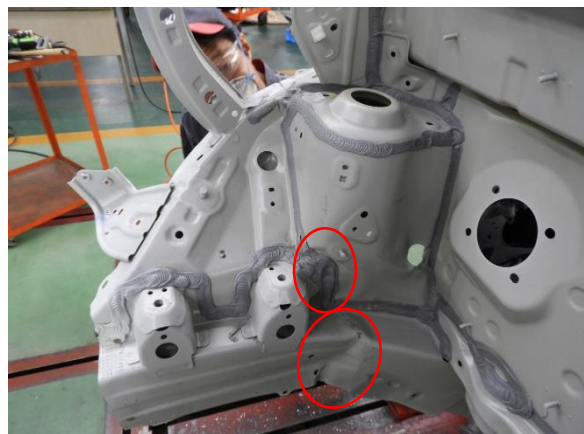
- ・5回目の引き作業の結果確認、左フロントサイドメンバの振れ修正およびフロント骨格全体の復元状態が基準値内であることを確認。基本修正は完了。
- ・この後、取替部位（右フロントサイドメンバ、右フェンダエプロンパネル）の取外しおよび、基本修正では復元しきれない部位の形状修正（今回はダッシュパネル）を行う。

基本修正前後の状態

修正前



修正後



- ・画像上段 右フロントサイドメンバと右フェンダエプロンは取替えですが、取外し前、基本修正の段階で極力寸法復元をしておくことで、新部品組付時ダッシュパネルとの取付面の精度が向上し正規の位置に取付きやすくなる。
- ・画像下段 ダッシュパネルの復元作業においても、フロントサイドメンバおよびフェンダエプロンの引出中の空打ちによる粗修正を行うことで、フェンダエプロンおよびサイドメンバの合わせ面が正規状態に近づくことから、後の形状修正は凹凸の修正が中心となり効率的な作業になる。

◇ 形状修正作業内容

ダッシュパネル形状修正作業

画像①



画像②



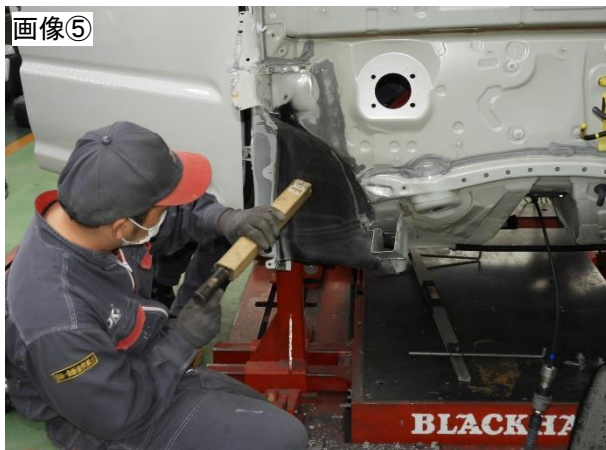
画像③



画像④



画像⑤



画像⑥



ダッシュパネル板金の際、ハンマ・ドリルを一人で扱うことができない場合があります、ハンマ側、ドリル側の二人作業となる場合があります。

画像①② 室内側がハンマ、エンジンルーム側はドリルによる二人作業

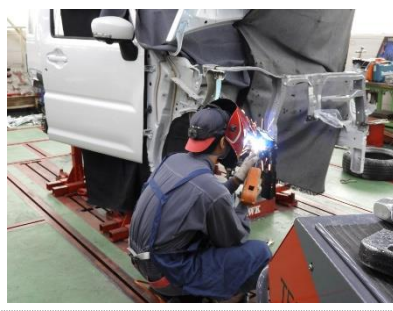
画像③④ エンジンルーム側（画像③）がハンマ、室内側（画像④）はドリルによる二人作業
いずれも声をかけ合い、位置を確認しながら修正を行う。

画像⑤ 一人作業によるダッシュ（ホイールハウス部）の修正

画像⑥ ダッシュパネル形状修正完了

◇ 仮組み・合わせ作業

今回のようなダッシュパネルが大きく押込まれた復元作業では、溶接系骨格パネルを広範囲に取替える場合が多くなります。取替えの際は、各部品を溶接する前に一つずつ部品を正規の位置に組付けるための寸法計測、現物合わせなどを繰り返しながら、正規位置に仮固定を行います。最後に外板パネルや艤装部品を取付け、隙間や段差が正規な状態になることを確認したうえで、再度分解し本溶接を行います。各部品は溶接作業のために取外した場合でも正規の位置に戻れるよう、タッピングスクリューやマーキングなどで位置決めをしておきます。

		
① ダッシュパネル形状修正後の状態	② 右フロントサイドメンバ組付け	③ サイドメンバ計測位置決め
		
④ 右フェンダエプロンパネル組付け	⑤ フェンダエプロン計測位置決め	⑥ フードロックメンバ、フロントロアクロスメンバ組付け
		
⑦ フードロックメンバ計測位置決め	⑧ フード組付け調整	⑨ 左右ヘッドランプ組付け確認
		
⑩ 仮組み・合わせ完了。この後、外板、艤装品分解の上、内板骨格の溶接	⑪ 分解後、内板骨格の溶接固定	

2. フロントサスペンションフレームの単体点検

車上段階で、フロントサスペンションフレームの取付けボルトのズレは見受けられませんでした。右前部取付位置である右フロントサイドメンバに強い折れがあり目視によるねじれ傾向が確認されたことから、単体による点検を実施しました。

フロントサスペンションフレーム単体点検

画像①



画像②



画像③



画像④



画像① 損傷したフロントサスペンションフレーム全景（H型ビーム式）

画像② 平面に置いた状態で左右のガタ（ねじれ）が左右差で 6mm

画像③ 取付けボルト位置、前後方向の点検で左右差 4mm

画像④ 取付けボルト位置、対角方向の点検で左右差 5mm

3. 前部損傷における損傷診断および復元修理のポイント

(1) 損傷診断のための情報収集（構造や材質から損傷特性を考える）

① 軽自動車特有のボデー構造

軽自動車のボデー規格は、一般的な 5 ナンバーサイズのコンパクト車より車体長が 600mm ほど短いわけですが、現在販売の中心になっているボンネットタイプの軽乗用車で（今回のハスラーも）室内長は逆に 200 mm ほど長くなっています。ホイールベースを最大限に広げ、客室外の前後を短くすることで、ボデー規格内で登録車並みの居住性を生み出しています。さらに JNCAP の衝突安全性能評価においても新型登録車と同レベルな高水準での安全評価を得ています。

② 低速衝突における軽自動車特有の損傷特性

損傷特性に関係する車体前部の構造として、全長を抑えるため、フロントバンパ前面が車体前面から張出していない。一般的な登録車のような、バンパカバー後部にエネルギーアブソーバやバンパリインホース、クラッシュボックスなどを装着せず、バンパカバーが直接フロントサイドメンバ前端部やラジエータサポートサポート前面に取付けられる構造になっています。

衝突の力は、バンパエリアでの吸収量が小さくなる分をラジエータサポート、フロントサイドメンバで吸収する構造になっています。また、強固なバンパリインホースを装着していないため、今回のような角度の小さいオフセット衝突では、着力部の後方へ押込む力が大きく、損傷は深部に至る傾向があります。反面、着力部と反対側（今回では左方向）へ振れる力は小さくなり、誘発損傷は小さくなる傾向があります。

③ 損傷特性の違いによる損傷診断のポイント

外観からの観察では、フロントバンパエリアでの変形領域が狭いため、ダッシュパネルを大きく変形させるほどの力が加わっていても、着力部の押込み量（特にバンパエリアの押込み変形量）が小さく見えるため、衝突の力が小さく（有効衝突速度が低く）見える場合があります。

着力部の押込み量は小さめでも、損傷特性を理解した上で、着力の範囲、各パネルの隙間の変化や波及経路に沿った損傷の確認、最終波及部位の特定が必要です。バンパエリアでの衝撃吸収量が小さいため、一定以上の力はフロントサイドメンバやフェンダエプロンパネル、サスペンションフレームで受止める構造であることを念頭に損傷診断を実施することが必要です。

押込みによるダッシュパネルの損傷状態を確認する際、タイヤ側からの確認ではアンダコートが塗布されている場合は、変形状態が分かりにくい傾向があります。室内側から確認すると変形状態が分かりやすくなります。

(2) 復元修理のポイント（構造や材質から復元修理を考える）

① 内板骨格基本修正のポイント

これまでの説明のとおり、今回は右フロントサイドメンバ、右フェンダエプロンパネル、ダッシュパネル右側を中心に、潰れ、折れ、曲がりが発生しました。その内、右フロントサイドメンバと右フェンダエプロンパネルは取替えを選択しましたが、取替えとなるフロントサイドメンバとフェンダエプロンパネルを極力正規の位置（長さ・高さ・幅）まで修正した後ダッシュパネルからの切離しを行う。ダッシュパネルの修正については、メンバ・エプロンの引出し作業中の段階で、空打ちによる確実な粗出し修正を行うことが重要になります。この後の骨格組付け、仮組み・合わせ作業など、完成段階に影響をおよぼすための確な作業が求められます。

② 内板骨格の取替・修正における付随作業範囲の検討

内板骨格部品の取替時に必要となる室内外のメカ部品や艤装部品等の取外し作業に関しては、個々に必要作業の範囲を検討する必要があります。

a. 今回の対象作業

今回の修理における室内外の艤装品の取外しに関係する内板骨格の作業は以下のとおりです。

- ・右フロントサイドメンバ取替
- ・右フェンダエプロンパネル取替
- ・ダッシュパネル右側板金

b. 検討の視点（留意点）

以下の3項目に留意しながら、メカ部品や艤装品の取外し範囲を検討します。

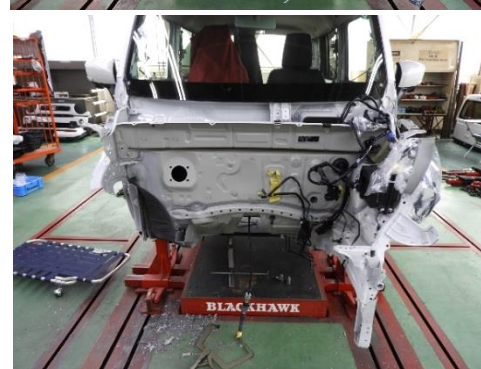
- ・溶接作業や修正作業のためのスペース確保
取替部品の溶接点を、確認・想定する。形状修正を行う場合は、修正作業に必要な作業スペースを考慮したうえで取外し範囲を検討する。
- ・溶接作業における火災防止等、安全性の確保
溶接作業における熱伝導の範囲と溶接スパッタ（溶接中に飛散する溶融金属）を考慮した取外し範囲を検討する。
- ・インシュレータ、マットの構造の違いによる作業範囲の変化
室内側のダッシュインシュレータやフロアマット、エンジンルーム側のダッシュインシュレータなどが、一体式の場合は、めくる・折るなどの作業ができず一体で取外す場合があります。その際、直接作業を行う箇所と大きく離れた部品の取外しが必要となる場合があります。



室内側のインシュレータはめくりが可能



フロントサイドメンバ、フェンダエプロンパネルの溶接痕の状態および位置



エンジンルーム側のダッシュインシュレータ（黒）は一体成型のためめくることができず、全体を取外すため、左側のESPアクチュエータ（上画像黄丸）の取外しが付随作業として必要となる。

技術情報

スズキ ハスラー (MR92S) 後部衝突の損傷診断

1. はじめに

新型スズキハスラー(MR92S)の後部オフセット衝突におけるボデーまわりの損傷診断について説明します。また、前型モデルとの構造や材質の変化についても説明します。

※ 構造説明の詳細については、構造調査シリーズ No.J-858 スズキハスラー、自研センターニュース 2021 年 5 月号、をご参照ください。

2. 後部損傷の衝突態様

衝突の態様は以下の条件で衝突したものです。

衝突イメージ	衝突態様説明
	上下均質かつ平面な、高さ約 0.7m の物体（約 1.4t）と若干の角度をもって衝突している。 衝突速度は低速で、着力部位は車体後面全体の左側 40% の幅で衝突している。

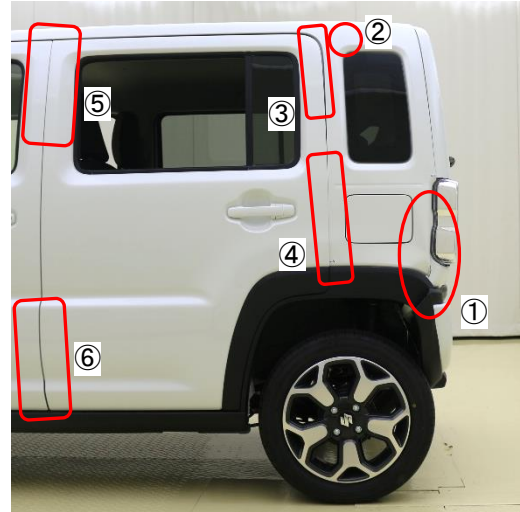
3. 損傷状態の説明

(1) 外観の損傷状態

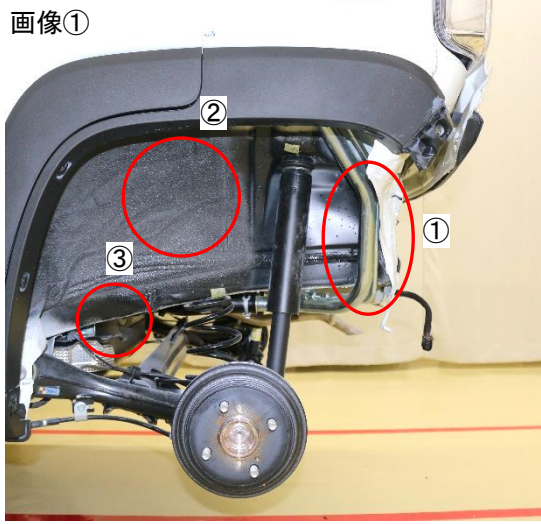
外観から確認した変化について、力の波及経路や変化の状態を説明します。

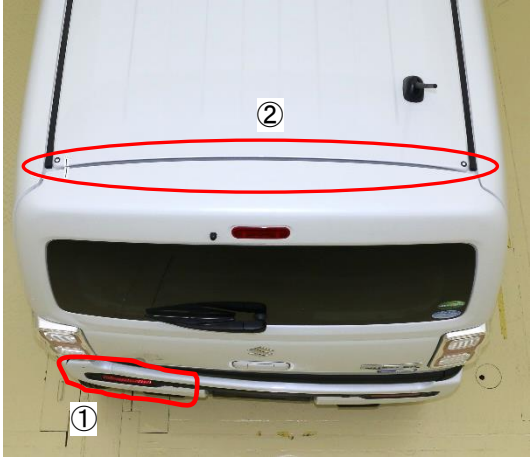
衝突前	衝突後
	

衝突前	衝突後
	
損傷状態	
・後部左寄り約 40%の範囲で相手物と衝突し後部左側が前方に押込まれている。 ・リヤバンパ、バックドアパネルに相手物との衝突による直接損傷が発生している。 ・バックドアパネルの移動にともない左リヤコンビネーションランプに損傷が発生している。	

衝突前	衝突後
	  
損傷状態	
左クォータパネルは、リヤスカートパネル、左リヤコンビネーションアウタハウジング、左クォータインナリヤパネル、左リヤホイールハウスからの波及により①後端部の折れ、②上部のひずみ、③上部での隙間拡大、④下部での隙間減少、⑤上部での隙間減少、⑥下部での隙間拡大が発生している。(左センタピラーへの損傷は発生していない。)	

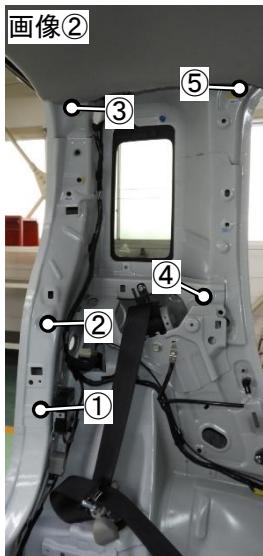
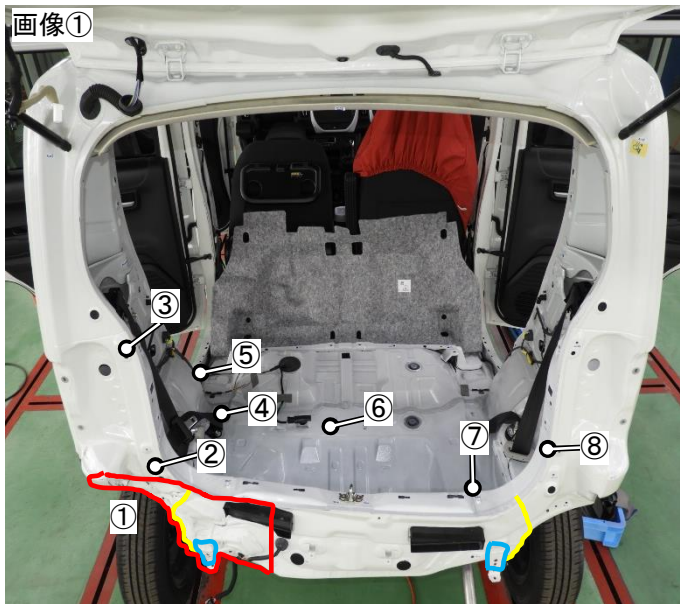
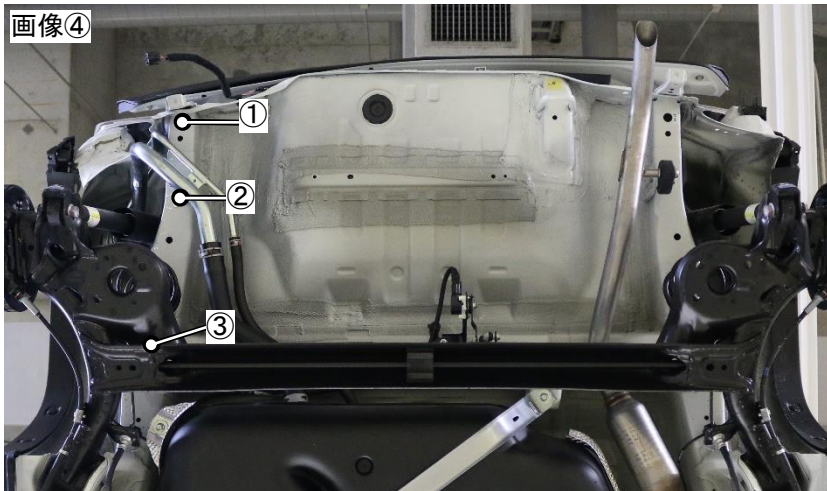
衝突前	衝突後
 	画像①  画像② 
損傷状態	
画像② バックドアパネルと右クォータパネルとの隙間が広がっている（赤丸①）が、右クォータパネル本体に修理を要する変化は発生していない。	

衝突前	衝突後
 	画像①  画像② 
損傷状態	
画像① リヤスカートパネル左側からの押込みで、左リヤフロアサイドメンバ・ホイールハウスインナパネル後端部に折れが発生している（赤丸①）。 波及はさらに深部へ進み、ホイールハウスインナパネル（赤丸②）リヤフロアサイドメンバの形状変化部位にあたるリヤフロアセンタクロスメンバ結合部で持ち上がりが発生している（赤丸③）。目視確認によるリヤフロアサイドメンバ中央部やリヤフロアセンタクロスメンバに折れや曲がりとは認められない。 画像② 右リヤタイヤ側からの右リヤフレーム部の変化は、計測値同様修正を要する変化は発生していない。	

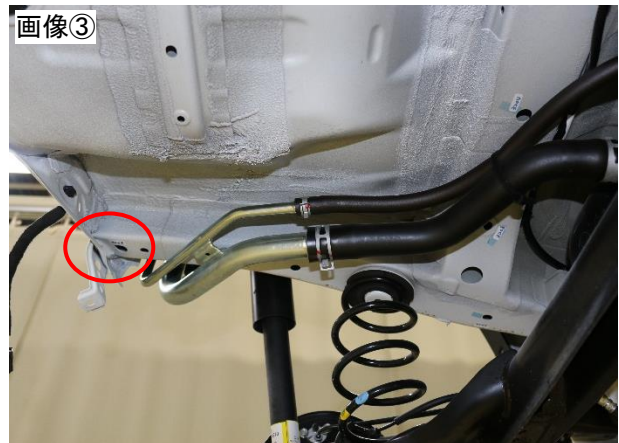
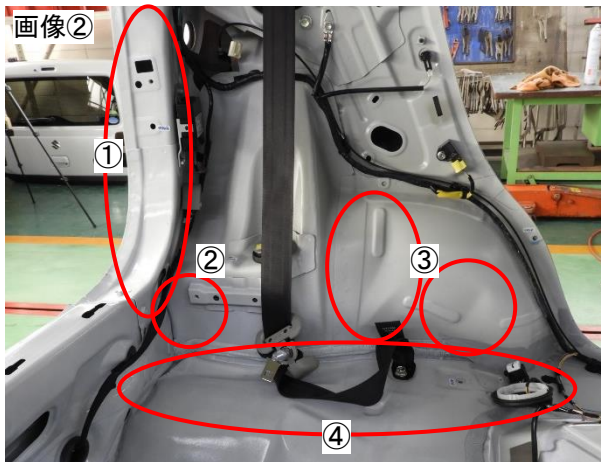
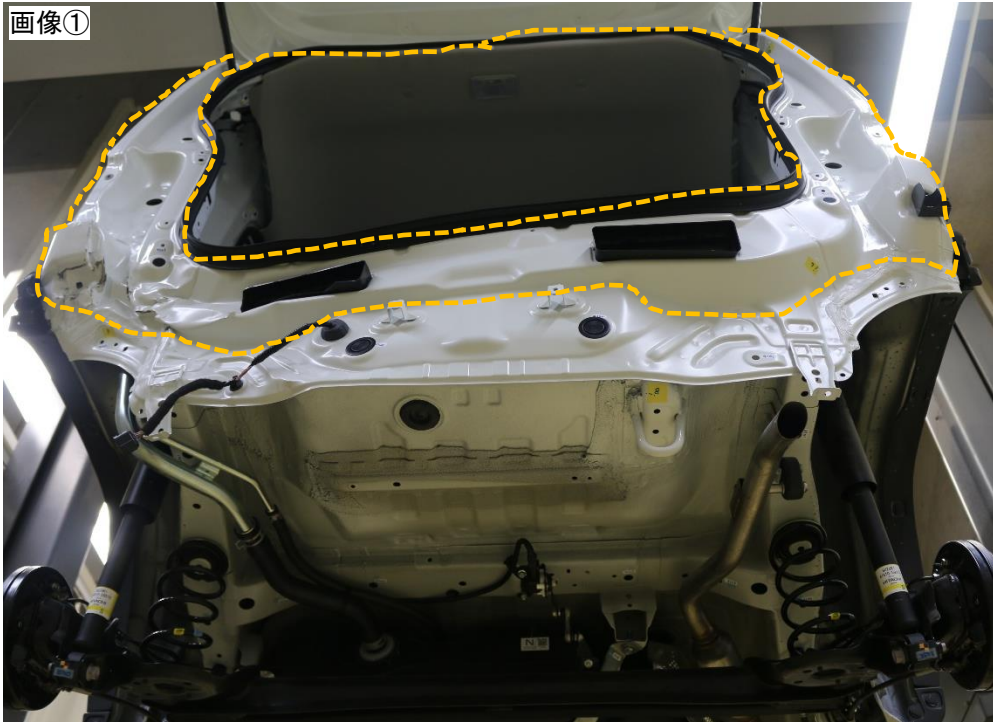
衝突前	衝突後
	
損傷状態	
・リヤバンパ、バックドアパネル左側に潰れや折れが発生している（赤丸①）。 ・テールゲートとルーフパネルとの隙間が広がっているがルーフパネル本体に変化は発生していない（赤丸②）。	

(2) 内板骨格の損傷状態

衝突による内板骨格の損傷状態を計測値や目視確認できる状態を説明します。

衝突後		
		
		
損傷状態		
バックドア開口部（環状構造帯）は、リヤフロアサイドメンバ後端部（画像①の青枠）より後方に張出していることから、今回のような平面物との衝突の場合、直接損傷範囲（画像①赤枠①）がリヤサイドメンバ後端部までおよぶ場合は、環状構造帯は既に広範囲で強い潰れや環状構造帯を波及経路とする波及損傷が発生している可能性が大きい。（画像①の黄線はリヤスカートパネルとリヤコンビネーションアウトハウジングの境界線）		
寸法変化の状態		
画像① ②: 押込みで 40mm 右方向へ 12mm 上方向へ 3mm ③: 押込みで 11mm 右方向へ 4mm ④: 上方向へ 5mm ⑤: 押込みで 4mm 上方向へ 3mm ⑥: 上方向へ 3mm ⑦: 後方向へ 3mm ⑧: 右方向へ 3mm 画像② ①: 押込みで 34mm 上方向へ 3mm ②: 押込みで 20mm 上方向へ 4mm ③: 上方向へ 4mm ④: 押込みで 6mm 上方向へ 6mm ⑤: 上方向へ 5mm 画像③ 修理を要する変化なし。 画像④ ①: 上方向へ 15mm ②: 上方向へ 11mm ③: 上方向へ 5mm 右リヤフロアサイドメンバに修理を要する変化なし。		

衝突後



損傷状態

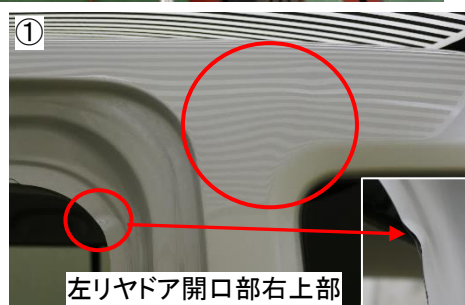
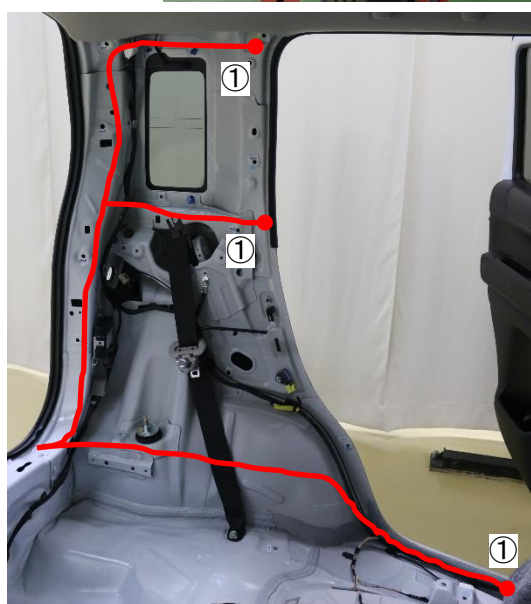
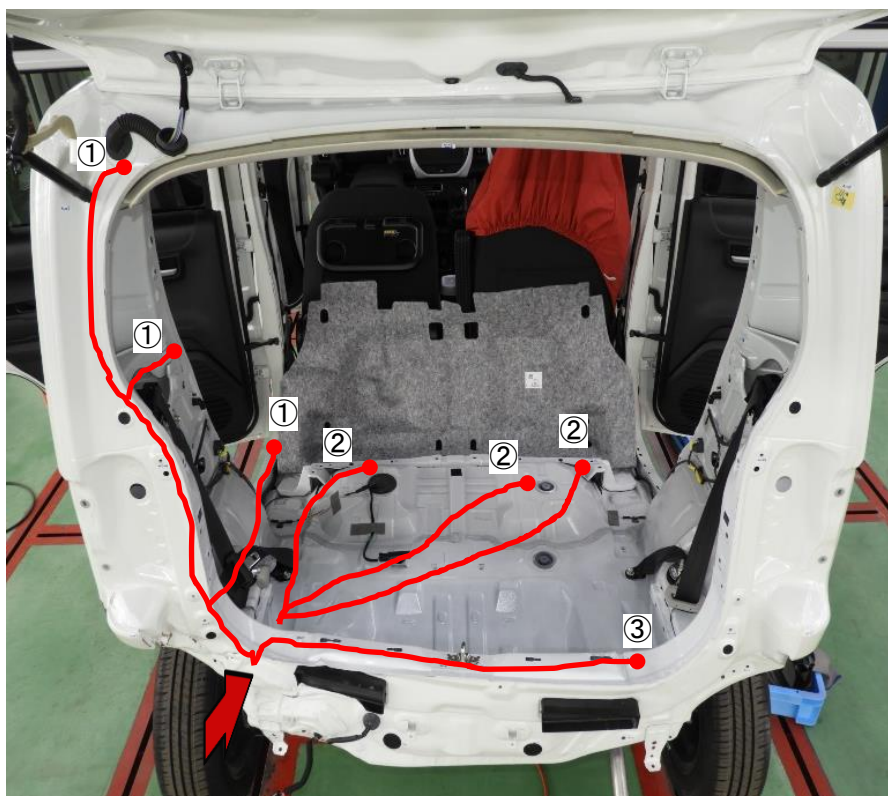
画像① バックドア開口部環状構造部の損傷状態、断面積の大きい環状構造帯は後方に張出している。着力部で大きな力を受止め、潰され押込まれている。

画像② ①環状構造帯のインナ側クォーターインナリヤロアパネルの折れ、②左リヤホイールハウスイナナの損傷は、後端部での折れにとどまらず、③全体が前方向への寸法移動と前部へ波及損傷が発生している。④フロアパネルも広範囲で波及損傷が発生している。

画像③ 左リヤフロアサイドメンバへの直接損傷は後端部の折れにとどまっているが、環状構造部からの波及により、サイドメンバ後部全体が上方向へ持ち上がっている。

4. 力の波及経路と最終波及部位

衝突により内板骨格等に加わる力の経路（ロードパス）を経路別に考察し、最終の波及損傷部位を説明します。



波及経路	最終波及部位
① 開口部左経路 最終波及部位	左クォータパネル、クォータウインド上部 左リヤドア開口部右上部 左リヤドア開口部サイドシル前部
② アンダフロア経路 最終波及部位	リヤフロアフロントパネル前部
③ 開口部右経路 最終波及部位	リヤスカートパネル右端部

5. 損傷特性に関する前型モデルとの比較について

新型ハスラーは前型モデルのプラットフォームを一新、軽量と高剛性を両立させた新世代プラットフォーム「HEARTECT（ハーテクト）」を採用、バックドア、センタピラー、サイドドアで環状構造を形成することで、ボデー全体で剛性を高めています。

リヤ部の骨格構造面では、リヤフロアサイドメンバやクォータインナリヤパネルなどの高張力化による軽量と高剛性化の推進、リヤフロアパネルやクォータインナリヤパネルの細分化補給により修理性を高めています。

(1) 構造・材質、損傷波及状況や範囲の変化（衝突態様は同一）

① 部材の材質・形状

	新型ハスラー(MR92S)	前型ハスラー(MR31S)
リヤバンパラインホース	装着なし	
リヤスカートパネル	普通鋼板(440MPa 未満)	
リヤコンビネーションアウトハウジング		
サイドボデーアウトエクステンション		
クォータインナリヤパネル	上下分割補給 上部：高張力鋼板(590MPa) 下部：普通鋼板(440MPa 未満)	上下一体補給 上部：高張力鋼板(440MPa) 下部：普通鋼板(440MPa 未満)
リヤフロアリヤパネル	普通鋼板(440MPa 未満)	前後一体補給 普通鋼板(440MPa 未満)
リヤフロアフロントパネル		
リヤフロアサイドメンバ	高張力鋼板(590MPa)	前部：高張力鋼板(590MPa) 後部：高張力鋼板(440MPa)
リヤフロアセンタクロスメンバ	高張力鋼板(440MPa)	普通鋼板(440MPa 未満)

② 波及経路別の最終波及部位

波及経路	最終波及部位	
	新型ハスラー(MR92S)	前型ハスラー(MR31S)
・ アンダフロア経路 (リヤフロアサイドメンバ、リヤフロアフロント・リヤパネル、リヤフロアセンタクロスメンバ)	リヤフロアフロントパネル前部	衝突試験未実施
・ バックドア開口部経路 (リヤスカートパネル、クォータインナパネル、ホイールハウスパネル)	左側：クォータインナアツパパネル前部 クォータインナフロントパネル前部	
・ ルーフサイド・リヤアウトサイドパネル経由	左クォータパネル、クォータウインド上部 左リヤドア開口部右上部 左リヤドア開口部サイドシル前部	

JKC (技術調査部、技術開発部、総務企画部)

「構造調査シリーズ」新刊のご案内

自研センターでは新型車について「構造調査シリーズ」を発刊しておりますが、今月は右記新刊をご案内いたしますので、是非ご利用ください。

販売価格：国産車 定価 1,174 円（送料別途）

輸入車 定価 2,263 円（送料別途）

No.	車名	型式
J-894	トヨタ ランドクルーザー	VJA300W、FJA300W 系
J-895	スズキ ワゴンRスマイル	MX81S、MX91S 系

お申込みは、当社ホームページからお願いします。

<https://jikencenter.co.jp/>

お問合せなどにつきましては

自研センター総務企画部までお願いします。

TEL 047-328-9111 FAX 047-327-6737

修理情報

スズキ ハスラー (MR92S) 後部損傷の復元修理事例

1. 内板骨格の復元修理

(1) 復元を要する部位について

損傷診断の結果、今回の衝突における修正部位は以下のとおりです。修理方法の選択は、総合的な判断により実施しました。

なお、溶接接合させているクォータパネルやリヤスカートパネルも本説明の対象としています。

部位名	衝突後の状態・復元作業の説明
リヤスカートパネル	押込みによる大きな折れ、リヤフロアサイドメンバや左リヤホイールハウス引出しのための切開作業が必要。
バックドア開口部 ・ 左リヤコンビネーションアウトハウジング ・ 左クォータインナリヤロアパネル	・ 左リヤコンビネーションアウトハウジングは、下部でリヤバンパからの押込みによる大きな折れがあり取替えを選択。 ・ 左クォータインナリヤロアパネルはリヤスカートパネル左端部と左リヤコンビネーションアウトハウジング下部の内側にあり、リヤホイールハウス後端部のふたをする形状、押込みで折れ、曲がりがあり取替えを選択。
・ 左クォータインナリヤパネル ・ 左クォータインナアッパパネル ・ 左クォータインナフロントパネル	バックドア開口部左下部への押込みにより、前方への押込みと持ち上がり方向への寸法変化が発生、修正を要する。(3 部品とも基本修正の範囲)
・ 右リヤコンビネーションアウトハウジング ・ 右クォータインナリヤロアパネル	リヤスカートパネル右側接合部付近で、右方向への寸法変化が発生、修正を要す。(2 部品とも基本修正の範囲)
左クォータパネル	右リヤコンビネーションアウトハウジング、左リヤホイールハウスアウトパネル接合部で強い折れにより、所定位置でのカット交換、残部となる上部ルーフサイド部、左リヤドア開口部上部で曲がり発生、修正を要する。
・ 左リヤホイールハウスアウトパネル ・ 左リヤホイールハウスインナパネル	左リヤホイールハウスアウトパネルは後部での折れ、左リヤホイールハウスインナパネルは後部の折れと合わせ前部まで波及し、折れ曲がりが発生している。大きな力を受けており、2 部品とも基本・形状修正を要する。
・ リヤフロアリヤパネル ・ リヤフロアフロントパネル	リヤフロアはリヤフロアフロントパネル前方まで広範囲に損傷が発生している。2 部品とも基本・形状修正を要する。
・ 左リヤフロアサイドリヤメンバ ・ 左リヤフロアサイドメンバ	後端部での折れ、クロスメンバ接合部で持ち上がりがあり、リヤメンバの取替えを選択、残部は修正（基本修正の範囲）
リヤフロアリヤクロスメンバ	持ち上がり方向への寸法変化があり修正を要する。(基本修正の範囲)

(2) 内板骨格の修正作業概要（基本修正・形状修正）

作業内容		目的・方法・効果等
基本修正作業	① マウント・ディスマウント作業	多方向への強い引き作業が必要なため、4点固定でマウント（フレーム修正機：ブラックホーク・ウイニングアンカ）
	② 事前計測作業	一部メーカ指定の計測点以外の、左右や無損傷部位との対比計測などを補完し、損傷状態を把握している。
	③ 寸法復元作業	一回目
		目的 : リヤアングダボデーおよびバックドア開口部の寸法復元 クランプ位置 : ①左リヤフロアサイドメンバ後端部、②左クォータインナリヤロアパネル下部の上側、③リヤスカートパネル左上部（環状構造部） 引き方向 : ①は6時半方向下引き、②③は6時方向水平引き（ラム3本使用）
		二回目
		目的 : リヤアングダボデーおよびバックドア開口部の寸法復元 クランプ位置 : 一回目②のクランプを左クォータインナリヤロアパネル下部の下側（左リヤホイールハウスインナ寄り）へ移動、右リヤフロアサイドメンバ後端部へポートパワーでの下支えによる車体の下方向への強い引きに対して、下方への車体の動きを拘束 引き方向 : 1回目同様、①は6時半方向下引き（強め）、②③は6時方向水平引き（ラム3本使用）
		三回目
		目的 : 左リヤホイールハウス、左クォータパネルの位置修正 クランプ位置 : 左クォータインナリヤロアパネル下部の外側（左リヤホイールハウスアウト寄り） 引き方向 : 6時方向水平引き（ラム1本使用）
		四回目
		目的 : 左クォータパネルと左リヤドアの隙間修正 クランプ位置 : クォータパネル後部切開後のアウトパネル開口部 引き方向 : 6時方向水平引き（ラム1本使用）
		五回目
		目的 : 左リヤホイールハウス、左クォータパネルの位置修正 クランプ位置 : 左リヤホイールハウスアウトパネル後端部、左リヤホイールハウスインナパネル後端部 引き方向 : 6時方向水平引き（ラム2本使用）

作業内容		目的・方法・効果等	
基本修正作業	④ 確認計測	一回目	目的：リヤアンダボデーおよびバックドア開口部の復元状態の確認（引き 1 回目の結果） 結果：復元傾向にあるが、全体的に引きは不十分、この後、クォータインナリヤフロアパネル部のクランプ位置を下方方向に移動。左リヤフロアサイドメンバを強く下方方向へ引くため、反対の右リヤフロアサイドメンバ後端下部にポートパワーによる下支えを行い、後部ボデーの下方方向への動きを拘束した再修正を行う。
		二回目	目的：リヤアンダボデーおよびバックドア開口部の復元状態の確認（引き 2 回目の結果） 結果：左右リヤフロアサイドメンバの寸法（高さ、長さ、対角）は基準値内、バックドア開口部の寸法もほぼ基準値内への復元を確認できたが、左リヤホイールハウス（インナ・アウト）、左クォータパネルの位置に前方傾向が残っているためこの後、個別の引き作業を実施する。
		三回目	目的：リヤホイールハウス、左クォータパネルの前方傾向復元の確認（引き 3 回目の結果） 結果：左クォータパネルと左リヤドアの隙間狭く修正は不十分、この後クォータパネル単体での引き作業を実施する。
		四回目	目的：左クォータパネルと左リヤドアの隙間確認（引き 4 回目の結果） 結果：復元傾向にあるが不十分、これまで直接ホイールハウスをクランプできなかったことで、力が分散し引き力に応じた修正ができない。この後取替部品（リヤスカートパネル、左リヤコンビネーションアウトハウジング、左クォータインナリヤフロアパネル、左クォータパネル）の粗切りを行い、ホイールハウス（アウト・インナ）を個別にクランプできる状態にしたうえ引出しを行う。
		五回目	目的：リヤホイールハウス、左クォータパネルの前方傾向復元の確認（引き 5 回目の結果） 結果：左リヤホイールハウスの正規位置への復元とともに左クォータパネルと左リヤドアの隙間が基準値内への復元を確認。 基本修正作業は完了、損傷パネルの取替え、形状修正作業に移る。
	形状修正作業		・リヤフロアリヤパネル板金 ・リヤフロアフロントパネル板金 ・左リヤホイールハウスアウトパネル板金 ・左リヤホイールハウスインナパネル板金

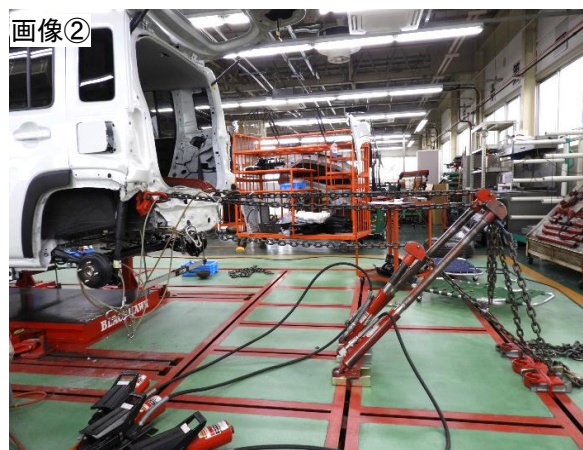
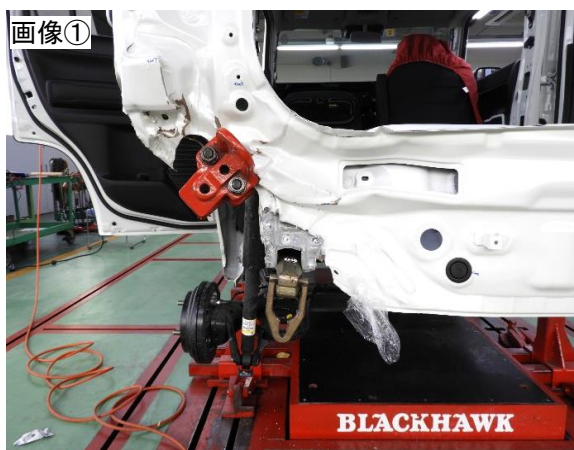
◇ 基本修正作業内容

① 損傷車両のマウント状態



- ・ブラックホーク・ウイニングアンカによる4点固定の状態。
- ・多方向へ大きな力で同時引き作業を行うことが想定される場合、4点固定が必要。

③ 寸法復元作業（1回目）



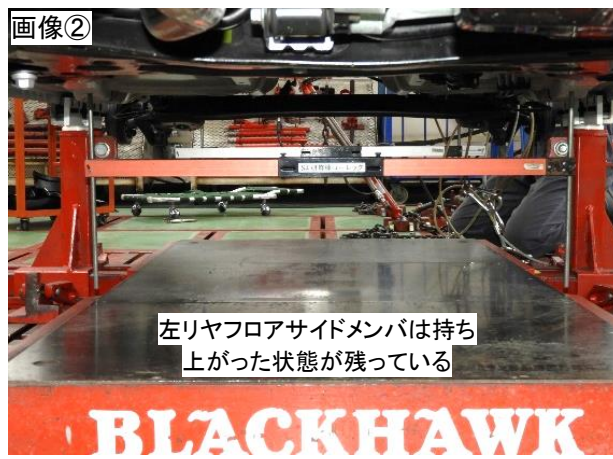
- 画像① 左リヤフロアサイドメンバ後端部および左クォータインナリヤロアパネル下部の上側（左リヤホイールハウスに近い位置）に引き具を取付けるため、リヤスカートパネルの切開を行う。
- 画像② クランプ位置（車両左から①左クォータインナリヤロアパネル下部の上側、②リヤサイドメンバ後端部、③リヤスカートパネル環状構造部）、引き方向（②6時半下方向、①③とも6時水平方向、3本同時引き）
- 画像③④ 空打ちにより、残留応力を取除きスプリングバック量を減少させる。

④ 確認計測（1回目）

画像①



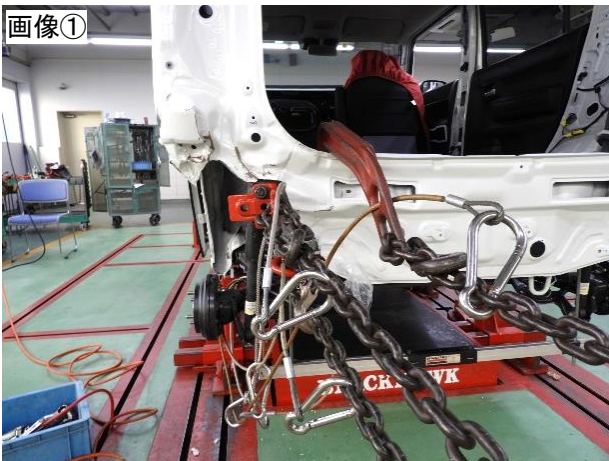
画像②



画像① バックドア開口部引出し状態を確認、復元傾向にあるが不十分、再度の引出しを行う。
 画像② 左リヤフロアサイドメンバは、持ち上がった状態が残っているため再度の修正が必要。
 この後、クォータインナリヤロアパネル部へのクランプ位置を移動させ再度の修正を行う。

③ 寸法復元作業（2回目）

画像①



画像②



画像③



画像④



画像① 左クォータインナリヤロアパネル下部上側のクランプ位置を下側（ホイールハウスインナ側）に移動、左リヤフロアサイドメンバへ下方向への引き力を強めるため、右リヤフロアサイドメンバ後端部下部にポートパワー（画像②黄丸）による下支えを行う。
 画像② 引き方向は1回目と変更なし。
 画像③④ 引き作業中の空打ちにより左リヤサイドメンバおよびバックドア開口部の復元を行う。

④ 確認計測（2回目）

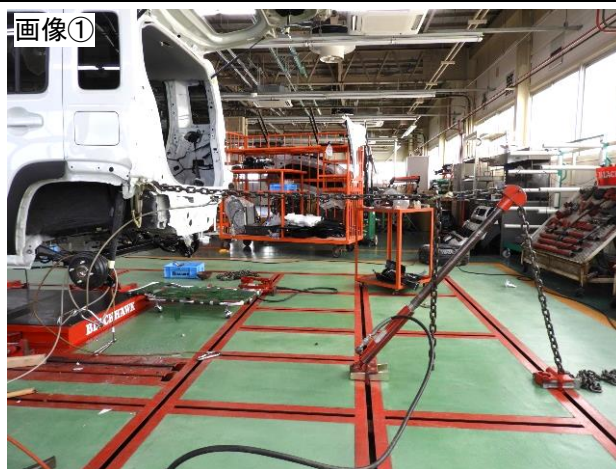


画像①②③ 機器による計測、リヤフロアサイドメンバおよびバックドア開口部の寸法は、基準値内に復元されていることを確認

画像④ テールゲート現物による開口部の復元状態を確認、正常範囲にあることを確認。

左リヤホイールハウス（インナ・アウト）は前方へ押込まれた状態なので、この後リヤホイールハウスおよびクォータパネルの引出し作業を行う。

③ 寸法復元作業（3回目）



リヤホイールハウスおよびクォータパネルの引出し作業

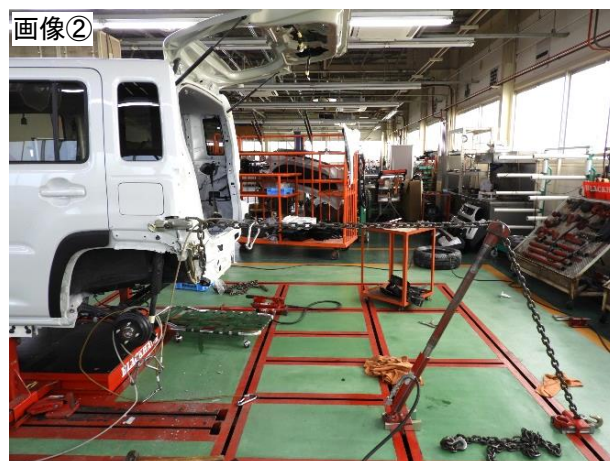
画像① 左クォータインナリヤフロアパネル下部の外側（左リヤホイールハウスアウト寄り）をクランプし6時水平方向へ引き、リヤホイールハウスとクォータパネルを引出す。

画像② 引き作業中、ホイールハウスインナパネルを空打ちし、スプリングバックを減少させる。

③ 寸法復元作業（4 回目）



画像①



画像②

画像① クォータパネル後部を切開しアウトパネルにクランプした状態

画像② クォータパネルを 6 時水平方向へ引きクォータパネルを正規の位置へ復元する。

③ 寸法復元作業（5 回目）



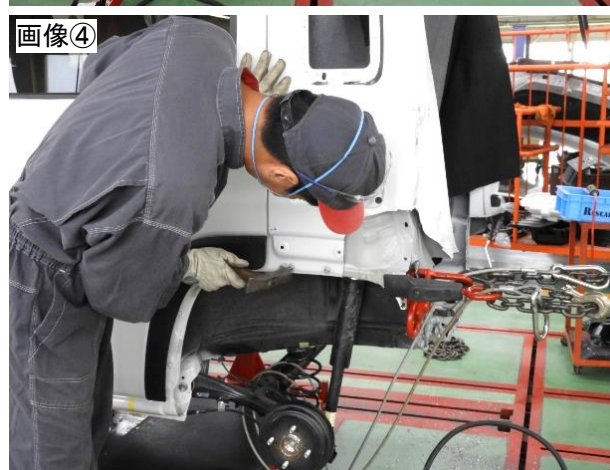
画像①



画像②



画像③



画像④

画像①② これまでの作業では、左リヤホイールハウスに直接力が加わらず、ホイールハウスを正規の位置への復元が不十分と判断し、取替えとなる溶接パネル（リヤスカートパネル、左リヤコンビネーションアウトハウジング、左クォータインナリヤロアパネル、左クォータパネル）を粗切り、左リヤホイールハウス（インナ・アウト）に直接クランプし、引き作業を行う。

画像③④ 空打ちにより、残留応力を取除きホイールハウスのスプリングバック量を減少させる。

④ 確認計測（2～5回目）

画像①



2 回目引き後の状態

画像②



3 回目引き後の状態

画像③



4 回目引き後の状態

画像④



5 回目引き後の状態

各引き作業における左クォータパネルの状態と左リヤドアとの隙間の変化

画像① 2 回目引き作業後の状態、クォータパネルはホイールハウスと共に前方に押込まれている。

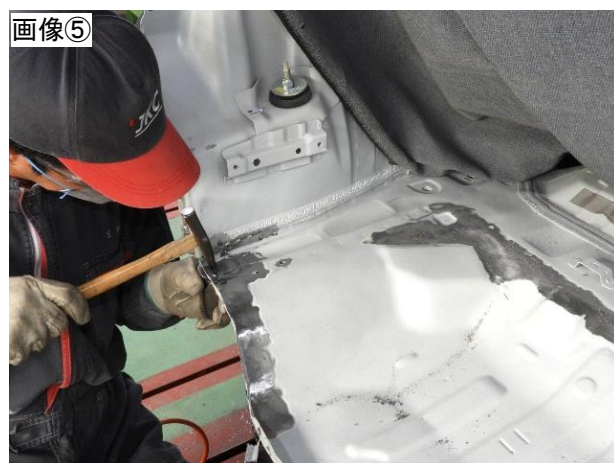
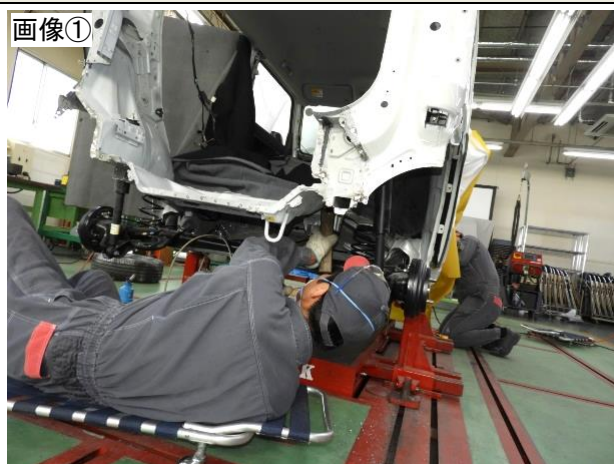
画像② 3 回目引き作業後の状態、クォータパネルはホイールハウスと共に正規位置に復元傾向にあるが、隙間は下部でやや狭い状態。

画像③ 4 回目引き作業後の状態、クォータアウトパネルの引きでは、復元効果は少ない。

画像④ 溶接接合されている周辺パネルを粗切りし、リヤホイールハウス（インナ・アウト）にダイレクトにクランプすることで引き力の分散を抑えることで、引きに応じた修正が可能になる。クォータパネル、ホイールハウスともに正規位置に復元され隙間も基準値内への復元を確認。

◇ 形状修正作業内容

形状修正作業部位



リヤフロアパネル（フロント・リヤ）の形状修正

画像①② リヤフロアフロントパネル後部の形状修正

画像③ リヤフロアリヤパネル前部の形状修正

画像④⑤ リヤフロアリヤパネルの形状修正

画像⑥ リヤフロアパネル（フロント・リヤ）の形状修正完了

形状修正作業部位

画像①



画像②



画像③



画像④



リヤホイールハウス（アウト・インナ）の形状修正

画像① リヤホイールハウスアウトパネルの形状修正作業

画像②③④ リヤホイールハウスアウトパネルの形状修正作業

ホイールハウスインナパネルは、リヤフロア同様深部まで波及し形状修正を要している。

(3) 仮組み・合わせ作業内容

今回のように、多くの溶接系パネルを取替える場合、各部品を溶接する前に一つずつ部品を正規の位置に組付けるための寸法計測、現物合わせなどを繰り返しながら、正規位置に仮固定を行います。最後に外板パネルや艀装品を取付け、隙間や段差が正規な状態になることを確認したうえで、再度分解し本溶接を行います。各部品は溶接作業のために取外した場合でも正規の位置に戻るよう、タッピングスクリューやパネルクリップなどで位置決めをしておきます。

		
① 左リヤフロアサイドリヤメンバ組付け	② リヤメンバ計測位置決め	③ 左クォータインナリヤ組付け
		
④ 左リヤコンビネーションアウトハウジング組付け	⑤ 左クォータインナリヤ、左リヤコンビネーションアウトハウジング計測位置決め	⑥ 左クォータパネル組付け
		
⑦ リヤスカートパネル組付け	⑧ リヤスカートパネル計測位置決め	⑨ バックドアによる現物合わせ調整
		
⑩ リヤバンパやテールランプなど、艀装品を組付け、隙間や段差が正規な状態になることを確認し仮組み・合わせ作業は完了。この後、艀装品、外板パネルを取外し、取替パネルの本溶接を行う。		⑪ 艀装品取外し後の溶接作業

2. 後部損傷における損傷診断および復元修理作業のポイント

(1) 損傷診断のための情報収集（構造や材質から損傷特性を考える）

① 軽自動車特有のボデー構造

前部損傷の中でも説明のとおり、ボデー規格内で登録車並みの居住空間（室内長）を生み出すために、ホイールベースを最大化させることで客室空間を広げ、客室外の寸法を短くする。後部についてもリヤバンパカバー後面を車体後面から張出させない。前部同様バンパエネルギアブソーバやラインホースメント、クラッシュボックスなどを装着せず、リヤバンパカバーがリヤスカートパネルに直接取付けられる構造になっています。

ボデー側では、ホイールベースを最大化することで、リヤホイールハウスがボデー最後部に位置し、車両最後端のパネルでリヤホイールハウス後部のふたをする構造になっています。

衝突の力に対して、バンパエリアで吸収できない力はボデー側で吸収をします。

② 損傷特性の違いによる損傷診断のポイント

今回のような角度の小さいオフセット衝突では、前部損傷と同様、波及損傷が深部（リヤフロアフロントパネル、左リヤドア開口部）に至っていても、外観からの観察ではリヤバンパエリアでの変形領域が狭く着力部の押込み量が小さく見えるため、衝突の力が小さく（有効衝突速度が低く）見える場合があります。着力部の押込み量は小さめでも、損傷特性を理解した上で、着力の範囲、各パネルの隙間の変化や波及経路に沿った損傷の確認、最終波及部位の特定が必要です。今回のような垂直平面な相手物との衝突では、力はボデー最後端に張出しているバックドア開口部（環状構造部）を押しつぶした後にリヤフロアサイドメンバに着力します。環状構造部の左右下部（リヤスカートパネル、コンビネーションアウトハウジング）が押込まれると、内側にあるクォーターインナリヤロアパネルに直接溶接されているホイールハウスインナパネルがリヤフロアサイドフレームより先に押込まれる構造になっています。今回の左リヤホイールハウスインナパネルは前部（左リヤドア開口部付近）にまで形状修正を要する損傷が発生し、左リヤドア開口部下側、左サイドシルセンタピラー付近まで最終波及しました。（詳細は、後部損傷診断章 4. 力の波及経路と最終波及部位を参照）

(2) 内板骨格基本修正のポイント（構造や材質から復元修理を考える）

今回の内板骨格の基本修正は、2 回目の寸法復元作業でバックドア開口部とリヤアンダ（リヤフロアサイドメンバ）の基本修正が完了しましたが、リヤホイールハウスまわりの寸法復元は 4 回目までのクォーターインナリヤロアパネルを経由する間接的な引き作業では、引き力に応じた寸法復元が十分できませんでした。

リヤホイールハウスインナは、構造上後方からの力を直接受けるため、今回のような深部に至る損傷では、ホイールハウスインナパネルに直接引き力を加え、引き力に応じた修正を行うことが必要です。そのためには、周辺パネルの切開や取外しが必要になることから、ボデー構造、波及状態を理解した上での修理計画の策定が必要と思われます。

JKC（技術調査部、技術開発部、総務企画部）

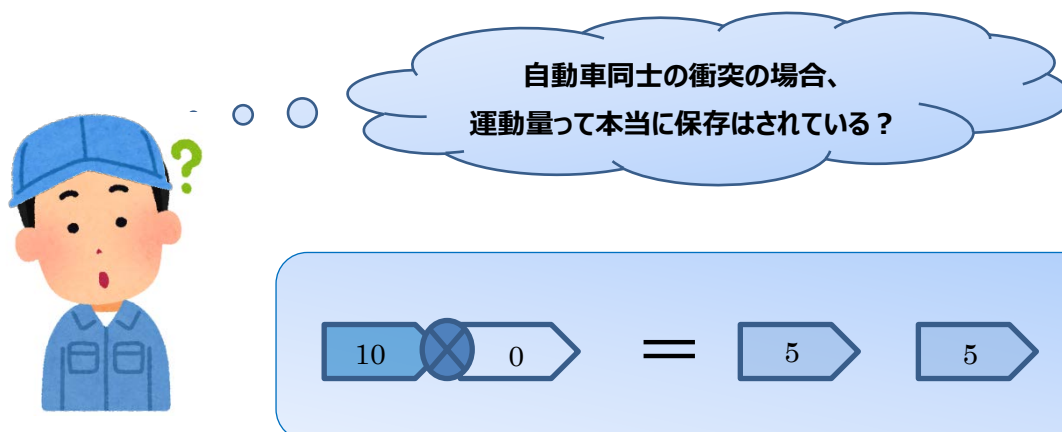
自動車の衝突における 運動量保存の法則の検証

1. はじめに

自動車の衝突は、物理法則に則ると考えられ、この物理法則を利用して衝突前速度を算出する場合など、事故解析の様々な場面で活用されています。

「速度解析」の基本となる運動量保存の法則は、タイヤと路面の摩擦など外的要因のない前提であり、現実の自動車が衝突するケースでは、それらの外的要因が速度解析に影響してしまう可能性があるのではないかと考えました。

今回、自研センターで行った過去の心向き 1 次元衝突実験データを一例として解析し、自動車同士の衝突において、運動量保存の法則が成り立つか検証を行いました。



2. 自動車同士の衝突における、運動量の基本的な考え方

運動量については『実用自動車事故工学～事故の解析と再現～』（江守一郎著：技術書院：1985 年）の 180 ページにおいて、以下のような記述がなされています（自研センターニュース 2013 年 8 月号の再掲載）。

（衝突は）時間的には 0.1 秒から 0.3 秒程度しか持続せず、この短い時間帯に衝突する車両や人間はその速度が急激に変化する。接触している間に加わる衝撃力は考えられないほど大きいもので、時には何 10 トンのオーダーとなる。車両どうしの衝突において車両に加わる衝撃力はタイヤの摩擦力に比べて桁違いに大きいから、力学的原理により、衝突前後を通じて両車両全体の運動量は不変である。

このように、衝突時間はおおよそ 0.1 秒から 0.3 秒程度であり、自動車同士の衝突において、衝突の前後を通じて運動量が変わらないとされています。

3. 衝突の定義

まずは、力学的な内容についてのおさらいです。

衝突という現象を力学では、「物体が他の物体に接触する現象をいい、この接触期間中には運動量の交換が行われる」と定義づけています。ここでいう「運動量の交換」とは、物体は衝突中に速度の変化を起こすことであって、力学ではこれを「速度変化」と呼んでいます。車両衝突を一言でいうと、衝突中の極めて短い時間帯の中で速度変化を起こし、同時に車体には損傷（＝変形）が生成される事象です。重量が同じ場合、速度変化が大きくなれば損傷は大きく、速度変化が小さければ損傷も小さくなります。

4. 運動の法則

（１）運動の第１法則（慣性の法則）

物体は外から力が加わらなければ、静止しているものは静止の状態を続け、また、動いているときは等速直線運動を続けます。このように、どんな物体でも現在行っている運動（または静止）の状態を続けようとする性質があります。

（２）運動の第２法則（力・質量・加速度の法則）

物体に力が作用すると、力が作用している間は物体に加速度が加わり、加速度 α は力 F と同じ向きで、その大きさは力の大きさに比例し、物体の質量 m に反比例します。

$$F = m\alpha \quad (\text{力} = \text{質量} \times \text{加速度})$$

（３）運動の第３法則（作用・反作用の法則）

２つの物体 A と B があり、 A が B に力 F をおよぼしているとき、 A が B から受ける力 F' は F と大きさは同じで、向きが逆向きです。

例えば、大型貨物車と軽自動車の衝突事故において、衝突している間はこの２台の車両は、作用反作用の法則にしたがって力をおよぼし合っています。つまり、軽自動車が受ける力と大型貨物車が受ける力は等しく、向きが反対となります。

【要点整理】

- ア. 作用があれば反作用がある。
- イ. 作用と反作用の力の大きさは同じである。
- ウ. 力の向きは逆向きである。

5. 運動量とは

運動量とは、物体の運動状態を表す物理量であり、対象となる物体の質量と速度の積として定義されます。また、ベクトルで表すことのできる方向性をもつ物理量です。

例えば、質量 $m[\text{kg}]$ の自動車が速度 $v[\text{km/h}]$ で走行している場合、その自動車がもつ運動量は $m \cdot v$ により算出できます。

6. 運動量保存の法則

質量 m_1 、 m_2 の2つの物体A、Bが同じ方向に運動している（下図イ）。Aのほうが速度が速く（ $v_1 > v_2$ ）、衝突した後は速度がそれぞれ u_1 、 u_2 に変化するものとする（下図ハ）。A、Bの衝突のときには、わずかな時間 t の間に互いに F の力を作用し合う（下図ロ）が、その他の力は作用していないものとする、物体について運動量と力積の関係は、（運動量の変化）＝（ $F t$ ：力積）であるから、以下のようになります。

$$(1) \quad Ft = m_1 (u_1 - v_1) \quad (v_1: \text{物体Aの衝突前速度、} u_1: \text{物体Aの衝突後速度}) \quad \text{式(1-1)}$$

$$(2) \quad Ft = m_2 (u_2 - v_2) \quad (v_2: \text{物体Bの衝突前速度、} u_2: \text{物体Bの衝突後速度}) \quad \text{式(1-2)}$$

(3) 式(1-2)を式(1-1)に代入して、

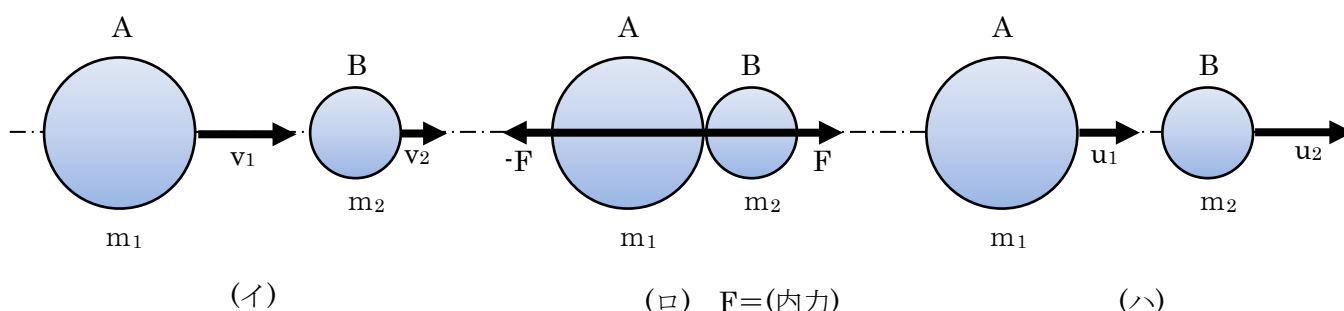
$$(4) \quad m_1 v_1 + m_2 v_2 \quad (\text{衝突前の運動量の和}) = m_1 u_1 + m_2 u_2 \quad (\text{衝突後の運動量の和}) \quad \text{式(1-3)}$$

となります。

この式の左辺は衝突する前の2つの物体の運動量の和であり、右辺は衝突して相互に力をおよぼし合った後の運動量の和です。

以上のことから「2つの物体に外部から力が働かないで、内力だけが働くときは、この2つの物体の運動量の和は一定に保たれる」という定義が成立します。これを「運動量保存の法則」といいます。

（外部からの力とは、主にタイヤと路面の摩擦などが含まれます。）



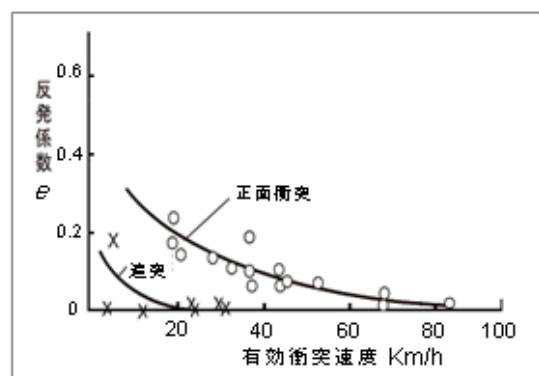
7. 反発係数

(1) 自動車の衝突と反発係数

$$e = \frac{u_2 - u_1}{v_1 - v_2} \quad \text{式(2-1)}$$

（衝突前 v_1 、 v_2 衝突後 u_1 、 u_2 ）

自動車同士の衝突の場合は、自動車の種類や衝突形態によって反発係数が変化しますが、衝突速度が小さいと弾性衝突の傾向を示し、衝突速度が大きくなるにしたがって、完全非弾性衝突（塑性衝突）に近づくことが過去の実験結果から分かっています。



衝突速度と反発係数との関係

(2) 衝突による速度変化

物体 A と物体 B の速度変化は、前述の式 (1-3) (2-1) を連立させ、式 (2-2) (2-3) のように求めます。

$$u_1 = v_1 - \frac{m_2(1+e)}{m_1+m_2}(v_1 - v_2) \quad \text{式(2-2)}$$

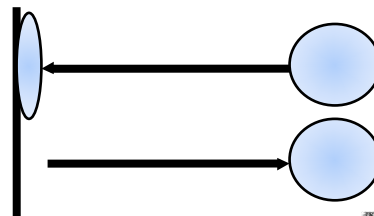
$$u_2 = v_2 + \frac{m_1(1+e)}{m_1+m_2}(v_1 - v_2) \quad \text{式(2-3)}$$

式 (2-2) (2-3) より、低速度の衝突では、衝突前の 2 物体の速度差は同じでも、速度変化は各々の物体の質量と反発係数によって異なることが分かります。

8. 弾性衝突と塑性衝突

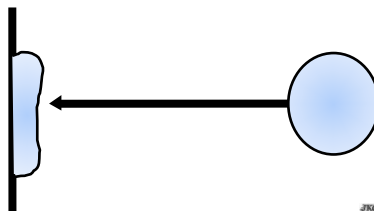
(1) ゴムまりの衝突

ゴムまりを壁に投げつけると、投げたときとほとんど変わらない速さで跳ね返ってきます。このように衝突によって変形をともなわず跳ね返ってくる衝突は、反発係数が「1」となる弾性衝突（完全弾性衝突）といいます。



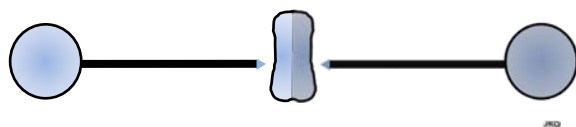
(2) 粘土ボールの衝突

一方、粘土で作ったボールを壁に投げつけて衝突させると、ほとんど跳ね返ることなく、変形してしまいます。このように反発係数が「0」となる衝突を塑性衝突といいます。



(3) 参考

例えば、同質量の粘土玉（完全塑性体）A、B を同速度で衝突させた場合は、衝突の結果、運動エネルギーは完全に塑性変形の仕事により消費し両者ともに衝突地点に停止します。



運動量保存の法則の公式 $m_1v_1 + m_2v_2 = m_1u_1 + m_2u_2$ 式(1-3)へ $v_1 = -v_2$ 、 $u_1 = u_2 = 0$ を代入すると両辺は 0 となり、運動量保存の法則はこの場合にも成り立ちます。つまり、エネルギーロス、変形の大小とは無関係に運動量保存の法則は成り立つことになります。

9. 有効衝突速度

自動車は衝突し力をおよぼし合う時間は、衝突形態により異なりますが、一般に概ね0.1～0.3秒であるといわれ、この衝突期間中で衝突相手物と一瞬同速度（VC）になるとことがあります。

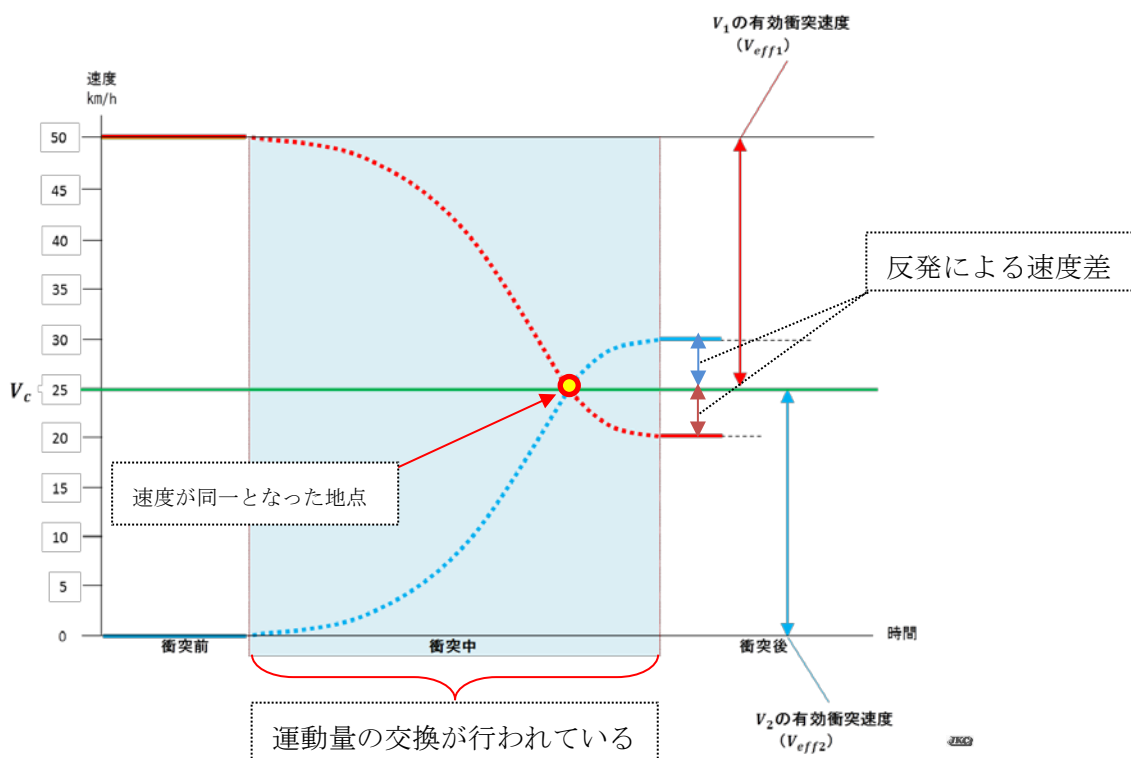
この衝突直前の速度と衝突中に衝突相手物と同速度になったときの速度変化（Veff）を、有効衝突速度といいます。

損傷自動車の損傷程度（変形量）が、この車両をコンクリート壁（剛体壁）に衝突させた場合、どの程度の速度に相当する損傷（変形量）かという考え方をを用いて損傷自動車の変形量を速度に換算したものを、有効衝突速度またはバリア換算速度といいます。

$$V_{\text{eff.1}} = \frac{m_2}{m_1 + m_2} (v_1 - v_2) \quad \text{式 (3-1)}$$

$$V_{\text{eff.2}} = \frac{m_1}{m_1 + m_2} (v_1 - v_2) \quad \text{式 (3-2)}$$

例えば、50 km/h で走行中の車が、停止中の車に衝突した場合には、下記グラフのように表されます。



10. 衝突実験

今回は 140 系カローラアクシオと 140 系カローラフィールダーを用いた心向き 1 次元衝突実験です。
停止中のカローラフィールダーに約 35km/h でカローラアクシオを追突させています。

【事例】 カローラアクシオ VS カローラフィールダーの心向き 1 次元衝突実験



(1) 実験に使用した車両データ

今回の実験で使用した 2 台の車両情報を以下に示します。

	走行車両（追突車）	停止車両（被追突車）
①車 名	カローラアクシオ	カローラフィールダー
②初度登録	H20. 2	H19. 10
③型 式	NZE141-AEXEK	NZE141-AWXNK-J
④車重（実測値）	1, 139kg	1, 162kg
⑤その他装備	スペアタイヤ（T125/70D16）	スペアタイヤ（T125/70D16）

(2) 実験の前提条件

実験の前提条件を以下に示します。

	走行車両（追突車）	停止車両（被追突車）
①制 動	なし	なし
②シフトギア	N	N
③衝突形態	【心向き 1 次元衝突】	

(3) 衝突データ

以下に、衝突データを示します。左側に速度と時間経過を示したグラフと右側にその時の衝突状態を示す画像で衝突の様子を時系列で確認してみましょう。

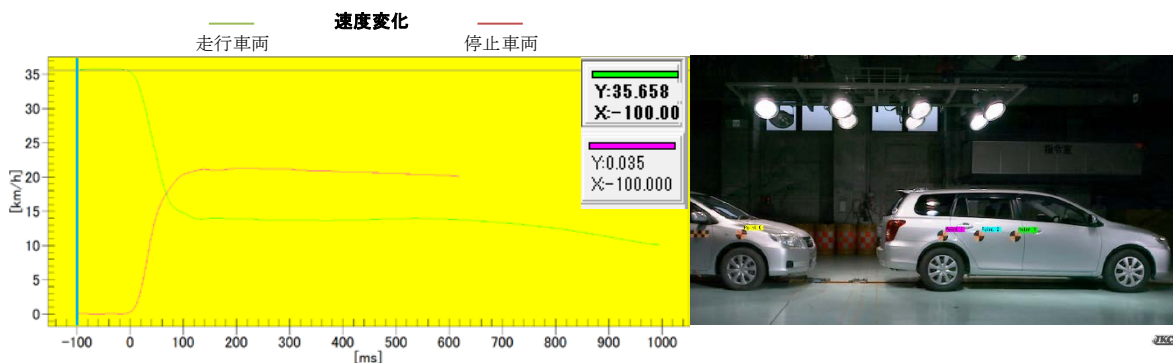
グラフの見方

左側のグラフは X(横)軸：時間、
Y(縦)軸：速度を表示。

中央の数値は両車の速度
(km/h)と時間(秒)を表示

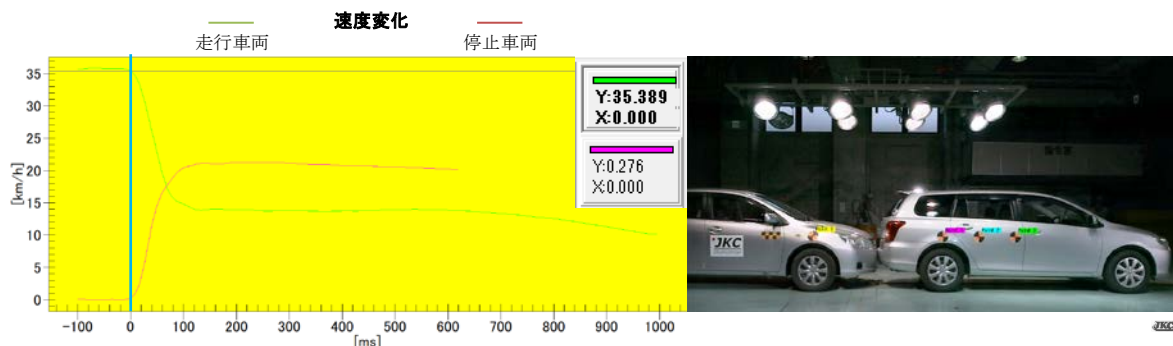
右側の写真は、左のグラフの
際の静止画を表示。

衝突前
【0.1 秒】



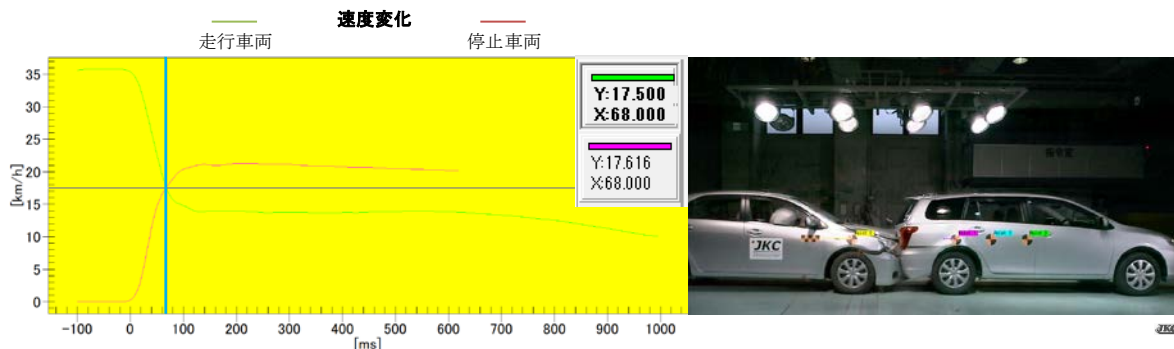
実験の様子	35.66km/h で等速直線運動してきた車両が停止車両に接近。 速度差は 35.66km/h
走行車両の運動量	$35.66\text{km/h} \times 1139\text{kg} \div 3.6(\text{秒速換算}) \div 11282\text{kg} \cdot \text{m/s}$
停止車両の運動量	$0\text{km/h} \times 1162\text{kg} \div 3.6(\text{秒速換算}) = 0\text{kg} \cdot \text{m/s}$
運動量の総和	$11282\text{kg} \cdot \text{m/s} + 0\text{kg} \cdot \text{m/s} = 11282\text{kg} \cdot \text{m/s}$

衝突
【0 秒】



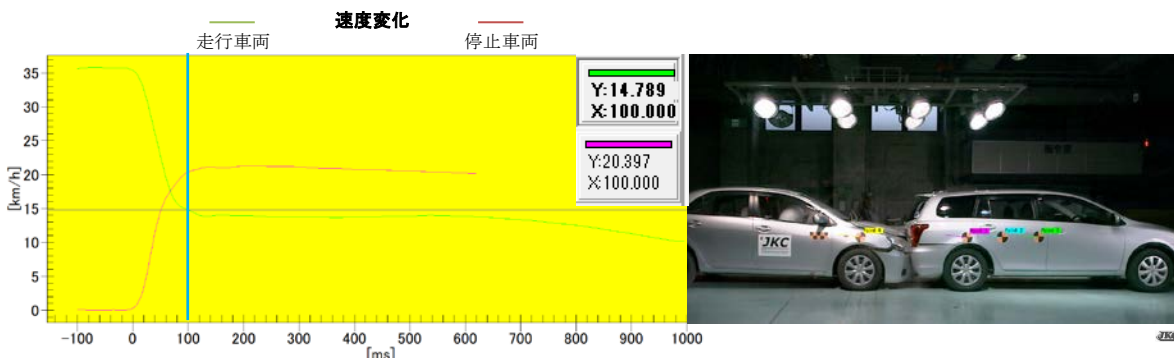
実験の様子	走行車両と停止車両が接触。速度差は 35.39km/h
走行車両の運動量	$35.39\text{km/h} \times 1139\text{kg} \div 3.6(\text{秒速換算}) \div 11197\text{kg} \cdot \text{m/s}$
停止車両の運動量	$0\text{km/h} \times 1162\text{kg} \div 3.6(\text{秒速換算}) = 0\text{kg} \cdot \text{m/s}$
運動量の総和	$11197\text{kg} \cdot \text{m/s} + 0\text{kg} \cdot \text{m/s} = 11197\text{kg} \cdot \text{m/s}$

衝突中
【同速】



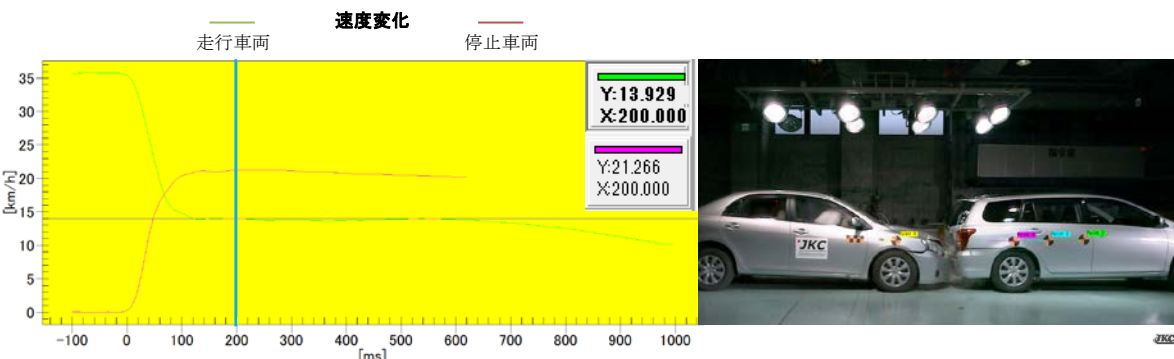
実験の様子	走行車両と停止車両の運動量に変化し、同速度となった。速度差 0km/h
走行車両の運動量	$17.50\text{km/h} \times 1139\text{kg} \div 3.6(\text{秒速換算}) \div 5537\text{kg} \cdot \text{m/s}$
停止車両の運動量	$17.62\text{km/h} \times 1162\text{kg} \div 3.6(\text{秒速換算}) \div 5687\text{kg} \cdot \text{m/s}$
運動量の総和	$5537\text{kg} \cdot \text{m/s} + 5687\text{kg} \cdot \text{m/s} = 11224\text{kg} \cdot \text{m/s}$

衝突中
【0.1 秒】



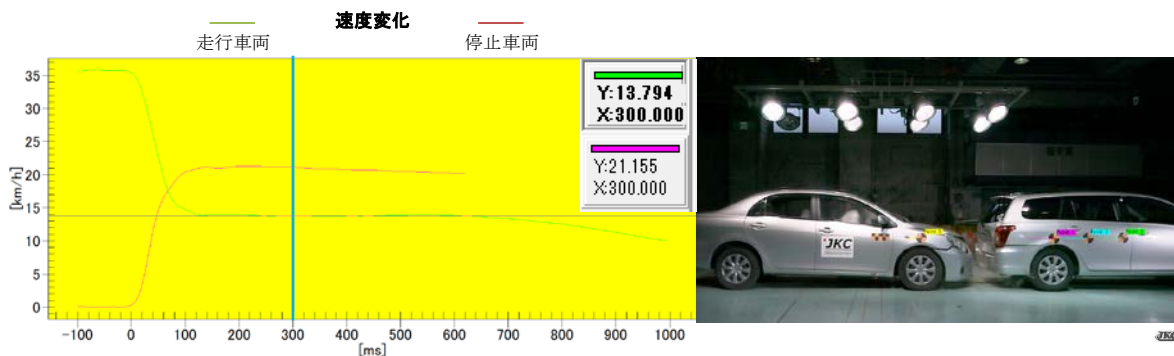
実験の様子	走行車両と停止車両が反発により離れ始めている。速度差 5.61km/h
走行車両の運動量	$14.79\text{km/h} \times 1139\text{kg} \div 3.6(\text{秒速換算}) \div 4679\text{kg} \cdot \text{m/s}$
停止車両の運動量	$20.40\text{km/h} \times 1162\text{kg} \div 3.6(\text{秒速換算}) \div 6585\text{kg} \cdot \text{m/s}$
運動量の総和	$4679\text{kg} \cdot \text{m/s} + 6585\text{kg} \cdot \text{m/s} = 11264\text{kg} \cdot \text{m/s}$

衝突後
【0.2 秒】



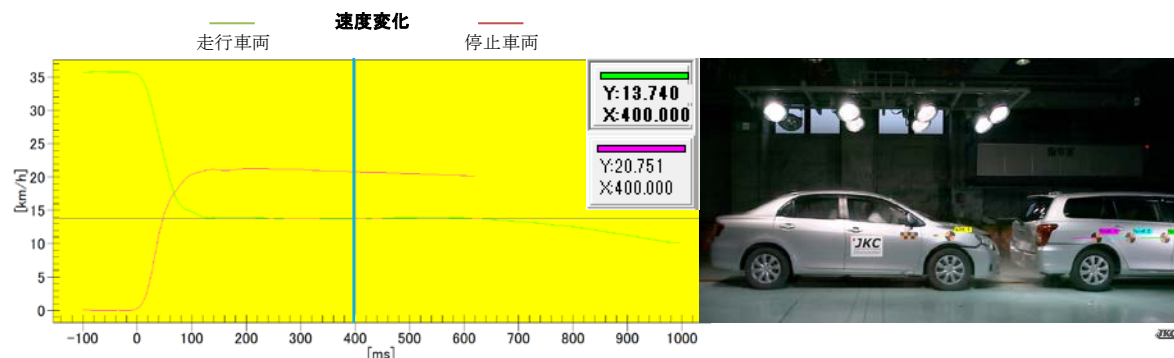
実験の様子	走行車両と停止車両が反発により離れている。速度差 7.34km/h
走行車両の運動量	$13.93\text{km/h} \times 1139\text{kg} \div 3.6(\text{秒速換算}) \div 4407\text{kg} \cdot \text{m/s}$
停止車両の運動量	$21.27\text{km/h} \times 1162\text{kg} \div 3.6(\text{秒速換算}) \div 6865\text{kg} \cdot \text{m/s}$
運動量の総和	$4407\text{kg} \cdot \text{m/s} + 6865\text{kg} \cdot \text{m/s} = 11272\text{kg} \cdot \text{m/s}$

衝突後
【0.3 秒】



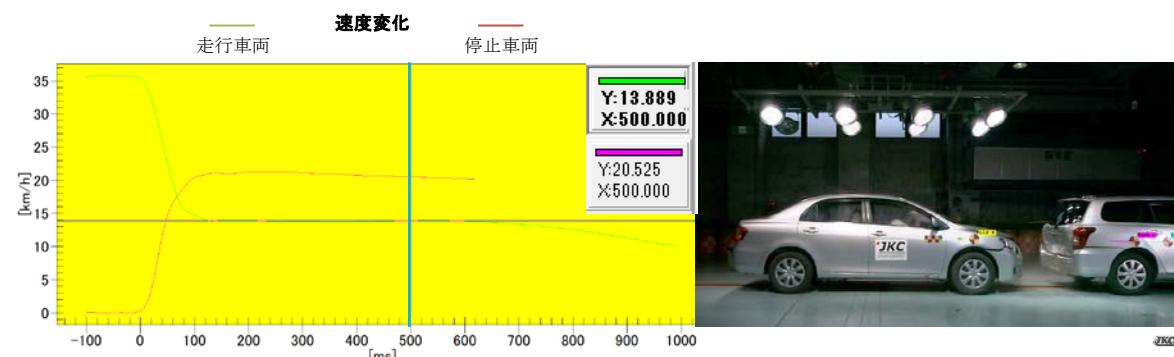
実験の様子	走行車両と停止車両が反発により離れている。速度差 7.37km/h
走行車両の運動量	$13.79\text{km/h} \times 1139\text{kg} \div 3.6(\text{秒速換算}) \div 4363\text{kg} \cdot \text{m/s}$
停止車両の運動量	$21.16\text{km/h} \times 1162\text{kg} \div 3.6(\text{秒速換算}) \div 6830\text{kg} \cdot \text{m/s}$
運動量の総和	$4363\text{kg} \cdot \text{m/s} + 6830\text{kg} \cdot \text{m/s} = 11193\text{kg} \cdot \text{m/s}$

衝突後
【0.4 秒】



実験の様子	走行車両と停止車両が反発により離れている。速度差 7.01km/h
走行車両の運動量	$13.74\text{km/h} \times 1139\text{kg} \div 3.6(\text{秒速換算}) \div 4347\text{kg} \cdot \text{m/s}$
停止車両の運動量	$20.75\text{km/h} \times 1162\text{kg} \div 3.6(\text{秒速換算}) \div 6698\text{kg} \cdot \text{m/s}$
運動量の総和	$4347\text{kg} \cdot \text{m/s} + 6698\text{kg} \cdot \text{m/s} = 11045\text{kg} \cdot \text{m/s}$

衝突後
【0.5 秒】



実験の様子	走行車両と停止車両が反発により離れている。速度差 6.64km/h
走行車両の運動量	$13.89\text{km/h} \times 1139\text{kg} \div 3.6(\text{秒速換算}) \div 4395\text{kg} \cdot \text{m/s}$
停止車両の運動量	$20.53\text{km/h} \times 1162\text{kg} \div 3.6(\text{秒速換算}) \div 6627\text{kg} \cdot \text{m/s}$
運動量の総和	$4395\text{kg} \cdot \text{m/s} + 6627\text{kg} \cdot \text{m/s} = 11022\text{kg} \cdot \text{m/s}$

11. 実験結果

(1) 運動量の変化割合について

今回の衝突実験における外的要因の影響が分かるように、運動量の変化割合を求めます。具体的には、衝突前 0.1 秒の運動量の総和を基準に経過時間毎の運動量の総和を用いて変化割合を計算します(下表)。

時間経過 (秒)	衝突の状態	運動量の変化割合
-0.1	衝突前	基準値【11282kg・m/s】
0	衝突	$\{1 - 11197\text{kg}\cdot\text{m/s}(\text{運動量の総和}) / 11282 \text{ kg}\cdot\text{m/s}(\text{基準値})\} \times 100 \div 0.8\%$
0.068	(同一速度)	$\{1 - 11224\text{kg}\cdot\text{m/s}(\text{運動量の総和}) / 11282 \text{ kg}\cdot\text{m/s}(\text{基準値})\} \times 100 \div 0.5\%$
0.1	衝突中	$\{1 - 11264\text{kg}\cdot\text{m/s}(\text{運動量の総和}) / 11282 \text{ kg}\cdot\text{m/s}(\text{基準値})\} \times 100 \div 0.2\%$
0.2	衝突後	$\{1 - 11272\text{kg}\cdot\text{m/s}(\text{運動量の総和}) / 11282 \text{ kg}\cdot\text{m/s}(\text{基準値})\} \times 100 \div 0.1\%$
0.3	衝突後	$\{1 - 11193\text{kg}\cdot\text{m/s}(\text{運動量の総和}) / 11282 \text{ kg}\cdot\text{m/s}(\text{基準値})\} \times 100 \div 0.8\%$
0.4	衝突後	$\{1 - 11045\text{kg}\cdot\text{m/s}(\text{運動量の総和}) / 11282 \text{ kg}\cdot\text{m/s}(\text{基準値})\} \times 100 \div 2.1\%$
0.5	衝突後	$\{1 - 11022\text{kg}\cdot\text{m/s}(\text{運動量の総和}) / 11282 \text{ kg}\cdot\text{m/s}(\text{基準値})\} \times 100 \div 2.3\%$

(2) 実験データの集計

これまで行ってきた今回の実験における各データを下表に示します。

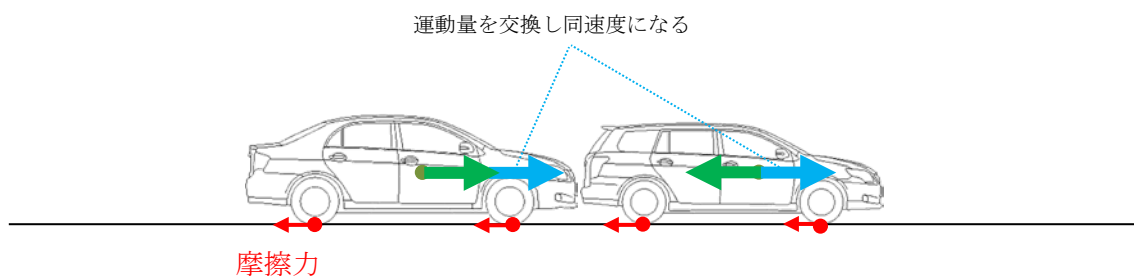
時間経過 (秒)	衝突の状態	アクト 速度	フィールド - 速度	アクト 運動量	フィールド - 運動量	運動量総和 (kg・m/s)	運動量の 変化割合
-0.1	衝突前	35.66km/h	0km/h	11282	0	11282	基準
0	衝突	35.39km/h	0km/h	11197	0	11197	0.8%
0.068	(同一速度)	17.50km/h	17.62km/h	5537	5687	11224	0.5%
0.1	衝突中	14.79km/h	20.40km/h	4679	6585	11264	0.2%
0.2	衝突後	13.93km/h	21.27km/h	4407	6865	11272	0.1%
0.3	衝突後	13.79km/h	21.16km/h	4363	6830	11193	0.8%
0.4	衝突後	13.74km/h	20.75km/h	4347	6698	11045	2.1%
0.5	衝突後	13.89km/h	20.53km/h	4395	6627	11022	2.3%

衝突前 0.1 秒を基準とした場合の運動量変化割合は、0 秒(0.8%)から衝突後 0.3 秒(0.8%)で運動量の総和に大きな変化が無いことが分かります。

(3) 結論

実験結果より、衝突から衝突後 0.3 秒の範囲（前頁 実験データの集計表赤枠部分）では、運動量の変化割合が 0.8%以下となり、衝突前 0.1 秒を基準値とした場合と比較し運動量の総和に大きな変化は認められませんでした。

つまり、タイヤと路面間の摩擦などその他外力はごくわずかであり、速度解析においてほとんど影響せず、自動車同士の衝突においても運動量が保存されていることが確認できたといえます。



12. おわりに

今回は自動車同士の衝突に対する運動量保存の法則について、自研センターで行った実験結果をもとに検証してみました。今回行った心向き 1 次元衝突の場合は、作用反作用の法則により運動量が保存され、外的要因の影響が極めて小さいことが確認できました。

運動量保存の法則については、一般的な物理法則であり各種文献やアジャスターマニュアル（基礎編）でもその原則について詳しく説明がなされていますが、自動車同士の衝突において運動量保存の法則に係る外的要因の影響をかみ砕いて説明した内容は見当たりませんでした。そういった意味でも今回実施した実験結果は参考にしていただけたと思われまます。

なお、今回の検証はあくまで「理解を深めるための一つの実験事例」であることをご理解いただきますようお願いします。

【参考文献】

技術書院	新版	自動車事故工学 事故再現の手法	江守一郎
技術書院	実用	自動車事故鑑定工学 新装版	林 洋
自研センター	改定	第一線実務家の為の事故解析技法	

JKC（研修部／三ノ丸 裕介）



<https://jikencenter.co.jp/>



自研センターニュース 2021.12 (通巻555号) 令和3年12月15日発行

発行人／関正利 編集人／川井雅信

© 発行所／株式会社自研センター 〒272-0001 千葉県市川市二俣678番地28 Tel(047)328-9111(代表) Fax(047)327-6737
定価500円(送料別途)

本誌の一部あるいは全部を無断で複写、複製、あるいは転載することは、法律で認められた場合を除き、
著作権者の権利の侵害となります。必要な場合には予め、発行人あて、書面で許諾を求めてください。
お問い合わせは、自研センターニュース編集事務局までご連絡ください。