

災害対応用低コスト高機動車両の開発

工藤 祐嗣*

要 旨

災害が発生した場合、初動対応の障害として、道路の損壊や瓦礫による道路封鎖が考えられる。災害に対応するためには、機動性の高い車両で人員や機材をいち早く送り込む必要がある。災害対応のための高機動車両は存在するが、概ね高額である。災害対応用高機動車両はごく一部の消防本部には配備されているものの、多くの消防本部に配備されるには至っていない。本研究では、軽トラックをベースに機動性を高める改造を施した車両を開発するとともに、低コストで機動性の高い搬送用車両として災害対応に役立てることを提案する。

キーワード：災害対応, 震災対策, 消防活動, 高機動車両

Development of low cost high mobility vehicle for disaster response

Yuji KUDO*

ABSTRACT

In the event of a disaster, road blockade due to rubble may be considered as obstacles for initial response. In order to respond to the disaster, it is necessary to send personnel and equipment quickly with a highly mobile vehicle. There are high mobility vehicles for disaster response, but they are generally expensive. High mobility vehicles for disaster response are not deployed in many fire department headquarters because these vehicles are expensive. In this research, we propose to develop a high mobility vehicle with based on light truck, and to use it as a transportation vehicle with low cost and high mobility for disaster response.

Key Words: *Disaster response, Earthquake countermeasure, Firefighting activities, High mobility vehicle*

1. 緒言

東日本大震災において、いくつかの大規模火災が発生した。その要因として、同時多発的に複数の火災が発生し、その消火活動が困難を極めたことが報告されている¹⁾。また、津波によって破壊された家屋や建築物の瓦礫が道路上に積み重なったり、道路自体が破壊されたりして、通行障害が発生し、火災現場に消防隊を投入することができなかったことも要因となっている。

消防活動の障害となる要因は、震災以外でも存在している。例えば風水害の際にも、河川の氾濫などで道路が破壊され、土砂崩れ等による封鎖も発生することが考えられる。また、林野火災が発生した際には、舗装されていない林業作業用の細い林道を通行できれば、より火災現場近くに多くの人員や機材を輸送できる。しかし、現在消防本部や消防団が使用している消防車の多くは林道を通行するには大型で、車両を麓の林道入口に置き、徒歩にて火災現場に向かうこととなる。消火用の水はジェットシューターと呼ばれるリュックサック型の袋に入れ、背負って登るのが一般的であり、林野火災が大規模化すると対応できない。林道を走行可能な機動性の高い小型車両があれば、小型可搬ポンプを輸送でき、火災現場近くの自然水利を利用することも可能となる。

本報では、震災など災害時に人員や機材を災害現場に迅速に輸送する手段を提供するために小型の高機動車両の導入を提案し、その試作および走行試験を踏まえた改良を行った結果について報告する。

2. 高機動車両の開発

2.1 高機動車両のコンセプト

機動性の高い消防車両としては、1996年に開発されたスーパーダイナがある(写真1)。自衛隊が使用しているトヨタ自動車製の高機動車および73式中型トラックに使われているシャシを短縮し、消防車両として一般的なキャブオーバー型トラック(ダイナ)のキャビンを搭載、救助工作車Ⅳ型として株式会社モリタが架装した



写真1 消防用高機動車の例 (救助工作車Ⅳ型スーパーダイナ)

ものである。救助工作車Ⅳ型としての規格を満たし、かつ、自衛隊のC130輸送機による空輸を可能とするため小型化した結果、2台一組での運用となる。しかし、特殊な救助工作車であるため、装備を含めた車両価格が高額となり、多くの消防本部には普及せず、東京消防庁、名古屋市消防局、大阪市消防局、福岡市消防局の4政令市の消防本部に計8台導入されたのみであり、現在は退役している²⁾。

多くの消防本部に機動性の高い車両を配備することは災害対策として有効であると考えられるが、救助資機材などの装備を多く積載する救助工作車としての導入はコスト高につながることで、また重量がかさみ、結果的に機動性が失われることが考えられ、輸送手段のみを低コストで提供の方が現場での使い勝手の向上につながると考えられる。また、小型の車両とすることで、通常時は消防本部における査察業務や事務連絡、火災原因調査などで現場に向かう際などに使い勝手の良い車両となり、稼働率の向上も見込める。

2.2 ベース車両および一次改造

以上の検討に基づき、ベース車両としては軽トラック(スズキ キャリイ LE-DA62T型, 2000年式)を選択した。ベース車両として軽トラックを選択したのは、小型軽量かつ導入に際し低コストであること、積載装置を有し消防資機材の運搬に適していることが理由である。キャリイには農業用途向けとして四輪駆動および後輪デフレンシャルロック機構が装備された農繁仕様が設定されており、これをベース車両とした。

軽トラック自体の悪路走破性は乗用車に比べると高いが、最も問題となるのは最低地上高の低さである。悪路走破性の目安として、図1に示す対障害角度があり、アプローチアングル、ランプブレークオーバーアングル、デパーチャーアングルの3つの角度で示される。ホイールベースが長い車両はランプブレークオーバーアングルが小さく、前後オーバーハングの長い車両はアプローチおよびデパーチャーアングルが小さくなる。タイヤ径の小さい車両は全ての角度が小さく、耐障害性能としては不利となる。軽トラックのタイヤ径は通常540mm程度(145R12)であり、アプローチアングルは20°程度で



図1 耐障害角度

ある。一方、悪路走破を前提として開発されたジムニー JB23W 型のタイヤ径は 680mm 程度、アプローチアングルは 49° となっている。対障害性能に関する 3 アングルの改善を目的として、まずは軽トラックのタイヤをジムニー JB23W 型と同程度のサイズである 680mm 程度 (175/80R16 相当) にすることを目標とした。

軽トラックのタイヤ径を大きくするにあたり、そのままの状態ではタイヤだけを交換しても、車体各部と接触し、走行することができない。タイヤが取り付けられている走行装置と車体との間隔を空けるための改造が必要となる。そこで、キャリイ用 4 インチリフトアップキット (有限会社フィール製) を組み込む一次改造を行った。このキットはフロントサスペンションストラット上部、フロントサスペンションフレームおよびリヤリーフスプリングとリヤデフハウジングの間にスペーサーを挟み、間隔をあけるとともに、エンジンメンバー取り付け部にもスペーサーを挟み、プロペラシャフトの角度を調整するものである。組み込み作業は八戸工業大学自動車工学センターにて、自動車工学センター職員および自動車工学コース学生の協力のもと行った。組み付け状況を写真 2 に示す。

リフトアップキット組み込み改造を行い、樹脂製バンパーおよびフロントフェンダー後縁の干渉部を一部切除した結果、目標である 175/80R16 サイズのタイヤの装着が可能となった。この状態で悪路走破試験を実施することとした。

2.3 悪路走行試験

悪路走行試験は 2016 年 7 月 17 日、黒石市沖揚平にある津軽四駆会オフロードコースにて行った。天候は曇りであった。走行試験の状況を写真 3 に示す。路面は土および砂利で一部岩が露出しており、モーグルと呼ばれる人工的に凹凸を作成した地形、登りと下りの勾配を組み合わせたテーブルトップと呼ばれる地形、急勾配の登り坂などを走行してみた。純正状態のジムニー JB23W 型で走行した場合、露出した岩にリヤサスペンションのリーディングアーム取り付け部がぶつかる場所であって



写真 2 リフトアップキット組み付け状況

も、本試作車はスムーズに走行することができ、純正状態のジムニー JB23W 型と同等の場所を走破することができた。しかし、サスペンションのスプリング自体は純正のものをそのまま使用しており、サスペンションの可動域を大きくする改造はしていないため、モーグル地形ではタイヤの十分な接地が得られない。また、タイヤ径を増大させたことで減速比が十分ではなくなり、トルクが不足したことで、半クラッチ操作による微妙なトルク伝達のコントロールが必要になり、副変速機を 4Low、主変速機を 1 速にシフトした最大減速比の状態でも登坂できない場合があったことが課題となった。

3. 高機動車両の改良

3.1 サスペンション可動域の増大

サスペンションの可動域を増大させるため、二次改造を行った。DA62T 型のフロントサスペンションには



写真 3 一次改造後の走行試験の状況



写真 4 車高調整式フロントストラット

マクファーソン式ストラットが採用されている。マクファーソン式ストラットは可動域の大きな悪路走行に対応した設計のアフターパーツが販売されておらず、可動域を大幅に拡大するには、ダブルウィッシュボーンへの変更などの改造が必要となる。本研究では、まずはDA62T型純正品よりも全長の長いストラットに交換することとし、写真4に示す車高調整の可能なフルタップ型車高調整式ストラット（株式会社トラスト製）に交換した。この車高調整式ストラットはスイフトCBA-ZC31S型用に製造されたものであるが、車両ナックル部の取り付けボルト穴径およびピッチは同一であるため、ストラット上部マウントをキャリイ DA62T 型用に製作された部品（株式会社GT CAR プロデュース製）に交換することで使用可能である。

一方、リヤスプリングについては、リーフスプリングをジムニー JA11 型用に製作されたリーフスプリング（株式会社タック製）に変更した。また、リーフスプリングシャックルは通常の1リンクで構成されたものから、2リンクで構成され、リーフスプリング側のリンクがラテラル方向に回転運動し、リーフスプリング自体のねじれを制限しない構造となっている2D シャックルに交換した。この2D シャックルはジムニー JA11 型用に製作されたものであり、車体側の取り付け幅が異なるキャリイ DA62T 型にはそのまま使用できなかった。そ

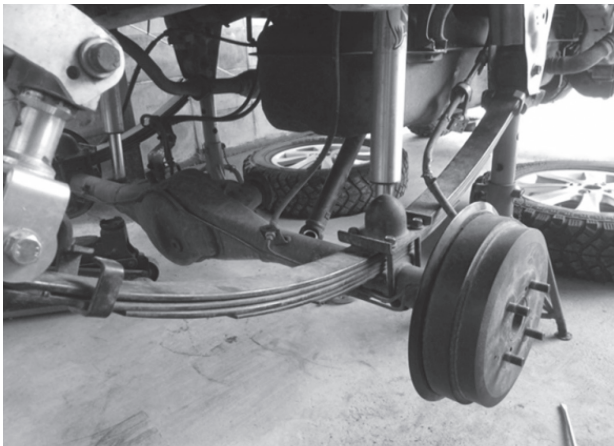


写真5 リヤリーフスプリングおよびシャックル

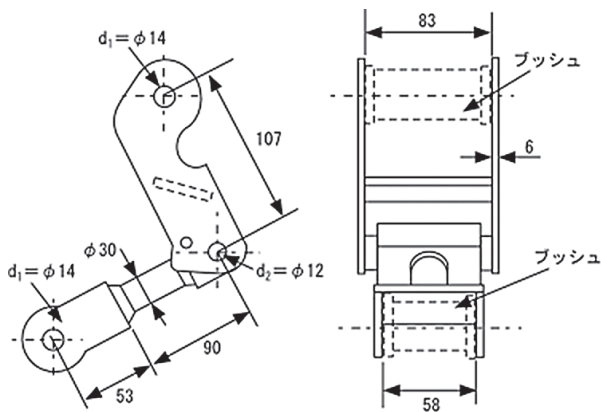


図2 LE-DA62T用2Dシャックル概要図

こで、車体側シャックルプレートの左右を接続している部材を一旦切断し、キャリイ DA62T 型の取り付け幅に合わせて部材を溶接し延長した。リーフスプリングおよびリーフスプリングシャックルの組み込み状況を写真5に示す。また、2D シャックルの概要図を図2に示す。

3.2 減速比の変更

通常、減速比の変更は容易ではないが、純正部品を組み合わせるにより、減速比を大きくする改造が可能となった。スズキ株式会社製のエンジン縦置き式軽自動車（ジムニーおよびキャリイ・エブリイ）用の主変速機（トランスミッション）は、2005年より新設計のものに置き換わっている。新設計のトランスミッションでは減速比が変更され、通常走行において多用される減速段の5速について、従来のオーバードライブ（減速比を1以下に設定したもの）から、減速を行わずインプットシャフトの回転をそのまま出力する直結（減速比1）に変更され、各減速段の減速比も低くなっている。総減速比を従来並みにするため、これらの車両ではディファレンシャルギヤの最終減速比を小さくしているが、本研究で試作した車両では、最終減速比を変更せずにEBD-DA63Tに採用された新設計のトランスミッションに載せ替えることで、総減速比を大きくすることが可能となった。トランスミッションの減速比の比較を表1に示す。

このトランスミッションの変更にあたり、トランスミッション後部をフレームから吊っているミッションマ

表1 トランスミッション減速比の比較

減速比	LE-DA62T	EBD-DA63T
1速	4.031	5.106
2速	2.391	3.017
3速	1.513	1.908
4速	1.000	1.264
5速	0.855	1.000
後退	4.173	5.151

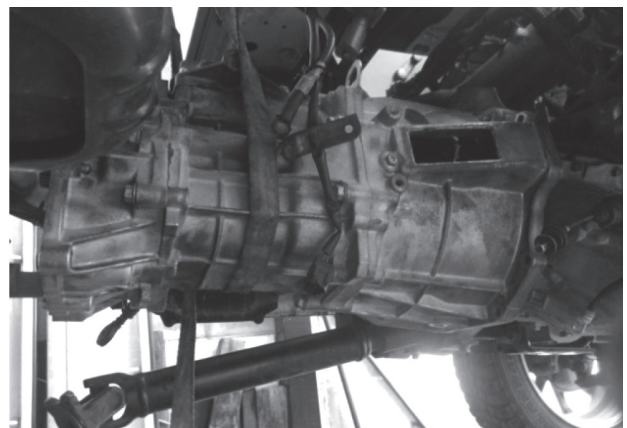


写真6 トランスミッション変更作業の状況

ウントについては EBD-DA63T 用のものを加工し使用した。エンジンは LE-DA62T 型も EBD-DA63T 型も同じ K6A 型エンジンを使用しており、エンジンとの接続部分にあたるベルハウジングおよびクラッチ等には、互換性がある。クラッチワイヤー取り付け部には一部変更があり、EBD-DA63T 用の部品を加工し取り付けた。また、変速操作を行うシフトリンケージおよびシフトレバーについては、EBD-DA63T 用の部品を使用した。トランスミッションの変更作業状況を写真 6 に示す。トランスミッションの変更により、推進軸（プロペラシャフト）についても、EBD-DA63T 用に交換した。プロペラシャフトの交換はボルトオンであり、加工はしていない。

3.3 悪路走行試験

これまでの改良を行った車両について、再度走行試験を 2017 年 7 月 16 日に行った。試験場所は前回と同様の津軽四駆会オフロードコースであり、天候は雨、路面状況は前回試験と比較して雨の影響で悪化し、一部路面は泥濘状態となっていた。サスペンションの可動域を拡大することで、路面にタイヤの駆動力を確実に伝えることができた。また、減速比を低下させることで、半クラッチ操作を行うことなく泥濘地の安定した走行が可能であった。しかし、凹凸のある急勾配の登坂において、車体下部のフロントサスペンションフレームに取り付けられた牽引用フックが路面の凸部と干渉し、アプローチ角度を低下させていることが判明した。悪路走行時にアプローチ部分と路面を接触させ、滑らせながら障害物に乗り上げ通過するスキッド性能が重要であるが、この干渉はスキッド性能を低下させる。牽引フック位置の変更やスキッド性能を向上させるスキッドプレートの取り付けなどを検討する必要がある。

4. 認証の取得

これまでに改良・評価を行ってきた高機動車両について、実際に消防現場での使用に供するためには、車検を取得できる状態にする必要がある。改良の過程において行った動力伝達装置（トランスミッションおよびプロペラシャフト）および懸架装置（リヤリーフスプリングおよびシャックル）の変更が改造自動車に該当することとなり、軽自動車検査協会による構造等変更検査を受検し認証を取得する必要性が生じた。

4.1 審査書面の作成および書類審査

まずは審査書面を作成し、軽自動車検査協会の検査官に対し事前相談を行うこととした。届出書類としては、改造自動車届出書（第 1 号様式）および改造概要等説明書（第 2 号様式）、保安基準適合検討書（第 3 号様式）、最大安定傾斜角度計算書、重量分布計算書、外観図、改造部分詳細図、動力伝達装置および緩衝装置の強度検討

書を作成した。

最大安定傾斜角度計算書および重量分布計算書は、第 2 号様式の主要諸元比較表に記載の数値を得るための計算過程を説明するものであり、車両重量の実測を要する。車両重量の測定には、自動車工学センターに備えられたコーナーウエイトゲージによる測定を行った。左右前後の車輪に掛かる車両重量を測定し、これと車両諸元にある乗員の乗車位置、積載物荷重の作用点である荷台オフセットから、車両総重量と前後車軸への荷重、タイヤ負荷率、前軸への荷重割合が保安基準等に適合しているか確認を行った。また、前輪揚程法により重心移動実測を行い、重心高を得ることで、最大安定傾斜角度の算出を行った。前輪揚程法により重心高は以下の式で得られる。

$$H = R + \frac{L(w'_r - w_r)\sqrt{L^2 - h^2}}{w \times h}$$

ここで H：重心高、R：タイヤ有効半径、L：軸距、h：前輪の揚程、w：車両重量、 w_r ：平坦な面に置いた時の後軸重、 w'_r ：前輪を h だけ上げた時の後軸重、である。揚程 h は可能な限り 60cm 以上（軽自動車にあっては 40cm 以上）と規定されており、本研究では 60cm の揚程で測定を行った。測定の状況を写真 7 に示す。重量の大きいエンジンおよびトランスミッションを車体に取り付けているエンジンメンバーの取り付け位置をスペーサーによって下げていることで、懸架装置の変更により車高が高くなっているにも関わらず、標準車の最大安定傾斜角度 48° に対し、純正タイヤ装着状態で 54°、タイヤを 175/80R16 に変更した場合でも 50° となり、最大安定傾斜角度は増加した。

強度検討書については、動力伝達装置は全て同型エンジンを搭載した車両の部品を使用しており、強度に問題なく強度検討を省略する旨をサービスマニュアルの引用をしながら説明した。懸架装置のうち、リーフスプリングについては、機械要素設計の教科書³⁾ および改造自動車に関する参考書⁴⁾ を参考に強度検討を行った。シャックルについては、シャックルピンのせん断お



写真 7 前輪揚程法による重心高測定の状況

よび曲げ強度の検討を行った。シャックルに付属のピン(取り付けボルト)の強度が不明であったため、強度および使用材料が明らかな強度区分10.9の高強度ボルト(SCM435材)に交換した。シャックルプレートおよびジョイント部については、構造が特殊であり、リンクが伸びきった場合に荷重が作用する過酷な条件を考慮した座屈計算も行ったが、十分に余裕がある検討結果となった。

以上の書類作成および強度検討を経て、軽自動車検査協会八戸支所にて事前相談を行った結果、プロペラシャフトの強度検討については、明らかに出力の大きい車両の部品を使用した場合でなければ強度検討を省略できず、同型エンジンでは強度検討が必要となる可能性があること、また、トランスミッションの変更により変速比が変化することで、エンジンの使用回転数が変化し、排出ガス基準を満たす保証が無くなることから、再度排出ガス試験を受験する必要がある可能性があるとの指摘があった。いずれの点についても、上位機関への照会・確認を依頼し、結果的には不要となった。また、ヘッドライトの高さ(レンズ上端が路面より120cm以下、レンズ下端が50cm以上)の確認、シャックル材質の証明、シャックル分解写真の提出を求められた。

4.2 実車審査

前項の書類審査の結果、2017年12月21日に書類審査合格の決裁を受け、2018年1月4日に軽自動車検査協会八戸支所に車両を持ち込み、構造等変更検査を受検した。受験時の状況を写真8に示す。通常のライン検査に加え、改造部分の実車確認および寸法の測定、車重の測定、改造部分および車両全体の写真撮影等を行った。ライン検査において、排気管の腐食による排気漏れが見つかり、補修を行った上で再度受験し合格となった。審査結果通知書と車検証の交付を受け、改造自動車「LE-DA62T改」の認証を得ることができた。



写真8 軽自動車検査協会八戸支所における受験の状況

5. 結言

災害時の対応を念頭に、低コストで導入可能な高機動車両の検討を行った。軽トラックをベースにして、走破性を高める改造を検討し、その悪路走破性の向上を確認した。また、公道上を走行する上で必要な認証の取得が可能であることを示した。一方、さらなる走破性向上に向けた改善、災害対応車両として必要な装備等の検討も行う必要がある。

謝辞

本研究の遂行にあたり、車両改造の作業、測定等に関して、八戸工業大学自動車工学センター職員の皆様、機械情報技術学科卒業生(当時4年)の高橋将志君、自動車工学センター4年生の皆様にご協力頂きました。走行試験に関して、津軽四駆会の菅野会長、ナイスレグストライアル大会主催の石橋氏はじめ、津軽四駆会の会員の皆様にご協力頂きました。認証の取得に関して、軽自動車検査協会八戸支所の近藤氏はじめ職員の皆様にご協力頂きました。ここに付記し謝意を表します。

参考文献

- 1) 廣井, 山田, 坂本, 火災, No.313, pp.18-22.
- 2) 赤木靖之, CURIOS, No.8, pp.2-17.
- 3) 岩浪繁蔵編, 機械設計演習(増補版), 産業図書, (1993).
- 4) 日本自動車車体工業会中央技術委員会改造自動車等解説本の見直しWG編, 改造自動車等取扱いの解説(第3次改訂), 交文社, (2017)