

# 自動車部品へのチタン適用

## Applications of Titanium for Automotive

井阪正則\*  
Masanori ISAKA

岳辺秀徳  
Hidenori TAKEBE

川上哲  
Akira KAWAKAMI

高橋一浩  
Kazuhiro TAKAHASHI

### 抄 録

自動車部品へのチタンの適用は、レース車での採用に始まり、量産車でも採用事例が増えている。チタンが有する軽量、高強度、耐食性などの特性に加え、加工性、耐熱性、意匠性のような特性を付加することで適用部品の拡大を図ってきた。自動車部品での適用事例について紹介するとともに、今後適用が期待される部品について述べた。

### Abstract

The application of titanium to automobile parts began with the use for race cars, and the number of cases of uses for mass-produced cars is increasing. Nippon Steel Corporation has been expanding the sort of applicable parts by utilizing characteristics of titanium such as workability, heat resistance, and design in addition to the characteristics of titanium such as lightweight, high mechanical strength, and corrosion resistance. This paper describes the recent examples of application of titanium for automobile parts and automobile parts for which titanium is expected to be applied in the future.

## 1. はじめに

チタンは、軽量、高強度、高耐食性材料として、航空機、海水を冷媒とする熱交換器、海水淡水化装置などに使用されてきた。さらに、耐熱性、生体適合性、意匠性、高級感から、民生品、スポーツ・レジャー用途、建築部材にも適用が拡大してきた<sup>1)</sup>。

また、これらの特性を活かし自動車部品での適用例が増加している。特にレース車を含む高い運動性能が求められる二輪車、四輪車では、サーキットでのタイム向上やレスポンスの良い走りが必要とされる。そのため、徹底的な軽量化、高出力化を狙い、チタンが適用される事例が少なくない。本稿では、自動車部品としてチタンが適用された事例について紹介し、今後の期待される部品例について述べる。

## 2. 自動車部品へのチタン適用例および今後の期待

### 2.1 燃料タンク

燃料タンクの軽量化は、特に二輪車では低重心化による運動性能の向上、燃費改善につながることから重要な課題である。軽量素材として近年多用されている高密度ポリエ

チレンは、2020年より二輪車に適用されているEURO5で燃料ガス透過規制が厳格化されたことで、バリア層となるエチレン-ビニルアルコール共重合体(EVOH)樹脂を含み多層化する必要がある、厚手化(4~7mm程度)による質量の増加は避けられない。一方、金属材料は燃料ガス透過性が低く、軽量金属であるアルミニウムとチタンの適用が検討されている。アルミニウムでは5000系を主とするアルミニウム合金が候補であり、その課題は溶接性とプレス成形性である。アルミニウムは低融点、高熱伝導度であり、アーク溶接時に溶接入熱が集中し難く溶け落ちが発生しやすい。また、スポット溶接時は高加圧力、高電流、短時間通電が必要となり、専用設備の導入による初期コストが高くなることなどの課題もある。さらに、延性が低く、ランクフォード値( $r$ 値)が小さいため、燃料タンクのような深絞り加工が必要となる形状へのプレス成形性は良好ではない。以上のことは、鋼を主として製造されている汎用設備での薄手化が難しいことを示している。

これに対しチタンは、鉄とほぼ同じ融点であり、ステンレス鋼相当の低熱伝導度であるため溶接時の溶け落ちが起こり難い。また、スポット溶接も条件の調整のみで行うことができ、専用設備は不要である<sup>2)</sup>。プレス成形性では、

\* チタン事業部 チタン技術部 チタン商品技術室 主幹 (名古屋支店(栄)駐在) 愛知県名古屋市中区錦2-13-19 瀧定ビル8階 〒460-0003



写真1 チタン製燃料タンク  
Titanium fuel tank

チタンは高 $r$ 値材料であるため、優れた深絞り成形性を有している。また、O含有量が低いJIS1種純チタンは、プレス加工用低炭素鋼と同等の張り出し成形性を有するため、燃料タンクにはJIS1種純チタンの適用が好適である。ただし、鋼とは違って焼き付きを生じやすいため、プレス成形時の潤滑が課題である。以上のように、チタンはアルミニウム合金よりも燃料タンクへの適用障壁は低いと考えられる。実際に、条件最適化を含めた量産上の課題解決を経て、二輪車(写真1、本田技研工業(株)2017年モデルCRF450R)へのチタン製燃料タンク搭載が世界で初めて実現した<sup>2)</sup>。チタン化によっては大きな軽量化効果が得られ、性能向上に大きく寄与している。また、チタンは耐食性に優れるため、防食のための塗装は不要であり、地面に近く高い耐食性が必要な四輪車の燃料タンクへの適用についても期待したい。

## 2.2 排気管

排気系部品は素材使用量が多いため、チタン化による軽量化効果は大きい。特に、二輪車では排気系部品(特に、マフラー)の露出が多いため意匠の面でのアピール効果も大きく、チタンが早くから適用されてきた。チタン適用当初はJIS2種純チタンが主に用いられていたが、排ガス規制の厳格化により触媒装置が義務付けられ排ガス温度が上昇したことから、耐熱性(主に高温強度と耐酸化性)が要求されるようになった。一方、複雑な形状を実現する必要があることから高い成形性が求められる。

高温強度向上には固溶強化が有効であり、高温において固溶強化能の大きいAlを添加することが多い。また高温における耐酸化性を向上させるためには、微量のSiを添加することが多い。このように排気管用チタン合金を設計する場合、Al、Siを添加することが一般的である。一方、これらの元素の添加は、室温強度も上昇させ延性を低下させるという課題がある。特にAlは室温で双晶変形を抑制し、成形性に影響を与える可能性がある。これに対し、高温では固溶強化効果が高いが、室温では双晶生成に影響を与え

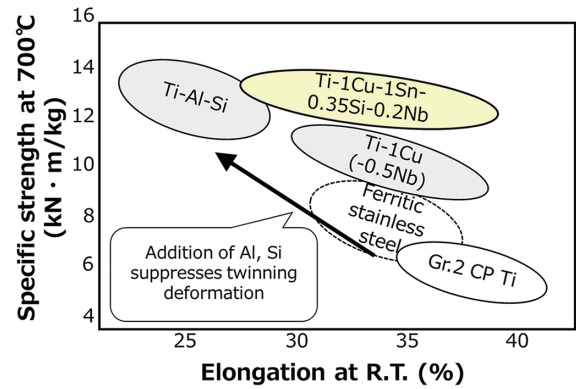


図1 Ti-1Cu合金の設計概念  
Image of design concept of Ti-1Cu alloys



写真2 Ti-1Cu製マフラー  
Ti-1Cu muffler

ず加工性を維持できるCuを添加することで、高温強度と高成形性という二つの相反する特性を両立できることが見出された<sup>3)</sup>。

これを基に開発されたのが、Cuを1%程度添加したSuper-TIX®10CU (Ti-1Cu)である。また、高温耐酸化性向上を狙いNbを添加したSuper-TIX®10CUNB (Ti-1Cu-0.5Nb)も開発された。Nbは、チタン酸化スケール中の酸素拡散を抑制する働きがあるため耐酸化性を向上させ、またCuの固溶量に影響しないため高温強度を低下させず、室温での加工性にも影響を与えない。さらに高温強度を向上させたSuper-TIX®10CSSN (Ti-1Cu-1Sn-0.35Si-0.2Nb)<sup>4,5)</sup>が開発された(図1)。これらの合金は、700~800°C程度までの使用を想定して二輪車や四輪車(写真2、日産自動車(株)GT-R)に適用されている。

## 2.3 エンジン部品

エンジン部品は比較的小さいため大きな軽量化とはならない。しかし、軽量化によって回転運動や往復運動を伴う場合に発生する慣性力を低減することができ、レスポンス性能を向上させるなどの効果がある。また、チタンは他金属に比べてエンジン部品の使用環境における比強度に優れており、特に、チタン化のコストパフォーマンスが高いコネクティングロッド(コンロッド)、エンジンバルブへ適用されている。

(a)



(b)



写真3 (a) ヤマハ発動機(株) YZF-R1, (b) Ti-5Al-1Fe 製コネクティングロッド  
(a) Yamaha Motor Co. Ltd. YZF-R1, (b) Ti-5Al-1Fe connecting rod

### 2.3.1 コンロッド

コンロッドはピストンの上下運動を回転運動に変えるエンジン部品であり、これを軽量化するとエンジンレスポンスの向上、フリクションロス低減による出力の向上、周辺部品の小型・簡素化による更なる軽量化が可能になるなど効果が大きい<sup>6)</sup>。これまで、二輪車のコンロッドにTi-6Al-4Vが<sup>7)</sup>、四輪車にTi-3Al-2.5V-REMが使用されたことがある<sup>8)</sup>。これらの合金に含まれるVは高価なため、Vを含まず安価なFeを活用したSuper-TIX<sup>®</sup>51AF (Ti-5Al-1Fe)を開発した。この合金は、従来使用されてきたTi-6Al-4Vと同等の疲労強度でありながら、良好な熱間加工性を示すとともに、鋼製コンロッドで一般的に用いられるFS (Fracture Splitting) 法を採用しやすいという特徴を有していた<sup>9)</sup>。Ti-5Al-1Feはこれらの特徴によって世界初のFS工法製チタンコンロッドの製造に貢献し、2015年モデルよりヤマハ発動機(株)のYZF-R1等に搭載されている(写真3)。また、本合金は切削加工性に優れるという特徴もあり、コンロッド製造時のコスト改善にも貢献している。

### 2.3.2 エンジンバルブ

エンジンバルブは往復運動する部品であり、コンロッド同様、軽量化すると高回転域でのレスポンスを改善する効果大きい。また、周辺部品の小型化が可能である。エンジンバルブのチタン化において、開閉ごとにカムシャフト、バルブシートから受ける応力に対して十分な疲労強度を有



写真4 チタン製エンジンバルブ  
Titanium engine valve

するチタン材料が要求される。加えて排気エンジンバルブは排気ガスに直接接触するため高温での疲労強度と耐クリープ性が要求される。これらの特性を満足するチタン合金が吸気および排気エンジンバルブに使用されている(写真4)。

吸気エンジンバルブには、Ti-6Al-4VおよびSuper-TIX<sup>®</sup>523AFM (Ti-5Al-2Fe-3Mo)<sup>10)</sup>に種々の耐摩耗処理を行ったもの<sup>11)</sup>が使われている。後者は、Ti-6Al-4Vよりも $\beta$ 安定化能を高め高強度を狙い設計された合金であり、高強度、高疲労特性を有することから、吸気エンジンバルブへの使用量は増えてきている。

排気エンジンバルブには、航空機エンジン向けに開発されたNear  $\alpha$ 型合金 (Ti-6Al-2.7Sn-4Zr-0.4Mo-0.45Si, Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo-0.1Si (Ti-6242S) など) が主に使用されている<sup>12)</sup>。これは、高温強度に有効な $\alpha$ 相の割合が高温域まで高く維持されるため、500°C超の環境ではTi-6Al-4VやTi-5Al-2Fe-3Moよりも高い強度と800°Cでの疲労強度が耐熱鋼SUH35 (Fe-0.55C-9Mn-21Cr-4Ni-0.45N) と同等で高い比強度(疲労強度/密度)を有するためである。エンジンバルブの疲労特性についてはマイクロ組織と表面処理の影響について別稿に記載があるのでそちらも参照いただきたい<sup>13)</sup>。

### 2.4 補強・補剛部品, サブフレーム

レスポンスの良い走りが求められる場合、車体の剛性向上を狙い補強・補剛部品を取り付けることがある。左右のサスペンションを支持するストラットタワーを連結する部品(ストラットタワーバー)や車体下部で各箇所を連結する部品(アンダーブレース)などが代表的で、主に鋼が使用されてきた。一方、追加部品を取り付けることによる質量増を抑制するため軽量化は効果的である。

これらは、限られたスペースに取り付ける必要があることから、高ヤング率、高成形性が求められる。チタンは軽量材料では比較的高いヤング率を有し、成形性も良好であることから好適な素材と言える。近年、ストラットタワーバーにチタンを適用した事例がある(写真5、(株)オクヤマ)。今後、環境負荷低減が求められる中、チタンは高い耐食性を有することから塗装省略などで貢献できるため、サブフレームやブレースなどの車体下部の部品への適用拡



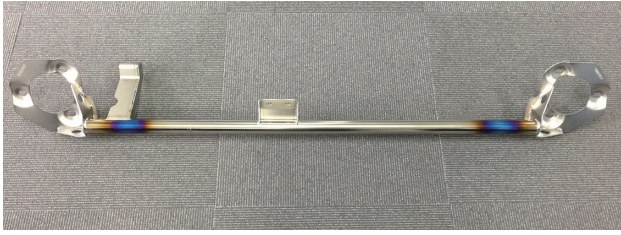


写真5 チタン製ストラットタワーバー  
Titanium strut bar

大に期待したい。

## 2.5 ボディパネル

自動車の軽量化ニーズの高まりの中、ボディパネル（ルーフ、フード、ドアなど）は質量が大きいことから軽量化に効果的である。中でもルーフの軽量化は、車体最上部に位置することから重心位置の低下など運動性能の向上も図ることが可能である。車両製造時、ルーフは主に鋼で構成されるボディ骨格に接合され塗装工程を通過する。塗装工程では塗料を高温（170℃程度）で焼き付けるため、鋼との線膨張係数の差が大きい場合には歪みが発生することがある。チタンの線膨張係数は  $8.4 \times 10^{-6}$  と鋼の  $12 \times 10^{-6}$  との差が比較的小さい材料であり、チタンをルーフに適用した場合、歪みの発生を抑制しつつ軽量化を達成できる可能性がある。今後、異種金属接合や量産上の課題を技術開発で解決し、ボディパネルへのチタンの適用に期待したい。

## 2.6 燃料電池部品・電動化部品

世界的に温暖化対策として二酸化炭素排出量の削減が目指されており、自動車分野ではモーターを動力源とした電気自動車の開発が行われている。また、モーターへの電気供給方法として、外部から電池に電気を蓄積して用いる方法と、燃料電池（以降FC）を用いる方法がある。特に燃料電池を用いた自動車を燃料電池自動車（以降FCV）と呼ぶ。FCは、水素と酸素の電気化学反応によって電気を発生させ、水のみを生成するクリーンエネルギー源の一つである。中でも、固体高分子形燃料電池（以降PEFC）は、高出力密度が得られ、軽量小型化も可能であることから、自動車だけでなく家庭用分散電源でも適用されている。PEFCは、図2に示すように固体高分子膜、電極とガス拡散層を一体とした膜電極集合体（MEA）とその両側をセパレータで把持した構造体（セル）を多数積層して構成される。セパレータは、水素と酸素を供給するためのガス流路を形成し、ガスを透過させず、電流を外部まで伝達する役割を持つ。また、高分子膜中には導電性を確保するために多数の硫酸基が配位されており、膜劣化の進行とともに生成水中に硫酸イオンが溶出することがある。これらからセパレータに金属材料を適用する場合、ガス流路形成のための成形性、電極との低い接触抵抗、硫酸酸性環境下での耐食性が求めら

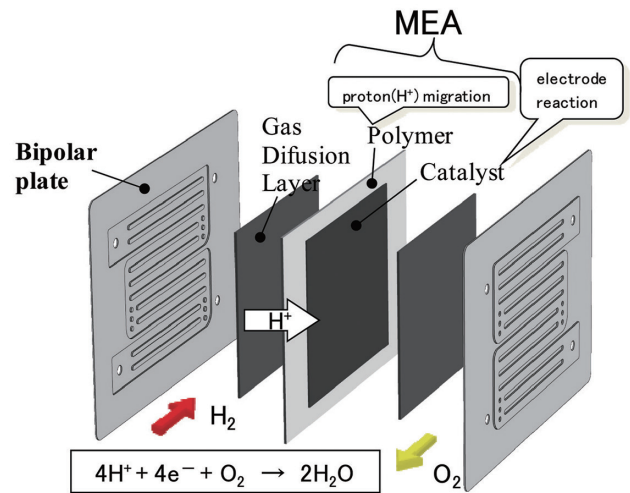


図2 固体高分子形燃料電池の模式図  
Schematic diagram of PEFC

れる。

チタンは成形性と耐食性を有し、チタンそのものは導電性を有するが、表面に形成される不動態皮膜の電気抵抗が高いため、セパレータへの適用にあたっては電極との接触抵抗の改善が課題である。そのため、AuやPtなどの貴金属のめっき<sup>14,15)</sup>、C層の成膜などによる耐食性と低い接触抵抗を両立する技術が検討されている。これらの技術開発を経て、トヨタ自動車(株)のMIRAI(FCV)にはチタン製セパレータが採用されている。

今後は、燃料電池以外に電動化により需要が拡大しているモーターでもチタンの適用は増えてくると考える。モーターはエンジン同様に回転部品を有しており、軽量かつ高強度のチタン合金は適している。また、チタンは非磁性である点もモーター部品に好適であり、モーターの性能向上に貢献できるものと考えられる。特にSuper-TiX®523AFM(Ti-5Al-2Fe-3Mo)は、適切な熱処理を行うことで、室温～中温域(300℃程度)での強度、疲労強度を向上させられる<sup>13)</sup>ことから、適用に期待したい。

## 3. まとめ

チタンの優れた材料特性を活かし、自動車部品へのチタン適用は、レース車から始まり、量産車でも着実に拡大している。その種類もコンロッド、エンジンバルブなどのエンジン部品から、排気管、燃料タンクなどの部品、さらには燃料電池部品へと拡大してきている。チタンは、高比強度だけでなく、高耐食性、良成形性、低線膨張係数など複数の優れた特性を複合的に有しており、材料置換により軽量化以外のメリットも得られる可能性を持った素材であると考えている。今後、モビリティが多様化しつつある中、自動車部品が享受できる適用メリットを拡大すべく、自動車メーカー、部品メーカー、素材メーカーの三者一体で、より一層のチタンの適用を進めていきたい。

参考文献

- 1) 時田昌久 ほか：新日鉄住金技報. (396), 9 (2013)
- 2) 川上哲：ふえらむ. 23 (11), 6 (2018)
- 3) 藤井秀樹 ほか：まてりあ. 48 (11), 547 (2009)
- 4) 大塚広明：チタン. 60 (2), 26 (2012)
- 5) 森健一 ほか：CAMP-ISIJ. 27, 529 (2014)
- 6) 土居航介 ほか：チタン. 64 (1), 40 (2016)
- 7) 萩原好敏 ほか：Honda R&D Technical Review. 2, 229 (1990)
- 8) 正橋幸一：特殊鋼. 47 (11), 35 (1998)
- 9) 鈴木貴晴 ほか：軽金属. 67 (2), 50 (2017)
- 10) 森健一 ほか：チタン. 55 (2), 34 (2007)
- 11) 富永忠良 ほか：自動車技術会論文集. 35 (1), 135 (2004)
- 12) 藤井秀樹：塑性と加工. 56 (654), 530 (2015)
- 13) 森健一 ほか：日本製鉄技報. (418), 97 (2021)
- 14) Jung, H.-Y. et al.: Journal of Power Sources. 194, 972 (2009)
- 15) Wang, S.-H. et al.: Journal of Power Sources. 160, 485 (2006)



井阪正則 Masanori ISAKA  
チタン事業部 チタン技術部 チタン商品技術室  
主幹 (名古屋支店(栄)駐在)  
愛知県名古屋市中区錦2-13-19 瀧定ビル8階  
〒460-0003



岳辺秀徳 Hidenori TAKEBE  
鉄鋼研究所 材料信頼性研究部  
チタン・ステンレス研究室 主幹研究員



川上 哲 Akira KAWAKAMI  
チタン事業部 チタン技術部  
チタン商品技術室 主幹



高橋一浩 Kazuhiro TAKAHASHI  
鉄鋼研究所 材料信頼性研究部  
チタン・ステンレス研究室長 博士(工学)