

日本製鉄(株)のチタン用途開拓

Expanding in Application of Titanium by Nippon Steel Corporation

寺井 健* 武智 勉
Ken TERAJ Tsutomu TAKECHI

抄 録

日本製鉄(株)におけるチタン総合展伸材メーカーとしての用途開拓への取り組みを紹介した。チタンが有する軽量、高強度、優れた耐食性を活用した用途展開に加え、成形性、意匠性、耐熱性などの機能を付加し、さらに接合、成形加工等の利用加工技術や材料特性データを充実させることで、チタン市場拡大に貢献してきた。本稿ではチタンのマーケット状況を説明した後、チタン適用分野における日本製鉄の用途開拓とその方向性、課題について概説した。

Abstract

Approaches of Nippon Steel Corporation for developing and expanding titanium application and market are mentioned in this article. Nippon Steel succeed to add superior characteristic features to titanium like formability, fascinated surface, heat resistance and so on, for developing titanium markets. Besides, Nippon Steel also innovates various usage techniques of titanium products like welding and forming techniques, or measures characteristic data for customer. These activities also helps to expand titanium application and market. In this article, further trend of titanium application and market are mentioned after explaining of current titanium market.

1. はじめに

1790年代に発見されたチタンは、地球の地表付近に存在する実用金属の中では4番目に豊富に存在する¹⁾が、工業的精錬法の確立までに長い時間を要し、1946年以降に本格生産を開始した新しい金属である。

日本製鉄(株)チタン事業は世界トップクラスの総合展伸材メーカーとして、チタン、チタン合金が持つ軽量、高強度、優れた耐食性を活用した用途展開に加え、成形性、意匠性、耐熱性等の新たな特性の付加や、接合、成形加工等の利用加工技術、材料特性データの整備等チタンを使う立場に立った技術開発も充実させ、チタンの市場拡大に貢献してきた。

本稿ではまず、チタンのマーケット状況と展望を説明し、次にチタン適用分野における日本製鉄の用途開拓を概括し、今後の市場開拓の方向性について展望する。

2. チタンのマーケット状況

日本の展伸材出荷量は、2014年以降5年連続で増加を続け2018年に18922トン²⁾となったが、2019年には中国

の景気減速による設備投資の減少や、環境規制を背景にした火力発電プラントの建設抑制などの影響を受け、16303トンと減少³⁾に転じた。2020年の出荷量は新型コロナウイルス感染症の世界的な蔓延からさらに減少し、12544トンに留まった²⁾。内訳として航空機、および電力分野の減少が目立った。

航空機分野の影響は新型コロナウイルス感染症対策として各国の入国制限・封鎖措置に伴う航空旅客の激減によるもので、その影響度は航空需要の指数であるRPK(有償旅客搭乗距離)⁴⁾によれば、2020年は、2019年より60%もの減少であった³⁾。しかし航空機需要そのものが無くなる訳ではなく、新型コロナウイルス対策が2021年に行われれば需要は回復し、2019年並みに回復するのは2024年頃と推測されている。

電力分野においては、発電所のコンデンサ用チタン溶接管、あるいはその素材となるチタン薄板(フープ)が主要な用途である。コンデンサ用チタン溶接管は火力発電、あるいは原子力発電にて用いられる。発電用、特に原子力発電用チタン溶接管は、信頼性の観点から従来“日本製指定”の場合もあったが、近年はこの様な指定も外れ、中国、イ

* チタン事業部 チタン営業部長 東京都千代田区丸の内2-6-1 〒100-8071

インド等チタン溶接管メーカーが台頭し受注競争が激化している。この状況に加え、新型コロナウイルス感染症対策として世界各地でロックダウンが実施された。これにより2020年の世界のエネルギー需要は約6%減少(2008年の金融危機の7倍の影響)⁴⁾、火力発電への投資も減少⁵⁾した。

またチタンの従来からの主要用途分野である電解、プレート式熱交換器用途においても、新型コロナウイルスの影響による世界的な経済活動の停滞により需要が低迷している。

一方、供給面においては、中国を中心に一般産業向けチタンサプライヤーも増えており、価格面での競争が一段と激しくなっている。需要の低迷とサプライヤーの増加という厳しい環境の中、用途開拓を推し進めていく必要がある。

新型コロナウイルス解消後のチタンマーケット将来展望においては、世界的な“脱炭素”潮流への対応も想定しなければならない。2020年日本政府は“2050年カーボンニュートラル”目標を打ち出した。経済産業省はその具体的方向性を公開⁶⁾しているが、その要旨は“電動化”の推進と“再生可能エネルギーおよび水素やアンモニア等の活用による発電時の炭素低減”となる。チタンの持つ“軽量・高比強度・耐食性”という特長を活かして、これらのキーワードに関連する付加価値の高い用途開拓を進めることで、“2050年カーボンニュートラル”実現に貢献していかなければならない。

より一層のチタンマーケット拡大に向けては、継続的な新規需要開発努力により、世界に先駆けたチタン需要開拓が不可欠であろう。例えば自動車、家電産業、建築・土木など、日本がリードする産業分野にてチタン需要を掘り起こすことと、不断のコスト削減努力を継続して他材料からの置換と成り得るチタンの需要を拡大する、という両輪を回すことで、更なるチタンマーケット拡大は可能と考えている。

3. チタンの適用分野開拓トレンド

前章ではチタンのマーケット状況と展望につき概説し、新型コロナウイルス解消後の用途開拓の方向性・必要性を述べた。本章ではチタン適用各分野の用途開拓の取り組みについて述べる。

図1にチタン適用各分野のステージ別分類を示す。左側はチタンの特性を活かし、工業的にチタンの使用が定着した分野で“既存領域”とした。右側はチタンの適用開発が今後進められていくであろう分野で“革新領域”とした。その両方にまたがる中央部分は、すでにチタンの適用が定着しているが、新たな用途開拓も進められることが期待される分野を示す。

3.1 既存領域

まず“既存領域”について述べる。石炭・石油等化石燃料を用いる火力発電所、原子力発電所では、復水器に伝熱管としてチタン溶接管が用いられる。これは海水への耐食

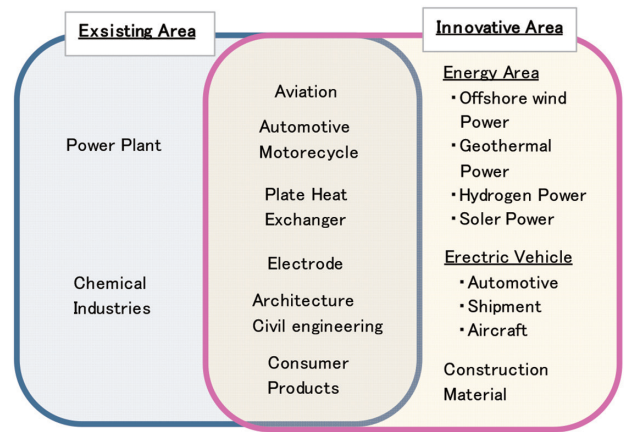


図1 チタン適用分野ステージ別分類
Titanium products exploitation map by stage

性に優れ、ニッケル銅合金管と較べ耐エロージョン性が良い等、メンテナンス性や機器安定性が評価されたことによる。適用が確立された反面、チタン溶接管への要求仕様もほぼ固定され、中国、インド等チタン溶接管メーカーの価格競争が激しい分野でもある。なお“脱炭素”のトレンドにより、先進国では石炭火力発電所の新設が制限されている⁴⁾。原子力発電は“脱炭素”の現実的な対応策であるが、世界の原子力発電所建設は現在、中国、ロシアが中心となり推進しており^{5,7)}、日本メーカーの参入余地は少ない。

化学分野ではチタンの耐食性を活かして、プラント設備に溶接管や厚板が主に用いられる。例えばペットボトルや衣料原料(ポリエチレン繊維)となるPTA(テレフタル酸)製造設備の反応塔や、石油精製設備の配管に使用される。PTAは世界の40%強を中国が製造しているが、2021年の設備新設により供給能力が需要を大きく超過するため、製造設備調整局面に入る見通し^{5,8)}である。

3.2 “既存領域”と“革新領域”を兼ね備える領域

次いで、“既存領域”と“革新領域”の両方の性格を兼ね備える、中央部分の分野について述べる。

3.2.1 航空機分野

まず航空機分野について述べる。航空機はチタンの適用が進められてきたメジャーな用途の一つである。軽量で比強度が高く、耐食性もあり低温で脆くならず、低熱膨張でCFRPとの接合が可能というチタンの特性が発揮され、エアバス社やボーイング社の最新鋭機ではチタン使用比率が増加している。日本製鉄はエアバス社へ純チタン薄板を長年供給している。航空機分野では安全性重視から、個社の独自開発材がそのまま直ぐ採用されることはなく、製造実績と規格化・認証が行われた後に採用となることから、早期に大きな変化は起きない。しかし航空機分野においても“脱炭素”のトレンドから、バイオジェット燃料に始まり電動航空機や水素飛行機の開発も行われている^{9,10)}。機体の

軽量化も当然求められることから、軽量・高強度な材料の供給も必要となる。日本製鉄は長年の純チタンの製造・納入経験をもとに、将来より高強度な材料を供給できるよう準備を進めていく。

3.2.2 自動車分野

次に自動車分野について述べる。この分野のチタン適用は現在、主に2輪用途で進んでいる。軽量化によりエンジンの応答性を高めるコンロッド、バルブや、軽量化・意匠性に寄与するマフラー(写真1)が主な用途である。日本製鉄は独自開発の耐高温強度・切削性良好な Super-TIX® 51AF、および耐高温強度・疲労強度が汎用 6Al-4V 合金より優れる Super-TIX® 523AFM をコンロッド、バルブ用途に、成形加工性が純チタン並みでありながら 700℃ 以上の高温使用を想定した Super-TIX® 10Cu、耐高温酸化性を向上させた Super-TIX® 10CUNB、より耐高温強度を向上させた Super-TIX® 10CSSN をマフラー用途に開発してきた。Super-TIX® 10CU シリーズは2輪用途のみならず、4輪用途にも適用されている。また日本製鉄は量産2輪車向けチタン製燃料タンク(写真2)材を世界に先駆けて開発し、2017年より HONDA 量産2輪車(CRF450R 等)に採用されている。本材料およびその成形技術開発は、2018年に(株)本田技術研究所と共同で第34回素形材産業技術賞 素形材センター会長賞を受賞している。

自動車分野は“脱炭素”トレンドから今後益々の燃費向上が求められ、電動化(HV, PHV, EV, FC車)や電動アシスト(MHV)が進むと予想される。内燃機関用で培った技術、



写真1 AKRAPOVIC マフラー
Titanium muffler provided by AKRAPOVIC
©2021 AKRAPOVIC



写真2 HONDA CRF450R チタン製燃料タンク
Titanium fuel tank for HONDA CRF450R

製品群をベースに軽量・高強度等チタンの特性を活かし、自動車分野の“脱炭素”トレンド技術開発に貢献していく。

3.2.3 PHE (Plate Heat Exchanger) 分野

チタンの優れた海水耐食性を活かしたメジャーな用途には、熱交換器分野がある。その内プレート式熱交換器(Plate Heat Exchanger: 以下 PHE) はチタン薄板が最も使用されている用途である。PHE では高温媒体と冷却用海水などをプレート表裏で流すことで熱交換を行う。チタン薄板は、媒体に応じた独自の波板形状にプレス成型される。この波板形状は複雑であることから、PHE に用いられるチタン薄板は高い成形性が求められる。日本製鉄は最適な材質選定や製造工程での組織制御、高い表面品位管理を行い、ユーザーでのプレス成型に最適な PHE 用チタン薄板を製造している。また PHE は高性能化のためプレート薄肉化、大型化(広幅化)の傾向があるが、日本製鉄は厚さ 0.3mm から、幅は 1500mm 超(注: 厚みによる)まで製造可能である。本材料をユーザーに安定供給することで、ユーザーの PHE 大型化・高機能化に寄与している。

チタン薄板を用いる PHE は、その耐食性から海洋・船舶用途を中心に多く用いられてきたが、“脱炭素”トレンドにおいても熱マネジメント機器として活躍が期待される。例えば、ALFA LAVAL 社が 2020 年に開発した“カスケード式排ガス冷却システム”では、船舶の排気ガスからメタンを 50% 低減し、また燃費向上により CO₂ 排出も抑制している。同システムには海水冷却による PHE が使用されている。再生可能エネルギーである地熱発電では、バイナリー発電システムにて熱水と発電媒体(アンモニア等)を熱交換し発電するが、熱水の泉質により耐食性のあるチタンが用いられる。日本製鉄は優れた成形性を有する PHE 用チタン薄板を供給することで、PHE メーカーの“脱炭素”技術開発に引き続き貢献していく。

3.2.4 電解分野

電解分野では苛性ソーダ(NaOH)プラントが最も典型的である。苛性ソーダは塩水を電気分解することで塩素および水素とともに製造される。製造方法は“イオン交換膜法”が主流で、日本メーカーは本分野で 50% 以上のシェアを有している⁹⁾。塩水の入る陽極にチタン、苛性ソーダが生成する陰極に主としてニッケルが用いられる。イオン交換膜を支える部分は高温・高濃度塩素イオン環境となり、隙間腐食懸念からコーティングあるいは耐食チタン合金が使用される。

一般的な耐食チタン合金は貴金属パラジウムを 0.12-0.25% 含有させたもので、JIS、ASTM にも規格化されているが、パラジウムコストが高いことから、日本製鉄は SMIACE® (Ti-0.06%Pd-0.5%Co: JIS 17-20 種 / ASTM Gr16, 17, 30, 31), TICOREX® (Ti-0.05%Ru-0.5%Ni: JIS 21-23

種/ASTM Gr13-15)の2種類の省コスト耐食チタン合金を保有、苛性ソーダ電極でも採用されている。いずれも貴金属使用量を一般的な耐食合金の1/3に抑えながら、ほぼ同等の耐隙間腐食性能を実現している。これらの耐食チタン合金の詳細については別記事、「白金族元素を低減した高耐食チタン材の開発」も参照されたい。

電解分野での“脱炭素”トレンド対応は、“水素製造装置用途開発”であろう。現在はアルカリ水電解方式(KOH溶液にニッケル電極を用い電気分解で水素を製造)の大型化が進められているが、別方式ではチタン電極での開発も進められている。今後の開発次第では省コスト耐食合金の需要も考えられよう。

3.2.5 建材・土木分野

建材分野でのチタン適用は、日本製鉄の経年変色しにくいチタン材の開発の他、建材(意匠材)として必要な適用技術、新意匠の創作や建築商品が施工・加飾パートナーと連携して開発されたことにより、伝統建築から公共建築に至るまで幅広く行われ、適用建築物は現在600件を超えている。

チタン建材は表面の酸化被膜厚みを調整して様々な干渉色を発現でき、またブラスト処理で金属光沢を抑えたマットを作り出すことが可能である。様々な色合い・テクスチャーを塗料等用いること無く表現できる。近年の適用事例では、2020年7月に開館した“弘前れんが倉庫美術館”屋根材があげられる。弘前れんが倉庫美術館(写真3)は、明治・大正期に建てられた近代産業遺産の吉野町煉瓦倉庫を、新たに芸術文化創造の拠点として改修した弘前市初の公立美術館であり、戦時期に日本で最初にシードル(リンゴ酒)を製造開始した工場でもある。改修にあたっては、耐震補強を行うことによる重量増を避けるため、屋根にはより軽量な材料が求められていること、また雪による腐食を防ぎ長期に渡って建物を保存できる耐久性や、チタン特有の干渉色によるシードル・ゴールドに輝く意匠性から日本製鉄チタン建材が採用された。建築設計は、エストニア国立博物館などを手掛けた Atelier Tsuyoshi Tane Architects(フランス・パリ市、代表:田根剛氏)が担当し、“記憶の

継承”を建築コンセプトに改修が行われた。

日本製鉄は2017年より、チタン建材を含む“優美性を発揮したチタン製品”および“優美性を発揮するために開発されたチタン素材”を、デザインチタン TranTixxii®(トランティックシー)としてブランド化した。キーワードの“時を超える素材”は“弘前れんが倉庫美術館”の建築コンセプト“記憶の継承”とマッチしている。

その他チタン建材 TranTixxii®は“竜宮城”を模したデザインを特徴とする、小田急電鉄(株)片瀬江ノ島駅舎(写真4)にも採用された。伝統建築で多用される緑青色を発色とブラストで再現し、棟には日本製鉄の特許技術である Ion Plating Gold が採用され、伝統建築技法と最新の素材技術の融合により現代の竜宮城が2020年8月に竣工した。

チタンは耐食性に優れることから、施工後のメンテナンスの手間が殆どかからずLCC(ライフサイクルコスト)に優れている。加えてチタンは軽量であることから、屋根をチタンにすることで大幅に軽量化が可能である。例えば浅草寺本堂(所在地:東京都台東区)の屋根瓦として採用された際には、本瓦からチタン建材に変えることで、屋根重量は改装前の1/5に軽減され、建物の耐震性も向上した。チタン瓦は屋根に固定されていることから、2011年の東日本大震災においても落下が確認されず、安全・安心に大きく寄与している。チタンは建材として新しい材料であるが、国連で採択された“持続可能な開発目標”(SDGs)にも合致した活動(“住み続けられるまちづくりを”)のターゲットである“世界の文化遺産及び自然遺産の保護・保全の努力を強化する”)を通じて、これからも社会の発展や重要建造物保護・保全に貢献していく。

土木分野において、日本製鉄はグループ会社である日鉄防食(株)と連携し、チタンの優れた耐食性を活かした、鋼構造物の防食部材も展開している。海洋鋼構造物(栈橋鋼管杭など)の防食工法である“TP工法”(チタンカバー・ベトロラタム被覆工法)は、FRPカバーと比べ経年劣化がほとんど無く、漂流物による破損の恐れも少ない。またカバー材のチタンはリサイクルも可能という特長を持つ。茨城県神栖市に位置する“波崎海洋研究施設砕波帯観測用栈橋”にてTP工法は35年以上の暴露試験を継続しており、50

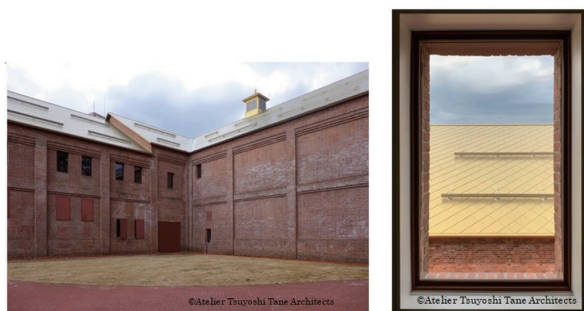


写真3 弘前れんが倉庫美術館
Outside of Hirosaki Museum of Contemporary Art



写真4 小田急片瀬江ノ島駅
Outside of Katase-Enoshima station, Odakyu Electric Railway Co., Ltd.

年耐用が期待されている。なお2020年9月現在で293件と多数の施工を実現している。

チタン箔防食工法は、厚み0.1mmの純チタンを粘着材でラミネートしたチタン箔シートと塗装による工法である。沖縄高速道での23年間暴露試験結果から60年以上の期待耐久性が示唆されており、メンテナンス省力化とLCC低減を図ることができる。2019年には国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構(JAXA)種子島宇宙センターで、工場から搬入されたロケットを組立・整備・点検するための大型ロケット組立棟の扉上部(地上80m)のガイドレール部に採用された。またチタン箔シートは筋交(カーボンファイバー製)と組み合わせることで、建造物を痛めない耐震補強工法にも活用され、2020年には世界遺産登録“富岡製糸場西置繭所”(国宝)の耐震補強工事に適用された。本件詳細は別記事、「歴史的建造物を支えるチタン」を参照されたい。

3.2.6 民生分野

チタンは軽量・耐食だけでなく、金属アレルギーがほとんどないことやチタンの持つ独特の風合い、力強さ、TranTixxii®(トランティクシー)に代表される意匠性から、様々な民生分野においても使用されている。2020年3月にはTranTixxii®(トランティクシー)が、富士フィルム(株)より発売されたミラーレスデジタルカメラ“FUJIFILM X-Pro3”(写真5)のボディ外装に初めて採用された。またTranTixxii®(トランティクシー)の新開発チタン合金Super-TIX®20AFGは、カシオ計算機(株)より2021年4月に発売されたG-SHOCKの新モデル:GMW-B5000 TR-9(写真6)の



写真5 FUJIFILM X-Pro3
Titanium body applied digital camera,
Provided by FUJIFILM Corporation



写真6 G-SHOCK GMW-B5000 TR-9
Titanium bezel and band applied watch,
Provided by CASIO Computer Co., Ltd.

ベゼル、バンド用途に採用された。鏡面性、加工性、並びに電波受信特性の全てを満足させるべく、最適な化学成分の配合とミクロン単位での緻密な金属組織制御とを巧みに組み合わせ実現した。

また現在、新型コロナ禍によりゴルフやアウトドアが注目されている。ゴルフでは2021マスターズにて、松山選手が日本人として初めて優勝したことが記憶に新しい。同選手使用のドライバー“SRIXON ZX5:住友ゴム工業(株)”(写真7)のフェースには、軽量、高強度、高ヤング率の独自チタン合金Super-TIX®51AFが採用されている。アウトドアではチタン製キャンプ用品も注目され、環境保護の視点からマイボトル、システムボトル等新製品開発も進められた。(株)スノーピークは2021年4月、チタン製ウォーターボトルを発売した(写真8)。本製品に日本製鉄純チタン薄板が使用されている。プラスチックごみ問題、CO₂排出削減に貢献するマイボトルは、SDGsのトレンドから今後も増加すると思われる。日本製鉄は生活に身近なところからもチタンを通じ社会に貢献していく。

3.3 革新領域

最後に“革新領域”について述べる。この領域は社会の変革に貢献していく技術分野である。その中心は“カーボンニュートラル実現”に向けた分野であり、キーワードは“電化”である⁹⁾。



写真7 SRIXON ZX5
Titanium face driver,
Provided by Sumitomo Rubber Industries, Ltd.



写真8 スノーピーク社 チタン製ウォーターボトル
Outsides of titanium water bottle,
Provided by Snow Peak Inc.

発電分野においては、洋上風力、太陽光や地熱発電といった“再生可能エネルギーの活用”に加え、水素など炭素を含まない資源の活用による発電技術が該当する。チタンの軽量・耐食特性は洋上設備や住宅屋上発電設備、温泉・地熱利用設備にて活躍が期待されよう。また現在化石燃料を主として使用する“輸送機器”では電動化が進んでいく。船舶ではバッテリーで動く大型電動コンテナ船が、2020年代前半にノルウェーで計画されている他、日本においても船舶用水素燃料電池システムおよび実証事業が、2020年9月より東芝エネルギーシステムズ(株)、川崎重工業(株)、日本郵船(株)等により進められている¹⁾。航空機においてもエアバス社やボーイング社の他、JAXAにおいても電動航空機の開発が進められている²⁾。電動化による動力はモーターにより得られるため、その高出力化、軽量化が必要となる。チタンの高強度、軽量を活かしたモーターへの適用も期待されよう。また高強度・軽量特性を持つチタンを輸送機器本体に適用することは輸送効率をより高めよう。

さらに地震の多い我が国の安全・安心社会構築のため、チタンによる構造部材の開発も考えられる。軽量・高強度の特性より、高層ビルや橋梁などの軽量化と安全性の向上も期待される。この分野では技術開発の他、関係法令整備などの取り組みを含めた環境整備も必要である。

4. まとめ

日本製鉄のチタン用途開拓について概説した。日本製鉄は世界有数のチタンメーカーとして、社会・顧客のニーズ

に答えつつチタンの適用分野拡大に努めてきた。チタンは産業として開始されてまだ70年ほどの非常に若い金属である。製造技術の向上や用途に合った新機能開発を引き続き継続することで、更なる用途開拓を進めることができると考えている。チタンがより身近な“コモンメタル”と呼ばれるよう、用途開拓・技術開発を進めていく所存である。

参照文献

- 1) 岡部徹：まてりあ、58, 176 (2019)
- 2) 一般社団法人日本チタン協会 2021年度事業計画
- 3) Mr. Laurent JARA-Vice President AIRBUS: International Titanium Association (ITA) Conference Virtual October 2020
- 4) 環境省：石炭火力発電輸出ファクト集 2020, 2020年5月
- 5) Mr. Albert BRUNEAU-President NEOTISS: International Titanium Association (ITA) Conference Virtual October 2020
- 6) 経済産業省 2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略, 2020年12月
- 7) 一般社団法人日本原子力産業協会：2020年の主な世界の原子力発電開発動向, 2021年3月
- 8) 日本化学繊維協会 HP内ニュース記事, (中国)2021年以降もPTA生産能力が拡大, 2020年12月10日
- 9) JAXA (宇宙航空研究開発機構) HP内特集記事, 特集「電動航空機」
- 10) AIRBUS HP内メディア発表, Airbus reveals new zero-emission concept aircraft, 2020年9月21日
- 11) 東芝レビュー, 76 (2), 37-39 (2021)



寺井 健 Ken TERAI
チタン事業部 チタン営業部長
東京都千代田区丸の内2-6-1 〒100-8071



武智 勉 Tsutomu TAKECHI
チタン事業部 チタン技術部
チタン商品技術室長