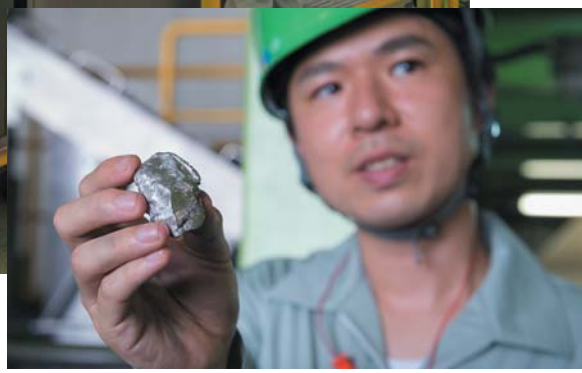
ISMA REPORT
新構造材料技術研究組合（Innovative Structural Materials Association, 略称：ISMA）広報誌
September 2017
8

特集 チタン材の革新的製造技術の開発

実用化された「高Feスポンジチタン自動選別機」（東邦チタニウム若松工場）



シャー切断面（良品）を示し、開発の苦労を語る井上洋介氏（茅ヶ崎分室）

比重が鉄の6割と軽く、比強度や耐食性に優れるチタンは、身近な物ではメガネフレームやゴルフクラブなどに使用されています。輸送機器ではロケットや航空機への適用が進んでいますが、原料が高価で製造プロセスが複雑なことから、その他の輸送機器への適用はなかなか進まない現状があります。

自動車をはじめとする輸送機器の抜本的な軽量化を目指すISMAプロジェクトでは、「革新的チタン材の開発」を課題の一つとして、2つのテーマの下、3企業、8大学、1研究機関が、チタン材の抜本的なコストダウンを目指して革新的な製造プロセス技術の開発などを進めています。

今号では富津分室（新日鐵住金株式会社）と茅ヶ崎分室（東邦チタニウム株式会社）、そして西神分室（株式会社神戸製鋼所）に研究の目的やこれまでの成果について伺いました。

特集｜チタン材の革新的製造技術の開発

■ 高品質スポンジチタンを適用した「非溶解プロセス」の開発

富津分室（新日鐵住金株式会社）／茅ヶ崎分室（東邦チタニウム株式会社）

チタン展伸材を製造する鉄鋼大手の新日鐵住金（富津分室）と世界有数のチタンメーカーの東邦チタニウム（茅ヶ崎分室）は共同で、「チタン薄板の革新的低コスト化技術の開発」をテーマに研究開発を行っています。製錬から薄板製造までの一貫プロセスを新たに開発し、チタン薄板の高機能化、生産の高効率化（リードタイム短縮）、低コスト化を図ることにより、現行チタン市場の置き換えではない、新たな市場の創出を目指しています。また両分室は北海道大学、京都大学などとともに新しい製錬法などの研究開発も進めています。

白井 善久氏
（富津分室）

藤井 秀樹氏
（茅ヶ崎分室）

研究の背景について教えてください

白井：チタンは優れた特性を持っていますが適用範囲が限定されています。この原因は高いコストにあります。またチタンの展伸材市場では中国や韓国の技術力が向上し、薄板の品質が日本製に接近してきています。このような背景から、機能性に優れた、低コストで競争力のあるチタン薄板を開発するため、新しい製造プロセスの開発を進めています。本プロジェクトでは軽くて強いチタン材の自動車適用を拡大し、燃費改善などに役立てることが目標です。

新しい製造プロセスとはどのようなものでしょうか

白井：従来のチタン製造プロセスは複雑なため、高コストの原因の一つになっています。複雑な工程を簡略化できれば、製造コストを大幅に削減できると考えました。そこで富津分室では、スポンジチタン製造工程以降の溶解・加熱・鍛造を含む中間工程を省略し、スポンジチタンから直接圧延して薄板を製造する「非溶解プロセス」（図1）の開発に取り組んでいます。新プロセスには、高品質なスポンジチタンの使用が必須となるため、茅ヶ崎分室が「高品質スポンジチタンの開発」を進めています。

スポンジチタン

藤井：スポンジチタンの製造には一般的にクロール法※1が使用されています。高品質のスポンジチタンを製造するには、Fe（鉄）汚染、O（酸素）汚染を低減し、残留$MgCl_2$（塩化マグネシウム）は限りなくゼロに近づける必要があります。汚染原因や影響因子などの実態把握のため、調査と数値シミュレーションを繰り返し、製造条件の適正化などの対策を行っています。現在までに大部分の要素技術を確立し、実機で試験中です。

中でも本プロジェクトで開発したFe汚染を低減する「高Feスポンジ自動選別機」（表紙）は単体でも機能するため、有償譲渡を受けて、すでに実用化しています。この装置は小豆など農作物の良・不良品を仕分ける自動選別機をヒントに開発しました。鉄を多く含む粒は、独特の光を放つため、CCDイメージセンサーを使用して色彩と反射率で光度を認識し、自動選別します。開発に苦労した点は、良品でもシャー切断された断面は光を放ち、不良品と区別しにくいことでした。不良品特有の光沢を検出する特殊な判定プログラムを開発し、問題点を解決することができました。

これまで人力で行っていた選別を機械が担うことで、低コストで高品質なスポンジが大量に生産できるようになりました。そして所定の不純物濃度未満の高品質スポンジを試作し、富津分室の「高効率チタン薄板製造の開発」の原料として提供しています（図2）。

大学との共同研究の成果は

藤井：クロール法以外の新しい製錬技術を大学と共同で開発しています。京都大学が「二価チタン（$TiCl_2$）イオンを含む塩からのチタン電解・析出（電析）技術の研究開発」を行い、電析条件と電極材料を適正化することにより、Fe濃度:4ppm、O濃度:70ppm程度で、表面が平滑な高純度チタン箔（切手サイズ）が得られることを確認しました。現状は厚さ150μmですが、1mm程度まで成長させられることが実証されています。この技術の早期実用に向けて、茅ヶ崎分室に大型ラボ試験設備を導入し、7月に試運転を開始しました。今年度はハガキ大の試作品製造を予定しています。

左が高Fe粒、右が良品

今後の課題は

白井：新プロセスで製造したチタン薄板は、ラボレベルで現行材（溶解材）と同等の引張特性を確認しています（図3）。今後は大型化や高機能材を検討し、実用化に向けて自動車部品の試作を実施していく予定です。

藤井：「高品質スポンジチタンの開発」に関しては、実機スケールでの実証実験を継続し、高Feスポンジ自動選別機に続き、効果が確認された技術から順次実用化を目指します。電析箔については工業化のための課題を抽出していきます。

※1 チタン鉱石を塩素と反応させ生成した四塩化チタンを、金属マグネシウムで還元する技術。最も一般的な工業用チタンの製造工程。

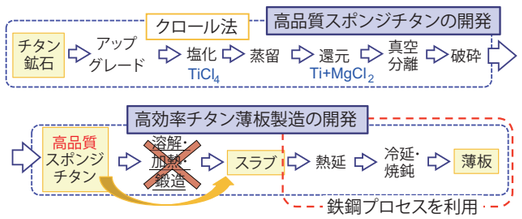


図1 従来の製造プロセスから中間工程を省略した「非溶解プロセス」

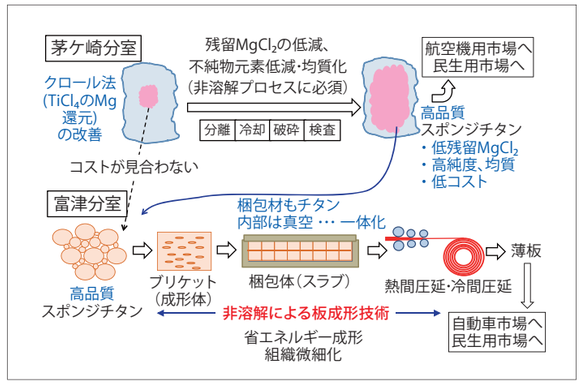


図2 テーマ概念図

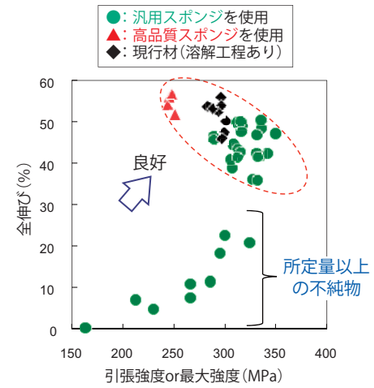
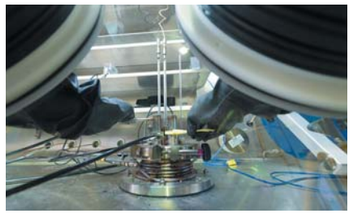


図3 冷延-焼鈍したチタン薄板の引張特性

試作したチタン箔（京都大学 宇田研究室提供）



小型チタンの電析試験設備（茅ヶ崎分室）。チタンは酸化しやすいため、不活性ガスが充填されたドラフト内（グローブボックス）で作業する

■ 高被削性チタン合金を開発し、航空機市場での競争力を強化

西神分室（株式会社神戸製鋼所）

鉄鋼大手の神戸製鋼所は、板や管、鍛造材などの純チタン、チタン合金の製品全般を製造しています。本プロジェクトでは西神分室として、「チタン材一貫製造プロセス技術開発」をテーマに東北大学、国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構（JAXA）、名古屋大学、岐阜大学、京都大学、大阪大学、佐賀大学とともに研究開発を進めています。同分室ではチタン材のトータルコストを抜本的に削減するため、航空機向け素材（板や鍛造材）の切削性向上、そしてスクラップなどの低廉材料の利用を可能にする新しいプロセス技術を開発することで、国際競争力の強化を目指しています。

伊藤 良規氏
（西神分室）

研究の目的について教えてください

伊藤：軽量化のため、大型航空機の機体には炭素繊維強化樹脂（CFRP）の適用が進んでいます。その流れに伴い、従来はアルミ材が使用されていた部材が、CFRPとの間で腐食が起きにくく、CFRPと熱膨張率が近いチタン材に置き換えられています。さらに世界的に民間航空機の需要が拡大していることから、チタンの需要も拡大しています。しかし、大型民間機市場はボーイング社（米国）とエアバス社（欧州）の寡占状態にあるため、その市場で競争力を高めていくには、低コスト化に加えて、差別化商品の創出が必要だと考えています。

材料メーカーはチタン素材を航空機メー

カーに納品し、航空機メーカーが素材を削って航空機部品を製造しますが、チタンはアルミや鋼に比べ、削りにくい性質があります。そこで西神分室では、切削性に優れたチタン材を供給することで、航空機部品の製造工程でのコストを低減できると考えました。われわれは素材段階でのコスト削減だけでは不十分と考えており、チタン製品として、トータルでコストを下げることを目指しています。航空機メーカーのニーズに応えるため、「高被削性合金の開発」を進めています。

これまでの成果については

伊藤：開発中のチタン合金は、当社の独自合金（Ti-531C: Ti-4.5Al-2.5Cr-1.25Fe-0.1C）をベースにニッケル（Ni）と銅（Cu）を微量添加し、新たな合金を設計しています。さらに熱処理プロセスを適正化することで、従来材（Ti-6Al-4V※2）と比較して、強度が約20%向上し、被削性・鍛造性ともに従来材と同等以上を達成しています（図4a、図4b）。これまでに量産相当プロセスで試作を行い、鍛造時に割れの発生がないサンプルの試作に成功しました。

今後の目標は

伊藤：本プロジェクトでは合金の開発のほかに、原料費の低減を目指してスクラップなどの低廉材料を利用した全く新しいプロセスの開発も進めています。酸化しやすいチタンは酸素汚染を低減することが重要課題です。従来原料の酸素濃度は1000ppm程度ですが、それに対して低廉材料を模擬した8000ppmの酸素を含む原料を使用して検討した結果、溶解段階で2度の溶解プロセスを行う「溶解脱酸プロセス」フローを見いだし、酸素濃度を従来原料以下に抑えることを可能にしました。（図5）。

最適条件を絞り込み、実機化への課題を明確化していく必要がありますが、このプロセスを利用して高被削性合金素材を製造できれば、チタン材の低コスト化と差別化の双方が実現可能となり、航空機市場での国際競争力強化につながると考えています。

今後は開発したチタン合金をスケールアップした条件で検証を進めると同時に、航空機で使用される部材を想定した試作も行っていく予定です。薄板材の開発も引き続き並行し、航空機向けチタン材全般で貢献を目指します。

※2 Ti（チタン）に6%のAl（アルミ）、4%のV（バナジウム）を添加したチタン合金。航空機に最も多用されている合金。

試作品（ビレット鍛造工程完了時）

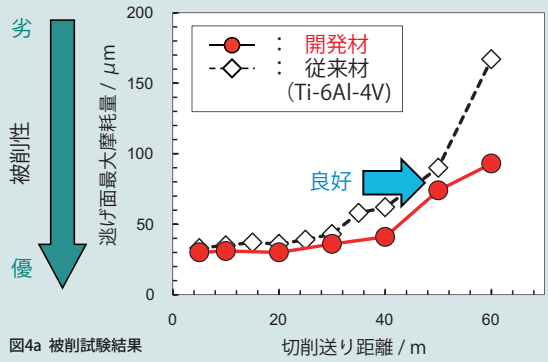


図4a 被削試験結果

	強度	被削性	鍛造性
従来材 (Ti-6Al-4V)	896MPa	○	○
目標	1075MPa	○	○
開発材	1130MPa	◎	◎

図4b 従来材と開発材の特性比較

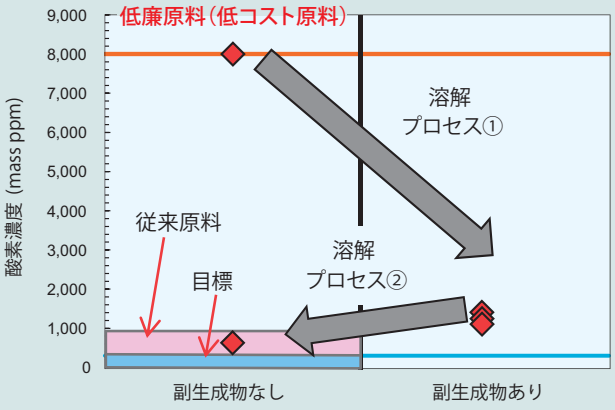


図5 溶解脱酸プロセスによるチタン中酸素濃度の変化

ISMAの活動についての報道

● 新聞

2017年6月28日　日経産業新聞「素材開発 府省横断で」
2017年7月27日　日経産業新聞「マツダ・UACJ：アルミと樹脂 2秒で接合」
2017年8月17日　鉄鋼新聞「産業技術総合研究所：小型の加速器中性子施設を設置」
2017年9月 1日　鉄鋼新聞「経済産業省：鉄鋼・非鉄関連の概算要求」

● 雑誌

2017年 7月号　日経Automotive「強度の異なるAl合金を積層」

ISMA REPORT September 2017, No.8
©Innovative Structural Materials Association. 2017 All rights reserved.

発　行　新構造材料技術研究組合（ISMA）
お問い合わせ先　新構造材料技術研究組合（ISMA）技術企画部
〒100-0006 東京都千代田区有楽町1-9-4 蚕糸会館10階
Tel：03-6213-5655　Fax：03-6213-5550
制作協力：サイテック・コミュニケーションズ
デザイン：高田事務所　撮影：石川典人（表紙ほか）