

自動車の軽量化ニーズに応える 新日鉄の自動車用アルミ材

二酸化炭素排出抑制、排ガス規制、地球環境問題への対応を背景に、自動車の軽量化ニーズが高まり、鋼材のハイテン化に加えて、アルミの適用が進んでいる。自動車用鋼材の技術を長年蓄積してきた新日鉄では、鉄鋼材料に関する高度な技術を駆使し、国内トップシェアのアルミメーカーである古河スカイ(株)との共同事業体制で素材・製品開発・適用技術開発に取り組み、自動車用のアルミ（圧延品）を提供している。

2004年には、本田技研工業(株)と共同開発した自動車用アルミ材「高温ブロー成形用 5000 系板材」と「熱間バルジ成形用 5000 系押出材」がホンダの新型レジェンド（写真）に採用され、2004 年度の日経優秀製品・サービス賞（※注 1）の「最優秀賞」を受賞した。今回は、自動車用材料として期待が高まる新日鉄の自動車用アルミ事業を紹介する。



本田技研工業(株) レジェンド

軽量化に向けて進む 自動車部材のアルミ化

近年、環境問題を背景に自動車を軽量化し燃費向上させることが大きな技術課題となっている（図 1、図 2）。そうした中、自動車用鋼材のハイテン化、高機能化とともに、より軽い素材としてアルミの適用も期待されている。しかし、アルミは複雑な成形が難しいため、自動車での適用箇所は限られ、その多くはエンジンやトランスミッションに用いられる鋳物品だった。

しかし、さらなる軽量化ニーズから、現在は、ボディや足廻り用の板材、押出材などアルミ圧延品の適用が進んでいる（図 3）。自動車へのアルミの適用は 1993 年からの 10 年間で 1.5 倍も伸びており、自動車 1 台あたりの生産に使用されるアルミの重量は約 130kg にまで向上した（図 4）。

「アルミは鋼材に比べてコスト高なため、自動車ボディ用としては、スポーツカーや一部の高級車などのボンネット（フード）への適用にとどまっていた。しかし、最近では自動車にさまざまな装備が取り付けられ重量が増加する傾向にあることや、燃費規制が一段と強化される方向にあることから、自動車ボディへのアルミ適用は拡大する傾向

にあります」と、薄板事業部自動車鋼板営業部自動車アルミグループマネジャーの静信幸は、背景を語る。

例えば、0.7mm 厚の自動車用鋼板をアルミに置き換える場合、強度を確保するためには、1 mm 厚のアルミ合金板が必要となるが、約 20kg の鋼材を 10kg のアルミで代替することができるため、ほぼ 50% の軽量化が実現する。しかし、材料費が高く加工効率が悪いため、自動車部品にするときには数倍のコストがかかってしまう。しかし、今後、燃費規制がさらに強化され、材料技術が進展した場合、アルミの適用は小型車クラスにも広く進む可能性もある。

材料技術のポイントは、「加工性」だ。アルミ合金は鉄に比べて伸び（延性）が小さく、複雑な形状や大きな変形を要する加工をすると、加工中に破断してしまう（図 5、図 6）。こうした課題を克服するため、アルミに合金元素を添加して成形性、強度の向上が試みられてきた。

アルミは、添加する合金元素によって、いくつかの種類に分類される。自動車用に使用されているのは、主に 5000 系（Al-Mg 系）合金、6000 系（Al-Mg-Si 系）



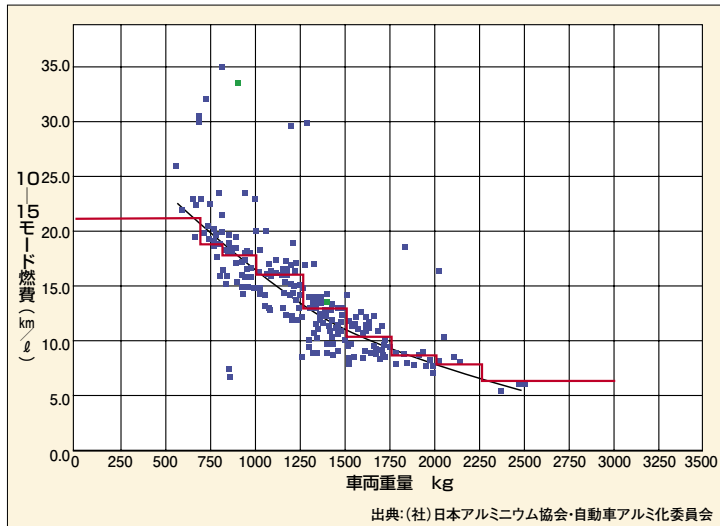
薄板事業部自動車鋼板営業部
自動車アルミグループ
マネジャー 静 信 幸

※注 1 日経優秀製品・サービス賞：毎年 1 回、特に優れた新製品・新サービスを表彰するもので、1982 年に日経・年間優秀製品賞として始まり 1987 年の第 6 回から現在の名称に変更、2004 年度で 22 回目を迎えた。産業界では画期的な製品に贈られる賞として定評がある。

図1 自動車の燃費規制

日本	京都議定書(COP3)に基づくCO ₂ 削減のため、 総合エネルギー調査会が燃費目標を設定 —ガソリン乗用車の場合 2010年燃費目標値 22.8% 向上 (対1995年実績) 乗用車平均 12.3km/L → 15.1km/Lへ
欧州	CO ₂ 削減に向けた欧州自工会の自主規制(必達目標値) EU域内で販売される乗用車の2008年 CO ₂ 排出量(平均) 22% 削減 (対1995年実績) 乗用車平均 186g/km → 140g/km=ガソリン車で16.9km/L程度以下へ …世界で最も厳しい。
北米	CAFE規制 オイルショックを契機に制定された省資源対策策。 適時、基準が改められる。 基準値 27.5マイル/ガロン=11.6km/L程度 …企業平均燃費。オーバーすると課徴金。

図2 車両重量と燃費の関係



平均的な車両重量 1,300kg 付近で試算すると、10% 軽量化で 1.3km/L 燃費が向上する。

環境に対する問題意識の高まりを背景に、
規制は強化される方向にある。

図3 日本車におけるアルミ化傾向

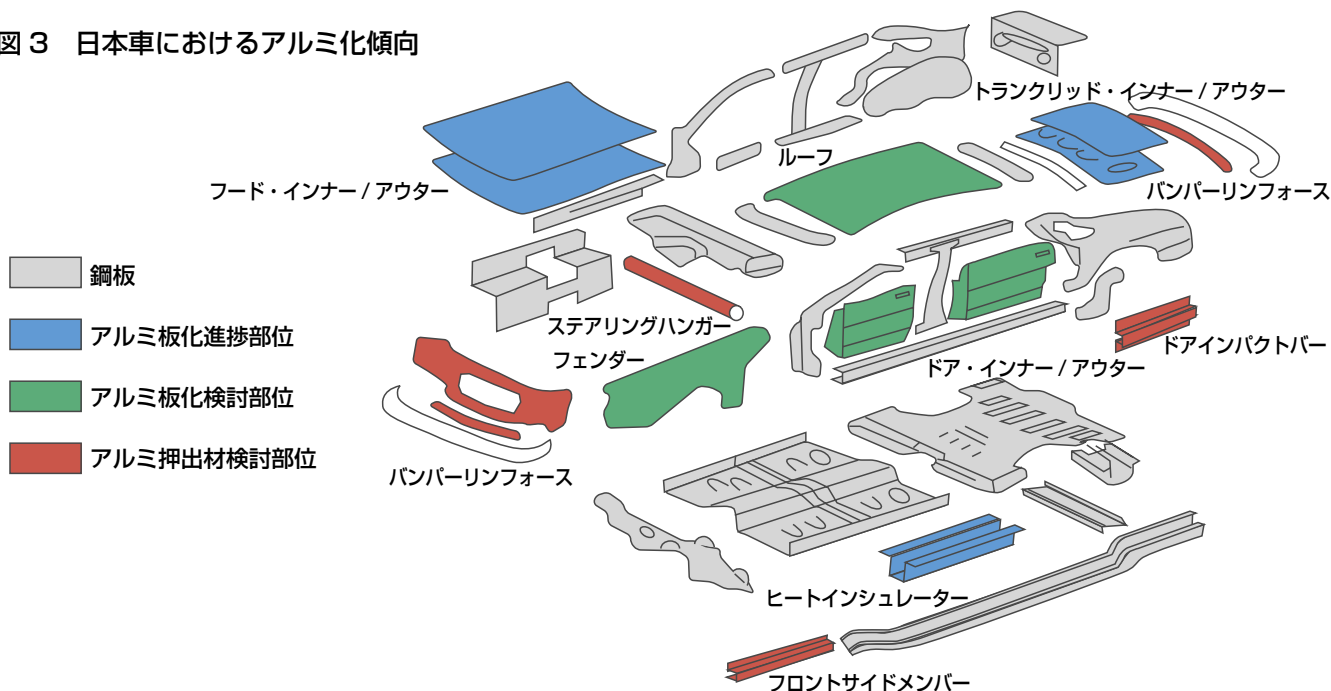
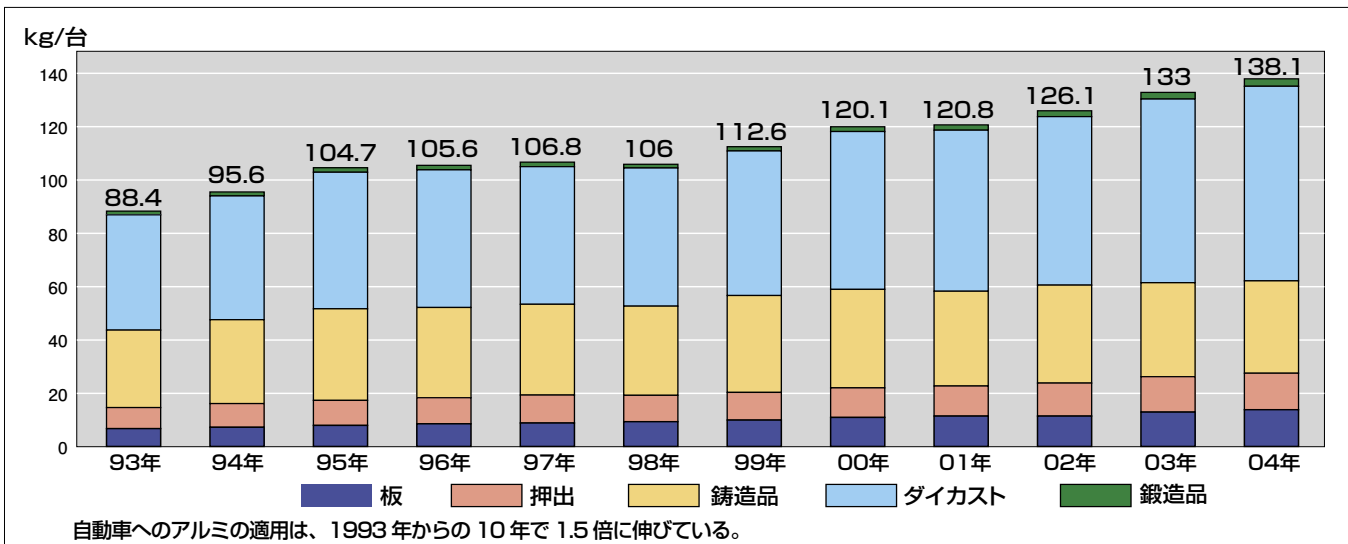


図4 自動車1台あたりのアルミ原単位



合金だ（表1）。新日鉄では、ボディ用の5000系、6000系の板材と各種押出材を軸に、超塑性（※注2）材料、衝撃吸収部材、バンパー補強部品、足廻り部材を開発している。

「自動車の生産ラインは、長年の実績がある鋼材を前提に設計されています。ですから、新日鉄は鋼材の成形技術のノウハウを基盤に、さまざまな観点からアルミの成形性を高め、自動車会社の生産ラインの負荷を軽減するソリューションを提案することができます」と、技術開発本部鉄鋼研究所鋼材第一研究部アルミ総括主幹研究員の菊池正夫（10月1日より九州大学工学部教授）は語る。

「お客様は、これまで自動車用鋼材に要求してきた性能をアルミにも求めます。アルミの世界の知識だけではより良いソリューションは生まれません。鋼材と対比させながらアルミの物性などを説明し、最適解を提案しています」と、自動車鋼板営業部自動車アルミグループリーダーの市川政司は語る。



技術開発本部鉄鋼研究所
鋼材第一研究部主幹研究員
菊池 正夫



薄板事業部自動車鋼板営業部
自動車アルミグループリーダー
市川 政司



薄板事業部自動車鋼板営業部
自動車アルミグループ
マネジャー 大山 耕史

自動車アルミに 鋼材開発で培った技術力を生かす

新日鉄のアルミ事業の主力製品は、ボディや足廻りの構造材となる圧延品だ。新日鉄のアルミ事業の歴史は、1964年に当時の八幡製鉄（株）、昭和電工（株）、米国のカイザーアルミとが共同で設立したスカイアルミニウム（株）（現・古河スカイ（株））まで遡る。

1990年代初め、米国で厳しい燃費規制法案が論議され、その対応のため日本車も車体の軽量化が必須課題となり、自動車のアルミ化が一層進展すると予見された。この時期に、新日鉄ではスカイアルミニウム（株）との提携を強化し、自動車アルミの共同事業を立ち上げた。1993年には、販売、技術サービス、品質保証および一部の研究開発を新日鉄が受け持ち、スカイアルミニウム（株）が製造と研究開発を行う体制をとった。

その後、2003年にスカイアルミニウム（株）と古河電気工業（株）の軽金属部門が統合し、国内最大のアルミ圧延会社となる古河スカイ（株）が誕生した。

現在では、新日鉄が営業窓口と研究開発を、古河スカイ（株）が

図5 鉄とアルミの結晶構造比較

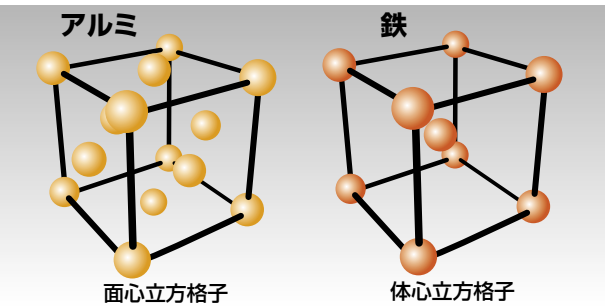


図6 アルミの成形性—鋼板との比較

項目	違い	課題
伸び	●局所の伸びが鋼板より小さい ●常温での伸びが低い	●割れやすい
ヤング率	●鋼板の1/3	●スプリングバックが大きい
r値	●鋼板の半分	●しわが発生しやすい
硬さ	●鋼板の60%	●キズが付きやすい

表1 自動車に使用される主なアルミ合金の種類

	合金元素	特徴		用途例 （自動車・その他）
		メリット	デメリット	
3000系合金	Al-Mn系（非熱処理型合金） Mnの添加によって、純アルミの強度を増加。	●純アルミニウムの持つ加工性、耐食性を低下させることなく強度を少し増加。	●強度・剛性が今ひとつ。	ヒートインシュレーター（遮熱板） 缶ボディ
5000系合金	Al-Mg系（非熱処理型合金） Mgの添加によって、非熱処理型合金中、最大の強度を有する。	●優れた成形性と強度を有する。 （Mgの添加量によって、鋼板に近い成形性が得られる） ●安定化処理により経年変化しない。	●ストレッチャー・ストレイン・マークが発生することがある。	ボディパネル（遮熱板） サブフレーム 缶蓋
6000系合金	Al-Mg-Si系（熱処理型合金） Al、MgにSiが添加された析出強化タイプの合金。	●BH特性（焼き付け塗装後に硬化する）があり、薄肉化が可能。 ●建築構造用として広く使用されリサイクル性に優れる。	●時効硬化しやすく、加工性劣化の原因となりやすい。	ボディパネル 建築用サッシ 陸上構造物

※注2 超塑性：金属材料などを引張ったときに、切れないでもとの長さの何倍にも伸びる挙動を示す。

図7 新日鉄の自動車用アルミ事業体制

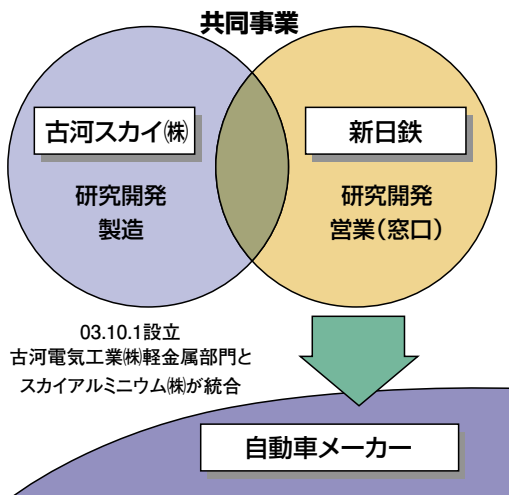


図8 生産・営業拠点



図9 成形シミュレーション



製造と研究開発を担当する共同事業体制が確立している（図7、8）。

「当社の鋼材の技術力と古河スカイのアルミの技術力を生かした総合力が強みです。また、当社が鋼材開発で培った優れた成形シミュレーション技術（図9）などは、アルミの成形性向上のキーテクノロジーとなっています」と、自動車鋼板営業部自動車アルミグループマネジャーの大山耕史は語る。

難しい形状を、アルミで実現

今回、新日鉄と古河スカイは本田技研工業(株)と共同で、パネル材として「高温ブロー成形用 5000 系板材」を、パイプ材として「熱間バルジ成形用 5000 系押出材」を開発した。ホンダの新型レジェンドでパネル材はトランクリッドフレーム（※注3）に、パイプ材はサブフレーム（※注4）

に採用されている（図10）。

アルミニウム合金は、鋼材に比べ常温のプレス成形性が劣るため、自動車部品とする場合、適用部位、デザインに制約があった。アルミニウム合金を複雑な形状に成形するためには、通常のプレス成形ではなく、材料を高温に加熱して延性を高める「高温ブロー成形」など、特殊成形法の適用が必要となっていた。しかし、従来の超塑性アルミ合金を使用した高温ブロー成形技術は、材料が高価で成形時間も長いため、量産車用の成形品には向かなかった。

そこで、成形時間を短縮した高速の高温ブロー成形技術を開発し、それに合わせた高温成形用の材料を開発した（5頁参照）。この合金は超塑性合金のような特殊な製造方法が必要としないため、生産性も高い。また一般的に、高温では金属組織が粗大化して強度に問題が発生してしまうが、マンガン（Mn）とクロム（Cr）を最適添加し、高温加工中でも結晶粒の粗大化を抑制した（図11）。

「高温で成形する点と、それほど高価な材料を使わずに成形できる技術という点が評価されました。これまでアルミ合金板が適用されてきたフードはさほど成形が難しくありませんが、この技術によってこれまでアルミではできなかった複雑な成形が可能になり、適用箇所の拡大と量産の可能性が見えてきました」と、自動車鋼板営業部自動車アルミグループマネジャーの浮穴俊康（現 技術協力事業部マネジャー）は語る。

またサブフレームは従来、アルミ合金パイプを常温でハイドロフォーム成形（※注5）するなどしていたが、成形性に限界があった。そこで、材料を高温に加熱し延性を高め、空気圧で成形する「熱間バルジ成形法」が開発された。

※注3 トランクリッドフレーム：トランクの蓋の内側部材

※注4 サブフレーム：サスペンションをアンダーボディに固定するためのフレーム

※注5 ハイドロフォーム：1本の鋼管を水圧で膨らませて一体成形する技術

パイプとしては初の高温による熱間成形で、結晶粒を粗大化させず、高強度を維持する合金材の開発・製造が実現した(図12、13、14)。

この技術の成果などにより、部品点数が大幅に削減され、本田技研工業(株)の新型レジェンドでは従来の鋼板製と比較してトランクリッドフレームは47%、サブフレームは38%の軽量化を可能とした。また、従来のプレス成形では鋼板でも不可能な深い立体形状の魅力あるデザインが可能となった。

こうした技術開発・社会的貢献度が高く評価され、2004年度の日経優秀製品・サービス賞の



薄板事業部自動車鋼板営業部
自動車アルミグループ
マネジャー(当時) 浮穴 俊康

「最優秀賞」を受賞したほか、平成16年度日本アルミニウム協会賞「技術賞」を受賞した。

「お客様のアルミの適用ニーズに技術や事業がまだ追いついていない面がありますので、その部分を強化し、安定供給に努めていきます。また、お客様が必要とされている情報・サービスを迅速に提供していきたいと思います」(市川)。

「最先端技術の集積とも言える自動車には、人の命を守る“安心”が不可欠です。長年自動車用材料を提供してきた当社では、さまざまな技術的課題を総合技術センター(RE)の持つさまざまな技術で迅速に解決できます。一方で、アルミの開発で得た技術やノウハウを鋼材開発にもフィードバックしながら、最終的にお客様の要求に適材適所の素材を提案していきます」(菊池)。

図10 本田技研工業(株)新型レジェンド適用箇所



図11 粗大化した金属組織と健全な金属組織の比較



粗大化した組織



健全な金属組織 100μm

図12 高温ブロー成形の効果

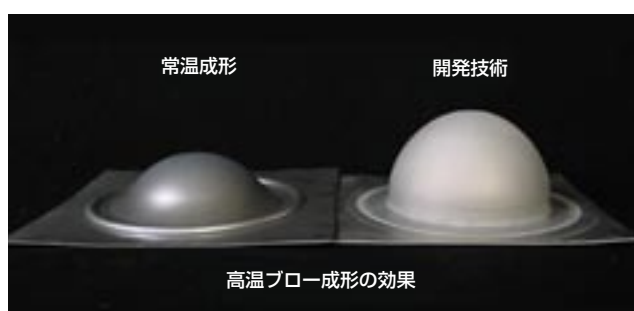


図13 高温ブロー成形の概要

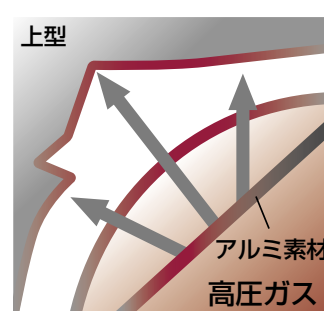
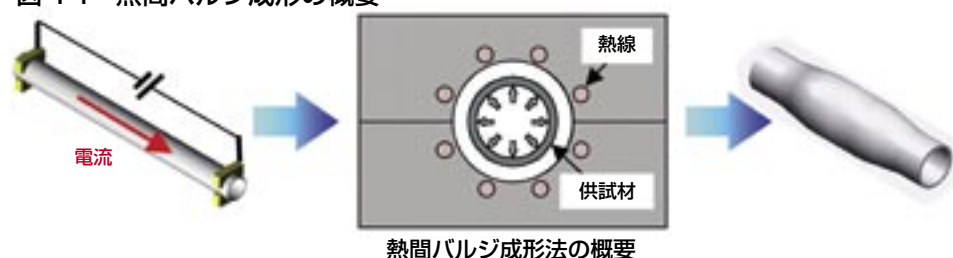


図14 熱間バルジ成形の概要



自動車アルミの先鞭をつけた技術開発 古河スカイ(株) 深谷工場

自動車アルミ事業のパートナーである古河スカイ(株)深谷工場(埼玉県)に、自動車用アルミの開発の歴史と今後の展望について取材した。



20 年来の研究成果が開花

古河スカイ(株)は、国内のアルミ圧延製品の販売量でトップシェアを誇る。同社の販売量のうち自動車用アルミ材は、まだ数%と少量であるが、そのうちパネル材を生産しているのが深谷工場だ。また、研究センターの自動車材部隊も深谷地区に本拠を置いている。

前身のスカイアルミニウム(株)は、1983 年から自動車用アルミ材料の研究を開始した。

「1980 年代前半は、ちょうど各自動車メーカーが、軽量化のためアルミに注目し始めた頃です。スカイアルミニウム(株)の自動車用アルミ合金板が最初に採用されたのは、1989 年の日産自動車(株)の『フェアレディ Z』で、Al-Mg 5000 系合金でした」と、古河スカイ(株)常務取締役製板事業部長・技術研究所長の松尾守は振り返る。

一方、本田技研工業(株)では当時、飛行機のボディに使用されていた 6000 系合金の自動車への採用を検討していた。6000 系は塗装焼き付け時に強度が高まる性質(BH 性)があることから、さらなる軽量化が期待できる。

「6000 系合金では高温から水に入れて焼き入れを行う工程が必要とされていましたが、当時私たちの工場には当該設備がありませんでした。しかし既存の他設備を応用することで、当社を含めた 2 社だけがホンダ『NSX』に使用する 6000 系合金の部材を提供することができました」(松尾氏)。

現在では、自動車用のアルミは BH 性に優れた 6000 系合金と、経年変化が起こりにくく成形性に優れた 5000 系合金の両者が適宜使い分けられている。さらに、古河スカイ(株)では 1990 年頃、5000 系合金をベースに結晶粒を微細化した超塑性合金「アルノービ」を開発した。

「アルノービ」は、浮き出し文字を成形できるなどデザイン性に優れるため、自動車のタイヤハウスのカバーや自動二輪車のガソリンタンクなどに使用されている。しかし、時間をかけてブロー成形を行うため、大量生産には向いていなかった。

この「アルノービ」の技術をベースに、本田技研工業(株)から要望された高速での高温ブロー成形を可能にしたのが「高温ブロー成形用 5000 系板材」だ。「アルノービ」は複雑な成形が可能だが伸び率が 500% あるため、ブロー成形で膨らませると 1 mm 厚の板が 0.2mm 以下になってしまい、強度の面で問題が生じる。

「そこで、超塑性と強度のバランスをとって高速成形できるように改良し、従来数十分かかったものを 1/10 の時間で成形できるようにしました」(松尾)。

アルミの新たな可能性を切り拓く

アルミの板材に対しては大きく分けて 2 つの品質要求がある。1 つは材質の冶金に起因する問題、もう一つは表面疵の問題だ。

「自動車の場合は特に前者の問題点を厳しく追求します。自動車の場合は細かい疵よりも塗装後の光沢感を損なう全体のたわみ等の方が問題になります」と、古河スカイ(株)製板事業部深谷工場品質保証部製品技術グループ主査の廣瀬俊明は語る。

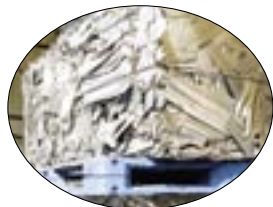
自動車のアルミ化の歴史はまだ 20 年と浅いため、当然ながら未成熟な部分も多く、多品種化と量産に備えた品質の安定性やコストの問題など課題が残されている。

「私は開発から品質管理まで担当しているため、現在の製造ラインの品種から 3 年、5 年先の技術開発までを視野に入れないと行けません」と廣瀬は言う。自動車は開発スピード

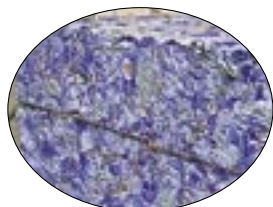
アルミ原料



インゴット



アルミスクラップ



アルミ缶スクラップ

アルミ圧延工程



(スラブが圧延されて板になる)



トランク リッド

が非常に早く、部材に対する厳しい性能要求がある。さらに、各自動車メーカーもアルミの利用は手探りの段階のため、各社ごとに少しずつ要望が異なる。

「現在はまだ量も少ないので、オーダーメードで対応していますが、早急に大量生産に適応できる合理的な規格をご提案していけるようにしたいと思います」(廣瀬)。

「自動車用材料分野は、材料技術だけではなく、利用技術まで含めて提供する“技術のデパート”のようなものです」と松尾は言う。自動車会社が作りやすいアプリケーションをいかに提供できるかが鍵となる。

「古河スカイが蓄積した技術と、総合的に自動車用鋼材を扱い、自動車メーカーとの信頼関係を構築している新日鉄との共同事業体制が大きな強みです。自動車用材料分野は将来



アルミコイル

性の高い市場なので、大切にこの事業を育てていきたいと思っています」(松尾)。



古河スカイ(株)
常務取締役
製板事業部長・技術研究所長
松尾 守



古河スカイ(株)
製板事業部深谷工場品質保証部
製品技術グループ主査
廣瀬 俊明

世界初の熱間バルジ成形用材料を開発 古河スカイ(株) 小山工場

続いて、押出材等を扱う古河スカイ(株)小山工場(栃木県)に、「熱間バルジ成形用 5000 系押出材」の材料開発の経緯と今後の可能性について取材した。

アルミの成形限界への挑戦

古河スカイ(株)小山工場では、押出材、鋳物、鍛造材を扱っており、自動車のサブフレーム(足廻り構造材)などに使われるパイプ材は、この工場で作られている。生産される製品の約 50% が自動車用部材で、そのうち約 80% がカーエアコンやラジエーターなどの熱交換器用として使われている。これはアルミニウムの熱伝導率の良さを生かしたものだ。

自動車のボディ総重量を削減するため、本田技研工業(株)は、サブフレーム、トランクなどへの採用を目指し、アルミ合金の熱間成形技術の開発に取り組んだ。アルミ合金を高温に加熱し、成形限界を飛躍的に拡大することで、複雑な形状が要求される自動車の構造部材への適用が可能になる。

新日鉄と古河スカイ(株)は、この新たなアルミ合金の開発を本田技研工業(株)と共同で行い、「熱間バルジ成形用 5000 系押



出材」が誕生した。このサブフレーム用のアルミニウムパイプの開発は未知の領域だったと、古河スカイ(株)押出鋳鍛事業部小山工場品質保証部・品質保証課長の板谷栄治は振り返る。

「通常、バルジ成形(※注 6)は常温から 300℃ 程度の温度領域での加工技術と考えられていました。しかし、今回の本田技研工業(株)の仕様では、成形限界を高めるため、アルミの融点温度に近い温度にまで加熱することが必要でした。そのような温度で加工を行い、金属組織を粗大化させずに制御することは未知の領域でした」

従来では考えられない 高温の加工に耐える成分設計

開発は、材料開発の基本となる成分設計から始まった。古河スカイ(株)には常温でのバルジ成形の技術とノウハウは多く蓄積されているが、高温に加熱した場合、常温と比べて最適

※注 6 バルジ成形：円筒、管などの内側に圧力をかけて素材の一部を膨出する加工



サブフレーム



サブフレームの材料となるアルミパイプ



高い加工精度が求められるパイプ切断面

な合金成分に大きな違いがあると予測された。そこで、常温のバルジ成形での合金配合をベースに、最適の成分設計を絞り込んでいく方法がとられた。

この開発では想定し得る異常への対応と、想定外で発生した異常にどう対処するかという2つのブレイクスルーが必要になった。

例えば、高温加熱状態でアルミ合金を加工した場合、金属組織が異常に粗大化することが予測される。古河スカイ(株)押出鋳鍛事業部小山工場生産技術課の柏崎和久は次のように語る。

「もちろん異常を予測できたからといって、その対処方法が容易に見つかるわけではありません。しかし、結果が予測できれば、原因も特定しやすく、今回の場合、異常粒成長は、添加元素のミクロン単位での大きさのばらつきに起因することが、把握できました」

そこで、結晶粒の異常成長を抑制する元素の配合比率を微妙に変えて実験を繰り返し、安定した金属組織を確保した。しかし、アルミ合金を高温で加工すると、材料内部に「キャビティ」という極めて微細な空隙が発生してしまう。この想定外の異常は開発の大きな障壁となった。

キャビティが過大に発生すると、部材として好ましくない。しかもキャビティが発生しているかどうかは、部材を切断しなければわからない。このため、量産化での歩留まりや信頼性を考えると、キャビティの発生を限りなくゼロに近づけなければならない。

「合金比率だけではなく、加熱時間や加工条件などあらゆる要素技術の洗い直しを行い、原因を特定して対策を施しました」(板谷)。キャビティの原因を特定するためには、合金

成分や添加量など、ppm単位での分析が必要になる。

「技術開発本部総合技術センター(RE)をはじめ、新日鉄の豊富な解析技術・機器を利用し、ppm単位での添加元素の影響や金属組織を精緻に解析することができました。この協力体制がなかったら、今回の開発の壁は乗り越えられなかったかもしれません」(柏崎)。

既存ラインで、高い精度を実現

熱間バルジ加工の工程は次の通りだ。まず、アルミ合金パイプを加熱する。そしてそのパイプを加熱した金型へ押し入れパイプの両端から空気を送り込み、その圧力でパイプを金型の形に成形する。加熱しているため、低圧力での加工が可能だ。高い気圧を発生させる大きな設備も不要で、ランニングコストの低減にもつながる。

当初、古河スカイ(株)が想定していた「熱間バルジ成形用5000系押出材」の仕様に対し、本田技研工業(株)から寸法精度の1ランクアップ、定尺切断、端面面取り加工済みの納品、といった依頼があった。

「これは“想定外の難問”でした。加工時にパイプの両端から空気を封入するため、両端面の加工に高い精度が求められるからです」(柏崎)。

小山工場では既存設備でこの課題をクリアするため、全工場の設備・機器を精査した。

「その結果、まったく別の製品の製造に使われている冷間加工ラインに直結された切断・面取り設備を利用することで寸法精度アップ、製品定尺切断という仕様追加をすべて新たな設備導入をすることなく実現できました」(板谷)。

先述した通りアルミ合金のバルジ成形は、300℃以下で行われるのが常識だった。本田技研工業(株)の熱間バルジ成形加工技術は、その常識を越え、アルミ合金の成形限界を飛躍的に拡大した。

複雑な加工が可能になったことで、アルミ合金の軽い、熱伝導率が高い、錆びにくいなどの特性を活かし、適用領域の広がりが期待される。新日鉄と古河スカイ(株)では今後も新たな加工技術に対応するアルミ合金材料の開発に挑戦していく。



古河スカイ(株)
押出鋳鍛事業部小山工場 品質保証部
品質保証課長 板谷 栄治



古河スカイ(株)
押出鋳鍛事業部小山工場 生産技術課
柏崎 和久