



## 建造ラッシュのLNG船。 巨大なアルミタンクに出会う

原油の高騰を受けて需要が高まる天然ガス。今、この天然ガスを運ぶLNG(液化天然ガス)運搬船がつつぎと建造されています。今回は建造中のモス型LNG船を取材。アルミタンク搭載の様子を紹介します。



**摩擦攪拌接合(FSW)**  
アルミニウムに適した接合技術として注目を集めています。

アルミ  
ものづくり  
鋳造

型に流せば  
複雑形状も、お手のもの  
冷えて、固めて、形ができる？



アルミ食品包装材  
すぐれた特性で暮らしに浸透



## なんにもかもがビッグスケール。LNG船に搭載されるアルミ球

### 巨大なアルミタンクはLNG輸送の主役

その直径は41m。たとえば10階建のビルがすっぽり納まってしまう大きさです。その重さは900トン。新幹線の車両重量(700系、16編成)の約630トンを大きく上回ります。その板厚は最も薄い箇所30mm、最も厚い箇所170mm。170mmといったら、板というよりスラブ(塊)に近い厚さです。LNG船に搭載されるタンクは、なんにもかもが通常のスケールを超えた大きさです。この巨大なタンクには液化天然ガス(LNG, Liquefied Natural Gas)が投入されます。天然ガスとはメタンを主成分とする可燃ガスで、燃焼時のCO<sub>2</sub>等の発生量が石油に比べ低く、クリーンエ

ネルギーとして需要が高まっています。天然ガスは液化すると体積が1/600になるため、マイナス163℃に冷却、液化し、断熱性の高いタンクに入れて輸送します。タンクはいわば冷たい液を入れる魔法瓶のようなもの。このタンクによってLNGははるか遠くの産出国から安全に大量輸送されています。LNG船には、モス型、メンブレン型などの種類があり、このうちタンクが球形のモス型は信頼性にすぐれ豊富な実績を誇ります。このモス型LNG船のタンクに使用されるのがアルミニウムです。極低温にさらされるため、低温に強いアルミニウムが採用されています。アルミ製タンクはLNG船に通常4基搭載されます。タンクの搭

載は、LNG船建造のいわばクライマックス。搭載が完了すれば、まもなくLNG船は進水を迎えます。今回は特別にその様子取材することができました。



今回の取材先  
モス型LNG船で業界をリード  
(株)川崎造船・坂出工場

訪れたのは香川県の(株)川崎造船・坂出工場。同社は1981年に日本初となるモス型LNG船を建造して以来、20隻以上のLNG船建造実績を誇ります。最近では大幅な需要増を受けて、3~4年先までドックが埋まるほど、新造船の建造ラッシュが続いています。

### >>> タンク搭載いよいよスタート

クレーンが動き出すと、現場に緊張が走ります。いよいよアルミタンクの搭載が始まります。



完成したタンクが800トンクレーン2基により吊り上げられる。



船をめざしてクレーンが移動

### >>> まるでUFO。空を飛行するアルミ球

吊り上げられたタンクは、LNG船の所定の位置まで移動します。空に浮かぶ巨大な球体はまるでUFOのようです。



球の底の黒い点は、人間がタンク内に入るための工事用出入口



### >>> 正確な位置決めの後、搭載完了

すばやい位置確認により、スピーディーにタンクが船の所定の位置に搭載されます。



極低温に強いアルミ厚板を大量採用

巨大なタンクはどのように製造されるのでしょうか。同社LNG船統括・重松参与、業務部・近藤部長にお話をうかがいました。LNGタンクは、大きく3つの部位で構成されます。下側の半球が「南半球」、真ん中が「赤道リング」、上側の半球が「北半球」と呼ばれています。これにタンクと船体を結合する「スカート」、配管類を納めた「パイプタワー」が設置されます。タンクは地球儀をつくるように、複数のピースを組み立てて球形をつくります。まずは7枚のピースを溶接しつなぎ合わせます。でき上がった大型の部材は「花びら」と呼ばれています。この花びらをさらに8枚溶接すると半球ができます。この半球を2つ作り、その他の部位も複数のピースを溶接し組み立てます。最後にでき上がった南半球、赤道リング、スカート、パイプタワー、北半球を組み上げてタンクが完成します。

アルミ球1基に使用されるピースの数は142枚。1ピースの大きさは部位によりさまざまですが、半球の代表的なサイズで約4,000×16,000mm(板厚60mm)。これには国内最大のアルミ厚板が使用されています。

材料はマイナス163に耐える靱性を持ち、さらに溶接性、加工性も必要となります。そのため低温特性、溶接性、加工性にすぐれたアルミニウムが採用されています。タンク、パイプタワーにはアルミ合金5083-O材が、スカートの一部にはより強度の高いアルミ合金5083-H321材が採用されています。タンク材の板厚は30～60mm。スカートが設置される赤道部は最も強度が必要となり170mm厚のアルミ厚板が使用されています。アルミニウムの使用量はタンク1基あたり約750トン、船1隻あたりでは約3,000トンになります。

厳しい品質管理によって、信頼性の高いタンクが生まれる

複数のピースはMIG溶接により接合します。安全に液化天然ガスを輸送するには、タンクの信頼性、とくに溶接品質の確保が重要となります。

すべての溶接継手に対して、溶接部内部を超音波探傷試験で、溶接部表面を染色浸透試験でチェックし、さらに抜き取りでX線による非破壊検査も実施。溶接部の品質が厳しく管理されています。また破壊検査によって機械的性質も確認

されています

このような二重、三重のチェックによる厳しい品質管理のもと、安全で、信頼性の高いタンクが生まれます。

完成したアルミタンクは船に搭載された後、約6,000枚の防熱パネルが表面に設置されます。これは2層の断熱材をアルミ薄板が覆ったもので、1日あたり0.1%という世界最小クラスのボイルオフレート(液化天然ガスの気化率)を達成しています。

タンクの精度や品質、信頼性の高さから、同社のLNG船は高い評価を得ていると言います。現在坂出工場では、高まる需要に応えるため建造能力の増強が進められています。さらには世界最大級のLNG船(タンク容量:177,000m<sup>3</sup>)の設計も始まっています。計画ではアルミタンクの直径は44mに拡大するそうです。どんな巨大なアルミタンクが海上に出現するのか、楽しみです。

ボイルオフレート: 液化天然ガスの気化率。この値が小さいほどLNGの蒸発損失を最小限に抑えることができる。



(株)川崎造船 坂出工場 LNG船統括 参与 重松 正博 氏



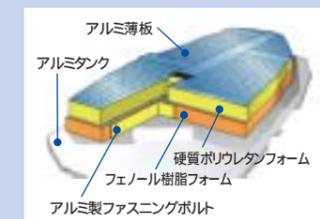
(株)川崎造船 坂出工場 業務部 部長 近藤 喬 氏



組み立てられた赤道リング。ここには最も厚い板が使用される(赤道部は板厚170mm、その周囲は60mm厚)

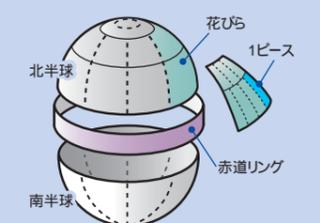


防熱パネルの構造



アルミタンクの上には、フェノール樹脂フォームと硬質ポリウレタンフォームの2層の防熱材をアルミ薄板で覆ったパネルがタンク1基あたり約6,000枚敷かれる。またこれを留めるアルミ製ファスニングボルトは約15,000本使用される。

アルミタンクの構造



1ピースを7枚組み合わせると花びらができる。この花びらを8枚組み合わせると半球ができる。

タンクには国内最大のアルミニウム合金板が使用されている。

アルミ 知ってなるほど

熱影響の少ない接合法

摩擦攪拌接合(FSW)

アルミニウムに適した接合技術として注目を集める摩擦攪拌接合技術。すぐれた品質と美しい仕上がりで、さまざまな分野への応用がすすめられています。

アルミニウムに適した接合方法への要望

金属材料を接合する場合、一般に多く用いられるのは溶接です。一般に溶接とは、金属などの材料同士の間隙に熱や圧力を加えて、材料同士を接合する方法のことで、材料や目的に応じてさまざまな方法が用いられています。よく知られているものに、青白い火花を飛ばしながら鉄を溶接するアーク溶接や、自動車組み立て工場で行うスポット溶接などがあります。

しかし、アルミニウムを溶接する場合には、アルミニウムの特性に合った溶接方法が必要です。たとえば、アルミニウムは電気抵抗が小さいため大電流が必要となります。またアルミニウムは熱による膨張や収縮が大きく、溶接の熱による歪みが発生しやすい性質も持っています。このようなことから、アルミニウムの溶接には熟練した技術が必要だといわれていました。

アルミの組織をかき混ぜ、接合する

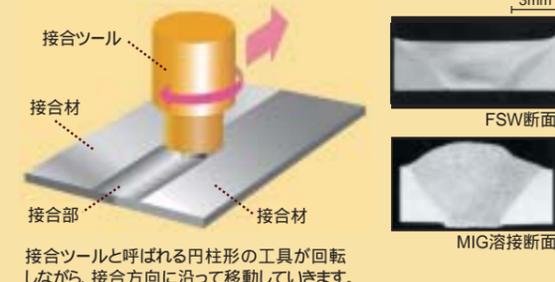
摩擦攪拌接合(FSW:Friction Stir Welding、以下FSW)は、従来の溶接とは違う原理の接合技術であり、1991年に英国溶接研究所で開発されました。

FSWでは、中心に突起(ピンまたはプローブと呼ぶ)のある円柱状の接合ツールを使用して、材料を接合します。接合する材料同士は、接合面を密着させた状態で固定されます。

接合ツールは、一定の速度で回転しながら、接合面に押し付けられます。すると、ピンは材料の内面に埋没し、このピン及びツールのショルダー面(ツールと材料の接触部)と、材料の間で摩擦熱が発生し、この熱によって材料は軟化します。軟化した部分は接合ツールの回転とともにかき混ぜられ(攪拌され)、これによって材料同士が一体化します。接合ツールを接合方向に沿って移動させることにより、順次、材料が一体化していきます。

ここで注目したいのは、FSWでは材料の接合面は液状に溶けるのではなく、固体でありながら軟らかくなり、この状態で金属

FSWの原理



新幹線や地下鉄車両など、さまざまな鉄道車両でFSWが適用されている(東京地下鉄10000系車両、写真提供:東京メトロ)



自動車のボディパネルに、FSWを点接合に適用した技術が使われた例(マツダ・RX-8)

組織がかき混ぜられることです。そのためアルミニウムのFSWの場合、摩擦熱の温度はアルミニウムの融点よりも低い温度となります。

このようにFSWでは、材料を融点以上に熱する必要がないため、材料の熱歪みが小さく、接合部の強度(引張強度、疲労強度など)が、熱処理合金の場合、熱により低下する割合が小さくなります。さらに、アーク溶接に比べ仕上がりが平らで美しい、アルミ合金の場合はすべて接合可能であり、アルミ合金と銅や鉄、マグネシウム合金など、異種材料との接合も可能、などの特長があります。

鉄道車両や自動車などへ、広がる応用分野

FSWの代表的な応用例のひとつが鉄道車両です。最近の鉄道車両では、車両の長さといったアルミ大型押出型材を平行に接合して組み立てられますが、接合にFSWを用いることにより設備の自動化が容易になり、安定した品質を得ることができるのです。現在、FSWとダブルスキン素材の組み合わせが、コストや工程、継手性能においても最適な手法であると評価されており、このようなメリットが注目され、1990年代半ば以降、FSWを適用した新幹線や特急、地下鉄などの車両が増加しています。

鉄道車両以外の応用分野としては自動車、船舶、土木構造物などが挙げられます。たとえば欧米では船舶や航空宇宙分野などへの応用が進められているようです。

FSWはアルミニウムの他にも、マグネシウムや銅など、主に融点が低い材料で実用化を目指した研究が進められています。今後はさらに炭素鋼やステンレス鋼など、様々な材料への適用が検討されていくことでしょう。

アルミ  
ものづくり

Theme 3

鋳造

型に流せば

複雑形状も、お手のもの



### 冷えて、固めて、形ができる

タイヤキを焼くところを見たことがありますか。水に溶いた小麦粉を魚の形をした型に流して焼くと、魚の形をしたタイヤキができます。これと同じように、溶かした金属を型に流し込み、冷やし固めたのが鋳造です。

鋳造は昔から行われていた金属の製造方法で、お寺の梵鐘や奈良の大仏などもこの方法で製造されました。最大の特徴は、複雑な形の製品でも、いくつかの部分に分けて作るのではなく、一体で作ることができることです。とくにアルミニウムは、融点が低い、比重が小さく熱容量が大きい、溶けた状態では表面が酸化皮膜で覆われガスを吸収しにくいなどの性質があり、他の金属に比べて鋳造がしやすいという特徴を持っています。そのため、薄肉や複雑な形状の製品が作りやすく、現在は航空機部品や自動車部品などを作るのに生かされています。

### 鋳造方法は、大きく3タイプに分けられる

鋳造方法は、「砂型鋳造」「金型鋳造」「ダイカスト」の3つに大別できます。これは鋳造に使われる型(鋳型)の違いによるものです。

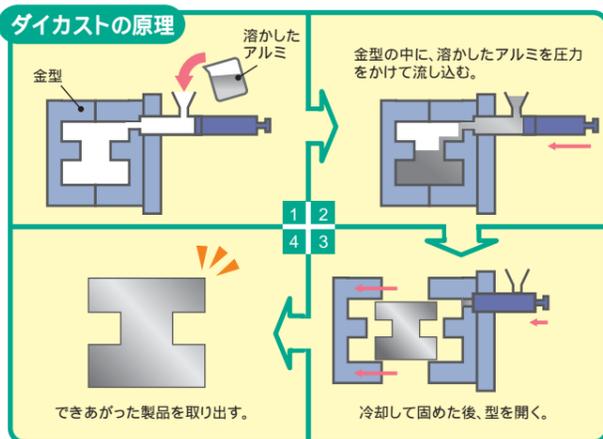
「砂型鋳造」は、砂で作った鋳型を使う方法です。溶かしたアルミニウムを鋳型に流し込み、冷却して固めた後、砂型を壊してできあがった製品を取り出します。この方法は内部形状が複雑な製品などに向いており、どちらかといえば少量多品種生産に適しています。

### 自動車エンジンに最適な アルミ鋳造品

自動車の軽量化とともに、あらゆる部品にアルミニウムが採用されています。エンジンブロックもそのひとつ。2007年の東京モーターショーに展示されたエンジンには、多くのアルミ製エンジンブロックが採用され、精密な寸法や複雑な曲面形状を作り出しています。



エンジンブロック



「金型鋳造」は、鉄製の金型で鋳造する方法です。鋳型が金属なので冷却速度が速く、そのため寸法精度が高く、製品表面が美しく仕上がります。また一度製作した金型を繰り返し使用でき、大量生産に向けた製造方法です。

「ダイカスト」は、やはり金型を使うのですが、金型鋳造と違い、金型の内部に溶けたアルミニウムを高圧力で流し込む方法です。製品の寸法どおりに精密な形状ができ、外見が美しい鋳物ができるうえ、短時間で大量生産できることが大きな特徴です。ただし溶けたアルミニウムを高速圧入するときに空気や酸化物を巻き込んで、製品の内部に空気などの穴ができやすいという問題もあり、気孔を発生させないようにダイカスト技術も開発されています。

このように、鋳造方法にはそれぞれに特徴があるので、生産する製品の種類や目的によって鋳造方法が使い分けられています。

### どのような形状でも きれいに仕上がる鋳造

アルミニウムの鋳造品は、自動車部品を始め、さまざまな機械部品などに使われています。



乗用車用ホイール



コンプレッサホイール

# Al Epoch-making

すぐれた特性で暮らしに浸透

## アルミ食品包装材

昭和初期に製造が開始されてから、アルミ箔はつぎつぎと食品の包装に用いられるようになりました。そして昭和30年代にアルミホイルが登場。アルミ箔は台所の必需品となりました。



### たばこに最適な包装材

ラジオ放送の開始、国産トーキー映画の上映、カフェの流行など、大衆文化がしだいに発達した昭和初期。日本専売公社から「暁」という名のたばこが販売されました。昭和11年10月1日付の大阪朝日新聞の記事をみると、日本専売公社が販売する「バット」、「チェリー」、「暁」、この3種の銘柄でたばこの総売上の約6割を占めていると記載されています。当時、たいへん人気のあった銘柄であったことがうかがえます。

この「暁」(昭和7~19年)は、日本で初めてたばこの包装材にアルミ箔を用いた銘柄です。

暁の原料は、主に黄色種やパーレー種と呼ばれる葉たばこで、これらの葉たばこは乾燥工程を用いて香りをつけます。そのため、たばこの包装には湿気を防ぐ中間包装が必要となります。当初、中間包装には高価な錫箔が使用されていました。おりしも昭和5年に日本でアルミ箔の製造が開始されました。製造当初はピンホールがあっ



「暁」(あつき、昭和7~19年)日本で初めてたばこの包装材にアルミ箔を採用した銘柄。写真は昭和12年以降に製造されたもの。この頃にはアルミ箔が本格的にたばこの包装材に使用されるようになった。写真提供:たばこ館の博物館



国産箔の品質向上とともに、チョコレートの包装材にアルミ箔が使用されるようになった。写真は昭和5年頃の商品広告。写真提供:森永製菓(株)

たり、厚みが不均一など品質に問題がありましたが、改良を続けた結果、しだいにアルミ箔の品質は向上していきました。そして錫箔に比べ包装の作業効率、コストともにごく優ると判断され、アルミ箔が中間包装に採用されることとなりました。防湿性、保香性にすぐれたアルミ箔は香り高いたばこの包装材に最適です。そのすぐれた特性から他の銘柄でも使用されるようになり、昭和12年頃にはたばこの包装材として本格的に使用されるようになりました。当時、専売公社から箔工場に増産命令が出されるほど、アルミ箔の需要は急速に高まり、工場はこれに応えるため生産能力を拡大していきました。

### 今も昔も、チョコレートの銀紙はアルミ箔

このころ、たばこの他にもお茶や菓子類の包装にアルミ箔はいち早く採用されました。とくにチョコレートにはアルミ箔は最適な包装材です。遮光性、防湿性、保香性が高く、衛生的なアルミ箔はチョコレートの光や酸素による劣化を防ぎ、また香りに誘われてくる虫の防虫にも役立ちます。当初は錫箔が用いられていましたがアルミ箔の品質の向上とともに、アルミ箔が使用されるようになりました。時期ははつきりませんが、たばこより採用が若干早かったのではないかとされています。以降、チョコレートの銀紙といえばアルミ箔。紙ラベルを破いたとき、輝く銀の光沢は高級感が漂います。畳んだときピシッと折れ曲がるコシは、軟質フィルムでは真似ができません。その美観性もアルミ箔の重要な採用理由となっています。

### 便利なホイルは台所の必需品に

アルミ箔は、昭和30年代に入ると一般家庭でも利用されるようになりました。きっかけは昭和33年に発売された国内初の家庭用アルミホイル「クッキングホイル」です。当時、日本は高度成長期を迎え、電化製品の普及によって生活が大きく変わりました。

そんななか、欧米で使用されているアルミホイルを参考に、家庭用の箔製品が開発されました。欧米のアルミホイルはオープンでの使用を考え幅が1フィート(約30cm)となっていました。日本ではオープンがそれほど普及していなかったため、料理研究家の指導により25cmに幅を縮め、15μm×250mm×5mのサイズで、主要都市の百貨店で売り出されました。しかし当時は調理にアルミホイルを使ったことのある人はほとんどいなかったため、使い方を教える実演販売も行われました。その後、オープンの普及に伴いサイズも数種に増え、アルミホイルは人気を博し、日本の家庭に浸透していきました。

現在、アルミ箔はさまざまな食品、医薬品の包装、レトルトパックやデザート用シール、調理食品用コンテナなど、多彩な製品に使用されています。その厚さは6~100μm以上と、用途に合わせさまざま。便利なアルミ箔は今や暮らしになくてはならない存在となっています。



昭和33年に発売されてから台所の必需品となったアルミホイル。写真提供:東洋アルミエコープロダクツ(株)



写真(上)の四代目「銀の鈴」は東京藝術大学の宮田亮平学長(鍛金作家)により制作された。材料には軽くて加工しやすいアルミニウムを採用。特に軽量のアルミニウムの使用で、板を厚くすることができ、ハリのある質感を出すことが可能になったという。

写真(下)は初代「銀の鈴」(昭和43年)写真提供:(株)鉄道会館

日本一有名な待ち合わせ場所

## 銀の鈴

ガラングロンと境内に響く鈴の音

神社の鈴は、神様を呼び起こすために使用される

一方、東京駅の鈴は、人々の待ち合わせのために使用される

銀の鈴、日本一有名な駅のシンボルである

そもそも銀の鈴は昭和四十三年に設置された

新幹線開通、オリンピック開催と

東京駅は新たな利用客でこったがえしていた

みかねた駅員が、巨大な神社の鈴を目印にしたらどうかと発案  
竹の骨組みに銀色の紙を張ったハリボテの鈴が登場した

現在、銀の鈴は四代目

昨年十月に登場したばかりの四代目は

アルミニウムできている

铸造と鍛造を組み合わせで製作された

表面にはイルカのモチーフが施され華やかな印象に仕上げられている

きらびやかに輝く銀の鈴

眺めているうちに、待ち人はすぐにも現れそうだ

取材協力:宮田亮平氏(東京藝術大学学長)  
(株)鉄道会館