

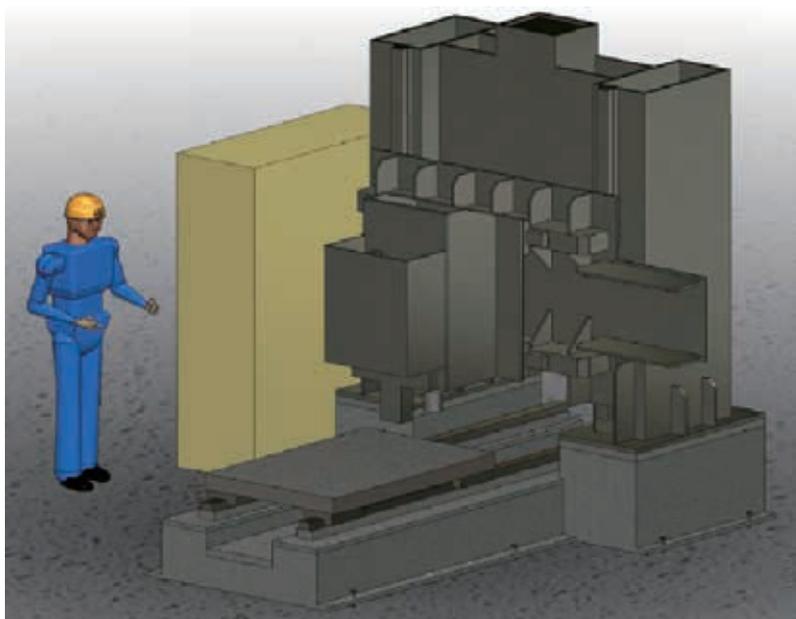
# 未来型の溶接は金属を溶かさず 火花も飛ばしません

## 摩擦攪拌接合が LNG アルミタンク製造に もたらしたイノベーション

LNG アルミニウム製タンクの新しい製造法として摩擦攪拌接合（FSW）が注目されている。摩擦熱によって部材を軟化させて接合するので、従来のアーク溶接と異なり溶接材料やシールドガスが不要で溶接ひずみが非常に小さい。これは従来の溶接の概念を覆す接合技術である。

株式会社 IHI  
技術開発本部 生産技術センター  
溶接技術部

真崎 邦崇

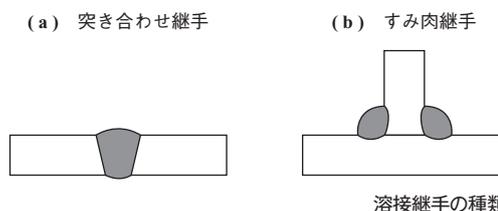


開発中の FSW 装置

### ものづくりに不可欠な接合技術

接合技術はものづくりの基盤となる技術の一つである。材料（金属）の接合方法は機械的接合、材質的接合、化学的接合の3種類に大別できる。機械的接合とはボルトやリベットなどを利用する方法であり、化学的接合は接着剤などによる接合方法である。これに対して材質的接合方法は、母材同士を熔融させて接合する溶接や、母材を熔融させずに接合する拡散接合

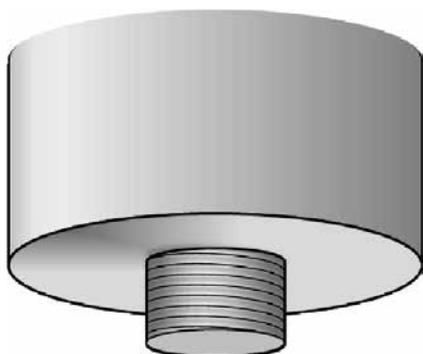
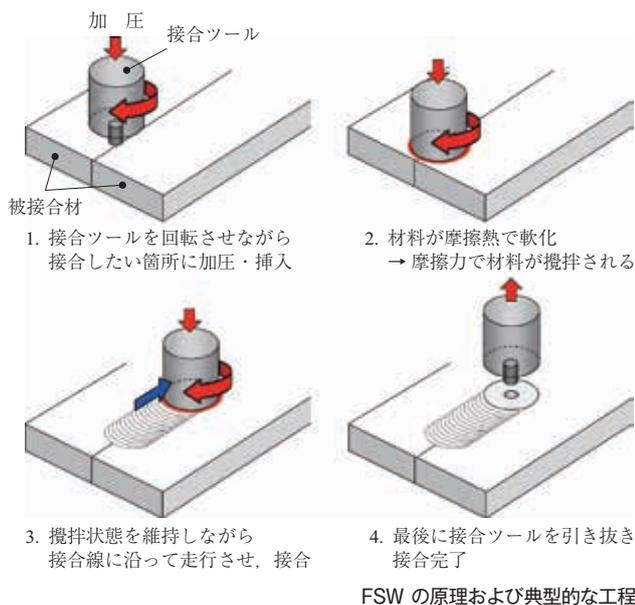
など、いわゆる「溶接・接合」技術がこれにあたる。溶接・接合では突き合わせやすみ肉などさまざまな継手形状があり、それぞれに合った技術が必要である。



## 革新的な接合技術「FSW」

母材を溶融させずに強固な接合を実現するのが、現在実用化に取り組んでいる摩擦攪拌接合 (FSW: Friction Stir Welding) である。FSW は 1991 年に TWI (英国溶接研究所) が発明した接合技術である。まず被接合材の端面を密着させ、先端に突起 (プローブ) のある接合ツールを回転させながら、被接合材間の境界面に押し付ける。ツール先端に接した被接合材料は摩擦熱により軟化し、ツール先端は被接合材料境界に潜り込み、周囲の材料を溶融させることなく攪拌していく。攪拌を促進するためにプローブにはねじを切るなどの加工が施されている。そして、回転させたままツールを境界面に沿って移動させて接合部分を広げていく。

FSW は固相での塑性流動を用いて接合を行うので



FSW 接合ツール形状

溶接のような凝固収縮がない。また低入熱のために熱収縮も少ないため、接合による変形が非常に少ないという特長がある。また、アルミニウム合金やマグネシウム合金のように溶融溶接が難しい材料でも高品質の接合が可能である。

施工面では完全自動施工による省力化が可能であり、アーク溶接のような熟練した技術者を必要とせず、高い品質が安定して得られる。また消費電力が小さく、アーク溶接のような有害光線やヒューム (金属蒸気) が発生しないため、作業環境を良好に保つことができ作業への負担も少ない。FSW は施工の高品質化や脱技能化、省エネルギーの面からも鉄道車両や自動車を中心として近年適用が進められている。現在 IHI ではさまざまな特長をもつ FSW を洋上液化天然ガス (LNG) タンクのアルミニウム厚板への適用を進めている。

## 需要の高まる IHI-SPB LNG タンク

世界的なエネルギー需要の高まりから、シェールガスなどの「非在来型」と呼ばれるエネルギーの開発が進められている。また、従来は採掘が困難であった深海底での大深度油田・ガス田の開発が行われている。特に天然ガスはクリーンなエネルギーとして大きな需要の伸びが予想され、大深度ガス田の開発が進められている。沿岸近くの海底ガス田と異なり、大深度ガス田では洋上で天然ガスを精製・貯蔵・出荷するための設備が必要になる。この浮体式天然ガス生産貯蔵積出設備、通称 FLNG (Floating LNG) においては  $-162^{\circ}\text{C}$  の LNG を貯蔵するタンクが主要設備である。

陸上タンクと異なり、FLNG に用いられるタンクには、海洋上で使用するためにさまざまな条件をクリアする必要がある。中でも重要なものがスロッシング対策である。スロッシングとはタンク内の LNG (液体) の運動と、船体の運動が同期して LNG がタンク構造に大きな衝撃を加える現象で、タンク破損の原因にもなる。FLNG のタンクに蓄積される LNG の量は生産・出荷により常に変動しているため、満載か空のいずれかの状態しかない LNG タンカーのタンクよりも高い耐スロッシング性能が必要になる。



IHI-SPB LNG タンク

IHI が開発した IHI-SPB ( Self-supporting Prismatic shape IMO type B ) LNG タンクでは、タンク内に隔壁を設けることによって、タンク内 LNG の運動の周期を短くして、構造物の固有振動との共振すなわちスロッシングの発生を防止している。

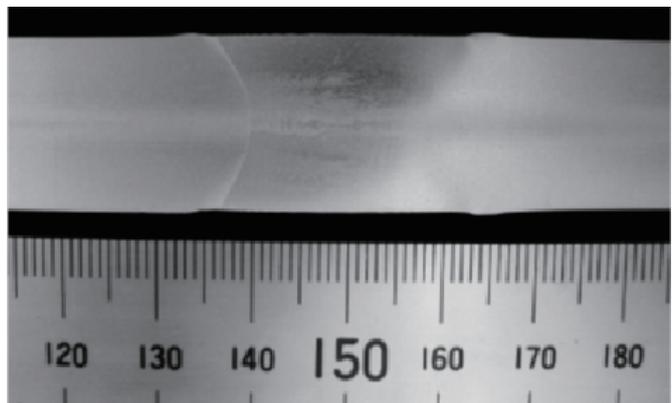
## FSW を IHI-SPB LNG タンクに適用する

極低温の LNG タンクにはアルミニウム合金の厚肉材が使用されている。その溶接にはアーク溶接が採用されてきたが、溶接欠陥のないアーク溶接を行うには熟練した技術が必要である。また、アーク溶接では溶接部に材料の溶融・凝固や熱膨張・熱収縮が発生し、溶接された部材のひずみの原因になる。発生したひずみを残したままで組み立てることはできないため、溶接完了後にひずみの矯正工程が必要である。

ところが FSW の場合は溶融・凝固が生じず入熱量

も少ない。このため接合工程でのひずみはほとんど発生せず、矯正工程が不要になりコストダウンに結びつく。これが IHI-SPB LNG タンクへの FSW 採用を目指した理由の一つである。また FSW 採用のもう一つの理由は、作業者の技能に依存しない完全自動施工であり、安定して高い継手品質が得られることである。さらに FSW では接合部の金属組織が微細化するため、優れた機械的特性を得ることができる。

このように FSW はさまざまな問題を一気に解決できると期待されており、IHI ではまず突き合わせ継手に対して開発を進めてきた。その一方で、IHI-SPB LNG タンクには突き合わせ溶接だけでなく、内部構造や内部の補強構造部材などにすみ肉溶接が多用されている。しかしすみ肉溶接への FSW の適用はこれまでにほとんど例がなく、新たな技術開発が必要であった。



突き合わせ FSW 継手の外観と断面組織

## すみ肉 FSW の実用化に向けて

IHI では、2010 年から開始された TWI 主催のすみ肉 FSW に関する共同プロジェクトに参画し、さらに独自のノウハウを加えることにより、すみ肉 FSW の実用化に向けた取り組みを行っている。

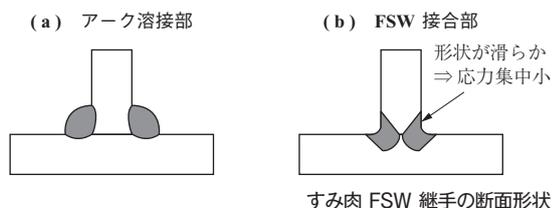
すみ肉 FSW の実用化には幾つかの課題があるが、その一つは溶接材の供給である。この点については共同研究プロジェクトでの研究の結果、ツールの形状を工夫することによって、溶接材を供給しながらツールを移動させることが可能になった。

また、通常の突き合わせ接合部での FSW と異なり、すみ肉 FSW では回転するツールを接合境界に斜めに安定して接触させる必要がある。押し付け力は数 kN から、ときは数 10 kN に及ぶ場合がある。固定ショルダと呼ばれる回転しない支持部材でプローブを支えることにより、斜めに押し付ける場合でも、プローブを安定して支持することが可能になった。大きな負荷を掛けながら精密にツールを操作するには自社の開発技術が大いに活かされた。

これらの技術開発によって溶接ひずみが小さく矯正工程が不要なすみ肉 FSW を実現することができた。さらに、接合部は固定ショルダによって成形されるた

め、接合部の形状が滑らかで応力集中が小さい理想的な形状になっている。これにより継手の長寿命化や信頼性向上が同時に実現できた。

ツールや装置の改善によるさらなるコストダウンや品質の向上・長距離施工の安定化、応用性の向上などが今後の課題である。また FSW はアルミニウムのほかにも、チタンやニッケル合金など溶融溶接が難しい材料に対しても有効な接合方法として期待されており、すみ肉 FSW の実用化に加えてさまざまな材料や部位への FSW 適用範囲拡大にも注力していく。



### 問い合わせ先

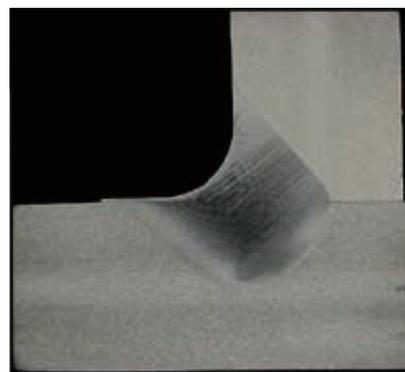
株式会社 IHI

技術開発本部 生産技術センター

溶接技術部

電話 (045) 759-2812

URL : [www.ihico.jp/](http://www.ihico.jp/)



10 mm

すみ肉 FSW 継手の外観と断面組織