

## 軽金属溶接誌に観る溶接・接合構造体（1985年頃から現在まで）

### (1) 船舶・車両分野

#### The Representative Aluminum Welded/Joined Structures through the Journal of Light Metal Welding from around 1985 to Now

##### (1) Fields of Vessels and Rolling Stocks

既報の1985年頃（軽金属溶接誌 Vol. 25前後）以降、現在（同 Vol. 50）に至るまでの溶接・接合構造体例について紹介したい。

日経平均株価38,000円台を付けた1980年代後半のバブル景気、そしてその後のバブル崩壊（1991～1993年）、景気回復の遅さにさらなる財政出動した好況感なき景気拡大期、景気好転したとしての財政立て直しのための増税による第2次平成不況（1997～1999年）、そしてその後のITバブル（1999～2000年）とその崩壊によるゼロ金利の金融緩和策、そしてその結果の円安による輸出関連企業を中心とした2002年から2008年2月の73か月の長期間にわたるいざなぎ景気（リストラ景気あるいは格差景気ともいわれる）へと続いた。後は、記憶に新しいリーマンショックによる世界同時不況とその回復途上での東日本大震災ならびに欧州経済危機による不透明感を抱えている現在へと続いている。

アルミニウムの総需要量ならびにアルミニウム溶加材の生産量の推移には、その景気動向が映されており（Fig. 1）、アルミニウムの溶接・接合構造体需要も前報のいわゆる「高度成長期」は終了した感がある。しかし、後述するように溶加材を使用しないあるいはあまり使用しないと

いう溶接・接合技術（摩擦攪拌接合（FSW）やレーザー溶接など）が工業的に適用され始めたこともあり、「新規接合技術による充実化ならびに新需要分野開拓期」とも表現できるのではないかとと思われる。

まずは、船舶分野である。船体重量の軽量化必須の高速艇を対象にアルミニウム化は、さらなる高速化・大型化へと進展すると同時に、新機軸船の開発が次々と行われた。また、陸上から海上輸送への変換というモーダルシフトへの取組（カーフェリーや超高速貨物輸送船（テクノスーパーライナー（TSL）の開発試作）や国産技術による取組（自己支持方形タンク（SPB）や超電導推進実験船など）も行なわれた。

具体的には、①防衛庁の魚雷艇に代わるミサイル艇の建造や不審船対策としての海上保安庁及び防衛庁の40ノット超の巡視船、②40ノット超の漁業取締船及び警察庁警備艇の増加、③40ノット超の水中翼付双胴高速旅客船や極細長型双胴船等のラインナップ、④高速カーフェリー、⑤50トン程度から一挙に大型化した220トン漁船の出現、⑥世界初のハニカム船の就航、⑦プロペラに代わるウオタジェット（WJ）推進方式及び半没水のサーフェスプロペラ推進方式の採用の増加などである。

巡視艇などに関しては、巡視海域の拡大による大型高速船艇が望まれるようになり1988年の35ノット、全長43mの180トン型巡視艇の建造（みはし、たかつき）、2002年の不審船対策用としてWJ推進で最高速度44ノット以上、全長50mのミサイル艇「はやぶさ」などが建造された（Fig. 2）。

旅客船に関しては、全船隻中のアルミニウム船は20%弱と低いのが、高速分野になるとその割合は約80%と圧倒的に高い。高速で且つ耐航性に優れるという全没水中翼船ジェットフォイルが海外メーカーとの技術提携により導入され、離島航路に就航した頃から高速化ブームが本格化した。その後、モーダルシフトを考へてのカーフェリー化へと移行し、波浪貫通型高速船ウエーブピアサーが同様に海外から導入され、再設計の上、ジェットピアサー「はやぶさ」（四国-九州カーフェリー用）が、最高速度35ノット、

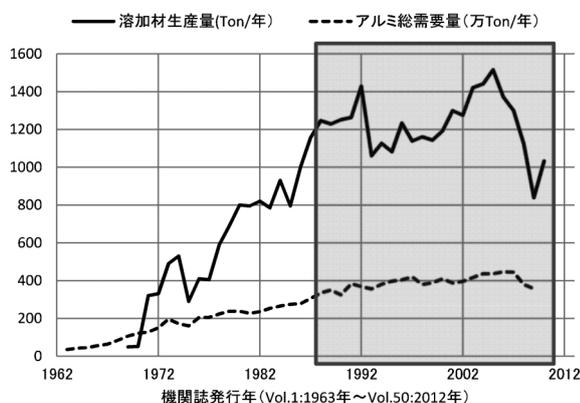


Fig. 1 アルミニウム総需要量ならびに溶加材生産量の推移



Fig. 2 ミサイル艇「はやぶさ」



Fig. 3 ジェットピアサー「はやぶさ」

全長100 m, 旅客定員400名, 乗用車94台, トラック24台搭載可能として1994年に建造された (Fig. 3)。一方, 北海道への観光バスやマイカーの積載を鉄道と同程度の就航時間 (青函ルート2時間) を目指した単胴型高速フェリー「ゆにこん」が1997年に建造された。防災上, 上部構造のみのアルミニウム化ではあるが, 35ノット, 旅客定員423名, 乗用車106台の積載能力を有する。その後海外で建造された「なっちゃんRela」の導入があり, 夏季限定で就航中である。

さらに大きなモーダルシフトの取組として, 1989年から TSL の研究開発が始まった。①50ノット (93 km/h) ②500海里 (930 km) ③貨物積載量1000トン④耐航性: 波高4-6 m 程度の荒れた海でも安全走行可能なことを目標とし, 高速化と大型化を目指したものである。全没型水中翼船のような揚力式複合支持船型「疾風」, 全周型エアクッション船のような空気圧式複合支持型船「飛翔」の2隻を実験船として製作し, 1995年までの航海試験でその開発目標をクリアーした。公的支援前提での東京-小笠原間の就航をめざし, 航行がより構造上安定な「飛翔」型にて摩擦撻拌接合 (FSW) を多用したアルミニウム合金船「スーパライナー小笠原」 (Fig. 4) が建造された。世界最大級の超高速 (海上試運転では42.8ノット) 貨客船 (全長約140 m) として運航される予定であったが, 燃料費などの急騰により航空機並みのコストが掛かることもあって, その運用は2005年に断念されることとなった。



Fig. 4 TSL「スーパライナー小笠原」



Fig. 5 LNG用SPB方式タンカー「PolarEagle」



Fig. 6 赤潮調査船「のじごくVII」

今また注目され始めているクリーンなエネルギーの一つである LNG に関して, その搬送タンカーとしては, MOSS 型球形タンクが先行して就航したと前報に記したが, 国産技術で建造することをめざした自立角形タイプ B という SPB 方式によるタンカー (「PolarEagle」) も1993年にはお目見えした (Fig. 5)。甲板上に突起物がなく, 操船上有利であることも特長の一つでもある。

トピックス的ではあるが, 1992年竣工の赤潮調査船「のじごくVII」 (Fig. 6) に, ろう付によるアルミハニカムが構造体として適用された。ハニカムの適用が世界初ということもさることながら, ハニカム用面板としての6951ならびに枠材としての6N01, つまり Al-Mg-Si 系材料が接水用材料にも適用されたのが特徴的なことである。「あらかぜ」に始まって, その接水材料には耐食性をも考慮して Al-Mg 系材料に限定されていたが, Al-Mg-Si 系材料での可能性を調査するために特別認可されたものである。

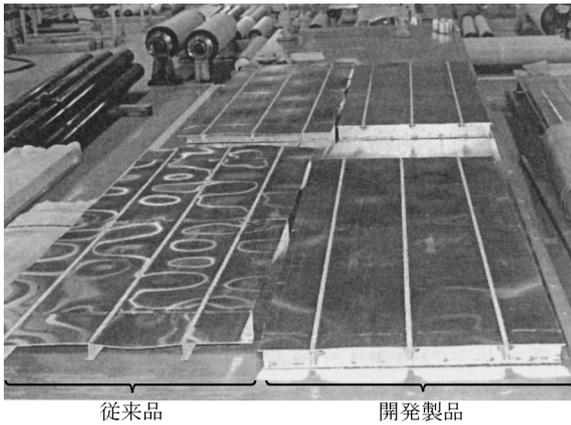


Fig. 7 溶接型 $\pi$ セクション「プレリブ」

その実船での就航3年半後の耐食性調査結果では、塗膜と犠牲陽極による防食処理により腐食は観察されなかったと報告されており、今後も引き続き調査されるものと思われる。一方、実験室的には、化学成分量だけではなく、組織形態によってもその腐食形態が変わることが報告されていて、さらなる実船との対比検討などが行なわれるであろう。

また、組立時の溶接工数削減に広幅の押出型材が多用されてきているが、押出材幅の約3倍の1800 mm幅、肉厚が押出材よりも薄い3 mmから13 mmまでを、溶接変形抑制技術の開発を基に「プレリブ」(Fig. 7)という溶接加工品材としての提供が1992年から行われ始め、「スーパージェット30」などを皮切りに溶接による $\pi$ セクションが適用され始めた。

次に2012年までにほぼ20,000両を超えるアルミニウム合金製車両が製作される鉄道車両分野である。地下鉄車両として第3世代の組み立て方式である広幅の6N01形材を使用したのは、既報のとおり銀座線01系車両(1983年)であるが、その後も1991年の日比谷線03系車両、そして1999年の東西線05系車両へと適用拡大されていった。6N01材料は広幅材ゆえに溶接線が少なく低コスト化に利点を有する反面、素材製造上の最小肉厚が板材に比較して厚目であることから重量増を招きやすい点を併せ持っている。この05系車両(Fig. 8)は、形材の徹底した薄肉化などに取組んだ結果、板材多用の第2世代の抵抗スポット溶接による組立方式の8000系車両(半蔵門線)と同程度(240 kg/m)の構体重量にすることに成功している。また、この05系車両は、材料をリサイクルしやすいように、それまでのAl-Zn-Mg系材料の適用部をAl-Mg-Si系材料にて代替した循環型社会システムを配慮してものとなっている。その後2006年の有楽町・副都心線10000系からは6N01材統一によるモノアロイ型車体へと移行している。

新幹線車両に関して、初のアルミニウム適用車となった東北・上越新幹線200系車両は開業30周年を迎えた今日でも未だ現役で運行されているが、それより後の1992年に



Fig. 8 地下鉄東西線「05系車両」

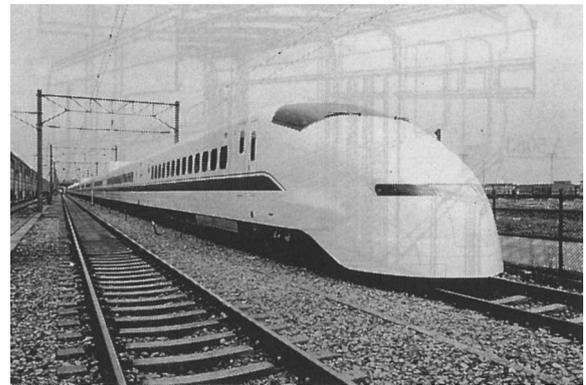


Fig. 9 東海道新幹線「のぞみ300系車両」

投入された東海道新幹線のぞみ300系車両(Fig. 9)は先頭車両の様相から鉄仮面の愛称で親しまれてきたが、今年のダイヤ改正で姿を消した。この300系車両は、それまでの100系車体における時速220 kmを270 kmに上げるために車両の軽量化を大幅に進める必要上、車体のアルミニウム化を図ることとし、新幹線車両としては初めて6N01材のソリッドタイプの押出形材を用いたいわゆるシングルスキントタイプの構造体が採用され、対100系車両(鋼製)比、約36%(対200系比約26%)の軽量化を達成した。ミグ溶接で車体長手方向に組立後、側柱などを組付け溶接し車体剛性を確保していくという製造方法である。

高速化のニーズは、首都圏拡大と地価高騰による通勤距離の増大にも対応するもので、新幹線に通勤列車の役割をも担わせることとなり、より大量の人員輸送を目指した総2階建て車両E1系(鋼製車、1994年)と、その改善E4系車両(アルミニウム製車、maxやまびこ、maxなすの、maxとき、1997年)が登場した。

さらなる高速化という観点では、JR西日本における航空機に対する競争力強化の一つとして500系車両(Fig. 10)の投入がある。1997年に運転を開始し、山陽新幹線区間での営業最高速度として300 km/hを実現した。しかし、高速化達成のために円形に近い断面型を保持したために、窓側座席の居住性に問題があったと同時に、軽量化と



Fig. 10 山陽新幹線「500系車両」



Fig. 11 新幹線「N700系車両」

高強度化を両立させるべくアルミニウム製ろう付ハニカムパネルが適用されたためにその補修加工性と製造コストなどに課題が残された。

その後、東海道・山陽新幹線全体の高速化と利便性を考慮した700系車両が両社で開発され1999年には営業運転に投入されるに至り、最高速度は285 km/h（東海道区間は500系同様に270 km/h）と抑えられたが、300系並の居住性・利便性に改善され、製造コストの低減化も図られた。車体は、中空押出型材を用いたダブルスキン構造であり、型材同士のはめあい部をその長手方向にミグ溶接するだけで車体剛性は確保され、側柱などの補強を不要とする組立工数削減に寄与する方式へと改善された。そして中空型材には制振材料を付与するなど快適性にも配慮が加えられた。その後2007年に営業開始のN700系車両（Fig. 11）は全面的にダブルスキン材を用いた構体となり、山陽区間における300 km/hの復活と、車体傾斜装置の導入による東海道区間の曲線通過速度の向上を図り、所要時間の短縮を図ると同時に、快適性の向上、環境性能の向上を狙ったものとなっている。

このダブルスキン構造は、新幹線車両に用いられる以前の1997年には、JR東日本E653系特急車両「フレッシュ日立」（Fig. 12）から既に本格的に採用されており、1999年のJR九州近郊型車両、885系振り子式特急車両「かもめ」「ソニック」、2001年JR西日本の683系特急車両「しらさぎ」「サンダーバード」、JR東日本E257系特急車両「あずさ」「かいじ」などへと適用が急速に拡大していった。



Fig. 12 E653系車両「フレッシュ日立」



Fig. 13 地下鉄大江戸線「12-000型車両」



Fig. 14 E259系特急車両「成田エクスプレス」

一方、FSWについては東京都交通局12-000型電車（大江戸線1998年）（Fig. 13）のシングルスキン構造で初めて適用され、札幌地下鉄8000系（1998年）、西武20000系（1999年）、近鉄5820系（2000年）や神戸地下鉄5000系（2000年）に適用拡大されていった。また、新規溶接方法であるレーザとミグとのハイブリッド溶接が2009年のJR東日本のE259系特急車両「成田エクスプレス」（Fig. 14）のダブルスキン構造体の一部に適用された。

以上のように、地下鉄・特急車両・新幹線車両にはダブルスキン構造による高剛性で且つ軽量の構造体の作製と、FSWならびにレーザとミグとのハイブリッド溶接といった新規接合技術による製造コストの低減との両立をにらんだ動きが、大きなうねりとなっている。

（事務局 笹部誠二）