

軽金属溶接誌に観る溶接・接合構造体（1970年頃～1985年頃）

The Representative Aluminum Welded Structures through the Journal of Light Metal Welding at the period of 1970–1985

既報の終戦後から1970年頃（軽金属溶接誌 Vol. 10 前後）までのいわばアルミニウムの需要開拓の揺籃期とでも表現できる溶接構造体の代表例に次いで、今回はその後1987年前後（軽金属溶接誌 Vol. 25 前後）までの間の溶接構造体例について紹介したい。

1971年には円が360円から308円に一気に切り上げられ、いわゆるニクソンショックを受け、1973年には為替の変動相場制に移行した。日本列島改造論に端を発した地価の高騰やインフレに続き、石油危機、世界同時不況、円高不況と銘打たれる景気後退期のトンネルをくぐり抜け、1987年前後に始まったとされるバブル景気によりややく通り着くのである。アルミニウム総需要量にもこれら短期の景気動向が反映されているが、総じてこの約15年間は、紆余曲折がありながらも150万トン/年前後から300万トン/年超まで急速に拡大した時代である。それは溶加材の生産量を見ればもっと明瞭で、まさに限りなくゼロに近い状況から、現在とほぼ同程度に匹敵する1,200トン/年にまで急成長を成し遂げたいわばアルミニウムの溶接構造体需要の高度成長期に相当する時代である（Fig. 1）。

この時代のアルミニウムの溶接構造体を象徴するものとして、まずは液化天然ガス（LNG）地上貯蔵タンクであり、次いで輸送タンカー用 LNG タンクであろう。そして、その後のアルミニウムによる軽量化拡大の端緒となる東北・上越新幹線の200系車両であり、自動車分野での

RX7 のフードパネルであろうと考える。材料的には「あらかぜ」に始まった5083の厚肉超低温仕様材の開発と、各種材料の溶接コスト低減のための広幅化であり、なかでも特筆すべきは 6N01 材の開発であろう。これら時代の代表的な溶接構造体の例を以下に分野ごとに紹介する。

まずは LNG の地上貯蔵タンク関連であるが、欧米では LNG の企業化を目指して1950年代後半から1960年代前半にかけて、技術開発が既に始まっていた。ロイド船級協会・英国アルミニウム協会の共同で、母材ならびに溶接継手の低温特性の調査研究が行われており、その充実した内容と規模の大きさの点で、各方面から低温容器用としてのアルミニウムを認識する上で貴重な資料を提供した。日本でも1960年頃から新エネルギー源としての LNG に関心をもたれるようになり、軽金属協会内の船舶用軽金属委員会にて各種試験が行われ、本協会はそれを引継いだ。1964年には200 m³（5083-6 mmt 使用）の小規模ながらも、アルミニウム製液化酸素貯蔵タンクが日本で最初に建設されている。しかし、その後、9%ニッケル（Ni）鋼が米国で開発実用化され、日本の鉄鋼メーカーもこぞって製造を開始し、1969年に操業を開始した東京瓦斯の根岸工場の我が国初の LNG 受け入れ貯蔵タンクは、4基とも9%Ni鋼でスタートしたのである。その後、鋼と同程度の広幅サイズのアリミニウムの製造が可能となり、大型厚板の超低温における母材の機械的性質が明らかになるなど厚板の開発（広幅（たとえば3,500 mm）・厚板（たとえば180 mm）のサイズ、結晶粒微細化・製造法改良による溶接性改善）、溶接技術の開発と建造技術の開発（外槽エアレイジング工法・ブロック工法）の三位一体の開発により、ようやくアルミニウムの時代がやってくるのである。1968年の液化エチレン貯蔵用二重殻球形タンク4,000 m³を成功裡に収め、いよいよ我が国初のアルミニウム製 LNG タンク（45,000 m³）（Fig. 2）が1971年大阪瓦斯泉北工場にお目見えする。1978年には姫路基地用タンクとして80,000 m³ 1基、40,000 m³ 1基が、そして1987年までには80,000 m³ 3基を含む30基弱が建造された。

一方、LNG 輸送タンカー用アルミニウム製タンクは、独立タンクの MOSS 球形タンク（125,000 m³）タイプを1973年に受注し、1981年に引き渡した“GOLAR SPRIT”が記念すべき第1船となる（Fig. 3）。球殻部の板厚30～

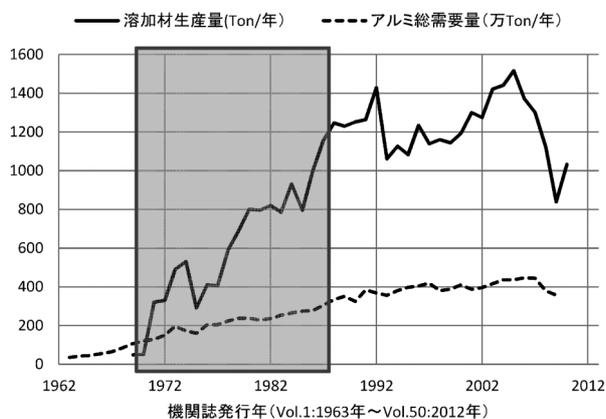


Fig. 1 アルミニウム総需要量ならびに溶加材生産量の推移

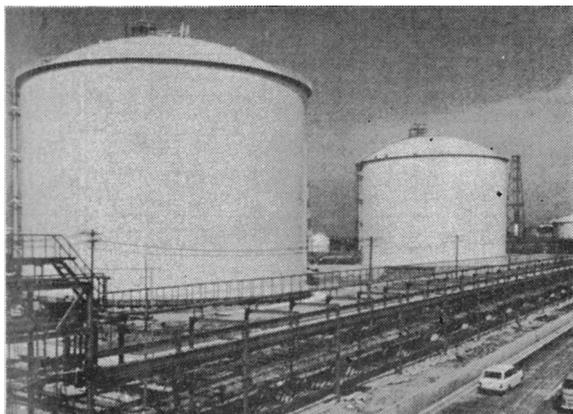


Fig. 2 LNG貯蔵用タンク（大阪瓦斯泉北工場）



Fig. 4 巡視艇「はやぎり」



Fig. 3 LNGタンカー（MOSS型球形タンク）

70 mm, 赤道部で約170 mm で, 直径37 m ものが4球ならびに34.1 m ものが1球の構成で, 使用されたアルミニウム材料は合計320トンにも達する. なお, 船体主構造材である鋼との接合は, 鋼とアルミニウムとを予め爆着によって接合されたいわゆるトランジションジョイント (STJ) を介して, 赤道部で支持されている. そして, 1985年までに竣工したのは8隻に達した.

以上のLNG関連の大型タンク類の溶接施工に関しては, 溶接継手部の高品質化 (ポロシティ, 割れ, 融合不良などの欠陥抑制ならびに溶接変形制御など) や溶接施工技術の開発 (大電流ミグ溶接法・高能率狭開先溶接法・自動溶接化) によるところ大で, その後のアルミニウム溶接の高信頼性を築く契機になったことは記憶に残しておく必要がある.

ところで, LNGタンカー以外の船舶関連の動向として, 先ずは巡視艇であるが, 30 m級領海警備向けが1987年までに23隻, 23 m級の狭水道交通取締船14隻, そして警備救難業務・水路業務として高速の船速が必要な船艇, 中型消防艇のように上部構造を軽量化する必要がある船艇40数隻が建造された. 特に, 1985年に建造された23 m型巡視艇「はやぎり」(Fig. 4) は, 主構造に600 mm幅のAl-Mg系大型押出型材を用い, ミグ全自動片面溶接にて



Fig. 5 護衛艦「はつゆき」

組み立てるといふその後の標準とともなる建造方式が採用された.

防衛庁の護衛艦におけるアルミニウム使用はその適用初期を除き, 構造材料としては使用されなかった. しかし1977年の「はつゆき」(Fig. 5) は, 種々の設備装置を高所に配置したために復元性能の要求を満足させるために上部構造の一部にアルミニウムの使用が復活した. この異種金属接合には従来のリベットに代えて既述のSTJ材を採用したので, 工作は極めて合理化された. その後1980年までに7隻が同構造で建造された. しかし, 1982年におきたフォークランド戦争をきっかけに上部構造のアルミニウム化は全廃された. 英国シェフィールド号の損失の原因はアルミニウムの使用によるものではなく, 復元制御ケーブルの全焼損によることと判明してはいるが, ダメージコントロールを第一優先する護衛艦の設計思想からは相容れられなかったのである.



Fig. 6 漁船取締船「かいおう」

各県所属の漁業巡視艇はSTJを介する上部構造のアルミニウム化分を含めて、20隻弱が建造された。1984年竣工の“かいおう”(Fig. 6)は長崎県の発注もので外洋に面した広範囲の海域に使用する取締船としては初めて全アルミニウム合金船が用いられた。縦肋骨構造で、船底には5083S-H112、船側・上部甲板には5086S-H112の600mm幅の大型押出型材、そして上部構造には6N01-T5が用いられ、全自動片面ミグ溶接にてその大半が施工された。このように、広範囲の領海をカバーしなければならない用途の場合には高速度を可能とする全アルミニウム合金船が主として建造された。

各種旅客船の高速艇に関しても、全アルミニウム船が適用され、単胴型6隻・双胴型10隻が建造された。なかでも「シーホークII」(Fig. 7)は、前述の大型押出型材を含む一般型材を多用する効率化を追求したものとなっている。

アルミニウム製漁船は、1987年までの累計で約500隻が建造されたが、全隻の未だ0.12%に過ぎず、今後の増加が期待された。

このように、安定需要の見込める巡視艇・高速艇・大型高速旅客艇などは、高速安定走行のための技術開発の追求はもとより、溶接施工面でも加工硬化材の使用や大型押出型材の大量使用に基づく突合せ溶接比増大化による溶接品質の高度化、ならびに片面自動溶接・自動すみ肉溶接の適用などによる低ひずみ化技術への取組が顕著な動きとなった。

さて、鉄道車両分野に転じるが、1972年でのアルミニウム車両の生産累計は、既報の山陽電鉄の2000系車両を皮切りに650両に達していた。その後、1982年で2,000両、そして1987年には4,000両にも手が届くほどにうなぎ昇りの勢いである。その特徴としては、①一応標準化された軽量化車両の改善②大型型材化による製作の経済性追求③大型・高速車両の開発の三つが上げられる。より具体的には、①に関しては、押出型材を骨材として外板を抵抗スポット溶接にて組立てるタイプであり、押出性に優れた高力系三元合金7003をも取込んだ第2.5世代(第1世代:



Fig. 7 高速旅客船「シーホークII」



Fig. 8 国鉄381系「振り子電車」

5083, 6061主体の溶接・リボットの混合組立、第2世代: 7N01 押出材をも取込んだ溶接・抵抗スポット混合組立)、②に関しては、大型薄肉あるいは中空型材6N01を用いたいわゆるモノコック方式による製造コストの低減、そして③に関しては、東北・上越の高速新幹線車両へのアルミニウムによる軽量化高速対応である。

7003の型材は、車両用としてより一層の薄肉化による軽量化を目指して1972年頃に開発されたもので、7N01よりもMgを若干低くして、押出性と溶接性を改善し、5083, 7N01とともに多用された。これら材料を用いた2.5世代は、1973年から1982年に製造の曲線通過速度の向上を目指した振り子電車(国鉄381系:累計約270両)(Fig. 8)等として活躍した。

地下鉄車両については、既報の営団地下鉄千代田線6000系車両の実績を踏まえて、基本構造は同じ(第2世代)であるが、有楽町線・半蔵門線に7000系車両・8000系車両(Fig. 9)がつぎつぎと投入され、1982年には営団地下鉄の1/3がアルミニウム製車両となった。この背景には、地下鉄のような運転条件であれば、鋼製車に比較して12-13%の電力節減ならびに軌道の痛み軽減が可能となり、初期車両コストのハンデは2年強で回収可能と判断が見通せたためである。そして、大阪、神戸、京都、名古屋の地下鉄にも次々とアルミニウム製車両が投入された。

さて、その初期製造コストを低減するために、押出性・溶接性・耐食性を兼備した薄肉中空押出が可能な6N01材が1980年に開発され、1982年にはJISに登録された。欧州での6005Aの開発に触発されての動きではあったが、薄肉化・耐溶接性(マイクロ割れ性)の点で、より留意され



Fig. 9 営団地下鉄半蔵門線「8000系車両」

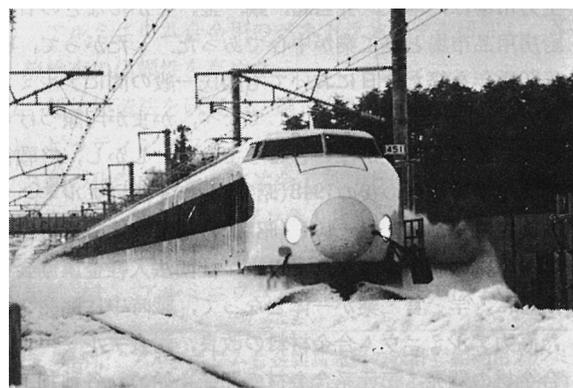


Fig. 11 東北新幹線「200系車両」



Fig. 10 山陽電鉄「3050系車両」

たものになっているのではないかとされる。これらの形材を車両長手方向に配置して、連続長手溶接にて組立てればそれ自身にて外殻構造をなすという生産の合理化によるコスト低減を狙ったもので、床・側梁・軒桁に中空形材、屋根・腰板に大型薄肉形材を配置した山陽電鉄3050系車両（Fig. 10）が国内初のいわゆる第3世代の車両として1981年に登場する。この低コスト化の動きは、地下鉄車両にも直ぐに波及し、1983年の営団地下鉄の銀座線01系車両にも反映されていくこととなる。これら車両の形/板比率は、3050系車両で78.8%、01系車両で92.6%と形材の使用比率が高くなってきた。

新幹線用車両としては、東北・上越新線用に1970年代前半から試作車両の開発が繰り返され、側構を台枠より下へ伸ばし高剛性にする事ならびに、そのことで雪中走行時の機器保護上有利にするという目的の下に、いわゆるボディマウント方式が採用された。台枠・骨組に7N01, 7003を採用し、トンネル気圧変動に耐えるように7003の大型薄肉形材を巧妙に配置することでクリアし、長尺広幅5083を外板として抵抗スポット溶接にて組み付ける方式で、1982年に製造された（Fig. 11）。

次に橋梁分野であるが、かつての金慶橋のように構造部材へのアルミニウムの適用は初期コストアップの問題から、当分の間期待できないが、軽量化メリットを活かし本

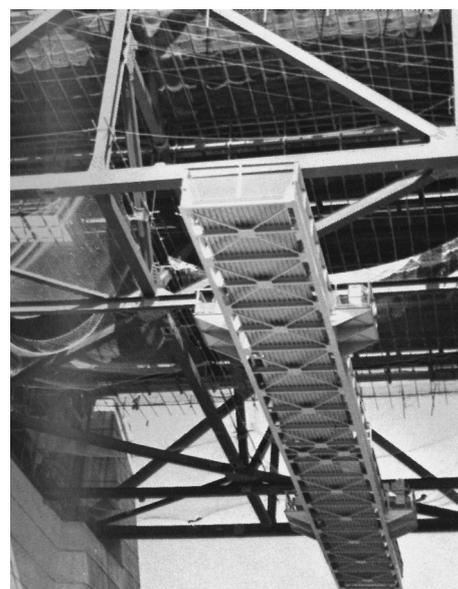


Fig. 12 関門橋の検査作業車

橋を補強することなしに添架可能な橋側歩道のアルミニウム化は着実に増加した。また関門橋に代表される長大橋の検査作業車（Fig. 12）が1972年に初めて設置され、1985年の大鳴門橋などへ展開されていった。比強度が高く、海水及び海洋環境における耐食性が優れるというアルミニウムの特長を活かした作業車は、従来少なかった橋梁部門におけるアルミニウムの使用量を一挙に拡大し、今後の伸びが期待された。

次に自動車分野である。1970年代の2回の石油ショックを受けて以降は省エネルギー時代へと転換し始め、燃費向上のための自動車車体の軽量化機運が高まりつつあった。大きな進展を見せたパーツは、エンジン回りの鋳物やバネ下荷重軽減効果の大きいホイールであった。1970年代半ばからそのホイールのアルミニウム化が活発になったが、アルミニウム製乗用車ホイール（1986年で約1,000万個/年）中、75%が鋳造で、残25%が板材の溶接リムと各種ディスク材との溶接組立による2ピースホイールである。アルミニウム化アイテムの長年の宿願の一つであるラ



Fig. 13 マツダ NewRX7 (ボンネット)

ジェータは銅/真鍮製の競合厳しく、アルミニウム化が進んだのは真空ろう付登場によるクーラのエバポレータ・コンデンサーならびにオイルクーラー等であり、熱交換器の項で後述することとする。もう一つの宿願であったボディパネルは、ようやく1985年にマツダ NewRX7 のボンネット (フード) (Fig. 13) に適用され、その後のボディパネルのアルミニウム化に発展する記念すべき初ものとなるのである。

一方、自動二輪車においては、1970年代にレース用車種でホイールリム、スイングリムやガソリタンクのアルミニウム化が始まり、1980年代に入ってスイングアームに適用され始め、1986年頃にはフレーム全体がアルミニウム化されつつあった。

熱交換器分野に関して、LNG 蒸発器が LNG 地上タンクに併設されるが、海水を外部熱源としてプレート外面に流して内部の LNG を気化させるものである。これら大型熱交換器などの溶接用として自動ティグ溶接機や薄肉材料の高品質溶接を目的とする高周波パルスティグ溶接法などが開発された。また、空気分離装置やエチレンプラントなどの低温工業用の大型熱交換器のろう付法としては、浸漬ろう付法が適用された (Fig. 14)。

この浸漬ろう付は耐食性の点からろう付後のフラックス除去が必須であることから、フラックスを用いないろう付法が追究されていたが、1960年代に真空ろう付法が米国にて開発され、1970年代に日本にも技術導入されると、理想的な方法であるとの関心が高まり、クーラー用コンデンサー、エバポレータ (Fig. 15) や大型熱交換器の製造に適用されるようになった。ろう付前の脱脂洗浄が不要であることやろうの流れが良いことなどのメリットをもち、設備費が高い、蒸発した Mg の処理が必要である、また防食のための Al-Zn の使用が制限されるなどの課題も明らかとなった。そこでフラックス中の Zn が熱交換器表面に拡散することで耐孔食性に優れるという炉中ろう付が見直されたものの、一方ではフラックスを用いない不活性雰囲気ろう付法が種々開発 (VAW 法、Borg-Warner 法、KD 法等) された。また、非腐食性のフッ化物系フラックスを用いることでフラックス残渣の除去を不要とするいわゆる Nocolok 法が米国で開発され、1978年に公表されるに至った。酸素1,000 ppm 以下、水分80 ppm 以下であればろう付は十分可能であり、フラックスを用いない不活性雰囲気ろう付法ほど雰囲気制御が厳

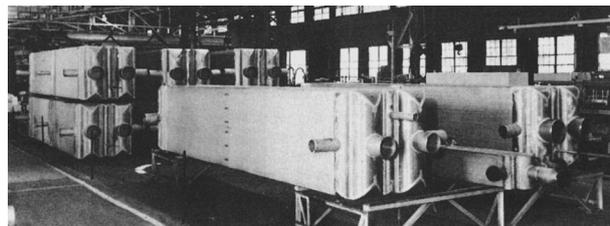


Fig. 14 空気分離装置用大型熱交換器 (浸漬ろう付)

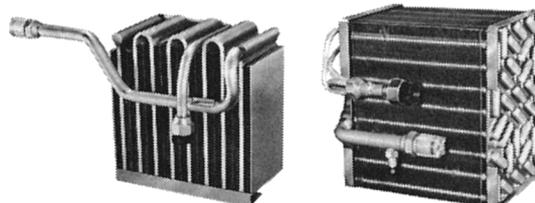


Fig. 15 カークーラ用エバポレータ (真空ろう付)

密ではないこと等から、1980年代前半には数社でクーラー用エバポレータやコンデンサーが量産され始めるようになった。

次に、電気通信分野に関しては、管路気中送電線 (GIL) がある。送電ルートの確保難による送電容量の大容量化が進み、ケーブルでは1条あたりの許容電流が低く、パイプ状のアルミニウムでの送電が考えられたのである。1972年頃よりパイプ状のアルミニウムシースの中にパイプ状のアルミニウム導体を、絶縁支持物 (スペーサ) で単心状あるいは三心状に支持し、導体とシース間に SF₆ ガスを充てん加圧した GIL の開発が進められ、たとえば500 kV 容量のものが1984年に敷設された (Fig. 16)。シースには 6063TE-T1 が、導体には 6063TE-T5 が用いられ、ティグ・ミグ溶接にて製造され、そのアルミニウムの使用量は28トンにも及ぶ。

最後に、科学技術分野として粒子加速器と N ロケットがある。高エネルギー物理学研究所で建設がスタートしたトリスタンの粒子加速器 (Fig. 17) は、電子と陽電子、電子と陽子などの衝突実験研究を目的とするもので、主設備は粒子加速リングから構成される。内部を通る高エネルギー粒子の散乱によって、チャンバーを構成する金属材料が高い誘導放射能を帯び、その半減期が長いために放射線被爆の危険性から研究作業や装置の保守、点検に大きな支障が生じていた。ステンレス鋼に比較してアルミニウムは残留放射能が初期で1/3~1/2に減少し、200時間後には1/10となり誘導放射能の減衰に優れた材料であることが確認された。欧米ではすでにアルミニウム製の真空ビームチャンバーを用いた加速器が建造されていたが、それをつなぎ合わせるフランジはステンレス鋼であり、減衰能や異種金属接合の観点から全アルミニウム製の開発が望まれた。フランジ表面への CrN イオンプレーティングによるガスケット対抗面の硬度アップや、真空ビームチャンバ材

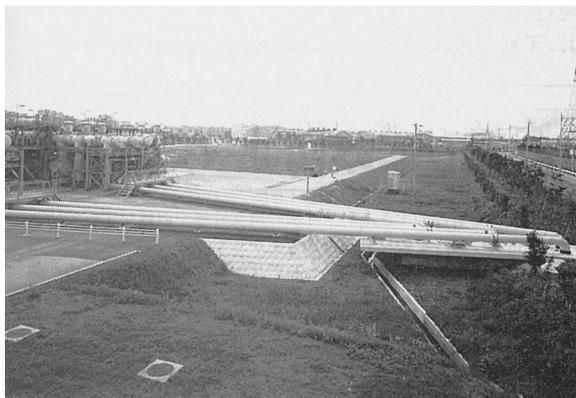


Fig. 16 管路気中送電線 (GIL)

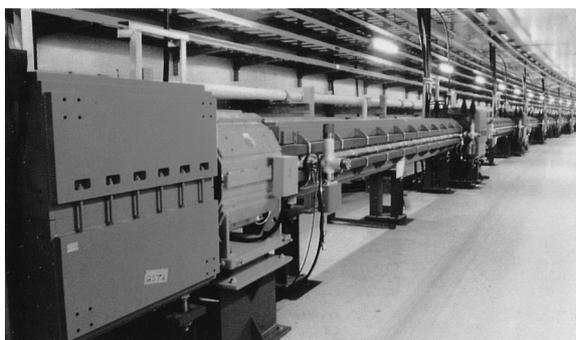


Fig. 17 粒子加速器メインリング (トリスタン)

の6063材不純物のZnのJIS規格の1/10化、押出チャンパー材内面の粗さ抑制(表面積減少)や酸化膜の成長抑制(150 Å以下)などの工夫がなされた。管の接合は低周波パルス重畳のDCENティグにて1,200か所の溶接を行い、フランジ2219とビームチャンパー6063との溶接にはAl-Si系溶加材を用いた交流ティグを適用し、1986年に完成をみた。

Nロケット (Fig. 18) の第2段液体燃料タンクや酸化剤タンクには2014が用いられ、電子ビーム溶接にて組立てられ、またロケット本体の2219の円周溶接にはHeガス



Fig. 18 Nロケット

を用いるDCENティグ溶接が適用され、1975年にはその打上げに成功し、ロケット国産化に大きな一歩をしるした。

以上、この時期における各分野でのアルミニウム適用の溶接構造体製品を概観したが、種々のものに適用拡大していったことが見て取れる。アルミニウムの本来持ち合わせる物性を先ずは活用できることが必要ではあるが、工業製品としても十分に耐えるものであるかがポイントである。前者は軽量性・高電導性・高熱伝導性・誘導放射能半減期の高減衰性などであり、後者には溶接品質の向上や製造時のインシヤルコストの抑制があろう。材料面・溶接施工面・製造技術面などの創意工夫や装置使用時のランニングコストをも見据えたトータルコストとしての考え方などが、製品群を通して垣間見れるところである。

(事務局 笹部誠二)