

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）

（2）自動車・熱交換器分野ほか

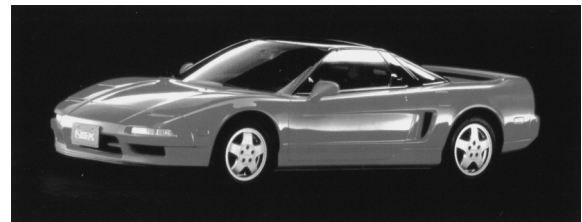
The Representative Aluminum Welded/Joined Structures
through the Journal of Light Metal Welding from around 1985 to Now
(2) Fields of Automotives, Heat Exchangers and etceteras

前年代期でその動きの一端が見え始めた自動車分野に目を転じてみる。アルミニウム化の動きはバブル経済が崩壊するまでは順調に伸びていたが、その崩壊とともに適用は後退し、経済がやや回復し始めたITバブルの1999年頃からまた伸び始めたもののリーマンショックにより大きな後退を余儀なくされるといった具合に経済環境に大きく影響を受けている。これは、アルミニウム化が始まった時期でもあるのでその位置付けが運転性能・燃費性能・安全性能・地球環境への優しさなど、どの尺度の軸足でとらまえるかが、その時々判断によってシフトしたためという点も大きいと思われる。

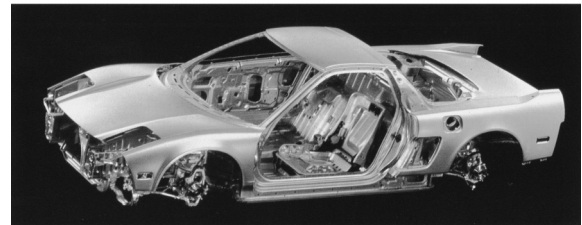
ボディパネルのハンゴオンパーツの一つであるフードに着目すると、前期の1986年のRX7に続いて1989年のフェアレディZ、スカイラインGT-R、ロードスター、1992年のランサーエボ、1993年のスープラ、1994年のセリカGT4など順調に伸びたものの、次の1999年のセドリック・グロリア、レガシーまでの5年間は新規適用が完全にストップするといった状況である。いわゆる蓋物全般という範囲まで視点を拡大すれば2004年のフーガやレジェンドにはドア、トランクリッド、フロントフェンダー、2003年2代目プリウスのバックドアなどがアルミニウム化された。ボディならびに足回り部品まで拡大すると2005年のアウトランダーのルーフ、レジェンドのサブフレームなどが上げられる。これら部品の適用接合方法としてはレーザ溶接、アーク溶接、接着接合、抵抗スポット溶接、機械的接合などが上げられ、アウトランダーのルーフのアルミニウム化においては鋼製ボディ材との異種金属接合として接着剤併用のセルフピアッシングリベット（SPR）が用いられた。またアルミニウム材同士の接合としてRX8のドア、プリウスのバックドアなどには、摩擦撚拌接合による点接合（FSSW）があらたに用いられており、自動車特有の適用となっている。

一方、オールアルミニウム製の自動車は、鋼製車同様の構成となるモノコック方式による1990年のNSX（Fig. 1）、押出型材で骨格を構成するスペースフレーム方式とモノコック方式との混合による1999年のインサイト（ハ

イブリッド車、（Fig. 2））、そして同年1999年のモノコック方式のハイパーミニ（電気自動車）（Fig. 3）が上げられる。しかしながら、材料費によるコストアップならびに生産加工性などの点から、それに続くオールアルミニウム



スポーツカー「NS-X」の外観



「NS-X」の車体—全アルミ・モノコックボディ

Fig. 1 オールアルミニウム製自動車「NSX」（モノコック方式）



Fig. 2 オールアルミニウム製自動車「インサイト」ハイブリッド車（スペースフレーム式とモノコック方式との混合）



Fig. 3 オールアルミニウム製自動車「ハイパーミニ」電気自動車（モノコック方式）

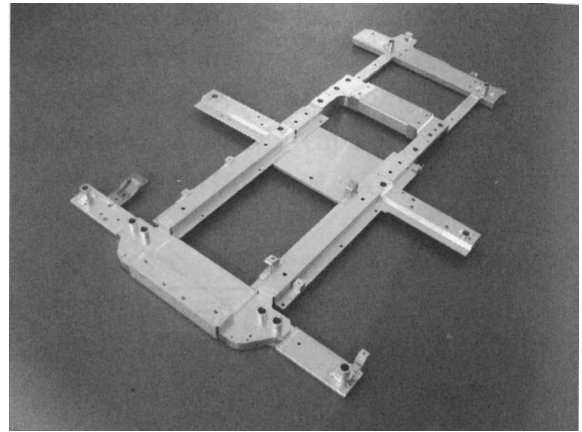


Fig. 5 燃料電池車「FCX」用サブフレーム

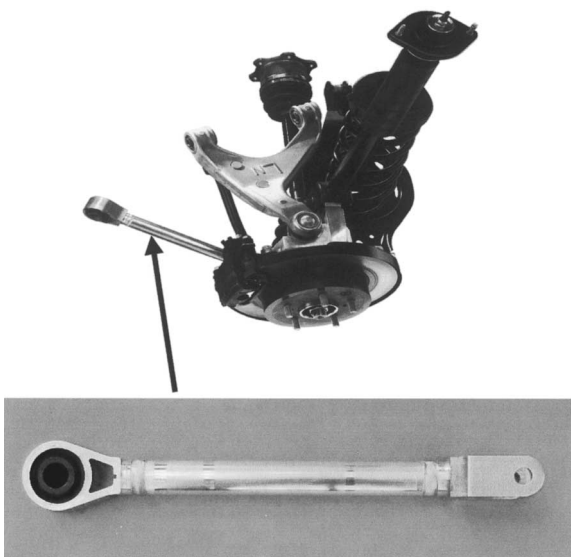


Fig. 4 「シーマ」サスペンションアーム

車の出現は国内ではなく、むしろ材料の適材適所化をにらんだ材料のハイブリッド化が指向されているのではないかと推定される。

接合技術の観点からは、パネルの点接合として機械的接合や抵抗スポット溶接の代替としてFSSWが登場し、またそれに先立つ1991年シーマのサスペンションアーム（Fig. 4）、2008年燃料電池車FCXのサブフレーム（Fig. 5）などにFSWが従来の接合方法に代わって適用された。また、今秋北米で発売される「アコード」のフロントサブフレームの鋼-アルミニウムの異材接合にFSWが適用された。

電気系統の配線も軽量化が進められており、圧着端子のかしめ接合技術の開発などを通して2010年のラクティスのドア用ハーネスがアルミニウム化（Fig. 6）された。また、かしめ接合技術に関して、電磁拡管成形によるかしめ組立によりスカイラインのバンパーステイ（2006年）（Fig. 7）などが製品化されている。

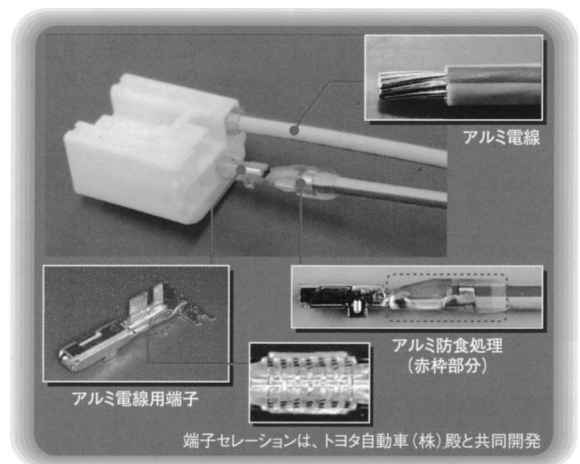
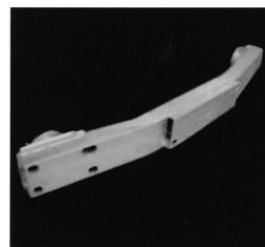


Fig. 6 「ラクティス」ドア用アルミニウム製ハーネス



アルミ製バンパレインフォース

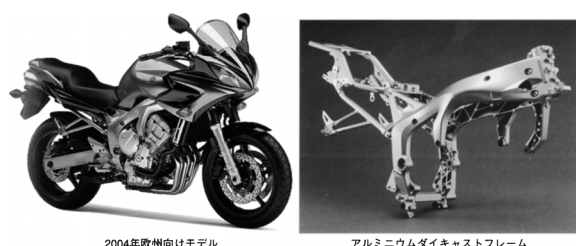


アルミ製電磁成形バンパステイ

Fig. 7 「スカイライン」バンパーステイ

以上、自動車のアルミニウム化達成のためには大量生産方式にも耐える必要がある点では従来分野とは異なるものの、レーザ溶接やFSW、FSSW、電磁成形接合などの新規接合技術がそれに確実に応えてきており、需要を開拓しているとも言える。

自動二輪車においては、前期のようにスポーツタイプ車のアルミニウム化がスタートしたものの部品点数が多く溶接長も長いことから高級車以外への展開が足踏みしていたが、溶接可能な大型薄肉のダイキャスト材の開発がきつ



2004年欧州向けモデル アルミニウムダイキャストフレーム

Fig. 8 「Fazer」溶接構造フレーム

けとなり、交流パルスミグ溶接などの開発と相まってそのアルミニウム化が拡大し、たとえば2004年のFazer (Fig. 8) などがある。

特殊車両に関して、東日本大震災直後のガソリン配送の遅滞が話題になったがガソリントタンク車はその大半がアルミニウム製となっている。内航タンカーと同程度の輸送量を担っており一般消費者向け輸送としてはほぼ100%がローリーに委ねられている。小型のタンクローリ、20 kl トレーラ、そして1994年には30 kl まで規制緩和されて大型のタンクトレーラ (Fig. 9) の時代となっている。全国で15,000~20,000台程度あるといわれ、その需要分野は裾野が広いものとなっている。

次に熱交換器分野である。ろう付技術の開発変遷と密接な関係があると思われるが、塩化系フラックスを使用する方法から、1970年代には真空法へ移行し、そして1970年代後半には、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 法が公表され、真空法に比較して安価なコンベアー式窒素雰囲気炉を用いればメンテナンスも容易で製造コスト上大きなメリットを有することなどが明らかになるにつれ1990年代になると本法が主流となり、ラジエータ (Fig. 10) やヒーターコアなどのアルミニウム化が徐々に拡大し、1990年代後半のシュレッターダストの鉛規制が強化されたことから、全面的にアルミニウム製に切り替えられた。

自動車以外としては低温工業用熱交換器の一つとして空気分離装置などがある。1960年頃に銅や真鍮からアルミニウムへの代替がなされたが、1992年頃にコストダウンのためにステンレス鋼への変更が検討されたこともあるが、総合評価としてアルミニウムに勝るものなしということで現在もアルミニウムが用いられている。その熱交換器としての大型ろう付アルミプレートフィン熱交換器は、前報のように当初1970年代後半には塩浴炉にて作製していたが、さらなる高圧化に対する品質、設計の自由度向上、コスト低減、環境負荷低減などを考慮して、フラックスレス法の代表である真空ろう付へ1980年台中央には変更された。

新幹線をはじめとする鉄道車両においては、そのモーター制御に数多くのパワーエレクトロニクス素子が使われている。その機能保持のためには冷却が必須で、その熱交換器



Fig. 9 大型ガソリントタンク用トレーラ

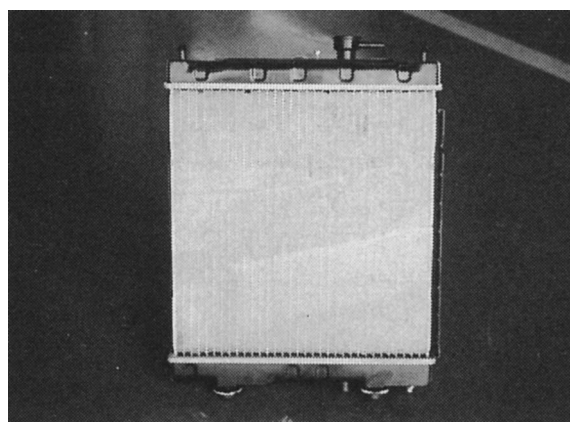


Fig. 10 アルミニウム製ラジエータ (Nocolok ろう付法)

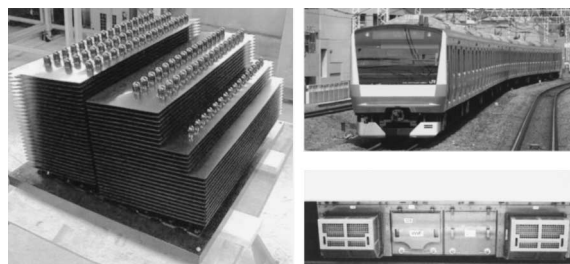


Fig. 11 車両用高性能素子冷却器

として、冷媒液をいれた沸騰凝固型の高性能素子冷却器が実用化された (Fig. 11)。また、地球環境への配慮を重視した電気自動車やハイブリッド車が昨今増加しつつあるが、モーターの駆動制御などのためのパワーコントロールユニットの高効率な冷却能力が必要となり、セラミックス絶縁基板上に搭載されたパワー半導体を直接冷却するろう付技術なども適用され始めている。

次にエレクトロニクス分野である。西播磨テクノポリスの高輝度科学研究センターでの世界最大級の大型放射光施設 (Spring-8: 1998年建設) (Fig. 12) は、周長1436 m

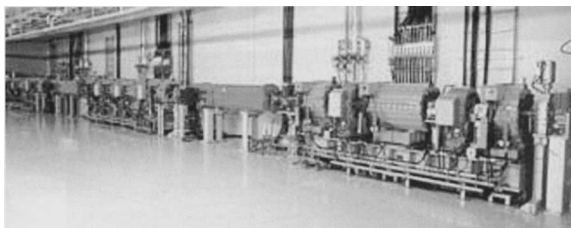


Fig. 12 大型放射光施設 (Spring-8)

で加速エネルギー 8 GeV の電子ビームを100時間以上維持する。このリングに全アルミニウム製真空チャンバーが採用され、フランジ材として2219、チャンバーには6063が用いられた。この6063は $O_2 + Ar$ の混合ガスを封入した状態での押出技術を用いた形材が採用されている。このように、水酸化皮膜の生成を制御することで飛躍的に少ないガス放出速度が得られ、高真空部材としてアルミニウムは広く認知されるようになり、高真空加速器のみならず、半導体製造装置用真空機器分野でもアルミニウム製真空チャンバーが適用されるようになった。なお、Spring-8のフランジ取付にはティグ、チャンバー組立にはミグ、ビームポジションモニターの高精度取付には CO_2 レーザ溶接が用いられた。

家電のリサイクル対応化・電子デバイスの小型化・軽量化・環境対策としての鉛フリー化の観点から、材料面では樹脂からアルミニウムへの動きがあり、たとえばその筐体の組立には高出力半導体レーザで接合する工法が導入されてきている。また、携帯電話などモバイル分野ではリチウムイオン電池が実用化されてきており、その電池ケースの封止には角形の場合にレーザ溶接が1994年頃から適用されだした。その後ハイブリッド車や電気自動車用の電池にも採用され出し、2011年にはその角形ケースにモバイルと同様にレーザ溶接が適用され始めた。モバイル用の電池ケースは2011年で6300万個生産され、1兆円規模の市場に急成長している。そのうち、レーザ溶接で封止される角形のシェアは30%前後かと思われる。一方、自動車用は250万個（2011年）とまだ少なめであるが2015年には、モバイルと自動車合わせて2.5兆円規模の市場になると予想されている。レーザ溶接という精細な技術の出現がこの市場拡大を支えており、まさに世紀をまたいで急速な勢いで大きな新分野が形成されつつある。

次に航空宇宙分野の内、まずは航空分野であるが、高い疲労強度を保持する高耐力の Al-Cu 系材料 (2324, 2524) ならびに高い圧縮座屈強度を維持する高引張強さの Al-Zn-Mg-Cu 系材料 (7050) が適用されるようになった。熔融溶接は信頼性の点から従来適用されてこなかった経緯があるものの海外のエアバスではレーザ溶接が適用された。また、ビジネスジェット Eclipse500 では FSW が適用された。

一方、宇宙産業は、米国の技術支援を受けながらの開発



Fig. 13 H II B ロケットタンク

をおこない、前期の1975年に打ち上げの N I に始まり、N II, H I, H II と国産比率を上げ続けながら大型化を推進してきた。現在では、純国産で国際レベルの打ち上げ能力を有するロケット製造技術を有するに至っており、外国製衛星の打上げもこの5月に H II B ロケットにより成功し、打上げビジネスに参入できる程度にまでの高い信頼性を有することが証明された。なお、ロケット材料としては、溶接可能な2219が用いられ、DCEN-TIG 溶接にて組立てられてきたが、最近では裏あて固定治具を不要とするポピン方式による FSW が、周方向の接合にも世界に先駆けて適用され (Fig. 13)、これを用いた H II B ロケットにより2009年、2011年そして2012年7月には宇宙ステーション補給機「こうのとり」を打上げ、そのミッションを成功させた。

次に土木橋梁建築分野である。従来から適用されていた橋梁点検車は1990年代においても、レインボーブリッジ (1993年)、明石海峡大橋 (1998年)、名港西大橋 (1998年)、本四架橋 (1999年) などに適用された。

歩道橋用床板には、6N01 押出材を従来のアーク溶接に代わって FSW により接合したものが適用拡大され、たとえば長崎県川棚駅の国内初のアルミニウム合金製の跨線橋 (2001年) (Fig. 14) をはじめ、各地の拡幅歩道橋 (2007年) (Fig. 15) など多数の歩道橋が施工され、そして2011年には、国内で初めて道路橋 (Fig. 16) に適用された。ところで、この FSW 継手はアーク溶接に比較して熱影響が少ないことから強度が高く、且つ止端部の応力集中が小さいことから疲労強度も高く有利となっている。

建築関連では、展伸材の加工と溶接によるたとえば地下街天井パネル、ホテル玄関庇、イベント広場屋根 (Fig. 17) などや、高剛性で且つ軽量化の両立を追求した構造体といわれるろう付あるいは接着によるハニカムパネルが、駅前広場 (JR 岐阜駅北口駅前広場 (2009年), Fig. 18) や地下街出入口 (1996年、京都御池) などの屋根材に適用されている。また、2002年日韓共催の FIFA ワールドカップ開催の市街地会場の一つである神戸ウイングスタジアムの開閉式屋根には騒音対策・反射光対策の配慮を行ったアルミニウム合金製折板屋根が適用された (Fig.



Fig. 14 跨線橋（長崎県川棚駅）



Fig. 15 拡幅歩道橋（秋田県小高川橋）



Fig. 16 アルミニウム床版道路橋



Fig. 17 イベント広場屋根（六本木ヒルズ）



Fig. 18 駅前広場屋根（岐阜駅北口駅前広場）



Fig. 19 開閉屋根（神戸ウイングスタジアム）

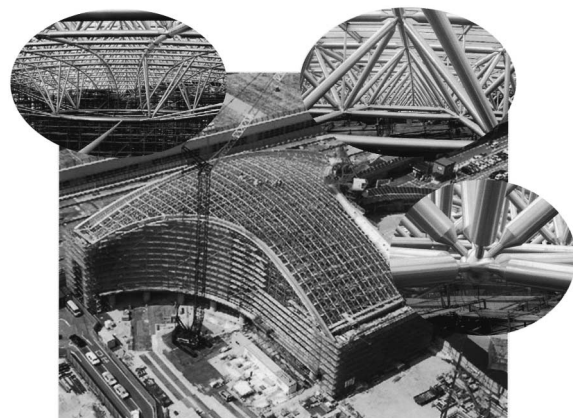


Fig. 20 駅前広場屋根（金沢駅東口広場大屋根）

19). そして、温室などに適用されてきたドーム用のトラス構造がそのデザイン性の点から駅前広場の屋根（金沢駅東口広場大屋根（2004年），Fig. 20）などにも適用された。

ところで、アルミニウムはこれまでサッシやカーテンウォール等、建築仕上げ材として使用されてきたが、柱や梁など構造部材用材料としては、建築基準法令上認められていなかった。種々の活動の結果、2002年の告示公布により、アルミニウムが鋼材等と同様、構造部材に使用でき



Fig. 21 耐震ブレース

る材料として認められ、通常の確認申請で容易に建築が可能となった。既存の鉄筋コンクリート建物の耐震補強の耐震ブレース材（Fig. 21）など、ますます本分野での構造物としての適用拡大が期待されるところである。

以上、1980年代央から現在までの創立50周年の約半分の期間にわたる溶接・接合構造体を概観してきたが、それまでの『需要開拓揺籃期』『需要拡大高成長期』と異なる

のは自動車やエレクトロニクス（モバイル系）という大量生産方式分野もしっかりと受け止めて対応してきているところかと思われる。また、従来分野であっても、その詳細に立ち入れば新規溶接・接合技術（レーザ溶接、FSW など）のメリットを活かす格好で置換され変貌しつつある。ごく最近では、新たな電磁成形接合技術やレーザとアークとのハイブリッド溶接技術の適用例も散見されるところとなっている。

軽金属溶接協会創立後50年間のアルミニウム製品総需要量ならびにアルミニウム溶加材生産量の推移を Fig. 22 に示すが、製品総需要量はここ4年連続400万トン/年を割ると同時に、溶加材生産量もそれまでの約20年間のおよその平均1200トン/年を連続して割るという厳しい状況が昨今続いている。しかしながら、今後もその発展に多いに期待できるたとえば自動車、情報通信やエネルギー分野などをも吸収しながら、上記多様化且つ高品位化した接合技術の適用にて拡大・発展していくことを多いに期待したい。

（事務局 笹部誠二）

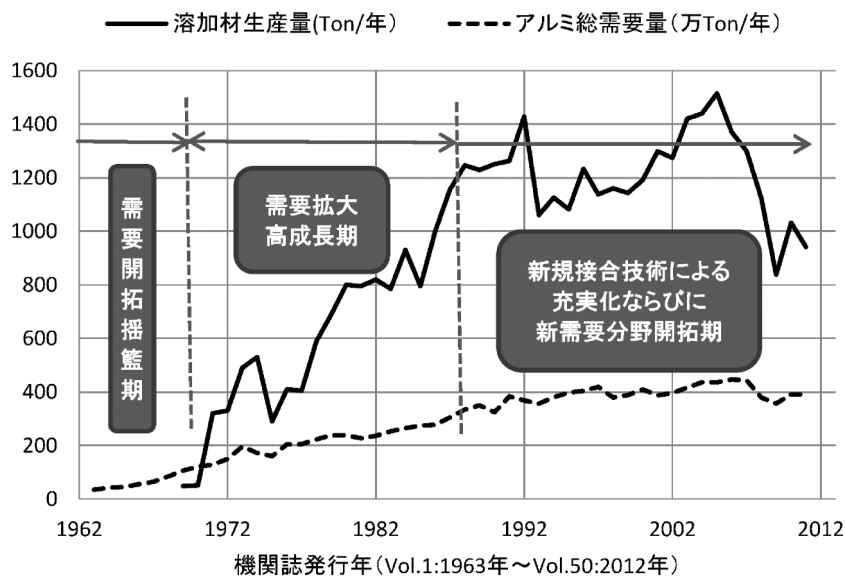


Fig. 22 創立後50年間のアルミニウム溶接・接合構造物の需要推移