

鉛フリーフューエルタンクの開発

Development of Lead Free Fuel Tank

滝川 和 則*
Kazunori TAKIKAWA
森 本 泰 司**
Yasuji MORIMOTO

成 田 正 幸*
Masayuki NARITA
伊 崎 輝 明***
Teruaki IZAKI

村 岡 洋 一**
Yoichi MURAOKA
高 橋 靖 雄***
Yasuo TAKAHASHI

要 旨

フューエルタンクの鉛フリー化技術として、耐食性、加工性、生産性に優れた溶融すず亜鉛合金(8%Zn)めっき鋼板を開発した。また、はんだ材としては低温はんだ付性や、めっきとの電位差腐食特性に優れたすず銀合金(3.5%Ag)を開発した。

生産技術領域での課題としては、連続スポット溶接性が現行の1/2に低下することであった。原因は電極金属とめっき金属との合金化反応による電極劣化である。この対応技術としては、めっき表面抵抗をコントロールし、溶接電流の低減化や電極先端形状の最適化を行うことにより改良した。

これらにより、既存設備で現行と同等の生産性が得られるとともに、耐食性、プレス性、溶接性等、総合性能に優れたフューエルタンクを開発した。

ABSTRACT

A hot dip Sn-Zn-alloy (8%Zn) coated steel sheet having superior corrosion resistance, formability and productivity was developed as a lead-free fuel tank. As soldering material, a Sn-Ag alloy (3.5% Ag) having low temperature soldering characteristics and superior galvanic corrosion characteristics with the coating was developed.

An issue in the production engineering area was that consecutive spot welding quality declined to 1/2 of current welds. The cause was degradation of the electrode caused by alloy reaction of the metallic electrode and the coated metal. As technical improvement measures to handle this, the coating surface resistance was controlled, the weld current was reduced, and the shape of the electrode tip was optimized.

This enabled attainment of productivity equivalent to current levels using existing equipment development of and a fuel tank having superior corrosive durability, pressing and welding characteristics, and overall performance.

1. 背景

欧州での廃棄物規制(ELV)や通産省「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」など、環境負荷物質軽減のための法律、規制が検討され、鉛を含む製品の規制基準が強化される予定である。後者の中では、使用済み自動車リサイクルイニシアチブとしての政府目標値が1997年5月に公表された。

これに対し、リサイクル自主行動計画において、2003年末までに車1台あたりの鉛(以降、Pbと記す)使用量を1996年の1/3以下とする方針である。Fig.1にPbを使用している主要な部品と、それぞれの車1台あたりのPbの使用量を示す(自動車工業会調べ)。

その中で、フューエルタンクに用いられるPbは約200gであり、全体の約11%に相当し、1/3化達成のためにPbフリー化は必要不可欠である。

* 栃木研究所

** 八千代工業(株)

***新日本製鐵(株)

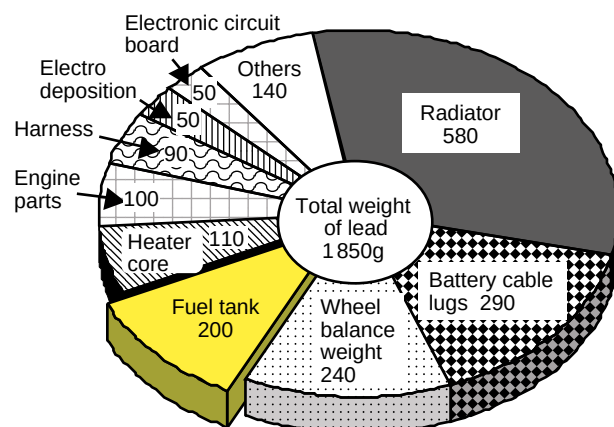


Fig.1 Applicable parts name containing lead and volume of lead for automobile

2. 現状と課題

フューエルタンクで使用される Pb は Fig.2 に示すように鋼板のめっき成分や、はんだ金属、及び、パイプ等の部品のめっき成分として含まれている。

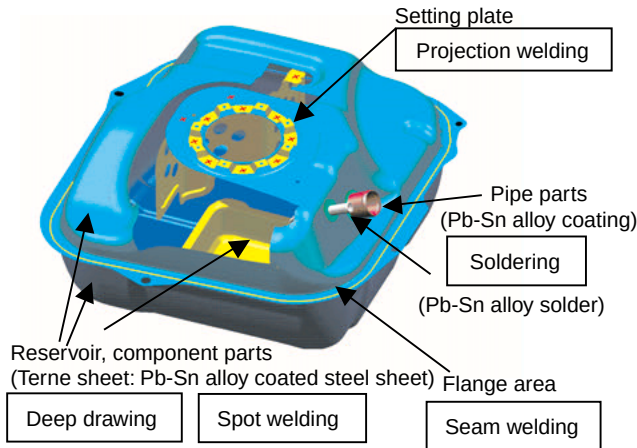


Fig.2 Portions where lead alloy used, type of alloy in parenthesis and production technology in box

フューエルタンクは高い内面、外面耐食性、及び、Fig.2 に示すように、深絞りプレス加工性、各種溶接、接合性等の多岐にわたる技術要素が求められるものであり、現行材料のターンシートはこれらに対し、特有の優れた適性を示す。具体的には以下に示す。

(1) 内面耐食性

オレフィン成分等を多く含有する粗悪ガソリンは、酸化反応により、有機酸が生成され、劣化ガソリンとなる。更にタンク内の結露水の介在により、酸が濃縮し、高濃度化する⁽¹⁾⁽²⁾。ターンシートはこれら有機酸に対し、化学的に安定である。

(2) 外面耐食性

積雪地域の道路に散布される岩塩等の融雪塩のロードスプラッシュ等の被水環境において、高いレベルの耐食性が求められる。ターンシートは化学的に安定であり、良好なプレス加工性により、皮膜のダメージが少なく、耐食性の低下が少ない等の特徴を有する。

(3) プレス加工性

伸び、軟らかさ(変形抵抗)、固体潤滑性等の物性に優れていることが求められる。ターンシートはプレス等の塑性加工に対し、高い伸び、展延性や軟らかさから、優れた特性を示す。

(4) 溶接性

シーム、スポット、プロジェクション等の抵抗溶接では、安定した連続溶接性が求められ、溶接電極の劣化を抑制することが必要となる。ターンシートはPbが電極の銅(以降、Cuと記す)と合金化しにくい特性であり、良好な溶接性を

示す。

(5) はんだ付性

はんだ金属との相互反応性が高いことや、めっき表面エネルギーが低い(酸化膜を形成しにくく、ぬれ性が良い)等の特性が求められる。また、接合相手材との異材接触腐食が発生しにくい材料であることが求められる。ターンシートに用いられる、はんだ材も同系の Pb-Sn であるため、良好なはんだ付性と耐異材接触腐食性を示す。

本開発では現行以上の耐食性、現行同等の溶接、プレス等の加工品質や既存生産設備で同等の生産性が得られることを目標とした。

特に耐食性については、近年、車のBODYのさびに対する性能改良による耐用年数の長期化に伴い、相対的にフューエルタンクについても腐食寿命のレベルアップが求められつつある。これは北米等の厳しい腐食環境地域のみならず、昨今、国内でも、スパイクタイヤの廃止に伴い、積雪地域的高速道路や主幹道路での融雪塩散布量が大幅に増加していることから、同様のニーズが高まりつつある。

また、フューエルタンク内面についても開発途上国での車の需要拡大とともに、粗悪ガソリンの問題がクローズアップされつつあり、より、高耐食性が求められている。

3. めっき金属材料設計

3.1. めっき金属の選定

高耐食性めっきにおける重要な要素として

- ・フューエルタンク内面の劣化ガソリンおよび、外面の塩害環境で化学的安定性に優れていること。
- ・めっきの腐食電位が、鉄(以降、Feと記す)に対して、ややアノードであること。すなわち、めっきが犠牲防食作用を示すことである。

めっきに適用される代表的な金属について劣化ガソリン中(10%水含有)での Fe に対する腐食電位差と溶出量を Fig.3 に示した。さらに海水中(外面耐食性を想定)での腐食電位差と溶出量を Fig.4 に示した。

金属としてはアルミニウム(以降、Alと記す)が最も良好であり、次いで、すず(以降、Snと記す)である。しかし、Alは強固な表面酸化膜により、はんだ付が困難であることから検討から除外した。Snは電位がややカソードであることから、より耐食性の向上には電位のアノード化が必要である。Snについては元来、はんだ付性に優れた金属であること、特有の軟らかさ、伸びの良さからプレス加工性等のフューエルタンク用としての適性が高いことが予測される。

従って、本開発においては、Snをベースにアノード金属との合金化により、電位の最適化を検討した。

めっき可能なアノード金属としてはマグネシウム(Mg)、Al、亜鉛(以降、Znと記す)があるが、Mgはめっき生産性が難しく、Alは電位調整するには高含有量を必要とし、は

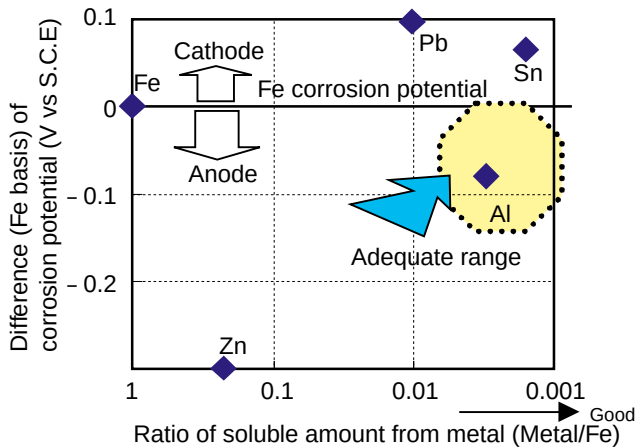


Fig.3 Comparison of corrosion potential and dissolution with soured gasoline solution with various metals

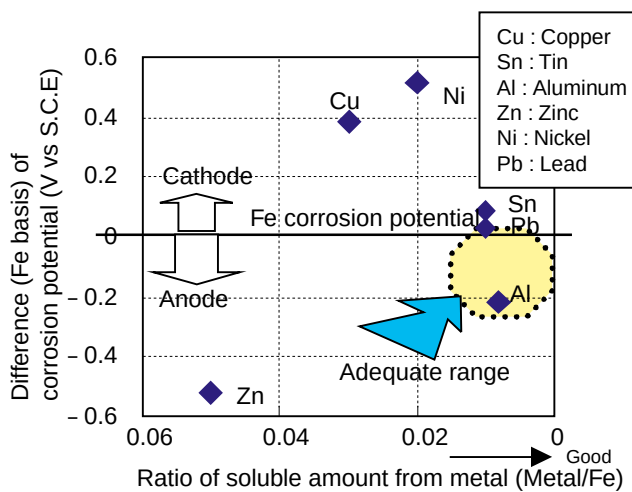


Fig.4 Comparison of corrosion potential and dissolution in the sea water with various metals

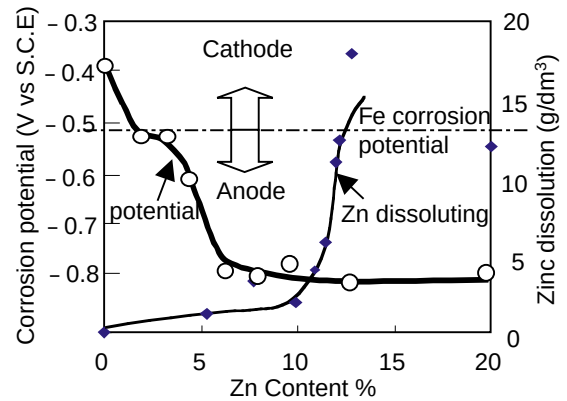


Fig.5 Relationship between Zn content and corrosion potential and zinc dissolution

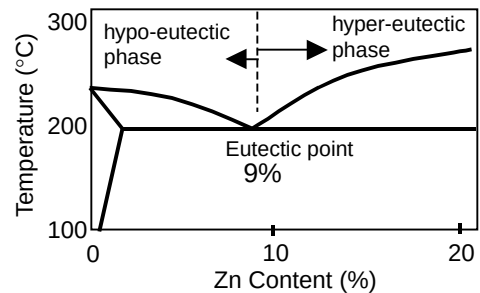


Fig.6 Equilibrium diagram of Sn-Zn alloy

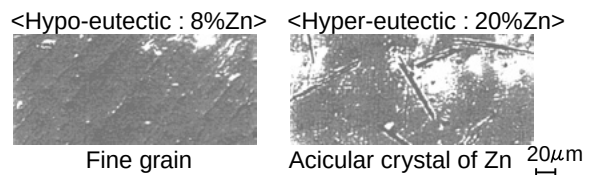


Fig.7 Appearance of Sn-Zn alloy crystal

んだ付性の問題が発生することから、Znを選択し、アノード化を検討した。また、めっき化においては、生産性の高さと、既存のめっき設備の転用が可能であることから、溶融めっき法を選択した。

3.2. 合金設計⁽³⁾⁽⁴⁾

Fig.5 に Sn 中の Zn の含有率(合金化率)に対する、劣化ガソリン中での電位変化と金属溶出量を示した。

電位は Zn の増加とともにアノード側に移行し、4%では、アノードとなり、6%を超えた辺りから電位が安定することから、7%以上が電位最適領域である。

一方、溶出量ではZn10%までは少なく、安定しているが11%近傍から急激に増加する傾向が見られた。この現象については Fig.6 の Sn-Zn の2元素平衡状態図と Fig.7 の結晶状態から以下のように推測される。

Sn と Zn の合金は Zn 9%が共晶点であり、それを超えた過共晶領域では粗大 Zn 晶が生成し、この過剰 Zn が溶

解し、溶出量が増加したと推定される。

従って粗大 Zn 晶を抑制するために共晶点の9%未満であることが必要である。

<まとめ>

Zn 含有率最適範囲は電位、溶出性(粗大 Zn 晶を抑制)から7~9%である。中央値として8%の Zn を含有する溶融 Sn-Zn 合金(以降、Sn-Zn めっきと記す)めっきとした。

Sn-Zn めっきは更に耐食性や塗装密着性を向上させる目的で化成処理皮膜を施したものとして完成させた。⁽⁵⁾

Fig.8 に開発しためっき鋼板の断面構造を示した。

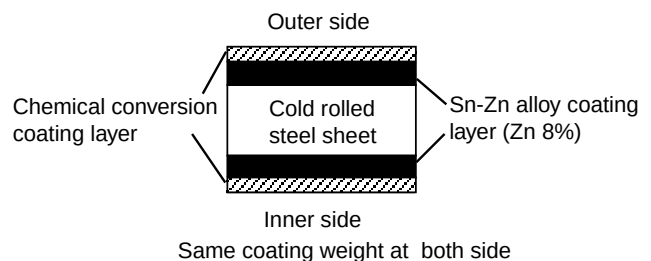


Fig.8 Schematic illustration of Sn-Zn coated steel sheet for fuel tank

4. 主な技術要素と検討結果

フューエルタンク主要技術要素の中で耐食性、スポット溶接、シーム溶接、はんだ付の検討結果について述べる。

4.1. 耐食性

4.1.1. 外面耐食性

めっき鋼板をプレス加工により、フューエルタンク相当の板厚変化を与えたテストピースについて耐食性テスト後の写真を Fig.9 に示す。

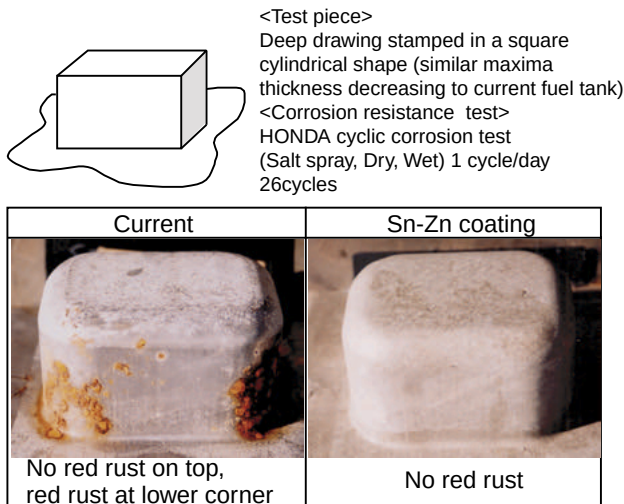


Fig.9 Appearance after corrosion test

Sn-Zn めっきは特に絞り加工部で、優れた耐食性を示した。これは、めっきの伸びが良く、適度な犠牲防食特性を有することによるものである。現行材は犠牲防食作用がないため、傷部等から、さびが発生する。

4.1.2. 内面耐食性

4.1.1. 同様に加工したテストピースについて、劣化ガソリンに対する耐食性結果を Fig.10 に示す。

Sn-Zn めっきは現行と比べ、優れた耐食性を示した。

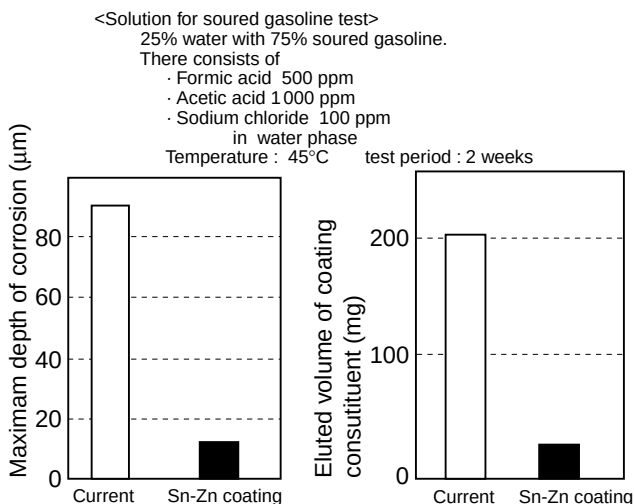


Fig.10 Result of corrosion resistance by soured gasoline test

4.2. スポット溶接

Fig.11 に現行材と Sn-Zn めっきのスポット溶接の連続打点性テスト結果、Fig.12 に Sn-Zn めっきの初期と連続打点終期のナゲット状態を示した。

Sn-Zn は現行材に対し、約半分の連続打点性であり、連続打点終期(Point A点)ではリング状の不安定なナゲット形態となった。

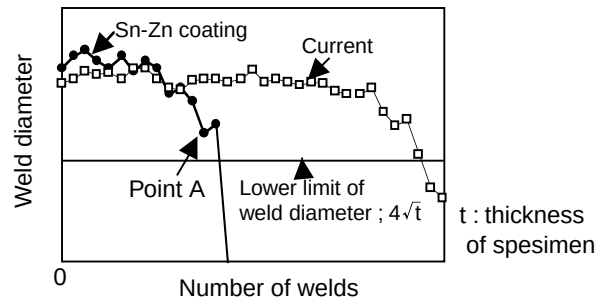


Fig.11 Changes of weld diameter during consecutive welding

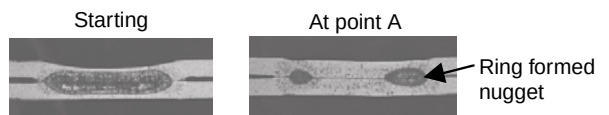


Fig.12 Cross-sectional view of nugget (Sn-Zn)

この原因解析としてテストにおける電極先端形状の変化を感圧紙に写し取ったものを Fig.13 に示し、テスト後の電極外観を Fig.14 に示した。

連続打点により、電極先端が損耗し、接触面積が拡大していることが分った。

さらに、連続打点テスト後の電極断面における EPMA 解析結果を Fig.15 に示す。

Number of welding	1	100	point A
Before corrective			
After corrective			

Fig.13 Change of electrode tip face shape during consecutive welding

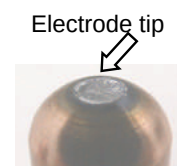
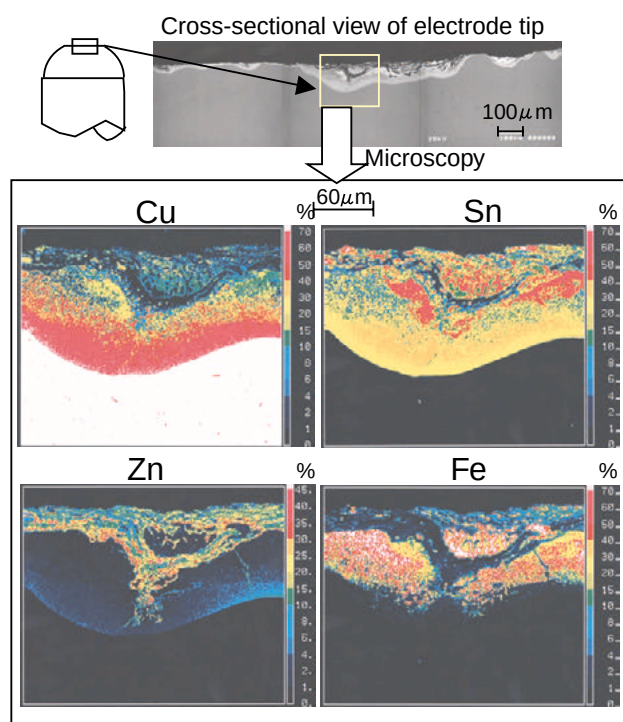


Fig.14 Appearance of electrode after welding



(EPMA color mapping, exhibiting element extence .by color)

Fig.15 Metal distribution at cross-section of deposit electrode tip

電極は先端中心部が凹状に変形し、Cu-Sn 合金ないしは Cu-Sn-Fe 合金が中心部ほど深く、形成されている。凹部の上はめっき金属ないし、不均一な合金層があり、はく離しやすい状態となっていると推定される。このようにして、電極の劣化が進み、ナゲットの形成安定性を阻害し、連続打点性が低下したたものと思われる。

それに対して Fig.16 に示すように現行材は電極上の合金が薄く、均一であり、わずかな劣化に過ぎない。これは Pb が Cu と合金化しにくいためである。



Fig.16 Cross-sectional view of electrode tip at numbers of point A used for welding the current material

<まとめ：連続溶接性の低下原因>

Sn-Zn めっきが現行材に対し、連続打点性に劣る原因は電極とめっきの合金化反応が進行し、その過程で、特に電極中央部の凹形状の劣化が拡大し、電極先端接触面積が広がることで、電流密度が小さくなり、ナゲット形成が不十分になったものと思われる。その模式図を Fig.17 に示した。

従って連続打点性の改良ポイントは以下の3点である。

(1) 低電流化等により、電極の合金化による損耗量(進行速度)を抑制する。

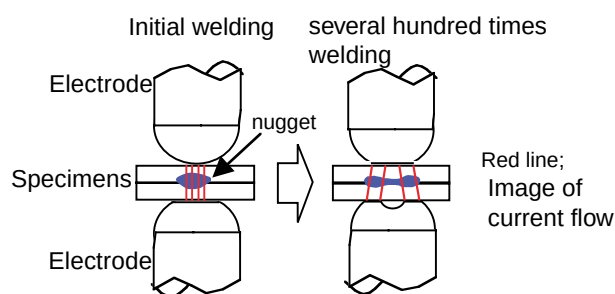


Fig.17 Model of degenerative electrode

- (2) めっきの付着量を抑制し、合金化の絶対量を減少させる。
- (3) 電極先端形状の最適化により、損耗による先端接触面積の広がり抑制する。

以上の観点で 4.2.1. に検討結果を示す。

4.2.1. スポット溶接性改良検討結果

(1) 低電流化

ナゲットを確保しつつ低電流化するためには、式(1)から示されるように抵抗値(R)を上げる、つまり、鋼板間の接触抵抗値を高めることが挙げられる。

$$\text{熱量式 } Q(\text{cal}) = 0.24 \cdot I \cdot R \cdot t \quad (1)$$

ここで I : current(A), R : resistance(Ω), t : time(s)

接触抵抗値を支配する因子としてはめっき上の化成処理皮膜付着量(厚さ)やその皮膜表面状態が考えられる。

すなわち、皮膜付着量の増大化や、表面粗さを小さくすることが抵抗値を高める効果に寄与すると推定される。(さらに電極とめっきの合金化反応の抑制も期待できる)

表面状態のイメージ図を Fig.18 に示し、化成皮膜付着量と表面の面粗度とを変化させた時の接触抵抗値の変化を Fig.19 に示した。また、化成皮膜付着量と表面の面粗度の2変量を被覆度(付着量/面粗度)として表わし、接触抵抗値との関係を Fig.20 に示した。

皮膜付着量の増大化で抵抗値は高まるが、面粗度が大きいと、寄与は著しく低下する。従って、面粗度を小さくすることが効果的であり、また、接触抵抗値は被覆度(Shield ratio)により、コントロールが可能であることが分かった。

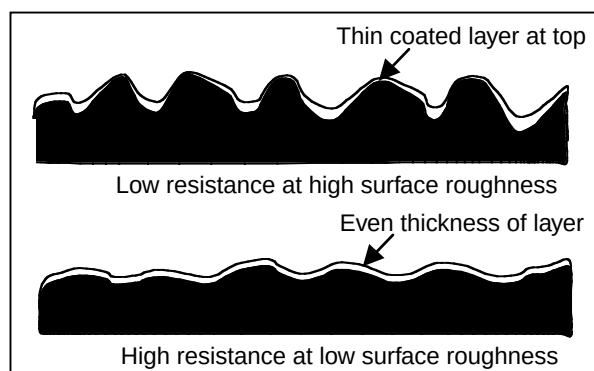


Fig.18 Image of cross-sectional view of coating

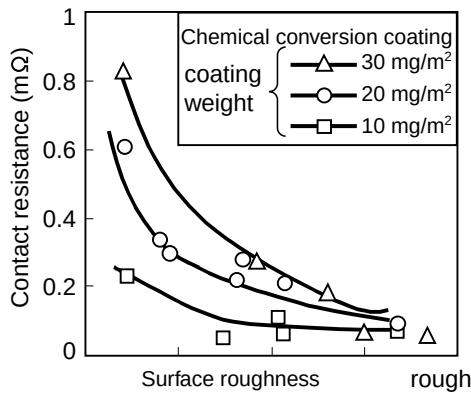


Fig.19 Relationship between surface roughness and coating weight and contact resistance

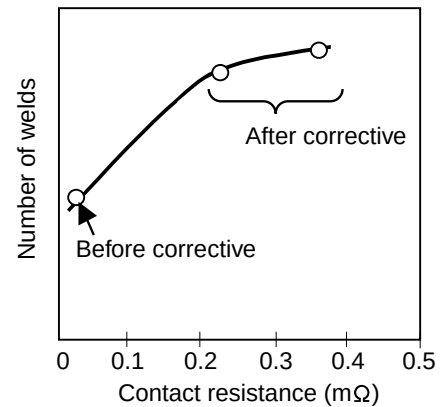


Fig.22 Relationship between contact resistance and to consecutive welding

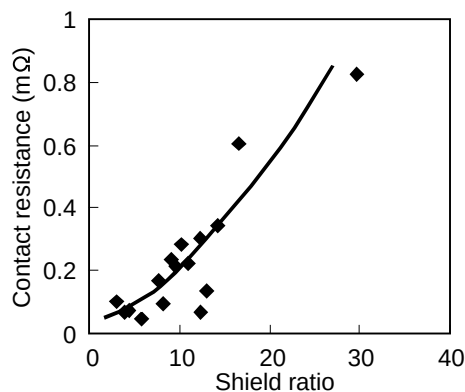


Fig.20 Relationship between shield ratio (coating weight/surface roughness) and contact resistance

以上の結果を基に接触抵抗値による可溶接範囲の下限電流値への影響を確認した。Fig.21 に接触抵抗値と溶接下限電流値の関係について示し、連続打点性改良効果について Fig.22 に示した。

<まとめ：低電流化について>

表面粗さの制御により、接触抵抗値を最適化し、溶接電流を下げることににより、連続打点性を改良することができた。

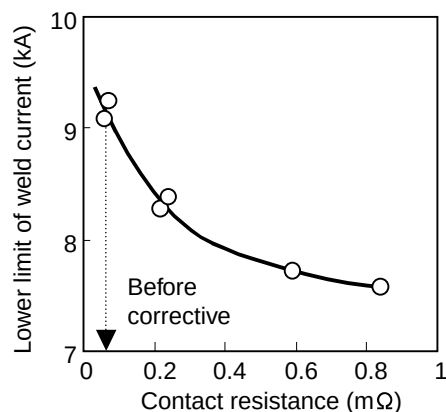


Fig.21 Relationship between contact resistance and lower limit weld current

(2)めっき付着量

付着量の低減化については耐食性とのバランスが必要である。付着量による連続打点性、耐食性(SST72h 後の赤錆発生面積)との関係を Fig.23 に示した。

めっきが薄いほど連続打点性に優れる。ただし、相反する耐食性の観点から下限を 30g/m² 以上とした。

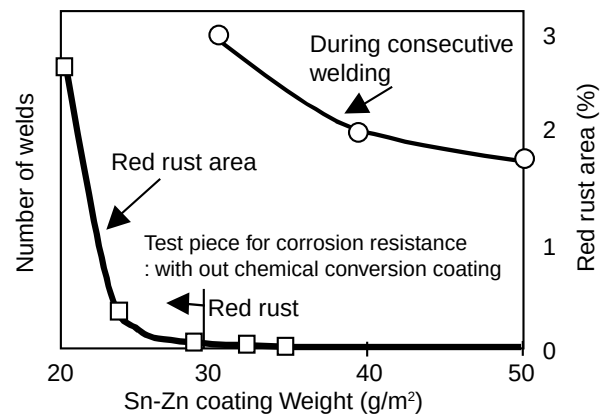


Fig.23 Relationship between Sn-Zn coating weight and continuous welding and corrosion resistance

(3)電極形状最適化

接触面積の抑制において、最も有効であったのは電極先端の小径化であった。Fig.24に電極先端径と連続打点性、溶接下限電流の関係を示し、Fig.25 に先端の接触面積の変化を示した。

電極先端小径化により、連続溶接時の接触面積拡大が、抑制されるとともに、初期の接触面積が減少(Fig.25の1打点目を参照)し、溶接電流が、低電流側にシフトし、電極の劣化が抑制される相乗効果により、連続打点性が向上した。但し、小径化はナゲットの狭幅化等の問題があり、最終的には最適なバランス設定とした。

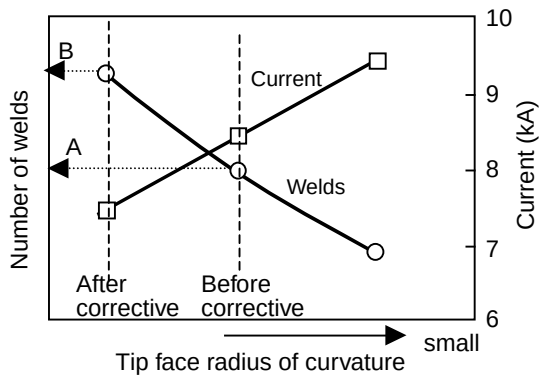


Fig.24 Relationship between shape of electrode and consecutive welding and lower limit of welding current

Number of weld	1	100	A	B
Before corrective				—
After corrective				

Fig.25 Change of electrode face shape during consecutive welding

<まとめ：スポット溶接性改良について>

スポット溶接性はめっき表面抵抗値、めっき付着量、及び、電極形状の最適化等により、大幅に改良され、現行と同等レベルを達成した。

4.3. シーム溶接

スポット溶接と同様に電極に Cu を用いるため、合金化による溶接性の低下が予想されたが、現行同等の溶接性が得られた。Fig.26 にテスト状況写真、Fig.27 に連続溶接テスト時のナゲット状態を示した。

連続溶接 2000m 時点においてもナゲット品質は良好であり、連続溶接安定性に優れていることが分った。

Fig.28 に溶接 10m 後の電極外觀、Fig.29 に連続溶接時の電極断面についてEPMA解析による、金属分布状態を示した。

表面には浮き上がっている状態(Fig.29 矢印 a)の Sn 主体合金と電極界面付近での Fe 主体合金が形成されている。何れもめっき鋼板材料の成分であり、スポット溶接電極で、みられた Cu との合金形成の事象はわずかしき認められな



Fig.26 Seam welding test

Distance of consecutive welding		Cross direction	Longitudinal direction
Sn-Zn coating	100 m		
	500 m		
	2000 m		
Current 1000 m over (Mass production)			

Fig.27 Cross-sectional view of nugget at during consecutive welding

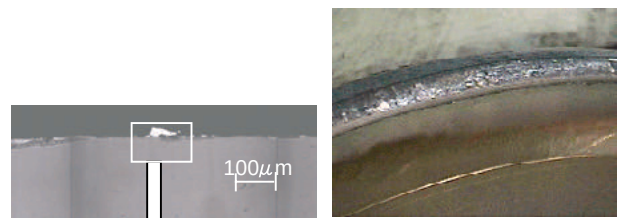


Fig.28 Appearance of electrode after welding test

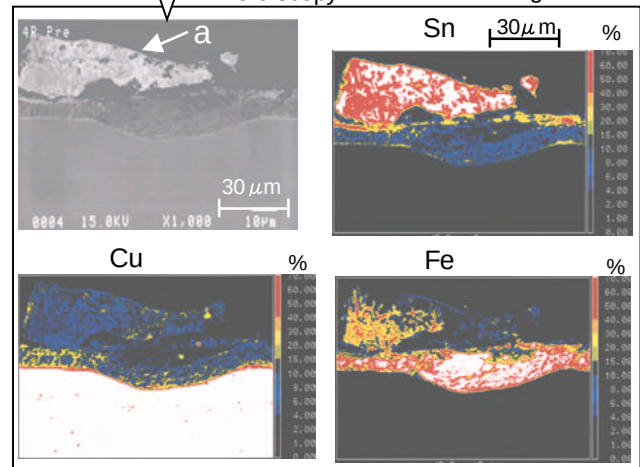
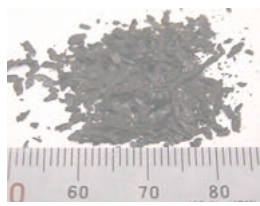


Fig.29 Metal distribution at cross-sectional view of electrode tip (EPMA color mapping, exhibiting element extence .by color)

かった。また、連続溶接テストにおいて、電極から断続的な付着物の離脱、落下がみられた。Fig.30 に、はく離物の外觀と成分を示した。

はく離物は主にめっき成分と少量の Cu(電極材)であり、めっきが電極上で堆積、はく離を繰り返していることが分かった。

これらより、電極がめっきとの合金化が進行する前に、はく離される自浄作用により、劣化が抑制され、連続溶接性が良好であったと推測される。



Sn : 65.3%
Zn : 12.7%
Cu : 8.1%
Fe : 4.1%
O : 4.4%

Fig.30 Appearance of peel off sample and element

電極上のめっき成分がはく離されるメカニズムを Fig.32 に模式化した。

- (1) 溶接機の構成部品としての鍛圧ナール(Fig.31に設備図を示す)が電極先端を物理的に成形するとともに付着しためっきを押し出す効果が現れる。
- (2) 付着しためっきの融点が低く、変形抵抗が低いため、ナールにより、塑性流動する。

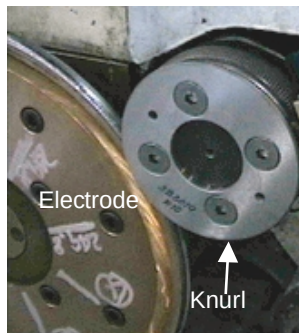


Fig.31 Layout of knurl and electrode

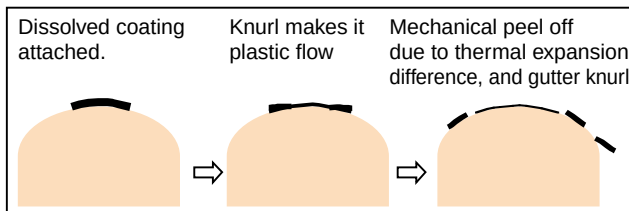


Fig.32 Behaviour of by-products on electrode tip

4.4. はんだ付

4.4.1. はんだ金属材料の選定

はんだの選定においては、はんだのぬれ広がり性、付きまわり性、物性の他に耐食性の観点で下記が求められる。

- (1) はんだ金属とめっき(鋼板及び、はんだ付されるパイプ)間の異種金属接触による電位差腐食(以降、電食と示す)が少ないこと。
- (2) はんだ加工温度が低いこと、すなわち、はんだ材の融点が低く、熱による鋼板のSn-Znめっきやパイプのめっきが熱劣化(溶け出しや酸化物形成)しにくいこと。

はんだ付やろう付けに用いられる代表的な金属の腐食電位序列と融点について Table 1 に示した。

Table 1 Typical solder, metal, and corrosion potential series, melting point

Corrosion potential series in sea water		Melting point (°C)
Zn-Al	Anode ↑ ↓ Cathode	390
Sn-Zn		200
Pb-Sn (current)		191~215
Sn-Ag (Ag3.5%)		221
Cu-Zn		850~900
Cu		1100
Ag-Cu	Cathode	650~750

はんだ材としては融点の低さ、腐食電位序列から、同じ Sn 主体の Sn-Zn が最も良好であり、次いで、Sn-Ag(Ag3.5%)であることから、この2種類に絞り込んだ。

また、パイプのめっきは、鋼板用のめっきと同系のSn-Znめっき(電気めっき, Zn 含有率 30 ~ 45%)とした。

次に Fig.33 に高周波誘導加熱方式による、はんだ付シミュレーションテストにより、付きまわり性能評価を行ない、その断面写真を Fig.34 に示した。

Sn-Ag は現行同様に良好な付き廻りであるが、Sn-Zn は融点プラス150℃まで加熱したが、十分な付きまわり性が得られなかった。

これは成分の Zn が酸化され、酸化物の巻き込みや粘度上昇により、表面張力が増大化し、ぬれ性が低下したものと推定される。

次にはんだ付後の耐食性テストを行い、テスト後の写真を Fig.35 に示した。

Sn-Ag はんだと Sn-Zn めっきの組合せは現行より、はんだ付周辺の腐食が少なく、良好であった。

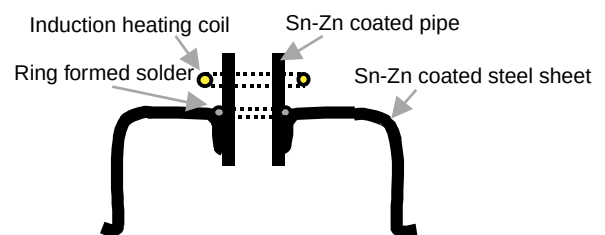


Fig.33 Solderability evaluation model (Induction heating method)

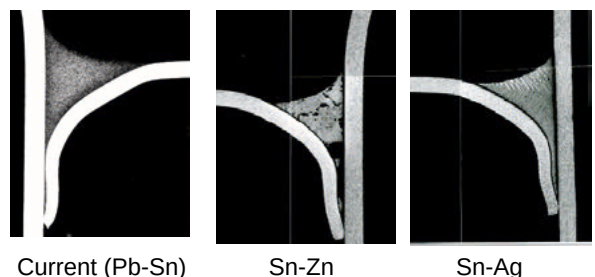


Fig.34 Cross-sectional microstructure of soldering

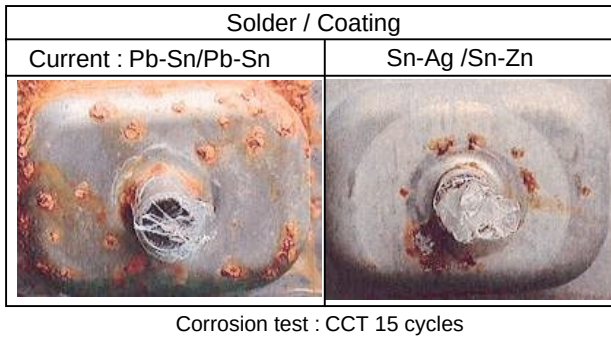


Fig.35 Appearance after corrosion test on soldered area

また、その他の評価として、付着強度やクリープ特性等について、テストを行い、Sn-Ag はんだは現行と比べ、同等以上であることが確認された。

これらの結果より、はんだ材は Sn-Ag 合金(Ag3.5%)とした。

5. フューエルタンクとしての適合性評価結果

フューエルタンクへの適合性評価として量産ライン、設備を用いて、フューエルタンクの試作を行い、品質、性能評価を実施した。各技術要素の中で、プレス性、スポット溶接性、耐食性についての結果を以降に示す。

5.1. プレス性

部位別の板厚測定を行い、現行材との比較を行った。板厚データを標準偏差として Fig.36 に示した。

板厚分布として Sn-Zn めっきは現行材と同等であることから、プレス加工性として良好であることが分った。

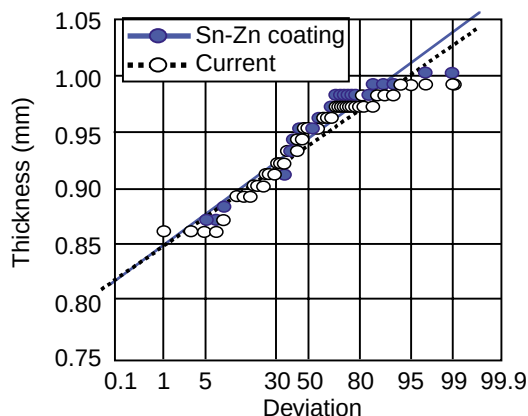


Fig.36 Sheet thickness distribution on stamped work

5.2. 溶接性

溶接品質、連続溶接生産性ともに良好であった。Fig.37 にスポット溶接について連続打点数と溶接部のナゲット径

の平均値の推移を示し、ナゲットの断面写真を Fig.38 に示した。

開発した材料、溶接仕様により連続溶接性は目標の2倍以上であり、ナゲット等の品質も良好であった。

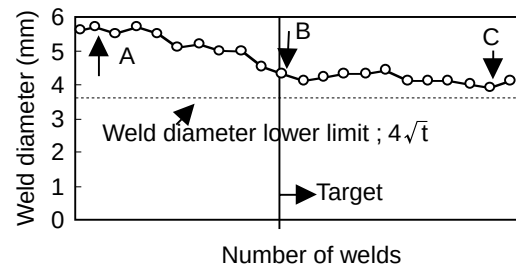


Fig.37 Changes of weld diameter during consecutive spot welding



Fig.38 Cross sectional view of nugget

5.3. 外面耐食性

Fig.39 に塗装を行ったフューエルタンクにおいて、耐食性テストの外観を示した。

Sn-Zn めっきは塗装性が良好であり、現行と比べ、優れた耐食性が得られた。特に深絞りプレス加工部では赤さび発生までの試験サイクル数で2倍以上の性能が得られた。

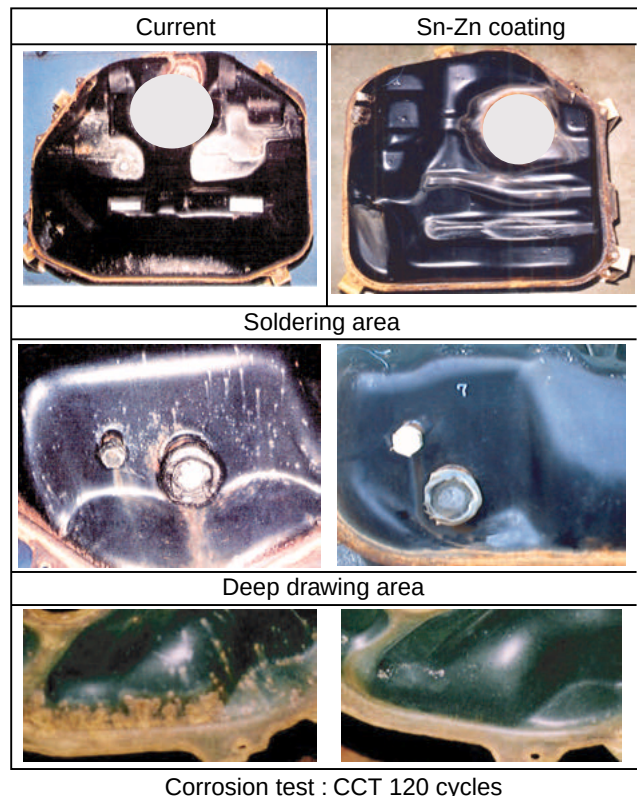


Fig.39 Appearance of Fuel tank after corrosion test

5.4. 内面耐食性

Sn-Zn めっきのフューエルタンクを用いて有機酸、塩水を含む劣化ガソリン試験液を用いて循環試験を行い、テスト後の外観を Fig.40、液中への金属溶出量と沈殿生成物の総量と部位別最大腐食深さを同じく Fig.41 に示した。

Sn-Zn めっきは現行と比べ、腐食重量、腐食深さともに少なく、優れた耐食性であることが確認された。

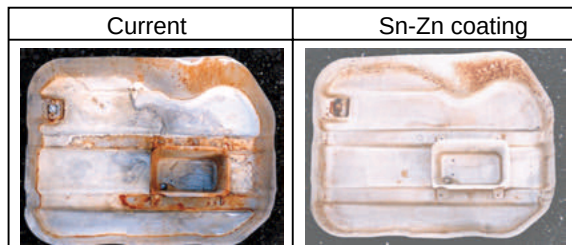


Fig.40 Appearance of Fuel tank after soured gasoline test

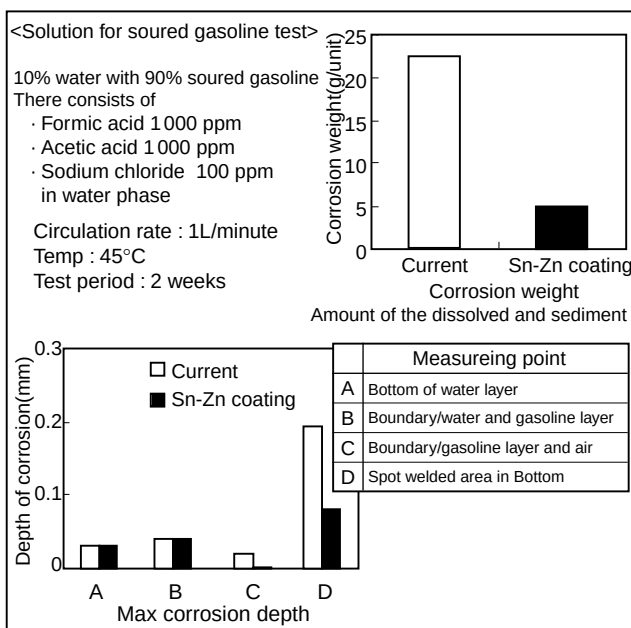


Fig.41 Result of soured gasoline test

6. まとめ

以上、フューエルタンクの Pb フリー化において材料開発と生産技術開発の概要と適合性評価結果を報告した。本研究を通じて得られた成果をまとめると以下の通りである。

- (1) めっき鋼板として、耐食性、加工性、生産性等に優れた Zn を 8% 含有する溶融 Sn-Zn 合金めっきを開発した。また、はんだ材料は融点、めっきとの腐食電位差等から 3.5%Ag を含有した Sn-Ag 合金を開発した。
- (2) 電極の Cu と Sn-Zn めっきの合金化によるスポット連続溶接性の課題については、めっき鋼板の面粗度改良

等による、表面抵抗値のコントロールや電極先端形状の最適化等により、現行同等の生産性が得られた。

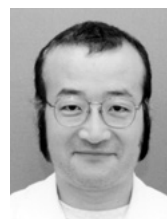
- (3) フューエルタンクとしてのプレス、溶接品質、耐食性、生産性等の各種適合性試験において、Sn-Zn めっきは現行に対し、同等以上であり、特に耐食性については優れたものであることが確認された。

この Pb フリーのフューエルタンクは 2001 年モデルの車から、順次適用される予定であり、HONDA として、2003 年末までに Pb フリー化が完了する予定である。

参考文献

- (1) 水口俊則, 安部理枝, 吉田誠: メタノール混合燃料の酸化劣化挙動とその腐食性, Vol.6, p.1539 (1993)
- (2) 布田雅裕, 伊崎輝明, 大森隆之: 燃料タンク内面環境とその腐食性, 材料とプロセス, Vol.10, p.1237 (1997)
- (3) 真木純, 伊崎輝明, 布田雅裕, 大森隆之, 滝川和則: 環境負荷を軽減した Pb を含まない燃料タンク用新めっき鋼板の開発, まてりあ, Vol.39, No.2, p.178-180 (2000)
- (4) 真木純, 伊崎輝明, 布田雅裕, 大森隆之, 滝川和則: 溶融スズ-亜鉛めっき鋼板の開発, 表面技術, Vol.51, No.6, p.111-116 (2000)
- (5) 伊崎輝明, 江口晴彦, 樋口征順: 高耐食性クロメート皮膜の開発, 材料とプロセス, Vol.9, p.1420 (1996)

著者



滝川 和 則



成田 正 幸



村岡 洋 一



森本 泰 司



伊崎 輝 明



高橋 靖 雄