

# 自動車排気系部品の溶接材料

山下 賢

溶接事業部・技術部

## Welding Materials for Exhaust Systems

Ken Yamashita

Good heat and corrosion resistance, light weight are required for exhaust systems materials to improve the fuel consumption ratio and body durability. Moreover good heat and corrosion resistance are required for welding materials to prevent burn through and cracking and reduce spattering. This paper outlines the history of related base materials, welding characteristics and requirements for welding materials. MXA-430M is introduced in the course of the discussion as a flux-cored wire for exhaust systems.

まえがき = 自動車メーカーは、地球環境保護のため燃費改善と排気ガス浄化に取り組んでいる。また車体の長寿命化という市場ニーズに対する取組みもすすめている。このような自動車をとりまく社会および市場環境の変化から、自動車の排気系部品も材料変更がおこなわれており、溶接材料についてもあらたな性能が要求されている。本稿では、自動車排気系部品の変遷と溶接の特徴、および溶接材料に要求される性能と自動車排気系部品用溶接材料として開発されたフラックス入りワイヤ MXA-430M について解説する。

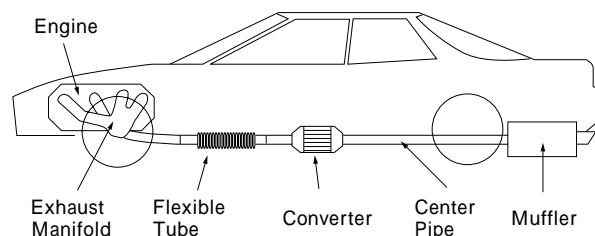
### 1. 自動車排気系部品の構成と適用鋼種の変遷

第1図に代表的な自動車排気系部品の構成を示す。自動車排気系は、エンジンで発生した排気ガスを浄化して外部に速やかに放出するためのものである。排気ガスは、エキゾーストマニホールドからフレキシブルチューブをへてコンバータにはいり、マフラを通り外部に放出される。第1表に排気系部品に対する要求性能および鋼種変遷の概略<sup>1)2)</sup>を示す。

#### 1.1 エキゾーストマニホールド

エキゾーストマニホールドは、エンジンの各シリンダごとに排気ガスを集めて後方へ送る役目を持っている。

従来、エキゾーストマニホールドは、高Si球状黒鉛鑄鉄やニレジスト鑄鉄など、生産性にすぐれる鑄造品が使用されてきた<sup>3)</sup>。しかし鑄造エキゾーストマニホールドは軽量化が困難な上に、エンジン効率の向上にともなって900 近傍まで達する排気ガス温度に対して、耐酸化性が不十分である。また鑄造エキゾーストマニホールドは熱容量が大きいので、排気ガス温度が低くなりコンバータの触媒効率を高めるのが困難である。このような背景から高性能車では、板厚1.5~2.5mmのフェライト系ステンレス鋼(430LX, 430J1L)のパイプや板をプレス成形し溶接構造としたエキゾーストマニホールドを採用している。さらに最近では、低コスト化の観点から430LX, 430J1LよりもCr量をさげて、鋼材の製造コスト低減をは



第1図 自動車排気系部品の構成

Fig. 1 Schematic drawing of automotive exhaust systems

第1表 自動車排気系部品に対する要求性能および鋼種変遷の概略

Table 1 Requirements and history of materials for parts in automotive exhaust systems

Parts	Requirements	History of Material		
		Conventional	Trend	
Exhaust Manifold	<ul style="list-style-type: none"> <li>Oxidation Resistance</li> <li>Thermal Fatigue Resistance</li> <li>High Temperature Strength</li> </ul>	High-Si Ductile Cast Iron Ni-Resist Cast Iron	SUS430LX SUS430J1L 13Cr-Si-Nb SUH409	
Flexible Tube	<ul style="list-style-type: none"> <li>NaCl-Induced Hot Corrosion Resistance</li> <li>Thermal Fatigue Resistance</li> <li>Oxidation Resistance</li> <li>Formability</li> </ul>	SUS304	SUSXM15J1 SUS302B SUS305	
Converter	<ul style="list-style-type: none"> <li>NaCl-Induced Hot Corrosion Resistance</li> <li>Oxidation Resistance</li> <li>Formability</li> </ul>	【Outer Shell】	SUS410L SUH409L SUS304	SUS410L SUH409L SUS430J1L
		【Catalyst Support】	Ceramic	SUS410L SUH409L SUS430J1L 20Cr-5Al
Muffler	<ul style="list-style-type: none"> <li>NaCl-Induced Corrosion Resistance</li> <li>Exhaust Gas Condensed Corrosion Resistance</li> </ul>	Aluminized Carbon Steel	SUS410L SUH409L SUS430J1L SUS436L	

かった 13Cr-Si-Nb 系鋼製の溶接構造エキゾーストマニホールドが実用化されている<sup>1)</sup>。同鋼種は、Cr 量低下にともなう耐酸化性の劣化を Si 量を高めることで補っている。いっぽう、鑄造エキゾーストマニホールドについては、フェライト系ステンレス鋼の精密薄肉鑄造技術が開発・実用されている<sup>4)5)</sup>。

## 1.2 フレキシブルチューブ

フレキシブルチューブは、排気系部品の高温側と低温側を結ぶ部品であり、振動と熱膨張の吸収をはかり、車内の静粛性を確保する役目を持っている。このため、ベローズ状に加工したオーステナイト系ステンレス鋼の 2 重パイプ構造となっている<sup>3)</sup>。従来より、パイプの加工性を重視してオーステナイト系ステンレス鋼 (304) が使用されていた。最近では、700 近傍まで温度が上昇することを考慮し、304 よりも Si 量を高くして、耐酸化性と融雪剤に対する耐高温塩害性を改善した XM15J, 302B, 305 を採用する傾向にある。

## 1.3 コンバータ

コンバータは、排気ガス規制に対応して 1970 年代後半から取り付けられるようになった。低熱容量化による触媒の早期活性化、軽量化の目的から、担体については、白金、パラジウム、ロジウムなどの重金属を担持させたセラミックス担体から、20Cr-5Al 系のフェライト系ステンレス鋼薄膜をもちいるメタル担体<sup>6)</sup>が実用化されている。ケース材についても、コンバータの高温化を考慮して従来使用されていた 409L, 410L から、Cr 量が高く耐酸化性にすぐれる 430J1L を採用するものもある。

## 1.4 マフラ

排気ガスは、コンバータにて浄化された後、センターパイプを通してマフラへとはいれる。マフラの内部はいくつかの部屋に分かれた構造になっており、これらの部屋を通過することによって、排気ガスの消音がおこなわれる。マフラは排気ガス規制の実施と強化にともなって、Zn めっき炭素鋼から耐酸化性の良好な Al めっき炭素鋼、さらに耐食性を向上させて長寿命化を図る目的から、フェライト系ステンレス鋼 (410L, 409L, 430J1L, 436L) へとかわってきた。マフラの耐食性は、内面腐食と外面腐食の二つに対して必要である。内面腐食は、排気ガスが冷却されて  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  などの各種イオンを含有した腐食性凝縮液が生成することから発生する<sup>7)</sup>。腐食性凝縮液は、排気ガス温度が 100 以上となる場合 (たとえば長距離走行時) には蒸発するので問題とはならないが、排気ガス温度が比較的低いエンジン始動時に生成されてマフラ内面の腐食を生じる。いっぽう、外面腐食は、寒冷地にて冬季の路面凍結を防止するために撒かれる融雪剤が、雪によってマフラ外面に付着することから発生する。

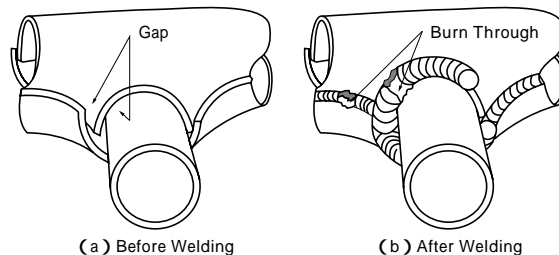
## 2. 自動車排気系部品の溶接の特徴と溶接材料に要求される性能

自動車排気系部品は、板厚の薄いパイプやプレス成形品を組合せて溶接される。溶接材料には主に 1.2mm の溶接ワイヤをもちい、溶接ロボットや自動機による自

動溶接がおこなわれる。このため自動車排気系部品の溶接には、下記の問題点がある。

### 2.1 溶落ち

溶落ちは、溶融金属が開先の反対側に完全に抜けて穴が空いてしまう溶接欠陥である。第 2 図はエキゾーストマニホールドの溶接例を示したものである。(a) のように広いすき間によって溶接ビードが架橋できない場合に溶落ちが発生する。板厚が薄いことも溶落ち発生の原



第 2 図 エキゾーストマニホールドの溶接例  
Fig. 2 Welding example of exhaust manifold

因となる。溶落ちを防ぐため溶接条件は、比較的、低電流域の条件を選択してショートアークで溶接されるが、さらに 0.8mm, 1.0mm の細径ワイヤを使用する場合もある。

### 2.2 溶接スパッタ

いっぽう、低電流域の溶接では溶接スパッタが発生しやすい欠点がある。溶接スパッタは、部品に付着すると製品の外観を損ない、除去作業が必要になる。また治具やトーチに付着堆積すると、故障や誤作動の原因となり、溶接の生産性が低下する。このため溶接スパッタを低減する目的から、電流波形を制御し低電流域での溶接作業性を改善したインバータ電源やパルス電源が採用されている<sup>8)</sup>。さらにシールドガス組成の検討も種々おこなわれており、現在、Ar ガスに 5~20% の炭酸ガスまたは 1~8% の酸素を混合したものが使用されている<sup>9)</sup>。

### 2.3 溶接割れ

フェライト系ステンレス鋼溶着金属は、遅れ割れ感受性が高く、部品に付着したプレス成形油や切削油に起因して遅れ割れが発生しやすい傾向にある。また結晶粒の粗大化も溶接割れを発生する一因となっている。フェライト系ステンレス鋼溶着金属の結晶粒は、入熱量が大きくなると粗大化して脆化する性質を有することから、低電流化して入熱を抑える工夫がはかられている。

溶接ワイヤには以上の問題点に対する性能、すなわち、溶落ちをおこしにくいこと、低電流域で溶接スパッタが発生しにくいこと、溶接割れをおこしにくいこと、が要求される。さらに溶着金属には 1 節で述べた、自動車排気系の使用環境に合った耐食性と耐酸化性も要求される。

## 3. 自動車排気系部品溶接用メタルタイプフラックス入りワイヤ MXA-430M の諸性能

当社は、従来より自動車排気系部品の溶接材料としてソリッドワイヤ MGS-308, MGS-309, MGS-430M を上市

している。ソリッドワイヤは、ワイヤ表面の清浄度やワイヤ強度を調整することにより通電性や送給性の改良をはかっている。とくに MGS-430M は、ワイヤ成分を調整して溶融金属の粘度を上げており、一般のフェライト系ステンレス鋼ソリッドワイヤにくらべて低電流域での溶接作業性が良好である。

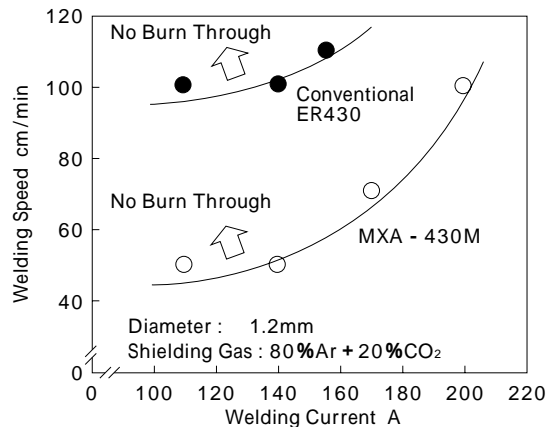
さらに、前項で述べた課題を改善するため、メタルタイプフラックス入りワイヤ MXA-430M を開発、実用化した。フラックス入りワイヤは、ソリッドワイヤでは困難なアーク安定剤や粘度調整剤の添加が、フラックス中で比較的容易におこなうことができる。このため MXA-430M は、MGS-430M よりもさらに低電流域での溶接作業性にすぐれ、溶接スパッタの発生量がすくなく、薄板溶接に適した耐溶落ち性を有している。また、油付着下においても良好な耐割れ性や、すぐれた耐酸化性と耐食性を有している。第 2 表に溶着金属化学成分の一例を示す。MXA-430M の諸性能について、従来型から使用されている 430 ソリッドワイヤ（以下、従来型ワイヤと記す）と比較しながら説明する。

### 3.1 薄板溶接に適した耐溶落ち性

自動車排気系部品の溶接箇所の板厚は 0.8~2.0mm と薄く、そのため従来型ワイヤでは溶落ちが生じやすい問題がある。MXA-430M はワイヤ中に含有する金属粉末を種々調整することによって、溶接ビードの広がりを増し、適度な溶込みがえられるようにしたもので、従来型ワイヤよりも格段にすぐれた耐溶落ち性を有している。一例を第 3 図に示す。この図は、ワイヤ径 1.2mm の MXA-430M と従来型ワイヤをもちいた薄板ステンレス鋼（板厚 2.0mm）のビードオンプレート溶接において、溶落ちの発生しない溶接電流と溶接速度の関係を調査したものである。各々、傾向線の左側（図中矢印側）が溶落ちの発生しない領域である。MXA-430M 従来型ワイヤともに、傾向線はほぼ右上がりである。これは高い溶接電流の場合、溶落ちを防止するためには溶接速度を上げなければならないことを意味している。同一電流で比較すると、MXA-430M は、従来型ワイヤに比較して傾向線が低速度側にシフトしており、溶落ちの発生しない条件範囲が格段に広いことがわかる。換言すれば、MXA-430M は電流、速度など溶接条件の自由度が大きく、母材板厚、継手形状、溶接姿勢に対して柔軟に対応する

第 2 表 MXA-430M 溶着金属化学成分の一例

Wire	C	Si	Mn	P	S	Cr	Al	Ti	Nb	N
MXA-430M	0.047	0.40	0.14	0.008	0.017	17.00	0.09	0.11	0.75	0.046



第 3 図 MXA-430M と従来型 430 ソリッドワイヤによるビードオンプレート溶接の耐溶落ち性

Fig. 3 Burn through resistance of bead on plate welding by MXA-430M and conventional ER430 wires

ことができることを示している。

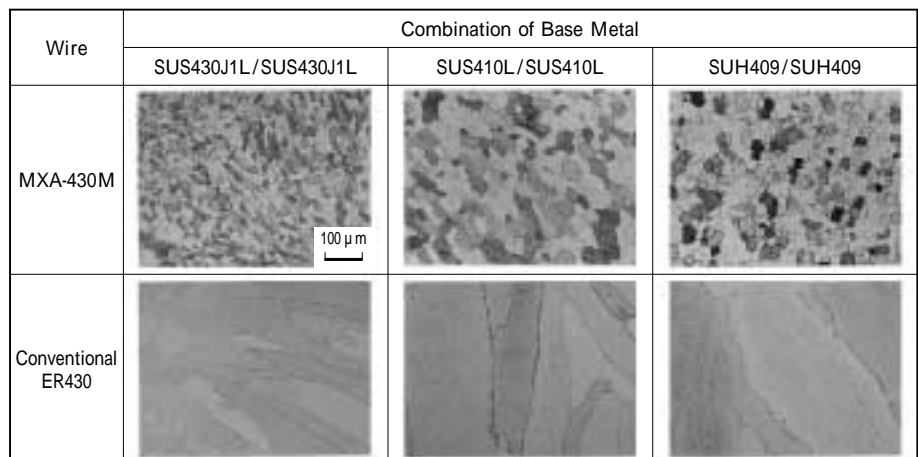
### 3.2 油付着下においても良好な耐割れ性

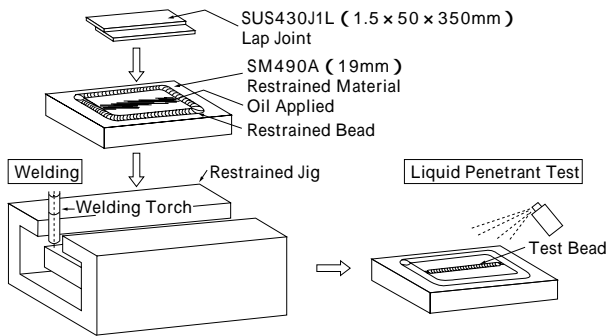
排気系部品の多くはプレス成形品であり、不可避的にプレス油や切削油が付着している。一般に、油は溶接時に分解して低温割れを引き起こす水素の発生源となるので、溶接前には完全に脱脂することが望ましい。しかし現実には油の完全除去はきわめて困難であり、油が付着していても割れの発生しにくい溶接材料が必要である。

MXA-430M は、溶着金属の結晶粒を微細化することによって従来型ワイヤよりも格段にすぐれた耐割れ性をえている。写真 1 に、代表的フェライト系ステンレス鋼溶着金属のミクロ組織を示す。MXA-430M（上段）は、従来型ワイヤ（下段）にくらべて結晶粒がきわめて微細化されていることがわかる。耐割れ性は、第 4 図に示す溶接割れ試験で評価している。この試験は、実際の排気系部品よりもかなり厳しい拘束条件でおこない、割れの発生を加速させている。第 3 表に同試験片の液体浸透探傷試験による溶着金属の割れ検出結果を示す。MXA-430M は、油の有無に関わらずまったく割れは発生しておらず、従来型ワイヤにくらべて耐割れ性に優れているこ

写真 1 MXA-430M と従来型 430 ソリッドワイヤによるフェライト系ステンレス鋼重ね継手部の溶着金属ミクロ組織

Photo.1 Microstructures of lap joint weld metals by MXA-430M and conventional ER430 wires





第4図 拘束溶接割れ試験方法  
Fig. 4 Restrained weld cracking test method

とがわかる。

### 3.3 排気系部品の高温環境に適した耐酸化性

排気系部品の中でもエンジンに直接接続するエキゾーストマニホールドは、最高温度が800~900 近くにまで到達する。したがって、溶着金属にもこのような高温環境に耐える十分な耐酸化性が要求される。

MXA-430M は、溶着金属の結晶粒が微細化されていることが大きく寄与し、フェライト系ステンレス鋼母材と同等以上のすぐれた耐酸化性を有している。第5図に、MXA-430M と従来型ワイヤの溶着金属試験片を850 大気中に最長200h 保持した時の酸化増量値を示す。MXA-430M の酸化増量値は、従来型ワイヤよりも格段に少なくまた母材と比較しても少ないことがわかる。

### 3.4 排気系の腐食環境に適した耐食性

排気系部品は、冬季、寒冷地で散布される融雪剤や、あるいはエンジン始動時など排気ガス温度が低温の場合に生成される腐食性凝縮液に対して、耐食性が要求される。これは溶着金属についても同様である。MXA-430M は、溶着金属の結晶粒を微細化していること、かつ適量のNb を含有していることから、従来型ワイヤよりもすぐれた耐食性を有している。ここでは粒界腐食試験と孔食試験の試験結果を示す。

粒界腐食試験は、溶着金属試験片をもちいてJIS G 0575 (硫酸・硫酸銅腐食試験) にしたがって実施した。第4表に粒界腐食試験結果を示す。従来型ワイヤは粒界腐食割れが発生したのに対して、MXA-430M は割れが発生していないことが確認された。

孔食試験は、5%NaCl + 2% $H_2O_2$  溶液を腐食液としてもちいた。耐孔食性は、試験温度40 として腐食液中に試験片を24h 浸漬後、重量変化(腐食度)を求めて評価した。なお試験片は溶着金属試験片と、板厚1.5mm のフェライト系ステンレス鋼(430J1L A09 A10L) にビードオンプレート溶接した試験片をもちいた。第5表に孔食試験結果を示す。溶着金属試験片では、MXA-430M の腐食度は従来型ワイヤよりも少ないことが確認された。ビードオンプレート試験片は、母材が11~13%Cr 系のSUH409 SUS410L の場合、孔食が母材熱影響部に集中して発生しており溶着金属の孔食は少なかった。18%Cr 系のSUS430J1L では母材熱影響部よりも溶着金属のほうに孔食が多く、MXA-430M の腐食度は従来型ワイヤよりも小さいことがわかった。これらの試験結果から

### 第3表 拘束溶接割れ試験結果

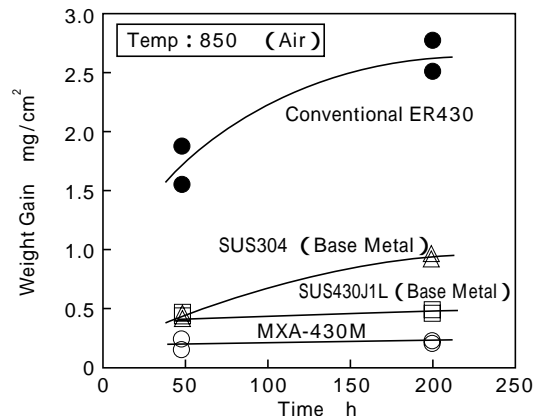
Table 3 Results of restrained weld cracking test

Wire	Condition of Base Metal Surface	
	Oily	Clean (No Oil)
MXA-430M	No Crack	No Crack
Conventional ER430	Crack	No Crack

### 第4表 粒界腐食試験結果

Table 4 Results of intergranular corrosion test

Wire	Results
MXA-430M	No Crack
Conventional ER430	Crack



第5図 溶着金属の酸化試験結果  
Fig. 5 Results of oxidation test by all weld metal

### 第5表 孔食試験結果

Table 5 Results of pitting corrosion test (weight loss, )  $g/m^2 \cdot h$

Wire	All Weld Metal	Type of Test Piece		
		Bead on Plate		
		SUS430J1L Plate	SUS410L Plate	SUH409 Plate
MXA-430M	1.25, 1.04 (Ave, 1.15)	1.00, 1.15 (Ave, 1.08)	2.15, 2.22 (Ave, 2.19)	2.64, 2.66 (Ave, 2.65)
Conventional ER430	1.71, 1.94 (Ave, 1.83)	1.46, 1.57 (Ave, 1.50)	2.12, 2.23 (Ave, 2.18)	2.57, 2.66 (Ave, 2.62)

MXA-430M は従来型ワイヤよりも良好な耐食性を有していることが確認された。

むすび=環境問題や車体の長寿命化といった社会および市場の要請は今後ますます高まり、自動車排気系部品の材質は、さらにかわってくと予想される。溶接材料についても材質変更への対応のみならず、より高い能率性や優れた品質、ならびに低コストが要求されると考える。当社は、今後もこれらニーズを先取りし、産業界に貢献できる新しい技術・製品の開発に取り組みたいと考えている。

### 参考文献

- 1) 樽谷芳雄ほか:住友金属, Vol. 48, No. 4 (1996), p. 22.
- 2) 富士川尚男ほか:住友金属, Vol. 41, No. 2 (1989), p. 89.
- 3) 植松美博ほか:ステンレス3月号, (1991), p. 10.
- 4) 吉田敏樹ほか:日立金属技報, Vol. 12, (1996), p. 59.
- 5) 内野実ほか:素形材11月号, (1991), p. 13.
- 6) 岡崎裕一ほか:新日鉄技報, No. 360, (1996), p. 18.
- 7) 橋詰寿伸ほか:住友金属, Vol. 48, No. 4 (1996), p. 173.
- 8) 松井仁志:アーク溶接の自動化技術, (1995), p. 115.
- 9) 浅川元治ほか:溶接技術2月号, (1991), p. 68.