

＝ フェライト系ステンレス鋼の金属学的組織の特長と溶接性 ＝

1980年代後半～1990年代はじめ掛けて、フェライト系ステンレス鋼製エキマニのミグ溶接に関し自動車メーカーに技術協力するなかで溶接ワイヤの開発、改良をスタートしました。

なにぶんフェライト系ステンレス鋼の溶接は、筆者にとっても初めてであり、溶接研究室の全面的な協力を得て当初課題となった溶接部強度の評価および溶接部に発生する割れなどに対応した経緯がありました。それらの実例の紹介に先立って理解への基礎となるFe-Cr系状態図に関する概要について説明します。

1) Fe-Cr系二元平衡状態図の説明

Fe-Cr系ステンレス鋼は大別してマルテンサイト系とフェライト系に分類できる。

はじめに、図182-01にFe-Cr合金の二元系状態図を示します。

① マルテンサイト系

マルテンサイト系ステンレス鋼はSUS410 (13Cr,  $\leq 0.15C$ ) を汎用鋼とするもので、通常のC量の場合はCr  $\leq 13\%$  がマルテンサイトとなる。図182-01に示す状態図の $\gamma$ ループ内のもので $\gamma \rightarrow$ マルテンサイト変態を適用しC, N, Mn, Ni, Mo, Cu, Coなどの添加量により硬度、じん性を広い範囲に制御可能となる。

また、 $\gamma$ ループを右側へ移動させる働きを示すC量が比較的多く、かつCr量の低い範囲がマルテンサイト系ステンレス鋼に区別され、焼入れ性を拡大できる。

② フェライト系

一方、通常のC量の場合はCr  $\geq 14\%$  がフェライト (一般的には14~30%Cr) となる。C量が低く、Cr量の多い範囲がフェライト系ステンレス鋼になり $\gamma$ ループの外側のもので、高温より常温まで安定なフェライト ( $\alpha$ ) 単相となる。

したがって変態を伴わないため組織の粗大化が起こる。

この事実がアーク溶接の場合、溶接金属と熱影響部における組織の粗大化を引き起こすフェライト系ステンレス鋼溶接最大の弱点となる。

なお、およそ600°C  $2.5\% \leq Cr \leq 7.0\%$  の範囲で発生する $\sigma$ 相については、本話では割愛します。

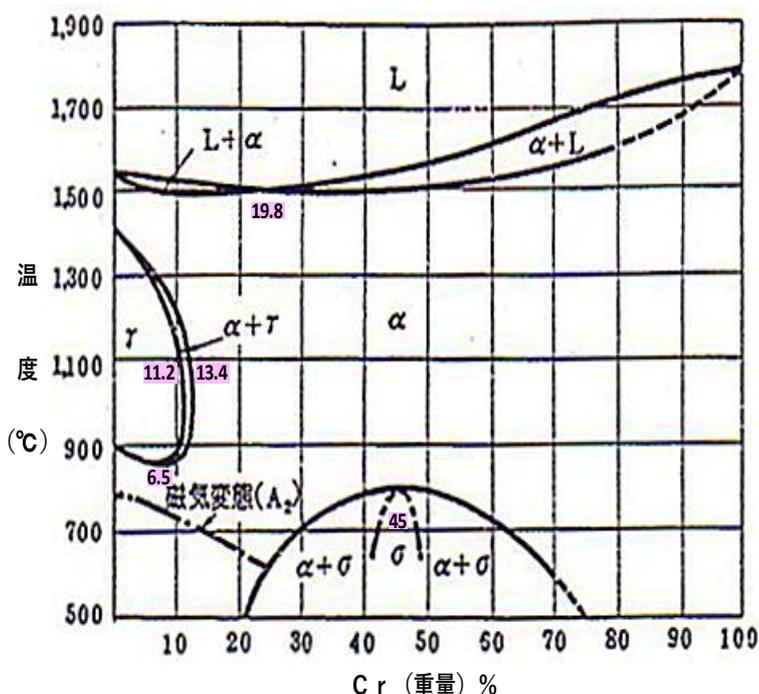


図182-01 Fe-Cr合金の二元系状態図\*1)

\*1) :産報出版 溶接・接合選書11 ステンレス鋼の溶接 西本和俊ら P17より引用

## 2) Fe-Cr系ステンレス鋼の発展系統図

前項1)ではFe-Cr系二元状態図にもとづき説明をしましたが、ここでは排気系部品に用いられるFe-Cr系ステンレス鋼には種々用途があり、実用的に多くの鋼種が制定され、適用されています。409, 410系もあれば、430系, 434および444などが発展系の鋼種として実用に供されている。技術図書\*2)から引用させて頂き、現状オーソライズされた考えを以下に記します。

図182-02にFe-Cr系ステンレス鋼の発展系統図を示します。

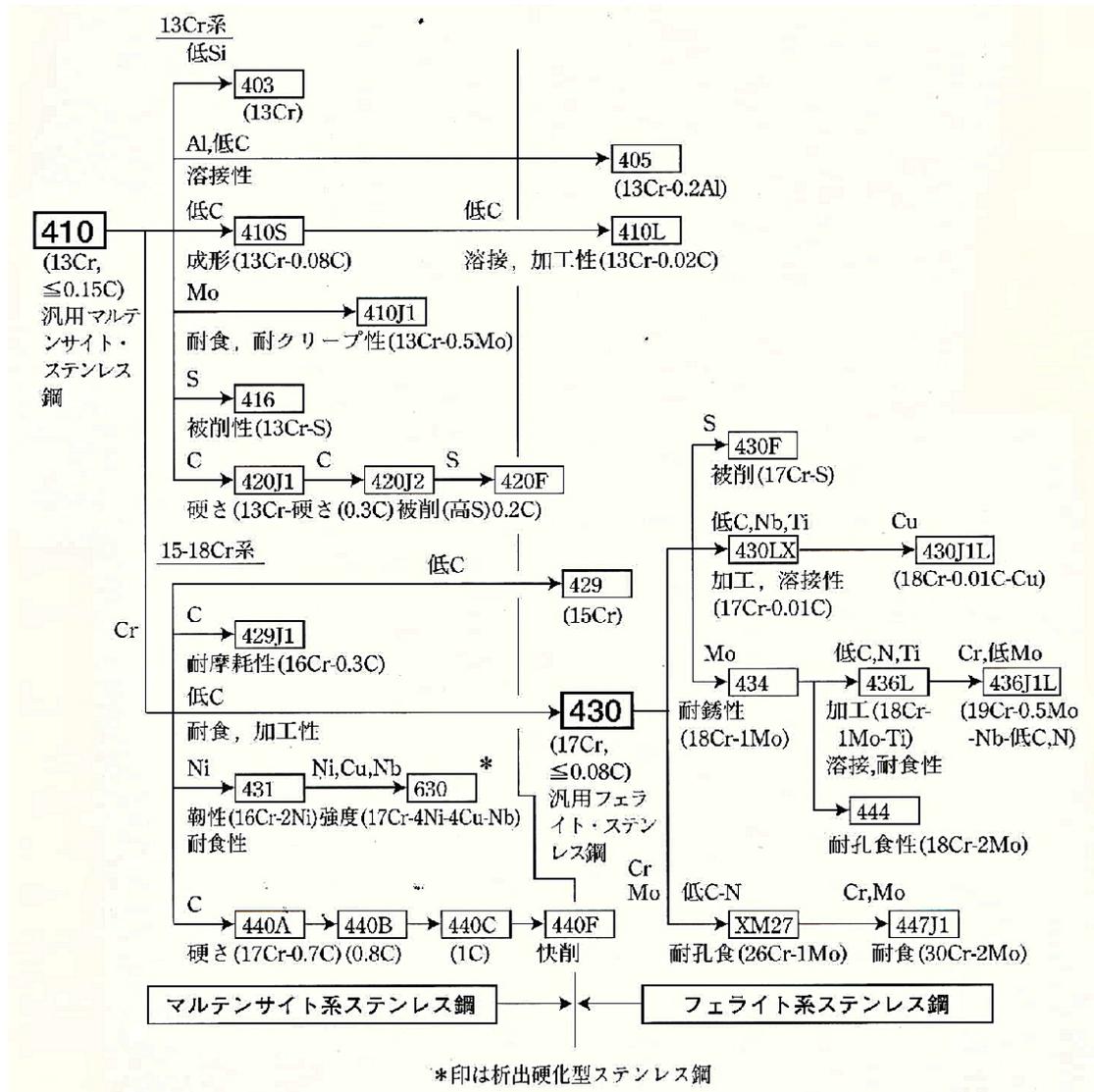


図182-02 Fe-Cr系ステンレス鋼の発展系統図\*2)

\*2) ; 産報出版 溶接・接合選書11 ステンレス鋼の溶接 西本和俊ら p23より引用

・・・Fe-Cr系ステンレス鋼では、マルテンサイト系の13Cr鋼のSUS410を基本に、410Lにみられるように、C量の低減やAl添加により溶接性を改善した鋼は、マルテンサイトの生成が抑えられるため、フェライトステンレス鋼になる。

・・・Cr量を高めて耐食性を改善した17%Cr鋼のSUS430は、フェライト系のベースであり、これを基本に、低C化し、Nb, Tiを加えて加工性、溶接性を改善したり、Moを加えたり、さらにCrを添加して耐孔食性を高める形で発展した鋼(430LX, 436L等)がある。

・・・ なお、Cr量の低いフェライト系の11%Cr鋼は、JIS規格ではなくSUH409系耐熱鋼として分類されている。

### 3) 1990年初め頃のフェライト系ステンレス鋼(板)の母材組成例と成分元素への考え方

1990年初めの自動車排気系へのステンレス化が開始された初期のフェライト系ステンレス鋼の母材組成例を表182-01に示します。

適用されている母材は2系統で、当時のモノリス・コンバータ向け409L、410L系と、エキマニ向け430系です。両系統ともフェライト系ステンレス鋼の溶接に携わるものにとって、理由はともかく母材組成中の(C+N)の値が低く維持されているかについて、着目するよう強く促された。

#### ア. (C+N) 値について

(C+N) 値を低く保つ理由として、2000年代になって発行された技術図書<sup>\*2)</sup>には以下のように指摘がなされています。

・・・ Cr, Moを多く含む鋼では、耐食性が高くなるが、フェライト相はC, Nの固溶度が小さいため、773-1273Kの温度域に加熱されたり、その温度域を通過した際に炭化物を生じて、耐食性やじん性の劣化が生じやすい。そのため、高Cr, Mo鋼ではC, N量を例えば、 $C+N < 0.01\%$  にまで低減した高純度鋼が前提になる。

・・・ C, Nの固溶度が小さいため、完全に固溶させるには高温での加熱が必要となるが、高温に加熱すると結晶粒が粗大化し、ぜい化する。また体心立方からなるため、C, Nの拡散速度が速く、冷却途中で炭窒化物として析出しやすい。

1990年初め頃の自動車排気系に適用された  
表182-01 フェライト系ステンレス鋼の母材組成(例)

母材組成 鋼種系	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Nb	Cu	Mo	Al	Ti	N
409L	.01	.47	.35	.027	.002	.06	10.74	.01	.03	.01	.05	.16	.006
410L	.020	.49	.18	.0051	.001	.43	12.25	<.01	.06	.01	—	.03	—
市販 430	.07	.40	.66	.024	.004	.41	16.94	.01	.03	.01	.012	.01	.036
430S	.013	.24	.29	.021	.001	—	17.01	.41	.51	—	—	.11	.009
436S	.006	.22	.15	.022	.001	—	18.03	—	—	.99	—	.30	.007
442M3	.02	.55	.25	.023	.002	.038	19.25	.46	.45	.01	—	<.01	.010

当時のフェライト系ステンレス鋼と溶接材料に関する特許資料をみても  $C+N \leq \text{値 } X$  の記述が目についた。  
 $(C+N)$  値が高い時、一般的に言えることはフェライト相であるため、体心立方からなるために、 $C$ 、 $N$ の拡散速度が速く、 $Cr$ との炭窒化物を生成しやすくなるので、 $Cr$ の有効利用を阻害し、粒界に析出し脆くなり、割れを生じやすくなると考えられる。このような前提で表 182-01 の母材組成を見てみます。

排気系の対象外の鋼種であるが「市販 4 3 0」を比較の意味で、分析に入れました。その  $(C+N)$  値は一例ですが、 $0.07+0.36=0.43$  と高く、当然検討外の値となりました。

ここで排気系を対象とする鋼種の  $(C+N)$  値に着目すると、409L で 0.016、430S で 0.022、436S で 0.013、442M3 で 0.030 と夫々、各値をとりました。

上記の  $C+N < 0.01\%$  を満足するものはひとつもありませんが、それでも低い値に抑制されていることが分かります。

#### イ. フェライト系ステンレス鋼の各成分元素に対する考え方の一例

フェライト系ステンレス鋼の各成分元素に対する筆者の考え方を表 182-02 に示します。

なお、これらの考え方は母材組成のみならず溶接ワイヤおよび溶接金属にも該当するものと考えられる。

表182-02 フェライト系ステンレス鋼の母材各成分への考え方（例）

元素の影響 成分元素	溶接性を考慮した場合の各成分元素の効果・影響（概要）
C	炭素量を極力低く抑えるのは、フェライト粒界への炭化物析出の悪影響を抑制するため
Si, Mn	脱酸剤としての効果およびビード形成性の改善。さらにMnはMnS生成による高温割れ抑制に期待
P	極力低くしたい。脱P困難なため低P原料使用必要。
S	極力低く抑えてある。→高温割れの抑制
Cr	耐食性の維持，高温耐酸化性の改善
Cu	耐食性の改善
Mo	フェライト地の強化，耐孔食性の改善
Ti, Nb	炭化物，窒化物を生成し， $(Cr, Fe)_{23}C_6$ の生成を抑制 → 耐食性，耐酸化性の改善
N	フェライト組織のマルテンサイト化阻止の目的で極力低く抑制。

$(C+N)$  値以外に鋼種系を構成するメインの成分元素である  $Cr$  の働き、 $Cr$  の働きを阻害しないような  $C$ 、 $N$  への考え方、脱酸性元素  $Si$ 、 $Mn$  への期待、耐孔食性に効果の大きい  $Mo$  の確保、不純物元素である  $P$ 、 $S$  の高温割れに有害な元素成分の抑制、 $Ti$ 、 $Nb$  の働きへの期待などがある。

排気系部品への要求性能にあわせて成分元素量 (wt%) も含め、検討が求められます。

次話では「クロム系ステンレス用 溶接ワイヤ開発への考え方とその実例」について説明をします。

以上。