25Cr-6Ni 鋼の耐食性に及ぼす Ge の影響*

今井 八郎**, 福元 一郎**, 増子 昇***

** 芝浦工業大学金属工学科

*** 東京大学生産技術研究所

The Influence of Ge on the Corrosion Resistance of
25 Cr-6 Ni Duplex Steel*

Hachiro Imai**, Ichiro Fukumoto** and Noboru Masuko***

**Department of Metallurgy, Shibaura Institute of Technology

***Institute of Industrial Science, The University of Tokyo

The influence of Ge addition on the corrosion resistance of 25 Cr-6 Ni ferrite-austenite duplex steel has been studied. Results obtained were summarized as follows.

(1) Alloying of Ge up to 2.0 wt.% had no influence on the corrosion rate in 65 wt.% HNO_3 solution. In reheated condition, the susceptibility for intergranular corrosion of 25 Cr-6 Ni steel and Ge bearing steels was increased with ferrite amounts.

(2) Corrosion rate of 25 Cr-6 Ni steel was decreased with small amounts of Ge addition in 5 wt.% H_2SO_4 solution at boiling temperature. But some of specimens in reheated treated at 1,300°C were revealed intergranular corrosion and some grains dropped. The critical current density, I_{Cr} was reduced by Ge addition in 5 wt.% H_2SO_4 solution at boiling temperature.

(3) Alloying of Ge made the corrosion rate of 25 Cr-6 Ni steel more decreased in 50 g/l- FeCl_3 +1/20 N-HCl solution at 70°C. The pitting potential, $V'_{\text{C}-10}$ of Ge bearing steels were more noble than $V'_{\text{C}-10}$ value of 25 Cr-6 Ni steel in 0.5 mol/l NaCl solution at 30°C.

(4) It was found that the pitting potential, $V'_{\text{C}-10}$ of 25 Cr-6 Ni and Ge bearing steels was fairly correlated with the repassivation potential for crevice corrosion, E_{R}^{10} in 0.5 mol/l NaCl solution at 30°C.

1. 緒 言

二相ステンレス鋼の一つである 25Cr-6Ni 系鋼の耐食性に及ぼす合金元素の影響については、多くの研究者により報告されている^{1)~6)}。Mo, N が有効な元素であり、1~3 wt.% Mo, 0.1~0.2 wt.% N を含有すれば、従来のオーステナイト系ステンレス鋼に比べて、耐全面腐食性に優れ、塩化物溶液中での耐孔食性がよく、耐応力腐食割れ抵抗も大きくなる。更に Cu, W, N の少量添加⁷⁾, N, B の同時添加⁸⁾が酸中での全面腐食性、塩化物溶液中での耐孔食性などに有効であることが報告されている。

既に著者らは、25Cr-6Ni 鋼の合金元素として Sn の微量添加⁹⁾、硫酸中での耐全面腐食性に有効であり、耐硫酸性の観点からみれば Mo 量を少なくする可能性があることを報告した⁹⁾。また、Sn と同じ第 IVb 族の Ge を少量添加した場合のすきま腐食再不動態化電位、 E_{R} に及ぼす影響についても報告した¹⁰⁾。その結果、Ge は E_{R} を貴にし、すきま腐食発生開始の下限界電位、 V_{crev} も貴にし、すきま腐食に対して有効であることがわかった。しかし、全面腐食性、粒界腐食性、耐孔食性などに及ぼす影響については不明である。

そこで本報では、少量の Ge を含有する 25Cr-6Ni 鋼の耐硫酸性、粒界腐食性及び耐孔食性等について検討した。

2. 実験方法

2.1 供試材

供試材は、まず Ge の影響の概要を知るために 25Cr-

* 腐食防食協会 '81 春期学術講演大会で発表 (東京・機械振興会館)

** 〒108 東京都港区芝浦 3-9-14 (9-14, Shibaura, 3-chome, Minato-ku, Tokyo, 108 Japan)

*** 〒106 東京都港区六本木 7-22-1 (22-1, Roppongi 7-chome, Minato-ku, Tokyo, 106 Japan)

Table 1 Chemical compositions of specimens (wt.%)

	Composition(wt.%)									
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	N	Ge	Mo
1	0.024	0.37	0.36	0.004	0.003	6.12	25.6	0.0210		
2	0.029	0.36	0.36	0.009	0.004	6.30	25.4	0.0204	0.10	
3	0.023	0.36	0.35	0.005	0.004	6.30	25.4	0.0211	0.51	
4	0.028	0.37	0.35	0.006	0.003	6.26	25.4	0.0212	1.01	
5	0.030	0.35	0.37	0.008	0.004	6.18	24.6	0.0215	1.99	
6	0.027	0.24	0.054	0.015	0.008	6.12	24.96	0.0204		
7	0.024	0.25	0.069	0.015	0.008	6.04	25.28	0.0209	0.20	
8	0.021	0.24	0.074	0.015	0.008	6.10	25.10	0.0205	0.91	
9	0.022	0.28	0.053	0.016	0.010	6.07	25.29	0.0212		1.48
10	0.025	0.31	0.057	0.016	0.012	6.02	25.23	0.0222		2.99

Fig. 1 Microstructures of specimens after solution treated at 1000°C. (a) 25 Cr-6 Ni, (b) 25 Cr-6 Ni-0.2 Ge, (c) 25 Cr-6 Ni-0.9 Ge, (d) 25 Cr-6 Ni-1.5 Mo.

6 Ni 鋼を基本にし、これに Ge が 0.1~2.0 wt.% になるように添加した 4 鋼種をアルゴン気流中で 1 チャージ 500 g ずつを溶製した (溶解後、 $\phi 25 \times 150$ mm のアルミナ製タンマン管中でそのまま凝固させた)。溶製後、大気中で熱間鍛伸し (鍛伸開始時で約 1,200°C, 終了時で約 900°C), $\phi 12$ mm の丸棒にした。これを所定の大きさに切断し、以下の熱処理をして試験に供した。Table 1 の 1~5 にこのようにして溶製した供試材の化学成分を示す。これらの鋼を沸騰 5 wt.% H_2SO_4 水溶液中、沸騰 65 wt.% HNO_3 溶液中、50 g/l- $\text{FeCl}_3 + 1/20\text{N} \cdot \text{HCl}$ 水溶液中での浸漬試験をした結果、Ge の添加は 1 wt.% までは顕著であることがわかったので、0.2 wt.% Ge, 0.9 wt.% Ge を含む 2 鋼種を真空中で各 3 kg ずつ溶製した。比較材として、1.5 wt.% Mo, 3.0 wt.% Mo 鋼も同様に溶製した。なお N 量は、0.02 wt.% 程度におさえ N の影響がないようにした (Table 1 の 6~10)。溶製後、真空中で金型 (70×80×180 mm) に鋳込み、その後、大気中で熱間鍛伸し、 $\square 13$ mm の角材にした。更に圧延率 50% まで冷間圧延加工し、厚さ 3 mm の板

状試験片にした。すべての供試材は、以下のような熱処理をし、試験に供した。

- (1) 固溶化処理: 1,000°C×10 min 保持後, W. Q.
- (2) 再加熱処理: 固溶化処理後, 1,200°C×5 min 保持後 W. Q.
- (3) 再加熱処理: 固溶化処理後, 1,300°C×5 min 保持後 W. Q.

Fig. 1 に顕微鏡組織の一例を示す。

2.2 腐食試験

上記浸漬試験による腐食速度の測定、アノード分極曲線の測定、及び 0.5 mol/l- NaCl 水溶液 (30°C) での孔食電位、 $V'_{c,10}$ の測定を行った。再加熱処理によりフェライト単相になると、沸騰 5 wt.% H_2SO_4 水溶液中で粒界腐食が観察されたので、粒界腐食感受性の評価として、電気化学的再活性化法 (EPR 法)^{(11),(12)} を用いて各鋼の鋭敏化度を測定した。EPR 試験に使用した試験電極は、アノード分極曲線測定用電極とほぼ同じ形状のものであり、約 15×15×3 mm の大きさの供試材のうちその表面の約 1 cm² があらわれるように残りの部分をシリコンゴムでカバーし、測定面を #1,000 まで研磨し、超音波洗浄、エチルアルコール脱脂後、試験に供した。試験電極は窒素ガスで十分脱気した沸騰 5 wt.% H_2SO_4 水溶液中に 2 分間浸漬した後、自然電位 (すべての電位は SCE 基準で示す。) から 66.2/3 mV/min の掃引速度で貴方向へ +200 mV まで分極し、その電位で 2 分間保持し、不動態化させた後、同じ速度で逆掃引した。臨界電流密度、 I_{cr} と再活性化過程であられる極大電流密度、 I_r を測定し、 I_r/I_{cr} を再活性化率、 R とした⁽¹²⁾。

3. 実験結果及び考察

3.1 粒界腐食性について

供試材の Huey Test を行った結果を Fig. 2 に示す。固溶化処理材、再加熱処理材とも Ge の添加量に関係なく腐食速度は、ほぼ一定である。しかし、再加熱により粒界腐食感受性は大きくなり、1,300°C 再加熱処理材になると固溶化処理材の腐食速度の約 3 倍位になる。これは、再加熱処理によりフェライト化するためであると思われる。Mo は、1,300°C 再加熱処理材の場合は、ほとんど影響はないが、固溶化処理材、1,200°C 再加熱処理材の場合は、3 wt.% Mo 添加により耐粒界腐食性はやや悪くなる。Fig. 3 にフェライト量と合金元素量の関係を示した。Ge は、各処理材とも添加量によりフェライト量は、ほとんど変化しないが、Mo は、フェライト化を促進していることがわかる。また、Ge, Mo いずれの場合も再加熱処理によりフェライト化が進んでいる。このフェライト量の増加が粒界腐食に悪影響を及ぼしているものと考えられる。

Fig. 2 The influence of alloying elements, Ge, Mo on the corrosion rate of 25 Cr-6 Ni steels in 65 wt.% HNO_3 solution at boiling temperature.

Fig. 3 Relation between ferrite amounts and contents of alloying elements for 25 Cr-6 Ni duplex steel after heat treatments.

Mo を含む 1,200°C 再加熱処理材の腐食速度が大きくなるのは、フェライト相が増加するためであると思われる。これらフェライト相が多くなると鋭敏化が進むことは、前報でも述べたように、鈴木¹³⁾、小若ら¹⁴⁾、小川ら¹⁵⁾など多くの研究者により報告されている。オーステナイトがフェライトに変態した場合の C, Cr の固溶度に違いがあるため Cr 欠乏域を生じさせる。また、金子ら¹⁶⁾は、N はオーステナイト相に濃縮され、高温加熱を受けた含 N 鋼のように少量のオーステナイト相が析出した状態では、N がその析出相に著しく濃縮し、フェライト相においては N の溶解度が著しく低いため窒化物として存在する。そのためフェライト相の増加することが耐食性を悪くしていると報告している。

B.S.E. Image

Fig. 4 EPMA analysis of 25 Cr-6 Ni-0.9 Ge steel in solution treated at 1000°C. (1) Back scattering electron image, (2) The line scanning profile of Ge K_{α} . Scanning direction: A→B

いずれにしてもフェライト相の増加が Cr 欠乏域を生じさせ耐粒界腐食性を悪くしていると思われる。Ge の場合、その添加量を変化させてもフェライト量、オーステナイト量の変化はほとんどなく、粒界腐食性にはほとんど影響を及ぼさず、この点からは Mo よりも優れている。

結晶粒界に元素偏析があると粒界腐食感受性が大きくなるので¹⁷⁾、Ge の偏析状態を EPMA により調べると、Fig. 4 のオーステナイト粒 a_1 の粒内部分（操作線上で粒界より約 6~8 μm の部分）、及びフェライト粒 f_2 の粒界より約 1~2 μm 部分、同じくフェライト粒 f_3 の粒界より約 13~15 μm 部分にわずかに濃度がうすいところがみられるが、その程度は小さく、Ge はフェライト粒、オーステナイト粒にかかわらずほぼ均一に固溶しているものと思われる。

また、沸騰 5 wt.% H_2SO_4 水溶液中で再加熱処理材に粒界腐食がみられたが、これらのことについては、3.2 で述べる。

3.2 耐硫酸性について

供試材 6~10 の沸騰 5 wt.% H_2SO_4 水溶液中での腐食速度をまとめた結果を Fig. 5 に示す。これからわかるように、どの熱処理条件においても、Ge 添加によって腐食速度は、減少した。Mo の場合も Ge と同じように腐食速度を減少させ、固溶化処理材については、Ge よりもむしろ効果的である。しかし、再加熱処理材につ

Table 2 The estimate of the sensitization for intergranular corrosion by electrochemical potentiokinetic reactivation method in 5 wt. % H_2SO_4 solution at boiling temperature.

specimens		critical current density, i_{cr} (mA/cm ²)	maximum reactivation current density, i_r (mA/cm ²)	reactivation ratio, R ($R = i_r/i_{cr} \times 100$ %)
heat treatment	steel			
solution treated at 1000°C	25Cr-6Ni	1.58×10^2	4.25×10^0	2.69
	0.9Ge	4.35×10^1	2.51×10^{-1}	0.58
	3.0Mo	9.51×10^1	0	0
reheated at 1200°C	25Cr-6Ni	2.30×10^2	7.37×10^0	3.20
	0.9Ge	2.31×10^1	4.89×10^{-1}	2.12
	3.0Mo	1.08×10^0	5.19×10^{-1}	48.1
reheated at 1300°C	25Cr-6Ni	3.40×10^2	2.07×10^{-2}	60.9
	0.9Ge	3.60×10^0	6.51×10^{-1}	18.1
	3.0Mo	7.55×10^{-1}	4.45×10^{-1}	58.9

Fig. 5 Effects of Ge, Mo on the corrosion rate of 25 Cr-6 Ni steel in 5wt. % H_2SO_4 solution at boiling temperature. Symbol with I.G. showed the corrosion rate in case of being found dropped grains for intergranular corrosion.

いては、試料によっては粒界腐食により結晶粒の脱落したものが存在した（ただし、無添加材の 1,300°C 再加熱処理材は、全面腐食による腐食速度が大きすぎて粒子脱落を区別して評価することは、不可能であった）。このような場合には、図中に I.G. で示すように腐食速度がかなり大きくなった。粒界腐食により結晶粒の脱落が観察されるものは、フェライト単相組織のものであった。これらは前述のように鋭敏化しやすく、通常は全面腐食を呈すると思われるこの溶液中においても粒界腐食を起こしたものと考えられる。

粒界腐食性の定性的判断のためやすとして使用するため、EPR 法により鋭敏化度を求めた。その結果を Table 2 に示す。P. Novak ら¹¹⁾は、鋭敏化度を求めるのに再活性化電気量、 P_a をもって評価したが、異鋼種間では再活性化の難易度が合金元素の影響を受けるため不適当である^{18,10)}。したがって、ここでは再活性化率 R を使用

して鋭敏化度を評価した。これは活性溶解の影響の多くを消去出来、測定面積の影響も考えなくてよいので、異鋼種間の鋭敏化度を同じ基準で測定出来る可能性があるので¹²⁾。

Table 2 と Fig. 5 の結果を比較検討してみると、EPR 法による再活性化率 R と沸騰 5 wt. % H_2SO_4 試験による腐食速度は、25 Cr-6 Ni 鋼の場合、かなりよい相関性を示す。すなわち固溶化処理の場合、再加熱処理材に比べ腐食速度は小さく、 R も極めて小さいが、再加熱処理により鋭敏化すると、腐食速度も大きくなり R も大きくなる。

ところが合金鋼の場合は、相関性は良くない。再加熱処理により R はかなり大きくなり、鋭敏化していることをあらわしているが、実際の腐食速度は大きくはならなかった。これは、再活性化率 R による評価が活性溶解の影響をほとんど除去してしまうので¹²⁾、活性溶解に効果のあると思われる Ge, Mo の影響がほとんどあられなかったためであると思われる。このことは耐粒界腐食試験である沸騰 65 wt. % HNO_3 溶液中での試験結果 (Fig. 2) と R が極めてよい相関性（すなわち、どの鋼種においても再加熱処理により鋭敏化し、腐食速度が大きくなった場合には、 R も大きくなる）を示したことから推察される。

次にアノード分極曲線の測定結果の一例を Fig. 6 に示す。Ge 添加により、臨界電流密度 i_{cr} は小さくなり、不動電位 E_F は卑になり、活性域の面積は小さくなる。Mo は、 i_{cr} を非常に小さくするが、 E_F にはほとんど影響を及ぼさない。添加元素の影響が顕著にあらわれた i_{cr} を合金元素の添加量により整理したものが Fig. 7 である。どの熱処理条件でも、Ge, Mo の添加により i_{cr} は、かなり小さくなる。腐食速度の傾向とはほぼ同じである。分極後の試験片を観察すると粒界腐食のみられたものもあったが、結晶粒の脱落は、ほとんど認められなかった。Table 3 に腐食後の腐食形態を整理した結果を示す。固溶化処理材は、ほとんど全面腐食を呈し

Fig. 6 Anodic polarization curves of 25 Cr-6 Ni steels in 5wt. % H₂SO₄ at boiling temperature.

Fig. 7 Relation between critical current density, I_{cr} and Ge or Mo contents of 25 Cr-6 Ni steels in 5wt. % H₂SO₄ solution at boiling temperature.

Table 3 The classification of corrosion types after immersion test and anodic polarization test in 5wt. % H₂SO₄ solution at boiling temperature.

heat treatment	solution treated at 1000°C		reheated at 1200°C		reheated at 1300°C	
	Im	An	Im	An	Im	An
25Cr-6Ni	●	●	●	●	●	●, ▲
0.2Ge	●	●	●	○, ▲	○, ▲	○, ▲
0.9Ge	●	●	○, ▲	○, ▲	○, ▲	○, ▲
1.5Mo	×, ○	○	×, ○	○, ▲	○, ▲	○, ▲
3.0Mo	×, ○	○	×, ▲	○, ▲	○, ▲	▲

Im: the estimate of corrosion types after immersion test
An: the estimate of corrosion types after anodic polarization test
●: general corrosion (g.c.), ○: light g.c.
▲: intergranular corrosion (i.g.), △: light i.g.
×: mirror surface

ており、活性溶解を抑制する効果のあると思われる Ge, Mo の合金元素の影響があらわれやすい。しかし、再加

熱処理材については、この表からもわかるように無添加材の場合は、浸漬試験後及びアノード分極測定後の表面状態もほとんど全面腐食を呈しているのに対して（例外として 1,300°C 再加熱処理材のアノード分極曲線測定後の表面は、一部の試料について粒界腐食が認められた。）Ge, Mo を合金化した場合には、粒界腐食を示す場合、全面腐食を示す場合、両者を示す場合があった。浸漬試験結果については、前述したように粒界腐食を生じた供試材については、その結晶粒が脱落した場合は、腐食速度は無添加材よりもやや小さい程度であるのに対して、同じ供試材でも粒界腐食が生じてみかなく、結晶粒の脱落が起こらなかった場合、及び粒界腐食が生じなかった場合には腐食速度は、極めて小さくなった。このように Ge, Mo などの添加元素による効果の程度は、粒界腐食の有無及びその程度によりばらつきが生じていると思われる。しかし、いずれの場合も無添加材の腐食速度より添加材の腐食速度の方が小さかったことから Ge, Mo は活性溶解を抑える効果があると思われる。とくに Mo は、活性溶解を抑える効果が大きく、再加熱処理により一部鋭敏化しても、その影響は小さく、全体としての腐食速度は小さくなる。しかし、粒界腐食により粒子の脱落がおこる場合には、無添加材の腐食速度よりもやや小さい程度であった。

3.3 耐孔食性について

供試材 6~10 を用いて、70°C の 50 g/l·FeCl₃+1/20N·HCl 水溶液中における腐食速度を求め、合金元素添加量によって整理した結果が Fig. 8 である。Ge は、ど

Fig. 8 The influence of alloying elements, Ge, Mo on the corrosion rate of 25 Cr-6 Ni steel in 50 g/l·FeCl₃+1/20 N·HCl solution at 70°C.

Fig. 9 The influence of alloying elements, Ge, Mo on the pitting potential, V'_{C-10} of 25Cr-6Ni steel in 0.5 mol/l NaCl solution at 30°C.

Fig. 10 Relation between pitting potential, V'_{C-10} and repassivation potential for crevice corrosion, $E_R^{(10)}$ in 0.5 mol/l NaCl solution at 30°C.

の熱処理条件でも腐食速度を減少させる。Mo も腐食速度を減少させるが、3 wt.% Mo を含む再加熱処理材は、1.5 wt.% Mo よりも腐食速度が大きくなった。これは粒界腐食が影響していると考えるのが妥当である。

次に 30°C の 0.5 mol/l NaCl 水溶液中での各鋼の孔食電位, V'_{C-10} を求め、合金添加量によって整理した結果が Fig. 9 である。Ge は、各熱処理条件において、 V'_{C-10} を貴方向に移動させるが、Mo ほど大きくはない。ここで Mo を含む 1,300°C 再加熱処理材にすぎま腐食再不動態化電位, E_R にあらわれたような¹⁰⁾鋭敏化の影響があらわれなかった理由については不明である。

V'_{C-10} と E_R の関係を整理すると Fig. 10 のようになる。無添加材, Ge 添加材, 1.5 wt.% Mo 添加材は、

V'_{C-10} と E_R はかなりよい相関性を示しており、 V'_{C-10} が貴になる鋼種では、 E_R も貴になった。しかし、3 wt.% Mo を含む鋼においては、 V'_{C-10} と E_R はほとんど相関性がなく、処理条件が変化して、それに伴い E_R が変化しても V'_{C-10} は変化せず、ほぼ一定で 900~950 mV になった。 E_R には鋭敏化の影響があらわれたが V'_{C-10} には鋭敏化の影響があらわれなかった理由の一つとして、3% Mo 材の場合は、分極曲線の立ち上がり孔食を原因としたものでなく、過不動態域に達したために V'_{C-10} に熱処理条件による差が出なかったことが考えられるが、その詳細については不明である。

4. 結 言

二相ステンレス鋼の 25Cr-6Ni 鋼に少量の Ge を添加し、粒界腐食性、耐硫酸性及び耐孔食性に及ぼす影響について検討した。得られた結果をまとめると以下のようである。

(1) 2.0 wt.% までの Ge の添加は、沸騰 65 wt.% HNO₃ 溶液中での腐食速度にほとんど影響を与えない。再加熱処理によりフェライト化が進むと、どの鋼種とも腐食速度は大きくなる。比較材の Mo 添加鋼は、フェライト化傾向が大きく、それに伴って腐食速度は大きくなる。

(2) Ge は、少量で沸騰 5 wt.% H₂SO₄ 水溶液中での腐食速度を減少させる。固溶化処理材、再加熱処理材とも有効であるが、1,300°C 再加熱処理材の場合、一部の供試材に粒界腐食が認められた。このような場合は、フェライト粒子の脱落も観察され、腐食速度は、固溶化処理材よりも大きくなる。Mo も、ほぼ同様の影響を示すが、再加熱処理によりフェライト化が促進されるので、粒界腐食を起こす割合が多くなる。

また、Ge, Mo 添加により、この溶液中での臨界電流密度, I_{Cr} は小さくなる。

(3) 50 g/l FeCl₃+1/20 N-HCl 水溶液中 (70°C) での腐食速度は、Ge 添加により小さくなる。Mo の影響もほぼ同様であるが、3 wt.% Mo 鋼に粒界腐食が認められた。0.5 mol/l NaCl 水溶液中 (30°C) での孔食電位, V'_{C-10} を貴方向に移動させる効果は、Mo の方が大きい。 V'_{C-10} と E_R には、3 wt.% Mo 鋼以外は、ほぼ良い相関関係が認められ、 V'_{C-10} の貴なる鋼及び条件では、 E_R も貴になった。

終わりに、本論文の作成にあたり、実験等で協力下さった本学大学院学生齊藤洋、学生磯村吉宣、林宣孝、森口雅孝君に感謝致します。

(Received December 25, 1984)

文 献

- 1) 小若正倫：日本金属学会会報，**17**, 657 (1978).
- 2) 小若正倫，長野博夫，原田 誠：鉄と鋼，**61**, S 719 (1975).
- 3) 酒井潤一，本田正春，松島 巖，石沢喜一：腐食防食協会春期講演大会予稿集，108 (1983).
- 4) M. Onoyama, N. Hayashi, K. Shitani and T. Suehiro: "Duplex Stainless Steel," ASM Conference Proceedings edited by R. A. Lula, 191 (1983).
- 5) P. Guha, C. A. Clark: *ibid.*, 355 (1983).
- 6) 原田憲二：防食技術，**26**, 721 (1977).
- 7) 小若正倫，長野博夫，小林大機，原田 誠：住友金属，**28**, 40 (1976).
- 8) 中尾嘉邦，西本和俊：溶接学会溶接冶金研究委員会資料 (1982).
- 9) 今井八郎，福元一郎：防食技術，**33**, 3 (1984).
- 10) 今井八郎，福元一郎：*ibid.*, **32**, 641 (1983).
- 11) P. Novak, R. Stefel, F. Franz: *Corrosion NACE*, **31**, 344 (1975).
- 12) 梅村文夫，川本輝明：日本金属学会会報，**22**, 894 (1983).
- 13) 鈴木隆志，長谷川博一，渡辺三雄：日本金属学会誌，**32**, 1171 (1968).
- 14) 長野博夫，小若正倫：鉄と鋼，**66**, 1150 (1980).
- 15) 久松敬弘，小川洋之：鉄と鋼，**63**, 585 (1977).
- 16) 金子 智，栗本昭仁，新居一男，佐藤義和，竹田誠一：日本金属学会誌，**48**, 534 (1984).
- 17) A. J. Sedriks: "Corrosion of Stainless Steel," p. 110, John Wiley of Sons, (1979).
- 18) 梅村文夫，川本輝明：防食技術，**28**, 24 (1979).
- 19) 梅村文夫，明石正恒，川本輝明：防食技術，**29**, 163 (1980).