数種金属の腐食と付着生物着生の関係

大庭忠彦¹⁾ * · 臼井英智¹⁾ · 梶山貴弘¹⁾ · 岩田 聡¹⁾ · 桑 守彦¹⁾

¹⁾ 株式会社ナカボーテック技術開発研究所 〒362-0052 埼玉県上尾市中新井417-16

Relationship between corrosion and the attachment of marine organisms to metal plates

Tadahiko Ohba^{1)*}, Hidetoshi Wusui¹⁾, Takahiro Kajiyama¹⁾, Satoshi Iwata¹⁾ and Morihiko Kuwa¹⁾

¹⁾Corrosion Engineering Research Laboratory, Nakabohtec Corrosion Protecting Co. Ltd., 417-16 Naka-arai, Ageo, Saitama 362-0052, JAPAN

*corresponding author (TO) email: t.ooba@nakabohtec.co.jp

(Received July 27, 2000; Accepted Jun 8, 2001)

Abstract

The relationship between attaching organisms and corrosion of different metals was studied using six metal test plates exposed in 3 meters depth in Suruga Bay off Nishiura-Kisyo, Numazu, Shizuoka, in coastal Japan. The extent of corrosion of mild steel depended on the attachment of barnacles and, in addition, there was virtually no attachment to rust surfaces. There was hardly any difference between the corrosion rates of zinc and 90Zn-10Al alloy and the corroded surfaces were smoother than those of mild steel. Furthermore, although Botrylloides and diatoms readily became attached, barnacles did not; the few barnacles that did settle on these plates readily detached along with the zinc hydroxides that are the corrosion products. There was no great difference in the corrosion rates of pure copper and 90Cu-10Ni alloy, although pitting was observed on the pure copper plate. Slime, including diatoms, was observed on both metals, but there was no attachment of macroorganisms. Meanwhile, in the case of stainless steel, surfaces without any attached organisms showed virtually no corrosion, but crevice corrosion was observed here and there at barnacles attachment sites.

Key words: attaching organisms, metallic corrosion, mild steel, zinc and zinc alloy, copper and copper alloy, stainless steel

海洋環境に設置される金属構造物においては防食対策は不可欠であるが、火力・原子力発電所や各種プラントの冷却海水導水管路や熱交換器、あるいは船体外板や金網生簀のように、流速や通水性などの機能維持を要求される施設では付着生物の着生防止対策いわゆる防汚対策も必要である。本研究は防食と防汚の両対策に必要な基礎資料集積の一環として、海洋環境で使用されている数

種金属について、防汚性ならびにフジツボ類などの大型付着生物の着生の関与する腐食内容について調査した。

材料と方法

実験は、駿河湾沼津市西浦木負地先の海産養魚場の実験筏にて2回に分けて行った。金属試験板の内容をTable 1に示す。すなわち、実験1として、1997年3月25日から1999年7月28日

までの835日間にわたって、鉄の軟鋼 (SS400)、純亜鉛 (Zn: 99.9999%), 亜鉛合金の90Zn-10Alおよび純銅 (C1100P) の4種金属について、腐食状態と防汚性および付着生物種を比較した。実験2では、付着生物着生の関与する腐食形態の調査として、実験開始時期をフジツボ類の着生の予想された夏場とし、上記の4種金属に加え、銅合金の90Cu-10Ni キュプロニックルおよびステンレス鋼のSUS304の6種金属について、1999年の7月28日から同年12月21日までの146日間浸漬後の表面状態を観察した。

各試験板は電位測定用のビニール被覆電線 (2mm²) を沿わせたφ5mmのビニロンロープで実験筏から垂下し水面下3m層に設置したが、試験板の電線結線部は、試験板間との異種金属接触腐食 (伊藤, 1979) を避けるためエポキシ樹脂で被覆した。試験板の電位 (vs. SCE = Saturated Calomel Electrode) は、生物観察の都度測定した。また試験板は、実験終了時において生物湿重量 (kg/m²) と種類を観察してから実験室に持ち帰り、表面処理 (高村, 1972) 後に腐食形態を観察し、さらに腐食量 (mm/y) として侵食度 (中川, 1972a) を測定した。

Table 1. Specifications of metal test plates in experiments 1 and 2

Test plate	Type and standard	Size (t×w×l; mm)	Remarks
Mild steel	SS400, JIS G 3101	1.6×100×220	
Pure zinc	Zn, JIS H 2107	3.0×100×220	Zn 99.9999%
Zinc-aluminum alloy	90Zn-10Al	3.0×100×220	
Copper	C1100P, JIS H 3101	1.0×100×220	
Copper-nickel alloy	90Cu-10Ni	1.0×100×220	only in Exp.2
Stainless steel	SUS304, JIS G 4304	0.5×80×400	only in Exp.2

結果および考察

1. 付着生物着生の経時変化

各試験板の代表的な表面状態と生物着生状況を Figs. 1, 2 に、また主なる付着生物種の出現頻度を Table 2 に示す。実験1 関し、浸漬155日後 (1997, 8月下旬) において、吊り下げロープには浸漬直後にその付着期であったと推定されるムラサキガイ *Mytilus galloprovincialis* の付着・成長がみられた。しかし各金属面には、ムラサキガイやフジツボ類の着生がみられず、その他生物の付着量も極めて少なかった。軟鋼では赤錆面の隙間にイタボヤ *Botrylloides violaceus* がわずかに付着した (Fig. 1, FeA)。亜鉛および亜鉛合金面では、一部泡状に生成した白色状の亜鉛水酸化物面にカンザシゴカイの一種 *Hydroides* sp. と付着珪藻類の着生が散見された程度であった (Fig. 1, ZnA)。また銅表面は緑色状の銅水酸化物が生成し、その表面にスライムが付着して黒褐色を呈していた。

435日後 (1998, 6月上旬) には、軟鋼では赤錆が剥離しており、その硬錆面にはフジツボ類が固着していた。

フジツボ類の殻には、その年の春先に付着したと推定されるムラサキガイが大量付着し、そのムラサキガイの殻にはムラサキガイメシ *Halichlona permollis*, フジツボ類の幼体やヒメフサコケムシ *Caulibugula ciliata* およびシロボヤ *Styela plicata* などの着生がみられた (Fig. 1, FeB)。

亜鉛および亜鉛合金では、両金属とも生物量は軟鋼面に比べ少なく、フジツボ類の着生はみられなかった。しかしカイメン類は試験板のロープ締結部に付着し、金属面に向かって成長しているのもみられ、その他にはヒメフサコケムシ、シロボヤ、ムラサキガイあるいは海藻類の着生が散見された (Fig. 1, ZA)。一方、銅表面は、155日後同様、大型付着生物の着生は皆無であった。

実験終了時の853日後 (1999, 7月下旬) では、軟鋼にはフジツボ類の固着が目立ち、その殻にカイメン類やコケムシ類などが着生していた。また前年に付着したムラサキガイは脱落して新しい稚貝の付着成長もみられ、付着生物の着脱の繰り返された形跡が確認された。加えて、フジツボ類などの固着生物を剥離すると黒錆層が露出した (Fig. 1, FeC)。亜鉛および亜鉛合金では、カンザシゴカイ類がわずかに固着しているものの両金属面には亜鉛水酸化物が生成し、その表面に散見されたフジツボ類の殻径は、軟鋼に付着した個体に比べ数mm以下と小さかった。これらカンザシゴカイやフジツボ類の殻に着生したカイメン類などの大半は、435日後の観察結果同様、ロープ締結部に付着してから金属面に成長が及んだものと判断された (Fig. 1, ZnB)。これらの生物は、亜鉛の防汚実験で示されたように (大庭ら, 1999)、腐食生成物の水酸化亜鉛とともに容易に剥離した (Fig. 1, ZnC)。一方、銅に関しては、実験終了にいたるまでフジツボ類などの大型付着生物の着生はみられなかった (Fig. 1, Cu)。

実験2では、軟鋼とステンレス鋼には浸漬直後 (1999, 7月下旬) からフジツボ類が着生した。しかし、その他の金属には実験終了時の146日後 (1999, 12月下旬) にいたってもフジツボ類の着生はほとんどみられなかった。軟鋼およびステンレス鋼では付着生物の種類は同じであるが、軟鋼の生物量はステンレス鋼よりも勝り、フジツボ類が金属全面を覆い、フジツボ類の殻面にシロボヤの大量繁殖が観察された (Fig. 2, Fe)。しかしステンレス鋼では、一般に付着生物は着生しやすい報告もあるが (Efford, 1976)、フジツボ類の着生被度は軟鋼面の10%程度で生物の着生しなかった表面も存在した (Fig. 2, SU)。

亜鉛および亜鉛合金では両金属面とも、軟鋼に比べ生物種、生物量とも極めて少なかった。ロープ締結部にはシロボヤやコケムシ類が着生したが、金属面には、実験1の観察結果同様、フジツボ類の着生し難い傾向が注目

Fig. 1. Representative surface conditions of metal test plates in experiment 1 (scale:10 mm per pair of black and white marks).

- FeA** : Mild steel (SS400) after 155 days exposure to sea water. Widespread rust and attaching only a few attached *Botrylloides*.
- ZnA** : Pure zinc after 155 days. Foamy hydroxides and slight growth of diatoms.
- FeB** : Mild steel (SS400) after 435 days. A large number of organisms attached.
- ZA** : 90Zn-10Al alloy after 435 days. Three-quarters occupied by demosponges, bryozoans, and small blue mussels.
- FeC** : Mild steel (SS400) after 835 days. Barnacles and other organisms attached to the hard rust.
- ZnB** : Pure zinc after 835 days. Growth of demosponges, blue mussels, and ascidiaceans developed from the suspending rope.
- ZnC** : Surface of the same pure zinc plate. The organisms were detached by hand-picking, revealing zinc hydroxide corrosion products.
- Cu** : Copper after 835 days. The hydroxides surface is covered with slime, and organisms are only developed at the area of the suspending rope connection.

され、カンザシゴカイ類がわずかに着生し、付着珪藻類が亜鉛水酸化物面に付着している程度であった (Fig. 2, Zn)。

銅および銅合金では、大型付着生物の着生は認められず、緑色状の銅水酸化物の表面に付着珪藻類が付着したのみであったが、銅合金の付着珪藻類の被度は銅よりもやや多い傾向がみられた (Fig. 2, CN)。

2. 腐食量と腐食形態

各試験板の付着生物量を Fig. 3、腐食量を Fig. 4 に示す。両図から、生物量の多かった実験 1 の腐食量は少なく、生物量の少なかった実験 2 では腐食量の多い傾向がみられる。このうち軟鋼は、実験 1、2 間の生物量は僅差であるが、腐食量においては、実験 1 は実験 2 の約 2 倍で、腐食面は凸凹粗面を呈し、腐食消耗による板厚貫通面も存在した。このことは、実験 1 では、浸漬開始時期が 3 月下旬で、フジツボ類の着生期でなかったため赤

Fig. 2. Representative surface conditions of metal test plates after 146 days exposure to sea water in experiment 2 (scale: 10 mm per pair of black and white marks).

- Fe** : Mild steel (SS400). A population consisting exclusively of barnacles.
SU : Stainless steel (SUS304). Parts of surface with and without attached organisms.
Zn : Pure zinc. A few *Hydroides* sp. on the zinc and *Styela plicata* attached at the area of the rope connection.
CN : 90Cu-10Ni alloy. As with copper, a significant resistance to attachment of organisms was observed.

Table 2. Abundance and timing of appearance of main attaching organisms on six metal test plates

Experiment No. and period	Exp.1: Mar.27, 1997 to Jul.28, 1999				Exp.2: Jul.28, 1999 to Dec.21, 1999			
Observation date	Aug.29, 1997		Jun.05, 1998		Jul.28, 1999		Dec.21, 1999	
Immersion period (days)	155		435		853		146	
Test plate ¹	Fe	Zn	ZA	Cu	Fe	Zn	ZA	Cu
Species and abundance ²	Fe	Zn	ZA	Cu	Fe	Zn	ZA	Cu
Attached diatoms	rr	r	rr	r		r	r	cc
<i>Ulva</i> sp.			rr		rr			rr
<i>Halichondria okadai</i>			rr					
<i>Halichondria japonica</i>			+		+	rr	rr	
<i>Callyspongia confederata</i>			rr	c				
<i>Haliclona permollis</i>			cc	cc	rr	r	r	
<i>Hydroides</i> sp.	rr	rr	rr	r				+
<i>Actiniaria</i> sp.			r					
<i>Hydroides elegans</i>			+	rr	+	rr	r	+
<i>Bugula neritina</i>			rr		rr			
<i>Caulibugula ciliata</i>			rr	rr	rr			
<i>Watersipora subovoidea</i>					r			
<i>Mytilus galloprovincialis</i>			cc		c	r	rr	
<i>Perna viridis</i>								rr
<i>Crassostrea gigas</i>					rr			rr
<i>Megabalanus rosa</i>			r		rr			c
<i>Megabalanus volcano</i>			rr		r			c
<i>Balanus eburneus</i>			rr		rr			rr
<i>Balanus improvisus</i>			rr	rr	rr	rr	rr	+
<i>Balanus amphitrite</i>			+		c	r	r	cc
<i>Styela plicata</i>			rr		cc			cc
<i>Botrylloides violaceus</i>	r	rr	r					

¹ Fe: Mild steel (SS400), Zn: Pure zinc (Zn=99.9999%), ZA: 90Zn-10Al alloy, Cu: Pure copper (C1100P),

CN: 90Cu-10Ni alloy, SU: Stainless steel (SUS 304),

² cc: very common, c: common, +: present, r: rare, rr: very rare

Fig. 3. Wet weight of attached organisms on metal test plates in experiments 1 and 2 (Fe, mild steel; Zn, pure zinc; ZA, 90Zn-10Al alloy; Cu, Copper; CN, 90Cu-10Ni alloy; SU, SUS304 stainless steel).

Fig. 4. Corrosion rates of test plates in experiments 1 and 2 (Abbreviations as in Fig.3).

Fig. 5. Changes in the potential in experiment 1 (Abbreviations as in Fig.3).

Fig. 6. Changes in the potential in experiment 2 (Abbreviations as in Fig.3).

錆の発生が促された。また435日後までは、2期にわたる夏場のフジツボ類着生盛期を経ているが、フジツボ類の被度が少ないのは、浸漬直後から赤錆発生面に示される防汚効果（齊藤ら、1966；臼井ら、1998）が継続し、その後の生物の着脱にも影響したことが推定される。一方、実験2の軟鋼面は、浸漬直後の腐食開始前からフジツボ類が大部分の金属面を覆ったため、金属面は海水との接触が断たれた。これらの腐食状態の違いは実験終了時の

電位の値にも示された。

Figs. 5, 6には各試験板の電位の経時変化を示す。また水温は、金属腐食にも関与するため、参考資料として電位変化に併記した。すなわち、軟鋼などの鉄の防食電位は -770mV (SCE) であるが（中川, 1972b）、軟鋼の実験終了時の電位をみると、実験1は -660mV (SCE)、実験2は -700mV (SCE) で、腐食が継続した実験1は、フジツボ類に被覆された実験2よりも約40mV 貴電位であっ

Fig. 7. Typical corrosion pattern associated with barnacle adhesion after 146 days exposure to sea water (scale in mm).

A : Protection by barnacle adhesion with local corrosion around the barnacles on mild steel (SS400).

B : Crevice corrosion in the area around a barnacle's shell edge on stainless steel (SUS304).

C : The same type of corrosion as in B, with subsequent pitting (SUS304).

た。一方、実験2ではFig. 7Aに示すとおり、フジツボ類の着生個体間のわずかな露出面に腐食の痕跡があるのみで、フジツボ類の着生による被覆防食効果 (Ruim *et al.*, 1984; Southwell *et al.*, 1974; Swant *et al.*, 1989) が発揮されていたと考えられる。

亜鉛および亜鉛合金の生物量は、実験1では軟鋼のそれとほとんど同じであるが、実験2では生物量は軟鋼の5%以下であった。これらの違いは試験板の浸漬時間に依存し、浸漬期間の長かった実験1では、ロープ締結部に付着した生物の金属面への繁殖は無視できず、これが生物量に影響したことも考えられる。また腐食量において、両金属ともそれぞれ実験1は実験2より50%以下であるのは、生物量の違いによるその被覆効果も考慮されよう。一方、全実験期間を通じての両金属の電位は近似し、実験1, 2間の差もほとんどなく、亜鉛水酸化物の表面にはイタボヤや付着珪藻類は着生し易かったが、フジツボ類は着生しても成長過程で亜鉛水酸化物とともに剥離し、ムラサキイガイの足糸もまた水酸化物面には付着しなかったことが特筆される。また両金属の水酸化物生成面下には軟鋼面のような大きな孔食の発生はなく、腐食消耗のばらつきもみられなかった。

銅および銅合金は、大型付着生物は着生し難いとする報告 (Chamberlain and Gardner 1988; Efford *et al.*, 1975; 前田, 1991) にみられるように、付着珪藻類の混在したスライムが水酸化物面に付着したのみであった。しかし実験2において、銅合金でのそれらの付着被度が銅よりも多い傾向がみられたのは、銅の配合比率に依存した生物付着特性 (前田ら, 2001) が示されたといえよう。また両金属の電位は、それぞれ海水中の各種金属電位 (LaQue, 1975) に示されている値にほぼ等しく、

実験2での両金属の腐食量にはほとんど差はみられなかった。しかし銅に関しては、実験1の853日浸漬後の銅表面には大きな孔食がみられ、また腐食量は、浸漬期間の長かった実験1に対し短い実験2のほうが約2倍であった。これには、Fig. 5に示した電位察の季節的変動にみられるごとく、浸漬時期やそのときの浸漬環境の違いなども考察される。一方、銅合金の腐食に海洋生物の関与した事例は、アルミニウム黄銅のフジツボ類付着面下の粒界腐食が報告 (加戸ら, 1991; 川辺ら, 1988) されている。しかし本実験の90Cu-10Ni合金では粒界腐食はほとんどみられず、ニッケル含有銅合金特有の防食と防汚の相乗効果 (LaQue and Clapp, 1945) が発揮されていたと判断される。

ステンレス鋼についてみると、電位は、浸漬直後から実験終了まで、ほぼ直線状に貴化している。この原因には、ステンレス鋼の電位の貴化に及ぼす影響として観察されている珪藻類やバクテリア類の付着 (石原・辻川, 1998, 1999)、さらには腐食にも影響する生物皮膜の形成 (Dexter and Gao, 1988, 1989; 鷲頭・升田, 2000) などが関与したことも考えられる。つぎに腐食量は、供試金属中で最も少なく、付着生物の着生しなかった表面には腐食は認められなかった。すなわち、生物無着生面の存在は、鉄の赤錆あるいは亜鉛や銅などの腐食生成物である水酸化物生成面にみられる防汚効果 (大庭・桑, 1999; 大庭ら, 1999) とは異なり、金属面は全面腐食の発生がないので滑らかで、幼生の付着し難いことが考えられる。しかし一部のフジツボ類の付着殻周縁部には、図7B~7Cに示すとおり、フジツボ類の種類には関係なく隙間腐食およびそれから進行した孔食が観察された。

ステンレス鋼での隙間腐食や孔食は、ボルトナット締

結部などの部材接触周縁部 (Peterson *et al.*, 1970; 辻川・久松, 1980) に発生するが、生物の着生が関与するものとして、フジツボやカキ類の着生部位 (Akashi *et al.*, 1975; Maruthamuthu *et al.*, 1993; Rabindran and Pillai, 1984) などにみられ、その他には、アルミニウム合金 (Griffin *et al.*, 1989)、ニッケルおよびニッケル合金 (Sasikumar *et al.*, 1991; Brouillette, 1958; Muraoka, 1971) などにも発生している。このうちフジツボ類による隙間腐食に関し、アメリカフジツボの着生したステンレス鋼の SUS316 で報告されている (辻川ら, 1984)。

しかし本実験の観察結果から、フジツボ類による隙間腐食の発生は着生種に無関係であると考えられる。また本実験において、フジツボ類の殻の固着面下のステンレス鋼面には、年輪状の殻の成長跡が観察された。また隙間腐食は死滅したフジツボ類の殻固着周縁部に発生しやすい報告 (Eashwar *et al.*, 1992) から、隙間腐食は、成長の極めて鈍化または停止したフジツボ類の殻固着周縁部に発生しやすいことが示唆される。

要 約

軟鋼はフジツボ類の被度によって腐食量は左右されるが、赤錆面には生物はほとんど着生しない。亜鉛と 90Zn-10Al 合金は、電位および腐食量にはほとんど差はなく、腐食面は軟鋼に比べ平滑である。またイタボヤや付着珪藻類は着生し易いが、フジツボ類は着生し難く、着生しても腐食生成物とともに容易に剥離した。純銅および 90Cu-10Ni 合金では、腐食量に大差はないが、純銅には孔食がみられた。

また両金属の銅水酸化物面には付着珪藻類を含むスライムが付着したが、大型付着生物はほとんど着生しなかった。一方、ステンレス鋼の生物無着生面はほとんど腐食しない。しかしフジツボ類の着生基盤周縁部には隙間腐食が散見された。

謝 辞

本研究にあたり、実験場所を提供されご協力いただいた沼津市西浦木負の日吉 眞氏 (日吉水産) に深謝の意を表します。併せて、本研究の機会を与えられた株式会社ナカボーテック技術開発研究所長近藤忠生氏をはじめ同社諸兄に記して感謝の意を表します。なお、本研究成果の概要は、平成 12 年度日本付着生物学会研究集会 (東京) で発表したことを記す。

文 献

- Akasi, M., Y. Imamura, T. Kawamoto and Y. Sinozaki (1975). Crevice corrosion of stainless steel due to marine fouling. *Boushoku Gijyutu*, 24, 31-33.
- Brouillette, C.V. (1958). Corrosion rates in Port Hueneme

- Harbor. *Corrosion*, 14(8), 352-356.
- Chamberlain, A.H.L. and B.J. Gardner (1988). The influence of iron content on the biofouling resistance of 90/10 copper-nickel alloys. *Biofouling*, 1, 79-96.
- Dexter, S.C. and G.Y. Gao (1988). Effect of seawater biofilms on corrosion potential and oxygen reduction of stainless steel. *Corrosion*, 44, 717-723.
- Dexter, S.C. and G.Y. Gao (1989). Discussion on "Effect of seawater biofilms on corrosion potential and oxygen reduction of stainless steel". *Corrosion*, 45, 786-789.
- Eashwar, M., G. Subramanian, P. Chandrasekaran and K. Balakrishnan (1992). Mechanism for barnacle-induced crevice corrosion in stainless steel. *Corrosion*, 48, 608-612.
- Efford, K.D. (1976). The inter-relation of corrosion and fouling for metals in sea water. *Mater. Perform.*, 15(4), 16-25.
- Efford, K.D. and D.B. Anderson (1975). Sea water corrosion of 90-10 and 70-30 Cu-Ni: 14 years exposed. *Mater. Perform.*, 14(11), 37-40.
- Griffin, R.B., L.R. Cornwell, W. Seitz and E. Estes (1989). Localized corrosion under biofouling. *Mar. Perform.*, 28(3), 71-74.
- 石原靖子・辻川茂男 (1998). 自然海水中ステンレス鋼の自然電位貴化におよぼす珪藻の影響. *材料と環境*, 47, 260-268.
- 石原靖子・辻川茂男 (1999). 自然海水中ステンレス鋼の自然電位貴化におよぼすバクテリアの影響. *材料と環境*, 48, 520-527.
- 伊藤伍郎 (1979). 腐食科学と防食技術. コロナ社, 東京, pp. 87-92.
- 加戸隆介・勝山一朗・小南寛彦・橋高二郎 (1991). アルミニウム黄銅復水器に付着したフジツボによる粒界腐食の形成過程とその対策. *材料と環境*, 40, 89-95.
- 川辺允志・永田公二・須藤久治・田部善一・加戸隆介・橋高二郎 (1988). アルミニウム黄銅復水器管のフジツボ付着下の粒界腐食. *防食技術*, 37, 131-137.
- LaQue, F.L. (1975). *Marine Corrosion Causes and Prevention*. John Wiley & Sons Inc., New York, pp. 177-180.
- LaQue, F.L. and W.F. Clapp (1945). Relationships between corrosion and fouling of copper-nickel alloys in sea water. *Trans. Electrochem. Soc.*, 87, 103-125.
- 前田邦夫 (1991). 海産付着生物のつきにくい粘着シート. *表面*, 29, 1006-1020.
- 前田邦夫・加戸隆介・北崎寧昭 (2001). 三河湾における各種金属およびプラスチック材料の生物汚損度の比較. *Sess. Org.*, 18(1), 35-39.
- Maruthamuthu, S., M. Eashwar, S.T. Manickam and S. Ambalavanan (1993). Corrosion and biofouling in Tuticorin harbour. *Corr. Prev. Cont.*, 40(1), 6-10.
- Muraoka, J.S. (1971). Plastic film coatings; marine fouling and corrosion prevention. *Mater. Perform.*, 9(3), 23-26.
- 中川雅央 (1972a). 電気防食法の実際. 地人書館, 東京, pp. 92-96.

- 中川雅央(1972b). 電気防食法の実際. 地人書館, 東京, pp. 20-21.
- 大庭忠彦・鈴木利枝・臼井英智・仲谷伸人・桑 守彦・中沢真吉(1999). 金属水酸化物に対するイガイ類の付着忌避. *Sess. Org.*, 15(2), 9-14.
- 大庭忠彦・桑 守彦(1999). カソード条件下の純銅板の海洋付着生物の着生抑制. 防錆管理, 43, 152-156.
- Peterson, M.H., T.J. Lennox, Jr. and R.E. Groover (1970). A study of corrosion in type 304 stainless steel. *Mater. Perform.*, 9(1), 23-26.
- Rabindran, K. and A.G.G. Pillai (1984). Observations of the interrelation of marine corrosion and fouling in a tropical environment. *Proc. 6th Int. Cong. Mar. Corr. Foul.*, pp. 370-383.
- Ruim, L., L. Dekai, H. Xuebao and Z. Jincheng (1984). The effect of macro-fouling organisms on steel corrosion and its electrochemical behavior. *Proc. 6th Int. Cong. Mar. Corr. Foul.*, pp. 443-451.
- 斎藤清美・桑 守彦・北村俊雄・安藤啓二(1966). 鋼電極による海生生物の付着防止. 火力原子力発電, 47, 814-822.
- Sasikumar, N., K.V.K. Nair and J. Azarish (1991). Some observation on barnacles growth and corrosion of materials in seawater. *Corr. Prev. Cont.*, 38(6), 45-150.
- Sawant, S.S., A.B. Wagh and V.P. Venugopalan (1989). Corrosion behavior of mild steel in offshore waters of the Arabian Sea. *Corr. Prev. Cont.*, 36(2), 44-47.
- Southwell, C.R., J.D. Bultman and C.W. Hummer, Jr. (1974). Influence of marine organisms on the life of structural steels in seawater. *NRL Rep. 7672*, Naval Research Laboratory, Washington D.C., pp. 1-19.
- 高村 昭(1972). 腐食生成物の除去. 金属防食技術便覧, 日刊工業新聞社, 東京, pp. 634-635.
- 辻川茂男・柴田俊明・篠原 正(1984). SUS316 鋼 / フジツボ・すきまの再不動態化電位. 防食技術, 33, 454-461.
- 辻川茂男・久松敬弘(1980). すきま腐食における再不動態化電位について. 防食技術, 29, 37-40.
- 鷲頭直樹・升田博之(2000). 自然海水中に浸漬した SUS 316L 表面における生物皮膜の形成. 材料と環境, 49, 362-366.
- 臼井英智・仲谷伸人・大庭忠彦・桑 守彦(1998). 鋼材面の付着生物と腐食量の関係. *Sess. Org.*, 14(2), 19-24.