

銅および黄銅の水による腐食

小 林 喬*

Takashi Kobayashi

Corrosion of Copper and Copper-zinc Alloys in Fresh Water

Synopsis

Copper and copper-zinc alloys are widely used in heat-exchanger and condenser tubes, because the rates of corrosion of these metals are actually very low. These metals, however, are subject to local attacks under some conditions. In this paper, the results of tests for corrosion in natural fresh waters are described and the characteristics of these metals with respect to corrosion resistance are discussed; Copper is resistant to the corrosion action of most natural fresh waters, but it is susceptible to impingement attack or sand erosion. Therefore, it is necessary not to exceed the appropriate limited value of velocity of water when copper is used. When copper can not be used, of copper-zinc alloys, arsenical admiralty brass or aluminum brass are preferably used. In this case, it is necessary to pay attention first to stress-corrosion cracking and local corrosion such as dezincification, etc.

I. ま え が き

銅および銅合金は耐食性材料として古くから水と接触する各種の用途に用いられてきた。周知のように熱交換器管や復水器管としても広く用いられている。この場合この系統の材料にはいくつかの種類があり、それぞれは耐食特性がいくらか違うので、水質や運転条件に応じて適当な材料を選ぶ。

一般に冷却水が淡水の場合には、古くから銅、黄銅が、つづいてアドミラルティやアルミニウム黄銅などの特殊黄銅や、時にはキュプロニッケルなども用いられるようになった。海水の場合には、現在ではアルミニウム黄銅を主力にキュプロニッケルや青銅系のものも用いられる。ところで冷却水の水質が悪化したり、あるいは関連機器の革新により使用条件がきびしくなると、一方では新材料開発の必要を感じるとともに、他方では現在使用している材料の耐食性について、一層詳しい知見を必要とするように思う。たとえばアルミニウム黄銅は、衝撃腐食や潰食に強いために淡水系においても銅に代って使用されるようになっていたが、数年前からこの種類の合金はとくに淡水系において応力腐食割れをおこしやすいのではないかという考え方が強くなり、これらの材料全般の耐食性についてもふり返らせる結果になっている。

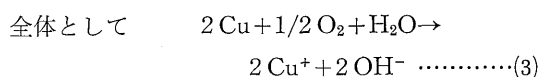
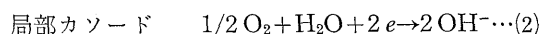
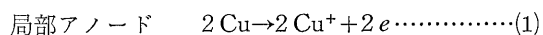
そこで、本稿においては、まず銅および銅合金の腐食に関係する環境因子について概説し、次に鉄と銅および黄銅系合金を試料とした二、三の腐食試験結果を報告し、あわせて淡水系におけるこれらの材料の耐食性について知見をまとめ参考供する。

II. 水による銅の腐食反応

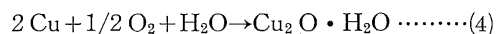
水中における金属の腐食は大部分が電気化学的機構に

* 中央研究所

もとづいて進行する。この反応は簡単に一つの形にまとめるという訳にはいかないが、銅についての代表的な形を方程式に表わすと次のとおりである。

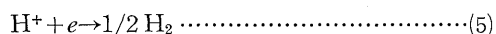


$2\text{Cu}^+ + 2\text{OH}^- \rightleftharpoons \text{Cu}_2\text{O} \cdot \text{H}_2\text{O}$ であるから 式(3)は



ともあらわせる。

式(1)と式(2)の反応はお互いに電子をやりとりして起きているから、両者の反応の速さはバランスがとれていなければならない。ところで、カソード反応としては、たとえば鉄の場合には



なる水素発生反応も起こるが、銅は水素よりイオン化傾向が小さいので式(2)の酸素還元反応だけである。したがって、水中に酸素が存在しなければ式(2)、ひいては式(1)の反応も進行しない、いいかえると溶存酸素、およびこれ(注)に相当する酸化剤を含まない水中では銅は腐食しない。

溶存酸素が存在する場合にはアノード、カソード両局部電池間の電位差が駆動力となって銅の溶解、つまり腐食が進行する。この場合の電位差は、式(1)、(2)の平衡電位がそれぞれ

(注) 厳密には次のように考えられる。溶存酸素を含まない場合には、式(1)、(5)の反応の平衡電位が等しくなるまで銅は溶解するがそれ以上には溶けない。この場合の銅の溶解度は、水素のフガシティを1、水のPHを7として、式(5)の平衡電位 $E = E_0 - \frac{RT}{F} \ln \frac{[\text{H}_2]^{1/2}}{[\text{H}^+]}$ $= -0.414$ (V) と式(6)から求めると、 $1.4 \times 10^{-16} \text{ mol} = 9 \times 10^{-12} \text{ mg/l}$ という値を得る。これは、この場合の銅の溶解、すなわち電気化学的過程にもとづく腐食が0に近いことを示す。

$$E = E_0 + \frac{RT}{F} \ln [\text{Cu}^+] \\ = 0.523 + 0.0591 \log [\text{Cu}^+] \text{ (volt)} \cdots \cdots (6)$$

および

$$E = E_0 + \frac{RT}{2F} \ln \frac{[\text{O}_2]^{1/2}}{[\text{OH}^-]^2} \\ = 1.229 - 0.0591 \text{ pH} + 0.0148 \text{ P}_{\text{O}_2} \text{ (volt)} \cdots (7)$$

E_0 : それぞれの反応の標準電極電位

$[\text{Cu}^+]$: Cu^+ の活量

P_{O_2} : 酸素のフガシテイ

で与えられるから、酸素のフガシテイ (Fugacity) を 0.2, 水の pH を 7, 酸化第一銅の溶解度積 ($[\text{Cu}^+][\text{OH}^-]$) を 1.2×10^{-15} とすると式 (6) の $E = 55 \text{ mV}$, 式 (7) の $E = 805 \text{ mV}$ より, 約 750 mV となる。

このように溶存酸素は銅の腐食を進行するが, 他方では酸化物の皮膜の形成にあずかる。酸化物を主体とする腐食生成物で全面が均一に, ち密におおわれると腐食進行の速度は小さくなる。したがって銅の腐食にはこの皮膜の性質や安定性も重要な関連をもつ。

そこで, 溶存酸素などの酸化剤の他に, さらに他の水質成分や水の流速が実際の腐食速度を左右する。自然水の水質成分の中では, 遊離炭酸, 塩素イオン, アンモニウムイオン, イオウ化合物などが重要な因子である。⁽¹⁾ pH の影響は Pourbaix によって開発された腐食図 (第 1 図) から推定できるように中性から弱アルカリ性域で耐食性がよい。なお, 腐食図は銅と水とが関連する諸反応について, 熱力学的平衡論の立場から求めたもので, 反応生成物としての酸化物の溶解度が 10^{-8} mol 以下の場合を耐食域として不動態域で示し, それ以上の場合を腐食域としている。遊離炭酸は水の pH を下げるだけでなく保護皮膜の溶解度を増して腐食を促進する。ちなみに炭酸銅の溶解度は 10^{-10} のオーダーである。塩素イオンも同様であるが, 高濃度では Cu Cl_2^- を生成し, アノード反応の復極剤としても作用する。一般的に流速が早いと銅の腐食は増大するが塩素イオン濃度が高くなるにつれて流速の影響は一層はげしくあらわれる。アンモニウムイオンは銅アンミン錯塩 $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ を形成することにより, イオウイオンは硫化銅を生じアノード

電位を復極し腐食を増大する。有機性イオウ化合物には溶存酸素と同じように, カソード反応を進めるものもある。

しかし, これらの個々の因子の作用については, これまでにある程度の知見が得られているとはいえるものの, 実際の冷却水においては, これらの因子が互いに絡みあい, さらに微生物因子も関与するので事情は複雑であり, 水質成分の分析値だけから腐食状態や速度を正確に予測することは困難な場合が多い。

III. 二, 三の環境における腐食試験結果

1. ビーカテストによる軟鋼と銅の比較

軟鋼と銅の耐食性を定性的に掌握するために行なった実験結果の一例を第 1 表に示す。表から次のことがいえる。

- 1) 銅は軟鋼より耐食性にすぐれ, とくに上水道水程度の淡水に対してはきわめて良好な耐食性を示す。
- 2) しかし, 塩素イオンが増すにつれて軟鋼と較べた銅の相対的な耐食性は低下する。
- 3) 純水中における銅の腐食度は上水道の場合よりいくらか大きい。これは水道水中にはシリカや硬度の成分などが含まれている反面, 塩素イオンなどの腐食性成分が少ないので, 良好な保護皮膜ができやすいためである。

なお 3% NaCl 水中で 1.7 m/sec の周速で 48 時

第 1 表 種々の水中における軟鋼と銅の腐食度

Table 1. Corrosion rates of mild steel and copper in various waters

腐食液	液 性		腐 食 度 ($\text{mg/dm}^2 \cdot \text{day}$)		銅を 1 とした時の 軟鋼の腐食量
	浸漬前 の pH	導 電 率 ($\mu\text{S/cm}$)	軟 鋼	銅	
純 水	5.9 ₂	1.47	5.03	0.7	7.2
川 崎 市 上 水 道 水	6.9 ₈	1.42×10^3	17.8	0.5	35.6
0.01% NaCl 水	6.3 ₂	2.32×10^3	18.0	3.1	5.8
0.1% NaCl 水	6.1 ₇	2.05×10^3	18.4	6.1	3.0
3% NaCl 水	5.8 ₈	4.80×10^4	15.4	5.3	2.9
人工海水	8.6 ₂	5.19×10^4	15.8	7.7	2.1

(注) 1) 浸漬条件: 大気開放静止, 温度, 室温

浸漬期間: 7 日間

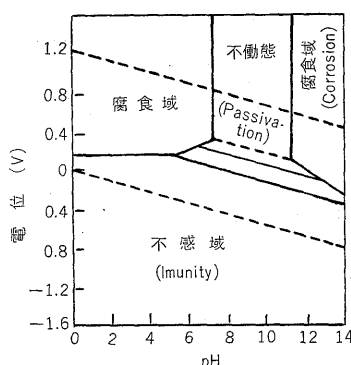
2) 試片種類: 軟鋼 SS 41, 銅 D Cu T 1-1/2 H

3) 試片前処理: # 700 エメリー紙研磨, 脱脂

4) 試片後処理: 軟鋼は腐食抑制剤を添加した 100% HCl 中に浸漬, 銅 100% H_2SO_4 中に浸漬

5) 川崎市上水道水質: 全蒸発残留物 122 ppm, 溶解性蒸発残留物 98 ppm, 全硬度 55.1 ppm as CaCO_3 , 塩素イオン 5.5 ppm, 硫酸イオン 41.0 ppm, アンモニウムイオン不検, 全鉄 0.16 ppm, シリカ 25.3 ppm

6) 人工海水: 純水 1 l に NaCl 27.4 g, MgCl 2.4 g, CaCl_2 1.2 g, Na_2SO_4 0.2 g, NaHCO_3 0.2 g を溶解



第 1 図 銅の腐食図 (Pourbaix)

Fig. 1. pH-potential-corrosion area diagram of copper (Pourbaix)

間回転させた試験片の腐食度は $52 \text{ mh/dm}^2 \cdot \text{day}$ であり、静止時に較べて 90 倍以上も増大する。

2. 水質が比較的悪い井戸水の場合

第2表に示すような冷却水系において、試験片を糸巻形保持具にくみこんで浸漬するとともに、第3表の試験管を通水試験装置に装着して各材料の腐食状態を調べた。用いた材料や腐食期間は第4表、第5表に示す。冷却

第2表 冷却水の水質

Table 2. Chemical analyses of cooling waters

成 分	採水年月			
	昭 37-6	昭 38-6	昭 38-12	昭 39-10
外 観	無色透明	無色透明	無色透明	無色透明
pH	7.5	7.3	7.3	7.0
蒸 発 残 留 物 (ppm)	522	481	410	414
溶解性蒸発残留物 (ppm)	501	462	385	404
M アルカリ度 (ppm as CaCO_3)	115	109	87.5	91.1
全 硬 度 (ppm as CaCO_3)	246.3	287.4	243.8	274.7
カルシウム硬度 (ppm as CaCO_3)	232.1	181.5	153.5	145.0
塩 素 イ オ ン (ppm)	53.6	6.0	17.8	24.7
硫 酸 イ オ ン (ppm)	166.2	210	191	160
硝 酸 イ オ ン (ppm)	0.9	0.45	0.49	不 検
亜 硝 酸 イ オ ン (ppm)	—	0.09	不 検	不 検
シ リ カ (ppm)	57.0	36.0	55.0	45.7
全 鉄 (ppm)	2.6	0.21	不 検	0.1
マンガンイオン (ppm)	0.2	0.08	0.05	不 検
銅 イ オ ン (ppm)	0.02	不 検	痕 跡	不 検
アンモニウムイオン (ppm)	不 検	不 検	不 検	0.07
イ オ ウ イ オ ン (ppm)	0.04	不 検	不 検	不 検
KMnO_4 による酸素消費量 (ppm as O)	—	0.16	0.18	5.2
導 電 率 ($\mu\text{V/cm}$)	—	543 (21.5°C)	568 (22°C)	511 (20°C)

第3表 試験管の化学成分 (%)

Table 3. Chemical compositions of test tubes

試 料	化 学 成 分					
	Cu	Zn	Sn	Al	Fe	
銅 管 SGP				S : 0.009 Mn : 0.37		C : 0.05 Si : 0.005 P : 0.017
脱酸銅管 DCuT 1	99.94	—	不検	—	—	P : 0.02
丹銅管 RBsT 3	84.49	15.43	不検	不検	0.08	
復水器用継目無 ¹⁾ 黄銅管 1 種 BsTF 1-0	71.69	残	1.0	不検	0.08	
復水器用継目無 ²⁾ 黄銅管 4 種 BsTF 4-0	78.19	残	不検	1.82	0.04	As : 0.04

注 1) アドミラルティ管 2) アルミニウム黄銅管

水の流速は 0.4 m/sec 程度、実験温度は常温である。結果は第4表、第5表および第2図に例示するとおりで水質の特徴と各材料の耐腐性を以下にまとめる。

1) 水 質 の 特 徴

(1) 一般に使用されている工業用水道に較べて硬度成分、塩素イオン、硫酸イオンなどが多い、したがって蒸発残留物も多く比抵抗は $2,000 \Omega\text{-cm}$ 以下である。また、マンガンイオン、アンモニウムイオン、イオウイオンを含む時があり、良質の冷却水とはいえない。ただし、pH はわずかに弱アルカリ性である。

(2) この水は 10~20 ppm 程度の細い土砂を含む。

(3) 昭和38年12月13日までの水質には Mn^{2+} が認められたが、昭和39年10月16日の水には Mn^{2+} が認められず、 NH_4^+ が検出されるようになった。この違いは試験装置内部の状況からも肯定できる。

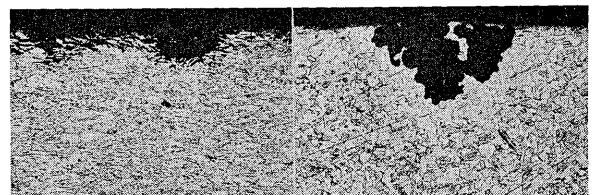
第4表 浸漬試験片の平均侵食度 (mm/yr)

Table 4. Average penetration rates of test pieces exposed to cooling water

試片		浸漬年月日			
		昭 37-8-21	昭 37-8-21	昭 37-8-21	昭38-12-12
ひきあげ年月日		昭 38-6-4	昭38-12-12	昭39-10-16	昭39-10-16
浸漬日数		287	478	787	309
鋼板	0.030 ¹⁾	—	0.025 ³⁾	0.024	
	0.036 ²⁾		0.020 ⁴⁾	0.025	
銅板	0.0006	0.0006	0.0003	0.0025	
	0.0003		0.0016		
丹銅板	0.001	0.0005 *	0.0004 *	0.0034 *	
			0.0004 *	0.0022 *	

(注) 最大侵食度

1) 0.28mm 2) 0.27mm 3) 0.37mm 4) 0.34mm
いずれも顕著な孔食。 * 脱亜鉛



(a) 丹銅管の層状脱亜鉛 (b) アドミラルティ管の局部腐食
約 60 倍



(c) アルミニウム黄銅の“栓状”脱亜鉛 (d) アルミニウム黄銅の“栓状”脱亜鉛
約 60 倍 約 300 倍

第2図 試験管の断面組織
Fig. 2. Cross sections of test tubes

第5表 試料管の状態
Table 5. Corrosion of test tubes

	管内面の付着物の状態	腐食状況
銅管 (SGP)	上半部は初期の間は黄褐色状の付着物の間に所々さびこぶが生成したような状態であるが次第にはほぼ均一な厚みの強固なスケールになる。昭和38年12月以前に装着のものは黒褐色のMnOと思われる粉末が表面に付着。下半部は、はじめから表面が黒色で下の方が茶褐色のスケールを生成し、次第に茶褐色の部分が盛上ったようになる。付着物の厚みは上半部が2mm/2年である。下半部は5~6mm/2年である。	上半部は点食傾向が大で期間がたつにつれて、肌荒れを伴う。下半部は全般的に肌荒れがはげしく、局部腐食というよりは凹凸が連続したような腐食跡になる。最大侵食深さは 0.4mm/287日 (≈ 0.5 mm/yr) 0.5mm/478日 (≈ 0.4 mm/yr) 0.6mm/787日 (≈ 0.3 mm/yr) 0.8mm/500日 (≈ 0.6 mm/yr) 0.4mm/309日 (≈ 0.5 mm/yr)
銅管 (DCu T1)	全般に緑青色に黄褐色がまじったようなスケールがうすく付着し、その厚みは、1mm/787日以下である。銅の付着物が一番少ない。黒色粉末がわずかに散在する。	期間がたつにつれて次第に軽い肌荒れをおこすようになる。下半部の方が上半部より広範に、しかもややはげしく肌荒れをおこすようになる。 最大侵食深さは 0.04mm/787日 最大侵食度 0.02 mm/yr 程度
丹銅管 (RBs T3)		上、下半部ともに次第に層状脱亜鉛をおこし、肌荒れを呈するようになる。脱亜鉛も含めた最大侵食深さは 0.02mm/287日 (≈ 0.03 mm/yr) 0.06mm/787日 (≈ 0.03 mm/yr)
アドミラルティ (BSTF 1)		次第に肌荒れとかなり広範囲に部分的な脱亜鉛をおこすようになる。下半分の方がその傾向が大、部分的に粒界腐食もおこす、脱亜鉛も含めた最大侵食深さは 0.15mm/287日 (0.19 mm/yr) 0.25mm/787日 (0.12 mm/yr)
アルミニウム黄銅 (BSTF 4-0)		次第に梨地肌状になり、所々に点状の脱亜鉛部が生じる。上半部はこの傾向が下半部より少ない。脱亜鉛も含めた最大侵食深さは 0.02mm/287日 (≈ 0.03 mm/yr) 0.1mm/478日 (≈ 0.08 mm/yr) 0.04mm/787日 (≈ 0.02 mm/yr) 0.04mm/309日 (≈ 0.05 mm/yr)

2) 材料の耐食性

- (1) 軟鋼系材料は水中からの沈着物や析出物と腐食生成物が一緒になった厚いスケールを生じる。このスケールは腐食を加速している。

試験片の平均腐食度は0.03 mm/yrであるが孔食速度(最大侵食度)はこれの10倍以上である。試料管の状態からも軟鋼系材料はさびこぶを生成し、はげしい孔食をおこすことがわかる。その速度は0.6 mm/yr以上と考えられる。なお、管の最大侵食度が試験片のそれより大きいのははじめの表面状態の違いにもよるが、付着物や流速の影響によるところが大きいだろう。また昭和38年6月までに浸漬した試験片には、はげしい孔食が認められるが昭和38年12月に浸漬したものには認められない。これは、主としてMn²⁺の影響と考える。

- (2) 銅における付着物の厚みは軟鋼より小さい。しかし下半部の方が肌荒れが顕著である点から銅の場合にも付着物は腐食にいくらかの影響を与えていると考えられ

る。

局部腐食などの異常腐食は認めない。腐食度の点では昭和38年12月に浸漬した試験片が、それまでに浸漬したものにくらべて大きくなっていることが注目される。これは丹銅板にもみられ、水質変化にもとづくものと考えられる。最大侵食度は軟鋼の1/30程度である。

- (3) 黄銅系の付着物の状態は銅に似るが、銅よりやや多い。この付着物はアルミニウム黄銅管の場合には腐食に影響している。

腐食はアドミラルティ管にはげしく、本条件下においてはこの材料を耐食性とはいえない。

丹銅管とアルミニウム黄銅管については最大侵食度の点で両者の間に優劣をつけ難いが、どちらも銅よりやや劣る。丹銅管は全般的に層状脱亜鉛をおこすのに対し、アルミニウム黄銅は点状に“栓状脱亜鉛”をおこす、なお、丹銅管は一般に脱亜鉛しないといわれているが、試験片、管ともに脱亜鉛をおこした。これが腐食環境によるものか材料自体に起因するものかは明

らかでない。アルミニウム黄銅管の最大侵食度は、試験料によって違いますが実際にもこれ位のばらつきは生じるように考える。

3. ある川水の場合

第 6 表に示すような水質の河川水系に、糸巻形試験片保持具にくみ込んだ試験片と、 3 kg/mm^2 の引張り応力を付加した試験管を 104 日間浸漬した。水の流速は $0.7 \sim 2 \text{ m/sec}$ 実験温度は常温である。その結果は次のとおりである。

第 6 表 川 水 の 水 質
Table 6. Chemical composition of river water

pH	5.8~7.3
溶解性蒸発残留物 (ppm)	10~70
遊離炭酸 (ppm as CaCO_3)	4~20
M アルカリ度 (ppm as CaCO_3)	7~20
全硬 度 (ppm as CaCO_3)	7~15
塩素イオン (ppm)	1~20
硫酸イオン (ppm)	1~20
アンモニウムイオン (ppm)	0.02~0.2
シリカ (ppm)	5~20

(注) 大雨の時は懸濁物が増加

- (1) 軟鋼系材料は局部腐食を受けやすい、試験片の表面は、大部分がほとんど始めのような光沢を保つのにに対し一部分だけがはげしく侵食されている。最大侵食度は $0.83 \text{ mm}/104 \text{ 日}$ ($\div 2.9 \text{ mm/gr}$) 孔食係数は 15 である。
- (2) 60/40 黄銅はほぼ全面に脱亜鉛が認められ、脱亜鉛部も含めた最大侵食度は $0.04 \text{ mm}/104 \text{ 日}$ 、したがって $0.1 \sim 0.2 \text{ mm/yr}$ と考えられる。
- (3) 脱酸銅は全面的に軽い肌荒れを呈するが、局部腐食を認めない、最大腐食度は 0.03 mm/yr 程度である。
- (4) アルミニウム黄銅は、やや黒づんだ黄銅色を呈するが、肌荒れもわずかで一般的な腐食は軽微である。 3 kg/mm^2 の応力を付加した管の内面には微細割れらしいものを認めたが、断面組織からは確認することができなかった。

IV. 考 察

銅および銅合金の耐食性は先にのべたように腐食生成物を主にした皮膜の保護的作用にもとづく。この皮膜がたえず溶解したり、はがされたりする条件下では全面腐食をおこし、不均一にしか維持できない場合には局部腐食を生じる。

全面腐食は、これらの材料を通常の淡水系において使用する場合には問題にならないことが多い。たとえば III に示した銅の場合には、ほとんど全面が均一に腐食しており、その侵食度は $0.02 \sim 0.03 \text{ mm/yr}$ であり、このままの速度で侵食されるとすれば 1 mm の肉厚の冷却管で

あっても相当の長期にわたって使用できるであろう。しかし、衝撃腐食や付着物の影響により局部的に孔食が進行する場合には 1 年以内に食孔が貫通することもあり得る。また、丹銅は全面的に脱亜鉛し、その侵食度は 0.03 mm/yr 程度であるが、局部的に脱亜鉛したアドミラルティの最大侵食度は 0.2 mm/yr に近い。このように全面腐食は、局部腐食に較べて問題にならないことが多く実用上から問題になるのは局部的な腐食や割れである。

局部腐食の中で、黄銅（銅—亜鉛）系合金に特有なもの“粒状脱亜鉛”である。脱亜鉛は合金層から亜鉛だけが溶出し、その跡に粗雑な金属銅が残留したような形になるもので、外見上材料の形は残るが多孔性で水はたやすく滲入する。また、脱亜鉛部が脱落したような形で食孔を形成する場合もある。機構的には亜鉛の選択溶解と合金が腐食によって溶出し、銅だけが再析出するという説とが考えられているが、実際例からは、銅の析出を認めることが多い。したがって、脱亜鉛の場合にも、水質だけでなく流速が影響する。流速がおそく付着物がつくと、脱亜鉛をおこしやすい。同じ水質であっても、停滞水中では脱亜鉛し、流水中では生じにくくなるのはこのためである。温度もまた脱亜鉛に関係し、高温ほど生じやすい。

脱亜鉛を防ぐためには合金に 0.02% 以上のひ素を添加すれば効果がある。III. 2 に例示したアドミラルティの脱亜鉛速度が大きいのは水質が悪く流速がおそいこともあるがひ素を含んでいないためである。しかしひ素は加えすぎると粒界腐食をおこしやすく、応力腐食割れ感受性も増すので上限を押える必要がある。復水器用継目無黄銅管 2~4 種にひ素が規定されているのはこのためである。1 種にはとくにひ素の規定はないけれども材料を適切に使用する上ではひ素を加えたものについて、耐食特性を考えることが必要であろう。スズやリンも脱亜鉛腐食を押えるといわれているがひ素に較べれば効果は劣る。リンはまた、応力腐食割れ感受性をますますこの上限を押えているものもある。また一般に亜鉛 15% 以下の黄銅は脱亜鉛しないといわれているが、III. 2 の例では層状脱亜鉛をおこした。この理由はあきらかではないが、脱亜鉛をおこす場合もあることに注意すべきである。

このようにみえてくると、銅は脱亜鉛や応力腐食割れの心配がないだけに、一般的に、淡水系においては黄銅系合金より安全であり、耐食性にとむといえよう。しかしすでにのべたように腐食速度は水質によって異なる。また、周知のように流速の影響を受けやすい。したがって使用にあたっては衝撃腐食や砂エロージョンをおこさない注意が必要である。限界流速は水質だけでなく、機器の形状や温度などにも関連するが、淡水系では 1 m/

sec 程度を一般的な目安に考えている（実際にはこれより早い流速で支障のない場合もあるが）。

また、 S^{2-} や NH_4^+ が検出される場合にも全面腐食速度が大きくなったり、細菌により間接的に誘発される孔食が生じやすくなるので注意が必要である。元来このような水は冷却水としてこのましくなく、使用をさけるべきであるが使用しなければならぬ時は、たとえばできるだけ定期的に清掃したり、水処理を行なうなどの配慮が必要である。

黄銅系合金は脱亜鉛や応力腐食割れを生じる可能性をもっているとはいえ、アドミラルティやアルミニウム黄銅は、いわゆる四、六や七、三黄銅の耐食性を改良するために開発されたものであり、それらは環境条件によってすぐれた耐食性を発揮する。そこで、淡水系においても、水質や、運転条件、物理的性質などから銅が使用できない場合には、銅に代る黄銅系合金としては、ひ素を添加した復水器用継目無し黄銅管が考えられよう。しかし、この場合にはまず、応力腐食割れに対する配慮をしなければならない。多くの場合、割れによる障害は、脱亜鉛などによる障害に較べて発生するまでの期間が短いからである。

この意味で S^{2-} や NH_4^+ が検出される淡水系に、この材料の使用を考える場合は慎重に検討する必要がある。もし銅が使用できる条件であれば銅を使用する方が better であろう。

V. む す び

銅および黄銅系合金の淡水による腐食について腐食試験の結果を中心に材料の耐食特性という観点から知見をまとめ、使用に際しての考え方をのべた。応力腐食割れについては、「冷却器用銅合金管の応力腐食割れ」（本誌第 36 巻第 7 号）においてふれたので参照頂ければ幸いである。

終りにのぞみ、腐食試験に際してご指導、ご援助を頂いた関係各位に謝意を表します。

引用文献

- (1) M.Pourbaix: Thermodynamics of Dilute Aqueous Solutions (1949)
解説書としては、たとえば
日本学術振興会編：防蝕技術の進歩 P 6 (1963)
岡本、永山：金属 28 9, 665 (1963)

技術論文社外公表一覧

(昭和41年12月受付分)

題 目	所 属	執 筆 者	発 表 機 関
最近の断路器と操作回路	川崎工場	大森豊明	電気計算誌 昭42・4月号
シリコン整流器の最近の発達	松本工場	森春元	電気計算誌臨時増刊号(3月中旬発行)
ロケットノズル用断熱材料としてのフェノール樹脂積層品に関する実験	中央研究所	小山兼義	シンポジウム“宇宙航空工学におけるFPR”東大航研 42-1-12
サイリスタの特性測定と試験法における問題点	松本工場	島崎昭夫	電気学会昭42年電気四学会連合大学シンポジウム第3部会 42-4-29
AGR-J プロジェクトの概要	原子力部	興石 保	FAPIG 誌 昭42・2月(第44号)
わが国におけるAGRの経済性評価	“	加藤幸二郎	原子力工業誌 昭42・3月号
同期式1サイクル空気シャ断器	川崎工場	穴原良司	電気計算誌 昭42・3月号
ポリエチレン、テフロン接着性	中央研究所	新田義雄	接着誌 昭42年春季号
自動制御教育用モデルプラント	計測技術部	元起 巖	オートメーション誌 昭42・2月号
特殊形シャ断器と操作回路(水シャ断器)	川崎工場	今泉吉弘	電気計算誌 昭42・3月号
オンオフ制御	開発部	和田昱二	日本機械学会オンオフ制御分科会報告書を出版 昭42・6月頃
電力ヒューズ付開閉器	川崎工場	木口和郎	電力と鉄道誌 昭42・2月号
電力用整流装置の保護方式	開発部	大森豊明	電気計算誌臨時増刊号(3月中旬発行)
重油予熱器について	東京営業所	四十万 稔	静岡ボイラ技士会会報 昭42・月号
		長谷川 省二	
		戸田正之	



＊本誌に記載されている会社名および製品名は，それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。