

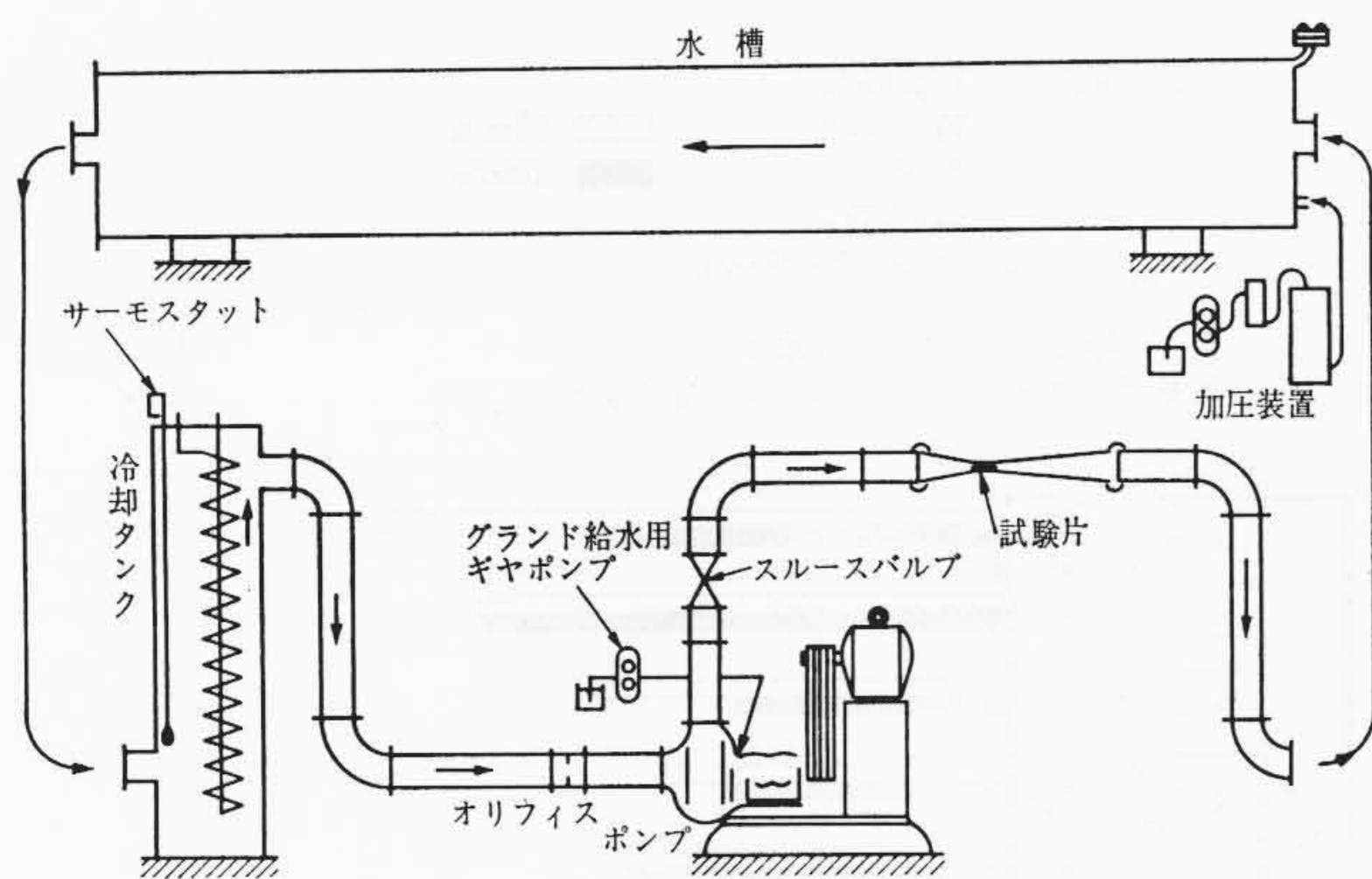


図2 高流速腐食試験装置概略図

表2 試験条件

	液質	緩流動腐食試験		高流速腐食試験		
		淡水	3%食塩水	淡水	3%食塩水	H ₂ S 1 ppm NH ₄ ⁺ 5 ppm 含有 3% 食塩水
試験液	温度 (°C)	25±0.1	25±0.1	25±1.5	25±1.5	25±1.5
	溶存酸素 (ppm)	5±0.5	5±0.5	5±0.5	5±0.5	5±0.5
	pH	7.3	7.2	7.3	7.2	6.0
	電気伝導度 (MΩ/cm)	200	33,000	200	33,000	35,000
	液量 (l)	3	3	450	450	450
試験時間 (H)		3, 7, 72	3, 7, 72	3	3	3
流速 (m/s)		0.063	0.063	10, 30	10, 30	10, 30
接触試験片の面積比		1対1	1対1	1対1	1対1	1対1

50 m/s の相対流速を与えることができる⁽¹⁾。したがってこの装置では電気化学的な腐食が得られる。試験片は緩流動腐食試験と同様、側面のみを露出させ両金属の接触はネジ部で行なわせた。

以上の試験条件を要約して示したのが表2である。

3. 実験結果

3.1 緩流動腐食試験

3.1.1 淡水の場合

試験結果は図3に示すとおりである。各試料の腐食量は3時間、72時間とも単独ではFC20が最も多く、次いでSC46, S20Cの順である。SUS52, SCS13, BC2はいずれも表面状態に変化がなく、腐食量もない。これらを相互に接触せしめた試験においても順位はほとんど変わらないが、経過時間によって腐食傾向はかなり異なってくる。すなわち3時間では単独の場合SC46, S20Cの腐食量はFC20の1/2以下を示しているが、FC20以外と組み合わせさせた接触腐食においても同様の傾向である。しかし72時間の接触腐食ではFC20の腐食量が単独の場合に比べて倍程度であるが、SC46, S20CもFC20以外との組み合わせではかなり腐食が促進され、二、三の例外を除きおおむねFC20と接近した値となる。これは普通鉄と普通鋼が短時間では腐食量にもかなりの差を示すが、長時間ではほとんど差がないことを示すものである。各試料の電位は普通鉄が最も卑で、次いで普通鋼、ステンレス鋼、銅合金の順である。したがって普通鉄は電位の高い相手材と接触するときは腐食が促進され相手材の腐食が抑制される傾向がある。普通鋼も同様であるが、この例はFC20とSC46, FC20とS20Cの各組合せにおいてきわめて顕著である。FC20の腐食生成物が多いのに対し、それと接するSC46, S20Cの表面は試験前とほぼ同様の光沢を有している。SC46とS20Cの組合せは普通鋼同士であるため腐食量は両者とも同程度であるが、それら

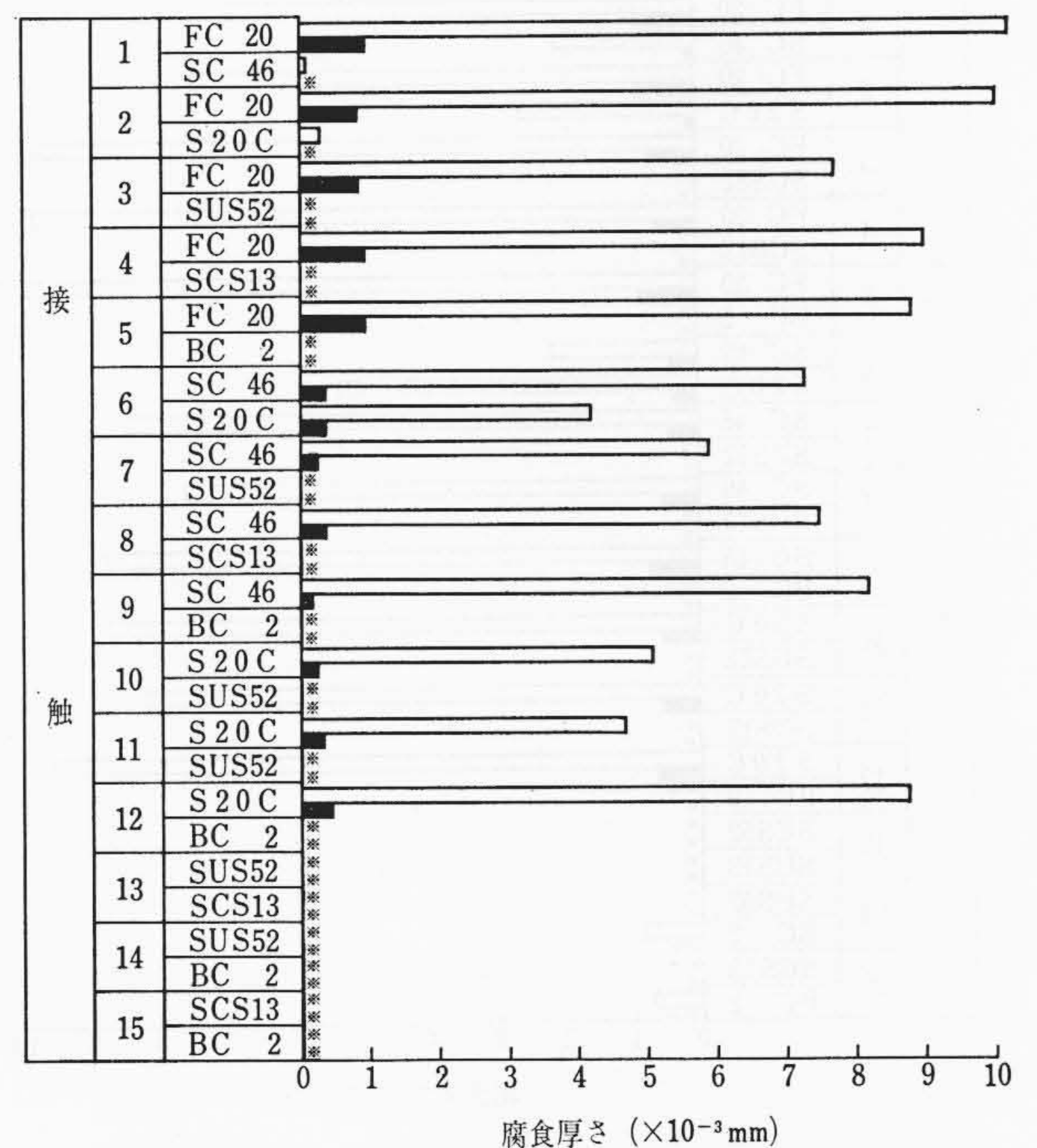
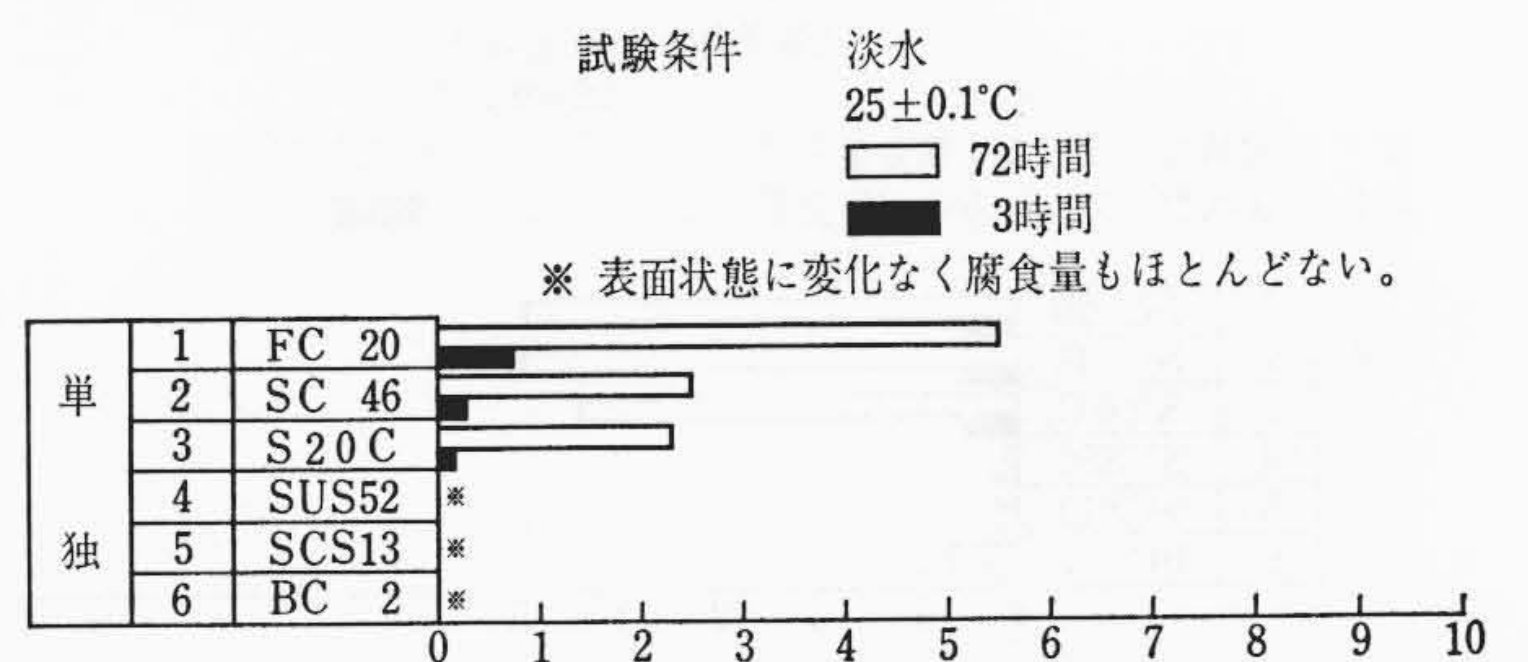


図3 緩流動腐食試験における各種材料の腐食量

の単独の場合よりも多い。ステンレス鋼同士およびステンレス鋼と銅合金の接触では両金属とも腐食されていない。

3.1.2 3%食塩水の場合

試験結果は図4に示すとおりである。各試料の腐食量は3時間、72時間とも単独ではFC20が最も多く、次いでSC46, S20Cの順であるがいずれも近似している。SUS52, SCS13, BC2は3時間の場合、各試料とも表面状態に変化がなく腐食量もない。72時間試験ではSCS13は腐食されないが、SUS52は表面的に変化がないが腐食減量が認められ、BC2は表面に荒れを生じ腐食量も多い。接触腐食においてはやはり単独の場合と同様の傾向を示し、腐食量は普通鉄が最も多く、次いで普通鋼の順である。しかし3時間では普通鉄の腐食量に対し普通鋼は少なく、72時間では同程度を示している。普通鉄と普通鋼との接触では単独の場合より普通鉄の腐食が促進され普通鋼は抑制される。しかし普通鋼は腐食抑制を受けても、淡水の場合よりかなり腐食量が多い。ステンレス鋼、銅合金との接触においては普通鋼の場合に比べて3時間では少なく、72時間では多い。普通鋼同士は淡水の場合と同様3時間では腐食量が両者ともほぼ同程度であるが、72時間ではかなり差を生じている。

ステンレス鋼と銅合金はいずれも普通鉄、普通鋼との接触では72時間試験においても腐食量はない。しかし、BC2はステンレス鋼との接触で腐食を受ける。その程度は3時間でその端緒(ちょ)となるべき表面の荒れが見られ、72時間では腐食量が多くなる。ステンレス鋼同士の接触ではいずれも腐食は認められない。

3.2 高流速腐食試験

試験結果は図5~7に示すとおりである。

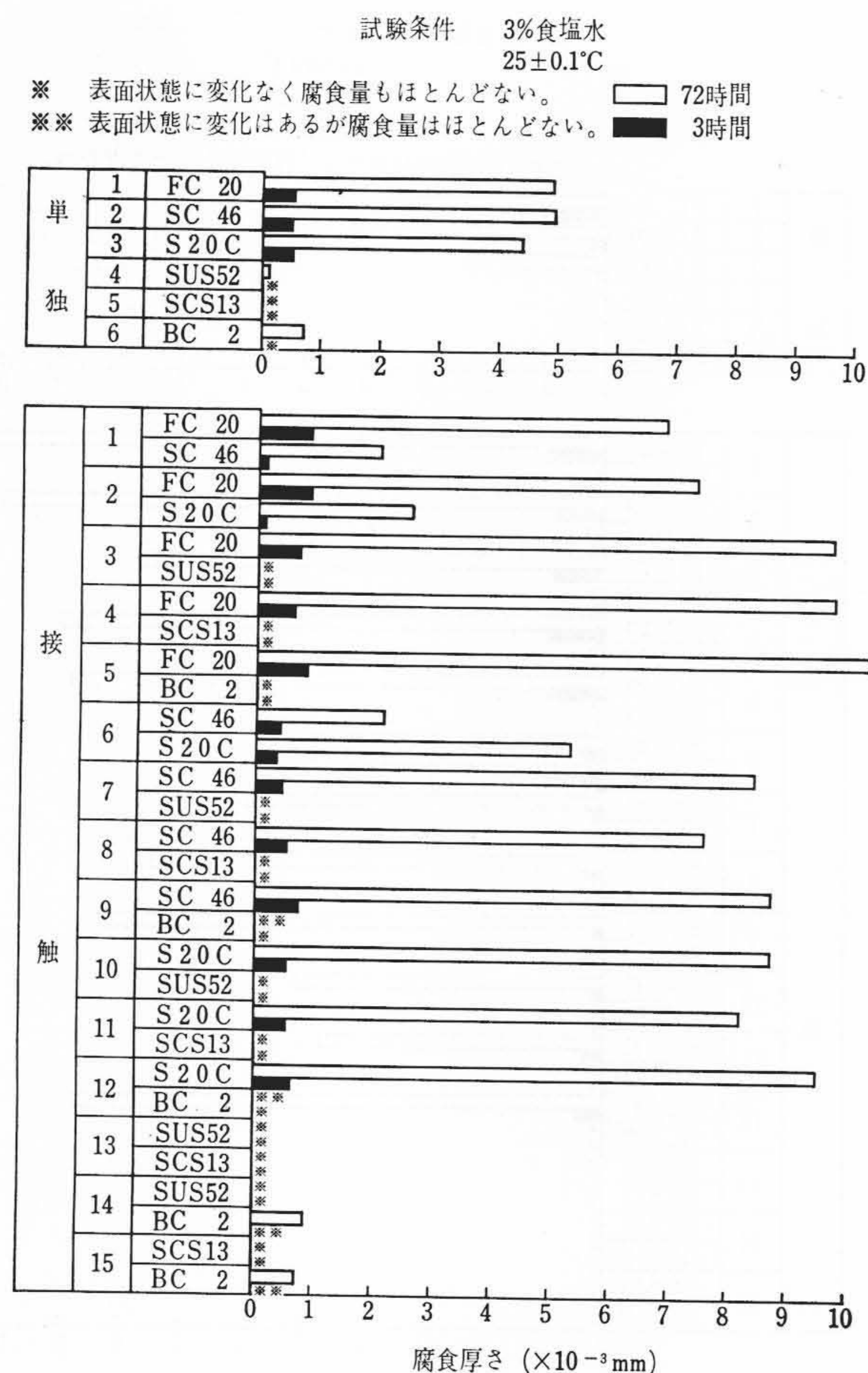


図4 緩流動腐食試験における各種材料の腐食量

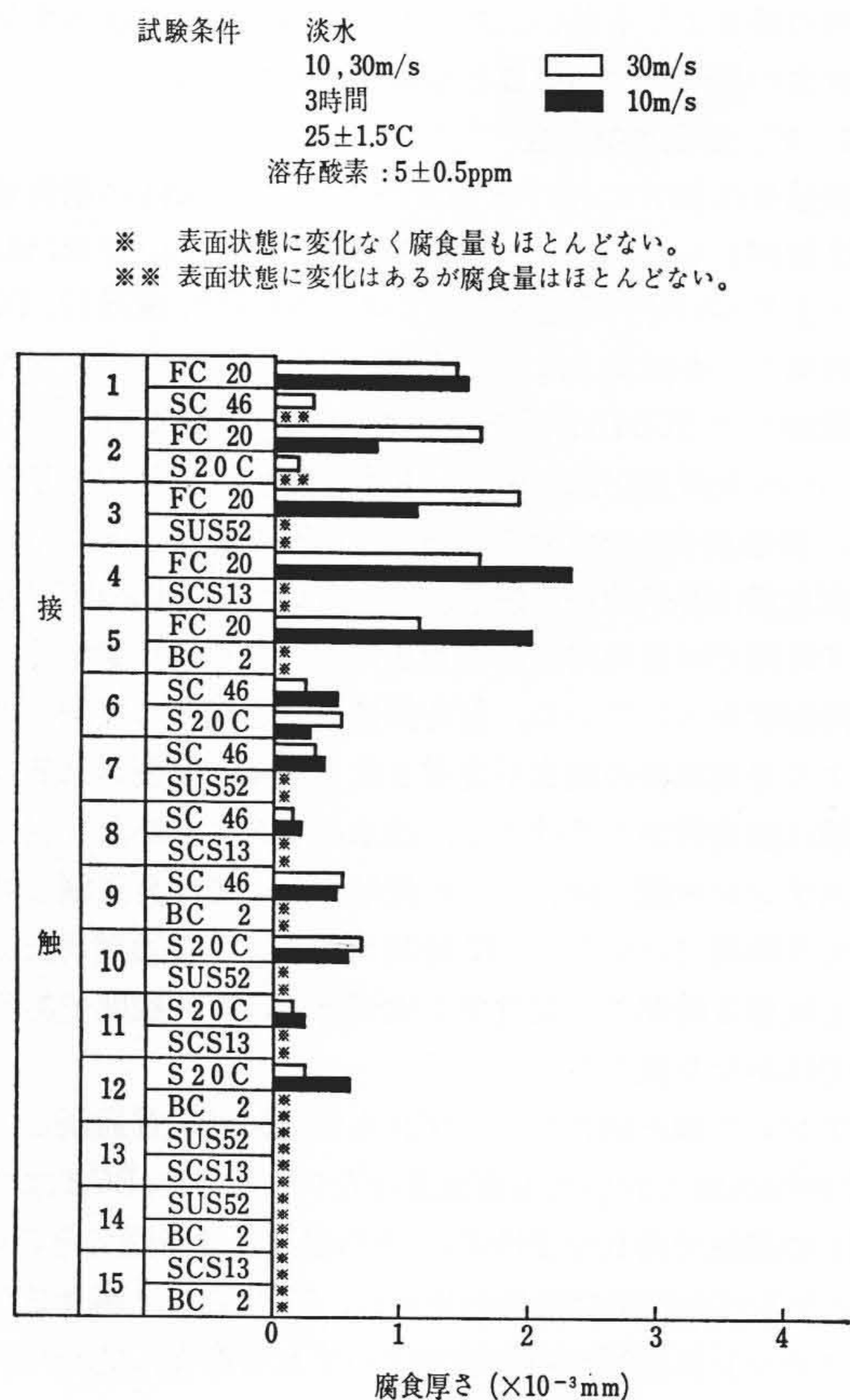


図5 高流速腐食試験における各種材料の腐食量

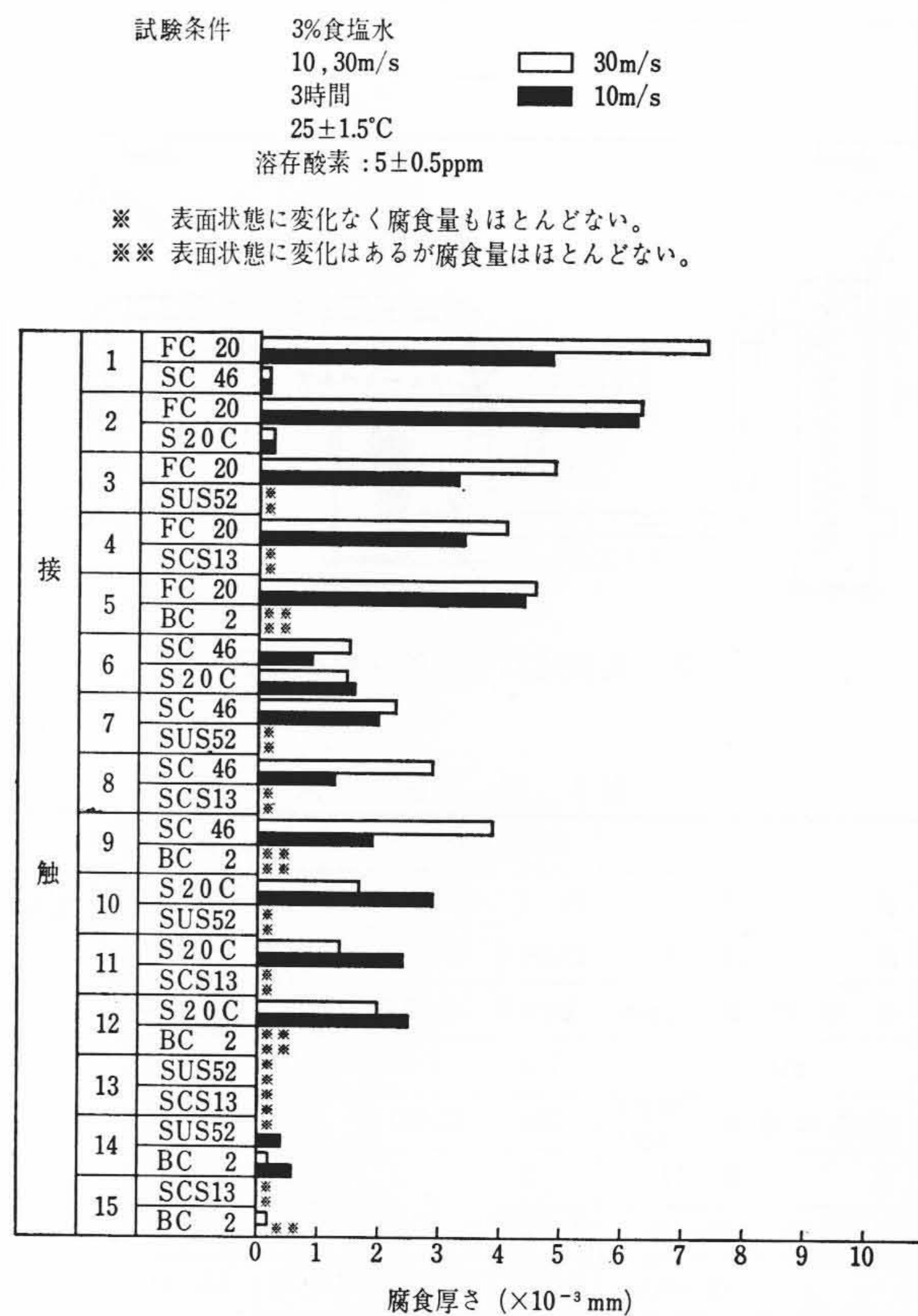


図6 高流速腐食試験における各種材料の腐食量

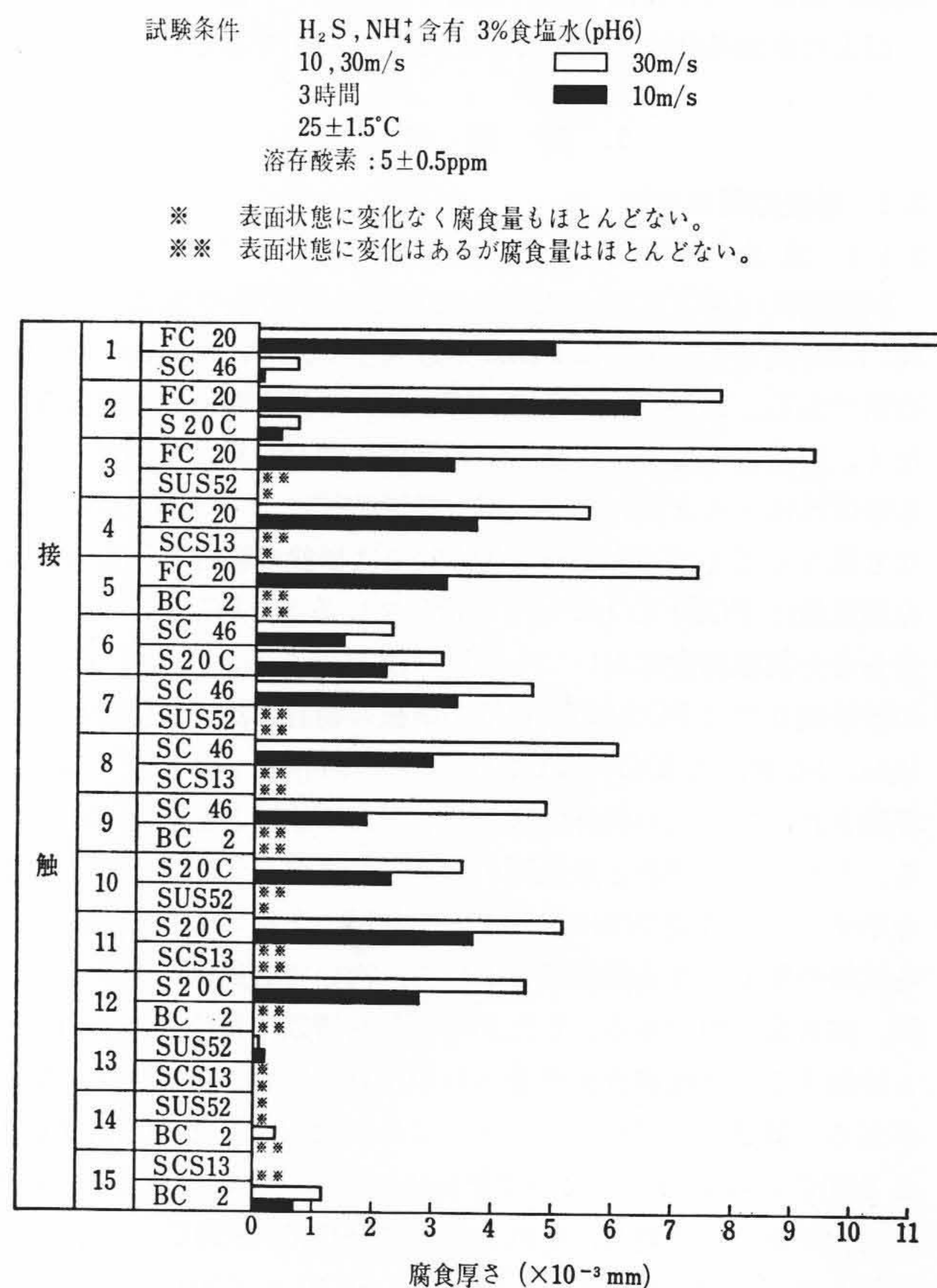


図7 高流速腐食試験における各種材料の腐食量

表3 自然電極電位
(飽和甘コウ電極基準)

実験値 (静止 25%)			文献による値		
材質	淡水	3%食塩水	材質	海水 ⁽²⁾	海水 ⁽³⁾
FC20	-0.62(V)	-0.63(V)	鋼・铸铁	-0.45	-0.55(V)
SC46	-0.51	-0.59		∧	
S20C	-0.49	-0.58		-0.65(V)	
SUS52	-0.32	-0.24	ステンレス鋼	不活性	-0.08
SCS13	-0.33	-0.30	(18Cr-8Ni)	活性	-0.28
BC2	-0.21	-0.20	青铜 (6~10 Sn)		-0.14

3.2.1 淡水の場合

図5に見られるように流速 10 m/s, 30 m/s とともに 15 種類の組合せ中 FC20 の腐食量が最も多く, SC46, S20C がそれに次いでいる。ステンレス鋼同士およびステンレス鋼と銅合金との組合せでは両者とも腐食量はない。

普通铸铁, 普通鋼はステンレス鋼や銅合金との接触において腐食は促進されるが, 相手材の腐食はない。普通鋼同士 (SC46 と S20C) の接触による腐食はそれらがステンレス鋼や銅合金と接触する場合よりかえって多い場合もある。各流速においてはいずれも低電位金属の腐食が促進され, 高電位の金属の腐食が抑制されることは緩流動の場合と同様である。概括的に見れば流速 10 m/s, 30 m/s とともに腐食量に大幅な変化はないが, 個々については流速の変化によってかなり変動がある。

3.2.2 3% 食塩水の場合

図6に見られるように各組合せにおける腐食量は 10 m/s, 30 m/s の各流速とも FC20 が最も多く, 次に SC46, S20C, BC2, SUS52, SCS13 の順である。流速による影響は FC20 と SC46 の場合, 流速 30 m/s のほうが多く, S20C は逆に少ない。またステンレス鋼, 銅合金と接する FC20 の腐食量は流速 10 m/s, 30 m/s とともに普通鋼と接した場合よりも少ない。またステンレス鋼, 銅合金と接する FC20 の腐食量は流速 10, 30 m/s とともに普通鋼と接した場合より少ない。ステンレス鋼同士の接触ではいずれも腐食されないが, これらと接する銅合金の腐食は 30 m/s で顕著となり, 表面にもマクロ組織が現われるなど変化が見られる。これらの腐食量を淡水の場合と比べるとステンレス鋼同士およびステンレス鋼と銅合金の組合せを除く各組合せにおいて, 低電位金属の腐食量はおおむね 2~3 倍を示している。

3.2.3 H₂S, NH₄⁺ を含む 3% 食塩水の場合

図7に見られるように各組合せにおける FC20, SC46, S20C の腐食量は流速 10 m/s に対し 30 m/s ではかなり多くなる。流速 10 m/s では H₂S, NH₄⁺ を含まない 3% 食塩水とほぼ同様の傾向を示すが, 30 m/s では各組合せとも腐食量が大幅に多くなる。しかし各組合せにおける高電位の金属はステンレス鋼, 銅合金の場合, 腐食量はほとんどなく, FC20 と接触する SC46, S20C においても腐食量は増すが流電作用によってかなり腐食が抑制されている。ステンレス鋼と接触する BC2 は流速の増大とともに腐食量も多くなっている。各試験片表面は低電位の FC20 および SC46, S20C が 3% 食塩水で見られた黄白かっ色の腐食生成物でおおわれるほか, ステンレス鋼には変化がなく, BC2 では流化物を主とする腐食生成物が付着している。

4. 考 察

4.1 各試料の自然電極電位と腐食について

一般に異種金属の接触による腐食は前述のように接触両金属の電位差に基づく流電作用によるため, 両者の電位差が大きく, 液の電

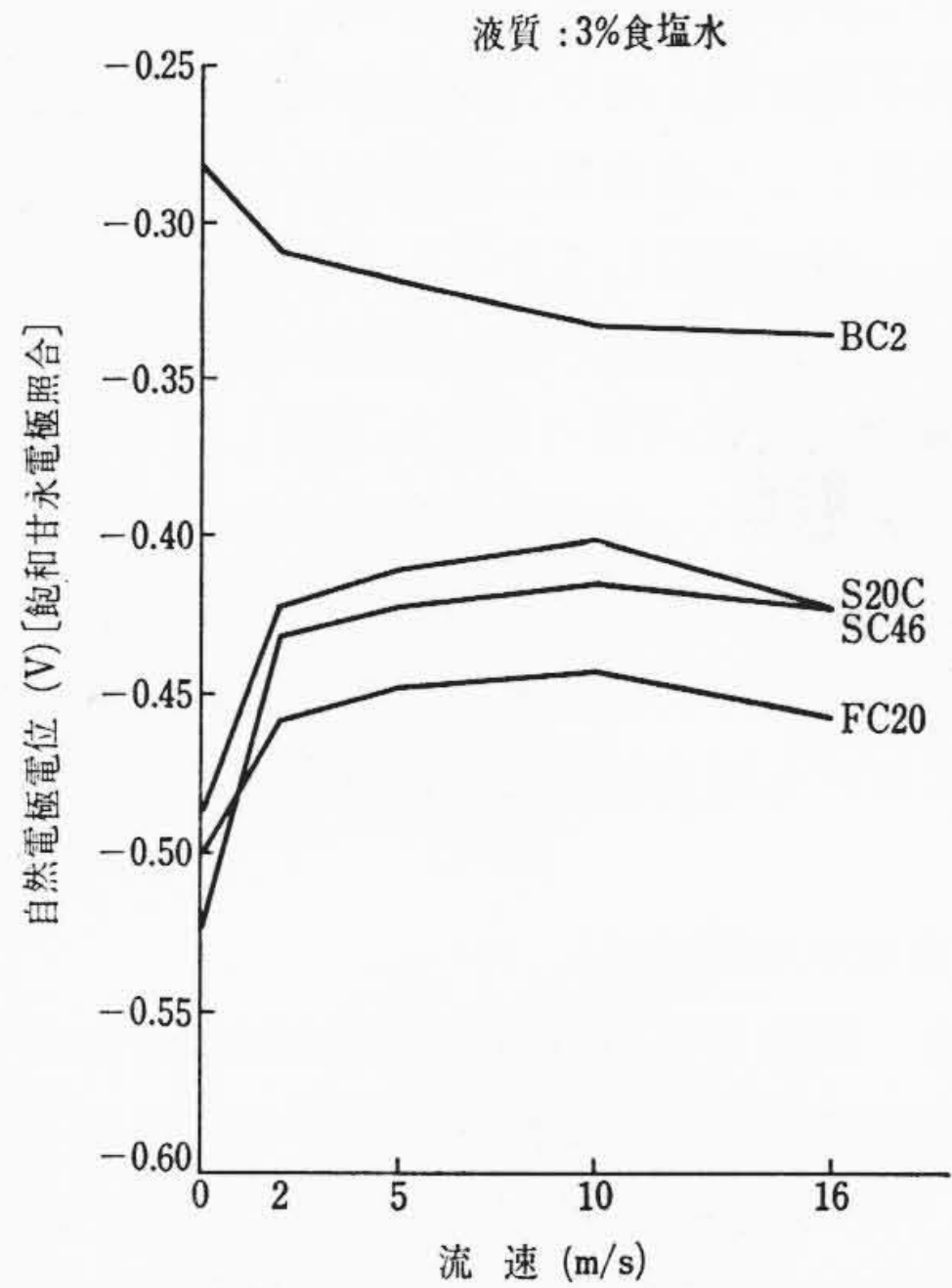


図8 各種金属材料の流速と自然電極電位との関係

気伝導度の異なるほど腐食の度合いも大きい。表3は各種金属の飽和甘コウ電極を基準とした自然電極電位を示したものである⁽²⁾⁽³⁾。この値は図8に示すように流速によって異なり流速が増すと鉄系金属の電位は上昇し, 銅系金属の電位は降下する傾向がある^{(4)~(7)}。これらの金属を相互に接触せしめて電解質水溶液中におくと低電位金属の腐食は促進され, 高電位金属は腐食抑制を受ける。しかし実際上は環境条件により必ずしも電位差どおりの腐食挙動を示さない場合がある。すなわち時間の経過に従って生ずる腐食生成物が金属表面をおおい, 流電作用を阻害したり, 腐食生成物と金属との間に流電作用を生じ, 金属の腐食を促進し, また腐食生成物の付着によってその下面に酸素の欠乏をきたし, いわゆる酸素濃淡電池を形成して金属の腐食に影響を与えることもある。また今回は接触試験片の面積比を1対1としたが, 面積比が変わっても腐食度に変化をきたす。すなわち低電位金属の面積が高電位金属の面積より小さい場合は低電位金属に流れる電流密度が大となり腐食の促進を受ける。

以上のように接触腐食の場合には種々の条件が想定され, 実験上でも必ずしも一定した傾向を示さない場合が多かった。

4.2 緩流動腐食試験結果

4.2.1 淡水の場合

単独試験では3時間および72時間いずれにおいても铸铁, 普通鋼, ステンレス鋼, 銅合金の各材質の差が明りょうである。铸铁は組織地中に高電位の黒鉛が存在するため腐食量は最も多く, 普通鋼は黒鉛が存在せず, 表面に酸化皮膜を形成するため铸铁の1/2以下の腐食量である。

このような傾向は接触腐食の3時間試験においても見られる。接触腐食においては铸铁, 普通鋼はともに高電位の相手材によって腐食が促進され, 単独の場合よりもかなり腐食量が多い。淡水3時間の場合, 高電位金属と接する普通鋼の腐食量は, 単独試験と同様に铸铁の腐食量の1/2以下を示しているが, 72時間では普通鋼の腐食量が増し, 铸铁との差が少なくなっている。これについては3時間では腐食生成物の発達が少なく, また比較的あらいため, 溶存酸素の供給が多く, 腐食量に差を生じたものと考えられる。しかし72時間では腐食生成物が多くなり, すきまを埋めていくため酸素の供給が阻害され, 淡水における普通鋼特有の耐食性すなわち弱い酸化皮膜の形成が阻害される結果, 腐食が促進される。ステンレス鋼, 銅合金と接触する铸铁, 普通鋼の腐食は電位差のみでは解決できない傾向を示している。これは铸铁, 普通鋼表面の腐食生成物が一定の付着状態を示さないことによる。緩流

動腐食試験では接触試験片が上下方向になっているため、腐食生成物が比較的下部に密となり、腐食生成物の発達もむらを生じやすく、その結果として腐食量に変動が多いものと推察される。特に電位が低く、かつ近似しているものの組合せにおいてその傾向が見られる。すなわち淡水、3%食塩水の両液におけるSC46とS20Cとの組合せでは両者の電位が近似しているため、接触による流電効果は少ないが、生ずる腐食生成物がかたよるため、条件によっては腐食量が電位とは逆の傾向を示す場合がある。淡水ではステンレス鋼同士およびステンレス鋼と銅合金の組合せでは両者とも淡水における耐食性が良く電位も接近しているため腐食されない。

4.2.2 3%食塩水の場合

単独の場合、鋳鉄と普通鋼の腐食量の差はきわめて少ない。これは普通鋼表面に形成される酸化皮膜が Cl^- によって破壊されるためである。次に図9に3%食塩水におけるFC20, SC46およびBC2の相手材による腐食量の経時変化を示した。これは材料の腐食が時間の経過によってどのように変化するかを見たものである。FC20およびSC46は72時間で相手材が高電位金属である場合と低電位金属である場合との差がはっきりと現われる。すなわち腐食の比較的初期においては腐食生成物にむらを生じやすく、そのために腐食量に変動が多い。しかし長時間になると腐食生成物が比較的安定化し、相手材がより高電位で、しかも腐食生成物の生じにくい金属では流電作用を阻害する因子が少ないことによるものと思われる。BC2はステンレス鋼と接触させた場合のみ、相手材の電位が高いため腐食されるが、鋳鉄、普通鋼を相手材とした場合には自身が高電位であるため腐食を抑制され、長時間では特にその差が明りょうになったものである。

4.3 高流速腐食試験結果

4.3.1 一般的特徴

淡水、3%食塩水とも各組合せにおける腐食量は鋳鉄が最も多く、次いで普通鋼の順である。高流速腐食試験では緩流動腐食試験とは異なり試験片表面の境界層が非常に薄く、したがって液中溶存酸素の試料面に対する拡散も大きい。このような条件下にあるため鋳鉄と普通鋼との腐食量の差は大きい。鋳鉄は単独でも腐食量が多く腐食生成物がかた付着する。したがって普通鋼、ステンレス鋼、銅合金を相手材とした場合にはなおいっそう腐食が進む。しかし鋳鉄および普通鋼の接触腐食量は相手材によっては必ずしも電位差どおりの傾向を示していない。これはやはり腐食生成物の付着状態にむらがあるためと思う。3%食塩水や H_2S , NH_4^+ を含む液についても同様で、接触腐食では流電作用に差を生ずることはじゅうぶん考えられることである。

ステンレス鋼と銅合金との組合せに

においては淡水では両者とも腐食されないが、3%食塩水および H_2S , NH_4^+ を含む3%食塩水ではBC2が腐食され、その度合いは10 m/sよりも30 m/sのほうが多い。BC2は緩流動、3%食塩水の腐食試験で72時間においても表面の荒れは目立ったが、このように流速が大きい場合にも腐食を受ける。これは流速が大

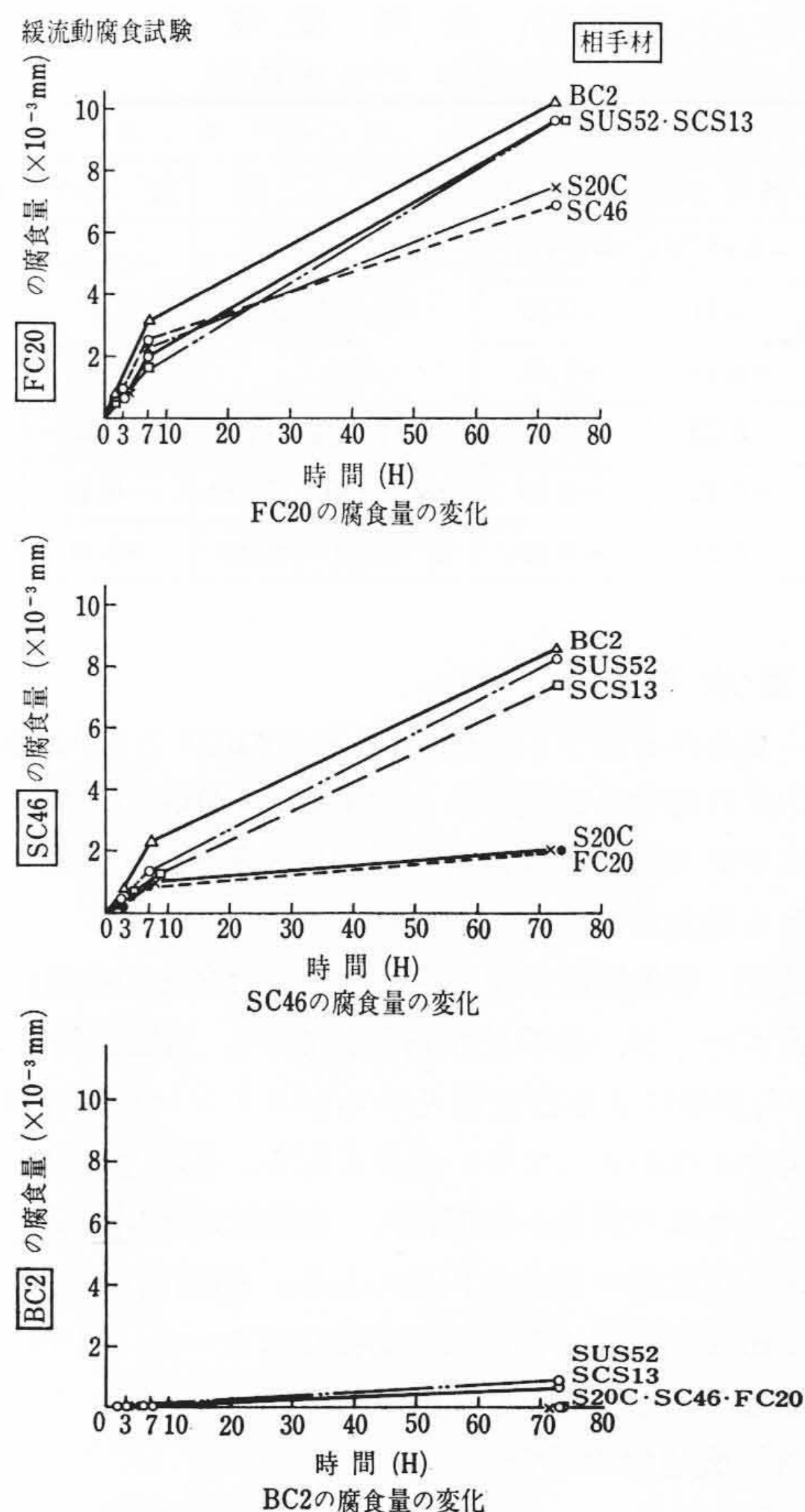


図9 3%食塩水における各種材料の腐食量の変化

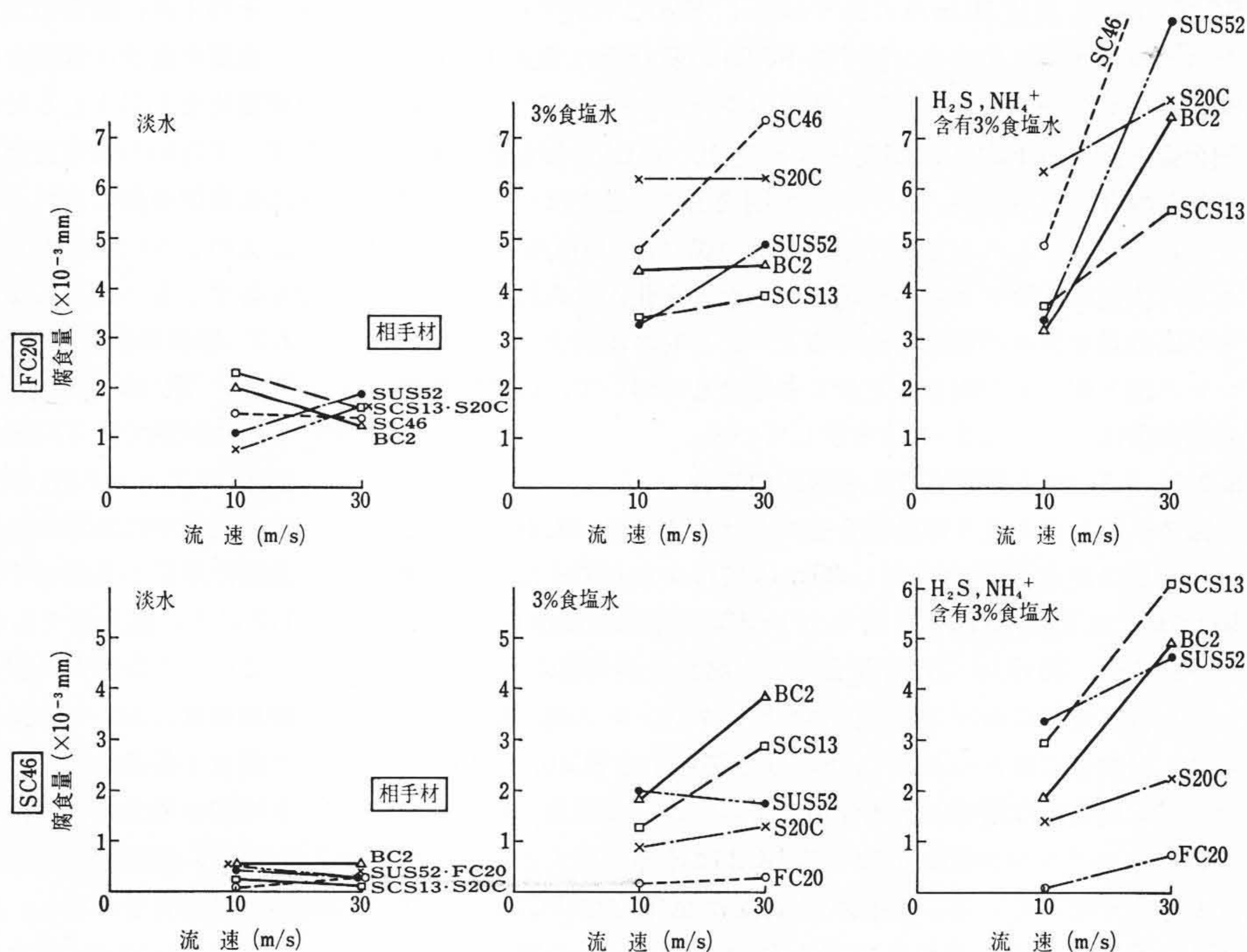


図10 FC20, SC46の液質による腐食量の変化

きく、試料表面に対する酸素の供給が多いため、ステンレス鋼の電位が上昇し、銅合金の電位が降下する結果、極性が逆になるためであろう。また H_2S , NH_4^+ を含有する場合には、それらによる相乗効果のため銅合金の溶解反応がより促進されたものと考えられる。

4.3.2 液質の影響

液質の影響については各液が表2に示したように電気伝導度の差が大きく、これが接触腐食にかなり影響を与えることは明らかである。図10はFC20とSC46の液質による腐食量の変化を示したものである。これによると腐食の最も大きな要因の一つである溶存酸素が一定であるため、液質および流速によってかなり傾向が異なることがわかる。すなわち淡水よりは3%食塩水、またそれよりは H_2S , NH_4^+ を含む3%食塩水のほうが各材質の腐食量は多い。

4.4 実機における接触腐食

以上、各種金属の腐食傾向はそれと接触する相手材によって、著しく異なることがわかった。今回の実験では接液面の面積比を1対1としたが、実機においてこの面積比を有する場合はまれである。電位の高い金属の面積が電位の低い金属より大きい場合には流電作用によって電位の低い金属の電流密度が大となり、面積比が1対1のときよりもさらに単位面積当たりの腐食が進行する。接触腐食においては単独腐食よりも腐食量が多く、前述のような面積効果によってもいっそう腐食が促進される。しかしこのような面積比をはじめ前述の考察で触れたような理由により、傾向は一概に電位差のみでは論じ得ない場合もある。

たとえば本実験における3%食塩水中の銅合金とステンレス鋼との接触の場合、銅合金の腐食がステンレス鋼より多い。しかし実機においてはむしろSUS52やSCS13のほうが腐食されBC2の腐食が少ない場合が多い。これは液の流動による両金属間電位差の縮小あるいは極性の逆転も要因の一つであるが、ステンレス鋼表面の状態に負うところも大きいと考えられる。すなわち実際の海水にさらされるときは液中の固形物や異物あるいはキャビテーションなどの原因により不動態皮膜が破壊される。また表面に腐食生成物を生じたり、異物が堆積(たいせき)することによって酸素の欠乏をきたす結果、不動態皮膜の生成が困難となる。それらと関連して液中の Cl^- や還元性成分などによる化学的な原因に基づく不動態皮膜の破壊など不動態皮膜面を活性な状態にする因子は多い。したがって活性な状態になると相手材の銅合金より電位が低くなり流電作用によって腐食が進行する。

そのほか文献に実際例として軟鋼と18-8ステンレス鋼が接触した場合の腐食について述べられている⁽⁵⁾。これによるとまず軟鋼がさびを発生し、時間の経過とともにこの腐食生成物が18-8ステンレス鋼表面にも張り出し、その結果として酸素濃淡電池が形成される。また腐食生成物と18-8ステンレス鋼との間に流電作用も生じ、18-8ステンレス鋼もさびを発生するようになるといわれる。したがって以上述べたように異種金属の接触による腐食は種々の因子によって支配され、大づかみな傾向は得られても、個々の腐食量の多寡を論ずることはむずかしい。

5. 結 言

以上述べたポンプ材料の各種条件下における接触腐食試験結果をまとめると次のとおりである。

(1) 一般に電解質水溶液中で異種金属が接触した場合、流電作用によって電位の低い金属は単独の場合より腐食が促進され、電

位の高い金属の腐食は抑制される。しかし電位が同程度の場合には腐食生成物の付着状態その他によって腐食は逆の傾向を示したり、腐食量に大きな差をもたらす場合もある。

(2) 各液質において共通する点は他の金属と接触する普通鋳鉄の腐食量が最も大きく、次いで普通鋳鉄を除く他の金属と接触する普通鋼である。ステンレス鋼および銅合金はいずれも他の金属との接触において腐食量はきわめて少ない。

(3) 淡水における接触腐食試験の結果は次のとおりである。

(a) 普通鋳鉄はいずれの組合せにおいても相手材より腐食量が多い。

(b) 普通鋼は銅合金およびステンレス鋼との組合せにおいていずれも相手材より腐食量が多いが、緩流動の長時間試験では同一条件下の普通鋳鉄の腐食量との差が少なくなる。しかし普通鋳鉄と組み合わせた場合は腐食が抑制され、普通鋼同士(SC46とS20C)の場合は腐食傾向が一定しない。

(c) 銅合金およびステンレス鋼はいずれの組合せの場合にも腐食量はほとんど認められない。

(d) 以上の腐食傾向は流速が増加してもあまり変わらない。

(4) 3%食塩水における接触腐食試験結果は次のとおりである。

(a) 普通鋳鉄はいずれの組合せにおいても相手材より腐食量が多く、かつ淡水の場合の同一組合せよりも多い。同時に相手材の腐食量も増加する。

(b) 普通鋼は銅合金およびステンレス鋼との組合せにおいてはいずれも相手材より腐食量が多く、かつ同一組合せの淡水の場合よりも多い。また普通鋳鉄との組合せでは単独の場合より抑制されるが、淡水の場合より腐食量が増加する。一方、普通鋼同士(SC46とS20C)の場合は腐食傾向が一定しない。

(c) 銅合金はステンレス鋼との組合せで、長時間試験および高流速下においてのみ腐食が認められる。

(d) ステンレス鋼はいずれの組合せにおいてもほとんど腐食量は認められない。

(e) 以上の腐食傾向は流速の増加によって概して促進される。

(5) H_2S , NH_4^+ 含有3%食塩水における接触腐食試験結果は、一般に3%食塩水の場合とほぼ同様の傾向を示すが、全般に腐食量は増す。またステンレス鋼と組み合わせた銅合金の腐食量は増し、SUS52がBC2およびSCS13の組合せで、腐食量が認められるようになる。

以上のことからステンレス鋼同士の組合せといえども、汚染された海水中で使用される場合には接触腐食の問題をじゅうぶん考慮すべきである。

参 考 文 献

- (1) 平田, 佐藤ほか: 日立評論 50, 191 (昭43-3)
- (2) F.L. La, Que & G.L. Cox: Proc. ASTM 40 (1940)
- (3) R.J. McKay, R. Worthington: Corrosion Resistance of Metals and Alloys, (1936)
- (4) 重野, 小林: 電気化学誌 26, 599 (昭33-12)
- (5) 金属防食技術便覧 (昭32)
- (6) 金属防食技術総覧(上) (昭27)
- (7) 金属防食技術総覧(下) (昭27)