最近の腐食試験における規格と実験技術の動向*

山 崎 正 八 郎**

Trends of Standards and Experimental Procedures in Corrosion Testing

by

Shohachiro YAMASAKI

(Yamasaki Seiki Co., Ltd., Kyoto)

1 緒 言

腐食防食の科学と技術の健全な発展には、腐食防食の実態が実験室実験により再現し、評価し、分析することにより、その裏付けのすることが必要である。しかし実際の腐食現象は、長期且つ複雑な条件因子が、管理の困難な条件下で関連し合って発生し、伝ばするので原因結果に関連する因子を整理し、検出することが難しい。

故に実際問題としては、発生した腐食の経験的な因果関係と、その形態との関連により分類がなされ、それぞれの腐食に対応する標準的な腐食試験法を探し出し、これを適用することにより目的の達成がはかられる。腐食の分類としては、例えば形態の分類としては表Ⅰに示す全面腐食と局部腐食の分類があり、原因別としては表Ⅱに示す腐食の種類があり、事故原因を機械的、化学的因子として整理すると表Ⅲに示すような分類となる²⁾。この分類は新材料、新環境、新使用条件ができれば更に新しい腐食の種類ができ、新しい分類が生まれる、即ち例えば電子部品の腐食には新しい分類が必要となってきている。腐食試験法としては、これらの腐食の種類に応じたものが実施されているが表Ⅳは表Ⅱに示された腐食の種類に対する腐食試験の大別を示す。このように大別した個々の腐食試験でも、一般的な試験に共通な二つの要求、即ち結果そのものの再現性のよいことと、実際との相関性のよいことが必要であるとともに、更に実際での長期間での腐食状態が短期間の試験で再現できることが要求される。実験において、再現性のよい結果を得るためには試験条件因子を整理して単純化するとともに、作用範囲を限定し変化条件を避けることが必要であるが、実際の腐食は複雑且つ管理し得ざる条件因子と広い作用範囲、変

表Ⅰ 腐食の諸形態

化条件の繰返しの中で発生し成長するものが多く、その間により相関性を得ることには無理がある。そして更に短時間で長期を要する結果を得ようとすれば、反応の全く異なる違った種類の腐食試験を行っていることになる場合が多い。

現在、腐食試験は色々の目的で行われるようになってきているが、それぞれに、この再現性、実際との相関性、迅速性を満足するための矛盾が常につきまっており、これらを解決するための色々の手法が工夫され、又、申し合せが行われている。即ち「品質管理」、「受け入れ検査」、「材質の比較試験」等の目的には実際との相関性よりも、短時間に再現性のよい比較が可能であればよく、そのための標準的試験法の適用が先決問題である。又実際との相関をよくするためには実際条件の分析と、これを再現するモデルを探索するシミュレーション技術の適用が必要となる。これらの関連を段階的に整理したものが図1に示す Mathes Ladder³⁾である。又最近の測定技術、分析技術の発達には腐食試験の実験技術を図2に示すような関連において定性的、定量的に分析、測定、比較を可能にし、腐食防食のメカニズム探求が容易となってきた。又、精度のよい試験結果を統計的に得ることにより、これら試

* 原稿受理 昭和51年4月22日

** 正 会 員 (株)山崎精機研究所 京都市右京区嵯峨二尊院門前
往生院町

表Ⅱ 腐食の種類（様式）

日本材料学会腐食防食部門委員会
腐食表示小委員会（1966）

1. 電池作用腐食	5.1.2 アンモニア割れ
1.1 自然電池腐食	5.1.3 アルカリ割れ
1.2 すきま腐食	5.2 溶融塩ぜい化
1.3 接触腐食	5.3 液体金属ぜい化
1.4 濃淡電池腐食	5.4 水素ぜい化
1.4.1 金属イオン電池腐食	5.4.1 拡散型水素ぜい化
1.4.2 通気差電池腐食	5.4.2 析出型水素ぜい化
1.4.3 熱電池腐食	5.4.3 水素ふくれ
1.5 堆積物腐食	5.5 環境応力割れ（溶剤ぜい化）
1.6 点食	5.6 腐食疲労
1.6.1 不働態一活性態電池腐食	5.6.1 湿食疲労
1.7 迷走電流腐食	5.6.2 乾食疲労
2. 選択腐食	5.6.3 溶解塩腐食疲労
2.1 合金元素選択腐食	5.6.4 溶体金属腐食疲労
2.1.1 脱亜鉛	5.7 吸収着疲労
2.1.2 脱アルミニウム	5.7.1 吸収疲労
2.1.3 脱ニッケル	5.7.2 吸着疲労
2.1.4 脱コバルト	6. 非水溶液腐食
2.2 固溶体選択腐食	6.1 溶媒
2.3 黒鉛化腐食	6.2 浸透
2.4 粒界腐食	6.3 質量移行
2.5 偏析腐食	7. 高温腐食
2.6 非金属介在物腐食	7.1 酸化還元
3. 露点腐食	7.1.1 酸化
3.1 大気露点腐食	7.1.2 還元
3.2 燃焼ガス露点腐食	7.2 滲炭、脱炭
3.3 酸露点腐食	7.2.1 滲炭
3.3.1 硫酸露点腐食	7.2.2 脱炭
3.3.2 塩酸露点腐食	7.3 窒化
3.3.3 硝酸露点腐食	7.4 カーボニル侵食
3.3.4 硫化水素露点腐食	7.5 イオウ侵食
3.4 アンモニア露点腐食	7.6 ハロゲン侵食
4. 流動腐食	7.7 バナジウム侵食
4.1 エロージョン	7.8 水素侵食
4.2 乱流侵食（インピンジメント）	8. 非金属材料の損傷
4.2.1 引入口侵食	8.1 膨潤・収縮
4.3 キャビテーション損傷	8.1.1 膨潤
4.3.1 キャビテーション－コロージョン	8.1.2 収縮
4.3.2 キャビテーション－エロージョン	8.2 軟化・硬化
4.4 擦過損傷	8.2.1 軟化
4.4.1 擦過腐食	8.2.2 硬化
4.4.2 擦過摩耗	8.3 変色・退色
4.4.3 擦過疲労	8.3.1 変色
4.4.4 摩耗酸化	8.3.2 退色
5. ぜい化腐食	8.4 炭化
5.1 応力腐食割れ	8.5 割れ
5.1.1 塩化物割れ	8.6 ひび
	8.7 しわ
	8.8 ハク離

表Ⅲ 事故原因を機械的因子と化学的因子に分けた場合の破壊と腐食との関係

破壊と腐食の現象		破壊と腐食の現象	
機械的因子	1. 座屈	化学的因子	5. 糸状腐食
	2. 降伏後の破壊（過負荷あるいは延性破壊）		6. 接触腐食
	3. 降伏前の破壊（曇々ぜい性破壊として生じる）		7. 合金元素選択腐食
	4. 疲労割れ		8. 高温酸化
	5. 高温下のクリープ変形を伴う応力破壊		
化学的因子	1. 全面腐食	化学的機械的因子	1. 擦過損傷
	2. 孔食		2. エロージョン
	3. すきま腐食		コロージョン
	4. 粒界腐食（溶接の熱影響部）		3. キャビテーション
			4. 応力腐食割れ
			5. 液体金属ぜい化
			6. 水素ぜい化
			7. 腐食疲労

表Ⅳ 腐食試験の種類と試験のできる腐食の種類との関係（腐食の種類は、表Ⅱの種類のカテゴリ番号で示す。）

No.	腐食試験の名称	試験のできる腐食の種類
1	浸せき試験	1., 2., 5., 6., 8.
2	応力腐食試験	5.
3	水素ぜい化試験	5.
4	腐食疲労試験	5. 6.
5	孔食試験	1.
6	すきま腐食試験	1.
7	流動腐食試験	1., 2., 4.
8	キャビテーション試験	4.
9	インピンジメントアタック試験	4.2
10	伝熱面試験	1., 2., 3., 4., 5., 6., 7., 8.
11	流動伝熱面試験	1., 2., 3., 4., 5., 6., 7., 8.
12	高温腐食試験	2., 3., 7.
13	塩水噴霧試験	1.
14	発露型腐食試験	1., 3.1, 8.
15	大気暴露試験	1, 3.1, 8.

図1 Mathes Ladder

試験結果の組合せから確率的な予測をしようとする試みも行われようとしている。

このような現状において、とくに最近重要と思われる規格と実験技術について1970年代前半の動向を述べる。

2 腐食試験法に関連する規格の動向

我が国の規格は独自に決められることは稀で、これらが国際的に通用できることをも意識されているため、常に ASTM, ISO, IEC 等諸外国で決められてい

る規格の後塵を拝するような仕組みのものが多く、それらの動向を主として述べてみる。

図2 腐食試験における実験技術と測定および分析技術との関連図

米国の NACE で最近 5 か年間に決定された腐食防食に関する規格は表 V に示すようなものである。これらの規格はいずれも、その中味は ASTM の規格と関連づけられていることが多い。

1975年度の ASTM の腐食試験に関連する規格は表 VI で示す他、更に耐候性試験および、暴露関係の規格が約 50 件制定されている。

NACE 規格と ASTM 規格との関連は、例えば、NACE-TM-01-69 の規格は NACE の T-5A（化学プロセスの腐食）委員会がまとめているが、ASTM-G31-72 は上記の規格をベースにして更に ASTM-G1, G4 および A279 の関連部分を加えてまとめ上げている。

ASTM では既に 1903 年より鉄、鋼部門、非鉄金属、合金部門等において腐食問題を取りあげていたが、1963 年に G-1 委員会（金属の腐食を含む、材料の変質劣化の特別委員会）を設立した。G-1 委員会の目的は腐食劣化に関連する研究の振興、刺戟、技術データの収集、試験法、推薦手法、金属腐食に関連する定義や術語等の開発を行うことであって、表 VII に示す分科会をもち、表 VIII に示す組織により運営され、腐食試験法の開発、新規格の準備および現行規格の管理監督を行っている。

国際標準規格協会 ISO は 1974 年、技術委員会 ISO/TC 156（金属の腐食）の設立を発表し、オーストラリ

表V 1970年代前半の NACE CORROSION CONTROL STANDARD

RP: Recommended Practices
TM: Test Methods
MR: Material Requirements

規格番号	規 格 の 名 称
RP-01-69	地下あるいは水没金属配管システムに対する外部腐食制御方法
RP-01-70	シャットダウン中の中性化溶液使用による石油製油所のオーステナイトステンレス鋼の SCC 防止法
RP-01-72	塗装あるいは塗り直し前に行う鋼およびその他の硬い材料に対する水プラストによる表面調整法
RP-02-72	防食対策の経済的評価のための直接算定法
RP-03-72	コールドタールエポキシによる借用契約石油生産物タンクのライニング方法
RP-04-72	腐食性石油精製環境下での炭素鋼 (P-1) 溶接部の使用中のひび割れ防止法および管理法
RP-05-72	外部電流方式による地下深部の防食設計, 設備, 操作および保全の方法
RP-01-73	腐食生成物の採集と同定の方法
RP-02-73	抑制剤入り油田酸の取扱いと特有の使用法
RP-01-74	URD システム (地下電流常置配分システム) による防食管理
RP-02-74	設置前の配管被覆に対する高圧電気検査法
RP-01-75	鋼製送油管および配管システムの内部防食法
RP-02-75	地下使用の鋼管外面に対する有機被膜の適用法
RP-03-75	地下配管のワックスタイプ防食被覆およびラッパースシステムの適用と取扱ひ方法
RP-04-75	油閥連成分中に注入する水を扱うあらゆる部分に使用される金属材料の選択
RP-05-75	油処理容器内部陰極防食システムの設計, 設備, 操作, および保全の方法
RP-06-75	鋼製海岸送油管の防食管理法
TM-01-69	装置工業における金属の実験室浸せき腐食試験法
TM-01-70	サンド・エアープラストによる鋼新鮮面の肉眼による比較基準
TM-02-70	流速が管理できる実験室流動腐食試験方法
TM-01-71	高温水中の金属のオートクレーブ腐食試験方法
TM-01-72	積荷送油管石油生成物の耐蝕特性
TM-01-73	薄膜フィルタを用いる地下噴出水の水質評価方法
TM-01-74	浸せき部用ライニング剤防食効果の実験室的評価方法
TM-02-74	高温水中の金属の動的腐食試験方法
TM-03-74	溶液よりの硫酸カルシウム, 炭酸カルシウムの析出防止インヒビタ能力決定のための実験室ふるいわけ試験
TM-01-75	鋼グリットおよびジョットを用いる遠心プラスト法による鋼新鮮面の肉眼による比較基準
TM-02-75	混成配列順序方式交代ロード法によるシャッカーロード性能試験法
TM-03-75	薄膜焼付け塗装およびライニングの落下砂方式による耐摩試験法
MR-01-74	シャッカーロードねじ部潤滑剤に用いるインヒビタの選択法
MR-02-74	送油管被覆用プレハブ式樹脂膜の必要条件
MR-01-75	製造および送油作業現地における硫化物応力割れに抵抗性をもつ弁材料選択のための必要条件

ア, オーストリア, ベルギー, チェコスロバキア, フィンランド, フランス, ドイツ, インド, イタリア, ポルトガル, ルーマニア, 南アフリカ, スウェーデン, 英国, 米国, ソビエトがこの新しい委員会に参加し, カナダ, チリ, エジプト, ハンガリー, アイルランド, オランダ, ニュージーランド, ノルウェー, ペルー, ポーランド, トルコ, ユーゴスラビアの諸国が

オブザーバーになることを希望している⁵⁾。そして米国では, ASTM に G01.95 “(TAG) ISO” (ISO 諮問グループ) を設立し, G-1 の委員長がこの TAG の委員長を兼ね, メンバーとして24名が指名されているが, 彼等は殆んどが NACE のメンバーでもある⁶⁾。

ISO では前出の TC/156 以外に既に TC 17/SC (鋼および鋼の試験法), TC 107/SC (金属および非金属被覆, 金属被覆の腐食試験法) の分科会において腐食試験の規格づくりが進められている。

表Ⅸは TC 107/SC の1974年における規格づくりの現状を示す。

電気機器, 電子部品に対する国際規格は国際電気標準会議 IEC により制定され, 腐食関係は IEC TC 50 (環境試験方法専門委員会) の WG 4 (ワーキンググループ 4) で審議されている。現在の規格には1964年に 5 % NaCl 水溶液連続噴霧を行う 塩水噴霧試験が Ka 法として制定されたものがあるが, 1974年この規格にかわるものとして, 供試体に 2 時間人工海水噴霧後乾燥, あと 93 % RH, 40℃に 7 日間保持することを 1 サイクルとし, これを 3 サイクル行う混成方式の塩水噴霧試験 および 電気接点と 接続子の 腐食試験として, SO₂ 試験, H₂S 試験の標準試験法草案ができあがり各国にその賛否が問われ, 制定に近づいている。又, これら腐食試験法は現実的に問題が多く, とくに標準試験法を決めるための本質的問題について当事者の心得えるべきことのガイダンスを IEC Pub. 355 「大気腐食の加速試験問題の評価方法」により文書としてまとめている。

過去において国際規格であった MIL 規格および現用 JIS 規格の動向は紙面の都合上割愛する。

3 腐食試験法における実験技術の動向

3・1 実験技術における規格の境界

図 2 の関連において実験技術の標準化, 測定技術, 分析技術の適用と申し合せについて, 標準規格は重要な役割をする。とくに品質管理, 材料選択, 比較試験, 受入れ試験, 調停, 仲裁等の目的には関連規格を十分に活用すべきである。これら規格の原文は日本規格協会に注文すればコピーが入手できる。しかしすべての腐食試験に規格が適用できるわけではない。即ち腐食の種類に対応する試験法は表Ⅳにより大別したが, これらの試験法を実施する実験技術として表 X の現用腐食試験目的とその試験方式の対応がある。

これら試験方式のそれぞれに関し多くの規格が適用できるが, 未だ規格化されないものあるいは規格化してはならない方式もあり, これらがそれぞれの目的に応じて適用されている。規格以外の実験技術が適用された研究については各試験法にその参考文献番号を付けた。

表Ⅵ ASTM 標準規格1975年度の腐食劣化試験関連代表規格

規格番号	規 格 の 名 称 (意訳)	規格番号	規 格 の 名 称 (意訳)
G-1-72	腐食試験試料の調整, 洗浄および評価法	G-42-75 T	温度上昇あるいは繰返し温度変化条件下の導管被覆の陰極ハク離性
G-2-74	ジルコニウムおよびジルコニウム合金試料の(純水高温高圧)腐食試験	G-43-75	酸性化人工海水噴霧試験法
G-3-74	一般的に適用できる腐食試験のための電気化学的測定法	G-44-75	3.5% NaCl 溶液中の間歇浸せき応力腐食試験法
G-4-68	プラントにおける腐食試験の手法	A-262-75	ステンレス鋼の粒界腐食感受性の検出法
G-5-72	定電位および電位走査陽分極測定のための標準的方法	A-279-63	ステンレス鋼の全浸せき腐食試験法
G-6-75	導管被覆の耐摩性試験法	A-708-74	鋭敏化オーステナイトステンレス鋼の粒界腐食感受性の検出法
G-7-69 T	非金属材料の大気暴露試験方法	B-117-73	塩水噴霧試験
G-8-72	導管被覆の陰極ハク離試験	B-287-74	酢酸酸性塩水噴霧試験
G-9-72	導管被覆の透水性試験	B-368-68	CASS テスト(銅と酢酸を加えた塩水噴霧試験)
G-10-72	導管被覆の屈曲性試験	B-380-65	裝飾用クロムめっきのクロードコート法による腐食試験
G-11-72	導管被覆の屋外耐候性試験	B-537-70	大気暴露試験の電気めっき板評価法
G-12-72	導管被覆膜厚の非破壊測定法	B-538-70	FACTテスト(フォード陽極処理アルミニウム腐食試験)
G-13-72	導管被覆の耐衝撃試験(石灰石落下試験)	C-464-64	地金上の断熱セメントの腐食性試験法
G-14-72	導管被覆の耐衝撃試験(重錘落下試験)	C-488-64	断熱仕上げの屋外暴露試験法
G-15-74	腐食および腐食試験法に関する定義と用語	C-621-68	溶融ガラスによる耐火性物質の腐食試験法
G-16-71	腐食データ解析に対する統計の適用	C-622-68	溶融ガラスによる耐火性物質の耐食性シミュレート試験
G-17-72	導管被覆の耐透過試験法	C-692-71	ステンレス鋼上のウィッキング型断熱材の応力腐食性評価法
G-18-72	被覆導管の接合, 取付け, およびつき当てに対する試験	D-130-75	銅片変色試験による石油生産物の銅腐食検出法
G-19-72	直接土中埋設による導管被覆のハク離特性試験	D-665-60	水の存在する蒸気タービン油の防錆性試験
G-20-72	導管被覆の耐化学的作用特性の試験	D-849-47	工業用芳香族炭化水素の銅腐食試験法
G-21-70	菌類に対する合成樹脂材の抵抗力試験法	D-930-67	水溶性アルミニウム洗浄剤の全浸せき腐食試験法
G-22-67 T	バクテリアに対する合成樹脂材の抵抗力試験法	D-1141-52	代用海水
G-23-69	非金属材料を光と水に暴露(カーボンアーク方式)する方法	D-1261-55	銅上のグリース影響試験
G-24-73	ガラス下での自然光線暴露試験方法	D-1275-67	電気絶縁油中の腐食性硫黄の試験
G-25-70	非金属材料の密閉型カーボンアーク装置による光暴露方法	D-1280-67	ソークタンク金属洗浄剤の全浸せき腐食試験
G-26-70	非金属材料の光と水の暴露装置(クセノンアーク方式)の使用法	D-1374-57	金属洗浄剤のエアレート全浸せき腐食試験
G-27-70	非金属材料のクセノンアーク装置による光暴露方法	D-1384-70	ガラス器具内のエンジン冷却剤の腐食試験
G-28-72	鍛造高ニッケル, クロム鋼の粒界腐食に対する感受性試験	D-1567-62	ほうろう上の腐食性を評価するための清浄剤の試験
G-29-72 T	樹脂膜の耐海草性試験	D-1611-60	金属に接する皮製品による腐食試験
G-30-72	Uバンド応力腐食試験試料の作り方と使い方	D-1616-60	石油ベンジンによる銅腐食試験(銅片試験)
G-31-72	金属の実験室浸せき腐食試験法	D-1654-74	腐食性環境下の塗装あるいは被覆の評価法
G-32-72	振動式キャビテーション・エロージョン試験法	D-1735-62	有機被覆の水霧試験
G-33-72	金属被覆鋼試料の大気腐食試験において記録されるべきデータ	D-1743-73	潤滑用グリスの防錆力試験
G-34-72	7 XXX 系合銅アルミニウム合金のハク離腐食感受性試験(EXCO 試験)	D-1838-74	L P ガスに対する銅片試験
G-35-73	多チオン酸中におけるステンレス鋼および類似の Ni-Cr-Fe 合金の応力腐食割れ感受性の決定法	D-2043-69	紙の銀変色試験
G-36-73	煮沸塩化マグネシウム溶液中における応力腐食割れ試験	D-2251-67	ハロゲン置換有機溶剤およびその混合物の金属腐食試験法
G-37-73	Cu-Zn 合金の応力腐食割れ感受性を評価するための pH 7.2 のマトソン溶液の使用	D-2570-70	エンジン冷却剤のシミュレーション腐食試験
G-38-73	C リング型応力腐食割れ試験試料の作り方と使い方	D-2649-70	乾式固体膜状潤滑剤の腐食性決定法
G-39-73	曲げビーム応力腐食試料の調整法と使い方	D-2803-70	金属上有機被覆の糸状腐食試験
G-40-73	キャビテーションおよびインピンジメントによるエロージョンに関連する用語の定義	D-2809-72	アルミニウム製自動車冷却水ポンプのキャビテーション・エロージョン腐食試験
G-41-74	応力条件下の高温塩環境での Ti 合金の割れ感受性決定法	D-2933-74	被覆鋼試料に対する動的腐食試験法
		D-2966-71	エンジン冷却用アルミニウム材の超音波によるキャビテーション・エロージョン腐食試験
		D-3310-74	接着剤の腐食性評価法
		E-8-69	金属材料の引張試験法
		F-64-69	金属表面上ガスケット材の腐食性および密着性試験
		F-359-72	四酸化窒素(N ₂ O ₄)中の無応力材の静的浸せき試験
		F-363-73	封入されたガスケットの腐食試験法

3)

又, 図1の Mathes Ladder が説明したように実際の腐食を予測するためには, 単なる標準試験方法だけではなく, これらの組合せや, プログラム試験法によるシミュレーション技術が必要となる。

3・2 事故予測のための実験技術

全面腐食が問題となる場合は予め腐食速度が想定できるので, 安全率を考慮して, 点検, 修理, 取替えの

時機を予め設定することにより, 事故を未然に防ぐことができる。しかし局部腐食は発生する場所および進行速度が偶発的かつ不定でその予測が難しい。故に局部腐食に関する試験法には, 実際の予測し難い不均一性の発生を忠実に再現する実験技術を見つけないといけない。

例えば, ステンレス鋼のすきま腐食はすきま内外の

表Ⅶ ASTM-G-1 の技術分科会

01, 02	術 語
04	大 気 腐 食
05	実験室腐食試験
06	SCC と CF
07	電池作用腐食
08	原 子 力 材 料
09	自然水による腐食
10	土 壌 腐 食
11	腐食試験法における電気化学的測定法
12	プラントにおける腐食試験法
13	ガス中での高温酸化

通気差電池によるものとされているが、その腐食の機構はまずすきま内外の酸素濃度の差で始まるが、第1段階でのその電位差は150 mV 以上にはならない。しかし、ステンレス鋼の場合は、その差がステンレス鋼の特性である不働態に関連する第2段階の活性-不働態の組合せを生じ、その電位差は500 mV を越すようになり、更に第3段階としてすきま中の活性溶解し

表Ⅷ ASTM-G-1 の組織

01. 90	実 行 委 員 会
91	編 集
92	統 計
93	長 期 計 画
95	ISO (TC 156) の諮問委員会
96	表 彰
98	暴露試験施設
99	関連学協会との連絡

た腐食生成物の加水分解および Cl^- イオンの濃度等により、pH が局部的に低下し、局部アノードの溶解速度を急激に増加させる。故にすきま腐食の試験を行うには単に第1段階の酸素濃淡部を形成するばかりではなく、第2段階の活性-不働態の組合せ部、第3段階の腐食生成物の加水分解や Cl^- イオンの濃縮による pH 低下部が形成できるような寸法、形状、表面状態、環境条件がその段階毎に整えられなければならない。このような観点から考えると、電気化学的測定法として定電流分極法、定電圧分極法、分極抵抗法、腐食電

表Ⅸ ISO/TC 107 金属およびその他の無機被覆委員会で扱われた腐食試験の作業プログラムと進展段階 (1974年)

種目番号	関連文書 参照番号	種 目	調査開始年度	進展段階*	
				1月1日	12月31日
62	ISO/DIS 3768	中性塩水噴霧試験	1972	2	3
63	ISO/DIS 3770	CASS テスト	1972	2	3
64	107/7 N 71	コロドコート試験	1972	2	2 (22)
65	ISO/DIS 3769	酢酸酸性塩水噴霧試験	1972	2	3
78	107/7 N 31	間歇式中性塩水噴霧試験	1973	2	2 (21)
80	107/7 N 67	結露のない SO_2 試験	1973	2	2 (22)
82	107/7 N 68	チオアセトアミド (CH_3CSNH_2) 試験	1973	2	2 (22)
83	107/7 N 66	塩滴付着試験	1972	2	2
84	107/7 N 69	EC テストの標準法	1974	1	2
85	107/7 N 70	電気めっき大気暴露試験片の比較法	1974	1	2
86	107/7 N 72	屋外暴露腐食試験法	1974	1	2
87	107/7 N 73	貯蔵状態に適用できる腐食試験	1974	1	2
88	107/7 N 7 N 12	腐食試験結果評価法	—	1	1
89	107/7 N 12	腐食試験結果評価の統計的手法	—	1	1
90	107/7 N 12	湿 潤 試 験	—	1	1
91	107/7 N 12	苛酷大気腐食促進試験	—	1	1
92	107/7 N 12	浸 せ き 試 験	—	1	1
93	107/7 N 12	腐食試験の用語	—	1	1
94	107/7 N 12	腐食試験用試料	—	1	1

* 段階1 この種目が作業プログラムに入った段階

段階2 提議草案 (DP) が詳しく調べられている段階

段階3 DP が中央事務局で DIS として登録された段階

段階4 DIS がメンバー団体に認可された段階

段階5 DIS が仲裁審議のため中央事務局に返ったが技術報告草案 (DTR) が仲裁審議に受けつけられた段階

段階6 DIS が審議会に国際標準として受入れられた段階

段階7 国際標準が公布された段階

但し、2 (21, 22, 23...) は DP が中央事務局に登録され、そして第1, 第2, 第3が調査されている。

表X 現用腐食試験目的とその試験方法

No.	腐 食 試 験 目 的	試 験 方 法
1	粒 界 腐 食	浸 せ き 試 験
2	応 力 腐 食 割 れ ²⁶⁾	全ひずみ量一定 (U ベント, C リング, 曲げ試験片 <i>etc.</i>), 荷重一定, ひずみ速度一定試験
3	水 素 ぜ い 化	オートクレープ試験, 電気化学的実験法 ^{7)~10)}
4	腐 食 疲 労	振 動 式 ¹¹⁾ , 回 転 式
5	孔 食	浸せき試験 ¹²⁾ , 孔食電位法, 電位こう配法 ¹³⁾ , 人工孔食法 ¹⁴⁾
6	す き ま 腐 食	浸せき試験, すきま腐食試験片 ¹⁵⁾ , 電気化学的実験 ^{16)~19)} , 活性炭方式 ²⁰⁾
7	接 触 腐 食 ²⁶⁾	組 合 せ 試 料 ²¹⁾
8	キャピテーションエロージョン ²²⁾²³⁾²⁴⁾	磁わい振動法, ベンチュリ法, ジェット法, 回転法, サンドエロージョン法
9	流 動 腐 食	回転試料方式 ²⁴⁾ , 回転液体方式 ²⁵⁾ , ループ方式 ²⁶⁾
10	イ ン ヒ ビ タ 試 験 ²⁶⁾	回転試料方式, 回転液体方式, ループ方式 ²⁶⁾ , オートクレープ
11	伝 熱 面 腐 食	熱盤試験 ²⁷⁾²⁸⁾ , 熱点腐食試験, 沸騰伝熱面試験, ループ方式 ²⁶⁾
12	液体金属, 熔融塩腐食 ²⁶⁾²⁹⁾	ループ方式, クーボン方式, オートクレープ
13	高 温 腐 食 ²⁶⁾	熱てんびん方式, ふん囲気炉, オートクレープ
14	硫 黄 露 点 腐 食 ^{30)~32)}	硫酸浸せき法, 硫酸凝結法, 活性炭硫酸法, 露点腐食法
15	パナジウムアタック ³³⁾³⁴⁾	燃焼法, 合成灰塗布法, 合成灰浸せき法, 交互浸せき法, 浸せきラプチャー法, 酸素消費量測定法
16	ライニング, コーティング ²⁶⁾	浸せき試験, 熱こう配法
17	大 気 腐 食 ²⁶⁾	湿潤試験, 塩水噴霧, CASS, コロドコート, ウェザーメータ, SO ₂ 試験, 発露型 ³⁵⁾
18	海 洋 腐 食 ¹⁵⁾²⁶⁾	塩水噴霧, スプラッシュゾーン試験, タイダルゾーン試験, すきま, 流動
19	土 壌 腐 食 ²⁶⁾	電気防食法, 通気差試験
20	そ の 他	バクテリア ³⁶⁾ , 放射線の影響試験 ³⁷⁾

位測定法で測定し得た電極反応から推測し得る腐食挙動に加え実際に発生する電気化学的マクロセル, 即ち活性-不動態セル, マクロアノード-マクロカソードの対等, 電気化学的不均一性の実態および腐食生成物中の化学的反応をも伴う酸, アルカリの濃縮作用を再現し, 測定し分析し得る実験技術の開発が必要となる。

又金属組織学, 材料強度学とくにその破壊力学に必要なパラメータに腐食現象の影響を加えなくてはならない応力腐食割れ, 水素ぜい性, 腐食疲労の実験技術はこれらの関連を十分に考慮し, 試行錯誤の積み重ねが必要である。その一例として溶接部の溶接時の熱影響による粒界腐食に敏感な部分の検出およびその特性を判別するための電位分布測定技術の最近の動向を述べる。1957年, Tomas̄v は図3に示すような装置で供試面の腐食電位分布を照合電極のガラス毛管を介して測定し, 又, 1946年, Filippov は図4に示すような照合電極のガラス毛管の先端の滴を供試体表面に走査させることにより腐食電位分布を測定し得たが³⁸⁾, いずれも電解液の濃縮, 腐食生成物や電導性の影響, pH 変化等の影響をひきずり込み再現性のあるデータを得ることが難しかったが, 1971年, Lajain は供試体の表面をラッカーのような絶縁膜で覆い, 微小硬度計によりその絶縁膜に 0.1~0.5 mm 間隔で 10~50 μ の径の孔をあけ, 電解液中で, この孔にルギン毛管を自動的に対向させる Impuls 方式を開発し, 更に1972年そ

1-継ぎ目をもつ溶接接合部試料, 2-絶縁台, 3-可動テーブル
4-小容器(ガラス枠をパラフィン付), 5-ガラス毛管, 6-操作部, 7-カロメル電極, 8,9,10-電解液サイフォン, 11,12-中間容器, 13-増巾器, 14-電気接続子, 15-ポテンショメータ

図3 溶接部の電位測定装置 (Tomas̄v)

1-溶接試料, 2-栓, 3-微動操作部, 4-カロメル照合電極, 5-固定台, 6-電圧計

図4 Filippov の方式による微小電解液電位測定図

図5 小領域分極特性測定装置 (Lajain)

A-試料よりのリード線 B-相手電極とリード線
C-沖合い用の照合電極 D-電位分布測定用ルギン毛管
E-顕微鏡対物レンズ

図6 定電位分極条件下での表面電位分布測定方式の電槽 (Grubitsch, Zirkl)

の各孔に相手電極と照合電極を対向させて、分極特性を測定する図5に示すような小領域分極特性測定装置により熱影響部の孔食発生電位を検出した。又、Grubitsch と Zirkl は1972年、図6に示すような表面電位分布曲線測定方式により、定電位分極条件下でルギン毛管の先端を供試体表面に接近走査させ、電位分布を

昭和51年11月

図7 溶接部付近の陽分極条件下の電位分布曲線

図8 分極中の電流密度と HCl 濃度に依存する熱影響部の活性開始の関係

測定することにより、陽分極条件下で不動態特性が発揮される部分と活性溶解をする部分およびその程度が図7に示すように検出でき、この活性溶解部の発生する陰極および陽極電流と電解液の濃度とが図8に示すような直線関係のあることを示し、熱影響部の粒界腐食感受性を定量的に評価し得たとしている。⁴⁰⁾⁴¹⁾

3・3 実際の腐食とよい相関を得るための組合せ試験

大気腐食のように管理の難しい自然条件下で長期間の影響が問題となるものは、従来現地での大気暴露試験が長期的に行われてきたが、実験室実験により短期間に大気暴露データと相関性のよい結果を得ようとする試みがなされた。即ち日本鋼構造協会は24の企業および団体の共同実験により塗装鋼の JSSC 耐候促進試験法を開発し、1974年発表した。その経過概要を表XI、試験法を表XIIに示す。³⁵⁾

図1の Mathes Ladder で説明したように実際の腐食とよい相関を得るためには、標準試験法或は試験条件の組合せが必要であり、よい相関の得られる組合せが得られるまで、長期、広範囲の比較試験の積み重ねが必要である。

4 結 び

1972年、伊勢賢島で行われた第19回腐食防食討論会で「腐食試験」に関する集中討論が行われ、その Session 4 で「腐食試験法と規格」の現状と問題が論ぜられたが、その際に問題となった腐食の諸条件、必要

表Ⅱ JSSC 耐候促進試験法成立のための共同実験経過概要表

(JSSC Vol.10, No.107, 7. 11 より要約)

目的	鋼構造物の防錆塗装の耐久性, 耐候性鋼その他素地鋼材の耐候性などを短時間に促進試験で評価しうる方法を研究調査する。																												
年度	作業経過および供試体	作 業 の 内 容																											
1 昭和42	調 査	技術資料, 文献, 諸規格, 現行装置の調査																											
2 43	調査・検討	とくに国内外の実施データの収集解析に重点をおき, 大気腐食に及ぼす諸因子の影響度. 大気暴露と促進試験との相関																											
3 44	第1, 2年度の調査結果のとりまとめ 第1次共同実験 供試材: 裸鋼材4種 (普通炭素鋼, 高張力鋼, 耐候性鋼, 耐海水鋼) 塗装鋼板7種 (油性, フタル酸, エポキシ, 塩化ゴム, M10系など) 試験板枚数: 約1200枚	JSSC. Vol.5 No.46 (昭44.10) に「鋼構造物に対する耐候試験のあり方について」として発表 <table><tr><th>促 進 試 験 (実験室試験)</th><th>大気暴露試験 (現地試験)</th></tr><tr><td>促進耐候試験の条件設定のための共同実験を行うこととし, 石播重工, 三菱重工, 新日鉄, 住友金属, 日本ペイント, 金材技研, 山崎精機, スガ試験機(旧称, 東洋理化), 島津製作, 9社が参加 第1次促進試験 昭44. 9~45. 9 方式1 (単独機器組合せ) ○ ウェザーメータ 88hr+塩水噴霧 (5%) 24hr [海岸] ○ ウェザーメータ 88hr+SO₂ (100, 200, 400, 700, 1000 ppm) 24 hr [都市] ○ ウェザーメータ 88hr+塩水噴霧 24hr+SO₂ 24hr [海岸工業] 各6サイクル (6週間) ○ 0.5% NaCl スプレー (エアロゾル, シャワー) [海岸] ○ SO₂ 40ppm [都市] ○ SO₂ 40ppm+0.5% NaCl スプレー [海岸工業] 各6週間 方式2 (発露型) 方式3 (特殊試験) ○ ふん囲気制御型キセノンウェザーメータ (キセノンランプ, SO₂ 0.25%) ○ Dew Cycle ウェザーメータ+CASS テスト 方式4 (JIS規格長時間) ○ JIS Z 2371 (塩水噴霧) ○ JIS D 0201 (CASS テスト) ○ JIS K 5400 (ウェザーメータ)</td><td>海岸地域 (日べ・銚子) 都市地域 (金材技研・東京・目黒, スガ試験機 (旧称, 東洋理化)・東京・新宿) 都市海岸地域 (石播技研・東京・豊洲) 田園地域 (山崎精機・京都・嵯峨) 大気暴露1カ年, 2カ年後の結果と促進試験結果との対比づけで, 促進率, 相関性についてのデータ解析を行う</td></tr></table>	促 進 試 験 (実験室試験)	大気暴露試験 (現地試験)	促進耐候試験の条件設定のための共同実験を行うこととし, 石播重工, 三菱重工, 新日鉄, 住友金属, 日本ペイント, 金材技研, 山崎精機, スガ試験機(旧称, 東洋理化), 島津製作, 9社が参加 第1次促進試験 昭44. 9~45. 9 方式1 (単独機器組合せ) ○ ウェザーメータ 88hr+塩水噴霧 (5%) 24hr [海岸] ○ ウェザーメータ 88hr+SO ₂ (100, 200, 400, 700, 1000 ppm) 24 hr [都市] ○ ウェザーメータ 88hr+塩水噴霧 24hr+SO ₂ 24hr [海岸工業] 各6サイクル (6週間) ○ 0.5% NaCl スプレー (エアロゾル, シャワー) [海岸] ○ SO ₂ 40ppm [都市] ○ SO ₂ 40ppm+0.5% NaCl スプレー [海岸工業] 各6週間 方式2 (発露型) 方式3 (特殊試験) ○ ふん囲気制御型キセノンウェザーメータ (キセノンランプ, SO ₂ 0.25%) ○ Dew Cycle ウェザーメータ+CASS テスト 方式4 (JIS規格長時間) ○ JIS Z 2371 (塩水噴霧) ○ JIS D 0201 (CASS テスト) ○ JIS K 5400 (ウェザーメータ)	海岸地域 (日べ・銚子) 都市地域 (金材技研・東京・目黒, スガ試験機 (旧称, 東洋理化)・東京・新宿) 都市海岸地域 (石播技研・東京・豊洲) 田園地域 (山崎精機・京都・嵯峨) 大気暴露1カ年, 2カ年後の結果と促進試験結果との対比づけで, 促進率, 相関性についてのデータ解析を行う																							
促 進 試 験 (実験室試験)	大気暴露試験 (現地試験)																												
促進耐候試験の条件設定のための共同実験を行うこととし, 石播重工, 三菱重工, 新日鉄, 住友金属, 日本ペイント, 金材技研, 山崎精機, スガ試験機(旧称, 東洋理化), 島津製作, 9社が参加 第1次促進試験 昭44. 9~45. 9 方式1 (単独機器組合せ) ○ ウェザーメータ 88hr+塩水噴霧 (5%) 24hr [海岸] ○ ウェザーメータ 88hr+SO ₂ (100, 200, 400, 700, 1000 ppm) 24 hr [都市] ○ ウェザーメータ 88hr+塩水噴霧 24hr+SO ₂ 24hr [海岸工業] 各6サイクル (6週間) ○ 0.5% NaCl スプレー (エアロゾル, シャワー) [海岸] ○ SO ₂ 40ppm [都市] ○ SO ₂ 40ppm+0.5% NaCl スプレー [海岸工業] 各6週間 方式2 (発露型) 方式3 (特殊試験) ○ ふん囲気制御型キセノンウェザーメータ (キセノンランプ, SO ₂ 0.25%) ○ Dew Cycle ウェザーメータ+CASS テスト 方式4 (JIS規格長時間) ○ JIS Z 2371 (塩水噴霧) ○ JIS D 0201 (CASS テスト) ○ JIS K 5400 (ウェザーメータ)	海岸地域 (日べ・銚子) 都市地域 (金材技研・東京・目黒, スガ試験機 (旧称, 東洋理化)・東京・新宿) 都市海岸地域 (石播技研・東京・豊洲) 田園地域 (山崎精機・京都・嵯峨) 大気暴露1カ年, 2カ年後の結果と促進試験結果との対比づけで, 促進率, 相関性についてのデータ解析を行う																												
4 45																													
5 46	供試材: 単層薄膜塗装鋼板 長期暴露型ウォッシュプライマー エポキシシンクリンチプライマー 自硬型シンクリンチプライマー ノンシンク・エポキシプライマー いずれも1回塗り 10~20μ 膜厚	5箇所 都市地域 (金材技研・東京・目黒) 都市郊外地域 (新日鉄・川崎・井田) 海岸地域 (酒井鉄工・堺) 海岸工業地域 (関べ・清水) 田園地域 (山崎精機・京都・嵯峨) (昭45. 11試験開始6か月で終了)																											
6 47	46年度までの成果解析まとめ 第2次共同実験 供試材: 裸鋼材1種 (SS41) 塗装鋼板 (膜厚30~40μ) 6種 (下塗り: 鉛丹または酸化鉄系, 上塗り: フタル酸系, 下塗りまでのもの, 下塗りと上塗りおよび鉛丹下塗り後, ウェザーメータまたはウェザーメータ+塩水噴霧により処理した後, 上塗り)	JSSC. Vol.8, No.83 (昭47. 11) に成果報告書発表 促進試験: 海岸工業地域を想定する促進試験を共同で行うことにしたが, 別に海岸地域または工業地域を想定するものも行った. 海岸工業地域を想定した試験 7社 ・発露型試験機 H ₂ O+SO ₂ +NaCl+紫外線 ・ウェザーメータ+SO ₂ 試験機+塩水噴霧試験機 日本鋼管, 日べ, 山崎精機, 住友金属, 三菱重工, 石播重工, 日立造船 (紫外線照射なし) 海岸地域を想定した試験 3社 ・ウェザーメータ+NaCl+紫外線 新日鉄, 金材技研, スガ試験機 (旧称, 東洋理化) (CASS) 工業地域を想定した試験 1社 ・発露型試験機 SO ₂ +紫外線 大日本塗料 (上記の試験条件として) 発露型…SO ₂ 40ppm, 0.5% NaCl スプレー, wet/dry 比=1:3 および 1:1 組合せ方式…SO ₂ 100ppm, 5% NaCl 噴霧, wet/dry 比=1:4 } 各6サイクル																											
7 48		10箇所 海岸地域 (日本鋼管・津; 日べ・千葉・飯岡) 海岸工業地域 (石播重工・東京・豊洲; 酒井鉄工・堺) 準工業地域 (三菱重工・明石; 日べ・寝屋川) 都市地域 (スガ試験機 (旧称, 東洋理化)・東京・新宿; 金材技研・東京・目黒; 防錆技研・東京・杉並) 田園地域 (山崎精機・京都・嵯峨) その他 参考文献により利用したデータ環境別の暴露地 <table><tr><th>海 岸 工業地域</th><th>海 岸 地域</th><th>採用した年 数</th></tr><tr><td>千葉</td><td>葉 清 水</td><td>1. 2. 3.</td></tr><tr><td>川 崎</td><td>足 摺 岬</td><td>1.</td></tr><tr><td>広 島</td><td>煙 台</td><td></td></tr><tr><td>東京(豊洲)</td><td>御 前 崎</td><td>1. 3. 5.</td></tr><tr><td>川 崎</td><td>北 九 州</td><td></td></tr><tr><td>北 九 州</td><td>三 橋</td><td>1.</td></tr><tr><td>尼 崎</td><td>仙 台</td><td></td></tr><tr><td>東京(豊洲)</td><td>千葉飯岡</td><td>1. 2.</td></tr></table>	海 岸 工業地域	海 岸 地域	採用した年 数	千葉	葉 清 水	1. 2. 3.	川 崎	足 摺 岬	1.	広 島	煙 台		東京(豊洲)	御 前 崎	1. 3. 5.	川 崎	北 九 州		北 九 州	三 橋	1.	尼 崎	仙 台		東京(豊洲)	千葉飯岡	1. 2.
海 岸 工業地域	海 岸 地域	採用した年 数																											
千葉	葉 清 水	1. 2. 3.																											
川 崎	足 摺 岬	1.																											
広 島	煙 台																												
東京(豊洲)	御 前 崎	1. 3. 5.																											
川 崎	北 九 州																												
北 九 州	三 橋	1.																											
尼 崎	仙 台																												
東京(豊洲)	千葉飯岡	1. 2.																											
結果	以上の実験結果から各試験条件の劣化作用の強弱, つまり促進性の大小を検討し, 鋼材と塗装鋼のそれぞれに対する腐食性の順位が一致するような試験条件を選択した. 以上の研究により, 海岸工業地域に対する促進試験法として適当な発露型試験 (A法) と組合せ試験 (B法) の方法を決めることができた.																												

表Ⅻ JSSC 耐候促進試験法

試験条件		想定地域	海 岸 地 域	海 岸 工 業 地 域	都 市 お よ び 都 市 工 業 地 域
(A) 発露形腐食試験装置法	試 験 時 間		6 週 間		
	発 露 wet/dry 比		50℃/30℃加熱冷却サイクルを基準とし、1サイクルの時間は任意でよいが、wet/dry 比(発露時間の比)はなるべく1:4に近づける。		
	紫 外 線 照 射 条 件		紫外線灯, 水銀灯, キセノンランプ等を用い、試験期間中連続照射を行う。		
	塩 水 噴 霧		0.5% 食塩水エアゾル方式またはシャワー方式を用い噴霧時間は4時間中5分とする	同 左	—
	SO ₂ ガ ス		—	SO ₂ 濃度 40 ppm に調整し構内に連続供給する。	同 左
(B) 組 合 せ 試 験 法	試 験 時 間		下記1サイクル(1週間)を6回反覆, 計6サイクル(6週間)とする。		
	○ ウェザーメータ (JIS K 5400 準拠で、カーボンアークサンシャイン、デューサイクル、キセノン式のいずれもよい) ○ 塩水噴霧 (JIS Z 2371 に拠り 5% NaCl, 温度35±2℃ RH 100%) ○ SO ₂ ガス濃度(注1) 100 ppm wet/dry 比=1:4		試験の標準サイクルとして下記を1サイクルとし、6サイクル反覆 塩水噴霧 24hr → ウェザーメータ 88hr (計 112hr/サイクル)	試験の標準サイクルとして下記を1サイクルとし、6サイクル反覆 塩水噴霧 24hr → SO ₂ テスト 24hr ウェザーメータ 66hr (計 114hr/サイクル)	試験の標準サイクルとして下記を1サイクルとし、6サイクル反覆 SO ₂ テスト 24hr → ウェザーメータ 88hr (計 112hr/サイクル)

(注1) SO₂ テストについては wet/dry 比を1:4 (即ち 5hr wet/19hr dry) に調節し、wet/dry サイクルは1日1サイクルとする。
この場合 wet 100% RH
dry 75% RH 以下

(注2) ウェザーメータの時間はカーボンアークの場合で示したもので、電極を 22hr ごとに交換することを考慮して 22hr×4回=88hr で算定しており、この間試験槽内に懸架のままとする。(ただし海岸工業地域の場合は 66hr とする)
なお、キセノンランプなどでは 96hr 連続とする。

JSSC VOL.10 No.107,74.11

と思われる規格や試験法等については、1975年の段階で、その重要な問題について NACE および ASTM 規格が具体的な方向づけをしてくれているようである。即ち、これらの規格は腐食問題を仕分けして、仕分けした範囲の中で再現性のよいデータの得られる試験法により比較判別をする努力によって解決しようとしている。故に仕分けが充分であればあるほど、その試験結果の信頼性は向上する。しかし、この仕分けのためには測定技術、分析技術と関連し合った実験技術の開発が必要である。

又、このようにして腐食試験は仕分けられた腐食の種類に対応して確率のよい結果が得られるように発達したとしても、そのような腐食現象が問題となる実際の腐食に含まれる確率が問題となる。即ち腐食試験データの役立つ確率 P は $P = P_i \times P_f$ となる。(但し、 P_i : 試験結果の確率、 P_f : 試験条件で得られる腐食の種類が実際の現象に含まれる確率。)

故に実際の腐食の測定技術、分析技術の向上が望まれる。

参 考 文 献

- 1) Henthorne, M., Chem. Eng., **128**, 17 (1971).
- 2) Brown, B.F., ASTM Standarization News, **9** (1975).

- 3) Peterson, R.E., *ibid.*, **10** (1973).
- 4) NACE News, Materials Performance, **71** (1975).
- 5) NACE News, *ibid.*, **34** (1975).
- 6) NACE News, *ibid.*, **50** (1975).
- 7) 吉沢四郎, 鶴田孝雄, 山川宏二, 防食技術, **24**, 365 (1975).
- 8) 吉沢四郎, 山川宏二, *ibid.*, **24**, 511 (1975).
- 9) 吉沢四郎, 鶴田孝雄, 松本桂一, 山川宏二, *ibid.*, **24**, 651 (1975).
- 10) ASTM-STP 543, Hydrogen Embrittlement Testing (1974).
- 11) ASTM-STP 462, Effects of Environment and Complex Load History of Fatigue Life (1970).
- 12) Streicher, M. A., J. Electrochem. Soc., **103**, 375 (1956).
- 13) Seys, A. A., and A. A. Vanhaute, Corrosion, **29**, 329 (1973).
- 14) 鈴木紹夫, 北村義治, 防食技術, **17**, 535 (1968).
- 15) LaQue, F. L., "Marine Corrosion", p.164-176 (1975) Wiley-Interscience, New York
- 16) Wilde, B. E., Corrosion, **28**, 283 (1972).
- 17) Karlberg, G., and G. Wranglen, Corr. Sci., **11**, 499 (1971).
- 18) Lizlovs, E. A., J. Electrochem. Soc., **117**, 1335 (1970).

- 19) 山辺 稔, 鈴木紹夫, 北村義治, 防食技術, **23**, 85 (1974).
- 20) 小若正倫, 長野博夫, 第19回腐食防食討論会論文集, p. 209 (1972).
- 21) イ・エリ・ローゼンフェルド, (和訳)金属の腐食と防食 (1970) 《冶金》出版所
- 22) ASTM-STP 408, Erosion by Cavitation or Impingement (1967).
- 23) Knapp, R. T., J. W. Daily, and F. G. Hammitt, ESM "Cavitation" (1970).
- 24) 鈴木 隆, 第19回腐食防食討論会論文集, p. 330 (1972).
- 25) Loss, C., and E. Heitz, Werkstoffe u. Korrosion, **24**, 38 (1973).
- 26) Handbook on Corrosion Testing and Evaluation, edited by W. H. Ailov (1971) Wiley, New York
- 27) Fisher, A. O., and F. L. Whitney, (訳)防食技術, **9**, 70 (1960).
- 28) Fisher, A. O., *ibid.*, **11**, 119 (1962).
- 29) Corrosion by Liquid Materials, edited by J. E. Draley and J. R. Week (1969) Plenum, New York
- 30) 小若正倫, 諸石大司, 長野博夫, 日本金属学会誌, **34**, 23 (1970).
- 31) 小若正倫, 長野博夫, *ibid.*, **34**, 32 (1970).
- 32) 小若正倫, 長野博夫, *ibid.*, **34**, 1017 (1970).
- 33) 武田修三, 宮川大海, 学振123委員会研究報告, **11**, 171 (1970).
- 34) 武田修三, 宮川大海, 学振123委員会研究報告, **12**, 71 (1971).
- 35) 日本鋼構造協会, 耐候試験法研究法, JSSC, **107**, 15-37 (1974).
- 36) Biodeterioration of Materials, edited by A. H. Walters and E. H. Hueck-van der Plas (1971) Applied Science, London
- 37) Byalobzhakii, A. V., Radiation Corrosion, Israel Program for Scientific Translations, Jerusalem (1970).
- 38) Lajain, H., Z. Werkstofftechnik, **1**, 19-25 (1971).
- 39) Lajain, H., Werkstoffe u. Korrosion, **7**, 537-545 (1972).
- 40) Gräfen, H., K. Gerrischer, u. E.-M. Horn, Z. Werkstofftechnik, **4**, 183-184 (1973).
- 41) Grubitsch, V. H., u. A. Zirkl, Werkstoffe u. Korrosion, **7**, 565-575 (1972).