

暴露試験結果と相関を得る促進試験条件の組み立て方

工業技術院 製品科学研究所
外川 靖 人

1 はじめに

近年 大型鋼構造物、各種プラント類、自動車、日用品に致るまで製品の耐久性についての関心が高まり、耐久性の評価方法に関する技術開発が強く要望されてきている。本来製品の耐久性を正しく評価するには、使用環境下での暴露試験が最も良い方法であるが、この試験では、環境条件が微気候といわれる局地的な気象条件の大きな相違や、経済活動にともなう工業化程度、交通量あるいは都市といった生活行動にともなう大気汚染種及び汚染程度によって非常に変化が大きいことなどからその結果の再現性に欠けること、また、結果を得るまでに長期間を必要とするなどの欠点がある。そこで、促進試験による短時間の評価試験で耐食性及び耐候性の評価が行われている。しかし、塩水噴霧試験に代表される腐食促進試験、サンシャインカーボンアーク型ウェザー試験に代表される各種人工光源による促進耐候試験の結果と実環境での結果との間の対応関係が悪く、的確な耐久性の評価ができないのが現状である。

このような現状を打破するために、各分野の研究者が新しい促進試験方法について多くの研究を積み重ねているが、現在まだこれといった方法は確立されていない。しかし、研究の方向には単独試験ではなく、単一試験をいくつか組み合せて組み合せサイクル試験あるいは単一試験で試験条件を種々サイクルで設定する複合サイクル試験の2つの流れがある。

2. 大気環境中の劣化要因

現在 ISO / TC 156 (Corrosion of metals and alloys)

WG4 (Classification of corrosivity of atmosphere) で大気の腐食性の分類が討議されている。その中で、金属及び合金に対する大気の重要な腐食因子は、気温、湿度、降水量とその成分 (pH, SO_2 , Cl^- 等)、ガス状汚染物 (SO_2 , NO_x , Cl_2 , H_2S 等)、海塩粒子、固体粒子による大気汚染物、(水溶性成分の種類と量)、その他に表面のぬれ時間であり、海水中の $CaCl_2$, $MgCl_2$ なども腐食因子であるとしている。これら因子の中からぬれ時間、 SO_2 汚染量、海塩粒子量を最も重要な因子として、その程度により分類し、(表1)、さらにこれらを基準にして大気の腐食性を5段階に分類している。この分類をもとにした炭素鋼に対する大気の腐食性は因子の組合せによって表2のようになる。

表1. 腐食要因のカテゴリー (ISOTC/156 WG4, 3rd Draft)

SO ₂ 汚染カテゴリー		海塩粒子汚染カテゴリー		ぬれ時間カテゴリー	
SO ₂ mg/m ² /day	記号	NaCl mg/m ² /day	記号	h/year	記号
< 10	P ₁	5 ~ 100	S ₁	1 ~ 10	I ₁
10 ~ 75	P ₂	100 ~ 500	S ₂	10 ~ 100	I ₂
75 ~ 200	P ₃	500 ~ 500	S ₃	100 ~ 2500	I ₃
				2500 ~ 5500	I ₄
				> 5500	I ₅

この様な数多くの腐食因子は、熱帯、亜熱帯といった地球規模での気候区分、あるいは、図1に示した日本の気候区分のような区分環境によっても大きく異なるが、金属の腐食を対象とした場合には、表3の気候のスケールにある小気候及び微気候といわれる局地的な特徴を考慮すべきである。また、これらは、経済活動や生活行動によって大きく変化するといわれ、局地的な気候の変化は、表4に示されるようにその周辺の気候と比較して大きく相違する。この表をみると特に汚染物の相違が大きいようである。

表2 Estimated Corrosivity Categories of Atmosphere for Plain Carbon Steels (ISO/TC/156 W.G. 4)

Pollution category	Time of wetness category				
	τ_1	τ_2	τ_3	τ_4	τ_5
P ₁	1	1	3	3	4
P ₂	1	1 - 2	3 - 4	4	5
P ₃	1 - 2	2	4	5	5
S ₁	1	2	3	3	4
S ₂	1	3	3 - 4	4	5
S ₃	1 - 2	3 - 4	4	5	5
P ₂ S ₂	1	2	3	4	5
P ₂ S ₃	1	3 - 4	4 - 5	5	5
P ₃ S ₂		3	4 - 5	5	5
P ₃ S ₃	2	4	5	5	5

表3 気候のスケール*

気候	水平の広がり	対象となる大気の層	気候現象の例
大気候	200 km 以上	対流圏・成層圏全部	気候帯, 季節風帯, 世界からみた日本の気候
中気候	数 km ~ 200 km	対流圏の中層以下	盆地の気候, 関東地方の中の気候の地域差
小気候	100 m ~ 数 km	大気境界層(1 km 以下)	斜面温暖帯, 小都市の気候
微気候	100 m 以下	接地気層(2 m 以下)	水田の気候, 居室の中の気候

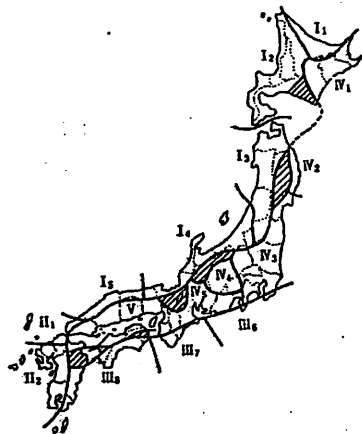


図1 関口による日本の気候区分* (関口, 1959)

ハッチの部分は漸移気候の地域。

- I 裏日本気候区
 - (1) オホーツク海沿岸地方 (2) 西北海道地方
 - (3) 出羽地方 (4) 北陸地方 (5) 山陰地方
- II 九州気候区
 - (1) 北九州地方 (2) 西九州地方
- III, IV 表日本気候区
 - (1) 東北海道地方 (2) 三陸地方 (3) 関東地方
 - (4) 中部内陸地方 (5) 東海地方 (6) 豆南地方
 - (7) 南海地方 (8) 四国・九州の太平洋岸地方
- V 瀬戸内気候区
- VI 漸移気候区(斜線の部分, 気候要素によって違った特徴をもつ区域)
 - (1) 日高地方 (2) 北上地方 (3) 中央高地方 (4) 伊賀地方
 - (5) 徳島地方 (6) 宇和島地方 (7) 大分地方

* 出典: 教養の気象学, 日本気象学会 教育と普及委員会 編

要 素	郊外との比較	要 素	郊外との比較
汚染質: 凝結核	15倍以上増加	空中電気: 大イオン	10倍以上増加
巨大塵埃粒子	10倍以上増加	電位傾度	100 % 増加
二酸化イオウ	5倍以上増加	降水量: 総 量	10 % 増加
二酸化炭素	10倍以上増加	日降水量 0.5 mm 以下の降水日数	10 % 増加
一酸化炭素	25倍以上増加	気 温: 年 平 均	1~1.5°F高い
日射量: 総 量	15~20%減少	冬季最低気温	2~3°F高い
紫外線量 (冬季)	30 % 減少	相対湿度: 年 平 均	6 % 減少
紫外線量 (夏季)	5 % 減少	冬季平均	2 % 減少
照 度:	10~40%減少	夏季平均	8 % 減少
霧日数: { 冬季	100 % 増加	雲 量:	5~10% 増加
{ 夏季	30 % 増加	風 速: 平均風速	25 % 減少
塵 :	数倍増加	極 値	20 % 減少
空中電気: 小イオン	50~75%減少	静穏度数	5~20% 増加

次に、金属腐食及び塗膜の劣化について大気の主要な因子をどう取り扱ったらよいかについて考察する。

(1) 気温 : 月又は年平均値、最大値、最低値

これまで多くの研究報告があるが、劣化との単相関があるとの報告はほとんどない。しかし、腐食反応が化学反応であることを考えると反応速度が大きくなることからかなり大きな影響をもつと考えてよい。特に塗膜などの有機皮膜の劣化には気温変化は大きな影響をもつと考へ、日照と関連した表面温度を重要視する必要がある。

(2) 湿度 : 月又は年平均湿度、最低湿度

相対湿度として取り扱われているが、これは気温と関連した値であるため、この値から気候区分の特徴をつかむことは困難である。劣化に影響するかなりの要因が水分であるといわれていることから考えると大気中に存在する水分量で表わされる絶対湿度の値をとった方がよい。図2に(戩)日本ウェザリングテストセンターの計測値をもとに平均気温と平均絶対湿度のクリモグラフを示したが、旭川、銚子、那覇の特徴が明確に表示することができ、この関係をなんらかの数値変換処理することによって指数として劣化との関係を求めることができるのではないかと考えられる。ちなみに、筆者らが絶対湿度と金属の腐食減量との相関を求めた結果、高い正の相関が得られた。

(3) 降水量 : 月又は年降水量 mm

日本の降水量はヨーロッパ、アメリカなどと比較すると非常に多く、年降水量は1,000 mm以上で、日本の都市はヨーロッパの都市の2倍以上である。降水は表面のぬれを考えると劣化に大きく影響し、ISO TC/156の検討されているぬれ時間とも大きな関係がある。しかし、降雨には表面の清浄作用があり、雨が直接当たる部分の劣化が少ないのに相当貢献している。雨滴の終端速度を計算した結果によると雨滴の直径によって異なるが、直径1 mmで403 cm/sec → 5 mmで909 cm/sec

とかたりのエネルギーをもっており、清浄作用の大きいことがうかがえる。局地的には雨の成分：pH, SO_4^{2-} , Cl^- などが問題となる。

(4) ぬれ時間

金属の腐食にとって最も重要な因子である。塗膜の劣化にも大きな影響があるものと考えられている。この表面のぬれは、気温湿度の変化として現われる結露現象及び降水によってもたらされると一般に考えられるが、相対湿度が100%以下であっても水の吸着がおこり腐食は発生する。水分の吸着は常温では60% RH以上になると平均数分子層の水の吸着がおこり、湿度が高くなるにつれ多分子吸着、毛管凝縮などにより吸着量は多くなる。また表面に吸着性の塩などが存在するとさらに吸着しやすくなる。相対湿度100%以下でおこる大気腐食を“湿り大気腐食”と称し、腐食のおこる臨界湿度は常温では通常60~70% RHである。温度が30°C, 40°Cと高くなると臨界湿度は低くなる。この湿度による表面のぬれは、ISO TC/156, WG 4では0°C, 80% RHの持続時間に対応すると解説されている。実際のぬれ時間は測定法によって異なるが、同じ測

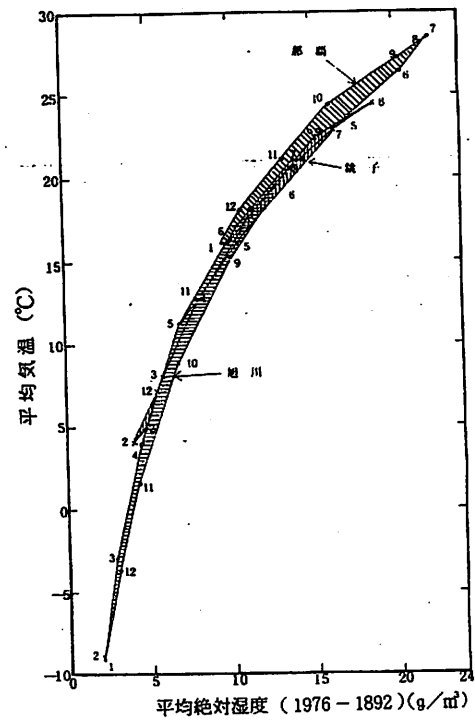


図2 気温と絶対湿度(水蒸気量)のクリモグラフ(1976-1982)

定器を用いて計測した結果を表5に例示する。

表5. 結露及び降水によるぬれ時間(年)

年	J. W. T. C. 銚子(地上)			製材研(筑波・地上)			スガ試験機(屋上)		
	結露	降水	計	結露	降水	計	結露	降水	ぬれ
1980	2815	1031	3846	—	—	—	1119	929	2048
1981	2635	797	3432	1763	689	2452	—	—	—
1982	2951	1047	3998	2059	791	2850	—	—	—

(5) 日射量 : 全天日射量, 紫外線量, 可視光線量, 赤外線量

いずれもラングレー (Langley, W/cm^2) の単位で表わされ, 紫外線は300~400nm, 可視部は400~700nm, 赤外線は700~1,200nmの波長域の太陽光線の到達エネルギー量である。太陽光線のエネルギー分布は図3に示す。300nm以下の波長のエネルギーはオゾンにより吸収されほとんど地上まで到達しない。また赤外部も相当水により吸収されている。紫外線は塗膜など高分子の劣化に大きな影響を及ぼしているといわれるが、最近の研究では紫外線のみでなく

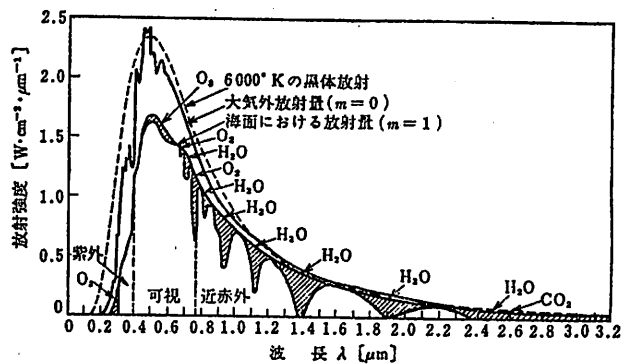


図3 水蒸気およびオゾンの吸収の効果を受けた日射の波長分布 (斜線の部分が吸収された量である)

温度、湿度も高分子の劣化の大きな要因としてあげられている。赤外線は熱線といわれ、表面温度を大きく左右しており、黒色系の塗膜で日中の表面温度が60~70℃まで上昇するというデータも見られる。有機質の塗膜にとってはこの赤外線による温度上昇も大きな劣化要因として扱わなければならない。

(6) 大気汚染質 : SO_2 ($mg/m^2/day$), 海塩粒子 ($NaCl$ $mg/m^2/day$), 浮遊粒子状物質 (mg/m^3), 降下ばいじん量 ($t/km^2/月$).

亜硫酸ガス (SO_2), 海塩粒子 (海水ミスト) などの大気汚染質

の金属の腐食に及ぼす影響が大きいことは、今さら解説するまでもないが、前記したISO/TC/156, WG4のDraftにも主要な腐食因子としてカテゴリー分類されているように、その作用は非常に大きく、ともすると気温、湿度などの影響は結果としてかくされてしまうことが多い。このことについては加藤らが新潟において行った炭素鋼の大気腐食試験の結果でも報告されている(防食技術, 30, 337~343, 1981)。

また、これら因子による汚染は微気候によって大きく異なるので注意する必要がある。特に海塩粒子量は、風向、風速の影響を大きく受ける。浮遊粒子状物質や降下ばいじんの中には、水に可溶性の成分が含まれ、その中に硫酸イオンや塩素イオンが比較的多いことからこれらが付着していると腐食は促進されることになる。さらに金属成分も含まれ、電池形成による電気化学的な腐食も考えられる。浮遊粒子状物質中に含まれる金属成分の分析結果の一例を表6に示す。

表6

国設大気測定局における浮遊粒子状物質の金属成分分析結果(放射化分析)

東京

	56年 4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	57年 1月	2月	3月	最高値	最低値	平均値
S.P.*	31	27	31	26	25	21	26	61	45	29	25	26	61	21	31
Ag (ng/m ³)	1.0	0.9	<0.2	0.4	0.5	0.95	0.97	1.3	2.6	1.0	1.3	0.82	2.6	<0.2	0.98
Az	440	860	280	300	270	210	220	290	240	150	210	180	860	150	300
As	5.0	3.0	4.0	2.7	3.5	2.9	2.6	4.5	3.3	2.2	3.5	3.0	5.0	2.2	3.4
Ba	<30	17	<20	34	29	<10	<20	30	<20	20	<20	34	<10	<10	13
Br	14	13	14	11	13	9.9	15	28	27	19	13	15	28	9.9	16
Ca	290	580	240	210	210	200	320	240	220	160	120	120	580	120	240
Cd	9.9	6.4	7.8	5.8	5.2	5.5	7.3	13	13	7.8	6.4	6.8	13	5.2	7.9
Ce	1.2	1.1	0.76	0.88	0.64	0.67	0.55	1.2	1.1	0.62	0.69	0.71	1.2	0.55	0.84
Cl	70	30	90	70	70	40	60	350	420	250	150	120	420	30	140
Co	0.62	0.32	0.67	0.60	0.28	0.34	0.26	0.36	0.48	0.15	0.38	0.25	0.67	0.15	0.39
Cr	11	5.7	6.3	8.1	6.0	8.1	6.3	12	8.8	5.0	6.6	6.0	12	5.0	7.5
Cs	<0.08	0.27	0.08	<0.06	<0.07	0.21	0.20	<0.1	<0.08	0.08	0.09	0.09	0.27	<0.06	0.09
Cu	27	16	27	19	19	32	23	40	43	20	26	15	43	15	26
Fe	710	800	640	590	500	480	390	670	450	310	280	250	800	250	510
Hf	<0.2	<0.04	0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	0.10	<0.06	<0.04	<0.04	0.07	0.10	<0.04	<0.04
K	470	520	540	<200	<200	620	430	200	760	300	560	<200	760	<200	370
La	1.0	0.33	1.8	0.38	0.29	0.34	0.39	0.58	0.82	0.41	0.24	0.27	1.8	0.24	0.57
Lu	<0.02	<0.01	<0.01	0.006	<0.01	0.010	0.012	<0.01	<0.01	<0.01	0.007	0.006	0.012	<0.01	<0.01
Mn	50	38	39	27	24	28	43	76	92	29	39	30	92	24	43
Na	550	600	770	560	650	560	440	440	460	350	280	340	770	280	500
Ni	7.2	6.5	<2	<2	2.7	<2	3.9	7.0	5.9	<2	<2	5.6	7.2	<2	3.2
Pb	100	50	80	40	40	50	110	170	170	100	80	60	170	40	90
Sb	4.8	4.5	8.7	5.3	5.6	4.7	6.3	15	14	7.4	5.1	5.2	15	4.5	7.2
Sc	0.087	0.14	0.049	0.064	0.060	0.045	0.036	0.085	0.042	0.041	0.049	0.046	0.14	0.036	0.062
Se	4.1	4.1	3.2	2.6	1.7	3.7	2.7	6.5	4.7	2.7	5.0	4.3	6.5	1.7	3.8
Sm	0.029	0.078	0.034	0.019	0.025	0.028	0.030	0.053	0.045	0.017	0.030	0.026	0.078	0.017	0.035
Th	0.05	0.13	<0.05	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.05	<0.05	<0.03	0.06	<0.03	0.13	<0.03	<0.03
Ti	30	58	20	<30	34	20	15	97	22	12	<30	97	30	<30	28
V	8.4	9.7	10	7.9	6.5	7.5	7.8	12	9.2	6.2	7.8	7.4	12	6.2	8.4
W	0.66	0.78	0.77	0.89	0.55	<0.4	0.91	1.5	0.6	0.91	0.88	0.5	1.5	<0.4	0.75
Zn	290	190	250	250	230	310	290	570	450	270	290	230	570	190	300

注) *浮遊粒子状物質濃度(μg/m³)

3. 現行の促進試験の向題点

現在、耐食性及び耐候性を評価する促進試験は、種々の規格に制定され実施されている。しかし、実際との対応関係に欠けるといわれている。その原因を掘り下げてみると、オ1に促進試験の条件が実環境と大きく異なる（条件因子の数及び相互作用、乾湿くり返しなど）、オ2にそのために劣化のメカニズムが大きく異なるための促進試験により実環境での劣化の再現性が悪いことに起因していると考えられる。

腐食促進試験を例にとってみると現在一般に行なわれている試験は試験片表面が常に液膜に覆われた状態で実施されている。これは極端に言えば溶液（空気飽和）中に浸漬した試験と同じとみなしてよい。しかし、実環境では各種の腐食性因子の影響が相刺作用として働いていることはもとより、常にぬれ状態と乾燥状態がくり返しあっていることから劣化のメカニズムに大きな違いがあり、そのために対応関係が悪いのではないかと考えられる。その代表的な例として亜鉛めっき上に塗装したものの塩水噴霧試験の結果が鉄鋼上に直接塗装したものより悪いということが上げられる。実環境での耐食性は全く逆であることは良く知られている事実である。

人工光源による塗膜の耐候促進試験についてみると、劣化要因として光エネルギーが主条件となっている単一条件の試験であるといつてよい。光エネルギーの分布をみると太陽光のエネルギー分布との類似性は低いとみてよいのではないかと思われる。各種光源を用いた促進耐候試験による各種プラスチック材料の物理的特性及び化学的特性の劣化の研究^{*}によると促進試験材の材種によって結果が大きく異なり、暴露試験の結果と相関性に乏しいと報告されている。塗装品についてもやはり同じである。この原因について考えてみると単一条件による劣化と屋外のような種々の要因の相互作用による劣化との間に高分子の劣化のメカニズムに相違があるためと考察される。

* 高分子材料の耐久性に関する研究、1981、工業技術院

近年、分析技術の進歩により塗膜など高分子の劣化のメカニズムの解明が容易となり塗膜劣化の本質である化学結合状態の変化も徐々にではあるが解明されつつある。やはり化学結合などの変化をみても暴露試験と促進試験とでは違いがあると報告されている。また、プラスチック関係の屋外耐候試験の研究によるとプラスチックの劣化要因としては光エネルギーだけでなく温度、湿度も重要な因子として働いていることが明らかとなってきた。塗膜についても筆者らがJ.W.T.C.の調査研究^{*}で行った3か所の暴露試験の結果を解析した結果によると、紫外線量と色の变化をみると同程度の变化がおこる紫外線量に暴露地によって大きな差(0.5~1年)があり(図4参照)その差は図2に示した気温-絶対湿度のフリモグラフで示される特徴の差と類似しているという結果を得ている。このことから塗膜の劣化が光エネルギーだけでなく温度、湿度にも大きく影響されていることがうかがえる。

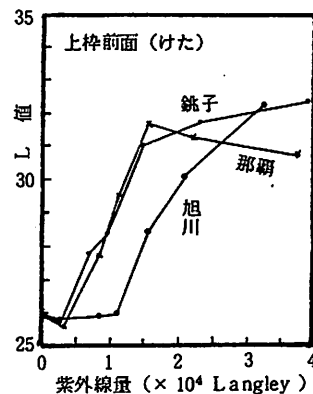


図4 ローズ色系塗膜のL値と紫外線量

4. 促進試験条件の組み立て方

大気中の劣化因子の作用及び現在一般に実施されている促進試験の問題点を考察してきたが、それではどのように条件を組み立てると屋外との相関性が高い結果が得られるかとなると非常にむずかしい問題である。実環境との相関を得る方法として2通りの考え方がある。オ1は既存の促進試験材を用いて統計的処理によりなんとか相関関係も求める方法、オ2は劣化状態を再現できる促進試験条件及び試験材を開発する方法である。オ1の方法については、いろいろな環境で系統だっに暴露試験のデータの蓄積によりある程度は可能と思われるが、前記したように劣化のメカニズムが異なることからあまり期待はできない。オ2の方法は、実環境中で劣化に及ぼす各種因子の影響度の要因解析により、主要因子を促

* 耐久製品の耐候性の標準化に関する調査研究(57年度報告)

進条件として取り入れ、条件をサイクルで設定してやることにより劣化状態を再現することができるものと思われる。現状では金属の腐食については環境因子の要因解析はかなり進んでおり、ある程度の見通しは立つものの、塗装品に関してはこの要因解析があまりなされていないこともあって、条件の組み立てについては試行錯誤の状態である。

金属の腐食の場合の促進因子としては、温度、湿度、 SO_2 などの腐食性ガス、海塩粒子を相定したNaCl水溶液、表面のぬれ時間と乾燥時間、固体状の大気汚染物質、さらには降雨による洗浄効果を得るための散水である。これらの因子を条件としてサイクルで条件設定することにより良い結果が得られると確信している。濃度などの促進条件としては腐食メカニズムの変化がおこる限界まで各因子を強めて促進性をあける方法もあるが、筆者らが行った結果によると（後記サイクル試験(4)、(9)）因子の強度は低くした方が良い結果が得られる。

塗装金属製品については上記の因子に光エネルギーを入れやはりサイクルで条件設定する。この場合光エネルギーとしてどの光源を使うかについては、現状では断言することはできない。プラスチック関係の研究報告をみると、分光劣化と称しプラスチックの種類によって特有の波長の光で劣化が起ることが明らかになりつつあることから、この分光劣化の考えを入れていく必要があるかもしれないが、これについては今後の研究の結果に期待したい。

最後にいろいろな機関で提案又は実施されているサイクル試験方法を以下に列挙する。

(1) 耐候性鋼材の腐食試験方法（土木研究所案）

降水 0.5^h → 日照 3^h → 降水 0.5^h → 日照 3^h → 放置 17^h
24^h/サイクル

(2) 結露型ガス腐食試験方法（土木研究所案）

ガス雰囲気 30°C, 3^h → 結露 30°C, 96% R.H., 3^h → 乾燥 40°C,
6^h 12^h/サイクル

(3) 複合環境腐食促進試験方法 (土木研究所案)

塩水噴霧 35°C 、 2^{h} \longrightarrow 乾燥 50°C 、 $30\% \text{ R.H.}$ 、 1^{h} \longrightarrow 高温高温 50°C 、 $90\% \text{ R.H.}$ 、 15^{h} \longrightarrow 高温低温 50°C 、 $30\% \text{ R.H.}$ 、 5^{h} 、 23^{h} / サイクル

(4) 大気腐食促進試験方法 (製品科学研究所案)

ガス雰囲気 SO_2 $20 \sim 100 \text{ ppm}$ \longrightarrow 放置 40°C 、 40^{min} \longrightarrow 塩水噴霧 $1 \sim 5\%$ 、 18^{min} \longrightarrow 湿潤放置 40°C 、 $> 90\% \text{ R.H.}$ 、 102^{min} \longrightarrow 除湿乾燥 40°C 4^{h} / サイクル

(5) 腐食抵抗試験 (ASTM D 2933)

塩水噴霧 4^{h} \longrightarrow 高温高温 37.8°C 、 $100\% \text{ R.H.}$ 、 18^{h} \longrightarrow 低温 -23.3°C 2^{h} 24^{h} / サイクル

(6) JSSC方式促進耐候試験

海岸地域：塩水噴霧 24^{h} \longrightarrow ウエザー - 9 88^{h} 112^{h} / サイクル

海岸工業地域：塩水噴霧 24^{h} \longrightarrow SO_2 テスト 100 ppm 、 24^{h} \longrightarrow ウエザー - 9 66^{h} 114^{h} / サイクル

都市、工業地域： SO_2 テスト、 100 ppm 24^{h} \longrightarrow ウエザー - 9 88^{h} 112^{h} / サイクル

(7) 組み合わせ試験 (鉄鋼メーカーの例)

塩水噴霧 \longrightarrow 乾燥 60°C 、 $60\% \text{ R.H.}$ \longrightarrow 湿潤 49°C 、 $95\% \text{ R.H.}$ \longrightarrow 結露 49°C 、 $95\% \text{ R.H.}$ \longrightarrow 冷却 -20°C 、 12^{h} / サイクル

(8) 組み合わせ試験 (鉄鋼メーカーの例)

デュ - サイクル試験 40^{h} \longrightarrow SO_2 テスト、 100 ppm 、 20^{h} 60^{h} / サイクル

(9) 組み合わせ試験 (JWT C)

デュ - サイクル試験、 22^{h} \longrightarrow 温度サイクル試験 (60°C 、 3^{h} \longrightarrow -20°C 、 4^{h}) \longrightarrow SO_2 テスト、 25 ppm 、 18^{h} \longrightarrow 塩水噴霧、 6^{h} 53^{h} / サイクル