

# 大気暴露試験ハンドブック

平成 19 年 1 月

財団法人 日本ウエザリングテストセンター

# 大気暴露試験ハンドブック

## まえがき

大気暴露試験は、屋外で工業材料及び工業製品を使用した場合に生じる化学的性質、物理的性質の経時変化を調査する目的で行う。

本書は、大気暴露試験を実際に行う場合の具体的内容を、分かりやすくするために、共通編、金属編、塗料編及びプラスチック・ゴム編に分類して解説し、大気暴露試験ハンドブックとしてまとめたものです。

[ ] 共通編は JIS Z 2381 (大気暴露試験方法通則)、[ ] 金属編は JIS Z 2381 及び ISO8566 (Metals and alloys - Atmospheric corrosion testing - General requirements for field tests)、[ ] 塗料編は JIS K 5600-7-6 (塗料一般試験方法 第7部：塗膜の長期耐久性 第6節：屋外暴露耐候性)、[ ] プラスチック・ゴム編は JISK7219 (プラスチック 直接屋外暴露、アンダーグラス屋外暴露、太陽集光促進暴露試験方法) の規格を基に解説した。

また、耐候性結果の一例として、平成3年度から経済産業省より「新発電システムの標準化に関する調査研究」によって得られた成果の一部を記載した。

本書の作成に当たって、関係者の方々の懇切なご指導を受けており、ここに記して謝意を表します。

本書は今後も改善を加えていく所存ですので、ご利用者各位にはお気付きの点やご意見をぜひ当センターにお寄せください。



平成 19 年 1 月

財団法人 日本ウエザリングテストセンター

〒105 0011

東京都港区芝公園 1 丁目 3 番 7 号

TEL 03 - 3434 - 5528

FAX 03 - 3434 - 5529

E - Mail [tokyo@jwtc.or.jp](mailto:tokyo@jwtc.or.jp)

# 大気暴露試験ハンドブック

## 目 次

- 〔 〕 共 通 編
- 〔 〕 金 属 編
- 〔 〕 塗 料 編
- 〔 〕 プラスチック・ゴム編

〔 〕 共 通 編

# 〔 〕 共 通 編

## 目 次

	ページ
1. はじめに	共 - 1
2. 大気暴露試験方法通則	〃
2.1 引用規格	共 - 2
2.2 定義	〃
2.3 大気暴露試験方法の種類	共 - 3
2.3.1 直接暴露試験方法	共 - 4
2.3.2 アンダーグラス暴露試験方法	共 - 6
2.3.3 遮へい暴露試験方法	共 - 9
2.2.4 ブラックボックス暴露試験方法	共 - 11
2.2.5 太陽追跡集光暴露試験方法	共 - 13
2.3.6 暴露試験方法の違いによる耐候性結果の比較例	共 - 16
2.4 暴露試験場	共 - 17
2.4.1 暴露試験場の要求条件	〃
2.4.2 暴露試験場の安全性	共 - 18
2.4.3 暴露試験場の環境	〃
2.4.4 暴露試験場の種類	共 - 22
2.5 試料	共 - 23
2.5.1 試料の区分	〃
2.5.2 試料の形状及び寸法	〃
2.5.3 試料の個数	〃
2.5.4 試料の標識	〃
2.6 暴露試験方法	共 - 25
2.6.1 暴露試験装置	〃
2.6.2 暴露試験面の方位及び角度	共 - 26
2.6.3 暴露試験用の試料の前処理	共 - 27
2.6.4 試料の取り付け及び取り外し	〃
2.6.5 暴露試験期間中の試料の取扱い	〃
2.6.6 標準試料	共 - 28
2.7 暴露試験期間	〃
2.7.1 暴露試験期間の設定	〃
2.7.2 暴露試験の開始時期	共 - 29
2.8 環境因子	共 - 30
2.8.1 環境因子の測定	〃
2.8.2 環境因子の測定項目・測定方法及び表示方法	〃
2.8.3 環境因子の測定器機及び管理	共 - 34
2.9 暴露試験結果の評価試験における一般的な要求事項	共 - 37
2.10 記録	共 - 38
3. 暴露試験の手順	共 - 39

# 〔I〕 共 通 編

## 1. はじめに

屋外で使用される各種の工業材料及び製品は、使用される大気環境の下で光（日射）、熱（温度）、水分（雨、結露）、空気、大気汚染物質の影響を受けて、初期に持つ性質・性能・機能等が時間の経過に伴って低下してくる。

この低下してくる現象が劣化であり、この変化に耐える性質が耐候性である。

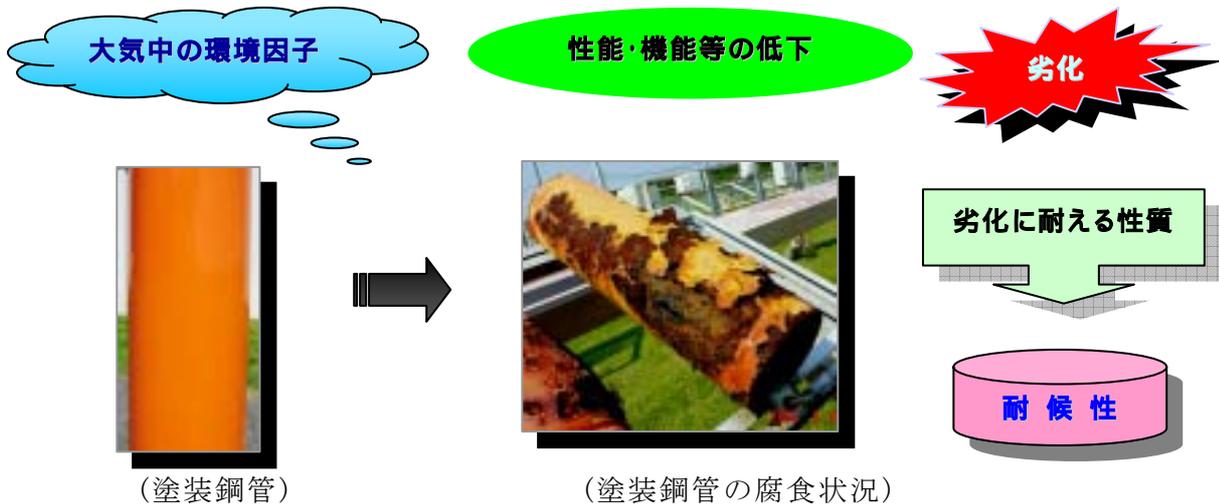


図1 大気中の環境因子による製品の劣化と耐候性の関係

このため、各種の工業材料及び製品の耐候性を正確に把握することは、品質保証、安全性、製品設計、地球環境及びリサイクル等の面から極めて重要である。特に、新素材・製品にとっては不可欠である。この耐候性を評価する方法として大気暴露試験がある。

大気暴露試験は、実際に使用される大気環境の下で行うため、現実に即した耐候性の評価が行える唯一の試験方法である。また、大気暴露試験による耐候性の結果は、各種の促進試験の結果から耐候性を評価するための基準となる。

しかし、この大気暴露試験方法は実施する場所及び開始時期などによって、耐候性の評価結果が大きく異なるため、大気環境下において耐候性を評価するための試験方法通則として、1979年11月1日に“JIS Z 2381(屋外暴露試験方法通則)”が制定された。その後、構造物の内部に使用される材料及び屋内での電子部品などの耐候性の評価が重要になってきたため、従来の開放大気環境に加え遮へい大気環境を包含し、「大気暴露試験方法通則」として2001年4月20日に名称を変更した。

以下、JIS Z 2381(大気暴露試験方法通則)の内容について解説する。

## 2. 大気暴露試験方法通則

JIS Z 2381(大気暴露試験方法通則)は、開放大気環境及び遮へい大気環境下における工業材料及び工業製品（以下、材料及び製品という。）の化学的性質、物理的性質及び性能の経時変化を調査することを目的として、適用範囲、引用規格、定義、暴露試験方法の種類、暴露試験場、試料、暴露試験方法、暴露試験期間、環境因子、暴露試験結果の評価試験における一般的な要求事項、記録の10項目から構成されている。

## 2.1 引用規格

大気暴露試験方法通則に引用している規格を、表 1 に示す。

表 1 引用規格

JIS 番号	制定	名 称
JIS B 7753	1993	サンシャインカーボンアーク灯式耐光性及び耐候性試験機
JIS B 7952	1996	大気中の二酸化硫黄自動計測器
JIS B 7953	1997	大気中の窒素酸化物自動計測器
JIS B 7957	1992	大気中のオキシダント自動計測器
JIS K 0108	1994	排ガス中の硫化水素分析方法
JIS K 7363	1999	プラスチック－耐候性試験における放射露光量の機器測定－通則及び基本的測定方法 (ISO 9370 翻訳)
JIS R 3202	1996	フロート板ガラス及び磨き板ガラス
JIS Z 2382	1998	大気環境の腐食性を評価するための環境汚染因子の測定 備考) ISO 9225 : 1992 Corrosion of metals and alloys — Corrosivity of atmospheres—Measurement of pollution が、この規格と同等である。
JIS Z 2383	1998	大気環境の腐食性を評価するための標準金属試験片及びその腐食度の測定方法 備考) ISO 9226 : 1992 Corrosion of metals and alloys—Corrosivity of atmospheres—Determination of corrosion rate of standard specimens for the evaluation of corrosivity が、この規格と同等である。
JIS Z 8401	1999	数値の丸め方

## 2.2 定義

大気暴露試験方法通則に用いる用語の定義を、表 2 に示す。

表 2 主な用語の定義

No.	用 語	定 義
1	大 気	地球を取り巻いている水蒸気を含む気体の総称。
2	大気暴露試験	開放及び遮へい大気環境下で材料及び製品を暴露して、それらの化学的性質、物理的性質及び性能の変化を調査する試験。
3	開放大気	日照、雨、雪、風などの自然状態における大気。
4	遮へい大気	自然状態における日照、雨、雪、風などの一部又は全部を遮断した大気。
5	試 料	大気暴露試験を行う材料及び製品。
6	暴露試験場	試料の大気暴露試験を行う場所。
7	暴露試験装置	試料を暴露するための試験装置。暴露架台、試料保持枠などで構成されている。
8	暴露試験期間	試料の大気暴露試験を継続して行う期間。

表2 主な用語の定義(続き)

No.	用語	定義
9	試験箱	試料を収納するか又は上面に取り付けた状態で暴露するための容器。
10	環境因子	暴露試験場における気象因子及び大気汚染因子の総称。
11	気象因子	気象観測の対象となる気温、湿度、太陽放射エネルギー量、降水量、風向、風速などの因子。
12	大気汚染因子	人為的・自然的に発生する硫黄酸化物、窒素酸化物、硫化水素、海塩粒子などの大気暴露試験に影響を及ぼす因子。
13	海塩粒子	海岸の波打ち際及び／又は海上で波頭が砕けたときに発生する海水ミストが、風で運ばれて飛来した粒子。海塩粒子の大きさは、約0.01μm～20μmである。
14	評価試験	試料の化学的・物理的性質の変化及び製品の変化の程度を評価する試験。
15	フレネル反射鏡	平面鏡の形状・寸法と試料取付け部に反射する照射域の大きさが、同一になるように配列した複数の平面鏡からなる反射鏡装置。

### 2.3 大気暴露試験方法の種類

大気暴露試験（以下、暴露試験という。）の方法は、直接暴露試験方法、アンダーグラス暴露試験方法、遮へい暴露試験方法、ブラックボックス暴露試験方法及び太陽追跡集光暴露試験方法があり、種類と型式を図2に示す。

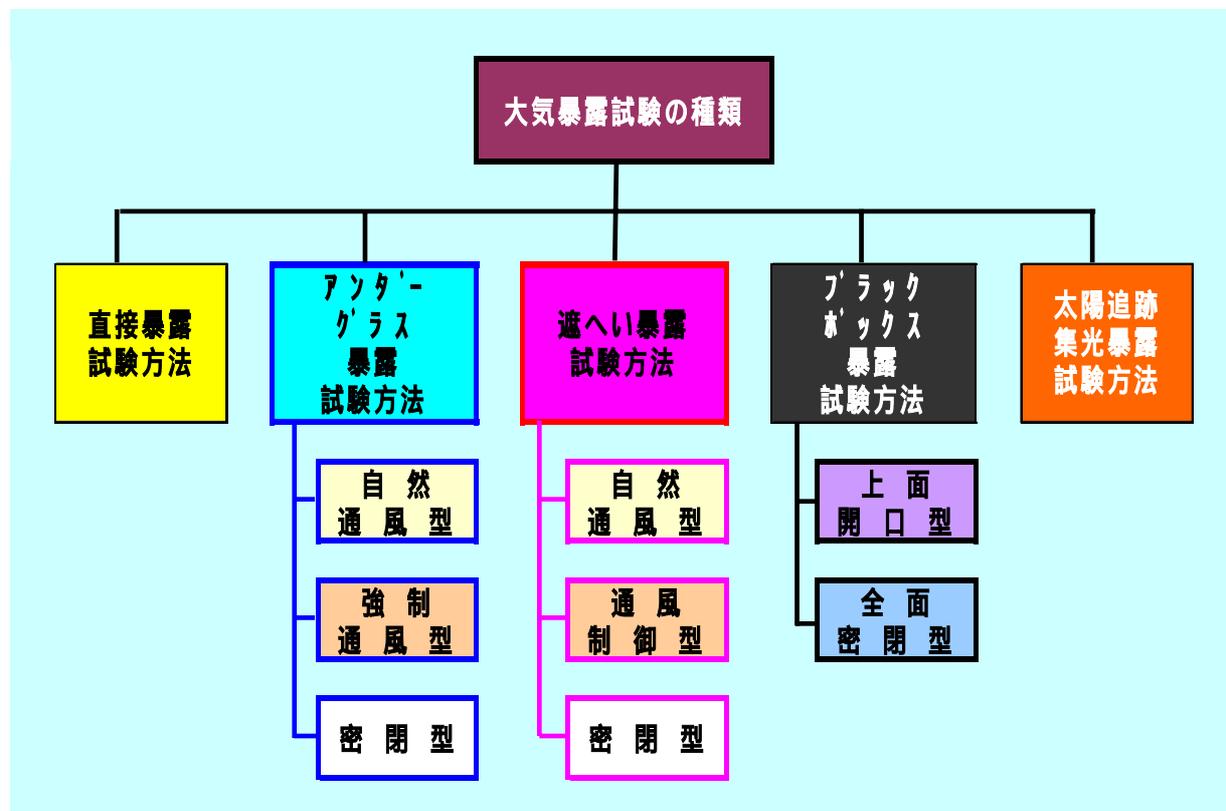


図2 暴露試験方法の種類及び型式

### 2.3.1 直接暴露試験方法

直接暴露試験方法は、工業材料などの耐候性に直接影響を及ぼす大気環境に試料を暴露して、それらの化学的性質、物理的性質及び性能の変化を調査する暴露試験方法であり、一般的に最も広く利用されている方法である。

直接暴露試験装置の要求事項を表 3、直接暴露試験装置の一例を図 3 及び写真 1 に、それぞれ示す。

また、試料の取り付けは、試料相互間の接触による影響が生じないように、適当な間隔を空けて、試料に余分な外力を加わらないように固定する。

しかし、年間を通じて風が強い場所（台風の影響を受けやすい場所等）では、試料が飛ばされないように確りと固定する（ボルト締め等）ことが必要である。

表 3 直接暴露試験装置の要求事項

No.	要 求 事 項
1	日照、雨、風などの大気環境に試料を直接に暴露することができる構造とする。
2	試料に試験の目的以外の外力が加わらないように、暴露架台に試料を直接取り付けられるか又は暴露架台の試料保持枠に取り付けて固定できる構造とする。
3	日陰、水滴の落下、試料以外からの腐食生成物などによる汚染などが、暴露試験期間中の試料に影響を与えない構造とする。

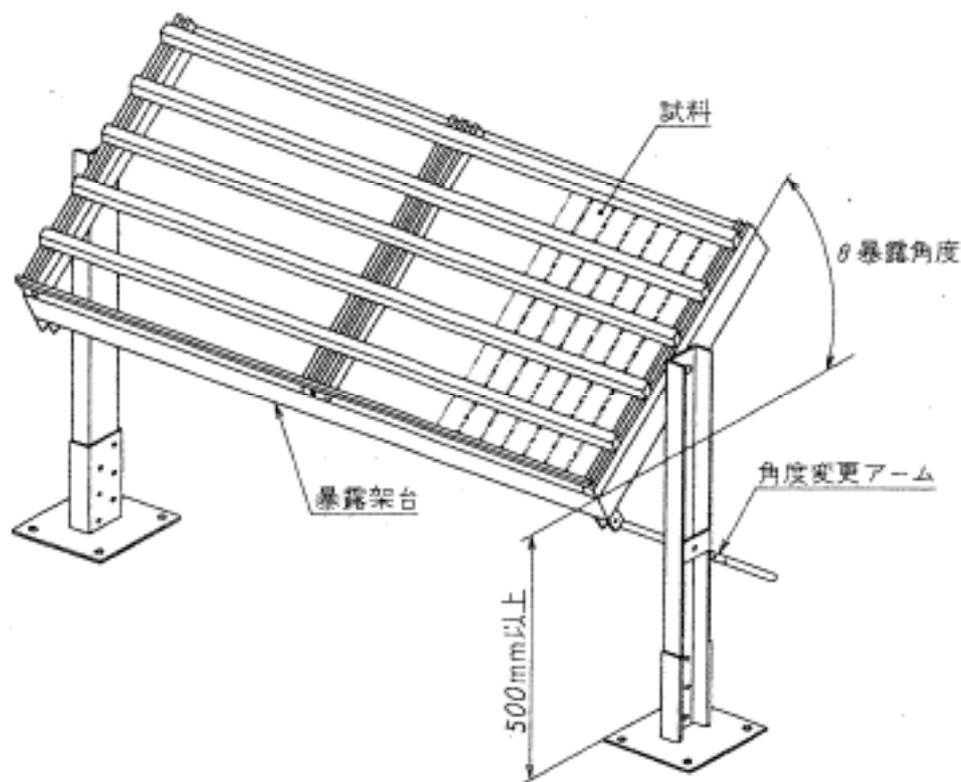


図 3 直接暴露試験装置の一例



写真 1 直接暴露試験装置に試料を取り付けた暴露試験状況例

### 2.3.2 アンダーグラス暴露試験方法

アンダーグラス暴露試験方法は、雨、雪などの直接的な影響を除くために、上面を板ガラスで覆った試験箱内に試料を取り付け、板ガラスを透過した太陽放射光に暴露して、試料の化学的性質、物理的性質及び性能の変化を調査する暴露試験方法である。

アンダーグラス暴露試験装置の型式は、表 4 に示す 3 種類がある。

また、アンダーグラス暴露試験装置の要求事項を表 5、取扱い事項を表 6、暴露試験装置の一例を図 4 及び写真 2 に、それぞれ示す。

表 4 アンダーグラス暴露試験装置の試験箱の型式及び特徴

型 式	特 徴
自然通風型	雨水の影響を受けず、外気が自由に流通し、試験箱内の温度の上昇を少なくするために、試験箱側面の一部及び底面は開放した構造とする <sup>(1)</sup> 。
強制通風型	試験箱内の温度を調節するための換気機構を有する構造とする <sup>(2)</sup> 。
密 閉 型	試験箱の全面をふさぎ、外気が自由に流通でない構造とする <sup>(3)</sup> 。

注<sup>(1)</sup>底面が開放した構造のため試験箱を傾斜した場合、試料の裏面が雨によってぬれる場合があるので注意する。

注<sup>(2)</sup>強制通風に伴って外気中の汚染物質が試験箱内に蓄積する可能性があるので注意する。

注<sup>(3)</sup>試験箱を傾斜した場合、試料の取り付け場所により温度が異なるので注意する。

表 5 アンダーグラス暴露試験装置の要求事項

No.	要 求 事 項
1	上面を板ガラスで覆った試験箱は、規定の角度で試料を取り付けることができる構造とする。
2	暴露架台などに規定の角度で安定した状態で試験箱を取り付けることができる構造とする。
3	試料の上面と試験箱の板ガラス下面との距離が 50mm 以上ある構造とする。
4	使用する板ガラスは、JIS R 3202 に規定するフロート板ガラスとする。 板厚は、通常 3mm とするが、風圧、積雪、降ひょうなど、その地域の気象条件によって定める。 ただし、3mm 以外の板厚の板ガラスを使用した場合は厚みを明記する。
5	一般的に、使用する板ガラスは、平らで均一透明な欠陥のないもので、可視域を含む波長 370nm～830nm の範囲の分光透過率が約 90%、波長 310nm 以下の分光透過率が 1%以下の板ガラスが望ましい。
6	板ガラスの使用期間は、通常、2 年とする。
7	他の種類のガラス又は窓用プラスチック材料は、受渡当事者間の協定によって用いることができる。
8	板ガラスは、弾性シーラント又はガスケットを用いて試験箱にはめ込み、雨・雪及び漏水が試料の耐候性に影響を及ぼさない構造とする。

表 6 アンダーグラス暴露試験装置の取扱い事項

No.	取 扱 い 事 項
1	試料は、試験箱の側壁による日射を遮らない位置に取り付ける <sup>(4)</sup> 。
2	暴露試験期間中は、板ガラスの面を常に清浄にしておく <sup>(5)</sup> 。
3	暴露試験期間中は、必要に応じて試験箱内の温度、相対湿度及び太陽放射光の露光量を測定する <sup>(6)</sup> 。

注<sup>(4)</sup> 自然通風型の場合、箱内に固定した試料表面に砂誇り等が堆積するため、試料表面の清浄等については当事者間で協議して決めることが必要である。

注<sup>(5)</sup> 自然通風型の場合、板ガラスの裏面側(試料側の面)も砂誇り等が付着するため、清掃が必要である。

注<sup>(6)</sup> 自然通風型の場合、試験箱に設置した温度計、相対湿度計及び太陽放射計の受感部・受光部に砂誇り等が付着するため、清掃する必要がある。また、密閉型は箱内温度が高くなるため、太陽放射光の計測に注意が必要である。

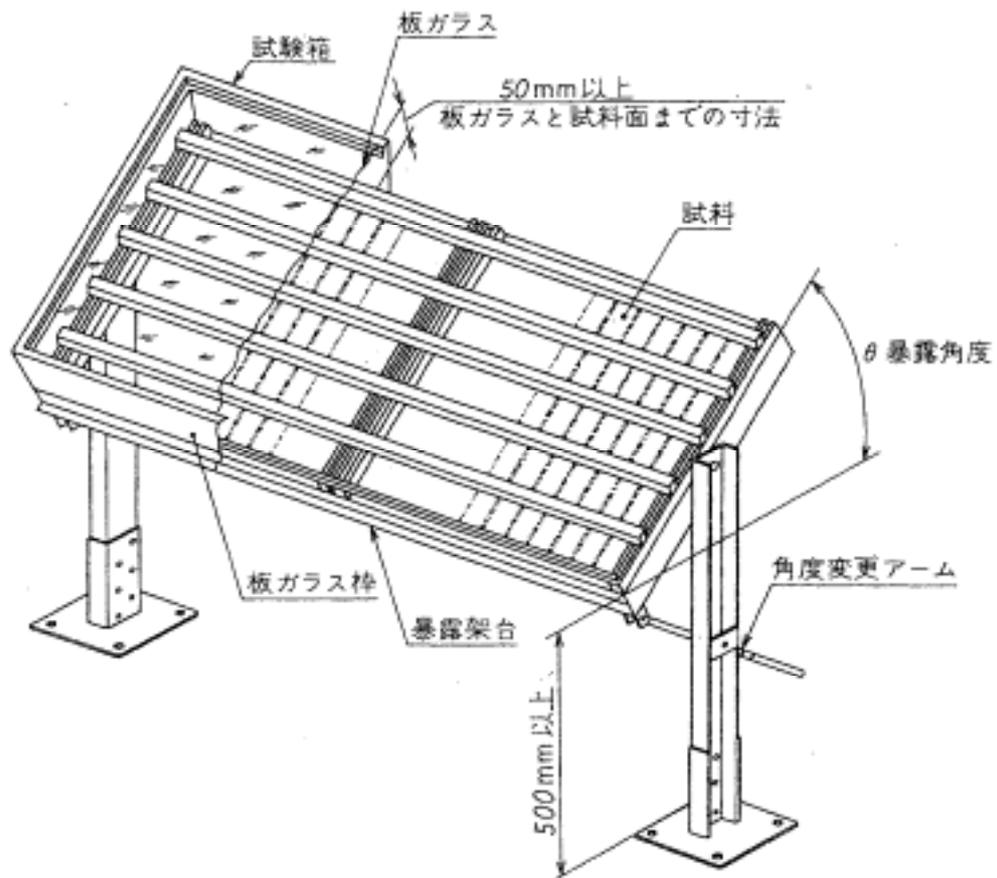


図 4 アンダーグラス暴露試験装置の一例

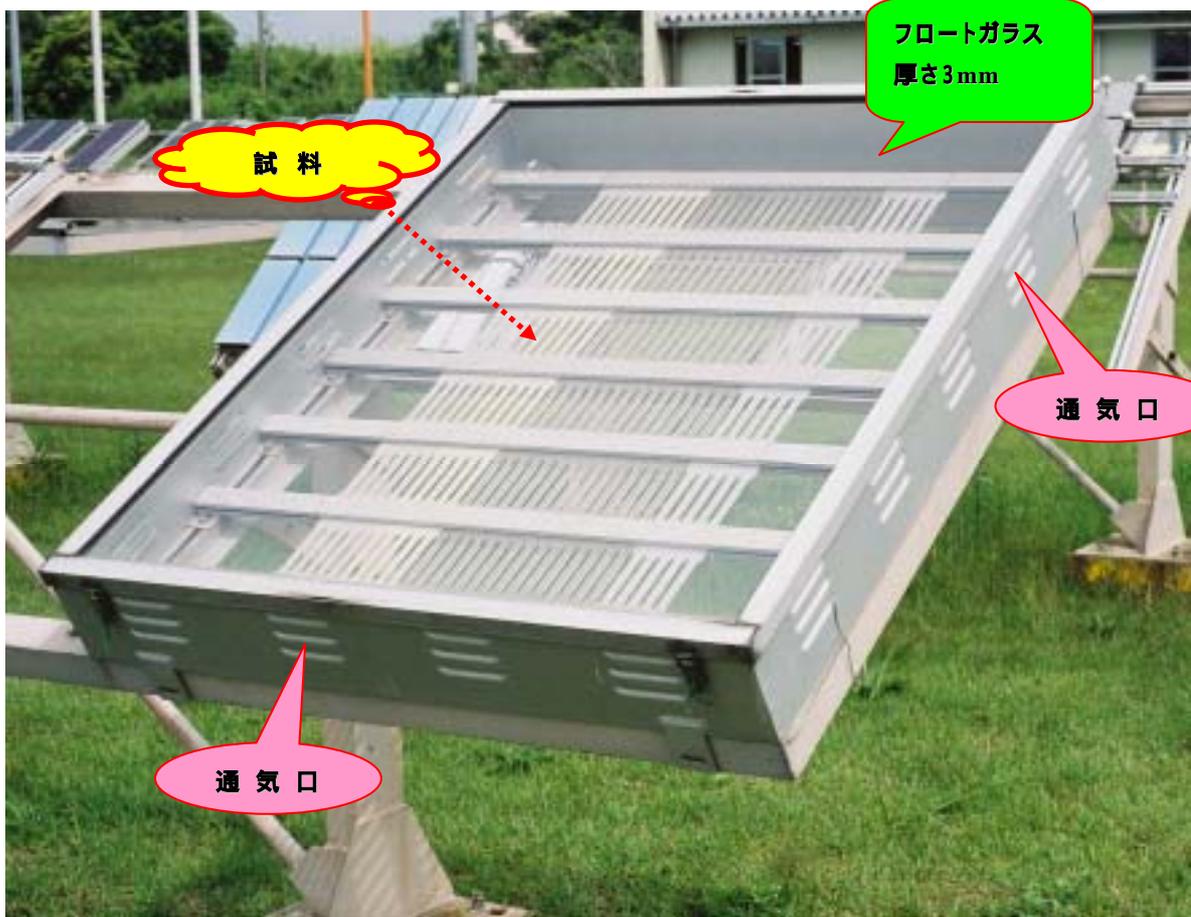


写真2 アンダーグラス暴露試験方法（自然通風型）

### 2.3.3 遮へい暴露試験方法

遮へい暴露試験方法は、遮へい構造物の下若しくは中又は屋内に試料の一部若しくは全部を設置して、日照、雨、雪、風などの直接的な影響を避けた状態で暴露し、試料の化学的性質、物理的性質及び性能の経時変化を調査する暴露試験方法である。

この暴露試験方法は、試料の上に堆積した大気汚染物質、腐食生成物などが降水によって流されないようにするため、遮へい物で覆った自然通風型及び通風制御型と、室内を模擬した密閉型がある。

自然通風型及び通風制御型による暴露試験方法は、高架橋等の下側の腐食性、建築物等の北側の壁面・軒下等による腐食性を調査する場合などに適した方法と言える。

遮へい構造物の構造及び大きさは、暴露試験の目的によって設計する。また、遮へい暴露試験装置を設置する場合は、付近に設置されている他の暴露試験装置に取り付けられた試料に、日照、通風などを妨げないように注意する。

遮へい暴露試験装置の型式には表7に示す3種類があり、その要求事項を表8、暴露試験装置の一例を写真3に示す。

なお、遮へい暴露試験装置の下又は中の温度及び相対湿度を測定することが望ましい。この場合、温度計及び相対湿度計の受感部を清掃することが必要である。

表7 遮へい暴露試験装置の型式及び特徴

型 式	特 徴
自然通風型	外気が自由に流通できる構造とする。
通風制御型	特定方向からの外気の流通を制御できる構造とする <sup>(7)</sup> 。
密 閉 型	外気が自由に流通できない構造とする <sup>(8)</sup> 。

注<sup>(7)</sup>例えば、東側及び西側からの風を遮る方法など。

注<sup>(8)</sup>この方法は室内を模擬した方法である。

表8 遮へい暴露試験装置の要求事項

No.	要 求 事 項
1	遮へい暴露試験装置は、試料を日照、雨、雪、風などの一部又は全部の直接的な影響から遮断できる構造とする。
2	遮へい暴露試験装置の型式は、表7に示す3種類とし、遮へい暴露試験の目的、試料の種類などに応じて定める。
3	試料が、風、振動などによって、移動したり破損しないように保持できる構造とする。

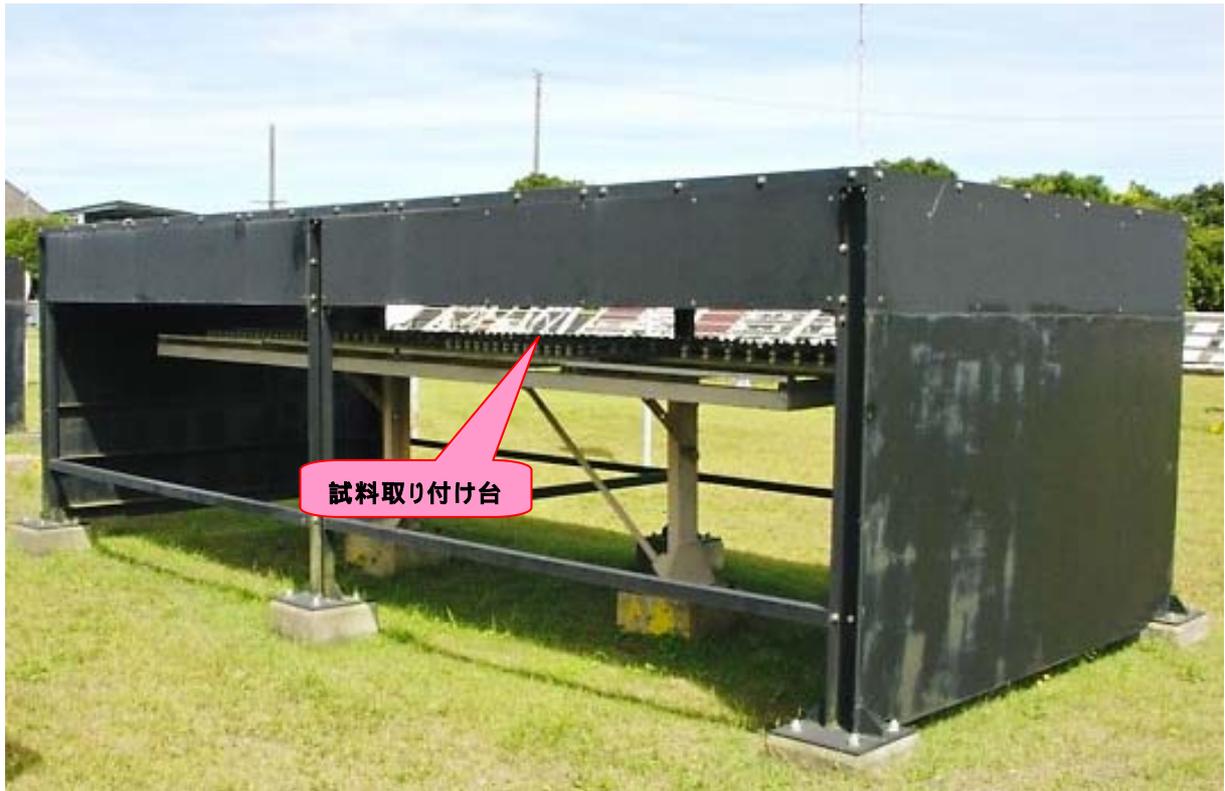


写真 3 遮へい暴露試験装置の一例（通風制御型）  
東側及び西側からの風を遮るための壁を設けた方法

### 2.3.4 ブラックボックス暴露試験方法

ブラックボックス暴露試験方法は、内外面とも全面に黒色処理を施した底のある金属製試験箱の上面に試料を取り付けて、大気環境に直接暴露する方法であり、試験箱の蓄熱効果に伴う温度上昇によって試料の化学的性質、物理的性質及び性能の変化を促進させ、その経時変化を調査する暴露試験方法である。

この暴露試験方法は、太陽放射光によって高温になる建物の屋根、自動車などの部位に使用される材料及び製品に有効である。

ブラックボックス暴露試験方法に用いる試験装置の型式は、表 9 に示す 2 種類があり、ブラックボックス暴露試験装置の一例を、図 5 及び写真 4 に示す。

表 9 ブラックボックス暴露試験装置の型式及び特徴

型式	特 徴
上面開口型	① 上面を開口面とし、他の 5 面は黒色処理を施した金属製試験箱で、開口した上面（暴露試験面）に試料を取り付ける機構を備えた構造とする。
	② 金属製試験箱の下部に、小さな水抜き孔がある構造とする。
	③ 試料を暴露する開口面の寸法及び試料の取り付け方法は、暴露試験の目的に応じて定める。
	④ 試料は、開口部の全面に隙間が生じないように取り付け、開口部の全面が満たさない場合は、残りの開口部を黒色処理した金属板でふさぐ。
	⑤ 試料の表面温度を測定する。
全面密閉型	① 6 面の内外面とも全面に黒色処理を施した金属製試験箱で、その上面に試料を直接取り付ける機構を備えた構造とする。
	② 試験箱の下部に、小さな水抜き孔がある構造とする。
	③ 試験箱の上面（暴露試験面）を除く 5 面の内側に保温材を貼り付けた構造のものを用いてもよい。
	④ 試料は、試験装置の上面に試料の裏面が密着するように取り付ける。
	⑤ 試料の表面温度を測定する。

備考) 上面開口型の場合、金属製試験箱の内部の相対湿度を測定することが望ましい。

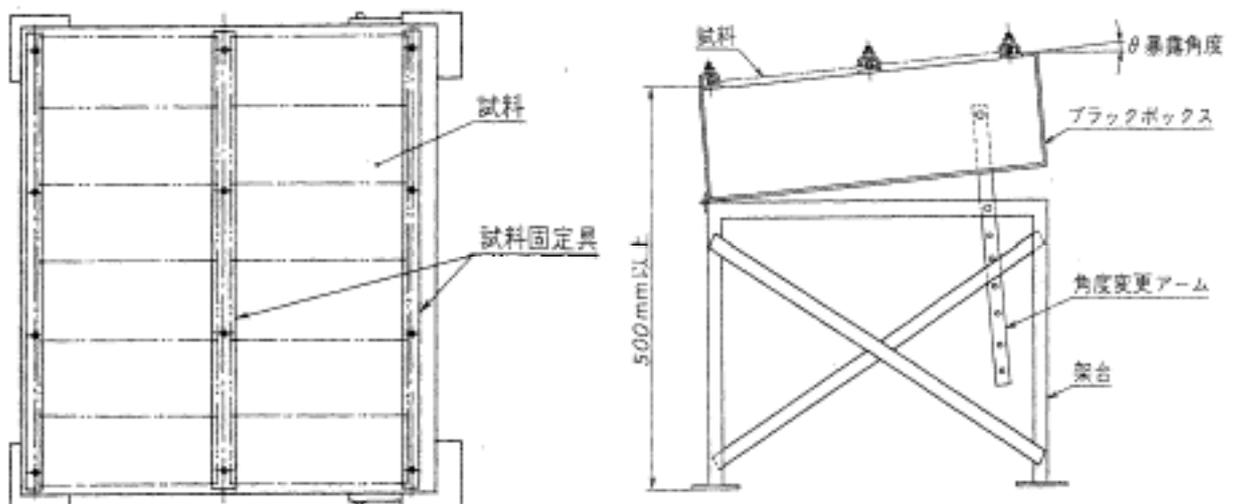


図 5 ブラックボックス暴露試験装置の一例



写真4 ブラックボックス暴露試験装置例（上面開口型）

### 2.3.5 太陽追跡集光暴露試験方法

太陽追跡暴露試験方法は、太陽放射光の光軸方向を垂直に追跡し、フレネル反射鏡を用いて太陽放射光を反射集光した部位に試料を取り付け、集光した太陽放射光によって試料の化学的性質、物理的性質及び性能の変化を促進させ、その経時変化を調査する暴露試験方法である。

フレネル反射鏡を用いた太陽追跡集光暴露試験方法は、乾燥した天気の良い年間 3,500 時間以上の日照時間があり、年間の日中の平均相対湿度が 30%以下の場所で行うのが最もよい。

この暴露試験方法を実施するための最低条件は、太陽に垂直な面で直達日射<sup>(9)</sup>と全天日射<sup>(10)</sup>との比率を 0.8 とする。

注<sup>(9)</sup> 太陽光線に垂直な面に入射する直達太陽放射照度。

注<sup>(10)</sup> 単位時間、単位面積あたりに面に入射する全太陽放射照度。

相対湿度の高い地域、浮遊粒子の多い地域など、太陽放射光の散乱光が多い地域では、紫外線域の放射光が天空へ散乱されるため、試料の照射位置に紫外線を集中する効率が大きく減少し、促進倍率は大きく減少する。

この暴露試験方法による促進倍率は、乾燥した砂漠地帯及び海拔の高い地域で実施されたとき、最も大きくなる。

太陽追跡集光暴露試験に用いる試験装置の要求事項を表 10、取扱い事項を表 11、試験装置の一例を図 6、図 7 及び写真 5 に、それぞれ示す。

表 10 太陽追跡集光暴露試験装置の要求事項

No.	要 求 事 項
1	太陽放射光の光軸を垂直に自動的に追跡する機構を備え、試料取り付け照射面に太陽放射光を反射集光するための 10 枚の平らな鏡からなるフレネル反射鏡及びその照射面に試料取り付け機構を備えた構造とする。
2	フレネル反射鏡は、試料取り付け照射面の試料に太陽放射光が均一に反射するように、試料照射面を中心とする放物線面の接線方向と平行に配置する。
3	フレネル反射鏡は、295 nm～750 nmの紫外域及び可視域の波長域で高い分光反射率を保持し、310 nmの波長での分光反射率が 65%以上でなければならない。また、試料取り付け照射面に集光された太陽放射光の露光量のばらつきが、5%以下になるように調節できなければならない。
4	試料取り付け照射面は、フレネル反射鏡による太陽放射光を集光する中心に位置し、その有効照射面積は、使用される一枚の反射鏡の面積よりわずかに小さいものとする。
5	反射鏡部には、最小 25mm角の大きさの取り外しができる分光反射率モニター用の反射鏡を取り付ける場所を備えた構造とする。
6	試料取り付け照射面を温度調節できる空冷機構を備えた構造とする。
7	暴露試験中の試料に水噴霧が規定のサイクルで行える機構を備えた構造とする。
8	配水管などのすべての材料は、水を汚染させないような材質のものでなければならない。

表 11 太陽追跡集光暴露試験装置の取扱い事項

No.	取 扱 い 事 項
1	試料は、試験装置が回転しても、移動又は脱落しないように取り付ける。
2	試料の表面温度を測定する。
3	試料に照射された反射光の特定波長域の太陽放射光の露光量を測定する。
4	太陽放射光の光軸を常に垂直に追跡することができるように、試験装置を維持管理する。
5	フレネル反射鏡は、常に清浄な表面を保持するように管理する。
6	材料及び製品が熱劣化を起こす温度以上に加熱されない範囲内に、試料の表面温度を制御する。
7	水噴霧の有無及び噴霧条件は、暴露試験の目的によって定める。試料に噴霧する水は、シリカ含有量 0.01mg/l以下、全固形物の含有量 20mg/l以下でなければならない。噴霧水は、蒸留又はイオン交換などによって脱ミネラル処理をすることが望ましい。

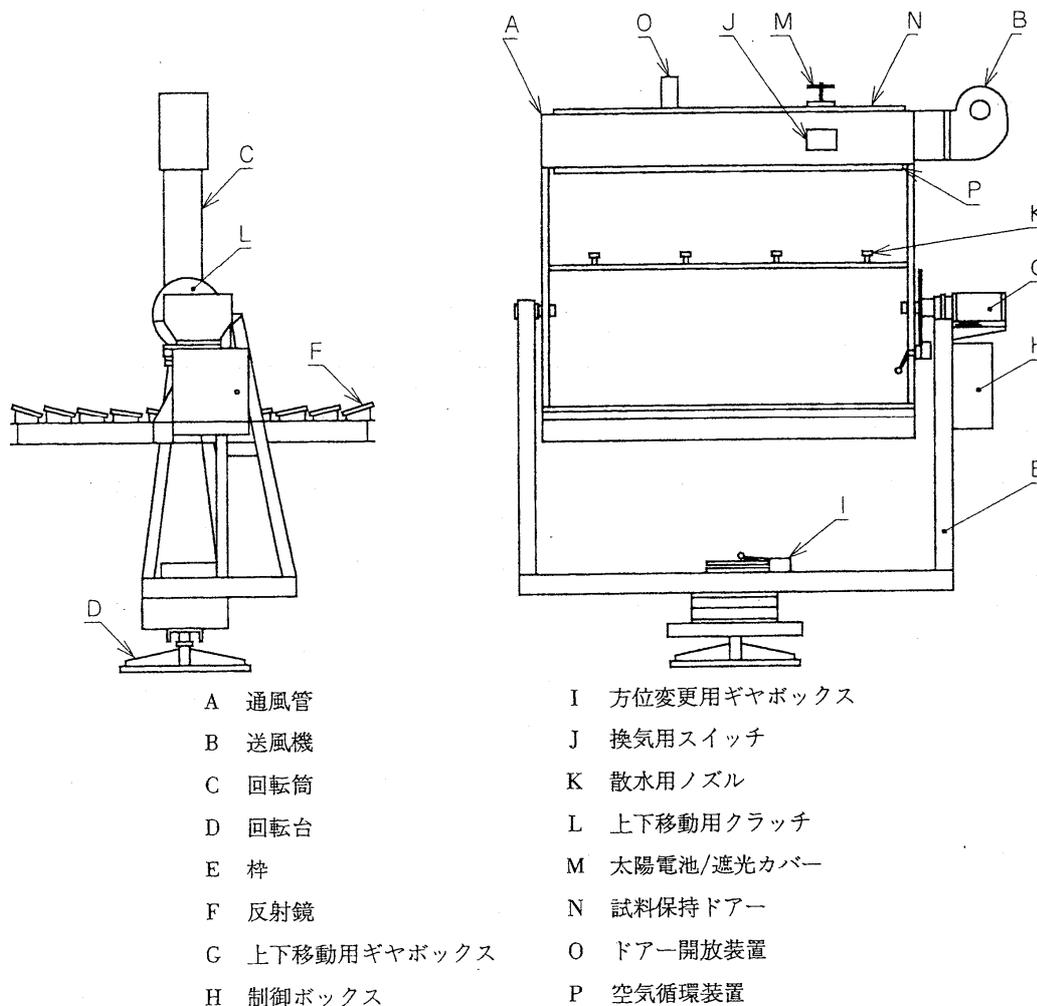


図 6 太陽追跡集光暴露試験装置の一例（装置の概要図）

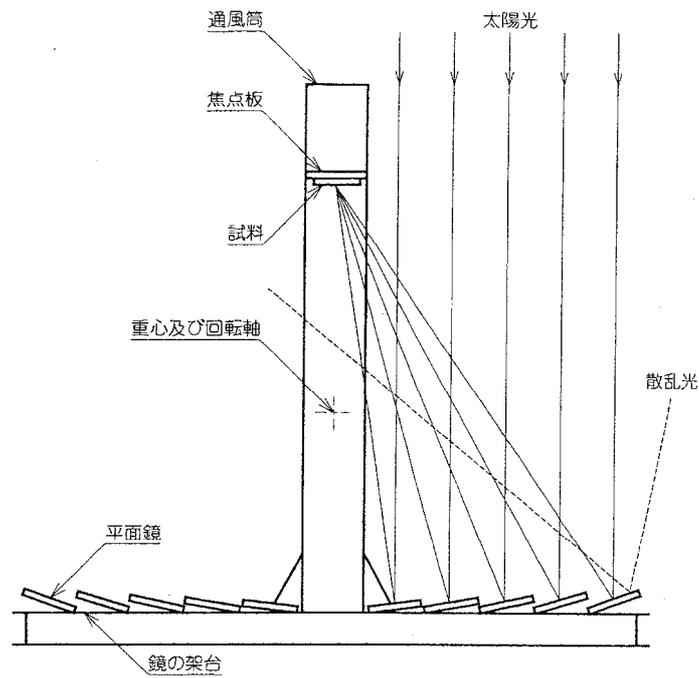


図7 太陽追跡集光暴露試験装置の一例(光学系の概要図)

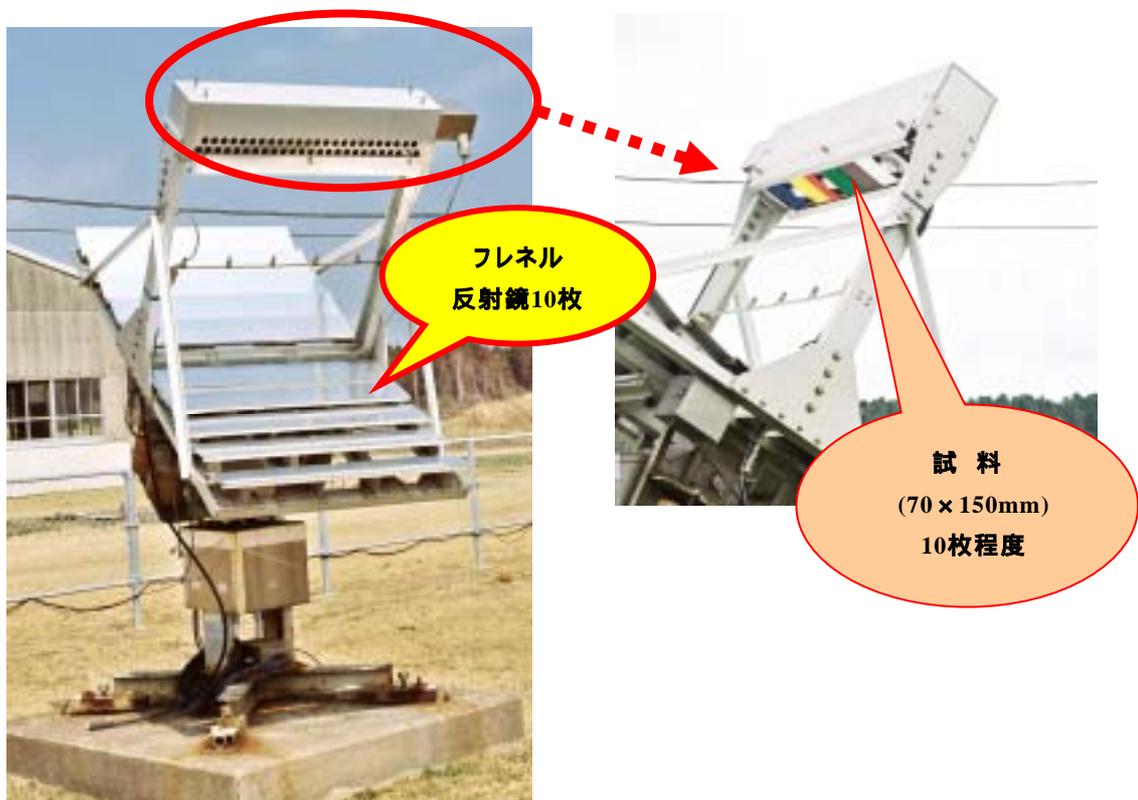


写真5 太陽追跡集光暴露試験装置及び試料取り付け状況の一例

### 2.3.6 暴露試験方法の違いによる耐候性結果の比較例

各種の暴露試験装置にプラスチック材料のABS（厚さ2mm、白色不透明）を取り付け、60度鏡面光沢度の保持率（%）の変化を比較した。図8に結果を示す。

この結果、太陽放射光の露光量が多く、温度の高い暴露試験装置に取り付けた試料の変化が最も早く表れている。

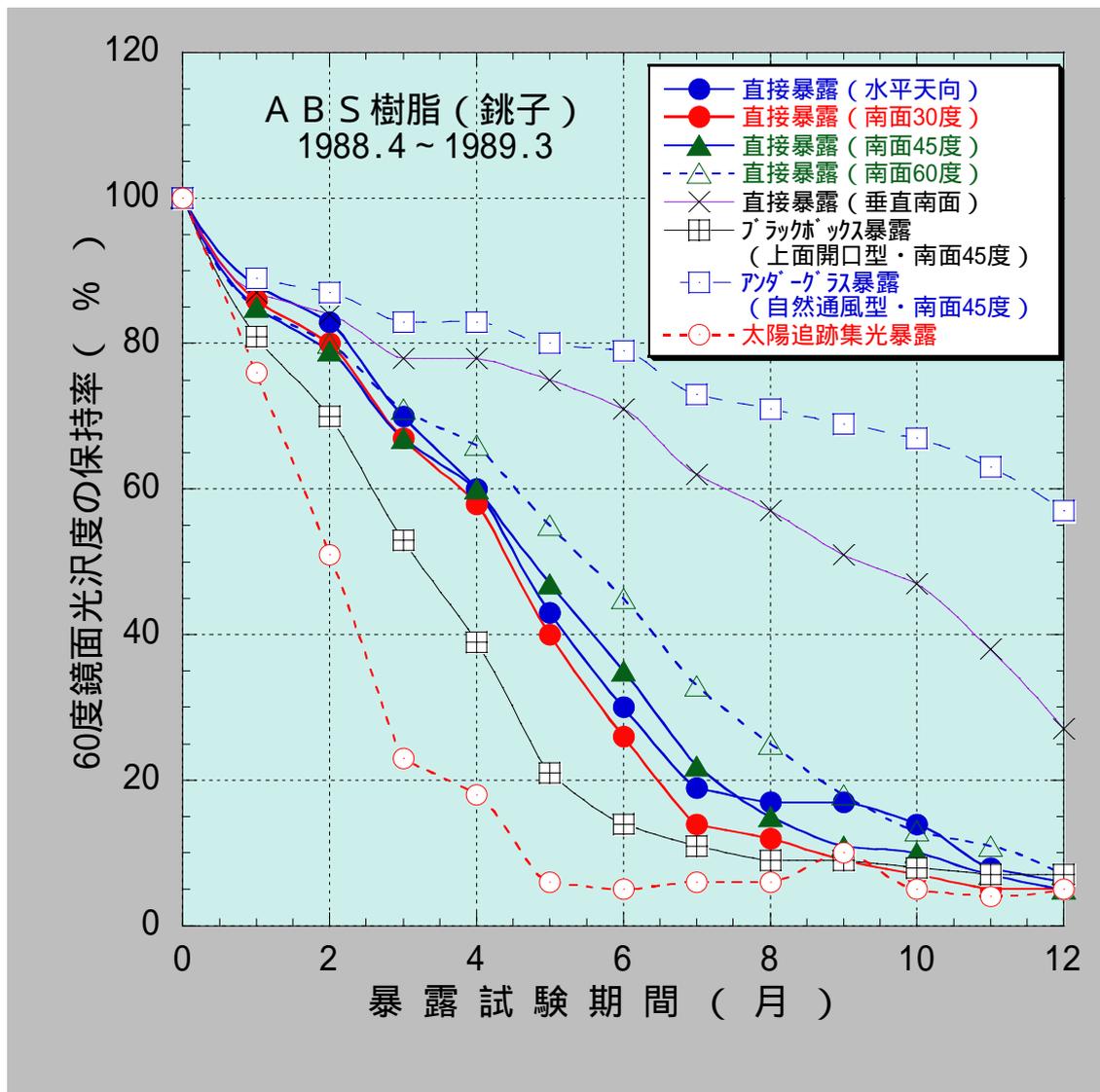


図8 暴露試験方法の違いによる耐候性結果の比較

## 2.4 暴露試験場

### 2.4.1 暴露試験場の要求条件

暴露試験場として満たすべき要求条件は、表 12 による。また、暴露試験場の一例として、(財)日本ウエザリングテストセンター銚子暴露試験場の暴露試験状況を写真 6 に示す。

表 12 暴露試験場の要求条件

No.	要 求 条 件
1	暴露試験場は、当該地域の気候の影響を全面的に受ける場所とする。
2	暴露試験場の近傍に建築物などの地上物件、草木など及び河川、湖、丘陵、凹地などの特定の地形的特徴が存在すると、日照、風及び大気汚染因子による影響を受け、予測できなかった暴露試験結果となるので、そのような場所は、暴露試験場として避けることが望ましい。
3	暴露試験場の位置は、暴露した試料を定期的に観察でき、環境因子の測定及び記録ができる場所とする。
4	暴露試験装置は、暴露試験場の状況に応じて、水はけの良い地面、芝地、砂利、コンクリート舗装処理などを施した場所に設置することが望ましい。ただし、標準的な暴露試験場に設置する暴露試験装置は、標準的な暴露試験場(後掲に示す表 17 を参照。)の条件を満たすこと。
5	暴露試験装置の設置場所の付近に草木などが繁茂していると、暴露試験装置の設置場所における温度及び湿度分布に影響を与えるおそれがあるので、そのような場所に暴露試験装置を設置する場合は、草木などの高さを 0.2m 以下とする。
6	暴露試験装置付近の草木の生長を抑制するために除草剤などの薬品を使用する場合は、薬品が試料に飛来しないようにしなければならない。



写真 6 暴露試験場の一例

### 2.4.2 暴露試験場の安全性

暴露試験場は、試料、暴露試験装置などが盗難、損傷などを受けないように、適切な安全対策が取られていなければならない。

また、暴露試験場を囲むフェンスなどが暴露試験に影響しないように注意する。

### 2.4.3 暴露試験場の環境

暴露試験は、暴露試験場の環境因子である気象因子及び大気汚染因子の影響を大きく受けるため、暴露試験場によって耐候性の結果が大きく異なる。

暴露試験場の違いによる耐候性の結果を比較した一例として、プラスチック材料のPP（未安定化）樹脂の60度鏡面光沢度の保持率（%）の結果を図9、炭素鋼（SM400B）の腐食量の結果を図10、各暴露試験場の詳細を表13に、それぞれ示す。

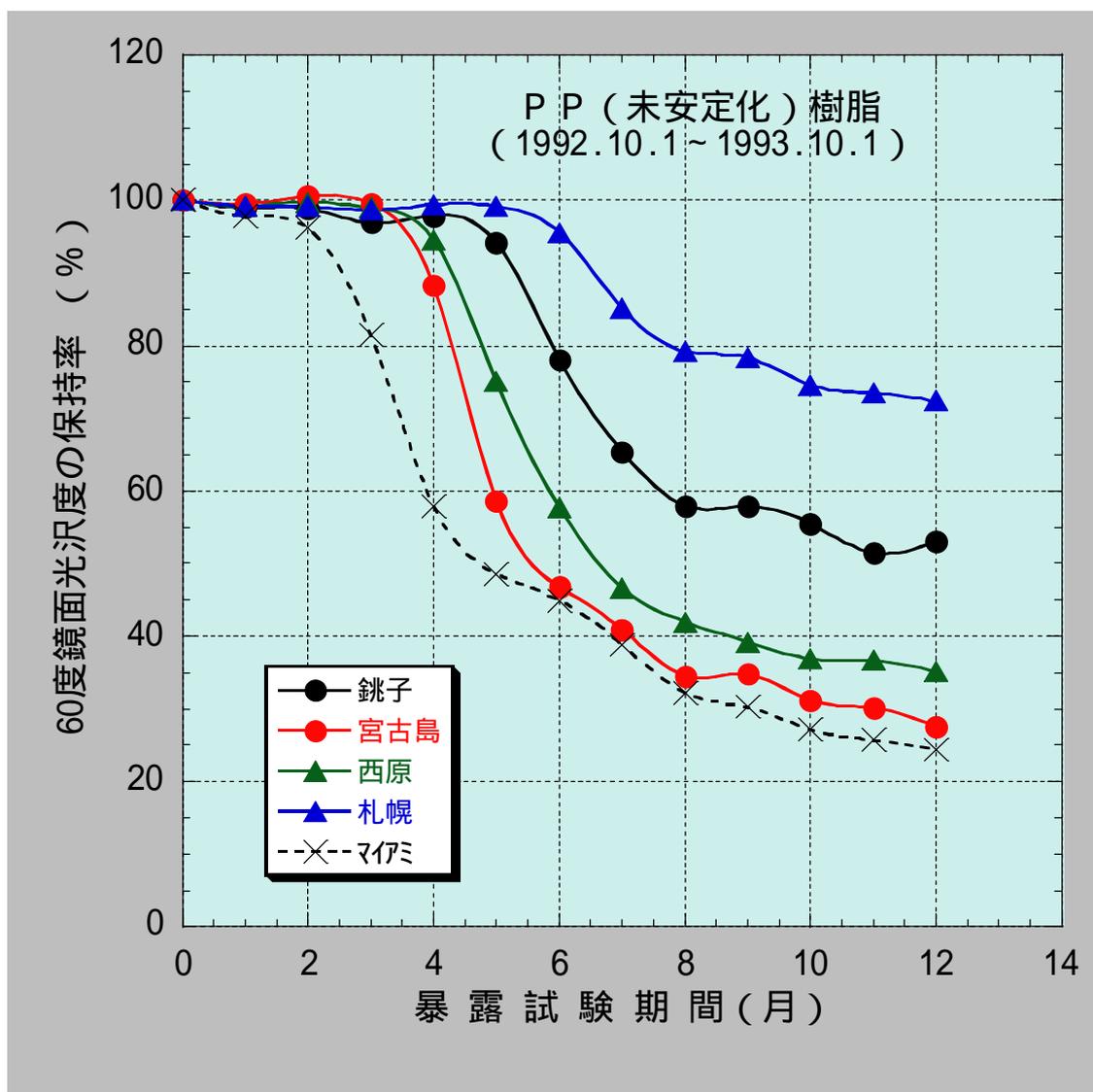


図9 暴露試験場の違いによるプラスチック材料のPP（未安定化）樹脂の60度鏡面光沢度の保持率（%）の比較例  
(新発電システムの標準化による調査研究の結果)

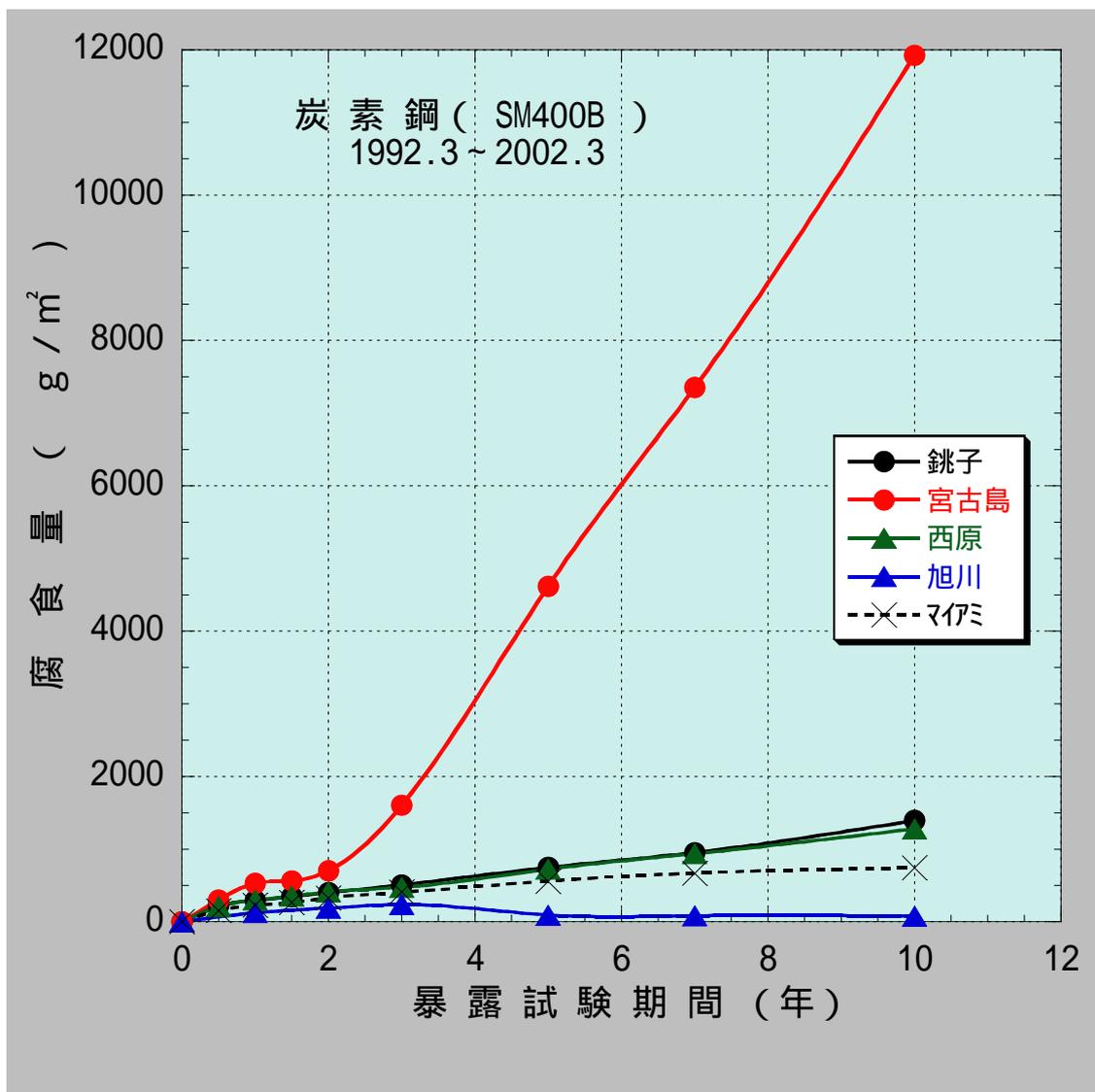


図 10 暴露試験場の違いによる炭素鋼 (SM400B) の腐食量の比較例  
(新発電システムの標準化による調査研究の結果)

表 13 各暴露試験場の詳細

名 称	暴露試験場	暴露試験場の緯経度		海岸までの 最短距離
		北緯	東経	
銚子	IWTC <sup>(11)</sup> 銚子暴露試験場	35° 43'	140° 45'	4
宮古島	IWTC <sup>(11)</sup> 宮古島試験場	24° 44'	125° 20'	2
西原	琉球大学工学部 構内	26° 15'	127° 46'	2.4
札幌	北海道工業開発試験所	43° 03'	142° 20'	—
旭川	北海道東海大学 構内	43° 47'	142° 18'	—
マイアミ	ATLAS <sup>(12)</sup> Everglades Test	25° 47'	80° 51' <sup>(13)</sup>	16

注<sup>(11)</sup> JWTC : 財団法人 日本ウェザリングテストセンター (Japan Weathering Test Center)

注<sup>(12)</sup> ATLAS : アトラス・ウェザリングサービスグループ (ATLAS Weathering Services Group)

注<sup>(13)</sup> マイアミのみ「西経」で表記

したがって、暴露試験の結果を精度よく解析するためには、暴露試験場の環境区分を明確にしておくことが望ましい。地球規模における暴露試験場の環境区分は、国際規格（ISO、IEC など）に採り入れられている。

一方、国内では、地域的な気象の特徴による気候区分、硫酸化物などの大気汚染状況による大気汚染区分に分類される。また、金属材料の暴露試験の場合には、海塩粒子の飛来量による腐食への影響を考慮した海塩区分が設定される。

世界の気候区分<sup>(14)</sup>を表14に示す。また、金属材料の腐食度に注目して九つに区分した気候区分<sup>(15)</sup>を図11、大気汚染区分を表15、海塩区分を表16に、それぞれ示す。

注<sup>(14)</sup> Trewartha, T.T. : An Introduction to Weather and Climate, McGraw-Hill, New York, 1974, Plate 1

注<sup>(15)</sup> 鉄鋼系社会資本材料の耐候性・耐食性試験評価方法に係わる調査研究、平成8年度報告書、p 50、社団法人日本建材産業協会

表 14 世界の気候の区分

1. 熱帯多雨気候	熱帯雨林 Af、Am	
	熱帯サバンナ Aw	
2. 乾燥気候	ステップ Bs	熱帯及び亜熱帯ステップ Bsh
		中緯度ステップ Bsk
	砂漠 Bw	熱帯及び亜熱帯ステップ Bwh
		中緯度ステップ Bwk
3. 温帯気候	地中海・亜熱帯／乾燥した夏 Cs	
	多湿・亜熱帯／温暖な夏 Ca	乾燥した冬 Caw
		乾燥した季節がない Caf
	海洋・涼しい夏 Cb、Cc	
4. 多湿亜寒帯気候	多湿・大陸性／温暖な夏 Da	
	多湿・大陸性／涼しい夏 Db	
5. 高温気候		
6. 極地気候	ツンドラ ET	
	氷雪気候 EF	



図 11 金属材料の腐食性に注目した気候区分

表 15 大気汚染区分

工業地域	生産活動に伴って、大気汚染物質を発生する地域。
都市地域	商業及び生活活動に伴って大気汚染物質を発生する地域。
田園地域	大気汚染物質の影響が少ない地域。
酸性雨地域	酸性雨の原因物質の直接の発生源ではないが、酸性雨物質の飛来による影響の大きい地域。
火山・温泉	火山性物質及び温泉からのガス（硫化水素ガスなど）の影響を大きく受ける地域。（自然現象による特殊環境として区分）

表 16 海塩区分

海上	海の上。
海浜	海岸線から 300m 以内の地域（飛来する海塩粒子の影響が最も厳しい地域）。
沿岸	海岸線から 300m を越えて 2 km 以内の地域 （飛来する海塩粒子の影響が比較的大きい地域、ただし、南西諸島の島は、海岸線から 2 km を越えても、すべてこの区分に入れる。）。
準沿岸	海岸線から 2 km を越えて 20km 以内の地域 （飛来する海塩粒子の影響が比較的小さい地域）。
内陸	海岸線から 20km を越えた地域 （飛来する海塩粒子の影響が無視できる地域）。

#### 2.4.4 暴露試験場の種類

暴露試験場の種類は、表 17 に示す 3 種類ある。また、標準的な暴露試験場の条件を図 12 に概念的に示す。

表 17 暴露試験場の種類

種類	内容
標準的な暴露試験場	地域的な気象の特徴が明らかな場所とする。
	大気汚染因子量の年ごとの変動が少ない場所とする。
	東、西及び赤道の方向の仰角 20 度以上、反赤道方向の仰角 45 度以上に日照、降水、通風などの環境条件に著しい影響を及ぼす建築物などの地上物件、草木などが無い場所とする。
	暴露試験装置の設置場所は、水はけのよい芝地とし、太陽放射光の照り返し、ほこりの舞い上がり、冠水などを防止する処置を施す。
	暴露試験装置の下及び周辺の草木などの高さは、0.2m以下とする。
	暴露試験に影響を及ぼす気象因子を測定できる場所とする。
一般的な暴露試験場	地域的な気象の特徴が明らかな場所とする。
	大気汚染因子量の年ごとの変動が少ない場所とする。
	日照、降水、通風などの環境条件に著しい影響を及ぼす建築物などの地上物件、草木などが無い場所とする。
	建築物の屋上（一般的な暴露試験場の条件を満たす場合）
特殊な暴露試験場	特殊な環境条件を備えた場所とする。

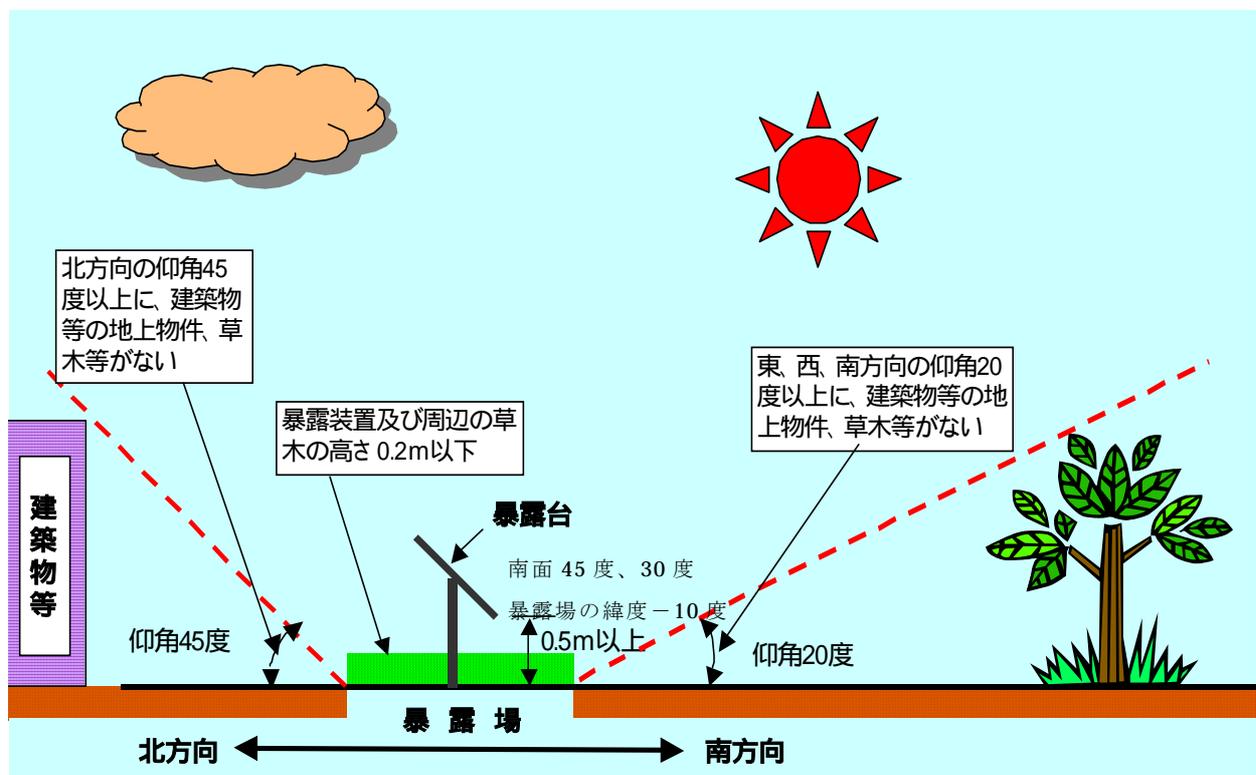


図 12 標準的な暴露試験場の条件

## 2.5 試料

### 2.5.1 試料の区分

試料の区分は、暴露試験の目的又は条件によって、暴露試験用の試料、初期値測定用の試料、保存用試料、標準試料及び予備用試料に区分する。主な内容は、表 18 のとおりである。

表 18 試料の区分

区 分		内 容
暴露試験用の試料	試験体	製品（部品）をそのまま又は荷姿のまま暴露試験に用いる試料
	試験片	材料又は製品を代表するものとして、暴露試験の目的に合わせて加工した試料、又は、評価試験に用いる試験片形状の試料。
初期値測定用の試料		暴露試験を開始する前の化学的性質、物理的性質及び性能の初期値を測定するために、暴露試験用の試料と同時に作成した同一の試料。
保存用試料		暴露試験用の試料と同時に作成し、暴露試験を行った試料と比較対照するために暴露しないで保存する同一の試料。 保存用試料は、試料の化学的性質、物理的性質が変化しにくいデシケータ内、冷暗所などで適切に保管されなければならない。
標準試料		耐候性の結果及び試料の詳細が明らかな試料でなければならない。
予備用試料		暴露試験用の試料と同時に作成し、実験計画の変更などにより必要が生じた時に使用する試料。 保存用試料と同様、試料の化学的性質、物理的性質が変化しにくいデシケータ内、冷暗所などで適切に保管されなければならない。

### 2.5.2 試料の形状及び寸法

暴露試験に用いる試料の形状及び寸法は、暴露試験の目的に適したものとする。試料の形状及び寸法例を表 19 に示す。

表 19 試料の形状及び寸法例

種 類	寸 法 (mm)	形 状
金 属	100 <sup>W</sup> ×150 <sup>L</sup> ×1~6 <sup>t</sup>	平板
塗 料	150 <sup>W</sup> ×300 <sup>L</sup> ×1~4 <sup>t</sup>	平板
プラスチック	300 <sup>W</sup> ×300 <sup>L</sup> ×1~5 <sup>t</sup>	平板 ダンベル形状
ゴ ム	150 <sup>W</sup> ×150 <sup>L</sup> ×1~5 <sup>t</sup>	平板 ダンベル形状

備考) 各種類ともに 70<sup>W</sup>×150<sup>L</sup>の寸法で行うことも可能である。

### 2.5.3 試料の個数

試料の個数は次による。

- a) 暴露試験に供する試料の個数は、試料の化学的性質、物理的性質及び性能の経時変化を正確に評価できる十分な数とし、最少3個とする。
- b) 通常の評価試験では、それぞれの暴露試験期間ごとに最少3個とするが、高度な統計処理、腐食生成物の分析などを行う場合には、3個を越える試料を用いることが望ましい。

### 2.5.4 試料の標識

標識を表示する記号区分は、試料の種類、暴露試験場、暴露試験方法、暴露試験期間及び繰り返し数などを、記号及び番号などを用いて簡単に表示する。試料の標識の内容、位置、付け方を表20に示す。また、標識の内容の記号区分例を表21に示す。

表20 試料の標識

標識の内容	試料の種類、暴露試験場などを、記号、番号などで簡単に表示する。
	試料及び評価試験に支障がない場合は、試料端部への切込み、ドリル孔なども標識として利用してもよい。
標識の位置	試料の端部、裏面など、暴露試験及びその評価試験に支障がない位置とする。
	試料に直接表示できない場合は、試料を取り付けた暴露架台、試料保持枠などに表示してもよい。
標識の付け方	試料に化学的・物理的な影響を与えない方法で付ける。 暴露試験期間中に標識を読み取ることができ、耐久性がなければならない。 (塗料又は油性マジック等で書く、テープに印字して貼り付ける、刻印など。)
	標識によって影響を受ける面は、できるだけ小さくしなければならない。
	試料の記号、暴露架台上の試料の位置など、暴露試験の状況が分かる配置図などを作成しておくことを推奨する。

表21 標識に表示する記号区分(例)

区分	内容	記号
試料の種類	ポリエステル塗料塗装板	P
	ふっ素樹脂塗料塗装板	F
暴露試験場	銚子	C
	旭川	A
	宮古島	M
	宮古島海岸	K
暴露試験方法	直接暴露試験	D
	アンダーグラス暴露試験	U
	遮へい暴露試験	S
	ブラックボックス暴露試験	B
	太陽追跡集光暴露試験	E
暴露試験期間	1年、2年、3年・・・	1、2、3・・・
繰り返し数	1枚、2枚、3枚・・・	(1)、(2)、(3)・・・

備考) 暴露試験期間と繰り返し数は、数値を用いて通し番号で行なってもよい。

## 試料標識の記号区分例；

試料の種類 — 暴露試験場・暴露試験方法 — 暴露試験期間・繰り返し数  
□□ — □□ □□ — □□

例：ポリエステル塗料塗装板の銚子における直接暴露試験、3年暴露試料の繰り返し2枚目の標識

P - C D - 3 (2)

## 2.6 暴露試験方法

### 2.6.1 暴露試験装置

暴露試験装置の一般的な要求事項は、表 22 による。

表 22 暴露試験装置の一般的な要求事項

No.	内 容
1	暴露試験装置は、暴露架台、試験箱、試料保持枠などで構成され、暴露試験に適した堅ろうな構造とする。
2	暴露試験装置の構成材料は、暴風雨、積雪荷重及び暴露架台の全面に試料を取り付けた場合の最大荷重に耐える強度と耐久性をもつものとする。
3	暴露試験装置の構成材料は、試料の化学的性質、物理的性質及び性能の経時変化に影響を与えない耐食性のあるステンレス鋼、アルミニウム合金、塗覆装を施した鉄鋼などの金属の形材、適切な防腐処理を施した木材などの不活性な材料とする。
4	暴露試験装置は、暴風雨、積雪、凍上などの影響に耐えられるよう、適切、かつ堅固に設置する。
5	暴露架台、試料保持枠、試験箱及びこれらに附属する取り付け器具類は、暴露試験方法の種類・目的、試料の種類、形状、寸法及び暴露試験条件の設定に適した構造とする。
6	試料と直接接触する試料保持枠、試料取り付け器具などの部材は、試料の化学的性質、物理的性質及び性能の経時変化に影響を及ぼさない不活性な材料とする。
7	腐食生成物による汚染などが暴露試験を行う試料に影響を及ぼすおそれがある場合は、暴露架台・試料保持枠・試験箱・金具類などの部材、遮へい構造物の部材、応力又はひずみを加えるための装置類及び附属器具類には、防錆・防腐処理などの適切な保護処理を施す。
8	試料の取り付け機構は、試料の自由変形を妨げず、試料が脱落するおそれがない構造とし、試料の取り付け及び取り外しが容易で、安全に取り扱うことができるものとする。
9	暴露試験装置は、試料面が規定の暴露方位及び角度に設定でき、維持できる構造とする。
10	暴露試験装置の接地面から暴露試験を行う試料の最下端部までの距離は、0.5m以上とする。ただし、暴露した試料の材料又は製品規格に、接地面からの距離が規定されている場合は、その規定による。

## 2.6.2 暴露試験面の方位及び角度

暴露試験面の方位及び角度の一般的な要求事項は、表 23 による。

また、全天日射量の角度別による年間露光量（銚子）を比較した結果を、図 13 に示す。

表 23 暴露試験面の方位及び角度の一般的な要求事項

No.	内 容
1	暴露試験面の暴露方位は、赤道面(南面)とする。
2	暴露試験面の角度は、水平面から 45°（許容される場合は 30°）とし、試験面を天向きに暴露する。 ただし、暴露する試料の材料又は製品規格に規定がある場合は、その規定による。
3	遮へい暴露試験における試験面の角度は、水平面に対して 0°、30°、45°、60° 又は 90° のいずれかとする。 ただし、別に規定又は受渡当事者間の協定がある場合は、それによる。
4	太陽放射光の影響を大きく受けるプラスチックの場合には、年間に最も多く太陽放射光を受ける角度とし、水平面からの暴露試験面の角度は、暴露試験場の緯度マイナス 10° の角度にすることが望ましい。
5	金属材料の場合には、腐食に大きな影響を及ぼす大気汚染因子の発生源に試験面を意図的に向けて暴露試験を行ってもよい。
6	建築材料の場合には、実際に使用される状態を模擬した方法で暴露試験を行ってもよい。

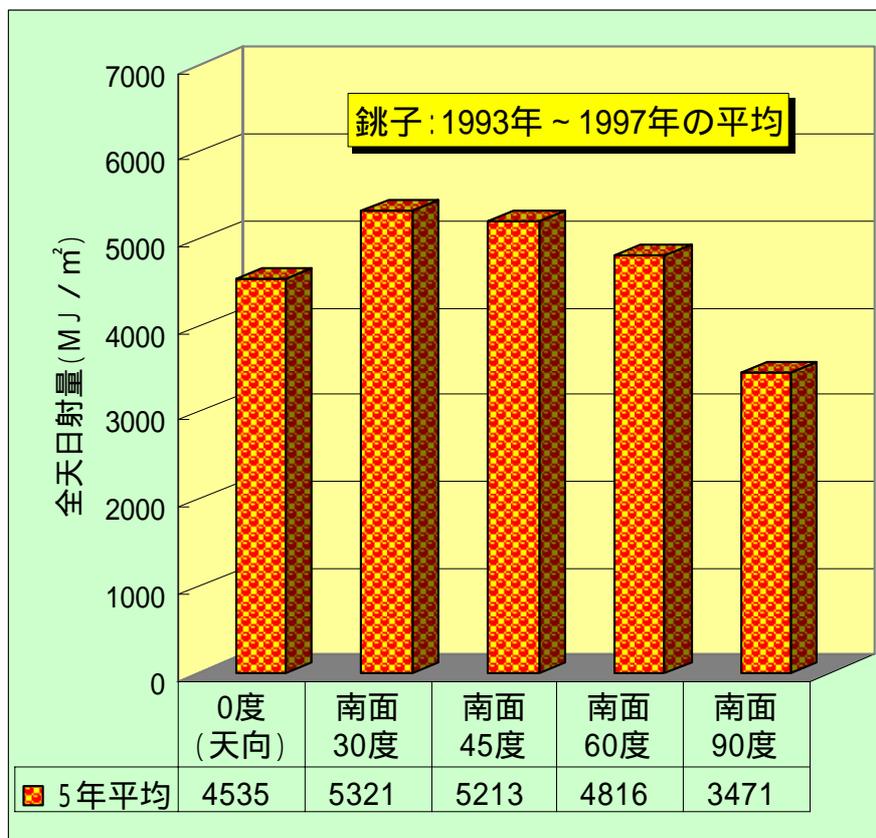


図 13 全天日射量の角度別の年間露光量の比較

### 2.6.3 暴露試験用の試料の前処理

暴露試験用の試料は、暴露試験結果の変動を少なくして再現性をよくする目的で、必要に応じて、洗浄、状態調節、切り口及び裏面を保護するなどの前処理を行う。

### 2.6.4 試料の取り付け及び取り外し

試料の暴露試験装置への取り付け及び取り外しは、表 24 による。

表 24 試料の取り付け及び取り外しの要求事項

No.	内 容
1	暴露試験の実施に際しては、清浄な手袋を使用して試料を取扱い、必要に応じて写真を撮る。
2	暴露試験の目的に従い、規定の暴露方位及び暴露角度に設置した暴露試験装置に試料を取り付ける。
3	試料の取り付けは、試料が自由に変形できるゆとりを持たせる。ただし、使用状態に合わせて試料を固定する場合又は応力を負荷した状態で暴露試験を行う場合は、この限りでない。
4	暴露試験に影響を与えないようにするため、試料相互及び試料と他の物質とが接触しないように試料を暴露架台に取り付ける。
5	試料、試料保持枠などからの腐食生成物、雨水を含んだ汚染物質などが他の試料表面に滴下しないように取り付ける。
6	試料を取り付け及び取り外すときは、試料の表面に指紋、きず、汚れ、変形などの暴露試験結果に影響を及ぼす原因とならないように注意する。
7	試料が暴露架台、試料保持枠、試料取り付け器具に接触して腐食などの異常を起こすおそれがある場合は、暴露架台、試料保持枠、試料取り付け器具などに適切な絶縁処理を施す。

### 2.6.5 暴露試験期間中の試料の取扱い

暴露試験期間中の試料の取扱いは、表 25 による。

表 25 暴露試験期間中の試料の取扱いの要求事項

No.	内 容
1	暴露試験期間中は、規定された条件に正しく維持されるように試料を適切に管理する。
2	暴露試験期間中の試料の洗浄は、通常行わない。ただし、試料の洗浄を行う場合は、暴露試験の目的、試料の種類などによって、その方法を定めて実施する。
3	暴露試験期間中の間に実施する評価試験のために試料の洗浄、観察などを行う場合は、試料に指紋、きず、変形など、継続して行う暴露試験に影響を及ぼす原因を作らないように注意する。
4	暴露試験期間中に力学的性質などの評価試験を行った結果、著しいひずみ又はきずが生じた試料は、継続して暴露試験を行ってはならない。
5	試料の切り口の保護処理が損傷した場合は、補修する。
6	積雪などに対する処置は、暴露試験の目的、試料の種類などによって定める。

## 2.6.6 標準試料

標準試料の要求事項は、表 26 による。

なお、標準試料として、標準金属試験片〔JIS Z 2383(大気環境の腐食性を評価するための標準金属試験片及びその腐食度の測定方法)〕、基準塗料及びPEリファレンス試験片(新発電システムの標準化に関する調査研究の成果として提案)がある。

表 26 標準試料の要求事項

No.	内 容
1	暴露試験を行う試料は、地域、気象、暴露試験の開始時期などの影響を大きく受けるので、標準試料を同時に暴露して、それらの暴露試験結果を相対的に比較することが望ましい。
2	標準試料は暴露試験による化学的性質及び物理的性質の変化の傾向が既知であるものを使用する。
3	標準試料は、当事者間の協議によって決めることができる。

## 2.7 暴露試験期間

直接暴露試験、アンダーグラス暴露試験、遮へい暴露試験、ブラックボックス暴露試験及び太陽追跡集光暴露試験において、同じ暴露試験期間に試料が同様の化学的性質、物理的性質及び性能の変化を与えないとは限らない。特に、直接暴露試験の場合には、暴露試験を行う場所の季節による影響を大きく受けることがある。したがって、暴露試験期間の設定に当たっては、暴露試験場及び暴露試験期間中の環境因子を考慮することが重要である。

### 2.7.1 暴露試験期間の設定

暴露試験期間の設定は、試料の種類、用途などを考慮するとともに、試料の化学的性質、物理的性質及び性能の変化をできるだけ正確に把握できるようにするため、表 27 のいずれかを設定する。

表 27 暴露試験期間の設定

設定方法	内 容	表 し 方
時間を単位とする方法	週：1、2、3、4週	1週：翌週の同じ曜日までの期間。
	月：1、3、6、9か月	1か月：翌月の同じ日までの期間。 ただし、翌月に同じ日がない場合は、翌月の末日までの期間。
	年：1、1.5、2、3、5、7、10、15、20年	1年：翌年の同じ日までの期間。 ただし、翌年に同じ日がない場合は、その前日までの期間。
太陽放射光の露光量(MJ/m <sup>2</sup> )を単位とする方法	試料に照射される太陽放射光の露光量によって設定する。	露光量で表示するとともに、暴露試験の開始日及び終了日を明記する。
性質又は性能の変化の程度による方法	試料が所定の化学的性質、物理的性質又は性能の変化を生じるまでの期間によって設定する。	試料の化学的性質、物理的性質及び性能が、所定の変化の程度に達するまでの期間。この場合、暴露試験の開始日及び終了日を明記する。

### 2.7.2 暴露試験の開始時期

(1) 暴露試験期間が1年未満の暴露試験結果は、暴露試験を開始した季節に依存することがある。

暴露開始時期の違いによる耐候性の結果を比較した結果例を図14に示す。この結果は、プラスチック材料のABS（厚さ2mm、白色不透明）を1か月ごとに暴露開始して、60度鏡面光沢度の保持率（%）の経時変化を比較したものであり、暴露試験期間6か月までの変化は5月開始が最も早く、10月開始は最も遅く表れている。

(2) 暴露試験期間が長い場合は、季節による試料の化学的性質、物理的性質及び性能への影響は平均化されるが、暴露試験を開始した季節によって、その結果は異なることがある。

暴露試験期間が2年未満で暴露開始時期が異なる結果は、同一水準として扱わない。一般的に、暴露試験の開始時期は、表28による。

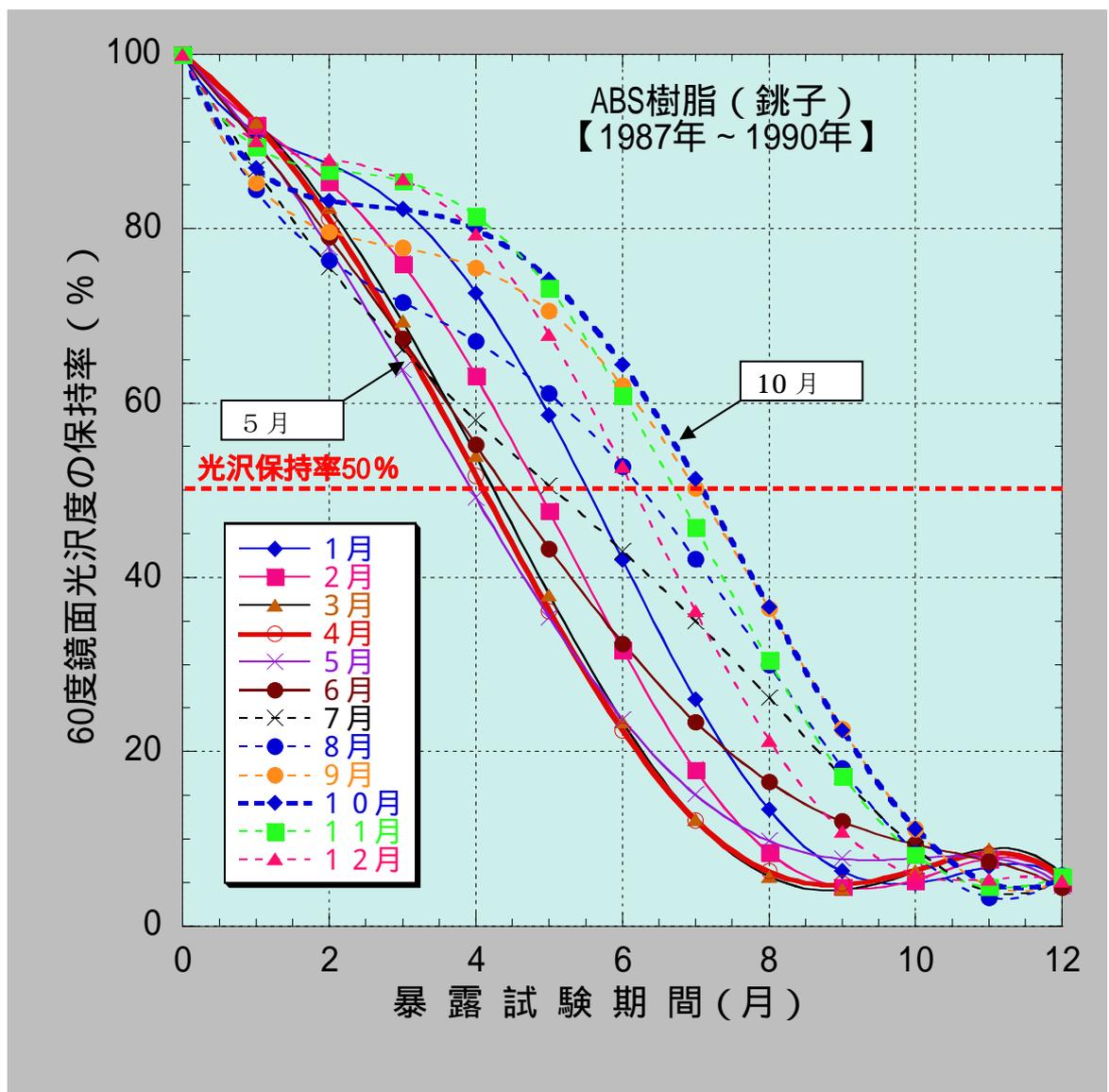


図14 暴露試験の開始時期の違いによる耐候性結果の比較

表 28 暴露試験の開始時期

暴露試験期間	開始時期
1年未満	春開始：3月又は4月。 秋開始：9月又は10月
1年以上	特に定めない

## 2.8 環境因子

暴露試験に影響する気象因子及び大気汚染因子のすべての環境因子を測定し、記録することが望ましい。暴露試験結果を評価するためには、暴露試験場の気象状況、大気汚染状況などを詳細に分析する必要がある。

### 2.8.1 環境因子の測定

環境因子の測定に係わる要求事項は、表 29 による。

表 29 環境因子の測定に係わる要求事項

No.	内 容
1	環境因子の測定は、暴露試験場で行う。 ただし、暴露試験場で測定できない気象因子については、最も近接した気象官署の観測資料によってもよい。その場合、暴露試験場から気象官署までの距離及び方向を明記する。
2	環境因子の測定は、暴露試験期間の全期間を通じて行うことが望ましい。
3	環境因子の測定に用いる装置及び機器類の設置場所は、暴露試験装置の設置場所の近くとし、かつ、暴露試験場を代表する環境因子の測定に適した場所とする。
4	気象因子としての気温及び相対湿度を測定する機器の受感部は、百葉箱又はこれに準じる装置内に設置する。
5	暴露試験の目的によって重要でない因子については、当該項目の測定を省略してもよい。

### 2.8.2 環境因子の測定項目、測定方法及び表示方法

環境因子の測定項目、測定方法及び表示方法は、表 30 及び表 31 による。

なお、測定値のけた数及び測定値の丸め方は、次による。

- 1) 太陽放射光の露光量は、少数点以下2けたとする。
- 2) 気温、絶対湿度、日照時間、降水時間、降水量及び風速は、少数点1けたとする。
- 3) 相対湿度及びぬれ時間は、整数位とする。
- 4) その他の因子は、測定精度を考慮して、必要に応じて定める。
- 5) 測定値の丸め方は、JIS Z 8401による。

表 30 大気暴露試験における環境因子の測定項目、測定方法及び表示方法

区分	測定項目 単位	測定方法	表示方法	
			表示項目	表示内容
気象因子	気温 ℃	温度計を用いて、1日の気温を連続又は8点以上の定時間間隔で測定する。	日最高気温	その日の気温の最高値を表示する。
			日最低気温	その日の気温の最低値を表示する。
			日平均気温	その日の気温の平均値を表示する。
			月平均最高気温	その月の日最高気温の平均値を表示する。
			月平均最低気温	その月の日最低気温の平均値を表示する。
			月平均気温	その月の日平均気温の平均値を表示する。
	相対湿度 %	露点式湿度計、乾湿球湿度計又は毛髪湿度計を用いて、1日の相対湿度を連続又は4点以上の定時間間隔で測定する。	日最高相対湿度	その日の相対湿度の最高値を表示する。
			日最低相対湿度	その日の相対湿度の最低値を表示する。
			日平均相対湿度	その日の相対湿度の平均値を表示する。
			月平均最高相対湿度	その月の日最高相対湿度の平均値を表示する。
			月平均最低相対湿度	その月の日最低相対湿度の平均値を表示する。
			月平均相対湿度	その月の日平均相対湿度の平均値を表示する。
	絶対湿度 g/m <sup>3</sup>	露点式湿度計を用いるか、又は気温と相対湿度の測定値から絶対湿度を求める。	日平均絶対湿度	その日の絶対湿度の平均値を表示する。
			月平均絶対湿度	その月の日平均絶対湿度の平均値を表示する。
	日照時間 h	日照計を用い、1日の日照時間を測定する。	日照時間	暴露試験期間中の日照時間の合計を求めて表示する。
	太陽放射光の露光量 MJ/m <sup>2</sup>	受光面を試料の暴露面と平行にした日射計又は積算照度計を用い、1日の太陽放射光の露光量を測定する。ただし、紫外線などの特定波長域の太陽放射光の露光量は、選択波長フィルターを用いて測定する。	太陽放射光の露光量	暴露試験期間中の太陽放射光の露光量の合計を求めて表示する。

表 30 大気暴露試験における環境因子の測定項目、測定方法及び表示方法(続き)

区分	測定項目 単位	測定方法	表示方法	
			表示項目	表示内容
気象因子	降水量 mm	雨量計を用い、1日の降水量を測定する。ただし、雪、あられなどが受水器内に積もったときは既知量の温水を注いで溶かし、水にして量った値から注いだ温水の量を減じて、降水量を求める。	降水量	暴露試験期間中の降水量の合計を求めて表示する <sup>(16)</sup> 。
	降水時間 h	雨、雪の降り始めと降り終わりの時刻を測定し、1日の降水時間を求める。	降水時間	暴露試験期間中の降水時間の合計を求めて表示する。
	結露時間 h	結露によるぬれ始めと乾いた時刻を測定し、結露時間を求める。	結露時間	暴露試験期間中の結露時間の合計を求めて表示する。
	ぬれ時間 h	1日ごとに測定した降水時間と結露時間の合計を求める。	ぬれ時間	暴露試験期間中の降水時間と結露時間の合計を求めて表示する。
	風向 16方位	風向計を用い、その日の風向を16方位に区分して測定する。	日最多風向	その日の風向で、最多頻度で現われた風向を表示する。
			月最多風向	その月の日最多風向の中で、最多頻度で現れた風向を表示する。
風速 m/s	風速計を用い、その日の風速を測定する。	日平均風速	その日の全風程を86400秒で除した値を表示するか、又は、その日の8点を越える定時間間隔で測定した風速の平均値を表示する。	
		月平均風速	その月の日平均風速の平均値を表示する。	
大気汚染因子	硫酸化物付着量 mg SO <sub>2</sub> / (m <sup>2</sup> ・d)	JIS Z 2382 に規定する二酸化鉛プレート法、二酸化鉛円筒法又はアルカリろ紙法によって測定する。	硫酸化物付着量	その月の測定値を、その月の日数で除した値で表示する。
	海塩粒付着量 mgNaCl/ (m <sup>2</sup> ・d)	JIS Z 2382 に規定するウェットキャンドル法又はドライガーゼ法で測定する。	海塩粒子付着量	その月の測定値を、その月の日数で除した値で表示する。

注 (16) 降水の pH 及び降水中の SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、Cl<sup>-</sup>などの含有量を測定しておくことが望ましい。

表 31 大気暴露試験におけるその他の環境因子の測定項目、測定方法及び表示方法

区分	測定項目 単位	測定方法	表示方法	
			表示項目	表示内容
その他の 気象 因子	ブラックパ ネル温度 ℃	バイメタル、白金抵抗体、サーミスタ、熱電対などの感熱体を黒色処理した金属板の中心に一致させて取り付け、感熱体保護管を固定した構造の感熱部を備えた温度計を用いて測定する。 *構造は、JIS B 7753 の 5.5 (2) による。	日最高温度	その日の温度の最高値を表示する。
			日最低温度	その日の温度の最低値を表示する。
			日平均温度	その日の温度の平均値を表示する。
			月平均最高温度	その月の日最高温度の平均値を表示する。
			月平均最低温度	その月の日最低温度の平均値を表示する。
			月平均温度	その月の日平均温度の平均値を表示する。
	ホワイトパ ネル温度 ℃	バイメタル、白金抵抗体、サーミスタ、熱電対などの感熱体を白色処理した金属板の中心に一致させて取り付け、感熱体保護管を固定した構造の感熱部を備えた温度計を用いて測定する。	日最高温度	その日の温度の最高値を表示する。
			日最低温度	その日の温度の最低値を表示する。
			日平均温度	その日の温度の平均値を表示する。
			月平均最高温度	その月の日最高温度の平均値を表示する。
			月平均最低温度	その月の日最低温度の平均値を表示する。
			月平均温度	その月の日平均温度の平均値を表示する。
	試料の表面 温度 ℃	白金抵抗体、熱電対などの温度センサーを試料の表面に取り付け、試料の表面温度を測定する。	日最高温度	その日の温度の最高値を表示する。
			日最低温度	その日の温度の最低値を表示する。
			日平均温度	その日の温度の平均値を表示する。
			月平均最高温度	その月の日最高温度の平均値を表示する。
			月平均最低温度	その月の日最低温度の平均値を表示する。
			月平均温度	その月の日平均温度の平均値を表示する。

表 31 大気暴露試験におけるその他の環境因子の測定項目、測定方法及び表示方法(続き)

区分	測定項目 単位	測定方法	表示方法	
			表示項目	表示内容
その他の大気汚染因子	オゾン濃度 p p m	IS B 7957 に規定する化学発光法による自動計測器、又はそれと同等以上の精度をもつ測定方法によって 1 日の平均濃度を求める。	月平均濃度	その月の日平均濃度の平均値を表示する。
	二酸化硫黄濃度 p p m	JIS B 7952 に規定する溶液伝導率法による自動計測器、又はそれと同等以上の精度をもつ測定方法によって、1 日の平均濃度を求める。	月平均濃度	その月の日平均濃度の平均値を表示する。
	硫化水素濃度 p p m	JIS K 0108 に規定する吸光光度法(メチレンブルー法)に準じて測定するか、又はそれと同等以上の精度をもつ測定方法によって、1 日の平均濃度を求める。	月平均濃度	その月の日平均濃度の平均値を表示する。
	二酸化窒素濃度 p p m	JIS B 7953 に規定する吸光光度法による自動計測器、又はそれと同等以上の精度をもつ測定方法によって、1 日の平均濃度を求める。	月平均濃度	その月の日平均濃度の平均値を表示する。

### 2.8.3 環境因子の測定機器及び管理

環境因子の測定に用いる機器の一部を写真 7 示す。また、環境因子の測定機器の管理は表 32 による。

表 32 環境因子の測定機器及び管理

区分	測定機器	測定機器の管理
気象因子	測定する機器は、気象業務法(昭和 27 年法律第 165 号)に基づく気象測器検定規則(昭和 27 年運輸省令第 102 号)に適合するものを用いる。ただし、結露時間など気象業務法に規定のない気象因子の測定は、正確に測定できる機器を用いる。	測定に用いる測定機器類は、気象業務法に基づく気象測器検定規則に適合するように管理する。
大気汚染因子	測定する機器は、日本工業規格(JIS)及び国際規格(ISO、IEC など)に規定されている場合は、それに従う。規定がない場合は、大気汚染因子の成分、濃度などが正確に測定できる機器を用いる。	測定に用いる測定機器類は、測定値の信頼性を維持するため、定期的に校正・検定を行い、その精度を適切に管理する。



気温計、相対湿度計



日照時間計



全天日射計



紫外線計



雨量計



ぬれ時間計

写真7 環境因子の測定機器



風向・風速計



ブラックパネル・ホワイトパネル温度計



海塩粒子付着量  
(ドライガーゼ法)



海塩粒子付着量  
(ウェットキャンドル法)



硫酸化物付着量  
(二酸化鉛円筒法)



硫酸化物付着量  
(二酸化鉛プレート法)

写真7 環境因子の計測機器 (続き)

## 2.9 評価試験における一般的な要求事項

暴露試験によって評価試験を行う一般的な要求事項は、表 33 による。

表 33 評価試験を行う一般的な要求事項

項目	要求内容
初期値の測定	1) 初期値を測定する前に、必要に応じて、日本工業規格（JIS）又は国際規格（ISO、IEC など）に規定されている方法で試料の状態調節を行う。
	2) 測定によって試料の損傷、破壊など暴露試験に影響を及ぼさないと想定される場合は、暴露試験用の試料を用いて初期値を測定する。
	3) 測定によって試料の損傷、破壊など暴露試験に影響を及ぼすと想定される場合は、初期値測定用の試料を用いて測定する。
暴露試験の開始後及び終了後の評価試験	1) 試料の外観に関する経時変化を常時又は一定期間ごとに観察する場合は、その観察結果を記録する。また、必要に応じて映像などに記録する。
	2) 所定の暴露試験期間に達した試料を、暴露架台又は試料保持枠上で評価試験する場合は、天候などによる支障がない限り、所定の暴露試験期間に相当する月日に行う。
	3) 所定の暴露試験期間及び暴露試験終了した試料は、暴露試験装置から試料を取り外した後、必要に応じて、試料に関する日本工業規格又は国際規格（ISO、IEC など）に規定されている方法で前処理及び状態調節を行い、可能な限り早い時期に評価試験を行う。
評価試験の方法	1) 評価試験を行う前に、試料に関する日本工業規格又は国際規格（ISO、IEC など）に規定されている方法で状態調節を行う。
	2) 評価試験の項目は、暴露試験の目的及び試料の種類によって定める。
	3) 評価試験結果の評価方法は、初期値に対する変化率、保持率などの試料の性質及び性能の変化を正しくとらえられることができるように定める。
	4) 試験結果の再現性を得るため、できる限り同じ試験装置を用いて規定の方法で評価試験を行う。この場合、同一の試験員が担当することが望ましい。
	5) 評価試験に異常な結果が観察された場合は、その状況を詳細に記録する。

## 2.10 記録

記録する事項を表 34 に示す。ただし、必要のない項目は、省略してもよい。

表 34 記録する事項

No.	内 容
1	試料の名称及び数量
2	試料の形状、寸法及び数量
3	暴露試験を行う前の試料の前処理方法
4	暴露試験場の所在地及び緯度・経度・標高 また、環境区分を明記することが望ましい
5	暴露試験方法の種類
6	試料面の方位及び角度
7	暴露試験期間(暴露開始日及び暴露終了日)
8	暴露試験の結果
9	暴露試験場の環境因子の測定結果 <sup>(17)</sup> <sup>(18)</sup>
10	暴露試験を途中で中止又は中断した場合は、その期間、理由及び処理
11	暴露試験期間中の暴風雨などの特記すべき事項

注<sup>(17)</sup> 環境因子の測定方法に明確な規定がない場合には、測定方法を明記する。

注<sup>(18)</sup> 気象官署の観測資料を環境因子の測定値として用いた場合は、その入手先及び気象官署と暴露試験場との距離などの位置関係を明記する。

### 3. 暴露試験の手順

暴露試験によって耐候性を評価する手順は、対象とする試料の選定、評価内容を明らかにした暴露試験計画を立てることが基本となり、その手順の流れを表 35 に示す。

また、暴露架台に取り付けた試料の配置図（暴露状況写真を含む）及び関連事項を記入した暴露台帳を作成し、試料の詳細を含めた内容を記録に残し、長期間の管理を考慮して計画することが重要である。

一例として、暴露台帳の記入例を、表 36 に示す。

表 35 暴露試験の手順

手順	項目	項目の内容	例
1	試料	①対象とした試料の種類 ②試料の形状及び大きさ ③試料の数量 ④その他	3種類 100×200×2mm 3種類×3枚×5水準・計45枚
2	暴露試験方法	①規格等で規定されている方法 ②実際に使用されている状態 ③その他	直接暴露試験 南面45度
3	暴露試験場	①規格等で規定されている場所 ②目的とした環境条件を備えた場所 ③その他	宮古島
4	暴露試験の開始時期	①規格等で規定されている時期 ②4月又は10月 ③その他	4月開始
5	暴露試験期間	①規格等で規定されている期間 ②耐用年数が定められた期間 ③保証期間が定められた期間 ④その他	5年間
6	暴露水準	①規格等で規定されている水準 ②その他	5水準（1、2、3、4、5年毎） 1水準のサンプリング試料数 3種類×3枚・計9枚
7	評価項目及び測定方法	①規格等で規定されている項目及び方法 ②目的とした項目及び方法 ③その他	水準毎に、色差及び光沢度測定

備考(1) 暴露試験期間の途中で評価試験する場合の試料の取扱いとして、次の3方法がある。

- ①同一試料を追跡する方法（評価後に再び暴露）
- ②暴露水準分の試料を用意する方法（1、2、… 5年用試料として用意）
- ③大きな試験体（製品）から切出す方法

(2) 耐候性を評価する場合、初期値が基準となるため、初期値を測定するための試料の取扱いには注意が必要である。

(3) 評価試験する試料の洗浄等については、洗浄方法を含めて注意する必要がある。

(4) 試料は、暴露試験と比較するため室内に保管する比較用試料と予備用試料（暴露試験用及び暴露試験をしない）とを用意することを推奨する。

(5) 評価試験の項目及び方法（試料の測定箇所を含む）は、記録に残すことが重要である。

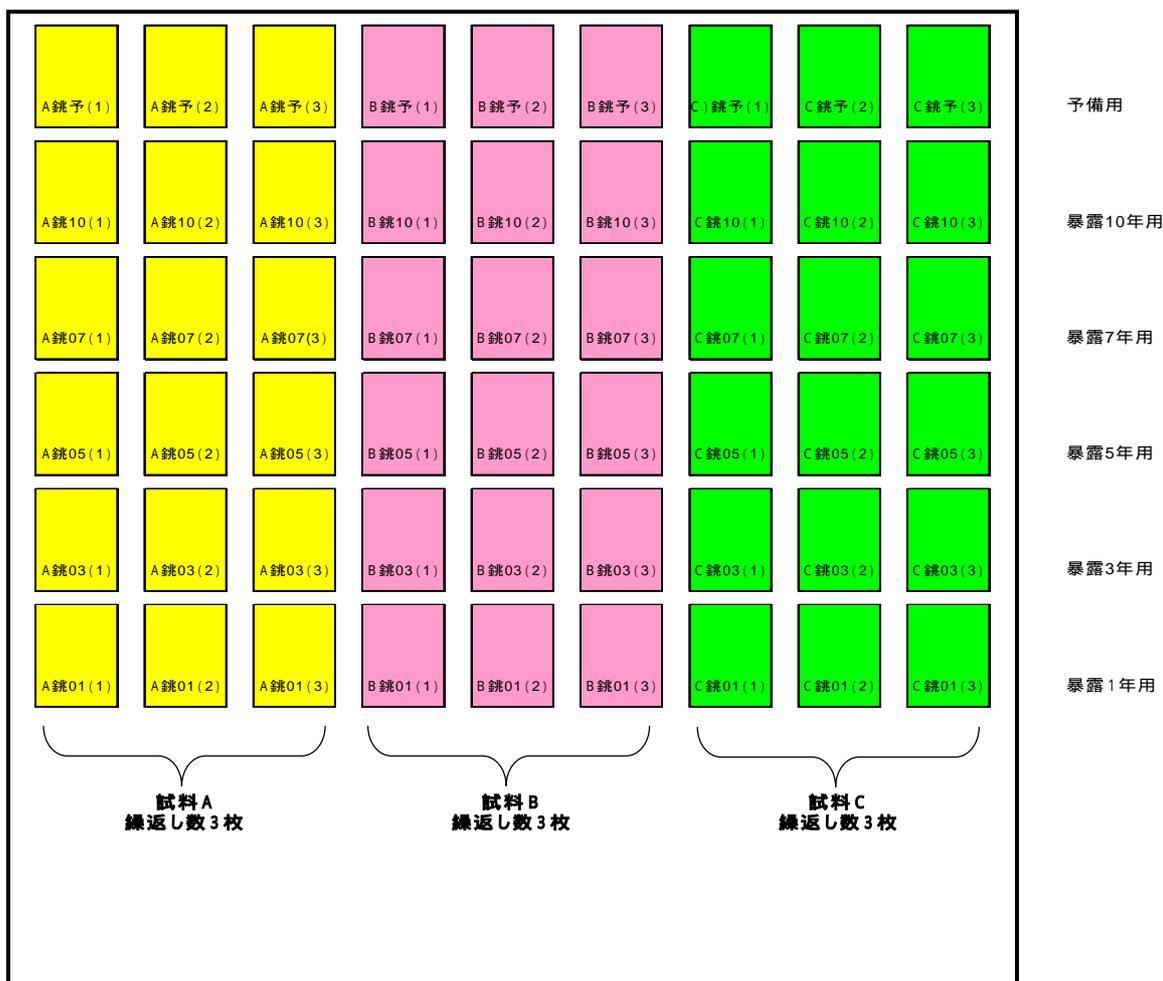
表 36 暴露台帳の記入例

暴露試験場	宮古島	評価項目	色差 (△E*ab) 光沢度 Gs (60°) 注) 洗浄後に評価
	住所：沖縄県宮古島市 上野字宮国 1342 北緯 24° 44' 東経 125° 20'		
暴露架台の番号	A 0 1 5	サンプリング・測定時期	
暴露試験方法	直接暴露試験	1年	2006年3月31日
試料取り付け角度	南面 45度	3年	2008年3月31日
暴露試験期間	10年	5年	2010年3月31日
暴露試験の開始日	2005年4月1日	7年	2012年3月31日
暴露試験の終了日	2015年3月31日	10年	2015年3月31日

試料取り付け配置図

試料の名称：塗装板

試料の寸法：100×200×2mm



〔 〕 金 属 编

# 〔 〕 金 属 編

## 目 次

	ページ
1. はじめに .....	金 - 1
2. 暴露試験について .....	”
3. 暴露試験計画 .....	”
3.1 暴露試験場の選定 .....	金 - 2
3.2 暴露試験の選定 .....	”
3.2.1 直接暴露試験 .....	”
3.2.2 遮へい暴露試験 .....	金 - 3
3.3 暴露試験期間 .....	”
3.4 試料の数量 .....	金 - 4
4. 試料の前処理 .....	”
4.1 試料の作製 .....	”
4.2 試料の標識 .....	金 - 5
4.3 試料の脱脂 .....	金 - 6
4.4 試料のシール処理 .....	”
4.5 試料の前処理工程 .....	金 - 7
5. 暴露試験 .....	金 - 8
5.1 暴露架台及び試料保持具 .....	”
5.2 試料の取り付け及び取り外し .....	”
5.2.1 試料の取付け .....	”
5.2.2 試料の取外し .....	”
5.3 暴露試験期間中の試料の取扱い .....	金 - 10
6. 暴露試験場の環境計測 .....	”
6.1 環境因子の計測 .....	”
6.1.1 腐食性因子の計測 .....	”
6.1.2 気象因子の計測 .....	金 - 12
6.2 暴露試験場の腐食性の把握 .....	”
7. 評価試験 .....	金 - 14
8. 記録 .....	金 - 16
9. 付記 .....	金 - 17
9.1 腐食生成物除去、腐食量及び板厚減少量 .....	”
9.2 腐食量の経時変化 .....	金 - 20

# [ ] 金属編

## 1. はじめに

本ガイドは、金属材料の大気暴露試験を実施する上での試験計画立案、試料作製方法、試験中の注意事項、試験後の評価方法について記述する。金属の大気暴露試験方法は、ISO8565(Metals and alloys Atmospheric corrosion testing - General requirements for field tests)に規定されており、JIS Z 2381(大気暴露試験方法通則)の本文中にもその内容の一部が反映されている。そのため、本ガイドは、JIS Z 2381及びISO8565の内容を解説、又は大気暴露試験(以下、暴露試験という。)を行う上で留意すべき事項を記述したものである。

## 2. 暴露試験について

暴露試験の計画、前準備から暴露後の評価までの流れを図1に示す。

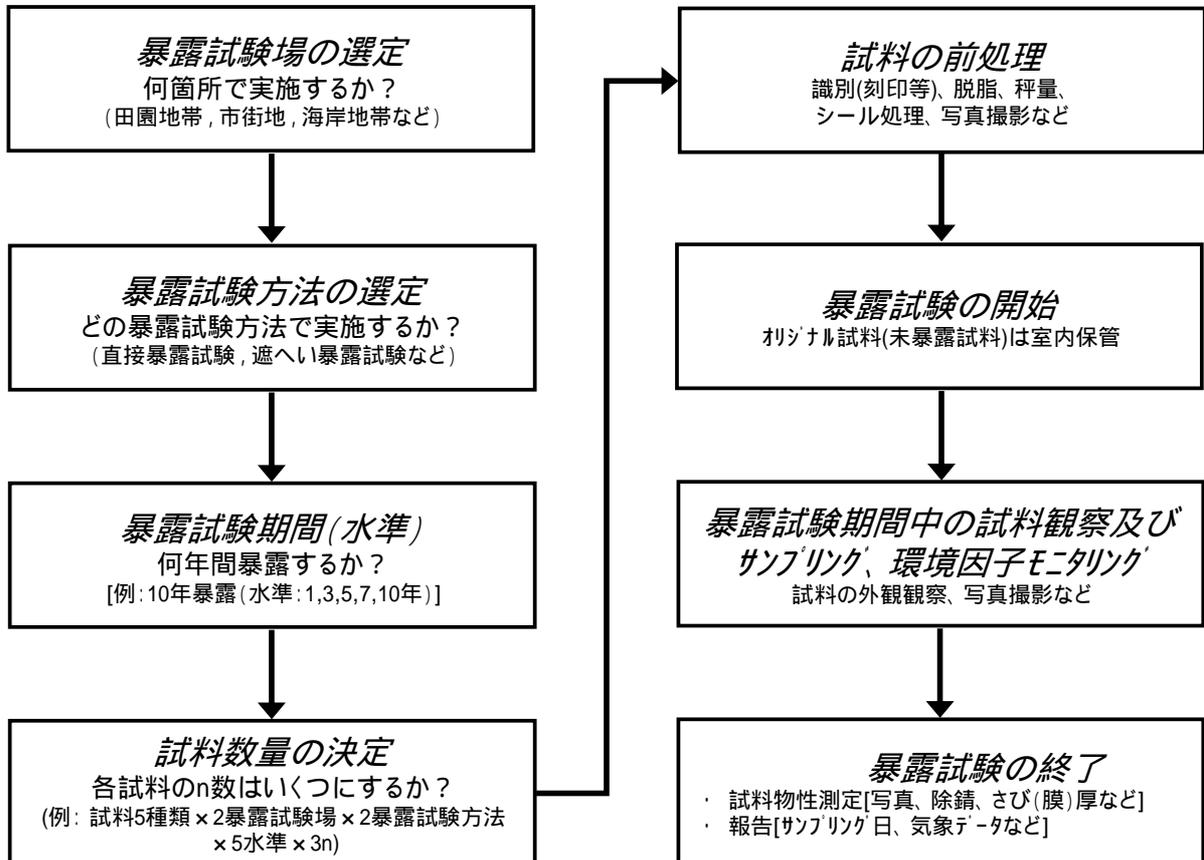


図1 暴露試験の流れ【計画から試験終了まで】

## 3. 暴露試験計画

金属材料の耐用年数(ライフサイクル)及び防錆処理方法などを導き出すためには、暴露試験後の試料から得られる情報(腐食減量、さびの種類、孔食深さ、インピーダンス等々)が重要である。暴露試験からさまざまな情報を得るためには、試験実施前に綿密に試験計画を立て、検討されることを推奨する。この項では、暴露試験に際し、最低限検討されなくてはならない事項を記述する。

### 3.1 暴露試験場の選定

金属材料の腐食の主要因とされる3因子<sup>1)</sup>は、「ぬれ時間」、「海塩粒子」、「硫酸化物」である。我が国においては、四面を海に囲まれているため、腐食の主要因の中では海塩粒子による影響が大きいと言われている。暴露試験場の選定は、これら因子の影響を考慮し、決定されることを推奨する。また、暴露試験場では、環境因子（気象因子、大気汚染因子）を計測されることが望ましい。

暴露試験場を数箇所選定した場合、同時期に暴露試験を開始することにより、暴露試験場間の腐食性の違いをえることができる。

表1 場所による区分

区 分
工業地域
都市地域
田園地域
酸性雨地域
火山・温泉地域

表2 海からの距離による区分

区 分	海からの距離
海 上	海の上
海 浜	0.3km
沿 岸	0.3km ~ 2km
準沿岸	2km < ~ 20km
内 陸	20km

備考) 表1及び表2の詳細は、本ガイドの[ ]共通を参照。

### 3.2 暴露試験の選定

JIS Z 2381は、5種類の暴露試験方法（直接暴露試験、遮へい暴露試験、アンダーガラス暴露試験、ブラックボックス暴露試験、太陽追跡集光暴露試験）を規定しているが、ISO8565ではこの中の2種類の暴露試験方法（直接暴露試験、遮へい暴露試験）を規定している。そのため、直接暴露試験方法及び遮へい暴露試験方法について記述する。

表3 暴露試験方法 [凡例: (効果大), (効果中), (効果小), - (効果極小)]

暴露試験方法	雨雪	風	日照	試料温度	備 考	規 格	
直接暴露試験					自然状態	JIS Z 2381	ISO8565
遮へい暴露試験	-		-		雨水洗浄効果	JIS Z 2381	ISO8565
アンダーガラス暴露試験	-				ガラス透過光	JIS Z 2381	-
ブラックボックス暴露試験					試料温度が高い	JIS Z 2381	-
太陽追跡集光暴露試験					太陽光を集光	JIS Z 2381	-

#### 3.2.1 直接暴露試験

直接暴露試験は、表3に示すように、気象因子（日照、雨、雪、風など）の影響を直接受ける状態で暴露する方法である。JIS Z 2381で規定する5種類の試験方法の中での直接暴露試験は、一般的に最も試験されている方法である。直接暴露試験方法の条件を、表4に示す。

### 3.2.2 遮へい暴露試験

遮へい暴露試験は、表 3 に示すように、気象因子の日照及び雨・雪の影響を受けない状態で暴露する方法である。遮へい暴露試験では、試料表面に付着した海塩粒子などは、降雨による洗浄効果がないために、試料表面に長期間付着し続ける状態になり、かつ、試料表面の付着物が蓄積される状態になる。そのため、同じ暴露試験場で直接暴露試験と遮へい暴露試験を実施した場合、ほとんどの金属材料は直接暴露試験よりも遮へい暴露試験の方が腐食量は大きくなる。遮へい暴露試験方法の条件を、表 4 に示す。

表 4 暴露試験の条件

暴露試験方法	試料の取り付け		
	角 度	方 位	地面からの高さ
直接暴露試験	水平面に対して 45 度 (許容される場合は 30 度)	南面 (腐食性因子の発生源に向けても良い)	試料の下端面は、地面から 0.5m 以上
遮へい暴露試験	水平面に対して 0、30、45、60 又は 90 度		

### 3.3 暴露試験期間

暴露試験期間の設定は、暴露する試料より得たい情報の分だけ数量が必要となる。例えば、暴露した試料を一定期間に外観写真のみ観察する場合は、写真撮影後に試料を再暴露すればよいため、数枚の試料を用意すればよいことになる。しかし、暴露した試料から得られる有益な情報は、破壊検査によるものも少なくない。腐食減量測定も破壊検査であるため、腐食生成物除去後の試料を再暴露することはできない。そのため、暴露試験に必要な試料数を計算するためには、次のことを考慮しなくてはならない。

どれぐらいの期間暴露するのか  
暴露試験期間中のサンプリング頻度  
暴露後試料の物性測定において必要となる数量

表 5 に、単年度繰返し暴露及び中・長期暴露試験の一例を示す。1 年未満の暴露試験を実施することはあまり推奨できない。1 年未満の暴露試験では、暴露開始した季節(四季)の影響を受けるためである。また、単年度暴露試験又は中・長期暴露試験を開始するに当たり、腐食性が大きい季節(例えば夏季)は避け、春または秋より暴露開始することを推奨する。

表 5 暴露試験期間の一例

	暴露試験期間													
	0年	1年	2年	3年	4年	5年	6年	7年	8年	9年	10年	...	20年	
単年度暴露	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
中・長期暴露	○													
		○												
			○											
				○										
					○									
						○								

### 3.4 試料の数量

前述の暴露試験場、暴露試験方法、暴露試験期間が決まれば、必要となる試料数量が決定される。暴露試験を開始してしまってから、新たに試料を追加して暴露するケースがあるが、暴露を開始した時期が異なるために、当初から暴露している試料と同列には比較することが不可能となってしまう。(追加した試料から得られた情報は、当初から開始した暴露データの参照データとなってしまう場合が多い)

そのため、試料数量は、計画段階よりも多めに設定することが賢明である。試料の数量についての例を次に示す。

試料の数量【例：平板試料の場合】

暴露試験場： 2か所[銚子、宮古島]

暴露試験方法： 2方法[直接暴露試験、遮へい暴露試験]

暴露試験期間： 20年[8水準(1、2、3、5、7、10、20年及び予備n年)]

試料： 3種類[炭素鋼、銅、ステンレス鋼板(SUS304)]

物性測定： 1水準あたり5枚[腐食量(3n)、X線回折(1n)、断面観察(1n)]

$$\text{必要な試料数} = 2\text{か所} \times 2\text{方法} \times 8\text{水準} \times 5\text{枚} = 160\text{枚}$$

したがって、各種類の必要な試料の数量は、炭素鋼(160枚)、銅(160枚)、ステンレス鋼板(160枚)が必要となる。

この他に、オリジナル試料(保存用試料)を数枚(例えば3枚)用意し、温湿度が調整された室内のデシケータ内に保管することを推奨する。

### 4. 試料の前処理

試料が製品や、部品など金属材料を用いて組立てられたものである場合は、そのままの状態暴露試験に用いる。平板試料の場合は、試料の前処理が必要となるため、この項では平板試料の暴露試験前の処理方法について記述する。

#### 4.1 試料の作製

試料は、金属材料の原板より切り出して作製される。炭素鋼などの原板は、表面に酸化皮膜(黒皮)があり、原板より試料を切り出す前に表面研磨をして酸化皮膜を除

去する必要がある。また、原板より試料を切り出す際に、原板にロール目（方向性）がある場合がある。その場合は、試料のロール目が同一方向になるように切り出さなければならない。

また、切り出し、または研磨した試料は、暴露試験を開始するまでの期間の腐食を低減させるために、試料表面に防錆処置（例えば、防錆油の塗布）を施すことが望ましい。

試料の大きさとしては、表 6 に示す。

表 6 JIS 及び ISO で推奨される試料の大きさ

規格名称	規格番号	形状 (mm)		備考
			板厚	
めっきの耐食性試験方法	JIS H 8502	70 <sup>w</sup> × 150 <sup>h</sup> 100 <sup>w</sup> × 100 <sup>h</sup>	-	
大気環境の腐食性を評価するための標準金属試験片及びその腐食度の測定方法	JIS Z 2383	100 <sup>w</sup> × 150 <sup>h</sup>	1 ~ 6	最低 50 <sup>w</sup> × 100 <sup>h</sup> mm 以上
金属及び合金の大気腐食試験における一般要求事項	ISO8565	100 <sup>w</sup> × 150 <sup>h</sup> (金属)	1 ~ 3	めっきの場合、 50 × 100mm 以上 (表面積 50cm <sup>2</sup> 以上)

#### 4.2 試料の標識

試料は、同種類の試料を識別できるようにしなければならない。その方法としては、試料個別に識別記号（番号）を付与する方法と、試料を取り付ける暴露架台の配置図を作成する方法がある。この両者の方法の何れか、またはすべてを行うことにより、試料は識別される。炭素鋼などは、試料に識別記号（番号）を付与しても暴露することにより発生する腐食生成物のために、識別が判読できなくなる場合が多い。そのため、試料個別に識別記号（番号）を付与し、かつ試料配置図を作成しておくことを推奨する。

試料の識別記号（番号）の取り決めは、試料の種類、暴露試験場、暴露試験方法及び暴露試験期間を、アルファベット、数値などを用いて表示すると管理しやすい。試料の識別記号（番号）の表示例を次に示す。また、試料の識別方法を表 7 に示す。

##### 試料識別記号（番号）【例】

識別：

試料の種類	暴露試験場・暴露試験方法	暴露試験期間
T：炭素鋼	C D：銚子・直接暴露試験	1 年用(1 ~ 3)
D：銅	C S：銚子・遮へい暴露試験	3 年用(4 ~ 6)
S：S U S	M D：宮古島・直接暴露試験	5 年用(7 ~ 9)
	M S：宮古島・遮へい暴露試験	7 年用(10 ~ 12)
		10 年用(13 ~ 15)

炭素鋼、銚子、遮へい暴露試験、3 年用の試料の標記例を次に示す。

「 T - C S - 4、T - C S - 5、T - C S - 6 」

表 7 試料の識別方法

識別方法	位置	内容	留意事項
刻 印	試料裏面 (推奨)	試料に記号(番号)を打刻する。	めっき鋼板への打刻は、避けたほうが良い。打刻により、めっき層が破壊され下地金属が露出するおそれがある。
粘着性ラベル (シールテープ)		記号(番号)が表記された粘着性ラベルを試料に添付する。	暴露試験期間中に判読可能な耐久性のある粘着性ラベルを用いる。
配置図	-	暴露架台上の試料の位置と試料記号(番号)を記録する。	配置図作成者以外の人でも配置図により試料識別ができるように詳細に記録する。
備考)			
(1) 試料端部への切込み、ドリル孔なども試料識別に用いてもよい。 (2) 試料の識別方法は、化学的・物理的な影響を与えない方法で付ける。 (3) 試料識別による試験結果への影響は小さくしなくてはならない。 (4) 暴露架台、試料保持枠に試料記号(番号)を表示してもよい。			

#### 4.3 試料の脱脂

試料表面に防錆油等が塗布されている場合は、試料を脱脂しなければならない。脱脂の一例を次に示す。

##### 試料脱脂【例】

揮発性油(ナフサ)で洗浄	メタノールで洗浄	水道水で洗浄
沸騰水中に浸せき(数秒)	乾いたタオルで水分拭き取り	終了

ナフサ：工業用ナフサ(成分：キシレン 80~90wt%、トルエン 5~10wt%)

#### 4.4 試料のシール処理

試料の端面、または裏面にシール処理を施し、暴露面以外の部分の腐食を制御する方法で試験をする場合がある。その場合のシール処理材は、耐久性がなくてはならない。シール処理は、高分子素材のシールテープ、塗装などによる幾つかの方法はあるが、何れの方法を用いる場合においても、試料に影響を及ぼすもの(例えば防錆塗料)を使用してはならない。試料の端面・裏面にシール処理を施して長期間暴露試験に供する場合、タールエポキシ樹脂塗装を用いた例がある。

試料のシール処理は、試料の脱脂終了後に行う。また、暴露試験後の物性測定で、腐食量を求める場合は、試料のシール処理前に秤量しておかなければならない。そのため、試料のシール処理前に他の作業が終了しているか再確認することが肝要である。

#### 4.5 試料の前処理工程

試料の前処理工程を、図 2 に示す。

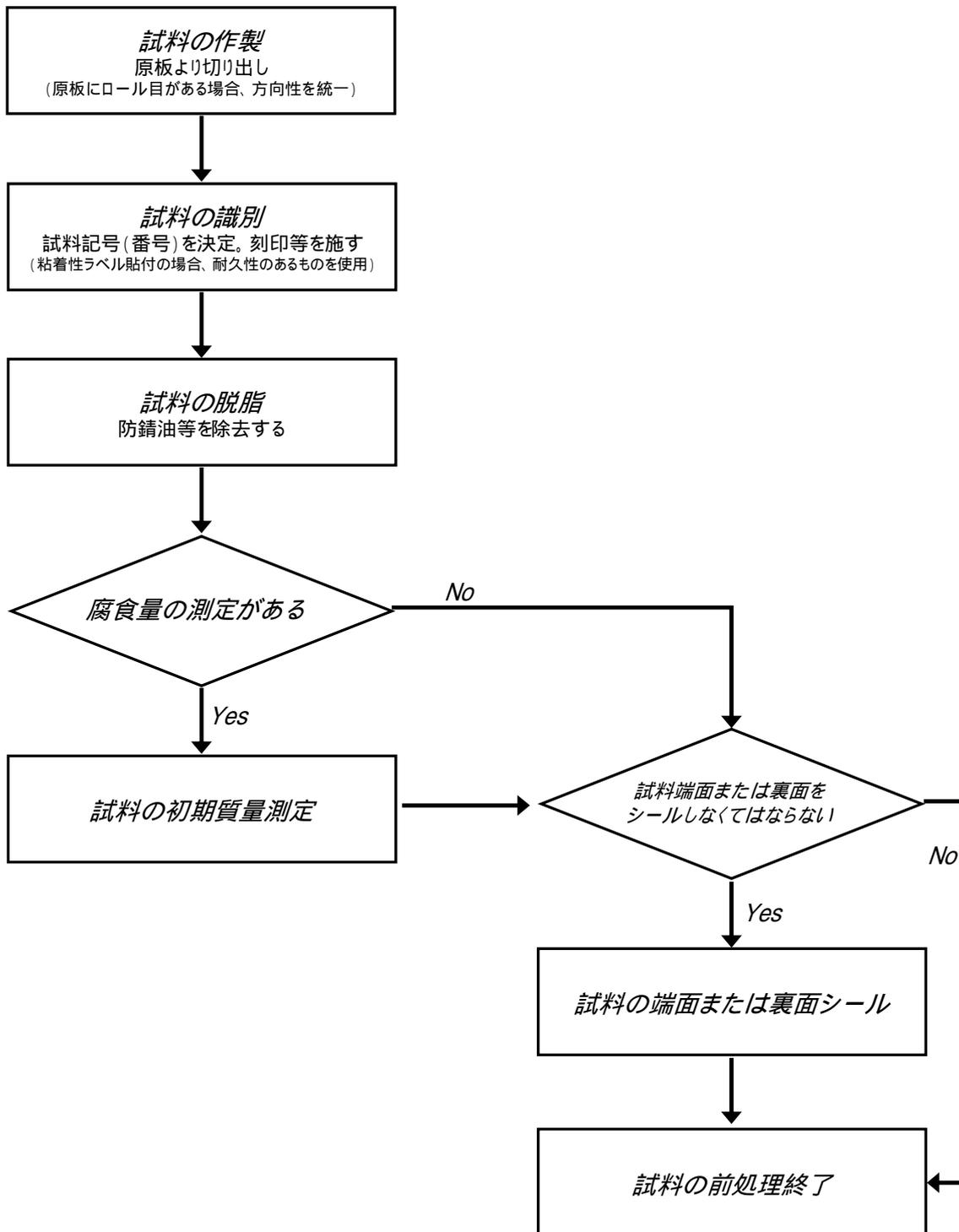


図 2 試料の前処理工程

## 5. 暴露試験

### 5.1 暴露架台及び試料保持具

暴露架台は、試料の暴露試験期間中に腐食等により破損するような材質であっては、試験を満足に実施することができない。そのため、暴露架台は相応の耐久性のある材質のものを用いる必要がある。暴露架台の材質が木材である場合は、防腐処理を施し、場合によっては塗装したほうが良い。暴露架台の材質が金属である場合は、暴露架台から腐食生成物が発生しないよう暴露架台の表面を処理する必要がある。

試料保持具については、試料（金属）と暴露架台との間が、電氣的に絶縁されるようにしなくてはならないため、試料保持具は、磁器製又はプラスチック製のものを用いたほうが良い。

試料保持具を図3に示す。

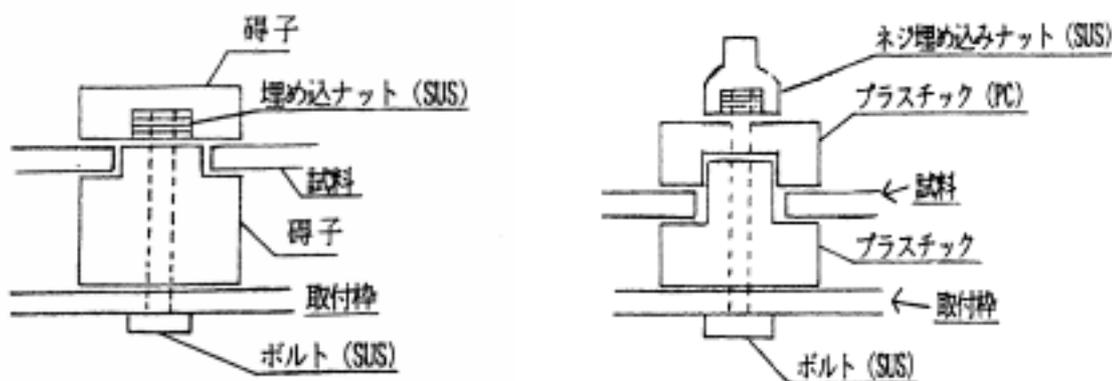


図3 試料保持具（左：磁器製、右：プラスチック製）

### 5.2 試料の取り付け及び取り外し

#### 5.2.1 試料の取り付け

- 1) 清浄な手袋をして試料を取り付ける。[素手で試料に触れてはならない]
- 2) 暴露試験の条件をよく確認し、暴露試験の条件に従い試料を取り付ける。また、あらかじめ試料配置図を作成してある場合は、配置図に従い試料を取り付ける。  
[暴露試験方法、試料取り付け角度・方位、暴露面、試料配置などの確認]
- 3) 暴露架台に取り付けた試料同士が接触しないように設置する。また、試料から発生した腐食生成物が他の試料に付着しないように設置しなければならない。[図4参照]
- 4) 試料と暴露架台の間は、電氣的に絶縁されていなければならない。[図5参照]

#### 5.2.2 試料の取り外し

- 1) 清浄な手袋をして試料を取り外す。[素手で試料に触れてはならない]
- 2) 暴露架台と試料配置図を照らし合わせながら試料を取り外す。[試料記号（番号）の確認]
- 3) 試料を取り外す際は、試料に傷等を作らないように細心の注意を払わなければならない。

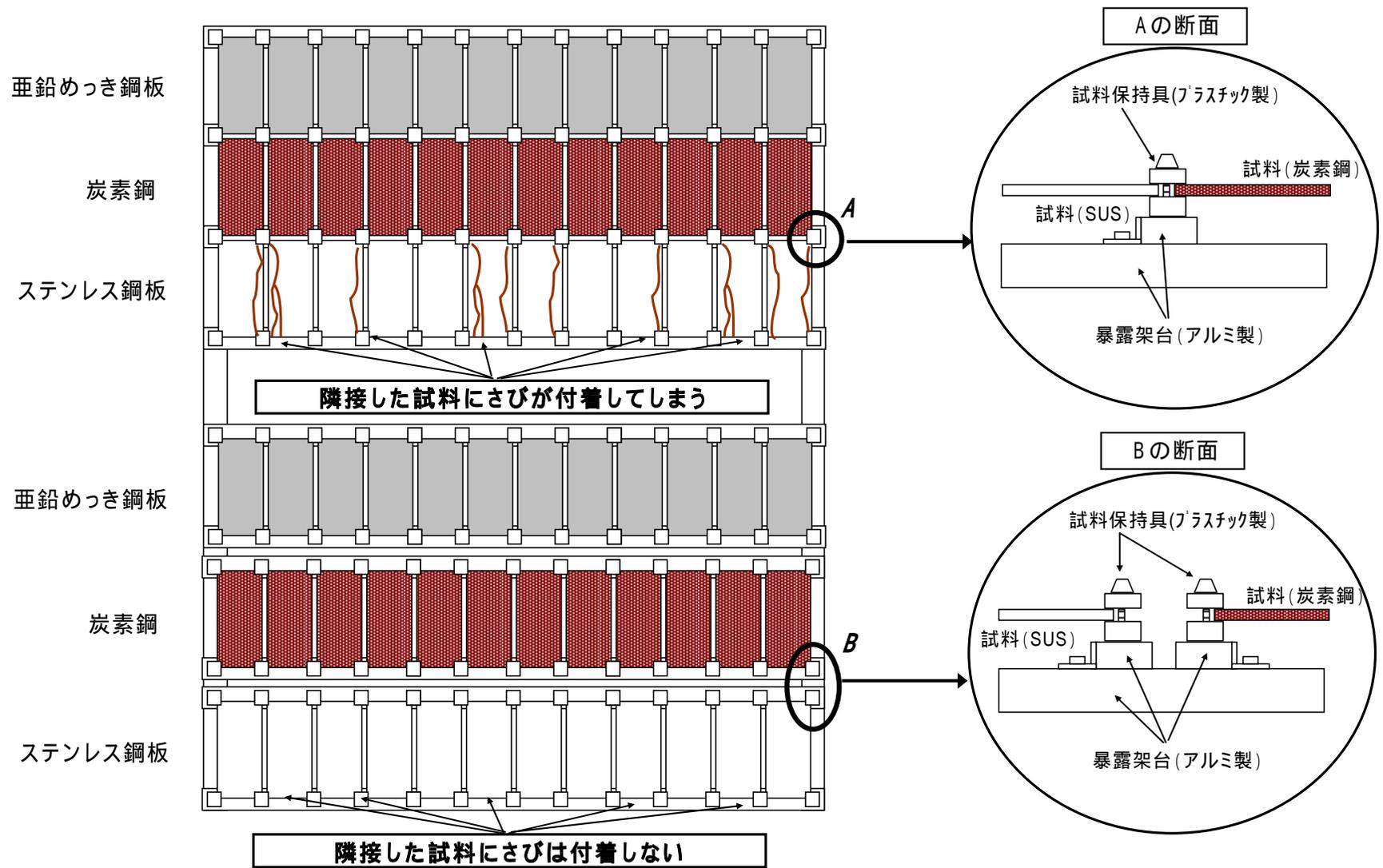


図4 暴露架台への試料の取り付け【試料同士が影響しない取り付け方の一例】

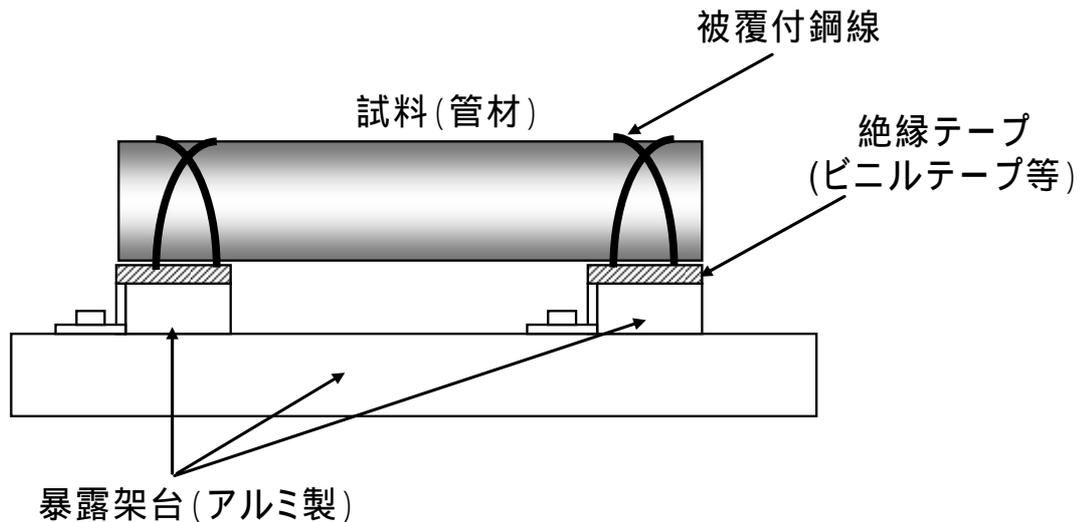


図5 試料と暴露架台の絶縁方法の一例

### 5.3 暴露試験期間中の試料の取扱い

暴露試験期間中の試料の取扱いは、次による。

- 1) 暴露試料の暴露状態を定期的に目視にて確認する。[試料が初期の設置状態を保っているか確認]
- 2) 試料シール部に不具合（欠損等）が見つかった場合、速やかに補修する。[試料状態の確認]
- 3) 暴露試験期間中の試料の洗浄は実施しない。また、鳥類などの糞が試料に付着している場合の処置は、試験当事者間の協議による。[試料状態の確認]

## 6. 暴露試験場の環境計測

### 6.1 環境因子の計測

前述したが、金属材料の腐食の主要因は、「ぬれ時間」、「海塩粒子」、「硫酸化物」の3因子である。そのため、最低限これら因子を計測することが望ましい。これらの3因子の他に、気象因子を併せて計測することは、暴露後試料の腐食状況を解析する上で有用である。

#### 6.1.1 腐食性因子の計測

##### 1) ぬれ時間

ISO9223<sup>1)</sup>では、ぬれ時間を次のように定義している。

「ぬれ時間：0 よりも高い気温のときに相対湿度が80%以上であるときの時間」

したがって、ぬれ時間は、気温と相対湿度を計測することにより求められる。しかしながら、気温と相対湿度のチャート紙よりデータを読み出すことは非常に労力が掛かるため、表8に示す年平均気温及び年平均相対湿度の関係から計算する方法により、ぬれ時間を計算しても良い。

また、ぬれ時間計測用のセンサーを用い、ぬれ時間を測定しても良い。ただし、ぬれ時間計測用センサーは、気象庁の気象測器検定に該当しないため、その旨留意された上で計測すること。

備考) 気象測器検定は、6要素（気温、相対湿度、降水量、風向、風速、日射量）について検定項目として挙げられている。

ぬれ時間の計算方法<sup>2)3)</sup>

$$\text{ぬれ時間 (TOW : Time of Wetness)} = 8766 \times P(\text{RH}) \times P(\text{T})$$

表 8 ぬれ時間計算に使用する確率係数

年平均相対湿度 (%R.H) と確率係数 P (RH)							
%R.H	P(RH)	%R.H	P(RH)	%R.H	P(RH)	%R.H	P(RH)
20	0.002	54	0.146	70	0.396	86	0.767
25	0.005	56	0.169	72	0.438	88	0.814
30	0.012	58	0.194	74	0.482	90	0.859
35	0.023	60	0.222	76	0.527	92	0.900
40	0.042	62	0.252	78	0.574	94	0.937
45	0.069	64	0.285	80	0.622	96	0.968
50	0.107	66	0.320	82	0.670	98	0.990
52	0.125	68	0.357	84	0.719	99	0.997
年平均気温 ( ) と確率係数 P (T)							
	P(T)		P(T)		P(T)		P(T)
-30	0.001	-14	0.080	2	0.580	18	0.965
-28	0.002	-12	0.114	4	0.656	20	0.978
-26	0.005	-10	0.158	6	0.727	22	0.986
-24	0.008	-8	0.211	8	0.789	24	0.992
-22	0.014	-6	0.273	10	0.842	26	0.995
-20	0.022	-4	0.344	12	0.886	28	0.998
-18	0.035	-2	0.420	14	0.920	30	0.999
-16	0.054	0	0.500	16	0.946		

2) 腐食性物質の計測

腐食性物質の中の海塩粒子量、硫黄酸化物量についての計測は、JIS Z 2382 に準拠して計測を行う。計測は、測定器具を1か月ごとに交換し分析する。1年間以上の計測を行うことが望ましい。海塩粒子及び硫黄酸化物の測定方法を表9に示す。

表 9 腐食性物質の計測 ( JIS Z 2382 )

種類 [単位]	測定方法	内容	規格
海塩粒子量 mgNaCl / (m <sup>2</sup> ・d)	ドライ ガーゼ法	捕集部のガーゼ面積が 100cm <sup>2</sup> (10×10cm) になるように木枠等にはめ込んでガーゼ部に風が通り抜ける構造。	JIS Z 2382
	ウェットキャ ンドル法	捕集部のガーゼが円筒部に巻付けた構造であり、ガーゼ面積が 100cm <sup>2</sup> である。また、ガーゼの一部がフラスコ内のグリセリン水溶液中に接しており、ガーゼ部はぬれている状態になっている。	JIS Z 2382 (IS09225)
硫黄酸化物量 mgSO <sub>2</sub> / (m <sup>2</sup> ・d)	二酸化鉛 円筒法	捕集部は二酸化鉛が塗布されたガーゼを円筒部に巻付けた構造であり、ガーゼ面積が 100cm <sup>2</sup> である。	JIS Z 2382
	二酸化鉛 プレート法	捕集部は二酸化鉛が塗布されたろ紙をシャーレに貼付けた構造であり、ガーゼ面積が 28.26cm <sup>2</sup> (60mm) ある。シャーレの硫黄酸化物捕集部を地面に向けて計測を行う。	JIS Z 2382 (IS09225)
	アルカリろ紙 プレート法	捕集部は炭酸ナトリウムまたは炭酸カリウム溶液に浸漬し、乾燥させたろ紙であり、面積が 150cm <sup>2</sup> で (10×15×0.3cm) ある。	

### 6.1.2 気象因子の計測

気象因子については、本ガイドの[ ]共通の環境因子の測定を参照されたい。

### 6.2 暴露試験場の腐食性の把握

暴露試験場の腐食性把握は、ISO9223<sub>-1992</sub>（大気環境の腐食性分類）<sup>1)</sup>を用いてその腐食の程度を把握することが可能である。大気環境の腐食性は、標準金属試験片[JIS Z 2383（ISO9226）]を暴露することにより分類される。暴露試験場の腐食性を把握することは、他の暴露試験場の腐食性と相対比較することが可能となるため、環境因子の計測と同じく重要な要素である。

大気環境の腐食性分類を行う上で、ISOは世界の分類であるために区分幅が大きいいため、日本の大気環境の腐食性分類（案）<sup>4)</sup>では国内で出現する大気環境による腐食性を基に5段階に分類できるようになっている。以下に、標準金属試験片の種類を表10に、大気環境の腐食性分類でISO9223の大気環境の腐食性分類を表11に、日本の大気環境の腐食性分類（案）を表12に示す。また、日本の大気環境の腐食性分類で国内25か所において標準金属試験片（炭素鋼、亜鉛）を暴露した結果を図6、図7に示す。

表10 標準金属試験片 [JIS Z 2383]

No.	名称	種別（対応規格）	大きさ (mm)	板厚 (mm)	表面処理	備考
1	炭素鋼	SM400B(JIS G 3106)	100 <sup>w</sup> × 150 <sup>H</sup>	6	両面#600 研磨	炭素鋼
2	耐候性鋼	SMA490BW(JIS G 3114)		6	両面#600 研磨	耐候性鋼
3	亜鉛	純度 98.5%以上		2	両面#320 研磨	旧 JIS H 4321 の1種に準拠
4	銅	C1220P(JIS H 3100)		2	-	りん脱酸銅
5	アルミニウム	A1050P(JIS H 4000)		2	-	純アルミニウム
7	ステンレス	SUS304(JIS G 4305)		2	2B 仕上げ	汎用ステンレス鋼

表11 大気環境の腐食性分類 [ISO9223<sub>-1992</sub>]

腐食性 カテゴリー	単位	炭素鋼	亜鉛	銅	アルミニウム
C1	g / ( m <sup>2</sup> · a ) μ m / a	r <sub>corr</sub> 10 r <sub>corr</sub> 1.3	r <sub>corr</sub> 0.7 r <sub>corr</sub> 0.1	r <sub>corr</sub> 0.9 r <sub>corr</sub> 0.1	—
C2		10 < r <sub>corr</sub> 200 1.3 < r <sub>corr</sub> 25	0.7 < r <sub>corr</sub> 5 0.1 < r <sub>corr</sub> 0.7	0.9 < r <sub>corr</sub> 5 0.1 < r <sub>corr</sub> 0.6	r <sub>corr</sub> 0.6 —
C3		200 < r <sub>corr</sub> 400 25 < r <sub>corr</sub> 50	5 < r <sub>corr</sub> 15 0.7 < r <sub>corr</sub> 2.1	5 < r <sub>corr</sub> 12 0.6 < r <sub>corr</sub> 1.3	0.6 < r <sub>corr</sub> 2 —
C4		400 < r <sub>corr</sub> 650 50 < r <sub>corr</sub> 80	15 < r <sub>corr</sub> 30 2.1 < r <sub>corr</sub> 4.2	12 < r <sub>corr</sub> 25 1.3 < r <sub>corr</sub> 2.8	2 < r <sub>corr</sub> 5 —
C5		650 < r <sub>corr</sub> 1500 80 < r <sub>corr</sub> 200	30 < r <sub>corr</sub> 60 4.2 < r <sub>corr</sub> 8.4	25 < r <sub>corr</sub> 50 2.8 < r <sub>corr</sub> 5.6	5 < r <sub>corr</sub> 10 —

備考) 腐食性カテゴリーは、標準金属試験片を1年間暴露することにより得られる。

表 12 日本の大気環境の腐食性分類（案）

記号	腐食度			
	鉄 鋼		亜 鉛	
	g / (m <sup>2</sup> ・a)	μ m / a	g / (m <sup>2</sup> ・a)	μ m / a
J C 1	104	14	4.1	0.6
J C 2	104 < ~ 136	14 < ~ 17	4.1 < ~ 5.3	0.6 < ~ 0.7
J C 3	136 < ~ 238	17 < ~ 30	5.3 < ~ 9.2	0.7 < ~ 1.3
J C 4	238 < ~ 312	30 < ~ 40	9.2 < ~ 11.9	1.3 < ~ 1.7
J C 5	312 < ~ 492	40 < ~ 63	11.9 < ~ 18.5	1.7 < ~ 2.6
J C X	492 <	63 <	18.5 <	2.6 <

備考) 腐食性カテゴリーは、標準金属試験片を1年間暴露することにより得られる。

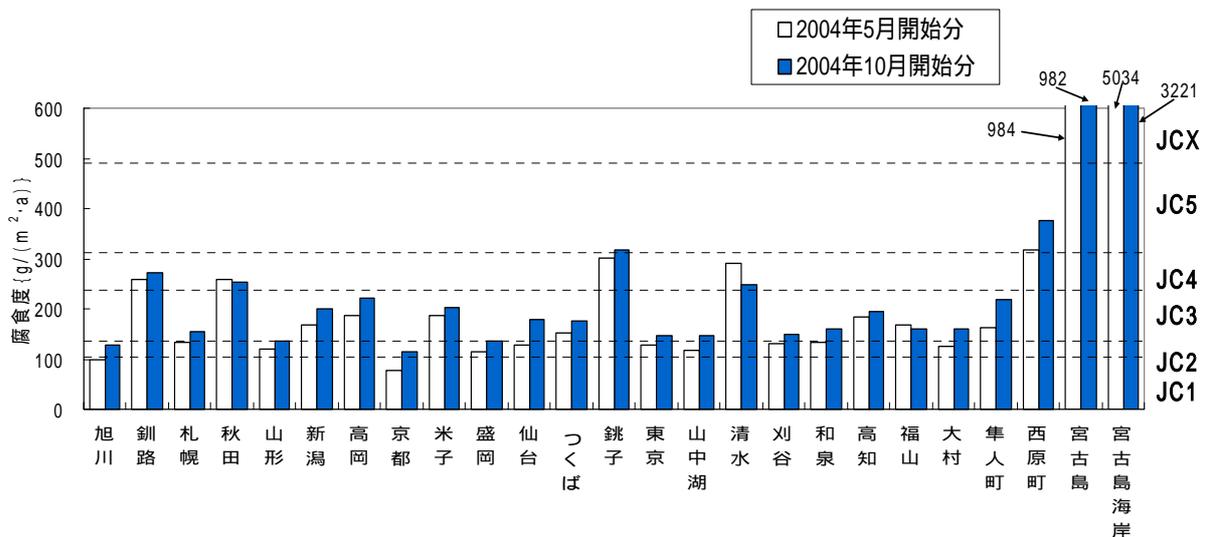


図 6 標準金属試験片(鉄鋼)の腐食度【試験片数3nの平均値】

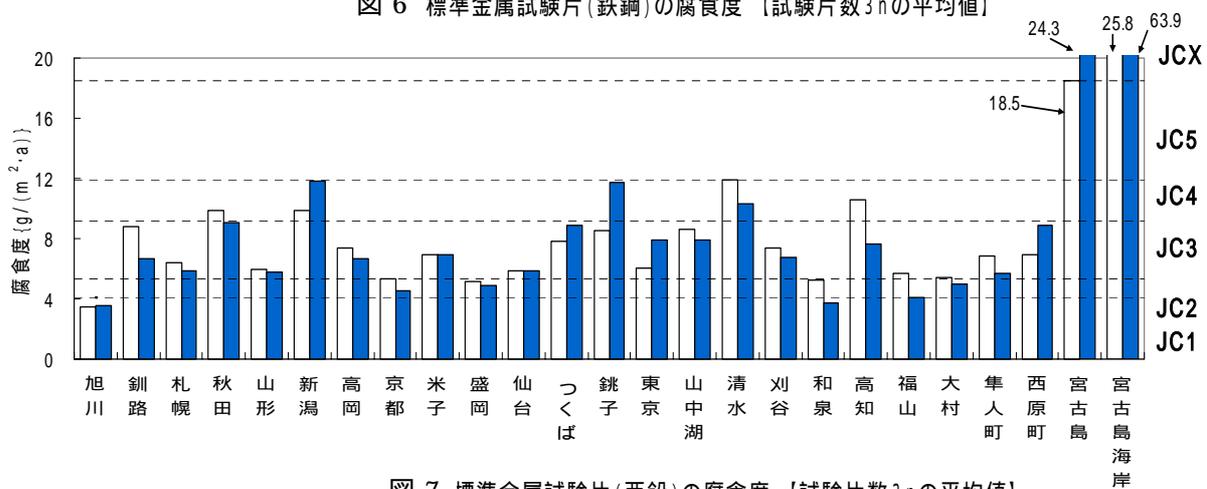


図 7 標準金属試験片(亜鉛)の腐食度【試験片数3nの平均値】

## 7. 評価試験

暴露試験後の評価試験は、試料の特徴を捉える上で重要である。さまざまな評価項目の中の一部を表 13 に示す。

なお、腐食生成物除去方法を 8 項（付記）に示す。

表 13 評価試験の評価項目〔種々の評価項目から一部を表記〕

評価項目	分析技術等	内 容	関連規格
物理特性	硬さ	ブリネル、ビッカース、ロックウェル、ショア、ヌーブ硬さ	JIS Z 2243、JIS Z 2244、 JIS Z 2245、JIS Z 2246、 JIS Z 2251
	粗さ	表面粗さの測定	JIS B 0601
	引張	引張強度、ひずみ、クリープ、リラクション	JIS Z 2241、JIS Z 2254、 JIS Z 2271、JIS Z 2276、 JIS H 0511
	曲げ	曲げの測定	JIS Z 2248
	衝撃	シャルピー、アイゾット衝撃	JIS Z 2242
	われ	エリクセン	JIS Z 2247
	粒度	結晶粒度の測定	JIS G 0551、JIS G 0552
	アノード分極	アノード分極曲線の測定	JIS G 0579
	疲れ	疲労測定	JIS Z 2273
	膜厚	めっき、溶射の膜厚測定	JIS H 8501、JIS H 8401、 JIS H 8664、JIS H 8680
	密着	めっき、溶射の密着性測定	JIS H 8504、JIS H 8664
	磨耗	めっき、溶射の磨耗性の測定	JIS H 8503、JIS H 8682
構造解析	XRD (X線解析法)	結晶構造の特定	JIS K 0131
	EPMA (電子プローブマイクロアナライザ)	多元素同定	JIS K 0132
表面解析	XPS (X線光電子分光分析法)	表面組成測定	JIS K 0116
	AES (オージェ電子分光分析)	表面極小観察、元素分析	JIS K 0116
	SEM (走査型電子顕微鏡)	表面微小観察	JIS K 0132
	TEM (透過電子顕微鏡)	表面微小観察	JIS K 0132
	STM (走査型トンネル顕微鏡)	表面微小観察	JIS K 0132
	SPM (走査型プローブ顕微鏡)	表面微小観察	JIS K 0132

表 13 暴露試料の評価方法〔種々の評価項目から一部を表記(続き)〕

項目	分析技術等	内容	関連規格
元素分析	ICP (高周波誘導結合 プラズマ分光分析)	元素の同定	JIS K 1200、JIS G 1258 JIS H 1307、 JIS K 0400-52-30
	XRF (蛍光 X 線分析)	元素の同定	JIS K 0119、JIS G 1351、 JIS H 1669
	イオンクロマトグラフィー	陽イオン、陰イオンの測定	JIS K 0127
	ガスクロマトグラフィー	気体中の成分分析	JIS K 0114
その他	腐食減量	腐食性生物を除去し腐食減量を測定	JISZ2371、JISH8502
	さび発生度 (レインゲージ法)	レインゲージ法による試料表面のさび発生度を目視により測定	JIS Z 2371、JIS H 8502 JIS H 8681-2 JIS G 0595
	孔食深さ	光学顕微鏡により試料表面の孔食深さを計測	JIS H 8679-1、JIS H 8679-2
	外観観察	目視、あるいはルーペにて試料表面を観察	
	写真撮影	アナログあるいはデジタルカメラにて試料を撮影	

## 8. 記録

表 14 に記録事項を示す。ただし、必要のない項目は省略しても良い。

表 14 記録事項

項目		記録する内容	備考
試料	内容	名称,種類,形状,寸法,試料記号(番号)及び数量	-
	前処理	研磨,脱脂,表面処理,シール有無	シールをした場合,材質等を明記する。
暴露	暴露試験場	所在地(住所),緯度,経度,標高	左記以外に,環境区分を明記することが望ましい。
	暴露試験方法	暴露試験方法の種類	-
	試料の取り付け	方位,角度	-
	試料の配置図	試料記号(番号)と暴露架台への配置場所を明記	-
	暴露試験期間	開始日,サプ <sup>o</sup> リング <sup>o</sup> 日,終了日	-
	暴露試験の中止・中断	期日及び期間,理由,処置方法	中断の場合は,試料の保管方法を明記することが望ましい
環境	環境因子	腐食性因子 (ぬれ時間,海塩粒子量,硫酸化物量) 気象因子 (気温,相対湿度,降水量,風向,風速,日射量など)	暴露試験場近傍の気象官署データを引用する場合は,気象官署の場所,暴露試験場から気象官署までの距離を明記する。 腐食性因子については,その測定方法を明記する。
	大気環境の腐食性	大気環境の腐食性測定結果	暴露試験場の大気環境の腐食性を測定した場合のみ明記する。
特記事項		暴露試験期間中に台風,暴風雨及び記録的な気象条件であった場合,特記として記録することが望ましい。	

## 9. 付記

### 9.1 腐食生成物除去、腐食量及び板厚減少量

試料の腐食生成物除去は、暴露試験後の評価として重要であり、試料の特性（耐候性）が腐食量（ $\text{g}/\text{m}^2$ ）という数値で得ることができる。そのため、腐食量を経時的に取得することにより、腐食量の経年変化が得られる。その経年変化により数十年後の腐食量を予測する近似式を立てることにより、防錆設計の策定に寄与することが可能であるとされている。

（財）日本ウエザリングテストセンターでは、腐食生成物の除去を JIS Z 2371（塩水噴霧試験方法）の参考表 1（化学的腐食生成物除去方法）及び ISO8407 [Corrosion of metals and alloys Removal of corrosion products from corrosion test specimens] に準拠した方法で行なっている。

腐食生成物除去（以下、除錆と称す）の概要は、腐食生成物除去溶液（以降、除錆溶液と称す）に所定の時間、試料を浸漬させ、浸漬後に水洗洗浄する。その後、試料を乾燥させて秤量する。この除錆溶液に浸漬 洗浄 秤量を繰り返すことにより、試料質量が徐々に小さくなってゆく。（付図 1 参照）

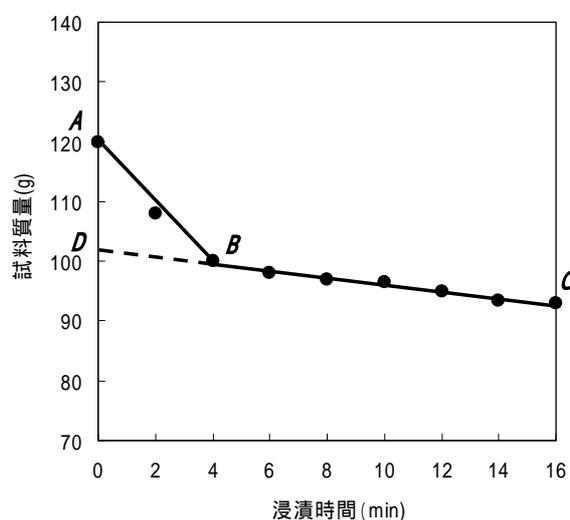
付図 1 の「A」は、除錆前の試料質量（すなわち、暴露試験後の試料質量）、「B」は概ね試料の腐食生成物が除去されたポイントになる。

付図 1 の直線 A-B は、腐食生成物が除去され質量減少の大きい直線である。一方、直線 B-C は試料自身が除錆溶液により溶解するために質量減少が発生するブランク減量直線である。

除錆においては、ほとんどの金属試料において付図 1 のような傾向を示すと言われている。

ISO8407 では、ブランク減量直線（B-C 直線）の延長した直線（B-D 直線）の Y 軸との交点「D」が腐食量であるとされている。

今回は、亜鉛板の暴露により発生した腐食生成物の除去を紹介する。



付図 1 除錆溶液への浸漬時間と試料質量の

除錆試料： 標準金属試験片 [亜鉛板、Zn 純度 99.8wt%以上]

除錆溶液： 酸化クロム（ ）水溶液 [CrO<sub>3</sub> (200g) を蒸留水で 1000ml にした溶液]

除錆条件： 除錆溶液を 80 一定にし、試料を 2 分間浸漬させる。

試料を水道水で水洗、洗浄する。（試料よりも柔らかいブラシ等で表面を擦る）

試料を沸騰水中に浸漬後、水分をタオルで拭き取る。（沸騰水中には数十秒程の浸漬）

試料秤量（ただし、試料温度は室温であること）

～ を繰り返し実施する。

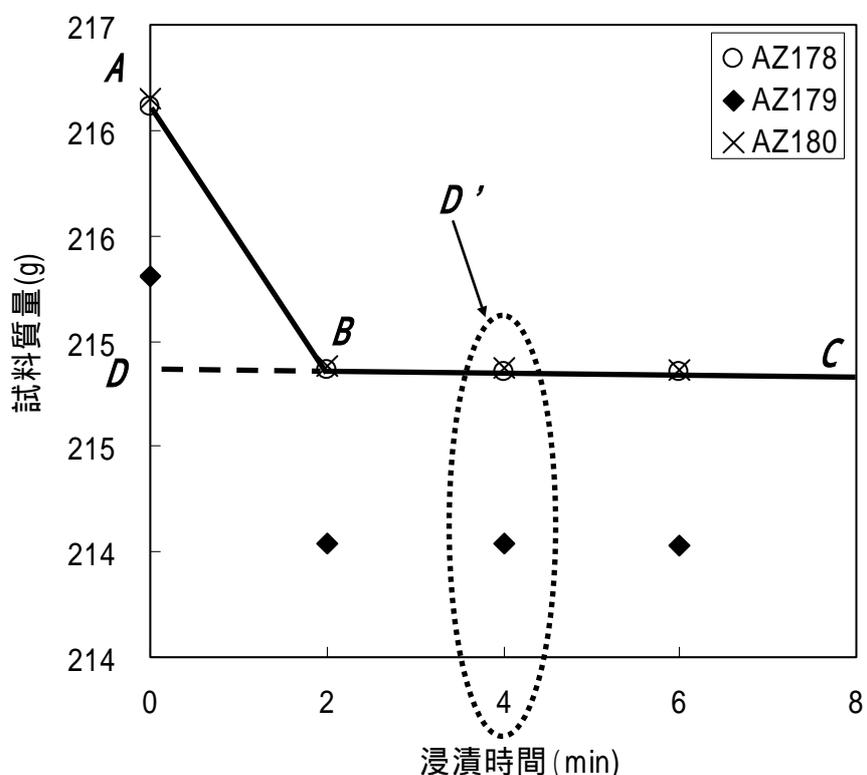
除錆終点： 試料の質量変化（質量減量）が小さくなった時点

以上の除錆作業に則し、実際に亜鉛板に対し除錆作業を行った時<sup>4)</sup>の質量変化を、付表 1 及び付図 2 に示す。

付表 1 亜鉛板の除錆作業時の質量変化（単位：g）

試料記号	暴露 試験前	暴露 試験後	除錆溶液に浸漬させた延べ時間(分)		
			2	4	6
AZ178	215.215	216.113	214.861	214.856	214.851
AZ179	214.406	215.310	214.044	214.038	214.031
AZ180	215.239	216.146	214.881	214.874	214.865

備考) 亜鉛板は、銚子にて1年間の直接暴露試験を行ったものである。



付図 2 亜鉛板の除錆作業時の質量変化グラフ

1年間の暴露試験(銚子)による亜鉛板の場合、経験的に除錆溶液への延べ浸漬時間が6分にて除錆ができることがわかっているため、付図 2 の結果は延べ浸漬時間6分で終了した。付図 2 よりわかるように、直線 B-C は傾きが非常に小さいことがわかる。つまり、2分間浸漬で概ね腐食生成物が除去されたことを示している。

したがって、直線 B-C の延長線上で Y 軸との交点である「D」と、付図 2 で示す「D'」はほぼ同じであると考え、延べ浸漬時間 4 分のときの亜鉛板の質量を、除錆後質量とした。

次に、試料の除錆後質量より、試料の腐食量が(1)式より計算される。

$$Z = (W_0 - W) / A \dots\dots\dots (1)$$

ここに、

Z : 腐食量 (g/m<sup>2</sup>)、 W<sub>0</sub> : 初期質量(g)、 W : 除錆後質量(g)、  
A : 試料試験面積 (m<sup>2</sup>)

腐食量 (g/m<sup>2</sup>) が(1)式より求めたことにより、試料の板厚減少量を(2)式より計算することができる。

$$D = Z / \dots\dots\dots (2)$$

ここに、

D : 板厚減少量 (μm) Z : 腐食量 (g/m<sup>2</sup>) ρ : 金属密度 (g/cm<sup>3</sup>)

付表1の除錆結果より求めた腐食量及び板厚減少量の結果を付表2に示す。

付表2 亜鉛板の腐食量及び板厚減少量

試料記号	質量(g)		腐食量 (g/m <sup>2</sup> )	板厚減少量 (μm)
	暴露試験前	除錆後		
AZ178	215.215	214.856	11.6	1.62
AZ179	214.406	214.038	11.9	1.66
AZ180	215.239	214.874	11.8	1.65

備考) (1) 亜鉛板は、銚子にて1年間の直接暴露試験を行ったものである。  
(2) 試料の面積は、310cm<sup>2</sup>(試料の大きさ10×15×0.2cm)として計算した。  
(3) 試料の密度は、亜鉛の密度7.13(g/cm<sup>3</sup>)を用いた。

板厚減少量を計算する際には、試料の金属密度が必要となる。参考までに、JIS Z 2383に規定されている標準金属試験片の金属密度を付表3に示す。

付表3 標準金属 (JIS Z 2383) の密度

標準金属	記号	密度 (g/cm <sup>3</sup> )
炭素鋼	Fe	7.86
亜鉛	Zn	7.13
銅	Cu	8.96
アルミニウム	Al	2.70
ステンレス鋼 (SUS304)	SUS	7.93

## 9.2 腐食量の経時変化

前述したが、暴露試験を実施するに当たり、何を知らたいのかで暴露試験計画も異なってくる。ここでは、長期暴露（10年）試験<sup>5)</sup>を実施した炭素鋼の暴露試験の結果を紹介する。（付図3、付図4）

この長期暴露試験では、JIS Z 2383に規定された標準金属（炭素鋼、耐候性鋼、亜鉛、銅、アルミニウム、ステンレス鋼）を用い、4暴露試験場〔銚子（千葉県）、西原町（沖縄県）、宮古島（沖縄県）、マイアミ（米国、フロリダ州）〕において実施したものである。

付図3及び付図4より、暴露試験場の違いにより腐食量の経時変化が異なることがわかる。このことは、暴露試験場の大気環境が異なるため、腐食量に違いが生じたと言える。

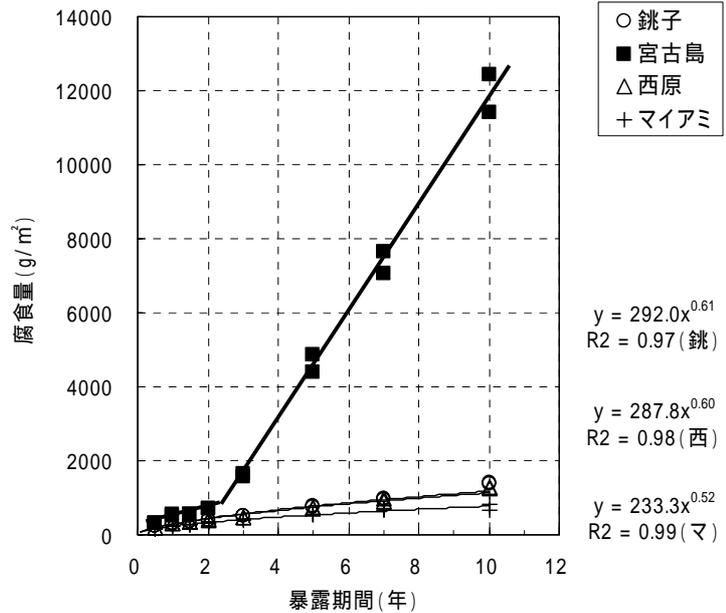
特筆すべきは、宮古島における腐食量が他の暴露試験場を凌駕しているという点に尽きる。

付図4は、宮古島以外の暴露試験場の変化がわかりやすいようにY軸のレンジを小さくしたものである。付図中には、腐食量の経時変化における近似式を示してある。

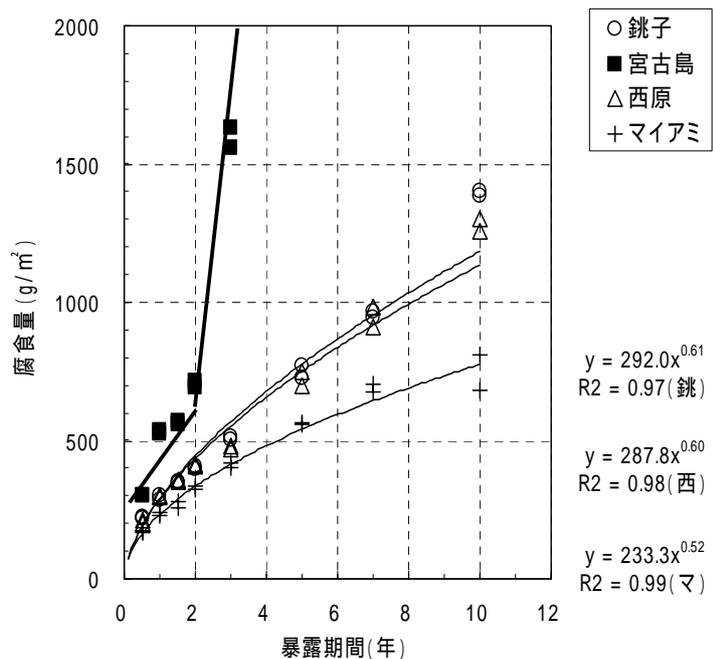
金属の腐食速度は、経時的に小さくなるといわれており、近似式には「 $Y = AX^B$ 」の累乗近似が適している。この近似式のYは腐食量、Xは年である。

この近似式を用いることにより、例えば20年後、あるいは50年後の腐食量を推測することが可能である。

暴露試験の結果からこのように近似式を立て、将来の腐食量のある程度推定することは可能であるが、短い暴露試験期間による暴露試験の結果から導き出された近似式は将来の腐食量の予測に用いる場合、長期間暴露試験の結果から導き出された近似式よりも精度が低くなる。



付図3 炭素鋼の腐食量の経時変化



付図4 炭素鋼の腐食量の経時変化  
（付図3のY軸レンジを拡大表示）

また、我が国では四季があるため、暴露試験は最低でも1年以上実施しなくてはならない。

#### 参考文献

- 1) ISO9223-1:1992: Corrosion of metals and alloys -corrosivity of atmospheres-Classification
- 2) ISO/TC156/WG4,N234; Classification of corrosivity of atmosphere.1<sup>st</sup> Draft of ISO Technical Report.1993
- 3) ISO/TC156/WG4,N314; V.Kucera, J.Tidblmd, A.Mikhailov, :Some new ideas for characterization of atmospheric corrosivity in connection with development of improved standards
- 4) 新発電システムの標準化に関する調査研究（2005）；  
財団法人 日本ウエザリングテストセンター
- 4) 新発電システムの標準化に関する調査研究（2003）；  
財団法人 日本ウエザリングテストセンター

〔 〕 塗 料 編

# [ ] 塗料編

## 目次

	ページ
1. ばしめに .....	塗 - 1
2. 暴露試験について .....	"
3. 暴露試験の計画 .....	塗 - 2
3.1 暴露試験場の選定 .....	"
3.2 暴露試験方法の選定 .....	"
3.3 暴露試験期間の選定 .....	塗 - 3
3.4 暴露試験の開始時期 .....	"
3.5 試料の数量 .....	塗 - 4
4. 試料作成 .....	塗 - 5
4.1 試料の形状及び寸法 .....	"
4.2 試料の標識 .....	"
4.3 試料の前処理 .....	塗 - 6
4.4 標準試料 .....	塗 - 7
4.4.1 合成樹脂調合ペイント塗装板（白色） .....	"
4.4.2 鋼構造物用ポリウレタン樹脂塗料塗装板（赤色） .....	塗 - 8
5. 暴露試験 .....	塗 - 9
5.1 暴露架台及び試料保持具 .....	"
5.2 試料の取り付け及び取り出し .....	塗 - 10
5.2.1 試料の取り付け .....	"
5.2.2 試料の取り外し .....	"
5.3 暴露試験期間中の日常管理 .....	"
6. 暴露試験場の環境計測 .....	"
7. 評価試験 .....	"
8. 記録 .....	塗 - 11
9. 付記 .....	塗 - 12
9.1 測色 .....	"
9.1.1 原理 .....	"
9.1.2 光学系の種類 .....	塗 - 13
9.1.3 常用標準 .....	"
9.1.4 色差の表示 .....	塗 - 14
9.1.5 測定の手順 .....	塗 - 15
9.1.6 管理・保守・校正 .....	"
9.1.7 試験報告 .....	"
10. 暴露試験の状況及び耐候製結果の一例 .....	塗 - 16

# [ ] 塗 料 編

## 1. はじめに

本ガイドは、塗料の大気暴露試験(以下、暴露試験という。)を実施する上での試験計画立案、試料作成方法、暴露試験期間中の注意事項、暴露試験後の評価試験について解説する。

なお、塗料の暴露試験方法は、ISO / DIS2810.2,(Paint and varnishes - Natural weathering of coatings - Exposure and assessment)に規定されており、その翻訳がJIS K 5600 - 7 - 6:2002 (塗料一般試験方法 - 第7部：塗膜の長期耐久性 - 第6節：屋外暴露耐候性)であるため、この規格をもとに塗料に関する JIS の内容を含めて塗料の暴露試験を行う上での留意すべき事項について、記述したものである。

## 2. 暴露試験について

暴露試験の計画、前準備から暴露試験後の評価試験までの流れを図1に示す。

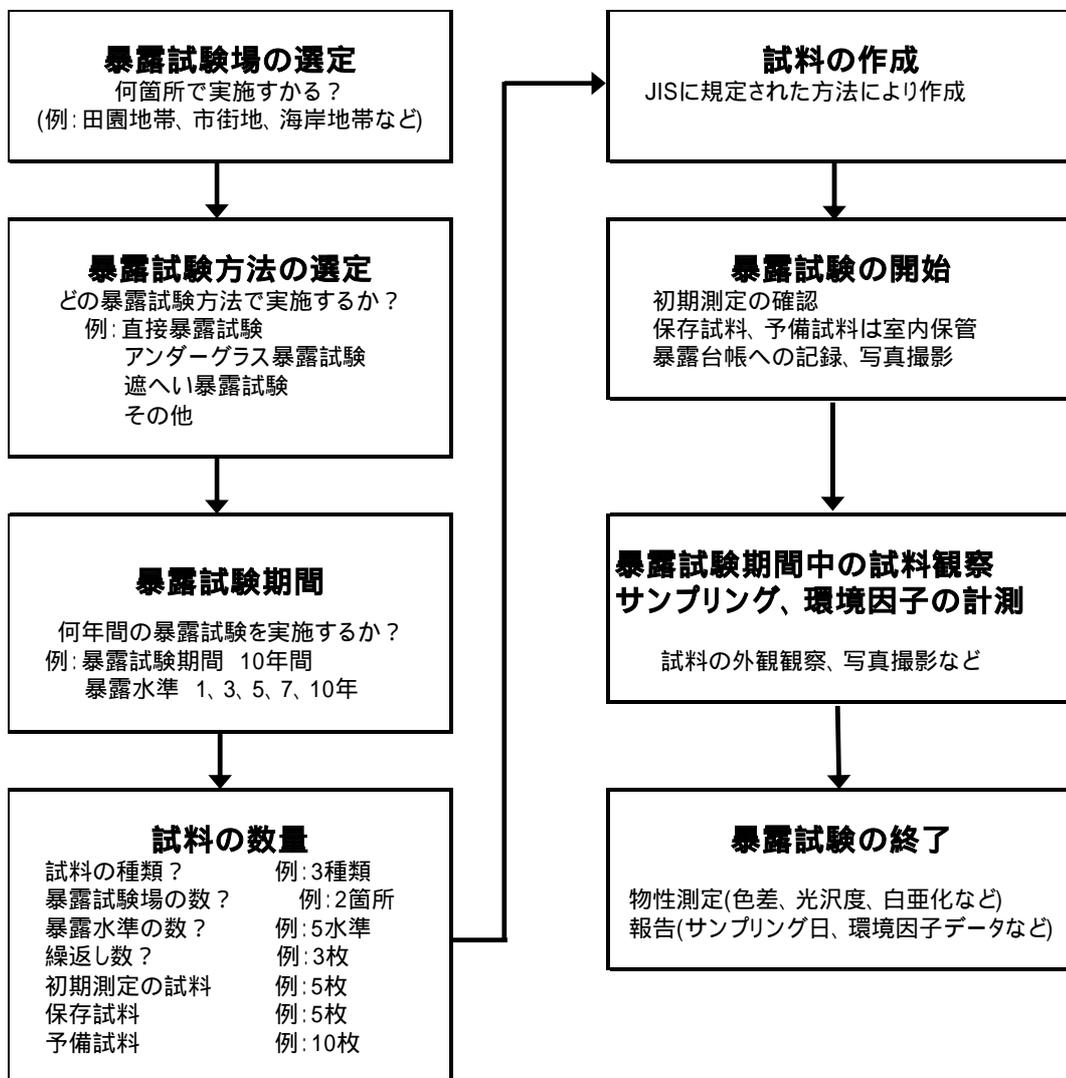


図1 暴露試験の流れ(計画から暴露試験の終了まで)

### 3. 暴露試験の計画

塗料の耐候性を評価するためには、暴露試験を実施する前に綿密な計画を立てることが重要である。この項では、暴露試験に際して検討しなければならない最低限度の事項を記述する。

#### 3.1 暴露試験場の選定

塗料の劣化は、水、酸素、紫外線、温度などの主要因によって誘起された素反応が何段階にもわたって進行し、その結果、塗膜構成成分の酸化、分解、相分離などを起こし、それが巨視的な欠陥状態となる<sup>(1)</sup>とされている。このため、暴露試験場の選定は、これら因子の影響を考慮して決定することを推奨する。また、暴露試験場では、環境因子（気象因子、大気汚染因子）を計測することが望ましい。

暴露試験場を数箇所選定した場合、同時期に暴露を開始することにより暴露試験場間の耐候性結果の違いを把握することができる。写真 1 は、溶融亜鉛めっき鋼板（ポリエステル系塗装の青色）を、旭川、銚子、宮古島及び宮古島海岸で 6 年間（1999 年 8 月 1 日～2005 年 8 月 1 日）の暴露試験を行い、試料の表面劣化を比較したものである。

注<sup>(1)</sup> 平成 9 年度新発電システムの標準化に関する調査研究(塗料委員会)

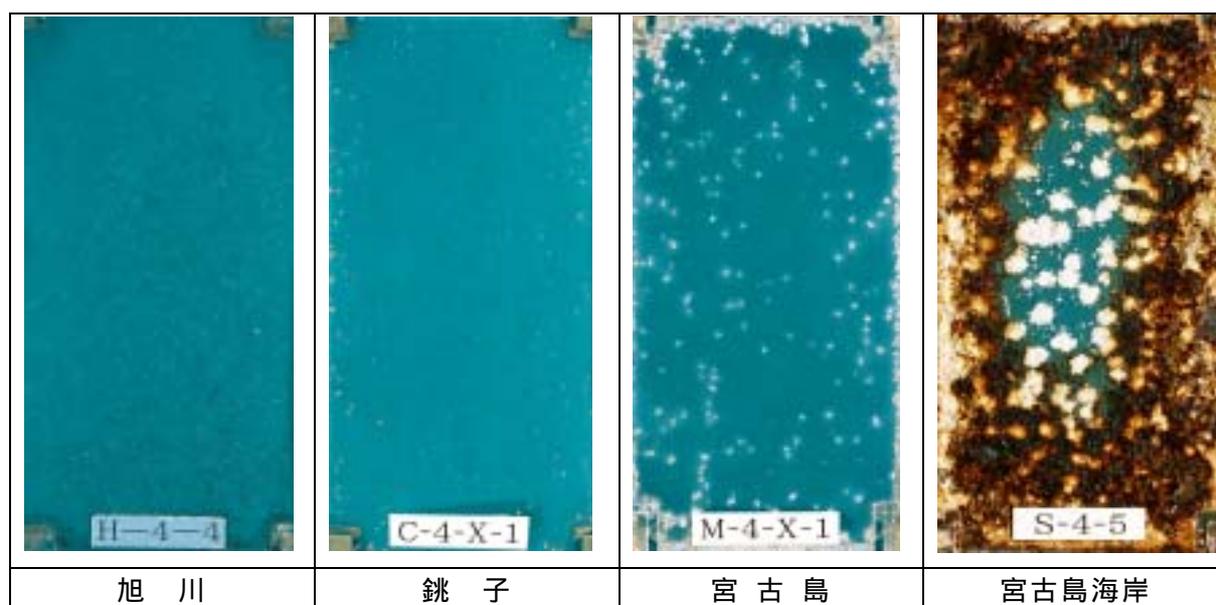


写真 1 溶融亜鉛めっき鋼板(6年暴露)の暴露試験場の違いによる表面劣化の比較

#### 3.2 暴露試験方法の選定

JIS Z 2381 は、5 種類の暴露試験方法（直接暴露試験、遮へい暴露試験、アンダーグラス暴露試験、ブラックボックス暴露試験及び太陽追跡集光暴露試験）を規定しているが、JIS K 5600-7-6 ではこの中の 2 種類(直接暴露試験及びアンダーグラス暴露試験)を規定している。このため、直接暴露試験及びアンダーグラス暴露試験について記述する。

##### (1) 直接暴露試験

直接暴露試験は、気象因子(日照、雨、雪、風など)の影響を直接受ける状態に試料を暴露する方法である。この試験方法は、一般的に最も広く利用されている方法で

あり、暴露試験の条件を表 1 に示す。

(2) アンダーグラス暴露試験

アンダーグラス暴露試験は、雨、雪などの直接的な影響を除くため、上面を透明板ガラスで覆った試験箱内に試料を取り付け、透明板ガラスを透過した太陽放射光に暴露する方法である。この暴露試験方法は、屋内を想定した方法であり、暴露試験の条件を表 1 に示す。

表 1 直接暴露試験方法及びアンダーグラス暴露試験方法の条件

項目	暴露試験の条件	
	直接暴露試験	アンダーグラス暴露試験
角 度	水平面に対して 45 度 使用目的、又は地域によって他の角度でもよい	
方 位	南向き	
共通事項	試料は、地面から最低 0.45m の高さに保ち、植物との接触がないようにし、被害を予防するのに十分な高さに設置する。	

3.3 暴露試験期間の設定

(1) 規格等により規定されている場合

規定された暴露試験期間を実施する。

なお、塗料に係る JIS では、暴露試験期間及び途中観察の時期として、表 2 に示す内容が規定されている。

(2) 塗膜の経時変化の傾向を把握する場合

塗膜の経時変化の傾向を把握する場合は、暴露試験期間の途中において定期的な評価試験を行う。また、四季があるため最低でも 1 年間以上の暴露試験期間について行うことが望ましい。

表 2 塗料に係る JIS に規定されている暴露試験期間及び途中観察の時期

JIS 番号	JIS 名称	暴露試験期間 (年)	観察時期 (月)
K 5600 -7-6	塗料一般試験方法 第 7 部:塗膜の長期耐久性 第 6 節:屋外暴露耐候性	製品規格に規定する期間	3 か月ごと 1 か年経過後は 6 か月ごと
K 5653	アクリル樹脂ワックス	1	6、12
K 5654	アクリル樹脂エナメル	2	6、12、18、24
K 5656	建築用ポリウレタン樹脂塗料	2	12、24
K 5657	鋼構造物用ポリウレタン樹脂塗料	2	12、24
K 5658	建築用ふっ素樹脂塗料	3	12、24、36
K 5659	鋼構造物用ふっ素樹脂塗料	3	12、24、36
K 5639	塩化ゴム系塗料	2	12、24

3.4 暴露試験の開始時期

暴露試験の開始時期は、規格等があればその規定による。特に規定がない場合は、4 月又は 10 月とし、晴天又は曇天の日の午前中に開始する。また、当事者間の協定によって、それ以外の時期に試験を開始することができる。

### 3.5 試料の数量

暴露試験のため準備する試料の数量は、暴露試験による評価試験に支障のない数量とし、暴露試験場、暴露試験方法、暴露試験期間、評価試験及び繰返し数によって決定される。また、規格などに規定されている場合は、それに従う。

塗料に関係する JIS に規定されている試料の数量を、表 3 に示す。

表 3 塗料に関係する JIS に規定されている試料の数量

JIS 番号	JIS 名称	試料(枚)		見本品(枚)		合計(枚)
		試験用	原状用	試験用	原状用	
K 5653	アクリル樹脂ワックス	3	1	3	1	8
K 5654	アクリル樹脂エナメル	3	1	3	1	8
K 5656	建築用ポリウレタン樹脂塗料	3	1	3	1	8
K 5657	鋼構造物用ポリウレタン樹脂塗料	2	1	2	1	6
K 5658	建築用ふっ素樹脂塗料	3	1	3	1	8
K 5659	鋼構造物用ふっ素樹脂塗料	2	1	2	1	6
K 5639	塩化ゴム系塗料	4	1	4	1	10

暴露試験期間の途中で評価試験を行うため洗浄又は塗膜破壊などを行う場合は、暴露試験期間の途中で評価試験する回数分の試料数を用意することが必要である。

なお、暴露試験を開始してから新たに試料を追加して暴露試験を行う場合などがあるため、予備試料を含めた試料の数量を準備することを推奨する。

試料の数量の求め方を、次に示す。

(1) 同一試料について評価試験を行って暴露試験を継続する方法例(非破壊)

暴露試験場 : 3 か所(旭川、銚子、宮古島)

暴露試験方法 : 2 方法(直接暴露試験、アンダーグラス暴露試験)

暴露試験期間 : 5 年間(途中の評価時期 : 3、6、12、18、24、36、48、60 か月)

試料の種類 : 2 種類(ポリエステル樹脂塗料、ふっ素樹脂塗料)

繰返し数 : 3 枚

**必要な試料数量 = 3 か所 × 2 方法 × 2 種類 × 3n = 36 枚**

(この他に保存試料及び予備試料が必要)

(2) 暴露試験期間の途中で評価試験する方法例

暴露試験場 : 3 か所(旭川、銚子、宮古島)

暴露試験方法 : 2 方法(直接暴露試験、アンダーグラス暴露試験)

暴露試験期間 : 5 年間(途中の評価時期 : 3、6、12、18、24、36、48、60 か月)

試料の種類 : 2 種類(ポリエステル樹脂塗料、ふっ素樹脂塗料)

繰返し数 : 3 枚

**必要な試料数量 = 3 か所 × 2 方法 × 8 期間 × 2 種類 × 3n = 288 枚**

(この他に初期試料<sup>(2)</sup>、保存試料及び予備試料が必要)

注<sup>(2)</sup> 試料の色差及び光沢度のバラツキがある場合は、暴露試験を行う前に、全ての試料について初期測定を行なうことが望ましい。

## 4. 試料作成

### 4.1 試料の形状及び寸法

試料の形状及び寸法は、評価試験が十分に行えるものとし、規格があればそれに従う。表 4 は、塗料に関する JIS に規定されている試験板及び寸法であり、形状は全て平板である。

表 4 塗料に関する JIS に規定されている試験板及び寸法

JIS 番号	JIS 名称	試験板	寸法 (mm)
K 5600 -1-4	塗料一般試験方法 第 1 部:通則 第 4 節:試験様標準試験板	鋼板、ぶりき板、亜鉛めっき鋼板・亜鉛鋼板、アルミニウム板、ガラス板、硬質ボード、繊維セメント板、フレキシブル板、セメントモルタル板、パーライト板、木材単体・木材合板、アスファルトブロック	面積 0.03 m <sup>2</sup> 以上 縦横の辺が 100mm 以上
K 5653	アクリル樹脂ワックス	フレキシブル板	300×150×4
K 5654	アクリル樹脂エナメル	フレキシブル板	300×150×4
K 5656	建築用ポリウレタン樹脂塗料	フレキシブル板	300×150×4
K 5657	鋼構造物用ポリウレタン樹脂塗料	鋼板	300×150×1
K 5658	建築用ふっ素樹脂塗料	フレキシブル板	300×150×4
K 5659	鋼構造物用ふっ素樹脂塗料	鋼板	300×150×1
K 5639	塩化ゴム系塗料	鋼板	300×150×3.2

### 4.2 試料の標識

試料の標識について、内容、位置及び表示を表 5 に示す。

また、試料の標識の内容の記号区分例を表 6 に示す。

表 5 試料の内容

区 分	内 容
標識の内容	標識の内容は、試料の種類・暴露試験場・暴露試験期間・試料の繰返し数などとし、記号・番号などを用いて試料に影響を与えない方法で表示し、暴露試験後も明らかに識別できるものとする。
標識の位置	a) 評価試験に影響を与えない位置とする。 b) 途中観察等を行う場合は、試料の表面下側に表示すると試料の内容を把握しながら観察できる。 c) 長期間の暴露試験の場合は、標識を消えにくくするため試料の裏面下側に表示するとよい。
標識の表示	標識の表示は、耐候性の良い塗料等によるほか、標識を表示した耐候性のよいテープを貼り付ける方法などがある。

表 6 標識に表示する記号区分例

区 分	内 容	記 号
試料の種類	ふっ素樹脂、ポリエステル樹脂・・・	F、P・・・
暴露試験場	銚子、旭川、宮古島・・・	C、A、M・・・
暴露試験方法	直接暴露試験、アンダーグラス暴露試験	D、U
暴露試験期間	1年、2年、3年・・・	1、2、3・・・
繰返し数	1枚目、2枚目、3枚目・・・	(1)、(2)、(3)・・・

備考) 暴露試験期間と繰返し数は、数値による通し番号でもよい。

**標識の記号区分例 ; ふっ素樹脂、銚子における直接暴露試験、3年目の試料2枚目**

**F - C D - 3 ( 2 )**

**4.3 試料の前処理**

試料の裏面及び周辺の評価を行わない場合でも、試験をする塗料で塗装することが一般的に望ましい。また、試料の裏面と端面は、良質の防食塗料で塗装してもよい。

表 7 は、塗料に関する JIS に規定されている試料の前処理及び放置期間である。

表 7 塗料に関する JIS に規定されている試料の前処理及び放置期間

JIS 番号	JIS 名称	試料の裏面及び周辺の処理
K 5653	アクリル樹脂ワックス	裏面及び周辺は、試料と同種の塗料で 2、3 回塗り包む。
K 5654	アクリル樹脂エナメル	
K 5656	建築用ポリウレタン樹脂塗料	
K 5657	鋼構造物用 ポリウレタン樹脂塗料	裏面は、試料の表面と同様の塗装。 周辺は、試料の表面及び裏面を同時に塗装して 1 日乾燥放置後、エポキシ樹脂塗料 2 種下塗り塗料を 1 回、更に 1 日後に鋼構造物用ポリウレタン樹脂塗料上塗で 1 回塗り包む。
K 5658	建築用ふっ素樹脂塗料	裏面は、試料の表面と同様の塗装。 周辺は、試料の両面を塗装して 1 日乾燥後、試料と同一の塗料で 2～3 回塗り包む。
K 5659	鋼構造物用ふっ素樹脂塗料	裏面は、試料の表面と同様の塗装。 周辺は、試料の表面及び裏面を同時に塗装して 1 日乾燥放置後、エポキシ樹脂塗料 2 種下塗り塗料で、更に 1 日後後に鋼構造物様ふっ素樹脂塗料上塗で塗り包む。
K 5639	塩化ゴム系塗料	周辺及び裏面は、試料の表面を上塗り塗装して 1 日乾燥放置後、24 時間間隔で下塗り塗料、中塗り塗料及び上塗り塗料で 1 回ずつ塗り包む。

#### 4.4 標準試料

JIS K 5600 - 1 - 8 (塗料一般試験方法 - 第 1 部 : 通則 - 第 8 節 : 見本品) では、暴露試料と見本品 (暴露試料の品質劣化を評価するために比較する試料) を、一緒に行うことが規定されている。

しかし、同規格の 2.3 項の設定方式による区分の a) 規定見本に該当するものがないため、以下に示す合成樹脂調合ペイント塗装板 (白色) 及び鋼構造物用ポリウレタン樹脂塗料塗装板 (赤色) の 2 種類を標準試料<sup>(3)</sup>として推奨する。

注<sup>(3)</sup> 環境変化に対応した劣化状況を明確に評価する標準試料として、経済産業省から委託された新発電システムの標準化に関する調査研究のなかで、「耐候性評価のための基準塗料の検討 (F シリーズ)」の成果として提案している。

##### 4.4.1 合成樹脂調合ペイント塗装板 (白色)

合成樹脂調合ペイントの上塗塗料の白色は、光沢度の変化を評価するための基準塗料であり、試料の詳細を次に示す。

###### (1) 材質及び寸法

a) 材質は、JIS G 3141 の冷間圧延鋼板 (SPCC - SB) とする。

b) 寸法は、1.0 × 70 × 150mm とする。

(2) 合成樹脂調合ペイントの上塗塗料白色の配合は、表 8 による。

表 8 合成樹脂調合ペイントの上塗塗料 (白色) の配合

材 料		質量 割合 (%)	材料の品質	製造業者及び商品名
顔 料	R - 二酸化チタン	25.0	AL、Si 処理、SG : 4.0	石原産業： タイペーク CR-95
	炭酸カルシウム	10.0	SG : 2.7	竹原化学： サンライト # 1500
樹 脂	大豆油変性アルキド樹脂 ワックス	55.0	油長 65%、 不揮発分 70%、SG : 1.1	大日本インキ： ベッコゾール P470-70 P
添加剤	酸化ポリエチレンワック ス系沈殿防止剤	1.0		楠本化成： デイスパロン # 4200-20
	アルキルシリコーン	0.3		信越化学： 信越シリコン KF-69
溶 剤	ミネラルスピリット	8.7		
合 計		100.0		
P V C		22.3		

備考 1) 大豆油変性アルキド樹脂ソリッドに対し、乾燥剤としてナフテン酸鉛及び酸化コバルトを各々の金属量で 0.5%、0.05%、皮張り防止剤として MEX オキシムを 0.1% を添加する。

備考 2) 材料の粒度は、卓上サンドミルなどを用いて 20 μm (分布図法) 程度に分散する。

(3) 試料の作成

- a) 塗装は、片面にスプレー塗りとする。塗り方は、次に示す順番によって下塗、中塗及び上塗を行う。  
 JIS K 5633 のエッチングプライマー 2種 (15 μm)  
 JIS K 5625 のシアナミド鉛さび止めペイント 2種 (35 + 35 μm)  
 表 8 の大豆油変性アルキド樹脂を使用した中塗 (30 μm)  
 表 8 の合成樹脂調合ペイント上塗 (25 μm)
- b) 裏面は、JIS K 5551 のエポキシ樹脂塗料で 500 μm 以上の膜厚に塗装する。
- c) 端部は、同じ上塗塗料で十分に塗包む。

4.4.2 鋼構造物用ポリウレタン樹脂塗料塗装板 (赤色)

鋼構造物用ポリウレタン樹脂塗料の上塗塗料の赤色は、色差の変化を評価するための基準塗料であり、試料の詳細を次に示す。

(1) 材質及び寸法

- a) 材質は、JIS G 3141 の冷間圧延鋼板 (SPCC - SB) とする。  
 b) 寸法は、1.0 × 70 × 150mm とする。

(2) 鋼構造物用ポリウレタン樹脂塗料の上塗塗料赤色の配合は、表 9 による。

(3) 試料の作成

- a) 塗装は、片面にスプレー塗りとする。塗り方は、次に示す順番によって下塗、中塗及び上塗を行う。  
 JIS K 5552 のジंकリッチプライマー 2種 (15 μm)  
 JIS K 5551 のエポキシ樹脂塗料下塗 (60 μm)  
 表 9 のスチレン含有アクリルポリオールを使用した中塗 (30 μm)  
 表 9 の鋼構造物用ポリウレタン樹脂塗料上塗 (25 μm)
- b) 裏面は、JIS K 5551 のエポキシ樹脂塗料で 500 μm 以上の膜厚に塗装する。
- c) 端部は、同じ上塗塗料で十分に塗包む。

表 9 鋼構造物用ポリウレタン樹脂塗料塗装板の上塗塗料(赤色)の配合

材 料		質量割合 (%)	材料の品質	製造業者及び商品名
主 剤	顔料	パーマネントカーミン FD	CI PIG R-5、 SG : 1.5	大日精化工業(株) : セイカファーストカーミン 3840
	樹脂	スチレン含有アクリルポリオールワニス	OH 価 50 (溶液)、 不揮発分 50%、SG : 1.1	大日本インキ化学工業(株) : アクリディック A-801P
	添加剤	アルキルシリコーン	0.3	信越化学工業(株) : 信越シリコン KF-96
	溶剤	トルエン	9.7	
小計		100.0		
硬 化 剤	樹脂	HMDI イソシアヌレート	不揮発分 75 ± 1% NCO 含有量 15 ~ 16 SG : 1.1	大日本インキ化学工業(株) : パーノック DN980
合計		120.0		
PVC		11.8		

備考) 材料の粒度は、卓上サンドミルなどを用いて 20 μm (分布図法) 程度に分散する。

## 5. 暴露試験

### 5.1 暴露架台及び試料保持具

#### (1) 暴露架台

暴露架台は、試料の暴露試験期間中に腐食等により破損するような材質であっては試験を満足に実施することができない。そのため、暴露架台は相応の耐久性のある材質のものをを用いる必要がある。暴露架台の材質が木材である場合は、防腐処理を施し、場合によっては塗装したほうが良い。また、暴露架台の材質が金属である場合は、暴露架台から腐食性生物が発生しないよう暴露架台表面を処理する必要がある。

暴露架台の材質として、アルミニウム、ステンレス又はめっき塗装した鋼材などが良い。

#### (2) 試料保持具

試料保持具は、試料が風などによって落下しないように保持できる構造でなければならない。試料保持具の例を図2及び写真2に示す。

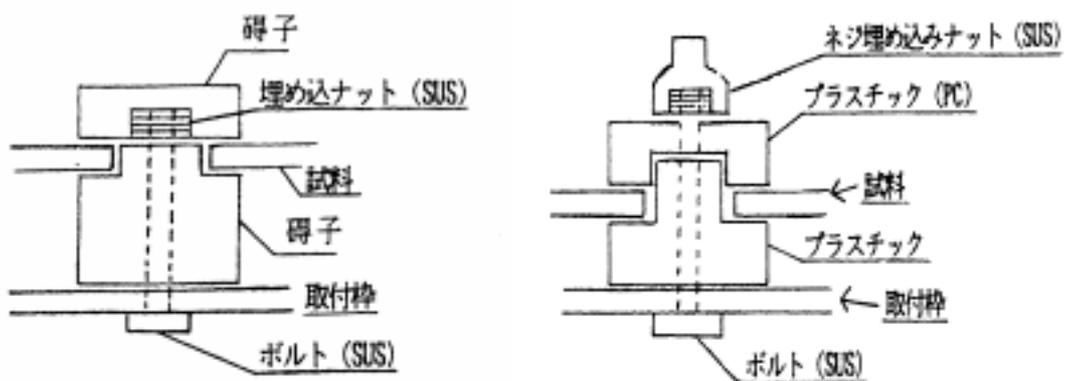


図2 試料保持具(左：磁器製、右：プラスチック製)



写真2 試料保持具(左：磁器製、右：プラスチック製)

## 5.2 試料の取り付け及び取り外し

### 5.2.1 試料の取り付け

- (1) 暴露試験計画に基づき、試料の種類及び暴露試験期間等を考慮した試料の取り付け配置図を作成する。
- (2) 試料の取り付け配置図に沿って、試料を取り付ける。
  - a) 試料について水滴が他の試料に滴下しないように取り付ける。
  - b) 暴露試験期間中に金属との電気的な接触がなく、木、その他の多孔性の物質ともできるだけ直接接触しないように取り付ける。

### 5.2.2 試料の取り外し

- (1) 暴露試験計画に基づき試料の取り外し時期に到達した試料を、配置図により確認して取り外す。
- (2) 試料を取り外す際は、試料に傷等を付けないように細心の注意を払わなければならない。
- (3) 試料の取り付け及び取り外しは、清浄な手袋を使用し、試料の端をつかんで行う。

## 5.3 暴露試験期間中の日常管理

暴露試験期間中の日常管理（点検箇所、点検内容、点検方法及び対応）を、表 10 に示す。

表 10 暴露試験期間中の日常管理

点 検 箇 所	点 検 内 容	点 検 方 法	対 応
暴露架台	腐食、変形、破損など	目視	記録、修理
	アンダーグラス暴露試験装置のガラスの清掃	目視	汚れを拭き取る
暴露架台の試料	取付け状況	目視	記録、取り付け直し
	鳥の糞	目視	記録、取り除く
	クモの巣	目視	記録、取り除く
	試料の状態	目視	記録、暴露試験計画見直し
暴露試験場の草木	高さ 20cm 以下	計測	記録、刈り取る

## 6. 暴露試験場の環境計測

塗膜の劣化は、水、酸素、紫外線、温度などが主要因であるため、紫外線、温度、湿度、濡れ時間、降水量の 5 因子は最低限計測することが望ましい。また、これらの因子の他に、風向・風速及び大気汚染因子を併せて計測することは、暴露試験後の試料の劣化状況を解析する上で有用である。

## 7. 評価試験

暴露試験後の評価試験は、試料の周辺及び塗膜の端からそれぞれ幅 10mm 以内の塗膜は、観察・評価の対象としない。

また、評価試験のため試料表面を洗浄する場合は、規定に従って行う。試料の洗浄規定がない場合は、適切な湿潤剤が添加されている JIS K 0557 に規定する A2、A3 の水を用い、洗浄溶液は軟らかいスポンジを用い、水で十分に洗い流し、機械的損傷をなくす。

評価試験のため試料表面を洗浄しない場合は、軟らかいハケ等で試料表面のほこりが落ちる程度に軽くはらう。

塗膜の評価試験の項目は、表 11 によるほか、製品規格によって行う。

また、評価試験の一例として、測色の測定方法を、9.付記に示す。

表 11 塗膜の評価試験の項目

No.	項目	評価方法の JIS 番号
1	膨れの等級	JIS K 5600 - 8 - 2
2	さびの等級	JIS K 5600 - 8 - 3
3	割れの等級	JIS K 5600 - 8 - 4
4	はがれの等級	JIS K 5600 - 8 - 5
5	白亜化の等級	JIS K 5600 - 8 - 6
6	測色	JIS Z8722、JIS Z 8729
7	鏡面光沢度	JIS K 5600 - 4 - 7
8	耐屈曲性	JIS K 5600 - 5 - 1
9	耐カップング	JIS K 5600 - 5 - 2
10	耐おもり落下性(1)落体式(2)落球式(3)デュポン式	JIS K 5600 - 5 - 3
11	引っかき(鉛筆法)	JIS K 5600 - 5 - 4
12	引っかき(荷重針法)	JIS K 5600 - 5 - 5
13	付着性(クロスカット法)	JIS K 5600 - 5 - 6
14	付着性(プルオフ法)	JIS K 5600 - 5 - 7

## 8. 記録

表 12 の記録事項について行う。ただし、必要のない項目は省略しても良い。

表 12 記録事項

項目		記録する内容	備考
試料		名称、種類、形状、寸法	
暴露	暴露試験場	所在地、緯度、経度、標高	左記以外に、環境区分を明記することが望ましい。
	暴露試験方法	暴露試験方法の種類	
	暴露試験の条件	方位、角度	
	試料取り付け配置図	試料記号と暴露架台への配置場所を明記	
	暴露試験期間	開始日、途中観察時期、終了日	
	暴露試験の中止・中断	期日及び期間、理由 処置方法	中断の場合は試料の保管方法を明記することが望ましい。
環境	環境因子	紫外線、温度、湿度、降水量、濡れ時間 (風向・風速、大気汚染因子など)	暴露試験場近傍の気象官署データを引用する場合は、気象官署の場所、暴露試験場から気象官署までの距離を明記する。
特記事項：暴露試験期間中の台風、暴風雨又は記録的な気象条件は記録する。			

## 9. 付 記

### 9.1 測 色<sup>(4)</sup>

測色は、光の分光エネルギー分布の相違によって、その性質の差異が認められる可視放射の特性又は視知覚の様相を、三刺激値及び色度座標又は色相、明度、彩度によって表す。

測定方法は、JIS Z 8722 (色の測定方法 - 反射及び透過物体色) に規定されている分光測色方法及び刺激値直読方法の2方法があり、最も広く一般的に利用されている刺激値直読方法〔反射法(45-0方式)〕について、説明する。また、色差の表示はJIS K 5600-4-6による。

注<sup>(4)</sup> 測色の内容は、スガ試験機(株)の資料(色彩管理方法:1977)による。

#### 9.1.1 原 理

刺激値直読方法による測色計(測色色差計)は、三刺激値X、Y、Zなどの測定値を直接測定するものであり、光源とレンズ系、色フィルター、光電池(又は光電管)を含む光学系と、測定値を指示する計測部とで構成されている。

測色(反射法による)の原理は、測定しようとする試料をハロゲン光源(C光源)で照明して、試料から反射する拡散光を色フィルターと光電池を組み合わせた3個の受光器で受光する。この光電池は受光した光のエネルギーに比例して電気エネルギーが生じるもので、試料の色に応じて3つの色フィルターをそれぞれ通過した光は、3個の光電池にそれぞれ電気出力が生じる。

試料の色のX、Y、Z値を直読するためには、色フィルターと光電池を組み合わせた3組の受光器からの電気出力が、試料のX、Y、Z値に対応した大きさに比例して得られるように光学的性質と電気的性質とを持たせる必要がある。このため、照明する光源の分光分布、3つの色フィルターの分光透過率、および光電池の分光感度を総合した特性が、X、Y、Zを求めるために規定された特性と一致するように組み合わせ

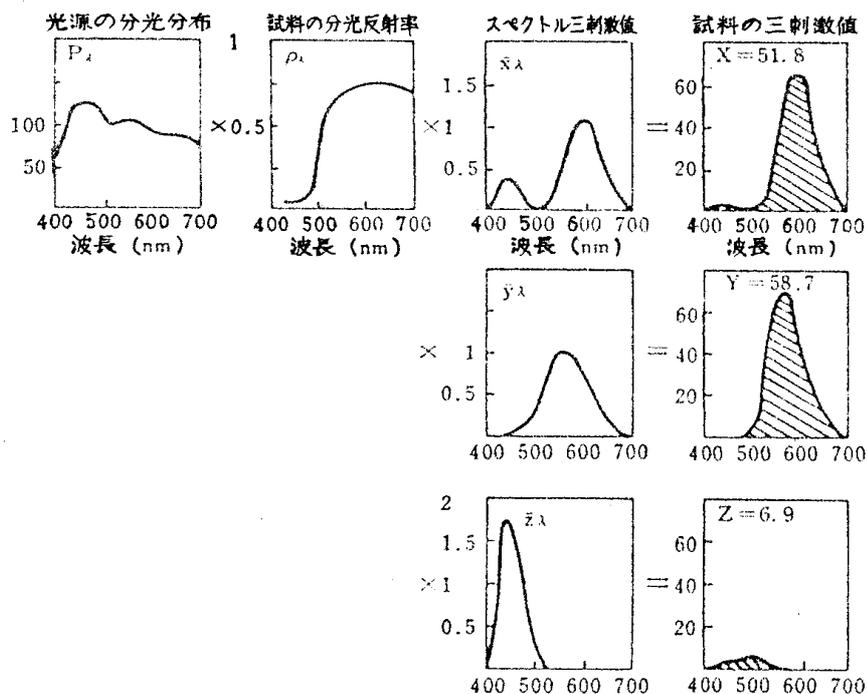


図3 測色計器からX、Y、Zを求め方法

れている（図3参照）。

測定の方法は、測色計に付属しているホーロー製の白色板を基準として3つの受光器からの、それぞれの指示を、ホーロー製の白色板のX、Y、Z値に合わせて標準校正を行ったのち試料を測定すれば、X、Y、Z受光器に試料の色に応じた電気出力を生じ、測定値として表示される。

### 9.1.2 光学系の種類

刺激値直読方法による測色計の光学系は、試料面に対して照明する光束の角度及び試料面からの拡散反射光を受光する条件によって区別される。

#### (1) 45 - 0 方式

図4に示す光学系は、45°方向から試料を照明して、垂直方向（0°）の拡散反射光を拡散筒に集光して、X、Y、Z受光器で受光する光学条件をもつ。この光学系は、広い範囲で用いられている。

#### (2) 積分球方式

図5に示す光学系で、試料面に対して垂直方向から照射し、積分球を用いて試料からのすべての方向の拡散反射光を集めて受光器で受光する光学条件をもつ。この光学系は、繊維などのように織目の方向によって反射光の強さが異なる方向性のある試料に対して平均化して測定できる特徴がある。

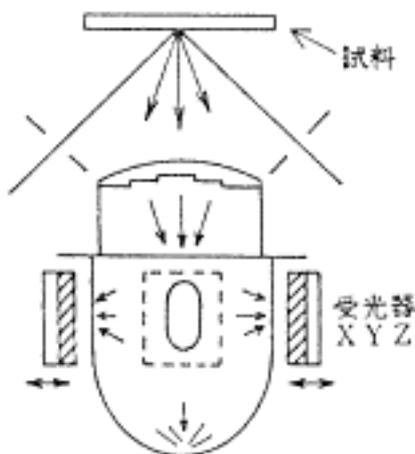


図4 光学系（45 - 0方式）

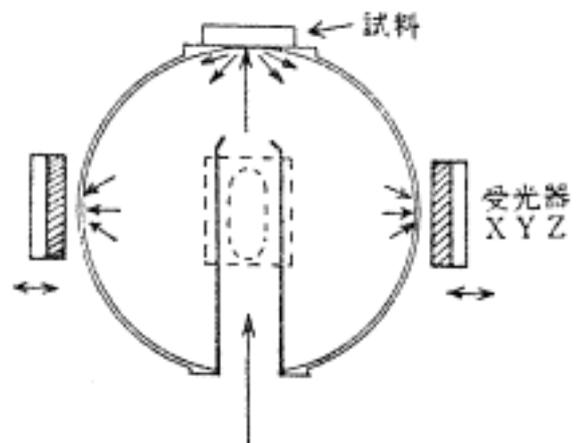


図5 光学系（積分球方式）

### 9.1.3 常用標準

個々の測定器の日常の測定用には、長期間にわたって安定した分光反射率を示す実用標準を使用する。

これらの実用標準は均等拡散面である必要はないが、硫酸バリウム標準及び実用標準が実際に使用される測定器で校正しなければならない。実用標準は、例えば、乳白ガラス、ビトロライト又はセラミックスタイルのような安定な耐久性のある物質から作るべきである。表面の汚染の除去及び清浄が容易であるようにその表面は磨かれていなければならない。

#### 9.1.4 色差の表示

試料の変化を色座標から色差を求める計算式は多数ある。種々の理由から、色差式で計算した結果は、すべての場合、目視による認識と満足するように合致するとは限らない。CIEは1976年に、一般用に二つの色差式を勧告した。その一つであるL\*a\*b\*色差式は、塗膜の測色的評価に対して、実際的な数値であることが判明しているため、塗料の評価する色差式とした。

##### (1) 色差

2色間の色差 E\*ab は、(CIE 1976) L\*a\*b\*色空間 (JIS K 5600 4 4 参照) における2色間の幾何学的な距離であり、次の式によって算出する。

$$E^*_{ab} = \{ (L^*)^2 + (a^*)^2 + (b^*)^2 \}^{1/2}$$

$$\begin{array}{l} \text{ここに} \quad L^* = L^*_T \quad L^*_R \\ \quad \quad a^* = a^*_T \quad a^*_R \\ \quad \quad b^* = b^*_T \quad b^*_R \end{array}$$

##### (2) 明度差

試験試料と参照標準間の明度差は、CIE 1976 明度指数差 (次式) によって定義されている。

$$L^* = L^*_T \quad L^*_R$$

##### (3) 彩度差

試験試料と参照標準間の彩度差は、CIE 1976 彩度差 (次式) によって定義されている。

$$C^*_{ab} = C^*_{ab1T} \quad C^*_{ab1R}$$

ここに C\*<sub>ab1T</sub>: 試験試料の CIE 1976 a b 彩度であり、次式で定義される。

$$C^*_{ab1T} = (a^{*2}_T + b^{*2}_T)^{1/2}$$

C\*<sub>ab1R</sub>: 参照標準の CIE 1976 a b 彩度であり、次式で定義される。

$$C^*_{ab1R} = (a^{*2}_R + b^{*2}_R)^{1/2}$$

##### (4) 色相差

試験試料と参照標準間の色相差は CIE 1976 a b 色相差 (次式) によって定義されている。

$$H^*_{ab} = k_H | \{ (E^*_{ab})^2 + (L^*)^2 + (C^*_{ab})^2 \}^{1/2}$$

$$\begin{array}{l} \text{ここに} \quad k_H = +1 : (a^*_R b^*_T - a^*_T b^*_R) \geq 0 \text{ の場合} \\ \quad \quad k_H = -1 : (a^*_R b^*_T - a^*_T b^*_R) < 0 \text{ の場合} \end{array}$$

(5) 白に近い試験試料の色差

白に近い試験試料の色差は、 $C^*ab$  及び  $H^*ab$  の代わりに  $E^*ab$  及び  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$  を使用して記載すべきである。

### 9.1.5 測定の手順

刺激値直読方式による反射法（45 - 0 方式）による測定の手順を、表 13 に示す。

なお、装置を安定させるため測定機器の電源を投入後、約 30 分間放置した後、測定を行う。

表 13 45 / 0 方式による測定の手順

手 順	手 順 の 内 容
零合わせ	1. 光学系の試料台に暗箱をセットする。 2. 計測部で零合わせを行う。 3. 光学系の試料台から暗箱を外す。
標準合わせ	1. 光学系の試料台に、常用標準（白色板）をセットする。 2. 計測部で標準合わせを行う。 3. 光学系の試料台から常用標準（白色板）を外す。
測 定	1. 光学系の試料台に試験試料をセットする。 2. 試験試料の裏面に所定の試料押えをのせる。 3. 計測部で測定する。 4. 光学系の試料台に試験試料をセットして測定を行う。

### 9.1.6 管理・保守・校正

(1) 日常の管理

常用標準（白色板）の標準値で標準合わせを行った後、付属の青色板、緑色板及び赤色板を測定し、表示値の  $\pm 1$  以内であることを確認する。

(2) 保守

光源の寿命は 2000 時間であるため、適時交換する。また、光学系の内部にゴミ、ホコリ等が入らないように注意する。

なお、測定機器の点検は 1 年ごとに行うことを推奨する。

(3) 校正

常用標準（白色板）及び付属の青色板、緑色板、赤色板は、1 年ごとに校正を行う。

### 9.1.7 試験報告

(1) 試料の塗膜の種類と名称

(2) 試料を調整した方法

(4) 測定器の種類、条件及び測定器の名称

(5) 試験結果

a) 明度  $L^*$ 、座標  $a^*$ 、 $b^*$  及び色差  $E^*ab$  を報告する。

b) 必要な場合は、明度指数差  $L^*$ 、CIE 1976  $ab$  彩度差  $C^*ab$ 、CIE 1976  $ab$  色相差  $H^*ab$ 、 $a^*$  及び  $b^*$  を報告する。

(6) 協定又はその他に基づく内容の記載

(7) 試験年月日

## 10 暴露試験の状況及び耐候性結果の一例

(1) 塗装板の暴露試験の状況を、写真3に示す。



(2) 暴露試験場の違いによる耐候性結果の比較(例)

ポリウレタン樹脂塗料塗装板の暴露試験場の違いによる60度鏡面光沢度の保持率(%)を比較した結果を、図6に示す。

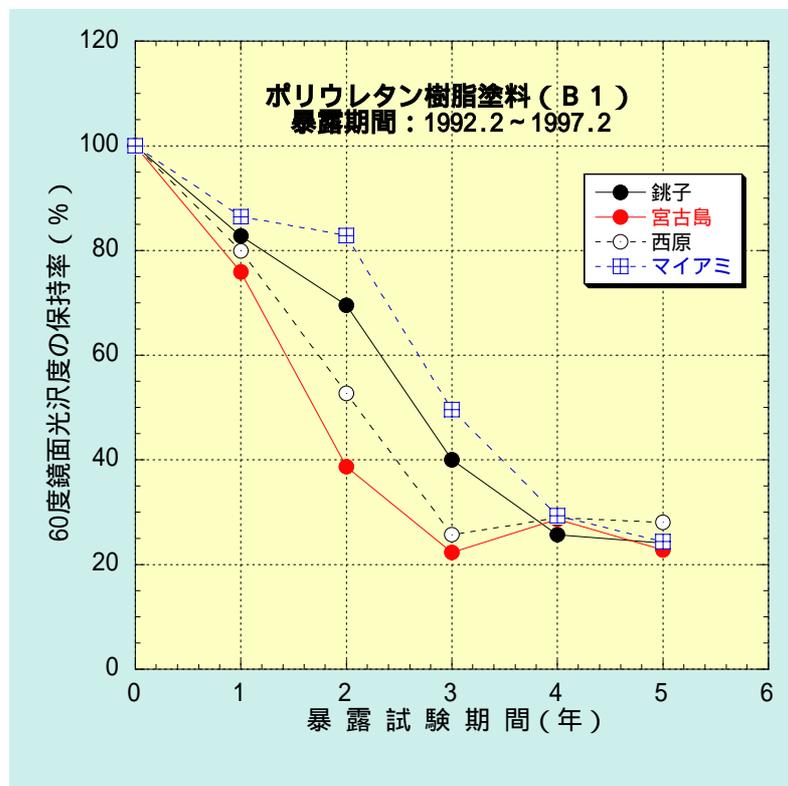


図6 暴露場所の違いによる耐候性結果の比較(例)

(3) 各種塗装板の耐候性結果(例)

各種塗装板(色調は全て灰色)の色差及び 60 度鏡面光沢度の保持率(%)を比較した結果を、図 7 及び図 8 に示す。

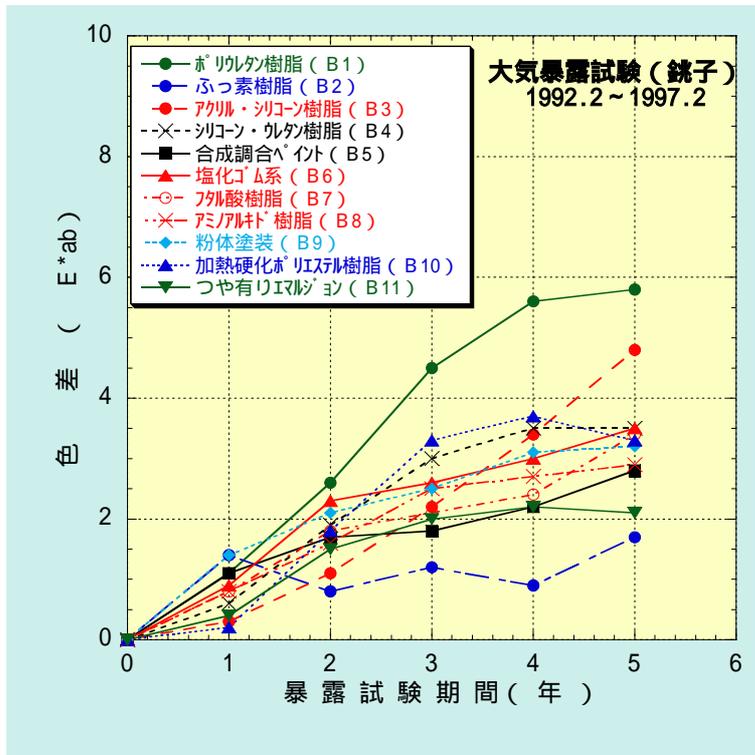


図 7 各種塗装板の色差の比較

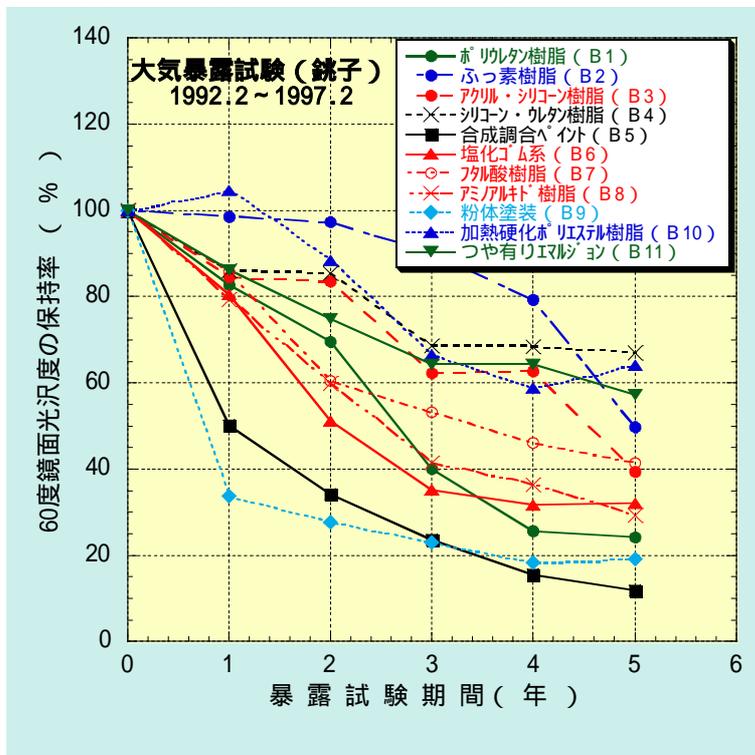


図 8 各種塗装板の 60 度鏡面光沢度の維持率の比較

(4) ポリウレタン樹脂塗料塗装板の色調の違いによる耐候性結果の比較

ポリウレタン樹脂塗料塗装板の色調の違いによる色差及び 60 度鏡面光沢度の保持率(%)を比較した結果を、図 9 及び図 10 に示す。

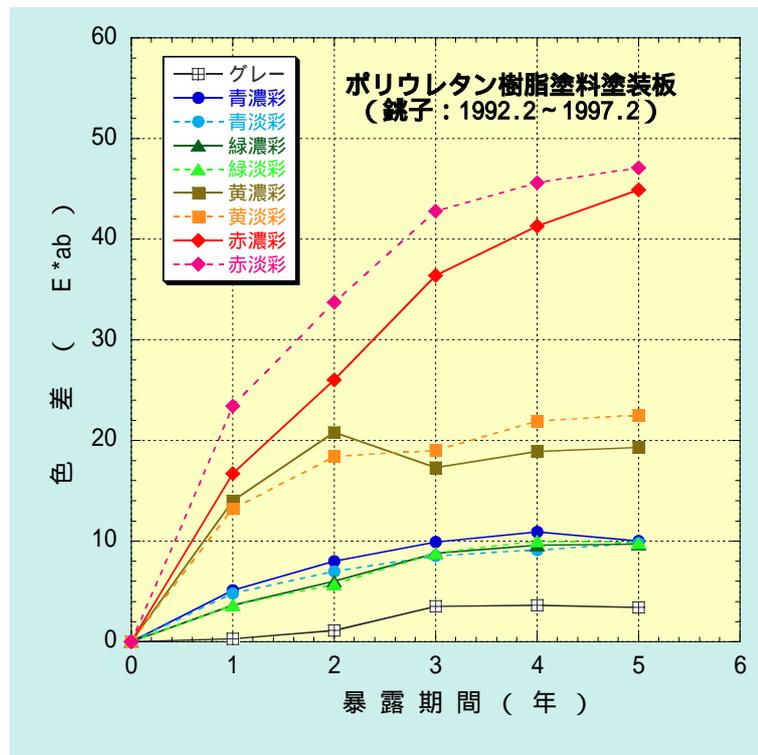


図 9 ポリウレタン樹脂塗料塗装板の色調の違いによる色差の比較

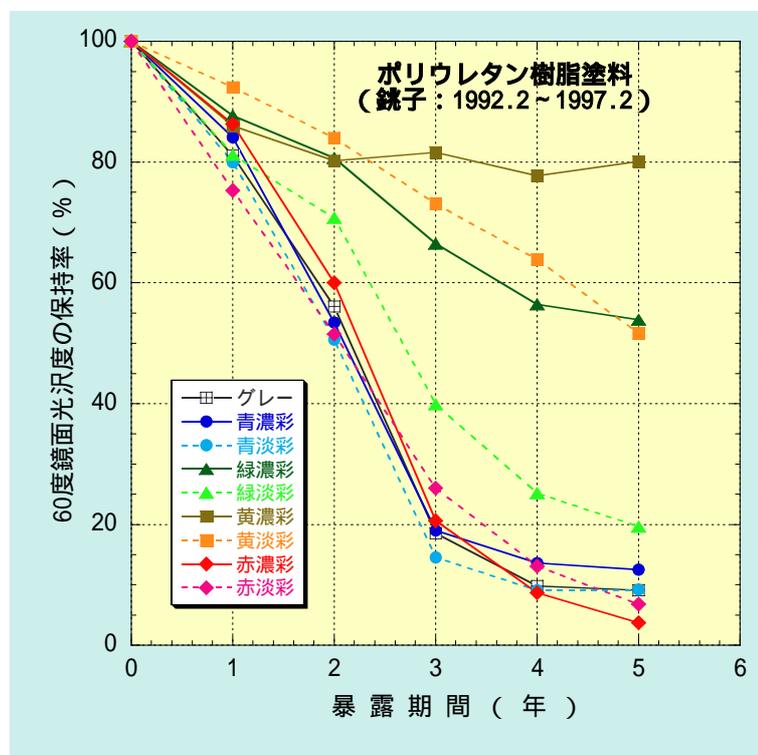


図 10 ポリウレタン樹脂塗料塗装板の色調の違いによる 60 度鏡面光沢度の保持率の比較

# 〔 〕プラスチック・ゴム編

# 〔 〕プラスチック・ゴム編

## 目 次

	ページ
1. ばしめに .....	高 - 1
2. 暴露試験方法の選定 .....	高 - 2
3. 暴露試験の条件設定 .....	”
4. 暴露試験場の選定 .....	高 - 3
5. 暴露試験期間 .....	”
6. 試料 .....	高 - 4
6.1 試料の形状 .....	”
6.2 試料の数量 .....	”
6.3 標準試料 .....	”
7. 暴露試験の実施 .....	高 - 5
7.1 開始時期 .....	”
7.2 試料の標識 .....	”
7.3 試料の取り付け .....	”
7.4 暴露試験期間中の取扱い .....	”
7.4.1 試料の洗浄 .....	”
7.4.2 ガラスの清掃 .....	”
7.5 太陽追跡集光暴露試験装置の反射鏡の管理 .....	”
8. 環境因子の計測 .....	”
8.1 紫外線 .....	高 - 6
8.2 熱 .....	”
8.3 水分 .....	高 - 7
8.4 カルボニルインデックス .....	”
8.5 環境計測機器の管理 .....	高 - 9
8.5.1 紫外線計 .....	”
8.5.2 試験板温度計 .....	”
8.5.3 濡れ計 .....	”
9. 評価試験 .....	”
9.1 洗浄の有無 .....	”
9.2 状態調節 .....	”
9.3 色の変化 .....	”
9.3.1 目視観察 .....	”
9.3.2 測定器による測定 .....	高 - 10
9.4 光沢 .....	”
9.5 引張特性 .....	”
9.6 その他の特性 .....	高 - 11
10. 結果の表し方 .....	高 - 12
10.1 目視による評価 .....	”
10.2 測定器による特性及びその他の特性 .....	”
10.3 特性値の 50% 低下到達時間を求める手順 .....	”
参考 ポリエチレンリファレンス試験片による暴露環境の定量評価の一例 .....	高 - 14

## ( ) プラスチック・ゴム編

### 1. はじめに

プラスチックの大気暴露試験方法は、JIS K 7219 (プラスチック - 直接屋外暴露、アンダーグラス屋外暴露、太陽集光促進屋外暴露試験方法) に規定されている。

ゴムの大気暴露試験を規定したものはなく、人工光源による試験方法が JIS K 6266 (加硫ゴムおよび熱可塑性ゴムの耐候性試験方法) に規定されている。したがって、ゴムの大気暴露試験を行う際は、JIS K 7219 に準じて行うことを前提として、以下、大気暴露試験 (以下、暴露試験という。) を行う際の準備から暴露試験終了後の評価まで一連の流れに沿って記述する。

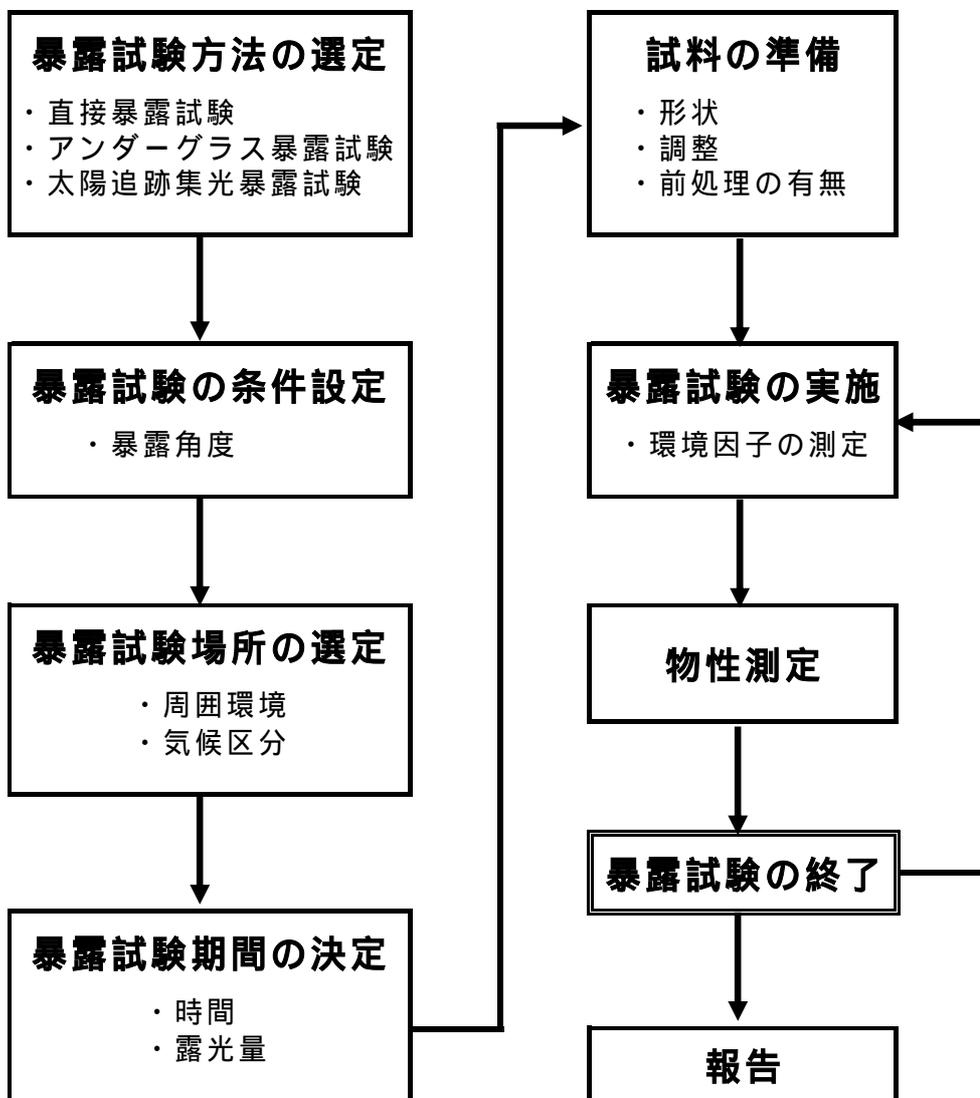


図 1 暴露試験の流れ

## 2. 暴露試験方法の選定

JIS K 7219 では、直接暴露試験、アンダーグラス暴露試験、太陽追跡集光暴露試験の3つが規定されている。表1に暴露試験方法の種類を示す。

直接暴露試験とアンダーグラス暴露試験は、暴露試験の目的によって選定する。

太陽追跡集光暴露試験は、屋外での促進試験であり規格等に規定されている場合に使用する。

表1 暴露試験方法の種類

種類	内容	適用規格等
直接暴露試験	日照や雨などの影響を受ける大気環境に直接暴露する。	JIS K 7219、JIS D 0205 等
アンダーグラス暴露試験	風雨の影響を直接受けずガラスを透過した日光に暴露する。	JIS K 7219、JIS D 0205 等
太陽追跡集光暴露試験	フレネル反射鏡により反射集光した日光に暴露する。	JIS K 7219、JIS D 0205、ASTM D 4141、SAE J 1961 等

## 3. 暴露試験の条件設定

直接暴露試験とアンダーグラス暴露試験では暴露試験面の角度を何度に設定するか、太陽追跡集光暴露試験では水噴霧サイクルをどのようにするかを決める必要がある。

### (1) 直接暴露試験及びアンダーグラス暴露試験

直接暴露試験及びアンダーグラス暴露試験の暴露試験面の角度は、JIS K 7219 では表2に示す3つのオプションがある。また、JIS D 0205 (自動車部品の耐候性試験方法)では一律に南面35度となっているが、当事者間の協定によって変更することもできる。

我が国では、従前、太陽放射エネルギーを最大に受光する角度は、緯度マイナス5~10度と推定されていた関係から、(財)日本ウエザリングテストセンターでは暴露試験面の角度は、銚子が南面30度、宮古島は南面20度を基本としており、緯度マイナス10度と若干異なるが、過去からの継続性やデータベースとの整合性が重要であるため、緯度マイナス5度を踏襲している。

暴露架台の方位は、正南面(赤道面)に向けるのが原則であるが、暴露試験の目的及び当事者間の協定によって、南面以外に向けてもよい。

表2 暴露試験面の方位及び角度

規格	暴露試験面		備考
	方位	角度	
JIS K 7219	南面 (南面以外でもよい)	緯度マイナス10度	全太陽光(紫外線から赤外線まで含む)を最も多く受ける角度
		水平から5~10度	紫外線を最も多く受ける角度
		任意の角度	データベースとの比較のため
JIS D 0205	南面	35度	当事者間の協定により変更可

## (2) 太陽追跡集光暴露試験

太陽追跡集光暴露試験は、表 3 に示す水噴霧サイクルが JIS K 7219 に規定されているため、暴露試験の目的に応じて選定する。

表 3 太陽追跡集光暴露試験の水噴霧サイクル

サイクル	内 容	適 用
1	8 分噴霧、52 分乾燥（照射中） + 夜間 3 回（18 時、24 時、6 時）	ほとんどのプラスチック
2	3 分噴霧、12 分乾燥 （18 時から 6 時まで夜間だけ噴霧）	自動車用レンズ材料、透明なシートなど 高い光沢のあるプラスチックなど
3	噴霧なし	プラスチックでラミネートしたガラス、 退色性だけの試験、温水器のカバー等
4	18 分噴霧、102 分乾燥	人工光源暴露に対応
その他	当事者間の協定	-

## 4. 暴露試験場の選定

### (1) 直接暴露試験及びアンダーグラス暴露試験

暴露試験を行う標準的な暴露試験場は、暴露架台の北側に仰角 45 度以上の障害物がなく、南側の仰角 20 度以上に障害物がないことが規定されているが、一般的にはこのような暴露試験場が確保できない場合が多い。

また、建物の屋上で暴露試験を行う場合は、床面からの日射の照り返しを防ぐような手段(例:人工芝を貼るなど)を施すことが望ましい。

暴露試験場の気候区分は、プラスチックやゴムの劣化挙動に大きな影響を与えることが予想される。また、海岸地帯、工業地帯といった区分は基本的な気候区分とは異なった影響が予想される。したがって、気候区分の異なる多くの暴露試験場で同時に暴露試験を行うことは、劣化と環境因子との関係を考察する上で多くの情報が得られる。

### (2) 太陽追跡集光暴露試験

太陽光を効率よく利用するため、規格では乾燥した天気の良い年間 3,500 時間以上の日照時間があり、年間の日中の平均相対湿度が 30%以下の暴露試験場で行うのが最もよいとされている。このような気候条件を備えた場所は、国内にはなく乾燥した砂漠地帯及び海拔の高い地域に限定される。

## 5. 暴露試験期間

暴露する時間の長さは、対象とする材料及び製品の予想される耐候性の程度や暴露試験場の環境条件を考慮して決められるが、時間で決める場合と太陽放射露光量によって決める場合がある。表 4 に暴露試験期間の規定を示す。

表 4 暴露試験期間の設定

区 分		内 容
週		2、3、4
月		1、3、6、9
年		1、1.5、2、3、4、6
放射露光量	全日射量	6280 MJ/m <sup>2</sup> (70リタ <sup>1</sup> 年間)
	紫外線量	308 MJ/m <sup>2</sup> (波長域 300 ~ 385nm:70リタ <sup>1</sup> 年間)

## 6. 試 料

### 6.1 試料の形状

#### (1) シート状の試料

シート状の試料は、機械的強度を測定するために暴露試験後に試験片を切り出す場合と、暴露する前に試験片を切り出す場合がある。

なお、切り出した試料は、光の当たる面積や端部からの水分の影響等があるため、試験結果を比較する際は常に同じ履歴のものでなければならない。

#### (2) 押出成形及び射出成形による試料

押出成形及び射出成形による試料は、JIS K 7162 (プラスチック - 引張特性の試験方法第 2 部：型成形、押出成形及び注型プラスチックの試験条件) (ISO527-2 Plastics-Determination of tensile properties-Part 2 : Test conditions for moulding and extrusion plastics の翻訳規格) 及び JIS K 7113 (プラスチックの引張試験方法) に定められている。

現在、ISO 対応の JIS と従来からの JIS のダブルスタンダードになっているが、新規に試験を始める場合は ISO 対応の JIS を使用したほうがよい。

両規格では、引張試験片の平行部の長さや曲線部の半径が異なっている。ゴムの引張試験片の形状は、JIS K 6251 (加硫ゴムの引張試験方法) に規定されている。

### 6.2 試料の数量

試料の数量は、少なくとも暴露試験後に評価する特性値の試験方法に規定されている数量とする。一般的には、非破壊試験の繰返し数は 3 枚、破壊試験の繰返し数は 5 枚であるが、機械的特性はバラツキを考慮し、関連規格で要求している数量の 2 倍とすることが望ましい。

### 6.3 標準試料

暴露試験を行う場合、耐候性の諸特性が知られている標準試料 (コントロール試料) を同時に暴露することを強く推奨する。

この方法により、標準試料の結果から暴露試験を行った試料の耐候性がある程度予測できる。

## 7. 曝露試験の実施

### 7.1 開始時期

JIS K 7219 では、曝露試験の開始時期を規定していない。

- (1) 曝露試験期間が1年未満の場合は、曝露試験を開始する季節に依存することがあるため、春開始(例:4月)又は秋開始(例:10月)を推奨する。この場合、劣化因子を把握するため曝露試験期間中の環境因子を計測することが重要である。
- (2) 1年以上の長期にわたる場合は、曝露試験の開始時期による影響は少なくなるが、気候変動の影響は避けられないので、試験結果を絶対視することは危険である。

### 7.2 試料の標識

試料の標識は、試料の裏側または光に曝露されない面に、耐久性のあるインクまたはテープによって試料名を記入するとよい。また、試料の配列を図に記録するとよい。

### 7.3 試料の取り付け

試料は応力がかからないように取り付けるのが原則である。

フィルムのようなものは金網の上に曝露するか、四角い枠のようなものに挟み込んでもよい。

アンダーグラス曝露試験を行う試料は、試験箱による影の影響を受けないように試験箱から10cm程度内側に取り付ける。

### 7.4 曝露試験期間中の取扱い

#### 7.4.1 試料の洗浄

曝露試験期間中の試料の洗浄は原則として行わない。

但し、鳥の糞による汚れは特定の試料だけが汚染されるので水などで拭き取る。

#### 7.4.2 ガラスの清掃

アンダーグラス曝露試験に使用するガラスは月に1度洗浄する。また、試料の上に積もった埃等は、太陽光を遮断するため当事者間の協定によって定期的な洗浄を行うか決める。

### 7.5 太陽追跡集光曝露試験装置の反射鏡の管理

太陽追跡集光曝露試験装置に使用される反射鏡は定期的に洗浄する。また、反射率モニター用の反射鏡を取り付けて反射鏡の反射率を管理する。反射モニター用の反射鏡の分光反射率が310nmで65%以下になったら、反射鏡を全部交換する。

## 8. 環境因子の計測

曝露試験期間中に受けた劣化因子の情報は、曝露試験結果を解釈する上で不可欠である。曝露試験場のマクロな環境として気温や湿度のデータは、気象台からも入手できるが、紫外線量や濡れ時間等は気象台では計測していないため、必要に応じて自ら計測しなければならない。

以下、紫外線、熱、水分、カルボニルインデックスを計測する際の注意点等について、記述する。

## 8.1 紫外線

太陽光線に含まれる紫外線の持つエネルギーは、プラスチックの分子間結合エネルギーとほぼ等しい。また、プラスチックは紫外線を選択的に吸収して光化学反応を起こす。したがって、暴露試験のバックデータとして紫外線量のデータは不可欠であるが、測定器の型式によって測定する波長範囲が異なるため、また、斜め方向からの光に対する感度や温度特性が異なるなどにより、必ずしも同じ値を示さない。

このため、紫外線量を比較する場合は、紫外線計の型式を確認する必要がある。型式の異なる紫外線計を比較した内容を表5、紫外線計の一例を写真1に示す。

表5 紫外線計の比較

紫外線計		紫外線量		備考
型式	波長範囲(nm)	1年間の積算量	比率	
TUVR	295～385	229.37 MJ/m <sup>2</sup>		銚子・南面 30度 (1992年)
PH-11UP	300～400	287.01 MJ/m <sup>2</sup>	1.25	
MS210A	315～400	294.88 MJ/m <sup>2</sup>		銚子・水平面 (2001年)
PH-11UP	300～400	308.45 MJ/m <sup>2</sup>	1.05	



型式:TUVR



型式:PH-11UP



型式:MS210A

写真1 紫外線計の一例

## 8.2 熱

屋外に暴露されたプラスチックは、太陽からの輻射熱によって温度が上昇するため紫外線による光化学反応がより促進する。また、試料は暴露された条件によっては熱酸化や熱劣化反応を起こすため、暴露試験期間中の試料温度は重要な情報である。

しかし、暴露しているすべての試料の温度を計測することは実用的でないため、一般的にはブラックパネル温度計による最高温度を代用<sup>(1)</sup>している。

暴露試験によるブラックパネル温度の最高温度は、宮古島で約63℃、銚子では約55℃である<sup>(2)</sup>。

注<sup>(1)</sup> ブラックパネル温度計は、厚さ1mmのステンレス板でありプラスチックよりも熱伝達率が高いので、必ずしもプラスチックの温度がブラックパネル温度と同じになるわけではない。

注<sup>(2)</sup> このブラックパネル温度の最高温度は、(財)日本ウエザリングテストセンターの銚子及び宮古島で計測した結果である。

### 8.3 水分

降雨や結露による試料表面の濡れ、または、大気から吸収した水分が試料の化学的あるいは物理的に作用を及ぼす。化学的な作用は、加水分解、光劣化反応の触媒作用であり、物理的な作用は、膨潤、物質内部での添加物の溶出移動、凍結融解による内部ストレスの発生等が知られている。

濡れを測定する方法は規格化されていないため、主に、2つのタイプの濡れ計が用いられている。ひとつは薄い銅板に金メッキで櫛型の電極をプリントしたものの、もうひとつはガラス管の上に電極がありこれをガーゼで巻いたものがある。写真2は、2つのタイプの濡れ計による計測状況である。

表6に濡れ計の比較結果を示す。この2つのタイプの違いは、周囲との熱交換の比率の違いによる湿度に対する反応性や、風に対する反応性の違いに基づいていると考えられているため、濡れ時間を比較する際は注意しなければならない。また、この結果は、いずれもプラスチックやゴムの濡れ時間を代表するものではない。

表6 濡れ時間の比較 (銚子 2001年)

型 式	年間濡れ時間 (h)	比率 ( MH-045 / DR-2 )
櫛 型 (MH-045)	3492.52	1.31
ガラス管型 (DR-2)	2526.30	



櫛型(MH - 045)



ガラス管型(DR - 2)

写真2 濡れ計による計測状況

### 8.4 カルボニルインデックス

プラスチックの代表的な劣化機構である紫外線の吸収による酸化反応の速度は、紫外線と温度が相乗的に影響するため、紫外線だけで劣化速度を正しく表せない場合が多い。

そこで、ポリエチレンフィルムを使用して、紫外線と温度の相乗的な作用を定量評価する方法がある。

これは、JIS K 7200〔耐光(候)試験機の照射エネルギー校正用標準試験片〕に規定されているポリエチレンリファレンス試験片を屋外に1か月間暴露した後、新しいポリエチレンリファレンス試験片と交換する作業を一定期間繰り返して、月ごとに得られるポリエチレンリファレンス試験片の赤外分光分析による吸収スペクトルから、 $1715\text{cm}^{-1}$ 付近のカルボニル基と $2020\text{cm}^{-1}$ 付近のメチレン基の吸光度比(カルボニルイン

デックス)を求めるものである。写真3は、ポリエチレンリファレンス試験片の暴露試験の状況である。

カルボニルインデックスの値は、紫外線の吸収によって開始される酸化反応の温度による促進効果として表されることが分かっているため、暴露した場所の紫外線と気温の相乗的な作用を表す指標とすることができる。

図2は、ポリエチレンリファレンス試験片を銚子と宮古島に1か月ごとに暴露した結果であり、8月を除き宮古島の値が常に大きい。また、1か月ごとの結果を積算した値が、その場所におけるポリエチレンリファレンス試験片の変化に及ぼす紫外線と気温の複合された影響の指標となる。

カルボニルインデックスの使用例を、後掲の参考に示す。

なお、この試験片は(財)日本ウエザリングテストセンターで頒布している。

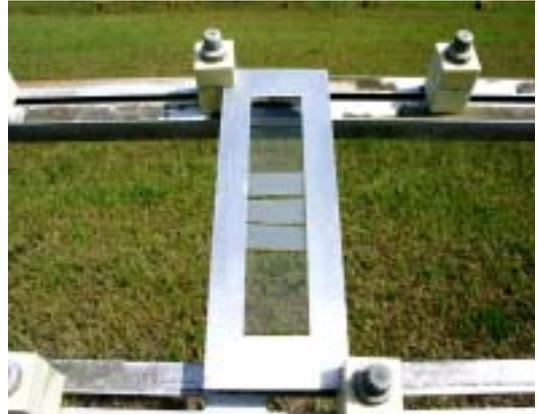


写真3 ポリエチレンリファレンス試験片の暴露試験している状況

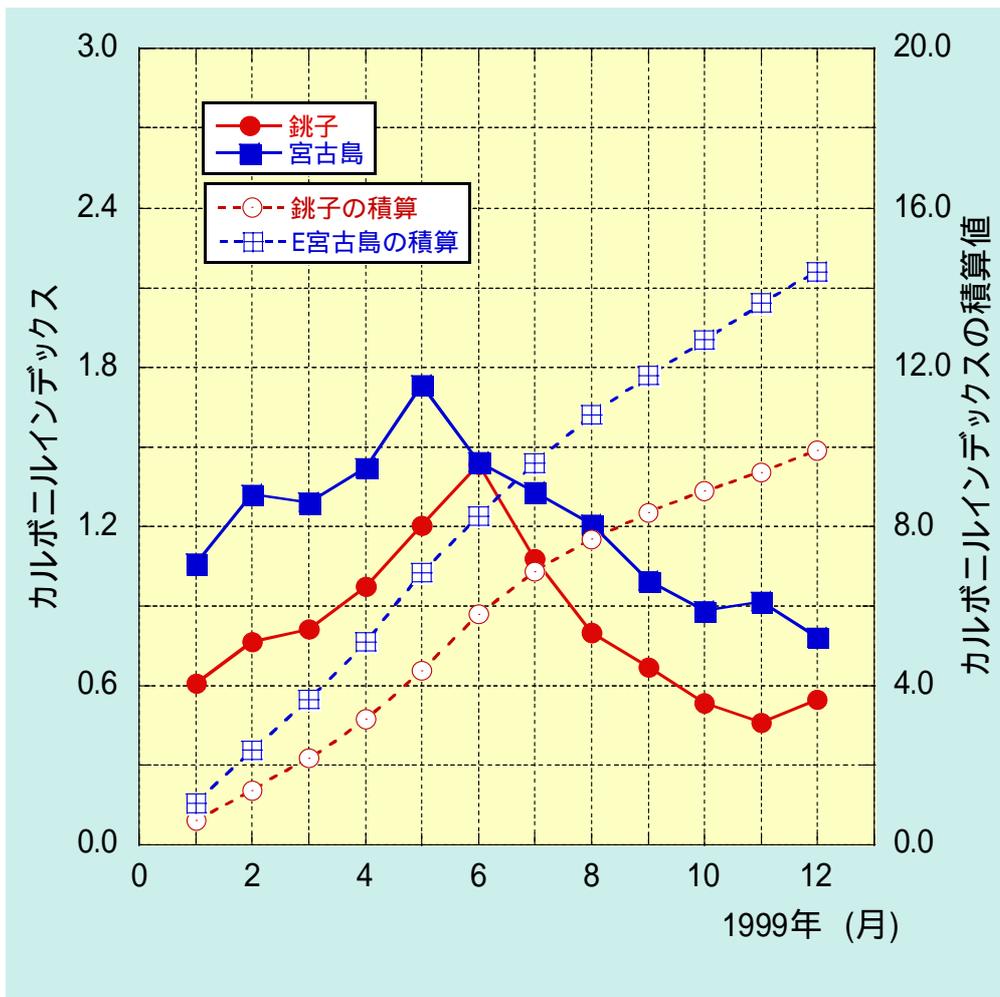


図2 銚子及び宮古島におけるカルボニルインデックスの季節変化

## 8.5 環境計測機器の管理

### 8.5.1 紫外線計

受光面のガラスドームの清掃は毎朝行う必要がある。また、乾燥剤の交換を定期的（例えば3ヶ月毎）に行う。校正は製造業者により年に1回以上行う。

### 8.5.2 試験板温度計

表面を乾いたやわらかい布で毎日清掃する。定期的に塗料用ワックスで磨くとよい。

### 8.5.3 濡れ計

櫛形電極の場合は表面に付着した海塩等を除去するため、毎日表面を乾いたやわらかい布で軽く拭く。このセンサーは経時的に劣化してくるので、定期的に交換することを推奨する。

ガラス管式の場合はガーゼを定期的に（例えば3ヶ月毎）交換する。

## 9. 評価試験

高分子関連の製品で耐候性が必要性とされる特性は分野によって異なるが、JIS等に規定されている項目は、色差、光沢、外観観察及び機械的特性が多い。

そこで、暴露試験後の評価試験をする上での注意点等について記述する。

### 9.1 洗浄の有無

試料の洗浄の有無については、当事者間の協定で決める。

洗浄の仕方によって評価試験の結果は大きく影響するので、一定の手順を決めておく。洗浄する場合は、流水中でやわらかいスポンジを用いて表面を洗浄した後、蒸留水で表面を流し、扇風機等で早めに乾燥させると表面にウォータースポットが生じない。

### 9.2 状態調節

評価試験における試料の状態調節の条件と時間は、それぞれの規定によるが、一般的にはJIS K 7100（プラスチックの状態調節及び試験場所の標準状態）の2級、温度（ $23 \pm 2$ ）、相対湿度（ $50 \pm 5$ ）%で48時間以上が最も多い。時間の規定がない場合は88時間とする。

また、評価試験を行う室内も状態調節の条件と同じとする。

### 9.3 色の变化

#### 9.3.1 目視観察

目視により色の变化を評価する場合は、原則として変退色グレースケール(写真4参照。)を用いて行う。

観測する際、照明条件によって色が異なって見えるため、JIS Z 8723（表面色の視感比較方法）ではD65光源で行うこ



写真4 変退色グレースケール

とになっている。照明方向は、試料に対して法線方向あるいは 45 度の方向、観察方向は照明方向に対して 45 度の方向から観察することを原則としている。人工光源がない場合は、北側の窓から入る太陽光の拡散光の下で観察することになっている。

### 9.3.2 測定器による測定

色の変化を目視で表現する方法は個人差があるため、色の変化を客観的に表現する方法として、測定器によって測る方法が多く用いられる。測定器で測る方法は、JIS Z 8722 (色の測定方法 - 反射及び透過物体色) に規定される分光反射率から求める方法と、刺激値直読方式と呼ばれる方法がある。写真 5 は、刺激値直読方式による測色色差計の例である。



写真 5 測色色差計(例)

測定器によって測定した X、Y、Z の値から色差を求めるには、これらの値を明度、彩度、色相に相当する値に変換し、3 つの値の暴露前後の差の 2 乗和の平方根を計算する。変換式にいくつかの方式があり、現在は視感に最も近いと言われる L\*a\*b\*系という方式が多く用いられる (JIS Z 8729 色の表示方法 - L\*a\*b\*表色系及び L\*u\*v\*表色系)。

### 9.4 光沢

物体表面の光沢は、入射角と反射角が等しい鏡面光沢と、入射角に関係なくあらゆる方向に反射する拡散反射がある。プラスチックの表面光沢は、入射角と反射角が等しい鏡面光沢 (JIS K 7105) を測定することが一般的であり、入射角と受光角の角度は 85 度、75 度、60 度、45 度、20 度等がある。暴露試験による光沢の測定は、入射角と受光角を 60 度で行うことが最も多い。写真 6 は、鏡面光沢度を計測する変角光沢計の例である。



写真 6 変角光沢計(例)

### 9.5 引張特性

プラスチックの引張特性を測定するための試料や試験条件は、JIS K 7161 (プラスチック - 引張特性の試験方法第 1 部通則) (ISO527-1 Plastics-Determination of tensile properties-Part 1 : General principles の翻訳規格)、JIS K 7162 (プラスチック - 引張特性の試験方法第 2 部 : 型成形、押出成形及び注型プラスチックの試験条件) (ISO527-2 Plastics-Determination of tensile properties-Part 2 : Test conditions for moulding and extrusion plastics の翻訳規格) 及び JIS K 7113 (プラスチックの引張試験方法) に定められている。

ゴムの引張試験の試験条件は、JIS K 6251 (加硫ゴムの引張試験方法) に規定されている。

評価項目として、引張強さ及び伸びの劣化を指標として用いられる。

引張強さは、試料が破断するまでの最大点の応力を言うが、試料によって降伏点を過ぎた後に最大点の応力を示す場合がある。この場合、劣化の進行に伴い延性破壊から脆性破壊に変化していく過程で降伏点がなくなったり、降伏点と破断点の大きさが一時的に逆になったりする場合がある(図3参照。)。したがって、破壊状態を記録しておくといよい。

伸びは、標線間伸び、つかみ具間伸びがある。初期の品質を規定する製品規格では、標線間内で切れなかったデータは採用しないことになっているが、暴露試験の場合は試料数が限られており、また、標線間内ですべて切れるとは限らないので、つかみ具間の伸びも記録しておくといよい。降伏点がなく脆性的に破断する材料では、破断時のエネルギーを記録しておくといよ単なる伸びよりも変化を早めに把握できることがある。

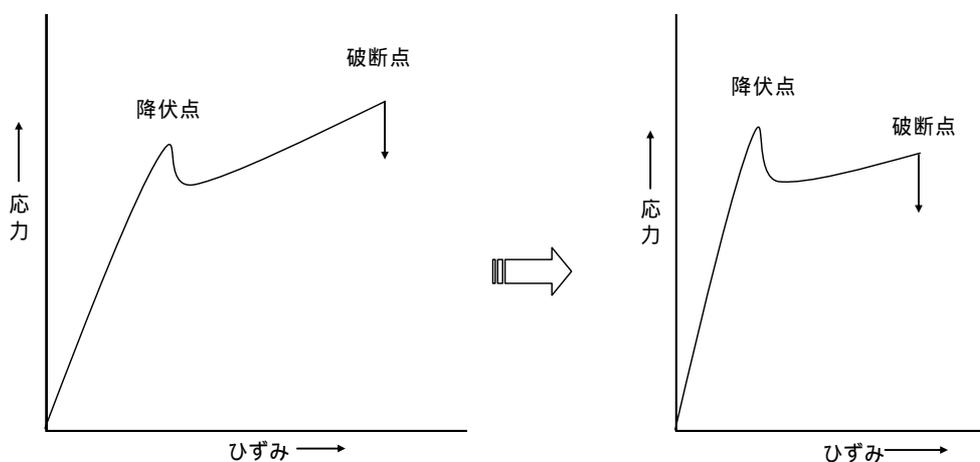


図3 引張試験による応力 - ひずみ曲線(例)

## 9.6 その他の特性

上記以外の評価項目を、表7に示す。

表7 その他の代表的な評価項目

	評価項目	関連規格		評価項目	関連規格
1	光線透過率	JIS K 7105	9	曲げ特性	JIS K 7171
2	へ-ス	JIS K 7105	10	衝撃特性	JIS K 7111
3	質量		11	シャルピ-	JIS K 7105
4	寸法		12	アイゾット	
5	き裂		13	落錘衝撃	
6	反り		14	ヒ-カット軟化温度	JIS K 7191-1~3
7	微生物の成長		15	荷重たわみ度	
8	材料表面への物質の移行		16	動的機械特性	JIS K 7244-1
			17	化学変化(赤外分光分析など)	

## 10. 結果の表し方

### 10.1 目視による評価

変退色グレースケールによる評価は、個人差が生じやすいので必ず複数の観測者により確認することを推奨する。色変化のタイプを目視で評価する場合は、色相（濃い赤い、薄い青いなど）、彩度（くすんだ、鮮やかな）、明度（明るい、暗い）をそれぞれ表現する。

目視によって定性的に評価した外観及び表面状態の変化は、当事者間で協定した尺度で表示する必要がある。JIS K 7362（プラスチック - アンダーグラス屋外暴露、直接屋外暴露又は実験室光源による暴露後の色変化および特性変化の測定方法）では、次の尺度を推奨している。

- a) 変化なし
- b) ほとんど変化なし
- c) 少し変化あり
- d) ある程度の変化あり
- e) 相当な変化あり

### 10.2 測定器による特性及びその他の特性

光沢や光線透過率などの非破壊試験では、暴露試験前及び暴露試験期間ごとに平均値及び標準偏差を求め、暴露試験前の結果と比較して保持率で表す。

引張試験などの破壊試験では、暴露試験前の結果と暴露試験後の結果の比較は分散分析によって行う。暴露試験後の試料の変化が統計的に有意であると判断するには、95%信頼水準で異なっていなければならない。

### 10.3 特性値の50%低下到達時間を求める手順

暴露試験期間中の変化傾向を把握するために特性変化を暴露時間または放射露光量に対してプロットすることが一般的であるが、暴露試験ではバラツキが大きい場合が多く、平均値のプロットからは誤った結論を引き出すおそれがある。

特性値が所定の変化を生じるのに必要な暴露時間または放射露光量を求める方法として、JIS K 7362の規定がある。この規格では、次に示す手順により暴露時間または放射露光量の平均値及び信頼区間が求まる。

- a) 暴露試験期間は少なくとも5水準以上とし、各水準には繰返し試験片を3個以上含める。
- b) すべての水準の試料を同時に暴露する。暴露試験の最後の水準で試料が50%以上の特性値の低下を生じるような暴露時間を設定する。
- c) 暴露試験が完了したときに、関連する特性値のすべてのデータ、平均値、平均値 $\pm 2 \times$ 標準偏差を暴露時間または放射露光量の関数としてプロットする。
- d) 各水準の（平均値 -  $2 \times$ 標準偏差）と（平均値 +  $2 \times$ 標準偏差）を、図4に示すような図式補間によって特性値が規定値に低下するまでに必要な暴露時間または放射露光量の許容区間を求める。

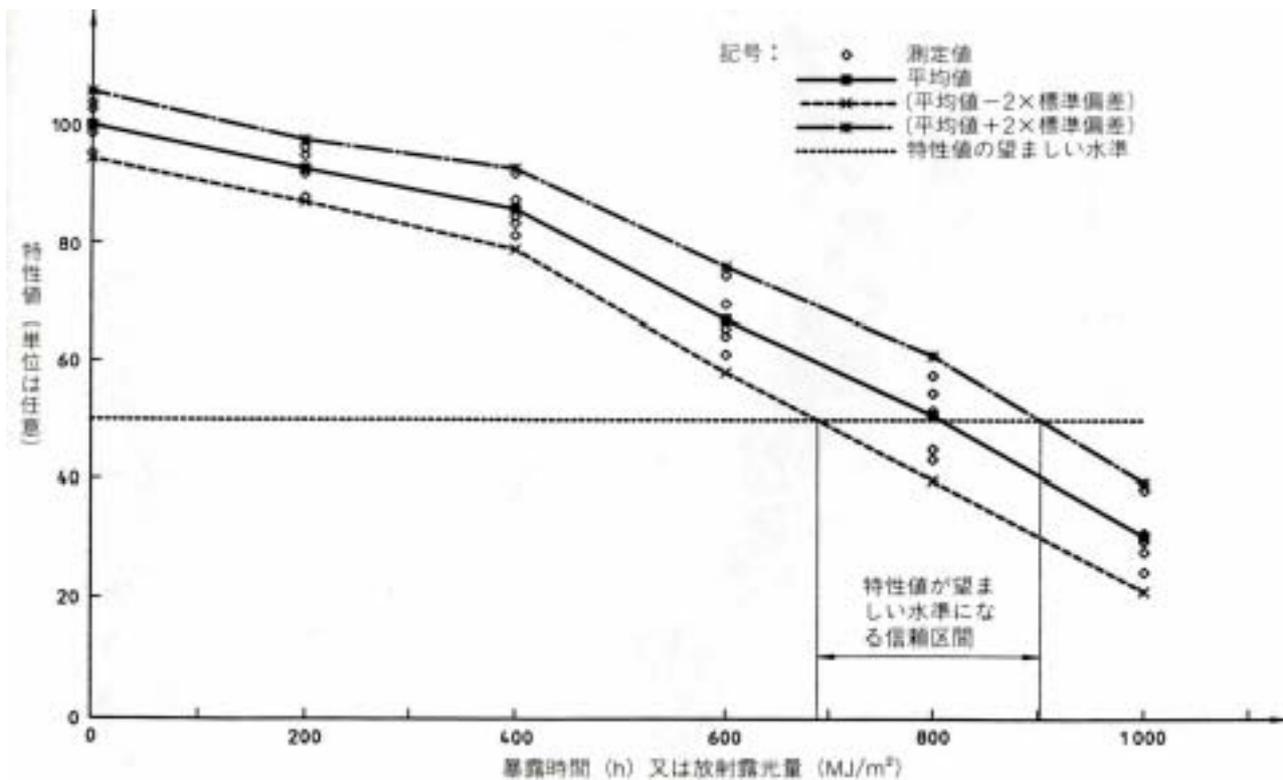


図4 特性値が所定の水準に達するまでに必要な暴露時間または放射露光量の計算  
(JIS K 7362の附属書A図A.1による)

## 参考: ポリエチレンリファレンス試験片による暴露環境の定量評価の一例

ポリプロピレンを銚子、宮古島及びマイアミに暴露して 60 度鏡面光沢度を測定した。同時にポリエチレンリファレンス試験片を 1 か月間ごとに暴露し、月ごとに新しいポリエチレンリファレンス試験片と交換する作業を、ポリプロピレンの暴露試験終了まで繰り返した。得られたポリプロピレンの 60 度鏡面光沢度の変化について、横軸を時間と紫外線及びカルボニルインデックスの積算値としてプロットした結果を、参考図 1 ~ 参考図 3 に示す。

ほぼ同じ緯度にある宮古島とマイアミではマイアミの変化が早く現れている。紫外線量でプロットした結果では、銚子と宮古島で同じ紫外線量を受けても同じ程度の変化にならないが、ポリエチレンリファレンス試験片のカルボニルインデックスによってプロットした結果では、各地の変化がほぼ同じ曲線上に表されている。

これは、ポリプロピレンの光沢度の低下が、紫外線の吸収によって開始される酸化反応の結果であり、基本的な劣化機構がポリエチレンリファレンス試験片と同じであるためと考えられる。また、このポリプロピレンについては、キセノンによる促進試験も含めて同軸上に表わされることが確認されている。

この例に示すように、ポリエチレンリファレンス試験片によるカルボニルインデックスの値は、紫外線の吸収によって開始される酸化反応の温度による促進効果を表しているため、自動酸化反応によって劣化する他のプラスチックでも劣化速度の指標になりうる場合がある。

