

最近の複合環境試験の事例と動向

泉 重郎*

機器や部品に対する信頼性確認や品質評価のための環境試験は、従来から、温度試験（温湿度試験）、振動試験など単一の環境要素のみの試験が一般的であり、二つ以上の環境要素を供試品に同時に加える複合環境試験は様々な理由から適用されることは少なかった。

しかし、工業製品の用途拡大により、過酷な取り扱いを受けるパーソナルユースの機器が増えたことや、PL法の施行などに対応して、安全性や信頼性をより確実にするために、実際の輸送環境や使用環境に出来るだけ近い環境すなわち複合環境下で確認試験を実施することが必要となってきた。

同じ機器、部品でも使用される場所や、使い方が変われば、その評価試験方法も変わる。ここでは最近進歩の著しい振動と温度の複合環境試験について紹介する。

1. はじめに

最近の製品は、構成部分が増加し、高密度化、小型化により大量に生産されている。それぞれが高い機能を持つものとなっているために、部品段階の試験ばかりでなく、製品段階での試験も必要になっている。

試験は、製品の置かれる環境に対する耐久性、安全性、信頼性を評価、実証することである。それ以外に試験条件の設定により、製品の限界や欠陥を見つけ、設計変更をするための方策の選定にも利用される。

複合環境試験は、一般に温湿度サイクルとか、低温・低圧というように、複数の環境要素を同時に組合せて行なう試験を言うが、ここでは温度環境と振動環境、（温）湿度環境と振動環境を組合せた条件下で行なう試験に範囲を絞り解説する。

2. 複合環境試験の環境条件

複合環境試験の環境条件には、1次環境である自然環境と、2次環境である誘発環境がある。

自然環境とは、文字通り自然がつくり出す環境で、地球上の位置、季節、高度等により決まり、気象環境が多い。

誘発環境とは人工的な環境で、製品や部品が輸送または使用されるときに置かれているベースまたは周囲（プラットフォームと呼ぶ。）が発生する環境が主体となり、機械的な環境が多い。各々の環境の一般的な要素（温度、湿度や振動に限定しない）について図1に示す。

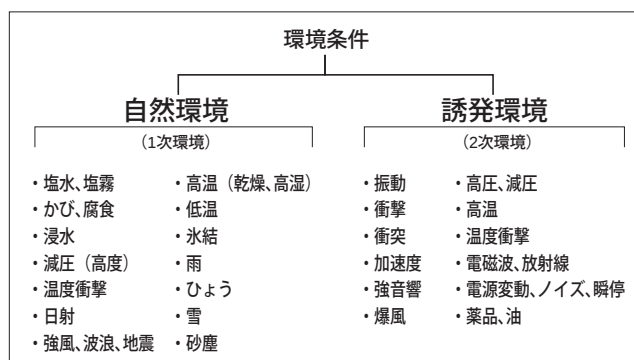


図1 複合環境試験の環境条件要素

また、プラットフォームとして輸送、使用環境をとり上げ、それらの中で発生する現象と環境振動の関係を整理すると図2（次ページ）のようになる。

3. 複合環境試験の実施事例について

実際の試験を行なう場合、試験時間と試験方法という課題が常に発生する。

試験を効率よく行うためにはストレスを厳しくし、製品・部品の劣化要因を物理的、化学的に加速することによって、評価時間を短縮し、製品・部品の使用状態における寿命や故障率を推定することが行われている。実際に製品が出荷され、輸送中や使用されているときに故障が起きた場合、原因の追求としては通常の規格試験ではなく、実環境状態の再現試験をして、故障を再現させることによって、原因追求が行われる。そこでは、実環境をより忠実に想定した複合環境試験をいかに実施するかがポイントとなる。

ここでは、輸送環境と使用環境の複合環境試験事例について述べる。

3-1 輸送環境の複合環境試験事例

現在、国内で複合環境試験が数多く導入され実施されているのは、自動車業界と思われる。

自動車部品に対する試験規格は、JIS、JASO（日本自動車規格）等に決められている。これら規格内に温湿度と振動の複合環境試験規格はない。

しかし、現在では規格にない試験が各メーカーおよび部品メーカーの判断によって行われている。たとえば、SAE（アメリカ自動車技術会）の規格では、温度の下限は -40°C （JASOは -10°C ）、振動試験範囲は $1\sim 1000\text{Hz}$ （JIS D 1601では $17\sim 400\text{Hz}$ ）となっており、これらを参考にした温度と振動の複合環境試験が行われている。

一方、家電製品については、様々な輸送経路によって国外にも販売されている。地域としては、北米、南米、東南アジア、中近東などがあり、輸送手段としては船、航空機、鉄道、自動車などと多岐にわたっている。各地区の気候、輸送手段によって輸送中に受ける環境は様々である。

例えば、スエズ運河経由のヨーロッパへの輸送は、湾岸戦争以後シベリア鉄道経由となり、温度、湿度、振動などの輸送環境も大きく変化した。この輸送経路で発生したクレームの解明に、複合環境試験が威力を発揮している。

プラットフォーム の分類	発生する現象と環境振動の関係
輸送環境	 トラック輸送 道路振動 — RANDOM *1 トラックの荷台には、路面のおうとつによる振動が、タイヤ、サスペンションを介して伝達する。路面の形状は不規則なので、この振動はランダム振動である。 道路衝撃 — SHOCK 工事中の路面の段差、極端に大きな穴を通過したときの荷台の衝撃。 荷扱い衝撃 — SHOCK ころがし、たおれ、落下、衝突。
	 鉄道輸送 レール振動 — RANDOM レールの不規則な形状による振動で、サスペンションを介して伝わる。ランダム振動である。 操車衝撃 — SHOCK 発車、停車及び貨車のつなぎかえ時の貨車同士の衝突による衝撃。 荷扱い衝撃 — SHOCK ころがし、たおれ、落下、衝突。
	 船舶輸送 波浪振動 — SINE 船体と同等又はそれを越える波長の波は、船全体を正弦波状に揺れさせ、船体の1次固有周期と波のそれが一致した場合は、船体が折れることがある。貨物には、この長周期の正弦波状振動は直接影響しない。 波浪衝撃 — SHOCK 船体に当たっていただける波による衝撃。 エンジン振動 — SINE ON RANDOM *2 RANDOM ON RANDOM *3 ジーゼルエンジン、タービンエンジンの振動は、サイン オン ランダム又はランダム オン ランダム振動となって貨物に伝わる。 荷扱い衝撃 — SHOCK
	 航空輸送 空力振動 — RANDOM 主翼及び胴体上部の渦等により発生する振動で、ランダム振動である。 エンジン振動 ジェット — RANDOM プロペラ — RANDOM ON RANDOM ヘリコプタ — SINE ON RANDOM 着地衝撃 — SHOCK 荷扱い衝撃 — SHOCK

プラットフォーム の分類	発生する現象と環境振動の関係
使用環境	 ポータブル製品 荷扱い衝撃 — SHOCK 取扱い衝撃 — SHOCK 輸送環境と同一の環境 包装材なしで
	 船用機器 波浪振動 — SINE 船体構造 波浪振動 — SHOCK エンジン振動 — SINE ON RANDOM RANDOM ON RANDOM
	 航空用機器 空力振動 — RANDOM 音響振動 — RANDOM エンジン振動 ジェット — RANDOM プロペラ — RANDOM ON RANDOM ヘリコプタ — SINE ON RANDOM 着地衝撃 — SHOCK 走行振動 — RANDOM 発砲振動 — SHOCK ON RANDOM
	 自動車用機器 道路振動 — RANDOM 主としてボディマウント製品 エンジン振動 エンジン トランスミッション 吸排気系にマウント される製品 エンジンマウント のボディ側 — RANDOM ON RANDOM 道路衝撃 — SHOCK 衝突 — SHOCK 車体、シート、エアバッグシステム、 シートベルトシステム
	 据置機器 回転機振動 — SINE ON RANDOM
	 据置機器 取扱い衝撃 — SHOCK 取扱い衝突 — SHOCK

図2 輸送・使用による現象と環境振動の関係

- *1：RANDOM → ランダム振動とは、周期性がなく、その波形の時間軸上の数式化が不可能なもので、その振巾の確率密度関数が正規分布に近く power spectrum で表現できる。
- *2：SINE ON RANDOM → 広帯域ランダム成分に、主要励振源の回転数成分に同期した複数の正弦波成分が重なっている。
- *3：RANDOM ON RANDOM → 広帯域ランダム成分に、主要励振源の回転数成分に同期した複数のランダム成分が重なっている。

シベリア鉄道経由の輸送梱包試験として、 -40°C に長時間保存後、その輸送条件により決められたパワースペクトルのランダム振動試験を組み合わせた、複合環境試験を実施することにより効果を上げている。

次にその具体事例を紹介する。

〔事例〕 鉄道輸送される機器の複合環境試験

ヨーロッパにおいて、着荷した品物の一部に電子部品がヒートシンクの付いたまま、足が折れて脱落するという故障が発生し、各種試験の結果、低温下での振動により再現することが確認された。

〔試験方法の概要〕

- シベリア大陸の鉄道を利用して、輸送される製品・部品を対象とする。
また、将来利用される予定のものについても確認を行うものとする。
- 条件／試験内容
 - 製品・部品は最終出荷時の包装状態であること。
(個装単位、カートン単位のいずれでも可)
 - サンプル数は1以上の任意とする。
 - フリーの状態で試験台に乗せ、下記の条件で振動試験を行う。
加振方向は垂直方向のみで良いが、サンプル数 $n=3$ 以上の場合は3方向を行っても良い。
 - ① 振動／時間

振動周波数	5~50Hz
パワースペクトル密度	0.015G ² /Hz
オーバーオール実効値	0.83G (ランダム波振動)
加振時間	46分
 - ② 温度 -40°C に5時間以上保存後、 -40°C の温度環境の中で振動を加える。
冷却および常温復帰の期間は、急激な温度変化を避けるため、2時間以上が望ましい。
 - 低温振動試験の終了後、常温復帰させ、常温下に3時間以上放置した後に、外観の変化を含めて一般動作、内部点検を行い、異常の有無を確認する。

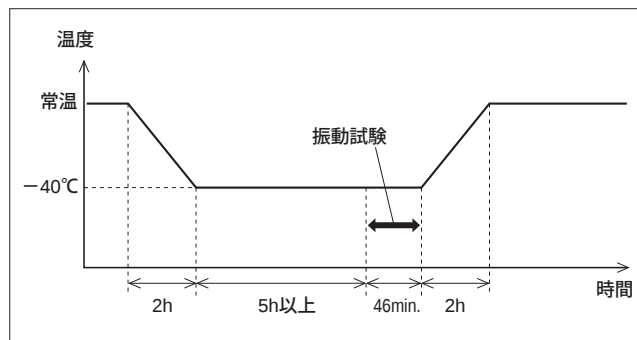


図3 鉄道輸送される機器の複合環境試験例

3-2 使用環境 (車載機器) の複合環境試験事例

最近の自動車部品は、いわゆるカー・エレクトロニクスといわれる部品が非常に増えている。

ECU (マイクロコンピュータ内蔵の電子制御装置) は、車に取り付けられる位置により、各メーカーの内規に定める複合環境試験を含めた信頼性評価試験が行われている。電子部品業界では、カー・エレクトロニクスの部品を生産していることが、品質保証の代名詞になっている。

車載機器として、より走行状態に近い状態での故障解析をしたいという要求から、それに対応する複合環境試験器メーカーも現れてきている。実環境に近い複合環境試験ができるものとして、「多軸同時加振+ランダム加振+温湿度複合用チャンバー」の導入検討が始まっている。

次にその具体事例を紹介する。

〔事例1〕 車載オーディオ機器の複合環境試験

寒冷地のスキー場等に駐車中の車内で暖房を使用する場合、車載オーディオ機器は急激な温度変化を受ける。この状態で、発車後の振動を考慮した複合環境試験の実施を行っているメーカーがある。

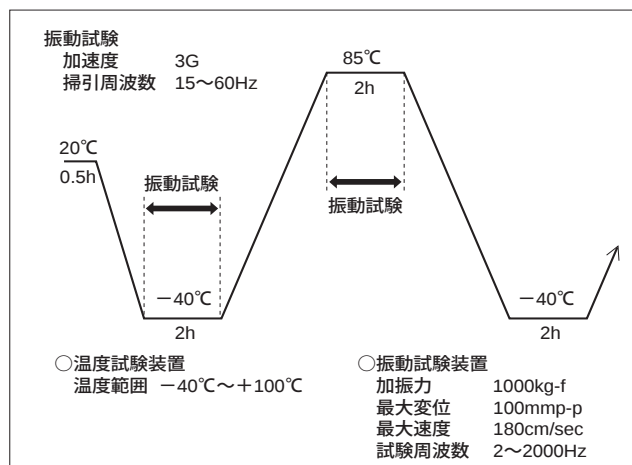


図4 車載オーディオ機器の複合環境試験例

〔事例2〕 エアバッグセンサー付アセンブリユニットの複合環境試験

最近は安全性の向上ということで、衝突時の搭乗者保護を目的として、エアバッグシステムの普及が進んでいる。このエアバッグシステムに使用される、センサー付アセンブリユニットの信頼性確認が複合環境試験によって行われている。

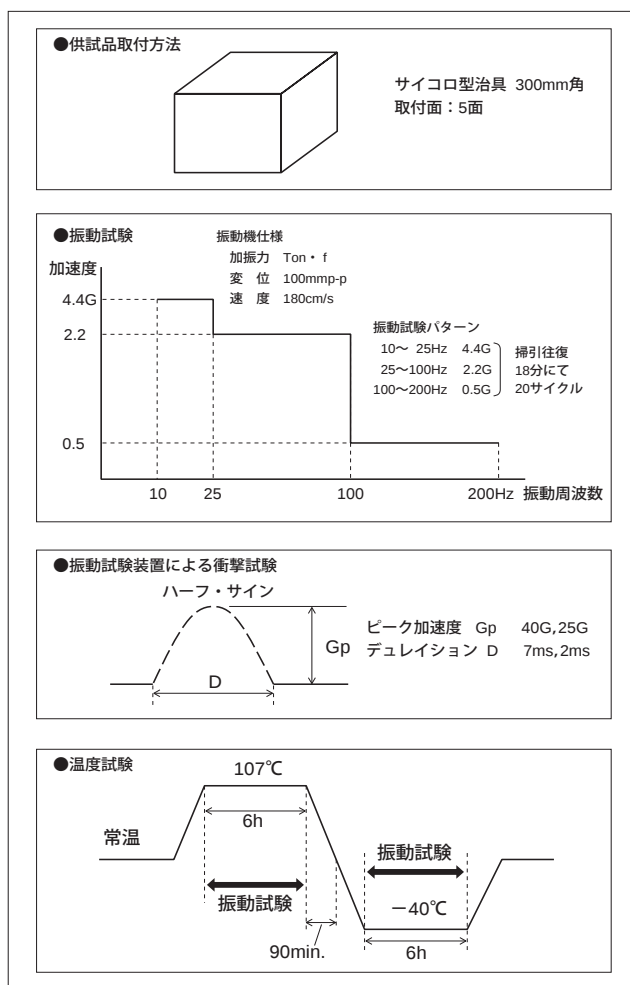


図5 エアバッグセンサー付アセンブリユニットの複合環境試験例

4. 新しい複合環境試験方法について

最近の振動試験はコントローラの発達により、正弦波振動試験だけでなく、ランダム波、ショック波の試験も容易にできるようになってきた。複数台の振動発生機を振動台に取り付けて、多軸方向(X,Y,Z)の切り換え、または同時に加振できるシステムも開発されており、この90年代に広く普及すると思われる。輸送環境により近い実振動を与えられる多軸振動試験と温（湿）度環境を組み合わせた複合環境試験器の実現により、輸送環境に対する信頼性評価試験が、より実環境に近い試験方法として普及しはじめたといえる。

例えば、自動車用ヘッドランプやテールランプは、単なるJIS-D-1601の段階4振動試験のみでなく、この試験を複合環境試験として、温度-30℃、+80℃の条件下で各4時間行っている。また、自動車の重要な部品であるハーネスの試験に、80℃→常温→-40℃の繰り返しと正弦波振動の掃引試験との組み合わせを行っている。最近ではその他にショックの連続パンプ試験、ランダム試験を同時に行う複合環境試験も実施されつつある。

4-1 (機械的)衝撃試験

衝撃試験方法の規格は、JIS-C-0041、0042 および MIL-STD-202F（電子・電気部品の試験法）試験法213等に、適用範囲、目的、試験方法等が説明されている。最近、改正された日本電子機械工業会規格EIAJ ED-2531A（液晶表示デバイスの環境試験方法）の規格にも衝撃の項があり、JIS-C-0041が引用されている。

従来この衝撃試験については、自由落下、弾性反動等により衝撃を発生させる試験機にて行われていた。また、特別な目的を持った製品（ミサイル本体、ミサイル誘導機器など）については、大型水冷振動試験装置（加振力8～30Ton・f）によりMIL規格のハーフ、サインショック試験等が行われていた。

最近、一部の製品、部品について、この衝撃試験を採用するようになった。これは、加振力3000kg・f以内の空冷式動電型振動発生機のロングストローク化(40～100mmP-P)、ローコスト多機能型（サイン、ランダム、ショック）コントローラとスイッチング方式の大電力アンプの開発により、最大速度が200cm/secまで可能となり、かなりの衝撃試験が可能となったためである。

製品・部品が受けるショックの例

携帯型オーディオ機器、ビデオカメラに代表されるポータブル製品	……携帯時のショック
車載用のCD、表示メーター、ディスプレイ、ECU	……走行時のショック
車載用のハーネス、コネクタ、テールランプ	……ドア、トランク開閉時のショック
パソコン用のCD-ROM、ハードディスクドライバ	……操作時のショック

これらの製品・部品については、サイン、ランダム振動との複合環境試験は行われていたが、最近では動電型振動試験装置とローコストデジタルコントローラとの組み合わせによって、衝撃試験も可能となり、複合の衝撃試験の要求も増えてきている。これは、製品・部品に対し、外部からの振動と衝撃を軽減する目的で組み込まれているダンパー等の特性が温度の影響を受けることもあり、耐振性について複合衝撃試験による評価が必要になったものと思われる。

複合環境試験における振動試験の内容は、サイン波試験からランダム波試験へ、またショック試験へとより実環境に近い複合試験が可能となり、より理想に近い状態での評価試験、耐久試験が実現できるようになった。

写真1に複合環境試験機の実機例として、当社製プラチナス・バイプロ4型と槽底直結型振動発生機の組み合わせ部分を示す。

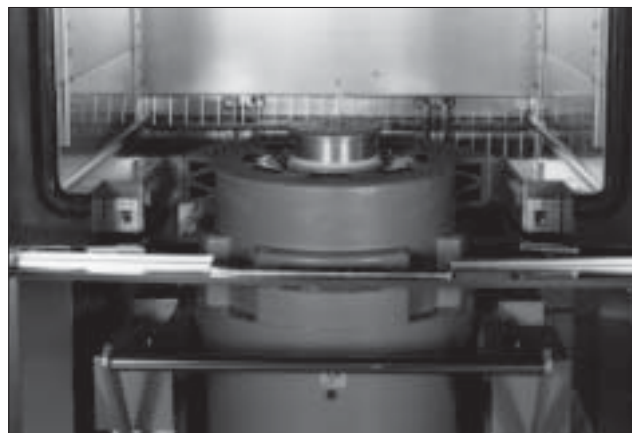


写真1 恒温恒湿槽と振動発生機との接続

4-2 複合多軸試験

製品・部品が輸送中・使用中に受ける振動は、一方向の単純な振動ではなく、二方向または三方向(X,Y,Z軸)同時の複雑な振動である。

最近の自動車、電子・電気機器、航空機、建築・構造物等の製品・部品の高度化により、振動による損失や影響を軽減するために公的規格以上の厳しい試験による信頼性の追求が要求されている。より実環境に近い振動環境の再現として、多軸多次元振動試験装置が求められ、普及しつつある。

例えば、ヨーロッパの石畳の道路では、アップダウンが激しいためにカーオーディオの車内の音場環境に異常の発生することがある。その対策として、実際の走行時の振動状態を再現させた試験を行うことにより、品質の向上を行っているメーカーがある。

当初は大型重量物の輸送梱包試験として、低振動数領域の試験機が開発されたが、現在は、高振動数、大加速度対応の開発により、単軸振動機と同等のMIL、JIS、IECの規格試験も可能となった。

同一テーブル上にて、供試品の段取り替えなしで垂直、水平の加振が可能となり、1台の恒温恒湿槽との組合せで単方向加振の二方向、三方向の切り換えと、同時に多次元振動を加える複合多軸試験が可能となった。

従来の単軸振動発生機では、垂直、水平の試験を行う場合、垂直から水平に切り換える際に、下記のような非常に複雑な作業が必要であった。

- ① 試料の取り外し
- ② 垂直振動台取り外し
- ③ 振動発生機の90°回転
- ④ 水平振動台連結
- ⑤ 試料取り付け

また、垂直、水平振動台の高さが異なるために、各々別の恒温恒湿槽を準備して組み合わせを行ってきたケースもある。

多軸振動試験機では、簡単なスイッチ操作で、垂直／水平の振動方向の切り換え、および二方向、三方向多軸同時の試験も可能となった。タイムシーケンスをセットすることにより、恒温恒湿槽と連動で垂直方向、水平方向の連続耐久試験が、槽を停止させずに、段取り替えせずに試料を同じ取付状態で連続試験することが可能となった。

図6に多軸応用例、写真2に装置実機例を示す。

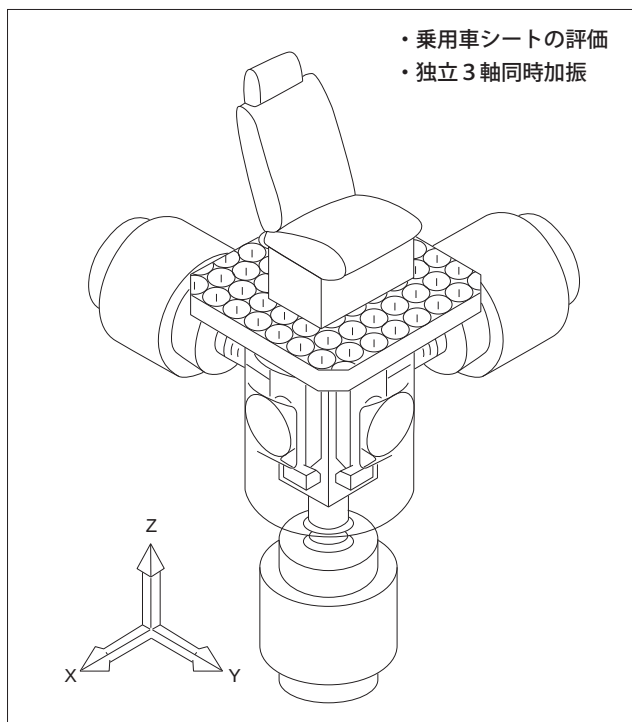


図6 多軸応用例

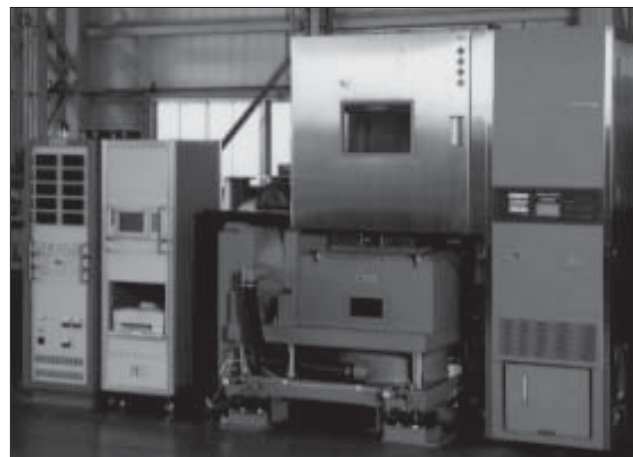


写真2 多軸複合環境試験器

5. まとめ

最近の工業製品発展の原動力は、LSI 技術と表面実装技術および液晶表示の進展による高機能化、高信頼性、低消費電力化と低価格化である。カー・エレクトロニクス技術は、センサー・アクチュエータ、ECU によって進歩し、車載機器は小型軽量化によって商品も増えた。移動体通信、携帯用AV機器は加速的に普及している。

このような市場の展開を背景に、信頼性試験への要求は、

- 1) 高度技術で構成された特定機器が専門家向けから、一般消費者向けに市場が拡大したことにより信頼性、安全性の保証が広範囲に要求されるようになってきた。
- 2) 技術革新のスピードが速くなり、商品の開発期間が短縮されることに伴う短期信頼性評価の必要性が増してきた。
- 3) 初期故障低減を目的に、生産プロセスでの不具合抽出、デバイス等の潜在欠陥の顕在化が重要性を増している。
- 4) 複合環境要因による故障の解析力向上が要求されている。

などである。

市場クレームの解析効率を上げるために、より確かな信頼性試験と加速性評価が求められるなかで、複合環境試験が果たす役割は大きく、今後もこの分野の技術の発展がますます期待されるであろう。

【参考文献】

- 1) 「複合環境試験に関する文献調査報告書」：社団法人 関西電子工業振興センター 信頼性分科会（1986）
- 2) 「環境試験方法（振動・衝撃）とその課題」：IMV株式会社 TP-930