

プレッシャークッカ (超加速寿命試験装置)

Pressure Cooker

安田 徹*1
Tōru Yasuda

平野 修一*2
Shūichi Hirano

太田 俊光*1
Toshimitsu Ōta

1 まえがき

近年、電気機器は電子技術の採用により、高性能化、小形化の進歩に著しいものがある。

これら電子技術を応用した製品及びそれらに組み込まれるIC、トランジスタ等の個々の電子部品の品質評価には、従来形の品質管理試験に加えて、合理的な新しい品質評価試験の導入が必要である。

このような評価試験のうちで、特に耐湿性や製品寿命の信頼性の確認においては、従来の常圧高湿試験では、評価を得るまでに相当な試験時間が必要であったり、高圧・高温・高湿下での特異現象(吸湿による絶縁劣化等)が発見できなかったりする問題があり、耐湿性加速試験や加速寿命試験による検証が必要不可欠の時代となってきた。

最近、このような観点よりプレッシャークッカ試験が注目され、国内外の電子部品製造メーカーに限らず、使用者側であるアセンブリメーカーでも、プレッシャークッカが導入され、それによる信頼性試験の実施が広く行われるようになった。

今般、その試験設備であるプレッシャークッカを導入したので、装置の概要と試験・評価手法等について紹介する。

2 信頼性試験とプレッシャークッカ試験

2.1 信頼性試験の意義

信頼性試験には製品の保存、運搬及び使用時に受けるストレスを実際に即した条件で再現するものと、試験条件を過酷にして短期間に評価するものがある。

後者の場合、その試験条件は、その製品の受けるストレスを必要十分に再現できるものでなければならないので、規格等で試験方法が規定されている。

このデータの裏付けをとることで製品の製造工程や市場における不良を大幅に低減することが可能となる。

2.2 プレッシャークッカ試験の効果

プレッシャークッカ試験は主に樹脂封止された半導体

部品の耐湿性評価のために開発されたもので、高温・高湿・高圧の試験環境を設定して、試験時間を大幅に短縮することを目的としている。

プレッシャークッカ試験そのものの有効性は、実使用時において樹脂が吸湿したときに発生する不具合を忠実に再現できるかどうかにかかっているが、本試験は長時間にわたる寿命を対象にしているため、実使用時との相関関係を把握するためには、それぞれの試験対象について実証試験を実施し、結果と照らし合わせていく必要がある。

このため各半導体部品メーカーにおいてもより忠実に故障モードを再現させるため、数多くのデータをもとにその有効性が評価されており、現在では飽和型プレッシャークッカ試験だけでなく種々の条件と組み合わせた様々な試験方法が考案されている。

表1に組み合わせ試験の例を示す。

2.3 加速性の評価

加速性は相対湿度が同じ場合、温度のみにより決まるという前提に立てば、加速係数はアレニウスモデル式よりのように求められる。

$$\ln L = A + \frac{Ea}{k \cdot T} \dots\dots\dots ①$$

- ここに、 L : 寿命時間 (h)
- A : 定数
- Ea : 活性化エネルギー (eV)
- k : ボルツマン定数 ($8.62 \times 10^{-5} \text{ eV/K}$)
- T : 絶対温度 (K)

表1 / 主な耐湿性評価試験

Tab. 1 / Damp-proof tests

試験方法	代表的な温度、湿度条件	特徴
①飽和型プレッシャークッカ 保存試験	121℃, 100%RH	短期間に評価できるが、バイアスの影響を評価できない。
②不飽和型プレッシャークッカ 保存試験	121℃, 85%RH	短期間に結露の影響を取り除いた評価ができる。
③不飽和型プレッシャークッカ バイアス試験	同上	短期間にバイアスの影響を評価できる。
④①と高温高湿バイアス試験の 組み合わせ	121℃, 100%RH 8時間後 85℃, 85%RH	高温高湿バイアス試験に比べ短期間で評価できる。
⑤温度サイクル試験と①の 組み合わせ	-55℃-125℃ 5回 121℃, 100%RH	①~④とモードの異なる耐湿性を評価できる。

*1 機器事業部 第1技術部

*2 機器事業部 第2技術部

表2/加速係数例

Tab. 2/Example of accelerating coefficients

試験サンプル	高温高湿試験	プレッシャークック試験	加速係数*
IC			
・バシベーション膜	85℃, 85%RH	130℃, 85%RH	30
・アルミ腐蝕	85℃, 81%RH	130℃, 81%RH	20
トランジスタ			
・増幅率20%低下	85℃, 85%RH	121℃, 100%RH	17
FET			
	85℃, 85%RH	121℃, 100%RH	18.5
		27℃, 100%RH	29.6
コンデンサ			
・タンタル	60℃, 95%RH	121℃, 100%RH	180
・ポリエステルフィルム	80℃, 85%RH	121℃, 100%RH	17
	85℃, 85%RH	120℃, 85%RH	35.7
抵抗器			
・金属皮膜	85℃, 85%RH	124.8℃, 85%RH	40
・ソリッド		121℃, 100%RH	-50
プリント基板			
・FR-4	85℃, 85%RH	120℃, 85%RH	20

ここで温度 T_1 における寿命時間を L_1 , T_2 における寿命時間を L_2 とすると、加速係数 K は、次式によって求められる。

$$K = \frac{L_1}{L_2} = \exp \left\{ \frac{Ea}{k} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) \right\} \dots\dots\dots ②$$

信頼性試験のなかで吸湿による寿命を推定するのに有効とされている、高温高湿バイアス試験でよく用いられる85℃, 85%RHの条件と、不飽和型プレッシャークック試験で用いられる120℃, 85%RHの条件とで加速係数を求めてみると、活性化エネルギーが1eVのとき17.9となる。

現実には上記のような前提がいつも適用できるわけではないので、様々な経験式が報告されている。

また活性化エネルギーについても劣化や腐蝕のメカニズム、構造、材料やストレスの種類等多くの要因に依存するので、一義的に求められるものではない。

表2に示すように試験サンプルの種類や故障モードにより、同じ試験条件でも加速性は違うので、個々について検証し、加速係数を求めていく必要がある。

3 プレッシャークックの原理と試験の運用

3.1 プレッシャークックの原理

プレッシャークックは、高温・高湿・高圧の試験環境をつくりあげるために、原理的に次の2つのタイプに大別される。

一つは飽和型のプレッシャークックで、密閉容器内の水が100℃以上に加熱されても飽和水蒸気圧と平衡に達する温度まで、沸騰しないことを利用するもので、同一槽内に水と被試験物を入れて、加熱により槽内の圧力を制御することで実現できる。

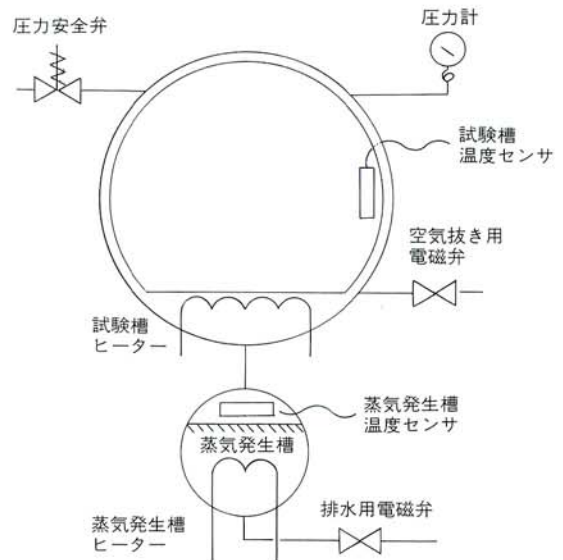


図1/プレッシャークックの構成例

Fig. 1/Construction of the pressure cooker

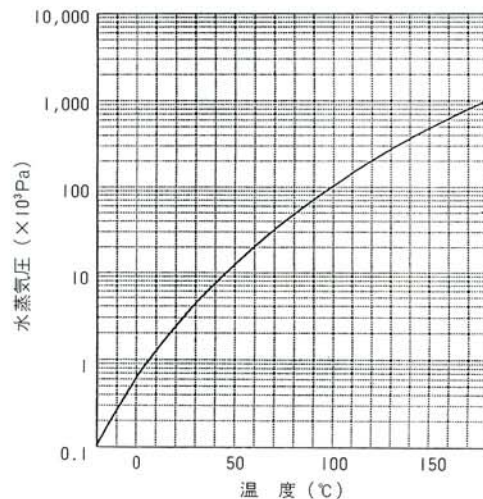


図2/温度一飽和水蒸気圧特性

Fig. 2/Temperature vs. saturated vapour pressure

次に不飽和型のプレッシャークックの場合は、例えば試験槽と蒸気発生槽を独立して設け、高温の試験槽に蒸気発生槽で発生させた蒸気を送ることで実現できる。

この方式は二槽式の不飽和型プレッシャークックと呼ばれ、その構成例を図1に示す。

例えば120℃, 85%RHの試験条件は、試験槽の温度は120℃に保ち、蒸気発生槽では120℃の飽和水蒸気圧 $1.9849 \times 10^5 \times 0.85 = 1.6872 \times 10^5 \text{ Pa}$ に対応する水温115℃で蒸気を発生させて試験槽に供給することで実現できる。

(注) 蒸気及び蒸気圧について

容器内の液体を加熱すると、容器内は液体とその液体の蒸気及び空気が混在した状態となる。

この時空気圧と蒸気圧の和は外気圧に等しいところで平衡に達する。

各温度における飽和水蒸気圧は図2に示すような関係となっている。

一般に湿度はこの飽和水蒸気圧に対する割合の相対湿度で表示される。

3.2 プレッシャークッカ試験の種類

プレッシャークッカ試験には飽和型と不飽和型の2種類の方法がある。

飽和型プレッシャークッカ試験は、相対湿度100%で行われるため試験槽内に結露を生じやすいので、バイアス電圧を印加するのには不向きである。しかしながら吸湿を加速するのには有効であるので、ロット管理のために旧ロットサンプルと相対評価する場合や材料開発時に種々のサンプルの吸湿特性を比較するのに適している。

この場合の故障メカニズムは、サンプル構成材料の加水分解、構成材料や製造時に混入または残留した不純物との化学反応による腐蝕及び材料劣化などである。

一方不飽和型プレッシャークッカ試験は、相対湿度を65%程度から100%までの不飽和領域で設定するため、結露の心配が少なくバイアス電圧を印加できるので、電蝕やマイグレーション等の故障メカニズムの評価に適している。

したがって従来より市場で発生する不具合を推定するために実施されている高温高湿バイアス試験の特徴を保ったまま一層の時間短縮が可能となった。

このような試験は超加速寿命試験とも呼ばれている。

3.3 プレッシャークッカ試験の運用

(1) 試験条件の設定

プレッシャークッカによる試験条件は実使用状態に比べ温度・湿度及び圧力が高いので、設定する試験条件が被試験物の耐力を越えていないかどうかをあらかじめ検討しておくことが必要である。

更に不具合発生の要因が湿度によるものかどうかを確認するために、湿気のない場合の試験も実施し、比較することが必要である。

(2) バイアス電圧の印加

バイアス電圧の印加によりサンプルに電流が流れる場合、これにより発熱しサンプル内の湿度が低下して故障モードが変わることが考えられるので、電流と湿度低下の関係をあらかじめ検討しておくことが必要である。

電子部品に関しては勸日本電子部品信頼性センターより以下のようなガイドラインが示されている。

- ① 消費電力が100mW未満の場合
⇒連続通電
- ② 消費電力が100mW以上の場合
⇒1時間通電3時間休止

(3) 取り出し時の処理

サンプルを取り出すときに急激に蒸気圧を低下させるとサンプル表面付近の吸湿した水分が外部に出てしまい、吸湿率に影響を与えることが確認されている。

このため吸湿による重量変化を測定するような場合は、恒温徐冷が望ましいと考えられる。

(4) 中途取り出しについて

サンプルの中途取り出しは、温度、湿度及び圧力の変化によるストレスが更に加えられることになるので、一般に連続試験に比較して過酷になると考えられる。

特に小形の部品においては熱容量が小さいので、ヒートショックに対して耐性がない場合は注意が必要である。

3.4 関連規格及び参考資料

(1) 飽和型プレッシャークッカ試験規格

- ① (社)電子機械工業会 (EIAJ) IC121, SD121
- ② JEDEC102 USA

(2) 不飽和型プレッシャークッカ試験規格

- ① (1)の①と同じ

(3) 参考資料

- ① IEC 47WG10 (S) 56-1984
CLIMATIC AND MECHANICAL TESTS
Part8: Damp Heat, Steady State, Highly Accelerated
- ② 勸日本電子部品信頼性センター
半導体デバイスの機械的及び耐候性試験方法に関するガイドライン

4 プレッシャークッカの仕様

導入したプレッシャークッカは二槽式の不飽和型で、飽和、不飽和の両方のプレッシャークッカ試験に対応できる。

その外観及び内部を図3、4に示す。

以下に主な仕様を列記する。

- ・型式 PC-304RIII
- ・形状 外径寸法 幅690×奥行870×高さ1600mm
試験槽内寸法 直径300×奥行400mm
有効試験範囲 直径220×奥行350mm
- ・試験温度 使用温度範囲 105.0~151.1°C (at100%RH)
117.9~168.0°C (at85%RH)
温度分布精度 ±0.3°C (at100%RH)
±1.0°C (at85%RH)
- ・試験湿度 使用湿度範囲 65~100%RH
湿度分布精度 ±3%RH (at85%RH)
- ・試験圧力 使用圧力範囲 0.196~3.92(×10⁵Pa)
- ・温度制御方式 サイリスタ式位相制御
- ・缶体・フタ材質 ステンレス(SUS316L)

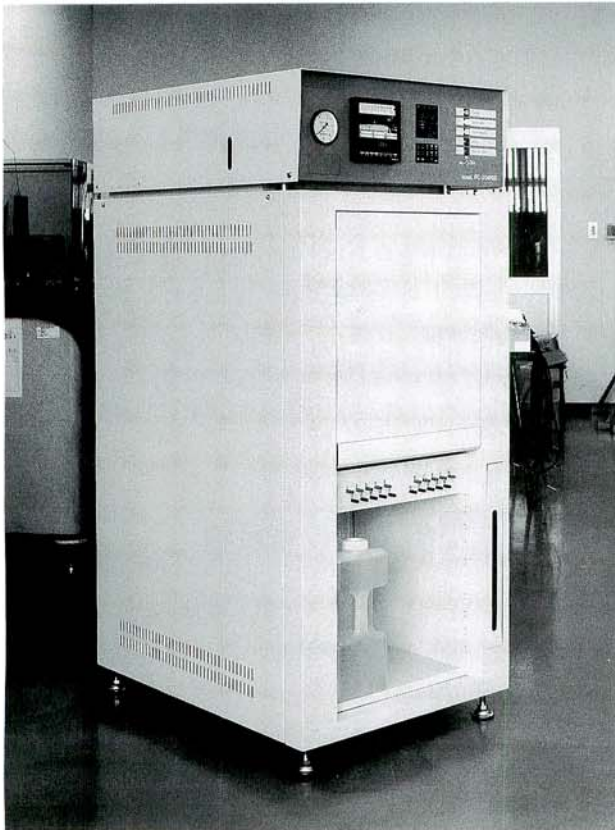


図3/プレッシャークッカ外観
Fig. 3/External view



図4/プレッシャークッカ内部
Fig. 4/Internal view

・排気工程湿度制御

試験完了後温度が80℃以下になるまで設定湿度を維持する機能で、これにより急激な湿度変化を抑制でき吸湿量の変化を小さくできる。

・ヒータ容量 蒸気発生槽：2.0kW

試験槽：1.0kW

・電源 1φ 50/60Hz AC200V 3.2kW

・重量 260kg

なお、温湿度制御範囲を図5に示す。

5 プレッシャークッカ試験の適用例

現在当社で製造している空調機用モータKGシリーズに樹脂モールドして搭載している駆動回路について、耐湿性改良品の絶縁性能を評価するため、プレッシャークッカ試験を実施し、従来品と比較した例を紹介する。

5.1 試験概要

(1) 試験目的

耐湿性改善度の評価と吸湿時不具合発生メカニズムの予測

(2) 試験方法

評価サンプルをそれぞれ121℃、100%RHの雰囲気中に1時間放置し、取り出し直後の絶縁抵抗を測定する。

なお、装置の仕様により取り出すまでの最短時間は槽内温度が80℃まで低下した後、更に約20分後である。

(図6 運転時の槽内特性例参照)

上記試験を繰り返して実施し、絶縁抵抗の推移を観察する。

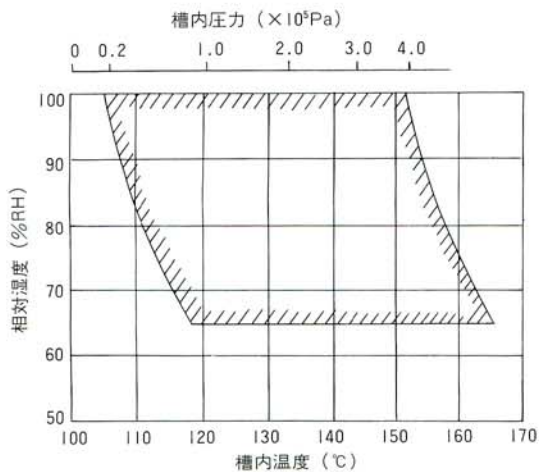


図5/温湿度制御範囲

Fig. 5/ Temperature and humidity control range

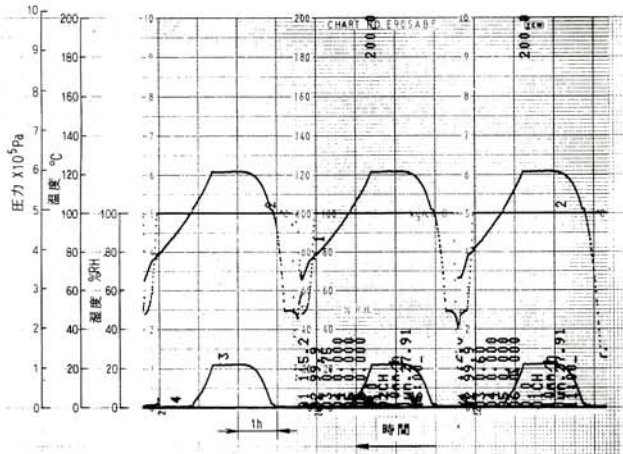


図6/運転時の槽内特性例
Fig. 6/Example of control pattern

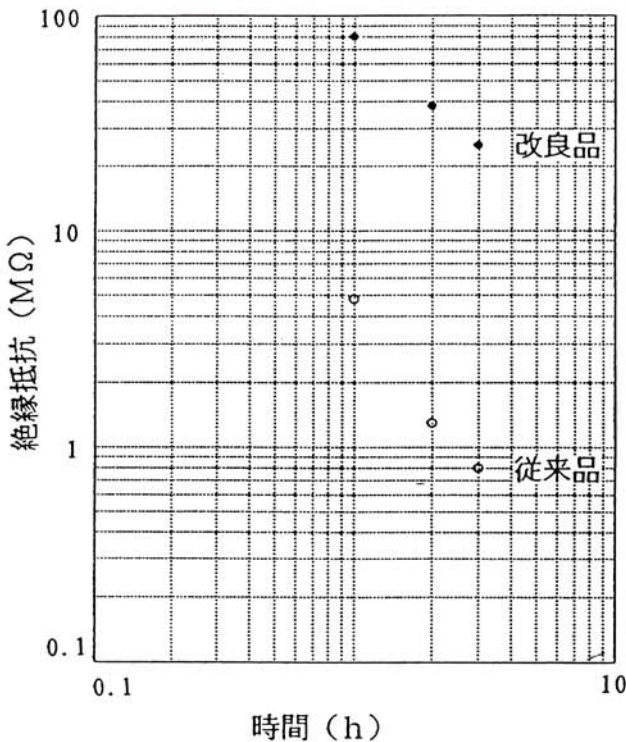


図7/モータ用駆動回路プレッシャークッカ試験結果
Fig. 7/Test example of motor circuit boards. (under the pressurer cooker test)

5.2 試験結果

(1) 絶縁抵抗の推移

モータ用駆動回路のプレッシャークッカ試験結果を図7に示す。

これより改善品は従来品に対して耐湿性が10~30倍改善されたことが確認された。

(2) 絶縁抵抗低下メカニズムの解析

一般に樹脂封止されたICや電子回路に対しての水の浸入経路は、樹脂への浸透と界面からの浸入であることが分かっている。

そこでそれぞれの試験サンプルを浸透探傷液で染色し、浸透有無を観察した結果、電線と樹脂の界面で少しの痕跡が見られるが、導電部までは達していないことが確認された。

また、吸湿の影響を明確にするため、プレッシャークッカ試験後の絶縁抵抗測定時の試料温度は55°Cであるので、非吸湿品の絶縁抵抗を同温度で比較測定した。その結果、プレッシャークッカ試験後の絶縁抵抗は改良品で20~180MΩ、従来品で0.8~5MΩであるのに対し、非吸湿時では各々150MΩと100MΩであった。

以上により、プレッシャークッカ試験による絶縁抵抗の低下は樹脂の吸湿によるものと判断される。

上記試験により耐湿性が大きく改善されたことが確認され、室外での使用に際しても信頼性の高い性能が期待できると考える。

なお、改良品の高湿高湿度試験(40°C, 93%RH)500時間放置時の絶縁抵抗は、180~200MΩであるので、上記結果と考え合わせると、吸湿による絶縁抵抗低下の加速係数は500程度となることが確認できた。

6 あとがき

本報告では、新たに導入したプレッシャークッカの概要と試験、評価方法及び具体的な適用例について紹介した。

今回のプレッシャークッカ導入で、従来に比べ試験時間の大幅な短縮による開発期間の短縮並びに信頼性向上を計ることが可能となった。

今後は、電子技術応用製品及び新素材あるいは新加工法による新製品開発に、本装置を有効に活用して信頼性向上に努めたいと考える。

最後に装置の導入に関しご支援ご協力頂いた関係各位に深く感謝する。

参考文献

- (1) 細谷 他：電子部品の信頼性のためのプレッシャークッカ適用の一考察(その1),(その2)、第18回日科連信頼性保全性シンポジウム, 信頼性学会, 1988
- (2) プレッシャークッカ試験装置について、(株)平山製作所, 1984