

# 機械環境試験の有効性検討(Test Effectiveness)

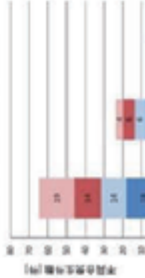
## 一不具合発生確率モデルの構築による試験最適化への挑戦

### 1. 背景・目的

- 試験計画は操作性が要求される宇宙環境において非常に重要な要素であるが、試験の有効性(Test Effectiveness)を定量的に効果的に評価する手法は、コスト削減とスケジュール短縮が望まれる近年において非常に重要である。
- 試験の有効性については特に、半導体の製造工程におけるウェーブソルダの材料不良率や材料不良率など、製造工程上の試験レベルとの関係が非常に重要であるという認識がなされている。
- 海外のTest Effectiveness活動は日本よりも進んでおり、海外試験標準には上記記事項に関する記述がなされているものもあるが、材料品質・製造品質等日本とは状況が異なる部分も多く海外標準の適用にはリスクがあると思われる。

### 2. 機械環境試験時発生不具合の分析

- JAXA不具合情報データベース(JAXA Problem and Corrective Action System)を用いて、機械環境試験(ランダム振動・正弦波振動・衝撃)時における修理・交換・再設計が生じた不具合発生件数の抽出を行った。



- 1979年〜2015年4月現在まで過去36年分の機械環境試験(ランダム振動・正弦波振動・衝撃)において、修理・交換・再設計が生じたコンポネント向け試験(CT・AT・PT)の全不具合件数

### 3. 二項分布による不具合発生確率計算

- 二項分布を用いて、コンポ種環境試験における不具合発生確率を計算する。  
 二項分布関数:  $f(x|n, p) = nC_x p^x (1-p)^{n-x}$  (n: 試験回数, x: 不具合発生数, p: 不具合発生確率)  
 累積分布関数:  $F(x|n, p) = \sum_{i=0}^x nC_i p^i (1-p)^{n-i}$  (n: 試験回数, x: 不具合発生数, p: 不具合発生確率)  
 上記パラメータを代入することにより、5項目(機軸・正弦波振動・衝撃)の発生確率を計算することが出来る。

Table 1. コンポネント向け試験における不具合発生実績と二項分布における確率密度関数

試験種別	試験回数	発生不具合数	確率
ランダム振動	30	26	20%
正弦波振動	65	24	7%
衝撃	3	3	100%
ランダム振動・正弦波振動・衝撃	98	53	54%

宇宙機(機軸)向け試験で不具合が4件以上発生する確率  
**ランダム振動: 80.8%, 正弦波振動: 45.3%, 衝撃: 3.9%**

### 4. 理論

- 不具合発生確率の高いランダム振動試験に着目、ランダム振動試験時の試験レベルと累積発生率がワイプル分布<sup>1)</sup>に従っていると仮定し、最尤推定法<sup>2)</sup>を用いて信頼パラメータの推定を行う。
- ワイプル分布関数:  $F(t|m, n) = 1 - \exp\left\{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^n\right\}$  (t: 試験時間, m: 試験レベル, n: 最尤推定係数)
- 最尤推定法は、観測データの最大値と最小値を用いて計算される。これは試験レベルが一定であると仮定しているため、試験レベルが異なる場合には適用できない。

### 5. 構造不具合確率モデルの構築

- 信頼性に対する理論(負荷レベルと試験時間の関係などを表現するか)。  
 ・本検討ではワイプル分布の理論として、材料疲労において物体が一定応力ではない変動応力を受ける場合は、疲労破壊までの寿命を予測する経験的手法である線形累積損傷則(マイナー則)を適用する。  

$$N = C \cdot \sigma^b \cdot t$$
 (N: 寿命, σ: 試験応力, t: 試験時間, C: 材料定数, b: 疲労強度指数)
- JAXAでは2015年現在b=6を採用しているためここではその数値を適用する。  
 複数の試験モードを同一に評価する場合に適用する。ランダム振動試験は全56件の内、構造原因の不具合は32件であった。その内試験レベルが違っても判別したもののは16件であったため、この16件についてワイプルフィットングを行った。

Table 2. コンポランダム振動 構造原因不具合一覧

不具合発生	平均寿命	試験レベル	試験時間	構造原因不具合発生件数	割合
2001.02.04	10000	10000	20000	1	2.0%
2001.02.17	10000	10000	20000	1	2.0%
2001.02.17	10000	10000	20000	1	2.0%
2001.02.17	10000	10000	20000	1	2.0%
2001.02.17	10000	10000	20000	1	2.0%
2001.02.17	10000	10000	20000	1	2.0%
2001.02.17	10000	10000	20000	1	2.0%
2001.02.17	10000	10000	20000	1	2.0%
2001.02.17	10000	10000	20000	1	2.0%
2001.02.17	10000	10000	20000	1	2.0%
2001.02.17	10000	10000	20000	1	2.0%
2001.02.17	10000	10000	20000	1	2.0%

### 6. まとめ

- JAXA不具合情報データベースから過去30年分の機械環境試験不具合を出し、統計手法を用いて構造不具合確率モデルの構築を行った結果、コンポATランダム振動試験において抜取られているような試験レベルでは不具合発生確率が非常に低い(試験レベル $N=2.0 \times 10^4$ )を導くことが必要であることが分かった。
- 不具合の追加調査・詳細調査を要している試験標準の見直しに資する検討を進めていく。また、ランダム振動が最も不具合発生確率が大きいことから、試験標準の見直しに関しても検討を進める予定である。

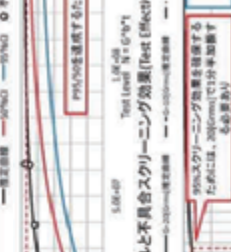
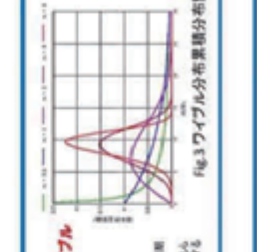


Fig. 5: Test results plot. A graph showing test results for Weibull distribution. The x-axis is Test Time (sec) and the y-axis is Cumulative Failure Rate (0.00 to 1.00). It highlights the need for a safety margin of 10% for a test level of 1.5 x 10^4.

- 低レベル(100Grms)では不具合発生確率が非常に低い(試験レベル $N=2.0 \times 10^4$ )を導くことが必要である。