

# 宇宙機やそのミッションに応じたトータルコスト最小化の観点による試験条件の適正化

## 1. 概要

ミッション喪失による損失が大きい大型宇宙機や国策にかかわるミッションについては、そのリスクを低減するために厳しい環境試験条件が課せられている。しかしながら、この環境試験条件は、低コスト・短納期が求められる宇宙機や小型衛星にとつて最適とはならない場合がある。本発表ではトータルコスト——ミッション喪失コストと厳しい試験条件を課すことによる増加コスト——の期待値を最小化するという観点で、試験条件を適正化する方法を提案する。

## 2. コストを最小化するモデル

宇宙機システムおよびそれを構成するコンポーネントに適用されるFM方式、すなわちフライトモデルを投入試験に供し、それを通して場合ごとのフライトに供する場合を考える (Fig. 1)。

- (1) 機器の強度  $S$  が試験レベル  $L$  以下である場合、試験において機器が破損し、機器を再調達したうえで再試験を行う。
- (2) 機器の強度  $S$  が試験レベル  $L$  より大きい場合、その機器をフライトに供する。
- (3) フライトに供した機器は、強度がフライト環境  $E$  以下である場合、機器が破損する場合、機器の喪失または機能制限が発生する。
- (4) 機器の再調達にはコスト  $C_R$  が、フライトにおける機器の破損には損失コスト  $C_F$  が発生する。

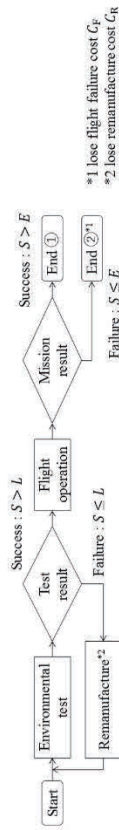


Fig. 1: 試験フロー

試験レベルを大きくした場合は、試験を通過する確率  $P(S > L)$  は小さくなるため、再調達コスト  $C_R$  が必要になる確率が大きくなる。一方で、試験レベルを大きくした場合は、フライトには強度  $S$  の大きい機器が供されるため、フライトにおいて機器が破損する確率  $P(S \leq E | S > L)$  は小さくなり、損失コスト  $C_F$  が発生する確率は小さくなる。したがって、再調達コスト  $C_R$  と損失コスト  $C_F$  の和の期待値は、ある試験レベルに対して最小値をとることがわかる。

このコストの和の期待値  $C_L$  は次の式で表すことができる。

$$C_L = C_R \frac{P(S \leq L)}{P(S > L)} + C_F \times P(S \leq E | S > L)$$

$C_L$  が試験レベルに対して最小値をとる場合、試験レベル  $L_{opt}$  は  $\frac{dC_L}{dL} = 0$  を満たし、これは次の通りになる。

$$\frac{C_R}{C_F} = \frac{P(E > L_{opt}) \times P(S > L_{opt})}{P(S > L_{opt}) - P(S > L_{opt}, S \leq E)}$$

したがって、コストを最小化する試験レベル  $L_{opt}$  は、機器の強度  $S$ 、フライト環境  $E$ 、およびコスト比  $\frac{C_R}{C_F}$  によって与えられる。

本検討では、機器の強度  $S$ 、フライト環境  $E$  が各々独立な正規分布  $N(\mu_S, \sigma_S)$ 、 $N(\mu_E, \sigma_E)$ 、 $N(\mu_S, \sigma_S)$  に従う場合において、これらのパラメータが  $\frac{C_R}{C_F}$  に関するパラメトリックスタディを行つた。

## 3. 最適な試験レベルに関する考察

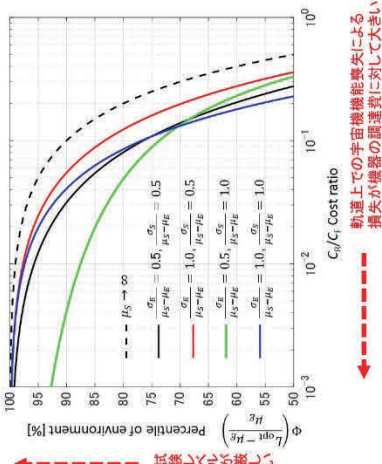


Fig. 2に、各パラメータに対する最適な試験レベル  $L_{opt}$  を示す。試験レベル  $L_{opt}$  はフライト環境を包絡する確率  $\Phi\left(\frac{L_{opt} - \mu_E}{\sigma_E}\right)$  を示している。

コスト比  $\frac{C_R}{C_F}$  が小さくなるほど、すなわちフライトにおける機器の破損による損失が大きくなるほど、最適な試験レベル  $L_{opt}$  が大きくなることわかる。したがって  $C_F$  が大きい大型宇宙機等については試験レベルを厳しく設定すべきであろう。

また  $\mu_S \rightarrow \infty$  の場合の試験レベルは、ほかの場合の試験レベルを包絡しており、最適な試験レベル  $L_{opt}$  を超えないことがわかる。 $\mu_S \rightarrow \infty$  の場合の試験レベルは次の式で表され、コスト比のみの関数となる。

$$\Phi\left(\frac{L_{opt} - \mu_E}{\sigma_E}\right) = 1 - \frac{C_R}{C_F}$$

## 4. 損失コストと設計マージンに関する考察

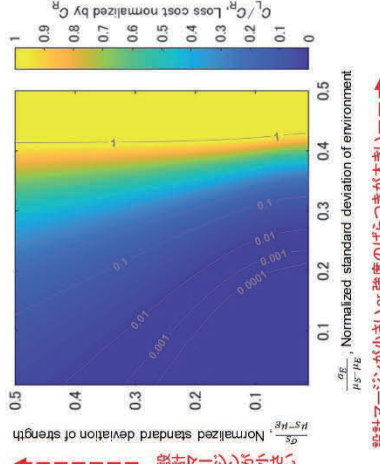


Fig. 3に、最適な試験レベルにおけるコスト期待値と、各パラメータの関数を示す。縦軸は強度の標準偏差  $\sigma_S$  を  $\mu_S - \mu_E$  で除いた値、横軸は環境の標準偏差  $\sigma_E$  を  $\mu_S - \mu_E$  で除いた値を示す。環境の標準偏差  $\sigma_E$  が大きくなると、コスト期待値も大きくなる傾向がある。これを防ぐためには設計マージンを大きくする必要がある。また  $\mu_S \rightarrow \infty$  の場合の試験レベルは、強度の標準偏差  $\sigma_S$  についても同様であり、強度のばらつきが大きくなる場合にコスト期待値を大きくしないようにするために、設計マージンを大きくする必要がある。また  $\mu_S \rightarrow \infty$  の場合の試験レベルは、強度の標準偏差  $\sigma_S$  についても同様であり、強度のばらつきが大きくなる場合にコスト期待値を大きくしないようにするために、設計マージンを大きくする必要がある。

Fig. 3: 最適な試験レベル  $L_{opt}$  におけるコストの期待値

## 5. まとめ

機器の再調達コストとフライトにおける機器破損による損失コストの期待値を最小化するという観点で、試験レベルの適正化を行うモデルの提案を行った。本モデルにより、各種パラメータ（機器強度およびフライト環境に従う確率分布、コスト比）に対して最適な試験レベルを得ることができる。またこれらのパラメータに対するコスト期待値の変動を評価することができる。