

安全な国産グリーン社会

コラム S D G S Safety Domestic Green Society

第2回

機械などの安全とは？

S・Sモデルによる信頼性評価

一般社団法人 洗楓座 代表理事 佐藤建吉

▼国産エネルギーと洗楓座

この連載は、安全、国産、グリーン、社会の四つがキーワードとなっている。筆者の組織する法人は「洗楓座」という名前であるが、「洗」は水力と太陽光、「楓」はバイオマスと風力、「座」は地熱を寓意した。「座」には人の二文字もあり、自然エネルギー、すなわち再生可能エネルギーを推進する法人というのが命名の意図である。そして、安全で、国産の、グリーンな、社会を、構築したい。

対極にある。「安全」とは、漢字では「安らかに過ごす」と書く。安心は「安らぎの心境」である。「安全」は、「危険の機会」であり、その確率を意味する。危険の確率が低いことが安全となる。通常は破壊や損傷、あるいは故障のないことが要求される。それは、機械や部品の「信頼性」が高いことが求められる。確率の数値としては、99.9999%（シックスナイン）など表現され、安心感の尺度となる。商品の信頼性には、目的によって壊れやすいことが求められる場合もある。日常の例では、缶詰やペットボトルの開蓋などである。これに対し、原発はもちろん、風車や水車、またバイオマスの壊れや故障の確率が検討される。その場合の破壊や故障の原因には、疲労や腐食、摩耗などがある。高温の場合は、クリープ現象も要因となる。いずれの場合も時間が経過してからの損傷が原因であり、設計と保守が一体の課題となる。

▼信頼性の評価

▼S・Sモデル

信頼性は、稼働状態において求められる。例えば、スイッチを入れた瞬間、また連続運転中、あるいは出力変動などの場合に破壊したり故障したりする。稼働時間が長くなり、いわゆる寿命になり、いわゆる寿命になる。以上を予見して対策することが信頼性確保の要である。このため、統計的な取り扱いで、破壊や故障の確率が検討される。材料の強度も一定ではなく、ともに「ばらつき」のであるが、設計では「安全率」がしばしば適用される。それは、通常、変動する負荷と、ばらつく強度の平均値で与えられ、安全率（＝平均安全率）は、強度の平均値を負荷の平均値で割算した値である。強度も負荷もばらつくので、たまたま平均値強度より低い材料に、平均値より大きな負荷が作用すれば、安全率は平均安全率よりも低くなり、結果として破壊する確率が高くなる。さて、材料の破壊強度も、作用する負荷応力も共に正規分布すると仮定しよう。その平均負荷応力と分散（標準偏差の2乗）、また平均破壊強度とその分散は統計結果から

【注1】破壊強度も負荷応力も正規分布とし、平均破壊強度： $S_m=600\text{MPa}$ 、破壊強度の標準偏差： $\sigma_s=50\text{MPa}$ 、平均負荷応力： $s_m=200\text{MPa}$ 、負荷応力の標準偏差： $\sigma_s=120\text{MPa}$ とする。材料が破壊するのは、破壊強度Sを平均負荷応力sが超えたときで、両者の差を $t=S-s$ とすると、 $t \le 0$ で破

【注2】破壊確率と信頼性の算出
正規分布の表示は $N(\mu, \sigma^2)$ (μ は平均、 σ は標準偏差で σ^2 は分散)として与えられるので、 μ に S_m や s_m を、 σ に σ_s や σ_s を代入する。この差tの分布では、 $\mu=600-200=400\text{MPa}$ 、 $\sigma=(50^2+120^2)^{1/2}=130\text{MPa}$ となる。
Excelでは、「=NORM.DIST(0, 400, 130, TRUE)」と入力すると、0.001045746を得る。これが破壊確率であり、これを1から引いた値信頼性(安全性、破壊確率)となる。99.8954254%である。

▼まとめ

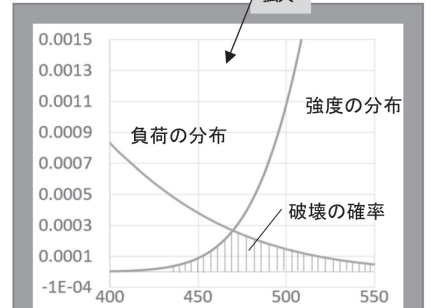
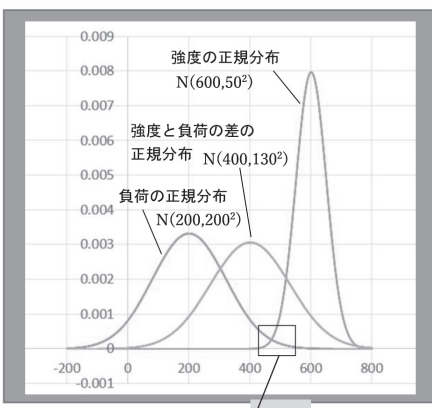
機械やシステムは、多くの部品やサブシステムから構成されており、それらもまた多くの構成要素から成り立っている。破壊の可能性が高いのは、実はこうした部品の結合部である。そこでは、応力集中や、緩みや摩耗が関係し、破壊の起点となる。結果としての破壊は、隠れて見えない「こじり」や「起り」など「やっかい」な面があり、安全には十分に気を配らなければならない。(続く)

信頼性は、稼働状態において求められる。例えば、スイッチを入れた瞬間、また連続運転中、あるいは出力変動などの場合に破壊したり故障したりする。稼働時間が長くなり、いわゆる寿命になり、いわゆる寿命になる。以上を予見して対策することが信頼性確保の要である。このため、統計的な取り扱いで、破壊や故障の確率が検討される。材料の強度も一定ではなく、ともに「ばらつき」のであるが、設計では「安全率」がしばしば適用される。それは、通常、変動する負荷と、ばらつく強度の平均値で与えられ、安全率（＝平均安全率）は、強度の平均値を負荷の平均値で割算した値である。強度も負荷もばらつくので、たまたま平均値強度より低い材料に、平均値より大きな負荷が作用すれば、安全率は平均安全率よりも低くなり、結果として破壊する確率が高くなる。さて、材料の破壊強度も、作用する負荷応力も共に正規分布すると仮定しよう。その平均負荷応力と分散（標準偏差の2乗）、また平均破壊強度とその分散は統計結果から

【お詫言】
本連載①(2023年3月6日発売号掲載)の、3段目13・14行目「2024年」の記載は、正しくは「平成24年」でした。お詫言し訂正させていただきます。

▼安全は信頼性、その課題は？

安全は、危機や危険と水車、またバイオマスの壊れや故障の確率が検討される。その場合の破壊や故障の原因には、疲労や腐食、摩耗などがある。高温の場合は、クリープ現象も要因となる。いずれの場合も時間が経過してからの損傷が原因であり、設計と保守が一体の課題となる。



図：正規分布する強度と負荷のExcelでの評価とその分散は統計結果から

平均安全率が3.0(＝