「機械などの信頼性に関する研究」

ニシムラ　ヨシエ
西村　美慧
名古屋工業大学
工学研究科・博士前期課程
創成シミュレーション工学専攻

私は信頼性理論に関する研究を行っています。これは安全性や故障の解析手法である FTA(Fault Tree Analysis)の基礎となるものであります。従来の FTA ではシステム及び構成要素について故障と正常の 2 状態のみが考えられてきましたが、現実的にはそれらの間に様々な状態が存在します。例えば、蛍光灯にスイッチを入れると光る状態を正常とするなら、スイッチを入れても光らない状態が故障であります。しかし、スイッチを入れると、蛍光灯がチカチカしたり、光ったり光らなかったりするときもあります。この状態が完全に正常でもなく、故障でもない正常と故障の間に行き来たりする中間的な状態です。今まではこのような状態を考慮せずに部品又はシステムの信頼度を算出してきました。より実際のシステム又は部品の状態に則し、すなわち、様々な状態を考慮し信頼度を算出した方が、より真の信頼度に近い値が得ることができます。このように様々な状態を考慮し、信頼度を算出する考え方を多状態信頼性理論と呼びます。システム又はそれを構成する要素の状態を増やせば増やすほど、信頼度を計算するのが難しくなります。シンプルな構造を持つシステムの信頼度は簡単に得られるのに対して、複雑なシステムになればなるほど、システムの信頼度を計算するのが難しくなります。私の研究目的は、この複雑なシステムに対しても、システムの信頼度が簡単に得られたり、より真の信頼度に近い値が得られたりできるように、多状態信頼性理論を構築することです。

ここで簡単な構造をもつシステムを例に挙げて説明します。

図１は直列構造を示します。これは部品１からｎまで一直線につないでいることです。図２は並列構造を示します。これは部品 1 からｎまで並列につないでいます。図１に示している直列構造システムは一つの部品でも故障したらシステムが故障する構造なので、システムの信頼度は各部品の信頼度の掛け算となります。図２に示している並列構造システムは全ての部品が故障した時にシステムが故障する構造です。システムの故障度が得られれば、信頼度も求められます（これらの信頼度は 2 状態理論における計算方法)。しかし､一般のシステムは直列や並列のようにシンプルではなく、自動車やテレビなどの機械のように難しい構造を持っています．そういう難しい構造を持つシステムの信頼度を評価する際には極小パスや極小カットまたモジュールなどを用いて評価します。極小パス、極小カット又はモジュールとはシステムの構造に基づいて考え、得られた信頼度を求める方法です。真の信頼度を求めるのが難しいので、極小パスや極小カットなどを用いて信頼度の範囲を求めます。この範囲のことを信頼度の上下界と呼びます。

現在、私が研究している多状態信頼性理論においては、システムの状態空間を正常と故障の 2 状態に加えて、それ以外の状態も想定します。システムを構成する部品の状態空間も同様な条件であるとします。現時点での研究成果においては，システム又は構成部品の状態が全て比較できる前提と考えています。（このように全ての状態が比較できることを全順序状態空間と呼びます。）すなわち、システムの状態が分かれば、他の全ての状態より良いか悪いかが分かるということです。全順序状態空間の条件の下で得られたシステム信頼度の上下界が下記の式のようになります。式(1)は信頼度の上界、式(2)は信頼度の下界を意味します。

$$
\begin{aligned}
\mathbf{P}\{\boldsymbol{x}|\varphi(\boldsymbol{x}) \geqq s\} &\leqq \coprod_{\mathbf{y}\in MI_{\psi}(s)} \prod_{i=1}^{m} \boldsymbol{P}_i\{\boldsymbol{x}^{A_i}|\chi_i(\boldsymbol{x}^{A_i}) \geqq y_i\} \\
&\leqq \coprod_{\mathbf{y}\in MI_{\psi}(s)} \prod_{i=1}^{m} \coprod_{\mathbf{m}_i\in MI_{\chi_i}(y_i)} \boldsymbol{P}_i\{\boldsymbol{x}^{A_i}|\boldsymbol{x}^{A_i} \geqq \boldsymbol{m}_i\} \qquad (1) \\
&\leqq \coprod_{\boldsymbol{m}\in MI_{\varphi}(s)} \boldsymbol{P}\{\boldsymbol{x}|\boldsymbol{x} \geqq \boldsymbol{m}\}
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
\mathbf{P}\{\boldsymbol{x}|\varphi(\boldsymbol{x}) \geqq s\} &\geqq 1 - \coprod_{\mathbf{y}\in MA_{\psi}(s)} \prod_{i=1}^{m} \boldsymbol{P}_i\{\boldsymbol{x}^{A_i}|\chi_i(\boldsymbol{x}^{A_i}) \leqq y_i\} \\
&\geqq 1 - \coprod_{\mathbf{y}\in MA_{\psi}(s)} \prod_{i=1}^{m} \coprod_{\mathbf{m}_i\in MA_{\chi_i}(y_i)} \boldsymbol{P}_i\{\boldsymbol{x}^{A_i}|\boldsymbol{x}^{A_i} \leqq \boldsymbol{m}_i\} \qquad (2) \\
&\geqq \mathbf{1} - \coprod_{\boldsymbol{m}\in MA_{\varphi}(s)} \boldsymbol{P}\{\boldsymbol{x}|\boldsymbol{x} \leqq \boldsymbol{m}\}
\end{aligned}
$$

しかし、実際のシステムの状態空間が必ずしも、全ての状態が比較できるとは限りません。これは半順序状態空間と呼びます。私はこの半順序状態空間の条件の下でシステム信頼度の上下界が求められるように、研究しています。更に、これからは得られた信頼度を確かめる為にシミュレーションを行うことをも検討しています。

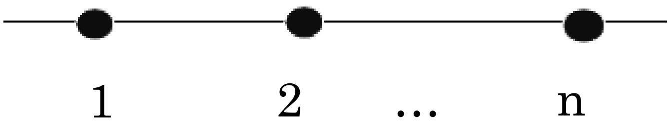

図１　直列構造

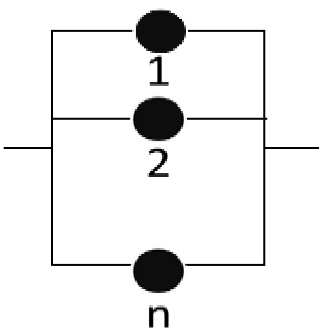

図２　並列構造

参考文献

「信頼性工学入門」真壁　肇編、日本規格協会発行、2010 年 7 月発行

「STOCHASTIC BOUNDS FOR MULTI-STATE COHERENT SYSTEMS」
　FUMIO OHI,（2013）