

電源システムのライフサイクルを通じた 電力供給品質の管理技術

Quality Control Technology throughout Life Cycle of Power-Supply System

宮部 崇 飯野 穰 田口 保博

■ MIYABE Takashi

■ IINO Yutaka

■ TAGUCHI Yasuhiro

近年、通信事業や、サービス事業、製造事業などでは、エンドユーザーへの継続的な高品質のサービスが要求されており、これらの事業を支える電源設備は、各事業の要求レベルに応じた高い信頼性が求められている。

東芝は、ユーザーの要求品質と設備コストの制約に応じた柔軟な設備設計手法を研究している。これらの手法は、電源システムの信頼性のほか商用給電の信頼性や経年リスクを考慮し、電力供給の信頼性と設備のライフサイクルコストのトレードオフを最適化する設備構成や設備の更新・保守計画を立案するためのものである。

Continuous, high-quality service has been required by end users in recent years in the field of power-supply systems for various communication network systems, data centers, semiconductor processing equipment, and so on.

To fulfill each user's quality and cost requirements for the power-supply systems supporting their business, Toshiba has been engaged in the research and development of a flexible design methodology that makes it possible to design and propose an optimal system configuration, as well as maintenance and renewal plans, taking into consideration not only the reliability of the commercial power supply and aging degradation but also the reliability of the power-supply system itself, based on optimization of the trade-off between reliability and life-cycle cost.

1 まえがき

ビルや工場の設備運用では、環境負荷の低減とともに、性能や信頼性の維持とライフサイクルコストの適正化が重要である。特に、エンドユーザーへの継続的な高いサービス品質を使命とする通信事業及びサービス事業や、半導体工場などの製造事業では、事業を支える電源システムなどの設備管理は最重要課題の一つであり、各事業の要求レベルに応じた高い信頼性が求められている。

東芝は、電源設備ユーザーの多様な要求品質や設備コストの制約に応じた柔軟な設備設計と、ライフサイクルにわたる設備価値最大化を目指した設備保守・更新計画などのソリューションを研究している。ここでは、無停電電源システム (UPS) を例に、設備設計及び設備保守・更新時の設備信頼度とライフサイクルコストの評価技術について述べる。

2 電源品質と設備ライフサイクルコスト

当社の代表的なUPSを図1に示す。

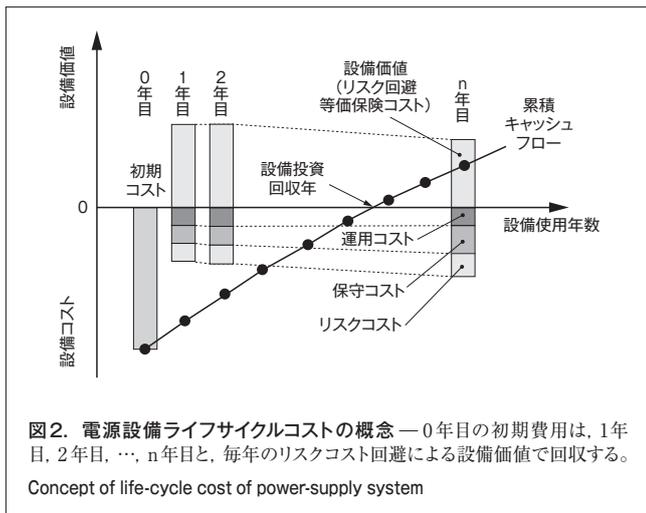
当社が提供する高品質電源ソリューションでは、電源品質とライフサイクルコストを設備価値の重要指標 (キーマトリック) としている。電源品質とは、電力供給信頼性や設備稼働率に、電圧及び周波数の安定性や高調波の低減などの電力品質を含めた総合的な指標である。また、ライフサイクルコストとしては、設置工事を含む初期コスト、エネルギー効率などのロ



図1. 東芝製UPS TOSNICTM-8200/8400 — 電源システムの品質を維持するためにUPSは不可欠である。
TOSNICTM-8200/8400 uninterruptible power supply (UPS) systems

スを含む運用コスト、定期点検や部品交換、補修などの保守コスト、及び必要に応じて万一の電力供給トラブルにおける電源ユーザーの損失額を保険金額に換算したリスクコストを考慮している。設備投資による初期コストを毎年のリスクコスト回避による設備価値で回収する投資回収モデルを図2に示す。設備のライフサイクルコストはできるだけ短期間に回収することが要求される。

高品質電源ソリューションとは、“要求された電力品質を満足し、かつライフサイクルコストを最小化する電源設備を提案すること”と定義される。これは、電源ユーザーの要求仕様に対し、電力供給信頼度が過剰品質でも過小品質でもなく適切



なレベルであることと、電源設備のライフサイクルにわたる価値提供が最大であることを意味する。電源設備の提案内容としては、構成、種別、冗長度^(注1)、要求信頼度、及び経年変化も含めたリスク評価などの設備設計と設備保守・更新計画である。

3 設備設計の最適化ソリューション

電力供給信頼度など電力品質の要求仕様を満たしつつ、コスト適正化を実現する設備設計手法を述べる。ここでは、設備の構成、種別、冗長度、要求信頼度別の設備構成などをUPS^{(1), (2), (3)}の場合について述べる。

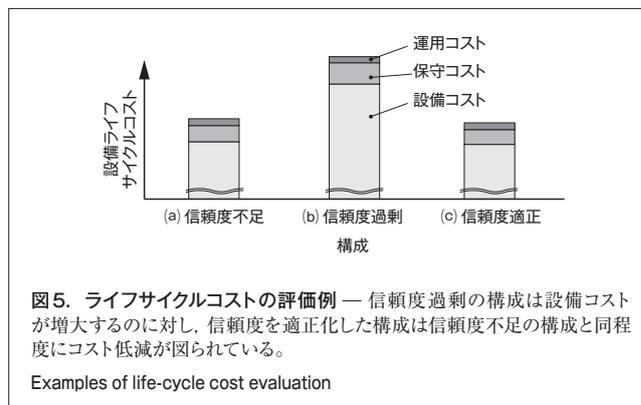
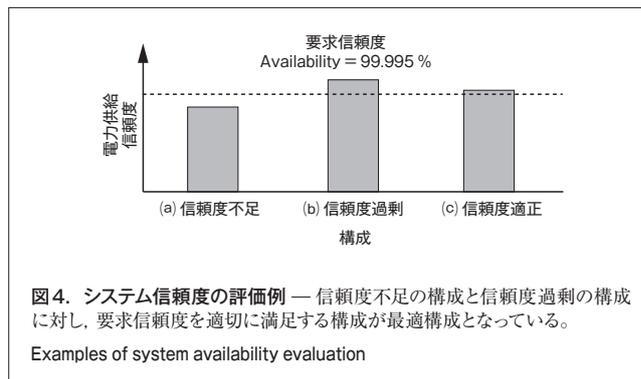
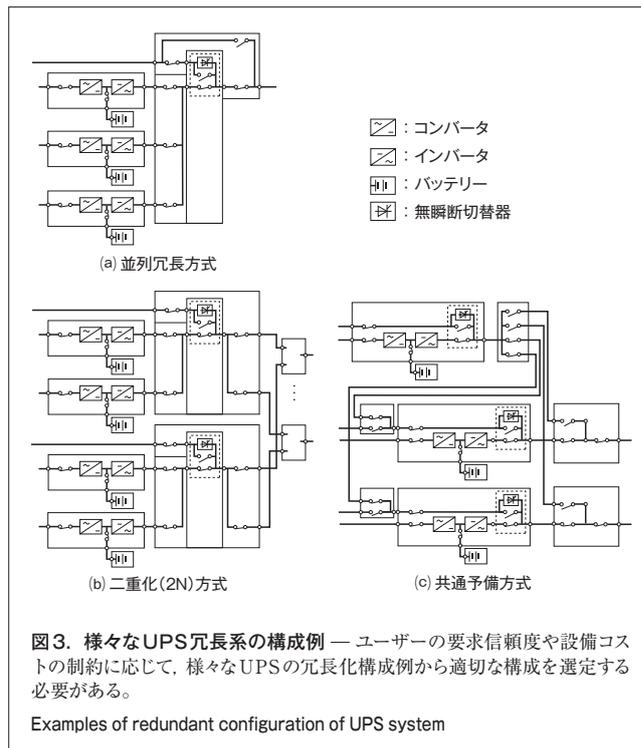
一般にUPSユニット単体では、平均故障間隔 (MTBF: Mean Time Between Failure) が約100,000 h^{(1), (2)}以上の信頼度を設計仕様としている。設計パラメータとして以下を想定する必要がある。

- (1) システム冗長度
- (2) システム容量の余裕度 突入電流など想定しうる瞬間的な最大負荷を考慮した負荷定格に対する余裕
- (3) 信頼性余裕度 電力供給信頼度の経年変化や不確定要素を考慮した余裕

UPSの設備構成例として、冗長度が異なる3種類の設備設計例を図3に示す。

システム構成の電力供給信頼度は、構成に従ってUPSや切換スイッチの単体信頼度に基づき信頼度計算⁽¹⁾により求められる。また、システム構成のライフサイクルコストは、機器台数などにより初期コストを、UPSの部分負荷特性と負荷の余裕度を考慮した効率に基づいて運用コストを、設備台数や保守点検計画に応じて保守コストを、そしてシステム信頼度に応じてリ

(注1) 構成を一重から二重にするように、片方の障害時にも通常の機能が継続できること。



スクコストをそれぞれ算出し、それらを合計して求められる。図3のUPSシステム構成例に対するシステム信頼度評価例を図4に、ライフサイクルコスト評価例を図5に示す。

ここで、図4における要求信頼度は、Availability (可用性) = 99.995 %を設定した。これは米国電気通信工業会 (TIA) のデータセンター用設計規格 TIA-942 に定められた Tier 4 レベルの規格値に相当する。この例では、評価の結果、構成(a)は信頼度が要求仕様レベル以下、構成(b)は要求仕様レベル以上で設備コスト増となるのに対し、構成(c)は要求信頼度に適合した適切な設備設計であることを示している。

また、図5は、ライフサイクルコストのうち、仮想的なコストであるリスクコストを除いた実コストだけの比較評価例である。コスト評価の結果、構成(a)は標準コスト、構成(b)はコスト増大に対し、構成(c)は構成(a)とほぼ同等のコストである。

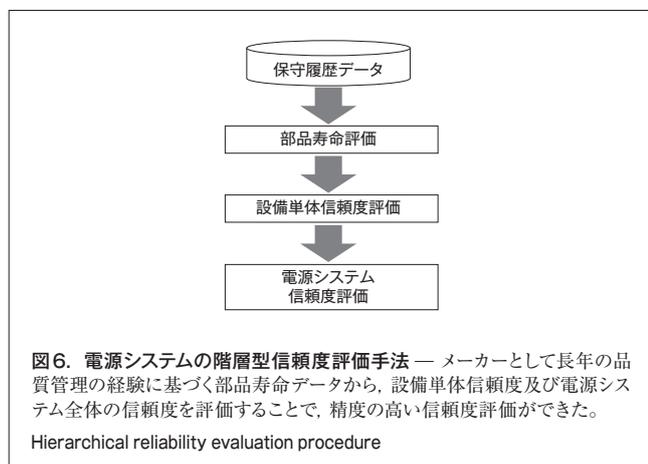
これらを総合すると、この例では、構成(c)が要求信頼度を満足し、かつライフサイクルコスト低減したシステムであると評価できる。このように、システム信頼度とライフサイクルコストのトレードオフ関係のなかで、要求される信頼度とコストの組み合わせにより、適切な信頼度で最小のライフサイクルコストとなる設備設計及び設備更新計画を実現するのが当社の高品質電源に対する設計コンセプトの一つの特徴である。

4 設備保守・更新の最適化ソリューション

ここでは、設備の信頼度評価に時間軸での評価手法と最適化の概念を導入する。電源設備は経年時間とともに、部品、設備単体、更に電源システム全体の信頼性が低下していく。

そこで、電源システム全体の信頼性を設備ライフサイクルにわたり適切に維持するためには、設備信頼度に時間軸を考慮した評価と、それに基づく最適な保守計画の立案が重要となる。当社では時間軸での信頼度評価のために、部品寿命評価、設備単体信頼度評価、及び電源システム信頼度評価を階層的に行う、“階層型信頼度評価手法”による電源設備設計を試みている(図6)。

まず、部品寿命評価について述べる。電源設備の個々の構成要素である部品は、経年変化や外部環境、使用回数などに

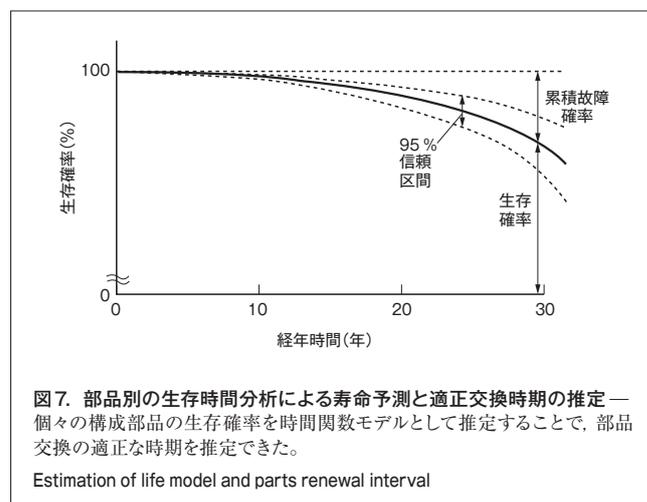


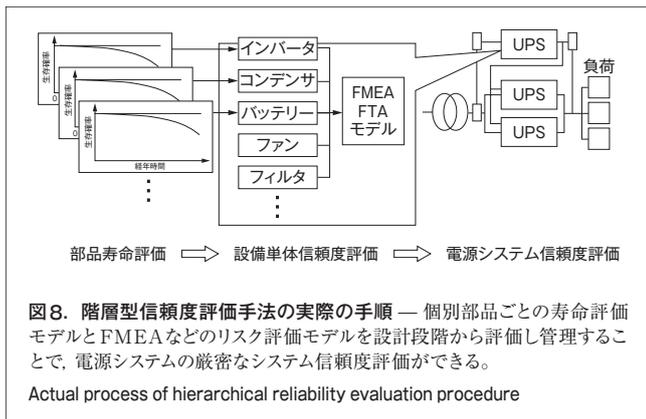
より劣化し、信頼性の低下が生じる。電源設備全体の信頼性と性能の健全性の維持のためには、故障前に個々の部品を適切な周期で点検と交換を行う、いわゆる“予防保全”が重要である。例えば、UPSのケースでは、定期的な交換部品としてファンや、電解コンデンサ、制御電源などが挙げられる。また、信頼性の要となるインバータや蓄電池も重要な部品である。これら部品の経年変化に対する信頼性を評価するために、当社では過去の保守事例に対する膨大なデータベース (DB) を構築しており、そのDBから個々の部品の生存確率モデルを推定することは、機器単体と電源システム全体の信頼度評価に役立つものと考えられる。

過去の部品交換履歴データに基づいて推定した、ある部品の経年劣化による生存確率を図7に示す。生存確率とは、時間を経て設備が正常に機能している確率で、100 %から累積故障確率を引いたものに相当する。図中、実線の上下の破線は95 %信頼区間を意味する。生存確率は、経年時間以外に、外部環境条件としての温度や動作回数などの条件によっても変化し、正確にはそれらを変数とする関数で表現される。

次に、設備単体信頼度評価について述べる。前述の部品寿命評価手法に基づき、個々の部品の生存時間モデルが得られると、その組合せの電源設備単体の信頼度が評価できる。具体的には、設計故障モード影響解析 (FMEA : Failure Mode and Effect Analysis) やフォルトツリー解析 (FTA : Fault Tree Analysis) などの解析手法と個々の部品の信頼度モデルを組み合わせることで設備単体の総合的な信頼度を算出する。実際には、設備の製品設計段階で製品仕様を満たす部品信頼度条件を精査し、十分な冗長度とマージンを持たせた設計を行っている。この手法では、そのマージンが経年時間によってどの程度変化するかを評価することが目的である。

最後に、電源システム信頼度評価について述べる。前述の手順で電源設備個々の時間軸での信頼度が評価されると、電源システム全体の設備構成及び経年変化に対する信頼度評価が





できる。例えば、UPSの場合、図3に示したような様々な構成に対し、あるいは様々な設備保守やリニューアルの計画に対し、設備ライフサイクルを通じた信頼度を評価できる。

各段階での信頼度評価手順を図8に示す。

信頼度評価は、過去に実施してきた保守、あるいは今後計画している保守計画が適切なものであるかの評価や最適な保守計画、リニューアル計画の立案にも役だてることができる。

そのほか、保守点検時やリニューアル工事のときに、部分的な設備の切離しや二重系の片側シャットダウンなどの際の信頼度の変化、それに対する対策なども必要に応じて評価検討が必要となる。一度、前述の信頼度モデルを構築することで、これらの多様な運用条件に応じた信頼度評価と設備計画エンジニアリングに対応できる。

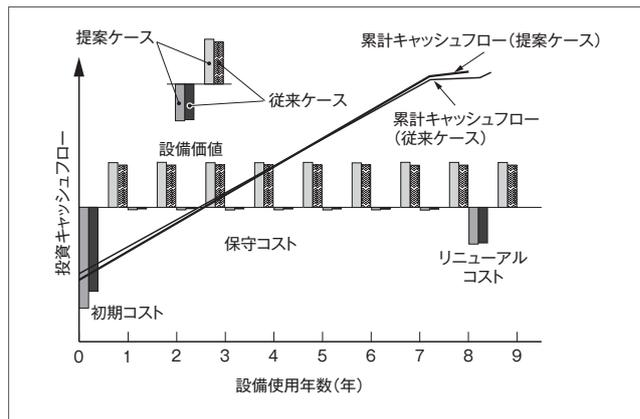
以上のように、電源システムの信頼度を時間軸に対して評価することで、経年リスクを加味し、現実に即した設備ライフサイクル評価ができ、それに対する最適な設備保守・更新ソリューションを得ることができる。

5 ライフサイクルコスト評価の実際

多様な要求仕様に柔軟に対応し、設備のライフサイクル価値の最大化を目指す当社の高品質電源ソリューションの例を述べる。

従来の設備提案ケースに対し、3章に示すような設備設計の適正化を図った提案ケースでのライフサイクルコストを比較した結果を図9に示す。初期投資では、従来ケースより数%のコスト増となるが、要求信頼度を満足する適切な電力供給信頼度をライフサイクルにわたり維持することで、ライフサイクルでの設備価値を最大化している。従来ケースとの比較の結果、提案ケースでの累積設備価値から投資額と累積設備コストを差し引いた累積キャッシュフローが従来ケースよりも改善し、このケースでは約4年で従来ケースと逆転している。

このような設備価値の可視化と最適化により、設備投資の効果や妥当性を定量的に把握することができる。



6 あとがき

当社は、ユーザーの要求品質と設備コストの制約に応じた柔軟な設備設計手法を研究している。これらの手法を実用化するにあたっては、いっそうのデータの蓄積及び検証結果のフィードバックにより評価精度を高めていく。これにより、多様な要求仕様に柔軟に対応し、設備のライフサイクル価値の最大化を目指す当社の高品質電源ソリューションを展開していく。更に、受変電設備や自家発電設備を含めた電源システムの評価手法を検討し、高品質電源を必要とする様々な業種の電源ユーザーに向けて提供していく。

文献

- (1) 松崎 薫. 無停電電源システム実務読本. オーム社, 2007, 200p.
- (2) 神達幸雄. ほか. “無停電電源システムの信頼性に関する一考察”. 電気学会産業応用部門大会, 1-117. 高松, 2004-09, 電気学会, 2004, P.I-527-I-528.
- (3) 末吉 暁. ほか. 豊富なシステムバリエーションを実現した無停電電源システム TOSNIC™8200. 東芝レビュー. 62, 11, 2007, p.56-59.



宮部 崇 MIYABE Takashi

社会システム社 社会システム事業部 施設システム技術第一部グループ長。ビル及び施設の電源システムのエンジニアリング業務に従事。電気設備学会会員。
Infrastructure Systems Div.



飯野 穰 IINO Yutaka

電力システム社 電力・社会システム技術開発センター 制御システム開発部主幹。エネルギー管理システムの開発に従事。計測自動制御学会, 電気学会, IEEE 会員。
Power and Industrial Systems Research and Development Center



田口 保博 TAGUCHI Yasuhiro

電力システム社 電力・社会システム技術開発センター 電力ソリューション・配電システム開発部主務。電力系統解析及びマイクログリッドシステムの開発に従事。電気学会会員。
Power and Industrial Systems Research and Development Center