

屋外機器の構想設計段階における信頼性予測

Technology for Structural Reliability Prediction at Conceptual Design Phase of Outdoor Facilities

小川 琢之 篠塚 啓司

■ OGAWA Takayuki

■ SHINOZUKA Hiroshi

風力発電用風車や、太陽電池パネル、照明器具など屋外機器の信頼性を確保するには、設置環境での風の作用を考慮した設計を行う必要があり、使用期間中に発生する負荷を定量的に評価する技術が求められている。また、設計自由度の高い構想設計段階から信頼性を予測できれば、性能、コスト、及び信頼性を考慮した全体最適化を図ることができるとともに、開発期間が短縮できる。

東芝は、流体-構造連成シミュレーションにより、強風下で屋外機器に発生する振動負荷を定量的に評価する技術を開発した。また、この評価技術を応用して、構想設計段階で簡易かつ短時間に屋外機器の信頼性を予測するツールを開発した。開発した評価技術とツールを製品設計に適用し、開発期間を短縮できることを確認した。

In order to ensure the structural reliability of outdoor facilities, including wind turbine systems, solar panel arrays, and lighting units, it is essential to take the effect of wind at the installation site into consideration in their design. Technologies to estimate reliability from the conceptual design phase having high design flexibility, as well as technologies to quantitatively estimate the load generated during the operating lifetime of a facility, contribute to shortening of the development period by performing overall optimization in consideration of performance, cost, and reliability.

Toshiba has developed a technology to quantitatively estimate the vibration load of outdoor facilities under windy conditions based on a fluid-structure coupled simulation method. Employing this technology, we have also developed a tool that makes it possible to quickly and easily perform structural reliability prediction for outdoor facilities at the conceptual design phase. Through the application of this technology and tool to product design, we have confirmed that the development period of such outdoor facilities can be shortened.

1 まえがき

風力発電用風車や、太陽電池パネル、照明器具などの屋外機器は、使用中に風が作用して負荷を受ける。風の作用は、地域や設置位置によって大きく異なる。そのため、屋外機器の信頼性を確保するためには、設置場所における風速の発生頻度など風の状況（風況）を考慮し、使用期間中に生じる負荷を定量的に評価する技術が必要である。

信頼性の予測技術としては、シミュレーションが有効である。通常、シミュレーションを用いた信頼性の予測は部品の形状を決定する詳細設計段階で行われるが、設計自由度の高い構想設計段階で信頼性を予測できれば、設計の初期段階から性能、コスト、及び信頼性を考慮した製品の最適設計ができ、開発期間の短縮が見込める。

そこで東芝は、風の負荷による屋外機器の疲労寿命を推定するため、流体-構造連成シミュレーションを用いた信頼性予測技術を開発した。また、この信頼性予測技術を応用し、構想設計段階で設計方針の決定に活用できるツールを開発した。ここでは、開発した信頼性予測技術及びツールの予測方法の特長と、それらを構想設計段階で適用した事例について述べる。

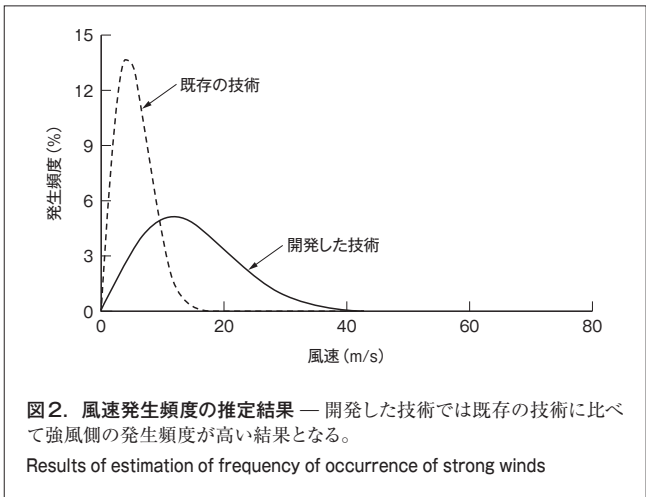
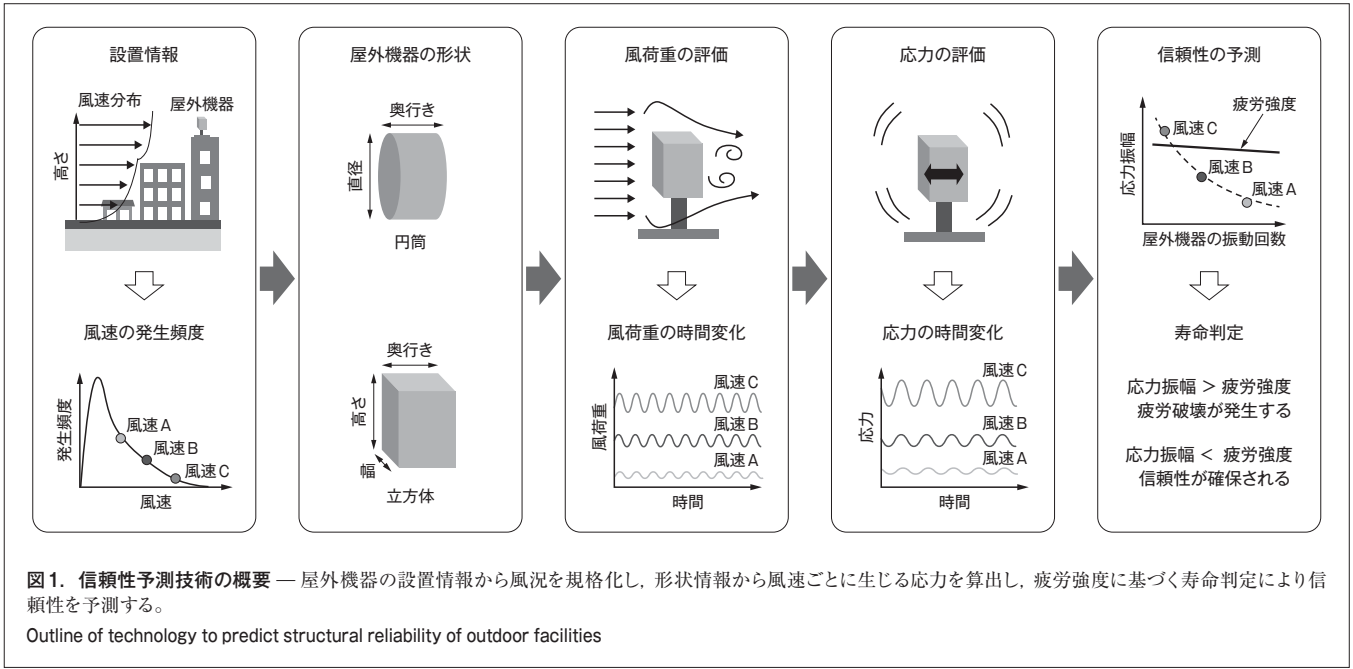
2 開発した信頼性予測技術

屋外機器を対象として開発した信頼性予測技術の概要を図1に示す。この予測技術は、風速や発生頻度の推定、機器に生じる風荷重や応力の評価、及び疲労強度に基づく信頼性の予測で構成される。屋外機器に生じる風荷重や応力は、風速や発生頻度、及び機器の形状に依存する。そこで、屋外機器の設置情報から風況条件を規格化し、形状情報から各風速で繰り返し生じる振動負荷を定量化した。風の強さや作用時間により使用中の機器に発生する振動の大きさや回数から振動負荷を評価することで、疲労強度に基づいた信頼性を定量的に予測できる。

2.1 屋外機器に発生する風況条件の規格化

信頼性を予測するためには、屋外機器が受ける風速や発生頻度を推定する必要があるが、統計的な推定方法が既存の技術としてあり、風力発電の分野で利用されている⁽¹⁾。しかしこの技術は、発電量を見積もることが目的であり、突発的に発生する大きな風速などを考慮していないため、屋外機器の信頼性を予測するには適していない。

そこで、既存の技術に修正を加え、屋外機器の信頼性予測に適した推定方法を開発した。既存の技術と開発した技術に



よる推定結果を**図2**に示す。開発した技術による推定結果では、既存の技術に比べ、強風側の発生頻度が高い。この違いは、既存の技術が10分間の平均風速の発生頻度を推定しているのに対し、開発した技術では瞬間的な風速の発生頻度を推定しているためである。

2.2 屋外機器に発生する振動負荷の定量化

風により屋外機器に生じる振動負荷を評価するため、流体-構造連成シミュレーションを用いた予測技術を構築した。流体-構造連成シミュレーションは、非定常の流体シミュレーションと振動シミュレーションで構成される。流体シミュレーションでは機器に発生する風荷重の時間変化を、振動シミュレーションでは機器に発生する応力の時間変化を評価する。流体シミュレーションで得た風荷重の結果を振動シミュレーションの境界条件として用い、風による振動現象を再現する

ことで機器に発生する振動負荷を定量化できる。

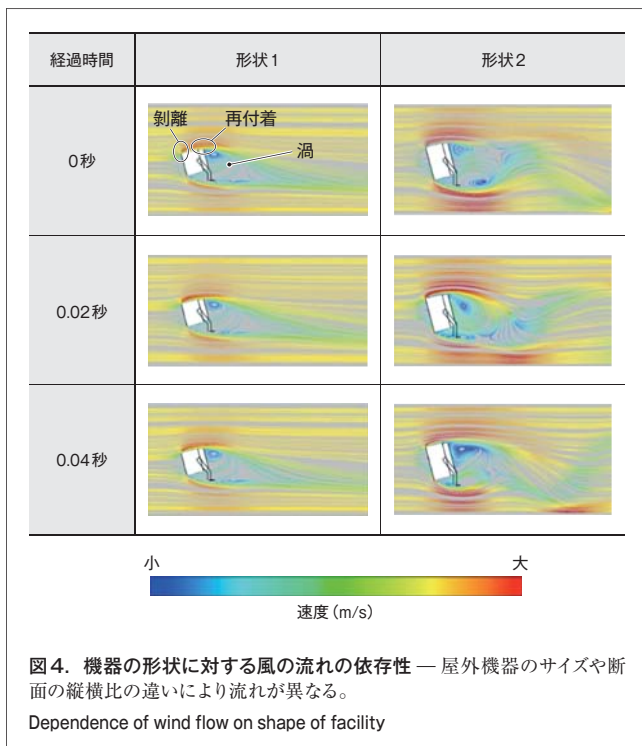
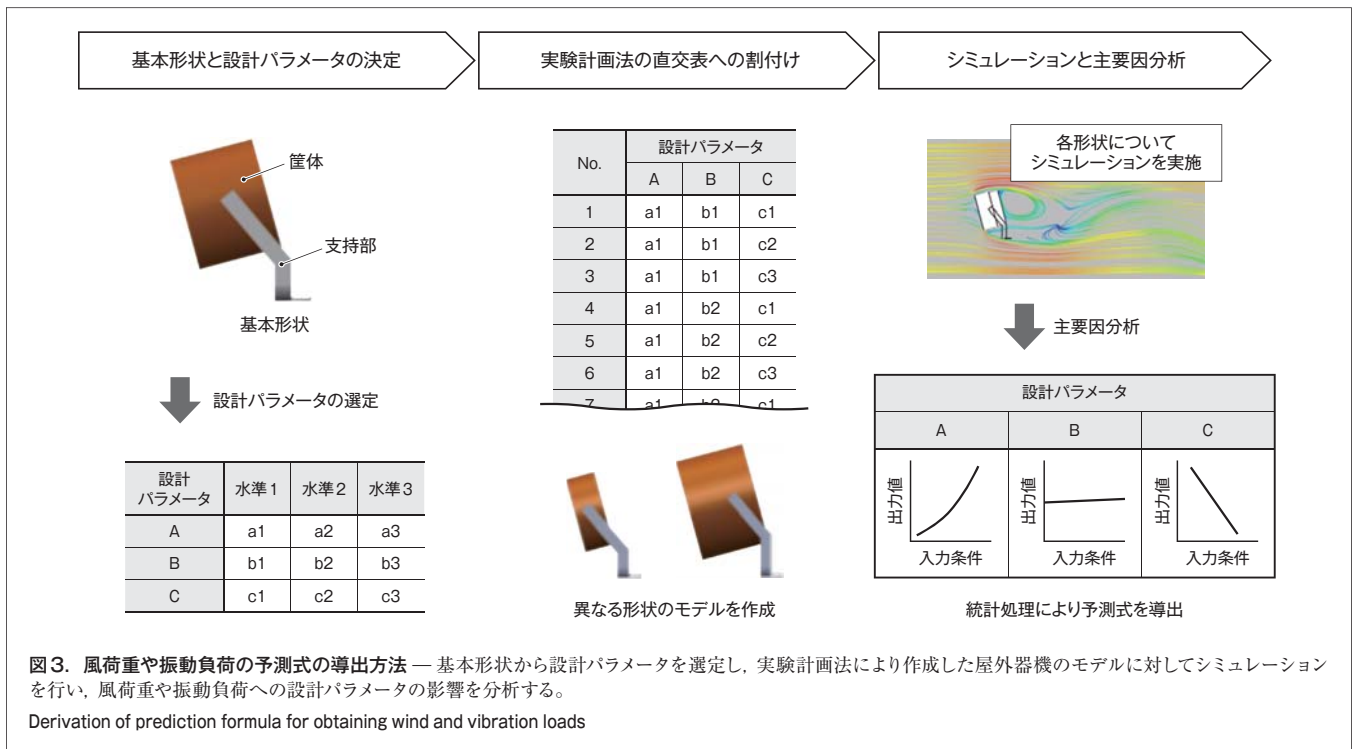
3 構想設計段階で信頼性を予測するツール

シミュレーションを用いて信頼性を予測するためには、屋外機器の形状情報が必要であるが、構想設計段階では機器の形状や寸法は具体的には決まらず、仕様や設計要件により、様々な形状が設計案として検討される。したがって、構想設計段階で信頼性を予測するには、機器の形状因子による影響を短時間で評価するツールが必要となる。そこで、2章で述べた信頼性予測技術を実験計画法に適用し、屋外機器の設計パラメータを因子とした風荷重や振動負荷の予測式を導出した。

風荷重や振動負荷に関する予測式の導出方法を**図3**に示す。予測式を導出するには、一定の基本形状を保ったまま機器の寸法を変化させる必要がある。そこで、屋外機器の基本形状を設定し、これに基づいた設計パラメータを選定した。3水準の直交表に設計パラメータを形状因子として割り付け、それぞれのケースで流体-構造連成シミュレーションを実施し、発生する風荷重と振動負荷を評価した。

機器の形状による風の流れの違いを**図4**に示す。形状の違いにより、流れの状態や渦の挙動が異なり、機器に発生する風荷重や振動負荷が変化する。この風荷重や振動負荷について主要因分析を行い、各設計パラメータの寄与度を理論式に反映することで、シミュレーションの結果と合う予測式を導出した。

屋外機器の設計効率を高めるため、導出した予測式を用いて、設置情報や形状情報といった設計要件から信頼性を予測



するツールを開発した。シミュレーションでは、一つの形状に数日を要する場合があるが、このツールは、予測式のパラメータを入力することで、信頼性が瞬時に予測でき、時間を大幅に短縮できる。

4 構想設計段階での適用事例

構想設計段階で信頼性を予測することで、屋外機器の設計方針を明確にできる。以下に、その事例について述べる。

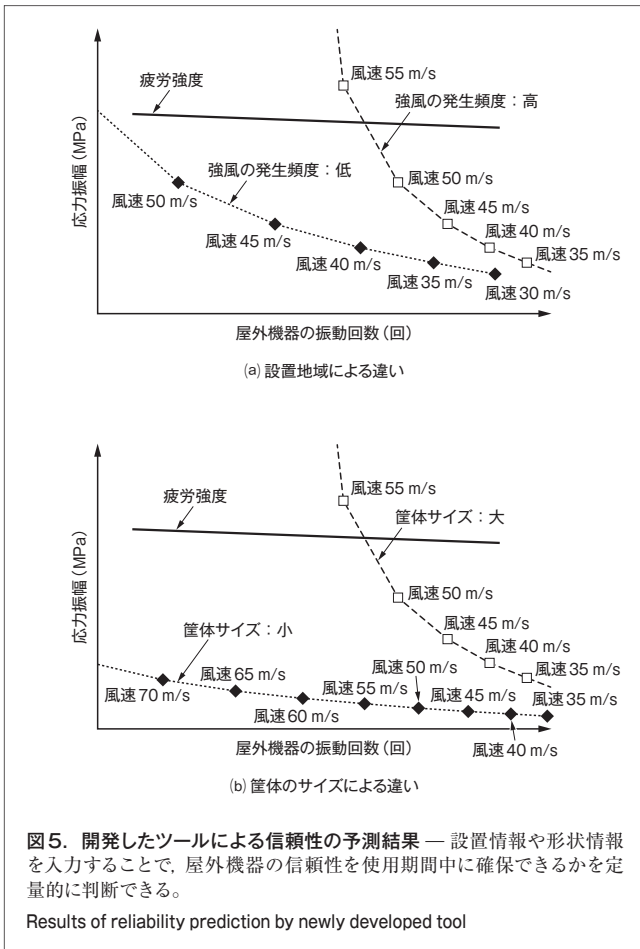
4.1 設置地域

屋外機器の設置地域が異なる場合の信頼性を予測した結果を図5(a)に示す。設置地域において強風の発生頻度が低い場合には、機器に発生する振動負荷は小さく、使用期間中に疲労破壊は起こらない。一方、強風の発生頻度が高い場合には、風速55 m/sで疲労強度よりも大きい振動負荷が発生し、使用中に疲労破壊が起こることを示唆している。

この結果から、屋外機器の信頼性に設置地域の違いが大きく影響することがわかる。そこで、設置地域の影響を把握することで、開発する屋外機器の設計方針を明確にできる。例えば、強風の発生頻度が高い地域でも耐久性のある新規設計とする、あるいは従来製品に支持部材を追加して補強を加えた改良設計とする、などの案が考えられる。これらの案のコストや納期などを見積もることで、より優れた設計方針が得られる。

4.2 筐体(きょうたい)形状

筐体のサイズが小さい場合と大きい場合の信頼性を予測した結果を図5(b)に示す。筐体のサイズが小さい場合には、風速70 m/sの風でも機器に生じる振動負荷は疲労強度よりも小さく、信頼性が確保できる。一方、筐体のサイズが大きい場合には、風速55 m/sの風で疲労強度よりも大きい振動負荷が発生し、信頼性が確保できない。



このように、開発したツールを用いることで、設計している屋外機器が十分に信頼性を確保できるかを容易に確認できる。また、このツールで各設計パラメータを事前に検証することで、信頼性を確保できる限界値を把握でき、新規に開発する機器の設計方針を明確にできる。この場合には、例えば、管体のサイズが限界値より小さくなるように設計を工夫する、あるいは現状よりも支持部の剛性を上げることで信頼性を確保する、などの方針が挙げられる。更に、コストや実現性を検討することで、適切な設計方針を選択でき、新規製品の開発期間の短縮が期待できる。

5 あとがき

屋外機器を対象に、シミュレーションを用いた信頼性予測技術と、それをベースに構想設計段階で信頼性を予測するツールを開発した。

また、開発した信頼性予測技術と構想設計用のツールを、屋外機器の製品開発に適用し、開発期間を短縮することができた。

今回は流れと振動を対象とし、製品の稼働状態を加味した設計を可能にするシミュレーション技術について述べた。これ以外の物理現象についても、評価対象のシミュレーションに実験計画法を適用することで、構想設計段階で製品の性能や信頼性を予測するツールを開発することができる。今後、これらについても検討し、開発していく。

文献

- (1) 新エネルギー・産業技術総合開発機構 エネルギー対策推進部. “風速分布”. 風力発電導入ガイドブック. 第9版, 新エネルギー・産業技術総合開発機構, 2008, p.81 - 84.



小川 琢之 OGAWA Takayuki, D.Eng.

生産技術センター 構造設計・製造技術研究センター, 博士(工学)。数値解析, 組立・構造設計技術及びDFM技術の開発に従事。

Mechanical Structure Design and Manufacturing Technology Research Center



篠塚 啓司 SHINOZUKA Hiroshi

生産技術センター 構造設計・製造技術研究センター主任研究員。全社のDFM推進に従事。

Mechanical Structure Design and Manufacturing Technology Research Center