

デジタル機器の信頼性向上を実現するヘルスマニタリング技術

Health Monitoring Technology for Digital Equipment

廣畑 賢治 中村 浩二 須田 幸宏

■ HIROHATA Kenji ■ NAKAMURA Koji ■ SUDA Yukihiko

デジタル機器は、小型・高性能化、多機能化などを背景に利用形態が多様化し、想定外の使用環境や使用方法により不具合が発生するリスクが高くなるおそれがある。ユーザーが予期しない故障に見舞われずに安心して製品を利用し続けられるようにするためには、信頼性向上の新たなアプローチも必要になる。

東芝では、デジタル機器の使用状況や異常な状態を監視し、故障の予兆となる状態を検知するヘルスマニタリング技術を開発し、製品のアベイラビリティ(可用性)と保守サービス力の向上を目指す取組みを進めている。故障発生前の対応策の検討、故障時の原因究明時間の短縮、及び保守の効率化に活用することが狙いである。ヘルスマニタリング技術の拡充と製品展開を進め、デジタル機器の信頼性向上に寄与していく。

With digital equipment being used for many purposes recently, there is an increased risk of failure in the electronic circuit boards and various components of such equipment due to different usage environments and unanticipated forms of use. New technologies to achieve higher reliability are required both to avoid unexpected failures and to allow comfortable use of digital equipment.

To meet these requirements, Toshiba has developed a health monitoring technology featuring diagnostic monitoring and prognostic health management of digital equipment. We are continuing our efforts to expand the functions of this technology in order to realize high availability and serviceability, including reduction of downtime and effective maintenance, by utilizing the health monitoring data.

1 まえがき

電子機器は、想定外の使用環境や使用方法により、不具合が発生するおそれがある。ユーザーが予期しない故障に見舞われないよう、製品の信頼性を向上させるために、東芝はこれまで、CAE (Computer Aided Engineering) や統計手法を活用した技術の開発を進めてきた⁽¹⁾。しかし、モバイル機器の新たなコンセプトや、デジタル機器のリサイクル活用などの新たな利用形態により、ユーザーの使用目的が多様化し、想定外の環境や方法で使用される機会が増える可能性がある。ユーザーが安心して製品を利用し続けられるようにするためには、信頼性向上への新たなアプローチも必要となる。

デジタル機器のヘルスマニタリング技術⁽²⁾は、図1に示すように、機器に組み込まれたセンサで使用状況を監視し異常な状態を予知する技術を活用し、製品のアベイラビリティと保守サービス力の向上を目指す取組みである。故障の予兆を検知することで、故障発生前の対応策の検討や、故障時の原因究明時間の短縮(アベイラビリティ向上)、及び保守の効率化に活用することが狙いである。また、故障の予兆を検知するための情報として収集している負荷履歴データを活用して、設計時の負荷の想定や信頼性試験の加速係数の適正化も可能であり、後継機種種の信頼性の向上にも有用である。

ここでは、デジタル機器のヘルスマニタリング技術をノート

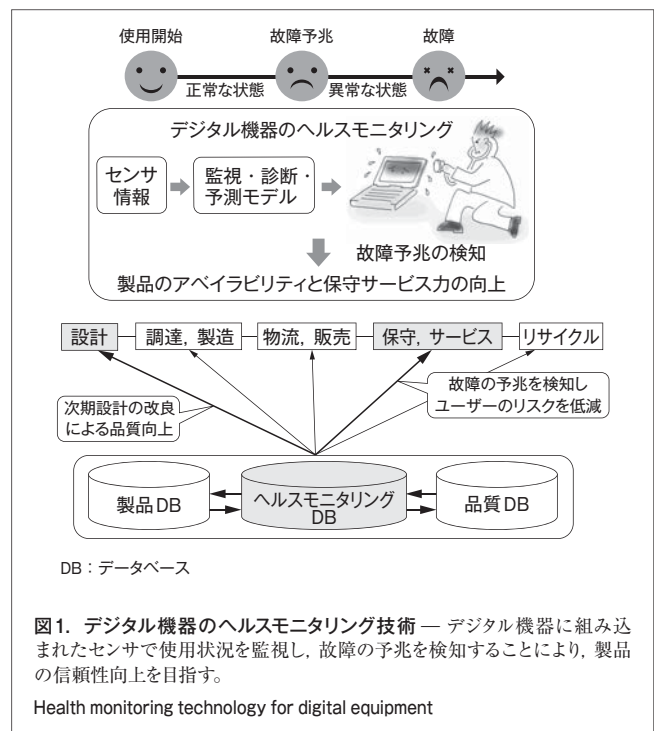


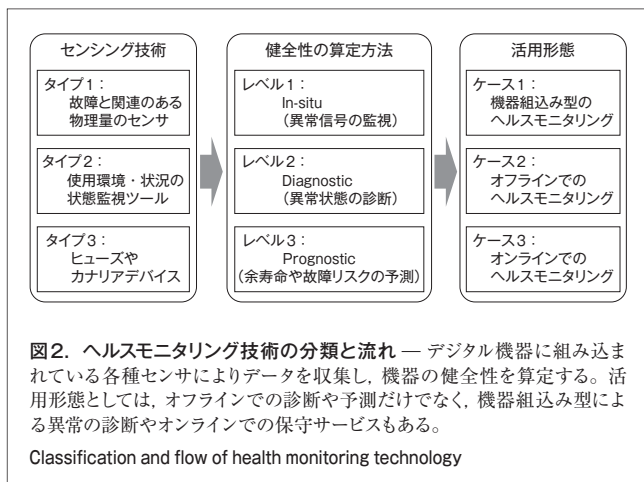
図1. デジタル機器のヘルスマニタリング技術 — デジタル機器に組み込まれたセンサで使用状況を監視し、故障の予兆を検知することにより、製品の信頼性向上を目指す。
Health monitoring technology for digital equipment

PC (パソコン) のプリント基板へ適用した事例を述べるとともに、ユーザーが安心して利用できるための、ヘルスマニタリング技術の開発について当社の取組みを述べる。

2 ヘルスモニタリング技術の構成要素と分類

ヘルスマニタリング技術の主要な構成要素は、センシング技術、健全性の算定技術、及び故障の予兆や不具合発生時の対応技術に分類される。ここで述べる健全性とは、正常な状態から異常な状態への移行度合いの低さを意味する。

デジタル機器のヘルスマニタリングでは、図2に示すように、まずセンシングとして、デジタル機器に組み込まれている温度センサなどの各種センサや、基本ソフトウェア (OS) 上に常駐した状態監視ツール、あるいはヒューズやカナリアデバイスなど負荷を受けたときに主要部よりも早く破損するように設計されたデバイスから、データを収集する。次に、モニタリングデータから機器の健全性を算定する。故障の予兆や不具合の発生を検知後、機器内のデータのバックアップなど、故障前に対応策を行う。ヘルスマニタリングの活用形態としては、保守時や故障時におけるオフラインでの健全性の診断や予測 (一種のフライトレコーダ) だけではなく、機器組込み型による異常の診断や、通信ネットワークを活用したオンラインでの保守サービスがある。



3 デジタル機器への適用例

デジタル機器の小型・薄型化と高性能・多機能化への要求から、素子の高密度実装化、部品の基板内蔵化、信号伝送の高速・大容量化、及び部品の高発熱密度化が進むと予想されている。機器使用形態の多様化により、想定外の使い方をされると、構成部品やプリント基板の不具合が発生する懸念がある。

一般に、機器の故障モードや不具合現象は多様であり、故障の予兆を的確に察知するのは容易ではない。しかし、主要な故障モードについて、不具合現象に関するデータをデータベース (DB) に蓄えて類型化を図り、故障予兆に対する監視・診断・予測モデルを高度化することにより、機器の状態を表す

モニタリングデータから異常な状態を検知できるようになる。ヘルスマニタリング技術の実現には、製品の信頼性を向上させるためにこれまで培ってきた品質DBに基づき、合理的かつ実用的な監視・診断・予測モデルを構築することが鍵となる。

一方、故障予兆の指標を直接モニタリングできない場合も多い。そこで当社は、具体的な製品の不具合現象について蓄積された品質DBを活用し、統計的な手法でモデルを構築し、それに基づいて有効なモニタリングを実現する技術を新たに開発した。これにより、故障予兆の直接的な指標となる物理量を測定できないケースでも、関連のあるいくつかの物理量を監視することによって、性能低下、累積負荷、及び疲労度合いといった健全性の算定を行うことができる。

デジタル機器の主要な構成要素であるプリント基板への適用例を基に、ヘルスマニタリング技術の方法論や有効性について以下に述べる。

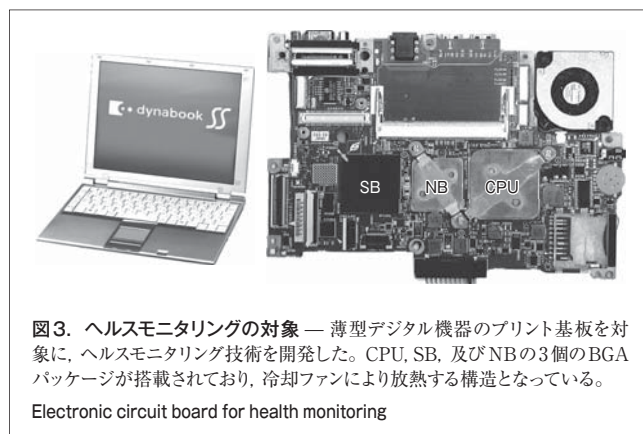
3.1 適用対象

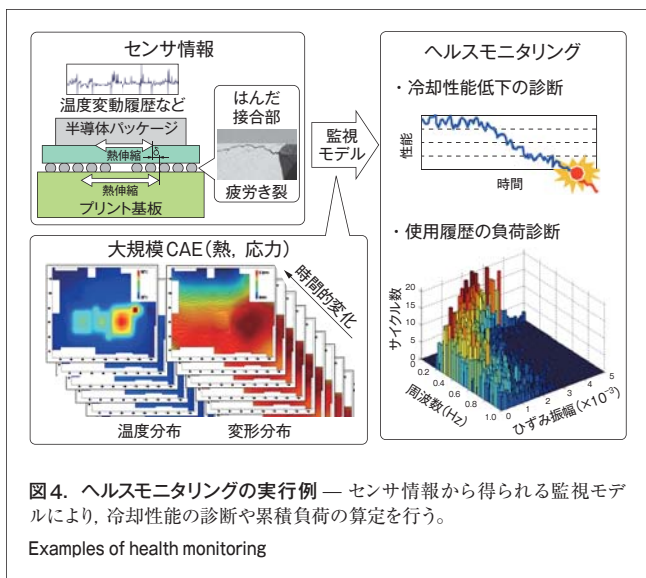
当社は、図3に示すような薄型デジタル機器を対象として、ヘルスマニタリング技術を開発した。プリント基板には、CPU、SB (South-Bridge)、及びNB (North-Bridge) の3個のBGA (Ball Grid Array) パッケージが搭載されており、冷却ファンで放熱される構造になっている。機器稼働中にCPU、SB、NBの各温度と冷却ファンの回転数がモニタリングできることを想定した。

図4に示すように、機器に組み込まれたセンサから得られるモニタリング変数のデータ履歴から、監視モデルにより、対象とする不具合現象に関連する温度や変形量といった物理量を算出する。ここで、稼働試験だけではなく機械系シミュレーション技術 (大規模CAE) も活用して監視モデルの作成を効率化する。この物理量分布から、冷却性能の低下や使用履歴の累積負荷算定の診断を行った具体的な手法を以下に述べる。

3.2 冷却性能低下の算定法

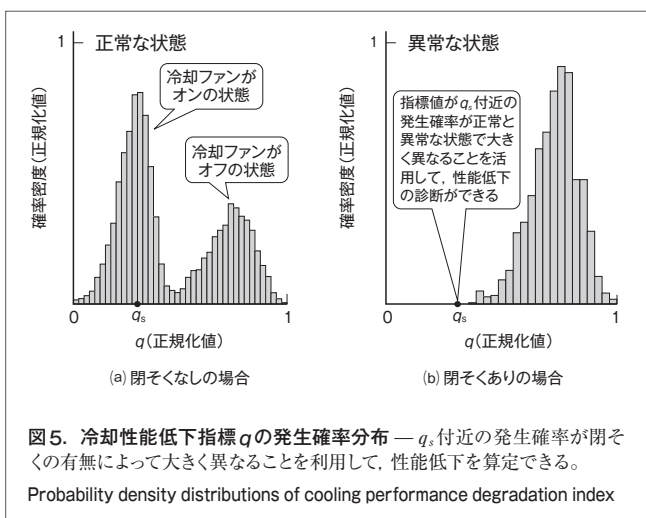
電子機器の冷却ファンの周辺にほこりがたまり空気の流れが閉そくされる場合、及び排気口付近や空気流の入口付近に書類などの障害物が存在する場合には、冷却性能が低下する





ことによりCPUにスロットリング(強制的なCPUの動作周波数の抑制)が発生し、機器のレスポンスが遅くなることがある。このとき、ノートPCの実装基板には、閉そく時の特徴的な温度パターン(時間的・空間的分布)が生じる。ここでは、冷却性能の低下を算定した事例について述べる。

基板上の2点間の温度差を発熱量で割った値を冷却性能の低下指標 q として、冷却ファンの排気口閉そくの有無それぞれにおいて、 q に関する確率分布を求めた。発生確率が冷却性能の低下状態と正常な状態で大きく異なるような領域ができるだけ広範囲に生じるように、モニタリング条件(温度センサの配置位置)を適正化した。これにより、少数の温度センサで環境変動にロバストな算定が可能になった。冷却ファンの排気口を閉そくさせない場合(正常な状態)と閉そくした場合(冷却性能の低下状態)について、得られた q の発生確率分布を図5に示す。 q_s の付近に正常な状態だけに現れる q の領域が存在することから、冷却性能の低下指標 q をモニタリング



し、 q_s 付近の発生確率を算出することで、冷却ファンの排気口閉そくによる冷却性能の低下が算定できる。

3.3 監視モデルによる累積負荷算定法

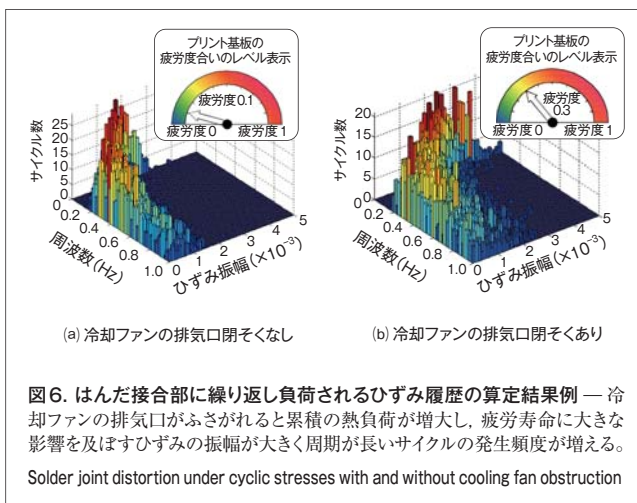
電源のオン/オフなどの温度変動や環境の温度変化に伴って、プリント基板には各部の線膨張率差に起因して熱応力が繰り返し発生する。その結果、はんだ接合部などにひずみが繰り返し負荷され、疲労による損傷が蓄積されていく。

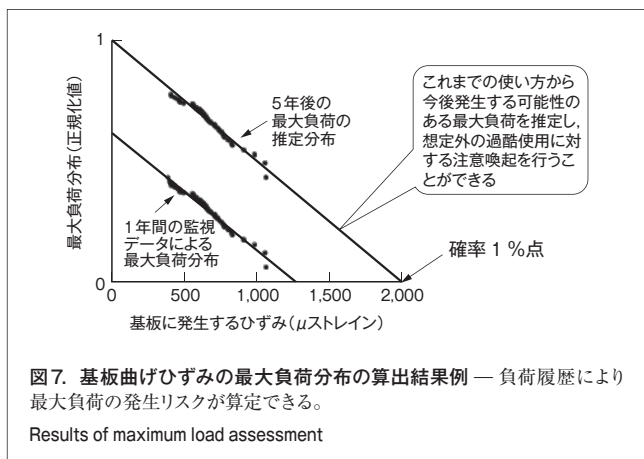
負荷の算定を行う場合、繰返し負荷による故障モードと最大荷重による故障モードでは必要な情報は異なる。繰返し負荷に起因した不具合現象の代表例は、疲労破損である。最大荷重による不具合現象としては、変形や荷重及び衝撃などの大きな負荷により、短時間に完了する破損現象が挙げられる。繰返し負荷の故障モードでは、どのような大きさの負荷が何回作用するかという頻度のデータに関する情報がたいせつとなる。一方、最大荷重による故障モードでは、設計寿命の間に発生する負荷の最大値や、ある大きさの負荷が最初に発生するまでの時間などが重要となる。

ここでは、電源のオン/オフなどに起因して生じる温度変化により、プリント基板に繰り返し作用する熱ひずみの増減を一つのサイクルとし、その発生頻度を振幅と周期(サイクル時間)の大きさごとにカウントした事例を述べる。

素子クラックなどの最大荷重による破損で重要となる極値統計による最大負荷の推定方法を用いて、プリント基板が受ける最大の曲げひずみを、機器の使用履歴から算定した。また、プリント基板におけるBGA半導体パッケージのはんだ接合部の熱疲労破損を対象に繰返し熱負荷を算定した。

ここで、冷却ファンの排気口に障害物を置いた場合と置かない場合の2条件において、CPU、NB、SBの素子温度及び冷却ファンの回転数に関する時系列データ1年分を生成した。これらをモニタリングデータとして熱負荷を算定し、CPUはんだ接合部に繰り返し負荷されるひずみ履歴としてひずみ振幅とサイクル周波数の頻度分布を算定した結果を図6に示す。





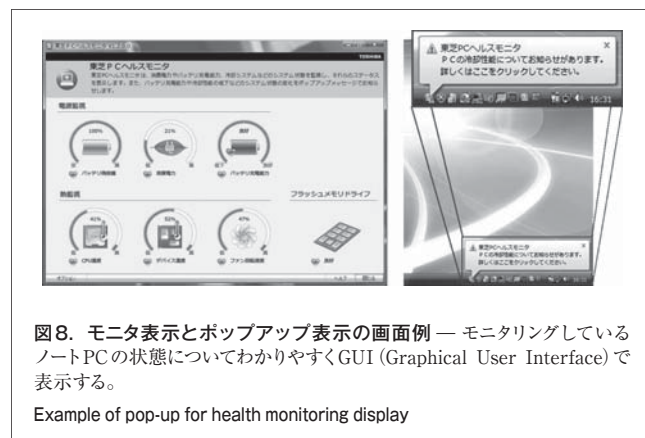
冷却ファンの排気口を閉そくさせた場合、疲労寿命に大きな影響を及ぼすひずみの振幅が大きく周期が長いサイクルの発生頻度が増えていることがわかる。構成部材の疲労線図を介して累積損傷値(疲労度合い)を算定することも可能であり、保守や信頼性設計への活用が期待できる。

不規則な変動負荷における最大負荷の推定には極値統計の手法を用いることができる。5年分の不規則変動データの時間軸を一定間隔(ΔT:ここでは、2ヶ月)で区切り、各ΔTにおける最大負荷 x (区間最大値)を取り出す。区間最大値の分布として、プリント基板に生じる曲げひずみの最大負荷の分布を算出した結果を図7に示す。今回対象とした1年分の温度履歴データから、5年間で最大2,000 μ ストレイン(確率1%点)の基板曲げひずみを生じさせる最大負荷を受ける可能性があることがわかる。過酷な使用に対するユーザーへの注意喚起や、故障時の原因究明時間の短縮にも活用が期待できる。

4 ヘルスモニタリング技術のノートPCへの展開

当社は、ヘルスマニタリング技術への取組みの一つとして、ノートPCの使用状態を監視することにより故障の予兆となる状態を検出し、故障発生前にその予兆をユーザーに通知するとともに対応策を提示する、東芝PCヘルスマニタ⁽³⁾を開発した。dynabook™ Satellite K30を皮切りに搭載を進めており、以下の四つの機能で構成されている。

- (1) モニタ機能 ノートPCに内蔵されている各種センサにより、使用状態の監視とデータの保存を行う。
- (2) 予兆検出機能 センサによる監視データを解析し、故障予兆の判定条件と比較することで、予兆を検出する。
- (3) 予兆通知機能 ポップアップ表示やユーザーフレンドリなモニタ画面により、ノートPCの状態をわかりやすく表示する(図8)。
- (4) 予兆発生時の対応機能 故障を未然に防ぐための対応方法をわかりやすく提示する。



今後も、ユーザーが安心して機器を使い続けるため、ノートPCに内蔵されている各種ユニットのヘルスマニタリング技術を拡充するとともに、ヘルスマニタリング情報を活用した保守サービス機能などを実現していく。

5 あとがき

デジタル機器の使用状態や健全性を監視し、故障の予兆となる状態を検知するためのヘルスマニタリング技術について述べた。また、ノートPCのオペラビリティと保守サービス力の向上を目指す当社の取組みについて述べた。

今後も、ヘルスマニタリング技術の拡充と製品展開を進め、製品の信頼性向上を目指していく。

文献

- (1) 廣畑賢治, ほか. 高機能デジタル機器のエレクトロニクス実装信頼性設計. 東芝レビュー. 60, 5, 2005, p.6-9.
- (2) Pecht, M.G. Prognostics and Health Management of Electronics. New Jersey, USA, John Wiley & Sons, Inc., 2008, 315p.
- (3) 儘田 徹. ノートPCの故障予兆技術. 東芝レビュー. 64, 5, 2009, p.64-65.



廣畑 賢治 HIROHATA Kenji, D.Eng.

研究開発センター 機械・システムラボラトリー 主任研究員、工博。電子機器の信頼性設計技術の開発に従事。日本機械学会、電子情報通信学会、エレクトロニクス実装学会会員。Mechanical Systems Lab.



中村 浩二 NAKAMURA Koji

PC & ネットワーク社 PC開発センター PCコア技術開発部グループ長。ノートPC要素技術の開発に従事。PC Development Center



須田 幸宏 SUDA Yukihiko

PC & ネットワーク社 PC開発センター PCソフトウェア設計部主査。PCソフトウェアの開発に従事。電子情報通信学会会員。PC Development Center