

# 疲労センシング技術の開発

## Development of Fatigue Sensing Technology



仁瓶 寛太 Kanta Nihei  
 小林 朋平 Tomohei Kobayashi  
 今井 達也 Tatsuya Imai

機械・構造物が繰返し負荷を受けたときの疲労ダメージを検知する“疲労センサ”を開発した。一定期間後にセンサのき裂進展量を測定するだけで余寿命診断可能で、さまざまな製品への適用を開始している。また、高温機器に対しても精度の高い疲労余寿命診断技術を開発した。

Fatigue detecting sensor, which detect the fatigue damage of machinery and structures, has been developed. Estimation of fatigue remaining life of products can be conducted by measuring the crack growth length of the fatigue detecting sensor. We are starting for application to various products. And, for the high temperature components, we have also developed a high-precision remaining life assessment technology.

### 概要

鉄道車両、橋梁、船舶等において、設計寿命に対し延命を図る動きがあり、既存品の維持管理・補修していくことが重要となりつつある。これら製品においては、特に疲労損傷に対するケアが重要であるが、その診断方法は十分に確立されているとは言えない。疲労損傷の発生部位・発生時期を精度良く予測し、さらに応急補修の必要性を判断したり、補修効果の評価を的確に行うことが求められている。このような背景のもと、当社独自の“疲労センサ<sup>1)2)</sup>”を開発し、製品の疲労損傷度・余寿命の推定に適用している。本稿では、この疲労センサの原理・機構、基本特性、適用実施例について紹介する。

また、ガスタービン等の高温機器については、定常運転中に高温環境にさらされるため、クリープや高温疲労などの損傷を受ける。これまで経年設備ボイラや蒸気タービンでは、性能・信頼性を維持したまま延命する目的で、余寿命診断技術が開発・適用されており(図1)、これをガスタービンにも適用することを計画当中である。



図1 適用対象例(発電ボイラ)  
 Fig. 1 An application example of fatigue sensing technology (Boiler)

### 1 疲労損傷センシング技術

#### (1) 疲労センサの開発

疲労センサの基本構造は図2に示すように、センサ(スリット入り純ニッケル)箔とベース(高Ni不変鋼インバー)箔が2枚重ねとなっており、センサ箔の両端がベース箔に接合された構造となっている。箔の接合には、主に“Parallel Gap Resistance Micro-joining”と呼ばれる微小抵抗溶接を用いている。

疲労センサの原理は金属箔のき裂進展特性を応用したもので、図3に示すように、繰返し応力を受ける部材に貼付しておき、疲労センサのき裂進展量を点検して実働中の疲労損傷度を評価する。現在、ひずみ感度別(下限界ひずみ範囲  $\epsilon_h = 95 \sim 950 \times 10^{-6}$ )に8種類のセンサを開発し、その外形寸法は、長さ9~36mm×幅7~22mm×厚さ0.07~0.25mmである。センサ箔のき裂進展量は、拡大鏡やマイクロスコブを用いて、簡単に計測できる。本方式は、応力計測を主とする従来方式と比較して、計測器・配線が不要なため、コストを低減でき、また、製品の実運用

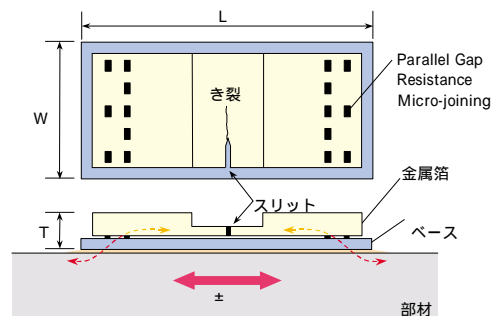


図2 疲労センサの基本構造  
 Fig. 2 Structure of fatigue detecting sensor

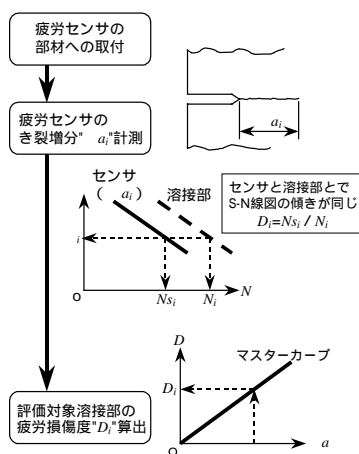


図3 疲労センサによる疲労損傷度評価フロー  
Fig. 3 Flowchart of fatigue damage estimation by fatigue detecting sensor

表1 開発した疲労センサ<sup>2)</sup>の利点  
Table 1 Advantage of fatigue detecting sensor developed

従来型疲労センサ <sup>1)3)4)</sup> との相違点	利点(効果)
・センサ箱をベースに予め接合した構造とした。	貼付作業が簡単
・センサ箱について、 (1)引張りの残留応力を付与した。 (2)厚さを段付きにした。 (3)フォトエレクトロフォーミング等の製造技術を適用した。	(1)感度向上 (2)寸法小型化 (3)寸法精度向上

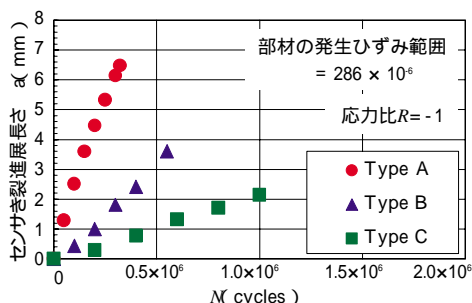


図4 疲労センサ基本特性の例  
Fig. 4 A characteristic example of characteristic of fatigue detecting sensor

状態を長期間モニタできるなどメリットが大きい。

今回開発した疲労センサ<sup>2)</sup>の特徴について、従来から提案されている疲労センサ<sup>1)3)4)</sup>との相違点を整理し、その利点を表1に示す。

疲労センサの基本特性の一例を図4に示す。疲労センサのき裂進展速度はき裂長さに依存せず、ほぼ一定となる。したがって、疲労センサのき裂進展量から疲労余寿命を精度良く簡便に評価できる。

## (2) ガスタービンの疲労センシング

近年ガスタービンにおいては、起動停止を頻繁に行う運転形態が増加しており、起動停止に伴う熱疲労に対する損傷評価の要求は高まっている。そこで、ガスタービンのロータ材として用いられる12Cr鋼について、熱疲労を考慮した余寿命診断法を開発した。開発した手法はボイラでも実績のある微視き裂観察法であり、予め用意した微視き裂



図5 適用対象例(中央高速道路)  
Fig. 5 An application example of fatigue detecting sensor (Highway bridge)

長さや損傷度の関係を用いて評価を行う。

## 2 疲労損傷センシング技術の展開と実機適用

### (1) 疲労損傷センシングの展開

疲労センサについては、さらなる寿命診断精度の向上、および耐環境適用性の向上、無線遠隔モニタ方式の開発等に取り組んでいる。

### (2) 実機適用

開発した疲労センサを用いた疲労損傷評価技術を適用することにより、経年した製品の疲労余寿命を診断し、客先に高度なメンテナンスの判断材料を提供している。下記製品群に総計700枚以上の疲労センサを適用中あるいは適用済みである。

橋梁；中央高速道路(図5)、首都高速、阪神高速など道路橋

鉄道車両；JR西日本・特急および通勤車両、JR貨物・コンテナ貨車、京阪電鉄・通勤車両、ほか  
軌道設備；札幌市営地下鉄・転てつ器、神戸新交通ポートアイランド線・案内軌条

船舶；川崎汽船・バルクキャリア、佐渡汽船・ジェットfoil

なお、開発した疲労センサは当社製品以外の自動車や航空機さらに家電などにも適用可能である。

### 参考文献

- 1) 仁瓶, 堀川, 公江, 尾野, 高杉, 岡田, 武: 特開 昭 62-265558
- 2) 仁瓶, 小林, 尾野, 公江, 嵩, 村上, 西山: 特許 第 3342467号
- 3) 藤本: 特開 平9-304240
- 4) 阿部: 特開 平10-185854



仁瓶 寛太



小林 朋平



今井 達也