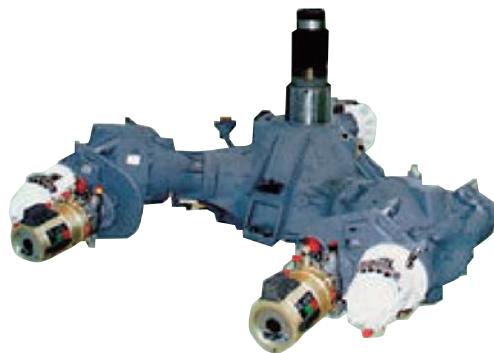


特 集 論 文

ヘリコプタ用トランスミッションの
異常検知技術Helicopter Gearbox Anomaly Detection
Technology Using Vibration Monitoring松浦 大輔^{*1}
Daisuke Matsuura大谷 洋^{*2}
Hiroshi Oya

近年、世界各国において振動モニタリング装置を搭載したヘリコプタが登場し始めている。トランスミッションの振動をモニタすることで、異常を早期に発見し安全性の向上を図ることを目的としている。当社では、防衛省海上自衛隊のSH-60K 哨戒ヘリコプタに日本で初めて本格的に振動モニタリングを可能とする装置を搭載し、マハラノビス・タグチ・システムを採用した異常検知技術を開発中である。本技術は、安全性の向上に寄与するとともに、将来的には最も経済的な整備方式である状態監視整備導入への基盤技術として期待できる。

1. はじめに

ヘリコプタ用トランスミッションは冗長性が低く、故障が航空事故に直結することから、高い安全性が求められる。多くのヘリコプタでは、異常を検出するため、金属探知装置や潤滑油の分光分析が用いられてきた。しかしながら、金属探知装置では損傷発生後の検知となること、また、潤滑油の分光分析では試料採取時にしか検査できないことから、異常の早期検出には限界があった。

一方、歯車や軸受の異常が振動に現れ、振動をモニタすることで異常の早期検出が可能なのは古くから知られていたが、1980年代まではデータ処理や蓄積を行う処理装置の大きさ、重量などから航空機への搭載は現実的ではなかった。1990年代になるとデータ処理技術の飛躍的進歩を背景に、機上における大量のデータ取得や記録が可能となり、英国、米国を中心にヘリコプタに振動モニタリング装置が搭載され始めた。しかしながら、取得したデータを基に異常を検知する技術については、近年世界各国で盛んに研究されているが、いまだ標準化されたものは存在せず、研究段階もしくは専門家による判断を要する状態である。

当社も平成17年8月に防衛省海上自衛隊に納入したSH-60K 哨戒ヘリコプタの量産初号機から多機能型フライト・データ・レコーダ（FDR：Flight Data Recorder）を搭載し、トランスミッションの振動モニタリングを可能とした。

ここでは、SH-60Kの実運用データを基に検討した

異常検知手法について紹介する。

2. 多機能型 FDR

多機能型 FDR は信号処理器、メモリカード記録器、各種センサ類により構成され、次の機能を実現するためのシステムである。多機能型 FDR のシステム構成を図1に示す。

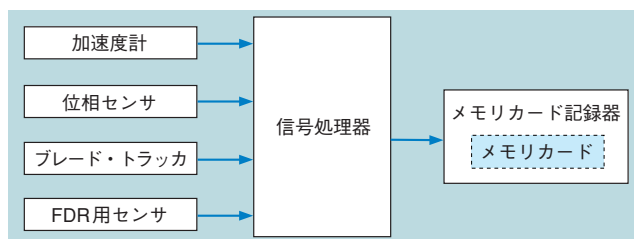


図1 多機能型 FDR システム構成

(1) トランスミッション系統振動レベル記録機能

トランスミッション系統に装備された16個の加速度計（図2）により、振動データを記録する。この機能を活用し、トランスミッションの異常検知を

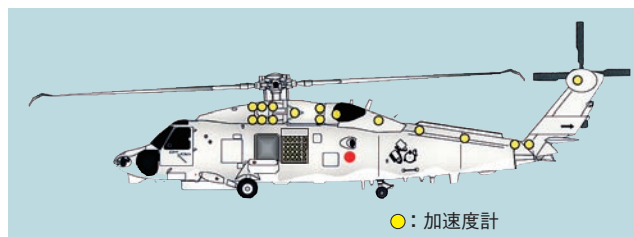


図2 トランスミッション系統の加速度計

^{*1} 名古屋航空宇宙システム製作所ヘリコプタ技術部装備設計課

^{*2} 名古屋航空宇宙システム製作所ヘリコプタ技術部装備設計課長

行う。

(2) 振動調整支援機能

メイン・ロータのトラック・アンド・バランス調整などの振動調整に必要な振動データを得る。常時記録されるデータを活用し、整備作業後の確認飛行の削減が可能となる。

(3) 作動ステータスマニタ機能

電子機器の作動状態の時暦データを記録する。一過性事象又は非再現不具合の故障探求には特に有効である。

(4) FDR 機能

不時の航空事故の際、事故原因の解析、究明に有効なデータを得る。

3. 振動モニタリング

3. 1 振動データ

トランスミッション系統に装備された加速度計はあらかじめ設定された飛行条件に合致した場合に計測を開始する。計測されたデータは直ちに信号処理器で周波数解析 (FFT 解析) され、回転体の特徴を表す特定の周波数の振動振幅がメモリカードに記録される。この特定の周波数の振動振幅は特徴量と呼ばれ、評価に使用する特徴量は 1000 種類に及ぶ。SH-60K では、評価用データとして平成 17 年から平成 19 年にかけて数千飛行時間に及ぶデータが蓄積されている。

3. 2 マハラノビス・タグチ・システムの採用

従来の判別分析は取得したデータが正常と異常のどちらに属するかを判別する方法であるため、正常、異常の両集団を定義する必要があった。しかしながら、ヘリコプタ用トランスミッションは高い信頼性を持った機器であるため、異常が発生することはまれであり、また故障を模擬した試験を実施することも費用的に難しく、異常データの収集が困難であった。

また、従来の振動モニタリングによる状態監視は、広帯域の振動積分値による簡易診断が主流であったが、信頼性が低く、専門家による診断が必須であった。

上記の問題を解決するため、現在、異常検知を行うデータの診断法としてマハラノビス・タグチ・システム (MTS: Mahalanobis Taguchi System)⁽¹⁾⁽²⁾ の適用を試みている。MTS は単位空間と呼ばれる特定の性質を持つ集団に対し、調べたい対象がどれくらい離れているのかをマハラノビス距離で評価する方法である (図 3)。マハラノビス距離は多次元の変数間の相関を考慮に入れた距離であり、ある単位空間からの離れ具合を一つの尺度で表すことができる。

MTS では、単位空間に正常データ集団を選択すれば、異常データ集団を定義しなくても、調べたい対象

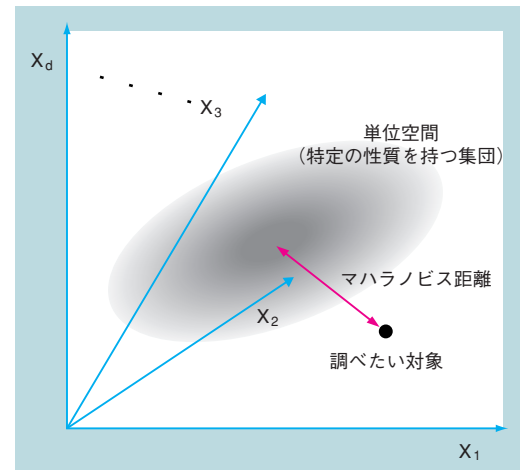


図 3 MTS 概念図

を正常データ集団からの離れ具合のみで正常か否かを評価できる。したがって、評価対象がヘリコプタ用トランスミッションのように異常データの収集が困難な場合には有効な方法である。

また、この MTS による診断により、回転体の特徴を表す多くの特徴量を統合し、マハラノビス距離という一つの指標による評価が可能となる。したがって、従来の簡易診断より迅速かつ、適切な判定が可能となる。さらに、判定基準を設定することにより自動判定が可能となり、運用者及び専門家の負担を大幅に減少させることが期待できる。

MTS による異常検知フローを図 4 に示す。

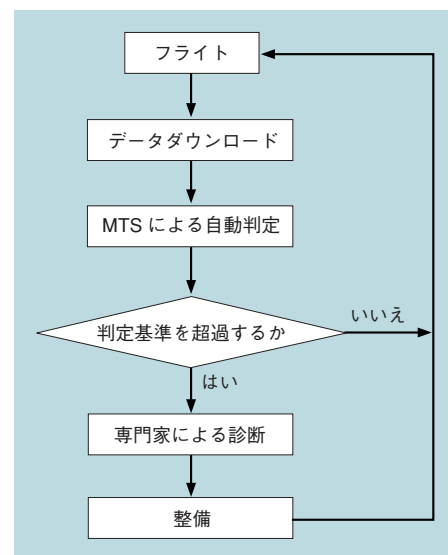


図 4 異常検知フロー

3. 3 マハラノビス・タグチ・システムによる診断例

SH-60K のトランスミッションに異常が発生した例はない。したがって、振動レベルを意図的に大きくしたデータの MTS による診断例を示す。

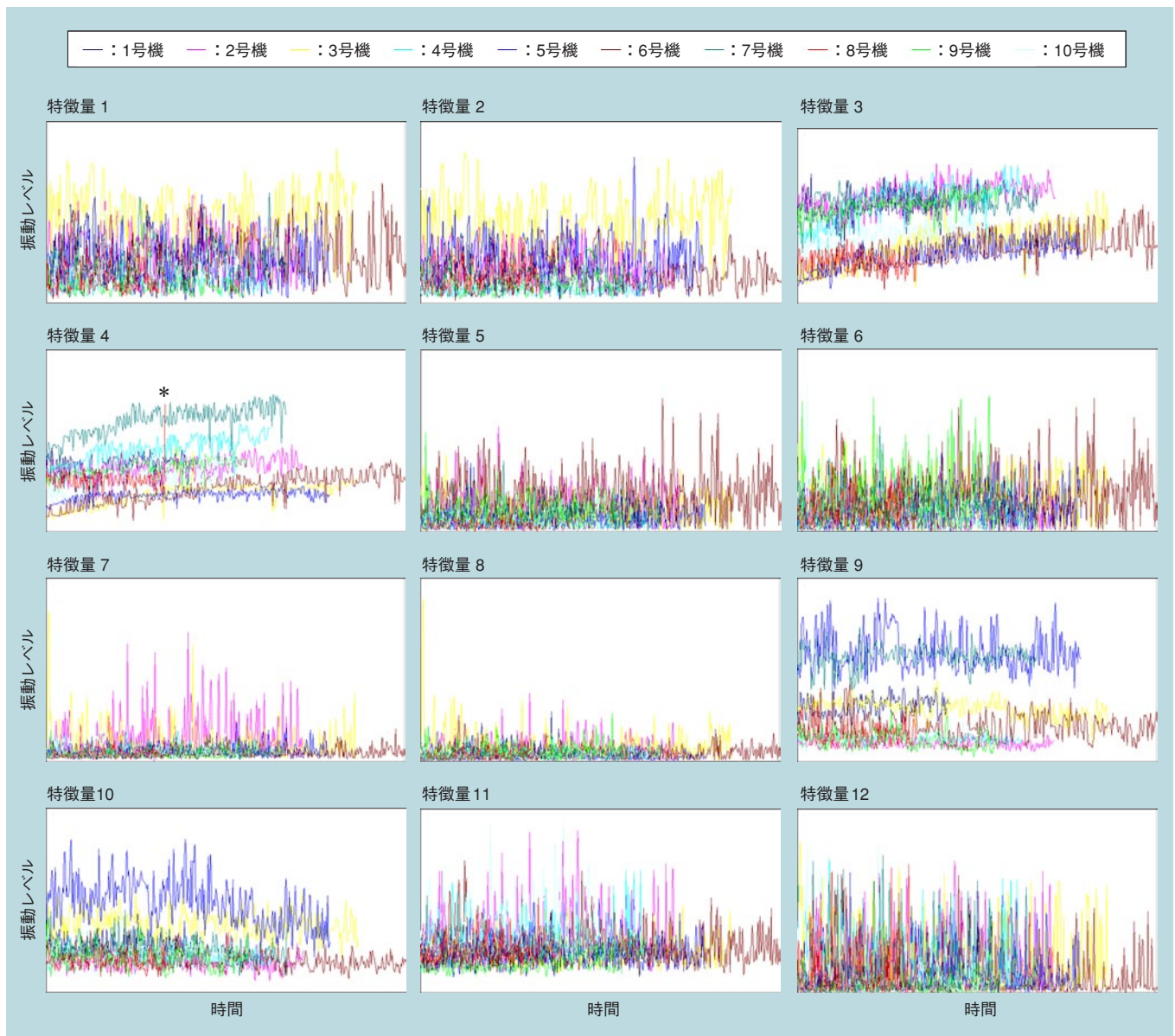


図5 診断に用いる特徴量

図5に10機分の振動レベルの時間経過を示す。診断に用いた特徴量は、評価部位をトランスミッションの構成部品である補機駆動用ギアに限定し、12種類とした。

特徴量4の8号機の振動レベルを意図的に大きくした(図5*印)。特徴量4は機体間の差異が大きいため、意図的に大きくした振動レベルは8号機としては非常に大きなレベルであるが、全体的には目立たず、見落としてしまうようなレベルである。

図6にMTSによる診断結果を示す。意図的に振動レベルを大きくした特徴量を持つ8号機で大きなマハラビス距離が算出され、明確に変化が現れていることが分かる(図6*印)。MTSにより、図5では見落としてしまうような振動レベルを正常状態と異なる事象として判別可能であることが確認できた。

3.4 実運用までの道筋

MTSが異常検知を行うデータの診断法として有効であることは確認できたが、今後、防衛省海上自衛隊における実運用を支援するために、以下の検討を行う必要がある。

(1) 単位空間の適正化

現在運用中の機体にて単位空間を作成したが、機体間の差異が大きい特徴量もある。将来製造されるすべての機体に対応できるようなシステムの構築を目指して、更なるデータ蓄積を行い、単位空間に用いる正常データ集団の適正化を図っていく。

(2) 妥当な判定基準の設定

MTSによる自動判定を行うため、判定基準を設定する必要がある。判定基準は低いと誤検知が多くなり、高いと異常を見逃す場合がある。双方のバラ

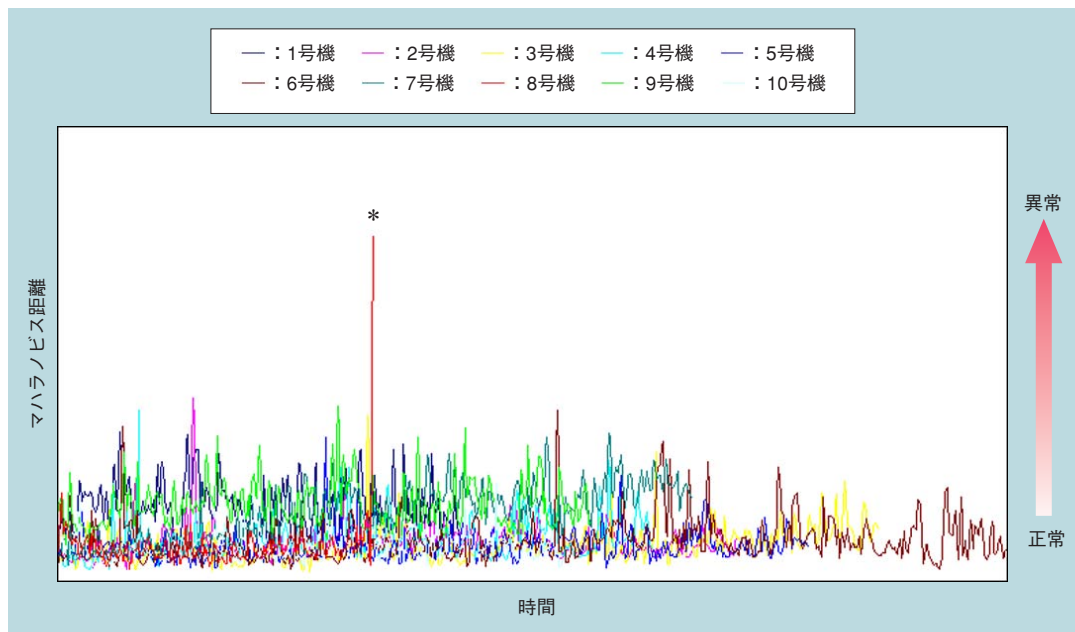


図6 MTS による診断結果

ンスが取れた判定基準を検討する。

4. ま と め

振動モニタリングによる異常検知に多くの特徴量及びMTSを使用することにより、診断が簡便かつ効率的になることを示した。

将来的には、安全性向上のみならず、ヘリコプタの整備方式を定期的な計画整備から状態監視整備に移行させ、整備コスト削減、稼働率向上に大きく貢献するツールにすべく、異常検知技術の開発を続けていく所存である。

参 考 文 献

- (1) 鴨下隆志ほか，おはなしMT（マハラノビス・タグチ）システム，日本規格協会（2004）
- (2) 田口玄一ほか，MTシステムにおける技術開発，日本規格協会（2002）



松浦大輔



大谷洋