

# 音響情報処理を用いた機械の 異常診断システムの開発

広島大学工学部  
教授 工学博士

中川 紀壽

## 1. はじめに

最近の産業機械や交通機械などの機械系の高パワー化と急速なコンピュータ制御化による無人化のため、1つの事故発生や緊急停止による被害は、従来よりも膨大になる傾向を示している。この被害は直接被むる人的、経済的被害のみならず、今日では、社会生活に及ぼす間接的被害も大きなものとなっている。そのため、事故が生じた後でその原因を究明し修復するのみではなく、未然に如何に機器や装置の異常の予知や診断を行えるかが重要な鍵となる。また最近では、機械系の安全性は勿論のこととして、さらに機械と人との調和の観点から、感性をとり入れた静音化技術が要求されてきている状況である。

本研究は、このような音響に対する社会的関心の高まり傾向とも関連して、機械系の運転状態の異常診断に、音響情報を積極的に利用する方法を研究し、機械の異常予知・診断および正常化処理技術を兼ね備えた、異常診断システムの開発を行うものである。

機械の異常診断を行うために、これまでは主として、変位の振幅や振動数などの振動情報が多く用いられ、例として、大型回転機械や軸受などの異常診断に適用したものが挙げられる。しかし、音響データから機械の振動数や変位の速度など、機械の特性を知ることができ、さらに音を用いることによる、種々の優位性が考えられるため、異常診断に音響情報を用いること

とする。機械からの音と言う場合、一般には騒音という言葉で連想させ、社会に対するネガティブなイメージを与えそうであるが、この音をむしろ、機械の活動状態に関する重要な“情報”を伝えるものとして捉え、“音響”と認識することにする。

## 2. 音響異常診断システム

図1には、7つのパートから成る、音響情報を用いた異常予知・診断システムの構成を示す。まず、Aにおいては、本研究の基礎となる、音響の収集データから固有の特性を分析するための、データ解析処理法をデータの収集法をも含めて検討し、音響データ解析処理システムを構築する。この処理システムを用いて、実際の音響データの収集と分析をBで行うと共に、Cにおいては、従来、研究の行われている振動情報データについても解析を行い、それぞれのデータバンクを作成する。次に、Dでは、理論的裏付けとして、機械から発生する音響の音場や、音響エネルギー流れを示す音響インテンシティ分布を求めるためのシミュレーションシステムを開発する。一方Eでは、Dにおける順解析に対する逆問題として、測定で得た音響データから、それを発生させた箇所や原因、また構造内のエネルギー伝播経路や発生メカニズム等を推定するための、音響発生原因・伝播経路探索システムの開発を行う。そしてFでは、異常を修復するための正常化技術・手法を確立する。最後にGでは、これらの研究を体系化して、音響異常予

知・診断システムを構築し、現場の機械への適用および有用性の検証を行うと共に、改良を加えてシステムを完成させる。

このシステムを仕上げるには、AからFまでの各パートにおける、十分な解析と検討が必要であると共に、システムの総合化へ向けて、パート相互間の緊密な連絡・調整を必要とし、それに見合った長期の研究期間を要する。なお、図中に示されていないが、音場の可視化を取入れることにより、音場の設計を効果的に行うことができる。

### 3. 異常診断の例

異常診断の例として、ころがり軸受について

行った結果の概要を示す。用いた軸受は、単列深溝玉軸受（呼び番号6000）であり、玉軸受の内輪および外輪軌道面に、銅球を押しつけて、円周方向長さが0.37~0.91mmの傷を与えた。音の収集装置はDAT(SONY製、TCD-10)、分析装置は、バンドパスフィルタ群で構成されているリアルタイム周波数分析器(B&K製、2133型)であり、リアルタイム周波数分析器からの時系列出力信号をマイクロコンピュータ(NEC製、PC-9801VX)で処理し、音の大きさ(音の原波形の包絡線)の時間的変化に着目して解析した。その結果の例として、内輪に傷がある場合の音の大きさ(振幅)の時間的変化を図2に示す。

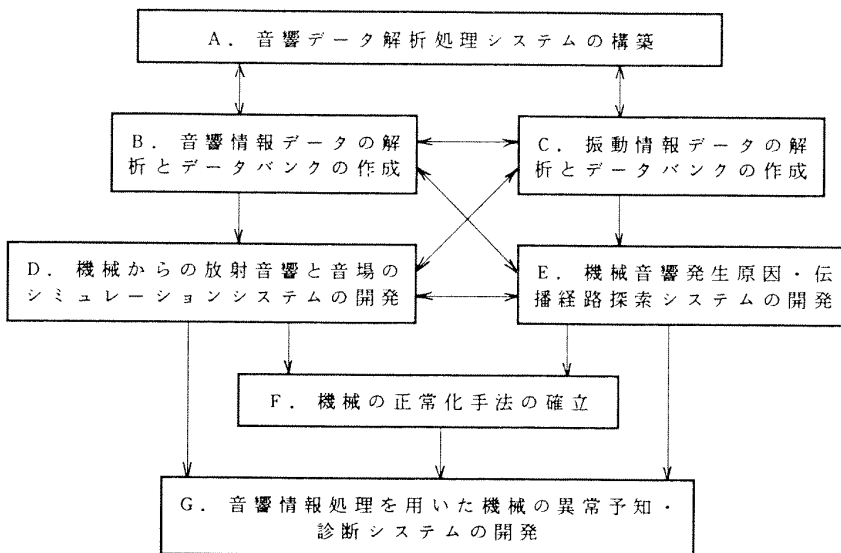


図1. 音響情報処理を用いた機械の異常診断システム

各周波数帯について示されているが、800、1000、5000、6300Hz成分に、傷による音響の特徴が現われている。なお、 $M_1$ 、 $M_2$ 、 $M_3$ はモータによる音響成分を示す。同図の上部に、音響の原波形を示す。外輪に傷のある場合の例を図3に示

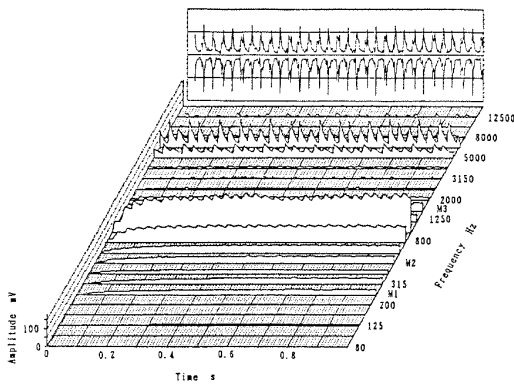


図2. 内輪に傷のある軸受から発生する音響

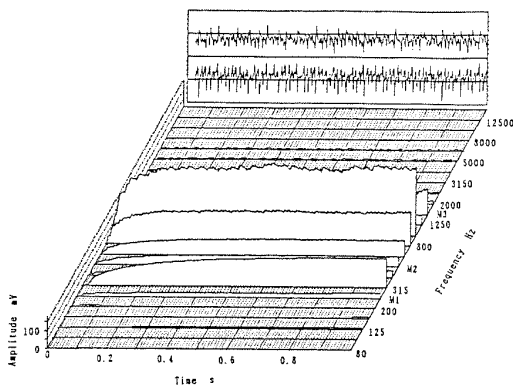


図3. 外輪に傷のある軸受から発生する音響

す。前図と同様800、1000Hzの音響に、傷による特徴がみられるが、5000、6300Hzにはみられない。そこで、異常音の特徴が含まれている800、1000Hzの周波数帯について、振幅の時間的変化の様子をさらに詳しく調べた。図4は、内輪上にある各傷の長ささと振幅の変化との関係を、800Hz周波数帯について示したものである。最小の傷を除いて、正常な軸受の波形と識別できることがわかる。この発生音の周期は、内輪の回転周期と一致している。一方、図には示していないが、外輪に傷のある軸受からの発生音の周期は、転動体が外輪の傷を通過する周期にほぼ一致した。内輪に傷がある場合の1000Hz周波数帯における、振幅の変化を図5に示す。この場合は、最小の傷についても識別できることがわかる。

異常を検知し、その原因を検討した上で修復

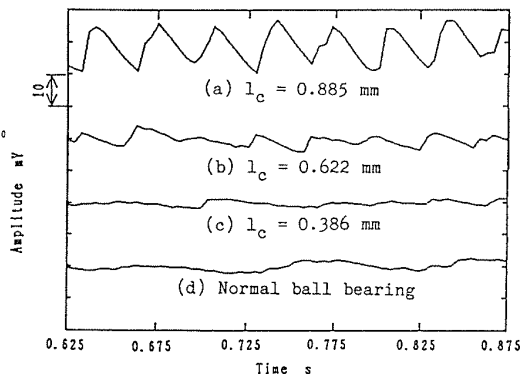


図4. 800Hz帯の振幅の時間的変化 (内輪に傷がある軸受の場合)

を行うが、使用上の都合等で、異常発生部の設計変更を行えない場合の対策の1つに、アクティブ制御がある。その例として、一様断面で長さ $L$ の直方体形ダクトの一端に騒音源(50Hz)がある場合について、付加音源の振幅と位相差および付加音源の設置場所 $x/\lambda$ ( $\lambda$ :波長)をパラメータとし、ダクト出口における音圧の最適化を行ったシミュレーション結果を図6に示す。付加音源の各設置場所に対する、最大減音量の様子がわかる。

#### 4. おわりに

異常診断を行う上で、さらに問題となるものの1つに、判断基準の設定法がある。その解決策の例としてファジー理論を用い、油圧ポンプの診断において成果を得ているが、さらに、多

種の機械から音響・振動情報を収集してデータベースを拡充させ、また、本システムの各パートにおける研究を進展させることにより、適用範囲の広い、音響異常予知・診断システムに近づけたく思っている。先日、ある出版社が開いたシンポジウム「破壊と創造」に出席する機会を得た。材料、生命体、知識処理などの分野の専門家から、一般にクラックの存在は危険につながるが、微小なクラックがあることによる材料の靱性の増大(Micro crack toughening)、傷んだ箇所を除去して元の機能に修復する生命体のRepair and de novo functionなどの話を聞き、異常の修復を基に、機械システムの安全性の向上をはかる異常診断も一種の「破壊と創造」につながるものと、共感したものである。

本研究を行うにあたり、心あたまる激励と財政的援助を賜りましたサウンド技術振興財団に対し、深く感謝の意を表します。

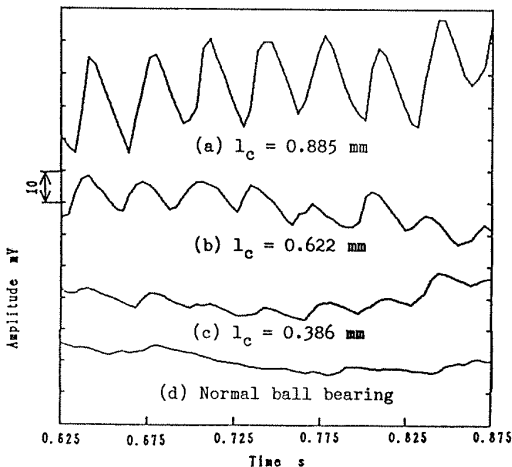


図5. 1000Hz帯の振幅の時間的变化  
(内輪に傷がある軸受の場合)

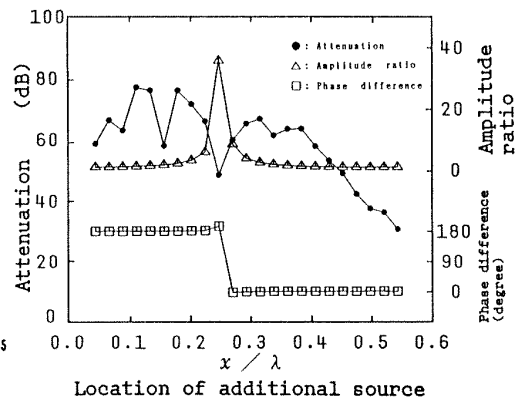


図6. ダクト内の音場の最適化例