

〔計測器(e)〕 振動と音響の計測と解析に関する最新動向(最近のダンピング計測技術の動向について(計測器メーカーによる講演とデモンストレーション))(最近のダンピング計測技術の動向について)

Amatsu, Narumi / 長松, 昭男 / 天津, 成美 / NAGAMATSU, Akio

(出版者 / Publisher)

日本機械学会

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

ダンピングシンポジウム

(号 / Number)

2

(開始ページ / Start Page)

368

(終了ページ / End Page)

372

(発行年 / Year)

2002-01-11

〔計測器(e)〕

振動と音響の計測と解析に関する最新動向

天津 成美
(キャテック)

長松 昭男
(法政大学)

Newest Trend on Measurement and Analysis of Vibration and Sound

Narumi Amatsu
(CATEC)

Akio Nagamatsu
(Hosei University)

The newest trend on vibration and sound measurement and analysis is stated, and a personal computer base measurement system for general use made by the authors is presented in this report. This system is flexible, easy to use and possible to customize freely according to user's requirement. The outline of system specification and composition is introduced. Main functions of this system are explained. Some examples of application are shown as display pictures.

Key Words : Measurement, Testing, Vibration, Sound, Personal Computer, First Fourier Transform, Data Treatment, Experimental Modal Analysis

1. まえがき

近年の情報工学 (IT) の目覚ましい発展に伴い、計測システムは急速に変化しつつある。10年程前までは、振動・音響等を計測するためには、FFTアナライザやリアルタイムオクターブアナライザのように、必要なすべての機能を内蔵し単体で動作する専用機器を用い、熟練者が複雑な操作を行うのが普通であった。

それに対して現在は、パーソナルコンピュータ (パソコン) の処理能力の向上と Windows 等のグラフィックユーザーインターフェイスの充実により、パソコンと計測機器を組み合わせ計測を行うことが一般的になっている。そして、汎用のパソコンで様々な使用の計測機器を操作できるようにするために、両者間を接続するバス仕様やデータファイルの共通化が論議されている。これにより、高速演算性と携帯性に優れ、使用者が親しみ易いシステムができる。

本論文では、これらの背景を踏まえながら、最近の計測システムの現状を述べ、著者らが作成した、異なる計測機器を同一パソコン、同一ユーザーインターフェイスで動作でき、かつ Windows 上で動作する他の計算システムとのダイレクトリンクを使用して、解析 (モード解析、損失係数の算出等) 能力を追加可能な計測システムを紹介する。

2. 計測システムの動向

2. 1. 振動・音響計測の歴史

1965年にCooleyとTukeyにより提案された高速フーリエ変換 (FFT) の理論は、1970年代年開始と共に実用化されFFT装置として市販されるに至り、振動計測の世界を一変させた。その後FFT装置は、単体の専用機器の形で急速に発展し、ハードの性能向上と共に音響計測へ

の応用も可能になり、振動・音響計測の中核機器に成長していった。

10年程前までは、振動・音響を計測するシステムといえば、1つの大きい筐体の前面にディスプレイとボタンを組み込んだFFT専用機器が一般的だった。これらの専用機器は、単体で計測・処理が完結する仕様のために、現場で計測を行う場合には、この機器だけを持って行けばよかった (当時は筐体が重く運搬には苦勞があった)。性能向上と共にさらに応用範囲が広がったFFT装置は、単体のままで多機能化していった。そして、限られた空間の中でそれを実現するために、計測結果を表示するディスプレイは小さくせざるを得ず、また様々な省略記号が表示された数多くのボタンを選択し操作しなければならなくなった。こうして単体機器としてのFFT装置は、次第に限界に近づいていった。

一方、1960年代に基礎的な理論と技術が確立された実験モード解析は、同時期に出現したFFTとすぐに組み合わせられた⁽¹⁾。こうして実験モード解析装置が出現し、実験振動解析の主役になった。この装置も、解析技術の発展と応用範囲の拡大と共に、単体のままで多機能化・高級化・複雑化し、一見便利で魅力的だが、その機能と性能をフルに活用するためには高度の専門知識が必要な機械に成長していった。そして10年程前までは、実験モード解析装置は、高性能だが高価な実験装置であり、経営資源が乏しく振動・音響の専門技術者を持たない多くの企業が簡単に購入し活用できる代物ではなかった。

これらの問題に救いの手を述べたのは、パソコンであった。しかし初期には、図1のように、単体のFFTで得た計測データを2次的に処理する形で、パソコンが利用され

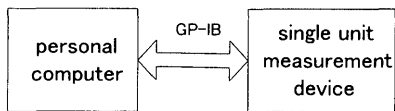


Fig.1 Data Acquisition System with GP-IB

ていた。そしてそのためには、GP-IBインターフェイスやRS232Cインターフェイス等の使用プログラムを、BASIC等で使用者自身が作成してデータを転送するか、または計測したデータをフロッピーディスクに保存してパソコンに入力するか、どちらかの方法が採られていた。そしてこれらの方法では、転送に手間が必要で、また転送トラブルの可能性もあり、簡単には計測データをパソコンで処理できなかった。

しかも、GP-IBインターフェイスのコマンドが計測機器毎に異なっていて、計測機器を交換する毎にデータ転送プログラムを新たに作成する必要があった。そして、フロッピーディスクに保存されたデータファイルフォーマットも、計測機器毎に異なったバイナリーファイルであり、その変換プログラムが必要であった。当時は現在ほどパソコンが普及しておらず、また計測現場でもGP-IB関連のプログラムが作成できる人は数少なく、パソコンと計測機器を接続して有効活用していた企業は少なかった。

2. 2. 単体計測から共通インターフェイスへ

上記問題点を解決するために、GP-IBインターフェイスコマンド等の共通化が米国で提案された。この共通化により、例えば計測機器A用に作成したプログラムがそのまま計測機器B用として使用可能になり、プログラム開発の負荷が軽減された。

しかし、これでGP-IBの問題点が解決されたわけではなかった。パソコン処理能力と計測機器性能の向上に伴い、転送データ量が増加して、GP-IBインターフェイスでは処理速度が追いつかなくなってきたのである。そこで各計測器メーカーは、このデータ転送問題とパソコンとの接続性を考慮し、単体で動作する計測機器の開発からパソコンと直接接続することによって動作する計測システムの開発へと移り変わっていった。この計測システムは、データ収録部分やDSP等の信号処理部分だけを持つ計測機器と、データ表示や計測操作を行うパソコンとを一体化させたシステムである。

図2に、この計測システムの構成の概略を示す。

計測機器は個別の機能毎に1個のボードで構成され、各ボードは共通使用で規定されたバスを持ち、このボードを共通バスが搭載されているメインフレームに装着して、パソコンへのデータ転送を行う。したがって、このバスに適合したボードであれば基本的にはどのボードも使用可能となる。この共通仕様バスには、現在のところVXIやPXI等がある。これらのバスはデータ転送が高速であるため、ハードウェアドライバーが各ボードをコントロールでき、

プログラムはある程度共通で使用可能となる。

このようなパソコン計測システムを使用すれば、振動用計測ボード、音響用計測ボード、熱電対計測ボード等を1つのメインフレームに装着して、同時に異なった信号計測が可能となる。また、パソコンと直接接続するために、計測機器の全ての機能をパソコンから制御することが可能である。さらに操作性も簡単であり、パソコンの使用経験者なら誰でもすぐに使える。

2. 3. パソコン計測

パソコン計測システムは、計測ソフトウェアがパソコン上で動作するために、以下の利点を有している。

(1)操作性が簡易。 普段使用しているWindows上で動作するために、日本語メニュー等で簡単に操作できる。

(2)他のソフトウェアとのデータの共通化が可能。 同じWindows上で動作する他の計測ソフトウェアや解析ソフトウェアとのデータの受け渡しが簡単であり、計測から解析までの流れが簡略化でき、またシステムの柔軟性と融通性も増す。

(3)パソコンのCPU処理能力をフルに活用できる。 計測機器本体の処理能力に比較してパソコンの処理能力は飛躍的に速くなっている。計測の主役がパソコンであるから、その処理能力の進展に伴ってパソコン本体を替えていくだけで、計測システム全体の処理能力を向上させ続けることができる。これにより、ITにおけるハードの進歩に容易に追従できる。

(4)計測ソフトウェアを作成するツールが多数ある。

最近のプログラム言語の進歩は目覚ましいものがある。以前は1つのグラフ画面表示を作成するプログラムを作成するにも多数の工数がかかったが、現在はグラフ表示部品がプログラミング言語として提供されていて、計測ソフトウェアも、少ない工数で作成が可能である⁽²⁾。このように計測ソフトウェアを簡単に作成できるプログラム言語は現時点でも数多くあり、これらを利用すれば、計測ソフトウェアの改造やカスタマイズが簡単に実行できる。これにより、ITにおけるソフトウェアの進歩に容易に追従できる。

application for measurement
programming language(C/C++, Visual Basic, LabVIEW, etc.)
instrument drivers
operating system(Windows, Unix, etc.)
interface(GP-IB, PCI, PXI, VXI, etc.)
various device for measurement(vibration, sound, heat, etc.)

Fig2. Measurement System Composition

2. 4. ネットワーク計測

パソコン計測システムは、ネットワークの高速化と、広く整備されているインターネットを利用することにより、遠隔地無人計測等を簡単に実現できる。例えば、目の前にあるパソコンAにあたかも接続されているかのように、遠隔

地の工場内のパソコンBに接続されている計測機器Cを、ネットワーク経由でコントロールして計測を行い、振動や騒音を監視できる。図3にこの構成の概略を示す。

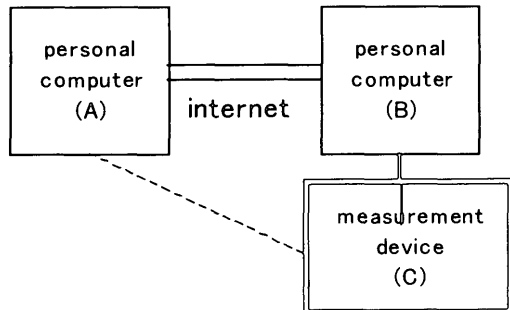


Fig.3. Network Measurement System Composition.

3. 計測システムの実例

3. 1. 計測システムの概要

計測システムに関する上記のような動向を考慮して作成した、カスタマイズ可能な振動・音響計測システムの実例について説明する。本システムは、振動と騒音の計測から解析までを、簡単な操作と高速処理で一貫して実現できる、パソコンベースの統合システム構築の一部として、筆者らによって開発された。

FFTアナライザ等の単体計測システムで従来行われていた振動・音響計測では、計測されたデータをモード解析システム等の他のシステムに受け渡すには多くの手順が必要であったが、本システムのモード解析ダイレクトリンク機能（シームレスモード解析）等を使用すれば、計測に続く解析からアニメーションまでの連続操作が簡単にできる。また、共通化された計測器ドライバーを使用することにより、数多くのデータ収録ボードから計測する信号に対し、最適なボードを選択することも可能である。

図4に、本システムの流れの概要を示す。

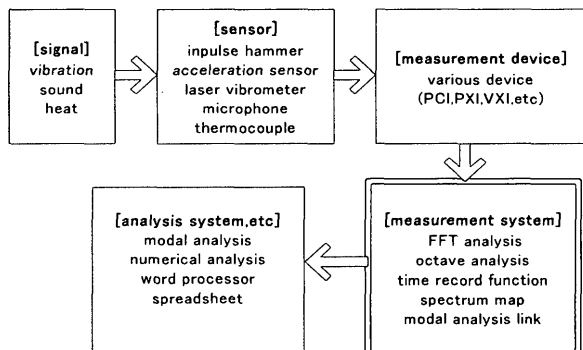


Fig.4 Computer Data Acquisition System Flow

3. 2. FFT解析

使用チャンネル数や解析周波数帯域によるが、パソコン

のCPU能力だけで、一般的なFFT解析機能であるトリガーやウィンド設定、パワースペクトル、伝達関数、コヒーレンス等の計算、グラフの拡大縮小、カーソル値の読み取り等が可能となっている。最近のパソコンのCPU処理能力によれば、DSP（信号処理プロセッサ）が無くても、これらの解析・処理速度は十分である。

図5は、FFT解析結果の表示画面の1例である。

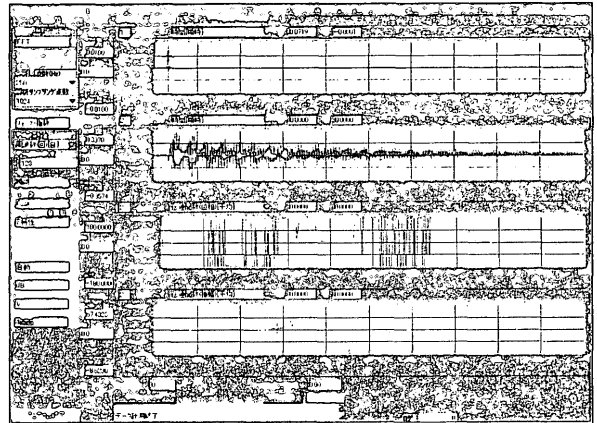


Fig.5 FFT Analysis

3. 3. オクターブ解析

音響解析の場合に使用される1/1、1/3のオクターブ解析が可能である。ただし、多チャンネルでのリアルタイム解析の場合には、計測機器側にデジタルフィルター計算のためのDSPが必要となる。

図6は、オクターブ解析結果の表示画面の1例である。

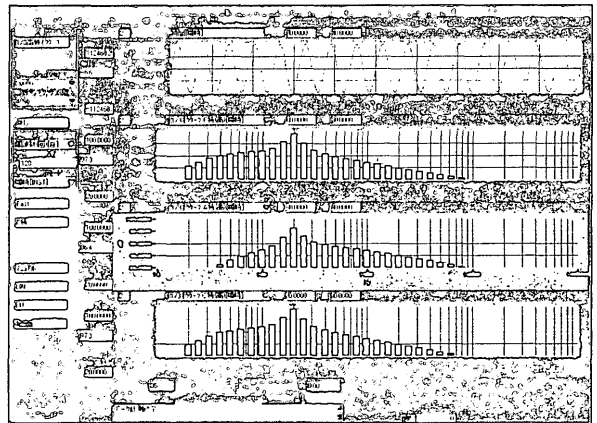


Fig.6 Octave Analysis

3. 4. 連続時間データ計測

パソコンと計測機器との接続バスのデータ転送高速化により、本システムでは、長時間の連続時間データ計測を行うことができる。その連続時間は、使用するパソコンのCPUの速度とメモリーに依存するが、例えば解析周波数20KHz（サンプリング周波数51.2KHz）等での指定した時間の連続時間データ収集が可能である。データ収集後、任意時刻における任意時間範囲のFFT解析やオク

タープ分析を行うことも可能になっている。

また、スペクトルマップの機能を有し、横軸：時間、縦軸：周波数で、振幅：色（赤が振幅大）によって表示でき、振動・音響の状態を視覚的に捉えることができる。

図7は、連続時間計測によるスペクトルマップ表示画面の1例である。

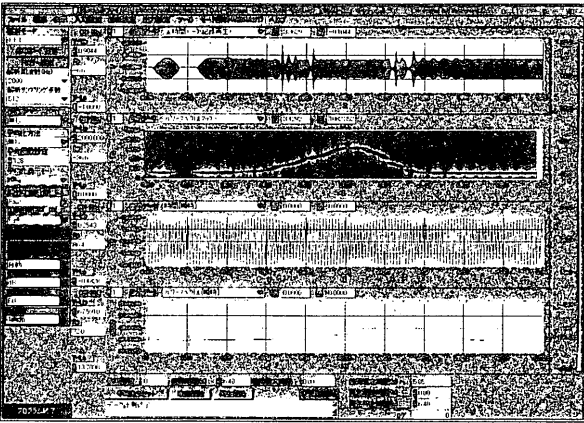


Fig.7 Spectrum Map

3. 5. モード解析との直接結合

本システムの特徴の1つとして、モード解析のダイレクトリンク機能がある。まず、形状定義された3次元形状データを読み込み、それを表示する。その表示画面上で、各チャンネル毎に計測するポイントと方向を矢印で表示し、計測前に確認作業を行なう。計測後、計測ポイントと方向の情報を含んだ伝達関数や時刻歴データ等を、モード解析システムのネイティブなデータファイルに保存する。ネイティブなファイルに保存するため、モード解析システム上に保存されたデータファイルを使用してアニメーション等の解析が可能となる。

従来の単体計測システムでは、計測ポイント等の情報はデータファイルに保存されることがなく、解析前にデータと計測ポイントとの関連付けが必要であったが、パソコン上で稼動する計測システムでは、計測システムと解析システムとが同一のパソコンで動作するために、両者間のリン

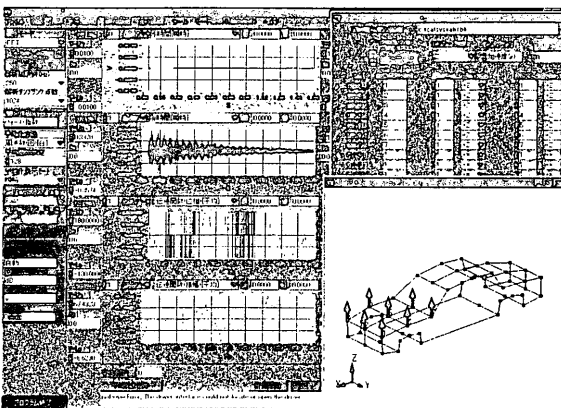


Fig.8 Modal Analysis Link

ク性が良くなっている。図8は本システムと直接リンクしたモード解析結果の表示画面の1例である。

3. 6. ネットワーク接続

本システムは、同一計測プログラムで、ローカルパソコンに接続されている計測器を使用するか、ネットワーク経由で他のパソコンに接続されている計測器を使用するかを簡単に切り替えることが可能である。他のパソコンに接続されている計測器を使用する場合は、計測器が接続されているパソコン上で計測器機コントロール用サーバープログラムを起動し、ローカルパソコンではサーバープログラムが稼動しているパソコンのTCP/IPアドレスを設定するだけである。オペレータは、計測システム起動後、計測器はローカルパソコンに接続されているか、計測用サーバーパソコンに接続されているかを意識しないで同一操作で計測可能である。

3. 7. 追加可能な計算機能

パソコン計測システムは、Windows上で動作するために他の計算システムとのリンクが簡単に行える。本システムは、計算システムであるMathWorks社製MATLABとActiveXの機能を使用して計測したデータをリアルタイムでMATLABにメモリー転送し、MATLAB上で実行可能なプログラム（スクリプト）を実行することが可能となる。この機能を使用すれば、計測システムが標準で搭載している機能以外の解析が必要な場合は、時間データやFFTデータを計算システムに転送して、計算システム内で新たな解析プログラムを簡単に作成することが可能になる。また、メーカー等が提供した複雑な計算ソフトについても、部分的に修正することが可能になる。

図9は本システムとMATLABとのリアルタイム接続の表示画面の1例である。

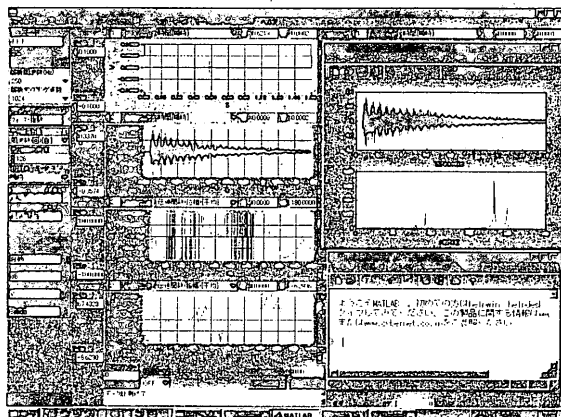


Fig.9 MATLAB Realtime Link

4. 計測機能による損失係数の算出例

4. 1. カーブフィット法による損失係数の算出

計測システムで計測された周波数応答関数をモード解析

システムのカーブフィット機能により、固有振動数、固有減衰比、固有ベクトルが算出される。損失係数は固有減衰比の2倍なので、固有減衰比を算出したことは損失係数を求めたことになる。損失係数算出のためだけに高価で操作方法が複雑なモード解析システムを使用するのは、効率的でないことから、筆者らは計測システムと計算システムのダイレクトリンクを使用して、計算システム上で稼動するカーブフィットプログラムを作成した。以下にこの手順について説明する。

4. 2. 周波数応答関数の計測

計測システムで制振材の伝達関数を、インパルス・ハンマー法等で計測する。計測された時間データや周波数応答関数は、計算システムに転送される。

4. 3. 周波数応答関数等の表示

計算システムの機能で周波数応答関数を表示する。この表示機能は、計算システム上でプログラムされている。

図10は周波数応答関数表示の1例である。

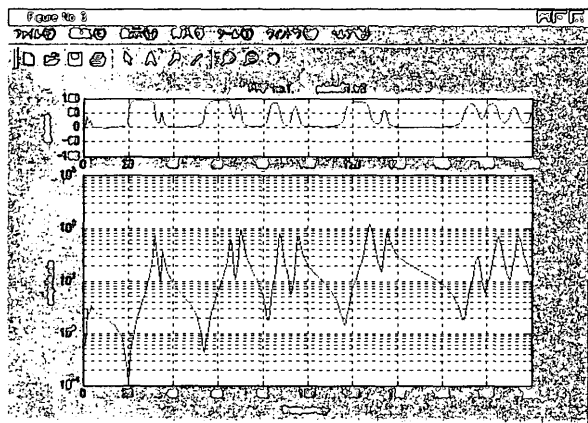


Fig. 10 Measurement Frequency Response Function

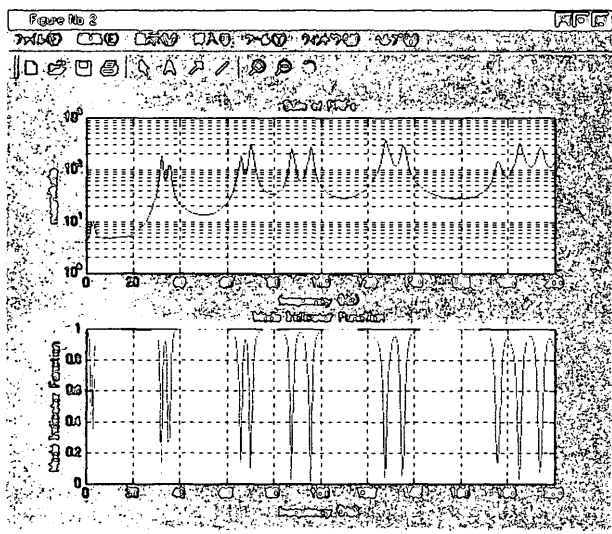


Fig. 11 Mode Indicator Function

4. 4. カーブフィット

カーブフィットを行う準備として、Mode Indicator Function (MIF)を算出して固有振動数、固有減衰比の初期値を決定する。図11はMIF計算の一例である。決定された初期値をもとに周波数領域のカーブフィットを行い、固有振動数、固有減衰比、固有ベクトルを算出する。算出されたモードパラメータは制振材の特性として使用可能である。図12はカーブフィット後の周波数応答関数表示の1例である。カーブフィット手法としては、著者らが開発した⁽³⁾高精度、高効率の非線形最適化手法を組み込む。

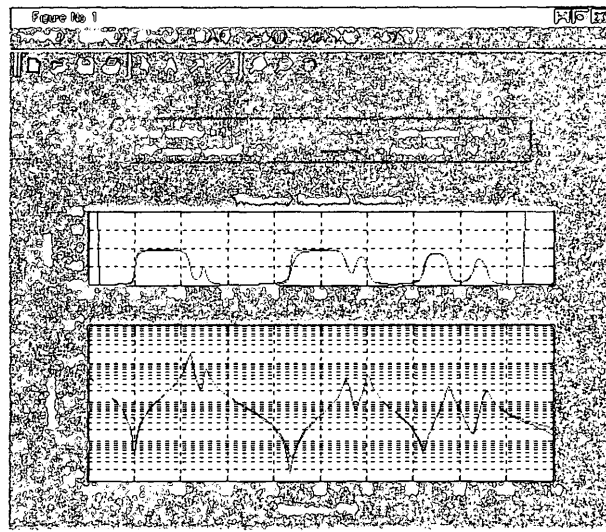


Fig. 12 FRF by Experimental Modal Analysis

5. 今後の計測システム

今後は、パソコンの処理速度の向上とネットワークの高速化により、計測処理の高速化やインターネット経由での計測データ処理の高層化が実現できるようになるであろう。また、プログラム言語の発展により、もっと簡単に計測システム用のソフトウェア開発ができることが期待される。

著者らは、現場での実用経験を重ねて得られた振動騒音の計測ノウハウを組み込みながら、この流れに沿ってシステムの機能と性能の改善を続け、さらに最新の理論と技術に基づく振動・音響解析システムと本システムを一体化していく。

参考文献

- (1)長松、モード解析入門、コロナ社、(1993).
- (2)計測・オートメーションカタログ、日本ナショナルインスツルメンツ、2000-2001.
- (3)岩原、長松、日本機械学会論文集、61-591C(1995)4214, 61-591C(1995)4222, 61-591C(1995)4230, 62-602C(1996) 3971, 64-618C(1998), 538.