

実験とCAEを連携させた 振動解析技術訓練に関する指導法の評価

近畿職業能力開発大学校	塩 練 俊 一
九州職業能力開発大学校	木 崎 俊 郎
職業能力開発総合大学校東京校	幾 瀬 康 史
株式会社小野測器	江 連 勝 彦*
株式会社構造計画研究所	佐 橋 直 樹

Evaluation of the Teaching Methods regarding Technical Training on the Vibration Analysis of Mechanical Systems based on cooperation with Experimental Modal Analysis and CAE Analysis

Toshikazu SHIONERI, Toshiro KISAKI, Yasushi IKUSE
Katsuhiko EZURE, Naoki SAHASHI

要約 本報告は平成17年度に作成した応用短期課程（企業人スクール）用のモデル教材「振動実験及び振動解析を活用した機械設計技術」に関し、平成18年度に作成した指導書の有効性、及びコース実施可能性について試行セミナー受講生のアンケート結果に基づき検証を行ったものである。この成果は応用短期課程に限らず応用課程等の訓練にも活用できるものである。

最近の機械は高速化や軽量化の要求を満足させるために振動が発生しやすい構造となっている。このため性能評価やトラブルシューティングを行うには、モード解析技術等を利用して振動特性を把握することが肝要となる。モード解析は実験モード解析とCAEによる解析とに大別できるが、実験担当者は実験モード解析のみに、およびCAE担当者はCAE解析のみに偏る傾向がある。問題解決を有効に行うためには、解析モデルの作成から解析結果の評価に至る流れの中で、CAE担当者の実験担当者との相互連携が必要となる。しかし、従来の教材では実験モード解析のみ、およびCAE解析のみを対象としており、全体を視野に入れた内容のものは見受けられない。このため、実験とCAEの連携に焦点を当てた振動解析に関するモデル教材と指導書を作成し、これらを用いた試行セミナーを実施することにより評価を行った。その結果、コース設定の妥当性、および教材・指導書としての有効性が確認できた。

I はじめに

最近の機械装置では、高速化・高出力化、小型化・軽量化、高精度化などが進んだため、積極的な振動対策が求められるようになってきている。すなわち、高速化や軽量化は機械剛性の低下を招き、高精度化や安全性・静粛性の要求は振動対策の基準を厳しくしている。このため機械の設計・開発に携わる技術者には、振動問題の本質を把握した上で、発生する問題を予測して効果的な解決策を講じられる能力が要求されている。

振動対策として性能評価やトラブルシューティングを効率的に行うためには、モード解析技術を利用して設計の初期段階で振動特性を把握しておくことが肝要である。モード解析は実験モード解析とCAE（数値シミュレーション援用による設計開発）による解析（理論モード解析）とに大別できるが、一般に実験担当者は実験モード解析のみに、およびCAE担当者はCAE解析のみに偏る傾向がある。より効率的に振動問題に対処するには、解析モデルの作成から解析結果の評価、設計の最適化に至る流れの中で、CAE担当

者と実験担当者との相互連携を図ることが鍵となる。このためには実験モード解析とCAE解析の両方を経験することで、技術スキルの幅を広くすることが必要である。

従来のモード解析に関するセミナーの教材は、実験モード解析のみ、あるいはCAE解析のみを対象としたものであり、全体を視野に入れた内容のものは見受けられない。実験担当者にCAE解析を、およびCAE担当者に実験モード解析を経験させるためには、両者の連携に視点を置いた幅広い内容の教材が必要不可欠である。こうした観点から、平成17年度には、応用短期課程（企業人スクール）用モデル教材「振動実験及び振動解析を活用した機械設計技術」^①を作成した。これは実験モード解析とCAE解析との連携に焦点を当てた、これまでに見られない構成の教材に仕上がっている。そして平成18年度には、このコースを効果的に実施するための指導書の作成が行われている。

本報告は、「振動実験及び振動解析を活用した機械設計技術」コース用の指導書の有効性、およびコースとしての実施可能性について、教材と指導書を用いた試行セミナーの実施結果と受講生からの評価に基づいて実証的に検証を行ったものである。

II コースの設計と評価方法

「振動実験及び振動解析を活用した機械設計技術」コースの設計にあたっては、下記の項目を考慮した。

- 1) 「実験モード解析とCAE解析との連携」をメインテーマとした構成とする。
- 2) 現象を確実に理解することができ、実務に繋げることができる実習をふんだんに取り入れる。
- 3) 初心者でも段階を踏んで、高度な専門的技術まで理解できるように工夫する。

このため実験モード解析およびCAE解析に関する内容を主要な柱に据え、さらにそれらの連携を題材とする構成とした。また機械振動の基礎理論を理解し、振動現象の本質を把握させることを目的とする導入部を充実させることにした。

一般に、振動に関する工学・技術は、数学と物理学の予備知識が必要とされ、難しく理解が困難であるといわれている。しかし最近では振動解析ツールの進歩により、実務において必ずしも複雑な数式の取り扱いが必要とされるわけではない。このため、基礎理論については必要最小限な内容にとどめて、基本的概念の

理解に重点を置いた構成とした。特にモード解析を適用することで複雑な多自由度の振動系も簡単な1自由度の振動系の合成として取り扱うことができるので、1自由度系の振動特性を十分に理解させることが肝要となる。

教科の概要を表1に示す。まず「振動の基礎」で、2自由度系の各質点が複雑に連成振動している様子を図示し、つぎに固有モードの固有振動数に対する振幅の時間履歴を図示することで、複雑な連成振動が調和振動に分解できるということを視覚的に理解させて、1自由度系について学習することの重要性を認識させる。そして1自由度系の振動特性について、ここでは重点的に理解させている。つぎに「振動測定技術」では、実験モード解析で必要となるFFTアナライザやインパルスハンマ、および振動センサの取り扱いを習得させる。そして「実験モード解析」で、金属バットを対象にしたハンマリング試験を行い、モード形状の可視化にいたるまでの解析の流れを経験させる。さらに「CAEによる振動現象の解析」では、CAE解析ツールによる振動現象のシミュレーション、有限要素法と理論モード解析、およびCAE解析ツールによる各種解析手法について理解を深めさせ、解析例として振動解析ツールを用いた回転機械の架台の動的設計演習を行わせる。最後に「実験とCAEとの連携」において、冷蔵庫の異音対策を例に実験モード解析担当者とCAE解析担当者の連携による利点と課題について

表1 教科概要

教科の目標	振動測定技術を駆使して実験モード解析を行うことができる。またCAEツールを用いて振動解析を行うことができる。さらに実験とCAEの連携を実践することができる。	
教科の細目	教科の内容	訓練時間
1. 振動の基礎	(1) 振動について	1
	(2) 1自由度系と2自由度系の振動	3
	(3) フーリエ変換	2
	(4) 振動現象の測定	12
2. 振動測定技術	(1) FFTアナライザ	1
	(2) ハンマリング試験	1
	(3) センサの選定方法	2
	(4) 振動計測	2
3. 実験モード解析	(1) 実験モード解析の手順	1
	(2) 振動モード形状の可視化	5
	(3) 実験モード解析実習	6
4. CAEによる振動現象の解析	(1) 数値モデルとシミュレーション	3
	(2) 解析の流れと数値解析手法	3
	(3) 振動解析の実際	12
5. 実験とCAEとの連携	(1) 事例紹介	1
	(2) 応用例	1
	(3) 今後の課題	1
6. 成果発表	(1) 報告書作成	2
	(2) 発表	1

てまとめている。

設計したコースの実現可能性を評価するために試行セミナーを実施した。評価項目は、教材（テキスト、実習機材）と指導書（スライド）の有効性、実施時間の妥当性、および受講生の満足度（理解度）などとし、受講生に対するアンケート調査に基づいて評価した。ここで、指導書（スライド）はPowerPointで作成し、指導の順序、指導事項、指導方法などをノート（説明者用のメモ）として記述したものである。

III 試行セミナー

1. セミナーの実施計画

表2に、試行セミナーの実施計画を示す。開発したモデル教材は、実施期間を10日間（60H）と想定している。このため、10日間コースとして試行するのが理想であるが、全教材作成委員を実施会場に集合させるための日程調整が困難なこと、および会場や使用機材の確保に制約があることから2日間のコースとして計画した。モデルコースに比べ時間的に8割減となるの

表2 セミナーの実施計画

コース名	CAEと実験によるモード解析技術 (振動理論から事例まで(実習付))	
実施期間	平成18年11月15日(水)～11月16日(木)	
実施場所	起業・新分野展開支援センター(創業サポートセンター)	
対象者	これからモード解析を行おうとしている技術者、 振動関連の初中級者	
概要	近年、機械装置の高速・高出力化や小型・軽量化が進み、 機械の性能評価やトラブルシューティングでは振動特性を 把握することが重要な課題となっている。振動モード 解析技術は、このような課題の解決手段として大きな役 割を果たしており、ものづくりに携わる技術者にとって 必須の技術となっている。本コースでは振動理論、振動 現象の把握から振動計測、実験モード解析、CAEによる 理論モード解析へと、理論と実習体験を通してモード解 析技術の基本を習得する。	
教科項目	教科細目	時間
1. 振動現象の 基礎	(1) 振動の基礎(調和振動、運動方程式、 自由振動、強制振動) (2) モデル化演習	1
2. 振動現象の 測定	(1) 振動装置による実験の概要 (2) 台座の振動パラメータの測定 (3) 台座のモデル化と振動計算 (4) 台座のインパルス応答の測定、 周波数応答関数の測定	3
3. CAEによる 振動現象の解析	(1) 振動現象の数値シミュレーション (2) 有限要素法の考え方 (3) モーダルパラメータの解析とモード解析 (4) 振動解析の分類と事例	2
4. CAEによる モード解析実習	(1) NASTRANによる架台モデルの静剛性 および固有値解析演習 (2) 金属パットの理論モード解析 (3) 理論モード解析の考察および注意点など	2
5. 振動計測と 実験モード解析	(1) FFTアナライザとは (2) ハンマリング、センサについて (3) 振動計測手順(周波数応答関数の計測) (4) 実験モード解析実習 (金属パットの振動モード形状の作成)	3
5. 実験とCAEの 連携	(1) 振動対策事例 (2) 実験とCAEの連携のまとめ ・全体質疑応答、アンケート記入	1

で、実施内容について十分に検討を行った。実施の要点は以下の通り。①「振動現象の基礎」と「振動現象の測定」では1自由度系の振動特性を理解させる。②「CAEによる振動現象の解析」ではCAEとモード解析の概念を理解させる。③「CAEによるモード解析実習」と「振動計測と実験モード解析」では、CAE解析と実験モード解析を体験させる。

2. セミナーの実施内容

試行セミナーの実施内容について、概要を記述する。

1) 「振動現象の基礎」

まず導入として調和振動について、つぎに1自由度振動系の自由振動と強制振動に焦点を当てて説明する。自由振動では、固有振動数の求め方、および減衰比の値により現象にどう違いがでるかについて理解させる。また強制振動では周波数応答を示し、系の共振現象の概念を理解させる。図1にスライドの例を示す。ここでは振動現象を理解することが目的であり、スライドでは図を豊富に用いて視覚的な理解を促している。

続けて「振動現象の測定」への準備として、機械の力学モデルの作り方、エネルギー法による固有振動数の求め方を説明し、次項で使用する振動現象実験装置のモデル化演習を行う。図2に演習課題を示す。

減衰系の強制振動

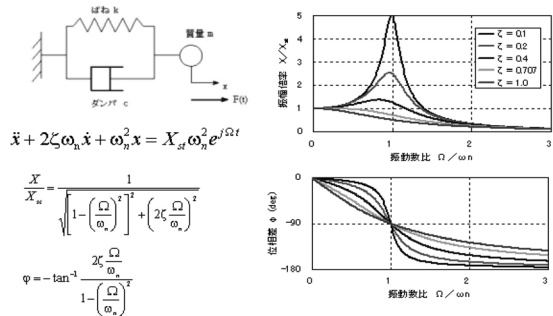
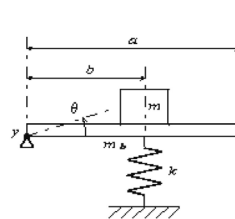


図1 「振動現象の基礎」のスライド例

演習課題



長さa、質量 m_0 の棒の一端を支持し、
支点からbの位置を床からばねkで支持し、
さらにbの位置におもりmを乗せた系がある。

a=0.38 [m]
b=0.28 [m]
m=6.68 [kg]
 $m_0=2.78$ [kg]
k=1.03×10⁵ [N/m]

- として、
- (1) y軸に関する系の慣性モーメントを求めよ。
 - (2) 等価な直線運動系の等価質量を求めよ。
 - (3) 系の固有振動数を求めよ。

図2 実験装置のモデル化演習課題

2) 「振動現象の測定」

ここでのねらいは、機械（構造物）を強制力で加振して、その振動応答の測定を行い、振動現象の観察を通して系の振動特性を理解させることである。図3に職業能力開発総合大学校東京校で製作した振動現象の実験装置を示す。実験装置は構造物としての回転台座とばね、および加振源として台座上に据え付けられたモータとアンバランスウェイト（不釣りあい質量）から構成される。モータによりアンバランスウェイトを回転させることで、不釣りあい力（調和外力）を発生させ、台座の振動変位（加速度）の測定を行い、系の周波数応答を観察するものである。

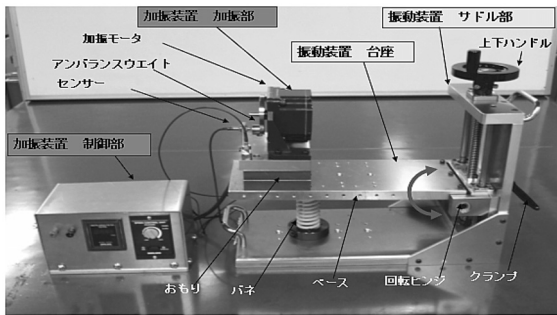


図3 振動現象の実験装置

また装置から加振源を取り外し、ハンマリングすることで過渡応答であるインパルス応答を観察することができる。図4にインパルス応答の測定装置を示す。振動測定は加速度ピックアップにより加速度を測定し、振動計で積分して変位量に換算している。

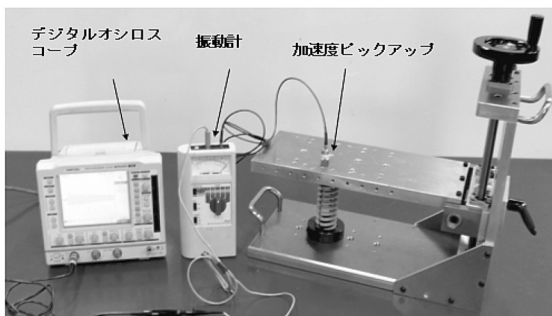


図4 台座のインパルス応答の測定装置

実習では実験装置を1自由度系にモデル化して導いた固有振動数と実験により求めた固有振動数との比較を行った。まず台座を分解し、寸法と質量を測定して慣性モーメントを計算する。つぎに台座に重りを載せて静剛性（ばね定数）を測定し、系の固有振動数を計

算する。そして台座をハンマリング（衝撃力を加える）して得られたインパルス応答から固有周期を読み取り、系の固有振動数を求めている。その結果として、ほぼ理論値通りの値を得ることができる。

図5に周波数応答の測定結果例を示す。図の丸印は加振モータの回転数を変化させて振幅応答を測定し、コンプライアンスと位相をプロットしたものである。図より固有振動数（危険速度）近傍で共振現象が発生し、共振点より高い周波数域では応答の位相は外力の位相に対して180度遅れることが読み取れる。

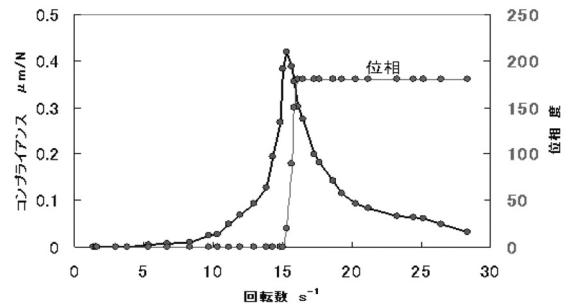
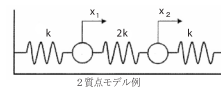


図5 周波数応答の結果

3) 「CAEによる振動現象の解析」

まず機構解析ソフト（COSMOSMotion）による、集中系モデルに対するコンピュータシミュレーションの結果をアニメーション表示し、振動現象を視覚的に理解させる。つぎに有限要素法により膜などの分布系（連続体）を集中系に近似したモデルに対するシミュレーション結果を示し、実験では視覚で確認できない高次モードの振動様式までアニメーションとして表示できることを認識させる。図6に集中系モデルの例として2自由度系強制振動シミュレーションのスライドを示す。

3) 振動現象のシミュレーション(2自由度系強制振動)



$$r1 = \frac{U_1}{U_2} = \frac{2K}{3K - m\omega^2} = \frac{2K}{3K - K} = 1$$

$$r2 = \frac{U_2}{U_1} = \frac{2K}{3K - m\omega^2} = \frac{2K}{3K - 5K} = -1$$

それぞれのおもりに作用する力から、それぞれの運動方程式を立てると

$$m\ddot{x}_1 + kx_1 + 2k(x_1 - x_2) = 0$$

$$m\ddot{x}_2 + 2k(x_2 - x_1) + kx_2 = 0$$

上式の特性方程式は、

$$\begin{vmatrix} 3k - m\omega^2 & -2k \\ -2k & 3k - m\omega^2 \end{vmatrix} = 0$$

これを整理して

$$\begin{aligned} & (3k - m\omega^2)^2 - 4k^2 \\ &= m^2\omega^4 - 6mk\omega^2 + 5K^2 \\ &= (m\omega^2 - k)(m\omega^2 - 5k) = 0 \end{aligned}$$

よって、上式を満たすための、次に示す2つの固有振動数が存在する。

$$\omega_1 = \sqrt{\frac{K}{m}}, \quad \omega_2 = \sqrt{\frac{5K}{m}}$$

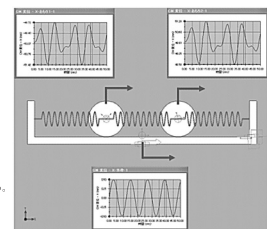


図6 2自由度系強制振動のスライド

実際の機械や構造物は分布系であり、運動方程式は偏微分方程式となり解析が困難である。このためCAE解析では分布系（連続体）を有限要素に分割し、エネルギー的に等価な集中系（多自由度系）に近似する有限要素法によるモデル化手法が一般的である。そこで、ここでは有限要素法の基本原理について理解させる。図7に有限要素法の説明のスライド例を示す。

2-2 有限要素法による連続体モデルの数値解析

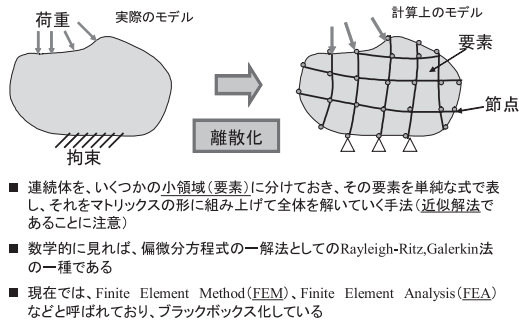


図7 有限要素法のスライド

一般に多自由度系の運動方程式では連成項が存在し、各座標間で相互に影響を及ぼしあい複雑な運動を行う。ここで線形な多自由度系では、自由度の数だけの固有振動数と固有振動数に対応する固有モードが存在する。この固有モード（固有ベクトル）の直交性を利用して、固有モードを一般化座標（モード座標）として用いる解析手法がモード解析である。モード解析によれば、多自由度系を互いに非連成な1自由度系の重ね合わせとして取り扱うことができる。

モード解析を適用するためには固有値解析（固有値問題を解いて系の固有振動数と固有モードを求める）を行う必要がある。このため、CAEによる固有値解析と理論モード解析の考え方を理解させる。

振動解析を行う場合には、系をどのようにモデル化するかが問題になるが、開発・設計分野では有限要素法を用いてモデル化する汎用解析ソフトウェアを利用するのが一般的である。ここで、最近の解析ソフトはブラックボックス化されており、振動の知識が無くとも解析結果を得ることができる。このため結果を評価するためには、振動の基礎知識を理解し解析ソフトの適用限界を検討できるだけの素養が必要である。このようなことを念頭において、振動解析を効果的に行うための注意点とノウハウについて説明を行う。

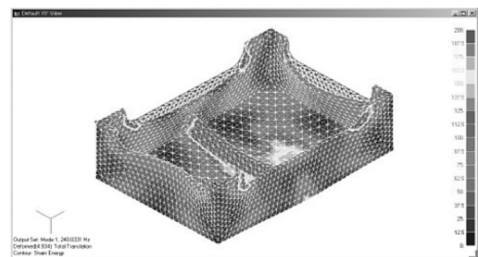
4) 「CAEによるモード解析実習」

CAE解析ツール（Nastran for Windows2002）を

用いて固有値解析を行い、解析結果を構造設計に反映させる実習課題を行う。まず、元となるモータ架台の形状モデルを与えて静剛性解析を行わせる。これにより架台の静剛性を視覚的に確認することができる。つぎに動剛性の検討を行い、要求を満たすように構造を変更させる。設計上の制約条件は、①共振を避けるため1次固有振動数を200Hz以上とし、②設置場所の許容質量より架台質量を200kg以下に抑えることである。このため固有値解析を行い、与えられた形状モデルでは制約条件を満足していないことを確認する。そこで改善策として、①幅方向、または②長手方向に補強リブ（肉厚20mm、高さ150mm）を追加させて構造変更を行い、固有振動数に与える影響を評価させる。さらに、板厚を変化させて構造変更を行った場合について板厚と固有振動数の変化、および固有振動数と質量の変化を示して、板厚の減少により条件が満足されることを認識させる。これにより振動解析ツールが動特性を考慮した構造設計に有効であることが理解できる。例として幅方向にリブを追加した結果を図8に示す。

改善検討

補強リブの追加(横方向)による効果を見る。



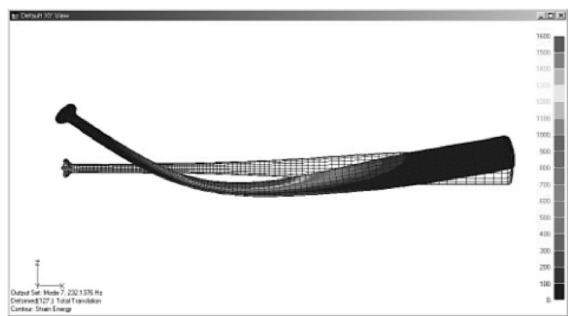
改善案1における振動モードおよび歪エネルギー(mode1 240.0[Hz] 質量224[kg])

図8 架台の固有値解析

続けて、次項での解析対象である金属バットを取り上げ、固有値解析を行った結果について説明を行う。さらにCAEによる解析の利点、および注意点としてメッシュサイズの影響や境界条件、実験との整合取り等について解説する。図9に金属バットの固有モード形状のアニメーション表示例を示す。

5) 「振動計測と実験モード解析」

実験モード解析により機械や構造物の動特性を求めするためには、効果的に加振を行い、正確に応答を計測する必要がある。加振の方法としては、加振器によるランダム加振や正弦波掃引加振、インパルスハンマによるインパルス加振などが代表的であるが、ここではインパルス加振を行い伝達関数を計測する、いわゆる



シェル要素による解析結果(モード7 232.1[Hz])

図9 金属バットの固有モード形状

ハンマリング試験についての説明を行う。まず動特性計測（周波数分析）の基本的ツールであるFFTアナライザについて概要を説明する。つぎにハンマリング試験について、その利点と欠点、インパルスハンマの取り扱い方法、FFTアナライザの窓関数の使用方法、およびコヒーレンス関数から計測結果の信頼性を確認する方法などについて説明を行う。さらに振動計測に用いられるセンサの選定と取り付け方法、加振点移動法と応答点移動法、および加振対象物の支持方法など、ハンマリング試験を行うために必要な知識とノウハウについて解説を行う。

実習課題は、金属バットを対象としてハンマリング試験を行い、計測した伝達関数の結果から振動モード形状を作成させるものである。ここで、金属バットの支持方法は吊り下げ（自由支持）とし、計測点数を9点とする。まずインパルスハンマの握り方、叩き方について説明を行った後、測定点をハンマリングさせる。図10にハンマリング試験の様子を示す。

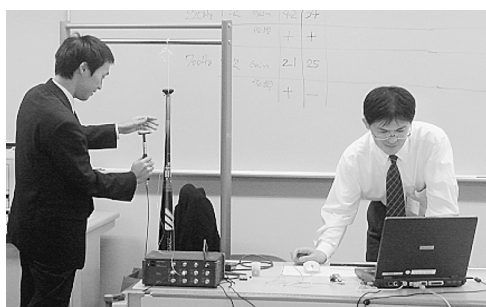


図10 金属バットのハンマリング試験

そして伝達関数（周波数応答関数）のゲインと位相の結果から振動モード形状を作成させる。ここで解析シミュレーションの妥当性を検証するためには、固有振動数とモード形状の比較を行えばよいということを理解させる。図11に金属バットの振動モード形状の作成例を示す。

簡易的な振動モード形状の作成(その2)

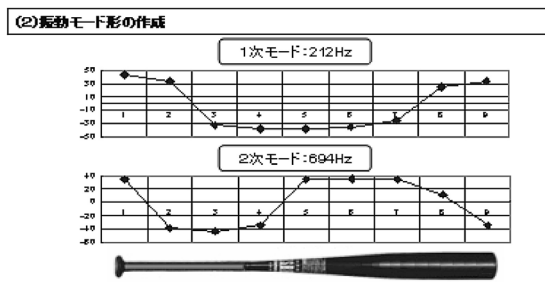


図3-2-12 表計算ソフトを使った作図例(その1)

図11 金属バットの振動モード形状の作成例

6) 「実験とCAEの連携」

「実験とCAEの連携」が求められている背景には、「連携させることは難しい」、「双方に精通していないとできない」という連携を阻害する心理が働いていることが問題であるが、実際には連携に取り組みないほど困難なことではないということを説明する。

つぎに事例として、金属バットの例、および冷蔵庫のコンプレッサ配管の騒音対策の例をとりあげ、連携の現状について説明する。金属バットの例では、CAE解析でも、正確な形状データを作成し共振周波数が異なる場合に材質データ等で調整することで実験モード解析と同様な伝達関数を求めることができること、および条件を適合させることで振動モード形状の結果がよく一致することを示す。そして騒音対策の例では、まず音響インテンシティ解析を用いてコンプレッサに接続されている吸入管が冷蔵庫の騒音源であることを特定し、吸入管の実験モード解析を行い、700Hz付近に問題となる振動モードの存在を確認している。つぎに振動現象を可視化するため、実験解析(CAEアニメーション)を行い、実験モード解析と同様に700Hz付近で共振が発生することを確認している。そしてこれらを連携させて得られた結果を踏まえて形状変更を行い、吸入管の剛性を高めることで騒音対策が行えたことを紹介する。図12にスライドの例を示す。

そして今後の課題として、実験担当者側からみたCAE解析への要望、およびCAE担当者側からみた課題について説明する。

最後にまとめとして、実験担当者は実験モード解析のみに、CAE担当者はCAE解析のみに偏る傾向があるが、効率的に問題を解決するためには、実験担当者とCAE担当者がお互いを理解しあう気持ちを持ち、目的を共有化してバランスよくレベルアップを図っていくことが重要であるということを認識させる。

応用事例:コンプレッサ配管の騒音対策例

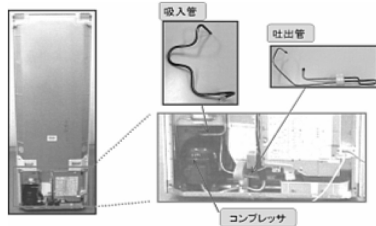


図06-2-2 対象物の概要

図12 事例のスライド

IV アンケート調査と分析

1. アンケートの概要

開発したコースおよび指導方法の有効性を確認するため、試行セミナーの終了後、14名の受講生に対してアンケート調査を行った。表3にアンケートの設問項目を示す。調査項目は、①受講生自身について(Q1～Q5、Q15)、②講習内容についての満足度(Q6、Q8、Q13)、③教材・機材について(Q10～Q12)、④有効性について(Q14)、⑤自由記入欄(Q7、Q9、Q16、Q17)の5項目である。

表3 アンケートの設問項目

Q1	職種
Q2	経験年数
Q3	受講動機
Q4	受講目的
Q5	予備知識・技術
Q6	学科内容の満足度
Q7	学科に不足する内容
Q8	実技内容の満足度
Q9	実技に不足する内容
Q10	テキスト
Q11	スライド
Q12	機材
Q13	講習時間
Q14	仕事に役立つか
Q15	関連講習の受講経験
Q16	その他の関心のある課題
Q17	意見等

2. アンケート結果の分析

1) 受講生自身について

受講生の約80%が設計開発関係の職種であり、経験年数は1年～5年が70%、5年以上が30%の比率である。これより、コースの設計時に想定した対象者「これから振動に関する業務に携わろうとしている者」の条件をほぼ満足していることがわかる。ただし予備知識・技術については約70%が持っていると回答しており、業務については「振動に関する業務」ではなく

「モード解析に関する業務」に限定した方が適切かもしれない。

また、受講の目的についてであるが、現在の仕事の遂行に必要という回答が約60%で、それ以外は将来の仕事のため、およびスキルアップが目的としている。受講の動機については、自主的あるいは上司・同僚の勧めにより積極的に受講していることがわかった。そして、他に関心のある課題としては、解析関係5名、実験関係1名、音・振動関係2名、その他4名の回答が得られ、現在または将来的にCAE解析を担当する者の比率が高いのではないかと推察される。

2) 講習内容についての満足度

学科および実技に関する講習内容についての満足度の集計結果を図13に示す。「大変満足」と「満足」の回答を合わせると、学科については72%、実技では64%となり、さらに「普通」の回答までを含めると、学科は86%で実技は100%となる。これらの結果より高い満足度が得られていることがわかる。不満な点については、自由記入欄の分析より「講習時間が短い」ことが不満の原因と考えられる。時間が短いことにより、「初心者は振動の基礎について理解不足に陥った」、「FFTアナライザをブラックボックス的に扱った」、「実技を十分に行えなかった」ことなど理解度が不足していることが問題として指摘されている。しかし、これらの内容は60時間のコースを12時間に短縮する際に割愛した部分であり、本来の講習時間が確保できれば問題にはならない。

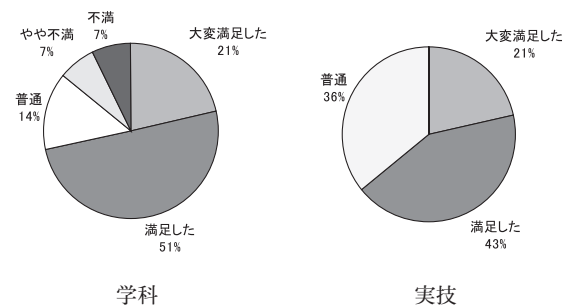


図13 講習内容についての満足度

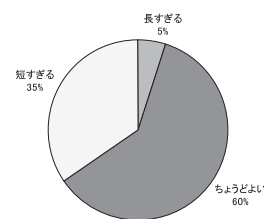


図14 講習時間についての満足度

講習時間についての満足度の結果を図14に示す。「短すぎる」の回答が約30%を占めている。この割合が講習内容の「普通」以下の回答の割合と、ほぼ一致していることから、内容に関する不満は講習時間に起因していることが推察できる。

3) 教材・機材について

使用した教材に関する満足度の結果を図15に示す。教科項目ごとに満足度を調査したが、ここでは平均化した結果を示している。スライドとテキストについては、「良かった」と「まあまあ良かった」とを合わせて約80%であり、作成した教材による指導がとても効果的であるということが実証された。

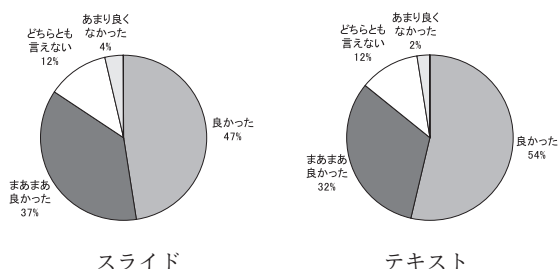


図15 教材についての満足度

使用した実習機材に関する満足度の結果を図16に示す。およそ6割が「充実している」と回答している。また約3割が「もっと増やしてほしい」という回答である。機材については、会場や準備期間などの都合で台数が手配できなかったことがある。今回は14名の受講生に対して、振動現象実験装置が2台、CAE解析実習用のパソコンが5台、ハンマリング試験装置が1台であり、台数が不足していることが満足度の低下を招いたものと考えられる。これはCAE解析実習用パソコンを人数分用意するなど、十分な台数が確保できれば解決できる問題である。

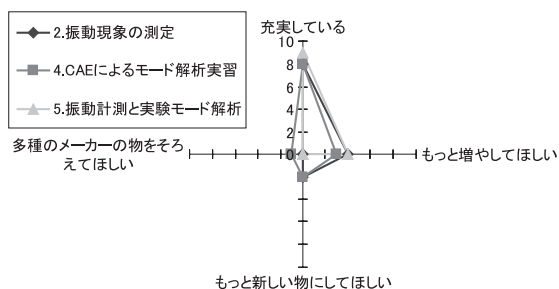


図16 実習機材についての満足度

4) 有効性について

図17に今後の仕事への活用度に関する結果を示す。「すぐに役立つ」と、「将来的に役立つ」という回答が半々であった。今回のセミナーが職業教育訓練という範疇に属することを考えると、この設問が最も根幹的で重要な項目である。この意味からも「役立つ」という回答が皆無であったことは大きな意味を持ち、今回の指導（指導計画、使用教材・機材、指導法）が有効であったと評価することができる。

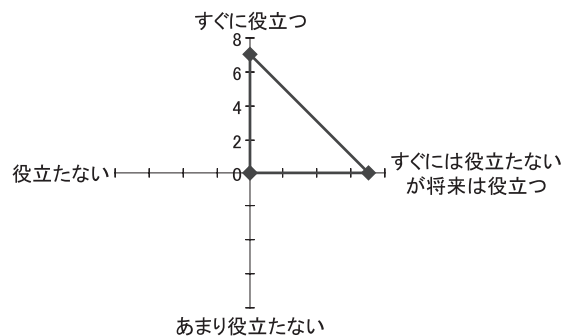


図17 今後の仕事への活用度

V おわりに

「振動実験及び振動解析を活用した機械設計技術」コースに関する指導法の有効性、およびコースの実現可能性を評価するために試行セミナーを実施し、受講生へのアンケート調査を行った結果、以下のことが明らかになった。

- ①指導内容（指導計画、使用教材・機材、指導法）に関して、大変有効であると評価できる。
- ②時間配分については受講生の予備知識に配慮し、十分な講習時間を確保することが肝要である。
- ③人数に合わせた台数の機器を準備する必要がある。

なお今回開発した教材は応用課程レベルの内容で、対象者として若年者を想定している。在職者に対して対応が可能なカリキュラムである応用課程の訓練において社会ニーズに対応していくためには、このような成果を活用していくことが肝要であると考えている。

【参考文献】

- (1) 職業能力開発総合大学校能力開発研究センター、教材情報資料No.114、「応用短期課程モデル教材（振動実験及び振動解析を活用した機械設計技術）」、2006年3月