

機関番号：24402

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2008～2010

課題番号：20560224

研究課題名（和文） 学習型モデルベース診断手法の開発

研究課題名（英文） Development of diagnosis technique using trained model

研究代表者

川合 忠雄 (KAWAI TADAO)

大阪市立大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：20177637

研究成果の概要（和文）：本研究では、回転軸系、エンジンマウントおよびエアコンを対象としてモデルを用いた診断手法について検討した。研究では、最初に Modelica 言語を用いてこれらのモデルを作成したのちに各種異常を組み込んだ。次に、正常な場合と異常の場合についてシミュレーションを行い、得られたデータに基づいて正常と異常の判別をする手法を検討した。判別には、意味ネットワーク、逆問題解析、サポートベクトルマシンを用い、正常な場合と異常な場合とを精度よく判別することが可能となった。

研究成果の概要（英文）：In this study, we developed the model based diagnosis technique for a rotational shaft, an engine mount and an air-conditioner. First, we build models by using Modelica language. And then, we build various abnormalities in a model. Modeling was carried out by Physical relations both for normal and abnormal phenomenon. Second, simulations were done with and without failures to develop diagnosis technique. We used semantic network, inverse technique and support vector machine for diagnosis. Finally, we confirmed our developed technique well distinguished an abnormal case from normal one.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	2,000,000	600,000	2,600,000
2009 年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2010 年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学、機械力学・制御

キーワード：機械力学・制御、知能機械、計測工学、診断、評価

1. 研究開始当初の背景

(1)近年はいろいろとところで不十分な設備管理による重大な事故が頻発している。エレベーターやジェットコースターの事故、原子力発電所の地震対策の不備、橋の崩落など、どこでいつ事故に遭うか分からない不安な状況になっている。消費者・ユーザーも高性能で安価なものを求める時代から、安心・安全を求める時代になってきた。

(2)従来、設備の診断をする手法として、統計的手法とモデルベース手法が提案されてきた。統計的手法は、設備に対する詳細が分からない場合にも適用が可能であるという長所をもつが、判定のためには事前に、正常な場合、異常な場合（判定する異常の種類に応じたもの）のデータが必要となるという欠点がある。モデルベース手法は、対象の設備のどこにどのような異常が存在するかを明確

に把握できる長所をもつが、対象の正確な数学モデルが必要となる。このように両手法にはそれぞれ一長一短があり、対象の複雑さと得られるデータセットに応じて適切に使い分ける必要があった。

2. 研究の目的

本研究では、対象の設備を物理的なモデルで表した上で、正常な場合と異常な場合をモデル上で再現し、モデルから得られたデータに統計的な手法を適用して診断する「ハイブリッド診断手法」を提案する。

3. 研究の方法

対象のモデル化（対象とする要素を物理的特性／支配法則／境界条件に分けた上で組合せにより設備全体のモデル化実施）を行った上で、作成したモデルに異常を組み込み（モデル化）、正常及び異常なデータを取得したのち、それらを学習させ、最終的にあるデータが得られたときにそれが正常なのか異常なのかの判別を行う。

4. 研究成果

回転軸系、エンジンマウントおよびエアコンに対して得られた結果を以下にまとめる。

(1) 回転軸系

図1は回転軸系を Modelica 言語を用いてモデル化したものを示す。下図が回転軸系、上図が Modelica 言語によるモデル化である。このモデルには、①回転体部には静不釣り合いと動不釣り合い、②カップリング部には静不釣り合いと芯ずれ、③軸受部には内輪、外輪転走面の傷を異常として組み込んだ。

図2には一例として、軸受け外輪の転走面に傷がある場合の例（モデルでは小さな不釣り合いも入れてある）を示すが、過去に報告された事例と非常に一致を示している。

図3は、異常を組み込んだシミュレーションデータを用いて意味ネットワークを学習させたときの結果を示す。意味ネットワークにより、原因とそれによってもたらされる現象

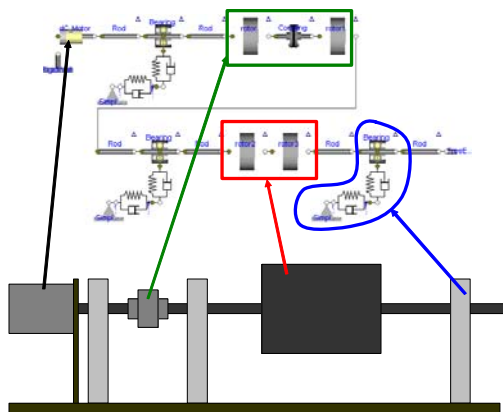


図1 回転軸系のモデル化

■ 傷面と玉との衝突

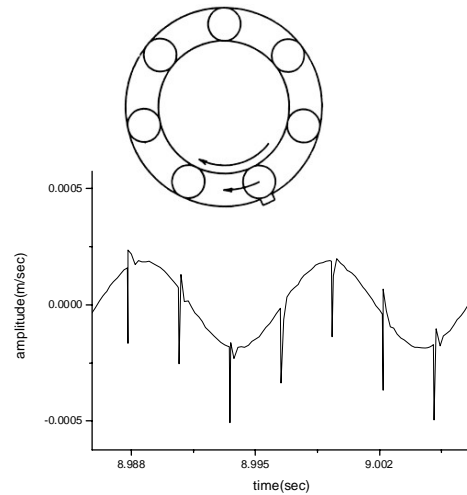


図2 軸受外輪傷がある場合の例



図3 意味ネットワークによる学習結果

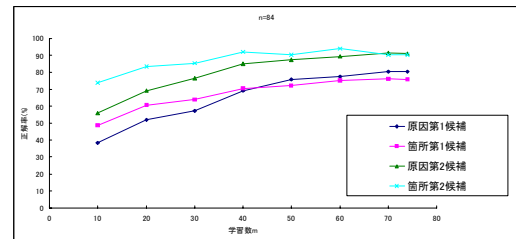


図4 学習による認識率の向上

が矢印によってよく表現されている。この学習された意味ネットワークに対して、ある異常な現象が起きているシステムの特徴を問い合わせると、意味ネットワークは原因と現象の関連度を考慮して、その現象を引き起こしている原因を列挙してくれる。

図4には学習によって認識率が向上した例を示す。図から学習数が60を越えると認識率が90%以上になることが分かる。

(2) エンジンマウント

図5には1気筒のエンジンクランクのモデルを示す。本研究では、燃焼による圧力上昇およびクランク等の運動による慣性力がエンジンマウントに作用して、エンジンマウントが振動する様子をモデル化した。モデルでは、船舶用のエンジンを対象に、6気筒エンジンをモデル化した。

図6にはシミュレーションで得られたエンジンの回転数変化を示す。本モデルでは、燃焼による圧力変化によってクランクが回転するとしているので、6気筒分の回転数変動が現れている。

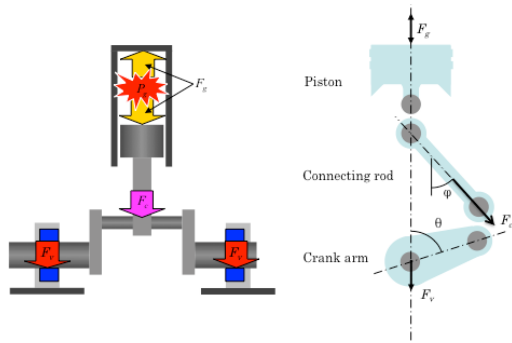


図5 1気筒エンジクラクモデル

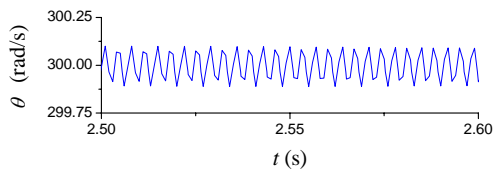


図6 クランクの回転数変動

本研究では、エンジンの振動モデルを構築し、定常状態（燃焼と回転によるエンジンの振動）でのエンジンの振動データを利用して、モデルから逆問題的にマウントのばね定数を同定した。同定したばね定数は、損傷を仮定したばね定数をほぼ同程度の値を示し、逆問題解析を用いてマウントの損傷を精度よく推定できることが分かった。

(3) エアコン

エアコンに発生する異常（室内機および室外機の目詰まり）を NN および SVM を用いて検知する手法について検討した。研究の第1段階としては、準定常状態のデータ（各所の温度）を用いて、SVM に正常状態と異常状態を学習させた。次に、不明な状態を学習済みの SVM によって正常か異常かを判定させた。本手法を用いることにより精度よく状態の判別をすることができた。第2段階としては、コンプレッサの動作開始に伴う過渡的なデータ（各所の温度）を ARX モデルで同定し、同定したモデルパラメータを SVM に学習させることによって識別機を構成した。この識別機に不明な状態を判別させることによって精度よく状態の判別をさせることができた。図7には上記の概念を示す。本手法については、Modelica 言語を用いたシミュレーションで識別性能を評価するとともに実際のエアコンでの実験によって識別性能を確認した。どちらの場合にも90%以上のよい識別性能を示した。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

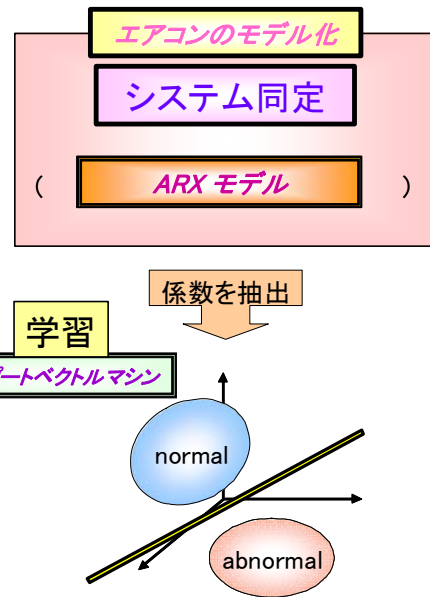


図7 ARXモデルとSVMによる診断

〔雑誌論文〕(計1件)

①川合忠雄、ウェーブレット解析を用いた多軸ボール盤の加工状態監視、日本設備管理学会誌、Vol.21、No.3、2009、54-58、査読有り

〔学会発表〕(計11件)

①川合忠雄、谷池秀斗、串崎聖也、サポートベクトルマシンを用いたエアコンの診断手法について、第9回評価・診断に関するシンポジウム、2010.12.17、サンポートホール高松

②川合忠雄、今村樹人、エンジンマウントの異常診断に関する研究、D&D2010、2010.9.17、同志社大学

③T. KAWAI、S. KUSHIZAKI、Diagnosis of Air-conditioner by SVM、COMADEM2010、Nara(Japan)

④井上良太、川合忠雄、八竹英紀、モデルと意味ネットワークの融合による診断支援技術、第8回評価診断に関するシンポジウム、2009.12.9、金沢工業大学

⑤K. Narukawa、T. Kawai、Development of Cutting Force Measurement Technique for Milling Process with Small Diameter End Mill、LEM21、2009.12.3、Osaka(Japan)

⑥H. Yachiku、R. Inoue、T. Kawai、Diagnostic Support Technology by Fusion of Model and Semantic Network、4th WCEAM、2009.9.17、Greece

⑦竹中大典、川合忠雄、微小径工具加工における切削トルク測定装置の開発、精密工学会秋季大会、2009.9.11、神戸大学

⑧串崎聖也、川合忠雄、NNを用いたエアコンの異常診断について、D&D2009、2009.8.7、

北海道大学

⑨ T. Kawai、S. Arai、Damage Prediction Technique Based on Physical Modeling with Modelica Language、COMADEM2009、2009. 6. 9、Spain

⑩ 八竹英紀、井上良太、川合忠雄、モデルと意味ネットワークの融合による診断支援技術、日本設備管理学会創立20周年記念大会、2008. 12. 2、横浜パシフィコ

⑪ 新井智志、川合忠雄、モデルを用いた損傷予測手法について、日本設備管理学会創立20周年記念大会、2008. 12. 2、横浜パシフィコ

6. 研究組織

(1) 研究代表者

川合 忠雄 (KAWAI TADAO)

大阪市立大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：20177637

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし