The Japan Society of Mechanical Engineers

214　歯車異常時の振動特徴の解明及び診断法

(第２報，偏心状態、摩耗状態及びスポット傷状態の識別法)

Dynamics and diagnosis Method on Gear Drive
(2nd Report, Diagnosis Method of Faulty stats)

正　○陳　　鵬（九工大）　　馮　　芳（九工大）　　正　豊田　利夫（九工大）
Peng CHEN, Fang FENG, Toshio TOYOTA, Kyushu Institute of Technology, Kawazu680-4, Iizuka, Fukuoka

After investigating the feature of normal state and fault states by simulation and experiments in 1st report, the diagnosis method is discussed in this paper. For diagnosing eccentricity and spot flaw state, the spectra of enveloped waveform are used to extract the feature frequency components in the spectra. The diagnosis algorithms for diagnosing the two types of fault states are shown in this paper.

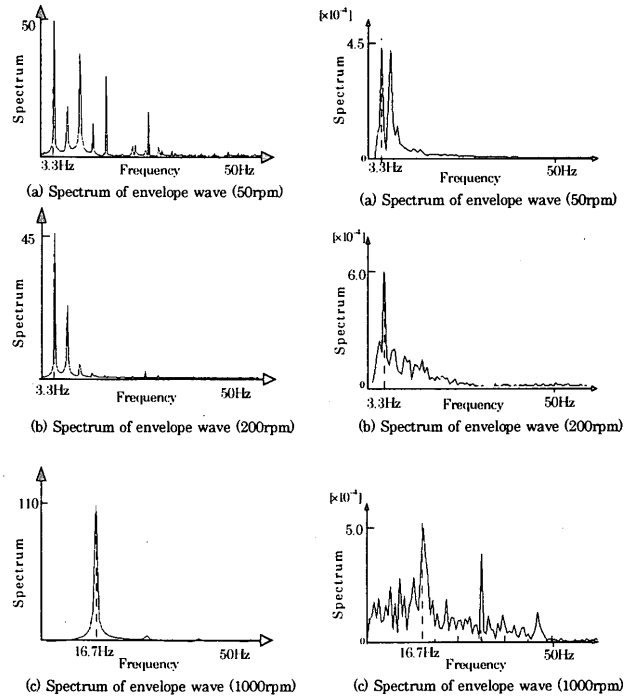
We have investigated the waveform features of two types of worn gears and found the feature of spectra measured in the wear states. When a gear is worn, its spectrum power in low frequency area becomes larger than that in normal state. Three symptom parameters in frequency domain are defined to distinguish wear state. We have verified the efficiency of these diagnosis methods by simulations and experiments.

Key words: Gear Drive, Dynamic Characteristics, Fault Diagnosis, Vibration Analysis.

1．緒　　言

本報では，前報の動特性解析法およびシミュレーション結果により解明した各異常状態の振動の特徴に基づき，各異常状態を識別する方法を提案する．

すなわち，偏心状態とスポット傷状態について，振動波形の包絡線スペクトルによる診断法を検討する．また，摩耗状態については，「平面摩耗」と「滑り摩耗」について，周波数領域の特徴パラメータを定義し，摩耗状態を識別するための有効な特徴パラメータを示す．



(a) Spectrum of envelope wave (50rpm)
(b) Spectrum of envelope wave (200rpm)
(c) Spectrum of envelope wave (1000rpm)
(a) Spectrum of envelope wave (50rpm)
(b) Spectrum of envelope wave (200rpm)
(c) Spectrum of envelope wave (1000rpm)

Fig. 1 Spectra of enveloped waveform of eccetricity state

2．偏心状態とスポット傷状態の識別法

2.1　偏心状態について　従来，偏心状態時の振動信号は正弦波（一回転毎に一周期）のような等幅の振幅変調波形であるといわれていた．しかし，本研究でのシミュレーションと実験との結果により，偏心状態のときには，振動波形の形状は回転数の変化につれて変化し，特に低い回転数の場合，必ずしも正弦波のような等幅変調波形でないことがわかった．

偏心状態を診断するために，Fig.1 にシミュレーション波形と実験波形の包絡線のスペクトルを示す．これらのスペクトルを比較すると，シミュレーション波形と実験波形の包絡線のスペクトルの特徴周波数が一致することが分かる．

また，これらのスペクトルにより，回転数が高い場合（200rpm 以上），スペクトルの回転周波数成分にピークが現れることがわかる．しかし，回転数が低い場合（200rpm 以下），振動信号が一回転毎に数周期のような振幅変調波形なので，回転周波数の整数倍の周波数成分にピークが現れる．

2.2　スポット傷状態について　前報のスポット傷状態のシミュレーション波形と実験波形と比較すると，いずれも，スポット傷状態の場合には，1 回転ごとに一つのインパルスのようなピーク値が現れることがわかる．

スポット傷状態を診断するために，Fig.2 に示すようにシミュレーション波形と実験波形の包絡線のスペクトルを求めた．これらのスペクトルを比較すると，シミュ

NII-Electronic Library Service

レーション波形と実験波形との包絡線スペクトルの特徴周波数が一致することがわかる.

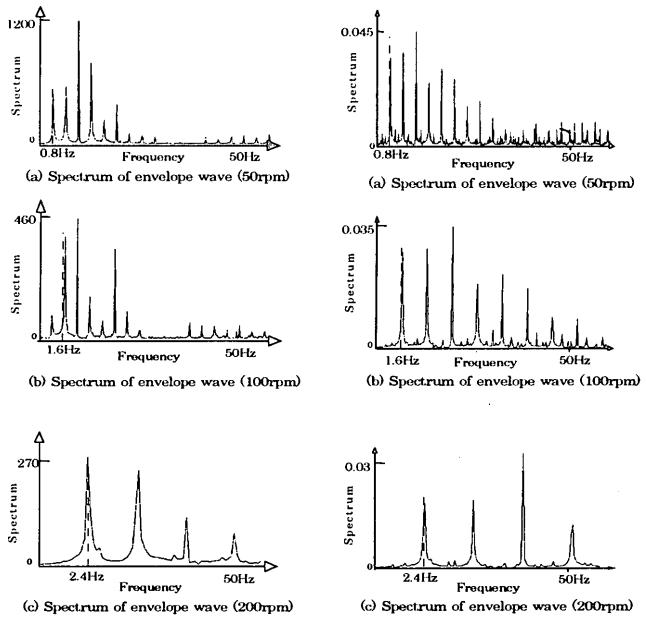


Fig. 2 Spectra of enveloped waveform of spot flaw state

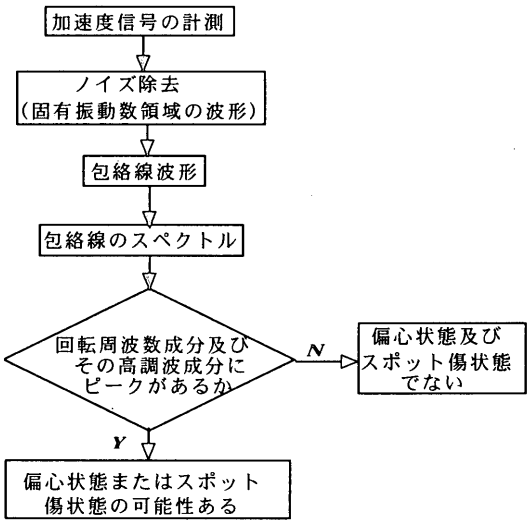


Fig. 3 flowchart for diagnosing eccentricity and spot flaw

2.3 偏心状態とスポット傷状態の識別法 包絡線スペクトルによって偏心状態とスポット傷状態を診断する場合には，回転数成分およびその高調波（回転数周波数の整倍数）に基づいて判定する必要がある．Fig.3 に診断の流れを示す．包絡線スペクトルの回転数成分およびその高調波（回転数周波数の倍数）にピークがあれば，偏心状態とスポット傷状態の可能性がある．なお，この診断の流れは偏心状態と同じであるが，スポット傷状態か，偏心状態かの識別は時間波形の形状で区別できる．

3．摩耗状態の識別法

Fig.4 は正常と摩耗状態の時系列波形とスペクトル（50, 100,200rpm）を示す．これらのスペクトルを観察すると，摩耗状態の噛み合い振動周波数は正常状態より低くなることが分かる．この現象は前報のシミュレーション波形でも観測できる．

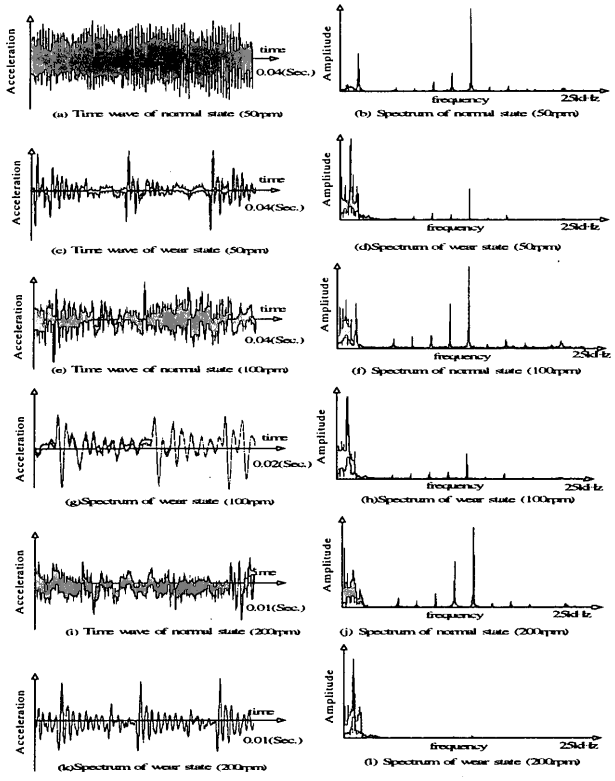


Fig.4 Vibration waveform and spectra of wear state and normal state

シミュレーション結果と実験結果に基づき，歯車摩耗状態を診断するために，周波数領域における特徴パラメータは次のように定義する．

1）低・高周波パワー比

$$p_1 = \frac{\sum_{i=1}^{N/8} F(f_i)}{\sum_{j=N/8}^{N} F(f_j)} \tag{1}$$

ここで，F(fi)は包絡線スペクトル，f_i は周波数，N は離散スペクトルの最大点数である．

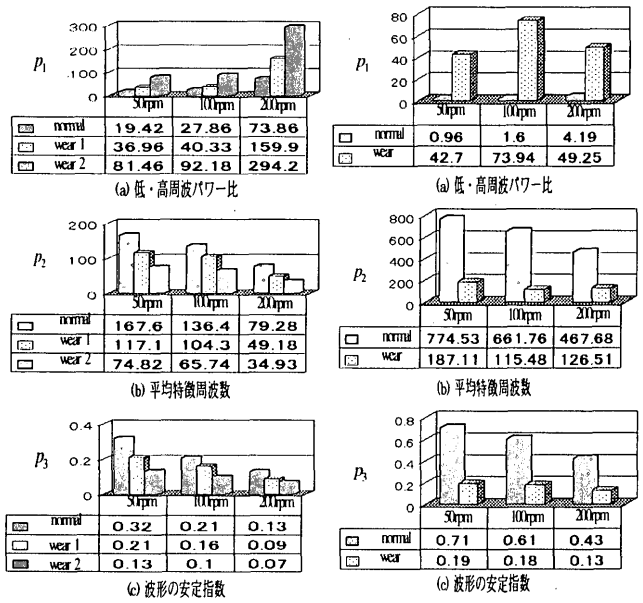
2）平均特徴周波数

$$p_2 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N/2} f_i^2 F(f_i)}{\sum_{i=1}^{N/2} F(f_i)}} \tag{2}$$

3）波形の安定指数

NII-Electronic Library Service

$$p_3 = \frac{\sum_{i=1}^{N/2} f_i^2 F(f_i)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{N/2} F(f_i) \times \sum_{i=1}^{N/2} f_i^4 F(f_i)}} \qquad (3)$$



(・) Calculated by simulation　　(・) Calculated by tests

Fig.5　Values of symptom parameters

摩耗状態のシミュレーションのスペクトルから求めた上記の特徴パラメータをFig.5(・)に示す．なお，「wear 1」は「平面摩耗」，「wear 2」は「滑り摩耗」である．この結果より，歯車摩耗の場合，低周波数パワーが大きくなるため，摩耗時の「低・高周波パワー比（p_1）」は正常時より大きく，逆に「平均特徴周波数（p_2）」は正常時より小さくなることがわかる．また，摩耗時の「波形の安定指数（p_3）」も正常より小さくなることがわかる．

実験装置を用いて得られた正常状態と平面摩耗状態のスペクトル（Fig.4）から，上記の3つの特徴パラメータを計算した結果をFig.5(・)に示す．同図より，実験の結果はシミュレーションの結果と一致することがわかる．

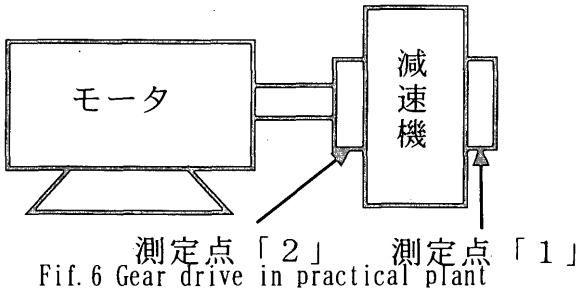
したがって，式(1),(2),(3)に示す周波数領域の特徴パラメータは歯車の摩耗状態を監視・診断するために用いることができる．

4．現場減速機の実例による検証

本研究で提案した諸手法及び得られた結果を検証するために、現場の実測データについて解析を行った。

Fig. 6 は現場で使用されている減速機である。この減速機の状態を監視するために、図に示すように回転軸の軸受箱上で振動波形を測定していた。

点検測定状況は Table 1 に示す。また、Fig. 7 は各時間に測定点「1」で測定した振動波形（加速度）である。



Fif. 6 Gear drive in practical plant

Table 1 Inspection condition

測定日	5感判定
1998年11月9日	「正常」（使用期間約3年）
1999年5月21日	異音がする（小）。 特に測定点「1」の振動大
1999年6月15日	異音が大きくなった。
1999年6月22日	新品（予備機と取替実施）

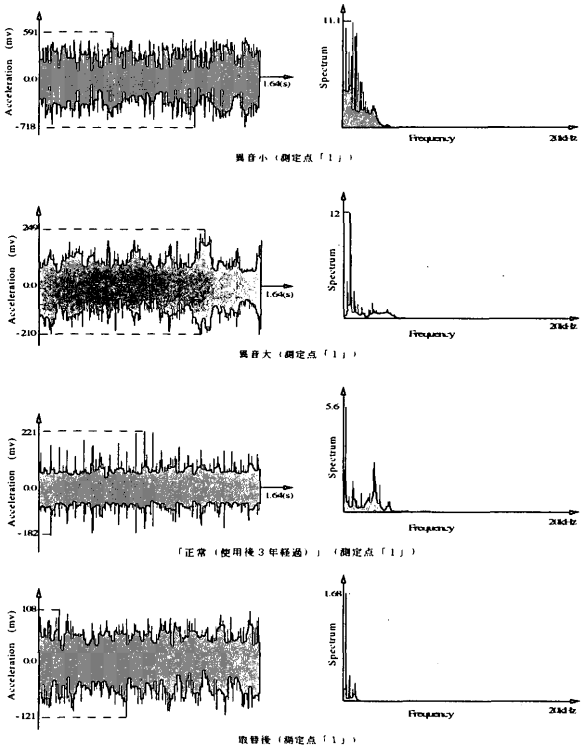


Fig. 7 Time signals and spectra

ここで「正常」と判定した状態は、歯車は使用後すでに3年経過し、歯車の歯面には磨耗が進んでいると考えられる。本当の「正常状態」は予備品と取り替えた後の状態である。

Fig. 8 は Fig. 7 に示す測定点「1」の振動波形を用いて、式(1), (2), (3) に示す3つの特徴パラメータを計算した結果を示す。

NII-Electronic Library Service

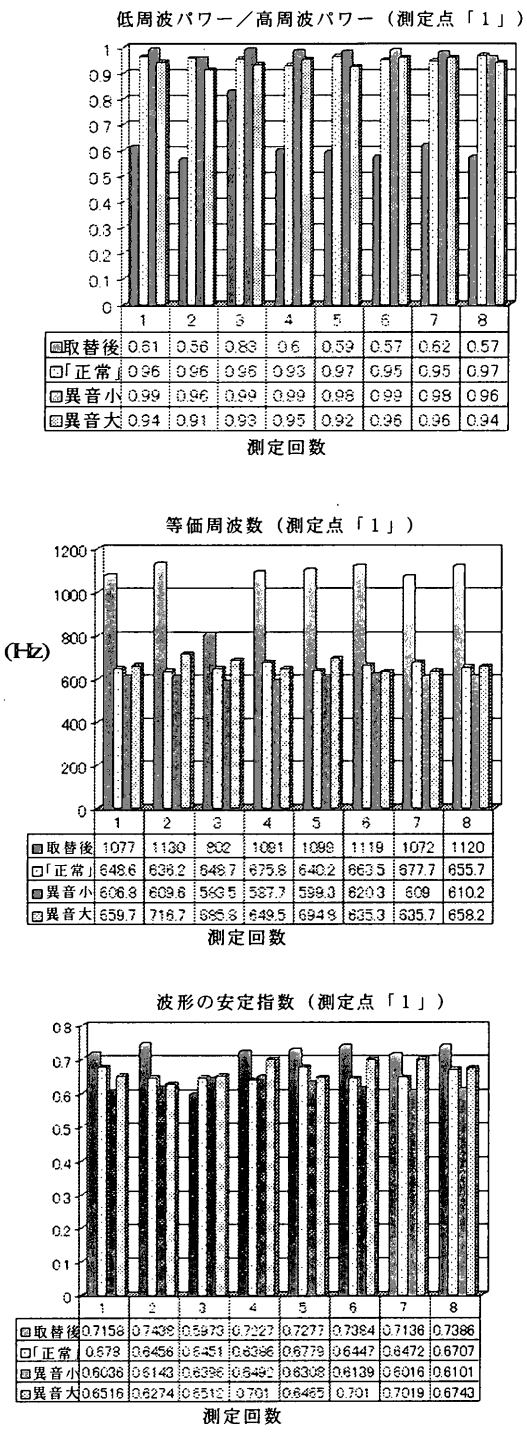


Fig. 8 Calculating results of symptom parameters Using the data in inspection point [1]

また、Fig. 9 は測定点「2」の信号を用いて、計算した特徴パラメータの結果である。Fig. 8 と Fig. 9 の結果は Fig. 5 に示した結果とよく一致することが確認できる。

5．結　言

前報に述べた動特性解析法およびシミュレーションにより解明した各異常状態の振動特徴に基づき，各異常状態を識別する方法を提案した．主な結果は次の通りである．

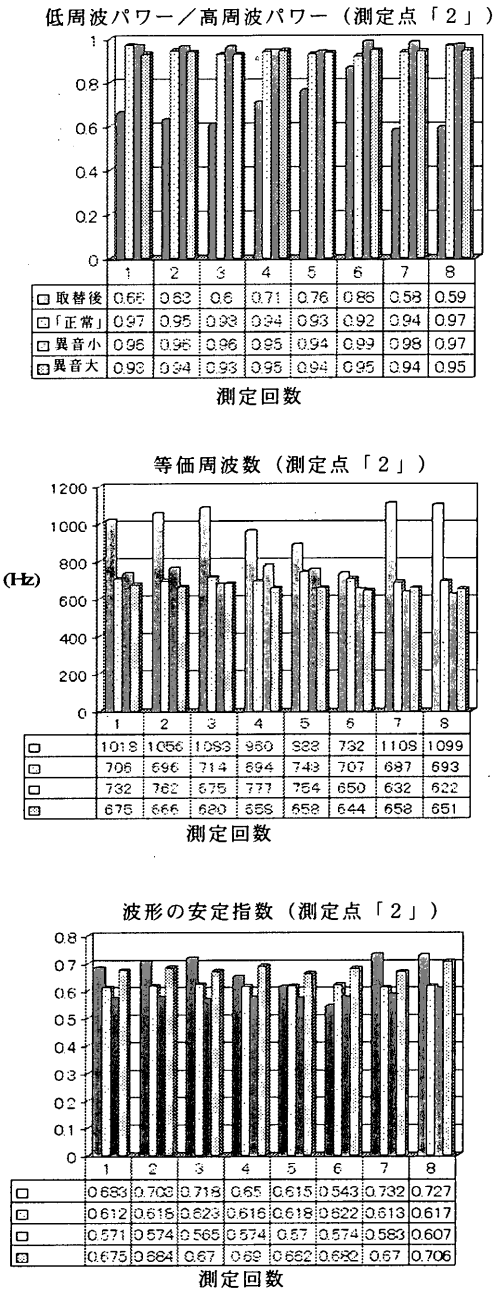


Fig. 9 Calculating results of symptom parameters Using the data in inspection point [2]

(1) 従来，偏心状態診断時，特に低い回転数の場合の誤解を指摘し，包絡線のスペクトルによる偏心状態とスポット傷状態を診断する方法を示した
(2) ２種類の摩耗状態（「平面摩耗」と「滑り摩耗」）につい　て検討し，摩耗状態を識別するために定義した３つの特徴パラメータにより摩耗状態を識別する方法を提案した
(3) シミュレーション結果と実験結果と良く一致することを確認した．
(4) 現場の実測データを用いて、磨耗状態の診断に用いる周波数領域の特徴パラメータの有効性を確認した。

NII-Electronic Library Service