三次元空間情報による異常振動の解析*

小村 英智^{*1}, 下村 和広^{*2}
芝田 和雄^{*1}, 中川 紀壽^{*3}

Analysis of Faulty Vibration by Three-Dimensional Information

Hidemichi KOMURA^{*4}, Kazuhiro SHIMOMURA,
Kazuo SHIBATA and Noritoshi NAKAGAWA^{*4} Machine Diagnosis Technology Department, Rion Co., Ltd.,
3-20-41 Higashimotomachi, Kokubunji-shi, Tokyo, 185-8533 Japan

Some kind of machine faults such as unbalance, misalignment, looseness, and eccentricity occupy the most part of the category of fault of structure. It is important to diagnose these faults accurately to prevent the recurrence of the same fault. The unbalance includes static unbalance, couple unbalance, quasi-static unbalance and dynamic unbalance. The misalignment includes parallel misalignment and angular misalignment. In any fault of structure, vibrations both perpendicular and parallel to the rotation shaft occur, and the directional characteristics of vibration change with the type of machine fault. If we measure vibrations in three directions by a conventional unidirectional type of vibrometer, the measured data does not include enough information for diagnosis. It is extremely difficult to diagnose the fault of structure accurately only by this information. It is necessary to observe and analyze the movement of measured point in order to diagnose the fault and search its causes by using three directional information processing technology that measures orthogonal three directional vibrations simultaneously and uses the phase information among them. To realize it, the analysis technique of vibration information in 3-dimensional space is necessary. In this paper, we describe a new hand-held type triaxial vibrometer and its pickup. The operation principle is quite different from conventional triaxial pickups. A detailed operation principle of the new pickup is reported. Finally we propose new display method and data processing technique of vibration in 3-dimensional space.

Key Words: Fault of Structure, Rotating Machinery, Triaxial Vibration Pickup, Elliptical Orbit, 3-Dimensional Display

1. 緒 言

回転機械のメンテナンスを行うとアンバランス、ミスアライメント、ガタ、偏心は構造系故障の大部分を占めている。これらの故障を的確に診断することは故障を再発させないために重要な課題である。

アンバランスの中にも静アンバランス、偶力アンバランス、動的アンバランスなどがある。ミスアライメントにも芯ずれミスアライメントと面ずれミスアライメントがある。これら故障は回転軸に直角な方向および軸方向の振動を発生するが、故障によって軸受に現れる振動の動態が異なる。従来使われている一方向だけ測れる振動計を用いて三方向の振動を測定することもあるが、それだけの情報では診断を的確に行うことは極めて難しい。直交3軸の振動を同時に測定し、その三次元空間の振動情報を用いて測定点の動態を観測して解析することが異常原因を探求するために理想的な方法である。そのためには三次元空間の簡便な測定手

段と、三次元空間の振動情報の解析手法が必要である。

本論文は、新たな原理による押当式の3軸振動ピックアップと、その振動ピックアップを搭載した振動計について述べ、最後にこの振動計で測定した三次元空間の振動データの新たな表示法と演算処理方法を提案するものである。

2. 振動ピックアップの動作原理^{(1), (2)}

2.1 水平振動の検出 図1に水平面に沿って運動している面に棒を押し当てた時の棒の運動を示す。棒上のB点から左右の等距離の点をEおよびNとする。E点とN点に振動センサ素子を取り付けて、その受感軸が棒の先端Uと角度 θ で交わる構造とする。棒の先端Uが平面方向の水平振動をしている面に押し付けられると、E点およびN点は平面方向に運動すると同時に、中心線がO点を支点に傾斜するためにB点を中心としたロッキング運動をする。この場合、E点とN点の振動センサ各素子は水平方向の運動とロッキング運動が合成された運動のUE, UN方向への成分の信号を検出する。

図2はE点の運動を用いて新たな押当式3軸振動ピックアップの動作原理を示すものである。図2で、O点を座標の原点としUO方向にz軸、直交する左右方向にy

* 原稿受付 2002年5月30日。

^{*1} 正員, リオン(株)設備診断開発室(☎185-8533 国分寺市東元町3-20-41)。^{*2} リオン(株)設備診断開発室。^{*3} 正員, 広島大学大学院(☎739-8527 東広島市鏡山1-4-1)。

E-mail: komura@rion.co.jp

Fig.1 Motion of a bar on horizontally moving surface

軸をとる.

B, U点のz軸上の座標を **b** , **u** とし, E点のy軸上の座標を **e** とする. 先端Uが関数 **$y_U(t)$** でy軸方向に振動すると, E点のセンサはE点でのy方向運動で発生する成分 **$y_E(t)$** とロッキング運動で発生する成分 **$z_E(t)$** のそれぞれのUE方向成分を同時に検出する. 従って, センサEの検出信号 **$p_E(t)$** は

$$p_E(t) = y_E(t) \sin \theta + z_E(t) \cos \theta \quad (1)$$

である. 先端Uがy方向に運動するときの原点Oの振角を **$\delta(t)$** とするとB点のy方向の振幅 **$y_E(t)$** はOB間の距離 **b** と振角の積

$$y_E(t) = b \sin \delta(t)$$

となる. 同様にE点のロッキング運動による振幅 **$z_E(t)$** はBE間の距離 **e** と振角の積で求められ

$$z_E(t) = e \sin \delta(t) \quad (2)$$

となる. これを(1)式に代入すると

$$p_E(t) = (b \sin \theta + e \cos \theta) \sin \delta(t) \quad (3)$$

となり, さらに **$b = u - e \cos \theta / \sin \theta$** の関係から, (3)式は

$$p_E(t) = u \sin \theta \cdot \sin \delta(t) \quad (4)$$

となる. (2)式と同様に幾何的な関係から

$$\sin \delta(t) = y_U(t) / u \quad (5)$$

が得られる. (4)式と(5)式からE点で検出される信号は,

Fig.2 Operation principle

$$p_E(t) = y_U(t) \sin \theta \quad (6)$$

となり, E点のセンサが検出する信号 **$p_E(t)$** は受感軸と中心線の交差角 **θ** だけに依存する関数となる. この交差角 **θ** は構造的に決めることができる.

2.2 水平と垂直振動の検出 接触点Uが垂直(z)方向に **$z_U(t)$** で運動しているときのセンサの検出信号は幾何的な関係だけによって決まり, **$z_U(t) \cos \theta$** である. したがって, 接触点Uが水平運動と垂直運動を同時に行っているときにEに取り付けられたセンサで検出される信号は,

$$p_E(t) = y_U(t) \sin \theta + z_U(t) \cos \theta \quad (7)$$

となる. Eと対称な位置Nのセンサの検出信号は垂直方向の運動についてはEのセンサの検出信号とまったく同じであるが, 水平方向運動については逆位相であり,

$$p_N(t) = -y_U(t) \sin \theta + z_U(t) \cos \theta \quad (8)$$

となる. (7)式および(8)式のとおよび差からそれぞれ垂直方向と水平方向の運動成分が求められる.

垂直成分は

$$z_U(t) = \frac{p_E(t) + p_N(t)}{2 \cos \theta} \quad (9)$$

であり, 水平成分は次式となる.

$$y_U(t) = \frac{p_E(t) - p_N(t)}{2 \sin \theta} \quad (10)$$

2.3 水平2方向と垂直振動の検出 直交する水平2方向と垂直方向の振動を検出するための構造を図3に示す. 三方向の振動は垂直方向のz軸の周りに間隔 **η** ($= 2\pi/3$)毎に3個のセンサを配置して, 幾何的な補正を施すだけで得られる. 接触点Uが垂直方向(z方向)に **$z_U(t)$** , 水平方向(y方向)に **$y_U(t)$** , y方向に直交する水平方向(x方向)に **$x_U(t)$** で運動しているときの, センサ1, 2および3によって検出される信号 **$p_1(t)$** , **$p_2(t)$** , **$p_3(t)$** は,

$$p_1(t) = y_U(t) \sin \theta + z_U(t) \cos \theta \quad (11)$$

$$p_2(t) = -x_U(t) \sin \eta \sin \theta + y_U(t) \cos \eta \sin \theta + z_U(t) \cos \theta \quad (12)$$

$$p_3(t) = x_U(t) \sin \eta \sin \theta + y_U(t) \cos \eta \sin \theta + z_U(t) \cos \theta \quad (13)$$

となる. 各センサの検出信号 **$p_1(t)$** , **$p_2(t)$** , **$p_3(t)$** からx方向, y方向, z方向の振動成分 **$x_U(t)$** , **$y_U(t)$** および **$z_U(t)$** が求められる.

$$x_U(t) = \frac{p_3(t) - p_2(t)}{2 \sin \eta \sin \theta} \quad (14)$$

Fig.3 Structural design of the hand-held type triaxial pickup

$$y_U(t) = \frac{2p_1(t) - p_2(t) - p_3(t)}{3\sin\theta} \quad (15)$$

$$z_U(t) = \frac{p_1(t) + p_2(t) + p_3(t)}{3\cos\theta} \quad (16)$$

2.4 押当式3軸振動ピックアップの試作 前項で

述べた動作原理に基づく押当式の3軸振動ピックアップを試作した。交差角 θ は計測機器の大きさを考慮して20度とした。図3に振動ピックアップの構造を示し、図4に試作した振動ピックアップの外観を示す。試作した振動ピックアップはせん断型センサ素子をチタンプロックに取り付けた。3個のセンサ素子の結合状態は1kHzまでの振動数範囲内で剛体とみなすことができる。

Fig.4 Appearance of prototype pickup

試作振動ピックアップは押し当て方向をz軸とし、それに直交する方向をx軸およびy軸とした。試作振動ピックアップの接触共振振動数は水平方向のx, y軸で5.2kHz, 垂直方向のz軸で3.5kHzであった。接触共振振動数の1/3の範囲の1kHzまでは平坦特性と見なすことができる。試作振動ピックアップのz軸を中心軸にして回転して測定したy軸方向の指向特性は ± 70 度の範囲で $\pm 5.0\%$ 以内でcos曲線に合致したが、90度方向の横感度は8.0%となり、従来の単軸の振動ピックアップの横感度5.0%以下に比べると若干劣っているが、実用的には問題のない性能である。

3. 軌跡振動計

押し当て3軸ピックアップを搭載した10Hzから1kHzまでの振動数範囲を測定できる振動計を開発した。開発した振動計の概観を図5に示す。測定したデータを128ドット $\times$ 64ドットの液晶に表示する。表示は図6に示すように数値表示と軌跡表示である。左の数値表示はフルスケール100mm/sまでの3方向それぞれの振動速度と、それらを合成した振動速度の4項目を表示する。合成値は方向性のないスカラー量であり、振動ピックの押し当て方向に依存しない量である。

軌跡表示は、サンプリングタイム391 μ s(2.56kHz)で1024データを採取して変位変換を行い表示する。図6の右に軌跡の表示例を示す。

試作した振動計は、3方向の振動と回転計からのパルスなど参照用の信号と共に8点までの波形情報を記憶させる機能を有する。この波形情報はパソコンにダウンロードして空間情報処理のデータとして使われる。

Fig.5 Orbit visualizing vibrometer

Numerical value Orbit of misalignment
Fig.6 Example of display

4. 三次元表示

本項は開発した振動計の測定データの空間情報処理に関して述べる。図7～9の事例データはパソコンにダウンロードしてからFFT解析を行ったものである。この事例データはモーターと負荷の間を図10に示すカブラ

Fig.7 Waveform and FFT spectrum of x-axis vibration

Fig.8 Waveform and FFT spectrum of y-axis vibration

Fig.9 Waveform and FFT spectrum of z-axis vibration

Fig. 10 Experiment coupling

一を用いて結合した回転機械のミスアライメント状態のものである。図7はx軸方向の振動波形とFFT解析による実数部と虚数部のデータである。同様に図8はy軸の振動データで、図9はz軸の振動データである。回転数をNとすると、これらx, y, z軸の振動は共に回転軸の回転数と同じ1Nの振動数と、その4倍の4Nの振動数から成っている。この4Nの振動数の発生は使われたカプラーの構造に起因すると推定できる。ここで得られた実数部と虚数部の回転数成分および4N成分の値とそれから計算できるそれぞれの位相を表1に示す。これらのデータは同時に測定されており、重要な空間情報として3軸間の位相情報を持っているが、従来この情報は見過ごされていて充分活用されていなかった。

本項はこの3軸間の位相情報を活用する方法を提案するものである。図7～9のFFT解析データを使って図11に示すような三次元の軌跡とその動画を描くことは容易である。軌跡画面は振動の動きを3軸同時に目で見られる利点はあるが、この画面からはさほど多くの新た

Table 1 Parameters obtained by FFT analysis

	x-axis	y-axis	z-axis
Real part of 1N frequency	$x_{1r} = 21.90$	$y_{1r} = 124.5$	$z_{1r} = 9.46$
Imaginary part of 1N frequency	$x_{1i} = 331.0$	$y_{1i} = 56.72$	$z_{1i} = 218.9$
Phase (radian) of 1N frequency	$x_{1\alpha} = 1.505$	$y_{1\alpha} = 0.428$	$z_{1\alpha} = 1.528$
Real part of 4N frequency	$x_{4r} = -143.3$	$y_{4r} = -107.3$	$z_{4r} = 119.5$
Imaginary part of 4N frequency	$x_{4i} = -85.55$	$y_{4i} = 169.7$	$z_{4i} = 196.2$
Phase (radian) of 4N frequency	$x_{4\alpha} = -2.603$	$y_{4\alpha} = 2.135$	$z_{4\alpha} = 1.024$

Fig. 11 3-Dimensional display of orbit

Fig. 12 Elliptical orbit of a frequency component

な有益情報は得られない。軌跡画面は振動数成分が一成成分の場合は振動を目で見るだけで状況が把握できる。だが、振動数成分が複数になるとその振動数成分がほんの少し変化しただけでも全く異なる軌跡となり、その変化を予測できない欠点がある。したがって複数の振動数の場合、軌跡から異常原因の推定はできないと云える。

ある振動数において2方向の時間波形の軌跡は図12に示すように楕円形となる。これは横軸x方向の振幅 x_m と縦軸y方向振幅 y_m の振幅が異なるためである。著者らは、振動数成分毎に三次元空間でも楕円形のプレートで表現できることに着目して、この楕円形の表示を基本表示画面とする三次元空間振動情報処理手法を開発した。図11と同じ測定データを使って図13のように振動数毎の楕円形のプレートで表示できる。この楕円形プレートは3軸の交点で拘束される。この画面では振動数成分が複数の場合、振動数毎に方向と大きさの異なる楕円形プレートで表示できる。特定の振動数成分が変化しても他の振動数成分に影響を与えることがない。この画面では振動数成分毎に楕円形プレートの方位角と仰角および傾きで振動の方向を表し、楕円形プレートの

Fig. 13 3-dimensional display of each frequency component

大きさで振動の大きさを表す。表示の基本面を x - z 面として、 y 軸は上下方向とする。ここで、ある振動数における x 軸、 y 軸、 z 軸の振動の時間関数は

$$x(t) = x_r \cos \omega t - x_i \sin \omega t = x_m \cos(\omega t + x_\alpha) \quad (17)$$

$$y(t) = y_r \cos \omega t - y_i \sin \omega t = y_m \cos(\omega t + y_\alpha) \quad (18)$$

$$z(t) = z_r \cos \omega t - z_i \sin \omega t = z_m \cos(\omega t + z_\alpha) \quad (19)$$

である。ここで

$$x_m = \sqrt{x_r^2 + x_i^2}, \quad x_\alpha = \text{atan}(x_i/x_r)$$

$$y_m = \sqrt{y_r^2 + y_i^2}, \quad y_\alpha = \text{atan}(y_i/y_r)$$

$$z_m = \sqrt{z_r^2 + z_i^2}, \quad z_\alpha = \text{atan}(z_i/z_r) \quad \text{である。}$$

方位角 θ_a は楕円が x - z 面に交差する座標 (x, z) を算出することで求まる。楕円と x - z 面の交点は(18)式の $y(t)$ がゼロの点であり、 $\omega t = \pi/2 - y_\alpha$ の時に $y(t)$ がゼロになる。その時の x 、 z 座標は(17)、(19)式から

$$x_a = x_m \cos(x_\alpha - y_\alpha + \pi/2) \quad (20)$$

$$z_a = z_m \cos(z_\alpha - y_\alpha + \pi/2) \quad (21)$$

となり、 z 軸を基準に方位角 θ_a は

$$\theta_a = \text{atan}(x_a/z_a) \quad (22)$$

である。

y 軸を中心に x - z 面を方位角 θ_a 分回転させて新規の座標軸にする。新規の x - z 座標における x 、 z 軸の時間関数は

$$x'(t) = x(t) \cos \theta_a + z(t) \sin \theta_a \quad (23)$$

$$z'(t) = x(t) \sin \theta_a - z(t) \cos \theta_a \quad (24)$$

となるが y 軸の時間関数は変化が無く(18)式と同じである。

仰角 θ_e は新座標で楕円が y - x 面に交差する座標 (y, x) を算出することで求まる。楕円と y - x 面の交点は(24)式の $z'(t) = 0$ の点である。(24)式の

$$z'(t) = x_m \sin \theta_a \cos(\omega t + x_\alpha) - z_m \cos \theta_a \cos(\omega t + z_\alpha) = 0$$

を展開すると

$$(x_m \sin \theta_a \sin x_\alpha - z_m \cos \theta_a \sin z_\alpha) \sin \omega t = (x_m \sin \theta_a \cos x_\alpha - z_m \cos \theta_a \cos z_\alpha) \cos \omega t$$

となり、さらに

$$\omega_e = \text{atan} \left(\frac{x_m \sin \theta_a \cos x_\alpha - z_m \cos \theta_a \cos z_\alpha}{x_m \sin \theta_a \sin x_\alpha - z_m \cos \theta_a \sin z_\alpha} \right)$$

が求まる。得られた ω_e の時に $z'(t)$ がゼロになる。その時の y 、 x 座標は(18)、(23)式から

$$y'_e = y_m \cos(\omega_e + y_\alpha) \quad (25)$$

$$x'_e = x_m \cos \theta_a \cos(\omega_e + x_\alpha) + z_m \sin \theta_a \cos(\omega_e + z_\alpha) \quad (26)$$

となり、 x 軸を基準に仰角 θ_e は

$$\theta_e = \text{atan}(y'_e/x'_e) \quad (27)$$

である。

この表示はいわば振動数領域の三次元空間表示である。図14に表示画面例を示す。楕円プレートの円周をトレースする点の動きで回転方向を知ることができる。

この画面は y 軸（縦軸）を中心に左右の回転と、画面上でその y 軸に直交する左右の横軸を中心に上下に仰角を自在に変えることができる。

画面の右上に上面から見た図と右下に真正面から見た図を三次元空間の理解度を向上させるために追加表示した。

Fig. 14 Layout of 3-dimensional displays

5. 楕円の分解処理

前項で得られる三次元表示はFFTデータを基に振動数毎の楕円プレートを描いたものである。これは、いわば振動数毎に逆FFTを行い時間関数に戻して、その軌跡を描いていることに等しい。楕円プレートの方位角、仰角と大きさでその振動数の方向と振幅を視覚的に理解することができるが、さらに処理能力を高めるために楕円形を直線形の振動と円形の振動に分解する。同一の振動数であっても直線形の振動成分と円形の振動成分は振動の発生メカニズムが異なることを想定した。直線形は往復運動による振動成分であり共振や外来の振動で振動要因が外部に依存するものであり直交する2軸に同位相で寄与する成分である。円形は回転運動による振動成分でアンバランスなど振動要因が内部に依存すると見なすことができる成分であり、直交2軸の間で互いに $\pi/2$ だけ位相が異なる成分の振動である。

本項ではこの楕円プレートの分解処理のアルゴリズムについて述べる。解説のために前項の x - y 面の時間関数を用いる。水平軸を x 軸とし、それに直交する垂直な軸を y 軸とする。

最初に、この楕円形の傾斜角 θ_e を算出する。用いる x および y 軸の時間関数は(17)、(18)式である。原点から軌跡点までの距離 D は

$$D^2 = x^2(t) + y^2(t) = x_m^2 \cos^2(\omega t + \alpha) + y_m^2 \cos^2(\omega t + \beta) \quad (28)$$

であり、これを展開すると

$$D^2 = \frac{1}{2} [x_m^2 + y_m^2 + r \cos(2\omega t + \lambda)] \quad (29)$$

となる。ここで

$$p = x_m^2 \cos(2\alpha) + y_m^2 \cos(2\beta), \quad q = x_m^2 \sin(2\alpha) + y_m^2 \sin(2\beta)$$

$$r = \sqrt{p^2 + q^2}, \quad \lambda = \arctan(q/p) \quad \text{である。}$$

(29)式は $\cos(2\omega t + \lambda) = 1$ のときに最大となる。

$\cos(2\omega t + \lambda) = 1$ から

$$\omega t = -\frac{\lambda}{2}$$

が導かれ、この値を(17)、(18)式に入れて算出される x , y 点が楕円の長軸の頂点の座標となり、楕円の傾斜角 θ_i は、

$$\theta_i = \arctan\left(\frac{y_m \cos(\alpha - \lambda/2)}{x_m \cos(\beta - \lambda/2)}\right) \quad (30)$$

となる。

楕円振動は直線形の振動と回転の振動成分に分解できるとして、(17)および(18)式を

$$x(t) = a \cos(\omega t + \delta) + b \cos \theta_i \cos(\omega t + \gamma) \quad (31)$$

$$y(t) = a \sin(\omega t + \delta) + b \sin \theta_i \cos(\omega t + \gamma) \quad (32)$$

と置くことにする。

ここで $a \sin(\omega t + \delta)$ および $a \cos(\omega t + \delta)$ は回転による振動成分の項である。

$b \cos \theta_i \cos(\omega t + \gamma)$ と $b \sin \theta_i \cos(\omega t + \gamma)$ は直線形による振動成分の項であり、 x 軸と y 軸に同形の波形として加算される。(31)式、(32)式の右辺を展開すると

$$x(t) = (a \cos \delta + b \cos \theta_i \cos \gamma) \cos \omega t - (a \sin \delta + b \sin \theta_i \sin \gamma) \sin \omega t \quad (33)$$

$$y(t) = (a \sin \delta + b \sin \theta_i \cos \gamma) \cos \omega t - (a \cos \delta + b \cos \theta_i \sin \gamma) \sin \omega t \quad (34)$$

が得られ、これから

$$x_r = a \cos \delta + b \cos \theta_i \cos \gamma \quad (35)$$

$$x_i = a \sin \delta + b \cos \theta_i \sin \gamma \quad (36)$$

$$y_r = a \sin \delta + b \sin \theta_i \cos \gamma \quad (37)$$

$$y_i = -a \cos \delta + b \sin \theta_i \sin \gamma \quad (38)$$

の四つの式が得られる。この式から未知数である円形振動の振幅 a 、直線形振動の振幅 b 、円形振動の位相 δ 、直線形振動の位相 γ を解く。(35)~(38)式を用いて

$$b \cos \gamma = (x_r + y_i) \cos \theta_i - (x_i - y_r) \sin \theta_i \quad (39)$$

$$b \sin \gamma = (x_r + y_i) \sin \theta_i + (x_i - y_r) \cos \theta_i \quad (40)$$

を導くことができる。さらに(39)、(40)式から

$$b = \sqrt{(b \sin \gamma)^2 + (b \cos \gamma)^2} \quad (41)$$

および

$$\gamma = \arctan\left(\frac{b \sin \gamma}{b \cos \gamma}\right) \quad (42)$$

が得られる。得られた b , γ の値と(35)、(36)式を用いることで残りの a , δ が解明される。

本項は x - y 面を用いて解説したが、図13の表示に適用する場合は、 x , y , z 軸の空間を方位角と仰角に関して回転処理を行い楕円プレートが x - y 面に移転してから本項の処理を行う。

Fig.15 Decomposed elliptical orbit to rectilinear vibration and round shape vibration

図15は図13の回転数成分の楕円プレートを分解処理した事例であり、方位角と仰角を真正面にに向けた表示例である。斜めの直線は往復運動の振動成分であり、円形は回転運動の振動成分である。ここでは比較の意味で楕円プレートも描いているが、円形の回転運動の振動成分は楕円プレートに内接する円である。往復運動の振動の振幅が楕円の長軸より大きくなっていることが興味深い。

図13の分解処理事例を図16に示す。図16の楕円は図13の楕円と異なり、見る方向で楕円に見えるだけであり、方位角と仰角を合わせて見れば円形である。図16の上の図は回転数成分と4N成分の円形と直線形を同時に表示しているが、左下は回転数成分の直線形と円形であり、右下は4N成分の直線形と円形である。楕円を円形と直線形に分解したことにより表示画面は複雑になり解り難い感はあるが、円形の要素と直線形の要素はそれぞれ振動の発生原因が別と考えられることもあり、場合によっては有効である。

表1のFFTパラメータを用いて算出した三次元空間の振動情報のパラメータを表2に示す。

図13および表2の例では回転数成分の方位角と4Nの振動数成分の方位角が 85° とほぼ直交しているこ

Fig.16 Decomposed 3-dimensional display of Fig.13 to rectilinear vibration and round shape vibration

Table 2 Vibration information parameters of 3-dimensional space

	1N frequency component	4N frequency component
Azimuth angle	33.8°	-51.0°
Elevation angle	2.1°	19.0°
Tilt angle	-10.0°	-23.0°
Amplitude of rectilinear vibration	52.2 μ	9.1 μ
Amplitude of round shape vibration	11.9 μ	19.8 μ

ることが興味を引く。1Nの成分はミスアライメントが原因で発する振動であり、4Nの成分はカプラーの構造から発する振動であると推定できる。ミスアライメントの振動の仰角は 2.1° と x - z 面に近く軸ズレ方向に 52.2 μ m の振幅で直線形振動をしており、方位角が 33.8° と 45 度に近い傾きで振動をしている。1N 成分の方位角と 4N 成分の方位角の交差角と、1N 成分の方位角は、物理的に最も自由に振動し易い方向に振動していることを示していると理解できる。このように、メカニズム的に振動数毎に振動源は独立であると考えの方が理に適っていると思われる。従って、このような振動数毎にその振動状態を知ることは、異常診断の解析のための情報量としては極めて多大であると考ええる。

6. 結 論

本論文では新たな原理による押当式3軸振動ピックアップ

アップを提案し、その動作原理を述べた。そのピックアップを搭載した振動計を開発した。次に3軸同時測定で得られた振動データの三次元空間の振動情報の表示方法と解析方法を提案し事例を示した。

三次元空間の振動情報の表示方法として振動数毎に楕円プレートで表示する方法を提案した。振動の振動数成分が三次元空間で楕円プレートを用いて表現することができた。この表示により振動源の独立性が極めて明確に表現できた。事例ではミスアライメントによる振動の方向とカプラーによる振動方向は物理的に振動し易い拘束性が弱い方向に振動していることを示した。この事例によりミスアライメント時は軸方向にも振動が発生することが理解できる。

最後に、その楕円プレートをさらに直線形成分と円形成分に分解する方法を提案した。この提案は振動源として外部依存と内部依存を弁別するための一手法であり、その有効性を説くには応用事例を重ねる必要があるが、今後の更なる改善と研究に期待する。

文 献

- 1) 小村英智, 横田明則, 時田保夫, “押当式3軸振動ピックアップの開発”, 日本音響学会誌, Vol.52, No.5, pp320-326(1996)
- 2) 小村英智, 下村和広, 芝田和雄, “簡易診断用押し当て式軌跡振動計の開発”, 日本機械学会 Dynamics & Design Conference (2001.8), No.202