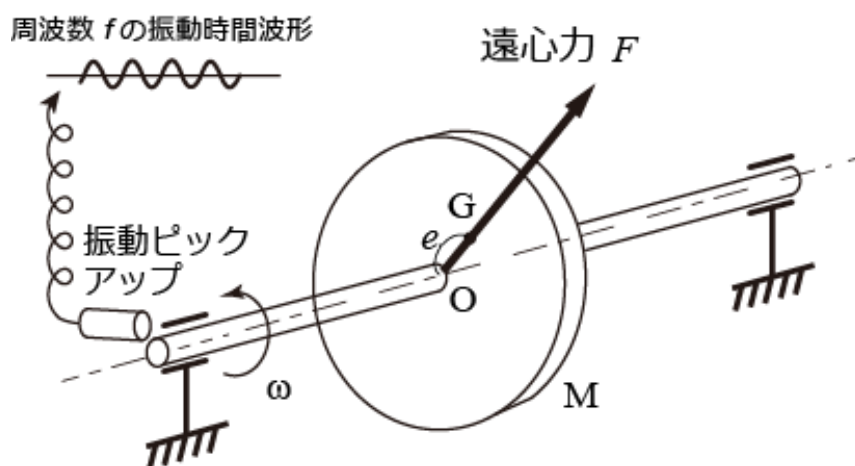


基礎からの周波数分析（37）－「バランシング計測」

前回は、回転体の音振動計測手法としてよく使われる「トラッキング解析」についてお話ししましたが、今回は、回転体の振動対策で重要となる「バランシング計測」についてお話しします。

一般に発電プラントなどの回転機械設備の異常原因の 40%程度が「振動」であり、その振動の原因の 30%前後がアンバランシング（不釣り合い）であると言われています。そのため、回転機械の設置時や保守時において、バランシング修正は極めて重要な振動制御の方法となります。ここでは、回転体の現場で行えるフィールドバランシング手法の原理と使い方を簡単に説明します。



$$F = Me\omega^2 \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 F : 遠心力(N)

M : ロータ質量(kg) e : 偏重心(m)

ω : 角周波数(rad/s) 回転速度を $n(r/min)$ とすると

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$f: \text{振動数(Hz)} \quad f = \frac{\omega}{2\pi} \quad \dots\dots\dots (3)$$

図1 ロータの回転遠心力によるアンバランス

アンバランスとは、図1にあるようにロータの回転中心（図の O）と重心（図の G）がずれた状態でそれにより遠心力が生じて、異常振動が発生する現象で、その振動周波数は、回転 1 次成分の周波数となります。図1の式(1)からわかるように、**角周波数**（あるいは**回転速度**）の 2 乗に比例して遠心力が大きくなりますので、高速回転のとき、バランス修正はとても重要になります。

以下、1 つのロータでバランス修正をとる基本的な手法の手順を説明します。

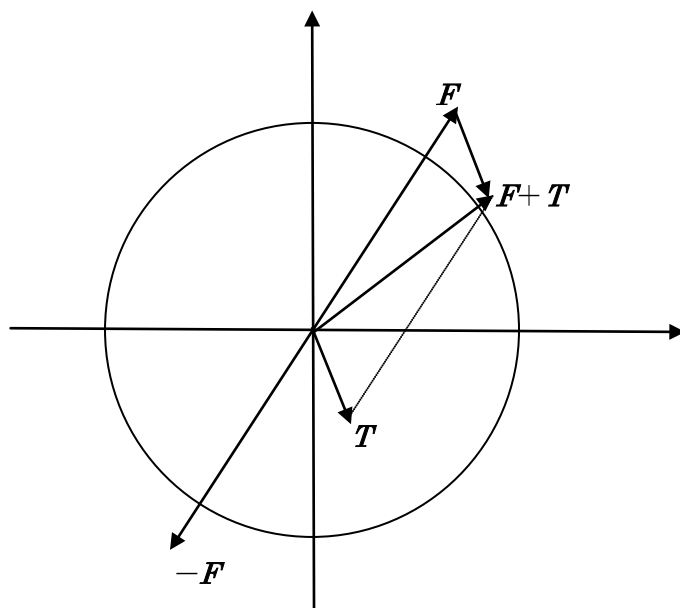


図2 バランス修正の考え方

- (1) 初期状態での振幅と位相を求め、それを $\mathbf{F}$ とする。

$$\mathbf{F} = (A_0, \theta_0)$$

- (2) 次にロータの任意の点（角度を 0° とする）に質量 m_t の**試し重り**を取り付け、その時の状態の振幅と位相を求め、それを $\mathbf{F}+\mathbf{T}$ とする。

$$\mathbf{F}+\mathbf{T} = (A_1, \theta_1)$$

- (3) これから、ベクトル計算で試し重りの振幅と位相を求める。

$$\mathbf{T} = (A_2, \theta_2)$$

- (4) 初期状態のベクトル $\mathbf{F}$ と試し重りでのベクトル $\mathbf{T}$ から修正点の角度を計算して、
試し重りを外して**修正重り** m_c をつける。

$$\text{ここで、 } m_c = m_t \times \frac{A_0}{A_2}$$

修正点角度は、試し重りを付けた点（角度 0° ）を基準にして

$$(\theta_0 - \theta_2) \pm 180^\circ$$

- (5) 修正重りを付けた効果を確認する。

ここで、振幅と位相とは、回転 1 次成分の周波数に相当する正弦波のそれらを求めることとなります。

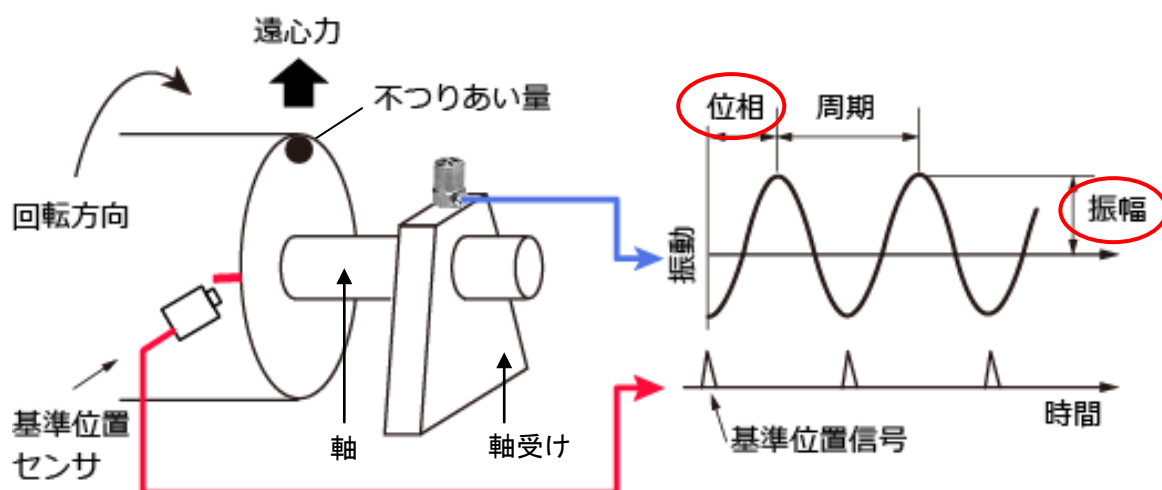


図3 アンバランスに起因する振動と基準位置

このように、バランス計測には、**回転 1 次成分**の振動波形の振幅と位相（基準点からの）を同時に精度良く求めることが必要になります。回転 1 次成分の正弦波の振幅と位相を計測するために FFT アナライザを使います。具体的には、**基準位置信号**をトリガー信号として「フーリエスペクトルの**次数比分析**」を行います。

FFT アナライザにおけるフーリエスペクトルの位相は、余弦波を基準として求められます。今、回転 1 次成分の振動波形を $x(t) = A\cos(\omega t + \phi)$ とすると、図 4 において振幅は同じ A ですが、余弦波の位相は 0° 、正弦波の位相は -90° となります。

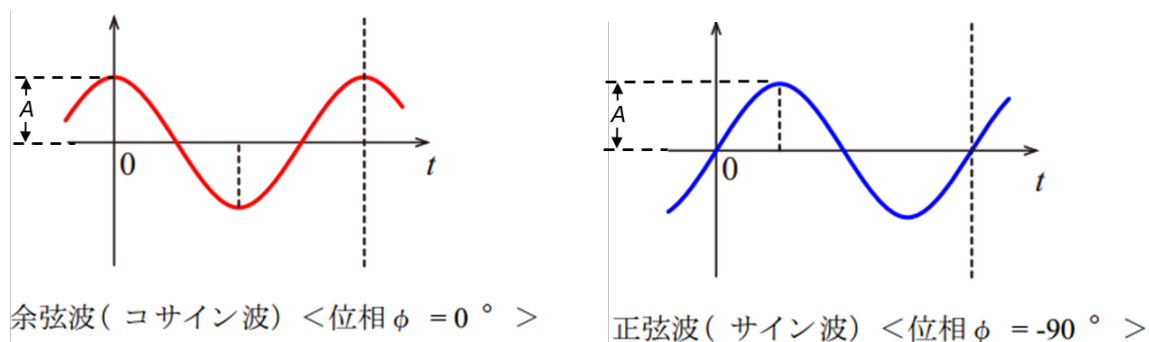


図4 FFT アナライザにおける余弦波と正弦波の位相

次数比分析とは、フーリエスペクトルの横軸（周波数軸）を通常の周波数としないで、回転 1 次を基準とした次数とする分析手法です。基準信号（1 回転 1 パルス）と同期したサンプリングを行うことにより、FFT の**時間窓**による誤差を減らし、1 次の成分を回転速度に関係なく一定のスペクトルライン数に固定させることができます。

それでは、DS-3000 シリーズのフィールドバランスソフト DS-0227A を使って具体的に回転体のバランス計測をやってみたいと思います。

ここでは、簡単のために 1 面 1 条件 1 速度で行います。回転体と DS-3000 計測システムとの接続は、図 5 のように行います。センサは、軸受け上に取り付けた接触式加速度 PU と光学式回転検出器を**基準位置センサ**として使っています。

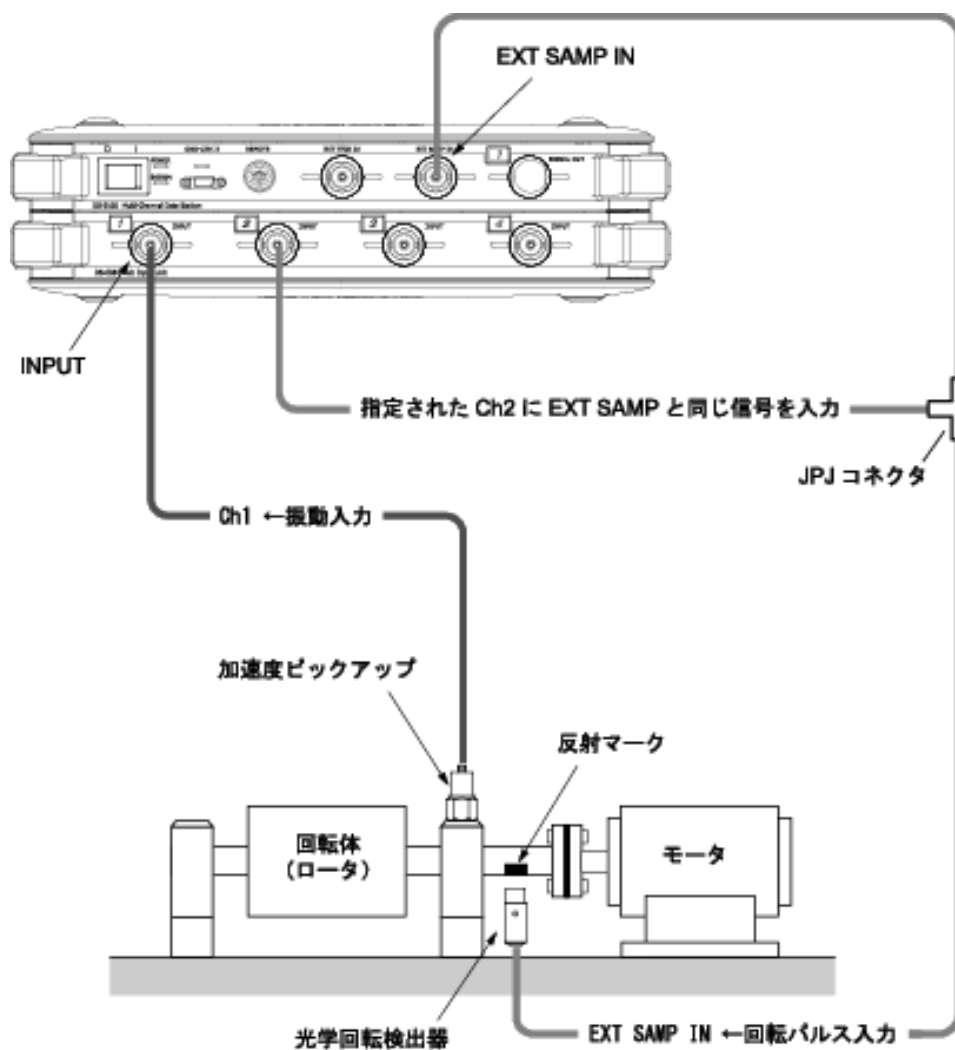


図5 バランシング計測の接続例

図 6 が、条件設定の画面です。以下の計測条件で行います。

- | | |
|--------------|------------------------|
| (1) 1 面 1 条件 | Ch1 : 加速度 PU |
| (2) 最大分析次数 | 50 次 位相分解能 : 約 2.8° |
| (3) 分割数 | 16/360° 22.5° 分割 |
| (4) 試し重りの状態 | 取り外す |
| (5) 回転速度モード | 1 速度 (ここでは、2400 r/min) |
| (6) 平均回数 | 32 回 |

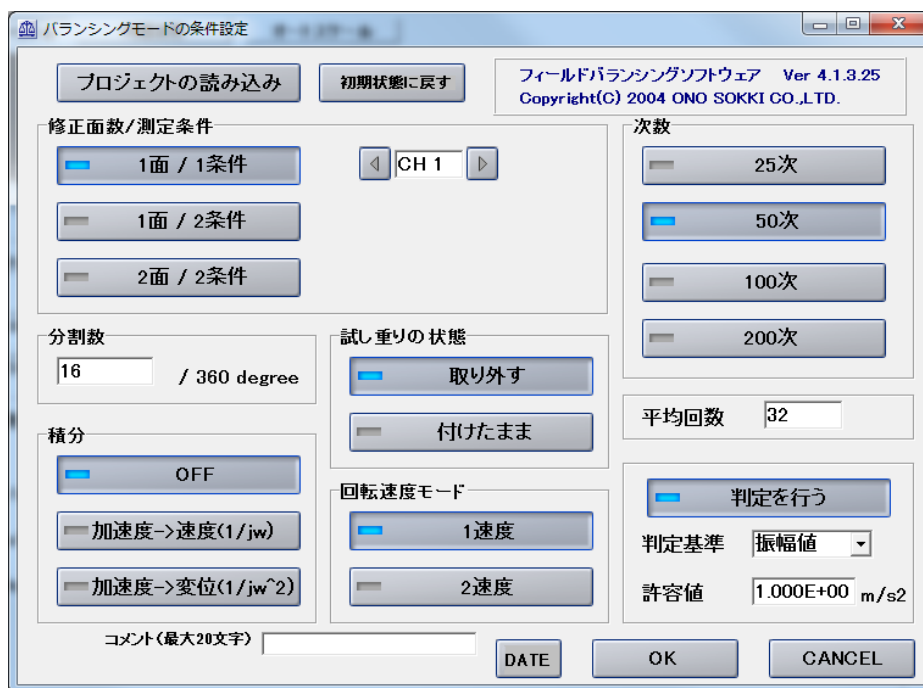


図6 バラシングモードの条件設定

先に書いた手順通りに計測を行います。

- (1) 初期の不釣り合いを計測します。 ==> **イニシャル試験** (図 7)

計測結果 回転速度 2400 r/min
 加速度振幅 1.662 m/s²
 位相 -74.7°

次数比分析結果
(最大分析次数 50 次)

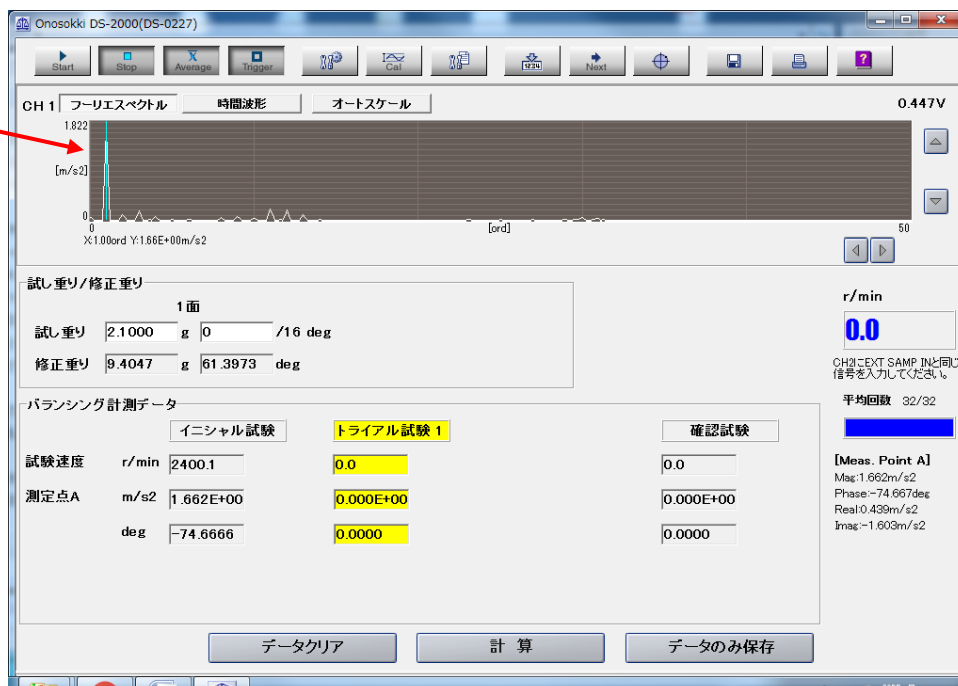


図 7 イニシャル試験

- (2) 次に、角度 0° の位置に質量 2.1g の試し重りを取り付け、その時の状態の振幅と位相を計測します。 ==> トライアル試験 (図 8)

計測結果 回転速度 2400 r/min

加速度振幅 1.46 m/s²

位相 -89.6°

試し重りの条件

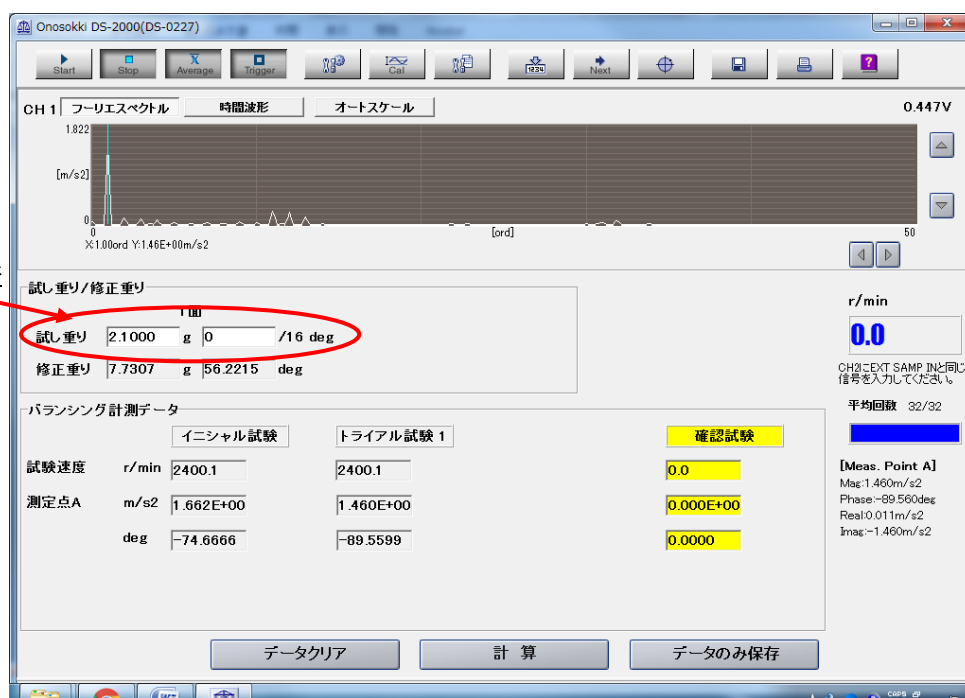


図 8 トライアル試験

- (3) 上記の計測結果から、バランス修正点の位置と修正重りを計算します。

結果：図 9

試し重りを付けた点を角度 0° として回転方向と逆回りに 56.2° の点に 7.7g の修正重りをつける。

ただし、 56.2° は角度分割点ではないので、角度分割点に合うように以下の 2 つの点に修正重りをつける。

No. 2 (45°) に 4.0 g

No. 3 (67.5°) に 3.9 g

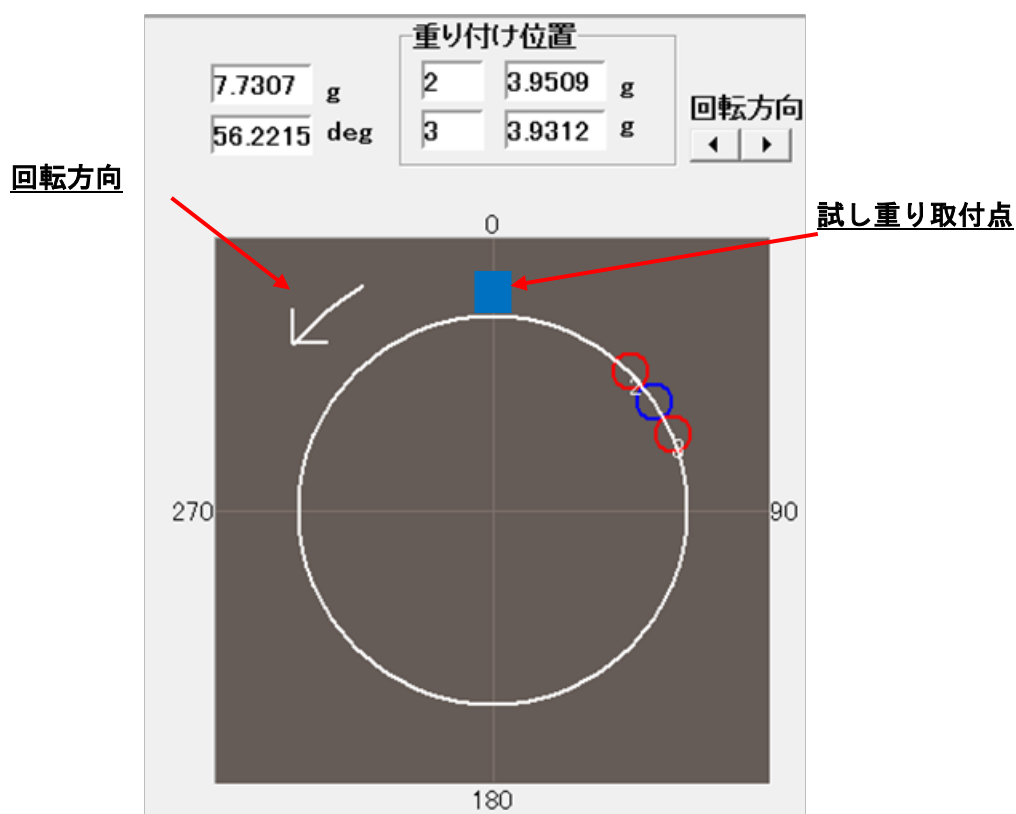


図9 バランシング修正点

- (4) 試し重りを外して、修正重りを取り付け計測を行い、バランシングの結果を確認します。 ==> **確認試験** (図 10)

ここでは、No.2 に 約 5 g、No.3 に 約 2 g としました。

測定結果	回転速度	2400 r/min
	加速度振幅	0.180 m/s ²
	位相	-108°

アンバランス量（加速度振幅）が、初期値 1.66 m/s² から 0.18 m/s² となり、約 1/10 ほど改善されたことが分かります。

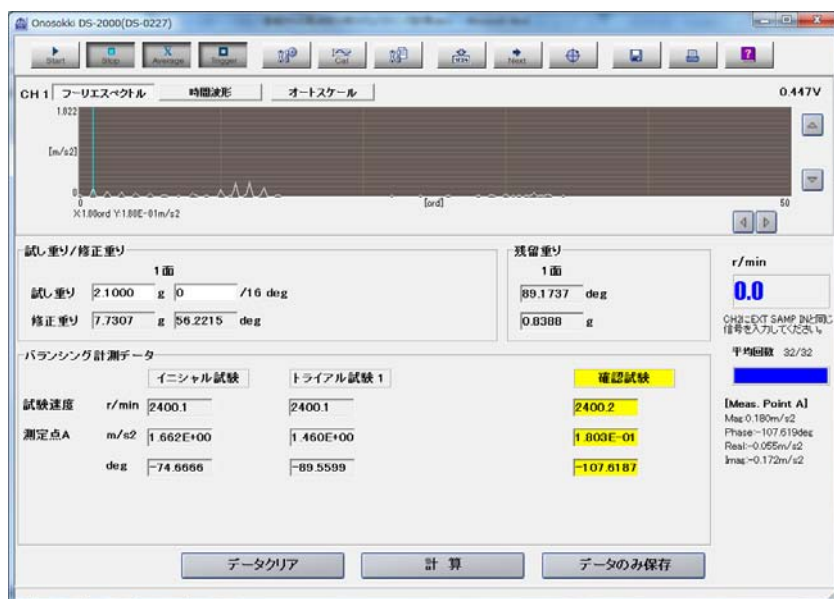


図 10 確認試験

最後にまとめです。

- (1) 回転機械の設置時や保守時において、バリランシング修正はとても重要な振動制御の方法です。
- (2) アンバランシングとは、ロータの回転中心と重心がずれた状態でそれにより遠心力が生じて異常振動が発生する現象で、その振動周波数は、回転1次成分の周波数となります。
- (3) フィールドバリランシングの手法は、最初にイニシャル試験を行い、その後に試し重りを付けトライアル試験を行い、それらの結果から修正点の位置と修正重りの値を算出します。そのあと、確認試験を行います。
- (4) バリランシング計測には、回転1次成分の振動波形の振幅と位相（基準点からの）を同時に精度良く求めることが必要になります。
- (5) 回転1次成分の正弦波の振幅と位相を計測するためには、FFTアナライザを使い、基準位置信号をトリガー信号として「フーリエスペクトルの次数比分析」を行います。

【キーワード】

バリランシング、アンバランシング、不釣り合い、フィールドバリランシング、遠心力、角周波数、回転速度、振動数、回転1次成分、試し重り、修正重り、基準位置センサ、トリガー信号、フーリエスペクトル、次数比分析、時間窓、イニシャル試験、トライアル試験、確認試験

【参考】

牧 修一 著

「振動法による設備診断の実際」 日本プラントメンテナンス協会（1985年）

城戸 健一 編著

「FFTアナライザ活用マニュアル」 日本プラントメンテナンス協会（1984年）

(Hima)