

# 回転機械におけるカップリング芯出しの重要性について

(株)ティエルブイ 八木 聡

コンプレッサー、ポンプや送風機といった回転機械でカップリングの芯出しは重要な作業である。それはこの作業が完了しなければ設備の運転ができない上に、精密さが要求されるので往々にして予想以上に時間がかかることがあり、しかもアライメントが悪いと振動が発生し、突然の設備停止の原因になるからである。

わが国は、これまで経験豊かな仕上工と呼ばれる熟練者の存在と法規制による毎年の定期整備によって、この作業がメンテナンス部門のテーマとなることは久しくなかった。海外では早くから法規制が緩和され、自己責任に基づく、メンテナンス周期の延長が図られ、回転機械の運転の信頼性を高めるためにシールや軸受寿命に影響を与える芯出し精度の重要性に対する関心が高く、すでに20年程前に機械故障の60%は芯出し不良が原因であると指摘する研究結果が発表されていたほどである。

一方わが国のメンテナンス分野では徐々にではあるが規制緩和が進み、欧米各国がすでに歩んだ道をたどりながらメンテナンスの革新を進めつつ

ある。しかし、芯出しは回転機械にとって重要だといわれながらも相変わらず作業レベルの時間の長短が問われるだけで、ますます進むプラントの連続運転化と自動化に対して、芯出しの品質や技術、作業者の技能がどうあるべきかが議論されたことはない。

われわれが現場で芯出し状態を調査したところ、①のような結果で、汎用ポンプが主体であるとしても、一般的に言われる0.05mmの基準に収まっているものは10.5%しかなく、決して安閑としておられるものではなかった。

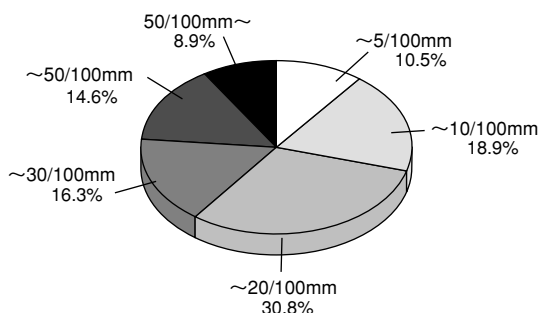
しかし最近、米国企業などで「事前活動保全（プロアクティブメンテナンス）」といわれる新しいメンテナンス戦略が提唱され、芯出しの重要性が見直されている。そこで芯出しの基本事項と欧米の情報を紹介しながら芯出しの重要性を考えてみたい。

## [1] 芯出しとは何か？






この基本的な質問にどんな答えが返ってくるであろうか？ カップリングの外周と面間を測り、0.05mm以内に収める事という答えが返ってくるかもしれないが、「2台またはそれ以上の機械の回転軸中心が運転状態でカップリング点において、一直線になるようにこれらの機械を配置すること。」である。

だから回転中心線の位置を知るには、両方の軸を回転させなければならない。軸を回転させずに実施した芯出しは、カップリングの寸法上の中心に合わせただけなので芯出ししたことにはならない。

① ポンプアライメントの現状



② 欧米での回転数基準許容公差表

		[RPM]	metric [mm]		inch [mils]	
 <b>ROTALIGN® PRO</b> uses 'happy face' symbols to show compliance with tolerances based upon coupling type and RPM.	Soft foot	any	0.06 mm		2.0 mils	
	Short "flexible" couplings		Acceptable	Excellent	Acceptable	Excellent
						
	Offset	600 750 1500 1800 3000 3600 6000 7200				
			0.19	0.09	9.0	5.0
			0.09	0.06	3.0	2.0
			0.06	0.03	1.5	1.0
			0.03	0.02	1.0	0.5
	Angularity (gap difference at coupling edge per 100 millimeters diameter)	600 750 1500 1800 3000 3600 6000 7200			15.0	10.0
			0.13	0.09		
			0.07	0.05	5.0	3.0
			0.04	0.03	3.0	2.0
			0.03	0.02	2.0	1.0
	Spacer shafts and membrane (disk) couplings	600 750 1500 1800 3000 3600 6000 7200			3.0	1.8
	Offset (per 100 millimeters spacer length or per inch of spacer length)				1.0	0.6
			0.25	0.15	0.5	0.3
			0.12	0.07	0.3	0.2
			0.07	0.04		
			0.03	0.02		



'Excellent' tolerances fulfilled



'Acceptable' tolerances fulfilled



'Bad' = Out of tolerance: Realign!

## [2] 芯出しの表現と許容公差

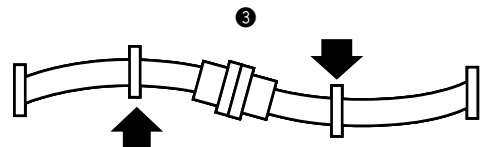
芯出し状態は、一般に芯ずれ（周，オフセット）と角度ずれ（面，面倒れ，ギャップ）で表現される。芯ずれと角度ずれが同時に存在するとオフセットは測る場所で違うので、ポンプ側カップリングで測った結果とモーター側での結果が異なる。角度ずれは、軸の傾きが同じでもカップリングの直径によって値が違う。

だから直径に関わらず同じ許容公差を使用するのはおかしい。また回転数が低ければ芯出し許容公差を緩やかにしても良いことを経験的に知っているが、欧米では回転数基準の許容公差を定めて使用している。(2)

## [3] 芯出しの機械に及ぼす影響

1. 芯ずれは軸受けやシールの寿命を短くする。

困難な芯出し作業の負担軽減のために撓み継ぎ手（フレキシブルカップリング）を使用する考え方があるが、カップリングのカタログにある許容値は、軸受けやシールなどの機械部品の寿命を保証するものではない。



芯ずれが軸受けに及ぼす影響

なぜなら大きな芯ずれは軸自体を撓ませる力が発生し、そのため軸受けに外力を発生させるからである。(3)

次の式は軸受け寿命計算式である。

$$L_h = \frac{10^6}{60n} \left( \frac{C}{P} \right)^3 = \frac{10^6}{60n} \left( \frac{C}{XF_r + YF_a} \right)^3$$

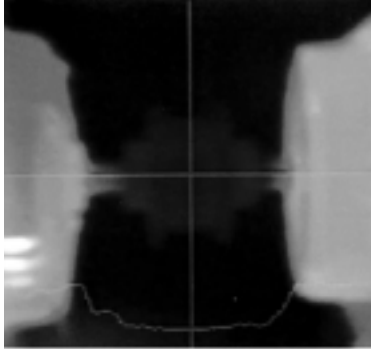
$L_h$  = ボールベアリング寿命 [h]     $n$  = 回転数  
 $C$  = 動定格荷重     $P$  = 軸受荷重  
 $F_r$  = ラジアル荷重     $F_a$  = アキシャル荷重

この式によれば、軸受けの寿命は回転数に反比例し、動定格荷重と実荷重との比の3乗に反比例する。

すなわち回転数が2倍になると1/2になる。しかし回転数はあらかじめ判っているので回転数に応

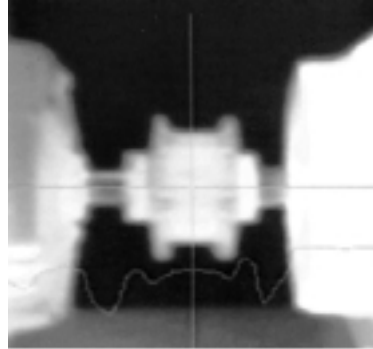
#### ④カップリング付近の熱画像写真

正確なアライメントの場合



カップリング温度：27℃

ミスアライメントのある場合



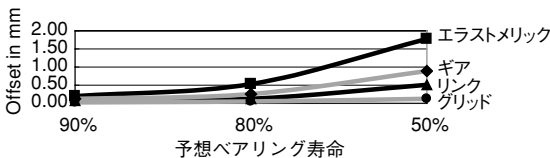
カップリング温度：45℃

じた動定格荷重を持つ軸受けを選定することが可能である。

しかし芯ずれは作業や運転条件で変化するので、もし芯出しが悪く、ラジアルとアキシャル荷重の合計が2倍になれば、寿命は1/8にもなってしまいます。たとえラジアル荷重がわずか20%だけ増加しても寿命は42%も減少することになる。

このことはカップリング付近の熱画像写真でもうかがえる。(④) 良好な芯出しでは認められなかった発熱が、カップリングだけでなく軸受け付近で顕著に現れているのがわかる。しかし振動値には顕著な異常は認められなかったのである。したがって大きな芯ずれがある場合を除いて振動で芯出し不良を検出するのは難しく、芯出し作業の中で品質を抑えておかなければならない。

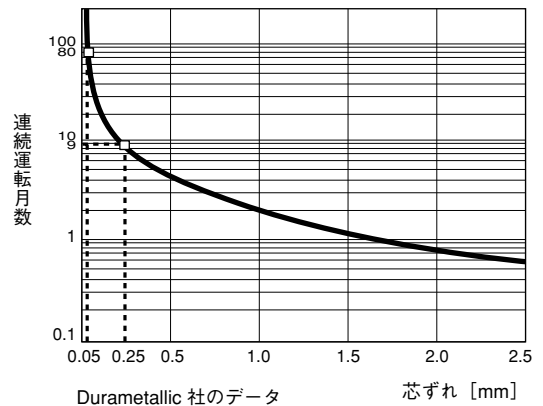
#### ⑤ミスアライメントとベアリング寿命



#### ⑥芯ずれ実測値と期待された最大ベアリング寿命に対する実績 (比率)

	芯ずれ [mm]			メーカー許容値[mm]
	90%寿命	80%寿命	50%寿命	
リンク	0.08 (12%)	0.13 (19%)	0.51 (77%)	0.66
グリッド	0.03 (8%)	0.05 (17%)	0.13 (42%)	0.30
ギア	0.13 (10%)	0.25 (20%)	0.89 (70%)	1.27

#### ⑦ミスアライメントとメカニカルシール寿命



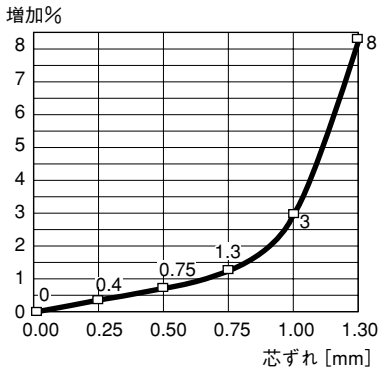
次にカップリングのカタログにある芯出し許容値をそのまま使ってはならない。なぜなら、それはカップリングの性能を保障するためのものであって、軸受けやシールの寿命を考慮したものでないからである。次のグラフと表は、カップリングの種類によっては設計芯出し許容値の42%の芯ずれで軸受け寿命が50%短くなるものもあることを示している。(⑤, ⑥)

また次のデータは芯出しのメカニカルシールの寿命に及ぼす影響に関するものである。

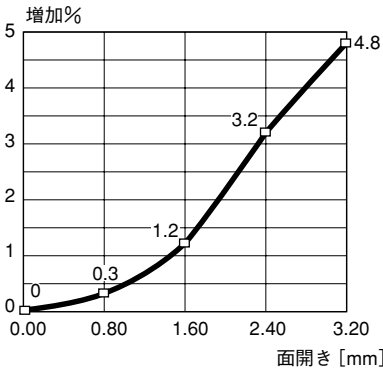
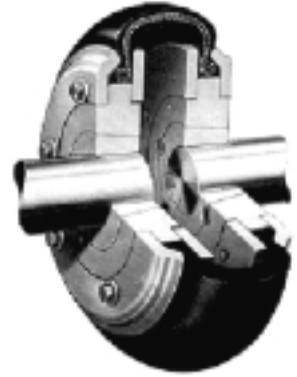
0.05mmの芯出しでは80ヶ月の寿命であったメカニカルシールが、0.25mmでは9ヶ月の寿命にまで短くなっている。(⑦)

ある、90台程のポンプ設置されているプラントで、ポンプの修理記録を見たとき、年間で半数にあたる44台もの修理が行われており、修理箇所は軸受けではなくメカニカルシールであることに気づいた。

⑧電力増加率【タイヤカップリングの場合】



⑨タイヤカップリング



そして軸受けはシール交換と同時に新品にされていた。

ベストプラクティスの化学工場のメカニカルシール MTBF が6.7年と比較すると1/3しかなく、シールの交換を日常のルーチン作業としてこなすのではなく、芯出しを含め潜在した課題を探し出す必要を感じたことがある。故障しない設備作り、前向きな保全への取り組み姿勢と意識が必要である。

2. 芯ずれは電気エネルギー消費を増加させる。

先に説明したように、芯ずれはカップリングや軸受けを発熱させ、シールを磨耗させている。このエネルギーはどこから得ているのか？もちろん駆動機・モーターからである。

上のグラフは、タイヤカップリングで芯ずれを変化させたときのモーター消費動力の変化である。芯ずれが悪くなれば増加している。1台辺りの値は僅かではあるが、設置台数の多い工場では無視できない値になるであろう。(⑧, ⑨)

プラントの連続運転のために機械の信頼性を高めるには、個々の部品寿命を長くし、故障しない設備作りが求められる。

そのためにも芯出しはできる限り精密でなければならない。では磨み継ぎ手は何のために使用するのか？ 運転中の変化による外力を軽減するためであって、決して芯出しをラフにすることを容認するためではない。

[4] どうやって精密な芯出しを行うか？

芯出しは経験と勘と度胸とよく言われるが、これまではプラントの建設当時からメンテナンスに携わっていた経験豊かなベテランの存在があっ

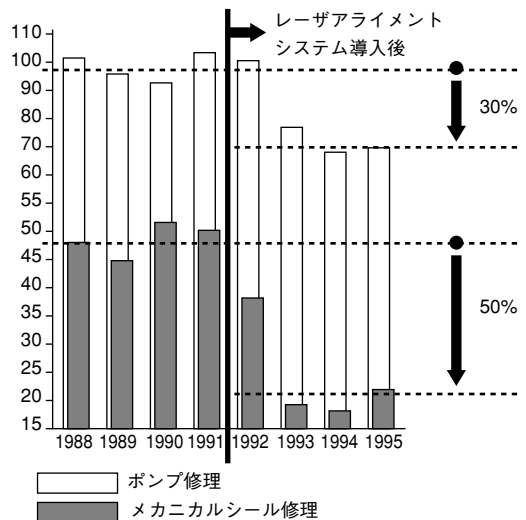
た。しかしメンテナンス要員は1/3になり、必要な教育や技能の伝承が困難になっている。また長期連続運転、自動化しているプラントは突然の設備故障による生産停止が引き起こす損失は莫大なものになるので設備の信頼性への要求はますます高くなっている。

いま顕在化していないから問題がないのではなく潜在している課題を解決しておかなければならない。

次の事例はヨーロッパでレーザ芯出しシステムを標準ツールとして採用し、軸受けやシールの修理頻度を削減した事例である。(⑩)

このグラフを見てわかることはツールを変えてすぐには変化が出ていないが2年後からポンプ修理の件数が30%、メカニカルシール修理が50%減少している。

⑩レーザ芯出しシステム導入後の修理頻度



すなわちポンプ信頼性が向上したといえる。

①でポンプの芯出し状態を測定した結果を示したが、ヨーロッパで行われた同様の調査でもほぼ同じ傾向が認められている。したがって我々も日常の軸受けやシールの交換作業を当然のこととせず改善してゆけば同様の成果が得られる可能性が高い。

精度の高い芯出しをするために、ダイヤルゲージを使用することは多い。しかし次のような問題が発生することを理解し、実際に確認してダイヤルゲージを使用している作業者は極めてまれである。(11)

11

ダイヤルゲージ使用時に発生する問題点

- ・ ブラケットの撓み
- ・ 内部の摩擦抵抗、ヒステリシス
- ・ 最小単位が1/100mm
- ・ 読み取り時の間違い
- ・ 機械接続部の遊び
- ・ ダイヤルゲージの傾斜
- ・ 軸方向の動き

また測定値から修正の方向と量を計算する等の基本的な知識についても十分に教育がされているとも思えないことが多い。

したがって芯出し作業については、個人の資質や経験に頼るのではなく、誰が行っても正確な測定が出来るツールと高い品質の芯出しが維持できる仕組みづくりが不可欠になっている。