

# レーザーを使用した回転機芯出し作業

Laser Alignment of Rotating Equipment

回転機芯出し作業の時間短縮および技能伝承問題の解決

(有)ティティエス 村元 辰

## 1. はじめに

ポンプなどの回転機器において、駆動源であるモーターからの動力は、カップリング（軸継手）を介して従動側に伝達する仕組みが一般的である。カップリングには駆動側から従動側に動力を伝達する目的の他、駆動軸と従動軸の両軸間のミスアライメントを許容するために用いられる。また、駆動側で発生する振動や熱を従動側に伝達しないようにする、モーターなどの回転機が破損した場合に容易に交換を行えるようにするなどの保全の意味もある。

カップリングを使用する場合には両軸間のミスアライメントをカップリングが持つ許容範囲内に収めるために芯出し作業（シャフトアライメント）を行う必要があり、ここで述べる芯出し作業とは、二つ以上の回転機器において、駆動側と従動側のカップリングを結合する際に、それぞれの軸の回転中心線を運転状態で許容範囲内に調整配置する作業のことである。芯出し作業は業種問わず回転機が存在する様々な生産現場では必ず行わなければならない重要な作業であり、その理由を次に述べる。

芯出し作業において、最も留意すべきポイントは、二つある。一つ目は品質である（一般的に精度と呼称されることが多い）。芯出し状態が不良であると、高い振動の発生や、軸受の異

常な温度上昇による過剰なエネルギーロスの発生、軸受の摩耗やカップリングの破損など設備寿命を短縮させ、突発故障など様々なリスクが高まることから、メンテナンスコストの大幅増加や生産ラインの緊急停止による生産機会損失など、生産現場のみならず経営課題へ直結する恐れがあるためである。

二つ目は作業時間であり、芯出し作業においては品質と同等に重要視すべきポイントである。芯出し作業は回転機整備の最終工程であるため、作業時間の増減は品質と同様に、メンテナンスコストや生産機械損失へも影響を及ぼす。大幅な作業時間短縮は、生産設備の早期立ち上げへと繋がり、生産量と生産性に大きく寄与することになるためである。

このように、高品質、短時間を両立する芯出し作業には正確に芯出しを測定する技術、測定結果を評価できる知識、修正すべき機械の位置把握と必要な修正量の計算、修正方向や修正量の的確な作業指示が求められるため、長い経験に基づいた熟練技術が必要とされる。日本の現場においては、高度成長期のプラント建設ラッシュを経験した熟練のベテラン技術者が多く活躍していたが、近年、ベテラン技術者の引退に伴い、若手技術者への技能伝承が上手く運ばないなどの課題が多く現場で浮き彫りとなっている。

このような背景から、熟練技術を必要とする部分を機械で補えるレーザーアライメントシステムの需要が高まりを見せている。

そこで本稿では、芯出し作業の要点と課題、最新のレーザーアライメントシステム活用の重要性、ならびにその国内での適用事例を紹介する。

## 2. 生産機会損失に直結する 芯出し作業の課題

軸受やカップリングの破損、メカニカルシールの損傷・漏れなど回転機械の故障原因の60%以上がミスアライメントに起因していると言われており、トラブル要因の大きな割合を占める。生産ラインでの回転機械も同様にトラブルを引き起こす可能性があるため、「作業精度」「据付作業」「作業時間」で問題が発生すると、全てにおいて影響を及ぼす可能性がある。

まず、「作業精度」だが、設備の回転数やカップリングの種類などによって異なるものの、一般的な芯出し許容値として0.03mm、0.05mmなどの非常にシビアな精度が要求される。近年、若手作業による芯出し作業の品質低下が問題

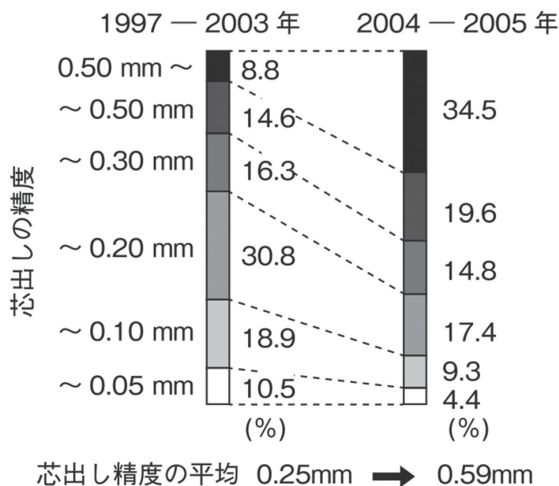
となっている。これは前述のように芯出し作業の技能伝承の難しさに起因すると考えられる。

過去、プラントで稼働している回転機の芯出し精度を調査したデータを第1図に示す。

1997～2003年に調査した回転機では、一般的な芯出し許容値である0.05mm以内の精度で芯出しできているものは、全体の10.5%を占めており、芯出し不良と言える0.50mm以上のズレが生じているものは、全体の8.8%のみであった。しかし、2004～2005年に調査した結果を見てみると、0.05mm以内の精度で芯出しできているものは全体の4.4%、0.50mm以上のズレが生じているものは全体の34.5%であり、1997～2003年のデータと比較してみると、0.05mm以内の高精度な芯出しは10.5%から4.4%と半分以下に減少し、0.50mm以上の芯出し不良の状態が8.8%から34.5%と増加しているのが分かる。

次に「据付作業」だが、過去に新品の回転機が短期間でメカニカルシール漏れなどが発生した経験はないだろうか。では、何故このようなトラブルが発生するのかわだが、回転機の軸芯は運送時の振動やクレーンでの吊り上げ工程での歪みで芯がずれてしまうことがある。このような状態で回転機が納入されるため、回転機は芯出し不良の状態である。また、ポンプなどの入れ替えの際に配管の引張応力に起因するミスアライメントが発生する可能性があるためである。そのため、見落としがちではあるが、回転機の据付作業の際にも必ず芯出し作業を行う必要がある。

最後に「作業時間」だが、芯出し作業は整備の最終工程であり工期に影響が非常に大きい。しかし、熟練技術を持つベテランが減少したことにより、想定していた時間内に作業が終了しない、作業能力を要する作業者に限りあることから作業工程と設備停止期間を長めに確保せざるを得ない、従来は定時内で完了していた作業が残業をしても完了しないといった問題が顕在化してきている。



第1図 芯出し精度の変化

### 3. レーザーアライメントシステム

これまで、芯出し作業を行う際は、ストレートエッジやテーパゲージを用いて粗芯出しを行い、精密芯出しをダイヤルゲージで行うのが一般的であった。この精密芯出しに使用するダイヤルゲージは、0.01mmまでの精度で測定が可能であり、正しく使用することができれば高精度な芯出しが行える測定器である。

しかし、前述の通り、芯出し作業の品質、作業時間における課題が顕在化している。

レーザーアライメントシステムは、作業者の熟練度に依存することなく、高精度な芯出しを短時間で誰でも簡単に実施できることを目的にドイツのPruftechnik（プルーフテクニク）社によって開発されたシステムであり、レーザー発射器、レシーバー、ブラケット（取り付け治具）、コントロールユニットなどで構成されている（写真1）。最新モデルはコントロールユニットがスマホやタブレット端末と同様のタッチパネル方式となっており、これまでのレーザーアライメントシステムと比較し、より直感的に操作できるように改良されている。



写真1 レーザーアライメントシステム

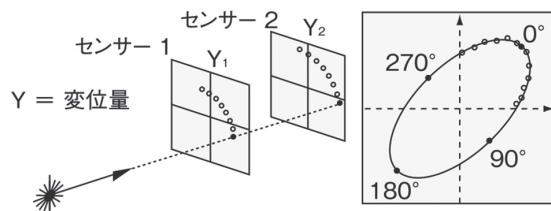
レーザーはクラス2の可視レーザーを採用しており、レーザー発射器とレシーバーの距離が最大10m離れていても測定が可能である。レーザー光はダイヤルゲージを使用する際に用いる

治具などの撓みの影響を受けることがなく、中間軸を有する設備のような、面間距離が長い場合でも高精度な測定が可能となる。また、測定中の振動や軸の回転のスムーズさなどもモニタリングされているため、作業者は測定時の品質を定量的に確認できる。

#### (1) レーザーアライメントシステムの測定原理と容量

レーザー発射器を基準機（固定）側、レシーバーを修正機側のカップリングまたは治具に取り付け、軸を回転させる（共回し）。カップリングに仮ボルトの取り付けや養生テープなどで同期させて回転することができれば、より容易にかつ高品質な測定が可能となる。

ミスアライメントが生じている場合、回転軸の回転に伴い、レシーバー内部のレーザー受光位置が変化していく。レシーバー内部には二つの検出面（第2図）と軸の回転角度を検出する傾斜計が内蔵されており、それぞれのXY座標の変化を記録することで、上下左右方向のオフセット（芯ずれ：回転軸芯間の距離）とギャップ（面開き：回転軸の面間距離の差）が同時に測定・算出される。

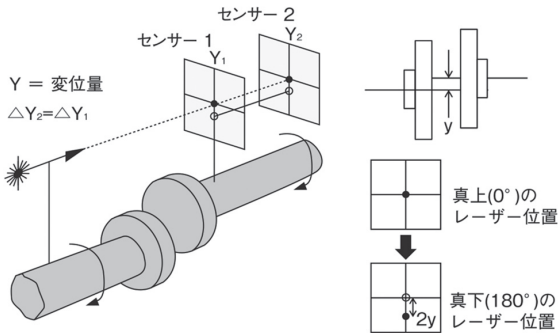


第2図 二面検出によるデータ測定

#### ① オフセット（芯ずれ）の測定

レーザーの光軸調整をした後に、レーザー発射器とレシーバーを設置した軸を回転させた際に、オフセット（芯ずれ）が生じていると、検出面1（センサー1）上のレーザー検出座標（Y座標）が変化する。この変化量からオフセット量を求めることができる。仮に上下方向のオフ

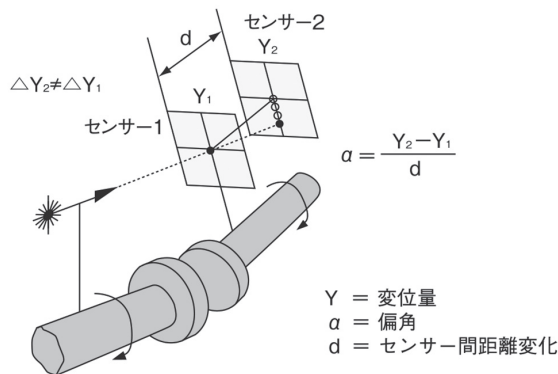
セット量がyあった場合、真上から真下へ軸を回転させると検出面1（センサー1）のY座標でyの2倍の変化量（2y）が検出される（第3図）。



第3図 オフセット（芯ずれ）の評価

② ギャップ（面開き）の測定

軸を回転させた際、互いの軸に角度ずれが生じていると、そのずれ角度に応じて2枚の検出面（検出面1と検出面2）をレーザーが通過するY座標の変化量に差異が生じる。その差異の変化量から軸のずれ角度を算出することができる（第4図）。



第4図 ギャップ（面開き）の評価

しかしながら、従来のダイヤルゲージなどの芯出しでは、角度の芯ずれはギャップ（面開き）で測定・評価されることが多かったため、レーザーアライメントシステムでも同様の表示が必要とされる。ギャップ（面開き）は、算出され

たずれ角度にカップリングの直径をかけ合わせることで計算させる。この測定方法では、軸の傾き（角度）そのものを測定しているため、測定中に軸方向の移動（スラスト）が発生し、実際のカップリングの面間距離が変化しても算出される測定結果は影響を受けない。

(2) レーザーアライメントシステムの機能

レーザーでの測定には共回しが必要であることを述べたが、大型の回転機、減速機を含む設備など、同期させながら共回しできない場合がある。その場合、設備の状態に応じてその設備に適した測定モードを選択することにより様々な回転機での測定に対応することが可能である（第1表）。

第1表 測定モード

測定モードの種類	特長	カップリング状態
連続	カップリングを統合したまま軸を回転させて測定	結合
マルチポイント	レーザー発射機とレシーバを任意の角度で位置合わせて測定	結合/分離
固定点	45度毎の決められた角度で測定	結合/分離
パス	レーザーが検出面を通過する時に自動で測定	分離

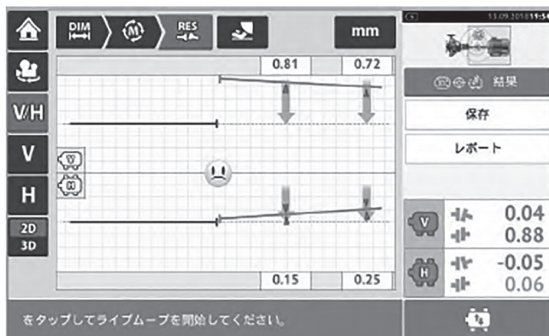
更に、長年使用されてきた設備ではベースに歪みが生じており、設備のガタや修正側だけでは芯出しできず基準機（固定）側を修正する必要があるとでてくる場合がある。また、運転時に熱を持つ設備では、予め冷間時に運転状態を考慮してオフセットをつける必要がある（ホットアライメント）ものがある。そのような現場ならではの様々な状況や各種の回転機に対応できるように、レーザーアライメントシステムには第2表に示すような機能が備わっている。

第2表 レーザーアライメントシステムの機能

横型・縦型機械の芯出し	
機械列の芯出し	
脚のガタ(ソフトフット)の確認と修正	
基準機、固定脚の変更	
目標値設定と熱成長補正(オフセット芯出し)	
スパーサー軸やカルダン軸の設定と結果表示	
レシーバの測定範囲の拡大	
周囲の振動測定	

### (3) 修正とデータ確認・保存

測定が完了すると、第5図にあるように現状の垂直・水平方向のオフセット(芯ずれ)量とギャップ(面開き)量が表示され、合わせて修正量(垂直方向: シムライナー量、水平方向: 移動量)ならびに修正方向が表示される。また、水平方向の修正については、レーザー発射器とレシーバーを同期させることにより、設備の移動量をリアルタイムでモニタリングできる(ライブムーブ機能)ため、作業者の技量に左右されず常に正確に設備の移動量を把握しながら修正できるので、品質の確保のみならず、修正作業の回数を減らすことから作業時間の短縮にも



第5図 レーザーアライメントシステムの測定結果画面

繋がる。

また、レーザーアライメントシステムは記録を全てデジタル保存できる。そのため、現場立ち合いによるその場での現場記録をなくし、待ち時間などのロスをなくしている事業所もでてきている。

ダイヤルゲージで測定した場合は紙ベースでしか記録を残すことができないため、立ち合いにて都度数値を確認することが一般的であったが、立ち合い者の都合と芯出し作業の進捗度合が必ずしも一致しないため、芯出し作業は完了しているにもかかわらず立ち合いによる最終確認ができず、作業者が長時間待たされることがあった。場合によっては日を改めて立ち合い確認作業をすることもあった。立ち合い確認作業が先送りされた場合には、気温などの環境変化によりダイヤルゲージの測定値が変化することもあり、再測定時に許容値が外れた場合、再度芯出し作業が必要な場合もあった。

レーザーアライメントシステムでは、コントロールユニット内にデータを保存することができ、かつデータの改ざんができない仕組みとなっている。また、PDF形式でレポートを出力することもできるため、現場立ち合いによる確認作業を必要とせず、保存・出力された記録を確認することで、立ち合い確認作業の際に発生していたロスをなくすることができることから、芯出し作業全体の時間課題を解決する有効的な手段として用いられている。

## 4. 実プラントへの適用事例

### (1) 冷却塔(クーリングタワー)への適用事例

どのようなプラントでも必要不可欠な重要設備である冷却塔(クーリングタワー)は芯出しが難しい設備の一つとして挙げられる。大型の冷却塔ではファン減速機とファンスタックの外に設置されているモーターは数mの長い中間軸

で繋がれており、このファン減速機とモーターをダイヤルゲージで芯出しする場合、ダイヤルゲージの垂れと中間軸のたわみにより正確な芯出しが非常に困難となる。ダイヤルゲージの垂れの影響を小さくするために、はじめに①ファン減速機と中間軸を芯出しし、次に②中間軸とモーターを芯出しする方法がある（第6図）。



第6図 冷却塔のダイヤルゲージによる芯出し

まず、ファン減速機と中間軸間の芯出しでは中間軸を2ヶ所の仮サポートで支える。ダイヤルゲージで中間軸側のカップリングを片回して測定し、中間軸を動かして修正を行う。次に芯出しが完了した中間軸に対しモーターの芯出しを行う。しかし、この方法では、2ヶ所の芯出しを行うことになるため時間がかかるうえ、中間軸は固定されているので、中間軸自体のたわみやカップリング部の加工、組み立て精度が測定結果に影響を与えてしまうなどの問題がある。

あるプラントで冷却塔のファン減速機の開放点検整備後、ダイヤルゲージによる芯出しが実施された。試運転の際に振動測定を行うと振動値が5.3mm/sとやや大きめであったが、冷却塔の構造上、振動が発生しやすいため、そのまま運転が続けられたが、その2ヶ月後にカップリングが破損してしまった。

そこで中間軸があっても正確に測定ができるレーザーアライメントシステムで芯出しが実施された。中間軸を繋いだ状態で共回しによる芯出しを行った結果、ファン減速機とモーターは垂直方向で0.97mmモーターが高く、0.13mmの面の下開きがあり、水平方向では0.33mmの芯

ずれ、0.22mmの面開きがあり、従来の芯出し方法では精度が担保されていないことが確認された。レーザーアライメントシステムによる芯出しでは、これまで1日かかっていた芯出し作業が4時間で完了し、振動値は5.3mm/sから2.8mm/sと約48%低下したことが確認された（写真2）。

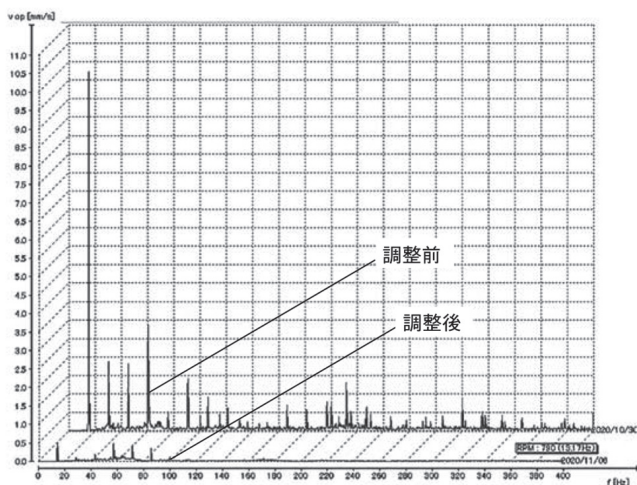


写真2 冷却塔でのレーザー発射器の取り付け

## (2) 化学会社での取り組み事例

ある化学会社では、テーパゲージやダイヤルゲージを用いて熟練技術を有したベテラン作業者が芯出し作業を行っていたが、ベテラン技術者の引退に伴い、若手作業員への技能伝承が行われている。しかし、経験の浅い若手作業員では高精度な芯出しができず、設備が突発故障を起こすことがあった。設備によっては突発故障が発生し生産が停止すると数千万円/日の生産機械損失が発生するものもある。

ある設備で振動測定を行った際、振動値が10.11mm/sと非常に大きな振動が見られた。振動の原因調査を行うとミスアライメントに起因すると考えられたため、設備を停止させ、レーザーアライメントシステムによる芯出し作業を実施する計画が立てられたが、作業当日の朝、設備停止直前にカップリングが破損する突発故障が発生してしまった。急遽、カップリ



第7図 レーザーアライメント前後による振動比較

ング交換作業が実施され、まず、従来の方法で芯出し作業を行い、その結果をレーザーアライメントシステムによる測定で見てみることにした。すると、垂直方向で0.18mmモーターが低く、0.39mmの面の上開きがあり、水平方向では0.07mmの芯ずれ、0.48mmの面開きがあり、精度が担保されていないことが確認された。レーザーアライメントシステムによって0.05mm以下の精度で芯出し作業を2時間で完了し、その後、運転を再開して振動測定を実施したところ、振動値が10.11mm/sから0.99mm/sと約90%も低下したことが確認された（第7図）。

## 5. おわりに

本稿で紹介した二つの事例では、レーザーアライメントシステムを実プラントに適用することで、大幅な作業時間短縮が期待できることが確認できた。また、レーザーの直進性やデジタル化された測定は、ヒューマンエラーの防止や中間軸などで計測間距離が離れている場合でも高精度な測定ができるため、より信頼度の高いデータの取得が可能となる。これらのデータを客観的に確認することは芯出し作業の品質を向

上させる。品質を重要視している昨今の芯出し作業において高精度な芯出しを誰でも簡単にできる上、作業時間短縮のメリットも享受できることが証明された事例でもある。

生産機械損失に直結する「作業精度」「据付作業」「作業時間」における課題および技能伝承問題に対し、本稿が皆様の課題解決の一助になれば幸いである。また、当社では、芯出しの基礎セミナーのポイントをまとめた小冊子「回転機の芯出し技術」を無料で配布しており、芯出しに関する課題を抱えておられる皆様のニーズに広く応えていく所存である。

### 【筆者紹介】

村元 辰  
 (有)ティティエス ブルーテクニク事業部  
 技術員