

## クーリングタワーの振動監視

### 暴走するモーター

クーリングタワーはプロセス工場において大変重要な装置であり、工場の操業には多くの種類の機械により成り立っています。モーター、ギヤボックス、ファン、コンプレッサーなどの回転機械には、甚大な被害を及ぼす操業停止につながるような不良を初期段階で見つけ、管理者に早期警告を出すことができる振動モニタリングシステムが必要です。



Aux セーブル社はイリノイ州シカゴ近郊に天然ガス処理工場を稼働していますが、長年にわたってクリティカルな設備の維持管理のために振動モニタリングを活用しています。2001年以降同社ではウィルコクソン社製加速度センサーをクーリングタワーの振動モニタリングに使用しています。

ウィルコクソン社製モデル 797 は 100mV/g の出力をもった標準品で、冷却塔ファンモーターのドライブエンド(DE)に取り付けられていますが、このモーターは 1,790rpm と 893rpm の動作速度で稼働しています。2004年から2006年にわたりこのセンサーは 0.07ips (1.78mm/秒)ピークから 0.19ips (4.8mm/秒)ピークで増加する全体振動信号をトラッキングしてきました。通常はアラーム値である 0.20ips (5.08mm/秒)を超えることはありませんでしたが、音響ノイズを伴った振動増加により Aux セーブルは対策の準備を始めました。モーターの DE での調査では、スペクトル解析により、内輪通過周波数 (ball pass frequency inner race, BPFI)に関連したモーターのノンドライブエンド(NDE)の軸受けでベアリング不良がトレースされました。収集された情報によって Aux セーブルは 2006年11月不具合と思われるモーターを取り外しスペアと交換しました。予定されていた工場シャットダウンの間に作業は完了し、モーターは検査のためリペアショップに送られました。検査では同社が想像していたモーターの NDE の問題だけではなく、全体振動の増加につながった根本原因も明確になりました。



右上の写真で分かる通りモーターの NDE ベアリング内輪不良が確認され、不適切なベアリングとハウジングのフィット性が原因となる外輪のさびと腐食が確認されました。(右下の写真)



モーターの NDE 軸受ハウジングはまた、ベアリングの外輪がベアリングハウジング側に倒れたことにより底部で激しく溝が付いています。さらなる検査では、ローターアセンブリには NDE でステーターへ接触したことが分かる目視確認が可能な劣化跡があり、NDE での接触によるラミネーションを通してローターバーは目視で確認されました。

リペアショップではこのモーターを 50 万円以下で修理できましたが、これはモーターを交換する場合のコストである 200 万円を大きく下回ることができました。また交換用モーターの納期は 10 週間と長く、これは大問題だったのですが、修理はこれよりも大幅に短い期間で完了したわけです。修理を担当した技術者によると、当該モーターが致命的な不具合になるのは時間の問題であったことを確認し、振動モニタリングがなければ発見できなかったらうとしています。

## ギヤボックスの破砕

モーターベアリングの問題を処理したのち 2006 年 11 月、Aux セーブルではクーリングタワーファンのギヤボックスにも振動モニタリングプログラムを採用しました。ギヤボックスの入力用と出力用シャフトベアリングハウスへウィルコクソン社製加速度センサーが取り付けられ、センサー用ケーブルはファンハウジングの外側へ取り付けられたウィルコクソン製エンクロージャーへ配置されました。右の写真では 29.83Hz 及び 14.91Hz の入力シャフトスピードと、2.13Hz 及び 1.06Hz の出力シャフトスピードをもつギヤボックス、それにセンサーが確認できます。797L は 500mV/g の感度をもった低周波用製品ですが、これが低回転速度による出力シャフトのモニタリングに使用されました。

振動データはエンクロージャーから毎月取られエンジニアにより解析されました。2008 年 10 月、振動トレンドでは大きな増加が確認され予備プログラムのアラートレベルをトリップさせてしまいました。ひと月前のオイル分析ではギヤボックスのベアリングに異常な劣化が確認されましたが、これに加えて振動解析によりギヤボックス底部の出力シャフトベアリングで不良が見つかりました。計画されていた停電の間にギヤボックスを交換したあと、センサーが測定していたであろうベアリング振動が確認されました。右の写真では金属疲労がどの程度進行していたのかが分かりますが、外輪レースの 60% 近くがなくなっていました。

さらに、出力シャフトの内輪レースとともに、底部出力シャフトベアリングの円すいころ 21 台すべてに激しい腐食ダメージが見られました。振動センサーとそれによる解析がここでも有用であることが分かりました。

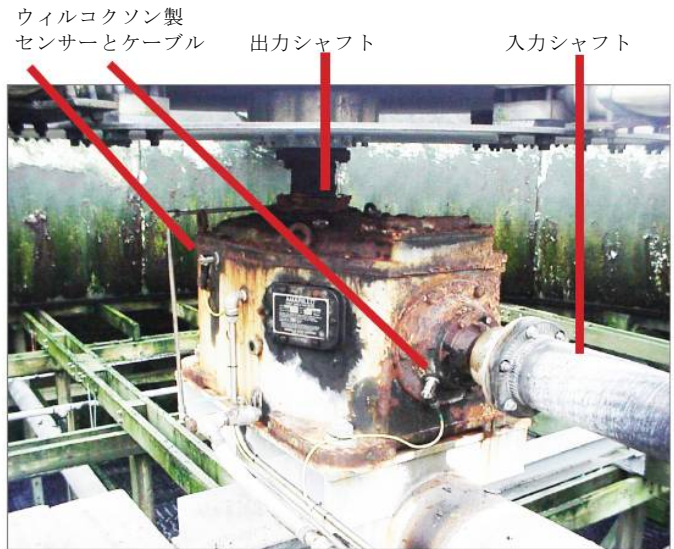
ギヤセットを含む主たる全ギヤボックス部品が良好な状態にあったので、ギヤボックスのベアリングのみ交換が必要と判断されましたが、この修理費用としては 30 万円以下でしたが、全体の再構築をすれば 150 万円以上が必要でした。この費用にはピーク需要のあいだにおける冷却水のファンが動作しなかったことによる損失を含んでいません。

## 度重なる振動問題ギヤボックスの破砕

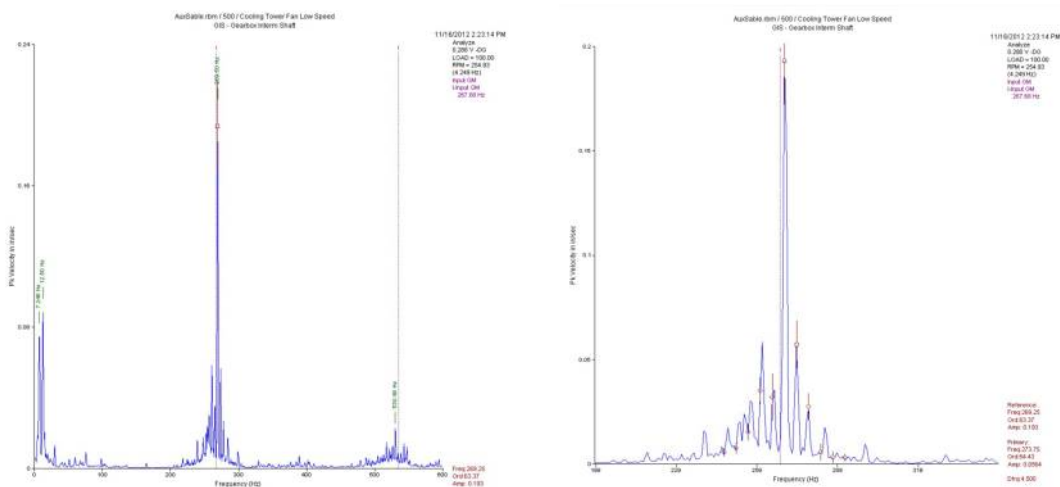
特に問題なく数年が経過しましたが、Aux セーブルではさらに振動モニタリングプログラムを発展させました。

2012 年、1 月から 11 月にかけてウィルコクソンのセンサー測定において、0.10ips(2.54mm/秒)ピークから 0.24ips(6.10mm/秒)ピークへの全体振動の増加を確認しました。連続的に取られていたデータを詳細検討し根本原因を突き止めましたが、オイル分析は正常であったため振動だけが問題と考えられました。

解析を通して分かったことはギヤメッシュ周波数の 269Hz で振幅にスパイクがあることでしたが、下の左図では問題のスペクトルがあり、右の拡大スペクトルではさらにインターバルの 4.5Hz で多くのサイドバンド周波数が存在することが分



かります。これらはギヤボックスの中間シャフト速度に関連しており、その振幅は中程度の重要性をもつ基本周波数の30%に相当するものでした。



最後に年間を通してトラックされたウォーターフォールプロットでは、ギヤメッシュ周波数とサイドバンドの振幅において増加が見られました。このギヤボックスは修理が行われている間において可及的速やかに交換されました。

## 高い耐環境性の製品群

硫酸、水しぶき、ホコリ、汚れなどにクーリングタワーがさらされる中で10年以上も動作したのち、定期交換のためセンサーが取りだされ交換されました。

下の写真はギヤボックスから取り出されたものです。左のセンサーは洗浄されほとんどの異物は除去されていますが、右のセンサーは取り外された直後のものです。これらのセンサーは大量のケミカルに晒されていますが、両方とも初期段階と同様に動作しその高い耐環境性を証明しています。



右の写真はモデル 6Q(I)ブートスタイルコネクタと J9T2A テフロン被覆のケーブルを組み合わせたもので、電気的ワイヤリングへ異物が混入しない工程で組み立てられておりセンサーの寿命全体にわたってクリアな信号が得られます。



Aux セーブル社が振動データを活用することで様々な問題を回避できたのは幸運だったと言えます。過酷な環境に適したセンサー、ケーブル、そしてエンクロージャーによって効果的なメンテナンスの道が開け、クーリングタワーを運用しつつも大規模のトラブルを回避できました。同社はカナダと北米市場で天然ガスからの液体燃料の抽出ビジネスで、今も成長を続けています。