

コンプレッサー/ギヤセットの振動モニタリング

ウィルコクソン社加速度センサーでターボコンプレッサーの低周波をモニタリング

クリティカルな状態にあるターボコンプレッサーが工業用加速度センサーにより低周波でモニタリングされた結果、コンプレッサーのサージ変調により増幅されるハンチング歯周波数での激しい振動があることが分かりました。

振動診断の評価とこれに基づく効果的な修理により、サージとハンチング振動が治まりコンプレッサーの適切な動作が復帰しました。

概要

塩素メーカーでは製紙プラントへ輸送するため塩素ガスを液化しています。あるカナダの化学会社では半期に一度のシャットダウンの前、ダイナミック信号解析が行われ重要なコンプレッサトレインが評価されました。シャットダウンの後コンプレッサー部の改修が実施され、安定動作確保のため塩素液化装置のスタートアップ振動スペクトル計測、記録されましたが、これにはウィルコクソン社工業用加速度センサー786Aとスペクトラムアナライザが使用されデータが取られました。

機械診断

増速器の測定ではギヤボックスの高速エンドから極めて高い振幅、低周波振動を測定しました。図1のスペクトルでは0.075Hz (4.5CPM)に非常に低い周波数の脈動があり、0.99Hz (59.4CPM)のハンチング歯周波数 (HTF)で1.26ipsの振動があることを示しています。またHTFの高調波や脈動信号の側波帯も観察されます。

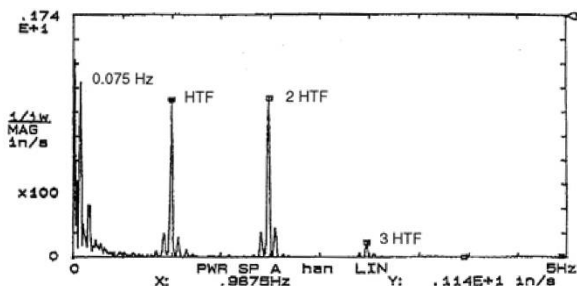


図1：サージ周波数と増速器測定からのハンチング歯高調波

HTF はギヤの特定の歯がピニオンの特定の歯にコンタクトするレートに相当しますが(表1参照)、個体のギヤとピニオンの歯の異常または特異性が原因になっています。

コンプレッサー/ピニオン速度	NC = 119.90 Hz
モーター/ギヤ速度	N = 29.75ユニット
ピニオン歯数	TP = 30
ギヤ歯数	TG = 121
HTF = NC/TG = 119.90/121 = 0.99 Hz、または	
HTF = N/TP = 29.75/30 = 0.99 Hz	

表1：ハンチング歯周波数計算

脈動は13秒ごとに鼓動を生み出し(図1b参照)、サージの結果としてプロセス関連であると考えられました。サージはチラーの影響線において閉じ込められているエアポケットにより発生しており、HTF 周辺の時間波形と測波帯で、サージ脈動はハンチング歯高調波を振幅変調していることが示唆されました。

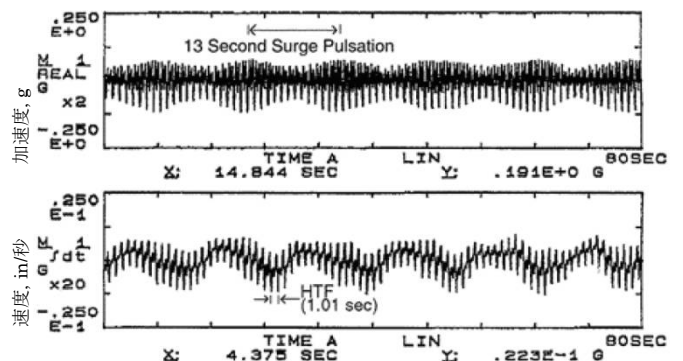


図1b：サージ脈動の変調効果を示す時間波形

システム修理

脈動を抑えるために吐出システムにある冷媒が排出され、その後の測定で分かったことは、排出により完全に低周波サージ(図 2a と 2b を参照)を取り除いたこと、及び変調された HTF 振幅を 1.16ips から 0.11ips へ実質的に下げたことです。

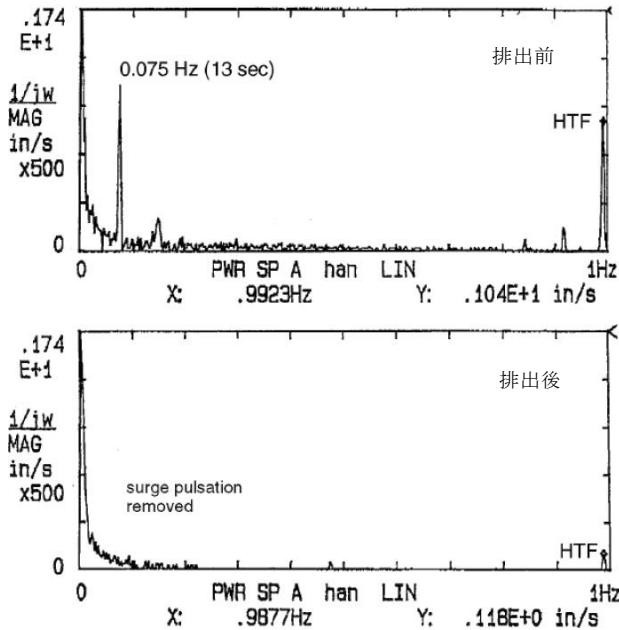


図 2a: 冷媒の排出前と排出後のサージ脈動

ギヤ/モーター動作速度の高調波への HTF 変調効果は図 3 に示されたように低減されています。

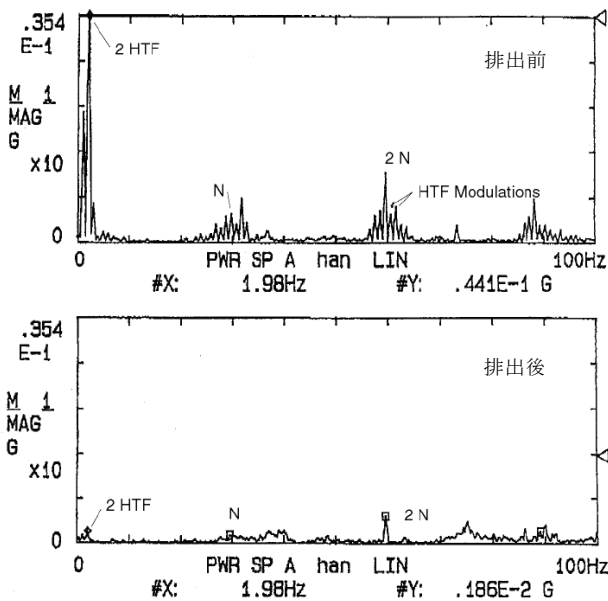


図 3: 修理前と修理後の HTS 側波帯とギヤメッシュ高調波

残念ながら HTF の成分がまだ顕著であり、かつギヤセットの特定の歯で問題がある可能性を示しています。ハンチング歯不良では、物理的に分離したり、信頼性評価を行ったりすることは非常に困難です。そのためにギヤセットを検証するためギヤトランスミッションのコンサルタントが存在する意味があります。詳細な試験で分かったことは、いつギヤが再組立てされたのかアセンブリーのフェーズを特定するため関連するピニオンとギヤ歯へ圧痕されたことでした。ギヤはヤスリで修理された後に再始動のため再インストールされました。

コンプレッサーで基準測定を実施、ハンチング歯振動がほぼなくなっています。(図 4a~4c)

0.99Hz で 0.03ips の最終試験により振動レベルはこのギヤセットでは許容範囲とされ、コンプレッサーはこのあと通常動作に入りました。

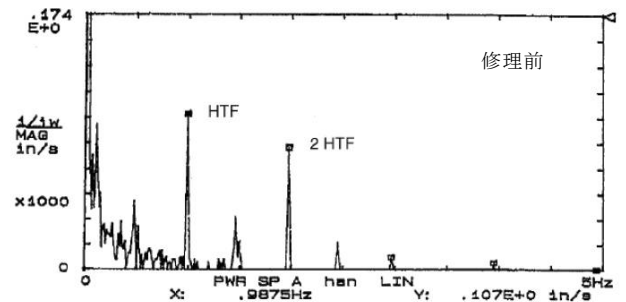


図 4a: 冷媒の排出前と後のサージ脈動

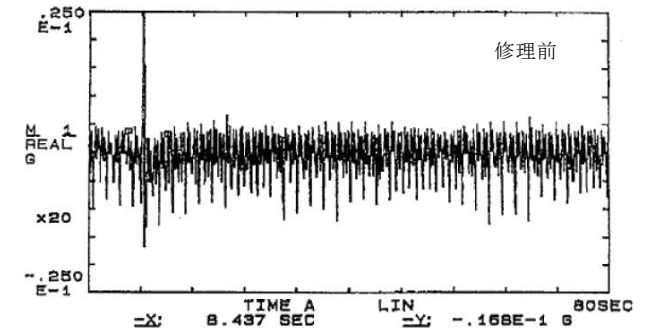


図 4b: 修理前の時間波形

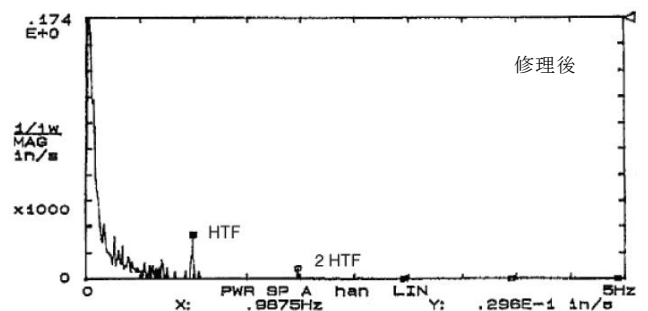


図 4c: ギヤセット修理後のハンチング歯高調波

センサーについての考察

このアプリケーションではウィルコクソン製モデル 766 低周波加速度センサーにより振動データが取得されました。圧電センサーの高振幅信号と低ノイズフローの組み合わせのパフォーマンスによりこれを実施することができました。

圧電型加速度センサーは DC 信号近辺を除去するためすべてアンプにハイパスフィルターが内蔵されています。低ノイズエレクトロニクスが採用されていなければ、規定されたセンサーのバンド幅以下のスペクトルデータは $1/f$ ノイズにより見えなくなります。図 5a と 5b には、フィルタリングによる 766 の低周波減衰と低ノイズフローが示されています。100Hz 校正感度でのセンサー出力は、ハンチング歯周波数で 1dB (9%)、サージ周波数で 26dB (95%) 減衰されています。未調整のサージ振幅は 0.075Hz であっても 10:1 よりも大きい SN 比をもっていました。

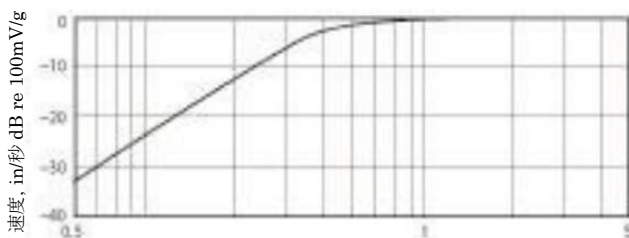


図 5a : モデル 766 の周波数応答

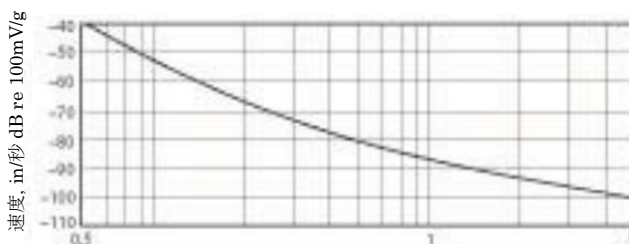


図 5b : モデル 766 の低周波フロー

図 2 にはフィルター調整前と後の脈動の振幅、HTF 高調波及び側波帯が示されています。規定されているセンサーのバンド幅以下において予期せぬスペクトルデータが測定された場合には、センサーメーカーからフィルターによる減衰が提案される場合がありますが、これにより振幅データ (必要に応じて) が正しい値に調整できます。

パワースペクトル: チャンネル A

ポイント	周波数(Hz)	振幅測定 (IPS)	振幅調整 (IPS)	内容
1	0.0750	1.26	25.20	サージ脈動
2	0.1500	0.375	2.37	2 x サージ
3	0.9125	0.177	0.21	HTF + サージ
4	0.9875	1.14	1.28	HTF
5	1.0625	0.148	0.162	HTF + サージ
6	1.9125	0.184	0.188	2 x HTF - サージ
7	1.9875	1.15	1.16	2 x HTF
8	2.0650	0.171	0.172	2 x HTF + サージ
9	2.9750	0.103	0.103	3 x HTF

表 2: フィルター補正前と後のギヤ不良スペクトル

結論

試験されたギヤセットでは、コンプレッサーのサージにより変調された高振幅のハンチング歯振動が確認されました。影響冷媒ラインの排出とギヤセット歯の改善により問題は解決され、塩素液化装置は安定して動作するようになりました。これらの測定においては振動センサーが仕様を超えたパフォーマンスを要求されましたが、熟練の試験エンジニアと品質測定装置により、予期せぬ不具合に対する懸念をすることもなく、この重要なコンプレッサーは速やかに正常な動作に復帰しました。