

大型定期検査・回転機械保全工事への取り組み

1. はじめに

当社は、2010年度よりタービン・圧縮機等の大型回転機械の定期検査工事（以下、定検）も含めた某化学工場の大型定検に取り組んでいる。定検は、大きく定期検査と補修工事に分けられるが、当社は特に定期検査に重点を置いている。特徴として、当社では2009年度より担当エリアの運転中の回転機械に対して①定検前、②試運転時、③定検完了後の計3回の振動診断を実施し、異常が認められた場合、その異常の原因推定、危険度の評価、補修方案作成、補修の実施、さらには次回定検における検査内容や補修に関する提案を行っている。以下に、過去の振動診断とその補修事例について紹介する。

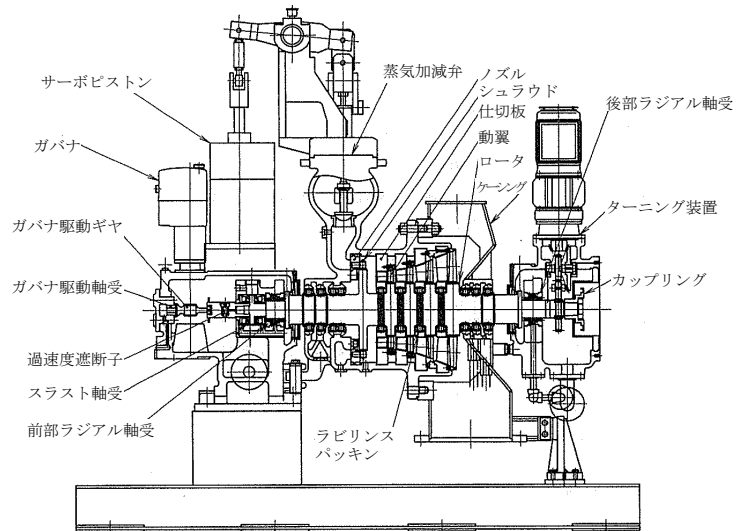


図1 スチームタービン概略図¹⁾

2. 検査補修事例

2.1 事例1：スチームタービン仕切板の割れ

2.1.1 状況および検査結果

スチームタービンの概略図を図1に示す。蒸気加減弁から取り込まれた蒸気は、ノズルを介してケーシングに吹き込まれ、仕切板のノズル部で整流されてタービンブレードの羽根に衝突し、ロータを回転させる。衝突した蒸気は次の仕切板のノズル部で再び整流されて次段のブレードに衝突することを数段繰り返し、ロータを高速回転させる構造となっている。今回行った非破壊検査の項目と対象範囲結果を表1に示す。

第3段上側仕切板の出口側ノズル部にMT検査で割れ状のきず（以下、割れという）を発見した。図2に上半ケーシングの内側の状況を示す。赤い破線で囲んだ部分が第3段上側仕切板の取り付け位置である。第3段上側仕切板のMT検査で検出された割れを図3に、その割れを拡大したものを図4に示す。

2.1.2 対策提案

お客様およびメーカーの基準では4mm以上の割れは使用不可となっている。この仕切板の割れ箇所はシール部分ではなく、蒸気が通過する部分である。そのまま使用した場合、割れが進行し仕切板端部まで到達することが推測されるが、破断するとは考えにくい。ただし、仕切板の材質がFC材（鋳鉄）のため、現場補修で削ることによって割れが進行したり、削った箇所に蒸気の渦巻きが発生し、流れに悪影響を及ぼす恐れが考えられた。そのため、仕切板の耐久性に問題がなく、溶接補修が可能なSB材（ボイラ、

表1 非破壊検査項目

項目	検査部品	対象部位
PT 検査	蒸気加減弁	弁棒-弁体
		弁座シート面
	主蒸気止め弁	弁棒-弁体
		弁座シート面
	前部ラジアル軸受	メタルホワイト面
	後部ラジアル軸受	メタルホワイト面
	ガバナ駆動ギヤ	歯面全体
	ガバナ駆動軸受	全体
主油ポンプ	ギヤ全体 軸受全体	
隔板噴口	出口側ノズル部	
MT 検査	ロータ	全体
	第1～5段動翼	シュラウド部
	第2～5段仕切板	出口側ノズル部

圧力容器炭素鋼板) への変更を提案し、実施した。

2.2 事例2：ブロワのアンバランス

2.2.1 検査結果

2010年9月、お客様からブロワから異音がするとの連絡があり、振動診断を実施した。対象機器は同年7月の定検後の振動診断時には異常は見られなかったが、過去には2008年にインペラへのダスト付着によるアンバランスが発生したことがある。振動診断を行った結果、2008年と同様にアンバランスが発生しており、インペラのバランス

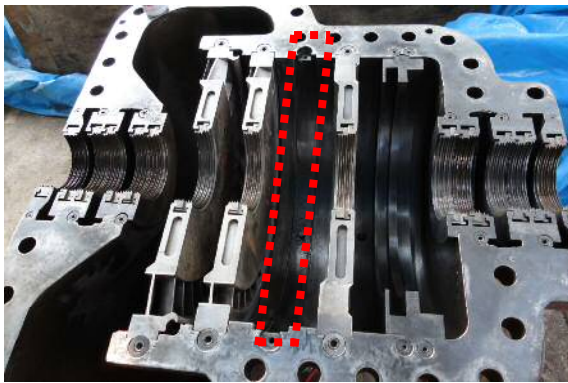


図2 上半ケーシングの内側の状況



図3 上半3段仕切板 MT 割れ状のきず部

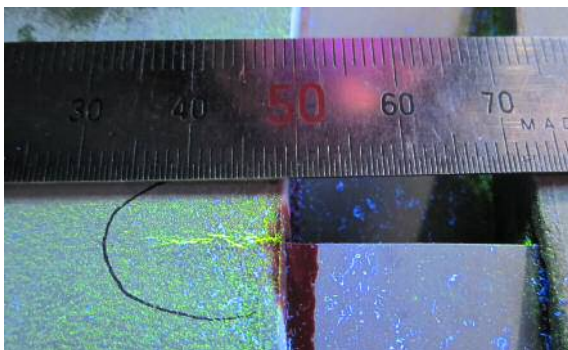


図4 上半3段仕切板(図3)の割れ状のきず部拡大

修正が必要と判断した。このブロウには予備機が無いため、2011年度の定検までは定期的な振動診断による傾向管理を行いながら、2011年度の定検時に軸受部の分解点検を含めインペラのバランス修正を実施した。

2.2.2 振動測定箇所

ブロウ概略図と測定箇所(軸受部 3箇所①~③)を図5に示す。それぞれの水平、垂直方向計6箇所について測定した。アンバランスの場合、水平方向に特徴が出るため、垂直方向の振動測定結果の記載は省略する。

2.2.3 測定結果と診断分析

測定振動パラメータの周波数範囲を表2に示す。振動変位の判定基準については、当社の基準を採用し、速度の判定基準については、ISO10816シリーズに記載された一般回転機械の振動判定基準を採用した。その振動判定基準を表3に示す。振動測定結果のデータについては、2010年7月の異常無しの状態を表4に、バランス修正前を表5に、

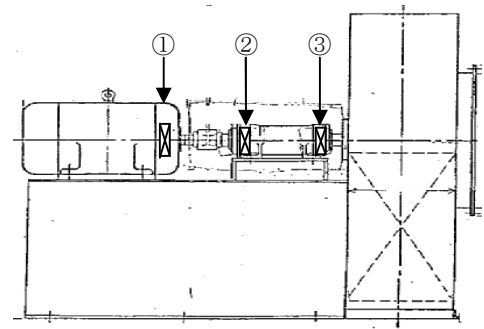


図5 ブロウ概略図と測定箇所

表2 測定振動パラメータの周波数範囲

振動パラメータ	周波数範囲
変位 (Disp : μm) : PP 値	5Hz~200Hz
速度 (Lo : mm/s) : RMS 値	3Hz~1kHz

表3 振動判定基準

振動管理値	変位 PP (μm)	速度 RMS (mm/s)
良好値	40 以下	2.8 以下
注意値	40~120	2.8~7.1
危険値	120 以上	7.1 以上

表4 振動測定結果(異常が無しの状態)(2010年7月)

測定箇所	測定方向	変位 PP (μm)	速度 RMS (mm/s)
①モータ駆動側	水平	29.0	1.40
②ブロウ駆動側	水平	未測定	未測定
③ブロウ反駆動側	水平	31.7	1.48

表5 振動測定結果(バランス修正前)(2011年5月)

測定箇所	測定方向	変位 PP (μm)	速度 RMS (mm/s)
①モータ駆動側	水平	71.9	5.10
②ブロウ駆動側	水平	73.3	4.87
③ブロウ反駆動側	水平	63.3	4.45

表6 振動測定結果(バランス修正後)(2011年5月)

測定箇所	測定方向	変位 PP (μm)	速度 RMS (mm/s)
①モータ駆動側	水平	7.3	0.65
②ブロウ駆動側	水平	12.5	0.82
③ブロウ反駆動側	水平	12.0	0.76

およびバランス修正後を表6に示す。

バランス修正前は変位、速度全て注意値であった。バランス修正後は2010年7月の異常無しの状態と比較して振動レベルが大きく低下し、良好なレベルとなり異音もしなくなった。

測定箇所③ブロウ反駆動側水平方向のバランス修正前の振動 FFT 波形を図6(a)に、バランス修正後の振動 FFT

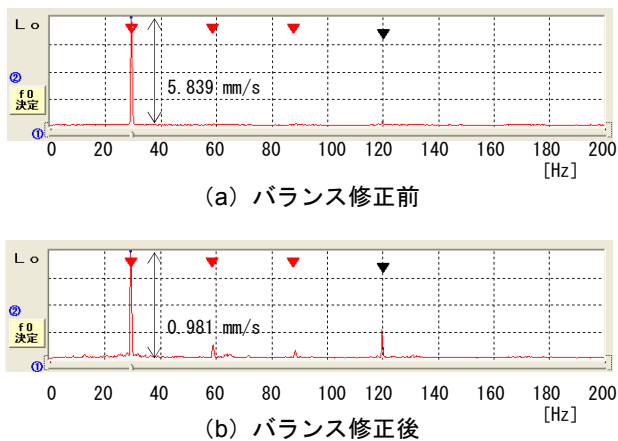


図6 測定箇所③ブロワ反駆動側 振動 FFT 波形

波形を図6(b)に示す。

図6について説明すると、縦軸は振動速度のスペクトルを表し、横軸は周波数が最大200Hzまでを表示している。

この場合は回転周波数の29.5Hzでピークがあり、アンバランスの傾向にある。この両者を比較するとバランス修正前には5.839mm/sあったアンバランスによる振動スペクトルが、バランス修正によって0.981mm/sまで低下できたことがわかる。

2.2.4 対策提案

このブロワは2005年度定検で機器一式を更新したものであるが運転から2年経過後に異音が発生しており、2008年度の定検でインペラのダスト付着によるバランス修正を実施している。2008年のインペラのバランス修正後2年4ヶ月で再度異音が発生しているため、次回からこのブロワについては2年ごとの定期点検実施を提案した。

2.3 事例3：ファンインペラのボス部割れ

2.3.1 状況および検査結果

2010年11月、お客様による簡易診断で、異音と異常振動がみられたため、振動診断を依頼された。対象機器は2008年にもインペラへのダスト付着によるアンバランスが発生していた。振動診断を行った結果、2008年と同様にアンバランスが発生しており、インペラのバランス修正が必要と判断した。2011年度定検におけるインペラの分解点検時に、インペラ溶接線のPT検査を実施した結果、インペラのボス部に割れが発見された。

2.3.2 振動測定箇所

ファン概略図と測定箇所(軸受部2箇所①、②)を図7に示し、それぞれの水平、垂直方向計4箇所について測定した。アンバランスは水平方向に特徴が出るため、前項のブロワ同様に垂直方向の振動測定結果の記載は省略する。

2.3.3 インペラのボス部溶接線 PT 検査結果

低圧側と高圧側のインペラのボス部溶接線について PT

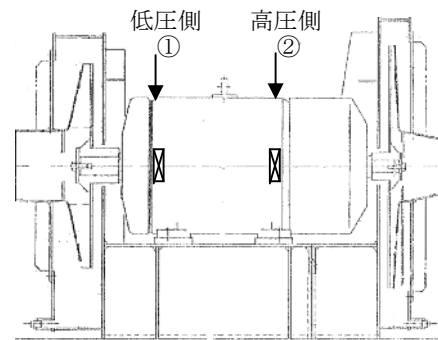


図7 ファン概略図と測定箇所

検査をした結果、低圧側インペラのボス部側溶接止端部に長さ約45mmの割れが発見された。その状況を図8に示す。お客様の基準では4mm以上の割れは使用不可であるため、溶接補修を実施し、PT再検査を行った結果にて合格と判断した。補修後のPT検査の状況を図9に示す。

2.3.4 測定結果と診断分析

測定振動パラメータと振動変位の判定基準については、2.2.3項のブロワと同様に表2、表3を採用した。振動測定結果のデータについては、インペラのボス部の溶接補修前を表7に、溶接補修後を表8に示す。

溶接補修前は、高圧側の速度において注意値を超えていた。溶接補修前と後を比較すると、振動レベルが大きく低下し良好なレベルとなり、異音も消えた。

測定箇所②高圧側水平方向の溶接補修前の振動FFT波形を図10(a)に、溶接補修後のFFT波形を図10(b)に示す。

図10について説明すると、縦軸は振動速度のスペクトル、横軸は周波数が最大500Hzまでを表示している。この場合は回転周波数の59.375Hzでピークがあり、アンバランスの傾向にある。この両者を比較すると速度レベルが2.665mm/sから0.692mm/sに低下しており、良好なレベルとなったことがわかる。

今回はインペラのバランス修正を予定していたが、インペラのボス部の溶接補修により高圧側の速度が大きく低下し良好な状態に改善した。そのため、インペラのバランス修正を実施する必要が無くなり、工期短縮に繋がった。

3. 振動診断

当社では2009年度定検から担当エリアの運転中の回転機械に対して定検前の振動診断を実施し、異常傾向が見られた場合お客様に報告し、次年度保全計画への提案を行っている。

振動測定状況一覧の一例を図11に、振動測定結果報告書例を図12に示す。異常傾向が見られる機器については、機器ごとに報告書を提出している。



図8 低圧側インペラのボス部溶接線(止端部の割れPT)



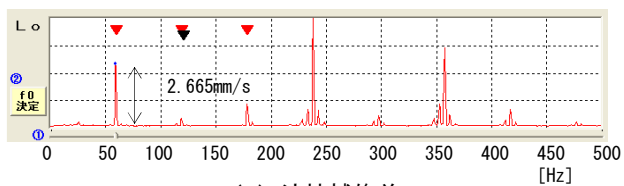
図9 低圧側インペラのボス部溶接線(溶接補修後再PT)

表7 振動測定結果(溶接補修前)

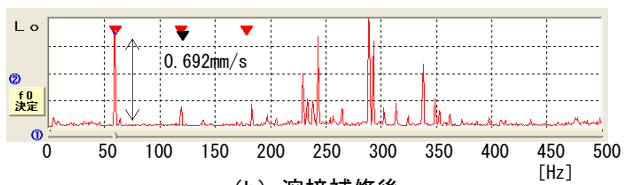
測定箇所	測定方向	変位 PP (μm)	速度 RMS (mm/s)
①低圧側	水平	22.4	1.95
②高圧側	水平	35.2	4.53

表8 振動測定結果(溶接補修後)

測定箇所	測定方向	変位 PP (μm)	速度 RMS (mm/s)
①低圧側	水平	6.5	0.76
②高圧側	水平	9.0	1.34



(a) 溶接補修前



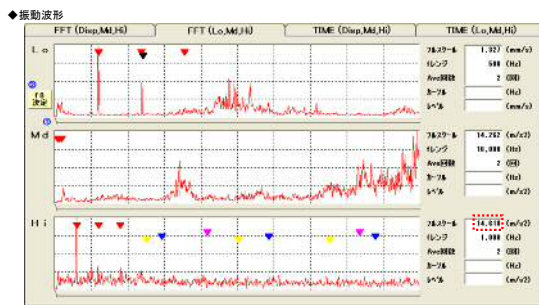
(b) 溶接補修後

図10 測定箇所②高圧側 振動 FFT 波形

No.	機器番号	機器名称	振動測定実施有無			今回分解対象	定検後異常有無
			定検前	試運転	定検後		
1	P-1	消火ポンプ	-	-	-	○	-
2	P-2	No.1復水ポンプ	○	-	-	-	異常傾向
3	P-3	No.2復水ポンプ	-	-	○	-	異常傾向
4	P-4	No.1給水ポンプ	○	-	-	-	なし
5	P-5	No.2給水ポンプ	-	○	○	更新	なし
6	P-6	No.3給水ポンプ	○	-	○	-	なし
7	T-1	No.1給水ポンプスチームタービン	○	-	○	○	なし
8	P-7	排水ポンプ	-	○	-	-	異常傾向
9	F-1	No.1液化機	-	-	○	-	なし
10	P-8	No.1送出ポンプ	-	-	○	-	なし
11	P-9	No.2送出ポンプ	-	-	○	-	なし
12	C-1	圧縮機(高圧段)	○	-	○	-	なし
13	C-2	圧縮機(中圧段)	○	-	○	-	なし
14	C-3	圧縮機(低圧段)	○	-	○	-	なし

図11 振動測定状況一覧の一例

機器番号	機器名称	測定箇所	軸受型式	回転数 [rpm]	出力 [kW]	Class	測定方向	測定値 (2011/8/20)								
								変位D _{pp} [μm]	速度L _{rms} [mm/s]	加速度M _{rms} [m/s ²]	加速度H _{rms} [m/s ²]					
P-3	No.2復水ポンプ	反駆動側	6307	3550	7.5	II	V	17.2	1.65	42.41	10.01					
								16.9	1.74	41.32	19.58					
		駆動側	7308DB	3550	7.5	II	V	21.5	2.18	57.7	60.17					
								7308DB	3550	7.5	II	H	20.9	2.65	27.78	6.61
								6308LLB	3550	7.5	II	H	15.1	1.84	3.2	0.25
モータUP側	6308LLB	3550	7.5	II	A	17.5	2.18	6.04	3.1							



◆考察
ポンプ駆動側の振動値が危険値に達しており、軸受の磨耗劣化が進行していると思われる。
ポンプの分解整備を推奨する

図12 振動測定結果報告書の一例

4. おわりに

当社は某化学工場の定検を通して、回転機械の故障・異常の原因究明から修復まで対応できる回転機械の設備診断を実施し、更なる技術力の強化および提案力の向上を目指している。今後も定検前後の振動診断を継続的に実施することにより回転機械の状態を把握し、お客様に対して整備項目、整備周期、設備更新の要否などの提案を行う提案型メンテナンスを実践していきたい。

猪熊 康弘 (技術本部 技術部)

参考文献

- 1) 社団法人 石油学会 : JPI-8S-3-2008 回転機械維持規格