

ロータリローブブロワの大容量化

西川世洋*・栗岡義紀*・森下裕一**・山田祐二***

*機械事業部・回転機技術部 **機械工場・資材部 ***備前鋼テクノ

KOBELCO Rotary Lobe Blowers for Large-size Iron Ore Direct-reduction Plants

Toshihiro Nishikawa・Yoshinori Kurioka・Hirokazu Morishita・Yuji Yamada

The recent demand for production capacity increase up to 1.2 megatons per year in direct-reduction plants requires large displacement (10 800m³/h) and high differential pressure (110kPa) for the plant's process gas compressors. In order to apply an existing KR100S model in 1.2 megatons module plant, vibration and acoustic pulsation analysis through advanced simulation techniques were developed and applied. Theoretical mechanical reliability and performance expectations were confirmed in actual shop tests. Furthermore, new models the KR100L and KR100H, which can be applied in up to 2.0 megatons module plants, are also introduced.

まえがき = 当社は 1977 年に世界最大級のルーツ型ロータリローブブロワ (Two-lobe rotary blower 以下ブロワ) KR シリーズを開発・上市¹⁾²⁾した。以降、カタル、エジプト、イラン、ベネズエラの MIDREX 法直接還元製鉄プラントのプロセスガス送風機として計 59 台 (1998 年 12 月現在) の製作実績を有し、その安定した操業実績から高い評価をえている。近年、直接還元製鉄プラントは還元鉄年間生産量 120 万トン級まで大型化されており、さらに 200 万トン級までの大型化も検討されている³⁾。当社では 1995 年時点の最大実績であった 80 万トン級 (1998 年時点実績 100 万トン級) に対し、120 万トン級プラントで要求される仕様まで既存モデル KR100S の適用範囲を拡げるため、理論行程体積 108 000m³/h (回転数 600rpm 相当)・最高許容差圧 110kPa までの高速・高差圧化に取り組んだ。本稿では高速・高差圧化の際、実施した各種シミュレーション技術適用による設計と所内試運転による妥当性検証について紹介する。

さらに、将来 200 万トン級までのプラント大型化に対応できる KR100L と KR100H の新シリーズを紹介する。

1. 高速・高差圧化へのシミュレーションと試運転検証

当社大型ロータリローブブロワ KR100S の本体外観を写真 1、構造図を第 1 図に示す。開発当時の設計許容値⁴⁾より差圧を約 10%、回転数を約 20% 適用範囲を拡大するにあたり、以下の項目を検討し検証した。

1.1 機械的強度

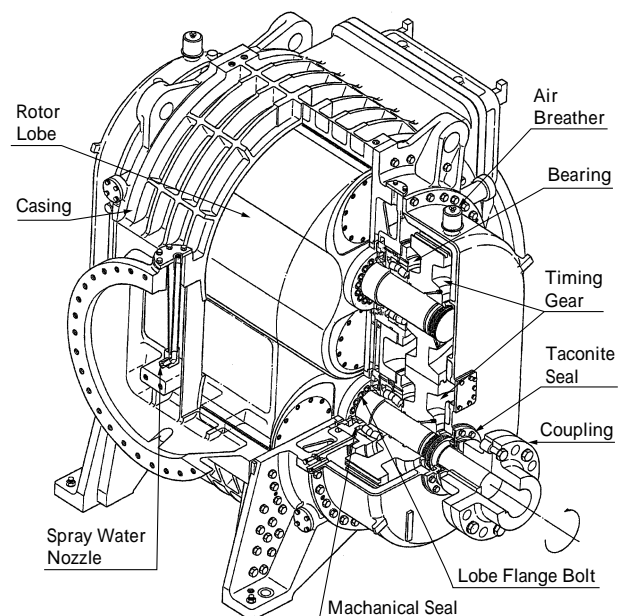
差圧上昇および回転数上昇が機械要素に与える影響について、同期歯車強度 (AGMA SF1.7 以上)、ローブ取付ボルトとロータ軸強度、軸受寿命 (217 000h)、メカニカルシール (PV 値) などについて設計強度を再度評価し、十分余裕があることを確認した。また、ローブについては第 2 図に示す 3 次元有限要素法 (FEM) によって平均応力、変動応力ともに十分に低いレベルであることを確認している。

1.2 ブロワ本体・基礎系の振動解析

ロータリローブブロワにおいては運転回転数 N に対



写真 1 ロータリローブブロワ KR100S
Photo 1 KOBELCO Rotary Lobe Blower model KR100S



第 1 図 ロータリローブブロワの構造
Fig. 1 Construction of KOBELCO Rotary Lobe Blower

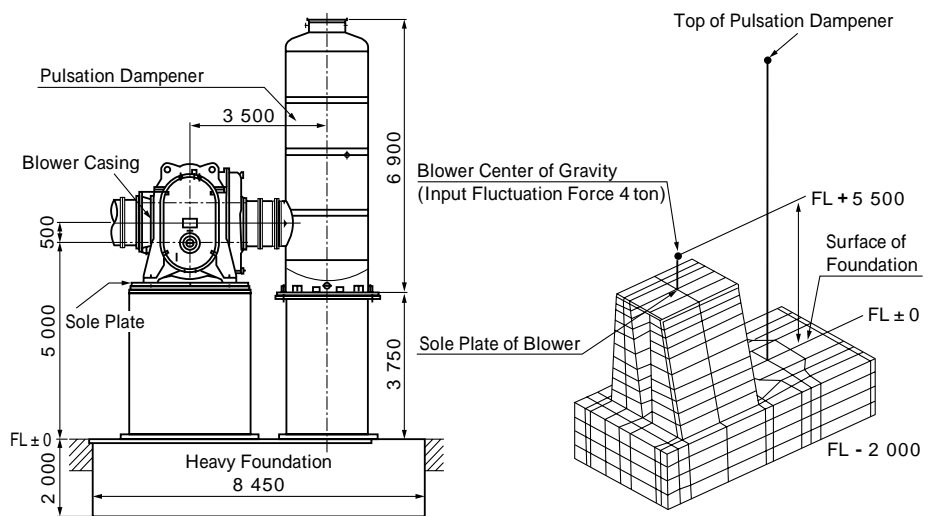


第2図 ロータのFEM解析 (600rpm, ΔP = 110kPa)
Fig. 2 FEM analysis of rotor lobe

なる。当社では伝達マトリックス法による数値解析で脈動解析をおこない、ブロウ吐出サイレンサの減音効果が最適になるように設計している。第5図にサイレンサ消音量のシミュレーションと実測結果を示す。もっとも支配的であり消音すべき脈動1次成分の実測消音量は予想値と良く一致しており、従来解析手法が高速域においてもきわめて有効であることが示された。

1.4 吐出サイレンサ構造設計

サイレンサ設計にあたっては消音効果のみでなく、第6図に示すブロウ脈動との共振や定在波との共鳴などの過大な振動発生要因を避ける設計が必要である。拡張型サイレンサは第7図に示す長手方向(節数m)と周方向(節数n)の振動モードをもち、m, nの組合せで固有値(共振振動数)が決まる。当社では有限要素法による固有値解析を実施し、脈動周波数および高次成分がこの固有値と共振しないような構造に設計している。一例と



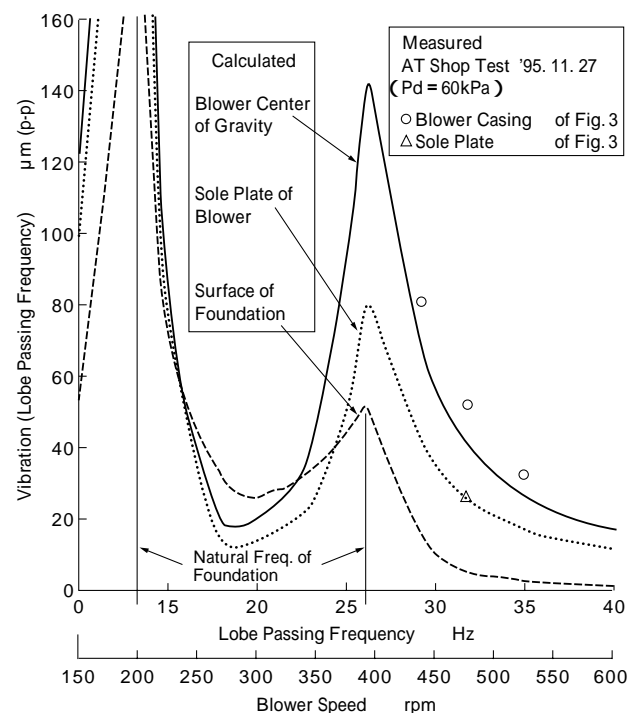
第3図 機械工場5000kW試運転設備とFEM解析モデル
Fig. 3 5000kW shop test facility and FEM analysis model

し4Nを基本周波数とする脈動周波数(一般に25~40Hz)が振動の主原因となる。これがロッキングモードと呼ばれる基礎の固有振動数に一致すると過大振動(共振)が生じ運転できないトラブルに至ることがある。このため、プラント設計者はこの固有振動数を避ける基礎設計をおこなう必要がある。当社ではブロウの製作にとどまらず、MIDREXプラントの設計・施工部門やR&D部門に蓄積された経験技術と解析技術により、精度の高い基礎振動シミュレーションが可能である。

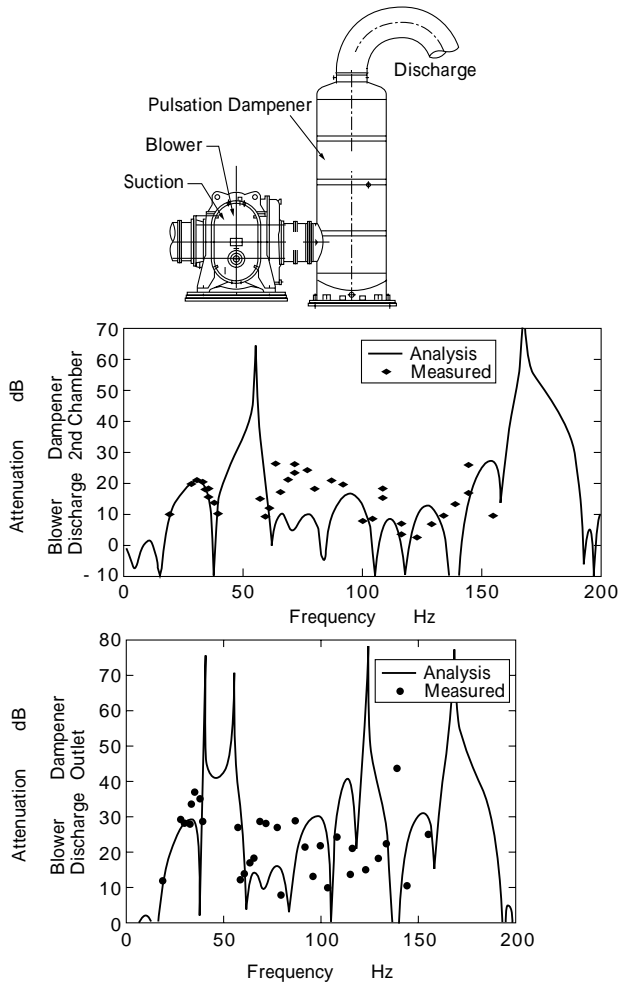
第3図に当社機械工場5000kW試運転設備のレイアウトとFEM解析モデルを示し、第4図に解析結果と実測結果の比較を示す。基礎コンクリート・台板・ブロウ・サイレンサ系を組合わせたモデルによる定常振動応答解析結果は13Hzと26.5Hzに固有振動数をもつ応答を示し、実測からえられた振動値ときわめて良く一致している。

1.3 吐出サイレンサ最適設計

ロータリローブブロウは内部圧縮がない構造上、圧力脈動が発生しやすく、配管振動や騒音を発生させるため、高速化に際してはいかに圧力脈動を抑制するかが重要と



第4図 基礎振動解析と測定結果
Fig. 4 Comparison between vibration analysis and measurement at shop test

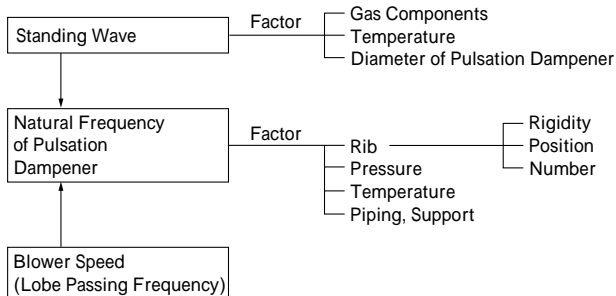


第5図 吐出サイレンサ減音シミュレーションと測定結果
Fig. 5 Pulsation attenuation simulation and measurement of pulsation dampener at blower discharge

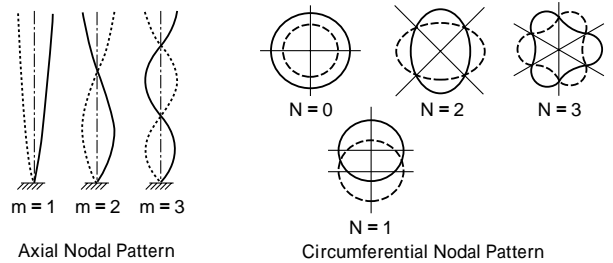
して、600rpmで最適な高速仕様のサイレンサは、第8図に示すようにリブを追加し剛性を向上させている。第9図(a)に示す解析結果は十分な剛性を示し共振域が避けられている。いっぽう、第9図(b)に示すリブがない通常の構造では剛性が十分でなく低い固有振動数が存在するため、過大な振動を生じる危険がある。

2. 高速・高差圧化の所内試運転による検証

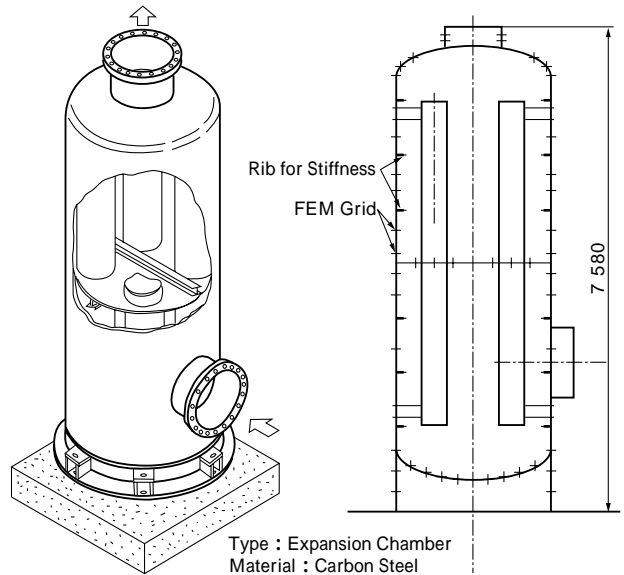
1995年11月から1996年9月にかけて、当社機械工場5000kW試運転設備においてKR100Sの高速・高差圧検証のための試運転を実施した。その際実施した広域にわたる運転条件を第10図に示す。運転結果は機械的強度、性能、振動・騒音ともシミュレーション予想設計値に良く一致しており、KR100Sの高速・高差圧化が検



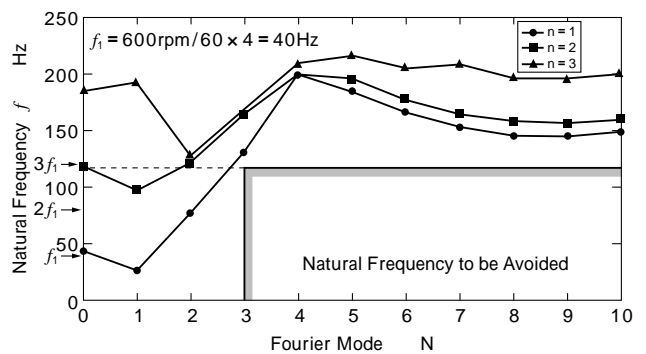
第6図 サイレンサの振動要因
Fig. 6 Vibration source of pulsation dampener



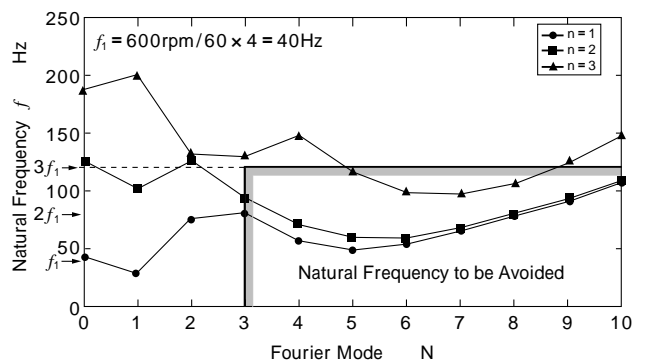
第7図 サイレンサの振動モード
Fig. 7 Vibration mode of pulsation dampener



第8図 高速用吐出サイレンサの構造とFEM解析モデル
Fig. 8 Pulsation dampener and FEM analysis model

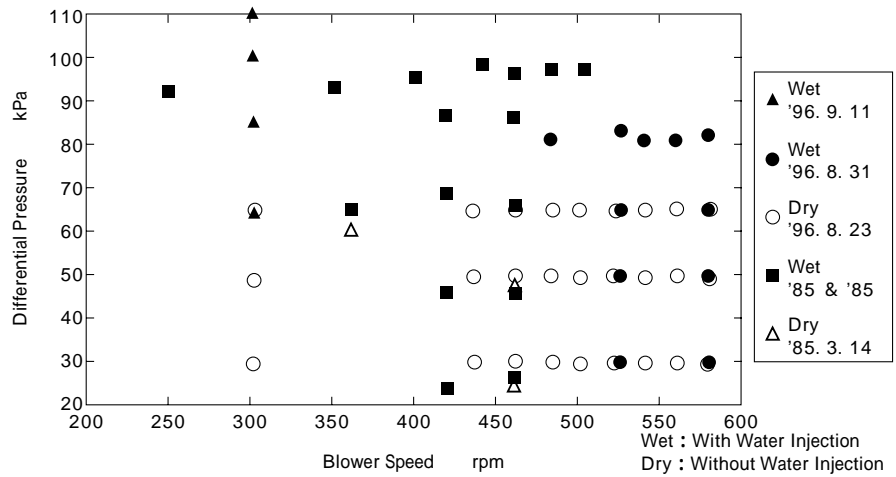


(a) Stiffened by inner ribs optimized structure for high speed operation
Moderate Vibration Expected



(b) Normal structure
Severe Vibration Expected

第9図 サイレンサの固有値解析
Fig. 9 Natural frequency of pulsation dampener



第10図 高速・高圧社内検証試験運転条件
Fig. 10 Extensive experiences in shop running test

第1表 ロータリローブブロワ主要諸元
Table 1 Specifications of KOBELCO Rotary Lobe Blowers

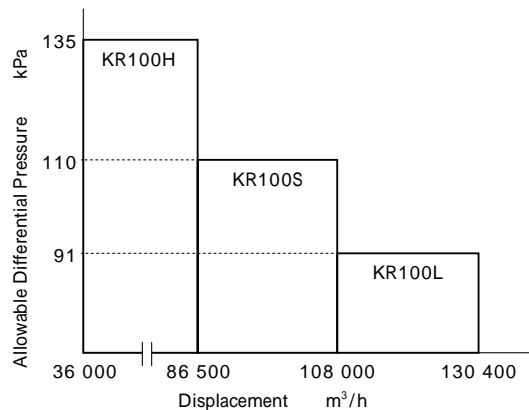
Model		KR100H	KR100S	KR100L
Lobe Profile		New Cycloid	Cycloid	Cycloid
Lobe Diameter	m	1.584	1.624	1.624
Lobe Length	m	1.13	1.30	1.57
Displacement	m ³ /rev	2.402	2.999	3.622
Max. Shaft Speed	rpm	600	600	600
Displacement at Max. Speed	m ³ /h	86,500	108,000	130,400
Allowable Differential Pressure	kPa	135	110	91
Max Operating Pressure	kPa	250	250	250
Approx. Size	mm	2,943 ^h × 2,651 ^w × 2,971 ^h	3,122 ^h × 2,651 ^w × 2,971 ^h	3,392 ^h × 2,651 ^w × 2,971 ^h
Weight Approx.	ton	31	35	40
Feature		For High Pressure	Standard Model	For Large Capacity

証された。

3. さらなるプラント大型化への新シリーズによる対応

既存機種 KR100S に加え、ロングロータ大風量モデル KR100L とショートロータ高差圧モデル KR100H を新たにシリーズ化した。第1表に主要諸元を、第11図にレンジチャートを示す。新モデルでは、多くの実績をもつ既存モデル KR100S と同じ機械要素（軸受、メカニカルシール、同期歯車など）を採用していることにより機械的信頼が保たれ、さらに予備品が共用できる利点もある。

むすび = 直接還元製鉄用大型送風機であるロータリローブブロワの高速（600rpm）・高差圧化（110kPa）をシミュレーション予測と実証試験により検証し、既存モデル KR100S の適用範囲を年産120万トン級プラントまで拡大した。さらに、KR100S で検証された技術をもとに大風量モデル KR100L と高圧用モデル KR100H を新たにシリーズ化し、これらの組合せによって200万トン級プラントまで当社ロータリローブブロワを適用可能とした。



第11図 ロータリローブブロワのレンジチャート
Fig. 11 Range chart of Kobelco Rotary Lobe Blowers

参考文献

- 1) 小谷重遠：R&D 神戸製鋼技報，Vol.28，No.1（1978），p.42．
- 2) 重河和夫ほか：R&D 神戸製鋼技報，Vol.34，No.2（1984），p.81．
- 3) Midrex Direct Reduction Corp.：Direct from Midrex 2nd Quarter（1997），Vol.22，No.3 p.5．
- 4) 山田祐二：R&D 神戸製鋼技報，Vol.41，No.1（1991），p.26．