

Estimation of pressure pulsation in scroll compressor

○伊藤隆英（三菱重工），藤谷誠（三菱重工），酒井康彦（名大工）

Takahide ITOH*, Makoto FUJITANI* and Yashuhiko SAKAI**

*Nagoya R&D center, MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, Nagoya, Japan

**Dept of Eng., Nagoya University, Nagoya, Japan

The noise prediction of scroll compressor is one of the most important problems to reduce the noise. This study is the first step to predict the noise, which is caused by pressure pulsation. In previous works, we analyzed the discharge pressure pulsation by CFD with 1-dimensional straight tube model, which had same cross-sections. However the model was in need of the experimental values such as the equivalent sound length of compression chambers. From this reason it was impossible to predict the frequency pattern of noise. In this study, we developed a new 1-dimensional tube model, which has variable cross-sections to consider the change of compression chamber shapes. From analysis of the pressure pulsation frequency spectrum, it is confirmed the new model can predict reasonably the change of the sound power level by the setting of the lead valve.

1. 緒論

スクロール圧縮機は、低騒音・低振動の特性から冷凍用、空調用圧縮機として広く用いられている。しかし、スクロール圧縮機はスクロール形状で決まる組み込み圧縮比を有し、この組み込み圧縮比より大きな圧力比で運転した場合に騒音が増大する傾向がある。

筆者らは、この現象をスクロールの吐出脈動に起因する流体加振音の増加と考え、スクロール圧縮室を断面積一定の管路にモデル化した脈動解析と圧縮室脈動計測の両面から騒音との相関性を確認してきた^{1,2)}。また、最も中心に近い圧縮室の圧力変動と騒音の相関性を解析と実験で示した研究も報告されている³⁾。

しかし筆者の上記研究では、脈動予測手法として断面積一定の管路モデルを用い、管路長として実験的に求めた音響等価長を必要としたため、新規形状に対する適応性の問題を残していた。また他の研究も騒音の周波数パターンを予測するまでには至っていない。

以上の背景から本研究ではスクロール騒音の周波数パターンの予測を目的に、圧縮室形状と位置の変化を考慮できる新しい圧縮室モデルを考案し、そのモデルを使用して解析した脈動の周波数ごとのパワーレベルと実測値との比較を行うことで騒音予測の可能性を検討した。

2. 吐出圧力脈動解析手法の開発

2. 1 スクロールの圧縮原理

図1に今回解析したスクロール圧縮室形状を示す。スクロール圧縮機は固定側と可動側のスクロール壁面で形成される三日月形の空間が、回転がすすむにつれ容積を減じながら外側から中心部に移動することで圧縮が行われる。

圧縮室の中心には吐出ポートがあり、スクロールの組み込み圧力比より大きな圧力比で運転した場合に吐出ガスの逆流を防ぐための弁が取り付けられる。

2. 2 スクロール圧縮室のモデル化

圧縮室のモデル化では、形状および位置が変化するスクロールの特徴に沿った手法が必要であり、ここでは以下のような圧縮室

日本流体力学会年会 2000 講演論文集 (2000-7)

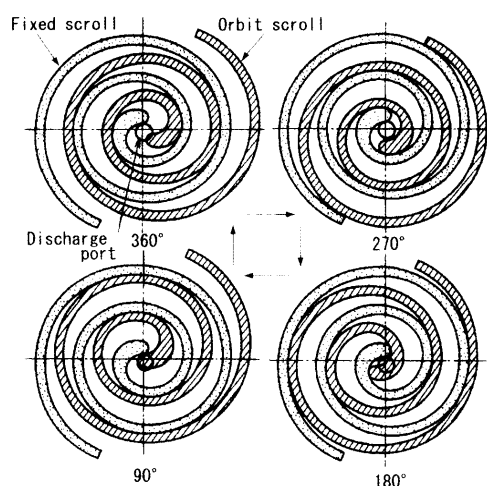


Fig.1 Compression principle of scroll

モデルを考案した。

- (1) スクロール圧縮室を断面積が変化する管路モデルとする。
- (2) 管断面積は固定と旋回の壁面間距離とスクロール高さの積で与える。
- (3) 管路長は固定壁面と旋回壁面の中間点からなるインボリュート曲線に沿った座標系で与える。

以上の変換により図2示す形状の1次元管路を得ることができる。 ξ 軸は管路位置、 η 軸は管断面積を示す。

このモデルでは 2π に相当する1つの圧縮室は閉空間（図2中の β - γ 間）で表される。また、圧縮行程は閉空間の距離を α - β のように縮めながら原点方向に移動することで表される。

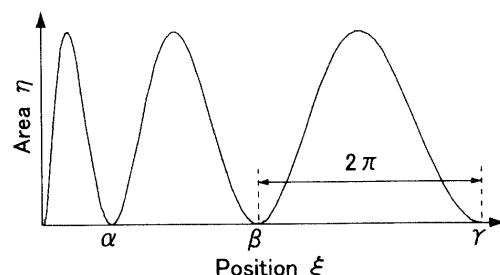


Fig.2 Analysis model of compression chamber

2. 3解析手法

解析は有限体積法的一种であるFLIC法⁴⁾(Fluid in Cell Method)を、流体と移動壁面の相対的な運動を考慮したALE法(Arbitrary Lagrangian-Eulerian Method)で拡張した。具体的にはセルへの保存量(質量、運動量、エネルギー量)の流入、流出を決定する風上側の判定および流入速度に、壁面移動速度と流体の相対速度差を用いた。冷媒ガスは圧縮性非粘性流体と仮定し、壁面には断熱条件およびスリップ条件を与えた。

また、スクロール中心部で圧縮室が消滅することに対応するため、メッシュの容積があらかじめ設定した大きさより小さくなった場合は、隣のメッシュと質量、運動量、エネルギー量が保存されるように結合した。

吐出ポートのリード弁は、分布質量をもった片持ち梁の運動方程式をRayleigh近似することで、集中質量系の運動方程式に変換し、Runge-Kutta-Gill法で流体の方程式群と連成して解析した。

3. 結果および考察

図3に吸入圧力0.49(MPa)、吐出圧力2.7(MPa)での解析圧力波形を示し、図4には同条件での計測結果を示す。図のX軸は圧縮機の旋回角を示し、圧縮進行(時間進行)に伴い数値は減少する。

実機圧力計測は、水晶圧電式圧力センサ7個を固定スクロール側に埋め込み、各計測波形を合成することで移動する圧縮室圧力を求めた。また、解析結果は実測のセンサ位置に相当する圧力波形を示した。

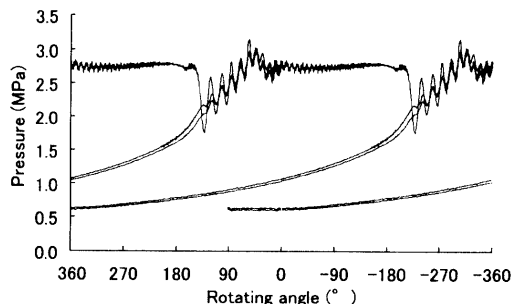


Fig.3 Pressure diagram (simulation)

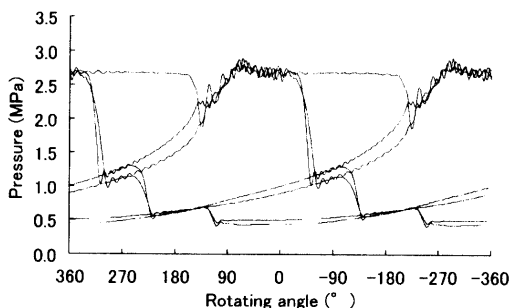


Fig.4 Pressure diagram (measurement)

解析波形は旋回角150°で吐出ポートと圧縮室が連絡したときの圧力変動値(解析値:0.87MPa、実測値:0.83MPa)、およびその後の脈動の様子など実測波形と良い一致を示した。

次に圧縮機騒音予測のため、解析した圧力脈動波形を周波数パワーレベルに分解した結果を図5に示す。また実機騒音計測結果を図6に示す。図5、図6とも吐出リード弁を有する場合と、実験的に騒音低減が確認されている弁が無い場合の比較を示す。

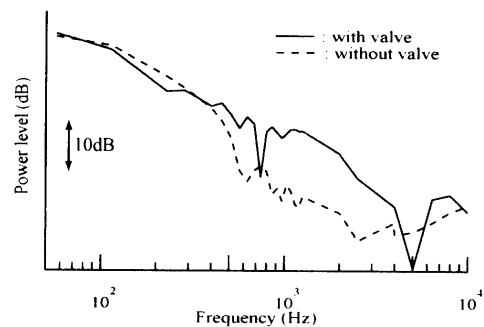


Fig.5 Power level of pressure pulsation

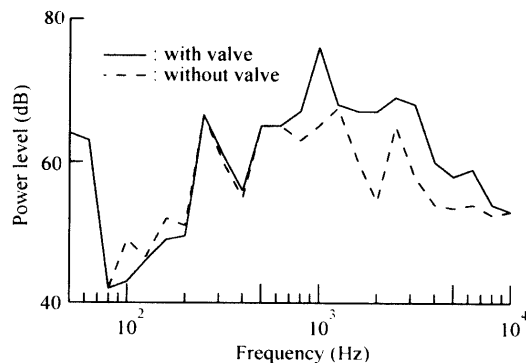


Fig.6 Sound power level

音は圧力変動の2乗に比例することから、セル圧力と軸方向の受圧面積から得られる加重平均値の2乗値をフーリエ変換することで周波数パワーレベルを算出した。

解析では、リード弁と弁無しのパワーレベル差は1kHzで最大となる。一方、計測でも1kHz近傍にリード弁のパワーレベルピークがあり、解析と良い相関性を示した。

以上の結果より、スクロール圧縮室を断面積が変化する1次元管路にモデル化することで圧縮機の騒音周波数パターンをある程度予想することが可能となり、騒音予測の可能性を得ることができた。

4. 結論

- (1) スクロールの圧縮室形状を考慮できる断面積が変化する管路モデルを提案した。
- (2) 移動する壁面上に座標系を固定したALE法を取り入れた脈動解析手法を開発した。
- (3) 解析結果を周波数分析した結果は実測の音響周波数特性と良い相関を示し、モデル化、解析手法の妥当性を確認するとともに騒音予測の可能性を得ることができた。

引用文献

- 1) 伊藤隆英、藤谷誠、武田公温: 第7回熱工学シンポジウム講演論文集, No.940-24, (1994), 91-92.
- 2) T. Itoh, M. Fujitani: *Proc. of International Compressor Engineering Conference at Purdue, Vol.2(1994)*, 683-688.
- 3) S. Motegi, S. Nakasima: *Proc. of International Compressor Engineering Conference at Purdue, Vol.2(1996)*, 605-610.
- 4) 加藤敏: 日本機械学会論文集(B編), 53- 485(1987), 289-295.