B142 一作動型液封式ポンプにおける気液界面の可視化

藤田 優¹⁾, 石井 進¹⁾, 山崎 智史²⁾, 由永 達郎³⁾

The Visualization of Liquid Ring a Single Action Type Liquid Ring Pump

Masaru Fujita, Susumu Ishii, Satoshi Yamazaki and Tatsuro Yoshinaga

ABSTRACT

Many researchers of both domestic and oversea promote the report in relation to the liquid ring pump. However, there exist only few reports that are discussed about the visualization of the liquid ring between the liquid as the working fluid and pressured gas at present. What is worse, the content of such current discussed report of the visualization of the liquid ring is only visualized the cross sectional images of the inside of the liquid ring pump by taking a photograph or other media.

Therefore, our report "The Visualization of Liquid Ring inside a Liquid Ring Pump" treats this research theme by visualizing and discussing the visualization of the liquid ring between the liquid as the working fluid and pressured gas systematically, and figures out the characteristics of the liquid ring pump under various conditions for more meaningful development of it.

Key Words: Vacuum Pump, Liquid Ring Pump, Water Ring Pump

1. 緒言

液封式ポンプに関する研究は国内外で行われているが、液封式ポンプ内部において作動流体である液体と圧送される気体との界面を可視化し議論されている報告は数少ないのが現状である。またその内容も断片的に撮影されているにすぎない。

そこで本研究では、ポンプ内部の気液界面の様相を系統的に可視化し議論することは、液封式ポンプの特性を解明してゆくにあたり意義のあることであると考え、種々の条件を考慮し気液界面の様相を可視化し検討した結果を報告する。^{1) 2)}

2. 実験装置および実験方法

Fig.1に液封式ポンプの断面図を示す。羽根車は左方向に湾曲した厚さ7mmの羽根18枚で構成されており、羽根車外半径142mm、羽根車内半径63mm、羽根車幅122mmである。液封式ポンプは、羽根車が矢印方向に回転するとポンプ内部に満たされた封液が遠心力によりケーシング内壁面にそって液膜を形成する。円筒状のケーシング内部に羽根車を偏心して配置することによって液膜と羽根車で囲まれた空間の容積は羽根車の円周方向に添って変化する。したがって羽根車が矢印方向に回転すると、吸い込み口より気体が吸い込まれ羽間通路の容積の変化によって気体は圧縮され、吐き出し口より大気に放出される。吐き出し過程が終わってから次の吸い込み始めまでの間をキャリアー

ー過程と呼ぶことにする。気体が吸い込まれてから吐き出されるまでの一連の過程は、吸い込み始めを0°とすると吸い込み過程0°~135°、圧縮過程135°~270°、吐き出し過程270°~308°、キャリアーオーバー過程308°~360°である。また、実験では封液として水を使用した。

Fig1. Sectional view of the pump

Fig.2は実験装置の概略図である。実験に用いたポンプ③は、羽根車が一回転する間に気体の吸い込み、圧縮、吐き出しを一回ずつ行う一作動型液封式ポンプと呼ばれるもので、ポンプ側面には内部の様相を可視化するために厚さ30mmのアクリル樹脂板を設けてある。ポンプの回転数はインバータ①で1200rpmとした。封液補給量は流量を制御する流量計で 0.33×10^{-3} 、 0.42×10^{-3} 、 0.50×10^{-3} (m³/s)の3段階に調節した。ケーシング内径は344mmで、偏心率は0.387である。羽根車は羽根先端傾斜角度 α を50°から10°まで10°ずつ角度を変えた5種類

*原稿受付 2003年8月22日

1) 正会員 日本大学生産工学部機械工学科

2) 学生会員 日本大学生産工学部機械工学科

3) 正会員 (株)栗村製作所

の羽根車を使用した。また空気吸い込み口にバルブ(⑧)を設置し、吸い込み圧力を任意に変えられるようにした。

気液界面の様相の撮影には OLYMPUS 製のデジタルカメラ C-5050ZOOM (④)を使用した。このカメラの有効画素数は 2560 × 1920pixel である。アクリル板からカメラまでの距離を 730mm とし、照明は部屋の照明のみで行った。また、封液をケーシング内に満たし、0~1200 r p m で気液界面ができていく様子を動画で撮影した。使用した羽根車は羽根角度 10° と 50° で、撮影には静止画像と同じくデジタルカメラを使用した。

Fig2. Schematic drawing

3. 実験結果および考察

実験で撮影した画像を Fig.3 から Fig. 8 に示す。撮影はすべて同じ撮影条件で行った。これらの画像には白いリング状の気液界面の様相が映し出されている。気液界面に幅があるのは、封液の表面が回転する羽根の力によって絶えず動いているために気体と混ざり合って霧のような状態になっているためであると考えられる。この白い帯について考察する。

Fig.3 から Fig.6 までは羽根角度 50°，封液補給量 0.50×10^{-3} (m³/s) のときの気液界面の様相である。吸い込み過程の初めでは吸い込み圧力が高い(大気圧に近くなる)ときに吸い込み圧力が低い(絶対真空に近くなる)ときに比べ白い帯が厚くなっている。吸い込み圧力が低くなると圧縮過程の途中から吸い込み圧力が高いときよりも白い帯が厚くなっている。吸い込み過程の途中から圧縮過程の途中までは吸い込み圧力による変化は見られなかった。この傾向は封液補給量を変えても同じであった。羽根角度が 40° のときは、吸い込み始めや圧縮途中では 50° と同じ傾向を示しているが、その間の過程では吸い込み圧力が高いときのほうが帯の幅が広がった。羽根角度が 30° になると、吸い込み始めでは 50° と同じ傾向を示すが、吸い込み途中から圧縮終わりまでは吸い込み圧力が低くなるにつれて帯の幅が狭くなる傾向を示している。羽根角度 20° では、吸い込み圧力が 0 に

Shoot condition : 33mm F2.0 1/5s ISO 64

Fig3. Air-Water Interface ($\alpha=50^\circ$, 94.7kPa)

Shoot condition : 33mm F2.0 1/5s ISO 64

Fig4. Air-Water Interface ($\alpha=50^\circ$, 67.5kPa)

Shoot condition : 33mm F2.0 1/5s ISO 64

Fig5. Air-Water Interface ($\alpha=50^\circ$, 35.4kPa)

Shoot condition : 33mm F2.0 1/5s ISO 64

Fig6. Air-Water Interface ($\alpha=50^\circ$, 6.6kPa)

Shoot condition : stroboscope

Fig9. Air-Water Interface ($\alpha=50^\circ$, 94.7kPa)

Shoot condition : 33mm F2.0 1/5s ISO 64

Fig7. Air-Water Interface ($\alpha=10^\circ$, 93.7kPa)

Shoot condition : stroboscope

Fig10. Air-Water Interface ($\alpha=10^\circ$, 93.7kPa)

Shoot condition : 33mm F2.0 1/5s ISO 64

Fig8. Air-Water Interface ($\alpha=10^\circ$, 6.6kPa)

Shoot condition : 33mm F3.2 1/60s ISO 64

Fig11. Air-Water Interface ($\alpha=50^\circ$, 94.7kPa)

近い(絶対真空に近い)ときでも吸い込み始めで帯の幅が広がってきた。羽根角度 10° になるとこの傾向が著しくなる。また、吸い込み途中から圧縮終わりまでは吸い込み圧力が変化しても幅の違いが見られなくなった。

白く帯状になっている部分を詳細に見るためにストロボスコープをポンプの回転数と同調させて撮影を行った。その画像を Fig.9 と Fig.10 に示す。Fig.3 と Fig.9 は羽根角度 50° でバルブの開度を全開にして撮影したもので、これらを比較すると吸い込み始めでは気体と封液の分離が不完全なため幅の広い白い帯が観察される。Fig.7 と Fig.10 は羽根角度 10° でバルブ開度が全開のときの撮影で、羽根角度が 10° のときは吸い込み途中より吐き出し過程まではほぼ一様に気液界面が形成されているのがわかる。

Fig.11 は気液界面の様子をより鮮明に可視化するために着色した封液を使用し撮影した。封液は見やすくなったものの封液の流れそのものや気液界面をはっきり見るにはいたらなかった。見やすくするためには工夫が必要である。

撮影した画像から実際はどのように気液界面の形状が違うのかを見るために条件の違うものを Fig.11 と Fig.12 をグラフ化した。Fig.12 は羽根角度 50° で吸い込み圧力が違うものを比較し、Fig.13 はバルブの開度は全開で羽根角度 10° と 50° のときと比較したものである。二つとも幅のある気液界面の内側を取ってグラフ化した。Fig.12 では、吸い込み圧力が低いほうが気液界面の半径は大きくなっている。Fig.13 は 50° のほうが気液界面の半径が大きくなっている。

動画で撮影した気液界面が形成されるとき様子は、最終的に気液界面の形状が安定してくるのは羽根角度 50° の場合は 800rpm 付近からで、羽根角度 10° のときは 900rpm 付近からである。また、最初に空間ができる位置も異なっている。羽根角度 50° の場合は吸い込み口に近いほうから空間ができていくのに対して、羽根角度 10° の場合は吐き出し口に近いほうから空間ができていく。バルブ開度による違いは、全開のときは 10° も 50° も吸い込み終わりから圧縮途中にかけて空間が形成されてくるのに対し、バルブを閉めていく(絶対真空に近づく)と徐々に吸い込み口に近いところから空間が形成されていくようになる。

4. 結 言

液封式ポンプの内部の様相を可視化することによって、以下の結論を得た。

- (1) 気液界面の形状の可視化に関してはほぼ満足のいく結果が得られた。しかし、吸い込み始めにおける気液界面の可視化については更なる検討と改善が必要である。
- (2) 吸い込み圧力が高い(大気圧に近い)ほど気液界面の半径が大となる。

Fig12. Air-Water Interface ($\alpha=50^\circ$)

Fig13. Air-Water Interface

- (3) 羽根の傾斜角度が大きくなるほど気液界面の半径が大となる。

今後の課題は、気液界面の様相を更に鮮明に撮影する技術を模索することと、気液界面の形状がポンプの特性にどのように影響するのかを解明することである。

参 考 文 献

- 1) 甘利一朗: 液封回転ポンプ, 株式会社パワー社, (1984) pp.1-146.
- 2) 朝倉邦造: 新版流れの可視化ハンドブック, 流れの可視化学会, (1986) pp.5-86.