

# 圧縮機の非定常油挙動の実験的評価技術

森山貴司\*  
村上泰城\*\*

Experimental Evaluation Technology for Oil Behavior during Unsteady-state in Compressor

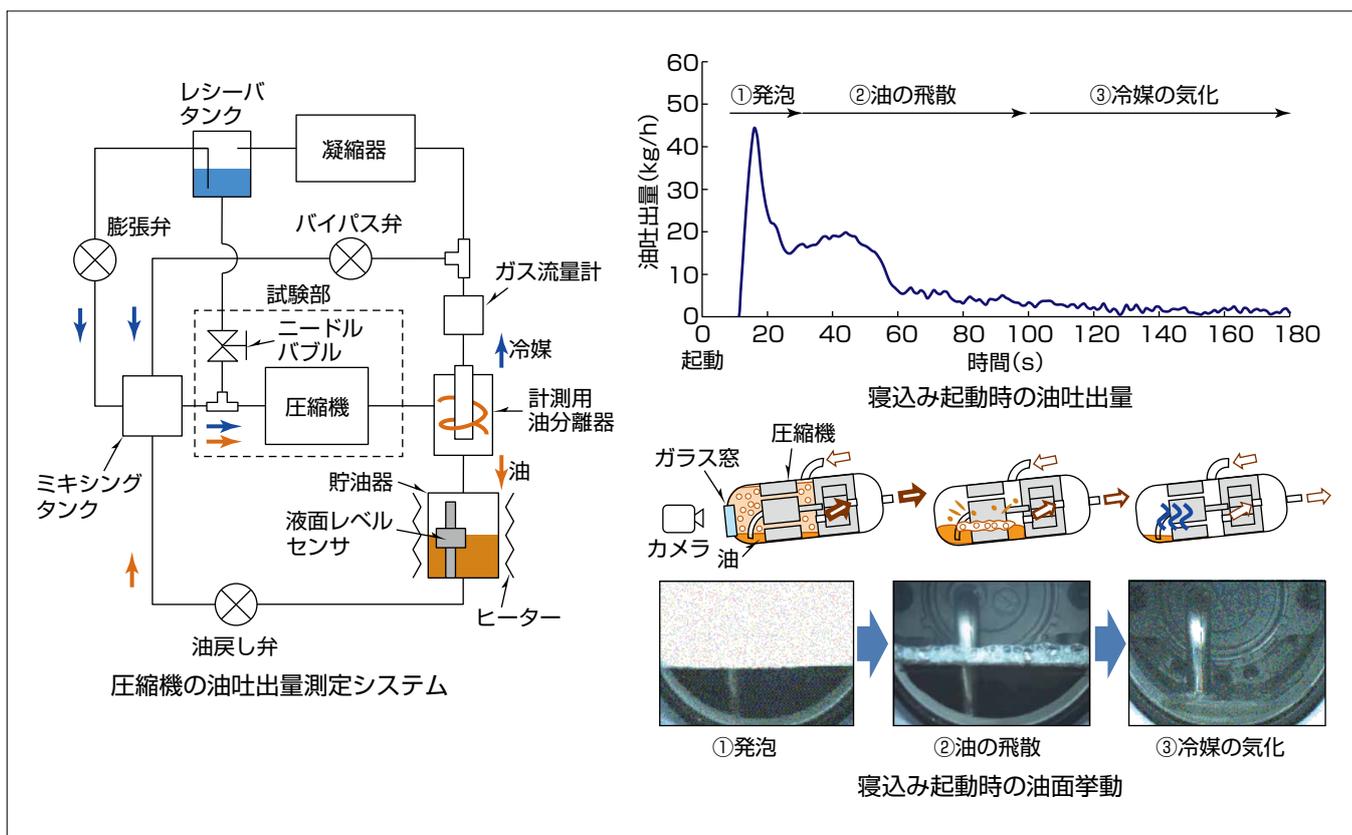
Takashi Moriyama, Hiroki Murakami

## 要旨

空調機や冷凍機に使用するスクロール圧縮機やロータリ圧縮機は、通常、回転軸が垂直となるように縦置きに設置される。室外機が低背な空調機など、圧縮機の設置スペースに高さ制限がある場合には、回転軸を水平近くまで傾けて横置きに設置するケースもある。圧縮機は摺動(しゅうどう)部や軸受を潤滑するための油を内部に保持しており、縦置きでは円筒シェル底部に、横置きでは円筒シェル側面に油が溜(た)まる。このため、横置きでは油貯留部がモータなどの構造物に遮られ、良好な潤滑を維持するために必要な油量(油面高さ)を確保するのが難しい。特に、内部に多量の冷媒液と油が溜まった状態で起動する寝込み起動時で、油に溶解していた冷媒液が減圧によって急激に気

化して発泡し、油が多量に吐出することで、油不足による潤滑不良を招く。

そこで、圧縮機から吐出する油を非定常かつ定量的に測定するシステムを構築するとともに、圧縮機内部の油面を可視化することによって、横置き圧縮機の寝込み起動時での激しい発泡の様子や、過渡的に変化する油吐出量の特性を定量的に明らかにした。さらに、圧縮機の油枯渇を抑制する手段である油分離器やアキュムレータを圧縮機に接続した寝込み起動時での油枯渇が抑制されるメカニズムを定量的かつ視覚的に明らかにした。この技術によって、より高性能、高信頼性を持つ圧縮機及び空調システムの開発が可能になる。



## 横置き圧縮機での寝込み起動時の油吐出量測定

圧縮機から吐出した冷媒と油を分離して各流量を測定するシステムを構築し、横置き圧縮機の寝込み起動時での油吐出量を測定した。この横置き圧縮機(試作機)では、起動直後の減圧による発泡(図の①)、回転子や冷媒ガスによる油の飛散(図の②)、油に溶けて残存していた冷媒の気化(図の③)が順に生じることで油面高さとお吐出量に変化することを定量的に明らかにした。

1. ま え が き

室外機が低背な空調機などでは、回転軸を水平近くまで傾けた横置き圧縮機を設置することがある。横置き圧縮機は円筒シェル側面に潤滑油を溜めるため、モータなどの構造物に遮られ、良好な潤滑を維持するために必要な油量(油面高さ)を確保するのが難しい。特に、内部に多量の冷媒液と油が溜まった状態で起動する寝込み起動時で、油に溶解していた冷媒液が減圧によって急激に気化して発泡し、油が多量に吐出する。

本稿では、起動時などの急激に変化する油吐出量を定量的に測定する技術を構築するとともに、圧縮機内部の油面を可視化することで、横置き圧縮機の寝込み起動時での油挙動を評価した内容を述べる<sup>(1)</sup>。さらに、圧縮機の油枯渇を抑制する手段である油分離器やアキュムレータを圧縮機に接続した場合での圧縮機内部の油挙動への影響を評価した内容も述べる<sup>(2)</sup>。

2. 非定常油挙動の評価方法

2.1 油吐出量測定システム

図1に油吐出量測定システムの模式図を示す。従来の油吐出量測定では凝縮器後の冷媒液を一定量抽出して、その中に含まれる油の成分比を測定する方法が用いられるが、定常運転でしか測定できなかった。この装置では圧縮機から吐出した冷媒ガスと油を計測用油分離器で分離し、各々の単相の流量を測定することで、過渡時の測定も可能である。圧縮機の吸入側と吐出側の温度と圧力の条件は、膨張弁とバイパス弁の開度と凝縮器の熱交換量で調整できる。

図2に横置き圧縮機内部の液量測定の様子を示す。圧縮機の底部にガラス窓を設けることによって、油面(液面)を可視化した。なお本稿では、便宜のため、冷媒液と油の混合液量を油量、液面を油面として述べる。

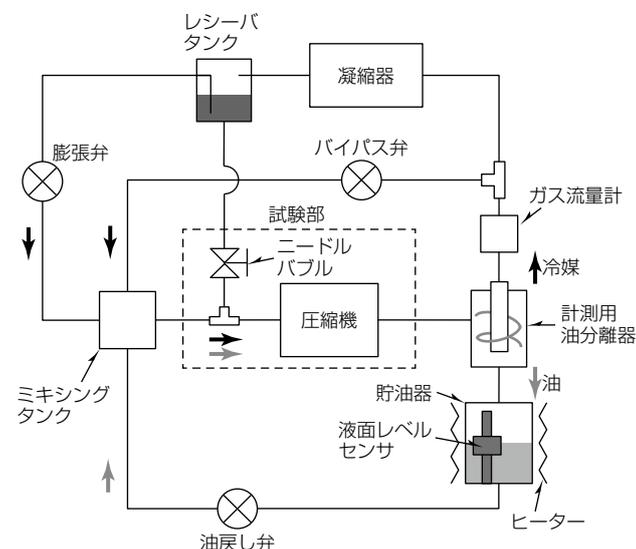


図1. 油吐出量測定システム

圧縮機はインバータ駆動のスクロール式横置き試作機を用いた。冷媒はR 407C, 油は冷媒と相溶性の油を用いた。

2.2 寝込み起動試験方法

次の手順で起動条件を設定する。まず事前に圧縮機を定常運転させる。このとき、油戻し弁の開度を操作して圧縮機内部の油量が所望量になるように、貯油器内部の油量を調整する。次に圧縮機を停止して、レシーバタンクの冷媒液を吸入側から圧縮機内部に入れて、圧縮機内部の液量を所望量に調整する。

起動時は油戻し弁を常時全閉にして貯油器内部に溜まる油量の増加量を測定することで、油流量を測定する。

2.3 油分離器及びアキュムレータの評価方法

油分離器とアキュムレータの使用有無での効果を比較するため、三つの条件で実験した。油分離器とアキュムレータを使用しない場合をケースAとし、油分離器を使用する場合をケースB(図3)とし、アキュムレータを使用する場合をケースC(図4)とする。ケースBとケースCでは図1

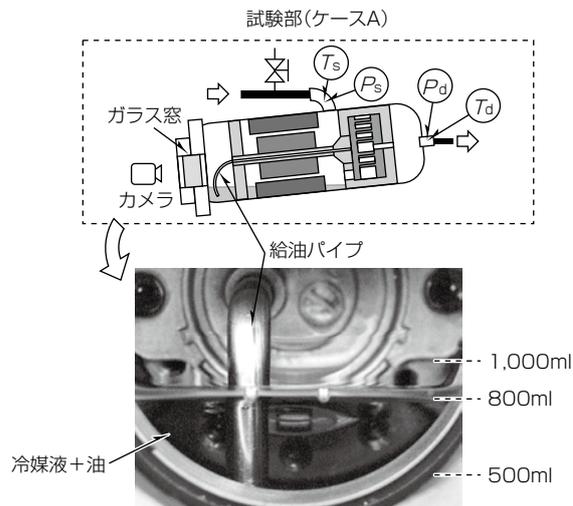


図2. 横置き圧縮機の液量測定

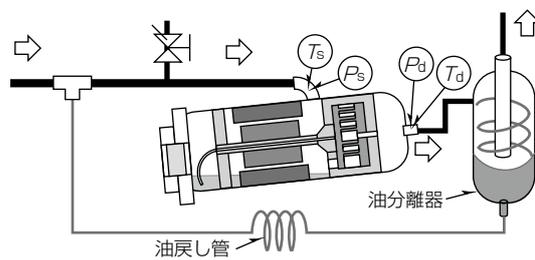


図3. 油分離器を接続した試験部(ケースB)

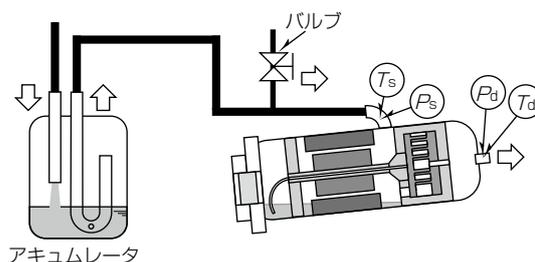


図4. アキュムレータを接続した試験部(ケースC)

の破線に示す試験部を図3と図4に示す構成に変更する。なお図1に示す計測用油分離器は、図3に示すケースBの試験対象となる油分離器とは別物であり、区別するため、以降、ケースBの油分離器を示す場合は、単に油分離器と表記する。

ケースBでは油分離器で分離された油が、コイル状の細管である油戻し管を介して圧縮機吸入側配管へ戻される構成とし、油分離器で分離しきれなかった油を計測用油分離器で分離して油循環量を測定した。本稿では、圧縮機から吐出直後の油流量を油吐出量、油分離器で分離しきれずに冷凍サイクルに流出する油流量を油循環量として区別する。

ケースCでは圧縮機とアキュムレータを接続する配管の途中にレシーバタンクにつながるバルブを接続した。

油分離器は容積0.65Lの遠心分離式を使用し、アキュムレータは容積4.8Lの衝撃式を使用した。

### 3. 寝込み起動時の油挙動評価

#### 3.1 実験条件

表1に各ケースの寝込み起動直前の圧縮機内とその周りの状態値を示す。起動前の定常運転で圧縮機内油量 $V_0$ を500mlに調整し、停止後に冷媒液を1,000ml注入して、圧縮機内油量 $V_1$ を1,500mlとした。定常運転時の残存熱量に

表1. 起動直前の圧縮機内の状態値

ケース	A	B	C
起動直前の油量 $V_1$ (ml)	1,500	1,500	1,500
定常運転での油量 $V_0$ (ml)	500	500	500
吸入側温度 $T_s$ (°C)	36.7	37.3	36.6
吐出側温度 $T_a$ (°C)	48.4	48.1	48.2
吸入側圧力 $P_s$ (Mpa)	1.45	1.45	1.38
吐出側圧力 $P_a$ (Mpa)	1.44	1.46	1.38

よって、起動前の温度が実験環境温度(約20°C)よりも高くなり、圧力も全体的に高くなった。膨張弁とバイパス弁は全ケースで起動前にあらかじめ同じ開度に調整した。起動から約10秒間は圧縮機を緩やかに加速させ、全ケースで同じ回転数に固定した。

#### 3.2 実験結果

図5に起動180秒間の寝込み起動時の油循環量 $G_0$ (ケースAとケースCは油吐出量と同量)を測定した結果を示す。ケースAでは起動10秒後から油循環量が増加し、起動15秒で最大となり、起動60秒までは多い状態が続き、それ以降は少なくなった。ケースBとケースCはどちらもケースAよりも油循環量が少なくなり、瞬時に急増する傾向は見られなかった。ケースBでは起動20秒後、ケースCでは起動15秒後から油循環量が増加し、両ケースともに起動25秒後から徐々に減少した。

図6に寝込み起動等の圧縮機内での油挙動とケースA, B, Cの油面推移を示す。起動直後の急激な減圧によって

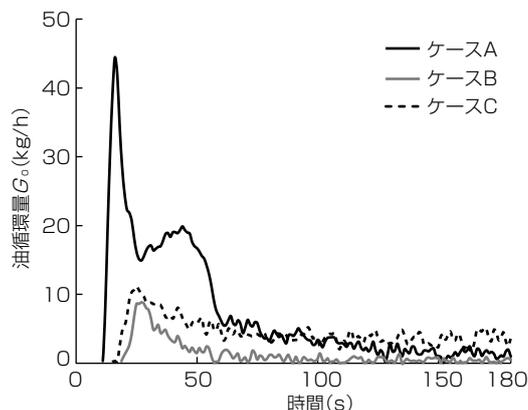


図5. 寝込み起動時の油循環量

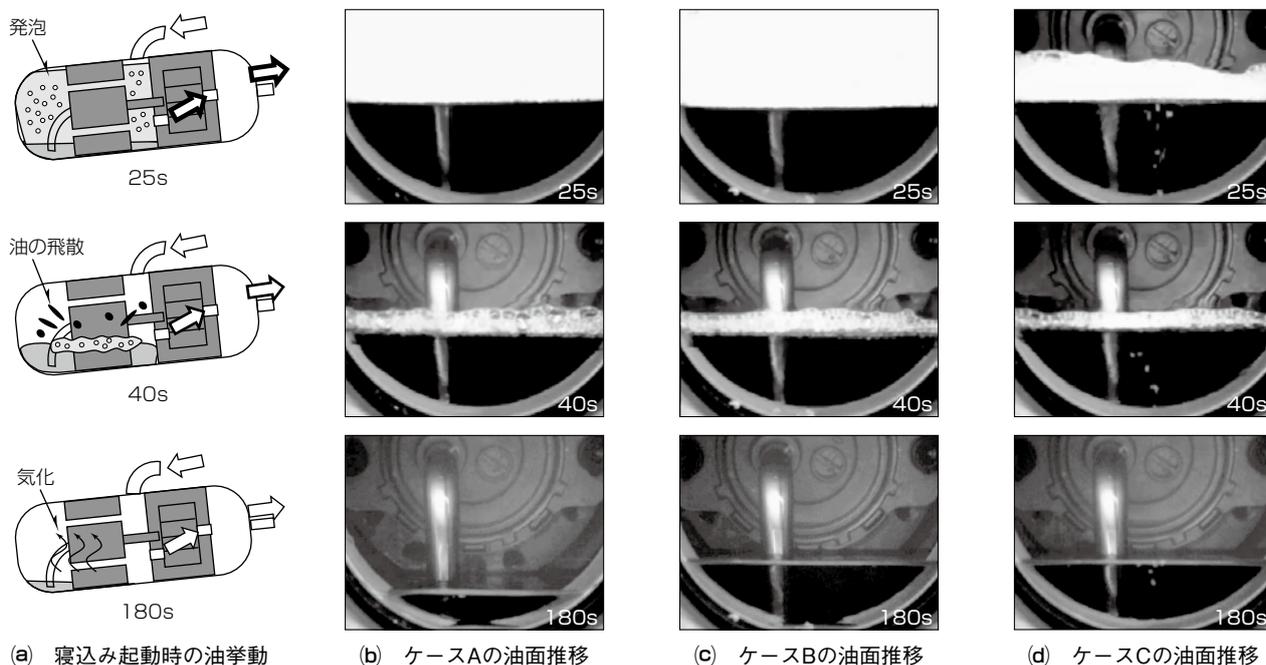


図6. 圧縮機内部の油面推移

起動25秒ではケースAとケースBは激しい発泡が生じているが、ケースCは発泡が弱い。起動40秒後にどのケースも発泡が収まるが、油面が高い間は泡立った状態が続いた。その後、油面が低くなると泡立ちが収まり、起動180秒までにケースAの油面が大幅に減少した。

### 3.3 油分離器とアキュムレータを使用しない場合 (ケースA)

起動直後の急激な減圧によって、図6(b)に示すように起動10~30秒では発泡が強くなって油が多量に吐出する。起動30~60秒では強い発泡が収まっても圧縮機内部の油面が回転子や冷媒ガスに巻き上げられるため、油が吐出しやすくなる。図5に示すように起動60秒以降では圧縮機内部の油面の巻き上げが収まり、油循環量が少なくなる。ただし、油に溶解している冷媒が気化することで油量が減少する。

### 3.4 油分離器による油枯渇抑制効果(ケースB)

図6(b)と図6(c)の起動40秒時に示すように、ケースBは起動60秒までの圧縮機内部の油面の挙動がケースAとほぼ同じになる。一方、図5に示すようにケースAに比べて油循環量が減少する。これについて図7を用いて述べる。

図7は定常運転時と起動時での油分離器内部の油挙動の模式図である。定常運転時では、油分離器で分離された油が冷媒ガスとともに油戻し管を通して、圧縮機へ戻される。一方、起動直後では油分離器に流入する油流量が油戻し管で流すことができる限界を超えるため、油分離器内部に油が溜まる。起動60秒までのケースBの油挙動は、発泡や回転子と冷媒ガスによる巻き上げの影響が強く、ケースAと同様になるが、起動直後に油分離器に溜まった油が徐々に圧縮機に戻されることで、油面高さは同等でも油が多く、溶解冷媒が少ない状態になる。このため、起動60秒以降では溶解冷媒の気化量が少なくなり、圧縮機内部の油量が多いまま維持されたと考えられる。

### 3.5 アキュムレータによる油枯渇抑制効果(ケースC)

図6(d)に示すようにケースCは起動直後の発泡が弱く、図5に示すようにケースAに比べて油循環量が減少する。これについて図8を用いて述べる。

図8は定常運転時と起動時でのアキュムレータ内部の油挙動の模式図である。アキュムレータを設置した場合の定常運転時では油戻し穴の高さまで油が溜まる。一方、起動直後では冷凍サイクル内に溜まっていた冷媒液がアキュムレータに流入し、油と混ざりながら溜まる。そのため、冷凍サイクルに溜まっていた冷媒液が圧縮機内部に流入する量が抑えられて、発泡が弱くなるとともに回転子や冷媒ガスによる巻き上げが抑制され、図5に示すように起動10~30秒の油循環量が減少する。

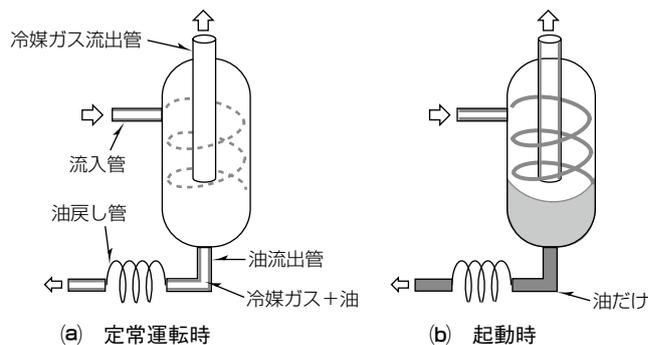


図7. 油分離器内部の油挙動

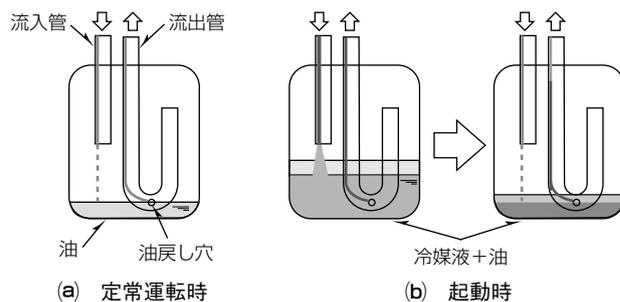


図8. アキュムレータ内部の油挙動

その後、油面が油戻し穴の高さになるまで、徐々に冷媒液と油の混合液が油戻し穴から流出管へ流れ出て、圧縮機に流入する。その結果、図6(d)に示すように起動60秒以降でも、ケースCはケースAに比べて油量の減少が少なくなったと考えられる。

## 4. む す び

圧縮機の過渡的な油吐出量を定量的に測定するシステムを構築し、内部の油面挙動を可視化することで、横置き圧縮機の寝込み起動時での油挙動を評価した。さらに、油分離器又はアキュムレータを接続した場合の圧縮機の油枯渇を抑制するメカニズムを定量的かつ視覚的に明らかにした。今後、この評価技術の更なる改良を進め、より高性能、高信頼性を持つ圧縮機及び空調システムの開発に貢献する。

## 参 考 文 献

- (1) Moriyama, T., et al. : Experimental Investigation on Oil Outflow Characteristics in Horizontal Compressor, Trans. of the JSRAE, 35, No.2, 85~91 (2018)
- (2) Moriyama, T., et al. : Experimental Investigation on Oil Outflow Characteristics in Horizontal Compressor, Proc. 2016 JSRAE Annual Conference, B221 (2017)