

# 無給油式ガス圧縮機のリング類長寿命化開発 - 独自技術で摺動部へ非晶質炭素薄膜形成 -

中谷 泰貴\* 松岡 隆史\*

## Development of Long Lifetime Rings of Oil-free Gas Compressors -Amorphous Carbon Thin Film by Original Technology Achieves Long Life-

Yasutaka NAKATANI, Takashi MATSUOKA

The oil-free gas compressors designed, manufactured and sold by KAJI TECHNOLOGY CORPORATION (KTC), especially the replacement life of resin-based piston rings, rider rings and rod packings (hereinafter called "a sort of rings") used for sliding parts of ultra-high pressure oil-free hydrogen compressors for hydrogen stations, the problem is that the replacement life is shorter than that of oil-free gas compressors for other gases.

In the past, the transition films were formed by self-wearing the rings, but KTC previously deposited C (graphite), which is effective for forming the transition films, on the surfaces of the rings. Using the tribo-chemical reaction during initial sliding (Factory test operation of compressors), we have developed a method for forming an amorphous carbon thin films that has the same function as a conventional films. Developed a method for forming a high quality transition film on the sliding surface without initial wear of the rings itself, and obtained a patent.

株式会社加地テック (KTC) が設計・製造・販売する無給油式ガス圧縮機のうち、特に水素ステーション向け超高压無給油式水素ガス圧縮機の摺動部品に使用する樹脂系のピストンリング、ライダリング及びロッドパッキン等 (以降、リング類と呼ぶ) の交換寿命が他ガスの無給油式ガス圧縮機よりも短いことが課題であった。

リング類は自己摩耗することにより摺動面に移行膜を形成する。従来はリング類自体を摩耗させて移行膜を成り行きで形成させていたが、当社はリング類の表面に移行膜形成に有効なC (グラファイト) を外部から予め付着させ、初期摺動時 (ガス圧縮機の試運転) のトライボ・ケミカル反応を利用し、リング自体を初期摩耗させることなく、従来の移行膜と同等の機能を有する非晶質炭素薄膜を形成する方法を開発し特許を取得した。

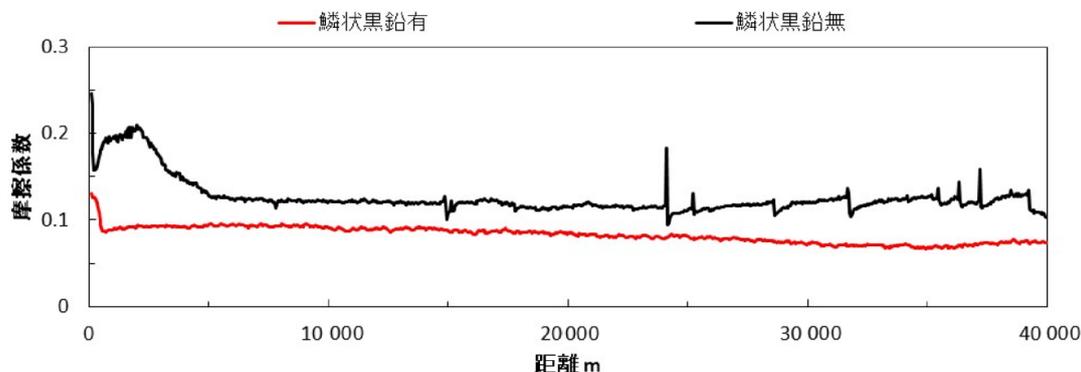


図1 黒鉛有無の試験片と摺動相手材の摺動面における摩擦係数の経時変化  
Change with time of friction coefficient on sliding surface of  
test piece and sliding counter-material with and without graphite

\*株式会社加地テック 設計部

## 1. はじめに

### 1.1 開発の背景

当社が設計・製造・販売する無給油式ガス圧縮機のうち、特に水素ステーション向け超高压無給油式水素ガス圧縮機の摺動部品に使用する樹脂系（PTFE, PEEK, ポリイミド等）のリング類の交換寿命が他ガスの無給油式ガス圧縮機よりも短く、改良開発を進めてきた。

### 1.2 従来技術の問題点

無給油式ガス圧縮機の水素雰囲気下の摺動部品に使用する樹脂系（PTFE, PEEK, ポリイミド等）のリング類は自己摩耗することにより、摺動面に移行膜を形成する（自己潤滑と呼ばれる）。

一般に、移行膜が形成されるまでの間、リング類の摩擦係数は高いため、摩耗量が多くなる（初期摩耗と呼ばれる）。移行膜形成後、リング類の摩擦係数は低減するため、摩耗量は少なくなる（定常摩耗と呼ばれる）。

リング類の交換寿命は摩耗を考慮する必要があることから、初期摩耗および定常摩耗を低減し、リング類の交換寿命を延ばすことが課題であるが、従来はリング類自体を摩耗させて、移行膜を形成（成り行き）させていた。

### 1.3 開発の目的と方針

無給油式水素ガス圧縮機で使用されるPTFE系樹脂に添加剤を充填したリング類には、カーボン類が添加されており、初期摩耗によりカーボン類が摺動面に移行膜を形成する。そこで、リング類の表面に非晶質炭素薄膜形成に有効なC（グラファイト）を外部から予め付着させることで、リング自体を初期摩耗させることなく摺動面に良質の移行膜を形成することを目的とした。

### 1.4 手法の概要

組立時に樹脂系リング類と摺動相手材の摺動面に、①～③のいずれかの方法で、樹脂に親和性のあるC（グラファイト）を介在させる。

#### ①リング類表面への付着

（粉状、ペースト状、表面コーティングなど）

#### ②摺動相手側への付着

（粉状、ペースト状、表面コーティングなど）

#### ③非晶質炭素薄膜形成を目的としたC（グラファイト）を主成分とするリングの装着

表1 試験条件

Test conditions

試験片表面への鱗状黒鉛塗布	有, 無
摺動面圧	2MPa
摺動速度	4m/s
摺動距離	40 000m
雰囲気ガス	水素
雰囲気温度	100℃
試験片材料	水素ガス用リング材 (PTFEベース)
摺動相手材質	SUS440C

初期摺動時（ガス圧縮機の試運転）のトライボ・ケミカル反応（摩擦する表面は、見かけ接触面積より非常に小さい接触部で接しており、その部分は摩擦に伴い極端に高い圧力と温度に曝され、通常では生じないような化学反応を誘引する）を利用し樹脂製リング類と親和性の高い非晶質炭素薄膜を形成させる。

### 1.5 手法の有効性の検証方法

無給油式水素ガス圧縮機のリング類に用いられるのと同じ樹脂材からピン形状の試験片を作成し、高純度水素雰囲気下において金属製の摺動相手材との摺動試験を行い、樹脂に親和性のあるC（グラファイト）を介在させた場合の挙動を評価した。

## 2. 有効性の検証試験

ピン・オン・ディスク試験装置を使用して水素雰囲気下の摩擦摩耗試験を実施した。樹脂に親和性のあるC（グラファイト）には鱗状黒鉛を使用した。表1に試験条件を示す。

図1は試験片と摺動相手材の摺動面における摩擦係数の経時変化を測定した結果である。試験片の表面に鱗状黒鉛を塗布した場合、摩擦係数が低い状態で維持していることが分かる。鱗状黒鉛を塗布しなかった試験片は、摩擦係数が突発的に上昇する傾向が見られるが、鱗状黒鉛を塗布した試験片と同傾向は認められず安定している。

図2に試験終了時の最終平均摩擦係数を比較したグラフを示す。鱗状黒鉛を塗布した試験片の摩擦係数は、鱗状黒鉛を塗布しなかった試験片に対して約30%低い。

図3は試験片の比摩耗量を比較したグラフである。鱗状黒鉛を塗布した試験片の比摩耗量は、鱗状黒鉛を塗布しなかつ

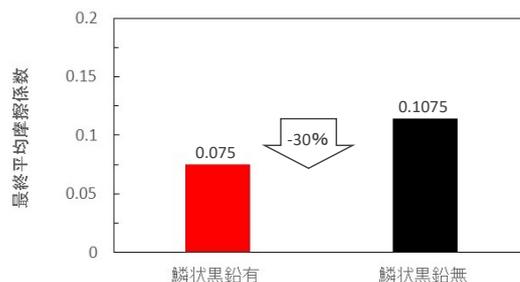


図2 試験終了時の平均摩擦係数

Average friction coefficient at the end of the test

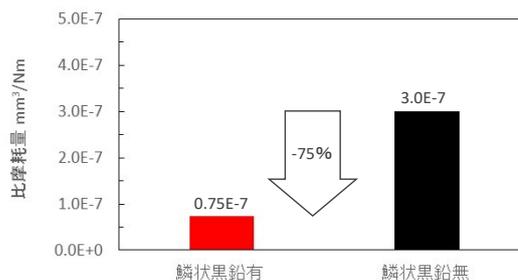


図3 試験片の比摩耗量

Specific wear of test piece

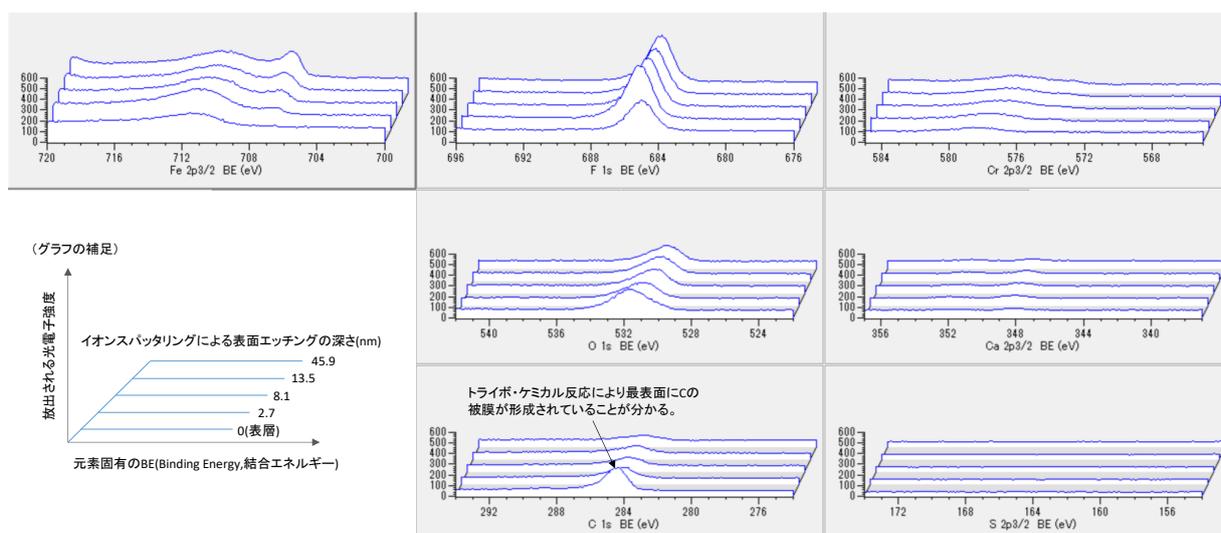


図4 鱗状黒鉛を塗布していない試験片による試験終了後の摺動相手材のXPS分析結果  
XPS analysis result of sliding counter-material surface without graphite attached test piece

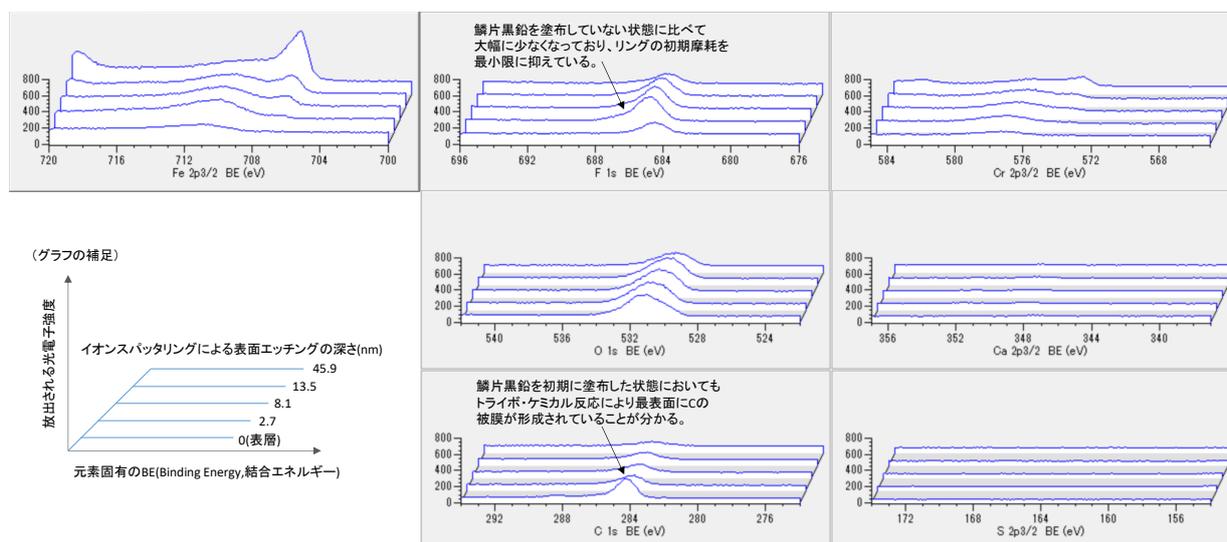


図5 鱗状黒鉛を塗布した試験片による試験終了後の摺動相手材のXPS分析結果  
XPS analysis result of sliding counter-material surface with graphite attached test piece

た試験片に対して約75%低い。

図4に鱗状黒鉛を塗布していない試験片の、試験終了後の摺動相手材のXPS分析（試料表面にX線を照射し、試料表面から放出される光電子の運動エネルギーを計測することで、試料表面を構成する元素の組成、化学結合状態を分析する手法）結果を示す。摺動相手材の最表面にはCと試験片の主成分であるFが付着しており、最表面直下には厚いFの層が形成されている。S,Ca,Crは試験片に添加している成分であるが、移行膜の生成に全く関与していないことが分かる。Fe, Oは摺動相手材であるステンレス鋼の不動態膜由来である。最表面直下のFの層は試験片の初期摩耗時に移行したもので、試験片に添加されているCが析出し、摺動面でトライボ・ケミカル反応により非晶質炭素薄膜になっている。水素ガスにおいて、移行膜を形成する成分はCが特に有

効であることが分かる。

図5に鱗状黒鉛を塗布した試験片の、試験終了後の摺動相手材のXPS分析結果を示す。鱗状黒鉛を塗布した場合も最表面にはCとリング材の主成分であるFが付着しているが、最表面直下のF層は大幅に少なくなっており、リングの初期摩耗を最小限に抑えることに寄与している。十分なCを供給して形成された非晶質炭素薄膜は、リングの添加材のみで成り行きで形成される薄膜よりも摩擦係数が低い。

### 3. おわりに

初期摺動時のトライボ・ケミカル反応を利用し、容易に樹脂製リング類と親和性の高い良質な非晶質炭素薄膜を形成する方法を開発し特許を取得した（特許6533631）。既に

水素ステーション向け超高压無給油式水素ガス圧縮機に採用を展開している。

無給油式ガス圧縮機において、樹脂系リング類とガスとの相性は自社やリングメーカーの経験・実績に頼ることが殆どであったが、今後は実ガス雰囲気下で生成された非晶質炭素薄膜の成分を調査し、有効な添加材を見極めることが重要である。

特許は水素ガスに限定しておらず、今後は他のガスにおける移行膜成分を見極め、初期摺動時のトライボ・ケミカル反応を利用したリング類の寿命延長を検討したい。

[問い合わせ先]

株式会社加地テック 設計部

TEL 072-361-9509 中谷泰貴, 松岡隆史

本報は、2020年2月28日に以下のホームページに公開しました。

<https://www.mes.co.jp/solution/research/>