

**A3** Components

## 過酷腐食環境に対応する高耐食技術

High Corrosion Resistance Technology for Severe Corrosive Environment

キーワード ■ 耐食・表面処理・腐食性流体・ソレノイドポンプ

カーハイドロリクス事業部／カーハイドロリクス技術部

荒井 一剛 Kazutaka Arai

田中 文也 Fumiya Tanaka

## 要 旨

腐食性流体を扱うポンプでは、接液部品の腐食による性能低下や、部品交換に伴うランニングコストの増加が大きな課題となっている。今回紹介する「高耐食技術」は、磁性材料の使用が必須となる構造上の制約に対し、表面処理の最適化、多層化、膜厚の均一化を施すことで、腐食の発生を大幅に抑制した。さらに、接液部の構造および、材料を最適化することで、強アルカリ環境下においても長時間にわたり高い耐食性と安定したポンプ性能の維持を実現した。

## Abstract

A pump used for a corrosive fluid poses major problems such as performance decline due to corrosion of wetted parts and increase of a running cost arisen from part replacement.

Introduced here is high corrosion resistance technology that can substantially inhibit corrosion by achieving optimization of surface treatment, multilayered structure and uniform film thickness under the structural restriction for a required magnetic material.

Furthermore, with optimization of structures and materials of wetted parts, high corrosion resistance and stable pump performance are maintained for a long time even in a highly alkaline environment.

## 1. 開発の背景

NACHIでは自動車分野で確立されたソレノイド技術と、油圧事業で培ったポンプ技術を融合することにより、小型かつ高精度な純水用ソレノイドポンプ（以下、純水用ポンプ）を開発した。純水用ポンプは、2016年に家庭用燃料電池コジェネレーションシステムに採用され、運転時のCO<sub>2</sub>排出量低減に寄与する環境配慮型商品として実用化に至り、現在では月産約5,000個の生産規模に達している。

一方、近年では水処理や製薬での用途として、腐食性流体（強酸性、強アルカリ性）を取り扱う小容量ポンプの需要が増加している。これらの用途においては、接液部材が腐食や劣化の影響を受けやすく、その結果、ポンプ性能および、信頼性の低下を招くという課題がある。このため、短期間でのポンプ交換が常態化しており、保守性やランニングコストの面で大きな問題となっている。

そこで本稿では、接液部構造および、材料選定の最適化に加え、表面処理技術を組みあわせることにより実現した「高耐食技術」について紹介する。

## 2. 純水用ポンプにおける高耐食化への課題

純水用ポンプは、吸入側、吐出側の2つの逆止弁、容積室、磁気回路から構成される(図1)。コイルに通電することで電磁力が発生し、電磁力がスプリング力を上回することで、可動鉄心は下方へ移動する。これに伴い容積室内の圧力上昇により、吐出側の逆止弁が開き、流体は可動鉄心上部へ移送される。通電を遮断すると電磁力は消失し、スプリング力により可動鉄心は上方へ復帰する。この過程において、可動鉄心上部に蓄積された流体が吐出されると同時に、容積室内の圧力低下により吸入側逆止弁が開き、新たな流体が吸入される。(図2)

以上の動作原理より、磁気回路を構成する部品には磁性を有する金属材料の使用が不可欠である。また、

磁気回路部は容積室を兼ねる構造となっており、流体と接液することから、腐食に対する適切な保護が要求される。十分な防食対策が施されていない場合、接液する金属部品の腐食に起因して錆などの腐食生成物がコンタミとして発生する。これらのコンタミは摺動部に蓄積することで、可動鉄心のスティックを引き起こすほか、逆止弁部に堆積することにより逆止弁の作動不良や流体の漏れを誘発し、ポンプ機能の喪失に至る恐れがある。さらに、発生したコンタミが下流側へ流出した場合、システム全体の汚染や損傷を引き起こし、重大な信頼低下につながる。

しかしながら、腐食性流体に対して十分な耐食性を有し、かつ磁性を有する金属材料は存在しないため、材料選定に依存しない防食対策の検討が必要となる。加えて、容積室の気密性を確保するために用いられるシール部品や樹脂部品についても、腐食性流体による劣化を防止する観点から使用環境に適合した材料選定が不可欠である。

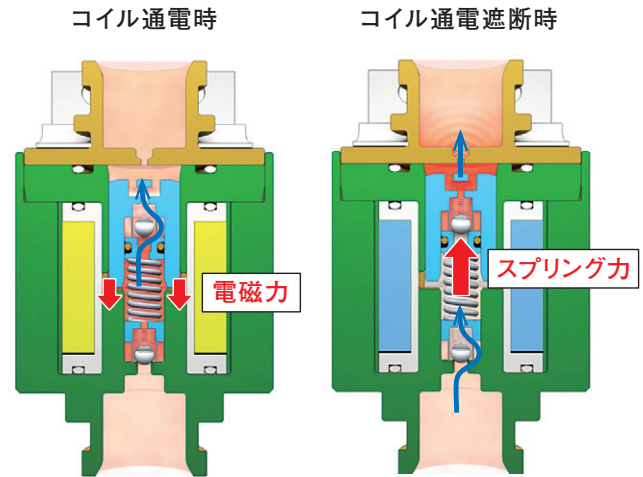


図2 純水用ポンプの動作原理

### 3. 高耐食技術の特徴

#### 1) 表面処理技術

前項でも記載の通り、ステンレス鋼を腐食させるような強腐食性流体に対して十分な耐食性をあわせ持つ磁性を有する金属材料は存在しないため、磁性金属材料に対して表面処理を施し、耐食性を向上させることが不可欠である。

一方、一般的なめっきやコーティングによる表面処理膜には、膜表面に微細なピンホールが不可避免的に存在する。膜自体の耐食性が十分であったとしても、これらのピンホールを介して腐食性流体が膜内部へ浸透し、母材に到達することで局部腐食が発生する。さらに、この局部腐食を起点として腐食領域が拡大し、母材の劣化が進行する。(図3)

また、表面処理手法によっては膜厚の不均一が生じる場合があり、これがポンプ内部の寸法精度に影響を及ぼす。その結果、吐出流量の高精度制御が困難となり、ポンプ性能低下の一因となる。

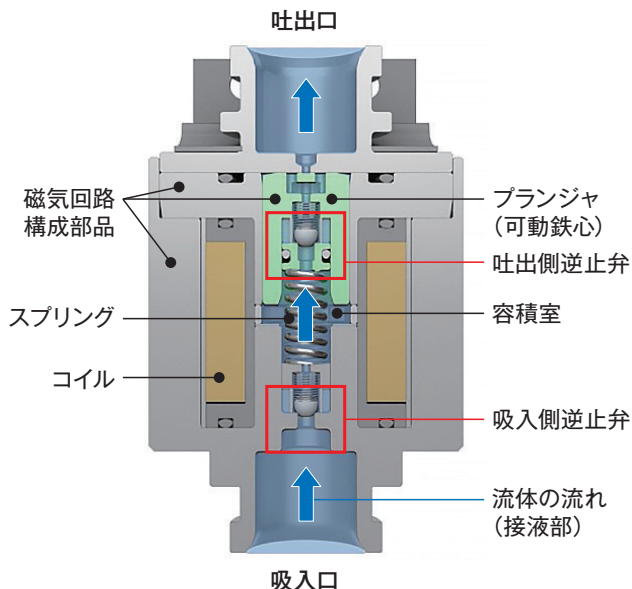


図1 純水用ポンプの構造

## 過酷腐食環境に対応する高耐食技術

NACHIでは、これらの課題を解決するため、次の3点でアプローチを行なった。

### ① 表面処理の選定および、最適化

耐食性に加え、硬度、耐摩耗性、摺動性などの要求特性を考慮し、使用する腐食性流体に適した表面処理を選定した。さらに、表面処理において不可避とされるピンホールの発生頻度を低減するため、膜厚の最適化(厚膜化)を行ない、被膜自体の耐食性向上を図った。

### ② 高耐食膜の多層膜化

選定した表面処理膜を多層構造とすることで、各層のピンホールの位置をずらし、母材金属まで連続するピンホールの形成を防止することが可能となる。この構造により、腐食性流体の母材への浸透を抑制し、局部腐食の発生を効果的に抑えることができる。(図4)

### ③ 膜厚の均一化

表面処理膜の形成手法として蒸着法を採用した。蒸着法により、複雑な形状を有する部品にも均一な膜を形成できるため、部品間のクリアランス管理が容易となることで、ポンプの吐出流量精度保証を可能とした。

## 2) 接液部構造および材料選定の最適化

ソレノイドポンプに内蔵されるスプリングには、海水環境下での使用にも耐え得る耐孔食指数PRE「Pitting Resistance Equivalent(表1)」40以上のばね鋼線を選定した。また、表面処理を施した磁性金属材料とスプリング以外の接液部品については、全てPPS樹脂および、フッ素ゴムで構成することで高耐食性と低コスト化を実現した。(図5)

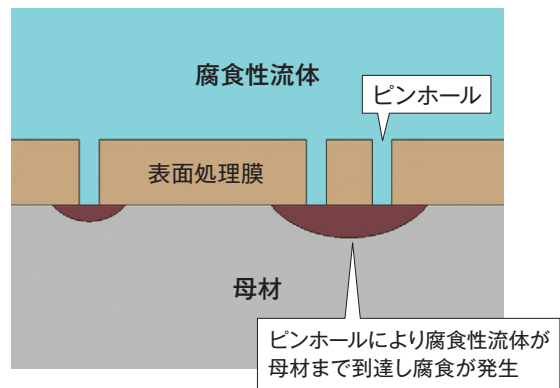


図3 ピンホールにおける腐食メカニズム

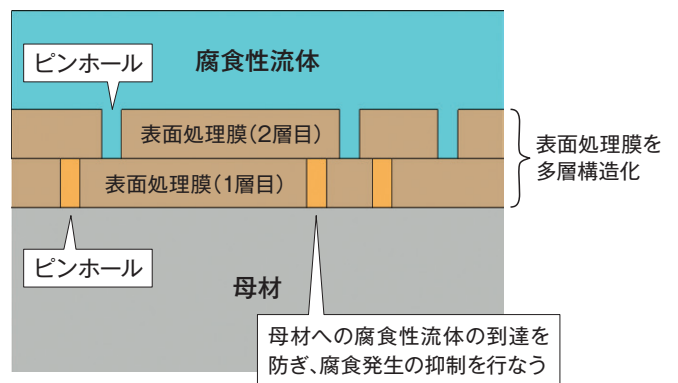
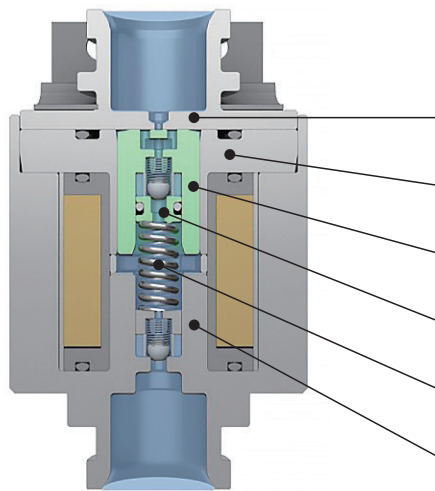


図4 表面処理膜の多層構造

表1 耐孔食指数PRE評価表

PRE値	耐孔食性の評価	想定される使用環境・用途例
～ 20	低い	室内環境、淡水、非腐食性流体
20 ～ 25	やや低い	軽度の湿潤環境
25 ～ 30	中程度	工業用水、弱塩化物環境
30 ～ 35	高い	海水、冷却水、塩化物含有水
35 ～ 40	非常に高い	高塩分環境、化学プラント
40以上	極めて高い	強塩化物、腐食性流体(海水以上)



部品	接液部構成	
	純水用ポンプ	高耐食性ポンプ
吐出口	ステンレス鋼 (PRE26.3)	➔ PPS
ガイド	電磁ステンレス鋼 (表面処理なし)	➔ 電磁ステンレス鋼 (多層構造表面処理)
プランジャ (可動鉄心)	電磁ステンレス鋼 (外周のみ表面処理)	➔ 電磁ステンレス鋼 (多層構造表面処理)
弁座	ステンレス鋼 (PRE26.3)	➔ PPS
スプリング	ステンレス鋼線 (PRE26.3)	➔ 高耐食性ステンレス鋼線 (PRE40以上)
ボディ (固定鉄心)	電磁ステンレス鋼 (表面処理なし)	➔ 電磁ステンレス鋼 (多層構造表面処理)

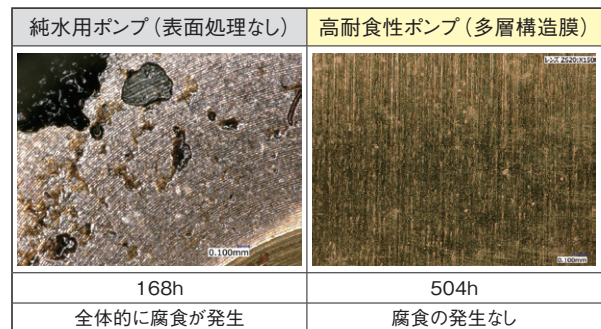
図5 ポンプの構造比較

## 4. 高耐食技術の適用事例

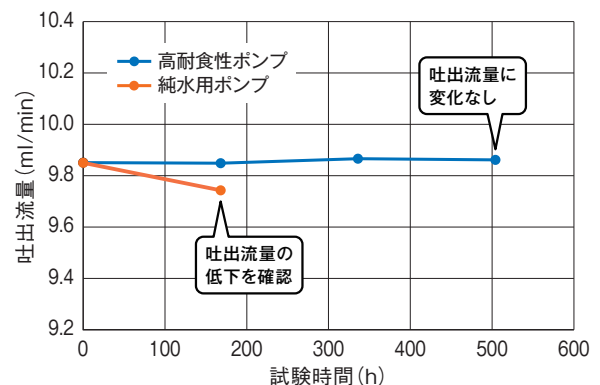
前項までに述べた高耐食技術を適用し、強アルカリ性流体に対する耐食性および、ポンプ性能の耐久性について、試験的に検証を行なった(表2)。耐食性については、504h経過後においても表面処理の劣化や母材の腐食は認められず、耐食性が飛躍的に向上していることを確認した[図6(a)]。また、長時間使用時においても腐食生成物の発生が抑制されることでポンプ性能が維持され、耐久性の向上も確認された。[図6 (b)]

表2 試験条件

試験流体	pH12~13
流体・環境温度	40℃
試験時間	504h
ポンプ仕様	純水用ポンプ(表面処理なし)、高耐食性ポンプ(多層構造膜)



(a) 耐食性比較



(b) ポンプ性能比較

図6 表面処理技術の検証結果

## 5. 今後の展望

本稿では、腐食性流体に対してポンプの耐食性および、耐久性を担保させる技術を紹介した。高耐食性ポンプに関連する市場は、化学処理、製薬、石油・ガス、水処理などの産業分野において採用がすすんでおり、今後もさらなる成長が見込まれている。

また、当事業部の重点開発商品である熱マネジメント用流体制御弁においても、腐食性流体への適用に向けた展開が期待される。今後も市場ニーズに応える製品開発を継続し、耐食性に加えて、精度・信頼性・コストパフォーマンスの各観点から製品競争力の向上を推進していく。