

二酸化炭素の回収を実現する 業界初の高耐久ドライ真空ポンプ

神港精機株式会社

代表取締役社長 北中 隆司

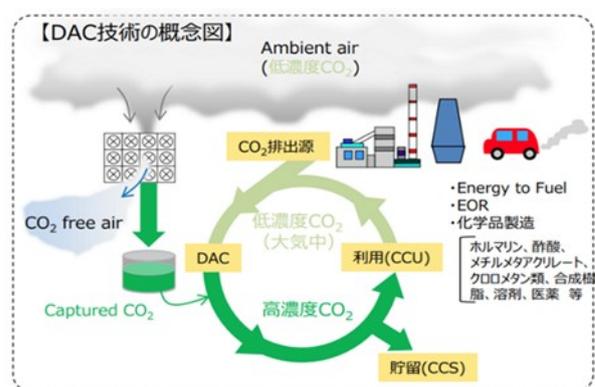
神港精機(株) 規格品事業部 濃野 勝人
 神港精機(株) 規格品事業部 小嶋 一徳
 神港精機(株) 規格品事業部 中西 拓哉
 神港精機(株) 規格品事業部 辻川 浩
 神港精機(株) 規格品事業部 山本 裕治

はじめに

真空を作り出す際に油や水を使用しないドライ真空ポンプは、従来の油回転式や水封式真空ポンプと比較して、廃油や排水が著しく少なく、環境負荷が低いという特長がある。ただし、初期導入コストが高いため、主な市場は半導体や電子部品など付加価値の高い先端産業に限られ、一般産業では耐久性の課題もあり、油や水を嫌う用途や環境負荷低減を目的とする一部の分野に限定されてきた。

こうした状況下、2015年に採択されたパリ協定を契機に、国内外でカーボンニュートラルに向けた取り組みが加速し、二酸化炭素など温室効果ガスの排出削減が重要な社会課題となった。この排出削減は、工場での回収やモビリティの電動化のみでは目標達成が困難である。

そのため、図1に示すように、既に大気中に排出された二酸化炭素を空気から直接分離・回収するDAC (Direct Air Capture : 直接空気回収技術)の実用化と大規模化が注目されている。このDAC装置の重要な構成要素に真空ポンプがあり、耐久性が高く環境負荷の少ない大型ドライ真空ポンプが求められている。



出典：資源エネルギー庁「カーボンサイクル技術事例集」

図1 DAC技術の概念

開発のねらい

真空ポンプが使用されるDAC装置は、低濃度の二酸化炭素を含む大量の空気を触媒に通し、二酸化炭素を吸着・回収する。触媒再生時には、二酸化炭素を蒸気に溶かし、真空ポンプで吸引しながら冷却・凝縮させて高濃度の二酸化炭素を得る。この際、真空ポンプには二酸化炭素とともに大量の蒸気や水分が混入し、負荷増大や機構部への蒸気や水分の流入などで悪影響を及ぼす。また、二酸化炭素が水分に溶けて生成される炭酸によりポンプを腐食させる。これらの課題を解決するため、高耐久性かつ環境負荷の少ない大型ドライ真空ポンプの開発を目指した。

装置の概要

今回開発したドライ真空ポンプを図2に示す。DAC装置への適用に加え、一般産業への展開も視野に入れている。環境負荷の低減や高耐久性を有した大型の不等ピッチスクリーローター、堅牢な機構設計、高いメンテナンス性を備えている。

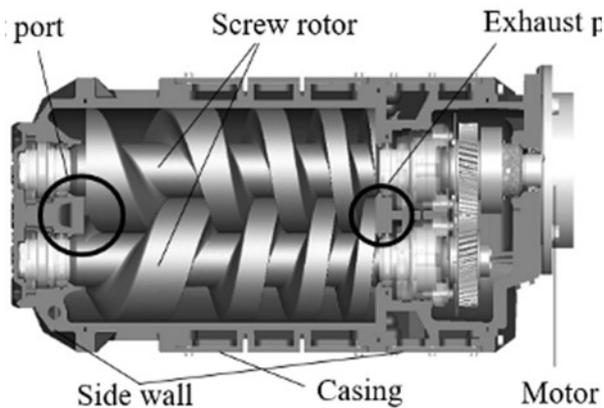


図2 ポンプ本体の構造

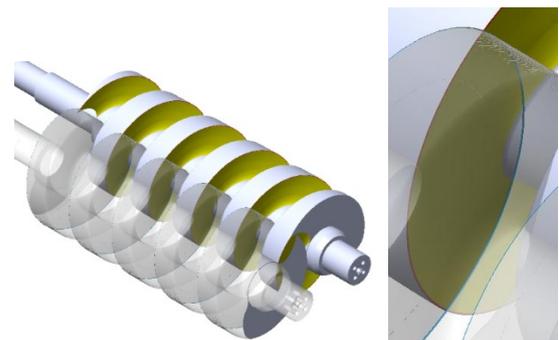
ケーシング(Casing)と側壁(Side wall)で区切られた空間に、左右逆方向に巻いた2本のスクリーローター(Screw rotor)を配置している。ローターは軸受で保持し、その内1本はカップリングを介して電動機(Motor)に繋がる。ローターは歯車により位相しながら僅かな隙間を維持して噛み合いながら回転する。

2本のローターとケーシングで囲まれた容積空間のガスは回転とともに吸気口(Inlet port)から排気口(Exhaust port)へ移動し圧縮される。空間容積はシール部で隔てられガスの逆流を防ぐ仕組みであり、2本のローターが噛み合う箇所が最も漏れやすい。高い性能を発揮するためにはガスの逆流(漏れ)が少ないことが求められ、スクリーローターは非常に高い精度が必要である。その実現には独自技術やノウハウが必要不可欠であり、設計から製造まで全部門が一丸となり技術を擦り合わせる日本的なものづくりにより開発した。

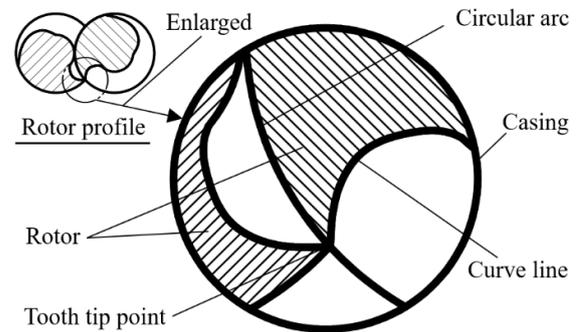
技術上の特徴

① スクリューローター

ポンプ性能を左右するスクリーローターに画期的な工夫を加え、堅牢性と性能を向上させた。図3に従来のスクリーローターのイメージ(上側)と軸方向の直角断面(下側)を示す。



立体イメージ 線シール(赤青部)

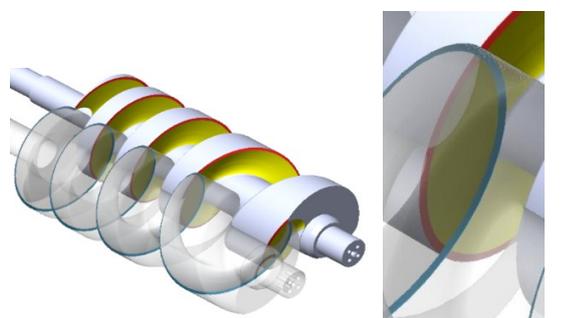


軸直角断面

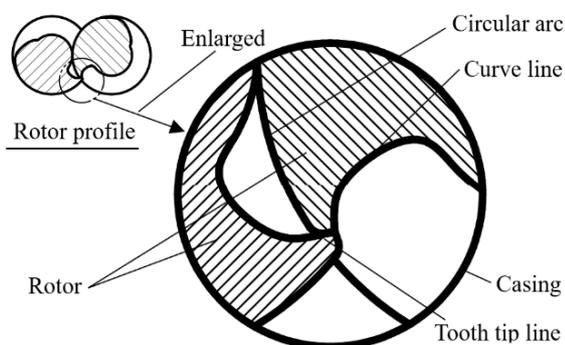
図3 従来のスクリーローター

軸直角断面は円弧(Circular arc)や曲線(Curve line)から構成され、シール部が鋭角なエッジ形状(Tooth tip point)であるため様々な問題があった。断面のエッジは現物の立体になると線となり、線シール(赤青部)とし機能するが、幅が狭いためシール性が低く、ガスの逆流が生じやすい。また、エッジは脆く吸引物や異物による破損や摩耗、腐食により隙間が大きくなり性能が低下しやすい。さらに、僅かな加工誤差や組立誤差で線シールがずれやすく隙間を維持しにくい。

そこで、従来のローターの問題を克服するため、**図4**に新たなスクリーローターのイメージ(上側)と軸方向の直角断面(下側)を示す。



立体イメージ 面シール(赤青部)



軸直角断面

図4 実用化したスクリーローター

軸直角断面のシール部が線(Tooth tip line)であることが特長で、問題となるエッジ形状が存在しない。断面上の線は現物の立体になると面となり、面シール(赤青部)とし機能する。幅が広いいためシール性が高く、従来の問題を克服できる。

さらに、省エネ性を得るため、不等ピッチスクリーローターを実用化した。**図5**に等ピッチと不等ピッチの外観を示す。従来のスクリーローターは等ピッチ(Equal pitch type)で山谷が等間隔であり、空間容積が吸気側から排気側まで同じである。一方、不等ピッチ(Variable pitch type)は山谷が等間隔でなく、徐々に小さくなり空間容積が減少する。初めの空間容積が吸引できるガス容量になりポンプの大小が決まる。

図6にスクリーローターの圧縮工程を示す。不等ピッチは等ピッチに比べ、吸気口側のピッチが大きく、排気口側は同じである。本開発

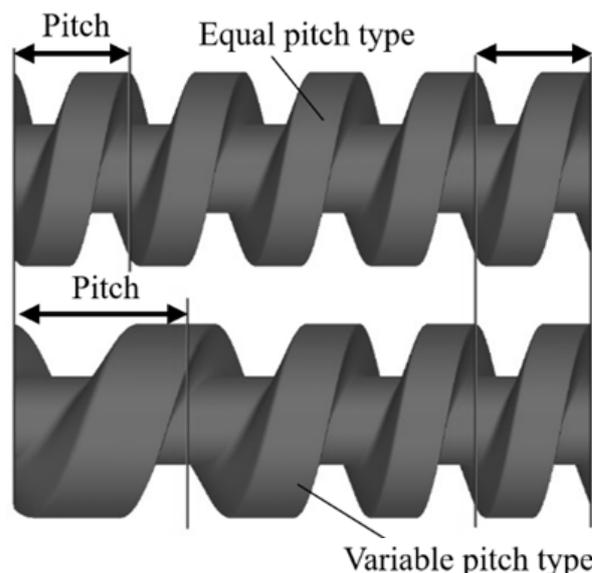
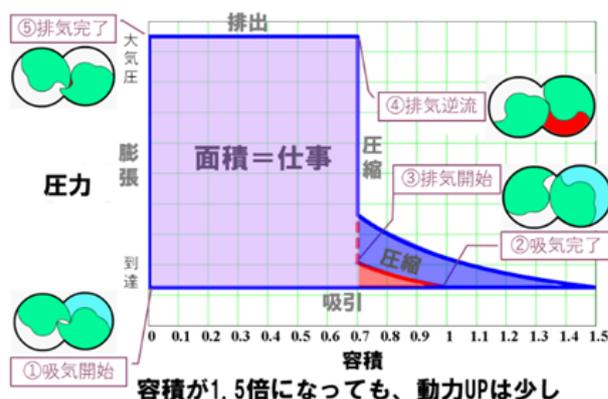


図5 等ピッチと不等ピッチの外観



容積が1.5倍になっても、動力UPは少し

図6 圧縮工程の比較

では約 1.5 倍のガス容積を吸引できるピッチとしたが、容積が等ピッチと同じになるまでの圧縮効率が良く、消費動力は僅かな増加に留まり、高い省エネ性を実現できた。

実用化には高度なものづくりが必要であった。毎分 3,600 回転するスクリーローターは約 350℃まで昇温するため、熱膨張や回転による形状変形・振動で数十μmの隙間を維持することは非常に難しい。この課題を解決するため、設計技術、製造技術、バランス技術、ローターを正確に噛み合わせる組立技術、測定・検査技術を工夫し、全部門が一丸となって技術を擦り合わせ、ノウハウを蓄積しながら試行錯誤することで実現した。

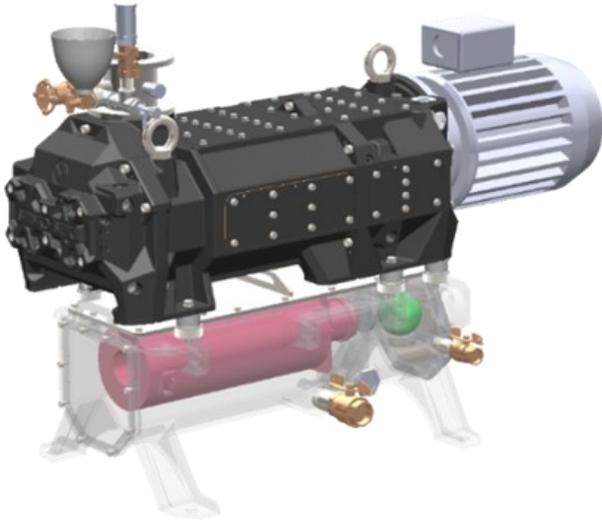


図7 ポンプ全体の構成

② 大量の水分や異物を処理・内部洗浄を実現

図7にポンプ全体の構成を示す。大量の水分や異物を吸引しても、分離回収できるサイレンサーを備え、排気抵抗にならない構造である。さらに、運転中に洗浄液を投入し、スクリーローターや排気経路に堆積した汚れや異物を簡単に洗浄できる。これにより、重負荷用途でも長期間安定的に使用でき、分解の手間を省き、省人力化に貢献する。

③ メンテナンス性

図8に分解洗浄のイメージを示す。ユーザー自身が現地で簡易的に分解できる構造としたことで、洗浄液でも落ちない強固な堆積物を直接洗浄でき、迅速な復旧が可能となった。これにより、重負荷用途でも長期間安定的に使用でき、メーカーでの分解が不要でコスト削減や省人力化に貢献する。



図8 メンテナンス

実用上の効果

① カーボンニュートラルへの貢献

開発したドライ真空ポンプは国内で実証実験中の多くのDAC装置に採用され、実績を積んでいる。これによりDAC装置の長期間安定的な稼働を下支えし、結果として大気中に排出された二酸化炭素を空気から回収することを実現している。また、従来に比べて消費電力を30%削減できる省エネ性があり、機種により14～33t-CO₂/台の排出量を削減できる。

② 他分野への展開

環境分野では、新エネルギーとして注目される水素運搬船の巨大水素タンクの真空断熱用ポンプに適用できる。溶接カスや金属片などの異物や海上の塩分を吸い込む過酷な環境にも耐え、長時間の航海中でもメンテナンス性に優れている。さらに、一般産業にも適用でき、廃油削減やメンテナンス性の向上により、省人化や効率化に貢献できる。

知的財産権の状況

本開発品の装置に関する特許登録は下記の通りである。

① 日本国特許第4068083号

名称：スクリーローター

発明者：西村伸弘

概要：断面設計に関する発明である。

むすび

本開発は、技術とノウハウを擦り合わせる日本的なものづくりによって実現し、社会課題であるDAC装置の実用化や大規模化に貢献した。

結果として二酸化炭素の回収を可能にし、さらに、省エネ性や省人力化を達成している。今後も社会課題の解決を支える真空ポンプの開発を継続し、微力ではあるが社会に寄与したい。