

革新的エアチャック

小型・軽量×高把持力×省エネを実現する新機構設計の全貌

NKE(株) 東 知行

1 はじめに

現在市販されているエアチャックは、平行タイプ、レバータイプ、その他の特殊タイプに大別される。中でも平行タイプは、二つ爪、三つ爪、四つ爪が主流であり、少数ながら六つ爪の製品も存在する。

各社が多様な製品を展開しているものの、機構・構造はほぼ同一であり、形状・寸法・質量・グリップ力などの性能も類似傾向にある。グリップ力を向上させるにはシリンダ径の拡大が不可欠であり、それに伴い本体外形が大型化し、質量も増加する。さらに、同一シリンダ径でストローク量を増加させる場合には、外形寸法は一層大きくなり、重量増加は避けられない。

一方で、軽量化を図るには部品の厚みを減らすか、比重の小さい材料を用いる必要があるが、これにより強度が低下し、結果としてシリンダ径の縮小を余儀なくされる。高強度かつ軽量な材料を採用すれば性能向上は可能であるが、材料費の上昇や加工難易度の高さが課題となる。

このように、従来の設計思想では「高出力を得るためには大型化が避けられない」「軽量化すれば出力が犠牲になる」といったトレードオフが存在し、製品差別化や新たな価値創出が困難となっている。加えて、製造現場ではロボットの可搬質量制限、省エネルギー化、設備設計の自由度向上など、複数の要求が高まっており、

従来型エアチャックではそれらの課題に十分に答えられていない。

こうした背景を踏まえ、当社では「小型・軽量×高把持力×省エネ」の3要素達成を目指した新たなエアチャックの開発に着手した。本稿では、開発の技術的背景と設計思想、さらに新機構の詳細について概説する。

2 開発コンセプト

製造現場では、エアチャックの質量がロボットの可搬能力や動作安定性に直結するため、軽量化への要求が高まっている。一方で、ワークの大型化や重量増加に伴い、グリップ力の強化も不可欠となっており、軽量化と高把持力の両立は現場における重要課題である。

当社は、1974年にレバータイプ「CH01」、1983年にラック・ピニオン方式の平行タイプ「CH10」をそれぞれ業界に先駆けて開発した実績を有しており、エアチャック分野における技術革新の一端を担ってきたメーカーである。これまでに培ってきた設計技術と現場知見を基盤とし、従来の設計思想に依らない新たな機構の構築に取り組んでいる。

本開発では、「小型・軽量×高把持力×省エネ」の同時達成を目指し、単なる性能向上にとどまらず、運用性と環境性能の両面で現場に貢献することを主眼に据えた。

その実現に向けて、まず世界のエアチャックメーカーを調査し、二つ爪角型平行チャックにおけるフォースウエイトレシオ（グリップ力1Nあたりの本体質量g）が小さい製品を抽出。その数値の半分を目標値として設定し、従来の設計手法に依存しない新機構の開発を開始した。

3 設計思想

必要な時に必要な力で動作し、無駄な力を発生させず、動作状態に応じた推力を効率的に発生させる機構の実現を目指した。この発想の起点となったのは、自動車の変速機に見られるような、状況に応じて駆動力を最適化する仕組みである。

ギア、プーリ、ベルトなどを用いる従来方式では、構造が大型化・重量化しやすく、軽量かつコンパクトな設計には不向きであると判断した。そこで、シリンダを大小二種類に分け、必要に応じてそれぞれを作動させる方式を構想した。

大小シリンダの配置には複数のパターンが考えられるが、それらを連続的に作動させる機構の構築には困難が伴った。機構成立の糸口が見えない中、ある会議において「シリンダ径による吸気・排気時の動作を利用できないか」という提案がなされた。

この着想に基づきテスト機を設計・製作し、実験を行った結果、想定通りの動作が得られたため、本体設計に反映するに至った。

本機構の応用対象として、薄型の二つ爪角型平行チャックを選定した。エアチャックにおいては、ロングストロークの実現が求められるため、その駆動方式の選定が重要となる。検討の結果、ラック・ピニオン方式が最も妥当であると判断した。

加えて、大シリンダの推力をフィンガーに確実に伝達する必要があることから、ラック・ピニオン方式が最も有効な手段であると結論づけた。これにより、従来製品を凌駕する軽量か

つ高推力なエアチャックの実現に道筋をつけることができた。

4 推力変換機構の検討

大シリンダの推力をグリップ力へと変換する手法として、

- ①コイルバネによるブレーキ方式
- ②ラチェット方式
- ③スクリーカム方式

の三案を検討した。これらの方式については、試作機を製作しながら機構の成立性を検証していった。

- ①のコイルバネ方式は、大シリンダの推力を任意の位置で容易に伝達できる利点があったが、バネ自体がシリンダの推力に耐えられず、強度面での課題が顕在化した。
- ②のラチェット方式は、機構としては成立したものの、ラチェットの爪が確実に掛かるかどうか不安が残り、信頼性の面で懸念が生じた。
- ③のスクリーカム方式は、設計および製作の難易度が高かったが、カムによる伝達効率が悪く、シリンダをフィンガーに対して垂直に配置できるため、シリンダ径を大きく取ることが可能であった。対して、①②の方式ではシリンダをフィンガーと平行に配置する必要があり、全体高さを抑えようとするシリンダ径の拡大が困難であった。

以上の検証結果を踏まえ、③のスクリーカム方式を採用し、チャック全体の設計を進めることとした。

5 軽量化設計

本開発では、軽量かつ高いグリップ力を兼ね備えた業界最高水準の性能を目標としており、形状、材料、表面処理についても再検討を行った。

当然ながら、軽量化を目的として部品を薄肉

化し、アルミ材を多用すると、強度不足により力が逃げてしまい、十分なグリップ力が得られない。加えて、その状態でライフテストを実施しても、耐久性に課題が残ることが判明した。

そこで、従来通り材料の組み合わせを基本とし、強度が求められる部品には高強度材を選定し、適切な表面処理を施すことで、部品の厚みを可能な限り抑えつつ、強度を維持できる形状を追求しながら軽量化を図った。

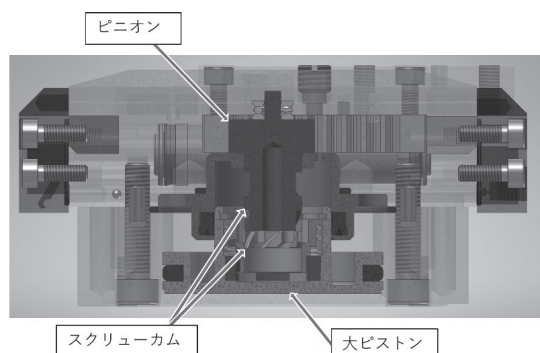
6 機構詳細

(1) スクリューカム機構

小ピストンと大ピストンが連携可能となる構造において、接続されていない状態の大ピストンが後から作動し、スムーズに接続されて推力を伝達できる点が本機構の重要なポイントである。通常、カム機構は常時接触しているが、本構造では離れた状態から確実に噛み合わせる必要がある。

ピニオンの歯数が決定すると軸径が定まり、その軸に対してどのようなカム溝形状とするかを設計した。軸側のカム形状が決まることで、相手側である大ピストンに内蔵する内径カムの設計が可能となる。

ただし、カム同士が離れているため、軸側カムと内径カムの頂点が一致すると噛み合いが成立しないという問題が生じる。そこで一工夫として、噛み合わせの際に内径カムを別のカム機



第1図 スクリューカム機構

構によりわずかに回転させ、頂点位置をずらすことで、確実に噛み合うように設計した（第1図）。

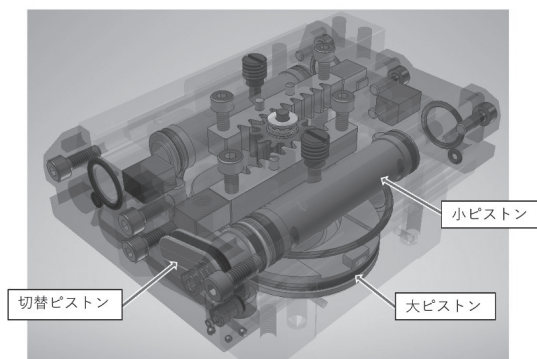
(2) シーケンスシリンダ機構

小シリンダの径を決定するにあたり、想定される爪の重量を考慮すると極端な小径化は困難であり、余裕を持たせた結果、 $\phi 15$ に設定することとなった。

大ピストンを即座に作動させるためには、エア流路を切り替えるピストンの設計が重要であり、異形ピストンの採用なども含め、いかにコンパクトかつ自然な形状で本体内部に収めるかが設計上の課題であった。

大シリンダについては、シリンダ面積を大きく確保しつつ、ストロークを短く、厚みを薄くすることにこだわった。これにより、必要な推力を確保しながら、全体の薄型化を実現している。

さらに、これらのピストンを円滑に作動させるためには、吸気および排気の流速制御が不可欠であり、流路設計やバルブ構成の見直しを含めた改善を施した（第2図）。

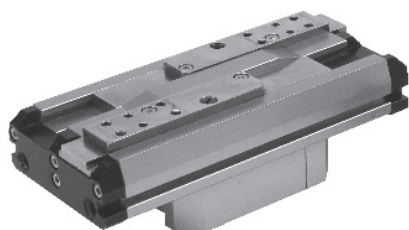


第2図 シーケンスシリンダ機構

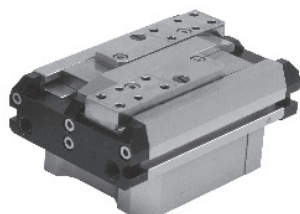
これらの機構設計と構造的工夫を統合することで、本製品は従来のエアチャックとは一線を画す性能と機能を備えるに至った。以下に、本製品の仕様と特長について、全体構成と性能指標を含めて概説する。

7 製品概要

本製品は、日本初となる革新的な『シーケンスシリンダ機構』（発明の名称：開閉チャック装置 特許第7500068号）を搭載した二つ爪角型平行チャックである。ワンポートのエア駆動で、小シリンダと大シリンダを連携させた2段階制御を実現している（写真1）。



(a) CHPS360-80



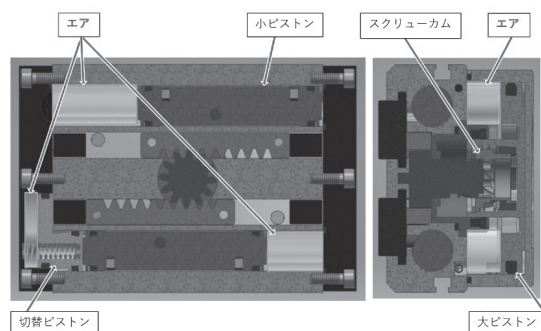
(b) CHPS360-40

写真1

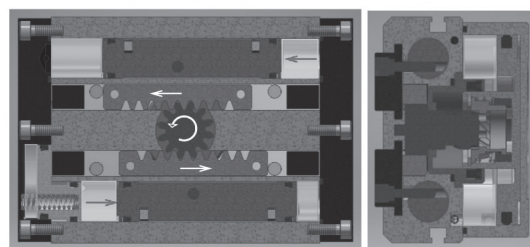
把持開始時には「フィンガー駆動用小シリンダ」が最小限のエア消費量で作動し、省エネルギーかつスムーズな初期動作を行う。続いて、「高グリップ発生用大シリンダ」が作動することで、強力なグリップ力を発揮する構造となっている。このシーケンス制御により、従来の常識を覆す「小型・軽量×高把持力×省エネ」の同時達成が可能となった（第3図、第4図、第5図）。

性能面では、GPI（Grip Performance Index、第6図）において業界最高水準を達成。従来機種種の $5.99 (\times 10^{-2} \text{g/N/mm})$ に対し、本製品CHPS360-80では $1.87 (\times 10^{-2} \text{g/N/mm})$ を記録し、3倍以上の高性能化を実現している。

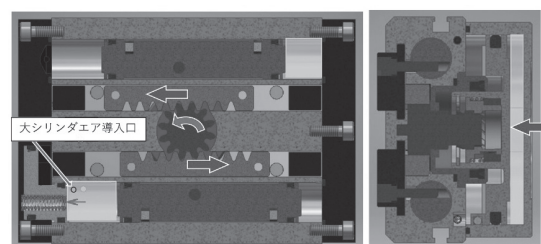
また、従来機種比で約1/3の軽量化を達成し



第3図 フィンガーが開いている時
フィンガー開ポートからエアが入っている状態。



第4図 フィンガーが閉じてワークを掴む直前
フィンガー閉ポートからエアが入り小ピストンだけが移動する。排気圧が残っているので切替ピストンは、シリンダ面積の差によって止まっている。



第5図 ワークを掴んだ直後
小ピストンが停止して排気圧がなくなると、切替ピストンが移動し、大シリンダへのエア導入口が現れる。その結果、大シリンダへエアが供給される。大ピストンが移動し推力をスクリーカム機構によってピニオンの回転力に変えグリップ力を発生させる。

$$GPI = \frac{\text{本体質量 (g)}}{\text{把持力 (N)} \times \text{ストローク長さ (mm)}}$$

第6図 GPI（Grip Performance Index）計算式

ており、3,950gから1,580gへと大幅な質量低減を実現した。さらに、本体の小型化も図られて

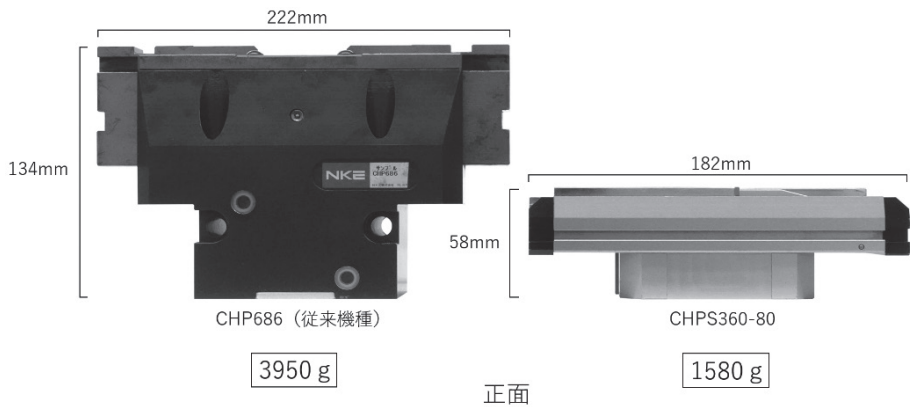


写真2 サイズ比較 (従来機種・正面)

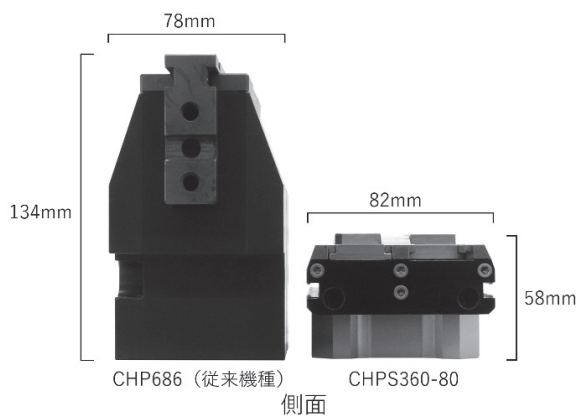


写真3 サイズ比較 (従来機種・側面)

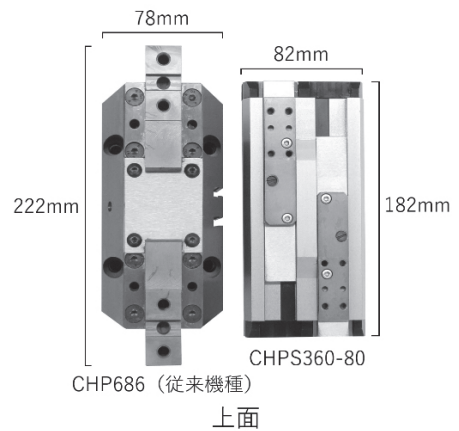
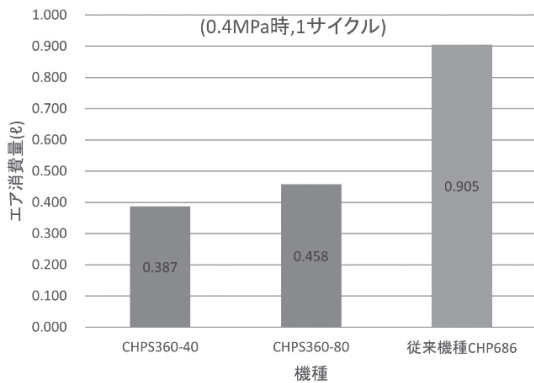
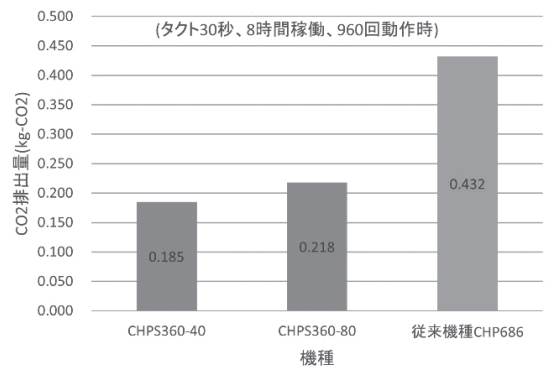


写真4 サイズ比較 (従来機種・上面)



第7図 グリップ力同等の従来機種との
エア消費量比較



第8図 グリップ力同等の従来機種との
CO₂消費量比較

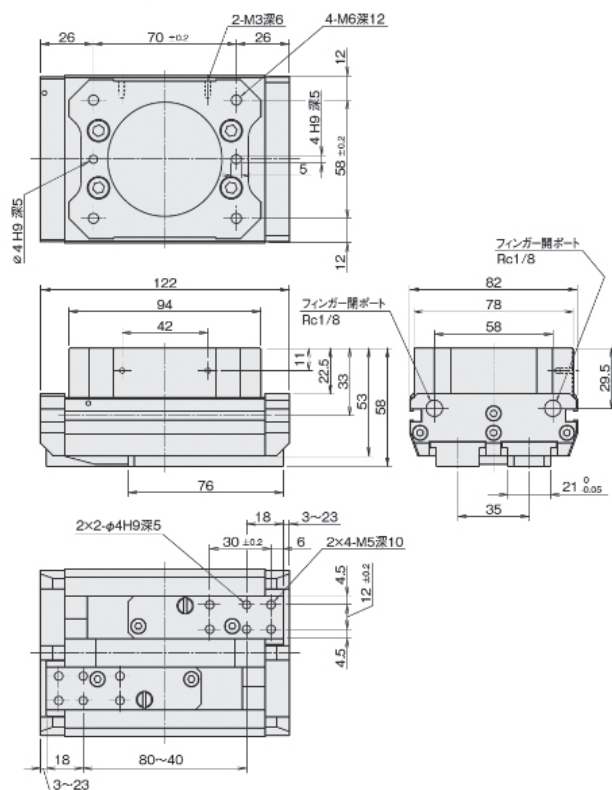
おり、設置スペースの制約が厳しい現場にも柔軟に対応可能である (写真2、写真3、写真4)。

環境性能においても、エア消費量およびCO₂排出量を約1/2に削減しており、省エネ設計と

環境負荷低減の両面で高い効果を発揮する (第7図、第8図)。

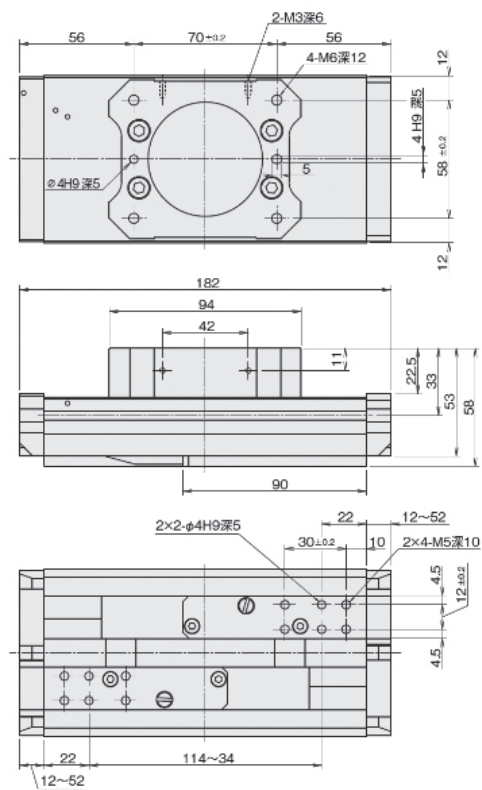
製品の外形寸法、仕様については、以下の図表に示す (第9図、第1表)。

■CHPS360-40



■CHPS360-80

(側面図はCHPS360-40と共通)



第9図 外形寸法

第1表 仕様

※は概略参考値で使用条件によって変わります。

型 式		CHPS360-40	CHPS360-80
使用流体		清浄エア	
使用圧力 (MPa) {kgf/cm ² }		0.3~0.7 {3~7.1}	
周囲温度 (°C)		5~60	
潤 滑		不要 (給油する場合はタービン油 1 種 (ISO VG32) 相当品)	
繰り返し精度 (mm)		初期値: ±0.1 200 万回: ±0.2	
シリンダ径 (mm)		2×15+60 (相当)	
開き代 (mm)		40	80
排気量 (cc)		41.7	48.8
※連続使用速度 (回 / 分)		60	40
動作方式		複 動	
グリップ力 (N)	閉	(P-0.02) × (1817-47.6ℓ)	
	開 (注 3)	(P-0.06) × (333-7.4ℓ)	
		P: 使用圧力 (MPa) ℓ: フィンガー先端からワーク重心までのツメの長さ (cm)	
本体質量 (g)		1170	1580
※最大ツメ長さ (先端から) (cm)		12.0	
※最大ツメ質量 (片側) (g)		1000	

(注1) 1N≒0.102kgf

(注2) フィンガー開時、大シリンダの排気がフィンガーの隙間から出ます。

(注3) 内掴みで使う場合はフィンガー開方向でツメがワークの内側を掴むようなツメ形状にしてください。

8 導入メリット

本製品の導入により、製造現場における運用効率、環境対応、設備設計の自由度など、複数の面で大きなメリットが得られる。

(1) ロボット可搬質量制限の緩和と 移載可能質量の向上

CHPS360-80では、従来機種比で2,370gの軽量化を達成しており、ロボットにかかる質量負荷を大幅に軽減できる。エアチャックの軽量化分だけロボットの可搬質量が増加するため、従来機より重いワークの移載が可能となる（最大グリップ力は従来機と同等）。これにより、同一ロボットでより高荷重の対応が可能となるほか、小型ロボットでの運用も現実的となる。

(2) ロボット動作の安定性向上と タクトタイム短縮への貢献

本体質量の軽量化により、ロボット停止時に発生する慣性力の影響が軽減され、動作時のブレを抑制。これにより、次工程への移行がスムーズとなり、全体のタクトタイム短縮に寄与する。

(3) ランニングコストの低減と環境対応・ ESG（Environment Social Governance） 評価の向上

エア消費量およびCO₂排出量を約1/2に削減することで、消費エネルギーの低減とともに、電力・エア供給にかかるランニングコストの抑制が可能となる。加えて、環境配慮やサステナビリティ経営への貢献により、ユーザー企業のESG評価向上にも寄与する。

(4) 小型化による設計自由度の拡大と 工程効率化

本体の大幅な小型化により、限られたスペースへの設置が可能となり、装置全体のレイアウト自由度が向上。ロボットアームへの搭載性にも優れており、自動化ライン内での動作最適化を通じて、工程全体の生産効率向上に貢献する。

9 おわりに

エア機器は、今後も多様な産業分野において必要不可欠な存在であり続けると考えられる。その理由の一つに、構造がシンプルで制御が容易であるという特性が挙げられる。電動化が進む中であっても、エア機器が持つ柔軟性と堅牢性は、依然として高い評価を受けている。

当社は自動化機器メーカーとして、これまで培ってきた技術と経験を基盤に、今後もエア機器のさらなる進化に取り組んでいく。新たな発想と確かな設計力をもって、より高性能かつ高効率な製品の開発を推進し、産業の現場に貢献し続ける所存である。

筆者紹介

東 知行

NKE(株) 開発部 新規開発グループ チーフ