

日本フルードパワーシステム学会誌

フルードパワー

JOURNAL OF THE JAPAN FLUID POWER SYSTEM SOCIETY

システム

May 2022 Vol. 53 No. 3

特集「進化を続ける空気圧機器」

日本フルードパワーシステム学会誌

フルードパワーシステム

目 次

特集「進化を続ける空気圧機器」

【巻頭言】

「進化を続ける空気圧機器」発刊にあたって 張本 護平 100

【解説】

デジタル化を図った空気圧サーボシステム	柴山 考司	101
空気圧機器の無線通信システム	阿木 智彦	105
エア消費を半減するパルスブロー製品	森口 翔太	109
重量物の搬送をサポートする助力装置	若杉 諭	112
小型軽量化を実現した積層樹脂マニホールド	吉田 豊	115
不定形状の吸着に適すバルーンハンド	津藤 亮介	119
ロボット向けハンドリングツール	塩田 浩司	123
窒素ガス精製ユニット	呉 杉	126

【会議報告】

山梨講演会2021におけるフルードパワー技術研究	吉田 和弘	129
第22回流体計測制御シンポジウムにおけるフルードパワー関連技術の研究動向	川嶋 健嗣	131

【トピックス】

学生さんへ，先輩が語る一博士，アカデミックポストに興味がある人に向けてー 西川原理仁 133

【研究室紹介】

東京高専 機械工学科 原口研究室	原口 大輔	136
------------------	-------	-----

【会告】

共催・協賛行事のお知らせ	122
理事会・委員会報告	139
2022年春季フルードパワーシステム講演会 併設セミナー「進化を続ける空気圧機器」	139
会員移動	140
一般社団法人日本フルードパワーシステム学会賛助会員一覧表	141
次回予告	142

■表紙デザイン：浅賀 美希 勝美印刷㈱

一般社団法人 日本フルードパワーシステム学会

〒105-0011 東京都港区芝公園3-5-22 機械振興会館別館102

TEL：03-3433-8441 FAX：03-3433-8442

E-Mail：info@jfps.jp

JOURNAL OF THE JAPAN FLUID POWER SYSTEM SOCIETY

FLUID POWER SYSTEM

Contents

Special Issue “Ever-evolving Pneumatic Components”

[Preface]

On the Special Issue “Ever-evolving Pneumatic Components”	Gohei HARIMOTO	100
---	----------------	-----

[Review]

Servo-pneumatic for Digitalization	Koji SHIBAYAMA	101
Wireless Data Communication System for Pneumatic Equipment	Tomohiko AKI	105
Pulse Blow Products Reduced by Half of Air Consumption	Shota MORIGUCHI	109
Assistive Devices to Support the Transport of Heavy Loads	Satoshi WAKASUGI	112
Dimensional Size and Weight is Minimized using our Laminated Resin Manifolds	Yutaka YOSHIDA	115
Balloon Hand Suitable for Adsorption of Irregular Shapes	Ryosuke TSUTO	119
Handling Tools for Robot	Koji SHIODA	123
Nitrogen Gas Extraction Unit	Wu SHAN	126

[Conference Report]

Researches of Fluid Power Technologies in Yamanashi District Conference 2021	Kazuhiro YOSHIDA	129
Research Trends in Fluid Power Technologies at the 22nd Fluid Measurement and Control Symposium	Kenji KAWASHIMA	131

[Topics]

Seniors talk to students —For Researchers Interested in Academic Positions—	Masahito NISHIKAWARA	133
---	----------------------	-----

[Laboratory Tour]

Haraguchi-Laboratory in Tokyo National College of Technology	Daisuke HARAGUCHI	136
--	-------------------	-----

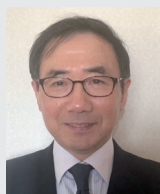
[JFPS News]

122, 139, 140, 141, 142

巻頭言

「進化を続ける空気圧機器」発刊にあたって

著者紹介



はりもとごへい
張本護平

SMC株式会社
〒300-2493 茨城県つくばみらい市絹の台4-2-2
huping@smcjp.co.jp

1995年上智大学大学院修了（工博）、現在SMC（株）技術研究部に勤務。空気圧システムの省エネ、特性解析など基礎研究に従事。日本フルードパワーシステム学会会員。

空気圧技術は、産業各分野の自動化・省力化に広く使われている。社会環境やものづくりの環境が時代とともに変化する中、生産現場における各種の自動化・省力化装置への要求は刻々と変化している。最近では、IoT対応のためのデジタル化、無線化、環境保全のための小型軽量化、省エネ化、コロナ禍で人同士の接触を避けるためのロボット化、省人化、さらに、防爆、酸化防止など特殊な用途と環境への対応が求められるようになった。これらの要求に応えるため、空気圧機器も着々と進化を遂げてきた。

本特集号は、空気圧技術に携わる技術者に最新情報を提供するために、最近の業界技術動向を代表する空気圧機器を取り上げ、その開発背景、進化内容および使用用途などを紹介する趣旨で企画した。

はじめに、空気圧機器のデジタル化と無線化に関する解説記事を執筆いただいた。

柴山氏（フエスト（株））には、空気圧サーボシステムの特長、構成および進化状況を紹介いただいたうえ、サーボシステムの適用場面、選定方法および実際の使用例について解説いただいた。また、環境改善およびデジタリゼーションなど将来に向けての取り組みについても紹介いただいた。

阿木氏（SMC（株））には、空気圧機器のデータ通信について、従来の有線通信システムから無線システムへ進化した背景、現場の要求仕様、無線化の技術課題などを解説いただくと同時に、ツールチェンジャー、回転ジグ、閉鎖空間などアプリケーション例も紹介いただいた。

つぎに、省エネ化、省力化、小型軽量化に関して、

3件の解説記事を執筆いただいた。

森口氏ら（（株）コガネイ）には、電源を使わず、エアの自励振動でパルスブローを実現したエアブローガンとブローユニットについて、その動作原理、性能特徴、省エネ効果および応用事例などを紹介いただいた。

若杉氏（CKD（株））には、負荷重量を圧縮空気でバランスし、重いものも軽々と持ち上げ、動かすことができる助力装置について、その開発背景、構造原理、動作特性および市場ニーズの変化にともなう進化状況を解説いただいた。

吉田氏（SMC（株））には、自動化装置、ロボット搭載機器を小型軽量化する目的で開発した積層樹脂マニホールドの製法、特長および適用例を解説いただき、また、CAEを活用した構造解析および流量特性解析の実例についても紹介いただいた。

続いて、自動化、ロボット化に関連する空気圧機器の解説記事を執筆いただいた。

津藤氏（コンバム（株））には、自動化分野でもものの吸着搬送に欠かせない真空パッドについて、これまでつかめなかった不定形状のワークをしっかりと吸着搬送できる最新構造の製品を対象に、その構造原理、仕様特徴および応用事例などを紹介いただいた。

塩田氏（（株）コガネイ）には、ロボットのハンドリングツールの代表的なものであるエアハンドと真空パッドを紹介いただいたうえ、そのツールを自動変換するためのオートハンドチェンジャーやコンプライアンスユニットなどについて解説いただいた。

最後に、圧縮空気の特長な用途として、呉氏（CKD（株））には、食品製造、化学工業、機械加工などの分野での酸化防止、防爆用途などに必要な高純度窒素ガスを精製する装置について、その製作原理、装置構造、性能特徴および使用上のシステム構成などについて解説いただいた。

末筆ながら、各記事の執筆者の皆様をはじめ、特集の企画にご協力いただいた関係各位に厚く御礼を申し上げる。本特集号が、空気圧機器に関する最新情報の提供に資することができれば幸いである。

（原稿受付：2022年2月10日）

解説

デジタル化を図った空気圧サーボシステム

著者紹介



しば やま こう じ
柴 山 考 司

フェスト株式会社プロダクトマーケティング/空気圧機器
〒224-0025 神奈川県横浜市都筑区早渕1-26-10
E-mail: koji.shibayama@festo.com

1999年東海大学工学部動力機械工学科卒、流体関連機器の設計開発業務経験を経て、2012年フェストに入社、日本国内における空圧機器を中心とした製品のマーケティング業務に従事。

1. はじめに

空気圧機器はシンプルな制御テクノロジーである。その中で空気圧サーボシステムは、このシンプルな空気圧制御を多用途で柔軟性に優れたものにする技術として、特に現在の高効率な省エネルギー化が求められる生産プロセスでの需要は拡大を続けている。

特出した需要をいくつかあげると、堅牢でコンパクトなシステム構築、低コストで容易に構築可能なソリューション、既設圧縮空気システムの活用、高いエネルギー効率、ダウンタイムの削減と状態監視などがある。

ここでは空気圧サーボシステム構成やその制御方法に加えて実際の使用事例などについて紹介する。

2. 空気圧サーボシステムの強み

空気圧サーボシステムは現場で求められるさまざまなアクチュエータで使用が可能で、ピストンロッド型シリンダ、ロッドレスシリンダ、ロータリアクチュエータなどの位置決めや力制御を必要とされる場面でそれぞれ選択され用いられる。

加えて、空気圧アクチュエータは供給される圧縮空気の圧力とアクチュエータの断面積によりその推力量が決まることから取り扱える負荷範囲が広い（2～300kg）ことも特徴となる。さらに、高加速度（ 30m/s^2 ）や過負荷時でもアクチュエータに優しい、劣悪な周囲環境での使用も可能、モータレスによる軽量コンパクトなシステム構成などが空気圧サーボシステムの強みとして考えられている。

一般的に空気圧サーボシステムによる位置決めは10kgを超える荷重をコンマ数mm内の精度で移動させるためのコンパクトでコストパフォーマンスの高いソリューションが求められる場面で特にその効果が発揮される。

具体的には、高重量ワークの位置決め搬送や、アクチュエータの推力調整などにおいて、本システム構築を行うことで、電動化に比べてコストの低減、軽量化、スペースの削減、省エネルギーなど空気圧機器ならではの効果が期待される一例となる。

3. 空気圧サーボシステムの構成と進化

3.1 空気圧サーボシステムの構成

空気特性である“圧縮性”は空気圧サーボシステムにとって強みになる反面、その弾性による反動や力の伝達遅れなどにより非常に制御が難しい媒体と言われている。

現在における空気圧サーボシステムの基本的な構成機器を図1に示す。

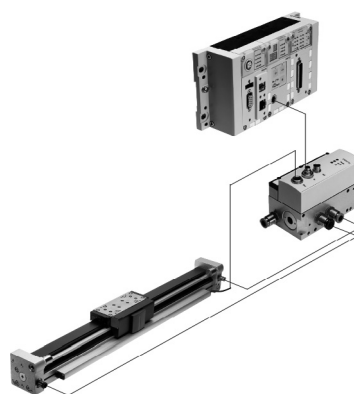


図1 システム構成例

上位から、制御コントローラおよび軸コントローラ、中位が比例流量制御バルブ、そして下位にエンコーダを搭載した各種アクチュエータとなる。

軸コントローラからバルブへは1対のデジタル信号で制御され、エンコーダ（アクチュエータ）からのフィードバックはデジタル信号でバルブを経由して軸コントローラへ戻りクローズドループ制御される。

3.2 空気圧サーボシステムの進化と歩み

当初第一世代と言われる空気圧サーボシステムでは、アクチュエータへの圧縮空気を供給するバルブは一般的なサーボ弁と言われる5方弁でバルブ内部のスプール位置を制御することによりふたつの出力ポートからの圧縮空気量を比例制御していた。

このサーボ弁への信号は一般的な電圧もしくは電流の“アナログ入力信号”が用いられ、図2に示すような挙動がシステムに活用された。

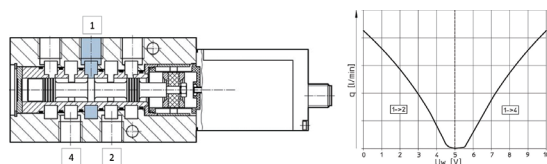


図2 サーボ弁の構造と出力特性

さらに実際の目的を達成させるためにこのサーボ弁への入力制御は多くの内外諸条件を含むアクチュエータの挙動が勘案された非常に複雑なプログラミングの作成が求められ、その上で空気圧サーボシステムとしての構成が成立していた。

第二世代は第一世代での技術を根幹に、デジタル化の進む制御コントローラとの効率的なシステム構築に向け軸コントローラなどの使用が盛んになった。しかしながら当時は空気圧サーボシステムとして全体を網羅する機器は少なく、多種メーカーから提供される軸コントローラ自体の複雑さや高価さにより、そのシステムとしての複雑さは払拭しきれずにいた。

そして現在の第三世代となると、図1に示したように、制御コントローラと一体化された軸コントローラからアクチュエータへの供給圧縮空気量を流量として比例制御するバルブ、実際に仕事をするアクチュエータとそこからのフィードバックによるクローズドループ制御の一気通貫でのデジタル制御が確立された。

3.3 空気圧サーボシステムのデジタル化

さらにデジタル化された空気圧サーボシステムは、使い手の複雑さを解消するさまざまな付加価値で高効率化を支援する。

たとえば、軸コントローラに付属するエンジニアリングツールを例にとると、システム構築を行うコンフィギュレーションを自動認識することでの間違えの防止や、プログラムレスでパラメータのみの試運転、状態監視を容易にする各種診断機能など、従来導入に向けた課題のひとつと考えられていたこれらの複雑さが解消できる。

また、現在広く普及している各種プロトコルを持つPLCとシームレスに接続することで、さらに空気圧サーボシステムの構築、進化はそのすそ野を広げ

ることになる。

4. 空気圧サーボシステムの選定

4.1 空気圧サーボシステムの適用

空気圧サーボシステムの適用がふさわしいアプリケーションは図3のように、標準的な空気圧では網羅できないモーションタスクが求められるが、電動ほどの複雑さや高精度なモーションタスクが必要としない場面だと考えられる。

電動	デジタル空気圧	標準空気圧
+ 高精度 + 複雑なモーションタスク + 豊富な位置決めプロファイル + 省エネ + 状態監視	+ 複雑なモーションタスク + 高い機能性 + 状態監視 + 豊富な位置決め + 省エネ + コンポーネント数削減	+ 簡単な操作 + 高性能 + 過負荷の防止 + 高い信頼性と丈夫性 + 高速応答

図3 空気圧サーボシステムのポジショニング

また図4には、3種類の負荷質量に対する機器コストのイメージを示す。おおむね負荷質量が10kgを超えたあたりから空気圧サーボシステムとして導入効果の有効性が見て取れる。

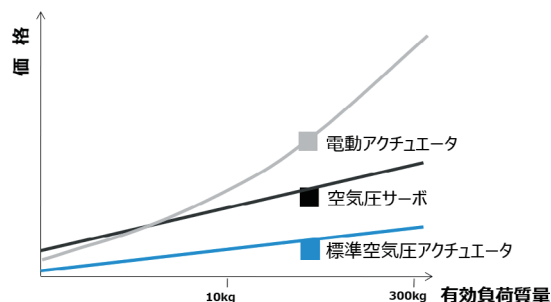


図4 負荷質量に対する機器コストのイメージ

4.2 空気圧サーボシステムの選定

つづいて、以下に空気圧サーボシステムの選定時の指南となる主たるパラメータについて説明する。
[繰り返し位置決め精度]

繰り返し位置決め精度は、一般的に±0.2mmを下限值に持つ。これはアクチュエータの取り付け姿勢やストロークにより図5に示すような広がりを見せる。図5では1～3まで3種類のエンコーダ（アクチュ

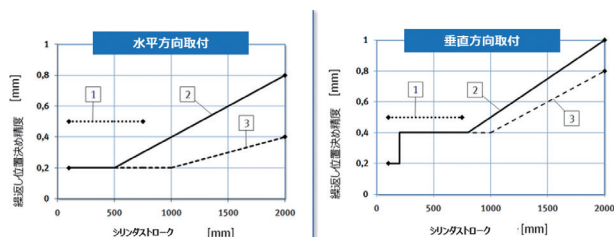


図5 繰り返し精度

エータにより選定される)があるが、ここでは2番の実線エンコーダに注目される。

[許容負荷重量]

図6にアクチュエータのサイズごとの許容負荷重量の範囲として上下限の目安を示す。ここでは水平垂直の許容負荷範囲の違いに加えて、空気圧サーボシステムにおいて許容負荷に下限値があることに注目される。空気圧サーボシステムでは圧縮空気特性上、無負荷もしくはこの下限値以下での制御は、振動などの不安定な挙動を引き起こすので、十分に考慮される必要がある。

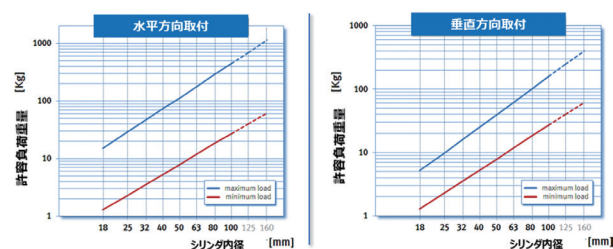


図6 シリンダ内径と許容負荷範囲

[アクチュエータおよび比例流量バルブの選定]

つぎに実際の負荷に対するアクチュエータのサイズとストロークなどから必要流量が決定され、あわせて比例流量制御バルブのサイズも決定される。

図7は各アクチュエータサイズに0.6MPaの圧縮空気を印加した時の理論推力の図である。空気圧サーボシステムにおいては、上述許容負荷範囲と同じく理論推力の90%が推力制御の上限値となることも考慮される必要がある。

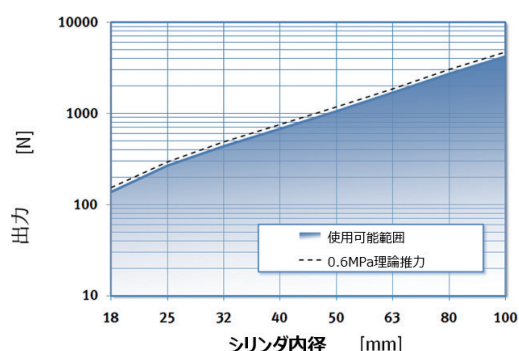


図7 シリンダ内径と許容理論推力 (0.6MPa印加時)

なお、この推力制御については空気圧サーボシステムとしての利便性のひとつとして、先に述べたデジタル化との融合でひとつのモーションタスクの中で位置制御と推力制御の混合も容易に可能にし、 $\pm 5\%$ 以内での推力制御、目標推力までの傾きおよび速度制御、予期せぬ過負荷時の停止可能なセーフティ制御など、シーケンス制御に組み込み可能な多くの機能も付加される。

ここでは空気圧サーボシステムを選定する上での主たる項目と考え方について解説をした。

あわせて実際のシステム構築においては配管長、速度、制御ストロークなど目標となる精度に対して考慮されるべき事項があることも理解頂きたい。

5. 空気圧サーボシステムの利用例

空気圧サーボシステムが実際に利用されてアプリケーションをいくつか以下に紹介する。

[木材加工機]

図8に示すような木材加工においては、その環境からも堅牢なアクチュエータが求められる。また異なる材料の加工には厚みに応じたストローク調整と切断時の異なる押し付け力制御への柔軟な対応システムが求められる。空気圧サーボシステムは、堅牢なアクチュエータとスタンドアローンでのシステム構築に加えて、高い応答性やプログラマブルな柔軟性にて寄与できる。



図8 木材加工に使用される空気圧サーボシステムの例

[ラベルピッカ]

図9に示すようなラベル貼付けは1秒ほどの早いサイクル下で、さまざまなサイズと高さのパッケージに接着することが求められる。この空気圧サーボシステムでは、パッケージサイズを距離センサで測

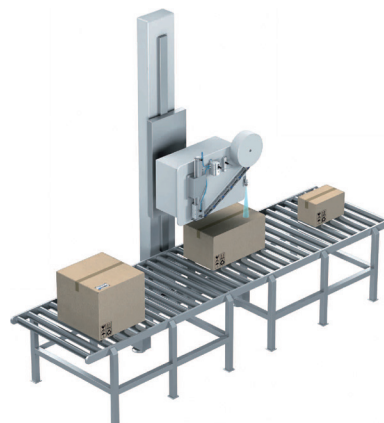


図9 ラベル材加工に使用される空気圧サーボシステムの例

定し、直接システムに取り込むことでサイズに合わせたストロークを自動調整し、あわせてラベル貼付けの押し圧も制御している。

[巨大ワークの把持]

自動化と高効率が求められる生産現場で使用される産業用ロボットは、高速移動を可能にするために、省スペースで可能な限り軽量なシステム構築が求められる。

図10に示す空気圧サーボシステムでは、これらの要求事項にあわせて、種々のワークに対応できる把持力とサイズごとの位置制御の柔軟性も可能にしている。

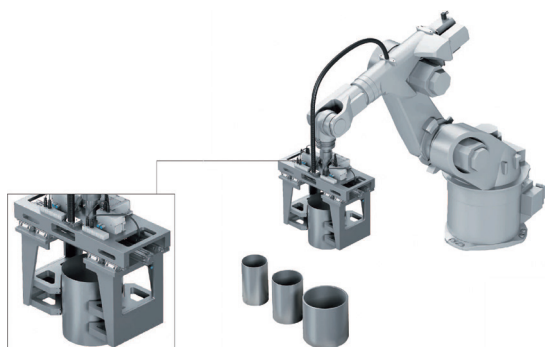


図10 産業用ロボットに使用される空気圧サーボシステムの例

6. 空気圧サーボシステムの今後

6.1 空気圧サーボシステムと環境改善

昨今、カーボンニュートラル、CO₂排出量削減、エネルギーセービングなど、環境改善に対する需要が急拡大しているのは周知である。空気圧サーボシステムにおいても、必要な力を必要な分だけ適用する、たとえば、先ほどの事例紹介であったような木材加工に用いられるアクチュエータの押し圧制御では、アクチュエータの戻りは大きな推力を必要としないことから、圧縮空気の圧力を抑えることでその消費量を削減できる。このような観点からも空気圧サーボシステムの活用は、環境改善にも貢献できるシステムではないかと考える。

加えて、空気圧サーボシステムを供給する立場にある我々メーカーは、その効果を見える化し、より環境改善への取り組みを現場と直結させる土台作りで貢献したいとも考える。

6.2 空気圧サーボシステムとデジタル化

あわせて市場ではIndustry4.0に始まったデジタル化の流れも急速に進んでいる。

ここで紹介してきた空気圧サーボシステムのデジタル化においても、延長線上にはすでにその将来に続く取り組みとして、サイバーフィジカルシステムの導入と空気圧サーボシステムのスマートコンポーネント化が始まっている。

スマートコンポーネントは、単体でのシステム運用に加えて、IoTゲートウェイを介して収集される生産プロセスでの大量なプロセスデータが、SPS（標準調達システム）を介してクラウドに転送することを可能にする。

また、クラウドに転送されたこれらのメガデータは、ダッシュボード（図11）をプラットフォームに現在のステータス確認に加えてエネルギーのモニタリングや設備の稼働状況、さらには予兆保全という観点からリアルタイムな遠隔監視を可能にする。

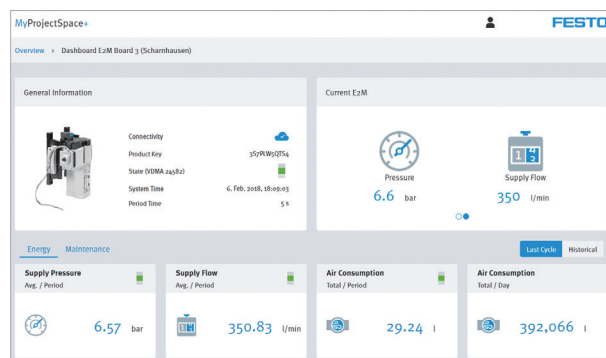


図11 デジタル化にあるダッシュボードの例

このシステムは回帰サイクルとして逆にダッシュボードに収集、可視化されたデータをもとに制御システムにアクセスすることも可能である（図12）。

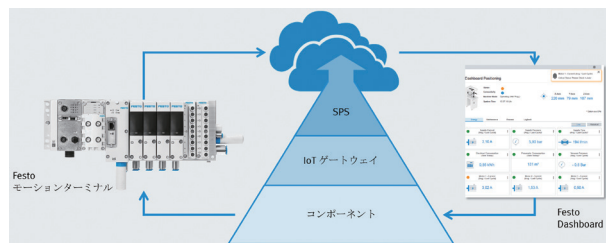


図12 空気圧サーボシステム回帰サイクルの例

これより空気圧サーボシステムがよりスマートにかつインテリジェンスなシステムとして、生産現場での新たな付加価値創出にも貢献し進化することとなる。

7. おわりに

このたび、デジタル化を図った空気圧サーボシステムとして、その強みから構成と今後について紹介させていただいた。

当社においても空気圧サーボシステムは、当初よりその技術を追求してきた分野のひとつである。今後も多くの研究現場や実際の生産現場において、空気圧サーボシステムが普及し、その効果が広く周知され実感されるよう貢献していきたいと考える。

（原稿受付：2022年2月5日）

解説

空気圧機器の無線通信システム

著者紹介

あ き とも ひこ
阿 木 智 彦SMC株式会社開発5部
〒300-2493 茨城県つくばみらい市絹の台4-2-2

1989年東京理科大学山口短期大学電子工学部専攻修了、同年東京理科大学工学部電気工学科編入、1991年東京理科大学工学部電気工学科修了、現在SMC(株)開発5部に勤務、フィールドバス機器の開発業務に従事。

1. はじめに

空気圧機器は、自動車、半導体、食品工業などのあらゆる工場において、製品の組立・製造を省力化・自動化するために使われている。

空気圧機器の制御は、PLC（プログラマブルロジックコントローラ）から出力機器および各種センサ信号を接続することにより行っている。

1980年代ごろより、各制御機器メーカーが独自開発したシリアル通信によるオープン化が始まり、2000年に入り国際標準化が進み、IEC61158やIEC62026が制定され、複数のフィールドバスが提言されている。

FA（ファクトリーオートメーション）業界においては、従来から行われていたリレー回路の置き換えにフィールドバスは、相性がよく「省配線化」「設備の柔軟性」「コスト削減」目的で採用が進んでいる。

また最近においては、IoT技術の普及により従来の階層別の接続を超えた機器のネットワーク化が進んでいる。その中で有線システムの置き換えに無線システムを使った設備の需要が徐々に増えている。

今回は無線システムをFA設備へ導入する取組みについて紹介する。

2. 無線化の技術課題

2.1 信頼性

FA業界において信頼性は第一に考える項目である。したがって無線システムについても信頼性は重要な基本性能のひとつである。

信頼性の高い無線通信は下記①～⑤に対しての配慮をしたシステム化が必要である。

- ① データ欠損が発生しないこと。
- ② 電波の反射や、無線機器による電波干渉に対して誤動作をしないこと。
- ③ データの秘匿性および乗っ取りができないためのデータ暗号化がされていること。
- ④ 通信切断等の診断情報が上位システムに伝達可能であること。
- ⑤ 既存利用している無線機器と共存可能なシステムであること。

上記項目を実現するために採用される技術として、以下があげられる。

- ① データの欠損・切断・誤動作対策
 - ・CRCによるデータチェック
 - ・ペアリングによる、通信機器同士のID交換
 - ・送受信ともにACK信号による伝達確認
- ② 電波干渉対策^{*1)}（詳細後述）
 - ・フリーケンシー・ホッピング拡散（FHSS）による送信周波数拡散技術
 - ・送信周波数の選択機能
 - ・CCA（クリアーチャンネルアセスメント）機能による他の無線機器との衝突回避
- ③ 診断情報
 - ・無線の通信状態を無線ベース内で蓄積し、IO信号として上位システムへ伝達する

無線を使用することで避けられない、干渉などの影響を、複数の技術を組み合わせ信頼性の高いシステムとしている。

またLED等の表示により、目視でも機器の通信状態がわかるようにすることで、現場での診断が迅速に可能となる。

2.2 データの秘匿性

無線は電波が空間を移動するため、有線とは異なり信号の傍受が誰でも可能である（図1）。

生産設備を制御する信号が、傍受されデータの改

ざんによる誤動作が発生したり、送受信している情報を他の媒体へ抜き取られたりする危険性がある。これらの対策として、通信データに対して暗号化を行い、情報の保護と誤動作を防止する機能が求められる。

暗号化によりデータ長が長くなり、信号の応答時間の悪化が発生しないような工夫を行い、安全性と信号応答性のバランスがとれた通信が必要である。

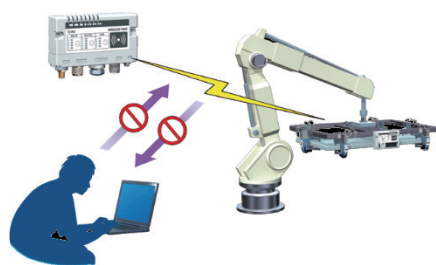


図1 無線データの傍受

2.3 無線のデメリット

無線通信システムは、柔軟な運用ができる反面デメリットもある。

- ・有線通信に対して通信速度が遅い。
有線：数Mbps～数Gbps
無線：数kbps～数十Mbps
- ・電波干渉等により通信データの再送信が発生するため、リアルタイム性が要求される制御には使用できない。
- ・通信接続距離が、環境に左右される。

3. 有線通信システムから無線通信システムへ

3.1 背景

空気圧機器が使用されている設備において、多品種小ロットの生産が求められている。

ユーザにおいて製造設備を生産形態に合わせて柔軟に切り替えることが多く、既存の有線を使ったシステムではケーブル配線が制約となり以下のような問題が発生する。

- ① 稼働部のケーブル断線やスリッピング等の接点不良により、設備のチョコ停が発生する。
- ② 設備導入時にケーブルの取り回し、配管、配線工事が必要である。
- ③ 段取り替え時にケーブル長以上に設備を移動できない。
- ④ 配置換えにともなうケーブル配線工事ミスによる設備の動作不良等の予期せぬ不具合が発生する。

- ⑤ 設備改善のためのケーブル工事に、費用と時間がかかり実施ができない場合がある。

フィールドバスの普及により設備間のケーブルは省配線化されているが、設備の末端部においては、汎用入出力機器が多く存在し、配線ケーブルの課題が解決していない(図2)。

無線化を行うことにより、上記問題がなくなり設備のチョコ停の排除、および設備の変更時のトラブル防止となる。また「ケーブルコスト削減」、「設備の重量低減」、「製造時のCO₂排出量削減」等の効果が期待される。

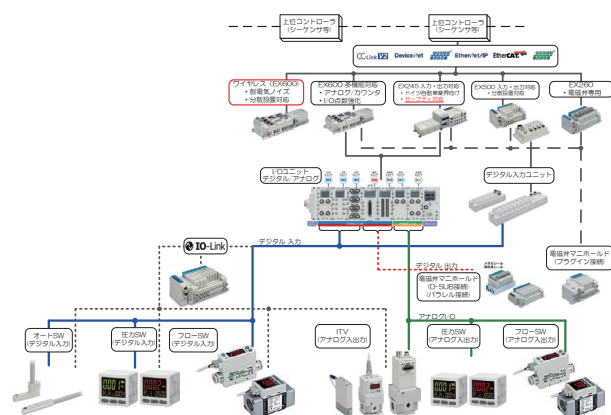


図2 空気圧機器のネットワーク接続例

3.2 現場の要求仕様

これまでの実績より、FA環境における無線通信によるトラブルは発生しておらず、十分実用的に使用することが可能である。

しかし無線を設備に導入する際は、以下の要求仕様に対して十分な検証を行う必要がある。

(1) 基本性能評価

無線を使うことによる設備の本質的な性能確保と安全性の確保をすることが必要である。

- ① サイクルタイムは十分か？
- ② 通信距離は十分か？
- ③ 異常発生時の診断情報はあるか？

(2) 周囲からの影響や誤動作発生の有無

また既存の設備で使用している機器との相互運用性に問題がないかを確認することも重要である。

たとえば既存設備で他の無線機器が使用されていないか、電子レンジ等の通信周波数帯の電波を発生させる機器が周辺に存在しないか等である。

- ① AGV等の既設無線機器との干渉がないか？
- ② 設備から発生するノイズの影響はないか？

* 1) 電波干渉（マルチパスフェージング）対策

FAの環境下では送信機から発生した電波は壁面、床面、天井、装置、人などによる反射により、直接波、透過波、反射波がさまざまな経路（マルチパス）を通り、位相差を持って受信機に到達する（図7）。

この時電波の位相差により互いに干渉し、送信機、受信機、周囲環境の位置関係により減衰量、位相差が大きく変動する（マルチパスフェージング）。

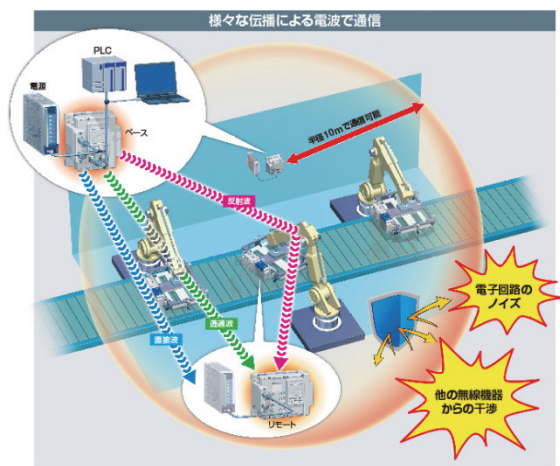


図7 電波伝達（マルチパスフェージング）

マルチパス環境下では直接波が送信機と受信機間に確保されるかにより特性が大きく変化する。

図8のような送信機と受信機の上に障害物がなく、直接波が確保された環境では直接波が支配的となり、反射波の影響が弱くなり、受信機の位置関係や周囲環境の変化による伝達特性の影響は少なくなる。

図9のように障害物がある場合、受信側に到達する電波は、直接波ではなく反射波が支配的となり、反射波同士の合成により激しい干渉が生じ、位置や周囲の環境変化により図10の受信電波強度特性のように伝達特性は大きく変化する。

電波強度の強弱は、周波数によっても落ち込みの発生位置が変化するため、FHSSによる周波数拡散技術は干渉の多い環境において効果的である。

信頼性の高い無線通信をするためには受信電力の

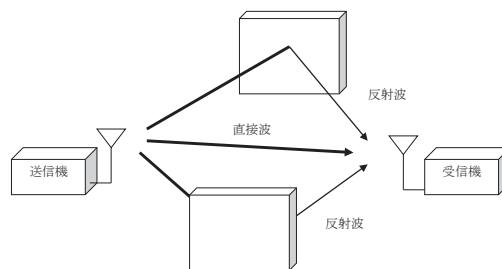


図8 直接波が届く環境での干渉

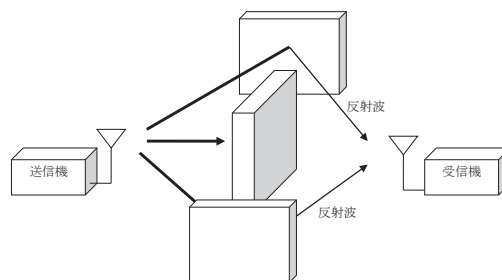


図9 直接波が無い場合の干渉

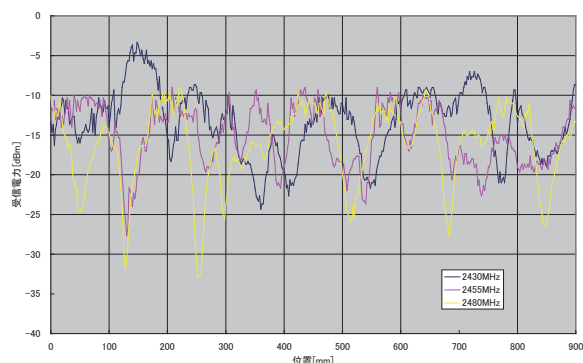


図10 電波干渉による電波強度の変化の例

ばらつきを抑えるために、送信機、受信機を見通せる場所に設置し、直接波を受信する必要がある。

センサを無線化する場合、センサの設置場所は装置構成により限定され、必ずしも見通しのよい場所に設置できるとは限らない。このため、アンテナの別置きなどの施策により見通しを確保することが必要である。

（原稿受付：2022年2月10日）

解説

エア消費を半減するパルスブロー製品

著者紹介



もりぐち しょうた
森口 翔太

株式会社コガネイ
〒399-4102 長野県駒ヶ根市飯坂2-6-1
E-mail: moriguchi@koganei.co.jp

2017年東京電機大学理工学部卒業・同年株式会社コガネイ入社。現在、制御開発部に所属。主にエアバルブ等の開発に従事。

おける圧縮空気の使用量の削減が大きな課題となり、圧縮空気の使用量を抑える方法として、パルスブローが注目されている。

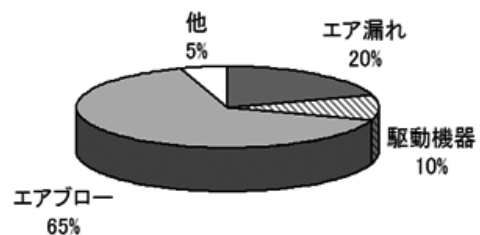


図1 圧縮空気使用量内訳

1. はじめに

近年、環境問題への意識が高まる中で、できるだけ環境負荷の少ない製品・サービスを社会に普及させていくことが求められている。

持続可能な開発目標（SDGs）が2015年に国連総会で採択され、国連加盟国は17の目標達成に向けて努力することとなった。この状況のもと、多くの企業がその本業を通じてSDGsに取り組んでいる¹⁾。

また、世界で先進国を中心に2050年カーボンニュートラル化が規定路線となりつつある。Paris協定の気候変動抑制目標にコミットするEU各国が温室効果ガス排出量2050年実質ゼロを方針化し、日本やParis協定に復帰した米国も2050年脱炭素化をめざすことを表明している。そのようなカーボンニュートラル化の実現には、原材料の調達や加工、部品の製造と調達、生産と使用、破棄とリサイクルまで、物流も含めてライフサイクル全体におけるCO₂削減の考え方（LCA）が重要となる²⁾。

本解説では上記環境対策に貢献可能なパルスブロー製品について紹介する。

2. 開発背景

現在、多くの企業でCO₂排出量削減の動きが活発化している。一般的な工場での電力量のうち20%が圧縮空気を作り出すコンプレッサーに使用されている。コンプレッサーが作り出す圧縮空気の65%はエアブローで使用されており（図1）、圧縮空気の使用割合は大きい。そのため、エアブロー工程に

3. パルスブロー製品概要

工場などの作業場においてゴミなどを飛ばすエアブロー工程がある。通常のエアブロー工程は常にエアを吹き続ける連続ブローが一般的であるが、ON、OFFを繰り返しエア噴出するものをパルスブローと呼ぶ。パルスブロー製品にはエアガンタイプ（図2）とユニットタイプ（図3）がある。エアガンタイプは、電源不要のパルスエア発生ユニットを内蔵しており、圧縮空気を配管するだけでパルスエアを発生させることができる。ユニットタイプは、すでに使用されている通常のエアガンに取り付けることで、パルスブローエアガンとして使用することができる。また、装置や設備に設置することでエアブロー工程をパルスブローにすることも可能となる。小形タイプ、大流量タイプ等のバリエーションがあることにより大小さまざまな装置内でのブロー工程に対応でき、高い取付自由度を実現している。



図2 パルスブローエアガン



図3 パルスブローユニット

3.1 作動原理

パルスブローエアガンの作動原理を空気回路図(図4)にて説明する。

- ①レバーを引くとトリガー用バルブから出力されたエアによりパルス発生バルブが開く。
- ②パルス発生バルブが開くとノズルからエアが吐出される。
- ③パルス発生バルブからの吐出エアの一部は可変絞り弁を通り、ピストン室に蓄圧されていく。
- ④ある程度蓄圧されるとパルス発生バルブが閉じ、ノズルからの吐出エアが止まると同時にピストン室のエアが排出されていく。
- ⑤ピストン室のエアがある程度排出されると再びパルス発生バルブが開きノズルからエアが吐出される。

以降繰り返しによりパルスエアとなる。この構造によりエアのみで作動が完結するため、電源不要でパルスエアの発生が可能となる。また、可変絞り弁を調整することによりパルス周波数を変えることができる。

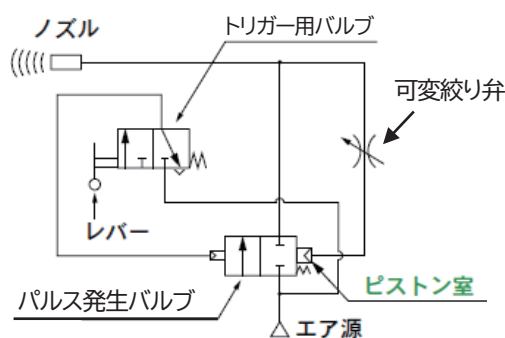


図4 パルスブローエアガン空気回路図

3.2 特徴

連続ブローからパルスブローにするメリットは主に①エア消費量の削減、②CO₂削減・コンプレッサー消費電力削減、③除じん性能向上である。

①エア消費量の削減

パルスブローは間欠でエアを吐出するためエアが出ていない時間がエア消費量削減に直結する。縦軸に吐出圧、横軸に時間のグラフにおいて、連続ブロー(図5)とパルスブロー(図6)の各面

積分が空気消費量になる。ON時間とOFF時間が同一の場合、パルスブローの空気消費量が半減する。

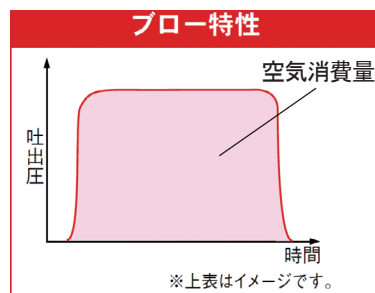


図5 連続ブロー空気消費量

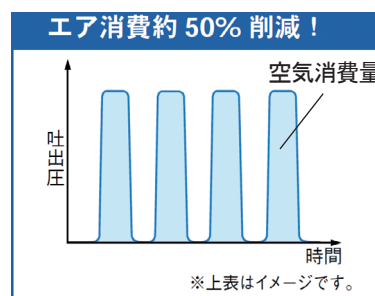


図6 パルスブロー空気消費量

②CO₂削減・コンプレッサー消費電力削減

冒頭でも述べたように最近ではSDGsやカーボンニュートラル、LCAなど聞かない日がないほど話題になっている。図7は連続ブローを当社製品でパルスブロー化した場合の電力、CO₂、コストの年間の削減量を示した表である。大流量タイプは1台あたりの1,614kgのCO₂削減、3,718kWhの消費電力削減となる。小形タイプは元の流量が少ないため、大流量タイプと比べると効果が少ないが、172kgのCO₂削減、397kWhの消費電力削減となる。

	パルスブローエアガン 1台あたり	パルスブローユニット (スタンダードタイプ) 1台あたり	パルスブローユニット (大流量タイプ) 1台あたり	パルスブローユニット (小形タイプ) 1台あたり
電力[kWh]	2,368→1,184	3,068→1,534	7,437→3,718	794→397
CO ₂ [kg]	1,028→514	1,332→666	3,228→1,614	345→172
コスト	5,960円/年の削減	7,723円/年の削減	18,718円/年の削減	3,996円/年の削減

図7 CO₂削減事例(年間)

③除じん性能

連続ブロー(図8)は最初にワークに当たった時にしか衝撃が発生しない。エアブローの衝撃はワークに当たる瞬間がもっとも大きく、パルスブロー(図9)はエアがワークに断続的に当たり、

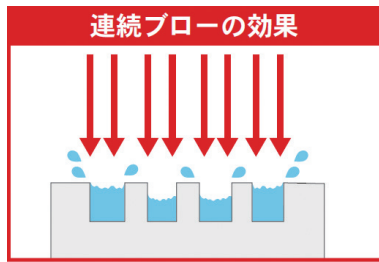


図8 連続ブロー除じん性能

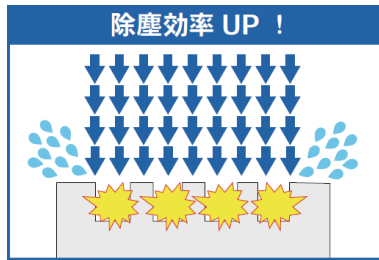


図9 パルスブロー除じん性能

衝撃が繰り返し発生するため、除じん性能が向上する。

4. 使用事例

図10は通常のエアガン本体とノズルとの間に小形タイプのパルスブローユニットを取り付けたものである。これにより、後付けでパルスエアを発生させることが可能である。

図11は通常のエアガン本体と配管との間にパル

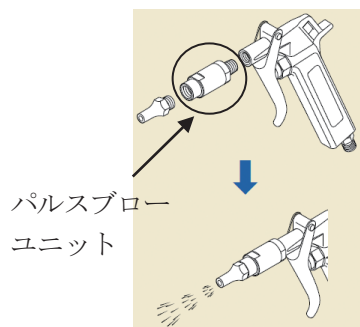


図10 使用事例1

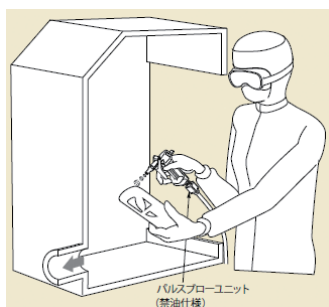


図11 使用事例2

スブローユニットを取り付けており、簡易クリーンルーム内のクリーンボックス内でワークに付着したごみを除去する工程に使用している。

図12はパルスブローユニットを使用して、コンベア上のワークに付着した水滴を飛ばす工程である。

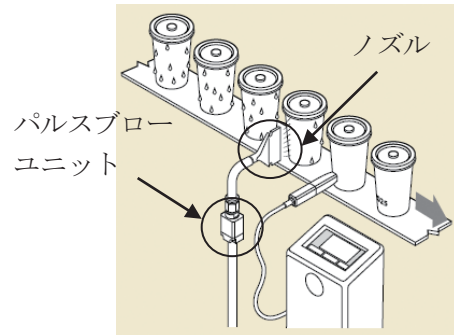


図12 使用事例3

図13はコンベア上のワークに付着したごみを取り除くためにノズルの手前についたパルスブローユニットを取り付けている。

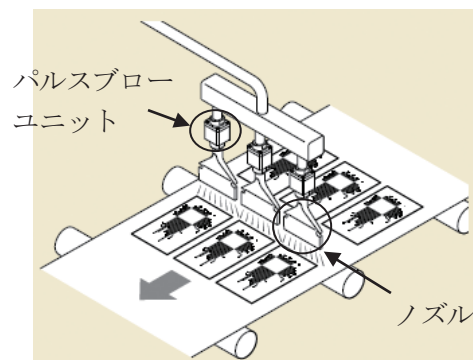


図13 使用事例4

5. おわりに

本稿では当社の環境取り組みの一環であるパルスブロー製品（パルスブローエアガン、パルスブローユニット）について紹介した。上記製品を使用することにより、産業界のCO₂の削減に貢献可能である。今後は流量（サイズ）のバリエーションの増加、耐クーラント仕様追加等の検討を進める。

参考文献

- 1) <https://lca-forum.org/research/sdgsnict.html>
- 2) https://www.fourin.jp/info/multi-client_GlobalCarbonNeutralizationAcceleratedLCA.html

（原稿受付：2022年2月4日）

解説

重量物の搬送をサポートする助力装置

著者紹介



わか すぎ さとし
若 杉 諭

CKD株式会社
〒485-8551 愛知県小牧市応時2-250
E-mail: s-wakasugi@ckd.co.jp

2007年岐阜大学工学部機械システム工学科卒業。同年CKD株式会社入社。現在、FAシステムBU戦略部に所属。空気圧シリンダ、助力装置の開発に従事。日本フルードパワーシステム学会の会員。

1. はじめに

負傷に起因する業務上疾病のうち、腰痛（災害性腰痛）は8割を超えている¹⁾。腰痛の原因となる重量物の搬送は、日常的に行われている重作業である。少子高齢化が進む日本では、女性やシニアの活躍が必要だが、重作業が残された職場ではそれもままならない。そして、2015年9月に国連本部で開催されたサミットにおいて掲げられた持続可能な開発目標（SDGs）²⁾に対し、ジェンダー平等や働きがいのある職場環境の整備への意識が各産業界で高まり、具体的な取組を検討、推進が始まっている。このような社会環境の変化にフルードパワーを利用した技術で応え、貢献するため助力装置の開発に取り組んできた。

本稿では当社のシリンダ技術と、日産自動車株式会社と国立大学法人東京工業大学が共同で構築した特許技術を活用し、重量物を搬送する際の作業負担低減と作業者の安全確保を目的とした新しい方式の助力装置について紹介する。

2. 助力装置について

厚生労働省による腰痛予防対策として、人力による重量物の取り扱いにおいては、満18歳以上の男子労働者が取り扱う物の質量は、体重のおおむね40%以下となるよう努めること。満18歳以上の女子労働者では、さらに男性が取り扱うことのできる質量の60%位までとすること。また、この質量を超える重量物を取り扱わせる場合、適切な姿勢にて

身長差の少ない労働者2人以上で行わせるように努め、この場合各々の労働者に質量が均一にかかるようにすることが指針として示されている³⁾。そこで約100kg未満の重量物の搬送においては助力装置が使用され、安全な作業環境の整備や少人化が図られている。一方で100kg以上の搬送においては天井クレーンが用いられる場合が多くみられる。

空気圧システムで構成された助力装置は一般的なものである。空気圧シリンダに精密レギュレータを介して空気圧を供給することで、ピストンロッドに取り付けた搬送物の質量 M と、空気圧シリンダにより発生する推力 F_a を等しくすることで位置保持が可能となる（図1）。搬送物を移動する場合は、空気圧シリンダのしゅう動抵抗と空気圧の吸排気の圧力変化によるわずかな抵抗力 F_b で操作することが可能である（図2）。

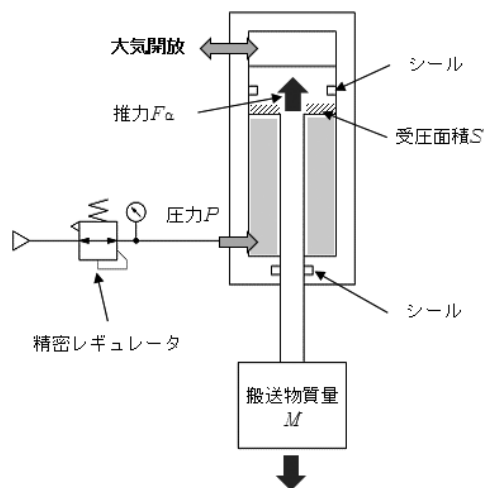


図1 空気圧システムで構成された助力装置

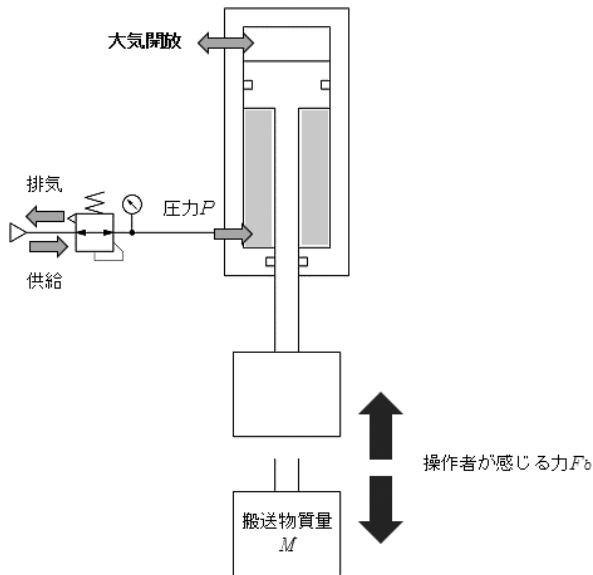


図2 操作時の原理

四節リンク機構に空気圧シリンダを組み合わせた助力装置は多数存在するが（図3）、新たな機構で構成された助力装置⁴⁾では空気圧シリンダを内部に配置することにより、小型化、軽量化を実現した。内部構造および原理を図4に示す。

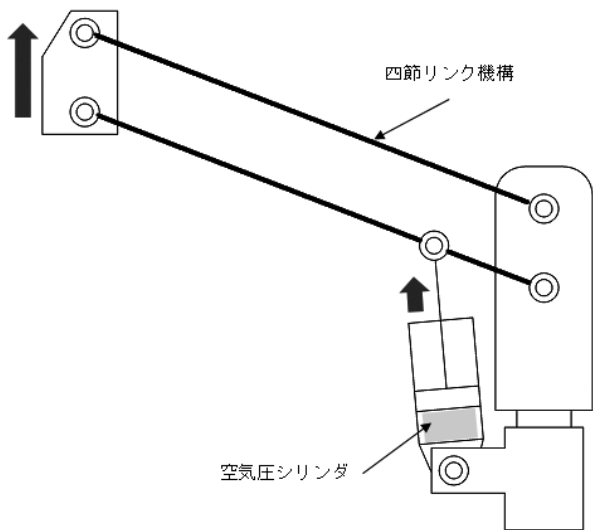


図3 一般的な助力装置

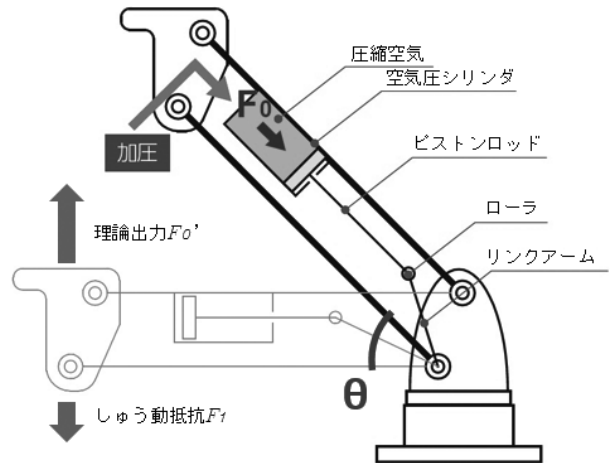


図4 新機構の助力装置内部構造および原理

空気圧シリンダに加圧するとシリンダ推力 F_0 はリンクアームにより上昇方向への出力 F_0' に変換され、ローラを介し四節リンクを構成している本体自身を上昇させる。圧力を供給した場合のアーム上昇角度 θ と上昇力 F_0' および実際の操作力 F 、その差であるしゅう動抵抗 F_1 との特性を図5に示す。

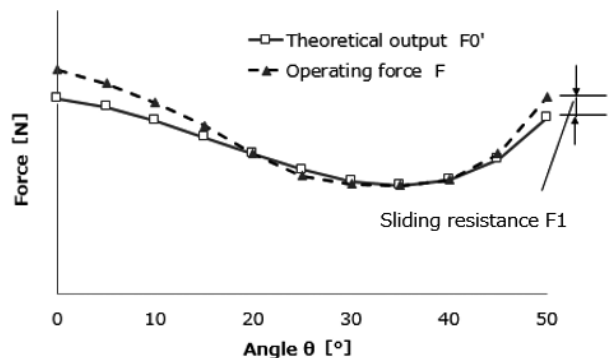


図5 アーム上昇角度と操作力の特性

上昇方向への出力と釣り合う質量の搬送物を載せた場合、アーム角度を保持するためにはアーム上昇角度が変化してもこの出力は一定であることが望ましい。そこで、簡易的な構造でありながら上昇力の差異が抑えられるよう四節リンクの配置を最適化した。さらに、可動部のしゅう動抵抗を減らすことで搬送時に使用者が感じる操作力の低減を図った。

3. 市場の要望に応じて進化

新機構の助力装置の開発は車両組立作業員の自動車重量部品の持ち上げ作業、取り付け作業が困難といった声を受け、助力装置の開発を開始し、その実用化に際し空圧シリンダ技術に強みを持つ当社が試作品を製作したことに始まる。

2014年に第一世代機を製品化、次に量産モデル

として2015年に第二世代機を開発し製造・販売を開始した。そして、2019年にグローバルな需要に応え第三世代機を製品化するに至っている。

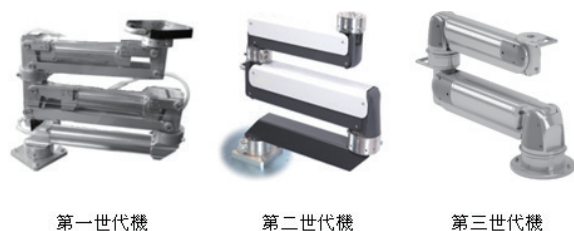


図6 新機構の助力装置

人と協働する製品として、安心して長期間扱うことができるよう高い安全性やメンテナンス性が求められる。まず、威圧感や圧迫感を感じさせないラウンド形状を採用した、押出材を使った円形断面のアーム内部にリンク部品を収容することで、大幅に剛性を高め、人体の挟み込みリスクを低減させた安全な構造を当社の特許技術で実現した。そして、モジュール設計の採用やエア配管・電気配線のレイアウトを見直すことで、メンテナンスを容易に実施できる構造とした。上下方向のアーム角度保持においては、エア封止式で圧縮性流体特有の柔らかなクッション感とメカニカルロック式でしっかりとしたホールド感を搬送用途や工程に応じて選択可能としている。

また、消費者ニーズの多様化が進んだことで、多品種少量化が進んでいる製造現場も増加している。このような背景から複数の製品を製造する工程においては、搬送物の質量変化に対する都度のバランス圧力調整工数の削減が求められる。そのための制御の一例として、ロードセルや比例制御弁を用いて変化する質量 Mx を自動検出し、必要なバランス圧 Px を常に供給する方法を図7に示す。

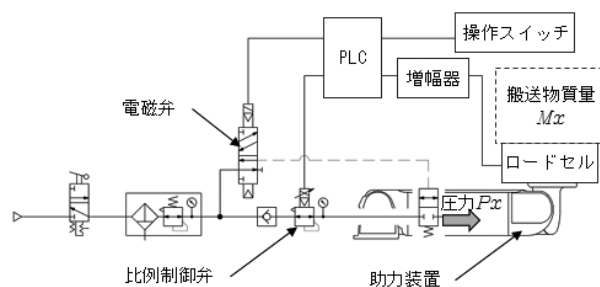


図7 搬送する質量が変化する場合の制御例

操作方法の簡素化はスピーディな作業での生産性向上のみならず、ひいては誰もが安全に操作することが可能となり、ジェンダー平等な職場環境の整備が実現できると考える。

4. おわりに

少子高齢化が進む中で重作業改善に関する技術は製造業だけでなく農業や医療、建設などさまざまな業界で需要が高まると予想される。圧縮性流体は安全性や操作性の視点から人間との親和性が高く、本稿で紹介した助力装置の駆動源として不可欠である。

今後も社会環境の変化に柔軟に対応し、女性やシニアが活躍できる職場づくりや重作業の負担低減、少人化にフルードパワーを用いた技術で貢献していく所存である。

参考文献

- 1) 厚生労働省：業務上疾病発生状況等調査（令和2年）
- 2) 外務省：持続可能な開発目標（SDGs）達成に向けて日本が果たす役割（令和3年）
- 3) 厚生労働省：職場における腰痛予防対策指針（平成25年）
- 4) 特開2010-76089関節駆動装置及び多関節アーム装置
特許権者：日産自動車株式会社、国立大学法人東京大学

（原稿受付：2022年2月8日）

解説

小型軽量化を実現した積層樹脂マニホールド

著者紹介

よし だ ゆたか
吉 田 豊

SMC株式会社

〒300-2493 茨城県つくばみらい市絹の台4-2-2

1997年山形大学大学院 工学部 物質工学専攻、博士前期課程修了。
現在SMC株技術研究部に勤務。樹脂接合技術など基礎研究に従事。

表1 樹脂素材の主な特徴

樹脂素材	アクリル (PMMA)	ポリカー ボネート (PC)	塩化ビニル (PVC)	ポリエー テルイミド (PEI)
比重	1.2	1.2	1.5	1.3
連続使用温度	60℃	120℃	50℃	170℃
耐衝撃性	○	◎	○	○
耐薬品性	アルコール	×	○	◎
	酸	×	◎	◎
	アルカリ	×	◎	◎
特長	透明性	耐衝撃性	耐薬品性	耐熱性

1. はじめに

国際社会では以前から「脱炭素・CO₂削減」への取り組みが進められているが、昨今、国内企業への「脱炭素・CO₂削減」の波が急速に高まり、各企業は環境負荷低減努力をさらに進めている。空気圧機器メーカーも、流体制御機器など各製品の小型化、軽量化を進めている。

空気圧機器は、もともと環境負荷が低い製品ではあるが、機器が小型化、軽量化になると、素材量低減、製作工程・製作時間が短縮され、より環境にやさしい製品として提供することが可能となる。

流体制御機器は、一般的に金属素材ベースのマニホールドに搭載し、管継手やチューブなどの配管材で流路の取り回しを行うため、配管材を含めたユニットは大型化となることが多い。本稿では、流体制御機器ユニットの小型化、軽量化、製造時のCO₂排出量削減となる積層樹脂マニホールドについて紹介する。

2. 積層樹脂マニホールド

2.1 樹脂素材

積層樹脂マニホールドで採用している樹脂素材は、アクリル (PMMA)、ポリカーボネート (PC)、塩化ビニル (PVC)、ポリエーテルイミド (PEI) で、使用用途、使用環境により選択可能である。表1に樹脂素材の特徴を示す。樹脂素材の比重は1.2～1.5で、アルミ素材の約1/3、鉄素材の約1/7で軽量となる。加工性は切断・穴あけ・曲げ加工が容易な素材である。

またこれらの素材は、加熱すると軟化して容易に

自由な形状が得られる熱可塑性樹脂である。

アクリル (PMMA)、ポリカーボネート (PC) は、ガラスのように透明性が優れ、車のライトやテールランプのカバーなどに使われ、日光や風雨にさらされても変色劣化が少なく、屋内外用途、特に標識・看板などに広く用いられる耐候性に優れた材料である。

アクリル (PMMA) は、コンタクトレンズや歯の治療に用いるレジン、医用材料としても使われている。塩化ビニル (PVC) は、耐薬品性に優れ、ポリエーテルイミド (PEI) は、耐薬品性、耐熱性に優れる材料である。

2.2 製作工程

積層樹脂マニホールドは、流路を形成した樹脂板同士を加熱・加圧して積層する拡散接合法と、樹脂板を特殊接着で積層する接合法があり、使用用途、使用環境により工法を選択する。図1に製作工程の概略を示す。

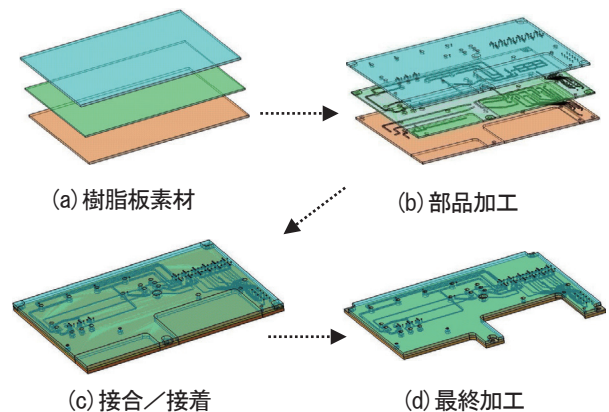


図1 製作工程の概略

どちらの工法においても、樹脂板部品の極端な変形をともなわない積層技術を確認している。

2.3 積層樹脂マニホールドの特長

写真1に積層樹脂マニホールドユニットの製品例を示す。バルブ・レギュレータ・圧力センサなど流体制御機器を搭載したアクリル積層樹脂マニホールドで、限られたスペース内に取付けられる小型軽量化したユニット例である。

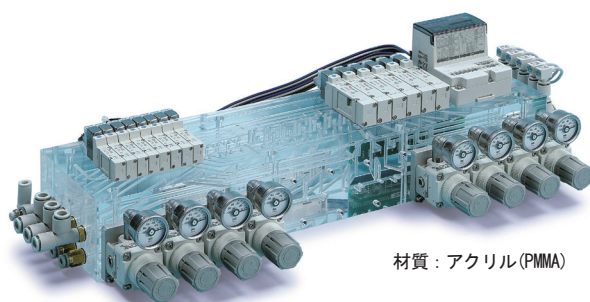


写真1 積層樹脂マニホールドの製品例

積層樹脂マニホールドの特長を以下にまとめる。

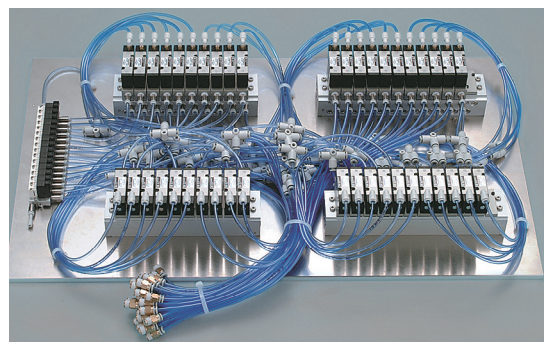
- ・小型化：配管ボリュームの低減，スペースに合わせた自由なマニホールド設計が可能である。
- ・軽量化：樹脂素材採用で軽量化が可能である。
- ・ノンリーク：密閉型配管によるリークに対する信頼性が向上する。
- ・意匠性が大幅に向上：チューブ配管が不要で部品点数の削減が可能である。自由度が高い流路設計とユニット形状が可能である。
- ・品質の安定：配管ボリュームのバラつきがなくなりアクチュエータ作動が安定する。
- ・配管作業の低減：配管作業工数，検査工数および作業ミスが低減する。
- ・流路の透明化：液体の目視確認が容易である。

3. 小型軽量化の事例

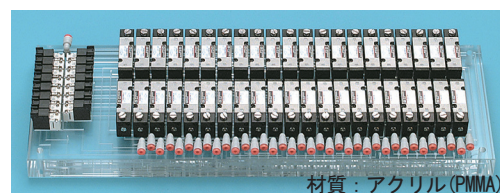
3.1 オールエア回路ユニット

積層樹脂マニホールドでは、マニホールド内に仕様に合わせた流路取り回しが自由にできる。特にこのメリットを活かせる仕様として、配管取り回しが多くなるオールエア回路ユニットがある。国内化学系工場の爆発・火災事故などの発生と規制強化の流れを受け、防爆仕様として複雑なオールエア回路ユニットの需要が増えている。写真2に従来方式の流体制御機器を金属素材（アルミ）マニホールドに搭載して配管チューブで取り回したユニットと、積層樹脂マニホールドユニットを示す。

図2に従来ユニットと積層マニホールドユニットのスペース比較を示す。積層樹脂マニホールドユ



(a) 従来方式



(b) 積層樹脂マニホールド

写真2 従来方式と積層樹脂マニホールドの比較

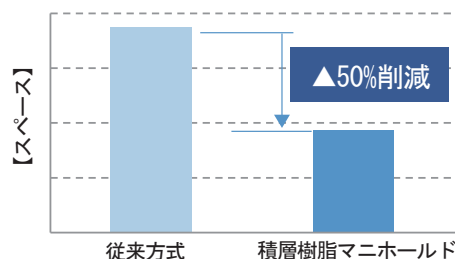


図2 スペース比較

ニットは、従来方式ユニットより50%削減できる。

図3に従来ユニットと積層マニホールドユニットの重量比較を示す。積層樹脂マニホールドユニットは、従来方式ユニットより70%削減できる。

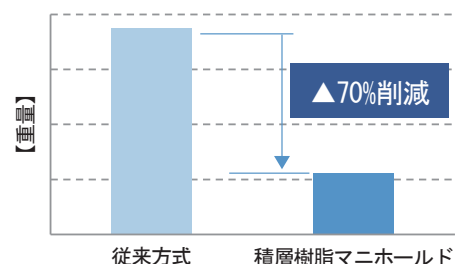


図3 重量比較

図4に従来方式ユニットと積層マニホールドユニットの配管作業比較を示す。積層樹脂マニホールドユニットは、搭載機器間の配管作業が不要となる。

3.2 ロボットアーム搭載ユニット

ロボットアーム先端など可動部に搭載される流体制御機器ユニットは、管継手やチューブで配管すると、ロボットアームの動作範囲に問題が生じる場合

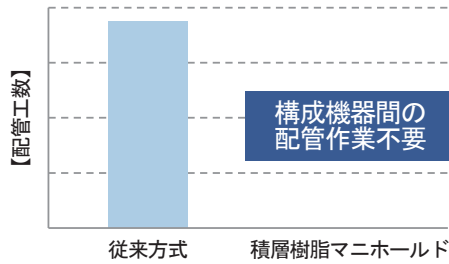
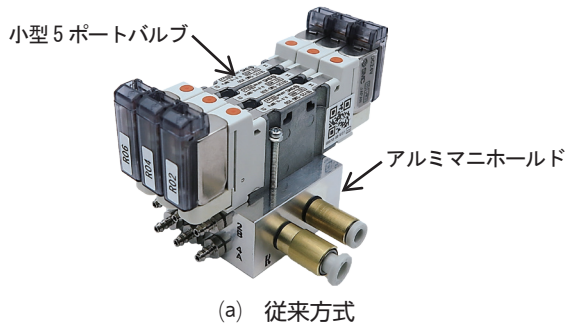


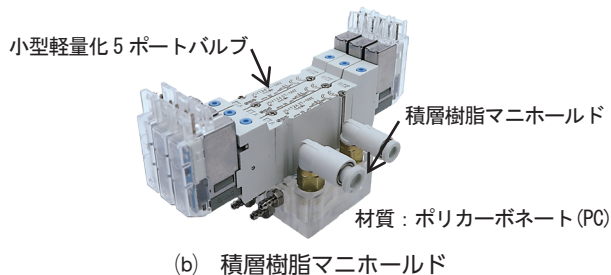
図4 配管工数比較

がある。積層樹脂マニホールドユニットを搭載することで、供給ポート、排気ポート、出力ポートなど最小限のチューブで配管取り回しができる。またロボットアーム先端などに搭載されるユニットは、軽量化することで、重心距離が長くできることにもつながり、ロボットアームの可動範囲を広げることが可能となる。また軽量化により、ロボットの移動速度も速くすることが可能となる。

写真3にロボットアーム先端に搭載される従来方式ユニットと、小型軽量化電磁弁と積層樹脂マニホールドの軽量提案ユニットを示す。軽量提案ユニットは、電磁弁の材質変更、小型化とマニホールドの材質変更により、製造時のCO₂削減が可能となり、環境にやさしい製品としても提案できる。



(a) 従来方式



(b) 積層樹脂マニホールド

写真3 従来方式と積層樹脂マニホールドの比較

図5に従来方式ユニットと積層樹脂マニホールドユニットの重量比較を示す。小型軽量化5ポートバルブと積層樹脂マニホールドを組み合わせることで、従来方式よりも51g、34%軽量となる。

図6に従来方式ユニットと積層樹脂マニホールドユニットの製造時のCO₂排出量比較を示す（当社算

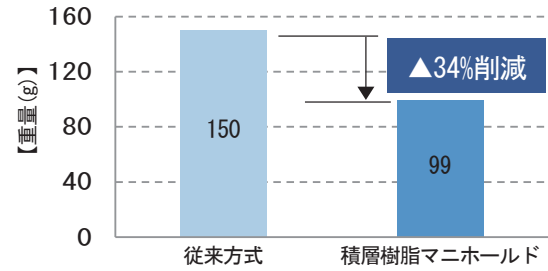
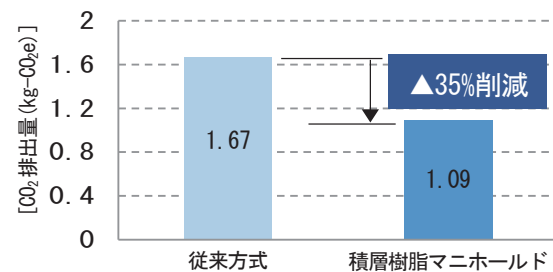


図5 重量比較

出方法による製造時に発生する温暖化効果ガスをCO₂排出量に換算した値）。5ポートバルブボディ素材を亜鉛からアルミに変更、マニホールド素材をアルミからポリカーボネート（PC）に変更し、従来方式ユニットより0.58[kg-CO₂e]、35%CO₂削減となる。

図6 製造時のCO₂排出量比較

4. CAE解析の設計への活用

積層樹脂マニホールドの内部に形成する流路は、立体的な形状となるので3DCADを活用している。自由度の高い流路設計が可能となるが、仕様に合わせて流路寸法・流路形状がマニホールドごとに異なる。また積層樹脂マニホールドは、積層界面を有しており、接合界面の接着強度・気密性保持が重要となる。

そこで、3Dモデルを用いて流路に内圧を印加した際に積層界面で発生する相当応力をCAE解析で概算し、構想段階で積層界面の気密性・積層強度について、事前に評価を行っている。積層可能な各樹脂素材と各積層工法での積層強度データをベースとして、積層界面にはく離が発生するはく離発生応力と、内圧を印加した際に発生する相当応力を比較し、安全率を確認している。図7に積層樹脂マニホールドの3Dモデルと、搭載機器の最高使用圧力1 MPaを積層樹脂マニホールドに印加したときの積層面に発生する相当応力分布の例を示す。

また積層樹脂マニホールドの流量特性は、流路寸法・流路形状により決まる。この流量特性についても積層界面の気密性・積層強度と同様に、構想段階

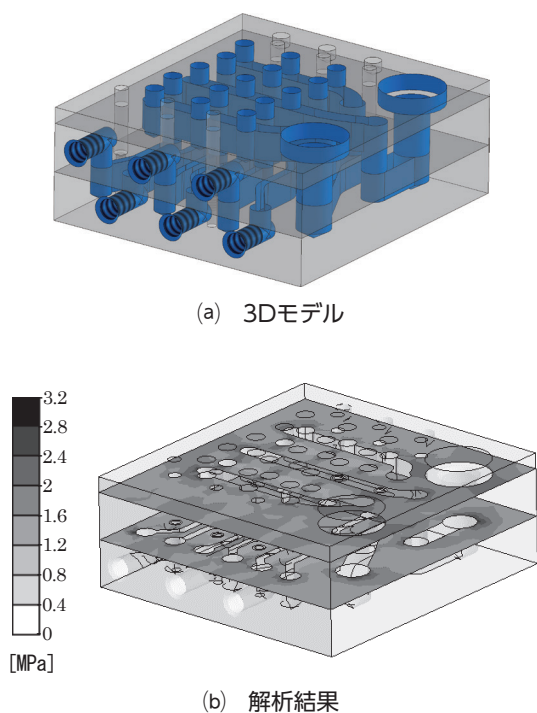


図7 積層界面に発生する相当応力解析結果例

においてCAE解析を活用して、要求される流量を満

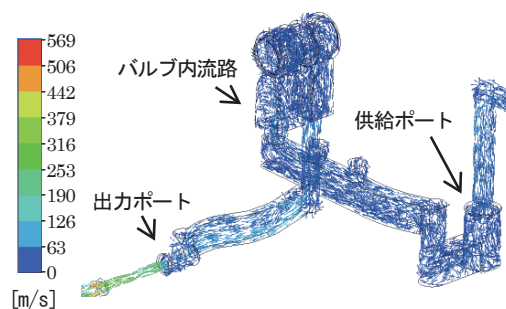


図8 積層マニホールド内部流路の流量特性解析例

足するか確認している。図8に積層樹脂マニホールド供給ポートから使用圧力0.5MPaを印加した際の流速分布を示す。

5. おわりに

小型軽量化、省スペース化メリットに加えて製造時のCO₂排出量が削減できる積層樹脂マニホールドについて紹介した。引き続き空気圧機器メーカーとして「脱炭素・CO₂削減」に貢献できるような環境にやさしい製品の開発を進めていく。

(原稿受付：2022年2月10日)

解説

不定形状の吸着に適すバルーンハンド

著者紹介



つとうりょうすけ
津藤 亮介

コンバム株式会社
〒023-1101 岩手県奥州市江刺岩谷堂字松長根10-5
E-mail: ryosuke-tsuto@convum.co.jp

2004年(株)妙徳(現 コンバム(株))入社。営業を経て、開発に異動。主に吸着パッドの開発・設計業務に従事。

1. はじめに

近年、生産現場ではロボットの導入が加速し、AI技術の急速な発展により、人とロボットが協働で作業することができるようになってきている。一方で、ロボットに搭載されるハンド部も着実に進化してきている。

搬送機器のひとつに真空吸着を利用した「吸着パッド」がある。吸着パッドは、人の部位で例えるなら指先の部分となり、直接製品に触れる重要な機器である。真空吸着を行うための真空源には、「真空エジェクタ」や「真空ポンプ」などがある。吸着パッドと真空源をロボットに搭載して使用する場合は、配管径や長さを考慮しなければならない。この部分を無視すると配管抵抗により性能が低下する恐れがあるため注意が必要となる。

基本的に吸着パッドは、ゴム(弾性体)でできて



図1 バルーンハンド外観

いるために、平面、球面、多少の凹凸にもなじむことができるのが長所だが、多品種ワークへの汎用性がないのが短所となっている。これら配管の煩わしさと吸着パッドの短所を解決するべく、不定形状のワークを吸着できる新構造のハンドを開発した。今回は開発した「バルーンハンド」について説明する。

2. バルーンハンドの構造と原理

バルーンハンドの外観を図1に示す。バルーンハンドには、真空エジェクタが内蔵されているため、まずは真空エジェクタについて簡単に説明する。

2-1 真空エジェクタの構造と原理

真空エジェクタの構造と原理を図2に示す。真空エジェクタの構造は、従来から知られているとおり、供給口に圧縮空気を供給することで、真空エジェクタ内に設けられたノズルとディフューザを空気が通過する過程でベルヌーイの定理により、負圧(真空)が発生するようになっている。

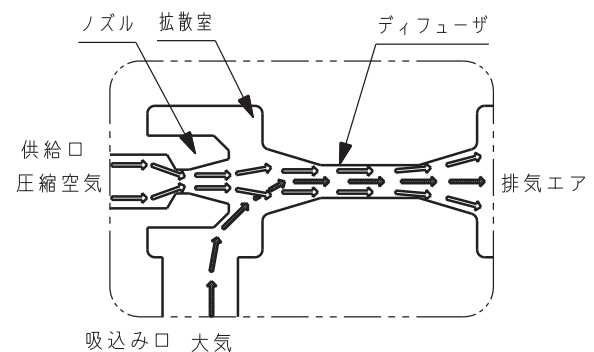


図2 真空エジェクタの構造と原理

2-2 バルーンハンドの構造と動作原理

バルーンハンドの構造を図3に示し、バルーンハンドの動作原理を次に示す。

- ① 真空エジェクタに圧縮空気を供給することで、真空が発生し、吸込んだ大気が排出される。
- ② 真空エジェクタから排出された排気エアは、ゴム膜内に流れ込み、風船のように膨らむ。
- ③ ゴム膜内の排出口には、リリース弁が備えられており、ゴム膜内は適度な圧力に保持され、排

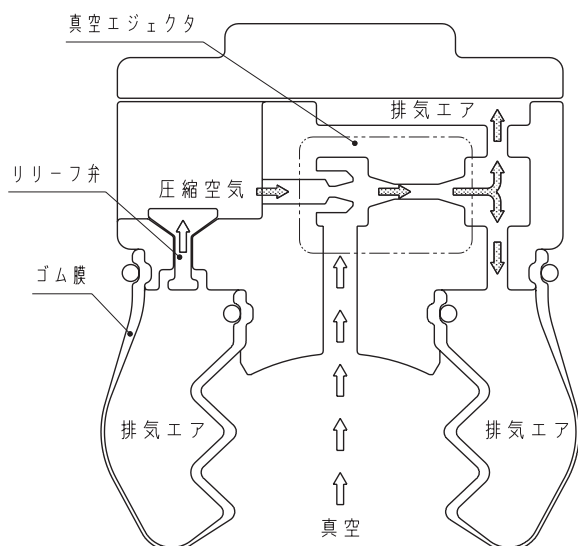


図3 バルーンハンドの構造

気エアの圧力が過剰な場合は、弁が開き自動的に外部へ放出される。

- ④ 吸着面をワークに密着させることで、ワークを包み込むように塞ぎ吸着する。

3. バルーンハンドの特徴と仕様

バルーンハンドは、真空エジェクタ内蔵型で、従来捨てられていた排気エアを効率よく使用し、多品種のワークを吸着できるのが特徴となる。

具体的な特徴を次に示す。

3-1 バルーンハンドの特徴

1) 不定形状のワークに追従可能

従来の吸着パッドは、同じ形状のワークを繰り返し吸着する時に適している。言い換えれば、1種類の吸着パッドで多品種ワークの吸着は困難であった。しかし、バルーンハンドであれば、吸着部の懐が深いゴム膜が柔軟に変形し吸着できるため、ひとつのハンドで多品種、不定形状ワークへの対応が可能となった。また、柔軟なゴム膜はビジョンシステムやロボットへ要求する位置決め精度を低くすることが可能となる。

2) ワークへのストレス軽減

真空エジェクタからの排気エアによって、ゴム膜が風船のように膨らみ、ワークに接触するためクッションの役割をはたし、ワークへのストレスを軽減させている。

3) ゴム膜の着脱とメンテナンスが容易

ゴム膜は膨らむため固定が必要だが、スプリングバンドを採用したことで、着脱を容易に行えるようにし、分解洗浄も可能にした。

4) ゴム膜の材質は3種類をラインナップ

多品種のワークに追従できるよう硬度が柔らかい

シリコンA40、ニトリルA40を用意。またゴム膜が破損し、破片が製品に混入しても金属検出機で発見できるよう金検対応シリコンも用意している

5) ロボットのインターフェースに対応

弊社で取り扱うCRKT（ロボットフランジ）シリーズとバルーンハンドを組み合わせることで、各社ロボットのインターフェースに直接取付が可能となる。バルーンハンドの吸着例を図4に示す。



図4 バルーンハンド吸着例（木材）

3-2 基本仕様

バルーンハンドの基本仕様を表1に示す。

表1 基本仕様

項目		単位	仕様		
パッド内径		—	10	20	30
使用流体		—	無給油圧縮空気		
使用環境温度		℃	0～50（但し凍結なきこと）		
使用圧力範囲		MPa	0.1～0.4		
真空性能	定格圧力	MPa	0.35		
	ノズル径	mm	0.5		0.7
	真空圧力	kPa	-87		
	消費流量	L/min	15		26
排気音量		dB	65		70
質量	ハンド全体	g	67	160	340
	ゴム膜単品		4	10	30
リリース弁圧力		kPa	3		
取付部寸法		—	P.C.D.20 (M4)		P.C.D.25 (M4)

3-3 構造図

バルーンハンドの構成を図5に示す。

No.	部品名称
①	本体
②	アダプタ
③	リリース弁
④	ノズルキット
⑤	ノズルエンド
⑥	排気カバー
⑦	ゴム膜
⑧	クッションゴム
⑨	スプリングバンド
⑩	フィルタメッシュ

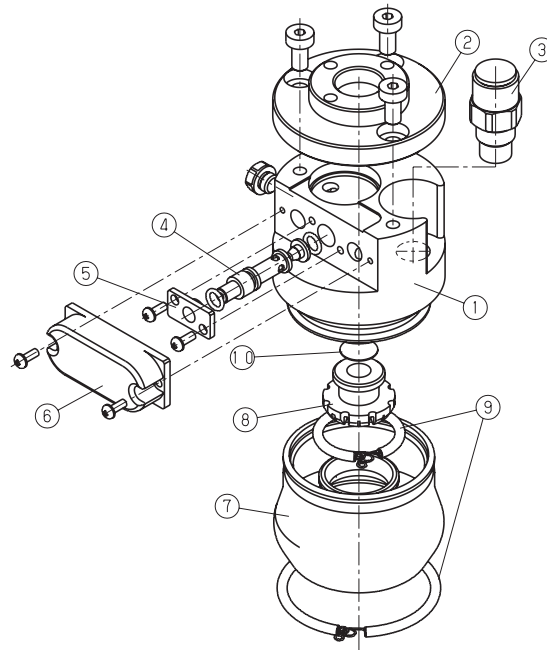


図5 構造図

4. アプリケーション事例

バルーンハンドは、野菜や果物を取り扱う食品加工ライン、包装後の箱詰め工程、ランダムに積まれた部品のピッキングなど、多品種、不定形状の吸着把持に適している。

中でも食品はストレスに弱く、吸着パッドの接触時に変形してしまうものが多いが、バルーンハンドで解決したという声もいただいている。

採用されたワークの一部を次に示す。

- ・ペットボトル、瓶
- ・樹脂成型部品（自動車、家電）



図6 バルーンハンド吸着例（擬似チキン）

- ・鋳物
- ・ロースハムや焼き豚などの真空包装品
- ・野菜（トマト、ジャガイモ等）

バルーンハンドの吸着例を図6に示す。

5. エアレス化（電動化）

近年、環境問題など再生可能エネルギーの推進に対する意識が高まっており、エアレス化が求められる中、バルーンハンドも2021年にエアレス化に対応した電動バルーンハンド（SGEシリーズ）を開発した。電動バルーンハンドの吸着例を図7に示す。



図7 電動バルーンハンド吸着例（缶詰）

コンプレッサからの圧縮空気を必要とせず、CO₂排出量の削減につなげている。

6. おわりに

本稿ではバルーンハンドの特徴をメインに紹介してきたが、チャックやグリッパなどのハンドも日々進化し活躍している。どれも一長一短でありすべてのワークを吸着搬送することは叶わないため、うまく使い分けることが重要である。バルーンハンドも選択肢のひとつとして検討していただければ幸いである。

バルーンハンドのこれまでの実績は、真空エジェ

クタ式（SGBシリーズ）が主流となっているが、協働ロボットの増加や電動化が加速していくことを考えると、今後は電動式バルーンハンド（SGEシリーズ）の比率が増加していくと推測される。

現時点でのユーザ要求や課題として、供給圧力の低減、応答性の向上、吸込流量の増加、ゴム膜の耐久性の向上などがある。

今後も増える市場要求に応えるべく開発を継続していく。

（原稿受付：2022年2月7日）

会 告

共催・協賛行事のお知らせ

後援・協賛行事

日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会2022 in Sapporo (ROBOMECH2022 in Sapporo)

主 催：一般社団法人 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス部門

開 催 日：2022年6月1日(水)～6月4日(土)

会 場：SORA 札幌コンベンションセンター（北海道札幌市白石区東札幌6条1丁目1-1）

U R L：<https://robomech.org/2022/>

第380回講習会「事例に学ぶ流体関連振動」

主 催：一般社団法人 日本機械学会 関西支部

開 催 日：2022年7月26日(火)～7月27日(水)

会 場：オンライン開催

U R L：<https://jsmekansai.org/Seminar/kou380.html>

Dynamics and Design Conference 2022

企 画：一般社団法人 日本機械学会 機械力学・計測制御部門

開 催 日：2022年9月5日(月)～9月8日(木)

会 場：秋田県立大学 本荘キャンパス（秋田県由利本荘市土谷字海老ノ口84-4）

U R L：<https://www.jsme.or.jp/conference/dmccconf22/>

第40回日本ロボット学会学術講演会

主 催：一般社団法人 日本ロボット学会

開 催 日：2022年9月5日(月)～9月9日(金)

会 場：東京大学 本郷キャンパス（東京都文京区本郷7-3-1）

U R L：<https://ac.rs-jweb.org/2022/>

Grinding Technology Japan 2023

企 画：日本工業出版株式会社、株式会社産経新聞社

開 催 日：2023年3月8日(水)～3月10日(金)

会 場：幕張メッセ（千葉県千葉市美浜区中瀬2-1）

U R L：<https://gtj-expo.jp/2023/jp/>

新型コロナウイルスの影響で協賛行事の開催予定が変更になっている場合があります。

各行事の最新情報は、主催者のホームページまたは各行事のURLからご確認ください。

解説

ロボット向けハンドリングツール

著者紹介



しお だ こう じ
塩 田 浩 司

株式会社コガネイ

〒184-8533 東京都小金井市緑町 3-11-28

2002年 芝浦工業大学システム工学部機械制御システム学科卒業。同年株式会社コガネイ入社。空気圧機器の製品開発に従事。

1. はじめに

近年では半導体、電気電子機器、自動車、医療、食品、農業、物流などのあらゆる業界において、品質の向上および均一化、生産性の向上、労働環境の改善、IoT化などを目的として、多くの工程で自動化がすすんでいる。各種工程の自動化に貢献しているもののひとつが産業用ロボットである。リーマンショックや新型コロナウイルスによる市場全体の一時的な低迷を除き、産業用ロボットの需要は拡大を続けている（図1）。

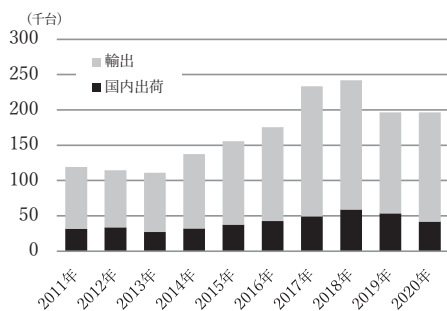


図1 産業用ロボット出荷台数推移¹⁾

2. 産業用ロボットと空気圧機器

2.1 産業用ロボット

従来の産業用ロボットは、柵の設置、侵入検知などの安全対策を行い、人と隔離された条件下での作業に限定されていた。そのため、ロボットの導入はハードルが高く、量産品での固定した作業に使用されてきた。

一方で、2013年の規制緩和により登場した協働ロボットは、特定の条件を満たせば安全柵が不要となり、人と同じ空間で作業を行うことができるようになった。このことにより、ロボットを設置できず人が作業をしていた工程を部分的にロボットに置き換え、人とロボットが並んで作業を行うことも可能となった。

安全柵の設置スペースの確保が不要となったことに加えて、プログラミングも容易になっており、協働ロボットの登場は、ロボット導入に対するハードルを大きく下げた。

2.2 ロボットと空気圧機器

産業用ロボットは、主に人間の腕に相当するロボットアームとその制御装置で構成される。そのロボットアームの先端に取り付ける機器をエンドエフェクタという。エンドエフェクタには、ワークをつかむハンドのほかにセンサやカメラなどが含まれる。

空気圧機器はエンドエフェクタのひとつとして使用され、取り出し、組立、検査、梱包などのさまざまな工程で使用されている。各工程内をマクロにみれば、空気圧機器を搭載したロボットは、主に把持、搬送用途である。

ロボットに使用される空気圧機器としては、主に人間の手に相当し実際にワークを把持するハンドリングツールと、ロボットアームとハンドリングツールの間に設置するツールチェンジャやコンプライアンスユニット（誤差吸収ユニット）がある。

ハンドリングツールは、ワークを挟んでつかむ把持式と、負圧による吸着式とに分けられる。

3. ハンドリングツール

3.1 把持式

空気圧により作動する把持式のハンドリングツールは、エアハンドやエアチャックと呼ばれる（以下、エアハンドという）。エアハンドの特徴は、小形、軽量で把持力が強いことである。一般的に2本または3本の爪によりワークの側面を挟み込んでつかむ。また、エアハンドは、爪が回転移動するスイングタイプと平行移動するパラレルタイプ、ガイド機構の

有無など多種多様な機器があり、ワークの重さや形状、装置の構成、必要精度、コストに応じて任意に選ぶことができる。

従来のエアハンドは、単純な形状の剛体をつかむために、ワークの形状や把持方法に合わせた爪を製作することが必要であった。また、複雑な形状のものや、柔らかいものを把持することは得意ではない。

近年では、エアハンドの機構や形状を工夫し、人間の手の5指と似た機構を持つものや、ワークを包み込んで把持するものもあり、柔らかいワーク、複雑な形状なワーク、農産物のような一品一品で形や大きさの定まっていないワークをつかむことができるハンド（図2）が製品化されている。

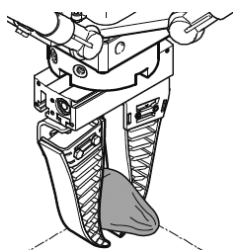


図2 不定形ワークを把持するハンド

3.2 吸着式

エジェクタや真空ポンプによる負圧を利用して吸着するバキュームパッド（図3）が一般的である。

バキュームパッドによる吸着搬送の多くは、ワークを上から吸着する。側面や底面の形状の影響を受けないが、上面は平面または滑らかな曲面の必要がある。また、バキュームパッドには駆動部がないため、把持式に比べて軽量、高応答である。



図3 バキュームパッド

鋼板やガラス板など大きなものや段ボール箱などの重量物を搬送する際には、複数のバキュームパッドを使用することで保持力を高くすることができる。

一方で、吸着した際にワークとバキュームパッドが密着するため、ワークの材質によっては吸着痕が付いてしまうことがある。吸着痕は外観や性能に影響することも多く、この吸着痕を除去するために後工程として洗浄処理を追加することもある。吸着痕の多くはパッドゴムに含まれるオイル等がにじみ出

たもの、もしくはワーク周辺の粒子が静電気等により付着したものであり、吸着痕の付きにくい特殊な材質によるパッドも市販されている。

また、外観形状がベローズになっており凹凸のあるワークや曲面に対応したもの（図4）、FDAに準拠して食品を直接吸着可能なもの、特定のワークに特化した特殊形状のパッドもあり、さまざまな用途で使用されている。

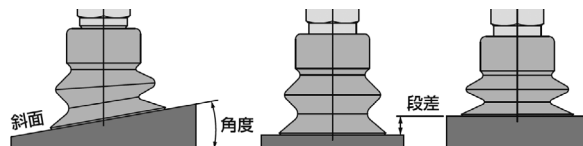


図4 バキュームパッド ベローズタイプ

4. コンプライアンスユニット

コンプライアンスユニットは、主にロボットとハンドリングツールの間に取り付けて使用する機器である。ワークの把持時や挿入・圧入時の芯ずれを吸収し、X軸・Y軸方向の位置誤差を自動的にフローティングする（図5）。X軸・Y軸の他にZ軸や回転、揺動に対応した製品もある。

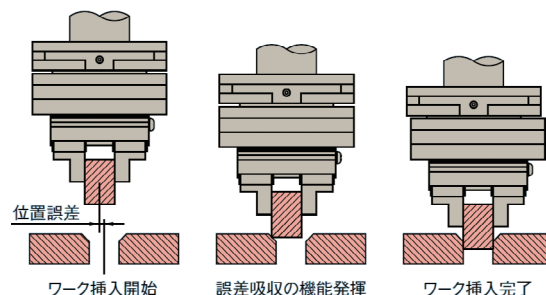


図5 コンプライアンスユニット フローティング機構

また、フローティング機構により、搬送中にワークが不安定になってしまうことが懸念される。そのため、多くの機種にエアによるフローティングのロック機構がついている。フローティング機構をロックすることにより、高速搬送時にも姿勢を安定できるようになっている。

コンプライアンスユニットを用いて誤差吸収を行うことで、位置決めが簡素化が可能となる。位置決めが簡素化により装置組立時の調整工数が削減できる。同様にワークの変更やツールチェンジの際の再調整に要する工数も削減が可能である。

また、ワークと装置に位置ずれが生じると、ワークを破損させてしまったり、装置へ余計な負荷が加わったりしてしまう。コンプライアンスユニットを使用することで、ハンドリングツールやロボットへの負荷が軽減され、装置の長寿命化も期待できる。

5. ツールチェンジャ

ツールチェンジャは、ロボットとエアハンドや吸着パッドなどの間に設置し、段取り替え等によるツールの交換を簡略化、自動化する機器である。

ツールチェンジャは、ロボットに取り付けるマスター側とツール側で構成される。マスター側は、ロボットに固定される機器のため、ロボット1台に対してマスター側が1台取付けられ、複数台のツール側を用途に応じて交換して使用する。マスター側とツール側は、圧縮空気および電気信号のインタフェース機能を有しており、ツール側を交換する際の配管および配線作業が不要である（図6）。

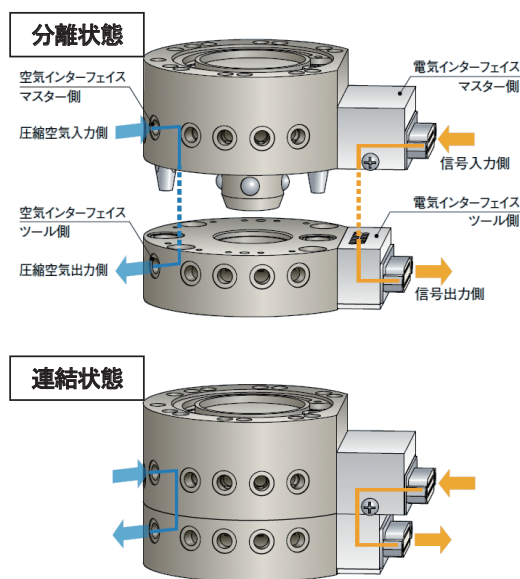


図6 ツールチェンジャ

ツールチェンジャを使用することで、ワークに応じてツールを容易に交換できるため、1台のロボットで複数の作業を行うことが可能となる。ひとつの装置で異なる多種のワークに対応することができ、設置するロボットの台数が少なくなり、装置全体のトータルコストを削減することができる。また、装置の段取りや改造の工数を削減することも期待できる。

6. 組み合わせ使用例

ロボットアームにエアハンドやバキュームパッドを直接取り付けただけの場合、非常にシンプルな構成となる。また、単一の作業を繰り返すことに適している。

一方で、協働ロボットの普及により、「同一ラインでの多品種を生産に対応したい」という需要が増えている。協働ロボットに、ハンドリングツールに加えてツールチェンジャやコンプライアンスユニットを組み合わせる（図7、8）ことで、多品種の生産に対応した工程の自動化が可能となる。

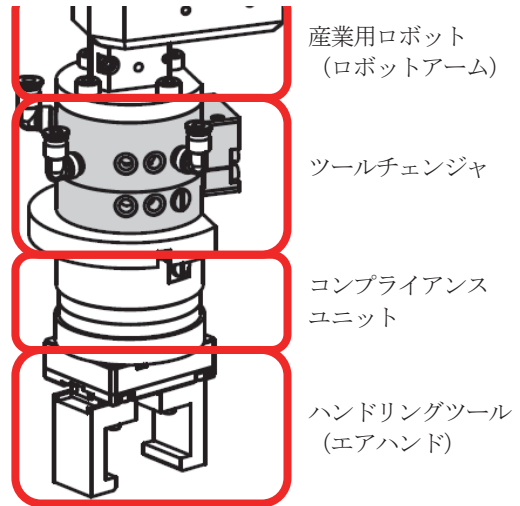


図7 組み合わせ使用例1

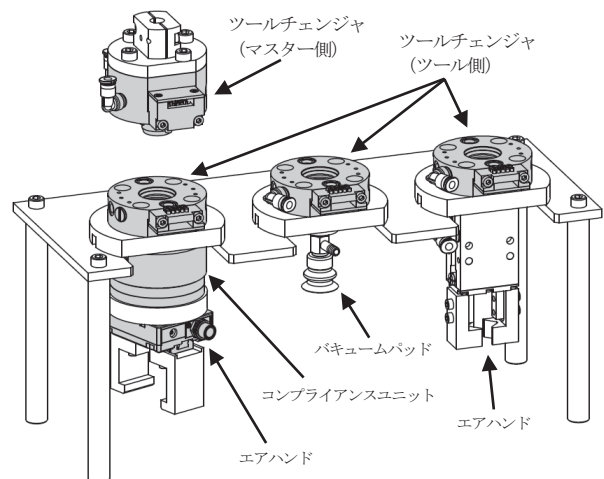


図8 組み合わせ使用例2

7. おわりに

電動製品、油圧機器に比べて、空気圧機器は小形、軽量、高応答という特徴がある。産業用ロボットと空気圧機器の組み合わせは、工程の自動化による生産性の向上、労働環境の改善、IoT化などの課題解決へ貢献することができる。

特に協働ロボットと空気圧機器を組み合わせることで、多様化している市場のニーズに合わせて柔軟に対応可能となる。

また、市場のニーズは時代とともに変化を続けていく。これからも市場ニーズへ応えられるよう、時代の変化に合わせて空気圧機器も進化を続けていく。

参考文献

- 1) 一般社団法人 日本ロボット工業会：マニピュレータ，ロボット統計推移表 '21/6/1より

（原稿受付：2022年2月7日）

解説

窒素ガス精製ユニット

著者紹介



ご

すぎ

CKD株式会社

〒485-8551 愛知県小牧市応時二丁目250番地

E-mail: s-wu@ckd.co.jp

2018年拓殖大学大学院工学研究科博士後期課程修了。同年CKD株式会社に入社、冷熱機器の設計に従事。

1. はじめに

近年、不活性である窒素ガスの用途は分析機のキャリアガス、食品の鮮度維持、金属材料の酸化防止、樹脂成型の焼け防止やタイヤ充填などさまざまな分野において広がりつつある。高純度窒素ガスの供給方法として、一般的にボンベが多く使用されるが、高压ガス保安法の対象であり、使用許可が必要である。また、残量管理と定期的な交換も必要である。一方、私たちの周りにある空気は主に窒素78%、酸素21%で構成されている。空気から窒素を分離する方法はボンベより純度が劣るが、手軽に精製することができる¹⁾。特に中空糸分離膜による分離技術は、省エネルギーで、装置がコンパクト、連続運転が可能などさまざまなメリットがあり、低炭素化社会を実現するための基盤技術として注目されている²⁾。本稿では、ガス分離に関する技術および中空糸分離膜を利用した窒素ガス精製ユニットの特長を紹介する。

2. ガス分離方法

空気の中から窒素を分離する方法は、大きく以下の3種類に分けられる¹⁾。

① 圧力変動吸着法 (PSA法)

窒素の圧力変動吸着法は、吸着剤に分子シービングカーボンを使用し、酸素と窒素の吸着速度の差を利用して分離する。メカニズムは図1に示す。A槽の加圧下で吸着剤に空気中の酸素分子を吸着させて窒素分子を取り出す。B槽では大気圧まで減圧し、A槽で精製された窒素ガスでパージするこ

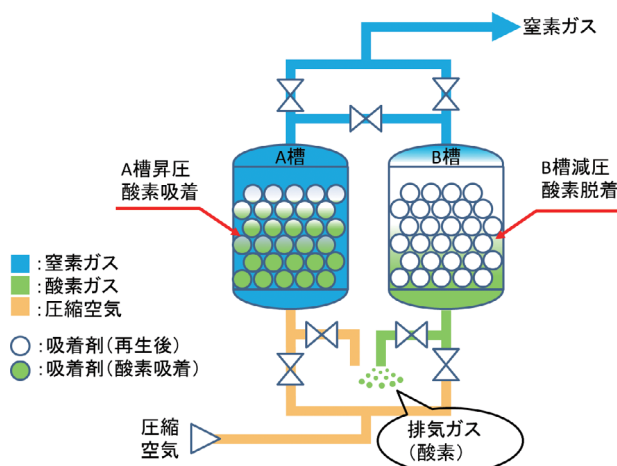


図1 圧力変動吸着法 (PSA法)

とで、吸着された酸素分子を脱着し、吸着剤を再生する。脱着された酸素分子は排気ガスとして排出する。この動作を連続して行うために、吸着槽をふたつ用いて加圧と減圧の圧力変動を交互に繰り返して窒素を取り出す。

② 深冷分離法

図2に示しているように、窒素の深冷分離法は空気をマイナス200℃近い極低温まで冷却し、空気中の他の主成分である酸素、アルゴンとの沸点の差を利用して窒素を取り出す。高純度ガスを大量に生産する際に適した空気分離方法である。

③ 膜分離法

窒素の膜分離法は膜に対する酸素と窒素の透過速度の差を利用して分離する。中空糸分離膜に圧縮空気を流すと、中空糸の内側を流れていく間に、酸素

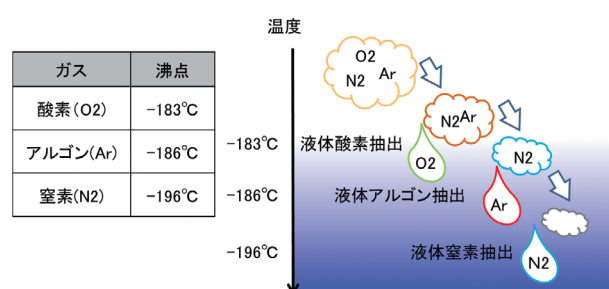
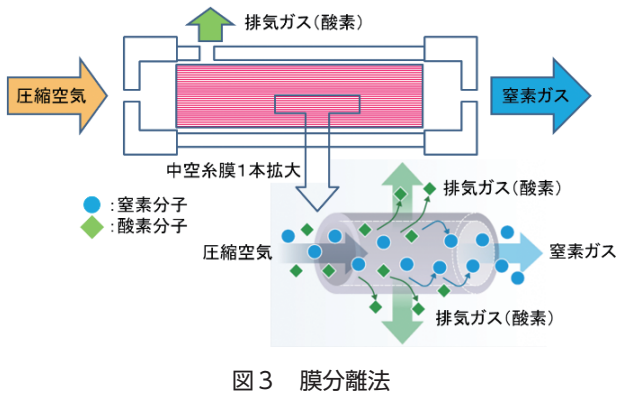


図2 深冷分離法



が選択的に膜を透過し、中空糸出口に窒素を多く含んだガスが得られる（図3に示す）。この原理の詳細について、つぎのように説明される。

3. 中空糸分離膜の構造と原理

3.1 中空糸分離膜の構造

中空糸分離膜はポリイミド高分子膜を細いストロー形状にしたものである。ガス分離に使用する場合、1本だけでは処理能力が足りないため、たくさんの中空糸分離膜を束にして容器に納めることが多い（膜モジュールと呼ぶ）。図4に中空糸分離膜（以下中空糸と呼ぶ）の構造を示す。中空糸の外側の最表面は顕微鏡レベルで孔が開いていない緻密層となっており、この部分がガス分離の鍵となる。分子レベルにおいて、緻密層は高分子鎖で構成されているが、中に自由体積と呼ばれる空間が存在する。ガス成分は①溶解→②拡散→③脱離の順でこの空間を透過し、透過速度の違いによって分離される³⁾。

3.2 ガス分離の原理

図5に中空糸のガス分離透過モデルを示す。中空糸の内側（高压側）と外側（低压側）に圧力差を与えると、ガス成分は高压側から低压側へ透過する傾向がある。中空糸緻密層の最初の孔に入り込む際に、分子サイズに依存せず、溶解しやすい方が透過しやすい。つぎに、入り込んだガス成分は自由体積内部につながっている孔を通して拡散していく。この段階では分子サイズに依存し、分子サイズが小さいほど拡散しやすい。最後に中空糸から脱離し、低压側

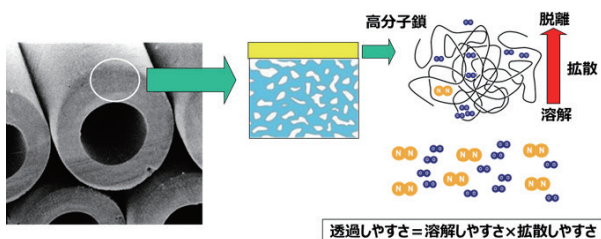


図4 中空糸構造

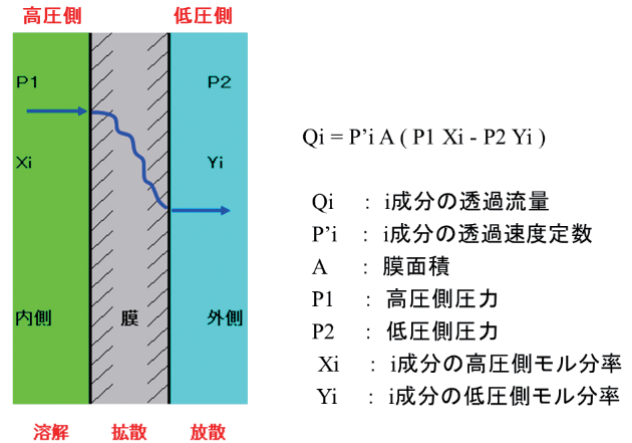


図5 ガス分離透過モデル

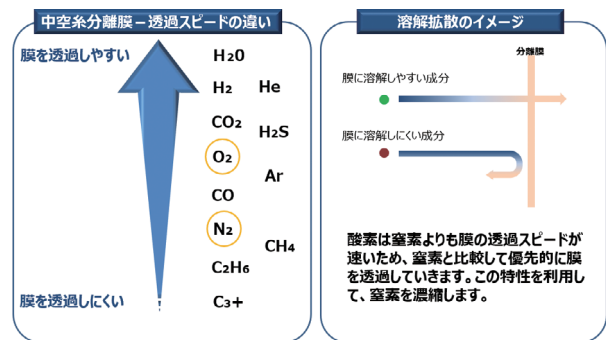


図6 ガス成分の中空糸分離膜透過優先度

（大気）へ放散していく。

図6に各ガス成分の透過しやすさを示す。ガス成分の透過しやすさ（透過速度定数 P_i ）は溶解しやすさ（溶解速度）と拡散しやすさ（拡散速度）の積で決まる。酸素は中空糸分離膜に対する親和性が高く、膜に溶解しやすいので、溶解係数が大きい。なお、酸素の分子径が $2.92 \text{ \AA}$ であり、窒素の分子径が $3.00 \text{ \AA}$ である。分子サイズが小さい程拡散しやすいので、酸素が膜をすり抜ける速度が速く、拡散係数も大きい。従って、酸素の透過速度定数 P_i が大きくなり、窒素より透過速度が速いため、中空糸の2次側から高濃度の窒素ガスを得ることができる。また、中空糸の処理能力については、ガス成分の特性（透過速度定数）以外に、ガス成分の分圧差（ $P_1 X_1 - P_2 Y_1$ ）と膜の有効面積 A にも影響される⁴⁾。

4. 窒素ガス精製ユニット

当社は中空糸分離膜を利用して、窒素ガス精製ユニットを開発した。その特長を紹介する。

窒素ガス精製ユニットの構造は図7に示す。面間距離を小さくするために、膜モジュールは縦置きを採用した。給気ポートから入った圧縮空気は筒状の膜モジュールにある中空糸の内側を通過して、上から下方向に流れ、中空糸の外側へ透過した酸素は膜モ

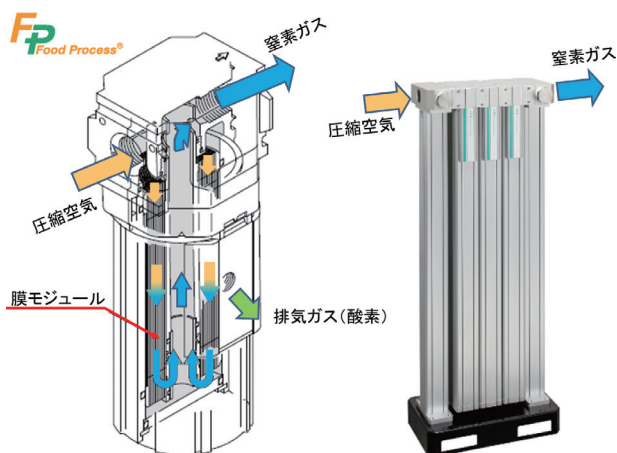


図7 窒素ガス精製ユニット構造と複筒ユニット

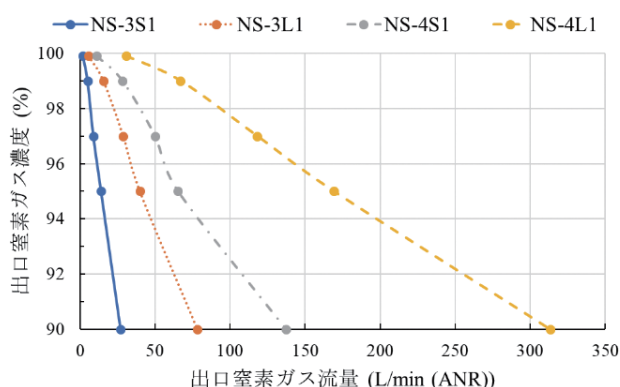


図8 出口窒素ガス流量-濃度グラフ

ジュール正面より排気される。そして、窒素を多く含んだガスは膜モジュールの中心を通過して製品上部のOUTポートに送られる。

膜モジュールのサイズ（中空糸本数と長さ）が大きければ、中空糸分離膜の有効面積が増え、多くの酸素を分離でき、より高い濃度の窒素を大流量で得ることができる。図8にサイズが異なる窒素ガス精製ユニットの出口窒素ガス流量-濃度の関係を示す（最大窒素濃度99.9%）。なお、サイズがもっとも大きい膜モジュールを連結できる複筒タイプもそろえており、大流量の窒素ガスを供給できる。

また、食の安心・安全を守る当社独自の食品製造工程向け商品規格であるFP1に対応し、潤滑油による汚染リスクも低減している。

5. システムタイプ

中空糸分離膜は劣化しないが、圧縮空気に不純物（オイルミストなど）が含まれると、中空糸の内側に付着し、ガス分離能力が低下する。中空糸分離膜の原理で述べたように、中空糸の分離能力は分離膜の面積に影響される。不純物が中空糸の内側に付着することによって、ガス分離の有効表面積が減少し、

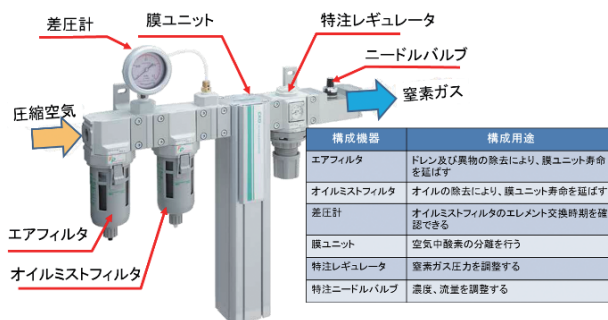


図9 窒素ガス精製ユニットシステムタイプ

窒素分離能力（窒素濃度）が低下する。この状況を防ぐために、ダストおよびオイルミストなどを除去した空気を供給することが必要であり、窒素ガス精製ユニットの入口にエアフィルタとオイルミストフィルタの設置を推奨する。特に、窒素ガス精製ユニットはオイルミストだけではなく、水分も膜に付着して窒素分離を阻害する。図9に窒素ガス精製ユニットのシステムタイプの構成を示す。

しかし、いかなるフィルタを用いてもすべてのオイルを除去することは不可能である。僅かずつのオイルミストや粉じんなども長年蓄積されると膜の孔を塞ぐ原因となり、ガス分離性能に影響をおよぼす。このようなことを避けるためにもフィルタエレメント同様に膜モジュールの定期的なメンテナンスも必要になる。

6. おわりに

本稿は窒素ガス分離の方法および中空糸分離膜を利用した窒素ガス精製ユニットを紹介した。中空糸分離膜による窒素ガス分離はほかのガス分離方法と比べて、電源エネルギーが不要であり、防爆エリアや異電圧仕様などに影響せず、使用場所の制約を受けない。また、可動部がないため、突然の機械故障が発生する心配もなく、長年にクリーンな窒素ガスを安定して供給できる。食品の鮮度維持や変色防止などの用途だけではなく、レーザー加工や自動ハンダ装置の焼け防止などの産業界にも貢献することが期待できる。

参考文献

- 1) 上野都砂子, 桑名伸好: CKD技報, Vol. 5, p. 23-25 (2019)
- 2) 田中学: 化学と教育, Vol. 65, No. 12, p. 630-631 (2017)
- 3) Tanihara, N., Nakanishi, S., Yoshinaga, T: Journal of the Japan Petroleum Institute, Vol. 59, No. 6, p. 276-282 (2016)
- 4) 西村章三: 油圧と空気圧, Vol. 22, No. 6, p. 36-40 (1991)

(原稿受付: 2022年2月7日)

会議報告

山梨講演会2021におけるフルードパワー技術研究

著者紹介



よし だ かず ひろ
吉田和弘

東京工業大学科学技術創成研究院未来産業技術研究所
〒226-8503 横浜市緑区長津田町4259-R2-42
E-mail: yoshida@pi.titech.ac.jp

1989年東京工業大学大学院博士課程修了，同大学助手，助教授（准教授）を経て2015年4月教授，2008年10月～2009年3月米国UCSB客員研究員，2015年7月～9月米国MIT客員研究員，機能性流体，パワーマイクロロボットの研究に従事，JFPS，JSME，IEEEなどの会員，工学博士。

1. ま え が き

山梨講演会2021は，日本機械学会関東支部主催，山梨大学，精密工学会共催で，2021年11月13日（土）にオンラインで開催された。新型コロナウイルス感染症の影響により，対面での発表は実現されなかった。特別講演1件，OS（オーガナイズドセッション）アクチュエータシステム9件，OS応用熱工学13件，OS繊維強化複合材料の成形と評価6件，OS切削・研削・研磨加工4件，材料力学8件，計測・制御5件，流体力学4件，その他5件，合計55件の発表があった。このうちフルードパワー技術関連の発表は，やや広くとらえて10件あった。本報では，それぞれの概要を紹介する。

2. フルードパワー技術関連の発表の概要

山梨講演会2021では，例年通り，OSのひとつとして「アクチュエータシステム」が設定された。オーガナイズは，田中豊教授（法政大学），石井孝明教授（山梨大学），および著者の3名である。フルードパワー技術関連の発表はやや広くとらえて10件であるが，そのうちの8件がこのOSで発表された。内訳は，油圧1件，空気圧3件，機能性流体4件，その他2件であった。また，応用分野で分類すると，アクチュエータ関連4件，モーションコントロール関連4件，バイオ関連2件であった。以下では応用分野ごとに説明する。

2.1 アクチュエータ関連

眞田らは，高速な制御弁のオンオフ動作で油圧を制御し，省エネ効果が期待されるデジタル油圧回路

として昇圧回路を取り上げ，シミュレーション解析を行っている¹⁾。検討した昇圧回路は，油圧源に慣性効果が高い管路（慣性配管），切換え弁，アキュムレータ，および負荷を接続したもので，切換え弁のオンオフ動作で油圧源よりも高い圧力を得るものである。各要素の数学モデルにもとづき全体の数学モデルを構築しシミュレーションを行い，その動作を確認するとともに特性を明らかにしている。

早川らは，粒子分散系ERF（電気粘性流体）を用いた高機能交流圧力源システムを提案し，シミュレーションおよび実験により検討している²⁾。交流圧力源システムとは，交流圧力源による交番流れを同期整流しアクチュエータを駆動することで多自由度系でも配管スペースを抑えたもので，電界印加でしゃ断まで可能な粒子分散系ERFを用い整流することで内部漏れを防止し，高機能化を図っている。等価回路モデルを用いたシミュレーションおよび試作システムの実験を行い，その妥当性を確認している。

江崎らは，液晶系ERFの流れを印加電界による粘度変化（ER効果）で制御するERマイクロバルブについて，従来より高い圧力に対応した設計，試作を行っている³⁾。液晶系ERFは均一な液体であるため狭い流路に閉塞なく安定して流すことができるが，せん断速度が高過ぎるとER効果が低下し，圧力制御範囲が小さくなる。そこでせん断速度を考慮したERマイクロバルブの設計法を提案し，設計を行っている。さらに，設計したERマイクロバルブをMEMSプロセスを開発して試作している。

Zhuらは，不均一電界印加でジェット流を生じるECF（電界共役流体）を応用したマイクロポンプのリング形電極について，新しい製作方法を提案，開発している⁴⁾。ECFマイクロポンプの電極対として針ーリング電極対は高パワーを発生できることが確認されているが，3次元アレイ構造の製作に課題があった。本研究では，そのリング形電極アレイの製作について，MACE（金属援用エッチング）を応用したMEMSプロセスを開発し，直径100μm，深さ200μmの貫通穴の配列の試作に成功している。

2.2 モーションコントロール関連

小柳らは，次世代半導体製造装置などに応用する超高速静圧軸受エアステージの高精度制御のため，

流量線形化補償器を開発している⁵⁾。まず、システムの運動方程式、気体の状態方程式、およびサーボ弁変位と流量の関係式にもとづき、流量線形化補償器を設計している。次に、全ストローク0.17mのシリンダを用いたエアステージを試作し、制御システムに流量線形化補償器を組み込み、動作実験を行っている。その結果、従来の補償器に比べ追従誤差が大幅に削減されることなどを確認している。

佐々木らは、高精度な観測機器に用いる、複数のアイソレーションダンパから成る振動絶縁装置のモデルベースデザインのため、アイソレーションダンパ単体の特性について実験的に検討している⁶⁾。アイソレーションダンパに加振機および静圧軸受で支持された質量を取り付け、加振時の変位をFFT解析し、環境振動成分を取り除くことで、アイソレーションダンパの減衰特性を明らかにしている。振動絶縁装置の構造解析モデルの精度をこの結果により向上させ、振動絶縁装置の設計を行うとしている。

金子らは、シリコンウェハの搬送に用いられる薄型ボルテックスチャックについて、異なる円筒室の断面形状に対する吸着特性を実験的に検討している⁷⁾。ボルテックスチャックは、円筒室内に接線方向に圧縮空気を放出し発生する旋回流による負圧で対象物を吸引するもので、薄型化の要求による吸着力の低下が問題となっている。そこで、円筒室の断面形状が円と楕円の2種類を試作し、圧力分布を測定し、吸着力を求めている。実験の結果、楕円形状の方が断面積当たりの吸着力が7%高いことを示している。

谷口らは、非球面レンズの搬送に用いるため、レンズと同一の表面形状をもつアタッチメントを有するボルテックスチャックの吸着特性について実験的に検討している⁸⁾。円筒室内の空気の旋回流による負圧を用いて吸着するボルテックスチャックを平面形状でレンズに用いようとすると間隔の位置による変化が大きいという問題を指摘し、凹形アタッチメントを提案している。円筒室内の内圧測定および油膜法による測定を行った結果、テーパ形状を追加した凹形アタッチメントの有効性を確認している。

2.3 バイオ関連

近藤らは、試薬等を収めた液滴を操作するバイオチップのため、電界により流動が生じるEHD効果を用いた液滴トラップデバイスを提案している⁹⁾。まず、EHD流体の流路と水の流路を合流させ液滴を生成するT字形流路、EHDマイクロポンプにより流入、流出を制御し液滴の補足、解放を行うT字形流路、および双方向形EHDマイクロポンプから成るデバイスを提案している。次に、MEMSプロセスにより流路部を試作し、シリンジポンプを用いて実験を行い、

液滴を生成できることなどを示している。

杉山らは、細胞培養に用いる細胞外マトリクスのため、エレクトロスピンニング法を用いたナノファイバの整列手法を開発している¹⁰⁾。これは、高分子溶液を収めたシリンジのノズルに高電圧を印加し下方方向に射出する溶液を帯電させ、電荷間の斥力により溶媒の蒸発時に繊維を引き延ばしナノファイバを紡糸するもので、ナノファイバを整列させるため、鋭角電極対を対向配置し、それを平行運動させる構造を提案している。紡糸実験の結果、均一性が向上した整列ナノファイバを実現できることを示している。

3. あとがき

山梨講演会2021で発表されたフルードパワー技術関連の発表について概観した。山梨講演会は毎年10～11月の週末に行われている。参加費も比較的安く抑えられており、参加しやすい講演会である。この2年間、新型コロナウイルス感染症の影響によりオンラインで開催されてきたが、2022年はより深い情報交換が可能な対面形式での発表会ができるように切に願っている。

参考文献

- 1) 眞田一志, 安藤大我, 長友雄太郎, 名倉忍, 柳田悠太: デジタル油圧昇圧回路のシミュレーション解析, 山梨講演会2021講論集, A21, (2021)
- 2) 早川佳範, 吉田和弘, 金俊完: 粒子分散系ERFを用いた高機能交流圧力源システムの提案, 山梨講演会2021講論集, A11, (2021)
- 3) 江崎陸, 吉田和弘, 金俊完: 高圧力制御用ERマイクロバルブの設計および試作, 山梨講演会2021講論集, A12, (2021)
- 4) Zhu Yichuan, 吉田和弘, 金俊完: ECFマイクロポンプにおけるリング形電極の新たな製作方法に関する研究, 山梨講演会2021講論集, A13, (2021)
- 5) 小柳駿, 須藤優, 藤田壽憲: 流量線形化補償器による超高速静圧軸受エアステージの高精度化, 山梨講演会2021講論集, A22, (2021)
- 6) 佐々木混介, 小松龍世, 湯浅日和, 渡邉大, 川上幸男: 振動絶縁装置のモデルベースデザインの検討, 山梨講演会2021講論集, A23, (2021)
- 7) 金子祐之介, 船谷俊平, 奥石克洋, 岩坂育: 薄型ボルテックスチャックの性能評価と円筒室形状の検討, 山梨講演会2021講論集, B43, (2021)
- 8) 谷口英一郎, 船谷俊平: ボルテックスチャックを利用した曲面形状をもつワークの搬送に関する研究, 山梨講演会2021講論集, D23, (2021)
- 9) 近藤優也, 松原竜也, 吉田和弘, 金俊完: EHDマイクロポンプの発生圧力を用いた液滴トラップデバイスの提案, 山梨講演会2021講論集, A31, (2021)
- 10) 杉山貴則, 吉田和弘, 金俊完: エレクトロスピンニング法によるナノファイバの整列に関する研究, 山梨講演会2021講論集, A32, (2021)

(原稿受付: 2022年2月22日)

会議報告

第22回流体計測制御シンポジウムにおける
フルードパワー関連技術の研究動向

著者紹介

かわしま けんじ
川嶋 健嗣東京大学大学院
〒113-8656 文京区本郷7-3-1
E-mail: kenji_kawashima@ipc.i.u-tokyo.ac.jp

1997年東京工業大学大学院博士課程修了。東京工業大学助教授、東京医科歯科大学教授を経て2020年より東京大学大学院情報理工学系研究科教授。流体計測制御を基盤とした医用システムの研究開発に従事。本学会、IEEなどの会員。博士（工学）。

1. はじめに

計測自動制御学会の産業応用部門大会において、第22回流体計測制御シンポジウムが2021年11月19日オンライン形式で開催された。計測自動制御学会（SICE）は2021年9月に創立60周年を迎えた。計測・制御・システムインテグレーション分野の中心的な学会であり、6つの部門から構成されている。産業応用部門は、“実践が理論を超える、技術を生み、技術を役立て、技術を評価する産業応用部門”をキャッチフレーズに、流体計測制御部会、産業ネットワークシステム部会、計装技術交流部会の3部会を中心に活動している。上記シンポジウムは流体計測制御部会が中心となって運営されている。

今回フルードパワーシステム関連の7件の興味深い発表と活発な質疑応答が行われた。油圧関連が3件、空気圧関連が4件であった。以下にその概要を紹介する¹⁾。

2. 発表論文

2.1 油圧関連

横浜国立大学の眞田研究室の発表が2件行われた。市川らは先行研究²⁾の実験装置を改良し、圧力計の変更や流量計の校正を行った上で、油圧インピーダンスの測定を行っている。実験結果が体積弾性係数を考慮したモデル計算と傾向が一致し、気泡含有における体積弾性係数の変化を考慮した計測技術の有効性を確認している。

安藤らは小松製作所との共著で、PWM制御を用いた昇圧回路のシミュレーション解析を実施している。昇圧回路は慣性配管、PWM信号、理想切換弁、アキュムレータおよび負荷絞りで構成されている。PWMのデューティ比とアキュムレータの圧力の関係を解析している。その結果、油圧源圧力がアキュムレータ圧力より低い場合においても、配管内の作動油が慣性力によってアキュムレータ内に流入し、窒素ガスが圧縮され、アキュムレータの圧力が油圧源圧力より昇圧されることを明らかにしている。

防衛大学校の一柳らは、油圧管路における作動油中の音速測定として、管路内の3か所の圧力測定を用いる三圧力変換器法について研究を行っている。圧力測定間の配管長を種々変えて実験を行い、測定区間の長さが音速の測定結果に及ぼす影響を調べている。その結果、測定圧力のオーバーオール値の高周波成分のみを用いることでISO 15086-2 (2000)に定める管路長より短い管路長でも音速が測定できることを確認している。

2.2 空気圧関連

福岡工業大学の加藤らの研究グループは、フルオロカーボンの加熱による気液相変化で空気圧ゴム人工筋の拮抗駆動を実現する方法を提案している³⁾。本シンポジウムで邵らは、冷却時に時間を要する課題に対して、2本の空気圧ゴム人工筋を拮抗駆動させることで、応答性が改善できることを実験によって明らかにしている。空気圧アクチュエータの駆動において圧縮源の確保が課題となるが、液体の気化を用いる本手法は、従来のコンプレッサーを不要とするものであり、加熱時間が短縮できる小型システムにおいて特に有望と考える。

東京大学の宮寄らは、株式会社ブルヂストンとの共同研究として、空気圧ゴム人工筋内の一方の側面にステンレスの薄板を貼り付けることで、加圧時に湾曲するアクチュエータ⁴⁾を用いた3本指ハンドを試作し、把持力推定を行っている。湾曲型の空気圧アクチュエータはこれまでも種々提案試作されているが、油圧駆動の高圧にも耐え得る、シンプルな構造を特徴としたものである。発生力を角度と圧力

の関数として事前にモデル化し、把持した際の圧力と変位をモデルに代入して把持力を推定、力センサを用いた測定値と同様の傾向を示すことを確認している。

東京医科歯科大学の川瀬らは、ソフトロボット制御のための空気圧管路系を用いた物理リザーバコンピュティングの手法を提案している⁵⁾。同手法はソフトロボットを構成する管路容量系の非線形モデルに入力を与え、多次元の線形和で所望の出力を得るものである(図1)。図1(a)に示すように、ニューラルネットワークの分野において、ランダム結合のニューラルネットワークの内部で起こる多様な応答を利用し、応答の線形和のみで時系列に対する機械学習を行うものがリザーバコンピュティングと呼ばれる。この手法を物理的なシステムに置き換えたものが物理リザーバコンピュティングであり、最近注目されている(図1(b))。本発表では空気圧ゴム人工筋を用いた歩行アシストスーツにおいて、歩行の状態推定への適用をめざし、管路ネットワークの周波数特性を理論的に求め、空気圧管路系を用いた物理リザーバ(図1(c))のパラメータによる周波数特性の違いと計算性能の関係を調べている。

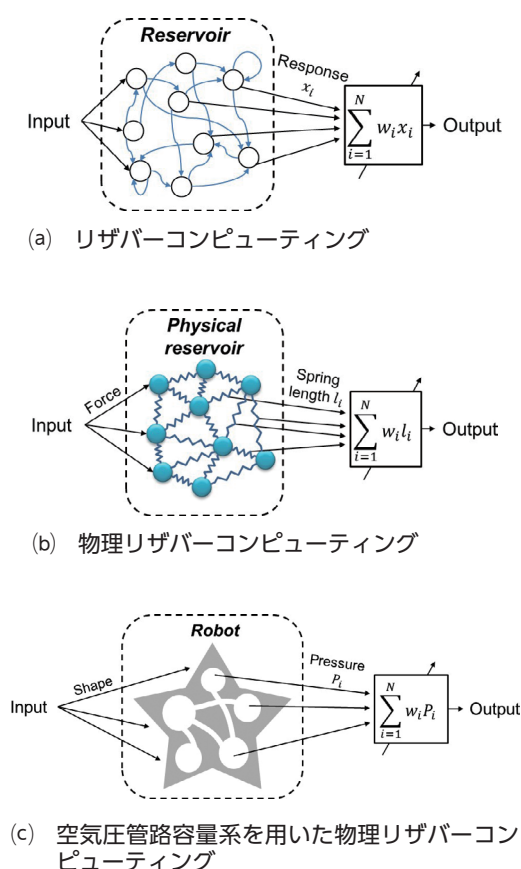


図1 リザーバコンピュティングの概念図

芝浦工業大学の川上研究室では、空気圧駆動を中心とした流体パワーシステムの研究を行っている。本発表で趙と川上は、Mckibben 型空気圧ゴム人工筋3本を編み込んで配置した膝サポートを提案試作している。空気圧ゴム人工筋は通常円筒状であり、加圧することで収縮し、牽引力を発生するアクチュエータである。通常状態と3本を編み込んだ場合の収縮率と牽引力の関係をモデル化し、シミュレーションと実験の比較によってモデルの妥当性を確認している。編み込んだ場合に、通常状態と同じ牽引力においてより高い収縮率が得られることを示した上で、膝サポーターの駆動に適用している。今後、本モデルを用いてより高精度はアシスト制御への適用が期待される。

3. おわりに

本シンポジウム終了後、流体計測制御部会の運営委員によって厳正な審査が行われ、芝浦工業大学の趙が発表した「Mckibben 型人工筋を用いた膝サポーターの開発」がベストプレゼンテーション賞に選出された⁶⁾。流体駆動を用いたソフトロボットの研究は最近特に盛んであり、本シンポジウムがより活性化していくことを期待している。

本年度の開催は、昨年に引き続きオンラインであったが、運営側、発表者および参加者の皆さん、すっかりオンラインに慣れ、とてもスムーズに発表が行われた。しかし、オンラインでは質疑応答が時間内に限定され、会場内での気楽な意見交換ができないなど課題もある。次年度は対面での開催となることを願っている。

参考文献

- 1) 2021年産業応用部門大会 講演論文集 (2021)
- 2) 市川玄, 千葉崇宏, 藤田昌孝, 眞田一志: 絞り弁への油圧インピーダンス計測手法の適応について, 2020年秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集, pp. 44-46 (2020)
- 3) 加藤友規ら: 気液相変化により駆動されるゴム人工筋アクチュエータの製作, 日本フルードパワーシステム学会論文集, Vol. 47, No. 1, pp. 1-6 (2016)
- 4) 大野信吾ら: 湾曲型ゴム人工筋肉の提案とその特性評価, 第20回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, pp. 2778-2781 (2019)
- 5) 川瀬利弘ら: 空気圧管路系を用いた物理リザーバコンピュティングの提案, 日本フルードパワーシステム講演会講演論文集, pp. 180-182, 2019
- 6) https://www.sice.or.jp/ia-div/best_presentation_shou.html

(原稿受付: 2022年1月12日)

トピックス

学生さんへ、先輩が語る 一博士、アカデミックポストに興味がある人に向けてー

著者紹介



にしかわら まさひと
西川 理 仁

豊橋技術科学大学大学院
〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1
E-mail: nishikawara@me.tut.ac.jp

2015年名古屋大学大学院工学研究科博士後期課程修了。同年豊橋技術科学大学大学院工学研究科機械工学系助教。電気流体力学、多孔体内流れ、相変化を利用した伝熱の研究に従事。日本フルードパワーシステム学会、日本機械学会などの会員。博士（工学）。

1. はじめに

このたび本稿の執筆依頼をいただき、「学生さんへ、先輩が語る」ということで、せん越ながら2009年より始まった私の研究活動について紹介させていただく。助教研究者の一例として博士学生やアカデミックポストに興味がある方のキャリアパスの参考になれば幸いである。また同様のトピックスが本学会誌第50巻第1, 4号、第51巻第2, 5号にもあるので興味のある方は参照いただきたい。

1.1 自己紹介

図1の私の研究略歴に示すように2009年より名古屋大学工学部機械工学科の卒業研究として研究を開始し、2015年に同大学院工学研究科航空宇宙工学専攻で博士（工学）を取得した。その後、現職である豊橋技術科学大学大学院工学研究科機械工学専攻の助教に着任し、現在に至る。本学会には助教着任後に研究室の上司である柳田秀記教授の電気流体力学ポンプに関する研究に携わらせていただくことになり入会した。その他の専門は気液二相流、伝熱工学であり、多孔体内での気液二相流に関する研究、ループヒートパイプ（LHP）の開発と応用研究、宇宙機熱制御デバイスの開発などに従事している。

2. 学生時代を振り返って

2.1 研究概要

学部4年時に長野方星教授の研究室に所属させていただき研究活動を始めた。当時、長野先生は着任

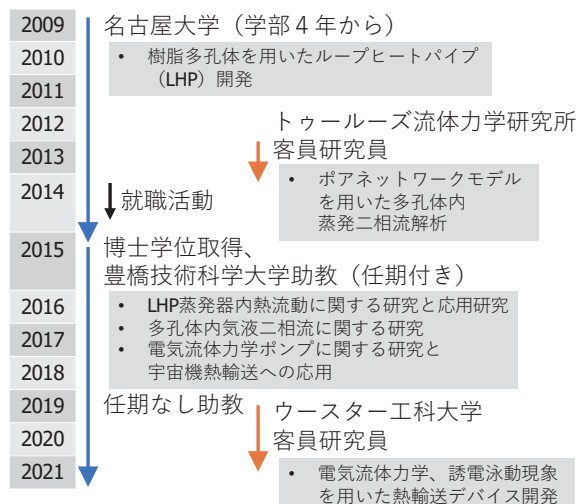


図1 研究略歴

したての講師で、まだ学生は私を含めて3人しかいなかった。研究室の立ち上げで忙しい中、手取り足取り研究指導していただきとても感謝している。長野先生は名古屋大学に来る前にNASAゴダード宇宙飛行センターでポスドクとして研究しており、それが私にとっては魅力的だった。研究内容は宇宙機熱制御デバイスであるループヒートパイプ（LHP）の開発であった（図2c）。LHPは流体ループであるが、多孔体内で発生する毛細管力を利用することにより、電力なしで、流体を駆動し熱を輸送すること、機器を冷却することができる。私はまず非定常熱流動解析モデルの構築や樹脂多孔体を用いたループヒートパイプの開発などを行った。そこで研究にのめり込んだ私はその後博士まで進学し、多孔体形状を工夫した高性能LHP蒸発器の開発や多孔体内の熱流動シミュレーションと研究が進展していった（図2d）。研究は比較的自由にさせていただき、研究テーマなど自分で決めることができ、博士後期課程の時にフランスに在外研究させていただき、シミュレーション研究を行った。従来の連続体モデルではなく、多孔体内マイクロスケールの空隙のばらつきを考慮したシミュレーションによって、高精度に温度特性を予測することに成功した。この成果によってヒートパイプ協会にて招待講演をさせていただいたり、日

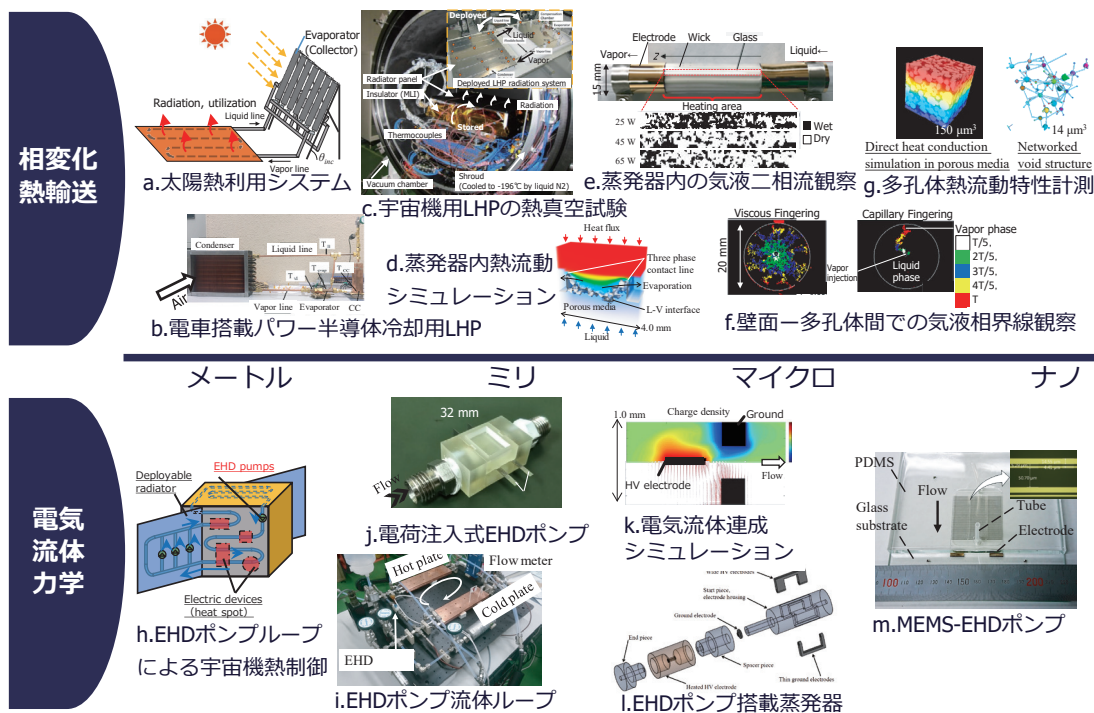


図2 研究概要

本機械学会奨励賞を受賞させていただいた。フランスからの帰国後D3春より就職活動を開始し、面識はなかったが9月に豊橋技術科学大学の柳田先生の研究室に任期付き助教として内定をいただいた。研究の中で、国内学会、国際会議はもちろんのこと、JAXAでのLHP熱真空試験、オタワのカールトン大学のTarik Kaya教授の研究室に訪問させていただいたり、フランスに長期研究滞在させていただいたりといろんな経験をさせていただいた。

2.2 海外での研究経験

学生時代、海外での研究活動をいくつかさせていただいたので、そのことについて記す。

M1の夏、長野先生の研究打ち合わせと一緒に同行させていただき、カナダのカールトン大学のTarik Kaya教授の研究室を訪問した(図3)。私の

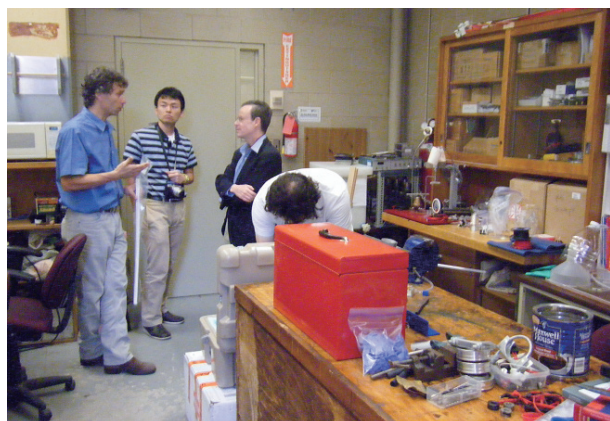


図3 Tarik Kaya教授の研究室訪問の様子

初めての国際会議はM2だったので、この時に初めて英語で研究のディスカッションをしたが、自分の考えを伝えられず悔しい思いをしたのを覚えている。

M2の時にはJASSOの留学支援制度を利用して、ベトナムのハノイ工科大学(HUST)に2週間程度研究インターンに行かせていただいた。渡航時に5 kgくらいある実験装置の一部を私物のバックパックに詰めて運んだことを記憶している。HUSTはベトナムでも上位の名門大学であるが、研究室の設備は十分とは言い難く、日本との研究環境の違いを目の当たりにし、研究費の必要性や、研究費のありがたさを実感した。私の研修内容はANSYSを用いた燃焼計算研究、研究というよりは演習問題を行ったという感じであった。研究よりは現地の学生との文化交流の方がメインであったが、非常に良い経験であった。

D1の冬から2回に分けて計9か月間、フランスのトゥールーズ流体力学研究所(IMFT)のMarc Prat教授のもとで研究させていただいた。博士課程教育リーディングプログラムの長期滞在用の研究費を利用させていただいた。当時、私はLHP蒸発器の熱伝達率を高精度に予測したいと考えており、ポアネットワークモデルという空隙微細構造を考慮した多孔体の流れのシミュレーションを行っていたPrat教授のところに伺った。Prat教授とは面識がなかったが、メールにて滞在を打診したところ、すんなり許可をいただけた。先生の部屋のドアはいつも開いており、いつでも気軽に質問できるような環境に

なっていてそれが非常に良かった。滞在中、インドでの国際会議に参加するために、インドのビザをパリまで取りに行き、フランス-インド-日本（国内学会）-フランスと周遊したことがあり、その時にどこに行っても研究活動をしていける自信がついた。

海外での研究活動は新しいことだらけでストレスになることもあるが、良い経験になると思う。研究のやり方や、環境、生活文化なども含めて多様であり、その場で体感することで知ることができるし、研究に関しても論文では見えていない部分も多くあるので、実際に現地に行って研究活動することに非常に意義があると思う。

3. 助教になってから

3.1 研究について

私の所属する研究室には、B4からM2まで、毎年20～25名程度が在籍しており、6名程度が私のテーマで研究を行っている。

助教着任直後は、博士研究の延長（図2a～g）しか行っていなかったが、柳田先生の行っていた電気流体力学（EHD）ポンプに関する研究（図2j）に興味を持ち、3年目より自分でテーマ「EHDコンダクションポンプにおけるスケール効果」を立ち上げた（図2m）。絶縁性液体に高電圧を印加するとクーロン力によって流動が起きる。EHDポンプはその流動を利用したもので、本研究ではその中でも解離電荷を利用したコンダクションEHDポンプのサイズスケールによって、ポンプ特性や内部の現象にどのような違いが現れるかを調査した。先日その研究内容でThe 11th JFPS International Symposium on Fluid PowerでBest Paper Awardをいただいた。もともと伝熱分野出身で本学会に含まれる研究を行っているのかどうかかわからないところであったが、この受賞によって本学会に仲間入りができた気がした。本テーマを遂行する上でMEMSを利用したマイクロスケールの電極の製作や電磁気学などは、学生の時は行っておらず、初めの方は苦労があるが、新しい分野、新しい技術を取り入れることは研究を飛躍的に展開していく上で大事だと思う。またEHDポンプの熱利用に関しては、宇宙機熱制御への応用というテーマでJAXAとの共同研究にもなっており、きっかけをいただいた柳田先生に感謝している。

研究費に関しては着任当時、学内の若手教員への特別な支援もあり、科研費、財団などに採択され、比較的潤沢にスタートした。研究費の申請書作成は学生時代より行っていたので、特に初年度は大量に申請書を作成したが、そこまで苦労はなかった。

5年目に任期なし審査があり、それをパスして任

期が外れた。EHDを用いた熱輸送研究をもっとこれから展開していきたいと考え、長年EHD研究を行っているアメリカのウースター工科大学のJamal Yagoobi教授のもとでの在外研究、サバティカル研修を同年より開始した（図4）。在外研究については本学会誌、Vol. 52, No. 1の駐在員日記にて詳細に記載しているので興味ある方は参照いただきたい。あちらではコロナでパンデミックということもあり、新しい人脈を作るなど想定していたようには行かなかったが、研究としては新しい方向性、新しい展開を見つけることができたので非常に満足している。



図4 ウースター工科大学のJamal Yagoobi研究室メンバー

3.2 研究以外の業務

研究室の学生への指導や研究室での活動以外には、主に授業、機械工学系の管理業務、入試関係の業務などがある。授業は主に学生実験を1年で3、4科目担当しており、複数の教員で行うため負担は大きくなく、それ以外の業務も負担は軽く、研究する時間はある程度確保できているが、これは大学の規模や教員数などで大きく変わってくると考えられる。他大の助教の方の話を聞くと、私は比較的恵まれた環境であると思われる。

4. おわりに

私の学生時代から助教の現状まで、研究内容、付随する活動、研究環境、海外での研究について雑多に記載した。自分で研究テーマを決めて進めることができることが、良くも悪くも大学教員の最大の特徴であると思う。その自立に向けて学生時代より備えて徐々に慣れていくことが、アカデミック研究者になっていく上で大事であると思う。

（原稿受付：2022年2月4日）

研究室紹介

東京高専 機械工学科 原口研究室

著者紹介



はら ぐち だい すけ
原 口 大 輔

東京工業高等専門学校 機械工学科
〒193-0997 東京都八王子市桐町1220-2
E-mail: haraguchi@tokyo-ct.ac.jp

2003年防衛大学校情報工学科卒業。航空自衛隊に勤務。2013年東京工業大学大学院メカノマイクロ工学専攻博士課程修了。同大発ベンチャー企業創業。同大学特任准教授を経て現在に至る。手術支援ロボット、マニピュレーション、フィールドロボット等の研究に従事。日本フルードパワーシステム学会、日本機械学会などの会員。

1. はじめに

2020年より東京高専に在職しております原口と申します。本学にて小規模ながら研究室を立ち上げて、現在こちらを拠点に教育・研究活動を行っております。ロボット工学や医用デバイス工学などの各専門分野をベースとして、高専のものづくりスピリットや、本学の推進する社会実装教育の利点を生かした研究開発を幅広く手掛けています。当研究室はまだまだ始まったばかりですが、このたび研究室の紹介をさせていただく機会を賜りました。今回はフルードパワー関連のテーマを中心として、現在までに取り組んでいる研究開発についてご紹介いたします。

2. 研究室の概要

当研究室では、メカトロニクスやロボットシステムに関する広範なテーマを対象に教育・研究を行っています。その中でもフルードパワーに関するものは、空気圧サーボ駆動を用いた手術支援ロボットや、ソフトアクチュエータを用いたハプティックデバイスの開発などがあります。その他になりますが、屋外作業の自動化をめざしたフィールドロボットや、膜面宇宙機の展開構造などの研究も実施しています。新しく始めた研究も少なくありませんが、協力先研究機関の先生の助言を得ながら進めることができ、ロボットやメカトロ好きの学生の興味に幅広く対応できる体制をとっています。

研究室内の所属学生は、卒研生である本科5年生がメインで、現状では毎年5名前後の配属となっています。2022年度の当研究室は本科5年生6名が所属しており（図1）、各学生の希望にもとづいてさまざまな研究テーマを相談のうえ設定し、取り組んでいます。また、年によっては専攻科生（学部3-4年生相当）が1~2名所属することもあり、研究はもちろん後輩学生の教育にも大活躍してくれます。さらに、本科4年生がグループで各研究室の開発テーマに就き1年間かけて取り組む「社会実装プロジェクト」というPBL型授業があり、発展的研究にもつながる成果を上げています。

当研究室では、学生は毎週1回の輪講にて専門書や著名な英文誌の論文を読み込み、研究分野についての理解を深めると同時に、学術論文の書き方なども学びます。また、実験や試作も簡単なものからどんどん手を動かして進め、隔週程度で進捗発表を行います。研究経過を皆で議論するとともに、プレゼンにおけるスライドの作り方や効果的な発表の仕方も身に着けます。以上のような取り組みを、敷き詰まった授業スケジュールや受験勉強などと並行してこなしていくため、（学生も教員も）なかなかのハードワークになります。こうして実力をつけていくと、秋以降には研究成果を学会で発表できるようになり、さらに頑張れば学術論文誌に投稿可能なレ

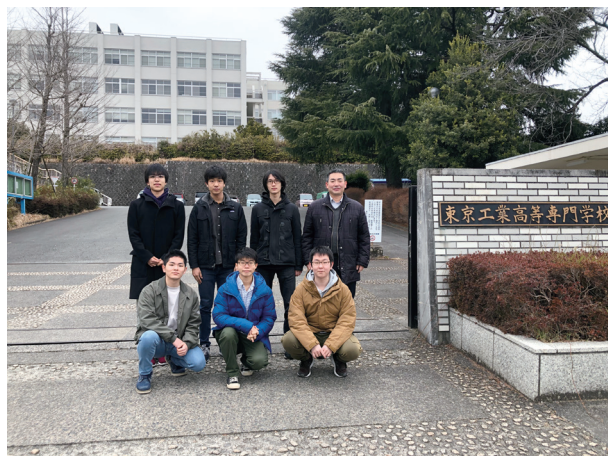


図1 2022年度の原口研究室メンバー（筆者は右上）

ベルの研究成果が、卒研の1年間で出せることもあります。

3. 研究内容紹介

3.1 外力推定機能を有する空気圧駆動の細径多自由度ロボット鉗子

低侵襲ロボット支援手術に用いる多自由度鉗子を開発しています。私の博士課程から取り組んでいる深いテーマで、当初は外径8mm程度で作るのが精一杯でしたが粘り強く研究を重ね、現在は図2のような外径5mm以下での試作実現も可能になりました。本デバイスの特徴は、鉗子先端の柔軟屈曲関節に金属材料でなくスーパーエンブラを用いることで、構造の簡略化はもちろん、コンパクトな屈曲と軸方向の剛性を両立したことです^{1), 2)}。10,000回以上の繰り返し屈曲にも問題なく耐えることができます。もうひとつの特徴は、ロボット鉗子のモーション制御に空気圧サーボ駆動を用いることで(図3)、力センサを取り付けることなく鉗子に作用する外力を推定できることです。最近では、屈曲関節における並進力だけでなく、鉗子の把持力も推定できるようになりました。正確な力制御を実現することは、ロボット手術における手技の高精度化や安全性向上のために重要だと考えています。



図2 PEEK樹脂の柔軟関節を有するロボット鉗子

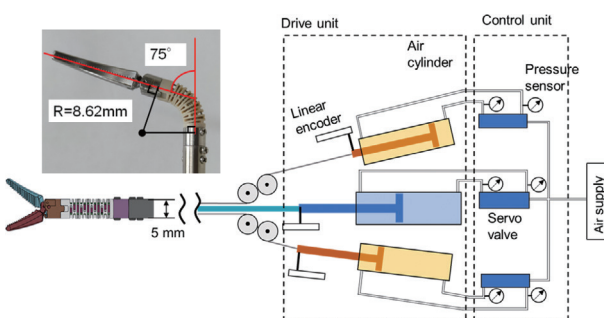


図3 ロボット鉗子の空気圧駆動システム

3.2 ソフトアクチュエータを用いたハプティックマスタデバイス

手術支援ロボットなどのマスター・フォロワ型の操作システムは、図4のようなマスタームを用いた構成が一般的ですが、アーム機構の可動範囲、特異姿勢、慣性や摩擦の影響によって操作性が低下する問題があるほか、力覚提示を行う場合はバイラテラル制御系が不安定化するリスクもあります。そこで、

図5のようにモーションセンサによる非接触位置計測を用いることで、従来のマスタームの問題点の解決を図ります。ただしマスタ側のアーム機構がなくなるため、反力による力覚提示はできなくなります。そこで、図5下部のように指バンド構造のソフトアクチュエータを備えることで、力覚情報を指への圧迫力で提示するハプティックデバイスを提案しています³⁾。外力の大きさ等に応じてソフトアクチュエータ内部の圧力をさまざまに変化させ、操作者への負担が少なく力覚認知しやすい制御方式について研究を進めています。

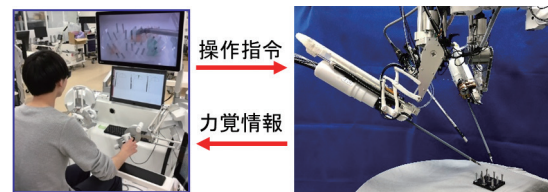


図4 マスタームによる従来型の遠隔操作システム (バイラテラル制御システム)

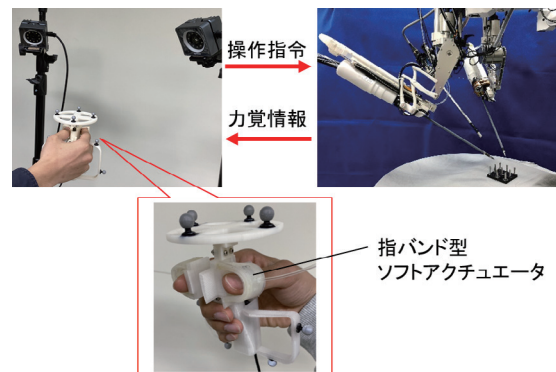


図5 モーションセンサ式ハプティックデバイスを用いた手術支援ロボットのマスター・フォロワシステム

3.3 街路除草・剪定用モバイルマニピュレータ

本学の推進する社会実装教育の一環で、4年生が1年間かけて取り組む「社会実装プロジェクト」という授業があります。当研究室では図6に示すような、街路低木の剪定や除草作業を人に代わって行うモバイルマニピュレータの開発を行いました⁴⁾。人手不足や過酷な労働環境といった社会課題の調査に始まり、要求仕様の策定、機体システムの設計、加工、組み立て実装、動作試験、フィールドテスト、そして改良設計に至るまで開発のPDCAサイクルを5人のメンバーで遂行した結果、フィールドモバイルマニピュレータの研究プラットフォームとして継続的に活用できる機体を作ることができました。

そこで開発メンバーのひとりが次年度の卒業研究において、剪定作業の自動化のための環境認識シス

テムの構築に挑戦しました⁵⁾。図7に示すように、デプスカメラで認識した作業環境の3次元点群をもとに、深層学習によるセマンティックセグメンテーションを行うことで、植生や障害物などの領域や形状を精度よく認識することに成功しています。なお本マニピュレータシステムは現時点ではフルードパワーの技術は用いていませんが、実用化に際してはアームが小型の油圧駆動になる可能性があり紹介させていただきました。



図6 人手による街路低木の剪定作業（左），試作した剪定作業用モバイルマニピュレータ（右）



図7 デプスカメラで撮影した作業領域の3次元点群（左），AIによる植生と障害物の識別結果（右）

4. おわりに

東京高専における原口研究室の概要および研究の一部を簡単に紹介させていただきました。ものづくりの基礎を身に着けた高専生の強みと、少人数の教育指導体制の利点を生かし、新しい研究テーマにも思い切って挑戦できる環境にあると思います。まだまだ試行錯誤も多く、本学会の先生方にも何卒ご指導ご助言をいただけましたら幸いです。今後ともよろしくお願いいたします。

参考文献

- 1) Zhou, D., Sanada, K., Haraguchi, D.: Robotic Forceps with a Flexible Wrist Joint Made of Super Engineering Plastic, Sensors and Materials, Vol. 32, No. 3(2), pp. 1027-1039 (2020)
- 2) 原口大輔, 周東博, 植松翔太: PEEK樹脂を柔軟関節構造に用いた細径多自由度ロボット鉗子の開発, 日本ロボット学会学術講演会予稿集, Vol. 39, 1B1-04 (2021)
- 3) 曾我祐太, 原口大輔: 手術支援ロボットのための非接触位置計測型ハプティックマスタデバイスの開発, 日本機械学会関東支部第28回総会講演会講演論文集, 15C-05 (2022)
- 4) 原口大輔ほか: 道路除草用小型モバイルマニピュレータシステムの開発, ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集, 1P3-A01 (2021)
- 5) 安藤波音, 原口大輔: 低木剪定用モバイルマニピュレータの自律化に向けた作業対象の識別と形状認識, 第22回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会予稿集, 2G2-06 (2021)

(原稿受付: 2022年3月9日)

会 告

〈理事会・委員会日程〉

3月18日	情報システム委員会
3月23日	理事会
3月29日	編集委員会
4月21日	企画委員会

〈理事会報告〉

2021年度第5回理事会

3月23日 15:00～17:00

Web開催（参加者21名）

- (1) 2022年春季講演会開催準備状況
- (2) フェロー推薦受付状況
- (3) 2021年度学会賞受賞者選考状況
- (4) 研究委員会の設置
- (5) 2022年度予算案
- (6) 2022・2023年度学会役員
- (7) 2022・2023年度評議員
- (8) 会員の推移
- (9) 規程類の改訂
- (10) 各委員会からの報告
- (11) その他

〈委員会報告〉

2021年度第4回情報システム委員会

12月21日 13:00～15:00

Web開催（参加者8名）

- (1) 学会HP更新状況確認
- (2) HPIに関する内規改訂について
- (3) 会議報告について
- (4) 不正アクセスに関する対策
- (5) HPアクセス状況報告
- (6) その他

2021年度第6回編集委員会

2月1日 10:00～11:30

Web開催（参加者16名）

- (1) 会誌特集号の現状と企画
 - 1) Vol.53 No.3「進化を続ける空気圧機器」
 - 2) Vol.53 No.4「フルードパワーと音」
 - 3) Vol.53 No.E 1「緑陰特集」
 - 4) Vol.53 No.5「フルードパワーとカーボンニュートラル」
 - 5) Vol.53 No.6「社会を支える分離技術（案）」
 - 6) Vol.54 No.1「検討中」
- (2) その他
 - 1) 会議報告
 - 2) 今後の特集について

2021年度第5回企画委員会

4月21日 15:00～17:00

Web開催（参加者24名）

- (1) 2022年春季フルードパワーシステム講演会準備状況
- (2) 2022年春季講演会併設セミナーについて
- (3) 製品技術セッションについて
- (4) 2022年秋季フルードパワーシステム講演会
- (5) その他

会 告

詳細は学会ホームページ（<http://www.jfps.jp/>）をご覧ください。

2022年春季フルードパワーシステム講演会 併設セミナー

「進化を続ける空気圧機器」

開催日：2022年5月26日(木)

2022年春季フルードパワーシステム講演会併設セミナーを、2022年5月26日(木)にオンラインで開催（Zoom）いたします。

社会環境やものづくりの環境が時代と共に変化する中、自動化装置への要求も刻々と変化し、それに応えるため、空気圧機器も着々と進化しています。本併設セミナーでは、空気圧機器のデジタル化、無線化、省エネ化、小型軽量化など技術動向を代表する最近の製品と技術に対して、開発現場で活躍されてい

る技術者にその開発背景、進化内容および使用用途をご紹介します。

詳細は学会ホームページに随時掲載いたします。

なお、日本フルードパワーシステム学会誌53巻3号（2022年5月号）が当日のセミナー資料となりますので、各自ご持参いただきますようお願いいたします。

皆様の積極的なご参加をお待ちしております。

会 告

会 員 移 動

会員の種類	正会員	海外会員	学生会員	賛助会員
会員数 (4月10日現在)	825	8	92	127
差引き増減	-36	-2	-13	-1

正会員の内訳 名誉員16名・シニア員66名・ジュニア員76名・その他正会員668名

〈新入会員〉

正会員

横田 雅司（岡山理科大学）
八瀬 快人（近畿大学）
川合健太郎（大阪大学）

織田 健吾（立命館大学）
門脇 惇（香川高等専門学校）
齋藤 暁（株式会社伊東商会）

学生会員

奥村 和幸（神奈川工科大学）
坂場 翔吾（芝浦工業大学）
金子 綾乃（芝浦工業大学）
濱田 凌一（岡山理科大学）
寺山 伊織（中央大学）
門倉 哲太（東京大学）
川島 輝海（東京電機大学）
宮寺 航輝（東京電機大学）
山本 航平（東京電機大学）
公門 祐太（東京電機大学）
根本 拓実（東京電機大学）
南宮 鉉釋（横浜国立大学）
児玉 和哉（横浜国立大学）

錦織 龍介（神奈川工科大学）
船木 洋平（芝浦工業大学）
田 偉航（岡山大学）
駒屋 耕大（法政大学）
鈴木 誉彬（足利大学）
高橋 遼（岡山大学）
高濱 芳朋（東京電機大学）
山口 諒（東京電機大学）
石原 亮裕（東京電機大学）
武井 健悟（東京電機大学）
江口 友一（横浜国立大学）
神田 倅辰（横浜国立大学）
宮本万里歌（沼津工業高等専門学校）

賛助会員

横河計測株式会社

会 告

一般社団法人 日本フルードパワーシステム学会
賛助会員一覧表

(株)IH
(株)アイシン
(株)明石合銅
アズビル(株)藤沢テクノセンター
アズビルTACO(株)
(株)アドヴィックス
アネスト岩田(株)
イートン(株)
出光興産(株)
イナバゴム(株)
イハラサイエンス(株)
(株)インターナショナル・
サーボ・データー
(株)ウェブフロント
(株)打江精機
(株)エイムテック
エコ技術研究所(合)
SMC(株)
SMC中国有限公司
(株)NF1
ENEOS(株) 潤滑油カンパニー
(株)荏原製作所
(株)大阪ジャッキ製作所
大瀧ジャッキ(株)
オカダイングストリ(株)
鹿島通商(株)
(株)桂精機製作所
神威産業(株)
川崎重工業(株)精密機械・
ロボットカンパニー
川崎油工(株)
川重商事(株)
(株)神崎高級工機製作所
キャタピラー・ジャパン(合)
協和シール工業(株)
旭東ダイカスト(株)
(株)クボタ
KYB(株)
KYB-YS(株)
(株)工苑
甲南電機(株)
(株)古河製作所
(株)コガネイ
コスモ石油ルブリカンツ(株)

(株)小松製作所開発本部
(株)小松製作所試験センタ
(株)小松製作所油機開発センタ
(株)阪上製作所
(株)鷺宮製作所
佐藤金属(株)
産経新聞 東京本社
三輪精機(株)
三和テッキ(株)
(株)ジェイテクト
CKD(株)
(株)島津製作所
勝美印刷(株)
ジャトコ(株)
新電元メカトロニクス(株)
住友建機(株)
住友重機械建機クレーン(株)
住友重機械工業(株)
制御機材(株)
第一電気(株)
ダイキン工業(株)
ダイキン・ザウアーダンフォース(株)
大生工業(株)
(株)TAIYO
タイヨー・インタナショナル(株)
ダイワ(株)
(株)タカコ
(株)タダノ
(株)都筑製作所
TMCシステム(株)
東京計器(株)
東京計器パワーシステム(株)
東京メータ(株)
東北特殊鋼(株)
東明工業(株)
東レエンジニアリング(株)
同和発條(株)
特許機器(株)
特許庁
TOHTO(株)
豊興工業(株)
(株)豊田自動織機
長津工業(株)
中西商事(株)

長野計器(株)
中村工機(株)(株)
ナブテスコ(株)
(株)南武
日新濾器工業(株)
日本アキュムレータ(株)
日本機材(株)
日本クエーカー・ケミカル(株)
日本工業出版(株)
日本精器(株)
日本製鉄(株)交通産機品カンパニー
日本電産トーソク(株)
(一社)日本フルードパワー工業会
日本ムーグ(株)
(株)野村商店
(株)ハイダック
ピー・エス・シー(株)
日立建機(株)
(株)日立建機ティエラ
(株)日立製作所
廣瀬バルブ工業(株)
フエスト(株)
(株)フクダ
(株)不二越
二見屋工業(株)
ボッシュ・レックスロス(株)
昌富工業(株)
(株)増田製作所
マックス(株)
松巴鉄工(株)
三國機械工業(株)
三菱電線工業(株)
ヤマシンフィルタ(株)
ヤマハモーター・ハイドロリック
システム(株)
(株)山本金属製作所
油研工業(株)
(株)ユーテック
横河計測(株)
理研精機(株)
リバーフィールド(株)
(株)レンタルのニッケン

編集室

次号予告

—特集「フルードパワーと音」—

【挨拶】 会長就任にあたって

副会長のご挨拶

【巻頭言】「フルードパワーと音」発行にあたって

妹尾 満

【解説】

プラズマアクチュエータによる空力音制御

横山 博史

流れに伴う騒音の発生メカニズムや特性

丸田 芳幸

水圧駆動システムにおけるキャビテーション現象の評価と対策

飯尾昭一郎

タイの伝統楽器クルイの自動吹奏ロボットによる音色表現

加藤 友規

管楽器の空力音響解析

吉永 司, 横山 博史

ファン騒音の音質評価指標と改善について

中野 武史, 御法川 学

【会議報告】

日本機械学会第20回機素潤滑設計部門講演会 (MDT2021) におけるフルードパワー技術研究

吉田 和弘

【トピックス】

学生さんへ、先輩が語る—フルードパワーシステムに携わる学生さんへ向けて—

八木澤 遼

youは日本をどう思う? 第19回

セリン オンフイツ

ドイツ駐在日記

塩見 幸治

2021年度「フルードパワーシステム」編集委員

委員長 柳 田 秀 記 (豊橋技術科学大学)

委員長 佐 藤 恭 一 (横浜国立大学)

副委員長 山 田 宏 尚 (岐阜大学)

妹 尾 満 (SMC株)

委員 飯 尾 昭一郎 (信州大学)

谷 口 浩 成 (大阪工業大学)

飯 田 武 郎 (コマツ)

中 野 政 身 (東北大学)

岩 田 将 男 (CKD株)

中 山 晃 (日立建機株)

加 藤 友 規 (福岡工業大学)

藤 田 壽 憲 (東京電機大学)

北 村 剛 (油研工業株)

丸 田 和 弘 (コマツ)

窪 田 友 夫 (KYB株)

村 岡 裕 之 (株コガネイ)

栗 林 直 樹 (川崎重工工業株)

吉 満 俊 拓 (神奈川工科大学)

五 嶋 裕 之 (株工苑)

担当理事 伊 藤 和 巳 (KYB株)

齋 藤 直 樹 (秋田県立大学)

学会事務局 成 田 晋

佐々木 大 輔 (香川大学)

編集事務局 竹 内 留 美 (勝美印刷株)

(あいうえお 順)

会 告

複写される方へ

本会は下記協会に複写に関する権利委託をしていますので、本誌に掲載された著作物を複写したい方は、同協会より許諾を受けて複写してください。ただし(公社)日本複写権センター(同協会より権利を再委託)と包括複写許諾契約を締結されている企業の社員による社内利用目的の複写はその必要はありません。したがって、社外頒布用の複写は許諾が必要です。

権利委託先: (一社) 学術著作権協会

〒107-0052 東京都港区赤坂9-6-41 乃木坂ビル

TEL: 03-3475-5618 FAX: 03-3475-5619 E-mail: info@jaacc.jp

なお、著作物の転載・翻訳のような、複写以外の許諾は、学術著作権協会では扱っていないので、直接本会へご連絡ください。

〒105
0011

東京都港区芝公園三丁目五十二機械振興会館別館一〇二 電話(〇三)三四三三―八四四二
編集兼発行人 一般社団法人日本フルードパワーシステム学会 振替口座 東京〇〇―一〇―三―二三六九〇 FAX(〇三)三四三三―八四四二

東京都文京区白山一―三―七 アクア白山ビル五階
印刷所 勝美印刷株式会社