

S053055

# コアンダ現象を利用した非接触吸着デバイスの スイッチング機構について

正 菊島 義弘<sup>\*1</sup> 正 阿部 裕幸<sup>\*1</sup> 正 壹岐 典彦<sup>\*1</sup>

Switching mechanism of non-contact type suction device by coanda phenomenon

Yoshihiro KIKUSHIMA, Hiroyuki ABE and Norihiko IKI

<sup>\*1</sup> National Institute of Advanced Industrial Science and Technology  
, East 1-2-1 Namiki Tsukuba Ibaraki 305-8564

AIST discovered that Coanda phenomenon occurred to an non-contact type suction device. A specification for the switching mechanism which extinguishes the Coanda phenomenon is decided. A structure of a device which added a switching mechanism is clarified, and the prototype is made. A switching effect of produced device is verified. A suction force of produced device is evaluated.

**Key Words :** Suction device, Coanda phenomenon, Switching mechanism

## 1. 緒 言

産総研では、高性能非接触吸着デバイスの設計・試作<sup>1),2)</sup>を行ってきた過程でコアンダ現象の発生に遭遇し、コアンダ現象を積極的に活用する高性能非接触吸着デバイスの開発<sup>3)</sup>を行ってきた。本報告では、コアンダ現象が限られた条件において発現することに着目し、吹き出し口形状に可動部を設置し、コアンダ現象をアクティブに発生・消滅させるスイッチング機構の設計・試作について述べる。

まず、コアンダ現象が発生する形状および消滅する形状を提示し、両者を成立させるためのスイッチング機構の仕様を示す。つぎに、スイッチング機構を具現化するデバイス構造を明らかにし、スイッチング機構の設計・試作を行う。最後に、試作品のスイッチング効果を検証するとともにデバイス吸着力の評価を行う。

## 2. コアンダ現象スイッチング機構の仕様

**2・1 コアンダ現象について** これまでに、高性能非接触吸着デバイスの設計・試作を行ってきた過程でコアンダ現象の発生に遭遇し、コアンダ現象を活用した高性能非接触吸着デバイスの開発を行ってきた。コアンダ現象は、気体の流れが壁面に沿って流れる現象であり、その現象を可視化した映像を図1左に示す。図はシュリーレン映像と断面図となっており、デバイス断面図は円筒形の一部の断面形状を示している。先端部分と本体の間にねじが切っており、先端部分を回転させる（手動）と先端部分が上下する。

シュリーレン画像では流れの向きが分からないが先端下部の筋（乱流化していない）は下方の空気が弁に吸い込まれている。また、先端部周りにみえる筋は弁より吐出された圧縮空気であり、コアンダ現象が発生し空気が外壁に沿って流れている様子が良く分かる。図右は、先端可動部分を上げた状態のシュリーレン画像である。先端部を上げる（断面図参照）ことでコアンダ発生条件が壊れ、弁から放出される圧縮空気は弁と外壁中心線方向へと流れている。その際、下部空気と衝突し乱流化していることがわかる。

つぎに、先端可動部の変位量について述べる。可動部のねじピッチは1mmとしている。手動で回転角度を調べた結果、コアンダ現象が安定して発生している場所から90度～120度（変位換算0.25mm～0.3mm）回転させると

<sup>\*1</sup> 正員，産業技術総合研究所（〒305-8564 茨城県つくば市並木1-2-1 つくば東）  
E-mail: y.kikushima@aist.go.jp

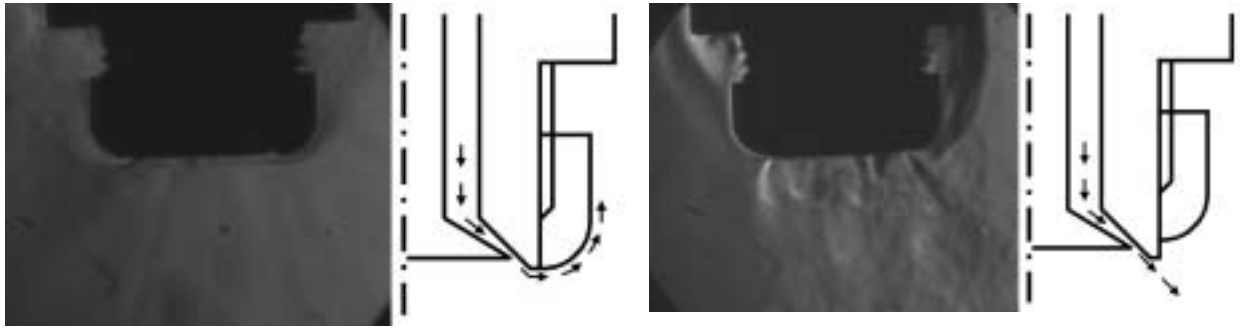


Fig.1 The aspect of the air stream using schlieren method. (Left: With coanda phenomenon. Right: Without coanda phenomenon)

コアンダ発生条件が壊れることがこれまでの実験により明らかになっている。ここで、回転角度に幅があるのは、コアンダ現象のヒステリシスによるものである。また、図には載せていないが先端可動部を下方へ移動させた場合もコアンダ発生条件が壊れる。その移動量もコアンダ現象が安定して発生している場所から 90 度 ~ 120 度 (変位換算 0.25mm ~ 0.3mm) となっておりヒステリシスを有している。すなわち、0.5mm ~ 0.6mm の狭い移動量でコアンダ現象の消滅、発生、消滅が行われている。

**2・2 スイッチング機構の仕様とメカニズム** 前節においてコアンダ現象の発生、消滅方法について述べた。本節では、コアンダ現象の発生、消滅に必要なスイッチング機構の仕様とメカニズムについて明らかにする。スイッチング機構は電磁石の on-off 制御で行うこととし、磁性を嫌う製品吸着を考慮し磁界が外に漏れないように磁界のループを成立させる構造とする。仕様を整理すると、

- 1) 磁界が外に漏れないように磁界のループを強磁性体内でくむ
- 2) 電磁石が発生させる変位量は 0.0mm および 0.3mm とし、可動部を引く形状とする
- 3) デバイス吸着力を上回る電磁力を発生する電磁石を製作する

上記特性を有する直径 25mm 程度のアクチュエータを設計・試作する。コアンダが発生するデバイスの仕様としては手動式デバイス (図 1) 同じとし、可動部の曲率半径 4mm、弁径は直径 11mm、本体下部の直径は 14mm、本体上部の直径は 30mm および可動部直径は 22mm とした。電磁アクチュエータは内径 14mm、外径 25mm、高さ 5mm の中で磁束ループを描き、コイルと外壁間も 1mm 以上の隙間を作るという拘束条件を課した。

図 2 に試作したデバイスの外観、断面図を示す。電磁アクチュエータは、コアとなる鉄心 (純鉄) に絶縁シールを貼り、鉄心にエナメル線を巻く方法を採用し、外壁 (スチール) をかぶせ、0.3mm 離れた吸着部 (スチール) を電磁力で吸引することで強磁性体の内部で磁束ループが回りコアンダ現象を消滅させるアクチュエータとした。電流を流すときはコアンダ現象を消滅させるときだけとし、コアンダ現象発生時は 3 箇所設置したコイルばね (ばね定数  $k=991.6\text{N/m}$ ) が吸着部をストッパーに押しつけている。

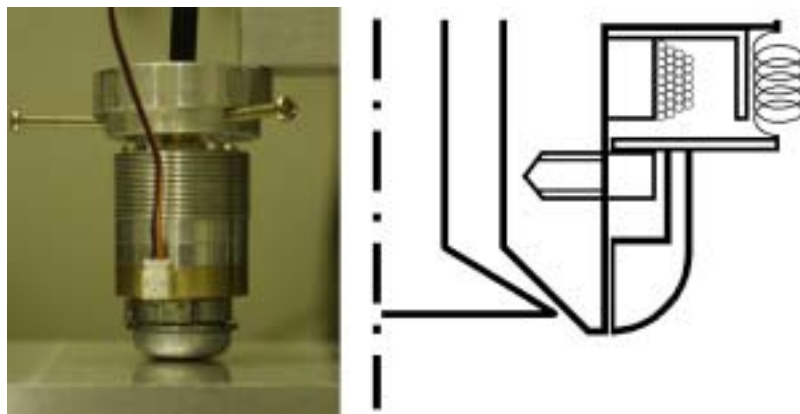


Fig.2 The sectional view of a non-contact type suction device.

デバイスの吸着力は200kPaの供給圧力で約4Nの最大吸着力を有しているが、その大半は弁下のエジェクト効果により吸着力は発生しているため、コアング現象が発生している底面では1/10程度となっている。そのため、余裕をみて0.3mmの隙間で1N以上の吸着力が発生する電磁アクチュエータが必要となる。そこで3種類の線径を変えたコイルを試作した。線径および巻き線数は線径0.15mm、90巻き、抵抗値0.58、0.2mm、66巻き、抵抗値2.38 および0.3mm、32巻き、抵抗値5.52 となっている。巻き線数に違いがあるのは外壁とコイル間を1mm以上開けるためである。図3は、電流1Aを流した場合のコア - 吸着板間のクリアランスと吸着力の関係を示している。線径0.15mmではクリアランス80 $\mu$ mで4N以上の吸着力を発生し、さらにクリアランスを狭くすると吸着力が落ちている。これは計測装置の剛性が弱かったために生じた現象であり、実際はさらに大きな吸着力が発生している。また、クリアランス0の場合も吸着力が落ちている。これは、ロードセルが十分に歪むことができないために生じたものである。

図からも分かるように線径0.15mmが3種類の中で一番高い吸着力を発生しているが、線径0.15mmに1Aの電流を流すと発熱量が大きく長時間の使用に耐えられない。そのため、デバイスへ装着したコイルは3種類の中で1A時の発熱量が少なく、吸引力が大きい線径0.2mmを採用した。線径0.2mmの場合は、300 $\mu$ mで0.2Nの吸着力しかないため実際の使用時は電流を2倍投入し300 $\mu$ mの隙間において0.8Nの吸着力となるようにして使用する。

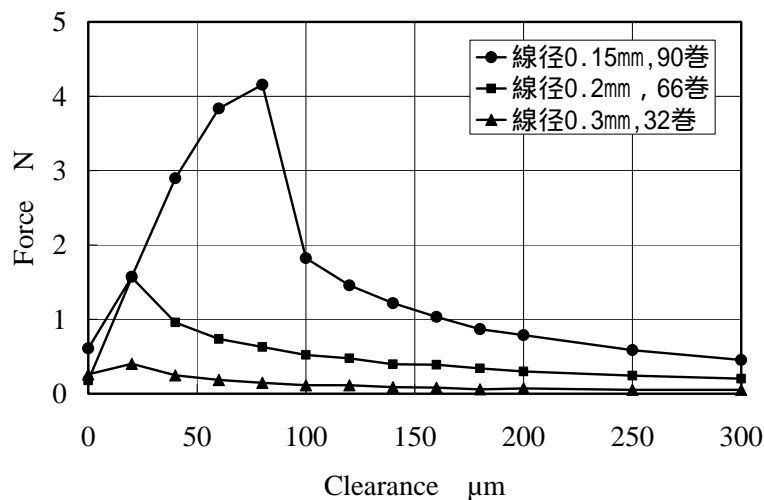


Fig.3 Relationship between clearance and suction force of core-fixing plate

### 3. コアング現象を発生・消滅させるスイッチング機構の検証

図2に示した吸着デバイスを用いた実験外観を図4に示す。実験は付加マスを載せた秤上で行い、図にも示されているが吸着力をマイナス表示している。図4は、左側および中央が吸着面の隙間が見えるようにした拡大図、右側が装置全体の外観を示している。図上が供給圧力2kPa時に最大吸着力となるようにセットした吸着デバイス（スイッチング機構off時）であり、図下が最大吸着力時にコアング現象を消滅させた吸着デバイス（スイッチング機構on時）である。また、デバイスはマイクロメータで上下の移動ができ、最大値となる位置で固定している。

スイッチング機構のon-offは300 $\mu$ mしか移動しないため図からは分かりづらいが、スイッチング機構off時には左上および中央上の外壁と吸着板の間に僅かな隙間があるが、スイッチング機構on時（左下および中央下）では隙間は無くなっている。スイッチング機構のon-offによるコアング現象発生時および消滅時は、図左のタフトの向きを見ると分かり、コアング発生時はタフトが上方（壁に沿った流れ）にたなびいており、コアング消滅時（左下）ではタフトが下方にたなびいている。スイッチング機構の作動は瞬時に行われ、タフトはスイッチの切り替えと同時に向きを変えている。

図4中央と図右はコアング発生時に秤面と先端可動部を最大吸着力となるように隙間位置を固定し、スイッチングしたときの様子を示している。図右の秤の表示からも分かるようにコアング発生時と消滅時の吸着力は

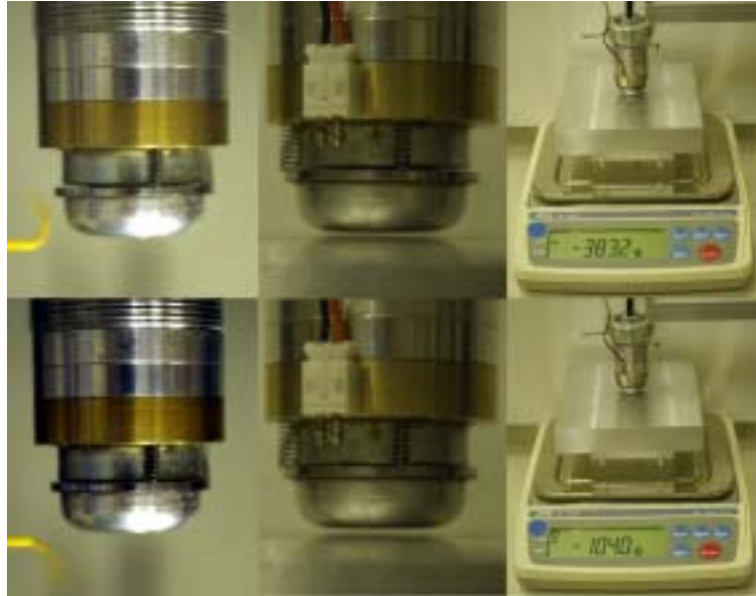


Fig.4 Switching system

383.2g (3.75N) から 101.4g (0.99N) 26.4%まで減少している。また、中央の秤面と先端可動部をみるとスイッチングすることで隙間が広がっていることが確認できる。

スイッチング on-off 時の秤面と先端可動部の隙間をパラメータとした吸着力変化を図示すると図5となる。図には供給圧力 100kPa と 200kPa の 2 種類が示してある。スイッチングを行うことにより 100kPa と 200kPa の双方とも 0.2mm 以上の隙間では吸着力が落ちていることが分かる。吸着力の減少は最大値近傍の減少率が高くなっており実用的な立場からすると吸着物を離しやすくなっている。しかしながら 0.2mm 以下の点ではその傾向は逆転している。

コアンダ減少を消滅させても 100kPa と 200kPa の 2 種類とも最大値をもっている。これは、吸着物が存在する場合コアンダ現象を消滅させてもエジェクト効果は存在するために生じたものと考えられる。また、図2の断面図にも示しているが、本体の底面は加工上鋭利な先端にすることが難しいため 0.3mm カットされている。そのため可動部は先端カット部より若干下がった位置でコアンダ現象が安定して起きているため可動部を引き上げると隙間が広がった結果 0.2mm 以下に最大値が移動したものと考えられる。本報告の目的はスイッチング法の提案なのでこれ以上の言及は避けるが本体構造に改良の余地はまだある。

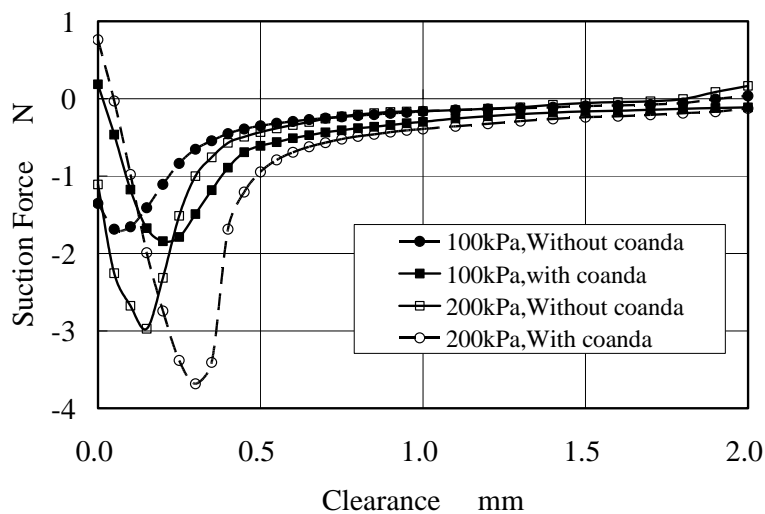


Fig.5 Relationship between clearance and suction force.

#### 4. 結 言

非接触吸着デバイスに発生するコアンダ現象を発生・消滅させるスイッチング機構の提案を行った。さらに、アクチュエータは内径 14mm、外径 25mm、高さ 5mm の寸法の中で制作できることを明らかにし、試作品による実験でスイッチング機構を駆動することでコアンダ現象を発生・消滅させることができた。

#### 文 献

- (1) 阿部裕幸, 菊島義弘, 壹岐典彦, 大谷主三, “非接触型吸着装置のすき間流れに関する研究”, 日本機械学会流体工学部門講演会講演論文集 (2010.10), pp.365-366.
- (2) 菊島義弘, 阿部裕幸, 壹岐典彦, 大谷主三, “非接触型吸着パッドの騒音低減化に関する一考察”, 日本機械学会流体工学部門講演会講演論文集(2010.10), pp.267-268.
- (3) 阿部裕幸, 菊島義弘, 壹岐典彦, “コアンダ現象を利用した非接触吸着パッドの特性”, 日本機械学会 2012 年次大会講演論文集(2012.9), S053054.