

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 31 日現在

機関番号：32621

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420130

研究課題名(和文)二つの渦流を用いた非接触把持機器に関する研究

研究課題名(英文)Study on a non-contact holder with two vortex flow

研究代表者

築地 徹浩 (TSUKIJI, Tetsuhiro)

上智大学・理工学部・教授

研究者番号：40163779

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,500,000円

研究成果の概要(和文)：近年、空気流を利用して非接触で物体を把持し輸送する非接触把持機器が開発されている。この機器は、工場での自動組み立て機器として利用されている。本研究では、基本的には旋回流を利用して負圧を発生させる渦流を用いたボルテックス法による機器に関する研究を行う。逆方向に旋回する二つの渦流を用いて、物体の回転を防止する新たな把持機器が設計製作された。回転防止のための条件や把持力などの特性を実験から明らかにした。さらに、横滑りを防止するためにディフューザー効果を持つベルヌーイ法を用いた非接触把持機器も開発された。

研究成果の概要(英文)：Recently, a non-contact holder that holds and transports an object without contact using air flow has been developed. It is one of the factory automation device. This study is conducted on the non-contact holder of Vortex method that generates swirling flow and forms negative pressure in the cup. We created a non-contact holder that has two concentric swirling flows opposite to each other in order to prevent its rotation. The condition to prevent the rotation of the body was investigated and the holding forces have been measured. We estimate the properties of the holding device from experimentations. Furthermore a Bernoulli-type non-contact holder was developed to hold the body, without letting it slide away, by installing a chamfer, called a diffuser, on the edge of the cup.

研究分野：流体工学

キーワード：空気圧機器 渦流れ 非接触搬送

1. 研究開始当初の背景

これまで、半導体製造プロセスの中で、ワーク（この場合ウェハになる）を搬送する手段として、機械的な把持や空気を吸い込むことでエンドエフェクタにワークを吸着させて搬送を行ってきた。この搬送方法はエンドエフェクタとワークが接触するため、ワーク表面にパーティクルや金属汚染、静電気、引っかき傷が生じることで半導体デバイスの加工品質や特性に悪影響を及ぼし、欠陥品を生み出す可能性がある。これら問題に対して様々な非接触による搬送方法が考案され、提案されている⁽¹⁾。

搬送装置として、空気を媒介にした空気圧式非接触搬送装置も実用化されている。空気流は磁気を帯びず、熱もほとんど発生させず、安定状態を保つための複雑な制御を必要としない等の利点がある。空気圧を用いた把持方法として、ベルヌーイの定理を利用したベルヌーイ法と呼ばれる典型的な方法が最も多く実用化されている⁽²⁾。この方法は空気を吐出しながらワークを保持することができ、機器内に空気を吸引しないので粉塵、水分等による目詰まりを起こさず、メンテナンスが不要で半永久的な寿命を持つ。これらの利点や衛生面から食品関係の搬送装置としての応用も多く紹介されている⁽³⁾⁻⁽⁵⁾。また、この方法は通気性のあるワークも把持することができるという特徴を持つ⁽⁶⁾。

一方でこのような搬送機器は非接触保持力が弱く、空気消費流量が大きいなどの欠点を有している。そこで近年、非接触搬送装置としてカップ（エンドエフェクタ）内の旋回流を利用したボルテックス法が提案された⁽⁷⁾。この方法の関連研究として、黎らにより旋回流を利用したボルテックス法が提案され、カップを固定した状態でのワーク表面が受ける圧力分布特性の研究を行い、研究結果を報告している⁽⁷⁾⁻⁽⁸⁾。その中で、ボルテックス法とベルヌーイ法を同じだけの吸引力を発生させるのに必要な消費エネルギーの比較を行っており、ボルテックス法はベルヌーイ法に比べ、約 8 割の省エネルギー化をできることを示し、さらに圧力分布を理論的な解析も行った。また動的特性として、カップの下にガイドに固定された上下移動のみ可能なテーブルを設け、そのテーブルを上下方向に振動させた状態でのカップ内の圧力応答測定や円盤の下方部に設置した重りにより慣性モーメントを大きくしたワークでのワークの非定常挙動の研究結果も報告している⁽⁹⁾⁻⁽¹⁰⁾。その報告では、カップに圧縮空気を流してワークを持ち上げる際にワークは減衰振動しながら安定浮揚点に近づくことが分かった。しかし、カップ内の旋回流が一つの場合、ワーク表面と流体との摩擦によりワークが回転してしまうという欠点がある。ワークが回転することで、搬送先にワークを置く際に傷をつけてしまうことや回転により、ワークの挙動が複雑になるといった問題が起

こる。またこれらの研究では、対象とするカップ形状は基本的なタイプであり、その形状を変化させた際の考察はされていない。把持実験に関しても、慣性モーメントを大きくしたワークでの実験のためワークの回転が把持の安定に及ぼす影響は報告されておらず、さらに非接触で把持できているという実験的な結果は示されていない。

以上のような背景のもとに、これまでに基本的なカップ形状をベースに様々なカップ形状を考案し、同じ消費エネルギー条件下で圧力測定実験と単純な円盤を用いた把持実験を行った。機器内部の形状を変化させることで、その圧力分布やワークを把持することの可否も変化することが分かったが、その形状の変化が流れ場に及ぼす詳細な影響はわかっていない。特にワークの把持に関して、ワークが回転することでその挙動が複雑になり、把持した状態を保つのが非常に困難になることを実験的に確認した。

そこで本研究では、ワークを回転させないために二つの同心軸の逆方向旋回流を同時に作ることを提案し、ワークが回転しないカップを考案しその特性を把握する。

引用文献

- (1) E.H.Bradt: “ Levitation in Physics ” ,Science,Vol.243, pp.349-355(1989)
- (2) C. Waltham, S. Bendall, A. Kotlicki, “ Bernoulli levitation ” ,American Journal of Physics,Vol.71,pp. 176-179 (2003)
- (3) 吉田弘：“非接触搬送機器 NCT シリーズ”,油空圧技術 4 月号, pp.24-28(2005)
- (4) 田苗俊和：“非接触搬送機器の食品機械への応用”,油空圧技術 12 月号, pp.8-12(2007)
- (5) S.Davis,J.O.Gray, Darwin G.Caldwell: “ An end effector based on the Bernoulli principle for handling sliced fruit and vegetables ” ,Robotics and Computer-Integrated Manufacturing ,Vol.24,pp.249-257(2008)
- (6) Babur Ozcelik, Fehmi Erzincanli: “ A non-contact end-effector for the handling of garments ” ,Robotica,Vol.20,pp.447-450(2002)
- (7) 黎しんほか：“旋回流を用いた非接触搬送装置に関する研究”,日本フルードパワーシステム学会論文集 ,Vol.38 ,No.1 , pp.1-6(2007)
- (8) Xin Li, Kenji Kawashima, Toshiharu Kagawa: “ Analysis of vortex levitation ”,Experimental Thermal and Fluid Science,Vol.34,pp.1448-1454(2008)
- (9) 徳永英幸, 黎しん：“旋回流を用いた非

接触搬送装置の非定常把持特性”, 油空
圧技術 6 月号, pp.27-30(2008)

- (10) 黎しん, 川嶋健嗣, 香川利春: “ 旋回流
を用いた非接触搬送系に関する研究 ”,
日本フルードパワーシステム学会論文
集, Vol.40, No.3, pp.7-13(2009)

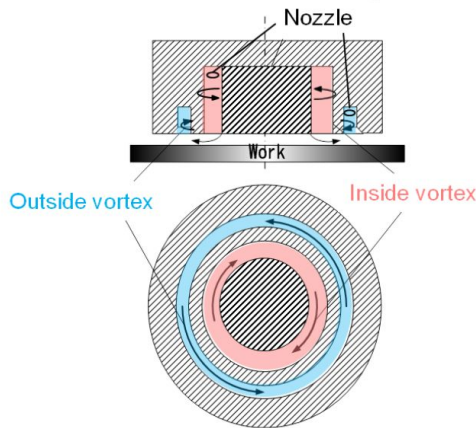


図 1 カップの概念図

2. 研究の目的

本研究では, 空気流の特性を利用した非接触で把持する機器(カップという)の開発を行う. 具体的な機器の設計目標値として, 非接触のすき間を 10g 搬送対象物(以下ワークという)把持時 0.4mm 以上, 把持力を 11.5N (流量 100ℓ/min), 効率を従来のベルヌーイ法カップとボルテックス法カップの間として, 振動(振幅±0.05mm 以下)や回転を抑え安定してワークを把持することのできる機器形状の考案を目的とする. 本研究では特に従来困難であった, ワークを無回転状態で把持するために, 二つの同心軸の逆方向旋回流を同時に作ることによりワークを無回転で安定して把持できるカップを提案する. 本研究で提案するカップの概念図を図 1 に示す. 従来のボルテックス法のカップは内側渦のみで把持していたため渦流れのためにワークが渦方向に回転して把持が不安定であった. そこで, 今回は新たに外側渦を発生させ, これらの二つの逆方向の旋回流の速度を調節することでワークの回転を止め無回転で安定して把持させることを目指す. 本カップを用いた搬送装置として, 半導体製造プロセスの中での非接触搬送装置, 太陽電池パネル搬送装置, 食品輸送装置, 布輸送装置などがあげられ応用範囲は広い.

3. 研究の方法

まずカップの内側渦と外側渦への 2 系統の空気の供給装置を製作する. 空気圧源からの最大供給エネルギーを 1kW, それぞれの系統の最大流量は 100ℓ/min, 最大圧力は 0.4MPa 程度である. 次に, これまでの研究結果をもとにカップの設計製作を行う. 内側と外側流

路との距離が 5 種類の異なるカップを製作し, 二つの渦の干渉効果を調べる. ワークの回転を止めた状態での圧力分布や把持力を算出する. ワークの回転が止まった状態での把持の様子をビデオカメラで撮影して, カップとワークのギャップを計測し, ワークの振動の様子を撮影する. カップとワークのギャップが 10g ワーク把持時で 0.4mm 以上, 把持力を 11.5N (流量 100ℓ/min), 振動振幅±0.05mm 以下を満たしあるいは最も満たす中から効率の良いものを見出す. 効率は, ボルテックス方式とベルヌーイ方式との間を目指す. 具体的には, 以下の順序で行う.

(1) これまでの研究で, 二つの同心軸の逆方向旋回流を同時に作るによりワークを無回転で安定して把持できるカップの製作に成功している. しかしながら, ある一つのカップ形状での確認実験しか行っておらず, 従来の回転するボルテックス法や消費エネルギーが多いベルヌーイ法に比べた場合のワークとのすき間, 把持力, 効率, 振動等の比較検討を行っていない. これらの性能を明確にし, 従来の把持機器との違いを示し本カップの特色を明らかにする必要がある. そこで, 先ずカップへの空気の供給装置を内側渦用と外側渦用の 2 系統製作する. 空気の供給源にレシプロコンプレッサを使用し, 装置はエアフィルタ, ミストセパレータ, 手動弁, 減圧弁, 流量計, 圧力計により構築される. 本研究では実験条件を同一の状態と比較を行うために, コンプレッサからの供給流量を一定に保つ必要がある. コンプレッサから直接空気を供給すると, コンプレッサ内の圧力低下に伴い供給流量も減少してしまう. そのため, 減圧弁を用いて供給圧力を一定にすることで供給流量を安定させる. さらに減圧弁により, 供給圧力を抑えることでコンプレッサ内に発生する脈動もある程度取り除かれることが期待できる. また, 内側と外側どちらの空気圧回路もコンプレッサを使用し圧縮空気を供給し, エアフィルタ, ミストセパレータを用いてコンプレッサ内で発生する微粒子, 水分を取り除いた状態で空気を供給している. これらの空気圧回路は, 先に述べた上流に設置された減圧弁によりその供給圧力を調整することができ, 内側と外側への供給圧力と流量はそれぞれ圧力計と流量計により計測することができる. また, 手動弁を用いることで空気の供給を遮断することが可能である. 使用する圧力計はブルドン管圧力計を用い, 流量計は株式会社キーエンスの気体用流量センサ FD-V40 シリーズを用いる. この流量計は質量流量で測定しているため, 温度や圧力の影響は受けない. そのため体積流量タイプに必要な調整や換算は不要であり, 表示は 20 ℓ/min, 1 気圧の体積流量に換算している. 従来のカップとの性能を比較するため, 空気圧源からの最大供給エネルギーを 1kW に設定して装置の設計を行う. 内側と外側それぞれの最大流量は 100ℓ/min,

最大圧力は 0.4MPa 程度である．次に，これまでの研究結果をもとにカップの設計製作を行う．先ず内側渦を発生させる内側流路と外側渦を発生させる外側流路を先ず設計する．把持機器の内部流路の形状パラメータとして，内側流路径，内側と外側流路との距離，外側流路径(2つ)，流路深さがあげられる．設計方針として，内側流路径と外側流路径はこれまでに試作した機器と同様にする．流路深さは，流体と固体壁との摩擦の影響を抑えるために入り口と出口ポートが製作可能まで小さくする．内側渦と外側渦の回転方向は逆のため，両渦の干渉を少なくするために内側と外側流路との距離を大きくすれば効率

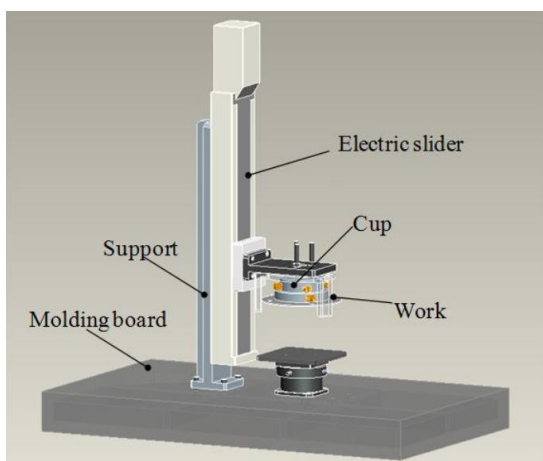


図2 実験装置外観

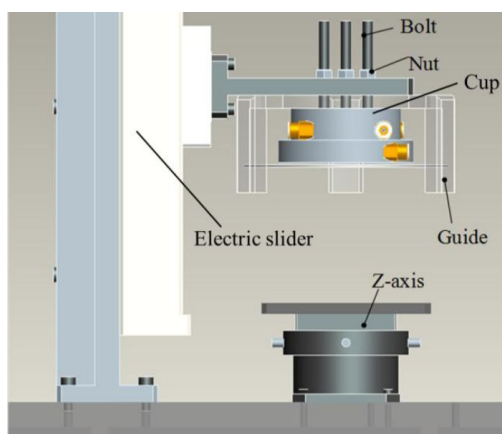


図3 実験装置の正面

は上がるが形状が大きくなる．従って，先ずこの距離が5種類の異なるカップを製作する．5種類のカップについて，あるギャップで設置されたワーク上の圧力を計測する装置を製作する．圧力測定孔は半径方向に1mm間隔に設けマノメータで計測する．カップを回転させ設置することにより，周方向に45°間隔で計測して，ワークの回転を止めた状態での圧力分布を積分して把持力を算出する．さらに，把持の様子が観察できる装置を製作して，カップにワークを把持させワークの回転を止めるように内側の流量と圧力および外

側の圧力と流量を調節する．その時の把持の様子をビデオカメラで撮影して，カップとワークのギャップを計測し，ワークの振動の様子を撮影する．以上の実験により，5種類のカップで，カップとワークのギャップが10gワーク把持時で0.4mm以上，把持力を11.5N(流量100ℓ/min)，振動振幅±0.05mm以下を満たしあるいは最も満たすものの中から効率の良いものを見出す．効率は，ポルテックス法とベルヌーイ法との間を目指す．

(2)(1)で述べた結果をもとに，内側流路と外側流路の距離を決定する．次に，実用化を目指すために，供給口の位置を工夫して流路深さをできるだけ小さくして損失を削減する．さらに，カップ内部の流動解析を行いカップの流路の面取り効果を調べて適切な面取りを行う．さらに，効率を算出しポルテックス法とベルヌーイ法との比較を行う．

(3)実用化するための最終段階として，カップを上下移動させる装置(図2, 3参照)を製作して実際にいろいろなワークを搬送しても問題がないかチェックする．対象物としてCD, 半導体, 太陽電池パネルなどが上げられる．下に設置されているワークにカップが近づき，把持して上方向に持ち上げる過程を移動対象にする．ワークに近づく時，把持し持ち上げる時，把持して移動中などの過程での速度や加速度の大きさを変化させて安定した把持そして移動ができる条件を把握する．さらに，対象物によって把持の様子がどのように変化するか撮影する．以上により，搬送速度の最大値を決定し，装置の操作仕様として利用する．

4. 研究成果

ここで新たに考案された二つの渦流を用いたポルテックスカップを設計製作し，設計パラメータが，円盤を吸引する場合の特性に及ぼす影響を調べた．ワークの回転を抑制できる条件の一例を図4に示す．横軸が内側の渦流れの供給圧力で縦軸は外側のそれを示す．ワークの重量にかかわらず，ほぼ同じ圧力で回転を止めることができることが分かる．把持力の測定結果の一例を図5に示す．横軸は，ワークとカップとの距離で縦軸が把持力である．距離が0.5mm付近で把持力が最大になることが分かる．

主な結論を以下に述べる．

(1)各渦流室出口の面取りの影響を調べた結果，各渦流出口の内側と外側の両方の面取りは吸引力を向上させるために必要で，特に外側の面取りが吸引力の向上に大きな影響を与えていることが分かった．

(2)二つの渦流室の構造によっては各渦流がお互いの渦流室に流入することによって吸引力が低下することがあるので，渦室の設計の際に注意が必要である．

(3)渦流室の幅を変更することによって，外側渦流が占める供給エネルギーの割合を向上させることができたが，吸引力にはあま

り影響がないことが分かった。
 (4) 小型化を図るため外径が 40mm のポルテックスカップを製作した。その結果より、外径 100mm のものよりかなり吸引力が低下した。

さらに、本研究を遂行するにあたり、ワークの落下を防止するために、ベルヌーイ方式のカップについての研究も行った。主な結論を以下に示す。

(5) カップとワークとの間の距離を安定的に保つために噴流はある程度下向きであることが必要で、本実験では、ベルヌーイカップ本体の傾斜角度が 45° で、それに挿入するディフューザーの傾斜角度が 30° のときに一番横滑り落下を抑制できた。

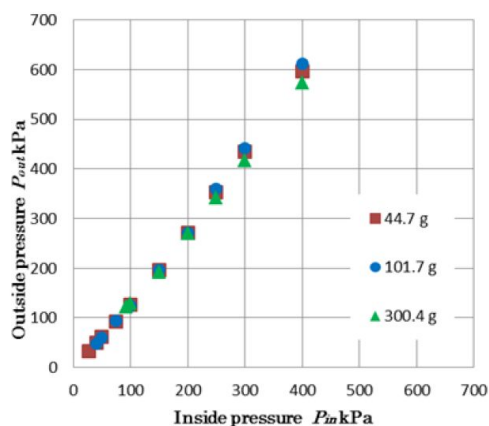


図4 無回転時の圧力

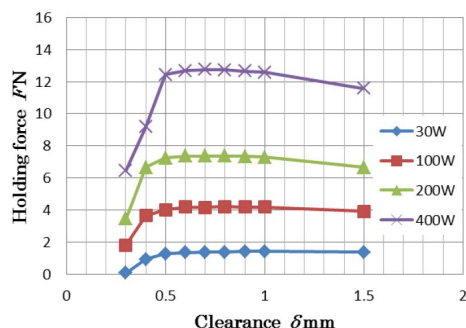


図5 把持力

(6) ワーク形状によって長時間ワークを把持することのできるディフューザーの形状はさまざまで、カップの供給エネルギーによっても結果が異なることが分かった。従って、あるワークを把持するときはワークの厚さや直径、カップの内部構造やディフューザーの形状、供給エネルギーなどさまざまな複合的要因を考慮し、ワークの横滑り落下を抑制することのできるカップを選択しカップに与える供給圧力等を決定しなければならない。なお、今回は CFD 結果と実験結果との比較や搬送速度が把持状態に及ぼす影響の調査は行っていない。これらは、今後の課題となる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔学会発表〕(計 1 件)

1. Ryo MORINAGA, Tetsuhiro TSUKIJI and Taira OMIYA, Study on a Noncontact Holder Using Air Flow, Proceedings of the 9th JFPS International Symposium on Fluid Power, Matsue, Shimane, October 28-31, 2014, pp.267-271

6. 研究組織

(1) 研究代表者

築地 徹浩 (TSUKIJI, Tetsuhiro)

上智大学・理工学部・教授

研究者番号：40163779