

報告日 2011年(平成 23年)6月16日  
報告者 東京工業大学 精密工学研究所 助教  
黎 しん

## 1. 研究概要

(和文)

### (1) 課題名 (日本語)

空気の旋回流を用いた非接触搬送装置に関する研究

### (2) 研究者氏名

黎 しん 東京工業大学 精密工学研究所 助教

### (3) 研究概要

本研究では、電動モータで旋回羽根を駆動することによって空気の旋回流を発生させ、平板状のワークを非接触で把持・搬送できる新しい非接触チャックを提案している。ワークに作用する圧力分布と吸引力を実験的に測定し提案のチャックのメカニズムを明らかにした。さらに、消費エネルギーの観点から従来の空気圧非接触チャックとの比較を行い、提案のチャックが消費エネルギーを大幅に低減できることを確認した。

### (4) キーワード

非接触チャック, 旋回流, 電動方式, 吸引力, 負圧分布

(英文)

### (1) Research title

Research on the Non-contact Gripper Using Air-swirling Flow

### (2) Name of researcher with title of position

Li Xin, Assistant professor, Tokyo Institute of Technology

### (3) Summary

In this study, a new noncontact handling device named swirl-flow gripper is proposed, which can achieve noncontact handling by generating air-swirling flow to cause a lifting force with a set of vanes driven directly by an electrical motor. Its design and mechanism were illustrated and verified by experimentally measuring the pressure distribution and lifting force. It is made clear that the proposed gripper gives rise of a parabolic negative pressure distribution and can keep the work piece's levitation stably. Furthermore, it is also known that it has advantage over the conventional pneumatic approach in saving energy consumption.

### (4) Key Words

Noncontact gripper, Air-swirling flow, Electrically driven, Lifting force, Negative pressure distribution.

## 2. 本研究の意義・特色

半導体ウェハーやガラス基板など平板ワークの非接触把持・搬送を行うとき、空気圧非接触チャックが一般的に用いられているが、消費エネルギーが大きい、制御性が悪い、適用範囲に制限がある、などの難点が挙げられている。これらに対処できる非接触チャックの開発が望まれている。

本研究が提案した電動非接触チャックは旋回羽根により旋回流を形成する構造を有し、直接電動モータに駆動されるところに本研究の特色があり、世界でも類似の研究と応用例はない。圧縮空気源を必要とする従来の空気圧非接触チャックに比べ、次の優位性が挙げられる：1) 電動方式であるため、空気圧縮・輸送・調圧におけるエネルギー損失がなく、消費エネルギーを大幅に削減できる；2) 電源があれば使えるため、適用・動作範囲が大きい；3) 電動モータの制御が容易にでき、必要に応じる吸引力や浮揚位置などの制御が可能となる。

## 3. 実施した研究の具体的内容、結果

### 3. 1 新しい電動非接触チャックの提案

本研究が提案している電動非接触チャック（図1）は、旋回羽根を電動モータで駆動することにより、円筒室の中で空気の旋回流を起こす。旋回流の遠心力は中心部に負圧を形成し、チャック下面のワークを持ち上げる吸引力が発生する。一方、旋回羽根は回転方向に湾曲しているため、吸気口から空気を円筒室に吸い込み、また、チャックとワークとの間隔から空気を押し出す。これによって、ワークはチャックから離れた位置で重力と吸引力が釣り合い、チャックと接触することなく浮揚する。

### 3. 2 圧力分布

図2は旋回流の遠心力により形成された圧力分布の一例を示す。圧力分布の形状が放物

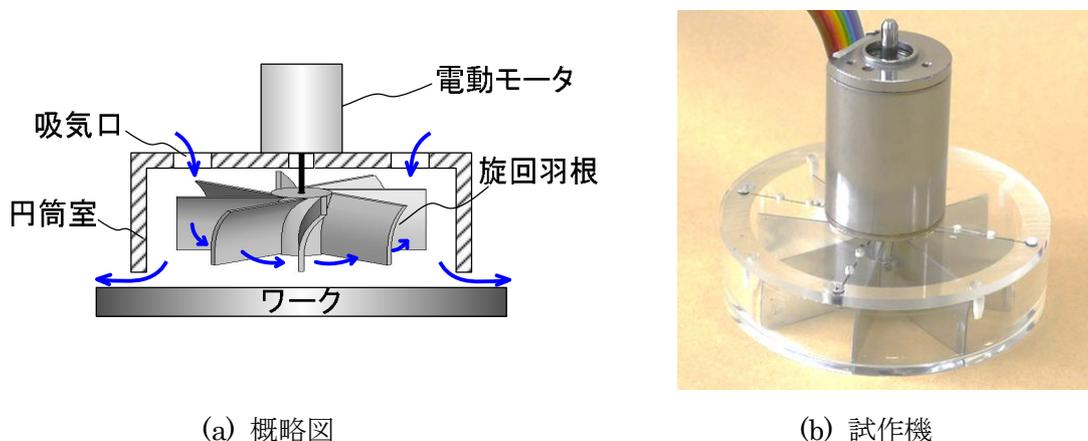


図1 電動非接触チャック

線状になっており、円筒室の中心部分の圧力が負圧領域まで低下していることがわかる。次の仮定に基づき、回転した空気の運動方程式は式1で表わされる。

1) 空気の圧力 ( $P$ ) は大気圧の近傍で数百パスカルしか変化しないため、空気の密度を大気圧状態の密度 ( $\rho_a$ ) とする；

2) 空気の回転方向の流速成分とその影響は支配的であるため、他の速度成分と粘性の影響を無視できる；

3) 旋回羽根に攪拌された空気の回転方向の流速 ( $u_a$ ) は半径 ( $r$ ) に比例する。

$$\frac{\rho_a u_a^2}{r} = \frac{\partial P}{\partial r} \quad (1)$$

仮定の3により、 $u_a = \omega r$  となる。 $\omega$  がモータの回転速度である。よって、

$$\rho_a r \omega^2 = \frac{\partial P}{\partial r} \quad (2)$$

半径方向に対して式2を積分すれば、円筒室内の圧力分布が得られる。図2の破線は式2の理論近似を示す。理論近似は実験値とよく一致することがわかる。

また、空気が円筒室とワークとの間隔を通過して流出するとき、流路の断面積が縮小するため、急激な圧力低下が見られている。この圧力低下は間隔の変化に大きく影響される。間隔が大きくなるにつれ、圧力低下が緩やかになる。一方、モータの回転速度が一定に設定されているため、円筒室内の圧力分布はほぼ同じ形状を保ちながら外周の圧力の変化に伴い上下にシフトする。

### 3.3 吸引力

3.2節に示したように圧力分布が間隔の変化によって変化するため、ワークにかかる吸引力も間隔に依存する。吸引力の測定結果の一例を図3に示す。吸引力は一定の範囲内で間隔の増大に伴い大きくなる傾向が

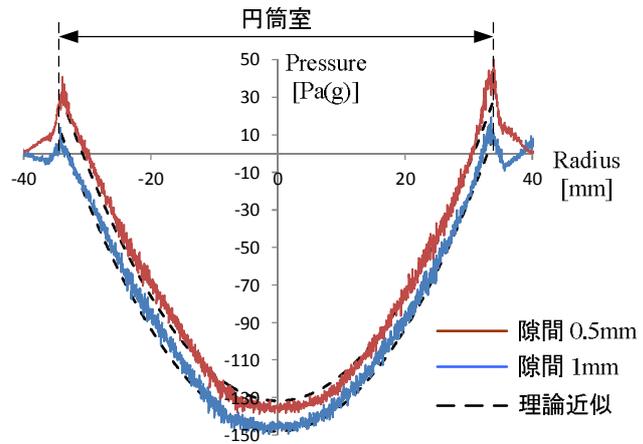


図2 圧力分布 (モータの回転速度が一定)

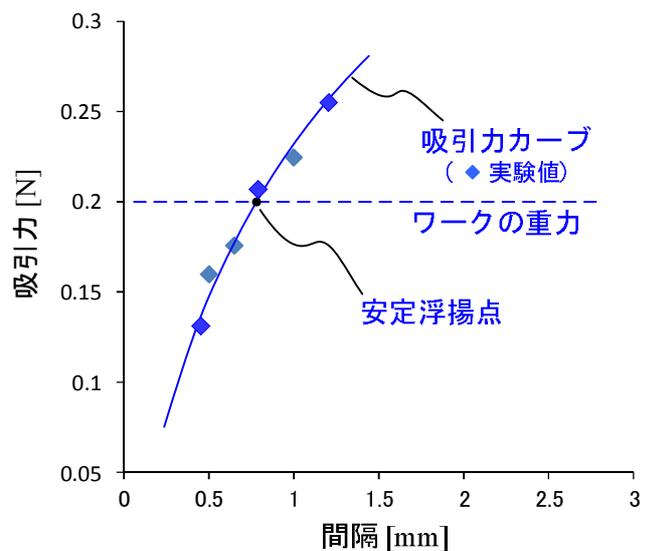


図3 吸引力 (モータの回転速度が一定)

見られる。あるワーク（例、重力が 0.2N）を把持する場合を考え、ワークの重力を破線で図 3 に示すと、重力の破線と吸引力の曲線は交差している。つまり、吸引力とワークの重力は交差点の位置において釣り合う。ワークが交差点の位置よりチャックに接近する場合、吸引力がワークの重力より小さくなるため、ワークは自発的に交差点の位置へ戻ることができる。また、ワークが交差点の位置よりチャックから離れると、吸引力がワークの重力より大きくなるため、チャックがワークを元の位置に引き戻すことができる。このように、ワークは交差点の位置における浮揚が安定であるため、この位置は安定浮揚点と呼ばれている。

### 3. 4 従来の空気圧非接触チャックとの比較

提案の電動非接触チャックは、直接に電動モータに駆動されることから、圧縮空気源を必要とする従来の空気圧非接触チャックに比べ、エネルギー損失が最小限に抑えられ、消費エネルギーが大幅に低減できる。図 4 は消費エネルギーの観点から空気圧駆動方式のベルヌーイチャックとボルテックスチャックと比較した結果を示す。同じ吸引力を発生させるには、提案のチャックの所要エネルギーが従来の空気圧チャックの数分の一であることが明らかになっている。

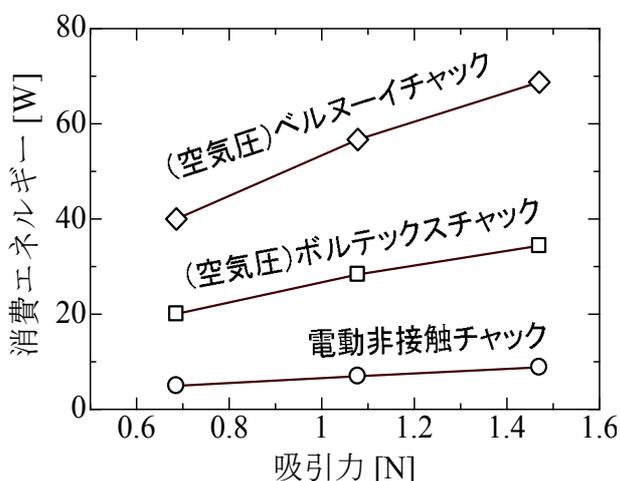


図 4 消費エネルギーの比較

### 3. 5 応用例

図 5 は複数の電動非接触チャックから構成された非接触搬送装置の写真を示す。巡回した空気とワーク表面との摩擦によりワークを回転させるトルクが生じるため、通常、偶数のチャックを用いて大きなワークの非接触把持・搬送を行う。その中に、半分のチャックの回転方向を左回りにし、他の半分のチャックの回転方向を右回りにすることによってそのトルクを解消でき、ワークを安定に把持できる。

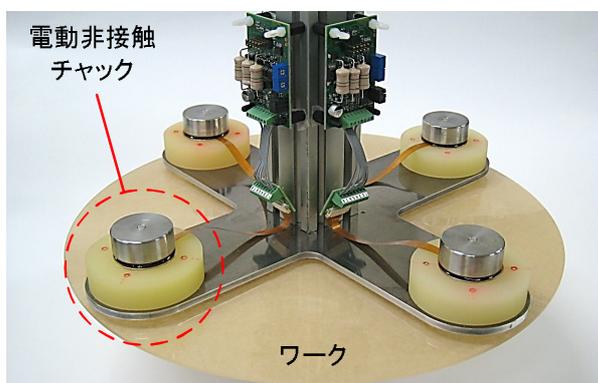


図 5 4つの電動非接触チャックから構成される非接触搬送装置（試作機）

#### 4. 本研究を実施したグループに属するおもな研究者の氏名・役職名

黎 しん, 東京工業大学・助教

香川利春, 東京工業大学・教授

#### 5. 研究実施時期

2010年(平成22年)4月1日から 2011年(平成23年)6月1日

#### 6. 本研究に関連して発表した主な論文等

- [1] Li Xin, Shoichiro Iio, Kawashima Kenji, Kagawa Toshiharu: Computational fluid dynamics study of a noncontact handling device using air-swirling flow, Journal of Engineering Mechanics-ASCE, Vol.137, No.6, 400-409, 2011.
- [2] 金寅, 黎しん, 尹鍾皓, 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(第3報, ボルテックス・カップと搬送物の位置関係による影響), 日本フルードパワースystem学会論文集, 掲載可, 2011.
- [3] Li Xin, Mikio Horie, Toshiharu Kagawa: Development of a new non-contact handling device using swirl vanes, Proceedings of The 4th International Conference on Manufacturing, Machine Design and Tribology (ICMDT2011), pp. 257~260, Gamagori, Japan, 2011.
- [4] X. Li, K. Minato, Y. Nakamura, S. Iio, K. Kawashima, T. Kagawa: Analysis on vortex-type air bearing, 11th Asian Symposium on Visualization (ASV11), Niigata, Japan, 2011.
- [5] X. Li, K. Kawashima, T. Kagawa: A Numerical Investigation on Flow Field of Vortex Holder, 第29回日本シミュレーション学会大会, pp.111-114, 2010.

#### 7. 内外における関連研究の状況

空気を媒介とする非接触搬送装置については, 空気圧非接触チャックが一般に採用されており, それに関する研究も国内外で多くなされているが, 本研究が提案している非接触チャックは電動方式であり, 世界でも類似の非接触チャックの研究と応用例はない。

非接触把持・搬送における旋回流の応用については, 数年前に開発されたボルテックスチャック(空気圧駆動方式)が旋回流を利用して非接触把持・搬送を実現した。ボルテックスチャックは接線方向から円筒室に空気を噴出すことによって旋回流を形成させているため, 高速の空気噴流は壁面との間に大きな摩擦損失が生じてしまう。本研究の提案は旋回羽根を設けて空気を攪拌し旋回させるため, このような摩擦損失なく, より効率的に旋回流を発生させることができる。

#### 8. 今後の発展に対する希望

複数の電動非接触チャックを用いて大きなワークを非接触把持・搬送を行う場合には, 各チャックの吸引力のばらつきにより, ワークが傾いてしまい, 装置と接触する恐れがある。

より安全な非接触搬送を実現するには、吸引力を制御量としてフィードバックし、各チャックの吸引力を均一に制御する手法の確立が必要である。しかしながら、ワークが非接触浮揚の状態にあるため、ワークに作用する吸引力を直接に検出できない問題がある。そこで、吸引力を理論的に推定し制御する手法の開発研究は重要な今後の課題として挙げられている。技術移転へのこれらの障壁を解決すれば、本提案の電動非接触チャックはより安全かつ省エネの非接触把持・搬送技術として生産製造産業に貢献することが期待される。