

平成21年 6月 1日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2007～2008

課題番号：19500169

研究課題名（和文） 小型ガラス窓清掃ロボットの開発

研究課題名（英文） Development of compact window glass cleaning robot

研究代表者

米田 完 (YONEDA KAN)

千葉工業大学・工学部・教授

研究者番号：70221679

研究成果の概要：本研究では、ガラス窓の内面と外面に小型のロボットを配し、永久磁石によって引き合うことにより吸着し、移動と清掃を行うロボットシステムを開発した。室内側ユニットのモータの回転を磁気カップリングにより室外側ユニットに伝えて車輪を駆動し、また清掃用ワイパの動きも磁気によって室内から室外に伝える機構を開発した。これにより、動力源はすべて室内となり、室外ユニットの小形軽量化を実現した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2008年度	1,600,000	480,000	2,080,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学 ・ 知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：知能ロボット

## 1. 研究開始当初の背景

住宅やビルのガラス窓の清掃は高所危険作業であり、ロボット化が強く望まれる。現状では大きなビルはゴンドラを使用した有人作業、小規模の住宅では完全な手作業である。無人で、かつ小規模住宅にも使用できる小型の装置が望まれる。

## 2. 研究の目的

本研究では、ガラスの内面と外面にきわめて小型の機械を配し、永久磁石によって引き合うことにより吸着と移動を行うロボットシステムを開発する。永久磁石使用の最大の利点は、状態保持にエネルギーがいらないこ

とであり、従来の負圧吸引式より長時間稼働に関して圧倒的に優位性がある。本システムは、これを生かして、ほぼ常駐の運用で、自律的に窓清掃を行う。具体的目標は以下のよう設定する。

(1) 10cm程度のきわめて小型なものとし、建物使用のユーザーが自分で容易に脱着し、管理できる。

(2) 外部ユニットはきわめて軽量の動力源無しタイプとする。比較的軽量化が許容される内部ユニットに駆動モータや制御回路を内蔵し、磁気カップリング等によって外部ユニ

ットに動力を伝達する。

(3) 複数導入して窓につけたまま放置しておく。これにより外面アクセスの難しいはめ殺し窓などのばあいも、清掃の都度アクセスする必要をなくす。

(4) エネルギー源を太陽電池、水補給源を雨水とし、きわめて長時間の自立稼働を行う。薬液補給、塵埃除去がメンテナンス周期となる程度とする。内側清掃は乾式、外側清掃は湿式とする。雨水の供給による水タンク水位、太陽光の照射による充電状況に応じて、休止状態と活動状態をくり返し、ガラス面をきれいに保つように制御を行う。

このような目標を達成するため、移動機構と清掃機構の開発、自立かつ自律的制御法の開発を行う。

### 3. 研究の方法

#### (1) ガラス窓両面同期移動の試み

図1のようにガラス窓の両面にロボットを取り付け、同期して移動させるため、図2のように傾斜車輪2つまたは4つで駆動し、外部ユニットの駆動は図3のような多極のリング型マグネットを使用した磁気カップリングを介した車輪回転により行う。

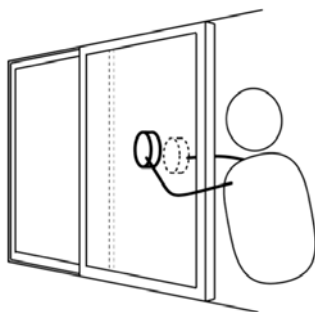


図1 ガラス窓両面への取り付け

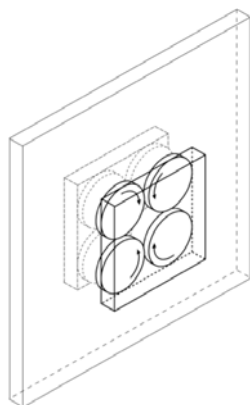


図2 傾斜車輪による駆動

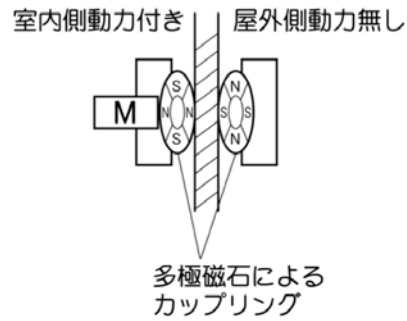


図3 室内側の回転を屋外側に伝える磁気カップリング

#### (2) 小型軽量化への取り組み

磁気吸着駆動機構を小型にすると、相対的に窓ガラスの厚さが大きくなり、磁気吸着およびトルク伝達が不利になる。現在最も強力なネオジウム・鉄・ボロン系の磁石を用いて、吸着力と伝達トルクを確保する。8mm程度の防犯ガラスに対応できる予定である。また、これまでの試作ではマグネット単体を用いているが、より効率よく磁力を利用するためにヨーク(鉄心)による磁気回路を形成する。復層ガラスを含めた12mm程度まで適用可能となるよう検討する。

### 4. 研究成果

提案する磁気カップリング駆動によるガラス窓面移動と清掃機能を実現するため、これまでに3台の試作機を製作した。

試作1号機は図4のように、多極リングマグネットを内包したディスク型の車輪をガラス面に対してわずかに傾斜させて配置する構造とした。ガラス面に吸着したようすを図5に示す。本機により、多極マグネットによる室外ユニットの遠隔駆動が実現でき、窓そうじロボットシステム実現の可能性が明らかになった。

ただし、この構造ではマグネットが傾斜しているため、室外ユニットと室内ユニットのマグネット間の距離が長めになり、伝達トルクをあまり大きくできない。清掃時の負荷抵抗を考えると、より強力な伝達トルクが望ましい。



図4 傾斜マグネットディスクの1号機



図5 1号機のガラス面吸着のようす

図6に示す試作2号機では、図7のようにマグネットディスクをガラス面に平行にしつつ車輪は傾斜させる構造とした。内側と外側の磁石の距離を小さくして吸着力とトルク伝達力を向上させた。ただし、全体が若干大型化して重量増となったため、駆動力は十分であったが吸着力が不足ぎみとなり、図8のように補助マグネットを装着した。

ガラス面における車輪推進力は図9のように室外側ユニットでは若干低下するものの十分な強さである。また、清掃時には水を使用するが、そのような湿潤状態ではガラス面上の摩擦係数が低下する。そのため、車輪の表面に使用するゴム材について、各種の素材をテストし、シリコンゴム (silicone50°) が良好な性能を示した。

また、清掃のためのワイパー機構を搭載した。このワイパ機構は清掃中にロボットの向きを変えことなく窓の最上辺から最下辺まで拭き取るために上下に配し、それぞれがガラス面に接触するか浮き上がるかを選択できるようにした。各ユニット中央の1つのカムで2つのワイパーが図10のように上下する。室内側ユニットではモータで直接カムの駆動を行ない、その回転を室外側ユニットに磁気カップリングを介して伝え、室外側ユニットのカムを駆動した。



図6 2号機の外観

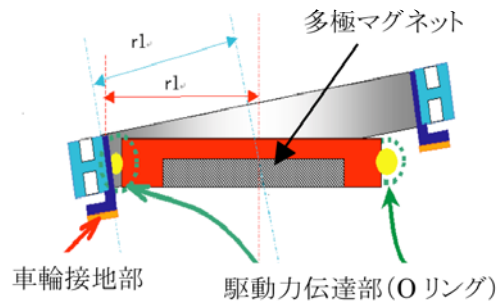


図7 平行マグネットと傾斜ディスク

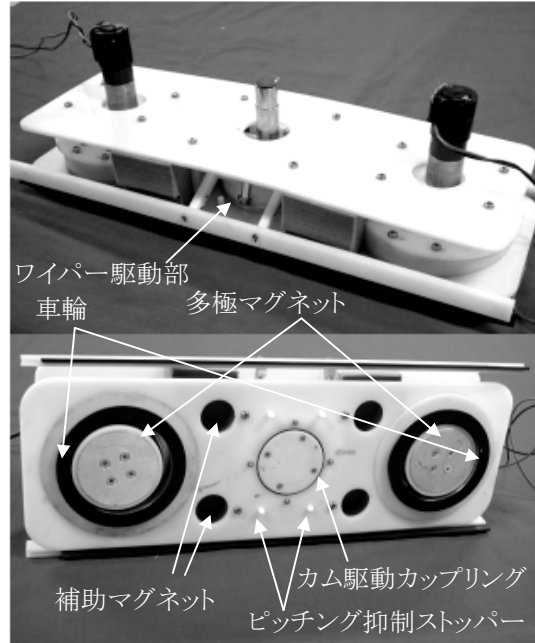


図8 2号機の上と裏面

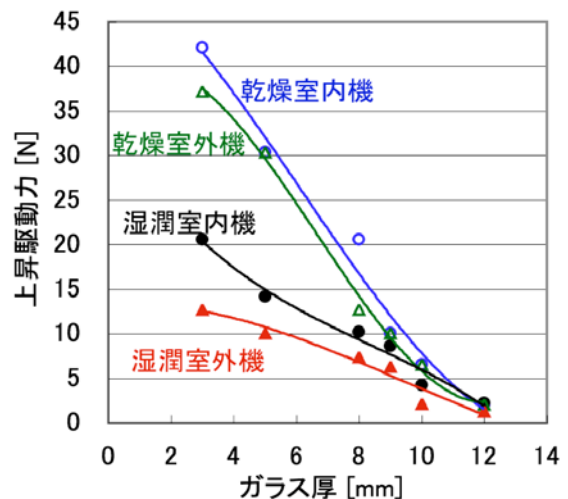
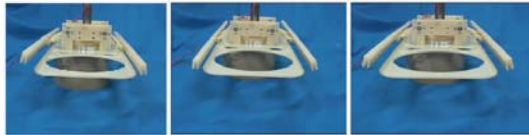


図9 ガラス面上の駆動力測定



左上昇 右上昇 両方上昇  
図10 ワイパの駆動



図11 洗浄試験（拭き残しあり）

図11はワイパーによる洗剤拭き取り試験のようすである。ワイパーの密着性が不十分であり、拭き残しが生じている。

1号機、2号機は、斜めディスク型の車輪を左右に1つずつ持つ構造であったが、斜めディスク車輪は転がり抵抗が大きい欠点がある。また、左右1つずつの車輪配置ではピッチ軸回転が自在になってしまうため下に傾くのを抑制するストッパーが必要である。図4および図8の中央部に見える突起がガラス面に接触することで傾きを抑制している。

試作3号機では、図12のように、小さな車輪を左右に2個ずつ、上側と下側に配置させピッチ軸モーメントを受けるとともに、転がり抵抗の低減をはかった。さらに、モータの向きをガラス面に垂直から平行に変更し、本体から大きく出ないような構造とし、傘歯車を用いてマグネットディスクおよび車輪を同期させて駆動する方式とした。これによって従来の斜め接触駆動よりもロスのない効率的なものとなった。マグネットディスク間のトルク伝達による車輪の駆動力は十分であることが実験で確かめられた。車輪にはシリコンゴムを用いて、ドライ/ウェット両環境において十分な車体保持ができるものとした。さらに全体の小型化、軽量化した設計とし、本体重量に比較して吸着力や伝達駆動力に余裕を持たせた。ガラス面吸着のようすを図13に示す。

以上の試作機により総合的に窓掃除ロボットシステムの実現および性能の向上ができた。

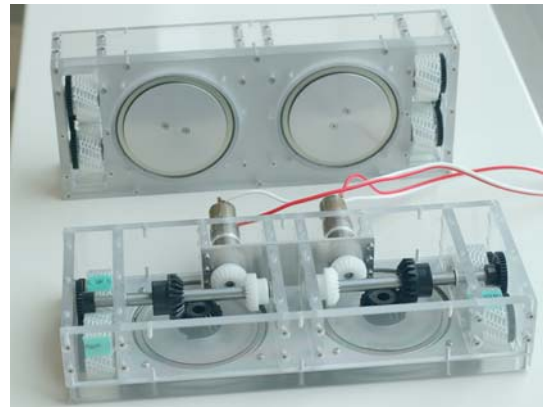


図12 3号機の上面と裏面



図13 3号機のガラス面走行

## 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）

〔雑誌論文〕（計1件）

鶴 清, 米田 完, “磁気同期駆動型窓掃除ロボット”, 日本ロボット学会誌, Vol.25, No.5, pp.738-744, 2007, 査読有り

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

米田 完 (YONEDA KAN)

千葉工業大学・工学部・教授

研究者番号：70221679

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし