

平成21年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「大型浮上ユニットを用いた薄肉易損及び軟質フィルム基板向け

非接触搬送システムの開発」

研究開発成果等報告書

平成22年3月

委託者 関東経済産業局

委託先 財団法人 にいがた産業創造機構

目次

第1章 研究開発の概要

- 1 - 1 研究開発の背景・研究目的及び目標
- 1 - 2 研究体制
- 1 - 3 成果概要

第2章 一軸搬送路の構築・検証

- 2 - 1 一軸試験装置の構築
- 2 - 2 把持特性と搬送特性の検証
- 2 - 3 まとめ

第3章 高精度、低発塵及び低帯電の大型浮上ユニットと静電力利用浮上ユニット

第4章 旋回実験および搬送品下面把持実験

- 4 - 1 把持旋回搬送の検証
- 4 - 2 ガラス基板下面把持試験

第5章 一軸搬送路における搬送特性試験

- 5 - 1 搬送挙動測定
- 5 - 2 静止時安定性測定
- 5 - 3 繰り返し位置決め精度測定(JIS B 6192 に準拠する)
- 5 - 4 まとめ

第6章 口の字型搬送路の構築

- 6 - 1 完全非接触搬送装置(口の字)のシステム検討
- 6 - 2 完全非接触搬送装置(口の字)のシステムの設計・製作

第7章 全体総括

第1章 研究開発の概要

本研究開発では、「非接触把持力発生装置」、「非接触浮上ユニット」及び「搬送メカ要素」の3つの要素技術の開発を行い、システム統合することで非接触搬送システムを構築する。

「非接触把持力発生装置」の開発では、理論的振動解析(CAE)を駆使し、より把持力の大きな振動板を開発設計するとともに、振動モード、駆動周波数・振幅及び表面性状などの様々な要因が把持力に与える影響を精査検証する。この把持力の発生メカニズムが究明できれば、振動板の振動状態や設置条件が把持力に与える影響を理論的に明らかにできる。また、基板上面にはいかなる装置部品類の設置も許されない市場要求に対応するため、把持装置を搬送品下面に設置する方法を検証する。

「非接触浮上ユニット」の開発では、エアーの吐出を均一化させ基板姿勢の安定化を図ると同時に、より高い基板浮上精度を得るために、正圧(エアーの噴出)だけでなく、負圧(真空)の両方を浮上ユニットに供給し、基板の浮上量と浮上精度を制御する。これにより、現行サイズ(250×100)より10倍以上の基板の大型化にも対応可能となり、ユニット据付時の精度調整時間を大幅に短縮することが可能となる。また、基板に対して搬送推力を補助的に与え、かつ基板の姿勢安定性や浮上量精度を向上するために、浮上ユニット内に電極を組み込み、静電力を併用する技術を開発する。さらには、浮揚搬送で問題となる帯電量測定や高純度な製造工程で問題となる発塵量についても測定し、事業化に向けた製品性能基礎データを取得する。

「搬送メカ要素」の開発では、第一段階として、一軸試験装置を構築し搬送機構を構築するための適正な精度のガイドラインを設定する。第二段階として、直線ユニットと回転ユニットを組合せ、基板を直線方向から直交方向へ搬送することが可能となる口の字型搬送機構の構築を目指す。

1 - 1 研究開発の背景・研究目的及び目標

本研究開発の目的は、中小ものづくり高度化法及び中小ものづくり高度化指針に基づき薄肉大型化する液晶テレビ等に使われるガラス基盤について、超音波振動を利用した非接触把持装置と大型浮上装置を組み合わせた搬送システムを構築することである。本手法は、ガラス、プラスチック及びシリコンウエハなど様々な材質の基板の把持が可能であり、基板材質を選ばないことや総把持力が把持装置個数に比例して大きくなるので、搬送の高速化及び基板の大型化にも容易に追従できる特徴を有している。本開発では、これらの特性を活用して第2世代(400×505)ガラス基板の水平面上の並進及び回転運動が可能で非接触搬送装置を開発するものである。

具体的には、以下の項目の研究開発を目指す。

半導体製造装置において、第2世代基板を非接触で搬送する
実用搬送路の構築

上記については、動特性として搬送速度 200mm/sec、

加速・減速度 0.35m/s/s の達成

静特性として、静止位置決め精度 0.5 μm を実現するための

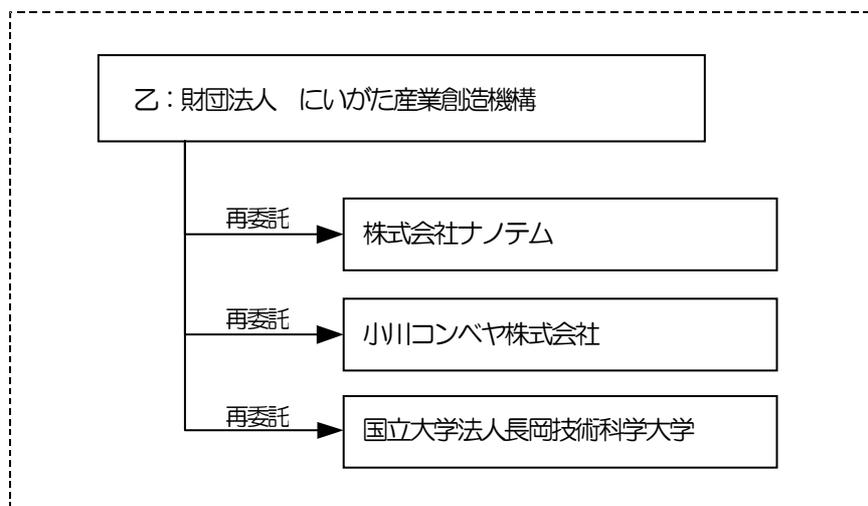
フィードバック系の構築

ロボットレスによる搬送経路に停滞のない基板搬送のプロセス高速化の実現

通常の搬送ロボット価格に比べて充分廉価なシステムの構築

1 - 2 研究体制

(1) 研究組織及び管理体制



(2) 管理員及び研究員

【事業管理者】財団法人いがた産業創造機構
管理員

氏名	所属・役職
熊木 均	産業創造グループマネージャー
富田 正幸	産業創造グループサブマネージャー

【再委託先】 研究員のみ
株式会社ナノテム

氏名	所属・役職
高津 雅一	製造部長
堀江 和也	製造部研究員
仲村 勝	製造部研究員
大橋 恭介	製造部研究員

小川コンベヤ株式会社

氏名	所属・役職
小川 智史	専務取締役
渡辺 敏朗	技術部長
本間 丘	技術部機構グループ
田村 薫	技術部制御グループリーダー
恩田 耕司	製造部リーダー

国立大学法人 長岡技術科学大学

氏名	所属・役職
磯部 浩己	工学部機械系准教授

(3) 他からの指導・協力者名及び指導・協力事項
 [開発推進委員会委員]

氏名	所属・役職	備考
磯部 浩己	国立大学法人長岡技術科学大学 工学部 機械系 准教授	PL
高津 雅一	株式会社ナノテム 製造部 部長	委SL
小川 智史	小川コンベヤ株式会社 専務取締役	委
渡辺 敏朗	小川コンベヤ株式会社 技術部長	委
五十嵐 茂義	財団法人にいがた産業創造機構 ディレクター	
天城 和哉	財団法人にいがた産業創造機構 シニアエキスパート	
山岸 真幸	長岡工業高等専門学校 機械工学科 准教授	アドバイザー (謝金、旅費)
小島 明	東北地域新規事業化支援センター コーディネータ	アドバイザー (謝金、旅費)
嶽岡 悦雄	新潟県工業技術総合研究所 所長	アドバイザー
佐藤 猛行	新潟県産業労働観光部産業振興課 課長	アドバイザー

1 - 3 成果概要

(1) 高把持力を有する把持装置の開発

1) 把持装置振動板の設計・開発

非接触ガイドは振動源となるボルト締めランジュバン振動子(BLT)、振動拡大用のコニカルホーン、たわみ定在波を励起し基板に保持力を与える非接触ガイドユニットを開発した。

2) 設置条件が把持力に与える影響の検証

非接触把持ユニット把持力測定、ソリッド1振動板 Z 軸方向押し付け力、安定位置復元時のばね定数の測定、流量変化時の把持実験を行い特定点に戻ろうとする復元力、静的・動的ばね定数がわかった。

3) 把持力の理論的解析

非接触搬送における搬送物の動特性測定、直線機構によって構成した非接触搬送装置によるオーバーシュート静止時の安定性を確認した。

(2) 下面振動板設置による静止ユニットの検証

把持ユニットの振動板を、ガラス基板裏面(下面)に配置した場合の、浮上ユニットからのオーバーハング部を使うことで、把持は可能であることを確認した。

(3) 一軸試験装置を用いた搬送機構の検討

非接触搬送システムを構築するために必要なデータを収集し、一軸試験装置を製作した。この装置を用いて浮上方法と把持方法の最適な設定を検証するため、ガラス基板の浮上特性、浮上量、浮上精度、浮上安定性を把握した。

(4) 高精度、剃髪人御著日定耐電の大型浮上ユニット都静電力浮上ユニットの開発

1) 均一エア吐出が可能多孔質セラミックスを用いた正負圧バランス浮上技術の開発

正負圧バランス浮上ユニットの正圧負圧独立回路構造と非破壊透過率測定手法を開発し、組立前の採用の可否検討が出来ることが分かった。また、負圧印加流量を制御することにより、浮上量制御、浮上

量バラツキを低減できることが分かった。細目セラミックス板部材について、機械化各工程での条件を見出し、従来法のものと比較して、約2倍の強度を持ち、変形量が少ない浮上ユニットを開発した。

2) 基板帯電抑制、発塵抑制及びその評価法の確立

基板帯電測定評価システムの構築が出来た。発塵抑制及した浮上ユニットの最終洗浄システムの構築ができた。

3) 静電力利用浮上ユニットの開発

静電吸着力を発生する素子に対して電力供給し、静電気発生を確認した。

(5) 完全非接触搬送「口の字」型搬送装置のシステム統合

検討した斜め 1/2 面把持で直線搬送、旋回搬送、方向転換するシステム案と一軸試験装置の結果より、装置の仕様を検討し、完全非接触搬送装置(口の字)のシステムを設計・製作した。本装置で、浮上特性、把持旋回特性、乗移り特性を検証する予定である。

1 - 4 当該研究開発の連絡窓口

(財)にいがた産業創造機構

〒950-0078

新潟市万代島5番1号「万代島ビル」10F

産業創造グループ

産学連携チーム

シニアエキスパート 天城 和哉

TEL 025-246-0068 FAX 025-246-0033

E-mail k-amaki@nico.or.jp

第2章 一軸搬送路の構築・検証

2-1 一軸式験装置の構築

非接触搬送システムを構築するために必要なデータを収集し、浮上搬送精度の観点から検証し、適正なガイドラインを設けるために一軸式験装置を製作した。(図 2-1、2-2)

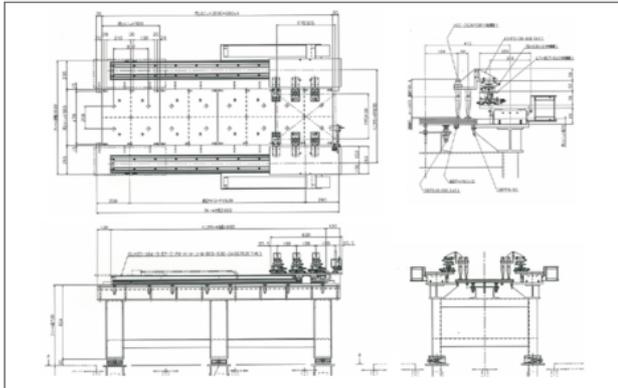


図 2-1 一軸式験装置製作図



図 2-2 一軸式験装置完成写真

【仕様】

1) 浮上ユニット

長さ 2000mm(500mm × 4 枚) × 幅 500mm、材質:多孔質アルミナ、平面度:50 μm

2) 把持ユニット

ホーン・振動板 寸法:適切な振動モードで励振できること、ホーン・振動板 材質:A5052 もしくは A2024、振動子:28kHz、駆動用アンプ:出力周波数 28KHz ± 0.5KHz、出力能力 ~ 200Vp-p 以上、電源 AC100V

3) 搬送ユニット

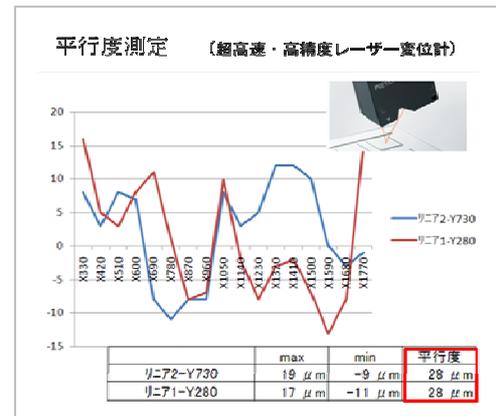
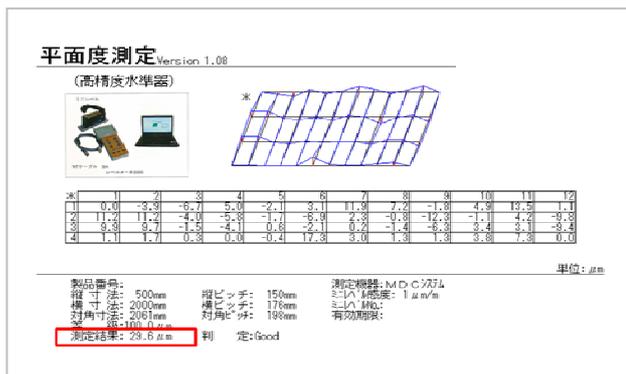
搬送ストローク:1500mm、搬送速度:0 ~ 30m/min(500mm/s)、
 テーブル寸法:長さ 2100mm × 幅 1100mm × 高さ 700mm(材質:SS400)
 クリアランス・位置調整: X,Y 軸 ± 7.5mm Z 軸 0 ~ 10mm、アライメント調整: 傾斜 2 方向 ± 6°
 シーケンス制御

4) 非接触測定器

高速・高精度レーザー変位計(ワイドスポット)、測定距離 80mm(± 15mm)、
 繰り返し精度:0.2 μm、測定データ出力:RS232C インターフェイス or USB インターフェイス

【製作精度目標と結果】

	(目標)	(結果)
水平度	30 μm/m	調整時全て 30 μm/m 以内で施工
平面度	40 μm	29.6 μm
平行度	40 μm	28.0 μm



2 - 2 把持特性と搬送特性の検証

非接触搬送はガラス基板が空気の層に浮上しているため、把持の位置や力のバランスによってガラス基板の浮上状態の変化が予想できる。そこで、搬送できる条件を確認し、その条件の把持特性(把持力・把持の隙間・把持力の影響範囲・把持の位置)と搬送特性(加速と減速の追従性・静止精度)を検証した。

(1) 把持の位置

超音波把持は、ガラス基板のエッジに対し平行に力が働くため、把持搬送するには牽引する把持ユニットと振れ止めする把持ユニットが必要となる。また、完全非接触搬送装置(口の字)を開発するうえで、把持の位置がシステム全体の構造を決める大きな要素である。

(2) 把持パターン

本研究では図2-3の把持パターンと名前とする。

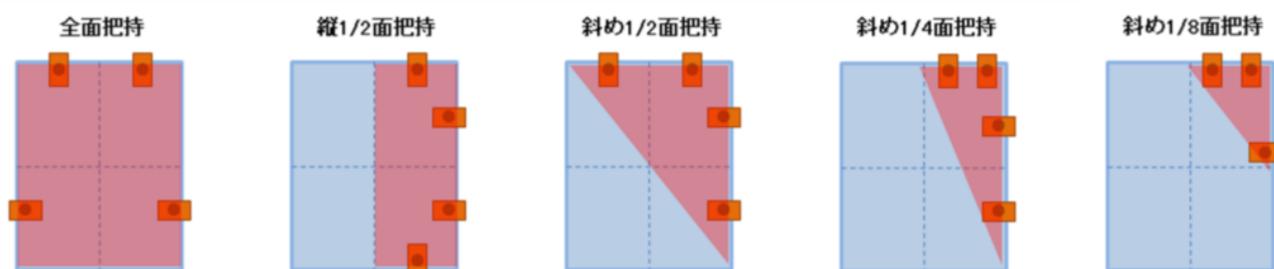


図2-3 把持パターン

各パターンの上下に配置された把持ユニットが牽引用。左右に配置した把持ユニットが振れ止め用。名前は、把持ユニットを配置した辺と長さによってガラス基板のどの面で把持しているかとし、全面把持、縦1/2面把持、斜め1/2面把持、斜め1/4面把持、斜め1/8面把持とした。

(3) 把持パターンと搬送速度限界の検証

図2-4の様に一軸試験装置に図2-3の5パターンを順番にセットし搬送速度別に加速度の限界を検証した。

【設定条件】

1) 浮上ユニット

空気圧 : 0.095Mpa

空気流量 : 355L/min

制御 : 常時2面吐出

2) 把持ユニット

牽引×2、振れ止め×2

(斜め1/8面把持のみ振れ止め×1)

電圧 : 400V



図2-4 全面把持の測定

3) 搬送速度

速度: 50 ~ 500mm/s
(50mm/s 毎)
加・減速度: 0.05 ~
0.40m/s² (0.05m/s² 毎)

4) 判定方法

各速度設定で把持搬送テストを3回繰り返し、往復の全てが搬送できた時

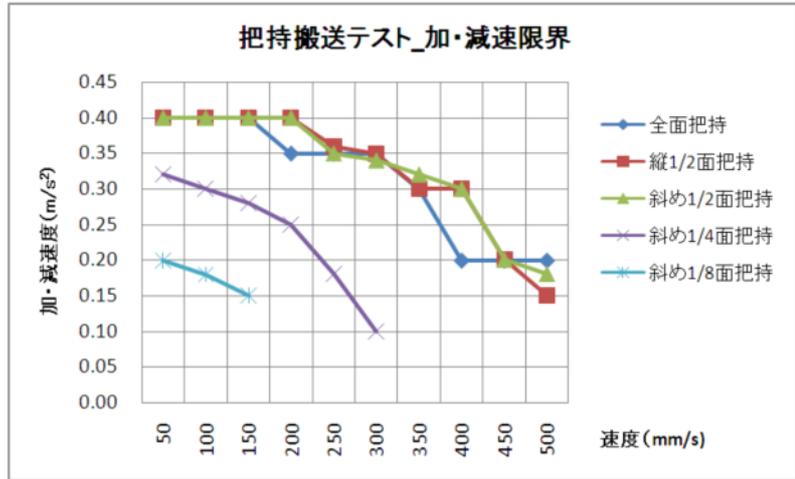


図2-5 加・減速度限界

図 2-5 より、目標である 速度 200mm/s 加・減速度 0.35m/s² を達成したのは、全面把持、縦 1/2 面把持、斜め 1/2 面把持の 3 パターンであった。また、これらは同じ様な限界であった。斜め 1/4 面把持と斜め 1/8 面把持は、速度が遅ければ搬送できた。ガラス基板のモーメント方向の動きに弱く、把持が外れる傾向であった。速度と加・減速度は反比例の関係にあることが確認できた。

(4) 把持搬送と浮上エアの関係

(2-3-1)の実験は、浮上ユニット常時 2 面吐出で空気流量 355L/min の結果であったが、浮上エアを変えた場合どのような結果になるか検証した。この実験の把持パターンは斜め 1/2 面把持とした。この把持パターンは完全非接触搬送装置(口の字)の計画を本研究メンバー(長岡技大、ナノテム、小川コンベヤ)で検討した結果である。また、実験は空気流量 350L/min ~ 25L/min 毎に下げ、研究目標の速度 200mm/s 加・減速度 0.35m/s² で把持搬送し検証した。

この条件での把持搬送と浮上エアの関係は表 2-1 より、空気流量 175L/min が限界であることがわかった。また、把持ユニットの調整の際、空気流量が少なくなると調整幅が狭くなったように感じた。

空気流量 (L/min)	判定	状況
325	○	良好
300	○	〃
275	○	〃
250	○	〃
225	○	〃
200	○	〃
175	○	把持できたが一番低い角の浮上高さが10μm以下
150	×	把持調整できなかった

表2-1 把持搬送と浮上エアの関係

(5) 把持位置と搬送速度の関係

現状の浮上ユニットでガラス基板を浮上させた場合、ガラス基板は撓みながら浮上する。これは浮上特性で確認した。よって、ガラス基板を把持する位置によって浮上量は異なる訳である。把持搬送はこの影響があるのか、図 2-6 の様な斜め 1/2 面把持のパターンで速度 200mm/s で把持搬送し、加・減速度限界を比較し検証した。

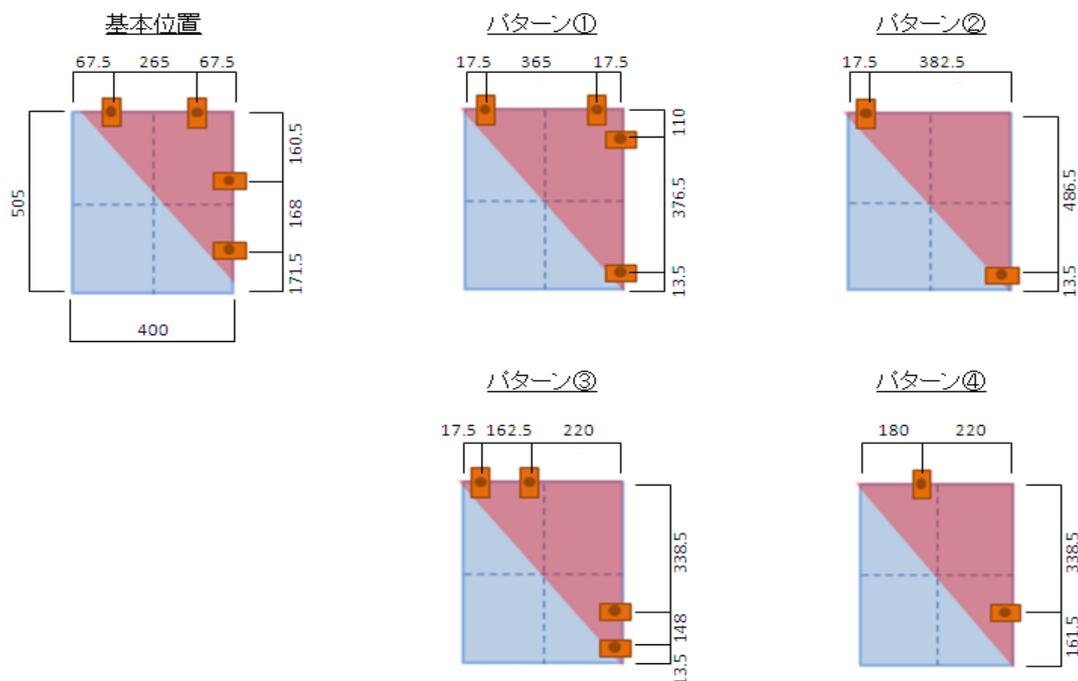


図2-6 把持の位置

図 2-7 から、この 5 パターンの中では基本位置が最善であった。基本位置とパターン①、パターン②とパターン③を比較すると、浮上量の高い位置の方が、加・減速度の限界値も高くなっている。牽引力とモーメントのバランスのとれたパターンが最善であることが検証できた。

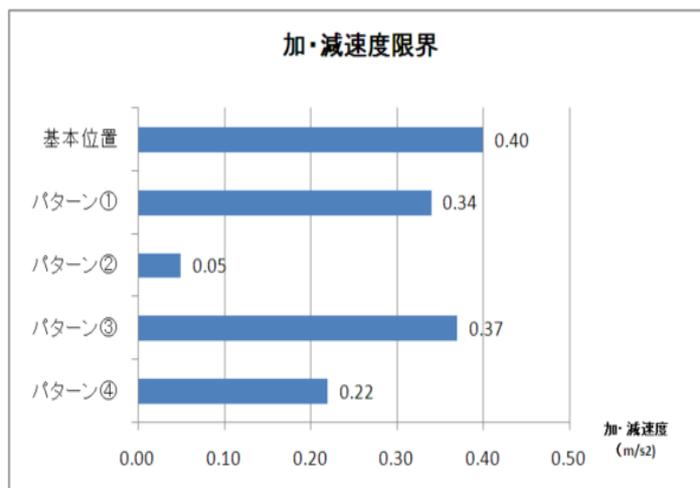


図2-7 加・減速度限界

(6) 平坦化浮上の把持搬送

浮上特性でガラス基板の平坦化浮上の実験を行った。浮上ユニットの中央 1/3 にテープを貼ることでより平坦化することは確認できたが、この状態で把持搬送した場合、把持力が向上するのか図 2-8 の様に浮上ユニットにテープを貼り検証した。

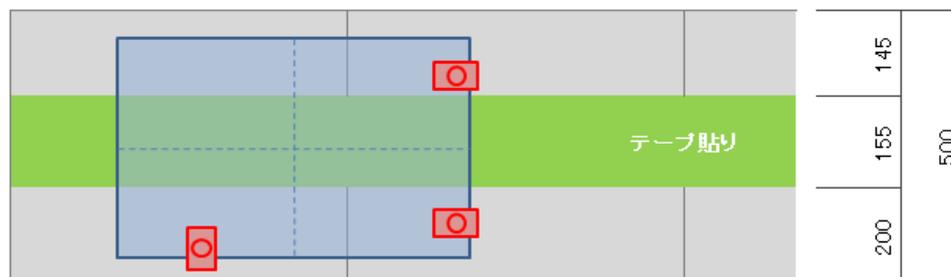


図2-8 平坦化浮上の把持搬送実験

また、テープを浮上ユニットの中心に貼らなかった理由としては、斜め 1/2 面把持の浮上量測定で、図の上側（把持されていない側）の浮上量が高い結果だったので、より平坦化できればと考えこの設定で実験を行った。把持ユニットを振れ止め×1にした理由は、4ヶ所で把持するとバランスが取れないのか把持力が出なかったため3ヶ所の把持で実験した。把持搬送実験の結果は、図 2-9 の様に中央 1/3 テープ貼りの方が良い結果であった。

ガラス基板を平坦化浮上することで把持搬送の条件が良くなることを検証できた。

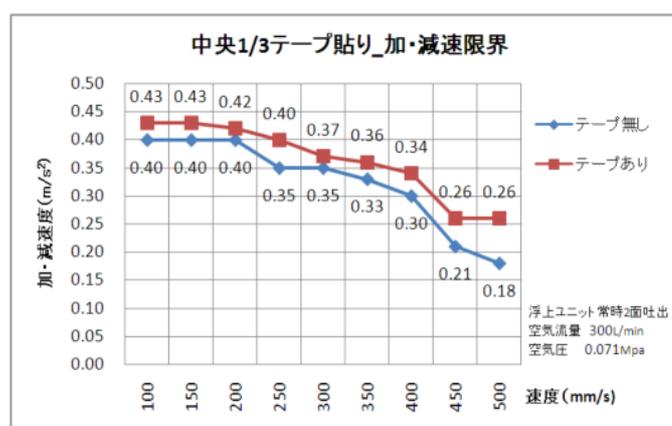


図2-9 中央1/3テープ貼り_加・減速限界

2-3 まとめ

本章で、一軸試験装置によってガラス基板の浮上特性、把持特性、搬送特性、機構特性などを検証した。得られた結果を以下に示す。

1. ガラス基板を均一なエアで浮上させると、中心が高く四隅の低い撓んだ形状になり、浮上が高いほど撓みも大きくなる。しかし、ガラス基板を縦3分割、横3分割の9分割にし、四隅の面のみに浮上エアを吐出すると、平坦に近い状態で浮上することがわかった。また、平坦化したガラス基板の方が把持搬送実験でも良い結果となった。
2. 非接触搬送における把持の位置は、全面把持、縦 1/2 面把持、斜め 1/2 面把持で速度 200mm/s 加・減速度 0.35m/s² の目標値を達成し、速度 200mm/s で最大加・減速度 0.4m/s² まで把持搬送できた。また、急激な加・減速でなければ、最高速度 500mm/s で加・減速度 0.18m/s² で把持搬送できることもわかった。
3. 均一な浮上エアで把持搬送できる最低の空気流量は、浮上ユニット 2 面吐出で 175L/min(1cm² 当たり 0.035L/min) であることがわかった。

以上から、完全非接触搬送装置(口の字)の設計・製作に必要なデータを収集することができた。しかし、製作・加工精度の面では安価な装置を実現化する成果を出していない。今後、平坦浮上できる浮上ユニットと強力な把持ユニットの組合せなど改良が不可欠である。

第3章 高精度、低発塵及び低帯電の大型浮上ユニットと静電力利用浮上ユニット

基板浮上ユニットの構造でもっとも簡易なものは、図 3-1(a)に示すようなユニット厚み方向に貫通穴を多数設けるタイプであるが、穴の箇所ばかりでのエアータウトとなり、基板はその自重によりたわんでしまい高精度な浮上支持とはなりえない。均一性を増すために多孔質体を採用するにも、目の粗い多孔質体では給気ポート付近ばかりでエアータウトし、均一なエアータウトの分布が得られず、基板は図 3-1(b)のようにたわんでしまう。より高い基板浮上精度を得る為に、正圧(エアータウトの噴出)だけではなく、負圧(真空)の両方を浮上ユニットに供給することで、基板を任意の釣り合い位置に安定浮上させ、浮上精度を高精度制御する(図 3-1(c))。この方法の有効性については、第2-2節(6)における、浮上ユニット中央部の吐出量抑制実験からも確認されている。さらに、ミクロン単位の目の細かい多孔質体の採用により、多孔質内部の圧力を高めることが出来、ユニット面内での均一なエアータウトが可能となる。それにより浮上時の基板のたわみを最小化できる。

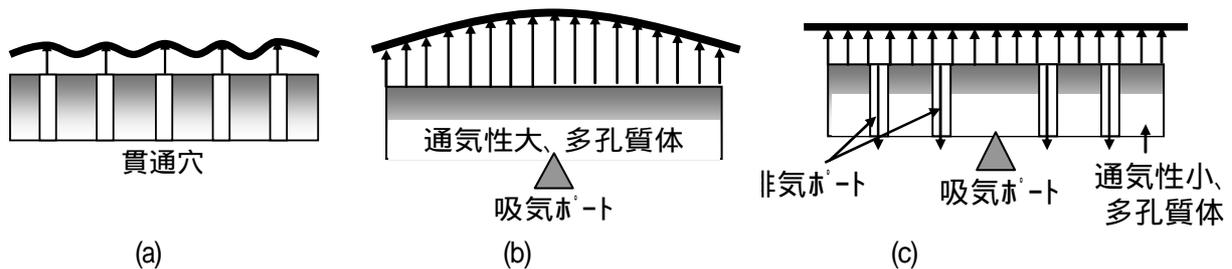


図 3-1 浮上ユニット構造とその構造に応じたエアータウトの分布説明図

本研究開発事業では、正圧・負圧両方を備えもつユニット内部回路構造を開発した。また他社現行サイズ(250×100)より10倍以上の大型化により、ユニット据付時の精度調整時間を大幅に短縮することが可能となる。本報告においては、製造方法については非公開とするために、下記の通り結果を列挙する。

- 1) 正負圧バラスン浮上ユニットの正圧負圧独立回路構造を開発し、回路独立成立のための製法を検討、実施し、その独立成立を確認した。
- 2) 正負圧ユニットに採用する細目セラミックス板の単体非破壊透過率測定手法を開発し、組立前の採用の可否検討が出来ることが分かった。また、セラミックス板単体の面内透過率バラツキ、個体間バラツキの評価が可能となり、品質管理手法として用いることが出来ることが分かった。
- 3) 製作した浮上ユニットに正圧エアータウト、負圧を印加し、負圧印加流量を制御することにより、浮上量制御、浮上量バラツキを低減できることが分かった。
- 4) ガラス基板浮上量評価は静的評価にとどまり、今後一軸機を用いての動的評価の必要がある。
- 5) 細目セラミックス板部材の製造の機械化に向け実験を行い、各工程での条件を見出した。
- 6) 製作したセラミックス板は従来法のものと比較して、約2倍の強度を持ち、圧力の掛かる環境下での使用において、変形量が少なく、精度維持が可能なることが示唆された。
- 7) セラミックス板の透過率測定結果より、浮上ユニットへの採用の可能性が示唆された。

第4章 旋回実験および搬送品下面把持実験

本章では、今後の実用化展開に向けて、把持しているガラス基板の旋回動作試験および振動板を含めた把持ユニットをガラス基板の下面に設置できるかを実験的に検証する。

4 - 1 把持旋回搬送の検証

完全非接触搬送装置(口の字)を開発するうえで、ガラス基板を直交方向へ搬送する必要がある。そこで今回の研究では、浮上ユニットに浮上するガラス基板を把持旋回搬送する計画である。図 4-1 の様なミニ実験装置を製作し検証した。ミニ実験装置は手動旋回であり、把持ユニットの調整も完璧にできるものではなかったため、把持力は弱いものであったが、把持旋回することは可能であった。この実験の結果、把持旋回搬送を完全非接触搬送装置(口の字)に組み込むことで決定した。把持旋回搬送の特性は、完全非接触搬送装置(口の字)で検証する必要がある。

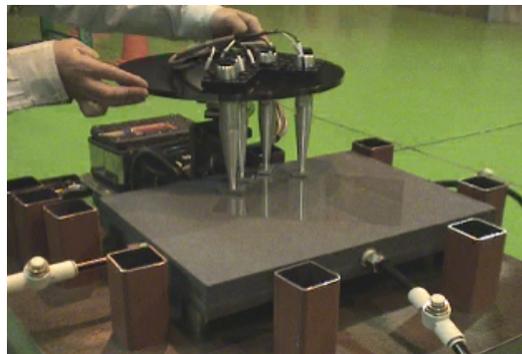


図4-1 把持旋回搬送

4 - 2 ガラス基板下面把持試験

事業期間内での搬送装置においては、搬送するガラス基板の上面に超音波振動する振動板が配置されていた。しかし、把持ユニットがガラス基板の上面にあると、把持ユニットから飛散したパーティクルは、ガラス基板上に落下する可能性が高い。また、本機構を製造プロセスへ組み込むことを検討すると、把持ユニットが空間的に邪魔であり、事業化展開の幅を狭めることになる。そこで、本章では、振動板をガラスの下側に配置した場合でも、把持力が発生することを実験的に検証する。実験装置を図 4.22 に示す。ガラス基板を浮上ユニットから 18mm だけオーバーハングさせ、振動板をその下に配置し、振動モードの節線とガラス基板のエッジを一致させて把持させる。なお、検証装置においては、ランジュバン振動子、コニカルホーンが長いために、振動板のみをガラスの下側に配置した。

実験の結果、裏面での把持は、 $150 \times 150 \times 0.7\text{mm}$ および $90 \times 120 \times 0.7\text{mm}$ のどちらのガラスに対して安定して把持できた。しかし、把持力は上面把持に比べて小さかった。下面把持においては、振動板の発生するスクイーズ圧力も、空気静圧案内からの浮揚力も上向きとなり、基板を押さえ込む力が重力のみとなったためだと考えられる。これは、今後、浮上ユニットに負圧を発生する機能を追加し、ガラス基板を振動板に安定して近づけることができれば、把持力を大きくできるものと考えられる。

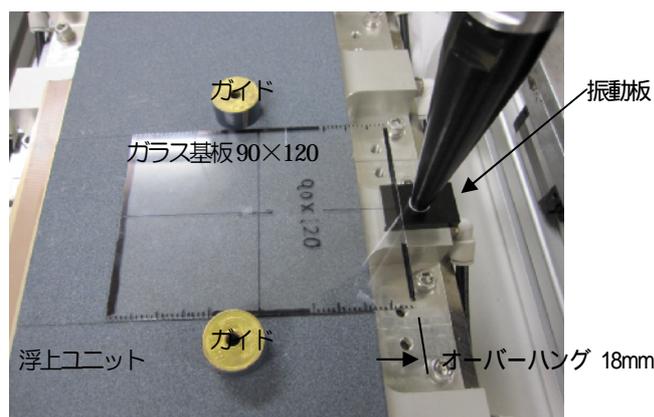


図4-2 ガラス基板下面把持試験装置

第5章 一軸搬送路における搬送特性試験

5 - 1 搬送挙動測定

G2 サイズガラス基板の一軸直線搬送装置を用いて、搬送物の搬送特性試験を行った。把持は、把持ユニット4個を図5.1に示すように配置する「斜め1/2面把持」で行った。レーザー変位センサはリニアテーブルに固定されており、図5.1のようにX、Y方向に向けられ、ガラス上に固定された反射体をターゲットとして、把持ユニットからの相対位置を逐次測定する。テーブルが原点から50mm移動している位置でガラスの把持を行う。搬送中のガラスのX方向、Y方向の変位を測定した。搬送条件は、搬送距離1480mm、定常速度100mm/s、搬送加減速 100mm/s^2 である。

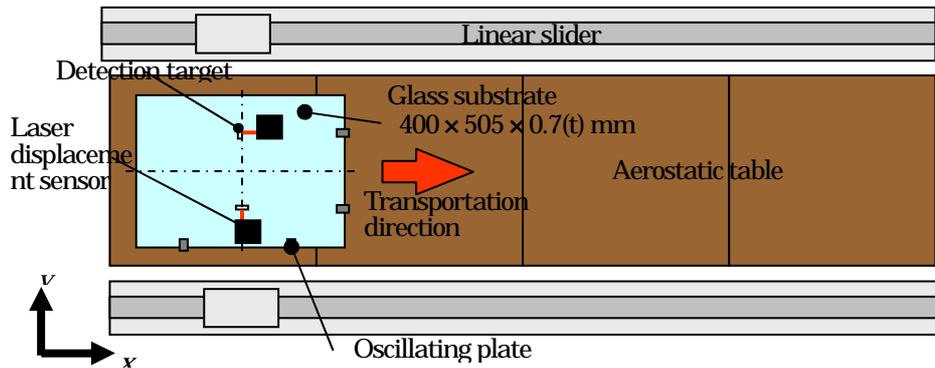


Fig.5.1 Measurement apparatus

搬送挙動について、X方向の変位を図5.2(a)、Y方向の変位を図5.2(b)に示す。搬送開始時(図中A)に、ガラスは $-500\mu\text{m}$ 程度安定位置からずれている。これは、加減速時にガラスが把持ユニットに対して置き去りにされているが、安定位置からのずれ幅が把持限界範囲内であるため、基板は再び安定位置に戻ることを意味している。また、5、10秒の時点(図中B、C)でも $200\mu\text{m}$ 程度安定位置からずれている。これは、静圧テーブルの空気供給の切換箇所であるため、ガラスの浮上状態が変化し、把持にも影響が出たためであると考えられる。そして、25秒付近で搬送停止(図中D)するが、このとき+方向に $100\mu\text{m}$ 程度のずれ、つまりオーバーシュートしていることがわかる。一方、図5.2(b)からY方向の変位は、X方向に比べると大きな変化は見られなかった。

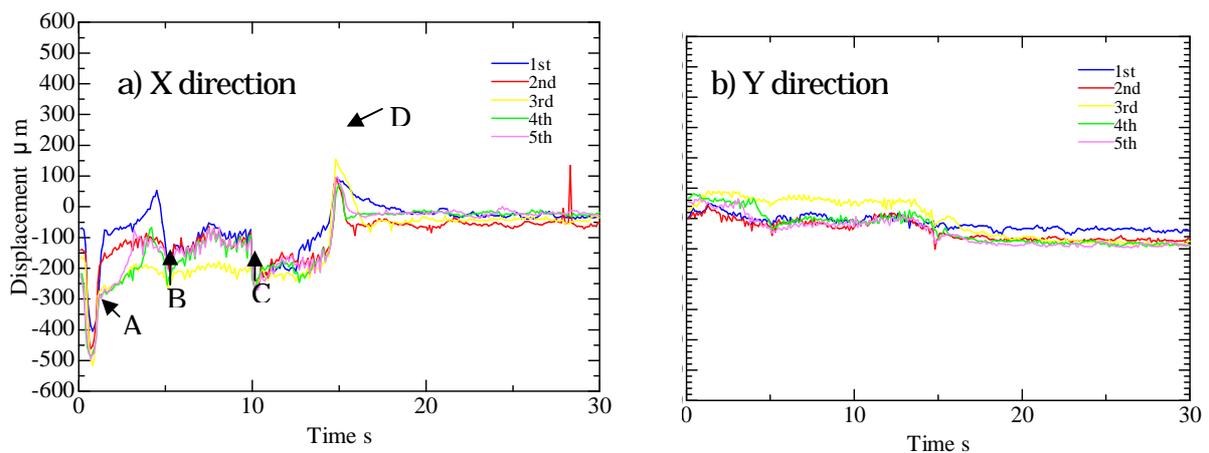


Fig.5.2 Deviation between substrate and holding unit motion

5 - 2 静止時安定性測定

前節と同様にレーザー変位計を配置し、静止時安定性測定を行った。静止時安定性は、ガラス基板を静止させている時の「ぶれ幅」として測定した。一般的な接触搬送においては、ぶれについては充分小さいので考慮されない。しかし、本搬送方法では、非接触で搬送物が把持されているため、ロバスト性は大変に低く、空気の揺らぎや架台振動などの外乱の影響を受けやすく、低周波の揺動が大きいものと考えられる。このX、Y方向の揺動 すなわち「ぶれ幅」を、搬送開始前と搬送後で測定を行った。なお、搬送条件は、搬送距離 1430mm、定常速度 100mm/s、搬送力減速 100mm/s²である。

図 5.3 に搬送前の静止時安定性測定の結果を示す。縦軸のゼロの値は、測定時間内における時間平均の値である。また、図 5.4 には各測定回の最大値と最小値の差をぶれ幅としてグラフに示した。X 方向では、80 μm、Y 方向では、50 μm 程度のぶれが生じていることがわかった。これまでの我々の予備実験において、搬送物が 150mm のシリコンウェハでのぶれは 10 μm であったのに比較して約 8 倍大きくなった。

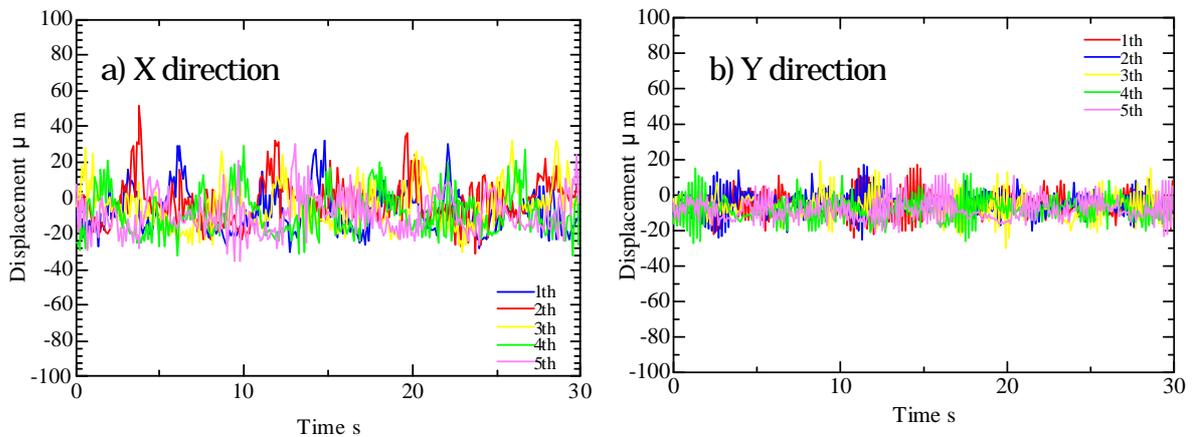


Fig.5.3 Stability of rest position before transportation

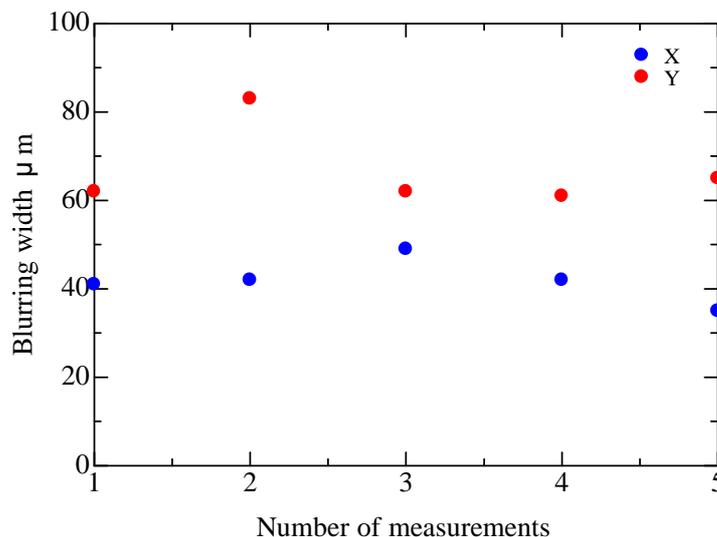


Fig.5.4 Blurring width before transportation

5 - 3 繰り返し位置決め精度測定 (JIS B 6192 に準拠する)

図 5.5 に繰り返し位置決め精度測定装置の概略図を示す。X 方向のレーザー変位計は、リニアスライダのテーブルではなく、静止座標系に固定され、基板が搬送後に停止する位置を測定する。Y 方向のレーザー変位計は、リニアスライダのテーブルに固定され、基板の相対距離を測定する。測定方法として、まず搬送状態を安定させるために一往復の搬送を行った後、その搬送停止位置をゼロ点として設定し、再度同じ搬送条件でガラス基板の往復搬送を繰り返す。このときの、ガラス基板の繰り返し位置決め精度を測定した。搬送条件は、搬送距離 1350mm、定常速度 100mm/s、搬送加速度 100mm/s^2 である。

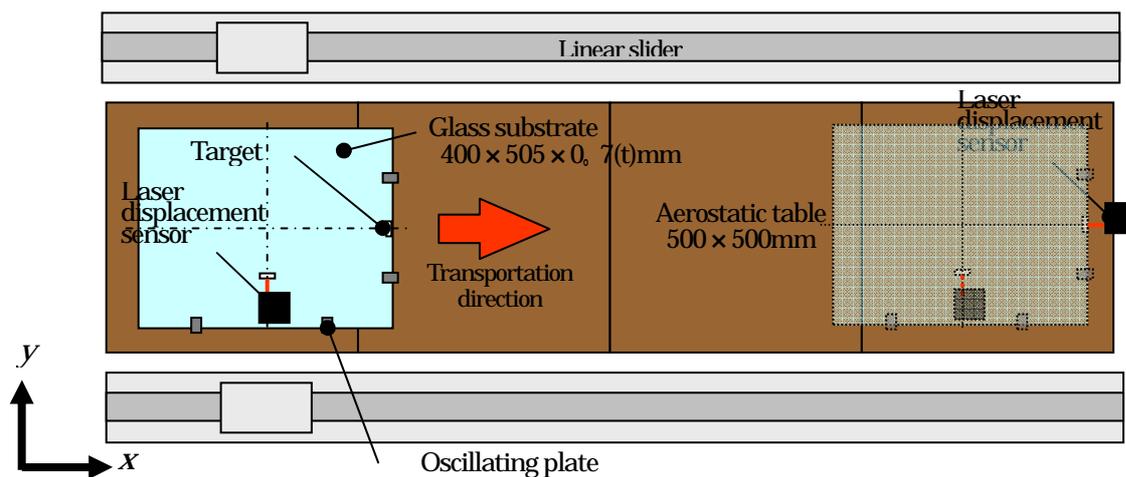


Fig.5.5 Measurement apparatus

図 5.6 に搬送物の繰り返し位置決め精度の測定結果を示す。基板は、静止時においても揺動しているため、0~15 秒間の位置の平均値を停止位置とした。搬送毎の停止位置をプロットしたグラフを図 5.7 に示す。繰り返し位置決め精度は $\pm 20\ \mu\text{m}$ であった。

5 - 4 まとめ

本章で、大型直線搬送装置にて、搬送物の動特性測定、非接触搬送実験を行い実用化に向けての検証を行った。得られた結果を以下に示す。

- 1) 搬送停止時、最大で $100\ \mu\text{m}$ 程度安定位置からオーバーシュートすることがわかった。
- 2) 静圧テーブルからの空気供給切替時に搬送物は安定位置からずれることがわかった。
- 3) 搬送物の静止時のぶれ幅は、X 方向、Y 方向の最大で $80\ \mu\text{m}$ であることがわかった。
- 4) 搬送物の静止位置繰り返し再現性は、 $\pm 20\ \mu\text{m}$ の範囲内であることがわかった。
- 5) 大型直線搬送装置にて、把持ユニットに置き去りにされることなく搬送することができた。

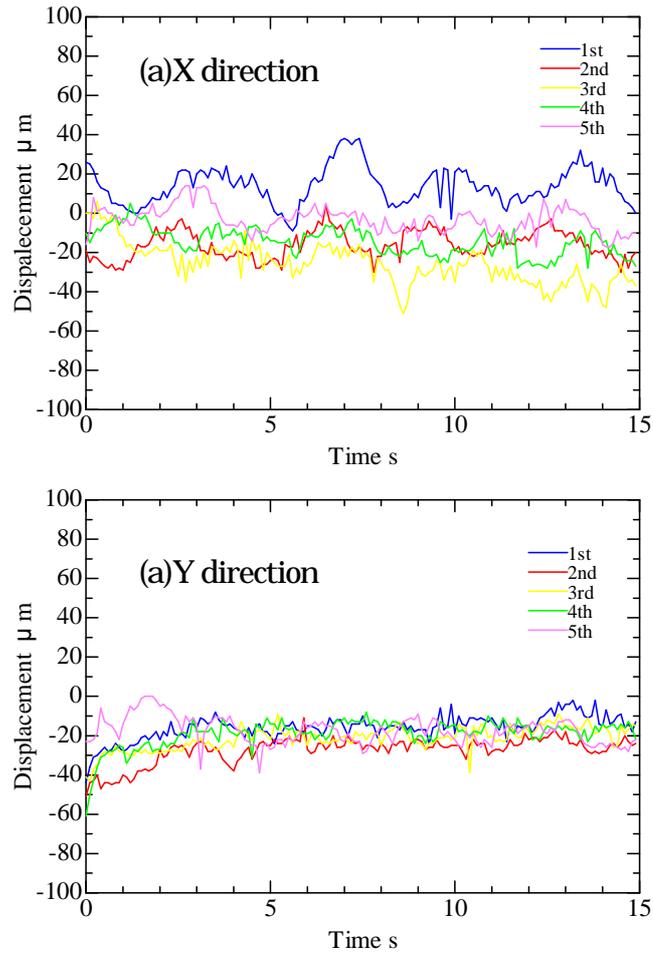


Fig.5.6 Measurement result

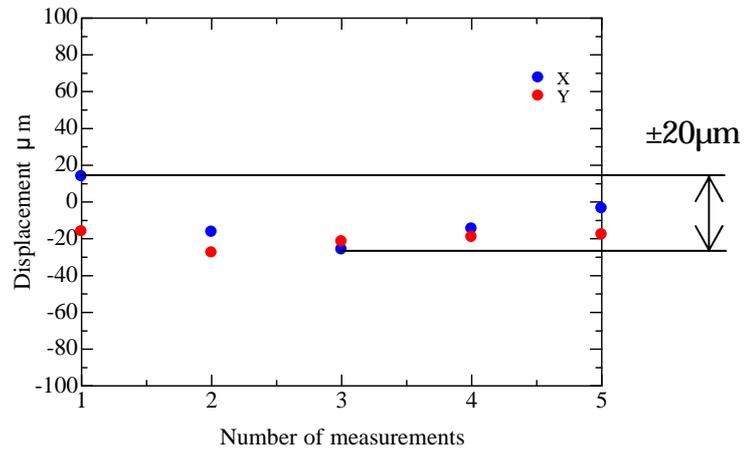


Fig.5.7 Averaged substrate position

第6章 口の字型搬送路の構築

本研究開発事業では第一段階として、直線方向での搬送を検討するため一軸試験装置を試作し、浮上特性(浮上量・浮上精度・浮上安定性)、把持特性(把持力・把持の隙間・把持力の影響範囲・把持の位置)、搬送特性(加速と減速の追従性・静止精度)、機構特性(平面精度・直線精度)}を検証した。この結果により、図6-1、6-2の様な直線と直交システムを統合した「口の字」搬送装置を製作した。

6-1 完全非接触搬送装置(口の字)のシステム検討

非接触搬送装置は、液晶パネルなどの生産工程の加工装置間や加工装置内の搬送を目的としている。よって、直線搬送、直交移載搬送、方向転換など様々な搬送パターンが必要となる。また、この搬送システムを構築するには、各搬送工程の乗移りやその動作制御など様々な条件をクリアする必要があるため、搬送システムの構想し、一軸試験装置の結果と比較し、その都度検討した。

(1) 乗移りを考慮した搬送システムの検討

把持搬送の把持パターンとして、長岡技大で実績のある全面把持が基本形となる。しかし、この全面把持は、ガラス基板を乗移らせる際、渡す側と受け取る側の把持ユニットが干渉するためシステムが複雑になり現実的でない。そこで、把持ユニットが干渉しないシステムを検討した。

(2) 第1案

図6-1は、縦1/2面把持で直線搬送、旋回搬送、直交移載搬送するシステムの構想図です。

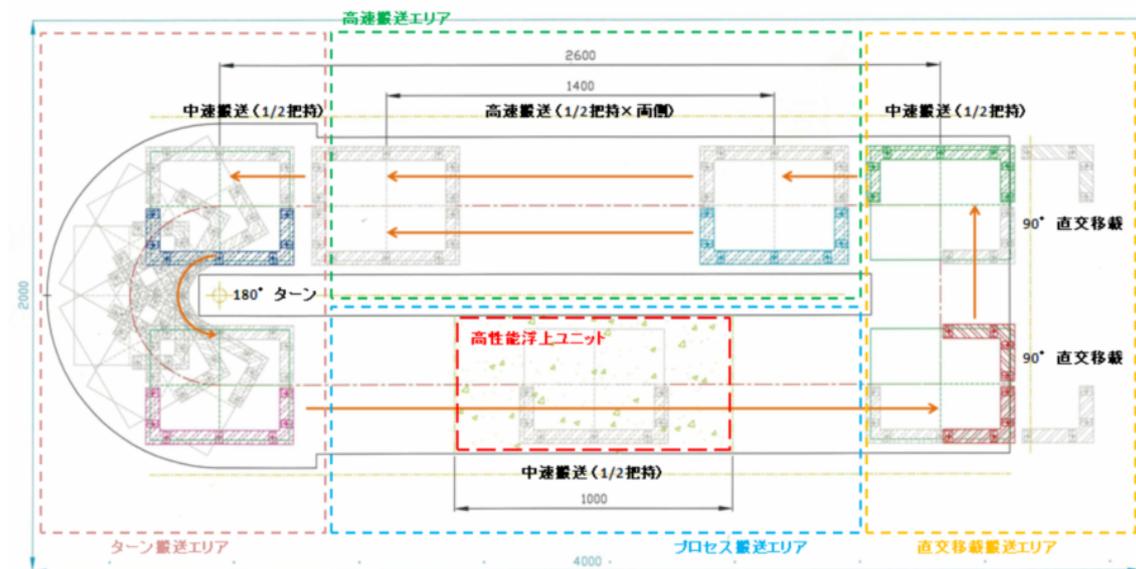


図6-1 第1案構想図

一軸試験装置の把持パターンの実験結果より、縦1/2面把持は、全面把持、斜め1/2面把持と同じ搬送速度で搬送できることがわかったが、ガラス基板を前後の把持ユニットで挟むため、ガラス基板の寸法や浮上精度など個体差の影響を受けやすく不安定な要素がある。よって、把持ユニットでガラス基板を挟まない斜め1/2面把持で再度システムを検討した。

(3) 第2案

図6-2は、斜め1/2面把持で直線搬送、旋回搬送、方向転換するシステムの構想図である。

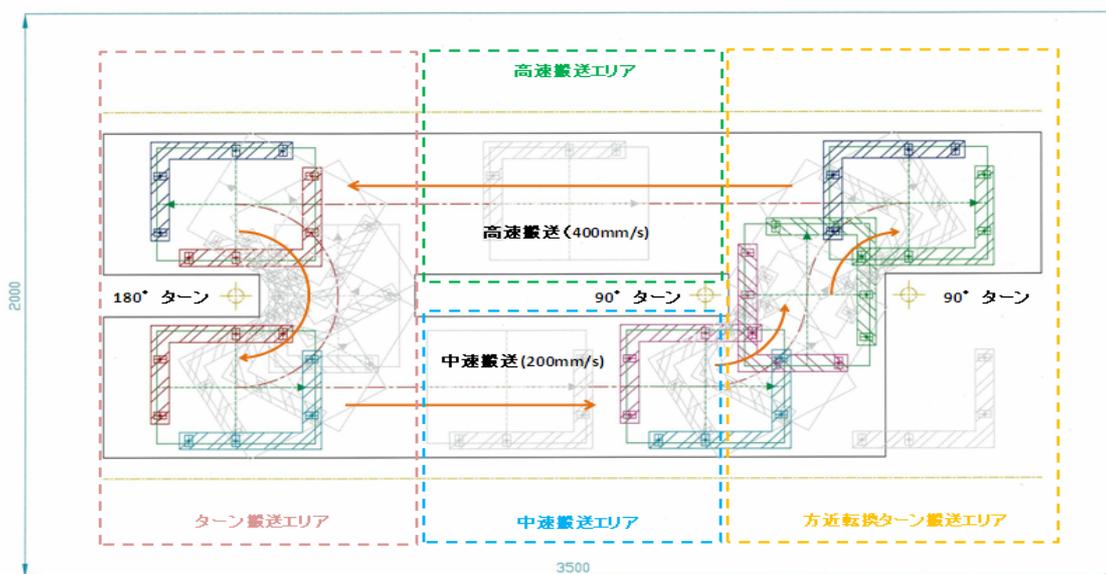


図6-2 第2案構想図

また、一軸試験装置の平坦化浮上の実験結果より、浮上ユニットは1枚を縦横3分割の9ブロックに部屋分けし、各ブロックの吐出量を制御し、より把持力の安定した装置とした。

6 - 2 完全非接触搬送装置(口の字)のシステムの設計・製作

検討されたシステム案と一軸試験装置の結果より、装置の仕様を検討し、完全非接触搬送装置(口の字)のシステムを設計・製作した。

(1) 装置仕様

1) 浮上ユニット

直線部: 長さ 2500mm (500mm × 5 枚) × 幅 500mm × 厚 27mm × 2列

渡り: 長さ 285mm × 幅 500mm × 厚 27mm × 2ヶ所

材質: 多孔質アルミナ、平行・平面度: 50 μm

電磁弁: 2ポート、精密レギュレータ: デジタル表示、流量計: デジタル表示

2) 把持ユニット

ホーン・振動板: 適切な振動モードで励振できること寸法、材質: A5052、表面処理: アルマイト処理

振動子: 28kHz

駆動用アンプ: 出力周波数 28kHz ± 0.5kHz、出力能力 ~ 200Vp-p 以上 電源 AC100V

3) 搬送ユニット

直線搬送ストローク: 2000mm、回転可動域: 180、搬送速度: 0 ~ 30m/min (500mm/s)、

テーブル寸法: 長さ 2560mm × 幅 1925mm × 高さ 738mm (材質: アルミ)

把持ユニット: 斜め 1/2 面把持 (牽引2個、ガイド2個)、調整: Z軸 0 ~ 15mm、傾斜1方向 ± 10°

把持ユニット上下可動ストローク: 25mm

浮上ユニット設置平面度: 50 μm (ガラス基盤1枚の範囲毎) …… 結果: 22 μm

把持ユニットと浮上ユニットの平行度: 50 μm …… 結果: 49.2 μm

水平度: 50 μm/m …… 結果: 調整時全て 30 μm/m 以内で施工

水平平面度 …… 結果 29 μm

4)制御ユニット

シーケンス制御 在荷センサ:ファイバセンサ、電源:動力 200V、制御 DC24V

5)非接触測定器

高速・高精度レーザー変位計(ワイドスポット)、測定距離 80mm(±15mm)

繰り返し精度:0.2μm、測定データ出力:RS232C インターフェイス or USB インターフェイス

(2)設計・製作

図 6-2 の構想図と、(2-1)装置仕様に合う装置について設計を行い、製作全体図、エアー制御計画図、各部品図、電気制御図などを作成し、全非接触搬送装置(口の字)は、図 6-3 に示すように完成した。



図 6-3 全体完成写真

(3)完全非接触搬送装置による非接触搬送の検証

この装置で、浮上特性、把持旋回特性、乗移り特性を検証する予定であり、浮上特性の検証のため、無負荷の浮上量測定を行っている。継続し検証を行う予定である。

第7章 全体総括

本事業において、G2 サイズガラス基板を非接触で搬送することのできる装置の開発を目標に、直線上を様々な搬送速度・加速度で往復運動が可能な「一軸搬送路」を開発し、非接触搬送に関連する様々な基礎実験を行った。さらに、今後の実用化に向けて、ガラス基板の転回、次工程への引き継ぎ、ストック動作、静止安定把持などを組み込んだ「口の字型非接触搬送路」を製作し以下の結果を得た。

基礎特性試験装置において、非接触把持特性を向上するために、新たな振動板の開発、振動板の設置条件の最適化、Z 軸方向押し付け力、安定位置復元時のばね定数の測定、流量変化時の把持実験などを行った。静止時の安定性は変位センサの分解能であると考えられる $\pm 5\mu\text{m}$ であった。さらに、ガラス基板の下面把持が可能であることも確認した。また、安定に浮揚量を管理しガラス基板の変形を抑制できる正负压浮上ユニットを開発し、静的ではあるが正圧エア、負圧を印加し、負圧印加流量を制御することにより、浮上量制御、浮上量バラツキを低減できることが分かった。

すき間内の圧力の時間変化について、圧縮性レイノルズ方程式に支配されると仮定して、数値的に解析した。圧力分布から生じる流れをポアズイユ流れとして、その流速から搬送品に作用する粘性力を求めた結果、実験値とオーダーが一致しており、解析手法の妥当性が確認された。今後は、実験的検証を進めると同時に、搬送品に作用する静圧力も考慮に入れた解析を行うことで、より非接触搬送現象を厳密に解析ができると考えられる。

一軸搬送路装置において、非接触搬送システムを構築するために必要なデータを収集及び浮上搬送精度の観点からの検証を行った。また、浮上方法と把持方法の組合せやバランスの最適な設定を検証するため、搬送物であるガラス基板の浮上特性浮上量、浮上精度、浮上安定性を把握し適正なガイドラインを設けた。装置の特性は、全ての把持位置(全面把持、縦 1/2 面把持、斜め 1/2 面把持)において、速度 200mm/s、加・減速度 0.35m/s^2 の目標値を達成し、速度 200mm/s で最大加・減速度 0.4m/s^2 まで把持搬送できた。また、急激な加・減速でなければ、最高速度 500mm/s で加・減速度 0.18m/s^2 で把持搬送できることもわかり、当初の搬送特性は十分に達成された。また、均一な浮上エアで把持搬送できる最低の空気流量は、浮上ユニット 2 面吐出で 175L/min(1cm² 当たり 0.035L/min)であることがわかった。この一軸試験装置の結果から、斜め 1/2 面把持で直線搬送、旋回搬送、方向転換する完全非接触搬送装置(口の字)のシステムを設計・製作した。

完全非接触搬送装置(口の字)のシステムにおいて、基板には、重力、スクイーズ圧力、静圧案内面からの浮揚力、非接触把持力が作用する。大型基板やフィルム素材においては、これらの弱い力であっても、基板は変形するために、把持力発生メカニズムは非常に複雑になることがわかった。今後、浮上特性、把持旋回特性、乗移り特性を検証する予定である。

そのほか基板帯電量測定、浮上ユニットの洗浄システムを構築し、浮上ユニットの評価ができるようになった。また、静電吸着力の予備実験を行い、静電気発生を確認した。今後、位相パターンを印加して、推進力が発生するかを検証する必要がある。

以上より、本研究によりG2サイズのガラス基板の搬送が可能であり、目標としていた搬送特性は達成できた。装置開発において下面把持が可能となることから、把持ユニットは搬送品の下面に設置し、上面は完全なフリースペースすることで、より実用的な装置構成も可能となる見通しも得た。また、搬送特性の向上および安定化には、把持ユニットの改良(振動板、ホーン形状や設置姿勢など)、浮上ユニットの改良(高精度浮上ユニットの検証)が必要不可欠であることがわかった。事業展開においては、レベリング、温度変化や外乱などにロバストであり、かつ長時間にわたって安定動作が要求され、各種展示会でデモンストレーションできる、可搬式の小型搬送路が必要となることがわかった。

今後の事業化に向けては、口の字搬送装置を用いた搬送特性の実機検証が必要であり、これを用いた産業界へのPRを実施する予定である。