

平成23年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「超低消費電力型超微細異物クリーナの開発」

研究開発成果等報告書

平成26年3月

委託者 関東経済産業局

委託先 株式会社TRINC

目次

第1章 研究開発の概要	2
1.1 研究開発の背景・研究目的及び目標	2
1.2 研究開発の概要	3
1.3 研究開発体制	4
1.4 研究実施場所	6
1.5 成果概要	7
1.6 当該研究開発の連絡窓口	7
第2章 研究開発内容	8
2.1 静電気吸着異物の除去技術の開発	8
2.2 分子間力吸着異物の除去技術の開発	11
2.3 高性能クリーナ基本ユニットの試作・性能評価	12
2.4 除塵能力の検証技術の構築	17
2.5 製造工程用クリーナ技術の構築	19
第3章 全体総括	22
3.1 本研究開発事業の成果	22
3.2 今後の課題	22
3.3 事業化について	22

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

本研究開発では、新しい異物除去技術により省エネ化した超低消費電力型超微細異物クリーナーの実用装置を、コンピューター解析を活用して開発する。小型集積化が進む電子部品や液晶パネル等の電子デバイス実装現場での超微細異物による工程不良や、異物除去に要する高コスト問題を解決し、超高密度実装の実現に資する電子デバイス実装技術を高度化して、今後の半導体パッケージ基板の高機能化に寄与する。

情報家電の多機能化・高機能化、小型化及び高速・大容量化のニーズは今後も更に加速し、このニーズに対応するため、電子部品とプリント配線板等の小型・高密度集積化が飛躍的に向上しており、製造過程における微小な異物の付着が、半田バンプ高さのばらつきによる接続不良等をはじめ、直接・間接的に工程不良、部品故障の要因となっている。また、重要な電子デバイスである液晶パネルは、高精細化、高画質化や大型化・薄型化がますます進み、わずか1つの異物でもパネル全体の不良となり、またその薄さゆえにデリケートで簡単にキズつきやすく、余計な負荷はパネルに歪みを生じさせ、製品不良につながってしまう。各構成部材に付着する異物を各製造工程の中で確実に且つ慎重に除去することが生産性及び歩留りを確保するうえで必要不可欠となっている。

従来の異物除去技術で多く利用されているのは、エアーを基板に吹き付けて異物を除去する方式（エアーナイフ方式）であるが、大量のエアーを消費するために膨大な電力を必要とし、装置自体も大重量化する必要があった。また、高圧エアーによる歪み発生を防ぐための専用設備が必要となり、設備コストも大きな負担となっている。

異物付着の主要因である静電気による付着は、従来のエアーナイフ方式では、かなりの高圧エアーでないと剥離することはできないため、静電気を中和する（除電）機能を装備しているものもある。しかし、従来のAC型やパルス型の除電方式では、イオンバランスが悪く一旦中和されても再び帯電してしまうなどの問題点があった。

TRINCでは、バランスよくイオンを放出でき除電性能が高いDC型イオン生成方式を開発し実用化しており、この方式により、プリント基板、ガラス基板上の静電気を正しく除去することができる。また、従来よりも少ないエアーで効率的に除塵する新方式として、高速サイクロンを用いてベルヌーイの定理により負圧を生じさせ、物体表面からの異物の浮揚を促す方式（イオンサイクロン方式）を考案した。この方式では、物体表面との間には高速空気流が存在し、非接触動作するため脆弱物でも強制的に引張力を加える必要なく除塵でき、ワークを傷めることもない。

また、 $1\mu\text{m}$ レベルの超微細異物では、分子間力（ファンデルワールス力）が相対的に大きくなり、除電だけでは物体表面からの剥離が難しく、また基板表面の空気境界層により、基板表面からの剥離がさらに困難になる。そこで、 $1\mu\text{m}$ レベルの超微細異物の除塵を可能にする新たな技術を開発・実用化する必要がある。

本研究開発では、静電気吸着異物の除去技術の開発（静電気発生モジュール及びサイクロ

ン発生モジュール)として、基板上に静電気力によって吸着している異物及び基板に対して、最適化した空気イオンを放射・除電し、サイクロン気流による負圧で、異物を浮揚させて除去する技術を開発する。

次に分子間力吸着異物の除去技術の開発(超音波発生モジュール)として、超音波による音エネルギーを用いて空気境界層を破壊し、分子間力によって吸着している超微細異物を振動させて基板表面から遊離を促す技術を開発する。

次に異物回収機能の高度化(異物回収モジュール)として、超微細異物を効率よく回収する為に、エア一流や異物の運動及びモジュール内壁表面状態などを十分に把握する為に数値シミュレーションなどを構築・活用し、高度化を図る。

更に各機能モジュールを軽量化・省電力化のための機構形状を改良した後、各機能モジュールを最適条件において結合し、高性能クリーナの基本ユニットを開発する。更に $1\mu\text{m}$ サイズの異物の除去効果を検証する技術を構築する。

また、電子部品実装製造ラインで本除塵装置を使用する場合には、装置外部に異物を漏らすことなく、且つ装置内部にさえ異物を残さず、完全に異物を回収できる性能が求められる、そのためには、除去した異物をスムーズにエア一流と共に回収できる機構を備える必要がある。さらに、様々な大きさ、形状のプリント基板、ガラス基板に対応した装置を低コストで提供できなければならない。

本研究開発では、静電気発生モジュール、サイクロン発生モジュール、超音波発生モジュール、異物回収モジュールを1つの基本ユニットとし、対象物のサイズ、形状に対して、その個数と連結構造を最適化するための技術を開発する。

従来技術では超微細異物の検出に大規模な装置を必要としていたが、本研究開発では浜松メトリックスがこれまでの研究開発で実現した $1\mu\text{m}$ 分解能画像処理技術を元に、超微細異物の検出技術を開発し、除去装置とともに製造コストの削減を目指す。

これらの研究開発により、プリント基板・ガラス基板上の直径 $1\mu\text{m}$ レベルの超微細異物を含む異物の95%除去と90%回収を目標とする。このため超微細異物に帯びた静電気の3秒以内での除去、サイクロン気流で基板表面に発生させた $1\text{g}/\text{cm}^2$ 以上の負圧による微細異物の基板表面からの剥離、超音波照射による超微細異物の風速 $3\text{m}/\text{sec}$ の空気中での基板表面から浮揚と除去を目指す。高性能クリーナの基本ユニットは $5\text{g}/\text{mm}$ 以下の重量と $8\text{kW}/\text{m}$ 以下の消費電流を目指す。更にプリント基板・ガラス基板上の超微細異物を95%の精度で検出する検証技術を構築する。最終的に実際の電子部品実装工程での整備コスト・運用コストの50%削減を目指す。

1.2 研究開発の概要

本研究開発では、下記の研究項目を実施する。

- ① 静電気吸着異物の除去技術の開発
 - ・ イオン発生モジュールの最適化

- ・ サイクロン発生モジュールの改良
- ・ 静電気吸着異物除去性能の検証
- ② 分子間力吸着異物の除去技術の開発
 - ・ 超音波発生モジュールの開発
 - ・ 分子間力吸着異物除去性能の検証
- ③ 異物回収機能の高度化
 - ・ 異物回収モジュールの開発
 - ・ サイクロン発生モジュールとの結合
- ④ 高性能クリーナ基本ユニットの開発
 - ・ 機能モジュールの軽量化・省電力化
 - ・ 高性能クリーナ基本ユニットの試作
 - ・ 基本ユニットの性能評価
- ⑤ 除塵能力の検証技術の構築
 - ・ 基板上の超微細異物の識別技術の開発
 - ・ 除塵能力評価システムの開発
- ⑥ 製造工程用クリーナ技術の構築
 - ・ 製造工程用クリーナ装置の試作
 - ・ 製造工程用除塵検査装置の試作
 - ・ 製造工程での実証実験
- ⑦ プロジェクトの管理・運営
 - ・ 事業管理機関・株式会社TRINCにおいて、本プロジェクトの管理を行う。プロジェクトの研究経緯と成果について取りまとめ、成果報告書及び電子媒体を作成する。
 - ・ 研究の進捗状況を検証するとともに、研究を実施する上で発生する課題等について、随時研究実施者と調整を行う。
 - ・ 再委託先事業者が作成する証憑書類について、指導・確認を行う。
 - ・ 研究開発委員会を委託契約期間内に3回程度開催する。

1.3 研究開発体制

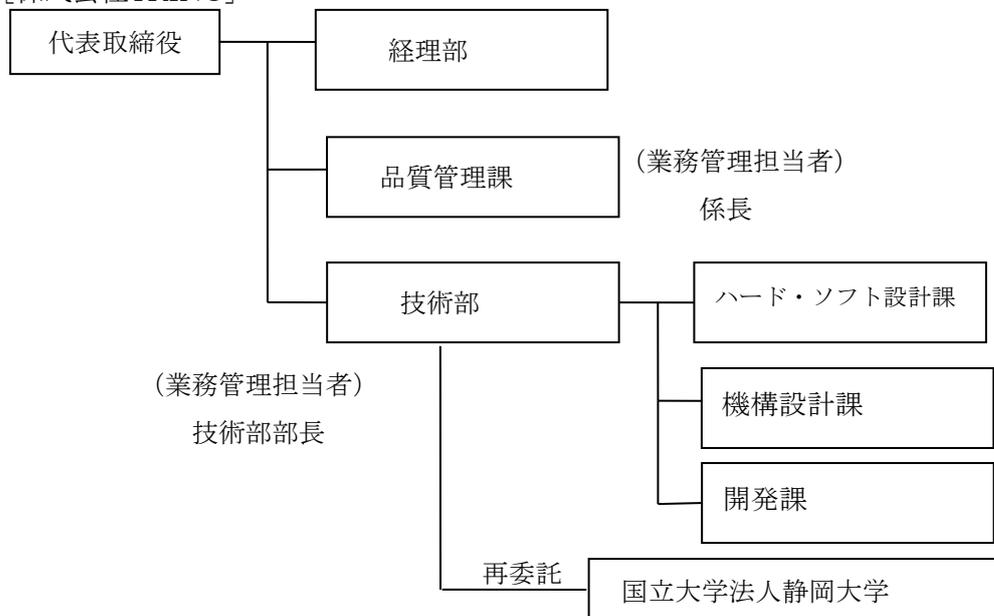
(1) 研究組織(全体)



(2) 管理体制

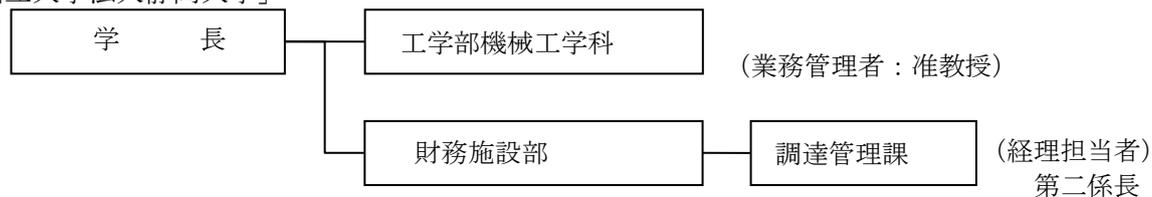
① 事業管理者

[株式会社TRINC]



② 再委託先

[国立大学法人静岡大学]



(3) 研究者氏名

【事業管理機関】株式会社TRINC

① 管理員

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
高木 明俊	執行役員技術部長	⑦
西山 竜二	品質管理課 係長	⑦

② 研究員

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
高木 明俊(再)	執行役員技術部長	①②③④⑥
今川 泰希	技術部主任技師	①②③④
伊藤 宏	技術部ハード・ソフト設計課 主任	①②③④
五明 大典	技術部機構設計課	①②③④⑤
檜垣 真二	技術部開発課	①②③④⑤⑥

【再委託先】

国立大学法人静岡大学

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
真田 俊之	工学部機械工学科准教授	①②

(4) 協力者

研究開発委員会 委員

氏名	所属・役職	備考
高木 明俊	株式会社TRINC 執行役員技術部長	委 PL
真田 俊之	国立大学法人静岡大学 工学部機械工学科准教授	SL
檜垣 真二	株式会社TRINC 技術部開発課	委
今川 泰希	株式会社TRINC 技術部主任技師	委
重田 文吾	富士フィルム株式会社 R&D統括本部生産技術センター	アドバイザー

1.4 研究実施場所

① 事業管理機関

株式会社TRINC (最寄り駅：JR 東海道線・舞阪駅)

〒432-8006 静岡県浜松市西区大久保町 748-37

② 研究実施場所（主たる研究実施場所については、下線表記。）

株式会社TRINC（最寄り駅：JR 東海道線・舞阪駅）〈再掲〉

〒432-8006 静岡県浜松市西区大久保町 748-37

国立大学法人静岡大学（最寄り駅：JR 東海道線 浜松駅）

〒432-8561 静岡県浜松市中区城北 3-5-1

1.5 成果概要

サイクロン発生モジュールの試作とその形状の最適化が実施できた。また、イオン発生モジュールを試作し、その除電性能が目標（3秒以内）を満たしていることを確認した。

一方、超音波による音エネルギーを用いて空気境界層を破壊し、分子間力によって吸着している超微細異物を振動させて基板表面から遊離を促す技術を開発した。ここでは、超音波素子の角度（入射角）、周波数、ワークからの距離を実験によって最適化するとともに、制御用基板と調整用プログラムを製作した。

異物回収モジュールについては、静電気発生モジュール、サイクロン発生モジュール、超音波発生モジュールと結合し、さらに CFD（計算流体力学）を活用した構造・形状の最適化を行った。

上記モジュールを活用した高性能クリーナ基本ユニットについては、性能評価実験と CFD を活用することにより構造・形状の最適化を実施した。その結果、97.4%の除塵率を実現し、目標を達成した。さらに、複数のユニットの複合化による大型のワークに対する除塵装置の試作が完了した。

検査技術としては、マルチ解像度パターンマッチング手法を取り入れることにより、高速かつ高精度な検出技術（10 μ m の異物に対して 98%の検出精度）を確立した。

上記要素技術をフィルム搬送装置と組み合わせることによって、1m/sec のフィルムクリーナの試作が完了した。また、ガラス基板向け除塵装置の試作も完了した。

以上により、従来のエアナイフ方式を上回る除塵性能、省エネ性能を有する実用的クリーナの開発が完了した。

1.6 当該研究開発の連絡窓口

所属	株式会社TRINC
氏名	高木 明俊
電話/FAX	053-482-3413 / 053-482-3416
E-mail	takagi@trinc.co.jp

第2章 研究開発内容

2.1 静電気吸着異物の除去技術の開発

2.1.1 イオン発生モジュールの試作

(1) イオン発生モジュールの試作

イオン発生モジュールは、イオン発生用高電圧電源部とイオン発生用電極からなる。

イオン発生モジュールの基本仕様は下図(図 2-1)の通りとした。イオン発生に必要な出力電圧は3~4kVであるが、余裕を持たせ7kVとした。また、電極と除電対象との距離が短いことから、イオンをなるべく遠くに飛ばすための工夫として、プラスマイナスイオンを交互に発生することができるパルス DC 出力回路を新たに組み込んだ。

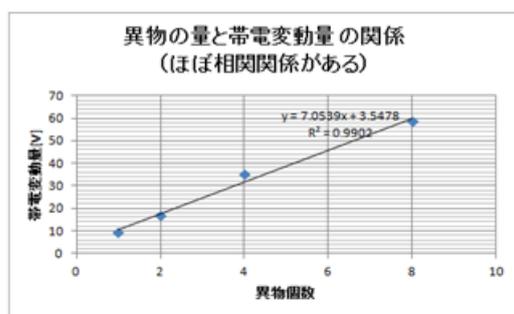
電源電圧	AC 100~240 V
出力電圧	DC ±7 kV
除電方式	直流コロナ放電
放電針	2本(正負極各1本)



図 2-1 イオン発生装置と基本仕様

(2) イオン発生モジュールの性能評価

エアの供給を止め、模擬異物を取り除いた状態で、Static-DC 方式によるチャージプレートの除電を行い、除電性能を確認した。その結果、下図(図 2-2)のように、除電時間 1.3 秒を確認し、目標性能 3 秒以内を実現することができた。



除電性能

	針電圧	イオンバランス	除電時間
＋電圧	5.56 kV	-13.8 V	0.5 秒
－電圧	-4.65 kV	-93.8 V	1.3 秒

図 2-2 除電性能確認実験

2.1.2 サイクロン発生モジュールの試作・性能評価

サイクロン発生モジュールの試作を行い、サイクロン流の発生と同効果による除塵性能の

確認を行なった。

また、性能向上のための最適化検討を、実験ならびにコンピュータシミュレーションを用いて行い、第二次試作機の形状・構造を決定した。

(1) 基本形状による試作

サイクロンカップの基本形状と構造を下図(図 2-3)に示す。カップサイズは現状想定する除塵対象ワークの大きさ、ならびに後述する超音波振動子の形状から設定した。

エアーの流入口(ノズル)数は、4つとした。

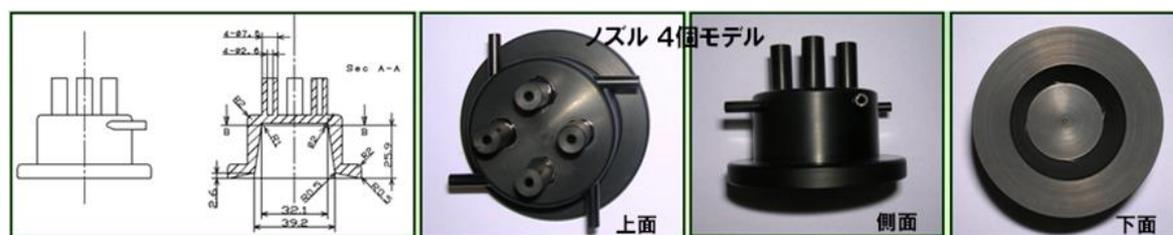


図 2-3 基本形状によるサイクロンカップ

(2) 基本形状による機能確認

製作した基本形状のサイクロンカップによる下記の実験を実施した。

① サイクロンカップ内の気流発生状況の確認

静岡大学と共同で、ハイスピードカメラを使ったサイクロンカップ内での気流の発生状況確認実験を実施した。下図(図 2-4)に実験状況とハイスピードカメラで撮影した除塵の様子を示す。平面での模擬異物(ガラスビーズ)の動きから、回転気流の発生と、異物除去の状況を確認することができた。また、エアー流量によっては、ワークに歪みが発生する場合があることも確認できた。

しかし、1/1000 秒のハイスピードカメラでも異物の浮揚から排出までの移動経路を確認することは困難であった。

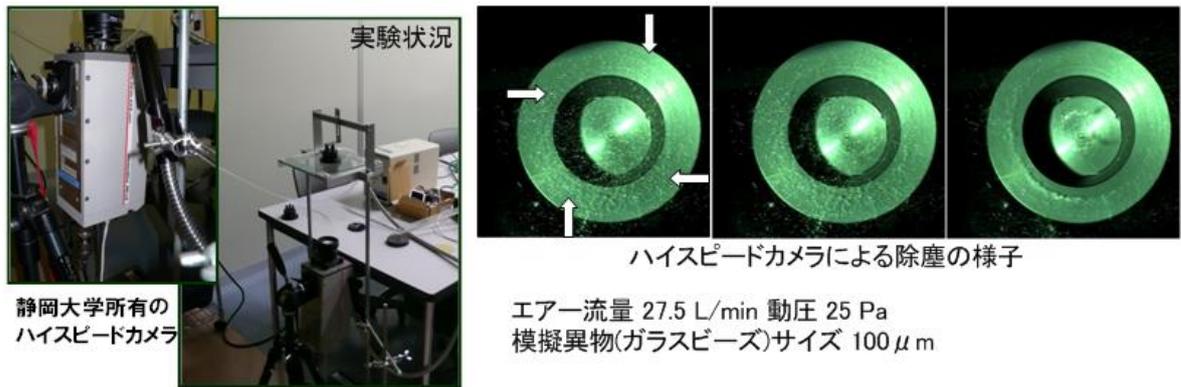


図 2-4 ハイスピードカメラによる異物除去の状況

② 流入口（ノズル）数違いによる除塵性能の確認

サイクロンカップの基本形状につけた4つのエアークロウ（ノズル）の使用数を変えて、カップ内の気流状況と異物除去状況の確認実験を行なった。

図 2-5 で示すように、ノズルが1個の場合は、旋回気流のバランスが悪く、一方向に強く吹き出しており、4個の場合には中心部に異物が残留したものの、均等に除塵できていた。この結果を踏まえ、4つノズルの採用を決めた。

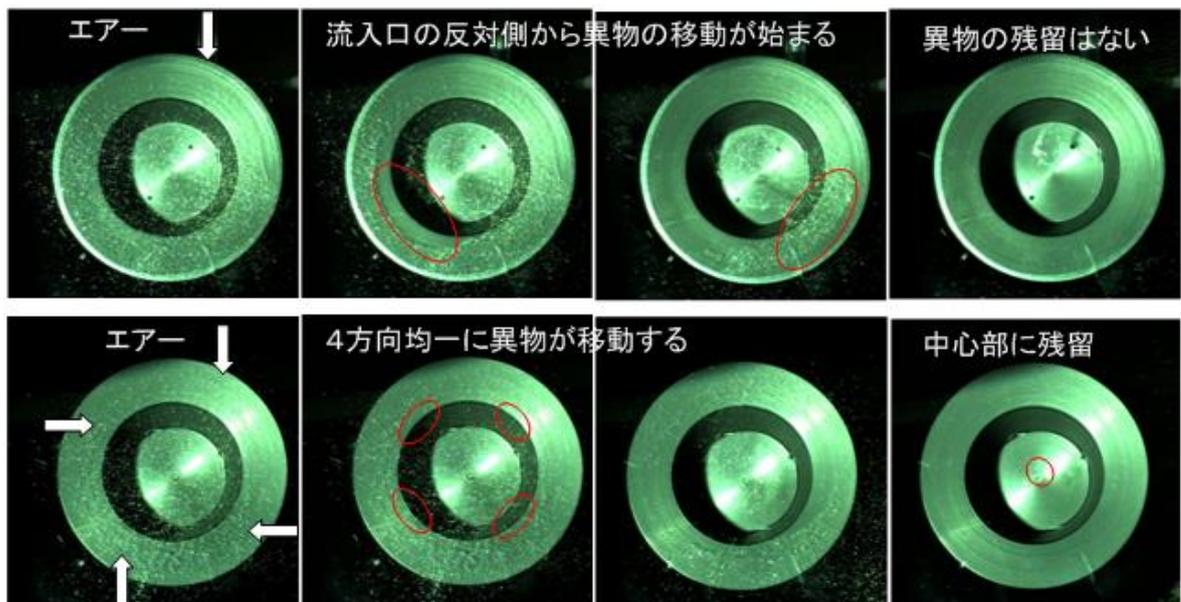


図 2-5 流入口（ノズル）数違いによる除塵状況

2.2 分子間力吸着異物の除去技術の開発

2.2.1 超音波発生モジュールの開発

(1) 超音波発生モジュールの試作

超音波振動子には、圧電セラミックス振動子を採用した。製作した超音波振動子と超音波調整機器を図 2-6 に示す。



図 2-6 超音波振動子

(2) 角度依存性実験 (図 2-7 参照)

対象物（ワーク）上に付着した微細異物を浮揚・移動させるために、どの程度の入射角が適正かを検討するため、角度 10°~90°での実験を行なった結果、40°入射時が最も効果的であり、50°を超えると急激に効果が低下することがわかった。

また、異物サイズを 1 μm として同様の実験を行なった結果、入射角 45°で 1 μm 異物が飛散する現象を捉えることに成功した。

(3) 最適周波数測定実験 (図 2-7 参照)

対象物（ワーク）上に付着した微細異物を浮揚・移動させるために、最も効果的な周波数がどの程度であるかを調査した。周波数が 39.0kHz 付近で、一番微粒子が運動（移動）する結果が観測された。

(4) 最適ワーク距離実験 (図 2-7 参照)

超音波振動子を取り付けたサイクロンカップを使用して、ワーク間距離を超音波効果の関係を調査した。超音波はワークまでの距離が長ければ減衰して効果が低下するが、距離が近過ぎても効果範囲が狭くなっていることが確認できた。超音波振動子を複数取り付けているための相互干渉の影響が考えられる。

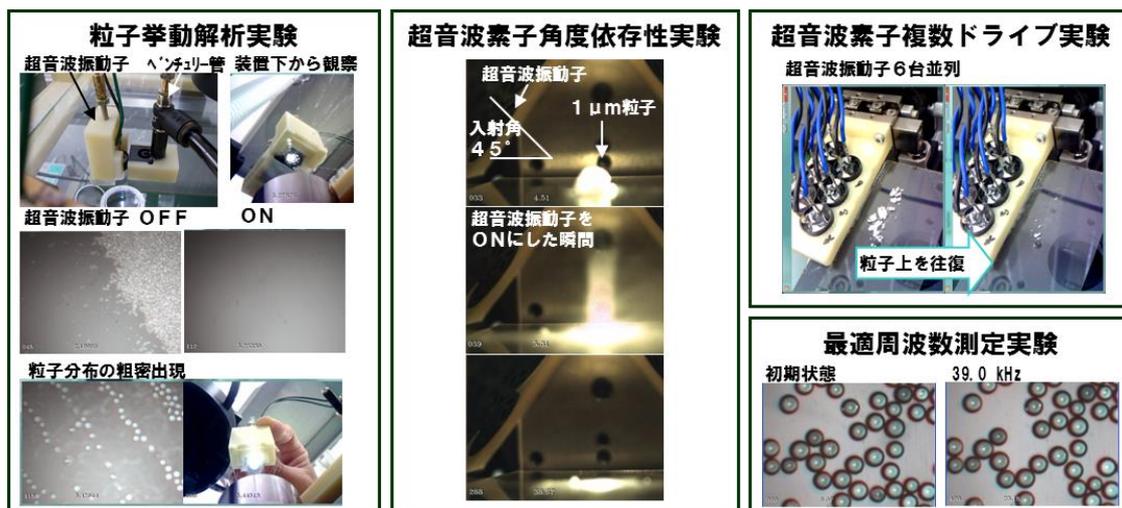


図 2-7 角度依存性実験、最適周波数測定実験、及び最適ワーク距離実験

2.3 高性能クリーナ基本ユニットの試作・性能評価

2.3.1 基本ユニットの試作

図 2-8 に示すような基本ユニットの試作を行った。図 2-9 に示すように、従来方式(エアナイフ方式)では、除塵率 95%を得るために、エア流量 30L/min を要するのに対して、この基本ユニットでは、20L/min で 98%を達成できている。さらに基本ユニットでは、エア流量を 12L/min に抑えても、ほぼ同等の 98%除塵が可能であり、従来方式に比べ、約半分のエア流量で同等の除塵性能を得ることができている。



図 2-8 基本 2 号機の概観 (フランジ無しタイプ)

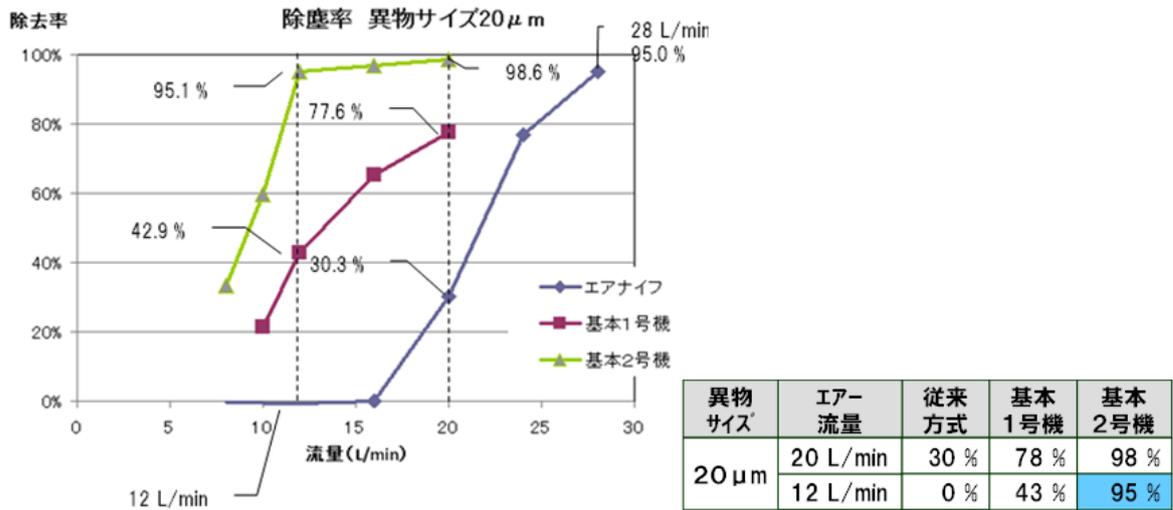


図 2-9 除塵率の性能比較

2.3.2 基本ユニットの性能評価

図 2-10 に示すように、吸い込み気流と吹き出し気流のどちらがワークに対する除塵に優れるかについて、CFD にて検討を行った。その結果、図 2-11 に示すように、吸い込み気流の場合、ノズル直下のみで気流が発生したのに対し、吹き出し気流ではワーク表面全体に気流が発生し、より有効に粒子除去が可能である傾向が示唆された。

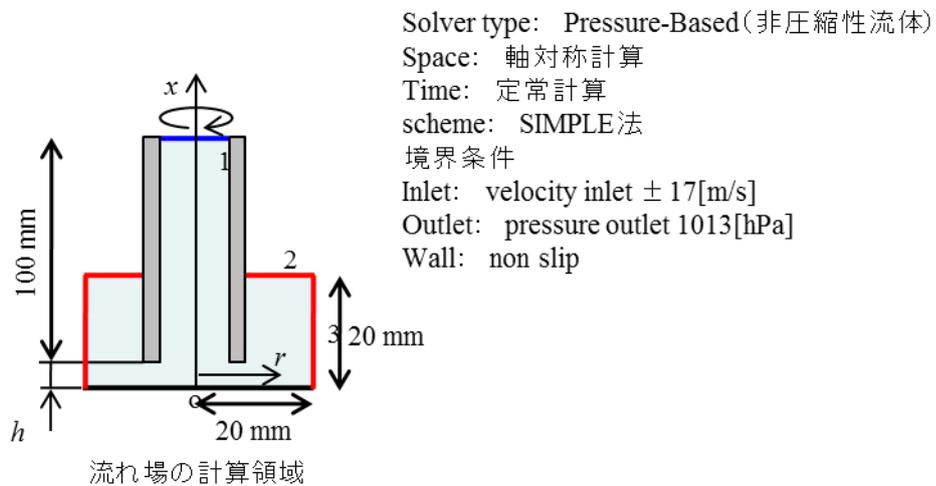


図 2-10 CFD 解析モデル

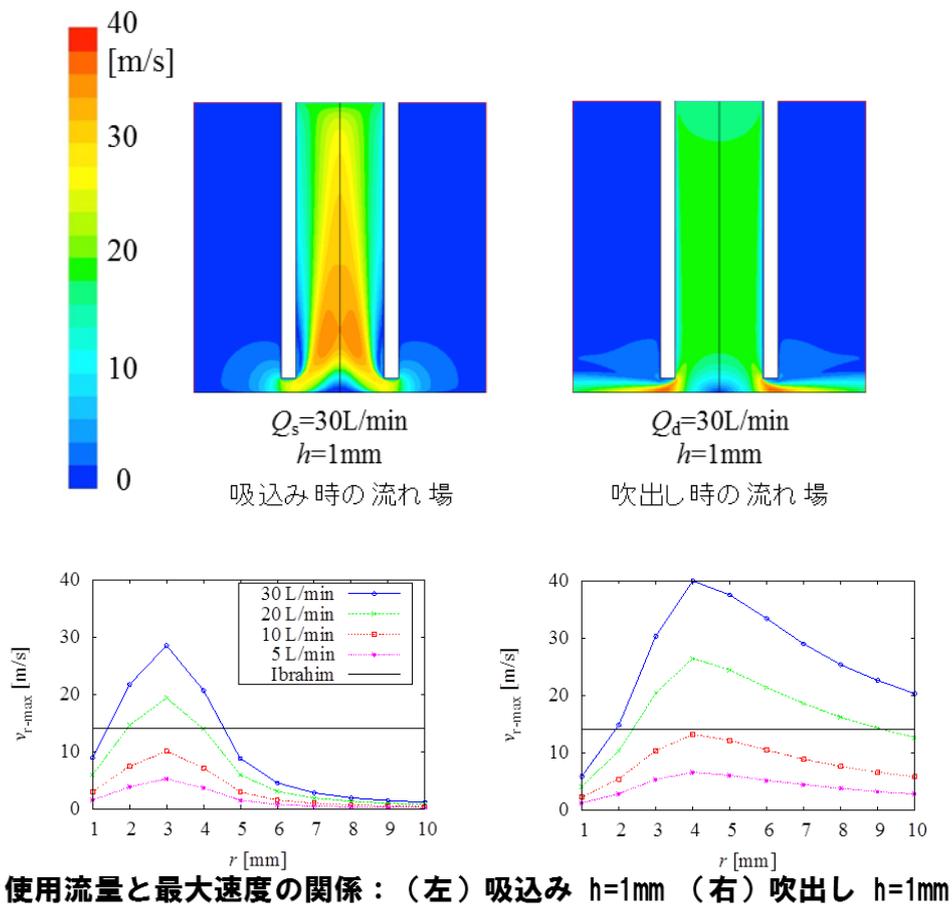


図 2-11 解析結果

上記結果を検証するために、同様のモデルで実験を行った。その結果、図 2-12 に示すように、CFD 結果と同様、吸い込み気流の場合、ノズル直下のみで気流が発生したのに対し、吹き出し気流ではワーク表面全体に気流が発生した。これにより、CFD の妥当性が示されたと同時に、改良型基本ユニットの設計に於いて指針を得ることができた。

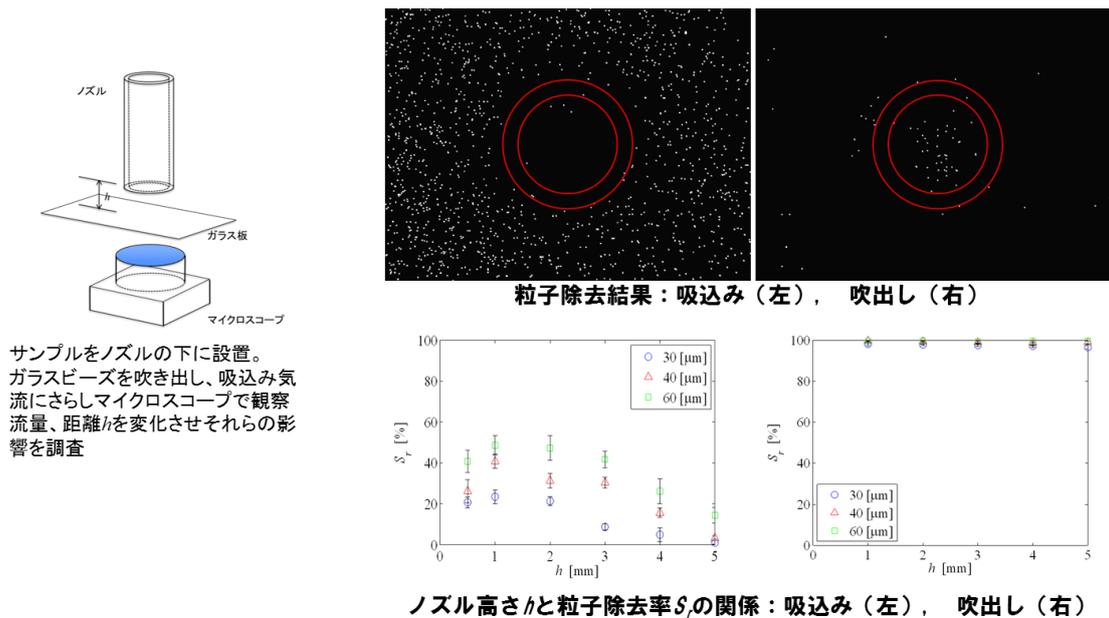
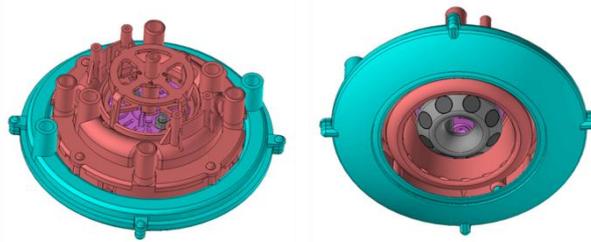


図 2-12 吸い込み気流と吹き出し気流の比較実験

以上から、次のことがわかった。

- ・ 吹出しの方が広範囲に高い壁面せん断応力が作用し、高い粒子除去率が期待できることがわかった。
- ・ 実験により、CFD の妥当性が示された。

上記結果を受け、吹き出しノズルを活用した改良型基本ユニットを設計することとした。次に、図 2-13 に示すような基本ユニット構想とし、ノズル吹き出し角度の最適値を検討した。ノズル吹き出し角度については、CFD を用いてその影響を解析した。解析結果を図 2-14 に示す。



CFD解析用モデル形状

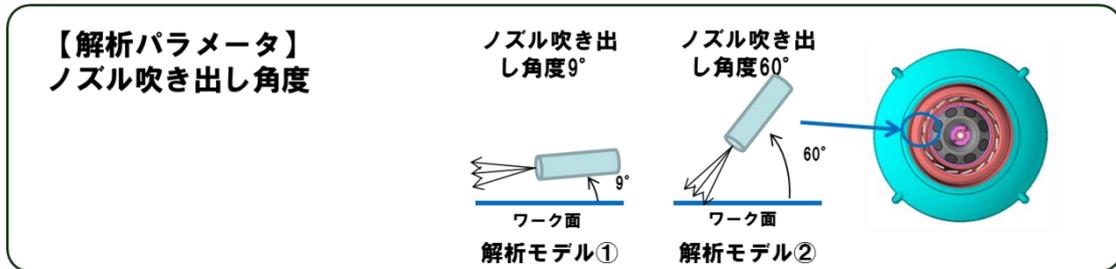


図 2-13 改良型基本ユニット基本構想とノズル角度最適化の検討

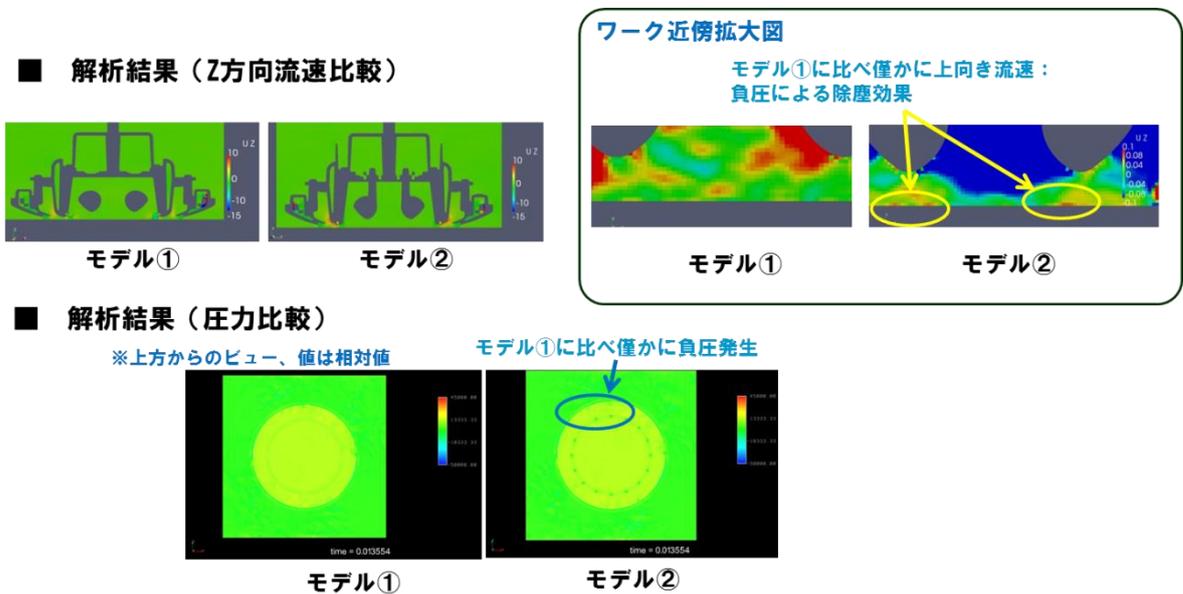
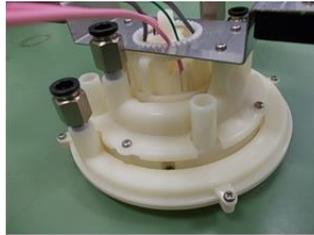


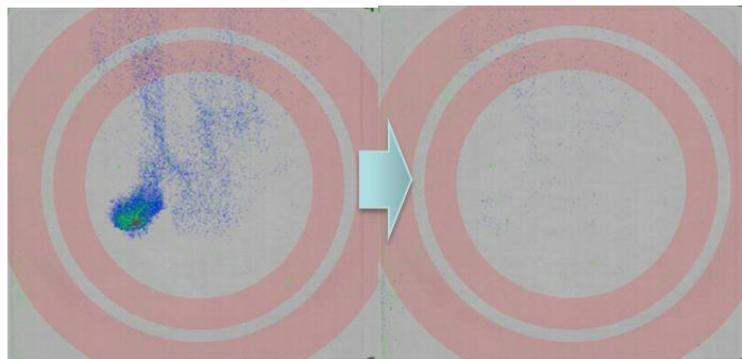
図 2-14 ノズル吹き出し角度検討のための CFD 解析結果

以上を踏まえ、改良型基本ユニットを試作し、さらに吐出と吸引の関係及びワークとの距離を最適化するための実験を行った。改良型基本ユニットの概観と実験結果を図 2-15 に示す。



基本除塵ユニット

■吐出・吸引バランスとワーク間距離の検討



走査前
吐出と吸引0.95kPaで走査した場合の粒子挙動

走査後

図 2-15 改良型基本ユニットの概観と実験結果

以上の結果、各パラメータの最適値が下記の通りとなった。

- ・エアノズル角度：60度
- ・吐出と吸引の圧力差：0.95kPa
- ・ワークとの距離：1.5mm

2.4 除塵能力の検証技術の構築

2.4.1 基板上の超微細異物の識別技術の開発

従来は除去が困難であった液晶パネルやフィルム基板上の $1\mu\text{m}$ オーダーの超微細異物を、その製造ライン上で除去・回収することを目的に使用されることを想定しており、現状ではこれらを自動識別して除塵状態を評価するためのシステムはない。本研究開発では、検査技術として、従来の「画像解析による異物識別ソフトウェア」をベースに、基板と異物を識別する技術を開発した。

ガラス基板上に撒布した $20\mu\text{m}$ のガラスビーズを数回除塵し、都度撮像した画像にて残存数の測定を行った（図 2-16）。

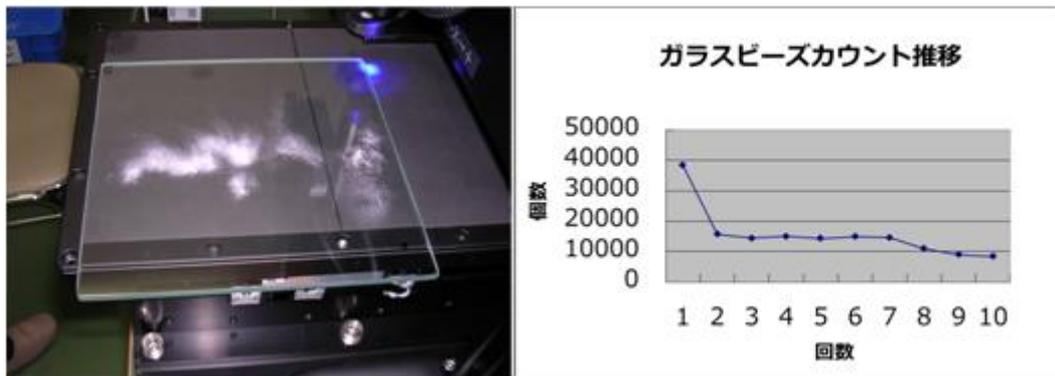


図 2-16 光学特性による異物識別

撮像画像の2値化画像および濃淡画像を明るいピクセルを高い表面、暗いピクセルを低い表面として扱うことにより、イメージ内の "集水域 (catchment basins)" と "流域の稜線 (watershed ridge lines)" を検出し、階調が深くなるような画像を作り出し、その境で分割する識別方式「watershed(分水嶺)」を採用し、図 2-17 のように重なり合っていた一つの塊となった微小異物を分離し識別することに成功した。

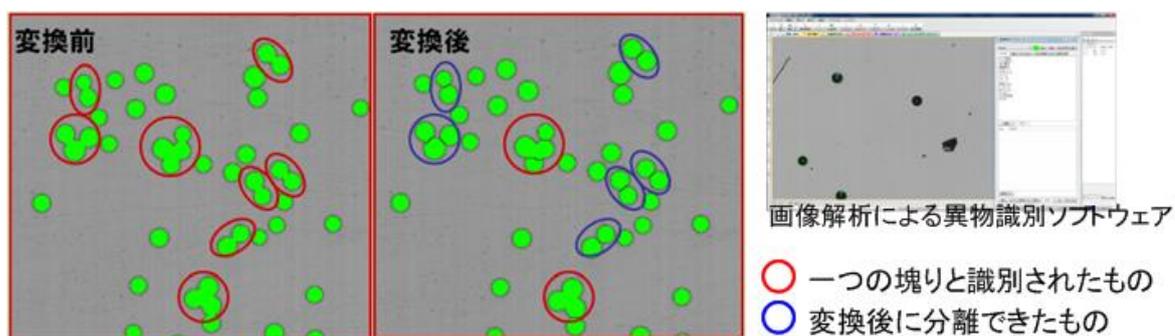


図 2-17 watershed 変換による異物識別

また、100 万粒子レベルの対象 (図 2-18) やガラス基板等への対応を可能とするために、下記の開発を実施した。

- ・検査ソフトの高速化

TBB 及び OpenMP (スレッド並列化ライブラリ) によりマルチコア対応の並列化を実施した。これにより、従来の 4.5 倍の高速化によりインライン検査への高速な追従が可能となった。

- ・解析領域の拡大

動的メモリー配置を行うことによって、従来 50000 粒子の上限を拡大（物理メモリー依存でソフト上の上限なし）。これにより、検査領域が、従来の 10mm×10mm 程度から 100mm×100mm 程度に拡大することができた。

- ・マルチ解像度パターンマッチング

インライン検査時のフィルムの送り量ばらつきに対応するため、除塵前後の検査を実施しパターンマッチングにより比較する手法を開発した。2 か所のマーキングを活用することにより、正確な位置、回転角を求めたうえで検査が可能となった。

- ・検査対象の拡張

ガラス基板評価装置を開発した。

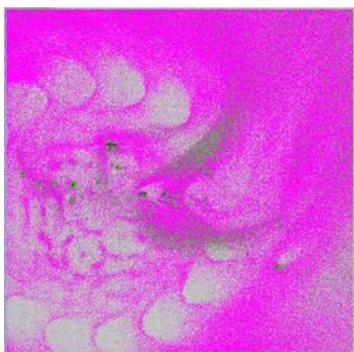


図 2-19 1-5 μm の粒子をカウントした場合、100 万粒子になる事例

2.5 製造工程用クリーナ技術の構築

2.5.1 フィルム搬送装置の製作

フィルムを対象とした除塵装置の場合、その使用現場は主にフィルムの製造工程であり、ロール上になったフィルムが搬送装置によって連続して除塵装置の下を通り、その間に除塵することになる。従って、除塵性能も同様な装置状況において、評価される必要があるため、図 2-20 のようなフィルム搬送装置を設計し、部品等を調達したうえで、自社において製作した。

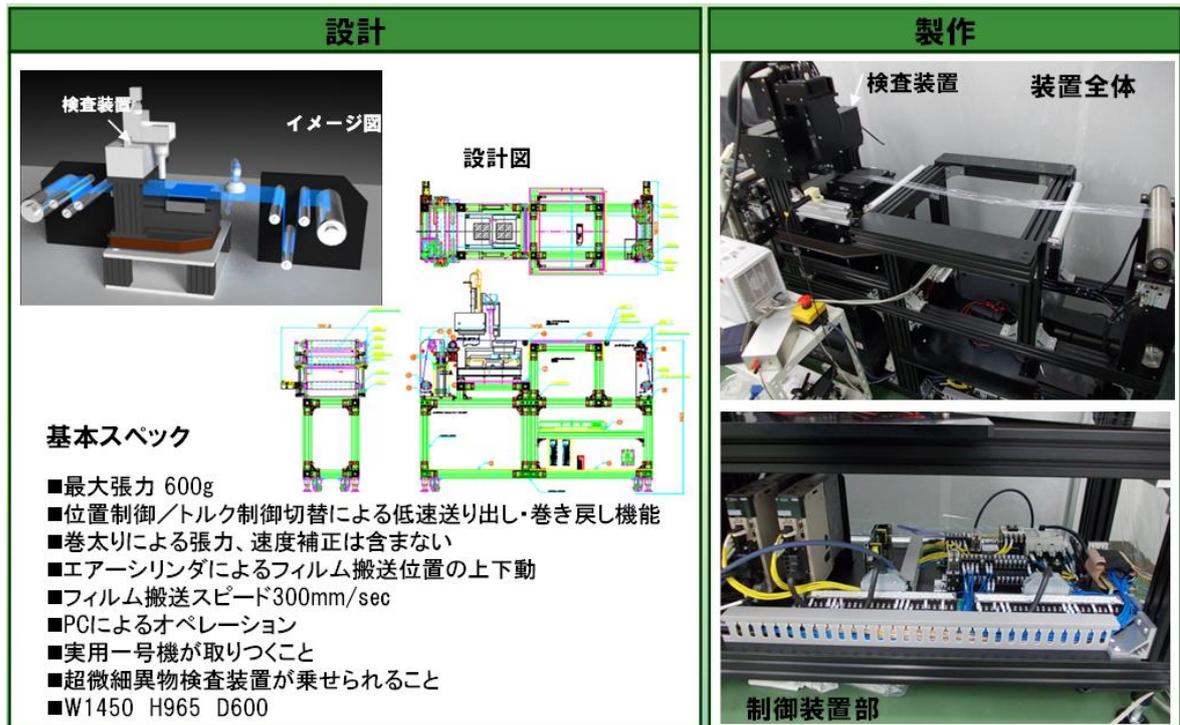
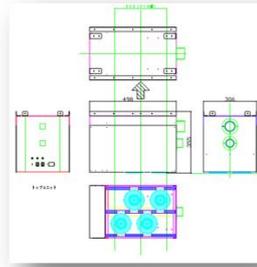


図 2-20 フィルム搬送装置の設計と製作

2.5.2 実用試作機の製作

製作したフィルム搬送装置を、高性能クリーナ基本ユニットと組み合わせ、フィルム搬送と除塵時のフィルム状態を観察し、非接触で搬送できるかを確認した。さらに、1mクラスの対象に対応させるためには、装置が大きくなりすぎるため、コンパクトな次世代機を作りやすくするために除塵モジュールを改良した。

図 2-21 に、本研究開発で製作した中で、1mクラスの対象に対応した「実用 2 号機」と、コンパクト化（体積比 32%減）を図った「実用 3 号機」の概観を示す。



図面作成



実用2号機を実装したフィルム搬送装置



実用3号機

図 2-21 「実用 2 号機」と「実用 3 号機」

第3章 全体総括

3.1 本研究開発事業の成果

従来のエアナイフ方式に替わる異物回収技術の開発に成功し、実用的な製造工程用クリーナの試作が完了した。これにより、超微細異物に対する除去・回収、基板のひずみの抑制、再帯電の抑制、省電力化、軽量化、低コスト化といった多くの側面で、従来のエアナイフ方式を大きく上回る超微細異物クリーナが実現した。さらに、高精度検査装置とフィルム搬送装置を組み合わせた、実用的な製造工程用クリーナの試作については、計3回の試作を進める中で各性能のブラッシュアップが実現でき、製品化への目処が立った。

ここで用いられる検査技術においては、画像処理技術を高精度化、高速化、及び大規模データ対応型への改良を重ねることにより、インライン検査が可能なレベルに到達した。また、クリーナの基本仕様の検討段階で使用した CFD（数値流体力学シミュレーション）技術についても、基礎的実験との比較を通じて信頼性を確保し、エア吹き出し角度等の重要なパラメータの検討に使用可能な技術として使いこなすことができた。

上記は、静岡大学との産学連携の取り組みによって達成することができた、特筆すべき成果であると考えられる。

3.2 今後の課題

異物回収モジュールについては、今回達成した $10\sim 20\mu\text{m}$ の異物除去技術のさらに上を行く、 $1\mu\text{m}$ レベルの異物除去を達成すべく、気流の最適化等を進めていく。

製造工程用クリーナ技術としては、フィルムのばたつきを抑制することにより、連続的なインラインでの検査・評価を実現するための技術開発を継続する。さらに、ガラス基板向け製造工程用クリーナの実用化等、適用対象を拡大していく。

異物回収モジュール性能評価のための CFD 解析技術については、実用的な大規模モデルに対する計算時間に課題があることが顕在化した。これについては、スパコンによる超並列技術の活用を視野に入れ、より効果的に最適な異物改修モジュールの検討につなげられるよう、開発を継続する。

3.3 事業化について

本研究で獲得した超微細異物技術は、半導体プリント基板や液晶パネルにとどまらず、情報家電の市場拡大とともにさまざまな精密部品への適用が可能である。(株) TRINCでは、従来のエアナイフ方式に替わる省電力型除塵装置としていち早く製品化を実現し、業界への普及を図っていくと同時に、学会や展示会等での紹介を通じて、情報家電以外への適用の広がりを模索していく。