

平成21年度戦略的基盤技術高度化支援事業  
「液晶精密測長器を用いたリニアステージの研究開発」

## 研究開発成果等報告書

平成22年3月

委託者 近畿経済産業局

委託先 財団法人滋賀県産業支援プラザ

## 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
1-2	研究体制（研究組織・管理体制、研究者名、協力者）	8
1-3	成果概要	12
1-4	当該プロジェクト連絡窓口	12
第2章	320mm長液晶精密測長器の研究開発、及び実用化	13
第3章	液晶精密測長器の自動校正・検査システムの研究開発、及び実用化	15
第4章	320mm長の液晶精密測長器を組み込んだリニアステージの研究開発、及び実用化	16
第5章	研究成果のまとめおよび今後の課題	20

## 第1章 研究開発の概要

### 1-1 研究開発の背景・研究目的および目標

#### 1-1-1 社会的・経済的背景

リニアステージが主な製品であるリニアモータシステムの市場規模は、2004年度実績 52,047 軸(前年比 107.1%)、2005年度実績 53,778 軸(同 103.3%)、2006年度見込み 64,760 軸(同 120.4%)であり、今後も半導体や液晶の進化・需要拡大に伴い、この市場も拡大傾向であると予測されている。(2006年度・FA 総合版 制御用モータの有望市場と需給動向、(有)データ技術研究所より)。

中でもサブミクロンオーダーの繰返し精度を有するリニアステージは、半導体や液晶の製造装置の露光装置やステッパーなど比較的高額な装置の搬送系に採用されてきた。しかし、DRAMハーフピッチ (hp) ルールが 2007年 hp65nm、2010年 hp45nm、2016年 hp22nm 等と明確にロードマップ化(2005年度 半導体製造装置技術ロードマップ報告書 (2006年3月)(社)日本半導体製造装置協会より)され、また8インチウェーハから更に大型の12インチウェーハ対応への要求も高まってきている現在、12インチウェーハ全面を数ナノオーダーの繰返し精度で高速に位置決めできる安価なリニアステージの実現が望まれている。

実際に、我々が開発した液晶精密測長器の営業・販売を通じたマーケティング調査においても、半導体製造装置メーカーからは、従来品価格の1/2で、繰返し精度 $\pm 1\text{nm}$ 、移動速度 150nm/sec(半導体生産タクトタイム以内)のリニアステージの実現が望まれていることがわかっている。

そこで我々は、開発した液晶精密測長技術を更に高度化し、市場ニーズにマッチした安価で高精度・高速位置決め可能なリニアステージの研究開発を効率良く推進するために、本戦略的基盤技術高度化支援事業に提案することとした。

#### 1-1-2 技術的背景

##### (1) リニアステージにおける従来技術の問題点

リニアステージに用いられる測長器の位置検出方式としては、光学式(コヒーレントレンズ組込み型)、磁気式、静電容量式等があり、光学式位置検出方式が多く採用されている。しかし、光学式位置検出方式は、光学スケールのパターンニングが細くなればなるほど透過ないし反射による回折光の干渉によって測長精度が悪くなる欠点がある。また、高価で複雑な光学系を用いた構成であるため測長精度を上げるに従いより高額になる。

更に、従来のリニアサーボモータを用いたリニアステージは、リニアサーボモータ、ガイドレールやテーブル、光学スケールや検出部取付け台等の各々メカ部品を組合わせた構成であり、個々の取付け寸法誤差等の蓄積により繰返し精度は、サブミクロン~数十nmが限界であった。

また圧電素子を用いた精密位置決め装置は、ナノレベルの位置決めは可能であるが、数mmのストロークで、数mm/sec~数十mm/secの低速移動しかできず、半導体ウェーハ全体を高速で位置決めすることは不可能であり、オープン制御しかできないため、高精度を実現するためには、公差の少ない高価な機構部品が必要であるという欠点がある。

近年、リニアステージメーカーでは、粗移動は光学式測長等を利用し、高精度が要求される停止位置制御

に圧電素子を用いる等、複合化を開発しているが、各測長方式や機構部品が高価であるため複合化による測定精度の向上にともなう高価格化がネックになっている。

以下に、光学式測長器を利用したものと圧電素子を組合せたリニアステージの他社事例を記す。

①光学式測長器を用いたリニアステージ例 (図1-1-2 1 参照)

- ・リニアサーブLMシリーズ (横河電機製)

仕様：1000mm長、最大動作速度 2000mm/sec、繰返し精度±100nm

欠点：繰返し精度が粗く、DRAM ハーフピッチルールへの対応不可。

- ・ナノポジショナー (エアロテック社 (米国))

仕様：150mm長、最大動作速度 100mm/sec、繰返し精度±50nm

欠点：ストロークが短く 12 インチウェーブ対応が不可。繰返し精度が粗く、DRAM ハーフピッチルールへの対応不可。

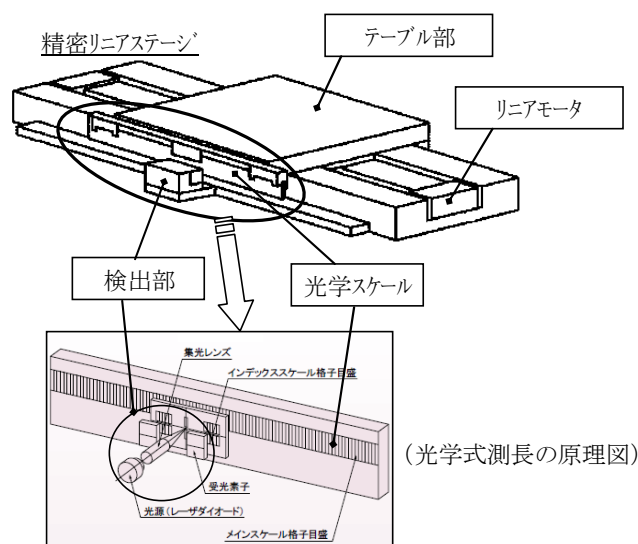


図1-1-2-1. 光学式測長器を用いたリニアステージの従来例

②圧電素子を組合わせたリニアステージ例

- ・ナノポジショナーTM (日本精工)

仕様：100mm長、最大動作速度 72mm/s、繰返し精度±10nm、分解能 5nm

精密ボールねじによる粗動と圧電素子による微動の組合せたリニアステージ

欠点：圧電素子を用いたオープン制御ゆえ、公差の小さい高価な部品を使用している。

また圧電素子はヒステリシスがあり、連続駆動時、誤差が蓄積され精度が悪くなる。

- ・静岡理科大学大塚二郎教授の開発したリニアステージ

仕様：60mm×60mmの小型ステージ、分解能 0.5nm

オープンループのステッピングモータで粗動し、目標位置とフィードバック用光学式変位センサとの偏差分だけ圧電素子を伸縮させて微動させる。

欠点：ストロークが短く 12 インチウェーブ対応が不可。

## (2) ㈱大阪電子科学技術研究所が開発した液晶精密測長技術の特徴

先に、本新技術のベースとなる独自技術である液晶精密測長技術について説明する。

この液晶精密測長技術は、科学技術振興機構プレベンチャー事業(平成 13 年度採択テーマ)「液晶による位置制御用精密測長器」において、大阪大学吉野教授(元液晶学会会長、現名誉教授)が発案された液晶電気光学効果の応用技術をもとに世界で初めて具現化に成功した液晶精密測長器(測定長 25mm 長、繰返し精度 $\pm 20\text{nm}$ 、測長速度 10mm/sec)の技術であり特許も取得済みである。更に、液晶精密測長器は、従来の光学式測長器では必要不可欠であった高価で複雑な光学部品が不要となるため、当初の計画通り、従来品価格より格段に安価になりユーザからも高い評価を受けている。

そして、平成 17 年度大阪府中小企業経営革新支援事業費補助事業や平成 18 年度中小企業・ベンチャー挑戦支援事業(近畿経済産業局)の補助金により、測定長 120mm 長、繰返し精度 $\pm 10\text{nm}$ 、測長速度 150mm/sec の新しく高機能な液晶精密測長器を開発済みであり、培ってきた液晶精密測長技術(①液晶スケール用液晶材料技術、②液晶スケール用膨張ガラス製造技術及びリ・歪取り技術、③液晶スケールエッチング技術、④受光アナログ回路の S/N 比向上化技術、⑤LED 光源安定化技術、⑥CPU 演算処理技術等)の更なる深化・高度化を成し遂げることができた。

以下に液晶精密測長技術について説明するが、今回提案するリニアステージの研究開発は、これら保有している独自技術やノウハウをベースに計画しているものである。

液晶精密測長技術とは、液晶電気光学効果を応用した精密測長技術のことであり、複数の画素からなる液晶スケールと、その液晶を特定周波数で駆動する駆動部と、安定化光源、液晶画素から直進した光束を受光する受光素子とからなる検出部で構成(図 1-1-2-4 左図参照)している。

ここで言う液晶電気光学効果とは、液晶を特定の周波数の電圧で駆動するとその電圧によって液晶分子の配向が変化することにより透過光をスイッチングでき、on の状態ではその透過光が直進する効果のことである(図 1-1-2-2 参照)。この時、図 1-1-2-3 に示すように、特定の周波数で駆動中の液晶窓を透過する直進した光束を受光素子で受光し、電気信号に変換しバンドパスフィルターで整形することにより、透過光量に比例した出力信号を得ることができる。

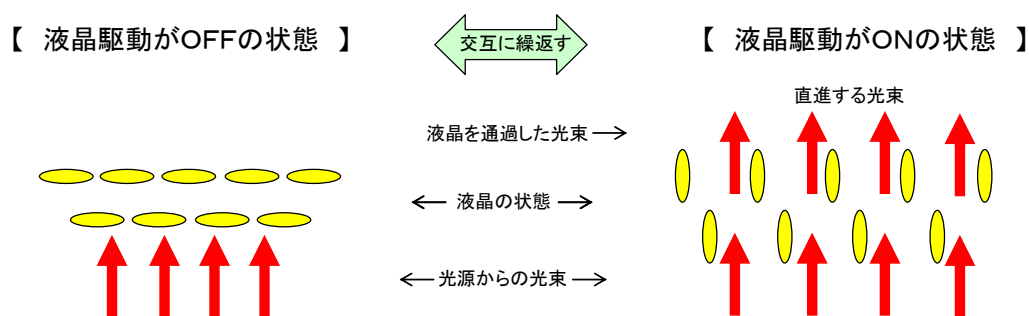


図 1-1-2-2. 液晶パルス駆動による光束の直進 (液晶電気光学効果)

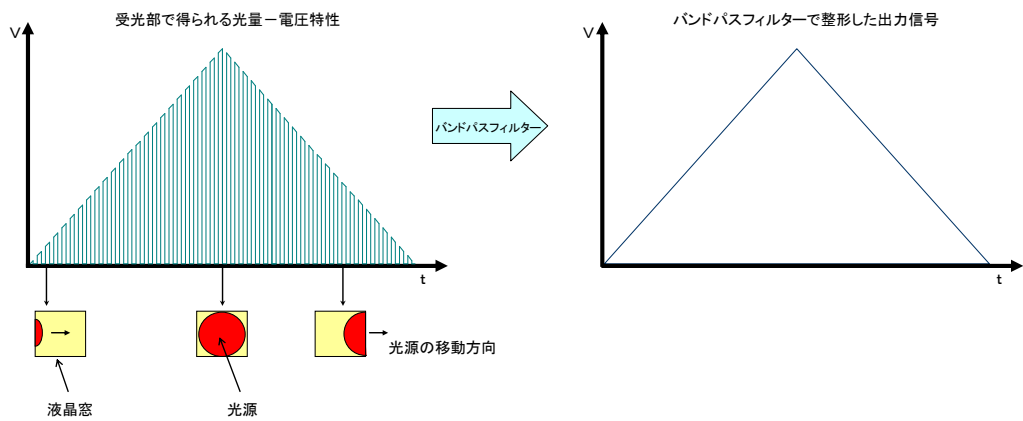


図 1-1-2-3. 液晶パルス駆動により得られる受光部での出力信号

次にこの特性を利用した測長制御方式について記す。図 1-1-2-4 で示すように、各液晶窓にアドレスを付加し、液晶窓を透過する光量を移動しながら光センサに取り込みアナログ信号として取り出し、これを量子化することで、精細な位置情報に換算することができる(図 1-1-2-5)。この時、液晶窓を図 1-1-2-6 に示すようにA列側とB列側の2列を千鳥足状に配列することで測定長全域の精密な計測が可能になる。

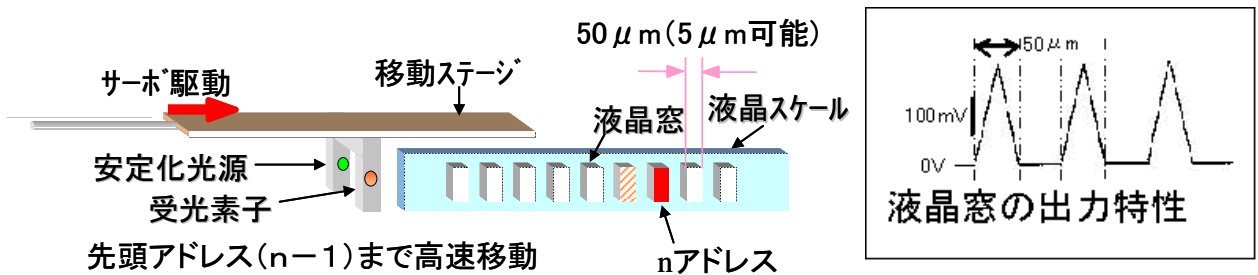


図 1-1-2-4. 本新技術を応用した液晶精密測長器の概念図

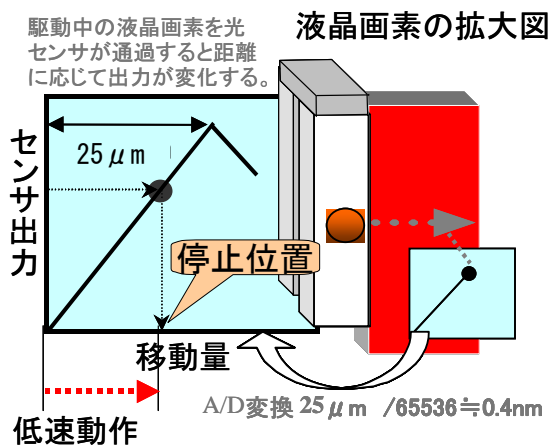


図 1-1-2-5. 液晶精密測長の概念図

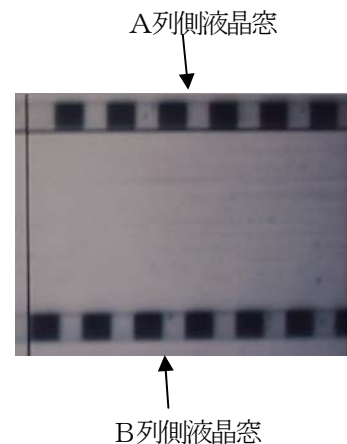


図 1-1-2-6. 開発した液晶スケールと液晶窓の配置

更に、液晶窓を千鳥足状態に配置したことで、図1-1-2-7に示すように、現在の位置情報に応じてA相かB相の電圧が常に出力されている。この時、正転/逆転の判断は、A相、B相の持つ位置情報(出力電圧)と勾配方向の変化( $\Delta$ 出力電圧)と、A、Bデジタル信号の立上り、立下りの変化により瞬時に検知できるようにロジックを構成している。このように常に位置情報と出力変化情報を読取る構成にすることで、変位情報しか持ち得なかった従来の測長方式の欠点である、停止時のチャタリングやバウンド現象、正転/逆転時の $\pm 1$ パルスカウントミスが、本新技術によって皆無にすることができたことも大きな特徴の一つである。

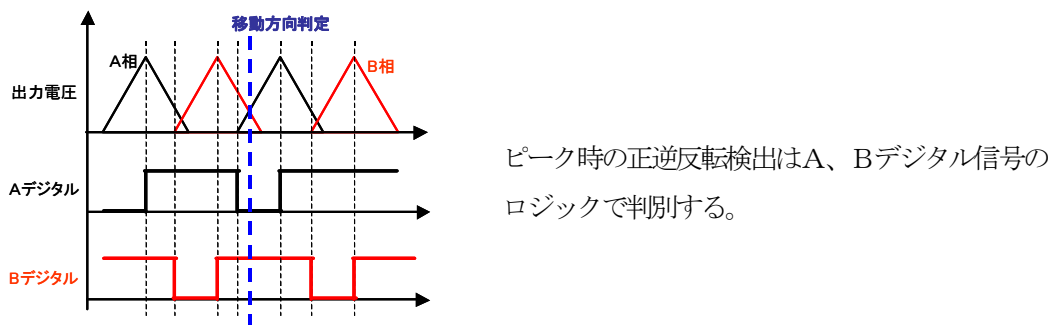


図1-1-2-7. 正転/逆転判断時のタイミングチャート

測長精度としては、プレベンチャー事業当時に購入したナノメータ環境制御装置、ナノメータ計測装置等を用いた測定の結果、繰返し精度 $\pm 10\text{nm}$ を検証(表1-1-2-1)している。また更には、環境条件が最も整った瞬間(振動 $\downarrow$ 、気流や温室度安定等)においては、 $\pm 1\text{nm}$ 精度のチャンピオンデータを得ている。

表1-1-2-1. 120mm長の液晶精密測長器の測長データ  
(平成18年度中小企業・ベンチャー挑戦支援事業の成果より抜粋)

位置 (mm)	レーザー指示値 (mm)	測長器指示値 (mm)	偏差(nm)
10	10.000058	10.000061	-3
20	20.000043	20.000047	-4
30	30.000048	30.000055	-7
40	40.000083	40.000078	5
50	50.000113	50.000119	-6
60	60.000134	60.000141	-7
70	70.000147	70.000139	8
80	80.000155	80.000160	-5
90	90.000159	90.000163	-4
100	100.000268	100.000269	-1
110	110.000301	110.000310	-9
120	120.000345	120.000347	-2

※レーザー測長器：アジデントテクノロジー製IP5529SA

### 1) 研究の目的

半導体製造業界では、世界的な規模での熾烈な価格競争、これに伴う生産規模の拡大競争、技術革新が繰り返されている。これに伴って DRAM ハーフピッチ (hp) ルール : 2010 年 hp45nm → 2016 年 hp22nm に沿った線幅の微細化傾向と、大型ウェーハ 12 インチ (φ300) 全面を高速移動できる安価なリニアステージが求められている。更に半導体設備は 3 年毎の更新が通例であるため、従来の測長技術より格段に安価・高精度、取付が容易という点で優れている液晶精密測長器を組み込んだ、高速・高精度、高剛性な駆動性能を有する安価なリニアステージを開発すれば、我々にも十分に参画、事業拡大できると判断している。

従って現在、製造・販売している測定長 25mm & 120mm (繰返し精度 ±10nm、測長速度 50mm/sec) の液晶精密測長器技術をもとに、新たに 12 インチウェーハ対応の 320mm 長測長器 (繰返し精度 ±1nm、測長速度 150mm/sec) を開発すると同時に、この新測長器を組み込んだ繰返し精度 ±1nm 最高動作速度 150mm/sec の安価 (従来品比 1/2) なリニアステージの早期実現を狙いとして研究開発を実施すると共に、25mm、120mm、320mm リニアステージの信頼性試験を実施し、製品化を行う。

### 3) 実施内容

#### ① 320mm 長液晶精密測長器の研究開発、及び実用化

( 株式会社大阪電子科学技術研究所、国立大学法人大阪大学 )

#### ② 液晶精密測長器の自動校正・検査システムの研究開発、及び実用化

( 株式会社大阪電子科学技術研究所 )

#### ③ 320mm 長の液晶精密測長器を組み込んだリニアステージの研究開発、及び実用化

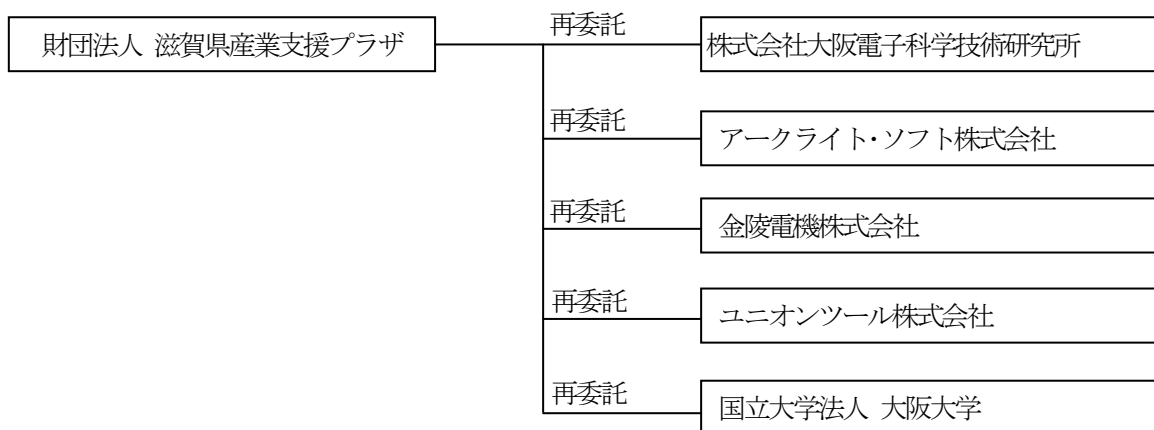
( 株式会社大阪電子科学技術研究所、アークライト・ソフト株式会社、金陵電機株式会社、ユニオンツール株式会社 )



## 1-2 研究体制

### 1-2-1 研究組織及び管理体制

#### ①研究組織（全体）



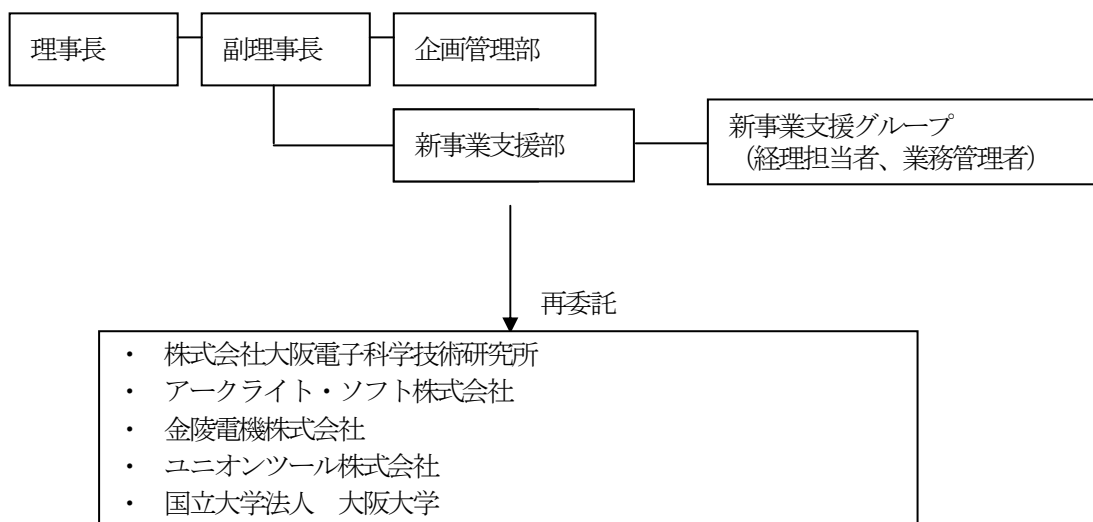
総括研究代表者 (PL)  
所属： 株式会社大阪電子科学技術研究所  
役職： 代表取締役社長  
氏名： 大藪 敏雄

副総括研究代表者 (SPL)  
所属： 金陵電機株式会社  
役職： 取締役 (FA機器販売統括)  
氏名： 本坂 美則

#### ②管理体制

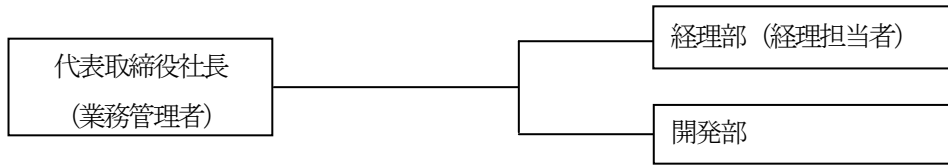
##### 1) 事業管理者

[財団法人 滋賀県産業支援プラザ]

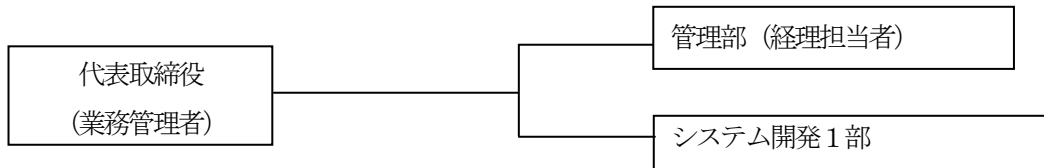


2) 再委託先

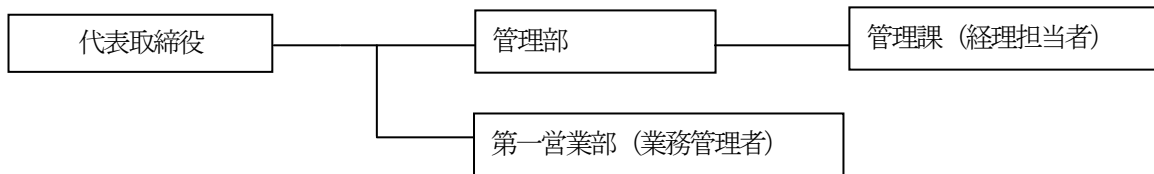
【株式会社大阪電子科学技術研究所】



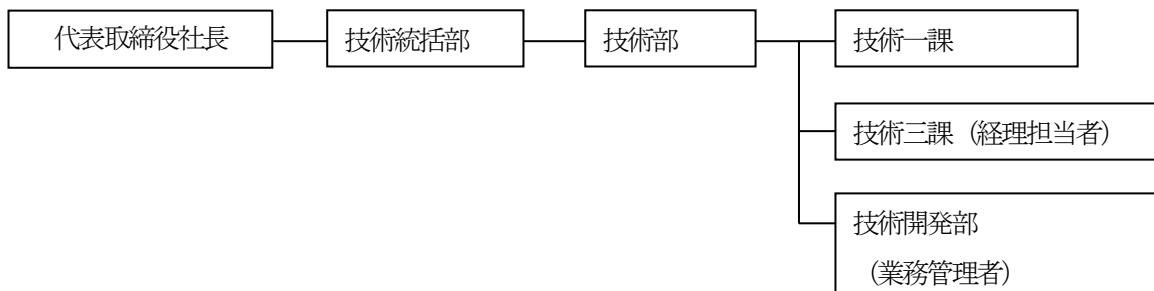
【アークライト・ソフト株式会社】



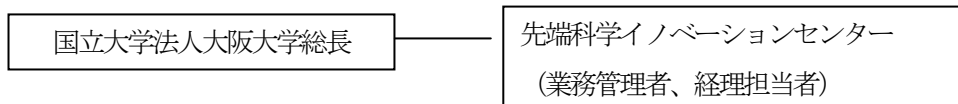
【金陵電機株式会社】



【ユニオンツール株式会社】



【国立大学法人 大阪大学】



1-2-2 管理員及び研究員

**【事業管理者】 財団法人 滋賀県産業支援プラザ**

管理員（プロジェクト管理員）

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
西尾 隆臣	新事業支援部新事業支援グループ 主幹	④
巽 哲夫	新事業支援部新事業支援グループ 参与 専門相談員	④

**【再委託先】**

株式会社大阪電子科学技術研究所

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
大藪 敏雄	代表取締役社長	①、②、③
常田 洋路	開発部	①、②、③

アークライト・ソフト株式会社

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
三日月 清	システム開発1部 部長 執行役員	③

金陵電機株式会社

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
本坂 美則	取締役（F A機器販売統括担当）	③

ユニオンツール株式会社

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
渡辺 裕二	技術部技術開発課 課長	③
小林 正樹	技術部技術一課 主事	③
松崎 直之	技術部技術一課 副主事	③

国立大学法人大阪大学

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
大森 裕	先端科学イノベーションセンター 教授	①
吉野 勝美	招聘教授	①

1-2-3 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

(事業管理者)

財団法人 滋賀県産業支援プラザ

(経理担当者) 新事業支援グループ

(業務管理者) 新事業支援部

主幹  
部長

西尾 隆臣  
神本 正

(再委託先)

株式会社大阪電子科学技術研究所

(経理担当者) 経理部 勝部光男

(業務管理者) 代表取締役社長 大藪敏雄

アークライト・ソフト株式会社

(経理担当者) 管理部 平 正行

(業務管理者) 代表取締役 平 正行

金陵電機株式会社

(経理担当者) 管理部 管理課 課長 柴田健司

(業務管理者) 取締役 (F A機器販売統括担当) 本坂美則

ユニオンツール株式会社

(経理担当者) 技術部技術三課 係長 中村宗宏

(業務管理者) 技術部技術開発課 課長 渡辺裕二

国立大学法人 大阪大学

(経理担当者) 先端科学イノベーションセンター

梶井博武

(業務管理者) 先端科学イノベーションセンター

教授 大森 裕

1-2-4 他からの指導・協力者名及び指導・協力事項

①推進委員会

氏名	所属・役職	備考
大藪 敏雄	株式会社大阪電子科学技術研究所 代表取締役社長	総括研究代表者
常田 洋路	株式会社大阪電子科学技術研究所 開発部	
三日月 清	アークライト・ソフト株式会社 システム開発1部 部長 執行役員	
本坂 美則	金陵電機株式会社 取締役F A機器販売統括	副総括研究代表者
渡辺 裕二	ユニオンツール株式会社 技術開発課 課長	
大森 裕	国立大学法人大阪大学 先端科学イノベーションセンター 教授	
吉野 勝美	国立大学法人大阪大学 名誉教授 招聘教授	
松永 萌	エルメック株式会社 代表取締役社長	アドバイザー

②他からの指導・協力者名及び指導・協力事項

氏名	所属・役職	内容
松永 萌	エルメック株式会社 (さいたま市緑区馬場 1-25-13) 代表取締役社長	半導体や液晶の進化・需要拡大に伴う、半導体・液晶製造装置メーカー等、幅広く使用、検討される精密位置決め装置等のニーズ及び最新技術動向について提供を行う。主に③項について。

1-2-5 知的財産権の帰属

知的財産権は全て当方に帰属することを希望する。

1-2-6 その他

なし

### 1-3 成果の概要

#### ①320mm 長液晶精密測長器の研究開発、及び実用化

(株式会社大阪電子科学技術研究所、国立大学法人大阪大学)

平成20年度の研究開発成果である320mm長液晶スケール、液晶スケール固定方法を用いた、320mm液晶精密測長器の演算処理の改善及びノイズ対策等を実施し精度(±1nm)、動作速度(150mm/秒)を達成した。又320mm液晶精密測長器の組立治工具の研究開発及び信頼性試験(温度サイクル試験、環境試験、ノイズ試験、静電気試験、気圧試験等)を併行して行い製品化を完成した。

有機ELの利用可能性と有機EL駆動制御回路の小型化について研究開発した結果、発光部の応用が適宜と判断できたので、液晶測長器用アレイ発光素子の試作を完成した。

#### ②液晶精密測長器の自動校正・検査システムの研究開発、及び実用化

(株式会社大阪電子科学技術研究所)

液晶精密測長器の自動校正・検査システムの研究開発、及び実用化を実施し、±1nm以内の精度で、20台/日の校正、検査可能な工場、環境、装置を完成した。

#### ③320mm 長の液晶精密測長器を組み込んだリニアステージの研究開発、及び実用化

(株式会社大阪電子科学技術研究所、アークライト・ソフト株式会社、  
金陵電機株式会社、ユニオンツール株式会社)

フルクローズドフィードバック制御システムの研究開発及びメカ機構の研究開発を併行して実施し、320mm長リニアステージのサーボ制御及びメカ特性に合致した制御パラメータ数値の検量線を作成し、高精度(±1nm)、高剛性(目標耐荷重40kgf以上)、高速駆動(動作速度150mm/sec)を実現すると共に、信頼性試験(温度サイクル試験、ノイズ試験、静電気試験、気圧試験等)を実施し、製品化が可能な制御方式を確立した。

### 1-4 当該プロジェクト連絡窓口

財団法人滋賀県産業支援プラザ

新事業支援部 新技術活用支援グループ

〒520-0806

滋賀県大津市打出浜2番1号

コラボしが21 2階

電話(077)511-1414 FAX(077)511-1418

## 第 2 章 320mm 長液晶精密測長器の研究開発、及び実用化

平成 20 年度の研究開発成果である 320mm 長液晶スケール、液晶スケール固定方法を用いた、320mm 液晶精密測長器の演算処理の改善及びノイズ対策等を実施し精度 ( $\pm 1\text{nm}$ )、動作速度 ( $150\text{mm}/\text{秒}$ ) を完成し、又 320mm 液晶精密測長器の組立治工具の研究開発を併行して行い製品化を実施した。



図 2-1-1



図 2-1-2

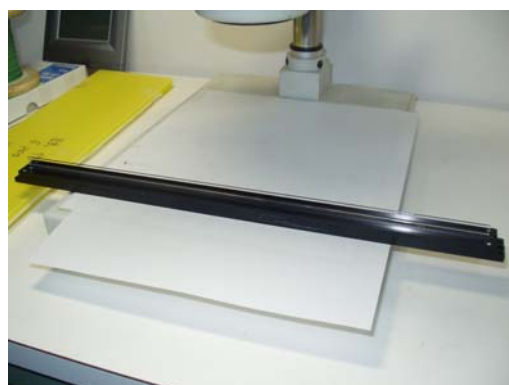


図 2-1-3

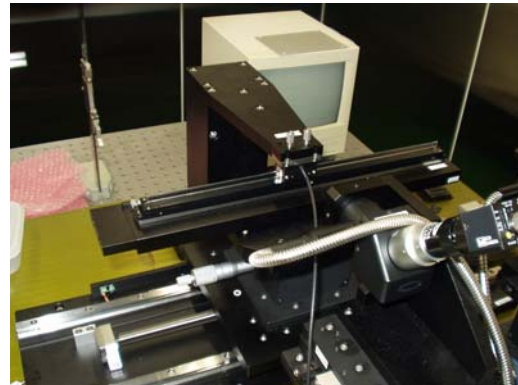


図 2-1-4

図 2-1-1、図 2-1-2 に液晶スケール組立用治具、図 2-1-3 に 320mm 長液晶スケールを示す  
図 2-1-4 に本研究開発で開発した 320mm 長液晶精密測長器を示す。

図 2-1-5、図 2-1-6 に 320mm 長液晶精密測長器の温度サイクル試験データを示す。

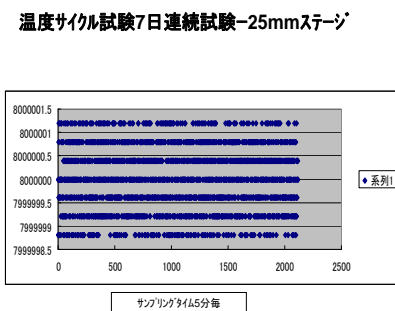
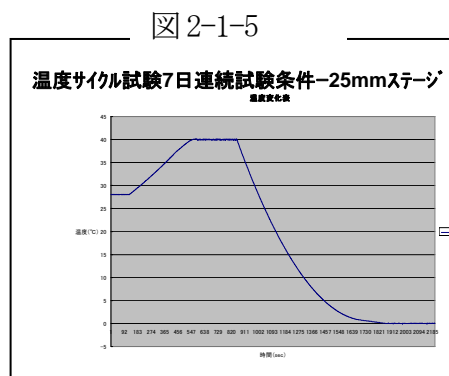


図 2-1-6

## 液晶精密測長器の信頼性試験

試験項目				
ワークNO、	温度サイクル試験	環境試験	ノイズ試験	静電気試験
1	OK	OK	OK	OK
2	OK	OK	OK	OK
3	OK	OK	OK	OK
4	OK	OK	OK	OK
5	OK	OK	OK	OK
6	OK	OK	OK	OK
7	OK	OK	OK	OK
8	OK	OK	OK	OK
9	OK	OK	OK	OK
10	OK	OK	OK	OK

ワークNO: 1~4、25mm長  
 NO: 5~8、120mm長  
 NO: 9~10、320mm長

表 2-1-1

表 2-1-1 により温度サイクル試験、ノイズ試験：放射電磁界（IEC61000-4-3）、ファストトランジェントバースト（IEC61000-4-4）、雷サージ（IEC61000-4-5）、伝導電磁界（IEC61000-4-6）、電源周波数磁界（IEC61000-4-8）、電圧ディップ・瞬断（IEC61000-4-11）、静電気（IEC61000-4-2）の規格において本研究開発の成果は達成できた。又液晶精密測長器の小型化について研究開発も実施し、有機 EL 光源について検証、試作を行いその優位性を確認した。

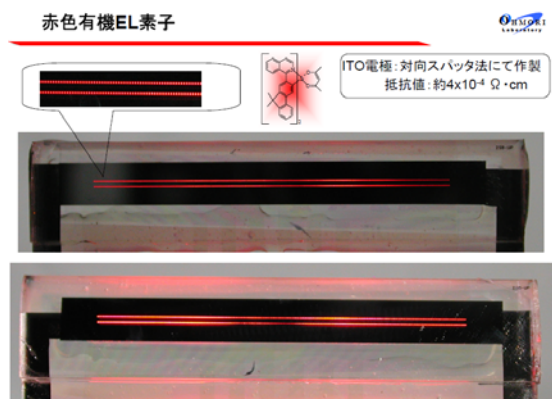


図 2-1-7

図2-1-7に赤色有機EL光源の試作品である。今後更なる研究開発を実施し、液晶精密測長器の小型化を行う。



### 第3章 液晶精密測長器の自動校正・検査システムの研究開発、及び実用化

液晶精密測長器の自動校正・検査システムで、 $\pm 1\text{nm}$  以内の精度安定化を構築する為、工場建設、環境整備、校正装置を完成させ、20 台/日の校正、検査可能な装置を完成した。

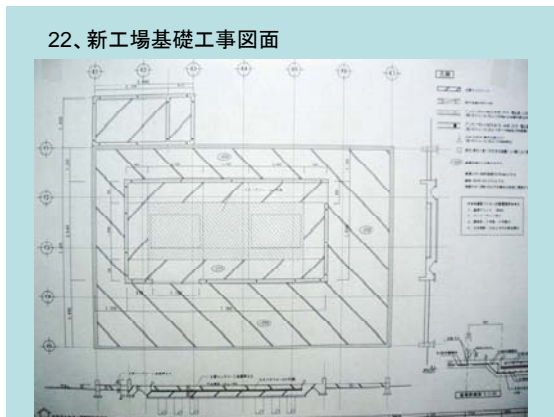


図 3-1-1



図 3-1-2



図 3-1-3

自動、校正、検査  
システム

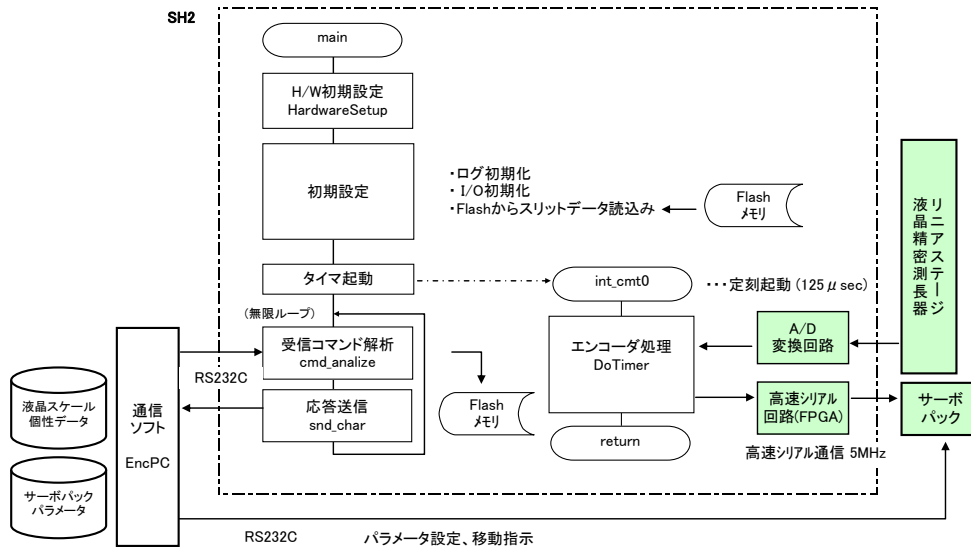
図 3-1-1 に工場の基礎工事図面、図 3-1-2 に nm 環境維持装置を示す。この環境で常時  $\pm 2\text{nm}$ 、深夜で  $\pm 0.6\text{nm}$  の測定が可能になった。図 3-1-3 は nm 環境維持装置内に設置している、液晶精密測長器の自動校正、検査システムで、20 台/日校正、検査が出来るようになった。

第4章 320mm長の液晶精密測長器を組み込んだリニアステージの研究開発、及び実用化

図4-1-1に本研究開発の320mm長リニアステージのソフトウェアの制御システム図を示す。

図4-1-1

測長ソフトウェア構成



測長ソフトウェア機能

● 液晶スケール・リニアステージ制御プログラム

- ・液晶スケール個性データ管理
- ・SH2通信機能
  - SH2制御パラメータ、スリットデータ位置情報モニタ
  - ログデータ
- ・スリット間距離算出、平均信号計算機能
- ・サーボパック通信機能
  - サーボパックパラメータ
  - 移動指示(単独移動、複合移動)

● 液晶スケール・測長プログラム

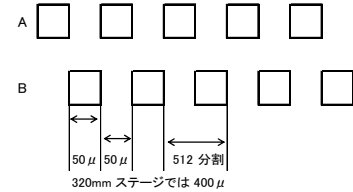
- ・FlashメモリR/W機能
- ・EncPC通信機能
- ・サーボパック通信機能(FPGA)
  - 現在位置情報送 ⇒ FPGA ⇒ サーボパック
- ・測長演算機能
  - AB信号読取り
  - 信号補正(移動平均法、A,B信号平均化)
  - 方向判定
  - フェーズ判別
  - 距離計算

SH2マイコン

図4-1-2

移動距離計算・測長アルゴリズム

- (1) 液晶精密測長器からの位置情報の乱れは、移動平均で補正する。
- (2) スリット(液晶窓)の位置を装置の固有情報として持たせ。
- (3) 通過スリット数をカウントし、50 μ (スリット間隔) 単位の距離を求める。
- (4) スリット間の詳細な距離はA信号、B信号をリサージュ曲線に当てはめ、角度から距離(1nm単位)を求める。512分割された区間(約195.3nm)は直線で近似し、計算で距離(1nm単位)を求める。



スリット(液晶窓)の数

25mm ステージ	250個 × 2 (A, B)
120mm ステージ	1200個 × 2 (A, B)
320mm ステージ	800個 × 2 (A, B)

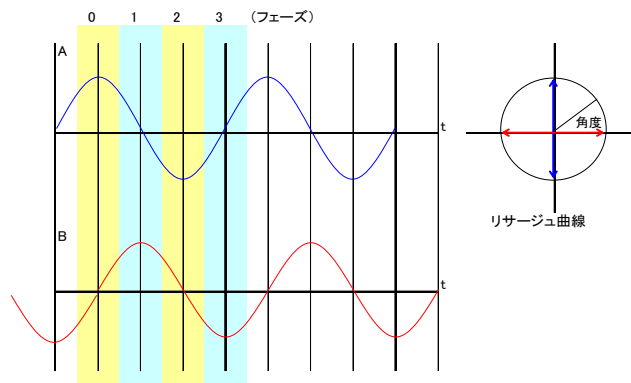


図4-1-1と図4-1-2が測長アルゴリズムとで、本ソフトウェアを開発した。

パソコンと液晶精密測長器、FPGA基盤、サーボパックとの通信仕様を以下に示す。

1)通信制御設定

通信方式：RS232C    ボーレート：115.2kbps    データ長：8ビット

パリティ：無し    ストップビット：1ビット    フロー制御：無し

※ Dsub9P クロスケーブル (RXD, TXD, GND, RTS, CTS)

RTS, CTS：未使用 (測長器側で、RTS, CTS 短絡)

2)通信フォーマット

PC ⇒ Enc コマンド                    DLE+STX、コマンドNo、パラメータ、DLE+ETX、BCC

Enc ⇒ PC レスポンス                DLE+STX、コマンドNo、レスポンス、DLE+ETX、BCC

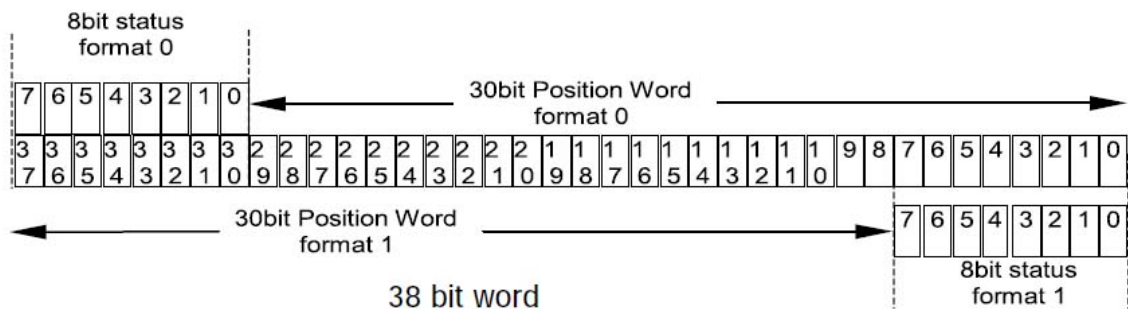
3)通信コマンド

内容	コマンド No.	パラメータ	レスポンス
スリットデータ設定	0x81	N1N2 = スリット番号0x00~0xf9 N1N2 = 予備 N1N2N3N4 = A列データ (a1) N1N2N3N4 = A列データ (a2) N1N2N3N4 = B列データ (b1) N1N2N3N4 = B列データ (a2)	N1N2 = 受信したスリット番号
パラメータ設定	0x82	N1 = 最高速度(mm/sec) N1N2 = 0 (未使用) N1N2N3N4 = 上限電圧 N1N2N3N4 = 下限電圧 N1N2N3N4 = 分解能 N1N2N3N4 = A-Peek(+)電圧 N1N2N3N4 = A-Peek(-)電圧 N1N2N3N4 = ノイズレベル電圧 N1N2N3N4 = 停止時間 N1N2N3N4 = 詳細表示フラグ N1N2N3N4 = ログ間隔 N1N2N3N4 = スリット固定フラグ N1N2N3N4 = 方向反転フラグ	ACK
ログデータ数取得	0x90	—	N1N2N3N4N5N6N7N8 = データ数 N1N2 = 詳細表示フラグ N1N2N3N4N5N6N7N8 = 0 (未使用) N1N2N3N4N5N6N7N8 = 合計パルス数

ログデータ取得	0x91	N1N2N3N4N5N6N7N8 = データ番号	N1N2N3N4N5N6N7N8 = データ番号 hhh... = ログデータ
ログ消去	0x92	—	ACK
ログ開始	0x93	—	ACK
ログ停止	0x94	—	ACK
Version	0x60	—	N1N2 = バージョン番号
I/O モニタ	0x71	N1N2 = フラグ(00~ff) 01:出力有効 N1N2 = I/O 出力データ(00~ff)	N1N2N3N4 = AD ch1(0000~ffff) N1N2N3N4 = AD ch2(0000~ffff) N1N2 = I/O 入力データ(00~ff)

#### ④サーボパック通信仕様

検討の結果、USB を使ったデータ通信等よりさらに高速な通信を行うため、5MHz クロック 32bit 高速シリアルデータフォーマット通信を行う（現在は中央精機株式会社サーボパック仕様に合わせ 30bit のみ有効としている）。尚、通信仕様は、図 4-1-2-3 の format0 形式 (MSB first) に準拠する。



#### EncPC=>SH2 通信仕様(インタフェース)

I/Oモニタコマンド  
MON\_CMD\_IO

EncPC ← SH2  
0x71

AB信号の生データ、ノイズカット後のデータを送受信する。

- EncPCでは、
- モニタ部に、AB信号の生データ、ノイズカット後のデータの両方を表示させる。
  - 測定ボタン、測定回数(入力)、平均値(出力)を追加し、ボタン押下時、その時点から測定回数分の下記データを収集する。  
AB信号の生データ  
ノイズカット後のデータ  
現在位置のデータ
  - データ収集完了時、収集データの解析を行い、CSVファイルに出力する。  
CSVファイル:カレントフォルダ%output%MONITER.csv

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
SigA	SigB	I/O	Phase	AbsPos			Offset	Count	Dir	SigA	SigB	(ノイズカット)					

スリットデータコマンド  
MON\_CMD\_SLIT

EncPC → SH2  
0x81

次スリット間の距離、平均信号値(A, B)を全スリット分送受信する。

0	1	2	3	4	5	6	7	8	
SlitNo	dist		ave A		ave B				

単位:100nm ⇒ nm (校正用ステージの測定結果のばらつきを考慮)

スリット分割データコマンド  
MON\_CMD\_SLIT\_DIV

EncPC → SH2  
0x83

フェーズ番号(0,1,2,3)、フェーズ分割数、およびフェーズ分割番号、距離、比較値を送受信する。データはCSVファイルから読み込む

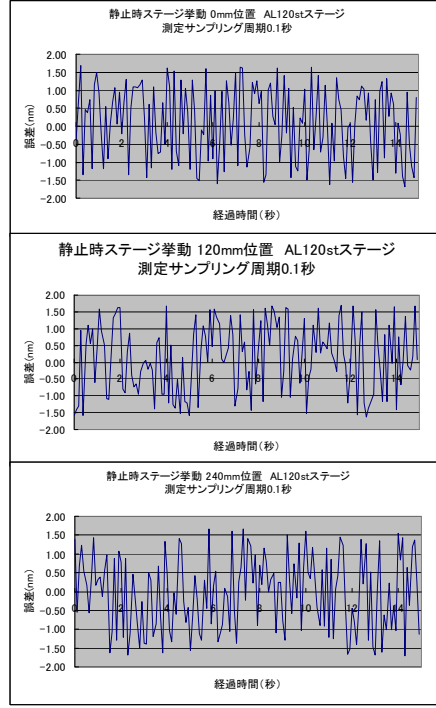
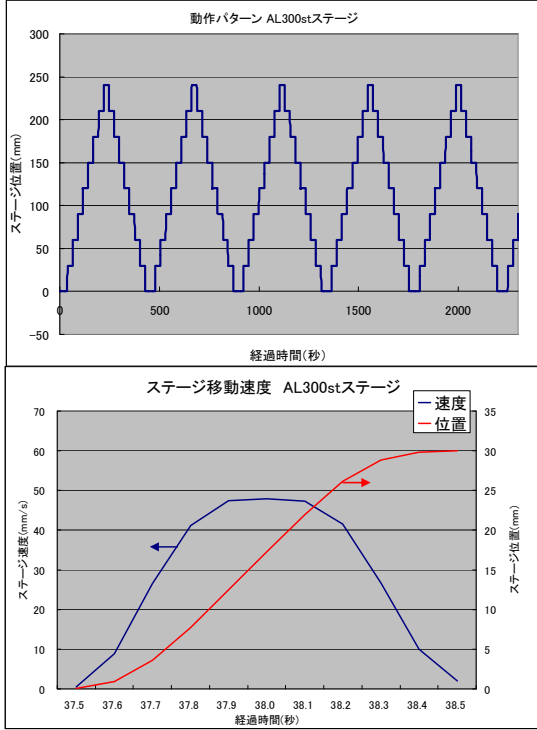
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Phase	DivNum	Div-No	dist			angle				
						(nm単位)			比較値	

### 3. AL320stステージ

動作パターン (移動速度Max48mm/s)

静止時挙動

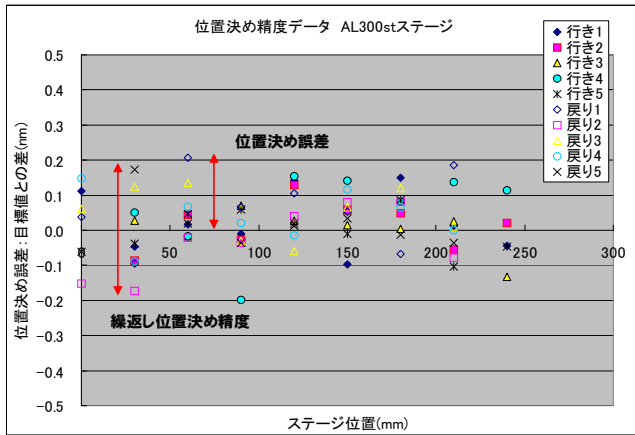
・静止時の挙動変化はストローク全域で±2.0nm以下



### 3. AL320stステージ

位置決め精度

- ・位置決め誤差最大0.21nm
- ・静止時挙動を無視すると 繰返し位置決め精度0.35nm



位置	0	30	60	90	120	150	180	210	240
行き1	0.11	-0.05	0.02	-0.01	0.14	-0.10	0.15	0.01	-0.05
行き2		-0.09	0.04	-0.03	0.13	0.06	0.05	-0.06	0.02
行き3		0.03	-0.02	0.07	0.03	0.01	0.00	0.02	-0.13
行き4		0.05	-0.02	-0.20	0.15	0.14	0.08	0.14	0.11
行き5		-0.04	0.05	0.06	0.02	-0.01	0.09	-0.10	-0.05
戻り1	0.04	-0.10	<b>0.21</b>	0.07	0.10	0.05	-0.07	0.19	
戻り2	-0.15	-0.17	-0.02	-0.04	0.04	0.08	0.08	-0.08	
戻り3	0.06	0.12	0.14	-0.03	-0.06	0.06	0.12	0.01	
戻り4	0.15	-0.09	0.07	0.02	-0.02	0.12	0.07	0.00	
戻り5	-0.06	0.17	0.02	-0.04	0.01	0.03	-0.01	-0.04	
Ave	0.02	-0.02	0.05	-0.01	0.06	0.05	0.06	0.01	-0.02
R1	0.30	<b>0.35</b>	0.23	0.27	0.21	0.24	0.22	0.29	0.25

単位: nm

本研究開発で開発した 320mm 長リアステージの検証データを図 4-1-3 に示す。

位置決め精度 0.21nm、繰り返し位置決め精度 0.35nm を達成し、本提案テーマである、

- 1、320mm 長液晶精密測長器の研究開発、及び実用化
  - 2、液晶精密測長器の自動校正・検査システムの研究開発、及び実用化
  - 3、320mm 長の液晶精密測長器を組込んだリアステージの研究開発、及び実用化
- の 3 課題について研究開発が完了したと判断する。

## 第 5 章 研究成果のまとめおよび今後の課題

### 1、320mm 長液晶精密測長器の研究開発、及び実用化

今後の課題として、低価格化、高速性、長尺化、小型化が要求されてくると推測できる。

その対策として、品種の固定化、使用部品の共通化、量産体制などが課題となってくる。

### 2、液晶精密測長器の自動校正・検査システムの研究開発、及び実用化

工場の建設、ナノメートル環境維持装置等の導入により、常時±2nm、深夜±0.6nm の計測可能な環境が完成したが、昼間の超低周波ノイズ対策を実施し、常時±1nm 以下に環境維持が必要不可欠になる。

### 3、320mm 長の液晶精密測長器を組込んだリアステージの研究開発、及び実用化

320mm 長リアステージの成果として、精度±1nm 以下、高剛性（耐過重 40Kg 以上）、高速性（動作速度 150mm/s）を達成できた。今後の課題としては、下記の 2 点があげられる。

- 1、ユーザ仕様が一品対応になる可能性が非常に高い為、製品仕様書、納品仕様書、検収条件、ユーザインターフェイスソフト、基本ソフト等の充実が販促に向けての課題となる。
- 2、ユーザ装置内組み込み型になる為、メカ設計展開技術、インターフェイス対応技術等の展開が必要である。

以上