

平成 18 年度
先端的外観検査技術に関する
調査研究報告書

平成 19 年 3 月

社団法人 日本機械工業連合会
社団法人 日本オプトメカトロニクス協会

KEIRIN



この事業は、競輪の補助金を受けて実施したものです。

<http://keirin.jp/>



日機連18先端1

平成18年度先端的外観検査技術に関する調査研究報告書

平成19年3月

社団法人日本オートメカトロニクス協会

平成 18 年度
先端的外観検査技術に関する
調査研究報告書

平成 19 年 3 月

社団法人 日本機械工業連合会
社団法人 日本オプトメカトロニクス協会

序

我が国機械工業における技術開発は、戦後、既存技術の改良改善に注力することから始まり、やがて独自の技術・製品開発へと進化し、近年では、科学分野にも多大な実績をあげるまでになってきております。

しかしながら世界的なメガコンペティションの進展に伴い、中国を始めとするアジア近隣諸国の工業化の進展と技術レベルの向上、さらにはロシア、インドなど BRICs 諸国の追い上げがめざましい中で、我が国機械工業は生産拠点の海外移転による空洞化問題が進み、技術・ものづくり立国を標榜する我が国の産業技術力の弱体化など将来に対する懸念が台頭してきております。

これらの国内外の動向に起因する諸課題に加え、環境問題、少子高齢化社会対策等、今後解決を迫られる課題も山積しており、この課題の解決に向けて、従来にも増してますます技術開発に対する期待は高まっており、機械業界をあげて取り組む必要に迫られています。

これからの中長期的な技術開発競争の中で、我が国が勝ち残ってゆくためにはこの力をさらに発展させて、新しいコンセプトの提唱やブレークスルーにつながる独創的な成果を挙げ、世界をリードする技術大国を目指してゆく必要があります。幸い機械工業の各企業における研究開発、技術開発にかける意気込みにかけりはなく、方向を見極め、ねらいを定めた開発により、今後大きな成果につながるものと確信いたしております。

こうした背景に鑑み、当会では機械工業に係わる技術開発動向等の補助事業のテーマの一つとして社団法人日本オプトメカトロニクス協会に「先端的外観検査技術に関する調査研究」を調査委託いたしました。本報告書は、この研究成果であり、関係各位のご参考に寄与すれば幸甚です。

平成 19 年 3 月

社団法人 日本機械工業連合会
会長 金井務

は し が き

近年のアジア諸国や BRICs 諸国の工業化の進展と技術レベルの向上は著しいものがあり、経済のグローバル化のなかで、わが国の機械産業の製品はより高信頼性と高付加価値化が期待されます。高品質の製品を製造するうえに大きく影響するものに検査技術が上げられますが、その検査技術は各産業、各企業、各製品に固有なものが多く、多品種生産、商品のサイクル、コスト等の面から市場に十分対応しているとはいえないのが実状です。

このような背景と現状をふまえ、当協会は平成 18 年度社団法人日本機械工業連合会から研究調査委託を受け、「先端的外観検査技術に関する調査研究」を実施しました。最近進歩の著しい光技術をもちいて、各種産業における製品や部品の外観、形状等を非接触で高精度高高速に検査する技術及びシステムについて総合的かつ体系的に調査を行い、その結果を分析することによって、機械産業の検査技術のあるべき方向を探り、競争力を高めることを目的にいたしました。当協会内に学識経験者及び産業界の有識者からなる委員会を設置し、委員長には斯界における第一人者である天神林孝二氏（独立行政法人産業技術総合研究所 光学技術研究部門グループ長）にご就任いただき、基礎的研究分野から産業の応用分野にいたる広範囲な外観検査技術について調査研究を実施しました。基礎分野においては、測定方法、基本デバイス、データ処理アルゴリズムなどについて、また応用分野においては、さまざまな産業における光計測の特徴を利用した先端的な応用事例について調査研究を行っております。

時間的制約の多々あるなかで、本調査研究のために時間さいて報告書の作成にあたられた委員長をはじめ委員各位、並びに種々のご指導をいただいた経済産業省、社団法人日本機械工業連合会その他の関係者の皆様方に厚く御礼を申し上げます。

本報告書が機械産業及びオプトメカトロニクス産業の発展に寄与し、関係各位の参考になり大いに活用されることを期待する次第です。

平成 19 年 3 月

社団法人 日本オプトメカトロニクス協会
会長 岩居文雄

平成 18 年度 先端的外観検査技術に関する調査研究委員会委員名簿

委員長 天神林 孝二 (独)産業技術総合研究所 能力開発部門
人材開発企画室長(兼務) 光画像計測グループ

【基礎技術分野分科会】

分科会長・幹事 小野寺 理文 職業能力開発総合大学校 通信システム工学科 助教授
長谷部 光雄 (株)リコー MFP 事業本部 開発革新センター 技師長
豊田 晴義 浜松ホトニクス(株) 中央研究所 第4研究室 専任部員
山田 吉郎 (株)テクノス 代表取締役社長・技術士
長尾 智晴 横浜国立大学 大学院環境情報研究院 教授
齋藤 理一郎 東北大学 大学院理学研究科 理学部 物理学専攻
固体統計物理学講座 物性理論研究室 教授

【応用技術分野分科会】

分科会長・幹事	稻 秀樹	キヤノン(株) コアテクノロジー開発本部 製品技術研究所 機器システム 32 研究室 室長
幹事	井関 敏之	(株)リコー 研究開発本部 基盤技術研究所 計測制御研究室 課長研究員
	布施 正樹	(株)メック INS 技術センター 次長
	崎田 隆二	(株)リコー 研究開発本部 基盤技術研究所 資源循環システム研究室 研究主担
	鵜川 浩一	コニカミノルタセンシング(株) 国内販売部 東京営業所 FPD 技術担当
	五十嵐 誠	オリンパスメディカルシステムズ(株) 商品企画本部 研究部 研究 1 グループ 主任研究員
	若海 博樹	(株)モリテックス オプト・ビジョン開発生産本部 技術開発部 システム技術開発グループ
	河野 澄夫	(独)農業・食品産業技術総合研究機構 食品総合研究所 食品分析研究領域 非破壊評価ユニット長

込山 貴仁 (株)コンステック IT 診断技術本部 副本部長
高橋 哲 東京大学 大学院工学系研究科 精密機械工学専攻
足立 秀之 ヴィスコ・テクノロジーズ(株) 代表取締役社長
武田 一男 (株)レイテックス 技術・生産本部 技術部 開発技術課
清原 元輔 (株)清原光学 代表取締役社長
赤尾 佳則 科学警察研究所 法科学第四部 情報科学第二研究室
研究員

事務局 松倉 孝男 (社)日本オプトメカトロニクス協会 専務理事
事務局 高岡 孝徳 (社)日本オプトメカトロニクス協会 業務部長
事務局 中野 正人 (社)日本オプトメカトロニクス協会 技術部長

(敬称略、順不同)

1.2 光学部品の高精度・高速計測

12.1 はじめに

1953年のメーザーの発明、そして1960年、可視レーザー光の発明により光学部品の検査にとって有効な光源が利用可能になった。その結果としてレーザー干渉計が実現した。

それまでは、水銀灯やナトリウムランプなどの光源を利用した、ニュートン原器で光学部品の高精度計測を行なってきていた¹⁾。

現在でも、光学研磨の現場では、上記、ニュートン原器法は有益な手法として利用されているが、レーザー光を利用した干渉計の商品化が行なわれた事により徐々に、このレーザー干渉計に置き換わりつつある²⁾。

従来のニュートン原器法と比べてレーザー干渉計は、非接触で光学部品の表面や内部欠陥を検査が出来るので、より精度の高い計測が可能となった³⁾。

1970年代から1980年代はこのレーザー干渉計、特にフィゾー型干渉計の全盛の時代であった。その後、1974年IBMのBunningによって発表された位相シフト法は、コンピューターの高精度化に伴い、1990年代から現在まで、高精度光学部品の計測の標準となってきた⁴⁾。

しかし、この位相シフト法は、リファレンス面又はテスト面をPZT等を用いて $\lambda/2$ 分駆動させる必要があるため、約1/10秒程度の測定時間が掛かる。

この間、干渉計や被検物は静止している必要があるため、除震台の設置が不可欠であり、レーザー干渉計の設置環境にも特別な配慮が必要であった。

最近、光学部品の大口径化における計測の需要が出てきて、従来の位相シフト法では、駆動機構の問題や測定環境での空気の擾乱など対処が難しい状況がある。

このひとつの解決法として、瞬間位相シフト干渉法があるので紹介する。

12.2 レーザー干渉計

干渉計には、その測定目的により、いろいろな干渉のタイプが存在する。ここでは、主に光学部品としてのレンズ・ミラー・プリズムの表面精度や内部透過波面の検査用としての一般的なレーザー干渉計を紹介する。

12.2.1 トワイマン・グリーン型干渉計

この干渉計はマイケルソン型干渉計の発展したタイプである。

光学材料の内部脈理や泡などの欠陥、レンズの透過波面収差を計測するのに最適であり、光路調整の自由度が高く、光路差を自由に決めることが可能である。

図 12.1 はこの干渉計の内部構成図である。ブルーレイ DVD 用のピックアップ用 非球面レンズの透過波面精度を計測でき、ディスクの厚さと同等な光学基盤を挿入できる。

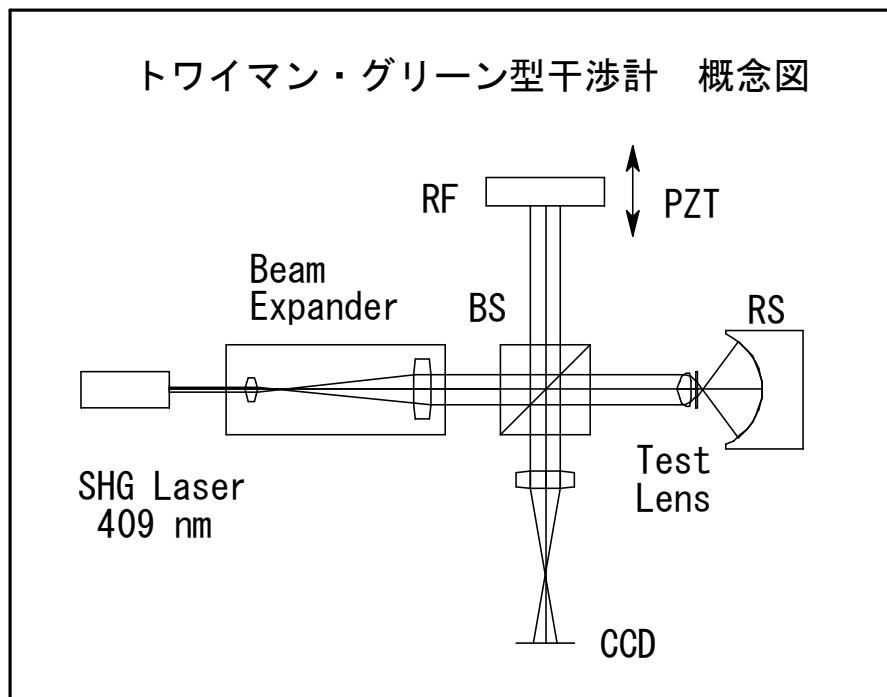


図 12.1 トワイマン・グリーン型干渉計 概念図

テストレンズの後に光学基盤があり、その先に N.A0.9 まで対応可能な RS (リファレンス・スフェア) が配置されている。参照波面は、高精度 RF (リファレンス・フラット) によって戻され、PZT による位相シフト機構により、 $\lambda/100$ までの測定が可能である。

写真 12.1 の製品は、上記概念図のトワイマン・グリーン型小型位相シフトトレーザー干渉計である。剛性を強く製造すれば、このマイケルソン型干渉計のタイプは、光路差に強く、安定した干渉縞が再現性良く、表示できる。この写真の干渉計は、レンズを入れ替えるても即、干渉縞が見えて、安定した干渉計測が可能である。さらに、光路長を同等にすれば、可干渉距離の短い光源での干渉も可能になり、応用範囲の広い干渉計と言える。

また、テストレンズの代わりに、被検光学部品を設置し、RS を RF または平面鏡に変更して配置すれば、内部欠陥や波面収差の計測にも利用する事が可能になる。



写真 12.1 小型位相シフト干渉計（トワイマン・グリーン型）

12.2.2 マッハツェンダー型干渉計

この干渉計（写真 12.2）は、図 12.2 の構成で配置され、光路は一方向のみで、他の干渉計と違い同光路を戻る事はしない。それゆえに、シングルパス干渉計とも言われている。テストピースは、片側のサンプルの位置に設置して、もう一つの光路を通る波面との 2 光波干渉で波面収差の計測を行なう。

同じ精度の光学部品を多量に製造する時に便利な干渉計であり、一方向にのみ進む波面を測定するので、テストする光学部品の真の波面収差が計測できる。また、必要とする収差を維持したい光学部品を検査する事が出来、目的の収差を持った光学部品のレプリカを大量に製作するには、最適な干渉計と言える。

サンプルの部分に、マスターになる光学部品を配置し、その反対の光路にレプリカの光学部品を配置すれば、同等な製品の製作と検査が飛躍的に早くなる。また、M1 のミラー部分に PZT を配置すれば、位相シフト計測が可能となり、凹・凸の判定を自動的に行なう事が出来る。光路にチャンバーを配置すれば、真空中や窒素などのガス中の計測も可能となる。

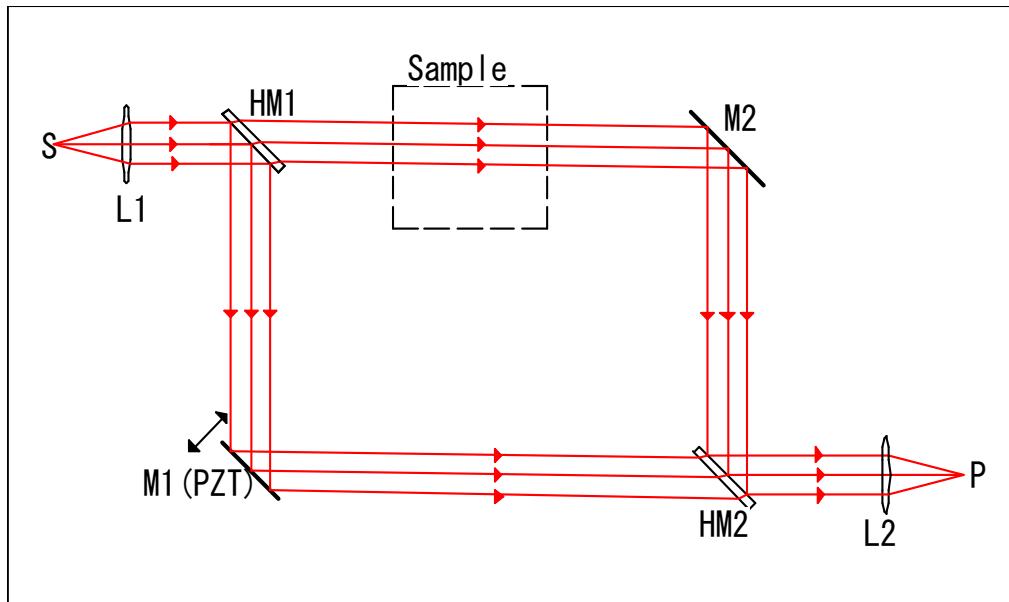


図 12.2 マッハツェンダー干渉計光路図

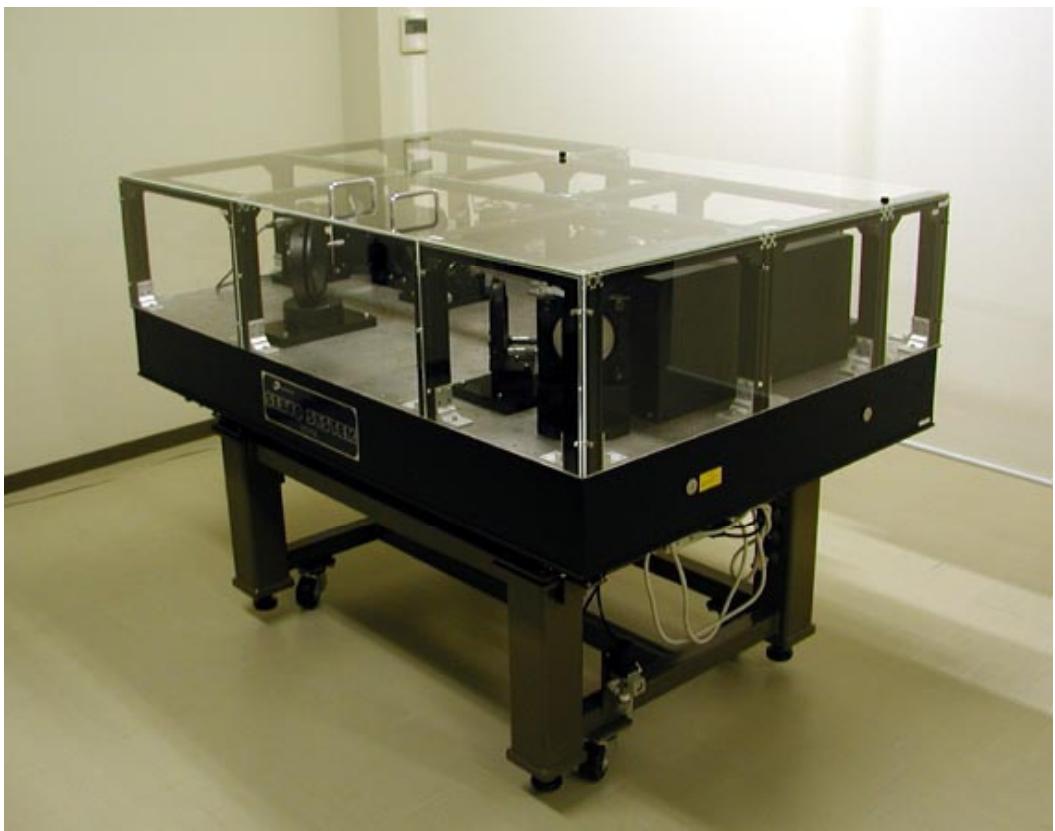


写真 12.2 マッハツェンダー干渉計

上記は、大型高級カメラレンズの品質管理にも応用が可能であり、内部を通る光が一方向のみであるので、正確な性能検査が実施できる。

12.2.3 フィゾー型干渉計

簡単な構成で平面度測定や球面の測定が出来る干渉計である。

図 12.3 の光学系は球面測定用フィゾー干渉計の配置図である。

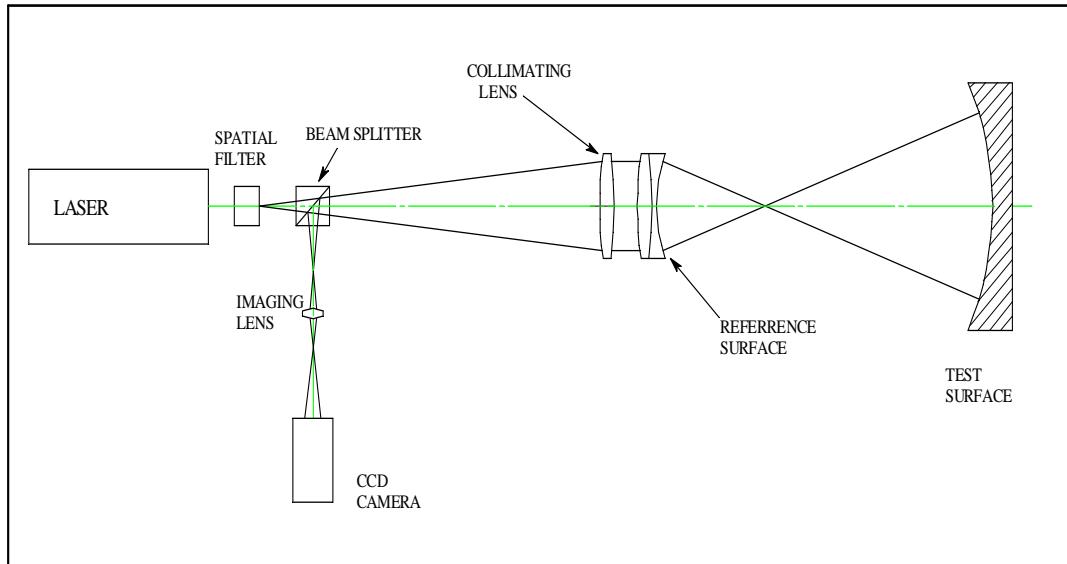


図 12.3 フィゾー干渉計光路図

レーザー光は集光後 Spatial Filter を通り、Beam Splitter を通り抜け Collimating Lens で拡大された平行光が出射される。

その先端に設置された RS (参照球面) で出射されたレーザー光が一点に集まる。

この位置は、キャッアイ・ポイントと呼ばれている。この位置にテスト面を置くと光は 180 度回転した光路を戻り、Reference Surface (参照面) からの反射波面も同様に Beam Splitter で反射し干渉像が CCD を経て干渉縞として観察される。

次にテスト面をこの曲率半径 (R) 分だけ後方に移動させ、キャッアイ・ポイントと一致させると前記と同様に干渉縞が観察される。この干渉縞が測定値である。

この移動距離を正確に測定する事により、テスト面の曲率半径 (R) が測定できる。

図 12.3 は凹面の測定事例であるが、凹面の F#すなわち口径と曲率半径 (R) との関連で最適な、N.A をもった RS (参照球面) を用意する必要がある。

また、凸面の測定の場合は、キャッアイ・ポイントと Reference Surface (参照面) との間にテスト面を置く事になり、凸面の曲率半径 (R) により、測定できる範囲が限定される事になる。従って、曲率半径 (R) の異なる測定には、各種の RS (参照球面) を用意する事は凹面の場合と同様である。

平面の計測の場合は、RS（参照球面）を RF（参照平面）と交換して設置する事によりテスト平面の測定が可能になる。

以上が、基本的なフィゾー型干渉計の測定法であるが、測定と判定には、ある程度の経験が必要になる。それは、干渉縞の画像からは収差量は判断できるが、その収差が+方向か-方向かの判定が出来ない事である。

すなわち、テスト面が凹面にへこんでいるのか、あるいは凸面に出っ張っているのかの判断は、テスト面に少し傾きを与え、その時の干渉縞の動き方を測定者が自分の目で見て、どちらの方向に縞が動いたかで凹凸を判定するのである。

この少し傾ける測定作業と判定作業に、人間が介入するので経験が必要になる。

この経験者の必要性の軽減と計測作業の判断ミスを低減させる手法として、次の位相シフト法の導入が現在、進んでいる。構成を図 12.4 にて説明する。

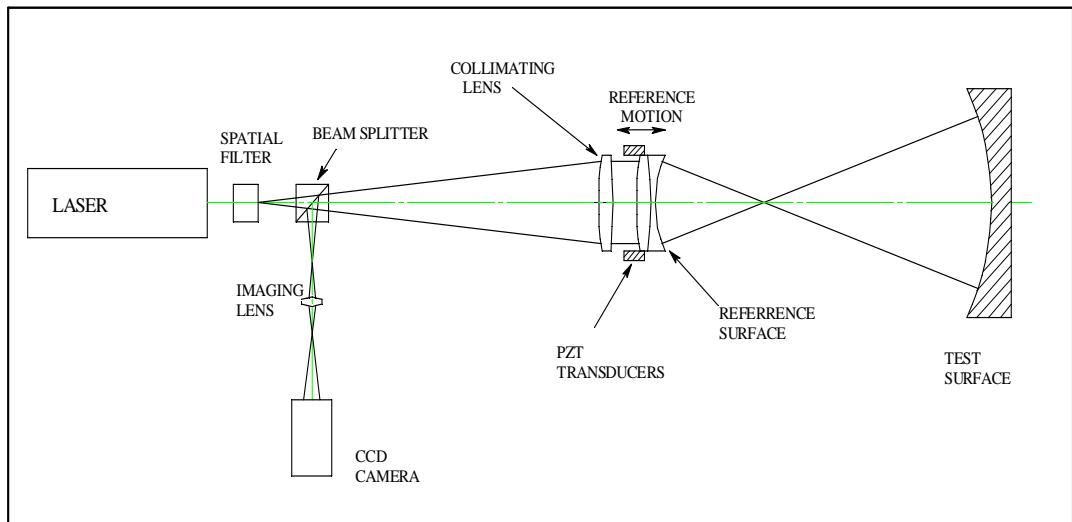


図 12.4 PZT 位相シフトフィゾー干渉計光路図

これは、Collimating Lens の前に PZT Transducers というピエゾ素子駆動機構が新たに取り付けられており、コンピューターで制御するようになっている。この機構の部分に RS(参照球面)を取り付けて測定するのである。この手法が位相シフト法と言われており、まず、テスト面を通常のやり方で干渉計にセットし、干渉縞画像を出して、コンピューターにデーターを取り込む。

次に、PZT に加える電圧をステップ状に走査させ、走査させる都度に干渉縞画像をコンピューターに取り込んでテスト面の形状を凹凸も含めて判定させる。

これら一連の工程は、干渉縞解析装置と組み合わせられており、テスト面の 3 次元形状が表示でき、また、断面形状の表示が出来るので加工にフィードバックが可能になり、光

学加工精度が格段によくなつた。この方法は、フリンジスキャン法とも言われ、縞と縞の間の計測をする事になり、より高精度の測定が自動的にできるようになった。位相シフト法は、現在の測定の主流になってきている。位相シフト干渉縞解析装置での出力結果を下記の図 12.5 に示す。

干渉縞表示や 3 次元形状等が表示されており、 $PV = 1.6371 \lambda$ 、 $RMS = 0.3456 \lambda$ の数値も計算されており、X 方向と Y 方向にアスティグマがある事がわかる。

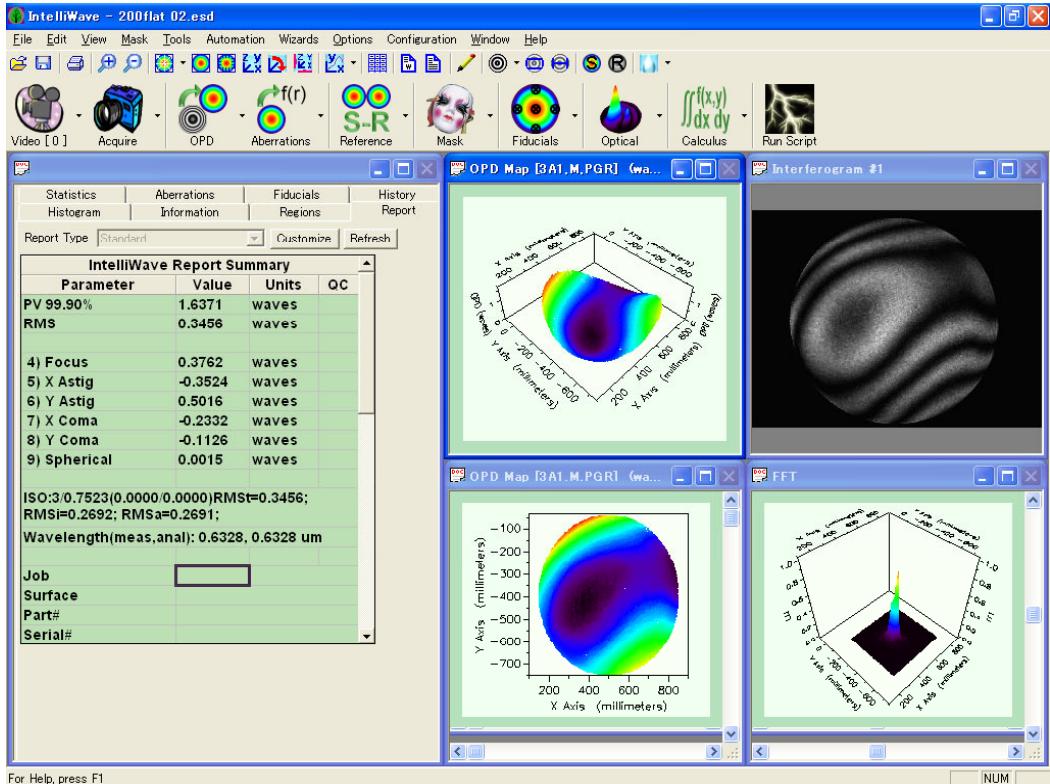


図 12.5 干渉縞解析 解析結果表示例

大口径の光学系とかの需要が出てくると共に、これまでの位相シフト法では、対応が難しい状況も最近は出てきている。参照面も大型になり、PZT で駆動するのも大変になる。

また、測定精度を上げようとすれば、ステップ数も問題になる。この取り込む回数を 4 回、5 回、7 回、・・・とか、いろいろなステップで位相情報を取り込むアルゴリズムが提案されている。測定回数を増やせば、それだけ位相情報が多く入手でき測定精度は上がるが、測定に時間要する事になる。

通常の測定においては、約 $1/2$ 秒～ $1/10$ 秒程度の測定時間が必要で、この間は、干渉計本体も被検物も動いてはならず、同一のテーブルの上に設置し、振動も回避する、除震台が必要不可欠になる。

また、光路長が長くなると、その間の空気の擾乱が測定精度に影響をあたえる。

このように、大型の除震台つき光学台も必要になり、部屋の構造にも配慮がいる事になる。このような状況の中で、位相シフト法の利点を生かしつつ、測定の時間を短縮するいろいろな方法が試みられており、提案されている⁵⁾。

現在、下記の図 12.6 に示すように多くの手法が考えられているが、今回はそのうちの中央に位置する、ESDI H-1000 Multi-CCD の方法について紹介する。

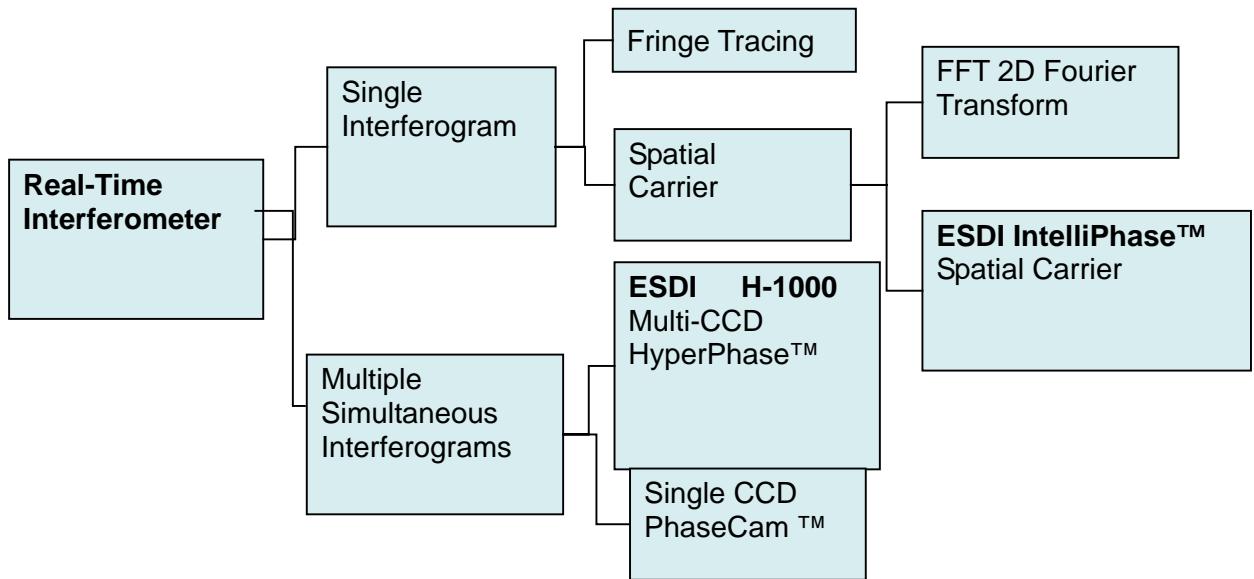


図 12.6 実時間干渉計 相関図

この方法は、フィゾー型干渉計であり、測定部に 3 つの CCD を配置してある。

これは、位相情報を 0 度、90 度、180 度の 3 つを同時に取り込む事が出来る。その光学的配置図を下記の図 12.7 に示す。

光源には半導体レーザーを用いてあり、直交する偏光を出力し、その位相差を利用した方法である。干渉計内部には波長板と偏光ビームスプリッターが組み込まれている。3CCD の部分の外観を写真 12.3 で示し、その受光の位相情報を図 12.8 に表示する。90 度づつ位相がシフトした干渉縞情報が瞬時に取得できる。

通常の位相シフト干渉計との大きな違いは、PZT 等を用いていない構造で機械的な駆動機構をもたないことが特徴である。機構的には偏光を利用しているので、偏光干渉計といえる。

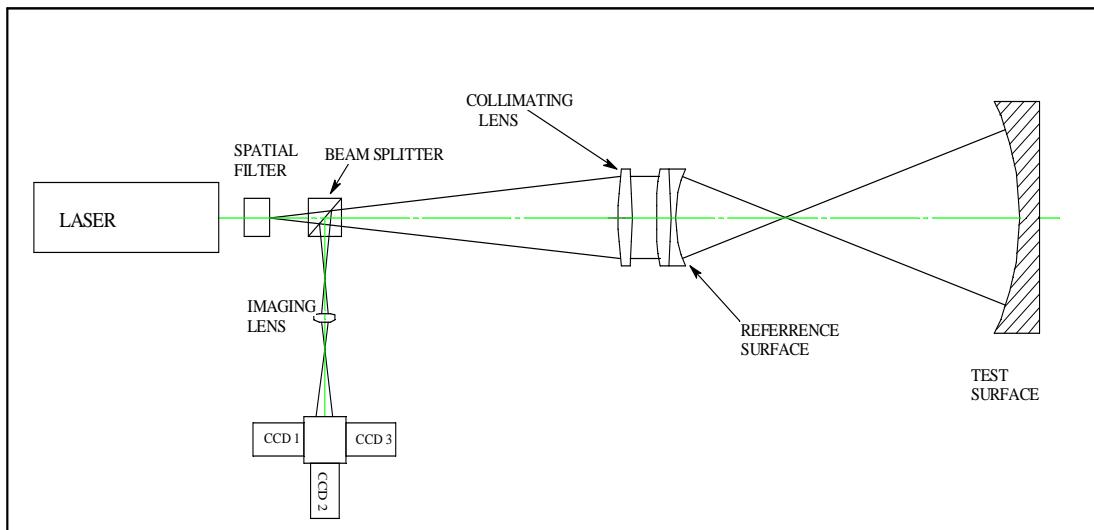


図 12.7 H-1000 瞬間位相シフトフィゾー干渉計光路図



写真 12.3 3CCD カメラユニット

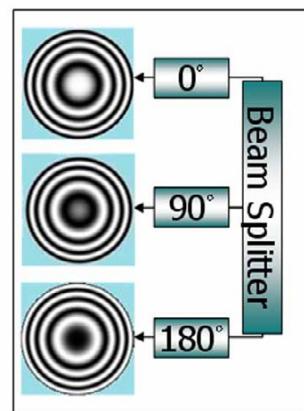


図 12.8 位相シフトした干渉縞



写真 12.4 H-2000 瞬間位相シフトフィゾー干渉計 外観

最新の瞬間位相シフトフィゾー干渉計の外観写真を写真 12.4 で示す。

当初、H-1000 の名称であったが、可干渉距離を 30M 程度まで可能に出来る光源を採用したので名称を最新鋭機は H-2000 に改称している。

この干渉計は、名称から推定できるように駆動の部分が無い為に測定の実時間が 1/2000 ~1/100000 秒の超高速であり、瞬間に干渉縞を取り込む事が出来る。

最新のデジタル信号処理装置との組み合わせにより、位相の減算や積算が柔軟に行なう事が出来、空気の擾乱や、振動に由来するランダムノイズを取り除く事が可能になっている。

この事は、設置場所に除震装置を必ずしも必要としない。また、長い光路長における空気の擾乱にも影響を受けにくい事をあらわしている。

実際ににおける、瞬間位相シフトフィゾー干渉計の測定写真を以下に紹介する。

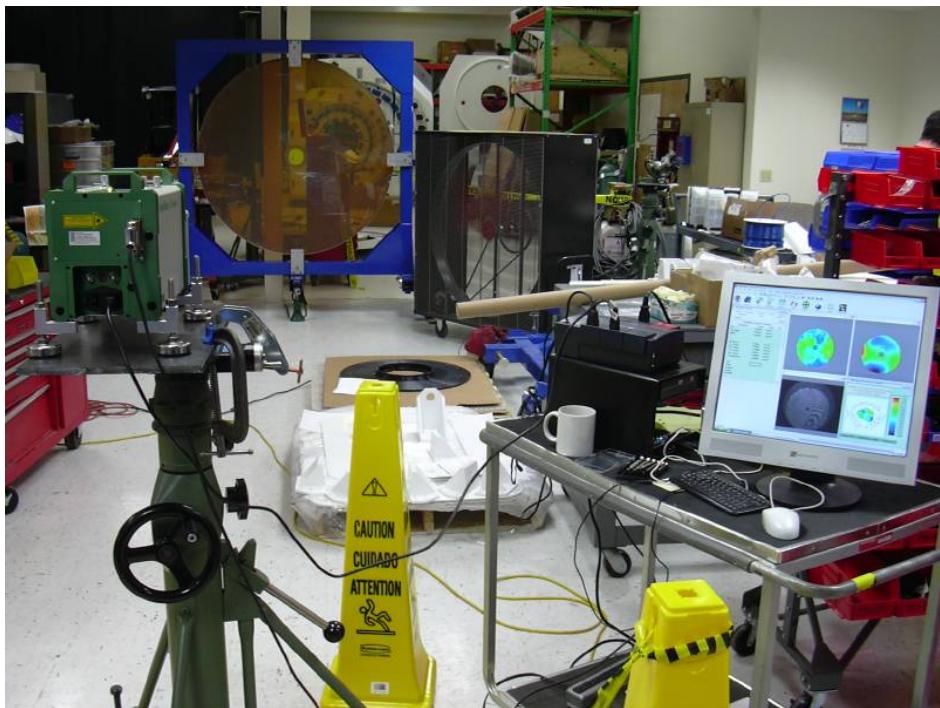


写真 12.5 $\phi 1.5M$ 凹面ミラー 干渉縞計測の事例

写真 12.5 の配置は、口径 1.5 メートル曲率半径 6 メートルの凹面鏡の測定を瞬間位相シフト干渉計で計測している風景である。

手前え左側に干渉計が台座の上に設置されており、被測定物の $\phi 1.5M$ の凹面鏡が奥の所に設置されている。凹面鏡は中央に円形の穴が開けられている。

その右側には、空気の擾乱を解消するための大きな扇風機が置かれている。

このような、配置では、今までのレーザー干渉計では測定が不可能な状況であるが、

この瞬間位相シフト干渉法を利用すれば干渉縞計測が可能になってくる。

写真 12.6 は、被測定物の $\phi 1.5M$ 凹面鏡と大型扇風機の写真である。



写真 12.6 $\phi 1.5M$ 凹面ミラーと空気気流制御用大型扇風機

$\phi 1.5M$ $R=6M$ 凹面ミラー の測定

表 12.1

$\phi 1.5M$ 凹面測定事例 1

PV=5.8659 RMS=1.5187

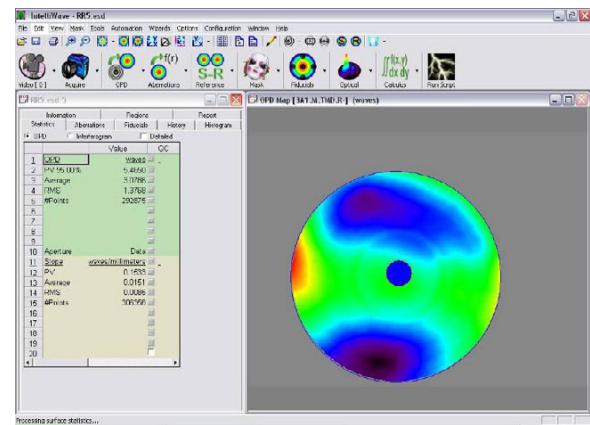
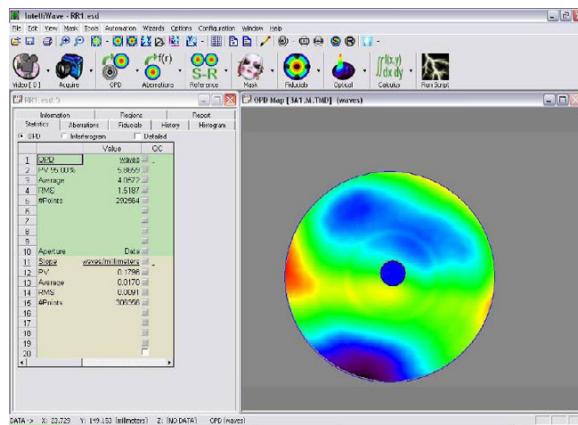
扇風機 OFF # 1

表 12.2

$\phi 1.5M$ 凹面測定事例 2

PV=5.4650 RMS=1.3768

扇風機 OFF # 2



上記の計測では、大型扇風機は回しておらず、空気の擾乱は存在している。

干渉計とミラーは、6メーターも離れており、振動もあるが測定が出来ている。

表 12.1(#1)と表 12.2(#2)の干渉縞解析結果から、その差分を減算して空気の擾乱の具合を表示したのが、表 12.3 である。空気の熱分布が中心部に見られる。

大型扇風機を回していないので、空気の擾乱が大きく、RMS の値が大きく出ており測定のタイミングにより、測定値が大きくずれる可能性がある。

大型扇風機を回して、空気の擾乱を平均化して計測した。

表 12.4(#3)と表 12.5(#4)の干渉縞解析結果から、その差分を減算して空気の擾乱の具合を表示したのが、表 12.6 である。大型扇風機が ON で空気の擾乱が平均化されている。

表 12.3

$\phi 1.5M$ 四面測定時における 測定誤差要因 1

扇風機 OFF 時の 空気の擾乱の具合 1

$P V=2.3426$ RMS=0.6591

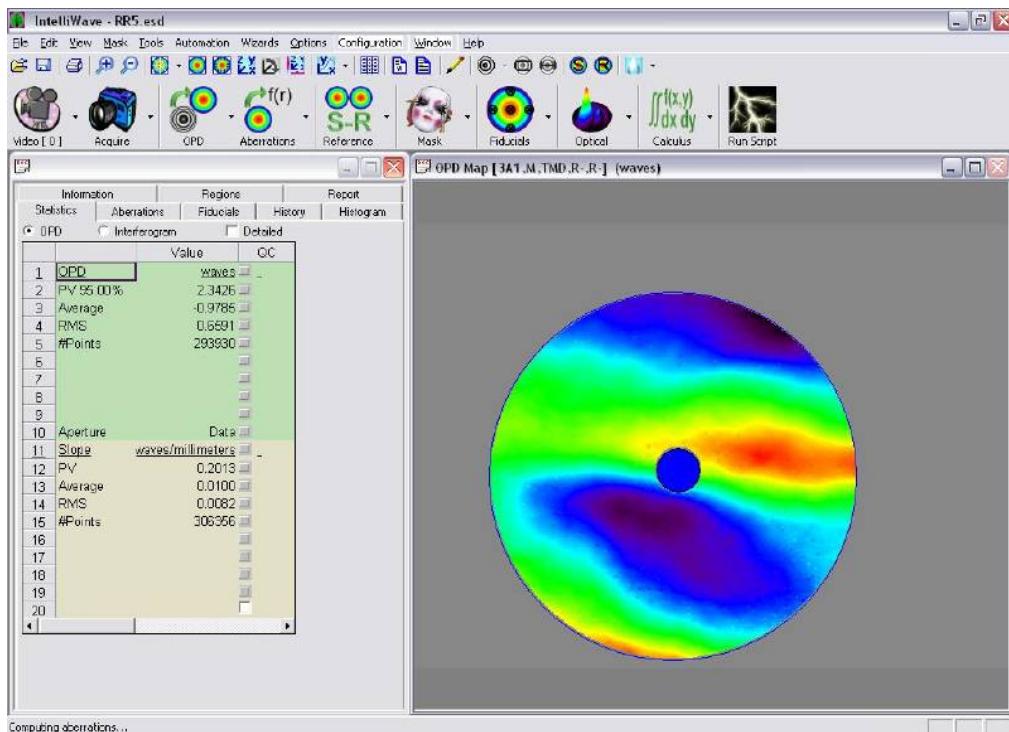


表 12.3 では、中心部分に空気の擾乱が見られ、PV 値 2.3426λ 、RMS 値 0.6591λ と大きな値がでており、鏡面計測においては、測定値の不安定要因になっている。

以上の値が、測定時の計測値に及ぼす、誤差要因になる。

表 12.4

 $\phi 1.5M$ 凹面測定事例 3

扇風機 ON #3

PV=4.8374 RMS=1.1281

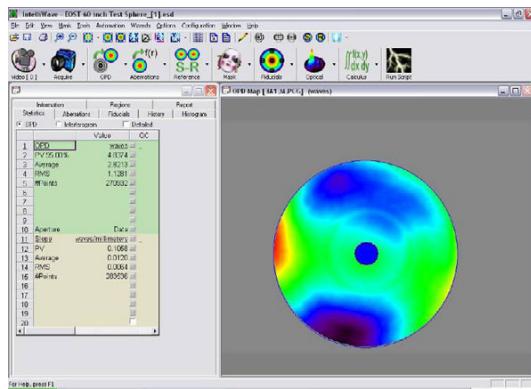


表 12.5

 $\phi 1.5M$ 凹面測定事例 4

扇風機 ON #4

PV=4.7664 RMS=1.1184

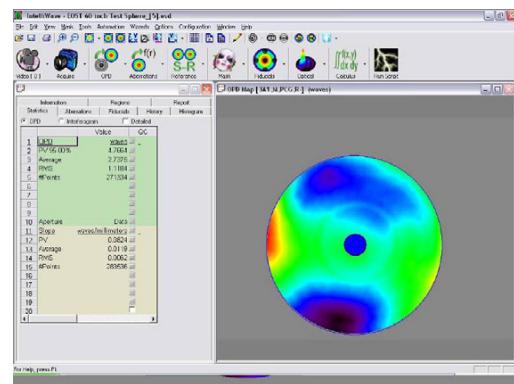


表 12.6

 $\phi 1.5M$ 凹面測定時における 測定誤差要因 2

測定誤差要因が小さくなっている事例

扇風機 ON 時の 空気の擾乱の具合 2

PV=0.0836 RMS=0.0226

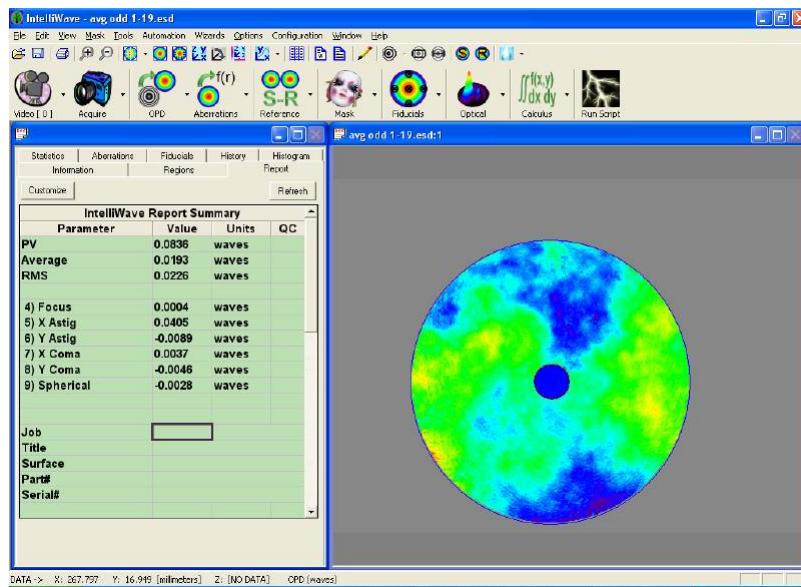


表 12.3 と比較して、この表 12.6 は PV 値が 0.0836λ で RMS 値も 0.0226λ と大変、小さな値となっており、空気の擾乱が平均化されたことがわかる。
このような測定状態にすれば、測定値における誤差要因が少なくなる。

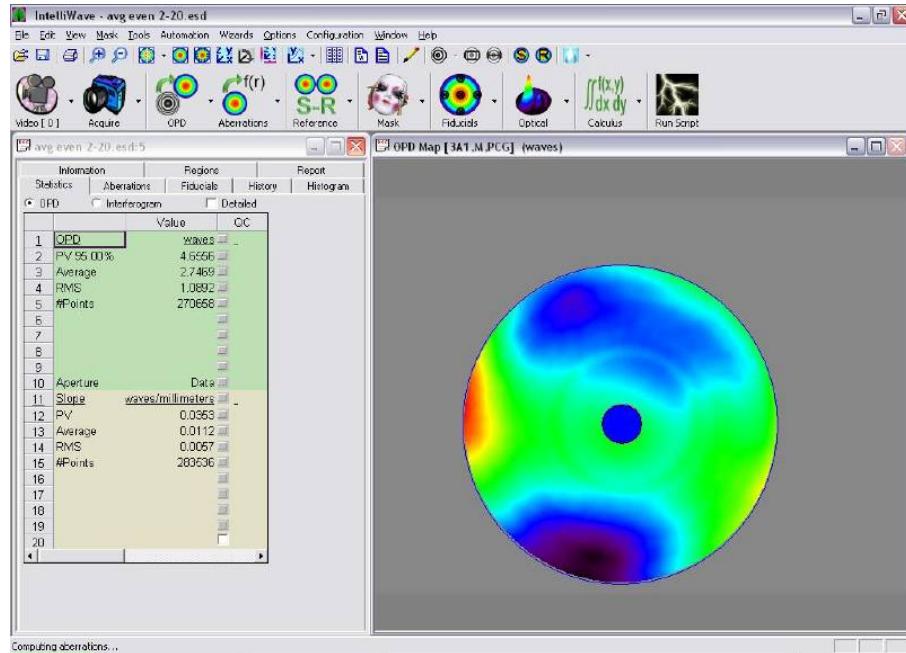
最終計測結果 扇風機 ON $\phi 1.5M$ $\text{凹 } R=6M$

空気の擾乱の影響が除去されている。

表 12.7

測定誤差の少ない測定結果の値

$PV = 4.6556$ $RMS = 1.0892$



以上のように、振動によるランダムノイズは演算により、取り除き、空気のタービランスは、大型扇風機を回転させる事により、空気の擾乱が平均化され、RMS 値も小さくなつておらず、誤差要因が少なくなりこの様な環境下での信頼性ある測定ができた。

その計測結果が表 12.7 である。

今後、大口径の光学系の干渉縞測定には、今までと違った測定環境になることが予想されその意味からも、瞬間位相シフト干渉計の利用は、有効であると言える。

現在、この干渉計の可干渉距離は、約 30 メートルあり、この測定範囲以内であれば、レーザー干渉縞計測が可能である。

余談であるが、ハワイにある、口径 8.2 メートルのスバル望遠鏡でも一定方向に風を送ると星像がゆらゆらせずにくっきりと見えるそうである。

大口径で光路長が長い計測においては、空気の擾乱は、測定に影響がでる事が、上記の話からも推測できる。

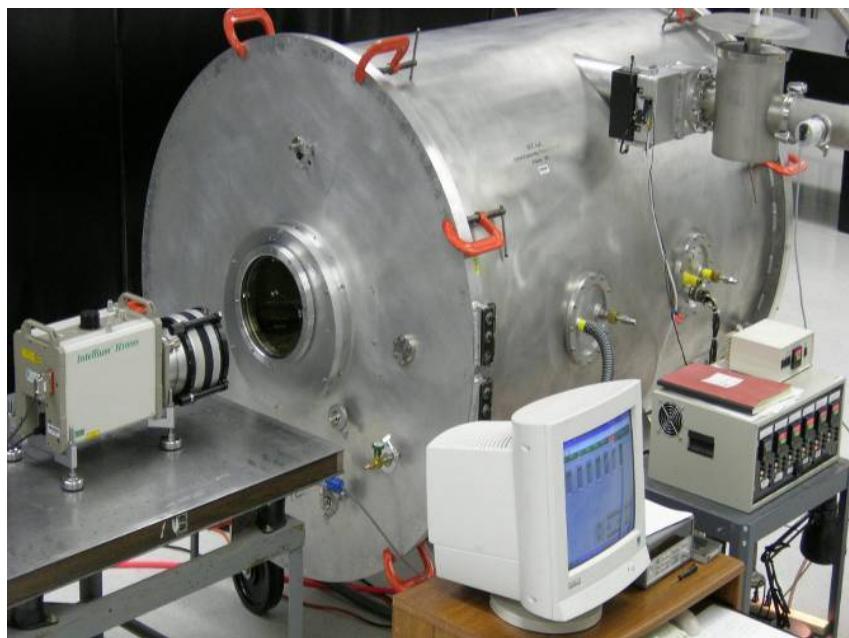


写真 12.7 真空容器内の測定事例

Top View of Vacuum Test Configuration

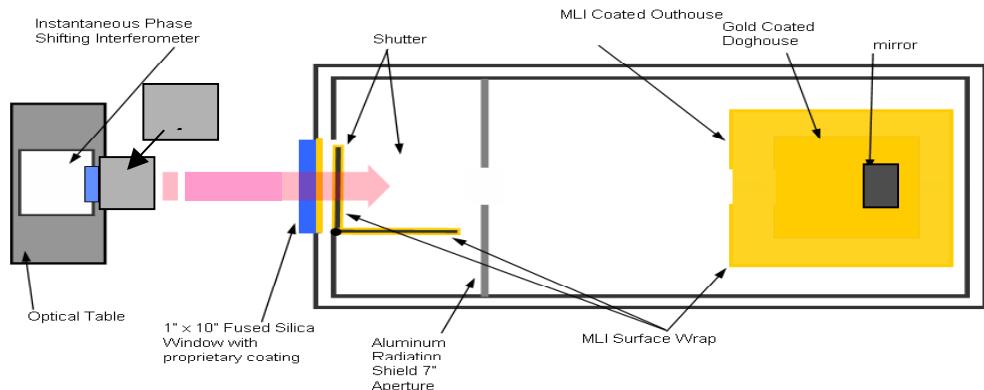


図 12.9 真空容器内測定の配置図

このような干渉縞測定は今まででは、難しかったが、瞬間位相シフト干渉法の利用により、きちんとした計測が可能になった。

新しい測定のチャンスが広がっており、真空容器の内部におかれたテスト面の外部よりの計測が出来るようになった。その外観（写真 12.7）と配置（図 12.9）を示す。

干渉計本体と真空容器とは、それぞれ別の架台に乗っており、個別の振動がおこる。

そのような状況下で、真空窓を通して内部の光学系の変化などを計測する事が出来た。

同一テーブルに配置が難しいケースでも、干渉測定が可能になった事で、今後いろいろな応用計測の道が開けると思われる。

12.3 まとめ

光学部品の計測手法は、レーザー光の発明で飛躍的に進歩をとげた。

それとあいまって、コンピューターの計算処理能力の向上、そしてデジタル画像処理の高性能化は、測定時間の短縮に多大の貢献をした。

今回、紹介の瞬間位相シフト干渉計は、光学部品の高速計測だけに留まらず、空気の擾乱の計測も可能になり、新たな測定分野の開拓に貢献するものだと考えられる。

今後、CCD カメラの画素数も超ハイビジョン化され、デジタル画像技術もますます発展していくものと考えられ、より精細な測定が可能になると思われる。

瞬間位相シフト干渉計がさまざまな分野で利用され、新たな測定分野に貢献することを期待している。

参考文献

- 1) Principles of Optics, Max Born & Emil Wolf, Cambridge Univ. Press
- 2) Optical Shop Testing, Second Edition, Daniel MALACARA, John Wiley & Sons
- 3) Optical Interferometry, P.Hariharan, Academic Press
- 4) J.Bruning,et.al. "Digital Wavefront Measuring interferometer for Testing optical surface and lenses, "Appl. Opt.13, 2693-2703 (1974)
- 5) Hettwer, Kranz, & Schwider, "Three channel phase-shifting interferometer Using polarization-optics and adiffraction grating "Opt. Eng. Vol.39, No.4, April 960-966 (2000)

非 売 品
禁無断転載

平成 18 年 度
先端的外観検査技術に関する
調査研究報告書

発 行 平成19年3月

発行者 社団法人 日本機械工業連合会
〒105-0011
東京都港区芝公園三丁目 5 番 8 号
電 話 03-3434-5384

社団法人 日本オプトメカトロニクス協会
〒105-0011
東京都港区芝公園三丁目 5 番22号
電 話 03-3435-9321