

平成30年度採択
戦略的基盤技術高度化・連携支援事業
戦略的基盤技術高度化支援事業

「ホログラフィック光学素子を活用した
光沢面外観検査システムの研究開発」

研究開発成果等報告書

令和2年 3月

担当局	中部経済産業局
補助事業者	公益財団法人 中部科学技術センター

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
	・研究開発の背景	
	・該当分野における研究開発動向	
	・研究目的及び目標	
	・本研究開発における技術的目標値	
1-2	研究体制	9
1-3	成果概要	10
	【1. 光学系の課題（HOE の高機能化への課題）】	
	【1-1】大面積HOE 製造技術の開発	
	【1-2】大面積HOE の高速製造技術の開発	
	【2. 画像解析技術の課題への対応】	
	【2-1】大面積外観検査に適した画像解析技術の開発	
	【2-2】複雑R形状に適した画像解析技術の開発	
	【2-3】自動キャリブレーション技術の開発	
	【2-4】自由曲面トレース技術の開発	
	【3. HOE 照明ユニット構築の課題への対応】	
	【3-1】大面積外観検査用HOE 照明ユニットの開発	
	【3-2】外観検査システムの開発	
1-4	当該研究開発の連絡窓口	12

第2章 本論

2-1. 研究成果の具体的内容	13
【1. 光学系の課題（HOE の高機能化への課題）】	
【1-1】大面積HOE 製造技術の開発	
【1-2】大面積HOE の高速製造技術の開発	
【2. 画像解析技術の課題への対応】	
【2-1】大面積外観検査に適した画像解析技術の開発	
【2-2】複雑R形状に適した画像解析技術の開発	
【2-3】自動キャリブレーション技術の開発	
【2-4】自由曲面トレース技術の開発	
【3. HOE 照明ユニット構築の課題への対応】	
【3-1】大面積外観検査用HOE 照明ユニットの開発	
【3-2】外観検査システムの開発	
2-2. 専門用語の解説	46

最終章 全体総括

3-1. 2か年の研究開発成果	48
3-2. 補助事業の成果に係る知的財産権等について	48
3-3. 補助事業の成果に係る事業化計画	49

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

研究開発の背景

近年、加工や組立等の自動化や効率化がすすむ製造業において、カメラで撮影した画像から用途に合わせた情報を抽出するコンピュータビジョン技術が、更なる自動・効率化に寄与すると期待され、研究開発が活発である。コンピュータビジョンのうち、製造品の外観検査システムは、日本の高品質なものづくりを支える基盤技術となっている。

自動車ボデー等の製造品の光沢面外観検査では従来、物体面での反射光の「形の歪み」から表面凹凸不良（ブツ、打痕、ワレ、ダレ、塗膜ハジキ等）の有無を判断している。しかし、周囲の照明環境によって表面凹凸不良を正確に検出できない場合が多く、結局、現状では目視による検査に頼っている（[図1参照](#)）。以前から画像検査システムも開発されているものの、大型機械のため導入費用が高かったり、汎用性が低かったり、検査に時間がかかったりなどの課題もあり、導入が進んでいない。人員確保も困難な現在の社会情勢においては、外観検査工程の自動化が強く切望されている。この市場規模は、自動車やエレクトロニクス分野を中心に、世界で2,346億円、日本国内で831億円（2014年）だが、近い将来に市場の急成長が見込まれている。

本研究テーマは、この現状課題を打破する革新的な外観検査システムを研究開発するものである。（株）マクシスエンジニアリングはこれまでに、ホログラフィック光学素子（Holographic Optical Elements, 以下HOEと略す）と呼ばれる特殊な光学フィルムの開発に成功した（[図2参照](#)）。このHOEを用いた外観検査システムでは、表面凹凸不良の検査原理が従来技術と異なり、表面に凹凸があるときの「表面角度変化」を照明光の「色変化」として捉えることで、不良を容易に検出可能となる。当社では既に、HOEを含むハンディタイプの小型検査ユニットを試作し、その有用性を確認している。（[図3参照](#)、特許出願中）。

本研究テーマでは、大型部品の光沢面をも容易に外観検査できるHOEを活用した検査シス



図1. 光沢表面（自動車ボデー）の目視での外観検査



図2. 開発に成功したホログラフィック光学素子（HOE）

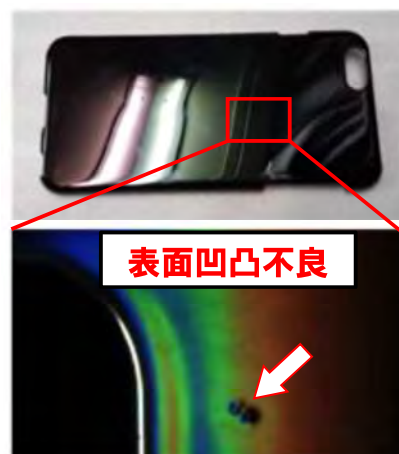


図3. HOEを用いた光沢樹脂表面の凹凸不良観察の例

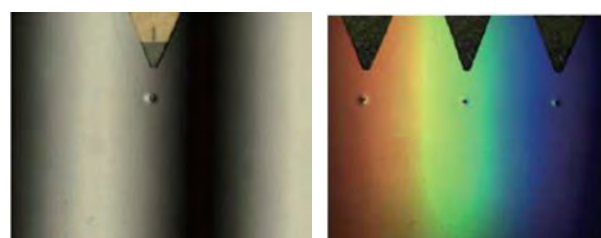
テムの開発を行う。開発するシステムは、樹脂や金属製の自動車の内外装のみならず、航空機部品や電子機器筐体や高機能性フィルムなどの幅広い分野の製品検査、さらには肌表面の微細観察などヘルスケア分野にも応用展開可能である。製造品の外観検査を厳格にすることで製造品質を高め、歩留り向上にも大きく寄与すると期待される。また、従来の目視検査では、不良の種類や位置等の詳細情報を記録することなく、その場で廃棄あるいは修理することが多く、詳細情報の利活用が困難であった。しかし、今回開発する検査システムを導入すれば、外観検査工程の時間短縮・人工削減・コスト削減はもちろん、不良の検出漏れの低減や、不良発生時の位置情報や定量情報の記録が可能となる。これら詳細情報をデジタルデータで記録することも可能となり、工程改善の実施やトレーサビリティの充実に繋がると期待できる。

該当分野における研究開発動向

製造品の光沢面の外観検査は現状、目視による検
近年では、面スリット照明と呼ばれる画像解析技術を搭載して、大面積のモニター画面にモノクロ縞パターンを投影することで、光沢表面の凹凸不良を検出可能にする外観検査システムが開発された（図4 a参照）。これは、照明パターンを変えて複数回撮影することで、物体表面での反射光が照明のどの位置からの照射光かを認識して、結果的に表面凹凸不良を認識できる手法である。しかしこの手法は、外乱光に弱いという決定的な欠点があるため、大型機械で導入費用が高かったり、汎用性が低かったり、検査に長時間が必要などの課題がある。

商品化の実例として、バイスリープロジェクト株式会社が、面スリット照明を小型化・システム化した製品「表面欠陥検査ユニットスリットシフト MinMax SSMM-1」を発表した（図5参照）。これは、第7回ものづくり日本大賞優秀賞を受賞するなど一定の成果を挙げている。しかし、上述の通り、複数回の撮影が必要であるため、物体を静止させねばならず100mm×60mm 範囲の検査に0.5秒かかる。視野の移動時間などを考慮すれば、1m 規模の大型製品を検査するのに数十分かかる、という課題がある。

一方で、(株)マクスエンジニアリングはこれまでに、ホログラフィック光学素子（HOE）と呼ばれる、厚さ100μm 程度の特殊な光学フィルムの開発に成功した。HOEを用いた外観検査システムでは、表面凹凸不良の



a. 面スリット照明 b. HOE照明（本研究内容）

図4. 光沢表面の凹凸不良観察の比較例



図5. 面スリット照明を活用した表面欠陥検査システム「MinMax SSMM-1」（バイスリープロジェクト株式会社）

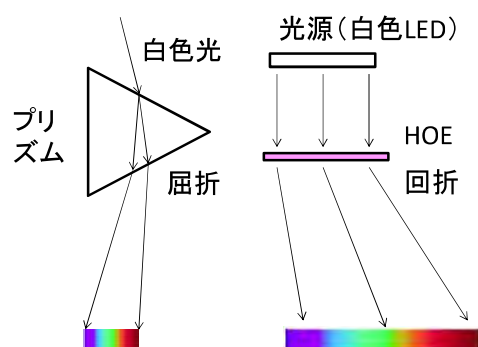


図6. プリズムとHOEの色分散の違い

検査原理が従来技術と異なり、表面に凹凸があるときの「表面角度変化」を照明光の「色変化」として捉えることで、表面凹凸が容易に検出可能となる（[図4b参照](#)）。

光線方向を変えるにはプリズムを用いても可能だが、HOEを用いた色分散は、プリズムを用いた場合より10倍以上大きく（[図6参照](#)）、どの方向に色変化させるかを1枚のHOEだけで自由自在に制御できる。プリズムで構築すれば数10kgの巨大な構成となる光学部品レイアウトでも、厚さ100 μ mの薄く軽量のHOEにて実現可能であり、光学系の軽量化かつコンパクト化に非常に有利である。これらの利点を有するHOEは、我が社の独自技術であるため、特許権者として以下を出願済みである。

- ・検査対象物の表面の凹凸を検査する方法及びその表面検査装置、特願2016-236374、出願日：2016年12月6日。

- ・検査対象物の境界部を検査する方法及びその検査装置、特願2017-223498、出願日：2017年11月21日。

これらのHOEを用いた表面凹凸検査システムと類似の特許や製品は、国内外他社に未だ存在せず、新規性や進歩性が高く特許権抵触の可能性もない。

(株)マクシスエンジニアリングはこれまでに、HOEの製造装置（以下、HOEプリンタと呼ぶ）を試作している（[図7参照](#)）。HOEは従来、微小振動でも発生すれば製造不能となり、大面積製造は非常に困難であった。

しかし、HOEプリンタ

試作機は、コリニア方式

と呼ばれる手法（アドバイザー堀米氏の特許技術）を採用して、100mm角サイズのHOEの製造を90分で達成できる。これは、従来の製造装置の1/10以下のスピードで製造できる。

さらに、HOEを搭載したハンディタイプ検査ユニットの試作にも成功している（[図8参照](#)）。これを用れば、電子機器筐体など小型部品の光沢面であれば、簡便かつごく短時間に外観検査を行なうことができ、かつ表面凹凸不良の画像データも記録できる。

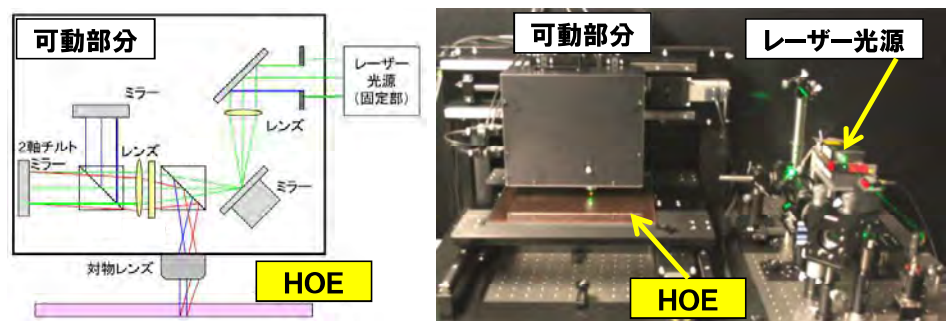


図7. 試作したHOEプリンタの光学部品レイアウト図(左)と実物写真(右)

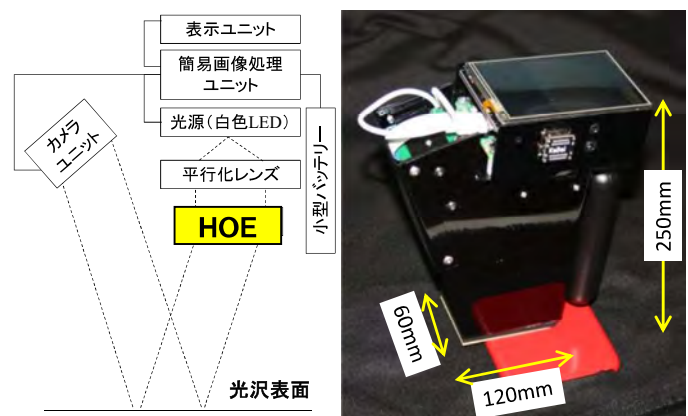


図8. HOEを搭載したハンディタイプ検査ユニットの試作機の光学部品レイアウト図(左)と実物(右)

研究目的及び目標

【1. 光学系の課題（HOEの高機能化への課題）】

【1-1】大面積HOEの製造技術の開発

平成30年度目標：検査有効範囲が広いHOEを製造できるHOEプリンタを開発する。

（背景と課題）

(株)マクシスエンジニアリングはこれまでに、ホログラフィック光学素子（HOE）の開発に成功した。これを活用することで、光沢面表面の凹凸の表面角度変化を照明光の色変化として捉えるという新技術を搭載した外観検査システムを開発している。HOE照明ユニットから対象物質（光沢表面）に照射される光は、回折現象により光の角度により色変化が生じる。光沢面表面が凹凸していて表面角度が変わる場合、その角度変化に応じてカメラへの反射光の角度も変化するため、その場所を照明光の色変化として捉えることができる（[図9参照](#)）。

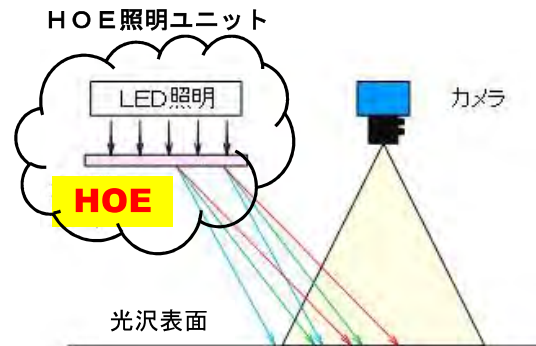


図9. HOEを活用した外観検査システムの原理図

HOEの製造装置（HOEプリンタ）を既に試作している（[図7参照](#)）。しかしこの試作機は、用いる参照光の角度が固定されているため、レンズを使って入射光を平行化する必要がある、検査有効範囲及び検査速度はこのレンズ径に依存することが課題となる。

一方、HOEプリンタの参照光を可変にできれば、点光源のような平行でない光を入射光とした検査有効範囲が広いHOEを製作することが可能となる。本研究開発項目では、検査有効範囲が広いHOEを製造できるHOEプリンタを開発することを目標とする。

【1-2】大面積HOEの高速製造技術の開発

平成31年度目標：HOEプリンタの高速制御技術を開発する。

（背景と課題）

HOEの製造コストを下げて安価な照明ユニットを構築するには、HOEを高速に製造できる技術開発が欠かせない。HOEの作成は基本的に、数十 μm 角のスポットホログラムに対して、物体光と参照光の2つのレーザーをそれぞれ最適な角度に設定して照射せねばならない（[図10](#)）。HOE上の作成ポイント毎にレーザー角度を制御することにより、検査対象の形状に合わせたHOEの製造も可能であるが、そのようなHOEを高速／安価に製造するためには、レーザー光の位置・物体光と参照光の角度・レーザー光の出力パワーなどの諸条件を、同期を取りながら最適な状態に制御し続けねばならず、高度な制

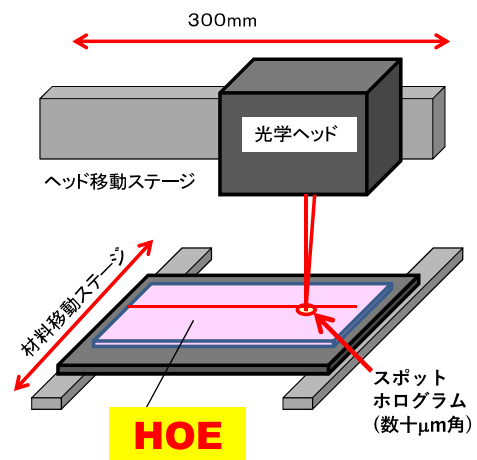


図10. HOEプリンタの動作イメージ

御技術を必要とする。また、HOE上の作成ポイントに応じて歪みや作成ムラが生ずる場合、検査品質に大きな影響が生じる。HOE全体において目標とする品質を有することを確認可能な専用の評価装置も必要である。

【2. 画像解析技術の課題】

【2-1】大面積外観検査に適した画像解析技術の開発

平成30年度目標：大面積外観検査での凹凸不良検出に適した画像解析ライブラリの開発及び実装を行う。

（背景と課題）

HOEを用いた照明（以下、HOE照明ユニットという）は、「光線方向に応じて色が変わる」という従来の照明技術と全く異なる特徴を有する。そのため、画像解析ライブラリもHOE照明ユニットに合わせた機能を実装することが望ましい。開発する機能は、色相変化の抽出や色相ムラの除去や特定色相の抽出などを想定する。実際では、光沢表面を有する実サンプルを用いて撮影実験を行い、それに適切に対応する画像解析ライブラリを構築する必要がある。本研究開発項目では、大面積外観検査での凹凸不良検出に適した画像解析ライブラリの実装を行う。

【2-2】複雑R形状に適した画像解析技術の開発

平成31年度目標：複雑R形状に対しても安定して不良部位だけを検出できる画像解析ライブラリの実装を行う。

（背景と課題）

様々な部品で広範囲での外観検査を達成しようとするれば、図11のような凸面と凹面が混在した形状（複雑R形状）を検査しなければならない場面が必ず現れる。本研究開発項目では、曲率分布判定などの手法を用いて、この複雑R形状に対しても安定して不良部位だけを検出できる画像解析ライブラリの実装を行う。



図11. 凸面と凹面が混在する形状（複雑R形状）の例

【2-3】自動キャリブレーション技術の開発

年度目標：

平成30年度：観察対象物と照明ユニットおよびカメラとの最適な位置関係（主にXYZ位置、及び色分散が変化する方向の回転量）を短時間で計算把握できる技術を開発して実装すること。

平成31年度：観察対象物と照明ユニットおよびカメラとの最適な位置関係を、XYZロールピッチヨーの6成分に対し、短時間のうちに自動計算できるキャリブレーション技術を開発して実現すること。

（背景と課題）

コンピュータビジョン技術のうち外観検査システムでは、一般的に、観察対象物と照明ユニットおよびカメラとの位置関係が非常に重要な成功要因である。ただ、本研究開発のHOE照明ユニットは、「光線方向に応じて色が変化する」という従来の照明系とは全く異なる特徴を有する。従って、観察対象物と照明ユニットおよびカメラとの最適な位置関係を、短時間のうちに自動計算できるキャリブレーション技術を新たに開発せねばならない。従って本研究開発項目では、このキャリブレーション技術を開発することを目標とする。キャリブレーション技術の確立は、HOE照明ユニットをロボットに搭載する場合においても、対象物体の複雑形状に合わせて瞬時に最適位置に導いて、安定した外観検査を可能にする検査システムを構築することができる。

【2-4】自由曲面に対するトレース技術の開発（実施機関：中部大学）

平成31年度目標：自由局面を有する対象物体の位置変化をリアルタイムで検知し、素早くトレースできるアルゴリズムを構築する。

（背景と課題）

例えば、観察対象物体が大きな凹凸を有していて、高さや表面の角度方向など位置変化が大きい場合がある。この場合、大きな位置変化の影響を低減するには、対象物体の位置変化に合わせて照明ユニットやカメラの位置を瞬時に微調整する必要がある。

大きな凹凸を有する対象物体が光沢面ならば、位置変化が少なくても検査性能に与える影響がより甚大となる。例えば対象物体の3次元形状データが既知であっても、外観検査の実行時には、撮影画像などからのフィードバックによるトレース技術が必要となる。そこで本研究開発項目では、対象物体の位置変化をリアルタイムで検知し、素早くトレースできるアルゴリズムを構築する。

【3. HOE照明ユニット構築への課題】

【3-1】大面積外観検査用HOE照明ユニットの開発

平成30年度目標：広い光沢面範囲を安定して検査できる光学部品レイアウトを設計・構築する。

（背景と課題）

大面積外観検査に適したHOE照明ユニットを試作するに向けて、HOE照明ユニットをロボットに搭載することを想定して、軽量化を目指すべく光源には点光源を用いる。しかし、点光源を原因とした照度ムラや、カメラの画角の影響など、広い光沢面範囲を安定して検査するには課題も多い。そこで本研究開発項目では、この課題を克服できる光学部品レイアウトを設計して、カメラを含めたユニットとして構築し、その妥当性を検証する。

【3－2】外観検査システムの開発

平成31年度目標：構築したシステムを用いて多数の光沢面サンプルの観察実験を行い、外観検査の妥当性や安定性などを分析評価する。

（平成31年度の実施予定内容）

株式会社マクスエンジニアリングが、HOE照明ユニットに観察対象物体の固定具などの周辺機器を取り付けて、様々な光沢面表面の外観検査が可能な自動システムを構築する。市場調査により、天吊り型のロボットを用いた、意匠面外観検査システムやロール供給による高機能フィルム製造工程における不良検査システムが市場性／適合性が高いと判断されている。そこで、天吊り型外観検査テスト機、及びロール供給対応不良検査システムを試作する（図12がイメージ図）。システム構築では、照明システムとして様々な設備に適用できるように、検査条件の設定やモニタ画面での不良識別を可能とするユーザーインターフェースの開発やPLC等のFA周辺機器との接続を可能とするインターフェースも設計／構築



図12. 光沢面の外観検査システムイメージ例

する。試作したシステムを用いて、多数の光沢面サンプルの観察実験を行い、外観検査の妥当性や安定性などを分析評価することで、新システムの優位性を確認することを目指す。

PLの役割は、期間全体にわたって、研究開発が内容的にも予算的にも当初計画通りに進行しているか進捗管理を行う。また、万が一当初計画よりも遅れが生じた場合には、状況を判断して人や金銭のリソースを振り分けるなどの決断を下す。

一方で、SLの役割は、新しい研究開発が高品質で早く進むように、学術的立場で考察して判断を下すことである。

また、アドバイザーの近藤和夫様には、研究開発が円滑に進むように、進み方についてのアドバイスをして頂く。堀米秀嘉様には、ホログラフィック光学素子の研究開発の第一人者として、素子の大型化や製造高速化についてのアドバイスをして頂く。また、川下企業殿には、設備メーカー・部品メーカーとして、外観検査ニーズに関するアドバイスをして頂く。

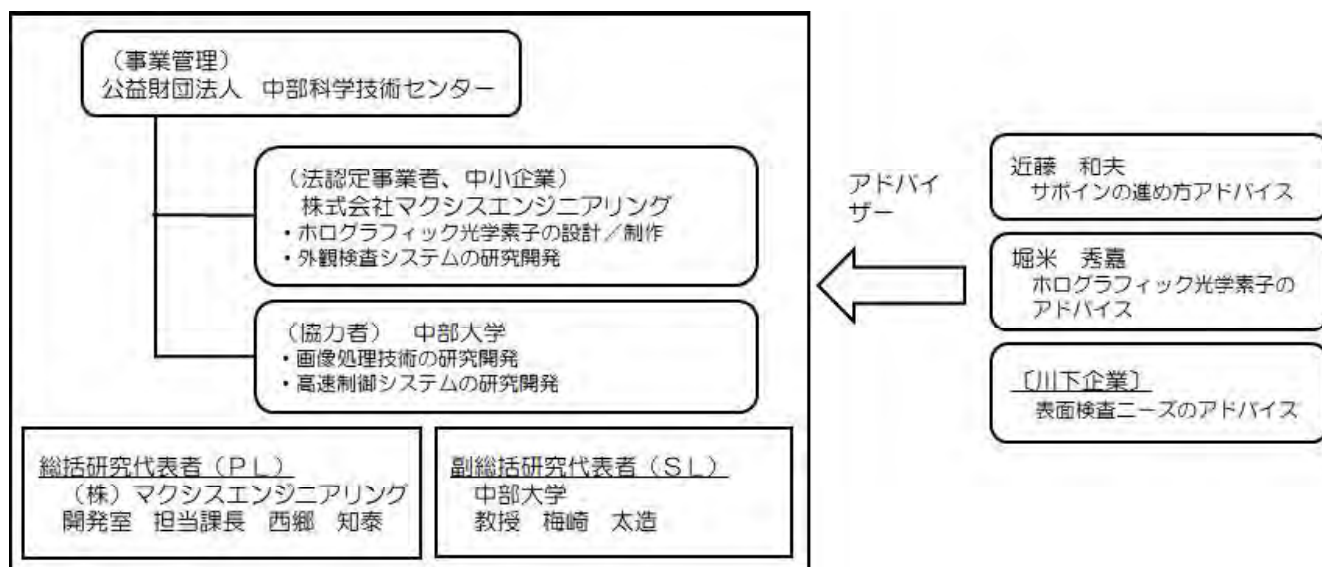
本研究内容における技術的目標値

【1. 光学系の課題（HOEの高機能化への課題）】	
【1-1】	大面積HOEの製造技術の開発 目標：300mm 角のHOEを製造できるHOEプリンタを、点光源を使用して製作
【1-2】	大面積HOEの高速製造技術の開発 目標：300mm 角のHOEを300mm/line・s の速度で製造できるHOEプリンタの製作
【2. 画像解析技術の課題への対応】	
【2-1】	大面積外観検査に適した画像解析技術の開発 目標：大面積外観検査での不良検出に有用な画像解析機能を10以上有するライブラリの構築
【2-2】	複雑R形状に適した画像解析技術の開発 目標：HOE照明ユニットに有用な画像解析機能を20以上有するライブラリの構築
【2-3】	自動キャリブレーション技術の開発 目標：観察対象物と照明ユニットおよびカメラとの最適な位置関係を、短時間のうちに自動計算できるキャリブレーション技術の開発
【2-4】	自由曲面に対するトレース技術の開発 目標：R300以上の自由曲面をトレースできるアルゴリズムの構築
【3. HOE照明ユニット構築の課題への対応】	
【3-1】	大面積外観検査用HOE照明ユニットの開発 目標：150mm 角の範囲内に存在する0.3mm 以上の凹凸不良を安定的に検出できるシステムの開発
【3-2】	外観検査システムの開発 目標：様々な光沢面表面の外観検査が可能な自動システムを構築し、新システムの優位性を確認

1-2 研究体制

共同研究体内の研究機関の相互調整を図り、本事業の円滑な推進を図るため、研究開発委員会等の運営を行い、各研究項目の課題抽出、検討、研究成果の評価等事業実施の管理運営を行う。

- ① 研究開発の進捗実施管理
- ② 研究開発委員会、作業部会等の運営



1-3 成果概要

【1. 光学系の課題（HOEの高機能化への課題）】

【1-1】大面積HOEの製造技術の開発

HOE プリンタを構成する重要な要素であるレーザー光源／光学ヘッド／ステージそれぞれについて、目的の性能を達成するように評価／制作／組立を行い、技術目標である 300 mm角の大面積 HOE の製造を可能とする HOE プリンタを構築することができた。光学ヘッドレイアウトを見直すことにより、想定より耐振動性の高い小型光学ヘッドを構築することができた。

【1-2】大面積HOEの高速製造技術の開発

平成 30 年度に構築したホログラムプリンタの機能改善を実施し、高速／高精細なホログラムの製造技術を確立することができた。本技術の研究開発を実施したことにより、幅広い分野／検査対象に対して有効な検査システムを低コストで提供可能とする効果を達成することができた。

【2. 画像解析技術の課題】

【2-1】大面積外観検査に適した画像解析技術の開発

HOE 照明による撮影画像に対する特徴の抽出に適した機能として、色相ギャップ補正／色相エッジ抽出等、目標値である 10 を超える、13 の関数をライブラリ化することができた。ライブラリを用いることにより、面積 $0.027[\text{mm}^2]$ 程度の微小な不良も検出できた。ライブラリ化により、未／過検出の改善や異なるタイプの不良識別の際、閾値処理等のパラメトリックな処理の最適化や機械学習などによる最適化が効率的に検討できるようになった。

【2-2】複雑R形状に適した画像解析技術の開発

複雑R形状に適した画像解析機能を 20 以上有するライブラリを開発した。開発したライブラリを利用した孤立点検出アルゴリズム及び差分ベースの解析アルゴリズムにより欠陥部位の検出が可能であることを確認した。しかしながら前述のアルゴリズムでは過剰検出が多いこと、撮影時の位置合わせが課題であった。

そこで、ニューラルネットワークを用いた画像解析ライブラリを構築して評価を行った。このライブラリを用いて、十分な学習データセットを用意して学習を行うことで、複雑なR曲面上の欠陥を含む画像に対しても効果が期待できることが判明した。

【2－3】自動キャリブレーション技術の開発

基礎実験を通して、HOEを用いた光源の特性を明らかにした。その結果をもとに、自動キャリブレーションを行うシステム並びに処理フローを検討し、自動キャリブレーション技術を確立した。

【2－4】自由曲面に対するトレース技術の開発

自由曲面をトレースするため、ロボットに搭載可能な小型照明を構築した。これをロボットに搭載することで、エッジ部などに沿ってトレースを行うことが可能になった。

さらに、特注の大型照明で、大型HOEユニットを構築可能なことを確認した。

別の曲面に対するアプローチとして、光切断用のLED光源を用いて、ラインカメラと親和性の高い光源システムを実現した。この照明システムとラインカメラを組み合わせ、検査システムを構築することで、大型の板材や円筒などの検査が可能だと期待される。

【3. HOE照明ユニット構築の課題】

【3－1】大面積外観検査用HOE照明ユニットの開発

HOEの品質を評価する評価フローと評価装置を開発した。構築した評価装置を用いてHOEの品質を測定し、目標とする光沢表面検査が可能な能力を有することを確認した。

また、点光源を配列した白色光源を用いたHOE照明ユニットを構築し、評価実験を実施した。150 mm範囲の撮影が可能であることは確認したものの、白色光源に由来する映り込み、ノイズムが存在しており、光学レイアウト、HOEレイアウトの検討が重要であることが分かった。

【3－2】外観検査システムの開発

研究項目【2－4】及び光学系構築の基礎実験で得られた知見を基に、小型の非接触式照明ユニットを設計／構築した。これにより協働ロボット等に搭載可能なサイズまで小型化／軽量化を実現し、従来の検査ユニットの課題を克服した。

また、小型化に成功した検査ユニットを搭載した天吊り型外観検査テスト機、ロール供給対応外観検査テスト機の2タイプのテスト機を試作した。天吊り型外観検査テスト機では、ワーク／不良特性に応じた調整が可能でかつ小型／軽量の非接触式照明ユニットを用い、複雑な形状変化を有するワークに対し、柔軟に検査をすることが可能な検査システムを開発した。

また、ロール供給対応外観検査テスト機の試作により、軽量車載電池、8Kビジョン等で使用される高機能材料や高機能フィルム等、微小な不良の高速検査を要求される素形材分野における検査への適用を可能とした。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

機関名	連絡先窓口
株式会社 マクシスエンジニアリング	【連絡先担当者】 開発部 開発課 担当課長 西郷 知泰 【電話番号】 052-627-6110 【FAX番号】 052-627-6111 【E-mail アドレス】 saigo@maxis-inc.com

第2章 本論

2-1. 研究成果の具体的内容

【1. 光学系の課題（HOEの高機能化への課題）】

【1-1】大面積HOEの製造技術の開発

1) 実施内容の概要

(株)マクスエンジニアリングはこれまでに、ホログラフィック光学素子（HOE）の開発に成功した。これを活用することで、光沢面表面の凹凸の表面角度変化を照明光の色変化として捉えるという新技術を搭載した外観検査システムを開発している。HOE照明ユニットから対象物質（光沢表面）に照射される光は、回折現象により光の角度により色変化が生じる。光沢面表面が凹凸していて表面角度が変わる場合、その角度変化に応じてカメラへの反射光の角度も変化するため、その場所を照明光の色変化として捉えることができる。

HOEの製造装置（HOEプリンタ）を既に試作している。しかしこの試作機は、用いる参照光の角度が固定されているため、レンズを使って入射光を平行化する必要があり、検査有効範囲及び検査速度はこのレンズ径に依存することが課題となる。一方、HOEプリンタの参照光を可変にできれば、点光源のような平行でない光を入射光とした検査有効範囲が広いHOEを製作することが可能となる。本研究開発項目では、検査有効範囲が広いHOEを製造できるHOEプリンタを開発することを目標とする。具体的には、300mm角のHOE（検査有効範囲150mm）を製造できるHOEプリンタを、点光源を使用して製作することを目標とした。

実施した内容を以降に示す。

2) HOEプリンタの製作

2-1) レーザー光源の評価

開発するHOEプリンタでは、光学系にコリニア方式を採用し、On the fly（ノンストップ）での高速HOE製作を行う。良質なHOEを製造するには、レーザー光源が十分な空間コヒーレンシ（可干渉性）等を有する必要がある。レーザー光源の妥当性を実際にコリニア光学系にてHOE製造能力の検証を行うことが妥当であると判断した。コリニア光学系を構築するには特殊光学機器等の準備が必要であり、マクス内で構築する場合、HOEプリンタの製造に遅れが生じるため、既にコリニア光学系の設備を有するShape in Space社と協力し、評価を行った（図13）。

以下の点について評価を行い、レーザー光源がHOEの高速製作に必要な能力を有していることを確認できた。

- ・コヒーレンシー（可干渉性）：

2～5mm程度を有しており、コリニア方式を前提とした場合、HOEの製作は可能

- 空冷ファンの振動の影響：

ファン駆動であってもHOEの製造は可能であることが実験的に検証

- On the fly 方式によるHOEの製造
- 光学系を移動させながらのHOE製作が可能であることを実験的に検証

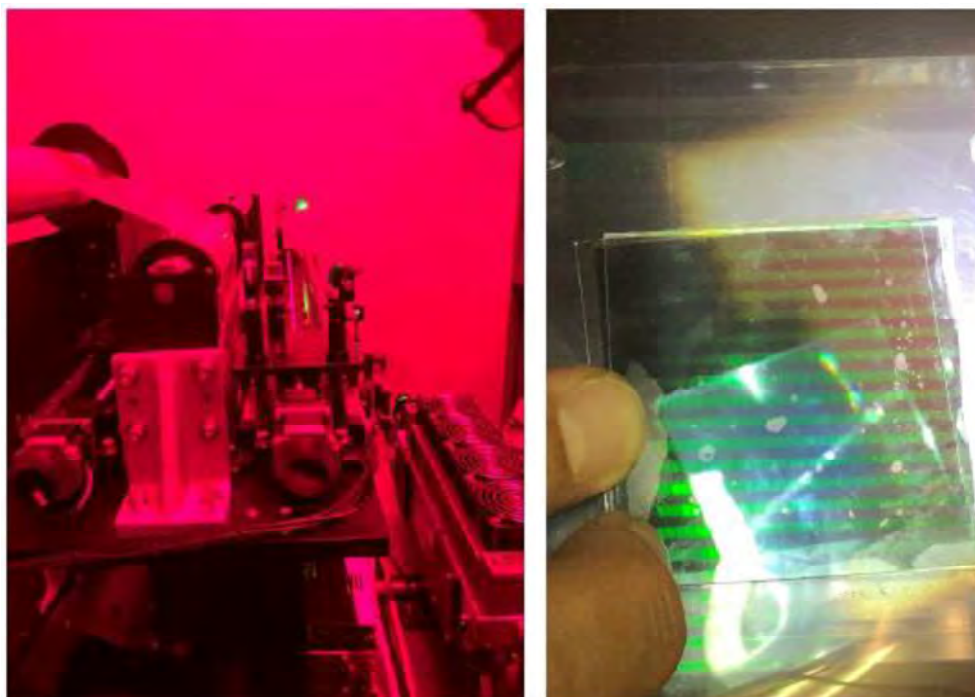


図 1 3. レーザー光源 On the fly 評価実験

2-2) 光学ヘッドの設計／製作

HOEの高速製作を可能とする光学ヘッドの開発を行った。そこで、今回製作するHOEプリンタでは、光学ヘッドを床置きとし、配置される光学部品も全て床置きとなるよう配置することにより、重力によるたわみの影響を最小化するよう設計／製造を行った。

2-3) ステージの設計／製作

光学ヘッド、ホログラム材料を駆動するステージの設計／製作を行った。HOEプリンタ試作機では、光学ヘッドをボールねじにより駆動したため、ボールねじのピッチに応じたHOEの品質ムラが生じていた。そこで、今回は駆動系にコアレスリニアモータに変更した。また、光学ヘッド駆動軸とホログラム材料駆動軸を同型の構成とし、マイクロレンズアレイ等の製造を想定した円を含めた2次元的な軌道でHOEを製造できるよう設計を行った。また、300mm各のHOEを製作可能であり、より大面積のHOE製作を想定した門型構造としている（**図1.4**）。

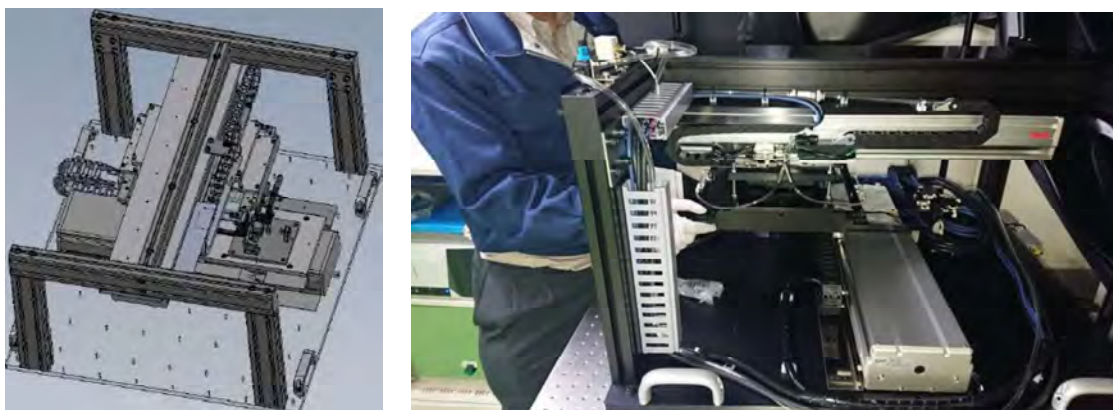


図 1.4. ステージ

2-4) ステージ制御

ステージ駆動、光学ヘッド内のチルトミラーの位置を制御しながらレーザー発振を行うことにより、光学的に自由度の高いレイアウトのHOEを製作することができる。それらの機器を制御するソフトウェアを構築した（図15、16）。



図 1.5. 制御盤



図 1.6. 制御ソフトウェア

2-5) 製作したHOEプリンタの評価

ホログラム材料は少量の光により感光し、望まれる品質のHOEを製造できなくなる。また、振動に強いコリニア光学系を構築しているものの、光の干渉パターンを記録するホログラムは元来振動の強弱が品質に大きな影響を及ぼす。そこで、光学暗室内にエア浮動型の除振台を設置し、その上にHOEプリンタのステージ／光学ヘッドを配置した。光学ヘッドが任意の位置にあっても正しく適切な性質を有するレーザー光が入射するよう、レーザー光源から光学ヘッドに至る光路に立ち上げ光学系を構築した（図17）。光学ヘッド内の光学部品を適切にアライメントすることにより、光学ヘッドの対物レンズから出射される光が適切な干渉パターンを生成することを確認した（図18）。

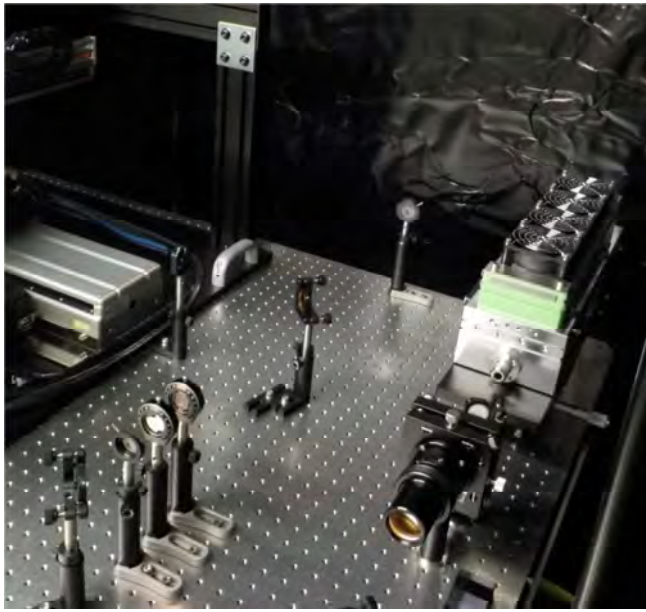


図 1 7. 立ち上げ光学系

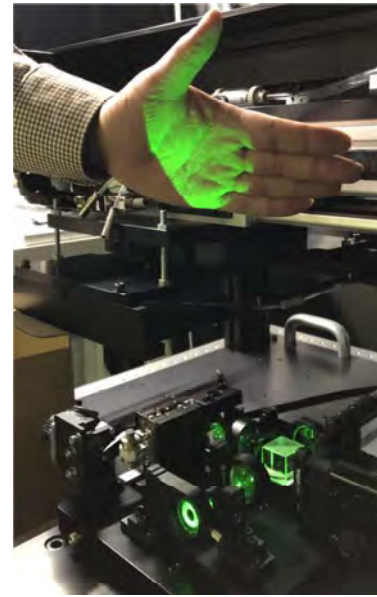


図 1 8. HOEの出射光に生じる干渉

3) まとめ（成果と課題等）

HOEプリンタを構成する重要な要素であるレーザー光源／光学ヘッド／ステージそれぞれについて、目的の性能を達成するよう評価／製作／組立を行い、300mm角の大面積HOEの製造を可能とするHOEプリンタを構築することができた。光学ヘッドレイアウトを見直すことにより、想定より耐振動性の高い小型光学ヘッドを構築することができた。さらに、光軸アライメントや最適レーザーパワーの探索等を実施することにより、HOEの品質の面でまだ大きく改善することができる。作成した制御ソフトはリニア軸とレーザーとの同期であり、作成できるHOEのレイアウトが制限される。チルトミラーを含めた動的制御を構築し、多彩なHOEレイアウトを実現するよう開発を進める。

【1－2】大面積HOEの高速製造技術の開発

1) 実施内容の概要

HOEの製造コストを下げて安価な照明ユニットを構築するには、HOEを高速に製造できる技術開発が欠かせない。HOEの作成は基本的に、数十 μm 角のスポットホログラムに対して、物体光と参照光の2つのレーザーをそれぞれ最適な角度に設定して照射せねばならない。HOE上の作成ポイント毎にレーザー角度を制御することにより、検査対象の形状に合わせたHOEの製造も可能であるが、そのようなHOEを高速かつ安価に製造するためには、レーザー光の位置・物体光と参照光の角度・レーザー光の出力パワーなどの諸条件を、同期を取りながら最適な状態に制御し続けねばならず、高度な制御ソフトウェア技術を必要とする。

また製造中に支障が生じたりして、HOE上のとあるポイントで歪みや作成ムラが生じてしまうと、検査効率が非常に悪くなってしまう。そこで、HOE全体で歪みや作成ムラ等がなく、設計通りの回折効率（品質）を有することを評価できる専用評価装置が必要となる。

本研究開発項目では、HOEプリンタの高速制御技術を開発することを目標とする。具体的には、株式会社マクシスエンジニアリングが、300mm角のHOEを300mm/line・sの速度で製造できるHOEプリンタを製作することを目標とする。そして、製造した大面積HOEの品質を適切に評価する技術を開発することを目標とした。

2) HOEプリンタの高度制御の評価

2-1) レーザー露光条件の評価

構築完了したHOEプリンタの制御機器群を制御するソフトウェアでは弱いレーザーパワーで長い時間ホログラム材料にレーザーを照射することで安定したHOEの製造を行っていた。

具体的には構築完了時点では1要素ホログラムを感光するのに2s掛かっていた為、300mm角のHOEを製造するのに1mm/line・sの性能であった。

ホログラム材料の感光はレーザーパワーに応じて感度が上昇する為、300mm角のHOEを300mm/line・sの速度で製造する為の適切なレーザーパワーと露光時間の評価を実施した。

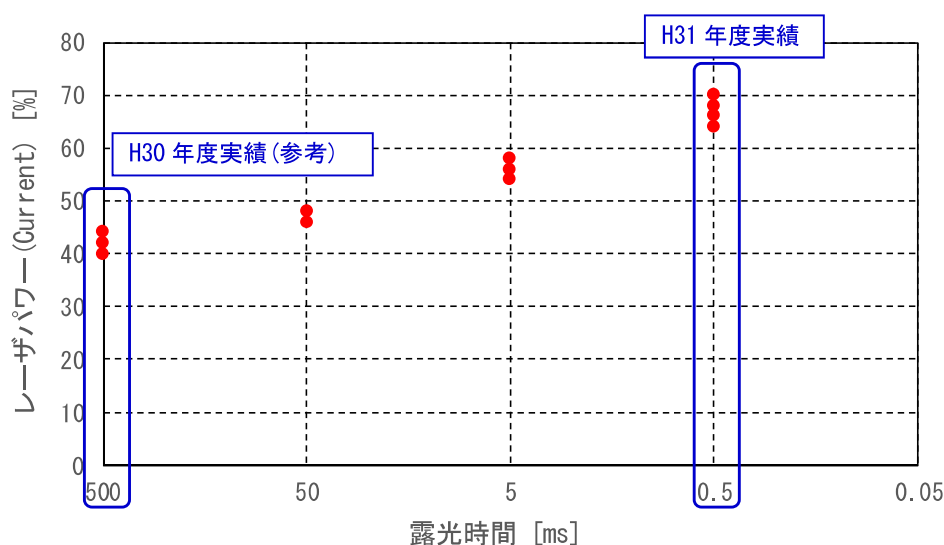


図19. レーザーパワーと露光時間の評価

図19よりH30年度実績より1000分の1の露光時間でホログラム材料が感光可能なことが確認できた。このことにより300mm角のHOE 300mm/line・sで製造するのに十分なレーザーパワーと露光時間の条件を評価することができた。

2-2) HOEの高速製造の評価

ステージ駆動と2-1項で決定した条件でのレーザー発振を高速に同期する機能を追加して、300mm角のHOEを300mm/line・sの速度で製造できるソフトウェアを構築した。

具体的には制御フローを見直しを実施し、ステージ駆動とレーザー発振の同期機能を追加した。また、レーザーパワーを上昇させたことで光学ヘッド内の各部品が最適位置でないと、レーザー発振時に各部品を損傷させてしまうため、安全監視機能も追加した。これにより、300mm/line・sの速度でHOEを製造することが可能となった。

最後に、製造した大面積HOEを図20に示す。

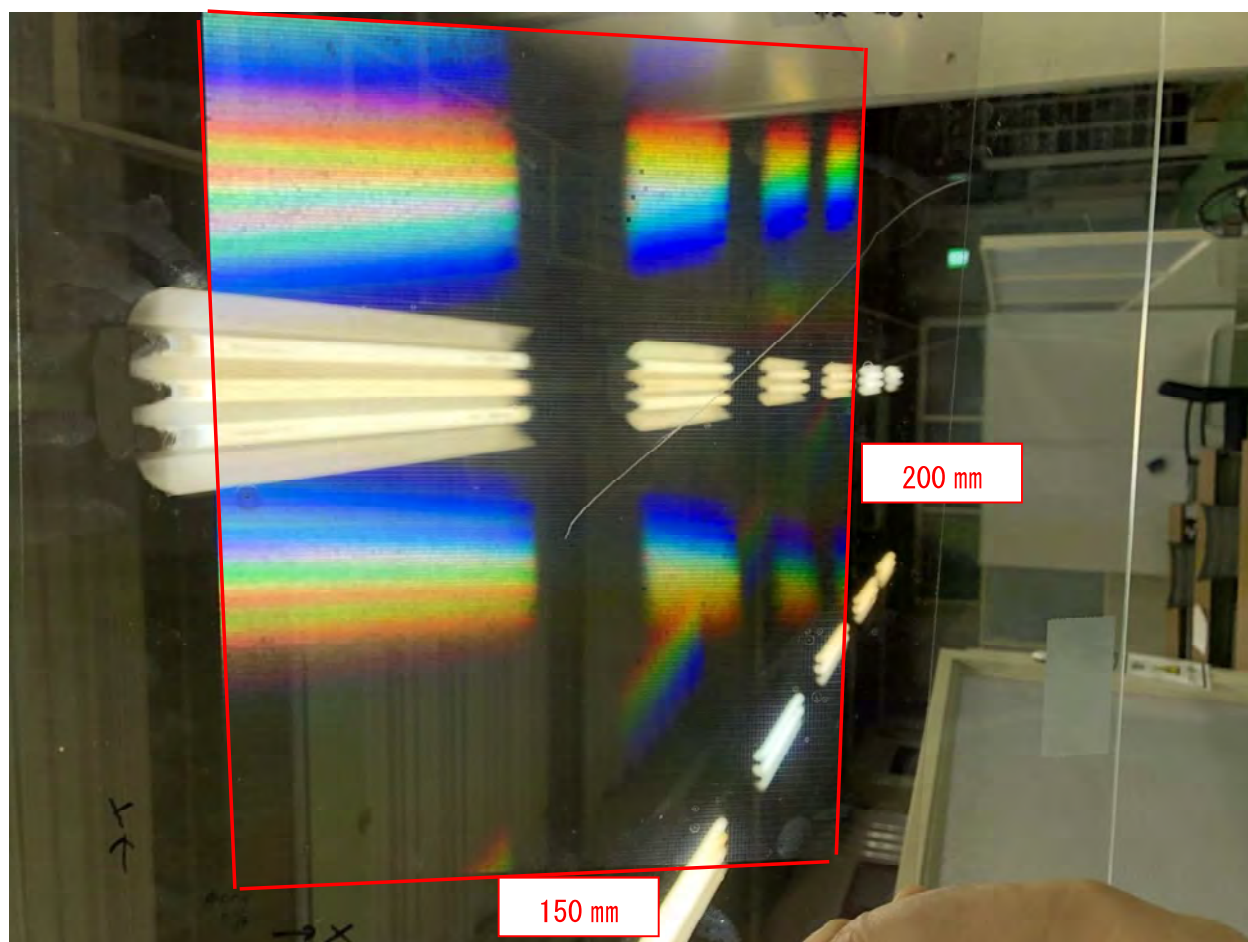


図20. 製造した大面積HOE

2-3) 高精細かつ自由レイアウトのHOE製造の評価

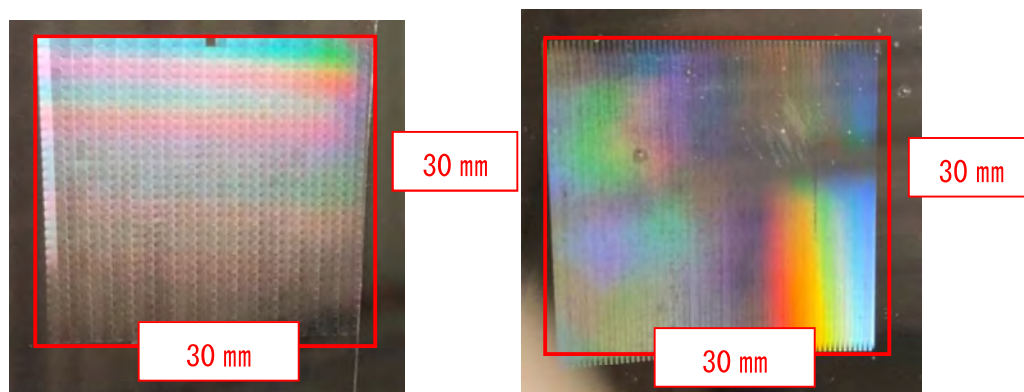
前項までに開発したHOEプリンタの制御機器群を制御するソフトウェアはステージ駆動とレーザー発振の同期であり、製造できるHOEのレイアウトが制限される。また、要素ホログラムのサイズは1 mm角と大きく、自由レイアウトのホログラム製造においては低精細なHOEであることが課題であった。

まず、チルトミラーを含めたHOEプリンタの制御機器群を制御するソフトウェアの開発を実施した。具体的にはHOEプリンタの制御フローを見直し、チルトミラーの制御機能、チルトミラーの動作監視機能及び制御機器群の動作遷移ログ出力機能を追加したHOEプリンタの制御機器群を制御するソフトウェアを開発した。

次に、光学ヘッド内の部品構造を見直して、要素ホログラムサイズの縮小化を行った。具体的には、光学ヘッド内の各ビームスポット計を測定して、どの構成部品がホログラム

のコリニア方式のホログラム製造に影響を及ぼさないように要素ホログラムのサイズを縮小できるかの評価を行った。

評価実験の結果、光学系の一部を改修することによりコリニア方式のホログラム製造に影響を及ぼさず、要素ホログラムの縮小が図れることが判明した。改修前と改修後では要素ホログラムのサイズを1／4まで縮小することができた（[図21参照](#)）。



(a) 改修前

(b) 改修後

図21. 製造したHOE（30mm角）

また、開発したソフトウェア及び再構築した光学ヘッド構成により、駆動ステージを制御しながらチルトミラーを制御することで、自由で多彩なレイアウトのHOEを製造することが実現できた。

3) 製造したHOEの評価

HOEプリンタにより製造されたHOEは無数の要素ホログラムから構成（[図22参照](#)）されており、要素ホログラムを個別に評価することは困難である。そこで、HOEの要素すべてを評価する装置を開発した（[図22参照](#)）。

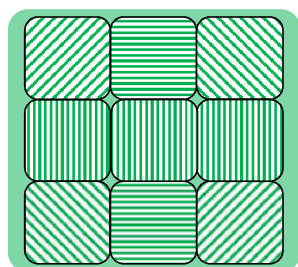


図22. 要素ホログラムイメージ

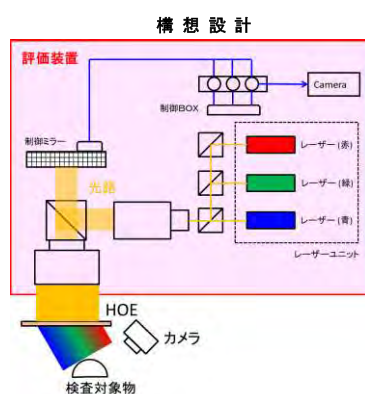


図23. HOE性能評価装置

制御ミラーは波面変換デバイスで構成されており、制御ミラーに到達した光は設計したHOEの波面パターンに変換される。設計したHOEの波面パターンに変換された光が実際に製造したHOEを介して受光素子で測定された際の値を設計値との差をとることで製造したHOEの性能を評価する。

開発した評価機を用いて、製造したHOEの品質評価を行い、角度選択性、波長別回折効率等の性能は光沢表面の検査が十分可能なレベルの品質を有することを確認した（[図2 4、2 5参照](#)）。

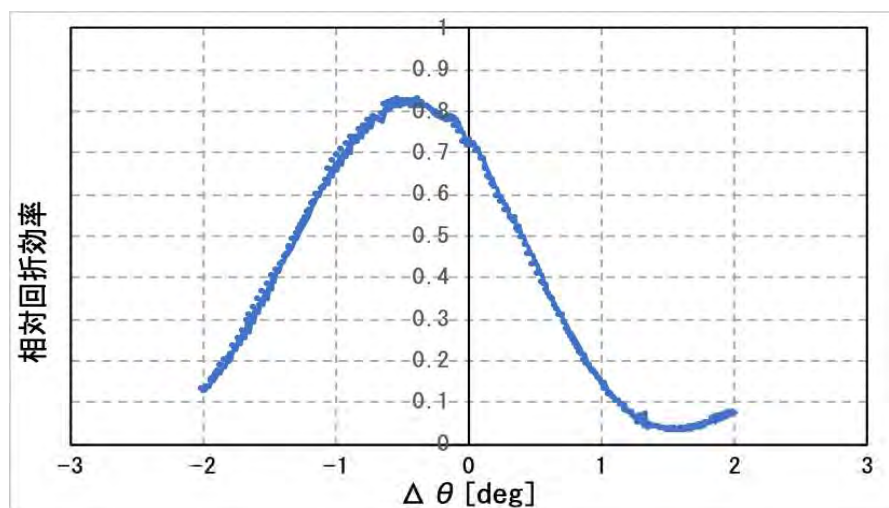


図 2 4. 角度選択性 ($\lambda = 532\text{nm}$ (緑色特性))

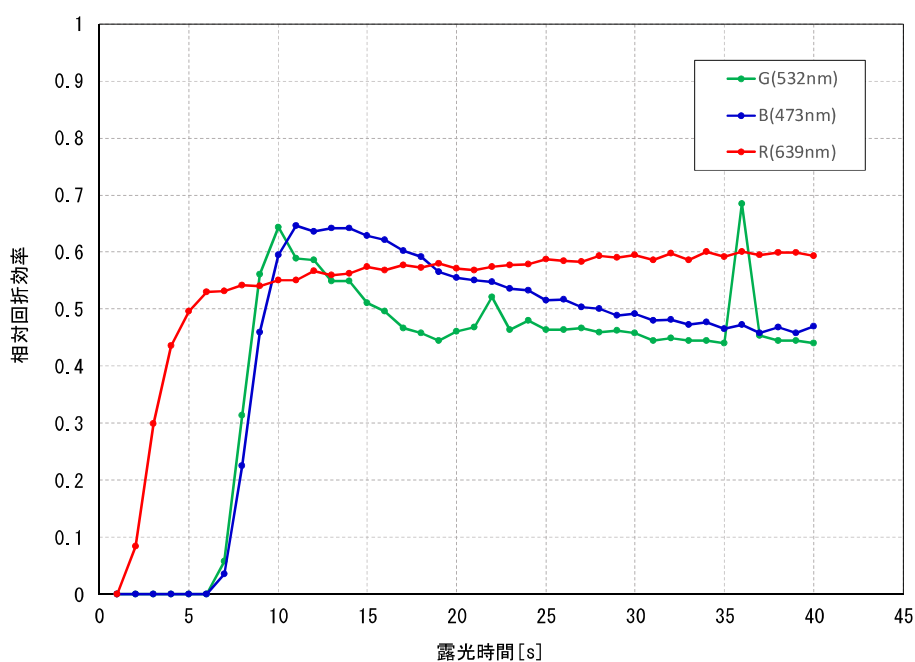


図 2 5. 相対回折効率

4) まとめ（研究開発の成果）

HOEプリンタのレーザー発振条件及び制御プログラムの改修を行い300mm角のHOEを300mm/line・sで製造するという目的を達成することができた。

また、従来のプリズム型HOEのほか、レンズ型等の多彩なレイアウトのHOEを製造することが実現可能となった。

製造したHOEは専用の評価機を用いて品質を評価することができ、光沢表面の検査が十分可能なレベルのHOEを安定して製造できることを確認した。

【2. 画像解析技術の課題】

【2-1】大面積外観検査に適した画像解析技術の開発

1) 実施内容の概要

HOEを用いた照明（以下、HOE照明ユニットという）は、「光線方向に応じて色が変わる」という従来の照明技術と全く異なる特徴を有する。そのため、画像解析ライブラリもHOE照明ユニットに合わせた機能を実装することが望ましい。開発する機能は、色相変化の抽出や色相ムラの除去や特定色相の抽出などを想定する。実際では、光沢表面を有する実サンプルを用いて撮影実験を行い、それに適切に対応する画像解析ライブラリを構築する必要がある。本研究開発項目では、大面積外観検査での凹凸不良検出に適した画像解析ライブラリの開発及び実装を行う。大面積外観検査での不良検出に有用な画像解析機能を10以上有するライブラリを構築することを目標とする。

2) 光沢面不良に対する評価

2-1) 撮影実験

検査対象として、光沢を有する白色の皿（120×120[mm]）を使用する。対象である皿の底面（85×85[mm]）には微小な不良が存在しており、その不良の検出を対象とした。目視で不良部分を確認し、不良部分の少ない良品サンプル1つと不良部分が多い不良サンプル3つに対して検査を行う。検査対象の外観を図26に示す。検出対象の不良は、人の目で認識できるような大きさの対象を不良とすることとした。特性上発生する凹みの面積は0.014[mm²]程度であることから、対象とする不良の面積は0.015[mm²]以上とした。

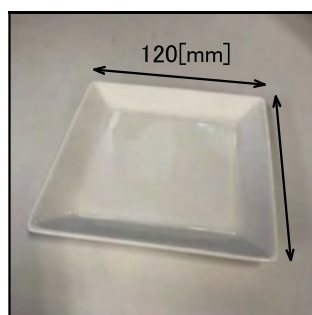


図26. 撮影対象

撮影環境は、光学シミュレーションソフトである程度のあたりをつけて構築した。図27に不良部撮影結果の一例を示す。提案法では、不良部がはっきりと撮像されていることが確認できる。

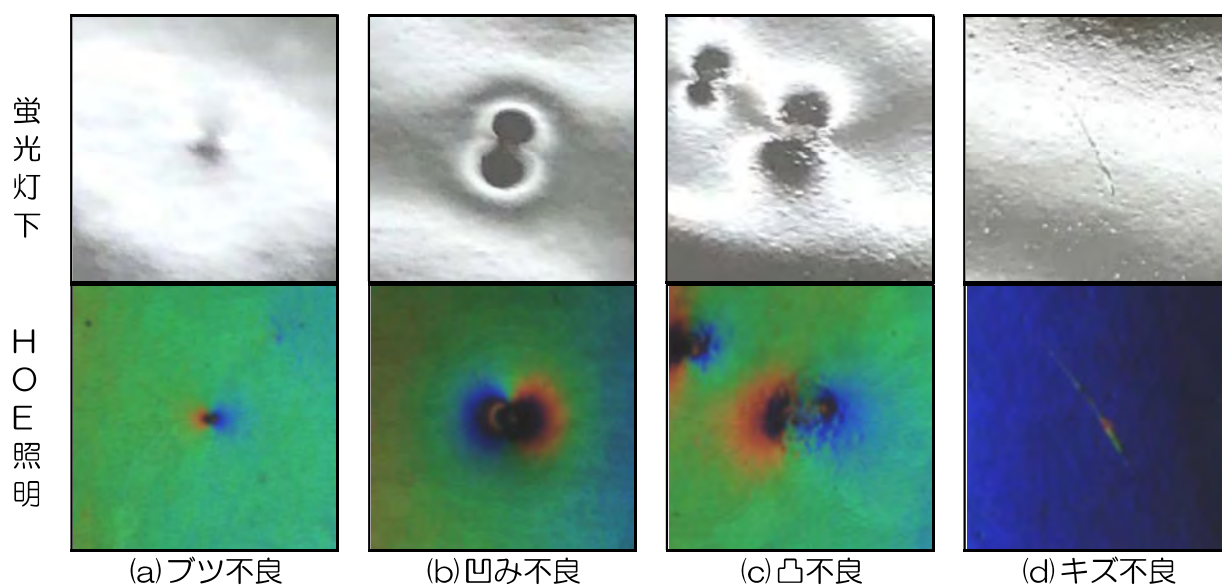
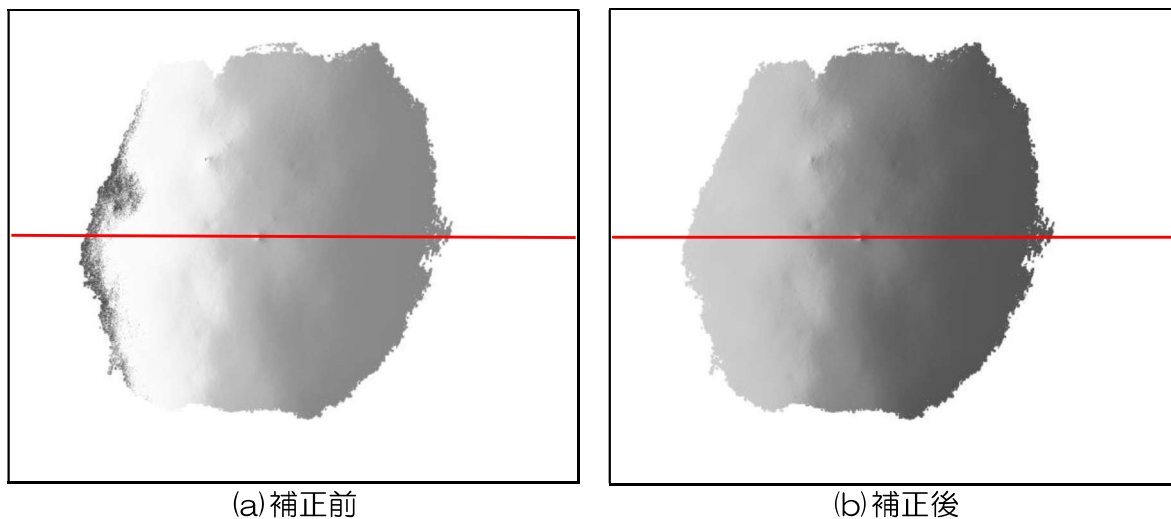


図 2 7. 不良撮影結果の一例

2-2) アルゴリズム検討

色相をベースとした処理フローを検討した。HOE 照明の特性が得られない領域については、明度画像を用いて除外することとした。これらの検討機能から、HOE 照明による撮影画像に対する特徴の抽出に適した関数として、色相変換／色相ギャップ補正／色相エッジ抽出／色相エッジ方向判別／明度変換／明度マスク抽出等、13のアルゴリズムをライブラリ化した。

この際、色相は環状で表現される情報であるため、色相の0[deg]から360[deg]の部分で位相ギャップが発生する。処理をする際にこの部分でもソーベルフィルタはエッジを検出してしまうため、位相ギャップの除去処理を検討した。検討した結果、今回の撮影システムで得られる画像に対しては、画像全体の色相に100degを足し360degで剰余を取ることで、検査領域内の位相ギャップ除去が可能なことを確認した。図28に補正前画像と補正後画像を示す。補正前で存在していた位相ギャップが、補正後では除去できていることが確認できる。



(a)補正前

(b)補正後

図28. 位相ギャップ補正の処理（位相画像）

さらに、この画像に対して横方向ソーベルフィルタを適用することで、欠陥部分の強調が可能であることを確認した。図29に、位相ギャップ補正後の画像に対して、横方向ソーベルフィルタを適用した結果の断面プロファイルを示す。不良部において、強い微分値が存在することが確認できる。今回は、この値が一定を超えた部分を不良として検出することとした。

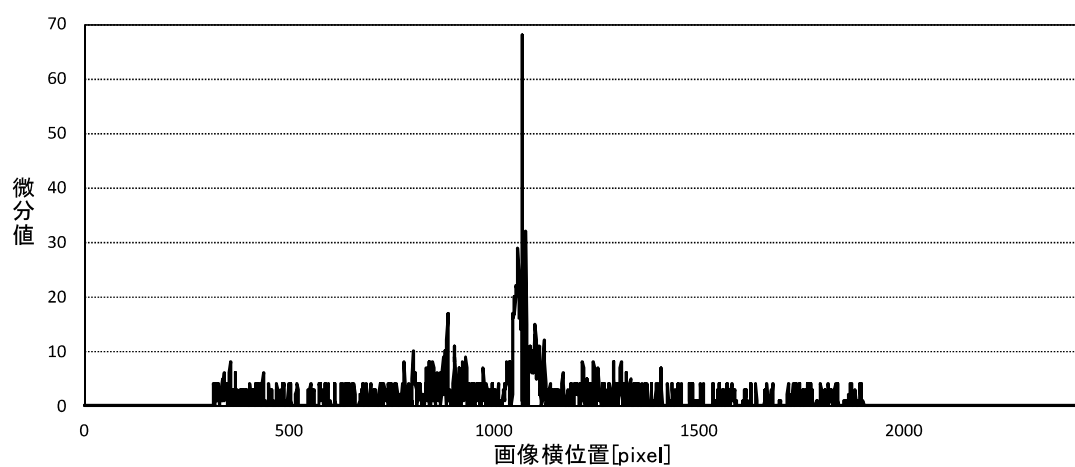
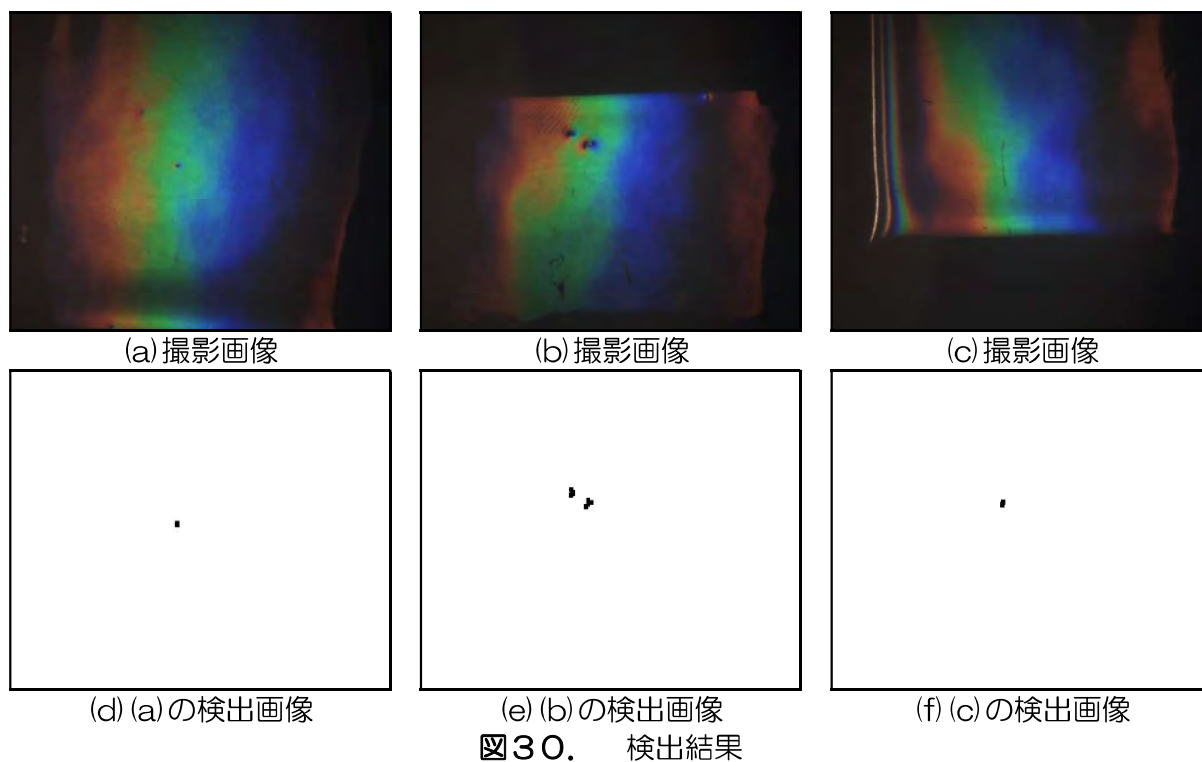


図29. 微分値断面図

不良を含む撮影画像に対する出力画像を撮影画像と共に図30に示す。この結果より、今回検討したアルゴリズムで平面状の光沢面上の不良が適切に検出されることが確認できた。



3) まとめ（成果と課題等）

HOE照明による撮影画像に対する特徴の抽出に適した機能として、色相ギャップ補正／色相エッジ抽出等13の関数をライブラリ化し、面積 $0.027[\text{mm}^2]$ 程度の微小な不良も検出できたが、未検出や過検出も存在するため、精度向上が課題である。また、しきい値処理等のパラメトリックな処理が入るため、機械学習などによる最適化が今後の展望として考えられる。

【2－2】複雑 R 形状に適した画像解析技術の開発

1) 実施内容の概要

様々な部品で広範囲での外観検査を達成しようとするれば、**図31**のような凸面と凹面が混在した形状（複雑R形状）を検査しなければならない場面が必ず現れる。本研究開発項目では、曲率分布判定などの手法を用いて、この複雑R形状に対しても安定して不良部位だけを検出できる画像解析ライブラリの開発や実装を行う。HOE照明ユニットに有用な画像解析機能を20以上有するライブラリを構築することを目標とする。また、既存の画像解析技術に加えて、新たなAI技術を利用した画像解析機能を検討するために、深層学習専用計算機を導入する。



図31. 凸面と凹面が混在する形状（複雑R形状）の例

2) 複雑R形状に適した画像解析技術の開発

2－1) 孤立点検出アルゴリズムの開発

複雑R形状に対しても安定して不良部位を検出できる画像解析ライブラリの開発を目指し、研究開発を実施し「HOE照明ユニットに有用な画像解析機能を20以上有するライブラリを構築するという目標を達成した。このライブラリを用いて、色相に対して等高線画像を作成した上で、ラベリングを利用した孤立点検出アルゴリズムを適用することで、R形状上に存在する微小な凹凸の検出が可能なことを確認した（**図32**）。その他、差分ベースのライブラリを用いることでも、リファレンス（良品）からの差を取ることで、欠陥部位の検出が可能である。しかしながら、孤立点を検出する処理では、過剰検出が多いことが確認されている。また、差分ベースの処理では撮影時の位置合わせが課題となる。

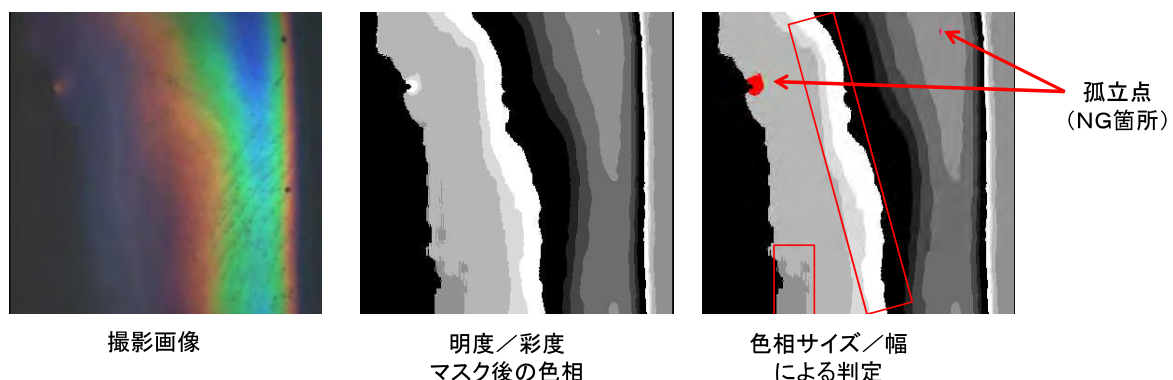


図32. ラベリング処理を用いた孤立点検出アルゴリズム

2-2) 深層機械学習を用いた画像解析技術の開発

前項で判明した課題に対して、複雑R形状に適した欠陥検出用ライブラリとして、ニューラルネットワークを用いた画像認識ライブラリを構築した。構築したライブラリを利用することで、画像を入力として画像分類や認識を行うニューラルネットワークが構築可能である。3クラスの画像分類をする場合の入出力例を図33、34に示す。このような画像データセットを乱数と画像描画アルゴリズムにより作成し、ライブラリの機能的な動作及び精度については検証済みである。このライブラリのモデルを使用することで、H O E照明を用いて撮影した画像に対しても、良否の分類や欠陥種の分類へ適用することが可能である。ニューラルネットワークを用いることで、学習の入力と出力の関係を非線形な空間で対応付けることが可能であり、十分な学習データセットを用意して学習を行うことで、単純な平面だけでなく複雑なR曲面上の欠陥を含む画像に対しても効果が期待できる。

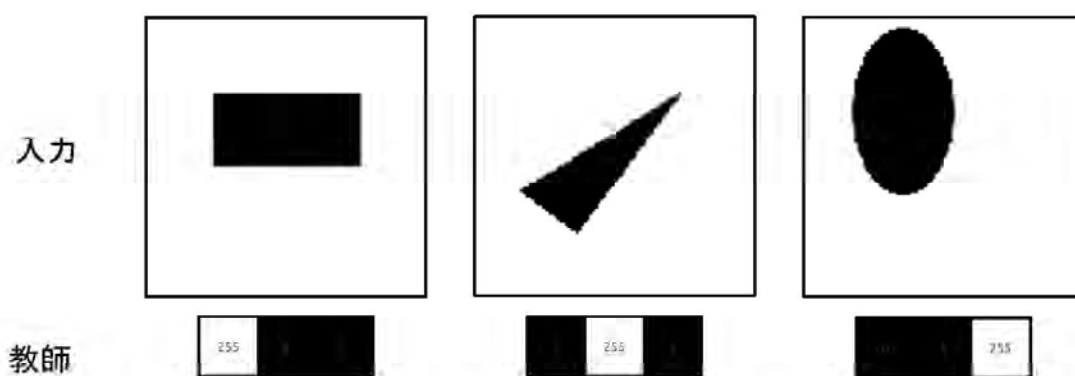


図33. 3クラスの画像分類をする場合の入出力例

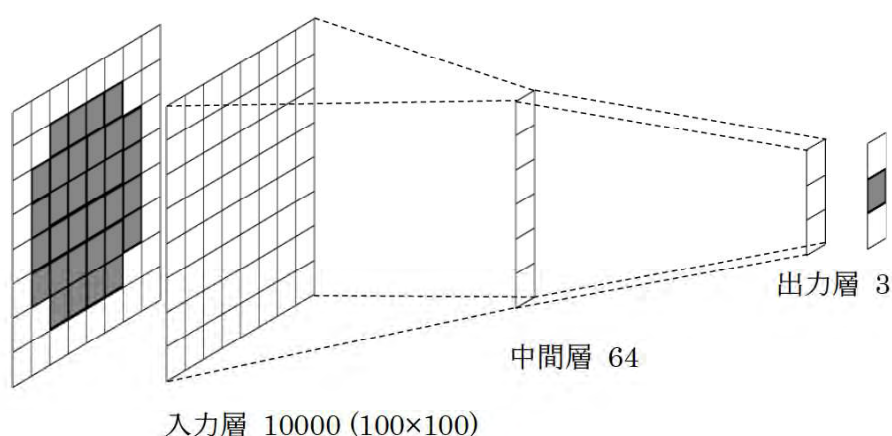


図34. 3クラスの画像分類をする場合のモデル例

3) まとめ（研究開発の成果）

HOE照明に有用な画像解析機能を20以上有するライブラリを開発した。開発したライブラリを用いて孤立点検出アルゴリズムを適用することで、R形状上に存在する微小な凹凸の検出が可能であることを確認した。その他、差分ベースのライブラリを用いることでも、リファレンス（良品）からの差を取ることで、欠陥部位の検出が可能である。しかしながら、孤立点を検出する処理では、過剰検出が多いことが確認されている。また、差分ベースの処理では撮影時の位置合わせが大きな課題となった。

それらの課題を解決する為に、ニューラルネットワークを用いた画像認識ライブラリを開発した。開発したライブラリを利用することでHOE照明を用いて撮影した画像に対しても、良否の分類や欠陥種の分類への適用が可能であることを実証した。実証実験より、十分な学習データセットを用意して学習を行うことで、複雑なR曲面上の欠陥を含む画像に対しても効果が期待できる。

【2－3】自動キャリブレーション技術の開発

1) 実施内容の概要

コンピュータビジョン技術のうち外観検査システムでは、一般的に、観察対象物と照明ユニットおよびカメラとの位置関係が非常に重要な成功要因である。ただ、本研究開発のHOE照明ユニットは、「光線方向に応じて色が変化する」という従来の照明系とは全く異なる特徴を有する。従って、観察対象物と照明ユニットおよびカメラとの最適な位置関係を、短時間のうちに自動計算できるキャリブレーション技術を新たに開発せねばならない。従って本研究開発項目では、このキャリブレーション技術を開発することを目標とする。キャリブレーション技術の確立は、HOE照明ユニットをロボットに搭載する場合においても、対象物体の複雑形状に合わせて瞬時に最適位置に導いて、安定した外観検査を可能にする検査システムを構築することができる。

2) HOE 照明評価試験

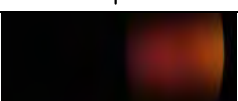
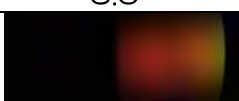
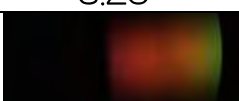
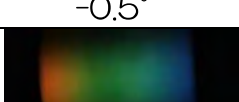
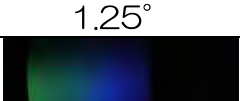
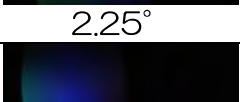
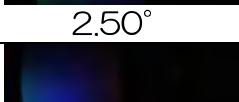
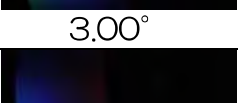
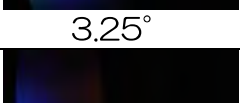
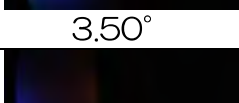
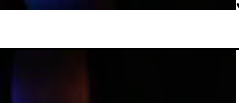
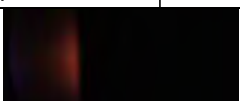
2－1) 角度と高さに対する評価手法

撮影実験用装置（3軸ステージ+撮影系）を構築し、色相変化方向に垂直な軸を変化させた際の撮影画像を取得する。Z軸を変化させた場合に、色相・角度の特性がどう変化するかについても確認を行い、検査対象と撮影システムの最適な距離に関して検討する。

2－2) 角度と高さに対する評価手法結果

色相変化方向に垂直な軸を変化させた際の撮影画像を取得した。その結果、[表1](#)に示す画像が取得された。実験データのS/N比を高く保つため、検査対象には理想的な光沢面であるミラーを使用した。撮影画像を目視確認すると、角度が変化するにつれて色相が変化していることが確認できる。

表1 Z軸±0cmの撮影結果

 -5.00°	 -4.75°	 -4.5°	 -4.25°
 -4°	 -3.75°	 -3.5°	 -3.25°
 -3°	 -2.75°	 -2.5°	 -2.25°
 -2°	 -1.75°	 -1.5°	 -1.25°
 -1°	 -0.75°	 -0.5°	 -0.25°
 0°	 0.25°	 0.5°	 0.75°
 1°	 1.25°	 1.5°	 1.75°
 2.00°	 2.25°	 2.50°	 2.75°
 3.00°	 3.25°	 3.50°	 3.75°
 4.00°	 4.25°	 4.50°	 4.75°
 5.00°		 5.25°	

同様に、高さ（Z 軸）を±1.5cm の位置に設定した場合に撮影された画像を表2、3に示す。

表2 Z 軸+1.5cm の撮影結果

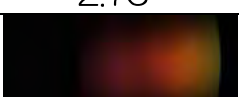
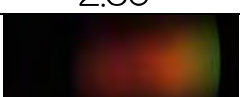
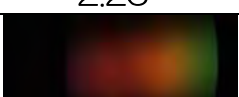
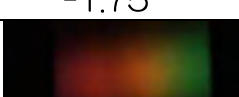
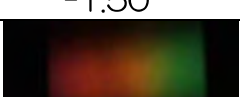
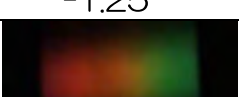
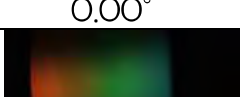
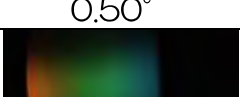
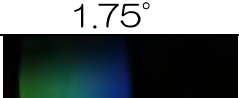
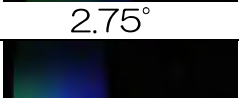
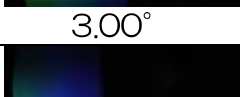
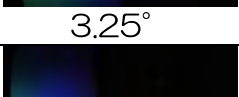
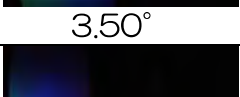
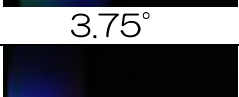
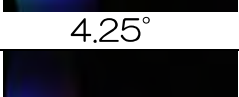
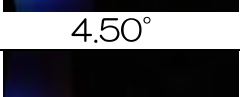
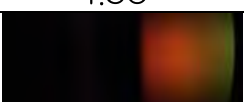
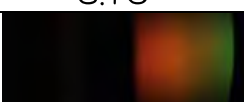
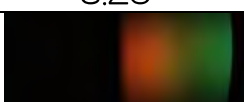
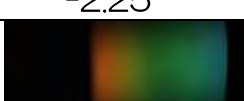
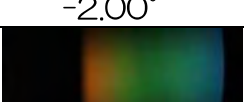
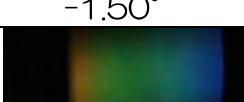
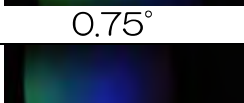
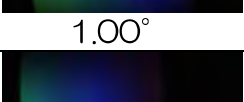
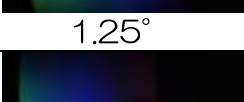
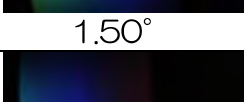
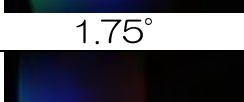
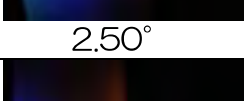
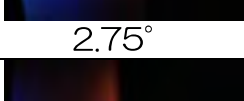
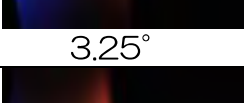
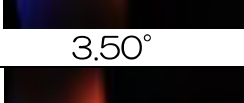
			
-5.00°	-4.75°	-4.5°	-4.25°
			
-4°	-3.75°	-3.50°	-3.25°
			
-3.00°	-2.75°	-2.50°	-2.25°
			
-2.00°	-1.75°	-1.50°	-1.25°
			
-1.00°	-0.75°	-0.50°	-0.25°
			
0.00°	0.25°	0.50°	0.75°
			
1.00°	1.25°	1.50°	1.75°
			
2.00°	2.25°	2.50°	2.75°
			
3.00°	3.25°	3.50°	3.75°
			
4.00°	4.25°	4.50°	4.75°
			
	5.00°	5.25°	

表3 Z 軸-1.5cm の撮影結果

			
-5.00°	-4.75°	-4.50°	-4.25°
			
-4.00°	-3.75°	-3.50°	-3.25°
			
-3.00°	-2.75°	-2.50°	-2.25°
			
-2.00°	-1.75°	-1.50°	-1.25°
			
-1.00°	-0.75°	-0.50°	-0.25°
			
0.00°	0.25°	0.50°	0.75°
			
1.00°	1.25°	1.50°	1.75°
			
2.00°	2.25°	2.50°	2.75°
			
3.00°	3.25°	3.50°	3.75°
			
4.00°		4.25°	

高さ変化の影響を確認するために、 $Z=\pm 0\text{cm}$ と $+1.5\text{cm}$ において撮影された画像の特定の注目画素位置での色相変化を比較した。比較した位置は、 $+1.5\text{cm}$ の位置において撮影可能範囲のおおよそ中心にあたるピクセル（表4、5の図で丸で示した場所）である。

表4 $\pm 0\text{cm}$ と $+1.5\text{cm}$ の比較

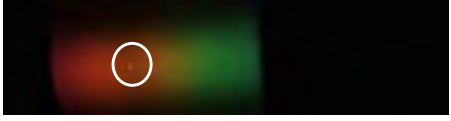
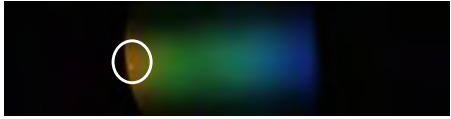
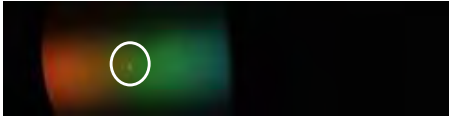
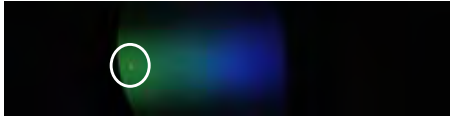
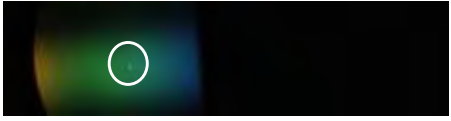
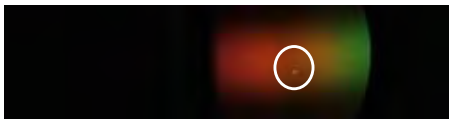
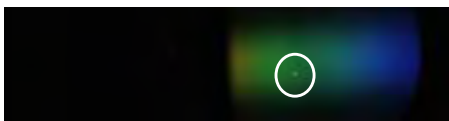
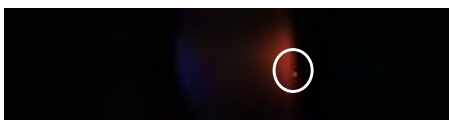
	
-4.00°	-4.00°
	
-3.00°	-3.00°
	
-2.00°	-2.00°
	
-1.00°	-1.00°
	
0.00°	0.00°
	
+1.00°	1.00°
	
+2.00°	2.00°
	
+3.00°	3.00°
	
+4.00°	4.00°
$\pm 0\text{cm}$	$+1.5\text{cm}$

表5 $\pm 0\text{cm}$ と -1.5cm の比較

	
-4.00°	-4.00°
	
-3.00°	-3.00°
	
-2.00°	-2.00°
	
-1.00°	-1.00°
	
0.00°	0.00°
	
1.00°	1.00°
	
2.00°	2.00°
	
3.00°	3.00°
	
4.00°	4.00°
$\pm 0\text{cm}$	-1.5cm

画像解析により色相の変化をグラフ化した結果を図35に示す。

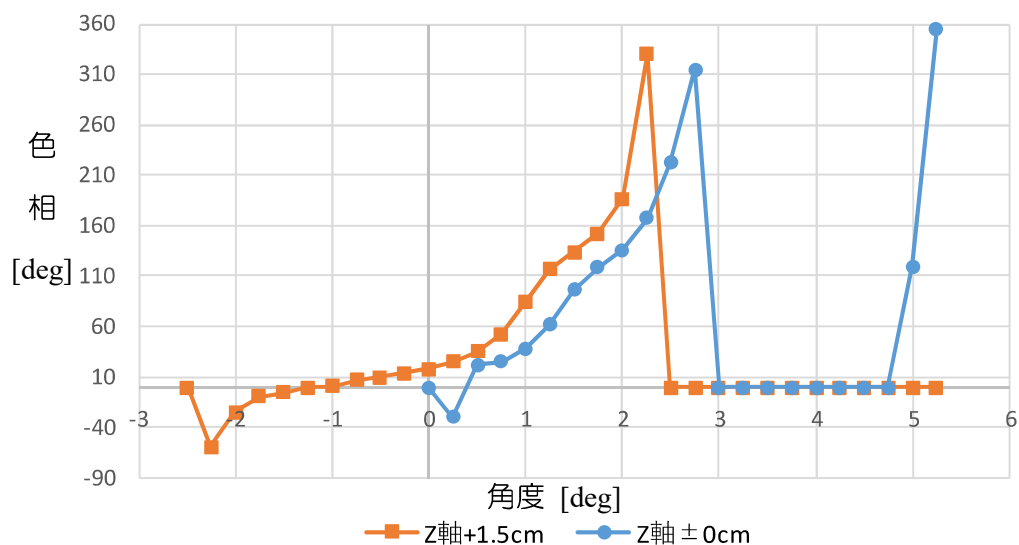


図35. $\pm 0\text{cm}, +1.5\text{cm}$ の角度と色相の関係 ($x=700, y=1250$ ピクセルの位置)

この結果より、どちらも色相と角度の関係は非線形であるものの単調増加の関係にあり、撮影可能範囲が最大限使用可能な場合 (+1.5cm) の計測可能範囲は ± 2 度であることが確認できる。同様に-1.5cm の場合をグラフ化した結果を図36に示す。

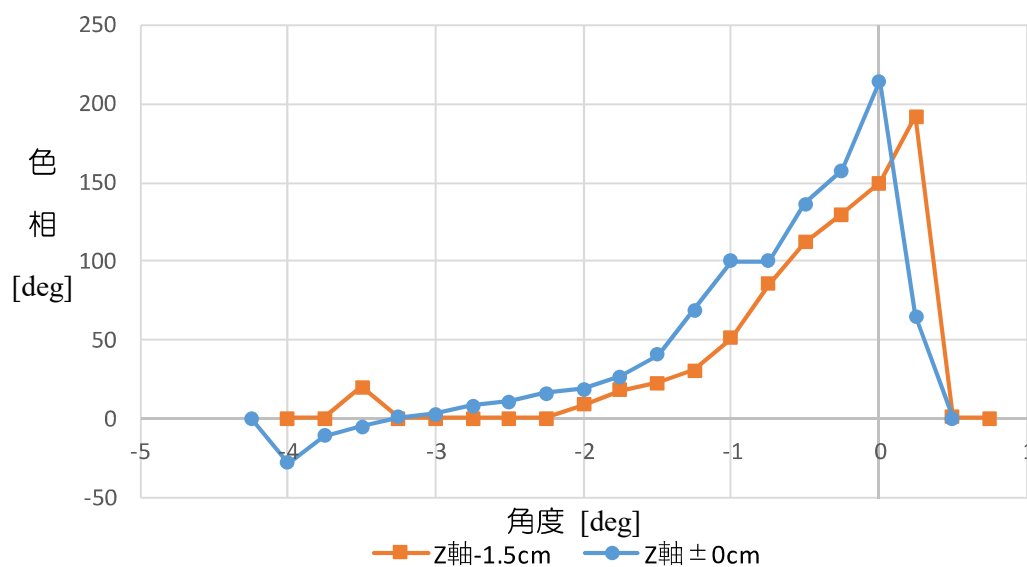


図36. $\pm 0\text{cm}, -1.5\text{cm}$ の角度と色相の関係 ($x=1600, y=1250$ ピクセルの位置)

こちらも+1.5cm の場合と同様に、 $-4 \sim 0$ 度の 4 度の範囲が計測可能なことが確認できる。このことから、現在の HOE 回折により計測可能な範囲は ± 2 度程度であることが

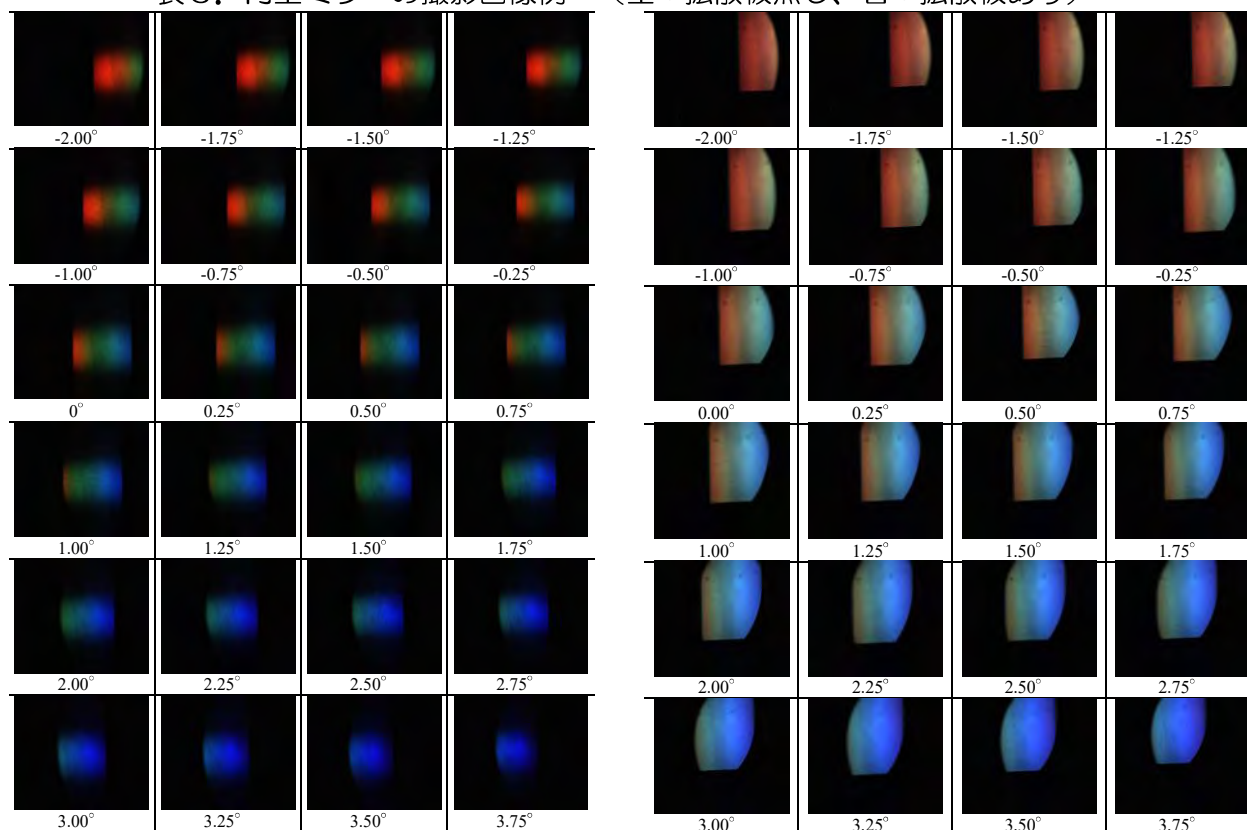
確認できた。さらに、距離によって、色相がプラスまたはマイナス方向にシフトするため、計測可能範囲が更に狭くなることも確認された。本実験より、計測対象で求められる角度範囲に応じて距離変化の許容量は変化し、角度計測範囲は最大 ± 2 度であり、 ± 1.5 度程度の角度範囲を計測する場合には距離が $\pm 1.5\text{cm}$ 程度の範囲にある必要があることが確認された。

3) HOE照明評価実験

3-1) 基礎光学系の評価

基礎実験では、理想的な反射物体である円型のミラーをターゲットとして実験を実施した。撮影画像例を以下に示す。この実験では、光源側は平行光をHOEにより回折させて色分散の高い照明を作成しているためテレセントリック系であるが、撮影側には非テレセントリックのレンズを用いている。これは、テレセントリック光学系のレンズは非常に高額であることと、大面積に対応するためにはレンズが大型化して価格が高騰するとともにロボットなどにも搭載可能であるという、HOE光源を利用したシステムの利点が薄くなるためである。そのため、非テレセントリックレンズで直接反射を撮影している関係上、照明が照射されている範囲に比べて、光が反射している範囲が狭くなることが確認された（表6中の左図）。そこで、HOEの直後に一方向の拡散板を拡散方向が光分散に垂直方向になるよう挿入したところ、撮影範囲が拡大されることが確認された。

表6. 円型ミラーの撮影画像例（左：拡散板無し、右：拡散板あり）



その他、自動キャリブレーションに向けて、撮影位置やH O E の位置・対象物の角度を変えて撮影実験を行い、照明の基礎特性を明らかにした。こうして得られた知見をもとに、自動ステージとロボットアームを用いて、ワールド座標と撮影対象の座標をキャリブレーションして、撮影を行う技術を確立した。

3-2) 自動キャリブレーションの評価

自動キャリブレーションに向けて、撮影位置やH O E の位置・対象物の角度を変えて撮影実験を行い、照明の基礎特性を明らかにした。こうして得られた知見をもとに、自動ステージとロボットアームを用いて、ワールド座標と撮影対象の座標をキャリブレーションして、撮影を行う技術を確立した。

4) まとめ（成果と課題等）

角度と色相に一定の関係があることを確認した上で、計測可能範囲について検討を実施した。高さ方向の変化により計測可能角度が変化することが確認され、要求スペックに合わせた制御が必要であることが確認された。計測可能な角度範囲は ± 2 度程度であり、光沢面に通常に照明を照射した場合に比べれば格段に広いものの、R 形状を含む対象を考えると現状のパターンで印刷された H O E 1 枚＋平行光を用いた撮影方法では、角度を細かく変化させて画像を取得する必要があるという課題も確認された。

その課題に対して、検査対象物の撮影位置やH O E の位置を変化させて撮影実験を実施し、照明の基礎特性を明らかにした。

こうして得られた知見を基に自動ステージとロボットアームを用いて、ワールド座標と撮影対象の座標をキャリブレーションして、撮影を行う技術を確立した。

【2－4】自由曲面に対するトレース技術の開発

1) 実施内容の概要

例えば、観察対象物体が大きな凹凸を有していて、高さや表面の角度方向など位置変化が大きい場合がある。HOEを用いた照明は、角度変化を色に変換することが出来るが、測定範囲はそれほど広くはない。そのため、大きな表面角度変化を有する物体表面を測定する場合には、対象の角度に応じて撮影角度を変化させる必要がある。そこで本研究開発項目では、対象物体の形状をトレースして撮影するシステムを構成するためのアルゴリズムを検討する。

R300以上の自由曲面をトレースできるアルゴリズムを構築することを目標とする。このトレース技術および上述【2－3】キャリブレーション技術の実現により、対象物体が複雑R形状でも安定した外観検査が可能となる。また、トレースを伴う撮影を実現するため、ロボットシステムならびに撮影機器類を導入する。

2) ロボットアーム搭載用照明システムの検討

2－1) 照明システム基礎光学系の検討

自由曲面有する検査対象物をトレースしながら撮影するためには、ロボットアームに撮影システムを搭載して撮影することが現実的である。これを実現するため、ロボットにも搭載可能なコンパクトな平行光生成ユニットを設計し、構築に成功した。

作成した光源ユニットにHOEフィルムを搭載して実験をしたところ、良好な1次回折光が得られることを確認した(図37)。これを元に、ユニット化した物をロボットに搭載し、撮影ユニットをロボットで可搬しつつ撮影可能なことを実証した。

また、本ユニットの基本設計は後述する【研究項目3－2：外観検査システムの開発】の「天吊り型外観検査システム」のロボットに搭載したHOE照明ユニットで活用した。

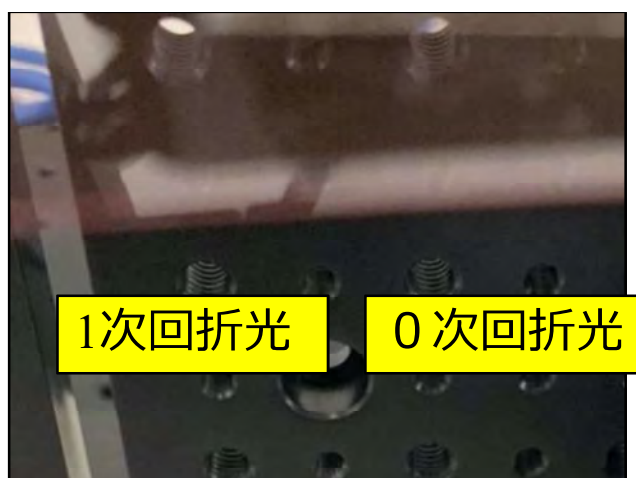


図37. コンパクトなHOE光源ユニットから出力された1次回折光

2－2) 曲率変化測定手法の評価

さらに、照明が対象物表面の法線方向に対して、どの角度に照明が設置されているかを確認しつつ、調整を行うための手法として、ピンホールを使用して曲率変化を測定する方法を開発した。

2-3) 大きな曲率変化に対する測定系の評価

ロボットを用いたトレース以外にも、回転テーブルなどを用いることで大きな1軸の曲面などに対する展開が可能と考えられる。そこで、そのような撮影を可能とすべく、ラインカメラ等との併用も大きな曲面に対してセンシングするための照明として、HOE光源で使用可能な大型平行光LEDおよびLEDライン照明を照明メーカーとともに撮影実験を繰り返して開発し、基本的な特性が得られることを確認した(図38, 39)。

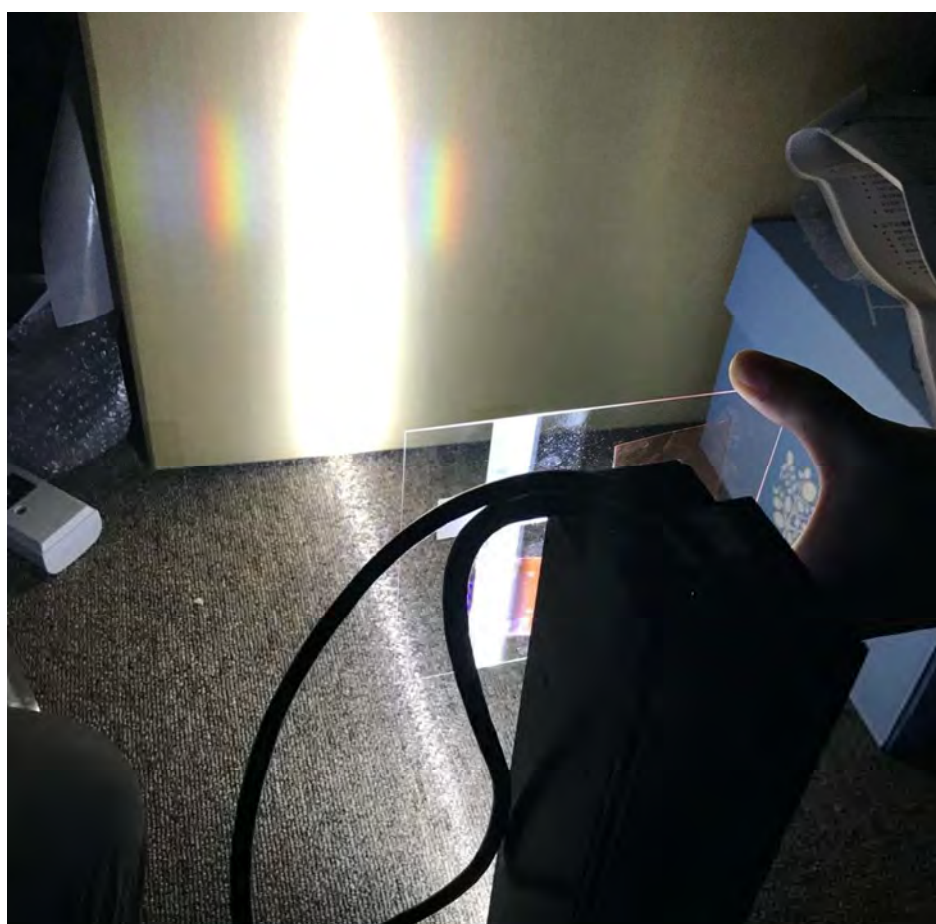


図38. 大型平行光LEDを用いたHOE光源からのパターン照射実験結果



図39. LEDライン照明を用いたHOE光源からのパターン照射実験結果

3) まとめ（研究開発の成果）

検査対象物体の形状をトレースして撮影するシステムを構成するためのアルゴリズムの開発を実施した。まず、自由曲面を有する検査対象物をトレースしながら撮影するために、ロボットアームに搭載する撮影システムの開発を実施した。開発した撮影システムにより非接触かつ照明ユニットの小型化に成功し、協働ロボットに搭載することが実現した。次に、曲率変化測定手法の開発を実施した。開発した手法により、検査対象物の曲率を正しく評価することが可能となり、自由曲面を有する検査対象物のトレースが可能となった。

【3. HOE照明ユニット構築の課題】

【3-1】大面積外観検査用HOE照明ユニットの開発

1) 実施内容の概要

大面積外観検査に適したHOE照明ユニットを試作する。HOE照明ユニットをロボットに搭載することを想定した光学部品レイアウトを設計して、カメラを含めたユニットとして構築し、その妥当性を検証した。また、照明ユニットとして産業用途に用いるため、HOEの品質／耐久性評価に関する実験を実施している。

2) HOE照明ユニットの製作／評価

2-1) HOEの品質評価

本事業では、HOEを用いた照明ユニットを製作し、それによる不良の検出を可能とすることを達成目標とした開発を進めている。開発する照明ユニットは、HOEが最重要部品であり、HOEの品質の良否により不良の検出性能が変化する。そのため、HOEの品質を評価することが重要であり、

簡易にHOEの品質を評価可能な評価フローについて検討し、HOEの回折効率、角度選択性、波長別回折角度、品質ムラ等のHOEの各種特性を評価可能な評価装置を構築した。

構築した評価装置を用い、HOEの品質評価を行い、回折効率62%であり、角度選択性、波長別回折効率等の性能は光沢表面の検査が可能なレベルの品質を有することを確認した(図40、41)。

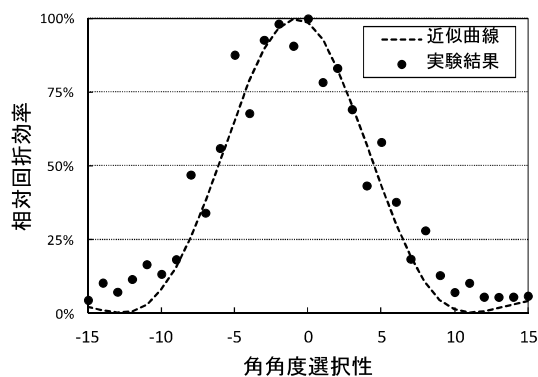


図40. 角度選択性

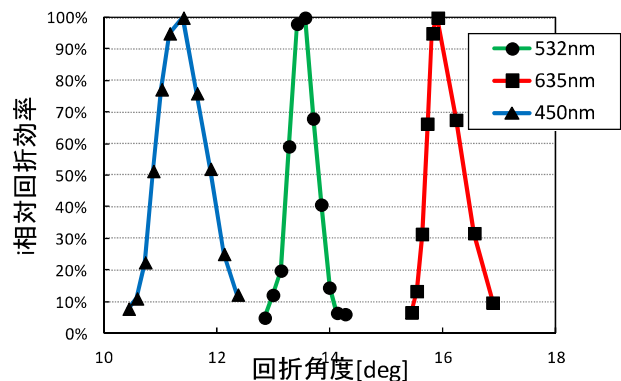


図41. 波長による回折角度変化

2-2) HOEの耐久性評価

開発するHOE照明ユニットは、生産現場への適用を想定している。そのため、薬剤や温度に対するHOEの劣化特性を調査することは非常に重要である。品質劣化について、実験を行った(図42)。

今回の実験により、5℃から40℃の範囲、及び薬剤への1分程度の暴露では、致命的なホログラム品質の劣化は確認されなかった。この結果から、開発するHOE照明ユニットの生産現場への適用性は高いものと考えられる。



図42. 耐久試験

2-3) HOE照明ユニットの評価

点光源LEDをならべ、その前にHOEを配置することで撮影を行うHOE照明ユニットを試作した。試作したユニットを用い、様々な粗さを有する金属加工面の撮影を行い、HOEの特性評価を行った。1.6Ra以上の表面粗さ精度であれば、HOE照明ユニットにより検査に適切な照明光を照射可能であるものの、より粗い表面に対しては切削痕特有のパターンが確認される。しかし、切削痕の形状によるRGB変化が生じているため、研究開発を進めることにより、加工品質の非接触診断にHOE照明ユニットを適用できる可能性も有することわかった。

次に、指向性チップLED点光源を8列に並べた白色光源の前にHOE照明を設置し、150mm範囲を照射する実験を行った。150mm範囲にてRGBパターンが確認でき、表面の凹凸に対応したRGB変化が存在することを確認した。しかしながら、点光源の0次回折光の映りこみ、及び、点光源パターンによるムラが残っており、より安定なインライン自動検査システムを開発するため、光源レイアウト、HOEレイアウトの検討が重要であることがわかった。

3) まとめ(成果と課題等)

HOEの品質を評価する評価フローと評価装置を開発した。構築した評価装置を用いてHOEの品質を測定し、目的とする光沢面表面検査が可能な能力を有することを確認した。点光源を配列した白色光源を用いたHOE照明ユニットを構築し、評価実験を行った。150mm範囲の撮影が可能であることは確認したものの、白色光源に由来する映りこみ/RGBムラが存在しており、光源レイアウト、HOEレイアウトの検討が重要であることがわかった。

【3－2】外観検査システムの開発

1) 実施内容の概要

複数種の光沢面を外観検査できる自動システムを開発・設計するために、HOE照明ユニットと対象光沢面の固定治具や周辺設備等を組み合わせて、光沢面外観検査自動システムを構築する。自動検査システムの構築においては、HOE照明システムが諸種の工場生産設備に容易に適用できることが求められる。そのためには、モニター画面にて検査条件を設定して外観不良を識別できるユーザーインターフェースや、PLC等の工場生産設備機器と接続できるインターフェースを開発・設計する必要がある。

市場ニーズ等を調査した結果、天吊り型ロボットを用いた光沢面外観検査システム、ならびにロール供給フィルム製造での不良検査システムが、市場ニーズに対するシーズ技術適合性が高く、市場規模が大きいと判断した。従って、天吊り型外観検査テスト機、及びロール供給対応外観検査テスト機を試作する。そして、適切なユーザーインターフェースや接続インターフェースの開発を行なう。

試作した外観検査テスト機を用いて、複数の光沢面サンプルの観察実験を行い、外観検査の妥当性や安定性などを分析評価することで、新システムの優位性を確認することを目標とした。

2) HOE照明ユニットの検討

2－1) HOE照明ユニットの検討

(株)マクシスエンジニアリングはこれまでに、HOEを搭載したハンディタイプの検査ユニットの試作にも成功している。これを用いれば、電子機器筐体などの小型部品的光沢面であれば、簡便かつごく短時間で外観検査を行うことができる。しかしながら、既存の検査ユニットを用いて安定検査するためにはワーク表面に接触させる必要があり、その作自体がワーク表面にキズを与える原因となりうる。そこで、非接触にて安定した検査が可能な条件を探るため、非接触撮影系を構築し、ワークとの距離変化、角度変化、照明－カメラ間距離等の影響を調査した。サンプルとして、樹脂表面上のキズやブツ、陶器の釉薬不良、ガラスの塗布剤不良等の不良サンプルを測定し、どのタイプの形状／キズであれば、適した撮影条件を得ることができるか、検討を進めた。

また、天吊り型ロボットを用いた光沢外観検査システム、ならびにロール供給対応不良検査システムにHOE照明ユニットを搭載するには、照明ユニットを小型化にするという課題がある。そこで、単一平行光源及び単一カメラ構成のHOEユニットの試作を行い、HOE照明ユニットの小型化に必要な条件の洗い出しを行った。

2-2) HOE照明ユニットの試作

前項で得られた知見及び【研究項目2-4：自動キャリブレーション技術の開発】で実証した照明ユニットの基礎設計を基に、小型の非接触式照明ユニットを設計／製作した。ワーク／不良特性に応じた調整が可能となるよう、必要な調整軸を確保しつつ、協働ロボットに搭載可能なサイズまで小型／軽量化を実現した（図4.3）。



図4.3. HOE照明ユニット試作機

3) 天吊り型外観検査テスト機の評価

前項で設計／製作したHOE照明ユニットを搭載した天吊り型外観検査テスト機を開発した（図4.4）。6軸双腕ロボットとすることにより、形状変化を有するワークに対しても柔軟に検査ポジションを変更し、調整できるような構成にしている。一方、照明／カメラは同一の腕に搭載することで、照明／カメラ間距離等の諸条件の安定化も行っている。

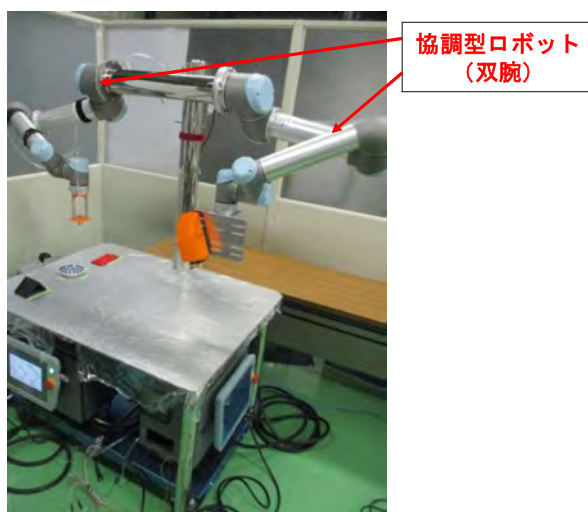


図4.4. 天吊り型外観検査テスト機

撮影／処理を実施するPCに、2台のロボットとの通信機能を設け、PCから指示される座標にロボットが動作する仕組みとすることで、複数のワークに対し、再現性高い検査を可能としている。また、本機構により、例えばX方向に0.5mmずれたとき、等の条件変化時の安定性評価も容易に実施できる構成とした。

4) ロール供給対応外観検査テスト機の評価

3) にて試作した天吊り型外観検査テスト機は、湾曲のある自由形状に対応できる一方、検査の高速性に欠ける。一方、素材分野においては、形状変化は少ないものの、微小な不良を高速で検査する必要がある。このような例として、ロール供給される高機能フィルムの検査が挙げられる。そこで、ロール等、高速搬送される対象に対する検査を実施可能な外観検査装置を開発した(図45)。

本ユニットは、搬送部としてコンベアを用い、金属ブロック等の検査評価も可能としているが、コンベアとカメラ／照明ユニットは着脱が容易なフレーム構造にて接続するようにしており、コンベア部分を実際の生産工程で用いる搬送ユニットに変更できるよう、構成されている。カメラは、撮影角度を変化させた位置に複数のカメラを設置し、明視野光学系(主たる観察光は直接反射光)のみではなく、微小ピンホールによる回折光の観察等に有効な暗視野光学系(主たる観察光は不良部位を原因とする散乱反射光)での検査も同時に可能としている。また、検査対象は、形状が単純であるものの、搬送系によっては微小に高さ変化が生じる場合も想定される。そこで、液体レンズにより、電子信号によりピント調整可能なカメラも搭載した。このような機器構成により、様々な素形材の検査に対応する検査システムを構築した。

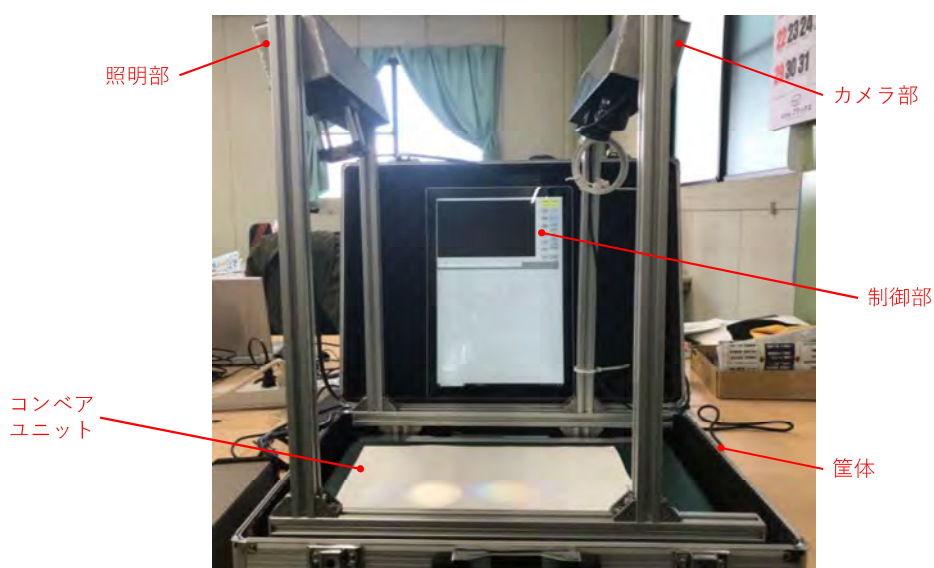


図45. ロール供給対応不良検査テスト機

4) まとめ（研究開発の成果）

（株）マクシスエンジニアリングはこれまでに、H O E を搭載したハンディタイプの検査ユニットの試作にも成功しているが、本検査ユニットではワーク表面に接触させる必要があり、その作自体がワーク表面にキズを与える原因となりうるものが課題であった。

本研究開発で小型の非接触式照明ユニットを設計／製作した。ワーク／不良特性に応じた調整が可能となるよう、必要な調整軸を確保しつつ、協働ロボットに搭載可能なサイズまで小型／軽量化を実現し、従来の検査ユニットの課題を克服した。

また、開発した小型H O E 検査ユニットを用いて天吊り型外観不良検査システム及びロール供給対応不良検査テスト機の開発を行った。開発した2つの検査システムを用いることで、複雑な形状変化を有するワーク／微小な不良の高速検査を要求される対象に対しても柔軟に検査をすることが可能な検査システムを開発した。

2-2. 専門用語の解説

○コンピュータビジョン

「ロボットの目」に代表されるように、カメラで撮影された画像から必要な情報を抽出する技術分野を指す。この分野では、画像センシングのためのハードウェアから情報認識するための人工知能まで幅広く研究されている。研究分野を大別すると、カメラ等の画像センシング技術、画像解析技術、画像認識・識別技術、情報提示技術に分かれ、どの分野も製造業を始めあらゆる産業への適用ならびに、これを用いた産業の効率化・自動化が期待されている。

○光沢面などの反射物体

物体表面からの反射光は、散乱反射成分と鏡面反射成分に大きく分けられる。散乱反射成分は、物体表面で様々な方向に散乱される光であり、カメラ、対象の位置による画像変化が少なく、画像システムでの安定した検査に適している。一方、鏡面反射成分が強い物体は、撮影位置や照明位置により画像が大きく変化するため、検査難度が高く画像検査システムが適用できている例は少ない。

○ホログラム／ホログラフィ

三次元的な光情報を記録ないしは再生する技術。

記録する光（物体光）と記録用の補助光（参照光）を同時にホログラム材料に照射することで、2つの光の干渉パターンをホログラム材料に記録する。記録された物体を「ホログラム」と呼び、このホログラムに再び参照光を照射すると、物体光を再生することができる。このようなホログラム製造技術を「ホログラフィ」と呼ぶ。ホログラムは、写真乾板や表面凹凸加工などの様々な物体で製造できるが、本研究開発では光化学反応により屈折率変調として光干渉を記録できる材料（フォトリソグレイ）を使用している。100 μ m以下の薄い1枚のフィルムにより、光線方向を含めた3次元的な情報を記録ないし再生できる。

○ホログラフィック光学素子（HOE）

光の集光や整形等を行う用途のホログラムを、ホログラフィック光学素子（Holographic Optical Element, HOE）と呼ぶ。HOEは回折現象を利用しているため、屈折現象を利用するレンズ等とは特性が異なっている。本開発では、LEDを光源として光沢面の外観検査に適した光を生成する目的でHOEを使用している。画像システムに適した照明を物体光として記録する。一般的なCDやDVDの読取装置にはHOEが使われており、最新のヘッドアップディスプレイにも使用されている技術である。

○色分散

例えばプリズムを通る光は、光線の波長により屈折角度が変化して虹のようなパターンを生じさせる。これを色分散と呼ぶ。ホログラフィでは、回折現象により光線方向を変化させるが、回折現象では、プリズムの10倍以上の色分散を生じさせることができる。従って、ホログラフィを用いることで、薄型軽量で非常に大きな色分散を持つ素子を製造できることになる。

○コリニア方式

ホログラム製造時に使用する物体光と参照光が、ほぼ同一の光路で構築され、同じ対物レンズから2つの光を照射することでホログラムを製造する方式。物体光と参照光がほぼ同一光路のために、振動により光の変調が生じた場合でも、物体光と参照光との位相差（干渉パターン）の変化が小さく、ホログラムを超高速で製造することが可能となった。本研究開発のアドバイザーの堀米秀嘉氏の特許技術である。

最終章 全体総括

3-1. 2か年の研究開発成果

平成30年度、令和元年度の2年間にわたり、「ホログラフィック光学素子を活用した光沢面外観検査システムの研究開発」を実施してきた。

(1) 大面積の光沢面外観検査用 HOE 照明ユニットの開発

研究項目【1. 光学系の課題（HOE の高機能化への課題）】の達成により、HOE 照明ユニットのコア部品である 300 mm 角の HOE を 300mm/line/s で製造可能な装置の導入を実現した。本装置により、HOE の高速な製造が可能となり、低コストの検査装置の実現が可能となった。

また、研究項目【3. HOE 照明ユニット構築の課題への対応】の実績により、非接触かつ小型／軽量の HOE 照明ユニットの構築を実現した。

(2) HOE 照明ユニットを搭載した光沢面外観検査システム

HOE 照明ユニットを搭載した光沢面外観検査システムとして、天吊り型外観検査テスト機、ロール供給対応外観検査テスト機の2タイプのテスト機を試作した。

これらの装置には研究項目【2. 画像解析技術の課題への対応】の実績による画像解析ライブラリによる不良検出や、複雑な自由形状を有する検査対象物の検査が実現した。

3-2. 補助事業の成果に係る知的財産権等について

(1) 知的財産権の出願及び取得並びに論文掲載の有無

本補助金の成果の一部を「検査対象物の表面の凹凸を検査する方法」として特許出願した。

(特願 2020-029113)

(2) ライセンス契約等による事業展開

上記特許は、外観検査時における光沢表面上に存在する対象物へのピント調整等の作業を容易にするものであり、【1-2 大面積HOEの高速製造技術の開発】でのHOE性能評価装置による実験、ならびに【3-2 外観検査システムの開発】での天吊り型外観検査テスト機での実験に基づき構成したものである。当該技術は、HOE照明ユニットを用いた高精度な検査を高効率で実施するために必要なものである。本技術のライセンス供与は想定していないものの、当該技術にて使用される物品を、HOE照明ユニットのオプション品として、ライセンス料を含めた形で提供することで収益を得ることを計画している。

3-3. 補助事業の成果に係る事業化展開について

(1) 想定している具体的なユーザー、マーケット及び市場規模等に対する効果

【想定する国内、海外市場（現状、今後の動向）】

現在目視検査が実施されている自動車外装部品等の大型光沢部品を第一ターゲットとする。国内の自動車メーカー、部品メーカーにて実績を構築し、海外への拡販を目指す。

また、自動車部品に限らず光沢部品検査が可能であり、電子機器やヘッドアップディスプレイ等の透明部品、大型テレビ等の高機能フィルム部品の分野への展開を進める。

また、本研究開発システムを用いれば、従来目視検査である工程が、デジタルデータとして記録できることも非常に有意義である。ドイツが主導するインダストリー4.0や日本でのコネクテッド・インダストリーなどに関連して、10年で400兆円も投資されると見積もられている（図46参照）。また、実際の生産状況データを管理システムと融合して生産効率化を図るには、生産状況をデータ化できるセンサ技術が重要となる。従来技術では、光沢面凹凸不良データを管理システムと融合させることは不可能だったが、本研究開発システムでは可能となる。従って、インダストリー4.0のキーワードの1つ「生産効率化」に有用なシステムとして、国内および海外での市場開拓を目指す。



図46. インダストリー4.0に関連する投資額の見積（2013年～2022年）
（提供:Industrial Ethernet Book Source: Industrial IP Advantage）

【川下企業（顧客）ニーズ】

コンピュータビジョン向けの照明ユニットでは、一般的な光学部品レイアウトが確立されているものの、自動検査が実現困難な対象物体が多く、人による目視検査や抜き取り検査に頼らざるを得ないことが多い。本研究開発システムは、従来諦めざるを得なかった検査工程の自動化を望むことができる。さらに、コンピュータビジョンによる自動外観検査を実現する波及効果として、表面凹凸不良の詳細情報の記録可能となり、工程改善に繋がることが期待できる。従って、本研究開発システムは、川下企業からの実用化ニーズが極めて大きい。

【販売促進戦略】

開発する照明ユニットは、製品製造ラインへの適用性が高く、開発完了後初年度から売上げを見込む。2～3年度目には、初年度の実績を武器に、国内外の展示会への出展や商社との連携を積極的に推進して、カタログ販売に着手する。これら販売促進戦略により、HOE照明ユニットの市場認知度を高める。

また開発完了後初年度中に、国内のシステムインテグレータ企業と連携して、HOE照明ユニットを活用した外観検査システムの試作機の設計製作を開始する。これにより実績を積み、また、上記のHOE照明ユニットの認知度向上の施策と組み合わせることで、3～4年度目に本格販売を目指す。

【知財戦略】

ホログラフィック回折光学素子（HOE）を用いた光沢面外観検査用の照明や設備システムは、国内外の他社に存在しておらず新規性と進歩性が極めて高い。本研究開発での成果となる大面積HOEの高速製造技術や画像解析技術なども全て権利化可能であり、これら複数の技術を個別ないしは適切に融合して権利化することで、競合他社への優位性を確保することが可能である。

（２）事業化見込み（目標となる時期・売上規模）

事業化に至るまでのスケジュール

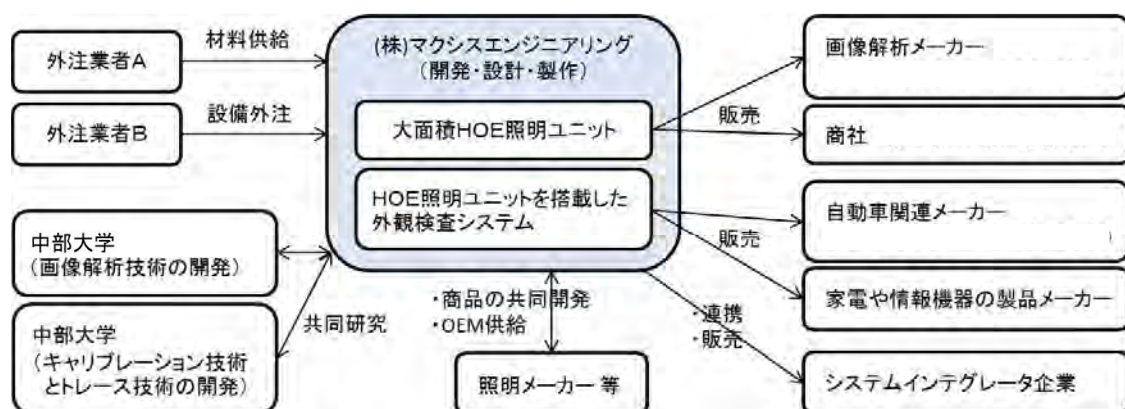
製品等の名称		樹脂材料・塗装面等を対象とした光沢面外観検査用大面積HOE照明ユニット				
開発事業者		株式会社マクシスエンジニアリング				
想定する出荷先		画像解析メーカーや、商社など				
スケジュール	事業年度	平成 32 年度	平成 33 年度	平成 34 年度	平成 35 年度	平成 36 年度
	サンプルの出荷・評価	→				
	追加設計開発	→	→	→		
	製品等の販売		→	→	→	→
	OEM供給				→	→
売上見込	売上高（千円）	10,000	20,000	50,000	100,000	200,000
	販売数量	10	20	50	100	200
	売上高の根拠	現状の外観検査工程では、目視検査が主流であり、かねてより自動化が切望されている。従って、対応を迫られている画像解析メーカーが多いのが現状である。本研究開発のHOE照明ユニットの実現により、検査工程の自動化が実現できるため訴求力は極めて高い。 販売価格は1台100万円を想定する。同等機能を現状で実現するには、2,000万円を超える専用設備や300万円以上の照明ユニットを導入する必要があるため、競争力の高い価格設定と考える。 本研究開発システムを導入すれば、目視検査員を省人化できるため費用対効果が高い。販売実績を積上げることで商社を介した拡販に繋がり、目標とする販売数量を十分達成できると見込む。				

製品等の名称	HOE照明ユニットを搭載した光沢面外観検査システム
--------	---------------------------

開発事業者		株式会社マクシスエンジニアリング				
想定する出荷先		自動車関連メーカーや、家電・情報機器の製品メーカーなど				
スケジュール	事業年度	平成 32 年 度	平成 33 年 度	平成 34 年 度	平成 35 年 度	平成 36 年 度
	サンプルの出荷・評価					
	設備開発					
	検査機として販売					
	応用展開					
売上見込	売上高（千円）	20,000	100,000	500,000	1,000,000	1,000,000
	販売数量	2	10	50	100	100
	売上高の根拠	特に自動車関連メーカーから、製造品の自動外観検査が可能ならば今すぐにでも導入したい、というニーズを既によく聞く。自動車関連メーカー以外にも家電や情報業界など、多分野の応用展開先も考えられる。 価格は1台1,000万円を想定している。従来の技術製品は、価格が2,000万円を超えるわりには検査時間が長いため、競争力は高い。また、目視検査員の削減による費用対効果が極めて高いため、本価格での計画販売数量の達成を見込む。				

（３）事業化に至るまでの遂行方法や今後のスケジュール

【販売先、川下製造業者等の事業化の体制】



【事業化への実現性】

現時点においても、自動車の塗装検査や家電・情報機器の製品外観検査は、ほとんどが目視に頼っているのが現状であり、どのメーカーも多数の検査員を配置せざるを得ない状況と昨今の人出不足から自動化を望む声はかなり多い。その中でも特に光沢面の外観検査においては、強力な照明の照り返しによって目に対する負担も多く、微細な傷も目立つことから検査基準も厳しい現実が存在している。しかしながらその検査の困難さから、カメラを用いた画像解析が多岐にわたって実用されてきている中でも自動化が進んでいない市場でもある。今回の提案においては従来にない機能を有する照明ユニットの開発のため、顧客への訴求性は高いと考えており、弊社の得意とする自動車産業のみならず、フィルム産業や半導体産業等、様々な製造業への適用も可能であることから、その市場は広いと考えられる。

この中で迅速にマーケットを構築するために自社販売のみに拘らず、設備メーカーや商社へのユニット供給も行い、各設備メーカーの販売網でも展開していく予定としている。実際に設備メーカーへの提案を行ったところ、良好な反応が得られている。さらには直ぐにでも検査機として評価運用をしていきたいという事例も発生してきており、専用検査機として構築していく事で大きな付加価値を得ることも想定されてきている。

また、既存のLED照明にフィルム（ホログラフィック回折光学素子）を付与することで新機能を実現することができるため、ホログラフィック回折光学素子を照明機材メーカーに供給し、自社LED商品として販売することも計画している。この際、LED照明を弊社にOEM供給する体制を整えることで事業が本格化し、照明ユニットを大量生産するフェーズにおいても高品質の維持と量産性の確保が可能である。これらの取り組みを実施することにより、マーケット拡大の実現性は非常に高い。

これらの上記取り組みを実施した場合でも、コアとなるホログラフィック回折光学素子の製造技術が弊社にのみ存在するため他社参入は困難であり、独占的に事業を継続することが可能であることで優位性も担保出来ることが、事業的に大きなポイントとなっている。