

# 人の視覚特性を再現可能とした レーザースペックル測定装置

株式会社オキサイド

代表取締役社長 古川 保典

(株)オキサイド	オキサイド-久保田研究室	久保田 重夫
(株)オキサイド	オキサイド-久保田研究室	鈴木 幸司
(株)オキサイド	レーザ事業部	伊藤 健吾
(株)オキサイド	オキサイド-久保田研究室	福井 達雄

## はじめに

可視レーザーを光源として画像を表示するレーザーディスプレイは、究極の映像技術、次世代新映像情報端末として大きな期待を集めている。色再現性の高さは、LED光源よりもはるかに高く、放送規格として先に国際標準となった、いわゆるスーパーハイビジョン ITU-R 勧告 BT-2020 の色再現範囲を完全に網羅できるのは、レーザーディスプレイだけである。さらに、レーザー光源を大画面 LCD パネルのバックライトに用いると、光の利用効率が高いために同型の LCD-TV と比べて消費電力が半分程度となり、省エネ社会へ大きく貢献する。我が国は、世界に先駆けてレーザーディスプレイの研究開発に注力し、産学を挙げて世界のリーダーシップをとっている。また、近年、我が国の緑色半導体レーザーが従来性能の壁を突破し、世界の注目を浴びている。

実際の製品としては、劇場用の大型プロジェクターや、携帯可能な超小型プロジェクター、その応用製品である車載用 HUD (Head up Display)、さらにバックライト方式の TV がすでに上市され、今後の普及が期待されている。

このような状況の中で、スペックルと呼ばれ

るレーザー特有の現象に議論が集中している。スペックルがディスプレイの画質を劣化させるからである。このスペックルの測定や低減については、世界各国、企業ごとに、まちまちの手法が適用されていた。その結果、製品性能の客観的な比較や、スペックル対策についても定量的な指標からの議論が不可能であり、市場の健全な発展を阻害する懸念があった。

## 開発のねらい

ここでスペックルについて簡単に説明する。スペックルとは、観視者の視覚システムのセンサー面(例えば人間の場合には網膜)上において、レーザーのようなコヒーレント性の高い光源の散乱光が干渉する結果形成される、ランダムな光強度のパターンである。図1にその発生の模式図を示す。

投影画像のスクリーンは粗面であるため、散乱された光はランダムな位相変化を受ける。これが観視者の瞳で回折され、網膜上では干渉が起こり、位相変化に応じたランダムな干渉パターンもった強度分布、すなわちスペックルが観察される。また画像としては元信号に存在しないノイズ成分であるため、スペックルノイズと称されることもある。

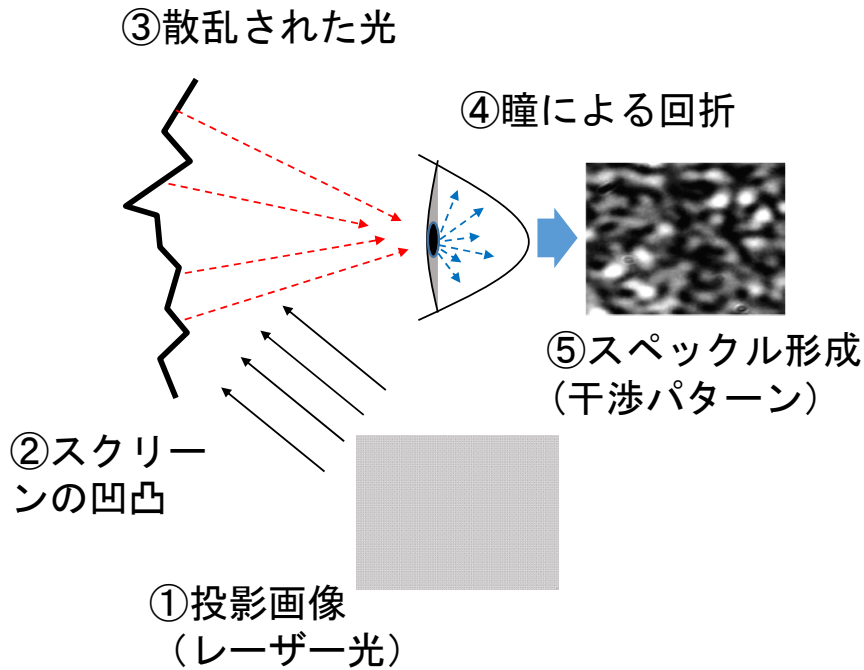


図1 人の瞳によるスペックル形成

その学術的な研究は、レーザー発明当初からなされている。定量指数として、取得された画像の数値解析から、輝度分布の標準偏差 ( $\sigma$ ) と平均 ( $I$ ) の比をもって、スペックルコントラスト ( $C_s$ ) が定義されている (図2)。

レーザーや光学の専門家は、それぞれに工夫を凝らし、 $C_s$  を測定してきた。一方、誰でもが容易に測定可能な装置を提供することは、これまでになされていなかった。これは、スペックルが観察系の内部発生するため、測定装置は人の目の光学特性を忠実に再現しなければならない

という困難さがあることが一因である。

この問題を解決し、一般の技術者が容易にスペックルコントラストを測定することを目的として、本測定法および装置は開発された。

### 装置の概要

人の視覚特性を再現したスペックルを正確に撮像し、解析するという点が本装置の根幹である。弊社の研究の結果、次の点が明らかになり、スペックル測定方法が新規に提案された。

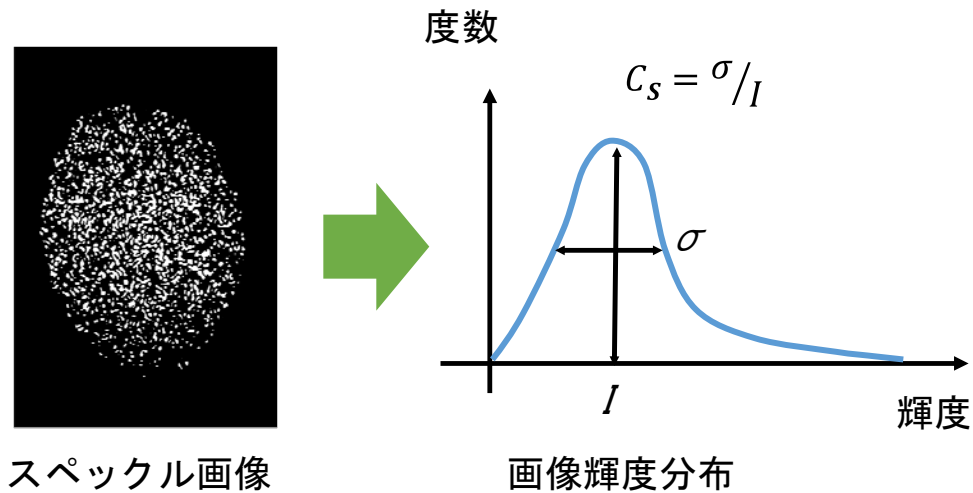
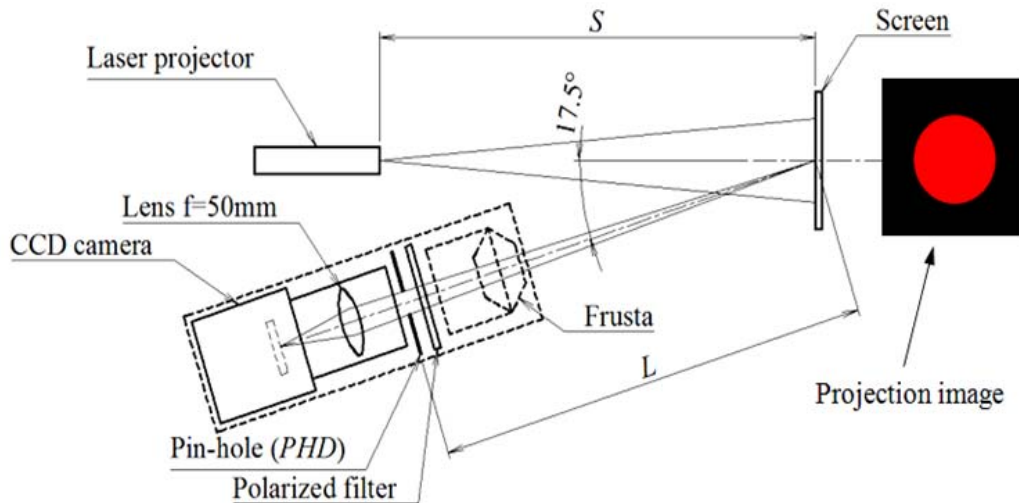


図2 スペックルコントラスト



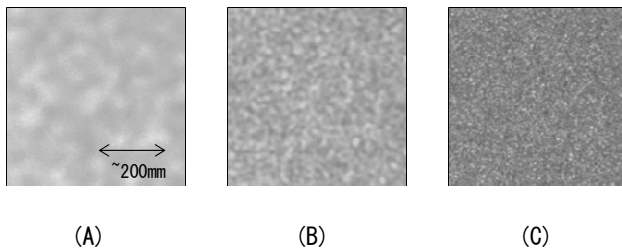
K. Suzuki, et.al, OPTICAL REVIEW 21, 94-97 (2014) より引用

図3 スペックル測定光学系

- ・ 人の目の光学的特性を再現するには、規格化された自己相関関数を用い、測定光学系の光学的応答特性を評価することが必要である。
- ・ その結果、ある特定サイズのアパーチャを持った撮像光学系が必要である。

これらについては、理論および、実験によりたびたび検証を行った。また主要学術誌への投稿や学会発表を通じて議論がなされ、妥当性が検証された。この結果開発された測定手法の原理を図3に示す。

一例として、アパーチャ径を変化させて撮像されたスペックル像を図4に示す。アパーチャ径に反比例して平均スペックル粒径は小さくなり、ついには人の目の分解能を超えてスペックルコントラストの意味を持たなくなることがよく分かる。



アパーチャ径 (A) 0.4mm、(B) 1.2mm、(C) 3.0mm

図4 観察されたスペックル像

## 技術上の特徴

本開発の製品化にあたっては、スペックルに固有の輝度ダイナミックレンジの大きなランダムパターン画像を忠実に取得し、解析するための様々な工夫がなされている。

構成部品の特性を把握し、本測定方法に合わせてカスタマイズすることや、独自のキャリブレーションを施すことで、測定精度と再現性を担保している。たとえば、撮像性能については、低ノイズと入出力応答の線形性が重要であることが開発中に判明し、メーカーに A/D 変換器の



図5 開発された測定装置(撮像部)外観

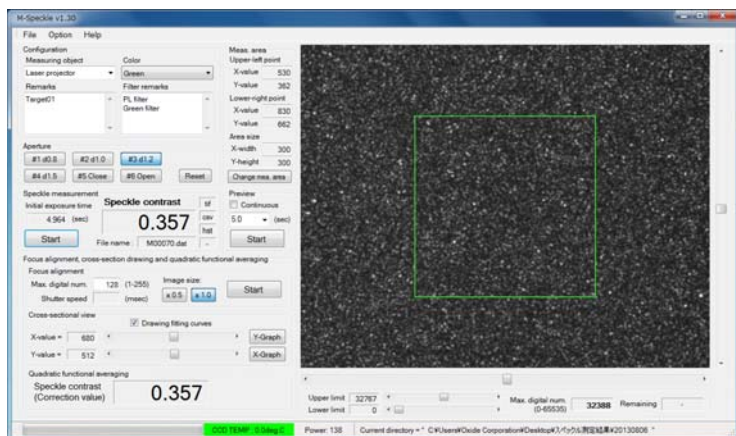


図6 測定画面の例

ノイズ設定に特別仕様を提示し製造にあたらせたうえ、個別の性能検査と必要な補正を行うことで、最終製品の性能保証をしている。

開発された測定器は、手持ちカメラサイズへの小型化・軽量化がなされ、三脚に設置可能なサイズに集積されている。これにより実験室だけでなく、劇場や自動車内などを含め、実使用環境での測定がはじめて可能となった(図5)。

測定器としては、ユーザビリティが重要であるため、ソフトウェアの開発を同時に進めた。レーザーやスペックルの専門家でないプロジェクト開発者や測定者への利便性を考え、パソコン上で動く GUI を備えた測定制御・解析ソフトウェアが、新規に製品に組み込まれた。これには、測定時間の自動設定、照明ムラの補正等の機能を備えている。したがって、本製品のユーザは、被験対象をセットし、簡便な操作で、スペックルコントラストを自動で測定することが可能である。

図6に、測定画面の例を示す。

## 実用上の効果

本製品を用いたスペックルコントラストの測定結果が、他の測定法と比べ、スペックルの視認性を評価した人間工学的実験結果ともっとも一致するという結論が得られている。

これまで評価が非常に困難であったスペックルコントラストが本製品により測定可能とな

り、レーザーディスプレイ開発に大きな貢献があったという声が寄せられている。

さらに現在レーザーディスプレイの標準化が、IEC TC110 WG10および国内ミラー委員会 (JEITA DD 標準化委員会 レーザーディスプレイグループ) にて議論されている。その中で、スペックルコントラスト測定は、人の視認性を再現する手法によるとのことが指摘され

ており、これは、本製品の設計指針と一致する。国際標準化がこうした方針で設立される場合、本製品は規格の実際の運用においても大きな貢献を果たすと考えられる。

## 知的財産権の状況

本開発品の装置に関する特許登録は下記の通りである。

日本国特許公開番号 2014-032371 (審査請求中)  
名称：スペックルコントラスト発生器及びスペックルコントラスト評価装置

概要： スクリーン上に制御されたスペックルコントラストを任意に発生させ、このスペックルコントラストから人の目を基準にしたスペックル許容限界を定量化するスペックルコントラスト評価器

## むすび

これまで定量化が困難であったスペックル測定に、正確な「ものさし」を、世界で初めて提供したという点で、本開発は画期的なものである。

これまで専門家のみが可能であったスペックルコントラストの測定が、本開発の成果により、プロジェクトの開発者や現場の作業員など、多くの技術者が行えるようになった。本開発は画像品質の客観的評価器として、レーザーディスプレイの発展に大きく寄与するものである。