

2023 年度年次報告書

社会課題解決を志向した革新的計測・解析システムの創出

2022 年度採択研究代表者

高橋 哲

東京大学 大学院工学系研究科

教授

計測標準と情報科学を援用した先端精密計測の卓越進化:10nm 超解像光学ルーペの開発

主たる共同研究者:

大竹 豊 (東京大学 大学院工学系研究科 教授)

三隅 伊知子 (産業技術総合研究所 計量標準総合センター 研究グループ長)

## 研究成果の概要

本年度は、提案超解像ルーペ実現にあたり、大きく、①提案超解像法確立のための最重要仮説の理論的実証、②実証実験のための基本顕微デバイスの試作、超解像ルーペ・ナノ擾乱層の各種アプローチ検討、③提案原理拡張展開による新概念の AI 駆動位相計測法の提案、同基本概念の実証、を進めた。具体的には、以下のようになる。

### ① 提案超解像法確立のための最重要仮説の理論的実証

提案超解像ルーペの基本物理原理は、構造化照明超解像顕微法の超解像原理(高空間周波数での物体と光の相互作用情報を遠隔場伝搬光波に重畳する系において、複数条件下における高空間周波数重畳遠隔場伝搬光波光場群から、回折限界を超越した空間周波数成分を解く)に基づくが、特に提案法では、複数条件下での情報取得の代わりに、(ナノ擾乱層による複数条件下での学習情報を活用することで)単一条件下での情報取得のみで超解像空間周波数成分の算出を行うといった特徴(=最重要仮説)を有する。昨年度に構築した、マクスウェルの方程式に基づいた物理数値シミュレータにより、該当最重要仮説が成立していることを明らかにした。

### ② 実証実験のための基本顕微デバイスの試作、超解像ルーペ・ナノ擾乱層の各種アプローチ検討

現場学習環境内へ設置可能な特殊な超小型顕微システムを設計、試作した。これは、開発超解像ルーペが発現する空間周波数取得特性の客観的実験評価のために活用される。また超解像ルーペ構造要素であるナノ擾乱層について、大きく、ナノ基準周期構造加工型、エッチング・ランダム粗さ形状活用型、ナノ粒子自己組織化構造活用型、バイオ構造適用型について整理し、特にナノ粒子自己組織化構造活用型における超解像特性を理論的に明らかにした。

### ③ 提案原理拡張展開による新概念の AI 駆動位相計測法の提案、同基本概念の実証

提案超解像ルーペの基本原理・普遍的拡張により、構想された AI 駆動位相計測法について、基礎実験装置を試作し、同基本概念の実証に成功した。これは、提案超解像ルーペ基本原理の妥当性実証の意味を有するほか、全く新しい光波位相計測法の可能性を明らかにしたものである。

## 【代表的な原著論文情報】

- 1) Yizhao Guan, Shuzo Masui, Shotaro Kadoya, Masaki Michihata and Satoru Takahashi, Super-resolution Imaging of Sub-diffraction-limited Pattern with Superlens based on Deep Learning, International Journal of Precision Engineering and Manufacturing (IJPEM), *in press*.