

力学機能のナノエンジニアリング
2019年度採択研究者

2021年度 年次報告書

垂水 竜一

大阪大学 大学院基礎工学研究科
教授

材料多様体のマルチスケールメカニクス

§ 1. 研究成果の概要

本年度は、微分幾何学を用いた格子欠陥の数理理論を確立させるとともに、これを応用することによって、任意の転位配置に対してナノスケール力学場を決定するための数値計算法の確立を行った。今年度の具体的な研究成果は次のようにまとめることができる。

- (1) 転位芯近傍の塑性変形場を決定する Cartan の第一構造方程式に対する Helmholtz 分解の適用と、それに伴う Cartan の第一構造方程式に対する境界条件の設定
- (2) Cartan の第一構造方程式に対する数値計算法(アイソジオメトリック解析)の確立
- (3) 弾性・塑性の両境界条件を考慮したナノスケールにおける格子欠陥力学場の決定
- (4) Eshelby twist を含むナノワイヤーをリング形状へ変形させた新しいトポロジカル格子欠陥の力学解析
- (5) 微分幾何学により得られた応力場と確率微分方程式を組み合わせたコットレル効果の実時間シミュレーション
- (6) 接続の取り換えによる転位と回位の同値性の証明と、ホロノミーを用いた回位のフランクベクトル決定

これらの成果の中でも、とりわけ Cartan の構造方程式に対して行った一連の研究は、塑性変形に対する自由表面の影響を始めて明らかにしたもので、極めて高い学術的独創性を有している。体積に対して表面積の割合が増加するナノスケールでは、材料の力学特性は表面効果を受けるが、これまでその効果は弾性変形に限られると考えられてきた。これに対して、本研究で得られた成果は、表面は材料の塑性変形にも影響を与えることを理論と数値計算の双方から定量的に明らかにした。この成果は、ナノスケールにおける材料力学理論を構築するにあたって、必要不可欠な基盤になると考えられる。

【引用した原著論文情報】

- (1) “Geometrical Modelling and Numerical Analysis of Dislocation Mechanics”
S.Kobayashi & R.Tarumi
<https://arxiv.org/abs/2205.02443> (in review)
- (2) Weitzenböck 多様体によるらせん転位のモデル化と数値解析
小林舜典, 垂水竜一、機械学会論文集 2021 年 87 巻 894 号 p. 20-00409
(機械学会論文賞)
- (3) Weitzenböck 多様体による刃状転位のモデル化と数値解析
小林舜典, 垂水竜一:機械学会論文集 2021 年 87 巻 896 号 p. 21-00031
- (4) Fokker-Planck 方程式を用いた Cottrell 雰囲気形成過程の数値解析
谷山真希, 小林舜典, 垂水竜一:機械学会論文集 2022 (in press)