



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	The Study of Varying Weights in Rational Basis Functions in Isogeometric Large-Displacement Analysis of Beams [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	Duong, Nghi Huu
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第16344号
Issue Date	2025-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/95019
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Nghi_Huu_Duong_review.pdf, 審査の要旨



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称	博士 (工学)	氏名	Nghi Huu Duong
審査担当者	主 査 教 授	松本 高志	
	副 査 教 授	佐藤 太裕	
	副 査 教 授	宮森 保紀	
	副 査 教 授	Pruettha NANAKORN	(タイ・タマサート大学・SIIT)
	副 査 准教授	古川 陽	

学位論文題名

The Study of Varying Weights in Rational Basis Functions in Isogeometric Large-Displacement Analysis of Beams

(梁のアイソジオメトリック大変位解析における有理基底関数の重み付けに関する研究)

梁構造の数値解析は、複雑な形状を特徴として大変位を受ける現代の非従来型構造の要求に対応するために発展してきた。有限要素法 (FEM) は、その汎用性の高さから広く利用されており、従来の FEM は、運動学的未知数や参照形状の多項式補間に依存していた。しかし、FEM で複雑な形状を正確にモデル化するには、メッシュを細かくする必要があり、メッシュ生成のコストと難易度が高くなる。

アイソジオメトリック解析 (IGA) は、形状表現と解析の両方に非一様有理 B スプライン (NURBS) などのコンピュータ支援設計 (CAD) の基底関数を直接用いることにより、この問題に対処する。このアプローチは、CAD 基底関数の高い連続性により補間品質を向上させてメッシュ生成の労力を削減する。形状表現では、NURBS の重みを設計変数として組み込むことで、柔軟性と精度が向上することが示されている。しかし、IGA は従来、初期形状の表現をするために一定の重みを用いてきた。領域が大変形するような幾何学的非線形解析では、固定された一定の重みでは変形した形状を正確に表現できなくなる可能性がある。NURBS の重みを自由度 (DOF) として扱うことによってアイソパラメトリックの概念を緩和し、IGA の適応性と効率を高めることができる。

本研究は、大変位・小ひずみ解析のための新しい平面 IGA 曲線オイラー・ベルヌーイ梁要素およびティモシェンコ・エーレンフェスト梁要素を開発することを目的としている。これらの要素は近似に NURBS を使い、NURBS の重みを自由度として扱う。このアプローチは、解の精度、DOF の収束性、ひずみの回復、ロッキングの緩和の観点から評価され、幾何学的近似と全体的な性能を向上させるものである。

本論文は全 6 章から構成されており、各章の内容は以下のとおりである。

第 1 章では、研究の背景をまとめており、研究の目的・範囲を示している。NURBS に基づいた IGA では、アイソパラメトリックの概念により、NURBS 基底関数に固定された一定の重みを使用して、参照形状と運動学的未知数の両方を定義する。初期領域には有効であるが、これらの重みは大きく変形した領域には適さないことがある。そこで本研究では、特定の NURBS の重みを自由度として扱い、アイソパラメトリックの概念を緩和することで、大きく変形した領域をよりよく近似し、性能を向上させる。

第2章では、文献をレビューすることで、大変位解析、IGA、NURBS、梁解析に関する研究など、このトピックに関連する理論や学術論文を包括的にまとめている。さらに本章では、既存のギャップやさらなる研究の必要性についても強調している。

第3章では、複雑な形状を正確にモデリングするために、コンピュータ支援設計、コンピュータグラフィックス、IGAで広く使用されている数学的表現であるNURBSについて紹介する。具体的には、オイラー・ベルヌーイ梁には平面3次NURBSを用い、ティモシェンコ・エーレンフェスト梁には平面2次NURBSと平面3次NURBSを用いる。

第4章では、曲線座標系、3次NURBS、重み変化の概念、小ひずみおよび薄い梁の仮定を組み込んだ、大変位・小ひずみ解析のための平面曲線オイラー・ベルヌーイ梁要素を開発している。また、導出されたひずみ成分の物理的意味を明確にしている。5つの梁の問題において、精度、自由度の増加に伴う収束性、ひずみの回復、ロッキングの緩和を評価し、提案された重み変化要素を重み一定要素に対して検証している。

第5章では、曲線座標系、2次および3次NURBS、重み変化の概念、小ひずみおよび薄い梁の仮定を組み込んだ、大変位・小ひずみ解析のための平面曲線ティモシェンコ・エーレンフェスト梁要素を開発している。導出された小ひずみの定式化は、有限ひずみの定式化よりも単純である。提案された梁要素は、4つの梁の問題を解くことによって評価されている。

最後に第6章では、本研究の結論として得られた知見と結論をまとめ、今後の課題を示している。得られた結果は、精度において一貫して重み一定要素を上回り、重み変化要素の効率性とロバスト性を示すとともに、ロッキング効果の緩和も示している。オイラー・ベルヌーイ梁では、ひずみの回復においても優位性が見られる。ティモシェンコ・エーレンフェスト梁では、重み変化要素にロッキングフリーな特性が得られ、従来のロッキングフリーな要素と比較して大幅に低い計算コストで同等の精度が得られることを示している。

これを要するに、著者は、複雑な形状と大変位を伴う梁の問題に対して、NURBSの重みを自由度とした梁要素によるIGAにより、解の精度、収束性、ひずみの回復、ロッキングの緩和の性能についての知見を得たものであり、構造工学、計算力学に貢献するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格あるものと認める。