

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	Development of compliant electrostatic chuck with hairy micro-structure
著者(和文)	RADONDHELIKA
Author(English)	Radon Dhelika
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第9971号, 授与年月日:2015年9月25日, 学位の種別:課程博士, 審査員:齋藤 滋規,京極 啓史,高橋 邦夫,山本 貴富喜,村上 陽一
Citation(English)	Degree:, Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第9971号, Conferred date:2015/9/25, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第		号	学位申請者氏名		DHELIKA RADON	
論文審査 審査員		氏 名		職 名			
	主査	齊藤 滋規		准教授		村上 陽一	准教授
	審査員	京極 啓史		教授			
		高橋 邦夫		教授			
		山本 貴富喜		准教授			

論文審査の要旨（2000 字程度）

本論文は「Development of compliant electrostatic chuck with hairy micro-structure（微細毛構造を持った柔軟静電チャックの開発）」と題し、以下の 7 章よりなる。

第 1 章“Introduction（序論）”では、製造業の自動化において、ロボットハンドなど機械的な機構では損傷を受けやすい物体を、傷つけることなく信頼性高く把持・離脱する機能の重要性を述べ、そのような機能の実現を目指した静電チャック（electrostatic chuck, ESC）に関する過去の研究を概観し、課題を明らかにしている。すなわち、粗さを持つ対象物体の表面を傷つけずに把持・離脱を行うには、物体が接触する面における静電チャックの柔軟性や電極配置が重要であり、先端に電極を配置した微細毛構造を静電チャックに持たせることの有効性を理論・実験の両面から明らかにすることが、本論文の目的であると述べている。

第 2 章“Theoretical basis of compliant ESC（柔軟静電チャックの理論的基礎）”では、柔軟静電チャックとして単極型および双極型の 2 つを提案し、各々の機械的性質と静電的性質をモデル化することで、対象物体に対する柔軟静電チャックのフォースカーブを理論的に導出している。すなわち、各微細毛の曲げ剛性を線形バネとしてモデル化し、微細毛先端に発生する静電力を、単極型の場合は平行平板キャパシタの極板間引力、双極型の場合は（有限要素法の数値解析にて得られる）静電勾配力としてモデル化し、各微細毛と柔軟静電チャック全体の力学的振舞いを理論的に予測可能であることを明らかにしている。

第 3 章“Fabrication of monopolar compliant ESC（単極型柔軟静電チャックの製作）”では、単極型柔軟静電チャックの例として、熔融紡糸による静電誘導ファイバーを用いた試作（結束式、配列式）とエッチング法によるメタルマスクを用いた試作（一体式）を行い、導体を対象としたフォースカーブ計測などによる性能評価を行うことによって、単極型柔軟静電チャックの有効性を明らかにしている。すなわち、直径 $70\mu\text{m}$ の静電誘導ファイバーを 200 本束ねた結束式、直径 $250\mu\text{m}$ の静電誘導ファイバーを等間隔で 10 本並べた配列式、メタルマスクにて先端寸法 $50\mu\text{m} \times 100\mu\text{m}$ の 50 本の微細毛構造を平面内に実現した一体式の試作デバイスに関して、十分な発生静電力を得られることを明らかにしている。加えて、理論上の発生静電力からの下落率は配列式が最も低く、単位面積あたりの発生静電力は一体式が最大であることを明らかにしている。さらに、直径 2mm、長さ 10mm のアルミ箔製のパイプ状試料を用いた把持・離脱実験を行い、提案するデバイスの有効性を明らかにしている。

第4章“Fabrication of bipolar compliant ESC（双極型柔軟静電チャックの製作）”では、双極型柔軟静電チャックの例として、エッチング法によるメタルマスクを2枚積層させた試作を行い、誘電体を対象としたフォースカーブ計測などによる性能評価を行うことによって、双極型柔軟静電チャックの有効性を明らかにしている。すなわち、第3章で示した一体式の単極型柔軟静電チャックを2枚積層することにより双極型柔軟静電チャックを実現し、誘電体に対し十分な発生静電力を得られ、多くの場合、有限要素解析の結果とよく一致することを明らかにしている。加えて、フォースカーブの概形が異なり、発生静電力が有限要素解析結果から大きく下落する場合について、隣あう微細毛先端の静電引力による変形、2枚積層時の位置決め誤差、対象物の表面電荷密度がその原因である可能性を示唆している。さらに、シート状のポリマーや紙などを対象とした把持・離脱実験を行い、提案するデバイスの有効性を明らかにしている。

第5章“**Influence of object's surface roughness**（対象物の表面粗さの影響）”では、微細毛構造を持った柔軟静電チャックが表面粗さの異なる対象物に対しても有効に機能することを明らかにしている。すなわち、単極型、双極型の両方について、複数の微細毛が正弦波断面形状表面を有する対象物を把持・離脱する際のフォースカーブを理論的に導き、微細毛の柔軟性が発生静電力向上には重要であることを定量的に明らかにしている。加えて、単極型のデバイスを用いて、さまざまな振幅の正弦波断面表面に対する理論的予測とよく一致することを明らかにしている。さらに、双極型のデバイスを用いて、ランダムな表面粗さを持つ紙や布などを把持・離脱する実験により、デバイスが実際のシート状の誘電体に対して有効に機能することを明らかにしている。

第6章“**Design consideration for force improvement**（発生力向上のための設計検討）”では、単極型デバイスおよび双極型デバイスにおいて、微細毛先端における電界形状の効果、および、微細毛配置方向に依存する先端表面帯電量の変化を理論的に検討し、デバイスの更なる性能向上のために有効な設計指針を明らかにしている。

第7章“**Conclusion**（結論）”では、各章で得られた結論を総括している。以上を要するに本論文は、静電チャック接触面に微細毛構造を導入し、表面接触時における柔軟性を確保することによって、導体・誘電体を問わず、表面に粗さがある物体の容易な把持・離脱が可能であることを明らかにしたものであり、工学上、工業上貢献するところが大きい。よって本論文は博士（工学）の学位論文として十分な価値があるものと認められる。