

軟質媒体の超大変形接触および非線形力学モデル解析と ハンドリング機器開発への応用

学位論文内容の要旨

近年大きく発展している情報機器の中で、軟質媒体としての紙を扱う情報端末装置として、プリンタ、複写機、印刷機、現金自動取扱装置 (Automated Teller Machine : ATM) が広く普及している。それらにおける紙のハンドリング技術が、その製品の信頼性や性能にとって重要な技術である。しかし、紙のような軟質媒体は変形が非常に大きく、幾何学的非線形性が強く、物性が複雑であり、さらに材料非線形性も強い。そのため、これらを十分考慮した紙の大変形に関する研究は非常に少ない。また、後述するようページめくり挙動は、紙の座屈現象に対応し、座屈後の変形 (ポストバックリング変形) をも考慮しなければならないため、その解析はほとんど行われていない。

前述の情報端末機器のうち、プリンタや複写機などでは、1枚1枚のカット紙に印字するため、紙を薄板の剛体に近い扱いをすることができるが、通帳プリンタのように、冊子に印字するプリンタでは、複数のページにまたがって印字するため、ページをめくって印字するページを表面に出す必要がある。通常はゴムローラなどの接触によりページをめくる機構を採用しているため、紙とローラとの間の大変形における接触問題の解析が重要である。また、ページめくりに要する時間の短縮が課題であり、このため、ミス無くページをめくることのできる機構が必要とされる。

また、紙などの軟質媒体ではしわの発生を避けて通ることはできない。しわを有する紙を使用した場合、上記現金自動取扱装置 (ATM) やプリンタ機器内で紙の搬送中にジャム (紙詰まり) が発生する可能性がある。紙のジャムは、一旦発生すると、自動的にジャムを取り除くことは現状では不可能である。処理時間の短縮と機器保守の観点から、可能な限りジャムの頻度を少なくする必要がある。このため、これらの機器では、しわを伸ばす機構についても考える必要がある。

本論文では、幾何学的非線形性を考慮するとともに、摩擦などの接触問題も非線形理論を応用して、構造が簡単で従来に比べ高速なページめくり機構を開発に関する研究について述べる。また、プリンタ、複写機、印刷機などで扱う紙は一般的にはしわや折れが存在しない、平らな紙である。しかし、現金自動取扱装置 (ATM) などにおいては、市中で流通した紙幣を取り扱うため、しわや折れ、破れがある場合があり、

本要因がジャムや破損などのトラブルの原因になる。そこで、しわを伸ばす機構を開発し、その効果についても検討した。

本論文の構成は以下のようである。

第1章は緒言であり、従来のページめくり機構の技術と問題点および、しわ伸ばし機構の技術と問題点について述べ、本論文の意義を述べている。

第2章は、大変形を扱うための増分理論のうち、Updated Lagrangian Approach（超大変形理論）について式を定式化した。さらに、接触問題の取り扱いを可能とするよう、Penalty 法による接触理論を適用し、有限要素法のアルゴリズムを示し、それに基づいた解法を提案した。この解法を用いて、軟質媒体である紙の超大変形挙動を解析し、その座屈および座屈後の変形を求めた。また、中実および中空のゴムローラとの接触により、紙が変形する過程を示し、ページめくり挙動における紙の基本的な変形挙動を求め、その妥当性の検討を行なった。

第3章は、ページめくり技術の開発について述べている。第2章で示した結果より、ページめくりに最適な新ローラを提案し、実機での試験により、ページめくりの信頼性が飛躍的に向上し、また、ページめくりに要する時間も短縮できることを示した。

第4章は、紙のしわ伸ばし技術の開発について述べている。しわを有する紙の引張試験を行なって、その機械的特性を調べ、変形が3つの領域に分かれることを示した。この変形領域を検討することにより、それらの領域が、1) 引張りの初期段階に見られる繊維間のすべりに支配される変形が大きな領域、2) 繊維の弾性変形に支配される引張力と変形が比例関係を有する領域、および3) 破断直前に見られる繊維の塑性変形に支配される領域、であることを見出した。次に、しわを有する紙に加えた熱が機械的特性に及ぼす影響を検討し、加圧しながら加熱することによりしわを伸ばすときの圧縮量と変形量との関係を近似式として提案した。この近似式を用いた紙のしわ伸ばしのメカニカルモデルを提案し、それによる解析結果と実験結果が一致することを示した。

第5章は結言であり、本研究で得られた結果を要約し、将来の展望について述べている。

本論文で、著者は、軟質媒体である紙の超大変形接触問題の解析手法を提案し、その結果等により新たなページめくり機構としわ伸ばし機構の開発を行った。また、その性能が従来の機器に比べ格段に向上していることを実機により確かめており、情報端末装置における紙のハンドリング技術に新たな道を拓いた。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 佐々木 一 彰

副 査 教 授 山 田 元

副 査 教 授 上 田 正 生

学 位 論 文 題 名

軟質媒体の超大変形接触および非線形力学モデル解析と ハンドリング機器開発への応用

近年大きく発展している情報機器の中で、軟質媒体としての紙を扱う情報端末装置として、プリンタ、複写機、印刷機、現金自動取扱装置（Automated Teller Machine : ATM）が広く普及している。それらにおける紙のハンドリング技術はその製品の信頼性や性能にとって重要な技術である。しかし、紙のような軟質媒体は変形が非常に大きく、幾何学的非線形性が強く、物性が複雑であり、さらに材料非線形性も強い。そのため、これらを十分考慮した紙の大変形に関する研究は非常に少ない。また、紙の座屈現象であるページめくり挙動は、紙のハンドリングに必要な不可欠なものであるが、座屈後の変形（ポストバックリング変形）をも考慮しなければならないため、その解析はほとんど行われていない。

前述の情報端末機器のうち、プリンタや複写機などでは、1枚1枚のカット紙に印字するため、紙を薄板の剛体に近い扱いをすることができるとは言えるが、通帳プリンタのように、冊子に印字するプリンタでは、複数のページにまたがって印字するため、ページをめくって印字するページを表面に出す必要がある。通常はゴムローラなどの接触によりページをめくる機構を採用しているため、紙とローラとの間の大変形における接触問題の解析が重要である。また、ページめくりに要する時間の短縮が課題であり、このため、ミス無くページをめくることのできる機構が必要とされる。

また、紙などの軟質媒体ではしわの発生を避けて通ることはできない。しわを有する紙を使用した場合、上記現金自動取扱装置（ATM）やプリンタ機器内で紙の搬送中にジャム（紙詰まり）が発生する可能性がある。紙のジャムは、一旦発生すると、自動的にジャムを取り除くことは現状では不可能である。処理時間の短縮と機器保守の観点から、可能な限りジャムの頻度を少なくする必要がある。このため、これらの機器では、しわを伸ばす機構についても考える必要がある。

本論文では、幾何学的非線形性を考慮するとともに、摩擦などの接触問題も非線形

理論を応用して解析を行い、構造が簡単で従来に比べ高速なページめくり機構を開発した。また、プリンタ、複写機、印刷機などで扱う紙は一般的にはしわや折れが存在しない、平らな紙である。しかし、現金自動取扱装置（ATM）などにおいては、市中で流通した紙幣を取り扱うため、しわや折れ、破れがある場合があり、本要因がジャムや破損などのトラブルの原因になる。そこで、しわを伸ばす機構を開発し、その効果についても検討した。

本論文の構成は以下のである。

第1章は緒言であり、従来のページめくり機構の技術と問題点および、しわ伸ばし機構の技術と問題点について述べ、本論文の意義を述べている。

第2章は、大変形を扱うための増分理論のうち、Updated Lagrangian Approach（超大変形理論）について式を定式化した。さらに、接触問題の取り扱いを可能とするよう、Penalty法による接触理論を適用し、有限要素法のアルゴリズムを示し、それに基づいた解法を提案した。この解法を用いて、軟質媒体である紙の超大変形挙動を解析し、その座屈および座屈後の変形を求めた。また、中実および中空のゴムローラとの接触により、紙が変形する過程を示し、ページめくり挙動における紙の基本的な変形挙動を求め、その妥当性の検討を行なった。

第3章は、ページめくり技術の開発について述べている。第2章で示した結果より、ページめくりに最適な新ローラを提案し、実機での試験により、ページめくりの信頼性が飛躍的に向上し、また、ページめくりに要する時間も短縮できることを示した。

第4章は、紙のしわ伸ばし技術の開発について述べている。しわを有する紙の引張試験を行なって、その機械的特性を調べ、変形が3つの領域に分かれることを示した。この変形領域を検討することにより、それらの領域が、1) 引張りの初期段階に見られる繊維間のすべりに支配される変形が大きな領域、2) 繊維の弾性変形に支配される引張力と変形が比例関係を有する領域、および3) 破断直前に見られる繊維の塑性変形に支配される領域、であることを見出した。次に、しわを有する紙に加えた熱が機械的特性に及ぼす影響を検討し、加圧しながら加熱することによりしわを伸ばすときの圧縮力と変形量との関係を、実験結果に基づいた近似式として提案した。さらに、この近似式を用いた紙のしわ伸ばしのメカニカルモデルを提案し、それによる解析結果と実験結果が一致することを示した。

第5章は結言であり、本研究で得られた結果を要約し、将来の展望について述べている。

これを要するに、著者は、軟質媒体である紙の超大変形接触問題の解析手法を提案し、その結果等により新たなページめくり機構としわ伸ばし機構の開発を行なうとともに、その性能が従来の機器に比べ格段に向上していることを実機により確かめており、機械工学、特に情報端末装置における紙のハンドリング技術の発展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。