

氏名(本籍)	小林 透 (石川県)		
学位の種類	博士(工学)		
学位記番号	博甲第 6879 号		
学位授与年月日	平成26年 3月25日		
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当		
審査研究科	システム情報工学研究科		
学位論文題目	撥弦楽器におけるうなりを考慮した弦振動のモデリングに関する研究		
主査	筑波大学 准教授	博士(工学)	若槻 尚斗
副査	筑波大学 教授	工学博士	水谷 孝一
副査	筑波大学 教授	工学博士	藪野 浩司
副査	筑波大学 教授	Ph. D. (工学)	堀 憲之
副査	筑波大学 助教	博士(工学)	前田 祐佳
副査	筑波大学 助教	博士(工学)	海老原 格

論文の要旨

本研究は、撥弦楽器における弦の横振動における減衰時の非周期的なうなりを再現できるモデルの構築を目的として、弦の伸長に伴う張力変化に起因する非線形性を考慮した弦の運動方程式を使用することで、減衰時の非周期的の発生メカニズムの解明を行ったものである。楽器の発音メカニズムを物理モデルにより計算機上で再現する、いわゆる物理モデルによる楽器音の合成が盛んに行われている。物理モデルによる楽器音の合成は、電子楽器としての利用だけでなく、例えば、現在も新しい構造が検討されているアコースティックギターの設計や改造・改良においても有用であることが期待される。このような用途で撥弦楽器の演奏音を再現するとき、実際の弦振動を出来る限り忠実に再現できる振動モデルが求められるが、先行研究において弦の横振動に見られるうなりの発生メカニズムは明らかではなく、本研究ではそのメカニズムの解明とモデリングを試みた。

第2章において弦振動のモデリングについて従来モデルとの違いを示した上で、撥弦楽器の特性を考慮したモデルを提案した。本研究において使用する弦振動モデルは1次元波動方程式を2次元に拡張することで弦のそれぞれ直交する方向の振動を表現し、それぞれの方向の振動は伸びに起因する非線形的な復元力で結合しているものである。またそれぞれ直交する2つの方向において振動周波数が異なるという形で撥弦楽器における弦振動の特性を表現している。

第3章において実際のギターに張られた弦の2次元振動を計測する手法を構築し、その計測システムの有効性を示している。計測システムは1台の高速度カメラを使用し、ギターを斜めに見下ろすように配置することによって弦の2軸方向の振動を同時に撮影し、画像処理によって弦の運動をトラッキングすることによって弦の2次元の横振動を計測するものである。また計測システムの精度や測定条件についても言及し、縦振動の混入による計測結果への影響についても評価している。

第4章においては端点が強固な実験系に1本弦を張った状態での実験を行った結果を示した。実験

(博甲)

結果と弦振動モデルにもとづくシミュレーションの比較により、振動振幅に伴う非線形的な復元力と直交する2方向間の固有周波数の違いにより減衰過程において非周期的なうなりが発生することを考察した。このことにより本論文で使用するモデルによって1本弦における非周期的なうなりを定性的に再現できることが示された。

第5章では実際のギターにおいて複数弦が小振幅で振動しているときの第6弦の振動に着目した。複数弦をいずれも小振幅で撥弦したとき、第6弦の振動にはうなりが見られなかった。これらの過程を通じて、実際のギターにおいて、ウルフトーンが生じない条件下でかつ複数弦の振動している状況でも、弦の伸びによる復元力と横振動の固有周波数の違いによる弦振動のうなりへの寄与の方が大きい場合が存在することが示された。このことは弦楽器の弦-胴との共振による寄与が大きい場合、振幅に由来する弦の伸びがうなりに支配的に寄与する状況があることを明らかにした。

これらの研究成果は、撥弦楽器の発音機構の解明について、今まで明らかにされてこなかった1本弦の非線形性が演奏音に寄与する現象に関する新たな知見を与えるものであり、ギター等の発音シミュレーションをより実際の楽器に忠実にするものとして期待される。

審 査 の 要 旨

【批 評】

本研究は弦の横振動における減衰時の非周期的なうなりを再現できるモデルの構築を目的とする。本研究の特徴は、弦の伸長に伴う張力変化に起因する非線形性を考慮した点で、これにより減衰時の非周期的なうなりが再現される。このモデルの妥当性を検証するため、実際の楽器に張られた弦の2次元振動を計測する手法を考案・検証し、用いている。実験では、端点が強固な実験系に1本弦を張ることで楽器ボディ部の共振を排し、振動振幅に伴う復元力と直交する2軸の横振動の固有周波数の違いにより減衰過程において非周期的なうなりが発生することを見出し考察した。また、複数弦が小振幅で振動する状況にも着目し、複数弦を小振幅で撥弦したときは弦振動のうなりが見られず、弦楽器の弦-胴との共振による寄与が小さいとき、振幅に由来する弦の非線形性がうなりの原因として支配的であることを明らかにした。これらを通じて本研究は先行研究等で注目されていなかった1本弦振動のうなりが発生するメカニズムの解明に貢献した。このことは弦楽器の発音機構について、1本弦の非線形性が演奏音に寄与する現象に関する新たな知見を与えるだけでなく、つり橋のワイヤーのような他の構造物の振動現象への理解にも応用できるものと期待される。

【最終試験の結果】

平成26年1月21日、システム情報工学研究科において、学位論文審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。その結果、学位論文審査委員全員によって、合格と判定された。

【結 論】

上記の学位論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士(工学)の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。