

## 審査の結果の要旨

氏名 加藤峰士

本論文はパルス状に射出される噴流を粘弾性体に衝突させた際に生じる破壊現象を解析するための足がかりとなる実験システムとして、ゼラチンに入射したパルスジェットの挙動と与えた内部応力を観察するシステムを構築し、そこから破壊において起きていると考えられる現象をまとめ、破壊にかかわる物理量を抽出している。また、破壊深さを表す簡単なモデル式を構築し、破壊規模を推定する手法の提案を行っている。

本論文は6章から構成される。第1章では、治療機器として用いられているウォータージェットメスについて概説し、特にこのジェットメスのうちパルス状噴流を射出するレーザー誘導型パルスジェットメスが1箇所に入射させ続けると、組織の破碎深さが一定になるということが経験的に知られているが、その明確な根拠がこれまで報告されておらず、経験則の域を出ていないためパルスジェットによる粘弾性体の破壊機序を解明する必要があることを説明している。したがって、本研究の目的をパルス状に射出される噴流を粘弾性体に衝突させた際に生じる破壊現象を解析するための足がかりとなる実験システムおよびモデルの構築と、破壊規模の推定法の提案としている。

第2章ではLILJの構造と実際の装置を示し、本研究におけるLILJのパルスジェット先端部の初速度を求めている。臨床において対象組織表面にLILJのノズルを接近させて使用していることから、LILJのノズル先端から1 mm噴出したところでの速度を採用することとした。そして高速度カメラを用いた実験によって、本研究の実験で使用する励起電圧と初速度を結ぶ関係式を定義した。

第3章では、パルスジェットによる粘弾性体の破壊機序を解析するため、ゼラチンに入射したパルスジェットの挙動と与えた内部応力を実験によって観察し、そこから破壊において起きていると考えられる現象をまとめ、破壊にかかわる物理量を抽出した。その結果、1発目にはパルスジェット先端部に穿孔を作る破壊を生じさせ、また破壊停止時にクラックを形成し、その後粘弾性変形によって減衰振動を引き起こしやがて停止したことが観察された。2発目も同じ挙動を示し、繰り返しパルスジェットを入射させた結果、クラックを進展させながら深度が増加し、穿孔径も太くなっていくことが観察された。また、破

壊時にゼラチンへ与えた応力とパルスジェット先端の速度との関係に相関があることを示し、パルスジェット先端の速度が破壊停止の閾値として有用であることを示した。

第4章では、脳組織を模擬したゼラチンにパルスジェットを繰り返し入射させることで出来る破壊深度を、深度変化の実験結果から臨界減衰の関数として表し、その妥当性を示した。また、深度変化を表現する係数を考察したところ、係数 $\alpha$ 、 $\gamma$ 、 $v_b$ は、指数関数的に変動することが確認され、その挙動は周波数ではなく材料に依存する可能性があることが説明された。

第5章では、前章までに得られた知見をもとに、破壊規模推定手法を提案した。異なる濃度のゼラチンとブタ脳組織にて実験したところ、各係数の挙動は材料と励起電圧が異なっても指数関数による近似式で表現できること、1発目の $\gamma$ と $v_b$ 、2発目の $\alpha$ については励起電圧に依存しないことを利用し、4つの推定方法を提案した。これにより、ゼラチンの6例中4例が17発以上の範囲で誤差1mm以内の推定が行えた。また、脳組織で最低励起電圧のデータを他の電圧に適応した結果、2発目まで誤差1mm以内推定できた。また各係数の計測精度を向上することで改善の余地があるという可能性が示された。

本論文では、パルスジェットによる粘弾性体への破壊現象の観察・分析とそれに基づく簡単なモデル構築を行うことで、パルスジェットの破壊機序解明のための足掛かりとなる実験システムやモデルを示した。また、術者が適切な励起電圧値を選定するための参考情報を提供する方法を提案した。これは、パルスジェット使用時における不必要な組織破砕や、術前の計画をより早く効率的に行うために有用であると考えられ、パルスジェットメスという治療機器の安全性を向上させる重要な知見の1つになるといえる。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。