

遠心ポンプ内の異音検出に関する基礎研究

北里大学 医療衛生学部 医療工学科 臨床工学専攻 小林光彦

要旨：遠心ポンプの軸ずれや血栓発生時の異音の早期発見を目的に遠心ポンプ内の異音検出回路を作製し、2000 rpm で遠心ポンプの周波数特性分析を行った。その結果 33 Hz、200 Hz、400 Hz、800 Hz のピークが確認できた。さらに、軸ずれ遠心ポンプを作製し周波数特性が軸ずれによって影響があるのかを測定し、本実験では周波数特性に変化がみられた。よって、駆動初期との比較での周波数特性を利用することで異音を早期に発見できることが示唆された。

1. 背景・目的

近年、遠心ポンプは人工心肺装置や補助循環装置において広く使用されており、症例によっては長期駆動を余儀なくされる場合もある。その場合、遠心ポンプは 1 週間程度の使用で異音や軸ぶれが発生すると報告がある¹⁾。そこで、遠心ポンプから発生する音の異常を早期に発見するために、遠心ポンプ内の異音検出回路を作製し周波数特性を検証した。

2. 実験 I 遠心ポンプおよびドライブモータから発生する音の周波数特性解析

2.1 差動増幅回路とノイズ除去回路の作製

差動増幅回路とノイズ除去回路を図 1 のように作製し高周波雑音および外部雑音の軽減を図った。遮断周波数は 200 Hz、330 Hz、400 Hz、530 Hz、600 Hz、800 Hz、1000 Hz と変化させ、ノイズ除去および波形の鈍りを考慮して 400 Hz に設定した。

2.2 実験回路の作製と音の検証

貯血バックと遠心ポンプ (CAPIOX[®]) を回路で接続し、水を充填した閉回路を作製した。その後、約 2000 rpm で回転させた遠心ポンプの側面にマイクロホン (YOGA[®] EM-090) を取り付けて音を検出した。周波数特性 20 Hz から 16000 Hz のマイクロホンを直接ドライブモータの振動を検出しないように間に中央が空洞のスポンジを挟み空気伝導で検出した音を作製した差動増幅回路およびノイズ除去回路を通過させ、FFT 解析が可能なオシロスコープ (DS-5104A) で音波形を記録し、FFT 解析を行った。オシロスコープの FFT 設定は窓関数を Hamming、表示を分割表示、垂直スケールを dBVrms に設定した。次に遠心ポンプを外し、ドライブモータのみの音も同様に測定した (図 2)。

2.3 軸ずれポンプの作製と軸ずれ時の音の検証

回転体の中心から離れた部分に重りを付着させることで意図的に軸ずれを起こした軸ずれポンプを作製した。その後、実験回路に接続し 2.2 と同様に測定、FFT 解析を行い、通常の遠心ポンプの周波数特性と比較検討を行った。

3. 結果 I

3.1 遠心ポンプの周波数特性

33 Hz、200 Hz、400 Hz、800 Hz のピークが確認できた (図 3)。モータ音のみの場合 800 Hz のピークが確認できた。

3.2 通常遠心ポンプと軸ずれポンプの比較検討

図 4 より、周波数特性は変化したが、軸ずれによる変化なのか重りを付着させた加工による影響なのか判別ができなかった。長期駆動後に、周波数特性が変化すれば軸ずれによるものと断定ができると考え以下の検討を行った。

4 実験Ⅱ 遠心ポンプの長期駆動による周波数特性変化

約 2000 rpm で回転させた状態で 30 日間駆動させ、周波数特性を比較した。

5 結果Ⅱ 遠心ポンプの長期駆動による周波数特性変化

30 日間駆動した場合、400 Hz から 600 Hz 間の周波数特性が変化した(図 5,白枠)。

6 考察

6.1 遠心ポンプおよびドライブモータから発生する音の周波数特性解析結果から得られたピーク値について

1) 33 Hz

約 2000 rpm で回転させた場合、1 秒間に 33 回転しているため、33 Hz の周波数が出現したと考えられた。

2) 200 Hz

磁石 1 個の場合、マイクロホン検出部分に磁石が通過したとき空気が振動し、33 Hz の周波数が検出でき、2 個の場合、通過したとき 33 Hz の 2 倍の 66 Hz が出現するという性質が音にはある。今回使用した遠心ポンプは磁石 6 個で構成されているため、 33×6 倍の約 200 Hz のピークが出現したと考えられた。

3) 400 Hz

ポンプは回転、停止を周期的に繰り返すことで回転数を調整していることが、低回転数の駆動した場合に分かった。そして、停止する際に減衰振動が起きていることが分かった。これは慣性が働くことでポンプ側とモータ側に速度ずれが生じ、モータ側に対応した磁石の位置がずれ、磁石に引力および斥力が発生したことで減衰振動したと考えられた。この現象が高回転数時にも起こることが推察され、速度ずれと同速度への戻りそれぞれが 200 Hz で振動したと考えられた。その結果 $200 \text{ Hz} \times 2 = 400 \text{ Hz}$ のピークが出現したと考えられた

4) 800 Hz

ドライブモータ音であると考えられた。

6.2 軸ずれポンプの長期駆動による周波数特性の変化

重りをつけたことにより負荷がかかり、軸と軸受部分が摩擦もしくは摩擦熱による劣化が起きたことが考えられ、その結果として周波数特性の変化に繋がったと考えられる。

また、400 Hz から 600 Hz 間の周波数特性の電圧レベルが駆動初期と比べて減少したことから、本実験においては重りを付着させた段階で軸受と軸が接触していて、長期間駆動したことにより、その部分が滑らかになった可能性が考えられた。

本研究の結果から、軸ずれのような遠心ポンプの長期駆動による劣化は、検出された音の周波数特性の解析を行うことにより発見することが可能であると考えられる。劣化時特有の周波数特性の変化を捉える

フィルタを作製することができれば、より詳細な遠心ポンプ内の劣化状況のモニタリングが可能になる。それは遠心ポンプを用いた長期駆動を行う体外循環療法の安全性を高めると考えられる。

7. 結語

異常を早期発見するために、遠心ポンプ内の異音を検出できる回路を作製した。

検出された異音の周波数特性は、駆動時間で変化することが分かった。

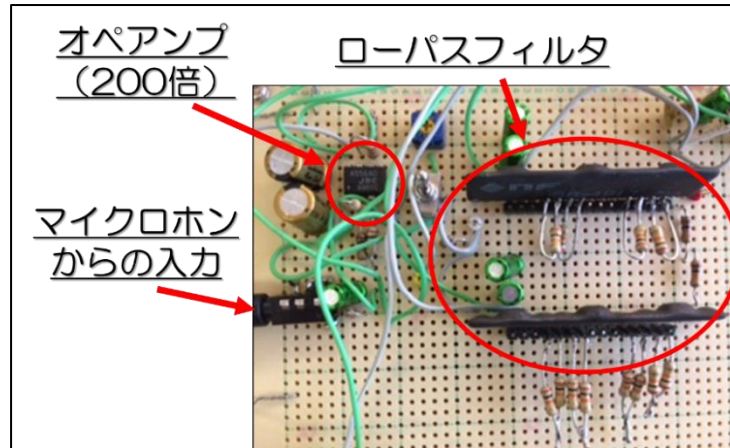


図 1 差動増幅回路とノイズ除去回路の完成図：マイクロホンで検出した音をオペアンプで 200 倍に増幅後、遮断周波数の変更を可能にした 4 次数バターローパスフィルタを通過させた。

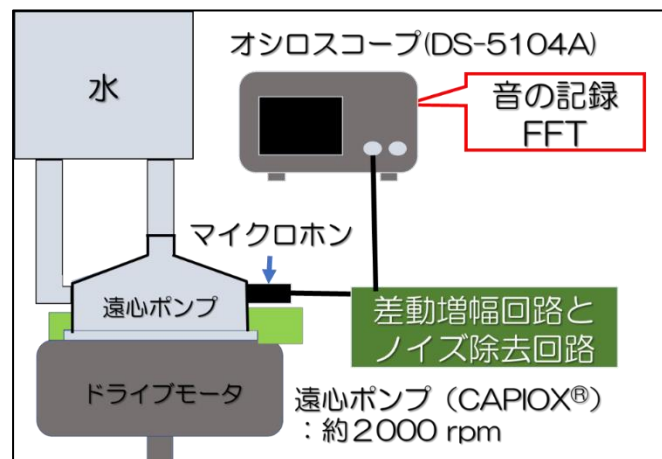


図 2 実験回路：ドライブモータと遠心ポンプを接続し、遠心ポンプ内の音を差動増幅回路およびノイズ除去回路に通過させた後、オシロスコープで音の記録および FFT 解析を行った。

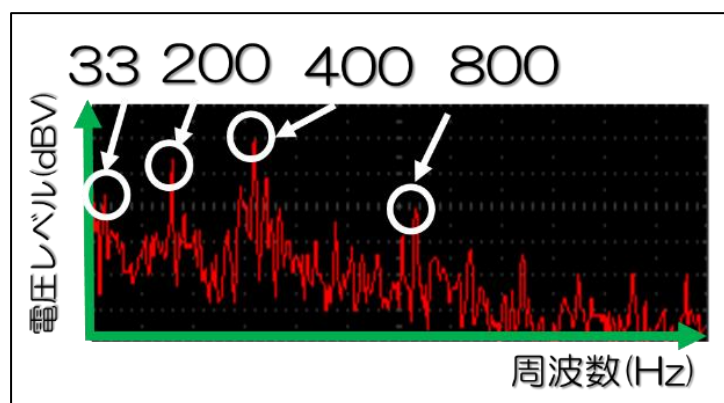


図3 遠心ポンプの周波数特性：横軸を周波数、縦軸を電圧レベルとした。33 Hz、200 Hz、400 Hz、800 Hz でピークが確認できた。

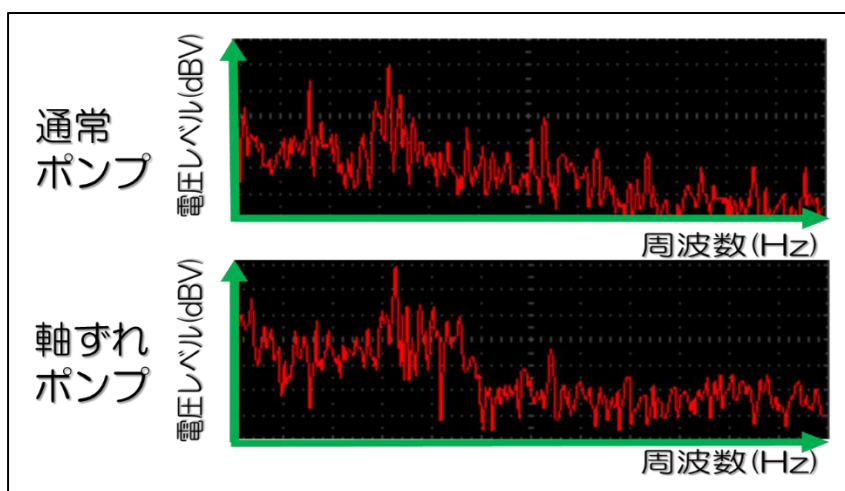


図4 通常ポンプと軸ずれポンプの周波数特性：上段が通常遠心ポンプ、下段が軸ずれ状態にした遠心ポンプである。横軸を周波数、縦軸を電圧レベルとした。

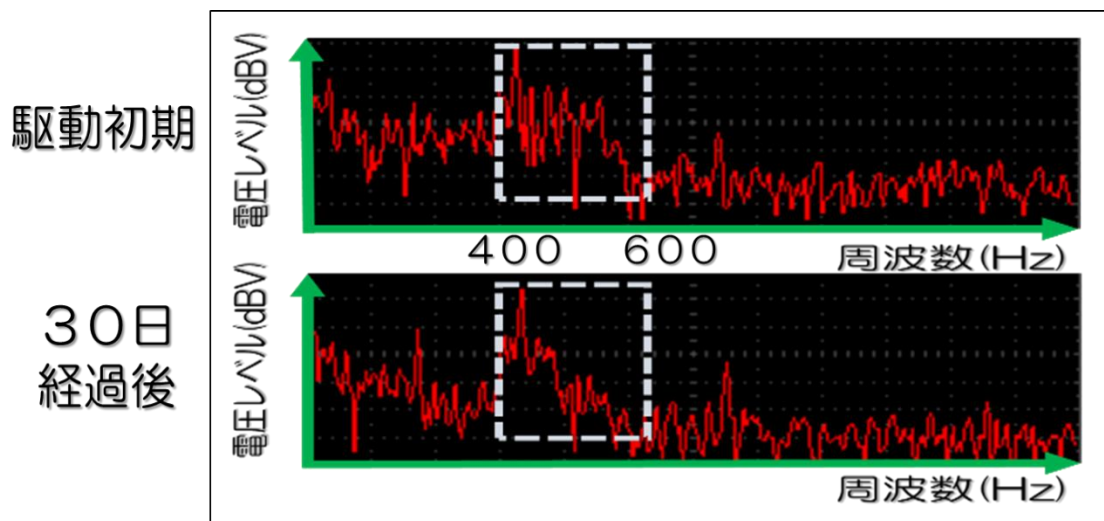


図5 長期駆動による周波数特性変化：上段が駆動初期、下段が30日経過後の周波数特性である。横軸を周波数、縦軸を電圧レベルとした。30日経過後、400 Hz から 600 Hz の周波数特性に変化が現われた。

文献

1) 脇坂佳成, 妙中義之, 高野久輝, ほか：長期循環補助用遠心ポンプの有用性の検討, 人工臓器, 26；681-686, 1997. 110

指導教員の所属、名前

北里大学医療衛生学部医療工学科臨床工学専攻 塚尾浩