

粘膜疾患用超音波チップの開発

| | |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| 著者 | 青柳 学, 馬場 義則, 塚野 宏昭 |
| 雑誌名 | 室蘭工業大学地域共同研究開発センター研究報告 |
| 巻 | 22 |
| ページ | 15-19 |
| 発行年 | 2011-12 |
| URL | http://hdl.handle.net/10258/00009073 |

粘膜疾患用超音波チップの開発

青柳 学^{*1}, 馬場 義則^{*2}, 塚野 宏昭^{*3}

1 はじめに

近年、高齢化により菌が口腔粘膜に強固に癒着する口腔カンジダ症などの口腔粘膜疾患が増加している。従来の口腔ケアは歯周のプラークを除去することを主眼としたものであり、これらの口腔粘膜疾患に即応したものではなかった。そこで Fig.1 の粘膜疾患用超音波チップが村上医師(釧路赤十字病院)により開発され、直接的な治療が可能となった^[1]。しかし先端がスプーン状であるために先端の重みで十分な振幅が得られず、超音波駆動装置の出力が不足していることが問題である。

本研究の目的は、粘膜疾患用超音波チップの振動モードの改善を行い、振動効率の向上を図ることである。



Fig.1 Appearance of scaler tip for a mucosa disease.

2 装置概要

2.1 超音波駆動装置

本研究で使用する超音波駆動装置スプラソン P-MAX+(フランス SATELEC 社)の外観とハンドピースを Fig.2-1 に、その仕様を Table 2-1 に示す。

ハンドピースにはランジュバン型振動子が格納されている。装置内の高周波発振器により振動子を駆動して、ハンドピースのチップに超音波振動を伝達する。ハンドピースに接続したチップに応じて共振周波数を追尾し、負荷に応じて振幅を一定に保つよう制御される。

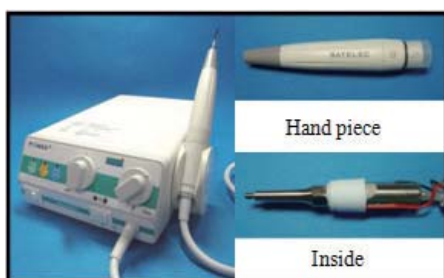


Fig.2-1 Appearance of "Suprasson P-MAX+".

Table 2-1 Specific of "Suprasson P-MAX+".

| | | |
|-----------------------------------|--------|----------|
| AC Power supply voltage[V] | 100 | |
| Frequency of the power supply[Hz] | 50/60 | |
| Power input[VA] | 40 | |
| Vibrational frequency[kHz] | 27~31 | |
| System of Vibration | piezo | |
| Output power[W] | P-mode | 0.08~1.6 |
| | E-mode | 0.8~4 |
| | S-mode | 2.5~11 |

2.2 出力モードの動作確認

駆動装置には Fig.2-2 に示すモード切り替えスイッチが付いており、P (ペリオ)・E (エンド)・S (スケーリング) の 3 つに分かれている。駆動装置に粘膜疾患用のチップを接続し、それぞれのモードにおける駆動電力に対するチップの無負荷時の振幅を測定した結果を Fig.2-3 に示す。なお、測定はレーザードップラー振動計を用い、測定点はチップのスプーン部分の中心部分とした。

測定結果から、それぞれのモードで出力できる振幅や駆動電力に違いがあることがわかった。特に S モードが最も出力できる電力が大きいため、本研究の対象である粘膜疾患用のチップを駆動する際は S モードを選択する。

また、最大出力時の振幅値が $5\mu\text{m}$ であることから、振幅値が $5\mu\text{m}$ 程度あれば治療に効果的であると推測できる。



Fig.2-2 Mode switch.

*1 もの創造系領域

*2 (有)馬場機械製作所

*3 電気電子工学科

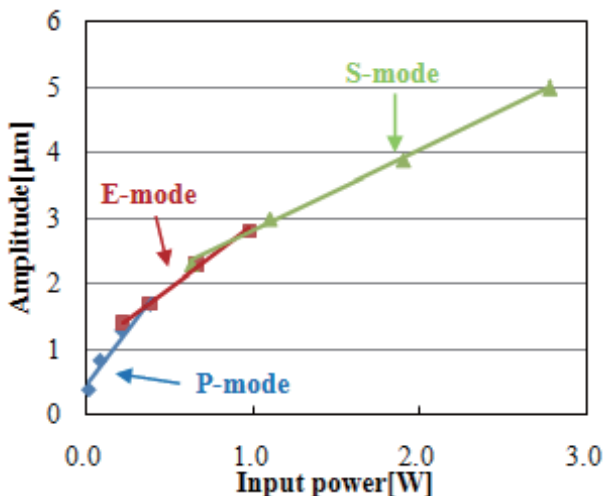


Fig.2-3 Measured amplitude of scaler tip.

3 有限要素法解析

3.1 振動モードの解析

ハンドピースに粘膜疾患用チップを取り付けた解析対象を Fig.3-1 に示す。また、有限要素法解析を用いた粘膜疾患用チップの振動解析の結果を Fig.3-2 に示す。解析結果より振動の節は先端から 2~3mm の位置とスプーンの根元にあることがわかる。実際に治療するときには患部に当てる先端やエッジ部分が振動の腹となり、その周辺に節があることは理想的な振動といえる。よって、このチップを改善するにあたり、元の振動モードを保ったまま先端やエッジが強く振動するような形状を考案する必要がある。

解析の結果から改善の目安として先端・エッジの振幅比を算出すると、先端が 8.72、エッジが 3.82 であった。なお、ここで算出した振幅比は、チップと逆方向の末端における Z 方向の振動変位を基準としている。

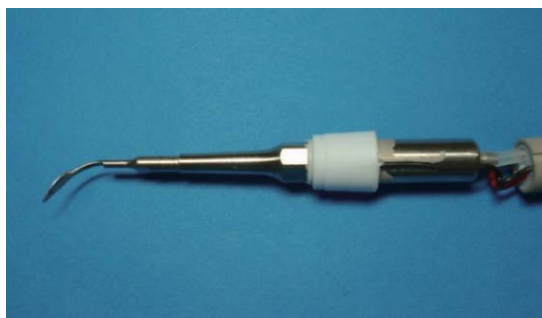
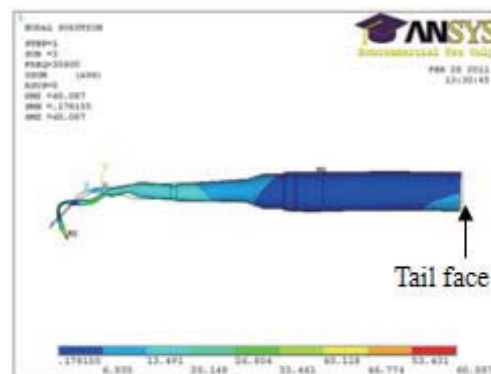
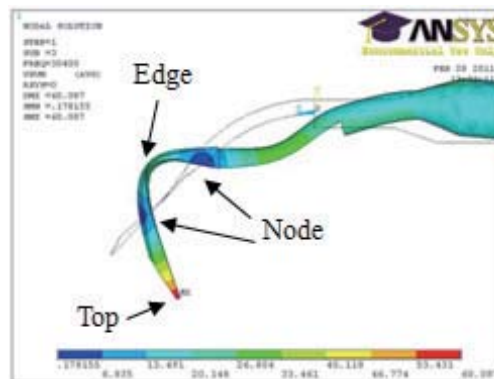


Fig.3-1 Analysis object.



(a) Overall view.



(b) Detail view

Fig.3-2 Analysis result.

3.2 改善案

粘膜疾患用超音波チップの先端とエッジの振幅比を増大させる形状を 2 つ考案した。1 つ目の改善案は Fig.3-3(a) のようにスプーンの中心部分に穴をあけた形状である。穴の形状については加工のしやすさを考慮して円形とした。また、2 つ目の改善案は Fig.3-3(b) のように①-②区間の湾曲部の直径を増加させた形状である。

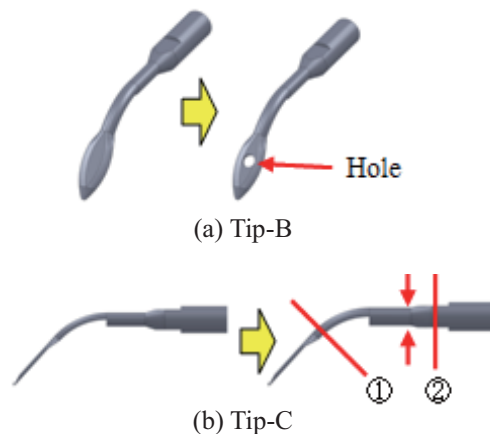


Fig.3-3 Idea for an improvement.

2 つの改善案に基づいて 3 つのチップを設計した。1 つ目は、村上医師の粘膜疾患用チップとほぼ同様の形状とし、他のチップとの比較対象とした。これをチップ A とし、スプーンの中心部分に穴をあけたものをチップ B、チップ A の湾曲部を太くしたものをチップ C とする。チップ B について、穴の直径に対

する先端・エッジの振幅比の変化を解析した結果を Fig.3-4(a)に示す. また, チップ C について, 同様に直径を増加させたときの先端・エッジの振幅比の変化を Fig.3-4(b)に示す.

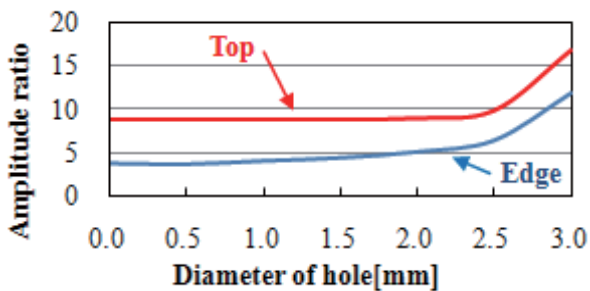
解析結果より穴の直径が 0~2mm の範囲では先端の振幅比にはあまり変化はないが, エッジの振幅比はおおよそ右肩上がりに変化している. 穴の直径が 2.5mm より大きくなると振幅比が急激に増加し, 特性が急に変化する可能性が考えられるので, チップ B における穴の直径の値は 2mm を採用した. この場合の振幅比は穴なしと比べて先端が 1.02 倍, エッジが 1.35 倍に向上した.

また, チップの湾曲部の直径を増加させると振幅比はおおよそ二次関数的に増加することがわかった. 湾曲部を太くし過ぎるとエッジの丸みが失われることを考慮した結果, チップ C における湾曲部の直径の比は 1.25 を採用した. この場合の振幅比は先端が 1.49 倍, エッジが 1.46 倍に向上した. 振幅比を算出した結果を Table 3-1 に示す.

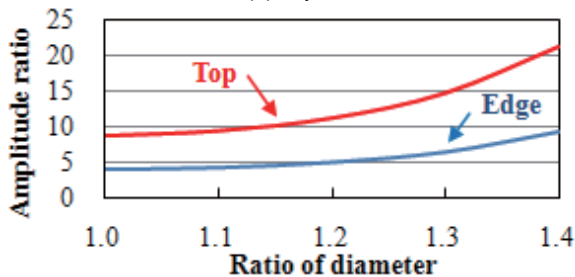
チップ B, チップ C の決定した寸法における解析結果をそれぞれ Fig.3-5, Fig.3-6 に示す. 穴付きのチップはエッジの振動が鋭くなっているのがわかる. また, 太めのチップは振動子部分の伸び変位は少ないが, スプーン部分の振幅比は大きい.

Table 3-1 Amplitude ratio.

| | Top | Edge |
|----------------------|------|------|
| For a mucosa disease | 8.72 | 3.82 |
| Tip-B | 8.88 | 5.15 |
| Tip-C | 13.0 | 5.58 |

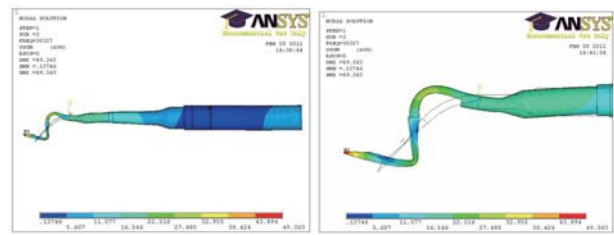


(a) Tip-B



(b) Tip-C

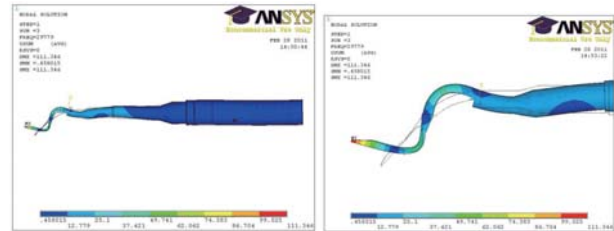
Fig.3-4 Analysis result.



(a) Overall view

(b) Detail view

Fig.3-5 Analysis result of tip-B.



(a) Overall view

(b) Detail view

Fig.3-6 Analysis result of tip-C.

4 製作

4-1 変換用スリーブによる影響

今回, 最初に製作した 3 つのチップを Fig.4-1 に示す. このチップはハンドピースとの接続部分の設計の都合上, 直接取り付けることは不可能であった. そこで変換用スリーブを用いることで接続を可能にしたが, 接続部分が 1cm 伸びた.

1cm 長いチップ A に関して解析を行った結果を Fig.4-2 に示す. 解析結果より, 共振周波数は約 23.5kHz に低下したが, 振動の節に大きな変化がなく, 先端とエッジ部分が腹となっている.

また, アドミタンスを測定した結果を Fig.4-3 に示す. チップに穴をあけると共振時のアドミタンスが若干低下した. また太くしたチップは半分以下まで低下した.

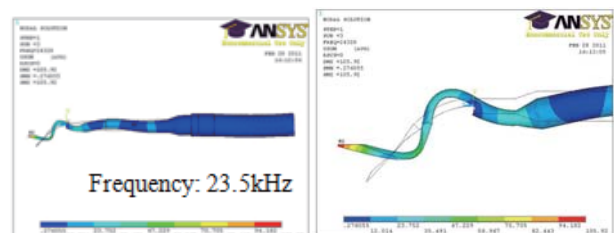


(a) Tip-A

(b) Tip-B

(c) Tip-C

Fig.4-1 Appearance of fabricated scaler tip.



(a) Overall view

(b) Detail view

Fig.4-2 Analysis result of Tip-A with sleeve.

5 実験

5-1 無負荷・負荷時の振幅測定

チップ A・B・C は超音波駆動装置 P-MAX+では 23kHz 付近での駆動は確認できなかった。そこで発振器とアンプにより 5つのチップを 50Vp-p の電圧で駆動し、無負荷・負荷時におけるエッジの振幅、駆動電力を測定した。振幅の測定はレーザードップラー振動計を用いた。測定結果を Table 5-1 に示す。また、無負荷・負荷時における振幅の推移を Fig.5-1 に示す。なお、負荷時は人肌程度の柔らかいゲルとしてこを用いて一定の負荷をかけた。負荷の構成を Fig.5-2 に示す。

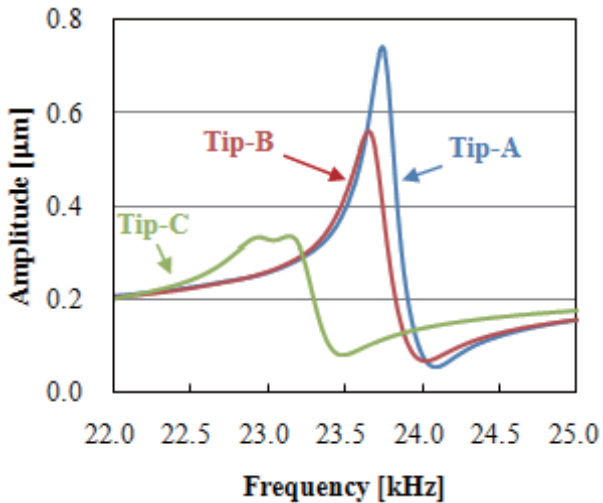


Fig.4-3 Measured admittance.

4-2 チップ B'の製作

今回製作したチップ B のネジ穴部分を設計し直し、再製作を行った。これを 1cm 長く製作されたチップ B と区別し、チップ B'とする。また、村上医師考案の粘膜疾患用のチップとチップ B'におけるアドミタンスの測定結果を Fig.4-4 に示す。チップ B'は共振時のアドミタンスがわずかに低下したが、大きな変化は見られなかった。また、Fig.4-3 の測定結果と比較すると、1cm チップを伸ばすと著しくアドミタンスが低下することがわかる。

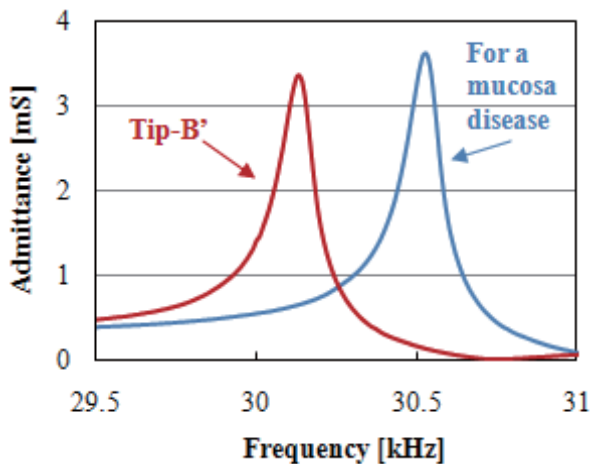


Fig.4-4 Measured admittance-frequency characteristics.

ここで、評価の対象であるチップとその特徴を以下にまとめて示す。

- ・粘膜疾患用チップ：村上医師考案
- ・チップ A：粘膜疾患用とほぼ同形状，1cm 長い
- ・チップ B：穴付き，1cm 長い
- ・チップ C：太め，1cm 長い
- ・チップ B'：穴付き

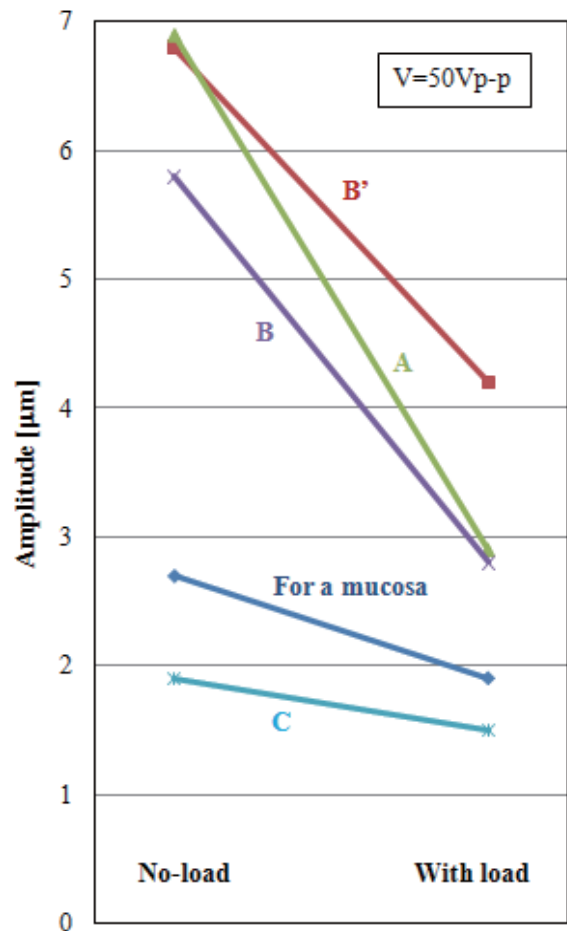


Fig.5-1 Measured amplitude with and without load.

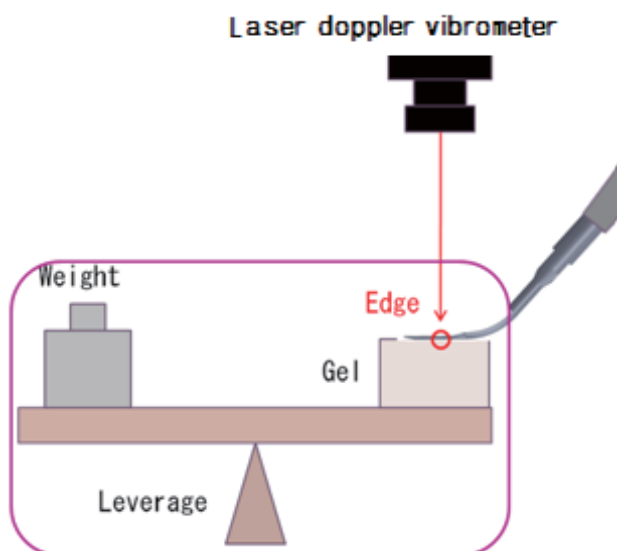


Fig.5-2 Load system.

Fig.5-1 の結果より、チップ A・B・B'の 3 つのチップが、無負荷・負荷時において粘膜疾患用チップの振幅値を上回った。

チップ A は無負荷時の振幅が最も大きいですが、負荷に対して振幅は 58%減少した。チップ B は無負荷時の振幅はチップ A には劣るが、負荷に対する振幅の減衰率は 52%でチップ A に比べて負荷に強い結果となった。チップ C は無負荷時の振幅が粘膜疾患用チップを下回り、改善案としては適していないが、振幅の減衰率は 21%となり最も負荷に強いことがわかった。チップ B'の振幅の減衰率は 38%であるが、負荷時の振幅が最も大きいことから、5 つのチップの中で最も性能の良いチップであると判断できる。

5-2 粘膜疾患用チップとチップ B' の比較

今回製作したチップ B'は駆動装置 P-MAX+での駆

動が可能で、無負荷・負荷時における振幅が改善された。以下に結果をまとめる。

- 1) 電圧一定で駆動した場合、チップ B'は粘膜疾患用チップに対して負荷時は 2.2 倍の振幅値を示した。
- 2) また、駆動電圧と振幅値には線形性が見られ、駆動電力は駆動電圧の 2 乗に比例する。このことから、2 つのチップで振幅値を一定にしたときの駆動電力を算出した結果、負荷時においてチップ B'は粘膜疾患用の約 20%の電力で同程度の振幅を出力できる計算となった。
- 3) チップ B'は大幅に省電力化され、駆動装置 P-MAX+での駆動も、余裕を持って求める振幅値を出力することができる。

6 まとめ

本研究において、口腔粘膜疾患用超音波スケーラチップの振動モードを有限要素法解析した結果、振動モード自体は理に適ったものであることがわかった。

製作した穴付き型のチップは、駆動電圧一定、負荷一定の条件におけるエッジ部分の振幅値が改善前のチップに対して 2.2 倍の値を示した。よって、「スプーン部分の中心に穴をあける」改善案は、振動モードを保ち、振幅の向上に効果的であることがわかった。

謝辞

本研究を進めるにあたり、釧路赤十字病院・村上 有二氏、北海道医療大学・村田勝氏の協力を得た。ここに感謝の意を表す。

参考文献

- [1]村上 有二 他：北海道歯会誌第 64 号別冊，2009.

Table 5-1 Results of no-load and load test.

| | V=50Vp-p | | | | | |
|--------------|-----------------|----------------|-----------------|-----------------|----------------|-----------------|
| | No-Load | | | Load | | |
| Tip type | Frequency [kHz] | Amplitude [μm] | Input power [W] | Frequency [kHz] | Amplitude [μm] | Input power [W] |
| For a mucosa | 30.4 | 2.7 | 0.86 | 30.4 | 1.9 | 0.62 |
| A | 23.6 | 6.9 | 0.33 | 23.6 | 2.9 | 0.24 |
| B | 23.6 | 5.8 | 0.34 | 23.6 | 2.8 | 0.22 |
| C | 23.0 | 1.9 | 0.18 | 23.0 | 1.5 | 0.13 |
| B' | 30.0 | 6.8 | 0.88 | 30.0 | 4.2 | 0.56 |