



整合層を有する伝送路形モータの試作と測定
- 細径パイプ屈曲振動伝送路形モータ (4) -

メタデータ	言語: jpn 出版者: 日本音響学会 公開日: 2012-10-03 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 田村, 英樹, 平野, 達也, 高野, 剛浩, 青柳, 学 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10258/1706

整合層を有する伝送路形モータの試作と測定 - 細 径パイプ屈曲振動伝送路形モータ (4) -

その他 (別言語等) のタイトル	Measurement of a prototype of the thin transmission line type ultrasonic motor with a mechanical matching structure
著者	田村 英樹, 平野 達也, 高野 剛浩, 青柳 学
雑誌名	日本音響学会研究発表会講演論文集
巻	2012年春季
ページ	1343-1346
発行年	2012-03
URL	http://hdl.handle.net/10258/1706

整合層を有する伝送路形モータの試作と測定*

- 細径パイプ屈曲振動伝送路形モータ(4) -

○田村 英樹, 平野 達也, 高野 剛浩, 青柳 学†

(東北工業大学, †室蘭工業大学)

1. まえがき

細径パイプを屈曲振動の伝送路として、圧電励振素子から離れた細狭部へ回転動力導入を可能とする超音波モータ構成を報告した¹⁻³⁾。本報では引き続き、角柱振動子から細線伝送路に効果的に振動を伝達させるための整合層構造に関してFEMを用いた解析的な設計手法と、それによって得られた構造を基にして試作したモータの基本特性について報告する。

2. モータの構造

今回最終的に実験に用いたモータの構造並びに各部寸法をFig.1に示す。

Fig.1(a)の角柱励振部は本来正方断面であり理想的な寸法は前報[3]に示しているが、ここでは試作素子を測定した実際の寸法を記した。この構造は角柱振動子と細線伝送路の間に整合の役を果たす正方断面の接続部を有しており、次節にてこの寸法決定法を示す。Fig.1(b)は伝送路の他端部であり、ロータおよびシャフトとその基台、ならびに予圧機構を示している。Fig.1(c)のシャフト基台はロータ接触面の変位を確保しつつ、シャフトはなるべく振動させないようにギャップを有する構造となっており、その効果はFig.1(d)に示される。

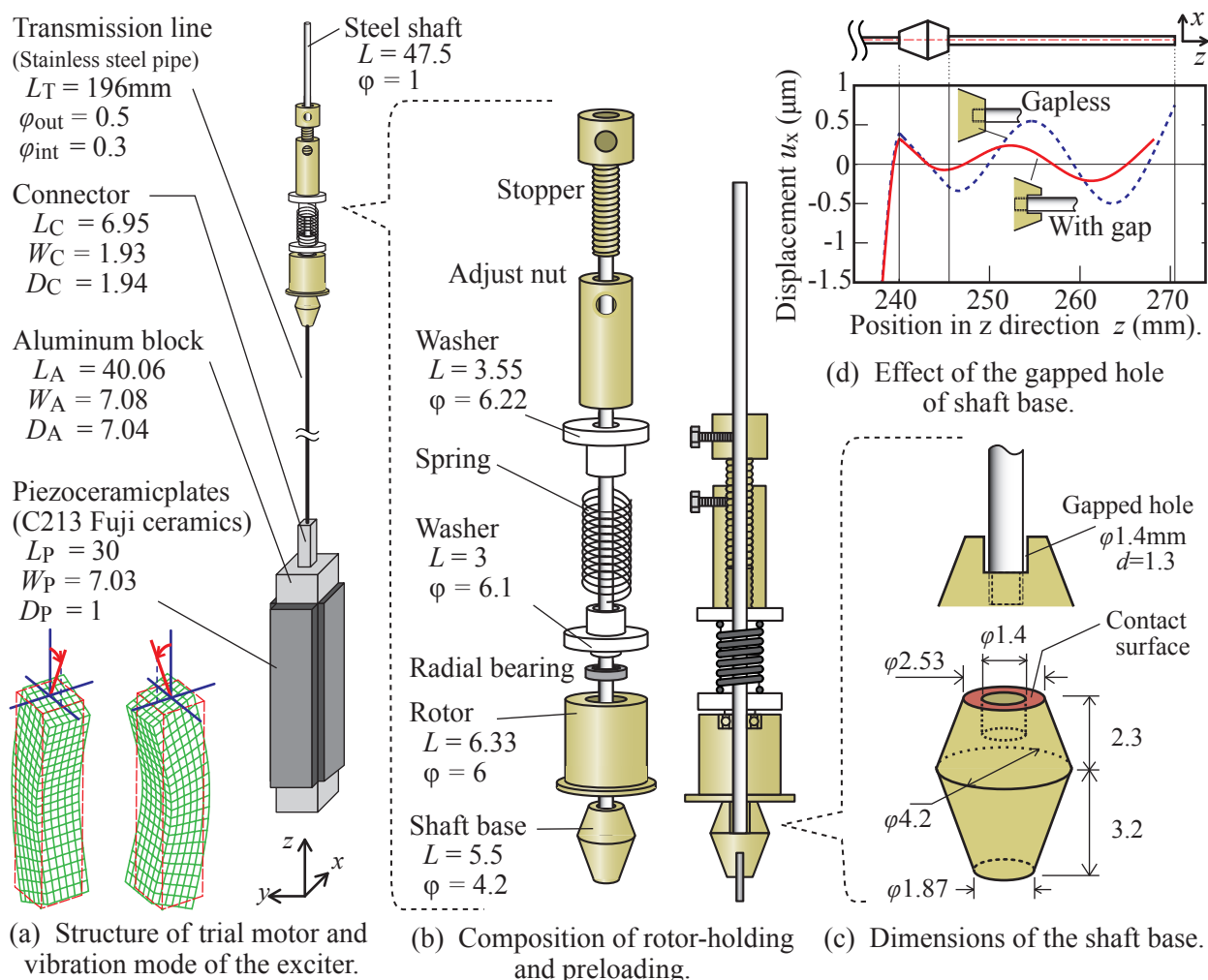


Fig.1 Experimental structure of the USM with the vibrational transmission line and the self-holded rotor.

*Measurement of a prototype of the thin transmission line type ultrasonic motor with a mechanical matching structure, by TAMURA Hideki, HIRANO Tatsuya, TAKANO Takehiro, AOYAGI Manabu† (Tohoku Institute of Technology, †Muroran Institute of Technology)

シャフト基台、ロータ、ストップおよび調整ナットは真鍮製、ワッシャはプラスチック製である。細線及びシャフトは各取り付け面に穿孔してエポキシ系接着剤で接着してはめ込んでいる。下側ワッシャはベアリング内輪を押すよう突起が付いている。調整ナットで適当な予圧に設定後に緩みが生じないように更にねじで固定した。

3. 整合構造の設計

角柱励振部と振動伝送路の断面積の違いは甚だしく、従って単純に接続しただけでは接続面での振動反射が大きく、ロータ駆動部まで適切に振動エネルギーを伝達する事は出来ない。また、あらかじめ細線伝送路長は角柱励振部の振動モード固有周波数と一致するように定めているが、接続部での反射が大きいと各部での共振特性が強くなり現れて結合モード振動系としての振る舞いとなり扱い難くなる事を前報 [3] でも述べている。そこで Fig.1 に示したように整合層となるように角柱状のコネクタ部を設けた。

整合設計の考え方として、接続点から励振側ならびに伝送路側を見た場合の機械的インピーダンスを一致させるようにコネクタの寸法を定める。複雑な構造や後続体の影響があっても設計できるように有限要素法解析 (FEM) による数値的手法とし、我々は COMSOL Multiphysics 4.2 を使用した。Fig.2 に示すように励振部側と伝送路側を接続点で分離して、それぞれに加振力を与えて周波数応答解析を行い、その際に得られた振動速度から機械的インピーダンスを求めた。直接接続時には 100 倍ほどのインピーダンスの違いがある。ここで Fig.3 のように励振部にコネクタを取り付けて、コネクタの先端から励振側を見た場合の機械的インピーダンス Z_{mvc} は、コネクタがある寸法範囲のとき伝送路入力端のインピーダンス Z_{mt} と一致する。

また他方で、コネクタを伝送線路側に取り付けて、コネクタの端から線路側を見た際の機械的インピーダンス Z_{mtc} と励振部のみのインピーダンス Z_{mv} が一致する条件も複数得られる。従って、定めるべきコネクタは双方の条件において機械的インピーダンスが一致している必要があるため、Fig.5 に示すようにこの場合にはただ一つの交点となる寸法が決定される。

4. 試作素子の特性

励振部とコネクタは一体でアルミニウムの削り出しである。この際に Fig.1(a) に示したように若干の加工誤差があり完全な正方断面では無い。また四面に圧電セラミックスをエポキシ系接着で

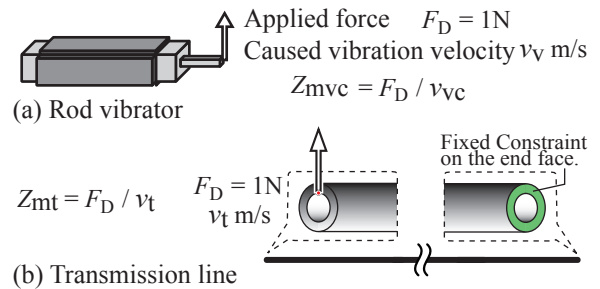


Fig.2 Analyzed method to obtain the mechanical impedances of the rod and transmission line on the connection ports.

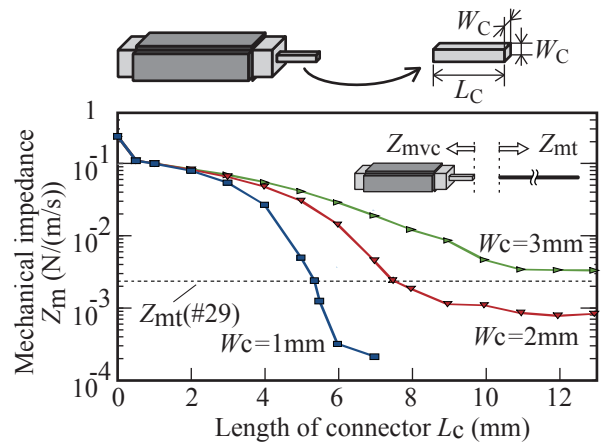


Fig.3 Mechanical impedance of the square rod with connector.

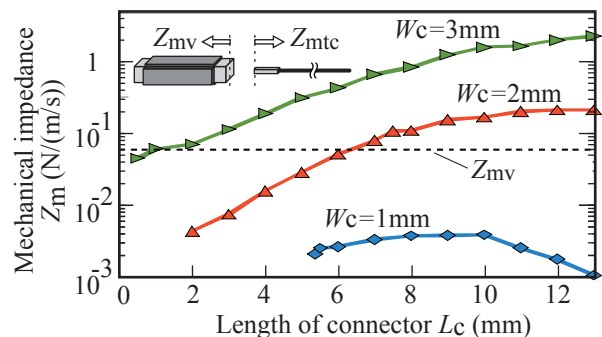


Fig.4 Mechanical impedance of the transmission line with connector.

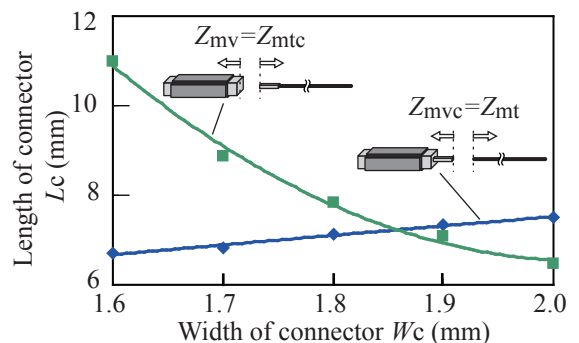


Fig.5 Dimensions of connector obtained the mechanical impedance matching. The connector with dimensions at the cross point provides the total impedance matching.

Table I Material constants using analysis.

	Aluminum	Steel
Density(kg/m ³)	2730	7850
Young' s module(GPa)	69	205
Poisson' s ratio	0.33	0.28
Mechanical Qm	3000	3000

貼り合わせる際のずれ等もあり、このため Fig.6 に示すように入力アドミタンスの共振特性には、直交方向の駆動端子 A-port, B-port それぞれで違いが生じている。合わせて FEM 解析の結果も示している。解析に用いた金属材料の弾性定数等を Table I に載せているが試作に用いたアルミニウムとは若干の材料定数の違いがあると考えられ、このため共振周波数に 1.5kHz 程度の違いが生じている。また共振尖鋭度 Q についても実験では解析に比べて 1/4 程度の値となっている。これは接着層の影響の他、解析時に仮定した金属の機械的損失の見積もりが小さすぎると考えられる。従って FEM の計算で得られた整合条件も実際には若干のずれが見込まれるが、この試作素子を用いて評価を行った。

続いて、駆動端子の入力アドミタンスについて伝送路とシャフト基台を取り付けた際の解析結果を Fig.7 に、試作素子の測定結果を Fig.8 に示す。また比較参考のためコネクタを有しない直接接続素子の解析及び計測結果を Fig.9 に示す。値の大きさと若干の周波数ずれはあるが、解析と実験結果は概ね一致する傾向が確認される。一方のコネクタ無しの場合には、近接する二つの共振ピークの両側周波数では際だったピーク特性は見られないが、他方でコネクタを有する素子では注目している 24kHz 近傍以外にも多くのピークが確認される。

また、解析では Fig.10 のように整合によって励振部に対する伝送路部の振幅や振動速度が向上する事が示されており、LDV で計測した Fig.11 の結果も同様の傾向を示している。

以上より、本試作構造も概ね解析で狙ったような整合による効果が得られていると考えられる。

5. モータ特性

ロータの予圧を約 0.4N として得られた時計回り (CW)、反時計回り (CCW) それぞれの無負荷回転特性を Fig.12-13 に示す。Fig.12 は駆動電圧を実効値で 12, 15, 18V として、主モードである 24kHz 近傍で周波数掃引 (Up: 上方向き、Down: 下方向き) した場合の回転数である。掃引方向による違いの他、Fig.8 にも僅かに見られるスプリアス影響と思われるが 23.75kHz 付近で

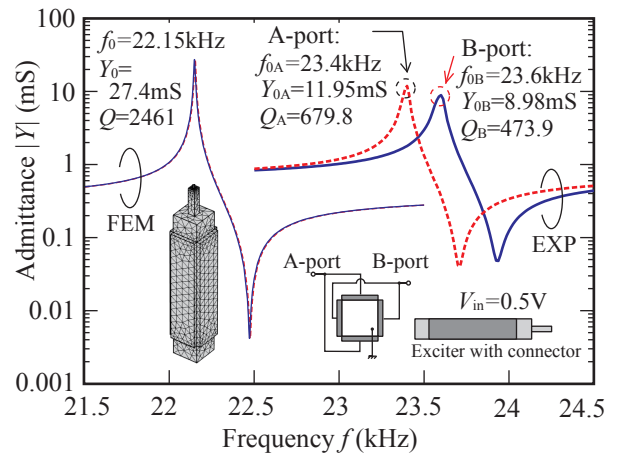


Fig.6 FEM and experimental results of admittance characteristics of the exciter with connector.

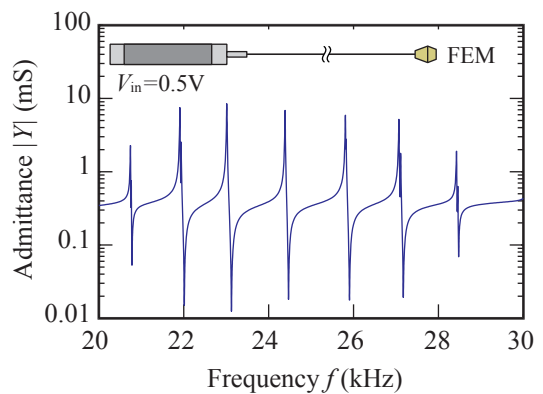


Fig.7 Admittance characteristics of analysis model.

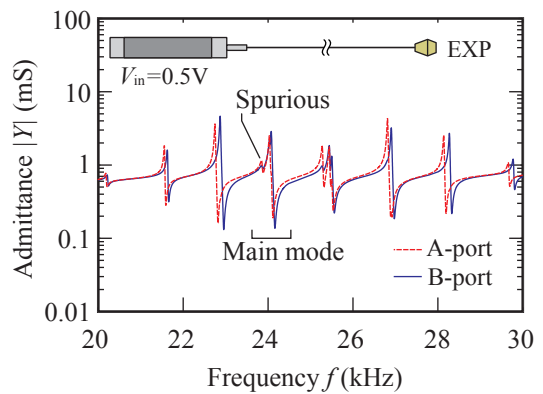


Fig.8 Admittance characteristics of trial motor.

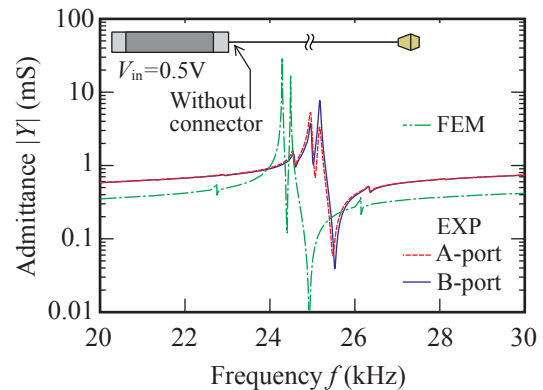


Fig.9 Admittance characteristics of previous construction without connector.

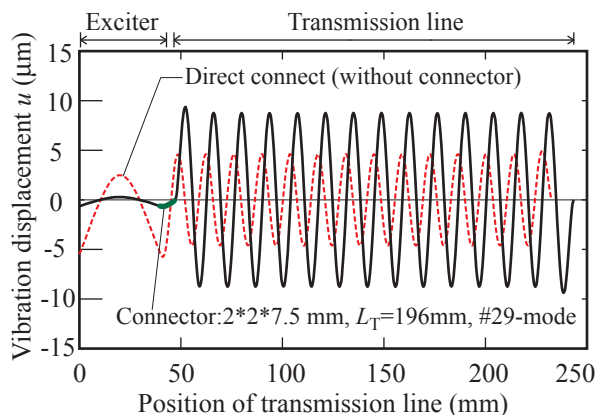


Fig.10 Comparing vibrational displacement distributions between the direct and improved connected resonators resulted by FEM.

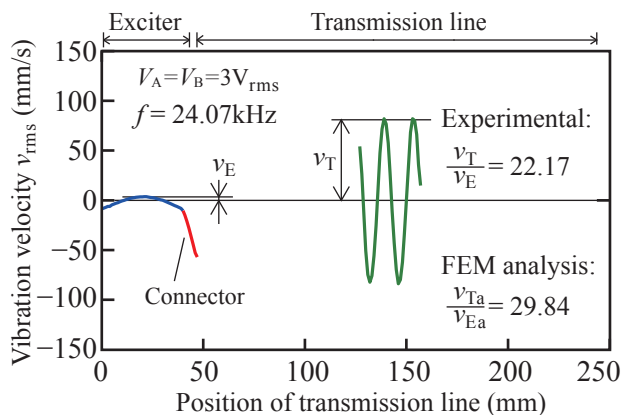


Fig.11 Experimental result of vibration velocity amplitude in the exciter and in around of the center of transmission line.

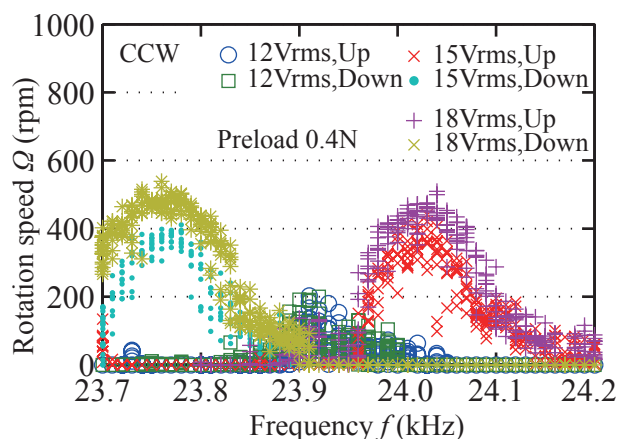
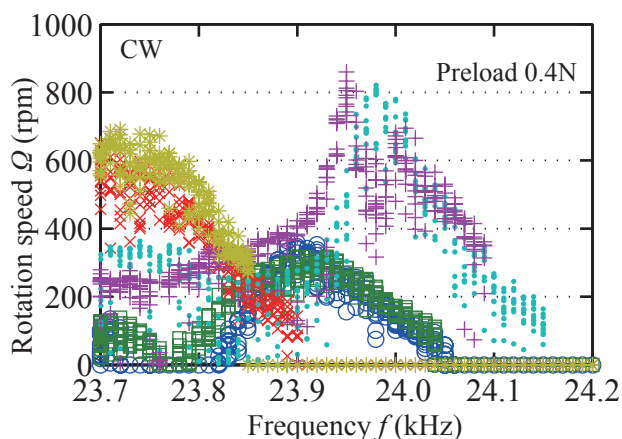


Fig.12 Frequency response of rotation speed.

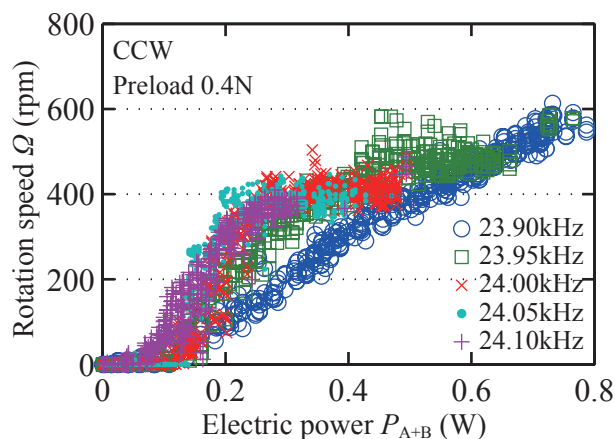
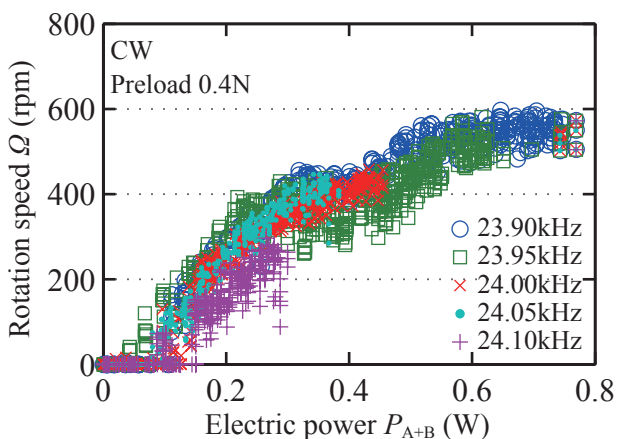


Fig.13 Experimental result of the trial motor.

も回転が生じている。入力電圧は両相とも等しい値にしており、0Vから50Vまで1V間隔で測定した。Fig.6やFig.8に示したように各相の周波数特性に違いがあるために各相A、B間の電力は一致しないものの、Fig.13に示すように合成電力 P_{A+B} に関して回転速度は各周波数において概ね比例的な傾向が確認された。またこの際のCW、CCWの違いも多少の違いがあるものの、駆動位相の反転によって両方向に同程度の回転速度特性を得る事が出来た。

6. まとめ

整合構造の寸法をFEMを用いて決定し、試作の結果、伝送線路形の超音波モータとして、ロータの自己保持形構成において、左右両方向への回転動作が確認された。

参考文献

- (1) 平野、他、音講論2010年秋, pp.1235-1236.
- (2) 平野、他、音講論2011年春, pp.1473-1476.
- (3) 田村、他、音講論2011年秋, pp.1327-1330.