

VM 法用振動子の高耐久化と振動特性改良に関する研究

Improvement of Durability and Vibration Characteristics of Vibrator for Microinjection

学生氏名¹⁾：塩原 幹弘

指導教員 教員氏名¹⁾：長谷川 淳

1) 所属先：拓殖大学 大学院 工学研究科 機械・電子システム工学専攻 長谷川研究室

キーワード：圧電アクチュエータ、振動型マイクロインジェクション法、マイクロピペット、有限要素法

1. 研究背景

外来遺伝子導入法の一つにマイクロインジェクション法と呼ばれるものがある。これは細胞にガラス針(以下マイクロピペット)を用いて細胞核または細胞内に遺伝子溶液を直接注入し、遺伝子組み換えを行う方法である。この方法はマイクロピペットを直接細胞に刺入する際に細胞自体が大きく変形するため刺入に高度な技術が必要になると、細胞の内部にある核や DNA を引きずりだす核引きが起きること、ピペットの先端に汚れが付着すると交換が必要になることなどの欠点があった。そこでそれらを改善すべく振動型マイクロインジェクション法(以下、VM 法)が提案されている(図 1)。マイクロピペットを圧電アクチュエータにより高速で縦方向に振動させることで作業効率を向上させる方法である。

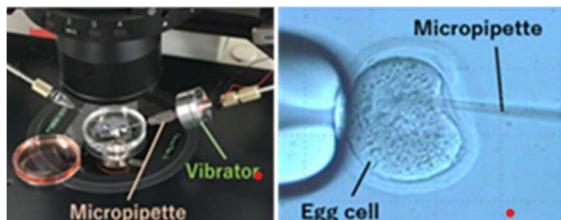


図 1 VM 法による遺伝子組み換えの様子

2. 研究目的

VM 法では圧電アクチュエータ内蔵の振動子をマイクロピペットとホルダーの間に取り付け、ピペットに縦振動を加える。この時、個々のピペットや

DNA 溶液の量などにより共振周波数が変化するため共振系による加振は得策ではない。したがって VM 法において有用性が確認されている 30~45 [kHz]においてフラットな振動変位を実現することが理想である。本研究ではこのような特性を持ち、経年劣化の少ない新しい振動子の開発を目的とする。有限要素法による振動解析を事前にを行いその結果に基づいて試作評価を行う。

3. 振動子の構造

振動子の構造を図 2 に示す。振動子はマイクロピペットを取り付ける前面ハウジングとホルダーに接続する土台つきシャフトで圧電アクチュエータをはさみこみ、ピペットを加振する方式である。アクチュエータは軸対称駆動のためリング型のものを採用した。前面ハウジングと土台つきシャフトは周辺部で外側ハウジングと六角穴付きネジで締め付ける事により中心部の振動変異が大きくなる構造である。アクチュエータへの加圧はネジの締め付けで調整する。

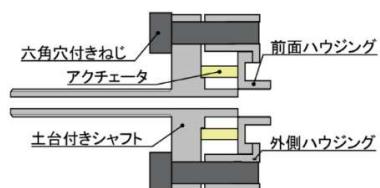


図 2 振動子の基本構造

4. 振動子の改良

従来の振動子では内蔵しているリング型アクチ

ュエータ(AER10×7×5)が要因となり経年で性能が大きく低下する可能性が指摘されている。そのため素子本体に厚みがあり耐久性が期待できるアクチュエータ(AER13.6×10×5)を用いたものへと再設計した。また、これまでの研究から超音波領域においてねじが特性に大きな影響を与えることが判明しているため M4, M3, M2.5, M2 ねじのどれが 30~45[kHz]においてフラットな振動特性を実現することができるか解析した。振動特性の解析にはムラタソフトウェア製の有限要素解析ソフト、FEMTET を用いた。解析モデルは負荷を減らすため、簡易的なモデル(図 3)とした。解析周波数は 1[kHz]~100[kHz]を 1[kHz]ステップに設定している。各境界条件は図 3 に示す。またアクチュエータは駆動電圧時の発生力を考慮し表裏で±73N として条件を指定した。図 4 に解析結果を示す。いずれもねじの直径により 45, 55[kHz]付近のピークディップが異なることが判明した。また、中でも M4 ネジの振動変位は全体が低い周波数にシフトしており、30~45[kHz]付近において最も広い帯域でフラットな特性となった。この結果より M4 ネジを使用した振動子を最初に試作することとした。尚、のちに製作した M3 型振動子は M4 型振動子に改造を加えることで対応した。

5. 試作振動子の評価

アクチュエータへは 10[V_{p-p}]の正弦波に、オフセット電圧 10[V]を加えたものを駆動電圧として入力している。また、ねじの締め付けトルクを 15[N·cm]にして測定を実行した。計測には光学式センサ用い、前面ハウジング縦振動の変位を測定した。結果を図 5 に示す。結果を比較すると、M3 型振動子は M4 型振動子と比べて高い周波数領域において一定の振動変位を持つ個所が M3 型振動子に比較して大きい。特に M3 型振動子、32[kHz]付近にあるフラットな特性は、M4 型振動子より優れたものである。また、解析でも示唆された通り、全体の特性が M4 型振動子より M3 型振動子のほうが高い周波数へとシフトしている。しかし、解析と実測で結果に大きな差があることも判明した。

6. 結論

M3 型振動子、32[kHz]付近にあるフラットな特性は VMI 法の実用領域である 35 [kHz]付近であるため、M3 型振動子と M4 型振動子とでは M3 型振動子の方がより実用に近い特性を持つことが分かった。また、解析結果と実測結果の比較から解析において 50[kHz]付近での変位にピークディップが少ない M3 型の方が優れた特性を有したことから同じく解析結果において優れていた M2, M2.5 ネジを採用した振動子を今後追加で製作し、評価していく必要がある。

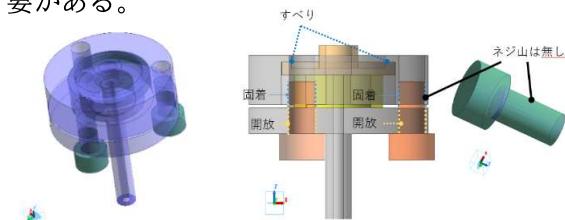


図 3 モデルと境界条件

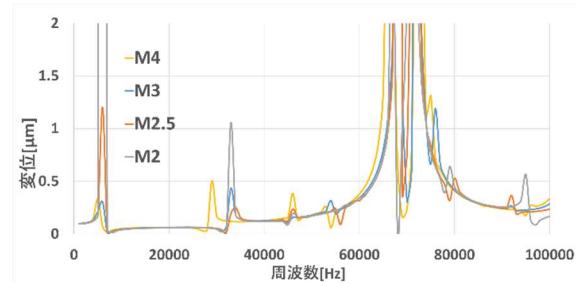


図 4 M2, 2.5, M3, M4 型ネジの解析結果

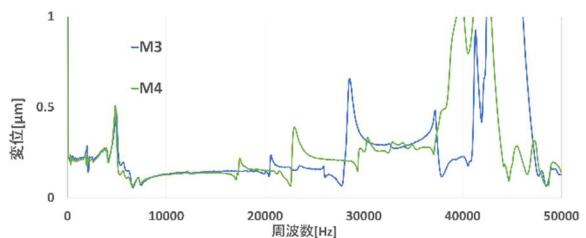


図 5 実測結果の比較

- [1]高野 稔裕, “VMI用振動子の振動特性の改良” USE2019
- [2]長谷川 淳, “VMS 用振動子の開発” 日本工業出版「超音波 TECHNO」第 33 卷 6 号
- [3]岡田 瑠太, 他 “遺伝子組み換え効率向上のための超音波領域振動型マイクロインジェクション法の開発” ライフサポート 20 卷 Supplement 号 p170