

ヒゲセンサ機能を搭載したメンズシェーバー

Men's Shaver with Shaving Sensor Technology

大羽 隆文
Takafumi Oba

西村 真司
Shinji Nishimura

伊吹 康夫
Yasuo Ibuki

泉 智博
Tomohiro Izumi

要 旨

シェーバー使用時の肌への余分な負担を抑えることを目的に、ヒゲセンサ機能を開発した。従来から、当社メンズシェーバー ラムダッシュにはシェーバー専用開発したリニア振動型アクチュエータ（Linear Oscillatory Actuator, 以下LOA）を搭載している。ヒゲセンサ機能は、ヒゲをカットする際に発生するLOAの振幅の変動をソフトウェアで処理することによりヒゲの濃さをセンシングし、約19% LOAの出力を自動で変化させる。剃（そ）り始めやヒゲの濃い部分では出力を増加させ力強く剃り、仕上げ剃りやヒゲの薄い部分では出力をセーブし肌への余分な負担を抑えることで、力強さと肌へのやさしさの両立を可能にした。

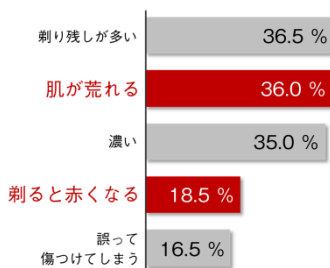
Abstract

To avoid placing an excessive burden on the skin, we developed a men's shaver equipped with a shaving sensor technology. Linear Oscillatory Actuator (LOA) developed exclusively for the shaver has been mounted on the men's shaver LAMDASH. With this shaving sensor technology, software detects a beard's density by processing amplitude variations of the LOA which occur when cutting a beard, and automatically changes the output of the LOA by about 19% accordingly. Thus the shaving sensor technology adjusts the output of the LOA to give a powerful yet gentle shave.

1. はじめに

近年、美容意識の高まりにより、スキンケアに関心をもつ男性が目立ち「肌にやさしくヒゲを剃（そ）りたい」というニーズが高まっている。

第1図に、当社がWebにて調査した「20代男性がヒゲ、ヒゲ剃りで気になること」に関するアンケート結果（200名、複数回答 上位5位）を示す。「肌が荒れる」「剃ると赤くなる」など、ヒゲを剃ることは肌へ負担をかける行為ととらえられていることがわかる。



第1図 20代男性がヒゲ、ヒゲ剃りで気になること

Fig. 1 Worries about beard and shaving, men in their 20s

当社メンズシェーバー ラムダッシュ^(注1)は、肌へのやさしさを求めるお客様に対し、肌に押し付ける際の圧力を分散する当社独自の5枚刃システムなど、刃とサスペン

(注1) ラムダッシュおよびLAMDASHは、当社の登録商標または商標

ションの技術進化でニーズに応じてきた。

このような背景のなかで、お客様ニーズである肌にやさしいシェービングを制御技術にて実現すべく、ヒゲセンサ機能を搭載したメンズシェーバー ラムダッシュを開発した。

ヒゲセンサ機能は、ヒゲの濃さをセンシングしLOA（Linear Oscillatory Actuator）の出力を自動で変化させる。剃り始めやヒゲの濃い部分では出力を増加させ力強く剃り、仕上げ剃りやヒゲの薄い部分では出力をセーブし肌への余分な負担を抑える。最大の特徴は、ヒゲ負荷と肌への押し付け負荷を識別できることであり、剃り終わった肌にシェーバーを押し付けても、パワーセーブ状態をキープできる。

本稿では、ヒゲセンサ機能を構成する下記3つの技術について説明する。

- ① ヒゲセンサ機能の前提となる当社独自のシェーバー専用LOAと駆動制御技術
- ② LOAの振幅の変動からヒゲの濃さをセンシングする技術
- ③ センシングの結果LOA出力を変化させる際の応答性を改善するPID（Proportional Integral Derivative）制御技術

2. シェーバー専用LOAと駆動制御技術

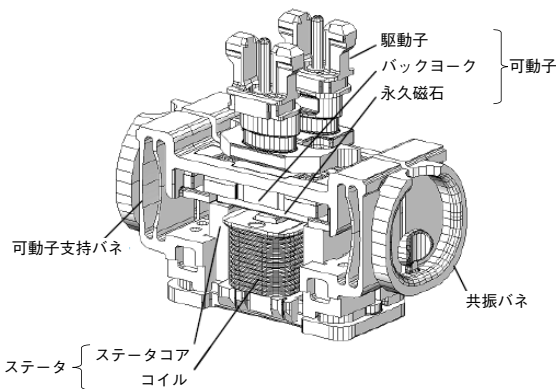
当社は、1995年にシェーバー専用のLOAを開発し、DCモータでは困難な高速かつパワフルな刃のダイレクト駆

動を実現した。その後、小型高効率化を目指した技術の深堀を進めており、最新のラムダッシュ5枚刃においては毎分14000ストローク（約233 Hz）のLOAを、刃を収めるヘッド内部に搭載している。

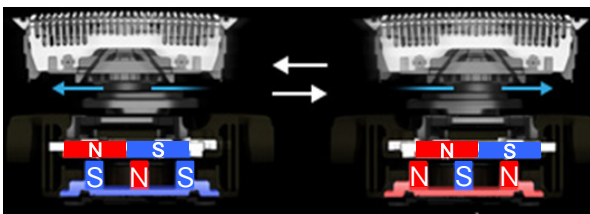
2.1 LOAの構造と動作原理

LOAの構造、駆動原理を第2図、および、第3図に示すLOAの動作イメージ図を使って説明する[1]。並行に2個配置された可動子は、永久磁石、磁性材料からなるバックヨーク、内刃を駆動する駆動子とからなり、2個の可動子は共振バネで連結されている。ステータはケイ素鋼板の積層からなるステータコアとコイルで構成されている。可動子は、往復運動可能なように、弾性を有する可動子支持バネによってステータ両端から支持され、永久磁石とステータはギャップを隔てて対向して位置する。

2個の可動子の永久磁石は異なる極性で設置されていて、フルブリッジ回路によりステータのコイルに与える電流の向きを交番にすることで、可動子にその永久磁石とステータとの間で吸引力を発生させ、180°ずれた振動位相で往復運動を行わせることができる。



第2図 LOAの構造
Fig. 2 Structure of LOA



第3図 LOAの動作イメージ図
Fig. 3 Conceptual image of operation of LOA

2.2 LOAのフィードバック制御

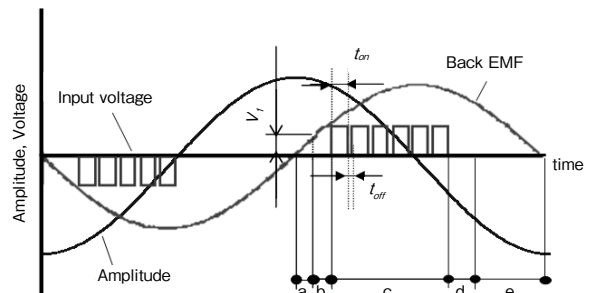
LOAのフィードバック制御の概要を第4図に示す。コ

イルに生じる逆起電圧を検知するために、まず、区間(a)において逆起電圧が0となってから、一定時間後の逆起電圧 V_1 を検知する。この区間では電圧印加を行っていないため、コイルに発生する逆起電圧を検出可能となる。ここで、検出した逆起電圧はLOAの可動子の振幅と相関があり、逆起電圧が大きいほど振幅は大きくなる。また、逆起電圧の検出は、LOAの往復運動の周期ごとに1度行われる。

そして、区間(b)にて、逆起電圧と電流位相を合わせるために一定時間の電圧遅延区間を置いた後、区間(c)で区間(a)の逆起電圧 V_1 より決定されるDutyにしたがって電圧を印加し、区間(d)において、還流ダイオードに電流が流れ回路に電流を回生し、その後、区間(e)で回路を開放する。

区間(c)において、PWM (Pulse Width Modulation) フィードバック制御により、電圧波形を細かいパルス波とし、各パルス波間の印加電圧offの区間において流れる電流を利用して、高効率な駆動を実現している。また、区間(c)における電圧印加時間は、(1)式で表されるDutyを、コイルにて検知する逆起電圧 V_1 に応じて決定する。

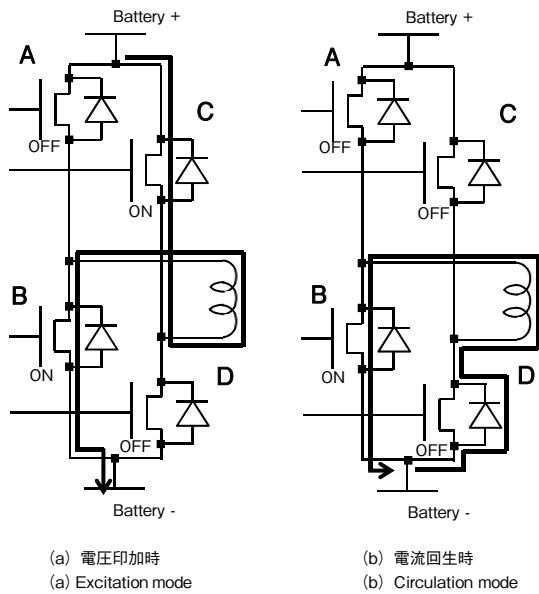
$$Duty = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} \dots\dots\dots (1)$$



EMF : ElectroMotive Force

第4図 PWMフィードバック制御概要
Fig. 4 PWM feedback control

なお、区間(c)でのPWMのON区間および区間(d)での電流経路は、それぞれ、第5図(a), (b)に示すとおりである。



第5図 制御回路
Fig. 5 Control circuit

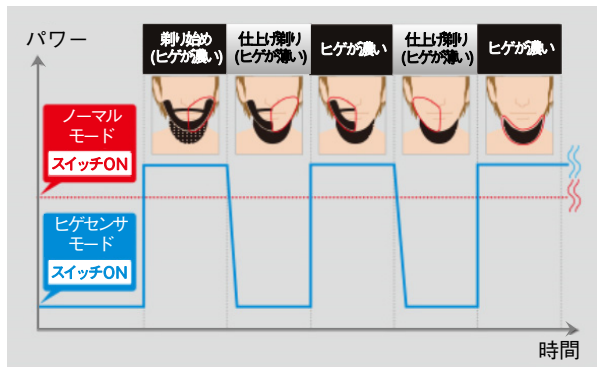
3. ヒゲセンサ機能の仕様と技術開発課題

商品企画部門とお客様ニーズを分析し、ヒゲセンサ機能の開発目的を肌への余分な負担を抑えることとした後、ヒゲセンサ機能の動作仕様を検討し、技術開発課題を設定した。

3.1 動作仕様の検討

第6図に示す動作仕様の要点は3点である。LOA出力(第6図内のパワー)の基準は、当社ラムダッシュ5枚刃にヒゲセンサ機能を搭載する以前の機種での駆動モード(第6図内のノーマルモード)とした。

- ① 剃り始めやヒゲの濃い部分では、力強さが必要でありLOAの出力を約5%増加させる。



第6図 ヒゲセンサ機能の動作説明
Fig. 6 Explanation of shaving sensor technology

- ② 仕上げ剃りやヒゲの薄い部分では、肌への余分な負担を抑えるためLOAの出力を約14%セーブする。
 - ③ 仕上げ剃りやヒゲの薄い部分では、肌に押し付けてもLOAの出力を増加させず、出力をセーブした状態を維持する。
- ①, ②より、LOAの出力を約19%変化させる必要がある。LOAの出力変化量については、出力と剃り性能の関係、および、出力と肌への負担の関係を評価した結果を用い設定した。

3.2 技術開発課題の設定

技術開発課題は2点である。

- ① ヒゲの濃さをセンシングする技術が必要となる。特に、ヒゲ負荷と肌への押し付け負荷を識別できることが重要である。
- ② 機械共振しているLOAの出力をヒゲの濃さに応じて約19%変化させた場合でも、安定的に制御するため、LOAの応答性を向上させる手法の検討が必要である。

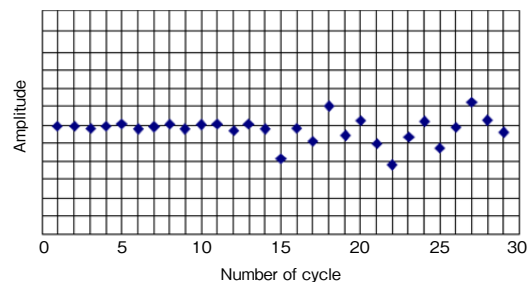
4. ヒゲの濃さをセンシングする技術

ヒゲの濃さをセンシングする技術については、ヒゲを剃る際のLOAの負荷電流を検出する方式が考えられる。しかし、電流検出手段を別途設けないといけないことに加え、ヒゲ負荷と肌への押し付け負荷を識別することが難しいことがわかった。そこで、ヒゲをカットするときのLOAの振幅の変動に着目し検討を進めた。

本検討では、ヒゲの濃さを定量化することが必要となる。定量化に際しては、当社がシェーバーの開発でこれまで蓄積してきたヒゲに関するデータを分析し活用した。

4.1 ヒゲをカットするときの振幅の変動

第7図に、ヒゲをカットしたときの振幅の変動状態を示す。第7図は、LOAの往復運動の周期ごとに行われる



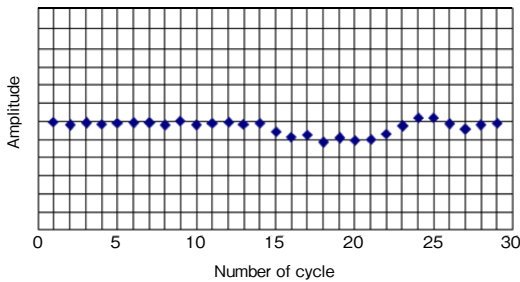
第7図 ヒゲをカットしたときの振幅の変動
Fig. 7 Amplitude variations when cutting a beard

逆起電圧の検出に際し、その検出値を振幅へ変換し30周期分プロットしたものである。15周期以降がヒゲをカットしている状態である。

第7図より、ヒゲをカットすることで15周期以降では振幅が変動し、増加と減少を繰り返す特徴的な波形となる。ヒゲをカットした瞬間、カット時の負荷により振幅は減少する。振幅の減少を検出した後、LOAのフィードバック制御により振幅が増加するため、ヒゲをカットしているときには振幅は減少と増加を繰り返すことになる。

4.2 ヒゲのない肌に押し付けたときの振幅の変動

第8図に、ヒゲのない肌に押し付けたときの振幅の変動を示す。15周期以降が肌に押し付けた状態である。第7図と比較すると、振幅の変動量が小さいことがわかる。



第8図 ヒゲのない肌に押し付けたときの振幅の変動
Fig. 8 Amplitude variations when the shaver is pressed against skin without a beard

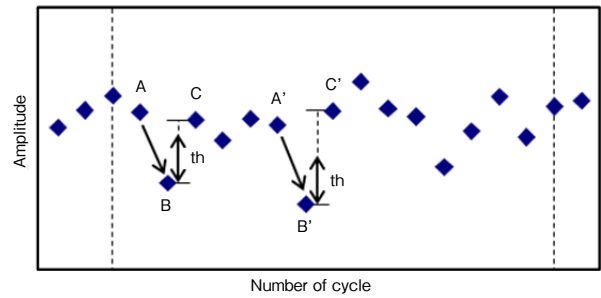
4.3 ヒゲの濃さをセンシングするソフトウェア処理

ヒゲの濃さに水準を設定し、各水準での振幅の変動量を定量化すると、ヒゲの濃さと振幅の変動量の間に相関があることがわかった。そこで、振幅の変動量をソフトウェアで処理することで、ヒゲの濃さをセンシングし判定する方法を検討した。

第9図は、ヒゲをカットするときの振幅とLOA駆動周期の関係を示した模式図である。第9図を用いて、ヒゲの濃さをセンシングし判定する方法を説明する。

第9図中のA→B→Cのように振幅が変動する場合を考える。Cの振幅がその直前のBの振幅よりもあらかじめ設定した振幅差 th （第9図参照）以上であり、かつ、Bの振幅がAの振幅よりも小さい場合、ヒゲをカットしたと判定する。さらに、A'→B'→C'と繰り返された場合、ヒゲのカットが継続していると判定する。

ヒゲの濃さの判定については、振幅差 th の大小に加え、第9図の破線で示すある一定周期の範囲内で、ヒゲをカットしたと判定した回数（B、B'）をカウントすることで行う。振幅差 th が大きいほど、また、ヒゲをカットし



第9図 ヒゲをカットしたときの振幅の変動
Fig. 9 Pattern diagram of amplitude variations when cutting a beard

たと判定した回数が多いほど、より濃いヒゲをカットしていると判定する。そして、振幅差 th が小さいほど、また、ヒゲをカットしたと判定した回数が少ないほど、薄いヒゲをカットしている、あるいは、ヒゲのない肌に押し付けられていると判定する。そして、LOA駆動中に上記ソフトウェア処理を行いヒゲの濃さを判定し、ヒゲの濃さに応じてLOAの出力を変化させる。

5. LOAへのPID制御の適用

LOAは機械共振を用い高効率化を実現している。過渡応答により共振条件から外れてしまうと効率が低下する。ヒゲの濃さをセンシングした後、LOAの出力を変化させる際の安定性が重要となるため、PID制御の適用を検討した[2]。

5.1 PID制御について

PID制御とは、目標値と検出値との偏差に対する3つの操作から成り立つ。比例操作は偏差に比例した出力を決め、偏差が大きい場合には操作量を大きくし、偏差が小さくなると制御量を小さくする。積分操作は偏差の時間積分値に応じて修正出力を与える。微分操作は偏差の時間変化率に比例した出力を与えるが、偏差が増加しつつあるときは、その先を見越して操作量を大きくし、偏差が減少しつつあるときは、操作量を小さくする働きがある。

これにより、応答性を改善しながら偏差を目標値に素早く一致させる。これらの操作量に適切な重みをかけて、安定な制御系を決定する。PID制御によるDuty決定式を(2)式に示す。

$$Duty(\%) = K_p e(t) + K_I \int e(t) dt + K_D \frac{de(t)}{dt} \dots (2)$$

ここで、 K_p は比例ゲイン、 K_I は積分ゲイン、 K_D は微分ゲイン、 $e(t)$ は目標値との偏差である。検出値は前述の

PWMフィードバック制御と同様に検知電圧 V_I であり、目標値を V_S すると制御偏差 $e(t)$ は(3)式となる。

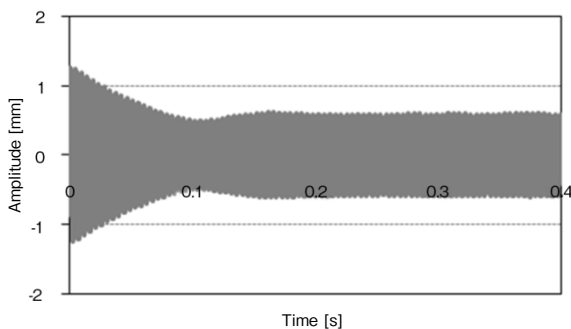
$$e(t) = V_S - V_I \quad \dots\dots\dots (3)$$

5.2 限界感度法によるゲイン設定

各ゲインの設定は、代表的なPID調節法である限界感度法を用いた。限界感度法とは、比例操作のみでフィードバック制御を行い、制御限界となり持続振動が生じた際の比例ゲインと持続振動周期より、安定な比例ゲイン、積分ゲイン、微分ゲインを得る手法である。

本LOAは、フィードバック計算を振動1周期ごとに1回行っているため、連続時間系を前提としている限界感度法をそのまま適用することができない。そこで、限界感度法の適用に際し、連続時間系での持続振動周期の代わりに、持続振動周期内にフィードバックを行った回数を用いた。フィードバック回数より、連続時間系での積分時間に相当する積分回数と微分時間に相当する微分回数を求め、各ゲインを設定した。

設定値の妥当性については、試作評価に先立ち、有限要素法とPID制御とを連成した解析シミュレーションを用いて検討し、有限要素法により得られた磁束分布から振幅を求めた。シミュレーション結果として、第10図に、約50%振幅を減少させた場合の振幅の過渡応答波形を示す。良好に収束することが確認できた。



第10図 過渡応答波形
Fig. 10 Transient response

6. まとめ

シェーバー専用LOAに対し、ヒゲの濃さをセンシングする技術とPID制御技術を加えることで、肌への余分な負担を抑えるヒゲセンサ機能をラムダッシュに搭載することができた。

特に、ヒゲの濃さをセンシングする技術については、当社がシェーバー事業を通じて蓄積してきたヒゲに関する

知見を制御技術に適用することで、ヒゲ負荷と肌への押し付け負荷を識別できる当社独自技術の開発を実現できた。今後も、ニーズを的確にとらえることで、「自分らしさ」を求めるお客様へ、より美しい「カラダ」とより快適な「暮らし」を創造することを目指し、新しい技術と商品の創出に取り組んでいきたい。

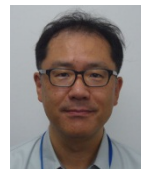
参考文献

- [1] 泉智博 他, “シェーバー向け振動型リニアアクチュエータの開発,” 平成26年 電気学会全国大会 シンポジウム公演論文集, 第五分冊, pp. 22-25, 2014.
- [2] 嶋田晴樹 他, “PID制御ゲインによるリニア共振アクチュエータの振幅への影響,” 電気学会モータドライブ研究会資料, vol. MD-11, no. 54-73, pp. 83-88, 2011.

執筆者紹介



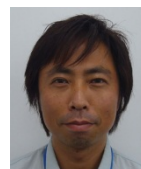
大羽 隆文 Takafumi Oba
アプライアンス社
ビューティ・リビング事業部
Beauty and Living Business Div.,
Appliances Company



西村 真司 Shinji Nishimura
アプライアンス社
ビューティ・リビング事業部
Beauty and Living Business Div.,
Appliances Company



伊吹 康夫 Yasuo Ibuki
アプライアンス社
ビューティ・リビング事業部
Beauty and Living Business Div.,
Appliances Company



泉 智博 Tomohiro Izumi
アプライアンス社 技術本部
Corporate Engineering Div., Appliances Company.