オーディオ論壇収載

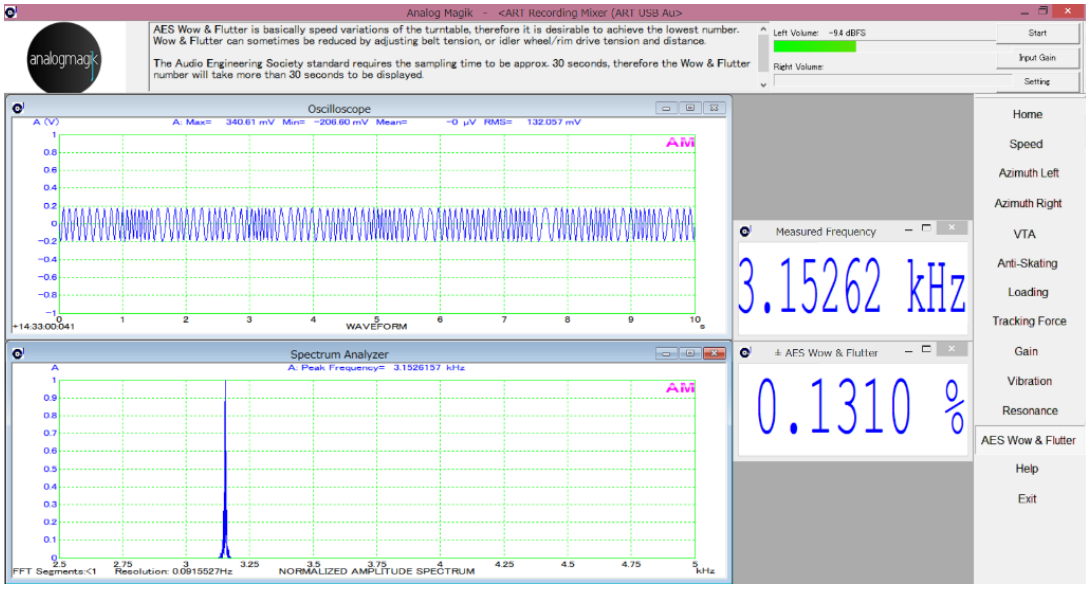
ワウ・フラッター発生要因に関する一考察

１．はじめに

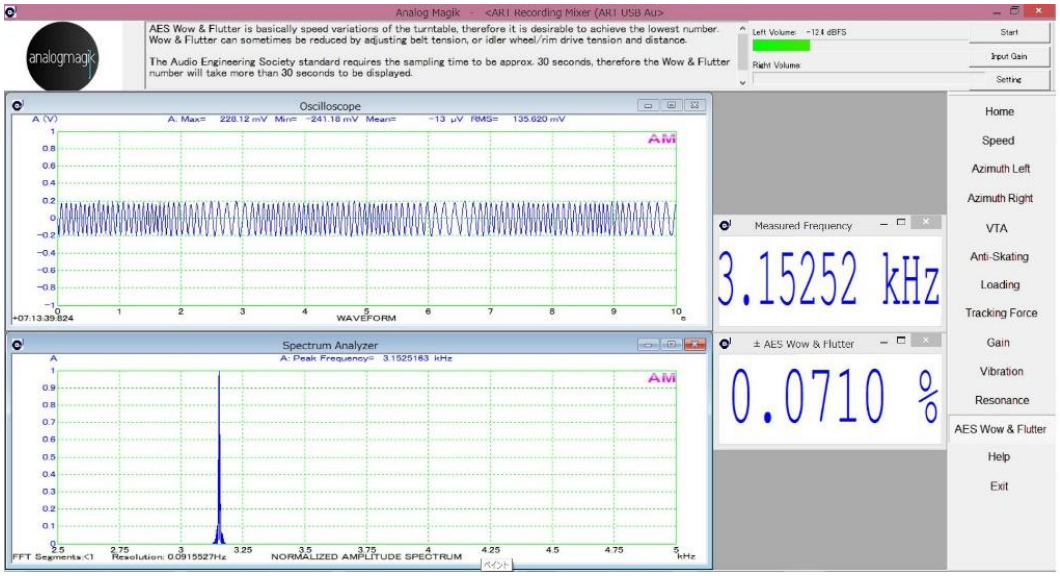
アナログマジックによるワウ・フラッター値の測定において、下記に示すように波形の粗密が現れることが分りましたので、この原因について考察することにしました。

２．ワウ・フラッター値の測定結果

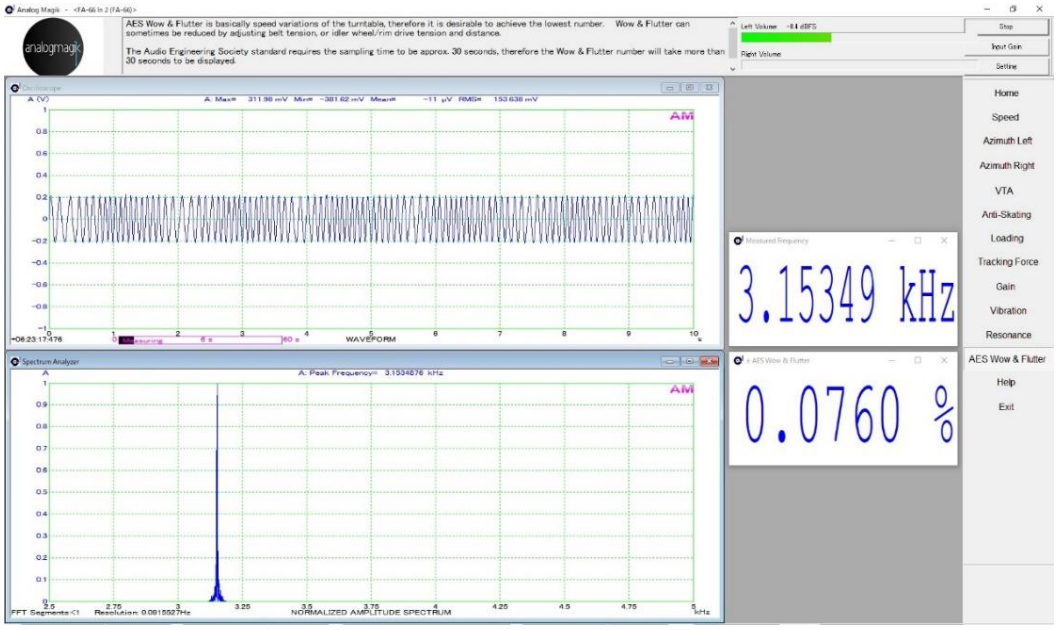
アナログマジックの取り扱い説明書に従い、オーディオ仲間にも協力していただき、計 7 機種のプレイヤーについて測定した結果のチャートを下図に示します。5 機種については波形の粗密が現れ、ワウ・フラッター値もかなり変動しています。なお、Garrad 401 はリムドライブ方式であり、ヤマハ GT-750 とテクニクス SL-1600 はダイレクトドライブ方式で、その他はベルトドライブ方式です。



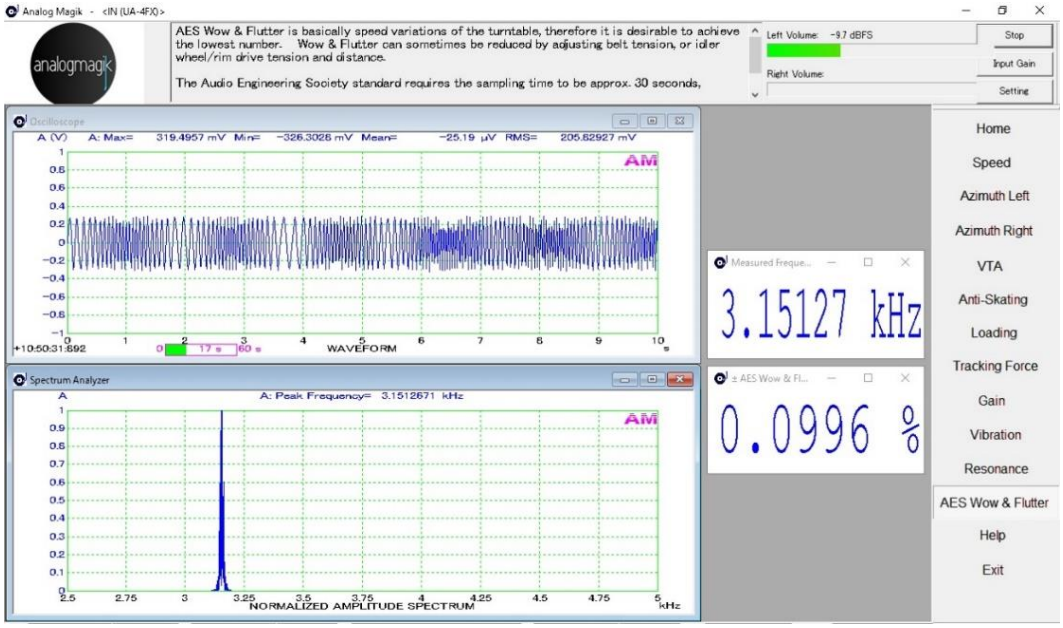
LINN LP-12（編集者宅）



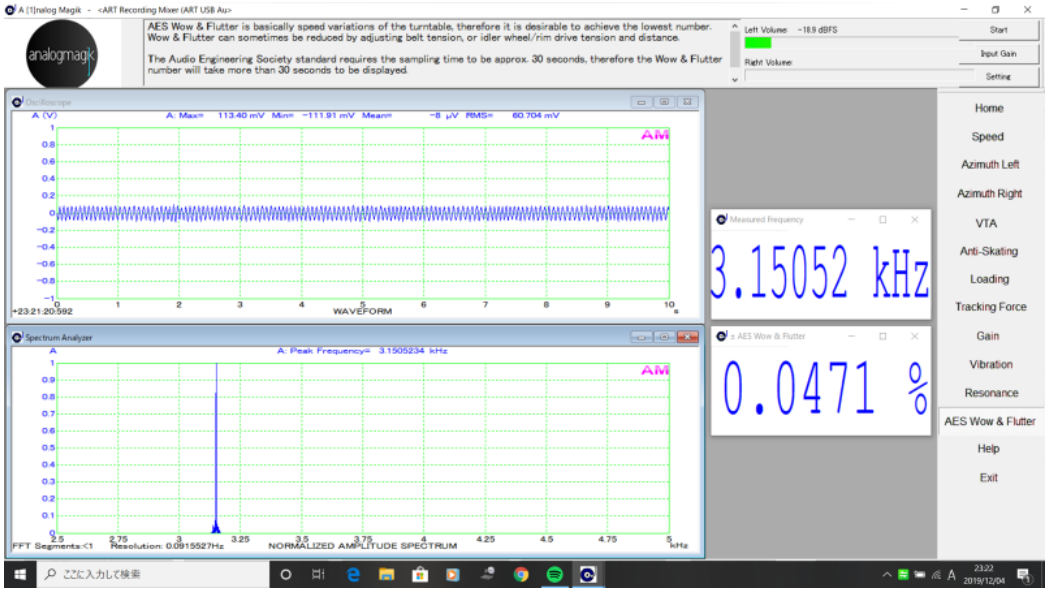
Garrad 401（編集者宅）



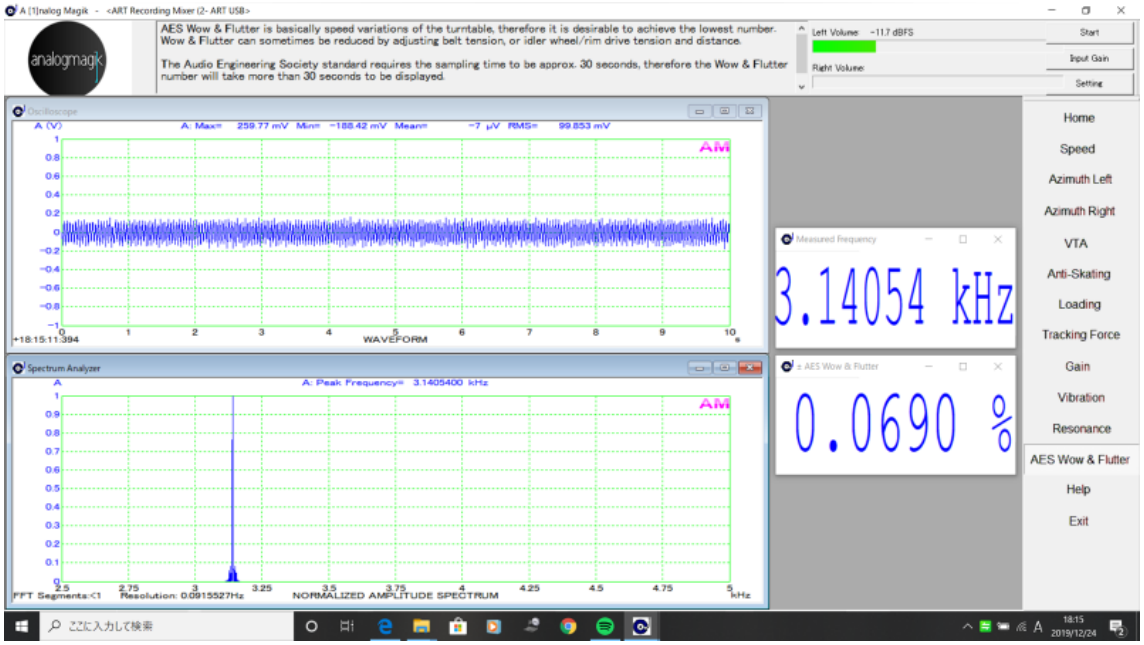
パイオニア PL31E（Y 氏邸改造機）



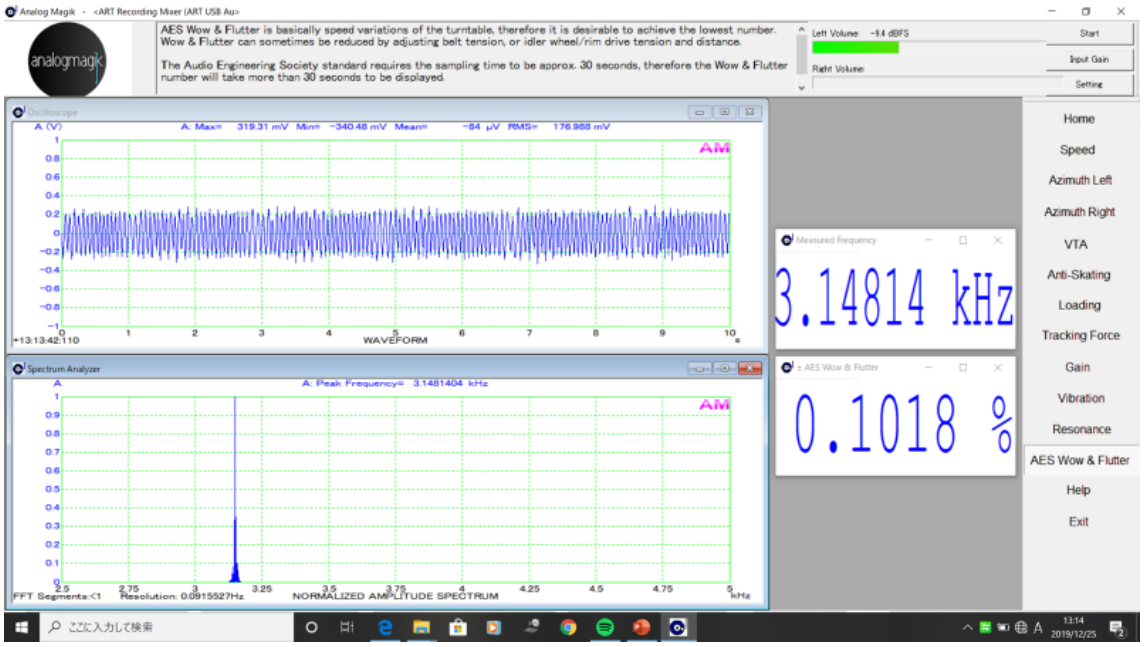
パイオニア PL12E（Y 氏邸改造機）



ヤマハ GT-750（S 氏邸）



テクニクス SL-1600（S 氏邸）



ラックス PD-171A（H 氏邸）

LI NN LP-12 では、振幅の緩やかな変動があり、粗密の出方が顕著です。
Garrad 401 では、振幅の緩やかな変動はあるものの、比較的波形も整っており、粗密の出方もおだやかな方です。
パイオニア PL31E では、もっとも波形が整っており、粗密の出方も均一です。
パイオニア PL12E は、波形が乱れ、振幅も変動し、粗密の出方が非常に不均一です。
ヤマハ GT-750 は、ワフ・フラッター値は数値的にはもっとも小さく、波の

粗密は見られまず、細かな制御を行っています。
テクニクス SL-1600 のワフ・フラッター値はかなり小さく、波の粗密は見られず、細かな制御を行っていますが、同じダイレクトドライブの GT-750 と比べると拡大して見た場合、細かい波の乱れがあります。
ラックス PD-171A のワフ・フラッター値は、LINN LP-12 より若干小さく、波の粗密は他のベルトドライブ機と同様です。

３．ワウ・フラッター値の測定結果に関する考察と発生原因の仮説

一般的には、ベルトドライブ方式のワウ・フラッターはベルトの伸び縮みなどで起こること、リムドライブ方式の方式ではリムとプラッターの接触の密着度の変動によるスリップなどで起こると考えられます。しかし、いずれの場合も、波の粗密の周期が波の周期より長いことの説明に苦しみます。
そこで、おのおののプレイヤーの構造について整理してみました。
LINN LP-12 は小口径のインナープラッターがあって、そこにベルトがかかっています。レコードが乗るアウタープラッターはインナープラッターに載せるだけであり、重力の静摩擦だけで固定されます。それ故、重心は高くなり、いくら高精度の切削精度があるとは言え、ガタがあります。回転軸の振動をレコードに伝えること、レコード盤の振動をアウタープラッターとインナープラッターの間で遮断し、静寂感をもたらすメリットはありますが、重心が高いことは安定した回転には不利になります。
Garrad 401 は、リムドライブであり、リムとプラッターの接触の密着度の変動が避けられませんが、プラッターそのものの構造はシンプルであり、意外にワフ・フラッター値も小さい方です。
PL-31E は、軸の回転をスムースにすることを目的とした、上下 2 箇所のベアリング使用の改造が、たまたま回転軸の傾きの変動を抑制する構造にもなっています。ベルトドライブの中では、波形はもっとも整っています。
PL-12E は、回転軸の底にボールがあり、スピンドルとスリーブはオイルで潤滑する構造になっていますが、PL-31E のような改造は行っておらず、粗密の変動も振幅の変動も目立っています。
GP-750 と SL-1600 は、ダイレクトドライブの回転制御がうまく機能していますが、波形が上記と大きく変わっていることは、回転のディジタル制御の問題か、軸の振動の問題かという推測が出てきます。しかし、波形が異なることから同じダイレクトドライブでも制御のアルゴリズムに違いがあるようです。
以上のことを総合的に判断すると、ベルトドライブであれ、リムドライブであれ、波形の粗密の変動は、ターンテーブルの回転軸のコマ運動（支点を軸にして上端がゆっくりと回転する運動）によるものとする仮説が考えられます。

LINN LP-12 は、ベルト駆動のインナープラッターの上に、アウタープラッターがあって重心が高く、インナープラッターとの密着性がないため、コマ運動には不利になります。
Garrad 401 はリムドライブながらリムとプラッターの密着度に変動さえなければ、回転軸の傾きの変動を抑制できるはずです。
もっとも波形のきれいな PL-31E は、回転軸の傾きの変動を抑制する構造になっています。
PL-12 は、波形の乱れが大きい原因として、回転軸の底にあるボールの精度がそれほど良くないのではないかと推測されます。
いずれにしても、ベルトドライブやリムドライブの本質的な構造の問題は別として、波形の乱れとワウ・フラッター値が関連していることから、コマ運動を抑制することもワウ・フラッター値の改善に資するものと考えられます。
GP-750 と SL-1600 はダイレクトドライブの回転制御がうまく機能しており、例え、コマ運動があったとしてもそれを抑制できていると考えられます。しかしながら、波形がその他と変わっていることは、回転の細かなディジタル制御に由来する問題か、それによる回転軸の振動の問題かという問題は残ります。
PD-171A は最新機種ですが、通常のベルトドライブ式のパーフォーマンスを示しています。

４．ワウ・フラッター値の発生原因の仮説のさらなる検証

ベルトドライブであれ、リムドライブであれ、波形の粗密の変動は、ターンテーブルの回転軸のコマ運動（支点を軸にして上端がゆっくりと回転する運動）によるものとする仮説をさらに検証することが必要であり、測定事例を増やすことや、他の測定方法の適用が考えられます。
なお、ダイレクトドライブの GP-750 と SL-1600 は、その他と変わった波形を示すことから、聴感上、それが影響しているかどうかということにも興味があります。
こういった回転方式の聴感への影響は、ベルトドライブはワウ・フラッター値が大きい、リムドライブはゴロがでる、ダイレクトドライブはコキングが問題などと決めつけがあり、厳密な測定データと客観性のある聴感の関係に関する具体的な指摘は見当たりませんし、駆動方式と聴感上の違いを公表している例も稀です。

https://www.youtube.com/watch?v=D_AEZUgLlHs

ワウ・フラッター値と聴感との関係では、アナログマジック社によれば、

0.2%以下であれば、人の耳では検知できないというコメントもありますが、さらに適切な測定方法の開発と聴感との関連性を突き止める努力が望まれます。

以上