KRYNA 科学通信

この通信は KRYNA が提供するオーディオ技術とその背景をご紹介する冊子です。

Written by Dr.Nishimura @ KRYNA INC. TEL 0120-924-422

email dr.nishimura.lab@gmail.com

オーディオの基礎…アンプの出力・スピーカの許容入力

前回は、出力インピーダンスと受け側の入力インピーダンス、インピーダンスマッチングについて説明しました。今回はアンプの出力とスピーカの能率についてみてみましょう。

よくアンプには出力 100W＋100W などと書いてありますね。これは、左右 100W ずつの出力が可能だという意味です。これは、ほとんど歪が出ない状況で出し得る最大出力と読み取れます。一方、スピーカでは最大入力 100W とかの記述があります。これは、100W までの入力なら壊れずに再生できますよ、これ以上の入力ではボイスコイルが焼けキレて壊れる可能性がありますという意味です。それでは、アンプ・スピーカそれぞれに出力や入力の最大値についてみて見ましょう。

アンプの出力が 100W とはどういうことでしょうか？スピーカに 100W の電力を供給できるということです。例えば 1000Hz の信号 100W とは、接続したスピーカが 8Ωなら、[電流]^2×8＝100 ということになります。つまり、電流が 3.536A 流れ、スピーカの端子電圧は 28.3V だったということです。この時の電流の波形はピークが±5A の正弦波、電圧なら±40V の正弦波です。スピーカのインピーダンスが 4Ωなら電流は 5A、16Ωなら 2.5A となります。アンプから距離が遠い放送用の場合、スピーカのインピーダンスを高くし、電流を少なく抑える工夫がされます。これは、高圧送電線と同じ考え方で、ケーブルでの電力消費を低く抑えるためです。送電線では同じ電力（電圧×電流）を送る場合、送電線の抵抗が同じなので電圧を上げ、電流を下げることで、損失＝電流^2×抵抗を抑える訳です。一方、トランジスタ系のアンプの場合、素子のインピーダンスが低いので負荷抵抗も低く設定され、かつトランスを使わずに伝達するので、4Ωとか 2Ωといった低い出力インピーダンスを取っています。実際、室内での聴取ではせいぜい数 W で十分です。では何故出力が大きく設定されているのでしょうか？それは、定格出力に対して小さな出力で使うほど線形性が高い領域で使え、歪が生じにくいからです。また、トランジスタ系のアンプの場合、定格以上の出力になると、カットされてしまい歪となります。正弦波の頭が切り取られる状態になって明らかに歪みます。一方、真空管の場合は定格を超えても頭がカットされるようなことはなく、ゆがむ程度で済みますので、極端に歪感が強く出てきません。

スピーカの場合どうでしょうか？スピーカの構造は、マグネットによりつくられる磁界の間に置かれたコイルに音響信号を流し、フレミングの法則で作り出される力で振動板（コーン紙）を前後に動かして音を放射します。コイルは細い導線で通常つくられますので、電流によって発熱しやすくなっています。ニクロム線と同じようなものです。スピーカに設定されている許容入力を超える入力が入ると発熱が限度を越してコイルを焼き切ってしまう，もしくはコイルの運動範囲を超えて壊れるなどの故障を生じます。これは最大許容入力ですが、通常 100W などと書いてある場合は音響出力を表します。これと同時に能率が示されており、80dB などと書かれています。これは、1W の入力に対し、スピーカ 1m 前方で 80dB の音圧が得られるということです。世の中に出回っているスピーカの多くは 80～86dB のものが多く、86dB のスピーカでは 1W の入力で 86dB の音圧が得られ、ほぼコンサートホール並みの音量になりますね。10W の入力では 96dB となり、ガード下の騒音程度で、会話はほぼ聞き取れません。100W では 106dB となり、ツインターボのジェット戦闘機の後ろで 110～120dB 程度であることを考えれば非常に大きな音であることが分かります。通常の会話は 50～60dB 程度ですので、0.01～0.1W で会話並みの音の大きさです。こうして考えると、せいぜい 1W あれば十分かなと思えるところですね。そうは言うものの、アニメ「planetarian～ちいさなほしのゆめ～」を見ていると、第 4 話の最後と第 5 話の最初辺りで、砲撃のシーンがあり、会話を普通の音量で聴いているとびっくりしてしまうぐらい大きな音が出てきます。砲撃音なので一瞬で終わり、スピーカが壊れるほど大きな振動をしているようでもなかったのですが、こうした場面表現の急激な変動を考えるとスピーカは許容入力にある程度ゆとりを持たせると安心かと思います。アンプは真空管の場合、瞬時の過大入力に対し緩やかに頭打ちとなりひどい歪感は出ないので 3W とか 6W とか言ったレベルでも十分かと思いますが、トランジスタ系の場合明確に過大部分がカットされ、矩形波的なひずみが発生しますので、大き目のゆとりを持たせた方がいいかなという感じですね。これらの値はあくまでも感覚的なものですので、目安と思っていただけると助かります。

Tea Break

“Simple is best” is best.　よく言われますね。シンプルなのが一番って。これが通用するのは、良い素材に出くわした時ではないでしょうか？例えば、最もシンプルな料理「刺身」。ただ生の魚をスライスして少し塩味（醤油など）を加えて食べる。しかし、簡単そうで、結構難しいものです。同じ魚でも、鮮度の良さ、水分の調整、切り方・・・など、注意すべき点はたくさんあります。これらをきちんと守ると最高の料理が出来上がるわけです。生で魚を食べる風習の無い中華料理では、「もっとも新鮮な魚は蒸す、次いで焼く、煮る、最後に揚げる」と言われていますね。さて、良い素材としての魚の鮮度を保つ手法として、血抜きや温度管理が良く知られていますが、脊髄を壊すという作業も重要みたいです。これは、魚が死んだことを全身に

知らせないでまだ生きていると思わせることで死後硬直を遅らせることのようです。職人技です。水分調整は料理の上で重要ですね。刺身に限らず焼き魚でも同様です。ま、こんな感じで、シンプルと言っても良い食材を得るには実は手間暇かかるものです。そして、いよいよ調理。切れ味の良い包丁で引く。刺身を作るとき冊にした魚を薄く切ることを「刺身を引く」と言いますが、刺身包丁は手前に引いて切ることがコツです。のこぎりのようにごしごしと前後に動かさない。といった基本を守れば素人でもそこそこの刺身ができます。紅茶も同じで、シンプルに飲むとしても、前回述べたような守るべき基本を守ればそれなりにおいしく飲めます。

最近オーディオの世界でも、シンプルイズベストが言えるのではないかと思い始めました。「良い素材とシンプルな信号処理は、音楽信号の鮮度を保つ」といったところでしょうか。良い素材とは、プレーヤ・アンプ・スピーカに使われている素子や機器の質、それとそれらの素質を保つための各種アクセサリー。シンプルな信号処理とは、録音されて CD など各種媒体で供給された音源の音をオーディオシステムでこねくり回さず、シンプルに増幅してスピーカから出す。そうすることで、音源に記録された音楽信号や録音時の付帯音がストレートに再現される。ストレートにとは、そのまま聞こえるということで、何か詰まった感じとか、素直に聞けない感じとか言った、実際の音とはちょっと違うわずかな違和感がなく、すんなり聞けるといったところでしょうか？まさに「実在主義の音」とでもいえるリアル感が得られます。ただし，音源の録音の良し悪しもはっきり見えてきます．このように思い出したのは、手持ちアンプのフィードバックを取り払った時からです。さらに、カップリングコンデンサを取り去り、プリアンプを取り去って、DAC の出力もしくは LP の場合イコライザーの出力を直接アンプに入力することで信号の経路をシンプルにしました。その結果、素子による雑音は増えましたが、出てくる音の抜けの良さ、リアル感、余韻感が非常によく再現されるようになり（あくまでも現実の音を聴いているときに感じるリアル感や余韻感との比較でより現実世界に近い音として聞こえるという意味で）、これまでオーディオ技術は何をしてきたのかと思うほどです。このようなシンプルな再生法は約百年前に行われていたこと。ただし、以前と違うところがあります。それは、振動対策・高周波雑音対策・基準電位安定化です。百年前はこのような技術が無かったので、より良い音を模索して現在のような人口味の高い音になってしまったのでしょう。雑音を抑制するため、そして周波数特性をフラットにするために導入されたフィードバック技術ですが、これは振幅特性を重視したためではないでしょうか？（実は、音楽信号は非定常入力なので、制御工学的に言うと加速度が変化する入力となり、3 重の積分要素が無いと出力と入力を一致させることはできません）確かに、聴覚が感じる音色は、振幅に依存します。しかし、聴覚は音源の位置抽出にも力を費やします。フィードバックによって位相特性は変化します。基本周波数とともに遅れていきます。そのため、位置情報を抽出することが難しくなっていき、その処理のために疲れてしまいます。皆さんは自分のオーディオを一日中聴いていて疲れませんか？私は全く疲れません。以前、聴いていて疲れるな、もう止めようと思った音源も、全く疲

れることなく聞けるようになりました。生活音と同様に聞こえる音、自然な音として再生できるようになったからです。時々こんな音入っていたのかと思うことがありますが、原因は二つあります。一つは、これまで認識できなかった音が認識できるように解像度が上がった。もう一つは、「外の音が聞こえた」です。雑音（音楽信号以外にオーディオシステムによってもたらされる雑音）を抑制するための電気的な精度向上には素材（素子）の精度が重要です。一方、雑音の要因を突き詰めると、素子が影響する信号部分でなく、信号を支える基盤（筐体の振動、電位基準の安定性、可聴域以外の雑音）をきちんとしておかないといけないことが見えてきたというわけです。

KRYNA の技術、こうした表には出てこない部分のサポートに大きく貢献していますね。

こんな時、こんな音楽　・・・

五月。学校や会社にも慣れてくるころ。一方で、なんとなく憂鬱なひと時、いわゆる「五月病？」新しい上司や部下、クラスの友達との交友関係を模索して気持ちがもやもやして晴れないとき、ベートーベンの交響曲第五番「運命」は如何でしょう？冒頭の「ジャジャジャジャーーーン」はあまりに有名すぎますが・・・。第一楽章は少し激しく自分の周りで起こる出来事を思い返し、苛立ったり、怒りを覚えたり、打砕かれたり、不安になったり。しかし第二楽章ではゆったりとして、「まあいいか？」なんて感じで少し穏やかな気分になって、すべてやり過ごせそうに思うのです。第三楽章では、もう一度暗く憂鬱な気分が蒸し返し、いろいろと悪さをしてやろうと思いを巡らせてしまうのです。こんなもやもやした思いは第四楽章に突入することで一気に晴れ上がります。軽快なトランペットのメロディーが、「お前はこんなことで何をくよくよしているのか」と言わんばかりに、心のモヤモヤを吹き飛ばし、一気に晴天。心晴れ晴れとします。最後には、さあ、「明日も元気よく頑張るぞ」と脳天気になれるでしょう。

私の好みの演奏は、ベートーベン指揮者の筆頭、フルトヴェングラーです。1947 年ベルリンフィルとの録音がいいかな？ステレオでは 74 年にウィーンフィルと録音した C.クライバーでしょうか？フルトヴェングラーは重厚な感じで深く心に沁み込んでくる演奏。一方、クライバーこそ歯切れがよく、「何をくよくよしているのか」と言って重たい雨雲を一掃する勢いのある演奏。どちらもいいです。（追伸：クライバーの録音はウィーンのムジークフェラインザールでの録音で、残響が長く響くのが特徴的です。）

あ、最後に一言、ここまでの解説はすべて私の個人的感想ですので悪しからず…。

今月の音楽

Fujii Kaze Stadium Live “Feelin' Good”

藤井 風

藤井風のこれまでの活動の集大成的位置付けのライブアルバム。
どのミュージシャンも良い音でリスナーに届けようと日夜研究しておられると思うので、正直、良くない作品なんてそんなに無いのですが、こうしてたまに他よりもちょっと HGS 的にも抜きん出たストレスのない気持ちの良い音響に出逢います。（S）

オーディオと物理

第 14 回　仕事とエネルギー

問題:10kg の物体をゆっくり 1.0m の高さ持ち上げる時にする仕事は、10×9.8×1m=98J が答え？ほんと？10×9.8N の力では重力と同じで、上方向の力が打ち消されて物体に働く力は 0N、これでは動かせない。動かすには 98N より大きな力が必要。動き出したら 98N に戻せば慣性の法則で目的地に向かう。最後に力を小さくして、目的地で速度 0 となるように調整している。実感として動かし始めるときには大きな力が必要で、あとは支えるだけで目的の高さまで運べる。最後は力を小さくして目的地で速度が 0 となるように調整する。結局、平均して物体の重力と同じ力で持ち上げることとなる。

問題：10kg の物体をゆっくり 1.0m の高さから降ろすときにする仕事は？

10×9.8×1m×cos180°=-98J…力の向きと移動させる向きが異なる（逆向き）ため負の仕事となる。仕事をすると、体力（体を使う仕事）や脳力（考える仕事）を使い疲れますね。体力や脳力を使うことでエネルギーを消費する訳です。ということで、エネルギーはどれだけ仕事したかに相当するといえます。そこで、仕事の定義は

仕事＝力×距離

で与えられます。つまり、物を動かすのに「どれだけの力を使ってどれだけの距離移動させたか」で決まります。ここで、単純な掛け算で書いてありますが、力の大きさが変化する場合は、

仕事＝［一定の力×一定の力で動いた距離］の力ごとの和

となります。力が時間や場所により変化する場合は、力が一定と見なされる間に移動した距離 dx と、力 $f(x)$（時間とともに力が変わる場合も、力を、時間とともに変わる位置 x の関数 $f(x)$であらわし、一定と見なされる時間内に移動した距離 dx との積を積算（積分）することで求められる）の積で求められる仕事を、移動した距離にわたって積分することとなります。つまり、

仕事 $W=\int f(x)\,\mathrm{d}x$

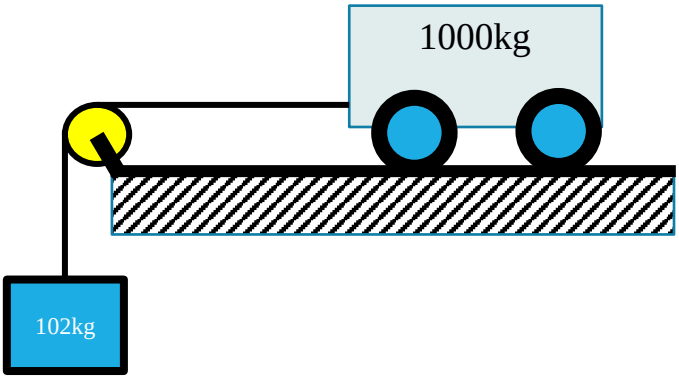
といった形です。逆に、行った仕事やエネルギーを、移動した距離で割ると力が得られます。

さらに、単位時間あたりに行う仕事つまり仕事の時間率

$P=W/T$,　または　　$P=\mathrm{d}W/\mathrm{d}t$

を「能率」と呼んでいます。ここで、$W=\int f(x)\,\mathrm{d}x$ なので、これを時間で微分すると $P=f(x)\,\mathrm{d}x/\mathrm{d}t$ が得られ、能率（パワー）は力×速度となる事が分かります。

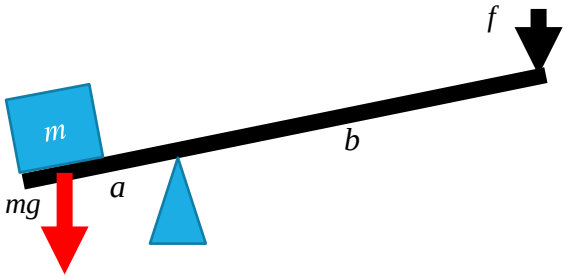
少し具体的に考えてみましょう。簡単のため、右の図のように、水平な平面の上で台車の上に載っている質量 m[kg]（台車と質量の合計質量とする）を力 f [N] で引っ張って速度 v[m/s]になるのに要する時間とその時のパワーを求める問題を考えてみましょう。ここで、台車は摩擦抵抗や空気の抵抗などが無視できるとします。まず所要時間を求めましょう。



［ステップ 1］所要時間を求める：質量 m を力 f で引っ張ると加速度 a が生じます。速度 v は加速度 a を時間 t で積分したもので、0～T までの定積分を行った結果が速度 v となるので、この条件を使って T を求めます。つまり、$v=\int a\,\mathrm{d}t=\int (f/m)\,\mathrm{d}t=(f/m)T$ となるので、$T=vm/f$ が得られます。1 トンの自動車を 1000N の力で引っ張って（図のように 102kg の荷重で引っ張るとほぼ 1000N）、時速 60km/h になるまでに要する時間 T は、T =60000[m/h]/3600×1000[N]÷1000[kg]=16.7 秒になります。

［ステップ 1.5］タイヤの回転で力 f を作ると：引っ張る力をタイヤの回転力に直すとタイヤの直径を 80cm とすると地面をける力が 1000N ということになるので、タイヤの軸の回転力は[力×長さ]になるので、回転力（トルク）=1000[N]×0.4[m]=400Nm になります。一方、パワーを求めるには、T 秒間でどれだけの距離を移動したかを求める必要があります。移動距離は加速度の二回積分で $D=at^2/2$ で得られますので、移動距離 $D=(f/m)T^2/2$ より、1000N÷1000kg×16.72/2 = 278.9/2 = 139.4 [m]となります。平均回転数は、139.4/(0.8* π *16.7)=3.32[rps]。

［ステップ 2］パワーを求める：時速 60km/h になるまでにした仕事は、力×距離=1000N×139.4m=139400J、これをかかった時間で割ると平均パワーは、8.347kW になります。馬力でいうと 11.19HP です。単純に考えると、動き始めの短い時間では、ほとんど動かないので、車輪の回転はごくわずかで車輪の回転角速度は非常に小さな値となります。一方、一定の力で引っ張っているということは、トルクは一定なので、始動時のパワーは［パワー=トルク×回転角速度］の関係より、非常に小さなパワーで動き始めることとなります。そこで、自動車では、エンジンの回転数を上げてパワーを作り出すとともに、減速比を大きくして車輪のトルクを大きくし、回転角速度を大きくとれるようにして加速してゆきます。今回の問題は、一定のトルクで加速しましたが、自動車などではパワー一定で、低回転時のトルクを大きくして加速するような、始動をしています。



さて、ここで後出し的ですが、直進運動での力と回転運動での力（回転力／トルク）について見ておきましょう。通常、力はある一定方向に物体を動かすように働き、位置の移動を生じさせますが、回転力は物体の姿勢を変える力だと考えるとよいでしょう。単純に言うと右に向いているものを時計方向に回して下に向かせたり、反時計方向に回して上に向かせたりする運動です。回転の向きについては見方によって逆になりますので（正面から見て時計方向でも、反対から見たら反時計方向になります）、座標軸を基準に、一次元（x 軸のみ）の場合、x 増加方向に向いて時計回り（右ネジの進む方向の回転）を「正の回転」とするなど、明確にしておく必要があります。3 次元の場合は、x 軸が y 軸と重なるような z 軸の回転を正と規定するなどします。右の図に示すように、mg による回転は反時計方向で「負」の回転方向、f による回転は正の方向などとします。図のようなてこの原理を思い出していただきたいのですが、支点に対して、距離 a のところに質量 m、距離 b のところに力を加えて質量を持ち上げるとします。支点を中心に質量により反時計方向の回転力 $-amg$ が生じます。一方、力により時計方向の回転力 bf が生じます。この大小関係により、持ち上げられるか否かが決まります。つまり、力の大小でなく、回転軸周りの回転力として見直す必要があります。先程の質量を引っ張る力も車輪がその力をつくる自動車の問題として見直すと、引っ張る力は、タイヤが地面を蹴る力と見ることが出来、タイヤの軸の回転力に換算することが出来ます。つまり、地面を蹴

る力×タイヤの半径＝回転力（トルク・力のモーメント）になるわけです。こうしてみると、回転力は力×長さで仕事と同じ次元[Nm]になっていますね。ちなみに、距離は回転角度になります．回転力でもつり合いがあり、上の図のてこを天秤と見れば、mg による左回りのモーメントと f による右回りのモーメントが釣り合えば、回転せずに静止します（単純に二つの力が棒に働いて釣り合っているなら、回転速度（角速度）が変化しない状態（等速度運動）になる）。重力場の場合は、最も安定した状態（エネルギーが最小）で静止します。エネルギーについては次回考えましょう。ここで出てきた回転力、スティッキー溶液の効果と関係がありますよ。

☆西村博士の物理ラボ　活動情報はこちらから

◆西村博士連載ブログ　https://kryna.jp/report/nishimura_blog/

◆西村博士の物理ラボ X アカウント　https://twitter.com/dr_nishimlab

◆法人向けコンサルティング　https://kryna.jp/biz_consulting/