

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

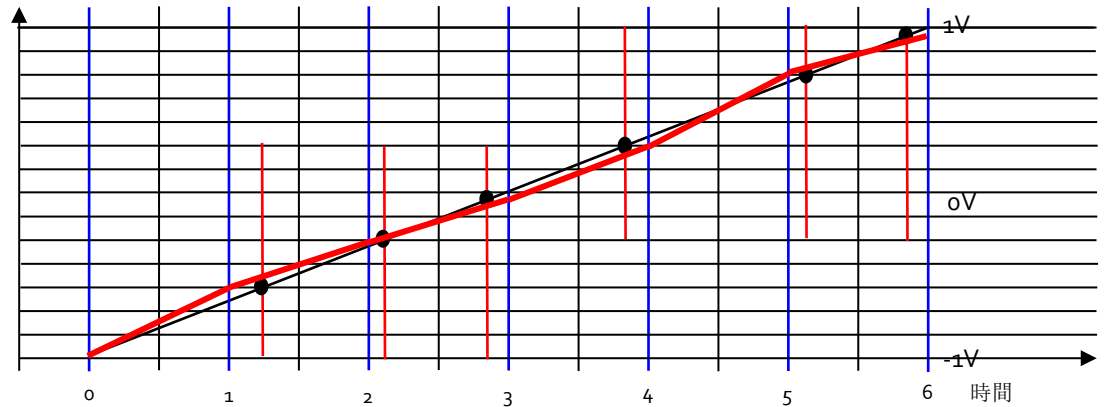
オーディオの基礎から理解するアクセサリの影響力…アンプ 5

前回、デジタル信号（音楽情報（マイクを通して収録された音）のみを抽出して数値化）に変換して伝送することで伝送過程において混入する雑音や特性の変化の影響を受けずに済むと言いました。ただ、数値化（AD）するときに量子化雑音（階段の中間の電圧は段の上か下かに割り振られその分実際の値と違うので雑音になる）が入ると、時間軸の揺れの影響（ディザ）が入ってきています。これは、どうしようもありません。さて、デジタル信号を結局アナログ信号に戻して（DA）スピーカで鳴らすわけですが、この時にも時間軸の揺れの問題が起こってきます。AD 変換で生じるのと同じ問題が DA 変換でも起こります。

CD などのデジタル機器やネットオーディオなどのデジタル通信で配信される音楽データはこうした正確な時間スケールによって統制されるデジタル信号で、時間・大きさともに飛び飛びの数値で表現される信号です。時間的には $1/44100$ 秒、 $1/48000$ 秒、 $1/96000$ 秒など非常に短い時間間隔で数値化されたデータの時系列です。つまり、ステレオ信号の場合片方のチャンネルで 1 秒間に 44100 個、48000 個、96000 個と言った数のデータを電圧に変換して音として放射させるわけです。CD で 1 秒間に 44100 個のデータですが、左右で 2 倍、通常一つのデータが 32 ビットもしくは 64 ビットですので、さらに 32 倍または 64 倍のパルス进行处理しているわけです。32 ビットとしても 1 秒間に 280 万個以上のパルス进行处理するわけです。このタイミングをきっちり合わせ、かつ、64 個または 128 個ごとに正確なタイミングで音の電圧に変換しなくてはなりません。この非常に短い時間間隔を与える信号はクロックと呼ばれ、常に一定間隔であることが必要です。コンピュータなどではさらに $1/10000$ 以下程度の短いクロック（数十 GHz）で動作しています。この一定間隔の時刻と言うスケール（物差し）は水晶発振器によってつくられますが、水晶発振器の精度には揺らぎ幅が設定されており完全に一定の周期で振動しているとは言えないのです。水晶発振器の精度に起因した発振周波数のずれ、温度変化によるずれなど様々な原因で時間軸を狂わせてしまいます。これらの中で雑音に最も関係すると思われるものが、位相ノイズとかジッタと呼ばれるノ

イズで、両者は位相ノイズが周波数の揺らぎを言い、ジッタは時間的な揺らぎを表しています。周波数の揺らぎは時間軸の揺らぎとフーリエ変換で裏表の関係になっています。どちらもランダムな揺らぎで、一定であるべき時間軸を揺るがせる要因になっています。また、揺らぎがランダムということで音楽信号に白色雑音加わってしまう原因になるといえます。

それでは、
時間軸のランダムな揺れが雑音につながることを図でイメージ的に説明しましょう。青い線が正確な時刻で



刻まれているとします。例えば6時刻（横軸0番から6番）かけて-1Vから1Vまで直線で増加する信号（黒い線）があるとします。この信号を時間軸の揺らぎによって、ランダムにずれた赤い縦線で示す時刻に観測（サンプル）したとします。例えば1のタイミングがずれてその少し右側の赤い線のタイミングでサンプルされたとします。すると黒い線は1のタイミングより大きな値となりますが、データとしては1でのデータとして認識されます。その観測値が黒丸です。これを正確な時刻（1～6番：青い線の等間隔の時刻）で再現すると赤い太線で示す折れ線で表されます。つまり真直ぐな直線の信号が、歪んでしまいます。元の信号との差が雑音で、元の信号に対する揺らぎ（雑音）はランダム（白色雑音）になります。この例ではAD変換での揺らぎについて示し、DA変換（再生）の時の時間軸の揺れがないとして説明しましたが、DAでも同じように揺らぎますので、ここでも雑音に乗ってくると考えられます。録音機器の精度が良いならADでの影響は少ないでしょう。また、時間軸は正確でも信号自体に雑音に乗っていれば、その影響は出てきますので、そのあたりも問題になります。

通常CDなどデジタル機器のクロックは正確に一定であることが当たり前とされていますが、細かく見ると揺れ幅があったりして時間な揺らぎが存在しているのが現実です。コンピュータや通信でのデータ転送など同期をとる必要がある場合この時間軸のずれは問題となりますが、クロックパルスの範囲内で一致させれば問題にはなりませんが、音楽信号など個々のデータの時間軸の正確さが要求される場合は直接的に影響が出てきますね。例えば、水晶発振器の高精度なものを選定するとか発振器を一定温度に保つなどの技術で精度の向上が可能ですが高くなります。

このように、デジタル信号は、信号変換において非常に高い周波数領域ですが、雑音を発生させてしまう本質を持っています。情報伝送において雑音に強い面はありますが、デジタルからア

ナログに変換する必要がある、そのあたりで雑音混入を如何に抑制するかが重要な課題になってきます。いずれにしても現在使っている機器でも多かれ少なかれこの様な雑音が発生しているわけで、この位相ノイズやジッタの対策はできないのでしょうか？そこで、この原因を調べてみました。ノイズ原因は多岐にわたりますが、大きく物質そのものにかかわる量子ノイズ、発振器として組み上げられた機器の内部で発生する要因、外部からの要因などに分類できるようです。量子ノイズや発振器内部の要因については、CD プレーヤなどの製品で既に決められているもので、我々はお手を出しにくい要因ですね。外部からの要因には、電源ノイズ、温度変動、外部環境からの影響などがあげられます。電源ノイズには、電源のリップルやスイッチングノイズなどが要因で、これらの対策は有効でしょう。温度変化の影響は発振器を一定温度に保つなどの対策が考えられます。外部環境からの影響の原因は、電磁誘導や不適切なグラウンドの取り方、ケーブルへの周辺機器からのノイズ混入などがあげられます。こうしてみると、電源ノイズと外部環境からの影響を低減するアクセサリとしてヘリカやゼロ電位コントロールタンクは大きく役立つ可能性があるといえますね。また、最終的に人間が音として聞くわけですから、アナログ信号の再生における雑音対策は同様に必要となります。インシュレータやスティッキー溶液による振動対策、Helca による電源雑音対策、ゼロ電位コントロールタンクによる基準電位の安定化はいかにデジタルであっても必要不可欠な対策となります。この 3 種類の対策を同時に行うのが最善の対策となります。結果として、雑音が低減され、クスマが取れて透明感が上がり、定位が明確になり、楽器などの音源の実感が上がり、余韻が長く伸び、再現される 3 次元空間が大きく広がります。スタジオ録音かのような余韻でしかなかった教会での録音が、まさに長い残響の響きを持つ教会の音となって聴こえてくるようになります。オーディオシステムの能力を真に発揮させる 3 種のアクセサリの組み合わせ、是非使ってみてください。

Helca

→<https://kryna.jp/products/accessories/helca/>

インシュレータ (D-PROP extend)

→<https://kryna.jp/products/accessories/d-prop/>

ゼロ電位コントロールタンク (正式名称：ZERO Volt Control Tank)

→<https://kryna.jp/products/accessories/zero-volt-control-tank/>



Tea Break

新しい年を迎え、皆様いろいろと希望にあふれておられることでしょう。

今年も、皆様にオーディオを楽しんで頂けるようどんな話題を提供して行こうかとワクワクです。

さて、新年の行事として初詣とかいろいろありますが、お茶に係る行事としては「初釜」の茶事があります。新年、元旦の早朝に汲まれた若水を使って淹れるお茶をふるまう行事です。お茶の世界にはもう一つ新年があり、それは 11 月で、炉開きに合わせてお茶を詰めた壺の口切りする行事が行われます。口切りは、4 月末から 5 月にかけて新茶が採れますが、その新茶を壺に入れて封をして半年熟成させ、その封切りをする行事です。抹茶用の茶葉は甜茶（てんちゃ）と呼ばれる製法で作られています。煎茶や玉露は茶葉を蒸したのち撚りをかけて細い棒状にして乾燥させますが、甜茶は折りたたんで平たいまま乾燥させます。壺から出された茶葉は甜茶ですのでこれを石うすで粉に挽きます。採れたての新茶は 5 月中旬には頂けますが、青臭いとでも言いましょうか、深みの無い感じとでも言いましょうか？半年熟成させることでお茶の真価を発揮させることが出来るようです。ということで、時には抹茶など優雅に如何でしょうか？

抹茶も値段で味が大きく変わります。安価なものは香りが少なく苦みや渋み強い傾向ですが、値段とともに、お茶の甘みと香りが増してゆき葎簀（よしず）の香りなども混ざって美味しさが格段に増してきます。お抹茶は苦いといったイメージが割と多いですが、実は旨味とか甘みがあって香りもよくおいしいのです。私の場合は茶道を習ったこともなく、見よう見まねで茶せんでかき混ぜて飲んでいますが、それなりに飲めます。下手なのでより高級なお茶を使って美味しく頂いています。高級と言っても、40g でせいぜい 5000 円？ダーズリンファーストフラッシュと同じ程度の値段ですが、倍の量のお茶が飲めます。茶碗は予め温めておき、竹でできた茶さじに山盛り抹茶をすくい、沸騰手前程度の温度のお湯を 30cc 程度注ぎ入れて手早く茶せんでかき混ぜます。裏千家では泡立つように、表千家では泡立たないようにでしたっけ？よく混ぜることで香りと旨味が出てきます。粉っぽさもなくなり、とろみが出て美味しいですよ。沸騰手前の温度は、茶釜があると沸騰直前でチンチン（シュンシュン？）と音がするくらいの温度みたいです。この音、松風と呼ぶそうです。ちょっと道具をそろえる必要がありますが、優雅なひと時、淹れてみてはいかがですか？和菓子でも、洋菓子でも合いますよ。

こんな時、こんな音楽 …

年末年始と言えば定番ベートーベンの「第九」、ベルリンフィルのジルヴェスターコンサート、年始のウィーンフィルニューイヤーコンサート、いろいろな催しがありますね。そんな中で、お節料

理やお餅を頂きながら聞く（見る）なら…ということではやはりお正月と言えば雅楽。めったに聞くことのない音楽ですね。宮内庁の宮内庁式部職楽部の演奏が正月の朝早くに NHK の E-テレで放映されます。それとか、能や狂言などもこういった機会に如何ですか？

ということで少し調べてみました。歴史的には平安時代に確立されたようで、それ以前に固有にあった舞や曲、中国や朝鮮から伝わってきた舞楽や器楽などがまとめられたようです。日本固有の古楽に基づく国風（くにぶり）、中国系の唐楽（とうがく）、朝鮮系の高麗楽（こまがく）、平安時代に作られた催馬楽（さいばら）などがあります。舞楽、管絃、国風歌舞、歌物に大別され、楽器、装束、面など用いられる器物は今の時代では見ることでできない独特な形や構造をしています。舞楽や管絃で用いられる楽器の構成は、管楽器（吹物：横笛、篳篥（ひちりき）、笙（しょう））、絃楽器（弾物：琵琶（びわ）、箏（そう）など）、打楽器（打物：鈞太鼓、鞆鼓（かつこ）、三ノ鼓（さんのつづみ）、鉦鼓（しょうこ）、笏拍子（しゃくびょうし））が主なものとなります。お正月に放映されるのは舞楽で、独特な衣装と面をつけた踊り手が管絃の音楽に合わせて舞台上で踊ります。音楽は打楽器と管楽器で構成されています。様式には「右方の舞（右舞）」と「左方の舞（左舞）」があり、右舞は朝鮮や満州を起源とする舞楽で高麗楽が用いられます。舞人は緑系統の装束をまとい向かって右側から出てきます。左舞は中国や中南部アジアが起源の舞楽で唐楽が用いられます。舞人は赤系統の装束をまとして向かって左側から登場します。右舞は右側の鼉太鼓（だだいこ：直径 1.3m の大きな太鼓）の打ち出しから、左舞は左の鼉太鼓から始まります。左舞か右舞か年によって変わるようです。

テレビでの放映ですが、テレビの音でみるより手持ちのオーディオに繋いで HGS 再生で見ると臨場感がはっきりと表現されて結構楽しめます。正月だから見ようという気になり、意外と面白いですよ。

今月の音楽

DRAGONFLY

HUONG THANH



パリを拠点に活躍するベトナムの歌姫による 2001 年の作品です。

CD Journal に『アジアの癒し系サウンドが、リチャード・ボナなど話題のアーティストのバック・アップでヨーロッパ・ジャズの洗練されたリズムと融合。心地好い 1 枚。』とある様に全編通して穏やかで、心地よく現実逃避できる作品です。CD は入手しにくいかもしれませんが（ヤフオクやメルカリにはたまに出ています。）配信でもお聴き頂けますのでぜひ一度お試しください。（S）



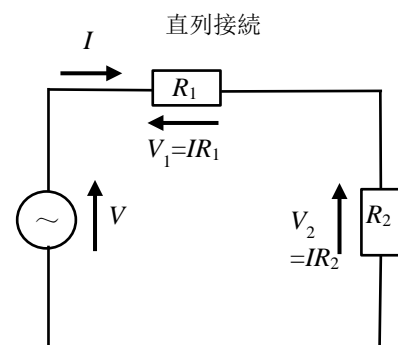
オーディオと物理

第22回 テブナンの定理

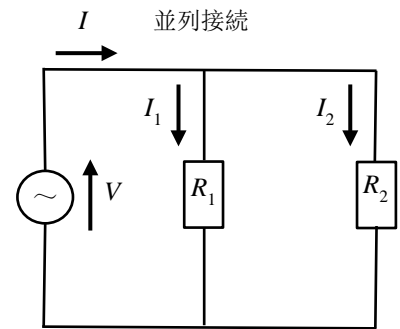
合成インピーダンスとインピーダンスマッチング

電子素子は色々な組み合わせにより、回路の電圧や電流を調整するのに使われます。素子を直列に接続した場合と並列に接続した場合で接続後の素子の値（合成値）がどのようなになるか見てみましょう。

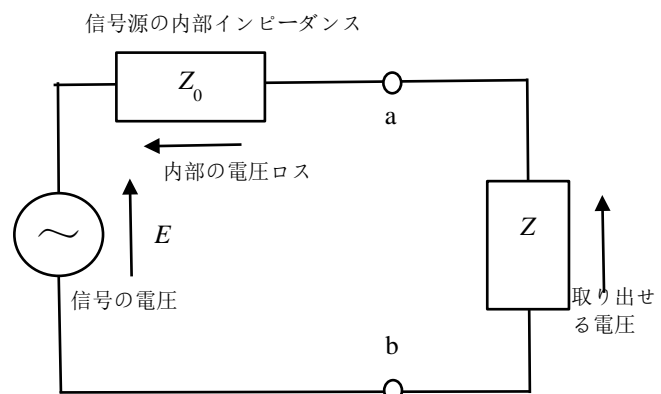
まず抵抗とインダクタそれぞれの直列と並列についてみてみます。右の回路図に示すように抵抗 R_1 と R_2 を直列に接続すると二つの抵抗には同じ電流が流れ、オームの法則による電圧降下 $V_1=IR_1$ と $V_2=IR_2$ が生じます。キルヒホッフの法則によりこの回路に存在する電源 V と二つの電圧降下の和が釣り合うので、 $V=IR_1+IR_2=I(R_1+R_2)$ となり、回路内の全抵抗値は R_1+R_2 となります。つまり直列接続した抵抗の値は各抵抗値の和となります。インダクタの場合も同様で R_1 や R_2 を $j\omega L_1$ や $j\omega L_2$ に置き換えると $Ij\omega$ が共通になり (L_1+L_2) とまとめられます。つまり、インダクタを直列に接続したときの素子の値は各素子の値の和で得られます。また、後に出てくるテブナンの定理に共通しますが、電圧 V は二つの抵抗で分圧され、 R_1 と R_2 の間の電位は $V R_2/(R_1+R_2)$ となります。アンプでパワー管に供する電圧を分圧してドライバー管に供給する場合などこの手法を使いますね。では、コンデンサを直列に接続するとどうなるでしょう？同じように R_1 や R_2 を $1/j\omega C_1$ や $1/j\omega C_2$ に置き換えてみましょう。直列なので電流は共通で $I/j\omega$ でくれます。つまり、 $1/j\omega (1/C_1+1/C_2)$ となり、合成された容量 C は $1/C=1/C_1+1/C_2=(C_1+C_2)/C_1C_2$ となり、 $C= C_1C_2/(C_1+C_2)$ で得られます。抵抗やインダクタとはちょっと違いますね。



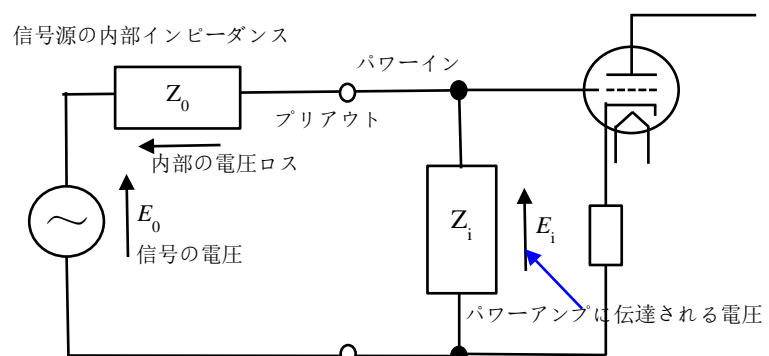
次に並列に接続した場合を見てみましょう。電流に関するキルヒホッフの法則により、 $I=I_1+I_2$ が成り立ち、かつ R_1 と R_2 にかかる電圧は共通に V なので各電流は $I_1=V/R_1$ および $I_2=V/R_2$ となります。したがって、 $I(=V/R)=I_1+I_2=V/R_1+V/R_2=V(1/R_1+1/R_2)$ となり合成した抵抗値 R は $1/R=1/R_1+1/R_2=(R_1+R_2)/R_1R_2$ となります。従って $R=R_1R_2/(R_1+R_2)$ となります。これはコンデンサの直列と同じですね。インダクタの場合も R を $j\omega L$ に置き換えることで得られ、 $L=L_1L_2/(L_1+L_2)$ となります。最後にコンデンサの並列はどうなるのでしょうか？ R を $1/j\omega C$ に置き換えることで得られ、 $C=C_1+C_2$ となります。抵抗の直列と同じですね。



オーディオ機器ではアンプの入力インピーダンスがいくらとか、出力インピーダンスがいくら、またインピーダンスマッチングとかいう言葉が出てきます。この辺り何を言おうとしているか見て行きましょう。まず、その前にテブナンの定理を説明しましょう。右の図のように、プリアンプや CD プレーヤなどの出力端子のプラス側を a、アース側を b とし、インピーダンス Z (パワーアンプの入力インピーダンスなど) を接続していないとき (回路に電流が流れていないとき) ab 間の電圧 (信号の電圧) が E で、ab 間のインピーダンスが Z_0 (信号の電圧源のインピーダンスは 0 なので) ならば、ab 間にインピーダンス Z を接続したとき Z に流れる電流 I は $I=E/(Z_0+Z)$ で得られるという定理です。



この定理は非常に便利で、例えば、右の図のようにプリアンプの出力から見た内部インピーダンスが Z_0 で、パワーアンプの入力インピーダンスが Z_i の時、パワーアンプに受け渡される電圧がいくらになるかを考えるとき、まず、このテブナンの定理を使って、プリの



出力電圧 E_0 をもとにパワーアンプに流入する電流は、 $I_i=E_0/(Z_0+Z_i)$ となります。するとパワーアンプに伝達される電圧は $E_i=Z_i \times I_i=E_0 Z_i/(Z_0+Z_i)$ で与えられます。パワーアンプのドライバー管に供給される電圧が $E_0 Z_i/(Z_0+Z_i)$ となるわけです。 Z_0 に対して Z_i が十分に大きいと $Z_i/(Z_0+Z_i)$ はほぼ 1 になり、 $E_i \approx E_0$ となってプリアンプからパワーアンプに十分な情報 (E_0) が伝達されることとなります。

す。ところが、パワーアンプの入力インピーダンスが低い場合、またはプリアンプの出力インピーダンス Z_0 が大きく、例えば Z_i と Z_0 がほぼ等しい場合、 $Z_i/(Z_0+Z_i)$ はほぼ $1/2$ になってしまい、伝達される電圧は半分になってしまいます。そういったことから、電圧情報をより多く伝えるためには出力インピーダンスは低く、入力インピーダンスは大きくすることが必要となります。

それでは、パワーアンプの出力に接続されるスピーカの場合はどうでしょう？ 同じようにパワーアンプの出力インピーダンスを Z_0 、スピーカのインピーダンスを Z_s とすると、アンプの出力電圧を E_0 として、スピーカに流れる電流は $I_s=E_0/(Z_0+Z_s)$ となります。スピーカに電圧を最大送るとすると先程と同様スピーカのインピーダンスを大きくするとよいわけですが、スピーカの場合はちょっと違ってきます。ここで、スピーカには情報でなく電力を伝える必要があることを思い出していただきたいのです。電力は電流×電圧です。いくら電圧を大きく伝えても電流が小さくなれば電力は大きくなりません。スピーカにかかる電圧 E_s は、電流×スピーカのインピーダンス、つまり、 $E_s=I_s \times Z_s$ ですから、スピーカに伝達される電力は $I_s \times E_s= E_0/(Z_0+Z_s) \times Z_s E_0/(Z_0+Z_s) = Z_s E_0^2 / (Z_0+Z_s)^2$ となります。 Z_0 と Z_s の関係でこの値が最大になるよう両者の関係を決める必要があります。 E_0 と Z_0 は一定として、最大電力がスピーカ Z_s に伝達される条件を求めます。伝達される電力 $Z_s E_0^2 / (Z_0+Z_s)^2$ を Z_s で微分して 0 とおきます。つまり、 $d\{Z_s E_0^2 / (Z_0+Z_s)^2\} / dZ_s = E_0^2 [1/(Z_0+Z_s)^2 - 2Z_s/(Z_0+Z_s)^3] = E_0^2 [1-2Z_s/(Z_0+Z_s)] / (Z_0+Z_s)^2 = 0$ 。つまり、 $[1-2Z_s/(Z_0+Z_s)] = 0$ が条件となり、 $Z_0 - Z_s = 0$ が条件となり、 $Z_0 = Z_s$ とすることで最大電力が伝達されることとなります。これがインピーダンスマッチングで、最大電力を伝達するための条件になるわけです。 $Z_0 = 0$ の場合は例外です。電圧を伝達する場合と電力を伝達する場合では条件が変わってきますね。スピーカを接続する場合はこのあたりを注意する必要がありますね。

例えば、プリアンプの出力インピーダンスは数百 Ω 、CD プレーヤの RCA 出力は数 $k\Omega$ 、ヘッドホン出力は数十 Ω などまちまちで、その出力をパワーアンプで受け取るときは、数十 $k\Omega$ から数百 $k\Omega$ の入力インピーダンスを確保する必要があります。一方、パワーアンプの出力インピーダンスは、スピーカのインピーダンスにほぼ合わせてあり、真空管アンプだと主に 8Ω 、ソリッドステートでは $2 \sim 6 \Omega$ と言ったところでしょう。ですから、複数のスピーカを各チャンネルに接続するときはアンプから見たスピーカの合成インピーダンスがアンプの出力インピーダンスに合うよう注意が必要となります。

☆西村博士の物理ラボ 活動情報はここから

◆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/

