

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

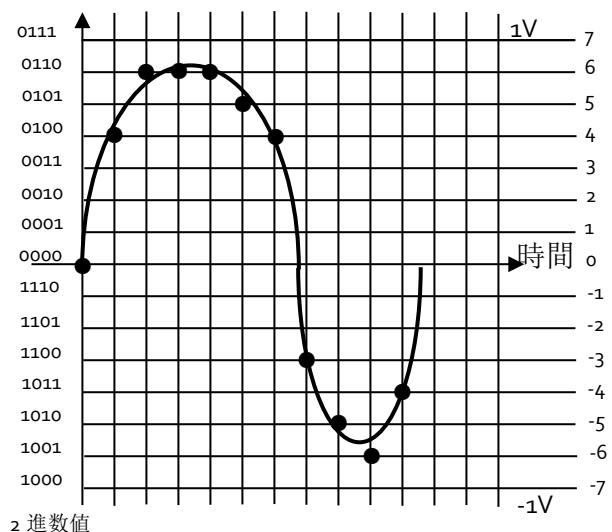
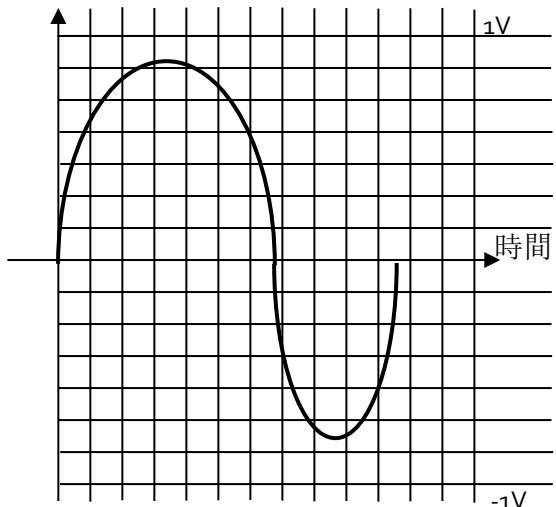
オーディオの基礎から理解するアクセサリーの影響力…アンプ④

前回まで、アンプの雑音対策に「ゼロ電位コントロールタンク」が有効なことを説明しましたが、この「タンク」アナログ系のアンプのみでなくデジタルでの効果が抜群です。では、デジタル系での信号の扱いについて少し説明しましょう。

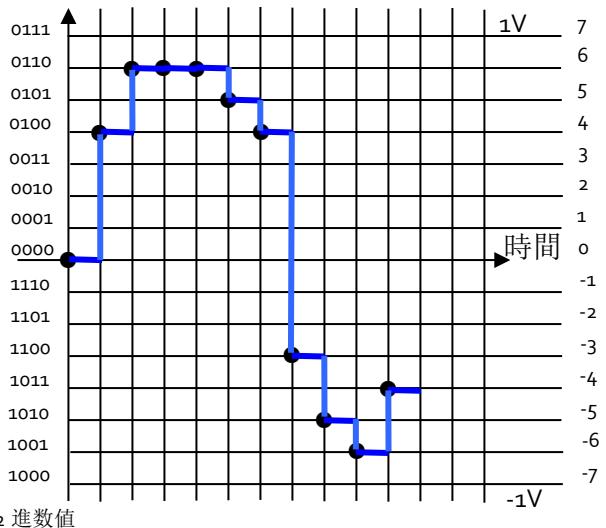
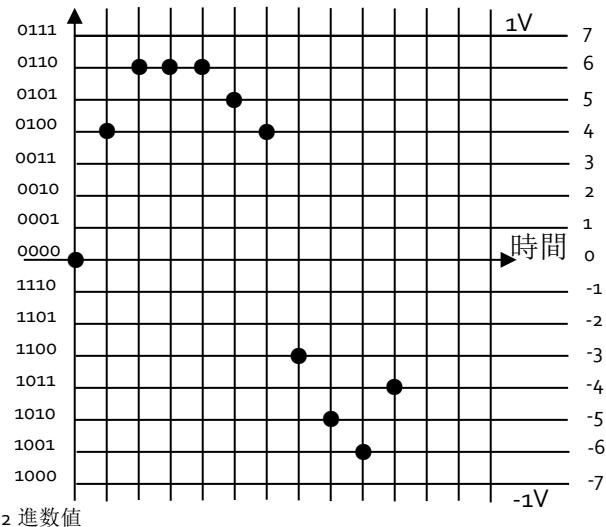
少し復習になりますが、音の情報は大気圧を基準とした圧力の変化で、大きさは最大で大気圧の1/500で最小音圧はその1000万分の一です。この大気圧を中心としたプラスマイナスの変化をマイクによって電気信号にしています。電気信号をそのまま伝送してスピーカから音として再生するのがアナログで、電気信号を数字に置き換えて伝送するのがデジタルオーディオと解釈してください。アナログオーディオは音楽信号と同じ波形をそのまま電気信号として伝送し、増幅していますので、伝送・増幅中に混入した雑音はそのまま信号として伝送されスピーカから再生されます。一方、デジタル信号は伝送される音楽情報が数値で表されています。この数値は音楽の情報（厳密には数値に変換される直前の電圧信号）そのものになっています。平たく言うと、アナログは音楽をそのまま伝送するのに対し、デジタルは一度純粋な音楽情報に変換し伝送する仕組みになっています。デジタル信号は DAC で知られるように、アナログ信号に戻す必要があります。ここで、いずれ元のアナログ信号に直す必要があるのならデジタルにする意味があるか？と思われるでしょう。確かに、二度手間で無駄に思われますが、大きなメリットがあります。それは、伝送中に混入する雑音を取り去ることが出来るからです。たとえば、最近流行りのネットオーディオでは音源から長距離伝送されて再生するわけですが、伝送中のノイズは全く気になりません。それは、デジタル信号の誤り補正の機能によります。例えば、AM ラジオの音は電波の振幅そのままが信号ですので、途中で電波が強くなったり弱くなったり、雷や反射などによる音の変化が発生してもそれを直すことはできませんが、FM では振幅ではなく周波数の変化で信号を送っているのである程度これらの影響を除去できます。デジタル信号はさらにこの機能が強力になっているのです。少々のエラーは完全に復元できる仕組みになっています。そういう意味では、CD の再生よりネ

ットオーディオなどの長距離伝送で強みを發揮できます。では、デジタルの音楽情報はどのようなものか見てみましょう。ステレオ信号の場合、左右の信号がそれぞれ数値化され、CDの場合一つの数値が2進数16桁（16ビット）で表され1秒間に44100個、ハイレゾ音源では多くが2進数24桁（24ビット）で1秒間に48000、96000、192000個など様々です。実際には、一つの数値は32ビットなどもっと多くの情報を待っており、誤り訂正に使われています。ですから、伝送時に発生する雑音（符号誤り）に対しほぼ完全に雑音を除去して元の情報に戻すことが出来るわけです。

音楽情報を数値に表すと言いましたが、例えば、マイク出力や各種音源の出力またはミキサーの出力の最大電圧を±1Vとしましょう。16ビットの場合、±1Vは2Vの振幅になりますのでそれを $2^{16}=65536$ で割った電圧幅で数値化します。この時数値“1”的変化は0.00003Vの変化（30μV、-90.3dB）に相当し、雑音は最大15μV載ってきます。ハイレゾ24ビットでは0.00000012V（0.12μV、-138dB）になり、雑音は最大0.06μV載ってくる計算になります。当然アナログ機器のバックグラウンドノイズは-90dB、小さくてもせいぜい-110dB程度ですので、ハイレゾでは音源に雑音がない状況になっているといえます。ただし、クロックが完全に一定であると仮定しての話です。ここで、16ビットの場合0.00003Vごとに数値に変換すると言いましたが、アナログ信号が丁度その値と一致しているとは限りません。つまり、0.00003Vの幅に入った場合その値とすると言うことなので、誤差が最大0.000015V生じ得ることになります。これは確率の問題で、元のアナログ信号と数値化するタイミングによって決まりますので、ランダムだと思って下さい。つまり最大0.000015Vのランダム雑音がデジタル信号にのってしまうと言うことで、このような雑音は白色雑音となります。これを図で説明してみましょう。簡単のため4ビット（2進4桁：-7から7までの15段階）で数値化します。一番上の図が数値化する前の±1Vの範囲で変動するアナログ信号、二つ目の図は数値化した点を重ねています。横軸は時刻で1マスがサンプリング周波数の逆数（44100Hzの場合 $1/44100$ ）秒です。縦軸は電圧で、1マスが±1Vの幅を14等分した値（ $2/14=0.143V$ ）となりま



す。数値化すると縦軸の各時刻と信号がクロスする点で最も近いマス目の値として数値化されます。図の例では、時刻 0 から順に 0, 4, 6, 6, 5, 4, -3, -5, -6, -4 という値になります。これを 2 進数で表すと、0000, 0100, 0110, 0110, 0110, 0101, 0100, 1100, 1010, 1001, 1011 と言う風に変換されデジタル化が完了します。これが ADC (A/D コンバータ) の役目です。3 つ目の図 (右の図) がデジタル化された波形 (点の分布) になります。元の波形からはかなり変わって見えますね。こうして時間進行 (クロックごと) とともに変化する波形の数値を伝送するわけです。また CD などにはこうした数値が反射の有無で 0 と 1 を表して書き込まれています。また、ネットオーディオなどではこうした 0 と 1 の変化を矩形波 (パルス波形) で伝送し、情報を伝えています。この数値情報を受け取った側はこれを電圧値に変換する必要があります。これを担うのが DAC (D/A コンバータ) です。通常、CD プレーヤなどに内蔵されていますが、DAC 単体でも出ていますね。DAC は受け取った数値を 3 つ目の図のような時間的な電圧変動を作り、アナログ信号 (4 つ目の図の青い線) に作り変えます。この信号は図に示すように階段状になります。この階段はサンプリング周波数とその奇数次高調波成分を含みますが、例えば、CD のサンプリング周波数 44100Hz の場合、奇数次高調波成分は 132.3kHz 以上になりますので、可聴域よりはるかに高い周波数となって認識できることになります。それでも、高調波成分は問題になりますので、20kHz 以下を通すローパスフィルターを入れて、高調波成分を減衰させています。それでも、現実にはデジタル臭などと表現される特徴を作り出すようです。電圧の分解能が限りなく 0 に近い場合、このような数値化をしてそれを元に戻しても音の情報は失われないことがシャノンのサンプリング定理 (信号に含まれる最大の周波数が f_{\max} [Hz] の信号は、 $2f_{\max}$ [Hz] 以上のサンプリングにより完全に復元できる (ただし、振幅方向は連続量)) によって保証されています。電圧方向の分解能が粗い場合、量子化誤差が発生します。これはランダムな雑音となると考えられ、白色雑音として信号に付加されます。電圧方向の分解能はビット数によって決まりますので、16 ビットより 24 ビットの方が加わる



合、奇数次高調波成分は 132.3kHz 以上になりますので、可聴域よりはるかに高い周波数となって認識できることになります。それでも、高調波成分は問題になりますので、20kHz 以下を通すローパスフィルターを入れて、高調波成分を減衰させています。それでも、現実にはデジタル臭などと表現される特徴を作り出すようです。電圧の分解能が限りなく 0 に近い場合、このような数値化をしてそれを元に戻しても音の情報は失われないことがシャノンのサンプリング定理 (信号に含まれる最大の周波数が f_{\max} [Hz] の信号は、 $2f_{\max}$ [Hz] 以上のサンプリングにより完全に復元できる (ただし、振幅方向は連続量)) によって保証されています。電圧方向の分解能が粗い場合、量子化誤差が発生します。これはランダムな雑音となると考えられ、白色雑音として信号に付加されます。電圧方向の分解能はビット数によって決まりますので、16 ビットより 24 ビットの方が加わる

雑音の大きさは小さくなるといえます。これはあくまでもアナログ信号をディジタル信号に変換するときに加わる雑音で、録音側に関与すると考えてください。最近は、CDの符号（16ビット44.1kHzサンプル）をハイレゾ（例えば24ビット96kHzサンプル）に変換するなどがありますが、近似や外挿・内挿技術を使って作り出しているなら完全等価とはなりえないので、必要性には疑問が残ります。DACの後のアンプなどにその解決を求めるのが無難かと思いますが如何でしょう？それと、DACの電力容量を大きくし、扱える電力（電圧×電流）を数十Wにまで拡大することで、デジタルデータをそのままDACしてスピーカを駆動できるデジタルアンプも流行っていますね。これは、CDなどのデジタルデータがPCM（パルスコード変調）なのに対し、PWM（パルス幅変調）に書き直して電力を制御する方式です。これについては後日機会があればふれたいと思います。ちなみに、2種類あって最近購入して使ってみたのですが、最近の半導体回路技術はすごいと感心しました。とにかく雑音は皆無で、透明度が高い。ただ、良く聞き較べると、真空管時代の録音はやはり真空管アンプでの再生が質的にあってるようです。最近のポップスなどを聞くとか、テレビアニメなどを見るについてはデジタルアンプで十分（特に夏場は発熱がほぼないのでうれしい）というか合っているように思われます。しかも、プリアンプも不要です。ただし、そのままで、かさかさした音で、かつ空間表現力や分解能が今一つなので、ゼロ電位コントロールタンクは欠かせません。

もう一つの問題点はクロック周波数の動搖です。これについては次回見て行きましょう。



Tea Break

一年の終わり12月。今年一年何ができたかと思い返すときが多くなってきますね。私にとっては色々と実り多い一年だったと思います。これまでのオーディオの常識が覆されたり、新しい道を見出したりと色々でした。また、ウイスキーがこんなにも香りや味が変化に富み、日本酒と同じように醸造所によってそれぞれ特徴があり、アルコール臭さの無いものだと気づかされました。これまで、アルコールがつんときつきいて、到底ストレートでは飲めないといったイメージだったのですが、こんな印象をひっくり返された年でしたね。そのおかげで、最近チョコレートを口にする機会が増えてきました。ウイスキー・ボンボンが美味しいのが良く理解できます。つまみの選択にさらなる一工夫が面白いアイテムです。

さて、一年最後のティーブレイクの話題にふさわしいティーって何だろうと考えたのですが思い浮かばなかったので、12月と言うところから日本酒に注目して見ましょう。寒くなると酒の仕込みが忙しくなる季節ですが、最近は温度管理されて1年中酒造りができるようになっていますね。当然昔ながらの造り酒屋も多くあります。以前広島県の東広島市で働いていた頃、西条の街に酒蔵

通りがあるって、何軒かの酒蔵がありました。有名どころでは、賀茂鶴、白牡丹、西条鶴、亀齋、賀茂泉などでしょうか？一方、あまり見かけない酒蔵としては、福美人、山陽鶴などがあります。最盛期には西条地区に11の造り酒屋があったのですが、最近はだいぶ減りました。もし、あまり見かけない造り酒屋のお酒に興味がある方は是非西条の街においでください。10月には酒祭りもやっていて、日ごろ手に入らない珍しいお酒も出回りますよ。

それで、以前西条での勤務の最後を記念して福美人を買いに酒蔵に行ってみました。福美人は昔ながらの作り方をしているので、新酒が出るのが3月末ごろになります。幾種類があるのですが、作ったもろみをさらしの袋に入れて吊り下げて垂れてきた雫を集めたものと、普通に重りを載せて絞ったものとを買いました。飲んでみると、やはり吊るしは雑味がなく奥が深い味わいでとてもおいしかったです。西条のお酒では通常よく賀茂鶴が辛口と言われますが、福美人の方が辛口に感じました。

また、コーヒーや紅茶をおいしく入れることが出来るのでよく白牡丹の井戸水を汲みに行っていましたが、年末から年が明けて寒さが厳しくなると造り酒屋の屋根から湯気がもくもくと上がる光景をよく目にしたものです。最も冷え込む寒の時期になると仕込みの最盛期です。その年地元で採れた酒米を蒸かしてお酒を仕込むときです。新酒が楽しみです。

こんな時、こんな音楽 …

12月に入って寒さが次第に厳しくなってきましたね。なんか今年は去年より寒いように思えますが、歳のせいでしょうか？12月は色々忙しい月ですね。忘年会、クリスマス、大掃除、餅つき、新年を迎える準備など色々することがいっぱいですね。それと、このころになるとなぜか独特的の匂い？豆を炊く匂い？煮しめの匂い？なんかこの匂いをかぐと、寒くなったな、年末だなと思うのです。でも、歳を越すとこの匂いがなくなるのです。不思議です。

年末と言うことで、恒例の「第九」を取りあげればいいのでしょうかが普通すぎますね。寒いという言葉でちょっと思い出したのが、尾崎豊の「15の夜」、寒さの中自動販売機のあったかい缶コーヒーで暖を取る15歳。やり場のない思いを、たばこやバイクで行き先もなく走り回ることで紛らわせようとする。捕まれば逃げ場もない。子供と大人のはざまで苦悩する子供たちの心情でしょうか？この歌を知ったのは映画「うた魂」の中での、ヤンキー合唱部（湯の川学院）の演奏でした。世間からごみ同然にみられて嫌がっていた学生たちの力強い歌声に心打たれて、主人公が歌うこととは何かをもう一度見直すきっかけとなった歌です。私は、舞台や観客席の音のリアルさや音像定位に興味をもってテスト信号に使っていたのですが…。尾崎豊が何故人気があったかを、最近録画したライブ映像から納得もしました。スタジオ録音もいいですが、ライブの最後でアコギ一本で歌った「十五の夜」も感動ですね。

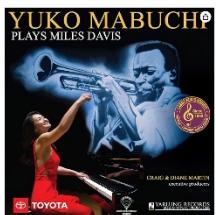
今だとできないのですが、私も中学3年の大晦日、初日の出を見ようと友達数人と集まって小高い山に登りに行く途中、道端の自動販売機で缶ビールを一本買ってみんなで回し飲みをしました。これまでビールとか飲んだ事がなかったので、興味津々。大人がおいしそうに飲んでいるのでさぞかしおいしいかと思ったら、麦臭くてまずい飲み物としか思えませんでした。最近は美味しく頂けているのに…。「十五の夜」聞いてみませんか？

今月の音楽

YUKO MABUCHI PLAYS MILES DAVIS Vol. 2

馬渕侑子

馬渕侑子という日本人ジャズピアニストのマイルスカバー集（5曲カバー、3曲オリジナル）です。ちょっとヤバいジャズマニアの方におすすめを伺ったところ教えていただいた1枚です。何はともあれ最も注文すべきはその音質で、何と、ワンポイントマイクでの録音です。このジャンルの作品で奥行き、高さ、広がりを伴って自然な音像定位が聴けるのはとても新鮮。好みは分かれるかもしれませんのが演奏内容や音楽性も非常に高い評価を受けており（よかったですウェブ等で検索してみてください）、たまにオーディオ雑誌に付録で付いているワンポイント録音の音質チェック盤とは一線を画しています。（S）





オーディオと物理

第21回 電圧と電流

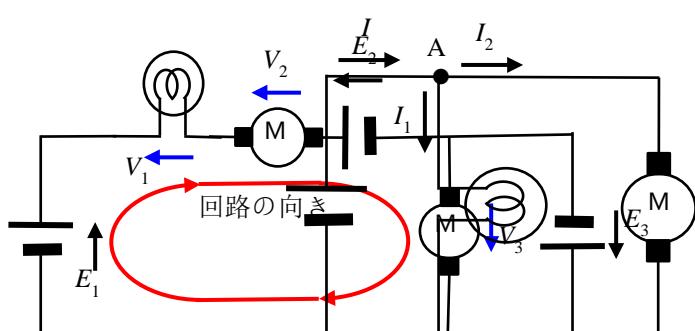
電気を流す力電圧と電気の流れ電流

前回、回路に使われる素子について説明しました。オーディオ機器は交流信号を扱うので、交流回路がどのような仕組みになっているのかを見て行きましょう。まず、いくつかの法則を紹介します。法則は自然界で成り立つ関係を説明したものですから何故等と疑問を持つても仕方ありません。ただ意味を理解して使うことが出来ればいいといえます。例えば、ニュートンの運動法則：力=質量×加速度 は長年にわたる膨大な観測データをもとに導かれた関係ですので、今更何故そうなのかななどと思っても自分ではどうしようもありません。同様にフックの法則：力=バネ定数×バネの縮み（変位）（変位は速度の積分に相当します）などもありますね。これらの法則は力の釣り合いを説明しています。同じように電気現象にもいろいろな法則・定義などの約束事がありますのでこれらを使って説明することになります。

と言うことで、まず、第1はオームの法則です。オームの法則：電圧=抵抗×電流。基本直流での話ですが、交流の場合でも成立し、さらにコイルに対しては、電圧=インダクタンス×電流の微分（電流の微分は電荷の加速度に相当します）となり、キャパシタに対しては、電圧=電流の積分／静電容量（電流の積分は電荷量で変位に相当します）が加わります。これらは各素子での力の釣合を表しています。回路はこれらの素子を組み合わせて構成されますので、回路全体に加えられる電圧が、素子に流れる電流によってつくる電圧の和と釣り合うと考えます。そこで出てくるのがキルヒ霍フの法則です。この法則は、電流に関する法則と電圧に関する法則の二種類があります。電気回路は閉じた回路（閉回路）ですが、各所で枝分かれしています。

1. 電流に関する法則：回路が分かれている節点（分岐点）

に流れ込む電流の総和は0になることを言っています。ここで、節点に流れ込む電流を+、流れ出る電流を-と考えます。たとえば、右の図のように、電池から流れ出る電流を I 、電球に流れ込む電流を I_1 、モーターに流れ込む電流を I_2 とします。今、分岐

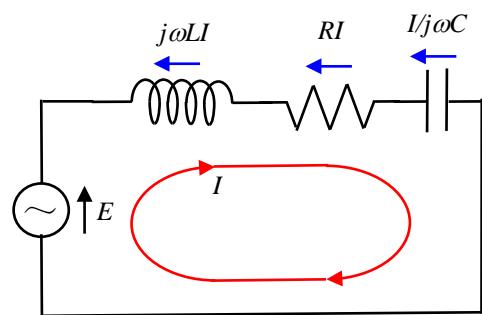


点Aに流れ込む電流を+、Aから流れ出る電流を-で表すと、 $I - I_1 - I_2 = 0$ となります。つまり、流れ込んだものは全て流れ出るということです。水道管のようなものですね。水道の本管から枝分かれして家に送られた水道管はさらに台所、風呂、洗面所、お手洗いと枝分かれしていきます。例えば、本管から家にたどり着いた水道管が元栓を通って台所、風呂、洗面所、お手洗いに分岐したとします。元栓に流れ込んだ水は、各所で流れ出ます。この流れた水量と元栓から流入する水の量は同じですね。元栓に流れ込む量を+、各所に流れ出ていった水量を-で表すなら。元栓に流れ込む水量の総和はゼロと言うことになります。つまり、元栓に流れ込んだ水は全て何処か（台所など）に出てゆき、元栓で吸い込まれたり新しく補給されたりしないことを言い表しています。

2. 電圧に関する法則：一つの閉回路内に含まれる電源の電圧の総和（ただし閉回路に一巡するある方向を設定し、その方向と同じ向きの電圧源の値を+、逆向きの値を-とする）と各素子による電圧降下（素子と電流の積）の総和は0となる。右の図で、赤い線で示される閉回路（この場合電源 E_3 は回路に含まれない）には電源 E_1 と E_2 が含まれ矢印の向きに電圧を与えているとします。この回路の向きでは E_1 が+、 E_2 は-となります。一方、閉回路に含まれる電球やモーター2個に流れる電流による電圧降下 V_1 から V_3 （オームの法則による）が青い矢印のように生じているとします。 E_1 から E_2 に向けて電流 I_1 が流れるとすると、電球と直列のモーターには同じ電流 I_1 が流れ、オームの法則による電圧降下 $R_L I_1$ および $R_M I_1$ が青い矢印のように生じます。ここで、 R_L や R_M は電球やモーターの抵抗です。一方、 E_3 に並列のモーターには別の大きさの電流 I_2 が流れ電圧降下 $R_M I_2$ が青い矢印のように生じるとします。もしこの矢印が逆だったら、結果として得られる電流 I_2 の値がマイナスになります。以上、赤い線で示した閉回路内の電源と素子の電圧降下が得られたので、電圧の釣合から $E_1 - E_2 = V_1 + V_2 - V_3$ となります。これを書き換えると $E_1 - E_2 - V_1 - V_2 + V_3 = 0$ となり、電源の総和と素子による電圧降下の総和が0になることが分かります。別の言い方をすると、電池 E_1 の上の端子から回路をひと回りしてスタート地点の電池 E_1 の上の端子まで戻ったとき電位は上下しながら元の電位に戻るので、トータルで電位の差は0になるということです。同じ点の電位を測るのと同じことですから0Vになるのは当然ですね。

回路の解析や設計は基本的にこれらの法則を使いながら回路方程式を作つて解いていくことになります。ここで、素子を接続する電線は抵抗値0とします。また、電圧源と電流源が定義されます。電圧源は指定された電圧を供給するもので、直流電源と交流電源があり、どれだけ電流を供給しても電圧は変化せずに一定となります。つまり、抵抗値がゼロと言うことになります。ですから、電圧源は短絡してはいけません。0でない電圧 $E[V]$ なのに $E=0$ となり矛盾するからです。また、電流源は指定された電流を供給する素子で、どんな抵抗値の素子に対しても一定の電流を流します。ですから、電流源はオープン（回路に繋がない）にしてはいけません。電流源は一定値の電流を流す素子でオープンだと電流が流れませんので矛盾します。

それでは、これらの法則を用いて回路解析をしてみましょう。オームの法則より、コイル、抵抗、コンデンサの電圧降下が図のように生じます。これにキルヒホッフの電圧に関する法則を適用すると、 $E=j\omega LI+RI+I/j\omega C$ が成立します。まとめなおして $E=(j\omega L+R+1/j\omega C)I$ となり、オームの法則を思いうかべると、この回路のインピーダンスが $(j\omega L+R+1/j\omega C)$ であることが分かります。これを Z とおきましょう。 ω は角周波数で、信号の周波数に相当し、コイル、抵抗、コンデンサは「物」ですので一定ですが、 Z は信号の周波数によって変わります。信号の電圧が一定なら、信号の周波数によって流れる電流が変化することが分かります。さて、 $E=j\omega IL+IR+I/j\omega C$ を見て E を力 f 、 I を速度 v 、 $j\omega$ は微分、 $1/j\omega$ を積分、 L を質量 m 、 R を流れ抵抗 c 、 $1/C$ をバネ定数 k としてみるとこの式は力の釣合の式 $f=j\omega vm+vc+v/j\omega k=ma+cv+kx$ となり、振動している質量の運動を表す式と同じ形であることが分かります。と言うことで、キルヒホフの法則は力学での運動法則の電気版と言ってもいいでしょう。



☆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/

