1)

MTSシミュレーション計算プログラムについて説明します。

MTSシミュレーション計算プログラムは、Microsoftの表計算ソフト　Excelで作られています。

このページは、ＭＴＳの解説で掲載したものと表示が異なっています。　解説で掲載したものは、各弦毎に計算していたものですが、このページは、１ページですべての弦の計算ができるように、集約したページとして構成されています。　各弦毎の計算は、このページの入力に従って、バックグラウンドで自動的に計算され、このページに表示されるようになっています。

シミュレーション計算を行うときは、空色のセルに　数値や文字を入力します。　そのほかのセルの入力は、一切必要ありません。

ここに示したペーシには、アコースティックギターの入力例が既に入力され、すでに最適な結果が計算されていますが、ギターが異なる場合は、それぞれの空色のセルに、新しい数値を入力すれば、そのギターの結果が計算されます。　また、アコースティックギターや、エレキギターのような、スチール弦のギターの場合と、クラシックギターや、ウクレレなど、いわゆる、ナイロン弦を使用した楽器の場合も、このページと全く同じもので計算できますが、いわゆる、ナイロン弦を使用した楽器の場合は、一部のセルの入力方法が変わりますので、それについては、後で具体的に説明します。

このページの冒頭には、セットアップするギターと、セットアップ日時、計算のレビジョン、セットアップ者　などの情報を記入しておきます。　すべての計算が終わったら、別なファイル名で、ファイルを保存しておきます。

はじめに入力する項目は、１から　１２までのフレット位置を入力します。　すると、シミュレーション計算で使われる基準スケール長が、自動的に計算されます。それと同時に、フレット寸法誤差　も参考値として計算されますので、各フレットでのピッチの誤差傾向の検証に役立てることができます。

このMTSシミュレーション計算プログラムは、

弦の仕様と単位長重量計算を行うセクション、

弦のテンション、ストレス、弦係数　Ｋｅを計算するセクション、

弦高を決めて、ナット補正　ΔＮと、サドル補正　ΔＬをシミュレーションするセクション、

最後に、実際のギターに、ＭＴＳをインストールするときの　ナットと、サドルの寸法を決めるセクションの、

よっつのセクションから構成されています。

それでは、はじめに、弦の仕様と単位長重量計算を行うセクションについて説明します。

はじめに、弦のブランド名や　型番などを入力しておきます。

次に、１弦から　６弦までの弦の外径を、マイクロメーターなどで測定し、その値を、ミリ単位で入力します。

弦の種類のセルには、アコースティックギターの場合は、１、２弦は　単線弦、３から６弦までは、コア巻線弦　を入力します。この時、エレキギターでは、３弦も単線弦となりますので、セルの入力を間違えないように注意してください。

いわゆる、ナイロン弦ギターの場合は、１、２、３弦は　単線弦、４，５，６弦は　フロス巻線弦と入力します。

次に、弦の単位長重量を計算するための数値を入力します。

弦の単位長重量は、弦を構成する材料の密度　ローの値、弦の外径、巻線弦の場合は、さらに、巻線径の値から、自動的に計算されます。

はじめに、弦の外径と、弦の種類、弦を構成する材料と、その材料の密度　ローの値を、芯線部と、巻線部のセルに入力します。　材料の密度　ローの値は、上に示されている数値を、それぞれ選んで入力します。

スチール弦ギターのコア巻線弦の場合、エレキギターでは巻線の材料がブロンズではなく、ニッケルとなりますので、材料の密度　ローの値は変わりますので、注意してください。

フロス巻線弦の巻線についても、ブロンズか、シルバーかによって、材料の密度　ローの値は変わりますので、注意してください。　また、(注２にあるように、フロス巻線弦の芯線部の密度は、ナイロンと同じ １．１４を入力します。

次に、巻線径　d2の入力について述べます。

コア巻線弦やフロス巻線弦の場合、弦の端の巻線を少しほどいて、真っ直ぐによく伸ばし、その直径を、マイクロメーターで測定し、巻線径　d2のセルに入力します。

次に、芯線部の直径　d1のセルについて述べます。

芯線部の直径　d1のセルは、外径から巻線径の２倍を引いた値として、自動的に計算されます。　したがって、単線弦の場合は、巻線が施されていない弦ですので、巻線径　d2のセルに、ゼロを入力します。

コア巻線弦の場合、ここで計算される芯線部の直径　d1の値は、外径と巻線径が正確に測られていれば、スチールのコア部の直径、すなわち、芯線部の直径の値と殆ど同じ値となります。

しかし、フロス巻線弦の場合は、芯線部の直径は、マイクロメーターなどの計測では分かりませんので、特別な方法で求めることとしました。　フロス巻線弦の場合も、芯線部の直径　d1のセルは、外径から、巻線の直径　d2の２倍を引いた値として計算しています。　これは、フロス巻線部を、丸い空洞とみなし、その直径を計算していることになります。

フロス巻線弦の場合、この、芯線部の直径　d1のセルに計算された値は、弦の単位長重量を計算するためのみに使用しているものです。

以上の入力で、弦の単位長重量は精度よく計算されます。

次に、MTS で考慮する重要なポイントの一つに、

弦の応力は、巻線部には作用しない　という、重要なポイントがあります。　すなわち、弦の応力を計算するためには、芯線部の断面積の正確な値を知る必要があります。

次のセクションでは、弦のストレス、すなわち、弦の応力を計算しますので、それに先立って、芯線部の断面積を求めるための、芯線径について、もう一度整理しておきます。

単線弦や、コア巻線弦の場合、芯線は丸い材料で構成されていますので、芯線径は、ここで計算される、芯線部の直径　d1の値を使うことができます。

しかし、フロス巻線弦の場合は、その値を使うことができません。

上でも述べましたが、フロス巻線弦の芯線部の直径　d1は、直接に計測することができません。従って、その断面積も、直接に計測することはできません。　解説の章でも述べましたが、フロス巻線弦の、芯線部の断面積である　芯線面積は、右の図に示したような、スリットゲージによる方法で、スリットの幅を測定して、その値から近似式によって計算することとしました。　フロス幅を測定し、その値をセルに入力すると、芯線面積が計算されます。　その値から、等価的な芯線径として、応力計算用芯線径　(注３の値を計算します。　ここで計算された、芯線径の値を、次のセクションの、弦のストレス、すなわち、弦の応力を計算するときの、芯線径の値として使用しますので、フロス巻線弦の場合は、セルの入力に注意をしてください。　ここに記載されている例の場合、フロス幅が　１．２ ｍｍの弦では、応力計算用芯線径　(注３の値は、０．３３９　ミリメーターとなっています。

なお、当然のことながら、スチール弦ギターの場合、フロス巻線弦の応力計算用芯線径の計算のセルは、そのまま、何も入力する必要はありません。

これで、弦の仕様と単位長重量計算のセクションの説明は終わります。

では、次の、弦のテンション、ストレス、弦係数　Ｋｅを計算するセクションに進みます。

次のページに進んでください。

2)

このセクションは、弦のテンション、ストレス、弦係数　Ｋｅを計算するセクションです。

弦のテンションと、ストレスは、開放弦の音程によって決まりますので、１弦から　６弦までの、開放弦の音程　(Noteと、その振動数　(Frequencyを　ヘルツ単位でセルに入力します。　これらの値は、下に示した　通常のギターと、ウクレレの調弦の値を参考として下さい。　オープンチューニングのギターや、ウクレレの　ローＧの調弦などの場合、開放弦の音程　(Noteや、その振動数　(Frequencyの値は異なりますので、注意して入力してください。

弦のテンション、ストレス、弦係数　Ｋｅを計算するために必要な数値である、基準スケール長　(Scale Length と、弦の単位長重量の値は、すでに計算されている値が、自動的にセルに表示されています。

このセクションで、さらに入力の必要なものは、芯線径のセルの入力です。

弦の応力　(Stressを計算するときの、芯線面積の値は、ここで計算しますので、(注３　芯線径のセルに、前のセクションで計算した、芯線径の値を入力します。

すでに、前のセクションで述べましたが、単線弦や、コア巻線弦の場合、芯線は丸い材料で構成されていますので、芯線径は、上で計算される、芯線部の直径　d1の値を使います。

フロス巻線弦の場合は、フロス幅を測定し、その値から計算された、応力計算用芯線径　(注３の値を使います。

これらの値を入力すると、芯線面積の値が計算され、このセクションの、弦のテンション、ストレス、弦係数　Ｋｅの値は、すべて自動的に計算されます。

さらに、弦のテンション、ストレス、弦係数　Ｋｅの値は、自動的にグラフとなって表示されますので、その値を良く検証してください。

このセクションでは、いわゆるナイロン弦ギター固有の、違いがあるポイントがあります。　それは、弦係数　Keの計算方法と、その表示方法です。　弦係数　Keの計算は、下の、ナイロン弦の性質　その５に示してある計算式で計算しています。

スチール弦の場合は、弦係数　Keの値は、スチールのヤング率　Eゼロ　21000　キログラムパースクエアミリの値と、開放弦の応力　ジグマゼロの値から、ほぼ一義的にもとまります。

いわゆるナイロン弦の場合、

ナイルガット弦や、カーボン弦なども含め、ここでは、総称して、いわゆるナイロン弦と称していますが、これらの弦は、弦にテンションを加えた時の伸び方に多少の差があります。その様子は、下の、ナイロン弦の性質　その５に示してあります。使用している弦の応力によって、弦係数　Ｋｅの値が、多少異なる・・・ということが、さまざまな弦の実験結果から分かりました。　従って、弦にテンションを加えた時の、歪みと、応力との間の比例係数である、ヤング率を、得られた実験結果から近似計算する方法としております。ヤング率が分かれば、弦係数　Ｋｅの値を計算で求めることができますので、ナイルガット弦や、カーボン弦などを含めて、一般的に使われている　いわゆるナイロン弦の、弦係数　Ｋｅの値を計算で求めています。どの材料の弦が使われているか・・・ということは、前のセクションの、弦の単位長重量を計算するときに入力した、弦の材料の密度　ρの数値を判定して、それに従って、弦係数　Ｋｅを求める近似式を選択して計算し、計算された結果を、それぞれの材料の欄に表示し、その合計値を計算しています。

たとえば、４弦のウクレレについて、例を述べますが、１，２，３弦に、ナイルガット弦を指定し、４弦に、ローＧのフロス巻線弦を指定したような場合は、１，２，３弦のＫｅの値は、ナイルガット弦のセルに、４弦のＫｅの値は、ナイロン弦のセルに表示されます。　その結果は、一番右のセルに集約されて示されます。

ですから、計算結果が、自分が指定した材料の弦でないところに表示された場合は、ここまでの入力のどこかに、間違いがありますので、再度、検証してください。

当然のことですが、４弦の楽器の場合、弦ナンバー５，６のセルの入力は、行う必要はありませんし、また、すでに何らかの数値が入力されている場合は、その数値を削除してください。

これで、弦のテンション、ストレス、弦係数　Ｋｅを計算するセクションの説明は終わります。

では、次のページに進んでください。

3)

このセクションは、弦高を決めて、ナット補正　ΔＮと、サドル補正　ΔＬをシミュレーションするセクションです。

はじめに入力する項目は、セットアップするギターの弦高の値です。

第１フレットの弦高と、第１２フレットの弦高の数値を、ミリ単位で入力します。

注４の、押下補正のセルは、ナイロン弦、ナイルガット弦、カーボン弦を使用した、クラシックギターなど、いわゆるナイロン弦ギターの時のみ、１．０８の数値を使用します。　従って、その他のギターの場合は、すべて、１．００の値としておいてください。　ウクレレの場合も、１．００のままとしておいてください。

ちなみに、押下補正のセルに、１．０８の数値が入力されると、その右の、歪み計算用１２フレット弦高の値が、すでに入力した、左のセルの値と違った数値となりますが、ここの、歪み計算用１２フレット弦高の値は、計算の過程でのみ使用する値ですので、実際のギターの１２フレットの弦高をセットアップする時は、左のセルに入力した値としてください。

弦高の値を入力すると、下に表示されている、１弦から６弦までの、音程の狂いを示す、黄色の背景のグラフの表示が変わると思います。

ここからが、いよいよMTSのシミュレーション計算に入ります。　いかにしたら、このギターのピッチの精度が最高のものになるか・・・、その数値を選ぶのが、あなたの力量になりますので、張りきって進めてください。

ちなみに、上段の、緑いろの背景のグラフは、MTSをインストールしないで、オクターブのピッチ誤差がゼロとなるように、いわゆる、サドル補正のみのオクターブ調整を、完璧に行った場合の、各フレットでの音程の狂いをシミュレーションしているものです。　ナット補正を行う MTSをインストールすると、下の黄色の背景のグラフの表示のように、各フレットでの音程の狂いは、劇的に小さくなります。

それでは、MTSインストールシミュレーション計算の、ナット補正　ΔＮのセルに、適当な値の数値を入力してください。　すると、下の、黄色の背景のグラフの表示が変わります。　入力する数値を変えると、グラフは、また別な値となります。　１から１２フレット全域にわたって、音程の狂いが、極端なマイナス傾向にならず、かつ、最も小さな値となる数値を見極めて、ナット補正　ΔＮのセルに入力します。　これが、このギターのナット補正　ΔＮの最適値ということです。　その入力と同時に、このギターのサドル補正　ΔＬの最適値の値も、xls欄に自動的に計算されて、表示されます。　これで、MTSインストールシミュレーションの最適値がもとまりました。

その数値で良いと判断できる場合は、これからセットアップするギターの、ナット補正の値と、サドル補正の値を　ΔＮ設定値と、ΔＬ設定値のセルに、最終的な数値を入力します。　これが、あなたの意思決定となるのです。　当然のこととして、最適値として計算された値を、四捨五入した数値でもかまいません。

このシミュレーション計算の方法は、いわゆるナイロン弦ギターや、ウクレレなどでも、まったく同じ方法です。

以上で、弦高を決めて、ナット補正　ΔＮと、サドル補正　ΔＬをシミュレーションするセクションの説明は終わりです。

最後に、実際のギターに、ＭＴＳをインストールするときの　ナットと、サドルの寸法を決めるセクションに進みますが、その方法も、スチール弦や、いわゆるナイロン弦ギター、ウクレレなども、全く同じです。

では、次のページに進んでください。

4)

いよいよ、最後のセクションです。

このセクションでは、実際のギターにMTSをインストールするときの、サドルの形状と、寸法を決めます。

通常、ギターのサドルは、ブリッジに掘られた、サドル溝の中に収められています。

ナット補正を行うMTSをインストールすると、サドルに弦の載る位置は、従来の位置より１２フレット側に近づきます。

今までのサドルの厚さの中で、弦を載せることができる場合は、サドルは今までのサドルと同じ厚さのものを作って、セットアップすることができますが、弦の載る位置が、サドル溝の位置より、さらに１２フレット側になってしまう場合は、サドルの厚みを、１２フレット側に厚くした、オフセットサドルを作って、弦を載せる必要があります。このような場合は、サドルあつさを、前に厚くする…ということになります。

一方、従来のサドルの位置が、極端に１２フレット側にあるような場合も、時としては、見受けられます。

このようなものは、いわゆるオクターブ調整が不完全なギターで、１２フレットのオクターブが、極端にシャープしているようなギターの場合です。

その場合は、弦を載せる位置を、サドル溝のこうたんより、さらに後ろにする必要が出てきます。この場合は、サドルの厚みを、サドルのこうたんより、さらに後ろに厚くしたオフセットサドルを作る必要があります。このような場合は、サドルあつさを、後ろに厚くする…ということが必要になります。

何れの場合も、現在のサドルの厚みと、サドル溝の位置を予め知っておく必要がありますので、現状の、オリジナルサドルの厚みと、サドル溝の位置を測定して、それぞれのセルに入力します。

アコースティックギターのように、サドルが傾いているギターの場合、サドルの傾きを知っておくことも有効です。通常、第１弦のサドル溝の寸法が最も短く、第６弦が最も長くなっていますので、それらの値を、最小値、最大値のセルに入力すると、第１弦と、第６弦でのサドルの傾きの値を計算で求めることができます。

MTSをインストールする前の状態で、サドルのどの位置に弦が載っていたか・・・、この数値も、参考として測定し、（参考　オリジナル弦長のセルに、数値を入力しておきます。

ここで示した例では、オリジナル弦長は、下の一番右のグラフの、みどりいろで示された太い線の位置です。　このギターの場合、いわゆるオクターブ調整が不完全で、１２フレットのオクターブが、極端にシャープしていたものです。

さて、このギターにＭＴＳをインストールするときの、ナット補正　ΔＮと、サドル補正　ΔＬの値、それらに対応した、設定ナット　サドルの寸法は、すでに計算で求められています。

ここで、設定ナット　サドルの寸法とは、ナット補正を行う前の、オリジナルのナット位置から、サドルに弦を載せる位置までの寸法として計算されています。

これらの数値に基づいて、サドルの厚みや、傾き、さらに、サドルに弦を載せる位置などが、下の一番右のグラフに示されます。

だいだいいろの、四角と線で結ばれた点が、MTSをセットアップするときの、弦を載せる位置となっています。

これらの点が、オリジナルサドル位置の範囲内に収まっていれば、サドルの厚さを変える必要はありませんが、ここで示した例の場合は、サドルの前側ギリギリになってしまう弦が見受けられます。

この場合、オフセットサドルを使用したほうが、弦を安定して載せることができますので、サドルを前に　０．４ｍｍだけ厚くした、オフセットサドルを使うこととしました。従って、新しく作るサドルの厚みは、前に　０．４ｍｍ厚くして、３．２ｍｍの厚さのサドルとなります。

エレキギターのように、サドルの厚さを決める必要がなく、サドル溝もないギターの場合は、サドルあつさのセルと、サドル溝のセルには、数値を入力する必要はありません。

この場合でも、MTSをインストールする前の状態で、サドルの位置を、参考として測定し、（参考　オリジナル弦長のセルに、数値を入力しておくと、MTSインストール前のサドルの位置と、インストール後のサドルの位置がグラフに表示されますので、その比較を、容易に知ることができます。

最後に、これらをインストールするための、ストリングピロー、あるいは、オフセットナットと、サドルを製作して、実際のギターに搭載し、弦高が、予め設定した値となるように仕上げれば、MTSのインストールは完了です。