

アップライトアクションのタッチウエイト調整

パート1：分析と原理

オーストラレーリアンピアノ調律技術者協会ニュージーランド支部ARPT会員 中村祐司

これはピアノテクニシャンズジャーナル2015年1月号に掲載された論文を著者自身で日本語訳したものです。

アップライトピアノの特徴

これまでアップライトピアノに関しては上級レベルに属する技術的な話題、たとえばタッチウエイトや整調、整音などについて書かれることがあまりありませんでした。実際アップライトピアノのアクションでは微妙な調整が弾き心地に与える影響が少なく、たとえ厳密な調整ができたとしてもグランドピアノのタッチやその演奏性と比べると、アップライトではそれらが格段に劣ると言わざるを得ません。これは構造上どうしようもないことです。

別の角度からアップライトピアノを見てみましょう。通常のアップライト所有者は優れた演奏性や均一なタッチをさほど期待していません。もともと高度に調整された際にどの程度まで品質が高められるか知らないということもありますが、とりあえず子どもが習い始めたからそのために、とか練習用なのでその質はさほど問わないから、というような理由で購入しているからです。ですからもう少し弾き心地を良くしようとそのためにお金をつぎ込む、という人はほとんどいないのが現状だと思います。

とはいえ、一部のピアノ愛好者の中にはタッチの重さを調整するためにある程度のコストを見込む人もいるでしょう。今まででも技術者によっては多少整調を変えたり鍵盤鉛調整をしたりと、それなりにその要求をこなしてきています。しかしながら、どのようにアプローチしていけば良いのかを具体的に、包括的に記述した文章は今まで見たことがありません。多くのピアノ技術者はおおむねアップライトピアノを主体に仕事をしているでしょうから、その部分をきちっとまとめることが必要だと思い、この文章を上梓しました。

市場には多種多様なアップライトピアノが存在しています。おおむねピアノの質は値段と連動していると考えられますので、やはり安価なピアノの方により多くの問題が隠されているのが実情でしょう。たとえば、私のお客さんの一人でそのようなピアノを購入し、タッチが重くて弾きづらいので軽くして欲しいと依頼されたことがありました。調べてみるとダンパースプリングが強すぎて鍵盤を途中まで弾いたところで急激に重くなってしまい、タッチの底まで弾ききるにはかなりの指の力を必要としたのです。特にピアノニッシモを弾こうとしても鍵盤が重過ぎるので弾ける状態ではありませんでした。ある程度以上のピアノですと、タッチの重さもちゃんと考慮に入れて設計されているために普通そのようなことはありません。廉価で問題のあるピアノの方がその問題を改善するためにコストが高くなるのは必然的です。しかし、そもそもそのようなピアノを買う顧客がプラスアルファの支出を積極的に出すかと言うと、それはかなり疑問だと言わざるを得ません。

この文章はアップライトピアノのタッチの重さを調整するやり方について通常の方法から、最新の知識・技術を使った方法まで解説しました。調律や整音由来のタッチ感覚の相違についてはこの文章の目的と外れてしまいますので、ここには含めません。

タッチウエイトにかかわる問題はどこをチェックしてどのように調整すれば良いか

- 1、アクションパーツや鍵盤の摩擦部分
- 2、アクションに使われているスプリングの強さ
- 3、整調
- 4、鍵盤鉛調整
- 5、ハンマーストライクウエイト
- 6、キャプスタンとウイペンヒールの接点
- 7、鍵盤バランスパンチングクロス
- 8、バットフェルトのコンディション

アップライトピアノでタッチの重さを調整するためチェックする場所として、上記8つの項目を上げました。1から3までは通常の修理や整調の範疇です。多くの技術者はすでにこれらを通してタッチを調整しているものと思います。フレンジセンターが硬かったりスカスカだったり、鍵盤がスティックしていたりガタガタだったりしていれば、それを修正し、きちっとした整調をすることによって多くのピアノは問題ないレベルまで引き上げることが可能です。それで顧客の満足も得られることでしょう。これらを見逃して項目4以下に述べる作業を施しても十分に満足できる結果を得られないか、結局後からこれらをやらなければいけないことになるでしょう。

(著者日本語訳注：日本で通常見かけるアップライトピアノではほとんど問題ないと思いますが、廉価なピアノでアクションに使われているスプリングの強さに問題がある場合があります。欧米圏にかなり出回っているため、アメリカで発行されているこの掲載誌には一つの項目として解説しました。この日本語版でもそのまま入れてあります。)

1、アクションパーツや鍵盤の摩擦部分

ピアノのアクションが快適に動くためにはフレンジや鍵盤の摩擦抵抗の値が一定であることが必要です。フレンジのセンターや鍵盤ブッシング部など規定の硬さで調整をすることが大事なのです。抵抗が小さすぎますとタッチのコントロールが難しいですし、大きすぎるとタッチの抵抗感が大きすぎてやはり弾きづらくなります。最悪の場合アクションが動かなくなることもあるのはご承知の通りです。この件については技術学校でもメーカーでも多くの参考資料が用意してあると思いますので、ここではあえて規定値などの詳細は提示しません。

2、アクションに使われているスプリングの強さ

アップライトのアクションにはバット、ジャックそしてダンパーにスプリングが使われています。古くなってこれらのスプリングが弱ってきたり、バットスプリングコードが切れてスプリングが外れていたりするとタッチが軽くなります。逆に一部のメーカーの新品のピアノに強すぎるスプリングが使われていることがあります。この場合はタッチが途中で急激に重くなり普通に弾くことができない場合が出てきます。

バットスプリングはハンマーを始動点に戻す力を絶えず与えています。これは弾く側から見ると常に鍵盤を押し返す方向の力になりますので、タッチウエイトの一部に含まれています。実際に測定して見るとバットスプリングを外した状態では、およそ7g程度タッチウエイトが軽くなるのがわかります。

バットスプリングが外れていたり折れていたり、古く弱くなっているような場合には、ハンマーを押し戻す力が弱まっているのでハンマーがキャッチャーにくわえられづらくなります。最悪ハンマーがバウンドして弦を二度打ちしてしまうこともあります。キャッチャーにくわえられる範囲でバットスプリングを弱めてタッチを軽くする、というのは可能ですが、全鍵に渡って均一に調整することは難しく時間もかかるのでお勧めはできません。

廉価なピアノにおいて、強すぎるダンパースプリングが装着されていることがあります。指の弱い演奏者が弾こうとするとダンパーのかかりのところで指が止まってしまい二度打ちしたり音のコントロールができないといった問題が出てきます。また、古いピアノではスプリングに使われている金属材料が硬化して弱くなったり折れたりします。

それではどの程度の強さが適切なのでしょうか。ダンパーがかかる前までと、かかった後で測定したダウンウエイトの差を求めることによって、このスプリングの強さを測定できます。一般的に標準とされるアクションを測定したところ高音30g、中音40-50g、低音70-80gでした。この数値から大きく外れるようなものは交換か調整が必要でしょう。

ダンパースプリングの強さはグランドアクションのようにスプリング調整工具で調整可能です。強くするにはコイル部を開くようにします。曲げてしまわないように注意します。古くて弱っているものは調整不能なことが多いので、その場合は交換します。弱くしすぎると止音が甘くなりますので、そうならない範囲で調整します。

ジャックスプリングの強さは鍵盤手前で測定するとだいたい10-20gです。脱進前と脱進中でのダウンウエイトの測定値を比較して求めます。ダンパーは弦から上がった状態にしておいた方が良いでしょう。ジャックスプリングは一台の中では同じ部品を使っているのと同じ強さのはずです。しかし、実際にはバットスキンとジャックの摩擦にばらつきがあったり、ハンマーの重さで摩擦抵抗が変わりますので測定値にはばらつきがあります。

ジャックスプリングが弱すぎますとジャックが戻りづらくなり、連打ができません。強すぎると脱進時のコントロールがしづらくなり、なめらかな演奏ができなかったり、あまりに強すぎると弱い指では脱進させられず二度打ちしたりします。このスプリングは微調整ができませんので、タッチの重さを調整するには用いません。ジャックスプリングを交換する時は、部品の長さで新しいものを選ぶのではなく、実際にサンプルを装着してみてアクションの動きを確認して適切なものを選びます。スプリング材の太さとコイルの巻き方によって強さが変わってくるからです。

3、整調

整調は調律師の仕事の3本柱の1本であり、大事だということは多くの技術者の一致する意見です。しかし、実際にすべてのピアノがしっかり整調されているかと言うと、そうでもありません。それを必要とする顧客は、この論文で扱うレベルでの弾き心地を要望する、ごく限られた人でしかありません。

整調が良くないピアノは弾きづらいので、顧客からは「タッチが良くない」とか「タッチが重い」といった形で表現されるでしょう。整調はタッチウエイトやタッチの感覚に直接かかわってきます。打弦距離や鍵盤あがき、接近やアフタータッチなどが標準からかけ離れていると、「タッチがおかしい」とか「タッチが変だ」とか「タッチが重い」とかと言われることでしょう。

例を上げると、ブライドルワイヤー前後調整やダンパーのかかり（スプーン）調整はタッチの重さに大きく影響します。ブライドルテープが張りすぎていたりスプーンがかなり早くかかってしまう場合に「タッチが重い」と感じられます。これらは基準寸度に調整されなければなりません。

タッチの重さを調整する

これまで述べてきた1から3までの項目を踏まえて調整してもまだ不満を持つ顧客がいるかもしれません。その場合は次の4から8までの項目をこれから述べる2つの考え方を利用して調整する必要があります。

あります。これらはアクションが正常に機能している状態で、そこから一步踏み込んで物理的な重さを調整するために必要な知識です。

その一つ目は静的なアクションの平衡の様子を分析してバランスウェイトを調整することです。これはアメリカの技術者スタンウッド氏によって開発・提唱された手法で、鍵盤のバランス部をこの支点として、その手前側とワイペン・ハンマーも含めた鍵盤奥側にかかる重さを比較分析します。ここから求められるバランスウェイトが重いほどタッチが重く感じられます。

もう一つのポイントは各 부품の慣性モーメントとそれらの動きの比率であるギアレシオを調整してタッチの動きの抵抗感を調整することです。これは私の提唱するやり方で分析・計算します。慣性モーメントが大きいほど動きづらく、重く感じるタッチになります。

項目4の進む前にこれら2つの考え方を説明しなければなりません。

(著者日本語訳注：この文章では具体的に現場で何ができるかについて書いていきますので、それに必要のない理論の詳細については言及致しません。詳しくは以下の記事他をご参照ください。

スタンウッドの公式：<http://yujipiano.blogspot.co.nz/2013/11/page-5.html>

ストライクレシオ：<http://yujipiano.blogspot.co.nz/2013/11/part-9.html>

慣性モーメント：<http://yujipiano.blogspot.co.nz/2013/11/page-12.html>

上記のリンクは私の別ブログ「グランドピアノのタッチ調整」の中にありますが、他にも関連した記事があります。スタンウッド氏の論文などの資料は彼のウェブサイト<http://www.stanwoodpiano.com/>に多数載っており、無料でダウンロードできます。原文はすべて英語です。一部の重要な論文には私が日本語訳したものが掲載される予定です)。

アップライトアクションのストライクレシオを求める

ストライクレシオとはハンマーの質量1gが鍵盤手前に何gとして伝達されるかを示します。たとえば、グランドピアノのアクションでは5.0から6.5程度です。すなわち、ハンマー1gの重さが鍵盤手前では5.0gから6.5gの重さとして感じられるのです。アップライトピアノでは後で述べるように全く違った数値が得られます。なお、タッチウェイトの計量点(あるいは測定点)は鍵盤手前から13mmのところ です。

スタンウッドの平衡の等式を使ってアップライトアクションのストライクレシオを求めることができます。私はアップライトアクション用としてバットスプリングの力をこの等式に加えています。

BW + FW = WW x KR + HSW x SR + BSF (スタンウッドの公式、中村改訂版)

BW：バランスウェイト、FW：フロントウェイト、WW：ワイペンウェイト、KR：鍵盤レシオ、HSW：ハンマーストライクウェイト、SR：ストライクレシオ、BSF：バットスプリング力

それぞれの項目はスタンウッドの提示したやり方で測定していきます。ただしHSWの測定に関してはスタンウッド氏によるやり方ではなく、私独自のやり方をお勧めします(この論文のパート2にて詳述いたします)。バットスプリング力はバットスプリング付きと外した状態でダウンウェイトを測定しその差をその数値とします。

スタンウッドの公式を使うと、静的な重さの指標であるバランスウェイトとアクションの状態を示す重要な要素であるストライクレシオを求めることができます。この方法で分析しますとアクションの状態を詳しく知ることができるのです。しかしながら、この方法は時間がかかるので、特にアップライトのアクションの分析においては私は違うやり方を提案します。これはダウンウェイトとアップウェイトを測定するだけでストライクレシオも計算できるやり方です。その上で後述する通りハンマーストライクウェイトやストライクレシオ、そしてバランスウェイトを調整することが可能です。

具体的にどのように算出するか見ていきましょう。まず、通常の状態(写真1)でダウンウェイトとアップウェイトを測定しバランスウェイトを求めます。その次に、小さなおもりをハンマーに取り付けて同じようにバランスウェイトを求めます(写真1)。



(写真1) ハンマーストライクレシオを求めるために載せた2.0gのおもり

まず、通常の状態ですタンウッドの等式を書くと次のようになります。

$$BW_1 + FW = WW \times KR + HSW_1 \times SR + BSF \quad \dots (1)$$

通常状態での数値を表すためバランスウエイトとハンマーストライクウエイトには小さな1を付け足してあります。次にハンマーに小さなおもりを載せます。バランスウエイトとハンマーストライクウエイト以外は数値が変わりませんので、その時には式(2)のようになります。通常状態と区別するために小さな2の数字を付け足してあります。

$$BW_2 + FW = WW \times KR + HSW_2 \times SR + BSF \quad \dots (2)$$

ハンマーがおもりで重くなっていますので、バランスウエイトの測定値も大きくなっているはずです。そこで式(2)から式(1)を引くと次のようになります。

$$BW_2 - BW_1 = (HSW_2 - HSW_1) \times SR$$

ストライクレシオを求めるために式を整理しますと、

$$SR = (BW_2 - BW_1) / (HSW_2 - HSW_1)$$

$HSW_2 - HSW_1$ というのはつまり追加で載せたおもりの重さです。私は通常2.0gのおもりで測定していますので、バランスウエイトの差を2.0で割った値が求めるハンマーストライクレシオになるわけです。

$$SR = (BW_2 - BW_1) / 2.0$$

実際の計測でもスタンウッドの公式から求めた数値でも、アップライトアクションのストライクレシオは1.5から3.0程度になります。グランドピアノは5.0から6.5程度でしたので、それと比べますとかなり小さいことがわかります。これはなぜかと言うと、アップライトのハンマーは重力に対して平行ではなく直角に近い角度で運動しているからです。ハンマーが動く時に重力から受ける影響がグランドアクションよりも小さく、ジャックにかかる力が少ないのです。つまりアップライト

のハンマーはグランドに比べるとバランスウエイトに与える影響がかなり少ないということが言えます。具体的にはハンマーの質量1gは鍵盤手前では1.5gから3g程度にしか感じられません。

アップライトアクションではハンマーストライクウエイトが弦に向かっていくに従って軽くなっていきます。あたかもハンマーの質量が減っていくかのようにです。ストライクウエイトの数値が小さいということは、アップライトのハンマーストライクウエイトがグランドアクションのようにタッチウエイトに影響しないということを意味します。

アクション部品の慣性モーメント

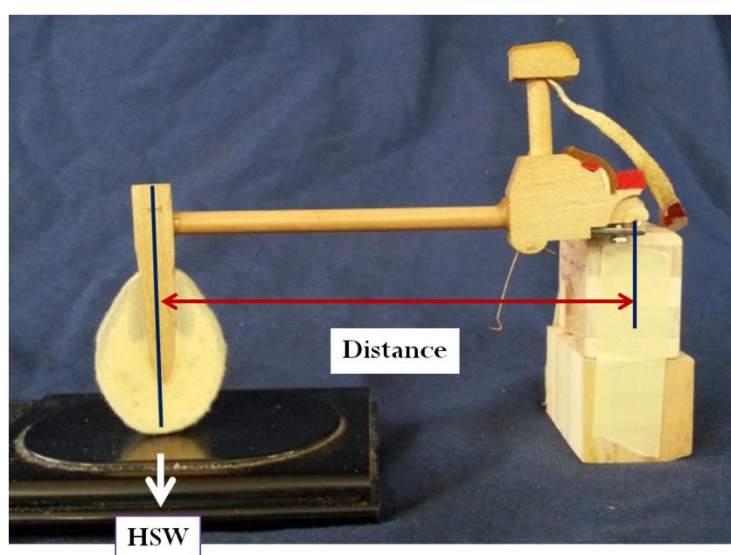
アクション部品の慣性モーメントの求め方の詳しい説明は私の以前の論文「慣性モーメントを考慮に入れた応用技術」（ピアノテクニシャンズジャーナル2014年9月・10月号掲載。原文は英語ですが、日本語版も別途あります）をご覧ください。

(著者日本語訳注：または、私のブログ「グランドピアノのタッチウエイト」の中で、「タッチを変える Page12」 (<http://yujipiano.blogspot.co.nz/2013/11/page-12.html>) とそこから続く記事と、「タッチの重さ調整に慣性モーメントを取り入れる」 (<http://yujipiano.blogspot.co.nz/2014/06/blog-post.html>) とそれから続く記事でも詳しく説明してありますので、それらも併せてご参照ください。)

グランドアクションでは、鍵盤手前で感じる慣性モーメントのうちハンマーによる値が約80%分あります。タッチに含まれる動的な抵抗の8割はハンマーによるものなのです。

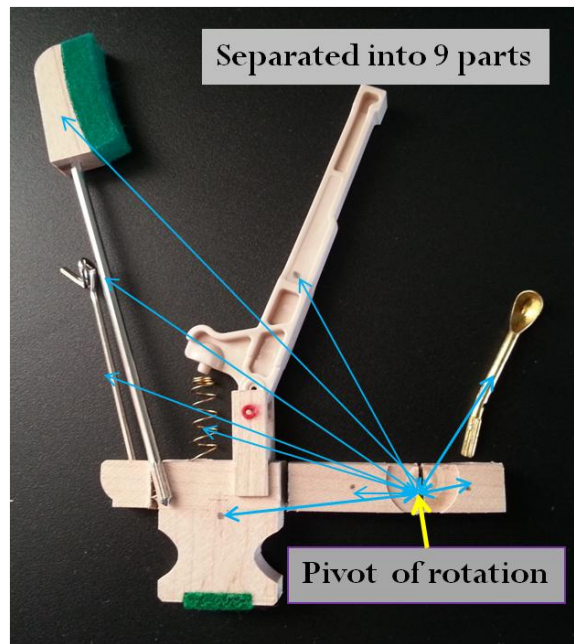
それではアップライトアクションではどうでしょうか？グランドアクションと同じようにハンマーの慣性モーメントは全体の値の中で高い比率となっており、実際グランドアクションよりもさらに大きい割合になっています。具体的にどのように計算するか見て行きましょう。

ハンマーの慣性モーメントはハンマーストライクウエイト (HSW) × (バットセンターとウッド中心線の距離)²で求めます。私のサンプル (ヤマハU1のC4音) ではHSW=9.6g、距離が12.8cmでしたので、計算すると1,573gcm²となります(写真2)。同じハンマーアッセンブリーを分解してそれぞれの部分を加算して求めると1,422cm²となり、約10%の違いがありました。しかし、通常の作業では分解することはできませんので、この差は理解した上で実際の作業ではHSW値を使ったこの簡易な方法で計算します。



(写真2) 慣性モーメント算出のためにハンマーストライクレシオ (HSW) とセンターピン-ハンマーウッド中心線間の距離を測定する

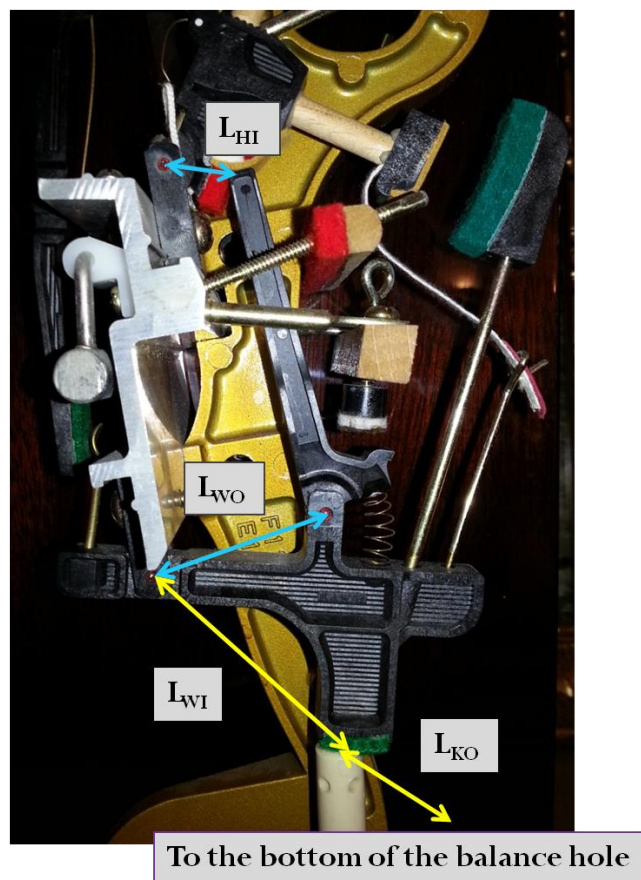
ワイペンの慣性モーメント、これはヤマハU1のパーツを実際に分解して計算しました(写真3)。そこから622cm²という数値が得られました。ちなみに、慣性モーメントが関係するのは回転する部分だけですので、フレンジは計算に入れません。



(写真3) ウイペンの慣性モーメントを求める。(各部の点はその部分の重心位置、青線は重心位置までの距離を示す)

鍵盤の慣性モーメントを私のやり方で算出すると、サンプルの鍵盤は $10,079 \text{ g cm}^2$ でした。

アクション全体が鍵盤手前でどのような慣性モーメント値を持っているか算出するためには部品間での伝達比率であるギアレシオを求める必要があります。それぞれの連結部での比に必要な寸法は写真4で鍵盤-ウイペン比は黄色、ウイペン-ハンマー比は空色で表示してあります。



(写真4) 鍵盤手前での慣性モーメントを計算するために必要なギアレシオを計測する。

$$\text{鍵盤手前での慣性モーメント値} = \text{MoI}_{(K)} + \text{MoI}_{(W)} \times (\text{L}_{KO} / \text{L}_{WI})^2 + \text{MoI}_{(H)} \times (\text{L}_{WO} / \text{L}_{HI} \times \text{L}_{KO} / \text{L}_{WI})^2$$

L_{WO} はウイペンセンターとジャックセンター間の距離、 L_{HI} はバットセンターとジャック・バットスキン接触部間の距離、 L_{KO} はバランスホール下部中心とキャプスタン上面中心間の距離、 L_{WI} はウイペンヒール・キャプスタン接触部とウイペンセンター間の距離です。

なぜジャックセンターとウイペンセンターの距離 (L_{WO}) がウイペン-ハンマー間の出力側のギアレシオとして使えるのでしょうか？まず、ウイペンとハンマー間のギアレシオを考える場合にジャックとバットスキンの接触面の移動距離が同じと考えます。ジャックの上端とセンター部では同じ距離動くので、ジャックの上昇距離はジャックセンターの移動距離とほとんど同じとみなすことができます（写真5）。ジャックの上端は直線運動で、ジャックセンターは回転運動をしますので精密に同じとは言えませんが、ここで述べていく作業のためには十分な数字を得ることができます。センターピン間の距離を計測するので、簡単に正確な数値を得ることができます。



（写真5）ウイペンとハンマー間のギアレシオを求めるために、ウイペン側の出力距離を求める。

先ほどの数値とアクションの測定した寸法を入れますと次のような数値を得ることができます。

$$\text{鍵盤手前での慣性モーメント値} = 10,079 + 622 \times (160/48.5)^2 + 1,573 \times (36.5/14.5 \times 160/48.5)^2 = 125,217 \text{ gcm}^2$$

鍵盤手前での慣性モーメント値とその全体から見た割合を部品ごとに列挙すると次のようになります。

ハンマー：86.5% (108,364 gcm²)

ウイペン：5.4% (6,774 gcm²)

鍵盤：8.0% (10,079 gcm²)

ちなみに、これと同じC4音をスタインウェイのD型コンサートグランドピアノと比べてみましょう。（鍵盤手前での慣性モーメント値は257,311 gcm²でした。）

ハンマー：78.7% (202, 577 gcm²)
ウイペン：1.7% (4, 322 gcm²)
鍵盤：19.6% (50, 463 gcm²)

これらの数字の詳細は先述した私のピアノテクニシャンズジャーナル2014年9月・10月号に掲載された論文をご参照ください。

ここでわかるのは、アップライトのハンマーは鍵盤手前での慣性モーメントに、グランドアクションと同じように一番大きく影響を与えているということです。アップライトの方がその割合が大きい位です。アップライトの鍵盤はアクションの加速度に対する動的抵抗への割合がより小さくなっています。しかしながら個人的には鍵盤の慣性モーメントはタッチの動的抵抗を考えるに当たっては、その考察の中に入れておかねばならないと思っています。(マリオ・イグレック著 *Pianos Inside Out*、299ページをご参照ください)

顧客から時々アップライトピアノのタッチを重くして欲しいと要望されることがあります。その場合、鍵盤の慣性モーメントが小さすぎるため、ということが考えられます。アップライトのハンマーだけの慣性モーメント値はグランドピアノとさほど変わらないのに対して、鍵盤は慣性モーメント値がかなり小さくなっています。そこで、弾き手がアクション部品間の動きのずれを感じてしまうことがあるのです。これを改善するためには鍵盤の慣性モーメントを大きくすることが有効です。これについてはこの論文のパート2にて詳説致します。

アップライトアクションではハンマーにかかる重力の影響が小さいので、グランドアクションよりもタッチウエイトに対するハンマーの重さの影響が小さくなります。しかしながら、ハンマーアッセンブリーの慣性モーメントは理論で示される通り、垂直でも水平でもその運動の方向に関係なく計算されます。

次回の記事では実際のアクションでタッチをコントロールするために、これらの理論を当てはめながらどのように実際の作業を進めていくかを説明します。