A-8-2

ボールルームダンスにおけるヴィエニーズワルツの基礎解析

Basic Mechanical Analysis of Viennese Waltz in Ballroom Dancing

○正 塩谷 義[*1]
Tadashi SHIOYA[*1]
[*1] 東京大学 The University of Tokyo

Viennese Waltz Dance in international style is analysed in the mechanical point of view. The movement of dancers is compared with that of English Waltz. Difference between Natural Turn and Reverse Turn is cleared. The exchange in the kinetic energy between translational movement and the rotational movement is dominant in the Viennese Waltz whereas the exchange between the potential energy and the kinetic energy is more essential in the English Waltz. Rise and Fall and the sway are analysed. Natural Turn, Reverse Turn and Change Steps are studied showing the trajectories of each dancer together with kinetic energies and mutual force between partners to match mechanically smooth movement.

Key Words : Ballroom Dancing, Viennese Waltz, Swing, Sway, Natural Turn, Reverse Turn, Change Step

1. 緒 言

現代の Ballroom Dance の標準（Standard）種目のひとつである Viennese Waltz は，Dancer の間では一般に単に Waltz として知られる（または，区別して Slow Waltz，English Waltz などの呼称の）Slow Tempo の Waltz と比較して 2 倍程度の速度の音楽で踊られる Dance である．本報では通常の Waltz を Viennese Waltz と区別して English Waltz と記すことにする．Viennese Waltz の音楽としては，19 世紀の Johann Strauss の数々の名曲に代表される 3 拍子のウィンナ・ワルツ (ドイツ語: Wiener Walzer，英語: Viennese Waltz)である．

Viennese Waltz の踊り方としては，その原型はさらに古い時代に遡る．(Smith-Hampshire, 1951)．現在の Viennese Waltz で Fleckerl と呼ばれる Couple が Close hold で位置を移動せずに３拍で回転を続ける踊りは，Austria と Germany の Alps 地方の Folk Dance において Spinner や Weller などの名称の踊りで既に存在していた．現在の Natural Turn（右回転）と Reverse Turn（左回転）は Couple が大きく移動しながら回転を続けるが，Fleckerl Type よりかなり新しく，Smooth にすべることができる広い Ballroom が Vienna（ウィーン）に普及しだした 18 世紀終わりから 19 世紀初めにかけてと言われている．

Viennese Waltz の Rise and Fall は速い Tempo のため浅い皿の形状のように表現され Foot Rise は最小にとられている．

Viennese Waltz の教本としては，英国の教師協会 ISTD では Standard の他の４種目の Syllabus（ISTD, 1944）には含めず，(Smith-Hampshire, 1985)の原本（手書きの Chart を含めたもの，発行年不記）を頒布していたが，のちに，Viennese Waltz の Chart のみの簡単な教本（ISTD, 2001）を出版している．

本報においては，Viennese Waltz の主要な Figure である Natural Turn と Reverse Turn について，English Waltz との比較を意識して力学的解析を行なう．さらに Viennese Waltz の Dance の中でも高度の Figure とみなされている Natural Fleckerl, Reverse Fleckerl の解析については別の機会に解析を行なう．

2. 解 析

2.1 Viennese Waltz の Figure

Viennese Waltz または同程度の速度の Tempo の Waltz の音楽に対しては，Old Time Waltz などの種々の Figure も広く用いられているが，ISTD 等では International style の競技会等で使用できる Viennese Waltz の Figure としては，Natural Turn, Reverse Turn, Forward Change, Backward Change, Natural Fleckerl, Reverse Fleckerl, Check のみを公式に認定している．その他の Figure も Demonstration や Party などでみられるが，ここでは，International Style の Figure に限定して解析を進める．Natural Turn, Reverse Turn および Natural Fleckerl, Reverse Fleckerl はそれぞれ連続して数小節踊られ，それらのつなぎの Figure として Forward Change, Backward Change および Check が用いられる. 本報の解析においては主要 Figure である Natural Turn, Reverse Turn および Change Step の動きを解析し, English Waltz との相違点を明らかにする．現在一般に広く踊られている English Waltz からの類推から，Viennese Waltz においても単に速度を大にすれば大差ないと考える Dancer も多いが，Alignment や回転量，Rise and Fall なども含め力学的にもかなりの差異があり，これらの正しい理解は Viennese Waltz を Smooth に踊ることへの大きな助けになると考える．

2.2. Natural Turn および Reverse Turn の移動径路に沿った運動の解析

重心の移動径路（LOD 方向）に沿って座標をとり，水平方向（l 方向）重心変位 l_{G}，鉛直方向（z 方向）重心変位（高さ） h_{G}，1 小節の時間長さ（周期） T，1 小節での Couple の重心の移動距離を前半 L_1，後半 L_2，高さ振幅 H とする．時間 t，長さ， h_{G} を無次元化し，

$$\frac{t}{T}=t',\quad \frac{h_{\mathrm{G}}}{H}=h_{\mathrm{G}}', \tag{1}$$

とする． t， l_{G} の原点は，小節の初めとする． h_{G} は最も低い位置を 0 とする．Natural Turn，Reverse Turn, Change Step 等 において 1 小節を周期とする正弦運動の Swing を想定する．Swing の開始は（前の小節の）Count 3 の中間時点 t_{S}' で最高重心高さ H とする．Swing 終了時点を t_{E}' とする． $t_{\mathrm{E}}'-t_{\mathrm{S}}'=1$，Count の始め時点を $t'=0$ とすると， $t_{\mathrm{S}}'=-\frac{1}{6}$ (-1/6 拍)， $t_{\mathrm{E}}'=\frac{5}{6}$ である．この Swing 開始-1/6 拍目，終了 5/6 拍目の水平方向速度 $\frac{\mathrm{d}l_{\mathrm{G}}'}{\mathrm{d}t'}\left(t_{\mathrm{S}}'\right)=\frac{\mathrm{d}l_{\mathrm{G}}'}{\mathrm{d}t'}\left(t'_{\mathrm{E}}\right)$ は，English Waltz の Natural Turn においては Syllabus 通りであれば消失する．しかし，Viennese Waltz においてはある程度の水平方向の初速度 $v_{\mathrm{S}}=\frac{\mathrm{d}l_{\mathrm{G}}}{\mathrm{d}t}\left(t_{\mathrm{S}}\right)$ および終速度 $v_{\mathrm{E}}=\frac{\mathrm{d}l_{\mathrm{G}}}{\mathrm{d}t}\left(t_{\mathrm{E}}\right)$ を想定するのが自然である．この 1 小節間の Swing について Natural Turn と Reverse Turn を分けて表示する場合は Natural Turn に N，Reverse Turn に R の添え字を付す．また，それぞれの前半と後半の区別が必要な場合，前半に対し，添え字 1，後半に対し添え字 2 を加える．後述の(Man Forword) Change Step に対しては添え字 C を付す．たとえば Natural Turn の前半の Couple 移動距離は L_{N1}，区別の必要がないときは単に L と表記する．Couple 重心の移動速度 $v\left(t'\right)$ を，前半，後半の接続点（$t'=t_{\mathrm{S}}'$， $t'=t_{\mathrm{S}}'+1$， $t'=t_{\mathrm{S}}'+2$ ：以下，端点と呼ぶことにする）で同一速度 $v\left(t_{\mathrm{S}}'\right)=v\left(t_{\mathrm{S}}'+1\right)=v\left(t_{\mathrm{S}}'+2\right)$ とする最も滑らかな運動を代表する simple な調和関数で表現する．

$$v(t') = v_A\left[1-\alpha_V \cos\left\{2\pi(t'-t_S')\right\}\right] + v_B\pi \sin\left\{\pi(t'-t_S')\right\} \quad (2)$$

ここで$v_A = \dfrac{L_1+L_2}{2T}$は平均速度，$v_B = \dfrac{L_1-L_2}{4T}$は前半後半の速度差の指標で，Natural Turn では，$v_A = v_{AN}$，Reverse Turn では$v_A = v_{AR}$等とする．α_Vは平均速度からの変動割合である．端点では

$$v(t_S') = v_A(1-\alpha_V) \quad (3)$$

である．移動距離は上式を積分，加速度は上式を微分して

$$l_G(t') = v_A(t'-t_S') + v_B\left[1-\cos\left\{\pi(t'-t_S')\right\}\right] - v_A\left(\frac{\alpha_V}{2\pi}\right)\sin\left\{2\pi(t'-t_S')\right\} \quad (4)$$

$$\frac{dv}{dt'}(t') = 2\pi v_A\alpha_V \sin\left\{2\pi(t'-t_S')\right\} + \pi^2 v_B \cos\left\{\pi(t'-t_S')\right\} \quad (5)$$

となる．α_Vは Dancer が選択できる Swing 中の加減速の度合いを表す係数である．English Waltz においては$\alpha_V = 1$，$v(t_S') = 0$である．図 1 に具体的な移動距離，速度，加速度を時間に対して表した例を示す．

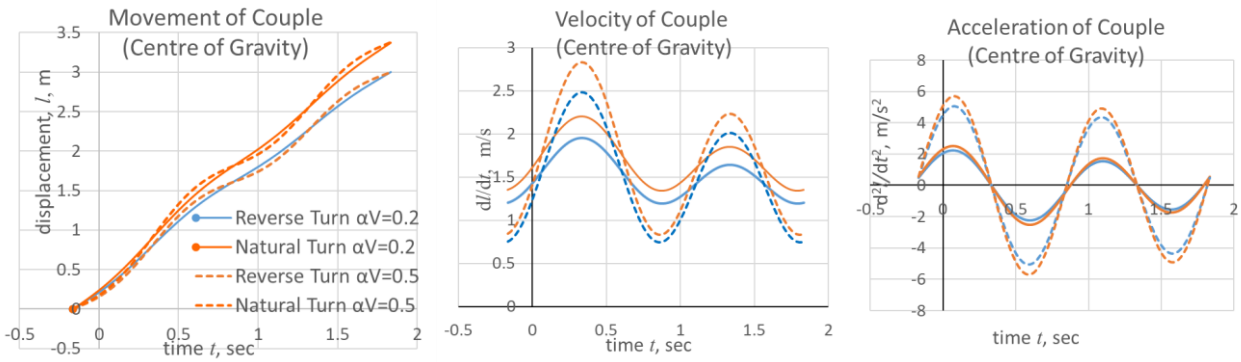

Fig. 1 Displacement, velocity and acceleration of couple centre in Viennese Waltz. Tempo: 60 bpm. Swing lengths are L_{N1}=1.8 m, L_{N2}=1.575 m in Natural Turn and L_{R1}=1.6 m, L_{R2}=1.4 m in Reverse Turn.

2.3 Natural Turn および Reverse Turn におけるそれぞれの Dancer の運動径路

以上は，Couple としての重心の運動であったが，ここで，男女それぞれの運動を解析する．重心回りの回転角を女子重心θ，男子重心$\theta+\pi$で表す．θは身体の向きではなく，Couple 重心と女子重心を結ぶ線の LOD からの傾斜で定義する．もし，男子が LOD に向き，女子が左右のずれなく（正対），LOD に背面するとすれば，$\theta = 0$となる．実際の Hold では Dancer から見て Partner は右側約 45°(π/4）の位置なので，Swing の開始時$t' = t_S'$において Natural Turn では Man Facing DC で$\theta = 0$，Reverse Turn では Man Facing DW で$\theta = -\pi/2$である．Couple 重心からの距離（回転半径）を男女重心それぞれ$r = \rho_L$，$r = \rho_M$とし，変化しないものとする．重心の定義より，$m_L\rho_L = m_M\rho_M$である．以下の解析例では$m_M = 60\,\mathrm{kg}$，$m_L = 50\,\mathrm{kg}$，$\rho_L = 0.144\,\mathrm{m}$，$\rho_M = 0.12\,\mathrm{m}$とする．

Viennese Waltz の Natural Turn および Reverse Turn の場合，通常重心径路は LOD に沿った直線とみなすことができる．すなわち，$x_G = l_G$，$y_G = 0$．それぞれの Dancer の重心位置は，

Lady: $x_L = l_G + \rho_L \cos\theta$，$y_L = \rho_L \sin\theta$，　Man: $x_M = l_G - \rho_M \cos\theta$，$y_M = -\rho_M \sin\theta$．　(5)

速度，加速度は上記各成分を時間で微分，および，2 階微分したものとなる．回転運動の時間経過に関しては並進運動（移動）と同様の関数形とみなす．角速度

$$\omega = \frac{\mathrm{d}\theta}{\mathrm{d}t} \quad \text{無次元：} \omega' = T\frac{\mathrm{d}\theta}{\mathrm{d}t} = T\omega \tag{6}$$

は Reverse Turn（左回り）が正，Natural Turn（右回り）が正である．1 Swing 間の回転角度は Reverse Turn は $+\pi$，Natural Turn は $-\pi$ と決まっているので並進運動と違い，前半，後半の区別は不用であり，また Natural Turn と Reverse Turn の区別は正負のみである．

$\omega_S' = \omega_E'$（最大）とする．角速度の平均は $\pm\pi$，（＋は Reverse Turn，－は Natural Turn）

$$\omega'(t') = \pm\pi\left[1 + \alpha_\omega \cos\left\{2\pi\left(t' - t_S'\right)\right\}\right] \tag{7}$$

$$\omega_S' = \omega_E' = \pm\left(1 + \alpha_\omega\right)\pi \tag{8}$$

$$\theta(t') = \theta_S \pm \pi\left[\left(t' - t_S'\right) + \frac{1}{2\pi}\alpha_\omega \sin\left\{2\pi\left(t' - t_S'\right)\right\}\right] \tag{9}$$

並進運動では初速，終速は比較的遅く中間の Swing 部分で大きくなるが回転運動も並進運動と同様に回転運動も加減速があるが，角速度の（絶対値の）増減の位相は並進速度と逆位相とするのが Smooth な動きと考え，並進運動の速度変動係数 α_V と回転運動の角速度変動分係数 α_ω の符号を逆とする．すなわち，並進運動が小さいとき，回転運動を大きくする．回転運動 Energy と並進運動 Energy の調和を図ることができる．なお，Viennese Waltz を踊る際にしばしば話題となる「大きい回転速度が続くと眩暈がする」に関しては，「回転速度に変化をつけることにより緩和される」との考えもあり，この考え方に従えば本稿の変動係数 α_ω を調整することも有効と思われる．English Waltz においては Natural Turn，Reverse Turn の回転量に関して，小節ごとに Commence to turn の記述（ISTD, 1982）があり，前半，後半の終わりで一旦，回転を止めることが示唆されているが，Viennese Waltz においてはその記述がないこともこの正当性を示していると考えられる．

Reverse Turn から Reverse Fleckerl に続ける場合は，並進運動 Energy を回転運動 Energy に変換する典型的な場合である．English Waltz の場合は，並進運動 Energy は重心の上下動による Potential Energy の変化と調和し，また，Count 3 で並進運動も回転運動もいったん Pause するが，Viennese Waltz の場合は運動 Energy 内での並進，回転の Energy 変換の方が考えられる．Natural Turn および Reverse Turn の男女それぞれの重心移動軌跡の解析例を図 2 に示す．この図からわかるように，Natural Turn の場合は男女の外回転，内回転が 1 小節（1 Swing）ごとにはっきり分かれ，English Waltz の場も同様であった．Reverse Turn においては，English Waltz で内側回転と外側回転の入れ替わり区間が少しあったが，Viennese Waltz においては，よりはっきりとしていることが示されている．すなわち，Reverse Turn においては，前半の Swing（1 小節）のさらにその前半（1/2 小節）において，男子内回転，女子外回転，前半内のその後半（1/2 小節）においては，男子外回転，女子内回転となる．後半の女子前進ではじまる Swing においては男女が逆となる．また，Couple としては平滑に移動していても内側回転に入った Dancer にとっては，移動がほとんどなく，その場で回転する動作も必要とさることが示されている．Swing の開始，終了時の LOD 方向の男(M)女(L)の位置並びは，Natural Turn においては，前半 Swing，開始時 ML，終了時 LM，後半 Swing，開始時 LM，終了時 ML であるので，移動距離の差が外回転，内回転ではっきり

しているのに対し，Reverse Turn においては，Swing の開始，終了時で男女（の重心位置）が LOD 方向には，ほぼ横並びであることからも理解できる．

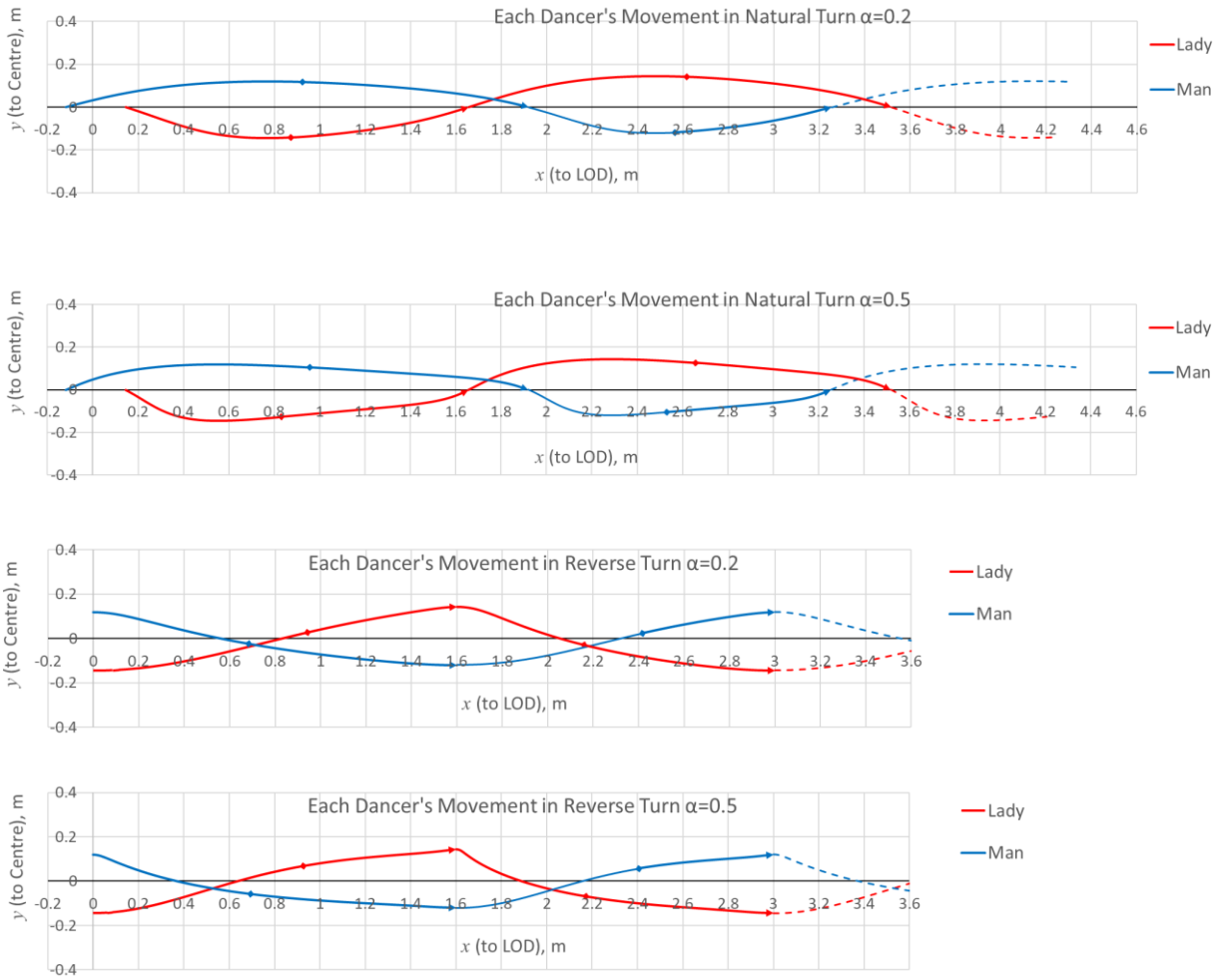

Fig. 2 Examples of trajectories of Man and Lady in Natural Turn and Reverse Turn. Tempo: 60 bpm. Weight ratio: Lady/Man=50/60. Swing lengths are L_1=1.8 m, L_2=1.575 m in Natural Turn and L_1=1.6 m, L_2=1.4 m in Reverse Turn. Initial constant velocity is supposed to be the half of the average velocity. Also, initial constant angular velocity is supposed to be the half of the average angular velocity. The sinusoidal modes of translational and rotational velocities are supposed to have opposite phase each other.

2.4.1. Change Step の解析

Change Step は，Natural Turn から Reverse Turn への接続，またはその逆の接続の機能を持つ Figure であり，RF Forward Change Step (Natural to Reverse)，LF Forward Change Step (Reverse to Natural)，LF Backward Change Step (Natural to Reverse)，RF Backward Change Step (Reverse to Natural)の 4 種類がある．回転量は 1/4 ($\pi/2$) であり，Foot Position としては Diagonal Forward などの記述もあるが，身体の重心の動きとしては，それぞれ Natural Turn，Reverse Turn の前半，後半の回転量を 1/2→1/4 ($\pi \rightarrow \pi/2$) と減じたものと解釈できる．回転角速度は，開始角速度 ω_S' は前の Figure の終角速度，Change Step の終わりでは回転方向が逆になるので終角速度 $\omega_E' = 0$ であるが，終点における角加速度は 0 ではない．関数形自体としては前述の並進速度の関数形(2)(3)と同様と考えるのが自然である．Change Step には Forward と Backward があるが，類似しているので，ここでは Forward について記述する．Change Step における各変数記号について必要に応じて添え字 C を付す（前述）．Change Step

は 1 小節のみで，区間は $t_{CS}' \le t' \le t_{CE}'$ $t_{CE}' - t_{CS}' = 1$ と記述される．並進移動関数に関しては，先行する Natural Turn，Reverse の前半と基本的には同じ関数形を用い，式(2)-(5)を修正して用いる．具体的には，Natural to Reverse の場合，通常の Natural Turn 前半関数に接続点の速度，移動距離の連続条件を満たすべく修正関数 $v_m(t')$ を加える．$v_m(t')$ およびその積分 $l_m(t')$ の条件は

$$v_m(t_{CS}') = 0 \qquad v_m(t_{CE}') = v_{NRE} - v_{NRS} \quad l_m(t_{CE}') - l_m(t_{CS}') = 0 \tag{9}$$

であり，これを満たす調和関数として

$$v_m(t') = (v_{NRE} - v_{NRS})\left[\sin\left\{\frac{\pi}{2}(t' - t_{CS}')\right\} - \sin\{\pi(t' - t_{CS}')\}\right] \tag{10}$$

を採用する．上式中 $v_{NRS} = v_{AN}(1-\alpha_V)$，$v_{NRE} = v_{AN}(1-\alpha_V)$ である．合計の Change Step (Natural to Reverse) の速度関数は

$$\begin{aligned} v_{CNR}(t') &= v_{AN}\left[1 - \alpha_V \cos\{2\pi(t' - t_{CS}')\}\right] + \pi v_{BN} \sin\{\pi(t' - t_{CS}')\} \\ &+ (v_{NRE} - v_{NRS})\left[\sin\left\{\frac{\pi}{2}(t' - t_{CS}')\right\} - \sin\{\pi(t' - t_{CS}')\}\right] \end{aligned} \tag{11}$$

移動距離は上式を積分して

$$\begin{aligned} l_G(t') &= v_{AN}(t' - t_{CS}') + v_{BN}\left[1 - \cos\{\pi(t' - t_{CS}')\}\right] - v_{AN}\left(\frac{\alpha_V}{2\pi}\right)\sin\{2\pi(t' - t_{CS}')\} \\ &- \frac{1}{\pi}(v_{NRE} - v_{NRS})\left[2\cos\left\{\frac{\pi}{2}(t' - t_{CS}')\right\} - \cos\{\pi(t' - t_{CS}')\} - 1\right] \end{aligned} \tag{12}$$

また加速度は

$$\begin{aligned} \frac{dv}{dt'}(t') &= 2\pi v_{AN}\alpha_V \sin\{2\pi(t' - t_{CS}')\} + \pi^2 v_{BN} \cos\{\pi(t' - t_{CS}')\} \\ &+ \pi(v_{NRE} - v_{NRS})\left[\frac{1}{2}\cos\left\{\frac{\pi}{2}(t' - t_{CS}')\right\} - \cos\{\pi(t' - t_{CS}')\}\right] \end{aligned} \tag{13}$$

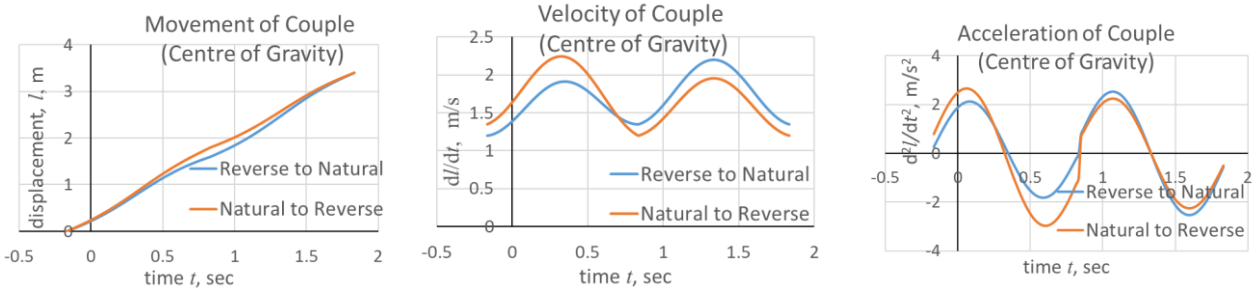

Fig. 3 Displacement, velocity and acceleration of couple centre in Viennese Waltz, Change Step followed by Normal Turn. Tempo: 60 bpm. Swing lengths are L_{N1}=1.8 m, L_{N2}=1.575 m in Natural Turn and L_{R1}=1.6 m, L_{R2}=1.4 m in Reverse

となる．Reverse to Natural の Change Step の場合は，各上式の添え字 N と R を入れ替えたものとなる．上式は接続点 $t' - t_{CS}' = 1$ において，速度は連続であるが，加速度には不連続を許すものとなっている．これは，回転方

向を変更する時点で若干の力の不連続が生じることを示していて，Dancer の感覚からも自然と考えられる．図 3 に変位，速度，加速度を示す．

回転についても関数形は類似であるが，始点，終点の条件，および，総回転量が異なる．始点$t'=t_{CS}'$での条件は先行する Natural Turn または Reverse Turn の終点条件と一致，

$$\omega_C'(t_{CS}')=\omega_{CS}'=\omega_{2E}',\quad \frac{d\omega'}{dt'}(t_{CS}')=0\quad \omega_{CS}'=\pm(1+\alpha_\omega)\pi \tag{14}$$

また終点 $t'=t_{CE}'$の条件は，$\omega_C'(t_{CS}')=0$　総回転量　$\theta_{CE}-\theta_{CS}=\pm\frac{\pi}{2}$ (15)

の条件である．これらの始点，終点の条件を合わせるため 1/4 波長の三角関数を採用する．以下式中の±，∓の符号は上が Man LF Forward Change Step (Reverse to Natural)，，下は Man RF Forward Change Step (Natural to Reverse) である．

$$\theta_C'(t')=\theta_{CS}\pm\frac{2}{\pi}(1+\alpha_\omega)\sin\left\{\frac{\pi}{2}(t'-t_{CS}')\right\}+A\left[(t'-t_{CS}')-\frac{1}{2\pi}\sin\{2\pi(t'-t_{CS}')\}\right] \tag{16}$$

$$\omega_C'(t')=\pm(1+\alpha_\omega)\pi\cos\left\{\frac{\pi}{2}(t'-t_{CS}')\right\}+A\left[1-\cos\{2\pi(t'-t_{CS}')\}\right] \tag{17}$$

ただし上記の式中の$A=\pm\frac{\pi}{2}\mp\frac{2}{\pi}(1+\alpha_\omega)$である．終点の角速度は 0 であるが，角加速度

$$\frac{d\omega_C'}{dt'}(t_{CE}')=\mp(1+\alpha_\omega)\pi\left(\frac{\pi}{2}\right) \tag{18}$$

は後続の Natural Turn または Reverse Turn に引き継がれるのが Smooth な運動である．

2.4.2 Change Step に続く Natural Turn または Reverse Turn

Change Step に続く Natural Turn または Reverse Turn において，並進運動は通常の（連続時の）場合と同じ関数形を採用する．式中の初期値（at $t'=t_{1S}'$）も通常の場合と同じとする．

回転運動については，Change Step の終わりでは回転方向が逆になるので，続く Figure の初角速度は 0 となる．初角加速度は，Change Step の終角加速度を引き継ぐとする．

$$\begin{aligned}\theta(t')=\theta_{1S}&\pm\pi\left[(t'-t_{1S}')-\frac{1}{2\pi}\sin\{2\pi(t'-t_{1S}')\}\right]\\ &+\omega_{1E}'\left[\begin{array}{l}-\frac{1}{2}(t'-t_{1S}')^2+\frac{1}{2}\left(1+\frac{1}{\pi}\right)\left\{(t'-t_{1S}')-\frac{1}{2\pi}\sin\{2\pi(t'-t_{1S}')\}\right\}+\left(\frac{1}{4\pi^2}-\frac{5}{16\pi}\right)+\\ +\frac{1}{4\pi}\left[\cos\{\pi(t'-t_{1S}')\}+\left(\frac{1}{4}-\frac{1}{\pi}\right)\cos\{2\pi(t'-t_{1S}')\}\right]\end{array}\right]\end{aligned} \tag{19}$$

$$\omega' = \pm\pi\left[1-\cos\left\{2\pi\left(t'-t_{1S}'\right)\right\}\right] + \omega_{1E}'\left[\begin{array}{l} -\left(t'-t_{1S}'\right)+\frac{1}{2}\left(1+\frac{1}{\pi}\right)\left\{1-\cos\left\{2\pi\left(t'-t_{1S}'\right)\right\}\right\}+ \\ -\frac{1}{4}\sin\left\{\pi\left(t'-t_{1S}'\right)\right\}-\left(\frac{1}{8}-\frac{1}{2\pi}\right)\sin\left\{2\pi\left(t'-t_{1S}'\right)\right\} \end{array}\right] \tag{20}$$

解析例として，RF Forward Change Step から Reverse Turn に続く場合の男女重心の径路を図 4 に示す.

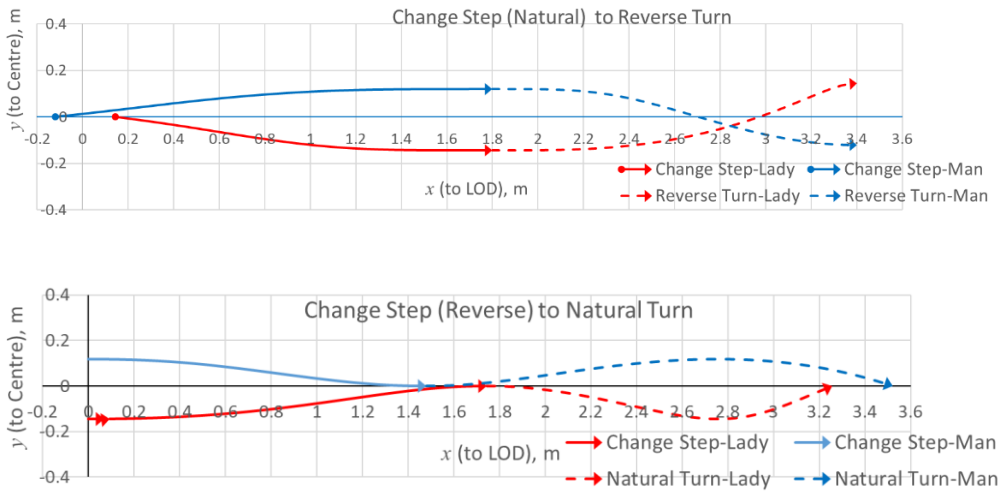

Fig. 4 Examples of trajectories of Man and Lady in Man's RF Forward Change Step followed by Reverse Turn. Tempo: 60 bpm. The initial conditions are the same as that of the above Natural Turn. The swing length is also the same as that of the Natural Turn, L_1=1.6 m. Acceleration mode: $\alpha_V = 0.2$ The terminal conditions of RF Forward Change Step are the same as the initial conditions of the Reverse Turn except the angular velocity, which is zero. The terminal acceleration of angular velocity A is succeeded by that in the start following Reverse Turn The sinusoidal modes of translational and rotational velocities are supposed to have opposite phase each other.

2.5 Rise and Fall と Swing

次に，上下方向の運動について解析する．ISTD の教本（ISTD, 2001）に依ると，Viennese Waltz の Natural Turn および Reverse Turn の Rise and Fall（上下の運動）は，1，2，3 をそれぞれ 1 拍目，2 拍目，3 拍目として

外回転：Rise e/o 1, Up on 2, Up on 3, lower e/o 3

内回転：Rise e/o 1, NFR, Body Rise between 2 and 3, Lower e/o 3

となっている．ここで外回転は Couple のうち前進から Start する Dancer，内回転は後退から Start する Dancer の側，e/o は end of の略，NFR は No Foot Rise の略，すなわち，Heel が接地したままの Rise であり，Body Rise のみの意味である．Rise は上昇過程，Up は Rise した高さを保つ過程，Lower は下降過程である．一方（English）Waltz の場合は，外回転，内回転とも，

Commence to rise e/o 1, Continue to rise on 2 and 3, Lower e/o 3 （ただし，内回転は 1 歩目 NFR）

となっている．Viennese Waltz の音楽のテンポは（English）Waltz の場合（28～30bpm）の約 2 倍の速度（60bpm）なので，Rise はなだらかではなく，早めであるが，高さは抑えられる（高さは速度の 2 乗に反比例）．Viennese Waltz の場合許容最高高さは H=0.055m と計算される．（塩谷，2016）．

Footwork は Viennese Waltz の Natural Turn および Reverse Turn の場合，

外回転：1 H T; 2 T; 3 T H. 内回転：1 T H; 2 T; 3 Flat.

（English）Waltz の場合は，

外回転：1 H T; 2 T; 3 T H.　内回転：1 T H; 2 T; 3 T H.
となっている．ここで，H は Heel，T は Toe，H T は Heel，Toe の順で接地の意味である．Viennese Waltz の場合 Rise の高さが低く，特に内回転は Foot Rise がなく 3 歩目の Lower も Body Rise 分だけを戻すため Flat と表現されている．

Rise and Fall の比較

上述のように English Waltz の Natural Turn，Reverse Turn においては，1 拍目後半から **3 拍目の前半まで Rise**，3 拍目後半で Lower であるが Viennese Waltz の Natural Turn，Reverse Turn においては，1 拍目後半 Rise，**2 拍目から 3 拍目前半まで Up**，3 拍目後半で Lower である．

速度に関しては English Waltz の場合は Swing の初速，終速とも $v_S' = v_E' = 0$ であるが，Viennese Waltz の場合はともに存在する．Rise and Fall の English Waltz との比較を図 5 に示す．

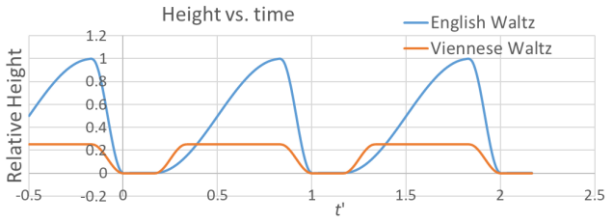

Fig.5 Comparison of Rise and Fall Pattern of Viennese Walz and English Waltz.　Height and time are expressed in non-dimensional form.

2.6 エネルギーと力の考察

2.6.1. エネルギーの考察

English Waltz においては，Dancer の Rise and Lower による高さの Potential Energy は，運動 Energy の最大値より十分大きく，Potential Energy と運動 Energy の変換も考察された（塩谷, 2016）．すなわち，Rise の結果としての Count 3 の適切な高さに対応する Potential Energy を得るには，その前の Swing での運動 Energy だけでは不足であり，脚，足など身体の筋肉の力を使った仕事の付加が必要である．この関係を Viennese Waltz の場合で概算してみる．Viennese Waltz では English Waltz に比べ Tempo は約 2 倍なので，Rise and Lower の幅は 1/4，すなわち Potential Energy は 1/4，また，一方，Swing 速度も約 2 倍，すなわち運動 Energy は 4 倍となる．結局 Potential Energy $\left(m_L + m_M\right) g h_G$ は English Waltz の場合にくらべ，相対的に 1/16 程度の影響となることになる．運動 Energy は Dancer の運動により計算されるが，Couple 重心の並進運動 Energy K_T と，Couple 重心周りの回転運動 Energy K_R の和として表わすことができる．図 6 に Viennese Waltz の Natural Turn，Reverse Turn における運動 Energy の例を，並進と回転の成分別，および，男女の Dancer 別に示す．比較として Potential Energy も図中に示す．運動 Energy のほとんどは並進 Energy であり，回転 Energy は小さいことがわかる．Potential Energy に関しては，English Waltz の場合に比べるとかなり小さいが，ある程度の大きさがあることも示されている．Viennese Waltz の場合には，Swing の途中の並進の運動 Energy は大きく，後半の Rise は減速するために Potential Energy として吸収する，とも解釈できる．さらに，一部は並進 Energy から回転 Energy への変換も考えられる．図においては，また，Natural Turn と Reverse Turn の相違，男女 Dancer の相違の影響も示されている．

2.6.2. 力の考察

Dancer の感じる慣性力は加速度により表されるが，その Partner 方向成分は Hold の強弱に関係する．すなわち，Dancer の慣性力は Floor から受ける力と Partner から受ける力と平衡している．
Partner 方向の慣性力（内向きの力を正とする）は（Couple 重心）並進（LOD 方向）の加速度の項

$$a_{Gr} = \frac{\mathrm{d}^2 l_G}{\mathrm{d}t^2}\cos\theta \tag{21}$$

にそれぞれの質量をかけたものと Couple 重心回りの遠心力の項

$$F_{\text{Centrifugal}} = m_L \rho_L \omega^2 = m_M \rho_M \omega^2 \tag{22}$$

の和から成る．すなわち

$$\text{Lady: } F_{IL} = m_L a_{Gr} - F_{\text{Centrifugal}} \qquad \text{Man: } F_{IM} = -m_M a_{Gr} - F_{\text{Centrifugal}} \tag{23}$$

右辺 1 項目，並進の項は男女が互いに向き合っているので，符号が逆になるのに対し，2 項目の遠心力の項は同符号となるのに注目を要する．すなわち，Dancer の感じる慣性力のうち，末尾項のみが真の遠心力によるものである．図 7 に Partner 方向の慣性力を示す．慣性力には加減速係数 α の影響が大きい，すなわち，加減速の振幅を少なくすれば慣性力は小さくなることが示されている．全体として慣性力が負の傾向であるのは遠心力による影響である．男女の Peak の位相が逆向きに見える部分（男女が同一方向の慣性力）は**並進運動**による寄与が大きいことを示している．

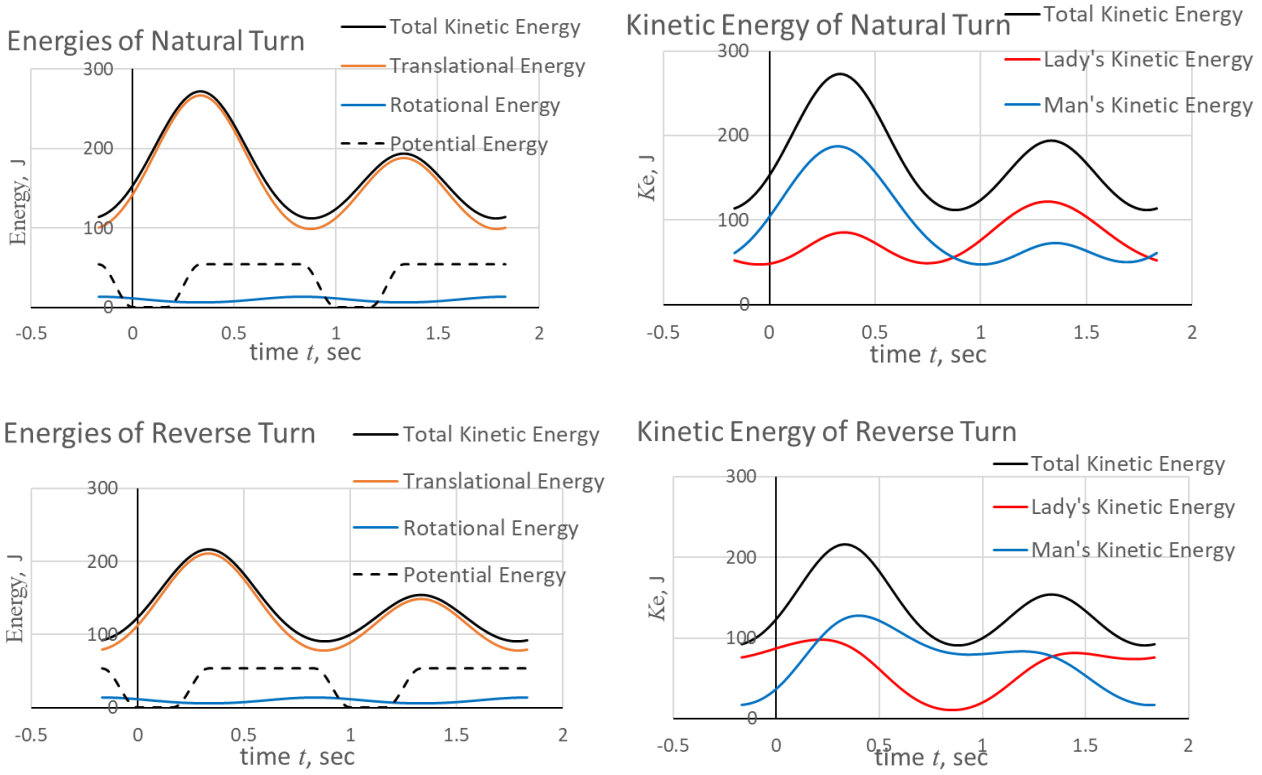

Fig. 6 Change of Kinetic energies with time during Natural Turn and Reverse Turn.Tempo: 60 bpm. The total kinetic energies are shown together with each dancer's energies and translational and rotational energies. Swing lengths are L_1=1.8 m, L_2=1.575 m in Natural Turn and L_1=1.6 m, L_2=1.4 m in Reverse Turn. Acceleration mode: $\alpha_v = 0.2$ Initial constant velocity is supposed to be the half of the average velocity. Also, initial constant angular velocity is supposed to be the half of the average angular velocity. The sinusoidal modes of translational and rotational velocities are supposed to have opposite phase each other.

それぞれの Dancer の慣性力は自身の靴と Floor の間の摩擦力と，Partner との間の Hold 力とで平衡する．Hold 力はなるべく小さくとり，それぞれの Dancer が Independent に自身の Balance をとるのは一般的には理想であるが，相互の Hold 力を用い，図中の負の部分（遠心力の寄与）を Balance させる方法もありうる．特に，Natural

Turn の場合は Reverse Turn に比べてこの効果は大きい．（Natural Turn の場合は Reverse Turn の場合より Hold が強い．）ただし，Hold の強さは主に男子（Leader）により Control されるので，Leader は Follower が Balance を取りやすいように Hold 力を Control することが望ましい．たとえば，並進運動の加速時（Natural Turn の前半 Swing の前半など）では Hold を多少緩め，減速時にはしっかり Hold するなどが考えられる．

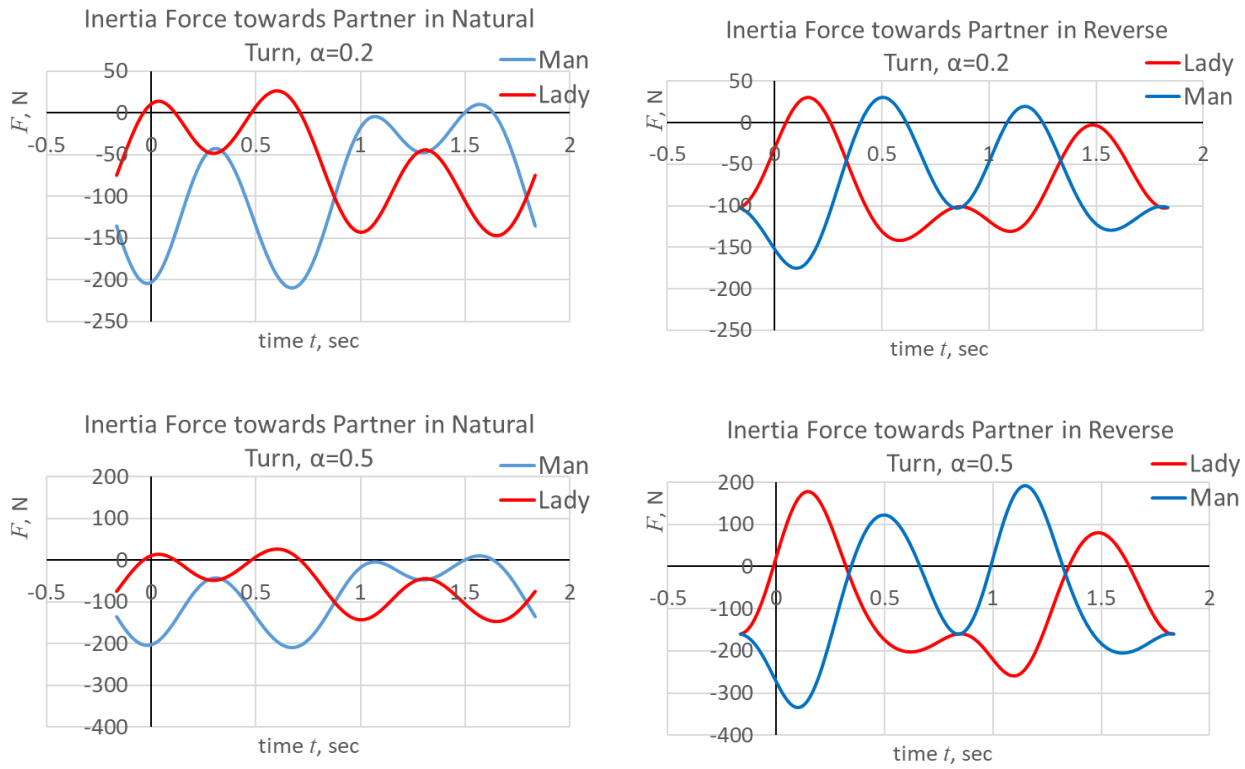

Fig. 7 Change of Forces towards partner in Natural Turn and Reverse Turn. Tempo: 60 bpm. Swing lengths are L_1=1.8 m, L_2=1.575 m in Natural Turn and L_1=1.6 m, L_2=1.4 m in Reverse Turn. Acceleration mode: $\alpha_v = 0.2$ Initial constant velocity is supposed to be the half of the average velocity. Also, initial constant angular velocity is supposed to be the half of the average angular velocity. The sinusoidal modes of translational and rotational velocities are supposed to have opposite phase each other.

Sway

Viennese Waltz の Natural Turn および Reverse Turn の Sway については，基本的には English Waltz における Sway と同じであり，ISTD の Viennese Waltz の Syllabus（ISTD, 2001）および Ballroom Technique（ISTD, 1944）との Chart 比較においても同じ記述，例えば，Natural Turn 男子

1 歩目 直（Straight）, 2 歩目 右（Right）, 3 歩目 右（Right）

となっている．これは 2，3 拍目での減速を制御するための Sway であるとの説明（塩谷，2017）に合致している．しかし，Smith-Hampshire のプリント（Smith-Hampshire 1985）の Chart によると，例えば，同上 Natural Turn 男子に対応する項目では，

1 歩目 左（Left）, 2 歩目 左（Left）, 3 歩目 直—右開始（"Straight —Commence Right"）

となっている．また，本文中の説明として，

Sway in the Natural Turn is linked to body swing for the purpose of assisting in the propulsion of the body along the C.P. (Line of Dance). This means it must incline in the direction of movement; led by the Man, but extended by the Lady as a slight flexible arcing of her body from the waist upwards. This sway is an artistic physical response to the music.

としている．このような Sway の煩雑な説明も筆者の提案による Inclination Sway（傾斜 Sway）と Bending Sway（曲げ Sway）の定義（塩谷，2017）に従えば，容易に理解ができる．すなわち，Smith-Hampshire の Sway はほとんど Bending Sway を意味し，ISTD の Sway は Inclination Sway と Bending Sway の組み合わせによると解釈できる．また，本来 Sway は身体の横方向の傾斜であり，前進・後退時の前後方向の傾斜に対しては表現しないことになっているので，例えば English Waltz の Natural Turn の 1 歩目は前後の Inclination があっても，Sway なしとしているが，Viennese Waltz の場合の前進・後退の方向は身体の向きを基準とするとかなり斜めになっているので，身体の斜めの傾斜も Sway ととらえる見方もあり得る．

7. 結　　語

Viennese Waltz の力学的解析を行なった．Natural Turn および Reverse Turn について，English Waltz との比較をし，その相違点を明らかにした．力学的 Energy に関しては，English Waltz の場合は，運動 Energy と上下動による Potential Energy のバランスがあるが，Viennese Waltz の場合，Natural Turn，Reverse Turn において並進運動 Energy が主であることを示し，回転運動 Energy は小さいことを示した．力のバランスにおいても並進運動の加速度の影響が主であることを示した．Change Step については，Natural Turn と Reverse Turn の回転量を減じ，回転方向を切り替えたものとして，その運動軌跡を解析した．

文　　献

(1) ISTD (The Imperial Society of Teachers of Dancing), “The ballroom Technique”, 1st edition (1944), 10th edition (1982), pp. 1-134.

(2) ISTD (The Imperial Society of Teachers of Dancing), “Viennese Waltz, B.D.C. Recommended Version”, Pluss minor corrections and recently A.D.T Revisions Code 105. (2001), pp. 1-10.

(3) SHIOYA, T., “Analysis of Swing Movement in Ballroom Dancing”, The International Sports Engineering Association Conference, ISEA 2018, Brisbane, Australia, 26 to 29 March 2018, MDPI-Proceedings Volume 2, ISEA 2018a, 2 (6), 224.

(4) SHIOYA, T., “Analysis of Sway in Ballroom Dancing”, The International Sports Engineering Association Conference, ISEA 2018, Brisbane.　Brisbane, Australia, 26 to 29 March 2018, MDPI-Proceedings Volume 2, ISEA 2018b, 2 (6), 223.

(5) SHIOYA, T., “Analysis of Right and Left Turns in Ballroom Dancing” ISEA 2022, The Engineering of Sport 14, Purdue University, USA, 6 to 10 June 2022.

(6) Smith-Hampshire, H., “The Viennese Waltz by Harry Smith-Hampshire”, 1985. 1-32.

(7) 塩谷義，“ボールルームダンスにおける身体の上下運動の解析”，日本機械学会講演論文集 SHD No.16-40 (2016), C9.

(8) 塩谷義，“ボールルームダンスおよびその他のスポーツにおける身体のスウェイの解析”，日本機械学会講演論文集 SHD No.17-43 (2017), D1.

(9) 塩谷義, “ボールルームダンスにおける左回転と右回転の比較の解析”，日本機械学会講演論文集 SHD No.18-15 (2018), C21.

(10) 塩谷義, “ボールルームダンスにおけるピボットターンおよび関連動作の解析”，日本機械学会講演論文集 SHD No.19-306 (2019), C2.

(11) 塩谷義,”ボールルームダンスにおける靴とフロアの摩擦モデル”，日本機械学会講演論文集, SHD No.20-15 (2020), C2-1.

(12) 塩谷義, “ボールルームダンスにおけるヒールターンの解析”，日本機械学会講演論文集, SHD No.21-15 (2021), C1-1.

(13) 塩谷義,”ボールルームダンスにおけるサンバ・バウンスの解析”，日本機械学会講演論文集, SHD No.22-31 (2022), C1-2

(14) 塩谷義,“ボールルームダンスにおけるリードとフォローの力学基礎モデル”，日本機械学会講演論文集, SHD No.23-57 (2023), B1-1