

B-6-4

ヴィエニーズワルツにおけるフレッカールの解析

Mechanical Analysis of Fleckerl in Viennese Waltz

○正 塩谷 義^{*1}

Tadashi SHIOYA^{*1}

^{*1} 東京大学 The University of Tokyo

The Fleckerl in Viennese Waltz is a fast rotation figure in which the couple turns continuously either to right (Natural) or to left (Reverse) in the manner of two full turns to two bars of music. Although the turn is made almost on a spot in the Fleckerl, Man and Lady exchange the role each other from the first bar to the second bar. The movement of Fleckerl is studied in the mechanical point of view. Each dancer's movement is analysed in the two bars of Fleckerl with parameters. The eccentric distance of the couple's gravity centre from the rotation centre is focused in the analysis. The couple's the movement of the preceding Reverse Turn and following Natural turn are also analysed showing the path to and from the Fleckerl spot and the outer track (LOD) in the ballroom. The energy and force during the Fleckerl motion are examined and discussed.

Key Words : Ballroom Dancing, Fleckerl, Viennese Waltz, Sway, rhythm

1. 緒 言

International Style の Viennese Waltz の Dance において Natural Turn や Reverse Turn が Ballroom 内を大きく移動しながら進行する Figure であるのに対し、Fleckerl はほとんど移動せずに高速で回転を続ける華やかな Figure である。一般に Fleckerl は難しいと思われているので、Viennese Waltz を踊る Dancer でもこれを避け Natural Turn, Reverse Turn, および、それら間のつなぎ Figure の Change Step のみで踊る場合も多い。しかし、Fleckerl の原型は、広い Ballroom がなかった古い時代から踊られており、いわば Waltz の Dance の原型であり、また、International Style 以外の Folk Dance 等における Waltz Turn においても類似の踊り方が用いられている。前報 (塩谷, 2024b) で紹介したように、International Dance における Viennese Waltz は、標準として 1 分間に 60 小節 (60bpm) 程度の速い Tempo で演奏されるが、Old Time Dance と呼ばれる伝統的な Sequence Dance においては、これよりかなりゆっくりした Tempo で、さらに、回転量も半分程度のもも多い。International Style の Viennese Waltz では標準の回転量は Natural Turn および Reverse Turn の場合 2 小節で 1 回転であるので、Old Time Dance や Folk Dance 等よりかなり回転速度は大きい、International Style の Fleckerl の場合は 2 小節で 2 回転が標準であるのでさらに倍程度の回転速度となる。上下動に関しては、Viennese Waltz の Natural Turn, Reverse Turn, および、Change Step の Rise and Fall は若干あると表現されるが、Fleckerl の場合は Rise and Fall はなく、また、Sway もないとされている。

Viennese Waltz の教本としては、英国の教師協会 ISTD では (Smith-Hampshire, 1985) の原本 (手書きの Chart を含めたもの) 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 において最も華やかな Figure であるこの Fleckerl の解析を行なう。

2. 解 析

2・1 Reverse Fleckerl と Natural Fleckerl の記述

Fleckerl の記述は、Smith-Hampshire (1985) および ISTD (2001) で Foot Position, Alignment, Amount of Turn, Footwork が Chart で示されている。Rise and Fall および Sway はなし、男子の前半 (第 1 小節) と女子の後半 (第 2 小節) がだいたい同じであり、男子の後半 (第 2 小節) と女子の前半 (第 1 小節) とだいたい同じである。Reverse Fleckerl と Natural Fleckerl の対応は、単に右と左の入れ替えだけでなく、男女の Hold が互いに相手

が右方にずれている関係で多少異なる。各 Step の記述に関しては、Smith-Hampshire (1985) と ISTD (2001) では表現の差異がみられる。例えば Chart で比較すると、Natural Fleckerl の男子 Foot position は

Smith-Hampshire (1985)	ISTD (2001)
1. Turning to R., RF forward small step between Lady's feet	— RF forward between Lady's Feet
2. Still turning on RF, LF to side — Half weight	LF to side and slightly forward with 1/2 weight, continue to turn on RF
3. Continue turning on RF to crossed position in front of LF.	Continue to turn on RF and take full weight on RF. LF held behind RF
4. Turning to R on RF, LF. forward, ending to side.	LF to side and slightly forward
5. Still turning on LF swing RF to cross behind LF (pressure step)	RF crosses behind LF, 1/2 weight (a type of twist turn)
6. Continue turning on LF. feet uncrossing to end slightly apart	Untwist on RF then LF to side, small step

Chart の記述は男子の 1 歩目がこの Figure の開始となっているため、女子の 1 歩目からの記述は男子の 4 歩目からの記述とは若干異なっているが、基本的に同様の動作を記述しているとみなせる。RF は右足、LF は、左足の略、B は Ball の略号である。女子は上記の 4.5.6. から始め 1.2.3 と続けると同等の記述となっている。このように Smith-Hampshire と ISTD の表現には若干の差があるが、具体的な Dancer の動きに両者に実質的な差があるわけではない。両者とも足の位置を中心に記述しているが、本解析においては力学的に基本的解析をするため、Step する足の位置よりも男女それぞれの Dancer の身体重心の動きに注目する。本研究の考え方としては、身体重心の動きが重要であり、足の位置、重心などは、身体重心の動きに match するように適宜行えばよい、ということである。

2・2 定常回転の解析

2・2・1 解析モデル

以下の解析において、Viennese Waltz の標準の Tempo が 60 bpm であることから、1 小節の時間長さを 1sec とする。Fleckerl の運動に入るには、Chart のように先行 Figure からの過渡的動作（後述）があるが、ここでは、まず、定常回転になった状態の解析を行なう。

回転は連続して一定角速度で行われるとして、各 Beat 間で 1/3 回転、1 小節は 3 Beat (3 歩) で、2 小節で 2 回転、各小節で男女の向きが入れ替わる。男子前進からの小節を第 1 小節、次の女子前進からの小節を第 2 小節とする。第 1 小節初めの位置を x 軸上で男女重心が向き合うとする座標をとる。前報 (塩谷, 2024b) のように Couple 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。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、

$$m_L \rho_L = m_M \rho_M, \quad m_L + m_M = m, \quad \rho_L + \rho_M = \rho \quad (1)$$

$$m_L = m_M \frac{\rho_M}{\rho_L}, \quad m_L + m_M = m_M \frac{\rho_M}{\rho_L} + m_M = m_M \left(\frac{\rho_M}{\rho_L} + 1 \right) = \frac{m_M}{\rho_L} (\rho_M + \rho_L), \quad \frac{m_L}{m_L + m_M} = \frac{\rho_M}{\rho_M + \rho_L} = \frac{\rho_M}{\rho} \quad (2)$$

それぞれの Dancer の重心位置は、一般的に

$$\text{Lady} \quad x_L = x_G + \rho_L \cos \theta \quad y_L = y_G + \rho_L \sin \theta \quad (3)$$

$$\text{Man} \quad x_M = x_G - \rho_M \cos \theta \quad y_M = y_G - \rho_M \sin \theta \quad (4)$$

Fleckerl は Couple が移動せず回転を続けることになっているが、男女がそれぞれ 1 点を中心に真円の運動を続けるわけではない。一点を中心に回転しているので内回り、外回りもないように思われるが、Chart にも示されるように 1 小節ごとに男女の入れ替えがあるので、内回り、外回りは存在する。回転中心は、男女の重心を結ぶ線が微小時間経過で傾斜した場合の交点であり(塩谷, 2018), 正しく踊った場合は移動しない固定点であり、この回転中心を O とする。O からそれぞれの Dancer の重心までの距離は 2 小節周期で変動する。すなわち **Couple 重心は、1 小節ごとに、回転中心 O を挟んで反対側に移動することになる。** 図 1 に説明図を示す。

Reverse Fleckerl を例にとれば、Count 1 (男子左足) から 1→2→3→4→5→6→1 と 2 小節で左に 2 回転をする。Natural Fleckerl の場合は、男子右足から 1→6→5→4→3→2→1 の右 2 回転となる。Count 1 を含む区間では男子内側、女子外側、Count 4 を含む区間では女子内側、男子外側であり、途中の Count はその遷移区間となる。遷移区間 (入れ替わり過程) においては、具体的には、外回りの Dancer は渦巻き状に内回りへと移行する。固定点 O の周りを男女が回っていて、固定点までの距離は男女合計で一定であるが、入れ替わり過程で徐々に距離の分配が変わっていくことになる。定常回転区間 (内回り、外回りの径固定) および遷移区間 (入れ替わり過程) の時間幅はある程度 Dancer にゆだねられる。また、内回り、外回りの程度 (各 Dancer 重心から回転中心までの距離の揺れ幅) も Dancer が取り得る Parameter である。

本解析においては Fleckerl の定常回転時の回転中心 (x_c, y_c) は固定であり解析ではこの点を原点 O (0, 0) とする。(回転中心が固定の踊り方が最適と考える。) 回転中心は塩谷 (2018) の定義、すなわち男女の重心を結ぶ線が微小時間後に交差する点とする。回転中心 (原点) をはさみ男女重心は相対する。Couple 重心 G (x_G, y_G) は男女重心線上で回転中心 O に近いが一致ではない。G の O からの距離を r_G とする。力学的観点からは、回転中心 O と Couple 重心 G が一致する方が安定した動きではあるが、向かい合って円周上に動くには、片方の足が他方の足を交差しての動きが必要であり 3 歩ずつで左右が入れ替わるので、回転中心 O と Couple 重心 G が多少ずれるのが自然の動きである。女子、男子の重心位置は Couple 重心を基準とすれば、それぞれ、(3) (4) であるが回転中心 O ($x_c = 0, y_c = 0$) を基準に表記すれば

$$\text{Lady 重心:} \quad x_L = r_L \cos \theta \quad y_L = r_L \sin \theta \quad (5)$$

$$\text{Man 重心:} \quad x_M = -r_M \cos \theta \quad y_M = -r_M \sin \theta \quad (6)$$

$$\text{Couple 重心:} \quad r_G = \frac{m_M r_M + m_L r_L}{m_M + m_L} \quad x_G = (r_L - \rho_L) \cos \theta \quad y_G = (r_L - \rho_L) \sin \theta \quad (7)$$

となる。Fleckerl を繰り返して連続して踊る過程を男子重心 M が中心 O の近くで回転の区間を A と女子が O に近くで回転区間を B とする。A 区間、B 区間はそれぞれ半径一定の円運動である。A の角度位置 θ と B の角度位置 θ には 2π の差がある。(Couple の向きは同じであるが、足の左右が異なる)。Fleckerl では 2 小節で同じ位置、状態に戻るので、連続回転では角度 θ について 4π の周期である。A→B 区間: r_M 増加, r_L 減少, B→A 区間: r_L 増加, r_M 減少である。以下の解析で Couple 重心を特定するにあたり男子は女子よりも重いとする。

$$\text{質量 } m_M > m_L \quad \text{couple 重心からの距離 } \rho_L > \rho_M \quad (8)$$

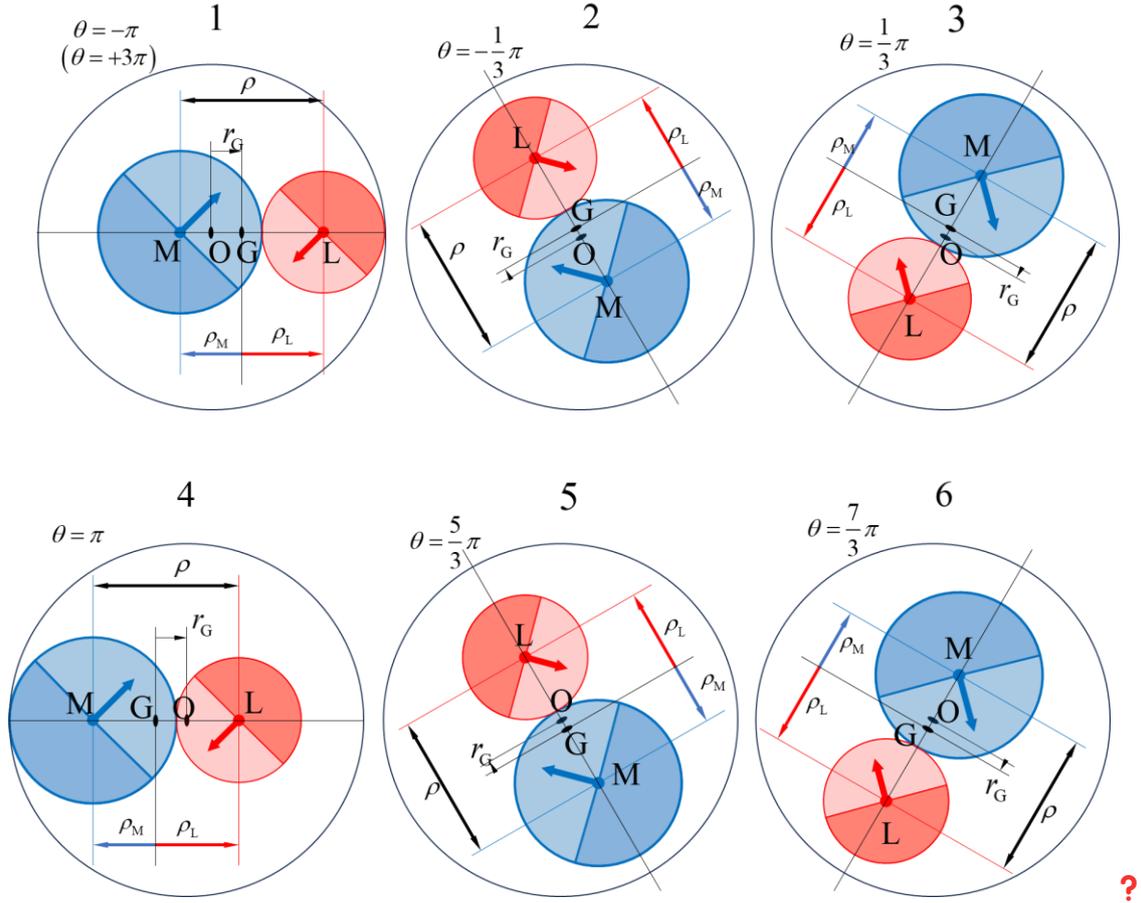


Fig. 1 Illustration of Fleckerl Model in the analysis. Lady is shown in Red and Man is shown in Blue. The rotation centre O is set fixed. The centre of gravity of the couple is designated as G. The numbers in the Figure represent the counts in the dance. Reverse Fleckerl is danced as 1→2→3→4→5→6→1 in the Figure, whereas Natural Fleckerl is danced as 1→6→5→4→3→2→1. The two full turns (4π) are made during the two bars, i.e., from the count 1 to the next count 1. Each advance of the count means $(2/3)\pi$ turn, since the constant angular velocity is assumed.

A 区間の中心を $\theta = -\pi$ そのときの距離 $r_M(\theta)$ は $r_M(-\pi)$, B 区間中心は $\theta = +\pi$, $r_M(+\pi)$ である。

Couple 重心の中心からの距離 $r_G(\theta)$ は, $\theta = -\pi$ 時点で $r_G(\theta) = r_G(-\pi) = \rho_M - r_M(-\pi)$

$r_M(-\pi) = \rho_M - r_G(-\pi)$ である。連続回転において, Couple 重心 O が少しずつ移動することを避けるため, G が O を挟んで反対側に移動するときに対称の位置, 距離とする。すなわち B 時点において

$$r_G(+\pi) = r_G(-\pi) = \rho_M - r_M(-\pi), \quad r_M(-\pi) = \rho_M - r_G(-\pi), \quad r_M(+\pi) = \rho_M + r_G(-\pi) \quad (9)$$

A 区間 B 区間の差 (振幅) を表す Parameter として e_0 を定義する。

$$e_0 = r_G(-\pi) / \rho_M \cdot e_0 \rho_M = r_G(-\pi) \quad (10)$$

$$\text{Parameter } e_0 \text{ の範囲は } 0 \leq e_0 \leq 1 \quad (11)$$

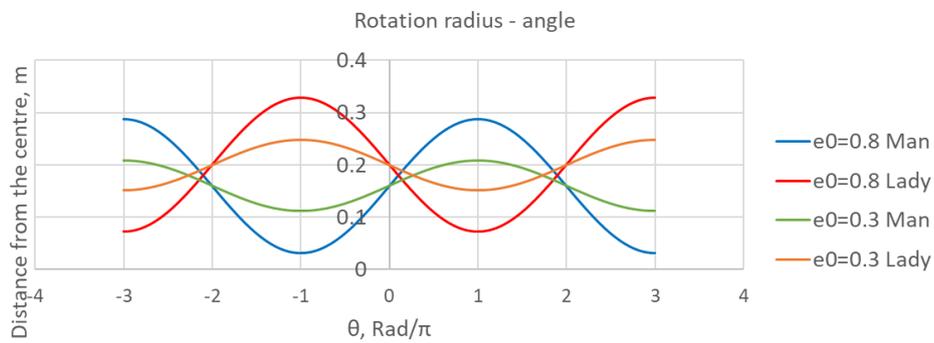
$e_0=0$ のときは $r_G(+\pi) = r_G(-\pi) = 0$ 完全に円軌道, また, $e_0=1$ のときは,

男子が最も回転中心に近いとき ($\theta = -\pi$) は, 男子重心が回転中心に一致する $r_M(-\pi) = 0$

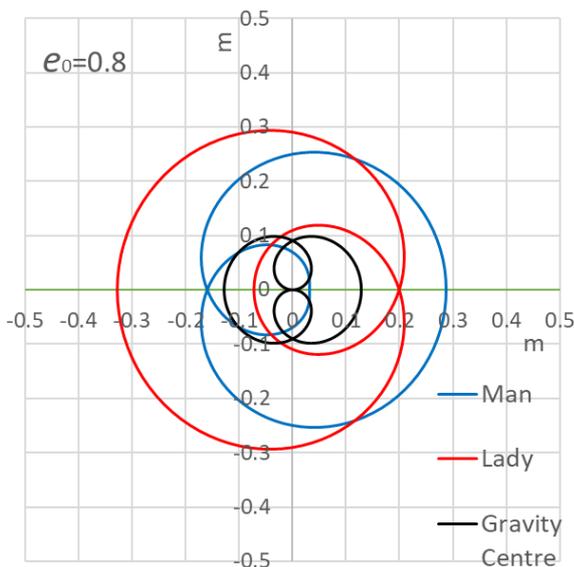
男子が最も回転中心から遠いとき ($\theta = +\pi$) は, 男子重心は回転中心から $r_M(+\pi) = 2\rho_M$

$e_0 > 1$ の場合は, 男女重心とも回転中心の片側に偏することになり, Fleckerl の動作ではない, とみなせる. **A 区間, B 区間の幅, その移行区間の幅, 形状 (半径振幅関数) も Parameter** である. 以下, 具体例をもってその解析結果を示す.

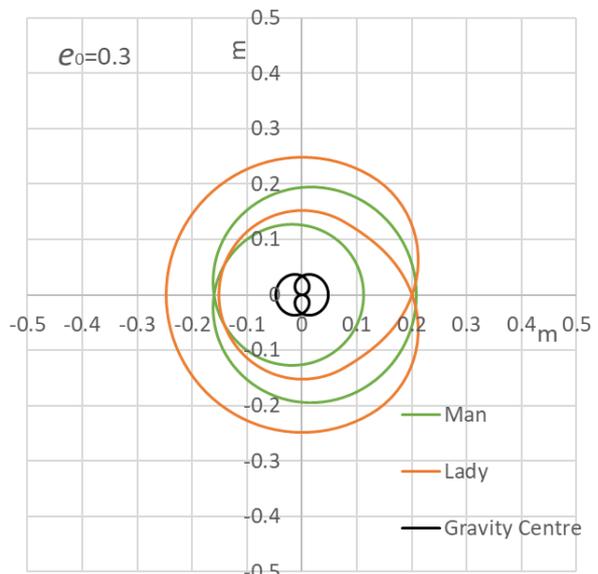
2・2・2 定常回転時の男女 Dancer および Couple の重心軌跡



(a)



(b)



(c)

Fig. 2 Case 1 : [A](duration 0), [A→B](duration 2π), [B](duration 0), [B→A](duration 2π)

$$\rho_M = 0.16 \text{ m}, \rho_L = 0.2 \text{ m}, \rho = 0.36 \text{ m}$$

Trajectories of Fleckerl in case of sinusoidal radius change throughout the rotation.

(a) Distance from the rotation centre. Lady and Man.

(b) In case the amplitude ratio $e_0=0.8$. (c) In case the amplitude ration $e_0=0.3$.

Case 1: まず、A 区間、B 区間の幅がない場合、そして A→B→A→B の半径変化が連続の単純三角関数とする場合、すなわち A 区間、B 区間の幅は 0 (半経緯一定区間なし)、全区間を三角関数による移行区間とする。角度 θ の時点において回転中心と男子重心の距離 MO は r_M Couple 中心と男子重心の距離 MG は ρ_M として、

$$\frac{r_M(\theta)}{\rho_M} = 1 + e_0 \sin \frac{\theta}{2}, \quad \frac{r_G(\theta)}{\rho_M} = e_0 \sin \frac{\theta}{2}, \quad \frac{r_L(\theta)}{\rho_M} = \frac{\rho_L}{\rho_M} - e_0 \sin \frac{\theta}{2} \quad (12)$$

具体的な解析例を図 2 に示す。 $\rho_M = 0.16 \text{ m}$ $\rho_L = 0.2 \text{ m}$ $\rho = 0.36 \text{ m}$ とする。Parameter としては $e_0 = 0.3$ および $e_0 = 0.8$ の場合を示す。図 2(a)は、各角度に対する中心からの男女重心の距離、図 2(b), (c) は、対応する男女重心の軌跡である。なお、Natural Fleckerl と Reverse Fleckerl の差は、図中の軌跡の方向の差である。ただし、それぞれの Fleckerl において、Dancer は Parameter をそれぞれに選択することができる。たとえば Reverse Fleckerl のほうが Natural Fleckerl よりもより Compact に踊ることができる場合は e_0 を小さく選択したことになる。

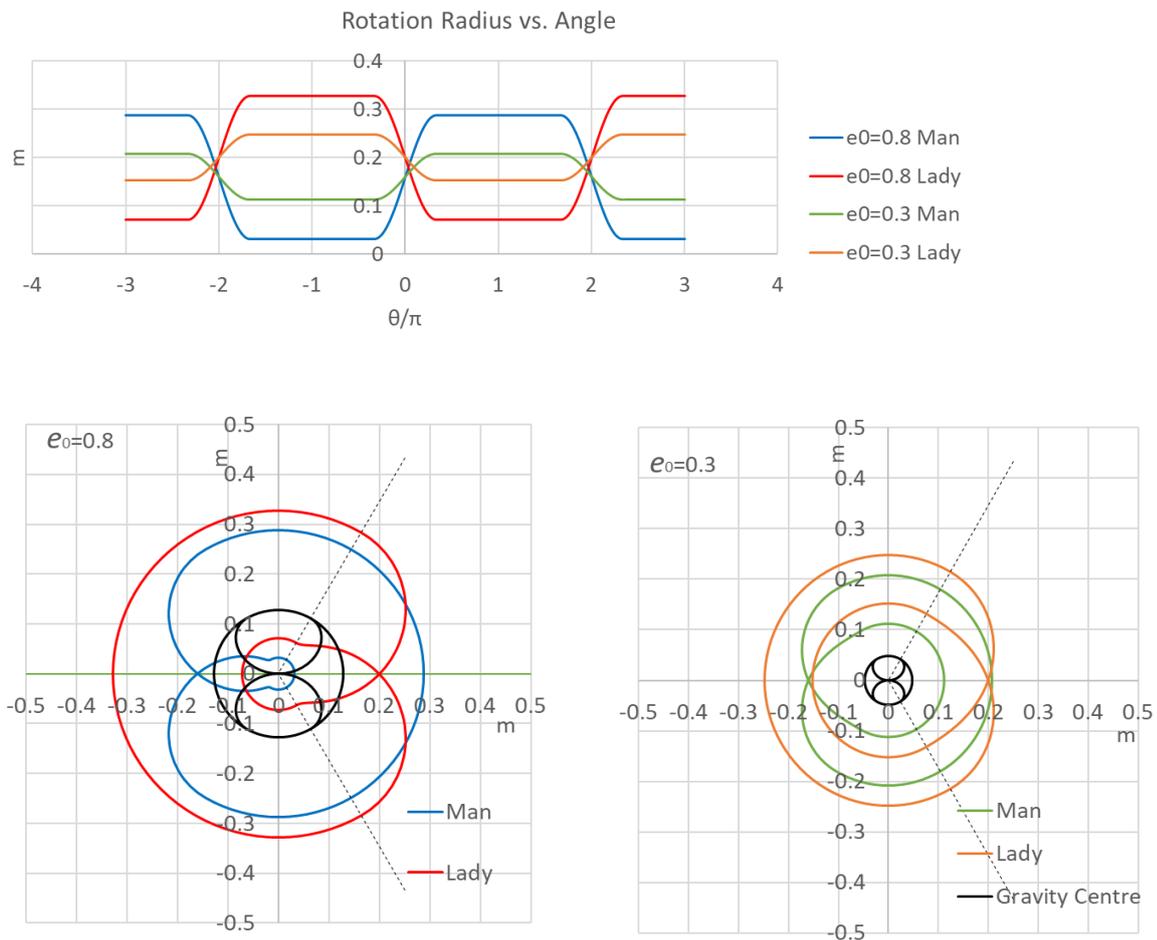


Fig. 3 Case 2: [A](duration $(4/3) \pi$), [A→B] $((2/3) \pi)$, [B] $((4/3) \pi)$, [B→A] $((2/3) \pi)$

$$\rho_M = 0.16 \text{ m}, \quad \rho_L = 0.2 \text{ m}, \quad \rho = 0.36 \text{ m}$$

Trajectories of Fleckerl in case of sinusoidal radius change throughout the rotation.

- (a) Distance from the rotation centre. Lady and Man.
- (b) In case the amplitude ratio $e_0 = 0.8$. (c) In case the amplitude ration $e_0 = 0.3$.

Case 2: 次に男子重心が回転中心から最も近い A, および, 最も遠い B がある程度の幅を持っているとする場合例として, A, B 区間長さがそれぞれ角度で $(4/3)\pi$, その移行区間 A→B, B→A がそれぞれ $(2/3)\pi$ とする.

$$\text{A 区間, } -\frac{5}{3}\pi \leq \theta \leq -\frac{1}{3}\pi \quad \frac{r_M(\theta)}{\rho_M} = 1 - e_0 \quad (13)$$

$$\text{A→B 区間, } -\frac{1}{3}\pi \leq \theta \leq +\frac{1}{3}\pi \quad \frac{r_M(\theta)}{\rho_M} = 1 + e_0 \sin \frac{3\theta}{2} \quad (14)$$

$$\text{B 区間 } +\frac{1}{3}\pi \leq \theta \leq +\frac{5}{3}\pi \quad \frac{r_M(\theta)}{\rho_M} = 1 + e_0 \quad (15)$$

$$\text{B→A 区間, } +\frac{5}{3}\pi \leq \theta \leq +\frac{7}{3}\pi \quad \frac{r_M(\theta)}{\rho_M} = 1 + e_0 \sin \frac{3\theta}{2} \quad (16)$$

A 区間 B 区間の差 (振幅) が最小 $e_0 = 0$ の場合は, 真円である. 振幅が最大 $e_0 = 1$ の場合は

$$\frac{r_M(\theta)}{\rho_M} = 1 + \sin \frac{\theta}{2} \quad \frac{r_G(\theta)}{\rho_M} = \sin \frac{\theta}{2} \quad \frac{r_L(\theta)}{\rho_M} = \frac{\rho_L}{\rho_M} - \sin \frac{\theta}{2} \quad (17)$$

となる.

2・3 Fleckerl への接続

Fleckerl の接続動作としては Reverse Turn, Natural Turn, および Contra Check がある. Reverse Fleckerl の先行 Figure は Reverse Turn, 後続 Figure として Reverse Turn および Contra Check, また, Natural Fleckerl の先行 Figure として Natural Turn および Contra Check, 後続 Figure としては Natural Turn とされている (ISTD, 2001, Smith-Hampshire, 1985). しかし, これらの組み合わせのどれもが, 多く踊られるわけではないし, 接続の Natural Turn, Reverse Turn は表に示される通常の定常進行の場合とは同じではない. 一般によく踊られる組み合わせは, 周回軌道の Reverse Turn から回転速度を増すことにより Room の中央へと移動してその場で Reverse Fleckerl を数小節, そして, Contra Check→Natural Pivot を挟んで, Natural Fleckerl 数小節へとつなぎ, いったん回転速度を落としてから, Natural Turn を少しずつ回転速度および移動速度を上げながら周回軌道の通常の Natural Turn へと戻する方法であり, 本報においてもこの方法に即して解析する.

まず, Fleckerl の特徴は回転が主で Couple の移動がほとんどないこと, であり, Fleckerl に入るためには, Fleckerl を踊る場所まで中央寄りに移動すること, 移動速度を減少し最終的に移動を停止すること, および, この過程で回転速度を所定の角速度まで上げること, が必要となる. また, Natural Turn, Reverse Turn においては, 並進速度も回転角速度とともに 2 小節周期の加減速があるが, 定常 Fleckerl においては回転角速度に原則として加減速はないので, この関係についても適合させることになる.

2・3・1 Reverse Turn から Reverse Fleckerl へ

一般的に Reverse Turn を踊るときは Ballroom 内の比較的壁よりの LOD に沿って進行し, Fleckerl は Ballroom 内の中央付近の固定点で踊ることになっている. わかりやすい説明としては Natural Turn, Reverse Turn は陸上競技場におけるトラック部分のような周回路で踊り, 移動のない Fleckerl を踊るときは内側のフィールドに対応する部分で踊り, トラックを周回する他の Couple の進行の邪魔にならないようにする意味がある. このため, Couple は Reverse Turn を踊りながら, 中央に移動する接続の踊り方が必要である. この動きは, Couple 重心周りの角速度 ω を π よりも大きくとり, Couple 重心径路を中央付近の想定する Fleckerl の位置へ向かって Curve させることになる. 最終的には角速度を 2π 程度とすれば, Reverse Fleckerl の標準角速度となり, Reverse Turn か

ら Reverse Fleckerl への Smooth な移行が可能となる。一方、並進速度は通常の Reverse Turn の速度から減速していき静止に近づける必要がある。移動径路は、初め LOD に沿った直線方向から左方へと次第に曲率を増していき、Fleckerl に入る時点で静止となる。最終的には Fleckerl 定常回転で一定となるので、これに向かって角速度増加も増加率が減少しながら近づく。角速度の増加は、並進速度が減衰して重心位置が静止した後も継続して増加することも可能である。並進速度の減少、角速度の増加の組み合わせにより Couple 重心径路の曲率を調節し、Fleckerl を行なう目的の静止位置を目指すことになる。並進速度 v 、角速度 ω とすると、径路の曲率 φ は

$$\varphi = (\omega - \pi) / v \quad (18)$$

である。前報に述べたように、Reverse Turn には、2 小節周期の加減速があり、ここでは Ripple と表現する。Ripple は全体の加減速より早めに減衰する。また、並進速度が全体の移行過程を整理すると、

◎Reverse Turn：平均並進速度一定，平均角速度一定，Ripple あり

- 移行第 1 段階：平均並進速度減衰，平均角速度増加，Ripple 減衰
- 移行第 2 段階：並進速度減衰継続，角速度増加継続，Ripple なし
- 移行第 3 段階：並進速度減衰停止，角速度増加継続，Ripple なし

◎Reverse Fleckerl：並進速度停止，角速度一定，Ripple なし

などとなる。

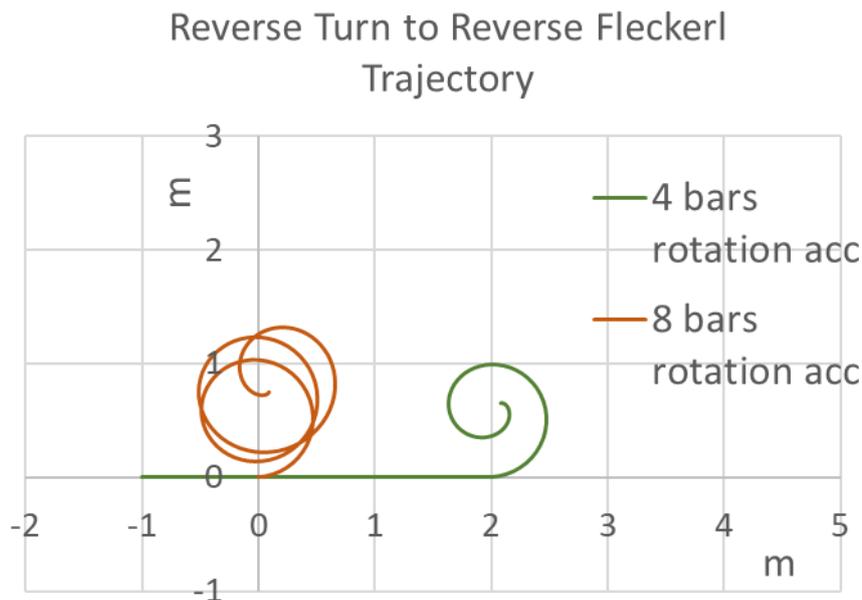


Fig. 3 Example of Couple Centre trajectory from Reverse Turn to Reverse Fleckerl.

$\rho = 0.36 \text{ m}$, $L_{N1} = 1.8 \text{ m}$, $L_{N2} = 1.575 \text{ m}$

4 bars method and 8 bars method to Reverse Fleckerl

Reverse Turn 時の角速度の標準は π 、Fleckerl の標準角速度は 2π である。この間の角速度増加 Pattern として、中間時点で 1.5π となる例を以下に示す。この中間時点を時間の原点とする。すなわち、

移行開始時 $t = t_S = -t_E$ → 中間時 $t_0 = 0$ → 移行終了時 $t = t_E = -t_S$ ， 対応して

中心角速度 $\omega_M(t_S) = \pi$ → $\omega_M(0) = 1.5\pi$ → $\omega_M(t_E) = 2\pi$ (19)

$$\text{中心速度 } v_M(t_s) = v_{MS} \quad \rightarrow \quad v_M(0) = 0 \quad \rightarrow \quad v_M(t_E) = 0 \quad (20)$$

とする。ただし、中心角速度、中心速度とは Ripple を除いた平均速度、平均角速度の意味である。速度の減衰、角速度の増加関数としては、両端で加速度が 0 となる三角関数を用いる。すなわち

$$\omega_M(t) = \frac{3}{2}\pi - \frac{\pi}{2} \cos \left\{ \frac{\pi}{2} \left(\frac{t+t_E}{t_E} \right) \right\} \quad (21)$$

$$v_M = \frac{1}{2}v_{MS} \left[1 + \cos \left\{ \pi \left(\frac{t-t_S}{t_0-t_S} \right) \right\} \right] \quad (22)$$

Parameter として、 $t_s = -4$ $t_E = 4$ 、および $t_s = -8$ $t_E = 8$ を採用した場合の重心径路を図 3 に示す。

男女間の重心距離 $\rho = 0.36\text{m}$ 、Reverse Turn 時の並進距離前半後半はそれぞれ $L_R 1 = 1.6\text{m}$ 、 $L_R 2 = 1.4\text{m}$ とする。

2・3・2 Natural Fleckerl から Natural Turn へ

「Natural Fleckerl から Natural Turn へ」は Ballroom の中心付近から壁に沿った LOD へ移動する過程である。上述の「Reverse Turn から Reverse Fleckerl へ」はいわばトラックからフィールドへの過程であったが、「Natural Fleckerl から Natural Turn へ」は逆にフィールドからトラックへ戻る過程である。Viennese Waltz における周回の移動は Natural Turn であっても Reverse Turn であっても、陸上のトラック競技と同じく反時計回りの移動であるとされている。Natural Turn の標準角速度は $\omega = -\pi$ である（右回転）が進行方向 LOD は Ballroom 内で反時計向きの方向（左回転）なので、中心付近から壁よりの LOD に合流するためには、角速度 ω は絶対値の小さい値から $-\pi$ に近づけていくことになる。Natural Fleckerl の標準角速度は $\omega = -2\pi$ であるから、Natural Fleckerl から Natural Turn への移行には一旦角速度を緩める必要がある。すなわち、「Reverse Turn から Reverse Fleckerl へ」においては、回転角速度は単純増加であったのに対し、「Natural Fleckerl から Natural Turn へ」においては、回転速度（の絶対値）は一旦減速してから再び加速することになる。ただし、Ballroom における Corner を利用する場合（陸上トラックにおける曲走路部分）は修正が必要である。

「Natural Fleckerl から Natural Turn へ」は「Reverse Turn から Reverse Fleckerl へ」の単なる左右の入れ替えではない。

角速度を一旦 ω_0 とするならば、 ω の変化は、 $(-2\pi) \rightarrow \omega_0 \rightarrow (-\pi)$ となる。 $(-2\pi) \rightarrow \omega_0$ の過程は Fleckerl 内で行われる（この間の移動なし）。減速関数に始点、終点に緩やかな調和関数を用いる。

第一段階：並進速度は 0、回転速度は減速の区間では、 (-2π) から ω_0 へ

$$\omega_M(t) = -2\pi + \frac{1}{2}(\omega_0 + 2\pi) \left[1 - \cos \left\{ \pi \left(\frac{t-t_S}{t_E-t_S} \right) \right\} \right] \quad (23)$$

第 2 段階：Natural Turn 開始して角速度は減速 LOD へ ω_0 から $\omega = -\pi$ へ

$$\omega_M(t) = \omega_0 + \frac{1}{2}(\omega_E - \omega_0) \left[1 - \cos \left\{ \pi \left(\frac{t-t_S}{t_E-t_S} \right) \right\} \right] \quad (24)$$

Reverse Turn から Fleckerl の場合は開始時点の径路の向き（初期値）が LOD 向きであったので、並進速度 v と回転角速度 ω を組み合わせれば積分すれば径路は定まったが、Natural Fleckerl から周回の Natural Turn への場合は、最終の Natural Turn への接続時点で径路の向きが LOD 向きになるように調節する必要がある。

例として $t_s = 0$, $\omega_0 = -\pi/2$, $\omega_E = -\pi$, Corner なし, Parameter として, 移行時間 $t_E = 4$, $t_E = 8$ の場合の径路を図 4 に示す. 男女間の重心距離 $\rho = 0.36$ m, Natural Turn 時の並進距離前半後半はそれぞれ $L_N1 = 1.8$ m, $L_N2 = 1.575$ m とする.

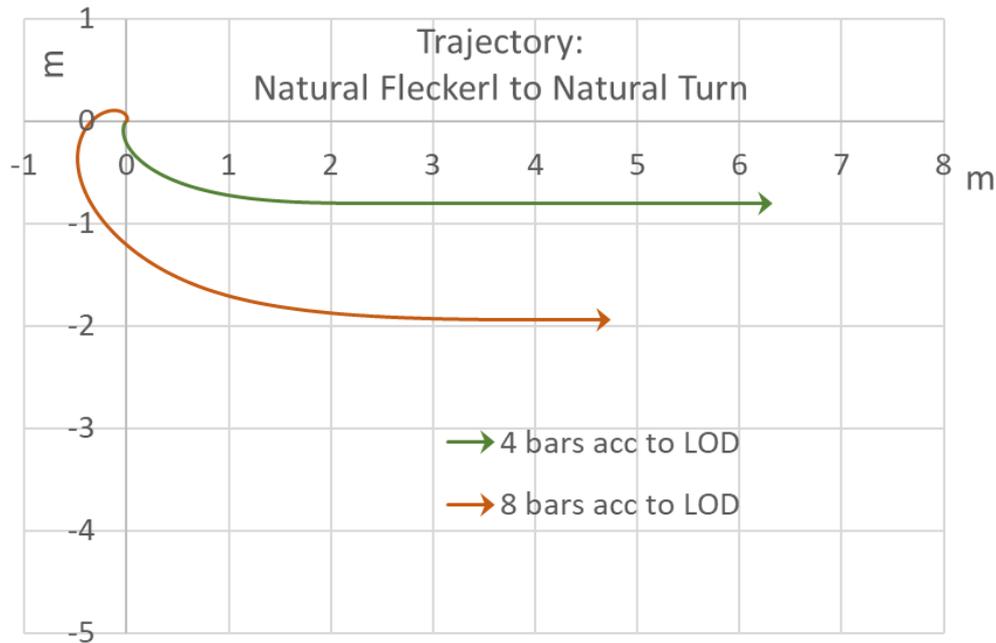


Fig. 4 Example of Couple Centre trajectory from Natural Fleckerl to Natural Turn
 $\rho = 0.36$ m, $L_{N1} = 1.8$ m, $L_{N2} = 1.575$ m
 4 bars method and 8 bars method to LOD (Natural Turn)

2・4 Energy 解析

2・4・1 Fleckerl 内の微小 Energy 変動

Fleckerl における力学的 Energy は, 主に回転による Kinetic Energy であり, Couple 重心の移動による分は小さく, また, Rise and Fall がなく重心高さによる Potential の変化もないとされるが, 以下, 考察を試みる. Couple における男女間の力は加速度から計算できるが, 定常円運動によるものとの差は少ない. 外回転, 内回転の Transition の中点において Energy は最小である. そして, それは, Couple 重心と回転中心が一致している時点である. 力学的にはこの状態 (内外差がない状態) を続けるのが最も安定した回転であるが, 男女身体が Contact した状態のまま 1 小節 3 歩で, 左右の足を入れ替えるので, かなり窮屈であるので, 実際には上述のように内外差 e_0 がある. 運動 Energy は Transition の中点で最小であるので, この時点で内外時の運動 Energy を位置の Potential energy として吸収させることも合理的と考える. Fleckerl においては, Rise and Fall は無, とされているが, 実際 Dancer が踊る際に Transition すなわち Count 3 から Count 1 に向け, わずかに身体重心が浮き上がる感覚が生じることも説明できる. 本報においては, **Count 3 から Count 1 に向け, わずかに Rise and Fall を許すと提案する.** この場合に上下差は e_0 に依る. Fleckerl における Kinetic Energy K は e_0 を含む式で表すと

$$K = \frac{1}{2} m \rho_M \omega^2 (\rho_M e_0^2 + \rho_L) \quad \text{となり, } e_0=0 \text{ の真円運動のときの Kinetic Energy } K_0 \text{ からの差で表すと}$$

$$K - K_0 = \frac{1}{2} m \rho_M^2 \omega^2 e_0^2 \quad (25)$$

この分を Potential Energy に対応付けると

$$\frac{1}{2} m (e_0 \rho_M \omega)^2 = mgh, \quad h = \frac{(e_0 \rho_M \omega)^2}{2g} \quad (26)$$

となる。上記は Total Energy 一定の運動とする場合の上下運動である。 $\omega = 2\pi$, $g = 9.80665 \text{ m/s}^2$

$\rho_M = 0.16$ を入れ、 e_0 に対し

$$e_0=1 \text{ (最大時)} : h = 0.0515 \text{ m}, \quad e_0=0.5 : h = 0.013 \text{ m}, \quad e_0=0.2 : h = 0.002 \text{ m}$$

となる。 e_0 が最大時すなわち、真円からのぶれが最大時に多少上下動があるが、通常は小さいとみなせる。いづれにせよ、なるべく e_0 を小さくするのが上下動も少なくよい踊り方といえる。

2・4・1 「Reverse Turn から Reverse Fleckerl へ」における Energy 考察

Reverse Turn においては、速度変化による Kinetic Energy の変動が並進および回転においてもあり、また Rise and Fall による Potential Energy の変動もある。これら 2 小節周期の変動は互いに補完するように踊るのがよい方法である (塩谷, 2024b)。また、Fleckerl においても上述のようにわずかな変動が 2 小節周期で存在する。ここでは、Reverse Turn から Reverse Fleckerl への過程における、それぞれの 2 小節間の平均的な Energy の大筋の変化を解析し、全体の過程としての Energy Balance を考慮した適切な踊り方を検討する。

Reverse Turn および Natural Turn が LOD に沿って通常の回転を続けているときは、角速度が Fleckerl のときの約半分なので、Rotational Kinetic Energy としては Fleckerl のときの約 1/4 である。したがって、Total Kinetic Energy の変化を少なく踊るのが良いとするならば、Reverse Turn および Natural Turn のときの Translational Kinetic Energy は Fleckerl のときの 3/4 程度とするのが最適である (Potential Energy は小さいので考慮に入れない)。具体的には、1 小節の移動距離 l 、1 小節の時間 T ($=1$)、並進速度 $v = l/T$ 、また、簡単のため男女重量を同じとすると並進 Energy K_T 、および回転運動エネルギー K_R は

$$K_T = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} m \left(\frac{l}{T} \right)^2, \quad K_R = \frac{1}{8} \omega^2 m \rho^2 = \frac{1}{2} m \left(\frac{\rho}{2} \omega \right)^2 \quad (27)$$

Reverse Turn においては、 $\omega = \pi/T$ 、Reverse Fleckerl においては $\omega = 2\pi/T$ であるので

$$K_R (\text{Rev. Turn}) = \frac{1}{2} m \left(\frac{\rho \pi}{2T} \right)^2, \quad K_R (\text{Rev. Fleckerl}) = \frac{1}{2} m \left(\frac{\rho \pi}{T} \right)^2$$

$$K_R (\text{Rev. Fleckerl}) = 4K_R (\text{Rev. Turn}) \quad (28)$$

もしも、Reverse Turn のときの Total Kinetic Energy が Fleckerl の時の Kinetic Energy に変換するとすれば

Reverse Turn において、 $K_T = 3K_R$

$$\frac{l}{\rho} = \frac{\sqrt{3}}{2} \pi \quad (\approx 2.7) \quad (29)$$

となる。1 小節間の Reverse Turn の移動距離が男女間の重心距離の約 2.7 あれば、Reverse Turn の Kinetic Energy を Fleckerl の Kinetic Energy に変換できることになる。Natural Fleckerl から Natural Turn への場合は、移動無しで一旦回転速度 (の絶対値) を π より下げる必要があるので、新たに体力を使つての Energy 付加が必要である。

7. 結 語

Viennese Waltz のおける Fleckerl の力学的解析を行なった. Viennese Waltz における力学的エネルギーは, Natural Turn および Reverse Turn の場合には並進運動エネルギーと回転運動エネルギーのバランスであったが, Fleckerl の場合は回転エネルギーが大半である. Fleckerl は単に同心円運動と思われがちであるが, 実際には1小節ごとに男女が入れ替わる運動であることを示した. 対応して, わずかではあるが, Fleckerl においても上下動を許すことが Energy 的に合理的であることを提唱した. Fleckerl においては Dancer が選択可能な Parameter があり, それに基づき, 運動軌跡を解析した. 外周運動の Reverse Turn から中心での Reverse Fleckerl への接続運動, また, 中心での Natural Fleckerl から外周の Natural Turn への接続運動について解析, 軌跡を示した. 両者は単なる加減速の方向や左右の差ではなく, 加減速の Pattern も本質的に異なることを示した. Energy 解析から, Reverse Turn, Natural Turn から Fleckerl へ Smooth に接続するための適切な条件を示した.

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”, Plus 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ワ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
- (15) 塩谷義, “ボールルームダンスにおけるクローズド・チェンジとホイスクの解析”, 日本機械学会講演論文集, SHD No.24-62 (2024a), A8-3
- (16) 塩谷義, “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”, 日本機械学会講演論文集, SHD No.24-62 (2024b), A8-2