

# B-1-1

## 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

### Basic Mechanical Model of Lead and Follow in Ballroom Dancing

○正 塩谷 義<sup>\*1</sup>

Tadashi SHIOYA<sup>\*1</sup>

<sup>\*1</sup> 東京大学 The University of Tokyo

Ballroom Dancing is performed as the concept without priorly arranged choreography prepared in advance. This requires appropriate Lead and Follow during the dance progression. The “lead and follow” has been explained literally in various manners in many books, however, not sufficient in scientific meaning. In this study a simple mechanical model is proposed as a first step of building models that can explain actual various lead and follow mechanism. One dimensional model is presented in which Leader and Follower are connected at one contact position. The constitutive relation at the contact position is expressed as Visco-elastic Voigt model. As an example of dance movement, typical swing movement by the leader is applied. The sensitivity of the follower’s response and the rigidity at the contact position are taken as the parameters. The results are presented for the parameters. Further development of the model is discussed.

**Key Words** : Ballroom Dancing, Lead and Follow, Mechanics, Visco-elastic, Voigt, Swing, Sequence

#### 1. 緒 言

男女が一組になって踊るダンス (Couple Dance) には多くの種類があるが、その中で Ballroom Dance の最大の特徴の一つは、Lead と Follow があるということである。すなわち、あらかじめ用意された振付による順序 (Sequence) に従って踊るのではなく、任意に踊りながら Leader (通常は男子) がどの Figure を踊るかを (Lead と呼ばれる) 動作により、Follower (通常は女子) に伝え、女子はそれに合わせた (Follow と呼ばれる) 動作で踊ることである。Lead と Follow が正しくできれば、当 Couple にとって正しく気持ちよく踊れているという実感が得られる。また、見た目にも自然で無理ない美しいダンスとなり、競技会などでの評価も高くなる。Ballroom Dance の Syllabus (ISTD, 1982) には、具体的に各 Figure に対し先行する Figure (Precedes)と、後続の Figure (Follows) が示されているので、動作の選択肢には限定はあり、Lead と Follow の組み合わせは全くの任意というわけではない。また、Figures を複数繋げ、ある程度の長さの組み合わせ (Amalgamation と呼ばれる) や、Demonstration などでは1曲すべて振付けた Sequence にする場合もある。しかしそれらの場合であっても、動作の大きさや微妙な Timing などの Smooth な適合のため Lead と Follow は Ballroom Dance にとって必須なものである。

Lead と Follow の種類としては Leader の動作・合図などを Follower が見て動く視覚によるもの (Laird, 2014) とか、声による Oral な指示 (Round Dance, Square Dance 等) もなくはないが、Ballroom Dance における基本的な Lead は、Physical な接点、すなわち、Body の Contact 部、手、腕等による Contact 部により、Leader の動作が Follower に伝えられることにある。本研究においては力学的な観点から、Lead と Follow の仕組みの Model を構築することである。

Physical な接点を通じて伝えられる力学的 Parameters としては、力、モーメントおよびその変化、移動変位の速度、加速度などについて、それぞれ水平方向、鉛直方向の Vector の成分があり、実際の Lead, Follow はそれらの組み合わせ (複数の接点の場合も含む) としての複雑な構成となる。本研究においては、解析の第1歩としてそれらのうちの1要素を代表としてできるだけ単純化した Model をたて、Lead, Follow の力学的考え方の方向を示そうとするものである。

## 2. 解析方法

### 2・1 Modelの構築方針

本研究においては、力学的研究の第1段階として、Ballroom Danceの代表的Figureの中の1動作(行程)、例えば、Natural TurnやReverse Turnの前半(1-3)または後半(4-6)に対応した1 Swingを想定し、その1 Parameter、例えば、並進運動、回転運動、または、上下運動などのうちの一つを代表としたModelを考える。本Modelにおいては、Coupleの運動動作は男女が同一方向にHoldの形態を変えずに行うものとする。例えばClosed PositionからPromenade Positionへの変化動作などは今回は除外する。Coupleにおいて男女間は接点を通じて力を及ぼしあうものとする。接点間力とは、代表的にはBallroom種目(Modern種目、Standard種目)における、接する男女のBody間の力を想定するが、その他、繋いだ手や接する腕などを通じて及ぼす力を総合したものとする。男子は、Figure中の1動作を行なおうと思ひ(Planし)、実際に自身が動くことにより、接点間力を通じてそれを女子に伝える(Lead)。男子の動作は、練習動作や教示動作でShadowとかSolo Danceなどと呼ばれる単独での動作を基本型とする。女子は男子との接点間力を感じてそれに対応した動作を行なう(Follow)とする。実際時々散見される男子が手で強引に女子を引っ張ったり押ししたりするような動作は正しいLeadではないので本Modelから除外する。

男子(Leader)は、自分自身の発する力(具体的にはShoesとFloorの間の力)で動き、自身の動き(位置、速度、加速度)を制御するものとする。女子は、接点における力(およびその変化)を感じ、それに基づき、自身の動きを自分の力(具体的にはShoesとFloorの間の力)で制御する(Follow)とする。また、また、女子の動きによる接点における力(およびその変化)は男子にFeedbackされ、男子が自身の動きを調整する場合もあるとする。

女子(Follower)が接点における力を受け、どのように自身の運動に反応(反映)するかは、いろいろな要素が関係し、脳内でどう処理するかにより、また個人差もあるので、複雑であるが、ここでは最も単純なModelとして、Follower自身の力を接点力の変化(時間微分)にほぼ比例するとする場合を例とする。

一般性を確保するため解析にはできる限り無次元化Parameterを使用する。

### 2・2 Modelの記述

Coupleの動作方向を $x$ 軸上とする。男子(Man, Leader)の重心位置を $x_M$ 、(女子(Lady, Follower)の重心位置を $x_L$ とする。1重心間距離は $x_L - x_M = \rho$ で表す。男子のMassを $M_M$ 、女子のMassを $M_L$ とし、それぞれの重心に集中したMass(質点)とする。Coupleの質量計 $M_G = M_M + M_L$ 、重心位置は $x_G$ とする。

長さの基準としては1行程の長さ $L$ 、時間の基準としては1行程の時間 $T$ 、質量の基準としては $M_G$ とする。

男子の推進力(Floorと男子の靴の間の摩擦力):  $F_M$

女子の推進力(Floorと女子の靴の間の摩擦力):  $F_L$

接点(Contact Position)における男女間の力(Contact Force) 男女間の力:  $F_C$ は引張りを正とする。

平衡方程式は

$$\text{男子のつり合い式:} \quad M_M \frac{d^2 x_M}{dt^2} = F_M + F_C \quad (1)$$

$$\text{女子のつり合い式:} \quad M_L \frac{d^2 x_L}{dt^2} = F_L - F_C \quad (2)$$

総合すれば：

$$M_G \frac{d^2 x_G}{dt^2} = F_M + F_L \quad (3)$$

となる。

$F_C$  は Lead と Follow を結びつける重要な Parameter であり，動作の初期状態として，男女が接点力を確認する意味で若干の（零でない）初期値  $F_{C0}$  があると考える．（圧縮の場合は  $F_{C0} < 0$ ）接点力  $F_C$  は男女重心間距離  $\rho$  の関数で，Couple に固有の構成式で示されるものとする．すなわち，接点における剛性は男女それぞれ身体の硬軟に依存し，また，それぞれの Dancer が意識して変化させることもあり得る．本解析においては接点の構成式として弾性・粘性並列の Voigt type の粘弾性 Model を採用する（図 1）．直列の Maxwell Type としないのは，男女重心間距離  $\rho$  に適切な有限距離を想定するからである．

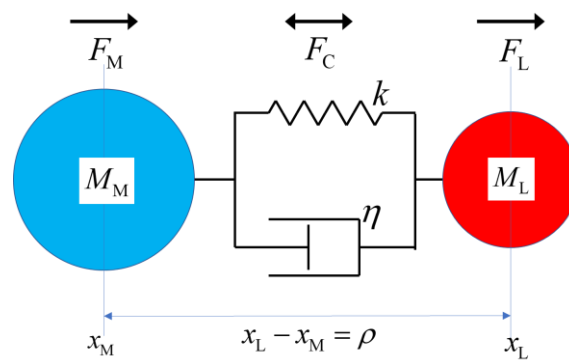


Fig. 1 Simple mechanical model of Lead and Follow. Man (Leader) and Lady (Follower) are represented by masses connected with Voigt-type visco-elastic element.

本報の無次元表示において，長さの基準としては 1 行程の長さ  $L$ ，時間の基準としては 1 行程の時間  $T$ ，質量の基準としては  $M_G$  とする．接点の力学的構成式は，バネの弾性係数は無次元表示で  $k$ ，ダッシュポットの粘性係数を無次元表示で  $\eta$  とし，

$$F_C = \left( \frac{M_G L}{T^2} \right) k \left( \frac{\rho - \rho_0}{\rho_0} \right) + \left( \frac{M_G}{T} \right) \eta \left( \frac{d\rho}{dt} \right) \quad (4)$$

となる． $\rho_0$  は無負荷に対応する男女間距離である．粘性項と弾性項の組み合わせは振動を防ぐ値がとられる．

接点力に応じた女子の Follow の動作としては，女子の推進力  $F_L$  を接点力  $F_C$  の関数として結びつける．ここでは最も簡単な関数として，

$$\frac{dF_L}{dt} = -\frac{\alpha}{T} (F_C - F_{C0}) \quad (5)$$

を用いる．接点力の影響は静止時の接点力  $F_{C0}$  を差し引いた値と考える．無次元係数  $\alpha$  は，Follower の制御によっては，刻々と変化させることも可能であるが，ここでは原型 Model として比例定数として解析する．

女子の Follow の動作は接点力を通じ男子の動作に影響する場合（Feedback）も考えられるが，この点に関しては後述する．

本報で解析する Dance 動作としては，典型的な Swing 動作を表すものとして，調和関数で表される動作とする．これは（Leader が）意図する（Plan する）基準動作であり，Solo Dance または Shadow Dance に対応するもので，記号に（下付き）添え字  $p$  を付すものとする．

位置，速度，加速度は無次元表示で

$$\frac{x_M}{L}(t) = \frac{x_{Mp}}{L}(t) = \frac{x_{Mp}}{L}(0) + \left(\frac{t}{T}\right) - \frac{1}{2\pi} \sin\left(\frac{2\pi t}{T}\right) \quad (6)$$

$$\left(\frac{T}{L}\right) \frac{dx_M}{dt}(t) = \left(\frac{T}{L}\right) \frac{dx_{Mp}}{dt}(t) = 1 - \cos\left(\frac{2\pi t}{T}\right) \quad (7)$$

$$\left(\frac{T^2}{L}\right) \frac{d^2x_M}{dt^2}(t) = \left(\frac{T^2}{L}\right) \frac{d^2x_{Mp}}{dt^2}(t) = 2\pi \sin\left(\frac{2\pi t}{T}\right) \quad (8)$$

である. 図 2 (a) (b) (c).

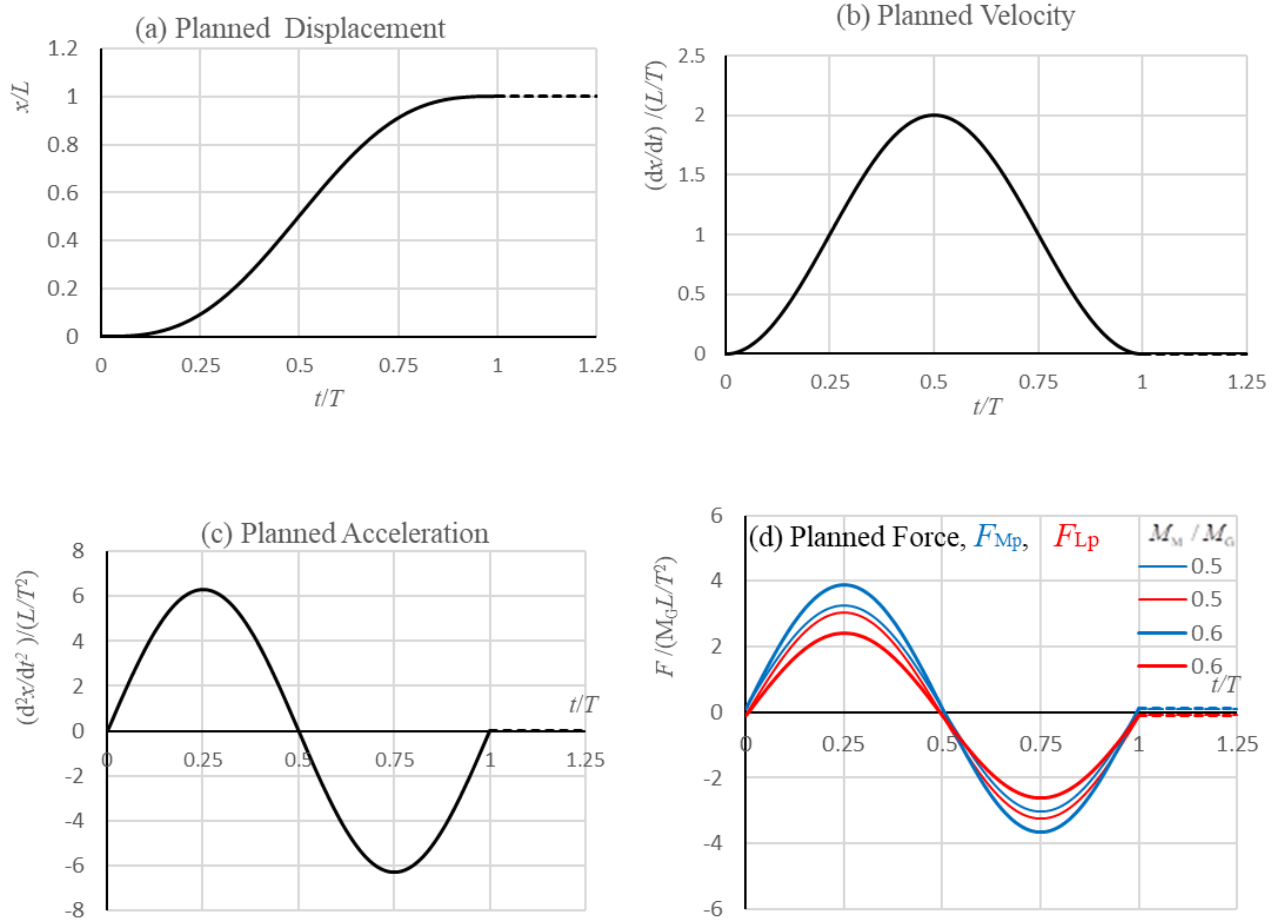


Fig. 2 Man's Planned Movement (Non-dimensional).  
(a) Displacement, (b) Velocity, (c) Acceleration, and (d) Force. vs time

対応する力は無次元表示で

$$\left(\frac{T^2}{LM_G}\right) F_M(t) = \left(\frac{T^2}{LM_G}\right) F_{Mp}(t) = \left(\frac{M_M}{M_G}\right) 2\pi \sin\left(\frac{2\pi t}{T}\right) - \left(\frac{T^2}{LM_G}\right) F_{Co} \quad (9)$$

である. 図 2 (d). 基準長さ  $L$ , 基準時間  $T$  は Leader が Plan する基準動作に対するものとする. 具体的には例えば Waltz の Natural Turn の前半 (1-3) であれば 1 小節の時間であり, Tempo が標準の 27 bpm であれば,  $T=2.2$  sec である. 基準長さ  $L$  は動作の種類や個人差によるが, 本解析においては, 変数とはしない.

### 2・3 Model の解析手順

具体的な数値解析は時刻  $t$  に対し、変数  $x_M$ ,  $x_L$ ,  $F_M$ ,  $F_L$ ,  $F_C$  および、それらの時間微分を初期値問題として求める。すなわち、 $t=t'$  におけるこれら各変数の値が既知とすれば  $t=t'+\Delta t$  においては

$$F_L(t'+\Delta t) = F_L(t') + \frac{dF_L(t')}{dt} \Delta t \quad (10)$$

となる。上式における  $\frac{dF_L}{dt}$  は、式(5)で与えられ、式(4)中の  $F_C$  は、接点の構成式

$$\left(\frac{T^2}{M_G L}\right) F_C = K \left(\frac{1}{L}\right) (x_L - x_M - \rho_0) + \eta \left(\frac{T}{L}\right) \left(\frac{dx_L}{dt} - \frac{dx_M}{dt}\right) \quad \text{ただし} \quad \left(k \frac{L}{\rho_0}\right) = K \quad (11)$$

$$\left(\frac{T^3}{M_G L}\right) \frac{dF_C}{dt} = \left(\frac{T}{L}\right) K \left(\frac{dx_L}{dt} - \frac{dx_M}{dt}\right) + \left(\frac{T^2}{L}\right) \eta \left(\frac{d^2 x_L}{dt^2} - \frac{d^2 x_M}{dt^2}\right) \quad (12)$$

で与えられる。男女のつり合い式(1)(2)を用いて、他の変数の値も求まる。初期状態は  $At t=0$ ,

$$F_C(0) = F_{C0} < 0 \quad F_M(0) = -F_{C0} \quad F_L(0) = F_{C0} \quad (13)$$

$$\rho(0) = \rho_0 + \left(\frac{\rho_0}{k}\right) \left(\frac{T^2}{M_G L}\right) F_C(0) \quad (14)$$

$$\frac{dx_M}{dt}(0) = \frac{dx_L}{dt}(0) = \frac{d^2 x_M}{dt^2}(0) = \frac{d^2 x_L}{dt^2}(0) = 0 \quad (15)$$

とする。

#### 2・4 男子 (Man, Leader) の動作方式

上述の解析手順において、男子の動作 (Lead) を与える必要がある。男子の位置  $x_M$  および、男子の力  $F_M$  が前述の Plan した動作 (Solo での動作) と一致するとすれば、これを Case 0 とする。

$$\text{In Case 0,} \quad x_M = x_{Mp} \quad \text{and} \quad F_M = F_{Mp} \quad (16)$$

Case 0 においては全区間にわたり、 $x_L - x_M = \rho$  constant,  $F_C = F_{C0}$  constant であり、女子もあらかじめ男子の動作を知っていて男子と同じ動作を行なうという場合である。この場合は、Lead and Follow が必要ではないことになり、Ballroom Dance 以外の多くの Dance には当てはまる場合である。Ballroom Dance であっても振付がすべて決められている場合は Case 0 もあり得る。Lead and Follow のある Ballroom Dance においては、男子の動作に応じて接点を通じて女子の反応があるので、Case 0 とはならない。

女子の動作が  $F_C(t)$  を通じて男子に影響する場合は、男子の Lead の方法としては、力  $F_M$  または、位置  $x_M$  のどちらかを Plan したものとする方法が最も単純な (両極端の) 方法として考えられる。力  $F_M$  を Plan したものと同一とする場合を Case 1 とする。Case 1 においては、Solo で行なった場合と同様の力  $F_M$  で踊ることになる。

$$\text{In Case 1,} \quad F_M(t) = F_{Mp}(t) \quad (17)$$

一方、Leader が自身の動作位置  $x_M$  を Plan したものと同一とする場合を Case 2 とする。

$$\text{In Case 2,} \quad x_M(t) = x_{Mp}(t) \quad (18)$$

Case 2 においては、女子の反応にかかわらず Solo で行なった場合と同様の動き (位置, 速度) で踊ることになる。実際の行動としては、Case 1, Case 2 の中間的な Lead が選択されるであろうが、本報においては、違いを明らかにする意味でこの両 Case の比較を行なう。

#### 2・5 Parameter の考察・選択

数値解析においては、男女それぞれの位置、速度、力等を時間経過に対して示して Lead and Follow の比較をする。その際の無次元 Parameter としては Couple における体重割合を表す  $M_M / M_G$ ，接点間力の構成式の特性を表す  $K$  と  $\eta$ ，および Follower の応答特性を表す  $\alpha$  となる。また、接点力の初期値  $F_{C0}$  も Parameter である。

体重割合  $M_M / M_G$  については Dancer が踊りの中で選択できない Parameter である。

一方、接点間特性  $K$  と  $\eta$  は、それぞれの Dancer の体質に関する影響も当然あるが、Dancer の筋肉の緊張動作などによる制御も可能と考えられる。接点間でガタガタするような振動現象を避けるためには、 $\eta$  は、ある程度大きい必要がある。男子、女子の釣り合い式(1)(2)および接点の構成式(11)を組み合わせ、男女重心間距離  $x_L - x_M = \rho$  の関数として運動方程式（2質点 Voigt 粘弾性式）を表すと

$$T^2 \frac{d^2 \rho}{dt^2} + T \left( \frac{M_G^2}{M_L M_M} \right) \eta \frac{d\rho}{dt} + \left( \frac{M_G^2}{M_L M_M} \right) K \rho = \left( \frac{T^2}{M_L} \right) F_L - \left( \frac{T^2}{M_M} \right) F_M + \left( \frac{M_G^2}{M_L M_M} \right) L \rho_0 \quad (19)$$

となる。上式右辺はいわゆる外力の項となる。左辺の減衰振動方程式の判別式から

$$\eta^2 \geq 4K \left( \frac{M_L M_M}{M_G^2} \right) \quad (20)$$

が振動しないための  $\eta$  の条件となる。接点の減衰が最も速いのは（忠実に応答するのは）臨界減衰（Critical damping）のときであり、

$$\eta^2 = 4K \left( \frac{M_L M_M}{M_G^2} \right) \quad (21)$$

となる。Couple が接点部の筋肉の緊張・緩和などでこの条件に近づけることができれば最良である。本報の以降の解析においては、この条件を満たした場合の結果を表示するものとする。この関係を満たした上で、 $K$  と  $\eta$  の選択は、Hold の剛さ柔らかさの調節となる。

女子の応答感度  $\alpha$  に関しては

$\alpha > 0$  ならば、通常の Follow であり。 $\alpha$  が大きければ、男子は、女子を軽いと感じる。

$\alpha \rightarrow \infty$  ならば、必然的に  $F_C \rightarrow F_{C0}$  であり、 $\rightarrow$  Case 0 となる。

$\alpha = 0$  ならば、反応のない Follow であり、男子は二人分を動かす力を要することになる。

$\alpha < 0$  ならば、Lead の方向と逆方向に動こうとする間違った Follow である。

初期接点力  $F_{C0}$  は動作開始時点での Hold の強さを示す Parameter である。本解析においては、解析結果に及ぼす

影響が小さいとみなし、固定値とする。初期接点力  $F_{C0}$  に対応する無次元量は

$$\left( \frac{T^2}{M_G L} \right) F_{C0} = -0.1 \quad (22)$$

とする。Couple の合計力  $F_{Gp}$  を同上の無次元量で表すと Peak 値は  $2\pi$  であるので、上記は初期接点力の設定は十分小さいとみなせる。図 2 (d)。

## 2・6 Dancer の負荷

Leader と Follower の労力の評価方法の一つとして、まずその行程で加えた Energy が考えられる。その場合

$$\text{Leader の Energy } \int F_M(t)dx = \int F_M(t) \frac{dx_M(t)}{dt} dt \quad (23)$$

$$\text{Follower の Energy } \int F_L(t)dx = \int F_L(t) \frac{dx_L(t)}{dt} dt \quad (24)$$

となる。ただし、Dancer がその行程で Energy を消費することはあっても、Energy を取得することは想定しにないので、上式は正の部分だけ積分とするほうがより自然である。また、筋肉の疲労度合いなどの評価を想定すると、加えた力に持続時間をかけた値（力積 Total impulse）（平均の力）の方がよりふさわしいとも考えられる。その場合も、符号が正の分だけ加算とする。

$$\text{Leader の負担 } \int |F_M(t)| dt \quad (25)$$

$$\text{Follower の負担 } \int |F_L(t)| dt . \quad (26)$$

## 3. 解析結果

解析結果は Parameter の整理のため、基本的に無次元で示す。

Case 0 においては女子は男子と同じ動きをするので、女子の力  $F_L$  は男子の力  $F_M$  と比例する。影響する

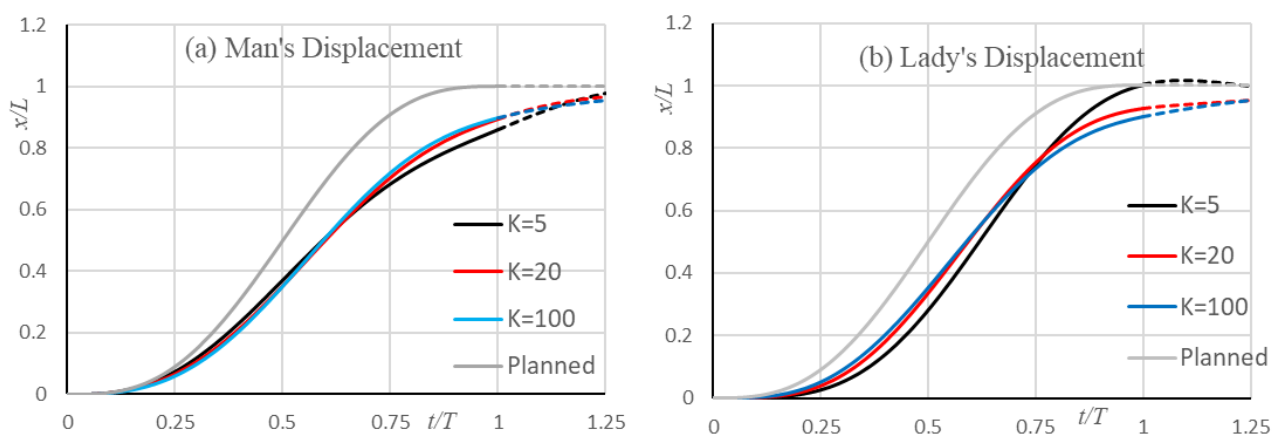
Parameter は体重比  $M_M / M_G$  のみである。図 2 (d)。Case 0 においては、動作の終点  $t=T$  において、力、速度は  $t=0$  時点と同じである。

以下の解析結果については、体重比 Parameter は固定（男子：女子=55：45）とした場合を示す。

### 3・1 Case 1 男子の力を Plan 通りとする場合

#### 接点間剛性の効果

女子の応答特性  $\alpha$  を固定して接点間剛性  $K$  を変化させたときの効果を図 3 に示す。



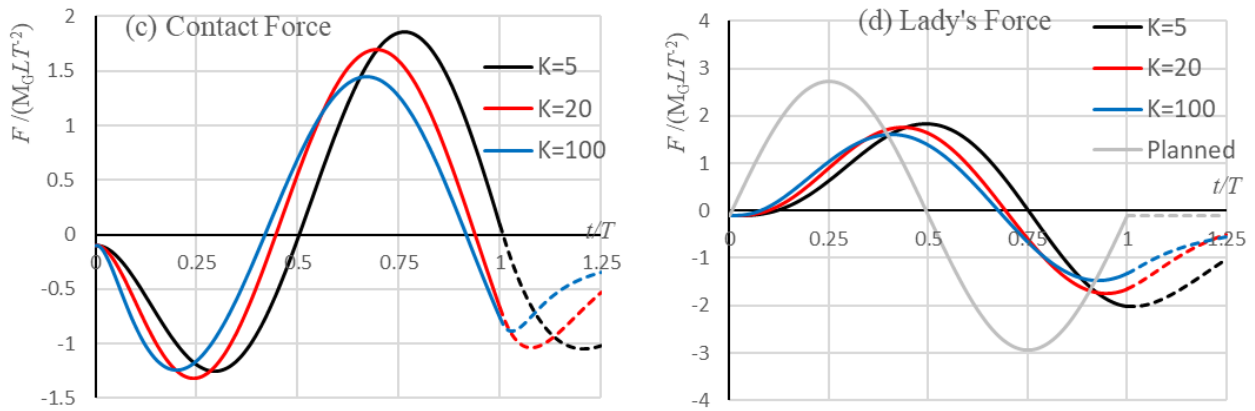


Fig. 3 Effect of Rigidity  $K$  at Contact Point,  $K=5$  —,  $K=20$  —,  $K=100$  —, Planned —, in Case 1 (Man's Force as Planned).  $\alpha = 6$ , (a) Man's Displacement, (b) Lady's Displacement, (c) Contact Force, (d) Lady's Force.

### 女子の応答特性の効果

接点間剛性  $K$  を固定して女子の応答特性  $\alpha$  を変化させたときの効果を図 4 に示す。

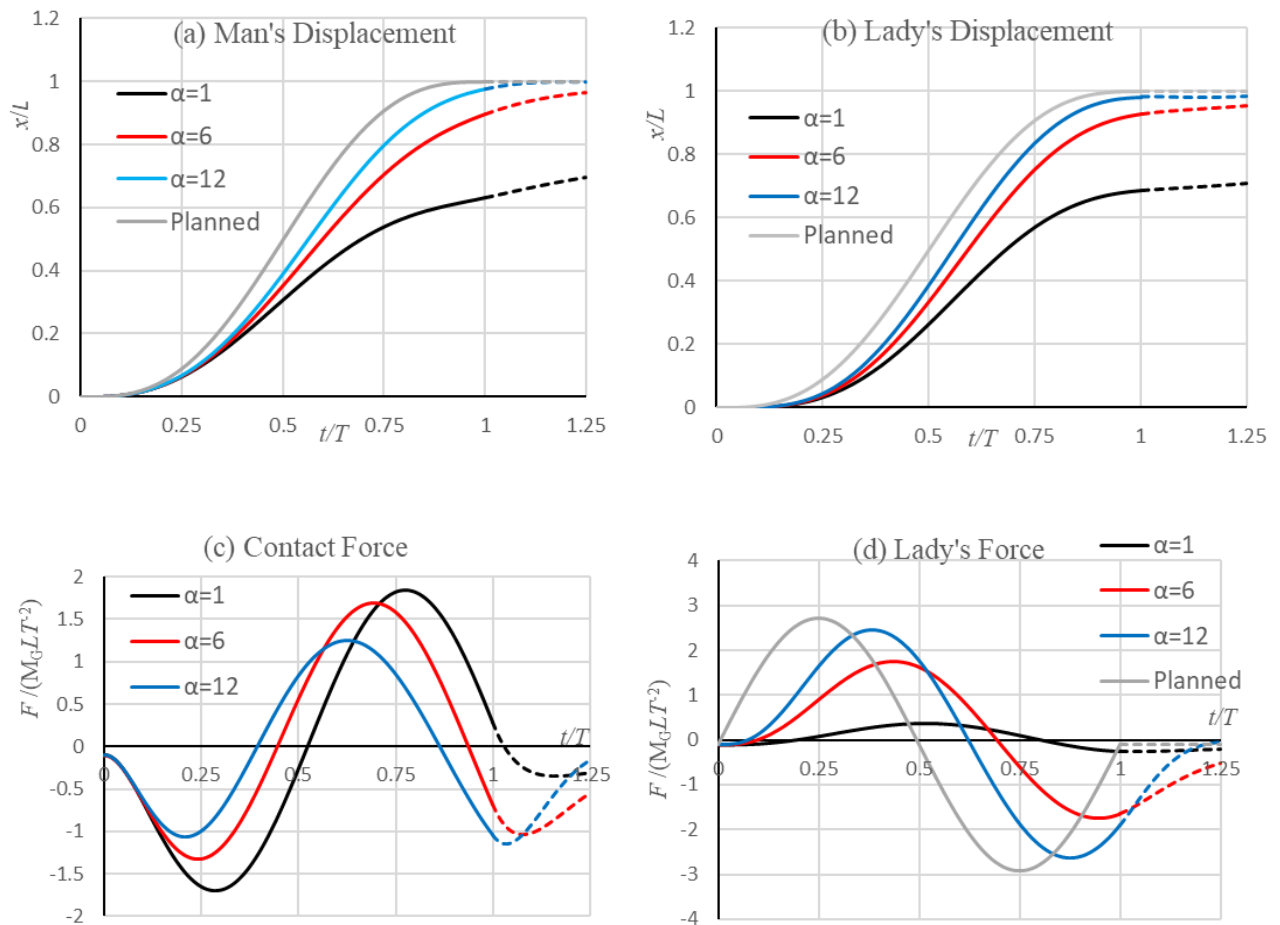


Fig. 4 Effect of Follower's Sensitivity  $\alpha=1$  —,  $\alpha=6$  —,  $\alpha=12$  —, Planned —, in Case 1 (Man's Force as Planned).  $K = 20$ , (a) Man's Displacement, (b) Lady's Displacement, (c) Contact Force, (d) Lady's Force.



### 3・2. Case 2 男子の動き(Displacement)を Plan 通りとする場合。

#### 接点間剛性の効果

女子の応答特性  $\alpha$  を固定して接点間剛性  $K$  を変化させたときの効果を図 5 に示す。

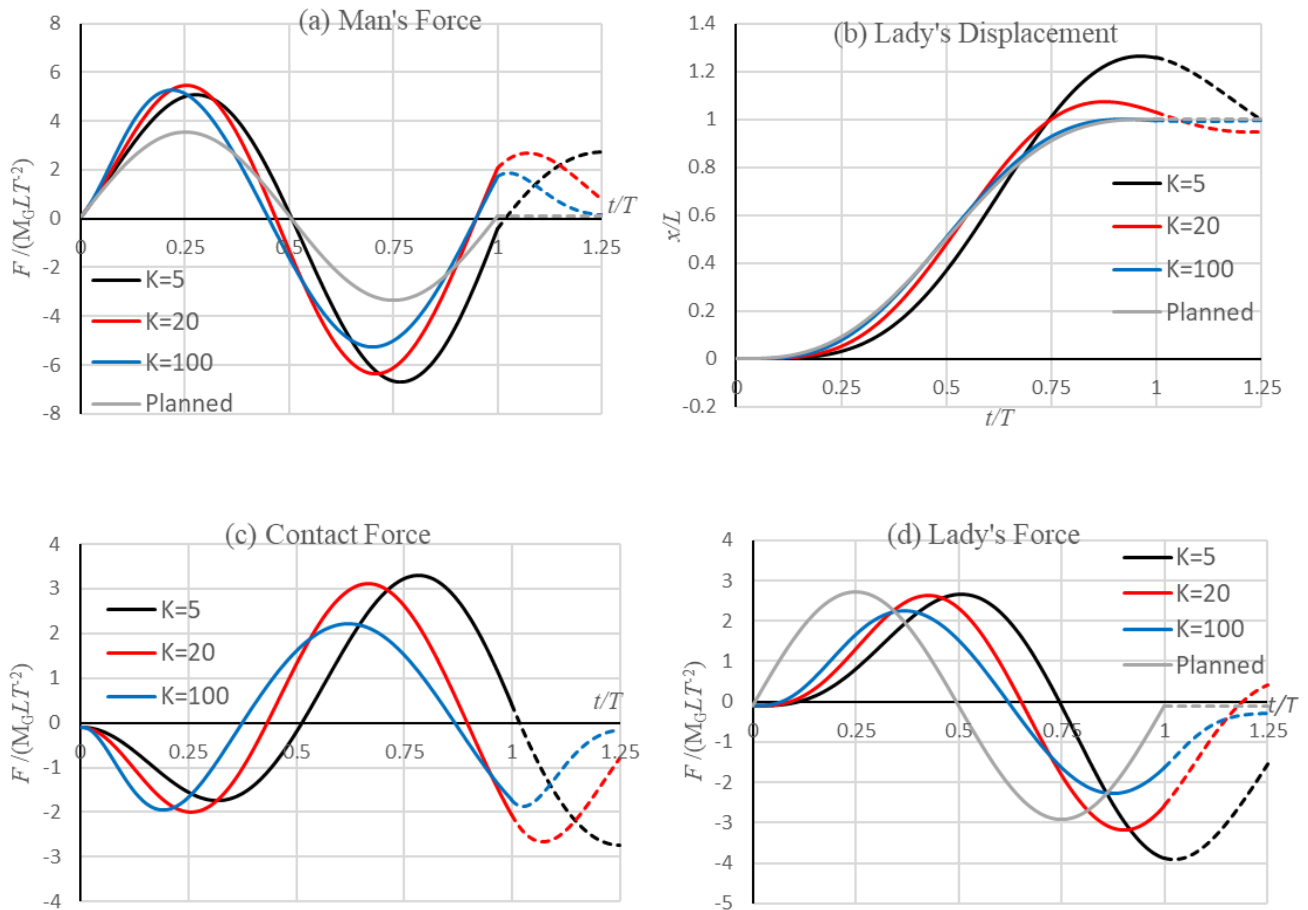
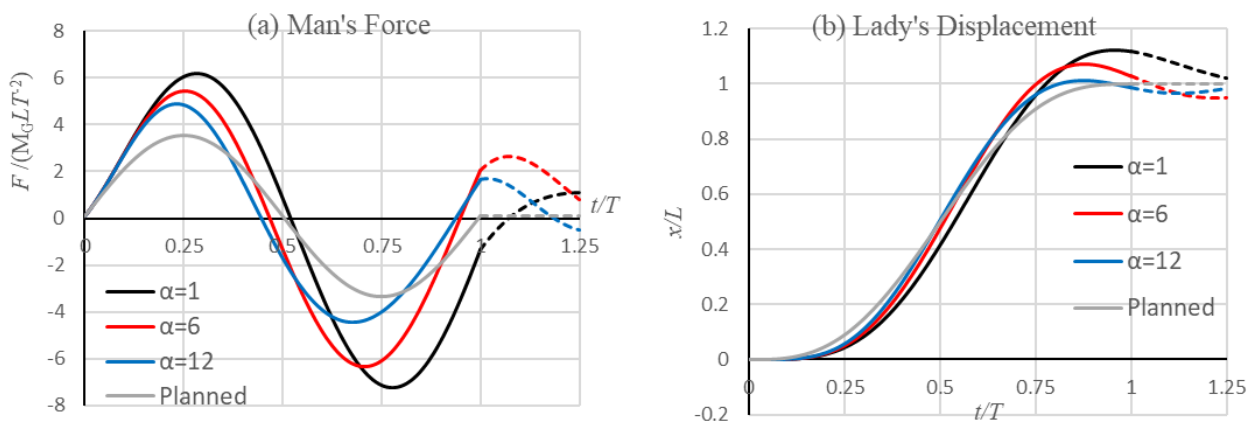


Fig. 5 Effect of Rigidity  $K$  at Contact Point,  $K=5$  —,  $K=20$  —,  $K=100$  —, Planned —, in Case 2 (Man's Displacement as Planned).  $\alpha = 6$ , (a) Man's Force, (b) Lady's Displacement, (c) Contact Force, (d) Lady's Force.

接点間剛性  $K$  を固定して女子の応答特性  $\alpha$  を変化させたときの効果を図 6 に示す。



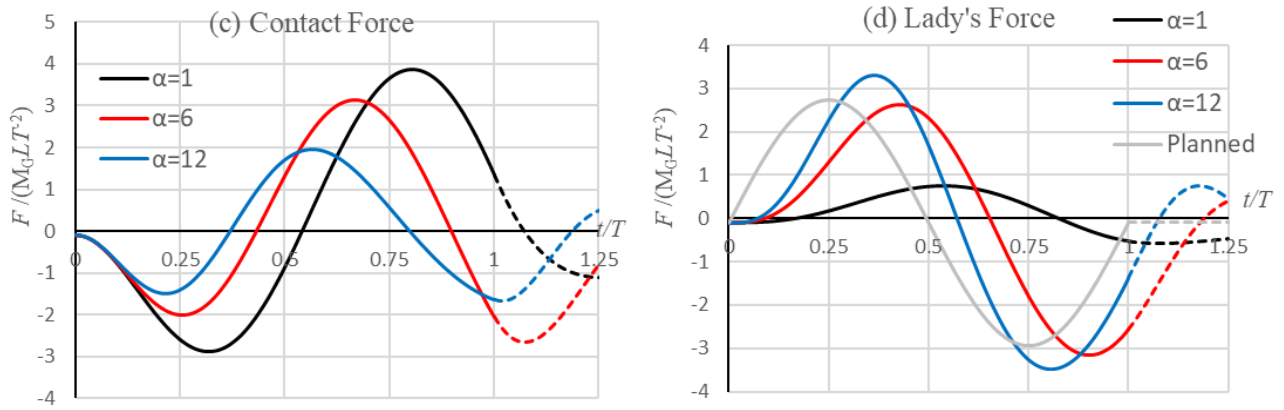


Fig. 6 Effect of Follower's Sensitivity  $\alpha=1$  —,  $\alpha=6$  —,  $\alpha=12$  —, Planned —, in Case 2 (Man's Displacement as Planned).  $K = 20$ , (a) Man's Force, (b) Lady's Displacement, (c) Contact Force, (d) Lady's Force.

### 3・3 Dancer の負荷の評価

行程中の各 Dancer の力積 (Impulse) (正部分のみ) を図 7 に示す。

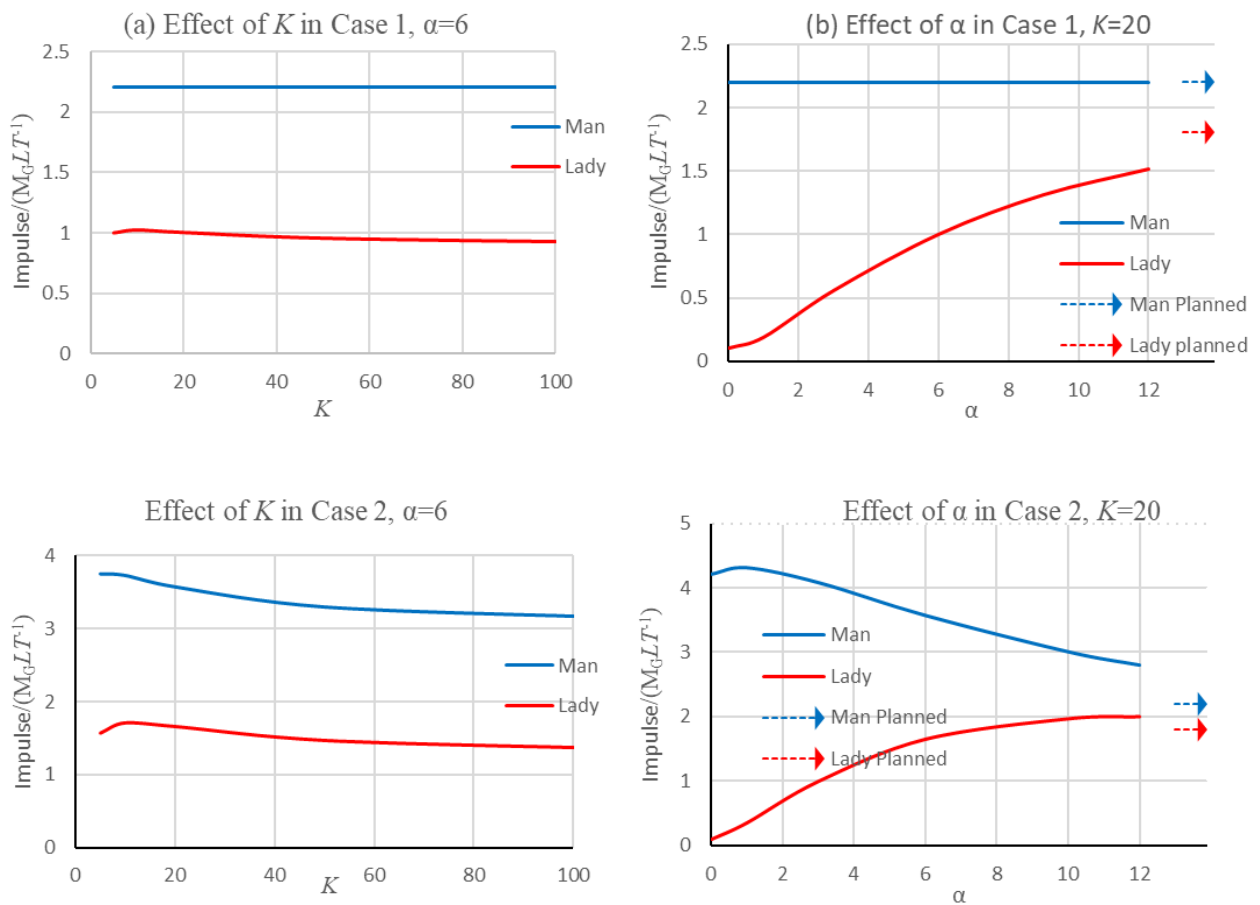


Fig. 7 Effect of Parameters  $K$  and  $\alpha$  on Dancer's Impulse, (a) Effect of  $K$  in Case 1, (b) Effect of  $\alpha$  in Case 1, (c) Effect of  $K$  in Case 2, (d) Effect of  $\alpha$  in Case 2

#### 4. 考 察

本 Model においては、Leader の条件として、負荷を Plan 通りとするか (Case 1)、変位を Plan 通りとするか (Case 2) の典型的な場合に分けて解析した。実際には、Dancer はその中間的な組み合わせの動作をすることになるが、全体として Case 1 に近いのか、または Case 2 に近いのかによって、影響がどのように現れるか、を解析の結果で示唆したと解釈できる。一般的に Case 1 の場合は、移動距離が Plan の場合より短くなり、Case 2 の場合は、負荷が大きくなるが、その程度、および、時間経過に対する Mode は、以下の Parameter の影響を受ける。

本解析における Lead and Follow の Parameter は、男女間接触点の特性、および、Follow の感度  $\alpha$  に集約される。接点の特性は粘弾性 Model における弾性係数と粘性係数であるが、振動しないこと、および、Lead-Follow が最適に伝わる条件から、臨界減衰とし、接点間特性は剛性 Parameter  $K$  のみに代表されるとした。

$K$  の値は大きいほど硬い接触、小さいほど柔らかい接触を表す。一般的に  $K$  は大きいほど、男女間の距離は一定に保たれ外見的に安定であるが、Case 2 における終点の Leader の負荷は、 $K$  が小さいほど、Plan した初期の値に戻ることが示されている。接点剛性  $K$  は、Follower の力に及ぼす影響は大きくないが、女子の動きの Peak 時刻に与える影響は、 $K$  が小さいほど後方 (遅い時刻) に Shift する傾向が見られる。

Follow の感度  $\alpha$  の影響は、Contact Position の剛性  $K$  の影響より顕著に表れる。本 Model においては、感度  $\alpha$  を接触点力の Plan からのずれを Follower の力の変化に反映させる係数とした。これは Leader の動きを接触点における力の変化として Follower に伝える仕組みの一つの表現方法であるが、もちろん、他の Model も可能である。 $\alpha$  を刻々と変化させることも可能である。いずれにせよ、感度  $\alpha$  が大きいほど、Plan した動きに近づく。ただし、本解析の例図では示していないが、 $\alpha$  が大きすぎると、安定した動きが得られにくい面もある。接触点力の Plan からのずれは、Follower 側だけでなく、Leader 側にも反映させ、Leader の力を加減させる Model も可能である。

1 行程における労力の比較の考察をする。まず、女子の労力については Follow のない Plan 通りである Case 0 の場合は、男子と同程度の労力を要するが、Follow がある Case 1 および 2 の場合は、少なくなっている。Leader (男子) の労力に関しては、 $\alpha$ 、 $K$  の影響を受ける。Case 1 の場合は Leader の力が Plan 通りなので Parameter による Leader への負担の変化はない。Case 2 の場合、Leader の負担は Follower の応答特性  $\alpha$  の影響が大きい。

次に、解析モデルの厳密性について考察する。終了時刻 ( $T=1$ , Plan した時刻) において、Case 0 では男女とも完全に静止し、力も初期接点力状態に戻る。Case 1 および、Case 2 とも、おおむね落ち着く方向ではある。しかし、男子の力  $F_M$  を規定する Case 1 においては、男女とも完全には終点で静止とはならず、女子の力  $F_L$  も若干残る。また、男子の動き  $x_M$  を規定する Case 2 においては、男女それぞれの力  $F_M$ 、 $F_L$  は終点で初期状態に戻らず、女子の動き  $x_L$  も完全には静止に戻らない。

実際の Dance Performance においては、終点における多少の (速度、力の) 残差状態は無視して、次の動きに移行することも可能である。しかし、残差が大きい場合は、次の動きの初期状態に影響し、正常の Smooth な動きからはずれる原因にもなる。

残差を少なくするために、さらに Parameter を増やす Model も考えられる。

例えば、Leader 側にも、Follower 側と同様に接点力の影響を Parameter  $\alpha_M$  を用いて入れる

$$\frac{d}{dt}(F_M - F_{Mp}) = -\frac{\alpha_M}{T}(F_C - F_{C0}) \quad (27)$$

ことも考えられる。あるいは、速度を直接 Feedback して力を制御する Model も可能である。いずれにせよ、Parameter の数を多くすれば、例えば、各部の上下動、回転など (塩谷, 2016-2022) を加えれば、より現実に近い Dance を表現することができるが、それば Simulation の精度を向上させる目的には合っている。しかし、Dancer がどう行動すればよいかの指針の Suggestion としては、Model における Parameter の数は少ない方がよい、と筆者は主張する。

## 7. 結 語

Ballroom Dance の基本である Lead and Follow の仕組みについて、力学的観点から最も単純な基礎 Model を提案した。男女接点間特性は Voigt Model で弾性項と粘性項の組み合わせは臨界減衰とした。Leader と Follower の典型的な動作方式を例にとり、Follow の感度特性、接点剛性を Parameter として、Dance の Performance に及ぼす影響を例示した。

## 文 献

- (1) ISTD (The Imperial Society of Teachers of Dancing), “The ballroom technique”, 1st edition (1944), 10th edition (1982), pp. 1-134.
- (2) Laird, W., “The Laird Technique of Latin Dancing”, 7th edition, IDTA Ltd (2014), p.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) 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.
- (7) 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.
- (8) 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.
- (9) 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.
- (10) 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.
- (11) 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.
- (12) 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