

## ブラジャー着用時と非着用時の運動中の乳房振動特性

岡部 和代, 黒川 隆夫\*

(京都女子大学短期大学部, \* 京都工芸繊維大学大学院工芸科学研究科)

原稿受付平成 14 年 5 月 1 日; 原稿受理平成 15 年 5 月 30 日

Vibration Characteristics of Breasts during Exercise  
with and without a Brassiere

Kazuyo OKABE and Takao KUROKAWA \*

Kyoto Women's Junior College, Kyoto 605-8501

\* Graduate School of Science and Technology, Kyoto Institute of Technology, Kyoto 606-8585

Brassieres are used to prevent excessive movements of the female breasts, which consist of mammary glands and fat tissue. To obtain basic data for designing good-fitting brassieres, vibration characteristics of the breasts were analyzed in 7 females. The movement of 14 measuring points on the breast surface was monitored during walking and running with and without wearing a transparent brassiere. Frequency characteristics of the breast vibration were analyzed. The frequency of breast vibration had a strong correlation with the stepping frequency. The amplitude of breast vibration was greater during running than during walking, and greater along the vertical axis than along the horizontal axis. Without wearing a brassiere, a negative correlation was noted between the amplitude of breast vibration and the stiffness of the breast. The amplitude was greater in soft breasts than in hard breasts. When wearing a brassiere and in firm breasts, high-frequency components were observed in the waveform of breast vibration.

(Received May 1, 2002; Accepted in revised form May 30, 2003)

**Keywords:** brassiere ブラジャー, running 走行, walking 歩行, breast 乳房, vibration 振動, discrete Fourier transformation 離散フーリエ変換.

## 1. 緒言

乳房は柔らかく形状が容易に変わることから、ブラジャーのアンダーバストとカップサイズが合えば、静的には種々のカップ形状に無理なく適応できる。しかし、乳房はほとんど乳腺と脂肪組織から成る軟組織である<sup>1)</sup>ため人体全体の運動の影響を受けて振動しやすい。ブラジャーは、乳房の揺れの防止や形を整える目的に着用されるが、乳房が複雑な振動を繰り返すとフィット性が悪くなる。そこでこれまで、ブラジャーの動的なフィット性の向上を目指して、乳房振動やブラジャーの防振性についての幾つかの研究<sup>2)~6)</sup>が行われてきた。しかし、ブラジャー表面の振動の計測は容易であるが、ブラジャーに覆われた乳房の振動を測るのは難しい。そのため、乳房の振動特性がブラジャー着用によっていかに変化するかについての詳細は知られていない。

筆者らは運動画像解析システムを利用して歩行中の乳房の動きを計測し、体幹部と乳房部の運動を分離す

ることによって、乳房の振動特性を明らかにする研究<sup>7)8)</sup>に取り組んでいる。本報では、半透明なブラジャーを用いて乳房の動きを画像計測する手法を案出して、ブラジャー着用時、非着用時の乳房振動を分析し、さらに乳房の押し込み測定から求めた硬さ指標と対比して、運動中の乳房振動特性を明らかにすることを目的とする。

## 2. 方法

## (1) 測定点の設定

左乳房を対象として Fig. 1 に示す測定点を設定した。まず、乳房下端の基底曲線(乳房下皮膚線)と、乳房を持ち上げた際に胸部部に生じる皮膚溝を合せたほぼ円形の閉曲線を乳房外輪(No. 1~8)とした。次に乳頭点(No. 25)を中心として垂直(ae)、水平(cg)およびそれらと45°の角度を成す直線(bf, dh)を描き、外輪と乳頭点との実距離を3等分して中輪(No. 9~16)と内輪(No. 17~24)とした。No. 1~24

の点は乳房の硬さ測定と衣服圧測定を行った。

振動実験の測定は、図中の網掛けで示す15点に円形シール(φ8mm)を張り付け、運動中の動きを追跡した。なおNo.0は体幹部の動きを測るための基準点である。

(2) 被験者の体格

被験者は年齢22~25歳の成人女子7名で、6種類のパラメータをTable 1に示す。7名とも体格指数(BMI)<sup>9)</sup>が通常の範囲内にある体格を有していた。乳房サイズは、JISで定める周径差では的確に表現し難いため、乳房体積で示した。これは乳房を錐体で近似し、3次元計測機VIVID 700(ミノルタ(株)製)で計

測した外輪の底面積と高さから求めたものである。

(3) 実験の試料

ブラジャーは乳房部全体を包み、カップ部に基盤のマーキセット(伸び止めとしても使われる半透明の裏打ち)<sup>10)</sup>がついている市販のフルカップブラジャー(Fig. 2(a))で、被験者に適合したサイズを用いた。実験試料はブラジャーのカップ部をマーキセットのみとし、装飾部分を取り除いた。これによりブラジャーのカップ部は半透明となり、カップ内の乳房部に貼付したマークの画像計測が可能となった。ブラジャーの衣服圧を接触圧測定装置(AMI 3037-2:(株)AMI製)で測定し、Fig. 2(b)に被験者7名の平均値を示す。実験試料の衣服圧はf, e, d方向の下カップやc方向の脇の圧力が大で、乳房を寄せて上げるタイプのブラジャーである。装飾部分の有無が衣服圧に及ぼす影響を検定したが、有意な差は認められなかった。

(4) 乳房の硬さの測定

乳房の皮膚表面を、デジタルフォースゲージ(DFG-1K:日本電産シンボ(株)製)を用いてFig. 3(a)に描くような方法で押し込み測定し、その硬さを求めた。まず、皮膚面に垂直になるよう直径8mmの計測アダプターを押し込んだ。その際、測定時の押し込み量を一定に保つためにアダプターの先端から一定距離(3mm, 6mm, 9mm)に直径2cmの半透明プラスチック円盤をはめ込み、これが皮膚面に接触した際の押し込みに要する力を読み取った。この機器はアダプターの先端が皮膚に接する時点で0調整を行って測定記録する機構である。各測定点とも3mm, 6mm, 9mmの測定を3回ずつ繰り返し、その平均を

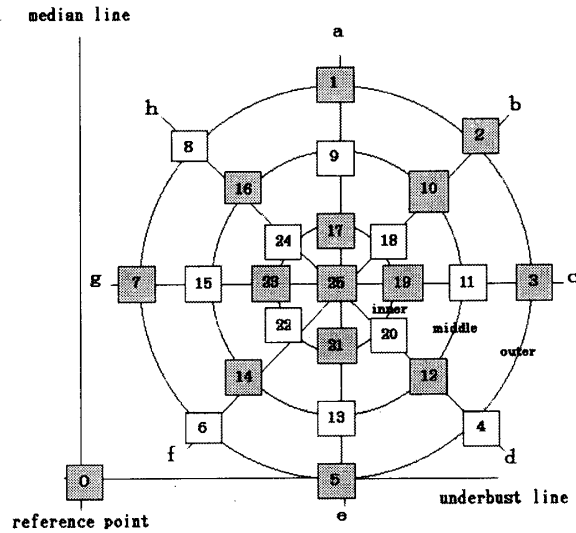


Fig. 1. Measuring points of left breast

Table 1. Profile of subjects

Subject	Item					
	Stature (mm)	Bust girth (mm)	Underbust girth (mm)	BMI weight(kg)/ stature(m) <sup>2</sup>	Left breast volume (cm <sup>3</sup> )	Stiffness of breast (kPa)
S 1	1,500	820	692	22.22	146.53	3.45
S 2	1,664	786	688	18.60	136.44	4.33
S 3	1,624	860	702	20.58	192.30	4.36
S 4	1,758	858	706	19.35	178.75	4.74
S 5	1,623	825	660	19.59	215.66	5.49
S 6	1,620	804	711	18.82	176.61	5.68
S 7	1,585	799	720	20.14	139.21	7.24
Average	1,625	822	697	19.90	169.36	5.04
S.D.	78.0	28.6	19.6	1.24	29.79	1.23

ブラジャー着用時と非着用時の運動中の乳房振動特性

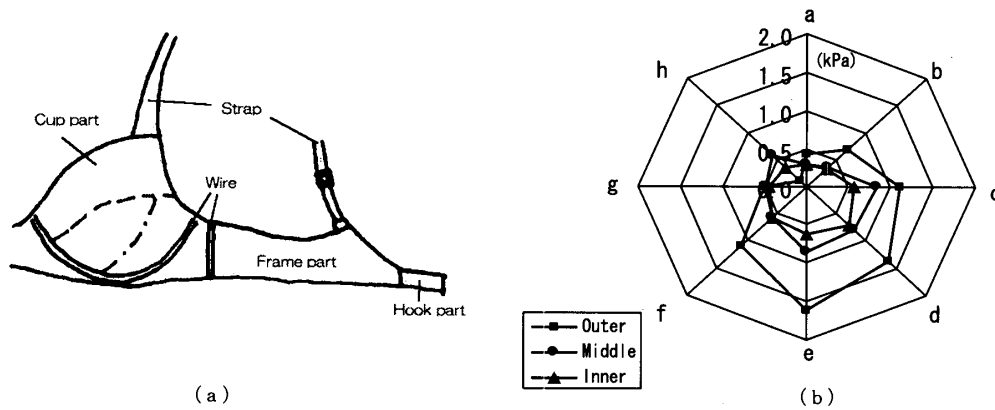


Fig. 2. (a) Schematic drawing of brassiere in the experiment and (b) clothing pressure at measuring points on 3 concentric circles (outer, middle, inner)

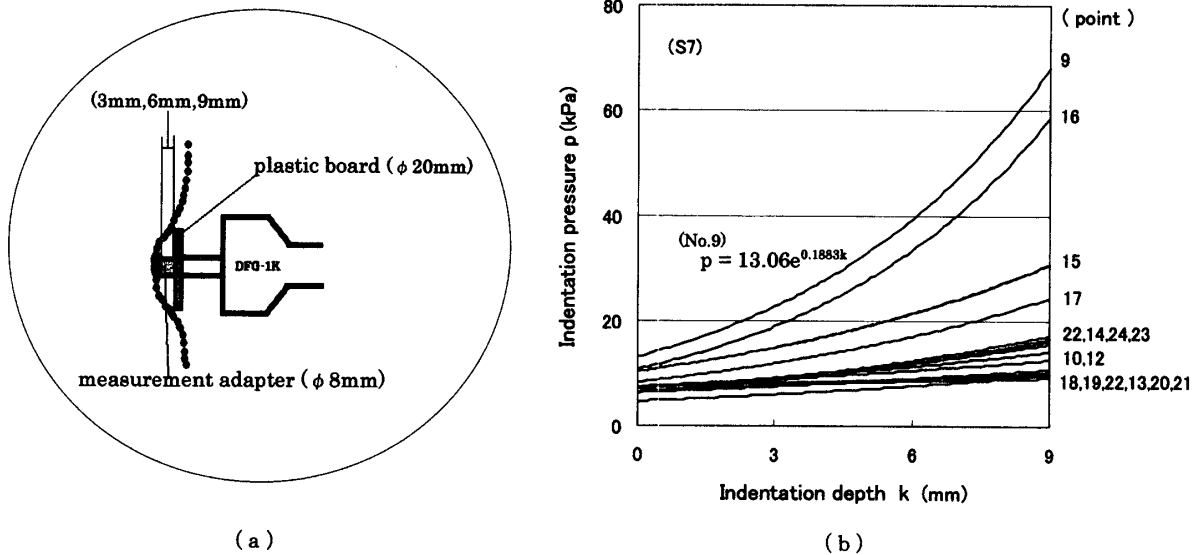


Fig. 3. (a) Method of measuring stiffness of breast and (b) estimation of consistency index

測定値とした。

この測定値は一定距離押し込むのに要した力であるため、乳房の硬さ指標とするには不十分である。そこで、押し込み量と押し込みに必要な力の関係を指数関数  $p=ae^{bk}$  で近似し、押し込み量 0 ( $k=0$ ) の時に示す値  $a$  を硬さ指標と考えた。Fig. 3 (b) は、被験者 S7 の測定点 (No. 9~24) について、押し込み量 0 時の  $a$  値を指数関数で近似した図で、図中には測定点 No. 9 の指数関数を示した。

(5) 乳房振動の実験

乳房振動の実験は、CCD カメラ、ビデオデッキ、TV モニター、動画像解析装置等で構成される運動動画像解析システム (MA-K 100: 株式会社 榎村製) を用いた。左乳頭点が画像の中央、正面にくるよう CCD カメラを設置し、サンプリング周波数 30 Hz で 30 秒間の動

画像を記録した。乳房の深さから考えて、画像はほぼ正射影と見なせるので、画面上に水平座標  $x$  と垂直座標  $y$  を設定した。原点は画面左上端である。測定点の  $x$ ,  $y$  座標値は、運動開始直前に取り込んだスケールを基にキャリブレーション値を設定し、実寸に換算して算出した。分析には記録した動画像の中央 6 秒間を用いた。

被験者は、速度 4 km/h に設定したトレッドミル (フクダ MAT-BOOD) 上で歩行 (1.0 steps/秒) と走行 (1.5 steps/秒) を行った。被験者の歩数が一定になるよう、予め歩行訓練を行い、実験時には速度を着地数/秒に調整したメトロノームを併用した。足の着地回数は、歩行が 1 秒に左右足合せて 2、走行が 3 である。

(6) 乳房振動の分析方法

乳房上の測定点の座標変化には体幹部の動きが含ま

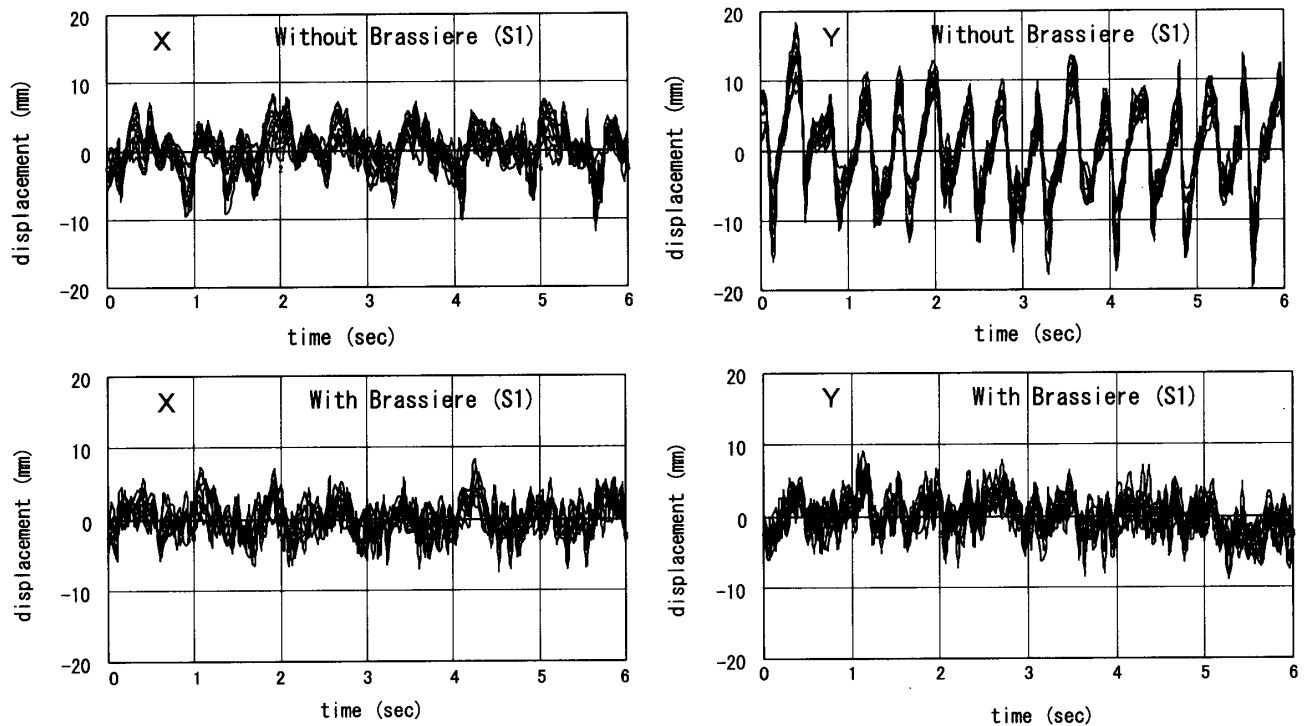


Fig. 4. Overlapping display of breast vibration at 14 points while running

れる。本実験中の体幹部の動きは、1) 画像面内での平行移動、2) 画像面内での時計方向、反時計方向の回転、3) 水平面内での回転が主なもので、奥行き方向の移動や前屈、後反方向の回転は非常に小さかった。そこで以下の方法で3種類の体幹部の動きを除去し、乳房振動のみを抽出することにした。

1) 基準点 No. 0 の動きを体幹部の画像面内での平行移動とみなし、他の測定点の座標値から同時刻の No. 0 の座標値を減じた。

2) 次に歩行周期に応じた画像面内の回転の影響を除去するために、基準点 No. 0 と No. 1 の関係を用いて以下の角度補正を考えた。体幹部の運動を反映するが、乳房部特有の振動を示さない胸部部の測定点 No. 1 の全サンプルにわたる平均値を  $N_1'(x_1', y_1')$  とする。さらに、各サンプリング時点での測定点 No.  $j$  について1) で求めた座標値を  $N_j(x_{ji}, y_{ji})$  ( $i=1, 2, \dots, 180$ )、No. 0 を中心に  $N_1'$  と各測定時間の点  $N_{1i}$  が成す角度を  $\theta_i$  と表す。この  $\theta_i$  を画像面内での姿勢の傾きと考え、

$$\begin{pmatrix} x_{ji}'' \\ y_{ji}'' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta_i & -\sin \theta_i \\ \sin \theta_i & \cos \theta_i \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_{ji} \\ y_{ji} \end{pmatrix} \quad (1)$$

(1) 式によって14点の補正を行って、 $N_{ji}''(x_{ji}'', y_{ji}'')$  を得た。これにより乳房各点の座標から体幹部の画像面内における時計方向、反時計方向の回転の影響が除

去できたことになる。

3) 1) と 2) の補正を行った後の  $x$  座標には軽微ではあるが、なお水平面内での回転の影響が含まれている。基準位置を 2) で得た測定点 No. 1 の補正後の全サンプルにわたる平均値  $N_1''(x_1'', y_1'')$  と考える。回転中心が脊椎近傍、かつ  $N_1''$  を通り画面と直行する垂直面内にあると仮定すると、回転角が微小なことより、

$$x_{ji}''' = x_{ji}'' + x_1'' - x_{1i}'' \quad (2)$$

によって  $x_{ji}''$  の補正が可能となる。

以上の方法で算出した値  $N_{ji}'''(x_{ji}''', y_{ji}''')$  を、乳房の振動分析の元データとした。Fig. 4 に走行中の非着用時と着用時の被験者 S1 の元データを  $x$ ,  $y$  座標値別に示す。

### 3. 結果および考察

#### (1) 乳房の硬さ

Fig. 5 に測定点別の硬さ指標を被験者7名の平均値±標準偏差で示す。外輪 (No. 1~8) から中輪 (No. 9~16)、内輪 (No. 17~24) へと測定点の硬さ指標が小さく柔らかくなる傾向がみられる。乳房の外輪は、乳房の境界線上にあって脂肪層が薄い部位で硬く、個人差が認められ、No. 7 や No. 8, No. 1 は胸骨に近い点で値が大きくなった。中輪では、No. 9 と No. 16 を除くとほとんどの点が平均 4~6 kPa の範囲にある。

ブラジャー着用時と非着用時の運動中の乳房振動特性

内輪は中輪と同程度あるいは小さい値で, No. 22 (3.87 kPa) が乳房内の最小値を示した.

Table 1 に示す乳房の硬さ指標は, 乳房の境界線上にある外輪を除き, 内輪と中輪の測定点 No. 9~24 の

$a$  値を平均して求めた値である. 例えば被験者 S7 の乳房の硬さ指標は, Fig. 3 (b) に示す測定点 No. 9~24 の 0 mm 時の推定値を平均している. 被験者の中で乳房が最も柔らかいのが S1, 最も硬いのが S7 である.

乳房の硬さ指標と体格データとの相関係数は, いずれも 0.4 以下となり, 体積との相関 ( $r=0.0004$ ) も認められなかった. これは乳房の張りや弾力が乳房サイズではなく, 乳腺葉の広がり具合で決まるためと考えられる.

(2) 乳房振動特性

乳房振動を離散フーリエ変換によって分析した. Fig. 6 に非着用時の歩行中と走行中, ならびに着用時の走行中の振幅周波数特性を最も柔らかい乳房 (S1) の結果で示す. また Fig. 7 には最も硬い乳房 (S7)

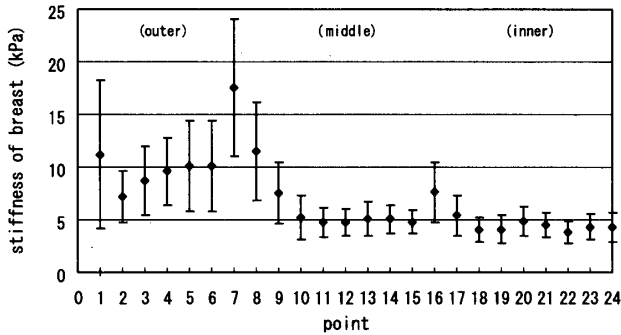


Fig. 5. Stiffness index at 24 points (A.V. & S.D.)

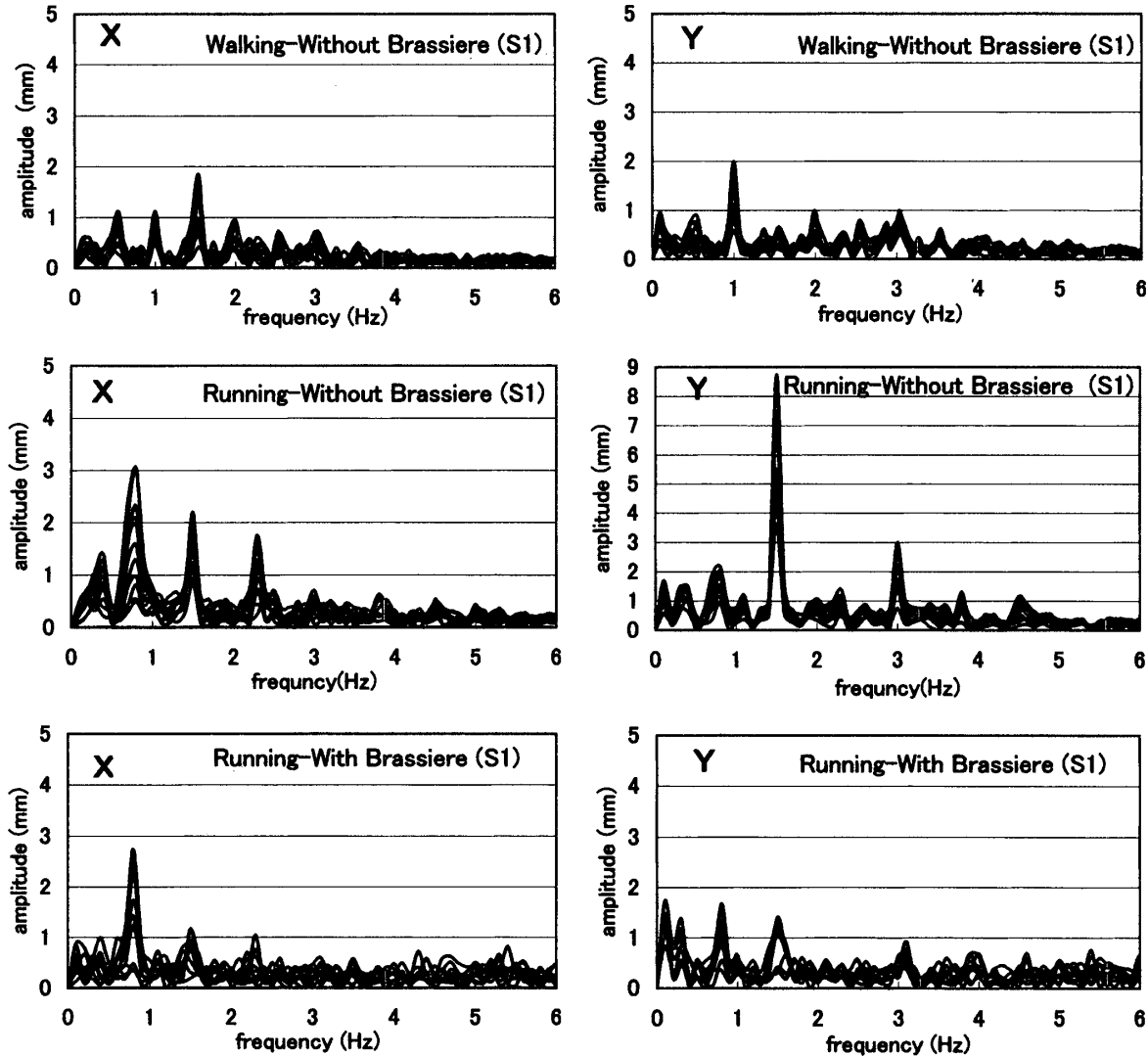


Fig. 6. Overlapping display of vibration properties at 14 points of soft breast

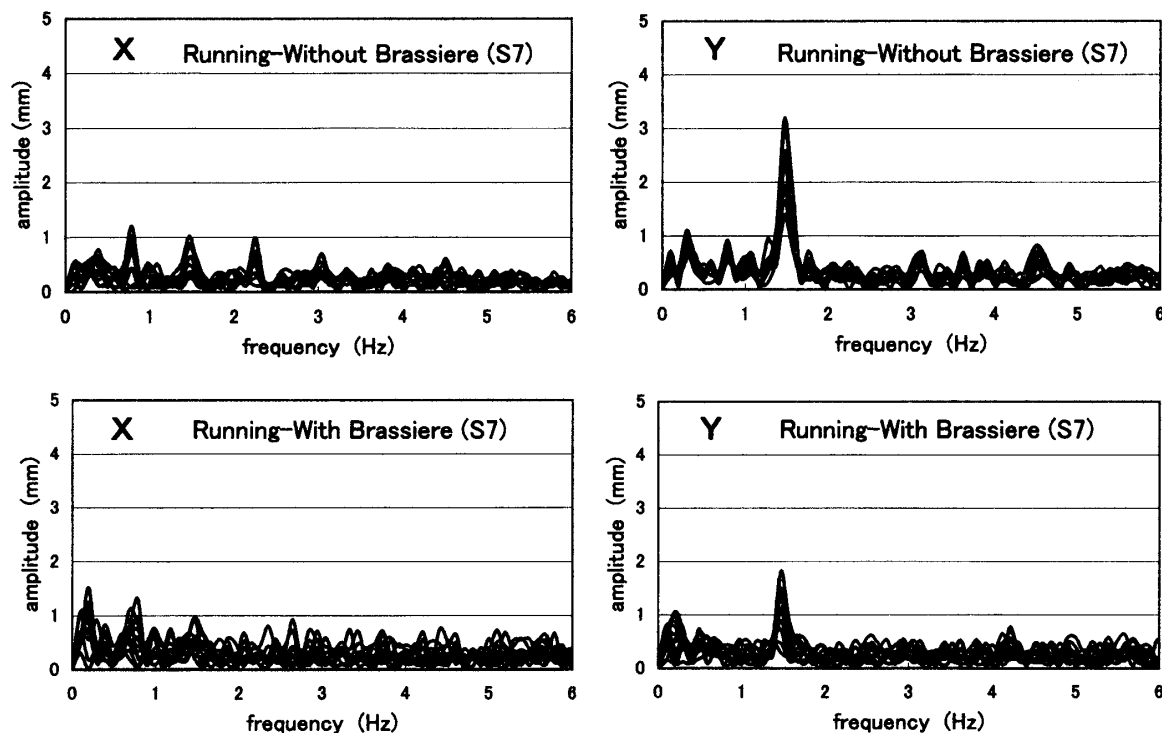


Fig. 7. Overlapping display of vibration properties at 14 points of firm breast

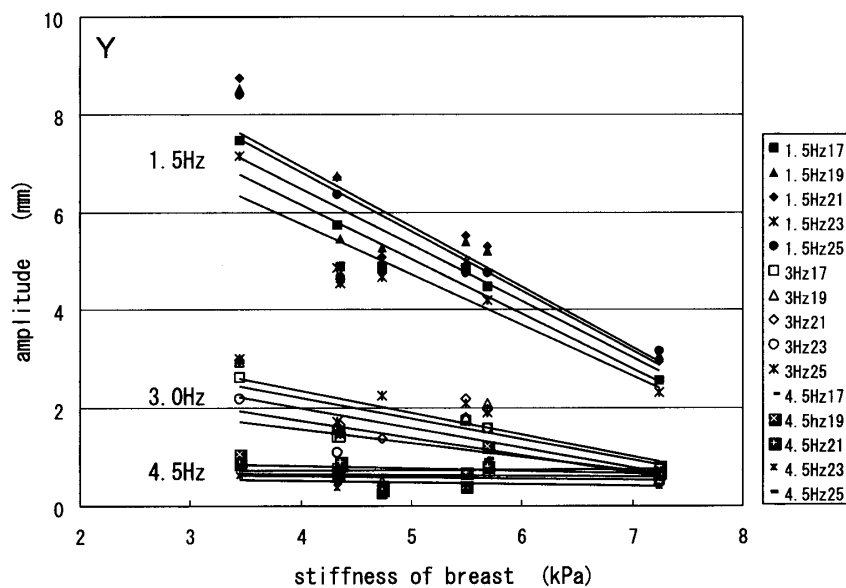


Fig. 8. Relationship between vibration amplitude at 1.5, 3.0 and 4.5 Hz and stiffness of breast while running measured at inner 17-25 points

の走行中の非着用時と着用時の振幅周波数特性を示す。いずれも水平方向 (x), 垂直方向 (y) 別に測定点 14 点の分析結果を重ねて描いており, 非着用時には各測定点の振幅スペクトルのピークが同じ周波数に表れ, 同調した振動を示していることが分かる。

垂直方向の振幅スペクトルのピークは歩行中が 1 Hz, 走行中が 1.5 Hz にあって, これが乳房と同側にある左足の周期, また歩行中の 2 Hz, 走行中の 3 Hz が左右の足の周期である。左乳房を対象としていることから, 左足の踏み込みによる影響を顕著に受けて y

## ブラジャー着用時と非着用時の運動中の乳房振動特性

Table 2. Correlation between maximum amplitude of breast vibration and body characteristics. Figures indicate correlation coefficients and asterisks indicate level of significance.

Item	Without-running						With-running					
	BMI	Test	Volume	Test	Stiffness	Test	BMI	Test	Volume	Test	Stiffness	Test
BMI	1.0000	—	-0.1320		-0.3694		1.0000	—	-0.1320		-0.3694	
Volume	-0.1320		1.0000	—	0.0004		-0.1320		1.0000	—	0.0004	
Stiffness	-0.3694		0.0004		1.0000	—	-0.3694		0.0004		1.0000	—
amp 2y	0.5076		0.1416		-0.9363	**	-0.6410		-0.0788		-0.4410	
amp 3y	0.4568		-0.3310		-0.7842	*	-0.5137		-0.1032		-0.5009	
amp 5y	0.2254		0.0482		-0.8014	*	-0.0604		0.8870	**	0.1008	
amp 7y	0.3707		0.7980	*	-0.2994		-0.1047		0.8256	*	-0.0771	
amp 10y	0.3611		0.1475		-0.8222	*	-0.2141		0.0117		-0.6668	
amp 12y	0.2177		-0.0139		-0.7958	*	-0.4152		0.4293		-0.1482	
amp 14y	0.3604		0.2025		-0.7851	*	0.1599		0.5160		0.2677	
amp 16y	0.5390		0.2977		-0.8217	*	0.1283		0.7448		-0.2009	
amp 17y	0.3780		0.1083		-0.7572	*	-0.2930		0.4868		-0.1417	
amp 19y	0.3963		0.0593		-0.7689	*	-0.7893	*	0.1842		-0.1084	
amp 21y	0.3547		0.0931		-0.7712	*	0.2721		0.1122		-0.1130	
amp 23y	0.4319		0.2649		-0.7466		-0.4815		0.7166		0.0888	
amp 25y	0.4277		0.1278		-0.7621	*	-0.1459		0.4270		-0.5214	
amp 2x	0.7847	*	0.3918		-0.5851		0.2112		0.4509		0.0155	
amp 3x	0.4331		0.1261		-0.0295		-0.2379		0.2480		-0.4380	
amp 5x	0.5769		0.2925		-0.3503		0.1599		0.4262		-0.1633	
amp 7x	-0.3477		-0.4177		0.3971		0.0972		0.8485	*	-0.0165	
amp 10x	0.3166		0.7401		-0.4075		0.4921		0.0200		-0.3569	
amp 12x	0.3027		0.6681		-0.5247		0.0434		0.3514		0.4814	
amp 14x	0.3792		0.4205		-0.7017		-0.1786		0.4456		-0.2383	
amp 16x	0.6430		-0.2396		-0.8158	*	-0.3792		0.7262		0.1646	
amp 17x	0.3608		0.5648		-0.7526		0.0958		0.1913		-0.6535	
amp 19x	0.4526		0.5018		-0.7000		0.4597		-0.0132		-0.1900	
amp 21x	0.2524		0.6406		-0.5718		0.2037		0.4269		-0.5408	
amp 23x	0.1830		0.6390		-0.6157		-0.1388		0.1996		-0.4734	
amp 25x	0.0663		0.7438		-0.4339		-0.4249		0.2603		-0.2653	

Level of significance: \*: 5% \*\*: 1%.

値のスペクトルのピークが表れた。運動中の乳房の動きは楕円や8の字を描くような軌跡を描いて複雑さを示したが、これが歩行周波数の1/2~4倍の位置などにおけるスペクトルのピークとなって表れたと考えられる。これらは全ての乳房に共通してみられた傾向であった。しかし硬い乳房は柔らかい乳房より振幅スペクトルは小さく表れ、基本振動の1/2の周波数での振動はほとんど目立たない。また、硬い乳房の振幅スペクトルには比較的高い周波数成分が認められた。

水平方向(x)は左足と右足の踏み込みによる影響を受け、歩行中では1Hzの、走行中では1.5Hzの

1/2および3/2倍の位置にスペクトルのピークが表れた。非着用時の14点の振幅周波数特性は、歩行周期に影響を受けて振動しており、振幅は歩行中より走行中が大きいが、運動の強さの影響は水平方向(x)より垂直方向(y)に顕著となった。そこで、Fig. 8に走行中の周波数1.5Hz, 3.0Hz, 4.5Hz時のy値とTable 1に示す乳房の硬さ指標との関係を内輪の測定点(No.17~25)について示した。1.5Hz時のy値と乳房の硬さ指標との相関は0.7以上を示し、乳房が柔らかい方が振幅は大で、3.0Hz, 4.5Hzと振幅が小さく変化していることが分かる。

ブラジャー着用時には、乳房の振動は垂直、水平方向ともに抑制されるが、歩行周期の影響は残った。また、歩行周期とは異なる小振幅の比較的高い周波数成分が目立つようになる。これは非着用時とは異なり乳房部に圧迫や脂肪の偏りが生じるためと考えられた。

### (3) 乳房の振動特性と身体特性との関係

乳房の振幅周波数特性は歩行周期と高い周期性が認められ、着用時と非着用時で異なることが分かったが、乳房により相違が認められた。そこで、振幅の大きさと被験者の身体特性との関係を明らかにするために、両者の相関係数を求めた。Table 2は走行中の非着用時と着用時について、振幅スペクトルのピーク時の  $x$  値 (amp  $2x, \dots, 25x$ ),  $y$  値 (amp  $2y, \dots, 25y$ ) と BMI 指数、乳房体積、乳房の硬さ指標との相関係数、ならびに無相関の検定を行った結果である。非着用時の各測定点の振幅は、BMI 指数や乳房体積との相関は低かった。しかし、垂直方向の振動振幅は乳房の硬さ指標と絶対値 0.7 以上の強い逆相関を示し、かつほとんどの測定点で相関あり ( $p < 0.05$ ) と認められた。なお水平方向の振幅と乳房の硬さとの相関は垂直方向より小さく、有意性も低かった ( $p \geq 0.05$ )。一方、着用時には身体特性との相関も低くなった。また測定点間の振動相関も低くなり、非着用時のような同調した振動がみられなくなった。これはブラジャーが乳房部に圧迫を与えて、これらの部位の振幅をコントロールするためと考えられる。

以上のように、乳房振動を離散フーリエ変換によって分析することで、ブラジャー着用時と非着用時の運動中の乳房振動特性を、乳房の硬さ指標と対比してとることができた。

## 4. 要 約

着心地の良いブラジャーの設計や新しい設計システムを構築するためには、複雑に動く乳房の運動機構やブラジャー着用に伴う乳房振動特性の変化を明らかにしておくことが重要である。そこで、本研究では半透明なブラジャーを用いて、運動画像解析システムにより、ブラジャー着用時と非着用時の走行中と歩行中の乳房の動きを計測した。乳房の動きから体幹部の動きを分離し、乳房独自の振動データを抽出した後、離散フーリエ変換によって分析した。その結果、乳房の振動は歩行周期の影響を直接に受け、走行中が歩行中より、垂直方向が水平方向より大きくなった。ブラジャー非着用時の垂直方向の振幅は歩行周波数で最大となり、

体幹部の運動の影響を強く受けることが分かった。非着用時の乳房振動は乳房の硬さ指標と相関が高く、柔らかい乳房が硬い乳房より振幅が大となった。ブラジャーの着用によって、乳房の振幅スペクトルに高い周波数成分が生じるようになり、測定点間の相関も低くなった。またブラジャー着用時の乳房が硬い乳房に近くなり、両者の特性が似たものとして表れた。

以上のように乳房振動を分析し、その特性をとらえることができた。乳房の振動特性は、ブラジャーの着くずれや着心地に関係する問題を含み、設計に欠かすことのできない要因である。ブラジャーの設計支援システムの中で、乳房の振動特性をどのように制御するかが重要な課題である。今後は胸部の3次元形状データのモデル<sup>11)</sup>を利用して、運動機能性のよいブラジャー設計の技術開発につなげたいと考えている。

本研究を遂行するにあたり実験に協力頂いた被験者の方々、ならびに京都女子大学非常勤講師の大神晃氏に謝意を表す。本研究の一部は文部科学省科学研究費補助金 (No. 12480024) の支援を受けた。

## 引用文献

- 1) 星野一正：『臨床に役立つ生体の観察』、医歯薬出版、142 (1984)
- 2) 黒川隆夫：運動に伴う乳房振動について (1) ブラジャー着用時との比較、*Body Lines*, **3** (1), 23-42 (1981)
- 3) 黒川隆夫：運動に伴う乳房振動について (2) ブラジャー着用時との比較、*Body Lines*, **3** (2), 61-64 (1981)
- 4) 樋口ゆき子、中村邦子：スポーツブラジャーの運動機能性、*デサントスポーツ科学*, **7**, 266-273 (1986)
- 5) 樋口ゆき子、沖浜光子、田中道一：ブラジャーの機能性に関する研究 (第1報)、ブラジャーの防振効果について、*家政誌*, **23**, 179-183 (1972)
- 6) 奥野右子、福地 博、田中道一：スポーツウェアにおけるブラジャーの機能性について、*デサントスポーツ科学*, **4**, 301-309 (1983)
- 7) 岡部和代、黒川隆夫：歩行に伴う乳房振動分析、平成12年度日本人間工学会関西支部大会講演論文集、112-115 (2000)
- 8) 岡部和代、伊神久美子、大神 晃、黒川隆夫：ブラジャー着用に伴う乳房振動特性の変化、*日本家政学会第53回大会研究発表要旨集*, 192 (2001)
- 9) 鈴木隆雄：『日本人のからだ—健康・身体データ集—』、朝倉書店、118 (1997)
- 10) 日本ボディファッション協会：『BODY FASHION BOOK』, 34 (2001)
- 11) 黒川隆夫：アパレル分野における体形モデルとその応用、*織学誌*, **54**, 204-208 (1998)