

動画像処理を用いた運動解析システムに関する研究

— ゴルフ・スイング解析システムの開発 —

波 通隆, 長尾 信一, 高橋 裕之
澤山 一博, 大村 功, 山田 憲政*

Study on System for Analyzing Human Motion
by using Dynamic Images Processing

— Development of System for Analyzing Golf Swing —

Michitaka NAMI, Sinichi NAGAO, Hiroyuki TAKAHASHI
Kazuhiro SAWAYAMA, Isao OHMURA, Norimasa YAMADA*

抄 録

カメラにより捉えた運動の動画像（時系列画像）を用いて運動計測を行い、その計測データに基づいて運動診断・評価が可能な解析データを得る運動解析システムの開発研究を行った。解析には運動機構学的及び運動力学的手法を用いた。対象運動としてゴルフスイングを取り上げ、その解析システムの開発を行い、診断・評価のための解析データを画像から得ることが可能であることを明らかにした。また、2台のカメラを用いることにより、解析上重要な動作であるインパクト瞬間をスイング全体の時系列画像に取り入れ、その動作前後の身体部位の角速度変化などを画像から得ることが可能になった。

1 はじめに

経済大国にふさわしいゆとりのある国民生活が求められ、生活様式の多様化が進む中で、各種スポーツの振興はめざましく、ゴルフ、テニス、スキーなどのスポーツ人口が増大している。しかし、これらの教育のためのインストラクター数、施設は全国的に見ても十分とは言えず、また、実用的な支援機器も開発されていない。したがって、従来にない高度な機能を備えたスポーツ教育のための支援機器の開発が教育現場、スポーツ関連企業などから強く望まれている。

このような技術的、社会的背景から、本研究はスポーツ教育における運動動作の評価・診断のために、運動機構学的解析（KINEMATICS）及び運動力学的解析（KINETICS）手法を用い、動画像処理を適用した運動解析システムの開発を目的とした。また、この解析結果に基づき、ファジィ推論による診断・評価を行った。この技術集約型システム開発により社会的ニーズに対応し、道内情報処理産業の育成を図るものである。

なお、研究対象スポーツをゴルフとするが、このように限定しても、評価、診断へのアプローチ法とシステム開発手順は他スポーツにそのまま適用でき、開発された診断法はスポーツはもちろん医療、福祉分野への応用が容易である。また、開発システムの市場性は非常に高い。

*北海道大学教育学部

2 運動計測

運動計測は運動解析システムを開発する上での基本となる技術であり、その計測は運動する人の動作を表す加速度、速度、変位の3項目について行う必要がある。しかし、いずれか一つが正確に計測されると、他2項目は微分または積分処理により求められる。本研究では、カメラにより捉えた運動の動画像（時系列画像）から、運動解析に必要な身体部位の位置を計測し、そのデータから得られる変位を基準として、各項目を得る。

対象運動はゴルフであり、ゴルフ・スイング動作を計測する。この運動計測では、指定身体部位にマーカを付けた被験者のスイングをカメラで捉え、ビデオテープレコーダ（VTR）に録画後、VTRを再生し、イメージメモリに取り込み、パソコンをホストとするシステムにより動画像計測する。この計測によりマーカのみ位置座標を求め、これが身体指定部位の座標となる。これら一連の手順については自動処理をめざす。マーカは、微細なガラスビーズを接着した再帰性フィルムからなる反射テープを直径2cm程度の発泡スチロール製の球に接着したものを用いた。光源はハロゲンランプで、カメラ後方より照明する。計測時の背景については、使用したマーカの性質から、反射するものを用いないようにする。これは、被験者の着衣についても同じである。

また、画像から計測された位置精度などの評価、検証と画像による運動力学的解析手法の開発のため、加速度変換器をクラブと手腕系に固定し、その出力を画像とともに計測する実験も行った。

2.1 マーカ身体部位探索・計測法^{1),2)}

身体部位に付けられたマーカを画像中から計測するには、マーカがどの部位のものかを探索、認識してからマーカ位置座標を求め、間接的に身体部位座標を得なければならない。この探索法については、矩形領域探索法と相互相関探索法を提案し、それらによる計測実験を行ったので以下に述べる。

2.2.1 矩形領域探索法

VTR再生時系列画像からのマーカ(n個)位置座標計測手順を次の①～⑥に示す。

①初期画像（アドレス時画像）の全部位座標値を求める。

②VTRからi枚目の画像 IM_i をイメージメモリへ取り込み、適当なしきい値で2値化し、n個のマーカを抽出する。

③この2値画像から各々の4連結成分に対し異なった名前のラベルを割り当てる処理、すなわち4連結ラベリングを行う。

④このラベル付けされた画像の各成分の重心座標を求める。

⑤すでに求められた画像 IM_{i-1} の計測データ座標値 (X_{i-1}, Y_{i-1}) に基づき、矩形領域探索処理（初期画像は別途処理）により各ラベル成分の部位を認識する。

⑥認識された成分数が隠れ重複のため全て求められず、n個に満たなければ未認識部位に(0, 0)をセットし、補間処理によりそれらマーカ位置座標を推定する。この処理を時系列画像について行う。

以上の計測処理フローを図1に示し、詳細を以下に述べる。

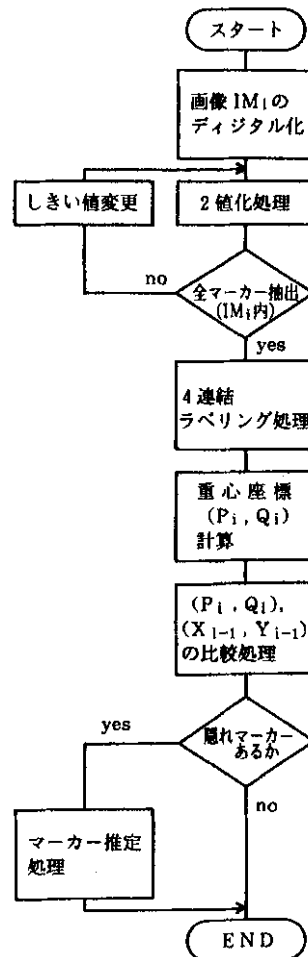


図1 マーカ位置計測処理フロー

ここで、1枚の画像 IM_i についての計測結果である座標値は (X_i, Y_i) , $X_i = (x_1, x_2 \dots x_n)_i$, $Y_i = (y_1, y_2 \dots y_n)_i$ となる。本報では、運動を表す部位を 1) 頭, 2) 右肩, 3) 左肩, 4) 右肘, 5) 左肘, 6) 右腰, 7) 左腰, 8) 右手, 9) クラブ手元, 10) 右膝, 11) 左膝, 12) クラブ中央, 13) 右くるぶし, 14) 左くるぶし, 15) 右爪先, 16) 左爪先, 17) クラブヘッドの 17ヶ所とし(図2), これらにマーカーを付けた。したがって、例えば、 i 枚目の画像の頭部座標は $(x_1, y_1)_i$ となり、以下、図2に示したマーカー位置番号順で、最後の左爪先座標は $(x_{17}, y_{17})_i$ となる。これらは IM_i のラベル画像の成分座標値 (P_i, Q_i) , $P_i = (p_1, p_2 \dots p_{17})_i$, $Q_i = (q_1, q_2 \dots q_{17})_i$ に基づき、初期画像であれば初期画像処理、他画像であれば矩形領域探索処理によって求められる。

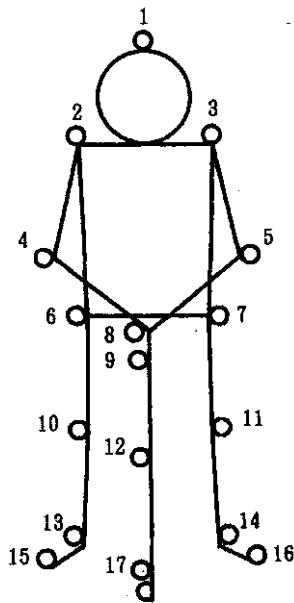


図2 マーカー固定位置

ゴルフスイング時の初期姿勢である“アドレス”の状態が初期画像となる。この画像上のマーカー位置座標 (X_i, Y_i) を基準として、以降の時系列画像上での各マーカーの位置座標 (X_i, Y_i) ($2 \leq i \leq m$, m は全処理画像枚数) を自動的に求める。画像の座標系は図3に示す F (FORTRAN) 型を用い、大きさは 256×256 画素で、1画素 8ビットとした。

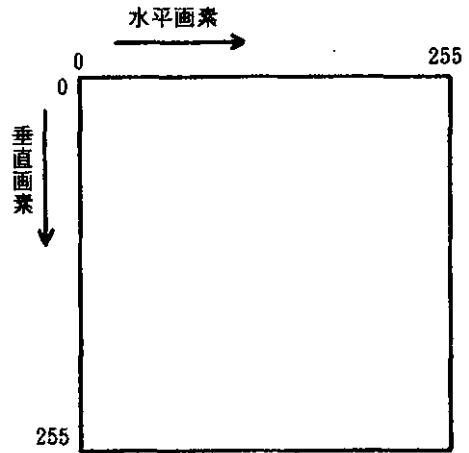


図3 画像の座標系

初期画像上の各マーカーの位置座標を求める際、ラベル画像上で抽出された各成分の重心座標は (P_i, Q_i) , $P_i = (p_1, p_2 \dots p_{17})_i$, $Q_i = (q_1, q_2 \dots q_{17})_i$ であり、これらの要素の順番はラスタ走査順である。したがって、撮像画面が図2の場合、

- 頭部: $(x_1, y_1) = (p_1, q_1)$
- 左右肩: if $p_2 < p_3$ then $(x_2, y_2) = (p_2, q_2)$
else $(x_2, y_2) = (p_3, q_3)$
- 左右肘: if $p_4 < p_5$ then $(x_4, y_4) = (p_4, q_4)$
else $(x_4, y_4) = (p_5, q_5)$
- 左右腰: if $p_6 < p_7$ then $(x_6, y_6) = (p_6, q_6)$
else $(x_6, y_6) = (p_7, q_7)$
- 手: $(x_8, y_8) = (p_8, q_8)$
- クラブ手元: $(x_9, y_9) = (p_9, q_9)$ (1)
- 左右膝: if $p_{10} < p_{11}$ then $(x_{10}, y_{10}) = (p_{10}, q_{10})$
else $(x_{10}, y_{10}) = (p_{11}, q_{11})$
- クラブ中央: $(x_{12}, y_{12}) = (p_{12}, q_{12})$
- 左右足首: if $p_{13} < p_{14}$ then $(x_{13}, y_{13}) = (p_{13}, q_{13})$
else $(x_{13}, y_{13}) = (p_{14}, q_{14})$
- 左右足元: if $p_{15} < p_{16}$ then $(x_{15}, y_{15}) = (p_{15}, q_{15})$
else $(x_{15}, y_{15}) = (p_{16}, q_{16})$
- クラブヘッド: $(x_{17}, y_{17}) = (p_{17}, q_{17})$

となり、初期画像の全マーカー位置座標が自動で求められる。ここで、初期画像を示す添え字 1 は省略している。

得られた初期画像のマーカー位置座標から、矩形領域探索処理により順次、時系列画像について 1) ~ 17) のマーカー座標を求めて行く。これは 17 個のマーカーにつ

いての対応点探索問題である。この処理では、求められる座標は一つ前の画像の同一マーカー位置から適当な距離内にあるものとする。すなわち、現在、マーカー位置座標を求めようとする画像上において、一つ前の画像のそのマーカーに当たる位置座標を中心とした適当な大きさの矩形窓を設定し、その窓内にあるマーカーを対応点候補とし、その点の座標値を求める。すなわち、IM_i の k (1 ≤ k ≤ n) 番目の部位座標 (x_k, y_k)_i は

$$\begin{aligned} |p_k|_i &\leq |x_k|_{i-1} + \delta_k \\ |q_k|_i &\leq |y_k|_{i-1} + \delta_k \end{aligned} \quad (2)$$

を満足する範囲内にある (p_k, q_k)_i として求められる。ここで、δ_k (> 0) は各部位 k ごとに設定値を決める。例えば、頭部であれば画像間の変位が少ないゆえ小さな値を設定する。バックシング、ダウンスイング、フォロースルーの各段階で設定値を変更することも考えられる。

2.2.2 相互相関探索法^{3),4)}

マーカー位置座標計測手順中⑤の処理が矩形領域探索ではなく、相互相関探索法に置き換えることができる。矩形領域探索法では、設定した矩形領域に2つ以上の反射光点が存在した場合に、最初に見つけた光点を対応する部位であると認識する。したがって、特に、矩形領域を比較的大きく設定し、誤認識の際の誤差が大きいクラブ1, 2, 3及び手についての計測には注意する必要がある。そこで、濃淡情報も利用した相互相関探索法を以下に提案する。

領域 S の上で2つの関数 f と g の間のマッチ(整合)やミスマッチ(不整合)の度合いを測る方法としては、以下のような式を使うことができる。

$$\max |f-g|, \int \int_S |f-g|, \int \int_S (f-g)^2 \quad (3)$$

これらの式はすべて“距離の測度”あるいは数学的な距離 (metric) である。

$\int \int (f-g)^2$ をミスマッチの測度として用いるとすると、これから有用なマッチの測度を導くことができる。ここで、

$$\int \int (f-g)^2 = \int \int f^2 + \int \int g^2 - 2 \int \int fg \quad (4)$$

である。

したがって、 $\int \int f^2$ と $\int \int g^2$ が固定のとき、ミスマッチ

の測度 $\int \int (f-g)^2$ は、 $\int \int fg$ が小さいときだけ大きくなる。すなわち、 $\int \int f^2$ と $\int \int g^2$ が与えられれば、 $\int \int fg$ をマッチの測度として用いることができる。

Cauchy-Schwarz の不等式を用いても、このことを説明できる。この不等式は f と g が非負のとき、常に

$$\int \int fg \leq \sqrt{\int \int f^2 \int \int g^2} \quad (5)$$

であり、等号は、g=cf がある定数 c に対して成立するときだけ成り立つ。したがって、 $\int \int f^2$ と $\int \int g^2$ が与えられると、 $\int \int fg$ の大きさは f と g のマッチの度合いの測度である。

このように、いま f がテンプレート、g が画像で、f にマッチする g 中の小部分を見つけたいとする。これを実行するには、f を g に対して可能なすべての位置に移動させ、各移動 (u, v) ごとに $\int \int fg$ を計算する。Cauchy-Schwarz の不等式により

$$\begin{aligned} \int \int_S f(x, y) g(x+u, y+v) \\ \leq \sqrt{\int \int_S f^2(x, y) dx dy \int \int_S g^2(x+u, y+v) dx dy} \end{aligned} \quad (6)$$

を得る。f は S の外では 0 であるから、左辺は

$$\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) g(x+u, y+v) \quad (7)$$

に等しい。これは f と g の相互相関 (cross correlation) C_{fg} である。右辺で、 $\int \int f^2$ は一定であるが、 $\int \int g^2$ は u と v に依存するので一定ではない。したがって、単に C_{fg} をマッチの測度として使用することはできない。その代わりに、正規化された相互相関 (normalized cross correlation)

$$C_{fg} / \sqrt{\int \int_S g^2(x+u, y+v) dx dy} \quad (8)$$

を用いる。この式は g=cf が成り立つ移動 (u, v) に対して最大値すなわち $\sqrt{\int \int_S f^2}$ をとる。デジタルな場合には、次の式になる。

$$\sum_i \sum_j f(i, j) g(i+u, j+v) / \sqrt{\sum_i \sum_j g^2(i+u, j+v)} \quad (9)$$

本報では式 (9) を用いて、テンプレート・マッチングを行い、画像間の各マーカーについて、どの部位に当たるかを認識することにより、その認識されたマーカーの中心座標を求める。ここで、2枚の画像のうち、マーカーを認識し、中心座標を求める対象となる現在の画像

を注目画像、すでに部位座標が求められている画像の方を基準画像と呼ぶこととする。この両画像は、いずれもカメラが捉えた濃淡画像である。基準画像の部位を中心に設定されるのがテンプレートで f, 探索のために基準画像の部位位置を基準にして注目画像中に設定された探索領域が g になる。

2.2.3 補間処理¹⁾

画像中で、隠れ、重複の影響によりある部位のマーカーが存在しない場合がある。この場合にはそのマーカーを認識できない。このように直接求めることができない時系列画像間対応部位マーカーについては仮に座標値(0, 0)を入力して、全時系列画像の全マーカーの座標計算処理終了後に、補間によりそれら未処理のマーカー座標値を推定する。部位座標を求める手順の⑥の処理になる

これには各部位のオプティカルフローについて補間曲線を計算し、その曲線から未処理マーカー位置を推定する手法が考えられる。本報では、補間曲線としてB-スプライン、N次関数、最小2乗近似を取り上げ検討した。

(1) B-スプライン

B-スプライン (Basis spline) 関数は、近似するための座標値付近を通り、近似曲線の係数の和が1になるような近似曲線を描くように決定される。この関数による補間例を図4 (3次のB-スプライン) に示す。この図からわかるように計測座標を結ぶ線の内側を通る曲線となり、計測値を通らない。そこで、特に計測値間隔の大きさが推定値と真値の差に影響すると考えられるため、マーカー推定には用いるのは難しい。しかし、非常に滑らかな曲線となるので表示上有効であり、計測値間隔が小さい場合には内側を通る問題は残るが、精度的にマーカー推定に用いることができると考えられる。

補間による推定では、マーカー部位によってその計算方法が異なる。まず、手、クラブ手元、クラブ中央、クラブヘッドの中で2つ以下の未処理マーカーがあったとすると、計測されたマーカーを結んだ直線と未処理マーカーについての補間によるオプティカルフロー曲線との交点を補間推定値とした。この結果、それら推定値の時系列データとしての整合性がとれ、オプティカルフローは不連続にならない。次に、これら4つの部位以外の計算であるが、基本的にはオプティカルフロー曲線上で未処理マーカーの前後のマーカーの値が既知でなければならない。この値を各々 $(x_k, y_k)_s, (x_k, y_k)_e$ とし、こ

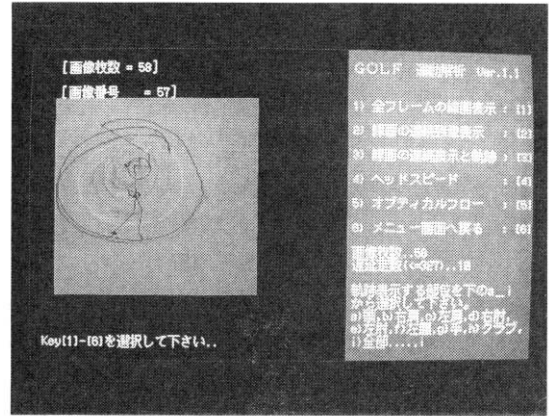


図4 B-スプライン補間曲線 (クラブヘッド)

れら間の未知マーカー数が u 個あったとすると、未知マーカー間の増分値 Δx は、

$$\Delta x = ((x_k)_e - (x_k)_s) / u \quad (10)$$

となる。この Δx に応じて補間曲線から y 値を求めて行く。ただし、次に述べる N 次関数の 4 点近似の場合には $(X_k, y_k)_{s-1}, (x_k, y_k)_{e+1}$ のデータが必要となる。この計算による推定値を用いたオプティカルフローは不連続になる可能性がある。

(2) N 次関数

N 個の点を通る関数は N-1 次の式になる。しかし、N が大きい場合、計算量が膨大になる。そこで、点 i から i+1 までを近似するのに、i-1 から i+2 までの 4 点を用いた 3 次関数を決定し、i から i+1 を近似することとする。

代数方程式は一般に式(11)で表すが、ここでは式(12)、(13)のように表現する。

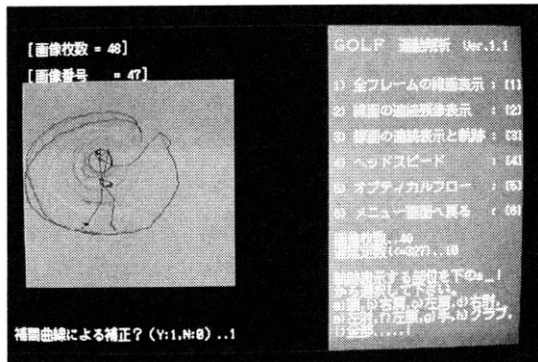
$$f(x, y, z) = ax^2 + by^2 + cz^2 + dxy + exy + fzx + g \quad (11)$$

ただし、a, b, c, d, e, f, g は定数

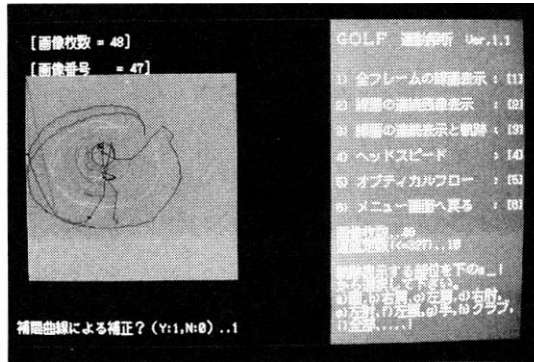
$$\begin{aligned} x &= \sum_{i=1}^4 x_i B_i(T) = x_1 B_1(T) + x_2 B_2(T) + x_3 B_3(T) + x_4 B_4(T) \\ y &= \sum_{i=1}^4 y_i B_i(T) = y_1 B_1(T) + y_2 B_2(T) + y_3 B_3(T) + y_4 B_4(T) \\ z &= \sum_{i=1}^4 z_i B_i(T) = z_1 B_1(T) + z_2 B_2(T) + z_3 B_3(T) + z_4 B_4(T) \end{aligned} \quad (12)$$

または、

$$[x \ y \ z] = [B_1(T) \ B_2(T) \ B_3(T) \ B_4(T)] \begin{bmatrix} x_1 y_1 z_1 \\ x_2 y_2 z_2 \\ x_3 y_3 z_3 \\ x_4 y_4 z_4 \end{bmatrix} \quad (13)$$



(a)補間曲線と軌跡(推定前)



(b)補間曲線と軌跡(推定後)

図5 3次関数による推定
(画像No.18,クラブヘッド)

式 (12), (13) のような関数は混合関数と呼ばれ, $x_1, y_1, x_2, y_2, x_3, y_3, x_4, y_4$ の各値は曲線近似のための座標値である。 $B_1(T), B_2(T), B_3(T), B_4(T)$ は混合関数の係数である。3次関数の曲線近似でのこれら係数を式 (14) に示す。

$$\begin{aligned}
 B_1(T) &= \frac{-T(T-1)(T-2)}{6} \\
 B_2(T) &= \frac{(T+1)(T-1)(T-2)}{2} \\
 B_3(T) &= \frac{-(T+1)T(T-2)}{2} \\
 B_4(T) &= \frac{(T+1)T(T-1)}{6} \tag{14}
 \end{aligned}$$

T の値を 0 から 1 まで変化させて, T に対する $B_i(i=1 \sim 4)$ の値を求め, 式 (12), (13) にもとづいて補間曲線を計算する。ここで, T の計算幅は未処理データ数 u に依存し, 例えば $u=4$ とすると計算幅は 0.2 になる。クラブヘッドの推定例を図 5 に示す。

この曲線は既知座標値を通る曲線上に推定値を見いだすことができる。この補間では点 i から i + 1 を近似する場合, その区間の前後各々 1 区間ずつデータが必要である。よって, 曲線の初めの区間と最後の区間はそのままでは近似できない。また, 4 点のみの近似処理をしているので, 曲線の接続が滑らかでない部分が生じる。

(3) 最小 2 乗近似法

区間 [a, b] で, n 個のデータ $(x_1, f_1), (x_2, f_2), \dots, (x_n, f_n)$ が与えられたとき, これらを最小 2 乗近似する

m 次の近似多項式を式 (17) とする。

$$y(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_mx^m \tag{15}$$

各点における f_i と $y(x_i)$ との差 (残差)

$$e(x_i) = y(x_i) - f_i \tag{16}$$

の 2 乗和を J とすると

$$\begin{aligned}
 J &= \sum_{i=1}^n \{y(x_i) - f_i\}^2 \\
 &= \sum_{i=1}^n (a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_mx^m - f_i)^2 \tag{17}
 \end{aligned}$$

となる。この J は評価関数であり, これが最小になるように $a_j (j=0, 1, \dots, m)$ が決められる。m + 1 個の最小値を得るために式 (16) の偏導関数を 0 とし, この式を解くことにより a_j を求める。

$$\frac{\partial J}{\partial a_j} = 0 \quad (j=0, 1, \dots, m) \tag{18}$$

この曲線近似はデータとしての座標値があまり密でない場合には, 図 6 (2 次関数近似) に示すような曲線補間となる。このため, ダウンスイング時のクラブヘッド・マーカーなどの曲線近似には適当ではない。よって, バックスイング, ダウンスイングなどの各動作状態に合わせた近似関数を定義して補間する必要がある。しかし, 座標値が密な肩, 肘などの推定には適当と考えられる。図 8 に右肘の推定例を示す。

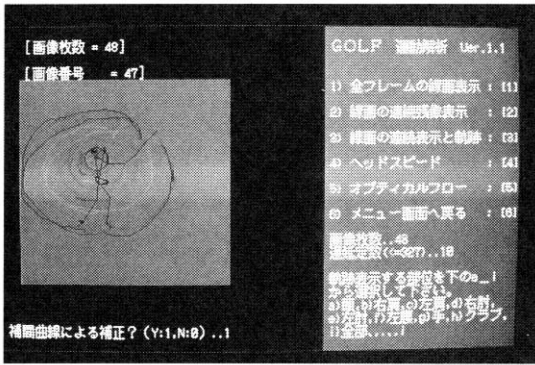


図6 最小2乗近似曲線
(クラブヘッド)

3 計測実験^{1),5),6)}

運動解析システム開発のためには、画像から得られた身体部位位置データに基づく運動機構学的解析及びそれらデータから得られる角加速度などに基づく運動力学の解析の可能性について明らかにしなければならない。機構学的解析については、位置データから解析のためのスティックピクチャー、オプティカルフローが精度良く得

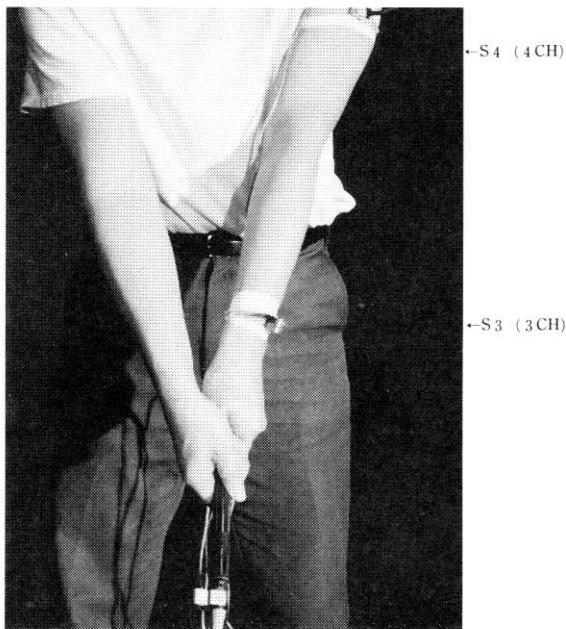
られることを確認し、また、力学的解析については、ひずみゲージ式加速度変換器をクラブと手腕系に固定し加速度を画像とともに同一時間軸上に記録し、時系列画像から得られる角速度との整合性について検討した。また、特に力学的解析上、インパクト瞬間前後のエネルギー変化を得ることが重要である。このため、全体のスイングの中にインパクト瞬間の画像を時系列画像として取り入れることができる計測システムを開発した。

3.1 計測実験システム

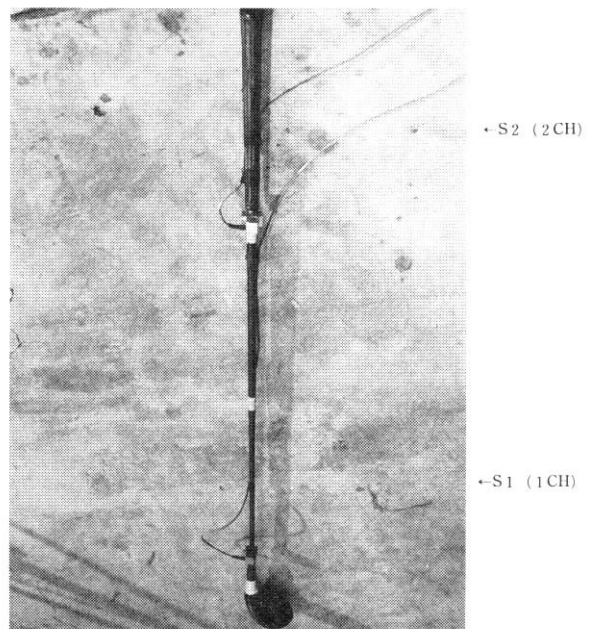
加速度変換器を固定した位置を図7に示す。被験者はハンディキャップ20前後の中級者である。インパクト画像を取り入れるために、実験で計測する時系列画像はスイング全体とインパクトの瞬間以降のスイングである。これら時系列画像上のマーカー位置座標が計測値となる。

実験計測系の構成を図8に示す。マーカーを付ける部位と位置は図2に示す通りである。

カメラ1, 2の画像を加速度変換器出力と同一時間軸上に記録する。カメラ1はアドレス時以後の全スイング、



(a)手腕系



(b)クラブ

図7 加速度変換器 (S)固定位置

カメラ2はインパクトの瞬間以降のスイングを捉えなければならない。そこで本実験では、カメラとしてシャッタートリガにより動作するオムロン(株)製 CCD シャッタービデオカメラ型 PJLG-25 を用いた。カメラ1の駆動装置は AC アダプター型 PJLP-25 で、カメラ2はビデオメモリ型 PJLH-50 である。カメラの解像度は水平 300 本、垂直 244 本である。カメラ1, 2のシャッタースピードは 1/1000s, 取り込み(サンプリング)時間間隔に相当するシャッタートリガ周期は 34ms とした。各カメラのシャッタートリガのスタートタイミングはオムロン(株)製光電スイッチ型 E3V-DS8C43S を用いた。この光電スイッチを“アドレス”時のクラブヘッド近傍に固定し(図9), クラブヘッドの動きを捉えることにより“アドレス”時からトリガをカメラ1に与え、スイング全体動作を撮影した。また、ダウンスイング動作で光電スイッチにクラブヘッドがとらえられてトリガがカメラ2に与えられ、インパクト時以降のスイング動作を撮影した。トリガ発生にはオムロン(株)製センサコントローラ型

S3D8-CCFを用いた。これら2つのトリガ信号は加速度変換器の出力とともにデータレコーダに記録し、画像との時間軸を同一にするためのデータとした。カメラ1, 2についてのシャッタートリガ信号と光電スイッチ信号のタイムチャートを図10に示す。VTRは NEC(株)製 PV-D828型と日本ビクター(株)製 SR-1750型、モニターは松下電器(株)製 WV-5410型を用いた。なお、カメラ1からトリガに同期して出力されるビデオ信号に何枚目の画像を示す数字をのせてVTRに記録した。数字発生器として朋栄(株)製タイムコードジェネレータ型 TGR-2000を用いた。

ひずみゲージ型加速度変換器は(株)共和電業製で、右肩は AS-5GB型、右手首とクラブ手元は AS-10B型、クラブヘッドは AS-50B型を用いた。データレコーダはティアック製 DR-F1型を用いた。入力信号は加速度出力4, カメラシャッタートリガ信号2の計6信号である。記録メディアはフロッピーディスクであり、パソコンにより処理する。

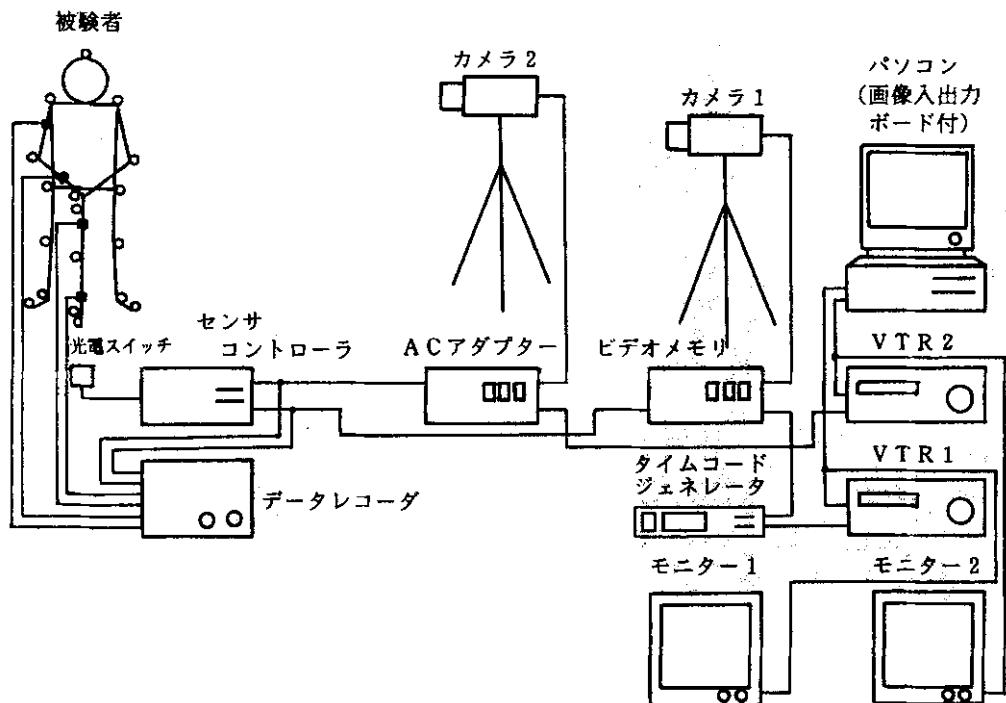


図8 実験計測システム

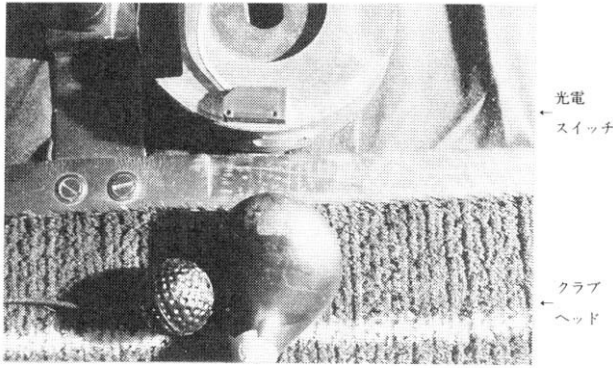


図9 光電スイッチ位置

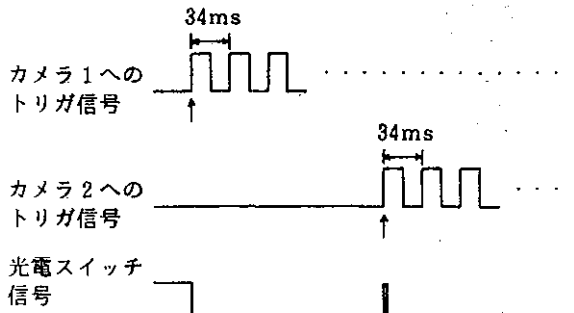


図10 トリガ信号と光電スイッチ信号の関係

3.2 部位座標計測手順

部位座標計測においては、パソコンは NEC (株) 製 PC-9801RA 型、VTR は NEC (株) 製 PV-D828 型を用い、イメージメモリは (株) アルテックシステム製 ALT-256-8-1 型を用いた。

VTR は RS-232C による制御が可能であり、あらかじめビデオテープにインデックスを書き込み、パソコンからアドレスとフレームナンバー (0 ~ 29) を指定することにより任意に処理したいフレームを選択することができる。全体のスイングについての処理であれば、テープからアドレスの姿勢のアドレスとフレームナンバーを見つけだし、そのフレームから順に 1 づつフレームナンバーを増やし検索し、29 に達したならアドレスを 1 増やし、フレームナンバーを 0 として同様に順にフレームを検索して行く。検索されたフレームについて矩形領域探索法にしたがって部位マーカを求めて行く。

具体的な計測手順を以下に示し、フローチャートを図 11 に示す。

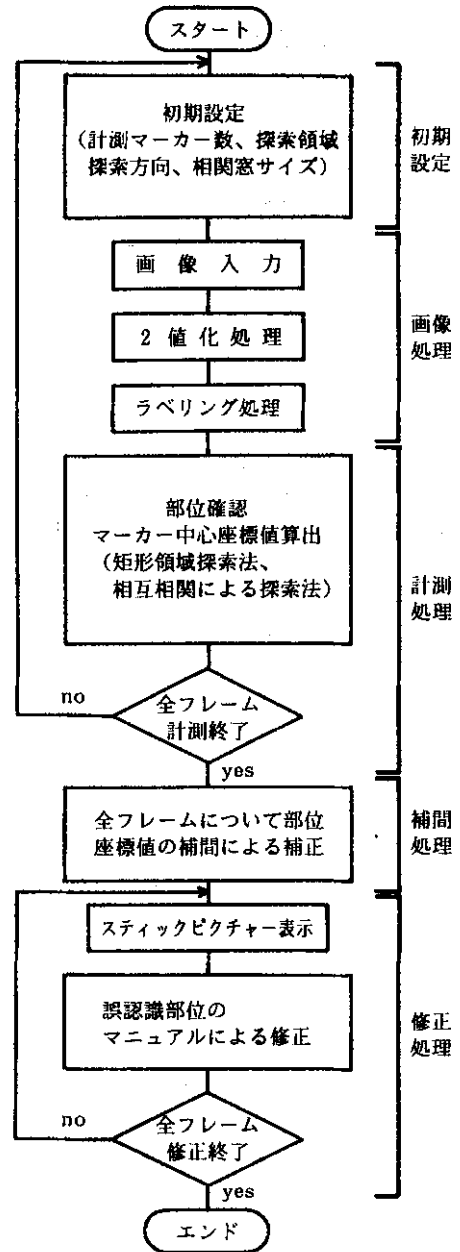


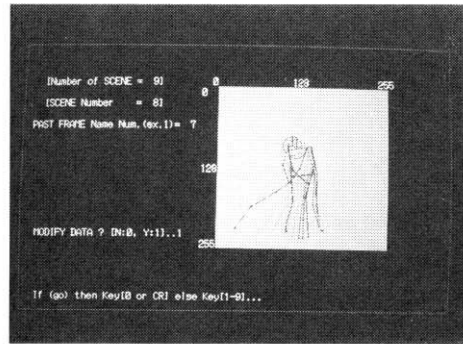
図11 計測フローチャート

- 1) 図 8 に示した実験システムにより撮影された録画テープにインデックスを書き込む。
 - 2) あらかじめ特定している最初のトリガ信号により出力されるアドレス時もしくはインパクト瞬間の画像の検索アドレスとフレームナンバーを VTR に送り、その画像を検索し、一時停止させる。
 - 3) マーカー位置座標計測手順①～⑤を実行する。ここで、手、クラブ手元、中央及びクラブヘッドのマーカーについては相互相関探索法、他のマーカーについては矩形領域探索法により 17 個すべての部位マーカー位置座標を求める。
 - 4) 隠れ、2 値化での抽出不可などの理由、かつ補間によっても求めることができなかった部位マーカーについて、画像表示に基づく手入力により修正するマーカー位置座標修正プログラムを用いて修正して行く。
 - 5) 表示・解析プログラムを用いて、求めたマーカー位置座標値に基づき、スティックピクチャー、オプティカルフローを表示し、最終的にそれらデータの確認を行う。
- 4) の修正過程を示す画面を図 12 に示す。また、その修正手順を以下の (1) ～ (4) に示す。

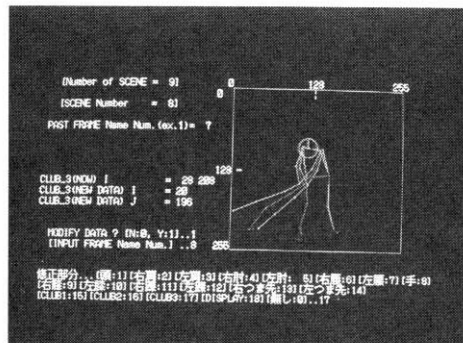
- (1) スティックピクチャーの連続的のスイング表示により動きを確認し、修正すべきフレームが現れたなら、修正作業に入る (図 12 (a))。
- (2) そのフレームのスティックピクチャーとその前後のスティックピクチャーが表示され、修正すべき部位番号を入力する (図 12 (b))。
- (3) その部位の修正値を入力すると、修正されたスティックピクチャーが表示される (図 12 (c))。
- (4) そのフレームのすべての部位について修正が終了したなら、(1) の手順に戻り、次からのフレームについて確認しながら、修正が必要であれば、同様に修正作業を行い、すべてのフレームについてこの手順を行う。

3.4 計測結果

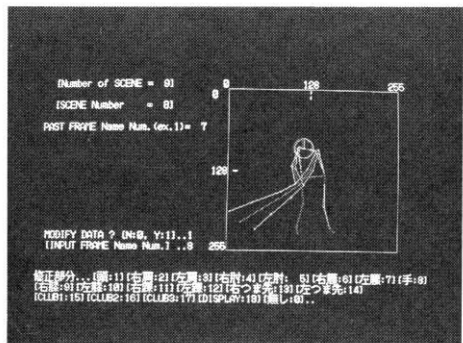
計測処理画像枚数はカメラ 1 では“アドレス”から“フィニッシュ”までの 58 枚、カメラ 2 では“インパクト”からフィニッシュまでの 10 枚である。各座標値を較正係数にもとづいて補正し、最終的な計測値を求めた。較正では、マーカーを 50cm 間隔で丸棒に付け、これを 50cm 間隔で移動させながらカメラ 1, 2 で撮影し、その各画



(a)修正過程1



(b)修正過程2

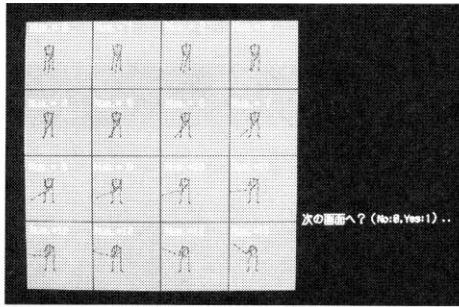


(c)修正過程3

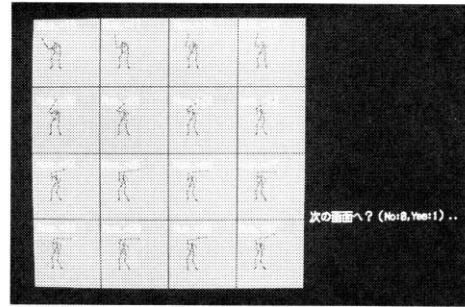
図 12 修正過程画面表示

像から較正係数 (画素数に相当する実際の長さ) を決定した。本実験では、カメラ 1, 2 各々 42 画素 / 50cm, 48 画素 / 50cm とした。計測結果は次の (1) ～ (5) のグラフィック画面表示にしたがって示される。これらのうち、カメラ 1, カメラ 2 についてのスティックピクチャーを図 13 に示す。

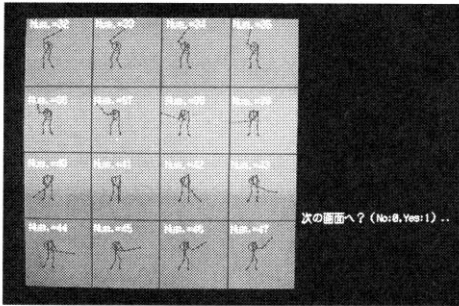
- (1) スティックピクチャー全表示
- (2) スティックピクチャーの連続 (動的) 表示
- (3) スティックピクチャーとマーカー軌跡の連続表示
- (4) スティックピクチャーとマーカー軌跡の連続表示及



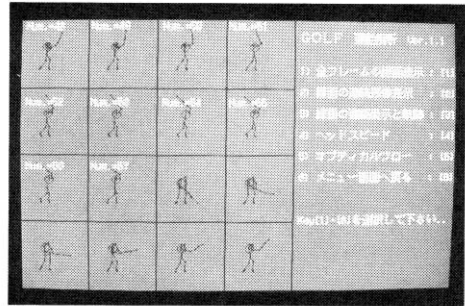
(1)



(2)

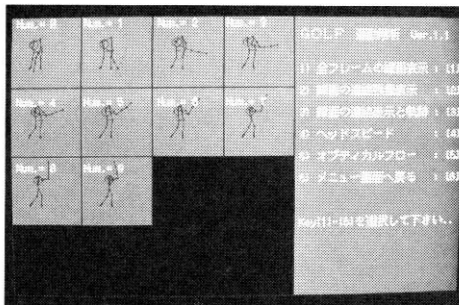


(3)



(4)

a)カメラ1



(b)カメラ2

図 13 スティックピクチャー

びそれぞれの曲線補間表示

(5) オプティカルフロー

これらの表示機能は運動機構学的解析上の基本となる。ここで、スティックピクチャーは被験者の骨格を表すもので、各マーカーを直線により結ぶことにより作成される。オプティカルフローは時系列画像上の同一マーカーを直線または補間により結び作成される。ともに動作を解析する上で重要なデータとなる。

全体のスイングとインパクト瞬間からフィニッシュまでの各スティックピクチャーを図 13 に示す。また、加速度変換器から求められた加速度及び角速度を図 14 に示す。これら角速度と画像から得られた位置データにより

計算された角速度の比較を図 15 に示す。

3.5 計測実験 1 の考察

本実験での身体部位位置座標の計測精度は 5cm 程度であった。4m 離れて、4cm を許容誤差とすると、適当な精度と考えられる。スティックピクチャーの観察から、クラブシャフトのしなりなどが表現されていることが分かり、ダイナミックな動きが良く求まっている。

スティックピクチャーのように運動の動きを表現することにより運動の解析、特に機構学的解析のためのデータを見いだすことができる。そのデータにより、運動、ここではゴルフの基本動作（グリップ、アドレス、スタ

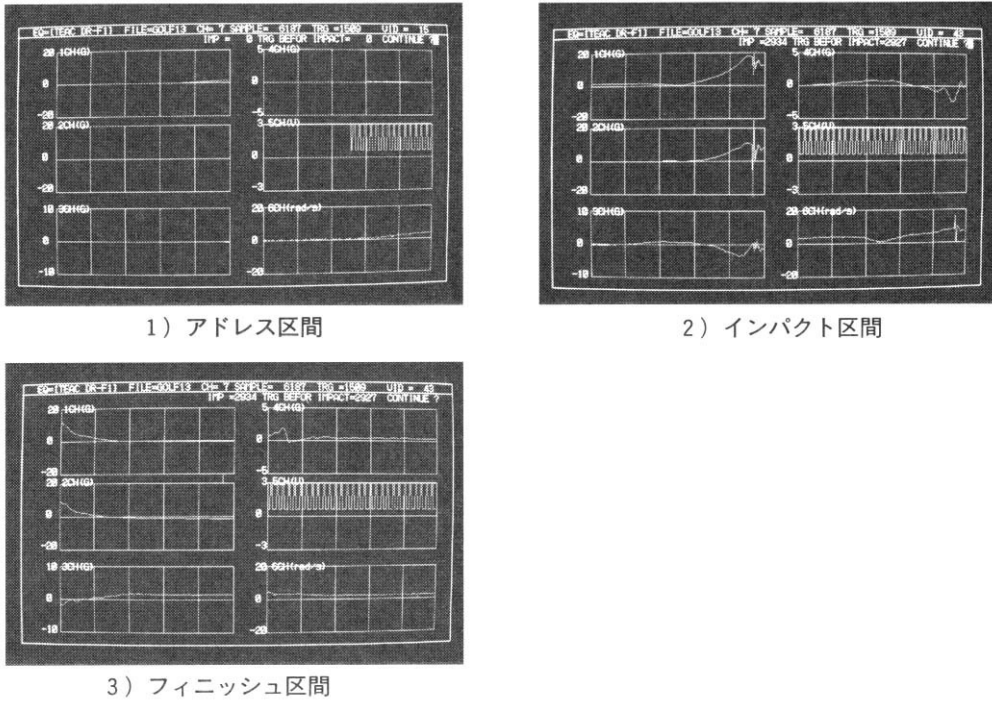


図 14 加速度 (G)・角速度 (rad/s)データ

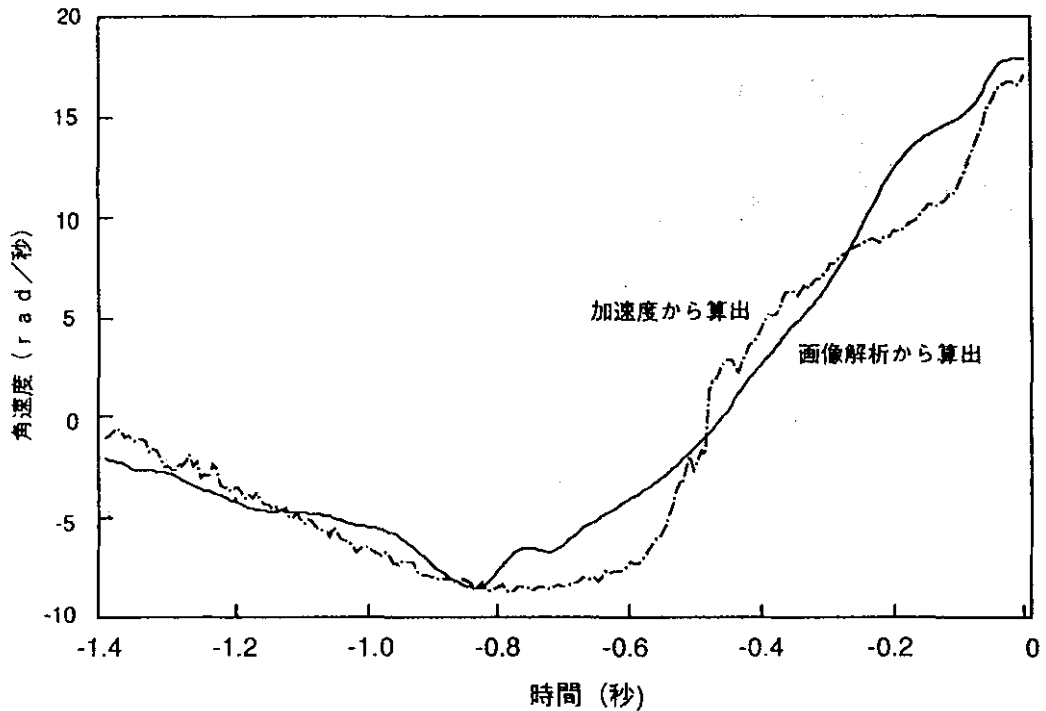


図 15 加速度計から算出したクラブの角速度と画像解析によって算出したクラブの角速度の比較

ンス、バックスイング、トップ、ダウンスイング、インパクト、フォロースルー、フィニッシュ)が正しく行われているか、正しくなければどのような位置、動きが良いのかを診断・評価することかできる。理想的にはインストラクターがついて教えている環境を実現できれば良い。このようなシステム開発の一つのアプローチ法として、まず基本を教本、プロのアドバイスなどにもとづいてデータベース化し、そのデータベースと被験者の計測データとのマッチングにより解析することが考えられる。解析診断にはAIを用いるのが一般的である。特に、「少しヘッドアップぎみ」、「右肩をあまり落とさない」などの表現をとるアドバイスが多いことからファジィ理論を応用した解析システムの開発をめざすのが自然と考えられる。ファジィ推論の適用については、後述する。

加速度データからクラブの角速度を算出し、これを画像から得られた角度データの数値微分である角速度と比較することによって、画像によるデータの信頼性の検証を行った。この結果、図 15 から明らかなように、画像及び加速度変換器から得られた角速度データはともに良く似ている。しかし、ダウンスイングによって、角速度が増加して行く局面、特にインパクト直前の変化の仕方が異なる。このことから、インパクト直前の微分処理の方法を改良する必要があると考えられる。

以上、画像により運動機構学的及び力学的解析が可能であることが明らかになった。

4 計測実験 2³⁾

計測実験 2 では、ゴルフのレベルを初級(未熟練者)、中級、上級(熟練者)に分け、それぞれに相当する被験者のスイングを計測、解析することにより、ゴルフスイングの評価基準を得ることを試みた。予想できる評価値としてアドレスからインパクト瞬間までの時間、また、全スイングにおける各部位、例えば、頭などの動きなどが評価項目として考えられる。以下、これら評価のためのデータを得るために、実験 1 と同様に、アドレスからフィニッシュまでの全スイング、インパクトからフィニッシュまでのスイングを 2 台のカメラにより撮影し、また、それぞれについてのカメラへのシャッタートリガ信号を計測した。

実験システムは、計測実験 1 の場合の加速度変換器についての計測部を除いた構成で行った。ただし、2 台の

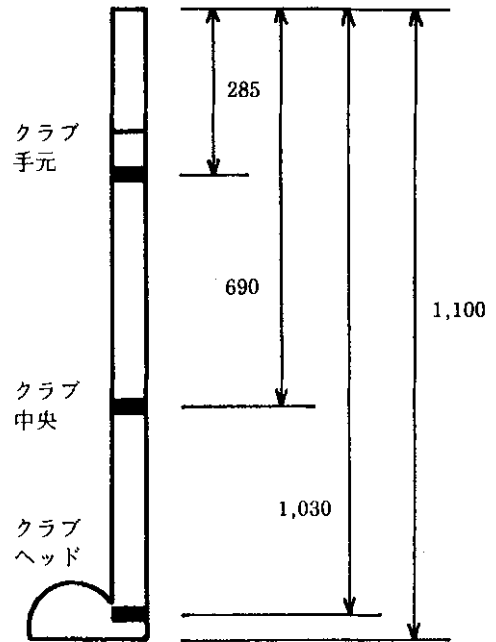


図 16 クラブのマーカ位置 (単位: mm)

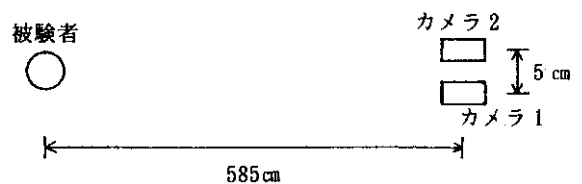


図 17 カメラと被験者間位置関係

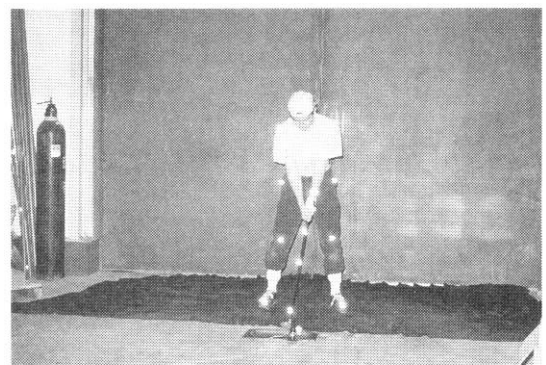


図 18 アドレス時の被験者

表1 体格データ

項目	被験者	上級者	中級者	初級者
身長		180	172	177
体重		74	60	67
頭囲		55.5	56	58
首		38	34	36
肩幅		50	44	47
胸囲		93	83	86
腰囲		89	71	76
大腿周り		57	50	54
膝周り		36	36	41
足首周り		22	23	22
第7頸椎	推先	97	93	98
左中指	先節	75	73	72
左肩	先節			
左肘	先節	57	55	53
左手	首			

カメラの駆動装置についてはともにビデオメモリ型 PVLH-50 を用いた。処理対象となる濃淡画像の大きさ、マーカーを付ける部位なども同じである。

初級、中級、上級の定義はハンディキャップを参考にし、本実験では、各々 25~35, 15~18, 4 である。各被験者の体格についてのデータ（体重:kg, 体重以外の単位:cm）を表 1 に示す。この表からわかるように、3 人の被験者とも体格はよく、各部位の探索領域においてはサイズを大きく設定する必要があり、特に、クラブ、手のマーカー部位については注意した。クラブについてのデータ（長さ、マーカー位置）を図 16 に示す。また、カメラと被験者間位置関係を図 17 に、アドレス時の被験者

表2 データファイル名

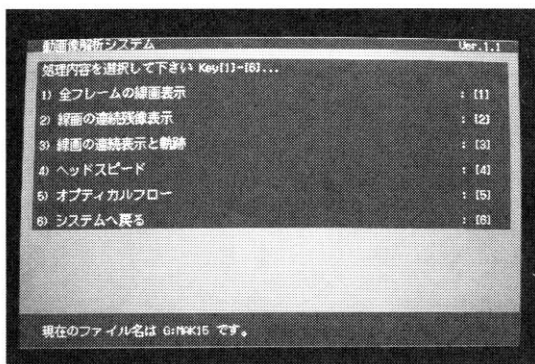
被験者	データ	カメラ1データ	カメラ2データ	トリガ信号データ
上級者	1	POT 11	INT 11	G 01
	2	POT 12	INT 12	G 02
	3	POT 13	INT 13	G 03
	4	POT 14	INT 14	G 04
中級者	1	POT 21	INT 21	L 01
	2	POT 22	INT 22	L 02
	3	POT 23	INT 23	L 03
	4	POT 24	INT 24	L 04
初級者	1	POT 31	INT 31	F 01
	2	POT 32	INT 32	F 02
	3	POT 33	INT 33	F 03
	4	POT 34	INT 34	F 04

を図 18 に示す。

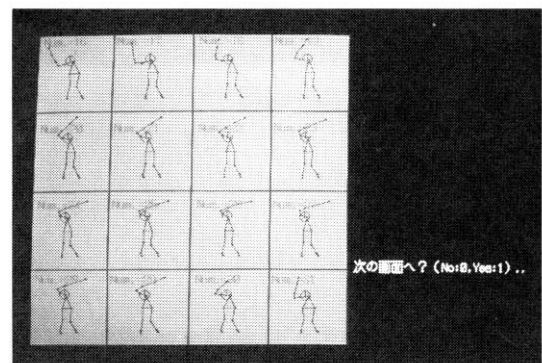
各時系列画像について、矩形領域探索法にしたがって部位マーカーを求めて行く。ただし、手、クラブ手元、クラブ中央、クラブヘッドについては相互相関探索法、さらには各部位の各画像間における移動方向と大きさを考慮して、より効率的に求めた。

4.1 計測結果

初級、中級、上級の各被験者についての撮影、記録された全体スイングとインパクトからのスイングのマーカー身体部位座標データ及びシャッタートリガ信号データの各ファイル名を表 2 に示す。各被験者が各々 4 回づ

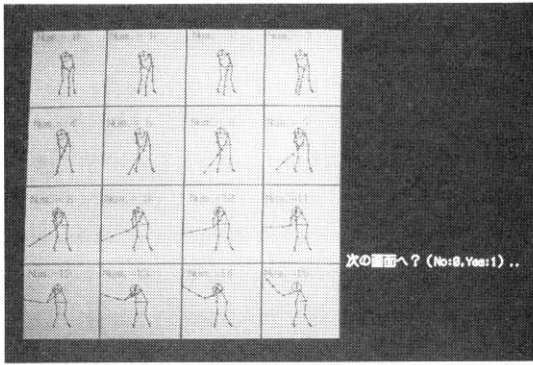


(a)メニュー画面

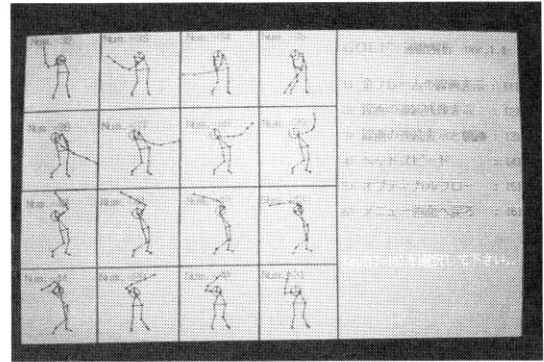


(b)スティックピクチャー1

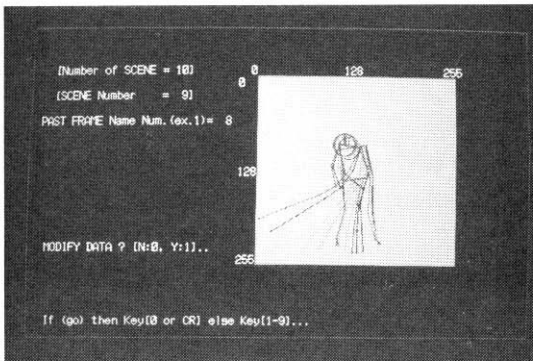
図 19 計測結果表示画面



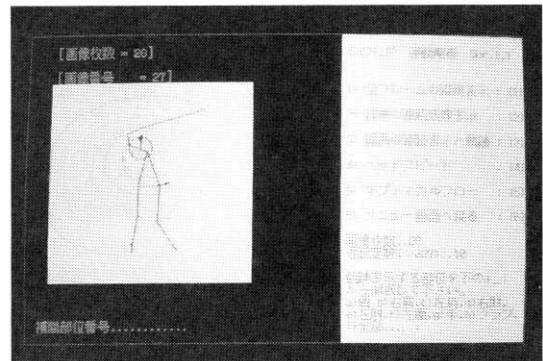
(c)スティックピクチャー-2



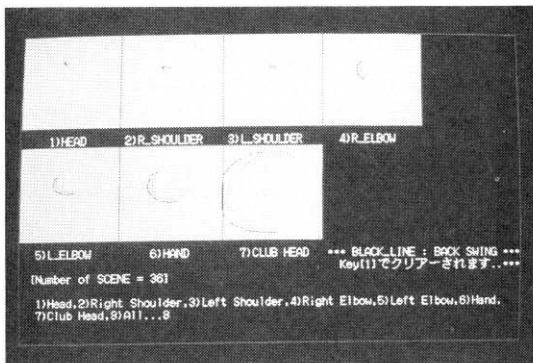
(d)スティックピクチャー-3



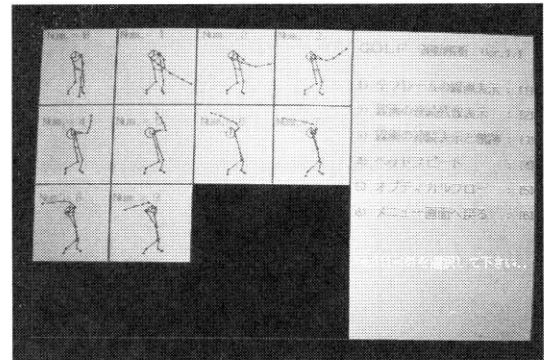
(e)スティックピクチャー残像表示



(f)スティックピクチャー連続表示と軌跡



(g)オプティカルフロー



(h)スティックピクチャー-4

図 19 計測結果表示画面

つスイングを行った。

インパクト直前までの平均スイング時間は上級, 中級, 初級各々 1.275 秒, 1.088 秒, 1.522 秒で, 対応する平均フレーム数は各々 37.5 枚, 32 枚, 44.75 枚であった。上級者の 4 回目のスイング(データファイル POT4, INT4)を例として, メニュー表示及びスティックピクチャー, オプティカルフローについて次の (1) ~ (4) の表示を図 19 に示す。

(1) スティックピクチャー全表示

(2) スティックピクチャーの連続残像表示

(3) スティックピクチャーの連続表示とマーカー軌跡

(4) オプティカルフロー

図 19 で, (a) はメニュー表示内面, (b) ~ (d) はカメラ 1 で捉えた全スイング, (e) はアドレスから 10 フレーム目までのすべてのスティックピクチャーを連続的に表したものである。(f) はアドレスからトップまでの 28 フレームについて各部位の軌跡(オプティカルフロー)と動画の表示終了後の最終のスティックピク



(a)アドレス時



(b)インパクト時

図 20 処理対象濃淡画像

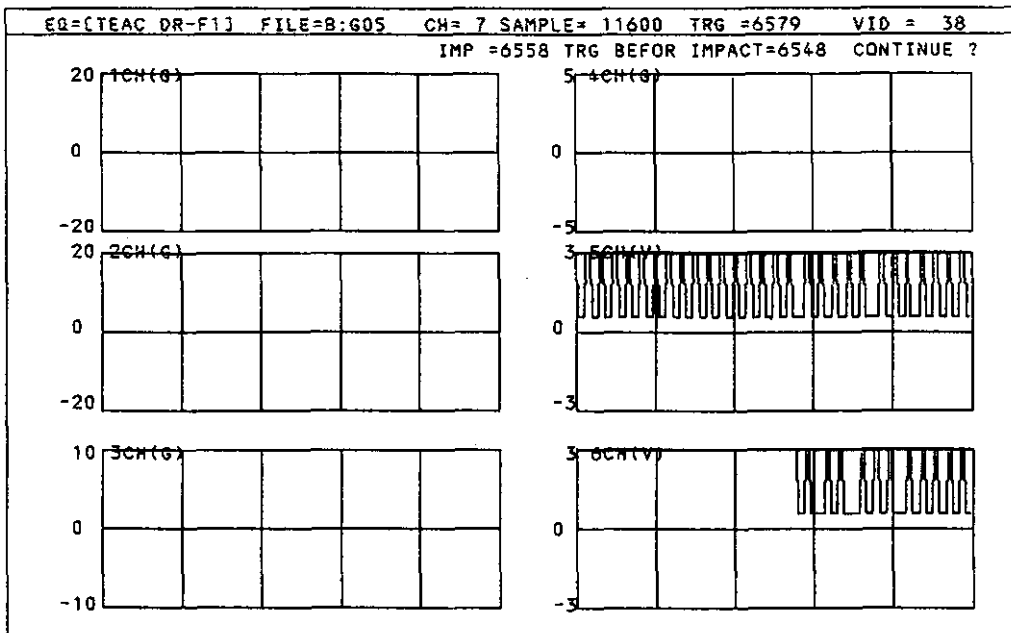


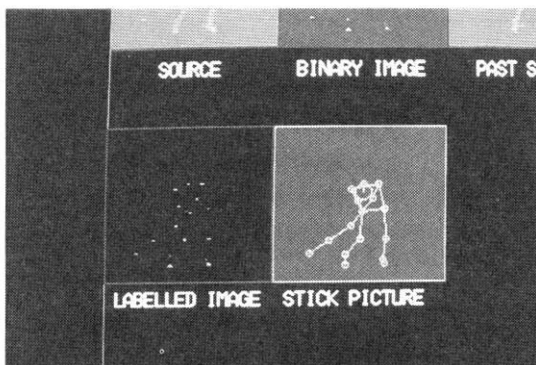
図 21 カメラ 1, 2 へのトリガ信号波形

チャーを示す。(g) はアドレスからトップまでの 28 フレームとトップからインパクト直前までの 8 フレームについて各部位ごとのオプティカルフローを色(濃淡)違いで示す。(h) はカメラ 2 で捉えたインパクトからフィニッシュまでのスイングである。このスイングのアドレスとインパクト瞬間の各姿勢を図 20 (a), (b) に示す。カメラ 1 と 2 へのシャッタートリガ信号波形(データファイル G04) を図 21 に示す。

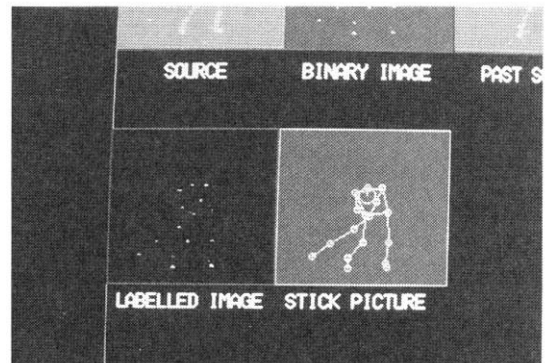
右中央がカメラ 1, 右下がカメラ 2 への信号波形である。

初級者のダウンスイングで 46 枚目の画像について, 左右肘, 右腰, 手, クラブ手元, クラブ中央, クラブヘッドを相互相関による探索で計測した結果をラベリング画像とともに図 22 (a) に示す。基準画像について, 求め

る対象となる部位を中心として, その周りに大きさ 3×3 の 2 次元領域を設定し, これをテンプレート f とする。この f を注目画像上に設定した矩形領域内について移動させながら相関係数を求めて行った。相関の最も高い位置が求める部位座標値となる。同じ大きさの矩形領域のもとで, 矩形領域探索法により同じマーカーについて実行した結果を同じくラベリング画像とともに図 22 (b) に示す。両者ともに良く求められているが, 前者については手がやや右腰寄りに求められている。これは相関法の性質によるものであり, 全般に相関法が画像間の移動量すなわちマーカー間の移動量が大きくなる場合有効であった。なお, 探索過程を画面により図 23 (a), (b) に示す。

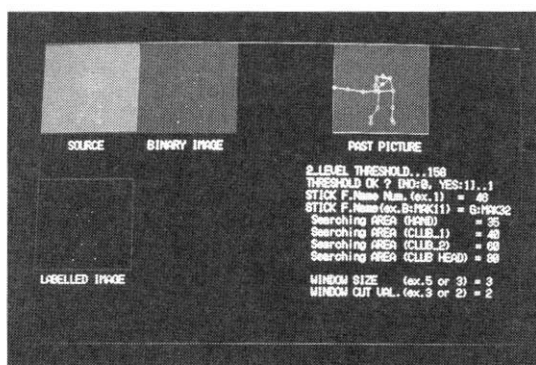


(a)相互相関による探索

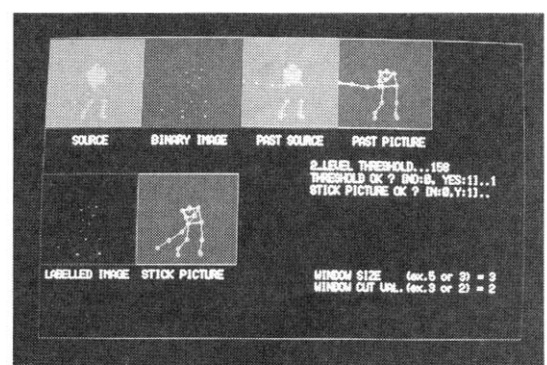


(b)矩形領域探索

図 22 探索結果



(a)探索領域と窓の設定画面



(b)最終表示画面

図 23 相互相関による探索画面

4.2 解析結果

熟練者と未熟練者の重心の上下動と動作の再現性についての解析結果を示す。図24はアドレスからインパクト

までの重心の上下動を示す。図25はアドレスからインパクトまでのクラブの角度変化の分散を示し、図26、図27はそれぞれ熟練者、未熟練者についてのクラブの運動の位相図を示す。

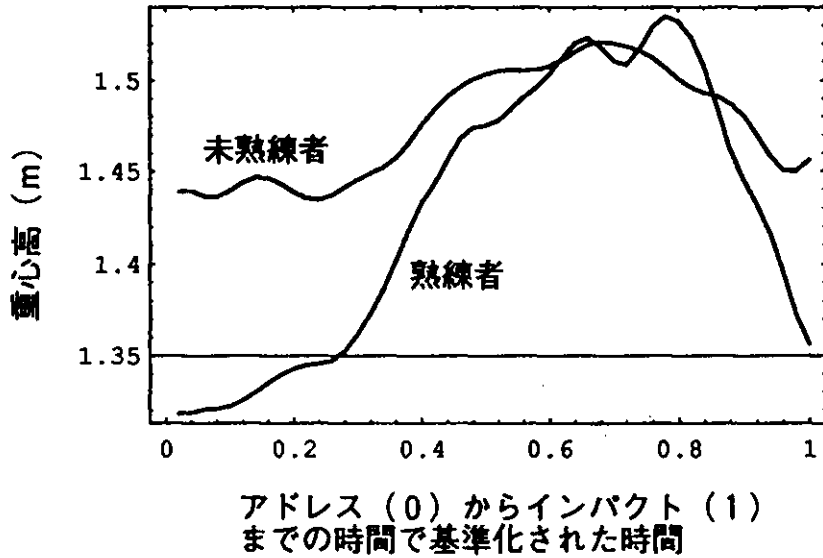


図24 アドレスからインパクトまでの重心の上下動

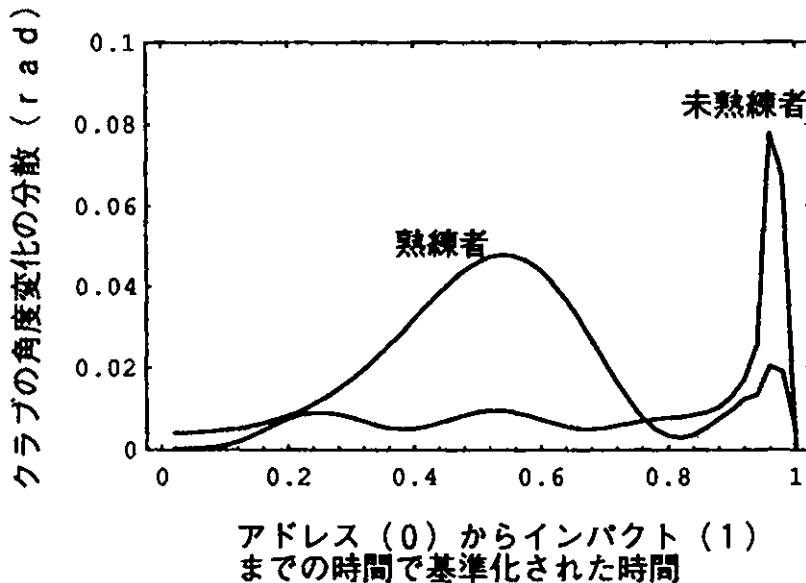


図25 アドレスからインパクトまでのクラブの角度変化の分散

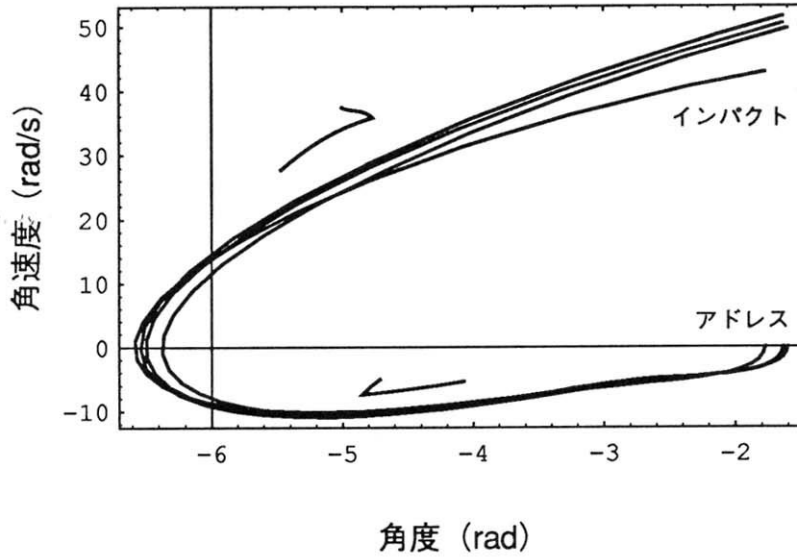


図 26 クラブの運動の位相図 (熟練者)

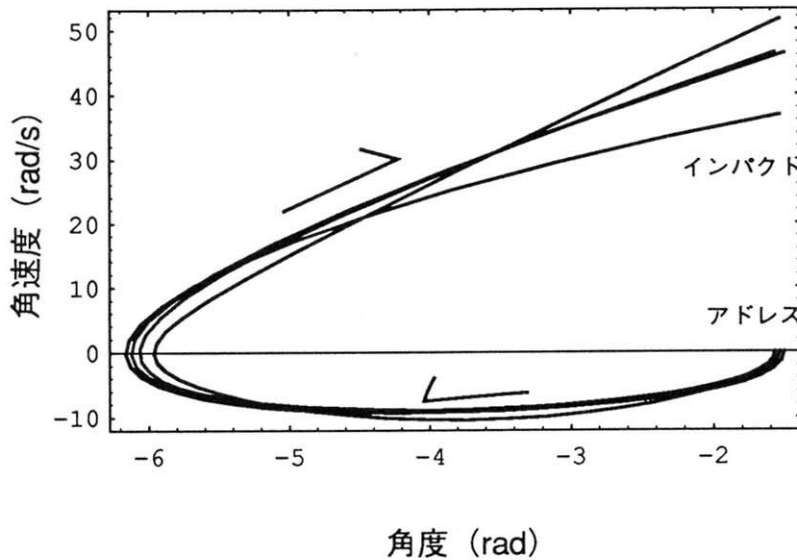


図 27 クラブの運動の位相図 (未熟練者)

5 計測実験 2 の考察³⁾

5.1 計測結果の考察

相互相関による計測においては、スイング中の姿勢と
その際に設定するマッチングにおいて移動する領域の大

きさが影響する。したがって、スイング時間と体格など
に基づく矩形領域設定のためのデータが重要となる。アル
ゴリズム的には、相互相関探索法が、矩形領域探索法
よりも優れていると考えられる。これは、矩形領域探索
法が、基準画像のすでに認識された各部位位置座標を基
準として注目画像上に設定したある大きさの領域内に、

光点が入っていたならば、その光点を単にそれら部位に当たるとして求めて行くのに対して、相互相関探索法では、基準画像から切り出した求めたい部位についてのマーカーを中心とした矩形領域データと注目画像に設定した矩形領域内との相関値が最も大きな領域の中心をマーカー位置座標としているからである。しかし、矩形領域探索では、認識されたなら正確にマーカー中心が求められるが、相互相関探索では、マーカー部位と認識された部分の中心が、必ずしもマーカー中心として求まらない。しかし、その差は小さく1画素程度であった。

ゴルフスイングの評価について、よく「頭の動きを少なく」とか「脇を締めて」とか云われるが、その程度が定量的にどのくらいなのかを運動機構学的解析による評価では問題となる。そこで、スイングで重要なのはボールを遠くへ飛ばすことであるとすると、インパクトの際に、クラブからのエネルギーがボールに十分伝わったかどうかということを知る必要がある。このインパクト前後のエネルギー変化を画像から知るために、インパクトの瞬間を含む時系列画像を得る必要があった。各部位の動きとエネルギー伝達の関係、すなわち、運動機構学的解析とこの運動力学的解析によるデータとの関係を明らかにすることにより、動画像を用いた正確な診断評価が可能になった。

5.2 解析結果の考察

図24で、未熟練者と熟練者の上下動のパターンは良く

似ているが、その変化の大きさがかなり異なることが分かる。熟練者は約20cm(身長比約11%),未熟練者は約10cm(身長比約5.5%)の上下動をスイング中に行っている。この上下動は、主にクラブを含めた上肢の運動と膝の屈伸運動による体幹部の上下動による。上肢の上下動は熟練者と未熟練者にほとんど差がないことから、熟練者と未熟練者の上下動の大きさの差は膝の屈伸運動に起因すると考えられる。

図25で、熟練者は振り上げるときに分散のピークが見られ、未熟練者はインパクト直前に分散のピークが見られる。この結果、未熟練者はクラブを振り下ろすという、特に動きの再現性が要求される区域で、動きの再現性が熟練者に比べ良くないことを示している。また、図26、図27からも未熟練者の方がクラブを振り下ろす区域において4回の試技中のクラブの運動のバラツキが大きいことが分かる。

6 運動解析システム³⁾

6.1 システムの構築

図28に運動解析システムのブロック図を示す。時系列画像からマーカー部位位置を認識・計測し、運動機構学的及び運動力学的解析により評価データを得て、ファジィ推論などを用いた診断を行い、最終的にスイングの診断データ(結果)を得る。ここで、診断処理部にファジィ推論を適用した例を示す。計測データは実験2によるものを用いた。

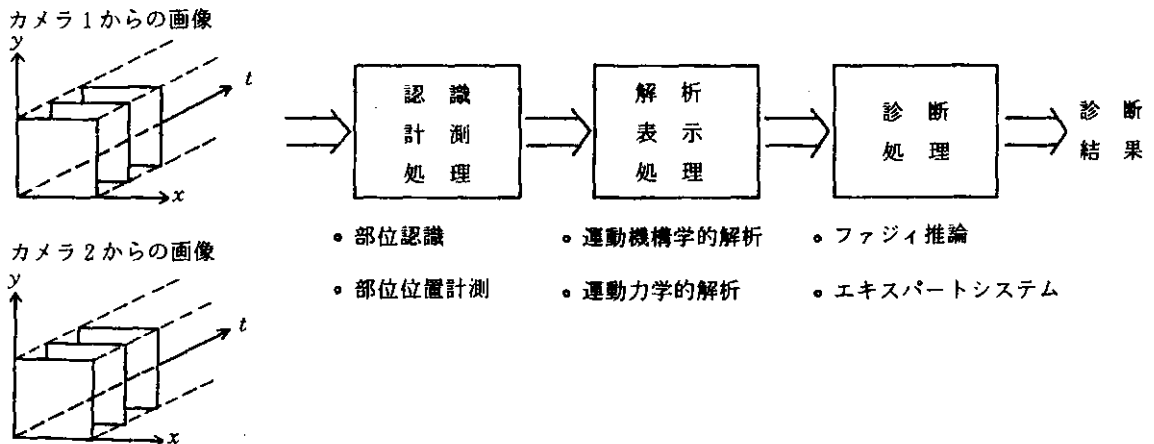
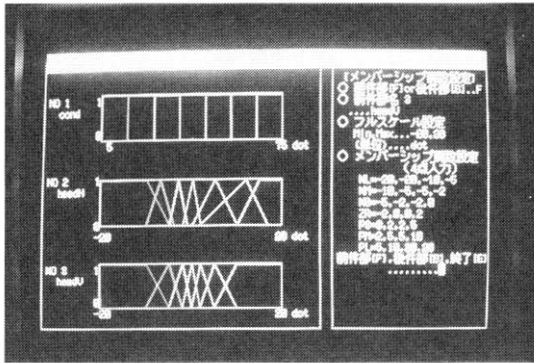


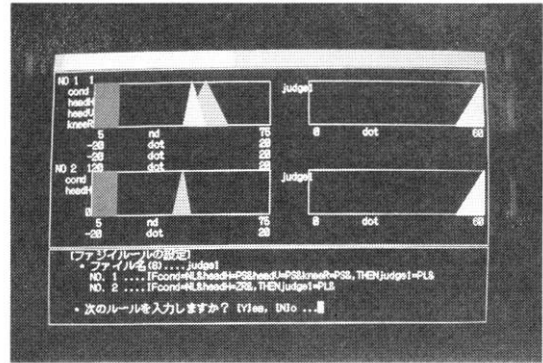
図28 運動解析システムブロック図

上級, 中級, 初級の各クラスごとのスイングのアドレスからインパクト直前までの頭の上下・左右, 左腰の左右, 左膝の左右及び右膝の左右の各移動量を表3に示す。左右, 上下の移動基準(原点)はアドレス時の各座標値である。これら移動量から運動機構学的解析を通して, スイングのための評価項目を見だし, メンバーシップ関数の作成とルール作成を行った。なお, 各作成には,

ファジィ推論開発ツール⁷⁾を用いた。本ツールによるメンバーシップ関数とルール設定過程を図29(a), (b)にそれぞれ示す。推論に用いた運動評価用メンバーシップ関数を図30に, ファジィ診断用ルールマトリックスを表4に示す。これらによるファジィ推論過程を図31に示す。



(a)メンバーシップ関数設定



(b)ルール設定

図29 メンバーシップ関数とルール設定画面

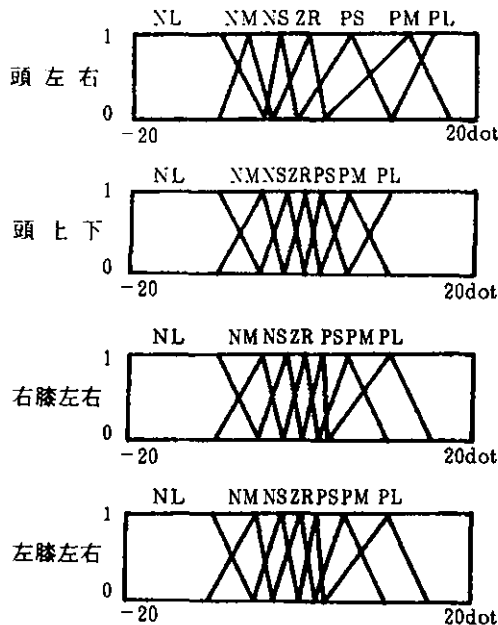


図30 運動評価用メンバーシップ関数

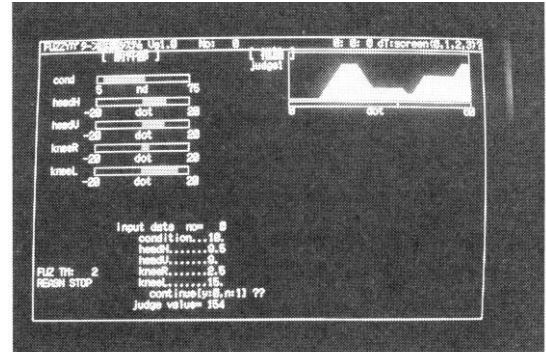


図31 ファジィ推論過程

表3 各部位の移動量

(+): 右(上)方向
(-): 左(下)方向

被験者 最大移動量 計測項目	上級者		中級者		下級者	
	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)
頭左右	9.5	5	17	0	12	2
頭上下	9	1	3	4.5	1.5	7.5
左腰左右	13	5.5	8	9	12	9.5
左膝左右	15	3	8	12	4	13
右膝左右	2.5	8	5.5	28	7.5	8.5

表4 ファジィ推論用ルールマトリックス

スイング種	頭左右	頭上下	右膝左右	評価
NL	PS	PS	PS	PL
NL	ZR			PL
NL	PS			PS
NL	PM			NS
NL	PL			NL
NL		ZR		PL
NL		PS		PM
NL		PM		ZR
NL		PL		PL
NL			ZR	PL
NL			PS	PM
NL			PM	ZR
NL			PL	NL

評価する際の基本的な考え方を、頭については動きが小さく、左膝については左方向へ流れない、すなわちその動きが小さく、右膝については左右の適度の動きがあるが、トップでは左膝の動きを受けとめる、いわゆるひねりの利いた状態が良く、したがって、右方向の動きは小さい方が良くして、ファジィ推論を適用した。表3から上級者について各動きを見てみると、頭の原点からの左右のブレ方は平均的に少なく、上下については下方向への動きはほとんどない。また、左腰の右への動きが大きい。左膝のダウンスイング時の左方向への動きは少なく、右膝についてはトップでの右方向への流れが最も小さいことがわかる。診断評価を0から255の数値により表し、0が最も未熟練な者、255が最も熟練な者とした場合、初級者は129、中級者は136、上級者は154と求められた。

6.2 計測処理ボードの開発⁸⁾

本システムを実用化するに当たり、最も処理時間を必要としているのは図28における画像処理を含む認識・計測処理部である。システムにリアルタイム性を持たせるには、この部分の処理を高速なハードウェア上で行わなければならない。計測手順1)～5)を実行するために、高速画像処理が可能な佐島電機(株)製I・MAGIN/トランスピュータボード⁸⁾を用いる予定である。本ボードのブロック図を図32に示す。処理プロセッサとしてトランスピュータ(Transputer:IMS T805/30MHz)とDSP(Digital Signal Processor:A110)を用い、画像のリアルタイム処理を可能にしている。カメラは2台接続できるが、切り換えて用いるため1台はインパクト直前までの全スイング、もう1台はインパクトからフィニッ

シュまでのスイングを捉えることになる。また、画像メモリは処理対象画像を128×128画素として、48フレーム分を持っているが、実用時には、さらに10フレーム分とインパクトからの画像がストアできる10から20フレーム分のメモリ増設が必要となると考えられる。これらについては適時対応して行く予定である。

7 まとめ

運動計測では、計測対象部位にマーカーを付けて、カメラにより捉え、その画像から部位マーカーの中心座標を求め、各部位座標の計測結果とした。これらマーカーがどの部位に属するかという属性を認識し、その中心座標を計測する方法として、矩形領域探索法と相互相関探索法を提案し、それぞれについての有効性を実験により確認した。いずれの方法によってもマーカーの隠れなどによる認識不可の問題は大きく、B-スプライン、N次関数、最小2乗誤差法の各補間法によりその解決を試み、実験を行った。その結果、B-スプラインによる補間が最も滑らかで自然な曲線が得られたが、実際の値が円弧を描くとき、その円弧のやや内側の値を通る円弧で補間がなされた。また、N(実験では、3)次関数による補間では補間値は正確であるが、それら値を結ぶ曲線は円弧の外側を通った。全体の値の正確さから見るのであれば、最小2乗誤差法が有効であった。補間を経て得られた部位マーカー座標値については、最終的に、ラベリングされたデータを見ながらの修正が必要であった。理想的には、補間後の値がすべて正確に求められ、その結果、完全自動化が可能になるのであるが、現在のところそれは難しい。前方のみから捉えた画像による計測では、連続的に隠れが生じてしまう右肘などについては補間によっても推定が困難であり、修正作業が必要となる。これらの推定には、多くのゴルファーのスイングデータ(主に、スティックピクチャー、オプティカルフロー)を蓄積、解析することにより得られる体格などに応じた推定のためのデータベース構築が不可欠と考えられる。また、隠れを捉える複数台のカメラを用いた計測システムの導入も考えなければならない。

運動診断のための解析法には運動機構学的解析と運動力学的解析の各手法があり、前者はスティックピクチャー、オプティカルフローなど位置情報に基づく動きの解析であり、後者は画像から得られた位置情報からの

PC9801 拡張バス

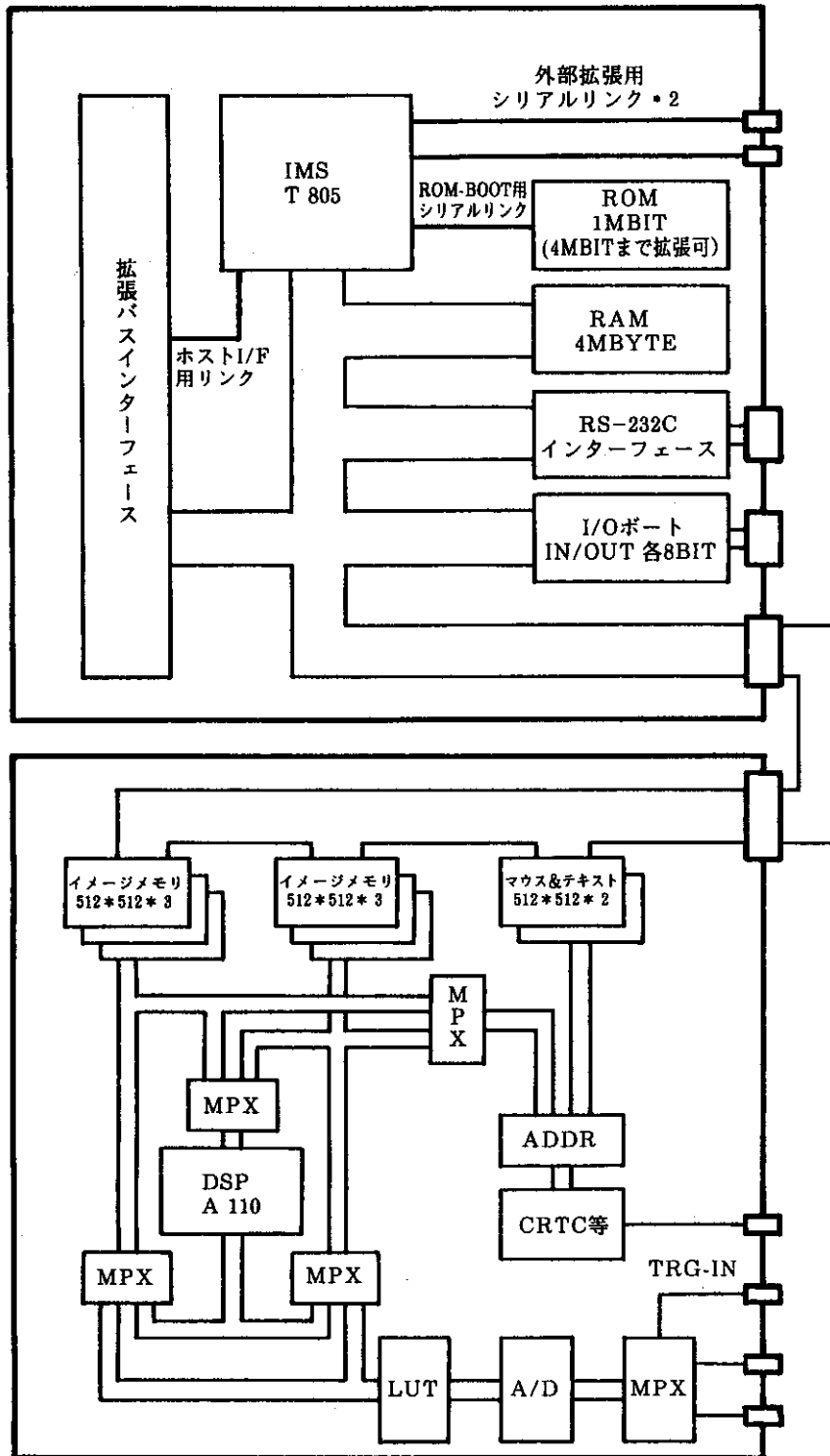


図 32 計測処理ボード

速度、加速度をデータとするエネルギー解析である。ゴルフスイングの運動力学的解析においては前節でも述べたようにインパクトの瞬間とその前後のエネルギー変化を得ることが重要となる。このためインパクトの瞬間を含むスイングの時系列画像を得ることが必要であり、2台のシャッタービデオカメラを用いた計測システムにより、その時系列画像を得ることができた。本計測法により、野球、テニスなど打具を用いるスポーツのインパクトの瞬間はもちろん、陸上のスタートの瞬間、飛び込みの板から離れた瞬間など重要な動作の瞬間を含む時系列画像を作成することができる。

ゴルフスイングの評価診断にはファジィ推論を用いた評価システムを提案した。2つの探索法を組み合わせることで認識・計測された部位座標値に基づき、頭の動きなど5つの部位移動量を求め、解析し、ファジィ推論のための評価項目を設定した。この結果、画像のみによる推論評価が可能であることがわかった。本例では、非常に単純な場合を想定しているが、評価項目が増えても基本的にはファジィ推論のためのメンバーシップ関数、ルール設定は同じ過程で作成できる。評価項目として、運部位座標値から計算される角速度など運動力学的要素を導入することも可能である。認識、計測、解析そしてこのファジィ推論を用いた診断までのトータルな技術開発を行い、運動診断のためのシステムを構築した。

以上、計測から診断までの各処理からなる運動解析システムを開発した。特に、開発の基礎となる計測処理については、特許申請を含め多くの有用な手法を得ることができ、画像を用いた運動計測が解析上、精度を含め十分実用的であることが明らかになった。なお、各処理はバッチ的であるが、今後は、有機的に各々結び付けて高速化、自動化を行い、システムの実用化を図って行く予定である。

また、動画画像を用いた運動解析はゴルフのみならず、多くのスポーツ、また、リハビリテーション、医療の各分野に適用することができ、開発された計測、解析、診断法が今後、それら分野に広く応用されて行くと考えられる。さらに、本システム開発過程で得られた新しい技術、手法は広く産業分野に応用することができ、道内システムハウス、ソフトハウス、機械装置製造業へ技術移転し、新たな市場の開拓、新製品開発が期待できる。

なお、本報告は平成2年度から4年度の3カ年に渡り、北海道大学教育学部、デービーソフト(株)、(株)VIP、佐鳥電

機(株)との産学官共同研究成果をまとめたものであり、ここに参加された関係各位に厚く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 波 通隆ほか，“動画画像解析を用いた運動診断 CAI システムに関する研究”，平成2年度共同研究報告書，平成3年3月
- 2) 波 通隆ほか，“動画画像処理を用いた運動計測システムの開発に関する研究”，平成2年度共同研究報告書，平成3年3月
- 3) 波 通隆ほか，“動画画像解析を用いた運動診断 CAI システムに関する研究”，平成4年度共同研究報告書，平成5年3月
- 4) Azriel Rosenfeld & Avinash C. KAK 著，監訳 長尾 真，“デジタル画像処理”，近代科学社，1978
- 5) 波 通隆ほか，“動画画像解析を用いた運動診断 CAI システムに関する研究”，平成3年度共同研究報告書，平成4年3月
- 6) 波 通隆ほか，“動画画像処理を用いた運動計測システムに関する研究”，平成3年度共同研究報告書，平成4年3月
- 7) 長尾 信一ほか，“ファジィ制御による農産物用多機能乾燥システムの開発”，北海道立工業試験場報告，No.290，P139 - 155，1991
- 8) 佐鳥電機(株)，“I・MAGIN/ トランスピュータボード機能概要説明書”，平成4年7月28日