

## 車いす使用者を含む群集の避難流動特性に関する実験研究

AN EXPERIMENTAL STUDY ON THE ESCAPE FLOW OF  
CROWD INCLUDING WHEELCHAIR USERS

嶋田 拓\*, 金井昌昭\*\*, 矢島規雄\*\*\*, 直井英雄\*\*\*\*  
Taku SHIMADA, Masaaki KANAI, Norio YAJIMA  
and Hideo NAOI

The escape of wheelchair users from buildings at fire has not been considered enough till now. In this study, we made two experiments to grasp the characteristics of crowd escape flow including wheelchair users. Through these experiments, we recognized as follows:

1. In the range that crowd density is 2-8 persons/m<sup>2</sup>, the flow coefficient increases as the density increases.
2. The flow coefficient decreases as the ratio increases of wheelchair users in the crowd.
3. The width of door has little affect to flow coefficient.

**Keywords :** wheelchair, crowd, flow coefficient, escape

車いす, 群集, 流動係数, 避難

## 1. 研究の背景と目的

## 1-1. 研究の背景

近年、ハートビル法（高齢者、身体障害者等が円滑に利用できる特定建築物の建築の促進に関する法律）などによりバリアフリー化が進み、車いす使用者などの身体障害者にとっても利用可能な建物が増えてきている。しかし、この動きは、建物へのアクセスに関するバリアフリー化であって、火災時などの非常時の避難の問題については、まだ十分な検証がなされていない状況にある。

現在は、避難計算の際に、群集が扉などを通過する場合の流動係数は、1.5人/m・sが使われている<sup>1) 2)</sup>。この値は建築基準法の避難安全検証法においても採用されている。

この根拠として、戸川<sup>3)</sup>の観測によれば開口部の流出はほぼ1.0～2.0人/m・sの間にあり、避難時の群集流動係数は1.5人/m・sが適当であるとしている。また、岡田<sup>4)</sup>によれば、水平な通路における流動量は、通勤群集のようにスピードの速い群集については、群集密度が1.0～4.0人/m<sup>2</sup>の範囲では群集密度に関係なく流動量は1.5人/m・sで一定と考えて差し支えないであろうとしている。出入口における流動量は、通路より一般に幅が狭いため、流体の流動というよりも粒体の流動であり、幅と流動量の関係は一般に正比例しないため、単位幅(u)として55～60cmを用い、1.0人/u・sとみな

してよいとしている。

しかし、これら観測された群集は、いうまでもなく健常者に限定された集団であり、身体障害者等は含まれていない。高齢社会の進展や身体障害者の社会参加を考えると、一般建築物における避難計画は車いす使用者を含めて考える必要がある。そのような群集の場合、流動量は健常者集団の値より減少することが予想されるが、その減少の程度に関する知見はいまだ得られていない。

なお、流動係数という用語と同じ意味で流出係数や通過流率という用語が用いられることもあるが、本研究では、避難計画での用法に従って流動係数という用語を用いる。

## 1-2. 研究の目的

以上の背景から、本研究では、群集流動に与える影響が大きいと考えられる群集密度、開口幅、車いす使用者混入率、滞留空間タイプの4つの要素に着目し、車いす使用者を含む群集の流動係数を求めるための基礎資料を得ることを目的に、この状況を再現する2つの実験（以下、実験1及び実験2という）を行い、解析した<sup>5) 6)</sup>。

なお、実験1・2の2つの実験を行ったのは以下の理由からである。

① 1つの被験者集団だけでは、実験結果に偏りがある可能性が否定できない。

② 解析の必要上、実験2では実験1の設定条件をより厳格にした。

\* 明野設備研究所 工修

\*\* 東京理科大学工学研究科建築学専攻 大学院生

\*\*\* 東京理科大学工学部第二部建築学科 助手・工修

\*\*\*\* 東京理科大学工学部第二部建築学科 教授・工博

Akeno Fire Research Institute, M. Eng.

Graduate Student, Dept. of Architecture, Faculty of Engineering, Tokyo Univ. of Science

Research Assoc., Dept. of Architecture, Faculty of Engineering (Night Course), Tokyo Univ. of Science, M. Eng.

Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Engineering (Night Course), Tokyo Univ. of Science, Dr. Eng.



とも考えにくく、かつ、安全側でもあるので、支障はないと判断した。

### 2-4. 実験方法

開口部の中心に計測ラインを設け、その真上約8mの位置に撮影カメラ、照明ライトを設置し、実験を行う前に各被験者の頭頂部に貼付した反射シールによる反射光をカメラを用いて撮影し、この反射光が中央の計測ライン上を通過する様子を1/10秒ごとに計測した。そのカメラによる画像の一例を図3に示す。

開口部流動の再現は、まず被験者を、実験1の室空間タイプ及び実験2においては開口部を中心に半円状に、実験1の通路空間タイプにおいては通路上に、それぞれ均等になるように分散させた(図4参照)。さらに、被験者同士の接触の有無などにより、群集密度に合わせた間隔をとらせ、合図と共に一斉に設定した開口部を通過させた。被験者に対しては、特に物理的な操作はせず、それぞれに持たせた群集密度についての共通のイメージによって開口部を通過させた。

実験1については、設定条件のなかの滞留空間タイプで区分し、室空間タイプについては9通りの計測条件で各5回、通路空間タイプについては9通りの計測条件で各3回、計72回の計測を行った。また、実験2については、設定条件から24通りの計測条件(群集密度小と大は開口幅900・1800mm、車いす0・3台の組み合わせのみ)を設定し、それぞれ各5回、計120回の計測を行った。

### 2-5. 解析方法

撮影カメラによって得られた画像より、動作解析機<sup>7)</sup>を用いて位置座標データに変換し、通過時間等の基礎データを得た。なお、群集の最初と最後の5人は、群集の影響を受けているとはみなせないため、データから除外し、解析を行うこととした。

## 3. 実験結果及び考察

### 3-1. 群集流動の観察結果

#### (1) 群集流動の安定性について

2つの室設定において安定した群集流動が再現されているかどうかを確認するため、群集密度の経過時間による推移の一例を、それぞれ図5・6に示した。これは健常者のみの試行回をとり、開口部の計測ラインから手前1m、幅は開口幅の範囲を計測したものであり、図にプロットした点は、1/10秒ごとに計測したものを、5コマごとに平均した点である。若干のばらつきが見られるが、これは狭い範囲を測定したために、範囲内の被験者人数が少なく被験者1人当りの数値に与える影響が大きくなったために生じたものと思われる。また、図5の室空間タイプのように若干密度の減少が見られた試行回もあるが、時間経過とともに滞留人数の減少し後ろからの圧力が減少することが原因の一つとして考えられる。密度の著しい変化は見られず、おおむね安定した定常流が再現されていると判断できる。

#### (2) 健常者と車いす使用者の移動軌跡について

実験1の室空間タイプ、開口幅900mmにおける無作為に抽出した健常者数15人分、及び車いす使用者3人分の軌跡の一例を図7に示す。開口部通過前と通過後では、ほぼ同じような軌跡を描き、全体としては扇形のような広がりかたとなる。開口部通過前及び開口部通過後の軌跡に、車いす使用者と健常者の特別大きな違いは見られない。

しかし、詳細な観察によれば、通過前の軌跡を見ると、健常者に関しては横への動きが大きく、蛇行している。これは、首を動かした場合や首のゆれ等の動きが軌跡に反映されてしまう影響を考慮しなければ

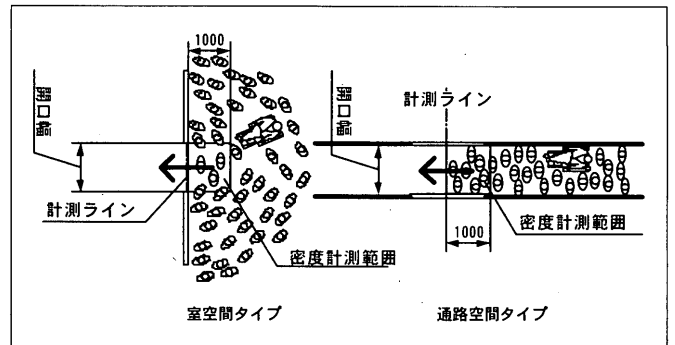


図4. 初動配置図及び密度計測範囲

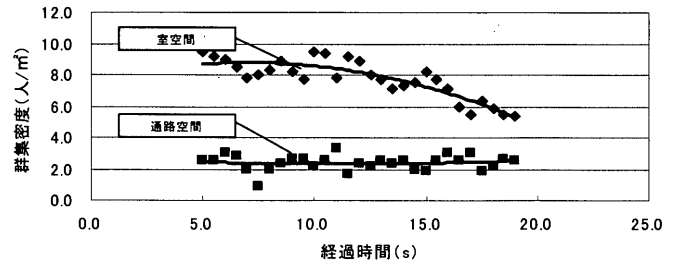


図5. 密度の推移 (実験1)

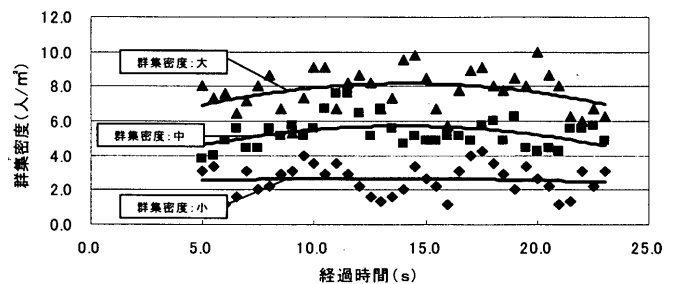


図6. 密度の推移 (実験2)

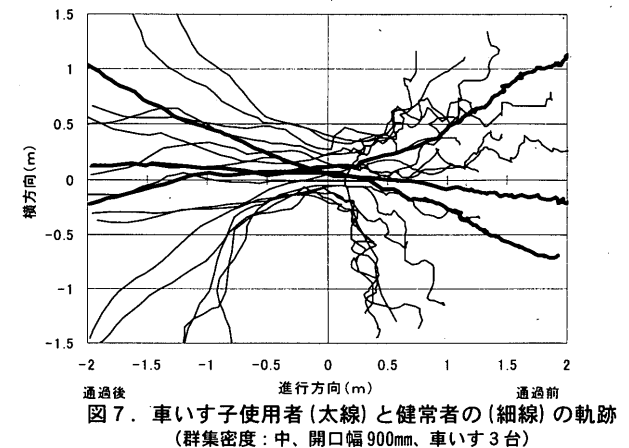


図7. 車いす使用者(太線)と健常者の(細線)の軌跡 (群集密度:中、開口幅900mm、車いす3台)

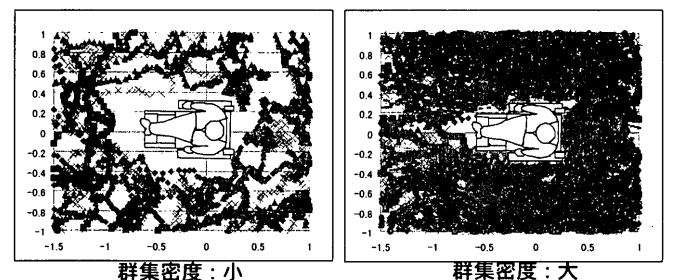


図8. 車いす周りの健常者の位置の例 (群集密度:中、開口幅900mm、車いす1台)

ばならないが、その影響は、通過後の軌跡に表れているように、比較的少ないと考えられる。すなわち、健常者は、滞留中の群集の中で直線的に進むのではなく、前方のスペースに斜めに入り込みながら進行していることが最も大きな要因と考えられる。これは、群集の中では横への動きも要求されていると言い換えることもできるであろう。一方、車いす使用者は、ほぼ直線的な動きをしており、健常者との差異が見られる。これは移動形態の違いによるものと考えられる。

これらの軌跡及び観察によると、車いす使用者、健常者ともに不自然な動きは見られず、一般的な滞留を伴った群集流動が再現されていると判断できる。

### (3) 車いす使用者周りの健常者の位置について

図8に、車いす使用者の位置座標を原点としたときの、周囲の健常者の位置座標をプロットしたものを、各設定群集密度別に示す。群集密度が大きくなるにつれて、車いす使用者との距離が短くなっているのがわかる。その形として、車いすのフットレスト部付近の違いが見られる。群集密度が小さいほど、フットレスト部付近には近づかないが、群集密度が大きくなると、その付近に近づく傾向にある。これは、物理的な車いすの形状の影響と考えられ、周囲との相対位置関係に余裕がある場合、フットレスト部との接触を避けるため相対位置が離れるが、その余裕がない場合、接触に対する意識よりも、前方への進行に対する意識が優先されるためこのような状況になると考えられる。実験後の一部の被験者に対するアンケートによると、タイヤなど駆動部に対して注視する傾向が全体としてみられ、できるだけ車いすから離れて歩行することを意識している者が多く、特に車いすの前方を歩行することを嫌がるものが多い。しかし、実験結果をみると、高群集密度ではそのような能動的な意識とは関係なく接触しており、周囲からの圧力など物理的要因によって群集の中の個人の位置、動きが支配され、受動的な動きの個人が群集を形成しているといえる。

## 3-2. 各種条件が流動係数に与える影響

### (1) 滞留空間タイプの比較

各設定条件別の車いす使用者混入率に対する流動係数を、実験1については図9、実験2については図10にそれぞれ示す。

図9を見ると、滞留のある室空間タイプの方が滞留のない通路空間タイプよりも高い流動係数となる結果となった。この原因として群集密度が考えられる。同様な想定条件（滞留空間タイプ以外同条件）にもかかわらず、滞留によって群集密度が高くなり、流動量が増大したため流動係数が大きな値となった。

### (2) 車いす使用者混入率の影響

図9・10を見ると、当然の結果であるが、混入率の増加により流動係数の減少が見られる。車いす使用者混入率の増加に対する流動係数の減少はほぼ直線的であり、比例していると言える。流動係数の減少率の傾きは、群集密度が高いほど大きくなる傾向が読み取れる。

これらの結果により、高い混入率においてもほぼ直線的に減少すると予想されるが、どの程度まで直線的な傾きを持つかについては、さらなる研究が必要である。

### (3) 開口幅の影響

図9・10によれば、開口幅が違っていても若干の違いはあるがほぼ同様な値、傾向を示しており、他の条件に比べその影響の程度は小さい。以下、観察された詳細を述べる。

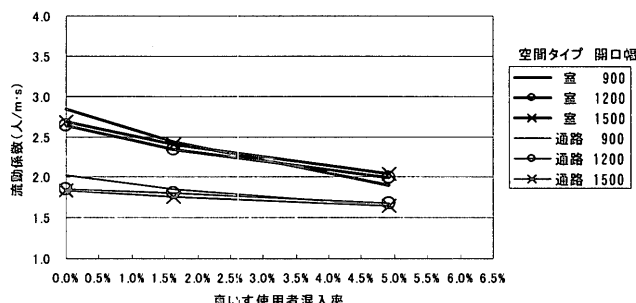


図9. 車いす使用者混入率と流動係数の関係 (実験1)

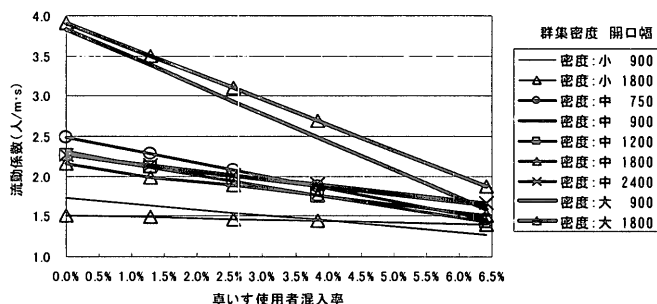


図10. 車いす使用者混入率と流動係数の関係 (実験2)

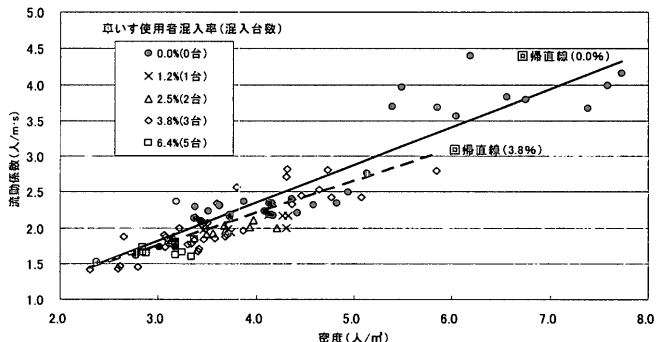


図11. 群集密度と流動係数の関係

小さな開口幅 (750mm・900mm) では、体をねじらせて通過するなどの行動が多く観察された。また、車いす使用者が通過するときには、開口部の手前 0.5m~1.0mまでは周囲の健常者が車いす使用者の前に入り込み、流動量は減るものの人の流れが途切れないが、車いすの一部が開口部にさしかかると、健常者が後方及び横に停留し、流動が分断される様子が観察された。開口幅 1200mm 以上の場合、車いす使用者と健常者が同時に通過の様子が観察された。900mm では同時通過が観測されなかったため、単独通過と同時通過の境界となる開口幅は、この間にあるといえる。

### (4) 群集密度の影響

設定群集密度に対して、実際の群集密度は、群集密度：小 (2~3人/m<sup>2</sup>)、群集密度：中 (3~5人/m<sup>2</sup>)、群集密度：大 (5~8人/m<sup>2</sup>) となった。

図10を見ると、群集密度が高いほど流動係数が高い値となる。小群集密度に比べ、高群集密度では車いすの影響が大きく、流動係数の減少率も大きい。原因として、周囲からの圧力等、様々な理由が考えられる。しかし、それらの要素が複雑に絡み合っており、今回の実験結果によって明確な説明をするまでには至らなかった。

図11に、実験2における各試行回ごとに群集密度を平均し、その群集密度に対する流動係数を車いす使用者混入率別にプロットした図を示す。これを見ると、5人/m<sup>2</sup>以上の群集密度での流動係数

に多少ばらつきは見られるが、全体的に、車いす使用者混入率によらず同様な傾向を示しており、群集密度と流動係数が比例している。プロットした点が3~5人/m<sup>2</sup>に集中しているのは、群集密度：中の試行回数が多かったためである。試みに求めた回帰直線を図11に示した。

図10における車いす使用者混入率0.0%のときの値を、過去の群集流動に関する研究<sup>9)</sup>と比べると、小群集密度時(2~4人/m<sup>2</sup>)では大きくそれたものではないが、高群集密度時では差が見られる。この理由として、通勤時の群集とは違い、今回の実験群集はかばんなどの荷物を持っていないため、個々の動きがより自由であることなど、実験群集と観測群集による違いが結果に表れていると考えられる。

また、群集密度の計測範囲として、開口幅×計測ライン手前1mの範囲を用いたが、計測ライン付近では、図12に示す速度分布の一例からも明らかなように、速度が上昇し、被験者間の距離のばらつきが大きくなるため、群集密度のばらつきが大きく、群集密度の計測に問題が残った。特に、高群集密度においてこの傾向が強く見られた。参考までに、健常者、車いす使用者について各群集密度別に平均したものを図13に示す。開口部前後での速度変化は健常者、車いす使用者の別に関係なく同様な傾向を示している。

3-3. 車いす使用者の混入による流動係数の低減

図9・10を見ると、実験1の室空間と実験2の群集密度：中では、同様な想定条件で計測したにもかかわらず、流動係数に違いが見られた。これは、想定した群集密度と実際の群集密度との違いが結果に表れていると思われるが、前述のように群集密度の計測に問題が残るため、計測方法を改善する必要がある。

しかし、大きな傾向として、車いす使用者混入率に対する流動係数の低減率はほぼ共通しているといえる。

4. まとめと今後の課題

本研究より得られた知見を以下にまとめる。ただし、これらは履物を靴下とし、教示による擬似的な群集を作って行った実験により得られた知見と受け止めるべきである。

- ①群集密度が2~8人/m<sup>2</sup>の範囲では、群集密度の増加に対して流動係数は増加する。
- ②車いす使用者混入率の増加によって、流動係数が比例的に減少する。
- ③開口幅の影響は他の条件に比べ少ない。

以上のことを踏まえ、本研究のまとめとして、群集密度別に車いす使用者混入率に対する流動係数の平均と標準偏差を図14に示す。これを見ると、避難計算に使われる1.5人/m<sup>2</sup>sという値は、本実験の車いす使用者混入率0.0%のときの結果に比べて概ね安全側の値になっていると見ることができる。

しかし、そもそも流動係数の安全率をどのように考え、車いす使用者混入率の増加に伴う流動係数の低減率をどの程度と考えればよいかについては、さらなる議論が必要である。また、本研究においては、以下の問題に関して十分な知見に達しているとは言えない。

- ①健常者と車いす使用者とで1人あたりの専有面積が大きく異なる事実を踏まえた上での、車いす使用者混入率と群集密度の捉え方との関係
  - ②車いす使用者混入率がさらに高くなった領域での流動特性
- これらについては、今後の課題としたい。

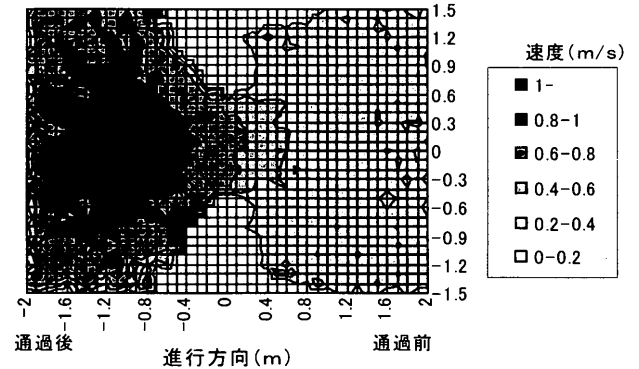


図12. 速度分布の一例 (群集密度：中、開口幅900mm、車いす3台)

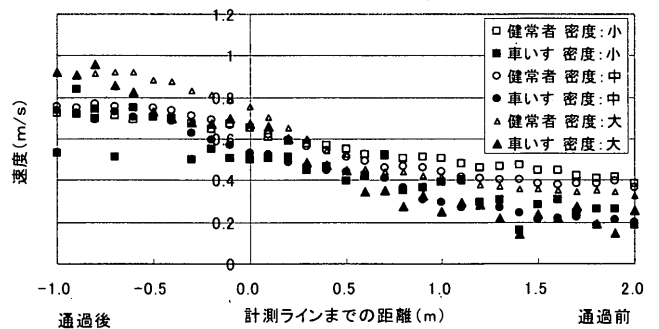


図13. 速度変化

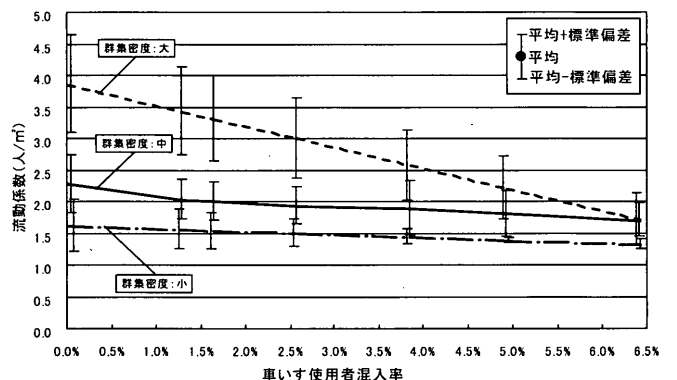


図14. 流動係数の減少程度

注

- 1) 建設省住宅局建築指導課：新・建築防災計画指針，日本建築センター，pp. 134, 1975. 7
- 2) 岡田雅之，吉田克之，渡辺仁史：防災計画の研究 7. 集団歩行の速度と流動係数の調査方法に関する文献調査，日本建築学会大会学術講演梗概集E，pp. 1023-1024, 1993. 9
- 3) 戸川喜久二：群集流の観測に基づく避難施設の研究，建築研究所，pp. 11-15, 1956
- 4) 岡田光正，吉田勝行，柏原士朗，辻正矩：建築と都市の人間工学-空間と行動の仕組み，鹿島出版会，pp. 40-45, 1977. 1
- 5) 嶋田拓，矢島規雄・川村かおり・直井英雄：車椅子使用者を含む群集の避難流動特性に関する実験，日本建築学会大会学術講演梗概集E-1，pp. 857-858, 2001. 9
- 6) 金井昌昭，嶋田拓，矢島規雄，直井英雄：車椅子使用者を含む群集の避難流動特性に関する実験(その2)，日本建築学会大会学術講演梗概集E-1，pp. 711-712, 2002. 8
- 7) 実験に使用した動作解析機は、株式会社 ディケイエイチ (DKH) 社製の2次元ビデオ動作解析システムFrame-DIAS 2である。テープに収録したアナログ画像またはデジタル画像データをパソコンのメモリに取り込み、解析ポイントを自動または手動でデジタル化するタイプの、バイオメカニクス解析主眼のビデオ動作解析システムである。

(2002年12月9日原稿受理，2003年5月2日採用決定)