

## 速度・加速度ベクトルの可視化とその応用

山下 達也 , 早野 誠治, 齋藤 兆古 (法政大学大学院)

堀井 清之 (白百合女子大)

### Visualization of Velocity and Acceleration Vectors

Tatsuya YAMASHITA, Seiji HAYANO, Yoshifuru SAITO and Kiyoshi HORII

#### ABSTRACT

In recent years, advanced transport system such as high speed rail ways in the town and expressways connecting among big towns strongly requires to install the various sensors in particular velocity and acceleration sensors on their ways to govern and monitor the flow of traffic stream.

Up to now, it is possible to use various types of velocity and acceleration sensors. We have employed two typical sensors in this paper. One is a fixed type to the way and is possible to measure the exact speed as well as acceleration vectors. The other is a removable type to any location and is available to measure the instantaneous speed as well as acceleration vectors. The fixed type is a magnetic sensor, which equips the sensing or picking up coils, and has reasonable tough property to the mechanical and environmental conditions, but does not have high sensibility at low speed. The other is a CCD camera, which makes it possible to measure any low speed but is difficult to measure high speed over the frame rate speed limitation.

To visualize the speed and acceleration vectors under any conditions, we propose a hybrid measuring system combining both magnetic and CCD image sensors. Initial experiments demonstrate the usefulness of our system.

**Keywords:** Velocity and acceleration vectors, Vector visualization, Speed sensors

#### 1. 緒 論

近年、道路交通におけるITS(高度道路交通システム)、工場における搬送システムなどの分野で輸送・搬送の自動化、制御の高度化が進んでおり、それに伴い移動体の位置、速度、加速度を計測し、その状態を視覚的に把握する可視化技術の重要性が加速度的に増大している。近距離においてこれを実現する方途としては、赤外線センサ、レーダー波などが開発・実用化されているが、これらの技術は過渡的な瞬間速度を計測する場合に有効であるが、赤外線や電波が到達可能な範囲に限定される。

以上のような社会的状況を鑑み、筆者らはこれまでピックアップコイルを用いた電磁誘導型磁気センサによる速度・加速度計測システムを提案し、それらの妥当性を実験的に検証してきた。

電磁誘導型の磁気センサは機械的構造が単純で、物理的に破壊される以外に故障が考えられないほど信頼性が高く、雨・風・雪などの気象・環境変化に強い。また、複数のセンサを用いることで加速度等の時間変化を捉え

ることも可能であり、精度も高いという特性を有する。一方で、磁界による誘導起電力を利用するため、磁界発生源を設置する必要があり、それ故に測定対象が限定されること、低速域においては精度が低下すること等の課題も有している。

電磁誘導型磁気センサの機能を補完する方途として、CCD(=Charge Coupled Device[電荷結合素子])カメラで得られる動画像を用いた速度・加速度測定が挙げられる。コイル間距離に依存する電磁誘導型磁気センサに対し、動画像による速度計測はフレームレートへ依存するため、一般に用いられている30fps(Frames Per Second)のデジタルビデオカメラであっても比較的高速な速度計測が可能で、かつ、速度変化に対応が容易である。一方、高速で移動する物体に対してはサンプルレートが少ないため、画像処理による残像を生じることにより十分な精度を得ることが難しい。

これらのことを踏まえ、本論文では高速域を得手とする電磁誘導型磁気センサと低速域に強いCCD動画像法による速度・加速度測定法を組み合わせたハイブリッド

型速度・加速度測定装置を用いて、速度の減衰特性が複雑で把握困難な磁気ダンパの性能評価を試みる。

本論文の構成は以下の通りである。第1章は緒論である。第2章では電磁誘導型磁気センサによる速度・加速度測定法に関して述べ、一例として自由落下する測定対象物の速度測定実験を取り上げる。第3章では CCD 動画画像による速度・加速度測定法に関して述べ、具体的な例として斜面を滑落する物体の速度測定を行う。第4章では両者の測定法を組み合わせた複合型速度・加速度測定法を提案し、実用例として行った磁気ダンパの性能評価を行う。第5章はまとめである。

## 2. 電磁誘導型磁気センサによる速度測定

### 2.1 原理

筆者らはこれまで磁気センサによる速度・加速度測定の研究を進めてきた。その原理は以下のとおりである。測定対象物がピックアップコイル近傍またはその内部を通過する際、ファラデーの法則より式(1)で表せる電圧が発生する。

$$v(t) = -N \frac{d\phi}{dt} [V] \quad (1)$$

この電圧をピックアップコイルにより測定し、対象物の移動を検知する。

単独のセンサでは単一の電圧値のみが得られる。しかし、測定対象物の移動方向に沿って複数個センサを配置すれば、速度・加速度等の測定が可能となる。

電磁誘導型センサでは磁界発生源を必要とする。ピックアップコイル近傍に磁界発生源を設置しない場合は測定対象物に磁界発生源、すなわち永久磁石を装着する。

### 2.2 自由落下速度測定による検証

電磁誘導型磁気センサの利点として高精度が挙げられる。その実例として、自由落下する測定対象物の速度測定の結果を紹介する。Fig.1 のように複数のピックアップコイルをアクリルパイプに一定間隔で巻いた実験装置を構成する。実験は任意の高さから永久磁石を落下させ、

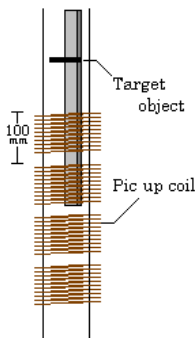


Fig.1 Tested experimental apparatus.

測定対象物の通過をセンサ出力電圧で検知し、その電圧波形から各ピックアップコイル通過時刻を求め、速度を算出する。具体例として、落下方向に沿って配置された

ピックアップコイルの誘起電圧波形を Fig.2 に示す。

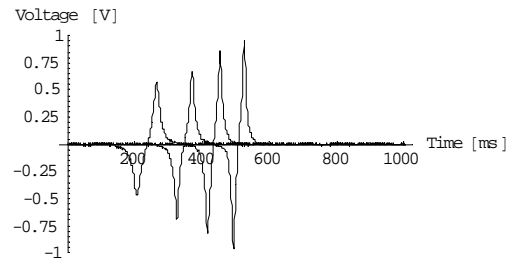


Fig.2 Sequentially Induced Voltages.

Fig.2 から分かるように、一連のピックアップコイルの誘起電圧波形は測定対象物の落下速度を明確に表す。誘起電圧のピーク間の時間とピックアップコイル間の距離からコイル間速度が得られる。Fig.3 は測定対象物の落下速度を示す。Fig.3 中の理論値と比較して、電磁誘導型センサは比較的高精度に速度測定を可能とすることが判る。また、3 点以上測定することで、加速度の算出も可能である<sup>1)</sup>。

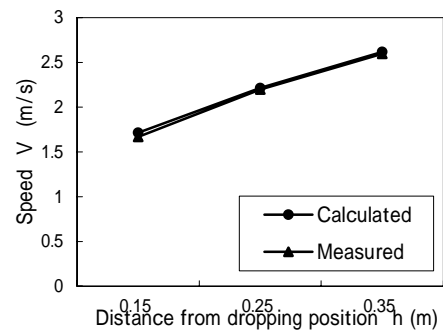


Fig.3 Comparison Measured and Theoretical Target Speeds.

## 3. CCD 動画画像による速度測定

### 3.1 原理

急激な速度変化や低速時といった電磁誘導型センサが不得手とする条件を克服する方途として CCD 動画画像による速度測定を考える。測定原理は以下の通りである。

CCD を用いた市販デジタルビデオカメラを用いて撮影した動画をフレームの集合と捉え、各フレームにおける測定対象の位置に着目する。フレーム間の時間は一定値 (=1/30 秒) であるから、長さが既知の物体を同時に撮影し、フレーム間の測定対象物の移動距離を求め、速度を容易に算出することが可能である。

### 3.2 差分画像の利用

CCD カメラを用いた速度測定法はフレーム速度が一定であるため、測定対象物の速度が高速になると画像処理に起因すると見られる残像を生ずる。この問題を克服

## B 107

する一方法として、本稿ではフレーム間の差分画像を利用する方法を提案する。

原理は以下のとおりである。1, 2を連続するフレーム画像とすると一階差分は

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = \frac{-\phi_1 + \phi_2}{\Delta t} \quad (2)$$

で求まる。一階差分では、動画像を構成するフレーム数より1枚少ない差分画像が得られる。差分画像では、変化のない背景画像は数値データでゼロに相当する黒画像となり、異なる背景画像を持った動画像でも、30分の1秒間に变化した対象物の移動情報のみが抽出される<sup>2)</sup>。

### 3.3 斜面を滑落する対象の速度測定

具体例として、斜面を滑落する物体の速度測定を行う。これは、Fig.4のような実験装置で、対象物の滑落速度測定を試みるものである。

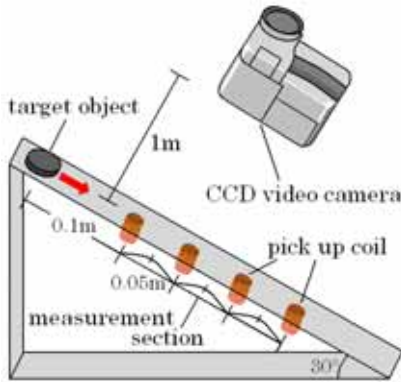


Fig.4 Schematic Diagram of the Tested Slopping Transport System.

Figs.5と6は、それぞれ動画像のフレーム画像と差分画像を示す。Fig.7はCCD動画像法と電磁誘導法によって測定された速度を示す。

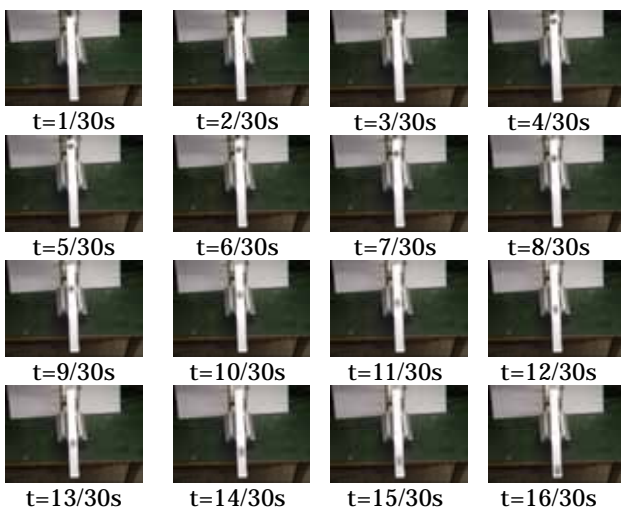


Fig.5 Frame Images of the Slip Transported Target.

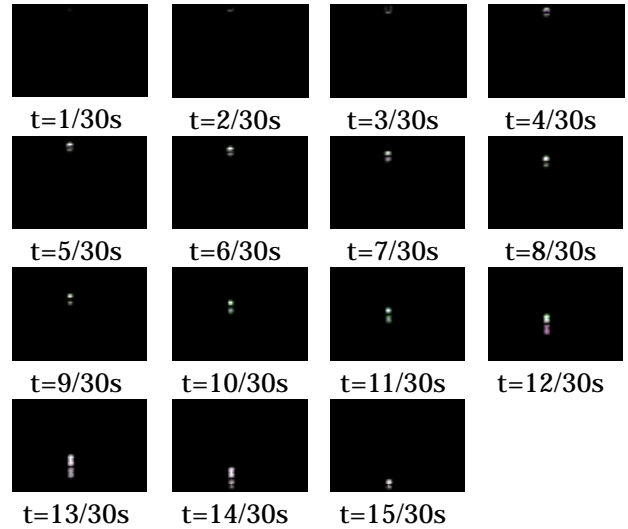


Fig.6 Difference Frame Images of the Slip Transported Target.

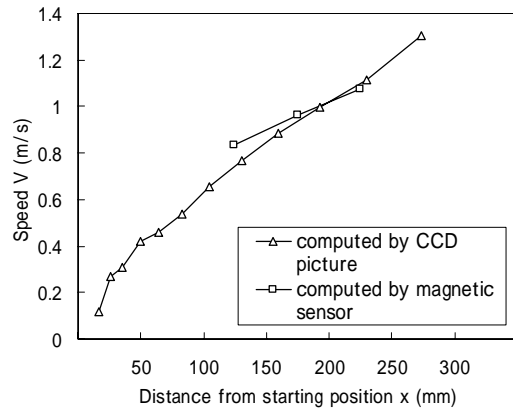


Fig.7 Evaluated Speed in Slip Transportation System.

Fig.7から、CCD動画像型・電磁誘導型の両速度測定結果は比較的良好に一致している。一定の加速度下では両者の測定法による差は小さいといえる。

## 4. ハイブリッド速度測定法

### 4.1 原理

電磁誘導型磁気センサ法とCCD動画像法は、低速域及び急速な速度変化時、フレームレート限界を超えた高速域に、それぞれ、速度測定精度が低下する課題を有する。

ここでは両者の欠点と利点を互いに補完するハイブリッド法を考える。

### 4.2 ハイブリッド法を用いたの磁気ダンパ性能評価

ハイブリッド法の具体的な適用例として、斜面搬送システムにおける磁気ダンパの性能評価を行う。磁気ダンパは、斜面を滑落して搬送する際、磁石の吸反発力と動磁界が喚起する渦電流による吸反発を利用することで対象物の速度を制御するものであり、搬送物の速度を所定の速度に制御できるかどうか、或いは磁気ダンパの効果

## B 107

で速度がどのように変化するかを観測することで性能を評価できる．ここでは，ハイブリッド法を用いて磁気ダンパの性能を評価する．

実験は，Fig.4 の実験装置にダンパとして永久磁石を加えた実験装置を用いて行い，Fig.8 にそのイラストを

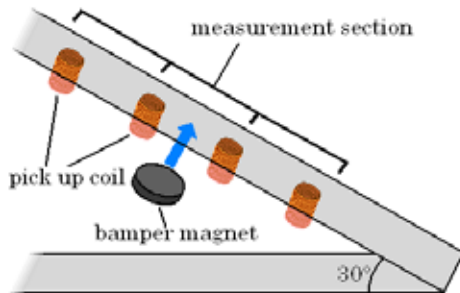


Fig.8 Schematic Diagram of The Tested Slop Transport System with Speed Damper.

示す．速度測定は，速度変化に強い CCD 画像法によって瞬時速度を算出し，高精度な速度測定結果を与える誘導型磁気センサの平均速度を用いて補正することで行う．

Fig.9 が速度算出結果である．Fig.10 は速度変化の傾向把握に有用な加速度の算出結果を示す．Figs.9,10 の結果から，永久磁石を用いたダンパの動作は吸引と反発を伴うことが分かる．

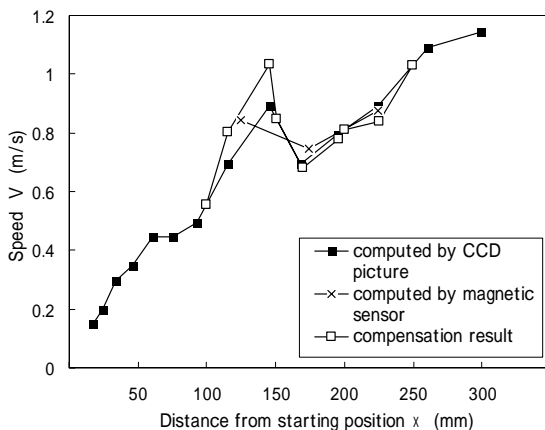


Fig.9 Evaluate Speed.

## 5.まとめ

本論文では電磁誘導型磁気センサ法と CCD 動画画像法による速度・加速度センサの原理と検証例を示し，それぞれの利点と欠点を明らかにした．さらに，両者を同時に用いるハイブリッド法を提案し，簡単な磁気ダンパシステムにおける速度・加速度を測定した．

更なる改良案として，電磁誘導型磁気センサでは速度の急激な変化に対応するためにより密なセンサ配置，CCD 画像では，フレームレートの限界を克服するため，複数個の CCD で同一対象を同時に撮影する CCD 並列化

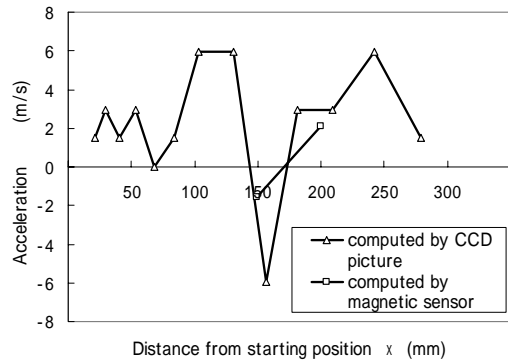


Fig.10 Evaluated Acceleration.

などが考えられる．

また，実用化に適した環境を考える場合，磁気センサは誘導起電力の検出に有利な測定対象物近傍，CCD 画像では，精度の低下は否めないが低いフレームレートでも有効な遠方からの撮影が考えられる．

## 参考文献

- 1) 山下達也, 早野誠治, 齋藤兆古, 堀井清之: 磁気センサ信号の可視化とその応用, 可視化情報, Vol. 24, No. 1 (2004) pp.243-246.
- 2) 小杉山格, 早野誠治, 齋藤兆古, 堀井清之: 有限差分を用いた動画認識, 可視化情報, Vol. 24, No. 1 (2004) pp.247-250.