

## 科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 20 日現在

機関番号：12102

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011 ～ 2011

課題番号：23650383

研究課題名（和文） 非定常推進理論に基づくシンクロのスカルによる推進力発生メカニズム

研究課題名（英文） Generation mechanism of unsteady forces in synchronized swimming

研究代表者

松内 一雄 (MATSUUCHI KAZUO)

筑波大学・システム情報系・教授

研究者番号：70111367

研究成果の概要（和文）：

動作分析法とステレオ PIV の同時計測を行うことで、シンクロナイズドスイミングでのフラットスカル時に発生する下降流を計測し、推進力が発揮されるのはインスカルおよびアウトスカルの終盤であることを示した。また、ステレオ PIV の結果から算出した渦度場と速度場を比較することにより、フラットスカル中における手周りの非定常流れ場の特徴を捉えることができた。竜巻状渦の存在と中心部の下降流の発生が確認された。

研究成果の概要（英文）：

Using PIV measurements combined with the motion analysis a downward flow was observed and the instant at which the force becomes large was determined. The instant was found to be two ends in in- and out-sculls. Moreover, by comparing the vorticity fields with the velocity fields flow characteristics of unsteady flows around a hand were clarified. Appearance of a whirlpool and downward flow near the center of it was also confirmed.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	1,300,000	390,000	1,690,000

研究分野：流体力学

科研費の分科・細目：健康・スポーツ科学、スポーツ科学

キーワード：シンクロナイズドスイミング、非定常流体力、スカル、PIV、三次元動作分析

## 1. 研究開始当初の背景

流体中を進行する魚や昆虫などの動物が流体中で発生する力のメカニズムについては多くの研究の対象となっていた。ただ、人間の推進もしくは位置の保持については流れが時間的に変化しないとの仮定の下で議論されてきた。シンクロナイズドスイミング（以下、シンクロ）については特に大きな力を発生していることが知られているが、その発生メカニズムについてはほとんどわかって

いない。力の発生に主として寄与しているのは手の運動である。三次元の非定常な運動による非定常力発生の観点からこの発生メカニズムを考察する必要があった。

これまでは、非定常の流れ場を知ることが技術的に困難であり、このような観点からの研究はなされてこなかった。この研究は高出力を持ったレーザーを使い最新の PIV (粒子画像追跡法) を用いこの非定常な流れ場を動作分析法を組み合わせることによって明らかにすることである。

## 2. 研究の目的

シンクロにおける手の運動のうち、比較的解析の容易なフラットスカルと呼ばれている手の運動による力の発生に注目する。非定常力発生の観点から、PIV による流れ場解析と高速ビデオを用いた動作分析による手の運動の同時計測することによって明らかにする。

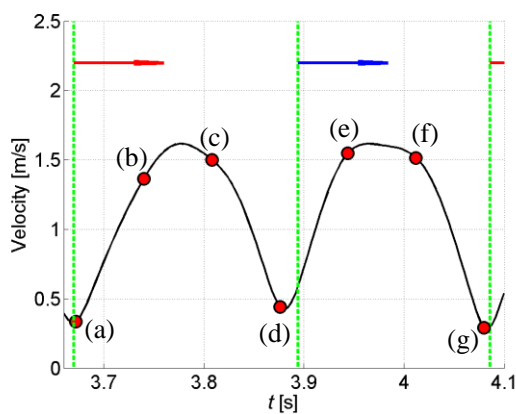
## 3. 研究の方法

スカル動作の分析を目的に開発された全方向から観測可能なアクリル製の水槽を製作した。非定常な流れ場を見るために粒子画像流速法(PIV)を用いた。手の動作範囲は広いので 120mJ の高出力のレーザーを用い、トレーサーは直径  $50\mu\text{m}$  のナイロン粒子である。流れ場と手の動きを同時に計測できるシステム(SMAP 法)を構築し、手の動きと流れ場の時々刻々の変化を捕らえた。

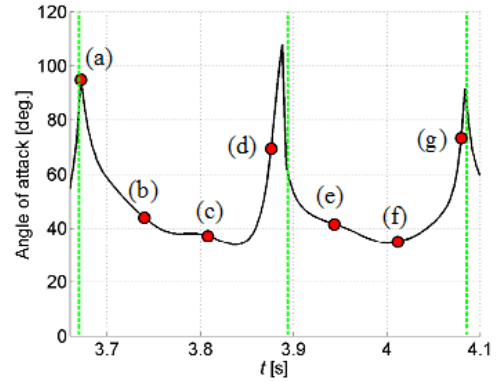
PIV による実験は二次元二成分(2CPIV)と二次元三成分(3CPIV)の二通りの実験を行った。

## 4. 研究成果

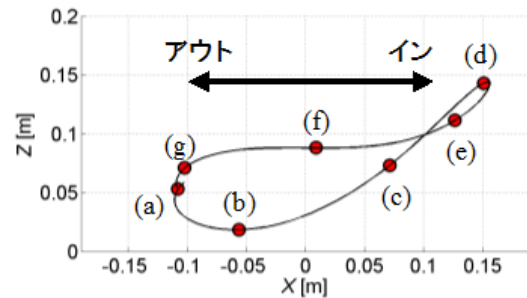
図 1 に被験者の動作 1 サイクル中の手の軌跡、手の速度および迎え角の時間変化の一例を示す。緑色の点線は遷移局面を表す。赤色および青色の矢印の始点はそれぞれインスカル開始点とアウトスカル開始点を表している。赤色の点は PIV と動作分析の同期がとれた時刻を表している。同期がとれた時刻(a)~(g)における渦度場と速度場を示していく。



(a) 速度の時間変化



(b) 迎え角の時間変化



(c) 手の軌跡

図 1 手の軌跡と速度および迎え角の時間変化

## 渦度場

図 2 に動作 1 サイクルの渦度の分布の時間変化を示す。下側の図は渦度分布が得られた瞬間の手の状態を水槽の斜め上方から見た図である。なお、緑色の部分はレーザーシート的位置を表す。

上側の図において、右端のカラーバーの数値は渦度を表しており、両端において渦が最も強くなる。赤色は時計回り、青色は反時計回り渦を表す。手の位置を示すために黒色の輪郭線(点線)を重ねた。

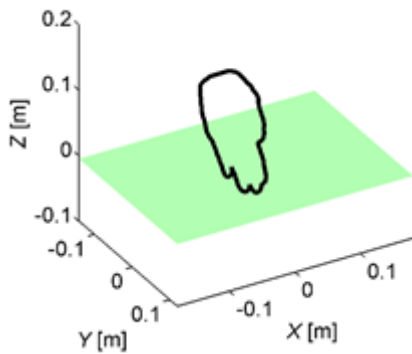
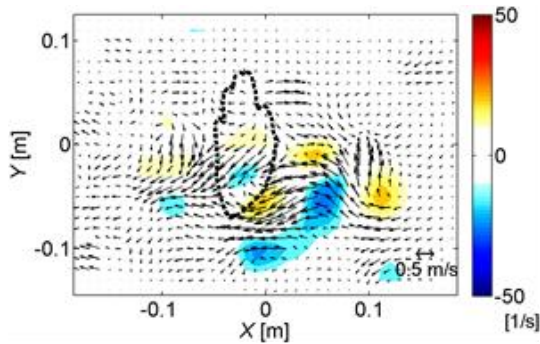
## インスカル序盤から終盤

(a)~(d) はインスカル序盤から終盤にかけての時間変化である。手は図中の左側から右側へ動く。インスカル序盤である(a)では、掌底あたりに一対の渦対が見られ、渦対の間に流れが誘起されていることが確認できる。(b)では、親指側に反時計回りの渦が3つの時計回りの渦に囲まれて存在していることが確認できる。(c)では、(a)の時刻にあった手によって引き摺られた流れが確認できる。インスカル終盤である(d)では、手によって引き摺られた流体によって強い渦対が形成されていることが確認できる。

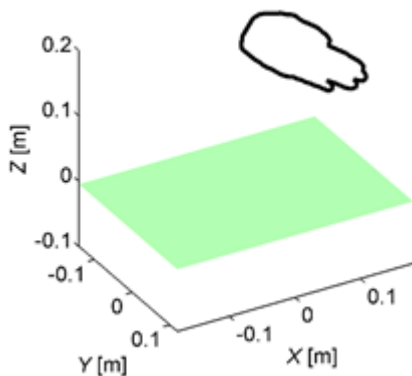
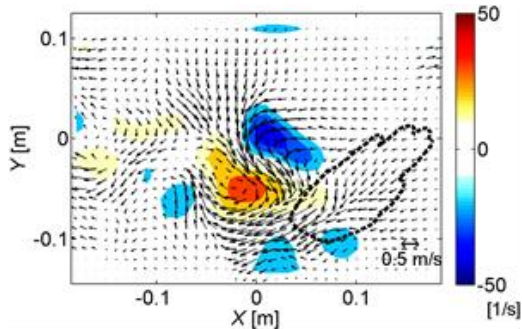
代表例として(b)と(d)が示されている。

アウトスカル序盤から終盤

(e)～(g)はアウトスカル序盤から終盤にかけての流れ場の時間変化である。



(b) t=3.740[s]



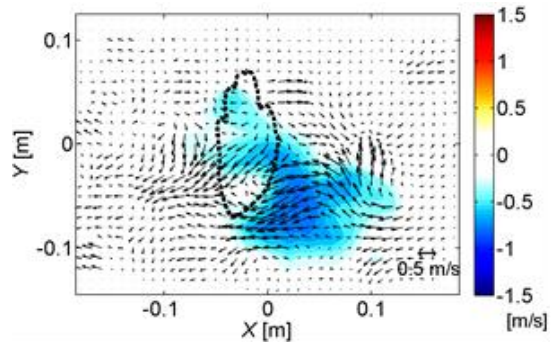
(d) t=3.876[s]

図 2 各時刻における渦度場

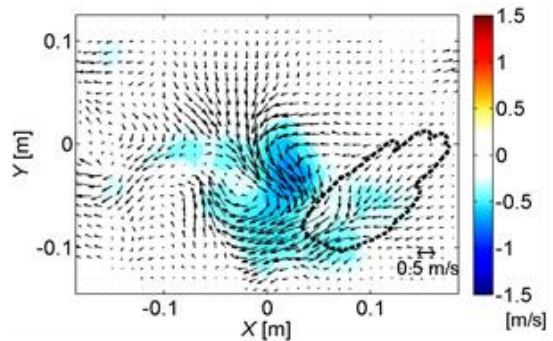
## 速度場

図 3 に動作 1 サイクルの 2 次元 3 成分の速度ベクトル分布の時間変化を示す。

右端のカラーバーの数値は流体がレーザーシート面を垂直に通過する流速を表しており、両端において最も速くなる。赤色は Z 軸正、青色は Z 軸負の流速を表す。すなわち、赤色が上昇流、青色が下降流を表している。(a)～(g)にかけて、常に下降流が確認された。



(b) t=3.740[s]



(d) t=3.876[s]

図 3 各時刻における速度場

結論をまとめる。ただし、2CPIV については得られた結論のみを述べる。

## 2CPIV

- (1) 推進力を生み出したい方向と逆方向にジェット流を生み出すことで運動量を生成していることが確認できた。
- (2) 手の平に水平な断面の流れ場を可視化することにより、Y 軸負の方向に流れが発生していることが確認できた。
- (3) スカーリングの推進力発生メカニズムは、流入運動量と流出運動量の差により推進力を得ているプロペラと同様であると示唆された。

## ステレオ PIV および動作分析

- (1) ステレオ PIV と DLT 法の同期システムを用いて推進力が発生するタイミングを推定

できた。それはインスカルおよびアウトスカルの終盤であると示唆された。

(2) ステレオ PIV を用いて竜巻状渦 (whirlpool) で発生する下降流の様子を捉えることができた。

(3) whirlpool の中心には下降流が発生しており、その周辺には whirlpool の回転方向とは逆方向の渦が発生することが示唆された。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

- ① 三輪飛寛、鎌田依利、松内一雄、可視化情報学会論文集、31 巻、PIV による水泳スカーリング動作時の手部周り流れ場の可視化、33-4、2011、査読有

[学会発表] (計 3 件)

- ① 松内 一雄、非定常流体力による物体のアクティブドラッグ、2012 年 3 月 10 日、日本機械学会北陸信越支部 第 49 期総会・講演会、金沢工業大学(石川)
- ② K. Kimoto and K. Matsuuchi、Flow visualization around a hand in flat scull、Flucome 2011、2011 年 12 月 7 日、Inchon (Korea)
- ③ 木元克憲、松内一雄、三輪飛寛、フラットスカル時における手周りの流れの可視化、日本流体力学会総会、2011 年 9 月 8 日、首都大学東京(東京)

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

松内 一雄 (MATSUUCHI KAZUO)  
筑波大学・システム情報系・教授  
研究者番号：70111367

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者