

回転しているプロペラを撮影した映像による人間の視覚の検証

唐澤 信司

宮城高専・名誉教授 〒981-1233 宮城県名取市小山 1-3-6

E-mail: shinji-karasawa@kbh.biglobe.ne.jp

あらまし 動いている物体を認識する視覚のしくみを回転中のプロペラを被写体にして撮影した写真を用いて検証した。シャッターが開いている期間中に羽根が回転すると、流れた羽根の写真が得られる。その流れた静止画像により羽根の回転が認識できる。プロペラの羽根の一つを白くして、ストロボ的に連写した写真と動画で再生し手見た認識を比較して回転方向の視覚を調べた。その結果、近道の方に回転して次のコマの画像に至ったと認識する。無意識的な視覚では、再生動画の包括的な画像の緩やかな回転の認識を優先しており、直前の認識が次の認識に及ぶことがある。視覚は活動で動的に構成されている。認識は並列して連鎖する反応であり、活動である。

キーワード 人間の視覚, 移動物体の認識, 回転方向の認識, 短期記憶, デジタルカメラ

Inspections of human vision by using the photographs on a rotating propeller

Shinji Karasawa

Miyagi National College of Technology (Professor emeritus). 1-3-6, Oyama, Natori-shi, Miyagi-ken, 981-1233 Japan

E-mail: shinji-karasawa@kbh.biglobe.ne.jp

Abstract The human vision was inspected by using photographs on a rotating propeller. The recognition on the state of rotating is recognized by the still image that flowed. The flowing image is captured when the object moves during the shutter opens. By marking white to a blade in a propeller, direction of rotation is inspected. The recognized direction depends on the shortest shift of angle between images before and after. Unconscious vision on playback gives priority to the recognition of slow rotation on the inclusive image. Sometimes we recognize the element that match with the former element of recognition. The recognition is carried out via paralleling chain of reaction. The vision is comprised of activities.

Keyword Human vision, Recognition of motion, Recognition of rotating direction, Short-term memory, Digital camera

1.1. はじめに

視覚に関する研究は脳科学あるいは情報科学などの分野において盛んになされてきた。また工学の分野では無人運転自動車やロボットに搭載する視覚装置の開発研究がなされている[1]。しかし、視覚の理解はまだ不十分である。著者は視覚のしくみを「反応の組織」で解明することを試みてきた[2], [3]。

視覚の活動に意識が関わっているが、その反応の多くは無意識的になされている。意識的な活動は無意識的な生命活動に追加されたものである。著者らは視覚においては無意識的な動機があることを論じた[4]。

他方、最近のデジタルカメラには様々な機能が付加されており、それを利用して視覚のしくみを確認することができる。著者はプロペラが実際と逆方向に回転する様に見える現象を調べてみた。その結果、直前と次の画像との比較でなされている回転方向の認識等、動的な視覚の処理のしくみを調べることができた。

本文は回転するプロペラを様々な条件で撮影して、それらを Windows movie maker 等で時間列にし、再生動画によって視覚のしくみを検証した報告である。

2. 視覚の原理としての生化学反応

2.1. 離散的な処理により連続性を理解する理由

認識の活動は生化学反応でなされている。その反応は立ち上がり、ピークに達し、消滅する。その時間軸に飛び飛びに反応する細胞の反応が組織される。多細胞の生体では空間的にも離散した反応が起こるが、それらの離散した活動をその瞬間にその活動群を担う特定の細胞の瞬間的な反応で解読して組織している。

その神経細胞のインパルスの活動によって原因と結果を繋げており、原因と結果を結び付けるルールが成立した時に反応し認識する。それ故、人間はアナログ的な感覚で世界を理解する。認識された結果である言語の世界に思考の世界がある。始めに言葉ありと仮定するような論理思考の方法では視覚の処理がインパルスのしくみは解明できない。

2.2. 視覚における神経細胞の生化学反応

視覚の生化学反応としては、特に網膜にある神経細胞について詳しく調べられている[5],[6]。その網膜を構成する神経細胞の役割の説明を試みたが、その際に

それぞれの細胞が放出する神経伝達物質がその細胞の機能を推定する証拠になった[7]. その網膜の巧妙な生化学反応の組織は歴史的に進化したものである.

液体の中では原子が熱運動で入れ替えができる. その様な細胞内の液体状態における反応では, 原子の電子状態が隣接原子の状況に適応するように変化していて, 選ばれた反応だけが起こる. その反応の結果は物質あるいは物質の状態として残る. 現在の生化学反応は生物の進化のごく初期の段階で淘汰されて伝えられたものであり, 生体の生化学反応は意識できないが生命維持の目的にかなっている[4].

生体では瞬間毎に複数の生化学反応が平行してインパルス的に発生しては消えている. その発生を種々の切り口でオーバーラップして解読する. 解読した結果から未来を予測して活動する. 未来は未知であるから出力を選択する際に可能な範囲の中での自由がある.

映像はインパルスの活動の分布状態を映した神経回路の接続パターンで記憶される. それはデジタルカメラで撮影されたのと同じパターンのデータである. そのデータを神経回路で解読している[8],[9],[10].

3. 動く物体を静止画像から認識するしくみ

3.1. 視覚のデータ処理におけるシャッターの存在

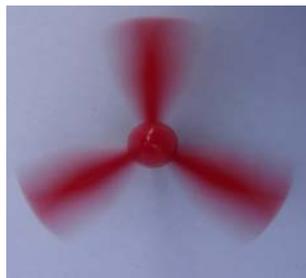
現実には時間の経過に従い連続的に変化している. 空間配置に関するデータを採取するには, 時間を定めて映像を採取する. それ故に採取された映像を処理する動作は間欠的になる. その映像のデータを採取する区切りは「まばたき」する期間より短い区間である.

しかし、モーターの回転が早すぎるので Gearbox で 101:1 および 719:1 に減速して回転させたプロペラをデジタルカメラ「CASIO EX-FH100」[11]で撮影した.

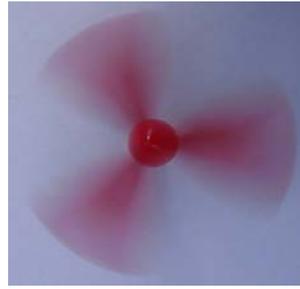
図 1 の(a), (b), (c), (d)ではシャッターが開いている期間が長いと, その期間のうちにプロペラが回転して画像が流れる. その画像の流れはシャッターの開いている時間が長いほど大きい. 動画像の流れはプロペラの回転速度とシャッター速度の相対的な関係が決まる.



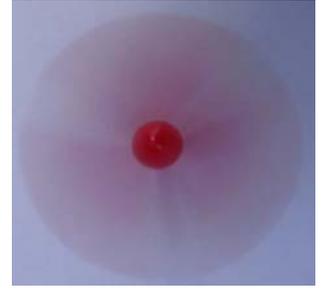
(a) shutter: 1/125 (s)



(b) shutter: 1/60 (s)



(c) shutter: 1/30 (s)



(d) shutter: 1/15 (s)

図 1 シャッター速度を変えて撮影した減速比(719:1)の低速で回転するプロペラの写真

(Fig.1 Photographs on a propeller were taken at various shutter speed. In this case, the propeller was rotated at high speed deceleration ratio of (719:1).)

流れた画像のパターンマッチングによって回転速度が認識できる. 人間の視覚ではシャッターの開く期間は固定されており流れる静止映像のパターンマッチングで回転速度が推測されている.

図 2 は 7 倍の高速で回転するプロペラを短時間のシャッターで撮影した画像である. 画像の流れにはシャッターの開いている期間にどれだけ回転体が移動したかに依存しているので, プロペラの回転速度とシャッター速度を同じ倍率で同時に変えると流れる様子は同じになる.



(a) shutter: 1/1000(s)



(b) shutter: 1/500 (s)



(c) shutter: 1/250 (s)



(d) shutter: 1/125 (s)

図 2 シャッター速度を変えて撮影した減速比(101:1)の高速で回転するプロペラの写真

(Fig.2 Photographs on a propeller were taken at various shutter speed. In this case, the propeller was rotated at high speed deceleration ratio of 101:1.

4. 回転方向の認識

4.1. 毎秒コマ数を変えて撮影した映像の例

ここで、プロペラの回転角度のシフトを明確にするために一枚の羽根を白くして撮影した。回転中のプロペラを高速シャッターで撮影すると、撮影の瞬間におけるプロペラの位置が撮影される。

図3は、プロペラの回転を変化せずに高速シャッター[1/1250 (s)]で毎秒画面数を30コマ(上部)から120コマ(下部)に変えた連写モードの写真を一枚の静止画にまとめた画像である。

上部の4枚の写真では羽根全体が反時計方向に回るが白い羽根の回転方向は混乱して判定できない。ところが、同じ回転のプロペラを高速の連写で撮影した下部の写真では時計方向に回転していると認識される。

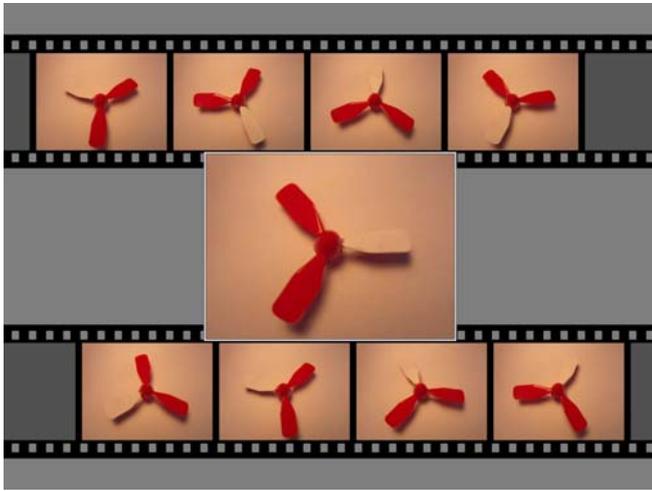


図3 プロペラの回転を異なる連写条件で撮影した写真 上段は毎秒30コマの連写モードで、下段は毎秒120コマである。シャッター速度は[1/1250 (s)]でプロペラは低速回転である。

(Fig.3 Photographs were taken at different frame rate Her, the frame rate is 30 frames per second (fps) in upper line, and 120 fps in lower line. The shutter speed is 1/(1250) sec. The propeller rotated at low speed.)

4.2. 回転方向が実際の回転方向とは反対方向に見える例

図4は羽根の数が6個で一枚の羽根を白い羽根に塗ったプロペラを連写モードで撮影したものである。この写真は、シャッター速度1/500 (s)で、毎秒5コマで撮影し、時間は上段の左から下段の右端へと進行する。

撮影の際に実際のプロペラは時計方向に回転しているが、図4の写真を動画に再生すると羽根全体も白い羽根も反時計方向に回転しているように見える。静止画像上で移動距離の短い方向の回転(近道の方法)で移動したものと認識する。

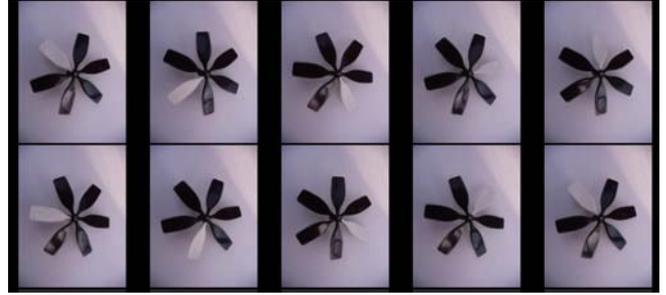
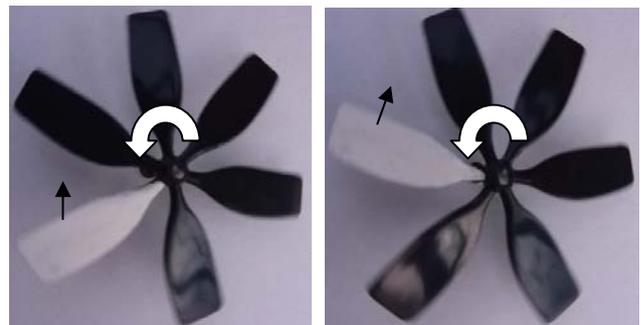


図4 時計方向に回転しているプロペラを連写モードで撮影した写真を動画として再生してみると羽根全体も白い羽根も反時計方向に回転して見える。ここで、毎秒5コマ、シャッター速度1/500 (s)で連写した。(Fig.4 The actual propeller rotates clockwise at the photographing. But the visual recognition of direction on rotation is counter clockwise, if these pictures are replayed as a movie. These photographs were taken at shutter speed of 1/500 sec, and 5 frames per second.)

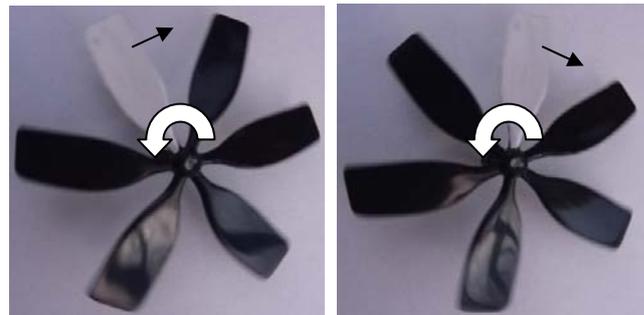
4.3. プロペラ全体の回転と相反する方向の回転が白い羽根の回転に見出される例

図5および図6では、白い羽根が時計方向に回ると考えられる。しかし、動画で再生してみると羽根全体が反時計方向(白い矢印)に回るのが認識される。白い羽根に注目すると時計方向に回転しているのが認識される。

これらの写真はプロペラは低速回転で、シャッター速度は1/400 (s)、毎秒30コマの連写で撮影した。



(a) No.1, 1/400(s), 30fps (b) No.2, 1/400(s), 30fps



(c) No.3, 1/400(s), 30fps (d) No.4, 1/400(s), 30fps

図5 低速回転のプロペラを毎秒 30 コマ、シャッター速度 1/400 (s)で連写した写真 これらの静止画から予想すると、まず、白い羽根が時計方向に回るのが認識できる。意識してみると、全体の羽根が反時計方向に回るのが認識できる。

(Fig.5 Photographs were taken at high shutter speed of 1/400 sec, and the frame rate is 30 fps. We can estimate that clockwise direction of rotation for the white blade from these pictures. we can recognize counter clockwise direction of rotation on the whole blade if we pay attention to a white blade)

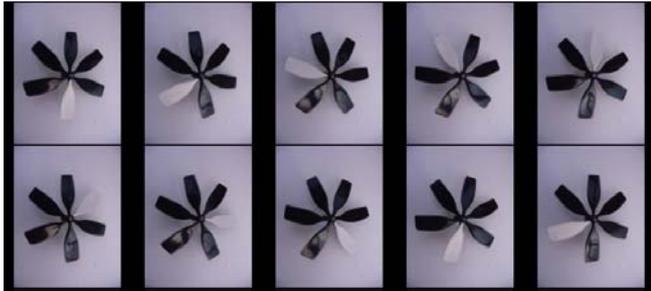


図6 図5と同じ条件)撮影された写真(毎秒 30 コマ)動画として再生すると、羽根全体が反時計方向に回るのが明確に認識される。白い羽根に注目した時に、白い羽根が時計方向に回転しているのが認識される。(Fig6 These pictures were taken at the same conditions in case of Fig.5. When these images are replayed as movie, we recognize clearly counterclockwise rotation for the whole blade. We can recognize, clockwise rotation for a white blade, if we pay attention to the whole's blade..)

4.4. 動画で再生すると、プロペラの全体の画像の回転方向が逆転する例

図7はプロペラを低速回転とし、シャッター速度は 1/400 (s)で、毎秒 15 コマの連写で撮影した写真である。

図7の静止画では時計方向にプロペラが回転していると推定される。ところが、動画で再生してみるとプロペラの羽根全体の画像の回転方向が逆転する。

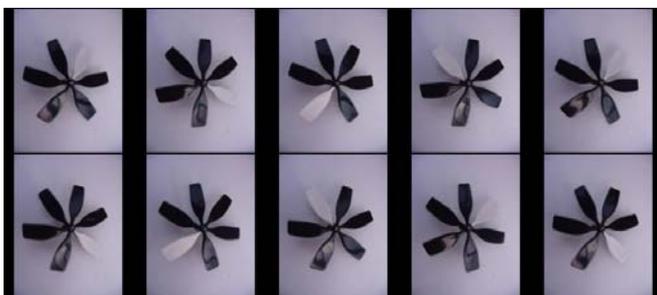


図7 毎秒 15 コマ、シャッター速度は 1/400 (s)でプロペラを低速回転の連写で撮影した写真 動画で再生する際に繰り返す際に羽根が反時計方向回転から時計方向回転に反転して見える。反転は 1 コマで 1 個半より

少し大きくシフトしていて、中間位置を超えたために発生した。

(Fig.7 Photographs were taken at high shutter speed of 1/400 sec, and the frame rate is 15 fps. The rotation of the blade changes the direction from anti-clock wise to clock wise, if these pictures are replayed as a movie. The reason is that unit shift of blade is slightly large than 1 plus half.)

回転方向が逆転するのはコマの送りが 90 度ごとで 6 枚羽根は 60 度の繰り返りで、1 コマごとに羽根が 1 個半進むということが関係している。つまり 1 ステップのシフトが(60+30)度プラス 30 度よりわずかに大きく、途中で中間位置の 30 度を越えるために、その回転のずれを敏感に認識して回転方向が逆転したと認識する。

動画で再生してみるとプロペラの羽根全体の画像の回転方向が明確に認識される。

5. 包括的な映像の回転の認識を優先する視覚

5.1. 羽根全体の回転方向の認識が部分の回転の認識に及ぶ例

図8はプロペラを低速回転として、毎秒 7 コマ、シャッター速度は 1/400 (s)で連続撮影した写真である。プロペラ全体の回転方向は時計方向であり、白い羽根は少しゆがんでいるが一コマとばしてみれば時計方向の回転である。それ故、一コマごとには 180 度を越えるので反時計方向のはずである。つまり直前の映像と比較すれば白い羽根は反時計方向回転である。ところが、動画の再生では白い羽根は上下に遷移しながら羽根全体と共に時計方向に回転して見える。

これは、包括的な映像の回転を部分の映像の回転より優先して認識する証拠の一つである。

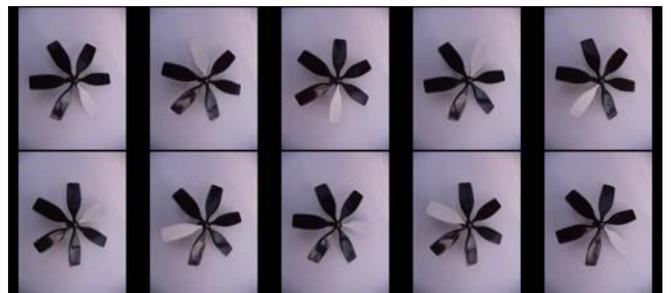
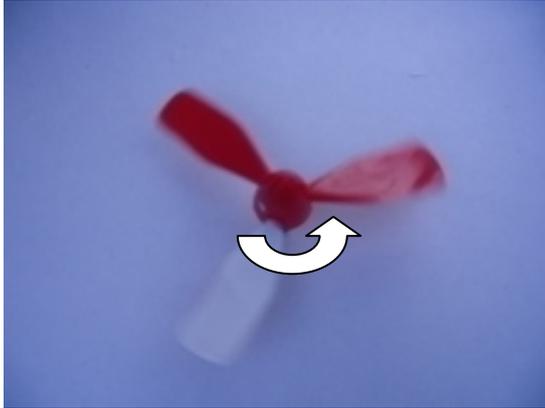


図8 毎秒 7 コマ、シャッター速度 1/400 (s)で連続撮影した像 白い羽根はわずかに反時計方向に回転している。これを再生してみると白い羽根は上下に遷移しながら羽根全体と共に時計方向に回転して見える。

(Fig.8 Photographs were taken at high shutter speed of 1/400 sec, and the frame rate of 7 fps. The white wing is rotating barely counterclockwise from the still pictures. But the white blade rotates clockwise with the whole propeller while replay as movie.)

5.2. 静止画では明確ではない包括的な画像の回転が動画では鮮明に見える例

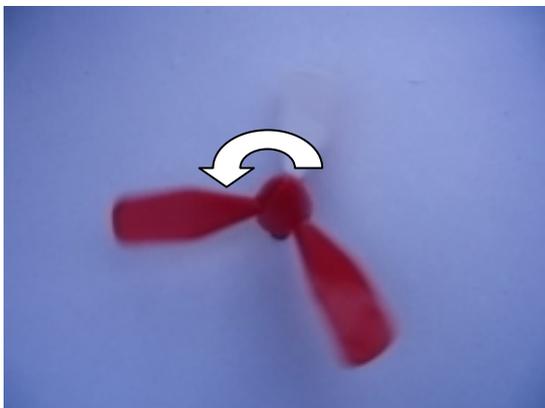
図9の(a),(b),(c)に3枚羽根のプロペラを毎秒15コマ、シャッター速度1/200(s)で連写した写真である。この静止画からは白い羽根の時間変化および赤い羽根のいずれも時計方向に回転していると予想される。3枚羽のプロペラ全体の形だけを意識しなければ白い矢印のように羽根が回っているとは見えない。



(a) No1 15 fps, 1/200 (s)



(b) No2 15 fps, 1/200 (s)



(c) No.3 15fps, 1/200 (s)

図9 毎秒15コマ、シャッター速度1/200(s)で連写撮影したプロペラの連続した映像

(Fig.9 Photographs were taken at high shutter speed of 1/500 sec, and the frame rate is 5 fps. The visual recognition of direction of rotation is counter clockwise, if these pictures are replayed as a movie.)

ところが、動画に再生すると白い矢印のように反時計方向に回っているのが鮮明に見える。動画で見る場合でも、白い羽根に注目すると白い羽根が全体と反対方向に回転していることが認識できる。赤い(黒い)羽根は時計方向に回転しているとしてみればそれを見出すこともできる。しかし、羽根全体が時計方向に回っている認識が優先される。

6. 採取したデータを比較する視覚装置への応用

人間の視覚と同様なデータ処理方法を応用した装置を考えた。視覚の認識処理の問題は処理単位の検出(セグメンテーション)である。

最初に認識する物体の映像データを視野の中心部で取り込み、そのブロックを参照データとする。時間をおかずに画像を取り込み、その中心付近で参照画像と照合し、データ距離が最小となる移動位置を求める。その位置が視野の中心になるように視野を動かして、新しい参照データを採取する。

この処理はカメラの移動を算出し、ワールドモデリングを構築する際に利用できる。この認識作業は並列処理の集積回路に自動的に「ふるい」の仕組みを組込めば簡単にできる。

それには不揮発性 MOF FET を通過制御トランジスタとして、自動的に認識形状のデータ通過線群を形成し、信号源群と負荷群を交換して符号回路要素とし、或いは解読回路要素として用いる[12]。

認識をコンピュータで処理すると直列的であるので時間を要し、さまざまな工夫が必要となる。まず、画素数を必要最小限に減らす必要がある。例として、図10に少ない画素数(16x16)の写真を示す。

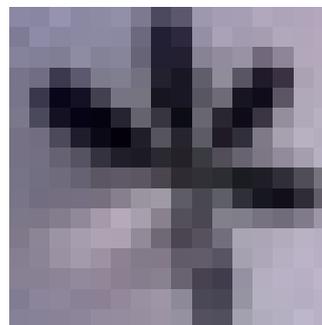


図10 少ない画素数(16x16)のプロペラの写真
(Fig.10 Photograph on a propeller with small number of pixels (16x16))

7. 結言

本研究によって得た知見は以下のように纏めることができる。

シャッターが開いている期間の際中にプロペラが回転すると画像が流れる。その流れた静止画像によってプロペラの回転速度を認識している。その映像の流れはプロペラの回転速度とシャッター速度の相対的な関係で決まる。

回転速度をどの方向に回転するかの認識は静止画のパターンマッチングによる認識ではなくて、前後する画像の比較でなされている。静止画の視覚の分析してから再生動画を見ると、視覚では包括的な画像の動きの認識を優先している。この優先順位の性質は視野の世界(ワールドモデル)の構築が関係していると考えられる。

これらの動的な物体を認識するしくみの実験から「実世界を知るしくみは生化学反応というルールで構成される[7], [8], [9], [10]」ことが確認できた。

人間はオーバーラップして付加えられた言語活動で視覚を制御できて、意識的に画像から情報を採取する。しかし、脳における画像の処理の大部分が無意識の領域で処理されている。それはランダムな処理ではなく、生存に合目的な活動によっている。

今後、本報告が自動車の無人操縦装置やロボットの視覚装置などの開発に貢献できれば幸いである。

文 献

- [1] J. S. Albus, A. M. Meystel, Engineering of Mind, A Wiley Series on Intelligent System, ed. M. G. F. Fuortes, pp.295-390, John Wiley & Sons, Inc., N.Y.
- [2] 唐澤信司, “インパルスの部分集合を画像認識の活動単位とした視覚システム”. 信学技報, PRMU2003-39, pp. 7-12, June, 2003.
- [3] S. Karasawa, "Self-organization of network on activities for intelligent behavior", 9th International Conference on Cognitive and Neural System, pp.101, Boston Univ., May 2005.
- [4] S. Karasawa, M. Iwamoto, “Unconscious Motivation of a Visual Perception”, Proc. of the 2008 KJPR, Seoul, Korea, pp.35-36, Nov.2008.
- [5] H. Kolb, E. Fernandez, R. Nelson, “Webvision”. <http://hc.les.dmu.ac.uk/mirrors/webvision/>
<http://webvision.med.utah.edu/BCchapter.html>
- [6] J. G. Nicholls, A. R. Martin, B. G. Wallace, From neuron to brain, 3rd ed., Sinauer Associates, Inc., 1992.
- [7] 唐澤信司, “視覚のデータ処理単位を形成する介在ニューロンの機能”, 第 8 回情報科学技術フォーラム (FIT2009), 生体情報科学; G-011, 第 2 分冊, pp.591-591, 東北工業大学, Sept. 2, 2009.
- [8] S. Karasawa, M. Iwamoto, “The architecture of device that manipulates image in which each set of activities is ignited through transference of impulses”, the 2nd Korea-Japan Joint Workshop on

Pattern Recognition and Media Understanding, pp.201-206, Matsushima, Japan, Oct.2007.

- [9] 唐澤信司, “視床で中継される情報を大脳真皮質で分析する活動のモデル”. 信学技報, TL2007-2, pp. 5-10, Apr. 20, 2007.
- [10] S. Karasawa, "The dialectical architecture of visual intelligence where every activity is available as a tool for the next activity", ECVP, Supplement, Vol.34, pp.238-239, A Coruna, Spain, Aug.26, 2005
- [11] 取り扱い説明書“CASIO EX-FH100 デジタルカメラ”, カシオ計算機株式会社, 2010.
- [12] 唐澤信司, “書き込み可能型双方向論理回路”. 特許第 4161058 号, 独立行政法人国立高等専門学校機構, 特願 2005-166673

[付録]

c-MOS センサの Rolling Shutter のしくみによって発生する写真の歪

CCD センサを用いたデジタルカメラでは高速回転の状態のプロペラを撮影すると図 11 に示すようなひずみが観測される。図 11 に見られる Rolling Shutter による歪はカメラが映像のデータをブラウン管の走査線のように順次読み出しをするために発生する。すなわち、垂直方向では下段のデータの採取に時間的な遅れが生じて、水平方向には右側のデータの採取期間が長くなることによりデータが広範囲に広がる。

具体的には左側から右に走査し、プロペラが時計方向に回ると、下段の走査においてはデータの採取が遅れてプロペラの回転が右まわりに進行した状態の画素が採取される。また水平方向の右側ではデータを採取するまでの期間が長くなり、その期間のプロペラの回転によってプロペラのデータが広い範囲に存在する。その二つの効果が合成されて図 11 に示すような歪のある写真が得られる。

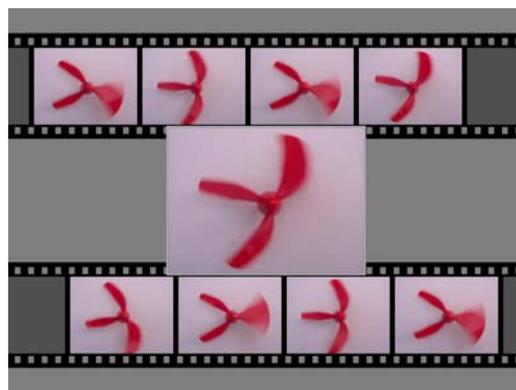


図 11 高速で回転するプロペラがデジタルカメラのローリングシャッターのしくみの影響で歪んだ写真

Fig.11 Photographs those indicate effect of rolling shutter. It was taken on a propeller with high speed of rotation.)