

一人計測班のRowing計測ガジェット 「CKG-50」開発史

- PENTAの漕法を科学する -
(PENTAと共に歩んだ10年間の軌跡)

*for PENTA Rowing Club
PENTA Photo Book 2021*

4. 「計測」用語の基礎知識（≡二知識）

4. 「計測」用語の基礎知識（ミニ知識）

GPS計測、加速度計測に関連する用語や原理、Rowingにおける用語など、Rowing計測に深く関連する情報について解説してみました。

既に、別の章で触れて重複する項目もありますが、再度全体としてまとめています。

「ミクロスコープ」：艇の状態を細かく見る

「マクロスコープ」：全体を見る

「リアルスコープ」：カメラ映像などの観点に分けてみました。

ミクروسコープ

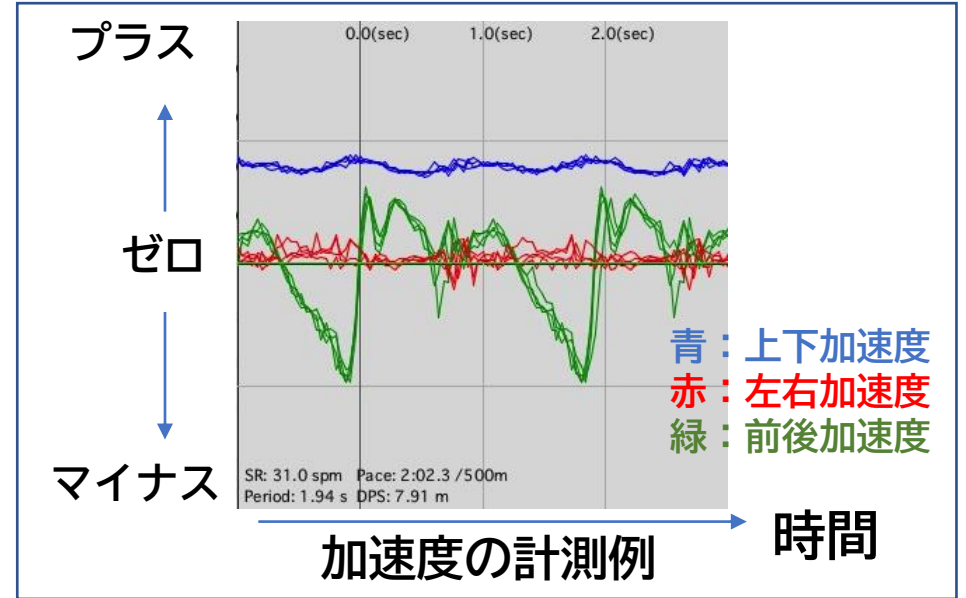
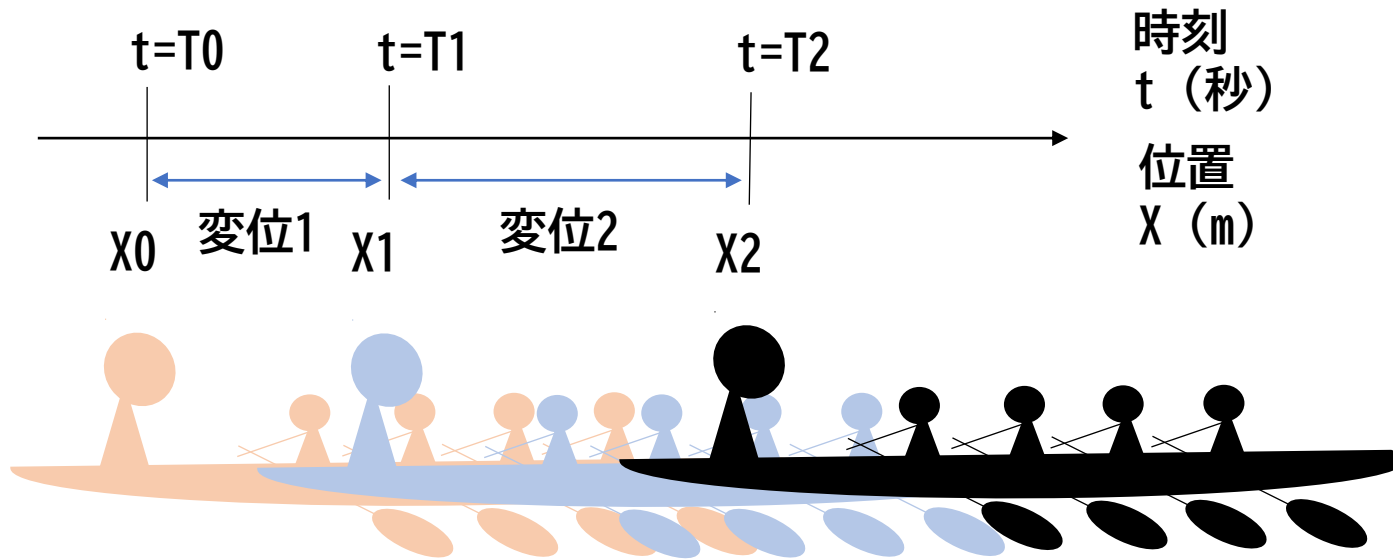
(勝手にそう呼んでいます)

加速度 & (瞬時) 速度 & DPS

10数年前頃から、加速度センサなどのセンサー類は、スマートフォンの普及に伴い急速に安くなってきました。電子工作を行うホビーイストもその恩恵を受けています。

温度センサ、気圧センサ、湿度センサ、照度センサなどの他、3軸計測の加速度センサ・ジャイロセンサ・磁気センサ3つをワンパッケージにした9軸センサ (9DoF : 9 Degree of Freedom)、CMOSカメラセンサ、静脈センサ (脈波センサ、血中酸素濃度計測センサ)、CO2センサなどで、「物理量をデジタル値で直読できるもの」が昔よりかなり安く手に入るようになってきています (昔はアナログ値を物理量に変換する手間 (追加回路や処理) が必要で、アマチュアや分野外の人には敷居が高い存在でした)。また、IoTやコロナ対策のためのIT化がセンサの低廉化、普及を更に後押ししています。

加速度 (高校物理のおさらい. アレルギー反応が出なければよいのですが…)



変位 : 位置の変化 [m]

(移動距離) 変位1 = $X1 - X0$

(移動距離) 変位2 = $X2 - X1$

速度 v: 位置の変化の割合 [m/s]

$$v1 = \frac{X1 - X0}{T1 - T0} \quad v2 = \frac{X2 - X1}{T2 - T1}$$

位置
X [m]

位置の変化の割合 [m/s]

$$\text{速度 } v = \frac{\text{移動距離 (変位)}}{\text{時間}}$$

加速度 a: 速度変化の割合 [m/s²]

$$a = \frac{\text{速度変化量}}{\text{時間}} = \frac{v2 - v1}{T2 - T1}$$

- 位置 → 速度 → 加速度
数学で言うと微分ですね。傾きを求める。
- 加速度 → 速度 → 位置
これに対して、逆は積分。

※ 実際には、加速度センサの加速度の値を単純に積分するだけでは、誤差などの関係から、正確な位置を求めることは難しい。

エイトの（前後）加速度波形

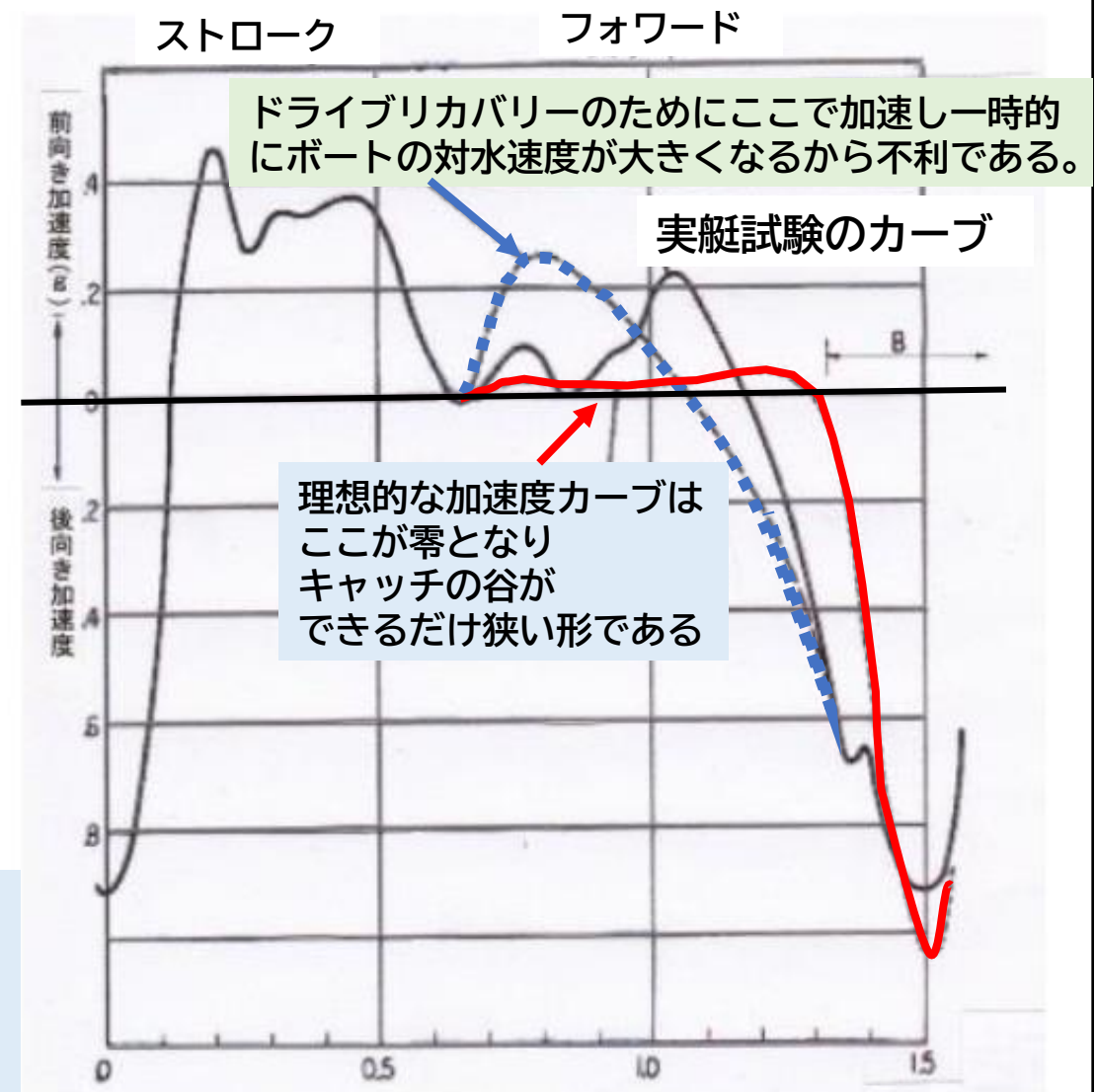
「ローマへの道」 <https://tohoku-rowing.com/road-to-roma/>より

右の曲線は、早大エイトが防衛庁の研究水槽の中を漕ぎ、加速度を実測したものである。
キャッチでの谷間は深く、水を捉えて一気に加速している。

しかしこの曲線に解説してあるように、フォワードエンド近くで、加速フォワードの意識によるものか、ストラップを強く引っ張って艇を手繰り寄せしており、このため艇に水の抵抗が生じて艇速を落としている。

またフィニッシュ直後に腹筋を使って上体を起こすと、強くストラップを引っ張って艇に加速を与えるので水の抵抗を受ける。初歩的なクルーによく見られる曲線である。

水をキャッチするためストレッチャーに漕手の全体重をかけて脚を蹴ると、艇にはマイナスの加速度を与える。ローイングボートにおいては避けられないことだ。マイナスの加速度はいくら大きくても構わない。しかし問題は**その時間**だ。



加速度センサ

加速度（速度の変化率）

最近ほとんどのスマホに加速度センサが搭載されています。
 歩数計などのアプリ、ふるふるなどスマホの操作などにも使われています。
 StrokeCoach Surge, SpeedCoach (GPS)でもレート算出に利用されています。



スマホ

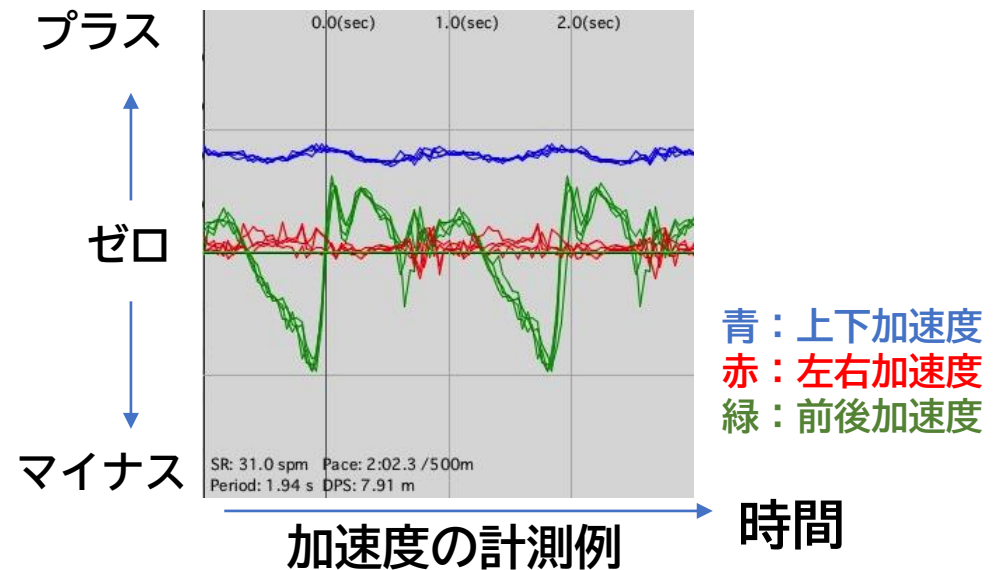
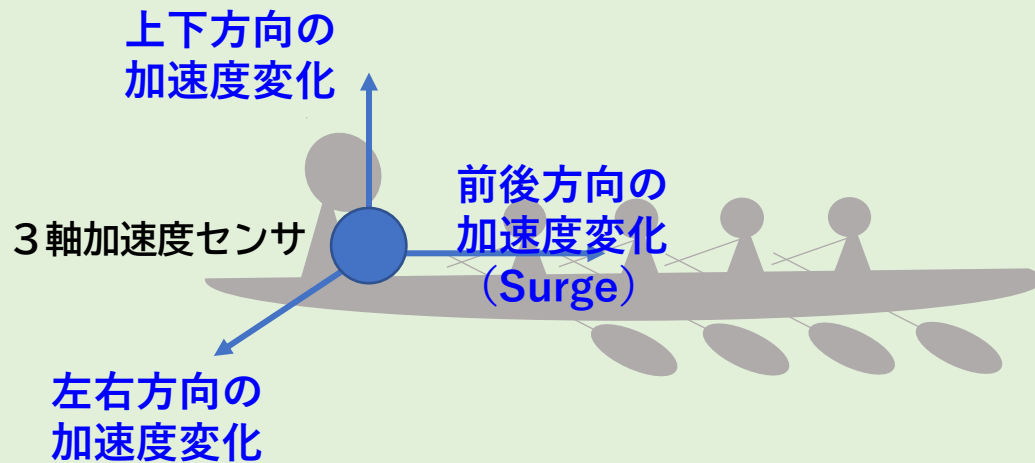
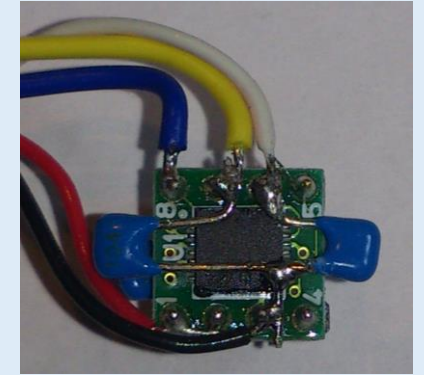
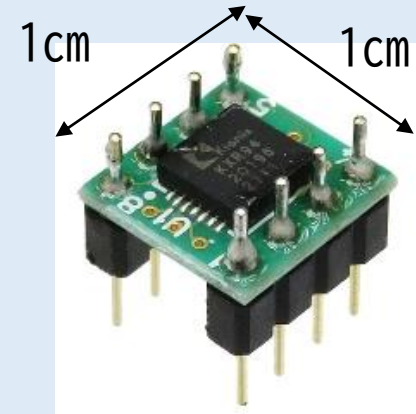
- ・画面の回転検知
- ・歩数計アプリ
- ・水準器アプリ
- ・ふるふる
などで利用



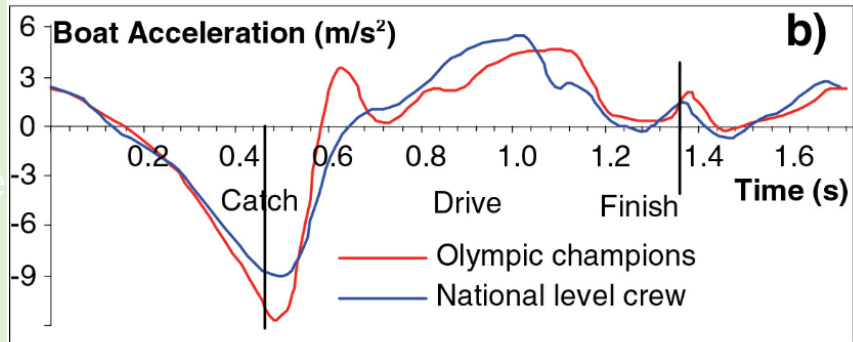
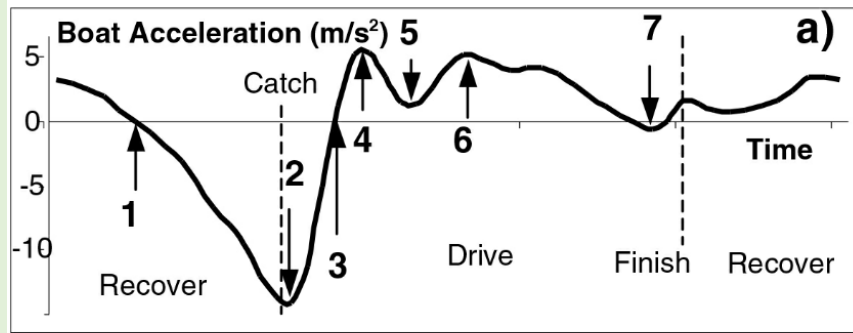
SpeedCoach

- ・レート算出
 加速度の変化で、艇（計測器）の動きを判定。加速度の測定値は記録できない。

CKG-50で使用している3軸加速度センサモジュール



加速度波形の説明図あれこれ



- 1. 'Zero before catch'
- 2. 'Negative peak'
- 3. 'Zero after catch'
- 4. 'First peak'
- 5. 'Drive hump'
- 6. 'Second peak'
- 7. 'Finish hump'

Fig. 2.22 A typical pattern of boat acceleration during the stroke cycle (a), comparison of boat acceleration with crews of different standards (b).

Kleshnev, Valery. Biomechanics of Rowing (p.34).

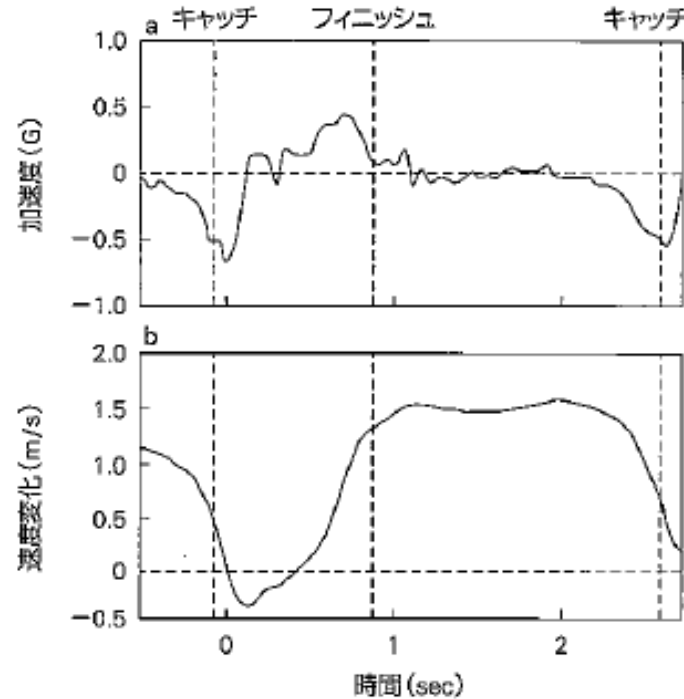


図 15-29 1ストローク中のボートの加速度(a)および速度変化(b)

キャッチ前のシートの動きが負の加速度を生み出し、減速成分となる。オールを介して水を押す反作用で正の加速度が生じ、艇速が増加する。

(川上泰雄ほか：ボート競技の競技力向上を目的とした艇の力学量測定システムの開発。トレーニング科学, 13: 21-30, 2001)

バイオメカニクス
—身体運動の科学的基礎—

より引用

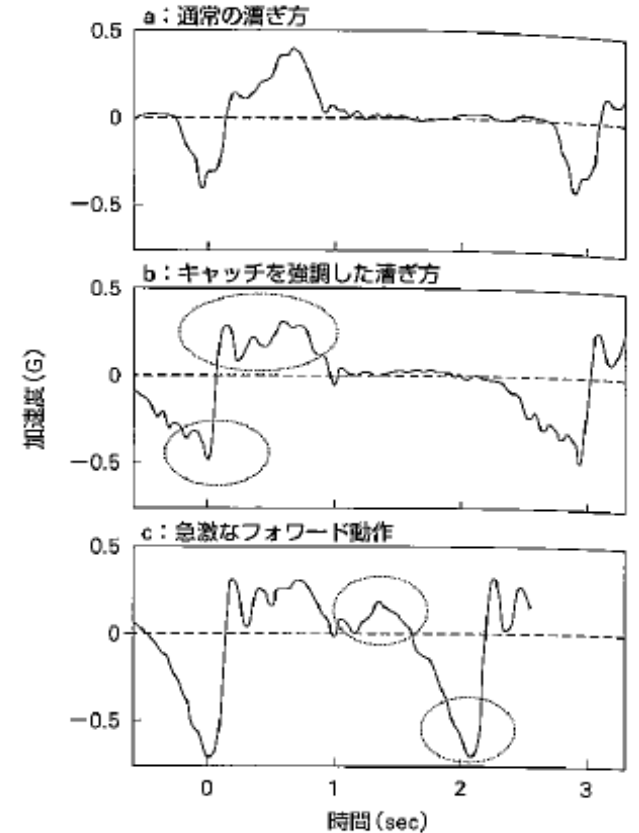


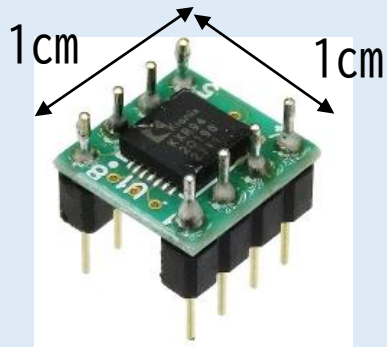
図 15-30 漕ぎ方を変えたときのボートの加速度
キャッチを強調しすぎるとキャッチ前後の加速度変動が大きくなり、ラッシュフowardはキャッチ前の減速が大きくなる (○印で強調)。

(川上泰雄ほか：ボート競技の競技力向上を目的とした艇の力学量測定システムの開発。トレーニング科学, 13: 21-30, 2001)

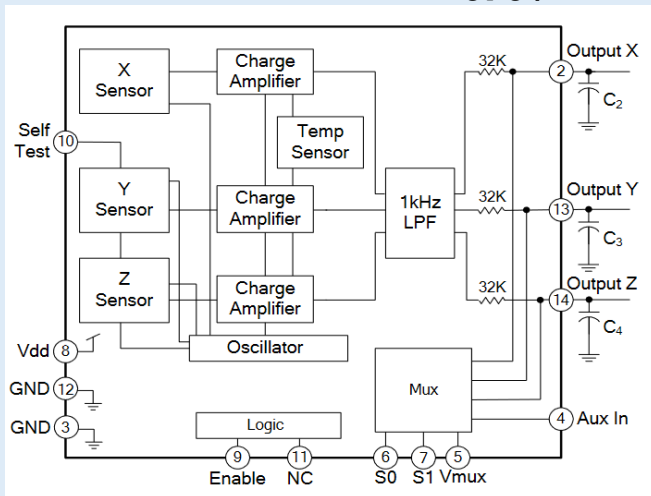
加速度センサ

3軸加速度センサモジュール

<https://akizukidenshi.com/catalog/g/gM-05153/>



- ・ 搭載センサ：
KXR94-2050
- ・ 測定レンジ：
±2G
- ・ 測定出力：
3軸アナログ出力(XYZ)
- ・ 定格電源電圧：
3.3V



上記はアナログ出力だが、I2CやSPIのデジタル出力の製品もある。

MEMS

<https://ja.wikipedia.org/wiki/MEMS>

MEMS (メムス、Micro Electro Mechanical Systems)

は、機械要素部品、[センサ](#)、[アクチュエータ](#)、[電子回路](#)を一つの[シリコン基板](#)、ガラス基板、有機材料などの上に[微細加工技術](#)によって集積化したデバイスを指す。プロセス上の制約や材料の違いなどにより、機械構造と[電子回路](#)が別なチップになる場合があるが、このような[ハイブリッド](#)の場合もMEMSという。

MEMS 加速度センサ (主な計測方式)

<https://ja.wikipedia.org/wiki/%E5%8A%A0%E9%80%9F%E5%BA%A6%E8%A8%88>

静電容量型

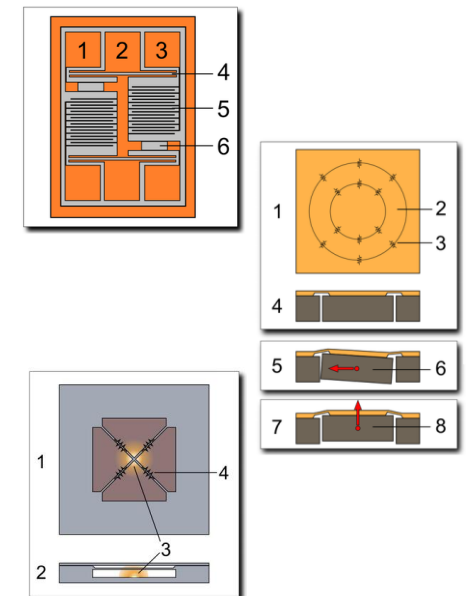
梁構造で支えられた微小な可動部でのわずかな位置変化を[静電容量](#)の変化として検出し、電気回路によって増幅・計測する。

ピエゾ抵抗型

シリコン半導体の製造技術によって、表面を円環状に薄く作りダイヤフラムを形成する。中央の錘をこの薄い金属で支えることで加速度による変位を検出しやすくする。ダイヤフラムの位置変化を[ピエゾ抵抗素子](#)によって検出し、電気回路によって増幅・計測する。

ガス温度分布型

空洞部中央で暖められ、軽くなったガスが加速度によって移動するのを、周囲の温度計測抵抗ブリッジの抵抗変化で検出し、電気回路によって増幅・計測する。

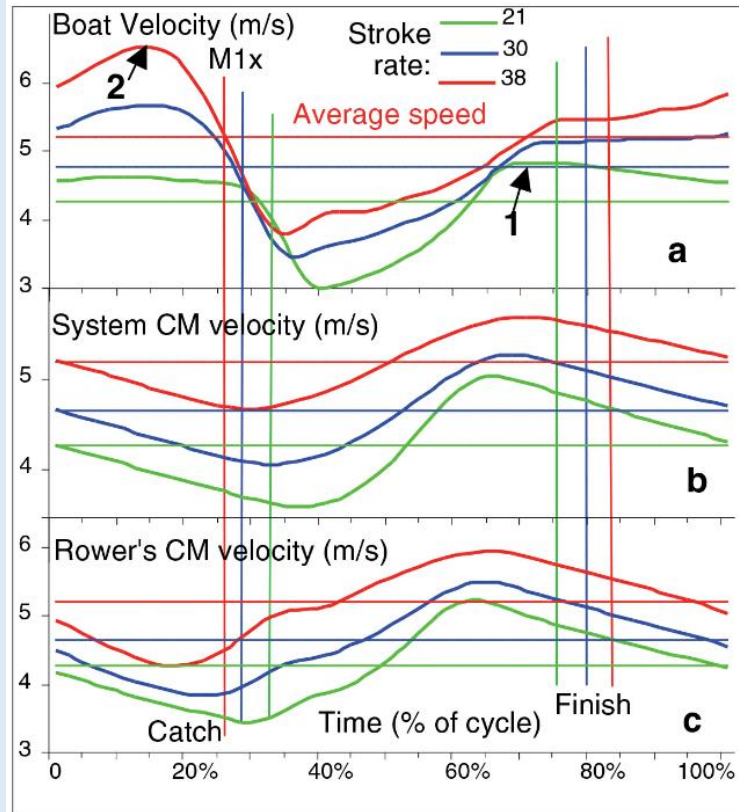


(瞬時) 速度

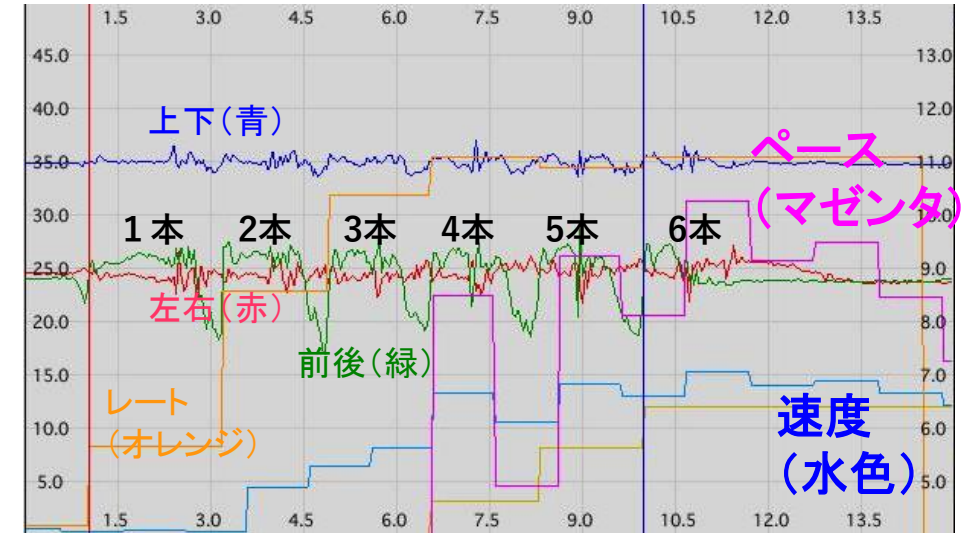
自動車ではタイヤの回転計で、ボートの場合はエンペラー（プロペラ）を用いた対水艇速計で、連続的に速度を計測できます。

レート30spmの場合、2秒で1サイクルになりませんが、GPSデータの標準出力レートは1Hz（1秒毎）です。右側のグラフからも分かるように1Hzでは速度の変化を十分にとらえることはできません。10Hzではおよそその動きを追うことができます。10Hz出力の場合、通信速度も上げ、処理するデータ量も増えるため、計測装置はより高い処理能力が求められます。平均速度を求める場合は、GPSの1Hzでもある程度対応は可能です。

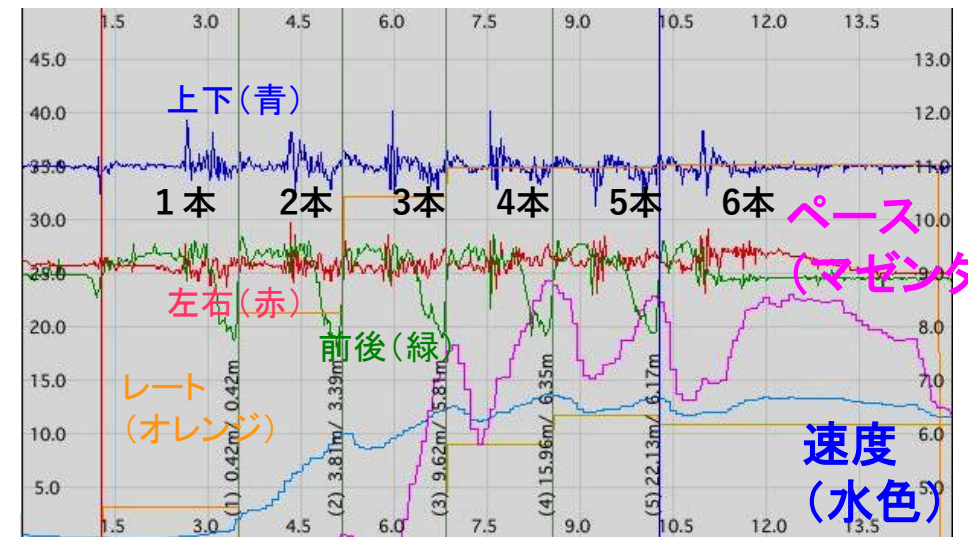
$$\text{速度 } v = \frac{\text{移動距離 (変位)}}{\text{時間}}$$



CM : Center of Mass (重心)
Kleshnev, Valery. Biomechanics of Rowing



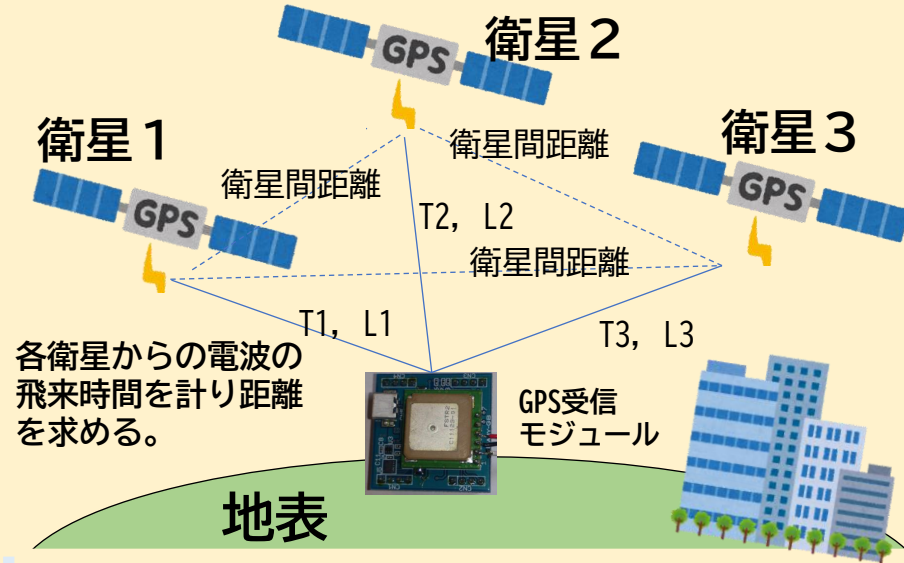
GPS サンプリング 1Hz



GPS サンプリング 10Hz

GPS (Global Positioning System)

GPSの原理 (三角測量の原理を応用)



衛星の位置情報はGPS信号で送られて来ます。衛星が3機以上見通せれば衛星からの信号を元に三角測量の原理で受信モジュールの位置が計算できます。(実際には時刻も正確に合わせるために4機必要)

エフェメリスとアルマナック

エフェメリスは放送暦と訳され、衛星軌道情報の詳細なもの。アルマナックは、各種補正情報、UTCパラメータ、全ての衛星の大きな軌道情報で、GPS衛星の場合、750秒周期で放送されています。

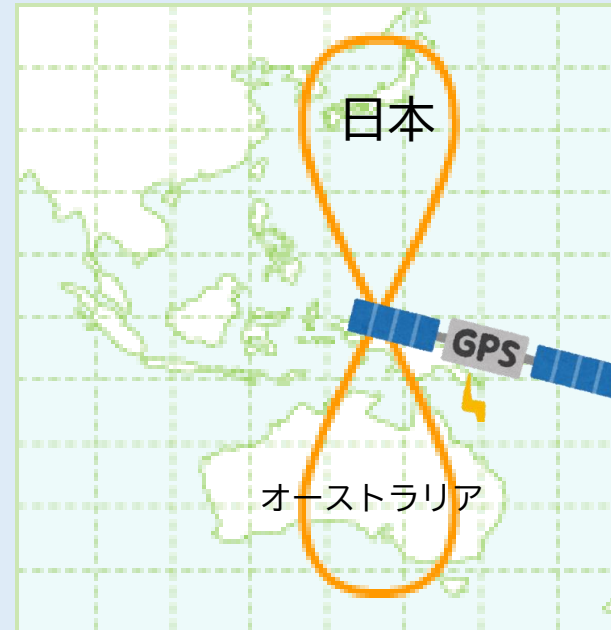
アルマナックやエフェメリスの情報は、インターネットや携帯電話回線を通じても入手でき、スマートフォンなどで測位計算をする際の時間短縮に役立っています。

GNSS (Global Navigation Satellite System)

GPS (米国)、GLONASS (ロシア)、Galileo (欧州)、Beidou (中国)、NavIC (インド)、QZSS (日本)、SBAS (静止衛星型補正システム) 等の測位衛星 (システム) の総称として用いられます。

準天頂衛星システム (みちびき)

QZSS (Quasi-Zenith Satellite System) <https://qzss.go.jp/>



8の字の衛星軌道

https://www.jaxa.jp/countdown/f18/overview/orbit_j.html

通常の静止衛星は赤道上に位置しますが、QZSはその軌道を斜めに傾け、日本の真上を通る軌道にします。

1機の人工衛星が日本の真上に滞在できる時間は7~9時間程度です。複数機を時間差で入れ替えることで、常に1機が日本の上空に滞在するようにします。

静止衛星からの信号を受信するには、アンテナを赤道の方角に、約30~50度傾ける必要があります。その方向にビルなどがあると受信できないことがあります。

QZSSでは、人工衛星からの信号をほぼ真上から受信できるため、GPSとの併用で、山間部や都心部の高層ビル街でのGPSの利用効率改善の効果が大きくなります。また、幾何学的効果もあります。

GPS (Global Positioning System)

NMEAフォーマット



GPSモジュール

NMEA 0183 規格

National Marine Electronics Association
航海に使うジャイロやロラン、オートパイロット、GPS等の装置間インターフェースを決めています。

GPSモジュールからは、NMEAフォーマットの情報が送信されます。1つのセンテンスは、「\$」で始まり、「(改行(\r\n))」で終わります。センテンスは、「,」で区切られ、最初の要素はデータタイプを表します。センテンスの最後の要素は、「*」以降がチェックサム値を表します。

60以上のセンテンスがあり、\$GPGGA, \$GPGSA, \$GPGSV, \$GPRMCが良く使用されます。

[フォーマットおよび出力例]

\$GPRMC,UTC時刻,ステータス,緯度,北緯南緯,経度,東経西経,移動速度,移動真方位,UTC日付,磁北真北角度差,角度差方向,ステータス,チェックサム

\$GPRMC,085120.307,A,3541.1493,N,13945.3994,E,000.0,240.3,181211,,,A*6

\$GPGGA,UTC時刻,緯度,北緯南緯,経度,東経西経,位置特定品質,使用衛星数,水平精度低下率,海拔高,単位,ジオイド高,単位,DGPS不使用,差動基準点ID,チェックサム

\$GPGGA,085120.307,3541.1493,N,13945.3994,E,1,08,1.0,6.9,M,35.9,M,,0000*5E

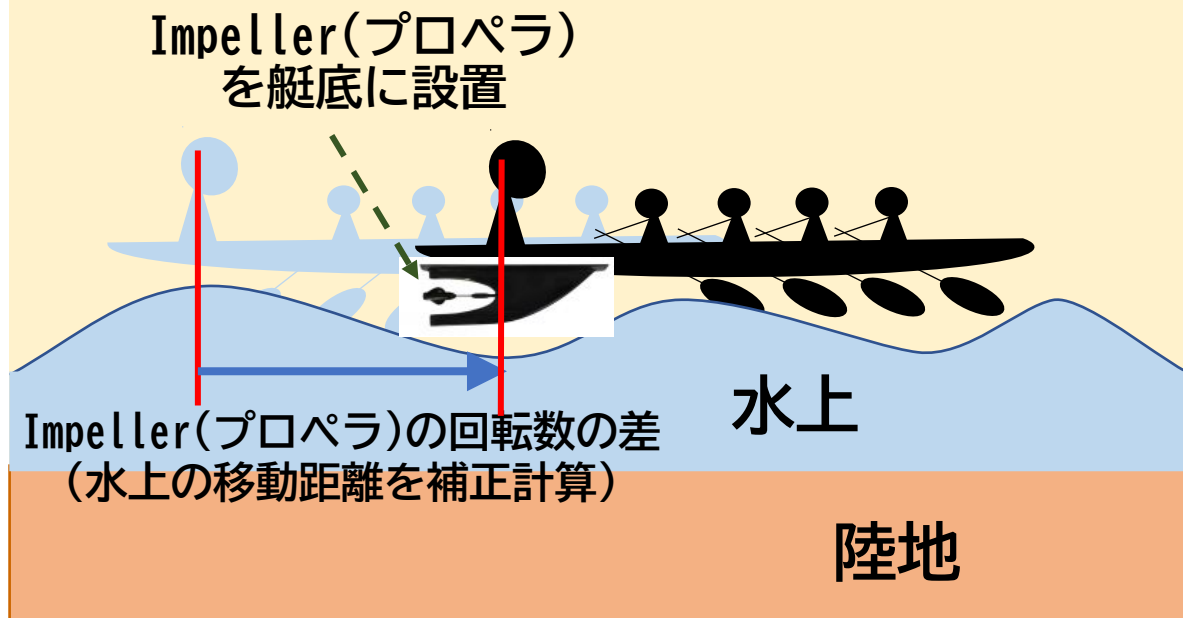
GPS週数 roll over問題 (19.7年ごとに起こる)

GPSの日付はWN (週番号) が用いられている。年、月が存在せず、現在の時刻を、起点から〇週目の〇秒目といった具合に「週」と「秒」だけで表現する。週番号のフィールドが10ビットなので1024週ごとにゼロにリセットされる。これがGPS週数ロールオーバー。GPS週は1980年1月6日にスタート、1999年8月21日深夜0時にWNはゼロに戻った(最初のリセット)。グリニッジ標準時2019年4月7日の0時(日本時間4月7日午前8時59分41~42秒)にWNは2度目のリセットを迎えた。新規格に対応していけばこの問題はなくなる。

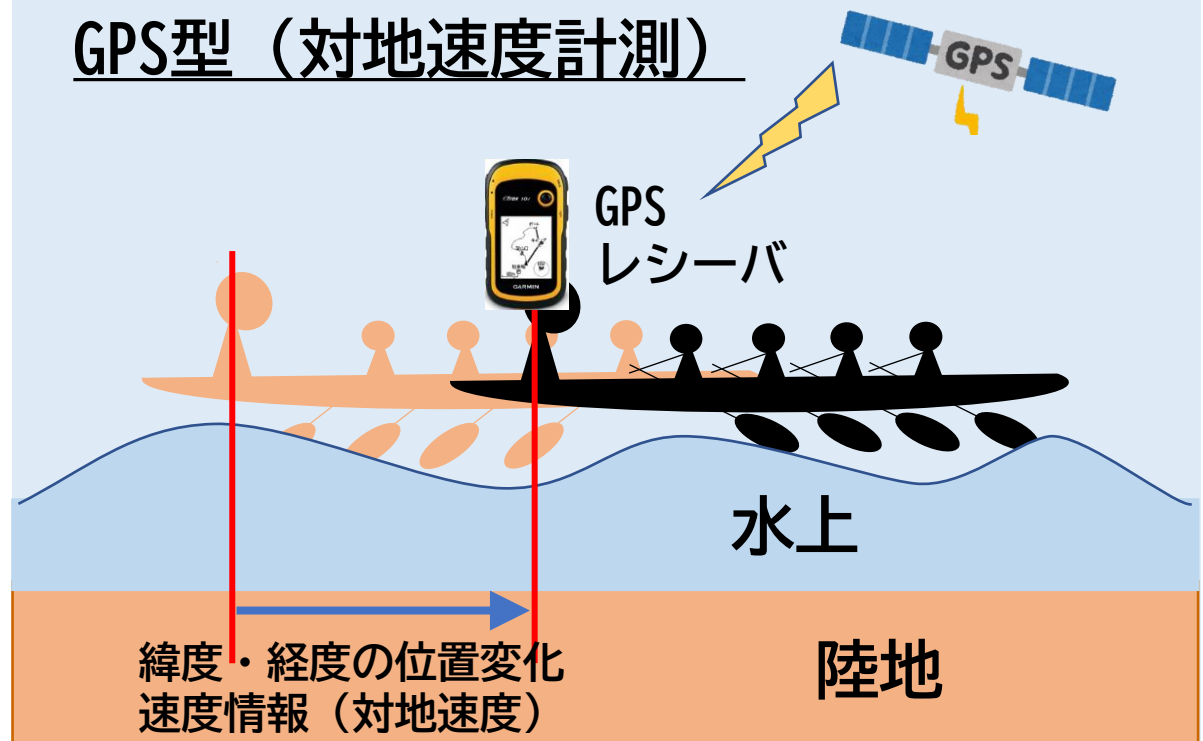
艇速計測方法（インペラー型：対水速度 v.s. GPS型：対地速度）

艇速の計測方法には、対水速度計測と対地速度計測がある。GPSでの計測が普及するまでは、インペラーを用いたプロペラの回転数の計測に基づく対水速度計測が主流でした。対水速度計測は、インペラーの設置や補正が必要ですが、実際の艇の速度を表し、練習時には水流に多少差があっても、しっかりと漕げているかどうか、練習強度の指標となりやすい。対地速度は水流の大きさや方向に大きく影響を受けるため、対水速度に比べ練習強度の指標にはしにくい。ただし、実際のレースでは対地速度となること、GPSでの計測が容易になったこともあり、対地速度の計測が今は主流となっています。

インペラー型（対水速度計測）



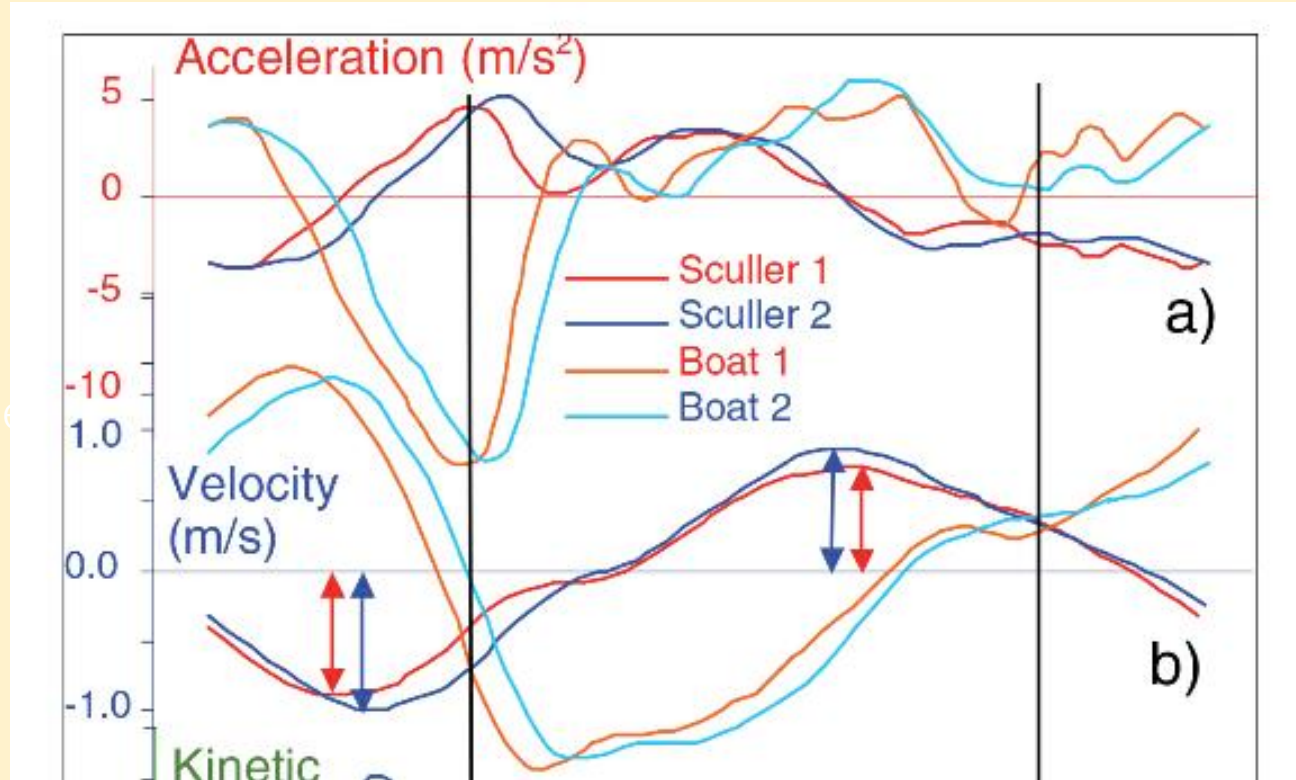
GPS型（対地速度計測）



加速度と速度

・Biomechanics of Rowing 2nd Edition
 ・バイオメカニクス —身体運動の科学的基礎—

スカル (1X) : ボートと漕手全体の**加速度**・**速度**と、
 漕手の**加速度**・**速度**のグラフ (2選手の比較)



Sculler1の動きの方が効率的

Fig. 3.12 Acceleration, velocity, kinetic energy of the boat and rower's CM and force curves in two scullers with different rowing styles.

Kleshnev, Valery. Biomechanics of Rowing 2nd Edition

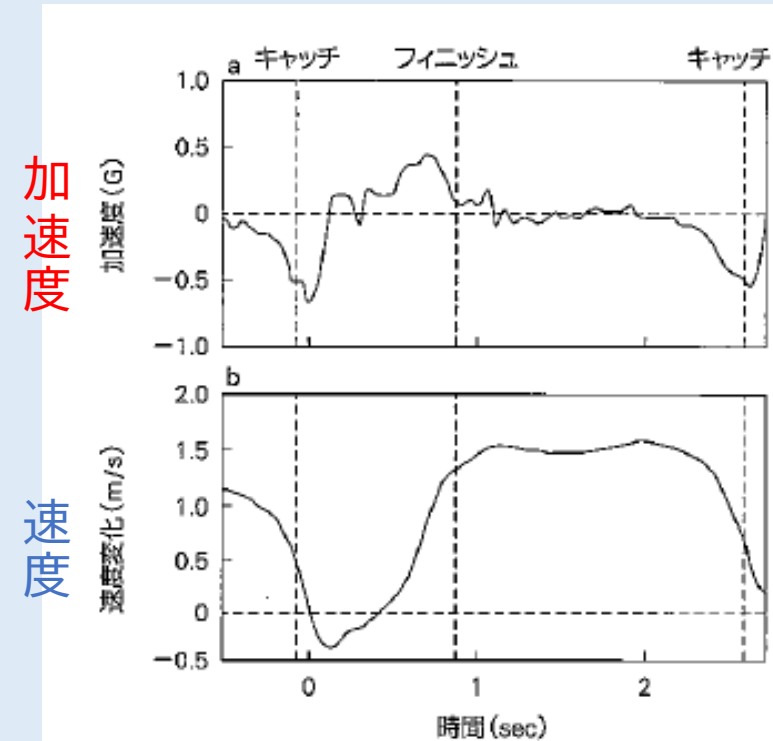


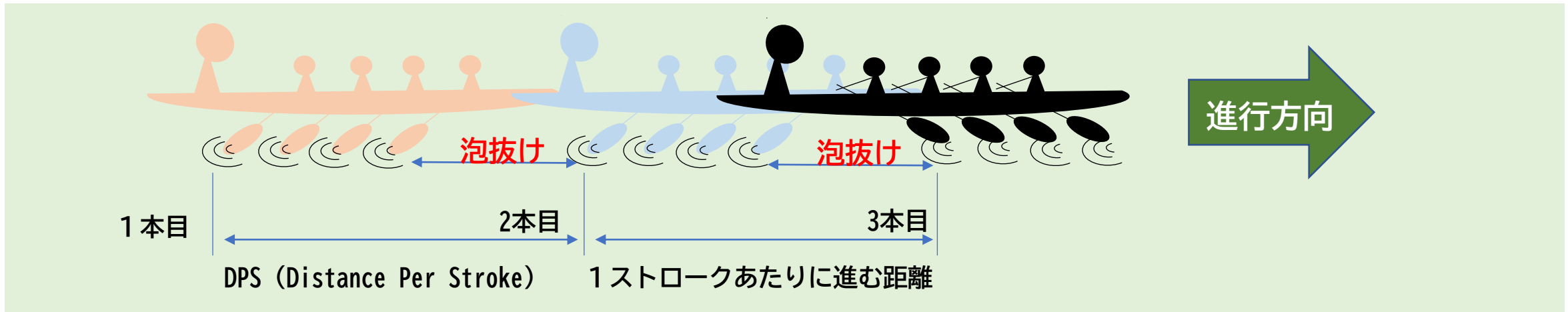
図 15-29 1ストローク中のボートの加速度(a)および速度変化(b)

キャッチ前のシートの動きが負の加速度を生み出し、減速成分となる。オールを介して水を押す反作用で正の加速度が生じ、艇速が増加する。

(川上泰雄ほか：ボート競技の競技力向上を目的とした艇の力学量測定システムの開発。トレーニング科学, 13: 21-30, 2001)

バイオメカニクス —身体運動の科学的基礎—より引用

DPS (Distance Per Stroke)[でいー・ぴー・えす]



DPS (Distance Per Stroke) : その名の通り、1 ストロークあたりに艇が進む距離 (m)

- 一般的にレートが上がると、DPSは小さくなる。
- DPSを変えずに、レートを上げられれば、艇速は速くなったということ。
- レートを変えずに、DPSが大きくなれば、艇速は速くなったということ。
- レートを下げても、艇速が変わらなければ、DPSが大きくなったということ。
- DPSはレートと合わせて、その場のクルーの状態 (速さ) を知る指標の一つ。
- DPSの変化は感覚的には、**泡抜け**の状態を観測する。

CKG-50では、今のところDPSの計算には、GPSの1秒毎の速度データに頼っており、ばらつきが大きい。加速度データの活用も考えられるが、今後の課題である。(10Hz対応タイプの再開発はほぼ完了) ちなみに、漕艇距離の積算にはGPSの緯度・経度の情報を用いている。

マクロスコープ

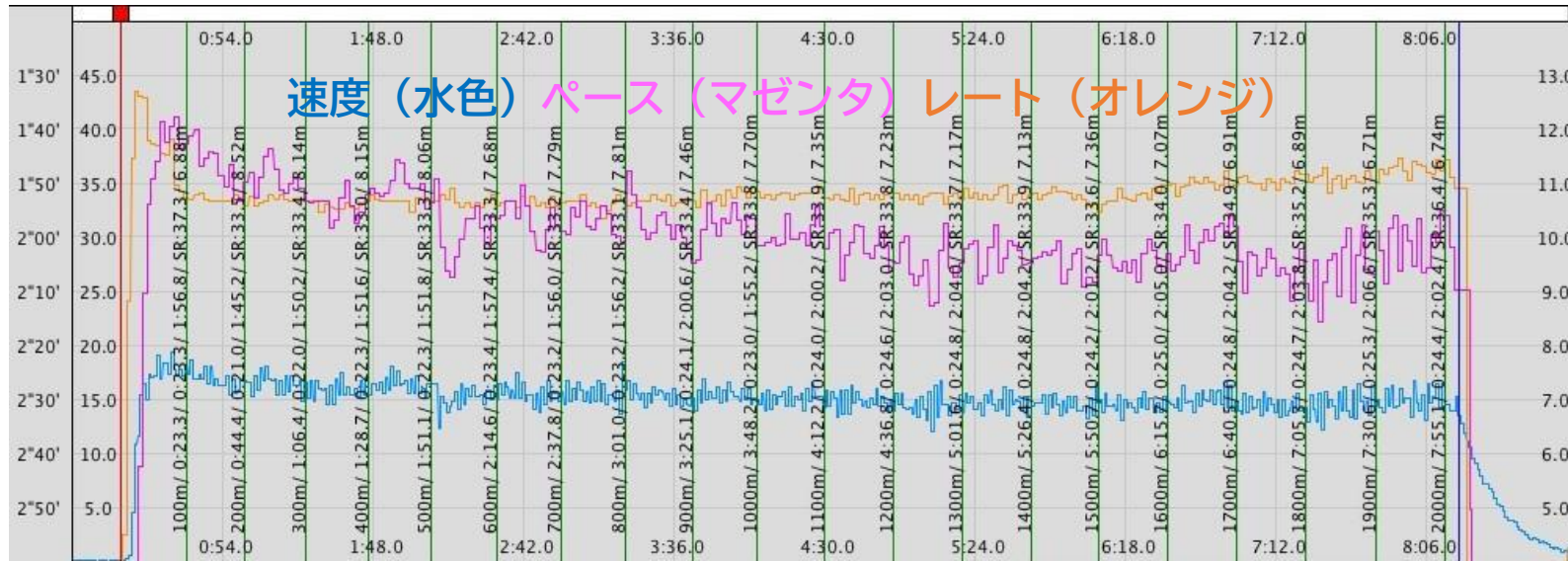
(勝手にそう呼んでいます)

レート & ペース (平均速度)

レース展開、ペース配分などの目標値・分析の指標値となります。

- ・速度よりペースの方が感度が良いです。
- ・タイム落ちグラフはレース展開の様子が良く分かります。
- ・レート、ペース、DPSはそれぞれ関係があります。

レート&ペース (平均速度)

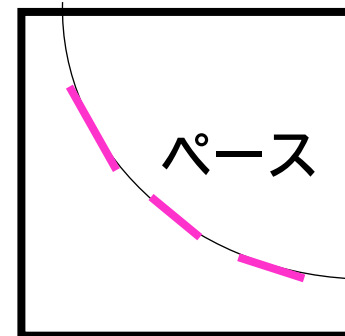
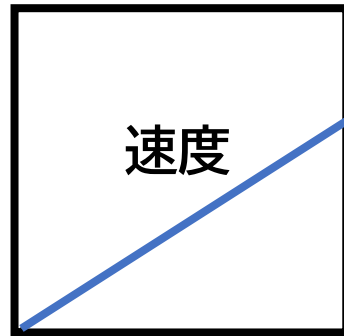


Dist	Time	Lap	Pace	SR	DPS	Speed
100	0:23.3	0:23.3	1:56.8	37.3	6.88	15.4
200	0:44.4	0:21.0	1:45.2	33.5	8.52	17.1
300	1:06.4	0:22.0	1:50.2	33.4	8.14	16.3
400	1:28.7	0:22.3	1:51.6	33.0	8.15	16.1
500	1:51.1	0:22.3	1:51.8	33.3	8.06	16.1
600	2:14.6	0:23.4	1:57.4	33.3	7.68	15.3
700	2:37.8	0:23.2	1:56.0	33.2	7.79	15.5
800	3:01.0	0:23.2	1:56.2	33.1	7.81	15.5
900	3:25.1	0:24.1	2:00.6	33.4	7.46	14.9
1000	3:48.2	0:23.0	1:55.2	33.8	7.70	15.6
1100	4:12.2	0:24.0	2:00.2	33.9	7.35	15.0
1200	4:36.8	0:24.6	2:03.0	33.8	7.23	14.6
1300	5:01.6	0:24.8	2:04.0	33.7	7.17	14.5
1400	5:26.4	0:24.8	2:04.2	33.9	7.13	14.5
1500	5:50.7	0:24.2	2:01.2	33.6	7.36	14.9
1600	6:15.7	0:25.0	2:05.0	34.0	7.07	14.4
1700	6:40.5	0:24.8	2:04.2	34.9	6.91	14.5
1800	7:05.3	0:24.7	2:03.8	35.2	6.89	14.5
1900	7:30.6	0:25.3	2:06.6	35.3	6.71	14.2
2000	7:55.1	0:24.4	2:02.4	36.4	6.74	14.7

(速度)、ペース、レートの変化グラフ (視覚化)

距離、経過時間、ラップ、ペース、レート、DPS、速度

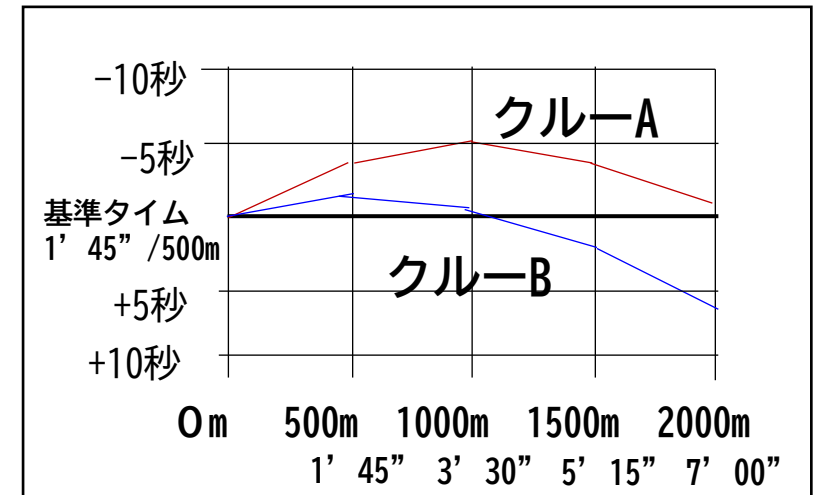
$$\text{ペース} = \frac{\text{基準距離}}{\text{速度}}$$



速度とペースは等価であるが、ペース表示の方が変化が分かりやすい。

[500m基準の時間 (分)]

速度 (水色) は速度 (自身) に対する感度 (変化量) は一定だが、ペース (マゼンタ) は、速度変化に対して感度 (変化量) が変わる。



タイム落ちグラフ

レート & ペース & DPS それぞれの関係

$$\text{速度} = \text{レート} \times \text{DPS}$$

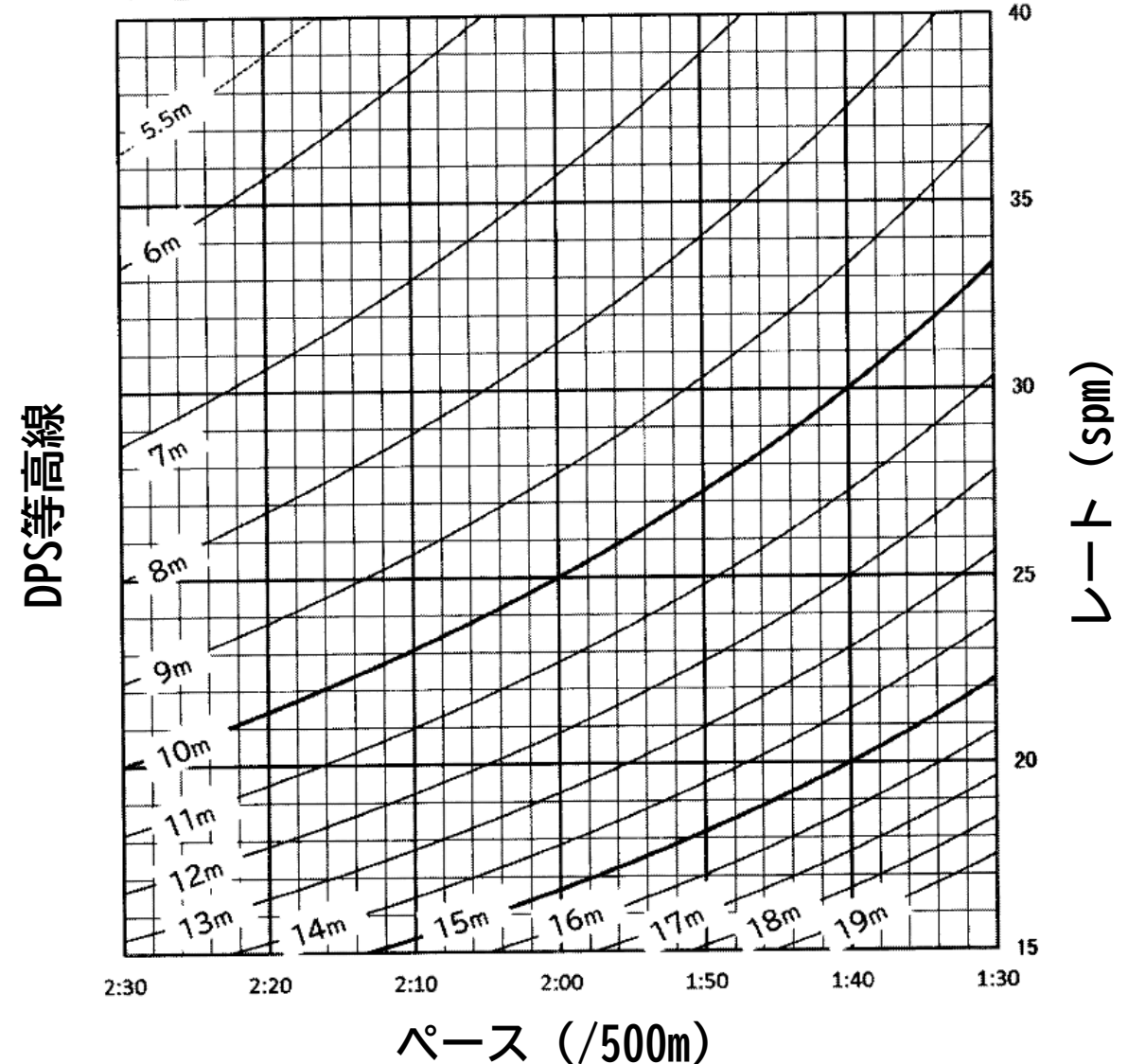
$$\text{ペース} = \frac{\text{基準距離}}{\text{速度}}$$

$$\text{ペース} = \frac{\text{基準距離}}{\text{レート} \times \text{DPS}}$$

$$\text{レート} = \frac{\text{基準距離}}{\text{ペース} \times \text{DPS}}$$

$$\text{DPS} = \frac{\text{基準距離}}{\text{ペース} \times \text{レート}}$$

DPS : Distance Per Stroke



漕艇譜 5/2020 P.220 IX-19 ペース、レート、DPSチャート より

PENTA最強の撮影ガジェット！ 360° 動画撮影



<https://gopro.com/ja/jp/shop/cameras/max/CHDHZ-202-master.html>

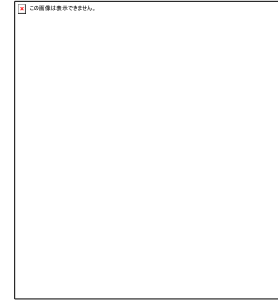
PENTA通称K3カメラ

360° 全天球 (Fullsphere) の動画が撮影可能な高性能カメラ。

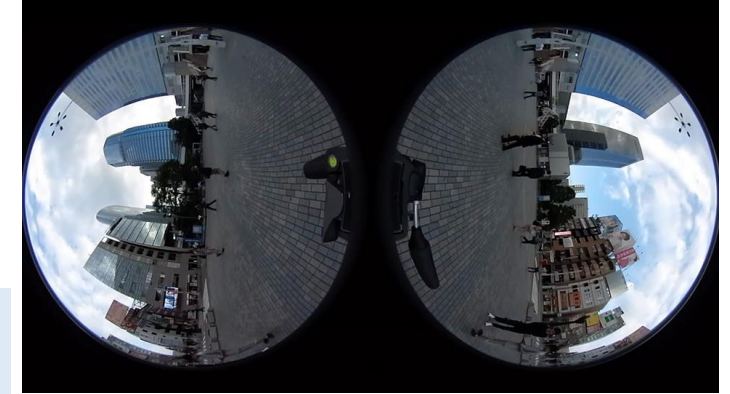
PENTAではK3さんが使い始めたことでこの通称がついています。

リガーに取り付け、片側のサイドから撮影することで、漕手全体の動きを撮影することができます。

撮影後は見る方向を変えることで、片側再度からですが、特定の漕手の動きを詳細に見ることができます。



前面と背面の2つのカメラで撮影したデータを「ドームマスター」形式で保存。保存データを1枚の「エクイレクタングラー」形式映像に変換します。



「円周魚眼」レンズで撮影。「ドームマスター」形式で保存。

マウスのドラッグでも視点を変えられる

視点 (向き) を変えるコントローラ



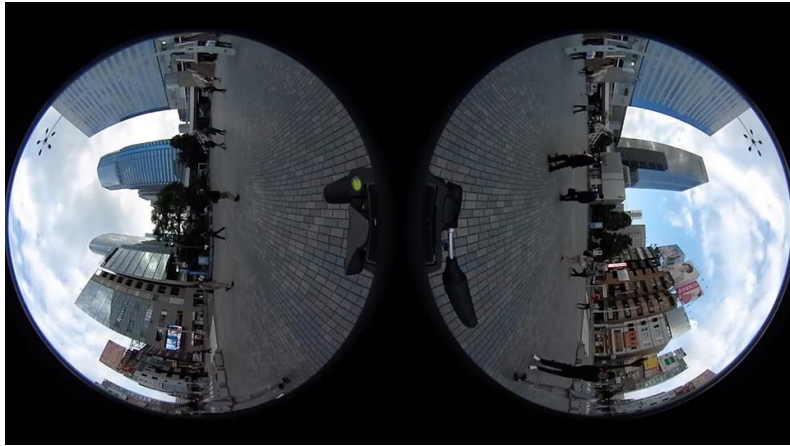
撮影・変換した360° 映像をYoutubeにアップロードし、再生。マウス操作で視点の向きを変えることができます。

360° 動画撮影・再生

「全周 (Panorama)」横にぐるりと見渡せるような360度のパノラマ映像

「全天周 (Full dome)」プラネタリウムのようなドーム (半球) スクリーンで視野の上半分を覆うような映像

「全天球 (Full sphere)」前後左右頭上から足元まで全視野を覆うような映像

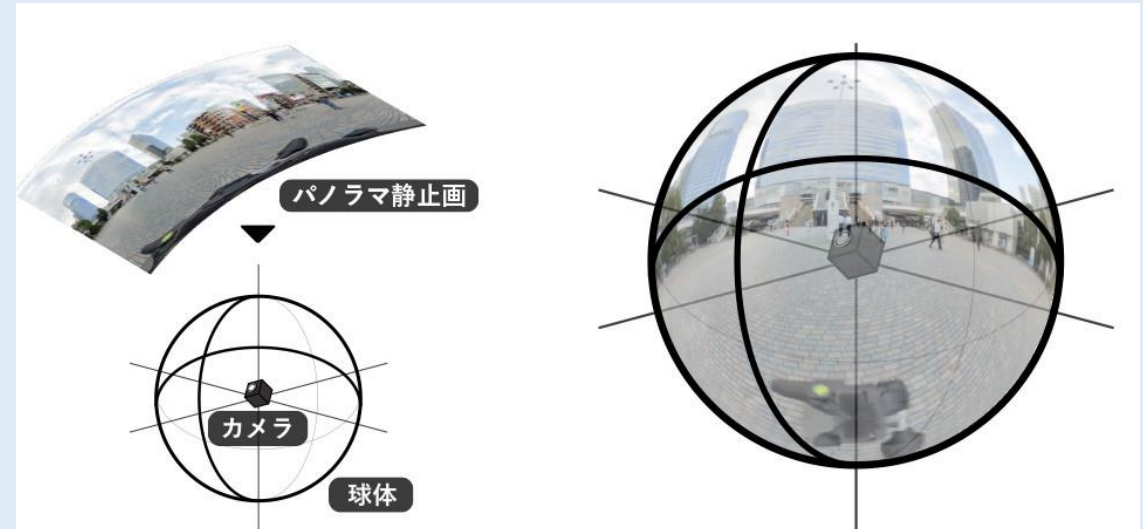


「円周魚眼」
レンズ (撮影
像の中に丸く
写る) で撮影。
「ドームマス
ター」形式で
保存。



「エクイレクタ
ングラー」形式
に変換。

「正距円筒図法」
(equirectangular)
発音しにくいので
「パノラマ形式」
「円柱形式」とも呼ばれ
る形式に変換する。



球体の中心にカメラを置く。

▶ 球体にパノラマ静止画を貼り付ける。

「エクイレクタングラー」形式 (パノラマ形式) の画像データを球体に張り付けて画像として切り出す。これらを連続再生することで動画再生する。視点を変えることで色々な角度からの映像としてみる事ができる。

データフュージョン

映像と計測データのデータ融合

映像は直接的でもっとも身近な可視化手段。
映像と計測データや加工データを映像に重ね合わせを合わせて可視化することで、イメージがさらに膨らむ。

映像と計測データのデータ融合

計測データのビデオ映像への重ね合わせ



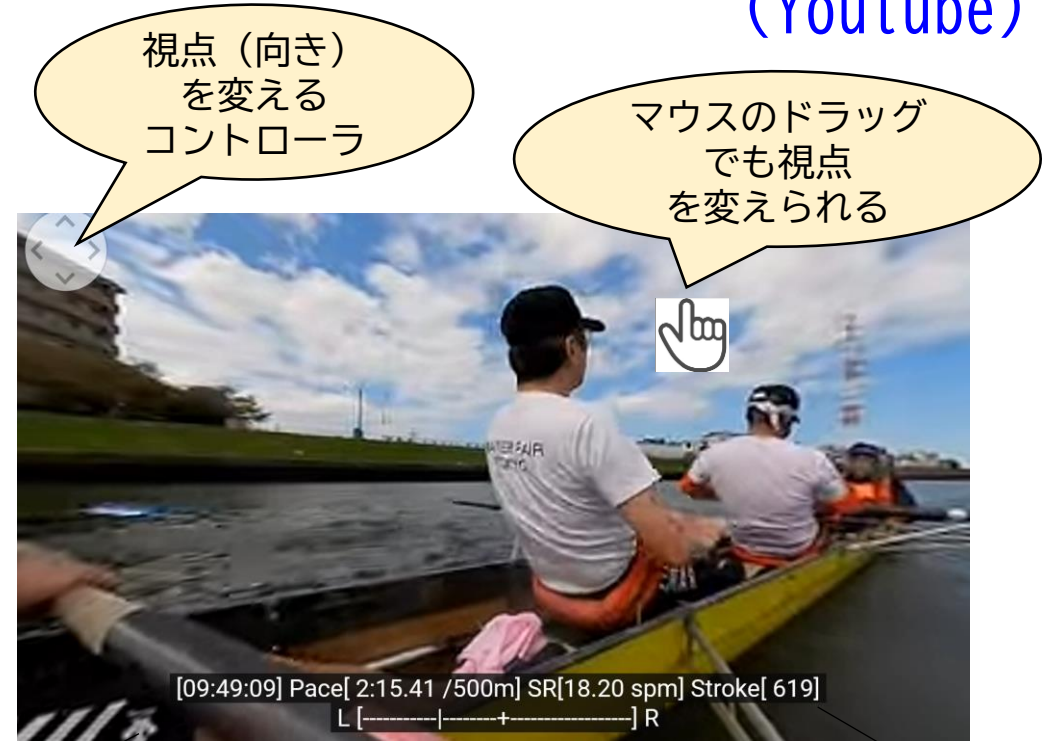
time = 00:56.9 [min:sec.]
 dist = 253.8 [m]
 rate = 42.6 [spm]
 pace = 01:32.2 (/500m)
 pace_avr = 01:39.9 (/500m)
 stik = 36



2015/06/21 お台場レガッタのビデオ映像

https://www.youtube.com/watch?v=xsCKSeRU_ZE

360° 動画への計測データの字幕表示 (Youtube)



視点 (向き)
 を変える
 コントローラ

マウスのドラッグ
 でも視点
 を変えられる

字幕

[09:49:09] Pace[2:15.41 /500m] SR[18.20 spm] Stroke[619]
 L [-----+-----] R

時刻：ペース(分/500m)：レート(spm)：ストローク数
 左右バランス： L[-----+-----]R

<https://www.youtube.com/watch?v=LhIPuVOLMLE>

Youtube動画へのテロップ（字幕）の入れ方

新しい字幕を作成する <https://support.google.com/youtube/answer/2734796>

1. YouTube Studio にログインします。
2. 左側のメニューから [字幕] を選択します。
3. 編集する動画をクリックします。
4. [言語を追加] をクリックして言語を選択します。
5. [字幕] 列にある [追加] をクリックします。

参考：サポートされる字幕ファイル

https://support.google.com/youtube/answer/2734698?hl=ja&fbclid=IwAR2ceThHc1mcDqTlah5tnTs6Kf0c9IRpZZYgwLJw04_nSzYY14tRigLaYHE

初めて字幕ファイルを作成する場合は、SubRip (.srt) または SubViewer (.sbv) を使うとよいでしょう。これらのファイル形式で必要となるのは基本的なタイミング情報だけです。

SubRip ファイルと SubViewer ファイルの大きな違いは、キャプションの開始時間と終了時間の形式にあります。

字幕ファイルの1つである
.srtのファイル形式、字幕の文字例。

```
1
00:02:17,440 --> 00:02:20,375
Senator, we're making
our final approach into Coruscant.
2
00:02:20,476 --> 00:02:22,501
Very good, Lieutenant.
```

動画ファイルの開始時刻と計測データの時刻を合わせ、左記の形式合わせて計測データを字幕の文字としてデータ加工する。（字幕の文字は2行にわたってもOK）

計測データだけでなく、映像のはじめやシーンの変わりはじめに説明文を入れてるために使用してもよいでしょう。

Windows 10の「映画&ビデオ」アプリでも字幕ファイルの確認や360°対応映像ファイルの再生ができます。