

自転車運動時トルクアシストと 生体機能の変化



木竜 徹† 加藤 慎也† 守屋 貴於‡ 水野 康文‡

新潟大学大学院 自然科学研究科†
ヤマハ発動機‡

目的と方法

パワーアシスト付自転車：人間の機能を補助する移動体

人間の動作を制限することなく，人間が意図する動作を快適に実現することが出来る「フレキシビリティ」を持つ移動体の設計を目指す．

first step

パワーアシスト付自転車の車両特性と生体機能との関係性を評価する．

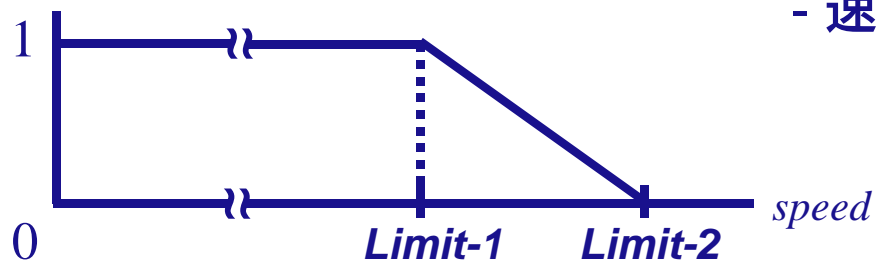
パワーアシスト付自転車



YAMAHA PAS PX20

- 車輪の大きさ：20インチ
- 自動変速装置装備（4段自動変速）
急勾配の走行経路におけるトルクのオーバーレンジ防止。
- アシスト方法：トルクアシスト方式
- ペダルに加わるトルク
= 人間のトルク + アシストトルク
(人間のトルク × アシスト比)

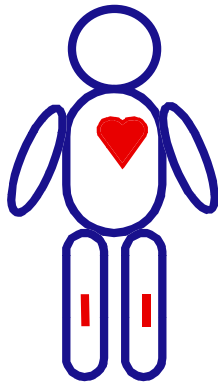
アシスト比



- 速度によってアシスト比が変化
 - Limit-1まで 1 に固定
 - Limit-1-2 1 から0へ線形に減少
 - Limit-2以上 0 に固定

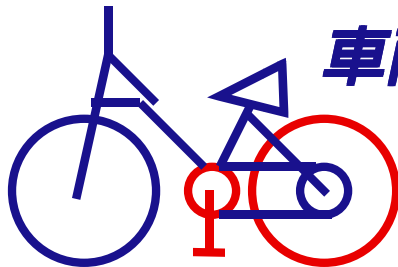
<http://www.jbpi.or.jp/english/b.news/enews2.html>.

生体情報と車両情報



生体情報

- 心電図：R-R間隔 [sec]
- 表面筋電図（左右，外側広筋）：
振幅情報 ARV [μ V]，
周波数情報 MPF [Hz]
- 主観的評価値：NASA-TLXから
メンタルワークロードを求める



車両情報

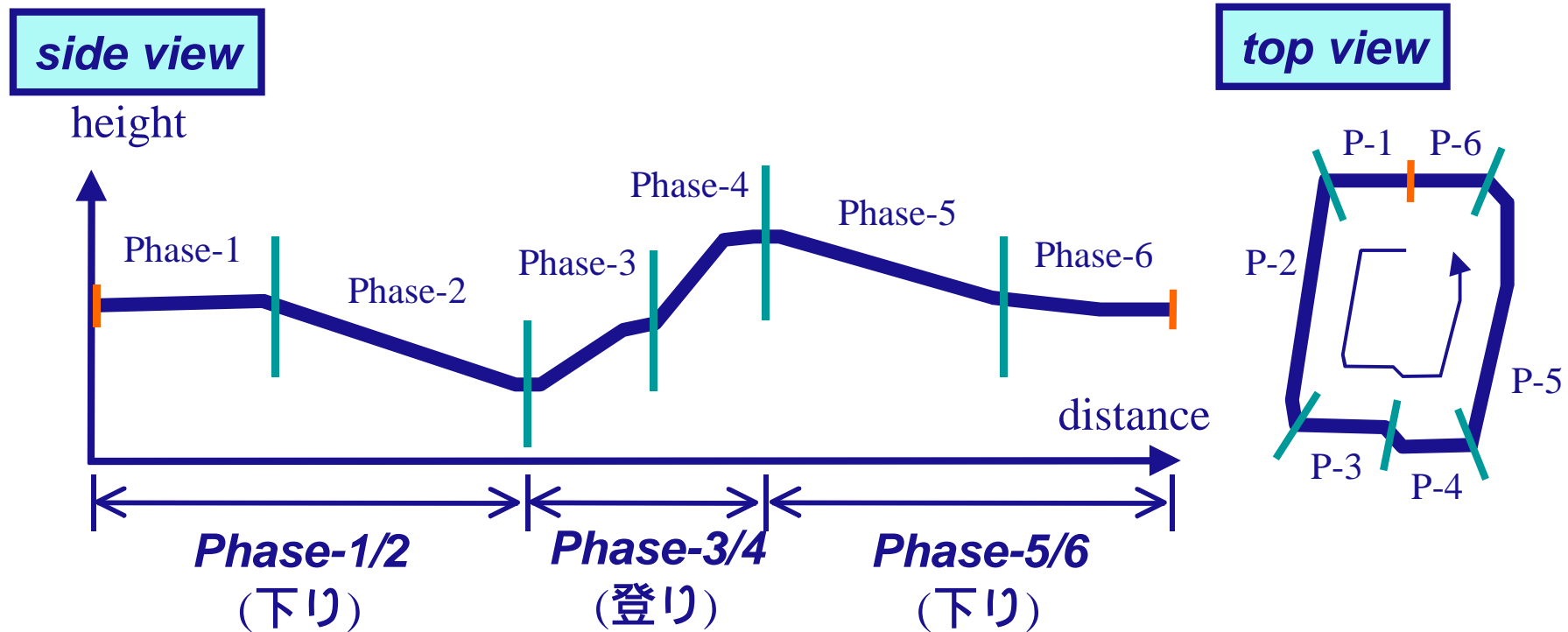
- ホイールトリガによる車両速度 [m/s]
- クランクトリガによるケイダンス [rpm]
(ピッチ音により 60 [rpm]を目標)
- クランクトルク [$N \cdot m$]

計測条件

心電図：増幅度 46 [dB]，時定数 0.15 [sec]
表面筋電図：増幅度 60 [dB]，時定数：0.03 [sec]

→ **Signal Processing**
12 bit, 5000 Hz
digitizing

コースのセグメンテーション



RSA Ratioに注目

RSA (Respiratory Sinus Arrhythmia)

定義式

$$RSA_ratio(t) = \frac{\int_{f_L}^{f_H} W(f, t) df dt}{\int_{f_{WL}}^{f_{WH}} W(f, t) df dt}$$

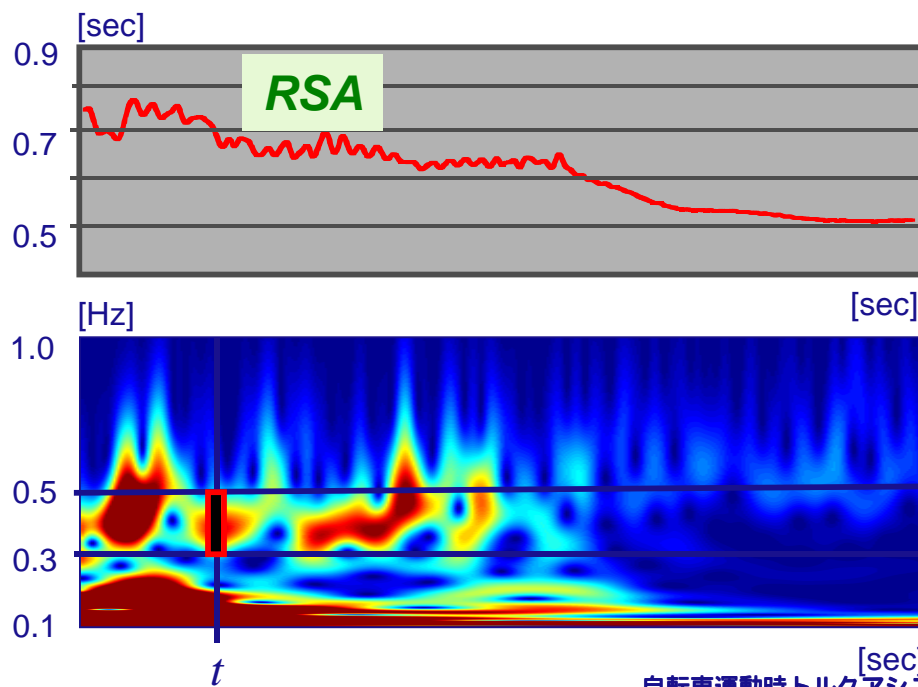
$W(\cdot)$: Wavelet Transform

f_H : 0.5 [Hz]

f_L : 0.3 [Hz]

f_{WH} : 1.0 [Hz]

f_{WL} : 0.1 [Hz]



心拍R-R間隔時系列を
時間周波数解析

時刻 t での周波数成分比率

$$\frac{0.3 \sim 0.5 \text{ [Hz]成分のパワー積分値}}{0.1 \sim 1.0 \text{ [Hz]成分のパワー積分値}}$$

$$= RSA\ ratio(t) [\%]$$

RSAによるグルーピング

一方で条件を満たすものを**SDRR**トライアルとする。

条件1 : *Phase-1/2*でのRSA ratioが平均20%以上 .

条件2 : *Phase-1/2*でのRSA ratioが平均15%以上 , 且つ

[RSA ratio (*Phase-1/2*) - RSA ratio (*Phase-3/4*)] 10%以上 .

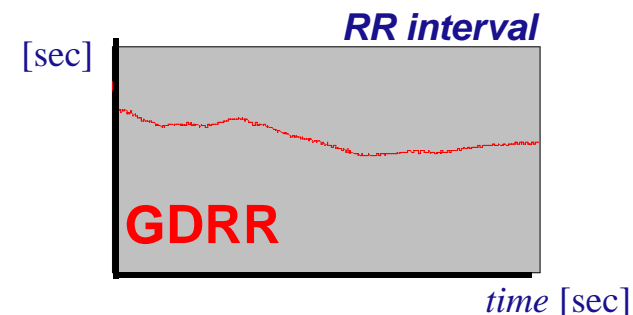
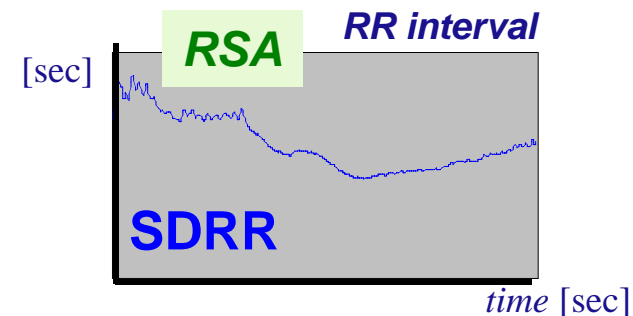
仮説

「RSA成分は主に休息時に増大し、
疲労時に減少する」



SDRR : 回復機構が機能しており
運動に余裕がある状態 .

GDRR : 運動の負荷が限界に近く
運動に余裕がない状態 .



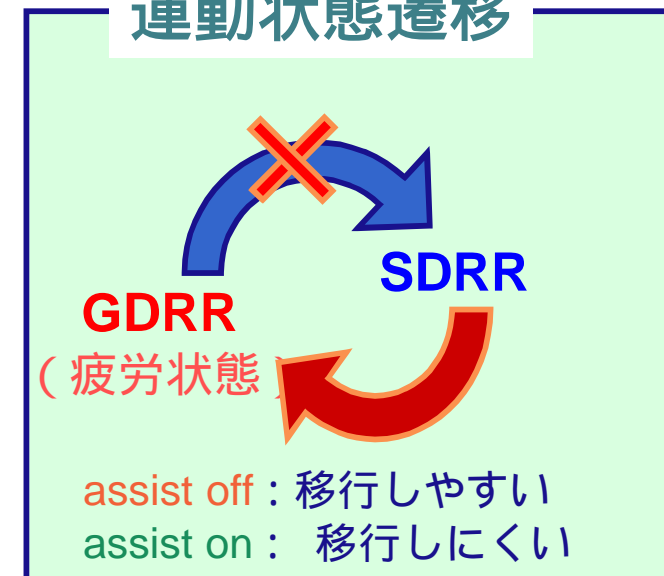
データとそのグルーピング

アシスト状態	SDRR	GDRR	全トライアル数
assist on	42(47.2%)	48(52.8%)	89
assist off	2(9.1%)	19(90.9%)	22

健康な21～24歳の成人男性8名と成人女性5名，計13名の合計111トライアル．

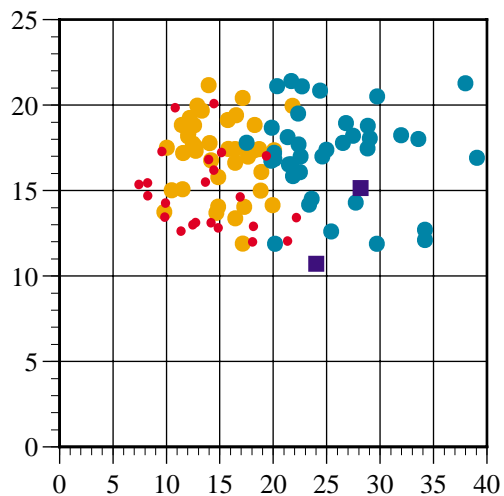
- assist onの場合，RSA成分が大きくなり被験者はSDRRになりやすい．
- アシストによってSDRRからGDRRへの変化が起こりにくくなる．
- SDRRで運動していた被験者がassist offのトライアルを境にGDRRに変化する例があった（3例）．
- アシストにより負荷が軽くなったと感じている．
- Phase-1/2 と Phase-5/6 においてassist on / off 間に有意差が見られる．
- アシストの効果はユーザーによっては十分でないことがある

運動状態遷移



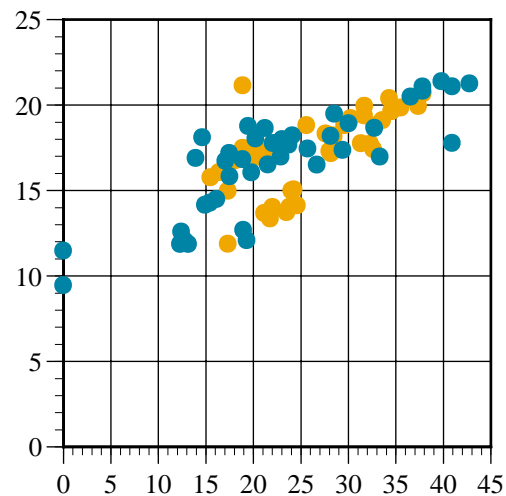
グループ、アシスト、車両情報

speed [km/h] at Phase-3/4



RSA ratio at Phase-1/2

speed [km/h] Phase-3/4

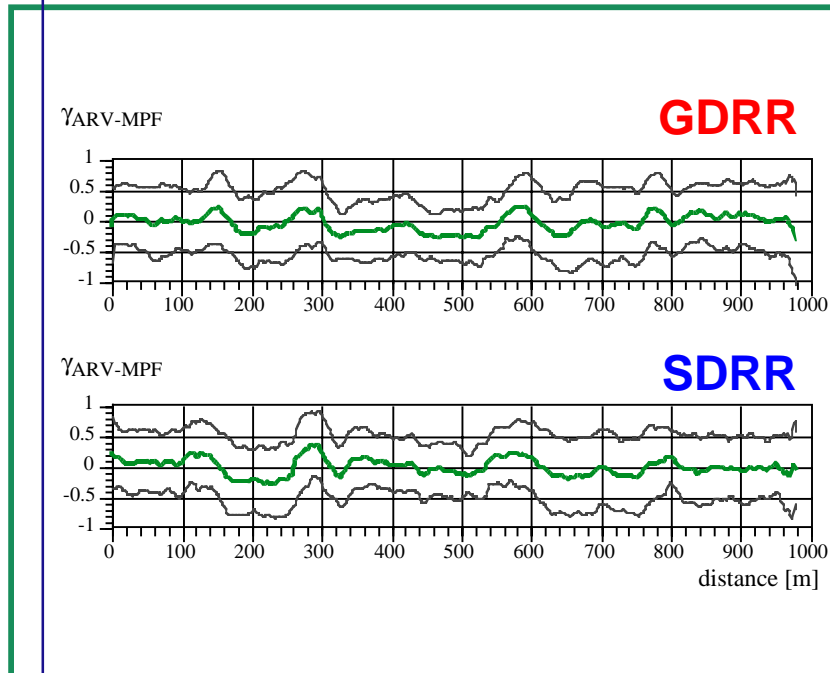
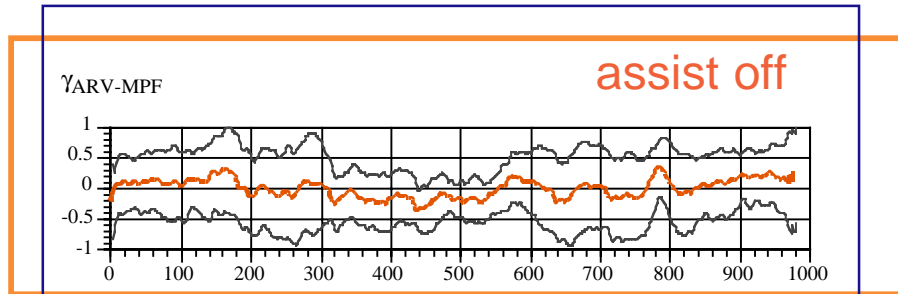


torque [Nm]



筋疲労とアシストトルク

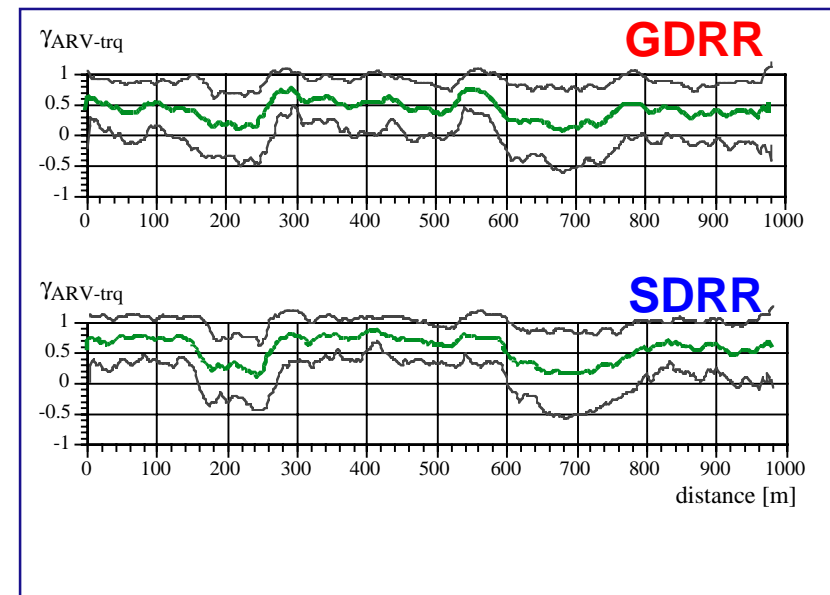
グループ毎の平均と分散の時系列



$\gamma_{ARV-MPF}$

筋疲労

assist on



$\gamma_{ARV-torque}$

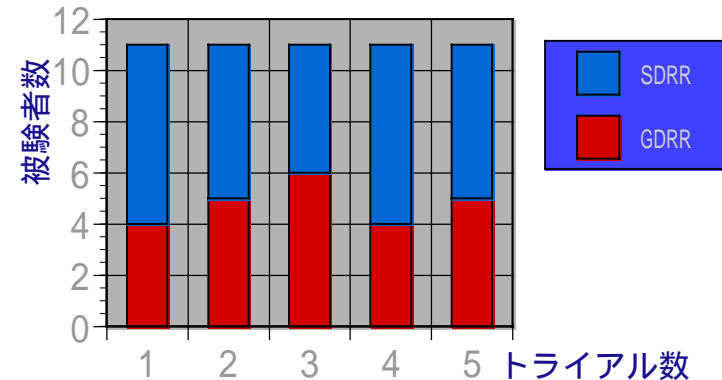
筋活動とトルク

アシスト効果

1. GDRRとトライアル数の増加は無関係

トライアル数増加
||
SDRRからGDRRに変化?

- assist onで全トライアルを走行した
実験での被験者の状態



2. アシストにより負荷が軽くなったと感じている

- NASA-TLXから求めたメンタルワークロード

	assist on	assist off
NASA-TLX	3.98±1.12	6.07±1.07

(mean ± s.d)

まとめ

心拍変動の *RSA ratio* より各トライアルを2つの状態（**GDRR**，**SDRR**）に分類し，車両情報と比較した．

- **SDRR**を体の回復機構が働いている余裕のある状態．
- **GDRR**を**SDRR**の逆で，身体的に余裕のない状態と定義．
- *RSA ratio*，筋疲労，車両情報について，**SDRR**，**GDRR**，assist on / assist off 毎の比較を行った．

分かったこと

- assist offでは，約90 [%]のトライアルが**GDRR**を示した．
- assist onでは，約50 [%]のトライアルが**SDRR**を示した．
- アシストによってすべてのトライアルが**SDRR**になるとは限らない．
- 被験者が自分の疲労を主観的に評価できていない場合がある．
- **GDRR**のトライアルでは筋活動の効率が悪く，疲労している．

——→ 筋疲労時では効率が低下し，1:1 アシストは効果がない