

# トラコン FF+FB に関する資料

2023/07/11

曾我

## 目次

1	ロジック .....	2
1.1	前提 .....	2
1.2	考え方 .....	2
1.3	理想の $I\omega$ の算出 .....	2
1.4	理想の $r_{tire}$ $F_{tire}$ の算出 .....	2
1.5	$T_{loss}$ の推定 .....	3
2	結果 .....	4
2.1	ベストの結果 .....	4
2.2	路面 $\mu$ を変えたとき .....	6
2.3	路面 $\mu$ を一定時間だけ変えたとき .....	7
2.4	荷重移動量が誤差を含むとき .....	8
2.5	速度センサーに誤差を変えたとき .....	9
3	結論 .....	10

## 1 ロジック

### 1.1 前提

タイヤの運動方程式は次のように表される。

$$I\dot{\omega} = T - r_{tire} F_{tire} - T_{loss}$$

一方制御したい量はスリップ率で加速時は以下の式で表される。

$$\lambda = \frac{v_{wheel} - v_{vehicle}}{v_{wheel}}$$

### 1.2 考え方

フィードバック(FB)ではゲインを上げると振動的になるいっぽうで下げると収束が遅く問題であった。そこでフィードフォワード(FF)を入れることを検討した。FF成分には最大加速時における理想のトルクを入れることにし、FBはこれまで通り目標スリップ率と推定車速から求めた目標回転数と現在の回転数の差分が小さくなるようなPID制御とした。

タイヤの運動方程式を見ると、トルク $T$ は、回転させるための項 $I\dot{\omega}$ 、車両を加速させるための項 $r F_{tire}$ 、走行抵抗を打ち消すための項 $F_d$ に使われる。

目標とする加速度とスリップ率は決まっている(限界の加速度と最良のスリップ率)ため、 $I\dot{\omega}$ と $r F_{tire}$ の理想の値も決まる。 $F_d$ はおおよそ速度によって決まり、あらかじめ推定できる。以上のことから車両が限界加速したいときの理想のトルク $T$ を求めることができる。

### 1.3 理想の $I\dot{\omega}$ の算出

変数に"\*"を付けて理想の値を表すことにする。スリップ率 $\lambda^*$ が常に理想の値とする。スリップ率の式を変形して微分すると、

$$v_{wheel} = \frac{1}{1 - \lambda^*} v_{vehicle}$$

ホイールの回転速度は $v = r\omega$ で表されるので

$$\dot{\omega} = \frac{1}{r_{tire}} \frac{1}{1 - \lambda^*} v_{vehicle}$$

と変形できる。現在のタイヤモデルおよびアクセラシムにおいて、下記の値が理想の値である。

$$\lambda^* = 0.18$$

$$v_{vehicle}^* = 1.25G$$

これにより理想的なホイールの回転加速度 $\dot{\omega}^*$ が求められた。

$$\dot{\omega}^* = \frac{1}{r_{tire}} \frac{1}{1 - \lambda^*} v_{vehicle}^*$$

### 1.4 理想の $r_{tire} F_{tire}$ の算出

最大の  $F_{tire}$  が理想の  $F_{tire}$  である。 $F_{tire}$  はマジックフォーミュラにおいて、荷重とスリップ率で決まる。実走行で取り得る荷重の範囲では、荷重の変化による目標スリップ率の変化は小さく  $\lambda^* = 0.18$  であった。そこで最大の加速  $G$  における荷重移動を考慮した  $F_{tire}$  の最大値を理想の  $F_{tire}$  とした。

4 輪に適用して行くには、荷重移動の計算にセンサーで取得した横  $G$  を入力すると良いと考えている。さらには DYC 内で使用しているであろうスリップ角（各輪？目標値？）を取得して理想の  $F_{tire}$  を求められるのではないか。。。

### 1.5 $T_{loss}$ の推定

モーターに一定のトルクを等しく印加した際の収束速度を調べた。これを逆に読むことで、ある速度を維持するためのトルク  $T_{loss}$  が分かる。

motor torque[Nm]	Wheel Speed[rpm]
0.55	2430
0.6	3385
0.7	4780
0.8	5950
1	7650
1.5	10810
2	13260
2.5	15350
3	17190

## 2 結果

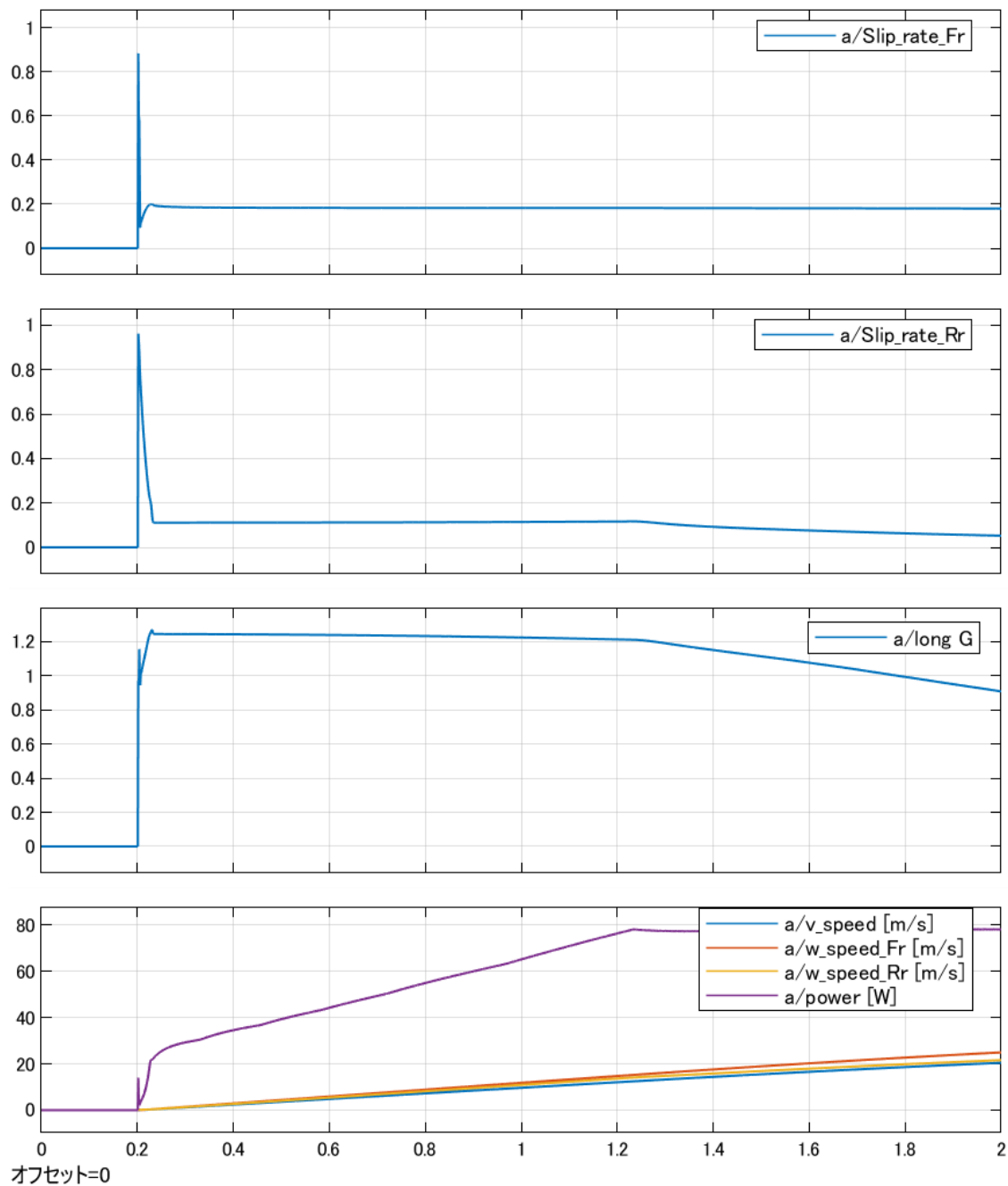
### 2.1 ベストの結果

アクセラタイムは 3.607s だった。

$t = 0.2s$ でローンチスタートしたときの結果。横軸に注意されたい。

これまでと比べて格段にスリップ率が収束するまでの時間が減少している。

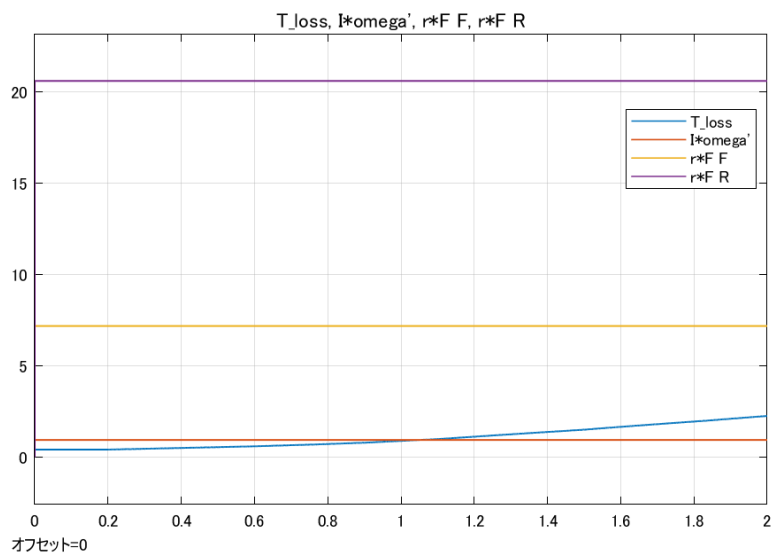
$t = 0.23s$ 付近でリアのトルクが最大になりスリップ率が小さくなっている。



FF 成分の中身を見る。

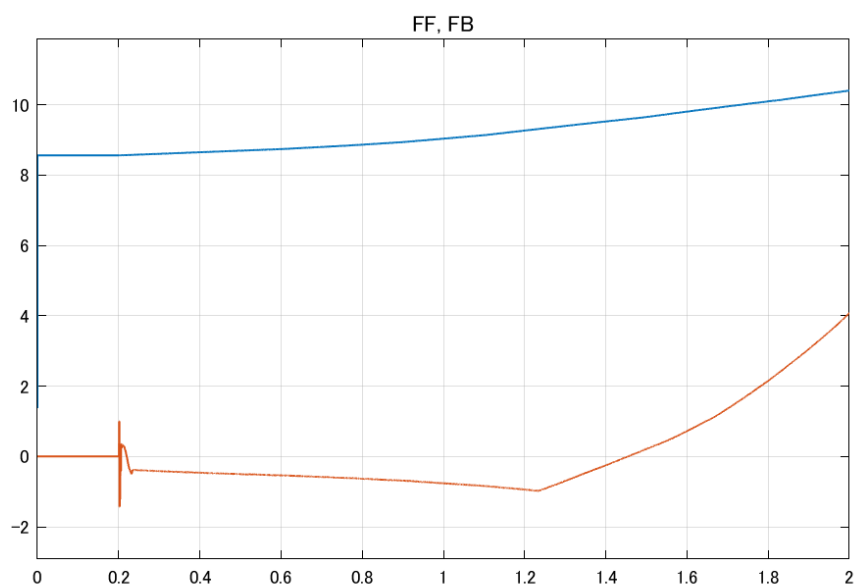
フロントにおいては加速のための力が支配的。抵抗トルクがホイールを回転するために使う力より大きくなっていく。

リアにおいては加速のための力が常に支配的。



フロントにおける、FF と FB の割合を示す。

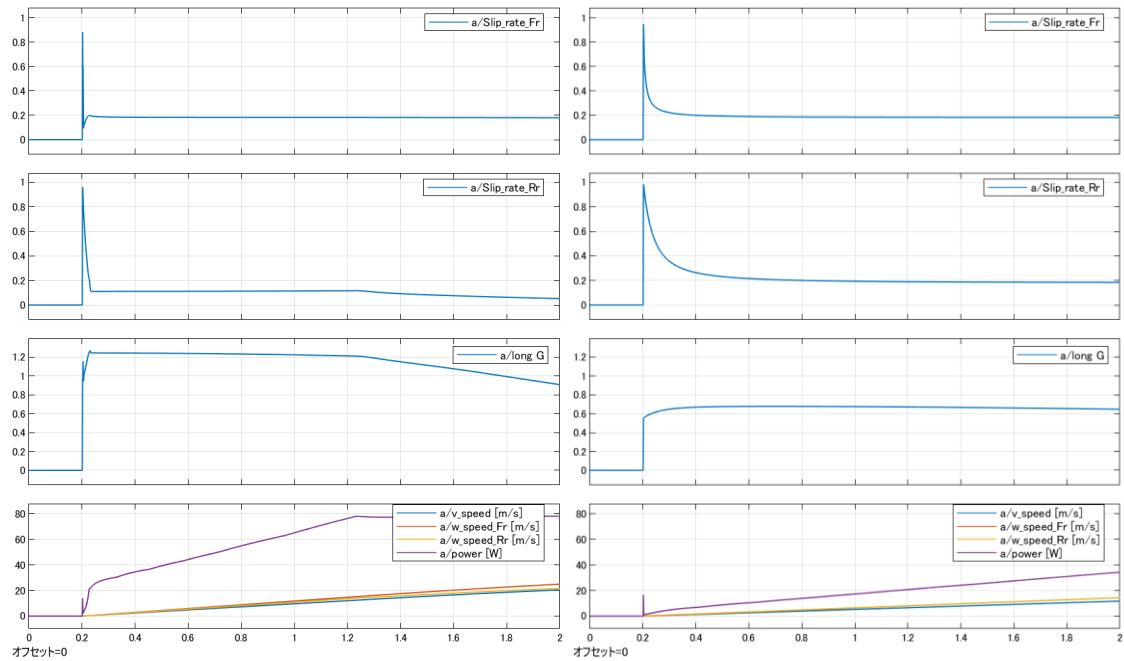
$t = 1.23s$ 付近で 80kW に到達



## 2.2 路面 $\mu$ を変えたとき

車両モデルの路面 $\mu$ だけ変更した。

収束までの時間が伸びる。



左 :  $\mu = 0.55$

右 :  $\mu = 0.3$

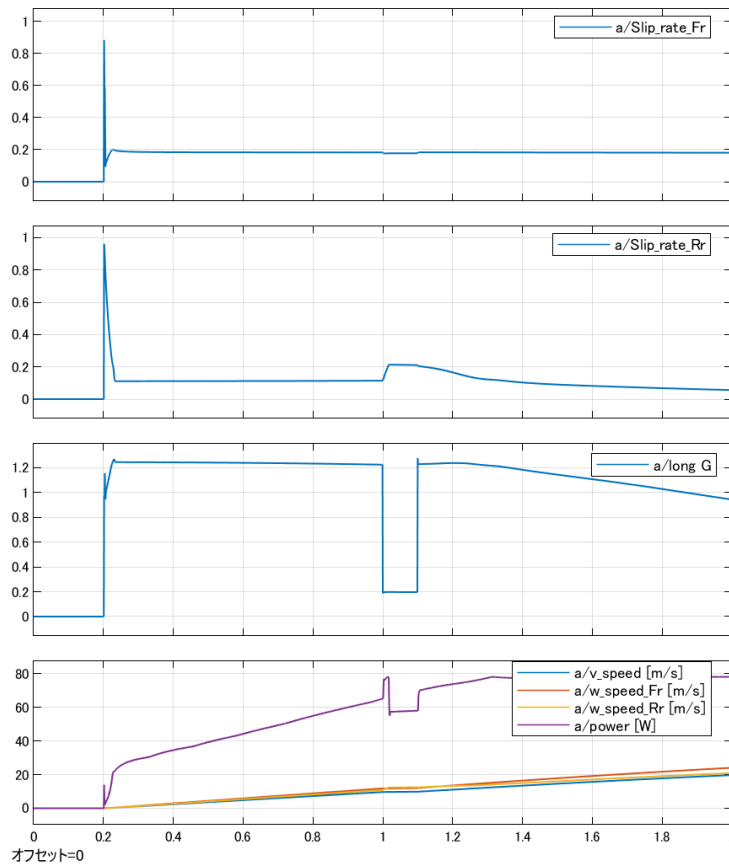
### 2.3 路面 $\mu$ を一定時間だけ変えたとき

$t = 1\text{s}$ で $\mu$  を 8 割減させた。

G が下がってフロントの荷重が増えて駆動力が増えてスリップ率が下がった。

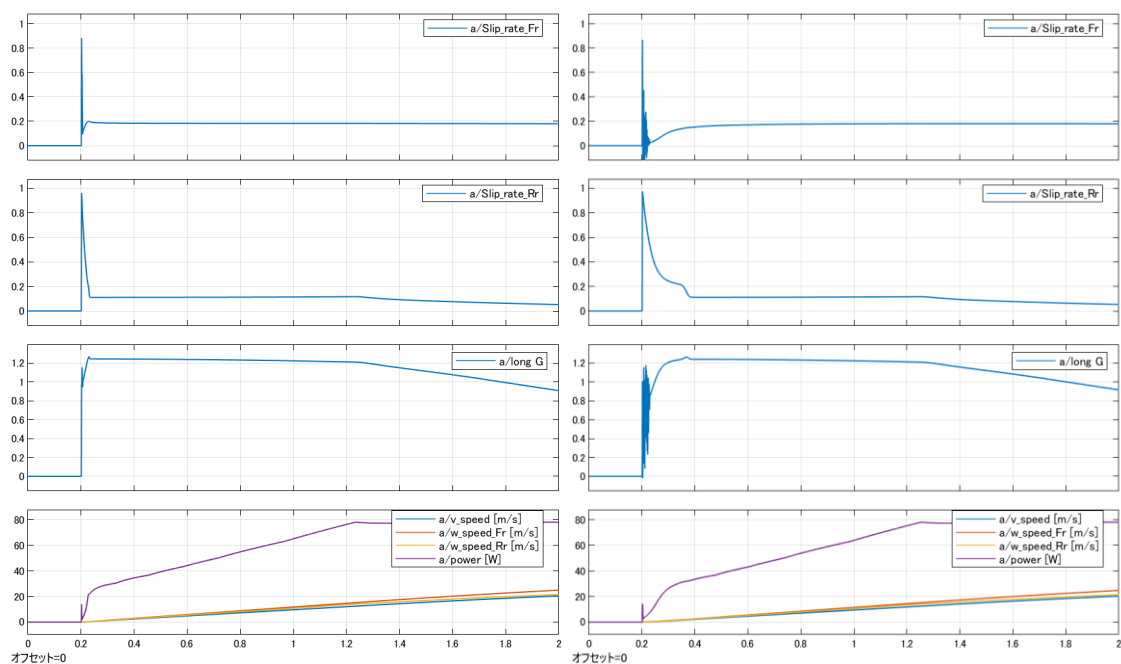
リアは $\mu$ と荷重が減って駆動力が減ってスリップ率が上がった。

スリップ率は適正な範囲内のままである。



## 2.4 荷重移動量が誤差を含むとき

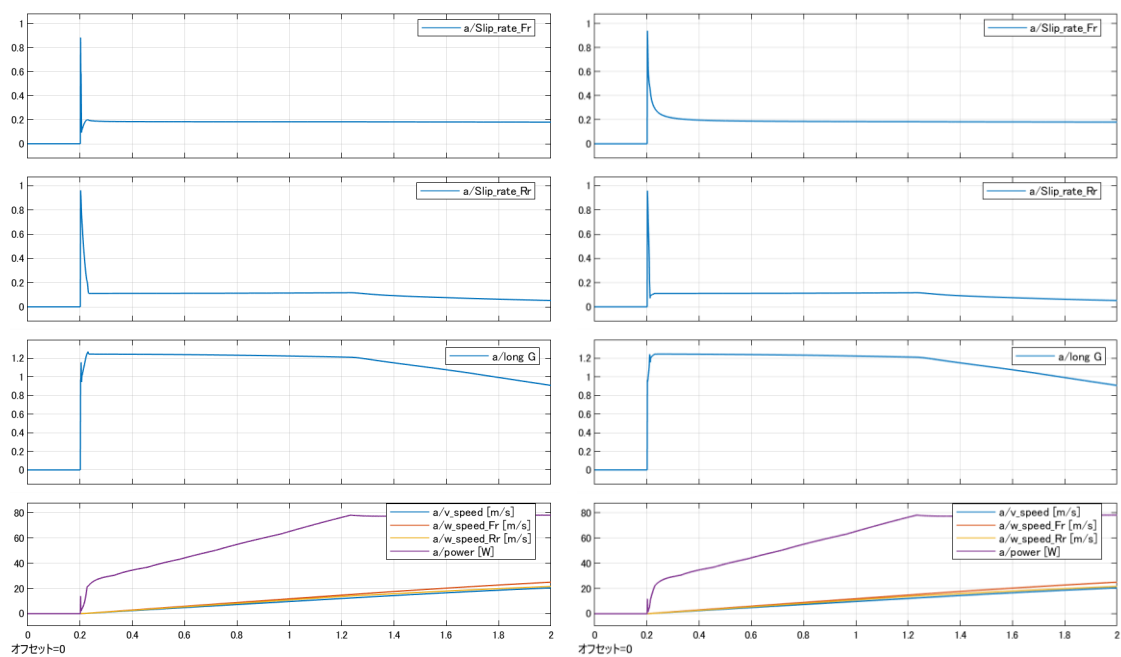
荷重移動量を倍にしたとき



左：制御器のモデルとシムのモデルが同じ

右：制御器のモデルはシムのモデルに比べて 2 倍荷重移動する

荷重移動量を半分にしたとき



左：制御器のモデルとシムのモデルが同じ

右：制御器のモデルはシムのモデルに比べて 1/2 倍荷重移動する



2.5 速度センサーに誤差を変えたとき

センサー誤差

Ellipse 2 - Hardware Manual.pdf

1.4.2.1. Land applications

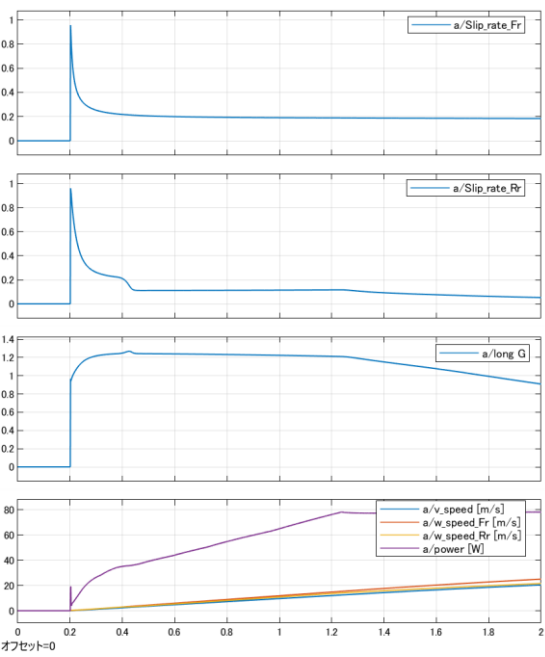
All specifications are valid with DMI (odometer) aiding for typical land applications trajectories.

Outage Duration	Positioning Mode	Position Accuracy		Velocity Accuracy		Attitude Accuracy (°)	
		Horizontal	Vertical	Horizontal	Vertical	Roll / Pitch	Heading
No Outage	SP	2 m	2.5 m	0.1 m/s	0.1 m/s	0.1 °	0.3 °
	RTK	0.02 m	0.04 m	0.05 m/s	0.05 m/s	0.1 °	0.3 °
10 s	SP	2.5 m	3 m	0.2 m/s	0.2 m/s	0.1 °	0.3 °
	RTK	0.8 m	0.8 m	0.15 m/s	0.15 m/s	0.1 °	0.3 °
60 s	SP	9 m	6 m	0.1 m/s	0.1 m/s	0.1 °	0.5 °
	RTK	7 m	4 m	0.1 m/s	0.1 m/s	0.1 °	0.5 °

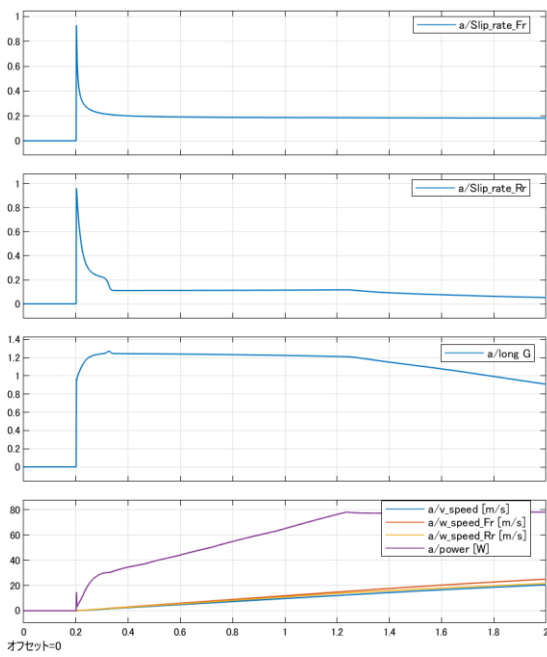
1.4.2.2. Marine & Subsea applications

Outage Duration	Positioning Mode	Position Accuracy		Velocity Accuracy		Attitude Accuracy (°)	
		Horizontal	Vertical	Horizontal	Vertical	Roll / Pitch	Heading
No outage	SP	2 m	2.5 m	0.1 m/s	0.1 m/s	0.1 °	0.8 °
	RTK / Dual antenna GPS	0.02 m	0.04 m	0.05 m/s	0.05 m/s	0.1 °	0.2 °
10 s	SP	3 m	3.5 m	0.2 m/s	0.2 m/s	0.15 °	0.8 °
	RTK / Dual antenna GPS	1 m	1 m	0.15 m/s	0.15 m/s	0.15 °	0.3 °

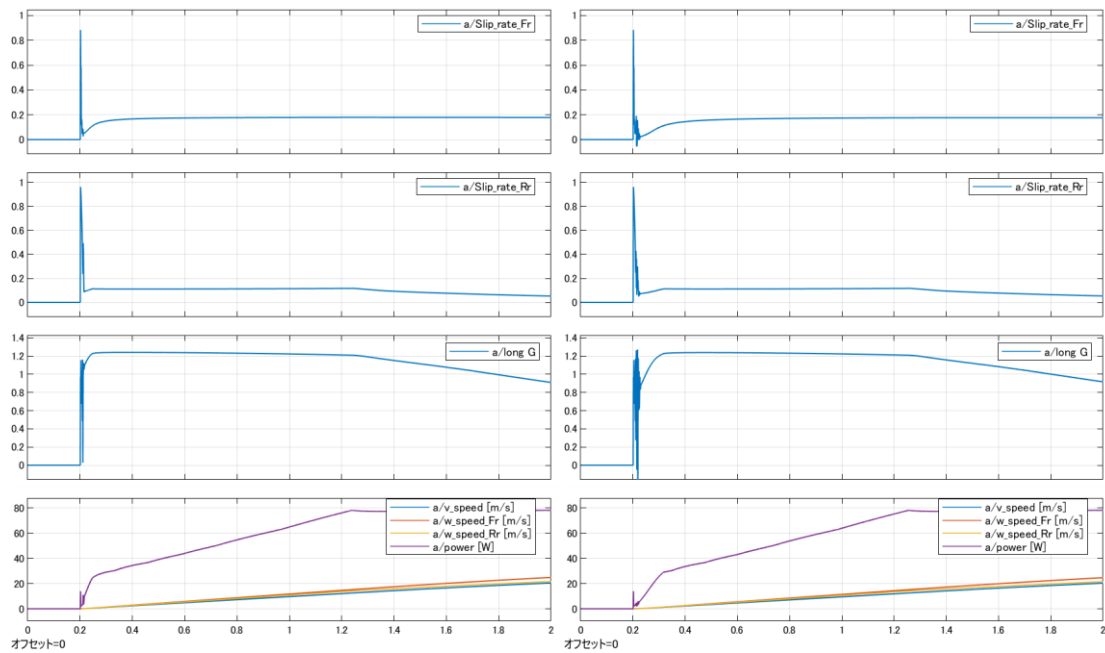
速度センサーの誤差を+0.1m/s 与えたとき



速度センサーの誤差を+0.05m/s 与えたとき



速度センサーの誤差を-0.1m/s 与えたとき      速度センサーの誤差を-0.05m/s 与えたとき



### 3 結論

FF はかなり効果あり、でも速度センサーがやっぱりだいじ