

アンチロック ブレーキ システム要求仕様書

この仕様書はアンチロック ブレーキ システム（ABS）の要求仕様書である。

対象システムを Event-B でモデル化・証明し、その結果をもとに、この仕様書の版を改めた。新たに判明した要求項目は、要求番号を赤い斜体で示した（例：*[FUN 2.1.2a]*）。既存の要求項目に削除と変更はない。

原理の説明

アンチロック ブレーキ システムとは、車両を停止させようとするとき、車輪の路面に対する滑りを抑制することで、制動距離を小さくするためのものである。このアンチロック ブレーキ システムの原理は、滑りを抑制するには、ブレーキ圧力を低くすればよいというものである。すなわち、アンチロック ブレーキ システムは、ブレーキ圧力を（状況に応じて）下げることで、かえって制動距離を短くしている。

仕様の目的

本仕様の目的は、アンチロック ブレーキ システム（ABS）が、車速等の諸ファクターによってどのようにスリップ率等が変化するかをグラフ化し、ABS を用いたものとそうでないものとの制動距離を比較することである。

1. バンバン制御をせよ

説明：

バンバン制御とは（略）

[FUN 1.1] スリップ率の目標値を 0.2 とせよ。

説明：

0.2 という数値は摩擦率が最大となる経験値である。

[FUN 1.2] スリップ率の実際の値が目標値よりも小さいとき、ON/OFF 率を+1 にせよ。そうでなければ ON/OFF 率を-1 にせよ。

説明：

この ON/OFF 率はブレーキの圧力を増減させる物理的な装置に送られる。また、この ON/OFF 率を用いて、スリップ率と制動距離を計算する。

2. スリップ率を得よ

説明：

バンバン制御ではスリップ率を使用しているため、ここではスリップ率を求めなくてはならない。

[FUN 2.1] 前時刻の車輪角速度を前時刻の車両角速度で割った商を 1 から引いてスリップ率を得よ。

説明：

車両速度が 0 以下のときこのシステムは終了するので、分母の車両角速度が 0 になることはない。

[FUN 2.2] スリップ率を 0 以上にせよ。

[FUN 2.3] スリップ率を 1 以下にせよ。

説明：

スリップ率は 0 以上 1 以下の区間でのみ定義されている。

2.1. ブレーキトルクを得よ

説明：

車輪角速度と車両角速度を得るためにブレーキトルクを計算する必要がある。

[FUN 2.1.1] システムを開始する時、ブレーキ圧力の初期値を 0 とせよ。

[FUN 2.1.2] ON/OFF 値を 1 次遅れに通し、時間積分することでブレーキ圧力を得よ。

説明：

FUN 2.1.2a から FUN 2.1.2g までは、1 次遅れとブレーキ圧力に関連する定数と変数についての条件を規定する。

[FUN 2.1.2a] 1 次遅れの時定数は、前時刻から現在の時刻までの時間以上にせよ。

[FUN 2.1.2b] 1 次遅れの係数は 0 より大きく 1 以下にせよ。

[FUN 2.1.2c] ON/OFF 値は-1 以上 1 以下にせよ。

[FUN 2.1.2d] 1 次遅れの出力は-1 以上 1 以下にせよ。

[FUN 2.1.2e] ブレーキ圧力は 0 以上にせよ。

[FUN 2.1.2f] ON/OFF 値の初期値を 1 とせよ。

[FUN 2.1.2g] 1 次遅れの出力の初期値を 0 とせよ。

説明：

FUN 2.1.2h から FUN2.1.2k までは、1 次遅れを計算する具体的な方法である。

[FUN 2.1.2h] 前時刻から現在の時刻までの時間を 1 次遅れの時定数で割って、1 次遅れの時間比率を得よ。

[FUN 2.1.2i] 1 から 1 次遅れの時間比率を引き、前時刻の 1 次遅れの出力を掛けて、1 次遅れの第 1 項を得よ。

[FUN 2.1.2j] 1 次遅れの時間比率と 1 次遅れの時間比率と前時刻の ON/OFF 値を掛けて、1 次遅れの第 2 項を得よ。

[FUN 2.1.2k] 1 次遅れの第 1 項と 1 次遅れの第 2 項を足して、1 次遅れの出力を得よ。

説明：

FUN 2.1.2l は、ブレーキ圧力を計算する具体的な方法である。

[FUN 2.1.2j] 1 次遅れの出力の時間積分が 0 以上のとき、1 次遅れの出力を時間積分してブレーキ圧力を得よ。そうでなければ、ブレーキ圧力を 0 にせよ。

[FUN 2.1.3] ブレーキ圧力とピストン半径の積としてブレーキトルクを得よ。

[FUN 2.1.4] ブレーキトルクは 0 以上にせよ。

[FUN 2.1.5] ブレーキトルクの初期値は 0 にせよ。

[ENV 2.1.1] ピストン半径は 0 より大きい。

2.2. タイヤトルクを得よ

説明：

車輪角速度と車両角速度を得るためにブレーキトルクを計算する必要がある。

[FUN 2.2.1] μ -スリップ曲線を用いて、スリップ率から摩擦率を得よ。

説明：

FUN 2.2.1a から FUN2.2.1j までは、 μ -スリップ曲線に関する定数と変数についての条件を規定する。

[FUN 2.2.1a] スリップ率が 1 のときの摩擦率は 0 より大きくせよ。

[FUN 2.2.1b] 摩擦率の極大値は、スリップ率が 1 のときの摩擦率より大きくせよ。

[FUN 2.2.1c] 摩擦率を極大にするスリップ率は 0 より大きくせよ。

[FUN 2.2.1d] 摩擦率を極大にするスリップ率は1より小さくせよ。

[FUN 2.2.1e] 摩擦率を極大にするスリップ率は、スリップ率の目標値に等しくせよ。

[FUN 2.2.1f] 摩擦率は0以上にせよ。

[FUN 2.2.1g] 摩擦率は摩擦率の極大値以下にせよ。

[FUN 2.2.1h] スリップ率が0のとき、またそのときに限って、摩擦率を0にせよ。

[FUN 2.2.1i] スリップ率が摩擦率を極大にするスリップ率に等しいとき、またそのときに限って、摩擦率は摩擦率の極大値に等しくせよ。

[FUN 2.2.1j] 摩擦率の初期値を0にせよ。

説明：

FUN 2.2.1k から FUN 2.2.1n までは、 μ -スリップ曲線の折れ線による近似の具体的な計算方法である。

[FUN 2.2.1k] スリップ率が摩擦率を極大にするスリップ率より小さいとき、摩擦率の極大値を摩擦率を極大にするスリップ率で割って、 μ -スリップ曲線の傾きを得よ。

[FUN 2.2.1l] スリップ率が摩擦率を極大にするスリップ率より小さいとき、 μ -スリップ曲線の傾きにスリップ率を掛けて、摩擦率を得よ。

[FUN 2.2.1m] スリップ率が摩擦率を極大にするスリップ率以下のとき、摩擦率の極大値からスリップ率が1のときの摩擦率を引き、1から摩擦率を極大にするスリップ率を引いたもので割って、 μ -スリップ曲線の傾きを得よ。

[FUN 2.2.1n] スリップ率から摩擦率を極大にするスリップ率を引き、 μ -スリップ曲線の傾きを掛け、摩擦率の極大値から引いて、摩擦率を得よ。

[FUN 2.2.2] 摩擦率に、車輪にかかる荷重を掛けることで、摩擦力を得よ。

[FUN 2.2.3] 摩擦力に車輪半径を掛けることで、タイヤトルクを得よ。

[FUN 2.2.4] 摩擦力の初期値は0以上にせよ。

[FUN 2.2.5] 摩擦力は0以上にせよ。

[ENV 2.2.1] 車輪半径は0より大きくせよ。

[ENV 2.2.2] 車輪にかかる荷重は0より大きくせよ。

[FUN 2.2.6] タイヤトルクは0以上にせよ。

2.3. 車両角速度を得よ

説明：

車両角速度を計算するのは、この車両角速度を次の時刻まで記憶しておいて、スリップ率の計算に使うためである。

[FUN 2.3.1] 摩擦力を車両の質量で割ることで、車両減速度を得よ。

[FUN 2.3.2] システムを開始する時、車両速度の初期値を得よ。

[FUN 2.3.3] 車両減速度を時間積分することで車両速度を得よ。

[FUN 2.3.3a] 車両減速度を時間積分が 0 以上のとき、車両減速度を時間積分することで車両速度を得よ。そうでなければ、車両速度を 0 にせよ。

[FUN 2.3.4] 車両速度を車輪半径で割ることで車両角速度を得よ。

[FUN 2.3.5] システムを開始する時、車両速度を車輪半径で割った商を、車両角速度の初期値とせよ。

[FUN 2.3.6] 車両角速度を次の時刻まで記憶せよ。

[ENV 2.3.1] 車両の重量は 0 より大きい。

[ENV 2.3.2] 車両速度の初期値は 0 より大きい。

[FUN 2.3.7] 車両減速度は 0 より大きくせよ。

[FUN 2.3.8] 車両角速度は車輪角速度以上にせよ。

2.4. 車輪角速度を得よ

説明：

車輪角速度を計算するのは、この車輪角速度を次の時刻まで記憶しておいて、スリップ率の計算に使うためである。

[FUN 2.4.1] タイヤトルクからブレーキトルクを引いて正味トルクを得よ。

[FUN 2.4.2] 正味トルクを車輪の回転慣性で割ることで車輪加速度を得よ。

[FUN 2.4.3] システムを開始する時、車両速度を車輪半径で割った商を、車輪角速度の初期値とせよ。

[FUN 2.4.4] 車輪加速度を時間積分することで車輪角速度を得よ。

[FUN 2.4.4a] 車輪加速度の時間積分が 0 以上のとき、車輪加速度を時間積分することで車輪角速度を得よ。そうでなければ、車輪角速度を 0 にせよ。

[FUN 2.4.5] 車輪角速度を次の時刻まで記憶せよ。

[FUN 2.4.6] 車輪角速度は 0 以上にせよ。

[ENV 2.4.1] 車輪の回転慣性は 0 より大きい。

3. システムを終了せよ

[FUN 3.1] 車両速度が 0 以下になったとき、システムを終了せよ。

説明：

FUN 3.2 から FUN3.5 までは、システムを終了する条件を拡大する。すなわち、システムの動作を継続する条件を厳しくする。これは、車輪角速度が車両角速度以下であるという条件を維持するためである。

[FUN 3.2] 摩擦率の極大値を摩擦率を極大にするスリップ率で割り、 μ -スリップ曲線の原点付近の傾きを得よ。

[FUN 3.3] 車輪半径を車輪の回転慣性で割ったものと、車輪半径と車両の重量の積を足して、相対慣性を得よ。

[FUN 3.4] 車輪にかかる荷重と相対慣性と μ -スリップ曲線の原点付近の傾きと前時刻から現在の時刻までの時間を掛けて、車両角速度の下限を得よ。

[FUN 3.5] 車両角速度が車両角速度の下限より小さくなったとき、システムを終了せよ。

4. 制動距離を表示せよ

[FUN 4.1] システムを開始する時、制動距離の初期値を 0 とせよ。

[FUN 4.2] 車両速度を時間積分することで制動距離を得よ。

[FUN 4.3] 制動距離を表示せよ。

[FUN 4.4] 制動距離は 0 以上にせよ。

5. 離散時間で計算せよ

説明：

システムを離散時間で計算するために、「前時刻から現在の時刻までの時間」を単位時間として定める。

[FUN 5.1] 前時刻から現在の時刻までの時間は 0 より大きい定数にせよ。

[FUN 5.2] 時刻の初期値を 0 にせよ。

[FUN 5.3] 時刻は 0 以上にせよ。

[FUN 5.4] 前時刻の時刻に、前時刻から現在の時刻までの時間を足すことで、現在の時刻を得よ。