

MBDコンペティションを通じたMBDプロセスの体験

アイシン・コムクルーズ株式会社
村田 大輔

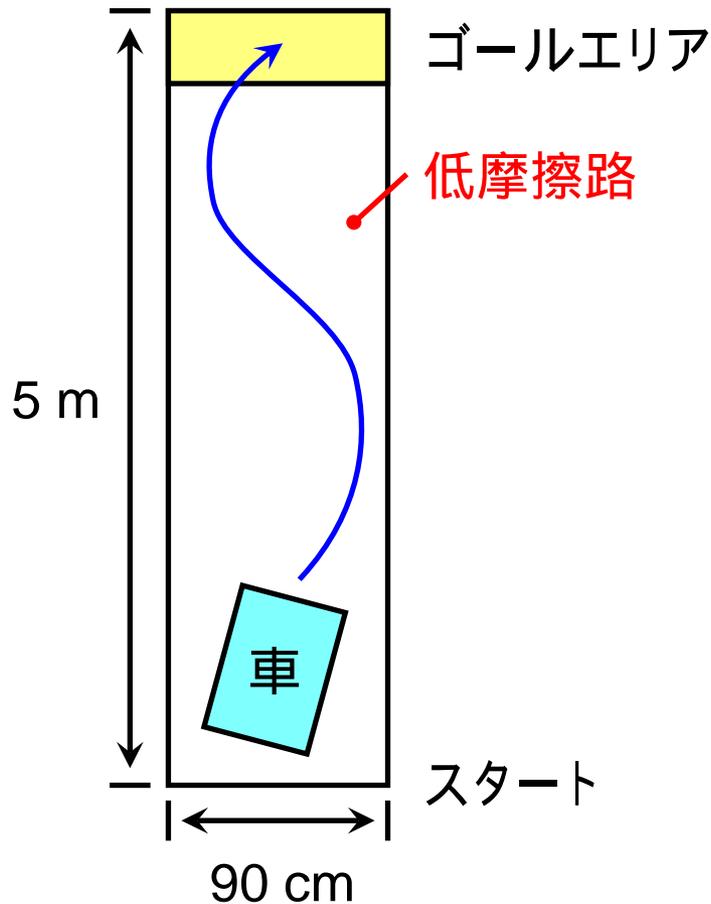
概略

- 1) MBDコンペティションとは
- 2) MBDのV字プロセス
- 3) 各プロセスの内容
- 4) MBDを体験した感想

MBDコンペティションとは

MBDプロセスの体験と、その習得を目指した教育イベント

走行コース



車の概観

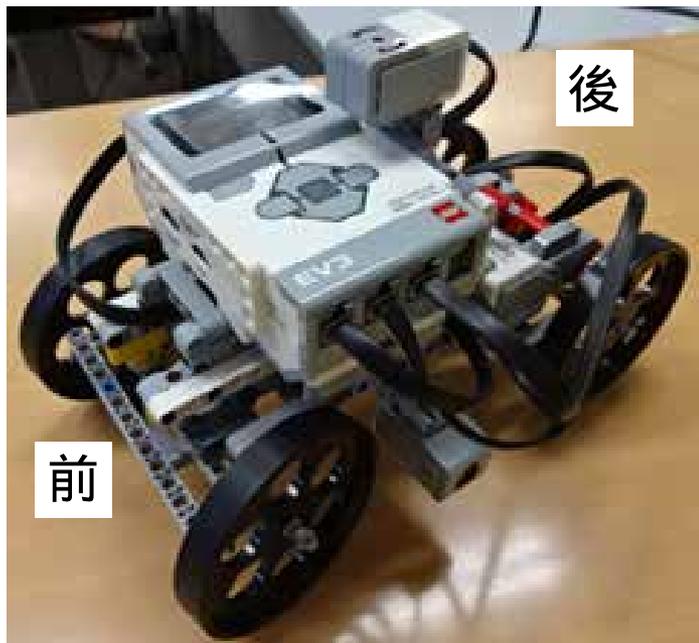


競技ルール

- ・低摩擦路を走行し、ゴールエリアに停止するまでのタイムを競う
- ・MBDで作成したプログラムにより制御
- ・コースアウトは失格

走行させる車の概要

車の概観



ベースは、レゴ社が販売している車

レゴブロックを組合わせて作製

モーター



旋回(前輪の操舵)に使用



後輪の駆動に使用

ジャイロセンサー



車の角度を計測
(進行方向を計測)

加速度センサー



車の加速度を計測
(速度と位置を算出)

発表概要

発表者の立ち位置

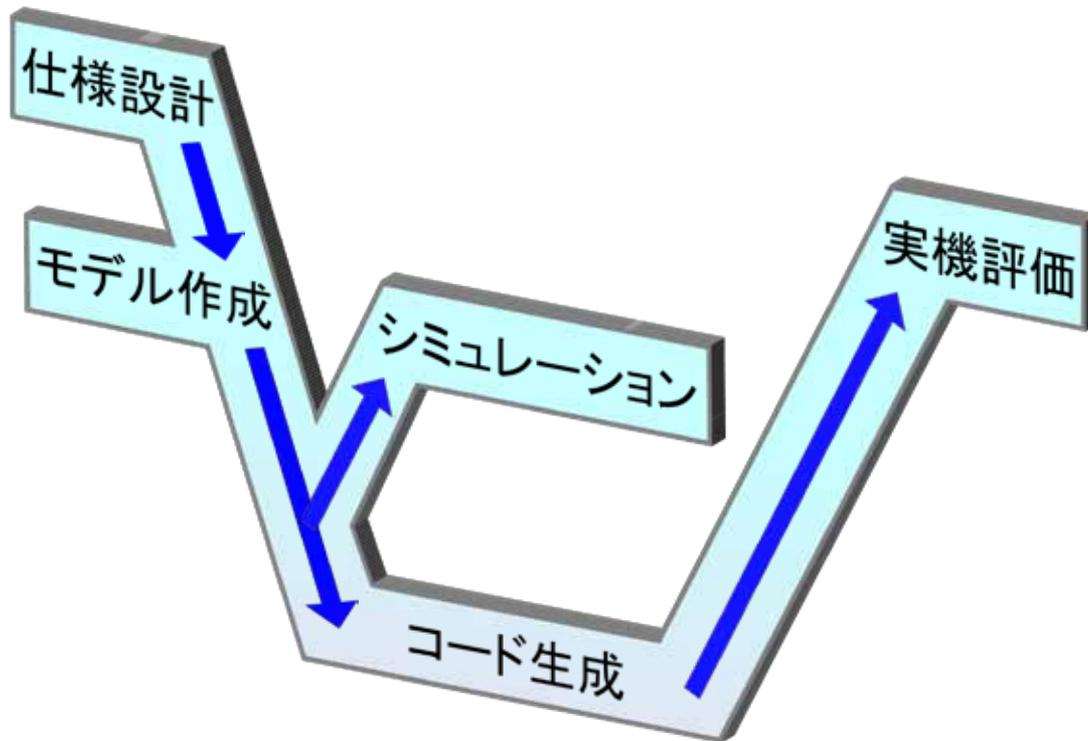
- ・MBDコンペティションの開催側として、テスト走行やルール整備などの開催準備を行った
- ・開催側であるため、MBDコンペティションには不参加

発表内容

- ・正しいIMBDプロセスとは
- ・MBDコンペティションの準備を通して行ったこと
(V字プロセスの順番に従って説明)

MBD (Model Based Development)とは

簡易的なMBDのV字プロセス



従来のV字プロセス

実機評価で不具合を発見

仕様設計へ手戻り

MBDの利点

シミュレーションにより、
初期段階で不具合を発見

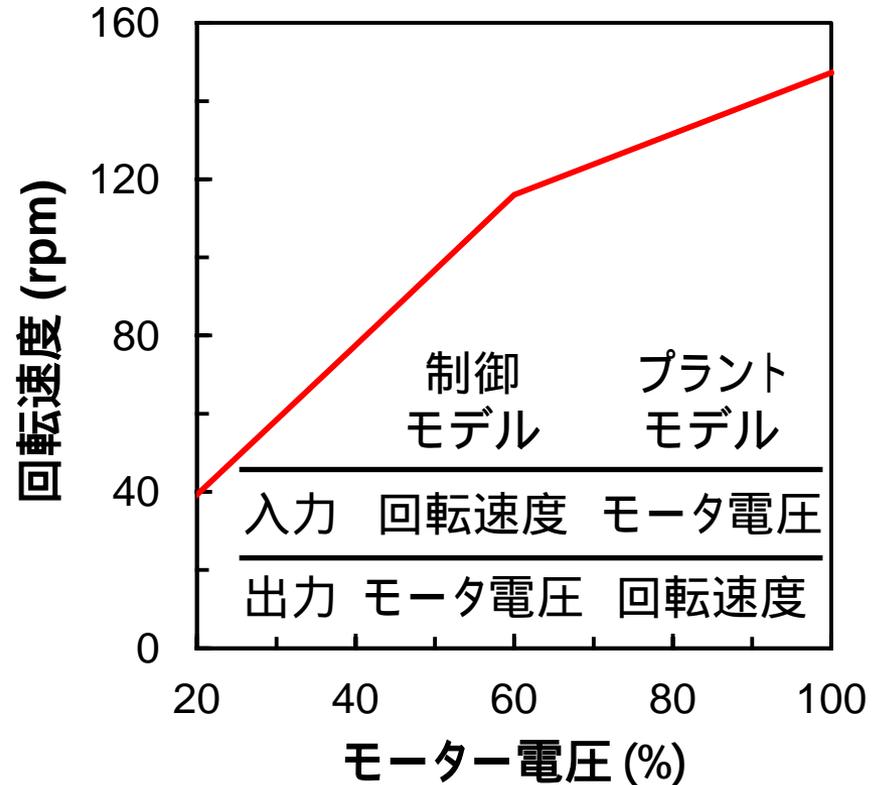
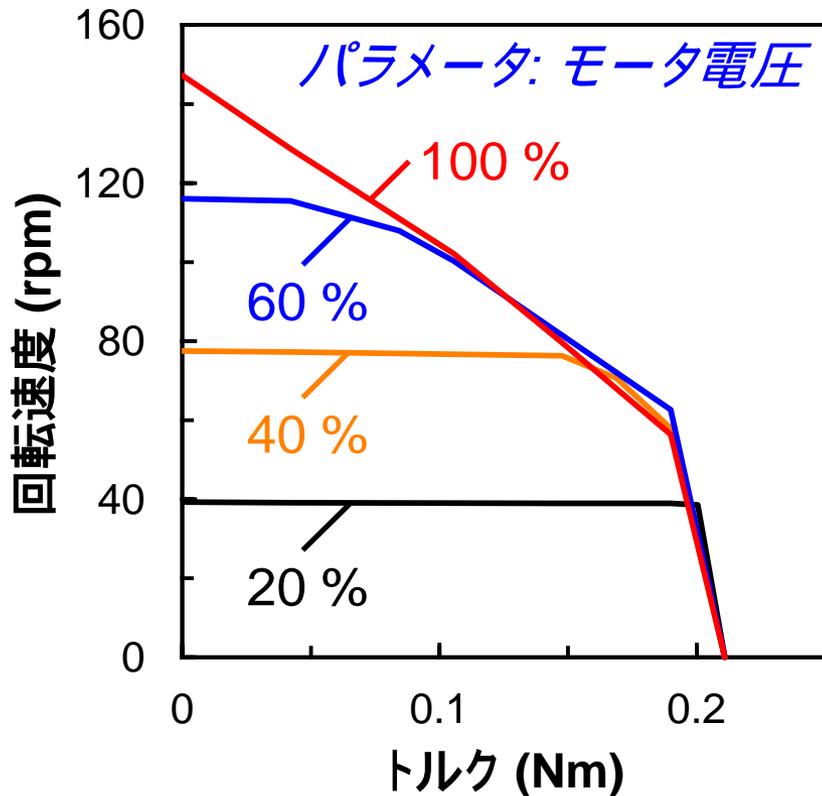
実機評価からの手戻り
を抑制

仕様設計を行うためには、制御対象の特性を知る必要がある

仕様設計を行う前に、モータやセンサ(制御対象)の特性評価を行う

モーターの特性評価

モーターは、車の旋回(前輪の操舵)や駆動に使用



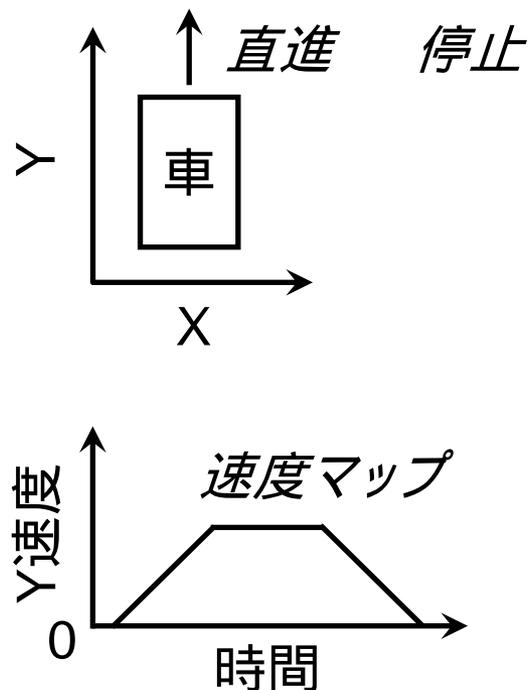
モーターは、トルク制御ではなく、速度制御であることが判明

速度制御モーターのモデル化には、上図のデータが必要

加速度センサーの特性評価

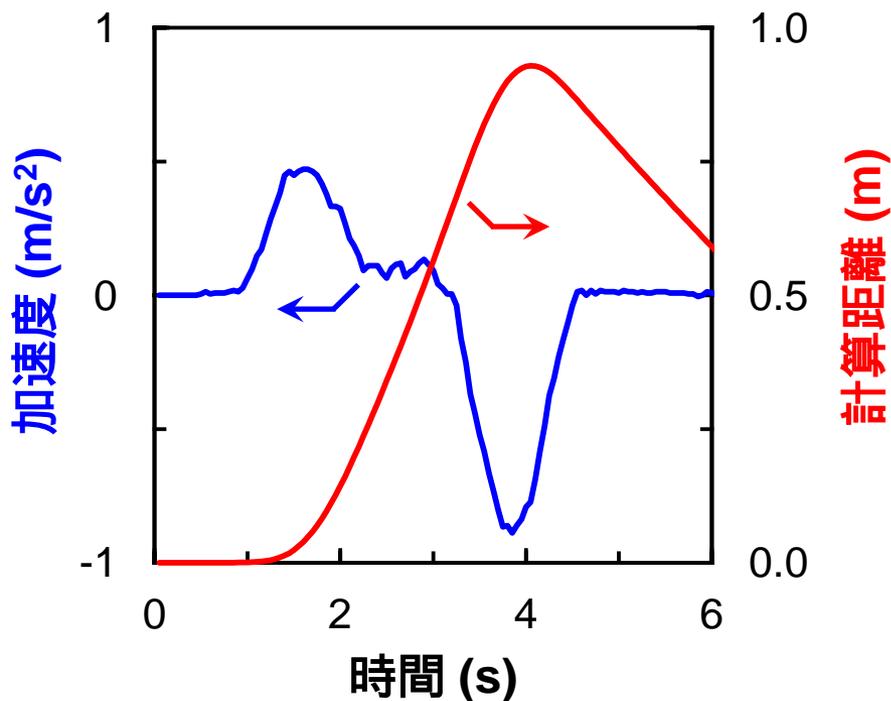
測定した加速度から、車の位置計算が可能か調査

加速度の測定方法



速度マップに従い直進し、
加速度を測定

測定加速度と計算距離



外乱の影響が大きく、高精度な測定が困難

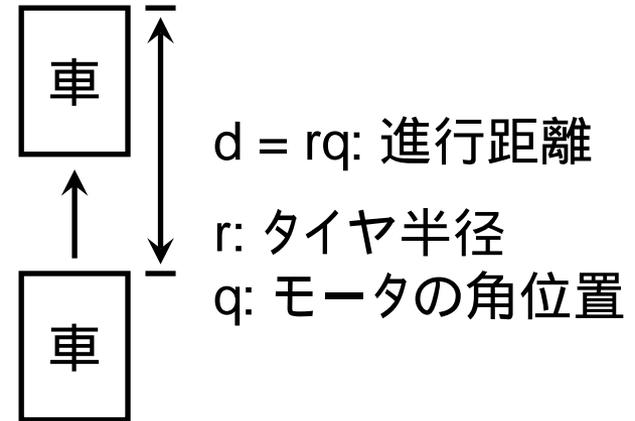
加速度センサによる位置計算は困難

制御仕様・制御モデルの作成: 駆動の仕様

車の位置計算

加速度センサによる位置計算が困難

駆動モータの角位置(回転位置)
から、車の位置を計算



位置計算の問題点

スリップにより正確な位置が分からなくなる

スリップを抑制した
走行が必要

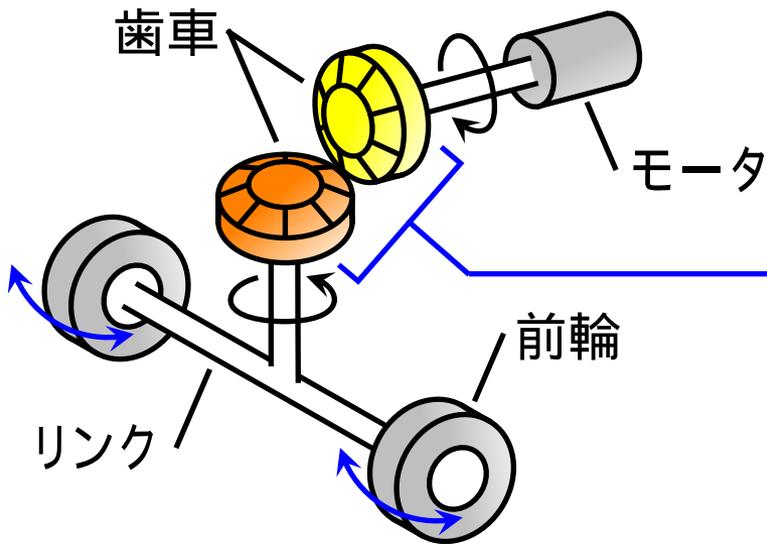
ゴールタイムの短縮

基本的に、スリップ限界に近い速度での走行が理想

速度マップに従い走り、スリップ率が一定以上の時、速度を微調整

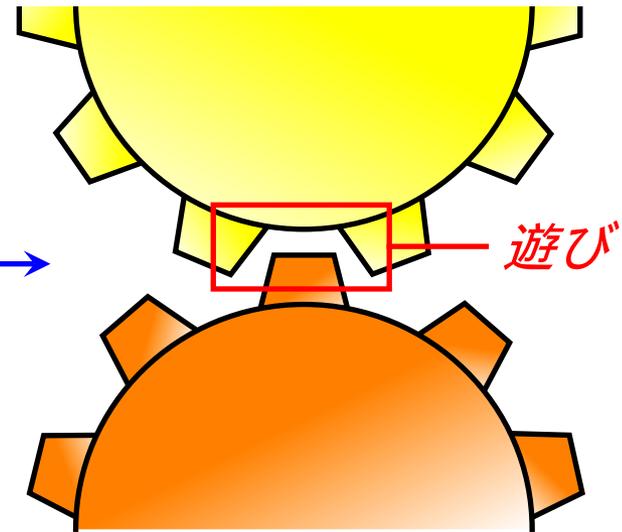
制御仕様・制御モデルの作成: 操舵の仕様

前輪操舵(旋回)のメカニズム



モータの回転を、歯車でリンクに伝え、前輪を操舵

歯車の遊び (バックラッシュ)

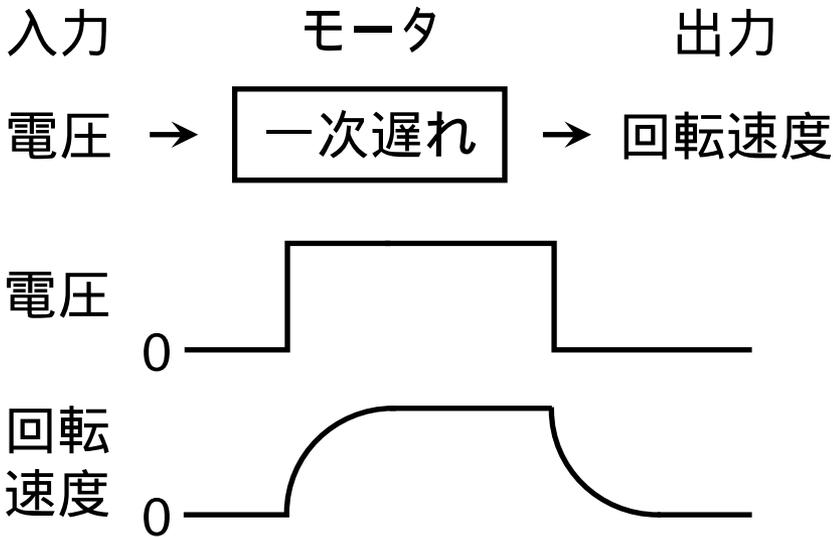


歯車に大きな遊びが存在

モータの回転量に、遊び分を加える必要がある

プラントモデルの作成

一次遅れによるモデル化 (例: モータ)



実際の挙動と異なり、モデル化が不十分

プラントモデルとは

制御対象の物理現象を数式で表したモデル

[1] 大川 進 et al. 「自動車のモーションコントロール技術入門」

車両モデルの数式 [1]

4.2 二輪車両モデルによる直進運動 | 61

4.2.3 二輪車両モデルの理論解析

ここで、図4.4二輪車両モデルについて理論的に解析する。

(5)の車速 v と各輪回転速度との関係、(4)・(5)の前後輪の回転方向の関係から(1)の x 軸方向の運動方程式を車速 v で表現すると、

$$\frac{dv}{dt} = \left(\frac{1}{Meq} \right) * \left(\frac{T_f + T_r}{R} \right) - \left(\frac{R_s}{Meq} \right) \quad \because Meq = \left(M + 2 * \left(\frac{J_f + J_r}{R^2} \right) \right) \quad \dots\dots①$$

となる。

また、(4)・(5)の前後輪の回転方向の関係式に上式を代入すると、前輪の路面間の力 F_f 、後輪の路面間の力 F_r は下記のようになる。

$$F_f = \left(\frac{1}{2} \right) * \left(\frac{T_f}{R} \right) - \left(\frac{J_f}{Meq * R^2} \right) * \left(\frac{T_f + T_r}{R} - R_s \right) \quad \dots\dots②$$

$$F_r = \left(\frac{1}{2} \right) * \left(\frac{T_r}{R} \right) - \left(\frac{J_r}{Meq * R^2} \right) * \left(\frac{T_f + T_r}{R} - R_s \right) \quad \dots\dots③$$

また、(2)の x 軸方向の関係式と(3)の重心 G 回りのモーメントの関係式に上式②③を代入し、前輪の荷重 N_f と後輪の荷重 N_r を算出すると

$$N_f = \left(\frac{M * b}{2} \right) * \left(\frac{a}{a+b} \right) - \left(\frac{1}{2} \right) * \left(\frac{T_f + T_r}{R} \right) * \left(\frac{h}{a+b} \right) + \left(\frac{J_f + J_r}{Meq * R^2} \right) * \left(\frac{h}{a+b} \right) * \left(\frac{T_f + T_r}{R} - R_s \right) \quad \dots\dots④$$

$$N_r = \left(\frac{M * a}{2} \right) * \left(\frac{b}{a+b} \right) + \left(\frac{1}{2} \right) * \left(\frac{T_f + T_r}{R} \right) * \left(\frac{h}{a+b} \right) - \left(\frac{J_f + J_r}{Meq * R^2} \right) * \left(\frac{h}{a+b} \right) * \left(\frac{T_f + T_r}{R} - R_s \right) \quad \dots\dots⑤$$

となる。

ここで、車輪が等質の円盤で近似できるとした場合、 $J_f = J_r = m * \left(\frac{R^2}{2} \right)$ 、車輪一輪の質量を $m = 30$ (kg)、車輪の有効半径を $R = 0.35$ (m)として

$$Meq = M + \frac{2 * (J_f + J_r)}{R^2} = M + \frac{2}{R^2} * \left(m * \frac{R^2}{2} + m * \frac{R^2}{2} \right) = M + 2 * m$$

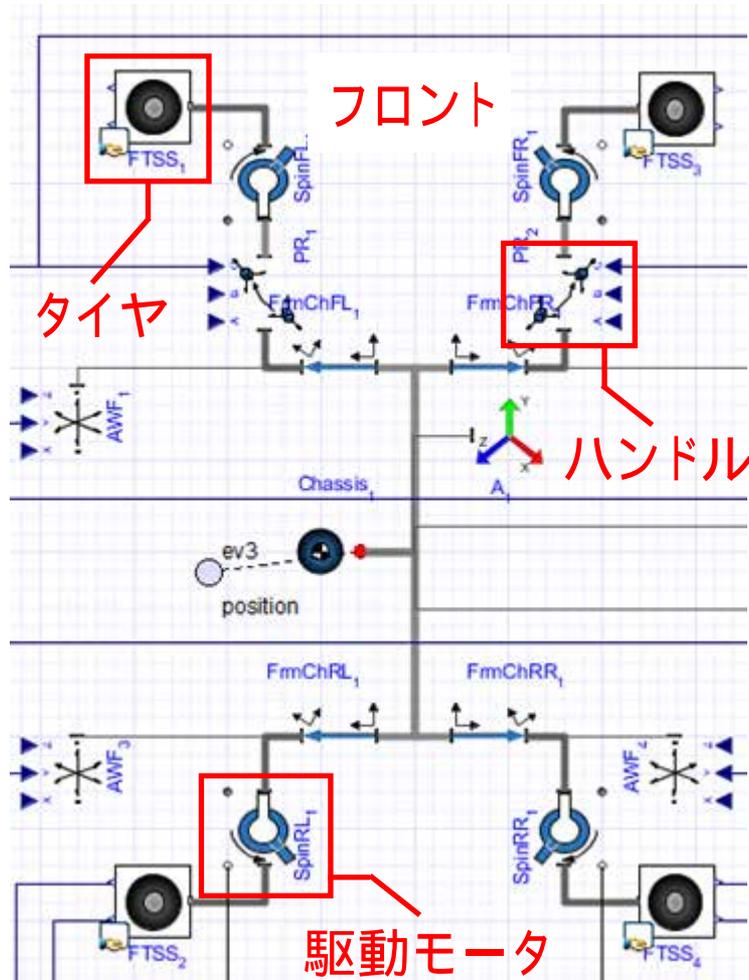
$$\left(\frac{J_f + J_r}{Meq * R^2} \right) = \frac{m}{M + 2 * m} = \frac{30}{1300 + 2 * 30} = 0.022$$

となる。ここでは、第3項をその他の項に比して小さいとして省略する。

以上の式を用いて、車両の直進時の加速・減速の運動をまとめると次のとおりになる。

プラントモデルの作成

車両モデル (MapleSimで作成)



[1] 大川 進 et al. 「自動車のモーションコントロール技術入門」

車両モデルの数式 [1]

4.2 二輪車両モデルによる直進運動 | 61

4.2.3 二輪車両モデルの理論解析

ここで、図4.4二輪車両モデルについて理論的に解析する。

(5)の車速 v と各輪回転速度との関係、(4)・(5)の前後輪の回転方向の関係から(1)の x 軸方向の運動方程式を車速 v で表現すると、

$$\frac{dv}{dt} = \left(\frac{1}{Meq}\right) * \left(\frac{T_r + T_f}{R}\right) - \left(\frac{R_e}{Meq}\right) \quad \because Meq = (M + 2 * \left(\frac{J_r + J_f}{R^2}\right)) \quad \dots\dots ①$$

となる。

また、(4)・(5)の前後輪の回転方向の関係式に上式を代入すると、前輪の路面間の力 F_f 、後輪の路面間の力 F_r は下記のようになる。

$$F_f = \left(\frac{1}{2}\right) * \left(\frac{T_r}{R}\right) - \left(\frac{J_f}{Meq * R^2}\right) * \left(\frac{T_r + T_f}{R} - R_e\right) \quad \dots\dots ②$$

$$F_r = \left(\frac{1}{2}\right) * \left(\frac{T_r}{R}\right) - \left(\frac{J_r}{Meq * R^2}\right) * \left(\frac{T_r + T_f}{R} - R_e\right) \quad \dots\dots ③$$

また、(2)の z 軸方向の関係式と(3)の重心 G 回りのモーメントの関係式に上式②③を代入し、前輪の荷重 N_f と後輪の荷重 N_r を算出すると

$$N_f = \left(\frac{M * g}{2}\right) * \left(\frac{b}{a+b}\right) - \left(\frac{1}{2}\right) * \left(\frac{T_r + T_f}{R}\right) * \left(\frac{h}{a+b}\right) + \left(\frac{J_f + J_r}{Meq * R^2}\right) * \left(\frac{h}{a+b}\right) * \left(\frac{T_r + T_f}{R} - R_e\right) \quad \dots\dots ④$$

$$N_r = \left(\frac{M * g}{2}\right) * \left(\frac{a}{a+b}\right) + \left(\frac{1}{2}\right) * \left(\frac{T_r + T_f}{R}\right) * \left(\frac{h}{a+b}\right) - \left(\frac{J_f + J_r}{Meq * R^2}\right) * \left(\frac{h}{a+b}\right) * \left(\frac{T_r + T_f}{R} - R_e\right) \quad \dots\dots ⑤$$

となる。

ここで、車輪が等質の円盤で近似できるとした場合、 $J_f = J_r = m * \left(\frac{R^2}{2}\right)$ 、車輪一輪の質量を $m = 30(\text{kg})$ 、車輪の有効半径を $R = 0.35(\text{m})$ として

$$Meq = M + \frac{2 * (J_f + J_r)}{R^2} = M + \frac{2}{R^2} * \left(m * \frac{R^2}{2} + m * \frac{R^2}{2}\right) = M + 2 * m$$

$$\left(\frac{J_f + J_r}{Meq * R^2}\right) = \frac{m}{M + 2 * m} = \frac{30}{1300 + 2 * 30} = 0.022$$

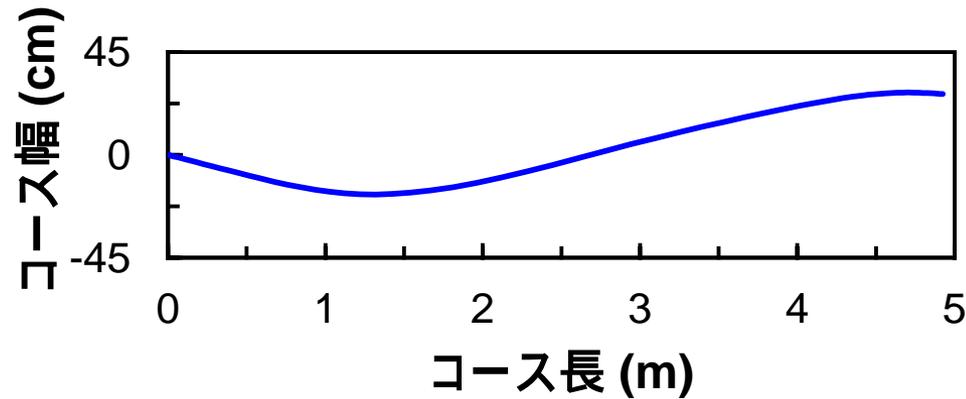
となる。ここでは、第3項をその他の項に比して小さいとして省略する。

以上の式を用いて、車両の直進時の加速・減速の運動をまとめると次のとおりになる。

机上シミュレーション (MILS: Model In the Loop Simulation)

操舵用の歯車の遊びが、旋回に与える影響をシミュレート

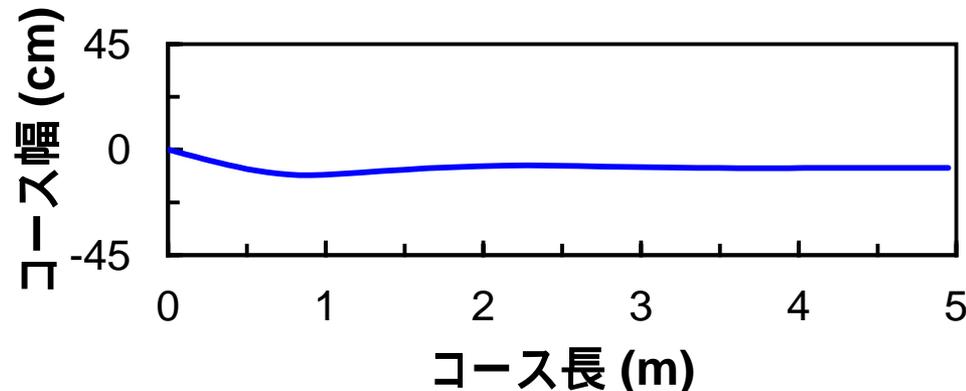
歯車の遊びを考慮していないモデル



車は、 10° 傾けてスタート

操舵の反応が遅れ、
軌道が膨らむ

歯車の遊びを考慮したモデル



遊びの影響を抑制した
操舵が可能

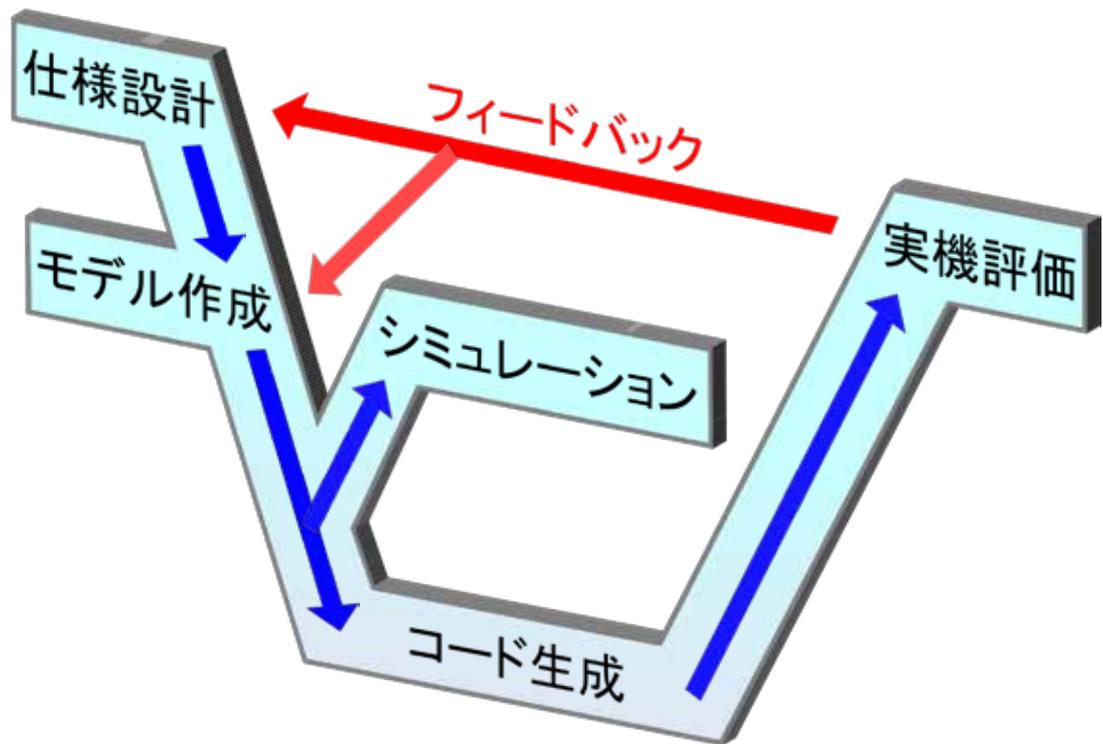
コード生成・実機評価

コード生成で行うこと

機能は変えず、効率が良いコードを生成するモデルに修正

修正前と動作が等しいかテスト

実機評価で行うこと



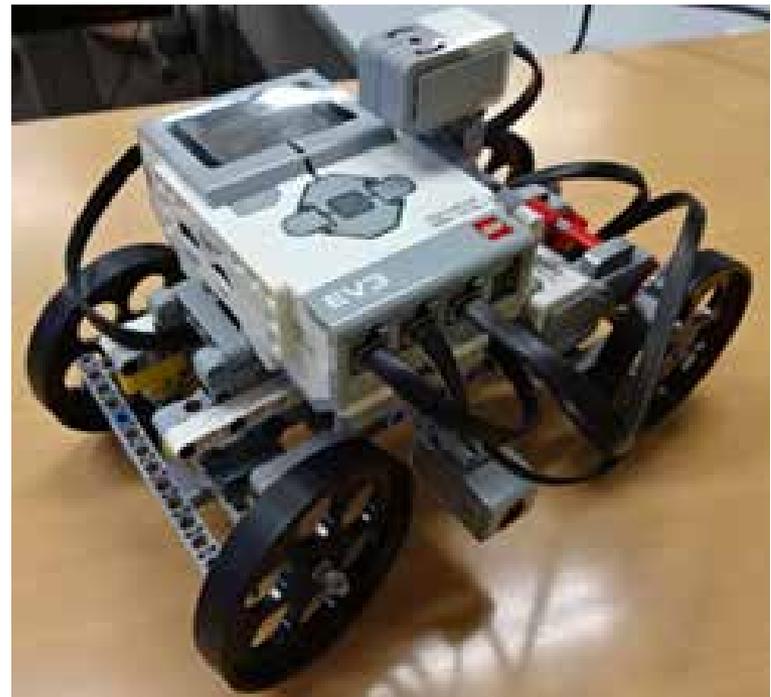
シミュレーションでは未知の部分が存在

実機評価で明らかにし、仕様設計、プラントモデルにフィードバック

MBDを体験した感想

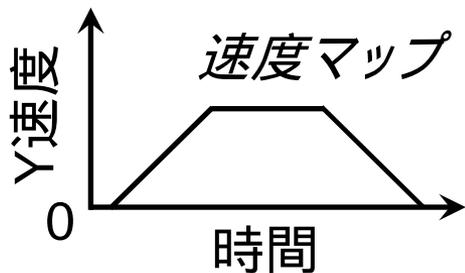
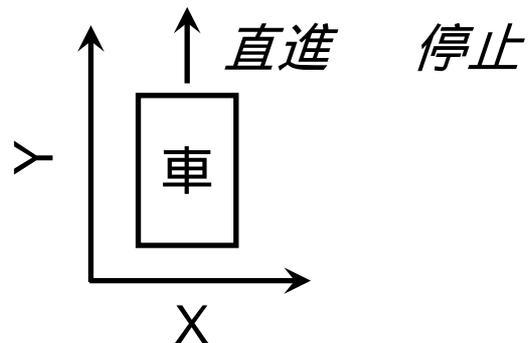
- ・制御対象(モータやセンサ)の特性評価の重要性が理解できた。
- ・仕様書には、モータがトルク制御である様な記述があった。評価を行わなければ、トルク制御だと思い込んだまま、開発を進めていた。
- ・Simulinkなどのツールを使った開発がMBDなのではなく、シミュレーションを用いた開発がMBDであることを理解できた。

MBDコンペティション走行車



加速度センサーの特性評価

加速度の測定方法



速度マップに従い直進し、
加速度を測定

測定加速度と計算距離

