

マイクロマウスを題材にした 小規模SILSの紹介

トヨタテクニカルディベロップメント株式会社
ハードウェア技術開発部 マリン制御開発室
荒井 優輝



自己紹介

TOYOTA TECHNICAL DEVELOPMENT CORPORATION

名前 荒井 優輝

経歴

2005年 大阪府立工業高等専門学校卒業

2007年 福井大学卒業

2009年 奈良先端科学技術大学院大学卒業

2009年 トヨタテクニカルディベロップメント入社。

ロボットや車以外のモビリティの開発に従事。

現在は小型船舶の制御システムの開発を担当。



ロボコン歴（主要なもの）

00～03年 HNK高専ロボコン近畿地区大会（予選敗退、03年アイデア賞受賞）

06年 ROBO-ONE 9th（予選敗退）

10～24年 マイクロマウス・クラシック部門

（22年全国大会5位、23年大会4位、地区大会入賞多数）



会社・業務紹介

TOYOTA TECHNICAL DEVELOPMENT CORPORATION

社 名 トヨタテクニカルディベロップメント

本 社 〒470-0334 愛知県豊田市花本町井前1番地 9

電 話 0565-46-7500 (代)

設 立 2006年4月1日

社 長 代表取締役社長執行委員 香川 佳之

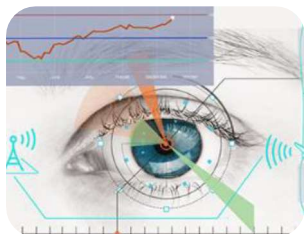
出資比率 トヨタ自動車株式会社 100%出資

従業員数 1,040名 (2025年4月1日現在)

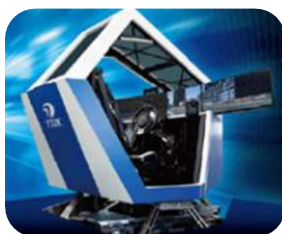
事 業



計測シミュレーション事業



計測技術



シミュレーション・MBD開発

IP (知的財産) 事業



特許調査・戦略



翻訳・知財事務支援

【小型船舶・操船支援システム開発】

エンジンとスラスタを
「統合制御」することで
ジョイスティックでの
操船・定点保持・着岸
を支援



目的

はじめに

- MBDはあくまで手段、本来の目的は開発効率を向上し良いものを作ること。
- 一般的にイメージされるMBDとはやや異なる箇所があります。
- 実際にコストパフォーマンスが成立するようあえて手を抜いて作ります。
- ツールボックス無しのMATLAB/Simulinkの最小構成で構築します。

アジェンダ

- マイクロマウスの紹介（競技・技術要素）
- MBDについて簡単な解説
- マイクロマウスをにMBDを適応するには
- SILSの構成、実現方法について解説
- SILS実演

マイクロマウスとは

TOYOTA TECHNICAL DEVELOPMENT CORPORATION

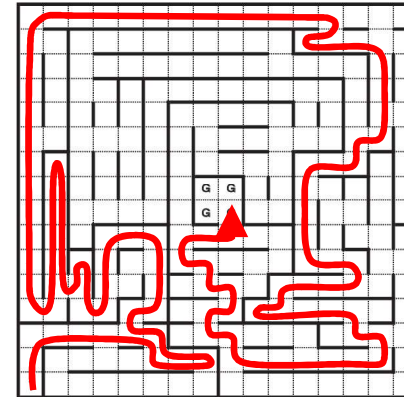
競技について

- 迷路のゴールまでのタイムを競う
- IEEE提唱の最古のロボコン
- 迷路を探索し発見した最短経路を走行
- 事前に迷路を記憶するのは禁止
- 5回走行し最も早いタイムを採用

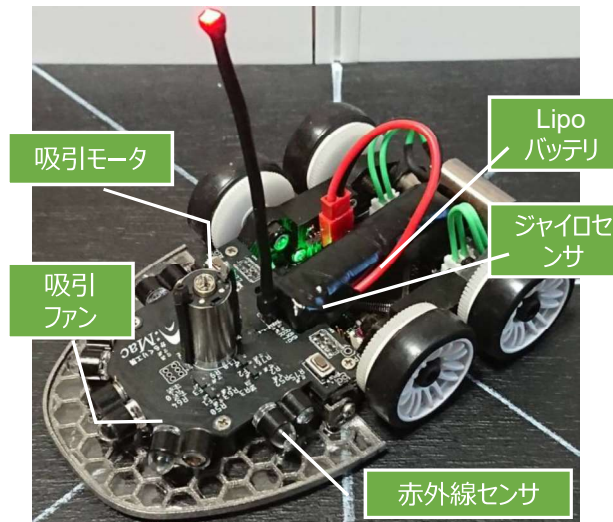
ロボットの構成

- 2輪または4輪
- 赤外線センサによる壁検知
- エンコーダ、ジャイロ等のセンサを使用
- ファンによる吸着

探索走行



最短走行



吸引モータ

Lipo
バッテリー

ジャイロセン
サ

吸引
ファン

赤外線センサ

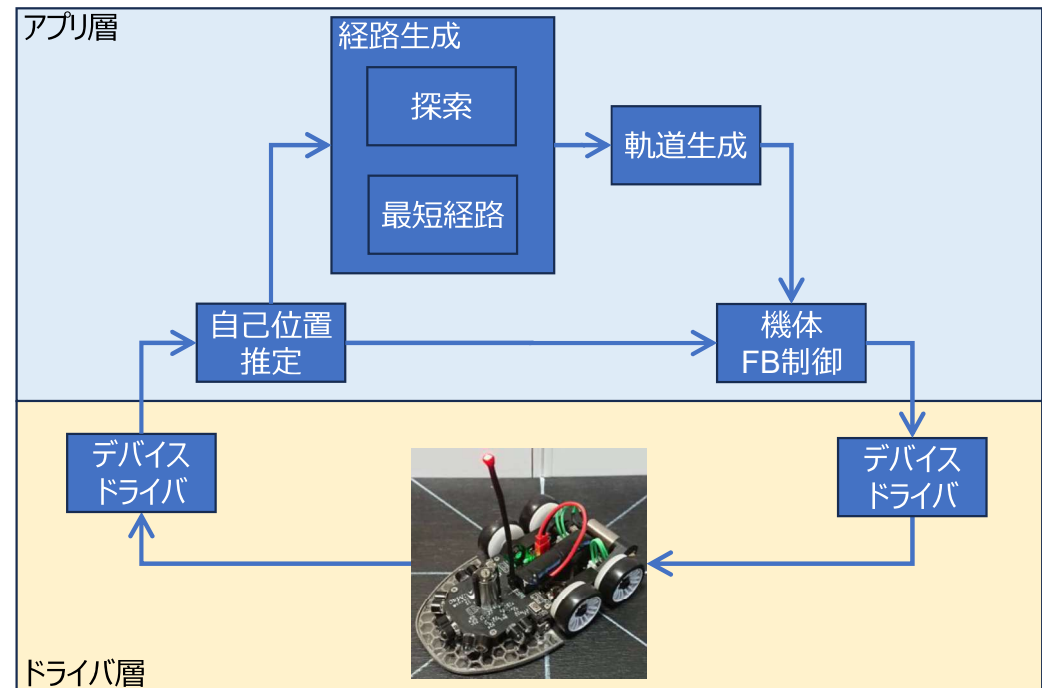
最高速度 5.2m/s 加速度 20m/s²

マイクロマウスの技術要素

TOYOTA TECHNICAL DEVELOPMENT CORPORATION

- 探索
 - 迷路探索問題。左手法、足立法などが用いられる。
- 最短経路
 - 最短経路問題。ダイクストラ法など
- 軌道生成
- 自己位置推定
 - オドメトリ、壁切れ補正、カルマンフィルタ等
- 機体制御
 - 速度制御、位置制御
 - 角度制御、角速度制御
 - FB、FF制御(古典制御)
- デバイスドライバ
 - モータ制御、エンコーダ、赤外線壁センサ

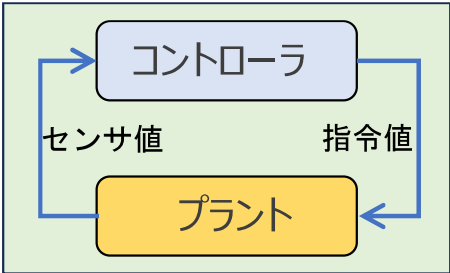
マイクロマウスシステム図



制御、パスプランニング、組み込み技術及びそれらを適切に設計するシステムアーキテクトの幅広い知識を要求される

MBDとは

モデルベース開発の略称。制御を担う**コントローラ**と制御対象となる**プラント**を組み合わせ、シミュレーションで検証をしながら開発する手法。
それぞれの組み合わせ方によって分類でき、特徴がある。



名称	概要	コントローラ	プラント
MILS (Model-in-the-Loop Simulation)	制御アルゴリズムをモデル（Simulink など）で実装・検証	モデル	モデル
SILS (Software-in-the-Loop Simulation)	実際の制御ソフト（Cコードなど）をモデルに組み込んで検証	ソフトウェア	モデル
HILS (Hardware-in-the-Loop Simulation)	制御ソフトを実機（マイコンなど）に載せて、仮想プラントと接続	ハードウェア	モデル

MBDとマイクロマウスについて整理

TOYOTA TECHNICAL DEVELOPMENT CORPORATION

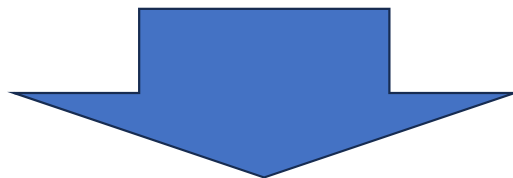
マイクロマウスにMBDを適応させるために要件を整理

一般的なMBD開発のイメージ

- 高機能なプラントによる高精度なシミュレーション
- 実機レスの制御適合がそのまま実機で動く
- MBDの運用コスト < 実機の運用コスト

マイクロマウスの事情

- プラント制作が難しい
(機構が特殊、限界領域での動作)
- 実機の稼働コストが小さい
- 実験の過多による機体の消耗を避けたい
- ログが貧弱

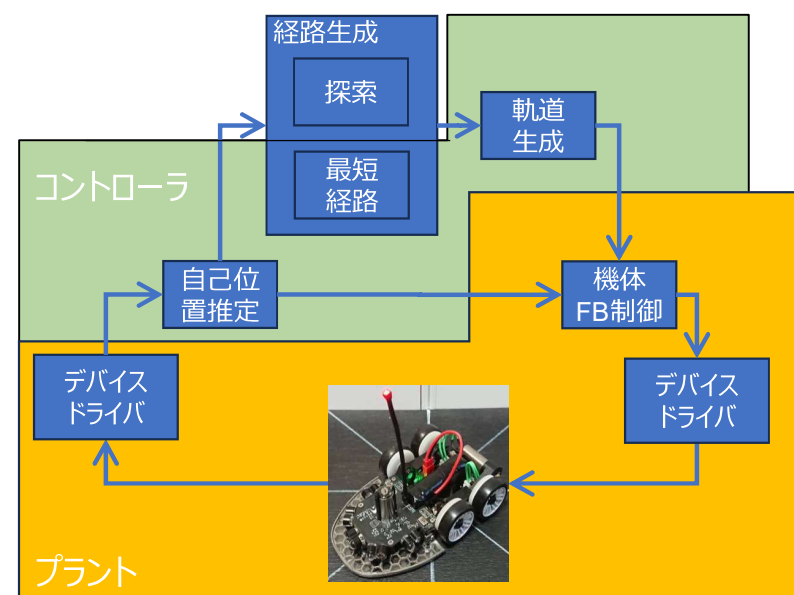


マイクロマウスの事情を踏まえた上で仕様を決定していく

マイクロマウスのMBD要求仕様

TOYOTA TECHNICAL DEVELOPMENT CORPORATION

項目	仕様	根拠
シミュレーション手法	SILS	実機がある→HILS不採用 既存コードあり・オートコード無し →MILS不採用
検証範囲	軌道生成、 自己位置推定	実機運コストが低い モデル化が困難なため制御適合は 実機 制御部位外の検証範囲はプラント 精度が要求されない
プラント	簡易モデル	制御適合を行わないため閉ループ が破綻しない程度の精度
ツールボックス	未使用	コスト削減



ポイント

- FB制御をコンとローラから外しプラントに含めるプラント制作難易度を下げる
- 制御を除くコントローラの開発用として構築

簡易プラント作成(走行プラント)

TOYOTA TECHNICAL DEVELOPMENT CORPORATION

一般的なプラント

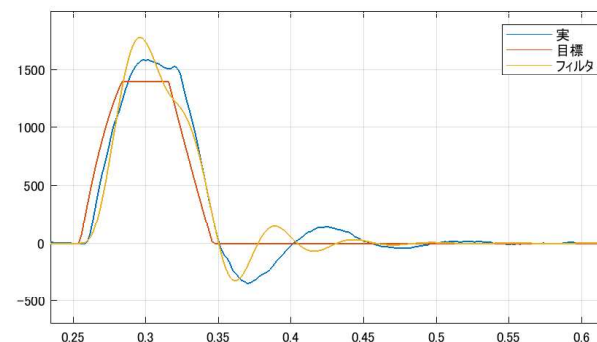
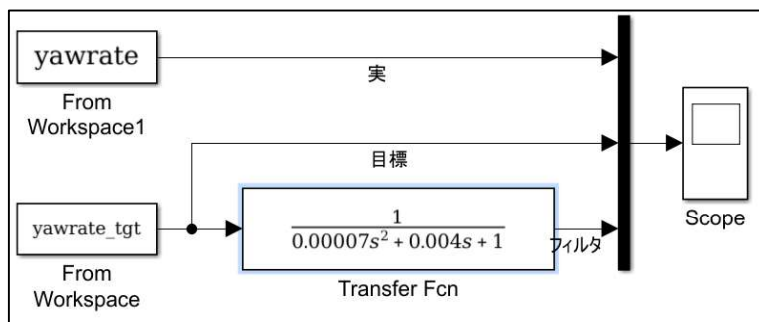
- 運動方程式の導出
- システム同定

→それなりの物理、制御の知見が必要。特殊機構のためモデリングが困難

簡易制御プラント

- 閉ループが回ること

→ 実データから2次遅れ系として近似（必要であれば無駄時間を追加）
（1時遅れ近似ではオーバーシュートが模擬できない）



実データとおおよそ合うように伝達関数を調整しプラントを作成

プラント作成（迷路プラント）

TOYOTA TECHNICAL DEVELOPMENT CORPORATION

- NTF（ニューテクノロジー振興財団）にある過去の迷路データを使用。
- 走行プラントから計算した自己位置を元に壁の距離を算出

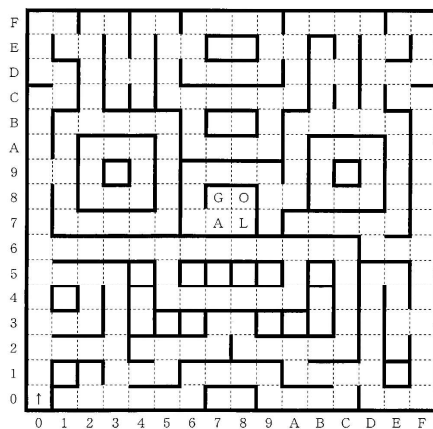
2023年9月24日
於・新潟コンピュータ専門学校

第40回マイクロマウス北陸信越地区大会
マイクロマウス競技／クラシックマウス競技

No. _____

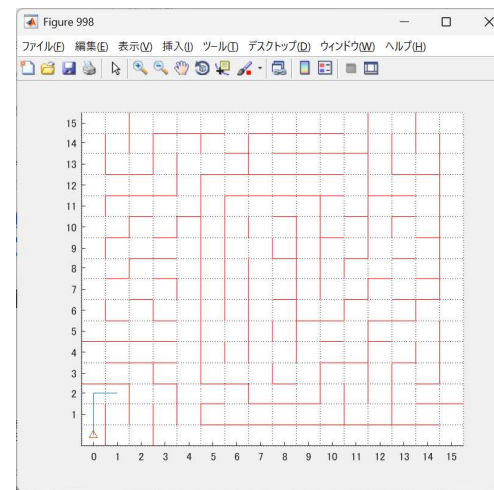
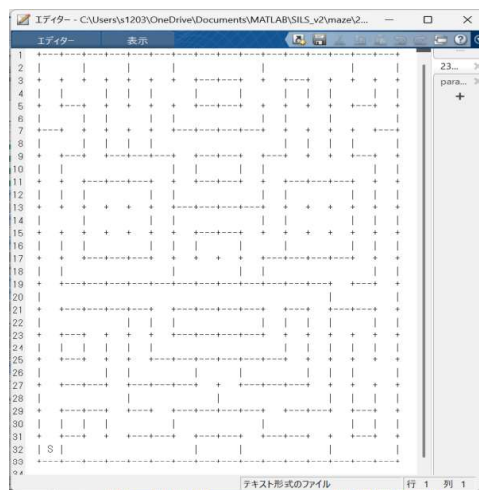
ロボット名 _____

製作者名 _____



西回り 5 2 歩 2 5 折、南回り 5 2 歩 2 3 折
5 4 歩 2 3 折

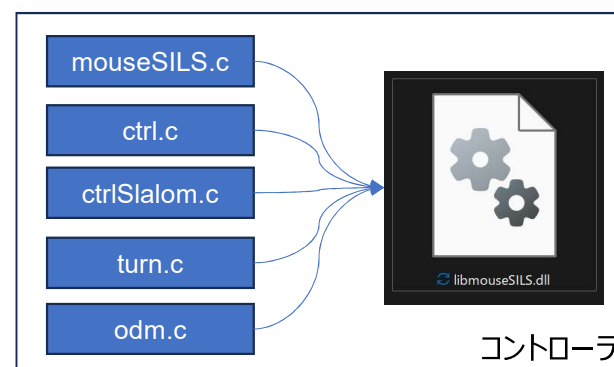
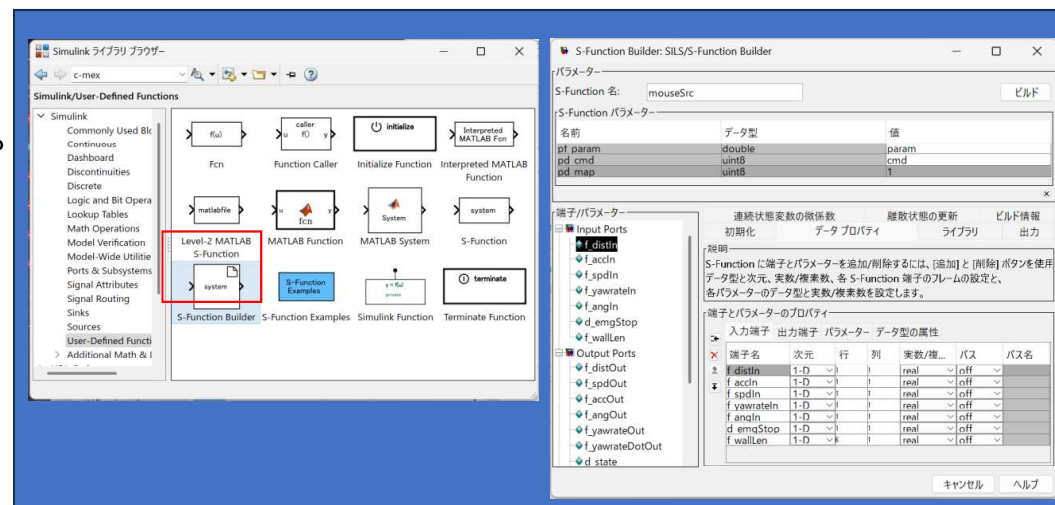
第4回北信越ロボット競技大会
マイクロマウス競技課題(2001年)



コントローラ作成

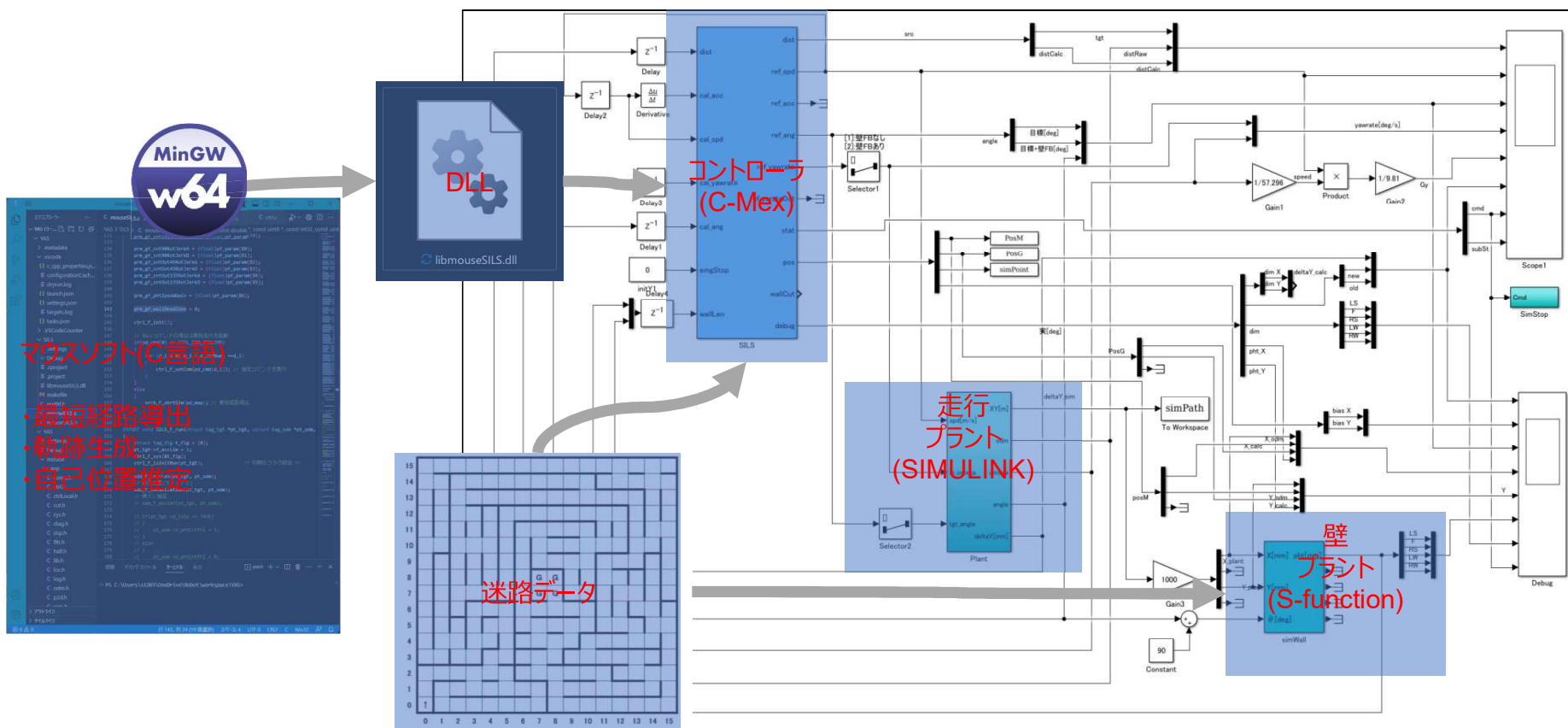
TOYOTA TECHNICAL DEVELOPMENT CORPORATION

- 組み込みソースをSimulinkで動かす
 - S-Function Builderブロックを使用
 - IN/OUTとパラメータをUIで設定し雛形を出力。
 - 生成コードはC言語
 - コントローラはDLLとして読み込む
 - S-Functionの分割コンパイルは設定が複雑
 - コントローラ実装がC以外でも組み込み可能
 - 実行時のビルド時間の短縮
 - コントローラのビルド
 - 検証対象を抜き出し、マイコン依存部を除きDLLとしてビルド



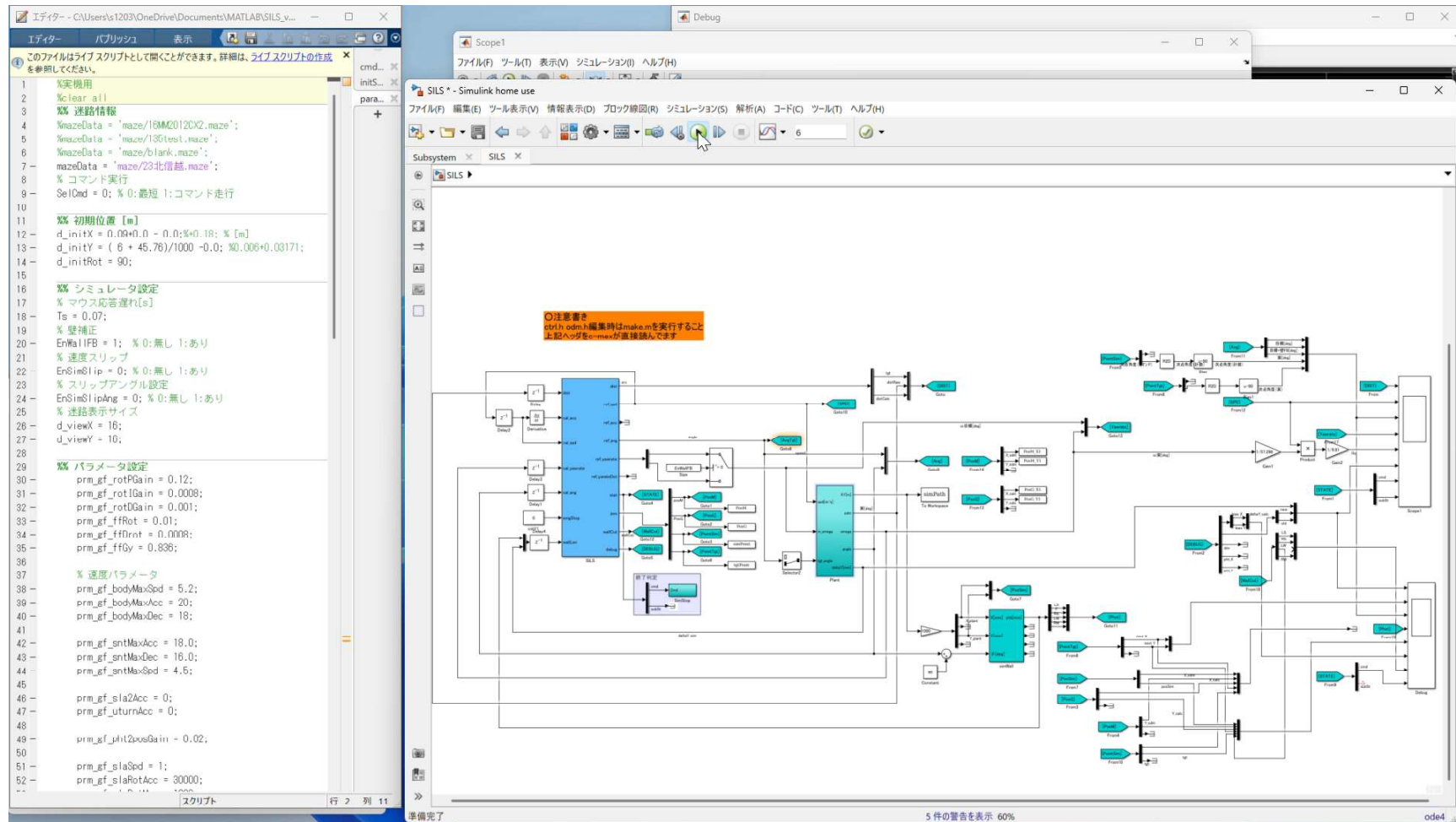
マイクロマウスSILS

TOYOTA TECHNICAL DEVELOPMENT CORPORATION

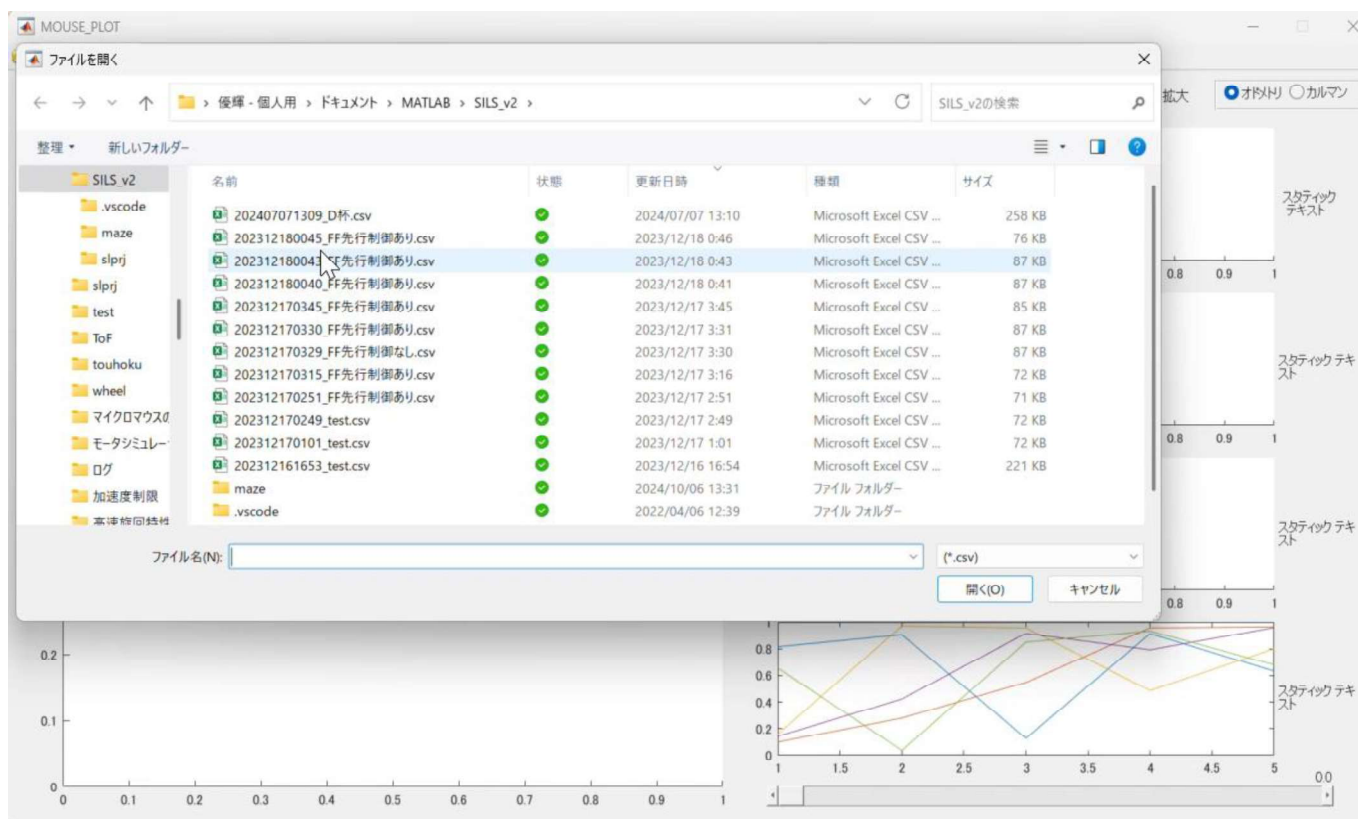


SILSの実行結果

TOYOTA TECHNICAL DEVELOPMENT CORPORATION



おまけ（ログ解析）



まとめ

TOYOTA TECHNICAL DEVELOPMENT CORPORATION

- マイクロマウスの概要とシステム構成について解説
- MBDについての説明
- マイクロマウスを題材としてSILSの仕様検討
- 小規模開発に活用可能な簡易的なSILSの構築
- Matlab/Simulinkを用いたSILSの実演