

自動運転トラックのためのデータ駆動 型制御による横運動制御器自動生成

株式会社いすゞ中央研究所
研究第五部 第一グループ
研究員 鈴木 元哉

アジェンダ

- 会社概要紹介
- 研究目的
- 横運動制御器自動生成ツール
- 数値例によるデモ
- まとめ

アジェンダ

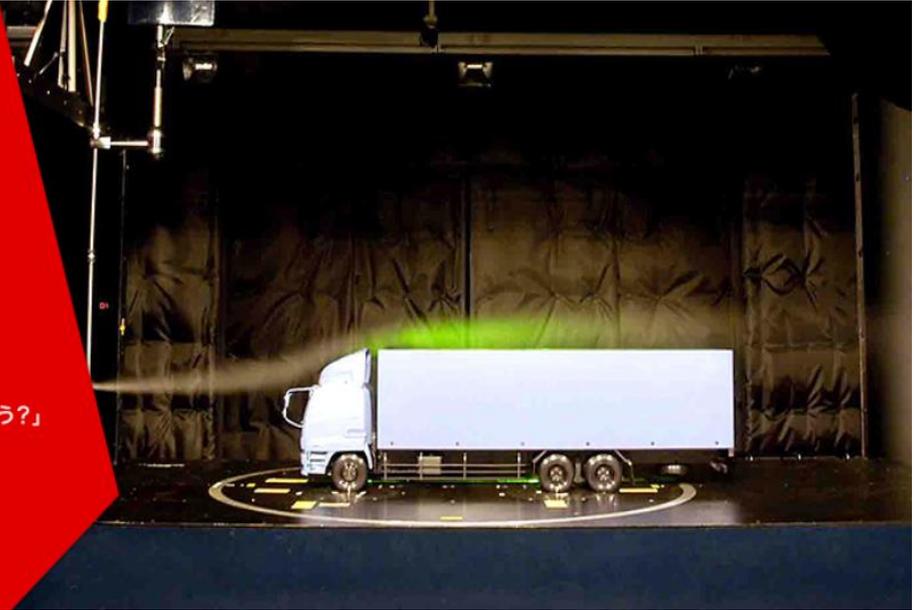
- 会社概要紹介
- 研究目的
- 横運動制御器自動生成ツール
- 数値例によるデモ
- まとめ

会社概要

挑戦する者にだけ見える
「明日」がある。

There is a "tomorrow" that looks only to the person who challenge

「クルマにどんな機能を加えれば、物流を進化させることができるだろう？」
「そして、より豊かな暮らしに貢献することができるだろう？」
私たち、いすゞ中央研究所は、常に未来を見つめながら、
様々な開発テーマに挑戦しつづけています。



- ◆ 社 名 株式会社いすゞ中央研究所
- ◆ 所 在 地 神奈川県藤沢市土棚8番地 いすゞ自動車藤沢工場内
- ◆ 創業・創立 1990年2月1日
- ◆ 資 本 金 4億9千万円
- ◆ 代 表 者 代表取締役社長 川幡 進(4月1日付)
- ◆ 従 業 員 数 209名(2020年9月現在)

いすゞグループにおける自動運転の取組

実証実験計画[1]

高速道路
大型トラック



市街地
配送車



港内
低速走行
駐車



限定区域内
バス



研究

先行開発

商品開発

生産

販売

いすゞ中央研究所

研究成果

研究委託

いすゞ自動車

いすゞ中央研究所ではトラック自動運転に必要な要素技術研究に着手

本公演における発表項目

自動運転の制御技術研究に関して紹介

【認知】
(物体・環境認識)

■ 認識処理

(自車位置認識)

地図情報
処理

【判断】
(運転行動計画)

■ 軌道生成

■ 障害物回避

■ 先行車追従

【制御】
(指令計算)

■ 縦運動制御

■ 横運動制御

【アクチュエーター】

駆動系

ブレーキ系

ステアリング系

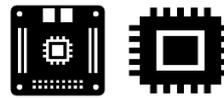
電源系



AI



基盤



CPU

アジェンダ

- 会社概要紹介
- 研究目的
- 横運動制御器自動生成ツール
- 数値例によるデモ
- まとめ

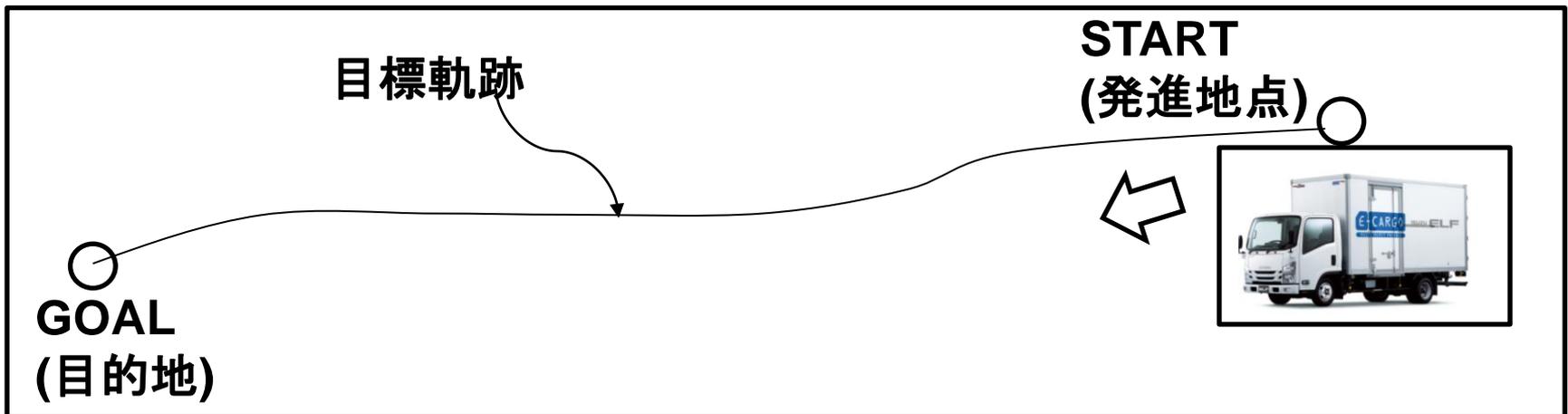
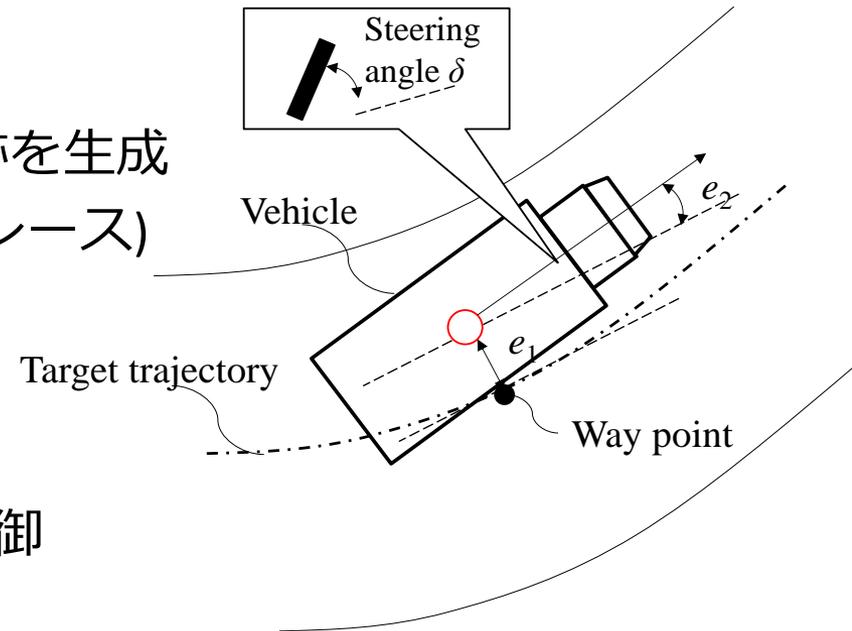
自動運転の経路追従機能

■ 自動運転システムの基本機能

- 目的地と発進地点を結ぶ目標軌跡を生成
- 目標軌道に対して追従(ライントレース)

■ 目標軌道追従

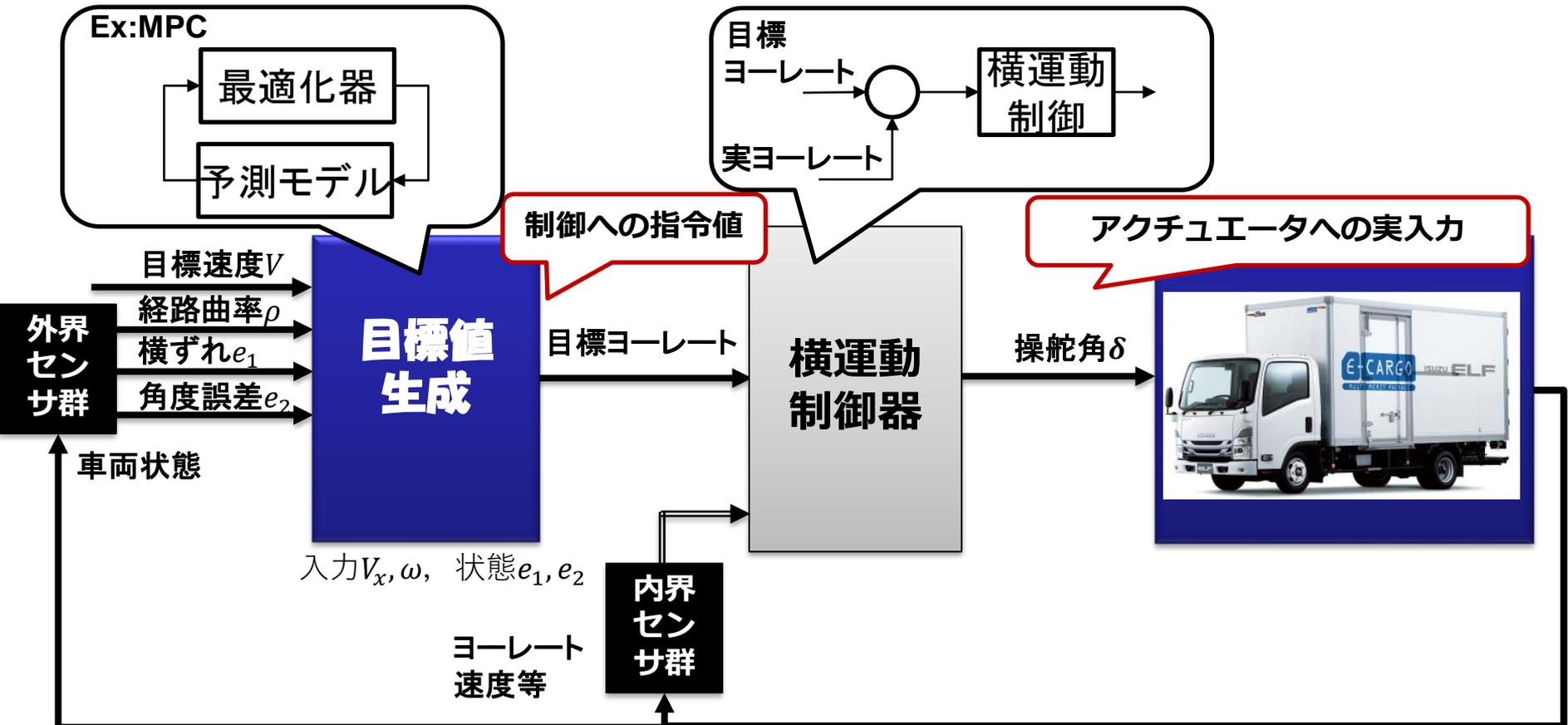
- 横ずれ量 e_1 と角度誤差 e_2 を検出
- e_1 と e_2 が小さくなるよう車両を制御



経路追従システムの一方式

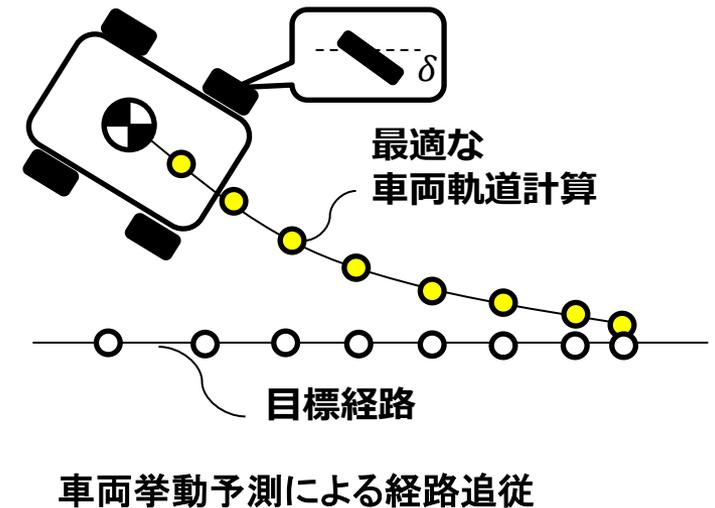
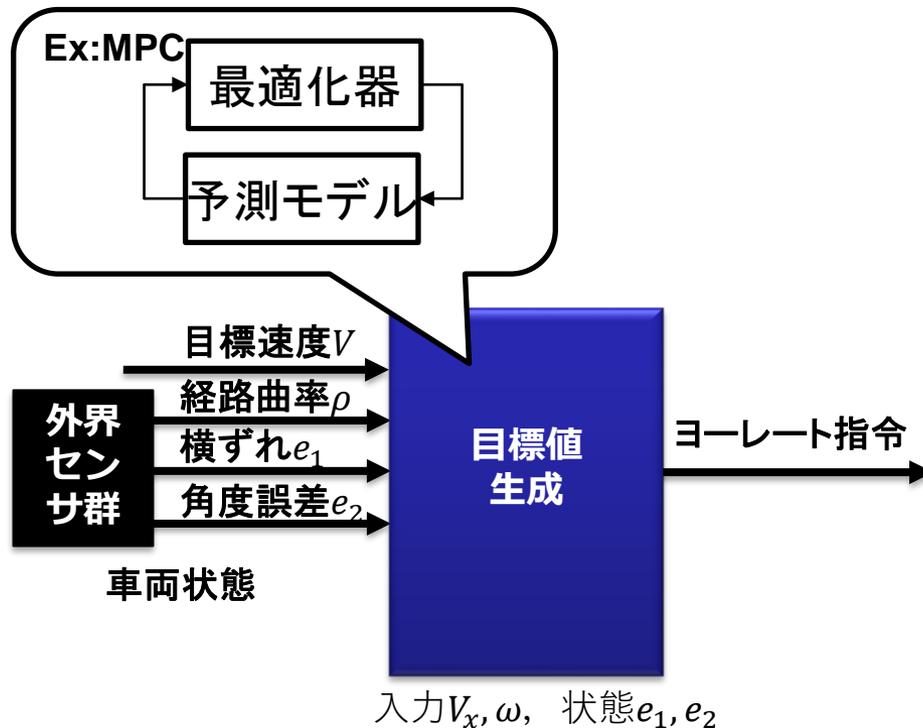
■ 自動運転のシステム構成例

- 目標値計算：モデル予測制御等による状態フィードバック則
- 車両制御：横運動/縦運動制御器によるアクチュエータ指令計算



目標値生成の一例

- モデル予測制御による目標値計算手法が業界で拡大中
 - 車両の動きを予測しながら最適な目標値を計算
 - 最適化問題をリアルタイム計算することで動的環境下でも対応
 - MATLABのModel Predictive Control Toolbox™[2]で容易に実装可能
- 目標ヨーレートに実ヨーレートを追従させることで最適な軌道を実現



課題

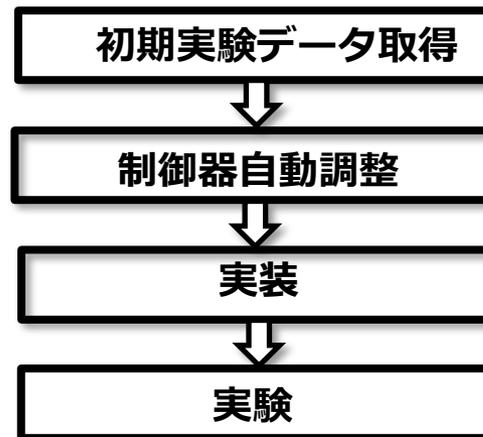
- 横運動制御器設計(ヨーレート制御器)の一般的な設計
 - 操舵角からヨーレートまでの詳細な車両モデルを導出
 - 車両モデルに基づいて横運動制御器を設計
- **トラック制御ではモデルベースでの制御系設計が困難**
 - 1.横運動の動特性を一般的な等価二輪モデルで表現できない
 - 荷台、サスペンション、その他構造に起因するモデル誤差
 - 2.タイヤ/ステアリング等の計測不可能なパラメータが多数存在
 - 3.励起信号印加によるシステム同定が望ましくない

トラックのような対象では、横運動特性のモデリングが困難
→このままでは横運動制御器を設計することができない



データ駆動制御

- 産業界ではデータ駆動制御活用による制御器設計が普及中
 - 電気通信大学の金子修先生提案のFRIT法[3]
 - ブレシア大学のM.C. Campi先生のVRFT法[4]
- 本手法の利点
 - 一度の実験のみで制御器調整可能：作業時間大幅短縮
 - システム同定・モデリング不要：シミュレーションレス開発



初期実験データのみを取得

⇒システム同定・モデリング不要

制御器を自動調整

⇒ノウハウ・ユーザー設定項目小

⇒製品品質の均一化が可能

製品制御開発に伴う大幅なコストダウンを実現可能

[3]Soma, S., Kaneko, O., & Fujii, T. (2004). A new method of controller parameter tuning based on input-output data—Fictitious Reference Iterative Tuning (FRIT)—. IFAC Proceedings Volumes, 37(12), 789-794.

[4]Campi, M. C.et. Al (2002). Virtual reference feedback tuning: a direct method for the design of feedback controllers. *Automatica*, 38(8), 1337-1346.

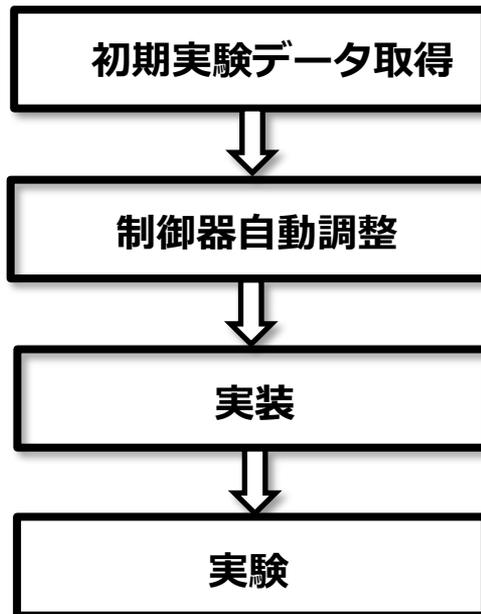
本研究の位置づけ

現在検討中の内容

データ駆動制御活用した横運動制御器生成ツールの開発

⇒システム同定・モデリング不要

⇒再実験不要(作業時間大幅短縮)



初期実験データのみを取得

⇒システム同定・モデリング不要

⇒再実験不要(作業時間大幅短縮)

制御器を自動調整

⇒ノウハウ・ユーザー設定項目小

⇒製品品質の均一化が可能

報告内容

試作版ツールの有効性を数値例によるデモを通してご紹介

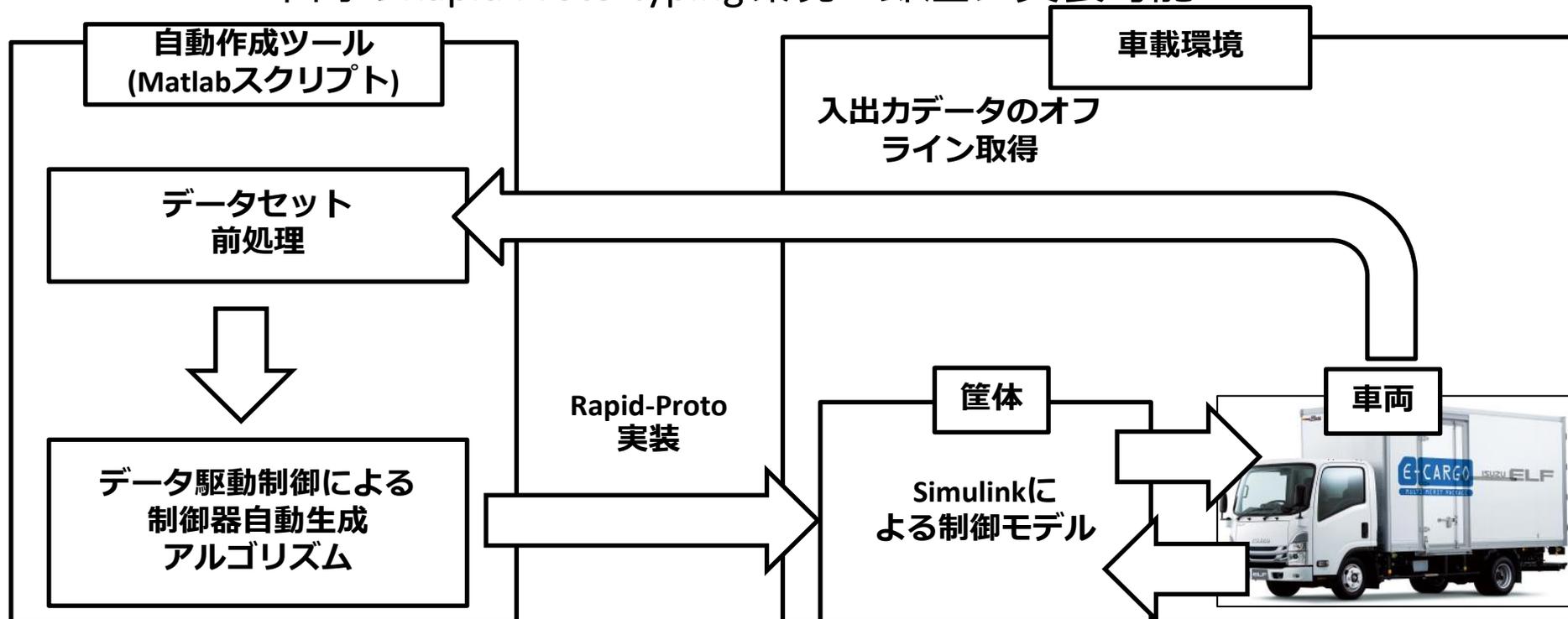
アジェンダ

- 会社概要紹介
- 研究目的
- 横運動制御器自動生成ツール
- 数値例によるデモ
- まとめ

試作ツールの機能概要

■ 横運動制御器の自動生成ツール

- 一度走行実験するだけで横運動制御器をデータから自動生成可
 - 繰り返しの走行実験・モデリングが不要
- 自動生成した制御器をSimulinkモデルとしてエクスポート可能
 - 車両のRapid Proto-typing環境へ即座に実装可能

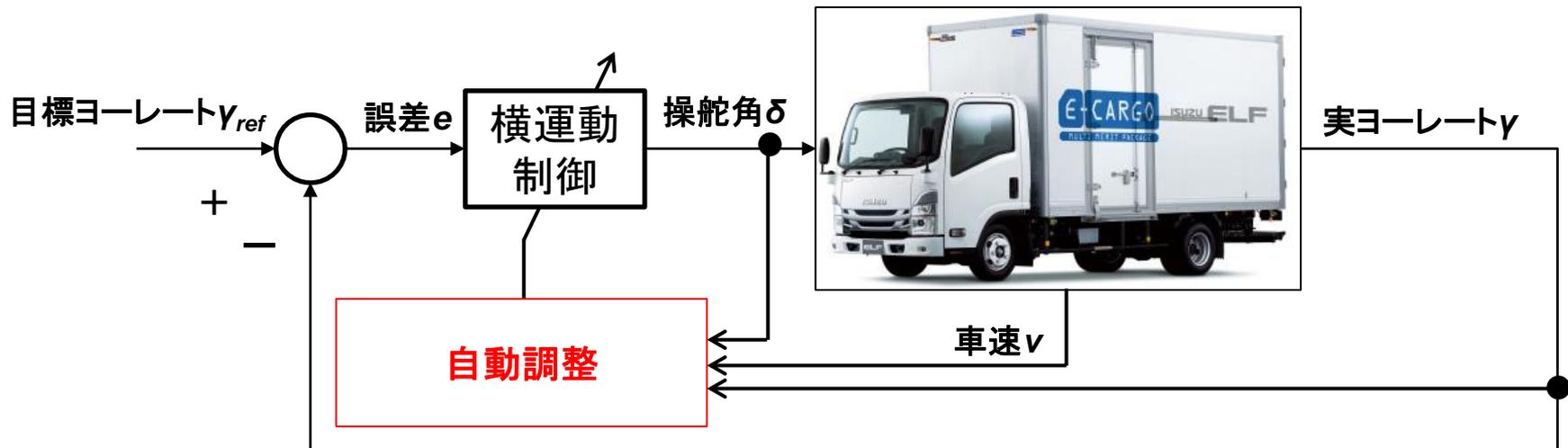


ツールによる制御器生成手順

■ 自動生成ツールの制御器生成手順

- 1. 適当な初期時系列実験データを取得
 - 初期操舵角、初期ヨーレート、車速の時系列データを取得
- 2. PIゲインをデータ駆動制御アルゴリズムにて計算
 - 最小二乗法による求解：PIDゲインを高速導出可能
 - 比較的小さい計算コストによる調整を実現
- 3. 獲得したパラメータを制御器に実装

⇒ **一度の走行実験データ習得のみで所望の横運動制御器を生成可能**



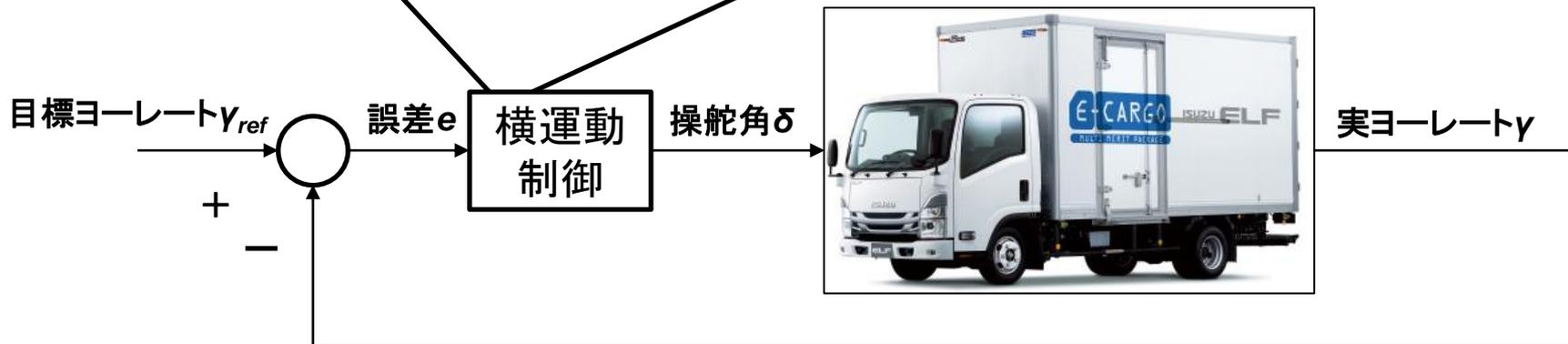
生成される制御器

■ 横運動制御器の構造

- 自動車のヨー運動は車速依存の時変システム[5]
- 車速 v に応じてPIゲインを変化させる必要あり

$$\delta(t) = \underline{K_P(v)}e(t) + \underline{K_I(v)} \int^{\infty} e(\tau)dt$$

車速 v に応じてPIゲインがリアルタイムで変化する車速依存型PI制御器
→リアルタイム更新のパラメータを車両に合わせて調整する必要あり



**本ツールでは車速依存型PI制御器を一度の走行実験データから自動調整
→VRFTとFRITの考え方をを用いた弊社独自アルゴリズムを適用**

アジェンダ

- 会社概要紹介
- 研究目的
- 横運動制御器自動生成ツール
- 数値例によるデモ
- まとめ

数値例によるデモ

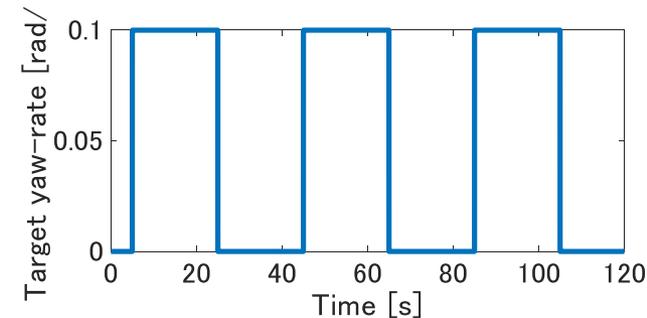
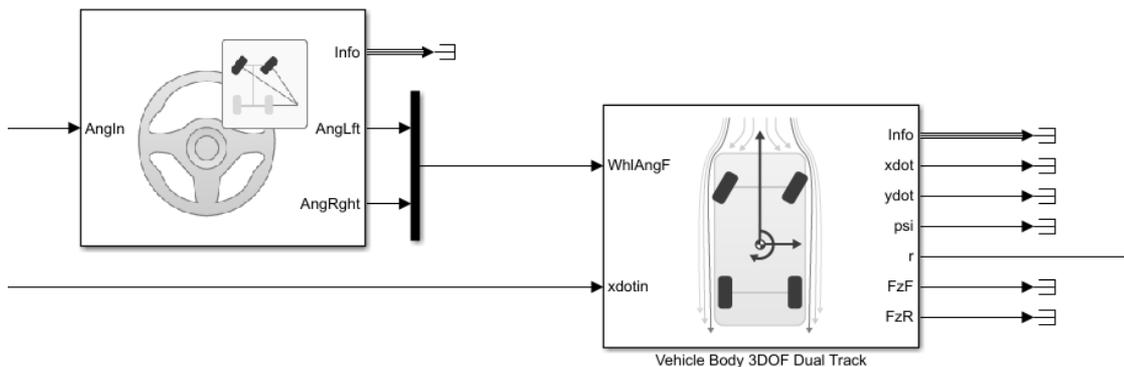
■ Vehicle Dynamics Blockset™[6]を用いた数値例

- 車両プラントモデル

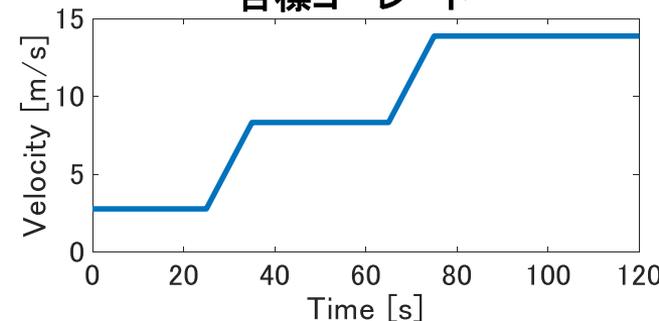
- Vehicle dynamics blockset™を使用
- いすゞエルフの車両諸元をパラメータとして適用

- 走行条件

- 目標ヨーレートをパルス波として設定
 - ※ツール効果用のテスト信号
- 走行速度が10~30km/hの範囲で変化



目標ヨーレート



車速

Vehicle Dynamics Blockset™による車両プラントモデル

初期ヨーレート応答

■ 初期走行シミュレーション

- 適当なPI制御器にて初期走行

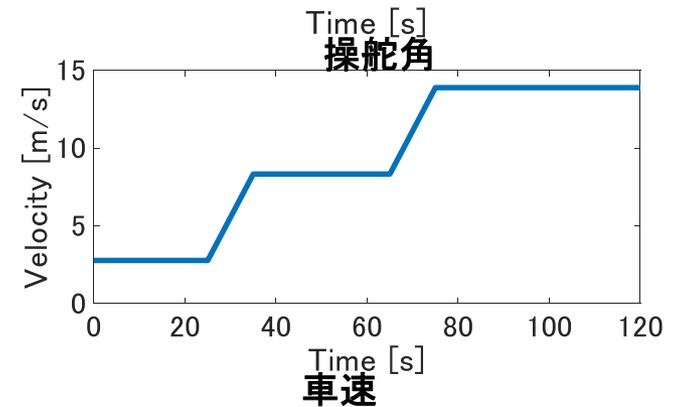
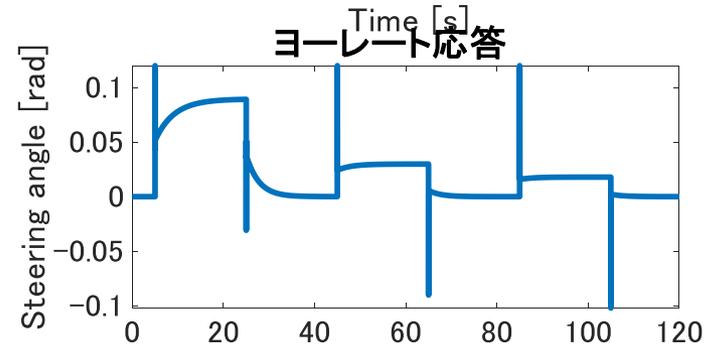
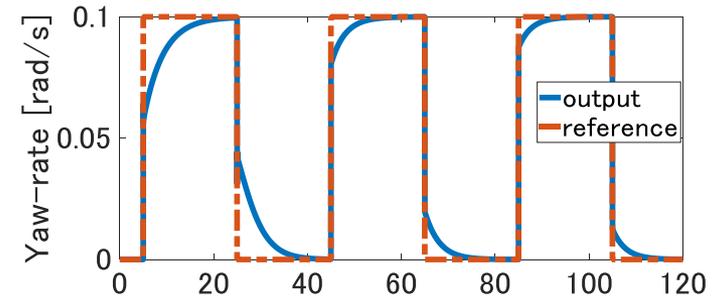
$$\delta(t) = K_P e(t) + K_I \int_0^t e(\tau) dt$$

$$K_P = 1.2$$

$$K_I = 0.5$$

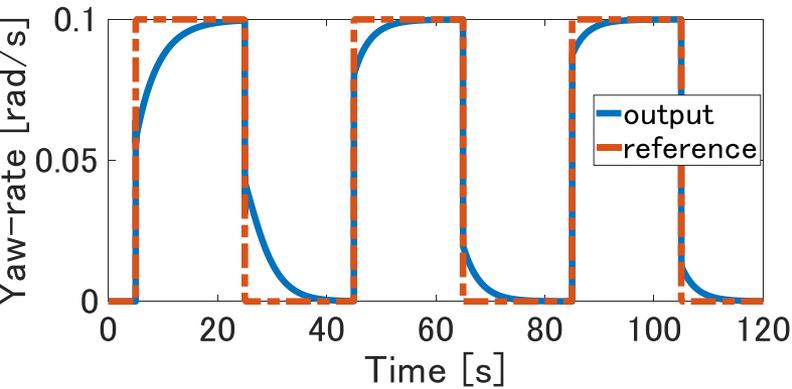
■ シミュレーション結果

- 過渡応答時に過大な偏差発生
- 低速走行時に制御精度劣化
 - 走行速度変化による影響

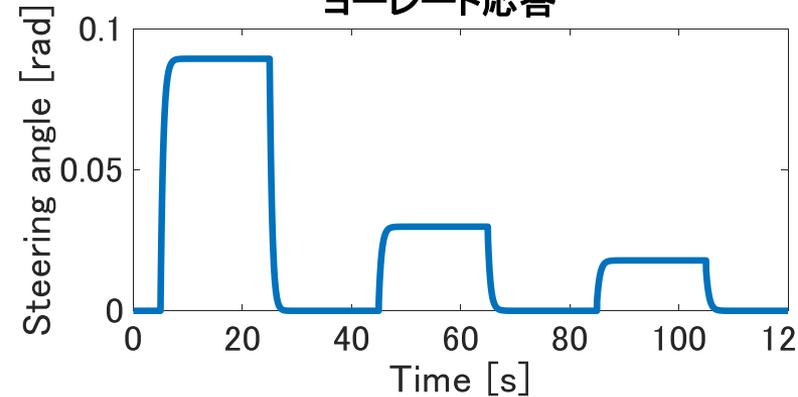
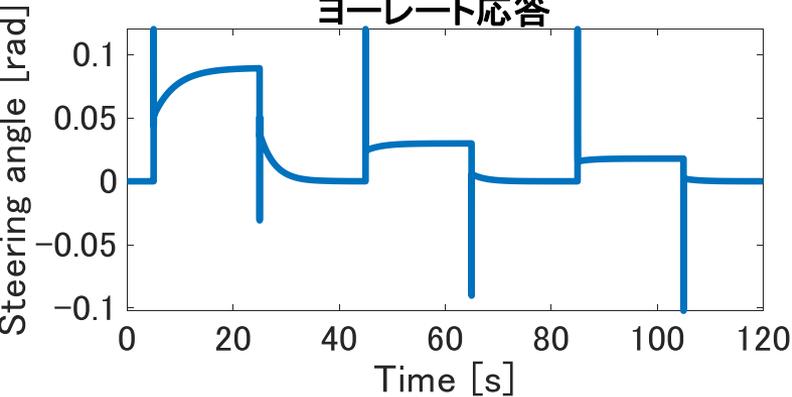
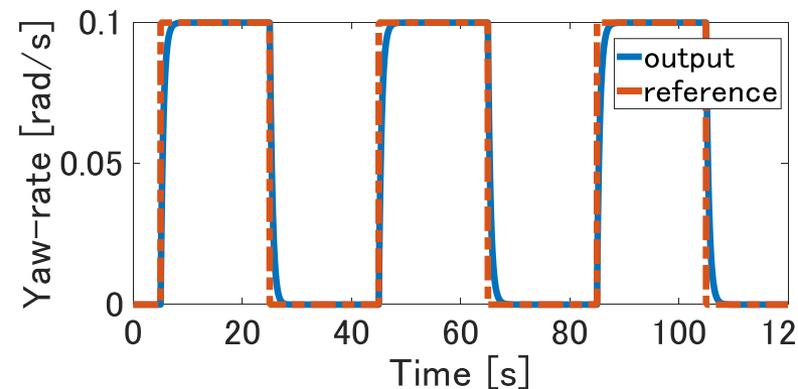
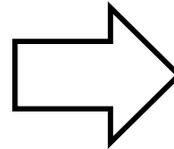


この初期データを試作ツールに適用し、横運動制御器を自動生成

制御器自動生成結果



自動生成ツールにて
横運動制御器を設計



操舵角
初期走行結果

操舵角
制御器生成後の走行結果

結果

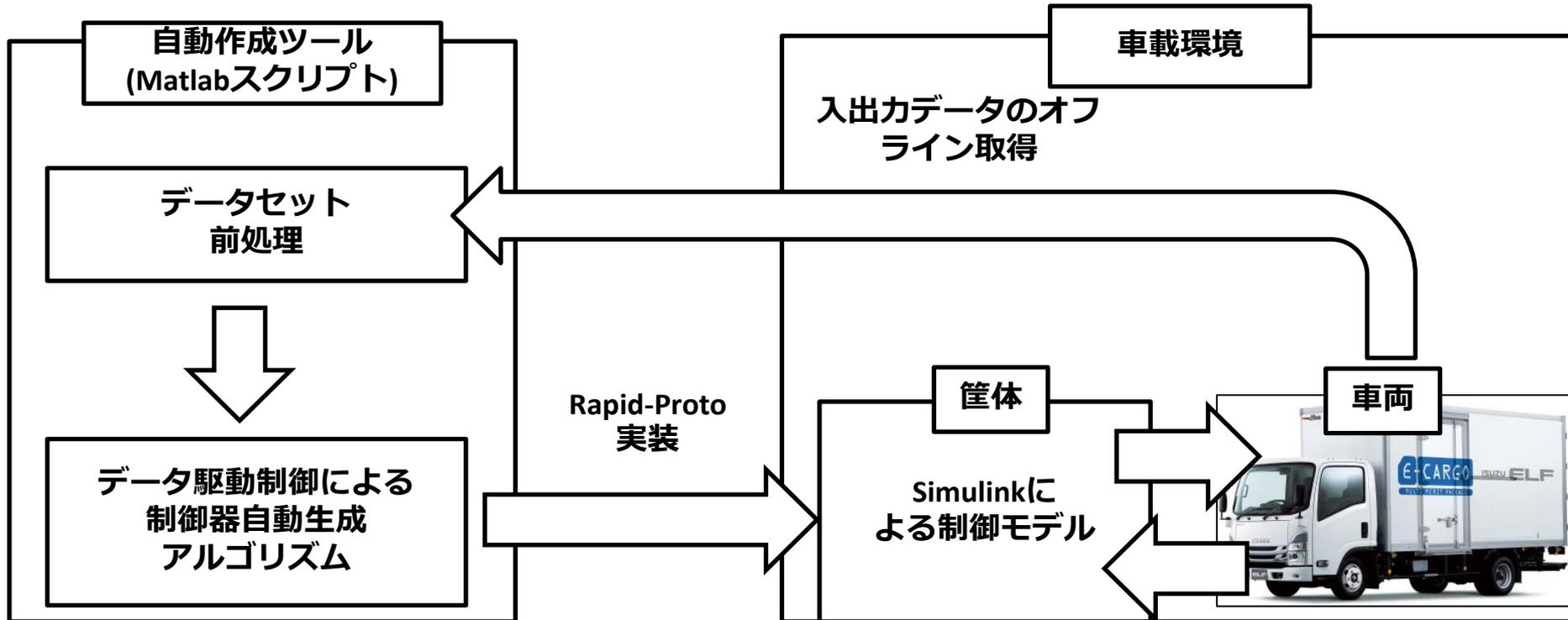
一度の初期走行データを取得するだけで所望の制御器更新実現

アジェンダ

- 会社概要紹介
- 研究目的
- 横運動制御器自動生成ツール
- 数値例によるデモ
- まとめ

まとめ

- データ駆動制御を活用した横運動制御紹介
 - 試作ツールの有効性を数値例によるデモにて確認
 - 一組の走行試験データを取得するだけで制御器更新実現
 - 生成した制御器を即座に車両システムへ実装可能



その他取組内容

- MPCとの組み合わせ試験
 - MPCにて目標値計算したときでも所望の応答を実現可能
- 縦運動制御用ツールの作成
 - 実験にて所望の車速制御を実現できることを確認

