



MATLAB EXPO 2024

RoadRunnerを用いた実践的な
実路走行シミュレーション教育

草鹿 仁 原田 空樹
早稲田大学

2024年5月30日



Contents

- 対象とした講義の概要
- シミュレーションコードの構築と検証
- 今年度の振り返り
- 次年度への取り組み事項



Contents

- 対象とした講義の概要
- シミュレーションコードの構築と検証
- 今年度の振り返り
- 次年度への取り組み事項

- 創造理工学部総合機械工学科 専門必修科目
 - 受講者数 学部2年生 172名 (2024年度)
 - 特徴
 - 春学期, 金曜日, 5-6限
 - 具体的なプロジェクト課題を通して, 専門知識を活用する実践力の習得, 構想力/問題解決力の基盤の習得
 - 各教員からの課題は次の通り
- 「逆から捉えるものづくり」(小野田)

「数値計算を利用したものづくり」(石井)

「環境とモビリティ」(草鹿)



講義スケジュール

回数	実施日	担当者	2024年度の内容
1	4/12 (金)	草鹿 小野田 石井	〈ガイダンス (各15分) 実施概要説明〉 「環境とモビリティ」 (草鹿) 「逆から捉えるものづくり」 (小野田) 「数値解析を利用したものづくり」 (石井)
		小野田	〈講義〉 逆から捉えるものづくり①
2	4/19 (金)	小野田	逆から捉えるものづくり②
3	4/26 (金)	石井	数値解析ソフトMATLAB®/Simulink® を利用したものづくり①
4	5/10 (金)	草鹿	環境とモビリティ①
5	5/17 (金)	小野田	逆から捉えるものづくり③
6	5/24 (金)	小野田	逆から捉えるものづくり④
7	6/1 (土)	草鹿	環境とモビリティ② : (13:10-18:40) (3コマ) エンジンの分解
8	6/8 (土)	草鹿	環境とモビリティ③ : (13:10-18:40) (3コマ) エンジンの組立・運転
9	6/14 (金)	石井	数値解析ソフトMATLAB/Simulink を利用したものづくり② (ドローンシミュレーション)
10	6/21 (金)	石井	数値解析ソフトMATLAB/Simulink を利用したものづくり③ (ドローンシミュレーション)
11	6/28 (金)	石井	数値解析ソフトMATLAB/Simulink を利用したものづくり④ (ドローン実機)
12	7/5 (金)	草鹿	環境とモビリティ④
13	7/12 (金)	草鹿	環境とモビリティ⑤

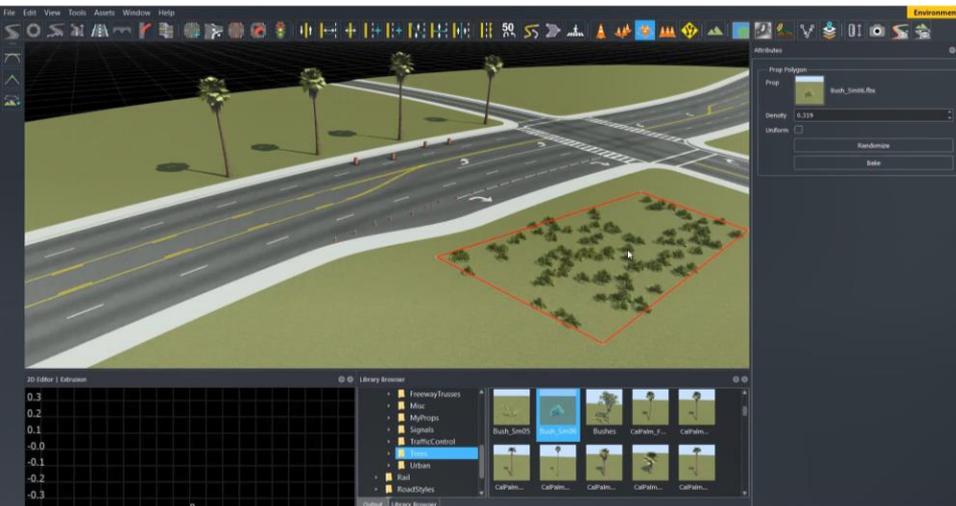
プロジェクト

Series Hybrid 乗用車のReal Drive 走行シミュレーション
(ノート e-POWER 2016年モデル)

講義の狙い

実走行（勾配, 信号）を考慮したRoadRunnerと組み合わせたシリーズハイブリッド自動車モデル(MATLAB/Simulink)を用いた走行シミュレーションにより, シリーズハイブリッド自動車における各構成要素のエネルギー変換, エネルギーマネージメント技術について学習・考察を行う.

RoadRunnerによる3D仮想環境準備



RoadRunner

- 道路と交差点の作成
- 既存マップ, 空中写真や標高データのインポート
- ASAM OpenDRIVE®のインポートとエクスポート



RoadRunner Scenario

- 車両の加減速, 走行パスの設計
- MATLAB/Simulinkとの連携シミュレーション
- ASAM OpenSCENARIO®でのエクスポート

RoadRunnerにより3Dシミュレーション環境のシーンからシナリオまでを作成可能



第一回目の講義(5月10日実施)

- 車両の運動学と本日の課題 (30分) 草鹿
内容: 各種ハイブリッドの方式, パワートレイン構成要素,
回転運動の力学の復習, 車両の力学の復習
ギア比, タイヤのサイズ, 車輪の半径
- Series hybrid vehicle model の解説と動作確認
草鹿研究室 修士2年 原田 空樹 氏
TA 7名 (草鹿研究室修士1年, 学部4年)
MathWorks®社様 (林 涼子様, 道下 泰子様, 福地 伸晃様)
内容: 予めダウンロードした車両モデルを稼働させるための説明
実際の稼働までの質問対応
- 演習課題の取り組み 全員





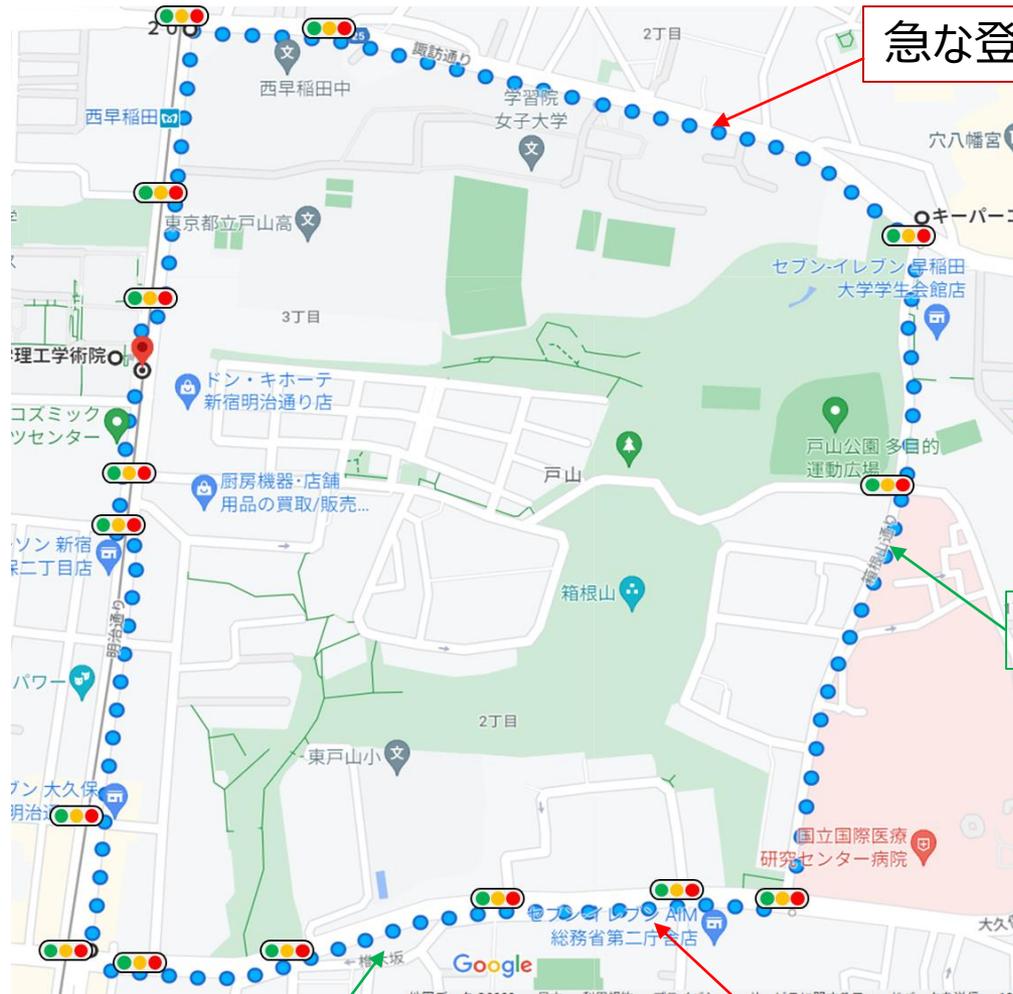
学生への課題（第一回目出題）

- (1) 走行シミュレーション全体の動画作成. なお, 自動車を俯瞰するカメラの位置は, 学籍番号下3桁で分けて, 例えば, 1 2 3ですと, $distance = 12\text{ m}$, $high = 3\text{ m}$ のように設定させた.
- (2) SOC (充電深度) の時間履歴とエンジンの回転数, 回生エネルギーの関係について考察. なお, 初期SOCの値は60%とした
- (3) 計算を実行している間に下記の事項について調査.
車両重量, タイヤとホイール・サイズ, ファイナルギア比,
前面投影面積
- (4) また, シミュレーションモデル上ではどこで (3)の諸値を設定しているか調査して報告.

対象とした実路

今後、パワトレ制御に
活用したい外部情報

- 自車の経路情報
直進, 右折, 左折,
後退, 車速,
車間距離
- 地図情報
- 信号情報
- 周囲自動車の
車速, 加速度,
車間距離
- 対向車線の情報
車速, 加速度,
車間距離



急な登り坂

急な下り坂

緩やかな下り坂

緩やかな登り坂



Contents

- 対象とした講義の概要
- シミュレーションコードの構築と検証
- 今年度の振り返り
- 次年度への取り組み事項

シミュレーションの様子

The image displays a simulation interface with two main panels. The left panel shows a control and data display area, and the right panel shows a 3D perspective view of a white car on a road.

Control and Data Panel (Left):

- A blue sphere icon is connected to a traffic light icon (green, yellow, red) via a speech bubble.
- Input fields and labels:
 - Speed (車速): 13.9
 - Acceleration (加減速): 0.009864
 - Distance (距離): 22.14
 - Order (何番目の信号か): 8
- Output fields and labels:
 - Target Speed (目標車速): 50
 - Distance to Brake Point (brakepointとの距離差): -82.75

3D View Panel (Right):

- A white car is shown from a rear perspective, driving on a road with yellow double lines.
- The background shows a simple 3D environment with buildings and a sky.
- UI elements include a grid icon in the top left and navigation icons (zoom in, zoom out, home, etc.) in the top right.
- At the bottom right, there are five small cube icons in various colors.



表1 走行試験において定められた主な条件

	WLTP試験	RDE試験
速度区分と距離比率	○	○
気温	○	○
積載量	○	○
標高	×	○
勾配	×	○

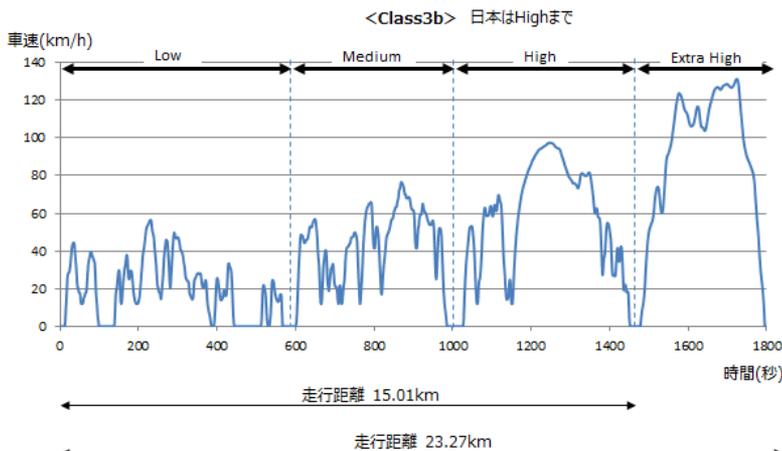


図1 WLTP試験の時間-車速グラフ [1]

(2) RDE試験法の概要

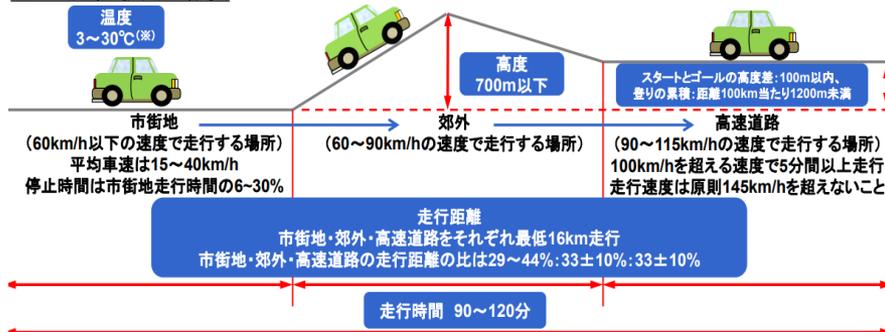


図2 RDE試験の概要 [2]

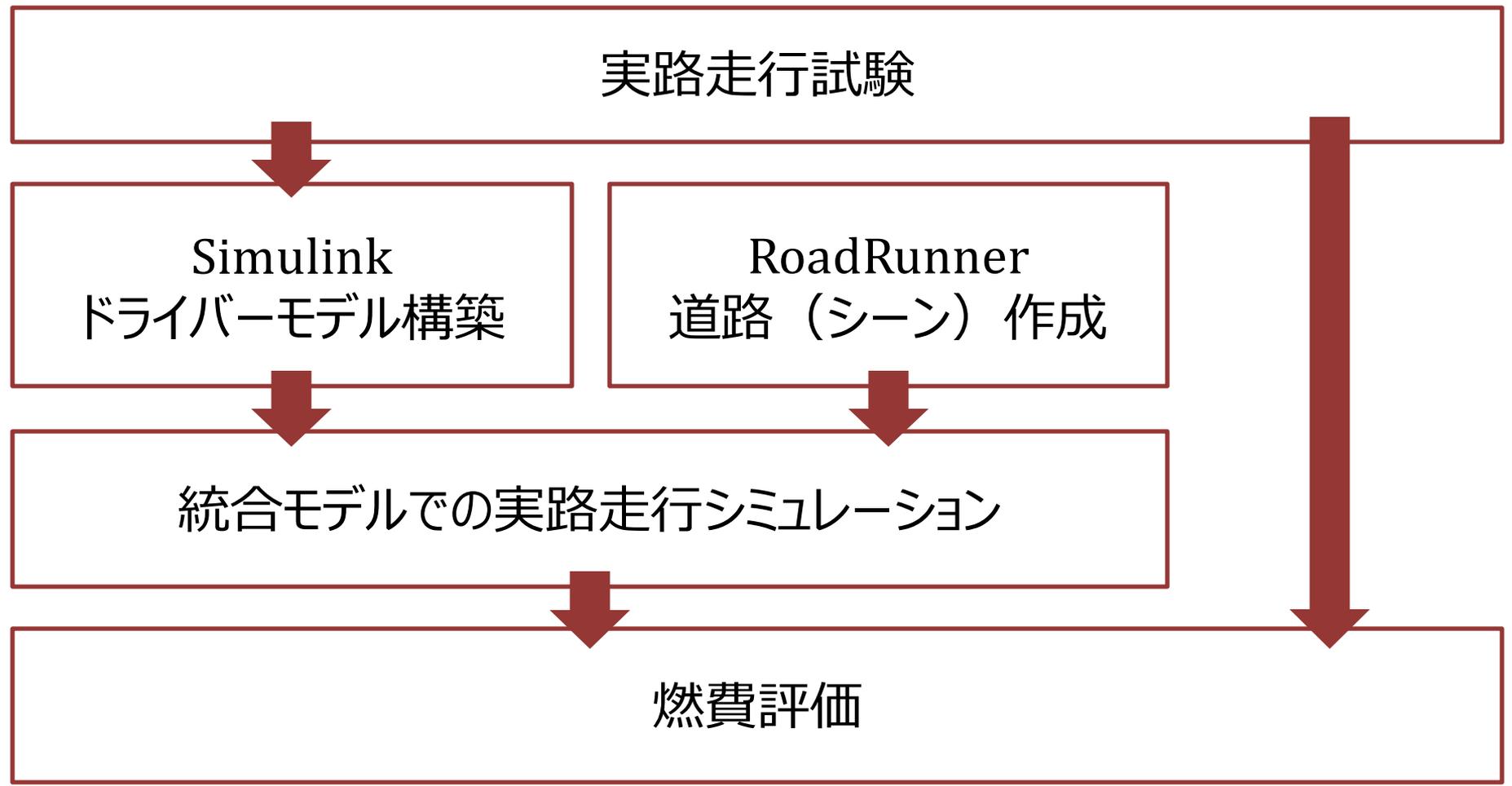
[1]WLTP,WLTCモード, <https://taketake2.com/S10.html> 2023/10/24閲覧

[2] 国土交通省 環境省, 路上走行検査導入に向けた課題について, p2

RDE試験はWLTP試験よりも走行条件に多くの制約がある
→シミュレーションが有効

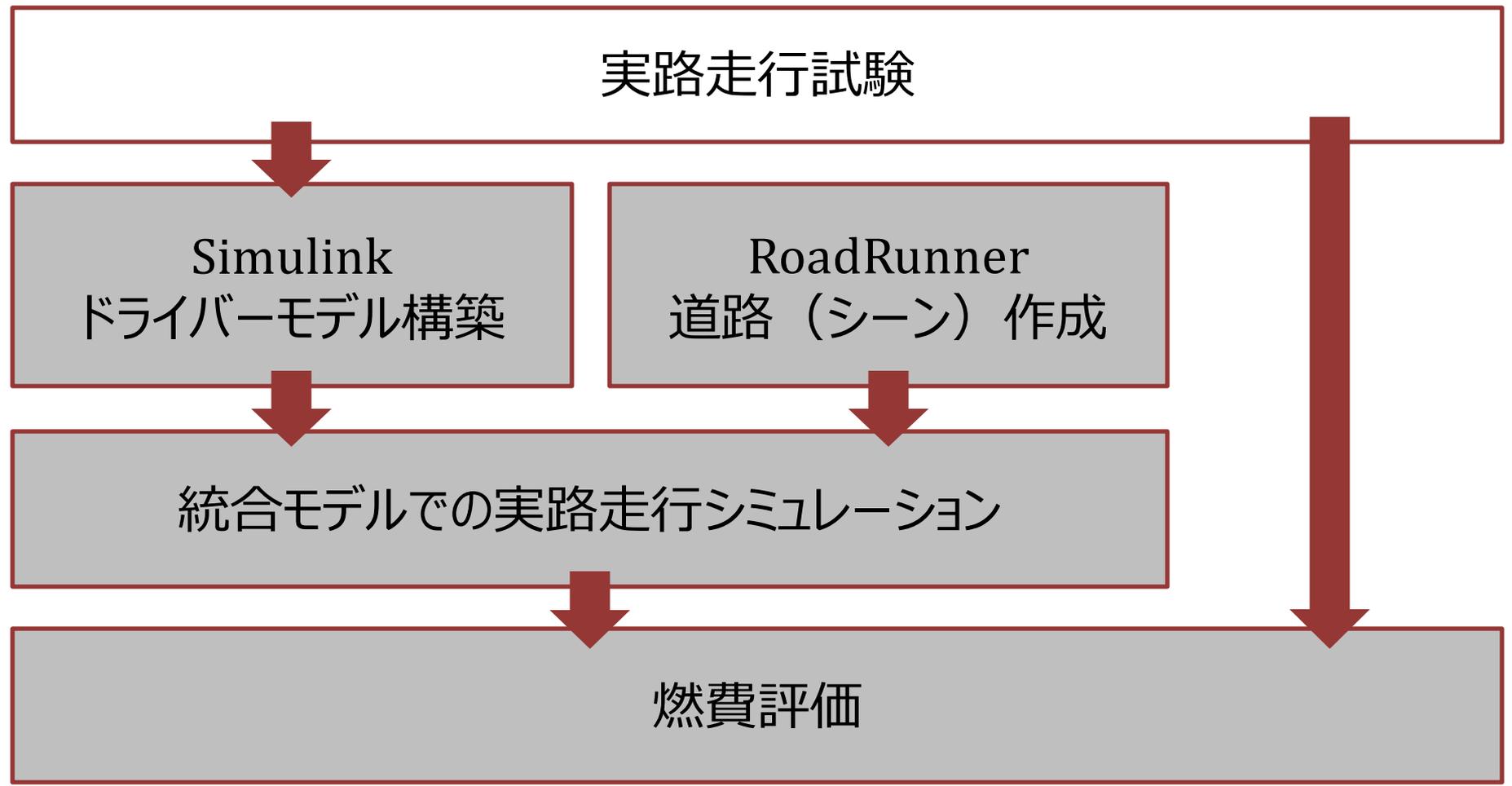


- ドライバーロボットモデルを構築し, RoadRunnerで実路を模擬した仮想道路を走行した際と, 実走行時の燃費の比較検討を行う





- ドライバーロボットモデルを構築し, RoadRunnerで実路を模擬した仮想道路を走行した際と, 実走行時の燃費の比較検討を行う



実路走行試験～条件～

試験車両



表2 試験車両の諸元表

車種	NISSAN Note e-Power
全長×全幅×全高	4100×1695×1520 mm
型式	DAA-HE12
車両重量	1220 kg
排気量	1198 cc
モータ最大出力	58 kW
モータ最大トルク	103 N・m

計測機器



① GoPro

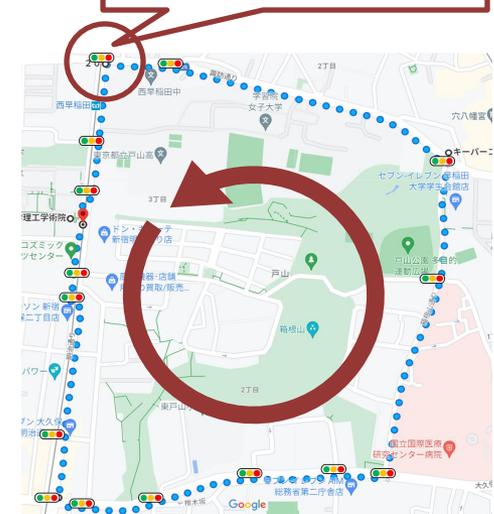
GPS情報の取得

② TPM-R

車両CANデータの取得

試験ルート

スタート・ゴール地点



一周約2.7kmの周回路
反時計回りに走行
信号は16基

➤ 試験開始条件の統一

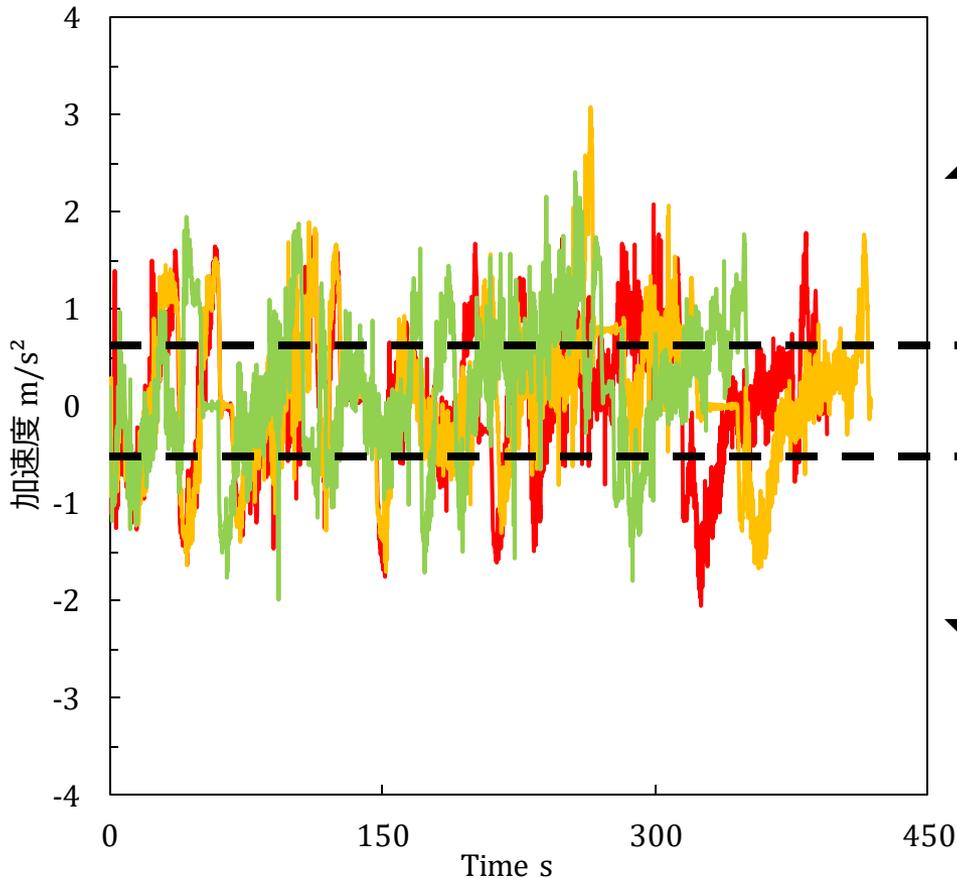
→初期SOCを60%

→スタート地点の信号が青になった瞬間にデータ計測開始

➤ ドライバーA, Bで走行. 各ドライバーにつき一周の計測を三回行う



- 車両実験で得られたデータより, ドライバーモデルの加減速度を決定^[3]



$0.5 \leq |a|$
 a : 加減速度 m/s^2

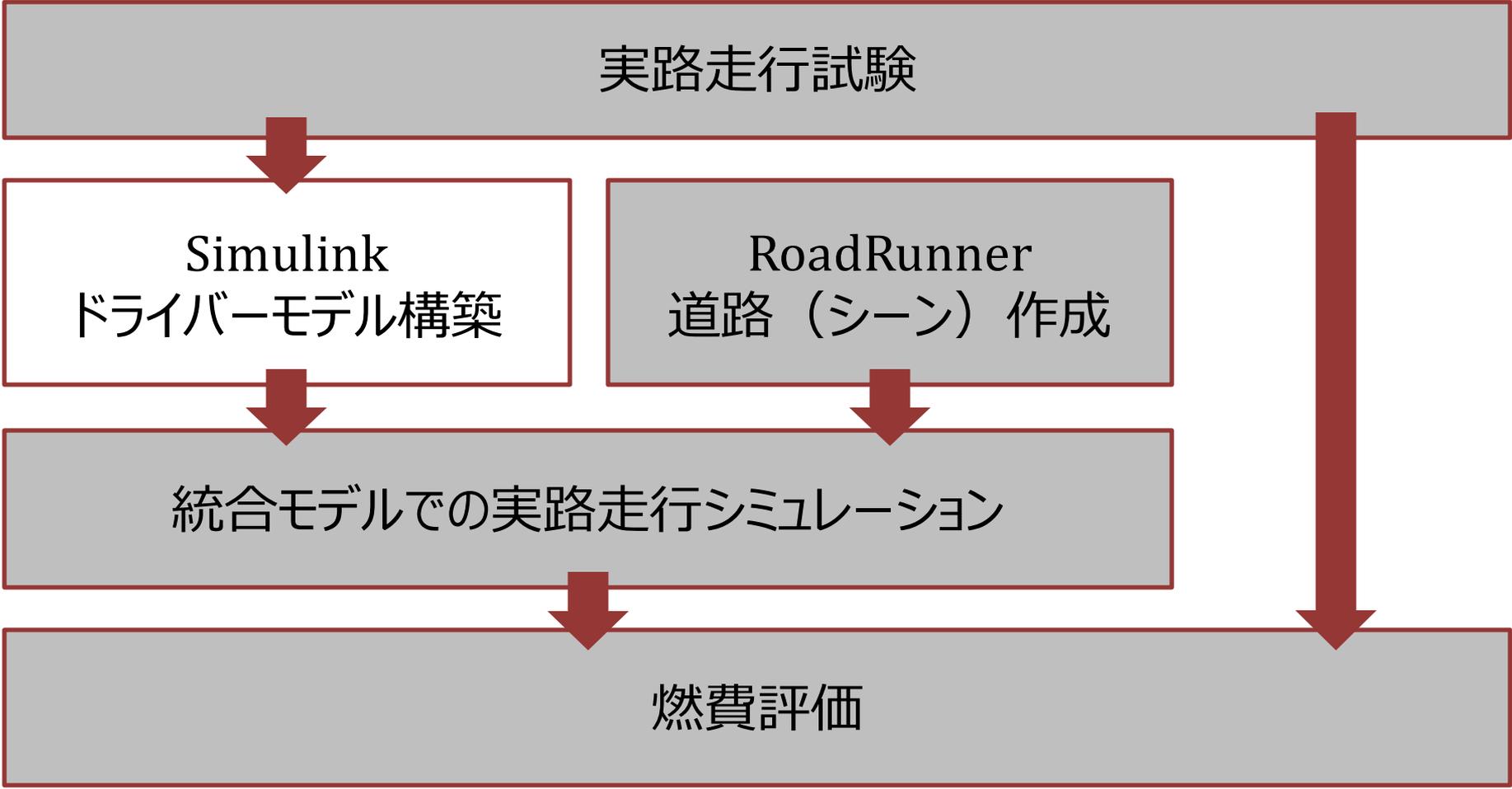
表2 ドライバーごとの平均加減速度

ドライバー	平均加速度 [m/s^2]	平均減速度 [m/s^2]
A	1.016	-0.9533
B	0.9565	-0.9210
平均	0.9864	-0.9371

[3] 安士光男, 柳平雅俊, 省エネ運転評価技術の開発, p13



- ドライバーロボットモデルを構築し, RoadRunnerで実路を模擬した仮想道路を走行した際と, 実走行時の燃費の比較検討を行う



シミュレーション～ドライバーモデル～

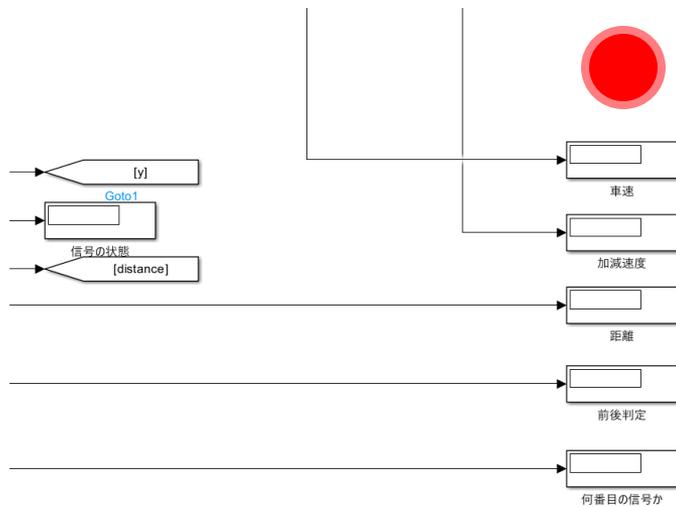
Simulink : ドライバーモデル構築

RoadRunner : 道路 (シーン) 作成

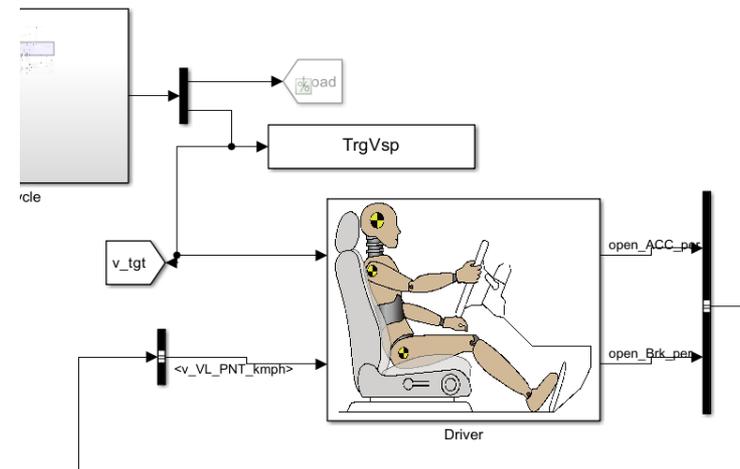
統合モデルでの実路走行シミュレーション

➤ ドライバーモデルの内訳

信号機の読み取り, 判別モデル



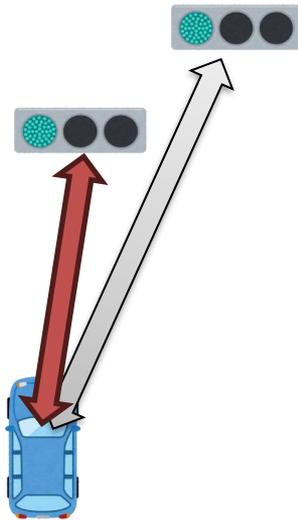
ブレーキモデル



ドライバーモデル ~信号の判断~

- 道路上に複数存在する信号機のうち, どれを参照するか決定するモデルの構築

自車に最も近い信号

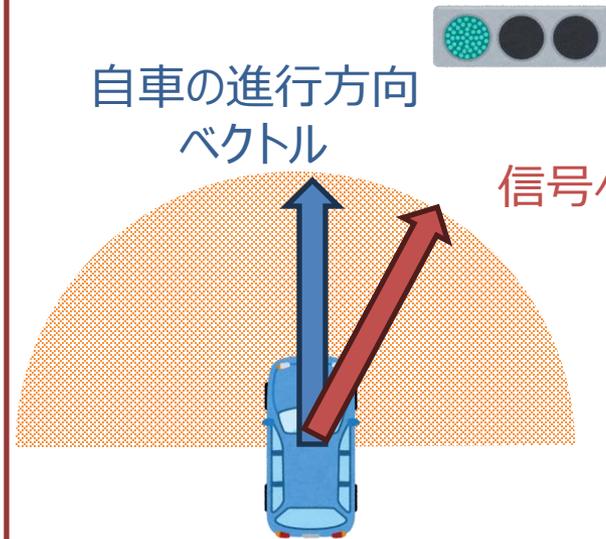


自車の座標との距離が最小の信号

自車の前方にある信号

自車の進行方向
ベクトル

信号へのベクトル

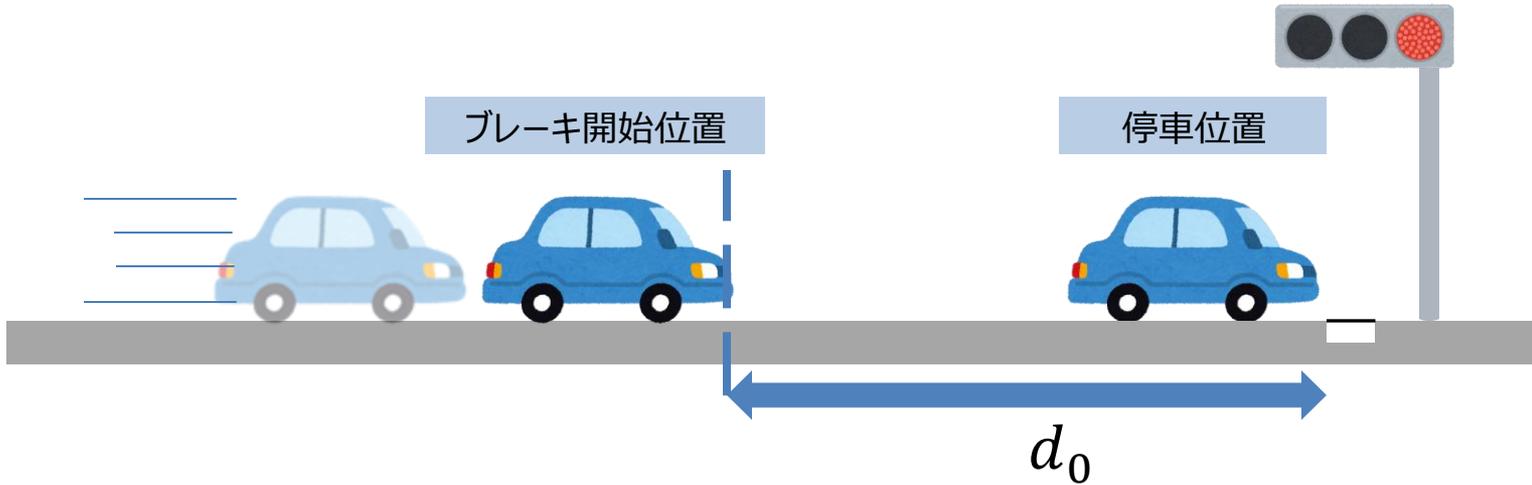


自車の進行方向ベクトルと
信号へのベクトルの内積 > 0

&

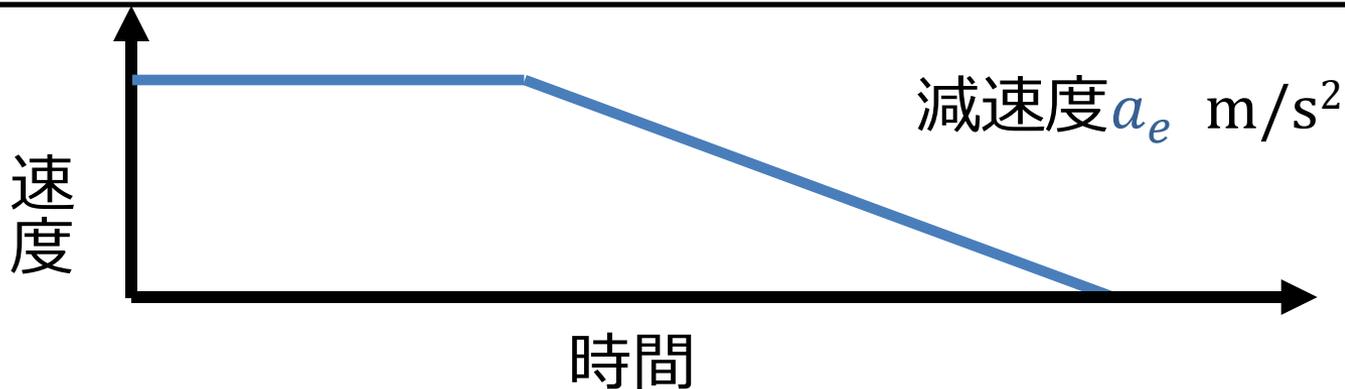
ドライバーモデル～ブレーキ①～

➤ ブレーキを踏み始める距離の算出



$$d_0 = \frac{v_0^2}{2(-a_e)}$$

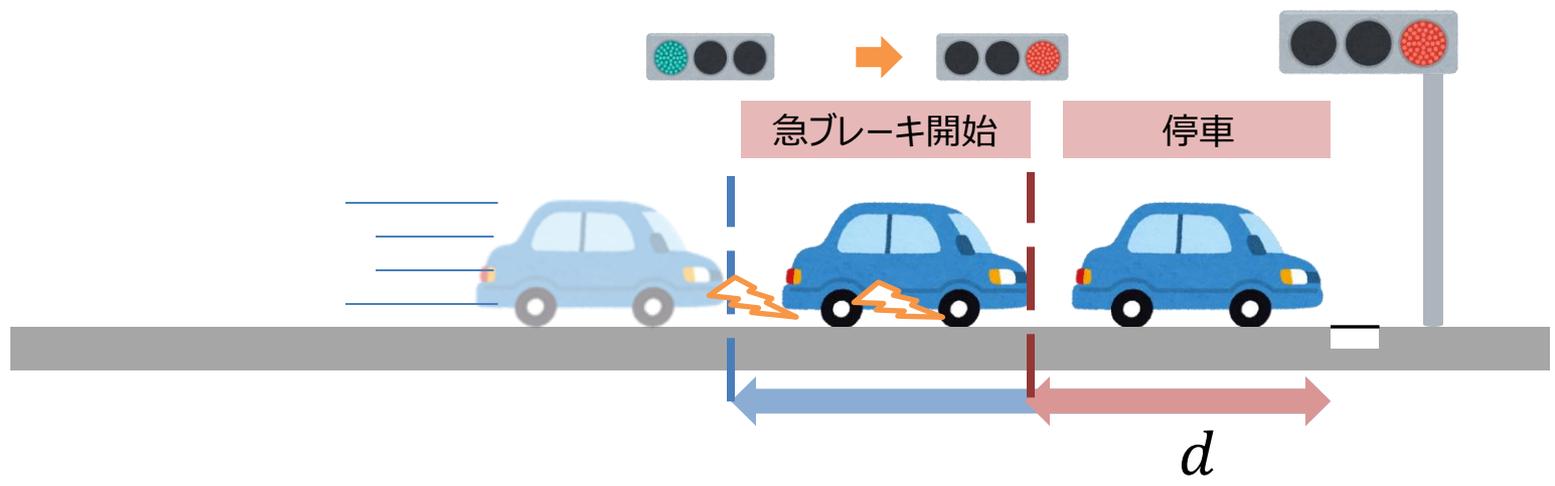
a_e : 実路試験より決定した平均減速度 m/s^2
 d_0 : ブレーキ開始距離 m
 v_0 : 初期車両速度 m/s





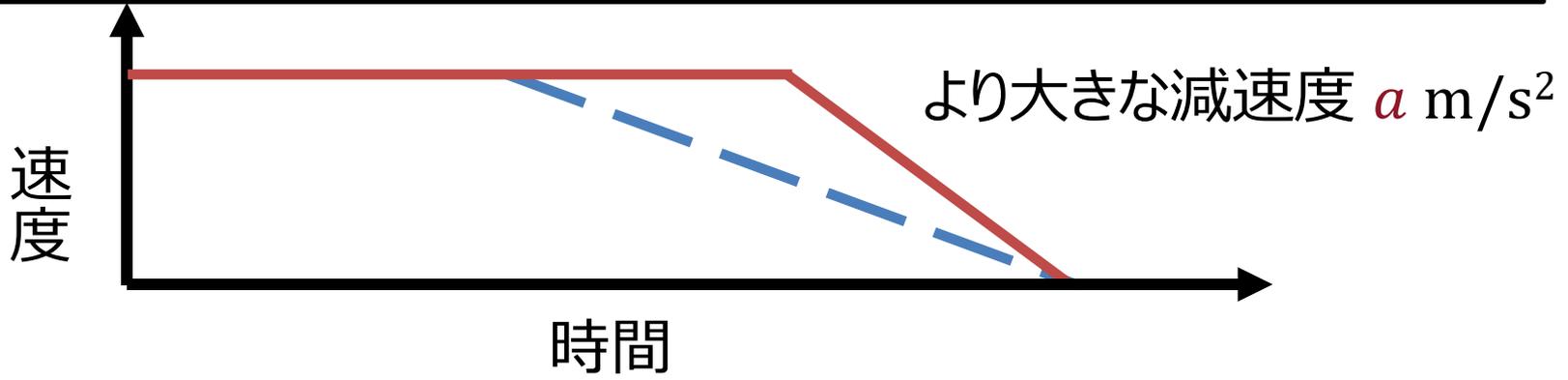
ドライバーモデル～ブレーキ②～

➤ 走行中に青信号から赤信号へ変化した場合



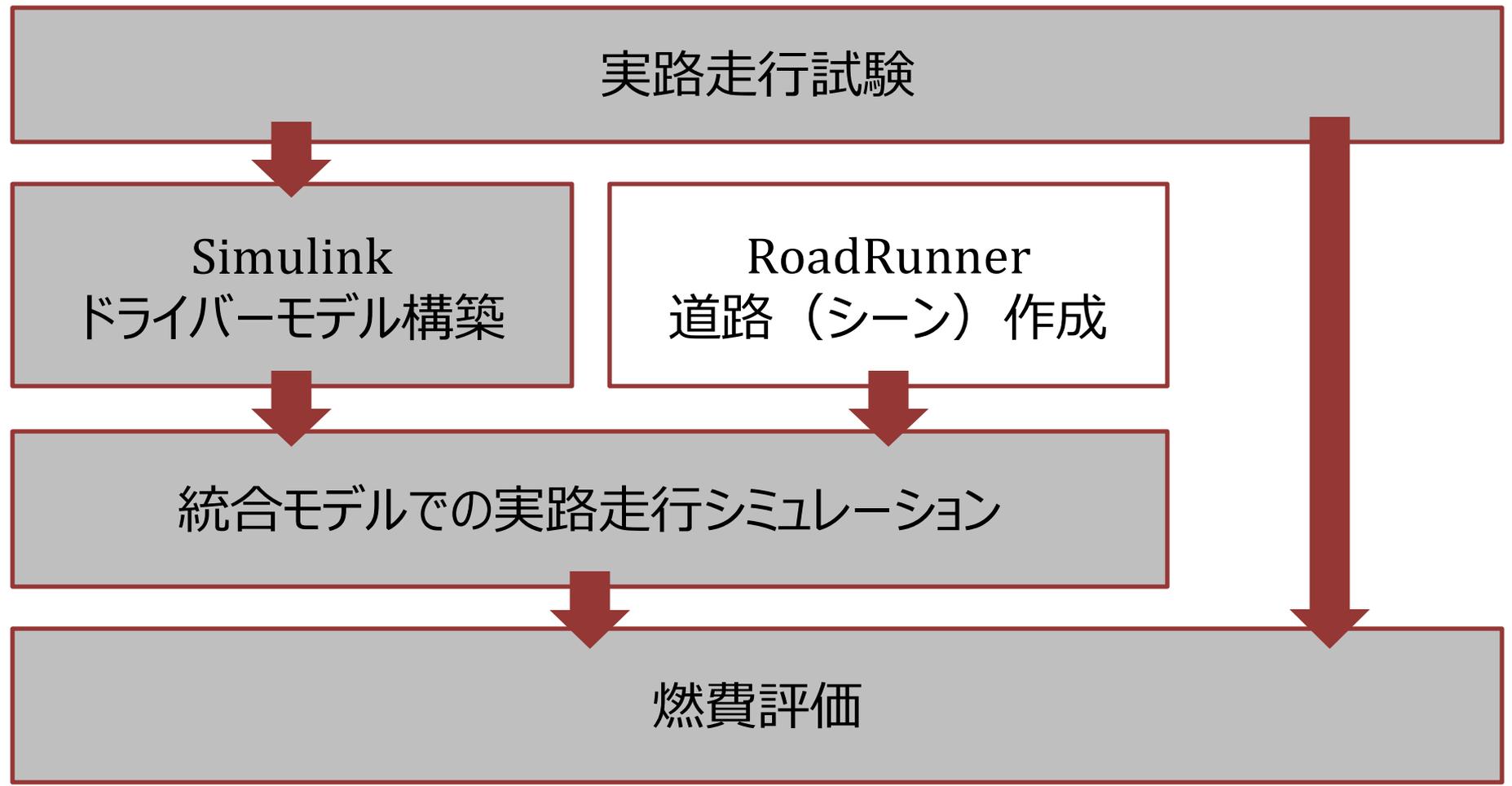
$$a = -\frac{v^2}{2d}$$

a :モデル内の減速度 m/s^2
 d :信号までの距離 m
 v :車両速度 m/s





- ドライバーロボットモデルを構築し, RoadRunnerで実路を模擬した仮想道路を走行した際と, 実走行時の燃費の比較検討を行う





シミュレーション～シーン作成～

Simulink : ドライバーモデル構築

RoadRunner : 道路 (シーン) 作成

統合モデルでの実路走行シミュレーション

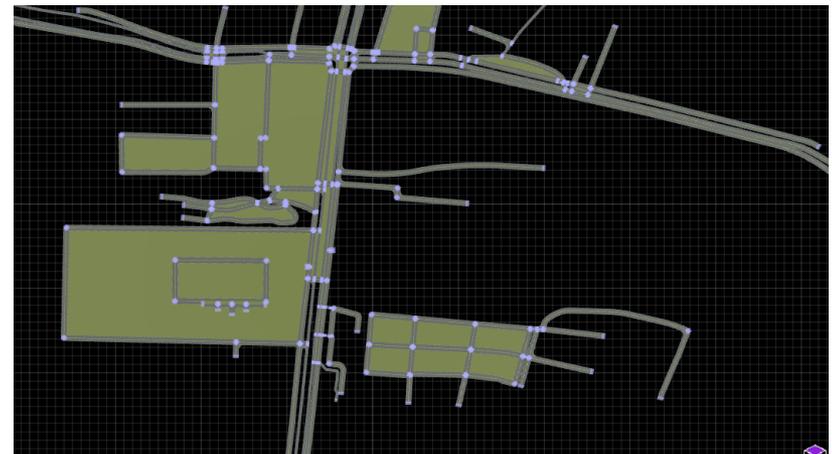
➤ 既存マップからの構築

空中写真(国土地理院) **+** 勾配 (国土地理院) **+** 信号モデル
定周期式信号機
(現示が一定時間) 想定

空中写真(国土地理院)



RoadRunner

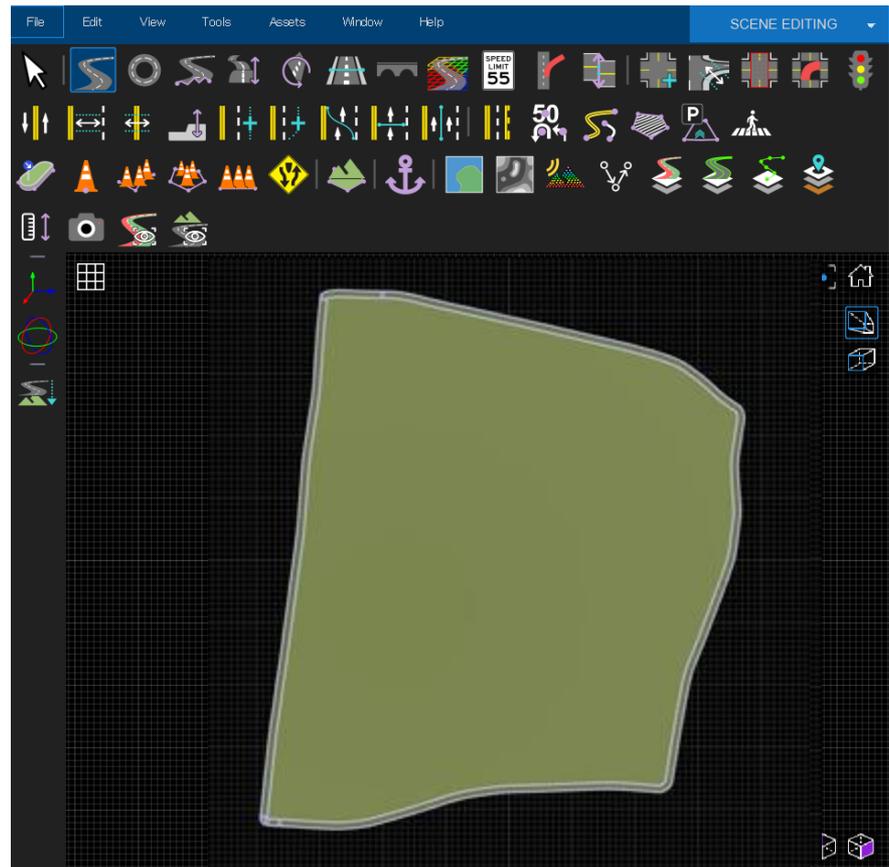




シーン作成 ~道路~

➤ 次の手順でRoadRunner上の写真や標高データから道路を作成

- ① 航空写真
- ② 標高データ
- ③ 航空写真 + 標高データ
- ④ 道路の入力
- ⑤ 道路のみの表示





シーン作成 ~信号モデル~

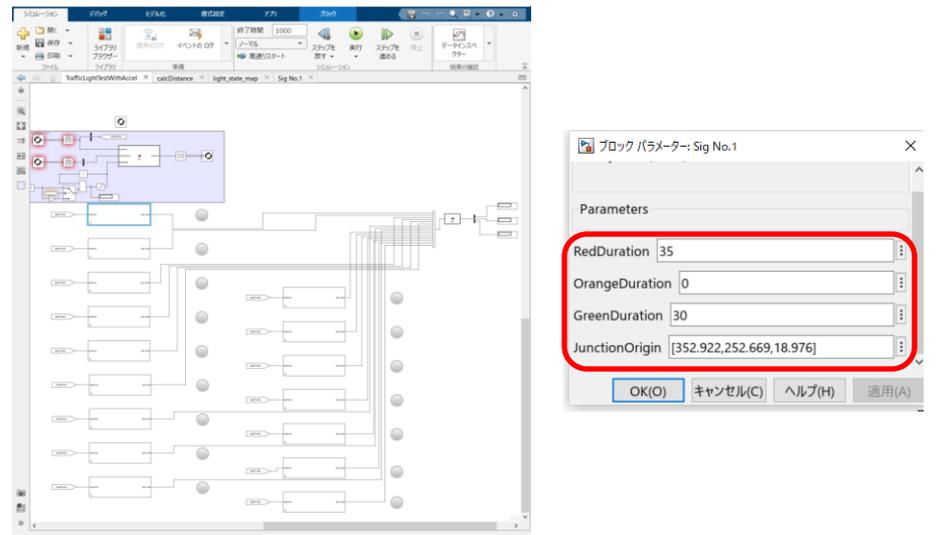
計測の様子

試験ルート上にある全ての信号機の点灯周期を計測
時計とともに信号の動画を撮影し，動画より信号の色ごとの点灯時間を読み取った



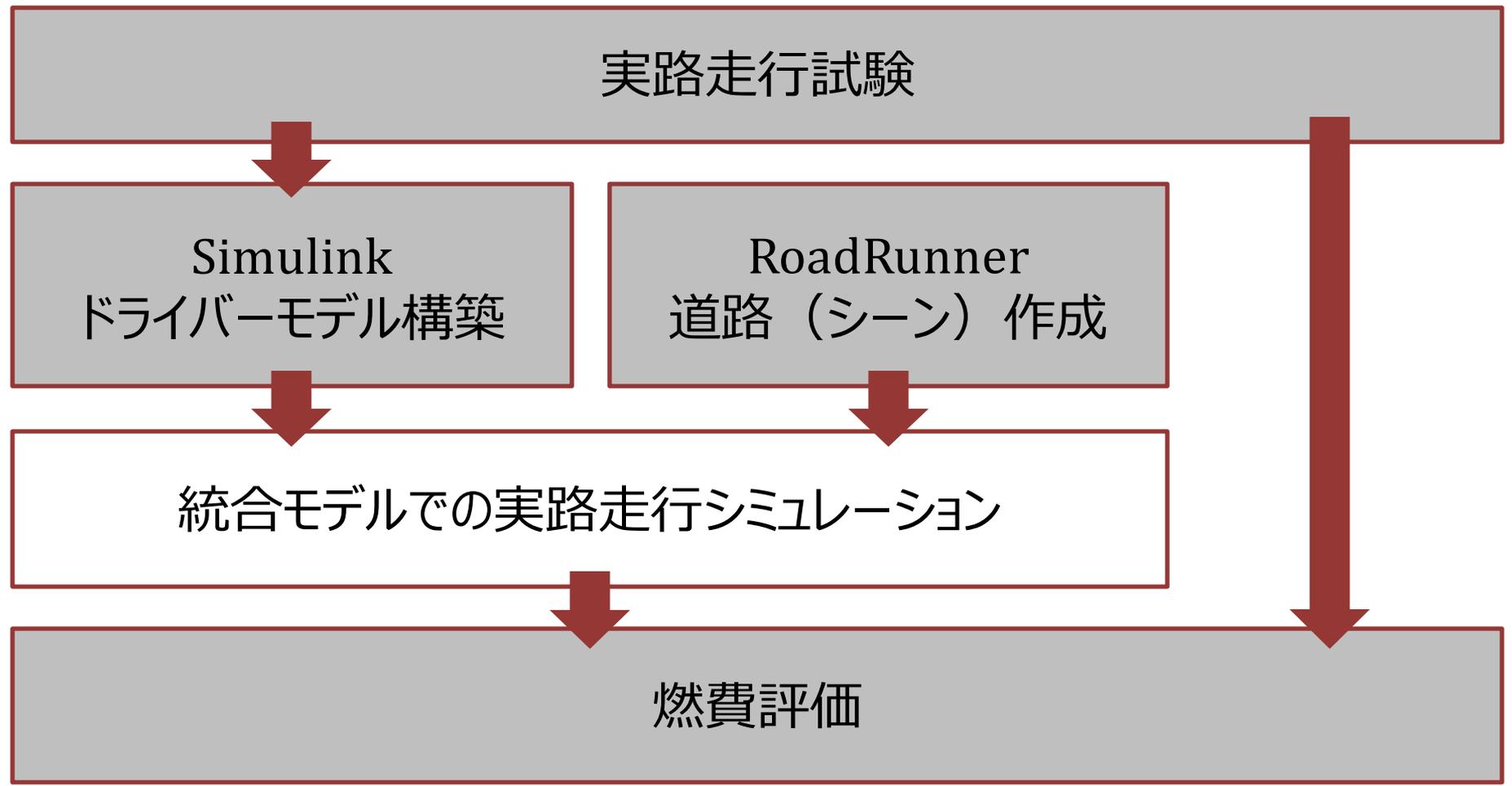
信号モデルへの入力

色ごとの点灯時間とRoadRunner上での座標をSimulink内の各信号モデルに入力





- ドライバーロボットモデルを構築し, RoadRunnerで実路を模擬した仮想道路を走行した際と, 実走行時の燃費の比較検討を行う



シミュレーションの様子

The image displays a simulation interface with two main panels. The left panel shows a control and monitoring interface, and the right panel shows a 3D perspective view of a white car on a road.

Control and Monitoring Interface (Left Panel):

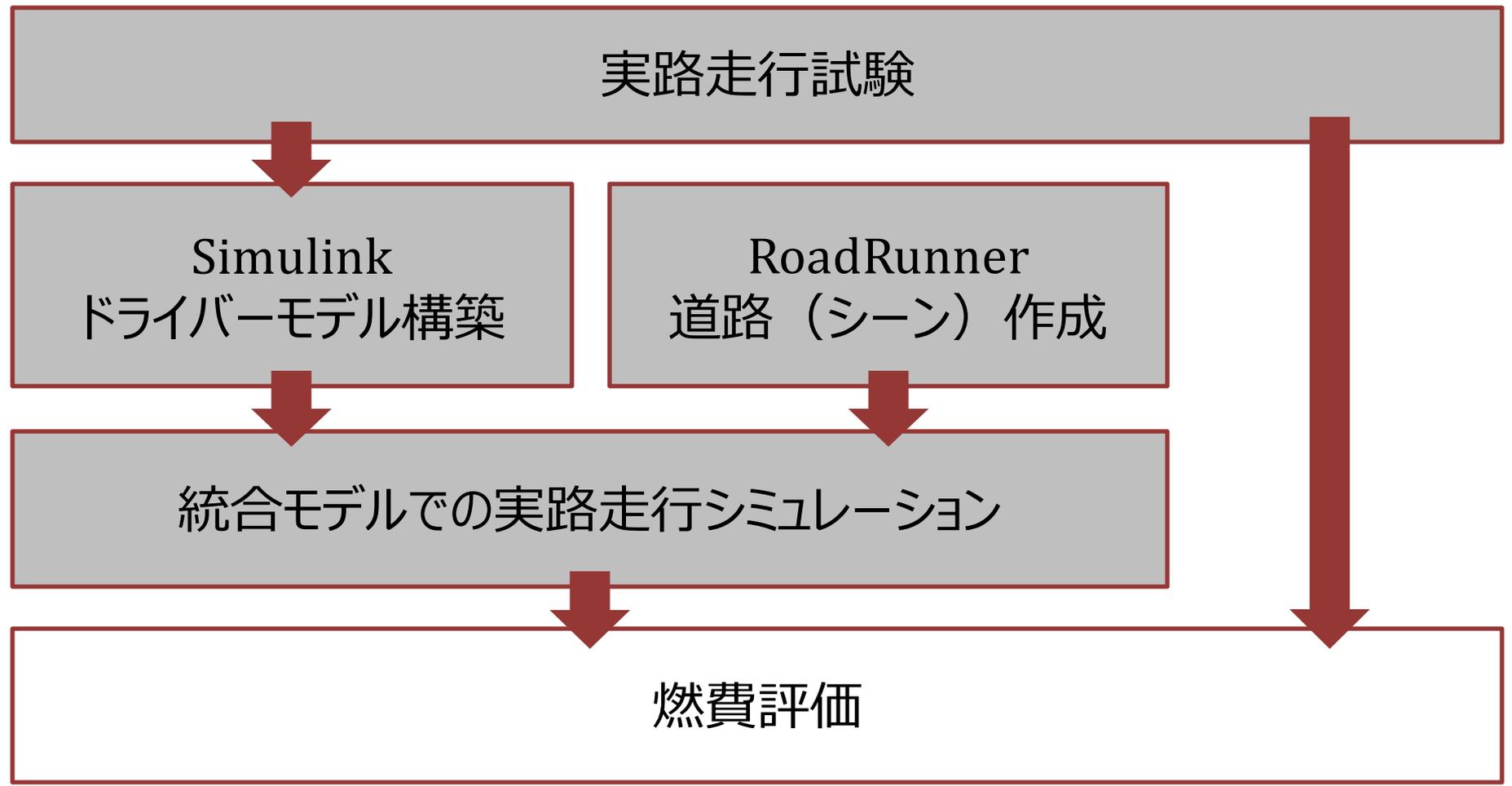
- A blue sphere icon is connected to a traffic light icon (green, yellow, red) via a speech bubble.
- Input fields and labels:
 - Speed (車速): 13.9
 - Acceleration (加減速): 0.009864
 - Distance (距離): 22.14
 - Order (何番目の信号か): 8
- Output fields and labels:
 - Target Speed (目標車速): 50
 - Distance to Brake Point (brakepointとの距離差): -82.75

3D View (Right Panel):

- A white car is shown from a rear perspective, driving on a road with yellow double lines.
- The background shows a cityscape with buildings and a clear sky.
- UI elements include a grid icon in the top left, navigation icons (zoom in, zoom out, home, etc.) in the top right, and a row of five colored cube icons at the bottom.



- ドライバーロボットモデルを構築し, RoadRunnerで実路を模擬した仮想道路を走行した際と, 実走行時の燃費の比較検討を行う



燃費評価方法

▶ ハイブリッド車の燃費算出方法

試験前後のバッテリー蓄電量に差 → 燃料消費量のみでは評価できない

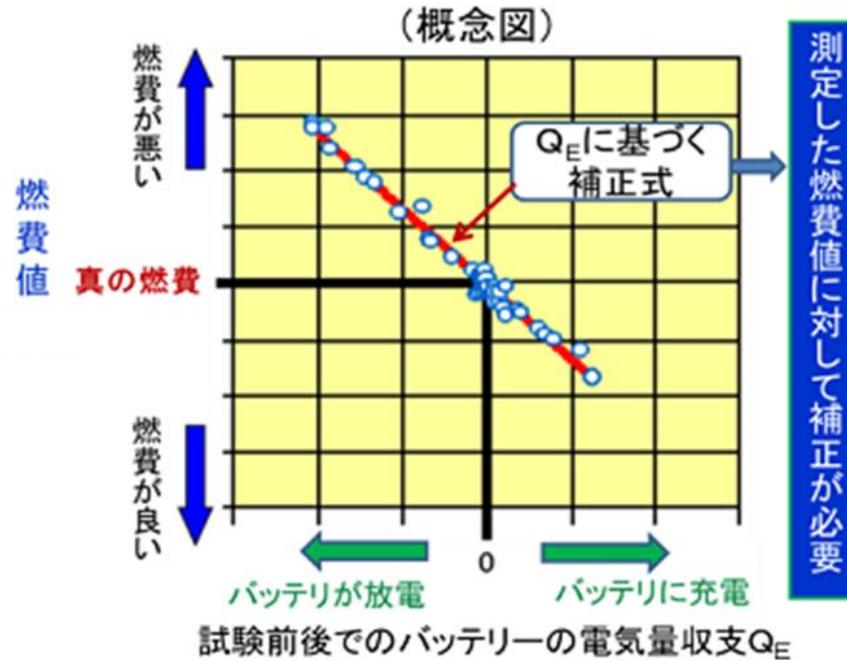


図3 ハイブリッド車の燃費評価方法^[4]

電気量収支に対する補正

[4] 公益財団法人 日本自動車輸送技術協会,
一般的なハイブリッド車におけるモード燃費および排出ガスの測定方法

試験前後の電気量収支が0となるときがハイブリッド車の真の燃費

実験結果 ~ 燃費比較 ~

実路走行試験とシミュレーションの燃費比較

表3 SOC補正後の燃費

Driver / RoadRunner	燃費 km/L
Driver A	27.65
Driver B	27.67
Average{Driver A-B}	27.66
RoadRunner	31.45

誤差13.70%で
実路走行時の燃費を再現した

誤差要因

他車両を考慮していないため
車速パターンが異なっている

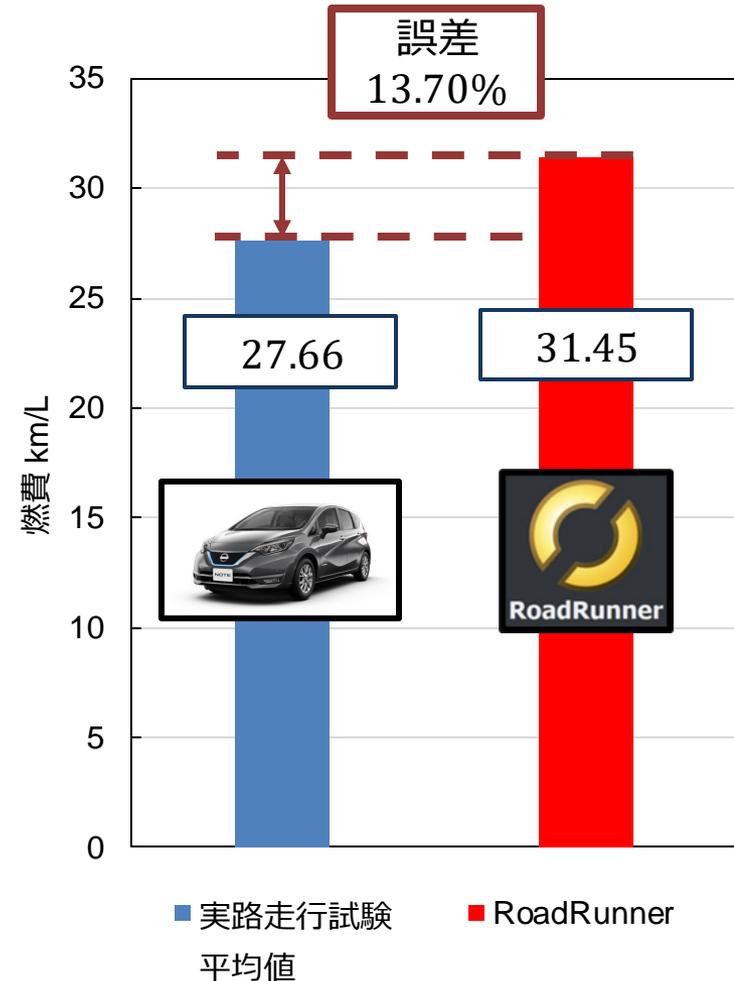


図4 SOC補正後の燃費



Contents

- 対象とした講義の概要
- シミュレーションコードの構築と検証
- 今年度の振り返り
- 次年度への取り組み事項



今年度の振り返り

- 全体として概ねうまく進んだ
- マニュアルをよく読まず進める学生が散見された
⇒初めに全体の概要を説明し, 作業を開始
- ソフトウェアのインストール場所を変更している学生がいた
⇒インストール, パスについては, 次回のマニュアルに追記
- 大学近郊の道路を対象としたため, 学生の興味を引くことが出来た
- 第2回目は初期SOCを変更, 信号機を追加して実施する
- 講義終了後にはアンケートを実施し, 次年度に活かす
- 計算コードの詳細については機械学会年次大会で発表予定
- 計算時間に当初2~3時間を要していたが, MathWorks様の技術サポートによりRoadRunner側のみタイムステップを粗くすることで20分程度まで短縮することを可能とした



Contents

- 対象とした講義の概要
- シミュレーションコードの構築と検証
- 今年度の振り返り
- 次年度への取り組み事項



次年度への取り組み事項

- マニュアルの改定
(いくつか学生が陥りやすいミスがある)
- 自走行車線における他の車のシナリオの導入
- 対向車線における他の車のシナリオの導入
- 他走行ルートでの検証
- ドライバーの特徴を表現するドライバーモデルの構築
- 経路先の情報や外部情報からパワートレインエネルギー
マネージメント制御値の変更するような課題の検討



Appendix



車速の比較

