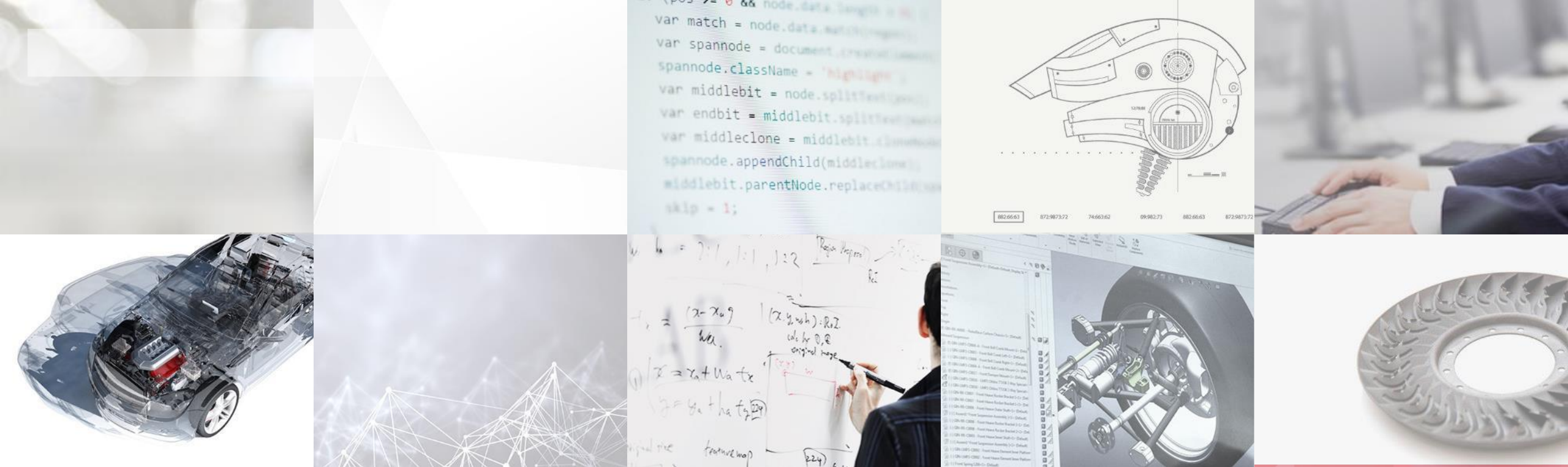




自動運転シミュレータの開発

2022/9/22



Copyright 2022 by SOLIZE Corporation All Rights Reserved.

MBSE事業部
安野 芳樹

SOLIZE株式会社

SOLIZE株式会社 概要

- 5つのサービスをご提供するエンジニアリング会社
- MBDエンジニアリングサービスは、自動車業界のお客さまを中心に2012年より開始

設立 1990年7月

代表者 宮藤 康聡

従業員数 1,814名（2021年12月時点）

本社 〒102-0075
東京都千代田区三番町6-3 三番町UFビル3F

事業所



- Global Engineering Center-Yamato
- SOLIZE御茶ノ水オフィス
- 関東branch
- 東日本branch・栃木営業所
- 中部branch
- 西日本branch・大阪営業所
- 横浜工場
- 豊田営業所・豊田工場



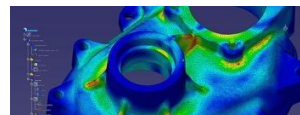
1 MBDエンジニアリングサービス

最先端のモデルベース開発を駆使し、お客様の新たな制御開発を実現



2 3D CADエンジニアリングサービス

1,000名超のエンジニアが製品設計を総合的にサポート



3 CAEエンジニアリングサービス

多面的な解析から効率的な最適設計を導く



4 3Dプリンティングエンジニアリングサービス

日本初 & 最大級のサービスビューロー／3Dプリンター販売



5 変革エンジニアリングサービス

暗黙知を形式知化・組織知化し、デジタル変革・ナレッジ活用を推進

自己紹介（1）

SOLIZE株式会社 MBSE事業部
安野 芳樹

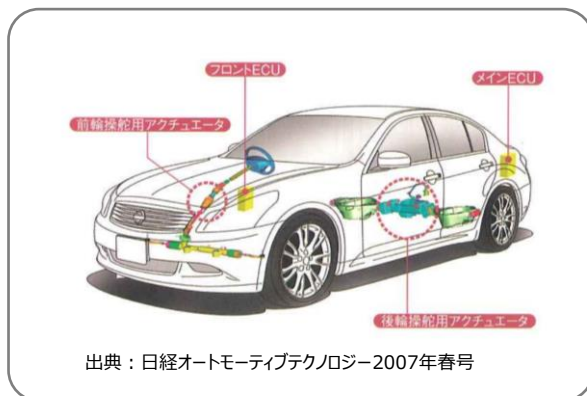


- ✓ 自動車メーカー・サプライヤにて、ブレーキやステアリングを初めとするクルマの運動制御システムの開発を長年にわたり担当.
- ✓ 2019年 SOLIZE Engineering（現SOLIZE）株式会社 入社

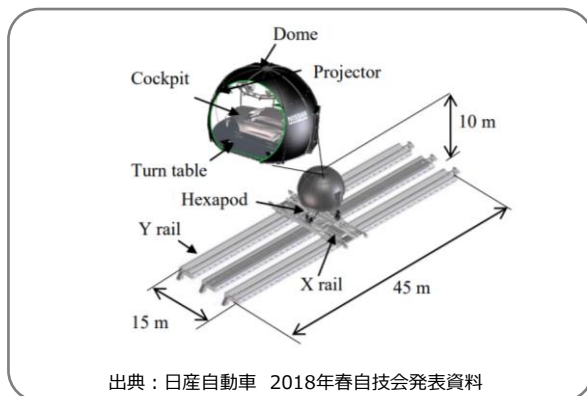
自己紹介（2）

■ 代表的な職歴 3 例

✓ 2002～06年 4輪アクティブステア開発 2006年世界初採用



✓ 2012-14年大型DS開発 運動性能評価用で世界最大・最速

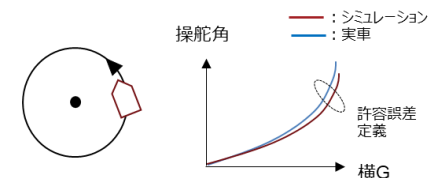


✓ 2012-14年 ESC法規シミュレーション精度 ISO規格制定

- 自技会操安性分科会より推薦頂き、モデル精度を規定するWGに、日本代表エキスパートとして参加

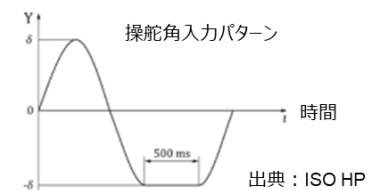
ISO 19364

- 車両モデル要件と精度を、定常円旋回を例にとり規定



ISO 19365

- SWD試験における（車両 + ESC）要求精度を規定



車両ダイナミクスに関するシミュレーション

■ 当社の現状認識

✓ プラント・制御システム用モデリングツールや、多くの機能を備えた車両モデルが普及している

- MATLAB/Simulink



<https://jp.mathworks.com/products/simulink.html>

MathWorks HP

- CarSim



<https://vmc.jp/product/vehiclesim/carsim/>

バーチャルメカニクス HP

- VI-CarRealTime



<http://www.vi-grade.co.jp/solution/vehicle-simulation/>

日本ヴァイグレイド HP

- CarMaker



<https://jpg-automotive.com/jp/products-solutions/software/>

IPG Automotive HP

✓ 車両ダイナミクスのシミュレーションは、多くのお客さまにとっては依然として『敷居が高い』のが実状

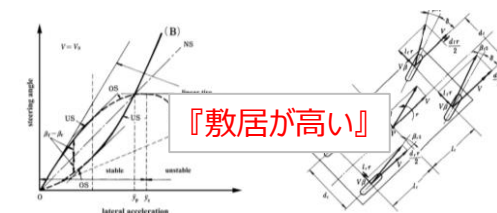
- お客さまの代表的な声

“モデルが無い”,

“適切な粒度のモデルが無い”

“パラメータを揃えられない”,

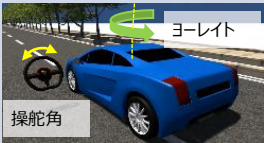
“車両全体の知見が無い”



出典 Vehicle Handling Dynamics Theory and approach

強みを活かして、課題解決に貢献

- 当社には、自動車メーカーやサプライヤで車両ダイナミクス開発を経験したエンジニアが在籍
- 当社エンジニアの強み（下表）を活かせば、お客さまの課題解決に貢献できると考えた

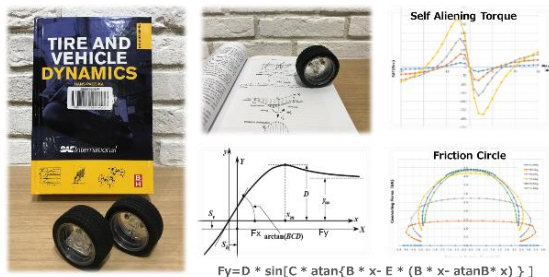
領域	強み	
メカ	ドライバの運転操作に対し、実際の車両がどう振る舞うか分かっている  操舵角 ヨーレイト	・ “走る・曲がる・止まる”に関し、どんな評価試験を行うか？ 及び性能相場を知っている
		・ 自らハンドルを握って試験を行った経験を多く有し、“良い性能とは何か”を理解している
制御	代表的電子制御システムが車両ダイナミクスにどのように関わるか分かっている  https://xtech.nikkei.com/dm/article/HONSHI/20090129/164812/	・ 主要部品、基本制御則、制御システムとメカ（車両）の機能分担を理解している
		・ 実際の制約（センサ・アクチュエータ・ECU能力、失陥時安全性等）を理解している

SOLIZE 車両ダイナミクスモデル

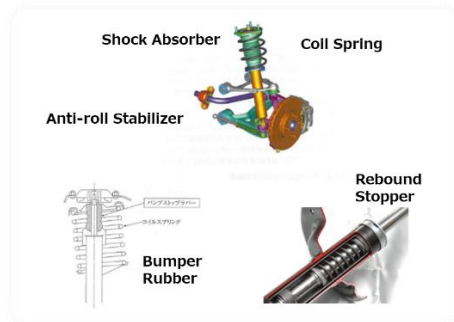
- エンジニアリングサービス展開のベースとなるモデル
- 長年の車両ダイナミクス開発に基づく経験を、一つに集約



タイヤ

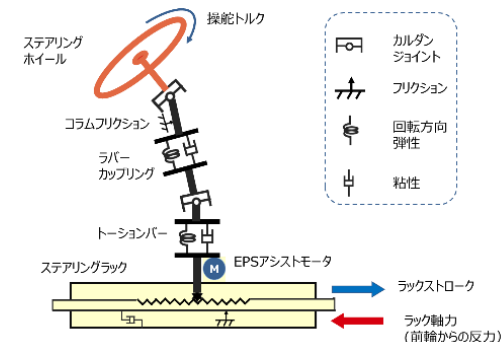


サスペンション

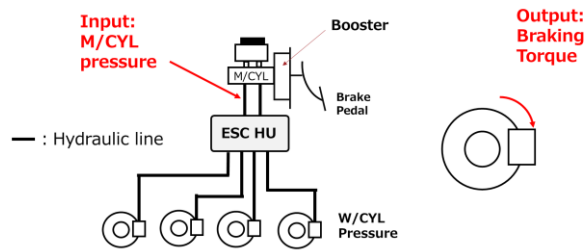


(出典：自動車技術ハンドブック)

ステアリング



ブレーキ



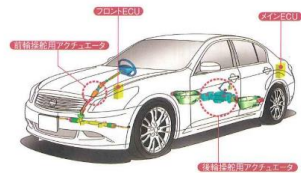
車体&シャシ



制御システム



<https://xtech.nikkei.com/dm/article/HONSHI/20090129/164812/>



(出典：日経オートモーティブテクノロジー 2007年春号)

著名な文献の情報に基づきモデリング

■ 文献記載情報（理論、数式、構造等）に基づき、モデリングを実施

- ✓ 点在する多くの情報を理解してモデル化するには、**経験に裏打ちされた知識・技術力が必要**
- ✓ 当社の車両ダイナミクスモデル開発における、代表的な参考文献を以下に紹介

- 自動車の運動と制御



<https://www.tdupress.jp/book/b349553.html>

- 自動車技術ハンドブック



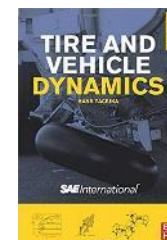
https://www.jsae.or.jp/jsae70th/project/project_1.html

- ボッシュ自動車ハンドブック 日本語第4版
(ブレーキ制御システム全般)



<https://bookplus.nikkei.com/atcl/catalog/19/275150/>

- TIRE & VEHICLE DYNAMICS
(タイヤモデリング)



<https://www.amazon.co.jp/Tire-Vehicle-Dynamics-Third-Pacejka/dp/1483299708>

車両ダイナミクス エンジニアリングサービス 事例ご紹介

- お客さま：国内大手サプライヤ様
- ご要望：ホワイトボックスで中身が分かり、**自社で技術を手の内化した車両ダイナミクスモデル**を持ちたい



✓ ご提案

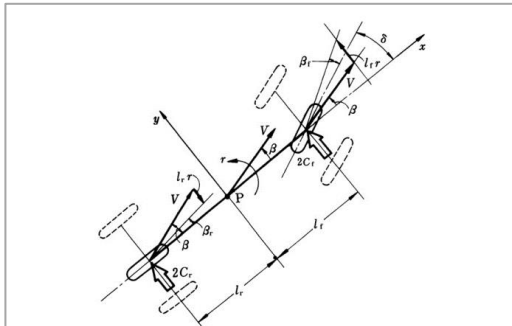
- お客さま自身にモデルを開発頂き、当社はコンサルティングを行う
- シンプルなモデルから開始し、徐々に機能拡大.道筋は当社提示

エンジニアリングサービス 事例ご紹介（続き）

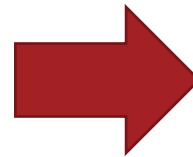
■ お客さまより、高い評価を頂いた

- ✓ 当社より起点サンプルモデルをご提供, 以後お客さま自身がモデル開発
- ✓ 開発に必要なモデリング理論や手法を技術解説書や仕様書でご提示
- ✓ お客さま作成モデルやシミュレーション結果へのアドバイスを週次で実施

(出典：自動車の運動と制御 第2版 P.57)



起点として、最も簡素な
モデルを当社よりご提供



お客さま自身が機能拡大

- ・タイヤ非線形特性
- ・制御システム
-



複雑なシミュレーションや性能
評価が行えるモデルへ発展

車両ダイナミクスモデルのシミュレーション事例

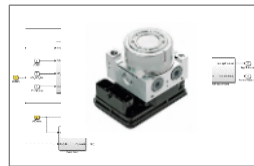
■ 市販車両モデルと当社制御システムの連成モデルを開発

- ✓ 車両～ESC間のインタフェースを両社で仕様決定し、モデル設計
- ✓ DS上でニュルブルクリンクサーキットを実際に運転し、ESC効果を確認

車両モデル
(VI-CarRealTime)



当社ESCモデル
(ECU+HU)



+



日本ヴァイグレイド様のComact Simulatorで評価

ESC Performance Test on Nürburgring Nordschleife



同一区間のESC ON/OFFを比較 (車速80~140km/h)

自動運転シミュレーション技術のご紹介

技術開発の動機

■ 自動運転の本質は、以下3点（ヒューマンドライバと同じ）

- ① 外界の状況を正確に認識
- ② 認識結果に基づき、目標経路・車速を決定
- ③ 各目標を実現する運転操作量決定

■ ②や③は、当社の車両ダイナミクスや電動パワートレインの技術が活かせる領域 → 制御アルゴリズムやシミュレーション技術を確立して新たなサービスを提供する



培った技術を
拡大・発展



技術開発内容

- “目標経路・車速の決定”、“運転操作量の決定” の制御アルゴリズム開発に注力
- シミュレータ開発は、実績ある技術を活用

主な開発項目		開発内容
制御 アルゴリズム	外界状況を正確に認識	・ 現時点は開発対象外（理想センシングを前提）
	目標経路・車速の決定	・ （詳細は次頁）
	運転操作量の決定	
自動運転 シミュレータ	車両モデルと制御アルゴリズムを 組み合わせたリアルタイム演算	・ VI-grade社の製品群でシミュレータを構成 ・ アルゴリズムを短期間で開発するため、ドライビング シミュレータ分野で実績ある同社技術を活用
	自動運転用仮想空間と シナリオ生成、描画	

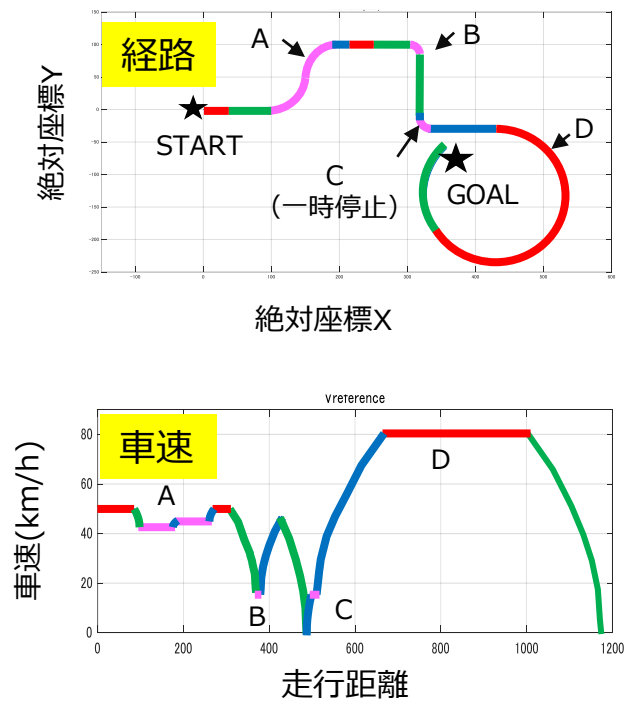
注力

自動運転シミュレーション・技術開発項目

自社開発・自動運転制御アルゴリズム概要

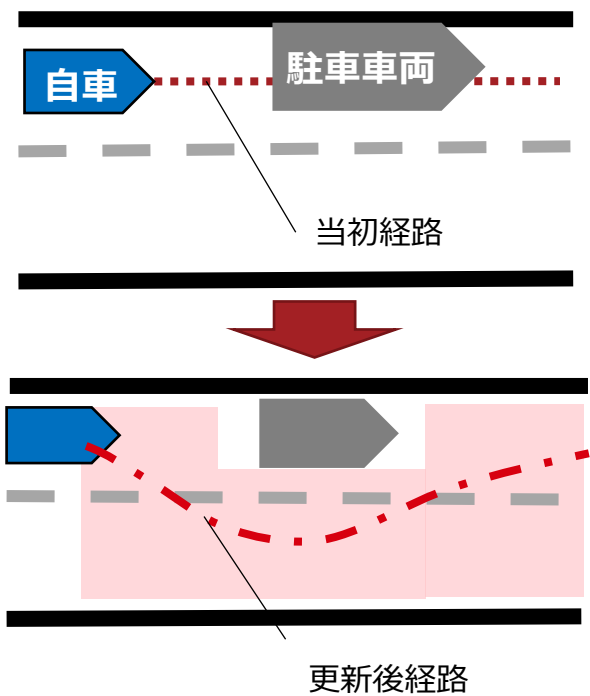
目標経路・車速の決定

- ✓ 法定速度・信号遵守
- ✓ 滑らかな加減速・小さな横加速度



目標のリアルタイム更新

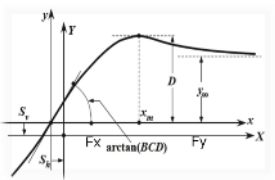
- ✓ 走行可能空間 () 特定
- ✓ 安全性と快適性を両立させる
目標経路の更新・決定



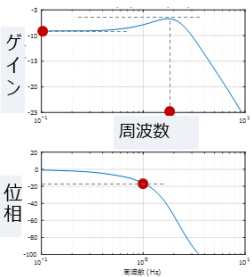
運転操作量の決定

- ✓ 目標経路・車速を高精度で実現
- ✓ 下記を予め考慮し各操作量決定

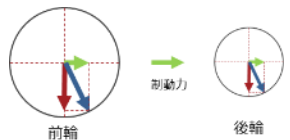
①タイヤ非線形特性



②応答遅れ(過渡特性)



③制駆動時荷重移動

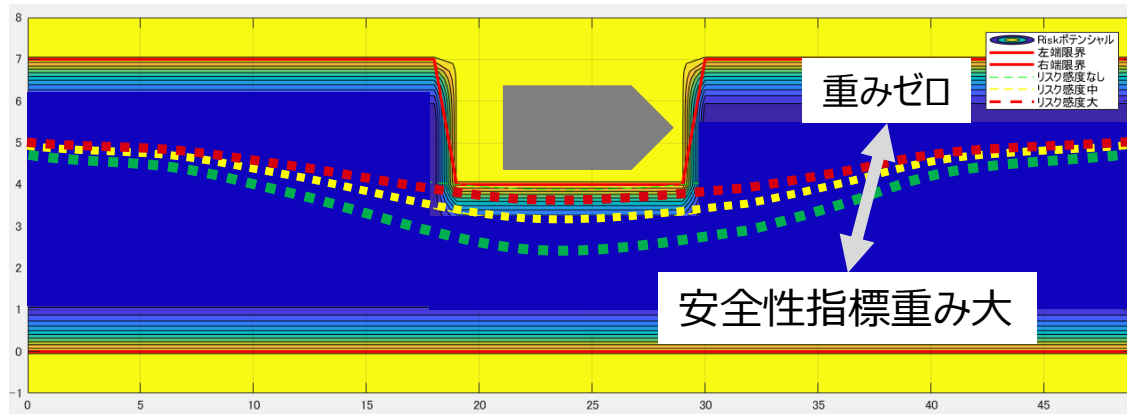


操舵角→ヨーレイト応答

目標経路の更新アルゴリズム（1）

■ 経路の“品質”を、3つの指標で規定

- ✓ 小さな曲率 → 少ないハンドル操作・小さな横加速度
 - ✓ 小さな曲率変化率 → ゆっくりした --//-- ・滑らかな --//--
 - ✓ 事故リスク → 障害物との距離に応じてリスクを定義
- 快適性
- 安全性



経路更新例

目標経路の更新アルゴリズム（2）

■ 3つの指標が最小化される経路を、最適化手法で導出

$$J(\vec{w}) = q_k J_k + q_{\dot{k}} J_{\dot{k}} + q_r J_{risk} \quad \text{を最小化する}$$

$$\vec{w} = [w_1, w_2 \dots w_n] \quad \text{を見出す}$$

J : 最適化目的関数

w_i : i 番目の点の法線方向の変位量
(更新前目標経路からの変化量)

$J_k = \sum k_i^2 \Delta S$: 曲率二乗×距離

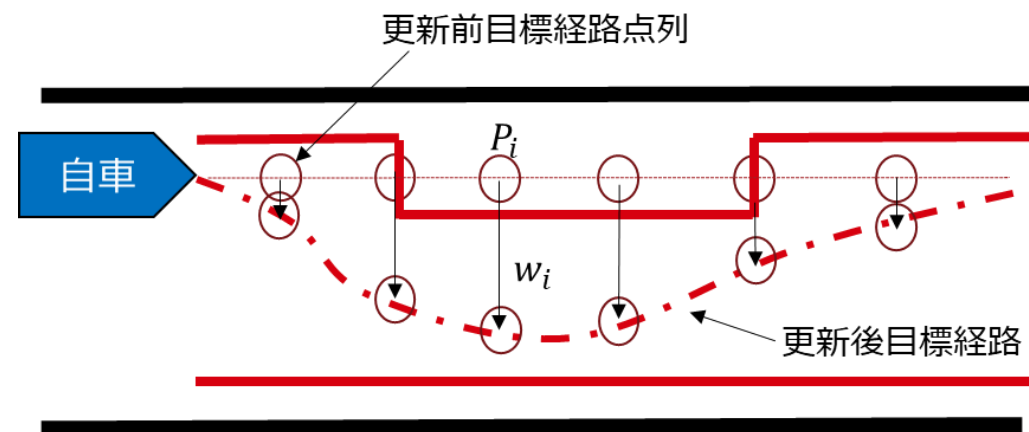
$J_{\dot{k}} = \sum \dot{k}_i^2 \Delta S$: 曲率変化率二乗×距離

$J_{risk} = \sum Risk_i$: リスク総和

$q_k, q_{\dot{k}}, q_r$: 各要素重み

最適化問題定義

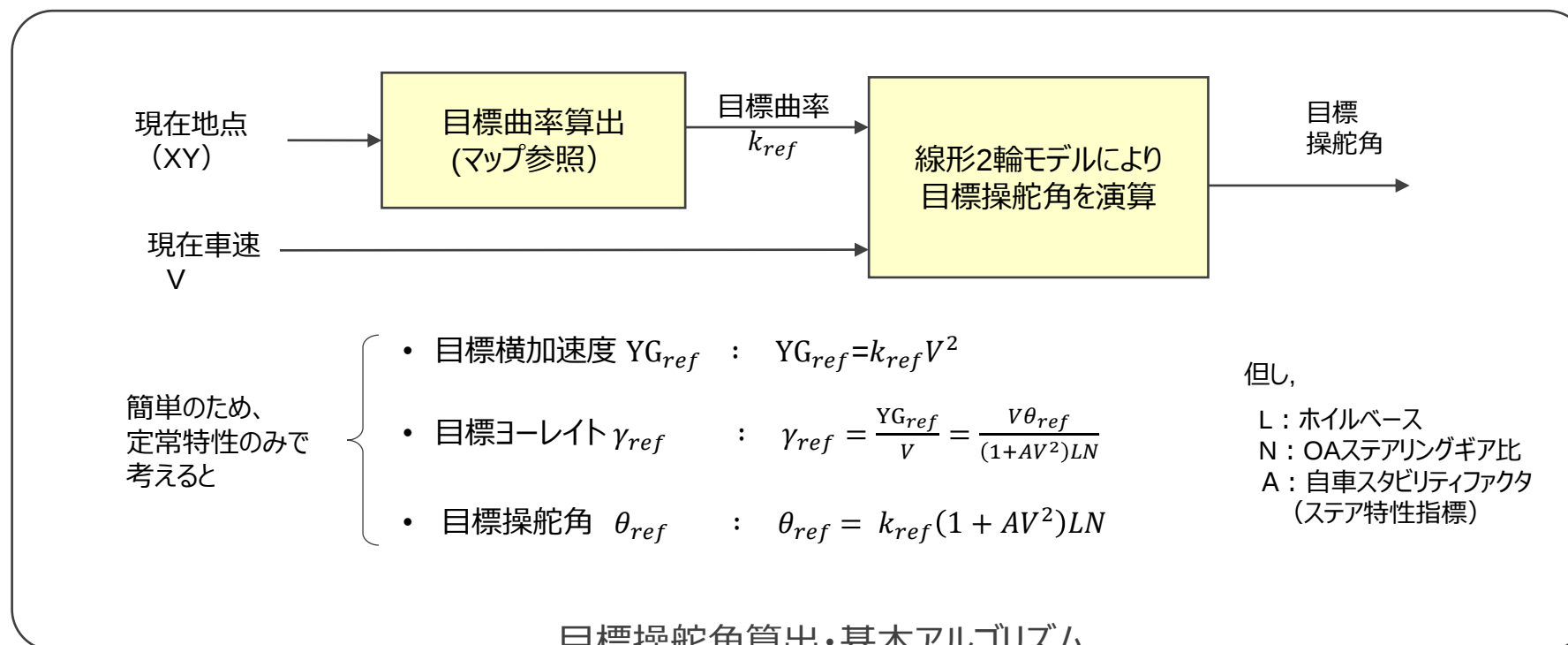
✓ 演算収束性を優先し、
最適化アルゴリズムはニュートン法を適用



運転操作量の決定（ステアリングの例）

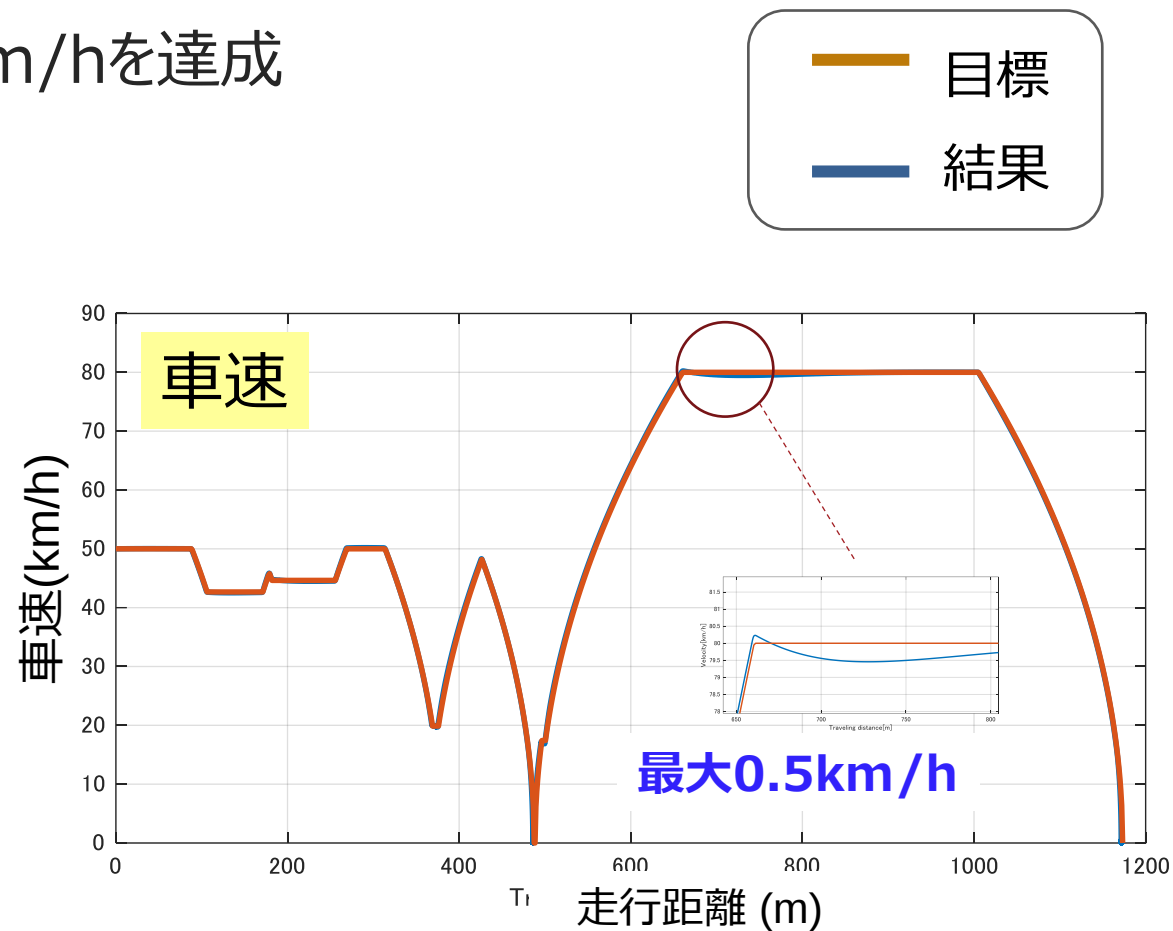
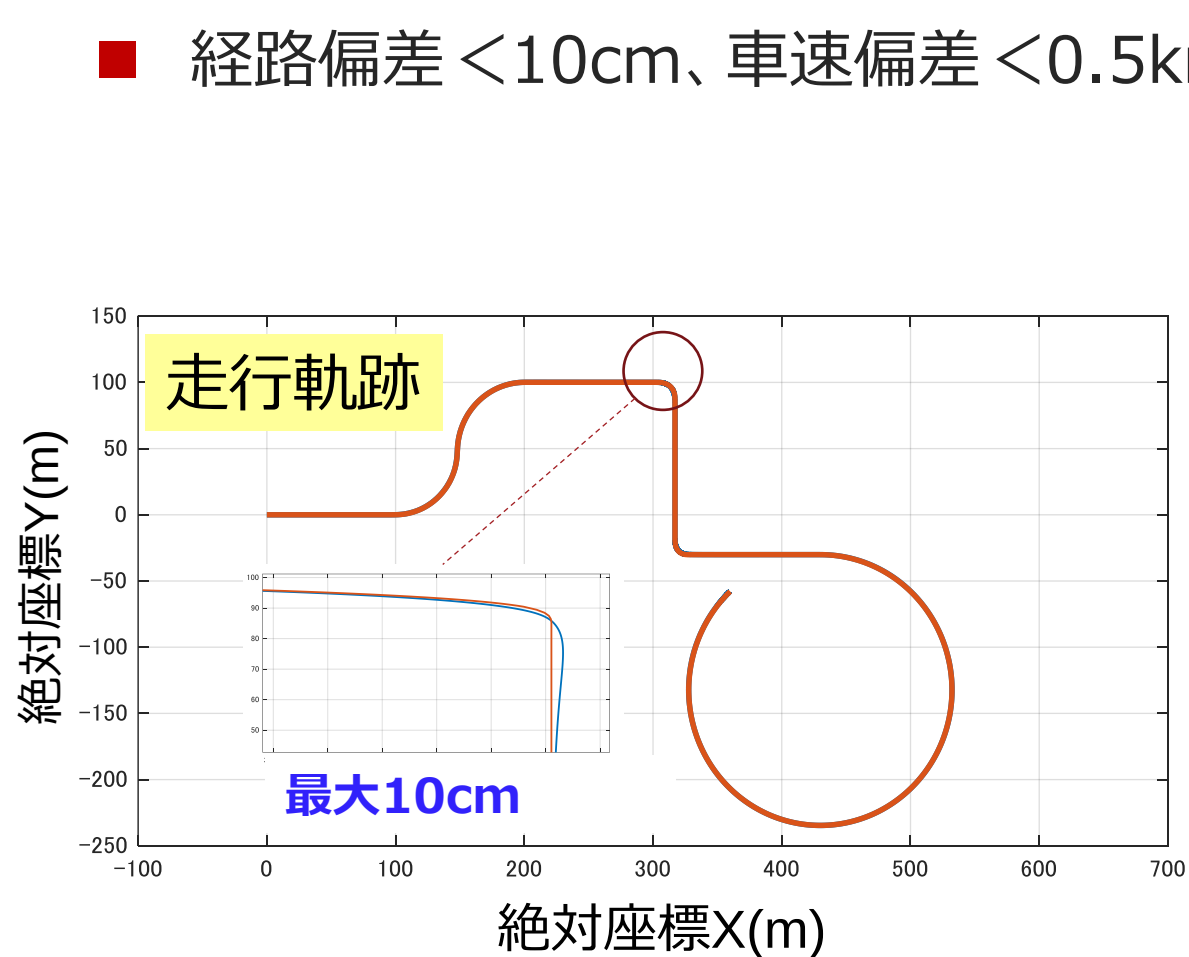
■ Feed Forward（F/F）、Feed Back（F/B）両制御の組合わせで構成

- ✓ 現在地点の目標曲率を算出、それを実現する操舵角を線形2輪モデルで算出(下図、F/F制御)
- ✓ センシングへの過度な要求を避けるため、過渡特性や非線形性も極力F/Fで補償するよう設計
- ✓ 最終操作量にはF/Bも加味されるが、殆どは F/F 制御で操作量を決定



目標経路・車速を忠実に実現

- 経路偏差 < 10cm、車速偏差 < 0.5km/hを達成



サンプルコース (全長1.2km)・シミュレーション例

自動運転シミュレータ（1）

赤字部は開発中

■ 特長

- ✓ 自動運転制御・車両ダイナミクス・シナリオ生成でクローズドループを構成
- ✓ 視界表示と運転用インタフェースを有し、手動運転との性能比較が可能
- ✓ 手動切替え（オーバーライド）を含む、さまざまなシナリオで検証が可能



シミュレータ外観



自動運転シミュレータ構成

自動運転シミュレータ（2）

- VI-grade社の4つの製品群でシミュレータを構成
- アルゴリズムを短期間で開発するため、ドライビングシミュレータ分野で実績ある同社技術を活用

✓ ワークステーション : AutoHawk
✓ DS用プラットフォーム : VI-DriveSim

✓ シナリオ生成 : VI-WorldSim
✓ 車両モデル : VI-CarRealTime



自動運転シミュレータ（3）

■ エンジニアリングサービスへの適用可能性

- ✓ 自動運転の技術のすそ野は広く、開発に携わる多くの方々は、**自社部品やシステムを改善することによる、車両レベルでの自動運転の性能向上**に大きな関心を持っている
- ✓ しかしながら、自動運転制御アルゴリズムは自動車メーカーや一部メガサプライヤしか手掛けておらず、扱いやすい状態で誰もが入手できるわけではなかった



自動運転シミュレータ（４）

■ エンジニアリングサービスへの適用可能性（具体例）

✓ 自動運転用センサのサプライヤ様モデルをシミュレータに組み込み、クローズドループ評価を行う

- ・ サプライヤ様は、自社部品が自動運転性能に及ぼす影響をさまざまなシナリオで評価できる
- ・ 車両レベルの結果により目標や仕様を決められるので、合理的で納得性高い判断が行える



お客さまモデルを組み込み

自動運転シミュレータ デモ事例

■ アメリカ ミシガン州のMcityをシミュレータ上で自動運転

✓ Mcityは、ミシガン大学の所有する自動運転実験施設

✓ デモンストレーションブースで実際にご覧頂けます



<https://www.autofutures.tv/2020/03/09/rfpro-mcity/>

<https://www.verizon.com/about/news/verizon-teams-u-michigan-open-m-city-test-bed-autonomous-vehicles>



VI-grade製品群を使用しての所感

■ 良かった点

- ✓ 車両モデル含め全てMATLAB/Simulinkの環境から、スムーズにシミュレータを構築できた
- ✓ 上記構築や不具合解析等全般に渡り、日本ヴィアイグレイド様より手厚いサポートを頂けた
- ✓ VI-WorldSimは、AD・ADASのデモに相応しい素材が豊富に揃っている

■ 改善頂きたい点

- ✓ VI-WorldSimのフレキシビリティ（オブジェクト設定自由度など）
- ✓ VI-WorldSimで、無償で（安価に）使える素材を増やして頂きたい（サーキット等）

- 本でご紹介したシミュレーション事例の動画は、当社HPでもご覧いただけます

車両ダイナミクス <https://www.solize.com/service-solution/mbd/vehicle-dynamics/>

電動パワトレイン <https://www.solize.com/service-solution/mbd/electrification/>

- 自動運転シミュレータについて、本年7月にプレスリリースを行っております

プレスリリース <https://www.solize.com/news/2022/0727/>

ご清聴ありがとうございました



SOLIZE