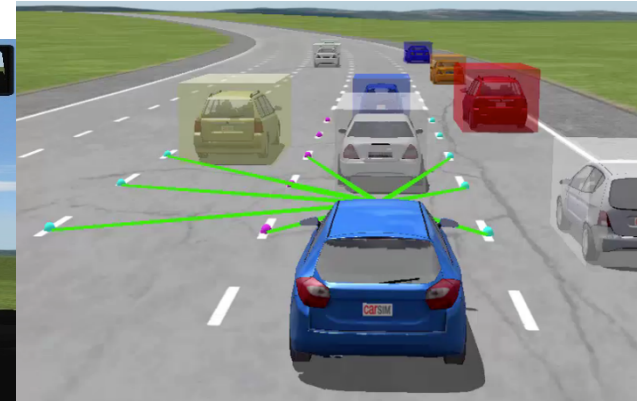
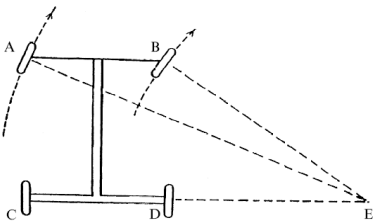
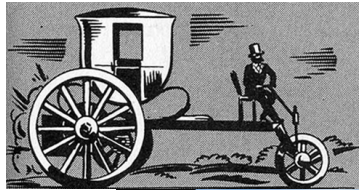


車両運動シミュレーション最前線

carSIM® truckSIM® bikeSIM®

株式会社バーチャルメカニクス
滝田 栄治



会社紹介

バーチャルメカニクスの紹介

- メカニカルシミュレーション(米国)の日本国内正規代理店

創業 1999年

本社:名古屋市中区丸の内



- **carSIM® truckSIM® bikeSIM®**の販売、サポート
- 車両制御開発に関するコンサルティング、開発委託
- 主なユーザー様
 - 自動車、トラック、2輪メーカー
 - 自動車部品メーカー、タイヤメーカー
 - 大学、研究機関等

- ミシガン大学交通研究所 (UMTRI)から独立し、1996年にメカニカルシミュレーション社創立
Founded by Dr. Mike Sayers and Dr. Tom Gillespie
- 車両運動解析ソフト VehicleSim テクノロジーの製品群の開発・販売

carSIM® truckSIM® bikesIM®

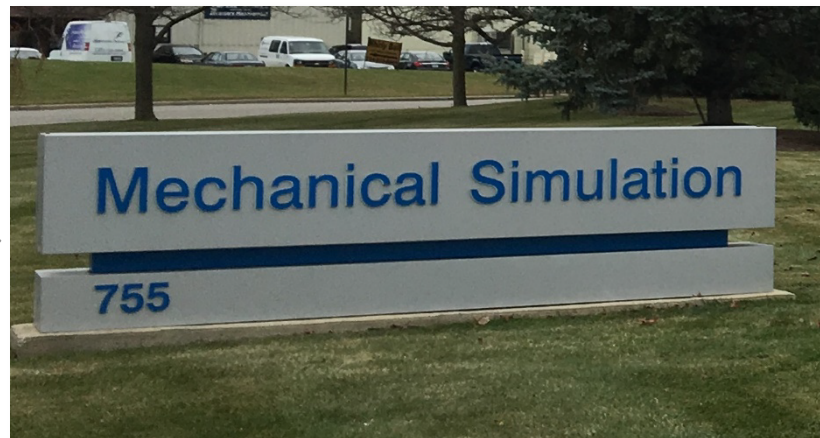


Founders Tom and Mike

UMTRI



New office since 2011



製品紹介

事例紹介 1

ダブルレーンチェンジ



{Handling Testing}
DLC: D-Class Sedan, Sprung Mass from Total

乗り心地解析



{Ride Testing}
Roll Sine Sweep: D-Class, Sedan

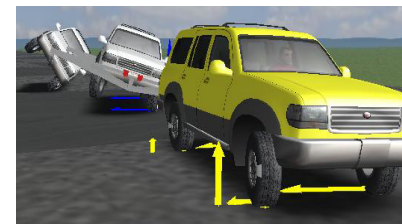
駆動方式切り替え



{Event-Driven Tests}
Events: Shift 2WD to 4WD

{Stability Testing}
Fishhook - Stable: E-Class, SUV

転倒試験



操縦安定性試験



{Steering Testing}
Sine Sweep Steer Test

トレーラーオプション



{Trailers and Payloads}
Trailer: Reversing

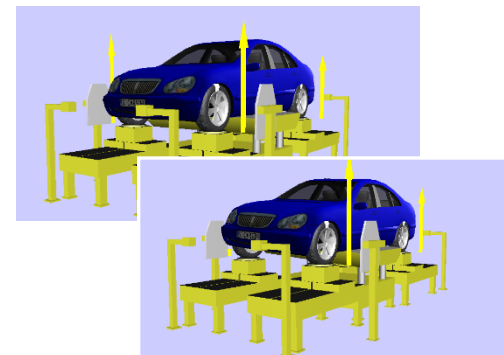
事例紹介2

ABS制御ロジックの検証



{Simulink}
ABS: Split Mu: B-Class, Hatchback

台上テスターでの計測



{K and C Test}
Bounce Test: D-Class, Sedan
Roll Stiffness Test: D-Class, Sedan

トルク配分制御ロジックの検証



{Simulink}
Yaw Control Diff. (Detailed, CS7), DLC w/
Low Mu: B-Class, Sports Car RWD

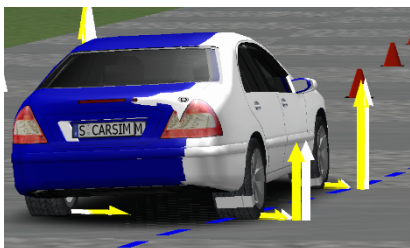
イベント機能



{Event-Driven Tests}
Events: Reverse Spin

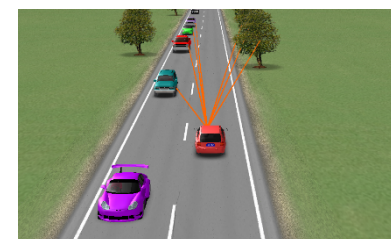
CarSim7.11事例

後輪操舵制御ロジックの検証



{Simulink}
External 4WS, DLC: D-Class, Sedan

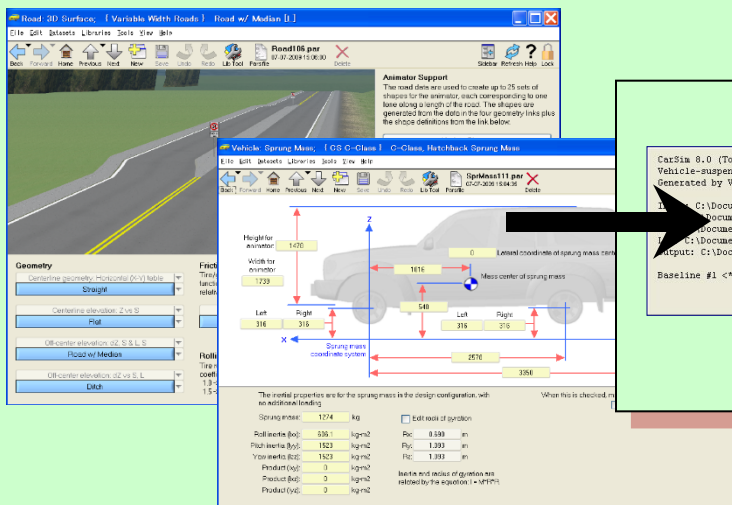
複数車両



{* CS 8.0 Traffic and Sensors}
1 Sensor, 24 Objects

carsIM[®]のソフト構成

グラフィカル・データベース



```
CarSim 8.0 (Torsionally Rigid)
Vehicle-suspension arrangement: 1-1
Generated by VehicleSim Lisp on June 30, 2009

C:\Documents and Settings\All Users\Documents\CarSim80_Data\Runs\Run409_all.par
C:\Documents and Settings\All Users\Documents\CarSim80_Data\Runs\Run409_echo.par
C:\Documents and Settings\All Users\Documents\CarSim80_Data\Runs\Run409_end.par
C:\Documents and Settings\All Users\Documents\CarSim80_Data\Runs\Run409_log.txt
Output: C:\Documents and Settings\All Users\Documents\CarSim80_Data\Runs\Run409.ecd

Baseline #1 <* Quick Start Guide Example>
```

車両計算プログラム



- ◆ 車両、試験条件、結果を設定するデータベースを使用。
- ◆ Simulationするための数学モデルを使用。
- ◆ アニメーションとプロットによる結果表示
- ◆ 他のソフトウェア (Matlab/Simulinkなど) との連動性

モデルのコンセプトと特長

車両モデル

- ◆ 4輪フルビークルで既に完成された車両運動モデル
- ◆ 特性値入力データの採用(トー変化、キャンバ変化、タイヤ特性、ステア機構、エンジン特性、トルコン、ブレーキ)
- ◆ コンプライアンスの採用(サスペンション、操舵系)

路面モデル

- ◆ 三次元路形成(X, Y, Z, Slope)

ドライバ運転モデル

- ◆ MacAdamステアリグドライバモデルを使用
- ◆ 目標速度、目標G設定による速度設定
- ◆ オープンループによる速度、ステアリング制御

Purpose of CarSim (TruckSim, BikeSim)

Capabilities

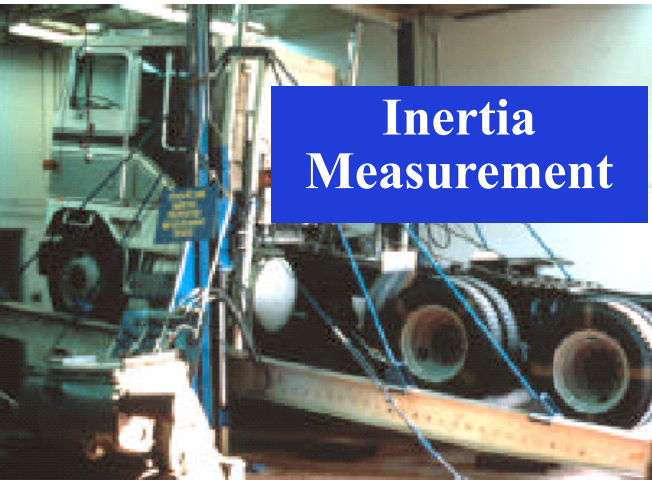
- Predict overall motions of vehicle
 - driver controls
 - electronic interventions
 - interactions with ground and air
- Very accurate for system-level tests
 - Braking, steering, acceleration, stability
 - Tests involving vehicle system
- Very easy to learn and use
- Fast, with support for real-time HIL
- Works well with third-party software

Not Capable

- Component durability
- FEM-type flexible bodies
- High-frequency NVH (> 20 Hz)
- Durability, corrosion, material properties
- Crash
- Body styling
- Human-factors (lighting, radio, windows, navigation, etc.)
- Electronics



車両モデル歴史



Inertia Measurement

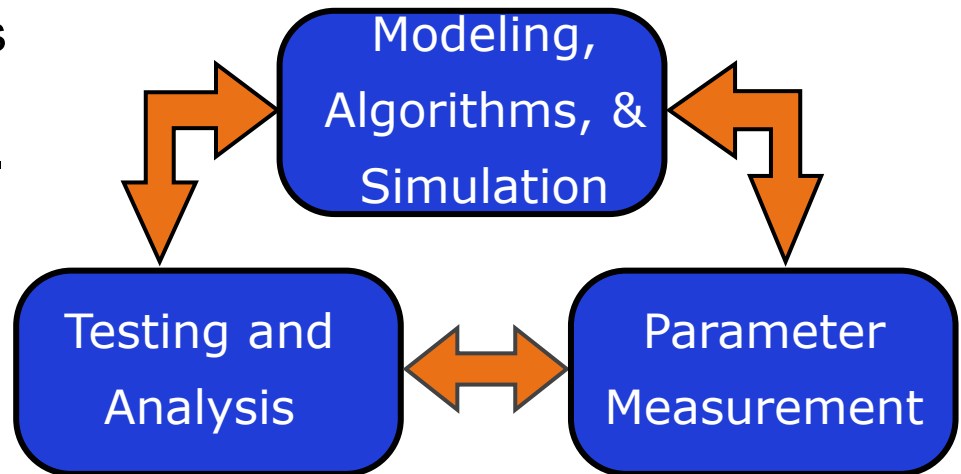


Tire Testing

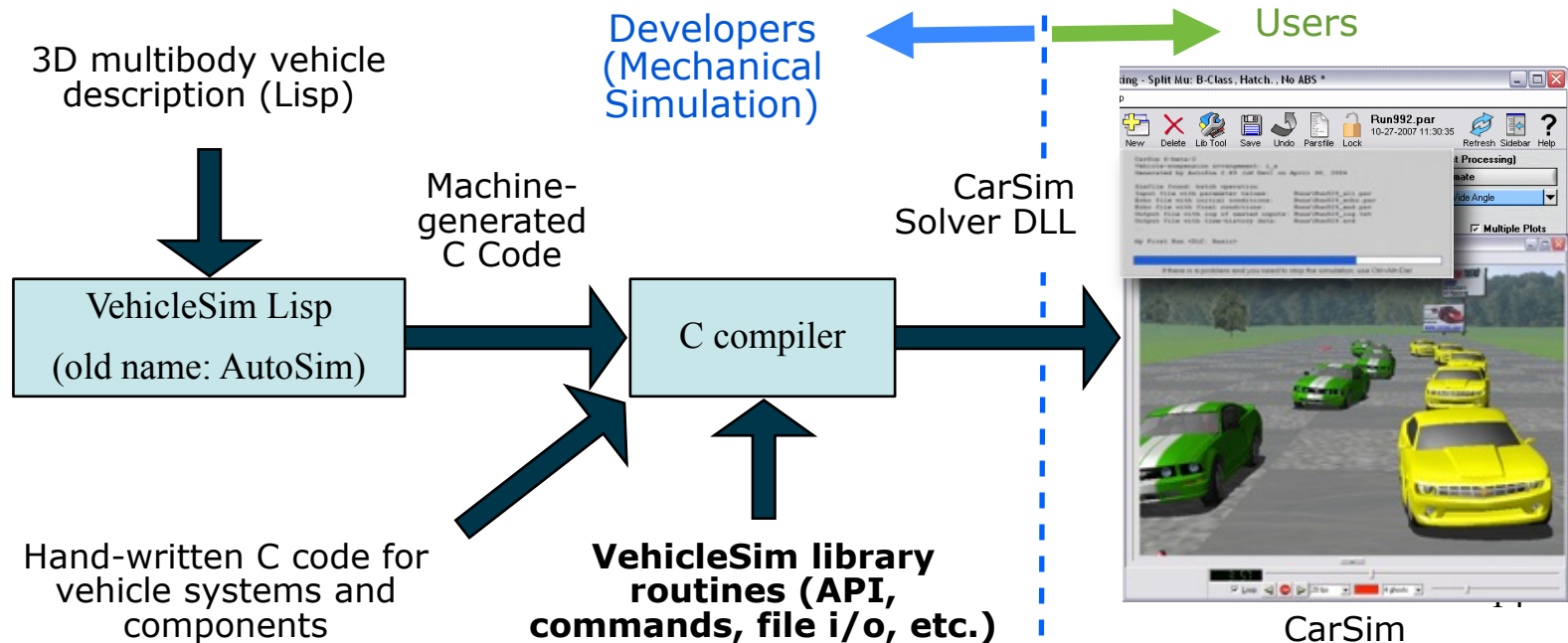


Suspension Measurement

- Run tests to measure behavior
- Math models to predict test results
- Measure parameters for models
- **System-level** models for **system-level** tests
 - Vehicle
 - Subsystems



- ◆ Core model for vehicle dynamics
 - 3D kinematics and dynamics from symbolic multibody program
 - Built-in models for standard systems (brakes, powertrain, tires, steering)
 - Comprehensive 3D road model
 - Closed-loop controls for basic driver actions



シャシー制御のあゆみ

70's

80's

90's

2000's

2010's

- ABS

- アクティブリアステア4WS

- トラクションコントロール

- アクティブサスペンション

- EPS

- ESC

- アクティブフロントステア

- ACC

NCAP

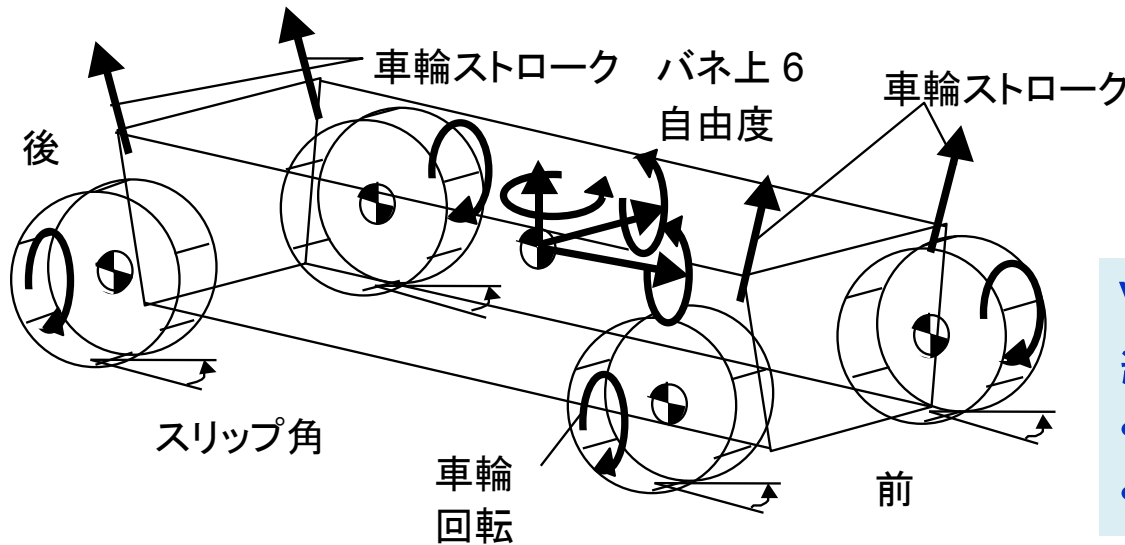
Connected car

Autonomous drive

車両モデルの構成ボディと自由度 (基本コンセプト)

バネ上ボディ	1
バネ下ボディ	4
車輪	4
エンジンクランクシャフト	1
計	10

自由度	
バネ上移動(X,Y,Z)	3
バネ上回転(X,Y,Z)	3
バネ下ストローク	4
車輪回転	4
エンジンクランクシャフト	1
タイヤスリップ(縦、横)	8
ブレーキ油圧系	4
計	27



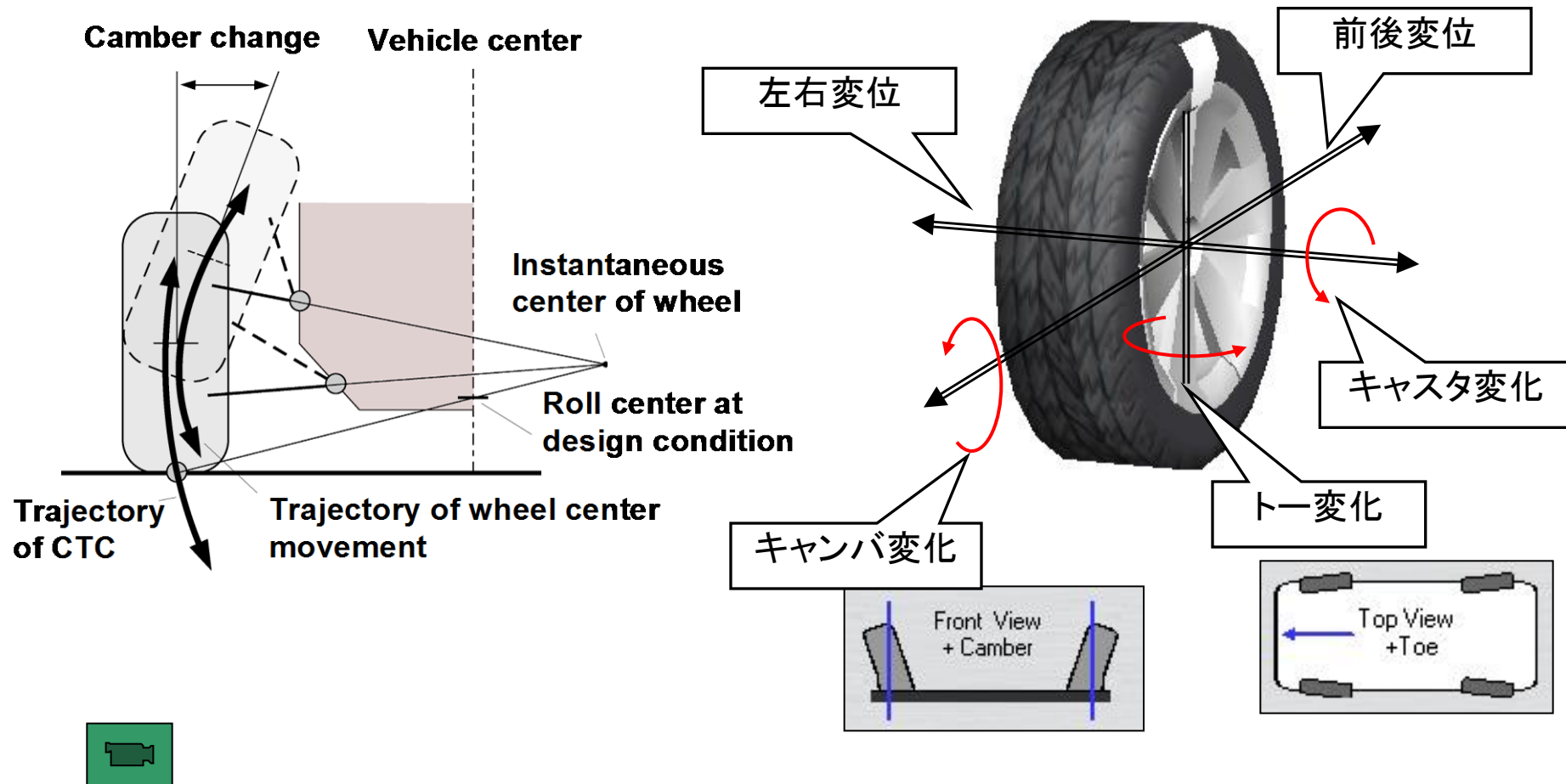
Ver4(1996~)

線形サスペンションを採用

- アンチピッチ、アンチスクワッド
- アンチロール、ジャッキアップ

サスペンション 3Dモーションモデルによる非線形化

Ver6(2004~)

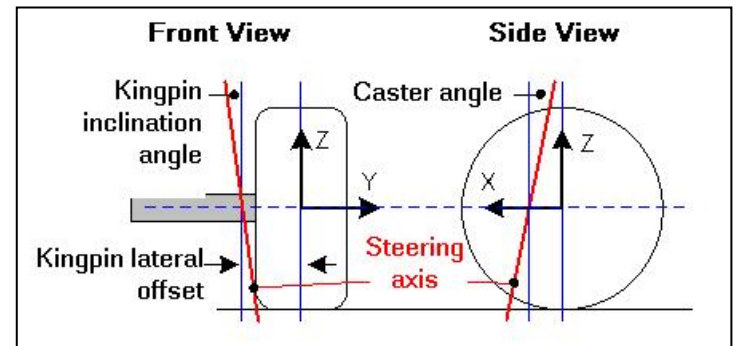
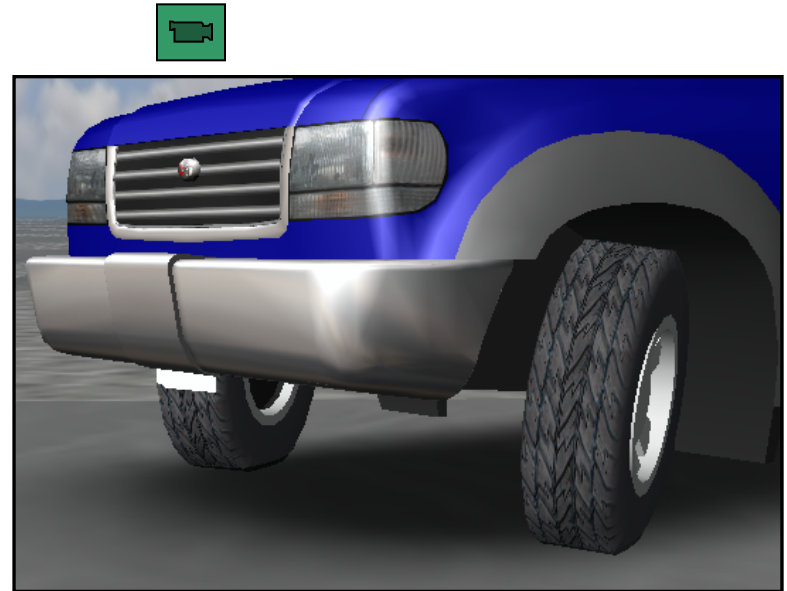
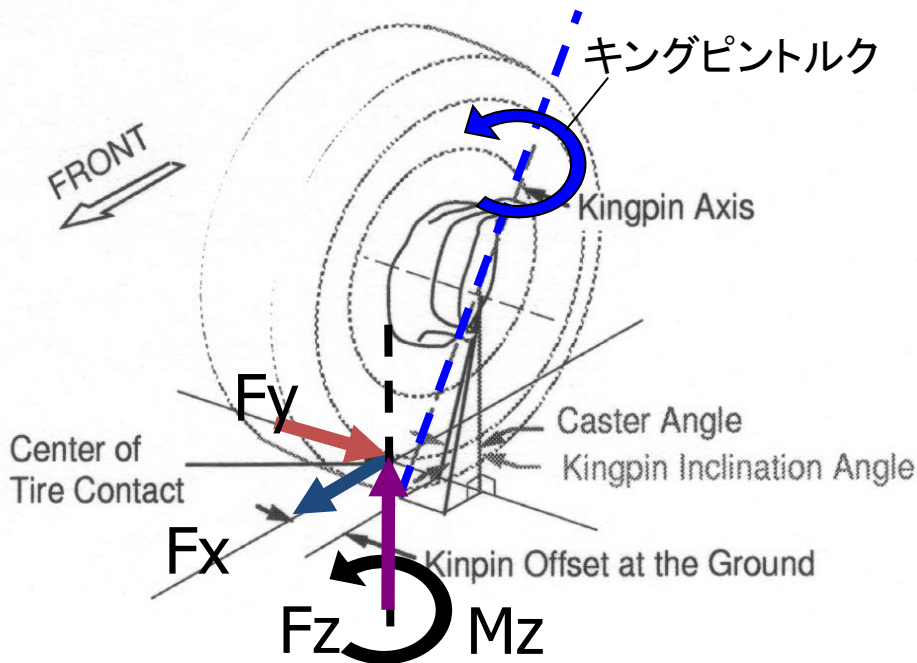


ステアリングモデル キングピンキネマティクス

Ver7(2007~)

サスペンション機構に併せた
完全な3次元表現

Steer rotation geometry

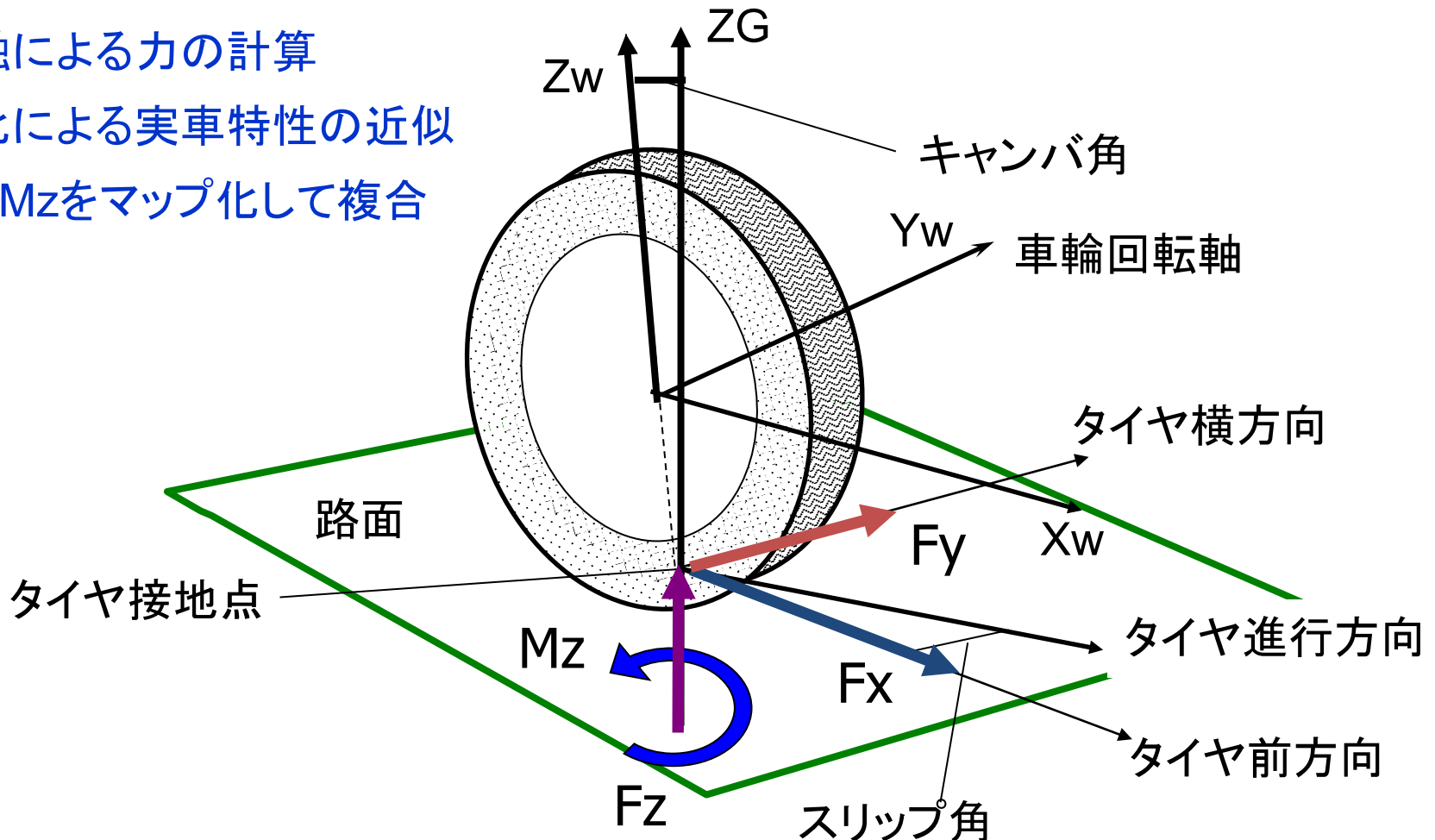


タイヤモデル タイヤに働く力とモーメント

点接触による力の計算

特性化による実車特性の近似

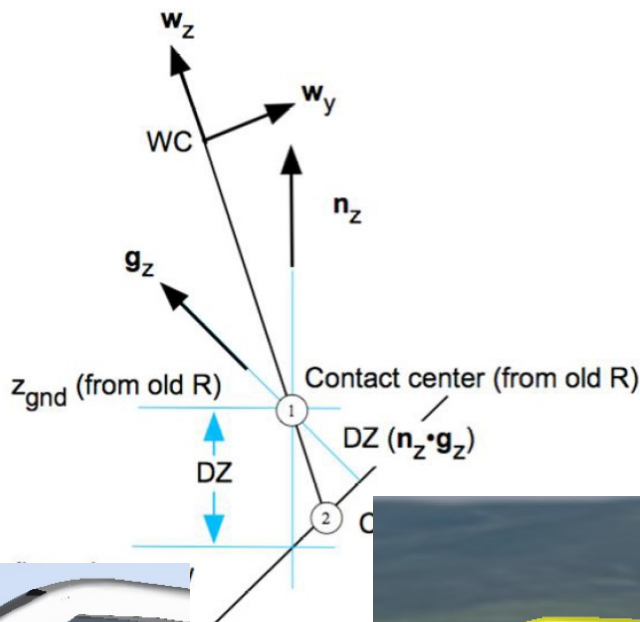
F_y, F_x, M_z をマップ化して複合



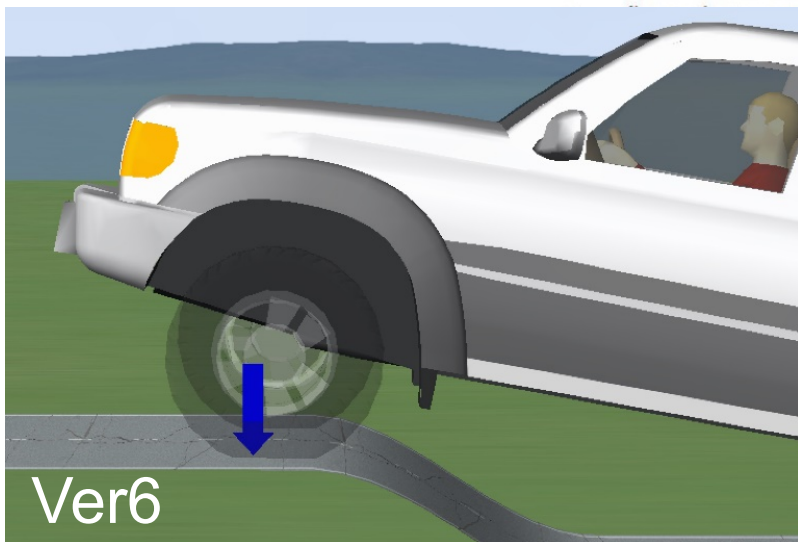
接地点計算

Ver7(2007~)

車両座標系を基準に
接地点を定義



路面とホイールセンター
の位置関係からホイール
センターを通る法線
上に路面を低意義

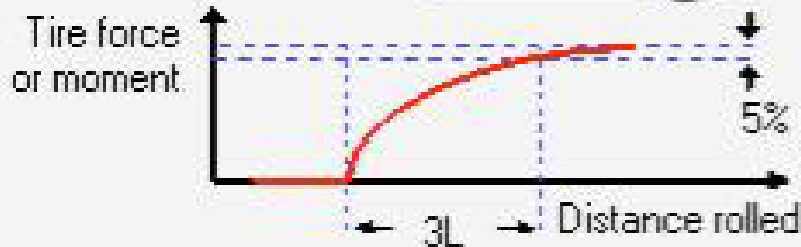


Tire relaxation

Ver8(2009~)

Dynamic Properties

Tire spin moment of inertia: 29 kg-m²



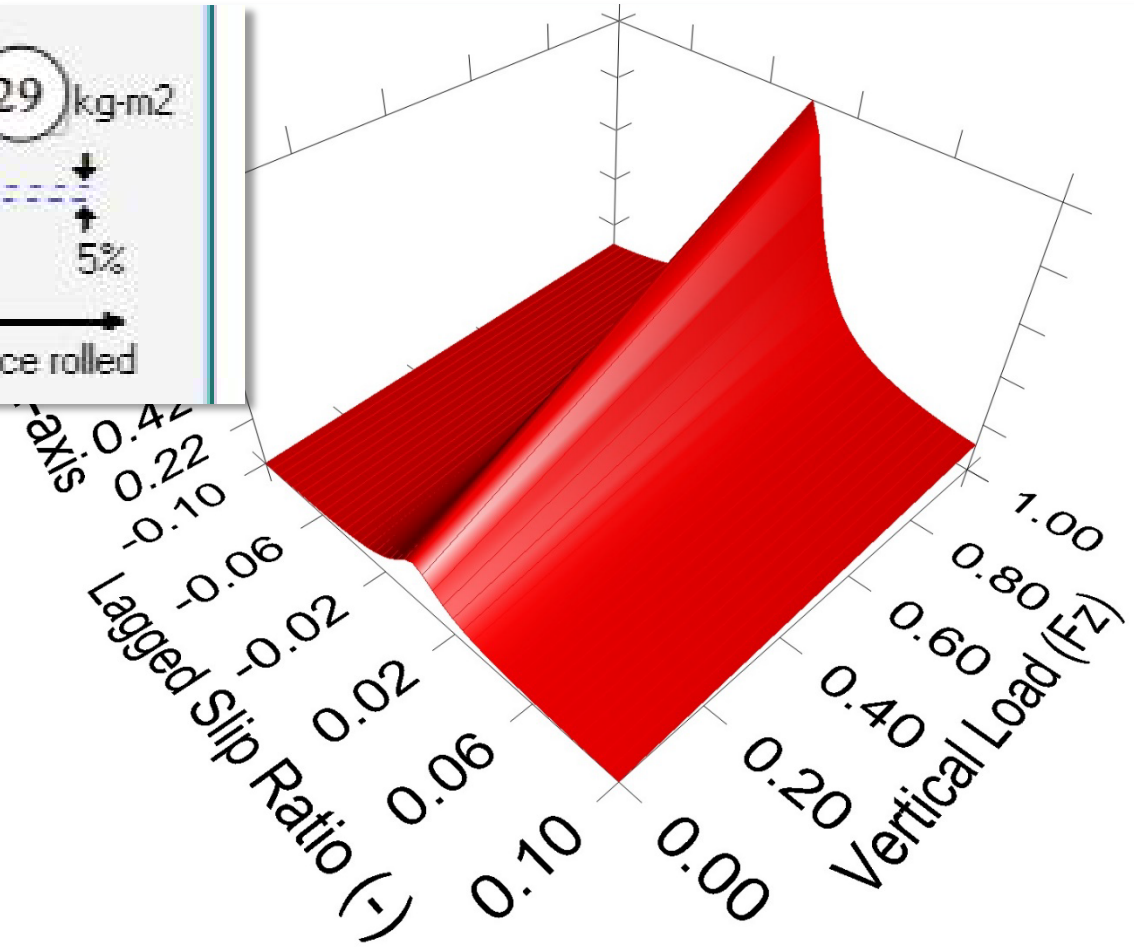
mm

- No lag in Fx (instant response)
- L for Fx
- L for Fx is nonlinear function of kappa and Fz

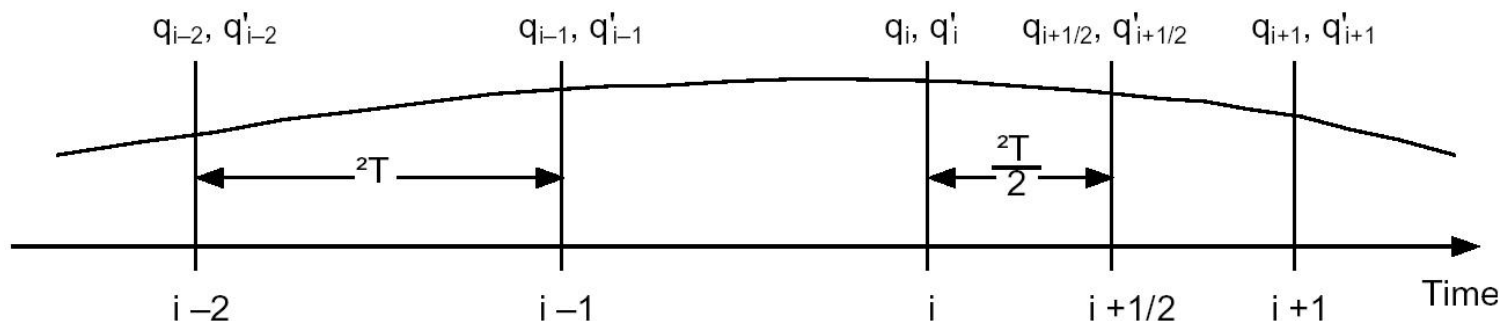
- No lag in Fx for high speeds or decreasing slip
- No lag in Fx for high speeds
- Increase lag in Fx for high speeds

180 mm

- Contact length = 0
- Constant length
- Contact length is function of tire compression

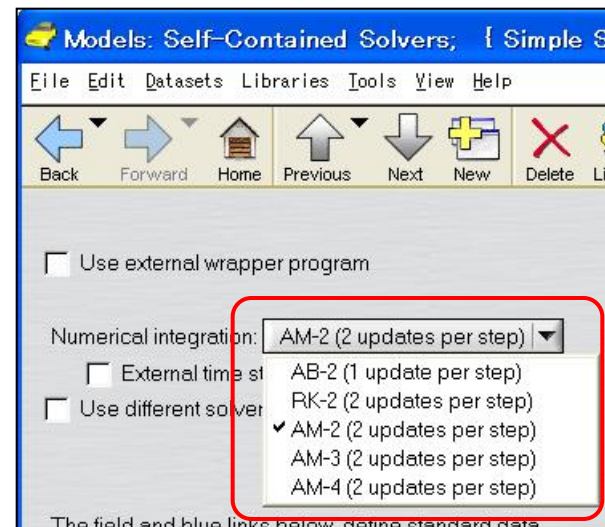


VS ソルバーの数値積分法



Adams-Moulton 2nd Order Method (デフォルト)

$$q_{i+1/2} = q_i + \frac{\Delta T}{8} (5q'_i - q'_{i-1}), \quad q_{i+1} = q_i + \Delta T q'_{i+1/2}$$



Adams-Moulton 3d Order Method

Adams-Moulton 4th Order Method

Runge-Kutta 2nd Order Method

Adams-Bashforth 2nd Order Method

マニュアル Help > Reference Manuals > VehicleSim Solver Programs

適用範囲の拡張

VehicleSim Models are Extensible



Alternate Powertrain Models

Alternate Driver Models

Alternate Steering Models

Active Suspension Models

Drive Train Component Controllers

Alternate Tire Models

Engine Controllers

ABS Controllers

Traction Controllers

ESC

Core vehicle dynamics model

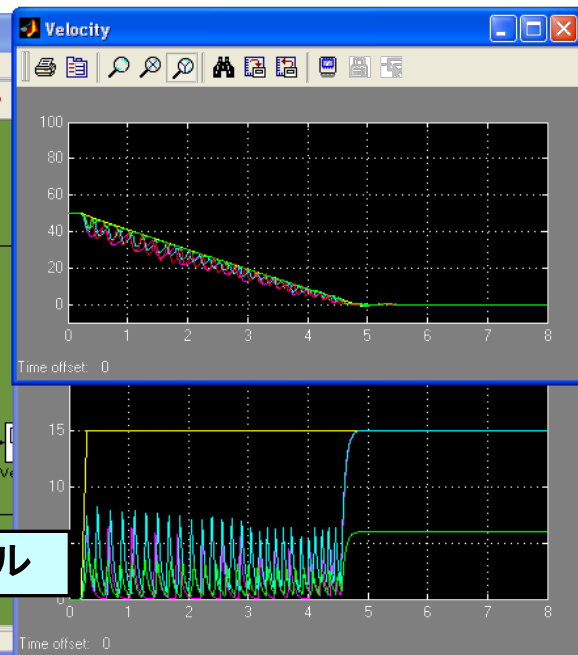
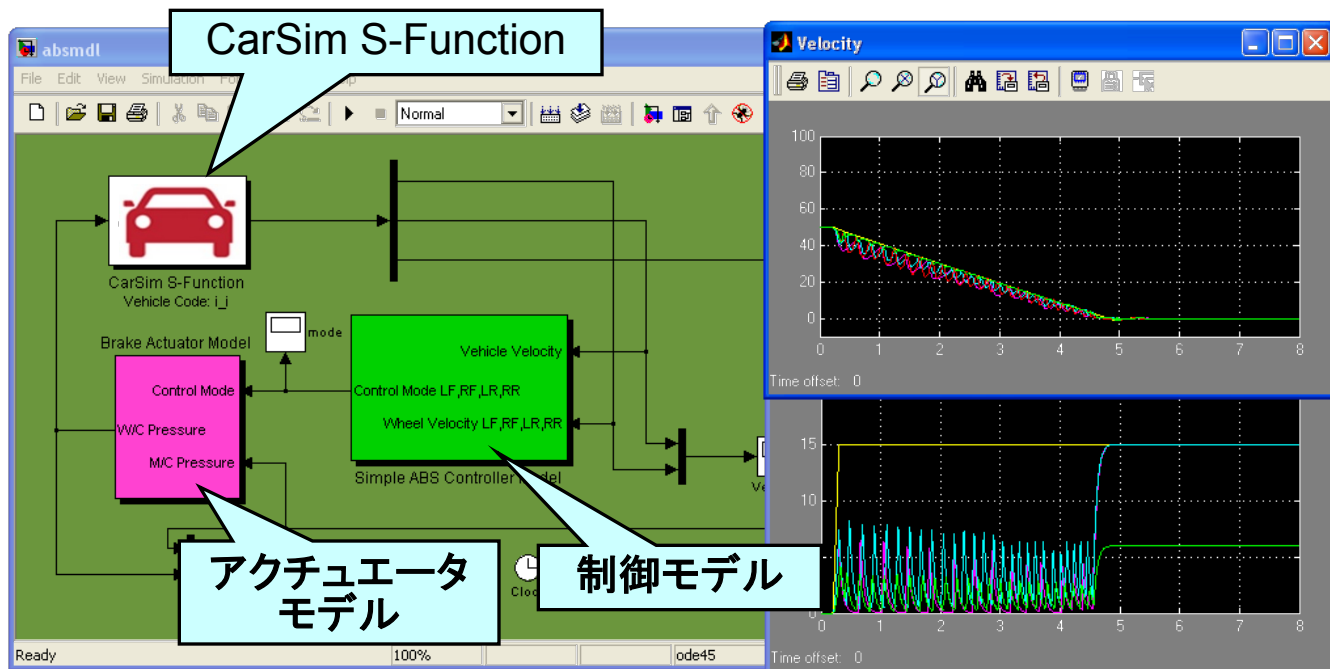
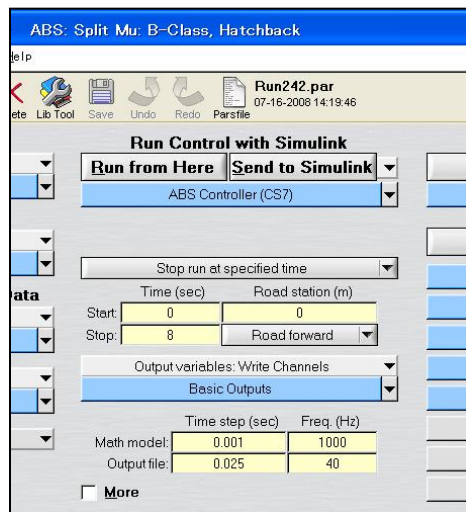
- Motions due to driver controls, 3D ground, and aerodynamics
- Braking, handling, stability, acceleration
- Many built-in alternative models

Extension by Users

- Symbolic equations for input
- VS Commands and Events
- Other software (e.g., Simulink)
- Hardware in the Loop (HIL)
- VS API for custom programs



MATLAB/Simulinkとの連携



- ユーザー独自の制御モデルでの車両制御
- CarSim車両モデルの一部をユーザーモデルへの置換え



- ◆ Host Machine with Windows
 - Database
 - Animator & Plotter
 - User Interface
- ◆ Target Machine with RT OS
 - CarSim math models
 - Hardware-in-the-loop interface
 - Works with major RT systems



Extending Models: VS API

Programming Languages

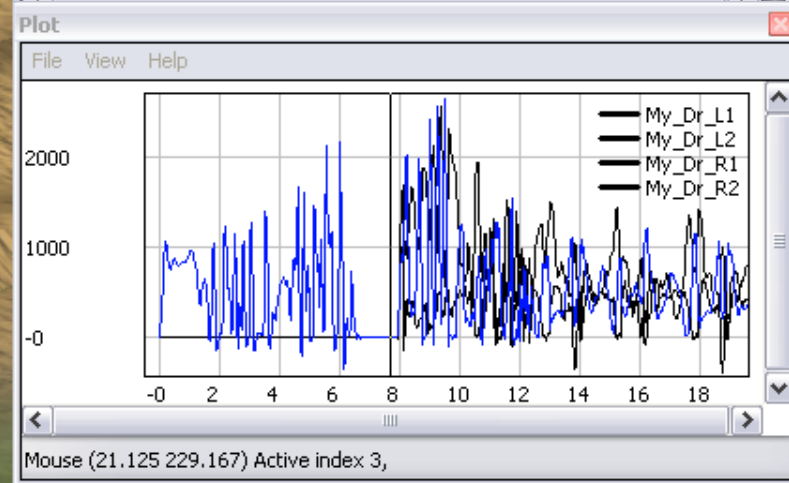
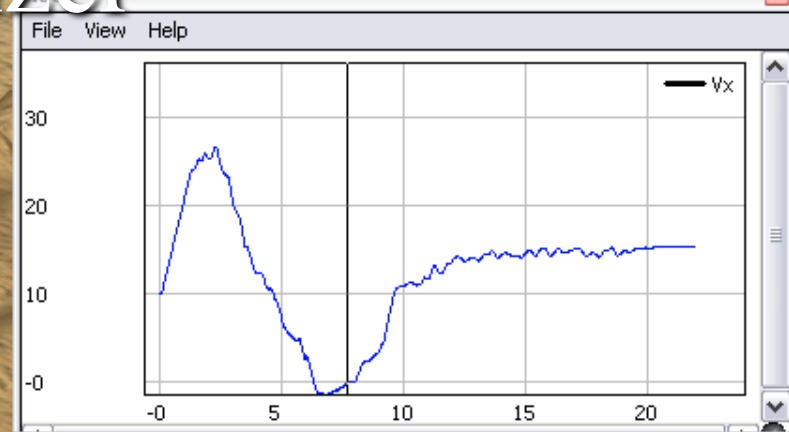
- Any language that can load DLL file and access functions.
- Example code provided:
 - ➔ ANSI C/C++
 - ➔ MATLAB
 - ➔ Visual Basic
 - ➔ Python
- Options to add features and still let VS solver run the simulation
- Options to control the simulation, including approximate real-time (Windows) driving simulators

API Functions (100+)

- Program support for all VS commands
- Access to all internal variables and parameters (use keyword)
- External functions can be installed in 14 locations
 - ➔ defining new variables
 - ➔ calculations
 - ➔ parsing inputs, echoing
- Functions to support custom simulators (e.g., driving simulators)



VS Visualizer

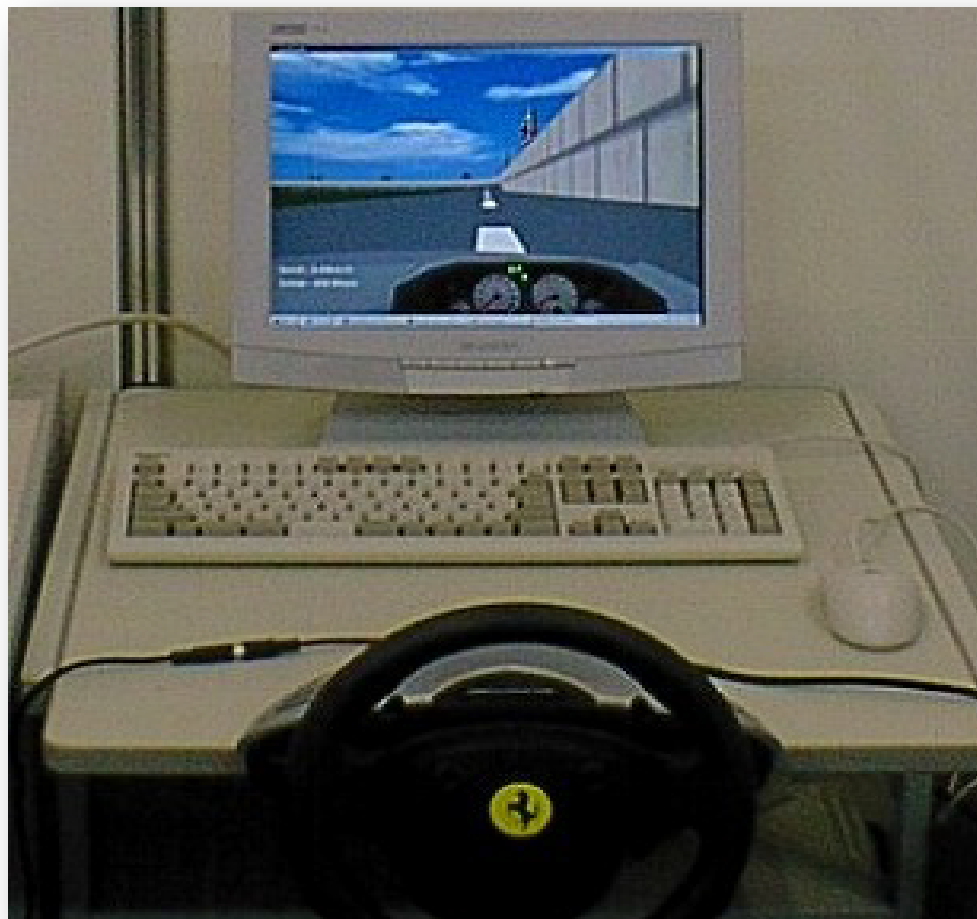


● Synchronized Views

ドライビングシミュレータ との接続

初めての carSIM®ドライビングシミュレータ

- 2001年発売
- 高速グラフィックボード
- ゲーム用ハンドル装置
- CarSim Source版を使用
- アニメーションは独自開発



carSIM® Driving Simulator

DS

- ・CarSim DS Software (簡易ドライビングシミュレータソフト)
 - ・ CarSimのライブアニメ機能を使い、ゲーム用ハンドル「G27」等と接続
 - ・ MATLAB/Simulinkで独自の制御ロジックを追加可能
 - ・ 低価格でドライビングシミュレータを実現！！
- ・ CarSimは研究開発用DSの車両モデルに多数の採用実績



CarSim DS Software



CarSim DS Software with SENSO-Wheel

各種ドライビングシミュレータ

高機能
高性能



トヨタ自動車様導入事例



トヨタ自動車様提供

他社システムとの連携

UC-win/Road
Drive Simulator



carSIM[®] DS
Software

シンプル・低コスト

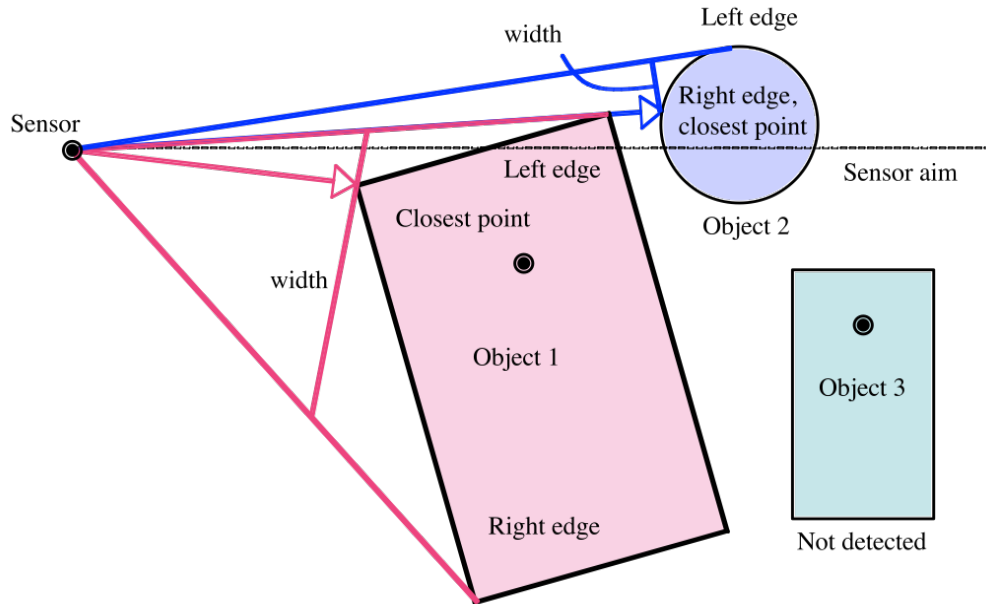


Driving Simulators 実装例

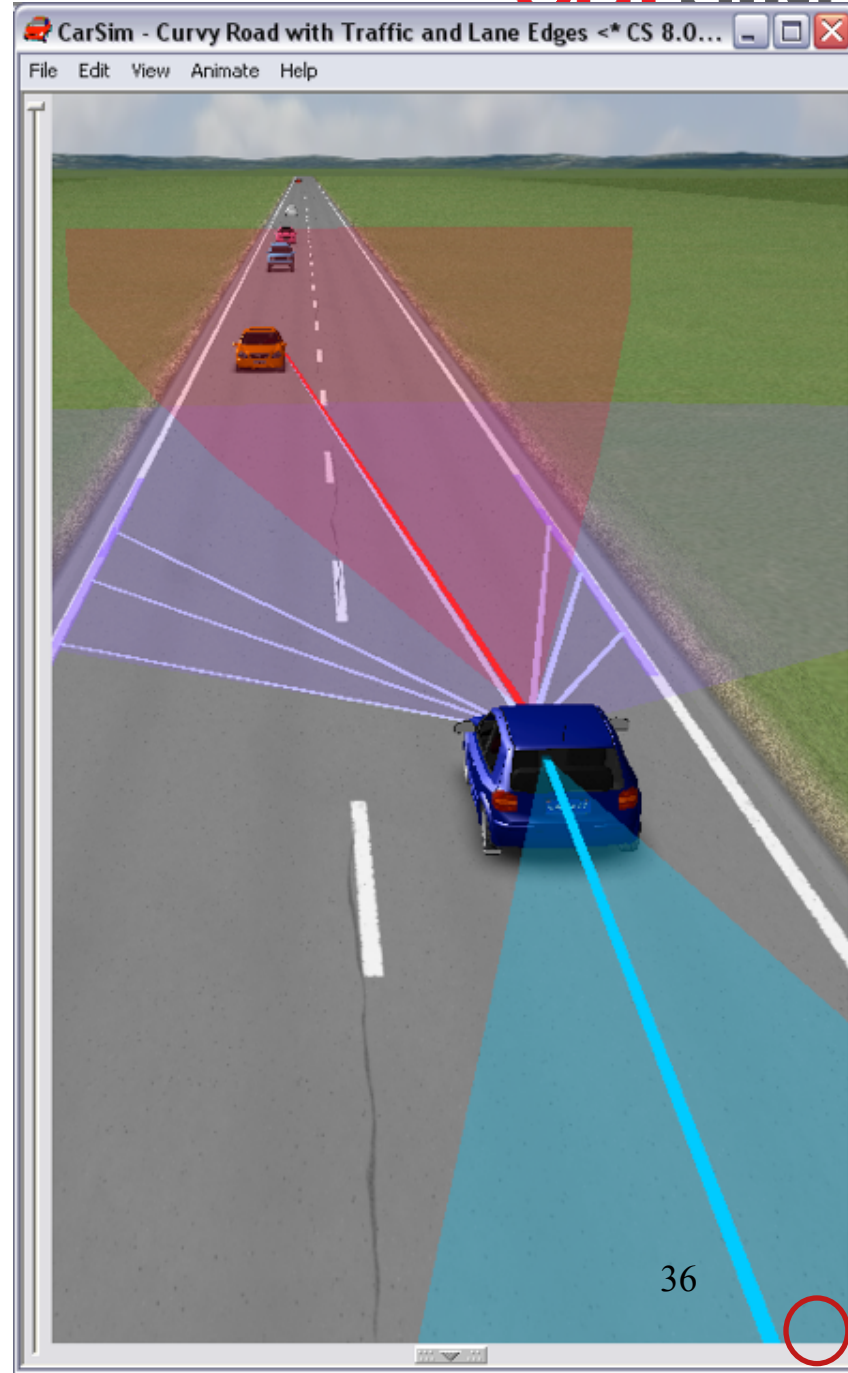
- CarSim used “as is” for 170+ driving simulators
- CarSim used for huge two-track Toyota Simulator
- Low-cost DS’s use basic PC with game controls
- “Feel” design and/or HIL



Traffic and Sensors



- Traffic and roadside objects handled by VS commands
- GUI has options that automatically generate commands
- Up to 20 sensors
- Sensor-object interactions include occlusion



Targets

Traffic Motion: 12 Oncoming Vehicles at -Vx

File Edit Datasets Libraries Tools View Help

VS commands applied for each object before anything else specified on this screen

Use "?" in symbolic expressions as the placeholder for the object number (e.g., use "S_OBJ_?" for station of object).

Units for this page are meters (S, L), m/s (speed), (heading angle). Divide by DR to convert from deg.

Lateral position: 2.25 Yaw angle offset (rad): π Specify speed (m/s) using VS equation: $-vx$

Recycle these objects when they reach limits in position

S initial (m)	Rectangle?	Length or diam.	Width	Lx_Front	Height	Reflectiveness	Links to vehicle animation datasets.
0	<input checked="" type="checkbox"/>	3.25	2	0.5	0.8	1	A-Class, Subcompact
15	<input checked="" type="checkbox"/>	3.5	2	0.5	0.75	1	B-Class, Hatchback
50	<input checked="" type="checkbox"/>	3.2	2	0.5	0.75	1	C-Class, Hatchback
64	<input checked="" type="checkbox"/>	4	2	0.5	0.75	1	D-Class, Sedan
85	<input checked="" type="checkbox"/>	4.5	2	0.5	0.8	1	E-Class, SUV
95	<input checked="" type="checkbox"/>	5.5	2	0.5	1	1	Large European Van
150	<input checked="" type="checkbox"/>	4	2	0.5	0.5	1	GT
175	<input checked="" type="checkbox"/>	4.5	2	0.5	0.8	1	D-Class, SUV
203	<input checked="" type="checkbox"/>	5.5	2	0.5	0.9	1	Pickup, Full Size w/ GN Hitch
225	<input checked="" type="checkbox"/>	3.5	2	0.5	0.55	1	B-Class, Sports Car (Hard Top)
240	<input checked="" type="checkbox"/>	4	2	0.5	0.8	1	Pickup, Compact
-30	<input checked="" type="checkbox"/>	4.75	2	0.5	0.65	1	F-Class, Sedan

Sensor Targets: Target Vehicle, S: 145 m, Head: 70 deg

File Edit Datasets Libraries Tools View Help

Use this dataset to define a target object that moves laterally relative to the road, such as traffic or pedestrian crossing.

Use "?" in symbolic expressions as the placeholder for the object number (e.g., use "S_OBJ_?" for station of this moving object). Units are meters (S, L), m/s (speed), and radians (heading angle). Divide by DR to convert from degrees to radians, e.g., 180/DR.

VS commands applied before anything else specified on this screen

Motion of the Object

Initial position of object at start of run: Station: 145 Lateral offset: -20 m

Specify heading angle of movement: Motion heading: 70/DR rad

Set conditions for starting and stopping motion: Start condition: $g(\text{station}, 100)$ Stop condition: $g(\text{station}, 120)$

Speed: 20 m/s

Recycle object when outside limits relative to road and vehicle position

Properties of the Object (Rectangle or Cylinder)

Reflectiveness based on material type

Rect? Length or diam. Width Lx_Front Height Reflectiveness Animator shape for this moving object Set color? Set heading of object separately from motion

4.7 2.2 0.5 1 1 HMMwV

VS commands and/or miscellaneous keywords and values in this field are applied after everything else specified on this screen

- 99 Objects, moving or fixed
- Object can be recycled when they go out of range
- GUI has two screens for common scenarios
 - Traffic or road-side objects
 - Vehicle crossing
- Solver handles 3D road geometry
- Positions can be defined with algebraic or differential equations



今後の課題

リアルさを求めるために

さらなる車両モデルの進化

- タイヤモデル
- サスペンション
- ステアリング
- ボディ撓み
-
-
- などなど……

路面振動

- 刻みとの戦い

アニメーション

- 投影画面と人の目との違い
- 複眼での距離感の認識

DS酔い

- アニメーション？
- モーション？

Thank you

本日はありがとうございました。