

CARSIM による KITDS の過渡応答特性評価

Evaluation of Transient Response Characteristics of the KITDS by Use of the CARSIM

北見工業大学大学院	○ 学生員	近藤 智史 (Satoshi Kondo)
北見工業大学	正 員	川村 彰 (Akira Kawamura)
北見工業大学	正 員	白川 龍生 (Tatsuo Shirakawa)
北見工業大学大学院	学生員	谷本 晃一 (Tanimoto Kouichi)

1. はじめに

車両の高性能化と交通環境の多様化に伴い、走行時の安全性・快適性は従来以上に重視されてきている。車の運動を評価する際に、高速道路においては高速走行時が対象となるため、安全性の面から実路実験では困難な車の走行運動を処理する際にドライビングシミュレータを用いたシミュレーションが有効と思われる。また、あらゆる条件下で全く同じシミュレーションを何度でも行なえるなど、評価、解析の面で有効であり、コストパフォーマンスの面からも優れている。

今後はドライビングシミュレータを用いることにより、安全にシミュレーションを行うことができ、道路利用者から見た評価を行なう際にも有効であることから「人—車—道路」の調和をはかる有効な手段であると思われる。

本研究では、KITDSによる車の過渡応答特性の有効性を評価するため、操縦性安定性試験の中からクローズドループテストの代表試験法である車線乗り移り試験を行い、汎用車両運動シミュレーションソフト (CARSIM)¹⁾との比較により検討を行なった。

2-1. KITDS について

一般にドライビングシミュレータは、安全運転教育や道路の線形設計、交通標識の視認性、景観評価などに用いられているが、本学の導入した KITDS (Kitami Institute of Technology Driving Simulator) は、上記の機能に路面性状評価の機能を備えたという点において、世界的にも類を見ないシミュレータである。(写真.1)



写真.1 KITDS

車両モデルは、車体 (ばね上) の運動自由度は 6、サスペンションの上下変位は 4 輪分、タイヤの回転自由度が 4、エンジン回転系が 1 自由度であり、タイヤモデルには、応力だけではなく駆動力や制動力も扱えるブラッシュモデルを採用している。このモデルには、実際のタイヤ特性をモデルのパラメータに自動換算する機能も組み

込まれている。空気力学的な外力としては、前進抵抗、横風、揚力を与え、風力中心も考慮しているので、ヨーモーメントやピッチモーメントが、対気横滑り角に応じて変化する。この車両運動の数学モデルはドライバのハンドル・ペダル操作の入力信号の他に、地形や風景を描く映像発生装置などからの路面高さやすべりやすさの入力信号を受け取り、三次元空間での位置と角度を算出する機能を有する。算出されたデータは、ロギングデータとして保存される。今回は、この車両運動の数学モデルにより算出されたロギングデータを使用して比較検討を行なった。

運動計算に必要なモデルのパラメータは、車両諸元 (寸法、重量)、エンジン、ミッション、ステアリング、ブレーキ、サスペンション、タイヤ特性などは、車両設計・試験などで用いられる実用的な種類や値をほぼそのまま利用できる。コース画像、路面プロファイル、シナリオに関しては独自に作成したものを再現できる機能を有する。

KITDS の模擬すべき車両運動は並進・回転加速度、回転角速度である。このうちピッチ・ロール角はシミュレータのcockpitの傾斜としてそのまま模擬される。回転角速度や回転角加速度もシミュレータの運動能力に合わせて一定の割合で縮小されて模擬される。(図.1) ただし模擬すべきはドライバの前庭器官で感じる回転運動であるため、cockpitの回転運動の中心は通常ドライバの頭部にある。シミュレータ上のドライバの頭部の位置はcockpitの運動に伴って刻々変化するが、瞬間回転中心が常に頭部位置にあるようにモーションを制御するためcockpit台座 (プラットフォーム) の並進運動も必要となるため、自在に 6 自由度の運動を形成できる 6 軸のモーション装置が採用されている²⁾。

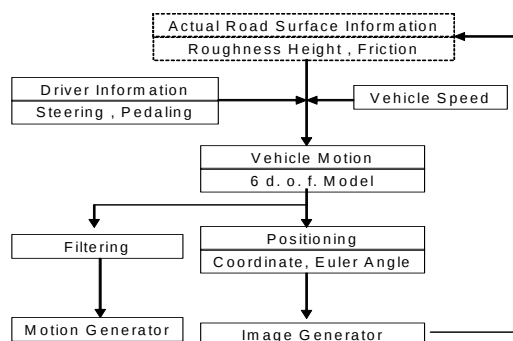


図.1 フリー走行におけるデータ処理のフロー

2 - 2. CARSIM について

CARSIM は乗用車や小型商用車の、さまざまな運転条件（ハンドル操作、ペダル）と環境条件（路面摩擦係数、高さ変化、横風等）での運動を、パソコン上で解析評価するための車両運動シミュレーションソフトである。シミュレーション結果に関しては、アニメーションとデータプロット両方で算出され、車両の動きを視覚でも確認することができる。

3. 車線乗り移り試験の概要

車線乗り移り試験は、車の操縦性安定性を解析する際の代表的な走行試験として、JASO（自動車規格）において基準化されている³⁾。試験は、一般的に運転者の試験コースへの追従性、ロール特性、操舵のし易さを評価要因として行なわれる。

レーンチェンジ試験の中から、今回はシングルレーンチェンジ試験を行なった。（図.2）

今回の試験では、車両の操舵応答特性の把握を主目的としているため、平坦路においてシミュレーションを行った。シミュレーションに用いた画像に関しては、自作したコース画像を使用し行なった。JASO で規格されているレーンチェンジ試験の道幅は 3.0m であるが、今回の試験コースは高速道路を想定し作成したため、道幅は 3.5m とした。速度に関しても、第 2 東名高速において設定されている最高速度規制値である 140km/h までシミュレーションを行った。

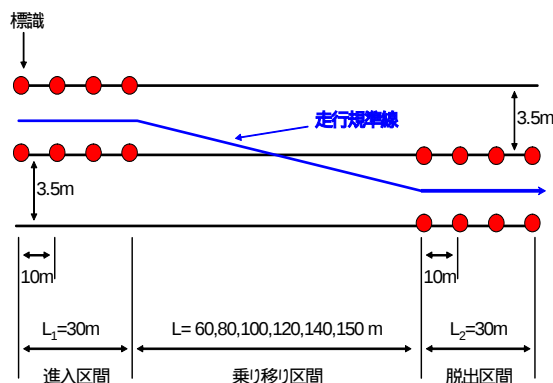


図.2 レーンチェンジ試験概要図

4. 試験条件について

レーンチェンジ試験はドライバによって結果のばらつきが大きくなりやすい試験であり、測定回数を多く設定することで、結果を比較する必要がある。そのため KITDS の被験者は、ハンドル操作、速度調整等を行なうため KITDS の運転を適正に評価できるよう、KITDS の運転に慣れている者が行い、各測定条件において 3 回ずつ測定を行った。

速度に関しては、指定の速度 $\pm 3\text{km/h}$ 以内でシミュレーションを行い、レーンチェンジ区間内での、ギヤチェンジ、ブレーキ操作は行なわないものとする。その他、試験条件は以下の通りである。（表.1）

CARSIM に関しては、車両諸元やコース、路面状況はドライビングシミュレータの試験条件と一致させて、同様にレーンチェンジ試験を行った。運転操作に関して

は、ハンドルは走行規準線上を走行するように設定し、速度は指定の速度で一定走行するように設定しシミュレーションを行った。

表.1 車線乗り移り試験の試験条件

車種	普通自動車
速度	80,90,100,110,120,130,140 (km/h)
乗り移り区間	60,80,100,120,140,150 (m)
被験者	学生 1 名 （運転暦 6 年）
測定回数	3 回

5. 計測パラメータについて

過去の実車を用いた車線乗り移り走行試験⁴⁾により、操舵角変化と対応する車両の運動パラメータは、横方向加速度とヨー角であることから、本試験では車速、乗り移り距離の違いによるハンドル操舵角、横方向加速度、ヨー角速度の 3 つのパラメータを用いて比較検討を行なった。なお、横方向加速度、ヨー角速度は車両重心位置のデータである。計測パラメータのサンプリング間隔は、KITDS のロギング、CARSIM の出力とともに 0.01 秒である。上記のパラメータはレーンチェンジ試験の計測パラメータとして JASO による試験にも使用されている項目である。

6. シミュレーション比較結果

各試験条件でのシミュレーション結果

- ・ 各計測パラメータで、よく一致した値が得られた。
- ・ 走行軌跡を比較すると、レーンチェンジを始める際の軌跡はほぼ一致しているが、レーンチェンジを終える箇所軌跡に若干ずれがある。
- ・ 走行軌跡のずれは最大で 0.4m 程度であった。
- ・ 速度は、KITDS の方は人の運転によるものなので、設定速度に比べて若干の誤差はあるが、設定速度の $\pm 3\text{km/h}$ 以内におさまっており、値に大きな変動なども見られないので、大きな影響はないと思われる。
- ・ ハンドル操舵角については、最大操舵角、最小操舵角の値もよく一致した。KITDS の方は、乗り移り区間が長い測定において、多少ハンドルの修正が見られた。
- ・ 横方向加速度およびヨー角速度は、KITDS で測定した速度が CARSIM に比べ若干速いため、多少値が大きく出ている箇所が見うけられたが、最大横加速度、最小横加速度ともよく一致している。
- ・ 実車試験による結果と同様に、ハンドル操舵角変化に横方向加速度、ヨー角速度が対応していることがいえる。

KITDS と CARSIM それぞれのシミュレーションで算出された結果の比較を一部示す。図は、走行軌跡、速度、ハンドル操舵角、横方向加速度、ヨー角速度の比較である。

乗り移り距離 150m、速度 140km/h

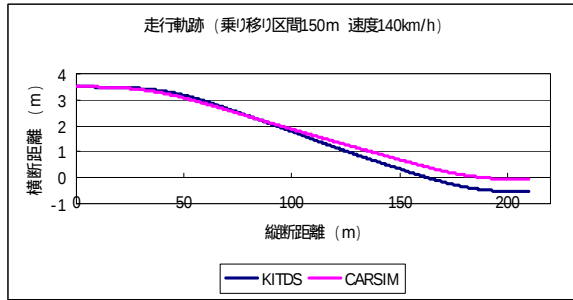


図-3-(a) 走行軌跡

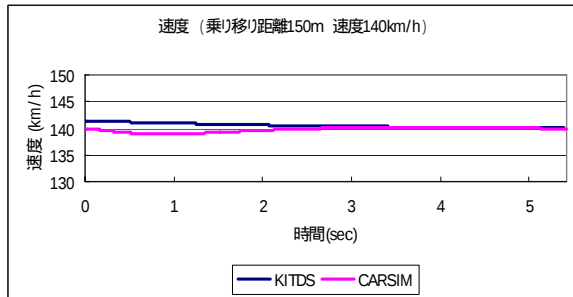


図-3-(b) 速度

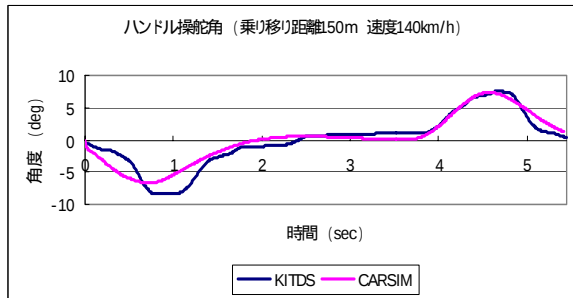


図-3-(c) ハンドル操舵角

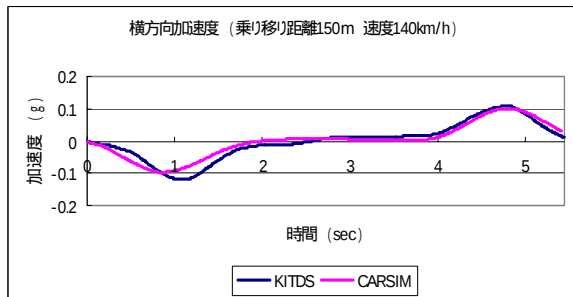


図-3-(d) 横方向加速度

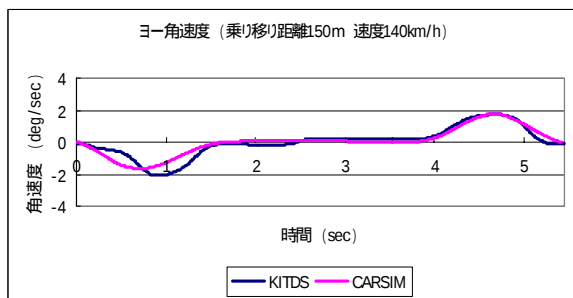


図-3-(e) ヨー角速度

乗り移り距離 100m、速度 120km/h

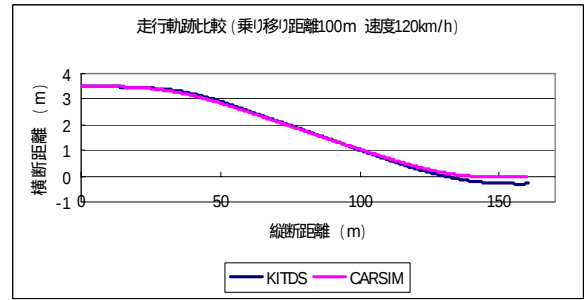


図-4-(a) 走行軌跡

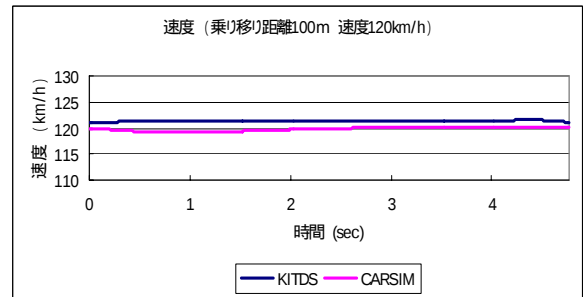


図-4-(b) 速度

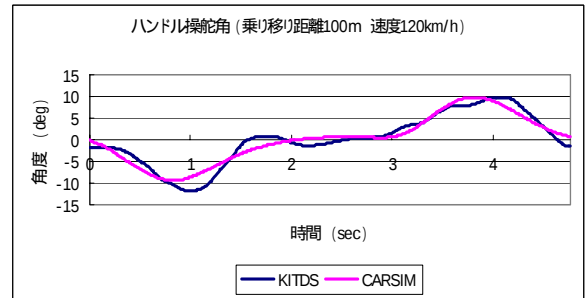


図-4-(c) ハンドル操舵角

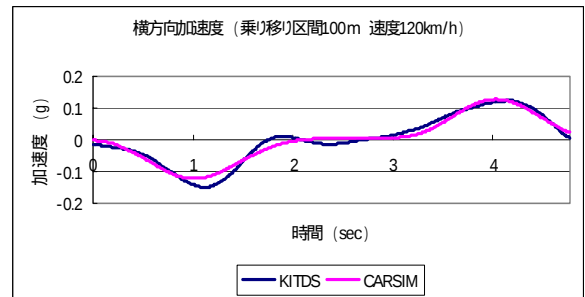


図-4-(d) 横方向加速度

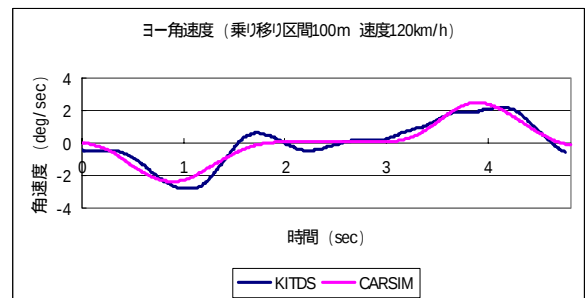


図-4-(e) ヨー角速度

同じ乗り移り区間における速度の変化によるシミュレーション結果を示す。

乗り移り区間 60m 横方向加速度比較

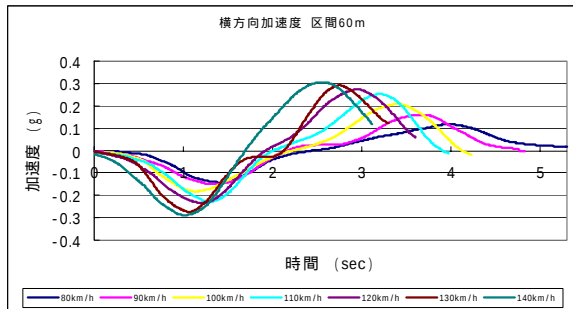


図-6-(a) 横方向加速度比較 KITDS

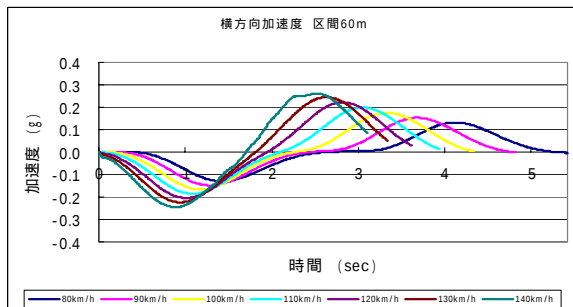


図-6-(b) 横方向加速度比較 CARSIM

同速度における、車線乗り移り区間の違いによるシミュレーション結果を示す。

速度 80km/h 横方向加速度比較

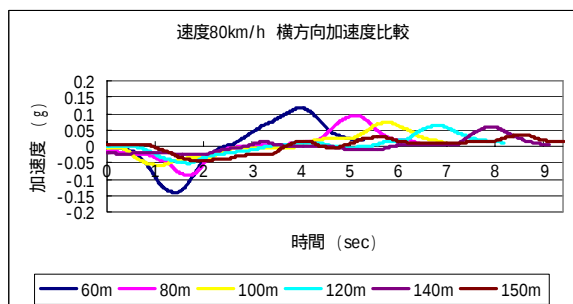


図-7-(a) 横方向加速度比較 KITDS

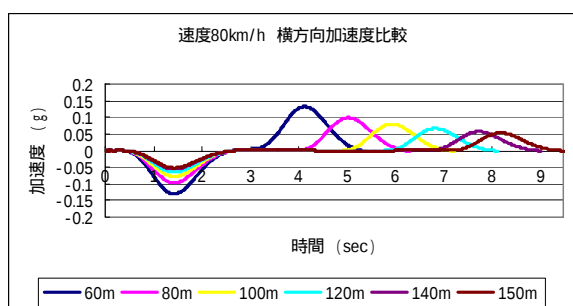


図-7-(b) 横方向加速度比較 CARSIM

乗り移り距離の違い、速度の違いによる結果

- ・ 乗り移り速度の違いによる結果を見ると、速度の上昇に伴って計測パラメータの値も上昇しており、CARSIM のシミュレーションの結果とよく一致していることがわかる。
- ・ 同速度における乗り移り区間の变化でも、区間の減少に伴って、計測パラメータの値が上昇しており、CARSIM のシミュレーション結果とよく一致している。
- ・ 図では横方向加速度用いているが、ハンドル操舵角、ヨー角速度でも同様によく一致した結果が得られた。

7. まとめ

本研究をまとめると以下になる。

- ・ レーンチェンジ試験を用いた CARSIM による KITDS の過渡応答特性を評価したところ、計測パラメータの結果がよく一致していることから、操舵角変化に対する過渡応答特性に対し、有効であると考えられる。
- ・ レーンチェンジ試験は、実際の道路交通環境化において起こりうる危険回避操作に近い操舵入力を行なうことから、今回の試験により KITDS の緊急回避に対する有効性があると考えられる。

8. 今後の課題

- ・ レーンチェンジ試験に関しては、走行軌跡のずれを減らすためコースの改善（車幅の縮小、走行規準線の表示方法）や、測定回数やドライバを増やすことにより、測定精度を高めて行く予定である。
- ・ わだち掘れ、凹凸、段差などの路面性状を加えてのシミュレーションを行い、KITDS の有効性を高めると共に、路面評価への有効性を探っていく予定である。

参考文献

- 1) CARSIM : Mechanical Simulation Corporation,
<http://www.carsim.com/>
- 2) 白石 修士 : 運転教育のための小型ドライビングシミュレータの開発, 自動車技術, Vol.55, No.11, pp72-77, (2001)
- 3) (社)自動車技術会: 自動車技術ハンドブック 3 試験・評価編, JASO C 707, レーンチェンジ試験, pp116-117 (1991)
- 4) 榎本 友紀ほか: 土木学会年次学術講演会講演概要集, Vol.55th, Page54-55 (2000.08.31)