路面摩擦係数が測定可能な インテリジェントタイヤの開発

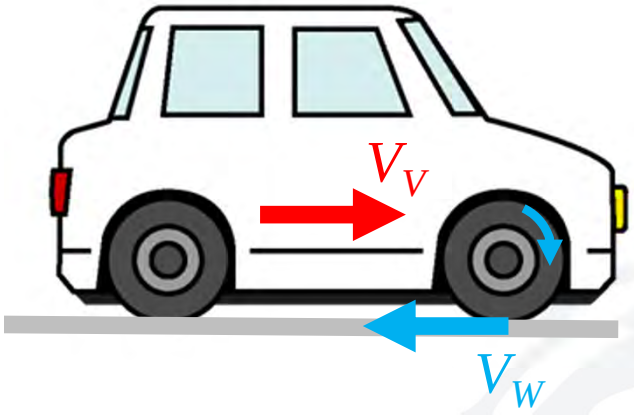
金沢大学
高度モビリティ研究所
立 矢 宏

KANAZAWA UNIVERSITY

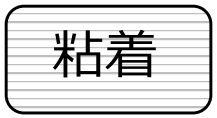
車走行時のタイヤの状態

車体速度 V_V とタイヤ周速度 V_W と タイヤ抵抗力の関係

定常走行状態



$$V_V = V_W$$

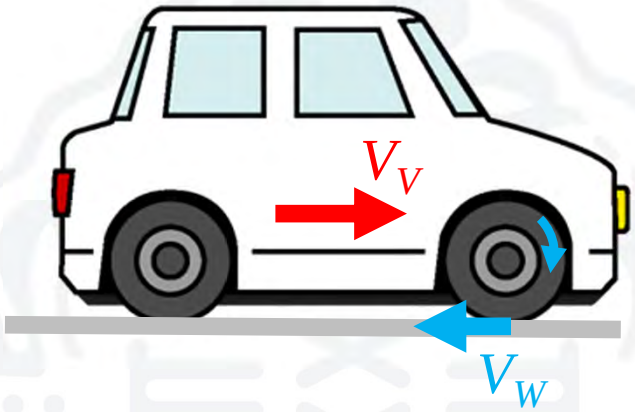


タイヤ接地面

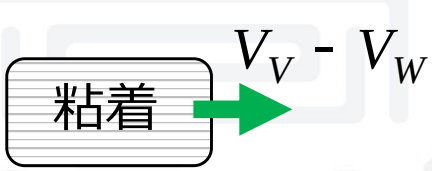
接地面全体が粘着

完全な転がりに近く
抵抗力はほぼ0

制動開始



$$V_V > V_W$$

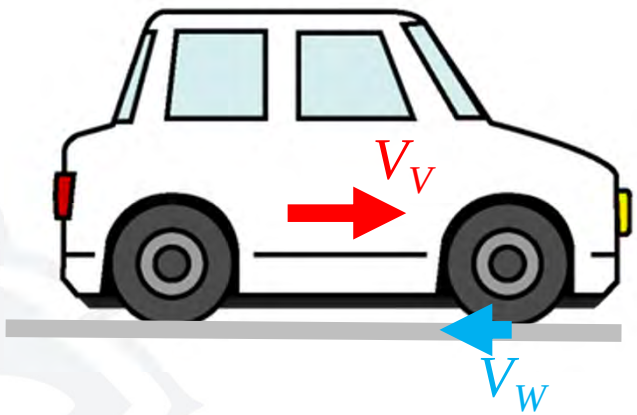


タイヤ接地面

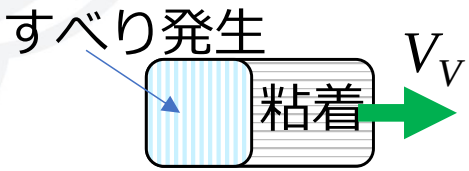
接地面がせん断変形

せん断変形により
抵抗力が増加

スリップ発生



$$V_V >> V_W$$



タイヤ接地面

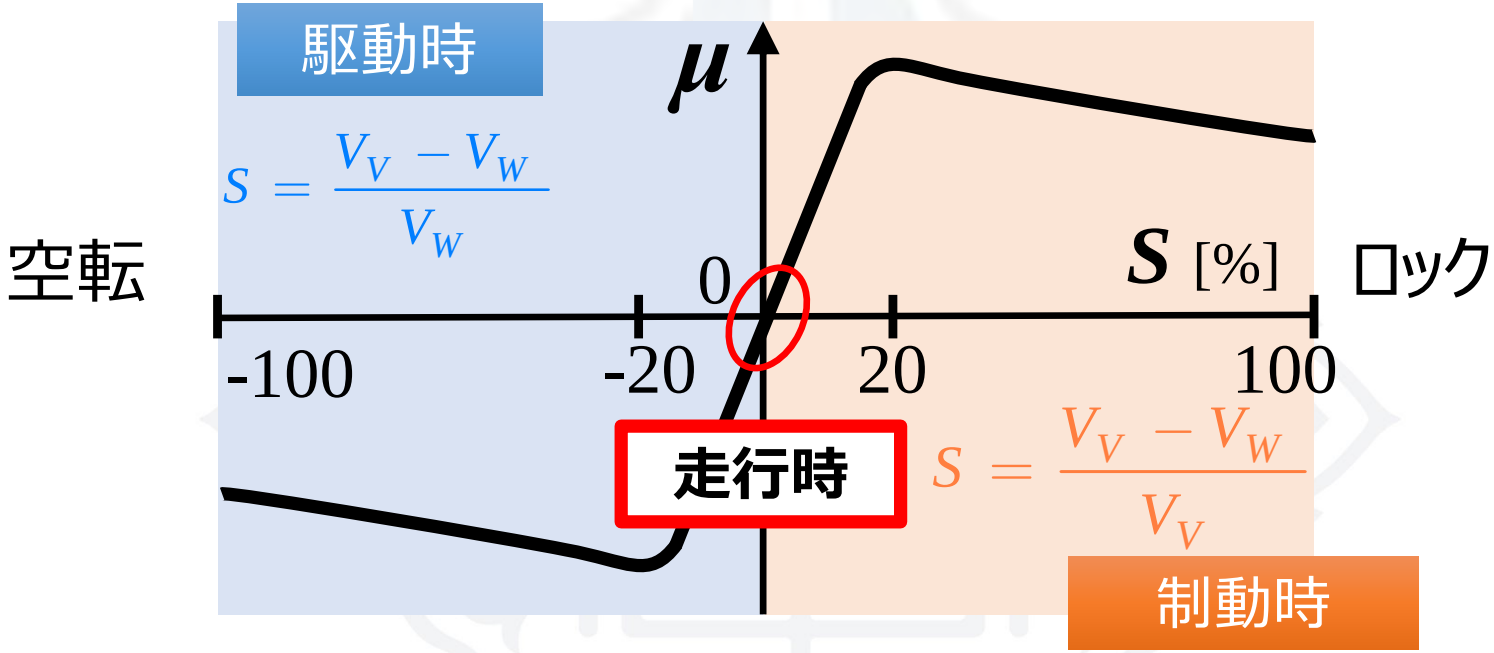
接地面にすべり発生

すべりにより
抵抗力が減少，一定に

車のスリップ率sと路面摩擦係数μの関係

路面摩擦係数 μ タイヤに作用する抵抗力とタイヤ接地面鉛直荷重との比

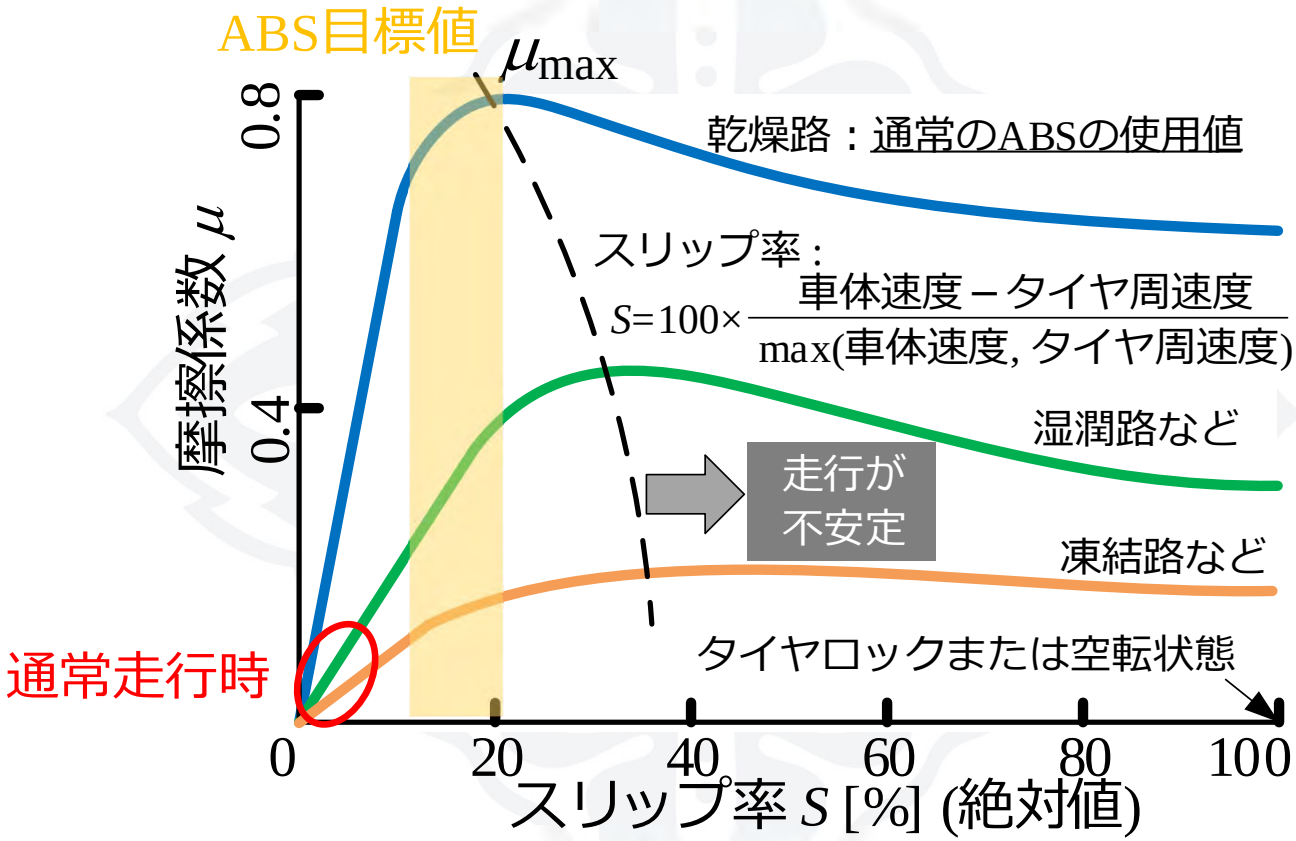
スリップ率 s 車体速度 V_V とタイヤ周速度 V_W の相対比に関する値



研究背景・目的

現状のABSと問題点

摩擦係数とスリップ率の関係は
路面状況に対して変化



乾燥路で摩擦係数はスリップ率10～20%前後でピーク
ABSなどは，この領域を目標値として制動制御

研究背景・目的

AEBSの普及

AEBS：Advanced Emergency Braking System

衝突被害軽減制動システムの義務化

・静止している前方車両に対して50km/hで接近したときに，衝突しない，または衝突時の速度が20km/h以下となること
・20km/hで走行する前方車両に対して50km/hで接近したときに衝突しないこと
など

路面に応じた制動距離確保のための加減速の制御が必要

路面摩擦係数の検知が必須！

研究背景・目的

検討されている路面μ測定法

モデルベースド

少数の計測値(加速度など)をもとに
車両の詳細なモデルでタイヤ作用力を解析

↓

路面状況に関する情報が必要

センシングベースド

画像，車輪速，加速度など，車体情報から推定

↓

高コスト，低精度

車両と路面の唯一の接点であるタイヤに注目

インテリジェントタイヤの開発

従来の測定法による問題点と解決策

問題点

・測定系の設置および耐久性
・測定結果のロバスト性および応答性

タイヤ側面利用の利用

・センサの剥離，破損を抑制
・センサの設置，配線が容易
・突起，凹凸による影響の平均化
・接地面の影響を常時測定可能

ホイールの利用

・センサの耐久性の保証
・交換頻度の少なさ

タイヤ変形の測定方針

測定位置

タイヤ

側面

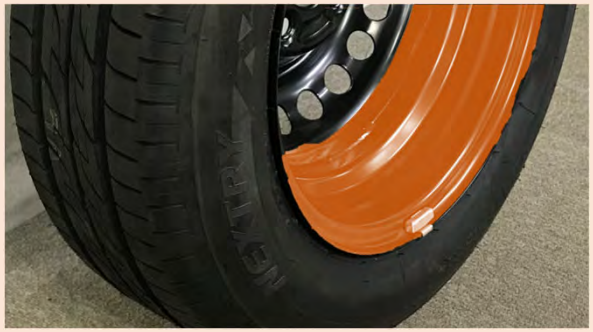
センサの
剥離・破損を抑制

タイヤ側面

ホイール

底面(リム)

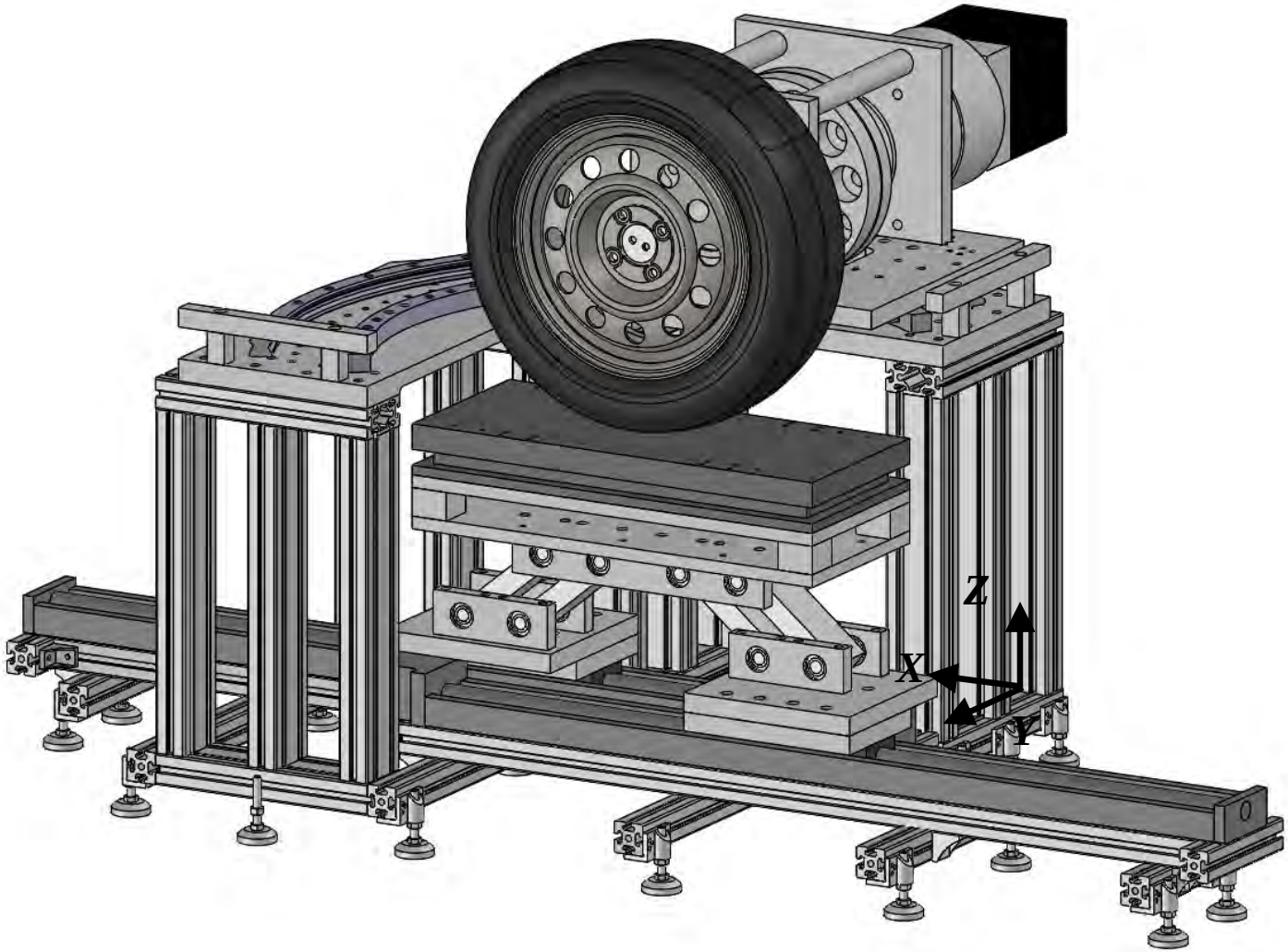
高耐久性，長期使用可
規格化された箇所を利用



ホイールリム

タイヤ変形の測定方法

走行模擬装置



タイヤ変形の測定方法

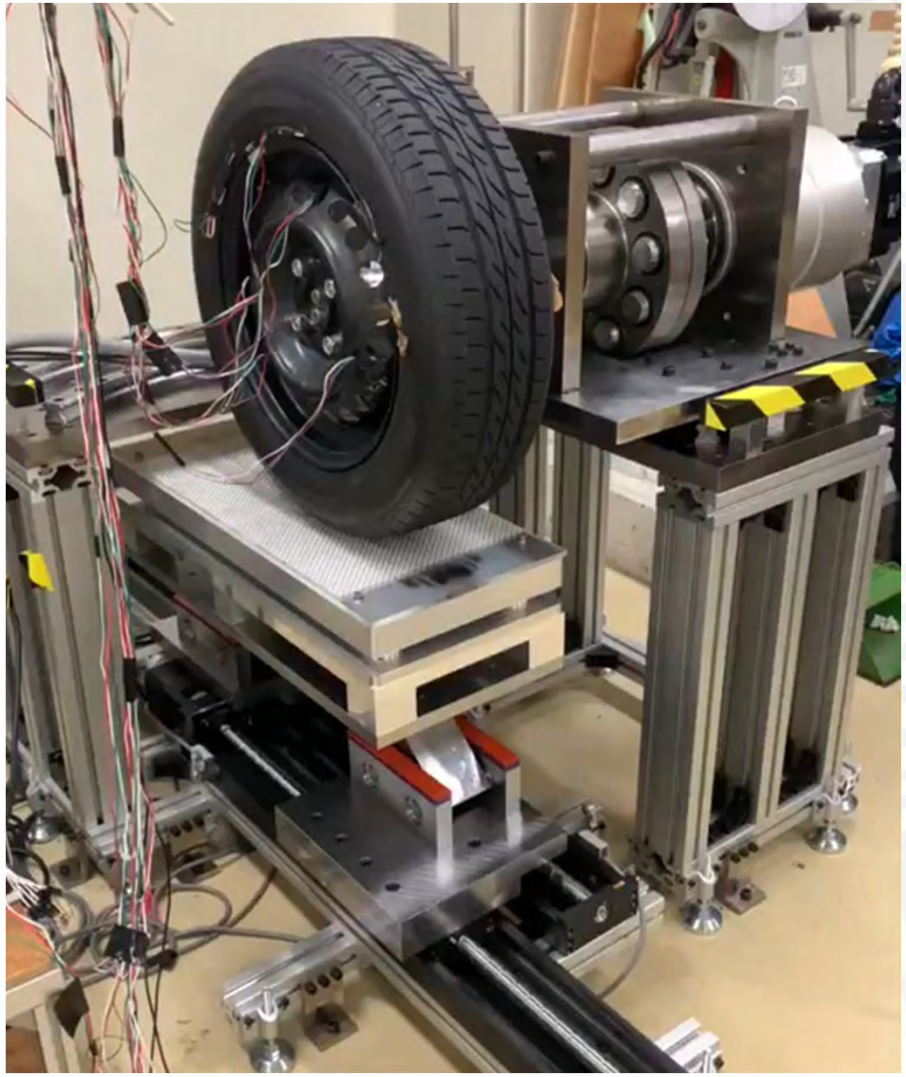
表　装置仕様

項目	値/内容	単位
鉛直荷重 W	~ 4.0	kN
最大速度 V	約30	rpm
(周速度)	(約3.0)	km/h
スリップ率 S	-100 ~ 100	%
スリップ角 β	0 ~ 90	deg
タイヤサイズ	570 ~ 700	mm
摩擦面	任意に変更可	–

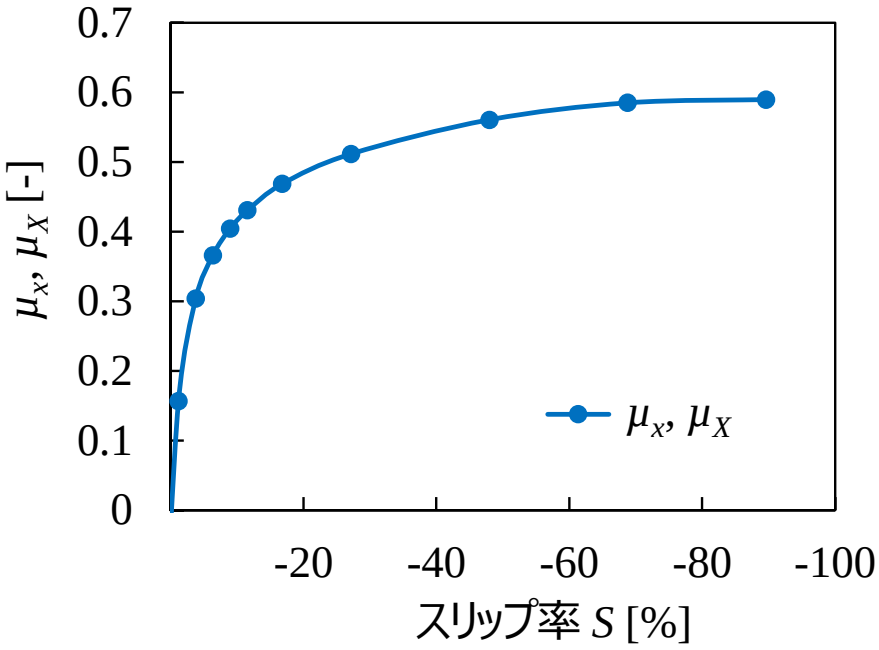
普通車相当の荷重を負荷可能
加減速，操舵状態を模擬可能

走行模擬装置

スリップ率変化実験



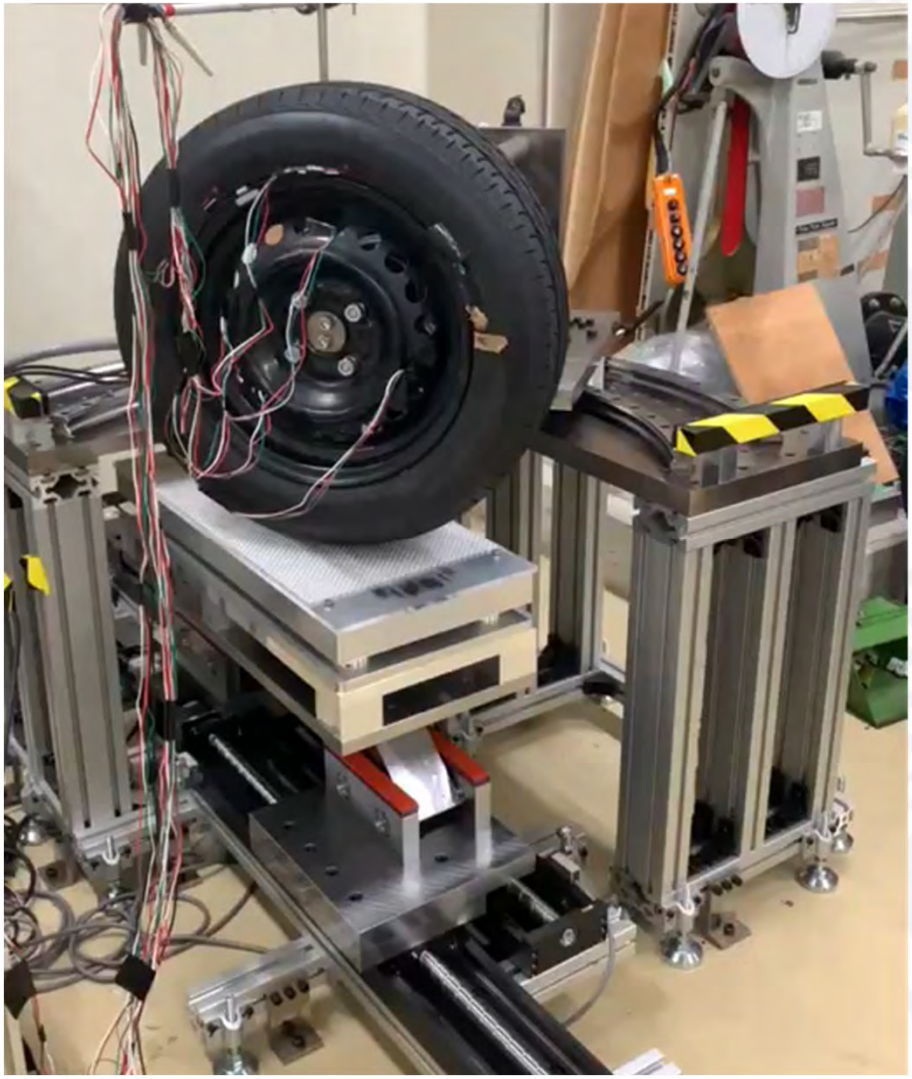
スリップ率-50%での実験



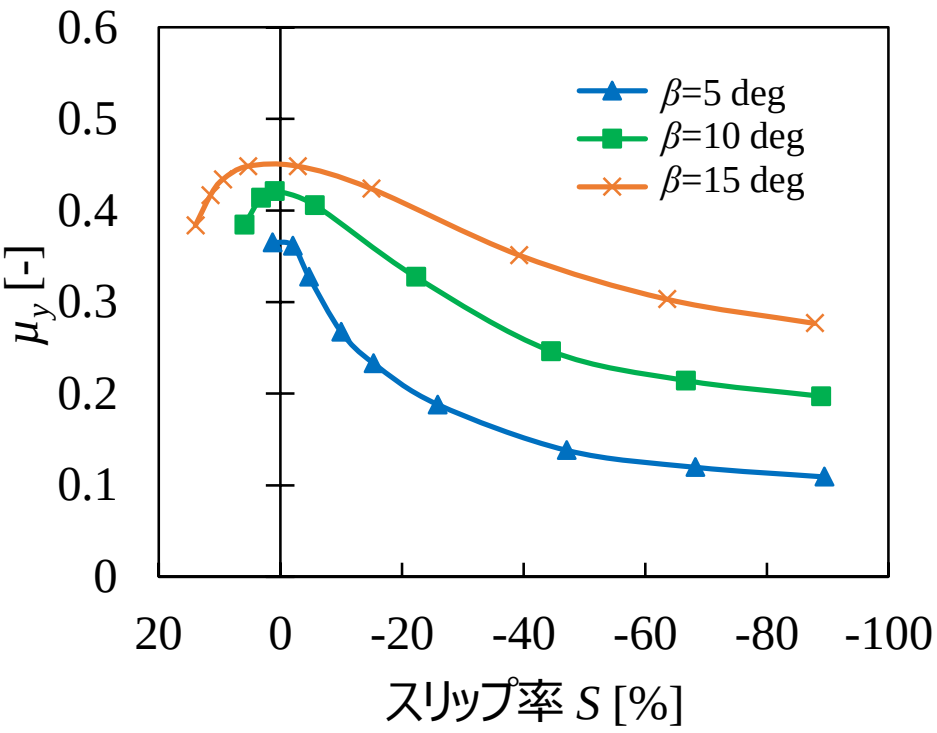
μ-S関係を測定可能

走行模擬装置

スリップ角変化実験



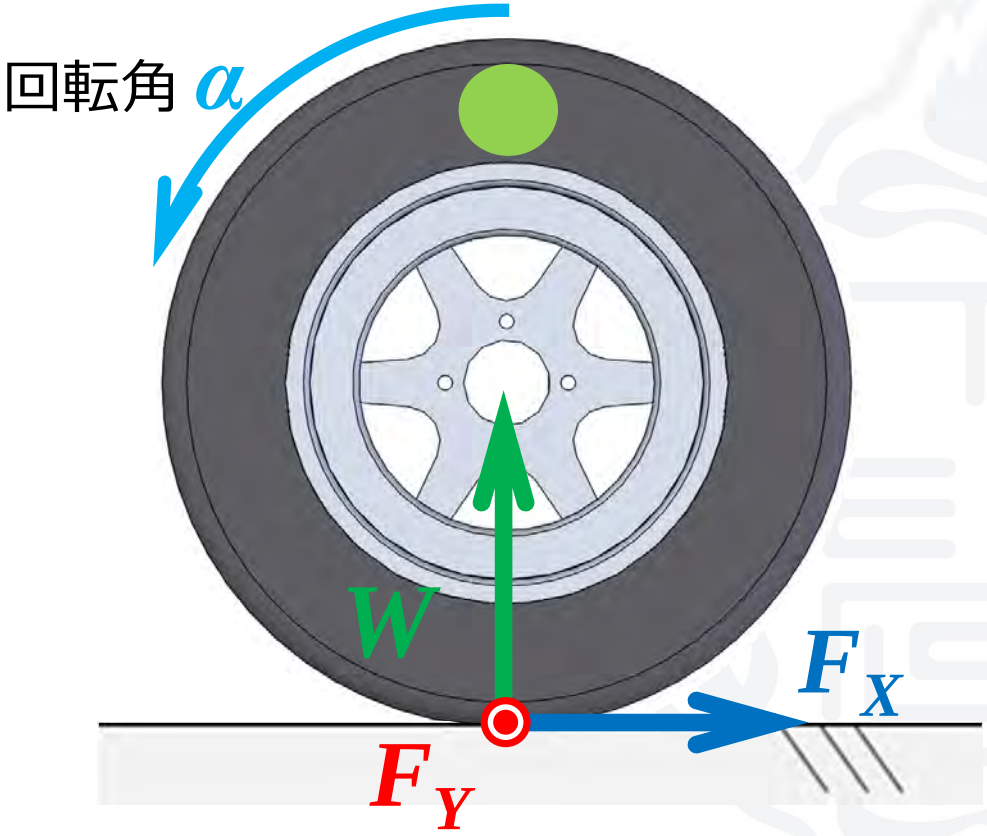
スリップ角40 degでの実験

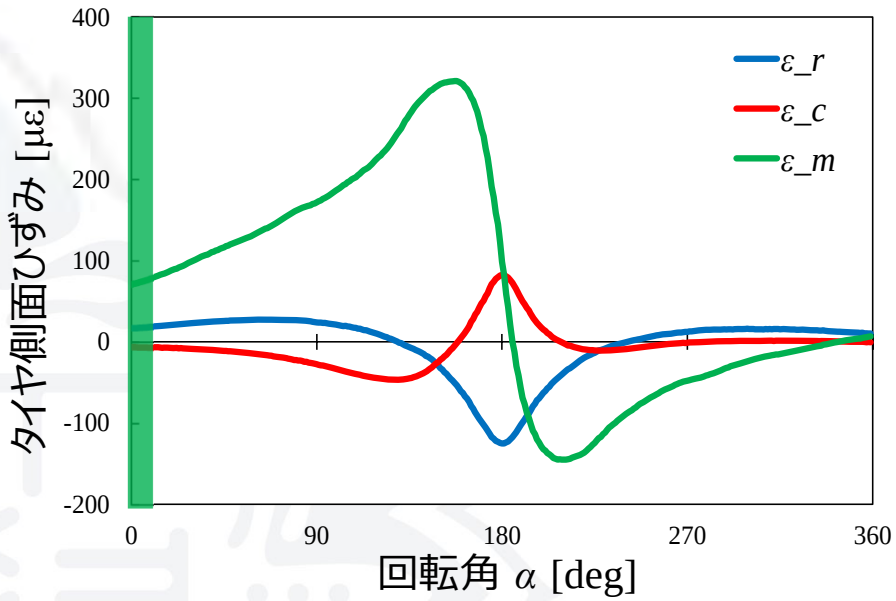


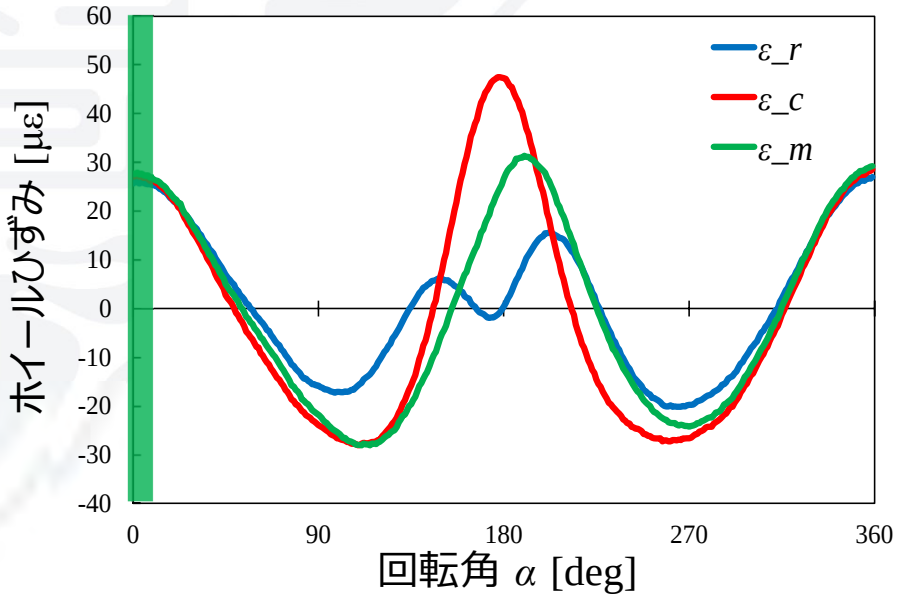
摩擦係数μ-スリップ角β-スリップ率Sの関係を測定可能

タイヤの変形と接地荷重との関係

ひずみと回転角α



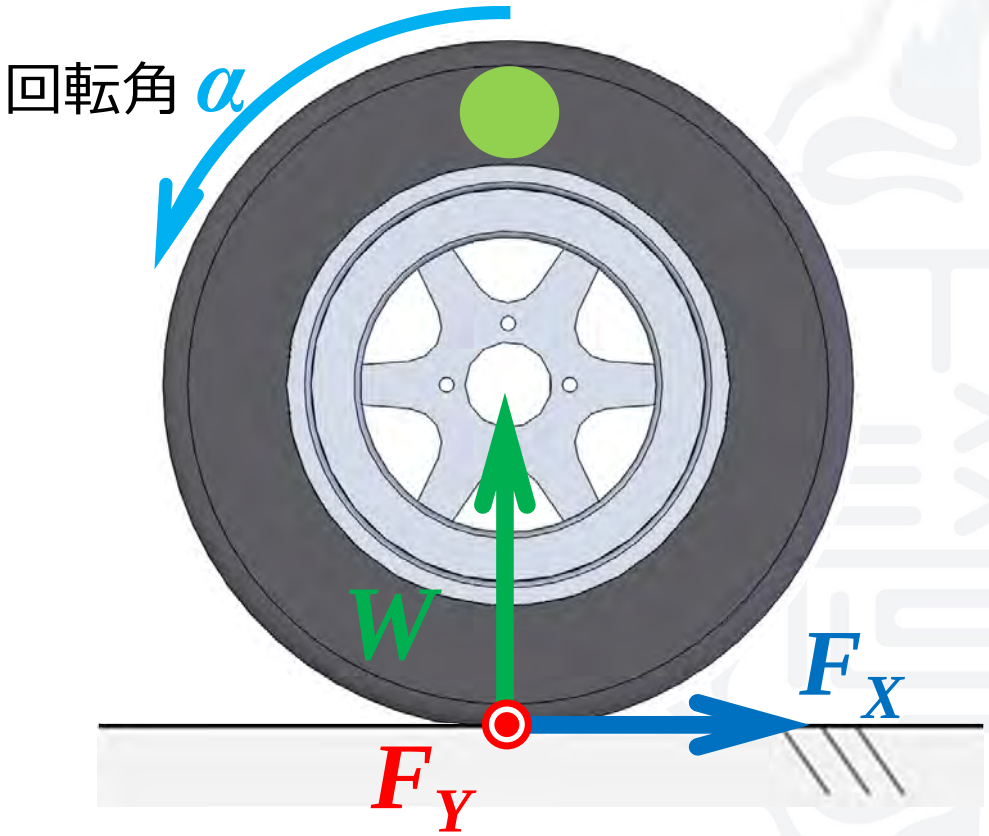


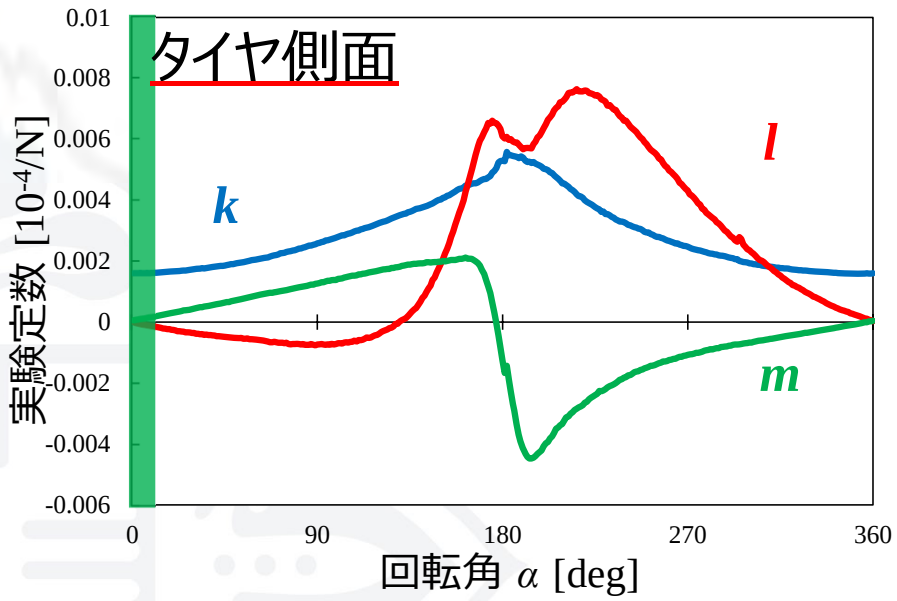


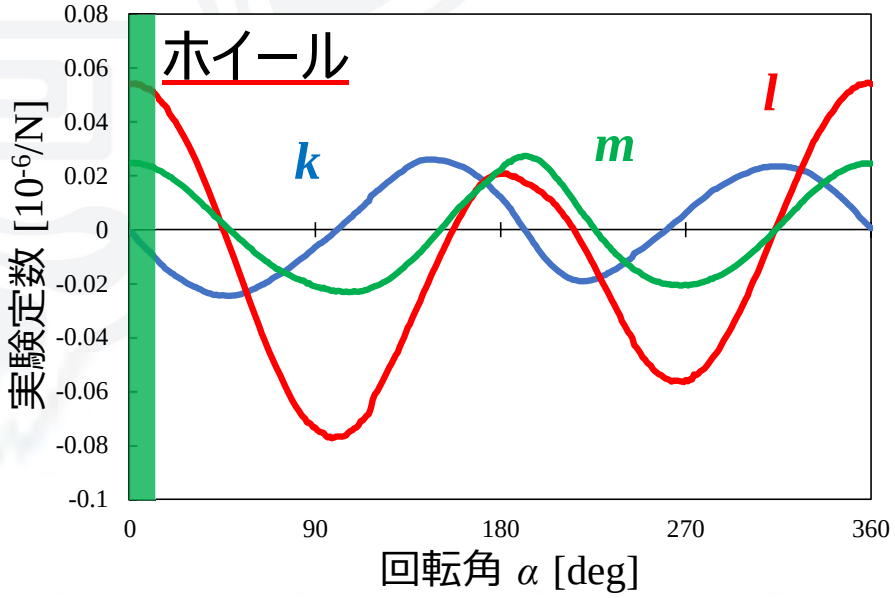
» 回転角αに対して
ひずみが変化

タイヤ，ホイールの変形と接地荷重との関係式

ひずみと荷重の関係式







$$\varepsilon = f\left(\boxed{k}\cdot F_X,\ \boxed{l}\cdot F_Y,\ \boxed{m}\cdot W\right)$$

ひずみを用いた摩擦係数の測定方法

手法① 特定3カ所のひずみを利用

車両制御への
入力値としての路面μ

❯ 応答性 **高**

手法② 1回転でのひずみ平均値を利用

運転者への注意喚起
車両間共有のための路面μ

❯ ロバスト性 **高**

実車走行実験

実験車両および測定系

：有線
：無線

無線受信機(車内)

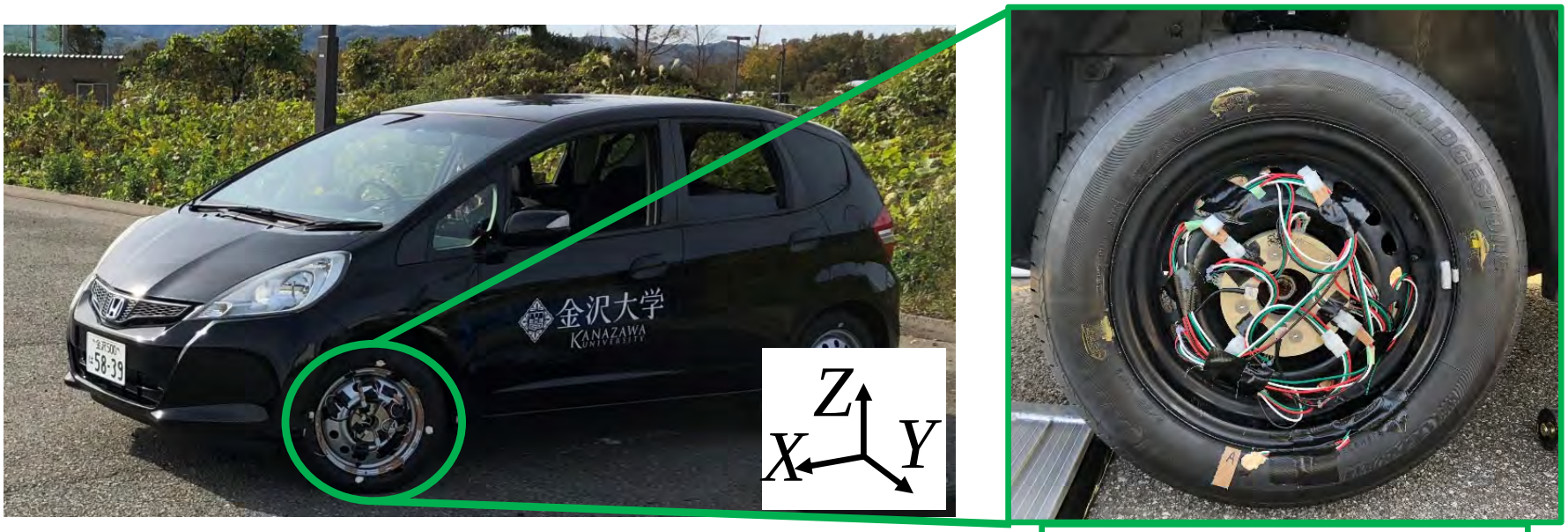
PC(車内)

実車走行中にタイヤ・ホイールのひずみを測定可能

実車走行実験_条件

走行条件

			測定対象
走行速度変化	5 km/h，60 km/h	・・・	F_X，W
路面変化	乾燥路，雪路	・・・	F_X，W

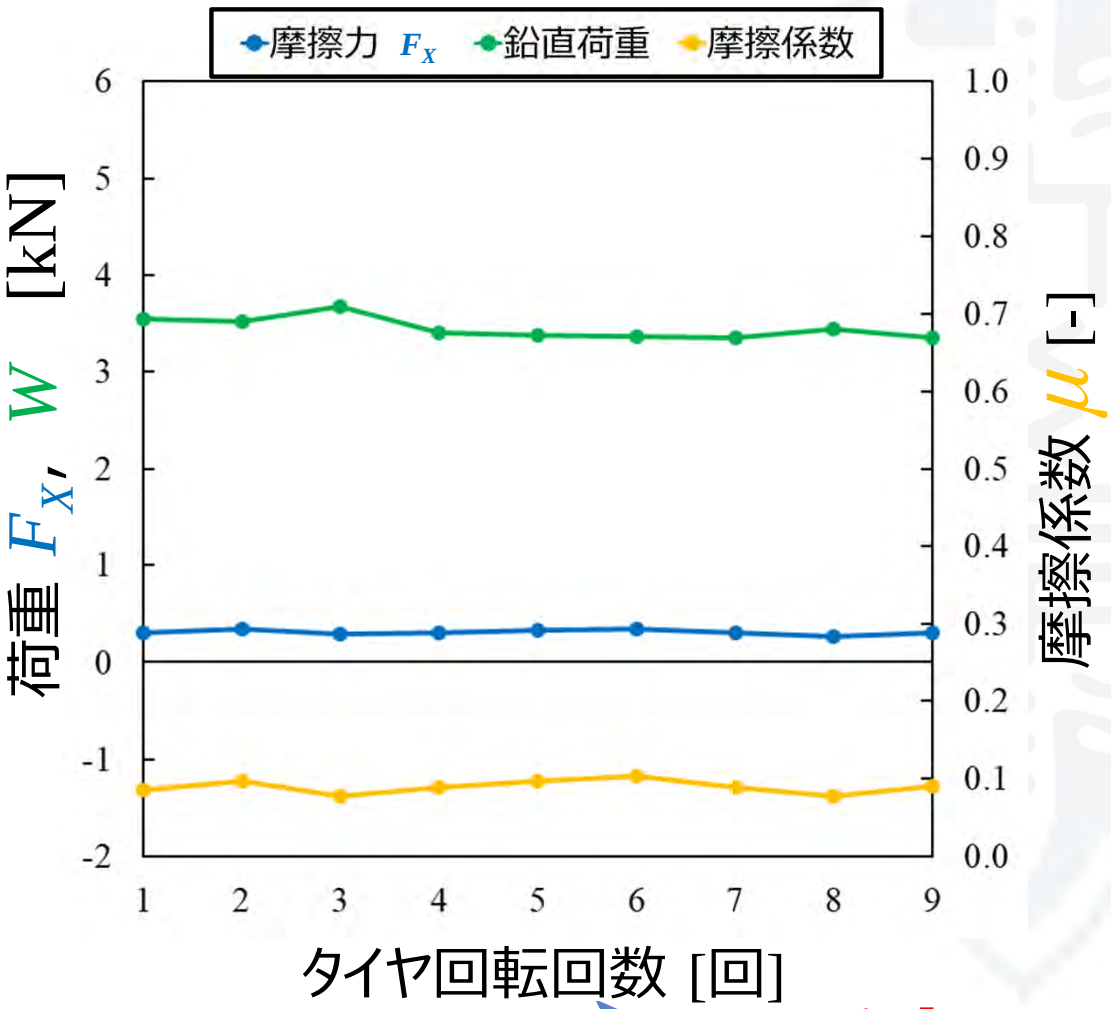


使用車両

測定タイヤ：駆動輪

実車走行実験_低速走行

速度変化　　5 km/h



W の測定値 ： 約 3500 N

➤ 実際の荷重と一致

F_X の測定値：車両前方

➤ 駆動力を測定

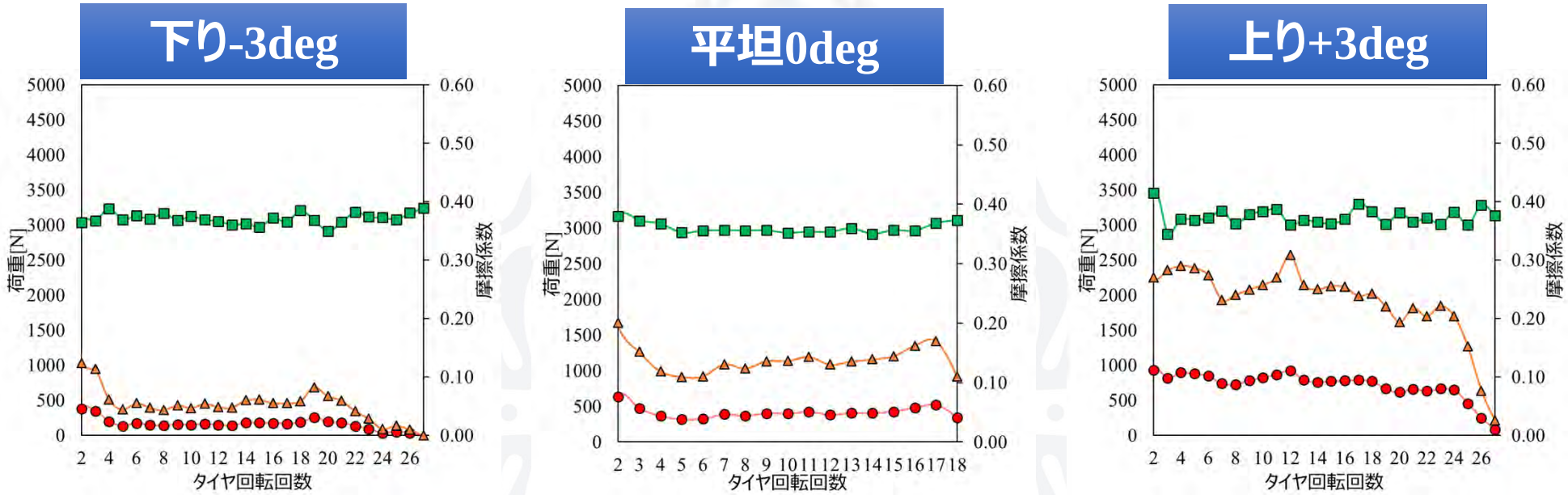
μ の測定値：低摩擦係数

➤ 摩擦係数を測定可能

➤ **妥当**な測定結果

実車走行実験_傾斜面走行

傾斜変化



摩擦力測定値　鉛直荷重測定値　摩擦係数測定値

（10km/h，空気圧230kPa）

摩擦力測定値の大小関係

下り-3deg ＜ 平坦0deg ＜ 上り+3deg

駆動力：小　　駆動力：中　　駆動力：大

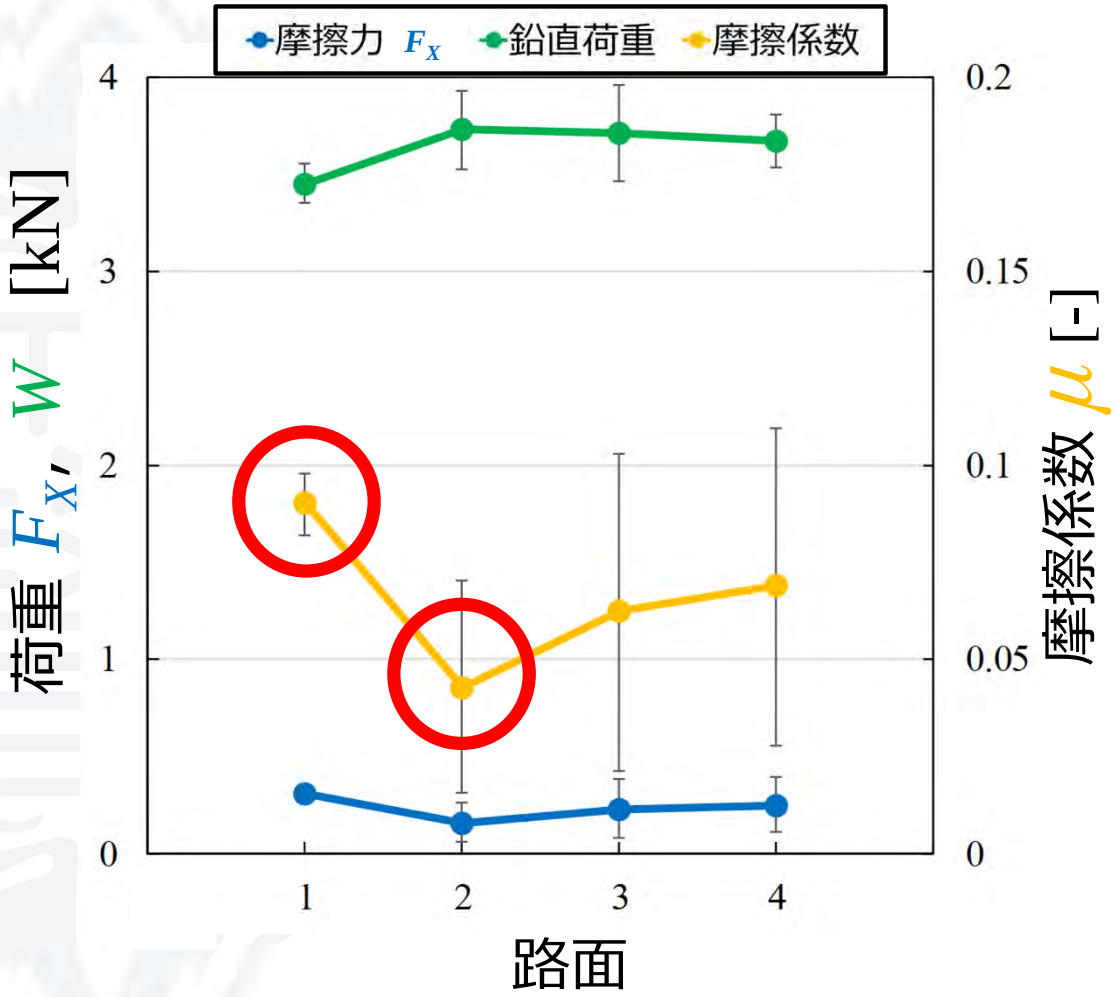
駆動力に対応した適切な測定結果

実車走行実験_路面変化

路面変化

低速走行

（タイヤ1回転ごとの平均値）



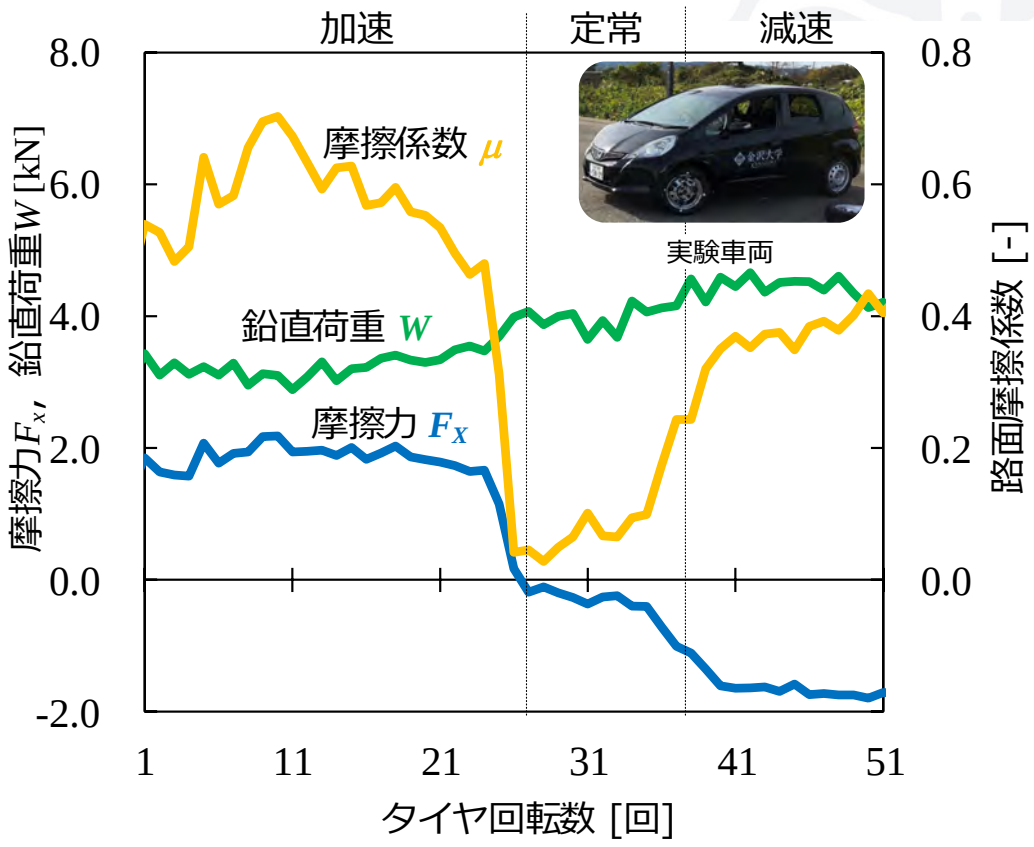
[1:乾燥路,2:雪路①,3:雪路②,4:雪路③]

➤ 路面状態による摩擦の変化を測定

実車走行実験_高速走行

速度変化　**60 km/h**

加速→定速(60km/h)→減速



W の測定値 ： 約 3.5～4 .0 kN

➤ ほぼ妥当

F_X の測定値

加速時：車両前方

∨

減速時：車両後方

➤ 駆動力，制動力を測定

μ の測定値

加速･減速時：大

定常時：小

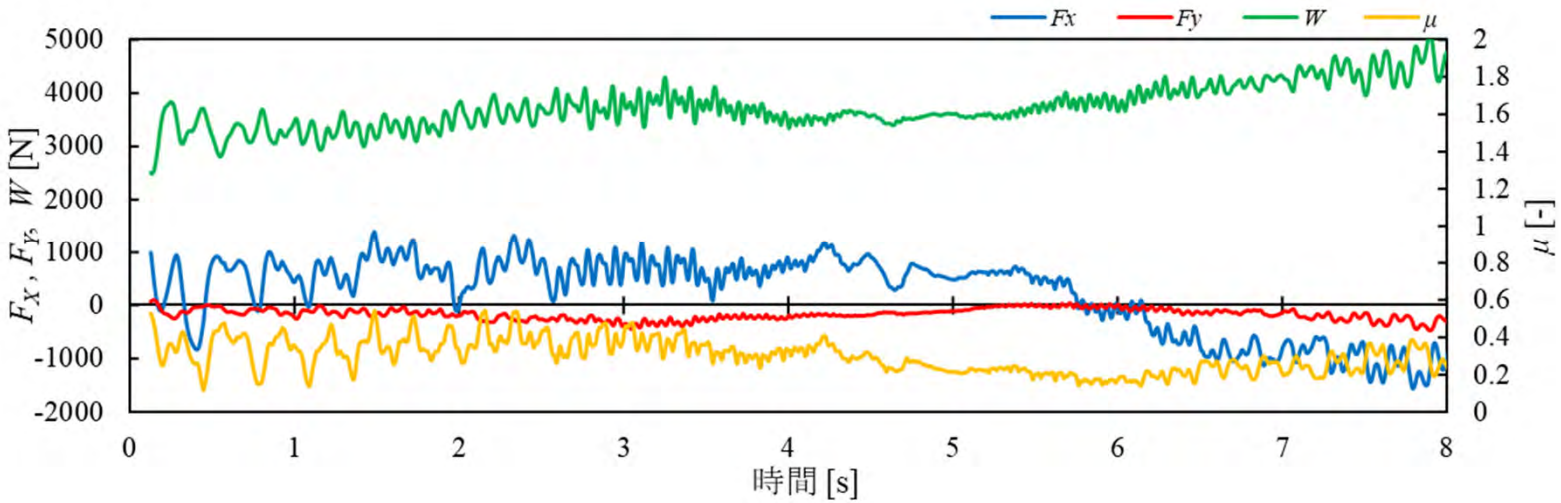
➤ スリップ率にともなう変化

➤ 定性的な傾向は妥当

実車走行実験_高速走行_ホイールによる3軸実時間測定

測定結果　ホイール底面ひずみを用いたμのリアルタイム測定

50km/h(加速→減速)　サンプリング周期：2.0 kHz



F_X：加速区間で正(駆動力)，減速区間で負(制動力)

F_Y：直進走行のため ほぼ0 N

W：加減速による重心移動に応じた変動

μ：加減速にともなう変化

» 定性的に妥当な測定結果．解析ともよく一致することを確認済み．

本手法の特長と課題

特長

低コスト，保守が容易なセンサを使用

任意方向の路面摩擦系数が測定可能

既存のタイヤ，ホイールで測定が可能

車両の改造などが不要で市販車に適用可能

課　題

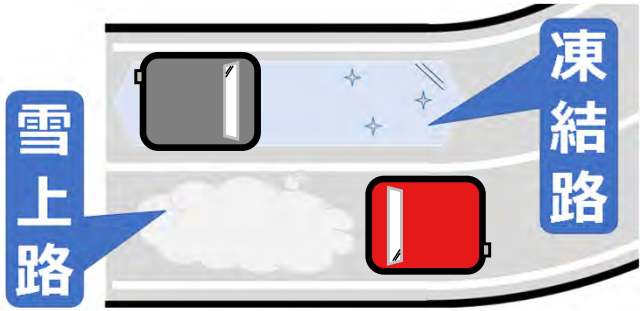
測定のロバスト性，安定性の向上

無線を中心とした廉価な測定系の構築

簡便なキャリブレーション方法の確立

車両の操舵制動制御への応用

期待される波及効果



先進運転支援システム(ADAS)の高機能化

路面状況の情報共有システムの構築

・悪天候下におけるABS，自動ブレーキ，横滑り防止等の性能向上

・ビーコンを利用した路面状況の情報検知，共有による予防安全の実現

自動運転技術への応用

現状の自動運転　レベル3［特定の条件下での実現］

➡ レベル4以上：様々な天候，路面での安定した自動運転を実現

自動運転の実施判断　［多くは運転者が判断］

➡ 状況に応じた自動運転実施可否の適切な判断による事故防止

本研究に関するご質問，ご意見などをお待ちしております