

カメラHILSを活用した運転映像のパネラ評価に関する研究
～ステアリング負荷装置に関する研究～
共同研究成果報告資料

2026.4.30

学校法人幾徳学園 神奈川工科大学
研究推進機構 先進自動車研究所 (VRI)
上原 健一, 杉澤 雅紀, 小藤 誠十郎, 井上 秀雄

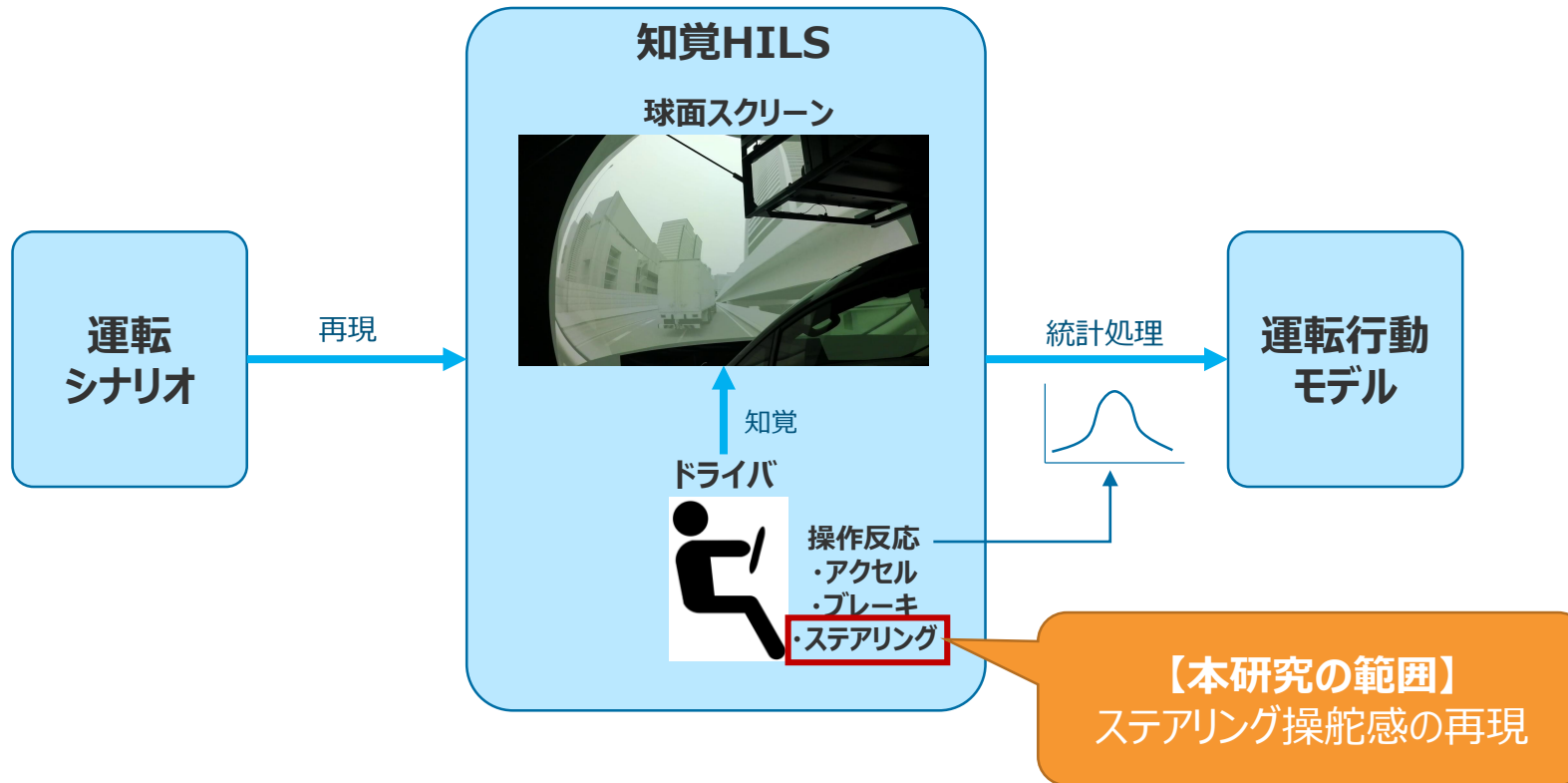
株式会社 明電舎 電動カソリューション営業・技術本部
モビリティT&S技術部 ソリューション企画課
高橋 利道

1. 目的 知覚HILSの為のステアリング負荷装置の開発

運転知覚に対するドライバ操作反応を計測・解析し運転行動モデル化できると、自動運転の開発やシミュレーションといった様々な領域で活用することができる。

この為に「知覚に対するドライバ操作反応HILS(知覚HILS)」の構築を進めており、

本研究では、知覚HILSにおけるステアリング操舵感の再現性を向上することを目的としたステアリング負荷装置の研究開発を行う。



2. 背景 カメラHILSの球面スクリーンの活用

神奈川工科大学で所有するカメラHILS(Hardware in the Loop Simulation)の球面スクリーンは、もともとカメラに映像を入力するためのものであったが、人間にとっても没入感のある映像を投影できる。

この球面スクリーンを活用し、知覚HILSを構築するものとする。

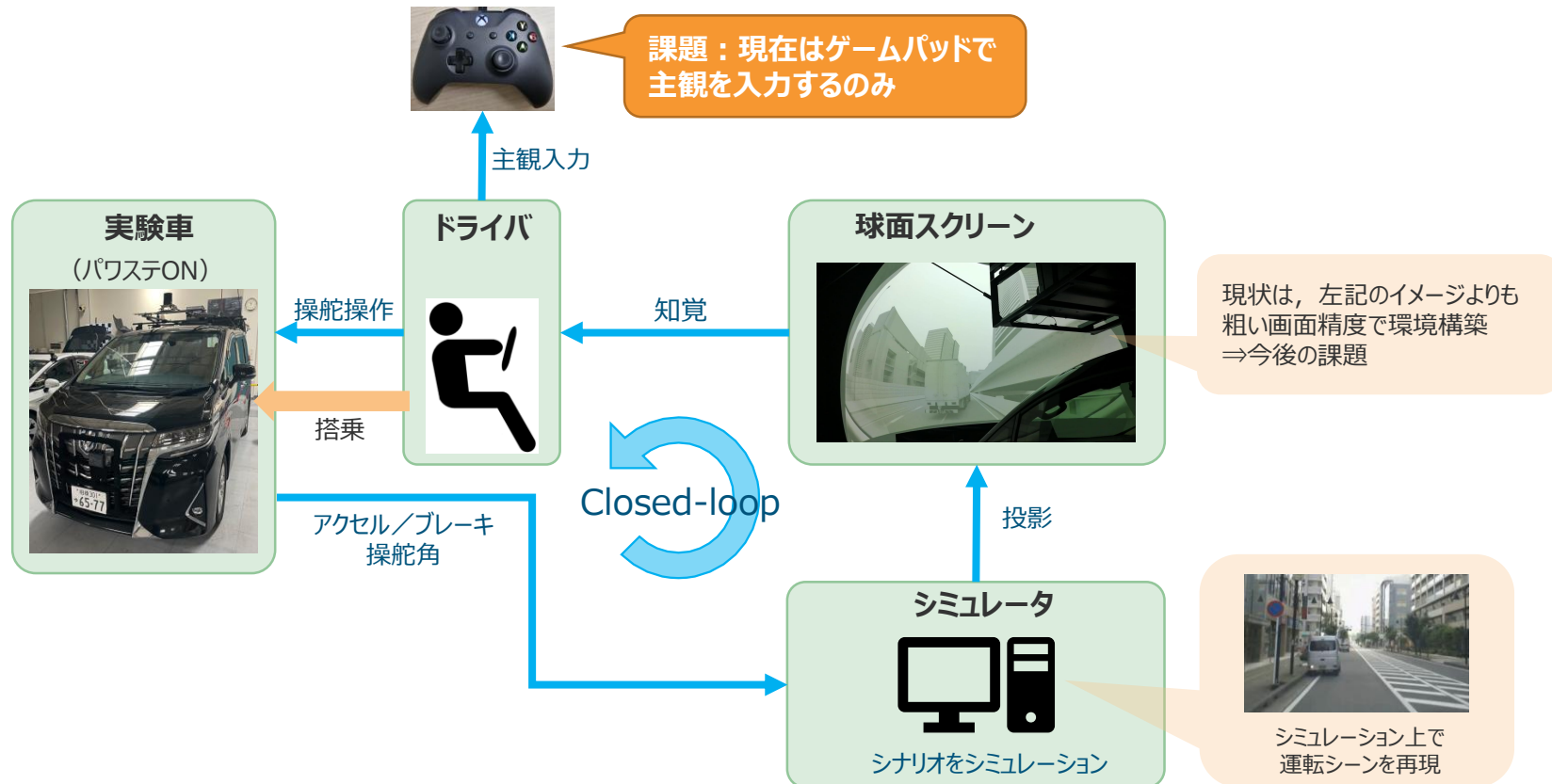
球面スクリーンの前に実験車を設置し、スクリーンにプロジェクタ装置で運転映像を投影する。

ドライバは実験車に搭乗し、運転シーンの映像を知覚した際の操作反応を計測する。



3. 課題 操舵反力の再現

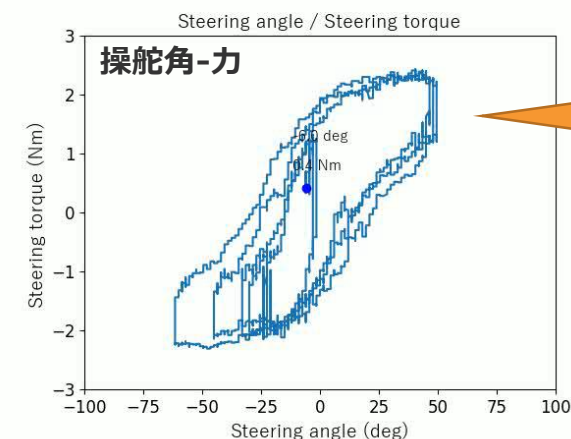
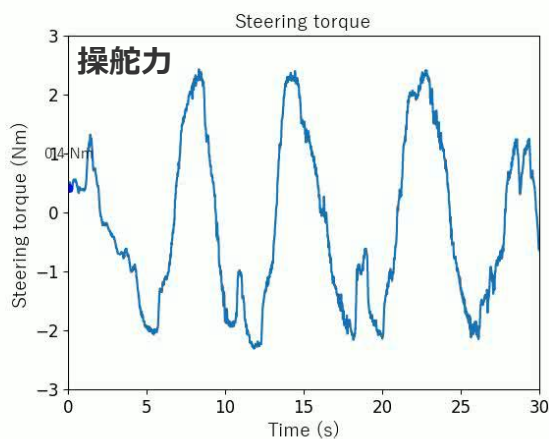
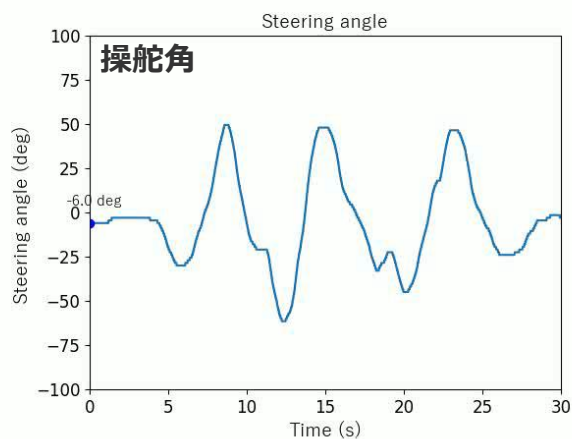
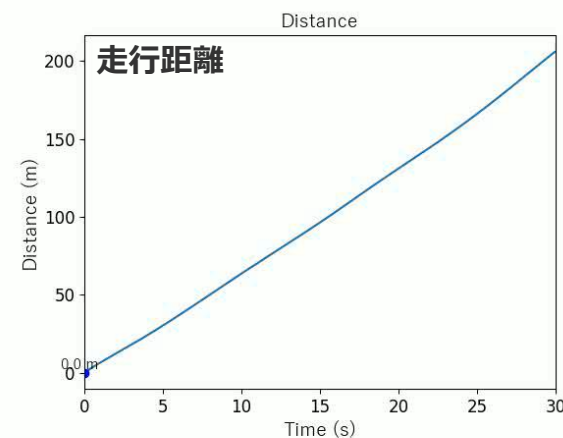
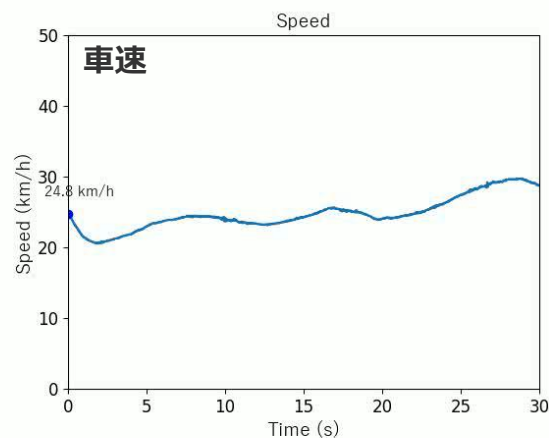
現在の知覚HILSは、球面スクリーンの前に接地した実験車にドライバが搭乗し、球面スクリーンに投影される運転映像に対する主観をゲームパッドで入力してもらう方式である（例：ヒヤリハット大中小をボタンで入力）。より実際に近い操作反応を計測できるように、実車のステアリングを操作できるようにしたい。この為に、ドライバ～車両～シミュレータ～球面スクリーンのクローズドループ構成を構築（粗い画面精度で試験的に構築）したが、車両停止状態では走行状態の操舵反力を再現できないことが課題である。



4. 目標要件 実路走行時の操舵特性の再現

実験車の実路走行時（路上駐車車両回避シーン）の操舵特性を以下に示す。

知覚HILSにおけるステアリング操作時も、このような操舵特性を再現したい。



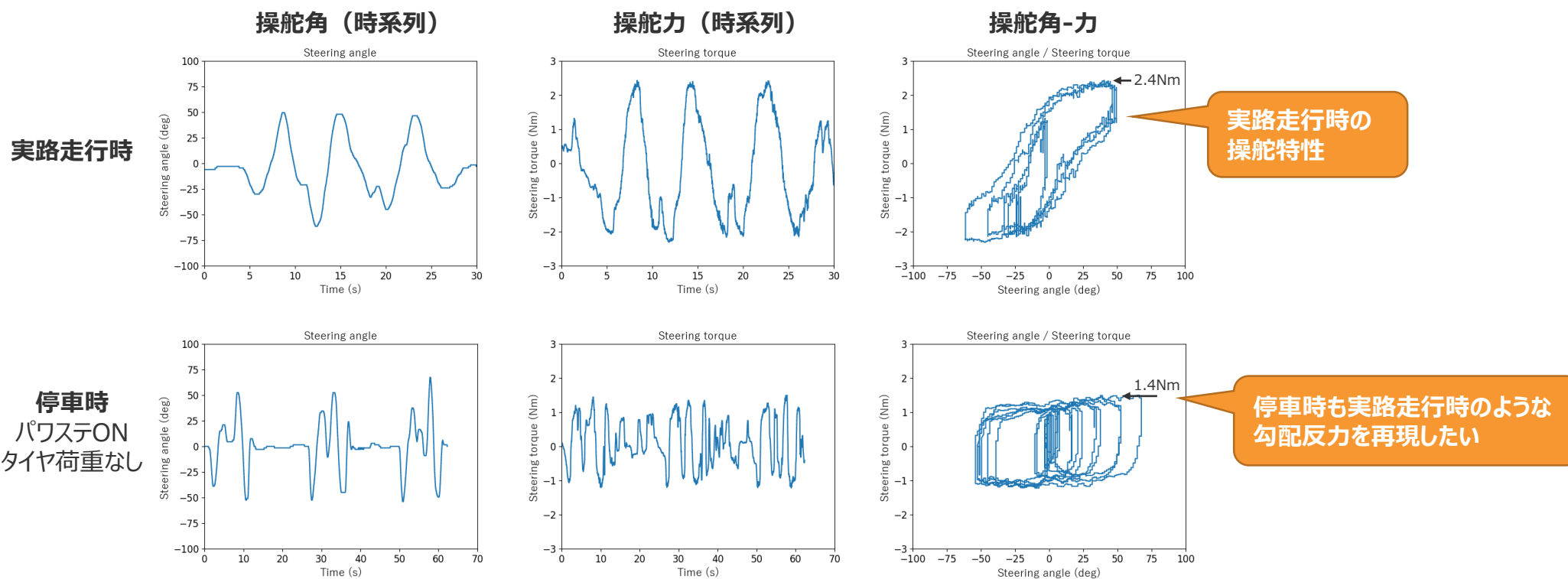
実路走行時の
操舵特性

4. 目標要件 実路走行時の操舵特性の再現

実路走行時と停車時（パワステON／タイヤ荷重なし）の操舵特性の比較を以下に示す。

停車時は実路走行時のような勾配反力が存在しないことがわかる。

【目標】簡便な装置で停車時も実路走行時のような勾配反力を再現したい。詳細なヒステリシスの一致性は必要としない。



5. ステアリング負荷装置の開発

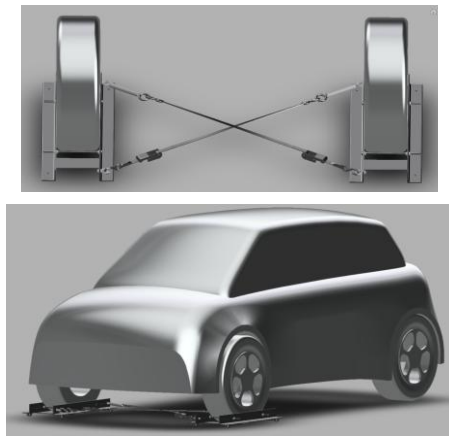
前頁の要件を満たすようにステアリング負荷装置の構造を検討した。

停車車両をジャッキアップした状態で、タイヤをジグで挟み込んで固定し、左右ジグ間をタイダウンベルトとばねで接続するといった、車両改造不要な構造としている。

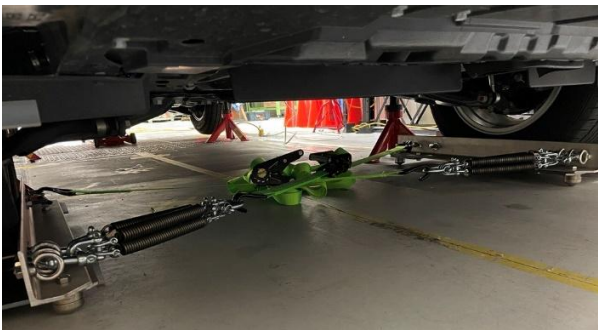
操舵時にジグ間の対角線が伸長する側のばねの変位量 x に比例する力($F=kx$)で路面反力を模擬する。

対角線が短縮する側のタイダウンベルトは、たわむため反力にはほぼ影響しない。

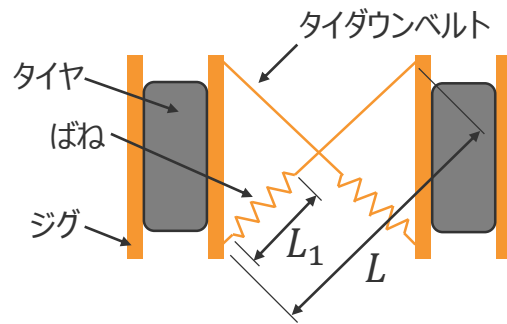
ステアリング負荷装置



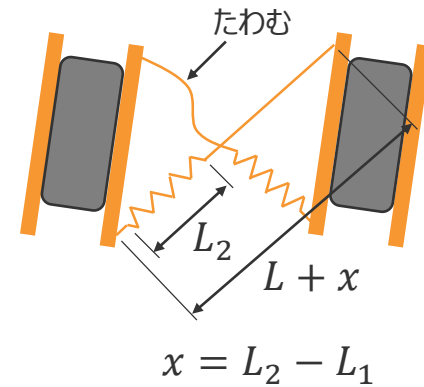
ステアリング負荷装置の実物と設置状態



上面図 (中立状態)

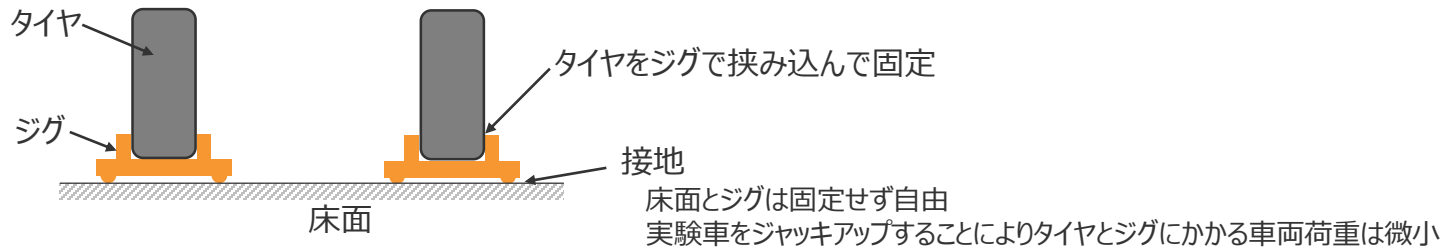


上面図 (右操舵状態)



x : ばねの変位量
※タイダウンベルトの変位量は無視する

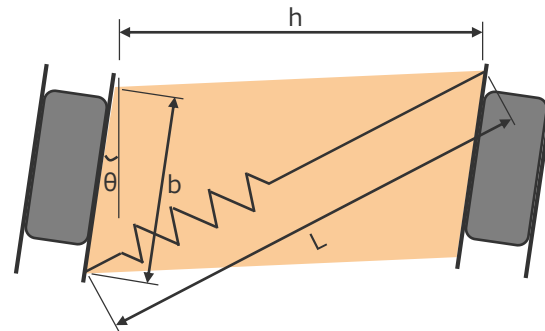
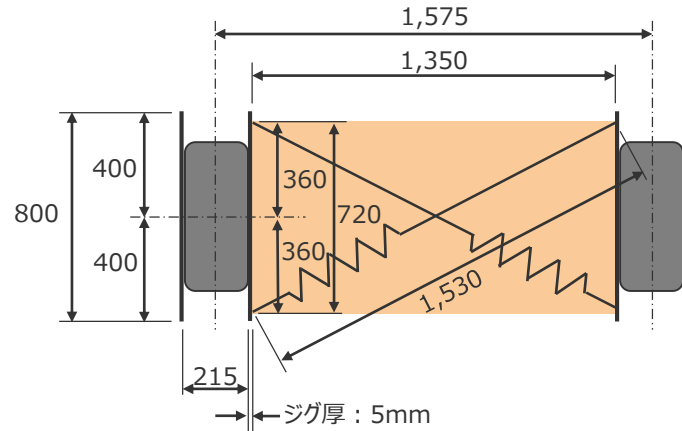
正面図



5. ステアリング負荷装置の開発 メカニズム

左右タイヤのジグ間が形成する長方形が、操舵操作によって平行四辺形に変形する際のばねの変位によるばね力を計算した。

ばねは実際にセットアップして調整しつつ、ばね定数7.45[N/mm]のばねを4本使用するものとした。



$$L = \sqrt{b^2 + h^2 + 2bh \sin \theta}$$

$$x = L - L_i$$

L : 変形後に伸長する側の対角線長

L_i : 変形前の長方形の対角線長 (1,530mm)

b : 底辺 (720mm)

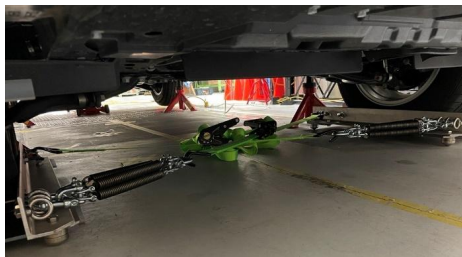
h : 高さ (1,350mm)

θ : 舵角

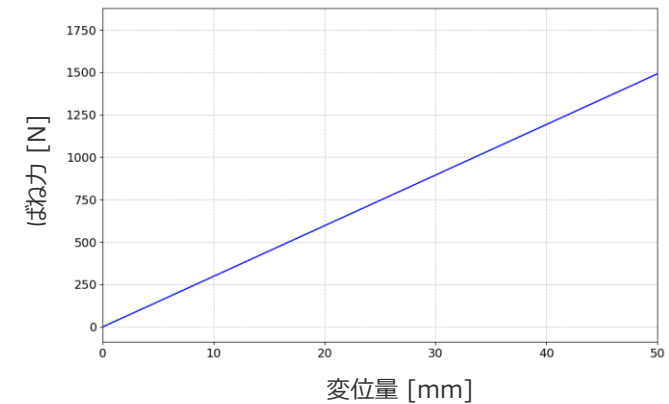
x : ばねの変位量

※高さ(h)の変化は無視する

※アッカーマン機構による内外輪舵角差は無視する



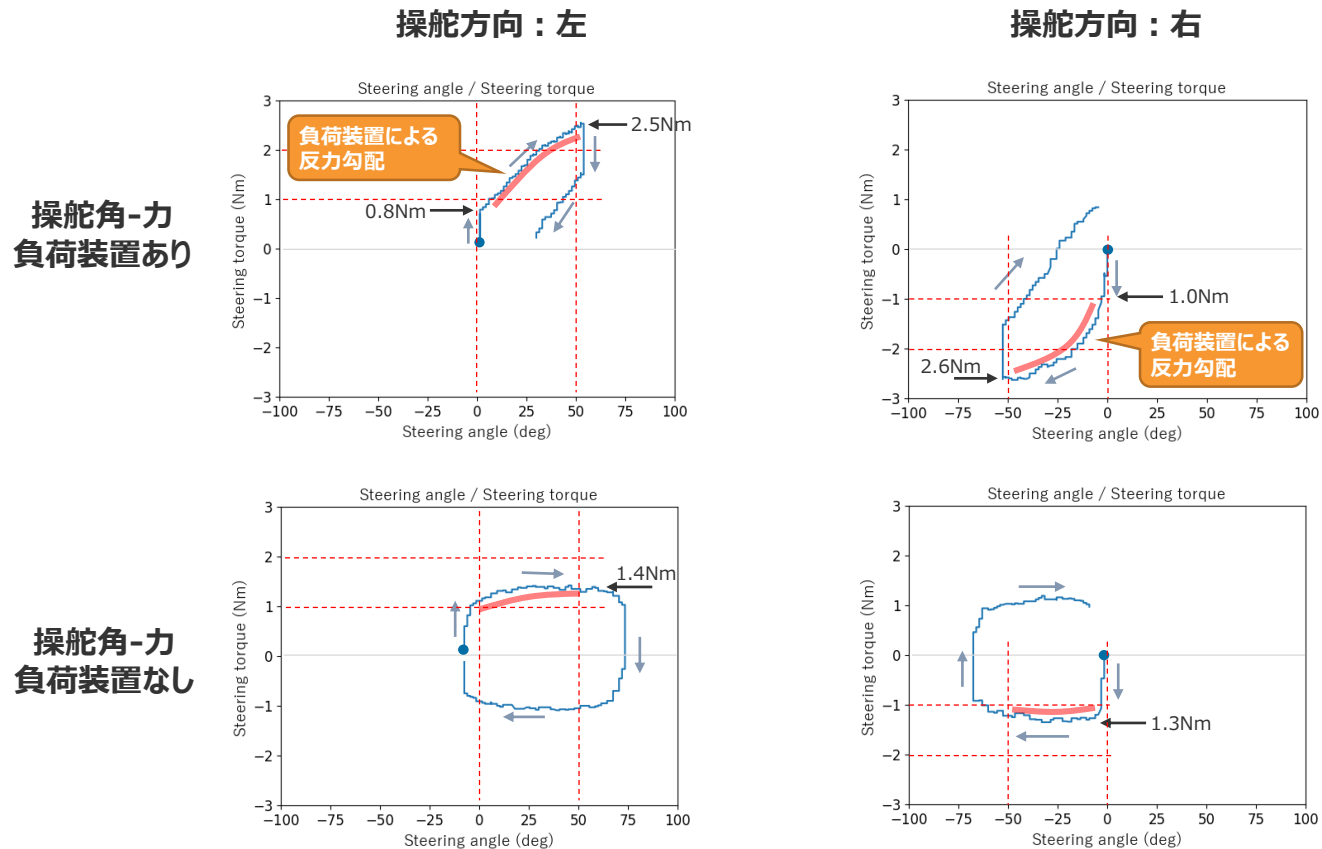
変位量(x)とばね力の関係



※ばね定数7.45[N/mm]のばねを4本使用

6. ステアリング負荷装置による操舵反力の効果

ステアリング負荷装置により，操舵反力の勾配が付加されている。

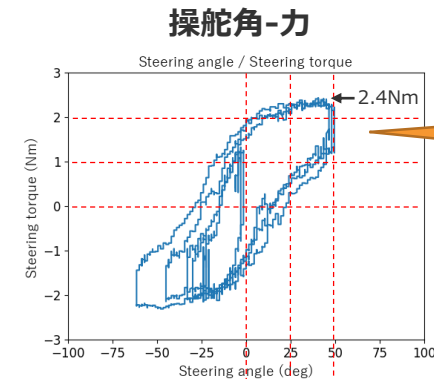
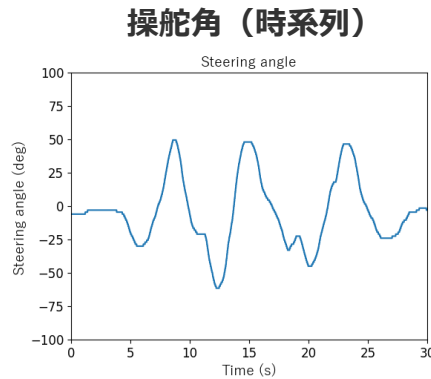
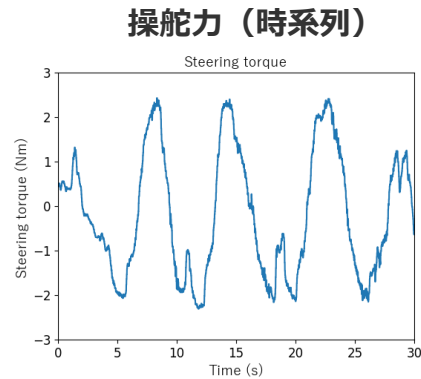


※停車時/パワステON/タイヤ荷重なし

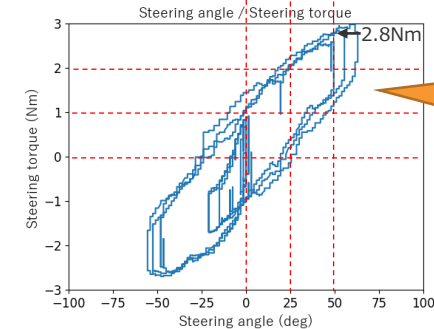
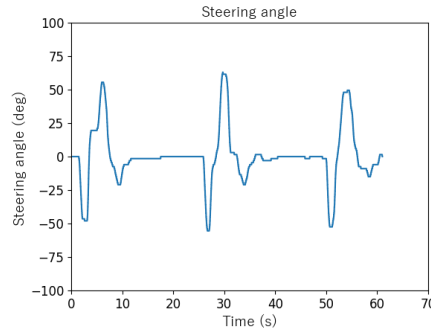
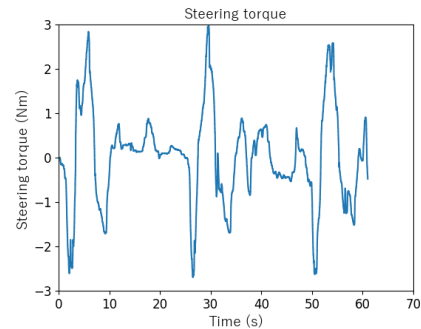
7. ステアリング負荷装置による操舵反力の検証 実路走行データとの比較

ステアリング負荷装置により，実路走行時の反力勾配が模擬できている。

実路走行時



負荷装置あり
停車時
パワステON
タイヤ荷重なし



7. ステアリング負荷装置による操舵反力の検証 主観評価

5人のパネルでステアリング負荷装置あり／なしの比較評価を行ったところ、

5人中全員がステアリング負荷装置ありの方がより実車に近い操舵感であったと回答。

このように、走行時の路面反力による操舵感を簡易的に再現する目的として十分利用できると思われる。

負荷装置有無	ポジティブな意見	ネガティブな意見
負荷装置あり	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 反力が適度に発生し、負荷装置なしに比較すると実車走行に近い感覚だと感じた ✓ ステアリングを中立状態に戻すトルクがあるので操作がリアルに感じる ✓ 可変的な反力感がよかった ⇒ばねの変位に比例した反力増大効果 ✓ 視覚と手の感覚に違和感がなかった ✓ 装置自体は騒音も振動もなくスムーズな感じがした 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 舵角の微小領域（10°以下）の反力が小さい ⇒計測データと一致
負荷装置なし	なし	<ul style="list-style-type: none"> ✓ ステアリングが抵抗なく回ってしまい操作し辛い ✓ ステアリングを中立状態に戻すトルクが無いので、自分でステアリングを戻す操作が必要（実路とは異なる操作が必要）

ステアリング負荷装置実験アンケート

実験日 評価者氏名

実験内容

実験条件

Q1. ステアリング負荷装置ありの方が、より実車に近い操舵感であった。
 はい いいえ 該当箇所を記入

Q2. 上記回答を選んだ理由をお聞かせください

Q3. ステアリング負荷装置の改善すべき点がありましたらお聞かせください

Q4. その他お気づきの点など自由に記載ください。

8. まとめと今後

■まとめ

知覚HILSでドライバの操作反応を計測する為の、ステアリング負荷装置が開発できた。

■今後

様々なリスクシナリオにおいて、ドライバの知覚に対する操作反応を実験してゆく。