


Tele Operating Systemに関する研究

神奈川工科大学
工学研究科 機械システム工学専攻
井上・小宮研究室

1884001 木部 克哉

研究背景と目的

自動運転の公道実証の現状

- 幅広い環境で安全走行する信頼性確保が課題
 - 安全性確保の手段
 - 遠隔監視, Tele Operating System等を使用
 - 自動運転の故障時の補助や, 高齢ドライバーの操縦を代替する手段として, Tele Operating Systemが必要
- 

目的

- 通信遅れによる操縦性の悪化を向上させる
Tele Operating Systemの研究

実車でのTele Operating Systemの構築



Fig.1 ZMP RoboCar MV2



Fig.2 Remote cockpit

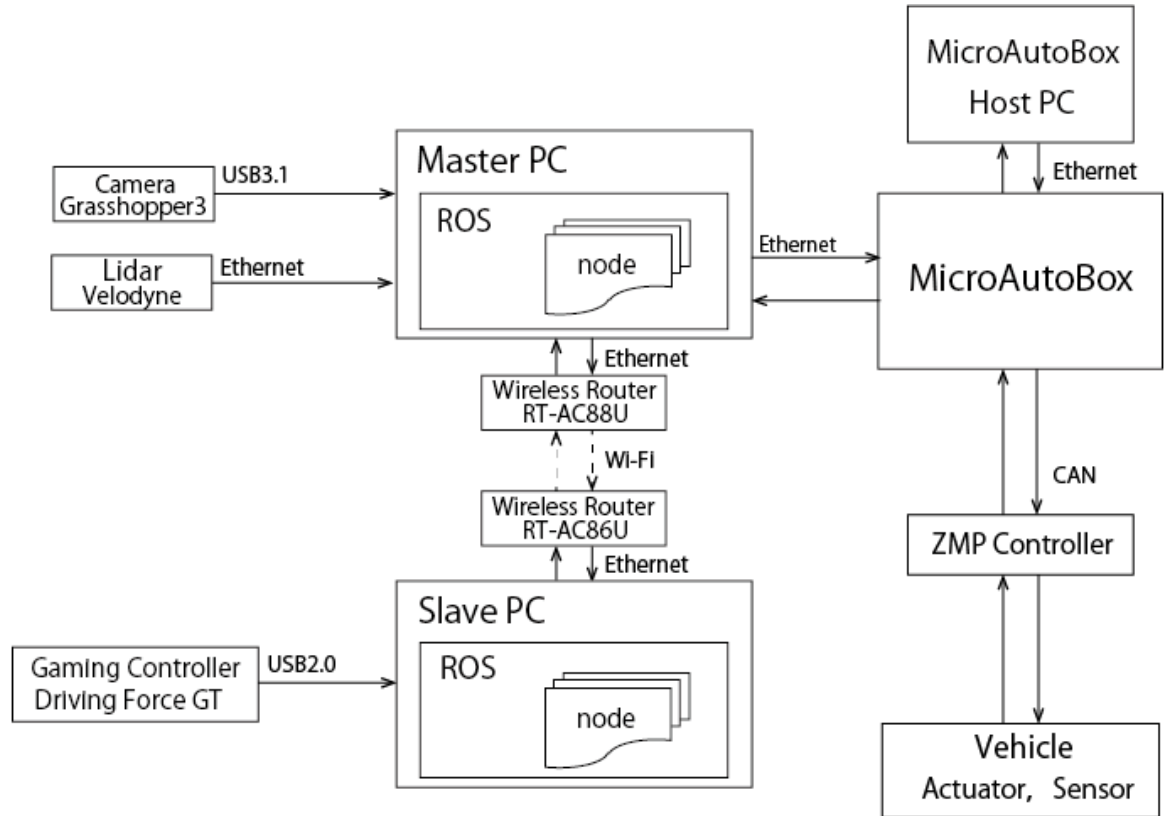
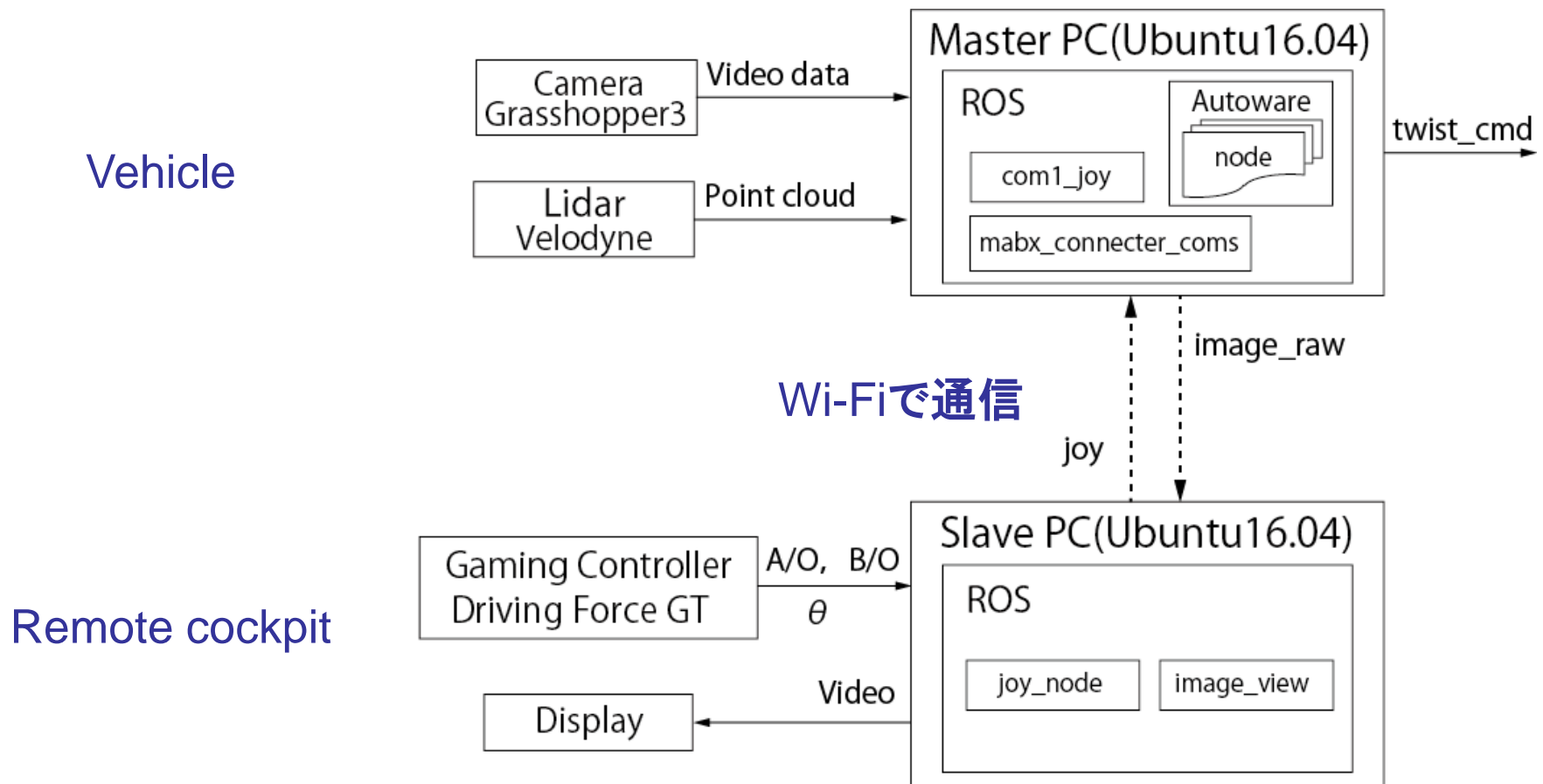


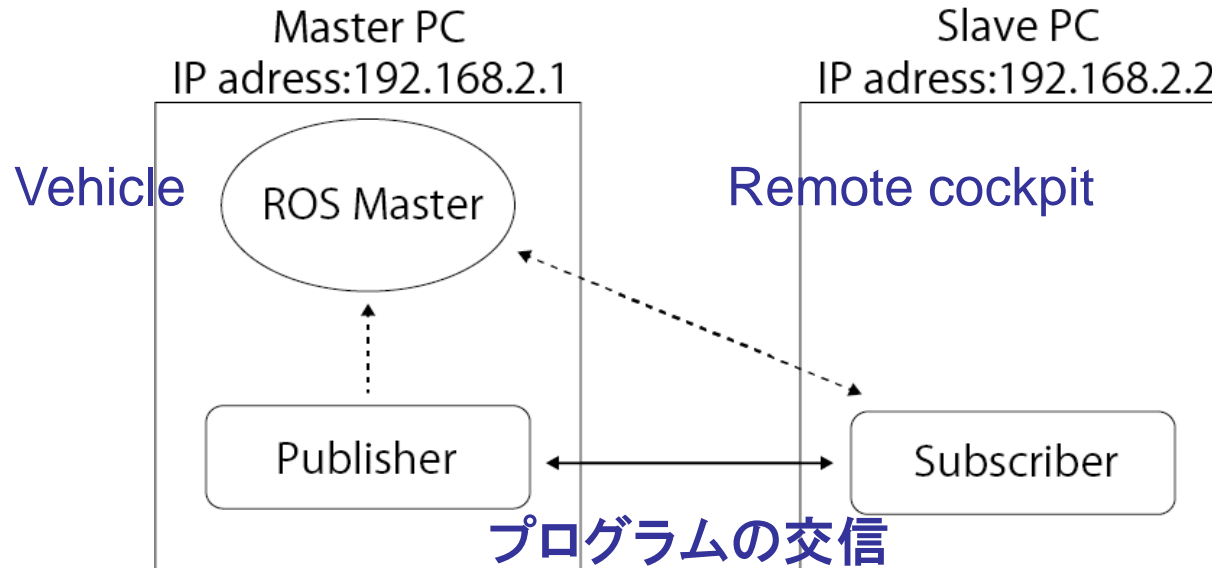
Fig.3 System configuration

Tele Operating Systemの構築; 通信方法



通信の信頼性を確保するためにWi-Fiルータ(メッシュ配置)を実施

Tele Operating Systemの構築 ; ROSでのプログラム交信



```
roscore http://Inoue:11311/
Inoue@G5-0362:~$ export ROS_HOSTNAME=Inoue
Inoue@G5-0362:~$ export ROS_MASTER_URI=http://Inoue:11311
Inoue@G5-0362:~$ roscore
... logging to /home/Inoue/.ros/log/f7dd0e82-ff72-11e9-9e06-8c04ba993f1e/roslaunch-G5-0362-8195.log
Checking log directory for disk usage. This may take awhile.
Press Ctrl-C to interrupt
WARNING: disk usage in log directory [/home/Inoue/.ros/log] is over 1GB.
It's recommended that you use the 'rosclean' command.
started roslaunch server http://Inoue:41877/
ros_comm version 1.12.14

SUMMARY
=====
PARAMETERS
* /roscpp: kinetic
* /rosversion: 1.12.14

NODES
auto-starting new master
process[master]: started with pid [8206]
ROS_MASTER_URI=http://Inoue:11311/

setting /run_id to f7dd0e82-ff72-11e9-9e06-8c04ba993f1e
process[rosout-1]: started with pid [8219]
started core service [/rosout]
```

Vehicle program

```
端末 ファイル(F) 編集(E) 表示(V) 検索(S) 端末(T) ヘルプ(H)
Inoueken@Inoueken-HP-Pavillon-Gaming-Notebook:~$ export ROS_HOSTNAME=Inoueken
Inoueken@Inoueken-HP-Pavillon-Gaming-Notebook:~$ export ROS_MASTER_URI=http://Inoue:11311
Inoueken@Inoueken-HP-Pavillon-Gaming-Notebook:~$ roslaunch com1_joy com1_client1_teleop.launch
... logging to /home/Inoueken/.ros/log/f7dd0e82-ff72-11e9-9e06-8c04ba993f1e/roslaunch-Inoueken-HP-Pavillon-Gaming-Notebook-6311.log
Checking log directory for disk usage. This may take awhile.
Press Ctrl-C to interrupt
WARNING: disk usage in log directory [/home/Inoueken/.ros/log] is over 1GB.
It's recommended that you use the 'rosclean' command.
started roslaunch server http://Inoueken:39610/

SUMMARY
=====
PARAMETERS
* /joy_node/autorepeat_rate: 100
* /joy_node/coalesce_interval: 0.01
* /joy_node/deadzone: 1e-06
* /joy_node/dev_name: Driving Force GT
* /roscpp: kinetic
* /rosversion: 1.12.14

NODES
/
joy_node (joy/joy_node)

ROS_MASTER_URI=http://Inoue:11311

process[joy_node-1]: started with pid [6320]
[ INFO] [1572920806.014758032]: Found joystick: Driving Force GT (/dev/input/js1).
[ INFO] [1572920806.014928425]: Using /dev/input/js1 as joystick device.
```

Remote cockpit program

通信遅れ時間の計測方法

車両カメラ → 遠隔ディスプレイ



Fig.4 Delay time measurement of video

遠隔操縦席(ハンドル) → 車両(ハンドル)



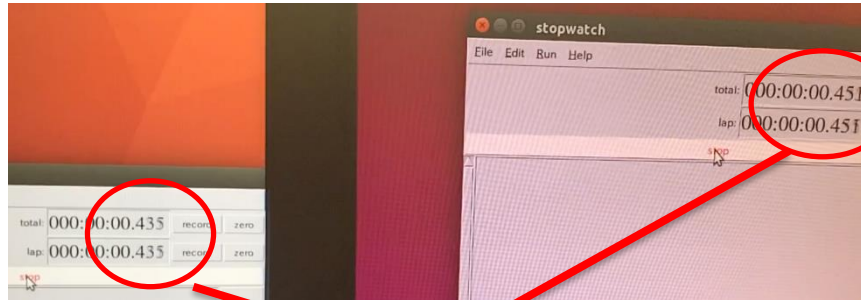
Fig.5 Delay time measurement of steering wheel angle

通信遅れ時間の計測結果

車両カメラ → 遠隔ディスプレイ



約0.17[s]



約0.016[s]

遠隔操縦席(ハンドル) → 車両(ハンドル)

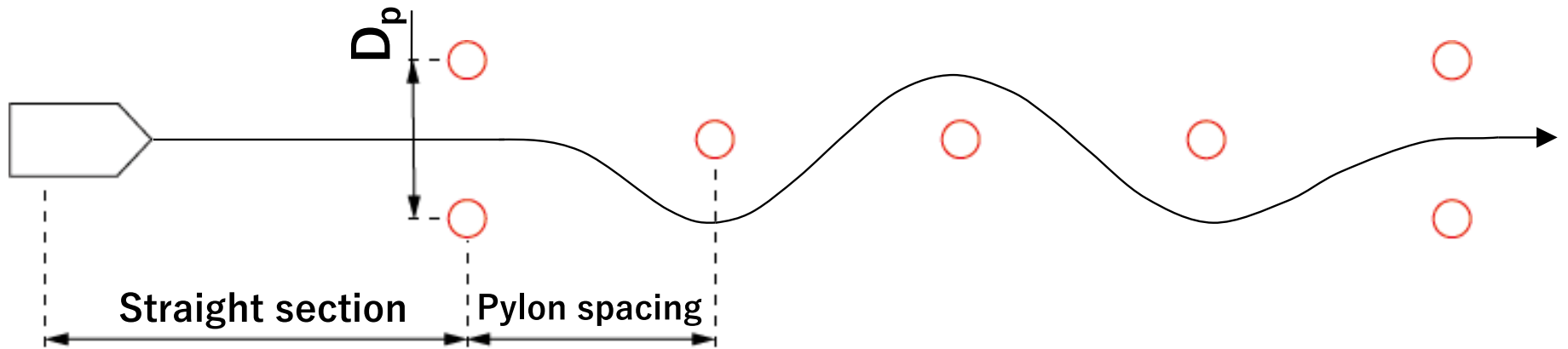


約0.20[s]

システム全体での遅れ時間

$$\begin{aligned} & 0.17 + 0.016 + 0.20 \\ & = 0.386 \\ & \approx 0.4[s] \end{aligned}$$

実験コース



車速: 10km/h、15km/h、20km/h

予備実験での操縦性の確認

V=10km/h



V=20km/h



予備実験での操縦性の確認結果

0.4 秒の遅れは、車速が上がるにつれ操作性を著しく悪化

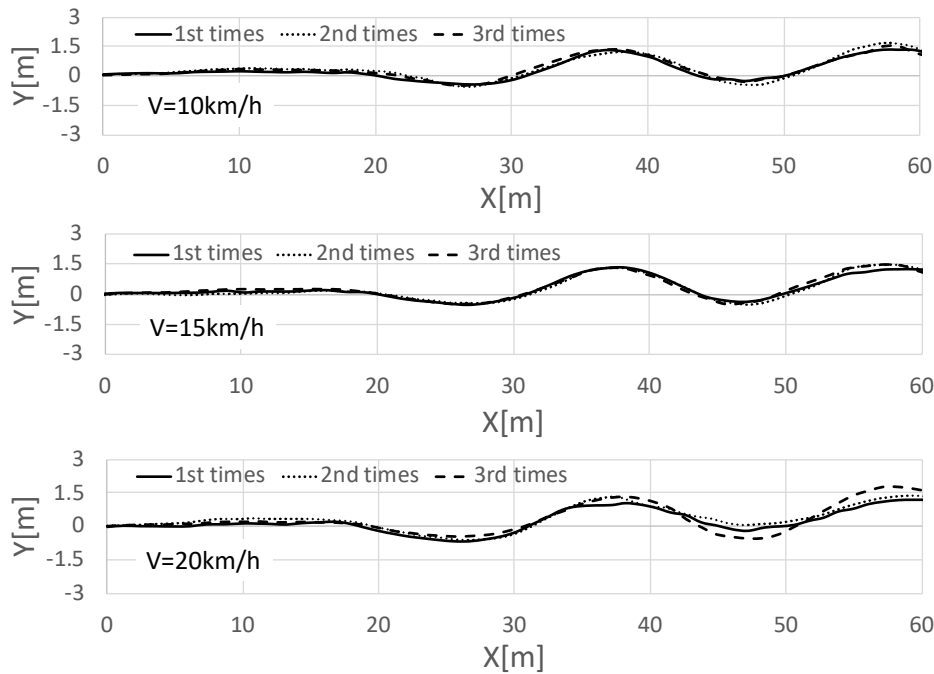


Fig.6 Maneuverability by real driving

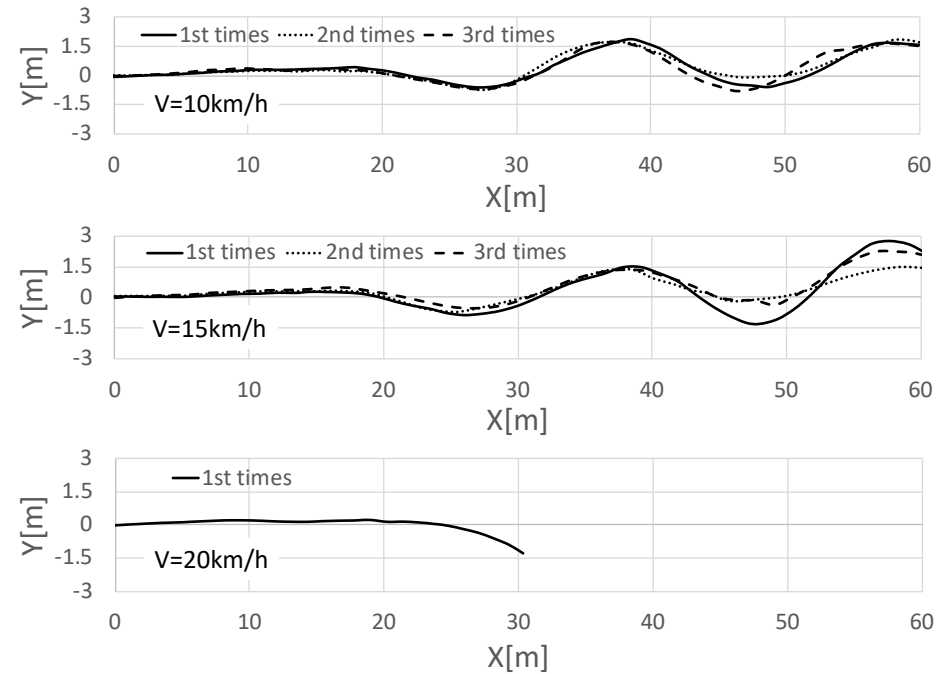
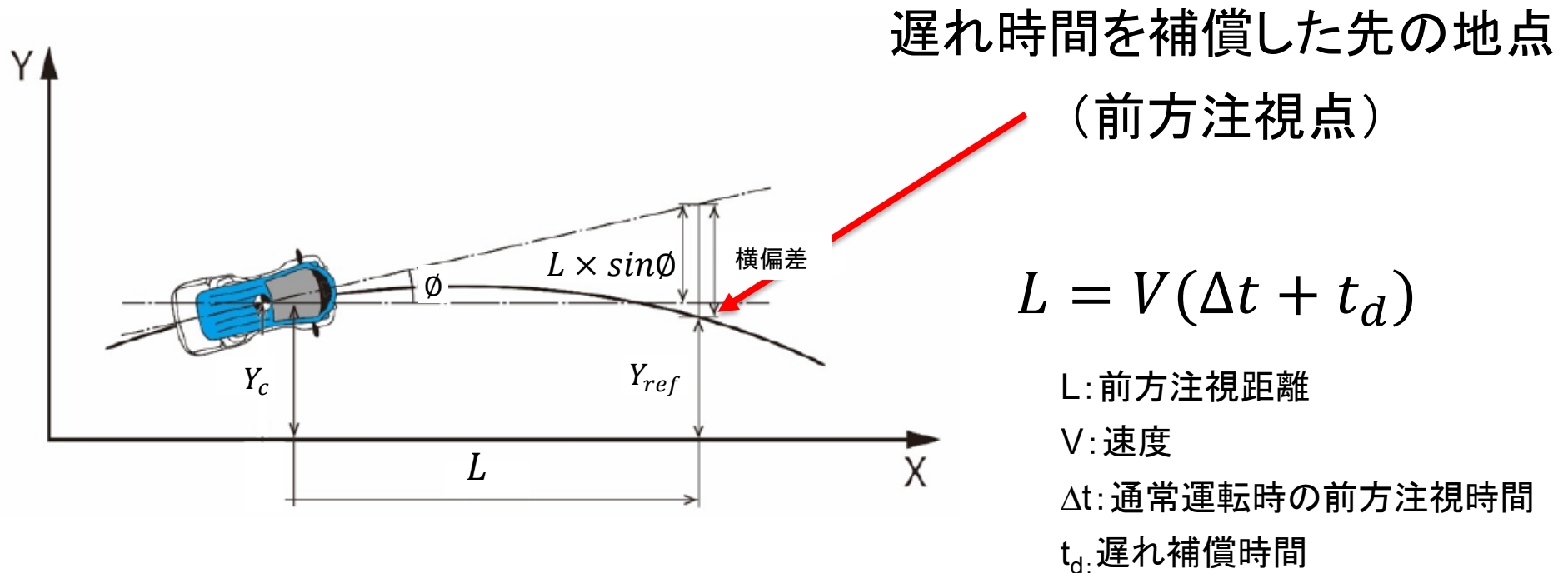


Fig.7 Maneuverability by tele operating drive

通信遅れの補償方法の考え方

一次前方注視ドライバモデルにおける前方注視点の位相を進ませることで補償



簡易Driving Simulatorによる遅れ補償効果の確認

構築した実車環境で発生した
通信遅れ



映像遅延として模擬



実験条件

コース:パイロンの間隔が13m

被験者3名

5回／走行条件(計9条件)

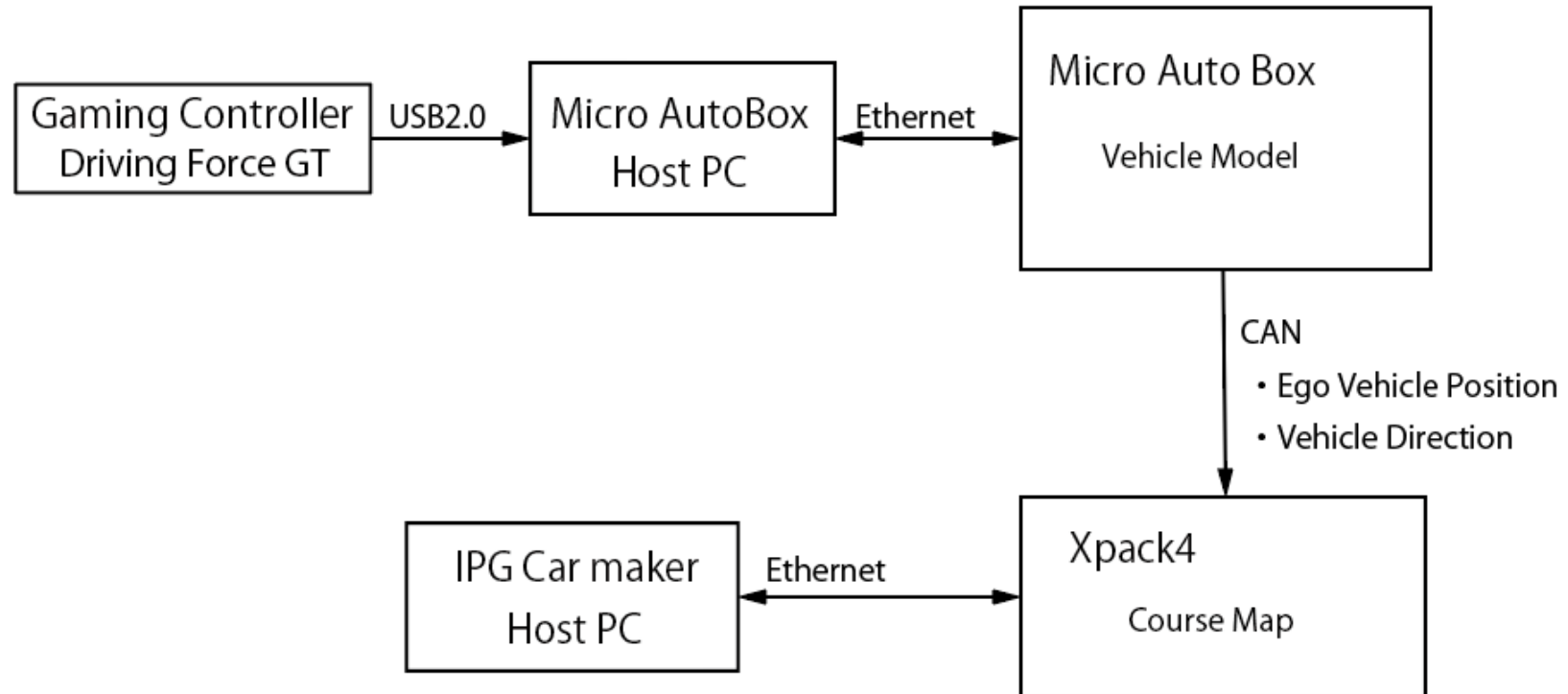
速度:10km/h, 15km/h, 20km/h

「遅れなし」, 「遅れあり・重畳表示なし」

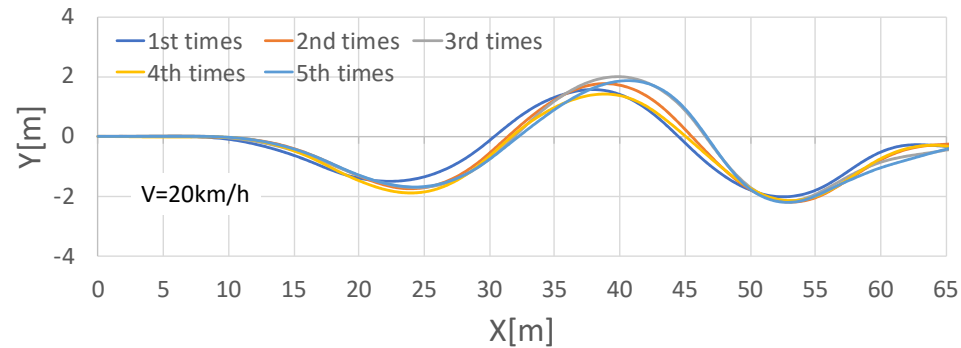
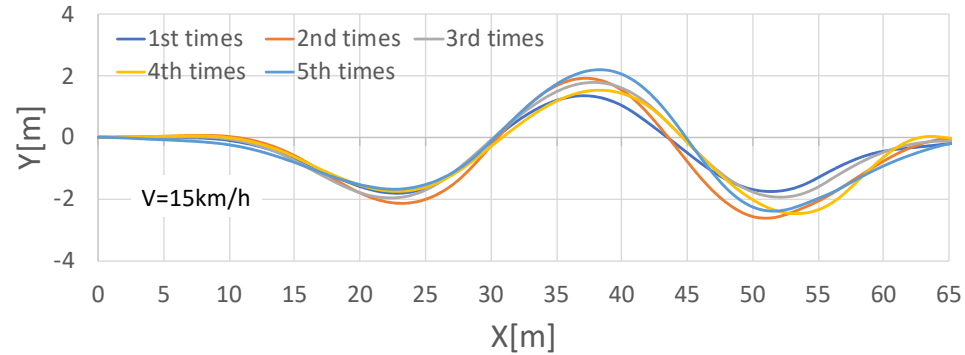
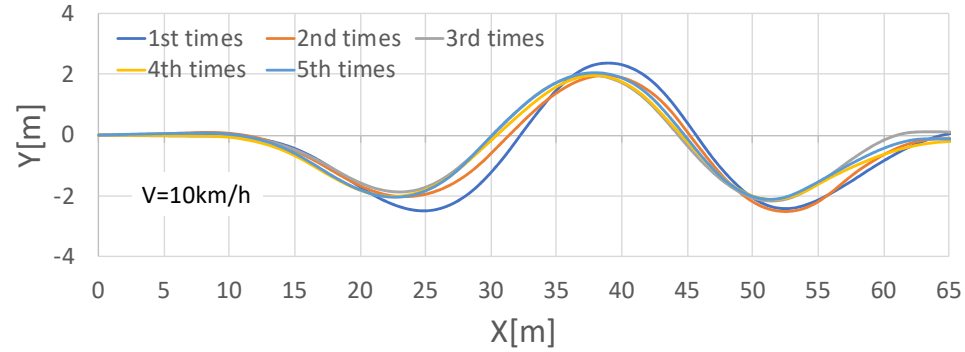
「遅れあり・重畳表示あり」

簡易Driving Simulatorによる遅れ補償効果の確認

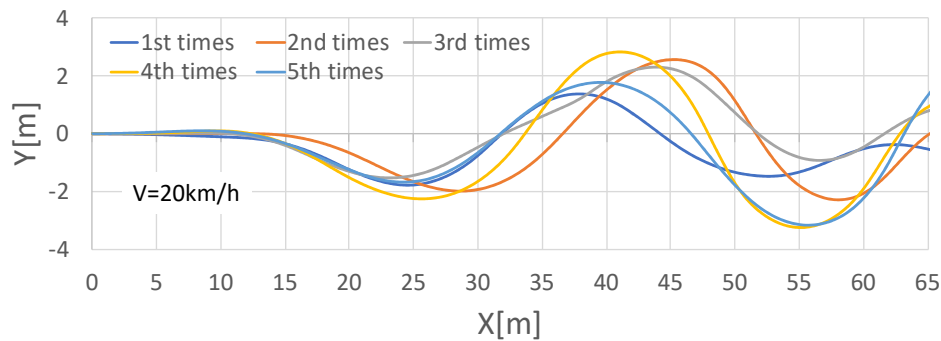
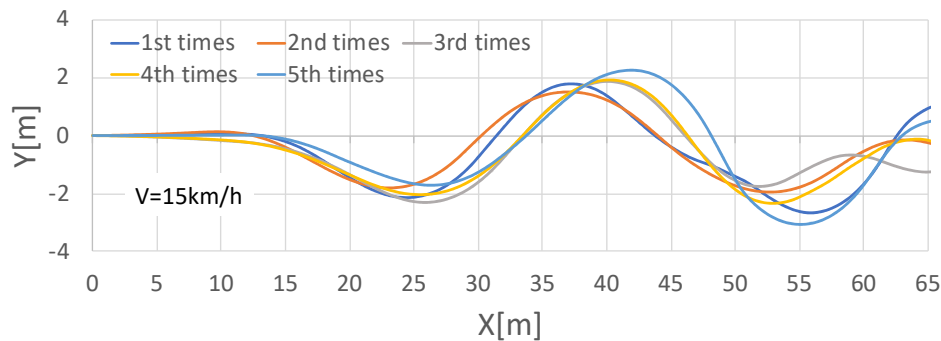
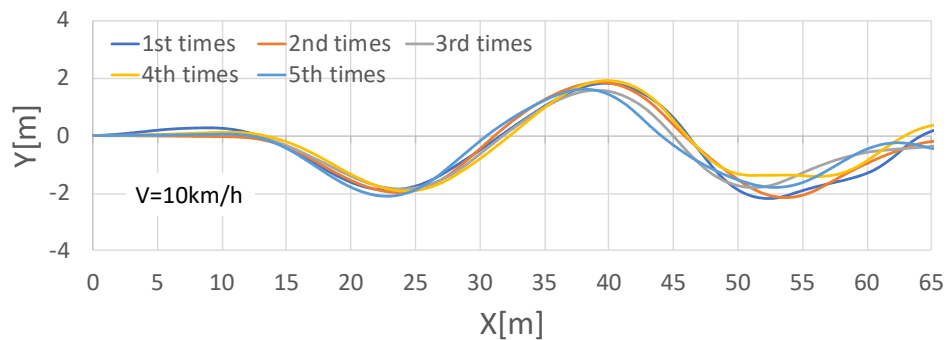
Micro Auto Boxの車両モデルとHost PCのCarMakerで作成した
走行環境モデルをリアルタイムシミュレータによって接続



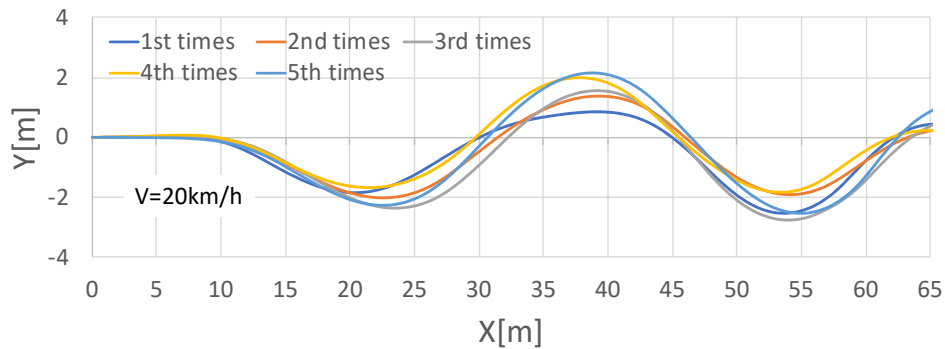
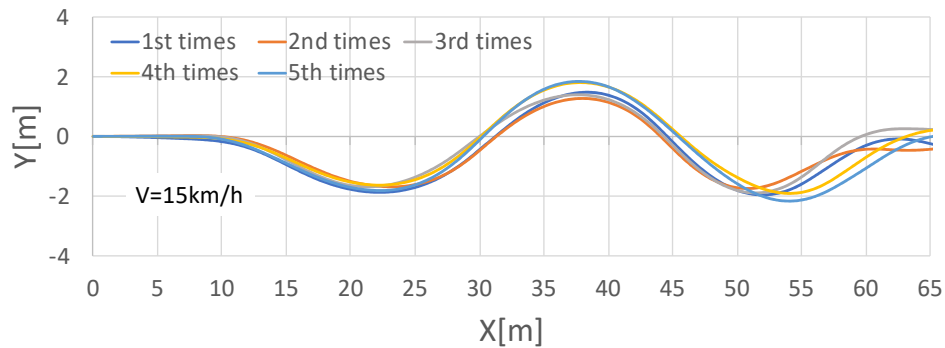
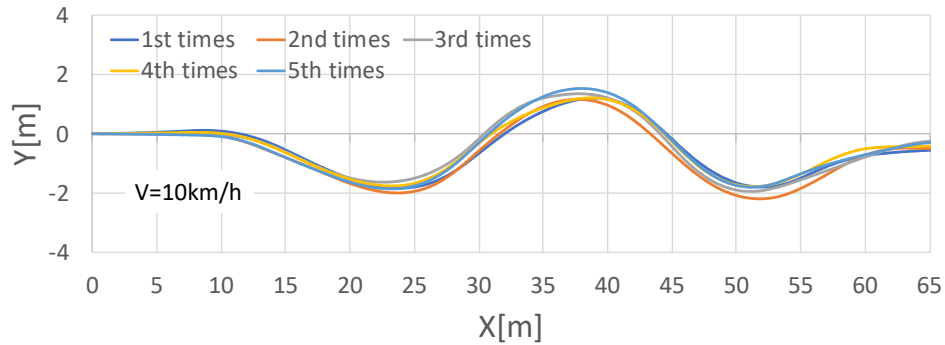
実験結果(走行軌跡);遅れなし条件



実験結果(走行軌跡);遅れあり・重畳なし条件

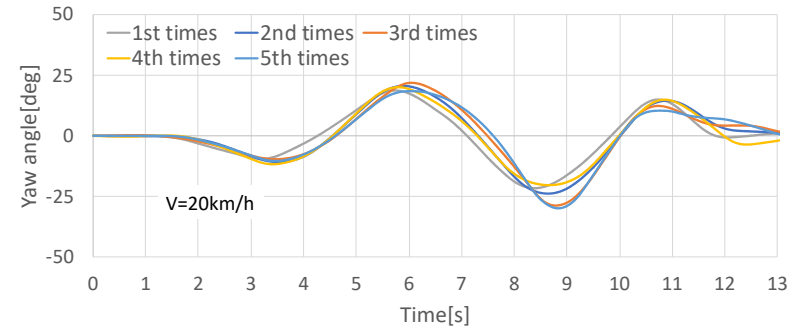
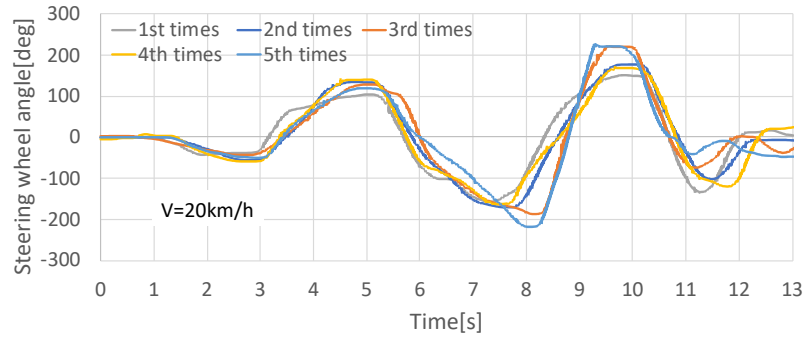


実験結果(走行軌跡);遅れあり・重畳あり条件

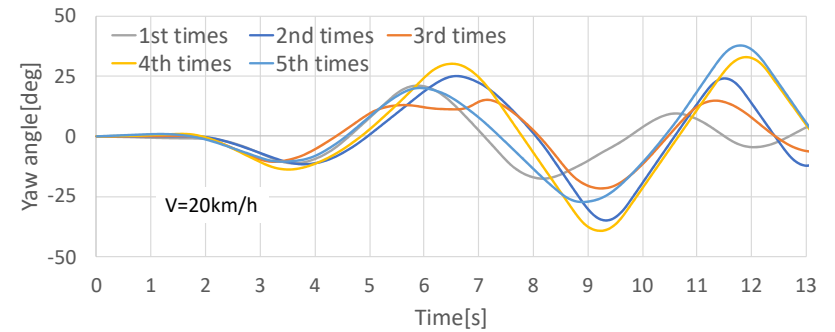
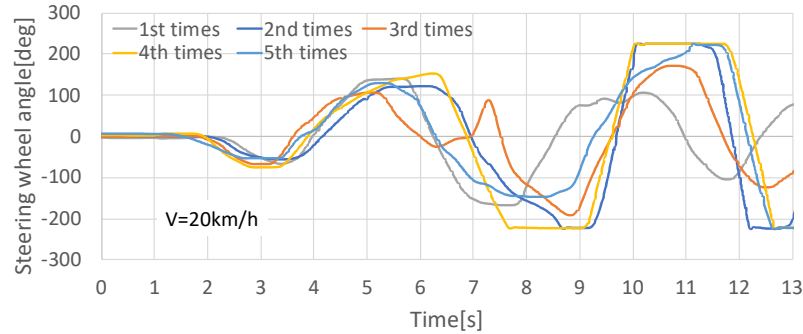


実験結果(操舵角・ヨ一角)

遅れなし



遅れあり
重畳表示なし



遅れあり
重畳表示あり

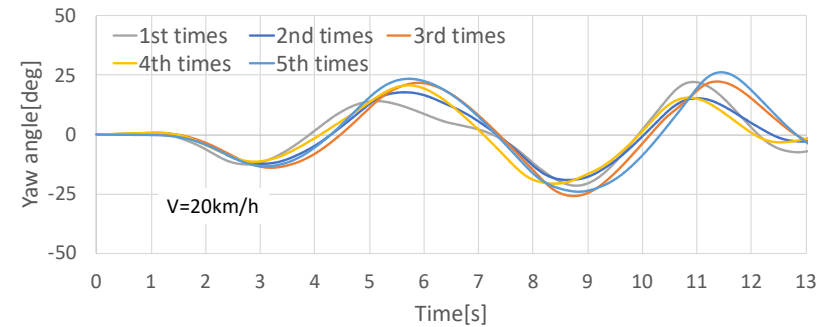
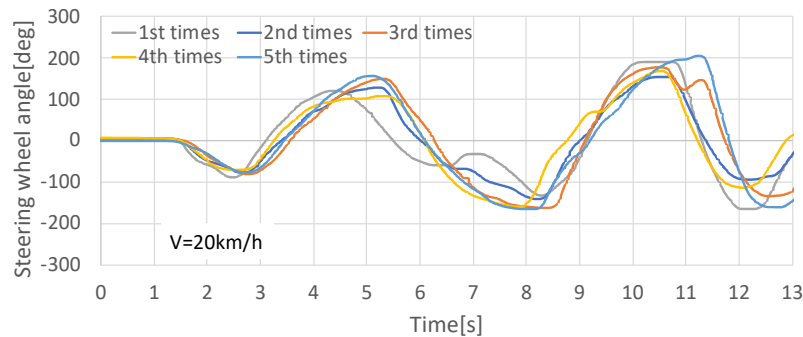
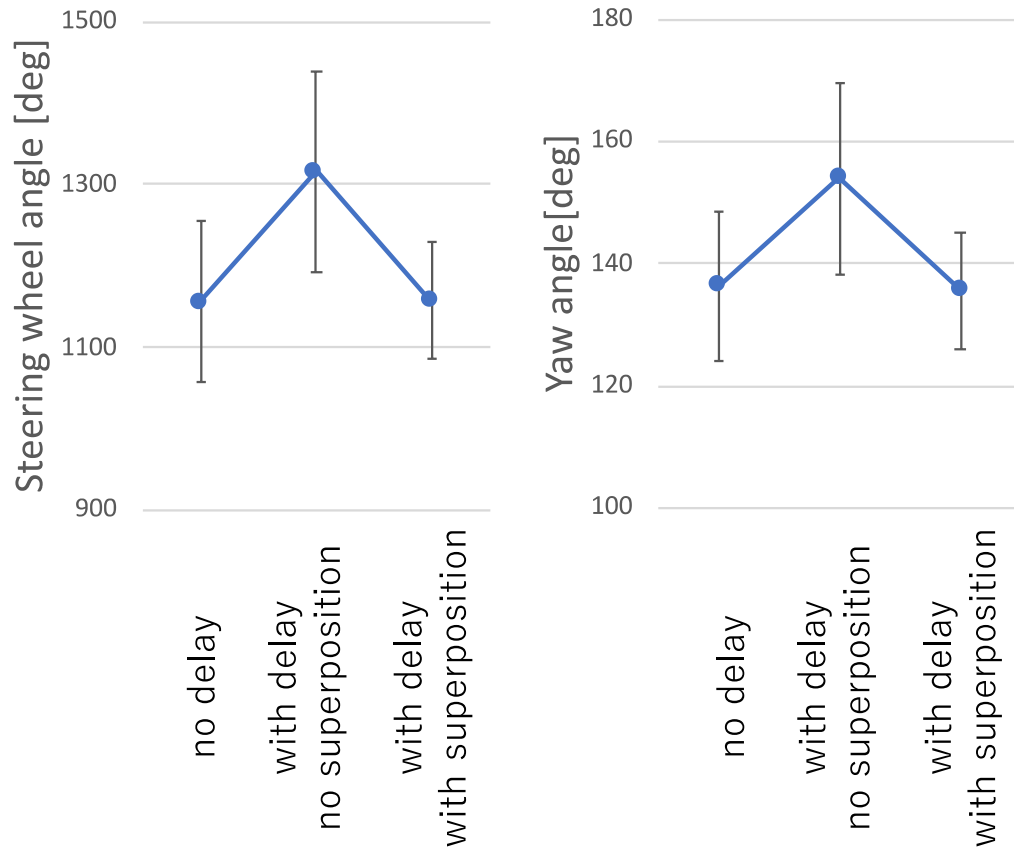


Fig.8 Steering wheel angle

Fig.9 Yaw angle

実験結果 (操舵角・ヨ一角の時間積分)



$$\delta^* = \int_{t_s}^{t_e} \left(\left| \frac{\delta(t + \Delta t) - \delta(t)}{\Delta t} \right| \right) dt$$

$$\varphi^* = \int_{t_s}^{t_e} \left(\left| \frac{\varphi(t + \Delta t) - \varphi(t)}{\Delta t} \right| \right) dt$$

被験者3名分の平均

Fig.10 Average and standard deviation of δ^* and φ^*

実車における遅れの補償実験



実験結果

コースの最後まで走りきることはできなかった.

原因考察(推定)

1. 自車位置の通信遅れを考慮していなかった
2. カメラ映像と 3D仮想映像の臨場感の差として影響した

まとめ

- 通信遅れ時間を含む簡易DSを構築し、遠隔運転の模擬実験を実施
→遅れ時間を補償した前方注視点を映像に入れることで被験者の操縦性を向上させられることが確認できた



遅れ時間を補償した重畳表示が有効と言える

今後の課題

- 実車ではカメラ映像への重畳表示を実施できなかった
- 遅れ時間を自律運転させ通信遅れを補償するアイデア等も創出でき、今後の検証方法を検討していく