

平成 27 年度 国土交通省 受託調査

自動走行システムの安全性確保に
必要な HMI の要件に係る基礎調査

報 告 書

平成 28 年 3 月

独立行政法人
交通安全環境研究所

目次

| | |
|--|----|
| 1. はじめに | 1 |
| 2. 本調査で検討対象とする自動走行システムについて | 2 |
| 2.1 背景 | 2 |
| 2.2 DS 実験で使用する自動走行システム | 2 |
| 3. 実験方法 | 4 |
| 3.1 実験場面（システムからドライバによる手動操作へ遷移する場面）について | 4 |
| 3.1.1 場面 1（カーブ走行中の故障発生） | 4 |
| 3.1.2 場面 2（車線変更中の故障発生） | 6 |
| 3.1.3 道路線形 | 8 |
| 3.2 実験に使用した DS について | 9 |
| 3.3 実験参加者について | 10 |
| 3.4 実験参加者への事前説明及び手続きについて | 11 |
| 3.5 実験の進行順序及び実験前の練習走行について | 15 |
| 3.6 実験に使用した HMI について | 17 |
| 3.7 計測するデータについて | 18 |
| 4. 実験結果 | 20 |
| 4.1 ドライバが状況を認識して、安全に手動操作へ遷移するための要件等 | 20 |
| 4.1.1 場面 1（カーブ走行中の故障） | 20 |
| 4.1.1.1 故障発生後に ACSF の操舵トルクを停止するタイミング及び操舵トルクを低減する方法の違いによるハンドル反応時間及び車線逸脱量の比較 | 20 |
| 4.1.1.2 運転時間の違いによるハンドル反応時間及び車線逸脱量の比較 | 23 |
| 4.1.1.3 手動操作への遷移に対する経験の違いによるハンドル反応時間及び車線逸脱量の比較 | 25 |
| 4.1.1.4 一定時間毎のボタン操作の有無によるハンドル反応時間及び車線逸脱量の比較 | 27 |
| 4.1.1.5 実験データの重回帰分析に基づく右前輪逸脱量最大値に対する要因分析 | 30 |
| 4.1.2 場面 2（車線変更中の故障） | 39 |
| 4.1.2.1 車線変更時間及び警報開始後 ACSF を停止するタイミングの違いによるハンドル反応時間及び車線逸脱量の比較 | 39 |

| | | |
|----------|--|----|
| 4.1.2.2. | 運転時間の違いによるハンドル反応時間及び車線逸脱量の比較 | 42 |
| 4.1.2.3 | 手動操作への遷移に対する経験の違いによるハンドル反応時間及び車線逸脱量の比較 | 43 |
| 4.1.2.4 | 実験データの重回帰分析に基づく右前輪逸脱量最大値に対する要因分析 | 45 |
| 4.2 | 手動操作へ遷移する際のドライバにとっての快適性 | 52 |
| 4.2.1 | 場面 1 (カーブ走行中の故障) | 55 |
| 4.2.2 | 場面 2 (車線変更中の故障) | 56 |
| 4.3 | 自動走行システムを使用している間のドライバの様態の変化について | 57 |
| 4.3.1 | 抽出対象とした閉眼状態について | 57 |
| 4.3.2 | 抽出対象とした実験シナリオについて | 58 |
| 4.3.3 | 閉眼状態が確認されたシナリオの件数 | 58 |
| 4.4.4 | 運転を開始してからの経過時間と閉眼発生の関係 | 59 |
| 4.4.5 | 閉眼発生時の持続時間 | 60 |
| 4.4.6 | 閉眼が発生する間隔 | 62 |
| 4.5 | 実験結果まとめ | 63 |
| 5. | まとめ | 65 |
| 6. | 参考文献 | 67 |

1. はじめに

自動運転（自動走行）システムには、①交通事故の削減、②交通渋滞の緩和、③環境負荷の低減、④高齢者等の移動支援、⑤快適性の向上という効果が期待され、世界一安全な道路交通社会を目指す我が国にとって、関連技術の開発やその普及に向けた環境整備は極めて重要である。自動走行システムを実現するには様々な技術的課題があり、その一つに、自動走行システムにより走行中の車両とこれに乗車しているドライバとの関係がある。自動走行システムに何らかの障害が生じ、本システムによる自動走行の継続が困難になった状況においては、車両を運転する主体を本システムからドライバへ安全に、かつ、円滑に移行する必要がある。この場合、システムがドライバに対して運転主体の移行を伝える意思疎通（Human Machine Interface、以下 HMI）が速やかに、かつ的確に行われないとドライバが混乱し、安全な運転を行えない状態に陥る可能性が高くなり、事故の発生につながりかねない。このような事故の発生を防止するため、自動走行システムに障害が生じてシステムからドライバへ運転の主体を移行する状況になった場合には、運転主体の移行を速やかに、かつ円滑に進める必要がある。そのため、適切な HMI の方法についての検討が必要である。

本調査では、ドライビングシミュレータ（以下、DS）を活用して、自動走行システムを使用する代表的な走行シーンを対象に、上述の運転主体の移行をはじめ、自動走行システムの安全性確保に必要な HMI 等の技術要件について検討する。

2. 本調査で検討対象とする自動走行システムについて

2.1 背景

本調査で検討対象とする自動走行システムは、高速道路の走行車線において、操舵による車両の横方向の動きを制御する機能とアクセル・ブレーキによる車両の前後方向の動きを制御する機能とを組み合わせたシステムとする。

操舵については、現行の操舵装置の国際基準（国連協定規則第 79 号、以下 R79）において、時間的な制限が無く、連続的に車両の横方向の動きを制御する自動命令型操舵機能（Automatically Commanded Steering Function、以下 ACSF）が定義されている。現行の R79 では、ASCF は駐車支援システム等、車速 10km/h 以下での使用に制限されているが、これを 10km/h 超でも使用できるように基準を改正するため、国連欧州経済委員会自動車基準調和世界フォーラム（UN/ECE/MP29、以下 WP29）のブレーキ・走行装置分科会（GRRF）において、ACSF インフォーマルグループが設立され、基準改正のための条文ドラフトの審議が行われているところである。2016 年 3 月時点で提案されている条文ドラフト（例：GRRF-81-14）では、ACSF の機能や自動化のレベルによって、5つのカテゴリ（カテゴリ A～E）に分けられている。このうち、最も自動化レベルの高いカテゴリ E については、ドライバの意思によりシステムを起動（スイッチ ON）した後はシステムが道路線形や他車両等の周辺環境を認識し、車線維持機能及びシステムの判断による車線変更（自動追い越し）機能を有するシステムとして定義され、条文ドラフトにはシステムに必要な技術要件が規定されている。

ブレーキについては、現行の制動装置の国際基準（国連協定規則第 13 号及び 13-H 号、以下、R13 及び R13-H）において、自動指令制動（Automatically commanded braking）が定義されており、自動で減速する機能を有する複合電子制御システムが認められている。この機能を有する実用化されたシステムの例として、定速走行・車間距離制御装置（Adaptive Cruise Control、以下 ACC）がある。

2.2 DS 実験で使用する自動走行システム

本調査の DS 実験で使用する自動走行システムは、ACSF と ACC を組合せたシステムとする。このうち、ACSF については、R79 改正条文ドラフトで定義されているカテゴリの中で、最も自動化レベルの高いカテゴリ E を想定する。すなわち、ドライバがシステムを起動（スイッチ ON）した後は、ACSF の車線維持機能及び ACC の定速走行・車間距離制御機能を使いながら自動走行し、前方に自分の車両（自車）よりも遅い速度で速度で走行する車両を認識した場合には、ACC の車間距離制御機能により車間距離を保ちながら、右後方から接近する他車両を確認し、安全であるとシステムが判断した場合に、車線変更及び追越しを自動で行うものとする。これらの機能を DS 上で再現した。図 2-1 に機能の概

要図を示す。

システムが正常に作動している間は、ドライバーによるハンドル、アクセル及びブレーキ操作は不要とし、ハンドルからは手を離れた状態で走行することとした。また、ACSF、ACCともに、ドライバーの手動操作によるオーバーライドを可能とした。表 2-1 に、ドライバーの手動操作が行われた場合の、各機能の状態を示す。ACSF については、ドライバーのハンドル操作により、また、ACC については、ドライバーのブレーキ操作により機能を解除するものとした。

尚、本調査で使用する自動走行システムの自動運転レベルについては、内閣府の SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）の自動走行システム開発計画書（2015 年 5 月）で定義されている自動運転レベル 2 とする。レベル 2 のシステムでは、ドライバーが周囲の環境やシステムの状態を常に監視して、必要に応じて操作介入することが前提となっている。本調査においても基本的に同様の考え方で実験を行うこととするが、さまざまなドライバーがシステムを使用することも想定し、システムに故障が発生した場合には、故障をドライバーへ通知する警報を行うこととした。

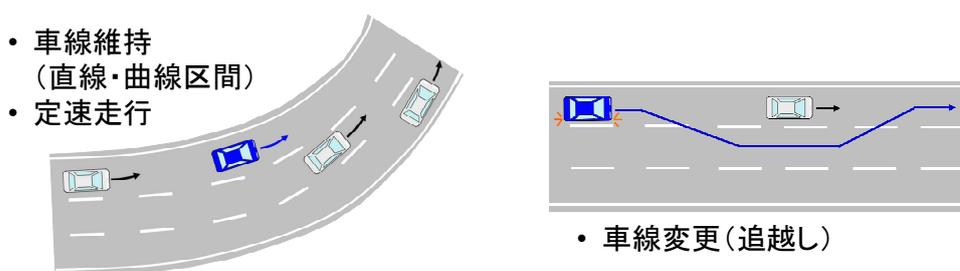


図 2-1 実験に使用したシステムの機能の概要

表 2-1 ドライバーの手動操作時のシステムの状態

| ドライバーの手動操作 | システムの状態 | |
|------------|---------|--------------------|
| | ACSF | ACC |
| ハンドル | 機能を解除 | 機能を継続 |
| アクセル | 機能を継続 | 機能を継続 [※] |
| ブレーキ | 機能を継続 | 機能を解除 |

※ACCの設定速度以上にアクセルを踏み込んだ場合は、アクセル操作を優先

3. 実験方法

3.1 実験場面（システムからドライバによる手動操作へ遷移する場面）について

本調査では、システムを使用中に、ドライバによる手動操作へ遷移することが必要となる場面について、一般のドライバを対象とした DS 実験を行い、以下の項目について、結果を考察する。

- ① ドライバが状況を認識して、安全に手動操作へ遷移するために必要な要件等についての考察
 - ・ハンドルを握るまでの反応時間より考察
 - ・手動操作へ移行した直後の走行軌跡（車線逸脱の有無及び逸脱量）より考察
- ② 手動操作へ遷移する際のドライバにとっての快適性の考察
 - ・手動操作へ遷移した直後の車両挙動（ヨー角速度）より考察
- ③ 自動走行システムを使用している間のドライバの様態の変化についての考察
 - ・ドライバの顔の画像より考察

上記①～③について検討するため、以下の2つの場面を実験の対象とした。いずれの場面も、ハンドルから手を離しているドライバにとって、ドライバの意思によらず運転操作を引き継ぐことが、より負荷の高いタスクとなることを想定している。

走行する道路は、全て高速道路の本線とし、走行を開始してから手動操作が必要となるまでの間は、ACSF 及び ACC の機能を正常に作動させることとする。また、実験を開始してから、下記の場面 1 及び場面 2 に遭遇するまでの走行時間については、以下の2種類の実験シナリオを設定した。下記 A)については、実験参加者がシステムの正常な作動を比較的短時間しか経験していない状態を想定したケースとして設定し、各実験参加者の最初の実験に使用した。一方、B)については、比較的長時間にわたってシステムの正常な作動を経験した状態を想定したケースとして設定した。

- A) 短時間の実験シナリオ：約 4 分
- B) 長時間の実験シナリオ：約 25～39 分

3.1.1 場面 1（カーブ走行中の故障発生）

図 3-1 に場面 1 の概念図を示す。本場面では、ACSF の車線維持機能により、左カーブ（曲率半径 300m）を 100km/h で走行中、ACSF の故障が発生し、機能を停止する。故障通知の警報を受け、ドライバは手動でハンドル操作を行い、カーブ走行を引き継ぐ。

本場面では、故障通知の警報からシステムを停止するまでの時間、カーブ走行中に ACSF の制御によって発生する操舵トルクを故障発生後 0Nm まで低減させる方法及びシステム

を継続して使用するための一定時間ごとのボタン操作の有無を実験の変数とした。表 3-1 に各変数の組合せを、また、図 3-2 に操舵トルクを 0Nm まで低減する方法の概念図を示す。本場面では、故障発生後、ACSF の操舵トルクが 0Nm になると、操舵角はほぼ中立（約 0deg）となり、車両はカーブの外側に向かって車線を逸脱しようとする。ドライバーは車両が車線から逸脱しないよう、手動操作により左方向への操舵を行う。

故障が発生する場所は、カーブ進入後の曲率半径が一定となった地点とし、実験の変数によらず、同一の地点とした。そのため、故障通知からシステム停止までの時間が 2 秒及び 4 秒のケースについては、故障発生地点よりも手前側で警報を開始するものとした。

場面 1 の DS のスクリーン画像の例を図 3-3 に示す。

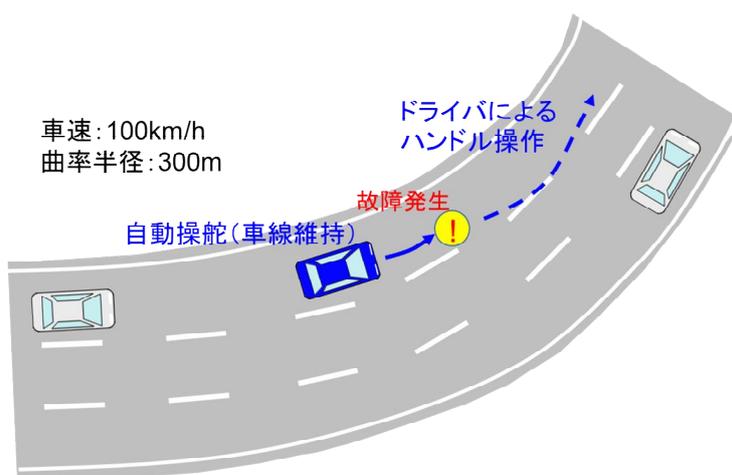


図 3-1 場面 1 の概念図

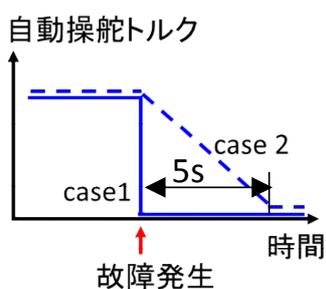


図 3-2 カーブ走行中の ACSF 故障発生時に操舵トルクを低減する方法

表 3-1 実験時の変数組合せ（場面 1）

| | | 場面1-a | 場面1-b | 場面1-c | 場面1-d | 場面1-e | 場面1-f | 場面1-g |
|------------------------|-------|------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 実験シナリオ時間 | | 約4分 | 約25分 約30分 約35分 | 約25分 約30分 約35分 | 約25分 約30分 約35分 | 約25分 約30分 約35分 | 約25分 約30分 約35分 | 約25分 約30分 約35分 |
| 故障通知の警報からシステム停止までの時間 | | 0秒 | 0秒 | 0秒 | 0秒 | 0秒 | 2秒 | 4秒 |
| 一定時間ごとのボタン操作（走行開始時を除く） | | 無 | 無 | 無 | 1分間隔 | 5分間隔 | 無 | 無 |
| 操舵トルク低減方法 | | case 1（急減） | case 1（急減） | case 2（徐々に減） | case 1（急減） | case 1（急減） | case 1（急減） | case 1（急減） |
| カーブ走行回数（正常作動中） | R300左 | 0回 | 5～7回 | 5～7回 | 5～7回 | 5～7回 | 5～7回 | 5～7回 |
| | R500左 | 1回 | 5～7回 | 5～7回 | 5～7回 | 5～7回 | 5～7回 | 5～7回 |
| | R800右 | 1回 | 10～14回 | 10～14回 | 10～14回 | 10～14回 | 10～14回 | 10～14回 |
| 自動追越しの回数（正常作動中） | | 3回 | 15～21回 | 15～21回 | 15～21回 | 15～21回 | 15～21回 | 15～21回 |

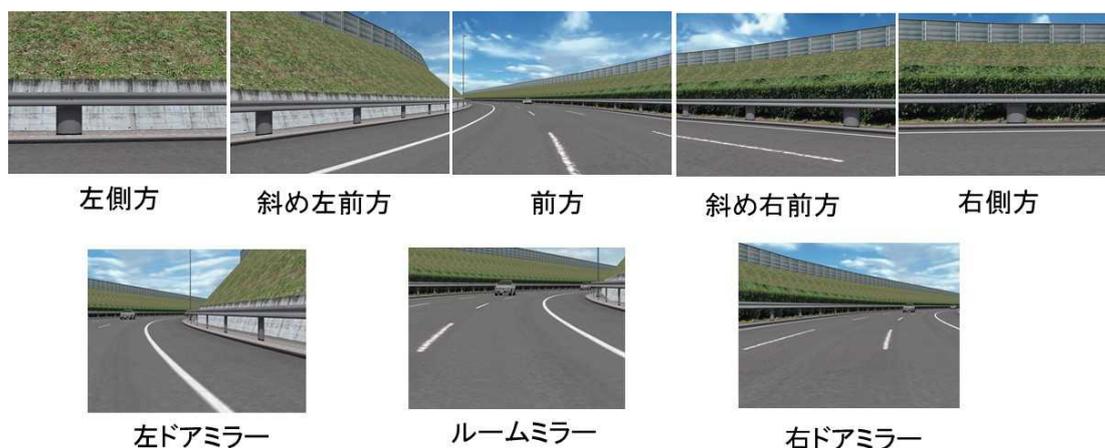


図 3-3 場面 1 の DS のスクリーン画像の例

3.1.2 場面 2（車線変更中の故障発生）

図 3-4 に場面 2 の概念図を示す。本場面では、ACSF の車線変更機能により、高速道路の直線区間を 100km/h で走行中、前方の車両（80km/h で走行）を追い越すため、右隣の車線に移るべく、車線変更を実行中に ACSF の故障が発生し、機能を停止する。故障通知の警報を受け、ドライバーは手動でハンドル操作を行う。

本場面では、故障通知の警報からシステムを停止するまでの時間及び 1 回の車線変更に

要する時間（車線変更時間）を実験の変数とした。表 3-2 に各変数の組合せを、また、図 3-5 に車線変更時間の概念図を示す。車線変更時間が短いほど、車線変更中の横方向の速度が高いことを意味する。本実験では、車線変更時間 6 秒を、特に急ぐ必要の無い状況における標準的な車線変更を想定した場合の車線変更時間とし、車線変更時間 3 秒についてはやや急いだ車線変更を想定した場合の車線変更時間とした。

故障が発生する場所は、最も左側の第 1 車線から右隣の第 2 車線へ横移動する間のほぼ中間地点、すなわち、車線変更中の車体を真上から見た時の、道路白線に対する車体の偏向角が最も大きくなる付近とし、実験変数によらず、同一とした。そのため、故障通知からシステム停止までの時間が 2 秒及び 4 秒のケースについては、故障発生地点よりも手前側で警報を開始するものとした。尚、車線変更を開始してから警報を開始する設定とするため、警報を開始するタイミングが車線変更を開始するよりも前となる組合せについては、実験条件から除外した。

場面 2 の DS のスクリーン画像の例を図 3-6 に示す。

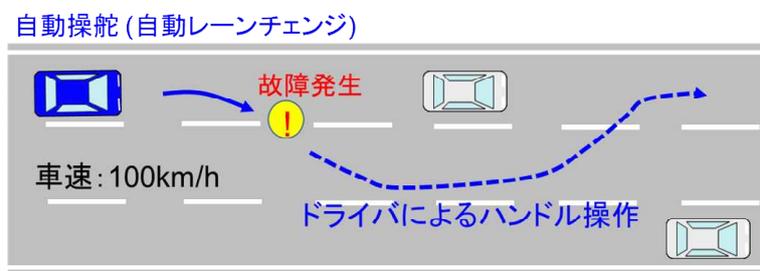


図 3-4 場面 2 の概念図

表 3-2 実験時の変数組合せ（場面 2）

| | | 場面2-a | 場面2-b | 場面2-c | 場面2-d |
|------------------------|-------|--------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 実験シナリオ時間 | | 約4分 | 約26分 約32分 約39分 | 約26分 約32分 約39分 | 約26分 約32分 約39分 |
| 故障通知の警報からシステム停止までの時間 | | 0秒 | 0秒 | 0秒 | 2秒 |
| 一定時間ごとのボタン操作（走行開始時を除く） | | 無 | 無 | 無 | 無 |
| 車線変更時間 | | 3s | 3s | 6s | 6s |
| 操舵トルク低減方法 | | case 1 | case 1 | case 1 | case 1 |
| カーブ走行回数（正常作動中） | R300左 | 0回 | 0回 | 0回 | 0回 |
| | R500左 | 1回 | 8～12回 | 8～12回 | 8～12回 |
| | R800右 | 1回 | 8～12回 | 8～12回 | 8～12回 |
| 自動追越しの回数（正常作動中） | | 3回 | 24～36回 | 24～36回 | 24～36回 |

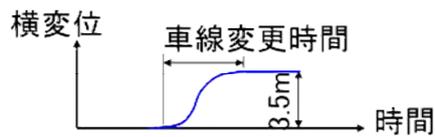


図 3-5 車線変更時間の概念図

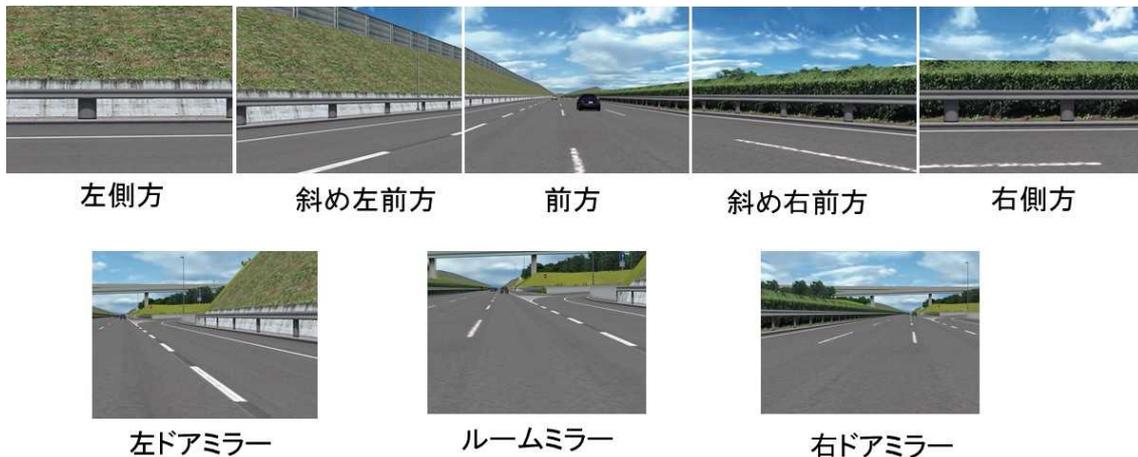


図 3-6 場面 2 の DS のスクリーン画像の例

3.1.3 道路線形

今回の実験に使用した DS の道路線形を図 3-7 に示す。実験では、図中、A~A'の区間を走行するものとした。長時間のシナリオの場合には、A'付近に到達した時点で、画像処理によって瞬時に自車及び周辺を走行する他車両の位置を A または B の直線区間に戻し、同じコースを繰り返し走行できるようにすることで、長時間のシナリオを実施できるようにした。また、毎回の走行時間が同じになることによって実験参加者が故障発生タイミングを学習し、待ち構えるようになることを防ぐため繰り返しの回数を変えることによって、1 回の実験における走行時間を変化させることとした。具体的には、表 3-1 及び表 3-2 に示したように、場面 1、場面 2 ともに、長時間シナリオとして、各 3 通りの走行時間を設定し、適宜使い分けることとした。

また、図 3-8 に道路の断面図を示す。最も中央分離帯に近い道路白線（実線）を、車両横方向の基準線とした。

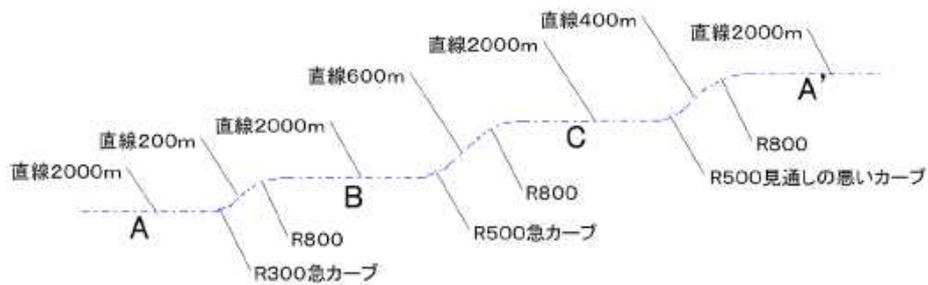


図 3-7 DS の道路線形について

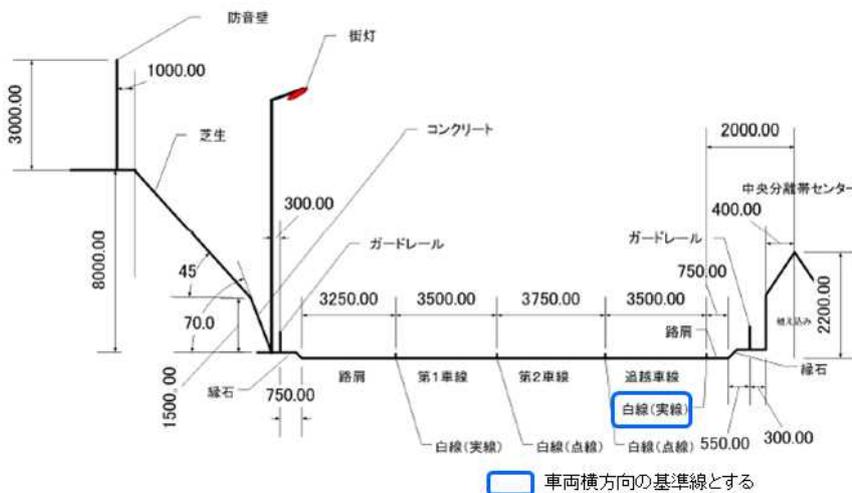


図 3-8 DS の道路断面図

3.2 実験に使用した DS について

図 3-9 に、実験に使用した DS の外観及び運転席周辺を示す。本 DS は、実際の小型乗用車の車体を使用しており、運転席及び操作系については実車と同等である。さらに、ドライバーの模擬視界としてマルチスクリーンを使用しており、水平方向の視野角は 216 度確保される。そのため、周囲に注意を払いながら高速道路を走行する際の運転環境を現実と近い形で再現することが可能である。また、本 DS は各種の動揺装置により車両の運動を模擬することができ、ドライバーは車両の運動によって発生する加速度等を体感することが可能である。

自動走行システムは、運転席右側のボタンを押すことにより、ACSF と ACC が同時に起動するものとした。

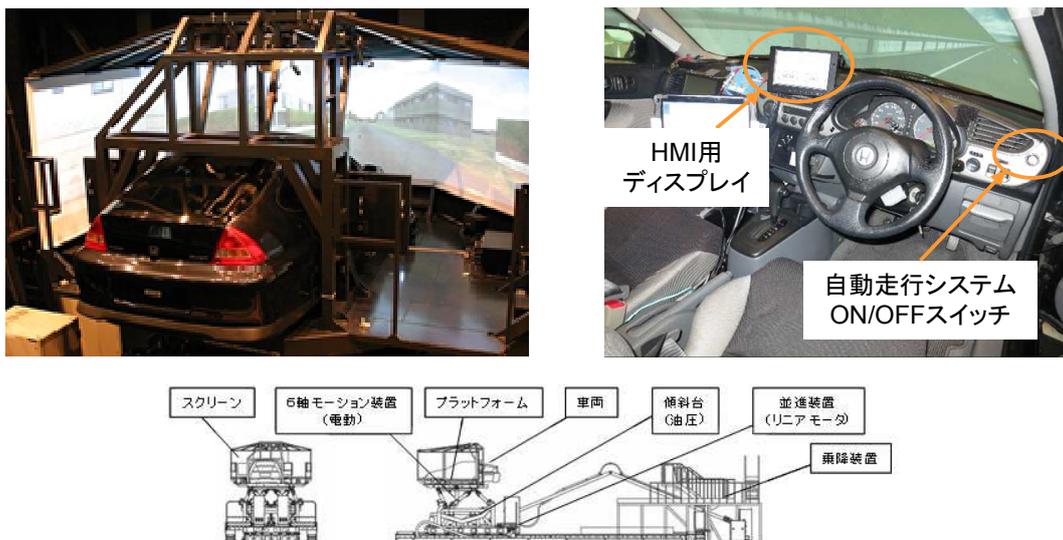


図 3-9 実験に使用した DS の外観及び運転席周辺

3.3 実験参加者について

図 3-10 に実験参加者の構成を示す。実験参加者は、日常的に運転を行う男女 30 名（男性 17 名、女性 13 名）とした。年齢層は 20 代後半～70 代前半で、5 名の高齢者が含まれる。運転歴に関しては、全体の 8 割の人は 15 年以上であり、比較的運転歴の長い人が多い。運転する頻度に関しては、全体の 8 割の人は週に 3 回程度であり、比較的運転する頻度の高い人が多い。また、高速道路等の自動車専用道を走行する頻度については、約半数の人が月に数回程度以上走行しており、ほとんど走行しない人は全体の 1 割であった。

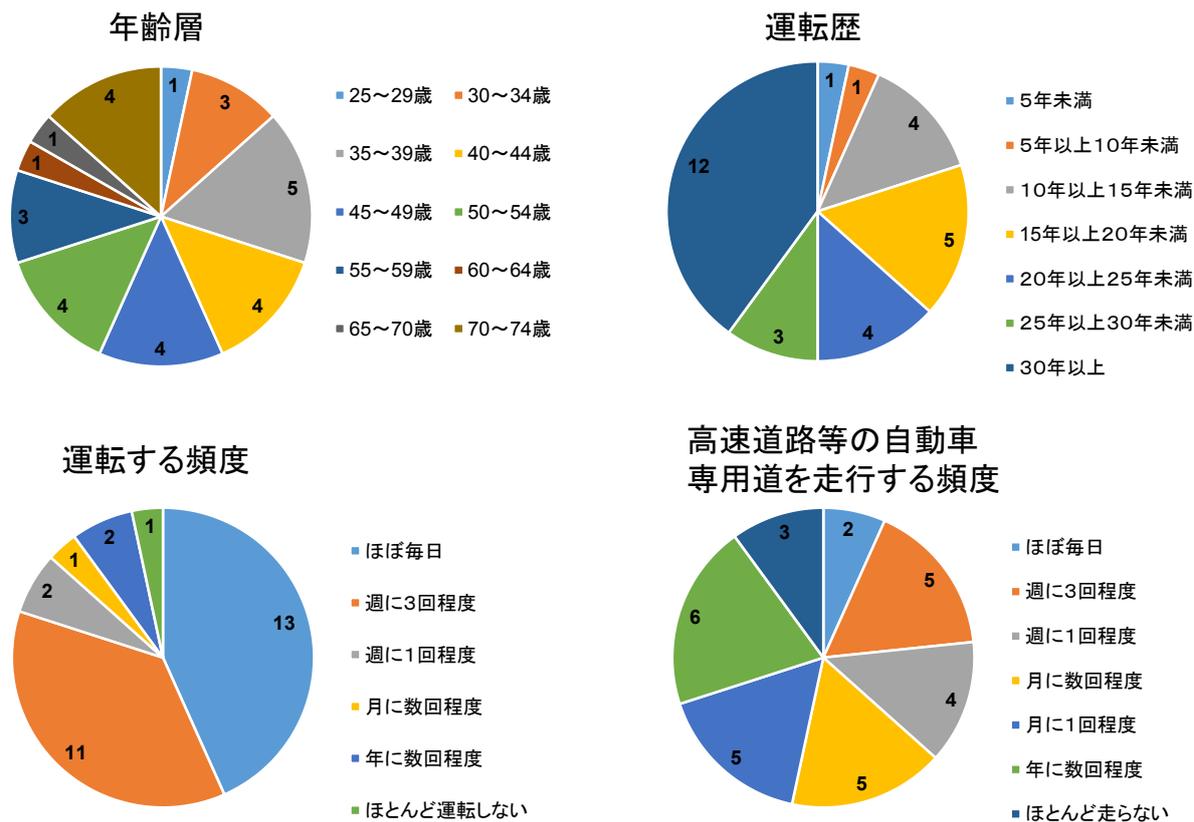


図 3-10 実験参加者の構成

3.4 実験参加者への事前説明及び手続きについて

実験参加者に対しては、実験を開始する前に、控え室にてスライドを使い、以下の項目について説明した。特に、自動走行システムについては、機能を理解してもらうとともに、手動操作によるオーバーライドが可能であることを教示するとともに、システム（HMI）からの通知が特に無い場合でも、危険を回避するためにドライバ自身が必要と判断した場合には、手動操作を行う様、教示した。また、本実験は上手くできたかどうかを評価するものではなく、適度にリラックスして普段通りの運転を心掛けてもらうことを依頼した。

- 実験の目的及び概要について
- DS に搭載されている装置について
 - ACSF
 - ACC
 - RVMS (Rear Vehicle Monitoring System)
- 各装置の機能の説明
 - 通常時の動作

- ドライバがオーバーライドした場合のシステムの動作
- 自動走行システムの操作方法について
 - ON/OFF スイッチ
 - HMI の内容
- 運転中の依頼事項について
 - 走行中は自動走行システムを常時 ON とすること。
 - 以下の例外を除き、運転中はハンドルから手を離すこと。
 - <例外>
 - ・システムから故障発生の通知があった場合
 - ・システムが解除されたことの通知があった場合
 - ・危険を回避するために、手動操作が必要であると実験参加者自身が判断した場合
 - 上手く運転できたかどうかを評価することを実験の目的としていないこと及び適度にリラックスして普段通りの運転を心掛けること
- 実験中に実験参加者の顔及び上半身の動画を記録すること。
- 実験の進行順序と時間の目安について
- 安全上の注意事項について（シートベルト着用等）
- 体調不良等により、実験を継続することが困難になった場合の対応
- 個人情報の取り扱いについて
- その他（報酬の支払い等）

図 3-11 に、説明に使用したスライドの抜粋を示す。

また、交通安全環境研究所の実験倫理規定に従って、説明終了後、実験参加者本人に参加の意思を確認し、インフォームドコンセントを行った。

実験の目的及び概要

本実験は、ドライビングシミュレータを用いて、高速道路で自動走行システムを使用中に、運転者によるハンドル操作が行われた場面における、運転行動のデータを計測することにより、今後の検討に必要なデータを得ることを目的としています。



独立行政法人 交通安全環境研究所

運転中に使用するシステムについての説明

今回運転して頂く車両には下記のシステムが搭載されています。下記①と②を組合せて自動走行を行います。

- ①自動命令型操舵機能 (Automatically Commanded Steering Function、以下、ACSFとします)
- ②全車速域定速走行・車間距離制御装置 (Adaptive Cruise Control、以下、ACCとします)
- ③後側方接近車両注意喚起装置 (Rear Vehicle Monitoring System、以下、RVMSとします)



独立行政法人 交通安全環境研究所

運転中に使用するシステムについての説明

①ACSFについて

- 車線からはみ出さないように、道路の形状に合わせて自動でハンドル操作を行う機能
- 前方に御自身の車両よりも遅い速度で走行する車両がいる場合に、自動で車線変更して前方車両を超越し、元の車線に戻る機能 (右側後方から車両が接近する場合には、接近車両が過ぎ去るまで超越しを遅延します)



車線維持 自動車線変更(超越し)



独立行政法人 交通安全環境研究所

運転中に使用するシステムについての説明

①ACSFについて

- 自動で車線変更を行うのは、前方の車両を追い越す場合のみです。
- 前方の障害物等をハンドル操作によって回避する機能はありません。
- 御自身でハンドル操作を行った場合には、御自身のハンドル操作が優先されます。その場合にはACSFは解除されます。

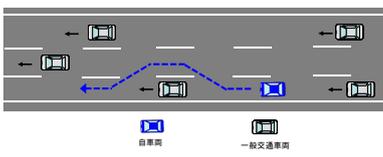


独立行政法人 交通安全環境研究所

運転中に使用するシステムについての説明

①ACSFについて

- 超越しの場合を除き、一番左側の車線を走行します。



自動車間 一般交通車両



独立行政法人 交通安全環境研究所

運転中に使用するシステムについての説明

②ACCについて

以下の機能があります。

- 設定した車速まで加速して、一定速度で走行する機能
- 前方に御自身の車両よりも遅い速度で走行する車両がいた場合に、前方車両との車間距離を保って走行する機能 (ACSFが自動で車線変更した場合には、設定車速まで加速します)



車間距離保持
定速走行+車間距離制御



独立行政法人 交通安全環境研究所

運転中に使用するシステムについての説明

②ACCについて

- 御自身でアクセル操作を行った場合には、御自身のアクセル操作が優先されます。アクセルペダルを離すと、再び設定した速度で走行します。
- 御自身でブレーキ操作を行った場合には、御自身のブレーキ操作が優先されます。その場合にはACCは解除されます。
- 今回の実験では設定速度は100km/hになっています。



独立行政法人 交通安全環境研究所

運転中に使用するシステムについての説明

③RVMSについて

- 右側後方より車両が接近している間に、右側のドアミラー取り付け部付近に設置されたオレンジ色のLEDが点灯して車両の接近を知らせます。
- 自動車線変更を遅延している間は、LEDは点滅します。



独立行政法人 交通安全環境研究所

図 3-11 (その 1) 実験参加者への事前説明用スライド

運転中に使用するシステムについての説明

自動走行システム(①ACSFと②ACC)の操作方法

- シフトレバーをDレンジに入れ、ブレーキから足を離した後に運転席右横の押しボタンを押すと、ACSFとACCが作動を開始(スイッチON)し、100km/hまで加速します。
- システムの状態はモニタ画面上に表示されます。



独立行政法人 交通安全環境研究所

自動走行システム(①ACSFと②ACC)の操作方法

- 運転中に、モニタ画面上に以下の表示が出る場合があります。表示が出た場合には、10秒以内に運転席のON/OFFボタンを押してください。
- ボタンが押された場合には、自動走行システムの作動が継続されます。10秒以内にボタンを押さなかった場合には、自動走行システムが解除されます。



ボタン操作
してください

ACSF ACC

「ボン！」

自動走行システム
解除されました

ACSF ACC

「ビビビビ！
ビビビビ！」

自動走行システム(①ACSFと②ACC)の操作方法

- 自動走行システムを使用中は、システムの状態が画面に表示されます。

＜システムの状態を表す画面表示の例＞

システムOFF(ボタンを押す前) システム作動中(ボタンを押した後)

ACSF ACC

ACSFが解除された時

ACSF ACC

ボタンを押した時に「ボン！」

ACSF ACC

ACSF解除時に「ボン！」

ACSF ACC

ACSFに故障発生時

手でハンドル操作してください！

故障発生時に「ビビビビ！ビビビビ！」

運転中のお願い

- 走行中は自動走行システムをON状態にして下さい。
- 以下の場合を除き、走行中はご自身による手動操作は行わず、ハンドルから手を離しておいてください。
 - ▶システムの故障を知らせる通知があった場合
 - ▶システムが解除されたことを知らせる通知があった場合
 - ▶危険を回避するために、手動操作が必要であるとご自身が判断した場合
- 上手く運転できたかどうかを計測する実験ではありません。適度にリラックスして普段の運転を心がけてください。
- 運転中の顔と上半身の様子を小型カメラで記録させていただきます。

実験の進行順序

午前の実験※ ※午前の実験の一部が午後にずれ込む場合もあります。

| | | | |
|-----------|----|--------|-----|
| 練習(10分程度) | 休憩 | 実験 2走行 | 昼休み |
|-----------|----|--------|-----|

午後の実験

| | | | |
|--------|----|--------|----|
| 実験 2走行 | 休憩 | 実験 2走行 | 休憩 |
|--------|----|--------|----|

| | | | |
|--------|----|---------|----|
| 実験 1走行 | 休憩 | アンケート記入 | 終了 |
|--------|----|---------|----|

1回の実験走行 ≒ 30分前後

- 昼休み開始が13時頃になります。あらかじめご了承ください。
- 実験装置のトラブル等により、お待ち頂く場合があります。

独立行政法人 交通安全環境研究所

[安全上の注意事項]

- シミュレータへは係員が御案内致します。道路に段差がありますので足下等に御注意ください。
- シミュレータへ乗り込む際及び降りる際には、特に頭上に御注意ください。
- シミュレータに御乗車されましたら、**シートベルトを御着用ください。**
- シート位置を調整された後は、実験担当者から「走行を開始してください。」の指示があるまで、ハンドル及びブレーキ/アクセルから手足を離した状態でお待ちください。
- 運転席ドアの開閉は係員が行います。特に御乗車中に御自身で開けることはしない様にお願致します。

[体調不良等により、運転を続けることが困難な場合]

- 走行中でも構いませんので、**すぐに係員にお知らせください。**可及的速やかにシミュレータを停止し、係員が運転席までお迎えに行きます。
- 控室でしばらく御休憩頂いた後、回復の様子を見ながら、御本人の意向も伺った上で実験を継続させて頂くか否かを判断させていただきます。**体調が優れない場合にはくれぐれも無理はなさらないようにしてください。**尚、途中で終了された場合でも、終了された時点までの時間分の報酬は支払われます。

独立行政法人 交通安全環境研究所

[個人情報の取り扱いについて]

- 本実験に参加して頂くにあたって御提示頂いた個人情報、実験中に計測したデータ、アンケート回答及び画像データについては、本実験の目的以外には使用致しません。
- 本実験で得られたデータ、アンケート回答等を後日外部に公表することになった場合、参加者のお名前を公表することはございません。
- 本実験で得られた運転行動のデータやアンケートの回答等によって、参加者様個人が後日不利な扱いを受けるようなことはございません。

[その他の連絡事項]

- 貴重品は各自で管理して頂く様、お願い致します。
- 喫煙は所定の喫煙所をお願い致します。
- 飲み物(蓋のついた容器に入っていること)、ガム、あめ等をお持ちの方は、シミュレータ内へ持ち込むことも可能です。

担当職員連絡先:
交通安全環境研究所

独立行政法人 交通安全環境研究所

図 3-11 (その2) 実験参加者への事前説明用スライド

3.5 実験の進行順序及び実験前の練習走行について

表 3-3 に、実験参加者 30 名 (Sub.1~Sub.30) の実験進行順序を示す。表中の記号 (例：場面 1-a) は、実験条件の組合せを表している。実験条件の組合せについて、表 3-1 及び表 3-2 より抜粋したものを表 3-4 及び表 3-5 に再掲する。

各実験参加者に対する試行回数は、表 3-4 及び表 3-5 の組合せに対し、各 1 回とした。また、実験を実施する順序による実験結果への影響を抑えるため、進行順序を実験参加者毎に変えて実施した。

システムの正常作動に対する経験が比較的浅い段階で故障が発生した場合のドライバの反応についてデータを取得しておくため、全ての被験者について、表 3-3 における 1 番目と 2 番目の実験については約 4 分の短時間の実験シナリオを実施することとした。実験参加者を 15 名ずつに分け、場面 1→場面 2 の順に行う人と、場面 2→場面 1 の順に行う人を設定した。

3 番目以降の実験では長時間の実験シナリオを実施することとしたが、毎回シナリオの時間が同じであることによって、実験参加者が故障発生のタイミングを学習し待ち構えてしまうようになることを防ぐため、場面 1 及び場面 2 ともに、シナリオ時間に各 3 通りのバリエーションを設定し、同じ時間のシナリオが連続しない様に配慮した。

1 番目の実験を開始する前に練習走行を行った。練習走行の目的は、実験を開始した時点における自動走行システムに対する理解度合い及び手動操作時の DS の車両特性に対する習熟度合いについて、実験参加者の間で差が生じることをできる限り抑えることである。このため、最初に自動走行システムを ON 状態にして、約 100km/h で走行中に、ACC 及び ACSF が正常作動した場合の車両の動き及び手動操作によるオーバーライドが可能であることを、実際に体験してもらうこととした。尚、練習はシステムの正常作動の体験のみとし、故障発生については行わないこととした。目安となる練習時間 (10 分程度) を経過した時点で、実験参加者に「システムの動きを理解できたか?」、「このシステムを信頼して使うことができそうか?」を確認し、「理解できた」、「信頼して使えそう」等の回答を確認できた場合には、自動走行システム ON 状態の練習を終了した。「よく分からない」、「使うことに不安がある」等の回答の場合には、練習を継続し、「理解できた」、「信頼して使えそう」等の回答が得られた時点で終了することとした。実際に練習走行を行った結果では、ほぼ全ての実験参加者が、目安となる練習時間を経過した時点で、自動走行システム ON 状態の練習を終了した。次に、自動走行システムを OFF にして、手動運転による練習走行を行った。手動運転についても、自動走行システムが ON の時と同様に、100km/h 程度を目安として走行するよう、実験参加者に指示した。目安となる練習時間 (10 分程度) を経過した時点で、「運転操作に対する車両の動きを習熟できたか?」を確認し、「習熟できた」等の回答が得られた場合には、手動運転の練習を終了した。「よく分からない」、「思った通りに運転できない」等の回答の場合には、練習を継続し、「習熟できた」等の回答が得られ

た時点で練習を終了することとした。実際に練習走行を行った結果では、手動運転についても、ほぼ全ての実験参加者が目安となる練習時間を経過した時点で練習を終了した。

表 3-3 実験参加者別進行順序

 カーブ(ボタン操作無)
 カーブ(ボタン操作あり)
 車線変更

| 実験参加者 | 進行順序 | | | | | | | | | | |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| Sub.1 | 場面1-a | 場面2-a | 場面1-b | 場面2-b | 場面1-c | 場面2-c | 場面1-f | 場面2-d | 場面1-g | 場面1-d | 場面1-e |
| Sub.2 | 場面1-a | 場面2-a | 場面2-b | 場面1-c | 場面2-c | 場面1-f | 場面2-d | 場面1-g | 場面1-b | 場面1-d | 場面1-e |
| Sub.3 | 場面1-a | 場面2-a | 場面1-c | 場面2-c | 場面1-f | 場面2-d | 場面1-g | 場面1-b | 場面2-b | 場面1-d | 場面1-e |
| Sub.4 | 場面1-a | 場面2-a | 場面2-c | 場面1-f | 場面2-d | 場面1-g | 場面1-b | 場面2-b | 場面1-c | 場面1-d | 場面1-e |
| Sub.5 | 場面1-a | 場面2-a | 場面1-f | 場面2-d | 場面1-g | 場面1-b | 場面2-b | 場面1-c | 場面2-c | 場面1-d | 場面1-e |
| Sub.6 | 場面1-a | 場面2-a | 場面2-d | 場面1-g | 場面1-b | 場面2-b | 場面1-c | 場面2-c | 場面1-f | 場面1-e | 場面1-d |
| Sub.7 | 場面1-a | 場面2-a | 場面1-g | 場面1-b | 場面2-b | 場面1-c | 場面2-c | 場面1-f | 場面2-d | 場面1-e | 場面1-d |
| Sub.8 | 場面1-a | 場面2-a | 場面1-g | 場面2-d | 場面1-f | 場面2-c | 場面1-c | 場面2-b | 場面1-b | 場面1-e | 場面1-d |
| Sub.9 | 場面1-a | 場面2-a | 場面2-d | 場面1-f | 場面2-c | 場面1-c | 場面2-b | 場面1-b | 場面1-g | 場面1-e | 場面1-d |
| Sub.10 | 場面1-a | 場面2-a | 場面1-f | 場面2-c | 場面1-c | 場面2-b | 場面1-b | 場面1-g | 場面2-d | 場面1-e | 場面1-d |
| Sub.11 | 場面1-a | 場面2-a | 場面2-c | 場面1-g | 場面2-b | 場面1-b | 場面1-d | 場面1-e | 場面2-d | 場面1-g | 場面1-f |
| Sub.12 | 場面1-a | 場面2-a | 場面1-c | 場面2-b | 場面1-b | 場面1-g | 場面1-d | 場面1-e | 場面1-f | 場面2-d | 場面2-c |
| Sub.13 | 場面1-a | 場面2-a | 場面2-b | 場面1-b | 場面1-g | 場面2-d | 場面1-d | 場面1-e | 場面2-c | 場面1-f | 場面1-c |
| Sub.14 | 場面1-a | 場面2-a | 場面1-b | 場面1-g | 場面2-d | 場面1-f | 場面1-d | 場面1-e | 場面1-c | 場面2-c | 場面2-b |
| Sub.15 | 場面1-a | 場面2-a | 場面1-b | 場面2-b | 場面1-c | 場面2-c | 場面1-d | 場面1-e | 場面2-d | 場面1-f | 場面1-g |
| Sub.16 | 場面2-a | 場面1-a | 場面2-b | 場面1-c | 場面2-c | 場面1-f | 場面1-e | 場面1-d | 場面1-g | 場面2-d | 場面1-b |
| Sub.17 | 場面2-a | 場面1-a | 場面1-c | 場面2-c | 場面1-f | 場面2-d | 場面1-e | 場面1-d | 場面2-b | 場面1-g | 場面1-b |
| Sub.18 | 場面2-a | 場面1-a | 場面2-c | 場面1-f | 場面2-d | 場面1-g | 場面1-e | 場面1-d | 場面1-b | 場面2-b | 場面1-c |
| Sub.19 | 場面2-a | 場面1-a | 場面1-f | 場面2-d | 場面1-g | 場面1-b | 場面1-e | 場面1-d | 場面2-b | 場面1-c | 場面2-c |
| Sub.20 | 場面2-a | 場面1-a | 場面2-d | 場面1-g | 場面1-b | 場面2-b | 場面1-e | 場面1-d | 場面1-c | 場面2-c | 場面1-f |
| Sub.21 | 場面2-a | 場面1-a | 場面1-d | 場面1-e | 場面1-g | 場面2-b | 場面1-b | 場面1-c | 場面2-c | 場面1-f | 場面2-d |
| Sub.22 | 場面2-a | 場面1-a | 場面1-d | 場面1-e | 場面2-d | 場面1-b | 場面1-c | 場面2-c | 場面1-f | 場面2-b | 場面1-g |
| Sub.23 | 場面2-a | 場面1-a | 場面1-d | 場面1-e | 場面2-c | 場面1-c | 場面2-b | 場面1-f | 場面2-d | 場面1-g | 場面1-b |
| Sub.24 | 場面2-a | 場面1-a | 場面1-d | 場面1-e | 場面1-f | 場面2-b | 場面1-g | 場面2-d | 場面1-b | 場面2-c | 場面1-c |
| Sub.25 | 場面2-a | 場面1-a | 場面1-d | 場面1-e | 場面2-b | 場面1-g | 場面2-d | 場面1-b | 場面2-c | 場面1-c | 場面1-f |
| Sub.26 | 場面2-a | 場面1-a | 場面1-e | 場面1-d | 場面1-g | 場面2-d | 場面1-b | 場面2-c | 場面1-c | 場面1-f | 場面2-b |
| Sub.27 | 場面2-a | 場面1-a | 場面1-e | 場面1-d | 場面2-d | 場面1-b | 場面2-c | 場面1-c | 場面1-f | 場面2-b | 場面1-g |
| Sub.28 | 場面2-a | 場面1-a | 場面1-e | 場面1-d | 場面1-b | 場面2-c | 場面1-c | 場面1-f | 場面2-b | 場面1-g | 場面2-d |
| Sub.29 | 場面2-a | 場面1-a | 場面1-e | 場面1-d | 場面2-b | 場面1-b | 場面1-c | 場面2-c | 場面1-f | 場面2-d | 場面1-g |
| Sub.30 | 場面2-a | 場面1-a | 場面1-e | 場面1-d | 場面1-g | 場面2-d | 場面1-f | 場面2-c | 場面1-c | 場面2-b | 場面1-b |

表 3-4 実験条件組合せ（場面 1：カーブ走行中の故障発生）（表 3-1 より抜粋）

| | 場面 1-a | 場面 1-b | 場面 1-c | 場面 1-d | 場面 1-e | 場面 1-f | 場面 1-g |
|------------------------|----------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 実験シナリオ時間 | 約4分 | 約25分 約30分 約35分 | 約25分 約30分 約35分 | 約25分 約30分 約35分 | 約25分 約30分 約35分 | 約25分 約30分 約35分 | 約25分 約30分 約35分 |
| 故障通知の警報からシステム停止までの時間 | 0秒 | 0秒 | 0秒 | 0秒 | 0秒 | 2秒 | 4秒 |
| 一定時間ごとのボタン操作（走行開始時を除く） | 無 | 無 | 無 | 1分間隔 | 5分間隔 | 無 | 無 |
| 操舵トルク低減方法 | case 1 （急減） | case 1 （急減） | case 2 （徐々に減） | case 1 （急減） | case 1 （急減） | case 1 （急減） | case 1 （急減） |

表 3-5 実験条件組合せ（場面 2：車線変更中の故障発生）（表 3-2 より抜粋）

| | 場面 2-a | 場面 2-b | 場面 2-c | 場面 2-d |
|------------------------|----------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 実験シナリオ時間 | 約4分 | 約26分 約32分 約39分 | 約26分 約32分 約39分 | 約26分 約32分 約39分 |
| 故障通知の警報からシステム停止までの時間 | 0秒 | 0秒 | 0秒 | 2秒 |
| 一定時間ごとのボタン操作（走行開始時を除く） | 無 | 無 | 無 | 無 |
| 車線変更時間 | 3s | 3s | 6s | 6s |
| 操舵トルク低減方法 | case 1 （急減） | case 1 （急減） | case 1 （急減） | case 1 （急減） |

3.6 実験に使用した HMI について

図 3-12 に実験に使用した HMI を示す。運転席中央付近に設置したモニタ画面による表示及び助手席足下付近に設置したスピーカーからの音による HMI を使用した。

場面 1 の実験の一部（表 3-4 の場面 1-d 及び場面 1-e）では、システムを継続して使用するために、ON/OFF 用のボタンを操作することを実験参加者に要求する。この場合は、1 分または 5 分おきに「ボタンを操作してください」の画面表示及び音「ポン！」による通知が行われる。10 秒以内にボタンを操作した場合には、画面表示はシステム ON かつ作動中の状態に戻る。10 秒以内にボタンを操作しなかった場合には、「自動走行システム解除されました」の表示に切り替わり、同時に、故障発生時と同じ音「ピピピピ！ピピピピ！」

による通知とともに、自動走行システムが解除されることとした。

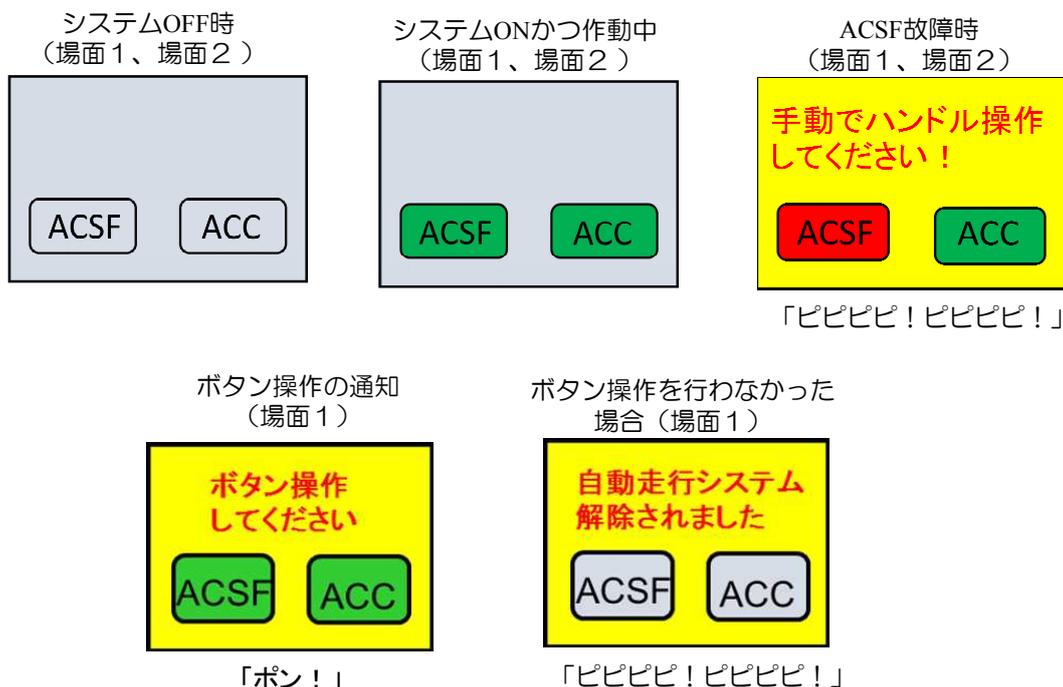


図 3-12 実験に使用した HMI

3.7 計測するデータについて

本実験では、定量的に計測するデータとして、以下の項目を時系列に計測した。

- ドライバの運転操作に関するもの（操舵角、アクセルストローク、ブレーキストローク、）
- システムの状態に関するもの（ON/OFF スイッチ、作動フラグ、故障フラグ）
- 車両挙動及び車両走行軌跡に関するもの（速度、加速度、ヨー角速度、道路白線に対する車両の横位置及び右前輪の車線逸脱量 等）

また、DS の車室内に設置した小型カメラにより、以下の動画を記録した。

- 前方のスクリーン画像
- ドライバの顔の画像
- ドライバの手及びハンドルの画像
- HMI 用モニタ画面の画像

上記の動画を再生して、故障通知の警報を開始してからハンドルを握るまでの反応時間（ハンドル反応時間）及び自動走行システムを使っている間のドライバの閉眼状態（瞼を閉じている状態）等を確認した。図 3-13 に、実験中に記録した画像の例を示す。



図 3-13 実験中に記録した画像データの例（場面 1：カーブ走行中の故障発生）

尚、計測したデータのうち、ハンドル反応時間及び右前輪の逸脱量（道路白線に対する逸脱量）について、平均値の差の統計的検定を行うこととした。統計的検定のための解析ツールは、IBM 社製 SPSS Version 23 を使用した。検定の手法については、平均値が 2 つの場合には独立したサンプルの t 検定を実施した。平均値が 3 つ以上の場合には、1 元配置分散分析のうち、多重比較として等分散性が仮定できる場合には Tukey 法を使用し、等分散性が仮定できない場合には Dunnett の T3 法を用いて検定を行った。

また、実験終了後に、一定時間毎のボタン操作についての印象を確認するための記入式アンケートを実施した。

4. 実験結果

4.1 ドライバが状況を認識して、安全に手動操作へ遷移するための要件等

4.1.1 場面 1（カーブ走行中の故障）

4.1.1.1 故障発生後に ACSF の操舵トルクを停止するタイミング及び操舵トルクを低減する方法の違いによるハンドル反応時間及び車線逸脱量の比較

図 4-1 は、場面 1 の左カーブを走行中、ACSF の故障をドライバーに通知する警報の開始からハンドルを握るまでのハンドル反応時間を、長時間の実験シナリオである場面 1-b～場面 1-g の実験ケースについて、全員の平均値と標準偏差を示したものである。実験変数によらず、平均で 1 秒弱となっており、警報に対するドライバーの反応は比較的速い結果となった。特に警報開始と同時に ACSF による操舵トルクが 0Nm となる場面 1-b については、他のケースよりも平均値が 0.1～0.2 秒程度短くなっている。場面 1-b では操舵トルクが急激に減少し、操舵角がほぼ中立となってそのままでは左カーブ走行を維持できなくなるため、ドライバーがより迅速に対応したものと考えられる。また、図 4-1 に示した 4 つのケースに対する平均値の差の検定は等分散性が仮定できるため、Tukey 法で行った結果、いずれのケースに対しても有意な差は確認されなかった。

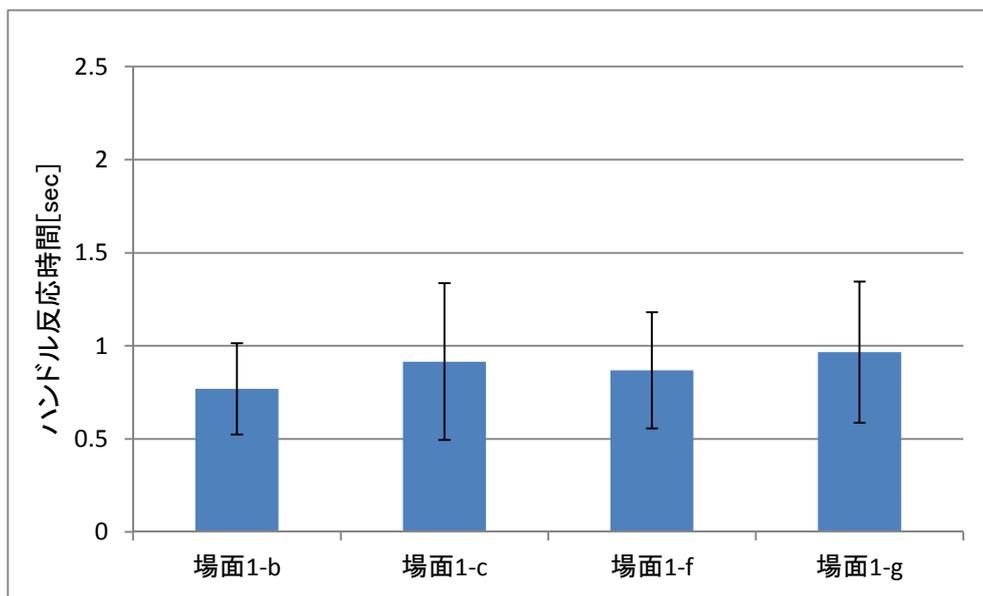


図 4-1 場面 1 操舵トルクの停止タイミング及び低減方法の違いによるハンドル反応時間の比較（長時間シナリオ）（30 名の平均値）

図 4-2 は、図 4-1 と同じ 4 つの実験ケースに対する右前輪の逸脱量最大値について、全

員の平均値と標準偏差を示したものである。縦軸の値が正 (>0) の場合、右前輪が第 2 車線側へ逸脱したことを表している。警報開始と同時に ACSF による操舵トルクが 0Nm となる場面 1-b のケースでは、平均値で約 1.5m の逸脱が見られたが、他の 3 つのケースでは、いずれも平均値+標準偏差で見た場合でも第 1 車線内に収まっていることが確認された。また、図 4-2 に示した 4 つのケースに対する平均値の差の検定は等分散性が仮定できないため、Dunnet の T3 法で行った結果、場面 1-b は他の 3 つのケースのいずれに対しても有意な差となったが、場面 1-b を除いた残りの 3 つのケースでは、いずれも有意な差は確認されなかった。この結果から、故障通知の警報開始から 2 秒または 4 秒の間、ACSF の制御を継続した後に操舵トルクを急激に低減する方法と、警報と同時に操舵トルクを徐々に減少させる方法は、カーブ走行中に ACSF の故障が発生した場合に車線を逸脱しないように手動操舵へ遷移することに対し、ほぼ同等の効果であることが確認された。

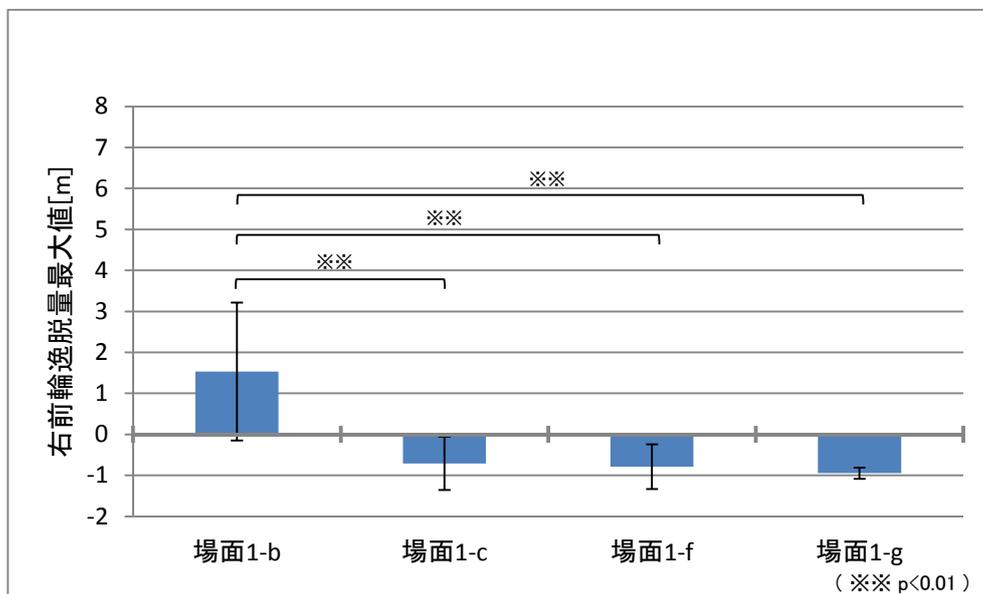


図 4-2 場面 1 操舵トルクの停止タイミング及び低減方法の違いによる右前輪の逸脱量最大値（長時間シナリオ）（30 名の平均値）

また、図 4-3 は、上記 4 つのケースにおける操舵角及び操舵力の時間波形の例として、Sub.8 のデータを示したものである。操舵力については、ドライバーがハンドルを握っている時の力を計測したものであり、ハンドルから手を離している間は、ほぼ 0N となっている。また、図中の横軸は、ACSF の故障が発生した時点をも 0 秒とし、その時点で ACSF の操舵トルクは“急激に”低下するかまたは“徐々に”低下し始める。このため、場面 1-f 及び場面 1-g については、それぞれ横軸の-4 秒及び-2 秒の時点が警報開始時点となる。

操舵角の時間波形については、場面 1-f 及び場面 1-g のケースでは、故障発生によって ACSF の操舵トルクが減少するより前に、ドライバーはハンドルを握っている。そのため、故障発生後、手動操作によって左旋回を継続するための操舵角のピークは、故障発生後に

ハンドルを握った場面 1-b よりも小さい値となっている。一方、警報開始と同時に ACSF の操舵トルクを徐々に減少させた場面 1-c については、ドライバーがハンドルを握った時点で操舵角が約 20deg 残っていたことから、ドライバーは比較的ゆっくりした速さで、左旋回を継続するための操舵角を与えており、操舵角のピークは場面 1-b よりも小さく、場面 1-f 及び場面 1-g に近い値となっている。これに対し、故障発生と同時に ACSF の操舵トルクを急激に減少させた場面 1-b については、手動操作によって左旋回を継続するための操舵角のピークが最も大きな値となっており、操舵した時の速さも最も速くなっている。場面 1-b では、ドライバーは、操舵角が急激に 0deg 付近まで低下した直後に車線からの逸脱をできる限り抑えるべく、速い操作で大きな操舵角を与えたものと考えられる。

操舵力の時間波形については、場面 1-f 及び場面 1-g のケースでは、警報を受けてドライバーがハンドルを握った時点で ACSF の操舵トルクは左旋回を継続する分だけ発生していたので、ドライバーの左方向への操舵入力は不要であるが、警報開始後、どの時点まで ACSF の操舵トルクが継続するかについては、ドライバーに知らされていなかったため、ドライバーは、ハンドルを握った時点より左旋回を継続しようとして左方向の入力を与えたものと考えられる。これに対し、警報を受けてハンドルを握った時点で ACSF の操舵トルクの減少が始まっていた場面 1-b 及び場面 1-c では、操舵力のピークに向かって比較的短時間で入力を与えている。特に場面 1-b では短時間でより大きな入力を与えている。尚、故障発生後に見られる操舵力のピークの値については、4つのケースともに概ね 20N 付近となっており、警報タイミングや操舵トルクの減少方法の違いによって大きな違いは見られない。

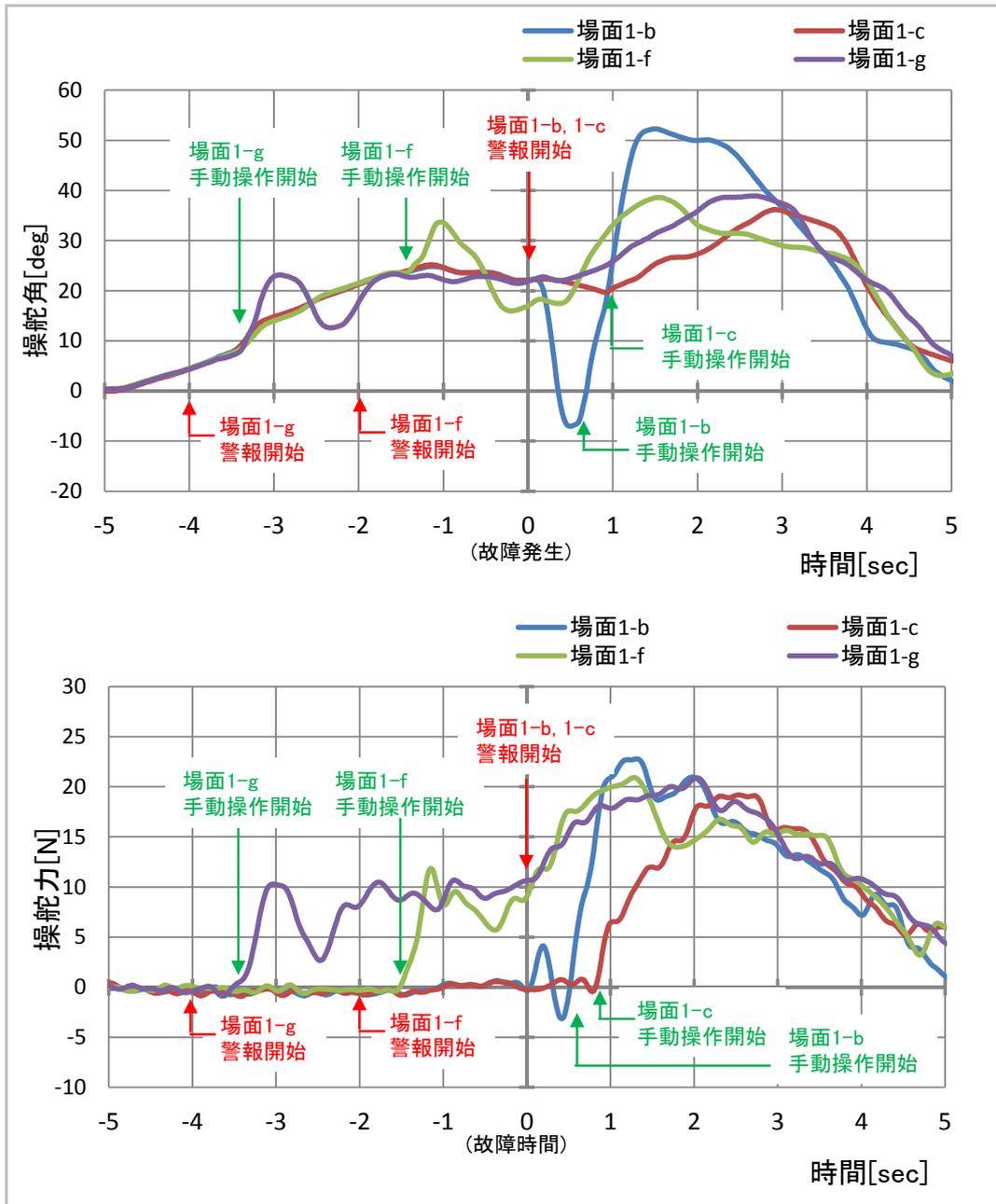


図 4-3 場面 1 操舵トルクの停止タイミング及び低減方法の違いによる操舵角及び操舵力の時間波形の例（長時間シナリオ）（Sub 8）

4.1.1.2 運転時間の違いによるハンドル反応時間及び車線逸脱量の比較

図 4-4 は、場面 1 の左カーブを走行中、ACSF の故障をドライバーに通知する警報からハンドルを握るまでのハンドル反応時間の平均値と標準偏差を、短時間のシナリオである場面 1-a と長時間の実験シナリオである場面 1-b について示したものである。尚、集計の対象は、実験参加者 30 名のうち、場面 1-a を 1 番目の実験として行った 15 名を除いた、残りの 15 名とした。この理由は、集計の対象とした 15 名については、場面 1-a の実験を行

う前に場面 2-a の実験を行っており、走行場面はカーブと車線変更で異なるが、ACSF の故障が発生して手動操作へ遷移する場面を 2-a で経験していることから、運転時間の違いによる影響を比較する上でより適切であると考えられるためである。図より、ハンドル反応時間は平均値でいずれも 1 秒弱であり、大きな違いは見られなかった。この 2 つのケースに対する平均値の差の検定は等分散性が仮定できるため、t 検定で行った結果、有意な差は確認されなかった。

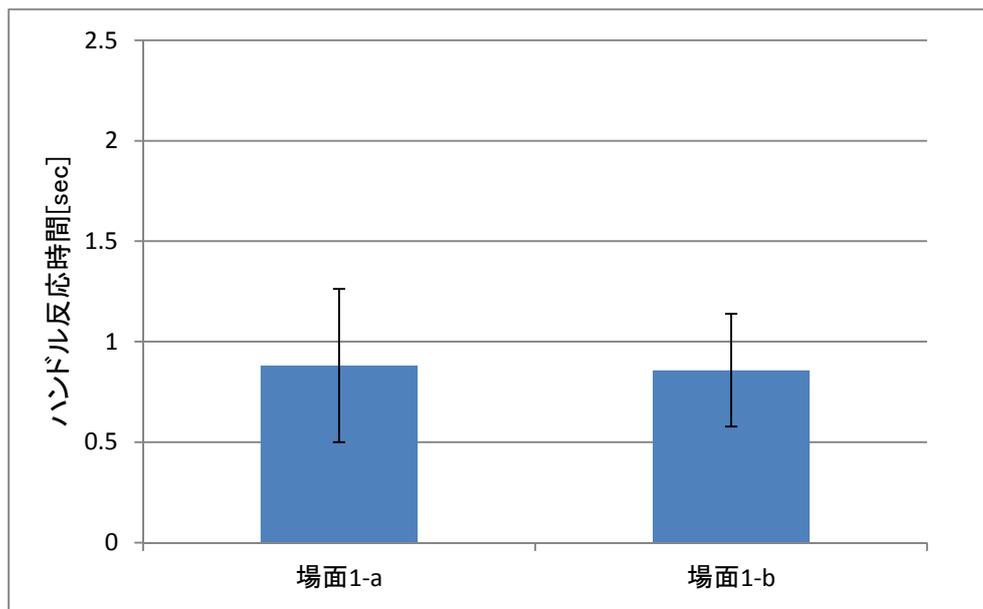


図 4-4 場面 1 運転時間の違いによるハンドル反応時間の比較 (15 名の平均値)

図 4-5 は、図 4-4 と同じ 2 つの実験ケースかつ同じ実験参加者 (15 名) に対する右前輪の逸脱量最大値について、平均値と標準偏差を示したものである。図より、逸脱量の最大値は、いずれのケースも平均で 2m 前後であり、大きな違いは見られなかった。この 2 つのケースに対する平均値の差の検定は、等分散性が仮定できるため、t 検定で行った結果、有意な差は確認されなかった。

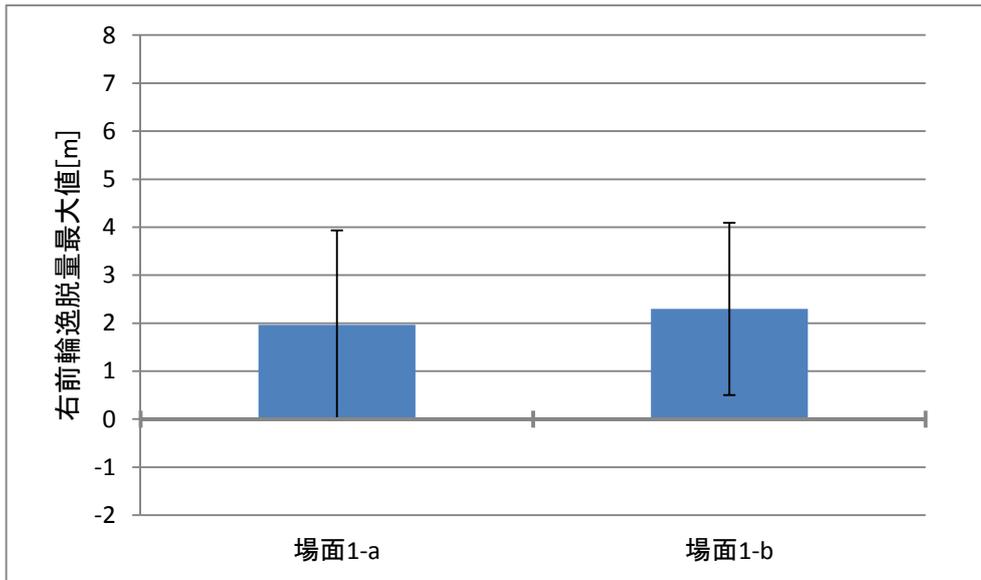


図 4-5 場面 1 運転時間の違いによる右前輪の逸脱量最大値の比較（15 名の平均値）

4.1.1.3 手動操作への遷移に対する経験の違いによるハンドル反応時間及び車線逸脱量の比較

図 4-6 は、場面 1 の左カーブを走行中、ACSF の故障をドライバーに通知する警報からハンドルを握るまでのハンドル反応時間の平均値と標準偏差を、短時間のシナリオである場面 1-a について、当該場面の実験を 1 番目に実験を行った 15 名（図中、遷移経験無）のグループと 2 番目に行った 15 名（遷移経験有）のグループとを比較する形で示したものである。図より、ハンドル反応時間の平均値はいずれのグループも 1 秒弱であり、大きな違いは見られなかった。この 2 つのグループの結果に対する平均値の差の検定は、等分散性が仮定できるため、t 検定で行った結果、有意な差は確認されなかった。

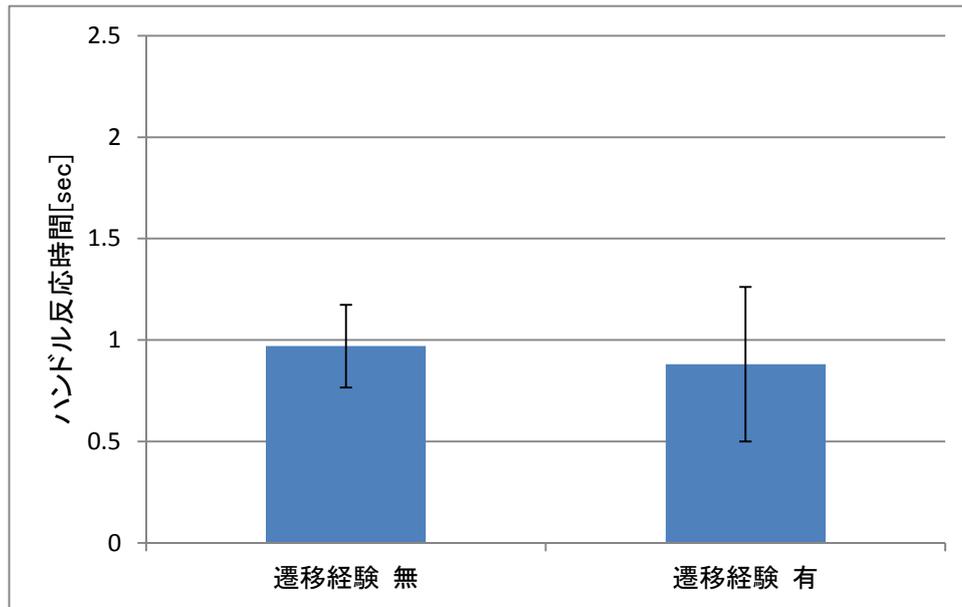


図 4-6 場面 1 手動操作への遷移に対する経験の違いによるハンドルの反応時間の比較 (場面 1-a) (各 15 名のグループの平均値)

図 4-7 は、図 4-6 と同じ実験ケースかつ同じ実験参加者グループ (各 15 名) に対する右前輪の逸脱量最大値について、平均値と標準偏差を示したものである。図より、逸脱量の最大値はいずれのケースも平均で 2m 前後であり、大きな違いは見られなかった。この 2 つのグループの結果に対する平均値の差の検定は、等分散性が仮定できるため、t 検定で行った結果、有意な差は確認されなかった。

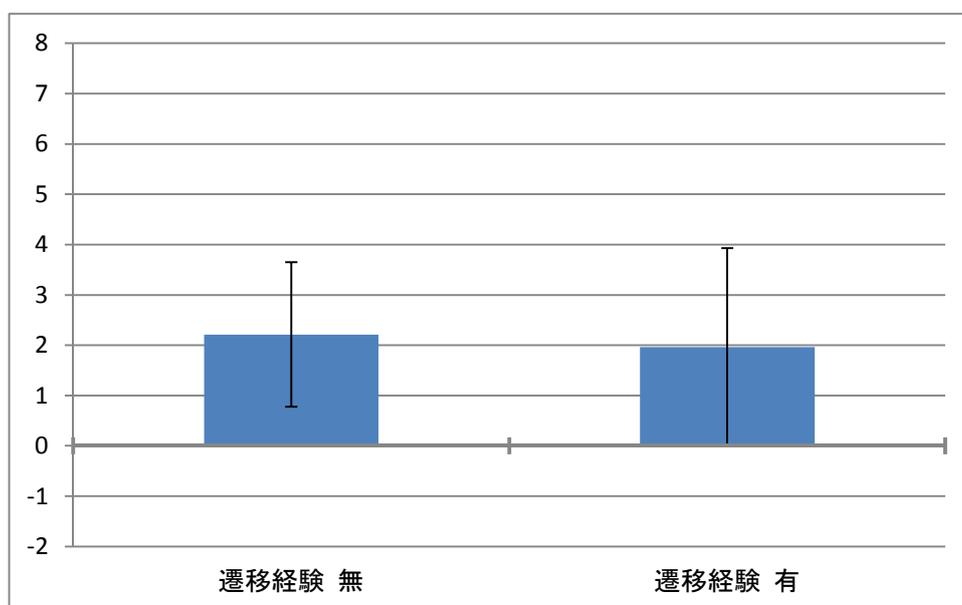


図 4-7 場面 1 手動操作への遷移に対する経験の違いによる右前輪の逸脱量最大値の比較 (場面 1-a) (各 15 名のグループの平均値)

4.1.1.4 一定時間毎のボタン操作の有無によるハンドル反応時間及び車線逸脱量の比較

場面 1 では、場面 1-b と同じ実験変数で、自動走行システムを継続して使用するために一定時間毎のボタン操作を行うケースとして、場面 1-d (1 分間隔) 及び場面 1-e (5 分間隔) を設定した。実験を行った結果、一部の実験参加者において、ACSF の故障発生を通知する警報を受けた際に誤ってボタンを操作する行為が確認された。図 4-8 は、故障通知の警報の際に誤ってボタンを操作した人 (ボタンを操作しようとして、ボタンに向けて手を動かした人を含む) の人数を表したものである。特に 1 分間隔でボタン操作を行った場面 1-d では、全実験参加者の 43% に相当する 13 名において、ボタンの誤操作が確認された。

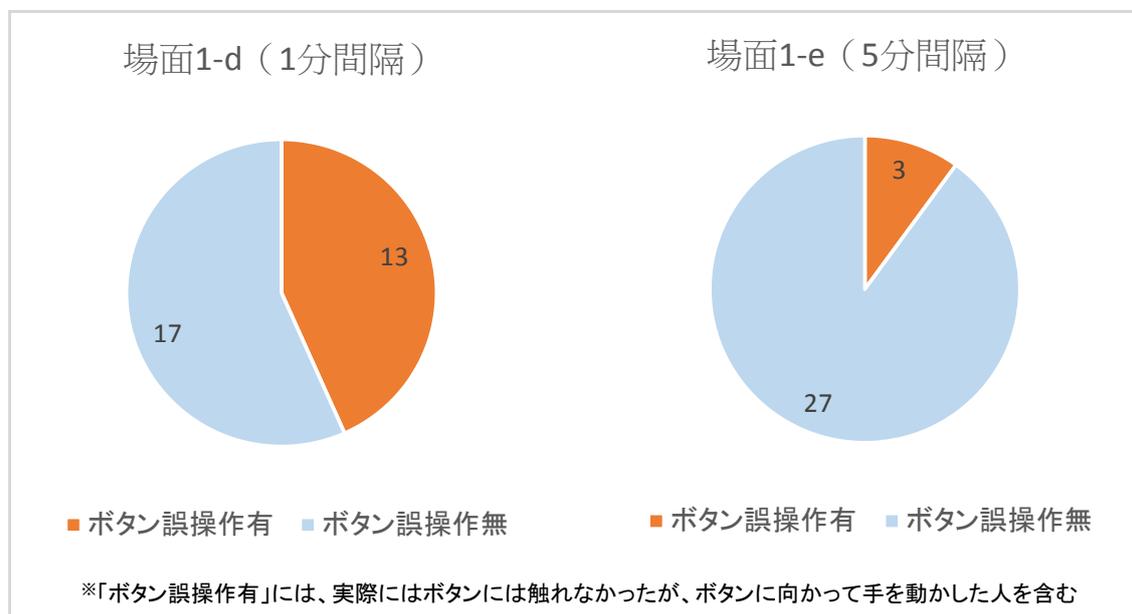


図 4-8 場面 1 故障通知の警報の際に誤ってボタン操作した人の人数

図 4-9 は、場面 1-d で故障通知の警報の際にボタンの誤操作が確認されなかった 17 名のグループについて、ハンドル反応時間の平均値と標準偏差を比較したものである。また、図 4-10 は、場面 1-b でボタンの誤操作が確認された 13 名のグループについて、ハンドル反応時間の平均値と標準偏差を比較したものである。ボタンの誤操作が確認されなかった 17 名のグループ (図 4-9) では、ハンドル反応時間の平均値はボタン操作の有無及びボタン操作の間隔によらず、0.7~0.8 秒程度であり、大きな違いは見られない。3つのケースに対する平均値の差の検定は、等分散性が仮定できるため、Tukey 法で行った結果、いずれのケースに対しても有意な差は確認されなかった。これに対し、ボタンの誤操作が確認された 13 名のグループでは、場面 1-d (平均で約 1.4 秒)、場面 1-e (平均で約 1 秒)、場面 1-b (平均で約 0.8 秒) の順で反応時間が長くなっている。3つのケースに対する平均値の差の検定は、等分散性が仮定できるため、Tukey 法で行った結果、場面 1-b と場面 1-d

の間で有意な差が確認された。この差は、場面 1-d では誤ってボタンを操作した（または操作しようとした）ことにより、ハンドルを握るのが遅れことによるものである。

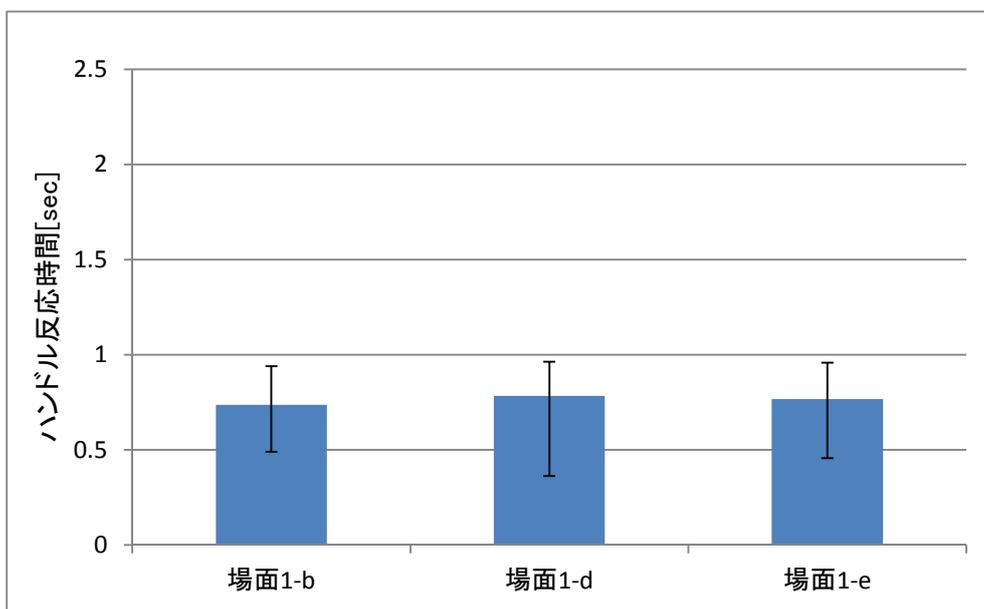


図 4-9 場面 1 ハンドル反応時間の比較（場面 1-d でボタンを誤操作しなかった 17 名）

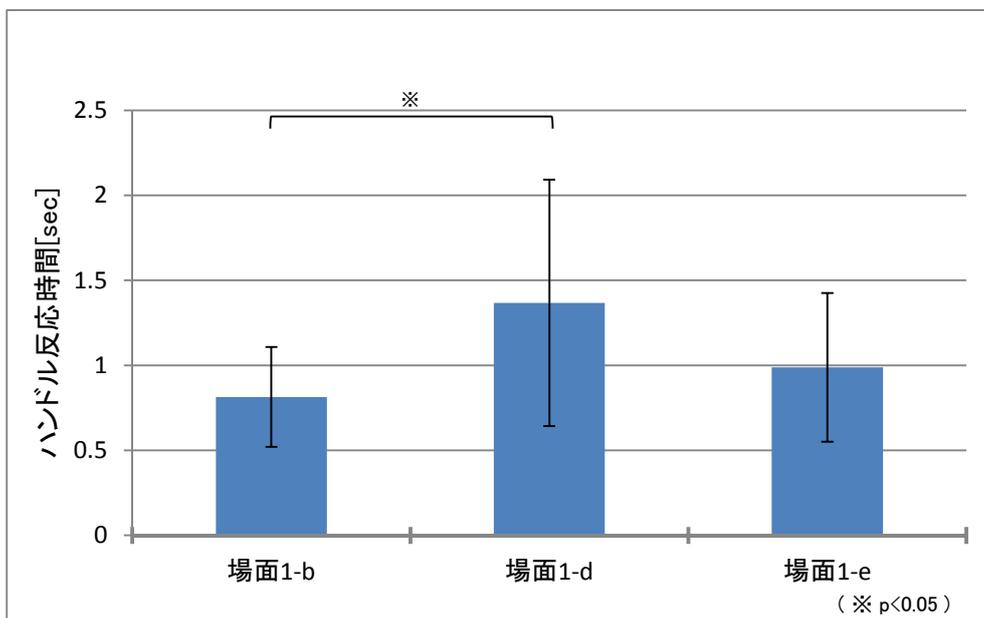


図 4-10 場面 1 ハンドル反応時間の比較（場面 1-d でボタンを誤操作した 13 名）

図 4-11 及び図 4-12 は、図 4-9 及び図 4-10 と同じ 3 つの実験ケースかつ同じ実験参加者グループに対する右前輪の逸脱量最大値について、平均値と標準偏差を示したものである。ボタンの誤操作が確認されなかった 17 名のグループ（図 4-11）では、右前輪の逸脱量最大値の平均値はボタン操作の有無及びボタン操作の間隔によらず、1.2~1.7m 程度で

あり、場面 1-d がやや大きいものの大きな違いは見られない。3つのケースに対する平均値の差の検定は、等分散性が仮定できるため、Tukey 法で行った結果、いずれのケースに対しても有意な差は確認されなかった。これに対し、ボタンの誤操作が確認された 13 名のグループでは、場面 1-d (平均で約 4.7m)、場面 1-e (平均で約 2.9m)、場面 1-b (平均で約 2m) の順で逸脱量が大きくなっている。3つのケースに対する平均値の差の検定は、等分散性が仮定できるため、Tukey 法で行った結果、場面 1-b と場面 1-d の間で有意な差が確認された。この差は、場面 1-d では誤ってボタンを操作した (または操作しようとした) ことによりハンドルを握るのが遅れ、逸脱量が増大したため生じたものと考えられる。

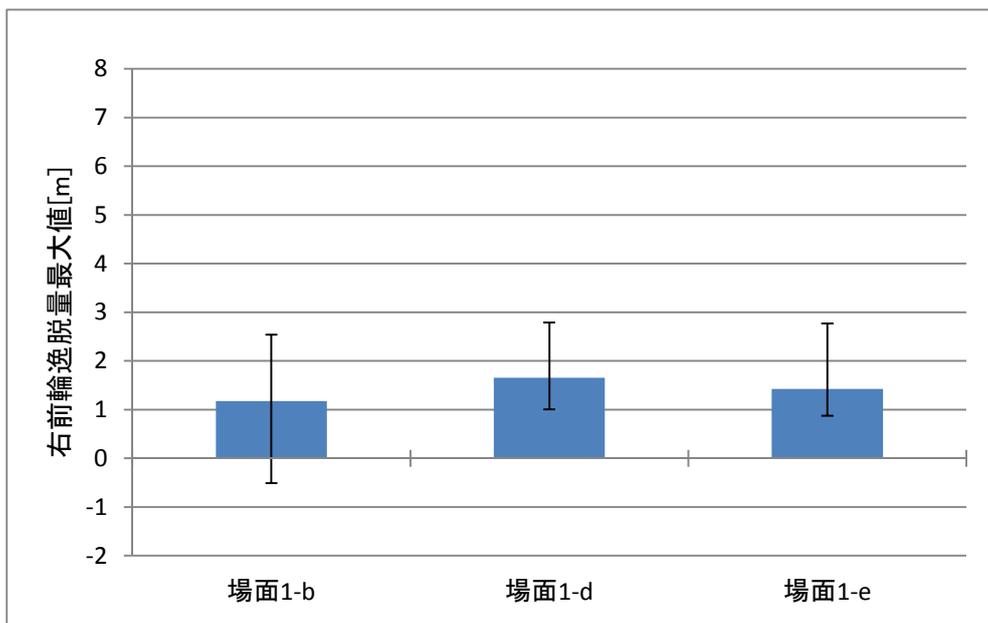


図 4-11 場面 1 右前輪の逸脱量最大値の比較 (場面 1-d でボタンを誤操作しなかった 17 名)

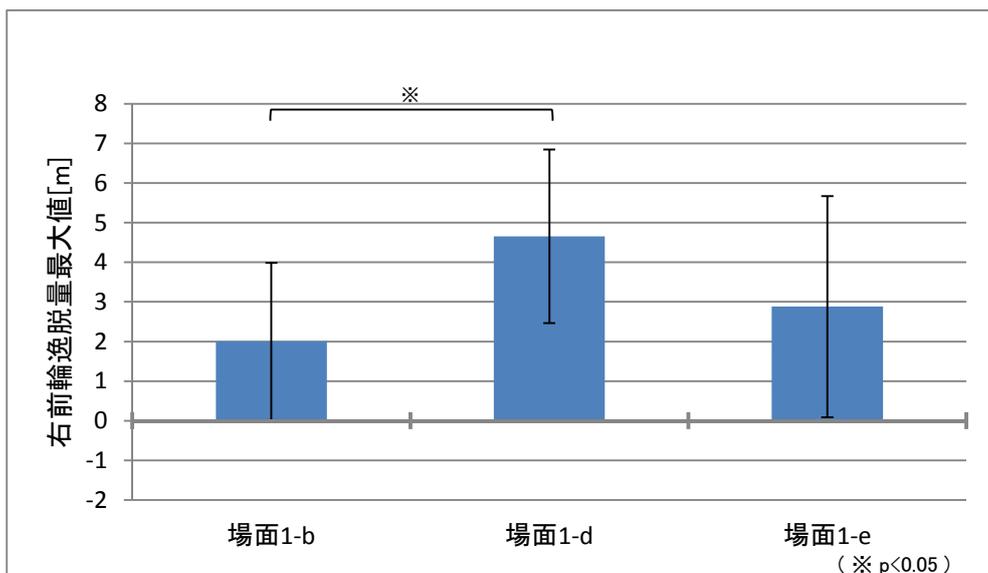


図 4-12 場面 1 右前輪の逸脱量最大値の比較 (場面 1-d でボタンを誤操作した 13 名)

また、図 4-13 は、自動走行システムを継続して使用するために、定期的にドライバーの意思確認する行為に対する実験参加者へのアンケートの結果である。アンケートは全ての実験が終了した後に、所定の用紙に記入する形で行った。アンケートの結果は、全体の約 7 割の人が、ドライバーの意思を確認する機能は「あった方が良い」または「どちらかというとあった方が良い」と回答しており、その理由を自由に記述してもらった結果、最も多かったのが、居眠り防止のため、であった。ドライバーの意思確認を行う頻度については、30分に1回が最も多く、次に多いのが3分に1回であった。今回のアンケートの結果からは、定期的にドライバーの意思を確認する行為に対して、ドライバーの受容性はある程度確保される見込みはあるが、一方で、ドライバーの意思を確認する間隔については比較的長めの時間を好む人が多い点に留意する必要がある。

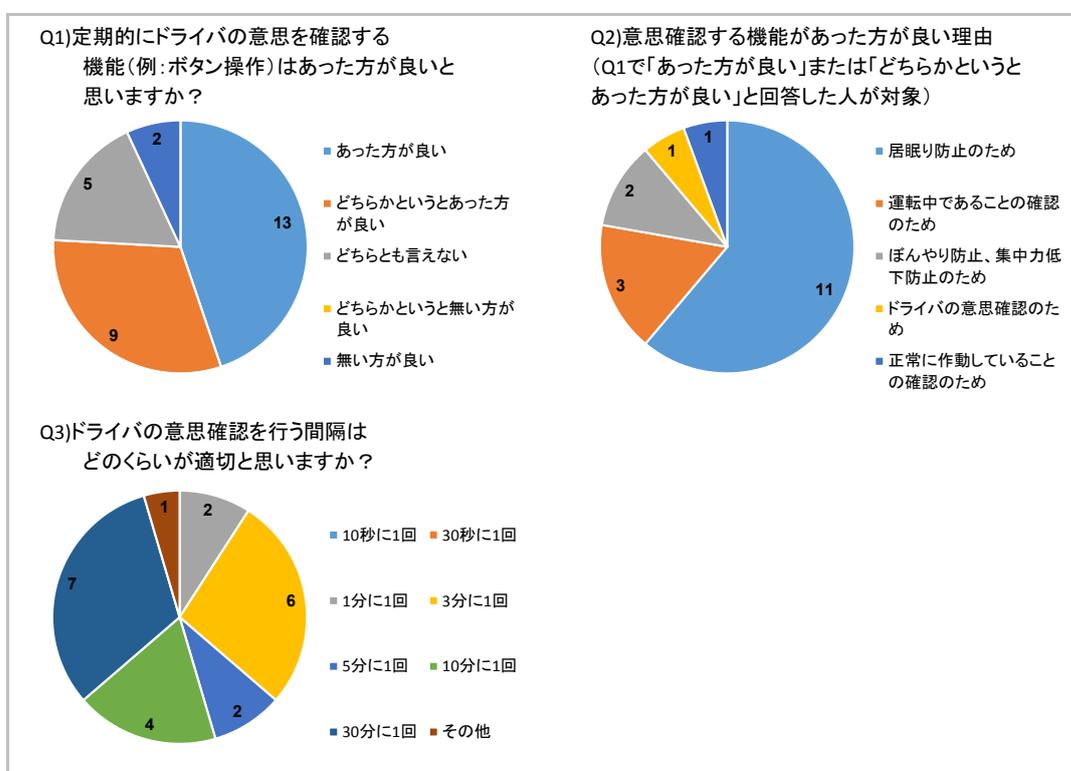


図 4-13 場面 1 定期的にドライバーの意思を確認する機能に対するアンケート結果

4.1.1.5 実験データの重回帰分析に基づく右前輪逸脱量最大値に対する要因分析

カーブ走行中に ACSF の故障が発生し、ドライバーの手動操作へ遷移する場面において確認された車線逸脱について、重回帰分析を用いて要因分析を行った。重回帰分析は、以下の 2 段階に分けて行った。

<重回帰分析 1-1>

故障通知の警報と同時に操舵トルクが急激に 0Nm まで減少するケースの実験データを用いた重回帰分析（場面 1-a、場面 1-b、場面 1-d、場面 1-e のデータを使用）

<重回帰分析 1-2>

操舵トルクを停止するタイミング及び操舵トルクを低減する方法の異なるケースの実験データを用いた重回帰分析（場面 1-b、場面 1-c、場面 1-f、場面 1-g のデータを使用）

以下、上記 a)、b)の重回帰分析の結果を順に報告する。

重回帰分析 1-1: 故障通知の警報と同時に操舵トルクが急激に 0Nm まで減少するケースの重回帰分析（場面 1-a、1-b、1-d、1-e の実験データ使用）

分析の対象とする 4 つのケースにおける右前輪の逸脱量最大値のデータは、第 2 車線側へ逸脱しているものが比較的多い。重回帰分析の説明変数は、要因を見つけやすく、かつ、説明変数間の多重共線性の少ないものとして、図 4-14 に示す、舵角波形の特徴的な項目を示しているハンドル反応時間(T1)、最大舵角時間(T2)、最大舵角(θ_{max})とし、目的変数は右前輪逸脱量最大値とした。尚、外れ値については、実験条件毎に検討し、大きく外れている値については削除した。説明変数に対する右前輪逸脱量最大値の散布図を図 4-15 に示す。図より、ハンドル反応時間と右前輪逸脱量最大値の相関が高いことが分かる。

次に、IBM 社製 SPSS Ver.23 を用いて重回帰分析を行った結果を表 4-1 に示す。表 4-1 の標準偏回帰係数から見ると、ハンドル反応時間が右前輪逸脱量最大値に大きく影響することが分かる。また、表の有意確率から、ハンドル反応時間と最大舵角時間が有意となった。表 4-1 の重回帰分析の結果については、右前輪逸脱量最大値の発生時間が最大舵角の発生した時間に近いことが要因と考えられ、ハンドル反応時間後に行われたドライバの手動操舵に対し、車両運動の操舵応答遅れ分が加わった結果が車両の走行軌跡となるため、最大舵角の右前輪逸脱量最大値に対する寄与は、ハンドル反応時間と比較して、より低いことを示していると考えられる。

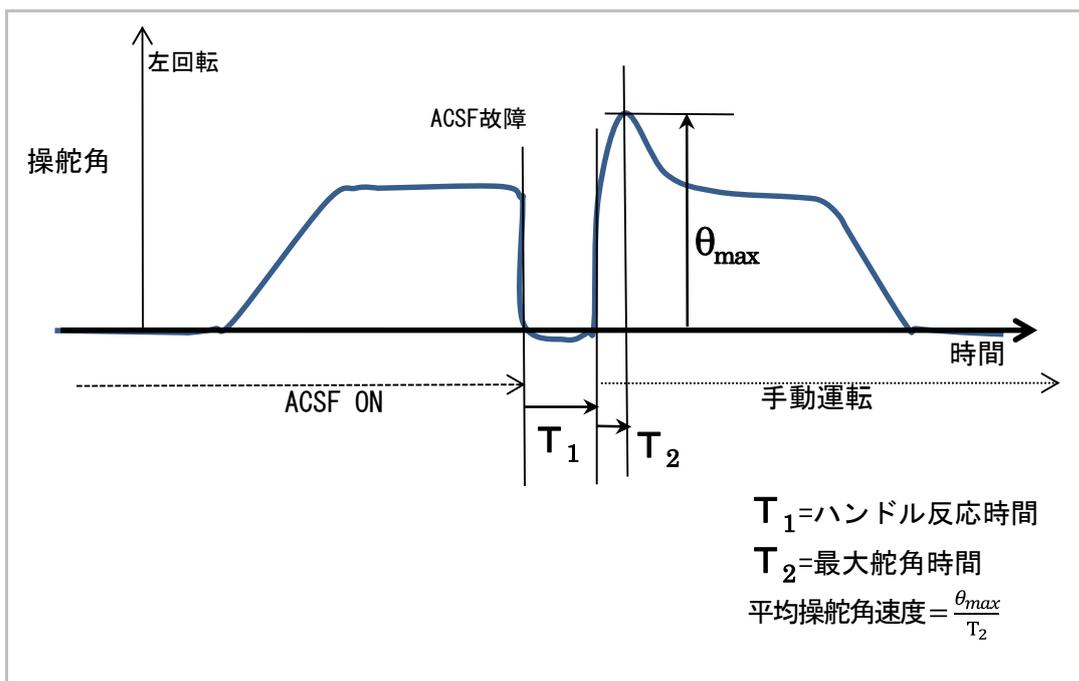


図 4-14 重回帰分析 1-1 説明変数の概念図

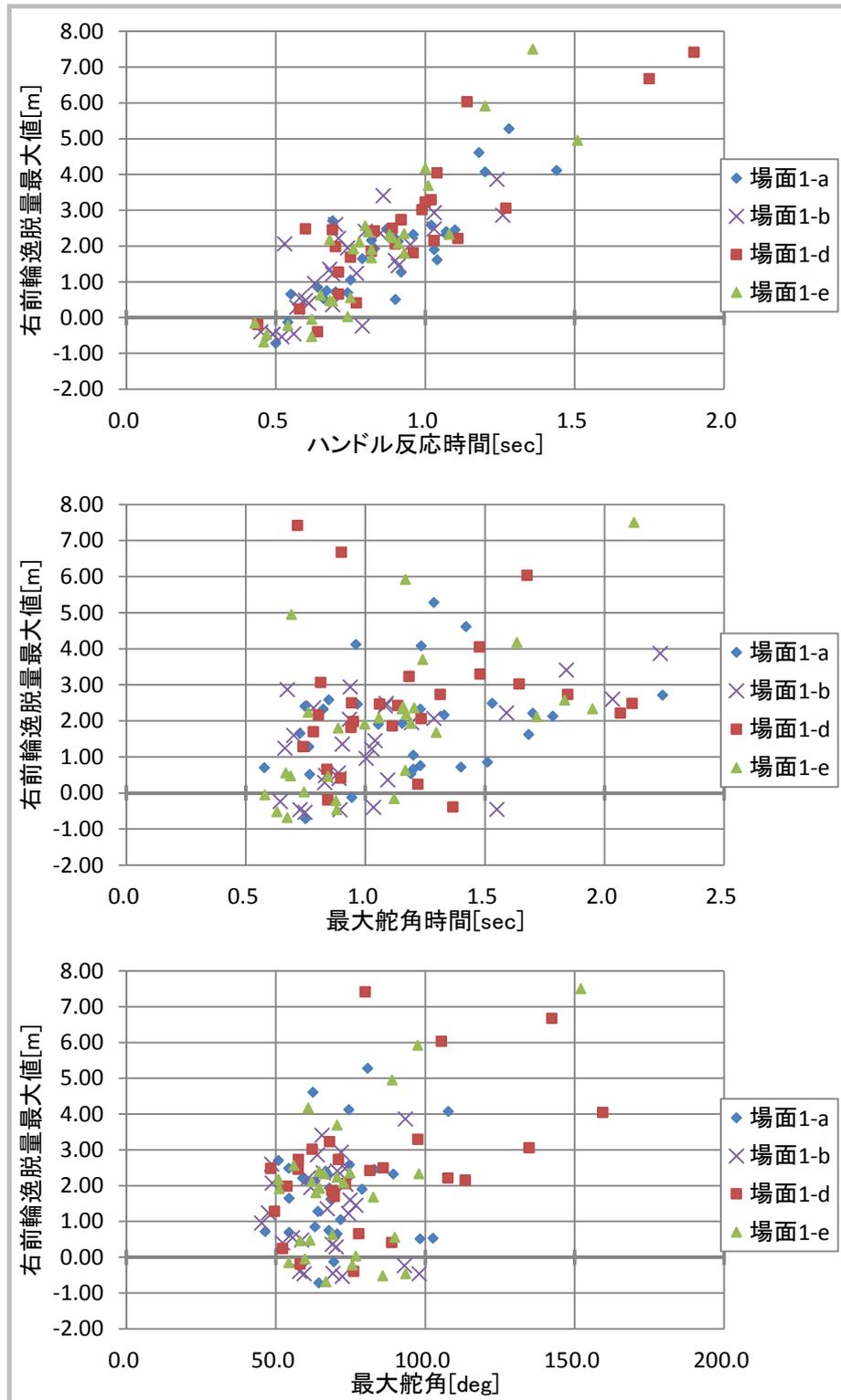


図 4-15 重回帰分析 1-1 説明変数と目的変数の散布図

表 4-1 重回帰分析結果（重回帰分析 1-1）

| モデル | 非標準化係数 | | 標準偏回帰係数 | t 値 | 有意確率 | B の 95.0% 信頼区間 | | 共線性の統計量 | |
|----------|--------|------|---------|---------|------|----------------|--------|---------|-------|
| | B | 標準誤差 | | | | 下限 | 上限 | 許容度 | VIF |
| (定数) | -3.927 | .365 | | -10.754 | .000 | -4.651 | -3.203 | | |
| ハンドル反応時間 | 5.299 | .347 | .795 | 15.269 | .000 | 4.611 | 5.987 | .736 | 1.359 |
| 最大舵角時間 | 1.423 | .187 | .341 | 7.593 | .000 | 1.052 | 1.795 | .987 | 1.013 |
| 最大舵角 | -.003 | .004 | -.039 | -.746 | .457 | -.012 | .005 | .742 | 1.348 |

図 4-16 は、計算結果の重回帰式を用いて、横軸をハンドル反応時間、縦軸を最大舵角時間とし、最大舵角を平均値及び平均値+2σとした場合における、右前輪逸脱量最大値が 0m（ぎりぎり逸脱しない）になる値をプロットしたものであり、この直線が第 1 車線内にとどまるか、第 2 車線側へ逸脱するかの境界線となる。この図の直線よりも右上の領域は第 2 車線側へ逸脱することを表し、左下の領域は第 1 車線内にとどまることを表している。例えば、A 点の条件（ハンドル反応時間 0.5 秒、最大舵角時間 0.6 秒）かつ最大舵角 73.8deg でドライバーの手動操舵が行われた場合には、第 1 車線内にとどまることを示している。仮に A 点の条件に対し、ハンドル反応時間が 0.2 秒遅れて 0.7 秒となった場合には、第 2 車線側へ逸脱するが、最大舵角時間については、A 点よりも 0.4 秒遅れて 1.0 秒となった場合でも、第 1 車線内にとどまることを示している。この結果から、右前輪逸脱量最大値に対しハンドル反応時間がより大きく寄与していることが分かる。

尚、表 4-1 において、重回帰分析の決定係数は 0.778、調整済み決定係数は 0.772 となっており、重回帰式の予測の精度は、ある程度良いものと考えられる。

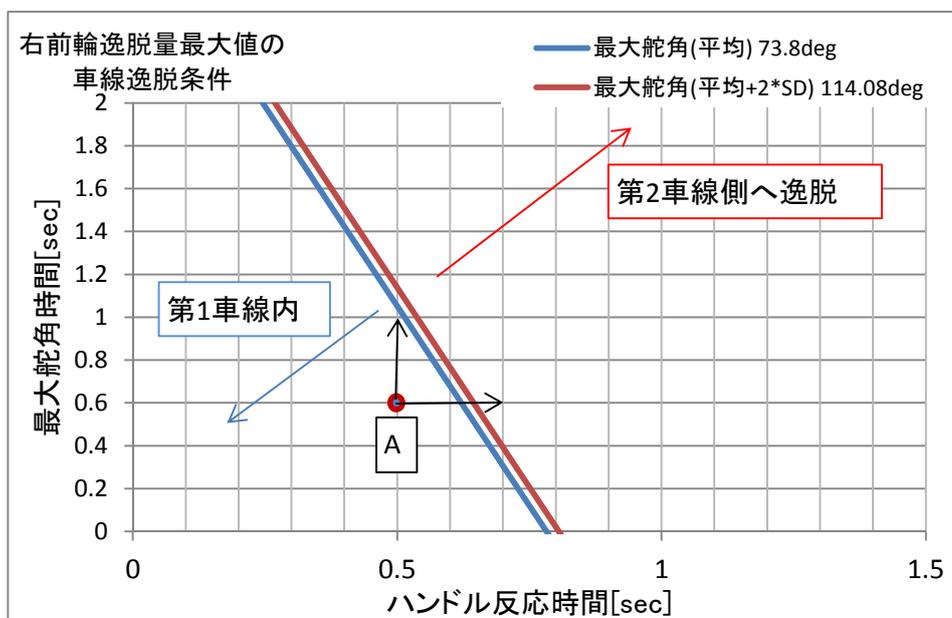


図 4-16 重回帰分析 1-1 右前輪の車線逸脱に対する境界線

重回帰分析 1-2 : 操舵トルクを停止するタイミング及び操舵トルクを低減する方法の違う ケースの重回帰分析 (場面 1-b、場面 1-c、場面 1-f、場面 1-g)

故障通知の警報開始後に、ACSF の操舵トルクを停止するタイミング及び操舵トルクを低減する方法の違いが右前輪逸脱最大値にどのように影響するかを確認するために、重回帰分析 1-2 を行った。重回帰分析 1-2 では、場面 1-a、場面 1-b、場面 1-c、場面 1-g のデータを用いた。説明変数については、図 4-17 に示すように、実験ケースの違いによって操舵角の時系列データに違いがあり、特に ACSF の故障発生後からハンドル反応時間までの舵角波形が大きく違っており、車線逸脱に対して寄与が大きいと考えられるため、警報を受けてドライバがハンドルを握った時点 (ハンドル反応時) の舵角(θ)に注目した。ここで、図 4-18 に示したハンドル反応時間と右前輪逸脱量最大値の散布図を見ると、場面 1-b と場面 1-c とで、ハンドル反応時間が同じ位の値であっても、右前輪逸脱量最大値に大きな違いが見られることから、重回帰分析 1-1 の様にハンドル反応時間をそのまま説明変数として用いることは適切ではないと考えられる。そこで、重回帰分析の説明変数として、ハンドル反応時間とその時の舵角を掛け合わせた値を新たな説明変数とした。図 4-19 は、ハンドル反応時間 \times 舵角と右前輪逸脱量最大値の散布図である。図 4-19 の散布図の近似曲線については、図 4-18 よりも指数関数を当てはめやすいと考えられることから、右前輪逸脱量最大値($-2m$ を原点位置とした)を対数変換したものを目的関数とした。尚、ハンドル反応時間とその時の舵角を掛け合わせた値を作成するにあたり、ハンドル反応時間については、0 秒とする点を故障発生時刻から-4 秒の時点とし、ハンドル反応時の舵角については、30deg が 0deg となるようにデータをオフセットし、かつ、向きを反転した(図 1 の θ_{con} 参照)。これらにより、車線逸脱に対し、ハンドル反応時間とハンドル反応時の舵角は、いずれも値が大きくなるほど車線逸脱しやすい方向になる。また、図 4-17 に示した平均操舵角速度($\theta_{max}/T2$)も説明変数に加えた。以上により、重回帰分析を行った。

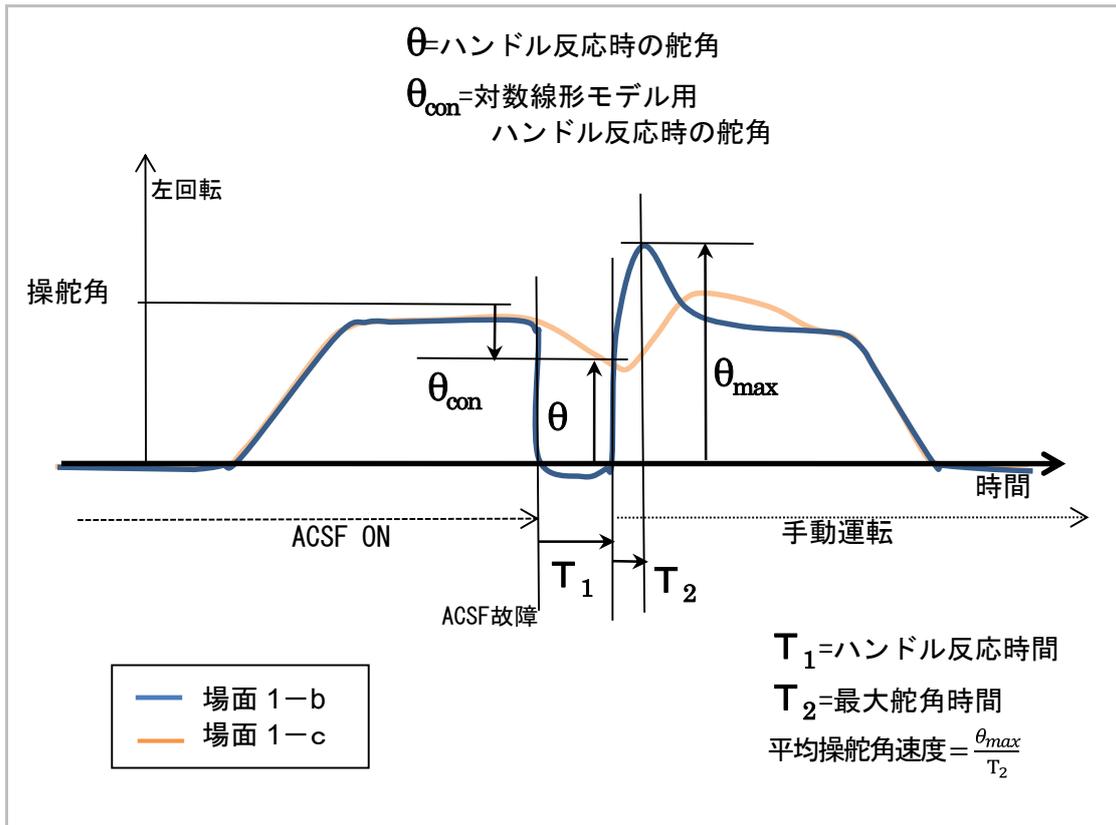


図 4-17 重回帰分析 1-2 説明変数の概念図

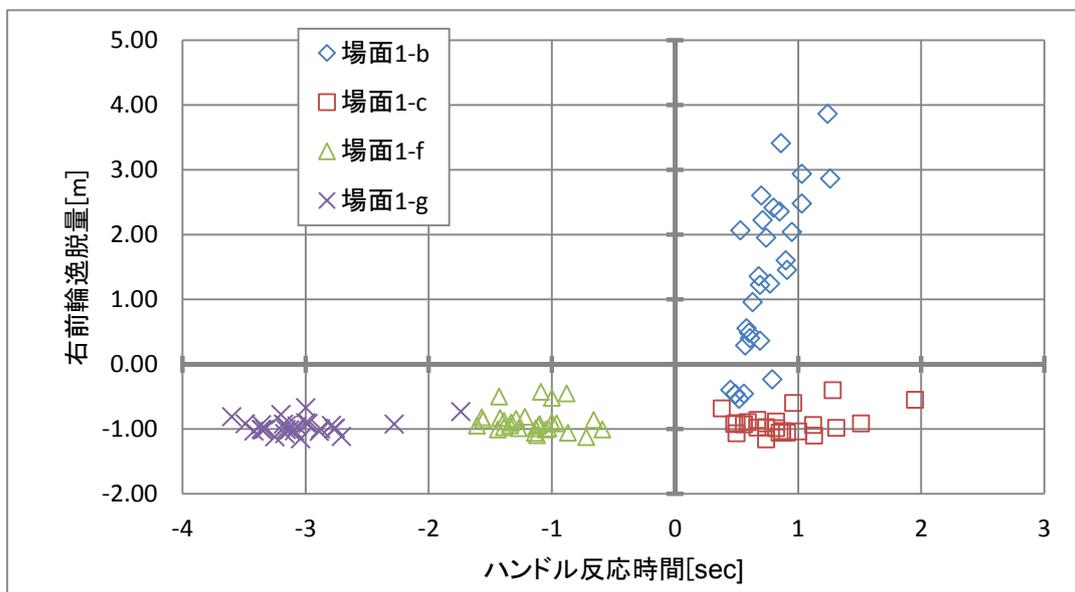


図 4-18 重回帰分析 1-2 説明変数と目的変数の散布図 (1)

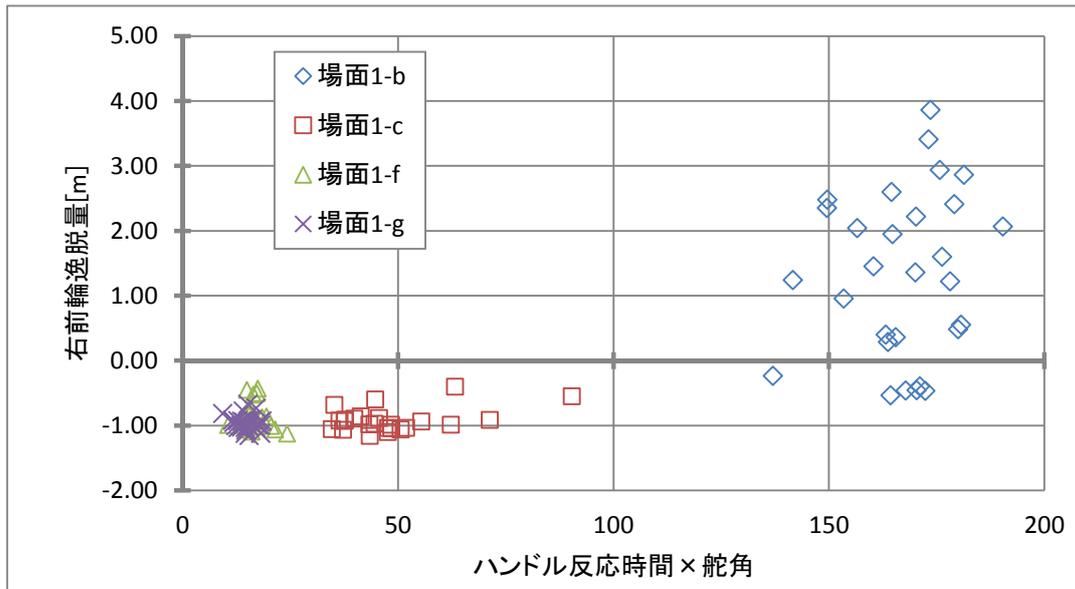


図 4-19 重回帰分析 1-2 説明変数と目的変数の散布図（2）

IBM 社製 SPSS Ver.23 を用いて重回帰分析を行った結果を表 4-2 に示す。表中の標準偏回帰係数と有意確率から、ハンドル反応時間×舵角が、右前輪の逸脱量最大値に対して寄与が大きいことが分かった。

表 4-2 重回帰分析結果（重回帰分析 1-2）

| | 非標準化係数 | | 標準偏回帰係数 | t 値 | 有意確率 | B の 95.0% 信頼区間 | | 共線性の統計量 | |
|-------------|--------|------|---------|--------|------|----------------|-------|---------|-------|
| | B | 標準誤差 | | | | 下限 | 上限 | 許容度 | VIF |
| (定数) | -.088 | .036 | | -2.417 | .017 | -.160 | -.016 | | |
| ハンドル反応時間×舵角 | .008 | .001 | .958 | 10.868 | .000 | .006 | .009 | .293 | 3.415 |
| 平均舵角速度 | -.002 | .002 | -.108 | -1.220 | .225 | -.005 | .001 | .293 | 3.415 |

図 4-20 は、計算結果の重回帰式を用いて説明変数に数値を入れ、右前輪逸脱最大値が 0m（ぎりぎり車線逸脱しない）となる点をプロットしたものである。この図の曲線が、第 1 車線内にとどまるか第 2 車線側へ逸脱するかの境界になる。図の横軸はハンドル反応時間を示しており、ACSF の故障が発生した時点をも 0 秒としている。図の縦軸は、ハンドル反応時の舵角を示しており、警報を受けたドライバーがハンドルを握った時の舵角を示している。平均操舵角速度は、実験参加者のデータの平均値を用いて計算を行った。本図において、境界線よりも左上の領域は第 1 車線内に車両がとどまることを示しており、逆に境界線よりも右下の領域は第 2 車線側に逸脱することを示している。また、ACSF の故障が発生する前の自動操舵時の舵角(23deg)も図中に示している。ハンドル反応時間が負の値を示している間は ACSF が正常に作動しているため、この時にハンドルを握った場合には、

ハンドル反応時の舵角は自動操舵時の舵角の線上の値になり、車両が第1車線内にとどまる条件に入っている。これに対し、横軸のハンドル反応時間が、実験参加者の平均値+2 σ (約 1.3 秒) の線 (図中、青の破線) と縦軸のハンドル反応時の舵角が 0deg の線との交点 (図中、 α_1 点) は、警報と同時に ACSF の操舵トルクを 0Nm に急激に減少させる場面 1-b でドライバが手動操作を行ったケースに相当するが、この場合には平均舵角速度 (32deg/s) でドライバが手動操舵したとしても、第2車線側へ逸脱することを示している。また、ハンドル反応時間が正の値となる領域では、ハンドル反応時間に応じたハンドル反応時の舵角が確保されれば、逸脱を防止できることを示している。例えば、今回の実験に参加したほぼ全ての実験参加者において、手動操舵へ遷移した際の車線逸脱を防止するためには、ハンドル反応時間の平均値+2 σ (約 1.3 秒、図中青の破線) と表 4-2 の非標準化係数 (B) の 95%信頼区間 (上限) の曲線 (図中赤の破線) との交点 (図中、 β_1 点) における舵角が確保されていれば良いことになり、約 16deg となる。これは ACSF の故障が発生する前の左カーブ走行中の舵角の約 70%に相当する。

重回帰分析 1-2 の結果から、ACSF の故障を通知する警報の後、少なくともドライバのハンドル反応時間分だけ ACSF の制御を正常時と同様に継続するか、それができない場合には、ドライバがハンドルを握った時点で一定以上の舵角が保持されていることが有効であることがわかった。

尚、重回帰分析 1-2 の決定係数は 0.756、調整済み決定係数は 0.752 なので、重回帰式の予測の精度はある程度良いものと考えられる。

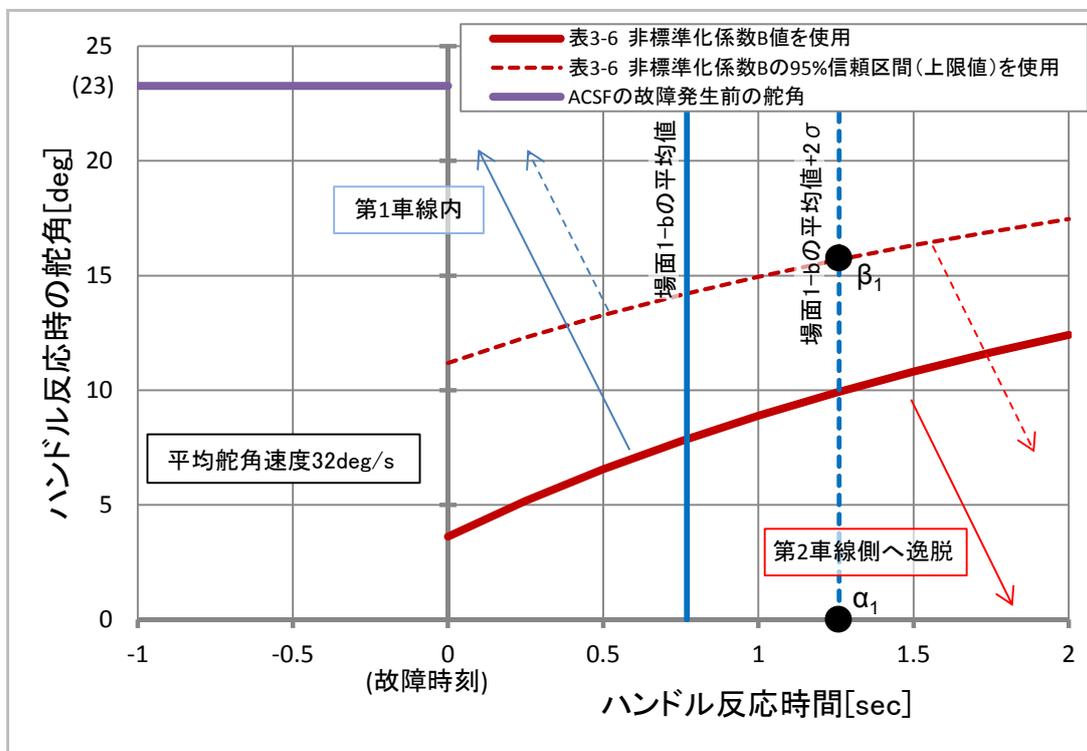


図 4-20 重回帰分析 1-2 右前輪の車線逸脱に対する境界線

4.1.2 場面 2（車線変更中の故障）

4.1.2.1 車線変更時間及び警報開始後 ACSF を停止するタイミングの違いによるハンドル反応時間及び車線逸脱量の比較

図 4-21 は、場面 2 の車線変更中、ACSF の故障をドライバに通知する警報の開始からハンドルを握るまでのハンドル反応時間を、長時間の実験シナリオである場面 2-b～場面 2-d の実験ケースについて、全員の平均値と標準偏差を示したものである。場面 2-b（平均値で約 0.8 秒）と場面 2-c（平均値で約 0.9 秒）については大きな違いは見られないが、場面 2-d（約 1.2 秒）については、ハンドル反応時間がやや長くなっている。場面 2-d については、今回の実験においては標準的な車線変更時間であり、かつ、警報開始後も 2 秒間 ACSF の制御が継続されたことから、ドライバがややゆっくりと反応したことによるものと考えられる。また、図 4-21 に示した 3 つのケースに対する平均値の差の検定は、等分散性が仮定できるため、Tukey 法で行った結果、場面 2-b と場面 2-d、及び場面 2-c と場面 2-d の間に有意な差が確認された。

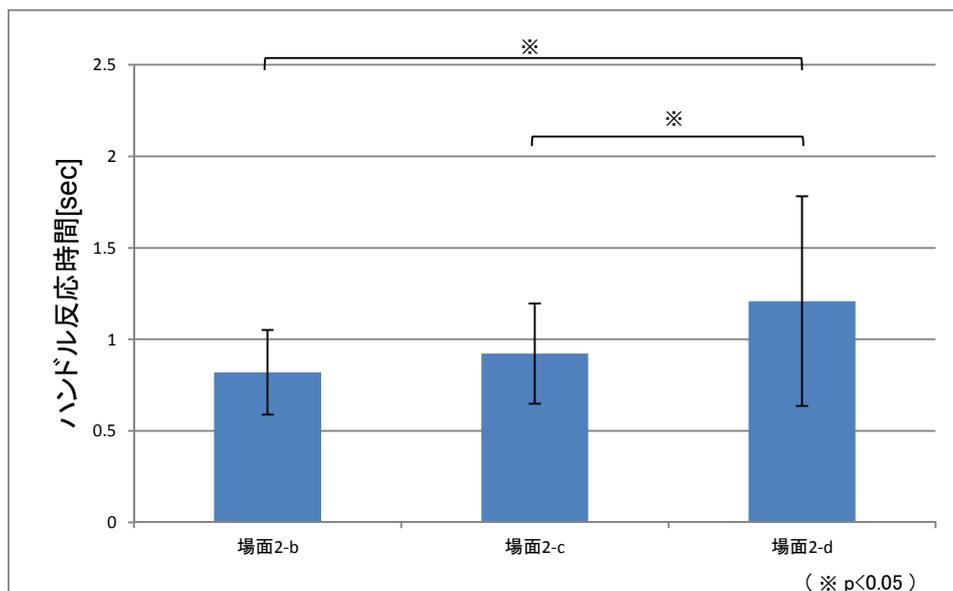


図 4-21 場面 2 車線変更時間及び警報開始後 ACSF を停止するタイミングの違いによるハンドル反応時間の比較（長時間シナリオ）（30 名の平均値）

図 4-22 は、図 4-21 と同じ 3 つの実験ケースに対する右前輪の逸脱量最大値について、全員の平均値と標準偏差を示したものである。縦軸の値が正 (>0) の場合、右前輪が第 3 車線側へ逸脱したことを表している。今回の実験においては比較的横移動の速度の高い、車線変更時間が 3 秒で警報開始と同時に ACSF の制御を停止する場面 2-b では、平均値で約 0.1m であり、わずかに第 3 車線側へ逸脱している。これに対し、横移動の速度がより

低い、車線変更時間が6秒である場面2-c及び場面2-dについては、いずれも平均値+標準偏差で見た場合でも、第3車線側への逸脱は見られなかった。特に場面2-dについては平均値は負の値で、絶対値が場面2-cよりも大きくなっているが、これは、一部の実験参加者が、警報を受けてハンドルを握った時点では、ACSFによる車線変更を開始した直後であったことから、ドライバの意思によって車線変更を中止して第1車線にとどまったためである。また、図4-22に示した3つのケースに対する平均値の差の検定は、等分散性が仮定できないため、DunnettのT3法で行った結果、場面2-bと場面2-d、場面2-bと場面2-c、及び場面2-cと場面2-dのいずれの間においても、有意な差が確認された。

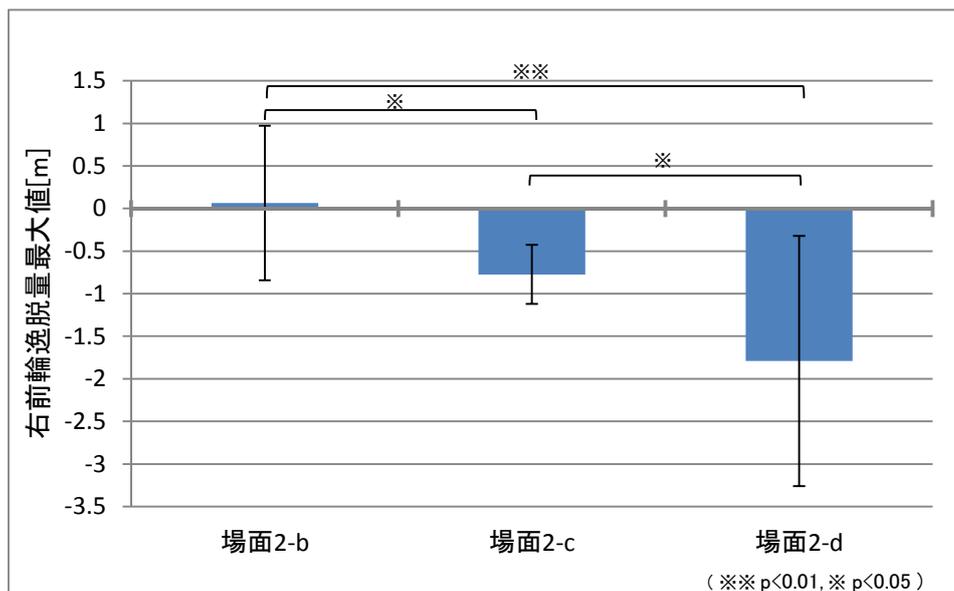


図 4-22 場面 2 車線変更時間及び警報開始後 ACSF を停止するタイミングの違いによる右前輪の逸脱量最大値の比較（長時間シナリオ）（30名の平均値）

また、図4-23は、上記3つのケースにおける操舵角及び操舵力の時間波形の例として、Sub.8のデータを示したものである。操舵力については、ドライバがハンドルを握っている時の力を計測したものであり、ハンドルから手を離している間は、ほぼ0Nとなっている。また、図中の横軸は、ACSFの故障が発生し制御を停止した時点を0秒としている。このため、場面2-dについては横軸の-2秒の時点が警報開始時点となる。

操舵角の時間波形については、場面2-dのケースでは故障発生によってACSFの制御を停止するよりも前にドライバはハンドルを握っている。手動操作を開始したタイミングがより早かったことから、手動操作によって車線変更を継続する時の操舵角のピークは、故障が発生した後にハンドルを握り、手動操作を開始した場面2-b及び場面2-cよりも小さい値となっている。一方、警報開始と同時にACSFの制御を停止した場面2-b及び場面2-cについては、車線変更時間が3秒である場面2-bの操舵角のピークが場面2-cよりも大きく、かつ、操舵角の上昇勾配もより大きくなっている。これは、場面2-bについては、ACSF

の制御を停止した時点における、道路白線に対する車体の偏向角がより大きかったことから、車線を逸脱しない様、ドライバがより速い舵角速度でより大きな操舵角を与えたものと考えられる。これに対し、場面 2-c については、ACSF の制御停止後の操舵角のピーク及び上昇勾配は、場面 2-d に近い傾向となっている。

操舵力の時間波形についても、操舵角の時間波形と概ね同様の傾向を示している。

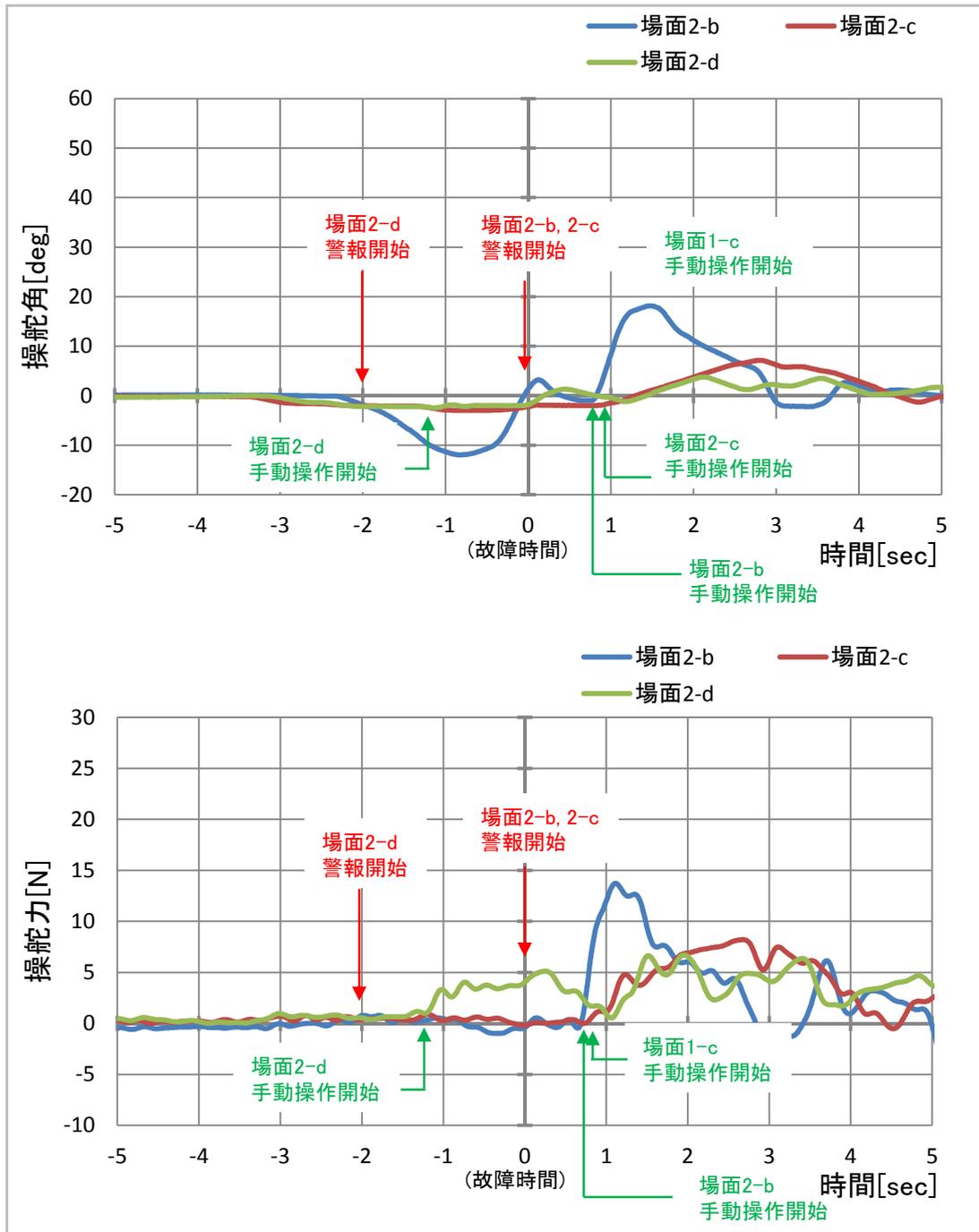


図 4-23 場面 2 車線変更時間及び警報開始後 ACSF を停止するタイミングの違いによる操舵角及び操舵力の時間波形の例（長時間シナリオ）（Sub 8）

4.1.2.2. 運転時間の違いによるハンドル反応時間及び車線逸脱量の比較

図 4-24 は、場面 2 の車線変更中、ACSF の故障をドライバに通知する警報の開始からハンドルを握るまでのハンドル反応時間の平均値と標準偏差を、短時間のシナリオである場面 2-a と長時間の実験シナリオである場面 2-b について示したものである。尚、集計の対象は、実験参加者 30 名のうち、場面 2-a を 1 番目の実験として行った 15 名を除いた、残りの 15 名とした。この理由は、集計の対象とした 15 名については、場面 2-a の実験を行う前に場面 1-a の実験を行っており、走行場面はカーブと車線変更で異なるが、ACSF の故障が発生して手動操作へ遷移する場面を 1-a で経験していることから、運転時間の違いによる影響を比較する上で、より適切であると考えられるためである。図より、ハンドル反応時間は、平均値でいずれも 07~0.8 秒程度であり、大きな違いは見られなかった。この 2 つのケースに対する平均値の差の検定は、等分散性が仮定できるため、t 検定で行った結果、有意な差は確認されなかった。

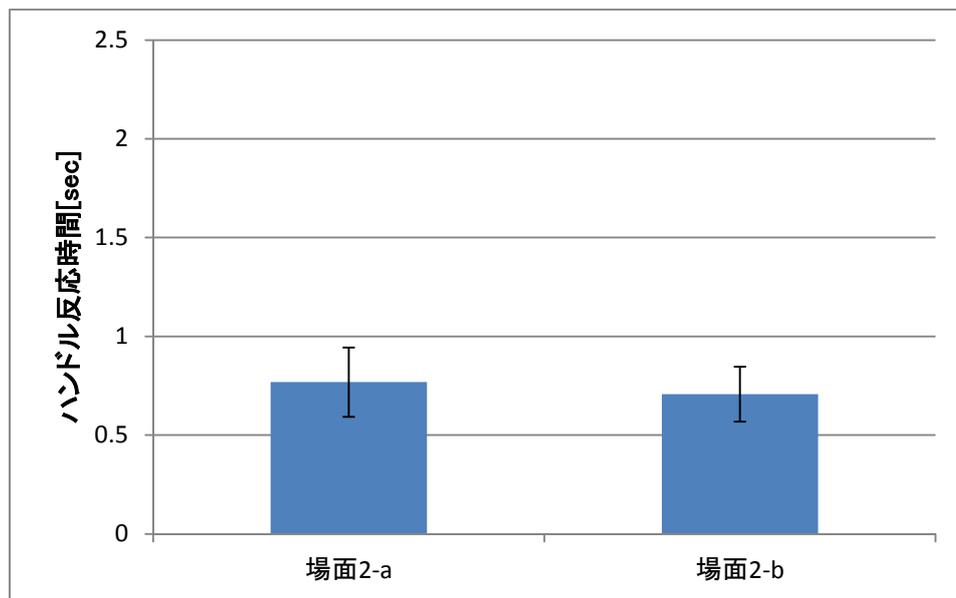


図 4-24 場面 2 運転時間の違いによるハンドル反応時間の比較 (15 名の平均値)

図 4-25 は、図 4-24 と同じ 2 つの実験ケースかつ同じ実験参加者 (15 名) に対する右前輪の逸脱量最大値について、平均値と標準偏差を示したものである。図より、逸脱量の最大値は、平均値で見ると、短時間のシナリオである場面 2-a は約-0.6m、長時間のシナリオである場面 2-b は約-0.3m で、約 0.3m の違いが見られるが、いずれのケースも第 2 車線内にとどまっている。また、標準偏差まで考慮した場合は、場面 2-a については約-0.3m となり第 2 車線内にとどまっているが、場面 2-b については約 0.05m となり、逸脱量としてはわずかではあるが第 3 車線への逸脱が見られた。この 2 つのケースに対する平均値の差の検定は等分散性が仮定できるため、t 検定で行った結果、有意な差が確認された。

今回の実験結果からは、車線変更中に ACSF の故障が発生した場合、故障発生時点までの運転時間が長い方がより車線逸脱しやすい傾向が確認された。

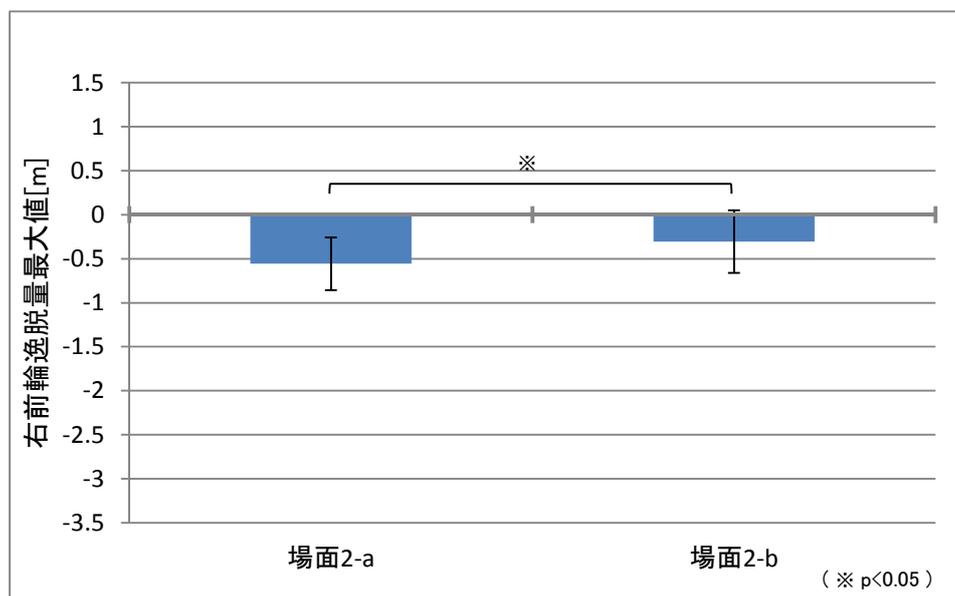


図 4-25 場面 2 運転時間の違いによる右前輪の逸脱量最大値の比較（15 名の平均値）

4.1.2.3 手動操作への遷移に対する経験の違いによるハンドル反応時間及び車線逸脱量の比較

図 4-26 は、場面 2 の車線変更中、ACSF の故障をドライバに通知する警報からハンドルを握るまでのハンドル反応時間の平均値と標準偏差を、短時間のシナリオである場面 2-a について、当該場面の実験を 1 番目に実験を行った 15 名（図中、遷移経験無）のグループと 2 番目に行った 15 名（遷移経験有）のグループとを比較する形で示したものである。図より、ハンドル反応時間の平均値は、場面 2-a を最初に行ったグループ（平均値で約 1.4 秒）の方が、2 番目に行ったグループ（平均値で約 0.8 秒）よりも長い結果となった。また、標準偏差については、最初に行ったグループの方が 2 番目に行ったグループに対し 3 倍以上大きくなっており、1 番目に行ったグループの方が個人差がより大きく現れていることが確認された。この 2 つのグループの結果に対する平均値の差の検定は、等分散性が仮定できないため、ウェルチの t 検定で行った結果、有意な差が確認された。

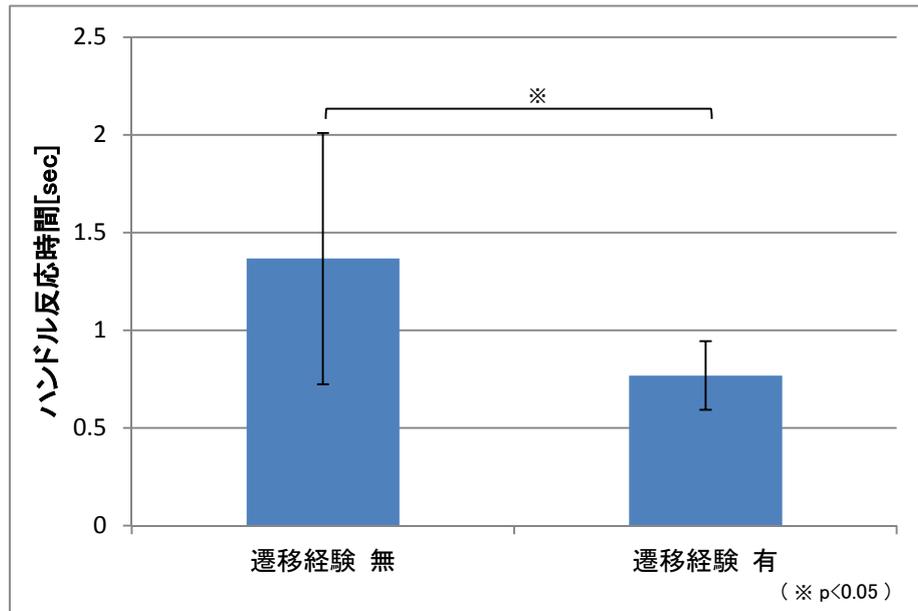


図 4-26 場面 2 手動操作への遷移に対する経験の違いによるハンドルの反応時間の比較 (場面 2-a) (各 15 名のグループの平均値)

図 4-27 は、図 4-26 と同じ実験ケースかつ同じ実験参加者グループ (各 15 名) に対する右前輪の逸脱量最大値について、平均値と標準偏差を示したものである。図より、右前輪の逸脱量最大値を平均値で見ると、場面 2-a を最初に行ったグループ (平均値で約 0.6m) については第 3 車線への逸脱が確認されたが、2 番目に行ったグループ (平均値で約 0.6m) については第 2 車線内にとどまっていることが確認された。また、標準偏差については、最初に行ったグループの方が 2 番目に行ったグループに対し約 4 倍大きくなっており、1 番目に行ったグループの方が、ハンドルの反応時間と同様に、逸脱量に対しても個人差がより大きく現れていることが確認された。この 2 つのグループの結果に対する平均値の差の検定は、等分散性が仮定できないため、ウェルチの t 検定で行った結果、有意な差が確認された。

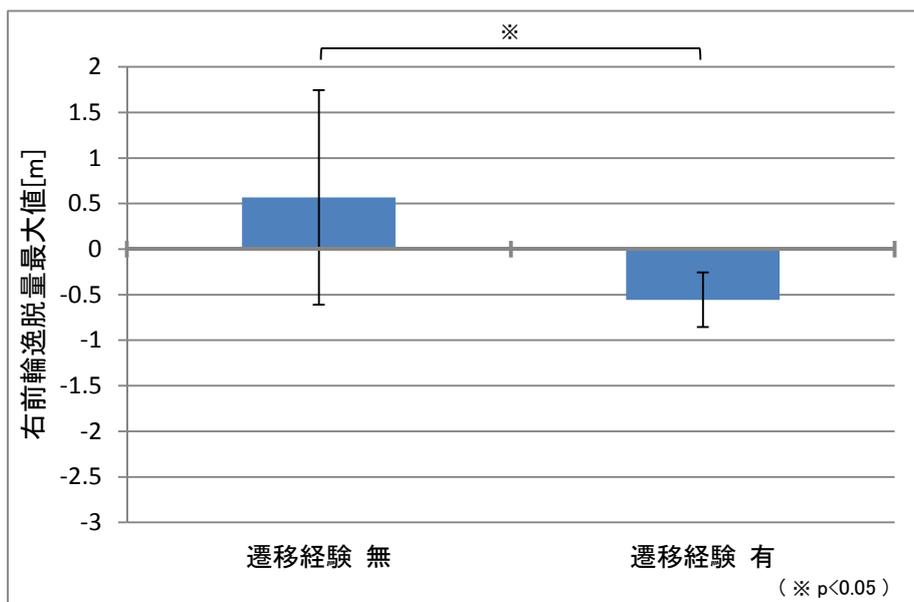


図 4-27 場面 2 手動操作への遷移に対する経験の違いによる右前輪の逸脱量最大値の比較 (場面 2-a) (各 15 名のグループの平均値)

4.1.2.4 実験データの重回帰分析に基づく右前輪逸脱量最大値に対する要因分析

車線変更中に ACSF の故障が発生し、ドライバの手動操作へ遷移する場面において確認された車線逸脱について、重回帰分析を用いて要因分析を行った。重回帰分析は、以下の 2 段階に分けて行った。

<重回帰分析 2-1>

車線変更時間が短く (車線変更時間 3 秒)、故障通知の警報と同時に ACSF の制御を停止するケースの実験データを用いた重回帰分析 (場面 2-a、場面 2-b のデータを使用)

<重回帰分析 2-2>

車線変更時間及び故障通知の警報開始後に ACSF の制御を停止するタイミングの異なるケースの実験データを用いた重回帰分析 (場面 2-a、場面 2-b、場面 2-c、場面 2-d のデータを使用)

以下、上記 a)、b)の重回帰分析の結果を順に報告する。

重回帰分析 2-1: 車線変更時間が短く (車線変更時間 3 秒)、故障通知の警報と同時に ACSF の制御を停止するケースの実験データを用いた重回帰分析 (場面 2-a、場面 2-b のデータを使用)

車線変更中の装置故障後の車両の第3車線側への逸脱について、カーブ走行中の故障発生時と同じく重回帰分析を用いて要因分析を行った。要因分析に用いた場面 2-a 及び場面 2-b のデータでは、ドライバの手動操作へ遷移する際に第3車線側へ逸脱するデータが比較的多く見られる。図 4-28 に重回帰分析の説明変数の概念図を示す。カーブ走行中の故障発生時と同じく、ハンドル反応時間(T_1)、最大舵角時間(T_2)及び最大舵角(θ_{max})とし、目的変数は右前輪逸脱量最大値とした。尚、外れ値については、実験条件ごとに検討し、大きく外れている値は削除した。車線変更中の故障発生時の最大舵角は、カーブ走行中の故障発生時の最大舵角に比較して、全体的に小さい値を示している。説明変数に対する右前輪逸脱量最大値の散布図を図 4-29 に示す。ハンドル反応時間と右前輪逸脱量最大値の相関が高いことがわかるが、カーブ走行中の故障発生時と比較すると、相関は若干小さくなっている。

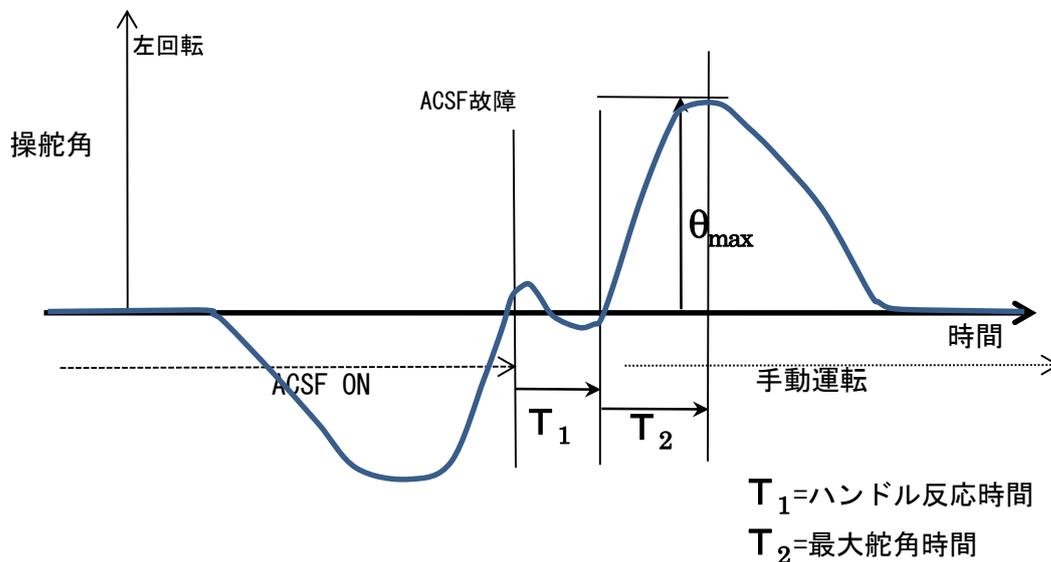


図 4-28 重回帰分析 2-1 説明変数の概念図

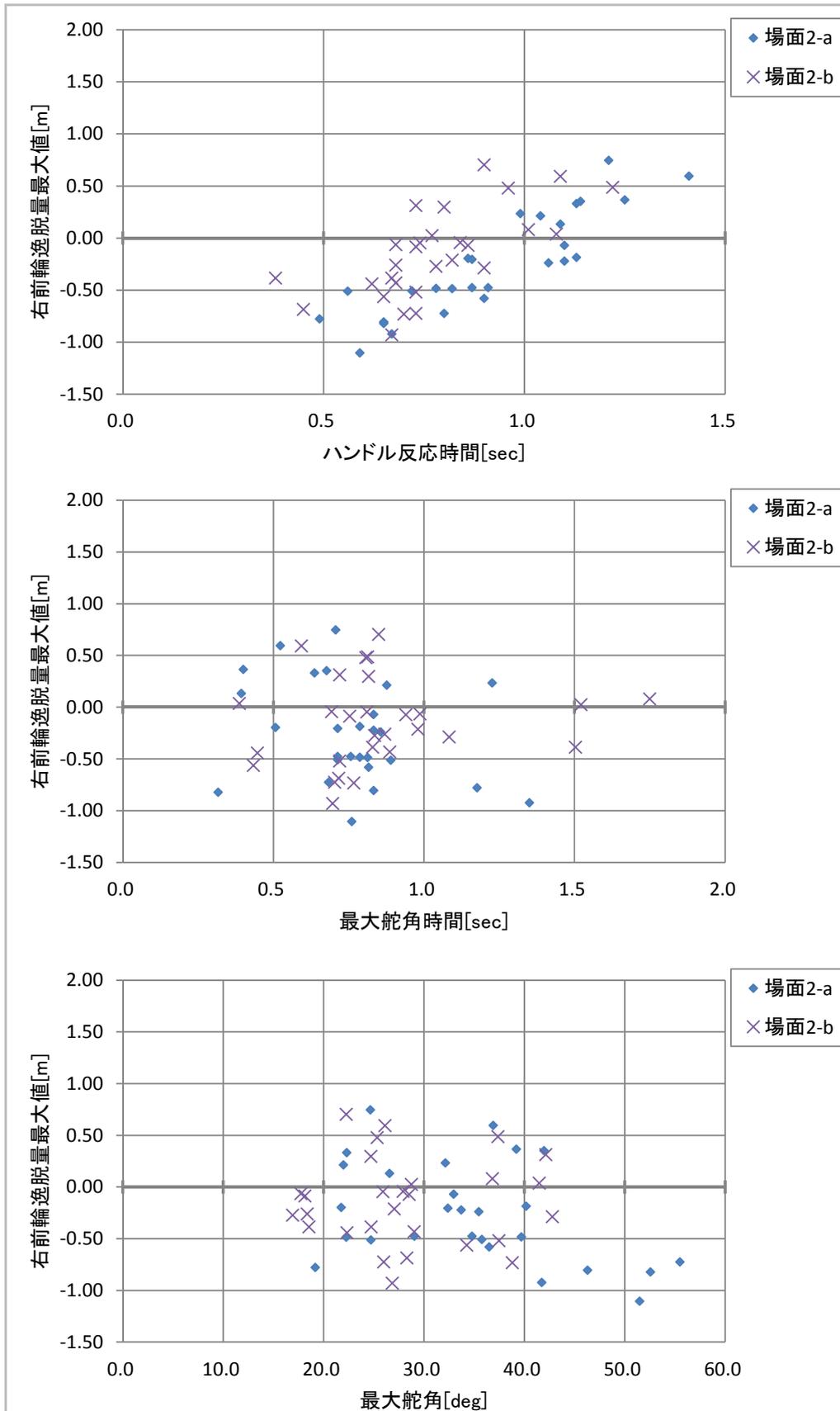


図 4-29 重回帰分析 2-2 説明変数と目的変数の散布図

IBM 社製 SPSS Ver.23 を用いて重回帰計算した結果を表 4-3 に示す。表 4-3 の標準偏回帰係数を見ると、ハンドル反応時間が右前輪逸脱量最大値に大きく影響することが分かる。また、表中の有意確率については、ハンドル反応時間と最大舵角が有意となった。

表 4-3 重回帰分析結果（重回帰分析 2-1）

| | 非標準化係数 | | 標準偏回帰係数 | t 値 | 有意確率 | B の 95.0% 信頼区間 | | 共線性の統計量 | |
|----------|--------|------|---------|--------|------|----------------|-------|---------|-------|
| | B | 標準誤差 | | | | 下限 | 上限 | 許容度 | VIF |
| (定数) | -1.120 | .245 | | -4.566 | .000 | -1.612 | -.627 | | |
| ハンドル反応時間 | 1.641 | .177 | .787 | 9.253 | .000 | 1.285 | 1.997 | .932 | 1.073 |
| 最大舵角時間 | .119 | .141 | .072 | .845 | .402 | -.164 | .402 | .930 | 1.076 |
| 最大舵角 | -.018 | .004 | -.371 | -4.425 | .000 | -.026 | -.010 | .961 | 1.040 |

図 4-30 は、計算結果の重回帰式を用いて、横軸をハンドル反応時間、縦軸を最大舵角時間とし、最大舵角を平均値及び平均値+2 σ とした場合での右前輪逸脱量最大値が 0m（ぎりぎり逸脱しない）となる値をプロットしたものであり、この直線が第 2 車線内にとどまるか第 3 車線側へ逸脱するかの境界となる。直線より右上の領域が第 3 車線へ逸脱する条件となり、左下の領域が第 2 車線内にとどまる条件となる。図 4-30 をカーブ走行中の ASCF 故障時の境界を表した図（図 4-15）と比較すると、図 4-30 の方が車線内にとどまる領域が広がっており、2 つの直線の勾配もより大きくなっている。また、2 本の直線間が離れている。これは、車線を逸脱する条件が、カーブ走行中の ACSF 故障発生時と比較してより緩和される方向であることを表している。また、最大操舵角時間の寄与がより小さくなり、2 つの線が離れていることから、カーブ走行中の故障発生時と比較して最大舵角の寄与がより大きくなっていることが分かる。

尚、重回帰分析の決定係数は 0.656、調整済み決定係数は 0.636 であり、カーブ走行中の故障時と比較するとやや小さくなっているが、予測の精度はある程度良いと考えられる。

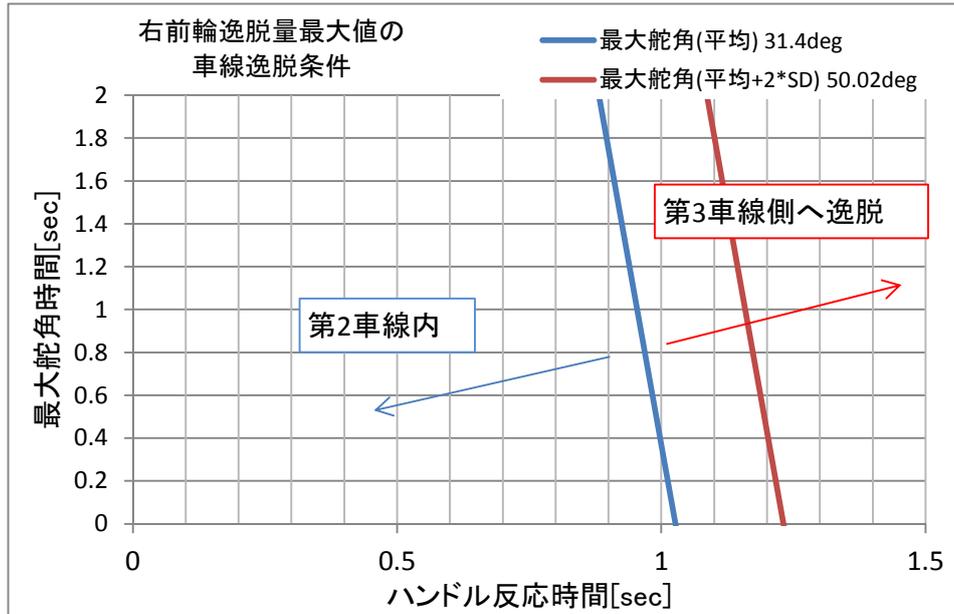


図 4-30 重回帰分析 2-1 右前輪の車線逸脱に対する境界線

重回帰分析 2-2 : 車線変更時間及び故障通知の警報開始後に ACSF の制御を停止するタイミングの違うケースの実験データを用いた重回帰分析 (場面 2-a、場面 2-b、場面 2-c、場面 2-d のデータを使用)

車線変更時間及び故障通知の警報開始後に ACSF の操舵トルクを停止するタイミングの違いが右前輪逸脱量最大値にどのように影響するかを確認するため、重回帰分析 2-2 を行う。ここでは、場面 2-a、場面 2-b、場面 2-c、場面 2-d のデータを用いて重回帰分析を行った。図 4-31 に重回帰分析の説明変数の概念図を示す。ハンドル反応時間(T1)及び平均舵角速度 ($\theta_{max}/T2$) を説明変数とし、右前輪逸脱量最大値を目的変数とした。但し、図 4-32 に示すハンドル反応時間と右前輪逸脱量最大値の散布図を見ると、場面 2-a、場面 2-b 及び場面 2-c の間で、ハンドル反応時間が同じ位の値であっても、右前輪逸脱量最大値に大きな違いが見られることから、重回帰分析 2-1 のように、ハンドル反応時間をそのまま説明変数として用いることは適切ではないと考えられる。そこで、重回帰分析の説明変数として、ハンドル反応時間を車線変更時間で割った値を新たな説明変数とした。図 4-33 は、この説明変数と右前輪逸脱量最大値の散布図である。この散布図の近似曲線は指数関数を当てはめやすいと考えられることから、右前輪逸脱量最大値(-2m を原点位置とした)を対数変換したものを目的関数とした。なお、ハンドル反応時間を車線変更時間で割った値を作成するにあたり、ハンドル反応時間については、0 秒となる点を故障発生時刻から-2 秒の時点とした。これらにより、逸脱に対してハンドル反応時間と車線変更時間の逆数は、いずれも値が大きくなるほど車線逸脱しやすい方向になる。以上により、重回帰分析を行った。

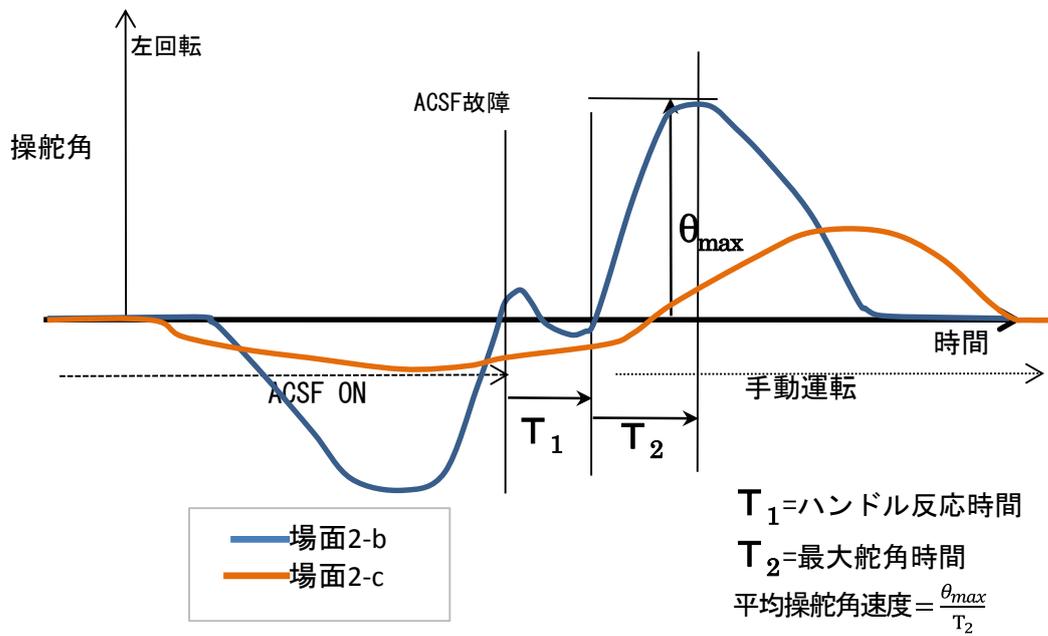


図 4-31 重回帰分析 2-2 説明変数の概念図

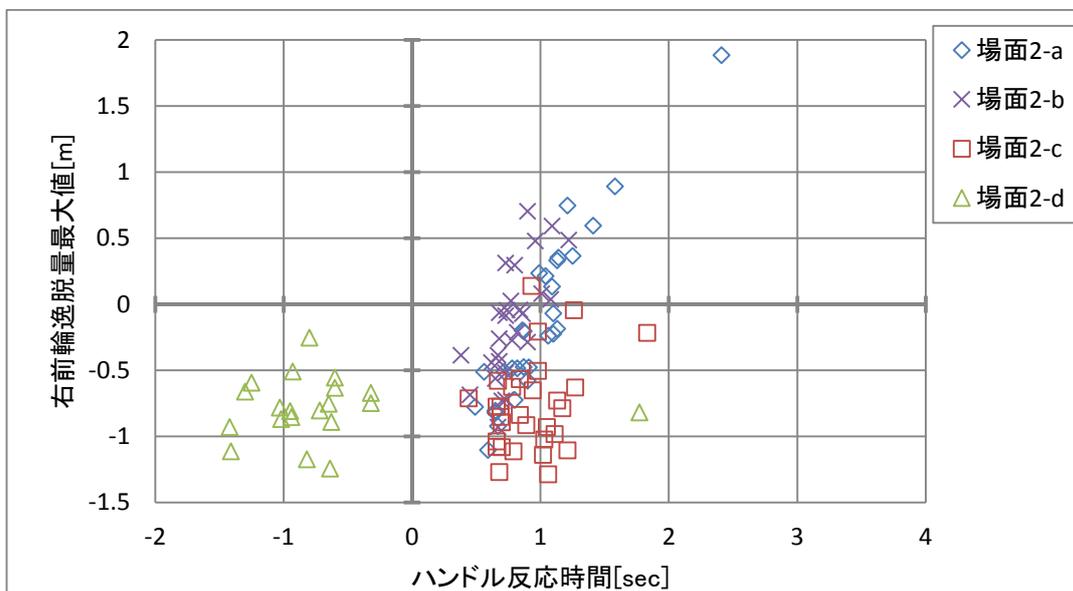


図 4-32 説明変数と目的変数の散布図 (1)

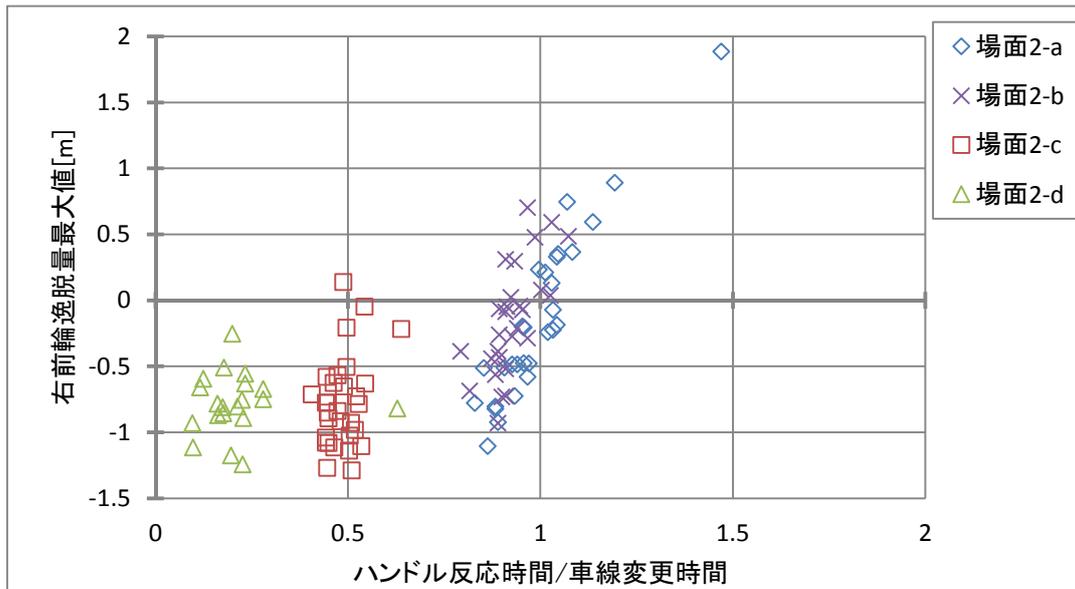


図 4-33 説明変数と目的変数の散布図（2）

IBM 社製 SPSS Ver.23 を用いて重回帰分析を行った結果を表 4-4 に示す。表中の標準偏回帰係数と有意確率から、ハンドル反応時間／車線変更時間が車線逸脱に対して寄与が大きいことがわかる。

表 4-4 重回帰分析結果（重回帰分析 2-2）

| | 非標準化係数 | | 標準偏回帰係数 | t 値 | 有意確率 | B の 95.0% 信頼区間 | | 共線性の統計量 | |
|-----------------|--------|------|---------|--------|------|----------------|-------|---------|-------|
| | B | 標準誤差 | | | | 下限 | 上限 | 許容度 | VIF |
| (定数) | -.140 | .058 | | -2.425 | .017 | -.255 | -.026 | | |
| ハンドル反応時間/車線変更時間 | .816 | .093 | .760 | 8.753 | .000 | .631 | 1.001 | .621 | 1.611 |
| 平均舵角速度 | -.001 | .001 | -.082 | -.943 | .348 | -.003 | .001 | .621 | 1.611 |

図 4-34 は、計算結果の重回帰式を用いて、ハンドル反応時間と右前輪逸脱量最大値の関係を表したものである。図の横軸はハンドル反応時間を示しており、ACSF の故障が発生した時点をも 0 秒としている。図の縦軸は右前輪逸脱最大値を示しており、正の値 (>0m) になると、第 3 車線側へ逸脱することを意味する。平均操舵角速度は、実験参加者のデータの平均値を用いている。本図は、例えばハンドル反応時間が場面 2-b における実験参加者の平均値+2σであった場合、車線変更時間が 3 秒だと第 3 車線側へ逸脱するが、車線変更時間が 6 秒であれば、第 2 車線内にとどまることを示している。逆の見方をすると、車線変更時間が 3 秒のケースで、故障発生時の車線逸脱を抑止するためには、ドライバは約 0.2 秒以内（表 4-4 の非標準化係数 B の 95%信頼区間上限値を用いた場合。図中 α2 点）にハンドルを握る必要があるが、車線変更時間が 6 秒の場合には、約 2.5 秒以内（表 4-4

の非標準化係数 B の 95%信頼区間上限値を用いた場合。図中 β_2 点) にハンドルを握れば良く、車線変更時間をより長くすることが、手動操作へ遷移する際の、ドライバの時間的な余裕を増大させる効果があることを表している。

なお、重回帰分析 2-2 の決定係数は 0.508、調整済み決定係数は 0.499 であり、重回帰分析 2-1 と比較して、やや低くなっているが、予測の精度は、ある程度確保されていると考えられる。

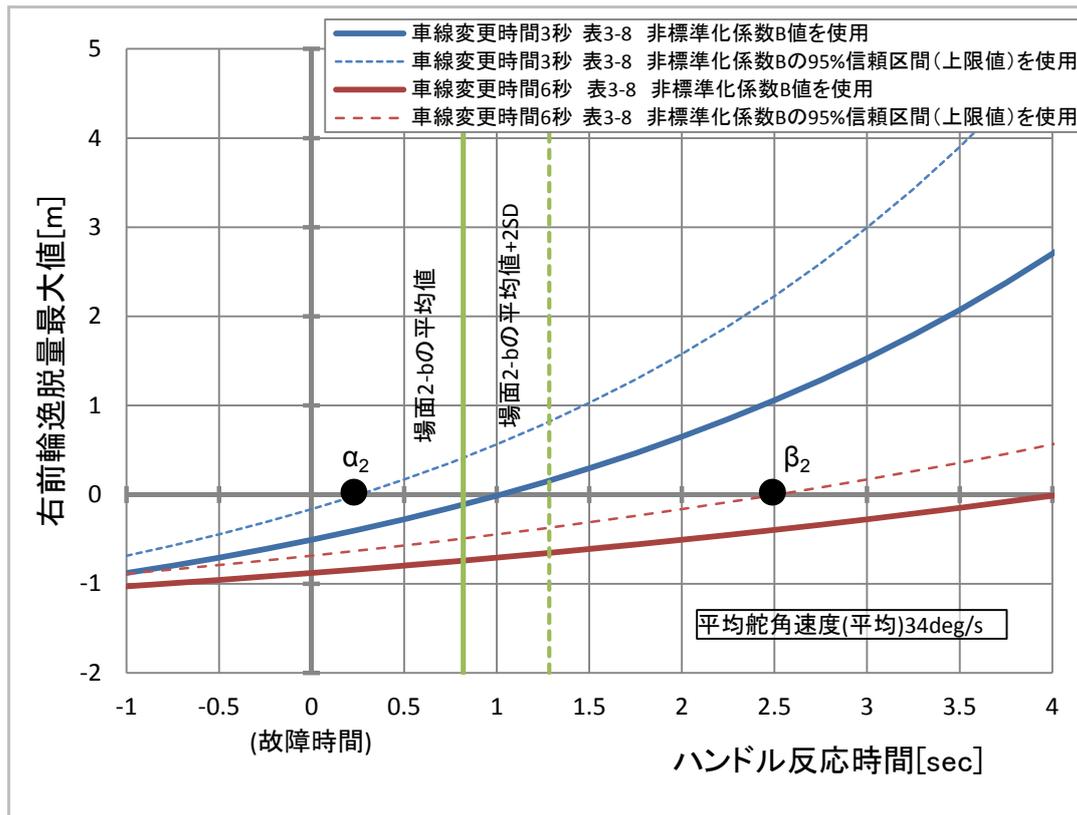


図 4-34 重回帰分析 2-2 ハンドル反応時間と右前輪逸脱量最大値の関係

4.2 手動操作へ遷移する際のドライバにとっての快適性

前項では、カーブ走行中または車線変更中に ACSF の故障が発生し、ドライバによる手動操作へ遷移する際に、安全上の問題（車線からの逸脱）を起こさないように手動操作への受渡しを行うために必要な要件等について考察したが、本項では、それぞれの実験ケースにおいて、手動操作へ遷移する行為に対するドライバの快適性について、実験データから考察する。

評価の方法は、ヨー角速度の時間波形に注目し、ACSF の故障が発生してからドライバによる手動操作へ遷移するまでの間のヨー角速度について、基準となる値（基準ヨー角速

度)を定めて基準ヨー角速度に対する偏差を積算し、実験ケース間で比較することとした。ヨー角速度を用いる理由は、故障が発生するまでの間ハンドルから手を離していたドライバーが、故障通知の警報を受けて手動操作を開始後、車線から逸脱しないように車両の横方向の位置をコントロールすることは比較的短時間で対応できたとしても、車線内で車両が細かくふらつく（ヨー角速度が変化する）現象がしばらく続く可能性も考えられるためである。ヨー角速度の変化ができるだけ早く収まることが、ドライバーにとってより快適であると考えられることから、基準ヨー角速度に対する偏差を積算することとした。

積算する方法としては、2乗誤差積分（Integral Square Error、以下ISE）を用いた。ISEの計算方法は、以下とする。

$$ISE = \int_{T1}^{T2} e^2 dt$$

上記の計算式において、カーブ走行中の故障については、

T1：故障発生時の4秒前（場面1-gで警報を開始する時点に相当）

T2：T1+15秒

とした。図4-35にカーブ走行中の故障発生時の実験データの例に、T1とT2を表したものを示す。

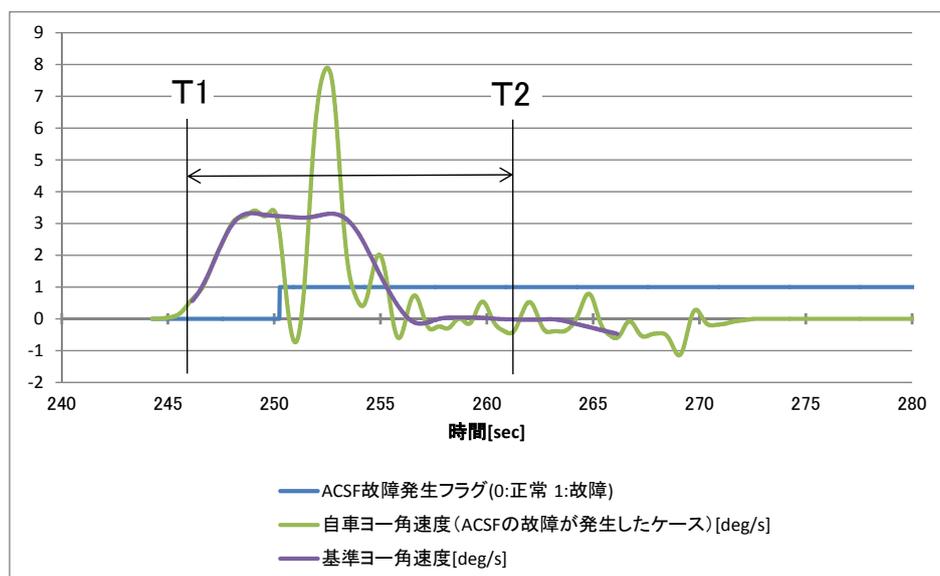


図4-35 場面1 カーブ走行中の故障発生時のヨー角速度時間波形におけるT1、T2

また、車線変更中の故障については、

T1：ACSFの制御によって車線変更を開始してからヨー角速度が0deg/sになった時点

T2：T1+10秒

とした。図4-36に車線変更中の故障発生時の実験データの例に、T1とT2を表したものを示す。

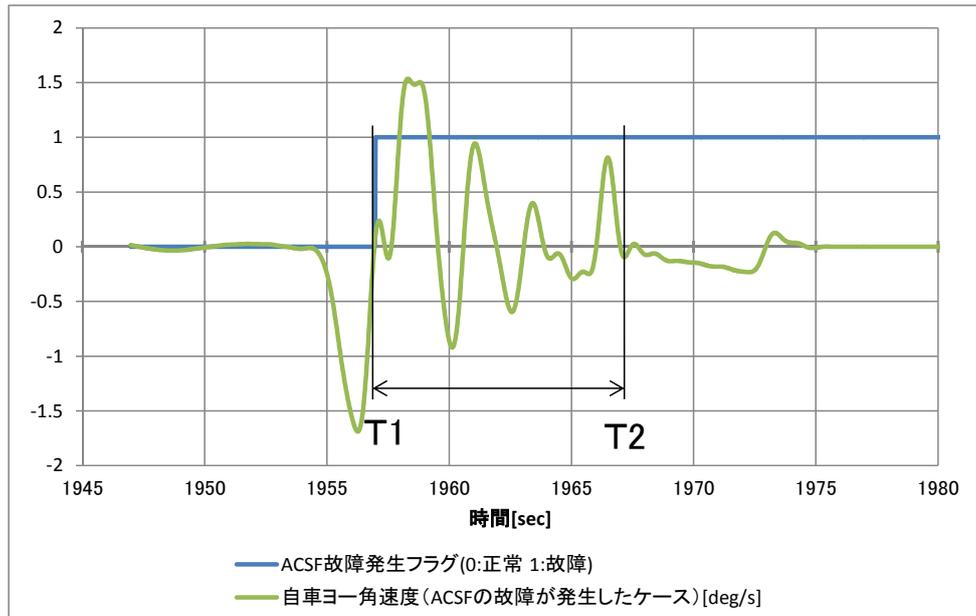


図 4-36 場面 2 車線変更中の故障発生時のヨー角速度時間波形における T1、T2

図 4-37 にカーブ走行中のヨー角速度の時間波形を例に、基準ヨー角速度に対する偏差の概念図を示す。ヨー角速度の偏差（図中のハッチングした部分）を 2 乗して T1～T2 まで積分したものが ISE（ヨー角速度 ISE）となる。

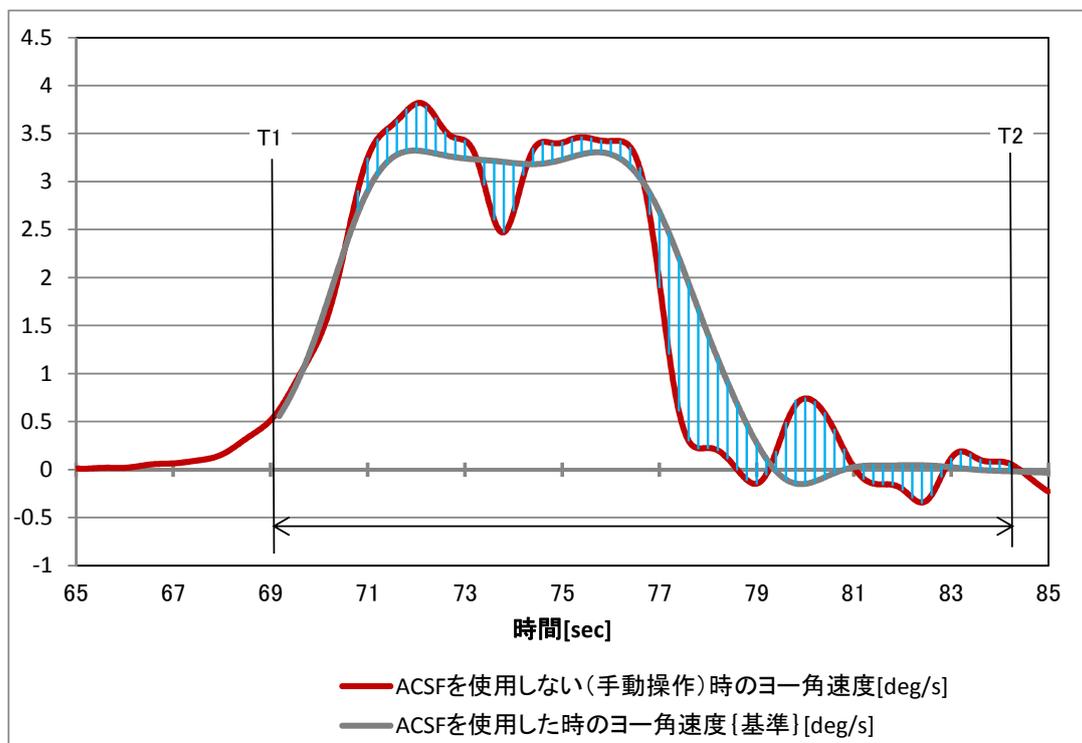


図 4-37 基準ヨー角速度に対する偏差の概念図（カーブを走行した時の例）

ヨー角速度 ISE を算出する上で、基準となるヨー角速度は、カーブ走行中の故障発生場面については、自動走行システムが正常に作動してカーブを旋回する時のヨー角速度とした。自動走行システム使用時のヨー角速度を基準値として用いるメリットとしては、全ての実験参加者のデータに対し共通の基準値を用いることが挙げられる。一方、デメリットとしては、自動走行システムの制御によって発生する旋回中のヨー角速度が、全ての実験参加者にとって必ずしも快適に感じるとは限らないことが挙げられる。デメリットについては、今回の実験を開始する前に、走行コースや車両の特性等を考慮して可能な限り違和感を少なくする方向で自動走行システムの制御を調整しており、実験に供試した際にも、正常作動時に実験参加者が自らオーバーライドしたり、旋回中の挙動に不満を述べたりすることは特に無かったことから、自動走行システム使用時のヨー角速度を基準ヨー角速度として評価に使用しても問題無いと判断した。また、車線変更中の故障発生場面については、ヨー角速度 0deg/s を基準とした。この理由は、直線区間を走行中（ヨー角速度は約 0deg/s ）に車線変更を行った場合に発生するヨー角速度の絶対値は、カーブ走行時と比べて十分小さく、かつ、必要以上にヨー角速度を発生させないようにして車線変更を行うことは、多くのドライバにとってより快適に感じると考えられるためである。

尚、ヨー角速度 ISE による評価は、実験場面 1（カーブ）及び実験場面 2（車線変更）を、各実験参加者が自動走行システムを使用せず手動操作によって走行した時のヨー角速度 ISE を個別に求めておき、故障が発生した時のヨー角速度 ISE を手動走行時のヨー角速度 ISE で割って無次元化した値（正規化ヨー角速度 ISE）を用いて行った。

4.2.1 場面 1（カーブ走行中の故障）

図 4-38 は、場面 1 で長時間のシナリオである 1-b～場面 1-g の実験ケースについて、正規化ヨー角速度 ISE の全員の平均値と標準偏差を示したものである。故障を通知する警報開始と同時に ACSF の操舵トルクを 0Nm へ急激に減少させた場面 1-b が最も大きな値となっている。場面 1-b 以外の 3 つのケースについては、場面 1-c が他の 2 つのケースに比べてやや小さくなっている。4 つのケースに対する平均値の差の検定は、等分散性が仮定できないため、Dunnett の T3 法で行った結果、場面 1-b は、他の 3 つのケースのいずれに対しても有意な差となった。場面 1-b 以外の 3 つのケース間では有意な差は確認されなかった。

以上の結果から、カーブ走行中の故障発生場面では、故障発生と同時に ACSF の操舵トルクを急激に減少させる方法は、ドライバの快適性を大きく損なっているものと考えられる。一方、警報開始後、一定時間（2 秒または 4 秒）ACSF の制御を継続した後に操舵トルクを急激に減少させる方法と警報開始と同時に徐々に操舵トルクを減少させる方法とでは、後者の方がドライバにとってより快適であると考えられるが、統計検定上は有意な差ではなく、わずかな違いであることが確認された。

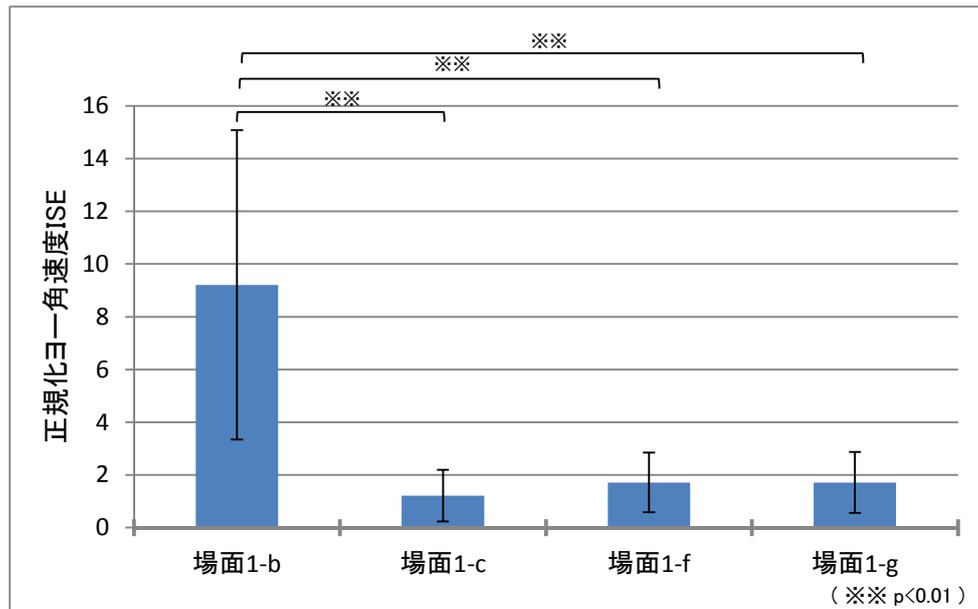


図 4-38 場面 1 ヨー角速度 ISE (30 名の平均値)

4.2.2 場面 2 (車線変更中の故障)

図 4-39 は、場面 2 で長時間のシナリオである場面 2-b~2-d の実験ケースについて、正規化ヨー角速度 ISE の全員の平均値と標準偏差を示したものである。車線変更時間が 3 秒で、故障を通知する警報開始と同時に ACSF の制御を停止させた場面 1-b が最も大きな値となっている。場面 1-b 以外の 2 つのケースについては、ほぼ同等の値となっている。3 つのケースに対する平均値の差の検定は、等分散性が仮定できないため、Dunnett の T3 法で行った結果、場面 1-b は他の 2 つのケースのいずれに対しても有意な差となった。場面 1-b 以外の 2 つのケース間では有意な差は確認されなかった。

以上の結果から、車線変更中の故障発生の場合には、車線変更時間が 3 秒で、故障発生と同時に ACSF の制御を停止させる方法は、ドライバの快適性を大きく損なっていると考えられる。一方、車線変更時間が 6 秒で、警報開始後、一定時間 (2 秒間) ACSF の制御を継続した後に停止する方法と、警報開始と同時に ACSF の制御を停止させる方法とでは、ドライバの快適性はほぼ同等であることが確認された。すなわち、システムが正常な状態における車線変更時間を比較的長めにする (比較的ゆっくりとした車線変更を行う) ことは、車線変更の最中に ACSF の故障が発生して制御が停止した場合に、手動操作によって車線変更を引き継ぐ際のドライバの快適性向上に効果的であることが確認された。

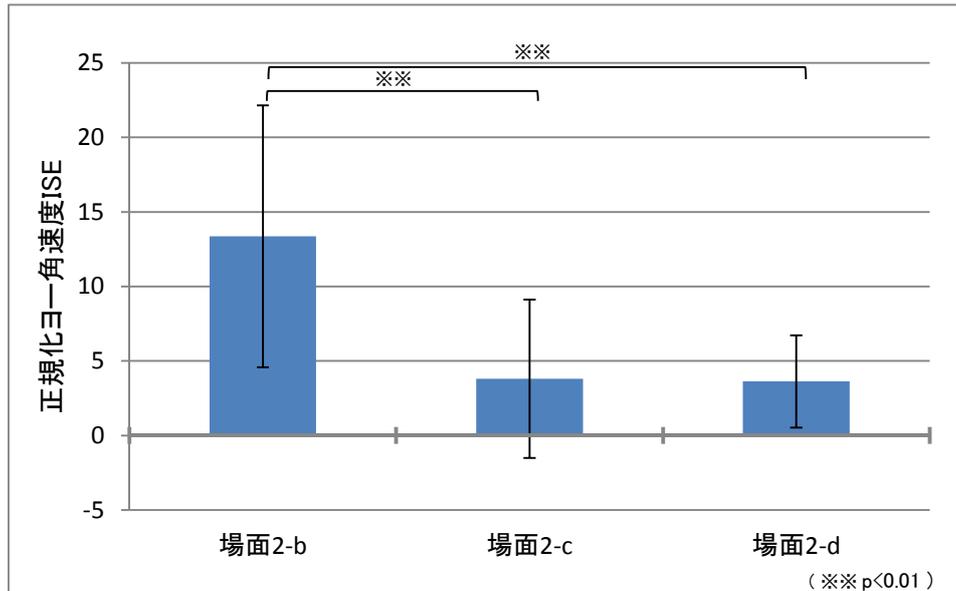


図 4-39 場面 2 ヨー角速度 ISE (30 名の平均値)

4.3 自動走行システムを使用している間のドライバの様態の変化について

今回の実験では、長時間のシナリオ (25 分～39 分) において、自動走行システムを使用している間に、比較的多くの実験参加者において、覚醒度の低下と思われる様態の変化が確認された。具体的には、実験中のドライバの顔画像において、通常の瞬きとは異なり、数秒程度、瞼を閉じた状態を繰り返す、または、数十秒の間、連続して瞼を閉じた状態を持続する現象が観測された。そこで、実験中の顔画像から、連続して瞼を閉じた状態 (以下、閉眼状態とする) を抽出し、運転を開始してから閉眼状態になるまでの経過時間及び 1 回の閉眼で閉じている時間 (以下、閉眼持続時間とする) 等について分析を行った。

4.3.1 抽出対象とした閉眼状態について

実験中の顔画像から、通常の瞬きではなく、持続した閉眼状態を抽出するにあたり、先ず、実験中の顔の画像を基に、特に覚醒度が低下していないと見られる状態における瞬きを、以下の様に定義した。

- ・瞬きの前後で瞳の位置が変化していない。
- ・目の動きと体の動きが同期していない。
- ・目の動きと顔全体の表情が同期していない。
- ・瞼を閉じている時間が概ね 0.4 秒未満である。

上記に該当せず、概ね 0.4 秒以上持続した閉眼状態を抽出対象とした。

運転中の閉眼時間と意識低下の関係についての従来の研究例として、杉山らは、DS を

用いて瞬きの閉眼時間と意識低下の関係を実験により計測している。⁽¹⁾この研究によると、運転を開始した直後の瞬きによる閉眼時間は100ミリ秒程度であり、その後、1時間程度運転を継続して車両の横位置に変化が生じる状態になった時点で200ミリ秒程度となっている。今回の調査において、覚醒度低下時の閉眼状態と通常の瞬きとを区別する境界を0.4秒とすることは、通常の瞬きを覚醒度低下時の閉眼状態として過剰に抽出してしまうことを避け、閉眼状態を抽出する方法として、ある程度妥当性は高いものと考えられる。

4.3.2 抽出対象とした実験シナリオについて

閉眼状態を抽出する実験シナリオの時間は、約4分の短時間のシナリオを除いた、長時間(25~39分)のシナリオとした。走行場面としては、自動走行システムが正常に作動している間を閉眼状態抽出の対象とすることから、場面1と場面2の両方を対象とした。また、通常の覚醒状態で運転を開始してから閉眼状態が発生するまでの経過時間を確認するため、休憩後の最初に実施した実験シナリオを抽出の対象とした。以上の条件に該当するシナリオの数は、実験参加者1人あたり4シナリオとなる。全員では120シナリオとなるが、一部、装置のトラブル等によって休憩のタイミングを変更したケースを除いたため、全部で117シナリオを対象とした。

4.3.3 閉眼状態が確認されたシナリオの件数

図4-40に今回抽出対象とした実験シナリオの総数に対し、閉眼状態が確認された件数と確認されなかった件数の内訳を示す。総数117シナリオのうち、45%に相当する53の実験シナリオにおいて閉眼状態が確認された。

4.4.4項以降に報告する内容は、全て閉眼状態が確認された53の実験シナリオについて確認した結果である。

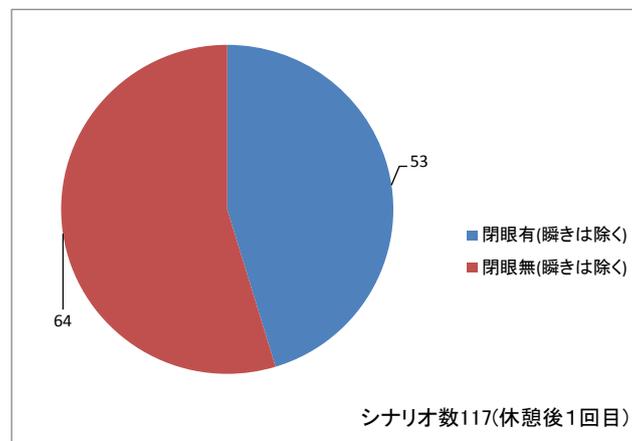


図4-40 抽出対象としたシナリオに対する閉眼状態発生の内訳

また、4.4.4項以降で報告するデータの説明に用いる用語について説明したものを図4-41に示す。

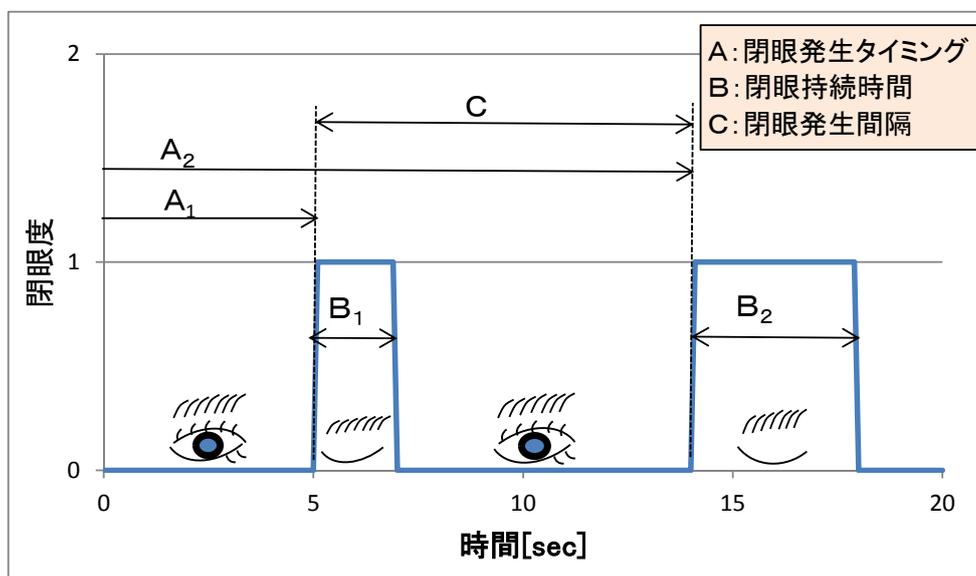


図 4-41 実験データの説明に用いる用語の説明

4.4.4 運転を開始してからの経過時間と閉眼発生の関係

図 4-42 に、運転を開始してから 1 回目の閉眼が発生するまでの経過時間の累積頻度分布を示す。度数分布では、360～540 秒の間が最も多くなっている。また、全体の約 6 割は、運転を開始してから 900 秒までの間に最初の閉眼が発生している。

また、図 4-43 は、全ての閉眼を対象に、運転を開始後、閉眼が発生した時点の経過時間を累積頻度分布として示したものである。度数分布では、経過時間 1260～1440 秒をピークとし、ピークから離れるにしたがって度数が減っており、比較的整った形の度数分布を示している。また、1 回目の閉眼に限らず、確認された全ての閉眼のうちの約 6 割は、運転を開始開始してから 1440 秒を経過するまでの間で発生している。

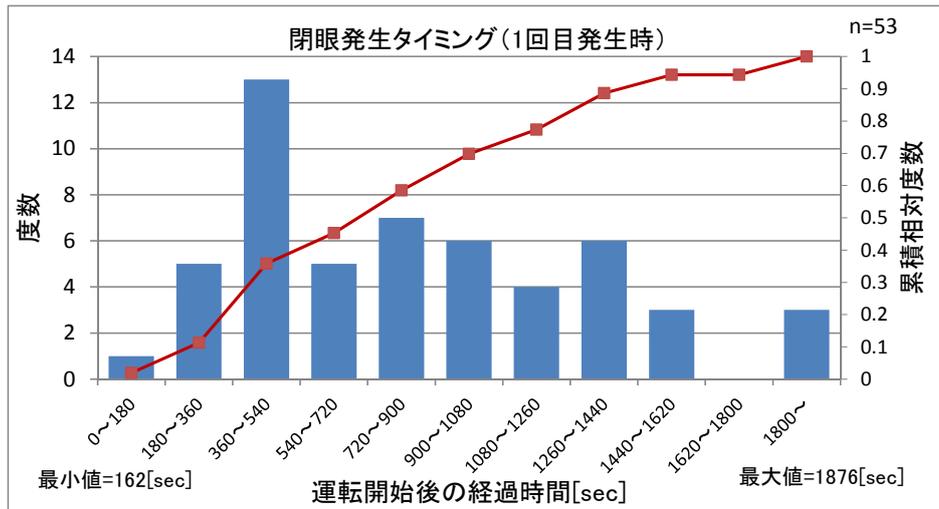


図 4-42 運転開始後、持続的な閉眼が発生するまでの経過時間（1回目の閉眼）

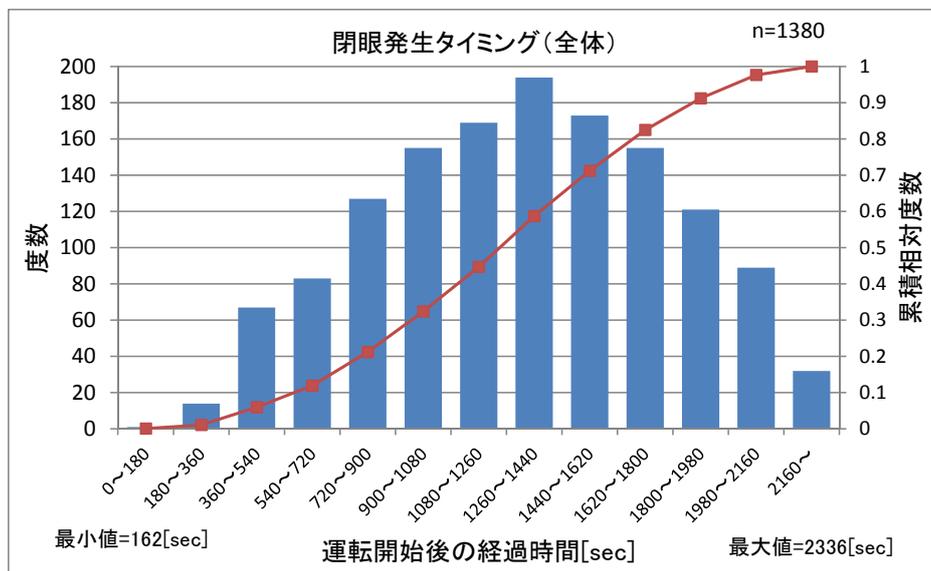


図 4-43 運転開始後、持続的な閉眼が発生した時の経過時間（全ての閉眼）

4.4.5 閉眼発生時の持続時間

図 4-44 に、運転を開始してから 1 回目の閉眼が発生した時の閉眼持続時間の累積頻度分布を示す。度数分布では、2 秒未満と 2 秒～4 秒が多くなっており、全体の約 7 割を占めている。また、度数としては少ないが、持続時間が 10 秒を超える閉眼も数例確認された。

また、図 4-45 は、全ての閉眼を対象に、閉眼持続時間の累積頻度分布を示したものである。1 回目の閉眼と同様に、2 秒未満と 2 秒～4 秒が多くなっているが、全体に占める割合は 5 割を若干下回っており、代わりに 4～10 秒の割合が増加している。また、全体に占める割合としては小さいが、30 秒を超える閉眼も 50 例近く確認された。

今回の結果は DS の運転で得られたデータであり、実際の道路での運転とは環境が異なる点を考慮する必要はあるが、比較的持続時間の長い閉眼が多く発生した要因としては、自動走行システムによってドライバは手動操作から解放されており、覚醒度が低下しやすい状況であったことが考えられる。さらに、システムが正常作動を継続している限り、少しの間目を閉じたとしても、直ちに安全上問題となるような事象が起こらないということ、ドライバが自ら学習することによって、更に覚醒度が低下し、より長い持続時間の閉眼が発生したことが考えられる。

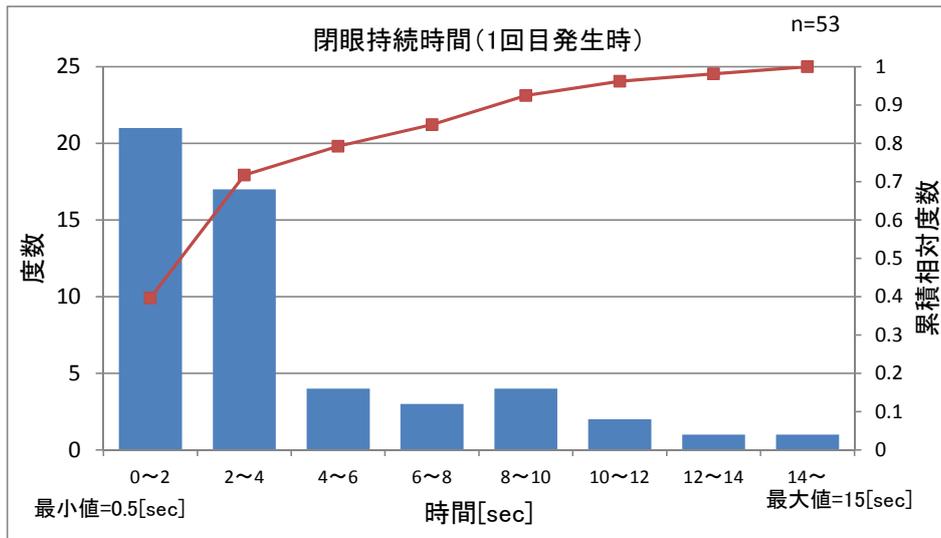


図 4-44 閉眼持続時間 (1 回目の閉眼)

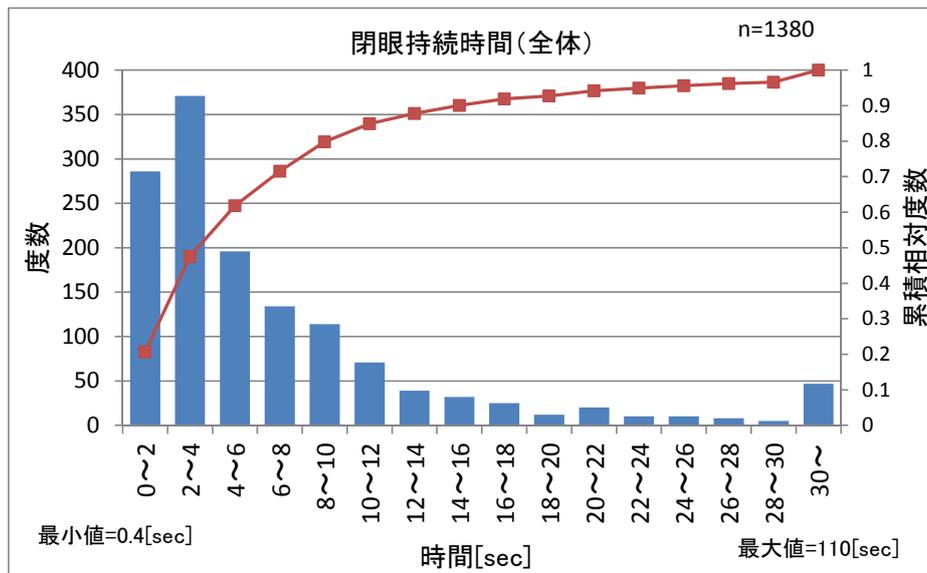


図 4-45 閉眼持続時間 (全ての閉眼)

また、図 4-46 は、図 4-43 で示した、運転開始後の経過時間と閉眼の頻度分布、及び図 4-45 で示した閉眼持続時間の頻度分布を足し合わせ、横軸に運転開始からの経過時間、縦軸に閉眼持続時間を取り、度数を線の色の違いで表したものである。図より、運転開始から 720 秒経過して以降のほぼ全ての時間領域で、持続時間が 6 秒未満の閉眼の発生頻度が特に高いことが分かった。

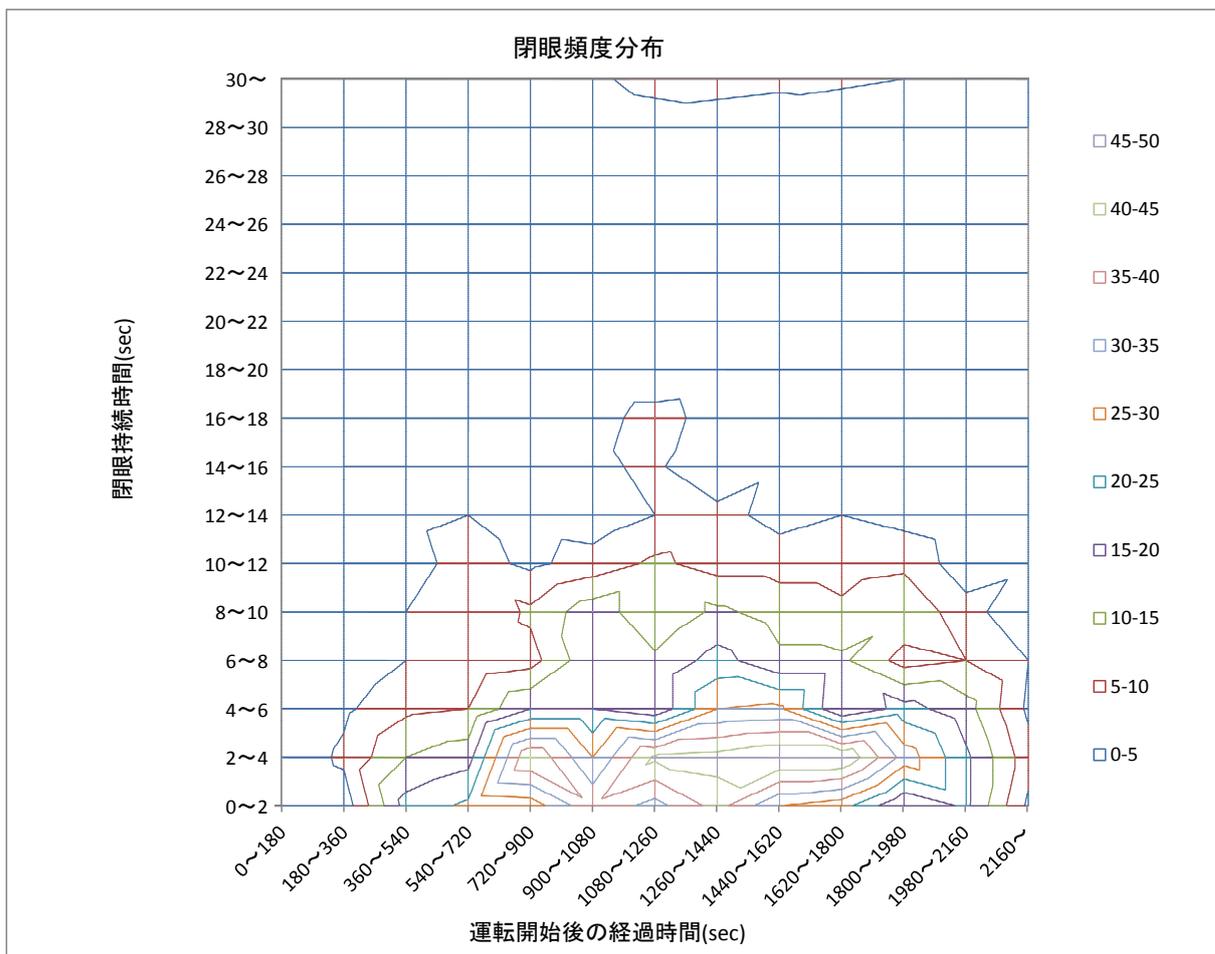


図 4-46 閉眼発生までの経過間隔と閉眼持続時間（全ての閉眼）

4.4.6 閉眼が発生する間隔

図 4-47 は、全ての閉眼を対象に、閉眼が発生する間隔の累積頻度分布を示したものである。間隔が 20 秒未満の度数が多くなっており、比較的短い間隔で、繰り返し閉眼が発生したことを示している。

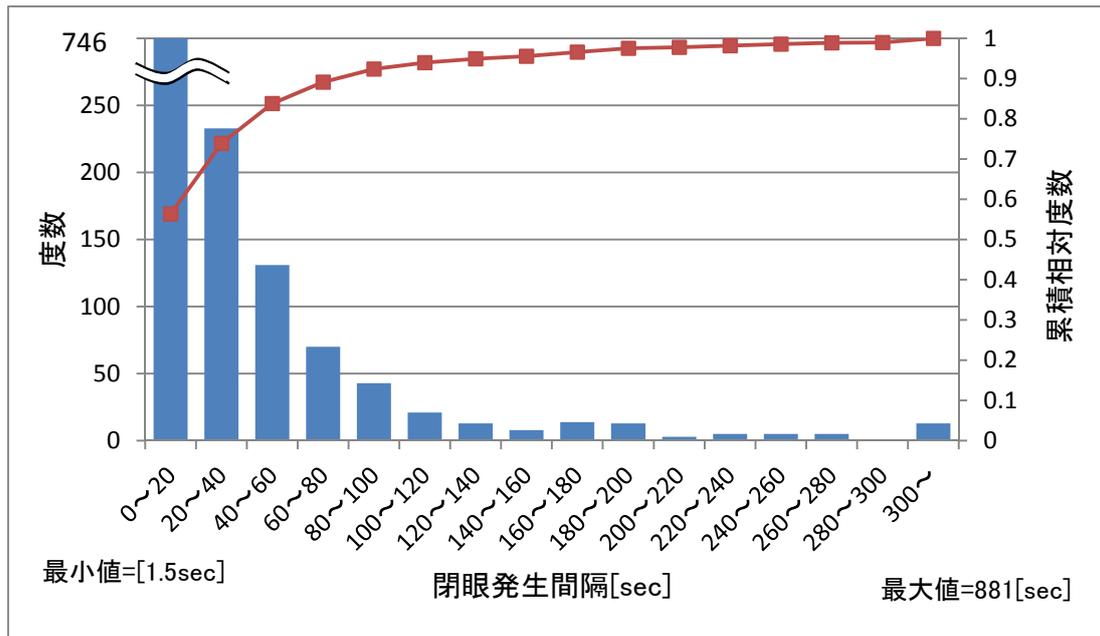


図 4-47 閉眼発生間隔 (全ての閉眼)

4.5 実験結果まとめ

今回の実験結果を総括すると、以下のようになる。

- ハンドルから手を離れた状態のドライバが、ACSF の故障発生を通知する警報を受け、ハンドルを握るまでの反応時間 (ハンドル反応時間) は、実験場面や実験条件によって若干の違いは見られるが、平均+標準偏差で 1~2 秒の範囲であり、比較的短い反応時間で対応していることが分かった。
- カーブ走行中に ACSF の故障が発生する場面については、故障を通知する警報開始と同時に ACSF の操舵トルクを 0Nm まで急激に減少する方法は、多くのドライバで車線からの逸脱を起こす結果となった。実験データに対する重回帰分析の結果から、故障発生後の車線逸脱に対しては、ドライバのハンドル反応時間及びドライバがハンドルを握った時の舵角が、車線からの逸脱に対し寄与が大きいことが分かった。今回の実験結果からは、ACSF の故障を通知する警報開始後、少なくとも 2 秒間、システムが旋回中の舵角を保持するか、それが困難な場合には、ドライバがハンドルを握った時点 (警報開始から約 1.3 秒後) で旋回時の舵角の約 70% を保持すれば、今回の実験に参加したドライバのほぼ全員が車線逸脱を起こさずに手動操作へ遷移することが可能である。
- 車線変更中に ACSF の故障が発生する場面については、車線変更時間が 3 秒 (やや急いだ車線変更を想定) で、故障を通知する警報開始と同時に ACSF の制御を停止する方法は、上記カーブに比べると人数は少ないが、一部のドライバで車線からの逸脱を

起こす結果となった。実験データに対する重回帰分析の結果から、車線変更時間をより長めにするのが、車線逸脱を起こさずに手動操作へ遷移することに対し、寄与が大きいことが分かった。今回の実験結果からは、車線変更時間が6秒（通常的車線変更を想定）の場合には、実験に参加したドライバーのほぼ全員が車線逸脱を起こさずに手動操作へ遷移することが可能である。

- 自動走行システムを継続して使用することに対するドライバーの意思確認のために、定期的にボタン操作をドライバーに要求した結果、1分間隔でボタン操作を行ったケースでは、約40%の人が、ACSFの故障通知の警報開始後に誤ってボタンを操作し、ハンドル反応時間が増大する結果となった。尚、定期的にドライバーの意思を確認する機能に対しては、今回の実験に参加した多くのドライバーは肯定的な意見であった。
- ACSFの故障が発生し、手動操作へ遷移する際のドライバーにとっての快適性について、ヨー角速度の時間波形に注目し、基準値に対する偏差による評価を行った結果では、カーブ走行中の故障の場合には、警報開始後、一定時間（今回の実験結果では2秒以上）ACSFの制御を継続した後に操舵トルクを急激に減少させる方法または警報開始と同時に操舵トルクを徐々に低減させる方法が有効であり、車線変更中の故障の場合には、ACSFが正常に作動している間の車線変更時間を比較的長め（今回の実験結果では6秒）にすることが有効であることが確認された。
- 実験中のドライバーの顔の画像から、休憩後の最初に実施した長時間（25～39分）の実験シナリオ総数のうちの約45%において、覚醒度の低下によるものと見られる閉眼が確認された。運転を開始してから1回目の閉眼が発生するまでの経過時間は、900秒未満が全体の約60%を占めている。また、1回目の閉眼が発生した後の、閉眼持続時間（1回の閉眼で閉じている時間）は、6秒未満が全体の約60%を占めている一方で、閉眼持続時間が30秒を超えるケースも約3%確認された。今回の結果はDSの運転で得られたデータであり、実際の道路での運転とは環境が異なる点を考慮する必要はあるが、自動走行システムによって手動操作から解放されたドライバーは、自動走行システムを使わない手動運転時に比べ、より覚醒度が低下しやすくなるものと考えられる。このことから、例えば、自動走行システムを使用している間のドライバーの状態をシステムが監視する等の、何らかの対策が必要であると考えられる。

5. まとめ

本調査では、DSを用いて一般のドライバを対象に、自動走行システムを使用中にシステムからドライバへ運転操作の主体が遷移する場面の実験を実施し、安全に手動操作へ遷移するために必要な要件等について考察した。また、自動走行システムを使用している間のドライバの様態の変化についても確認した。

本調査で想定する自動走行システムは、高速道路の走行車線において車線維持及び車線変更を自動で行う ACSF (Automatically Commanded Steering Function) と車間距離制御を行う ACC (Adaptive Cruise Control) を組合せたシステムとした。自動走行システムのレベルについては、レベル 2 とした。

システムによる自動走行からドライバによる手動操作へ運転操作の主体が遷移する場面については、カーブ走行中の故障発生及び車線変更中の故障発生 of 2 つの場面とした。実験の変数は、カーブ走行中の故障発生については、故障を通知するための警報を開始してからシステムを停止するまでの時間及び操舵トルクの低減方法とし、車線変更中の故障発生については、故障を通知するための警報を開始してからシステムを停止するまでの時間及び車線変更時間 (システム正常時に 1 回の車線変更に要する時間) とした。尚、カーブ走行中の故障発生 of 場面では、一部のケースにおいて、システムを継続して使用するために一定時間毎のボタン操作をドライバに要求するタスクを実施した。

実験参加者は日常的に運転を行う者とし、年齢及び人数については、高齢者 5 名を含む 20 代後半～70 代前半の男女 30 名 (男性 17 名、女性 13 名) とした。また、各実験参加者に対し、交通安全環境研究所の実験倫理規定に従って、実験前にシステムの概要や安全上の注意事項等について説明を行った後、実験参加者本人に参加の意思を確認し、インフォームドコンセントを行った。

実験に使用する HMI (Human Machine Interface) は、モニタ画面への表示及びスピーカーからの音とした。

今回の実験の結果をまとめると、以下の様になる。

- ・レベル 2 の自動走行システムを使用している間にシステムの故障が発生してドライバによる手動操作へ遷移する場合には、2 秒程度の時間的余裕が必要であると考えられる。
- ・時間的余裕を確保するための手法として、警報開始後徐々に制御を停止する方法及び正常時の車線変更にかかる時間を 6 秒程度確保する方法は有効である。
- ・一定時間毎にボタン操作を行うタスクは、一部のドライバにとって、故障通知の警報の際に誤ってボタンを操作することによりハンドルを握るまでの反応時間が増大する要因となる。
- ・自動走行システムが正常作動している間に、ドライバの覚醒度低下によるものと見られる閉眼状態が観測された。運転開始後、早い人では 6 分以内、全体の 6 割は 15 分以内に最初の閉眼が発生した。また、1 回の閉眼で眼を閉じている時間は、2～4 秒が最も多いが、30 秒を超える閉眼も一部で見られた。今回の実験は DS の環境で行われた点を考慮

する必要はあるが、自動走行システムによって手動操作から解放されたドライバは、手動運転時よりも覚醒度が低下しやすい傾向があると考えられる。

今後の課題としては、例えば、故障発生以外の理由でシステムからドライバによる手動操作へ遷移する場面や適切な手動操作（アクセル、ブレーキ、ハンドル）をドライバ自身が選択することが必要となる場面におけるドライバの反応等について明らかにすること等が考えられる。また、ドライバの覚醒度低下については、覚醒度低下の兆候が現れた場合にドライバへ注意喚起することによる覚醒度持続効果について明らかにすること等が考えられる。

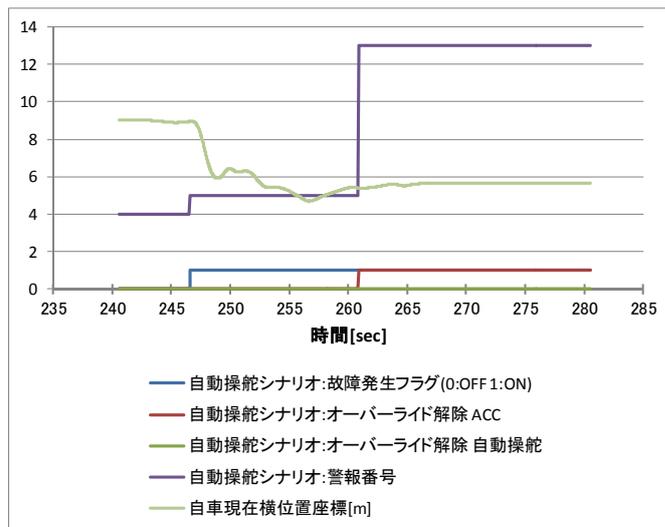
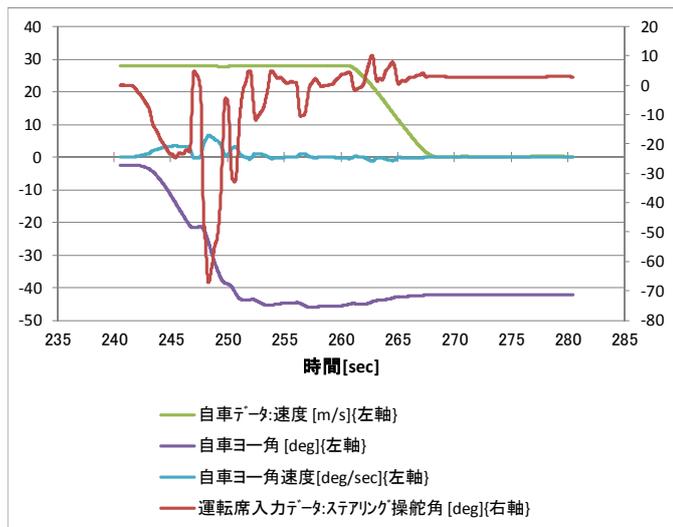
6. 参考文献

- (1) 杉山ほか：画像方式を用いたまばたき計測による意識低下検知、豊田中央研究所 R&D レビューVol.31 No.2(1996)
- (2) 北島ほか：自動車運転時の眠気の予測手法についての研究（第1報，眠気表情の評価法と眠気変動の予測に有効な指標について）、日本機械学会論文集（C編）63巻613号(1997)
- (3) 伊東ほか：自動運転から手動運転への操作主権移動に必要な時間、（公社）自動車技術会 2015年春季大会学術講演会講演予稿集(2015)
- (4) T.Hirose, and Dai Kitabayashi: Driving characteristics of driving in a state of low alertness when an autonomous system changes from autonomous driving to manual driving, SAE Paper 2015-01-1407(2015)

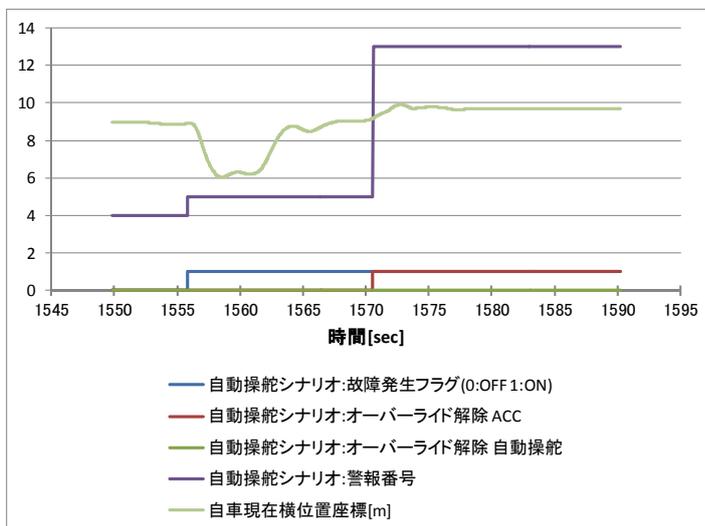
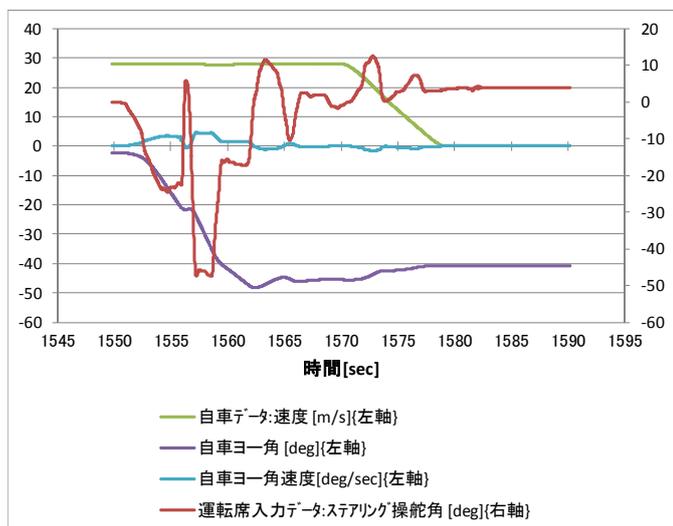
付録

全実験参加者の時系列データ

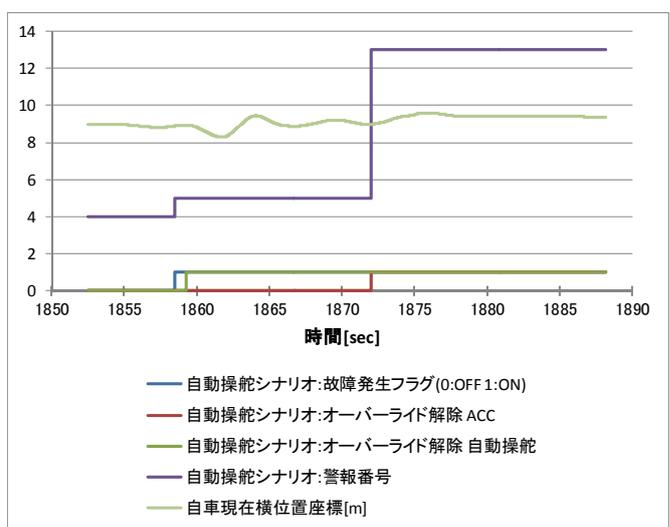
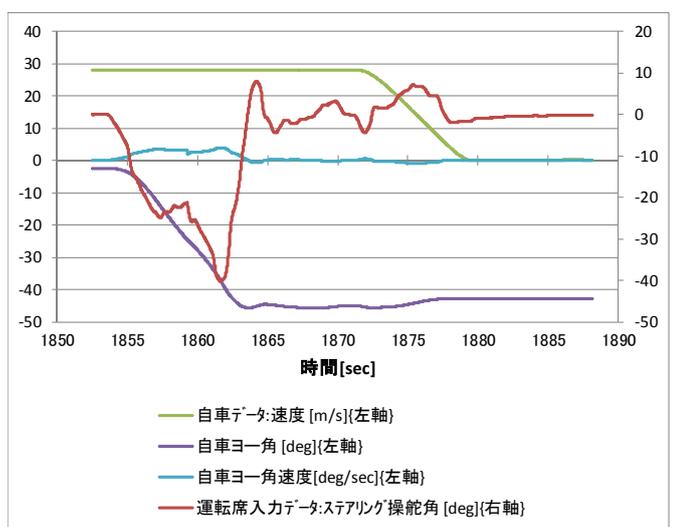
Sub.1 場面 1-a



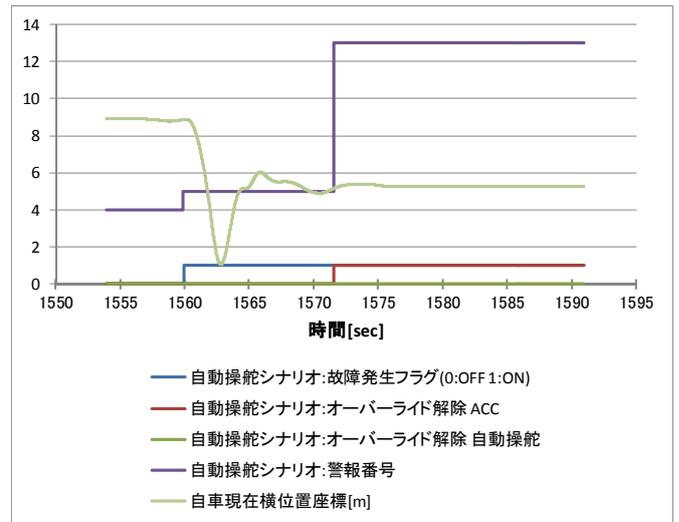
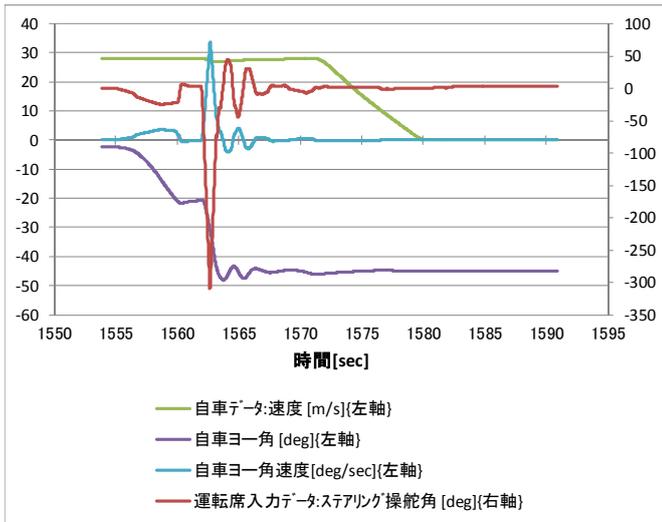
Sub.1 場面 1-b



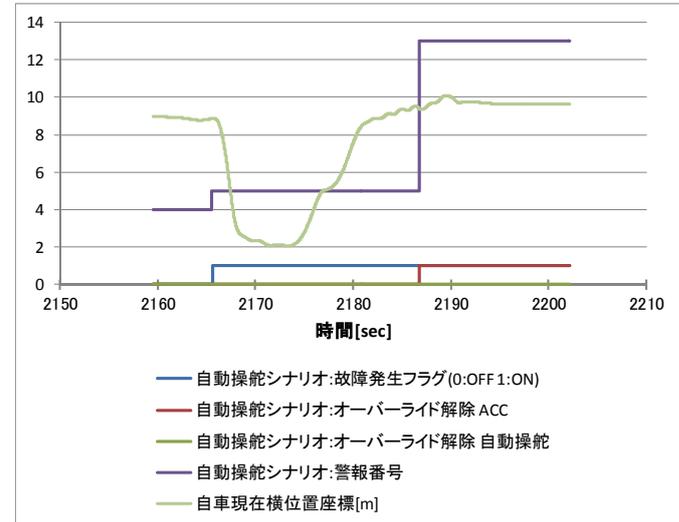
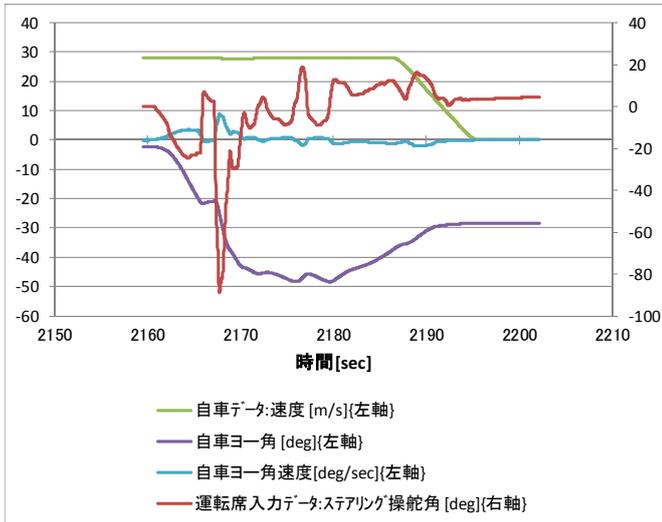
Sub.1 場面 1-c



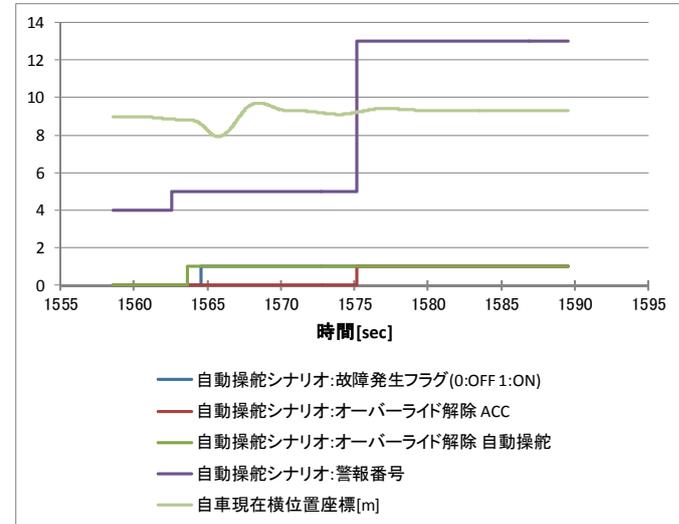
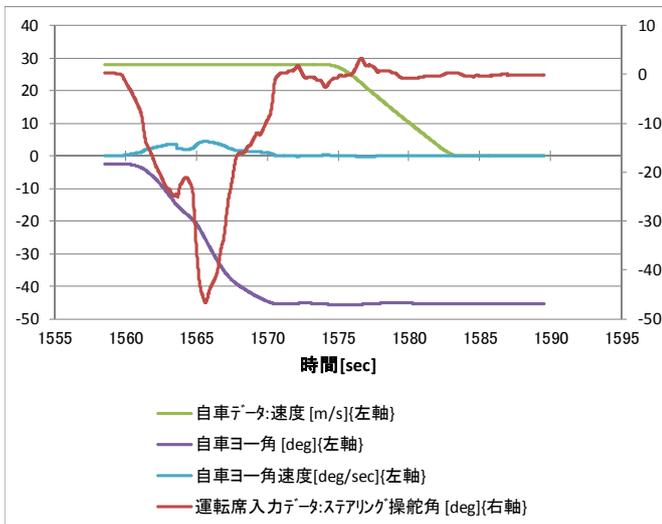
Sub.1 場面 1-d



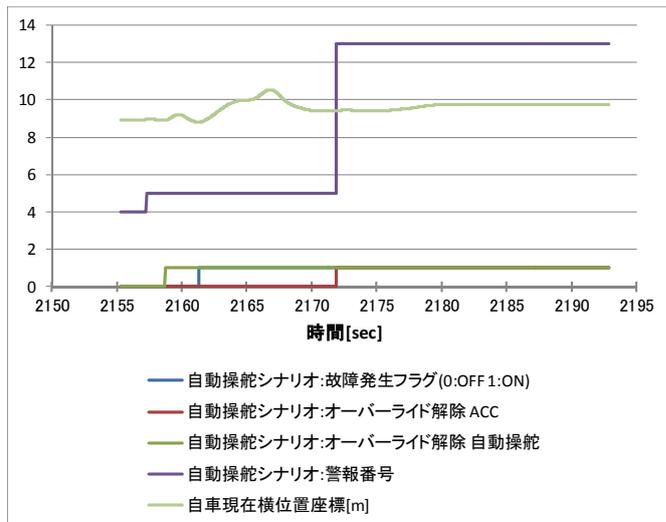
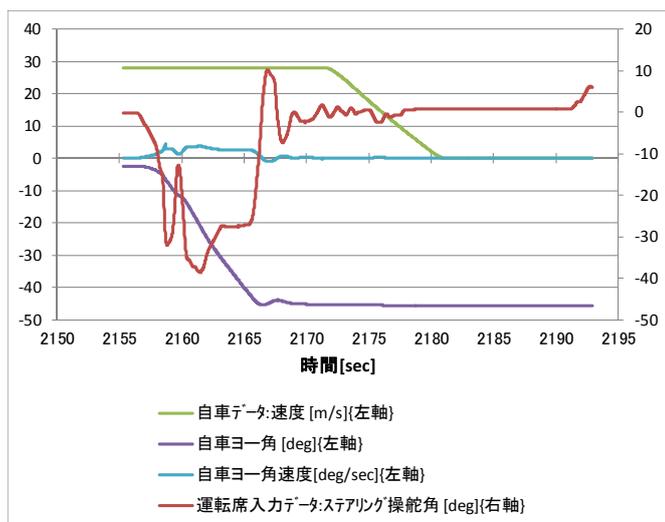
Sub.1 場面 1-e



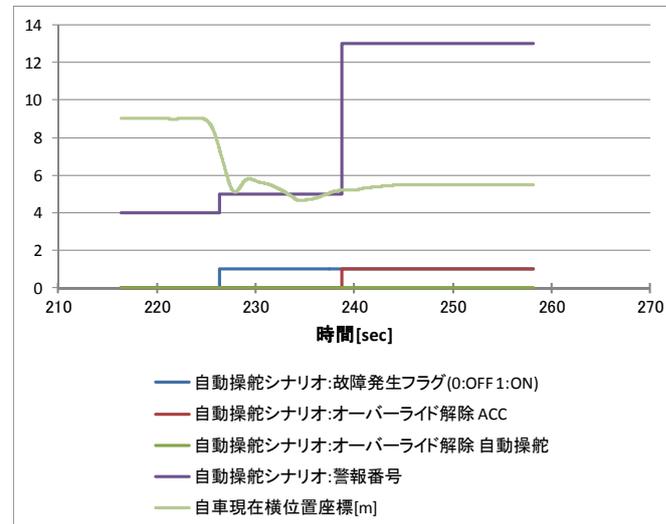
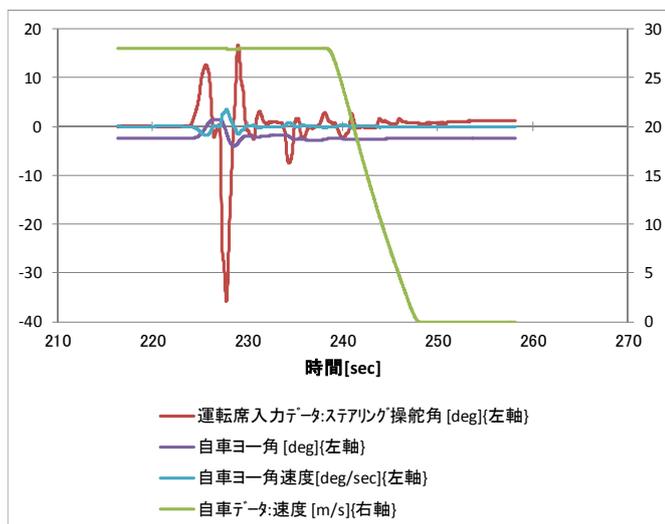
Sub.1 場面 1-f



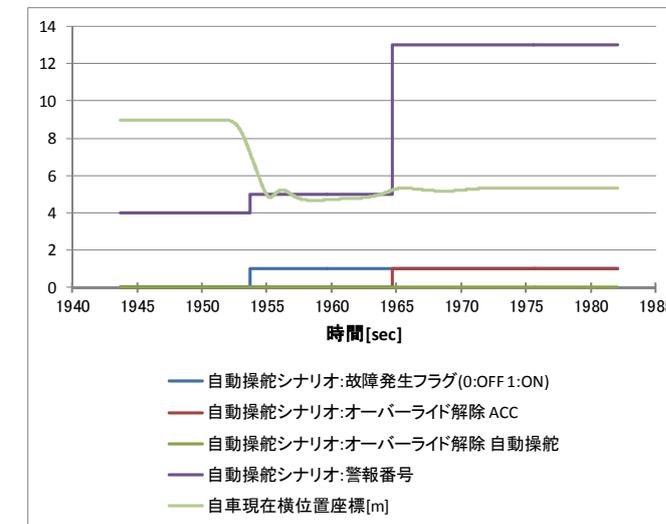
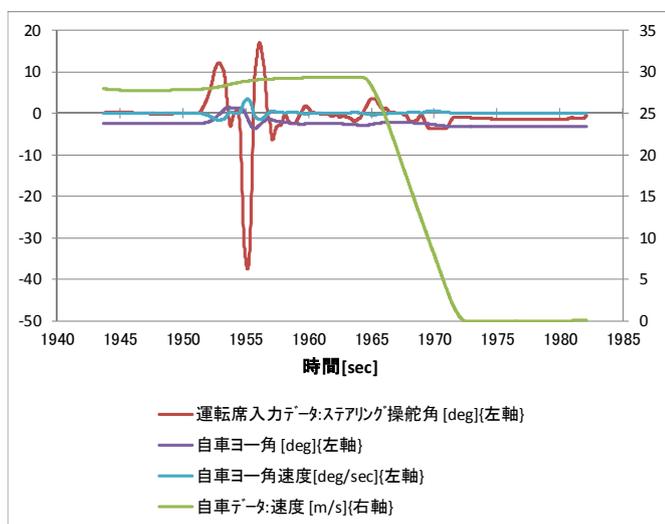
Sub.1 場面 1-g



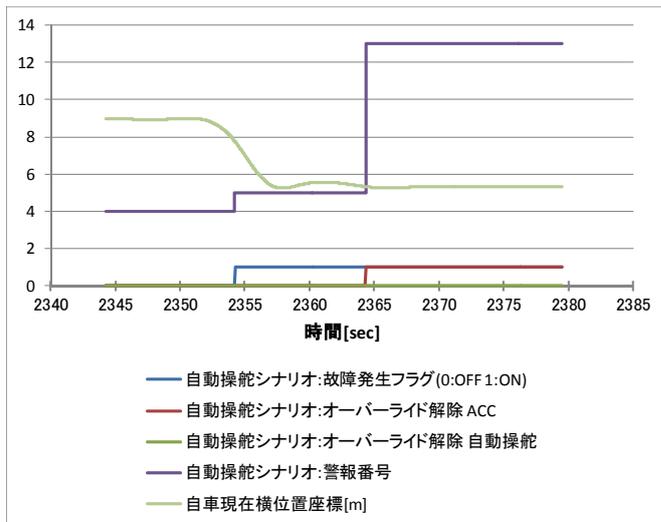
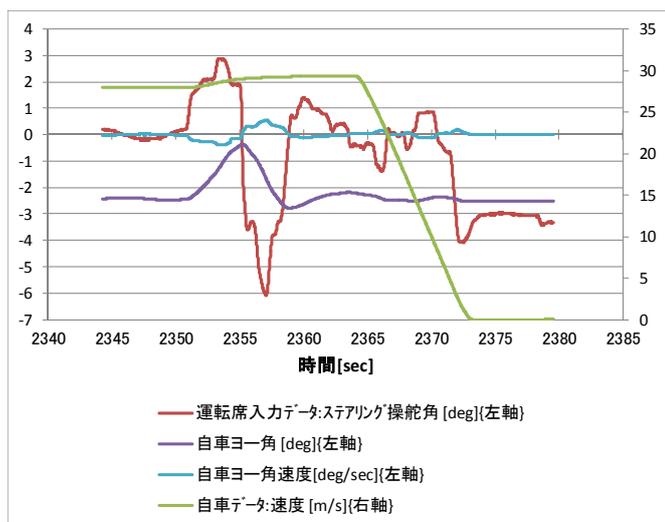
Sub.1 場面 2-a



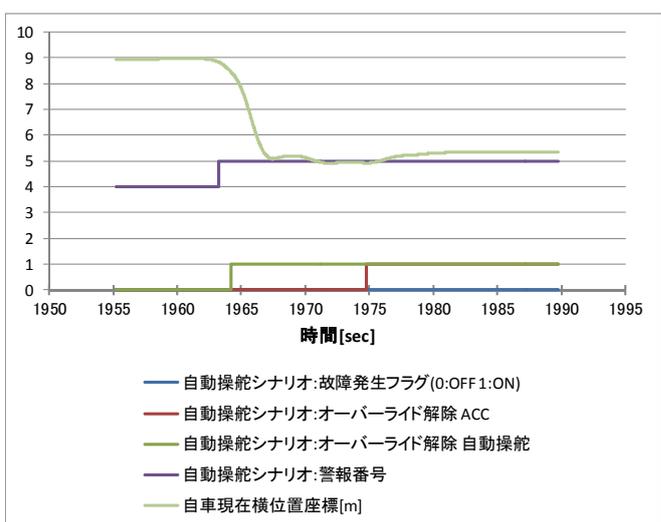
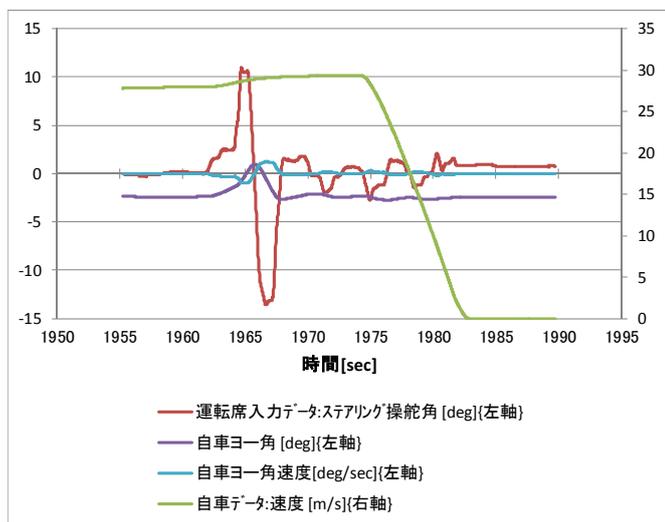
Sub.1 場面 2-b



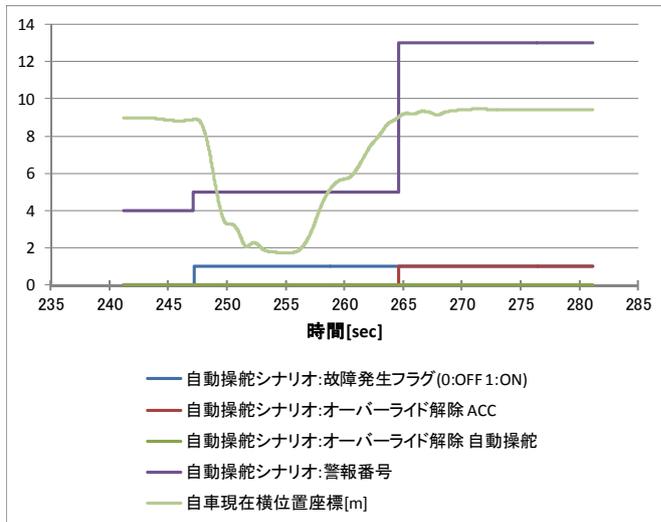
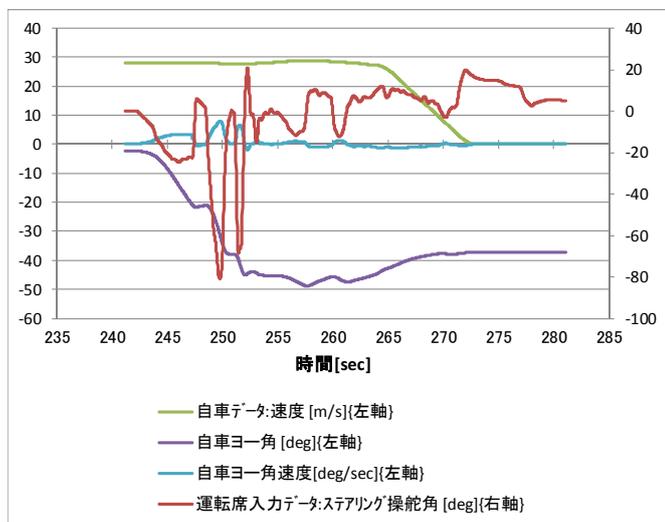
Sub.1 場面 2-c



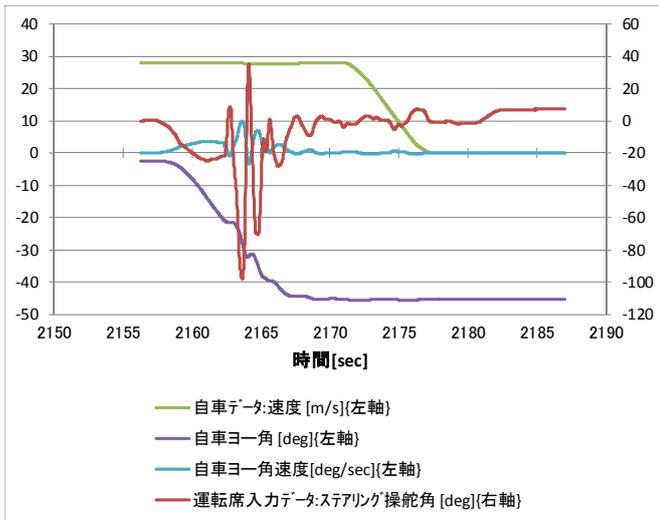
Sub.1 場面 2-d



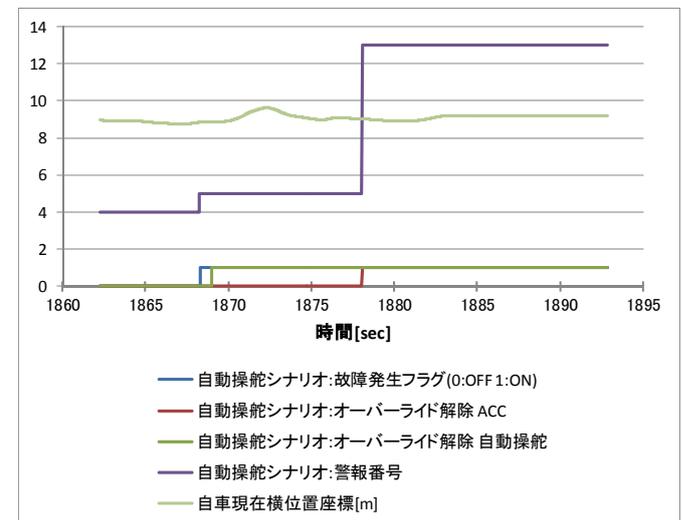
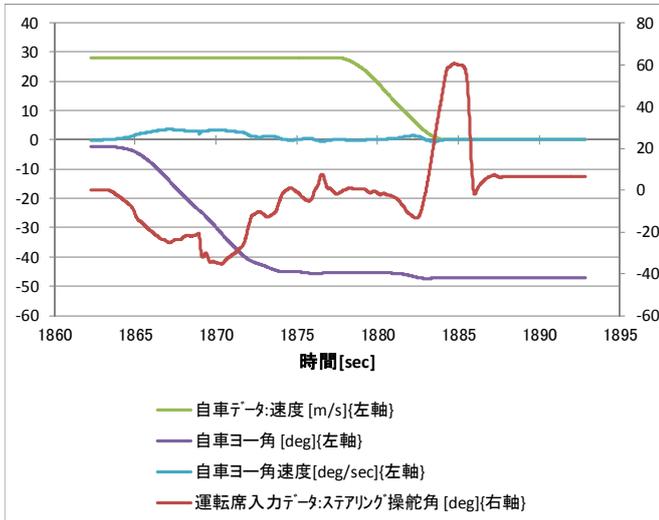
Sub.2 場面 1-a



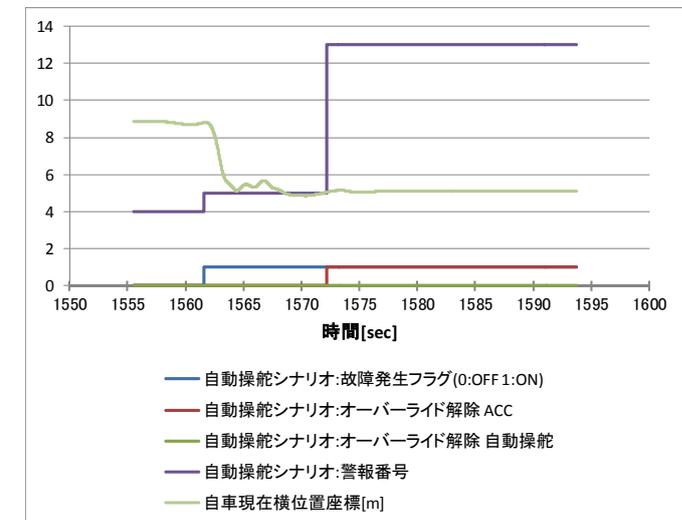
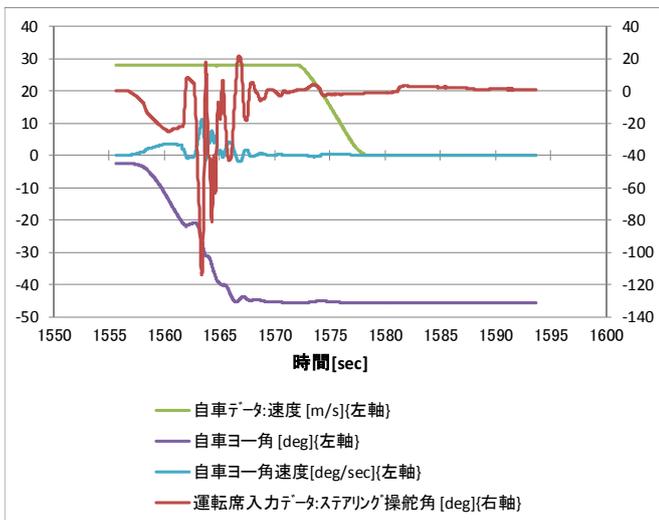
Sub.2 場面 1-b



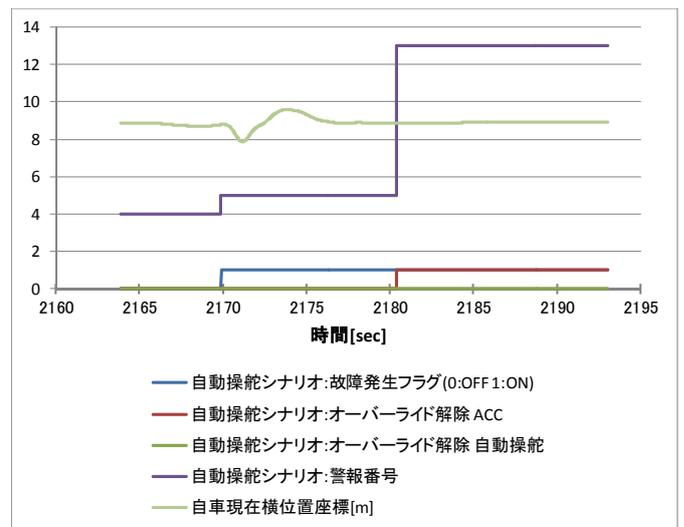
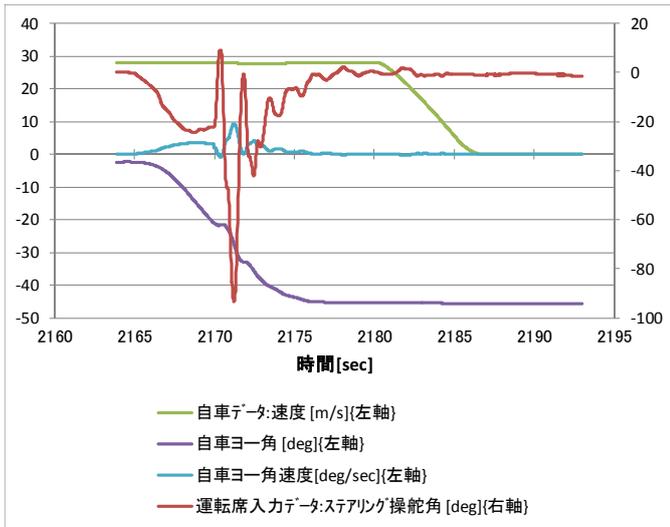
Sub.2 場面 1-c



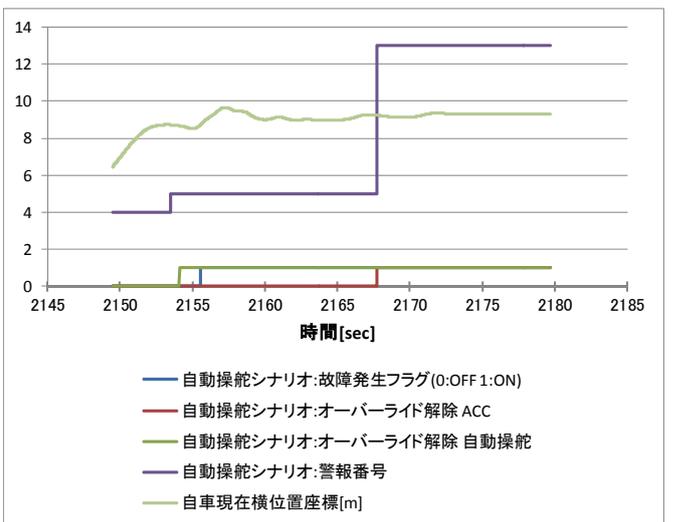
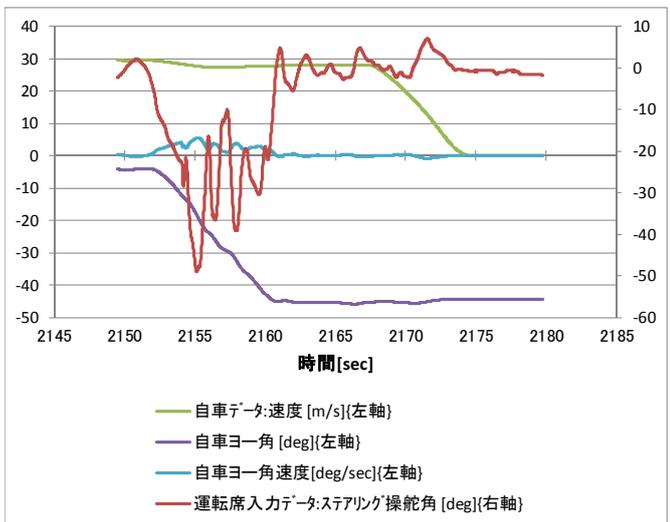
Sub.2 場面 1-d



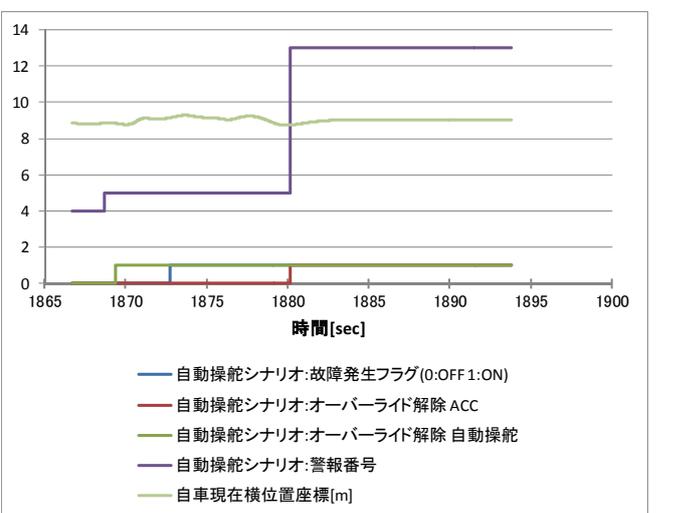
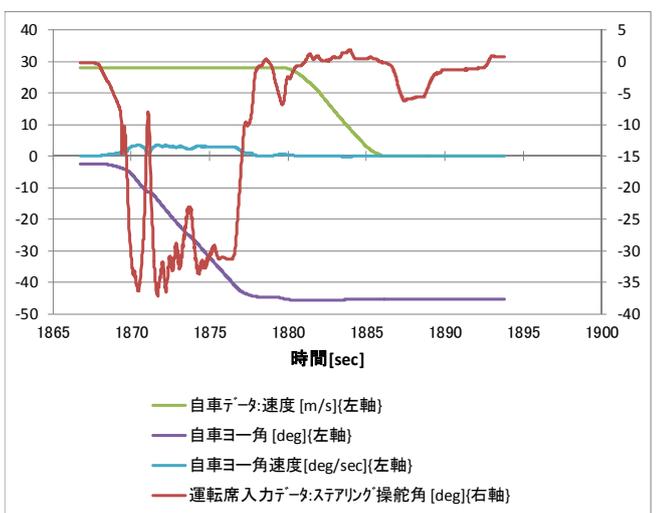
Sub.2 場面 1-e



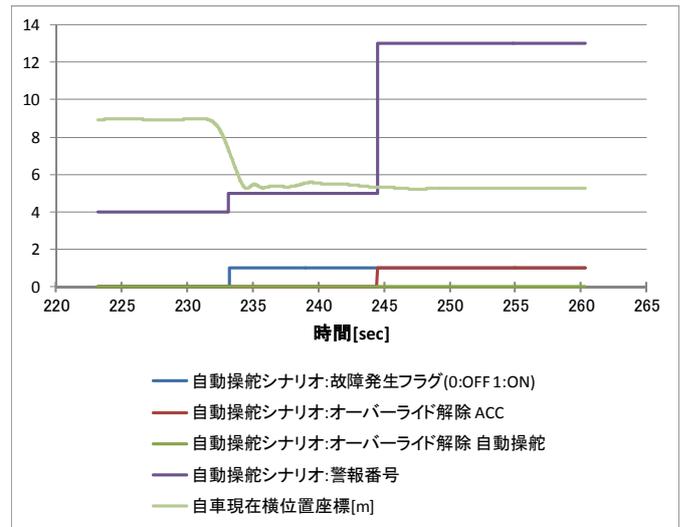
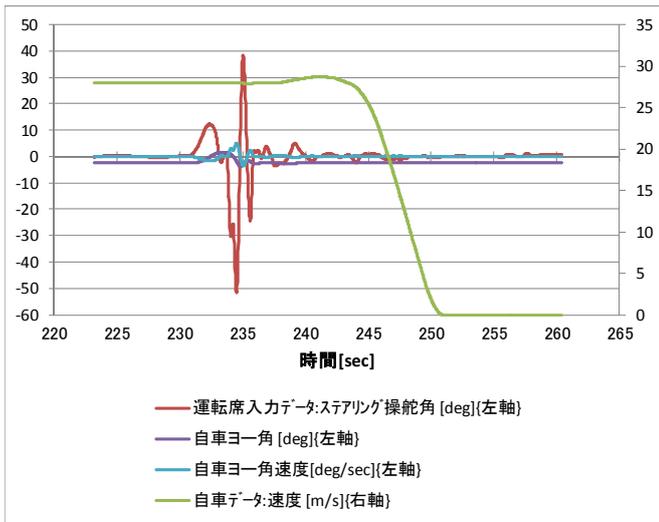
Sub.2 場面 1-f



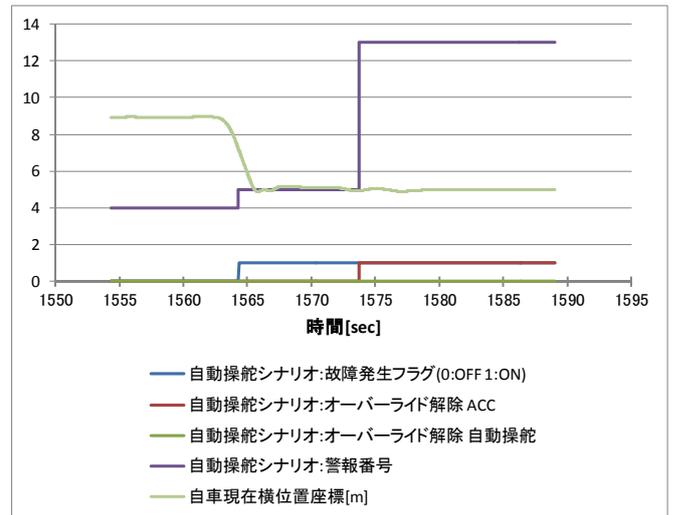
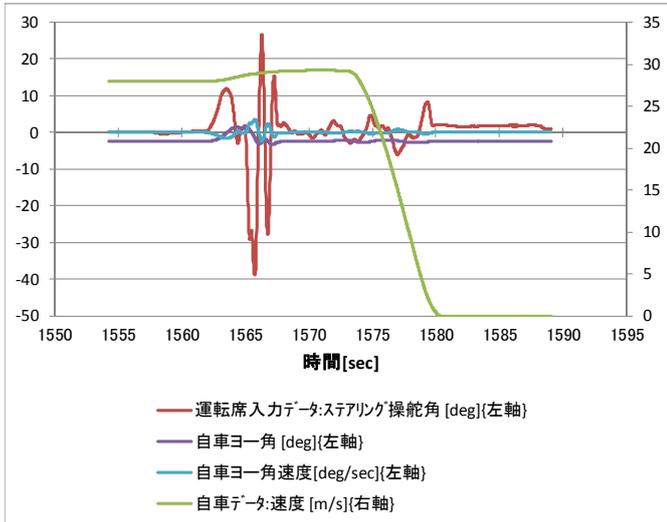
Sub.2 場面 1-g



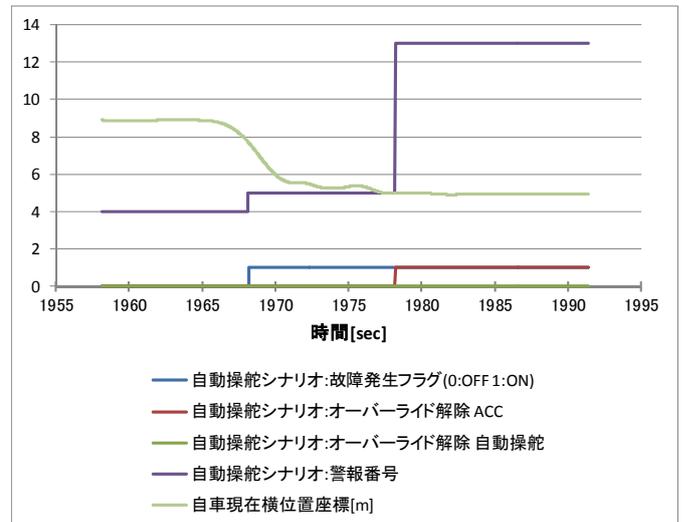
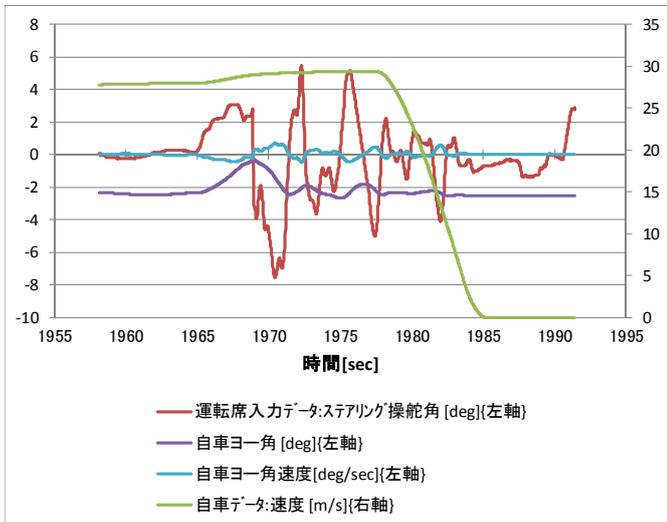
Sub.2 場面 2-a



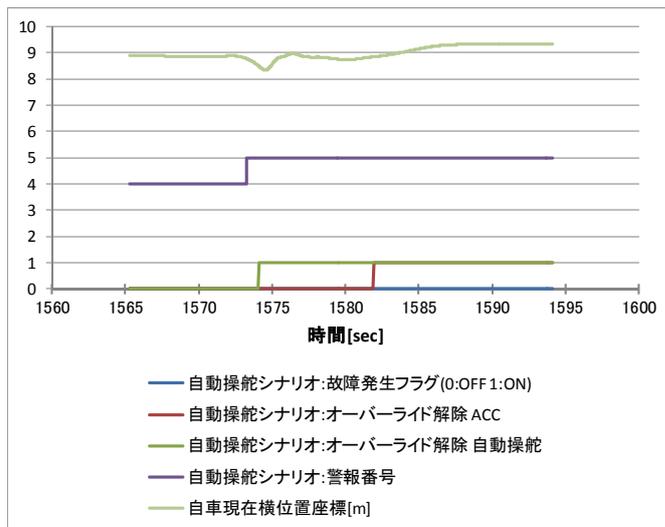
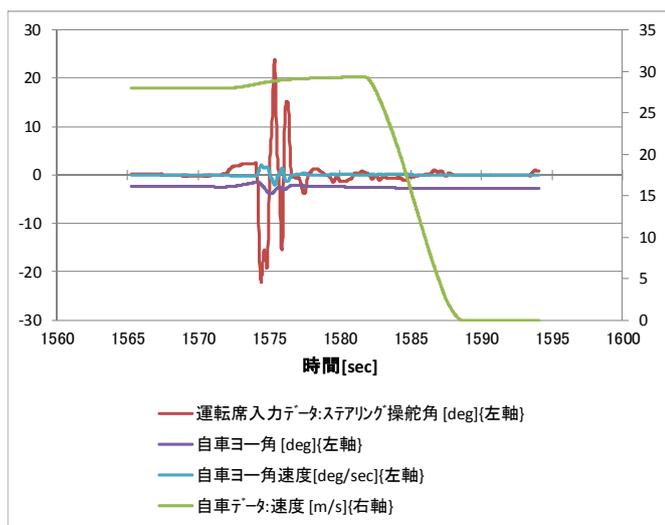
Sub.2 場面 2-b



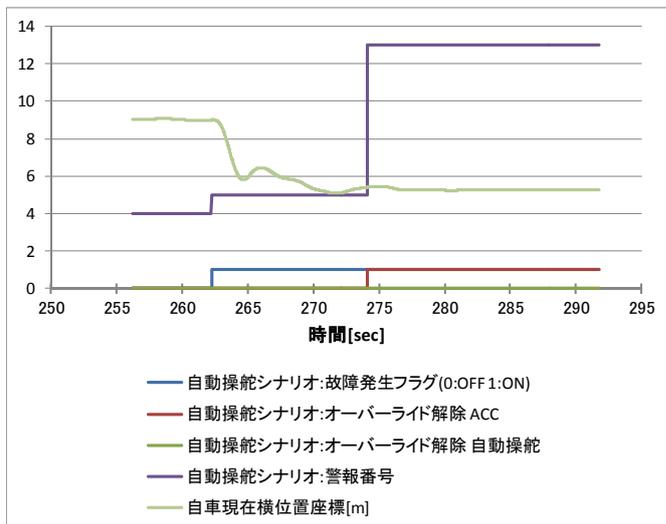
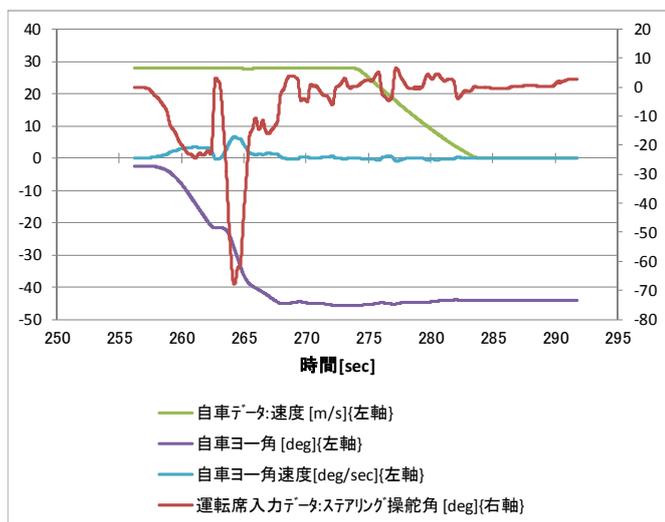
Sub.2 場面 2-c



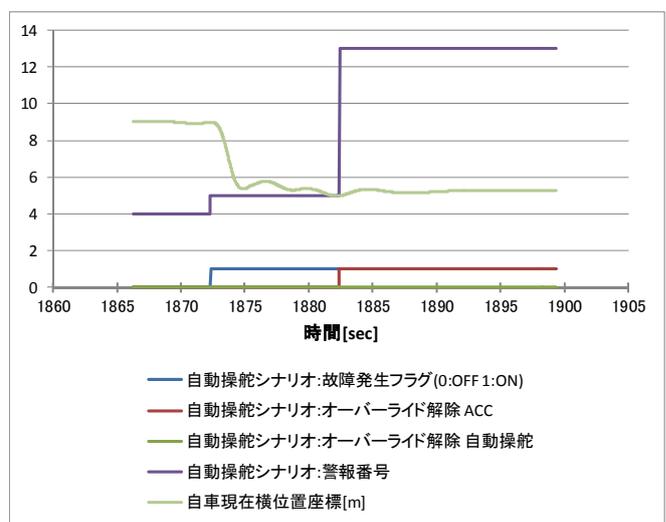
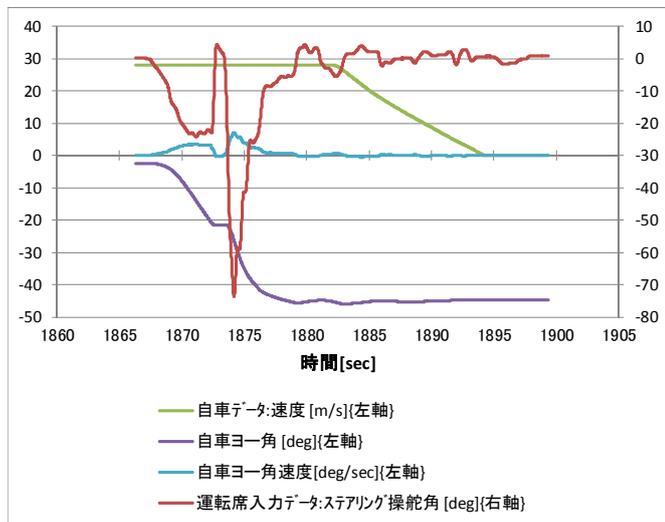
Sub.2 場面 2-d



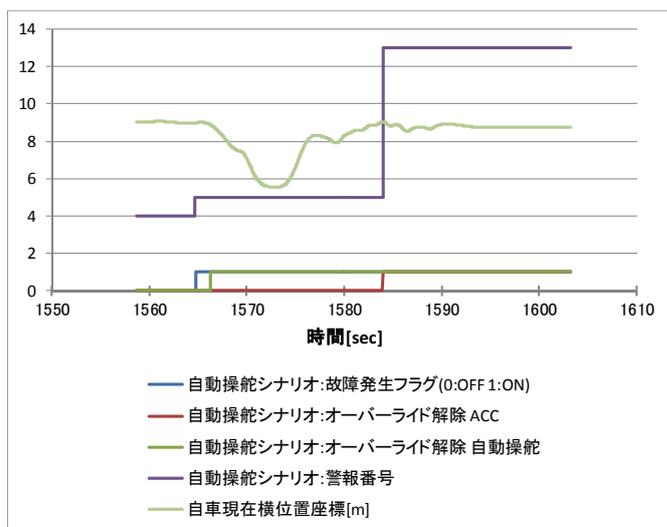
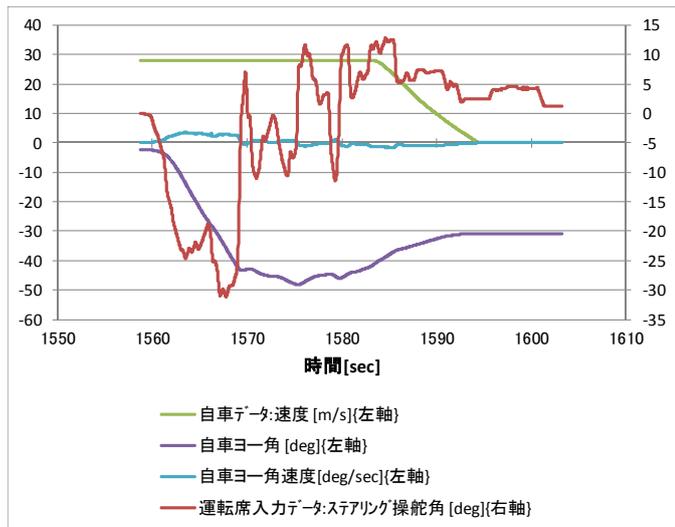
Sub.3 場面 1-a



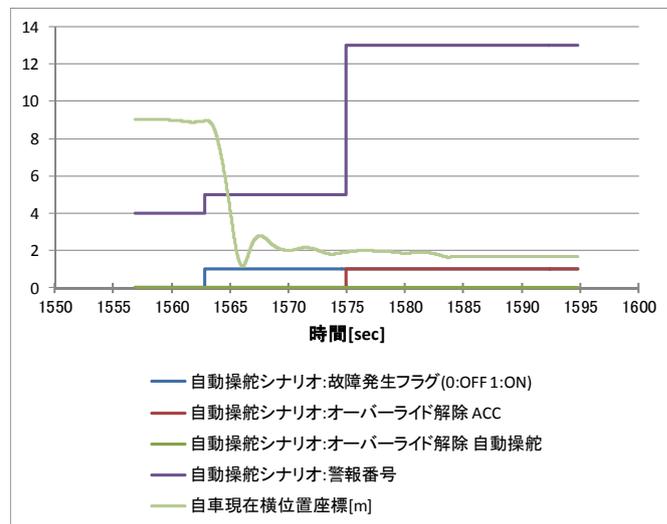
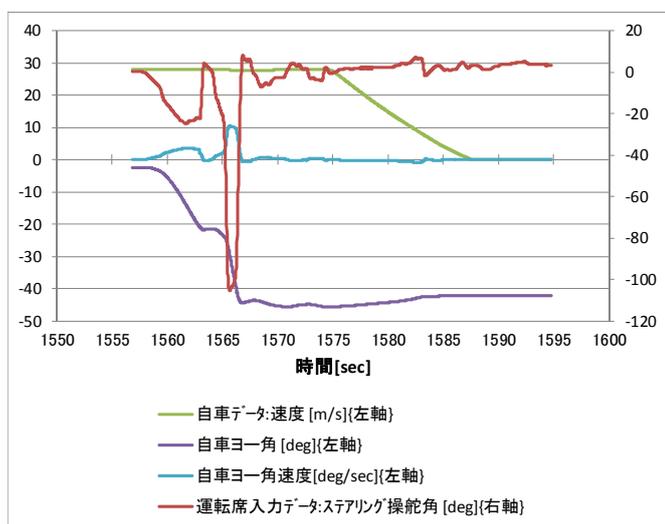
Sub.3 場面 1-b



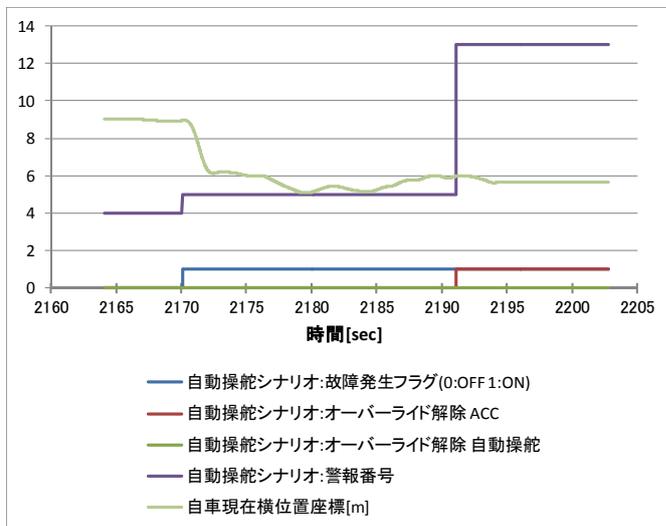
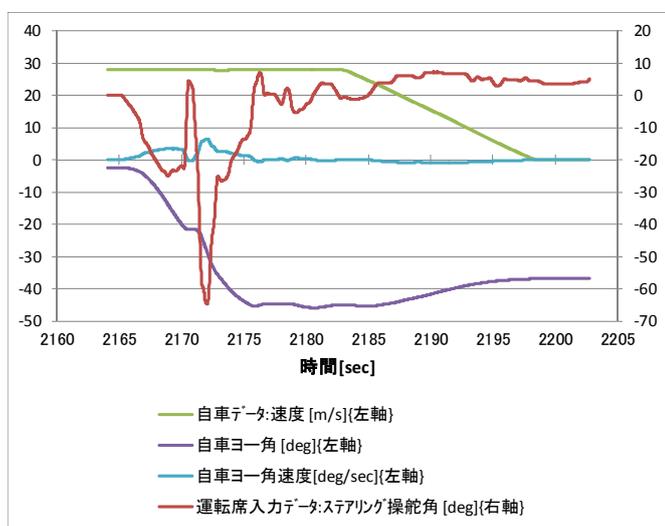
Sub.3 場面 1-c



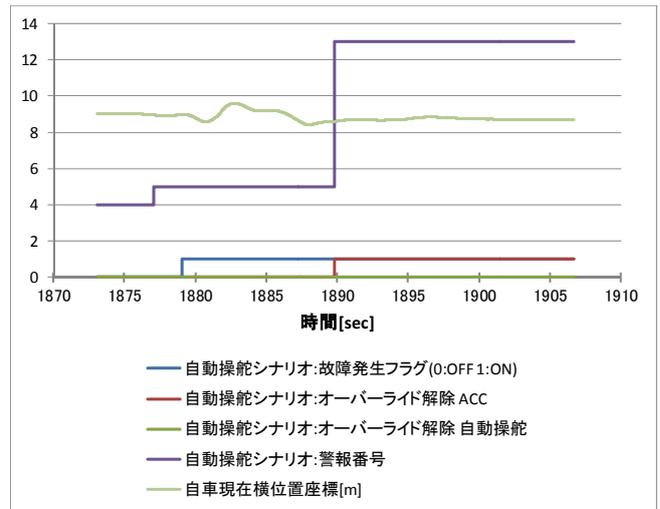
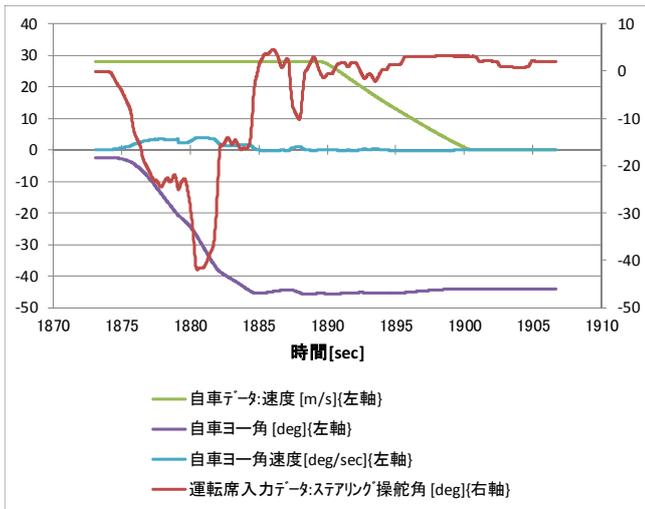
Sub.3 場面 1-d



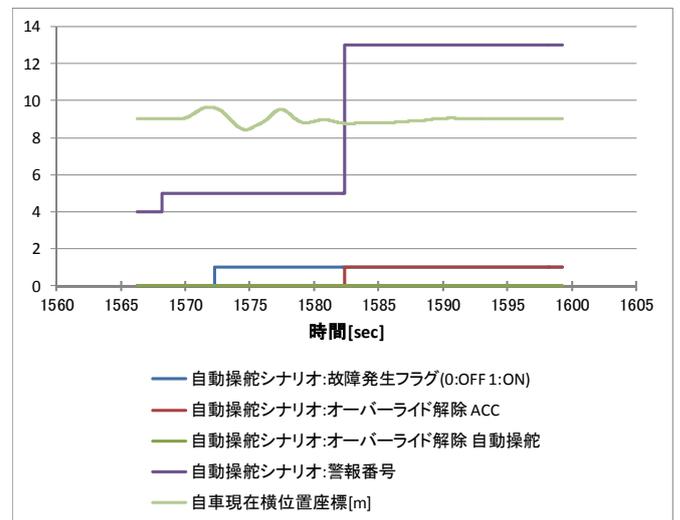
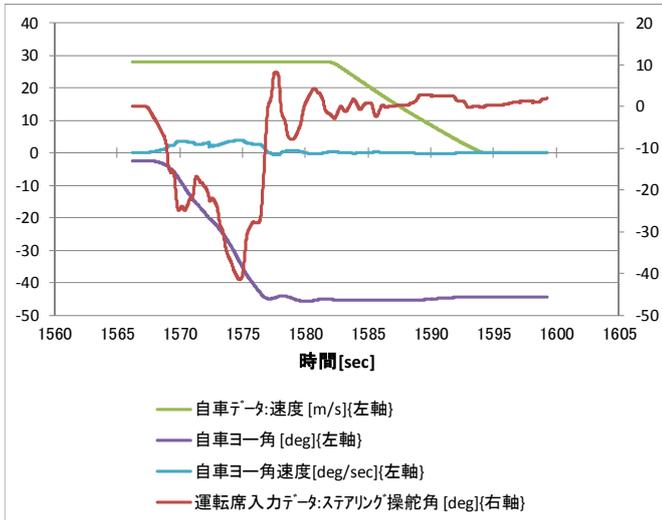
Sub.3 場面 1-e



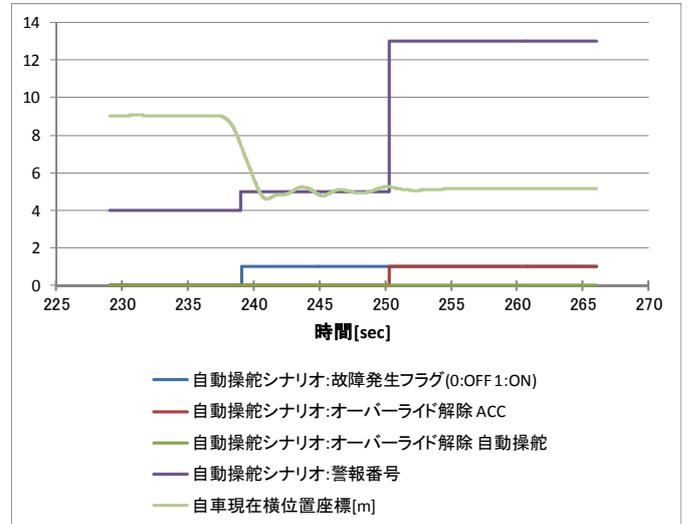
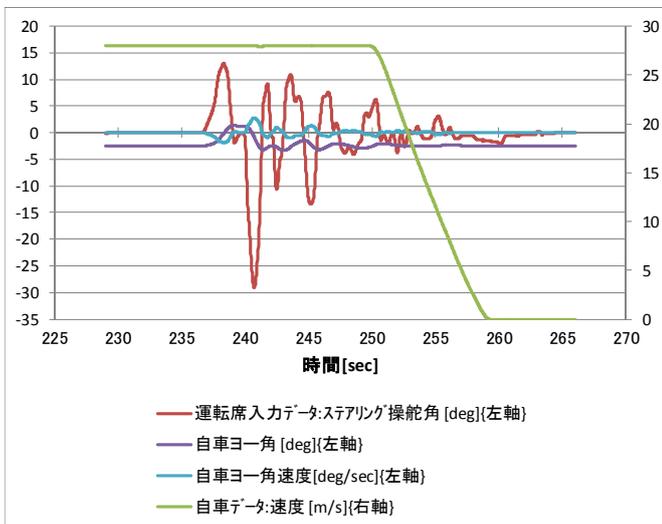
Sub.3 場面 1-f



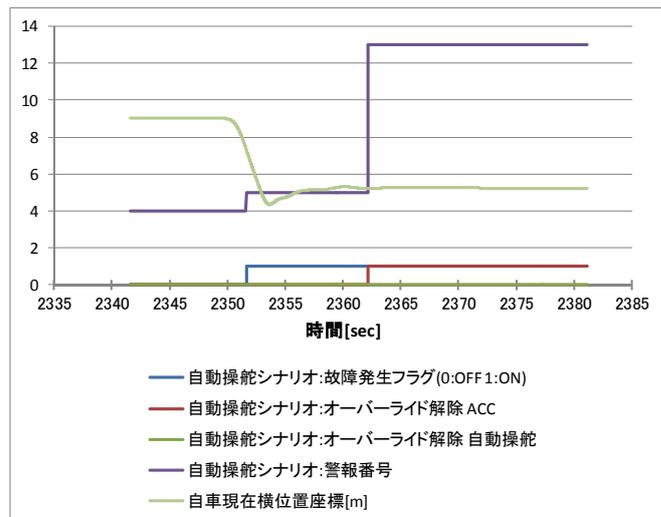
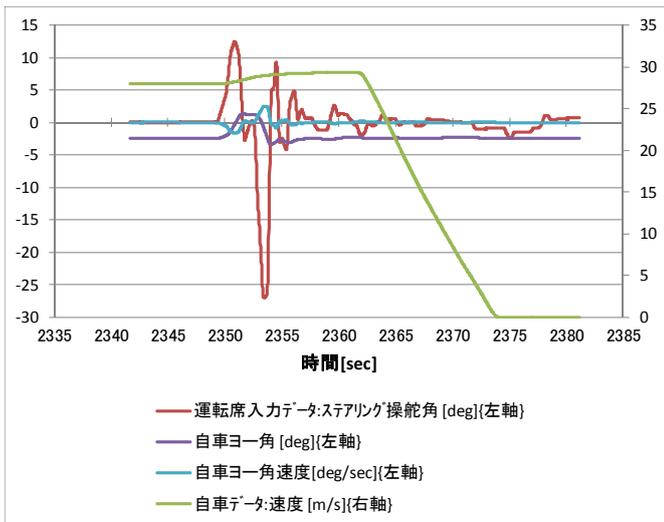
Sub.3 場面 1-g



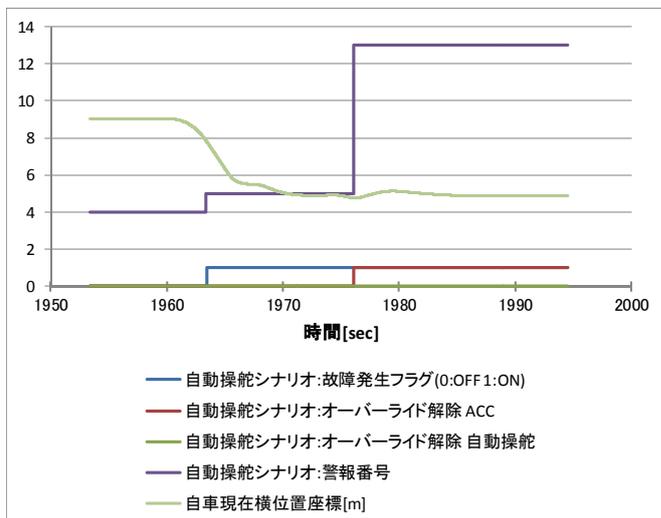
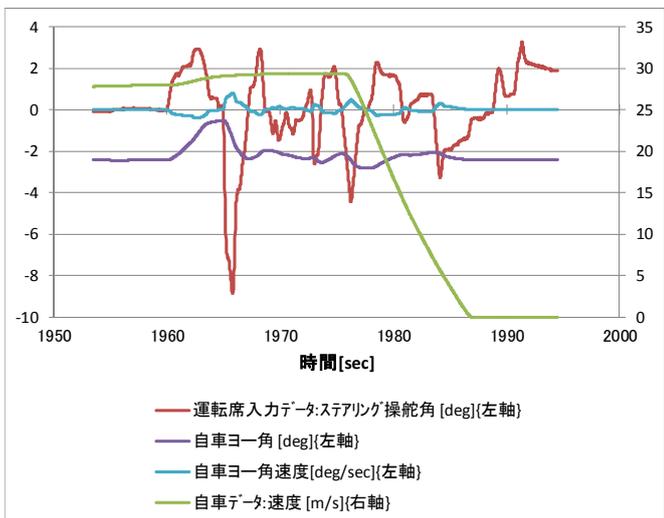
Sub.3 場面 2-a



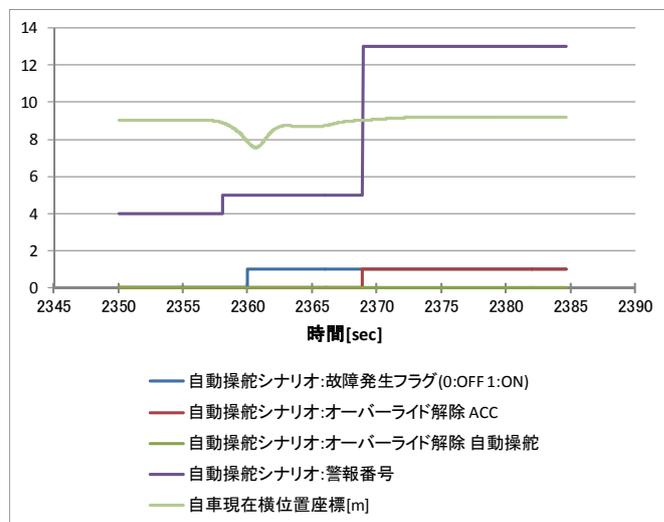
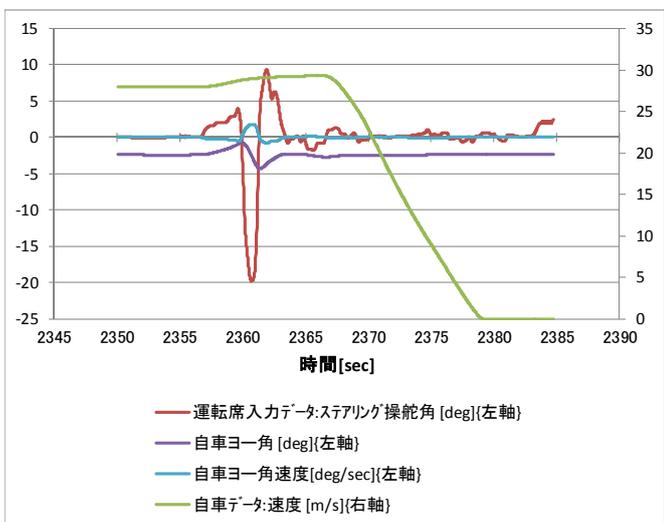
Sub.3 場面 2-b



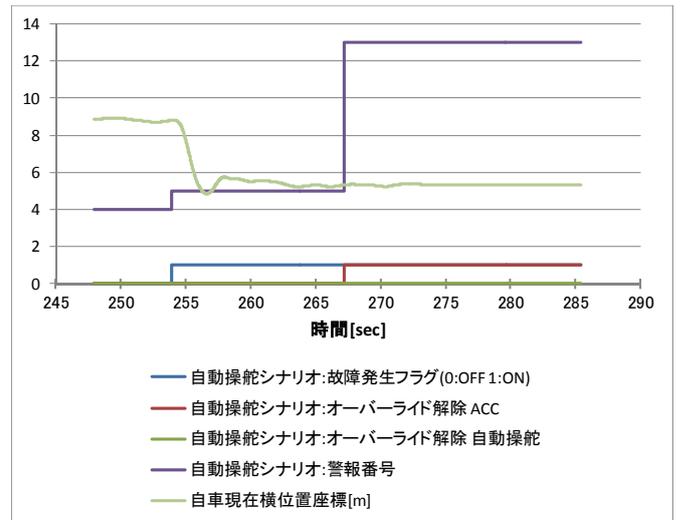
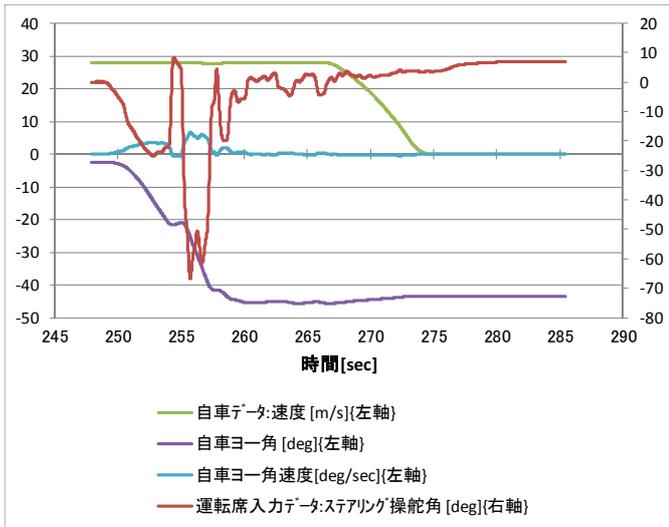
Sub.3 場面 2-c



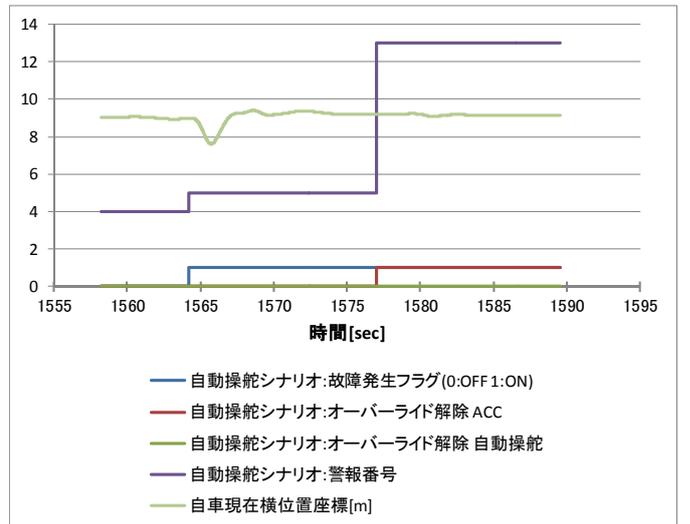
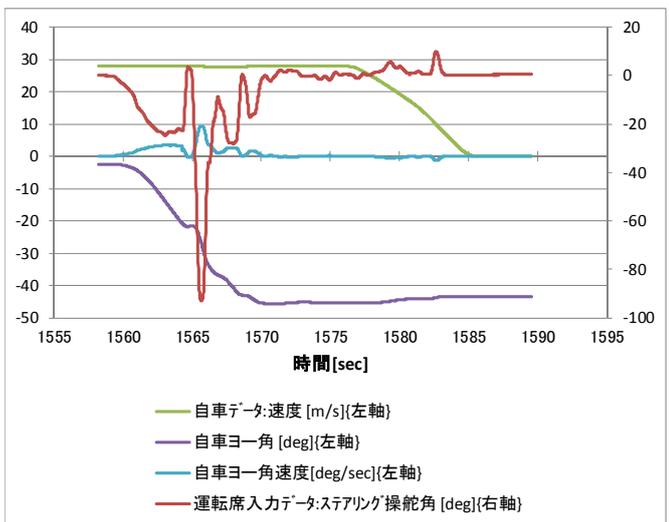
Sub.3 場面 2-d



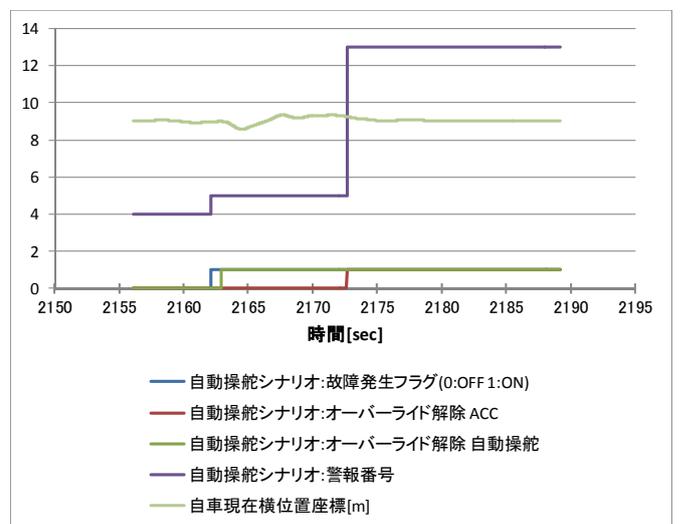
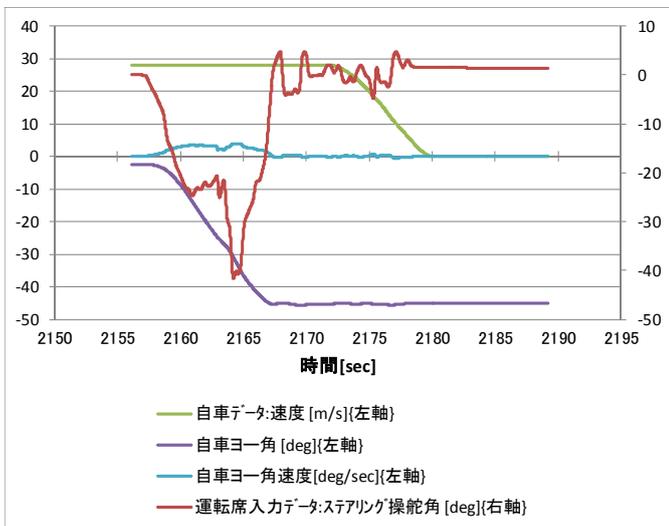
Sub.4 場面 1-a



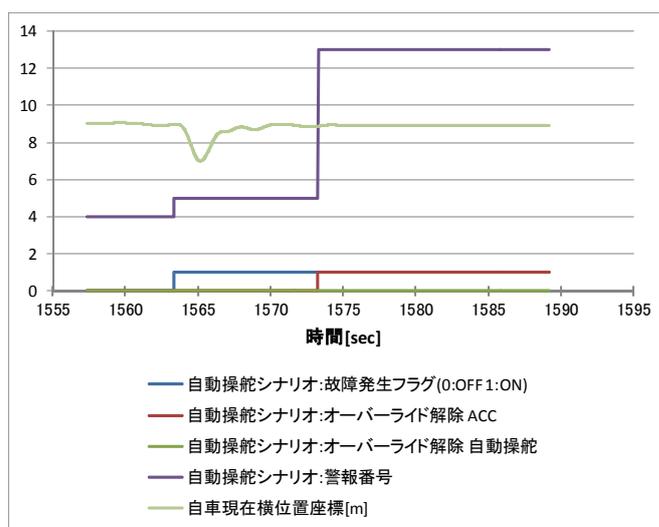
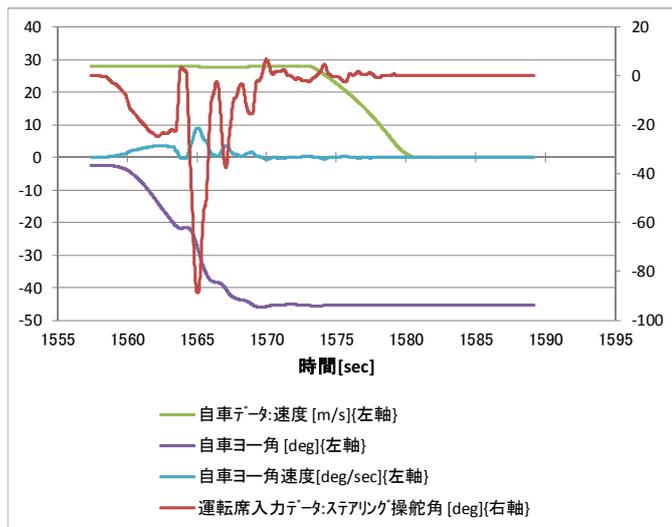
Sub.4 場面 1-b



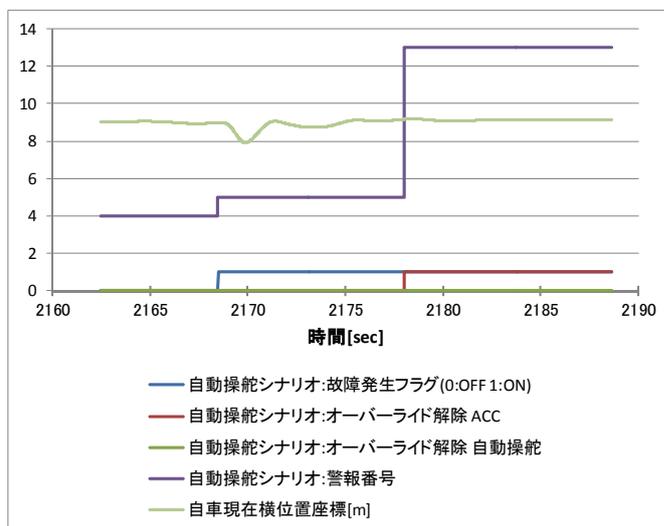
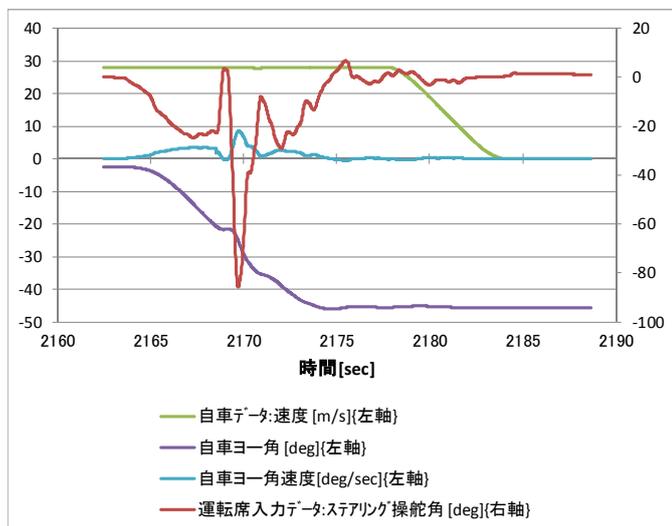
Sub.4 場面 1-c



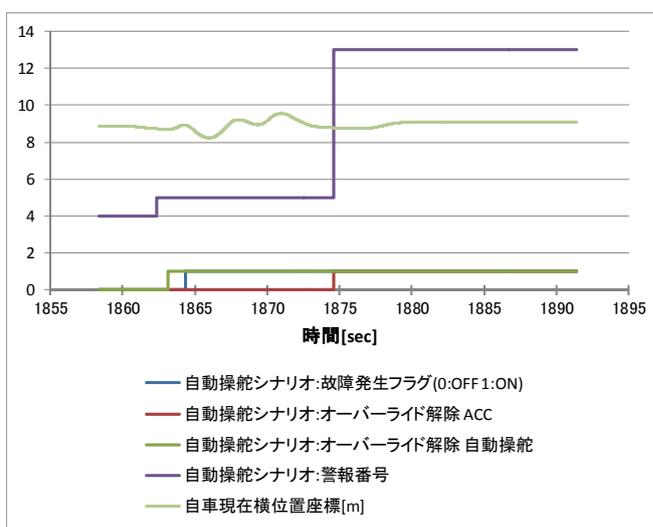
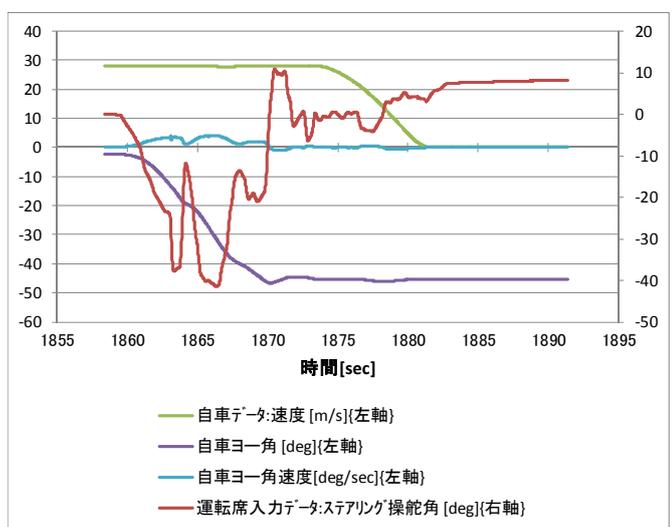
Sub.4 場面 1-d



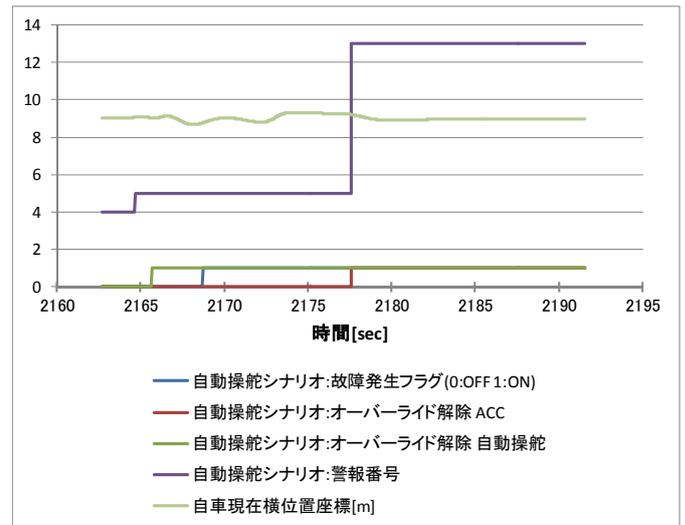
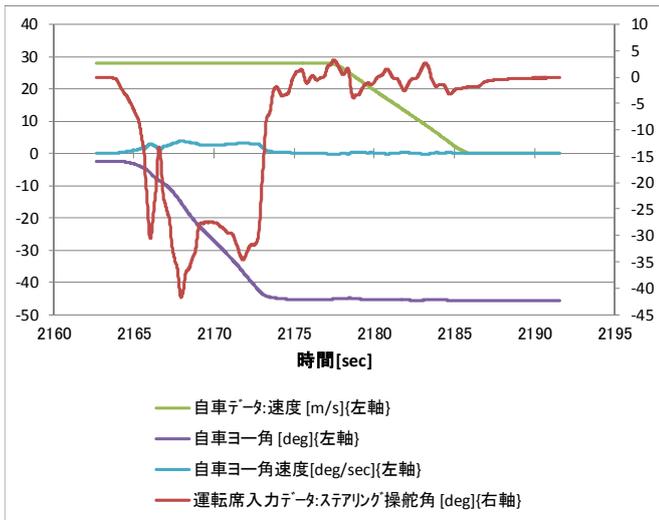
Sub.4 場面 1-e



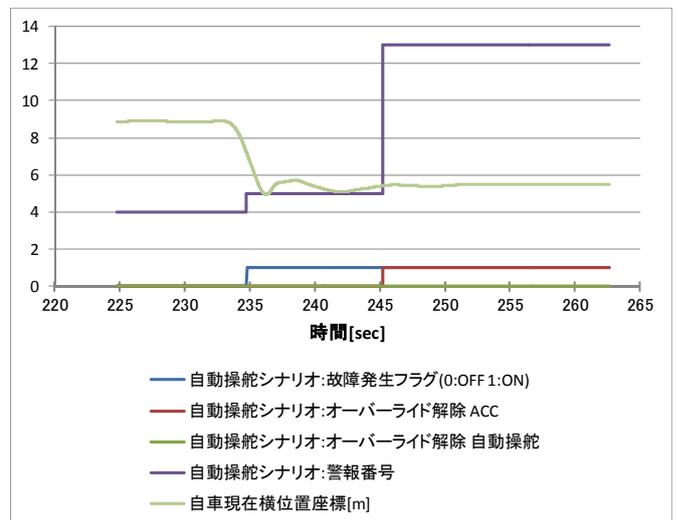
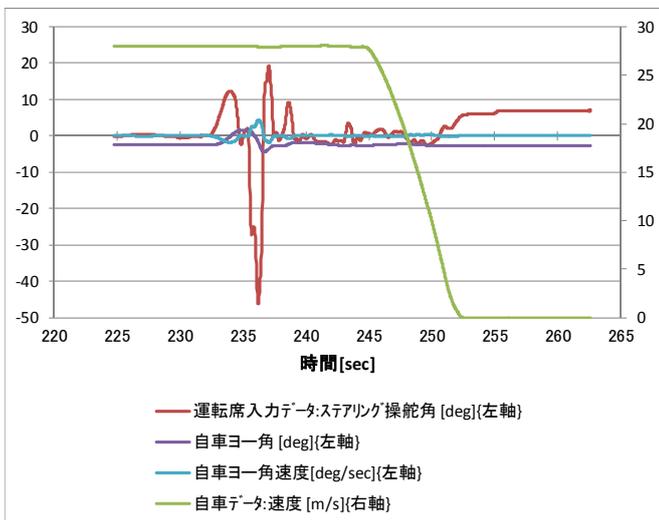
Sub.4 場面 1-f



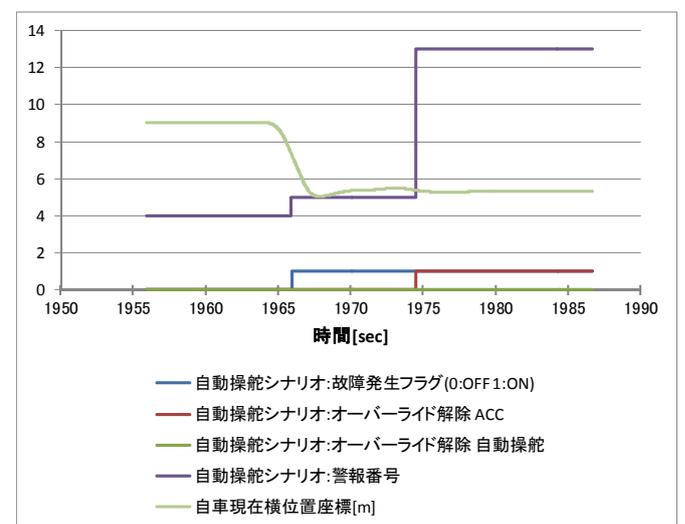
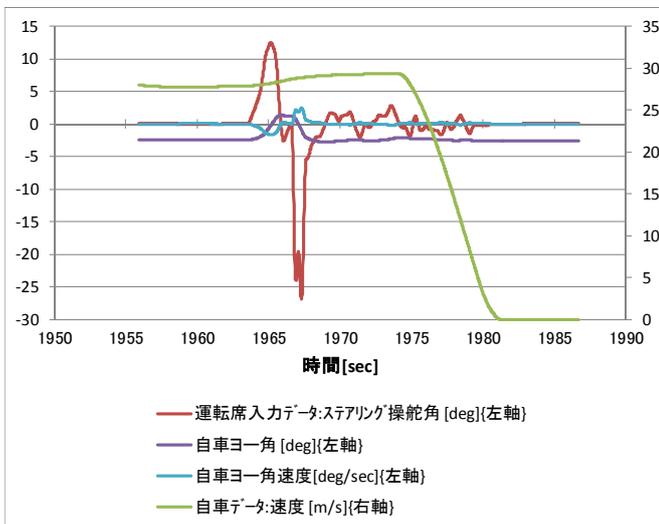
Sub.4 場面 1-g



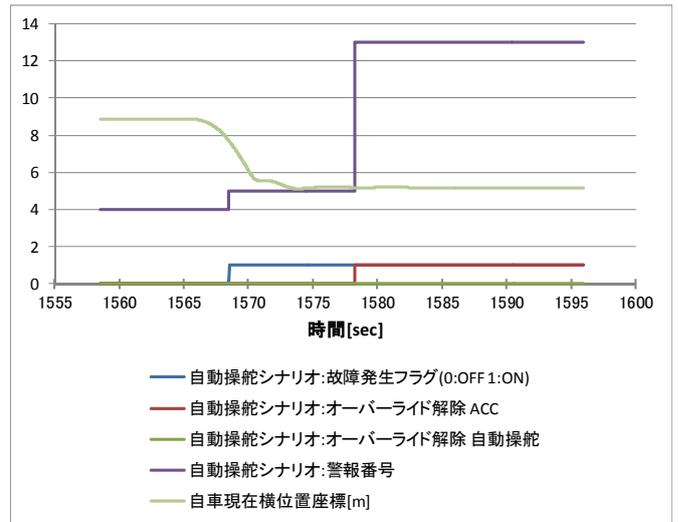
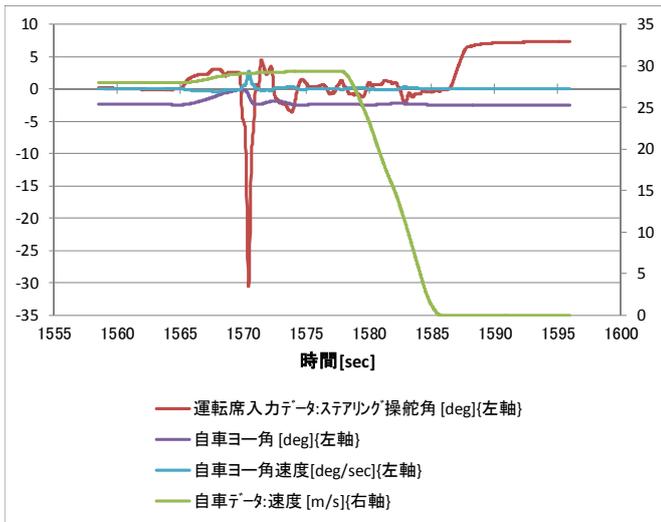
Sub.4 場面 2-a



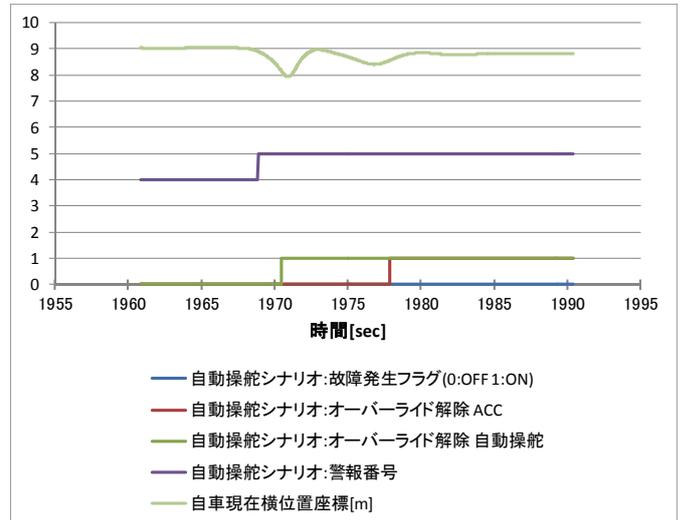
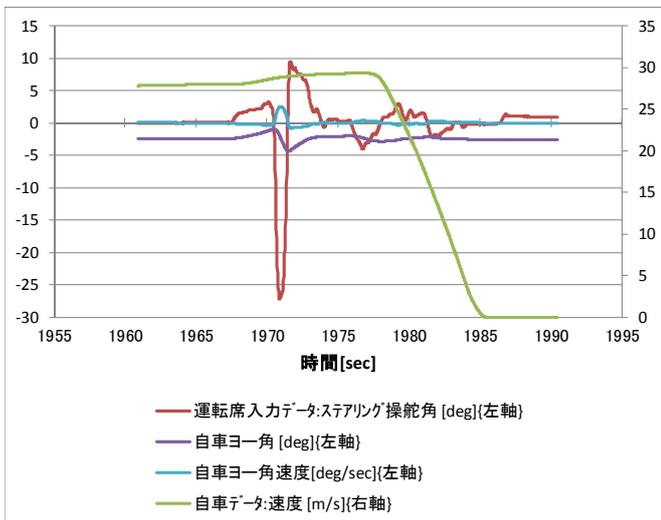
Sub.4 場面 2-b



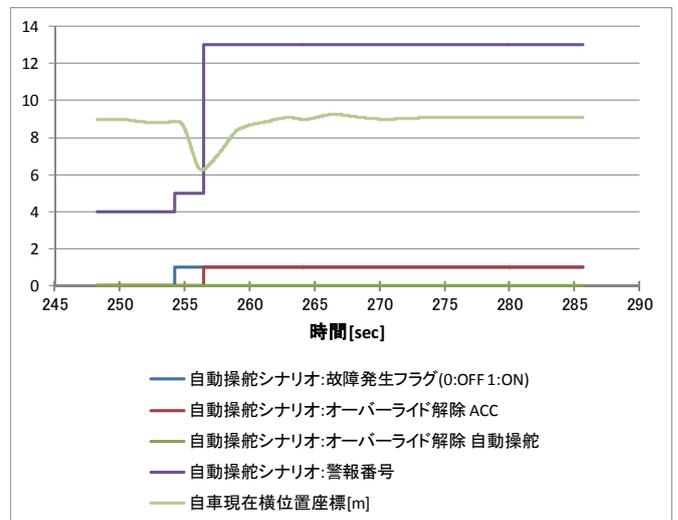
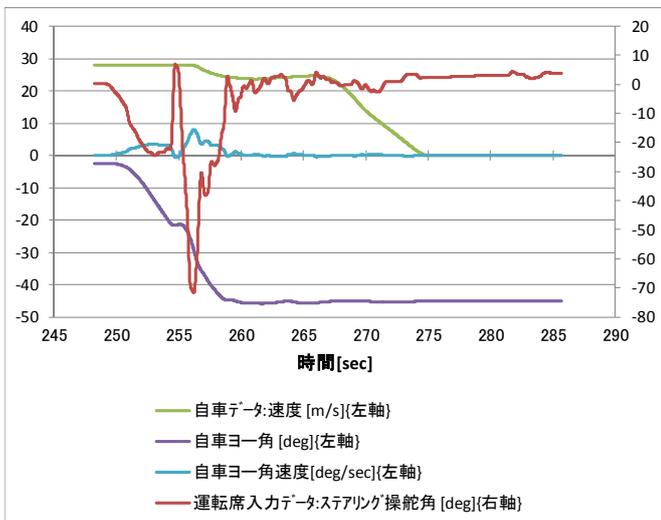
Sub.4 場面 2-c



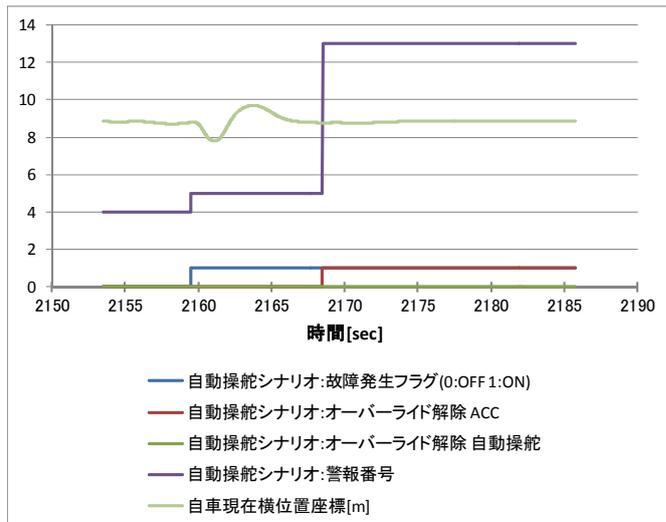
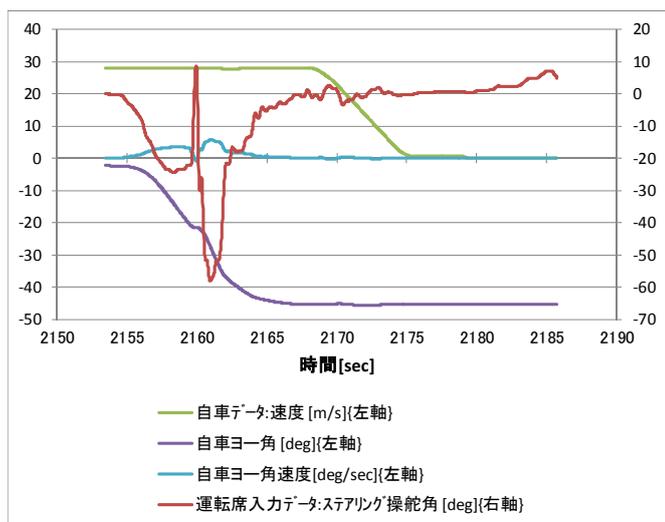
Sub.4 場面 2-d



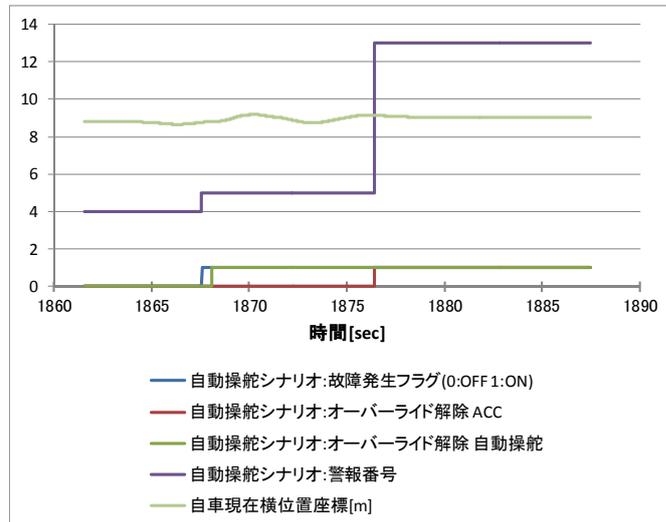
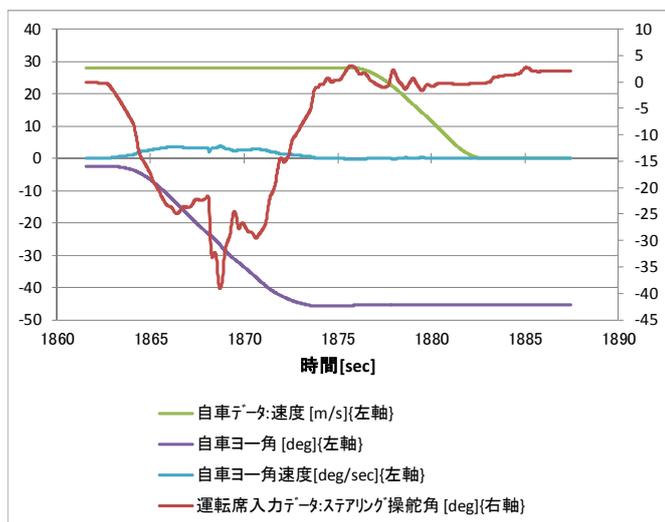
Sub.5 場面 1-a



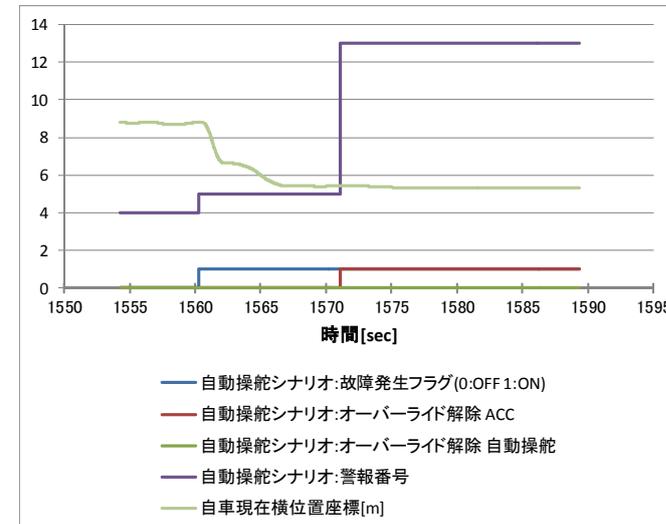
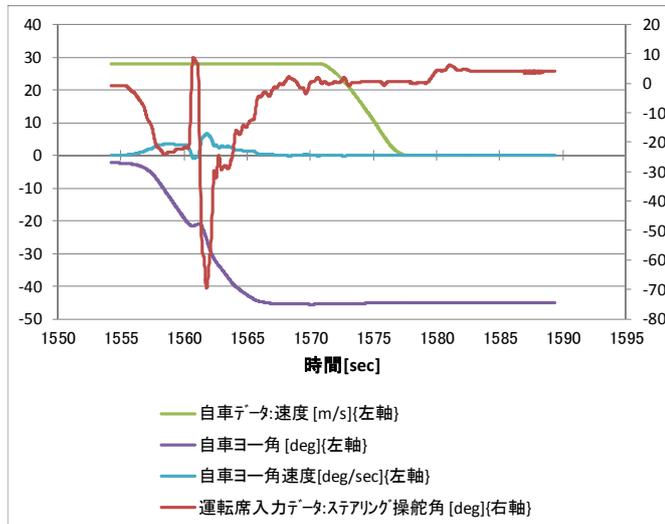
Sub.5 場面 1-b



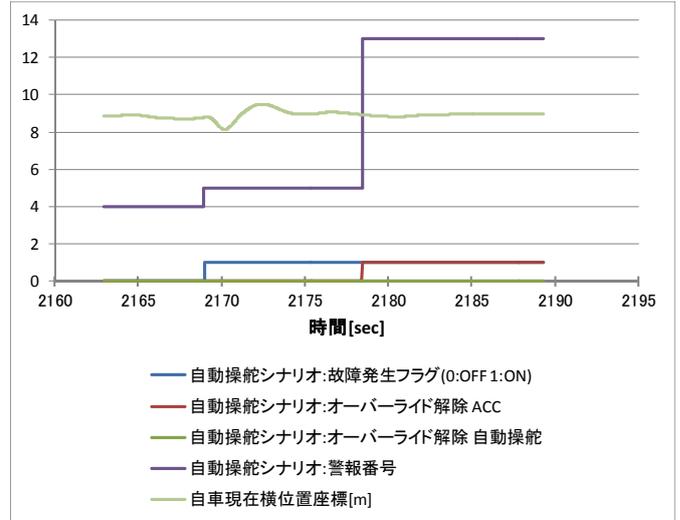
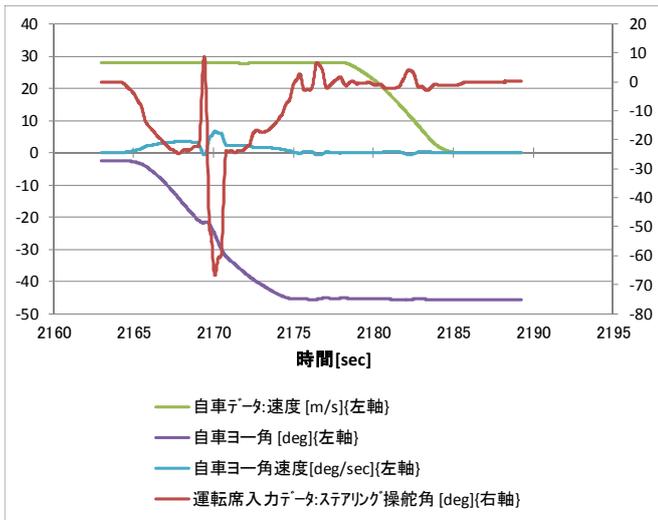
Sub.5 場面 1-c



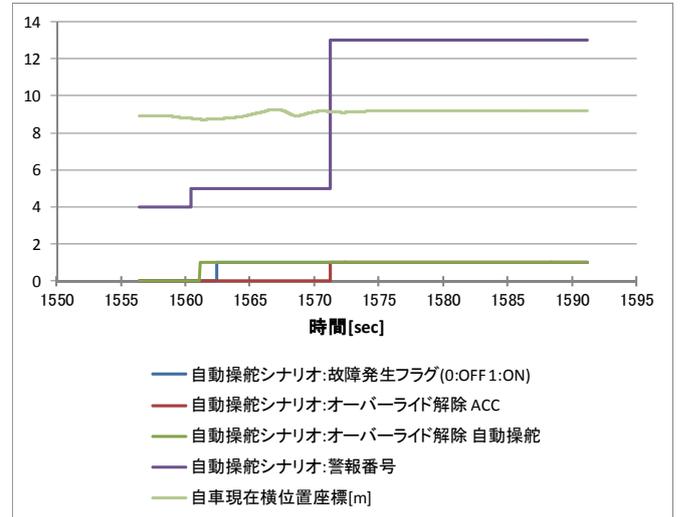
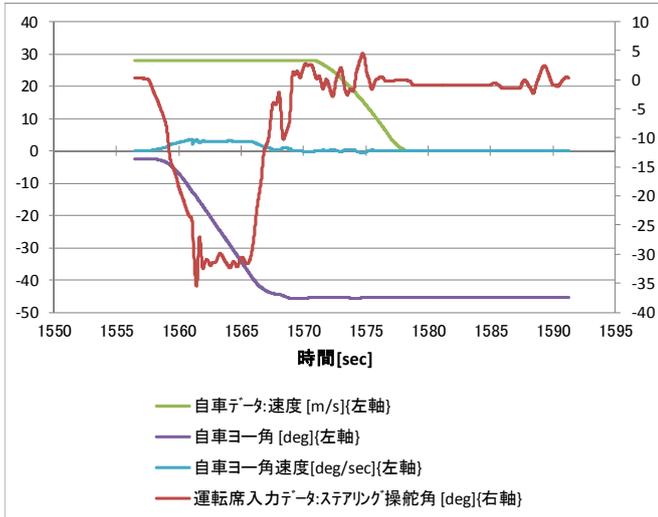
Sub.5 場面 1-d



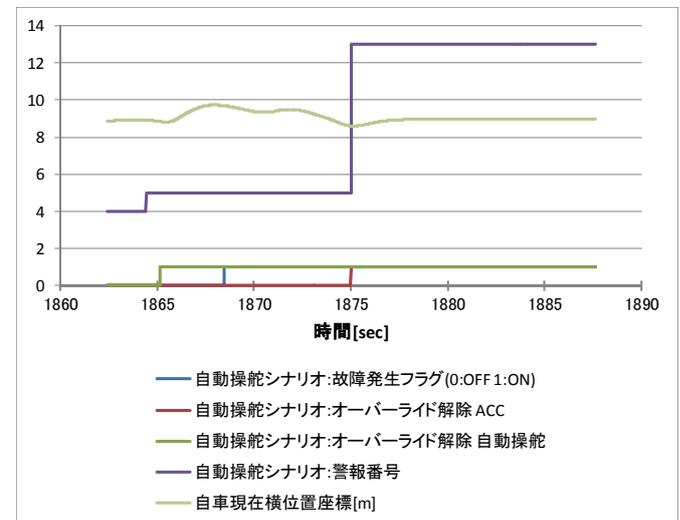
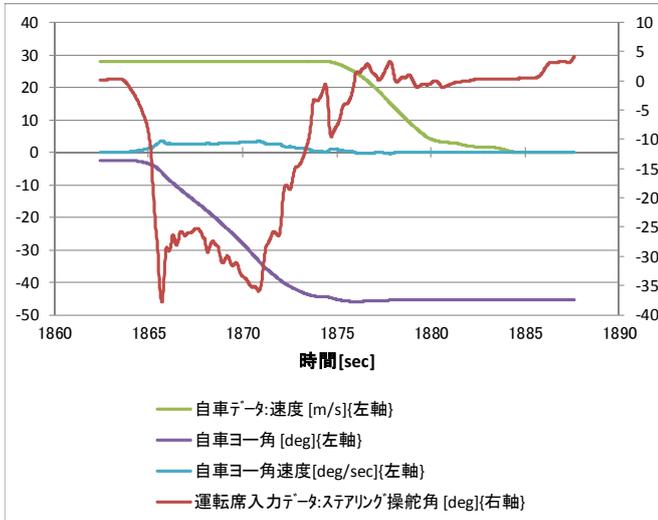
Sub.5 場面 1-e



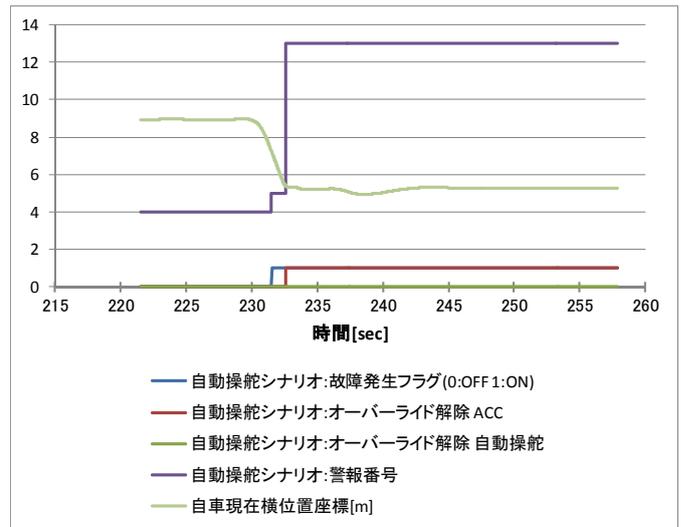
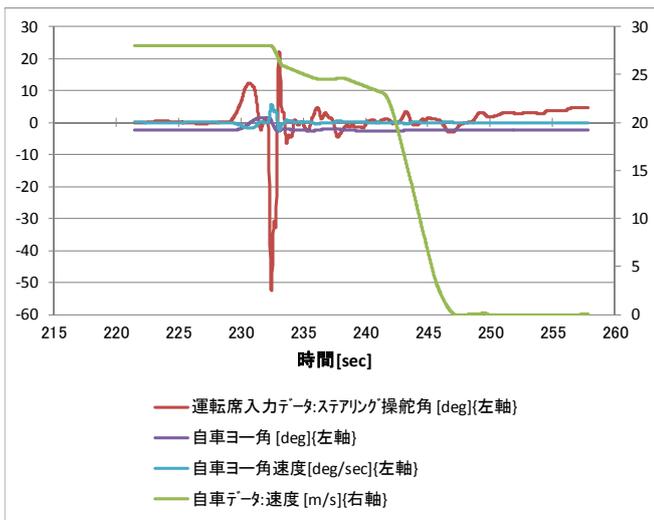
Sub.5 場面 1-f



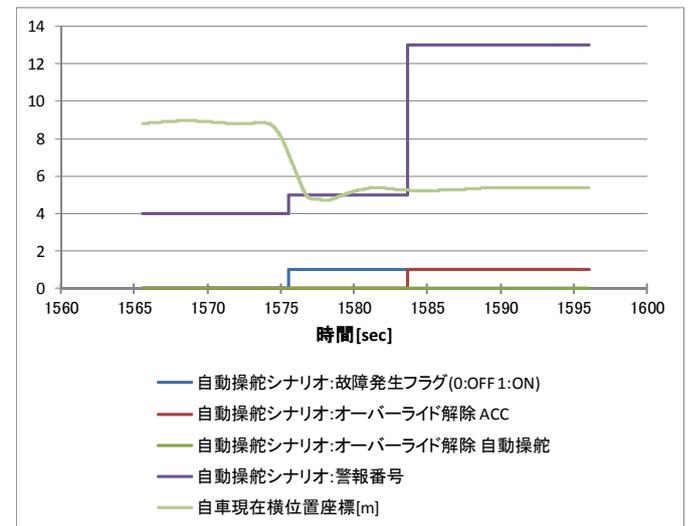
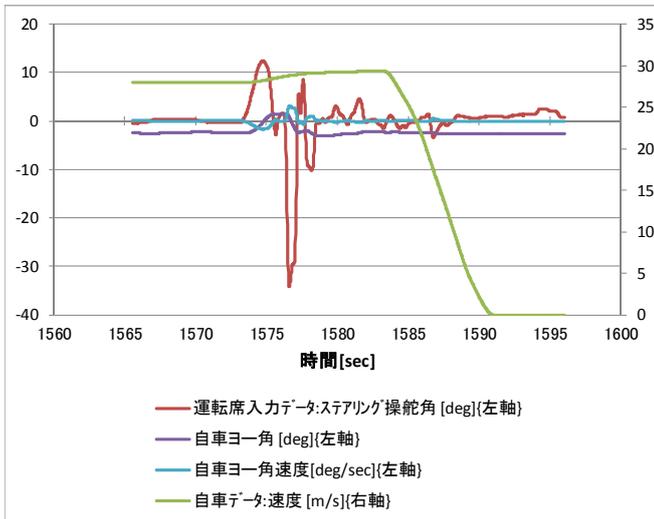
Sub.5 場面 1-g



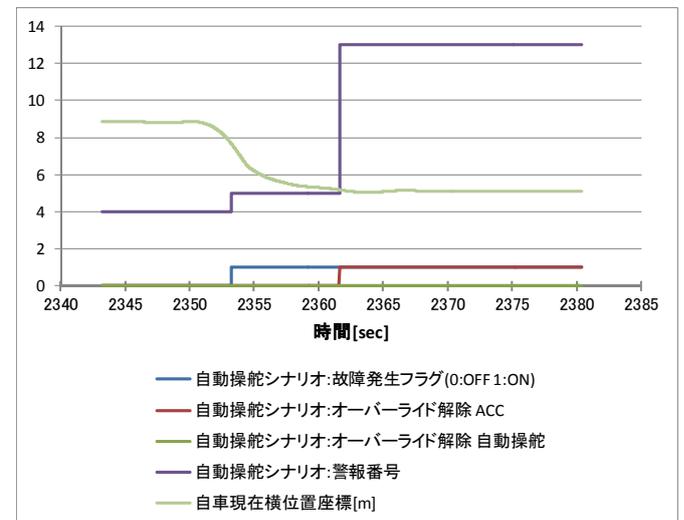
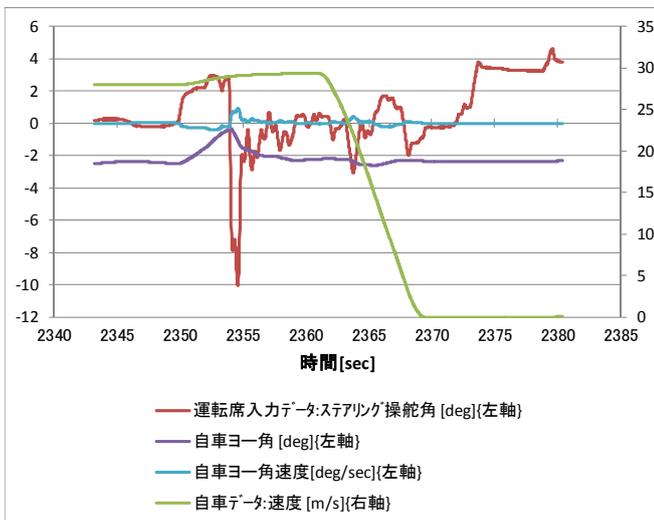
Sub.5 場面 2-a



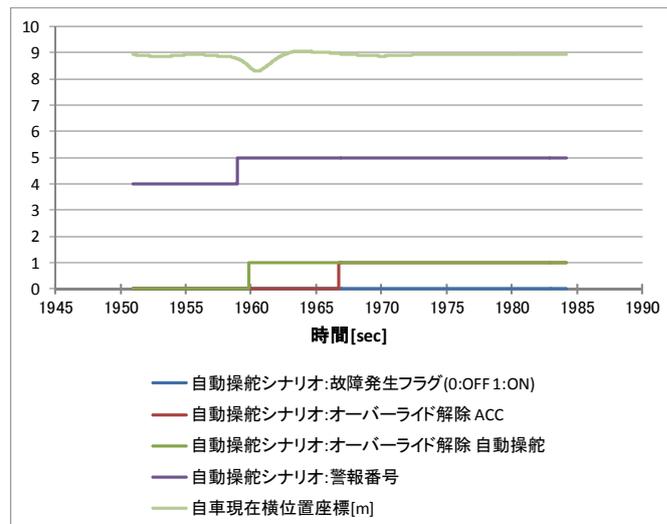
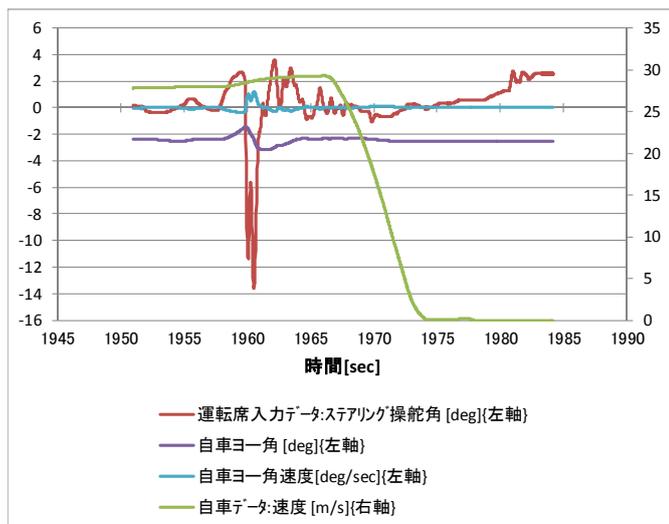
Sub.5 場面 2-b



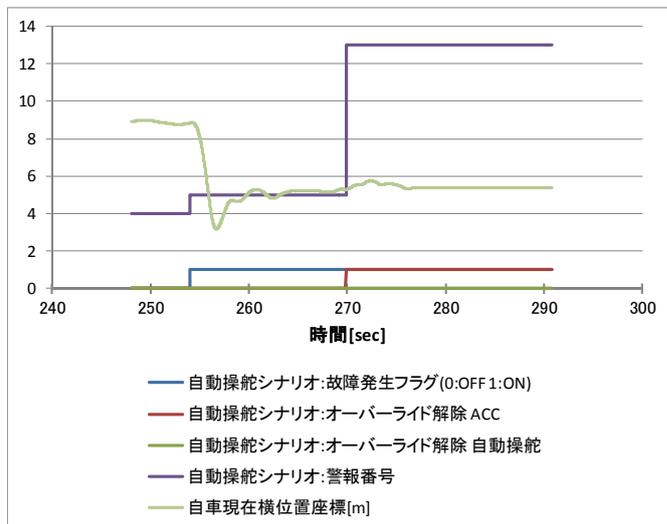
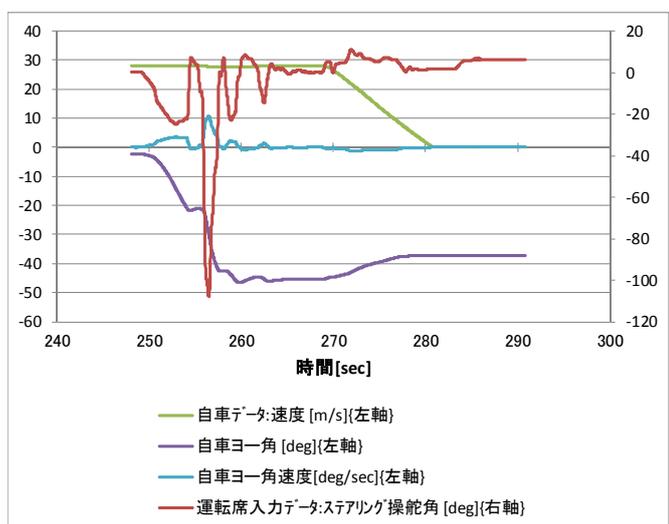
Sub.5 場面 2-c



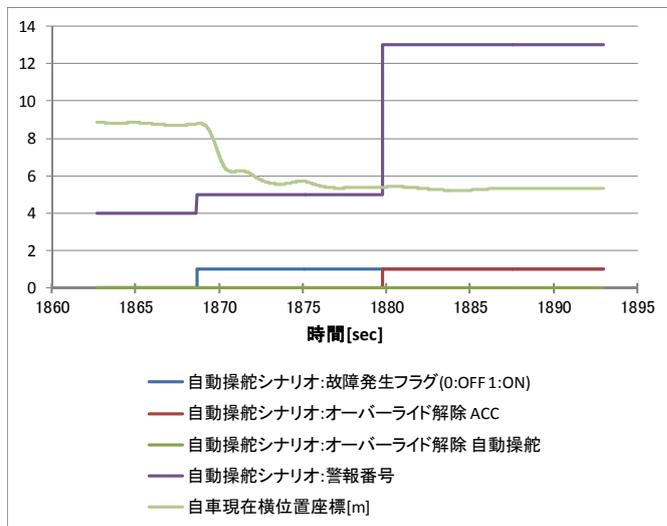
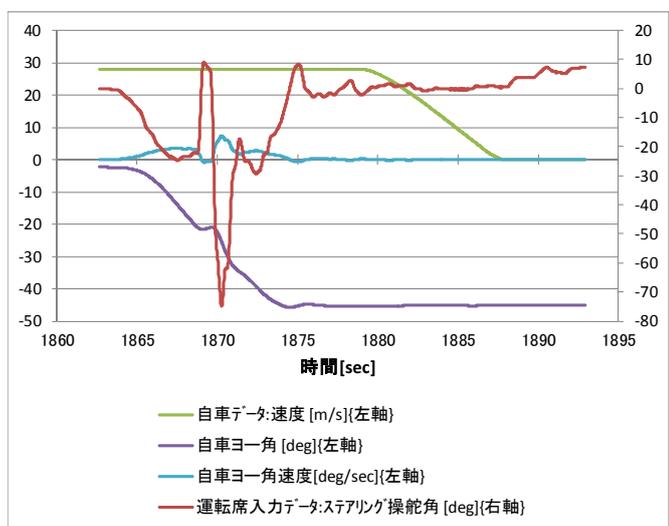
Sub.5 場面 2-d



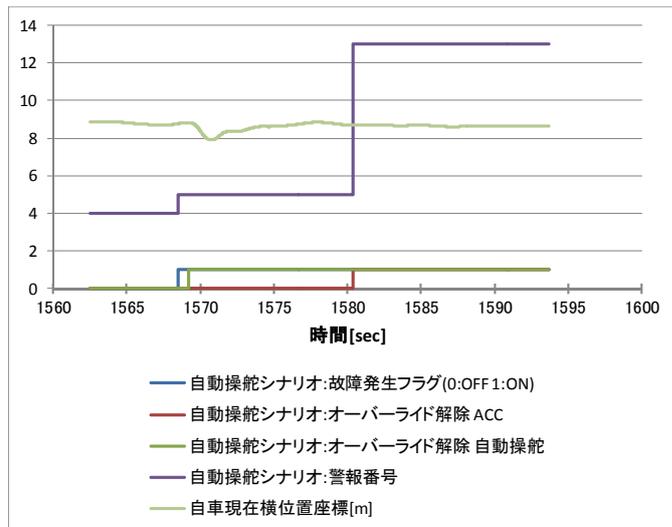
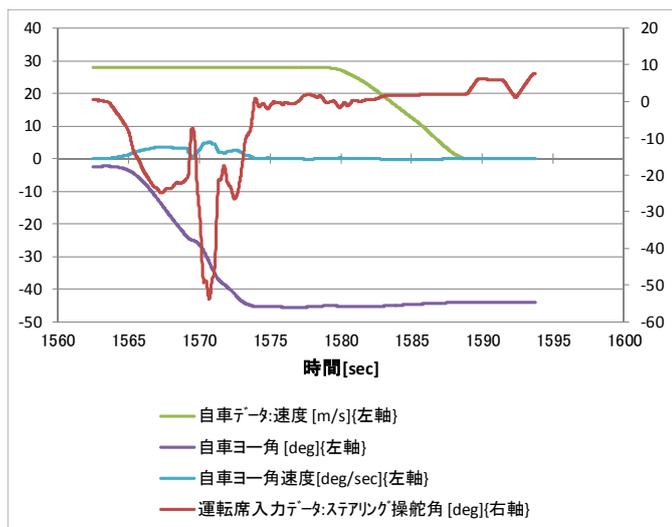
Sub.6 場面 1-a



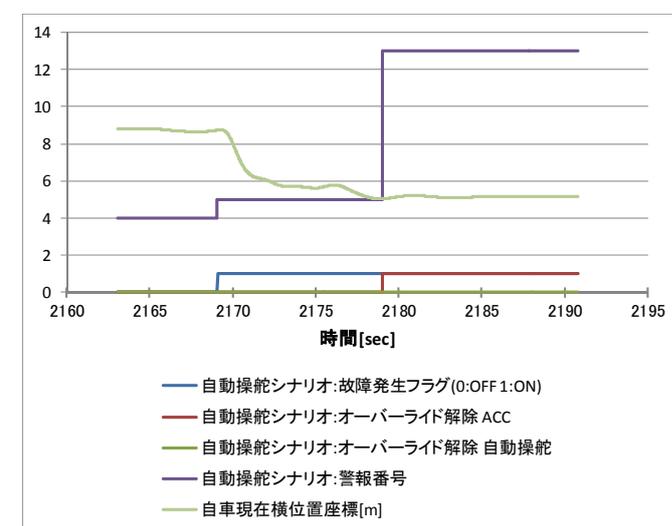
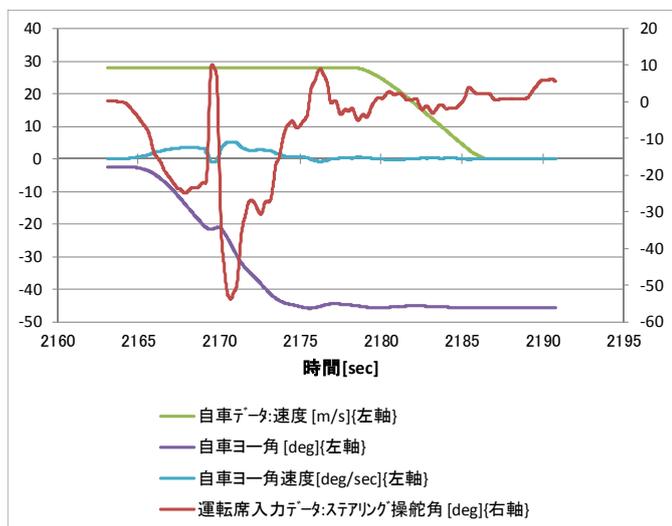
Sub.6 場面 1-b



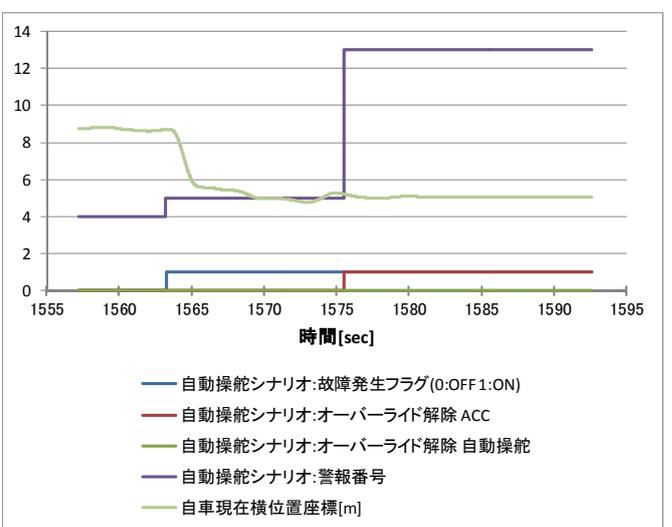
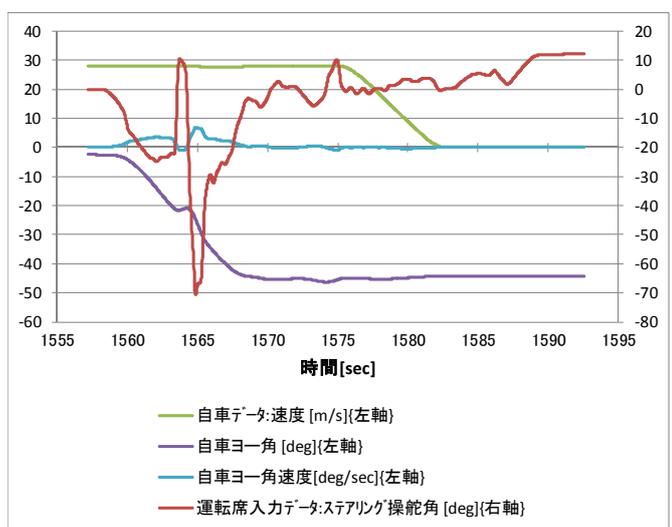
Sub.6 場面 1-c



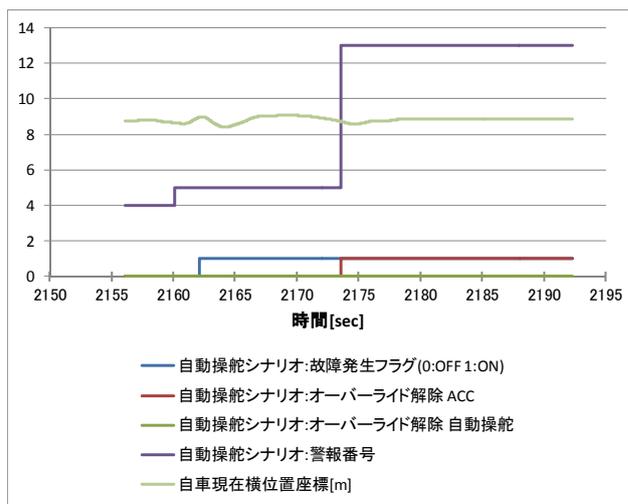
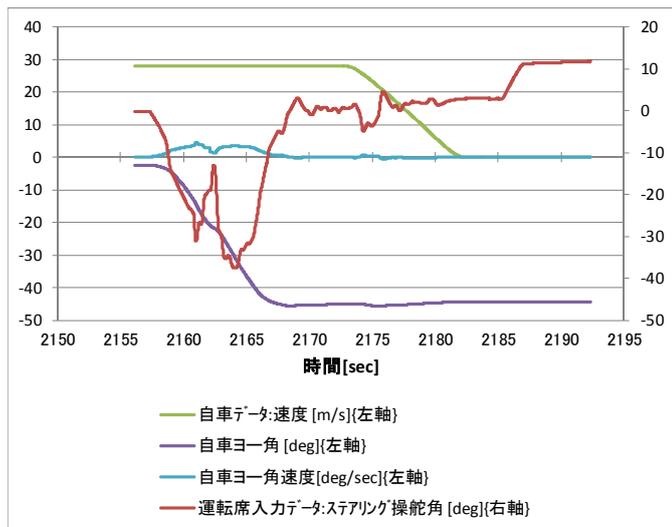
Sub.6 場面 1-d



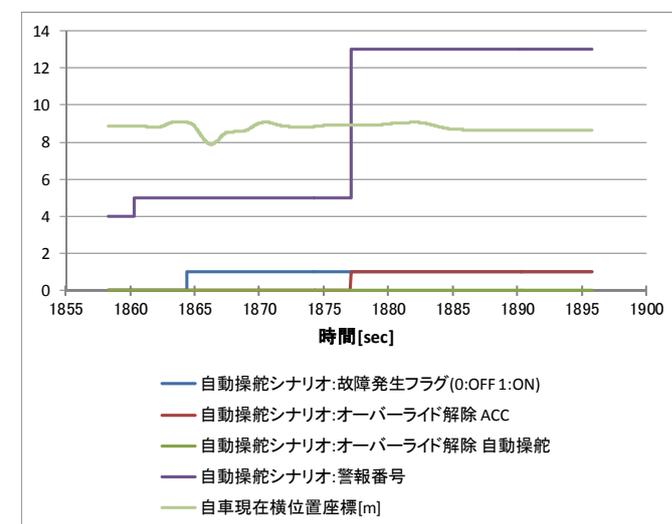
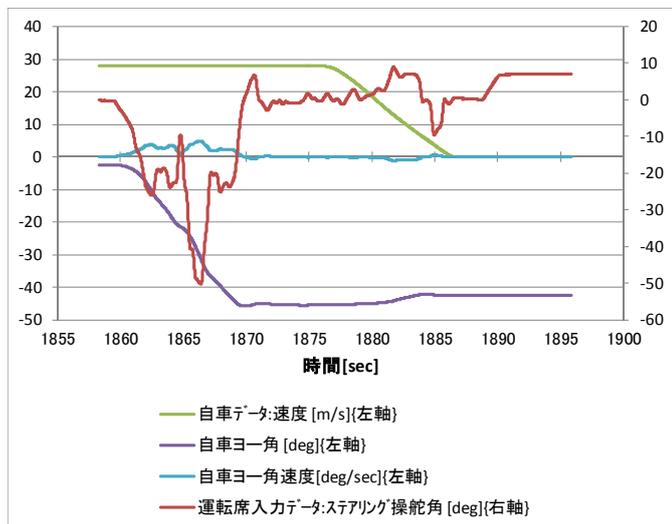
Sub.6 場面 1-e



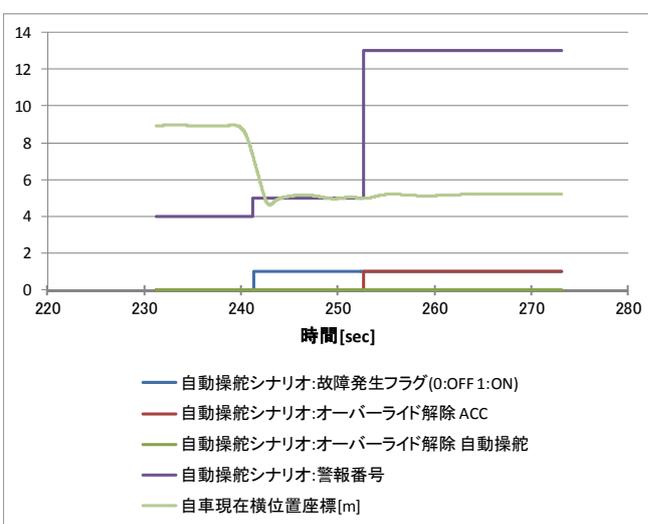
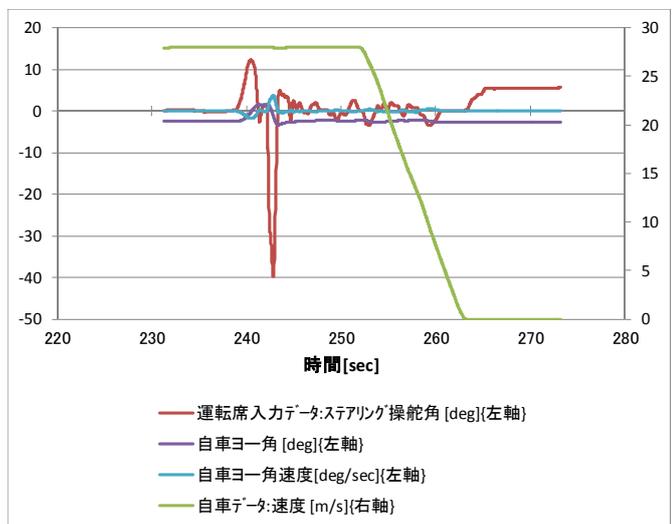
Sub.6 場面 1-f



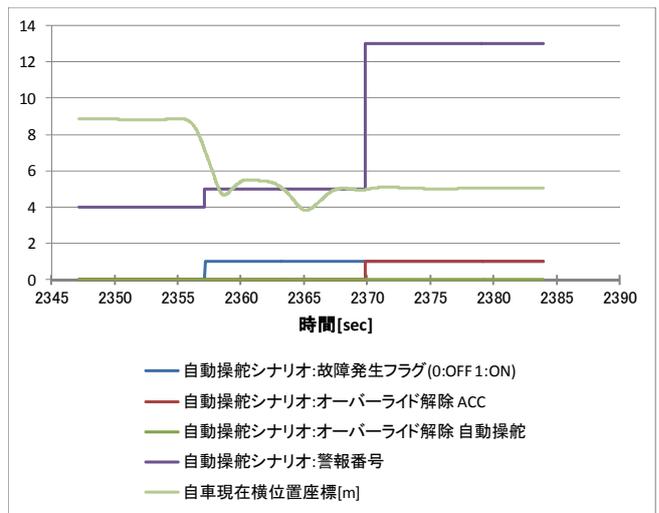
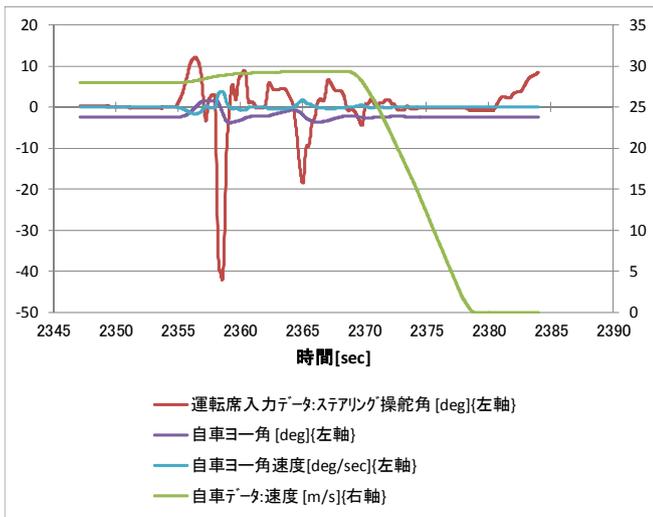
Sub.6 場面 1-g



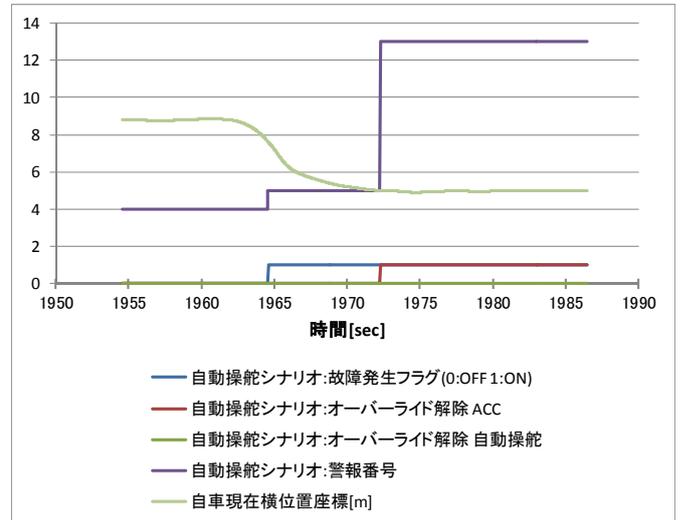
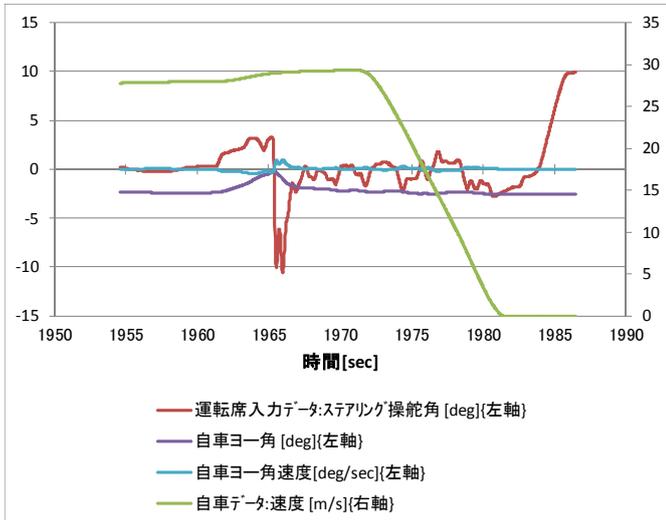
Sub.6 場面 2-a



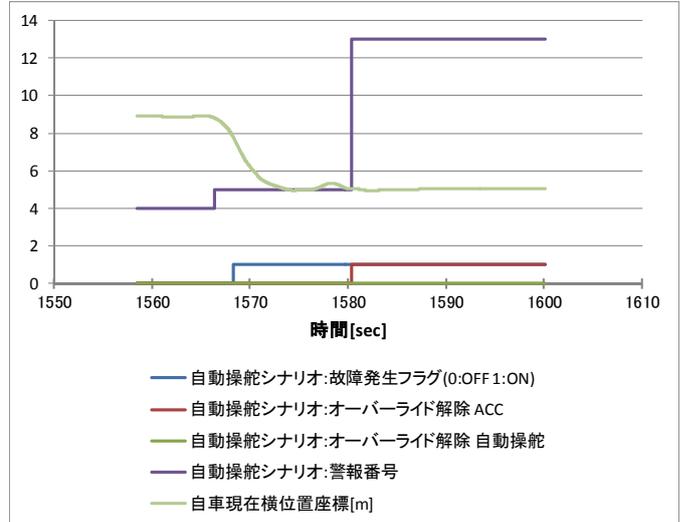
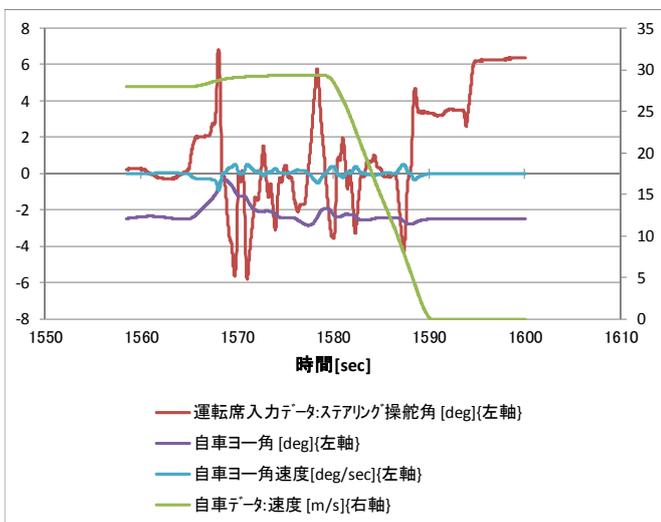
Sub.6 場面 2-b



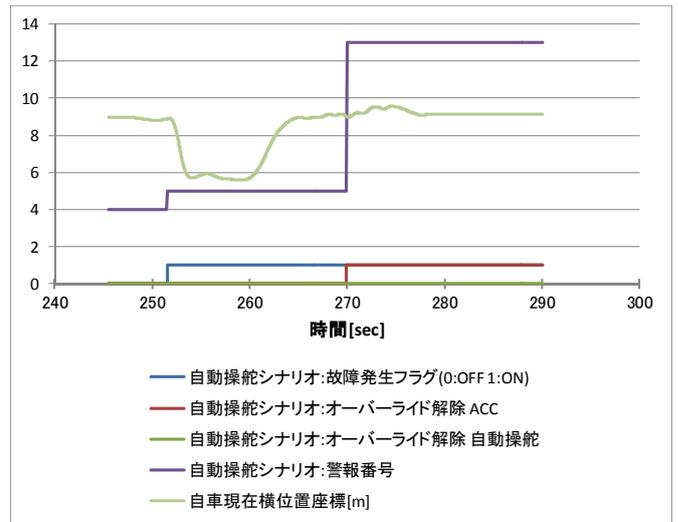
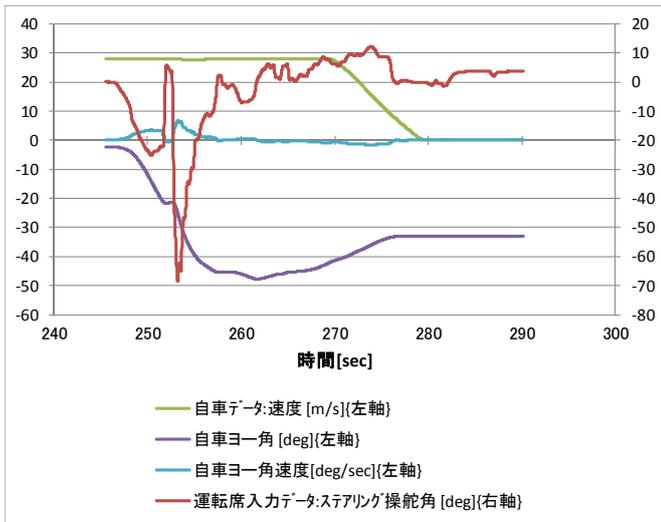
Sub.6 場面 2-c



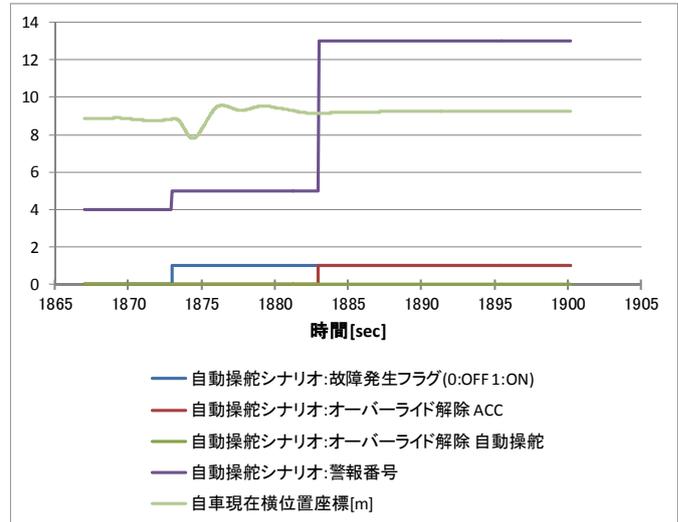
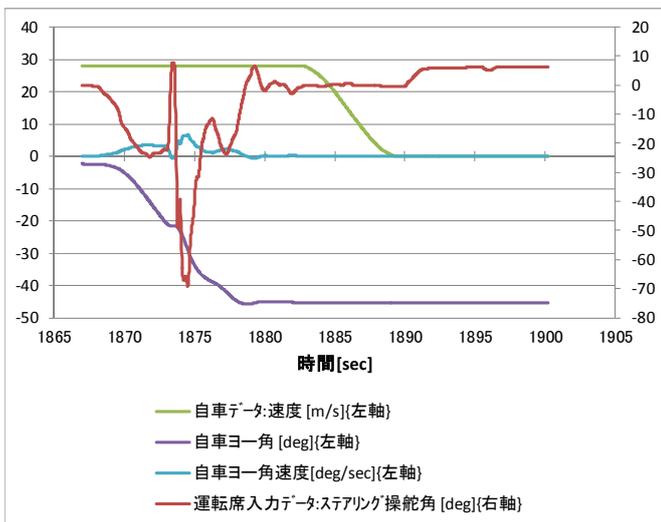
Sub.6 場面 2-d



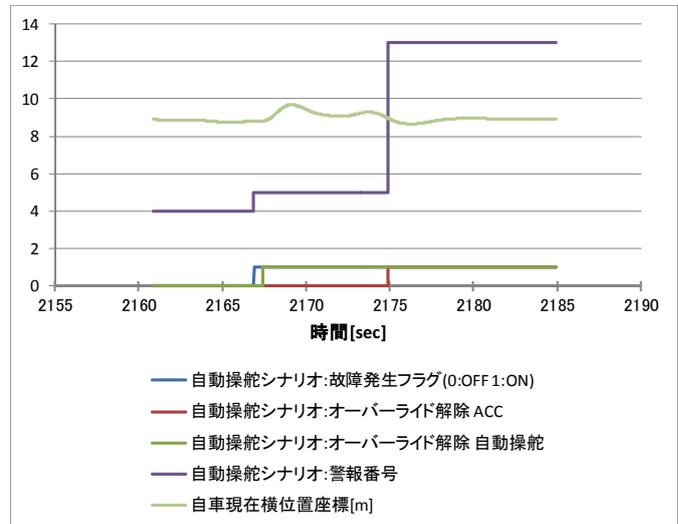
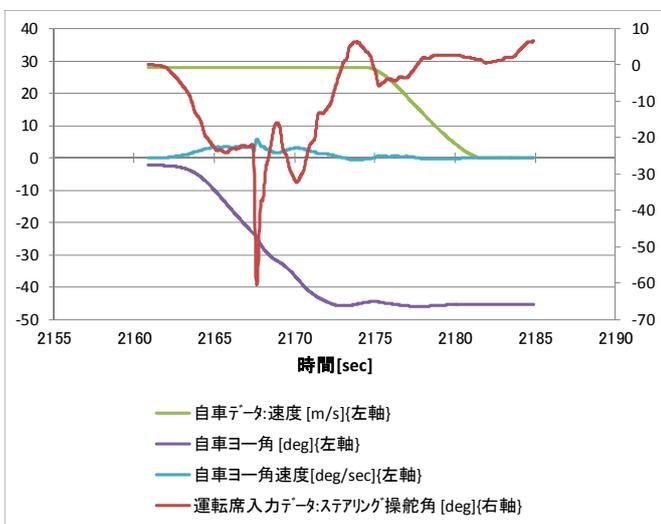
Sub.7 場面 1-a



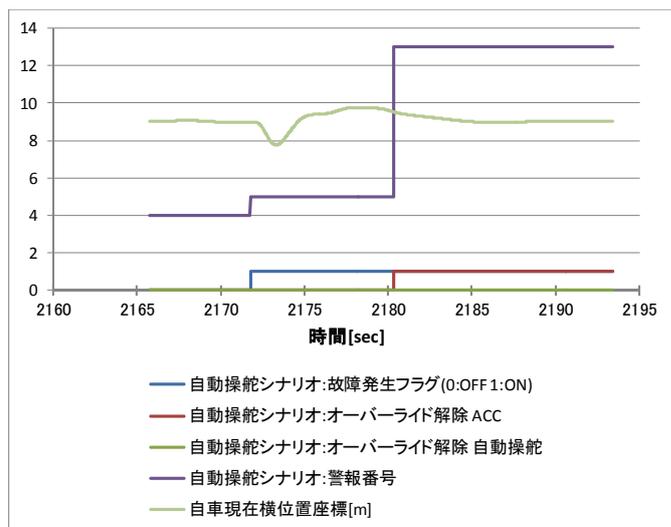
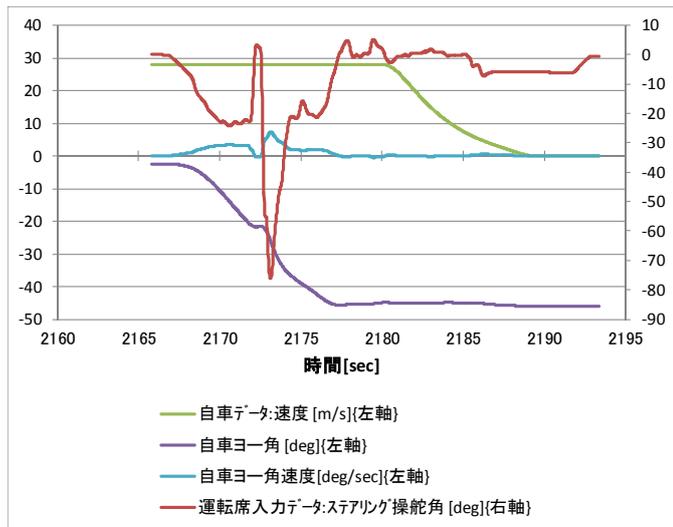
Sub.7 場面 1-b



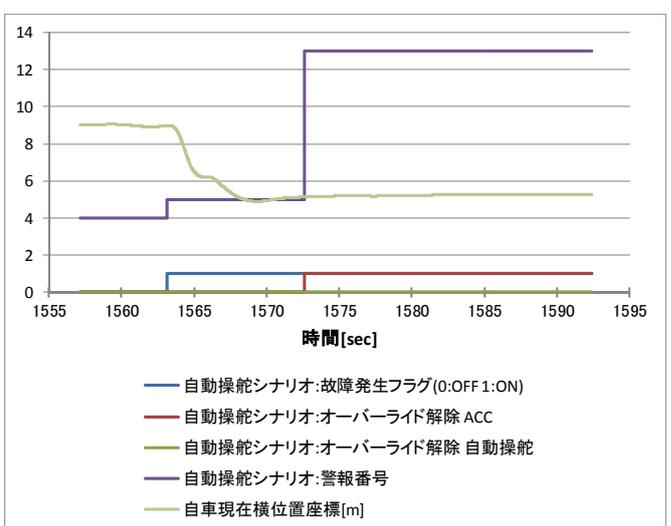
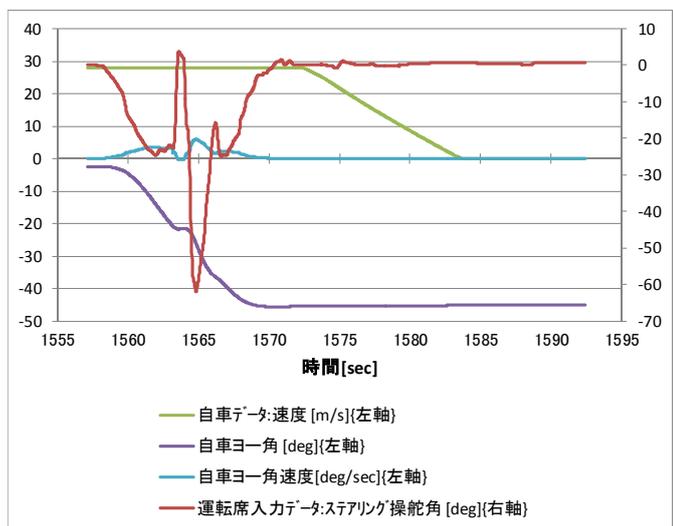
Sub.7 場面 1-c



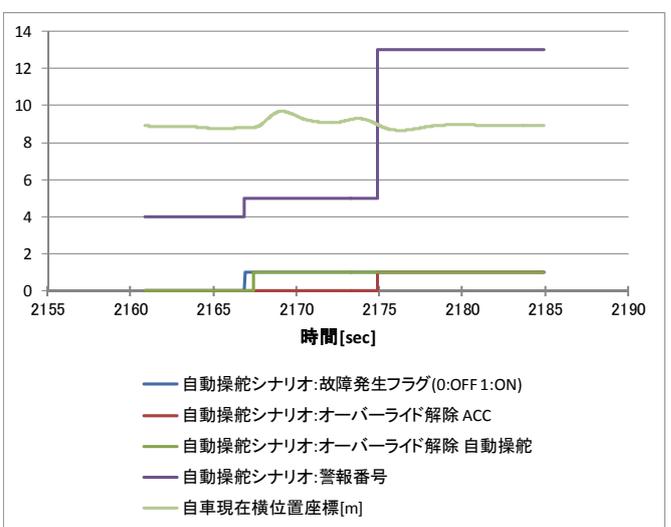
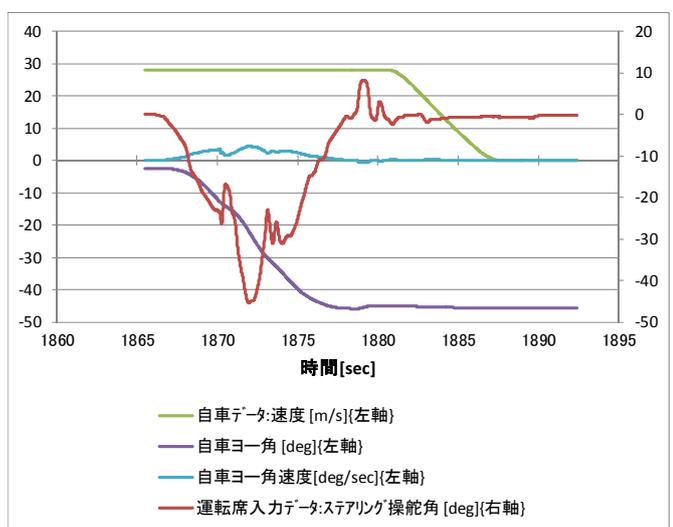
Sub.7 場面 1-d



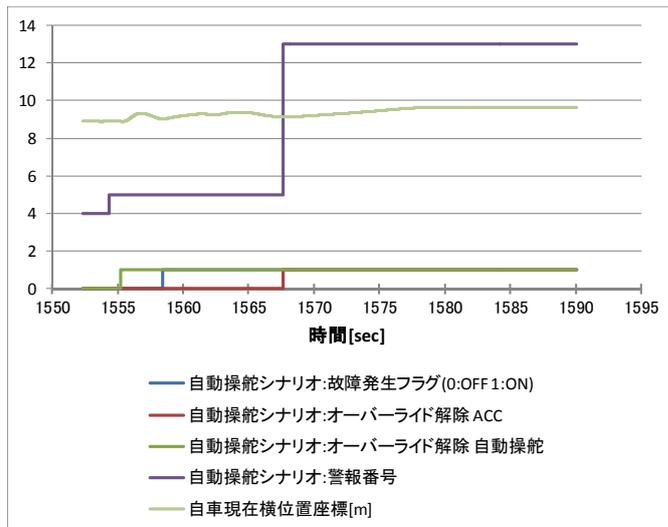
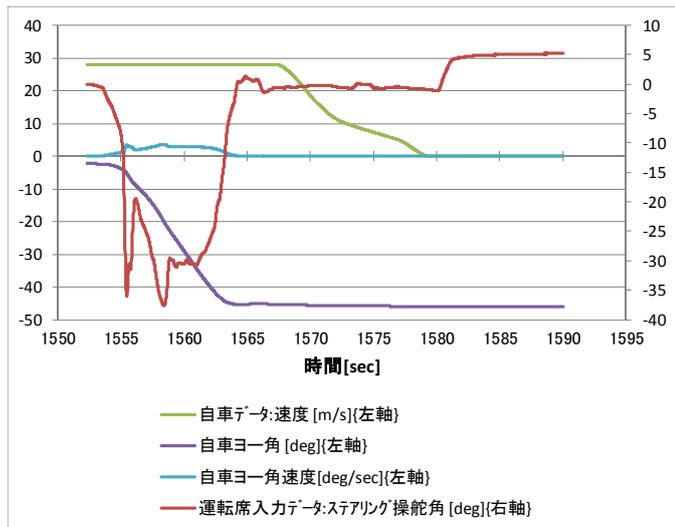
Sub.7 場面 1-e



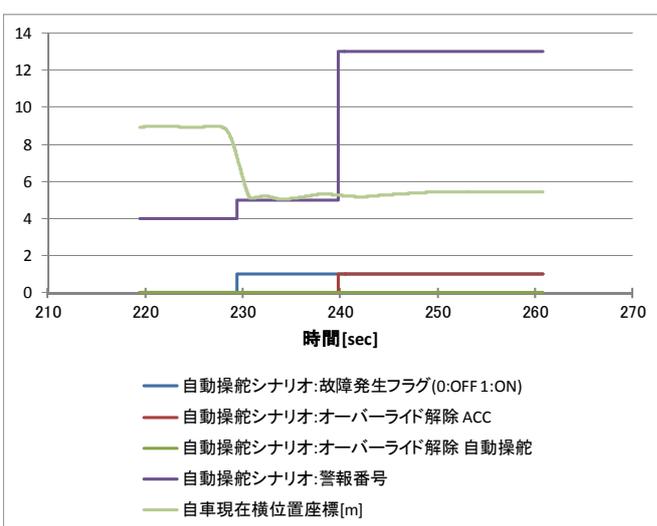
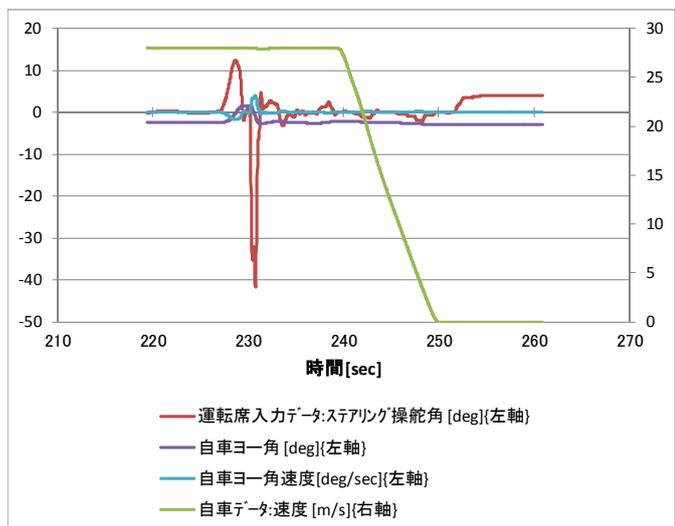
Sub.7 場面 1-f



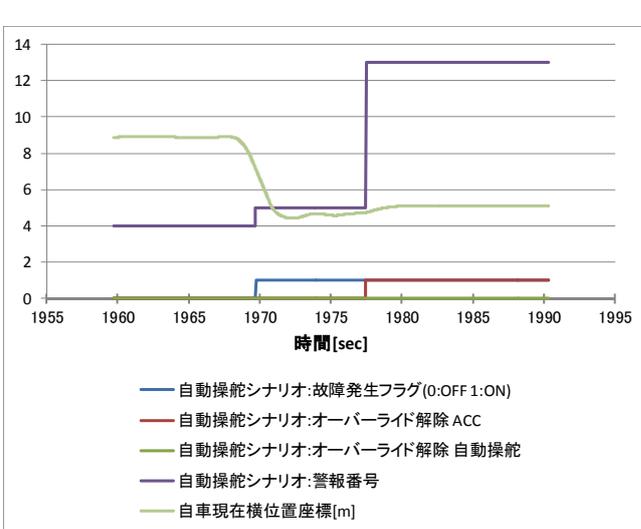
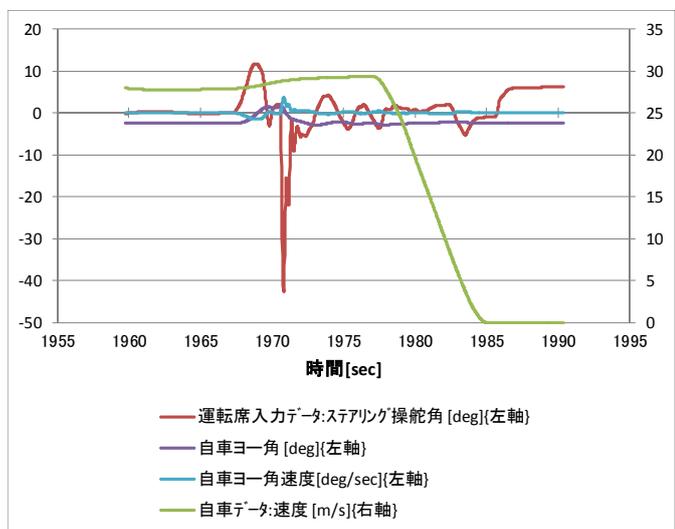
Sub.7 場面 1-g



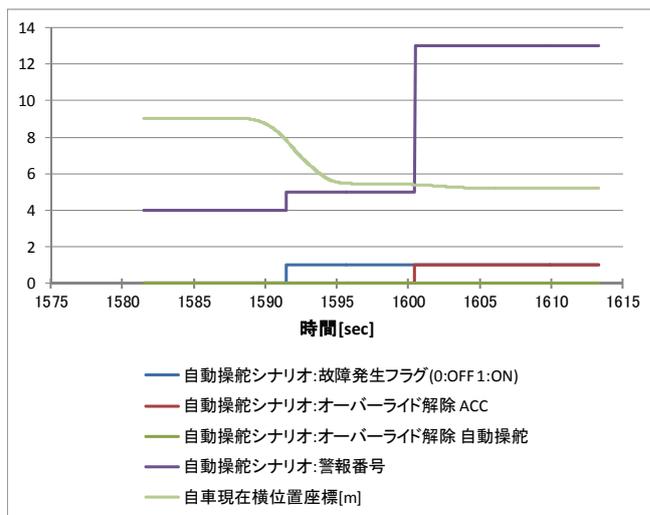
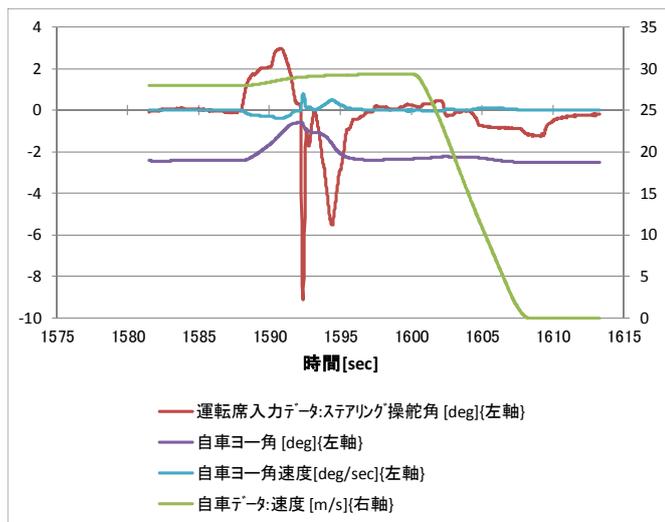
Sub.7 場面 2-a



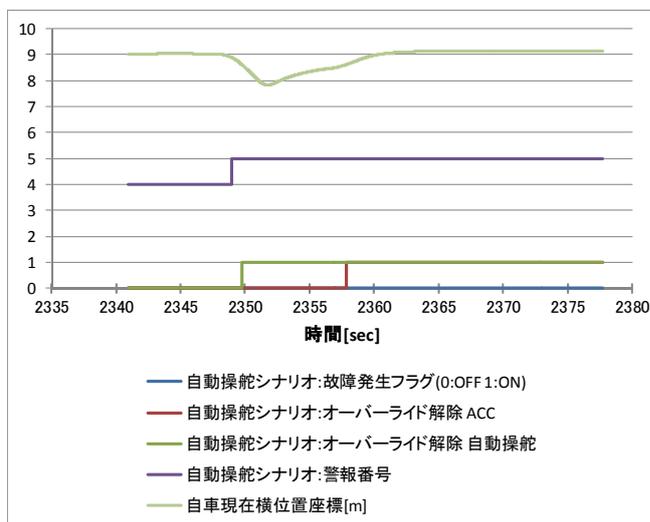
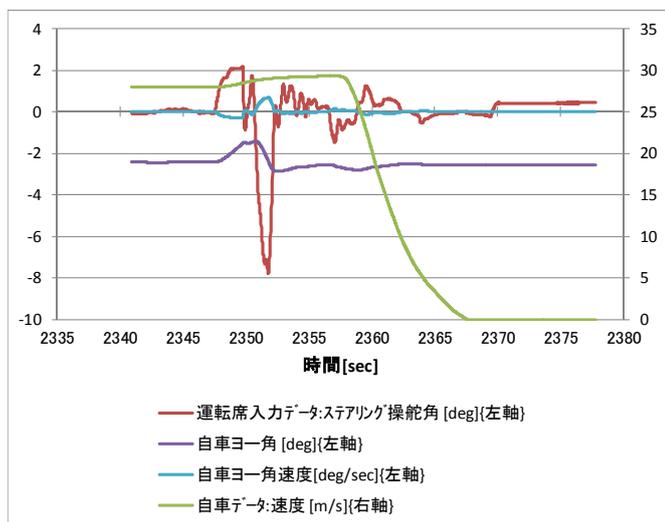
Sub.7 場面 2-b



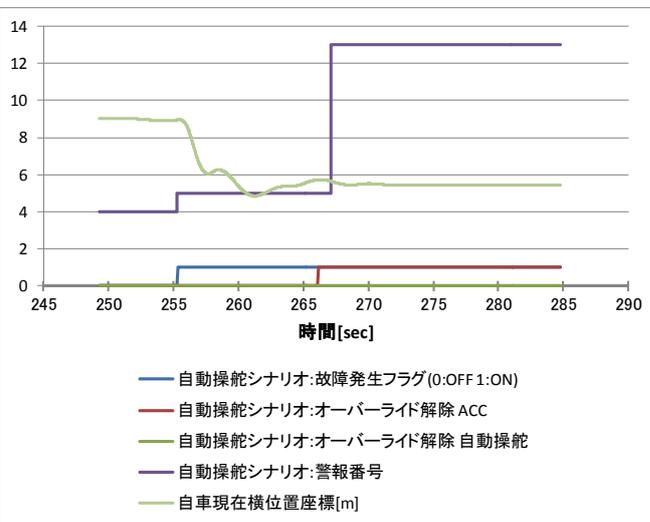
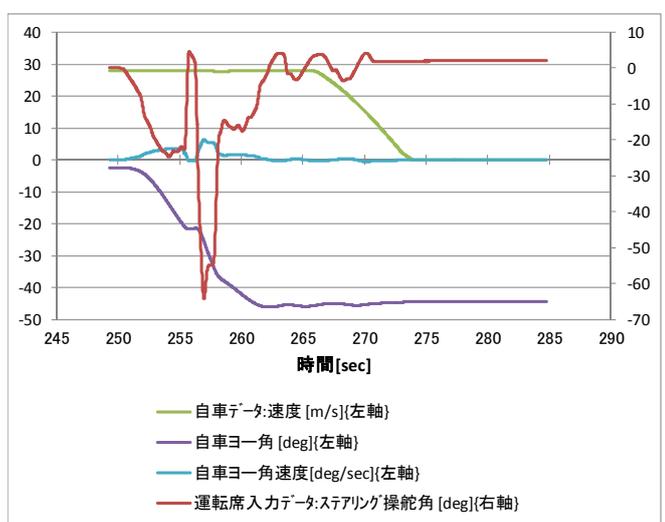
Sub.7 場面 2-c



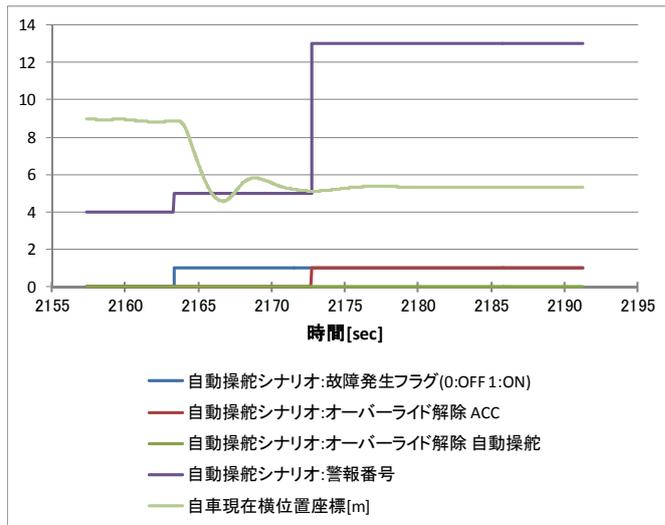
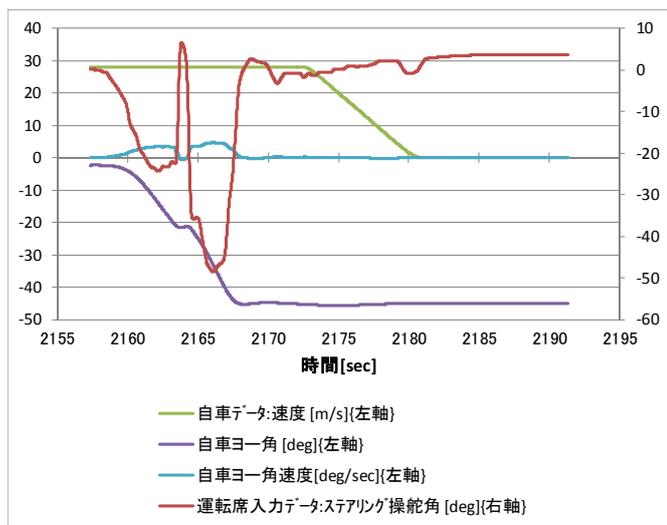
Sub.7 場面 2-d



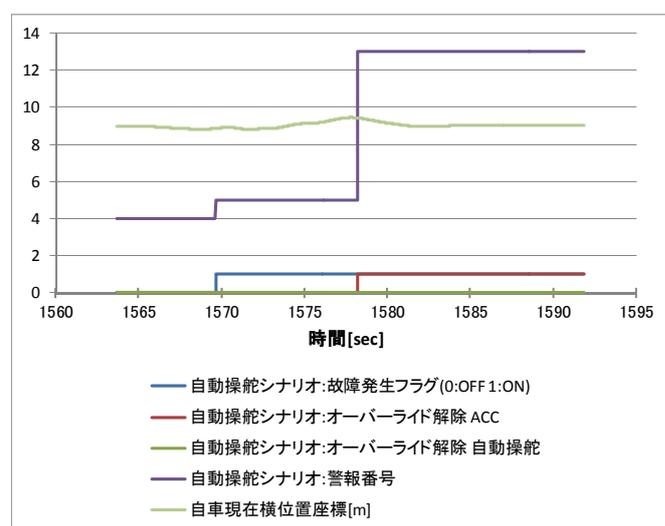
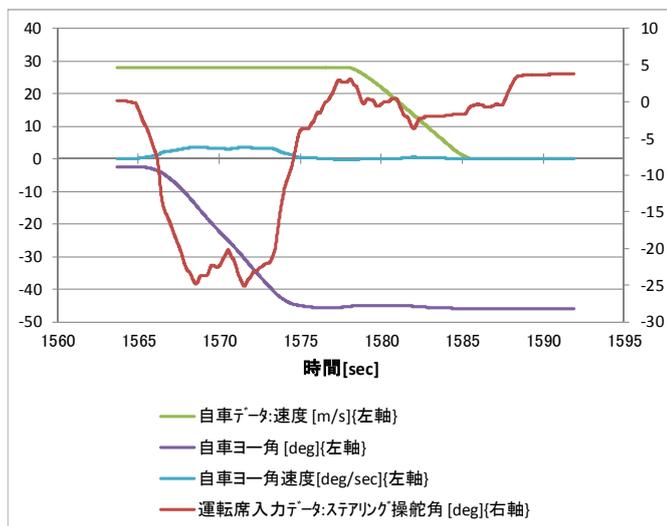
Sub.8 場面 1-a



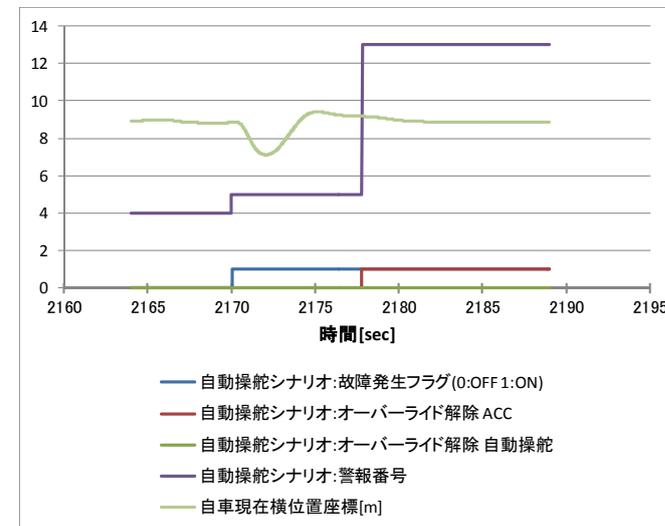
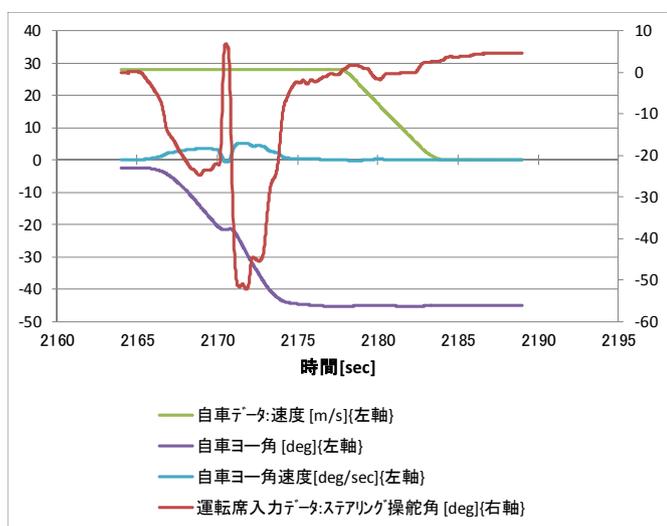
Sub.8 場面 1-b



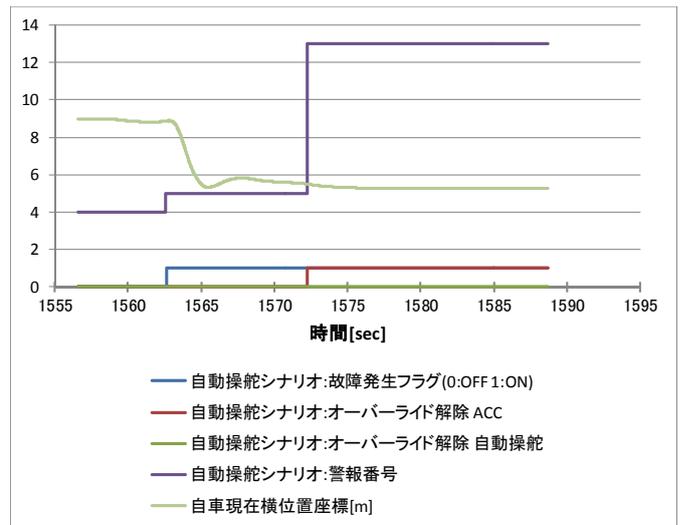
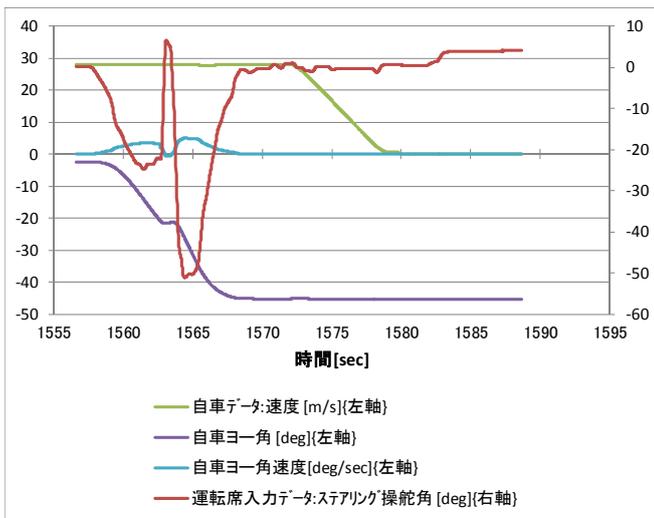
Sub.8 場面 1-c



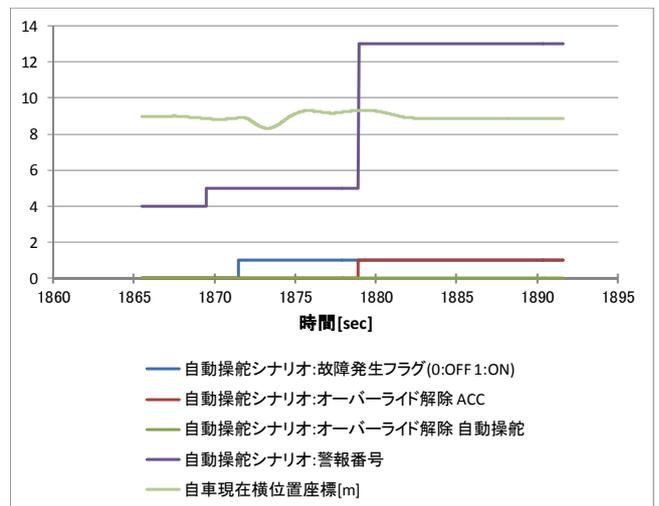
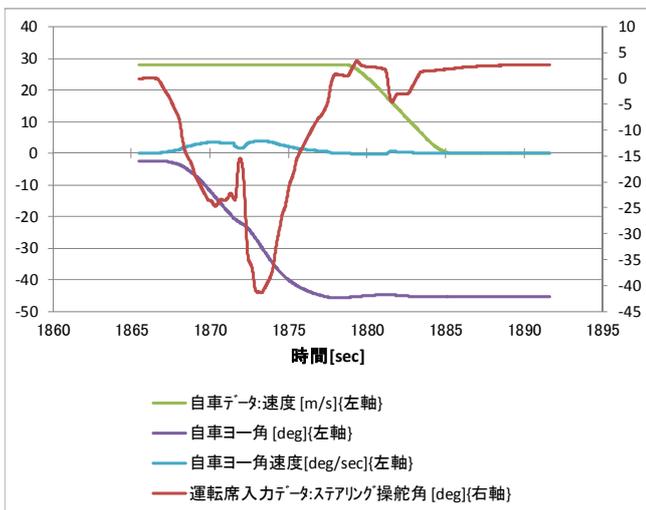
Sub.8 場面 1-d



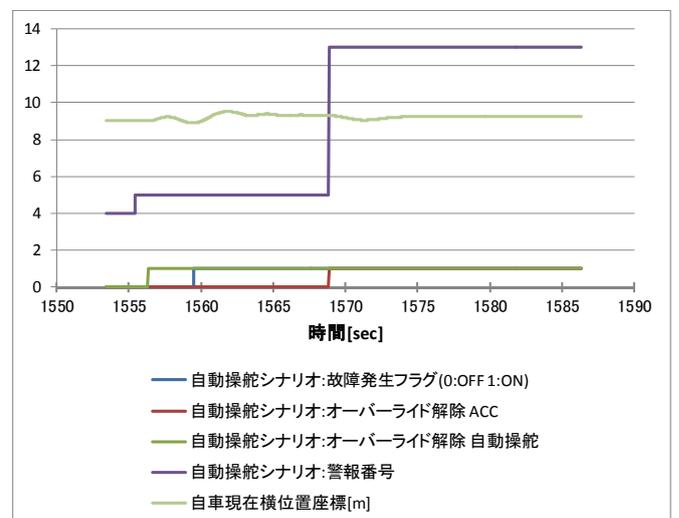
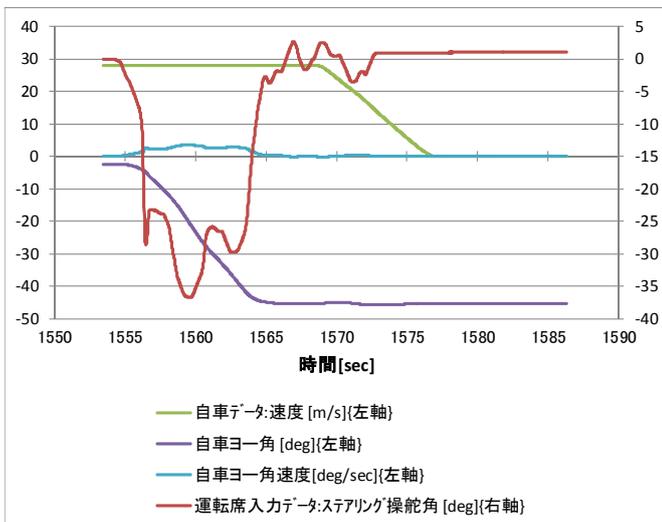
Sub.8 場面 1-e



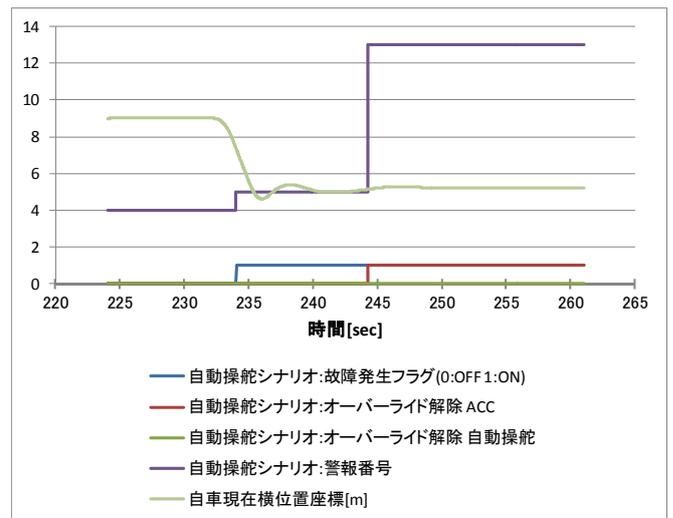
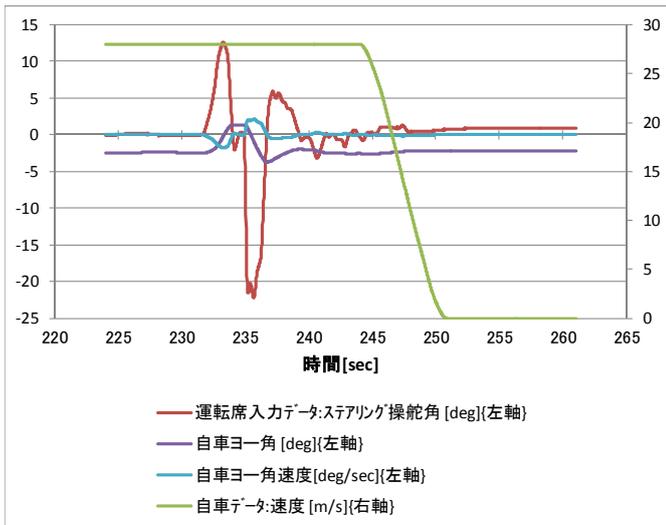
Sub.8 場面 1-f



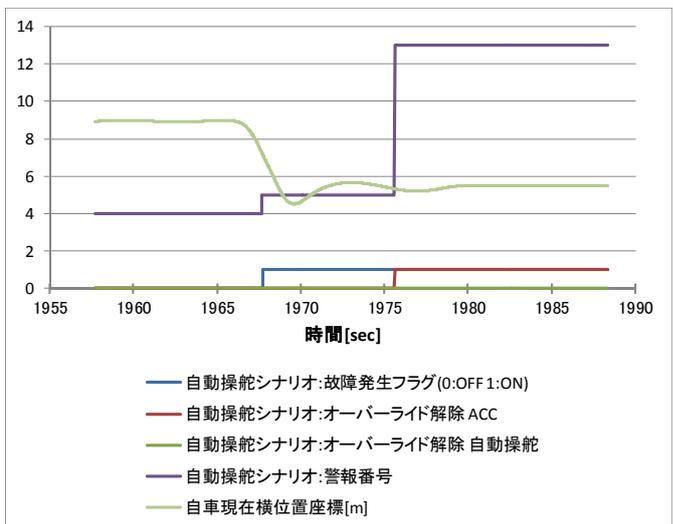
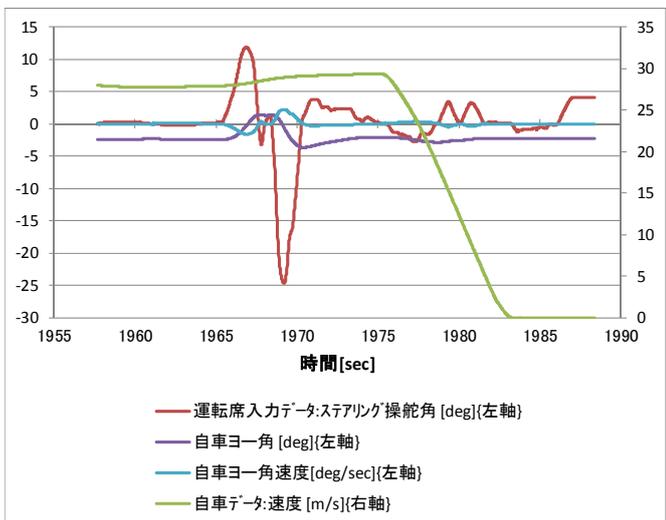
Sub.8 場面 1-g



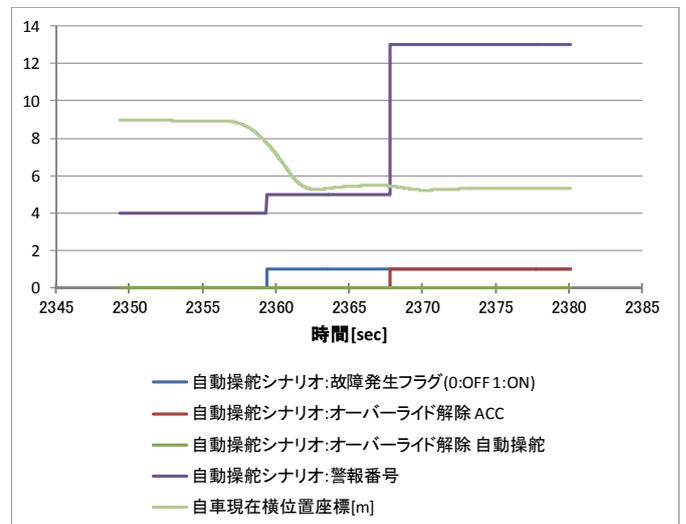
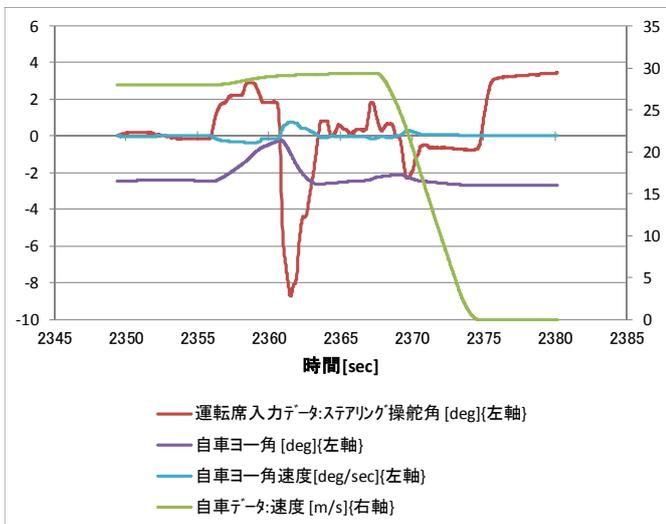
Sub.8 場面 2-a



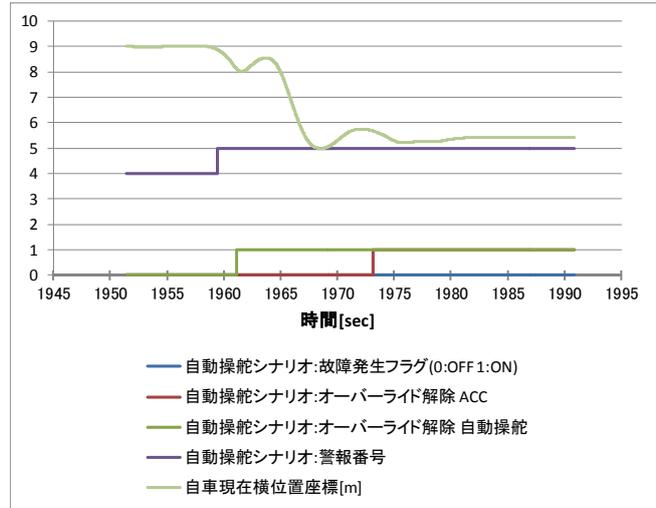
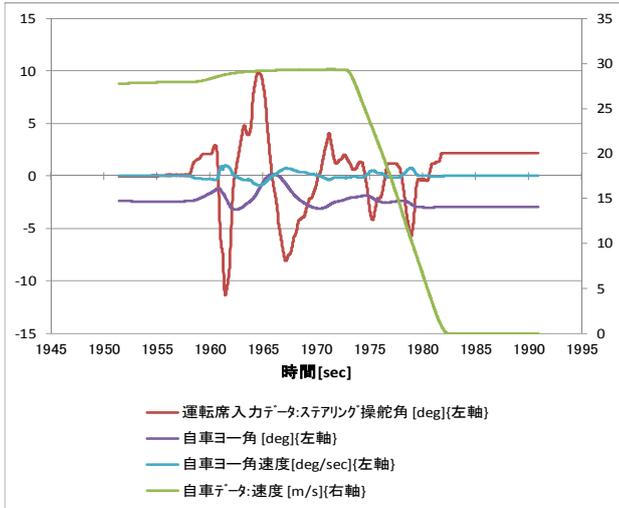
Sub.8 場面 2-b



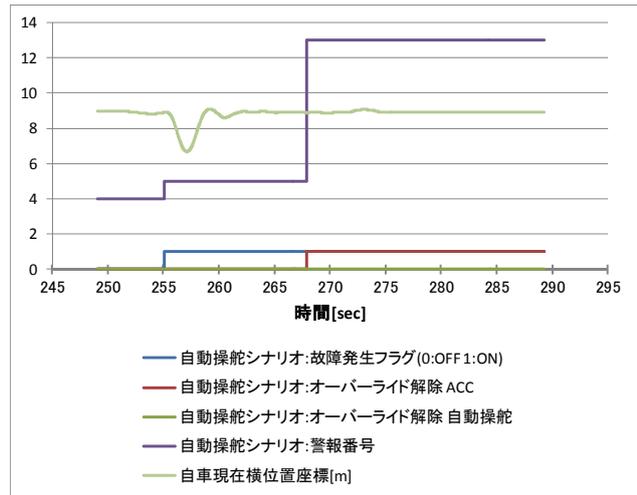
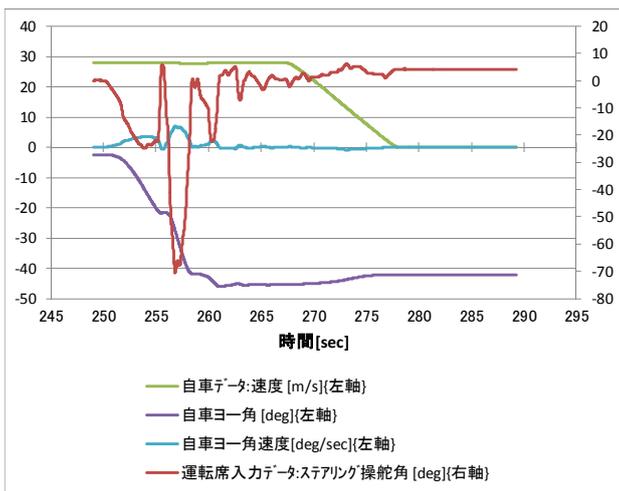
Sub.8 場面 2-c



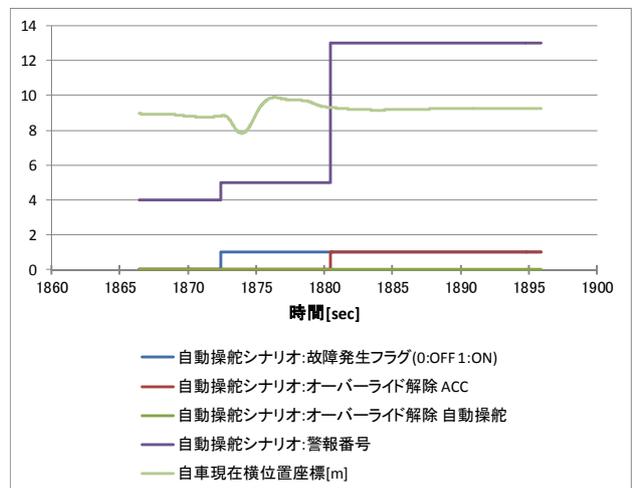
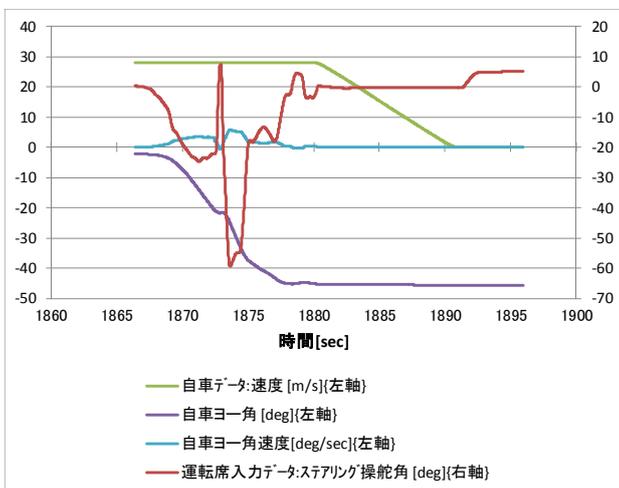
Sub.8 場面 2-d



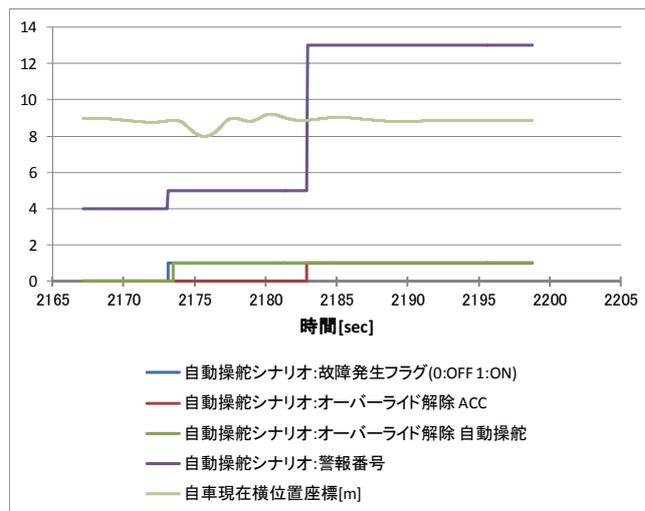
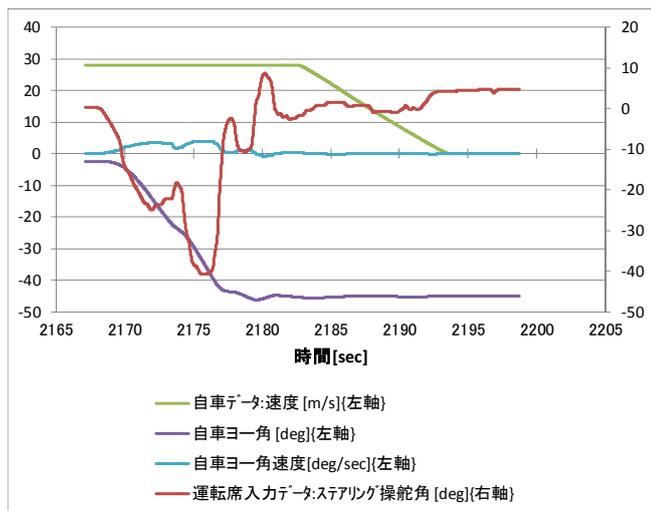
Sub.9 場面 1-a



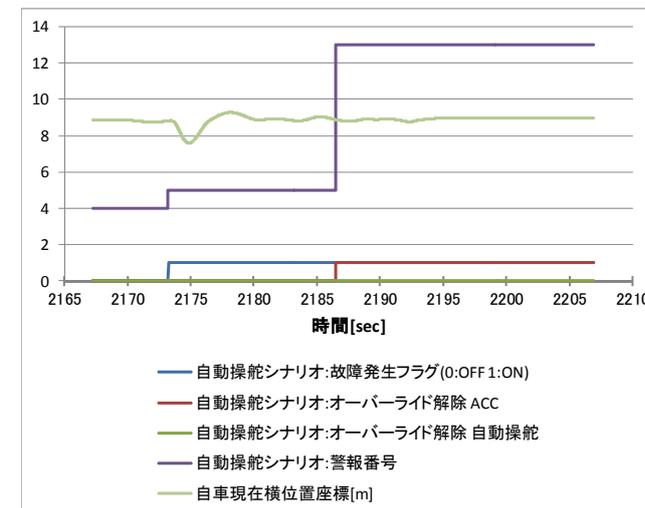
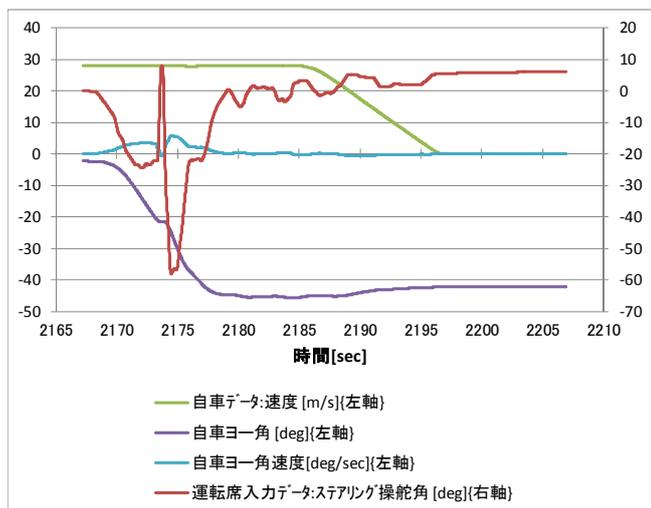
Sub.9 場面 1-b



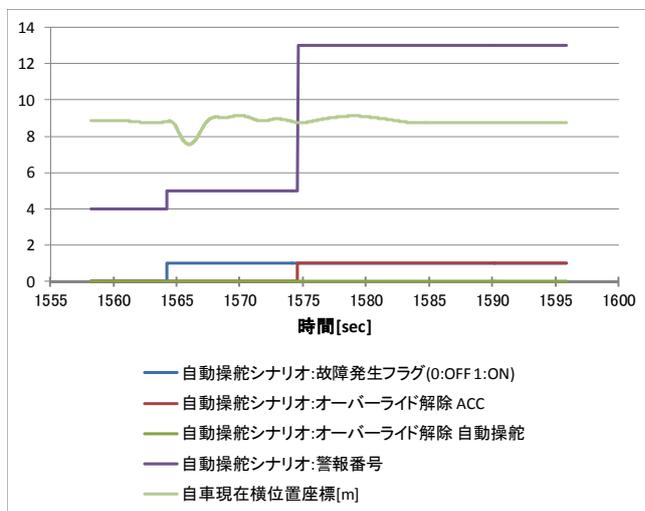
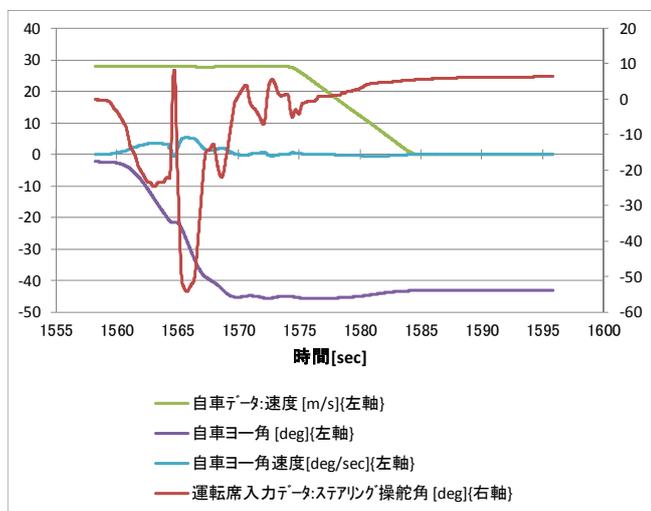
Sub.9 場面 1-c



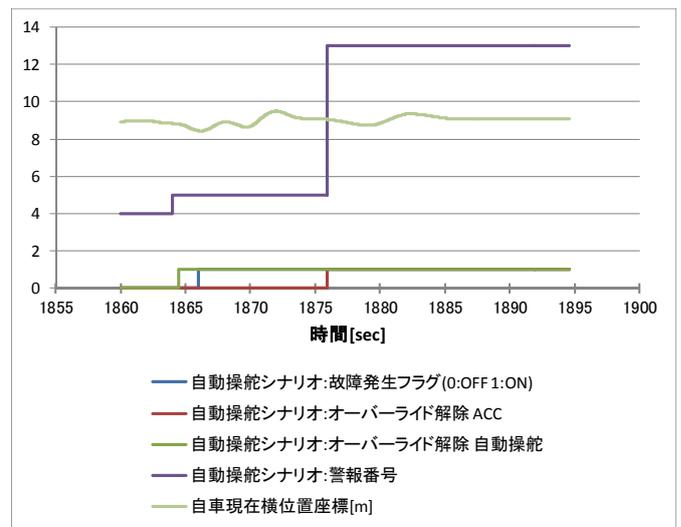
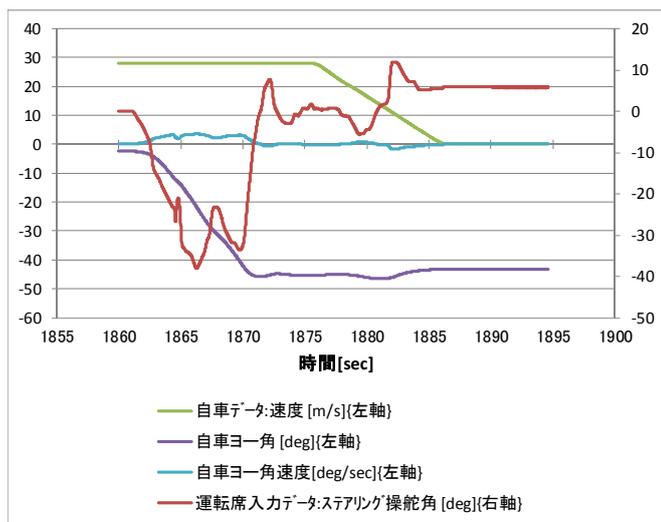
Sub.9 場面 1-d



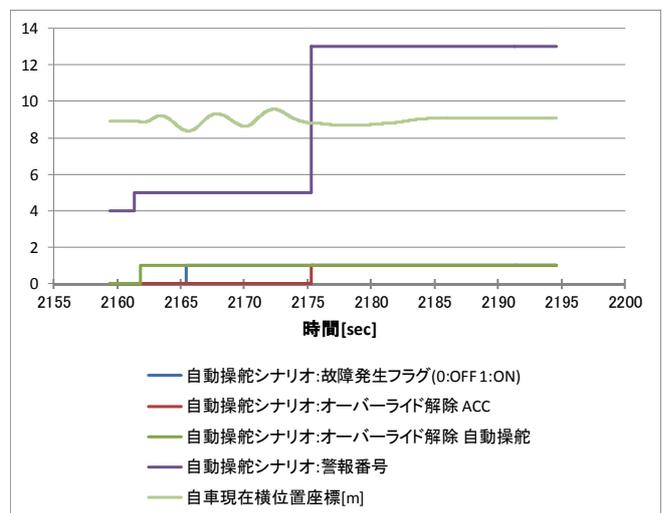
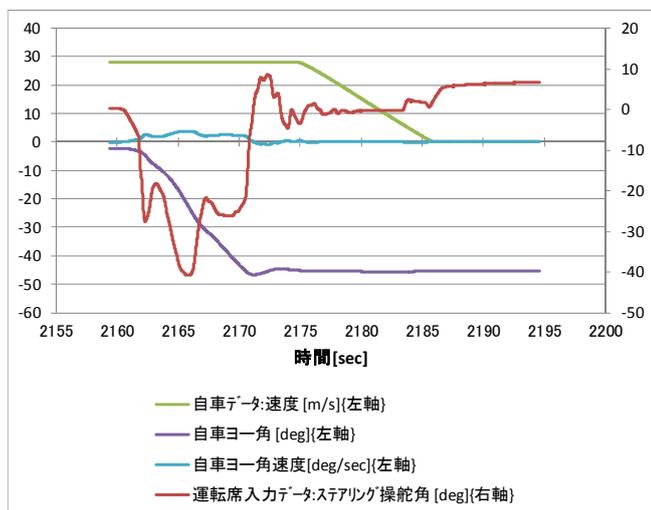
Sub.9 場面 1-e



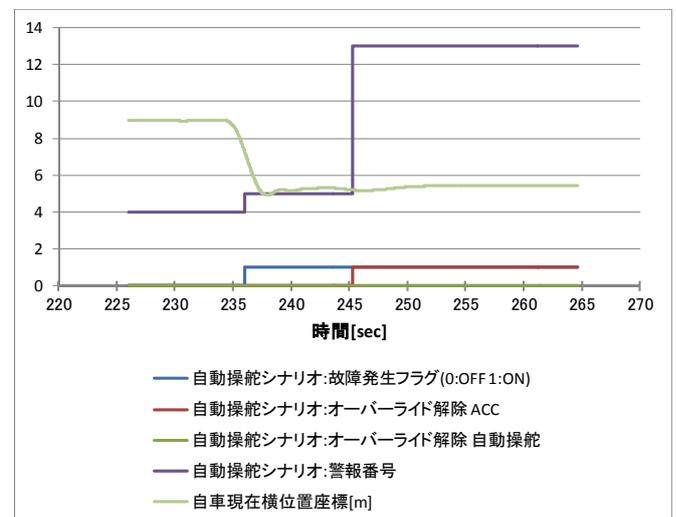
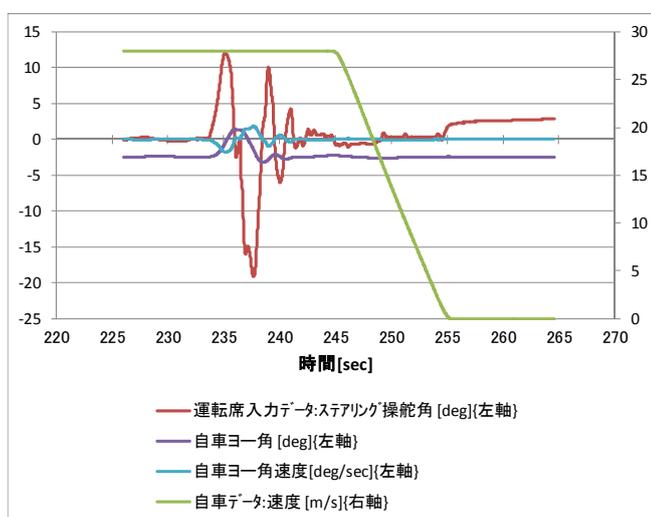
Sub.9 場面 1-f



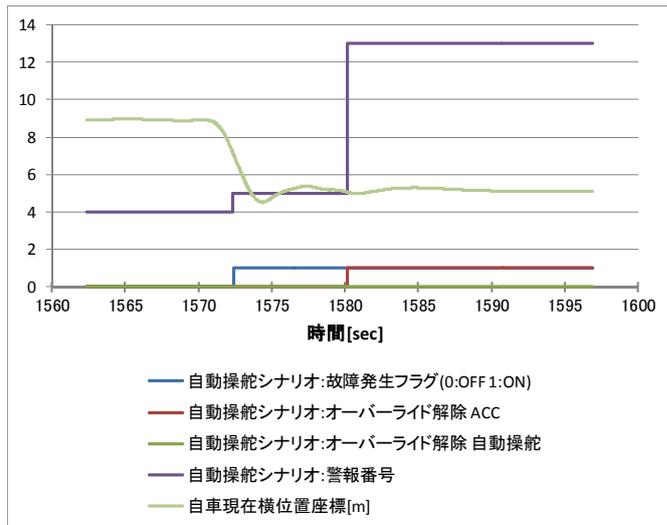
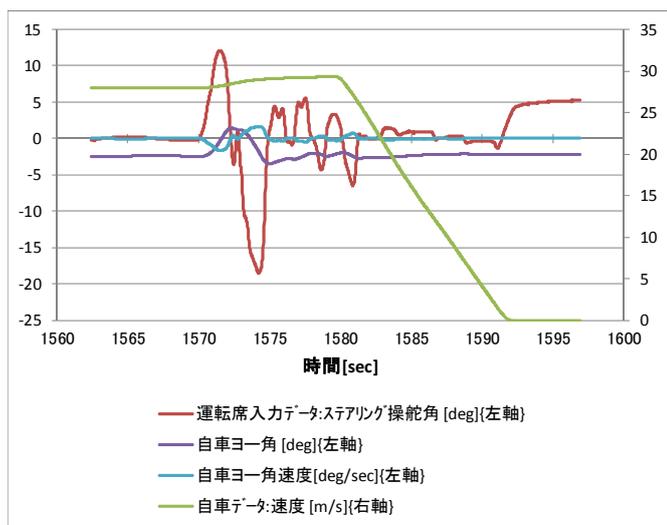
Sub.9 場面 1-g



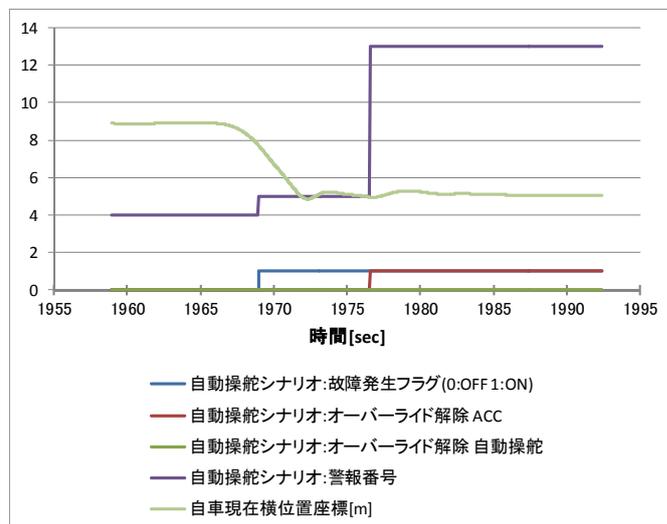
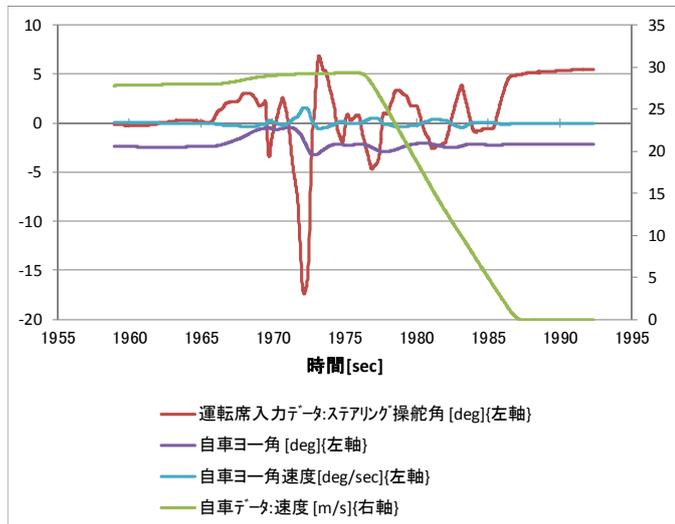
Sub.9 場面 2-a



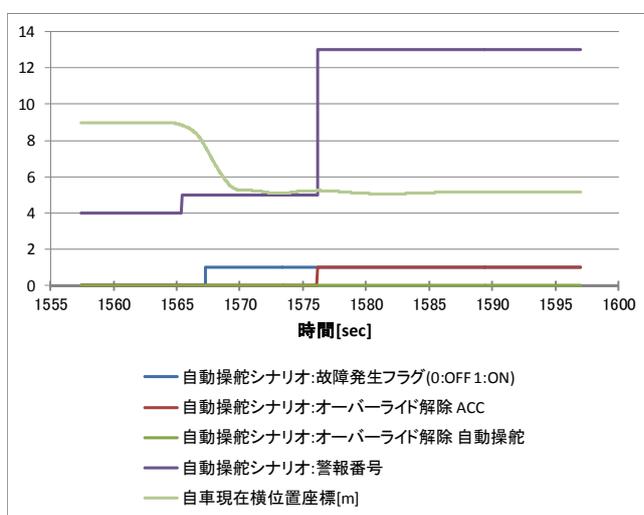
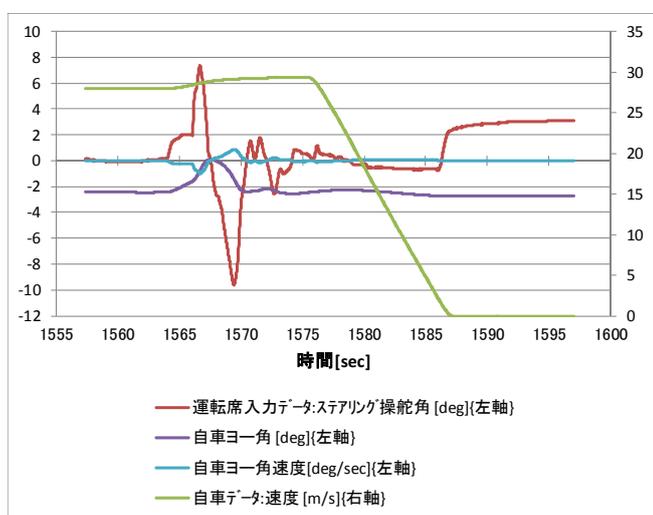
Sub.9 場面 2-b



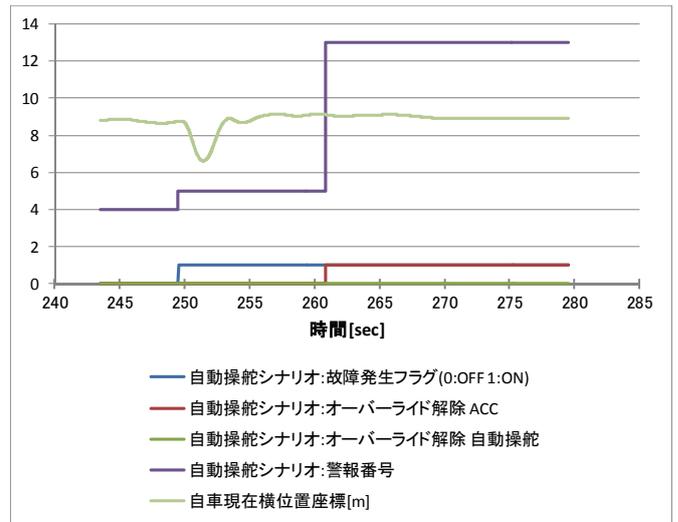
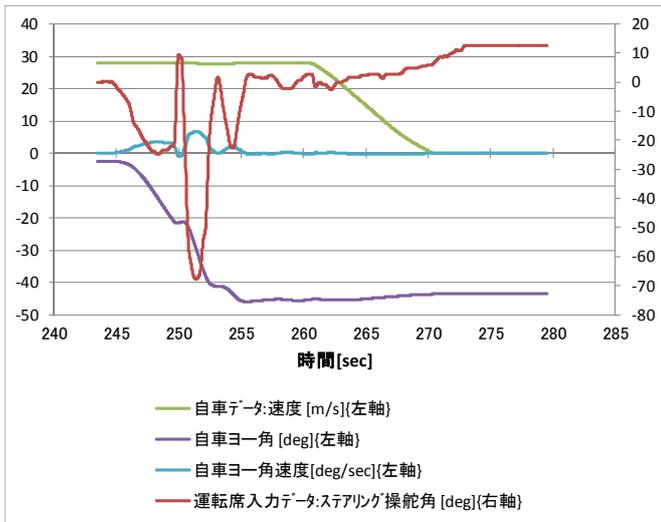
Sub.9 場面 2-c



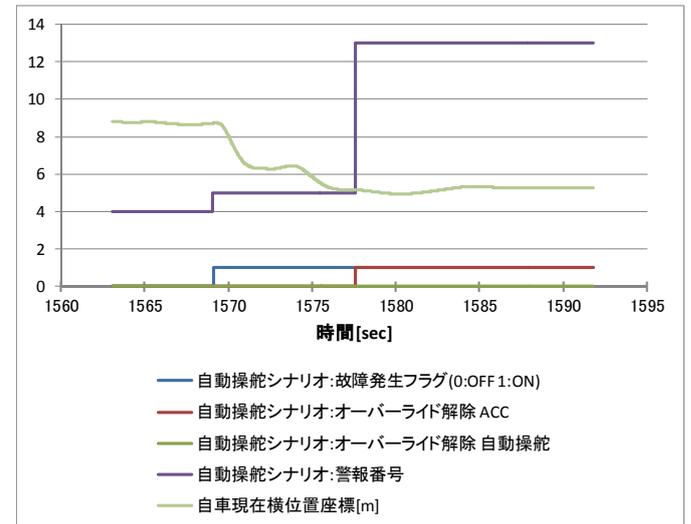
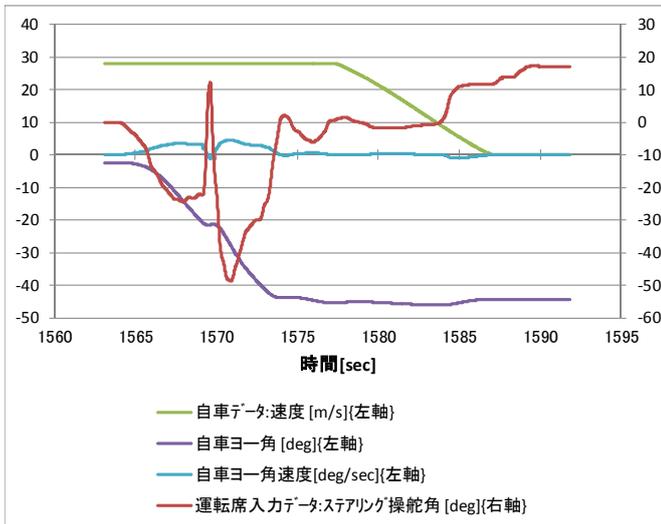
Sub.9 場面 2-d



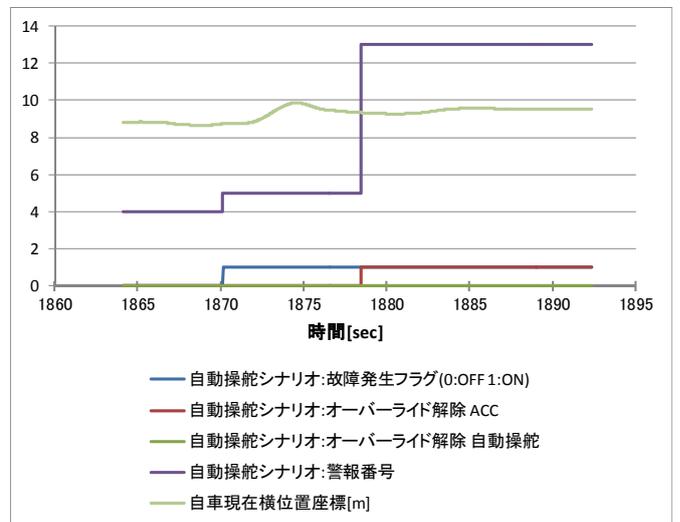
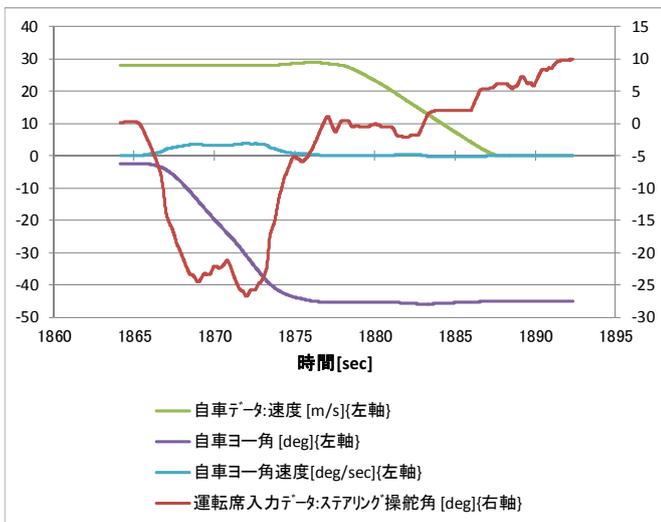
Sub.10 場面 1-a



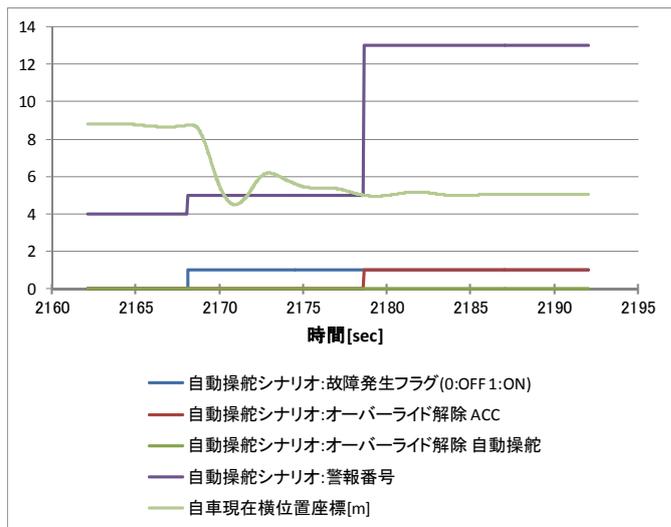
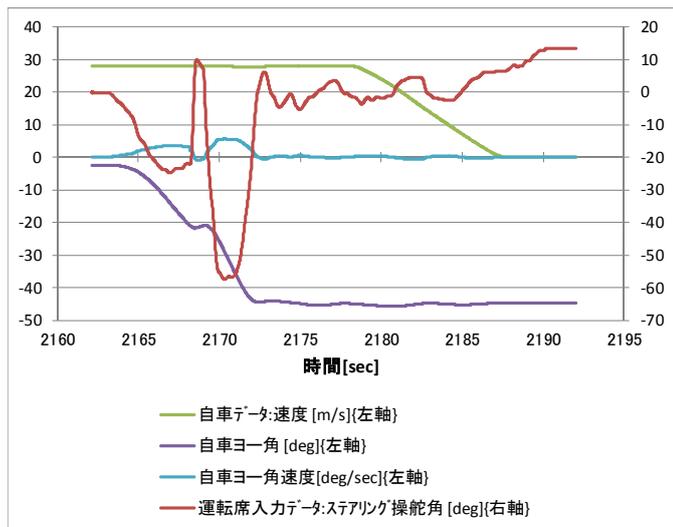
Sub.10 場面 1-b



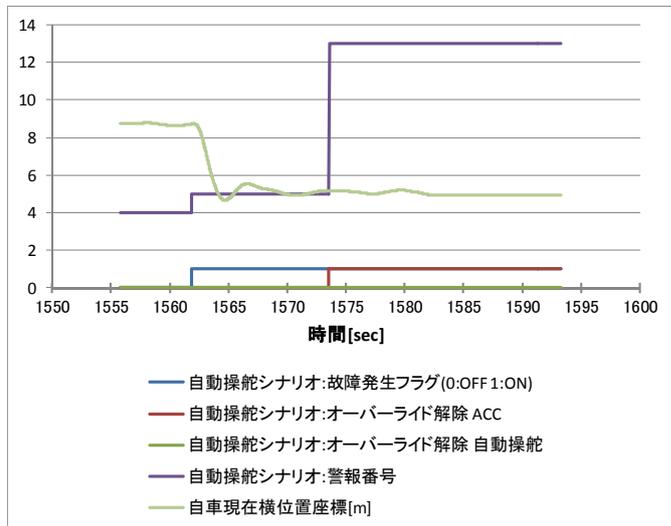
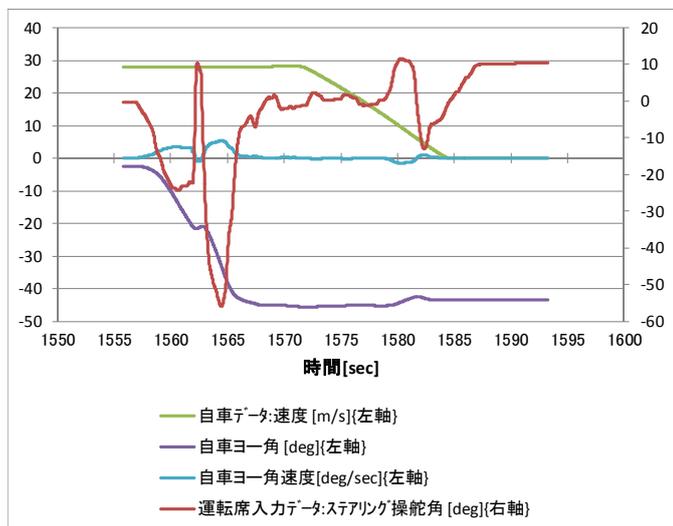
Sub.10 場面 1-c



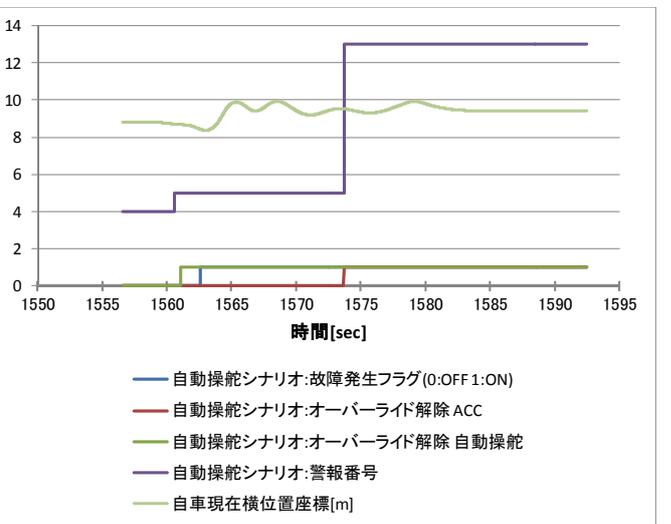
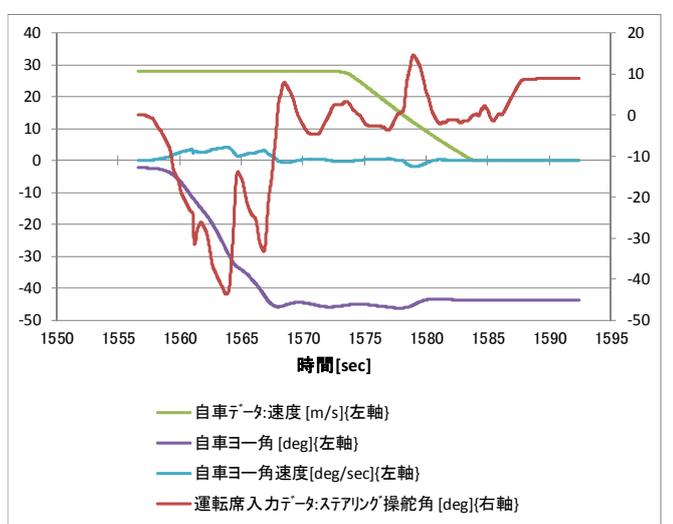
Sub.10 場面 1-d



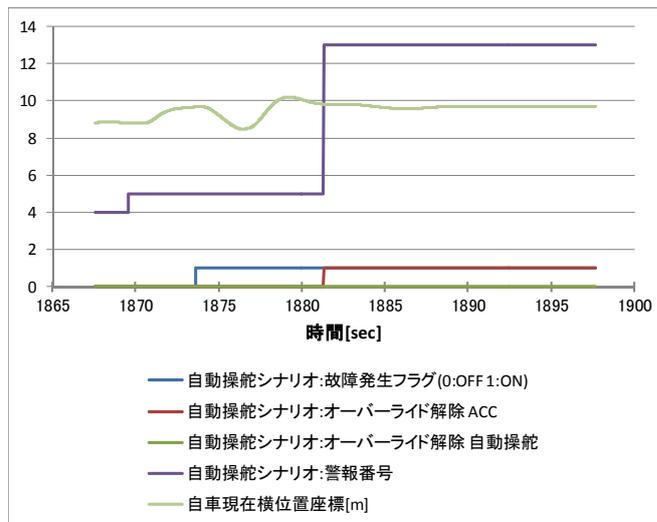
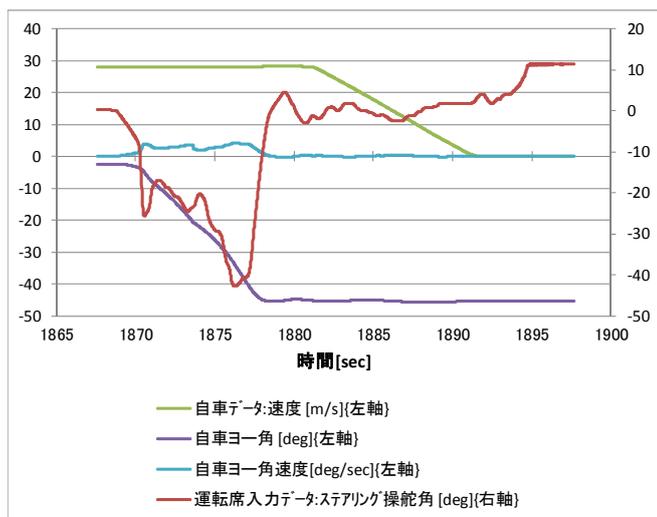
Sub.10 場面 1-e



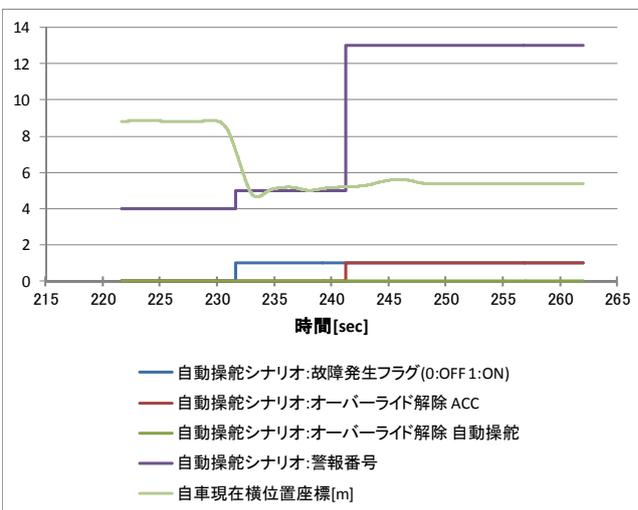
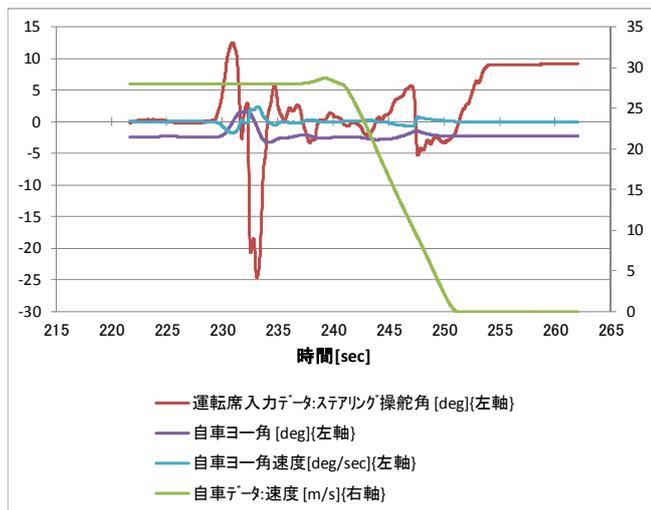
Sub.10 場面 1-f



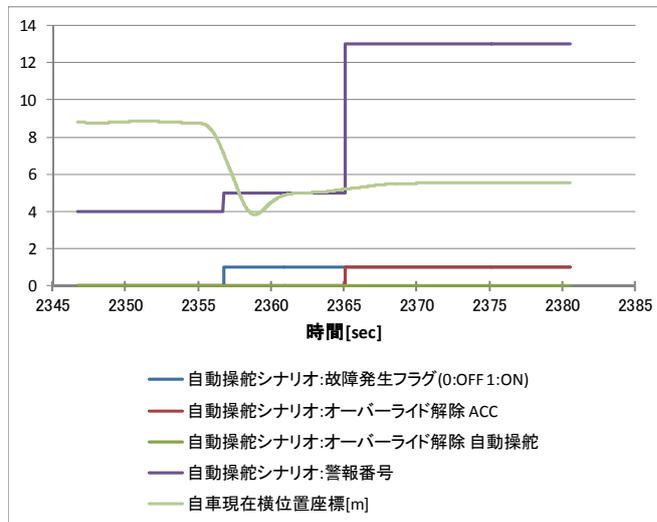
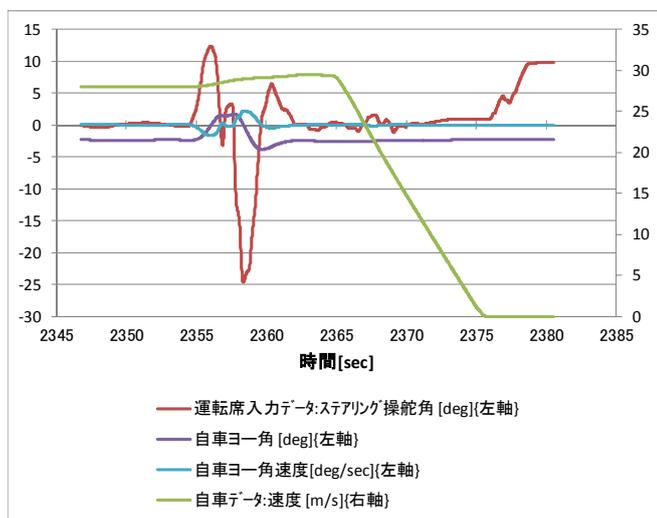
Sub.10 場面 1-g



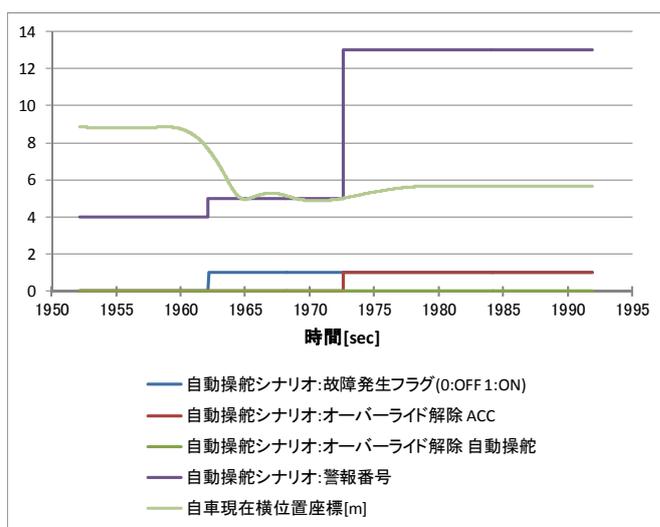
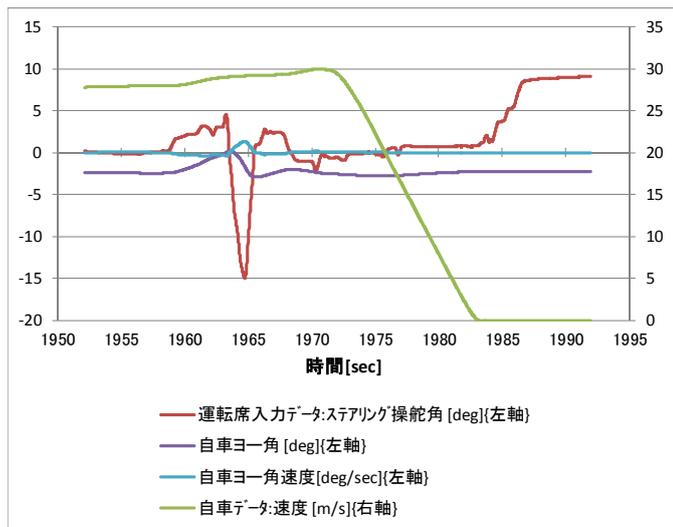
Sub.10 場面 2-a



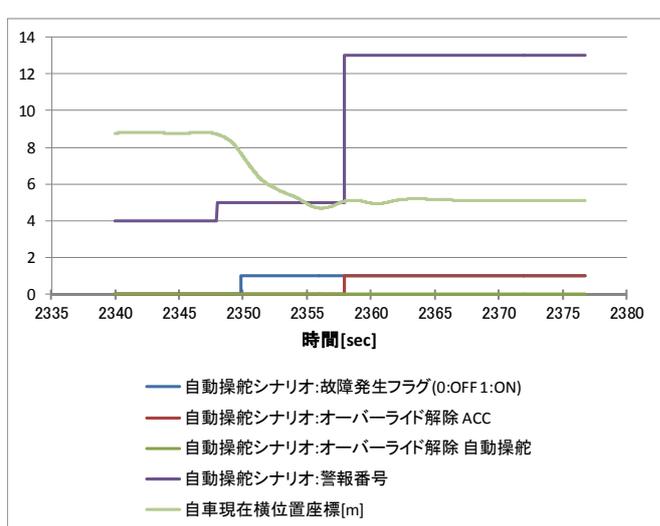
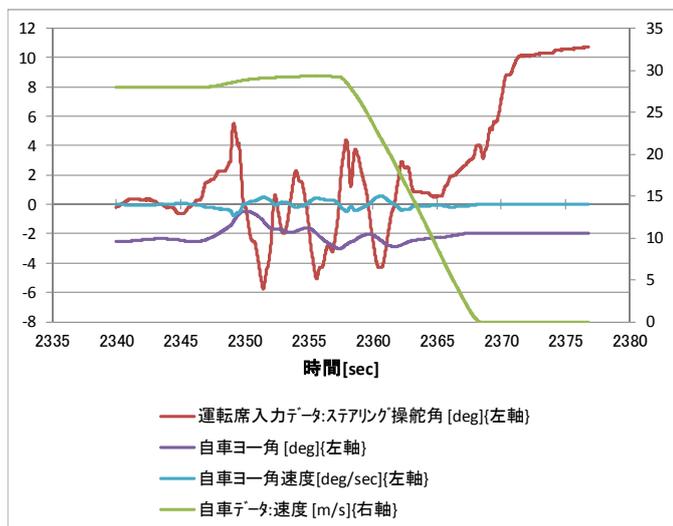
Sub.10 場面 2-b



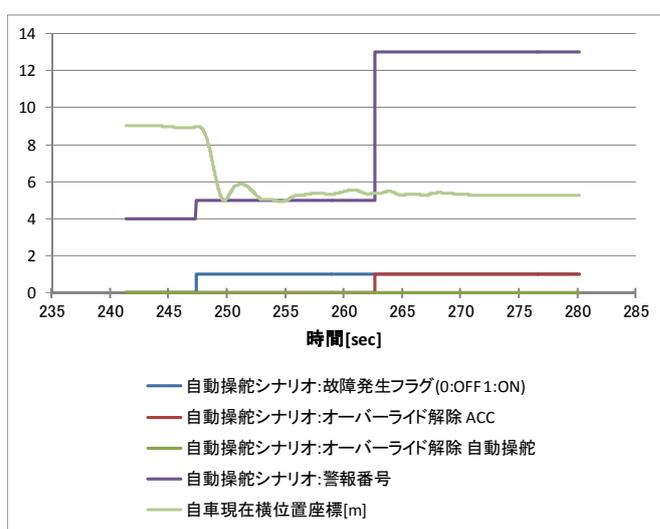
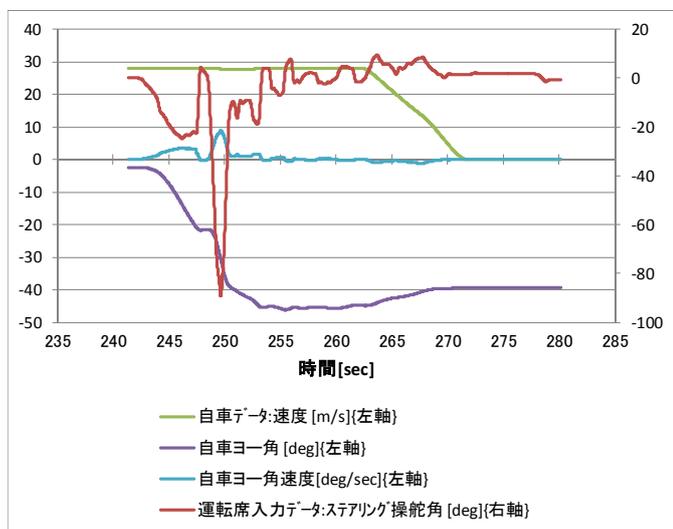
Sub.10 場面 2-c



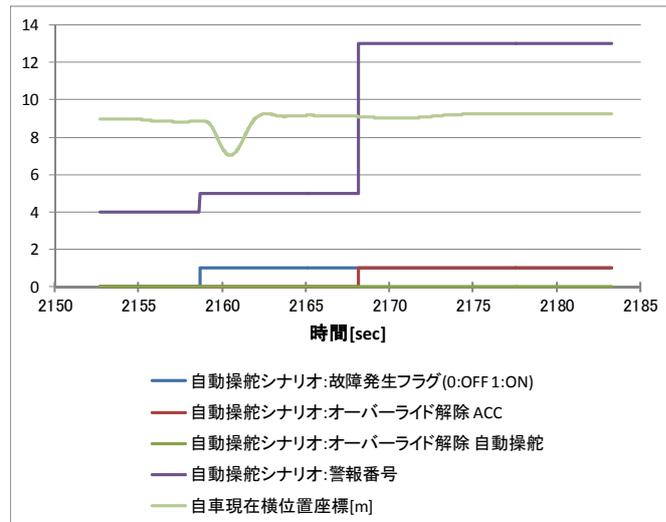
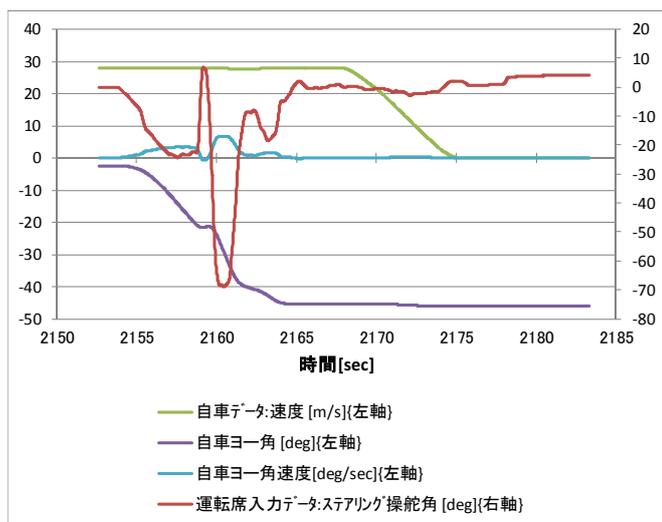
Sub.10 場面 2-d



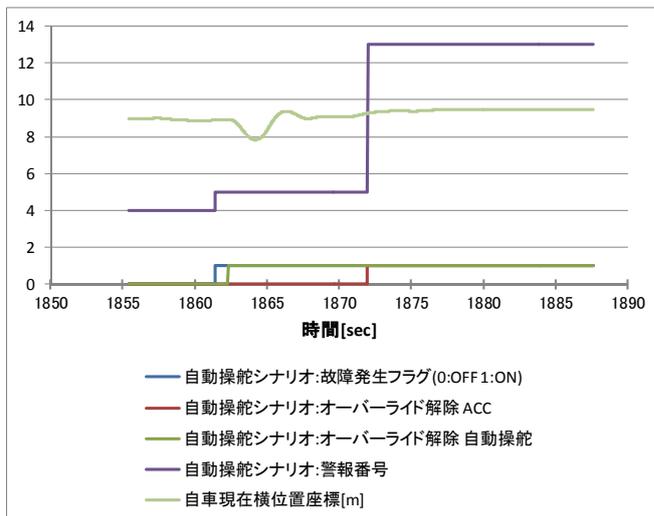
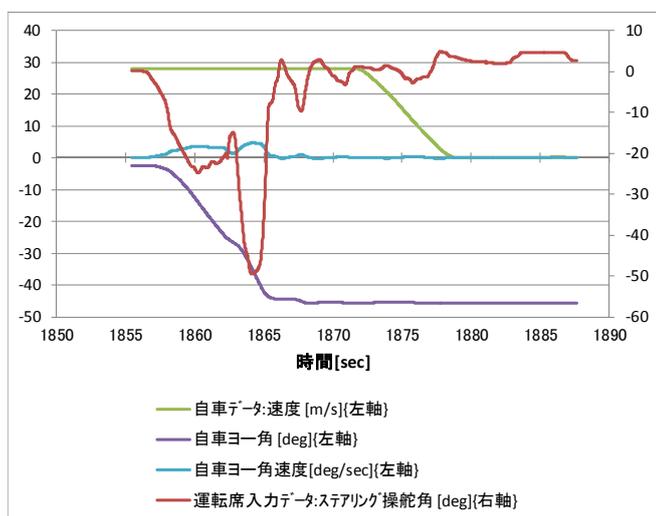
Sub.11 場面 1-a



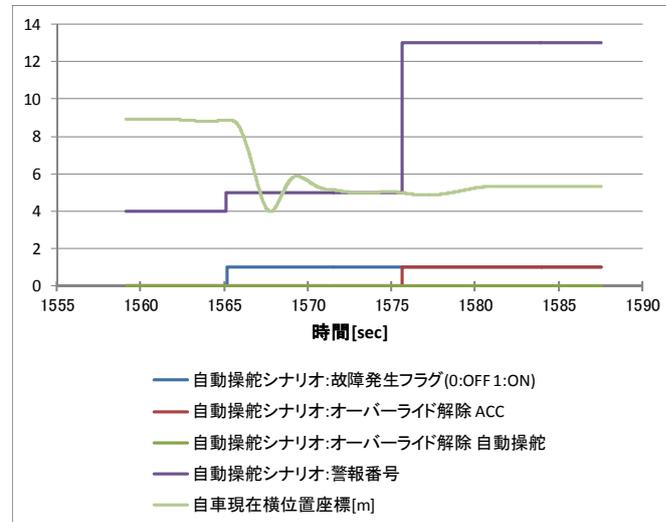
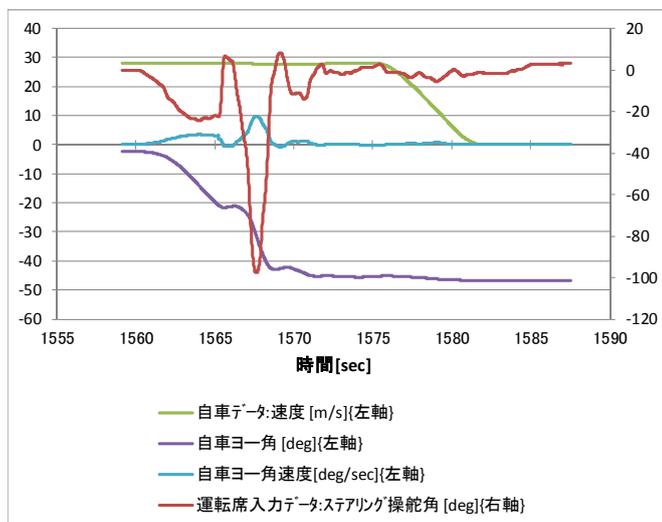
Sub.11 場面 1-b



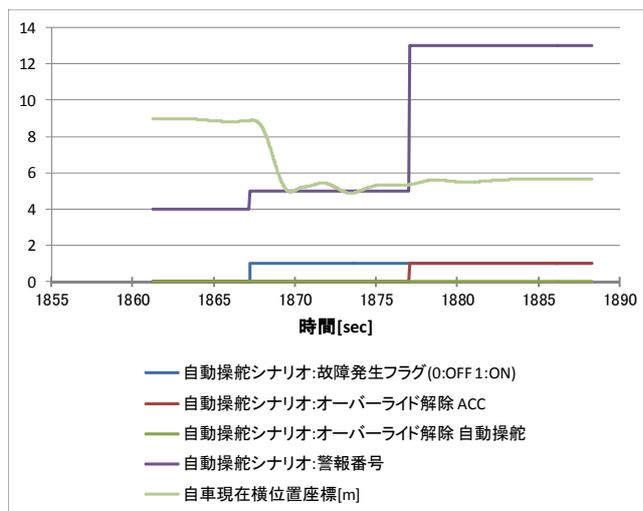
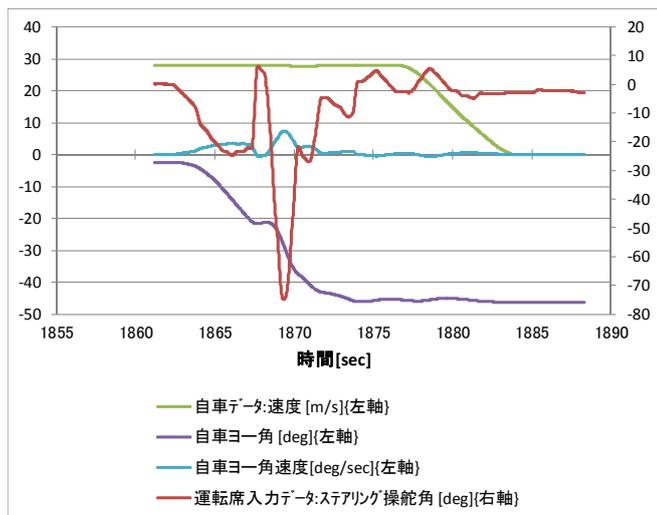
Sub.11 場面 1-c



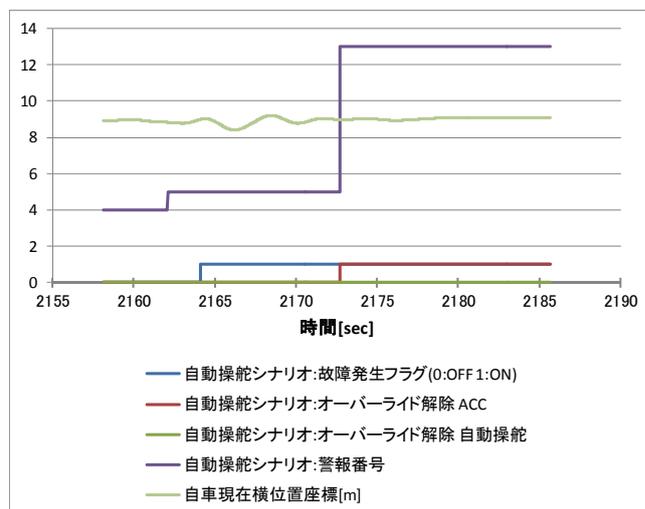
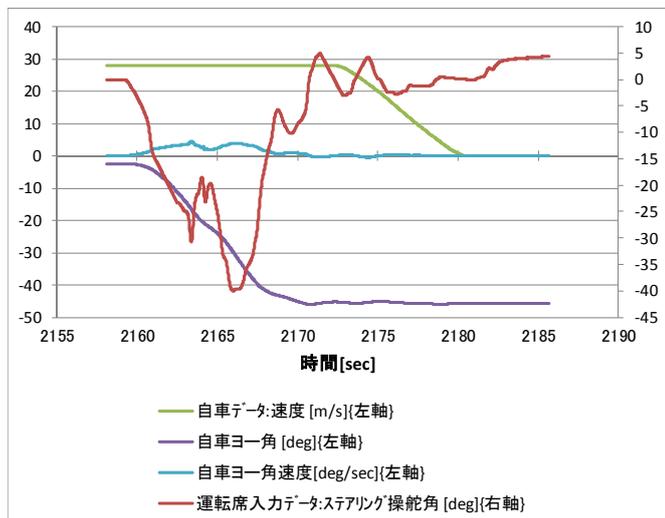
Sub.11 場面 1-d



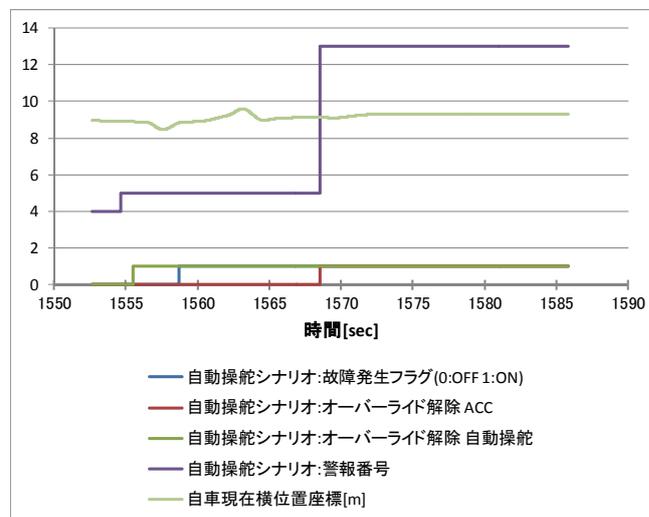
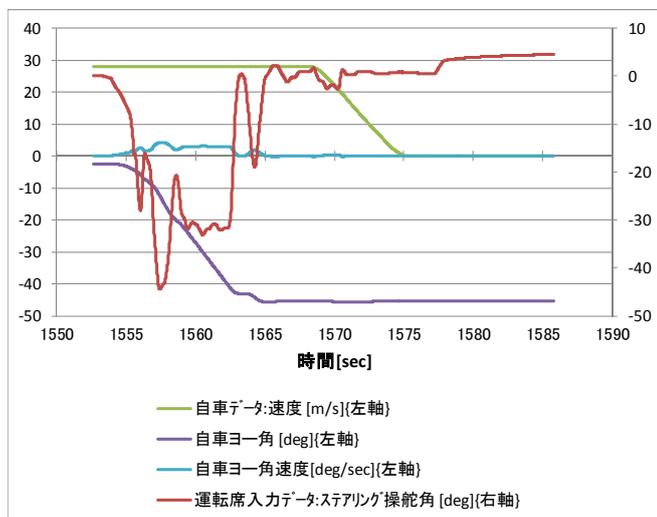
Sub.11 場面 1-e



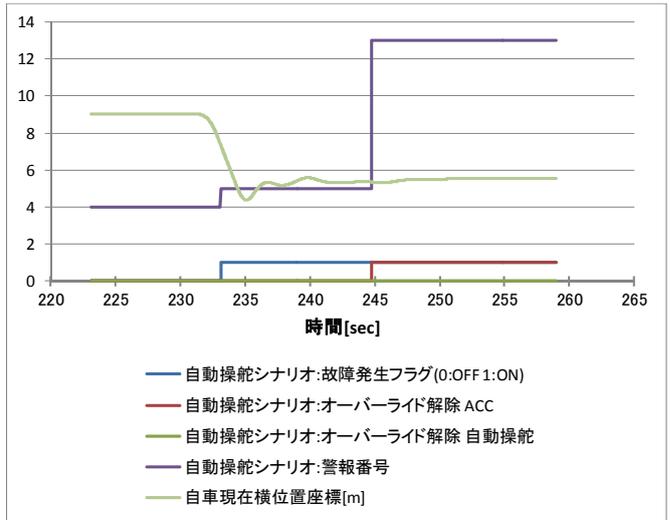
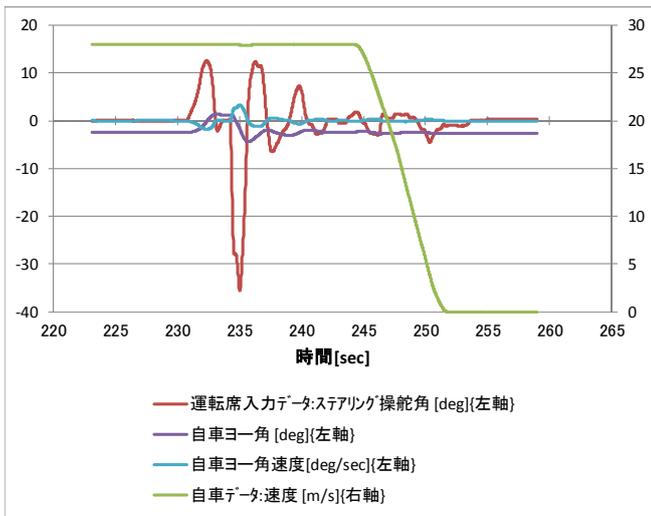
Sub.11 場面 1-f



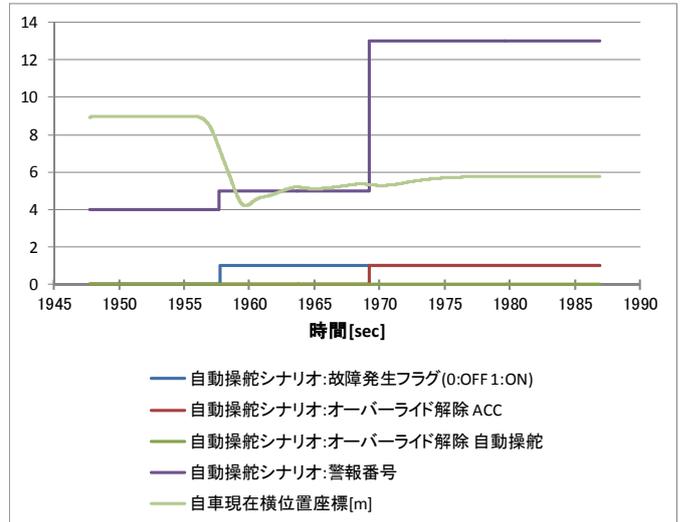
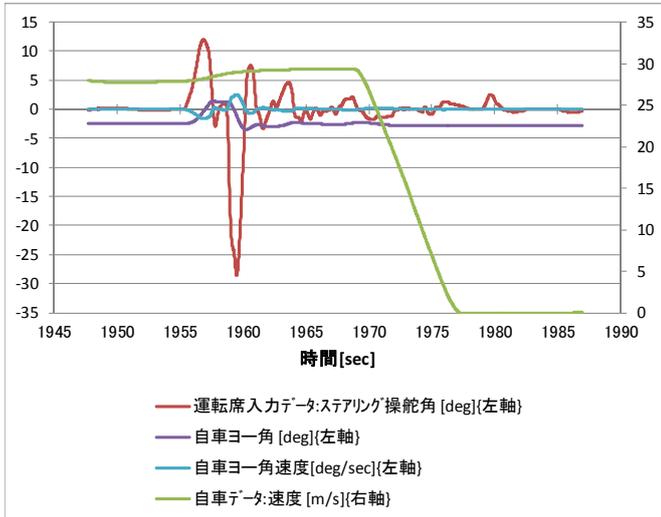
Sub.11 場面 1-g



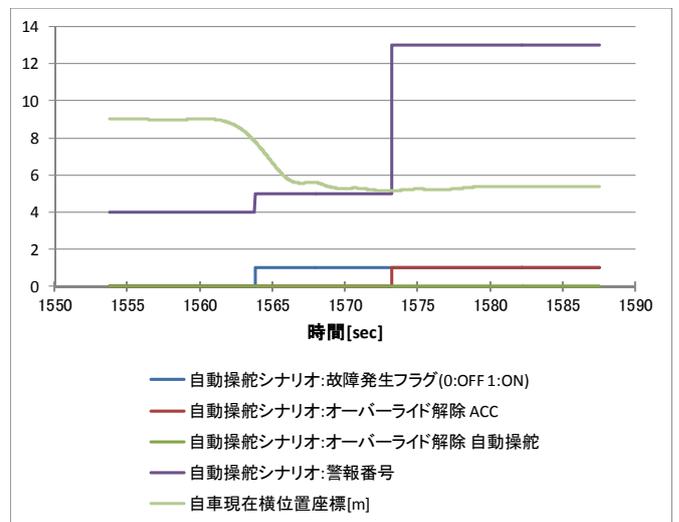
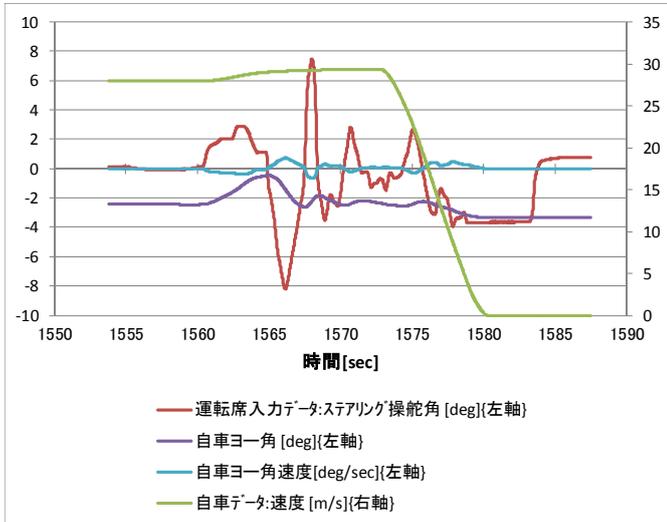
Sub.11 場面 2-a



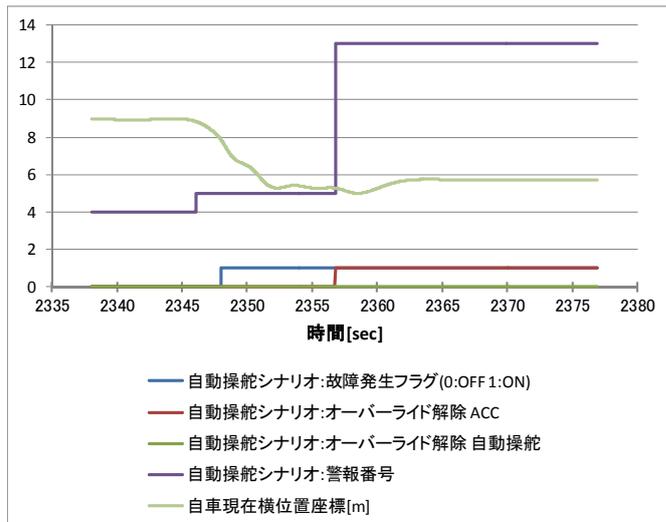
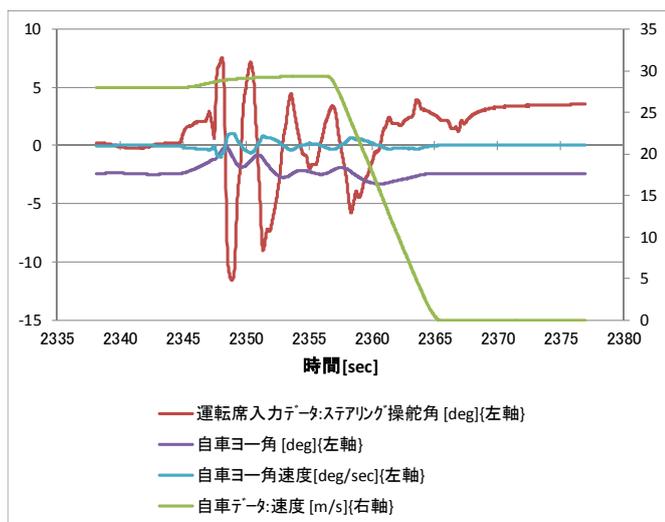
Sub.11 場面 2-b



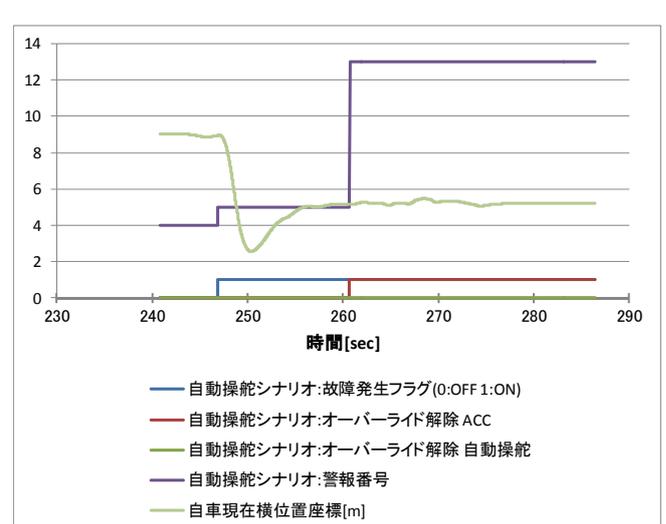
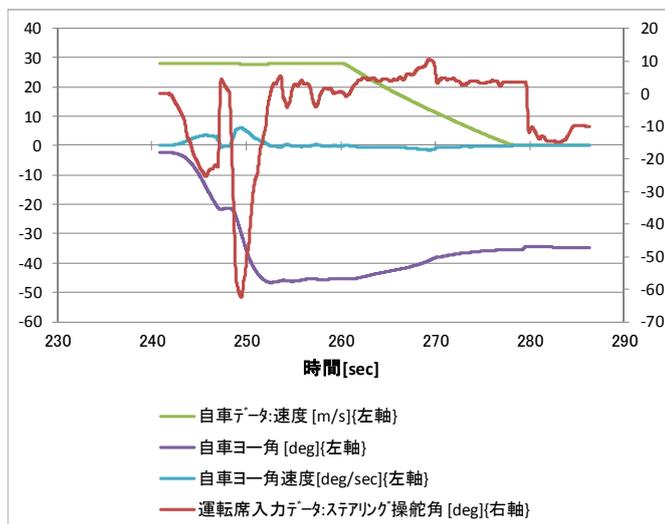
Sub.11 場面 2-c



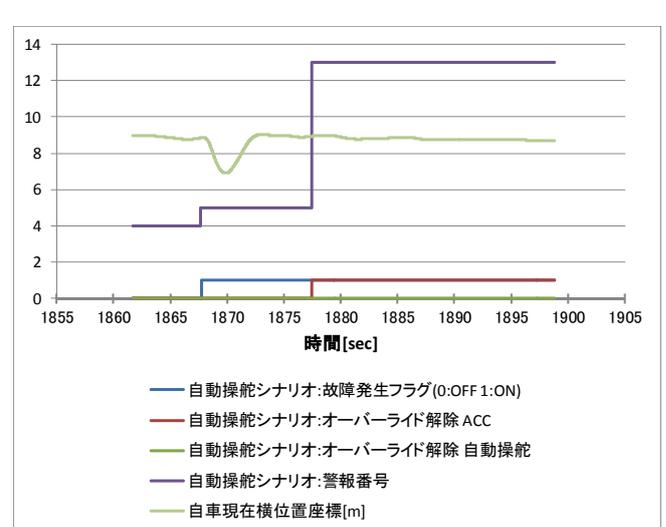
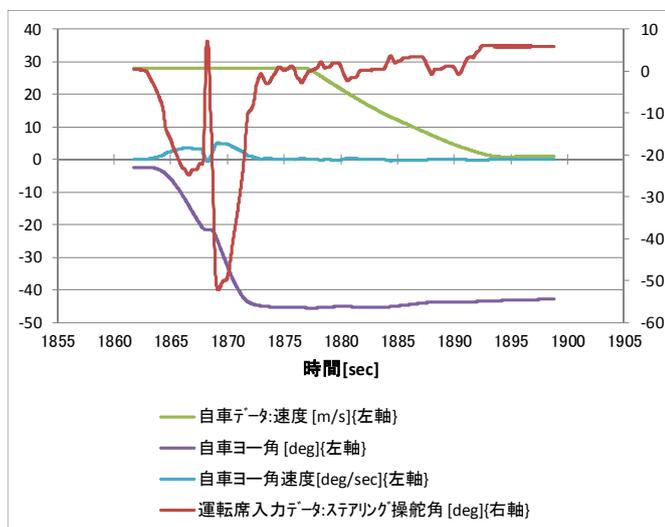
Sub.11 場面 2-d



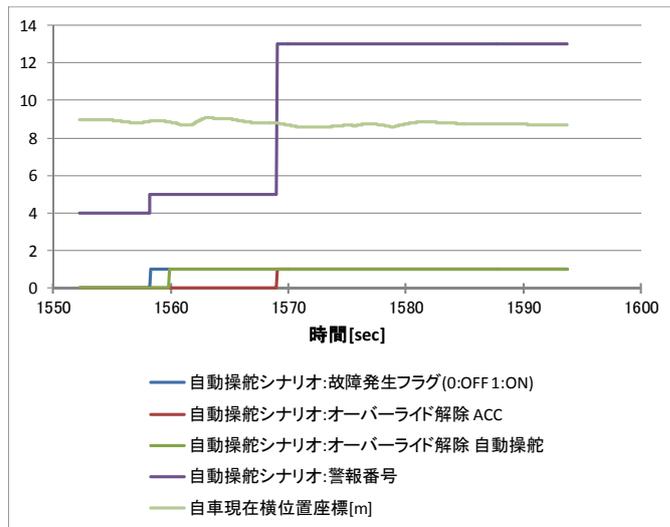
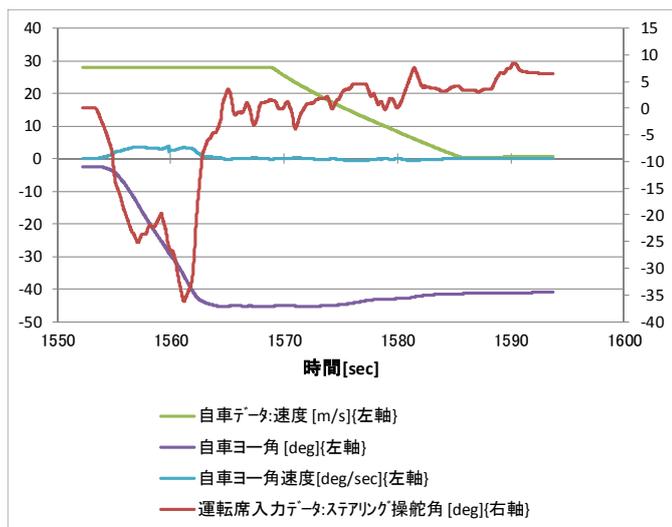
Sub.12 場面 1-a



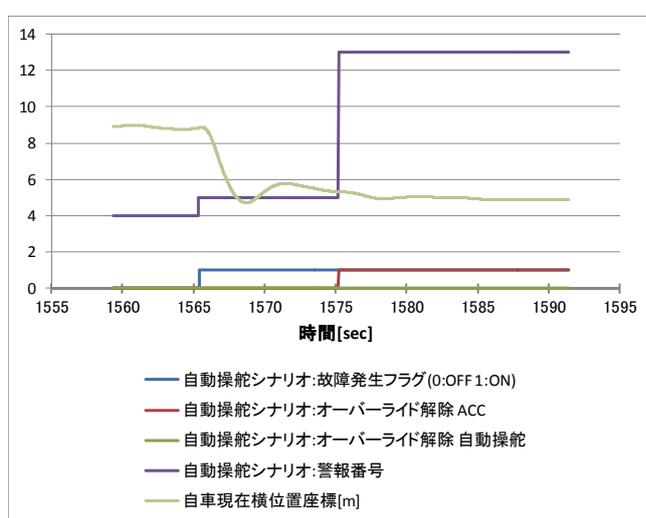
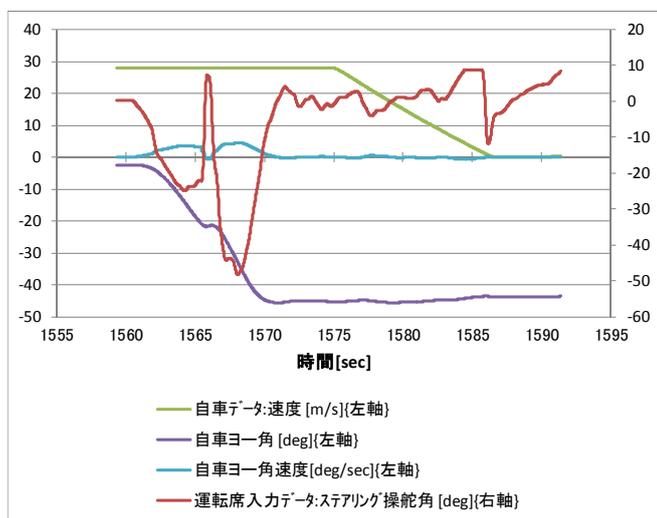
Sub.12 場面 1-b



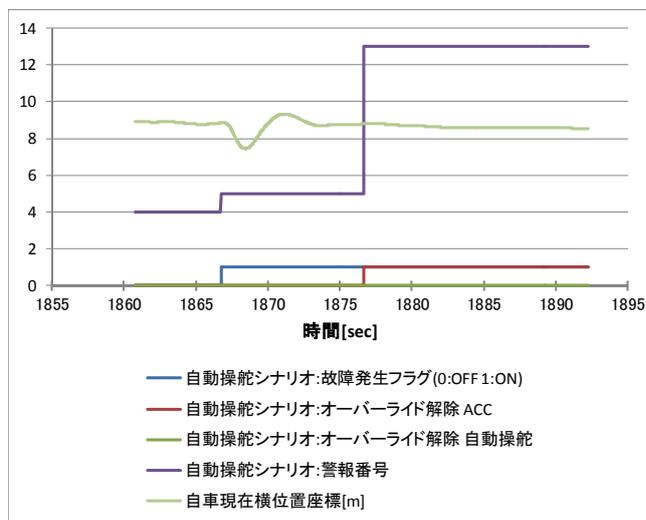
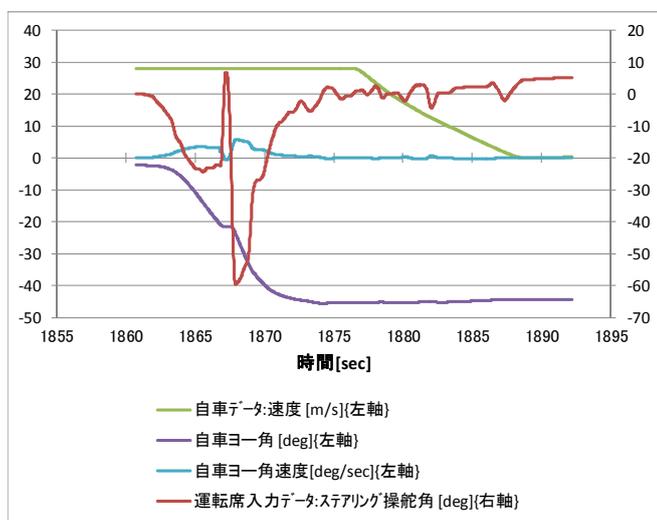
Sub.12 場面 1-c



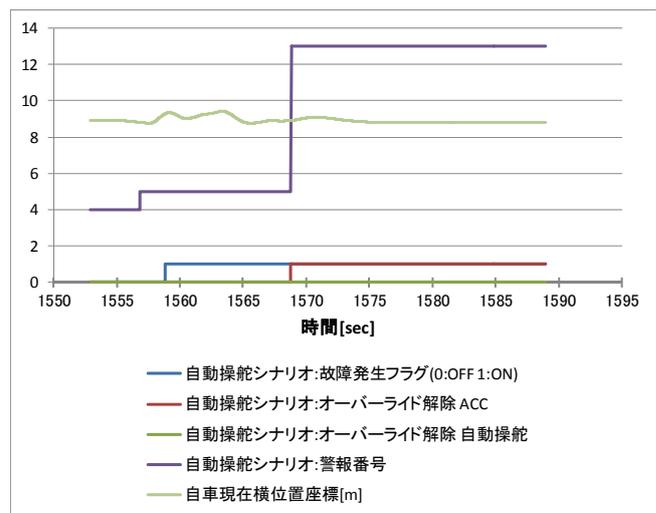
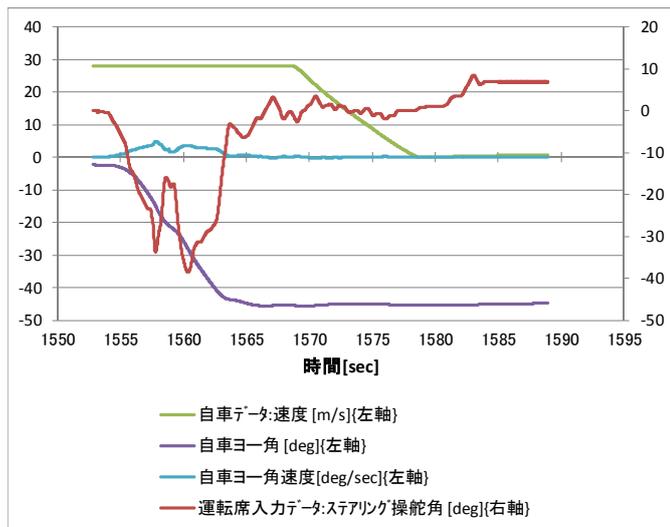
Sub.12 場面 1-d



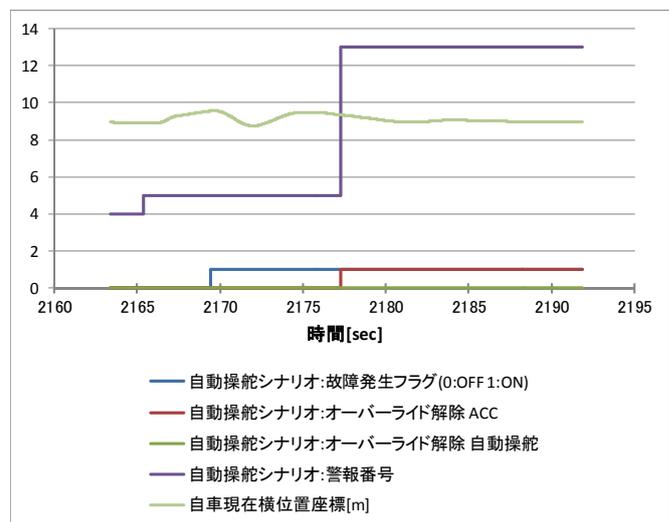
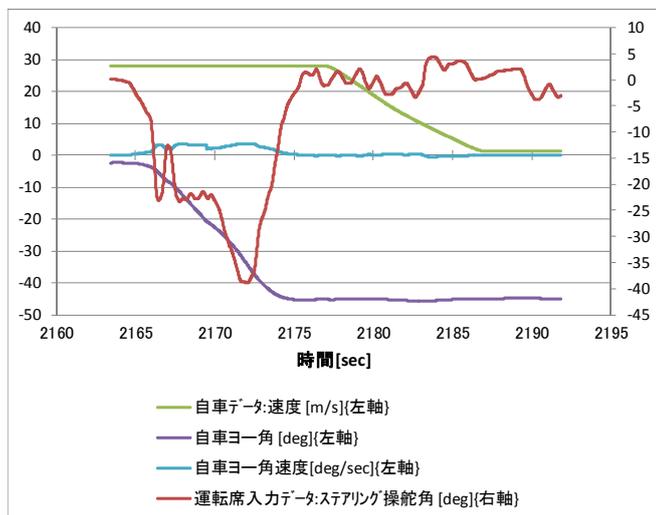
Sub.12 場面 1-e



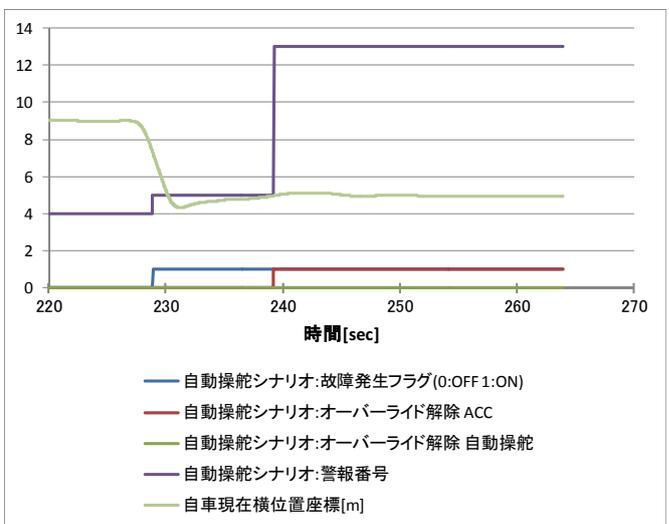
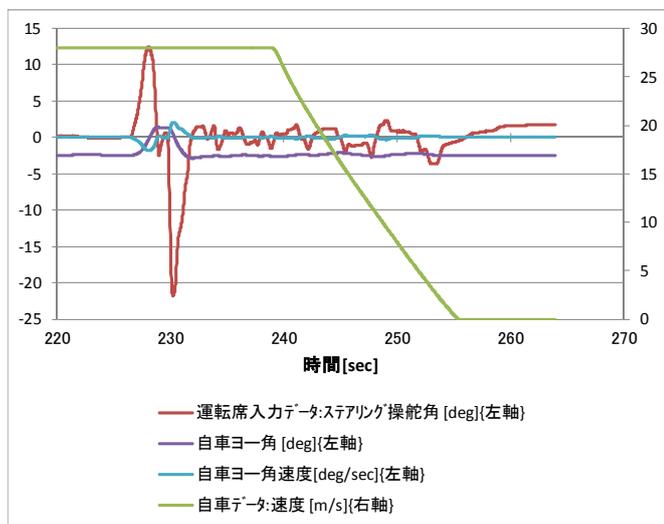
Sub.12 場面 1-f



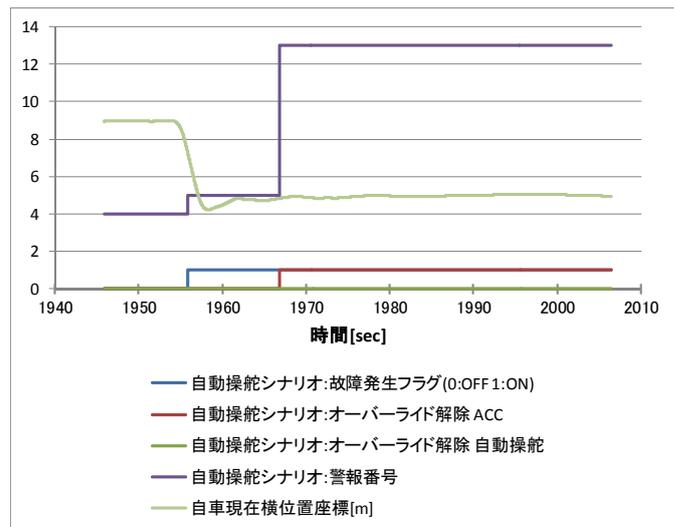
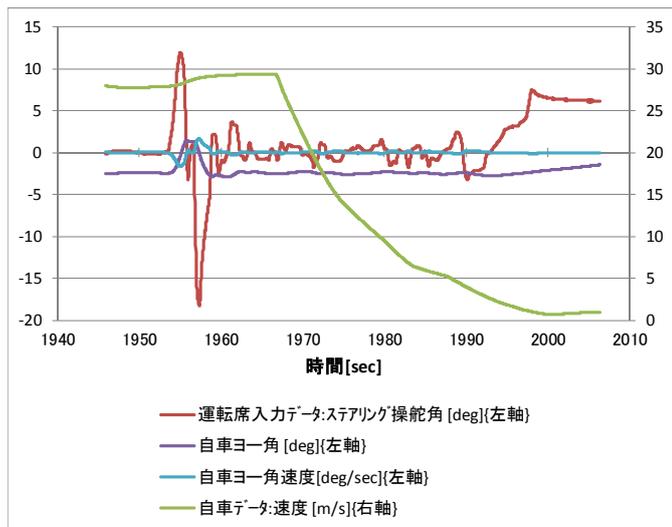
Sub.12 場面 1-g



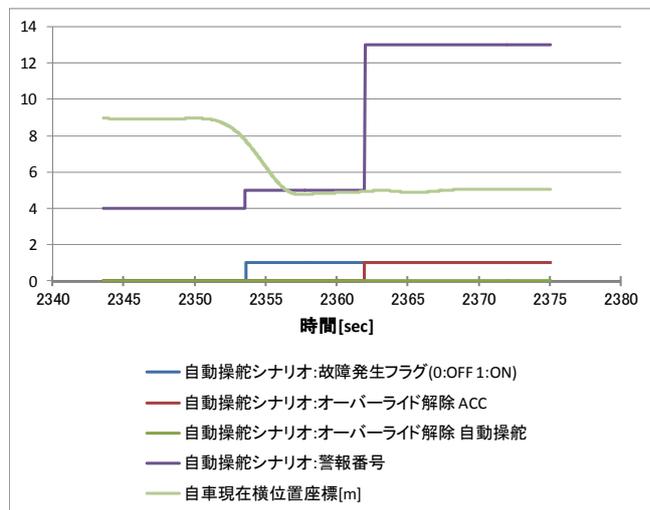
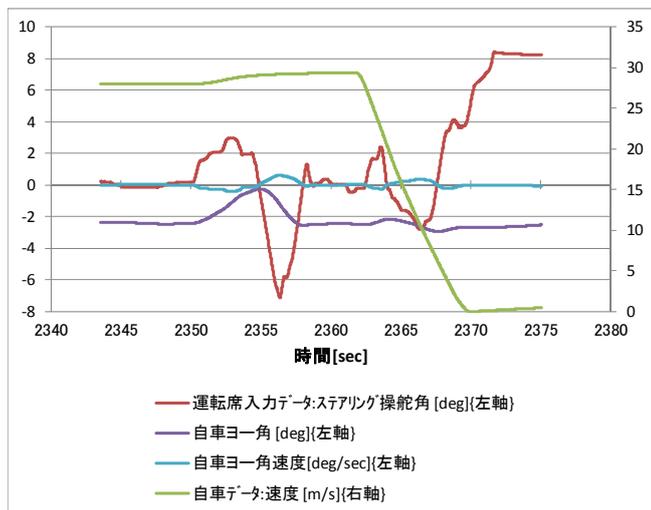
Sub.12 場面 2-a



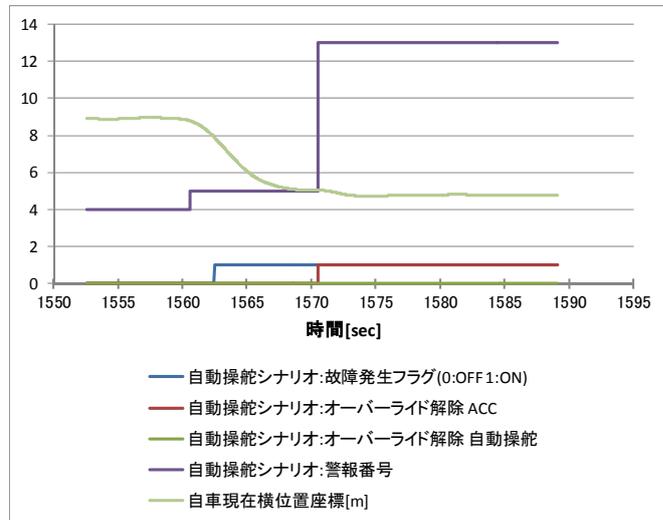
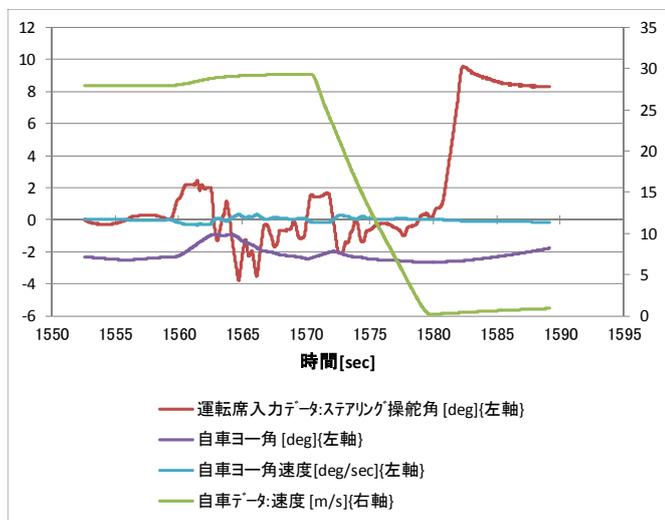
Sub.12 場面 2-b



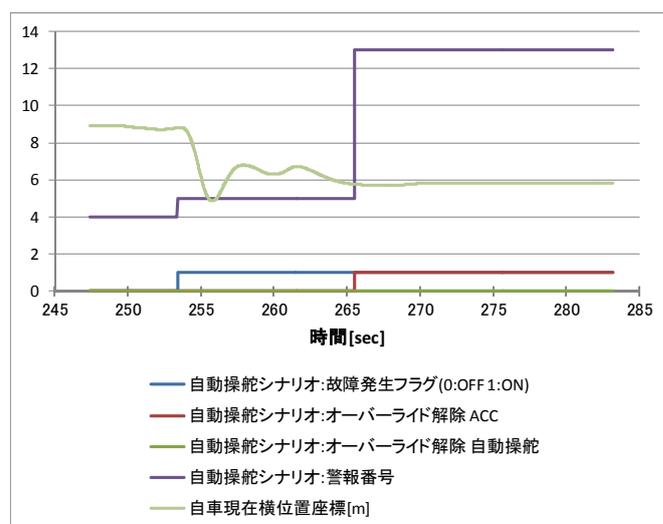
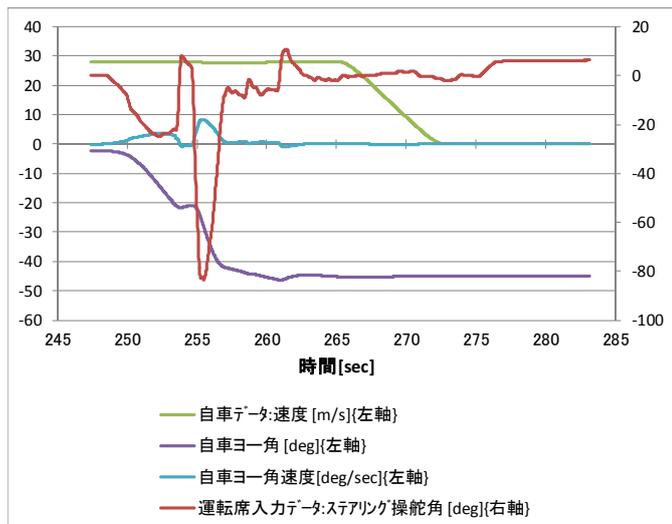
Sub.12 場面 2-c



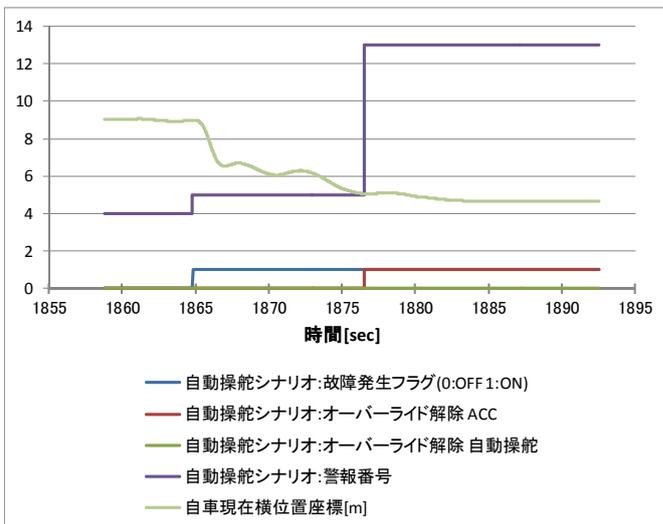
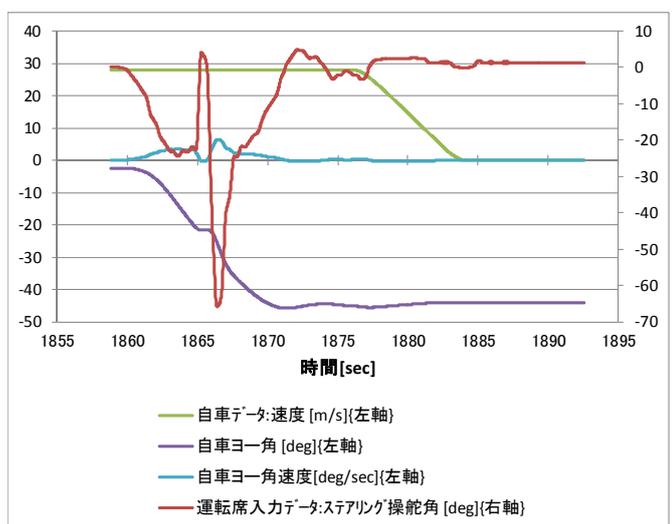
Sub.12 場面 2-d



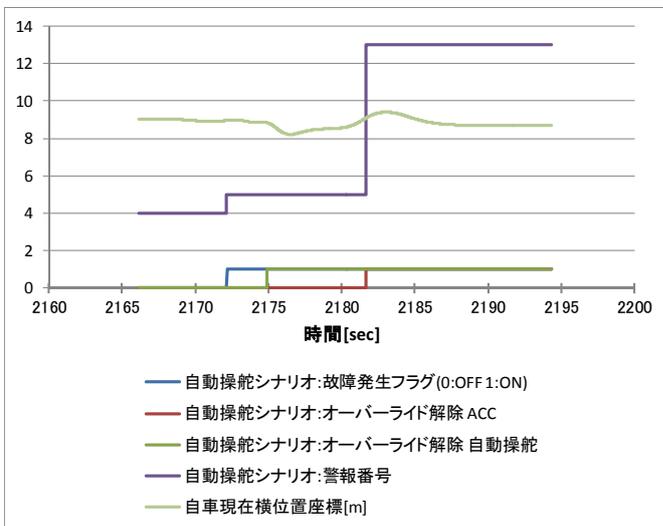
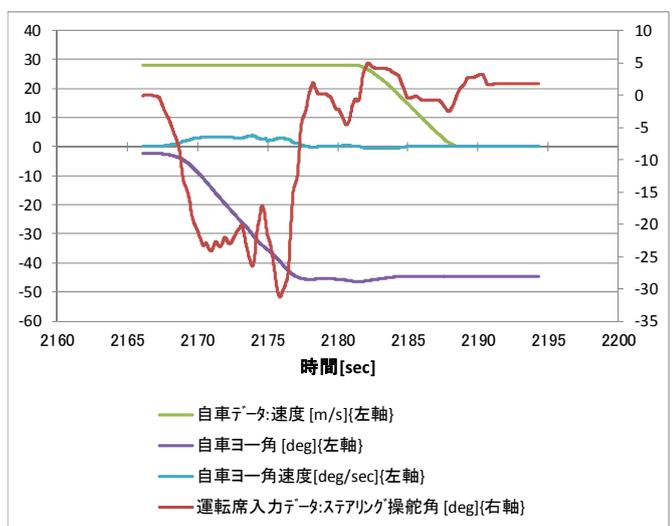
Sub.13 場面 1-a



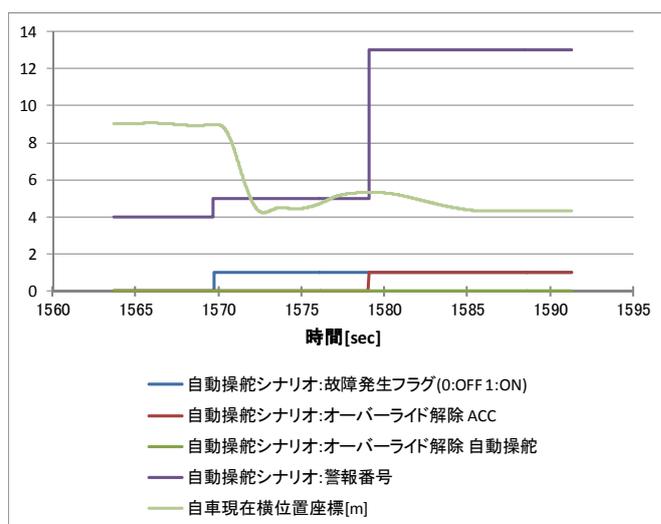
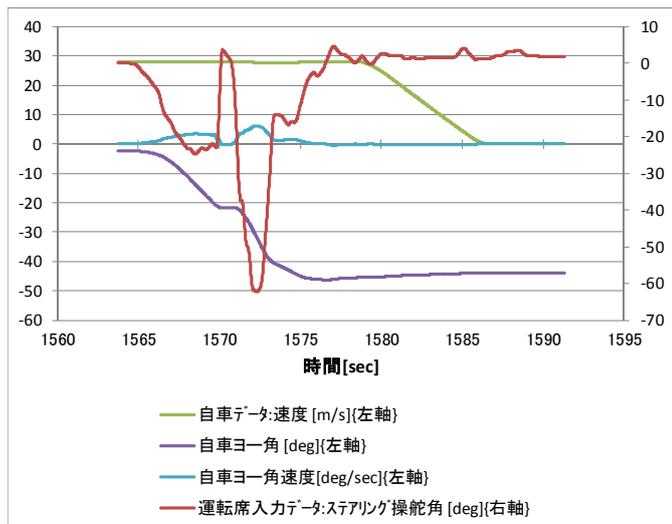
Sub.13 場面 1-b



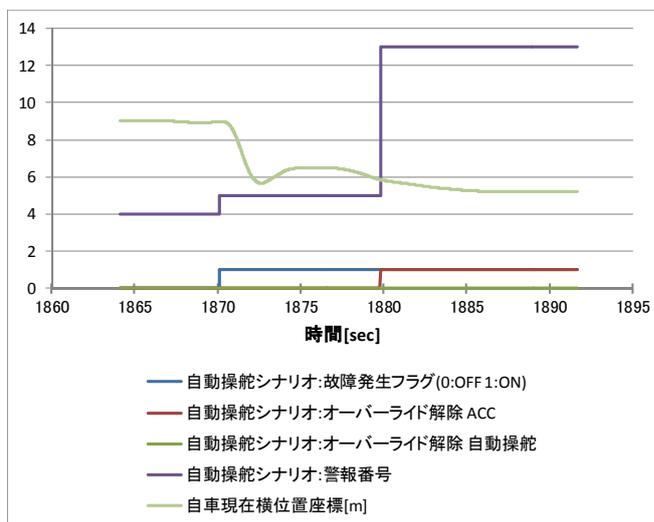
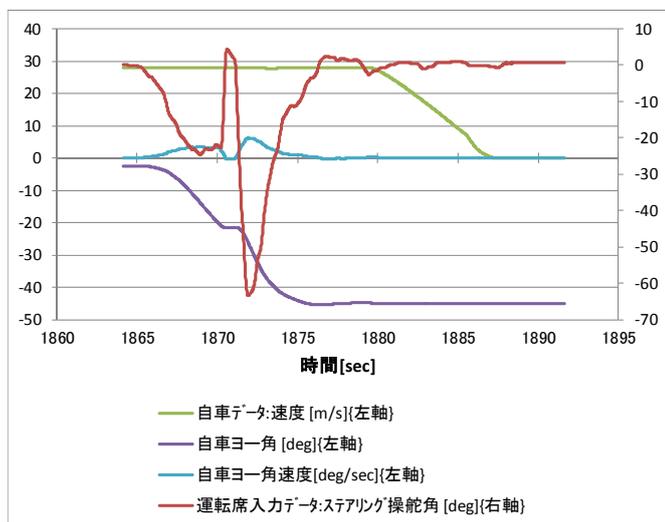
Sub.13 場面 1-c



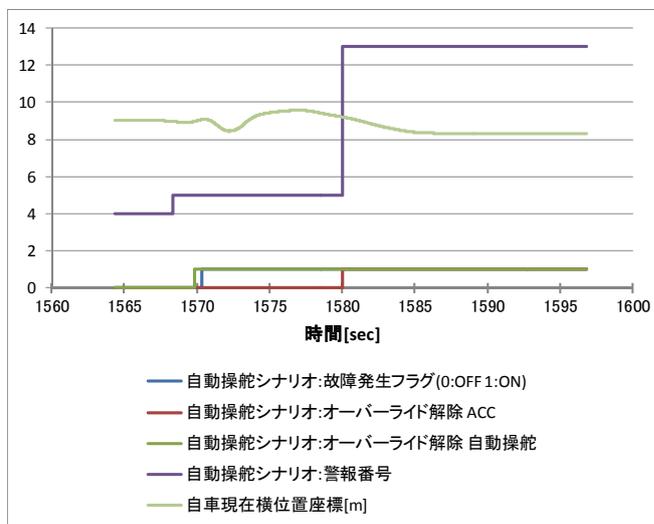
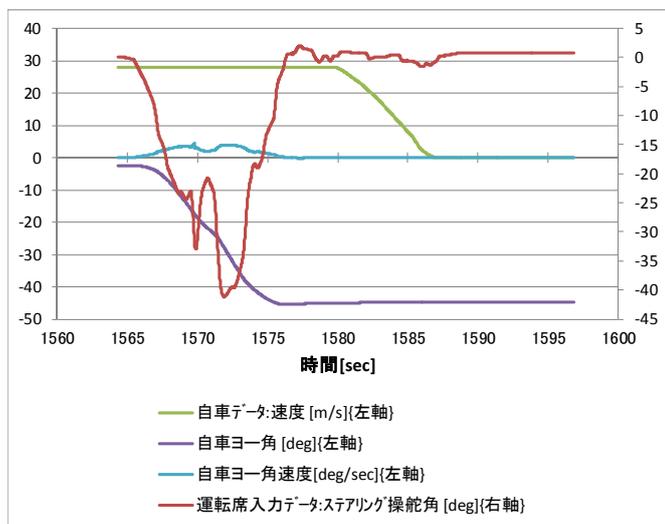
Sub.13 場面 1-d



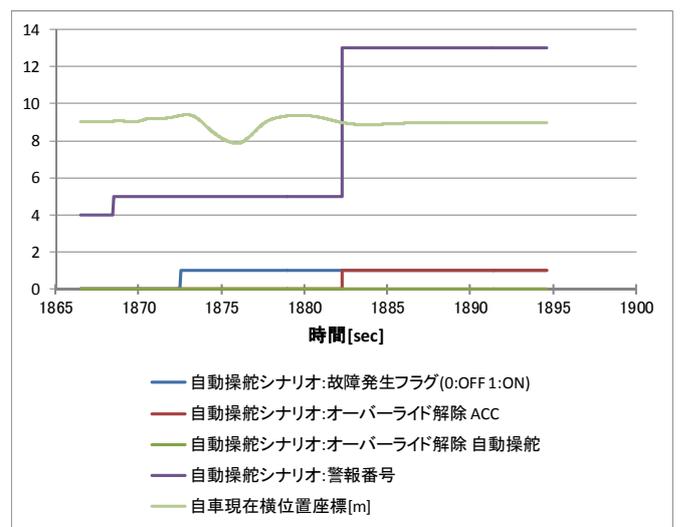
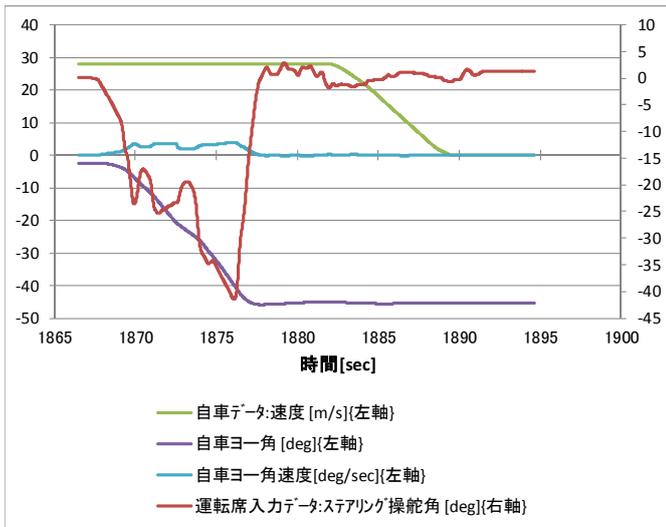
Sub.13 場面 1-e



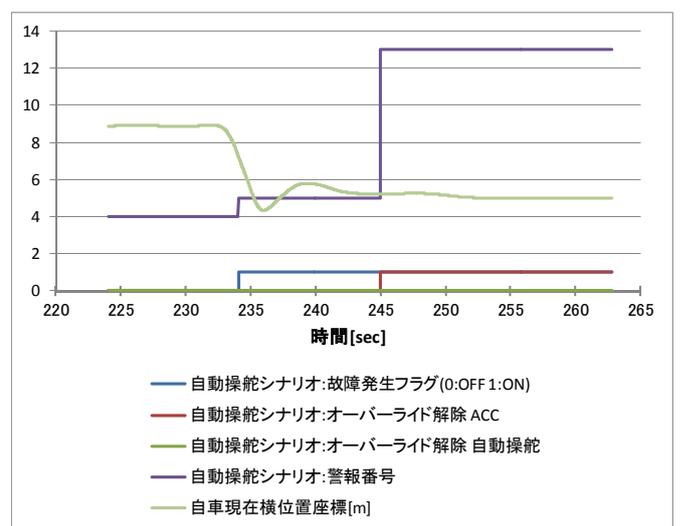
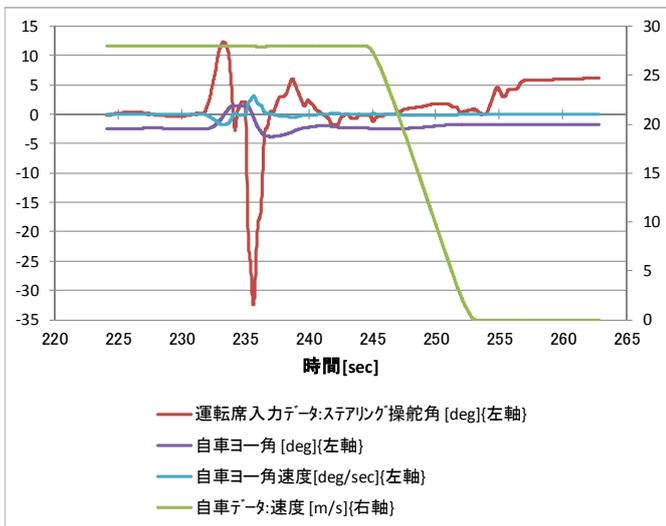
Sub.13 場面 1-f



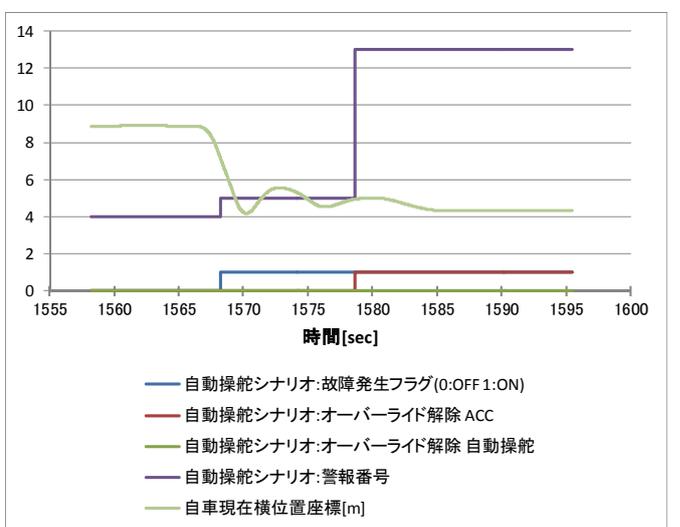
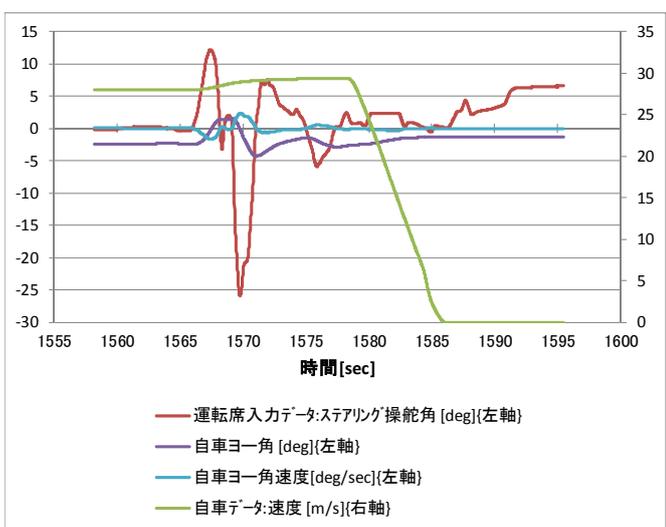
Sub.13 場面 1-g



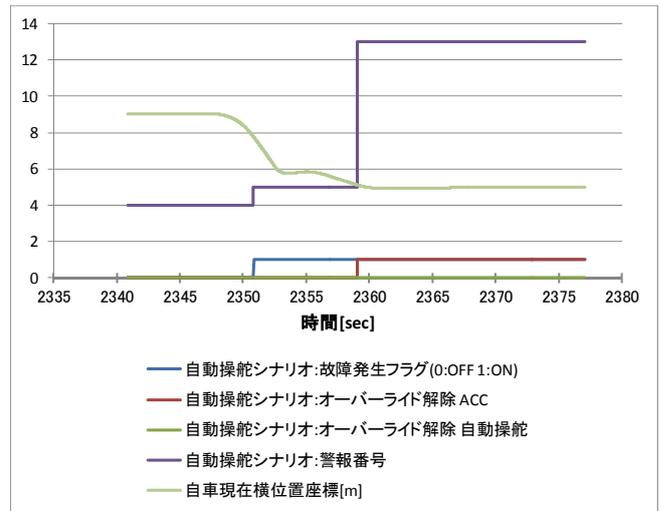
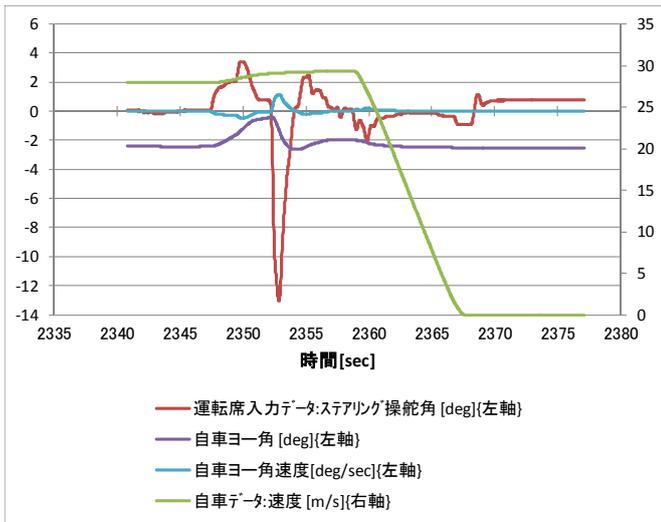
Sub.13 場面 2-a



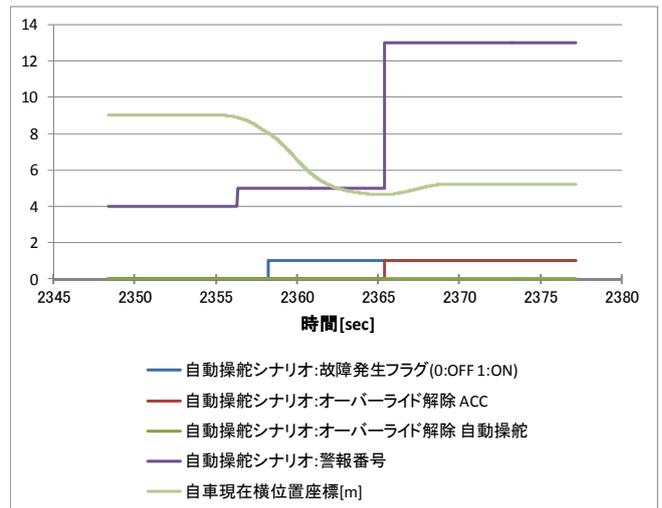
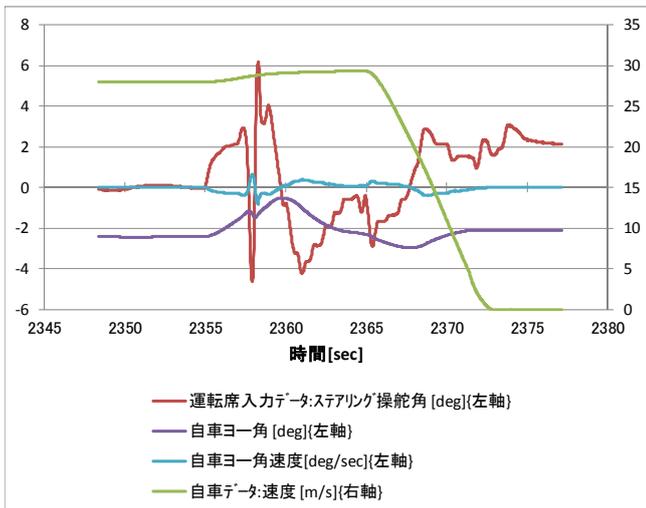
Sub.13 場面 2-b



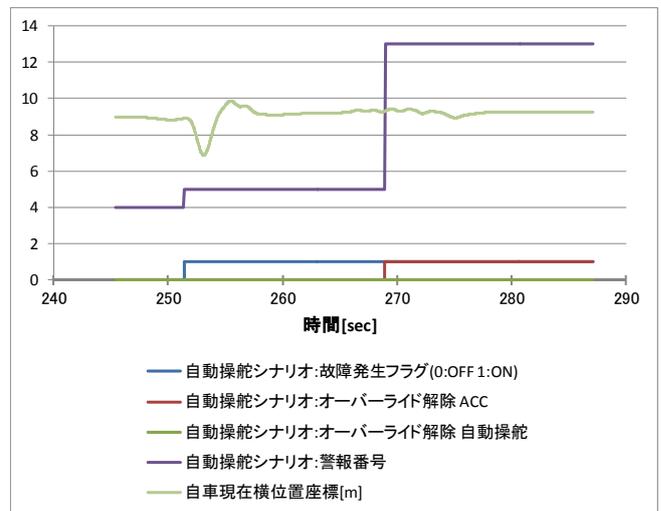
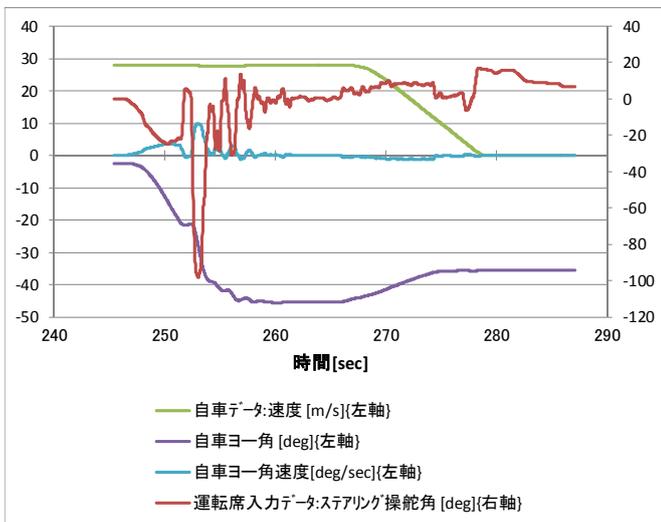
Sub.13 場面 2-c



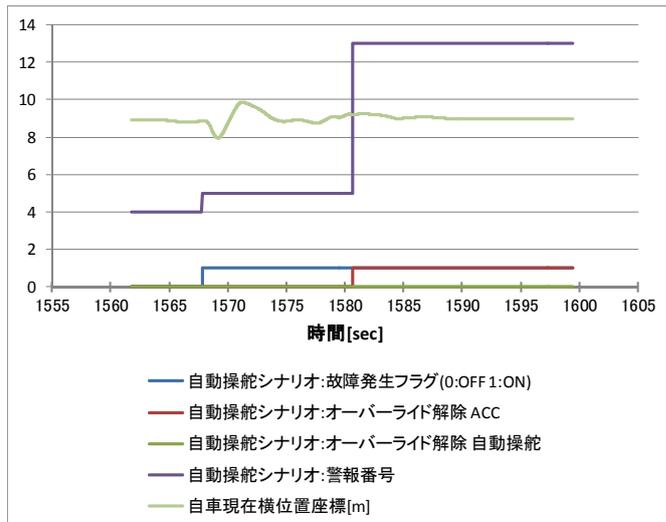
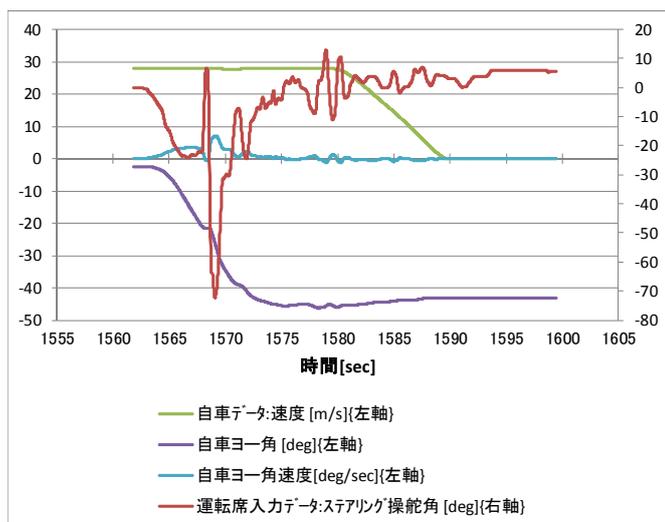
Sub.13 場面 2-d



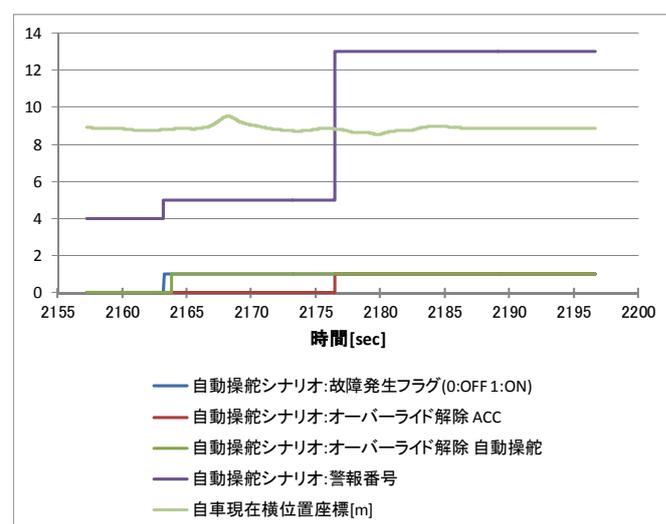
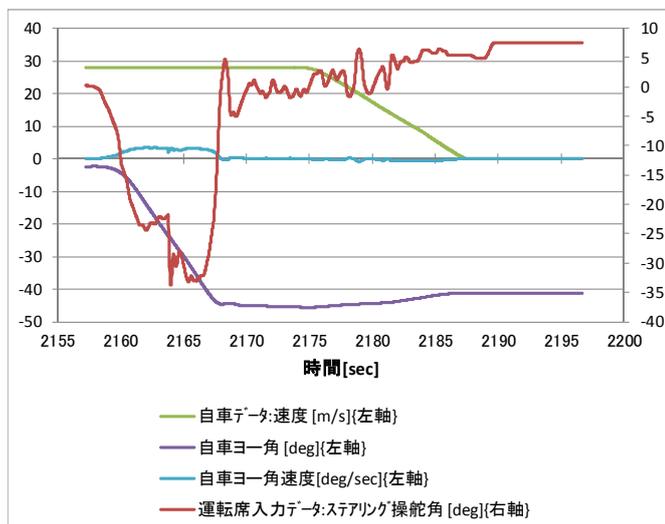
Sub.14 場面 1-a



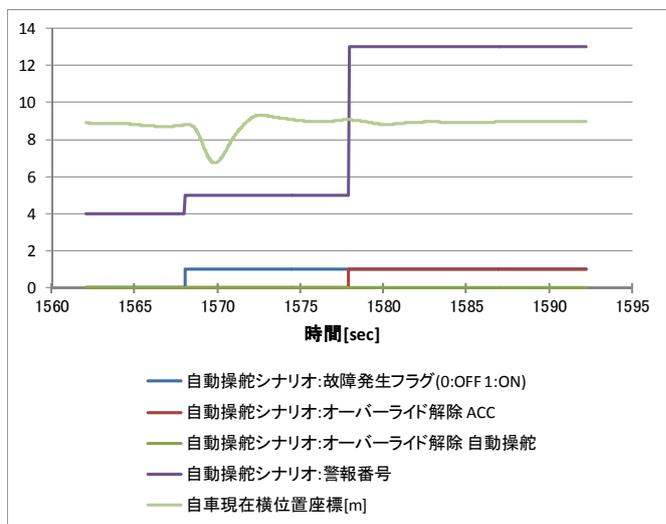
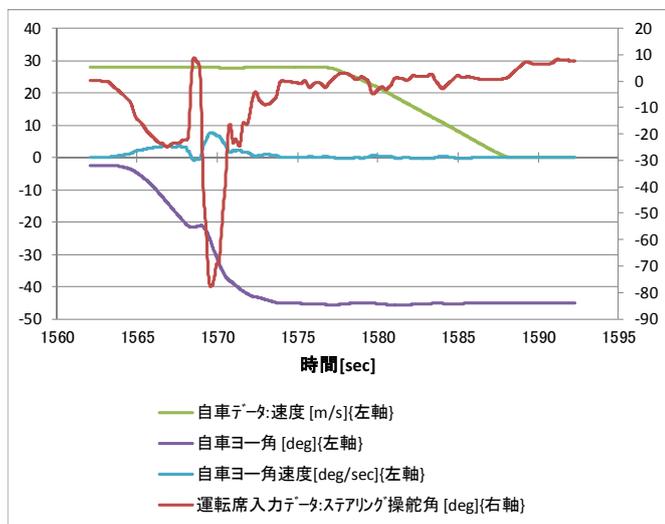
Sub.14 場面 1-b



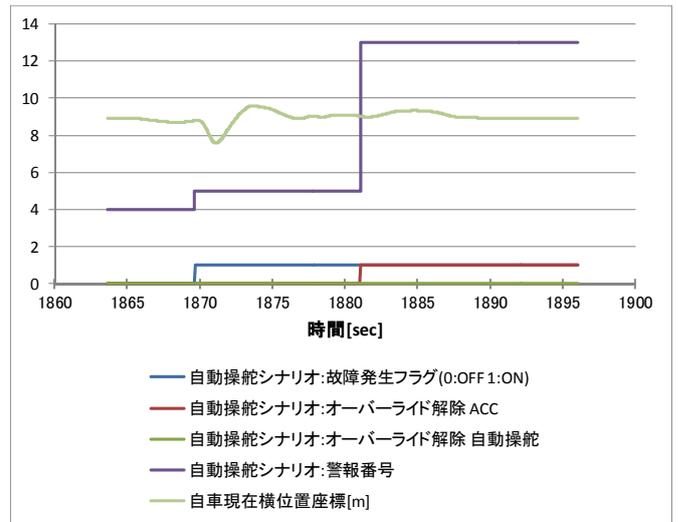
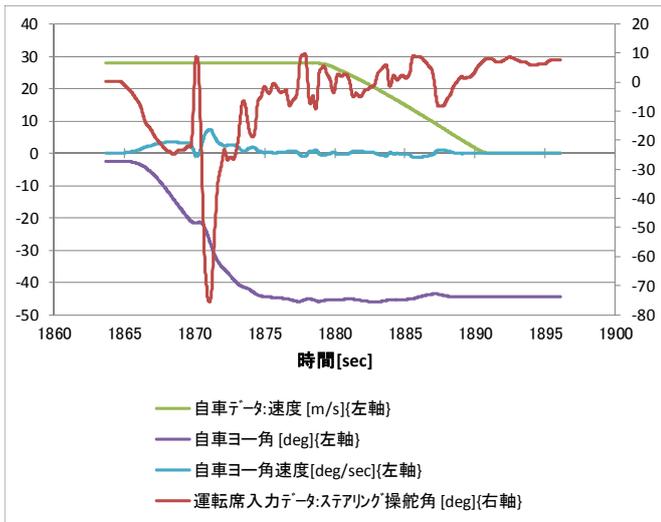
Sub.14 場面 1-c



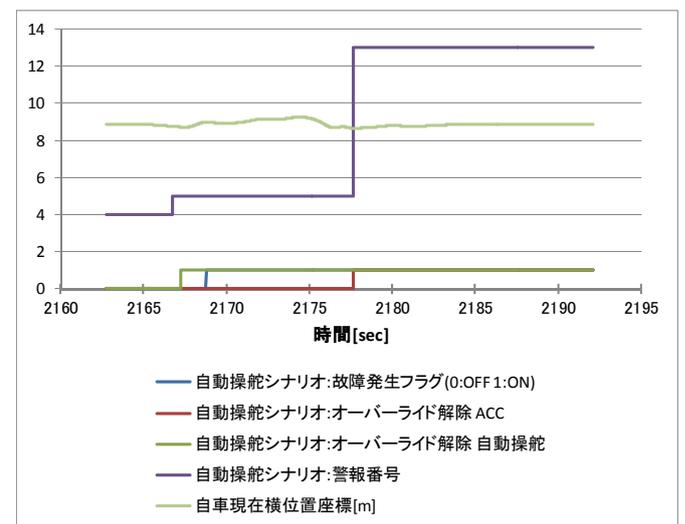
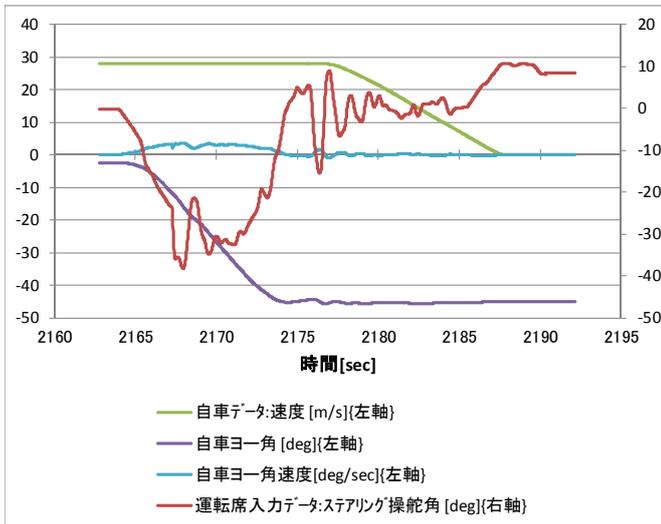
Sub.14 場面 1-d



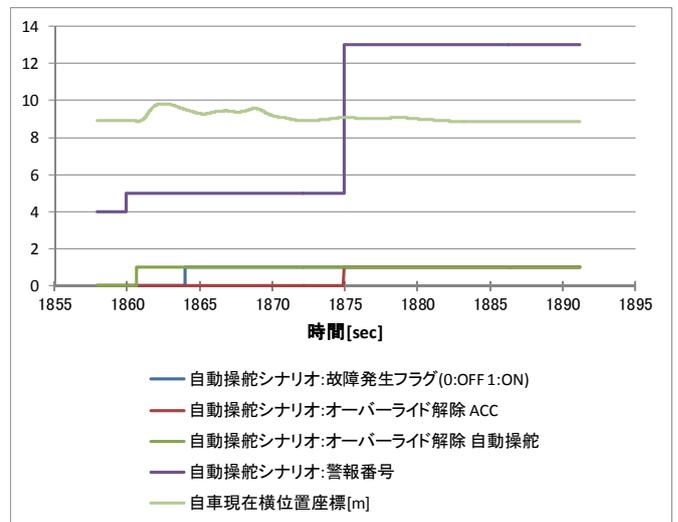
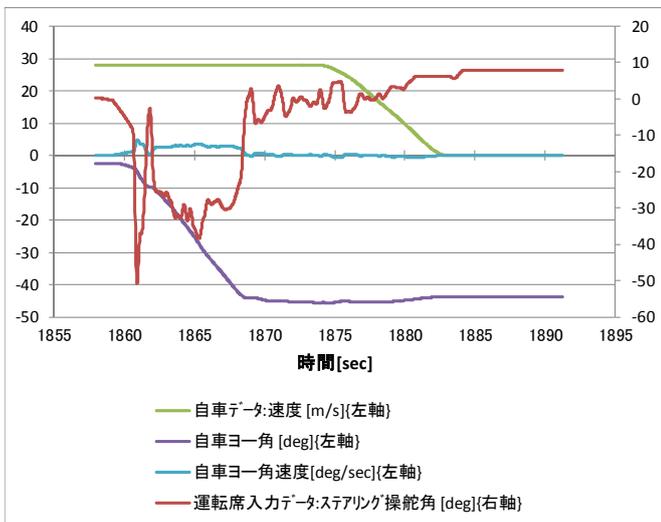
Sub.14 場面 1-e



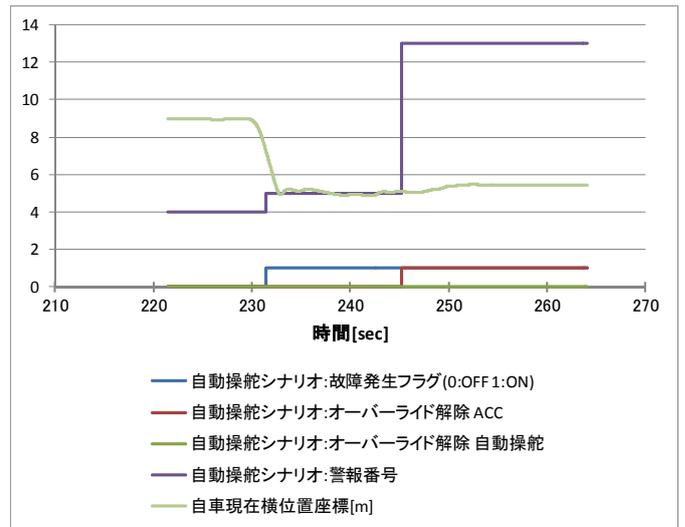
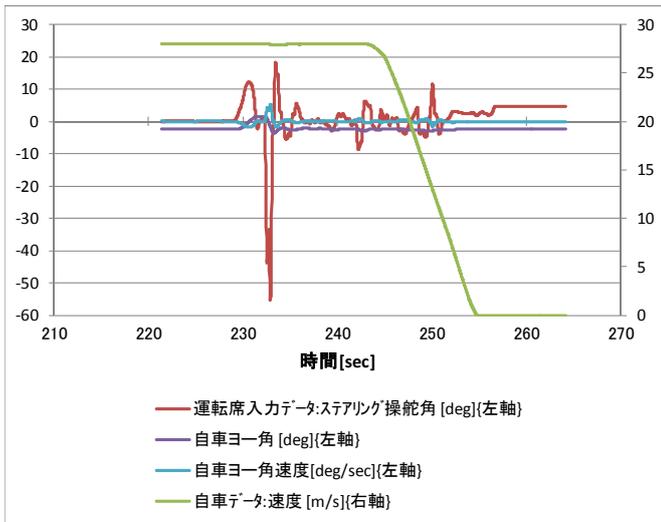
Sub.14 場面 1-f



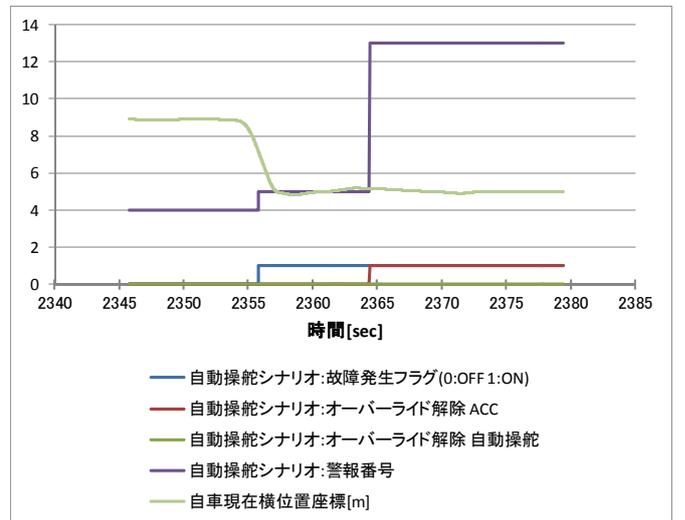
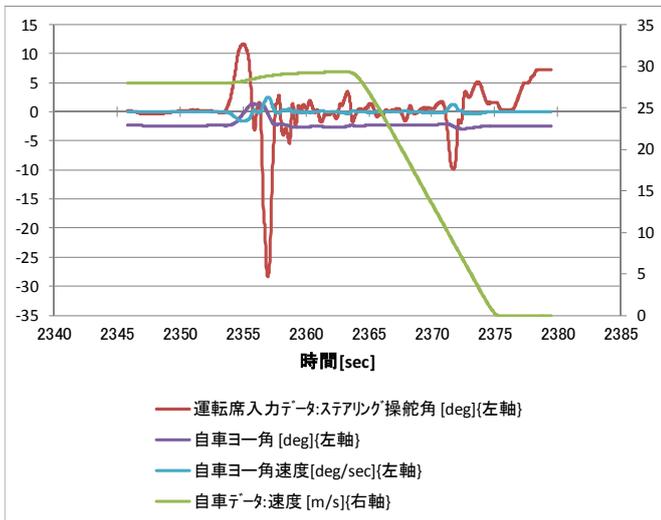
Sub.14 場面 1-g



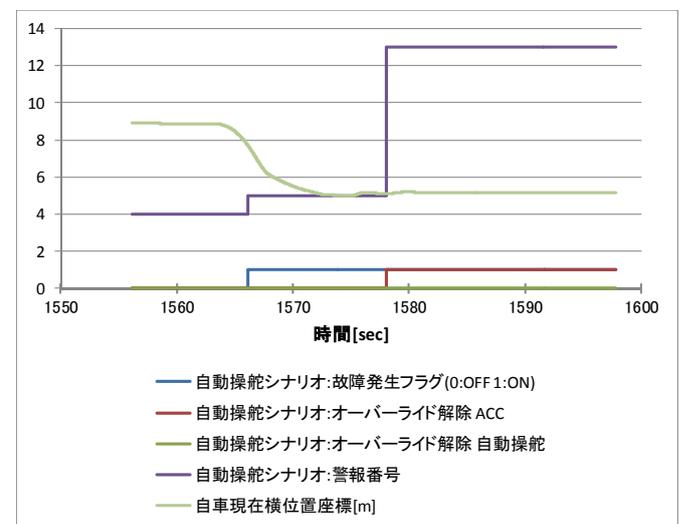
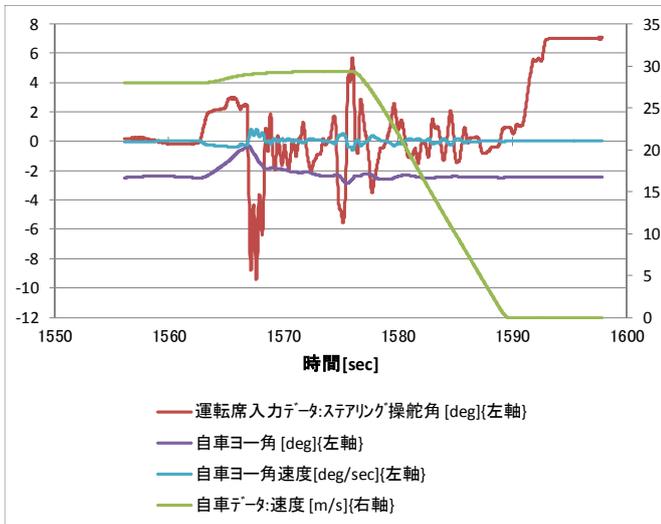
Sub.14 場面 2-a



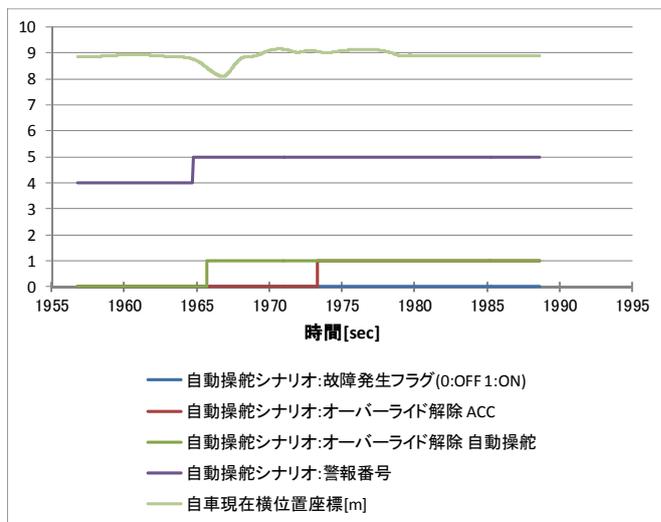
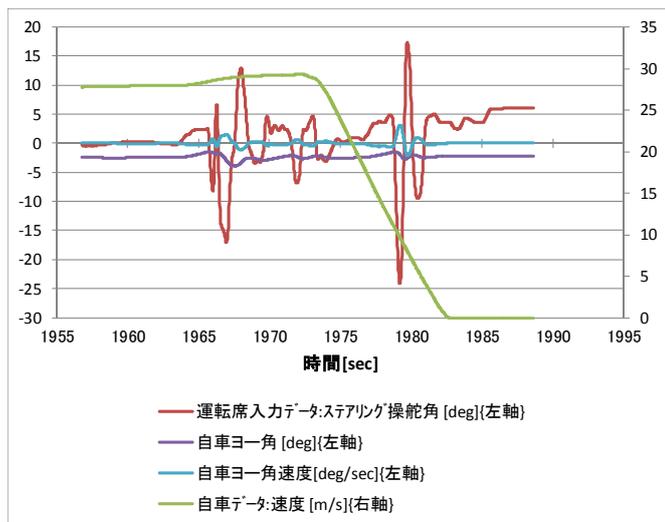
Sub.14 場面 2-b



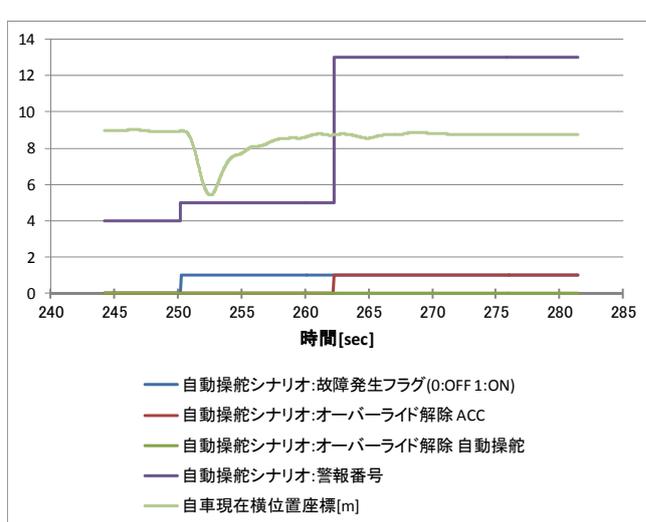
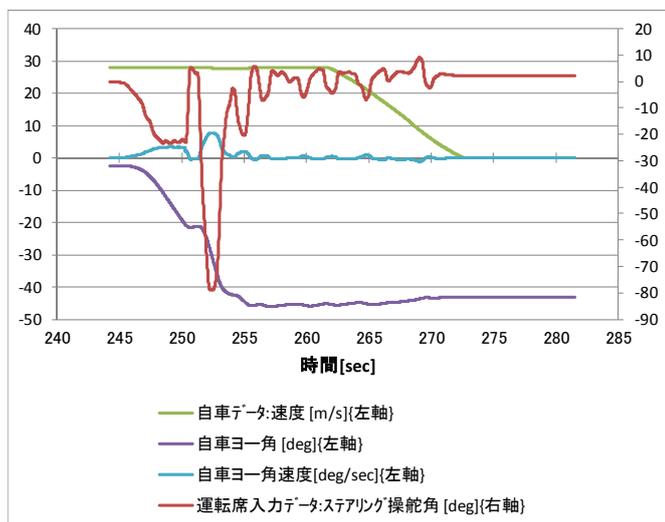
Sub.14 場面 2-c



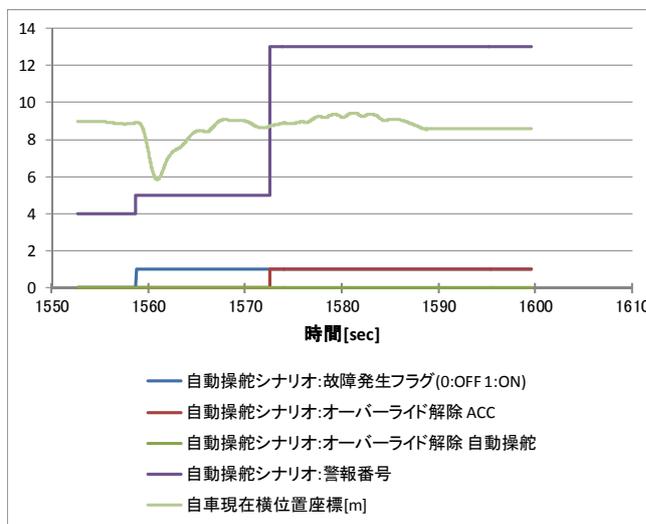
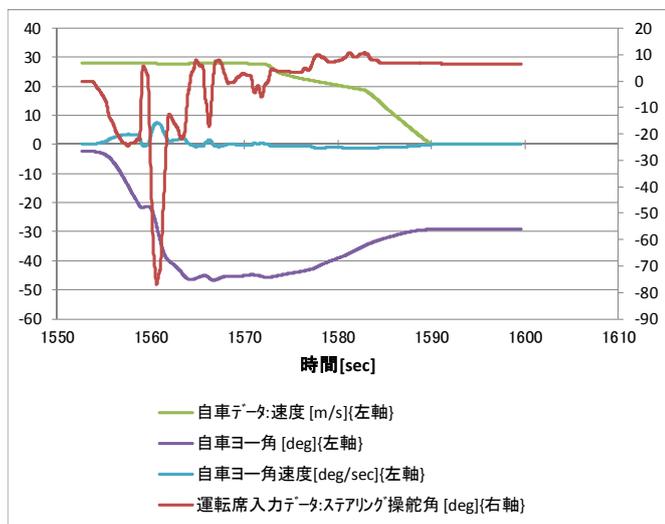
Sub.14 場面 2-d



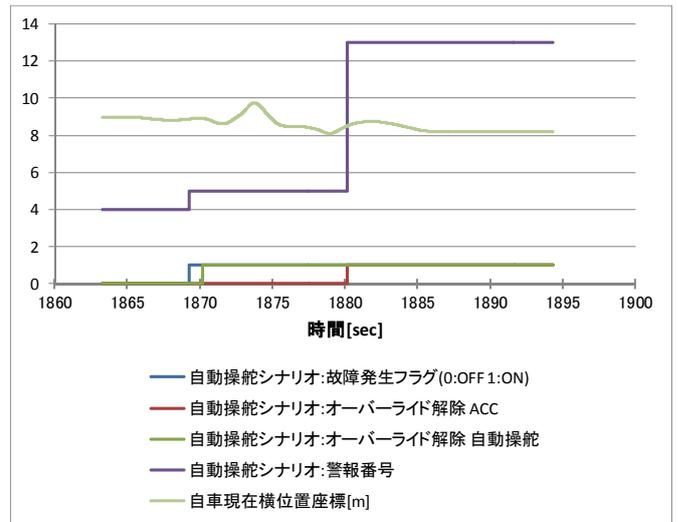
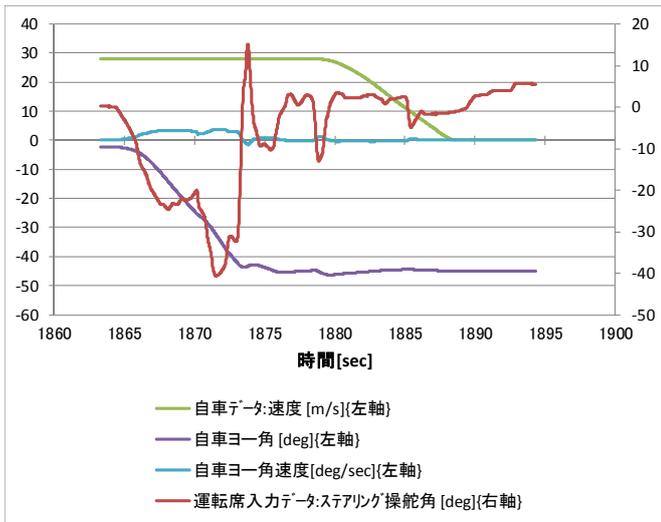
Sub.15 場面 1-a



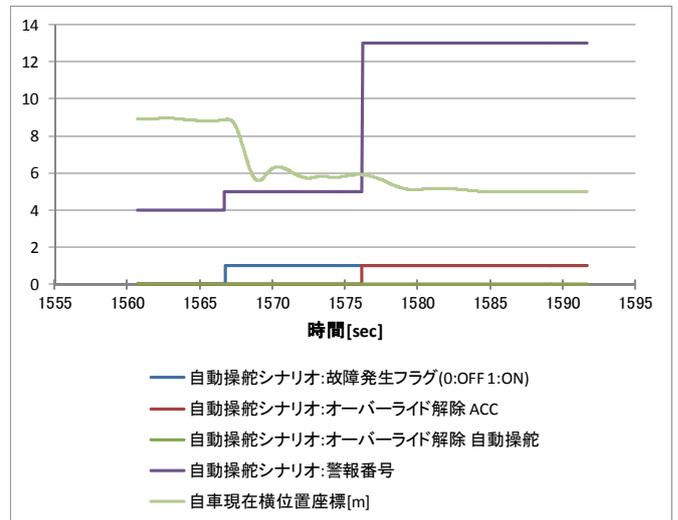
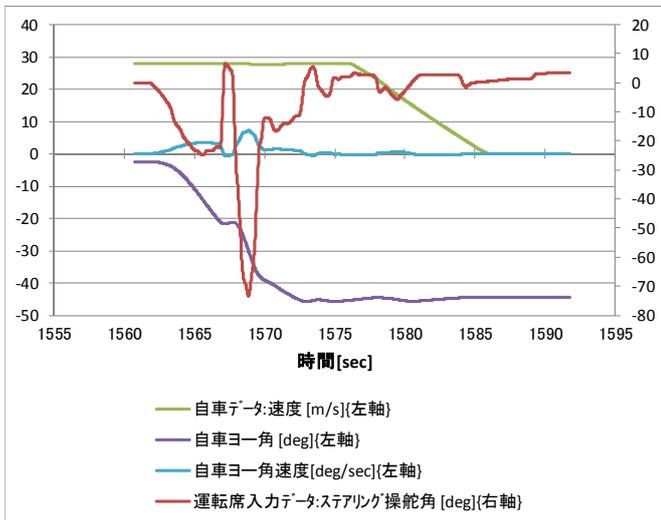
Sub.15 場面 1-b



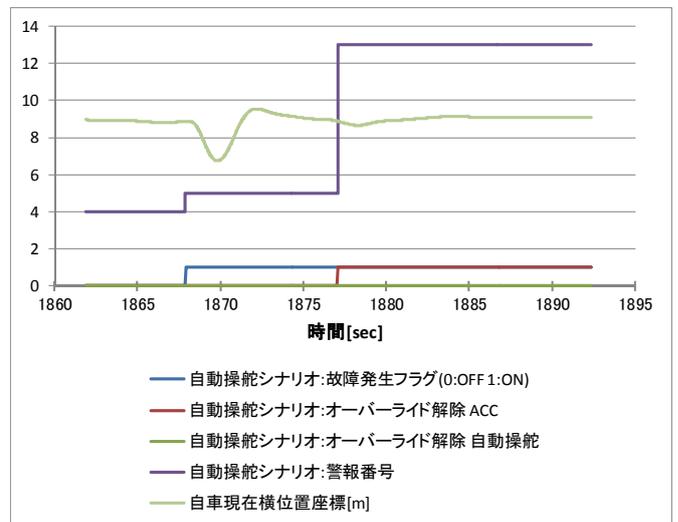
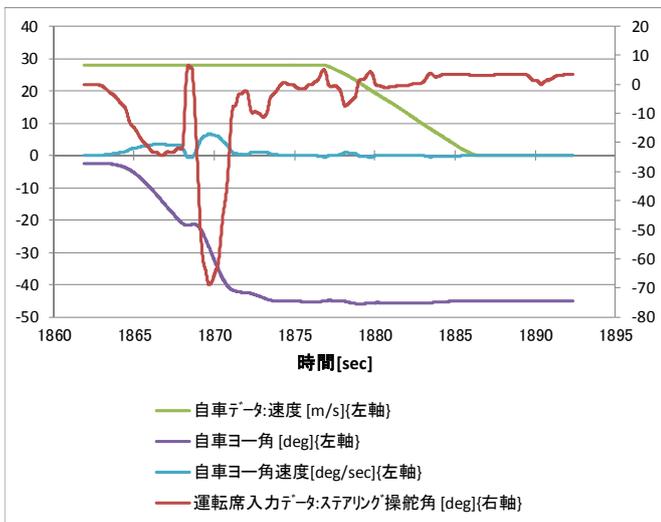
Sub.15 場面 1-c



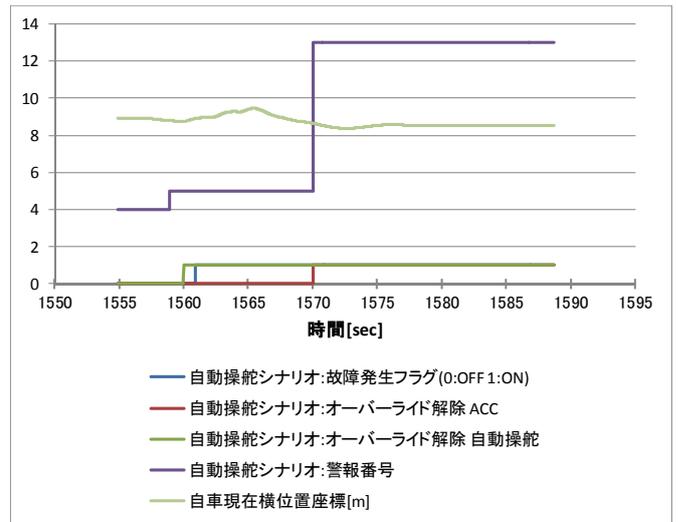
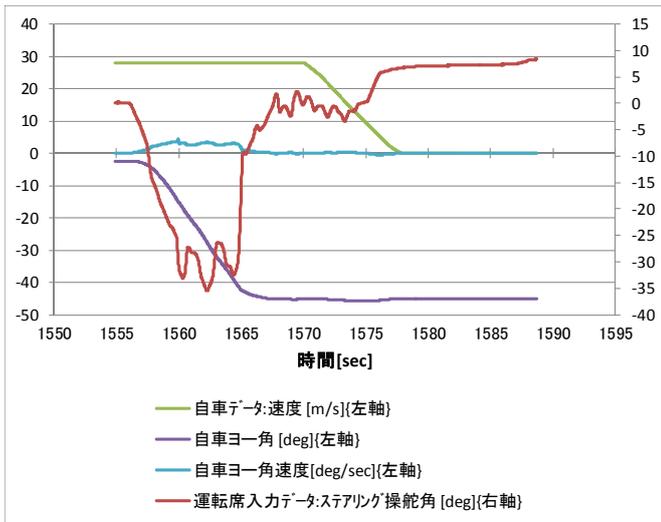
Sub.15 場面 1-d



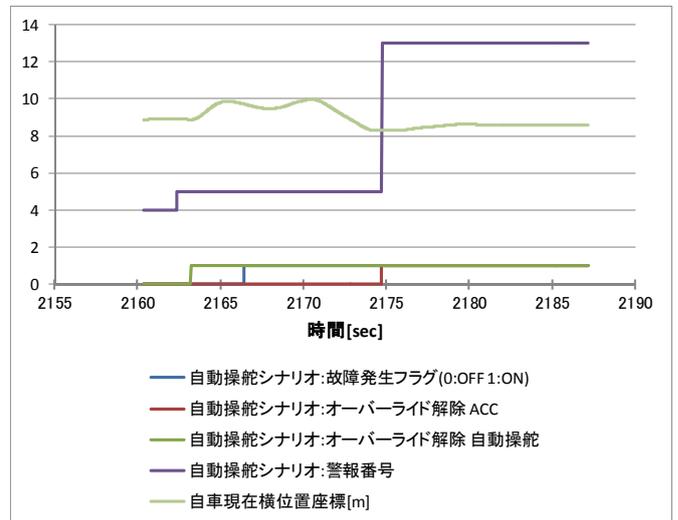
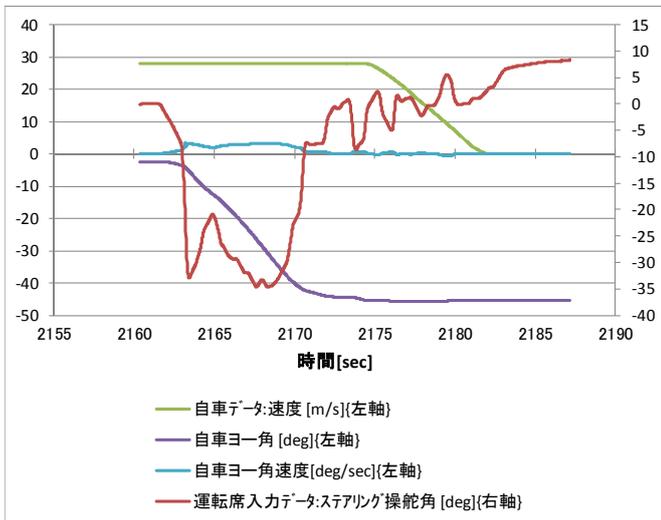
Sub.15 場面 1-e



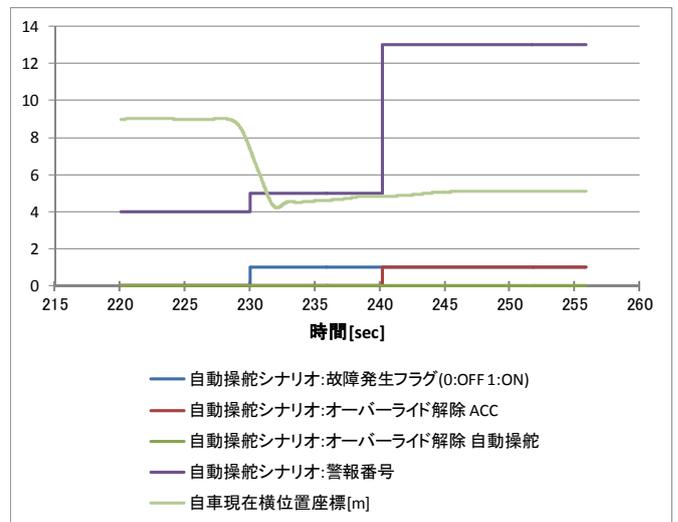
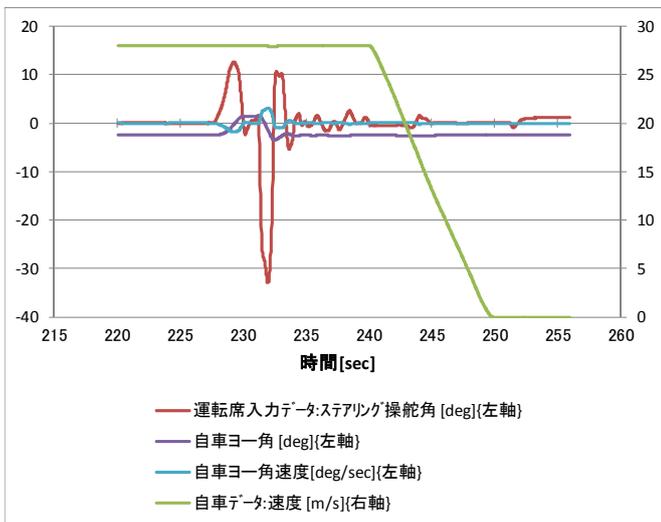
Sub.13 場面 1-f



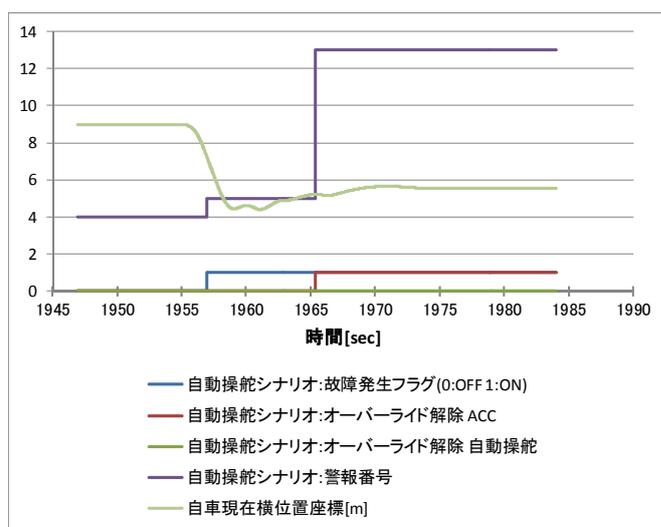
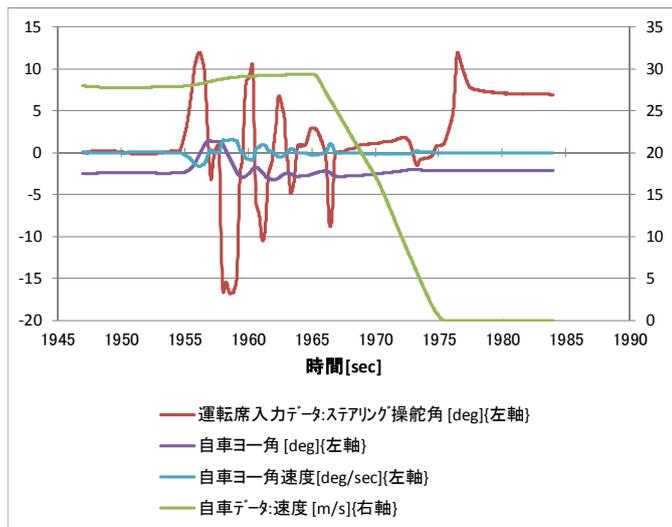
Sub.15 場面 1-g



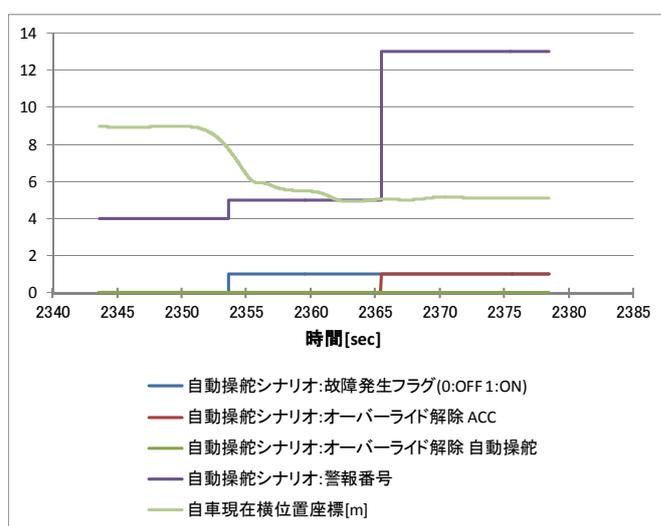
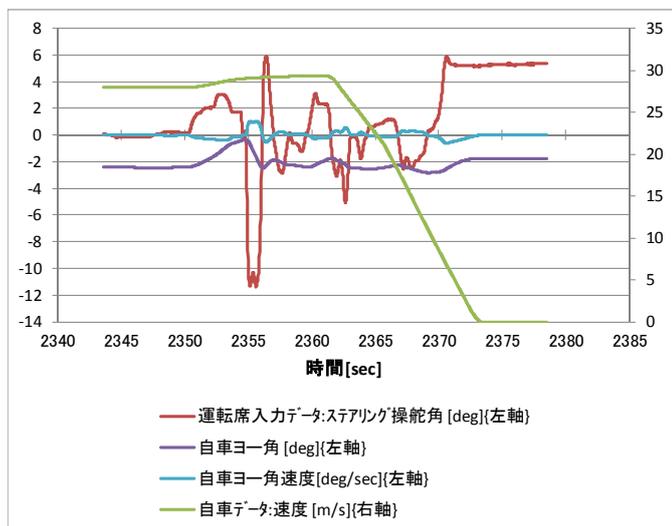
Sub.15 場面 2-a



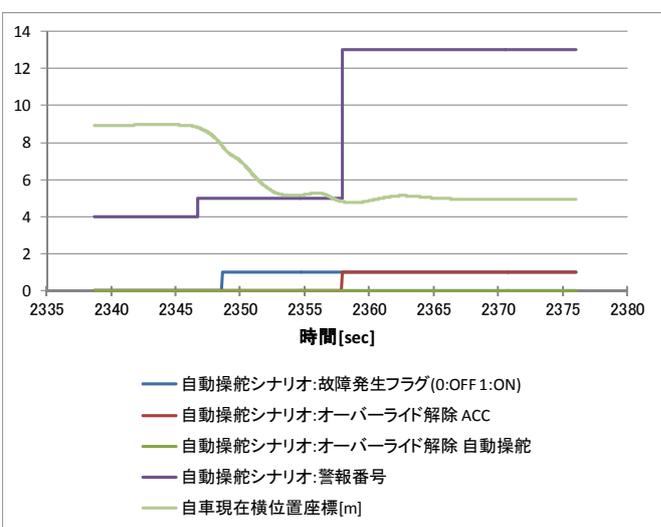
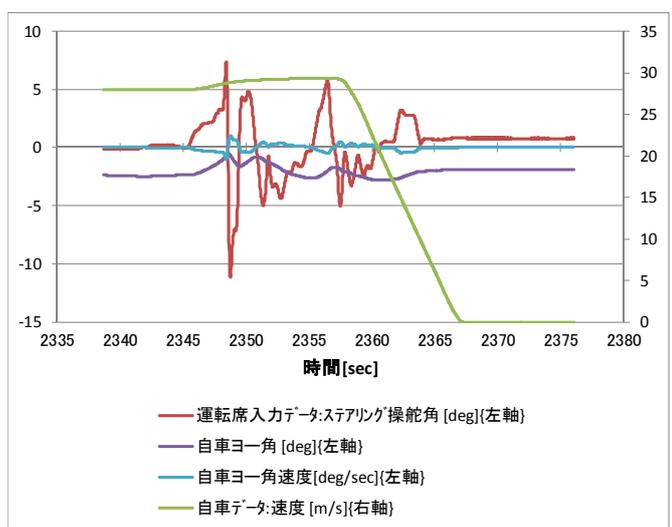
Sub.15 場面 2-b



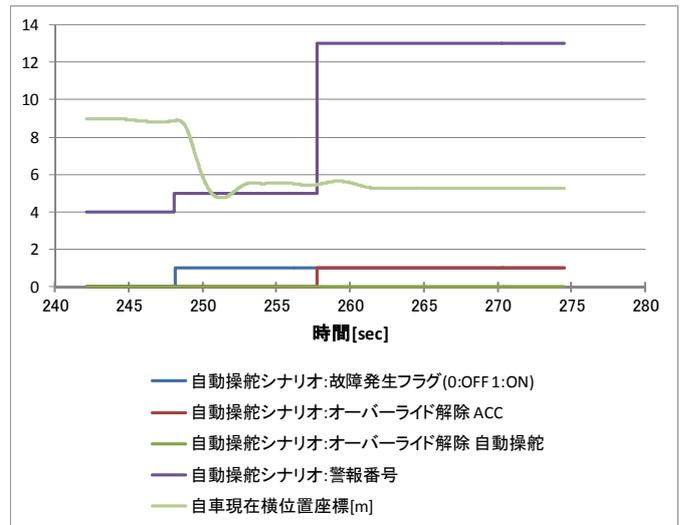
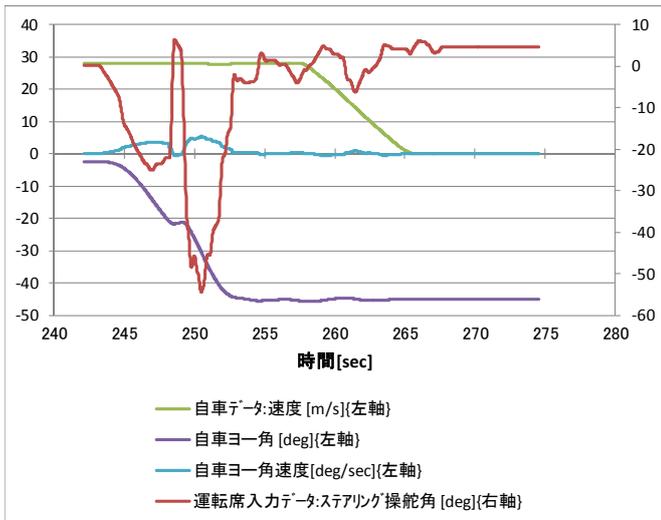
Sub.15 場面 2-c



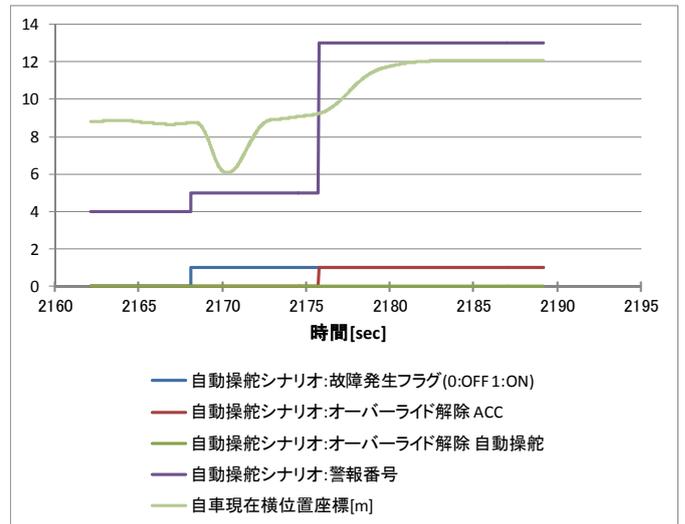
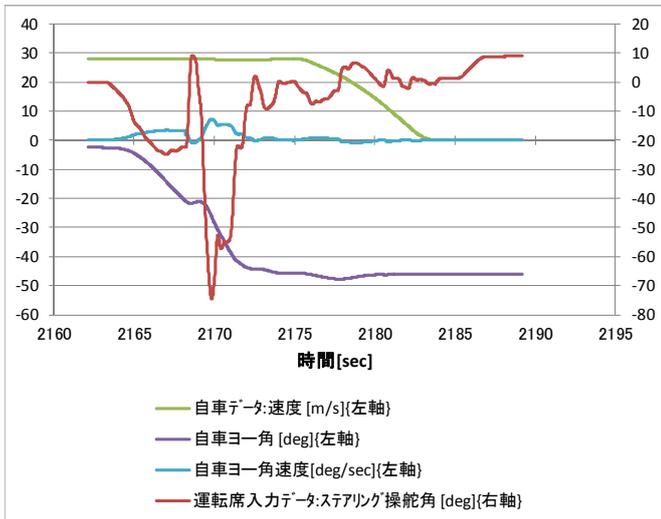
Sub.15 場面 2-d



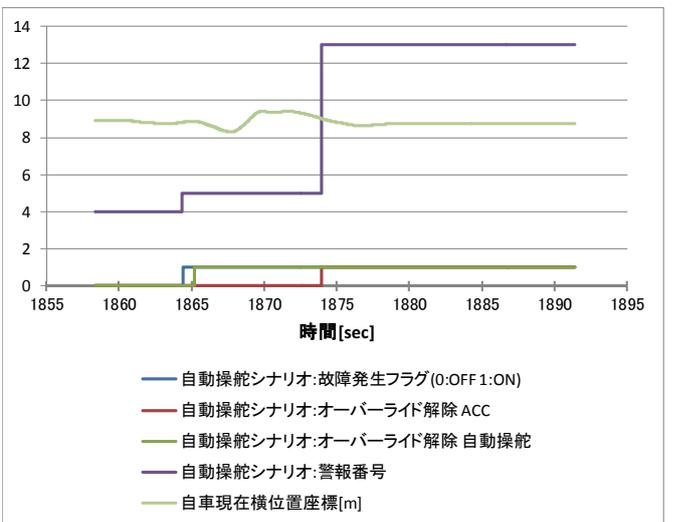
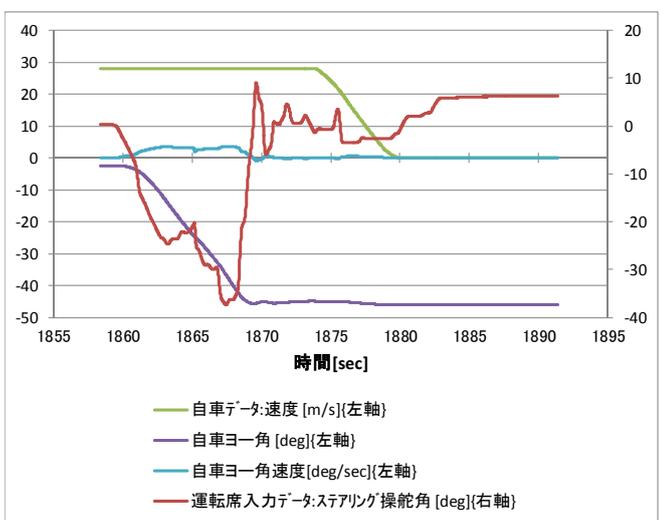
Sub.16 場面 1-a



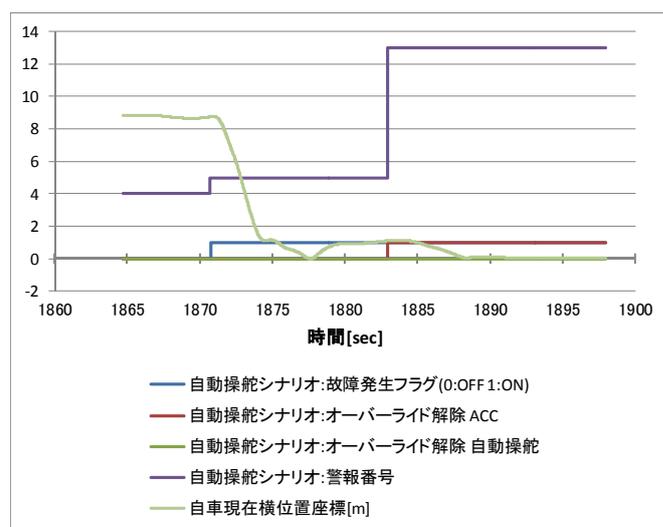
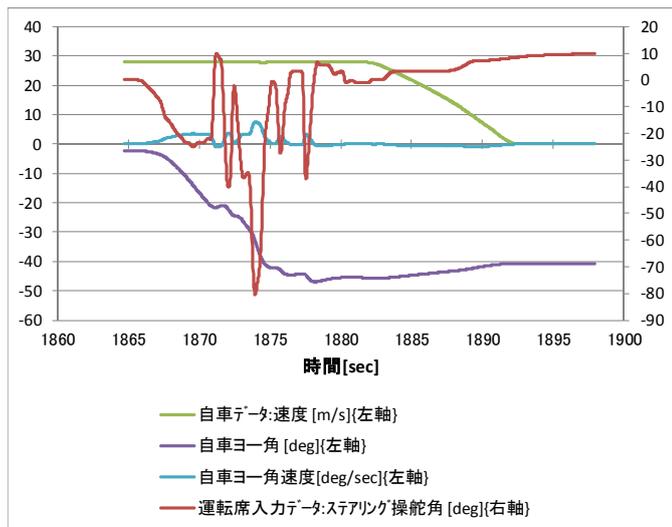
Sub.16 場面 1-b



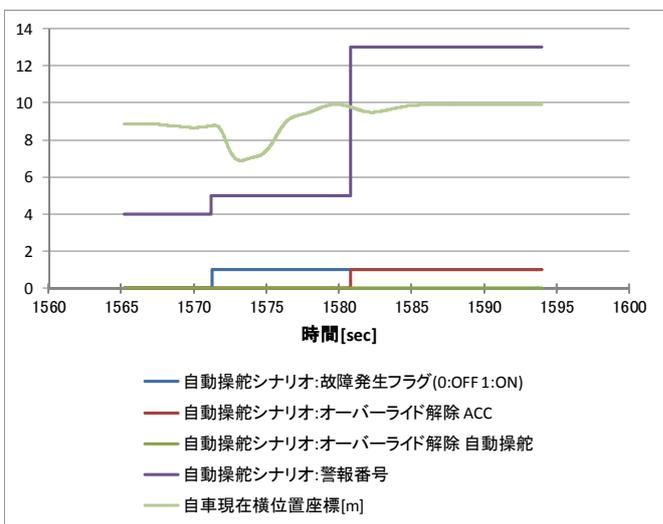
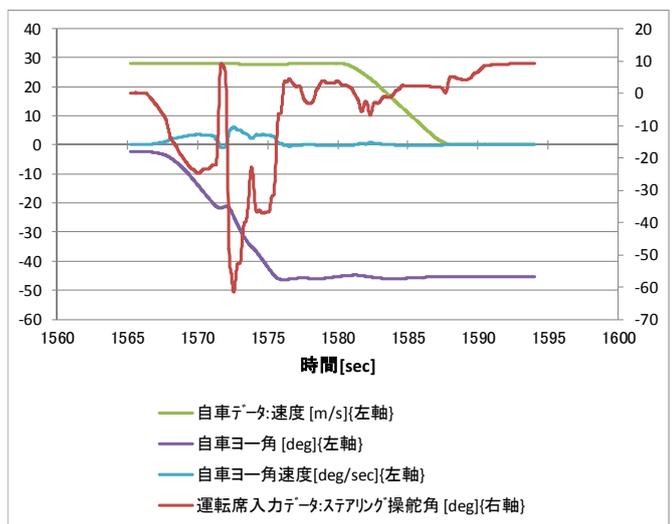
Sub.16 場面 1-c



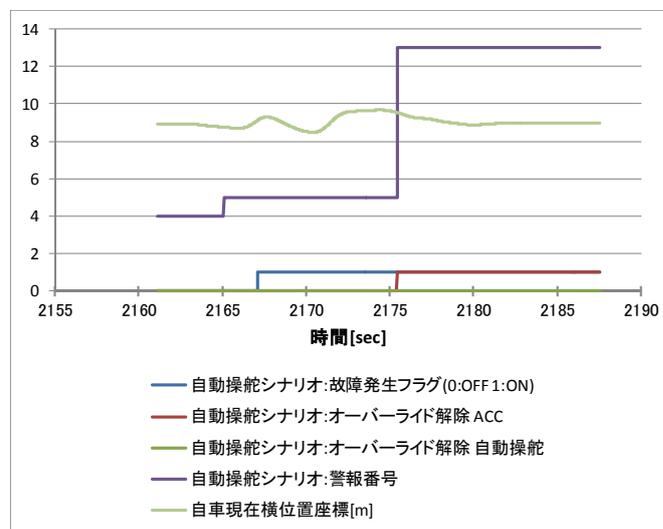
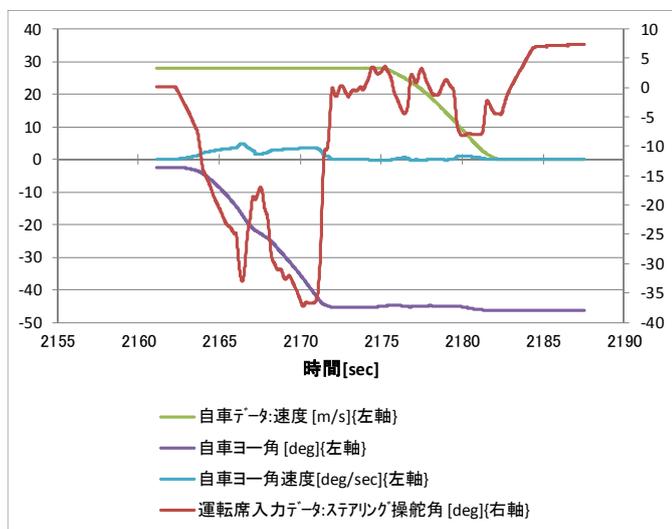
Sub.16 場面 1-d



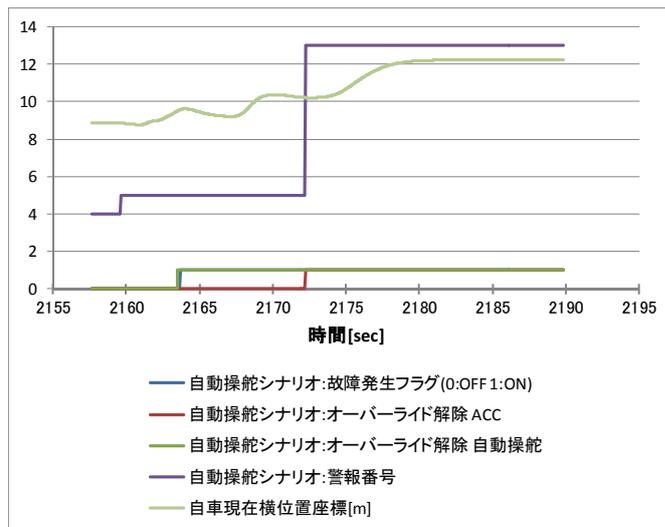
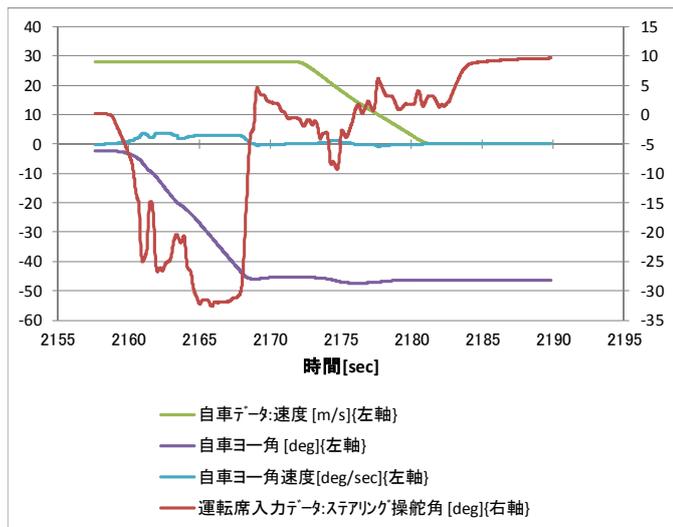
Sub.16 場面 1-e



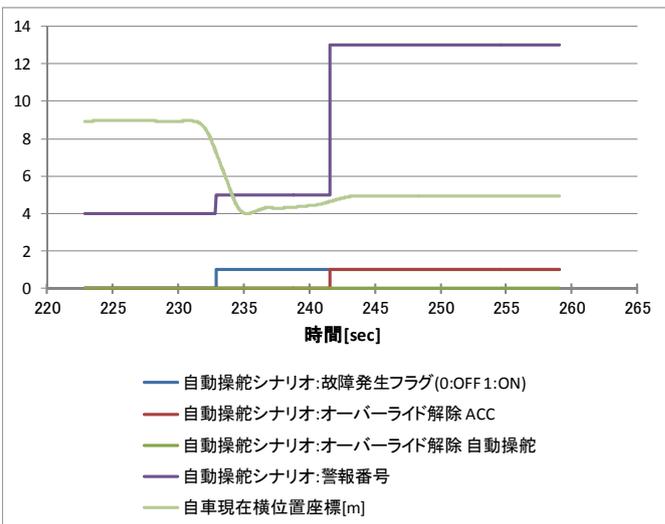
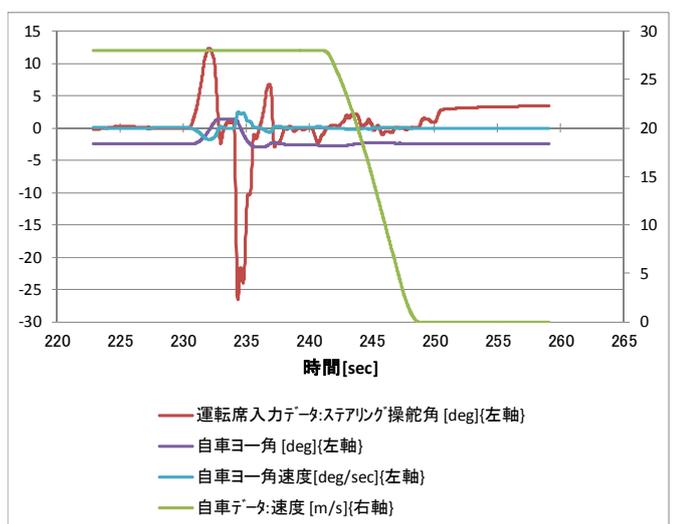
Sub.16 場面 1-f



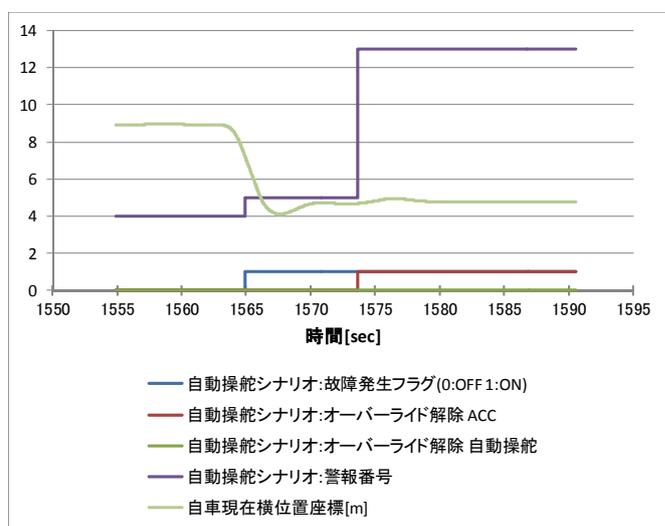
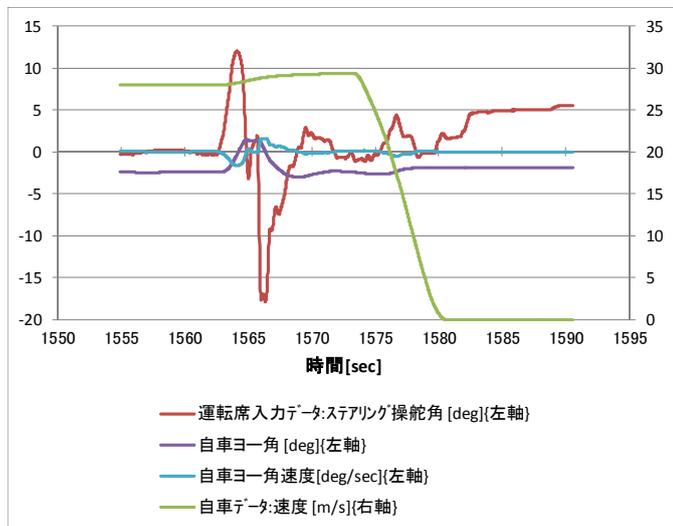
Sub.16 場面 1-g



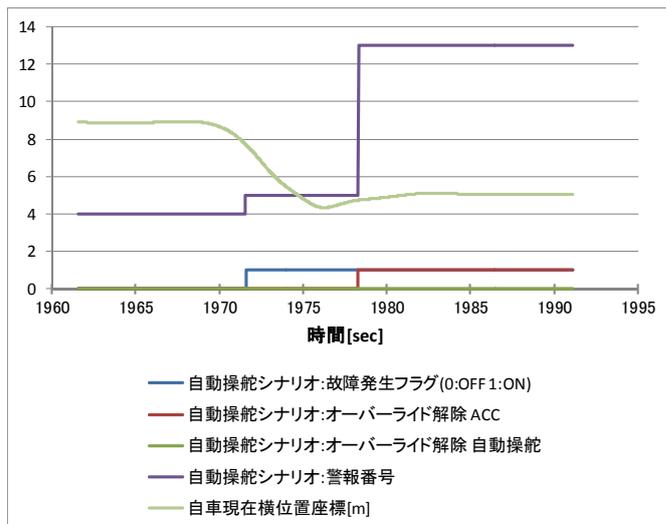
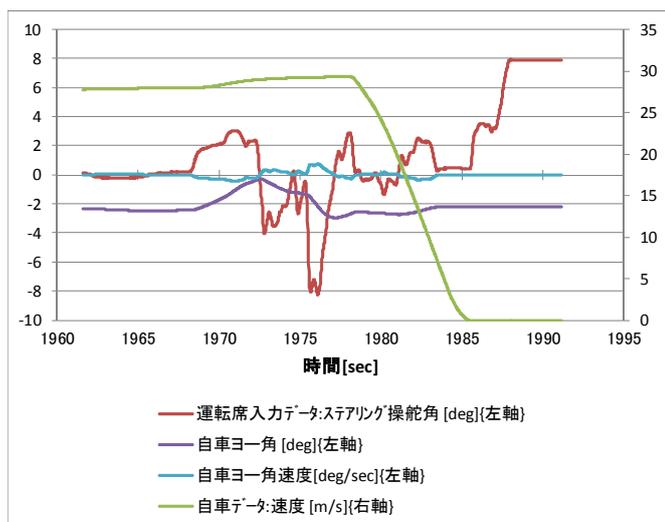
Sub.16 場面 2-a



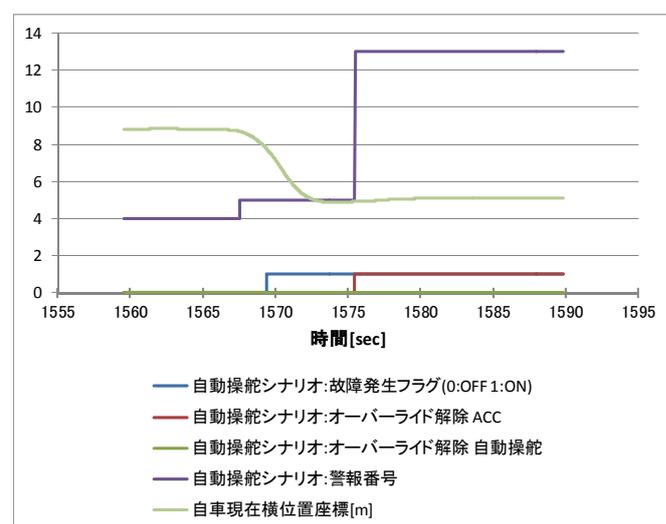
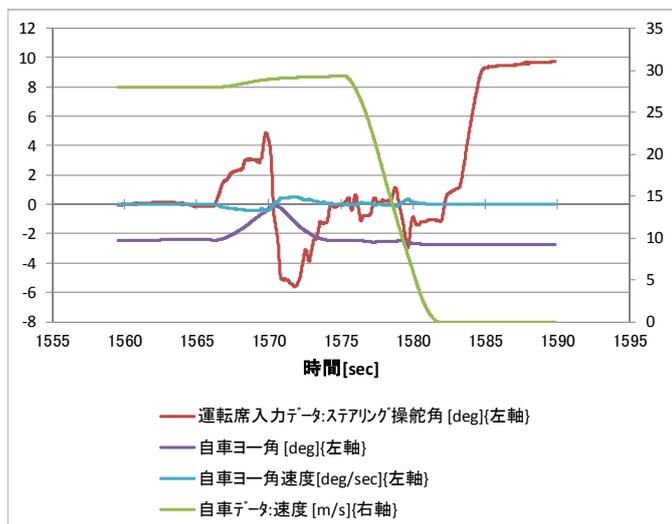
Sub.16 場面 2-b



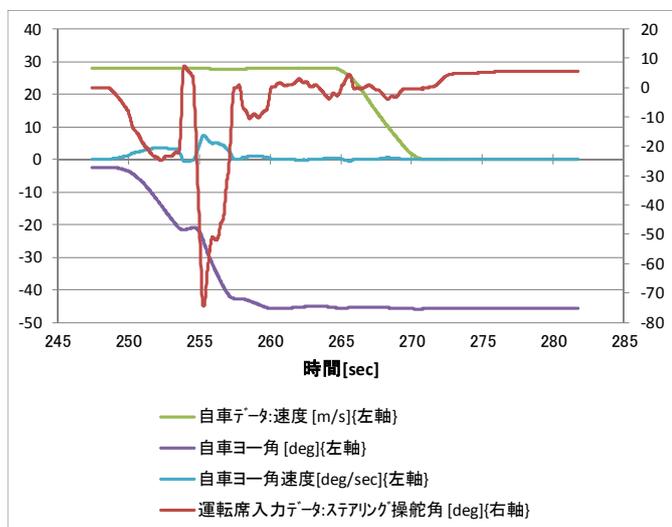
Sub.16 場面 2-c



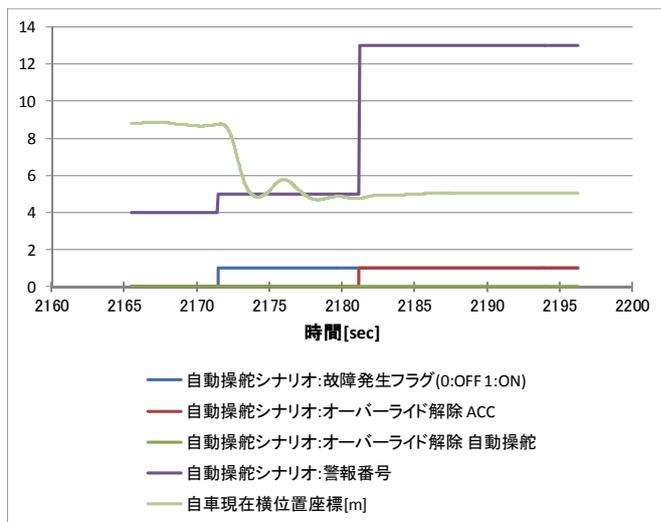
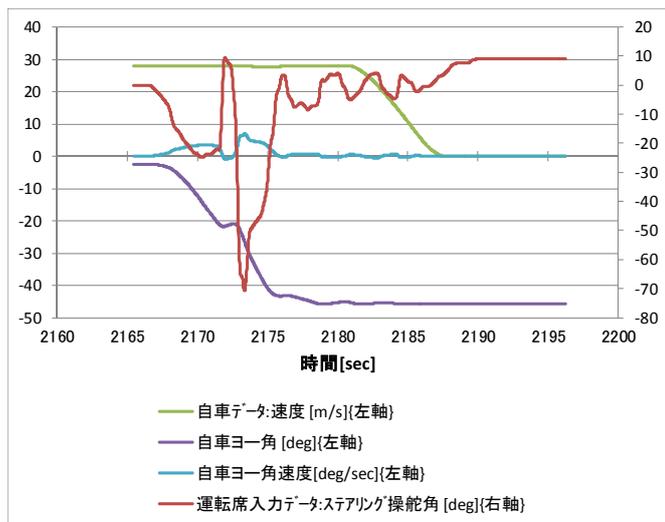
Sub.16 場面 2-d



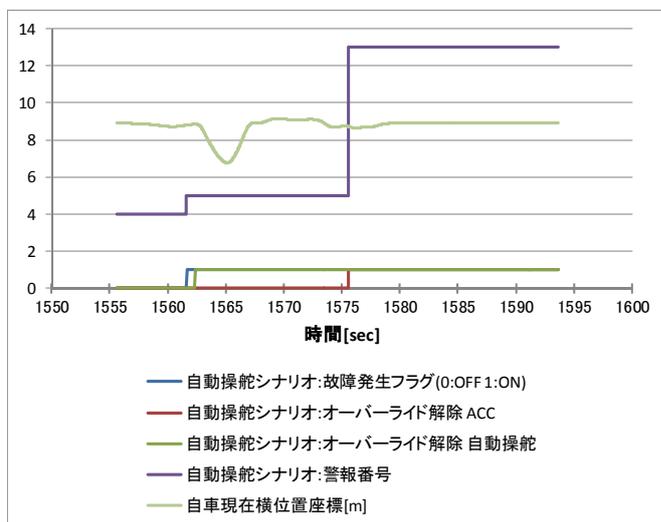
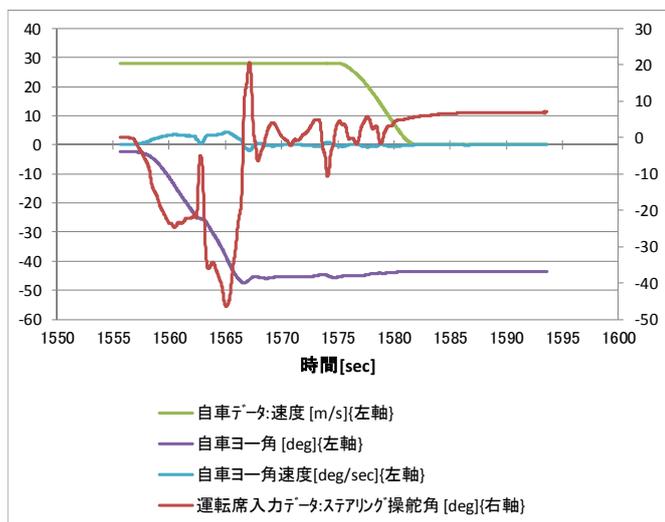
Sub.17 場面 1-a



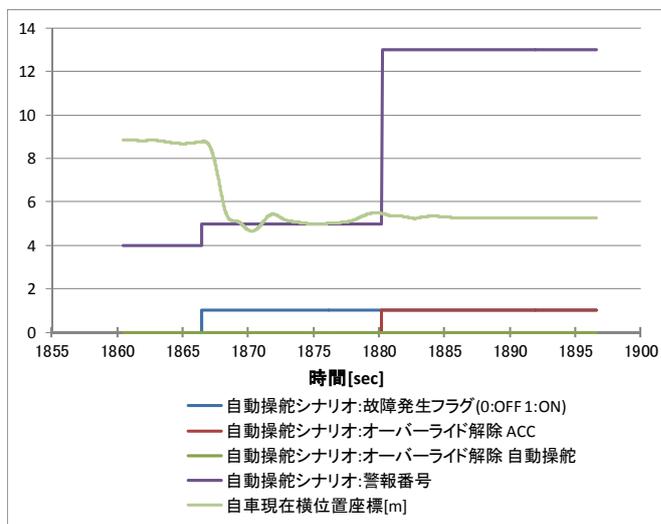
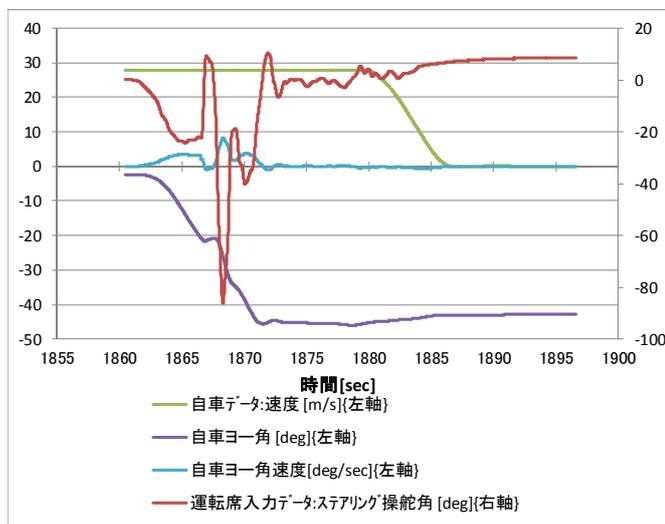
Sub.17 場面 1-b



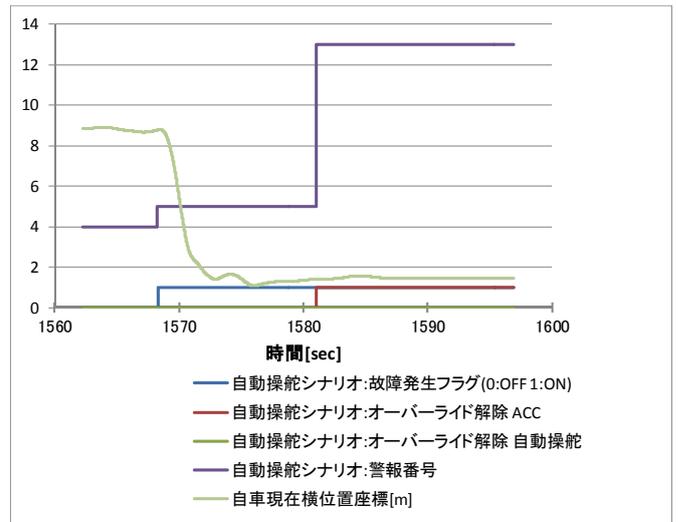
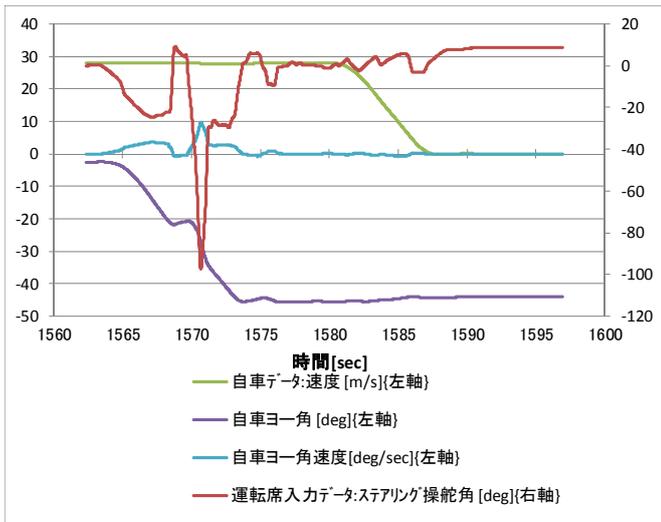
Sub.17 場面 1-c



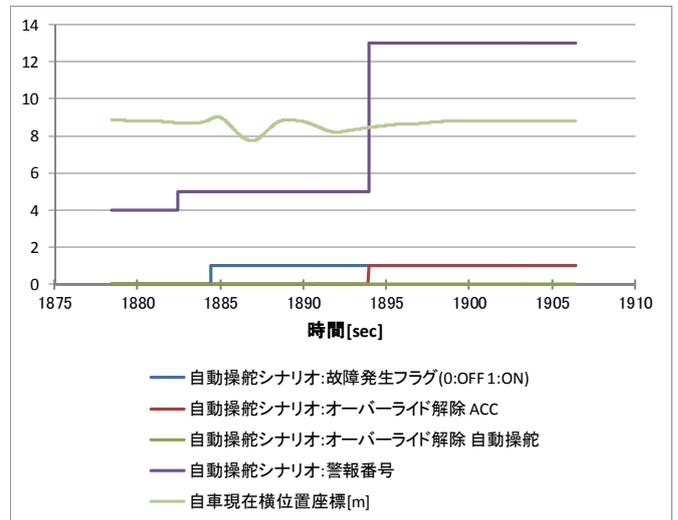
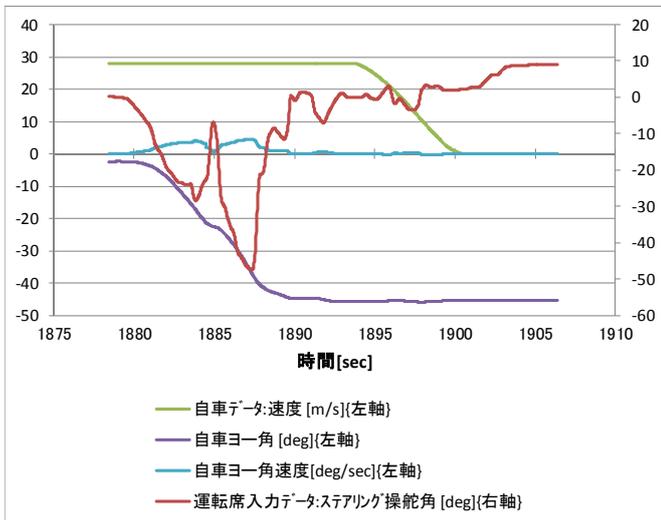
Sub.17 場面 1-d



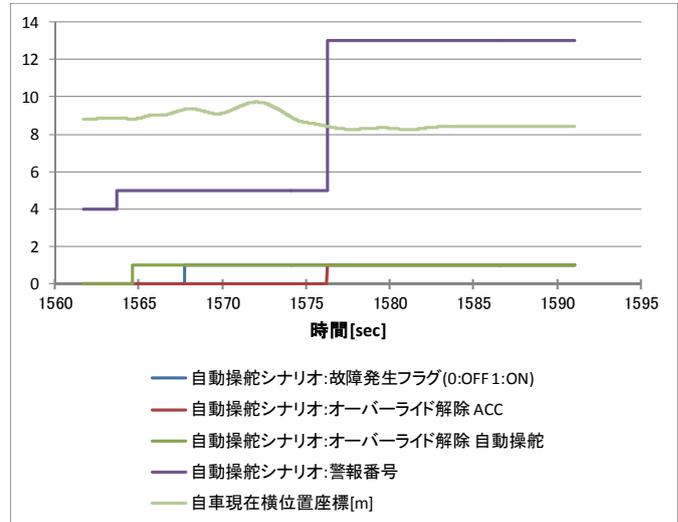
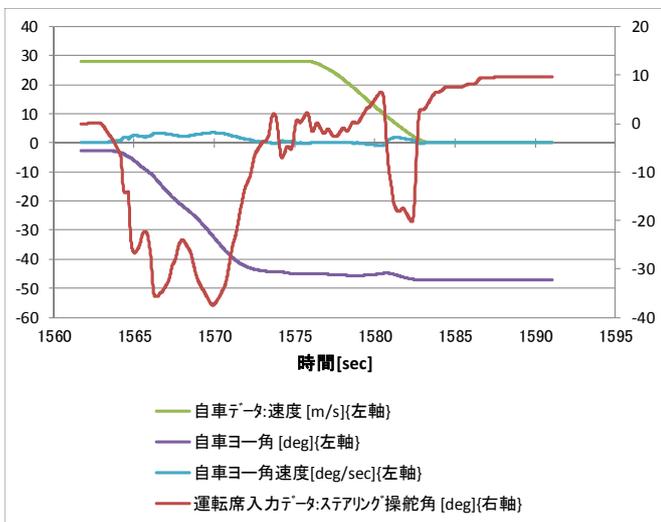
Sub.17 場面 1-e



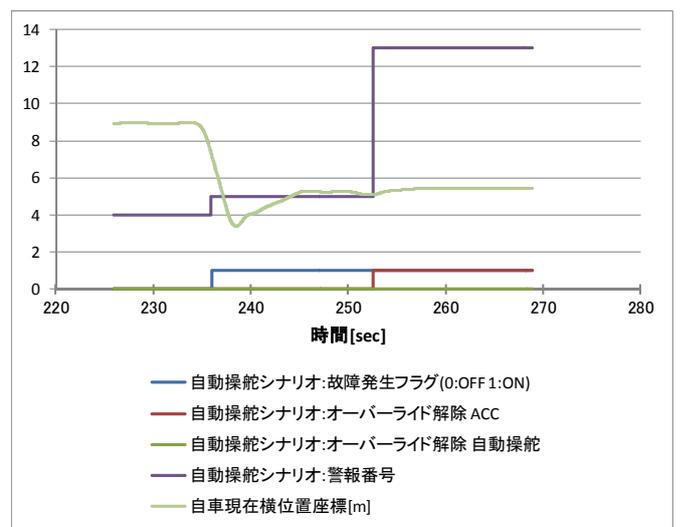
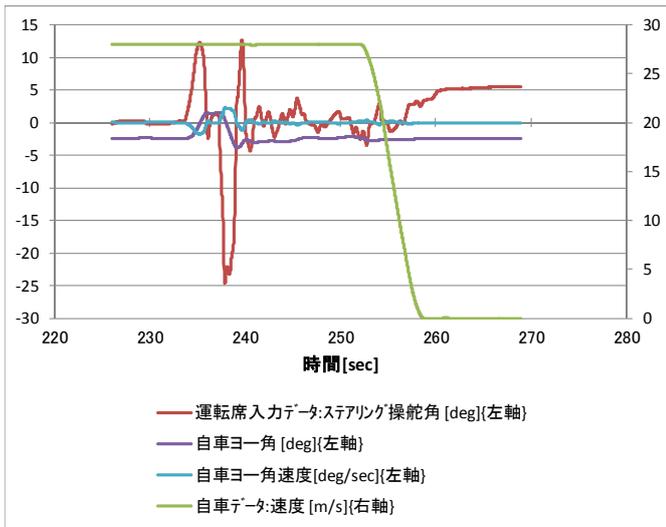
Sub.17 場面 1-f



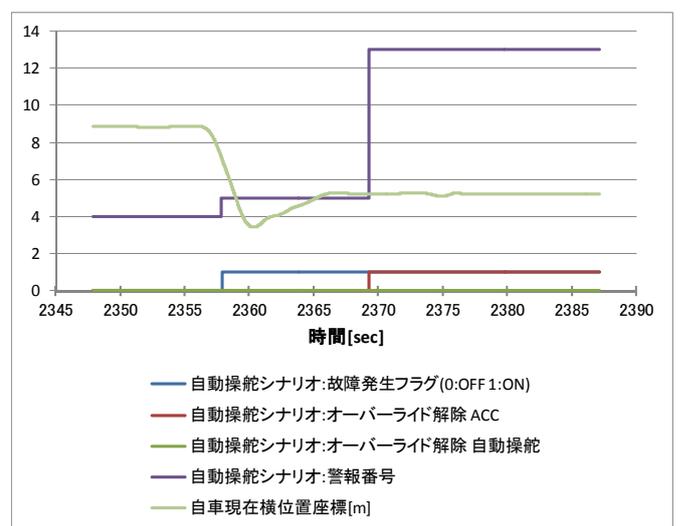
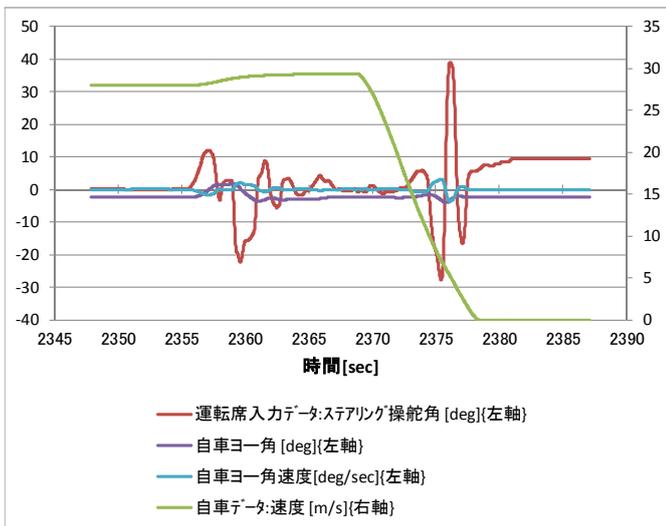
Sub.17 場面 1-g



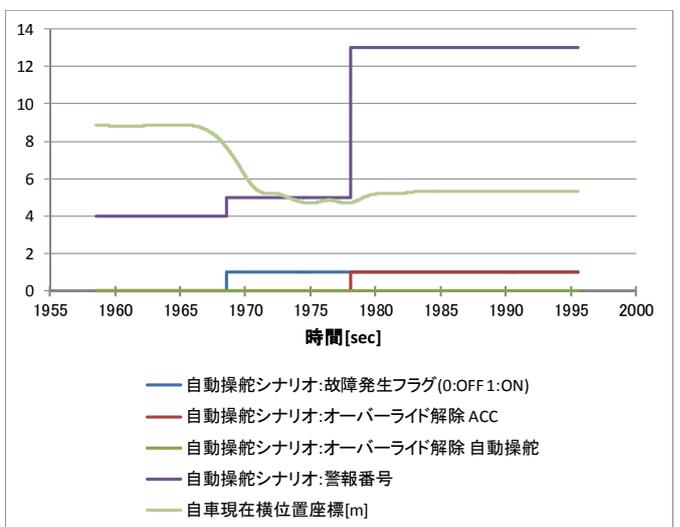
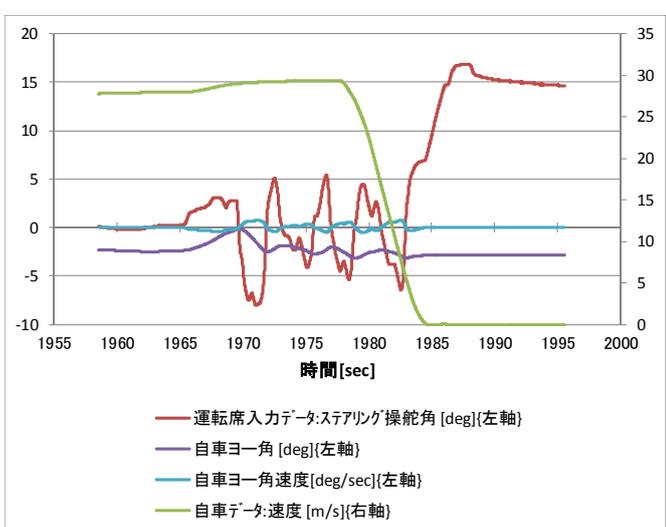
Sub.17 場面 2-a



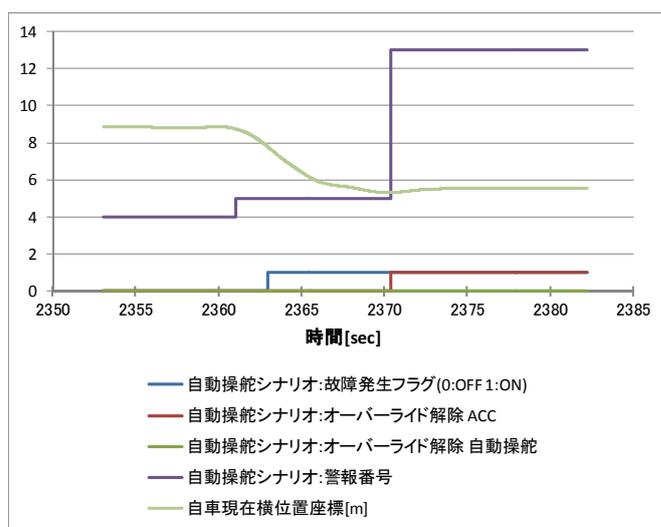
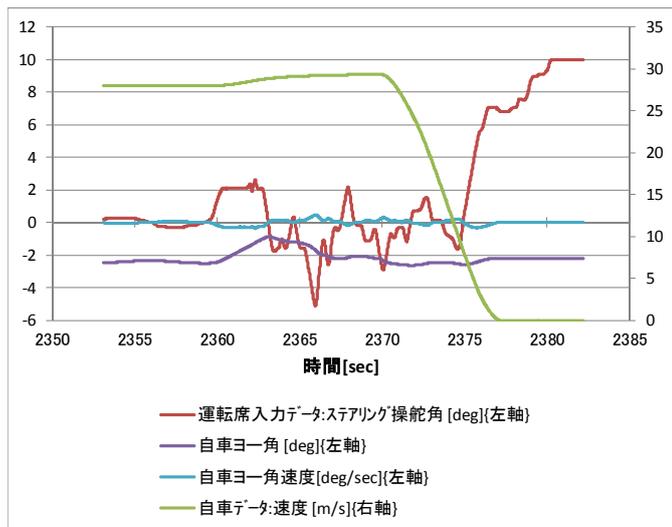
Sub.17 場面 2-b



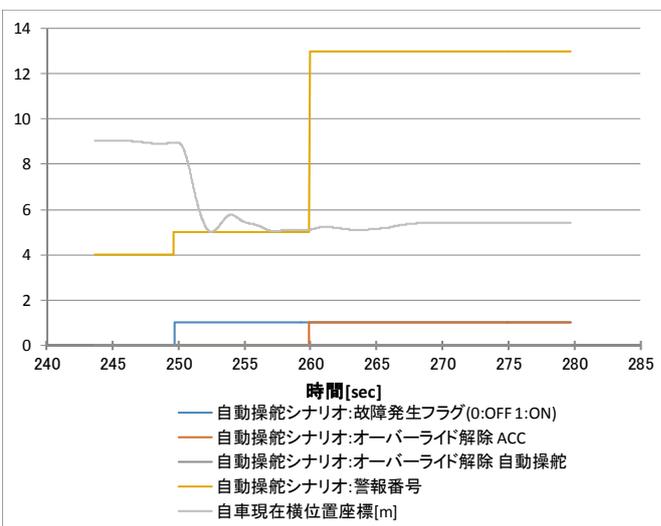
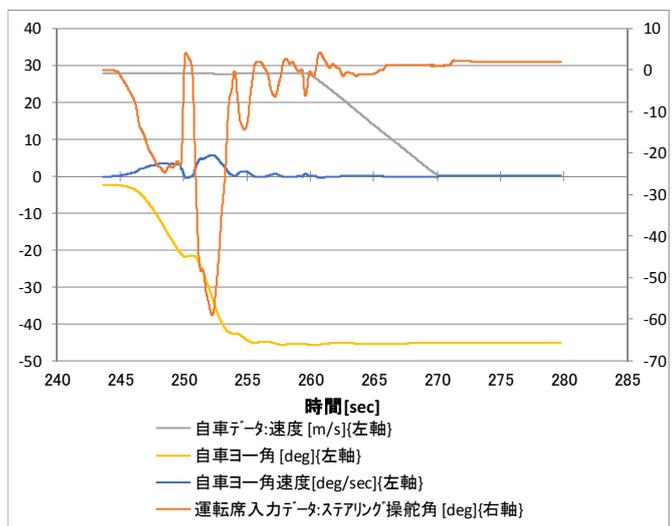
Sub.17 場面 2-c



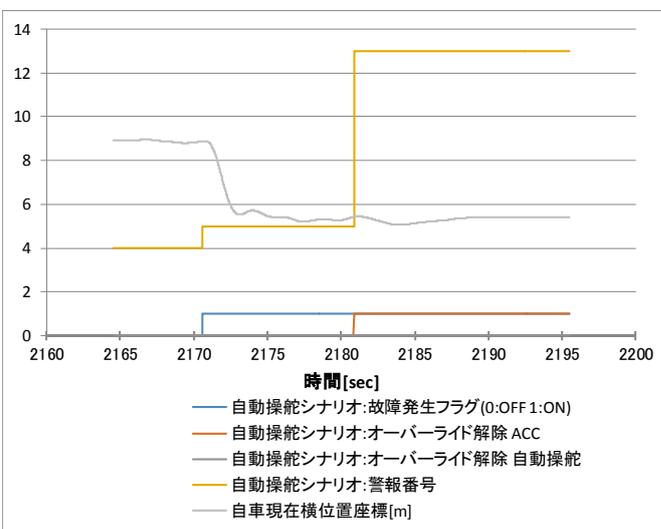
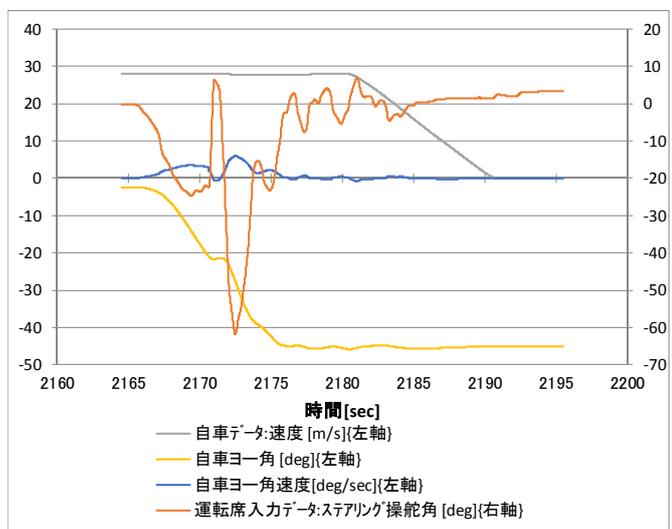
Sub.17 場面 2-d



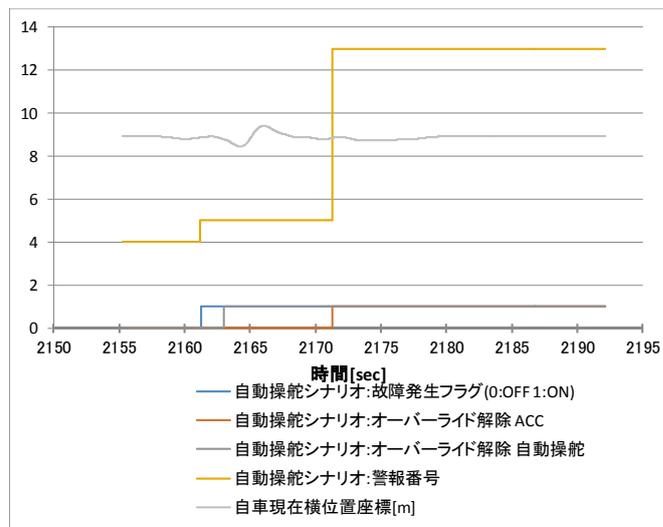
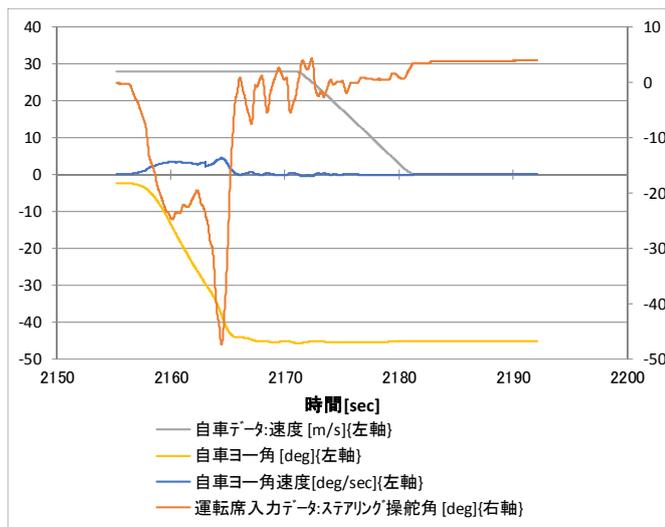
Sub.18 場面 1-a



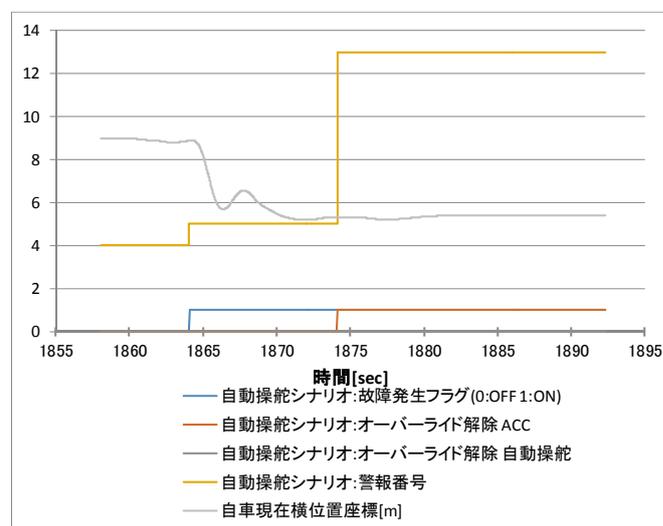
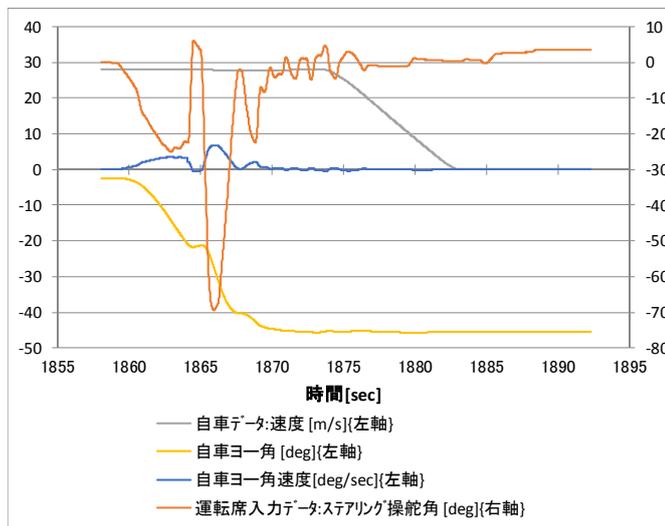
Sub.18 場面 1-b



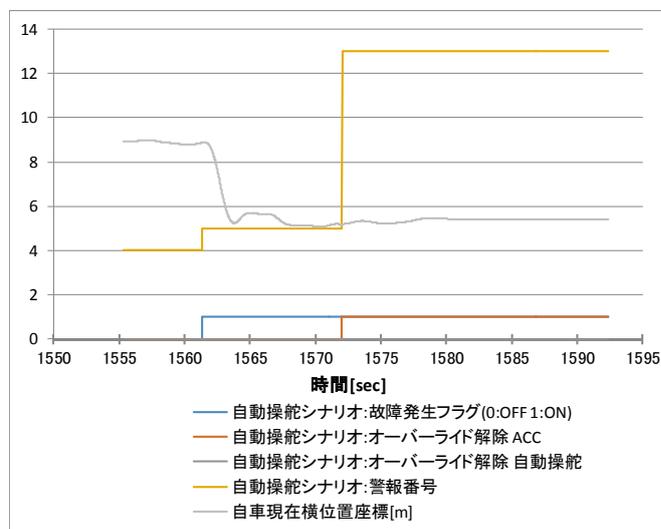
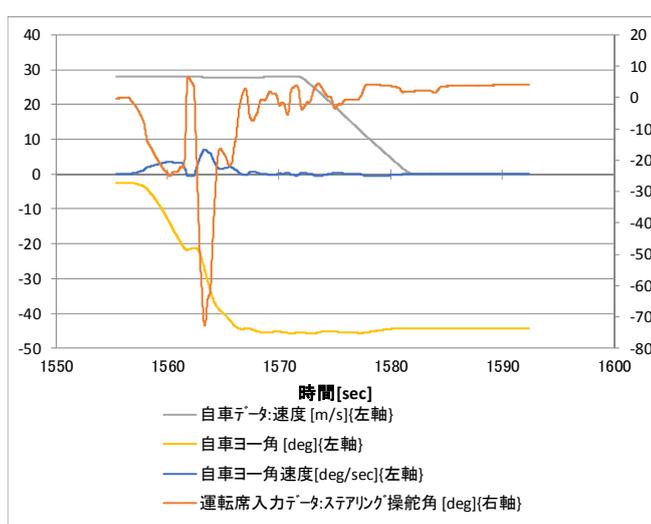
Sub.18 場面 1-c



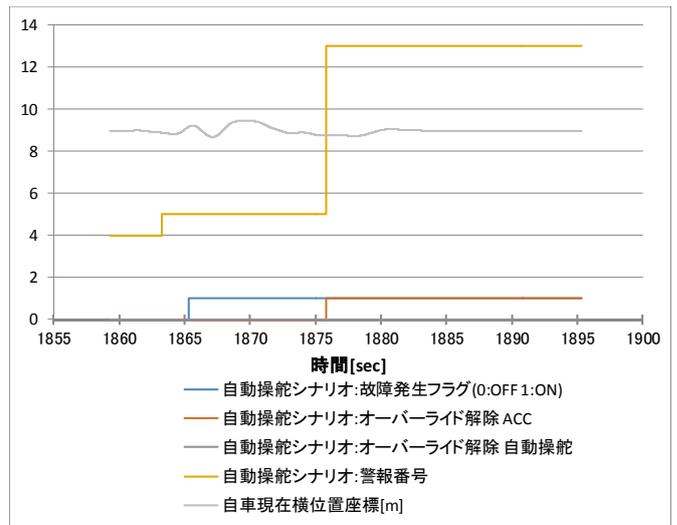
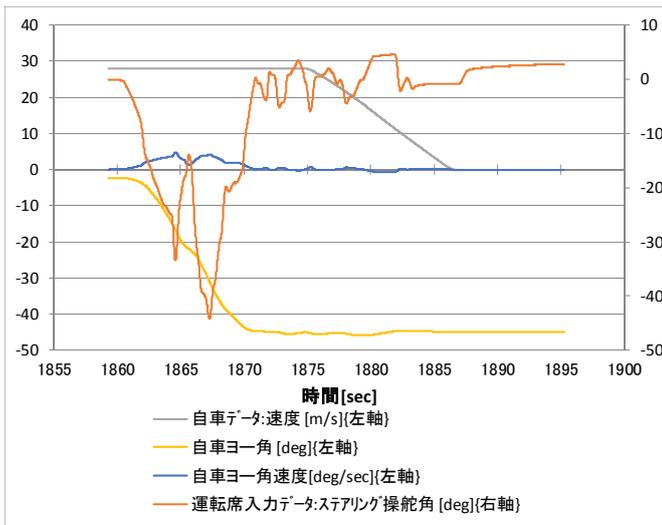
Sub.18 場面 1-d



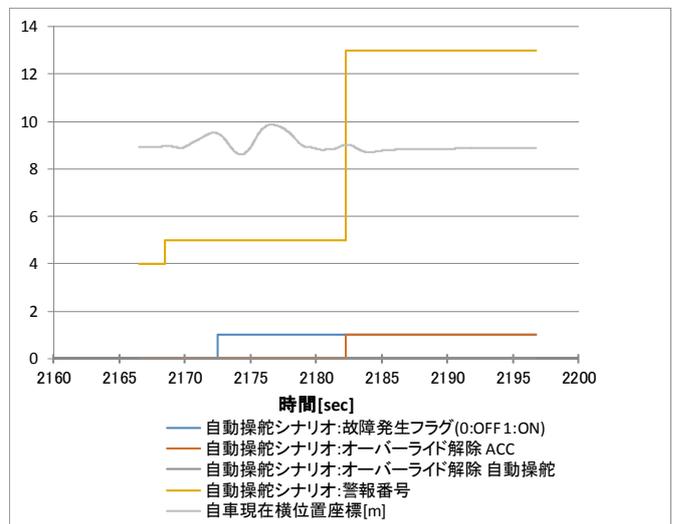
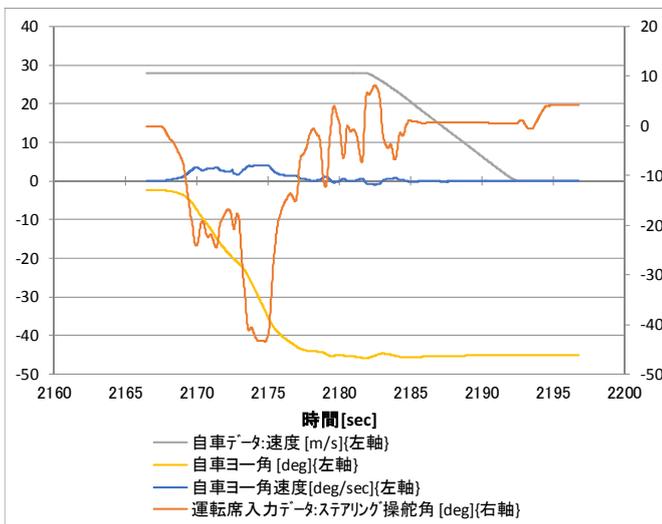
Sub.18 場面 1-e



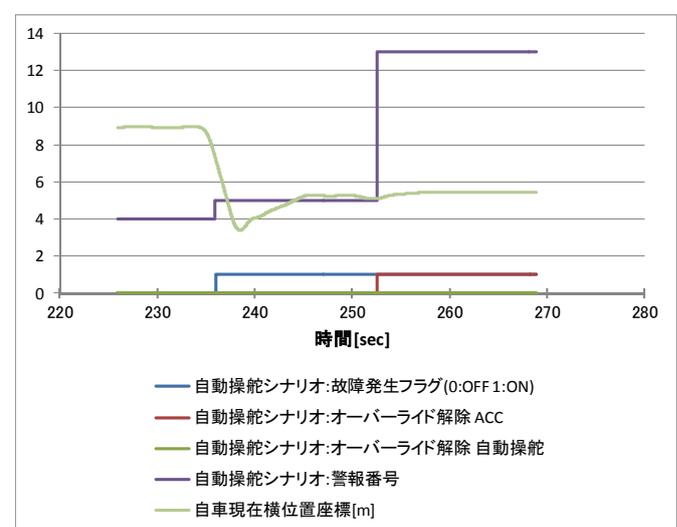
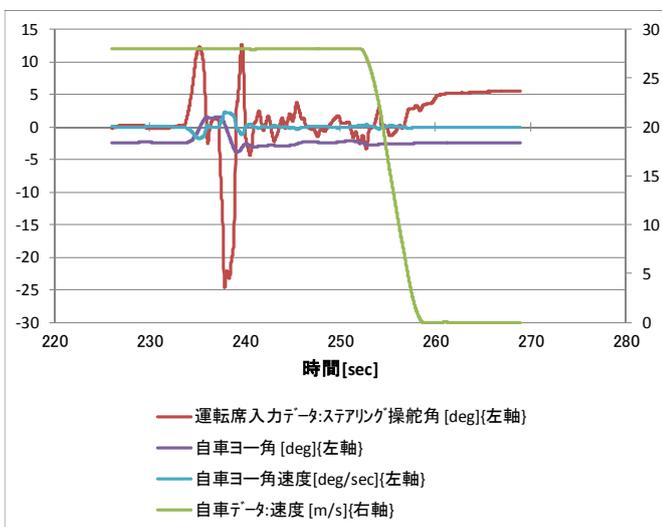
Sub.18 場面 1-f



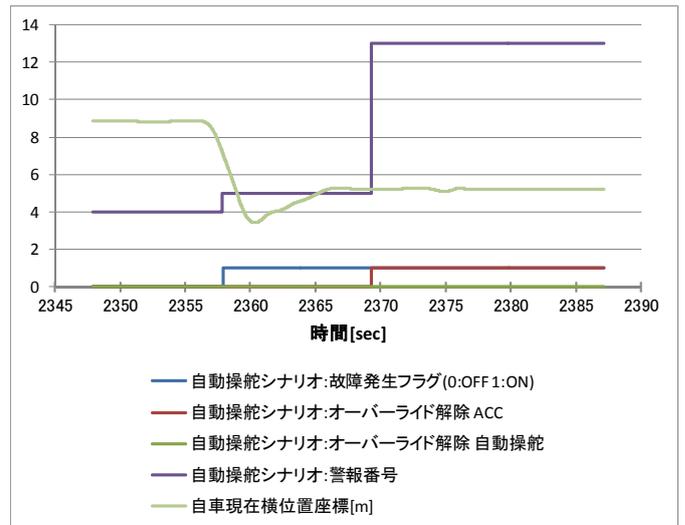
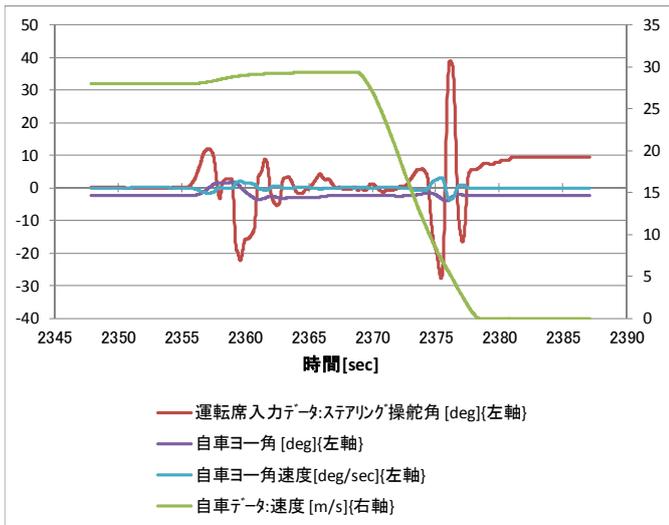
Sub.18 場面 1-g



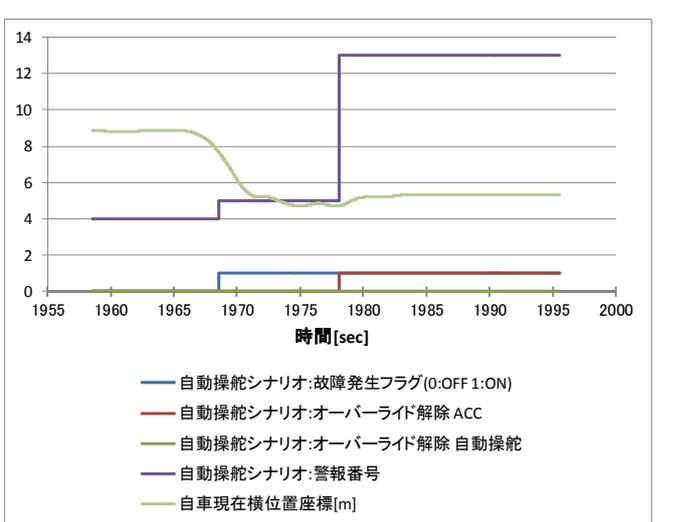
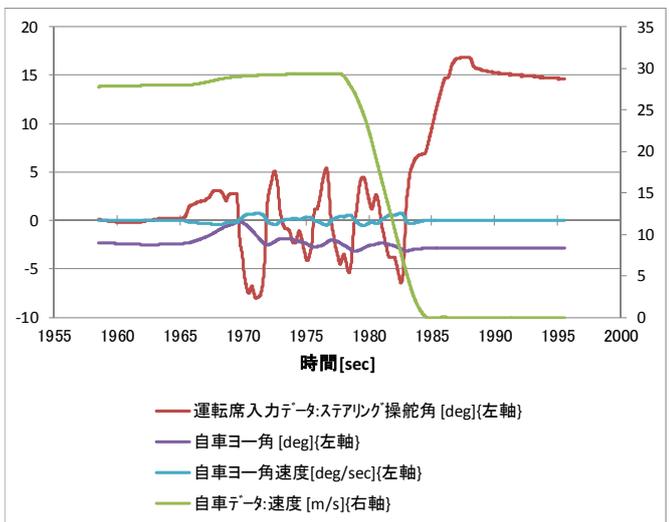
Sub.18 場面 2-a



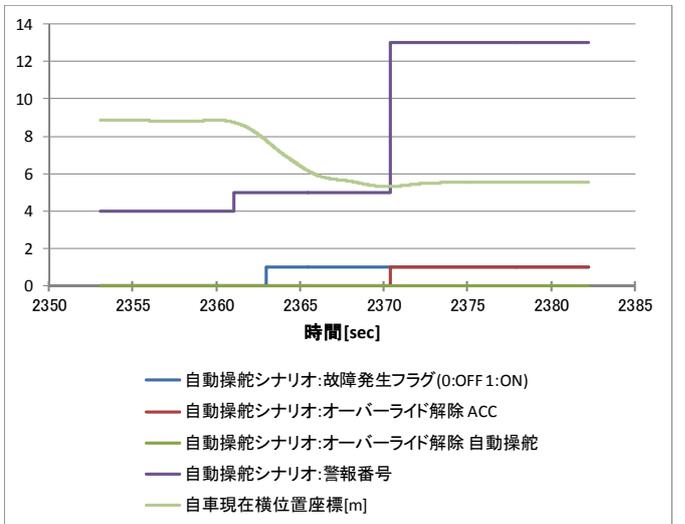
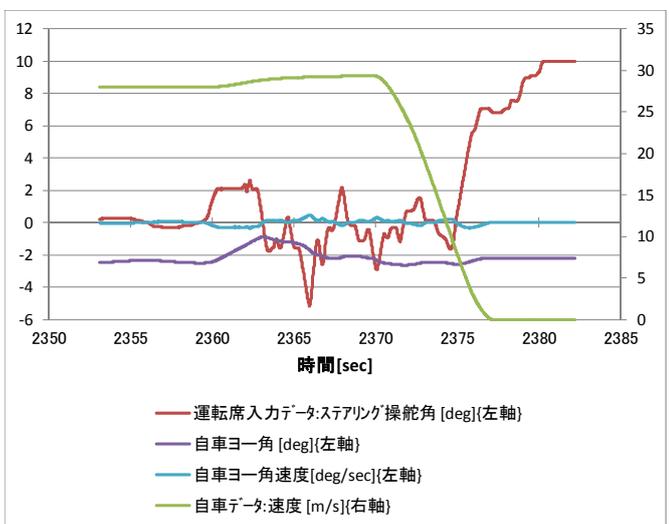
Sub.18 場面 2-b



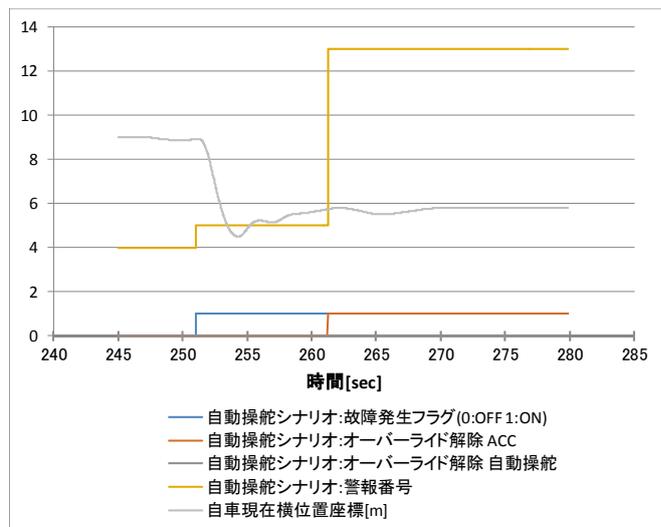
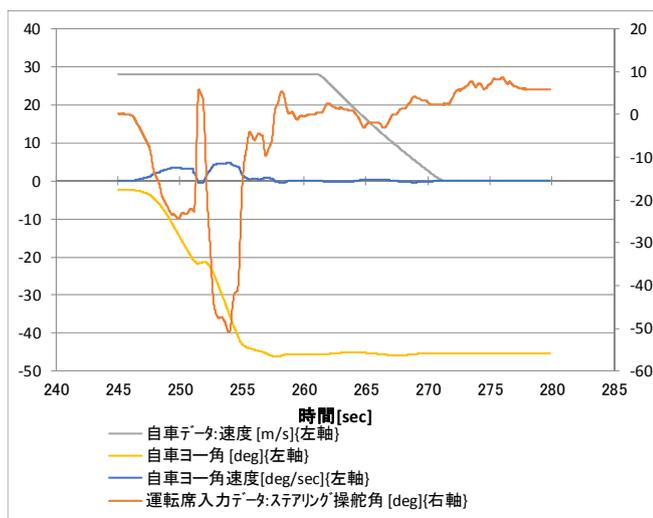
Sub.18 場面 2-c



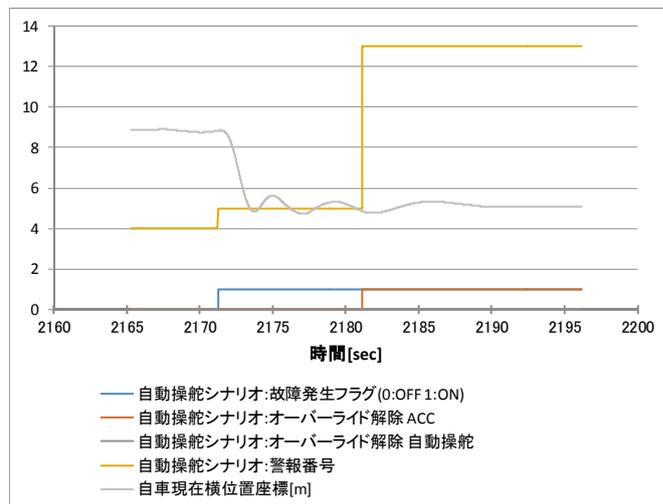
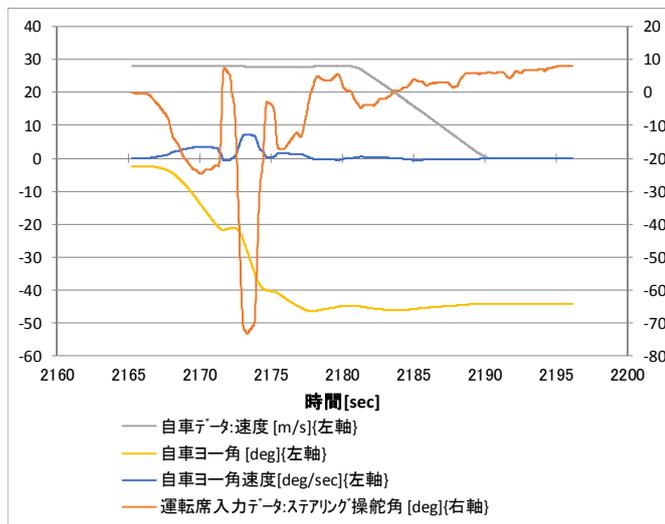
Sub.18 場面 2-d



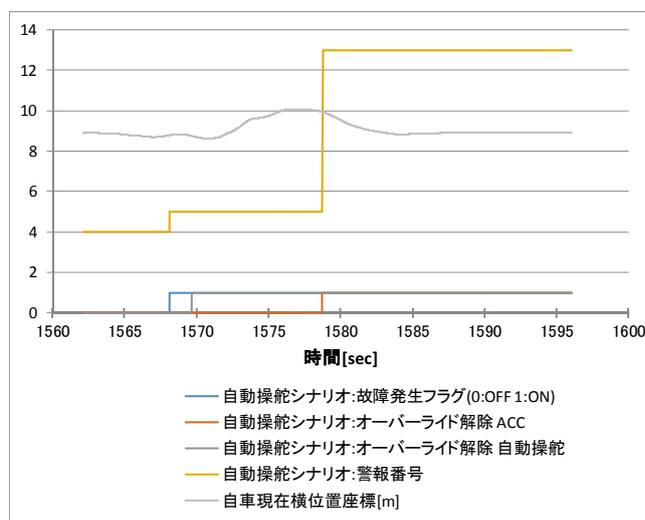
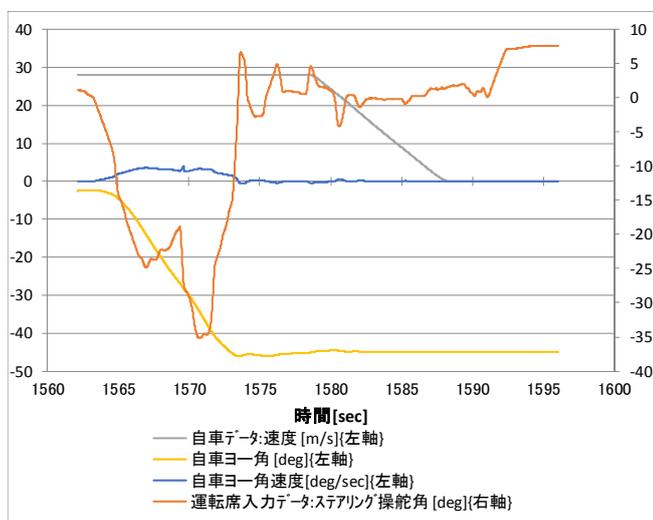
Sub.19 場面 1-a



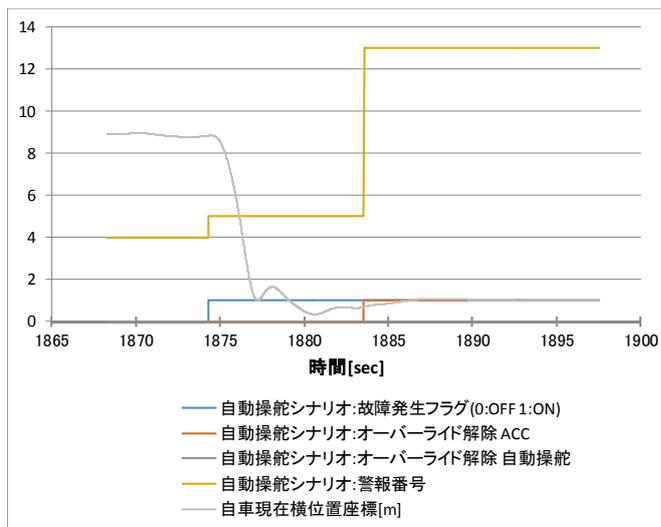
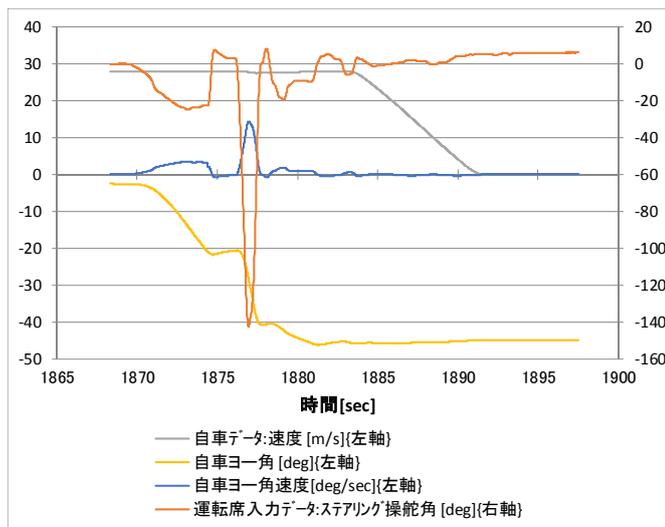
Sub.19 場面 1-b



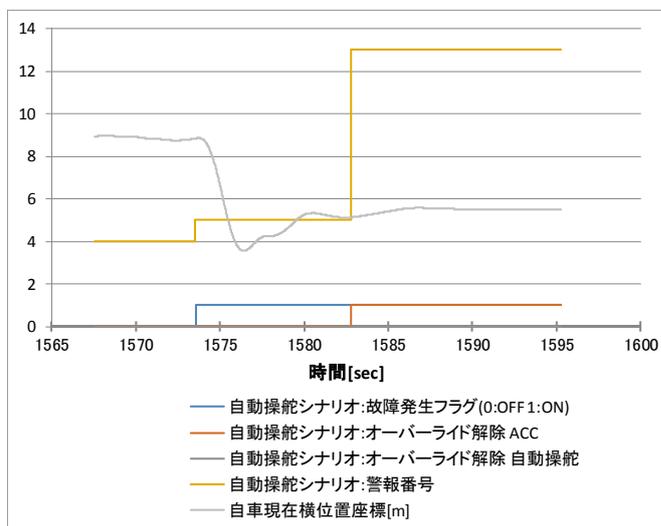
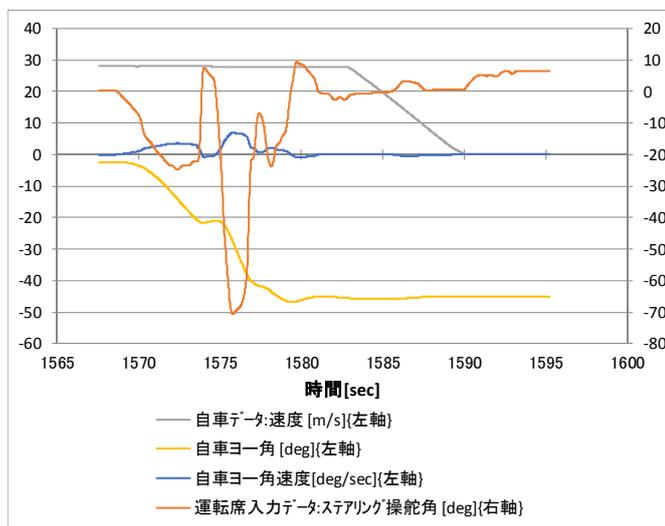
Sub.19 場面 1-c



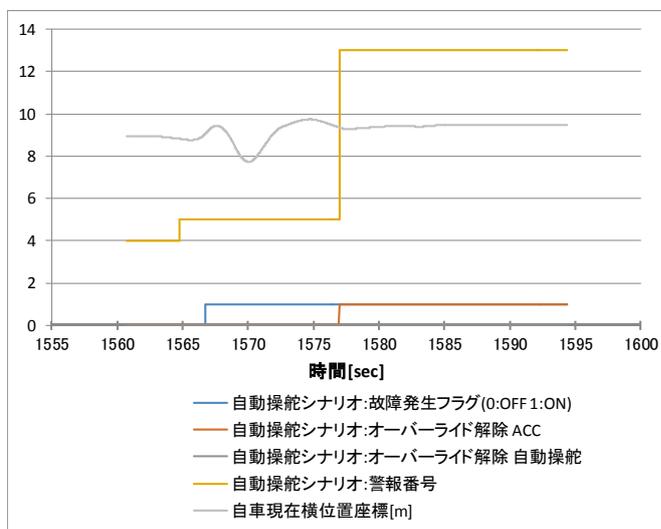
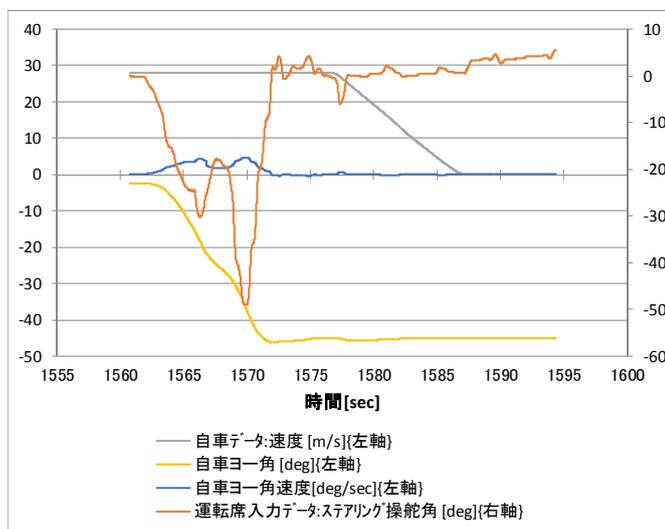
Sub.19 場面 1-d



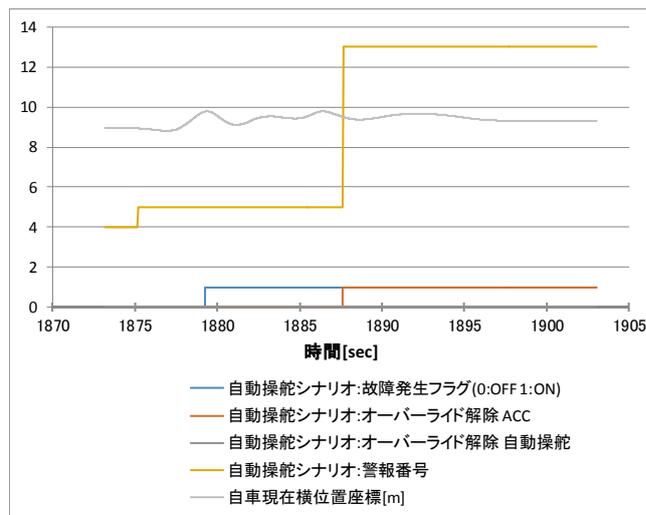
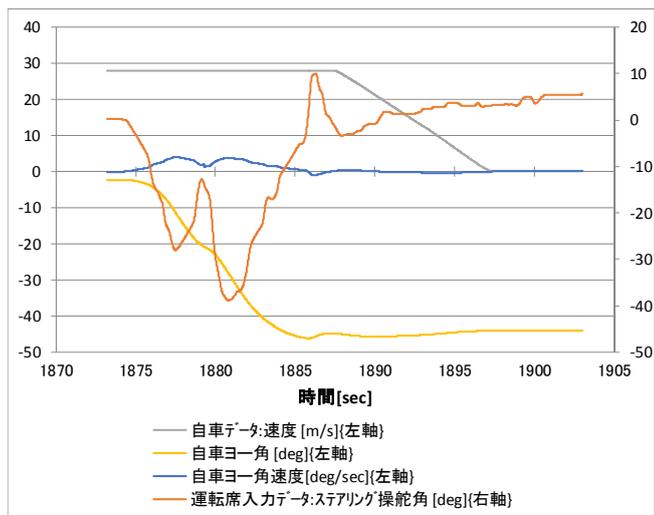
Sub.19 場面 1-e



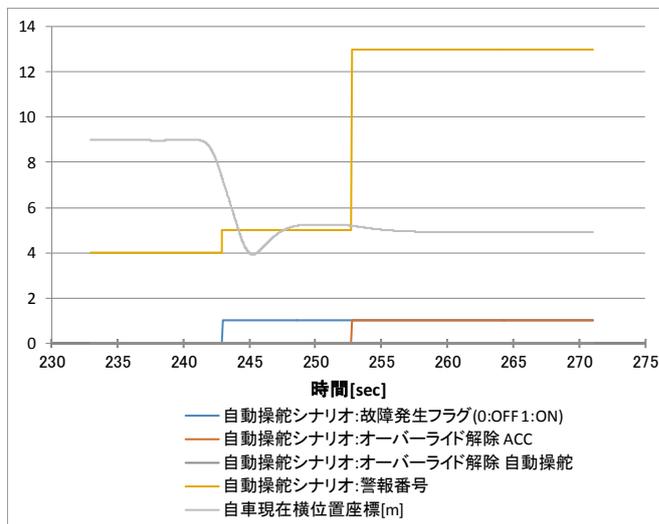
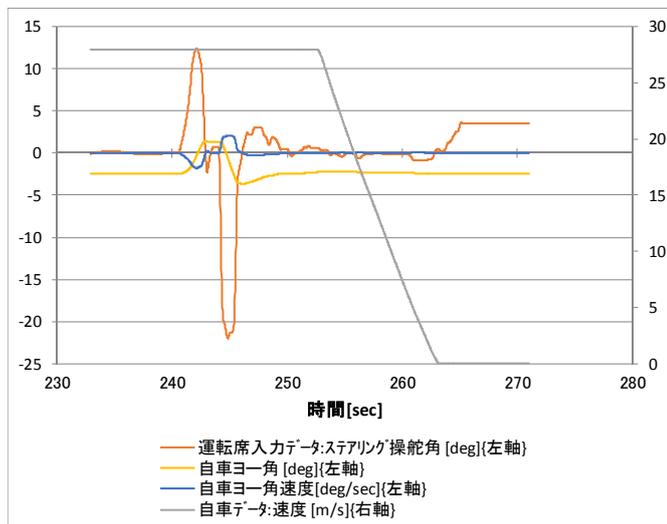
Sub.19 場面 1-f



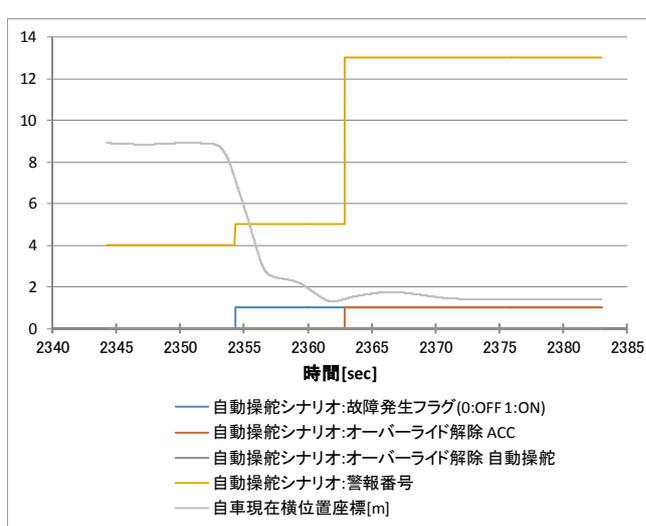
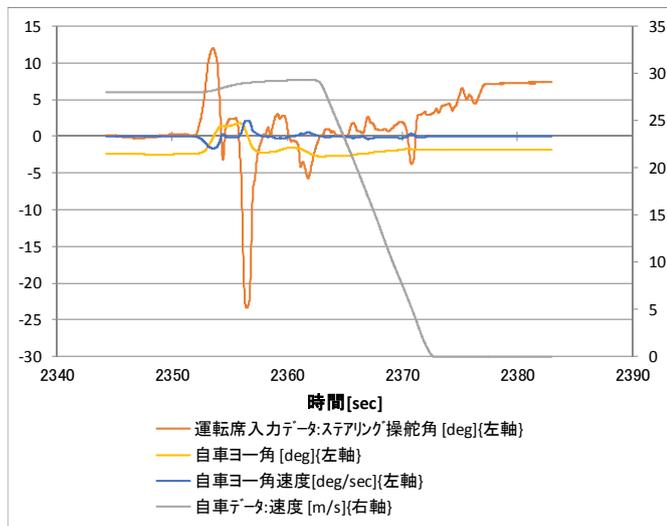
Sub.19 場面 1-g



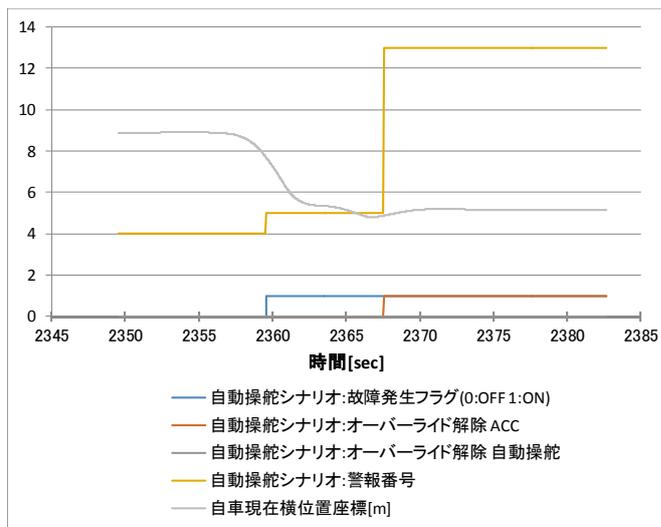
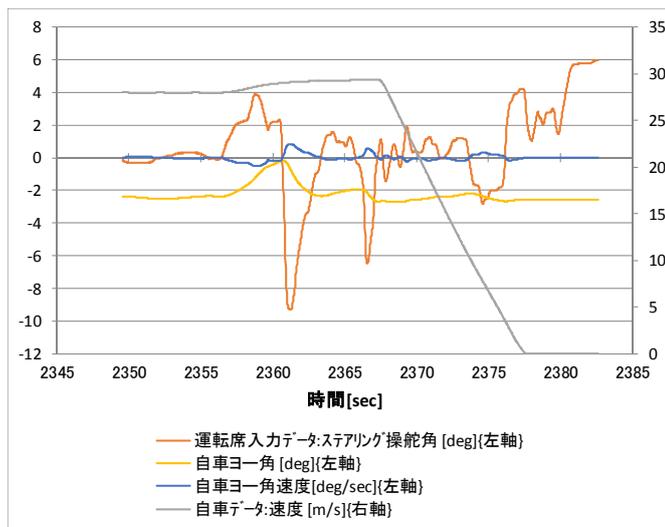
Sub.19 場面 2-a



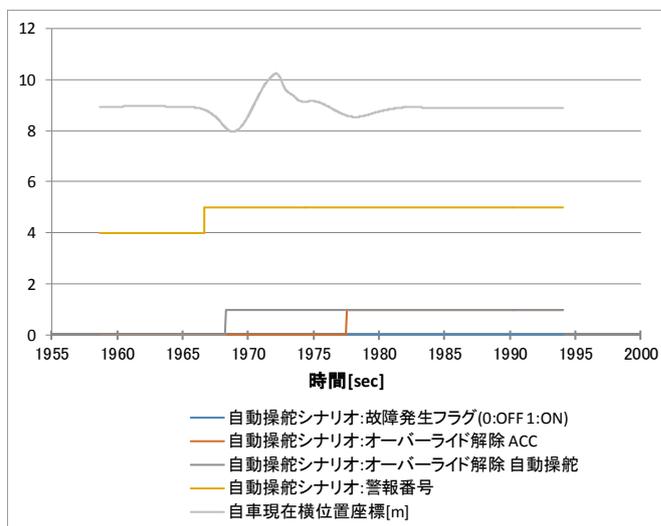
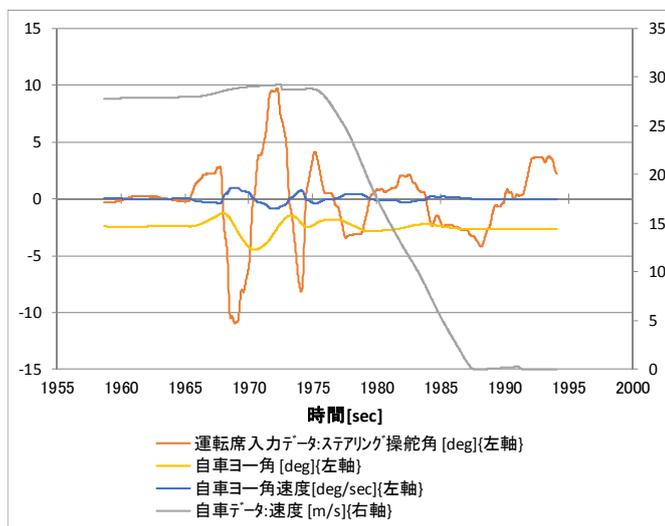
Sub.19 場面 2-b



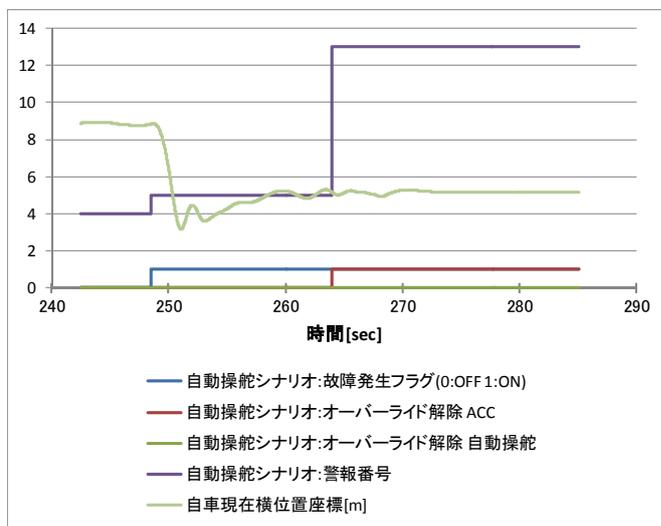
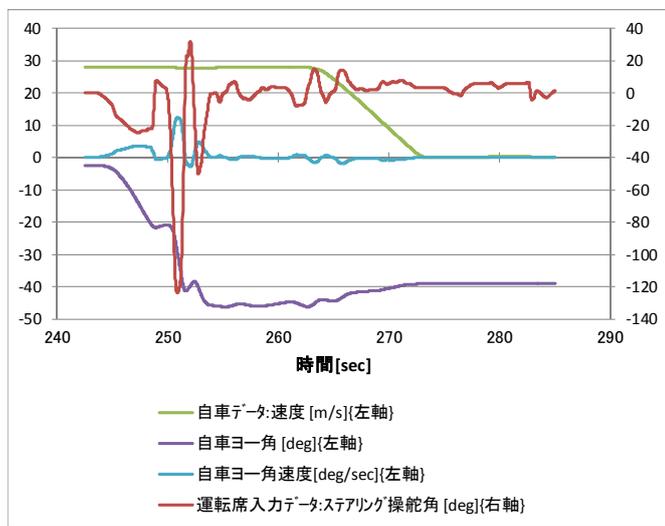
Sub.19 場面 2-c



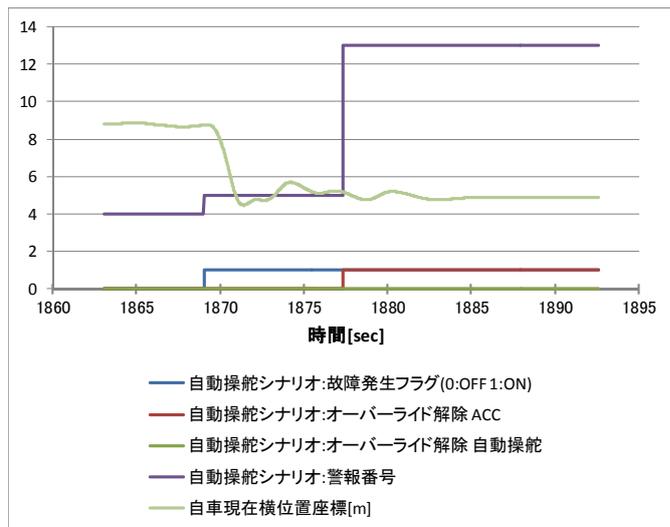
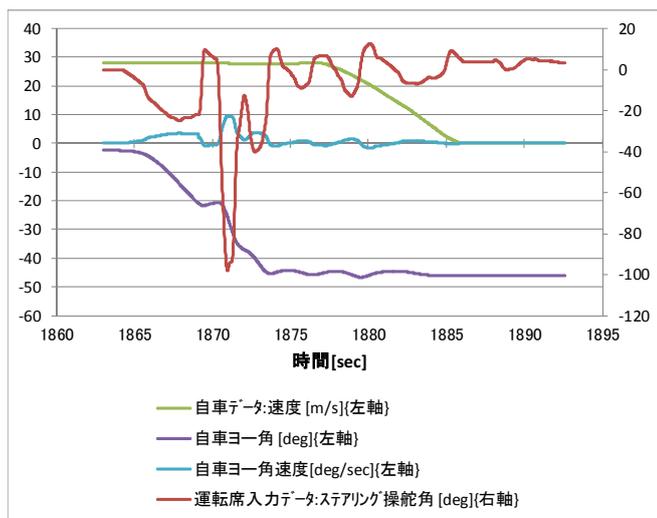
Sub.19 場面 2-d



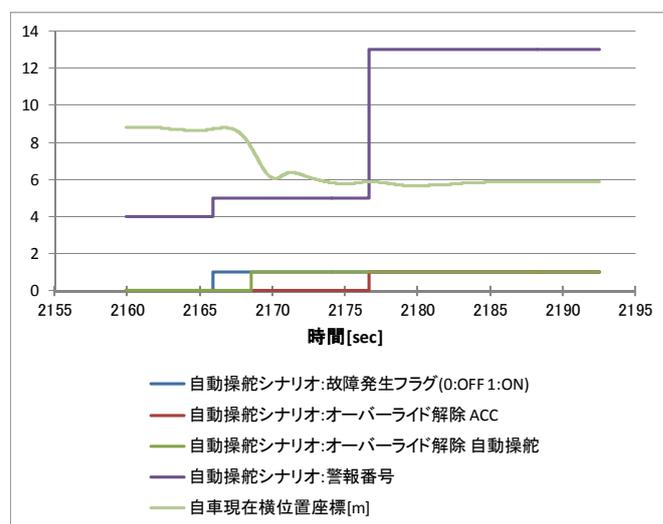
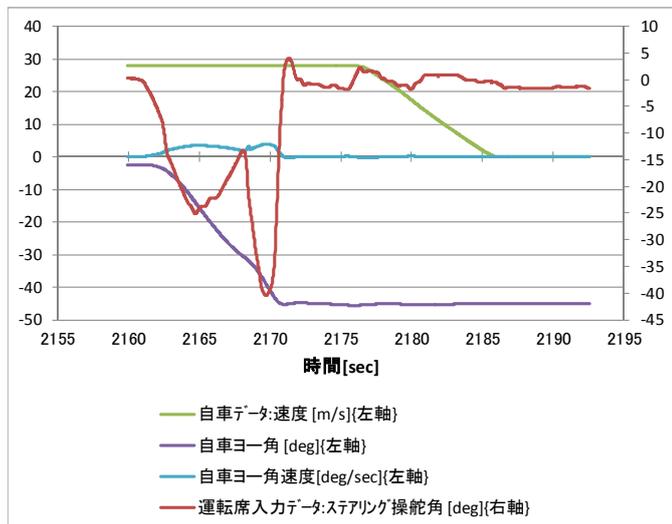
Sub.20 場面 1-a



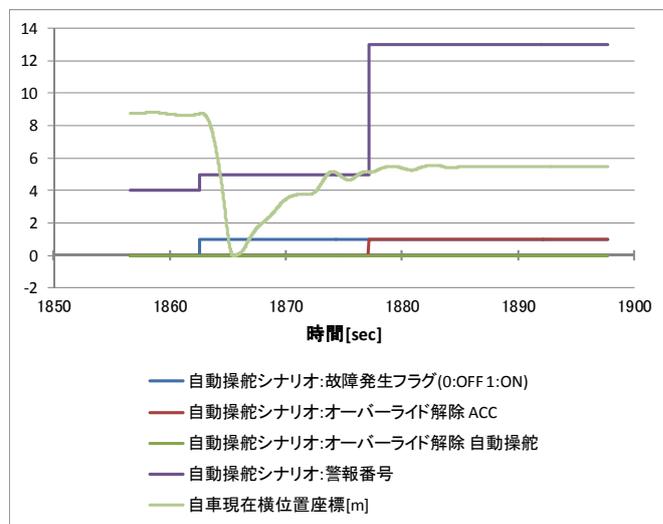
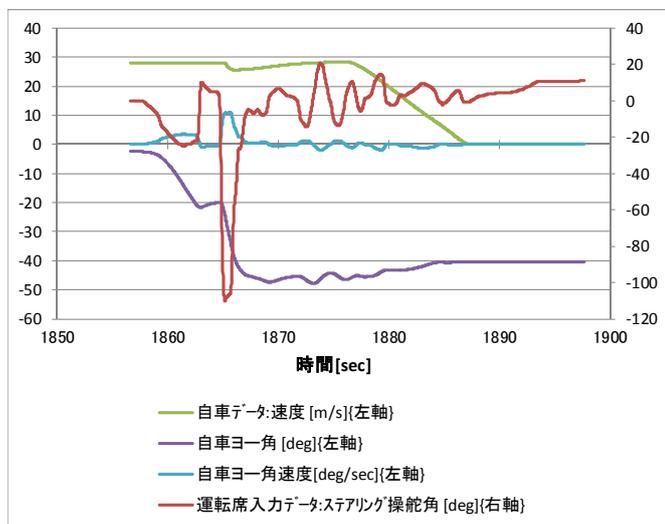
Sub.20 場面 1-b



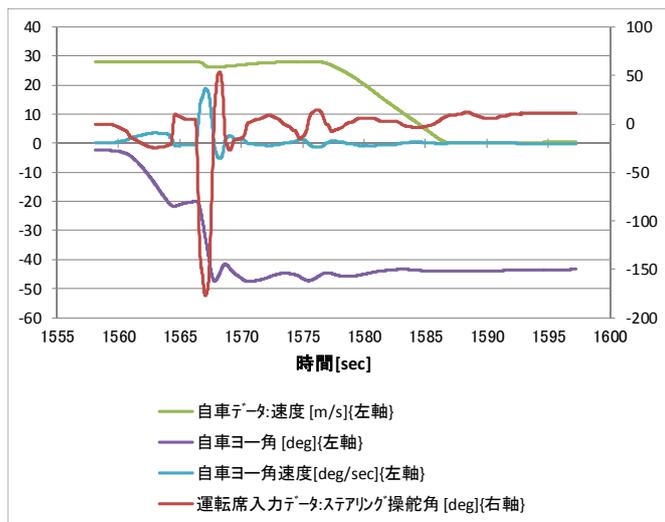
Sub.20 場面 1-c



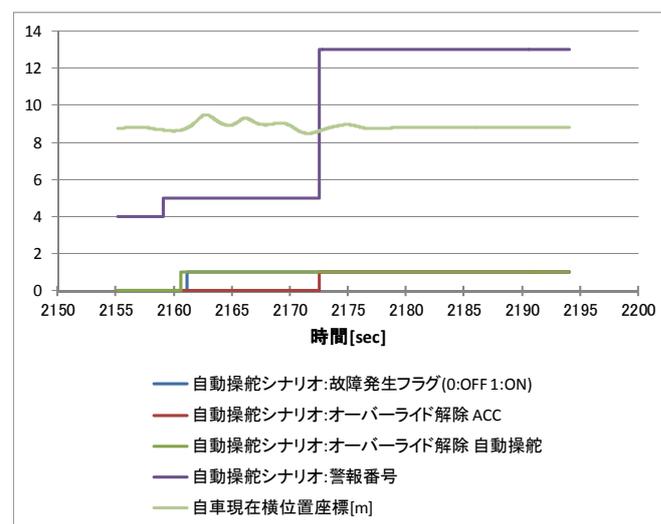
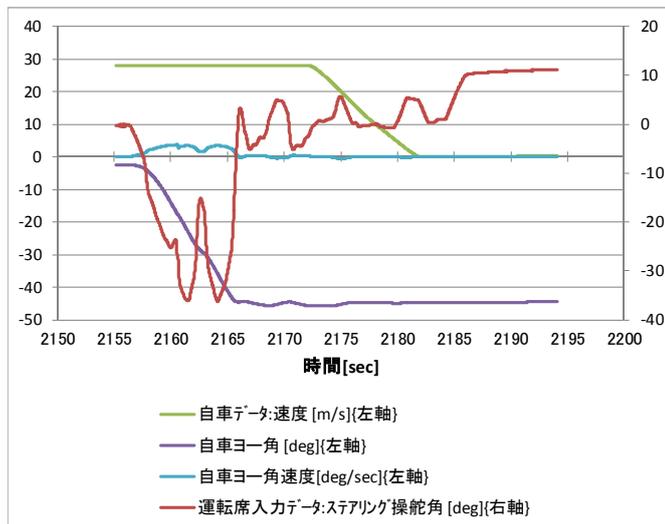
Sub.20 場面 1-d



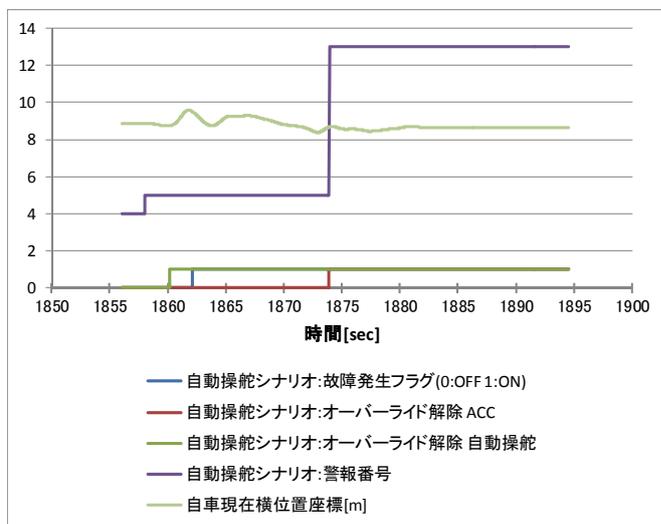
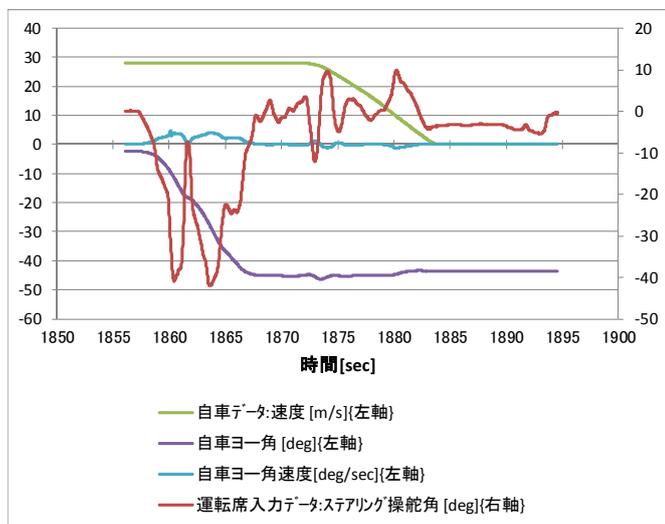
Sub.20 場面 1-e



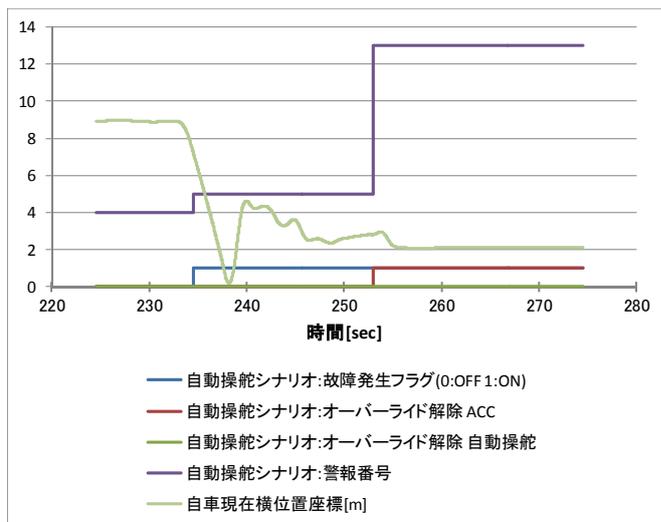
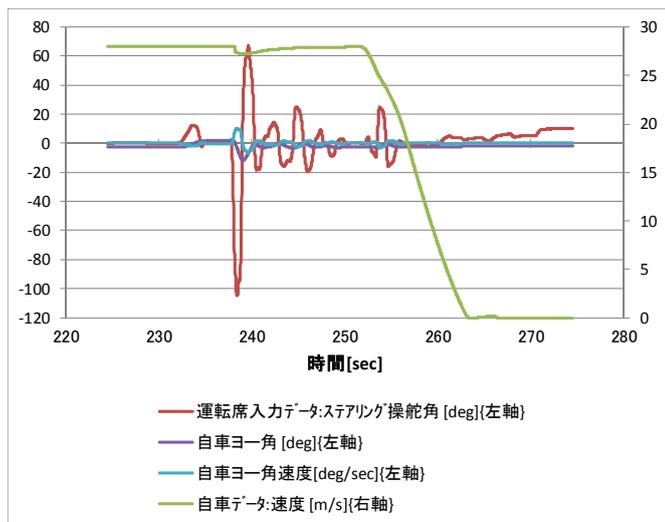
Sub.20 場面 1-f



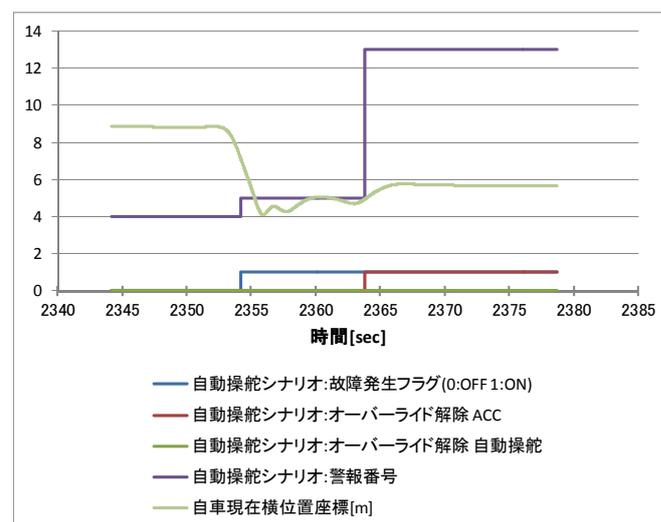
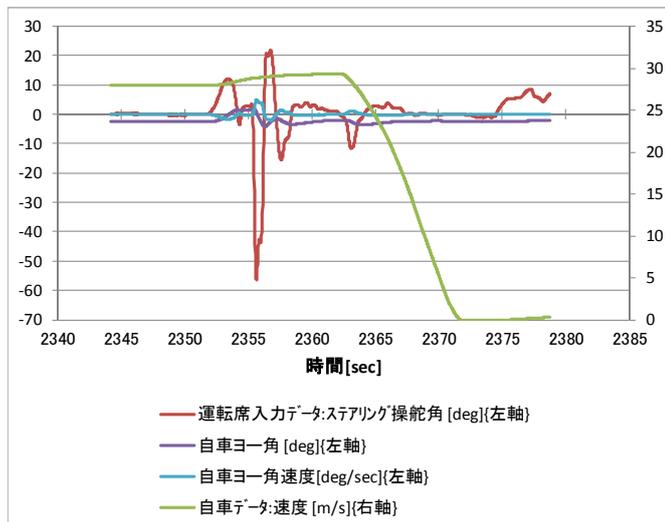
Sub.20 場面 1-g



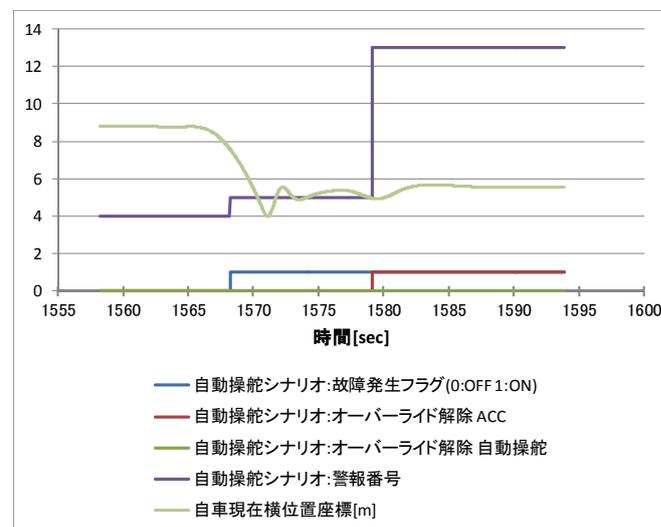
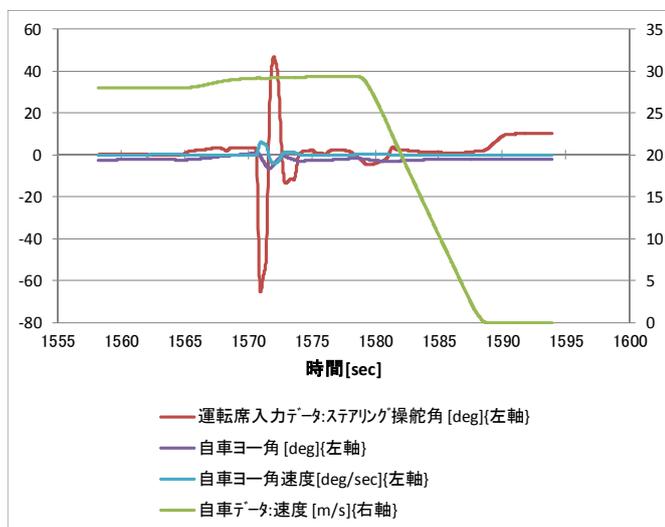
Sub.20 場面 2-a



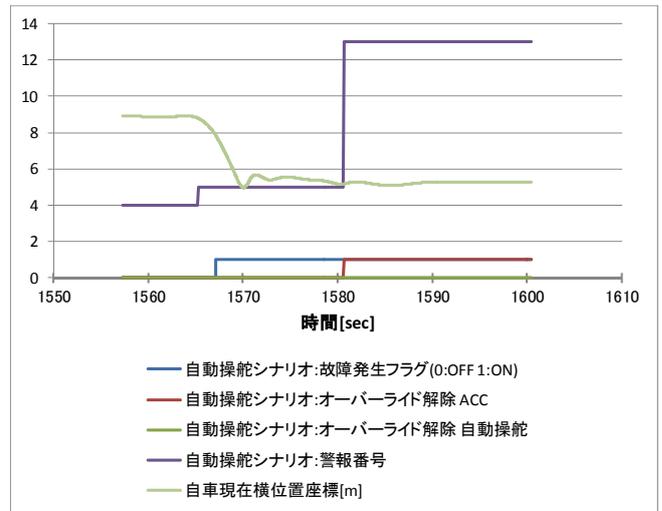
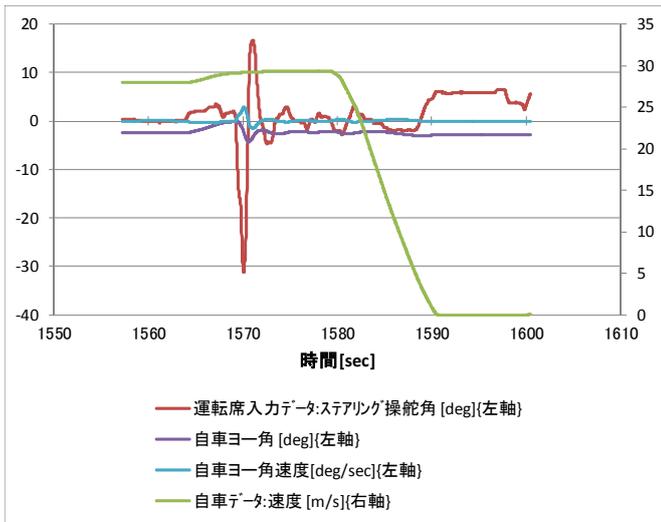
Sub.20 場面 2-b



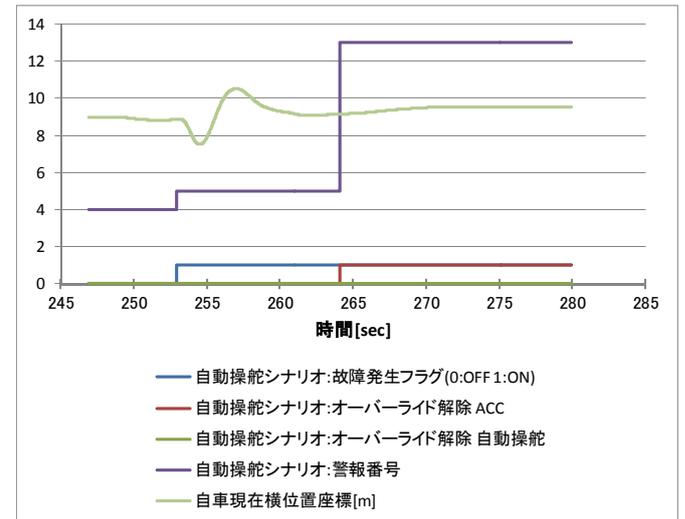
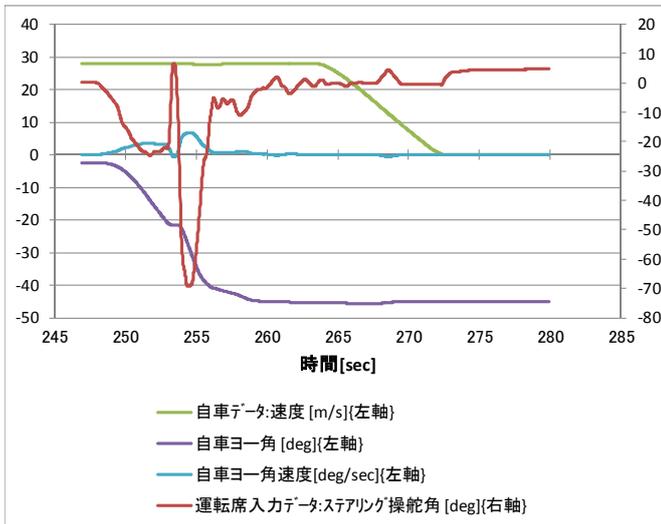
Sub.20 場面 2-c



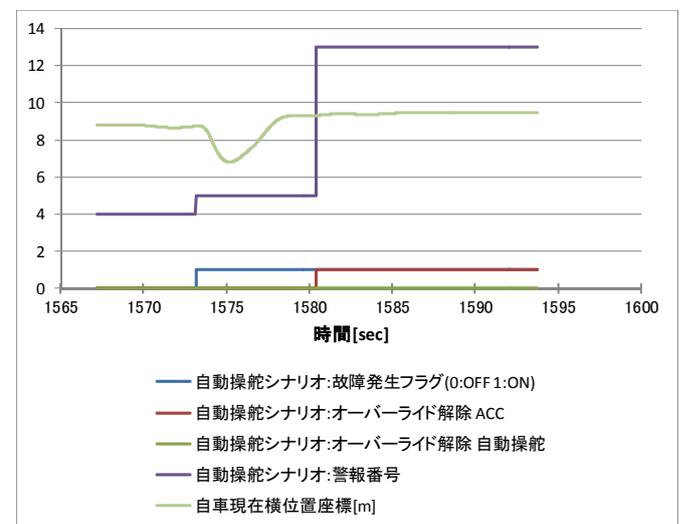
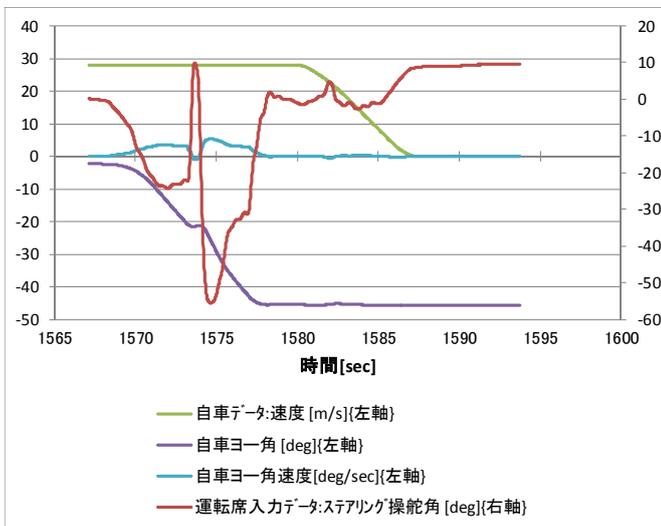
Sub.20 場面 2-d



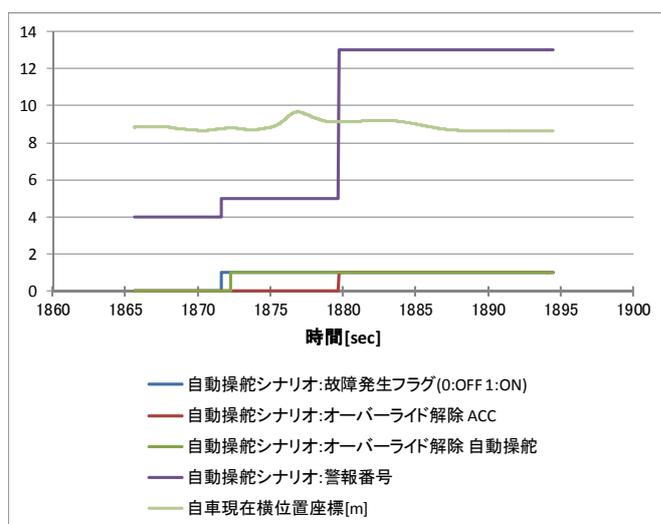
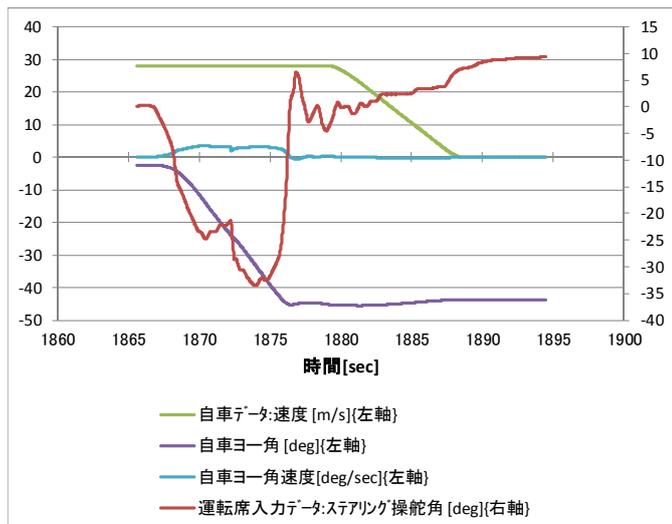
Sub.21 場面 1-a



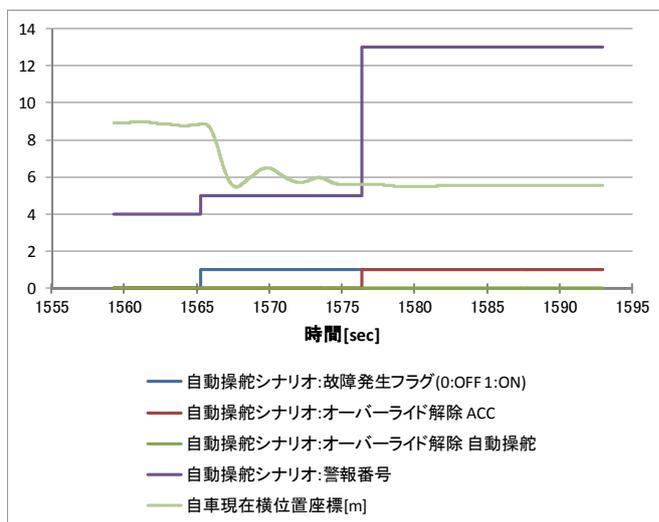
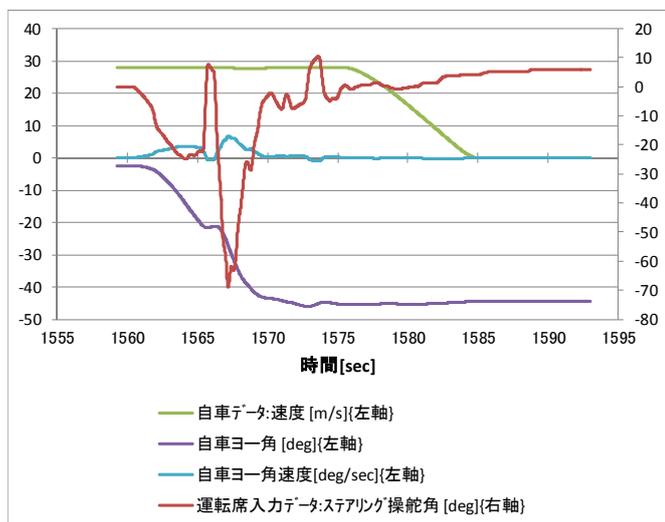
Sub.21 場面 1-b



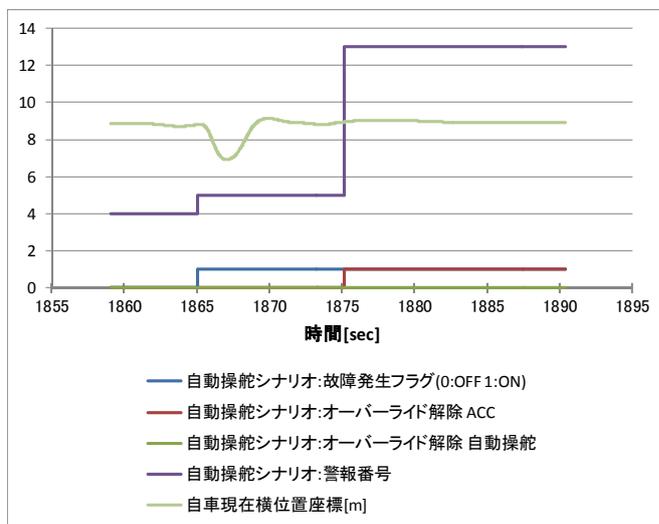
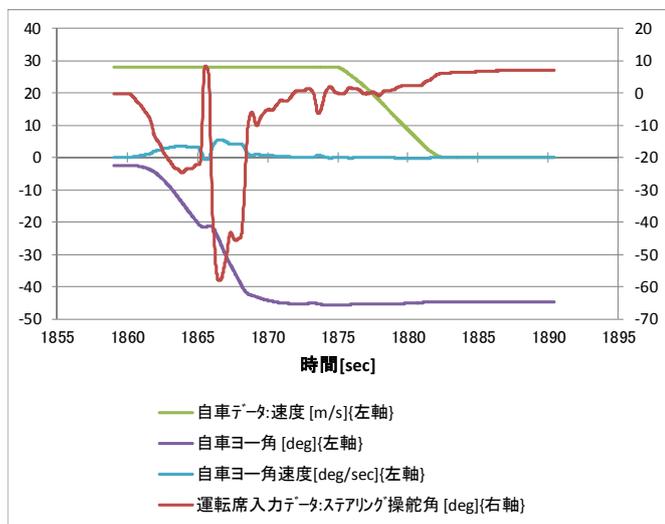
Sub.21 場面 1-c



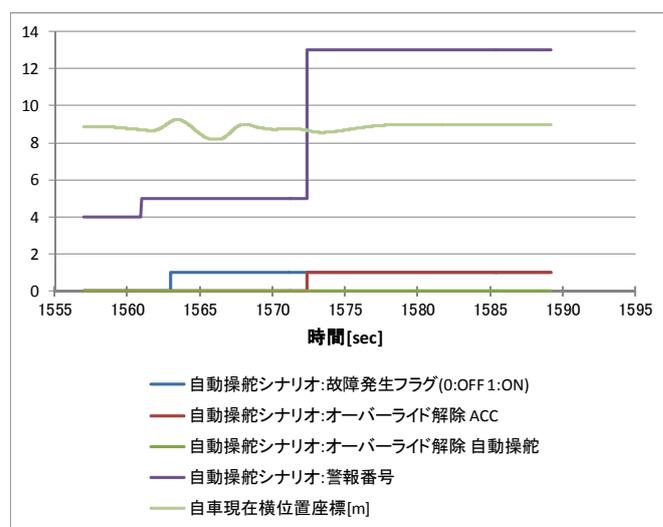
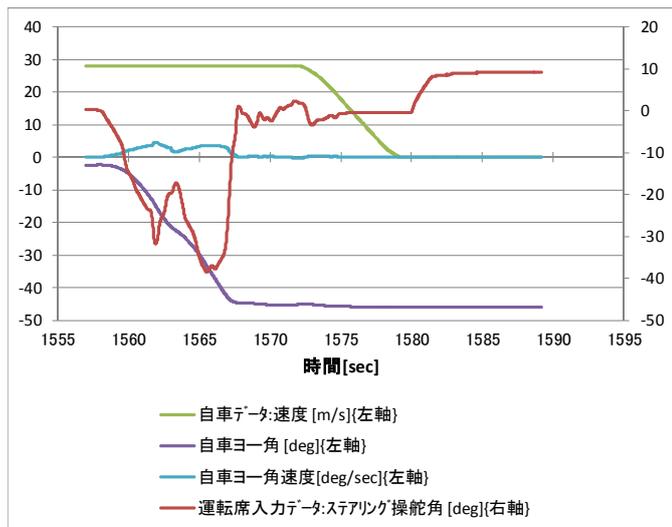
Sub.21 場面 1-d



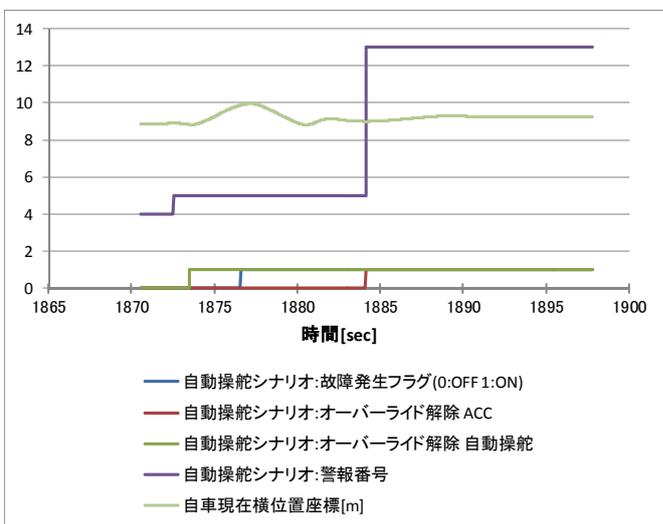
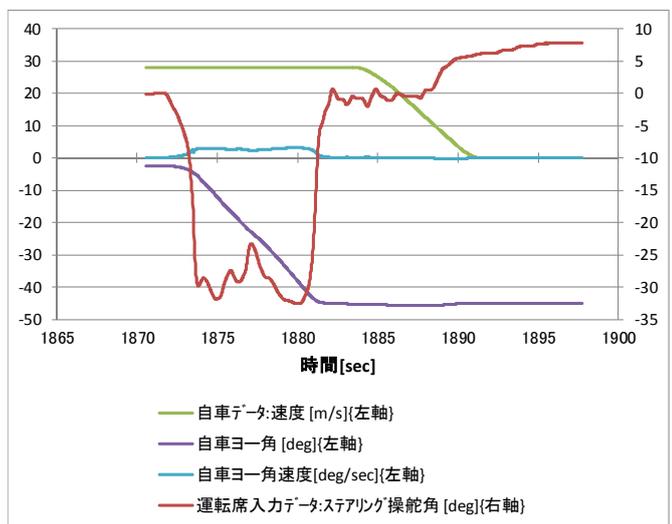
Sub.21 場面 1-e



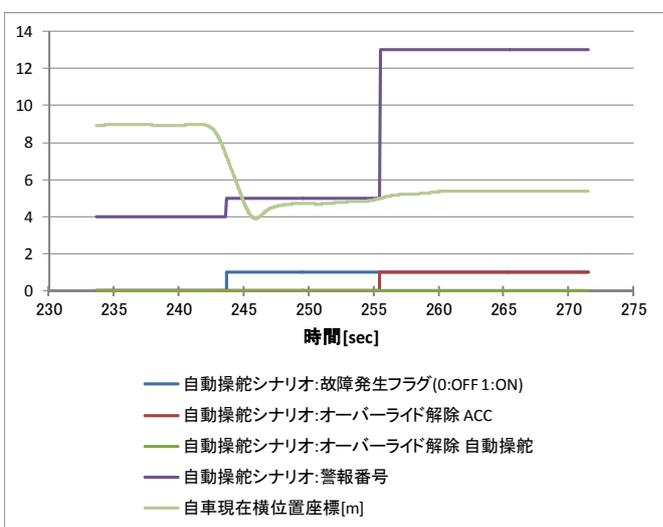
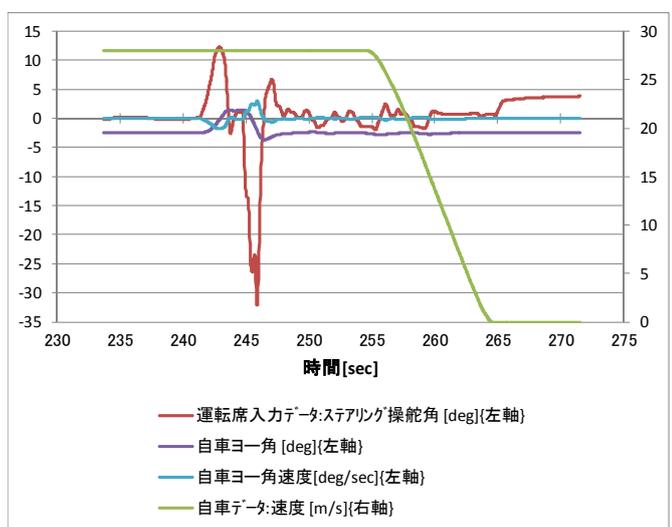
Sub.21 場面 1-f



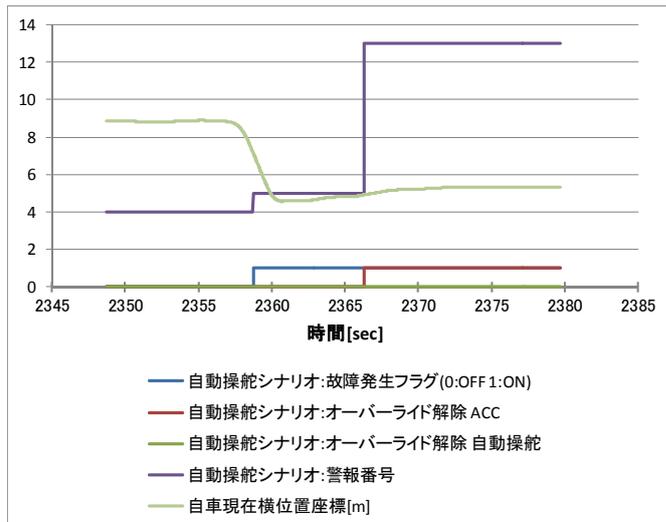
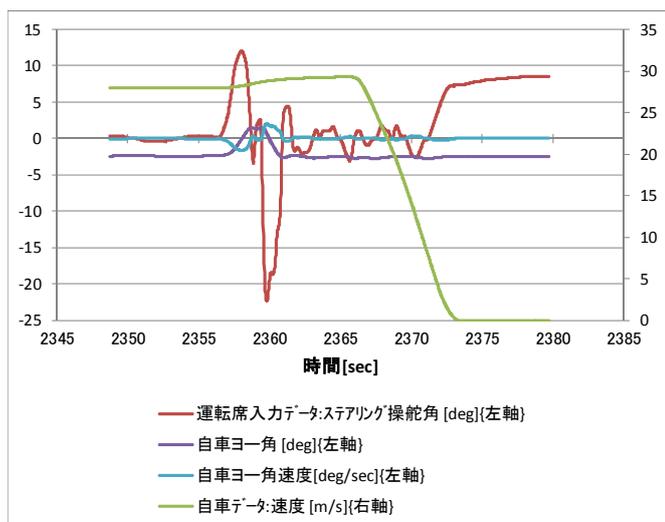
Sub.21 場面 1-g



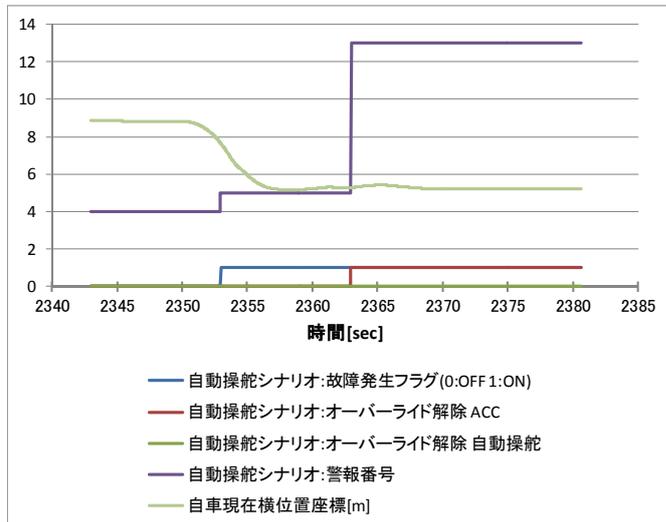
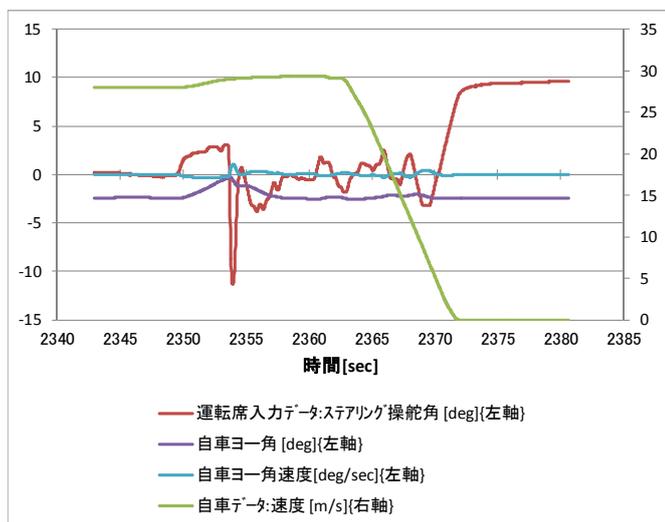
Sub.21 場面 2-a



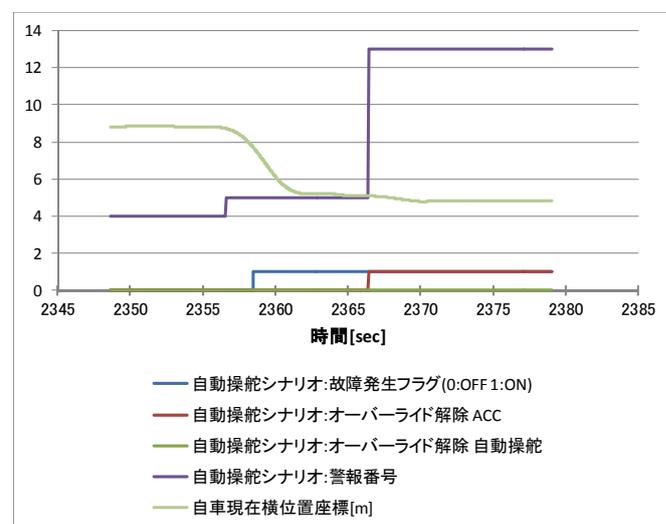
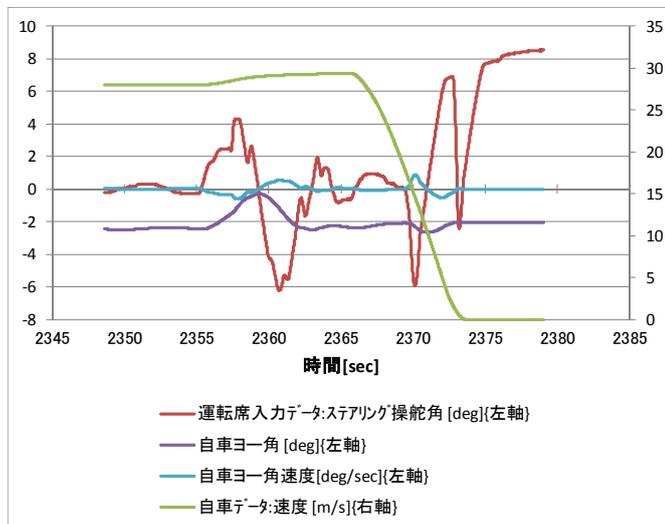
Sub.21 場面 2-b



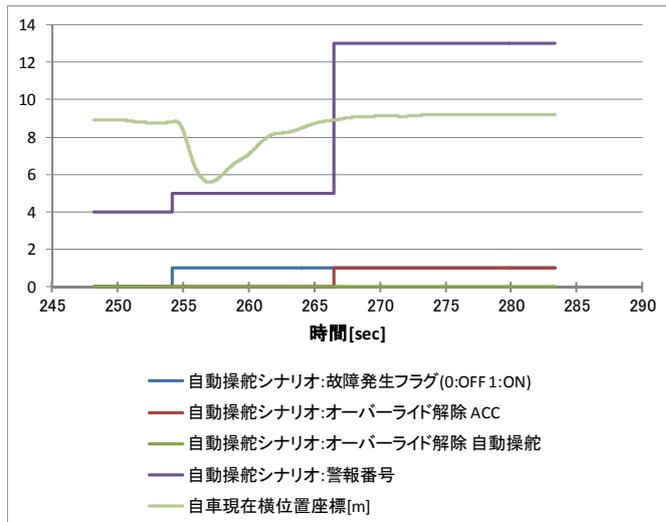
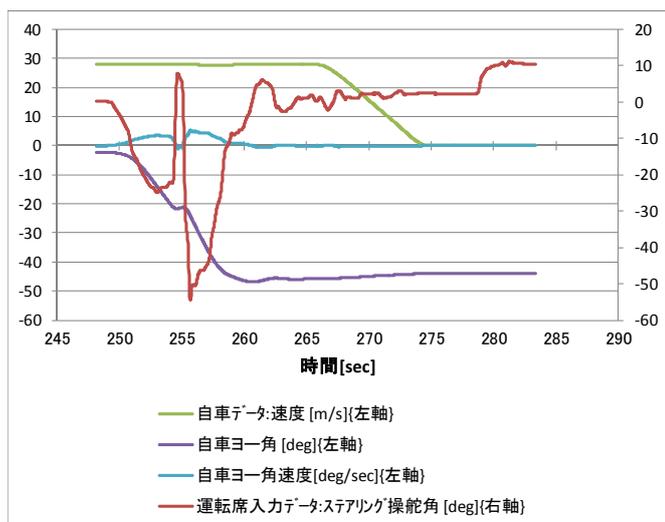
Sub.21 場面 2-c



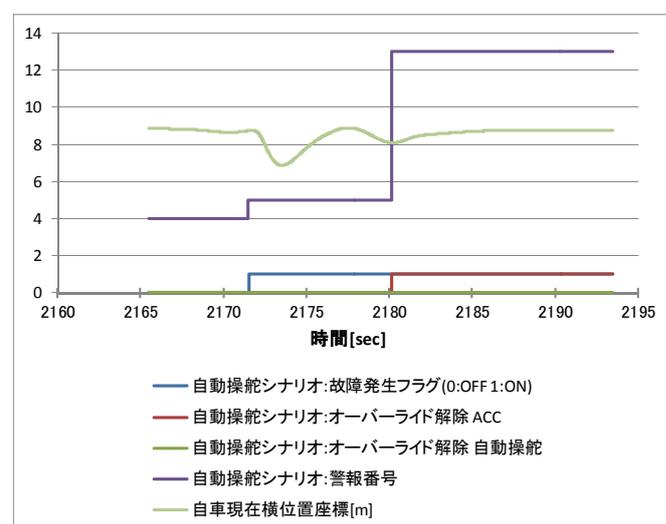
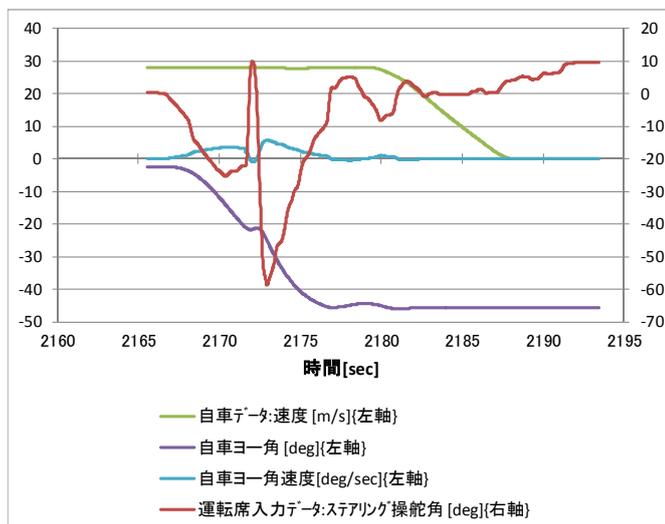
Sub.21 場面 2-d



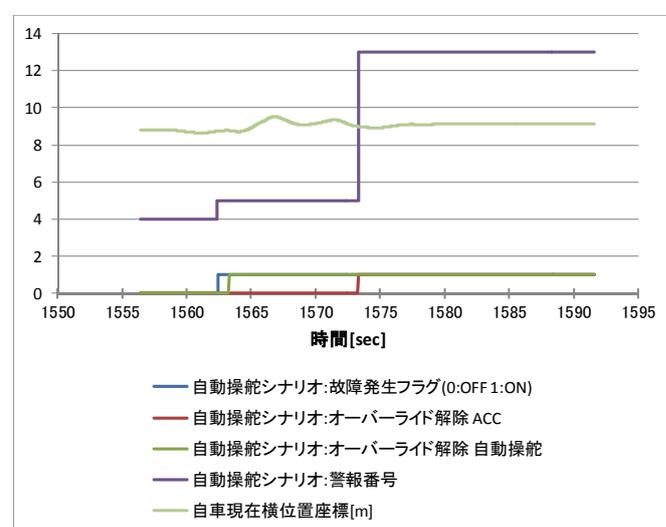
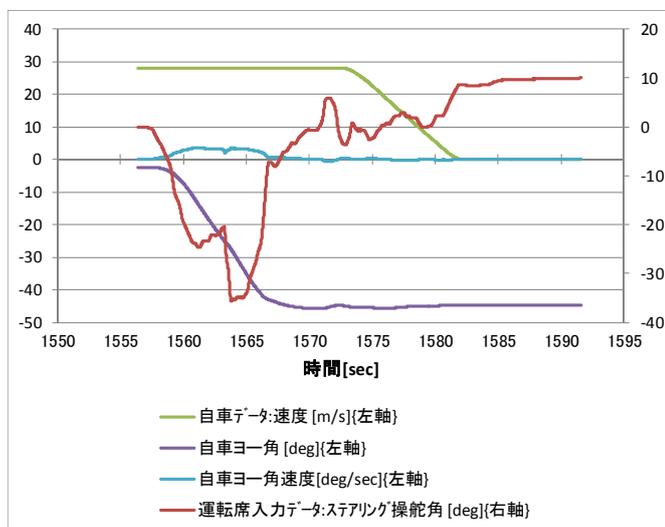
Sub.22 場面 1-a



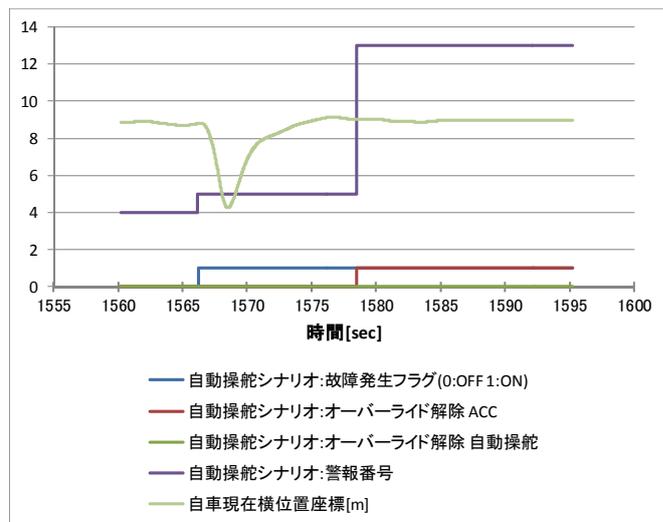
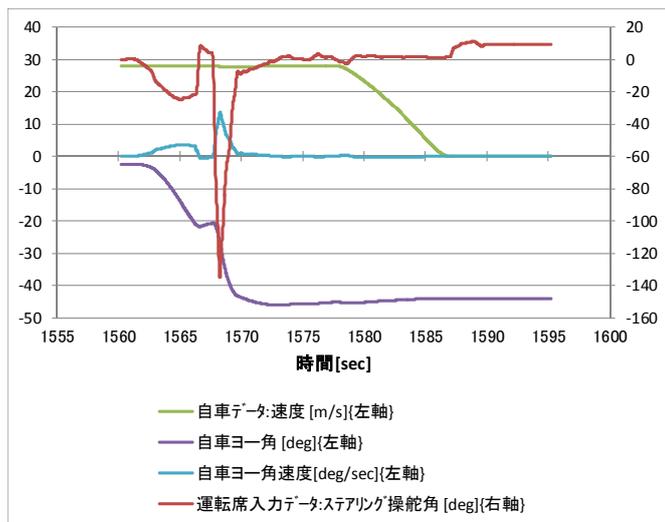
Sub.22 場面 1-b



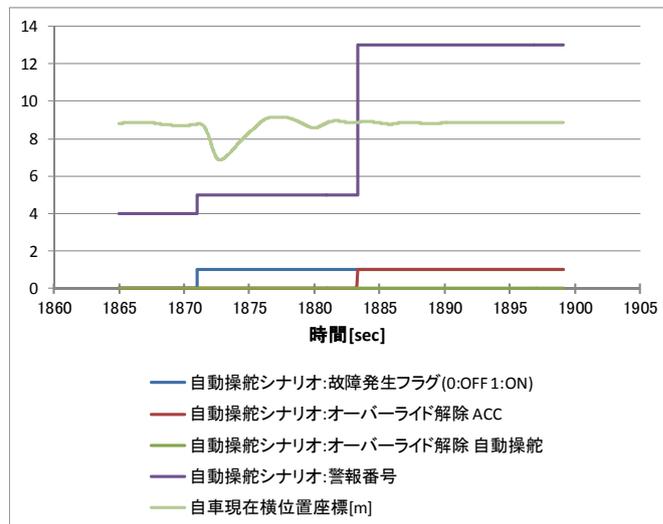
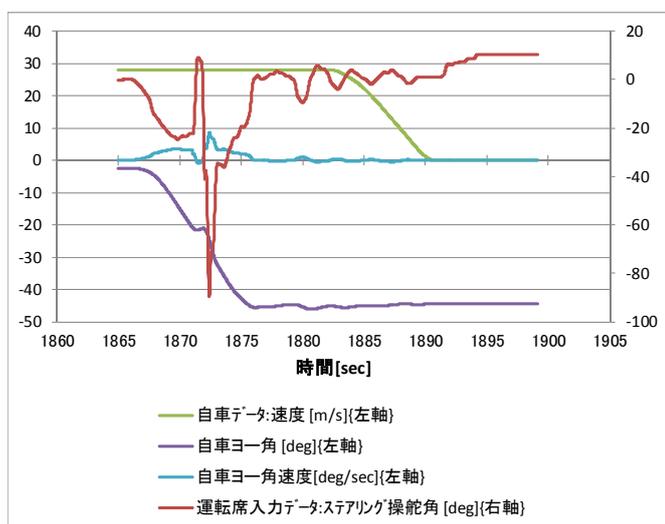
Sub.22 場面 1-c



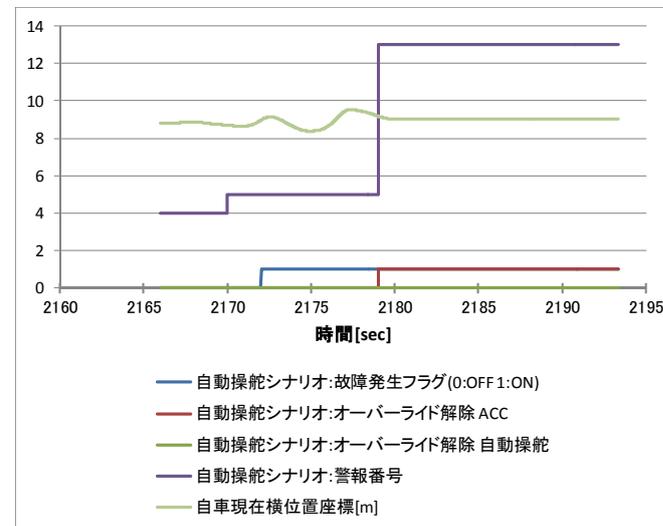
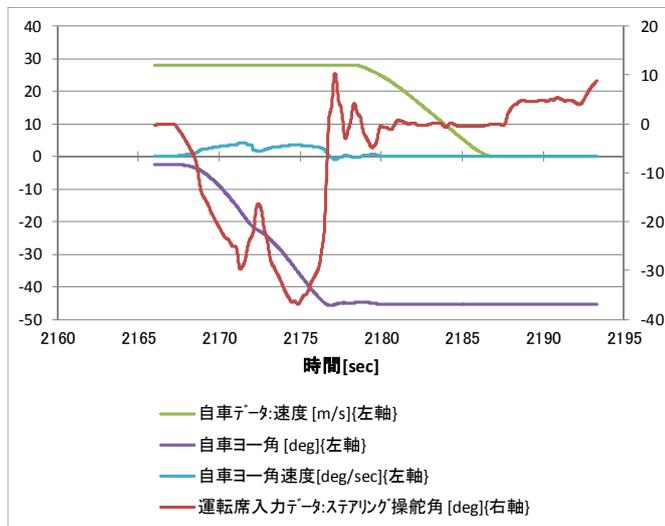
Sub.22 場面 1-d



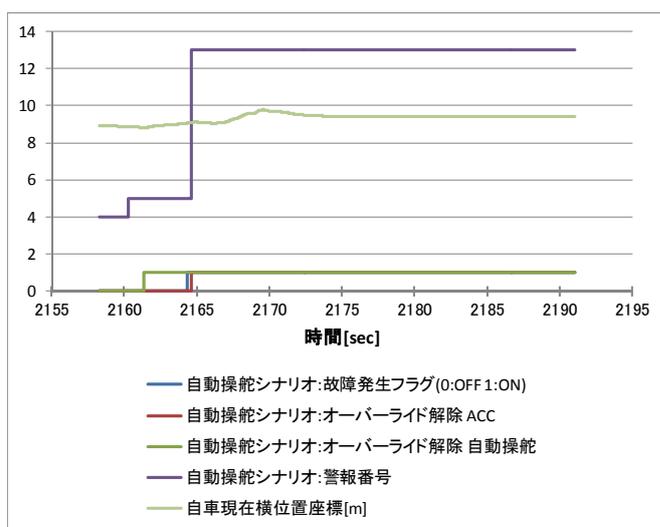
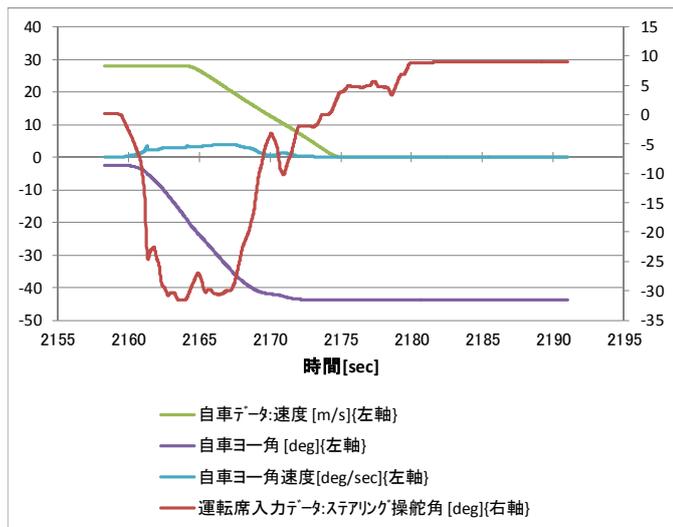
Sub.22 場面 1-e



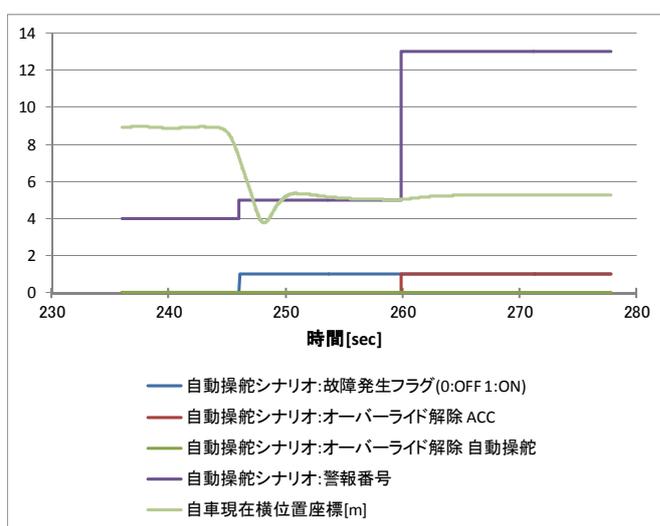
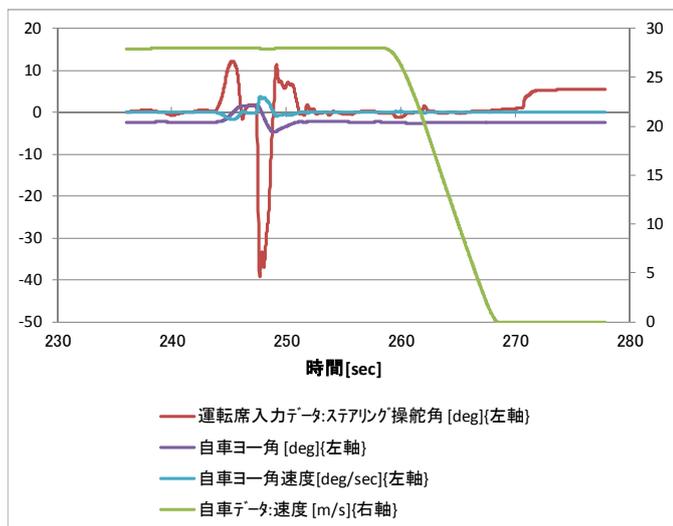
Sub.22 場面 1-f



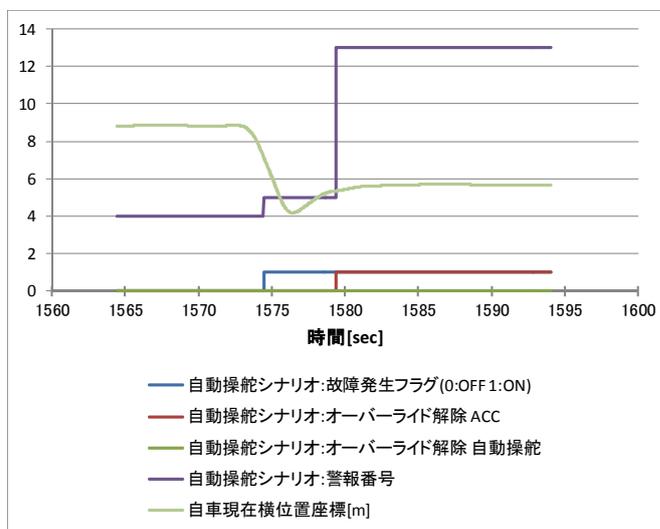
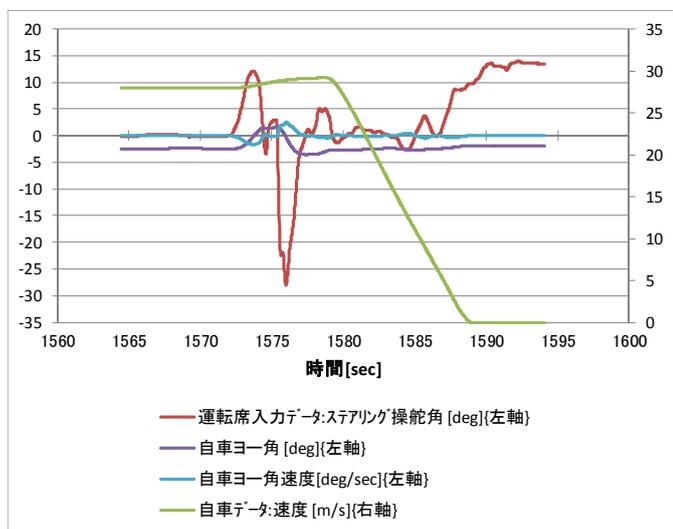
Sub.22 場面 1-g



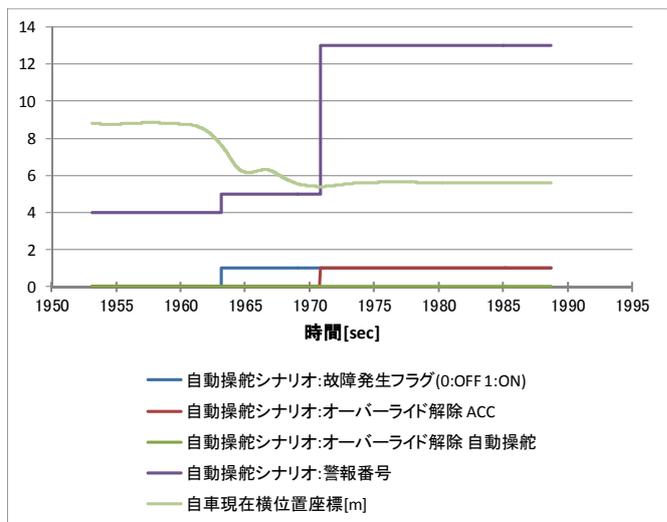
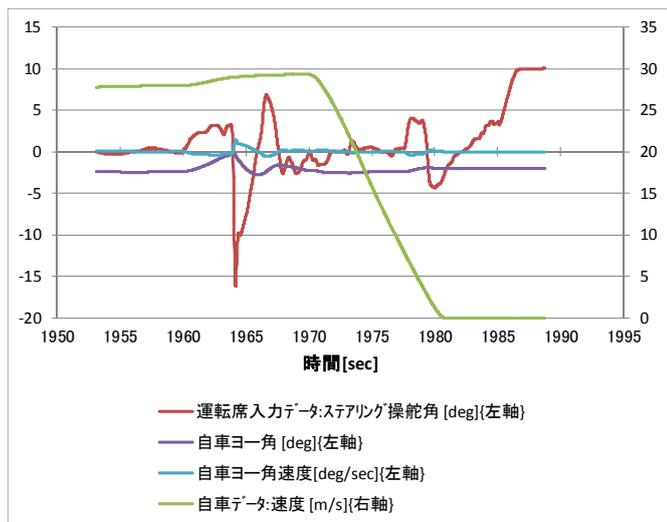
Sub.22 場面 2-a



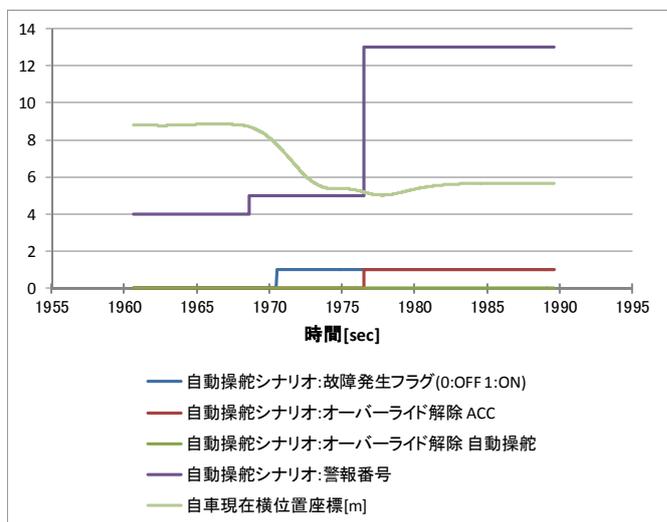
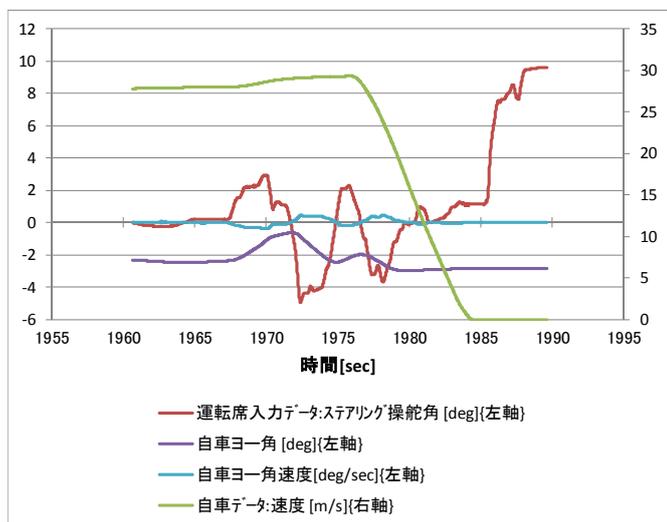
Sub.22 場面 2-b



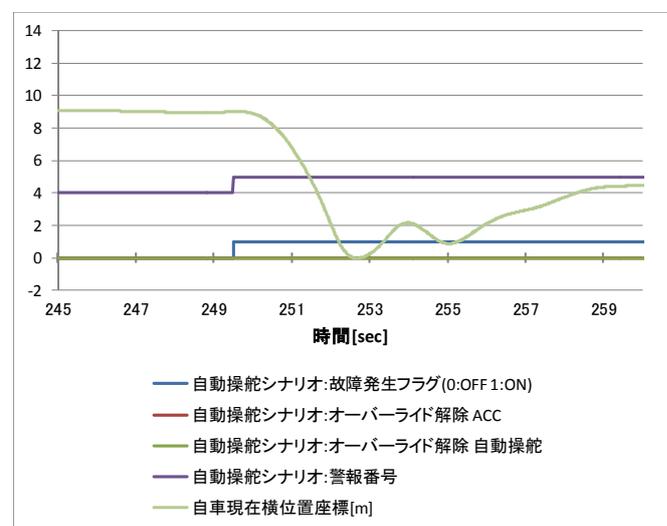
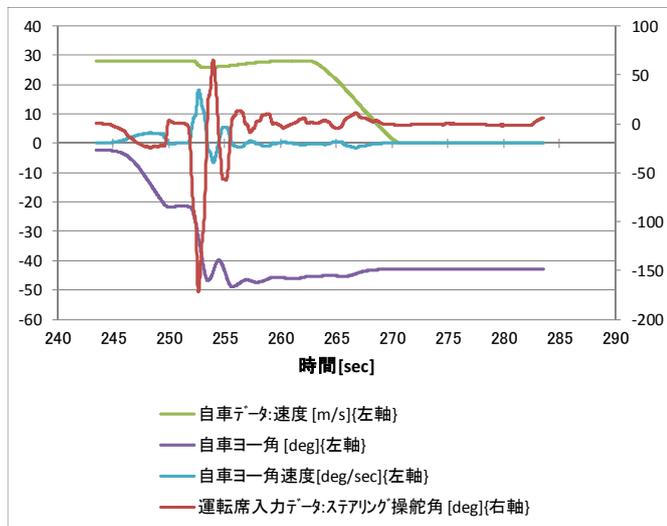
Sub.22 場面 2-c



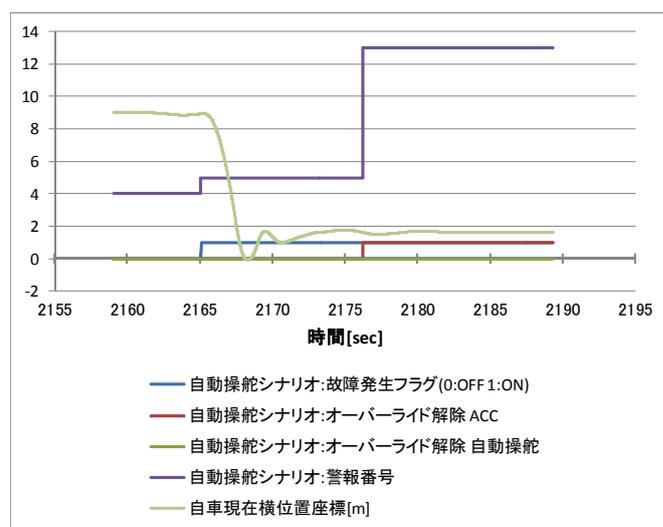
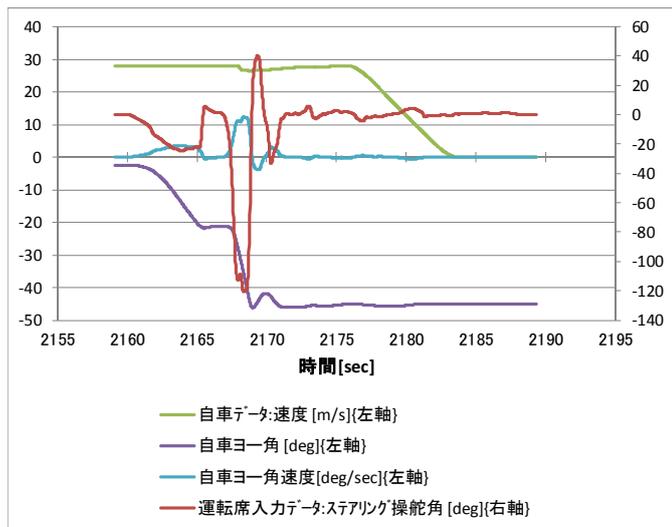
Sub.22 場面 2-d



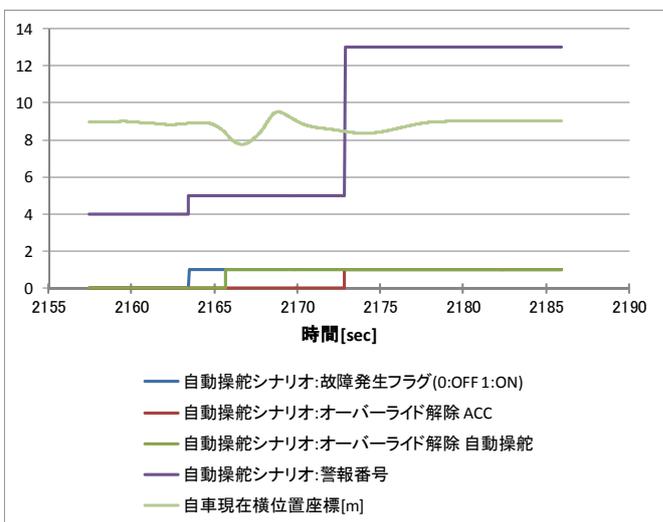
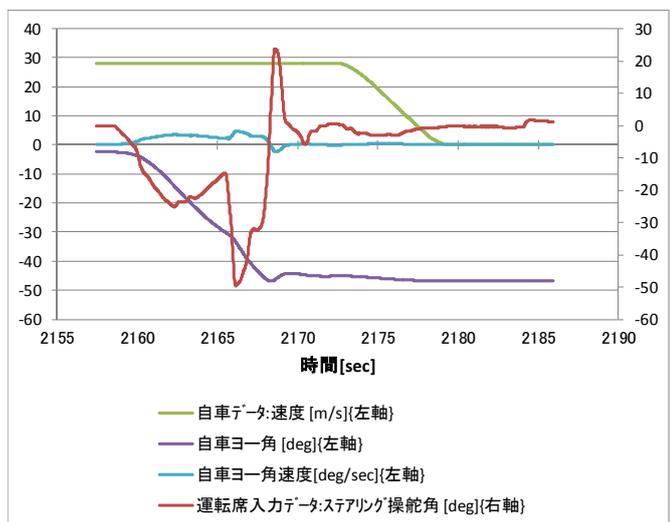
Sub.23 場面 1-a



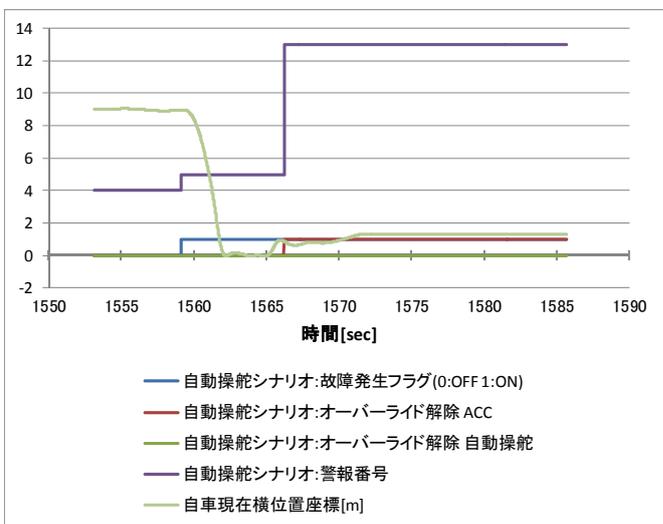
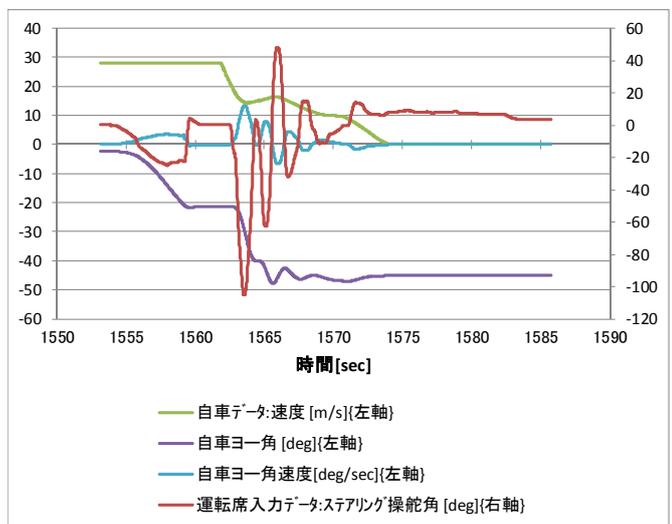
Sub.23 場面 1-b



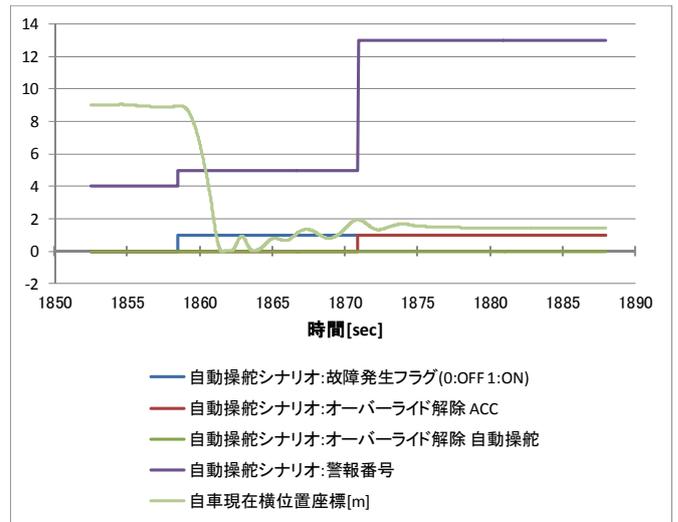
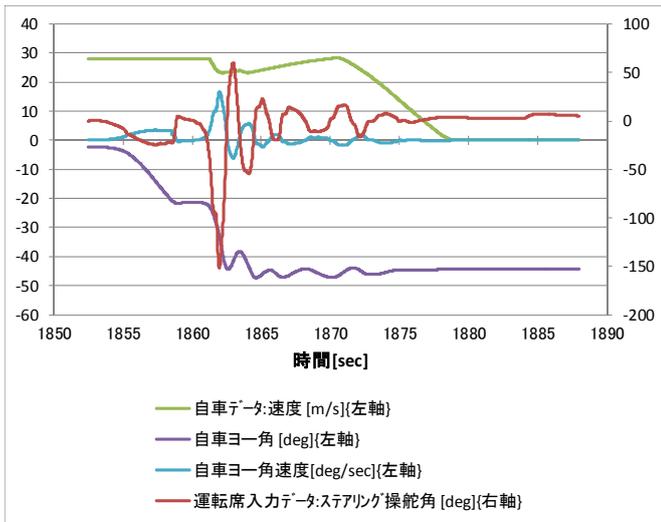
Sub.23 場面 1-c



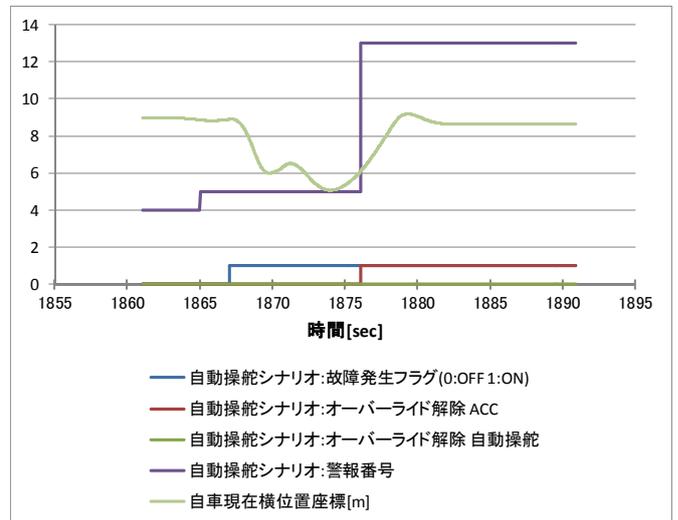
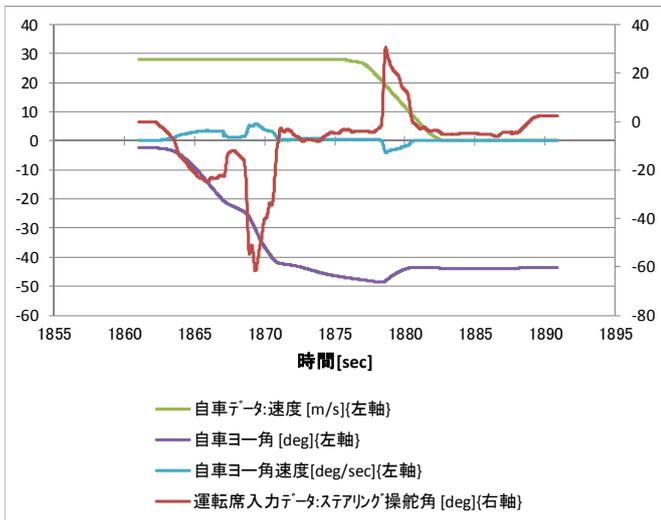
Sub.23 場面 1-d



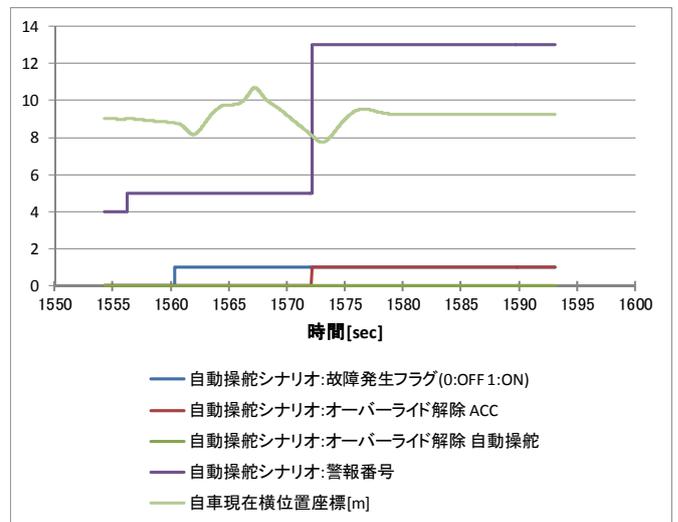
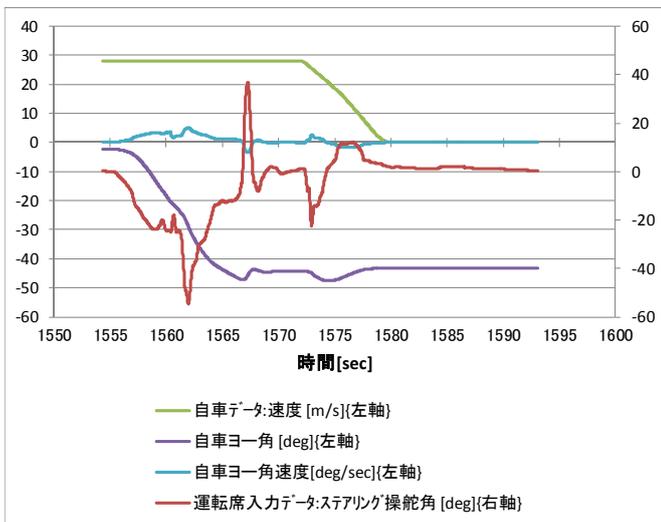
Sub.23 場面 1-e



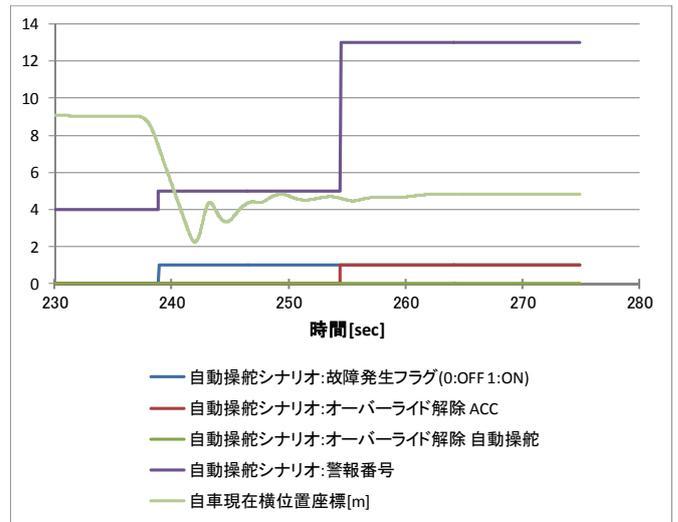
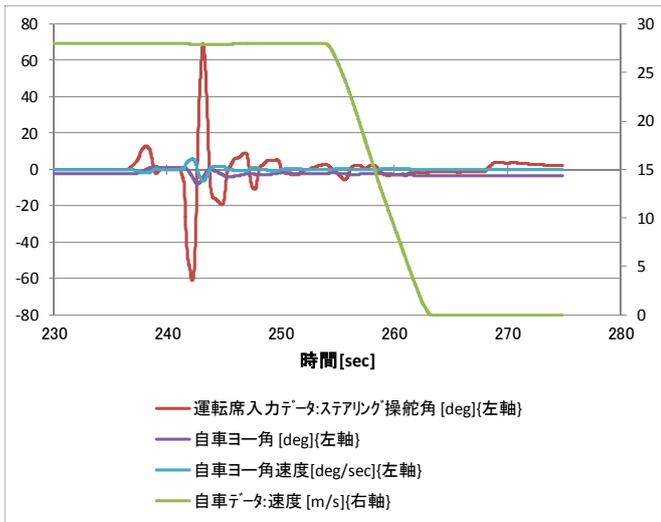
Sub.23 場面 1-f



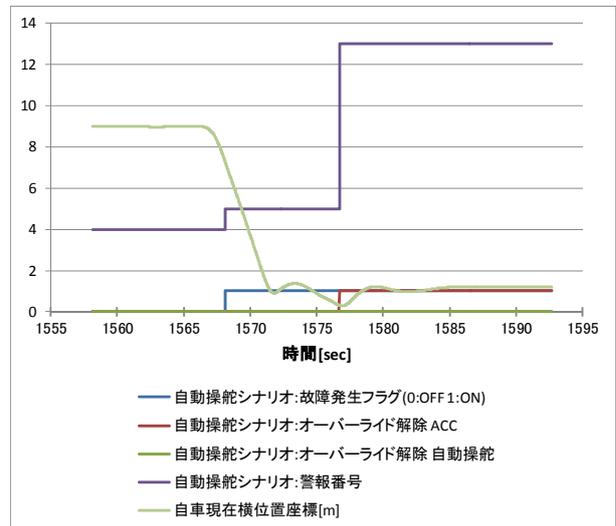
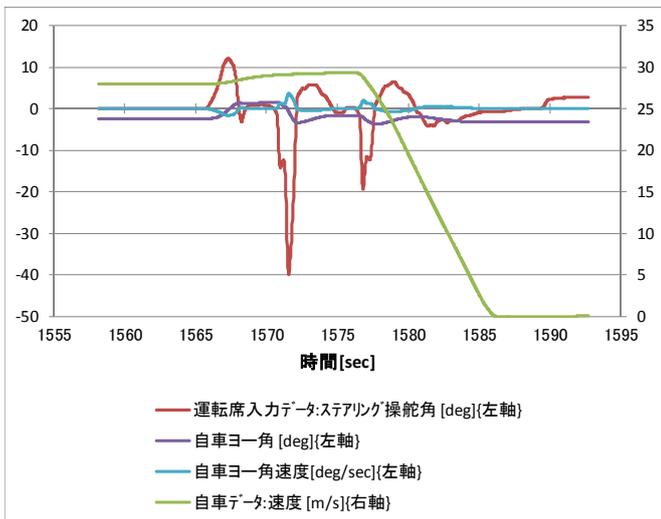
Sub.23 場面 1-g



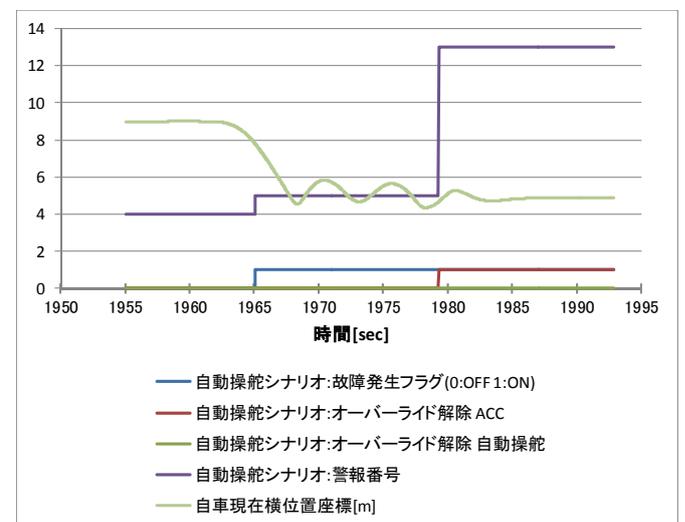
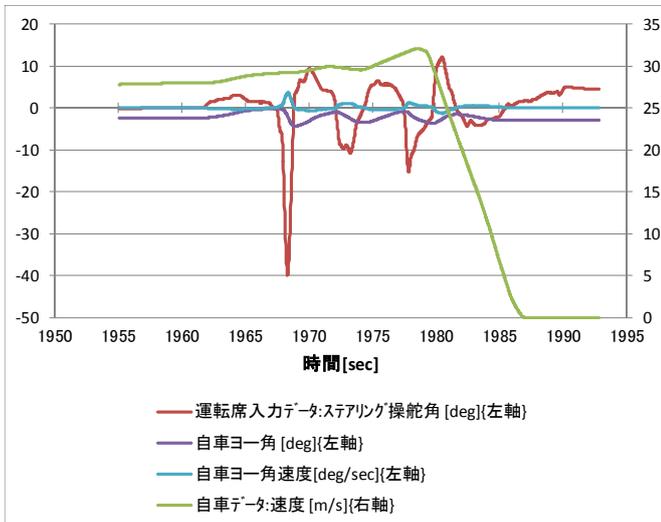
Sub.23 場面 2-a



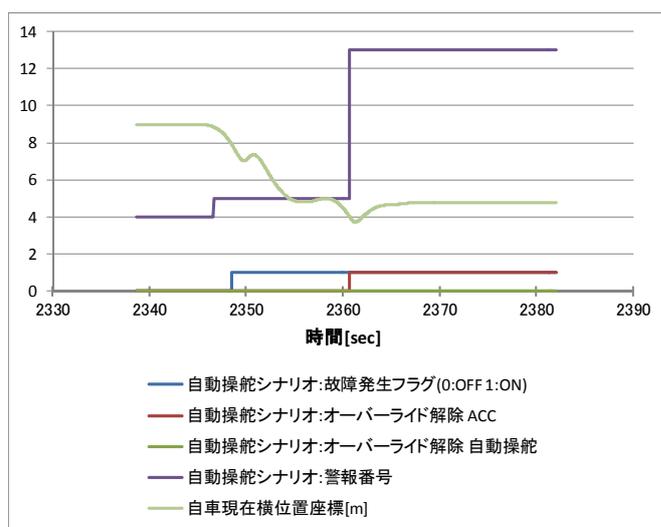
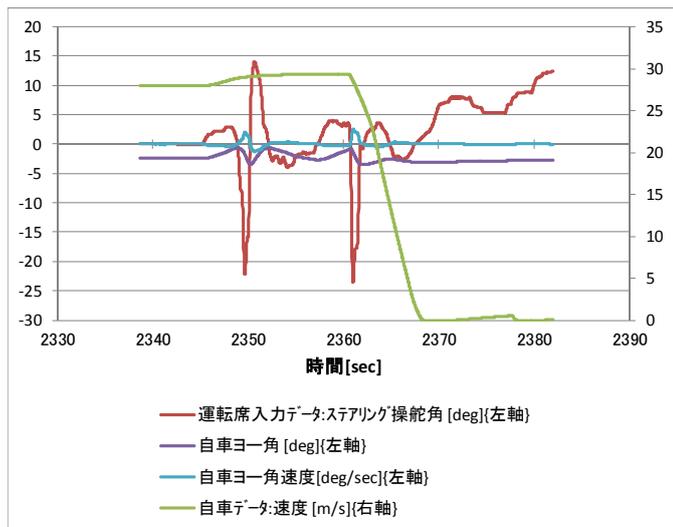
Sub.23 場面 2-b



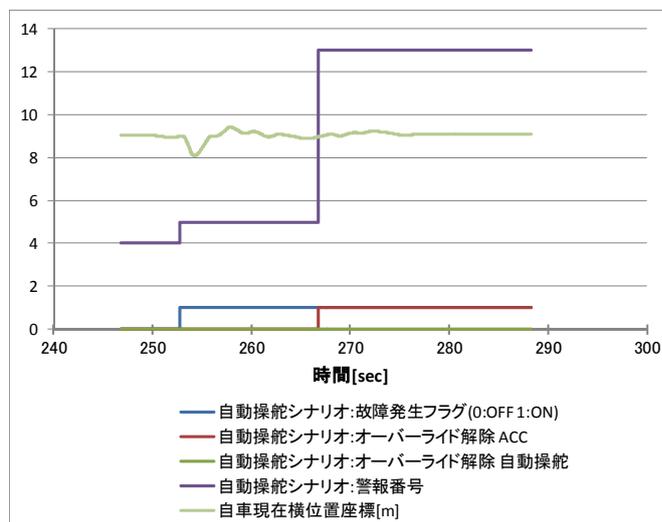
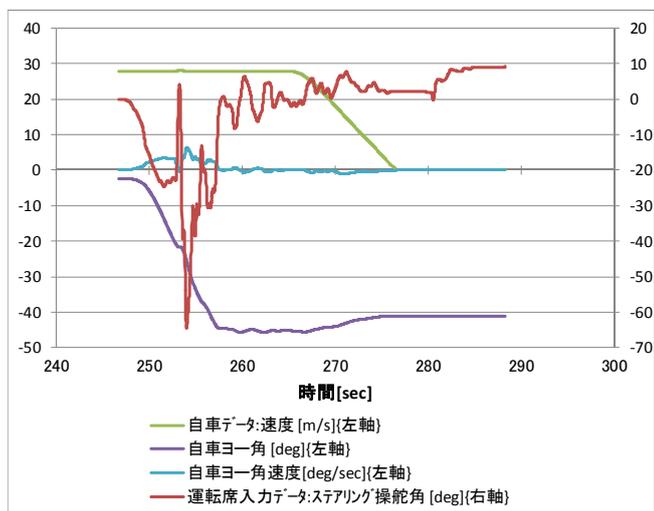
Sub.23 場面 2-c



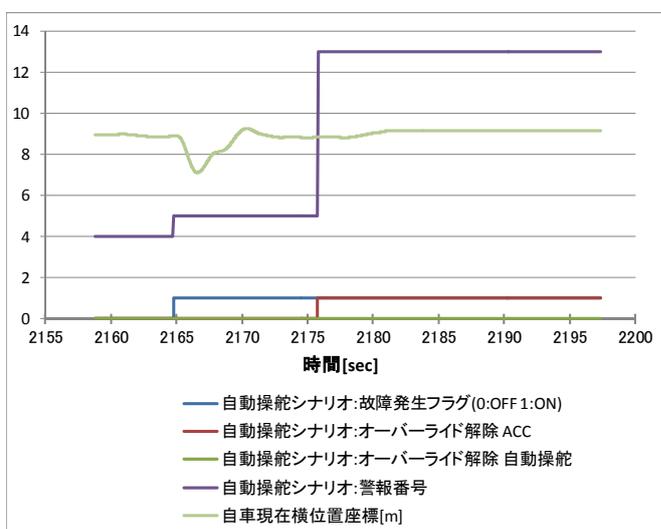
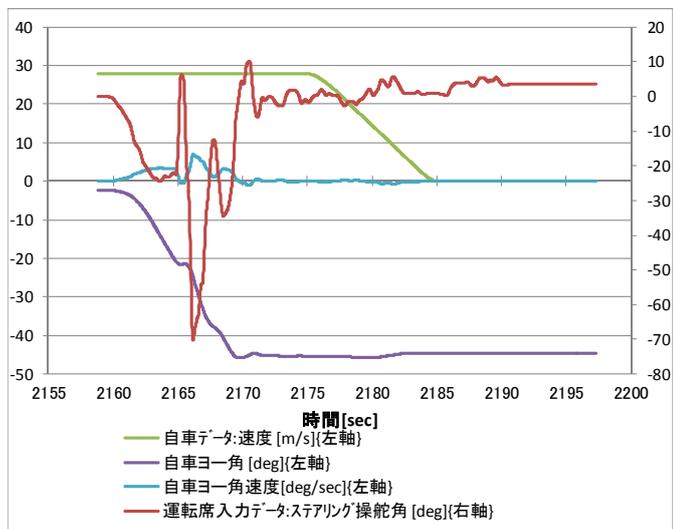
Sub.23 場面 2-d



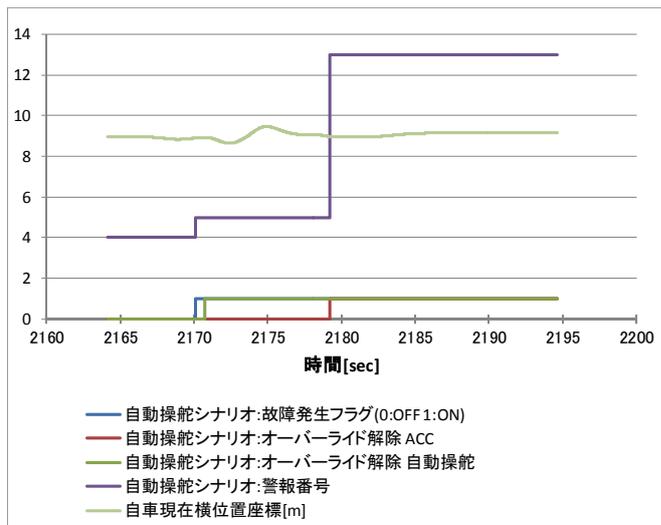
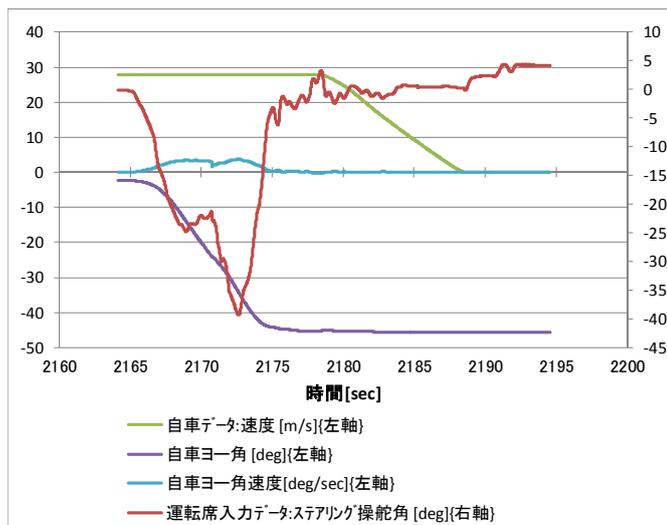
Sub.24 場面 1-a



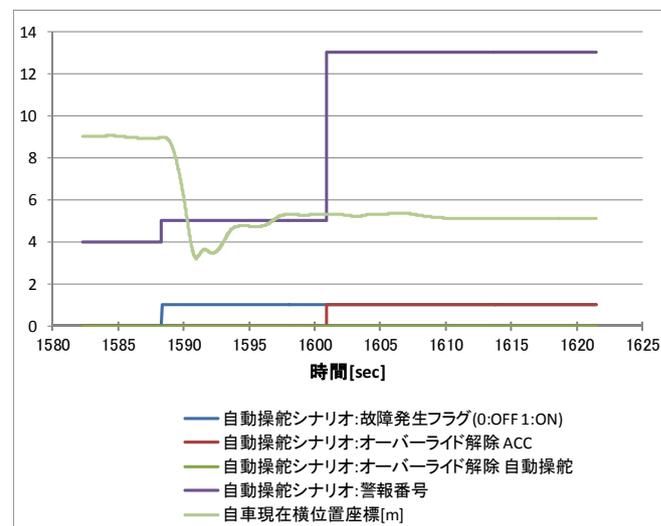
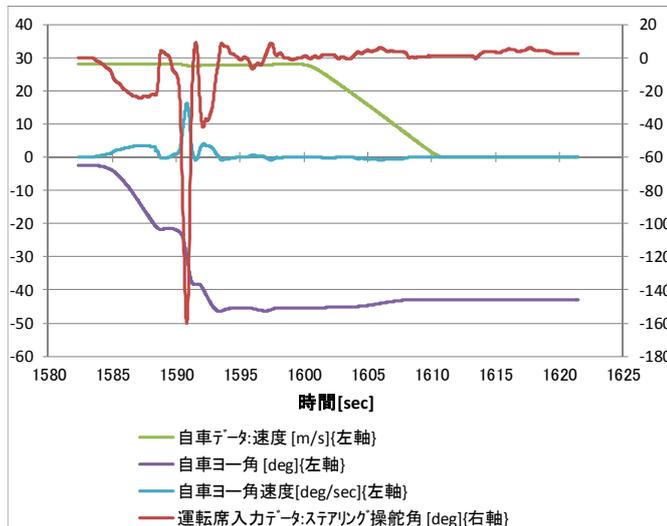
Sub.24 場面 1-b



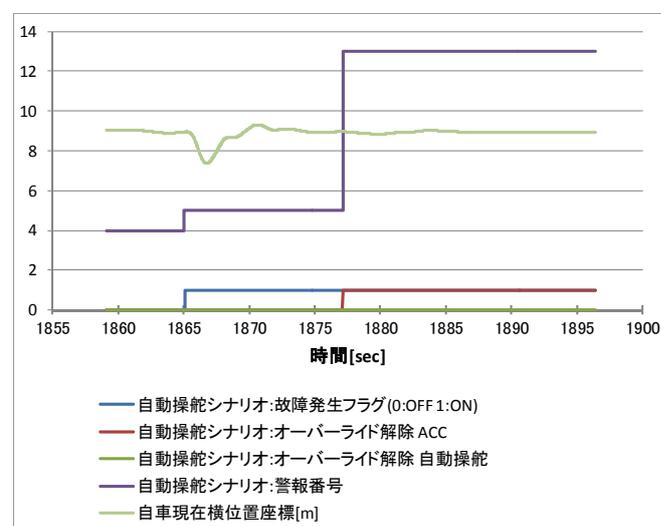
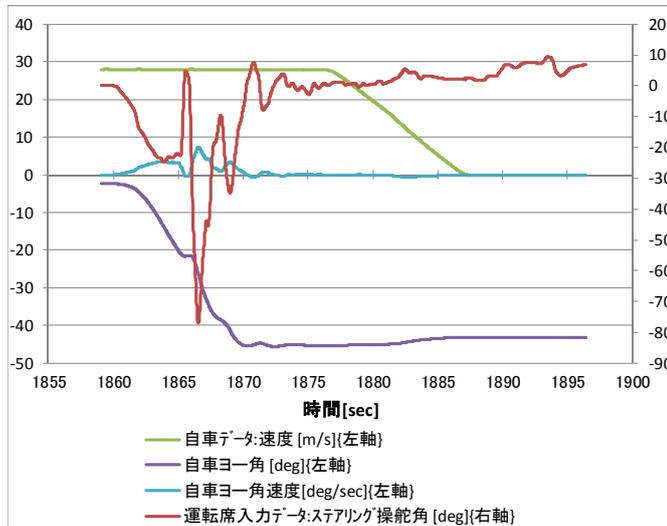
Sub.24 場面 1-c



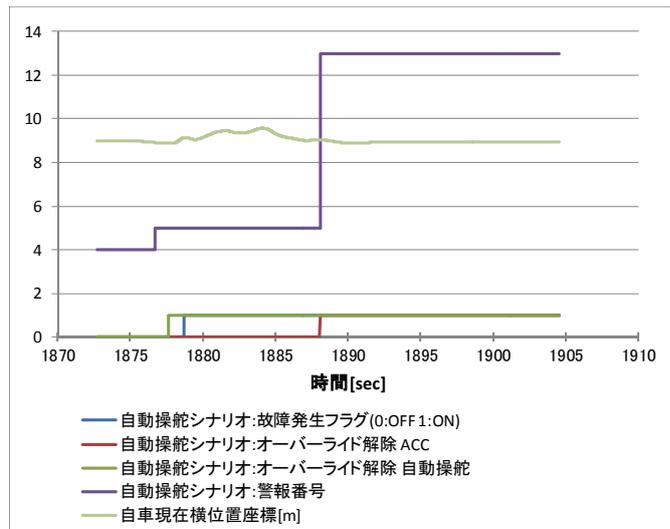
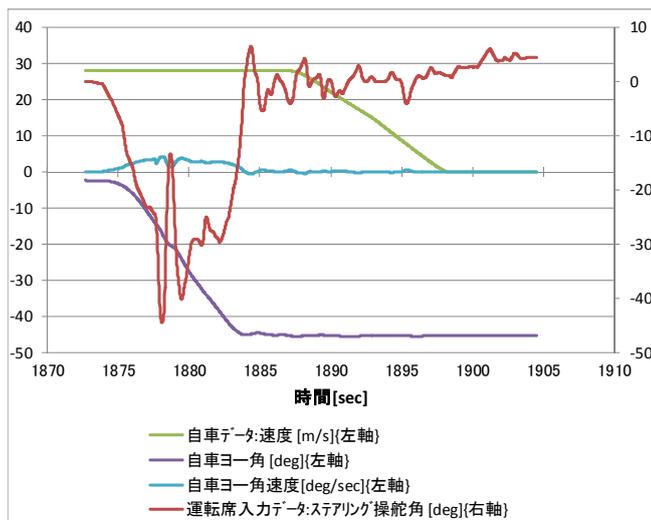
Sub.24 場面 1-d



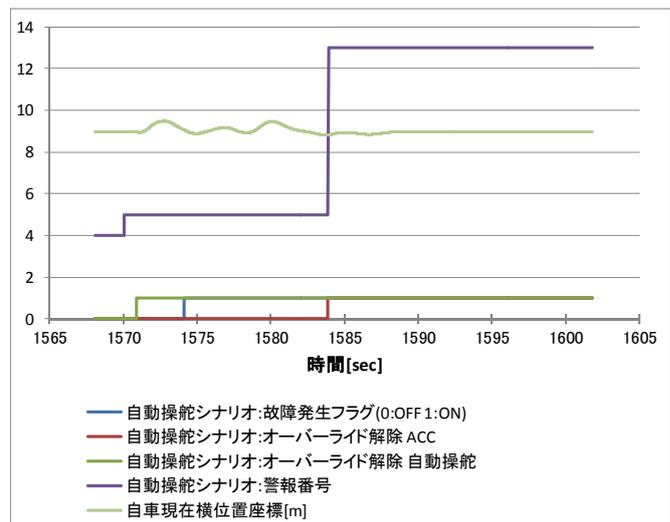
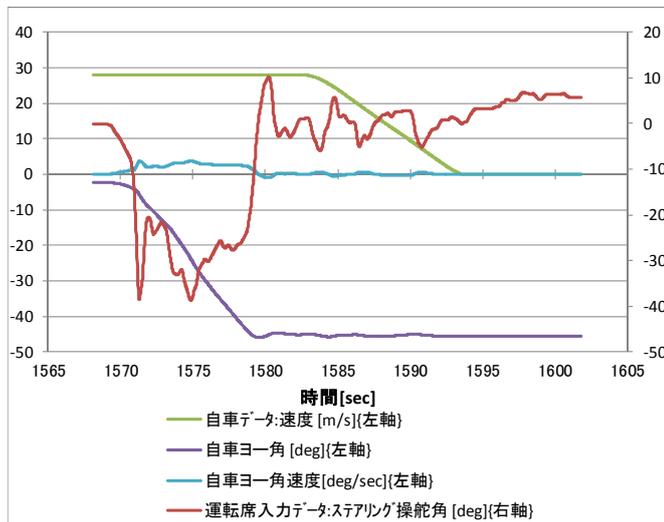
Sub.24 場面 1-e



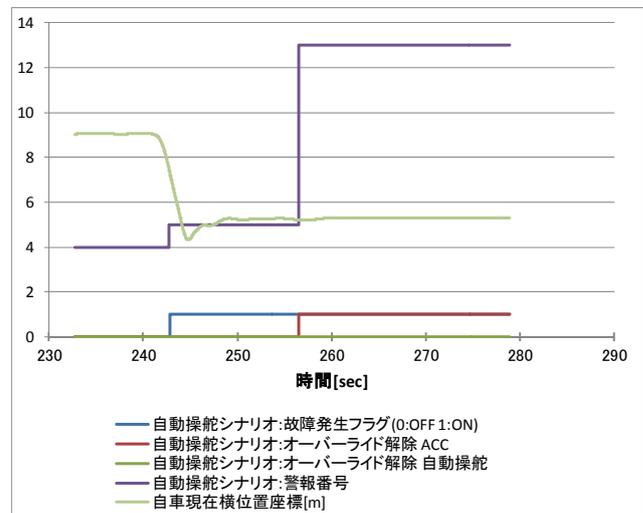
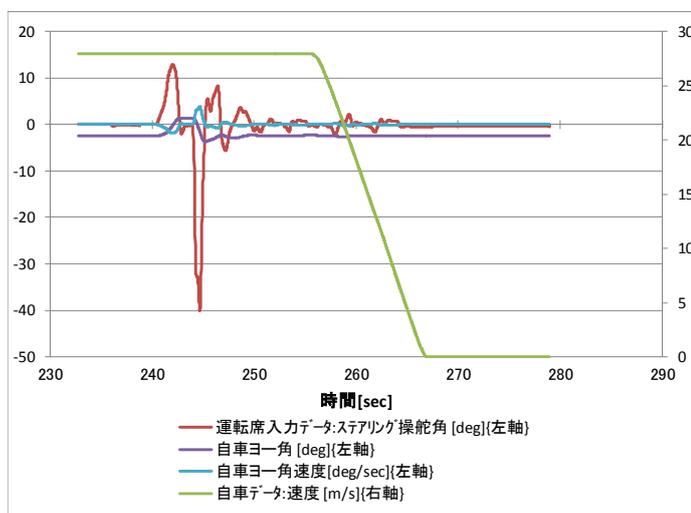
Sub.24 場面 1-f



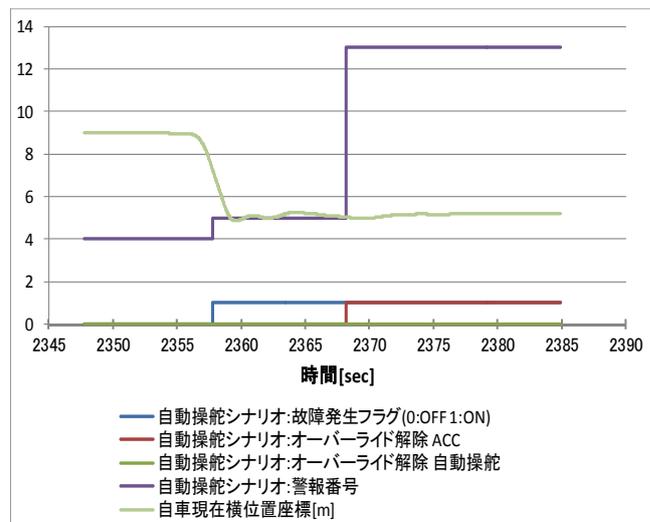
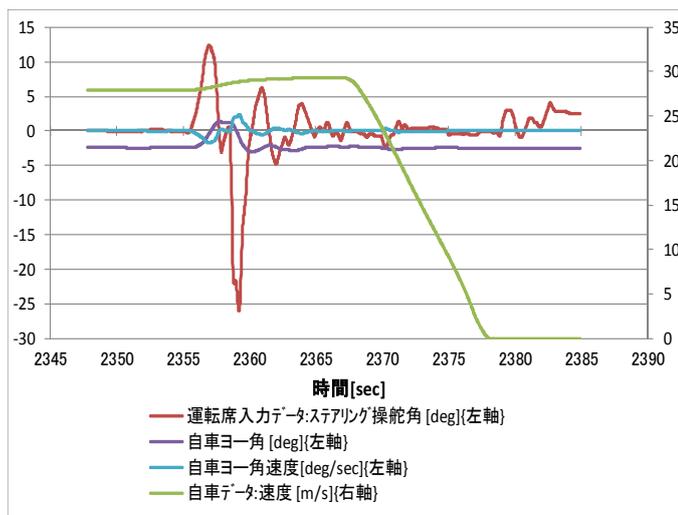
Sub.24 場面 1-g



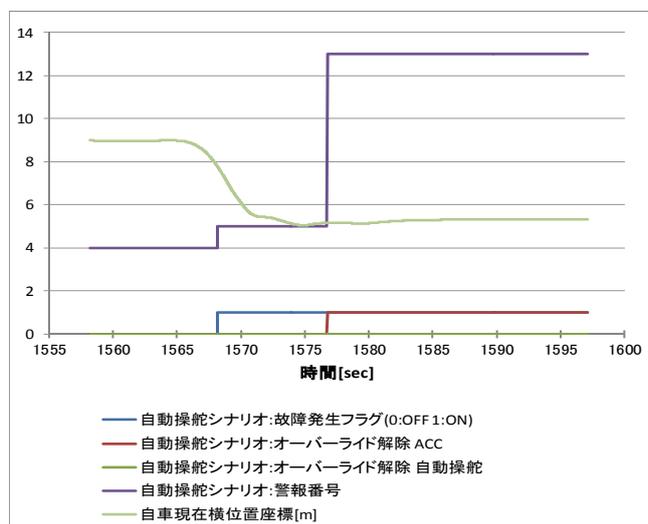
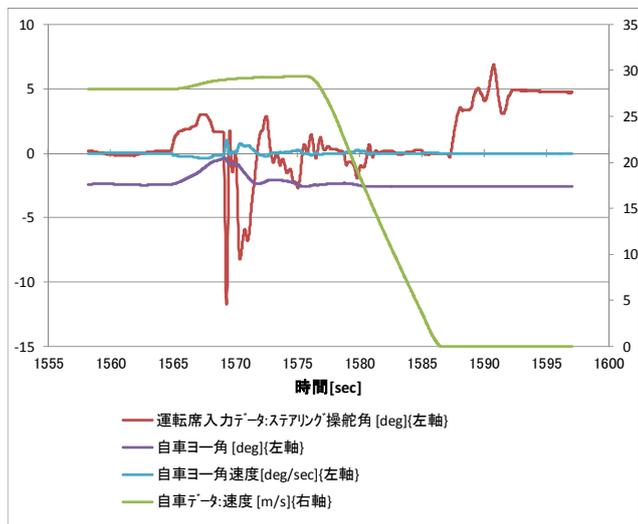
Sub.24 場面 2-a



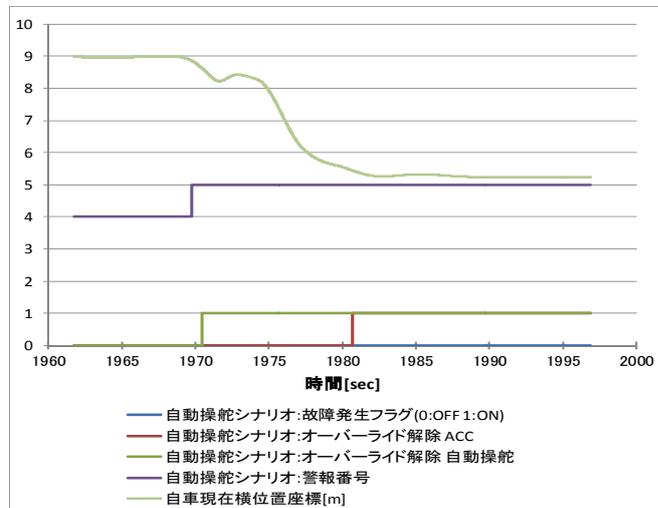
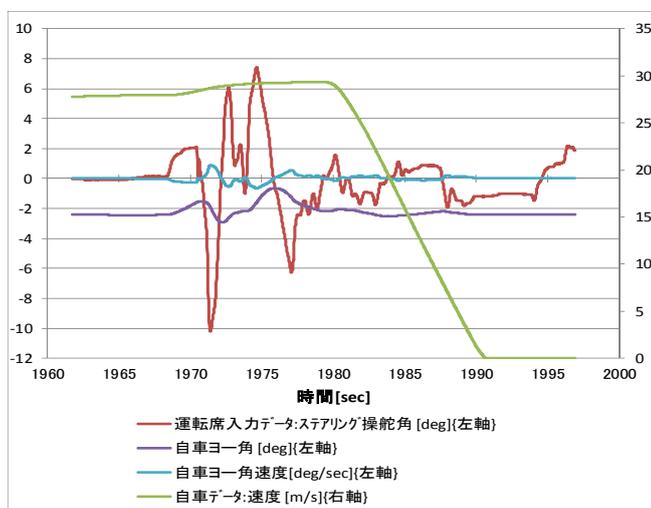
Sub.24 場面 2-b



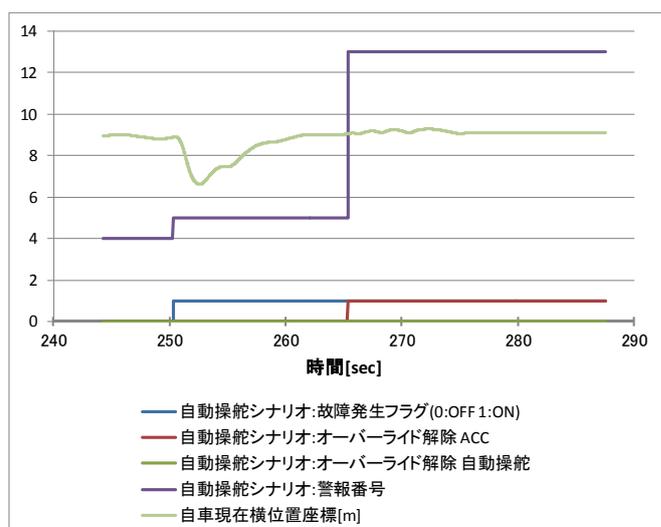
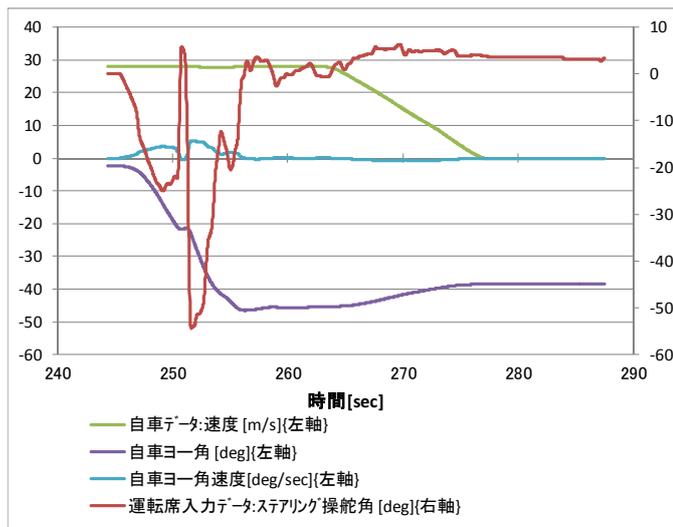
Sub.24 場面 2-c



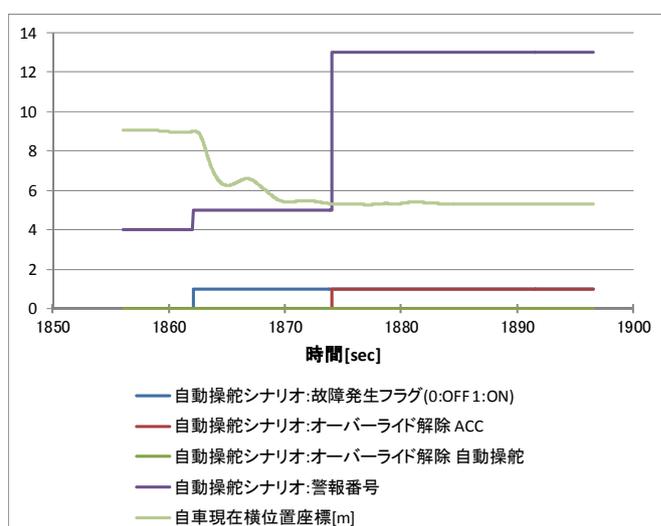
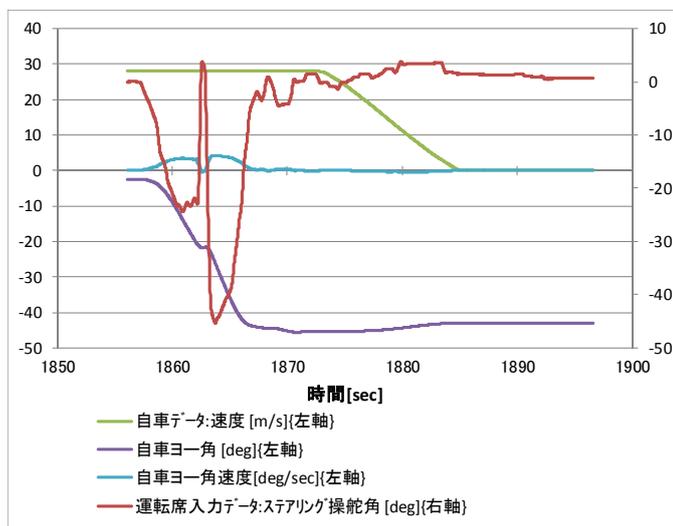
Sub.24 場面 2-d



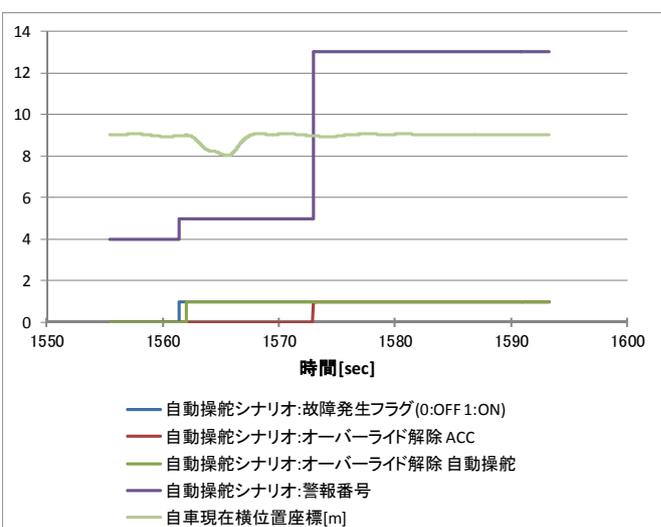
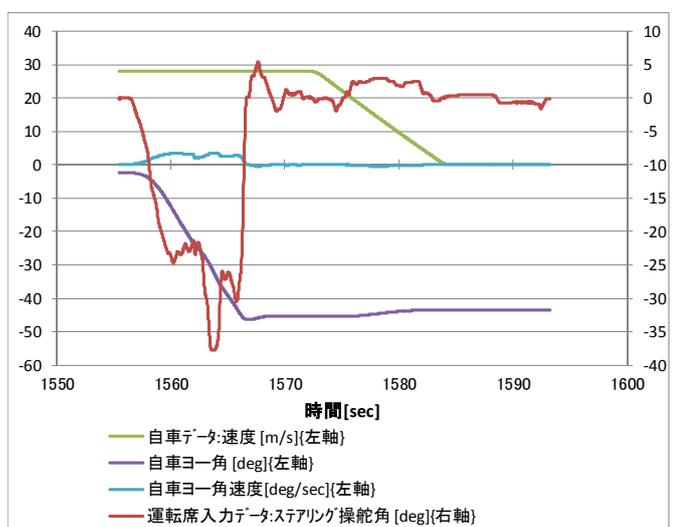
Sub.25 場面 1-a



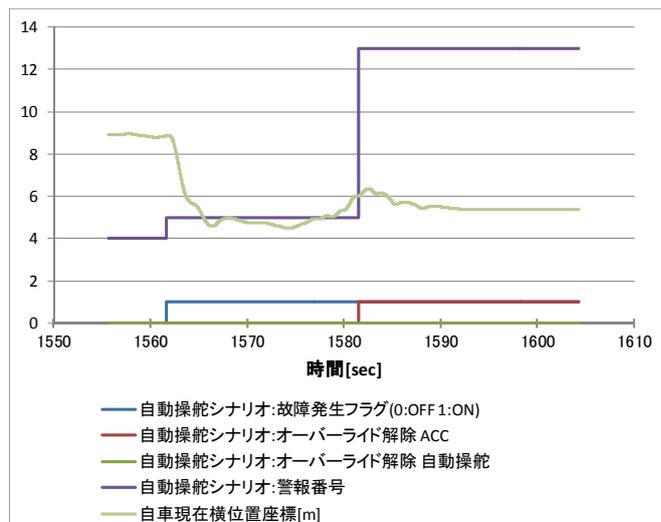
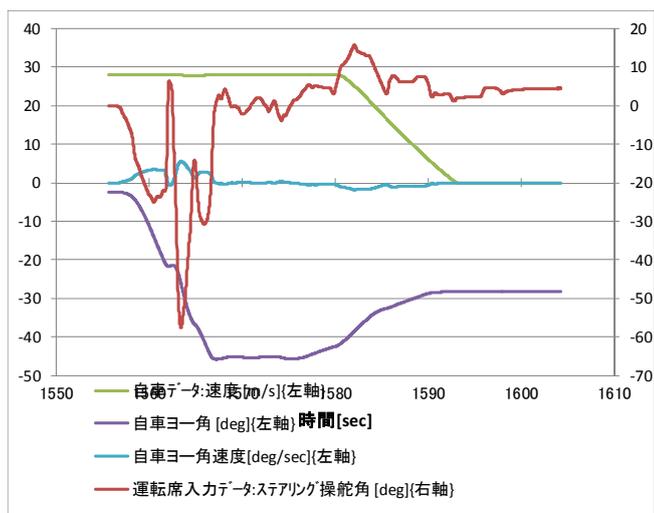
Sub.25 場面 1-b



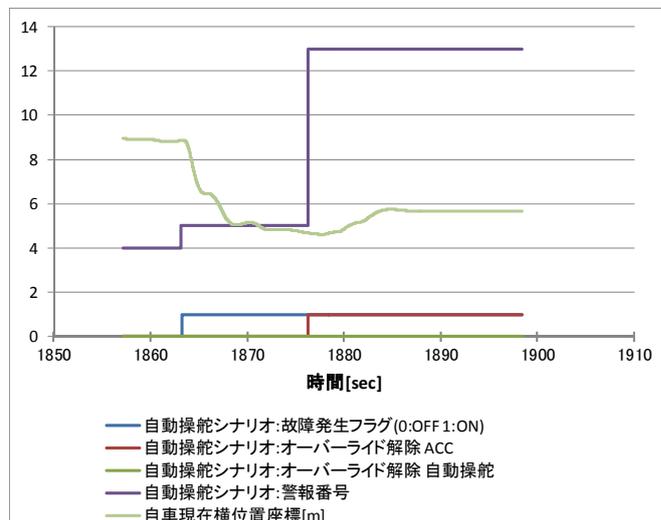
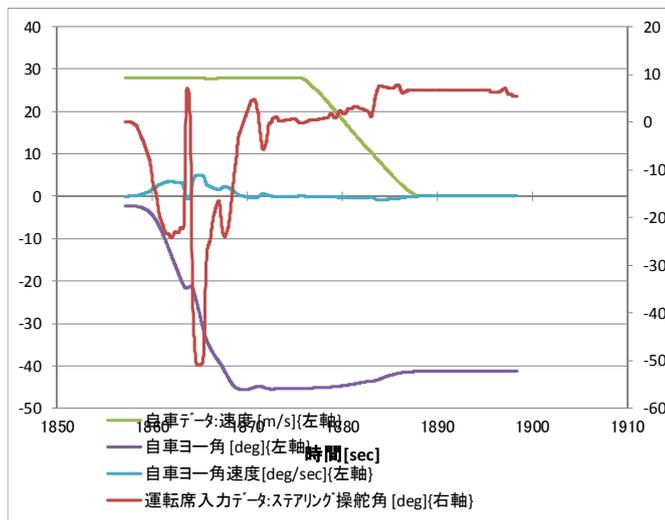
Sub.25 場面 1-c



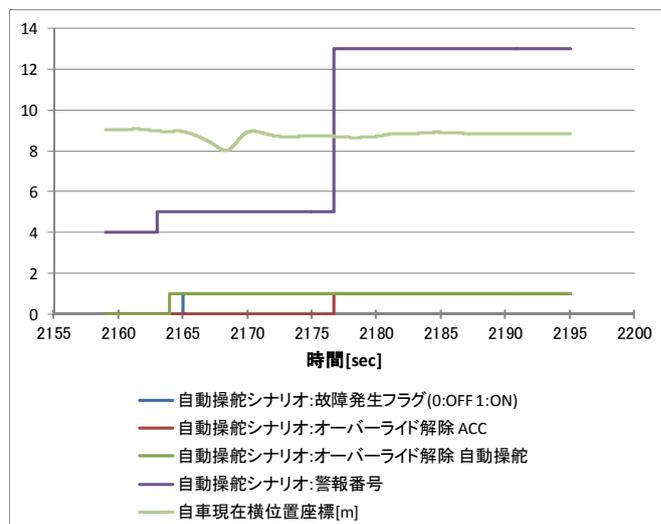
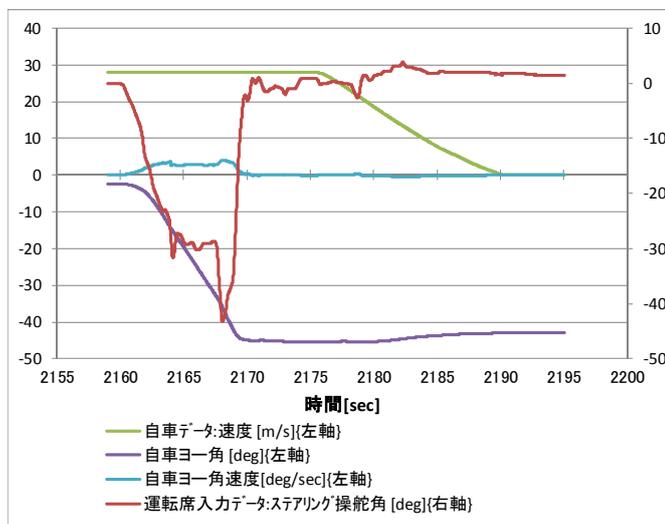
Sub.25 場面 1-d



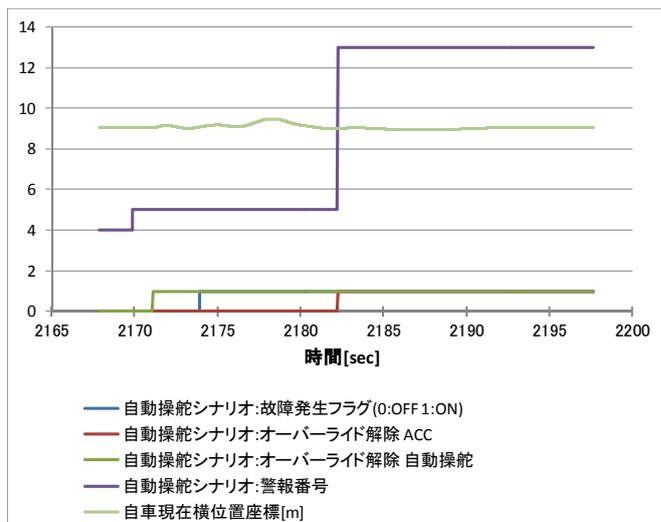
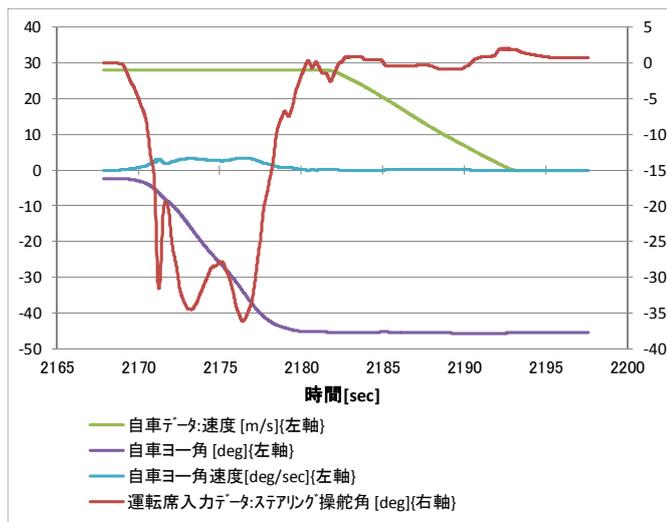
Sub.25 場面 1-e



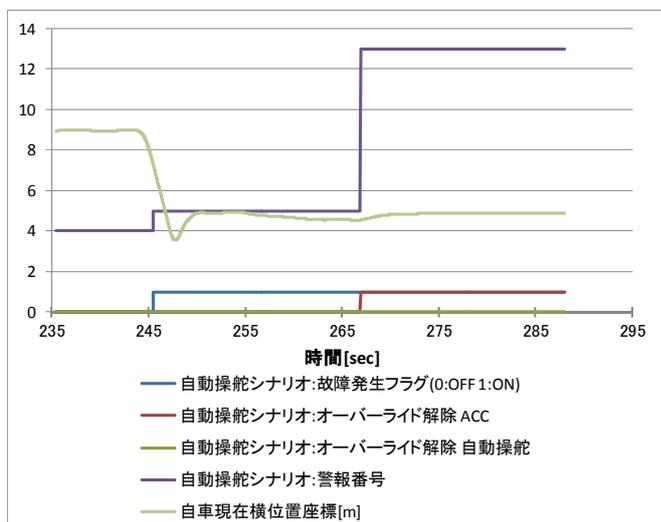
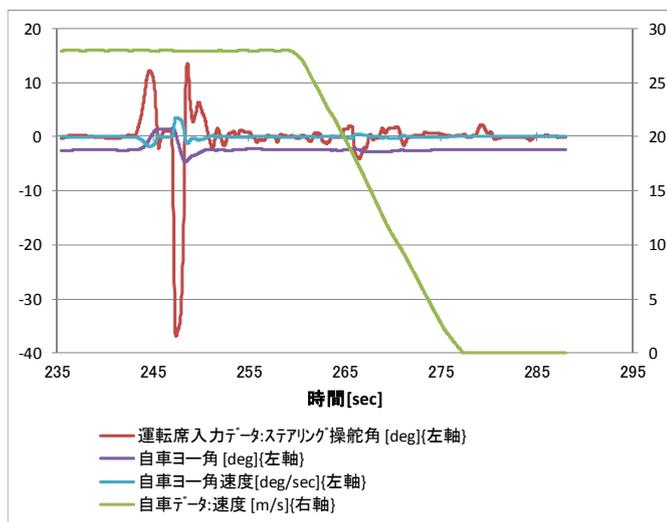
Sub.25 場面 1-f



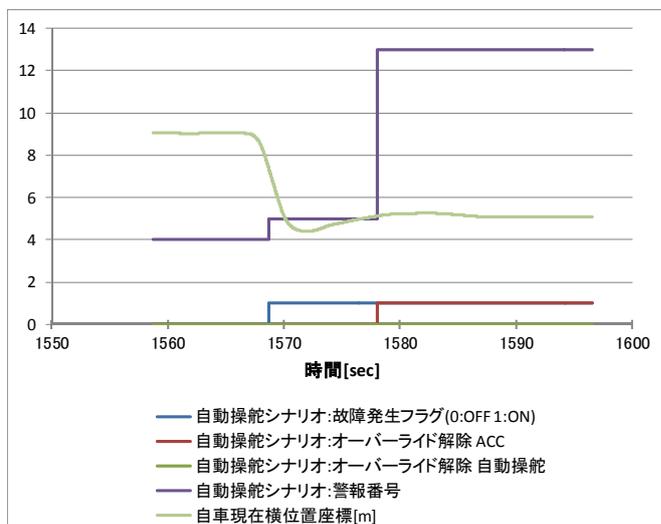
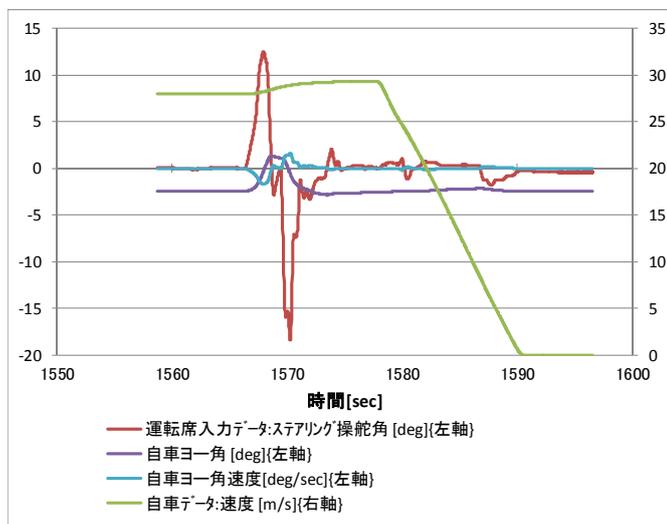
Sub.25 場面 1-g



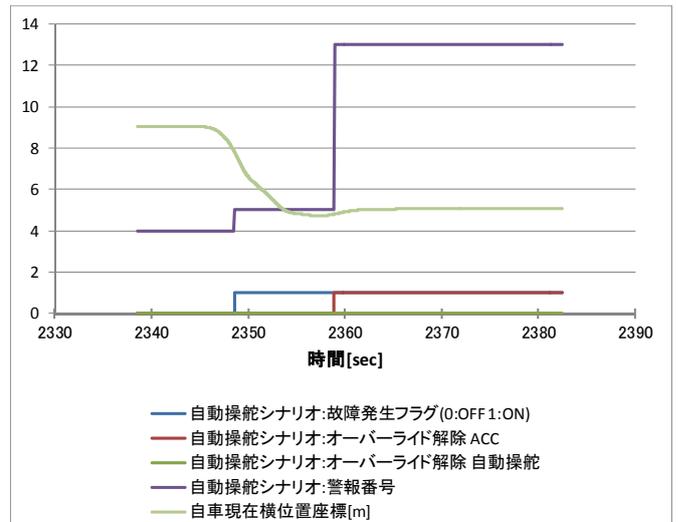
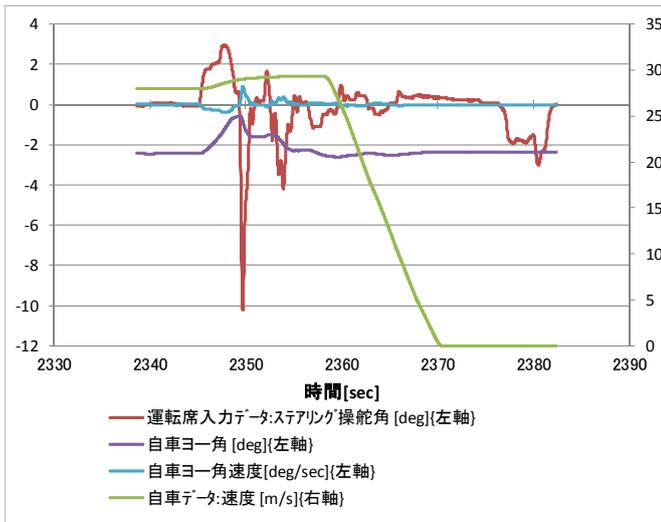
Sub.25 場面 2-a



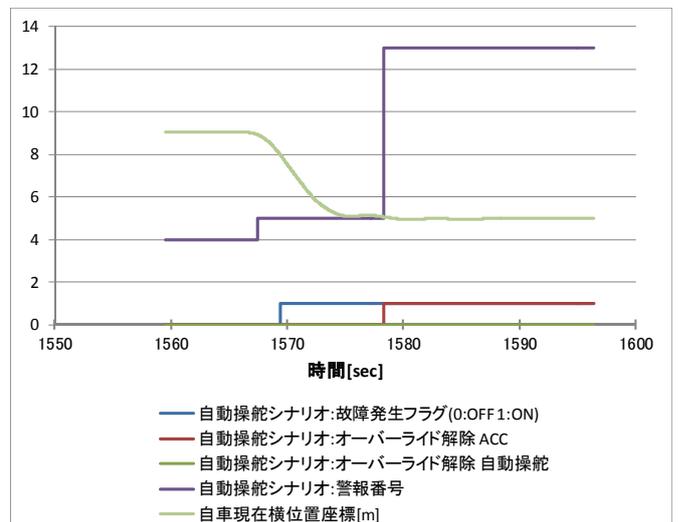
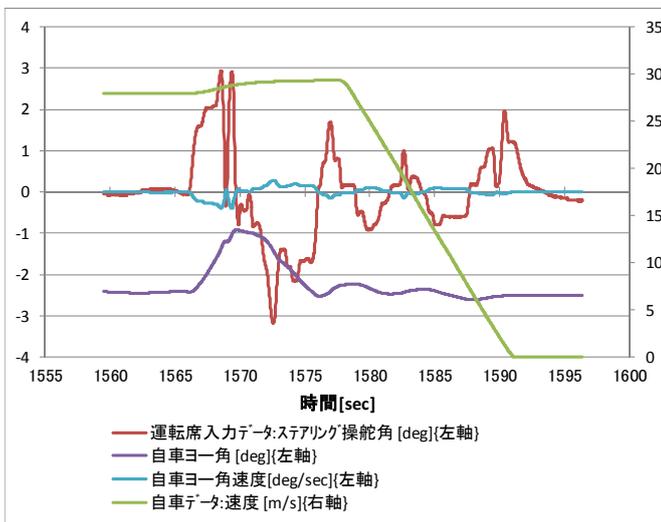
Sub.25 場面 2-b



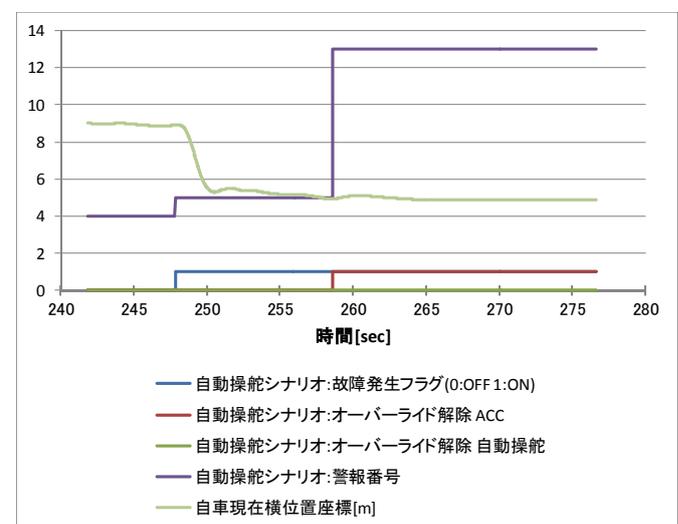
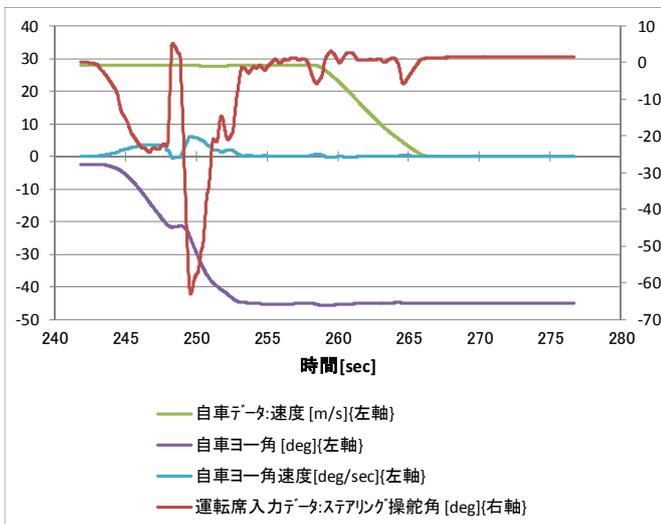
Sub.25 場面 2-c



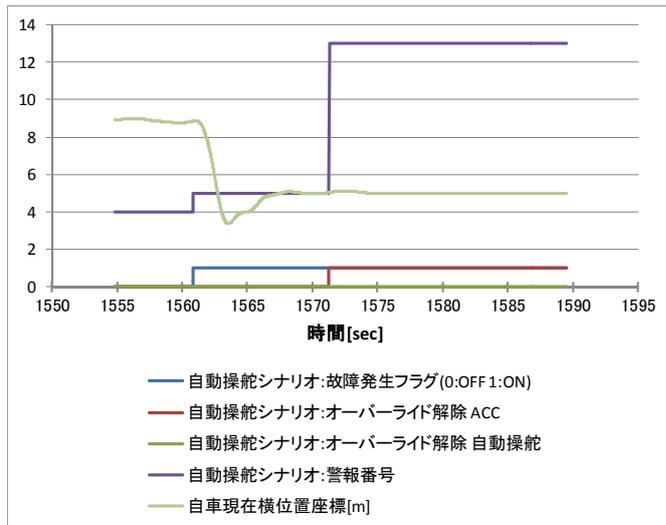
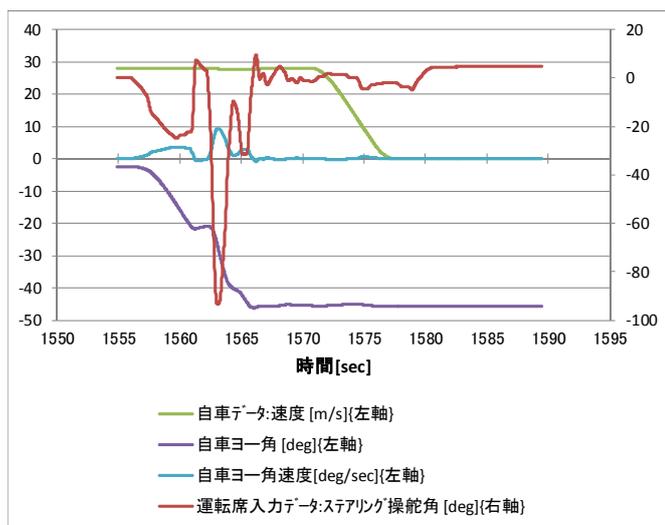
Sub.25 場面 2-d



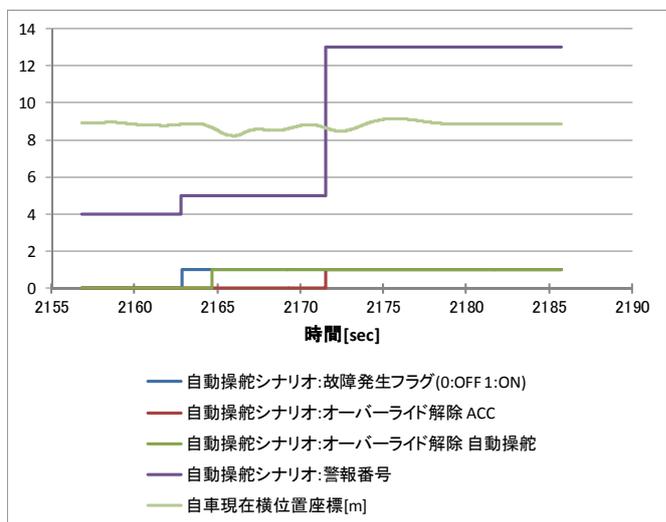
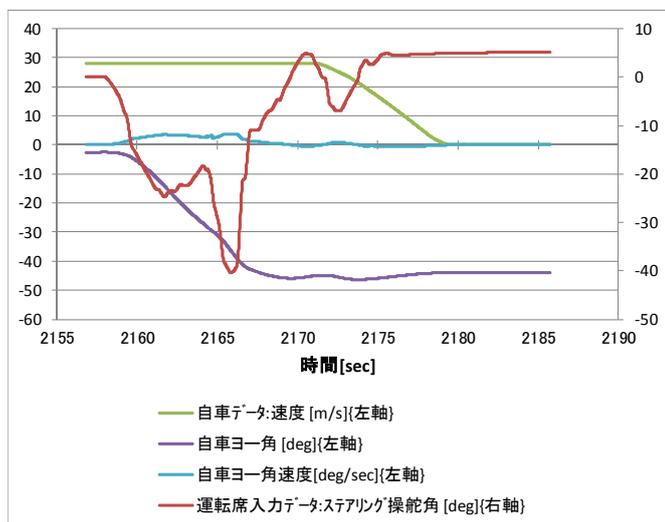
Sub.26 場面 1-a



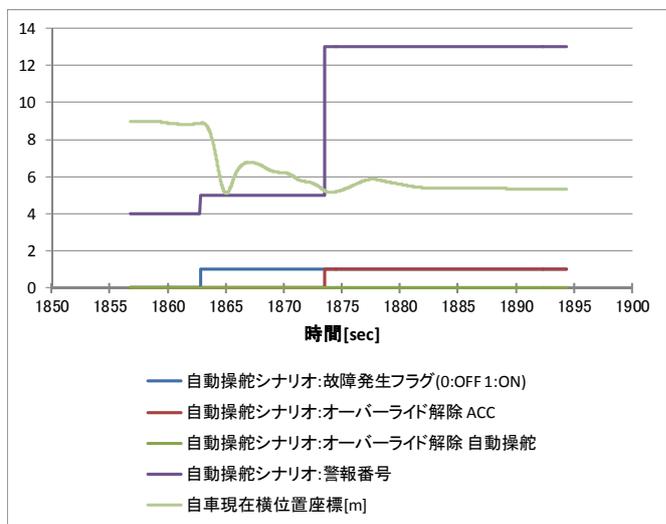
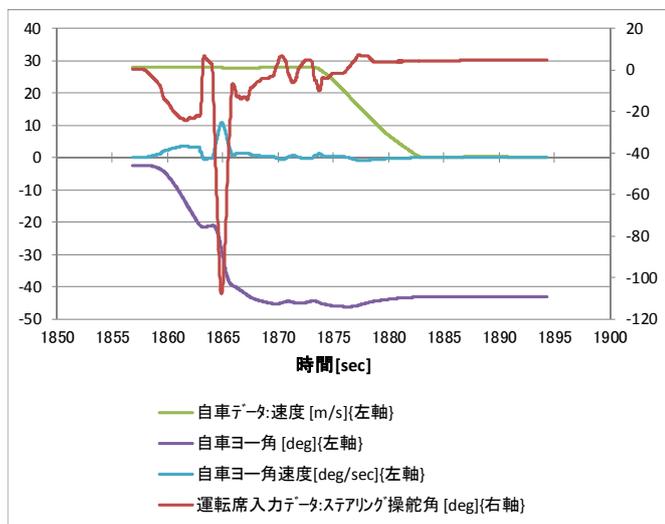
Sub.26 場面 1-b



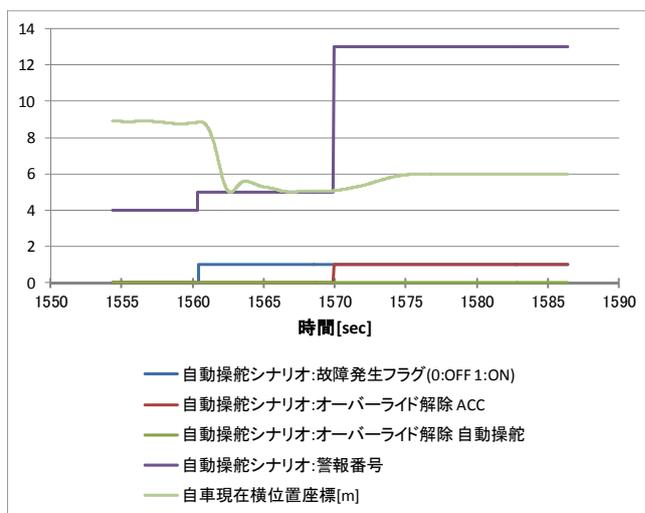
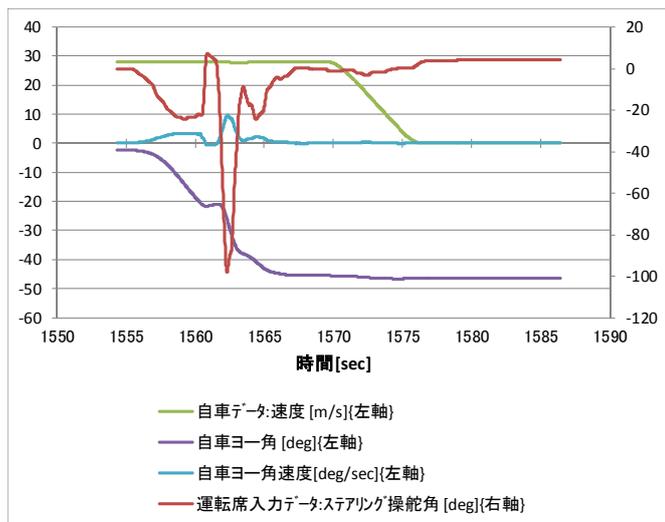
Sub.26 場面 1-c



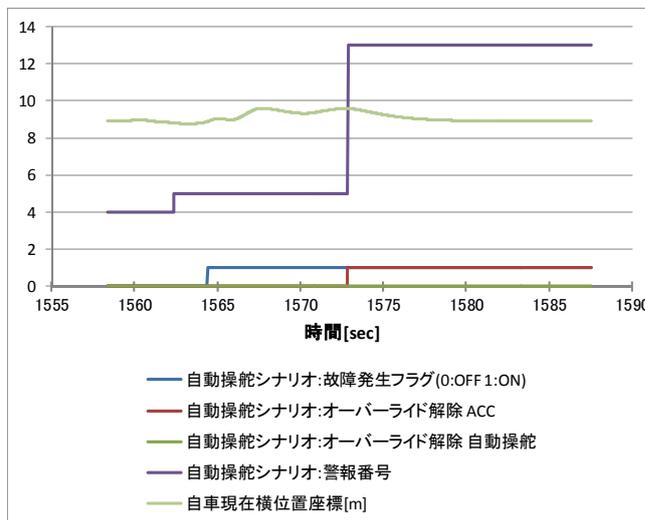
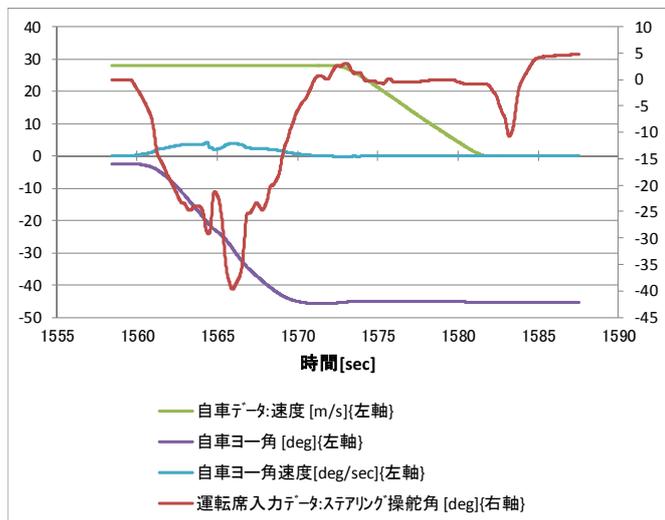
Sub.26 場面 1-d



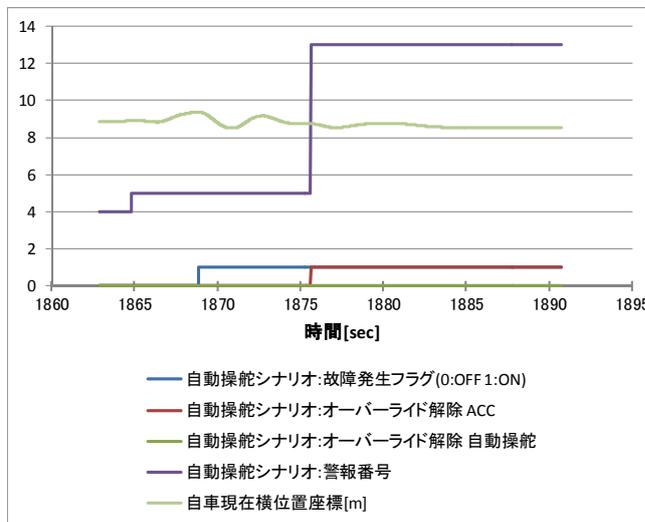
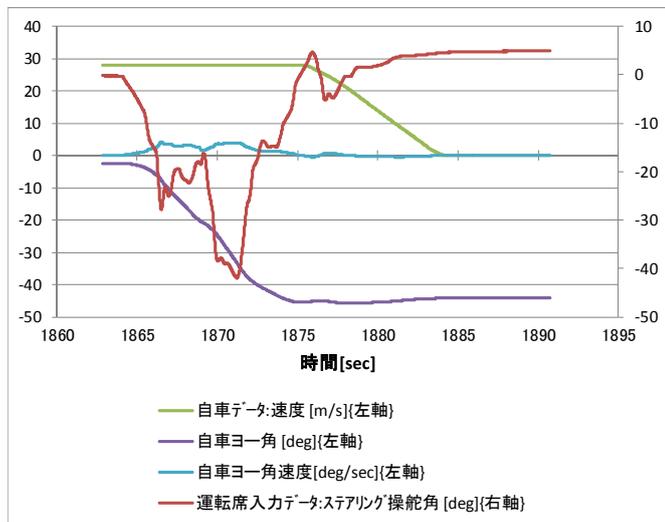
Sub.26 場面 1-e



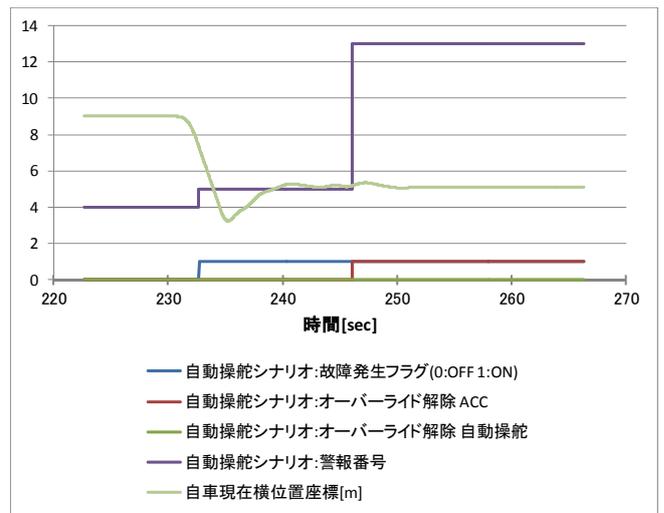
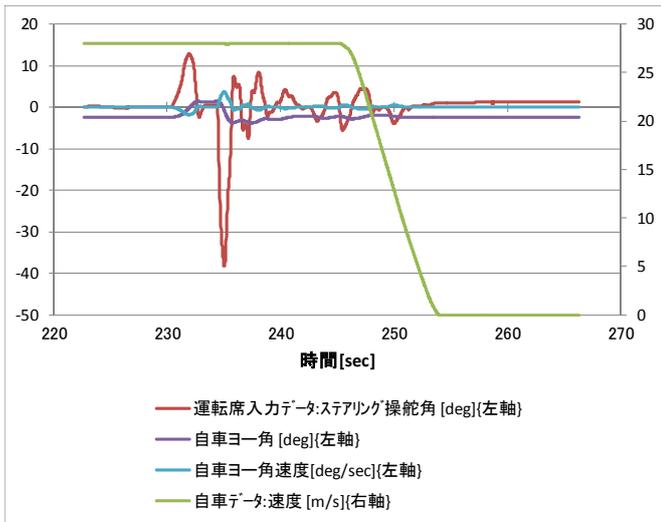
Sub.26 場面 1-f



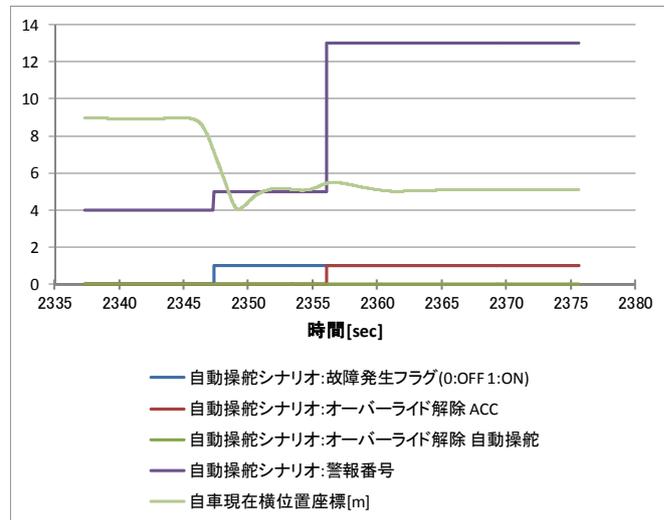
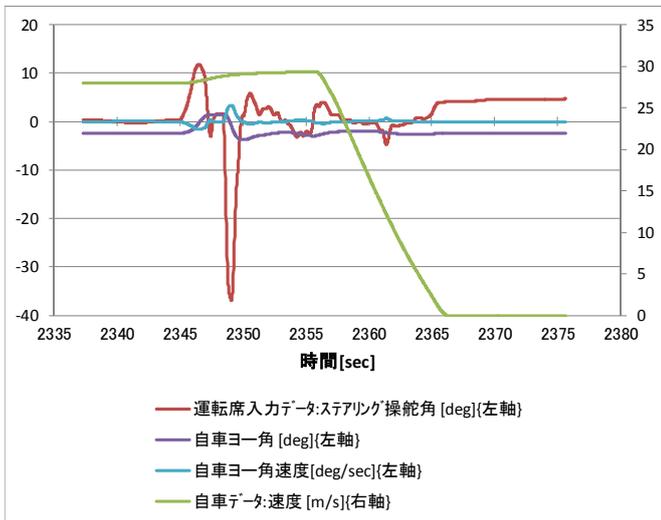
Sub.26 場面 1-g



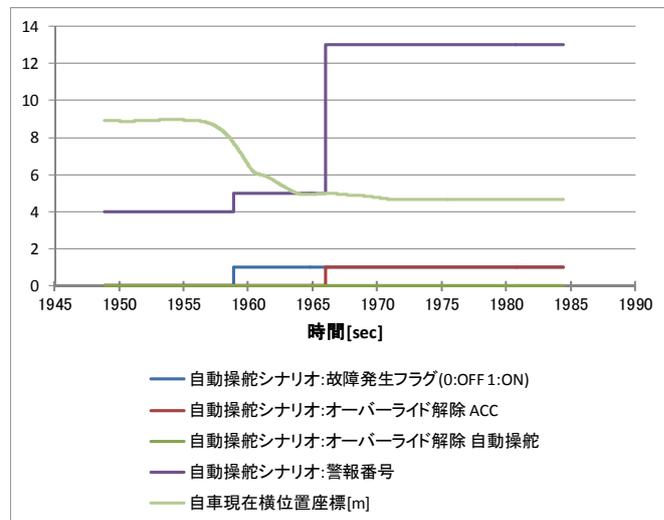
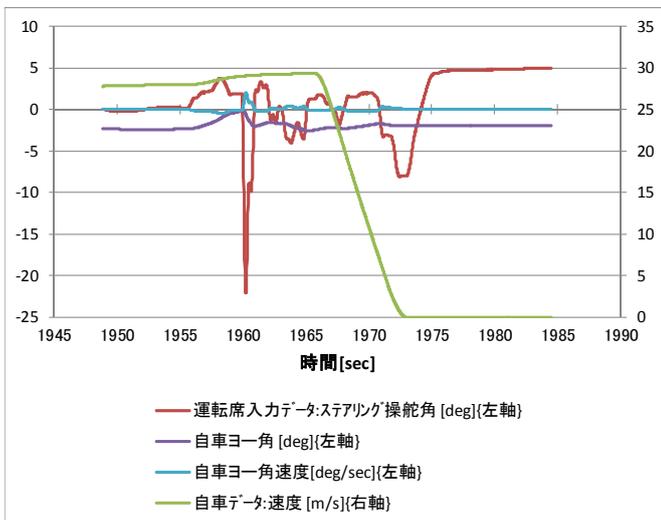
Sub.26 場面 2-a



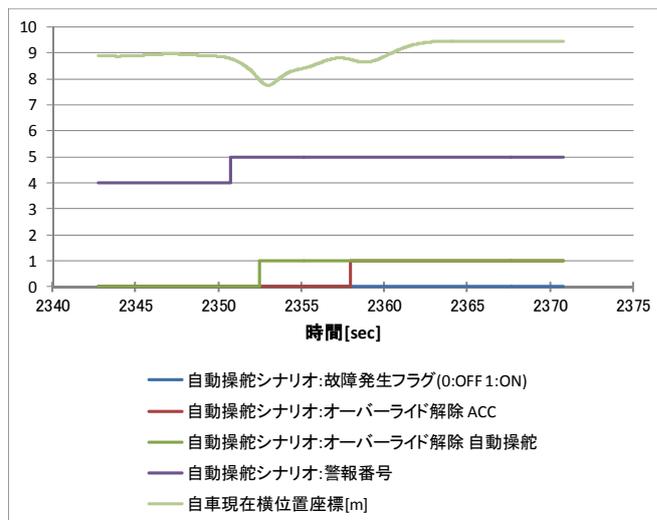
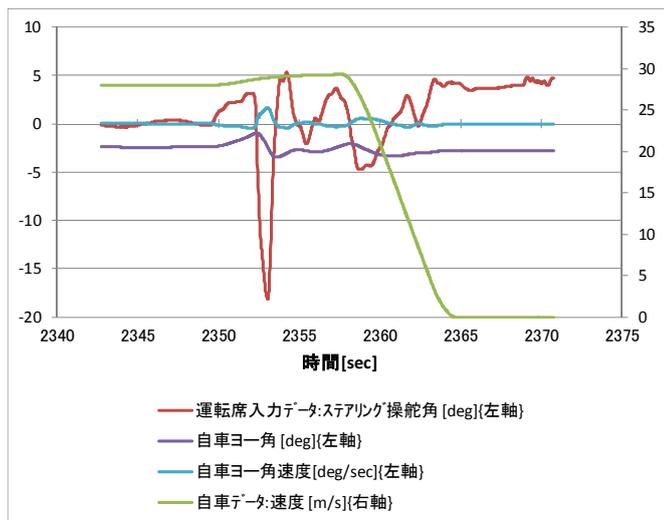
Sub.26 場面 2-b



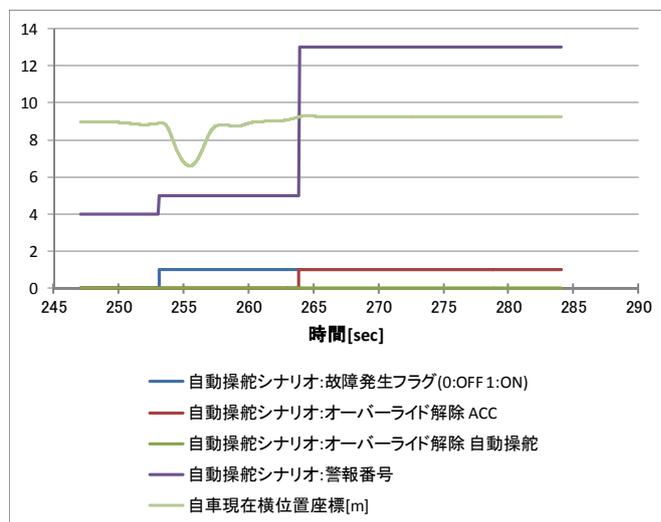
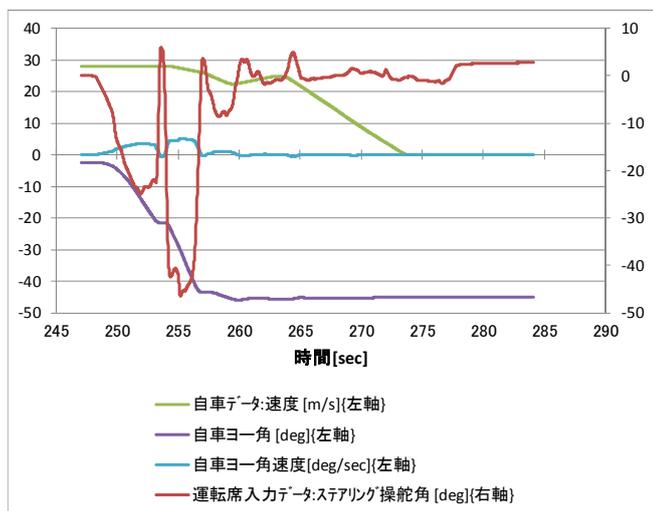
Sub.26 場面 2-c



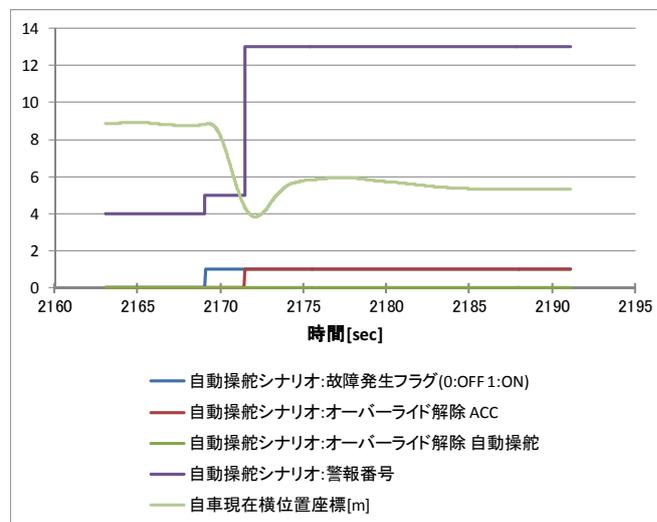
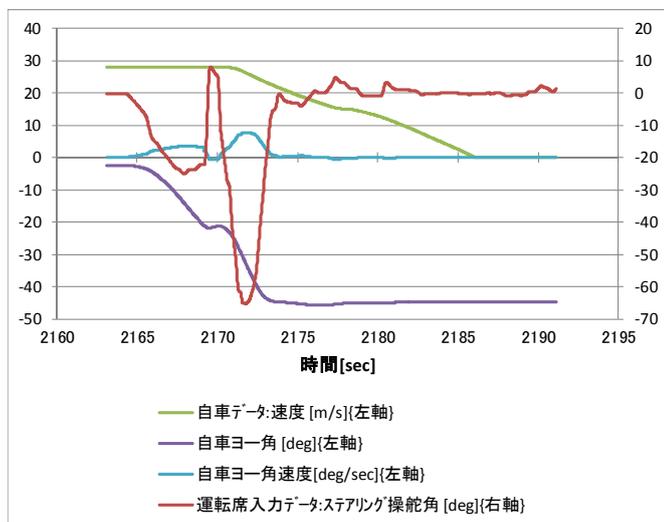
Sub.26 場面 2-d



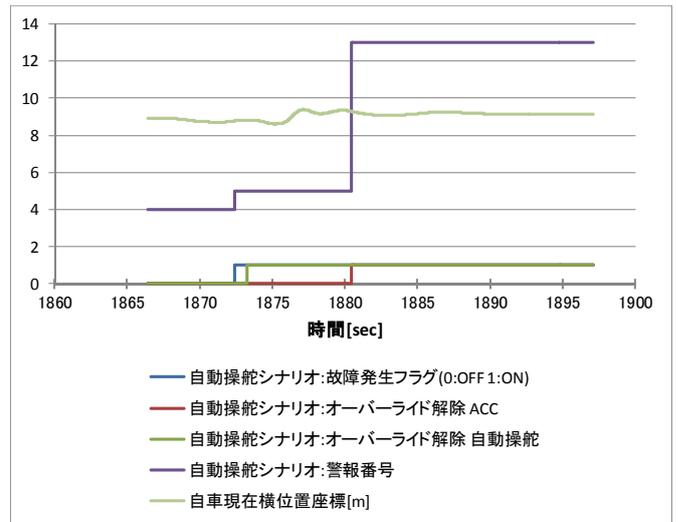
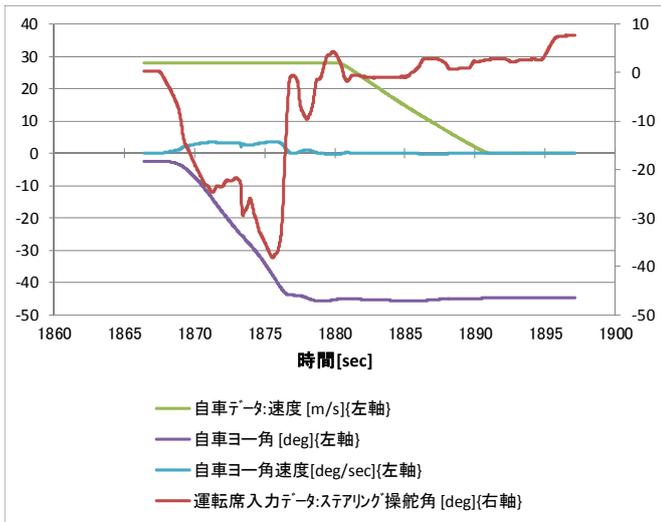
Sub.27 場面 1-a



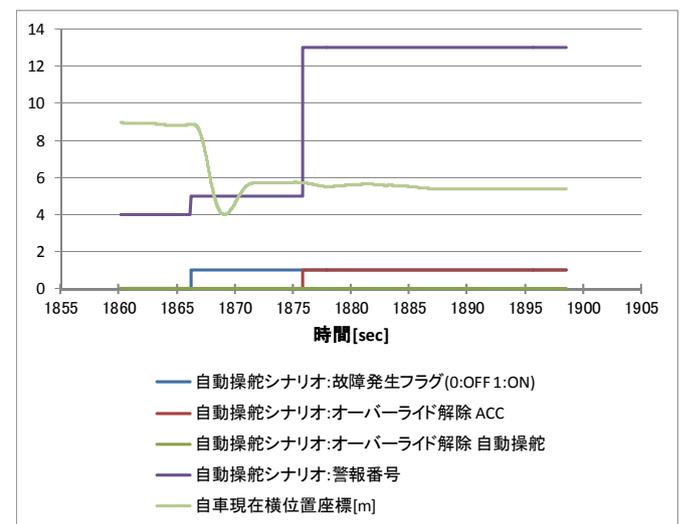
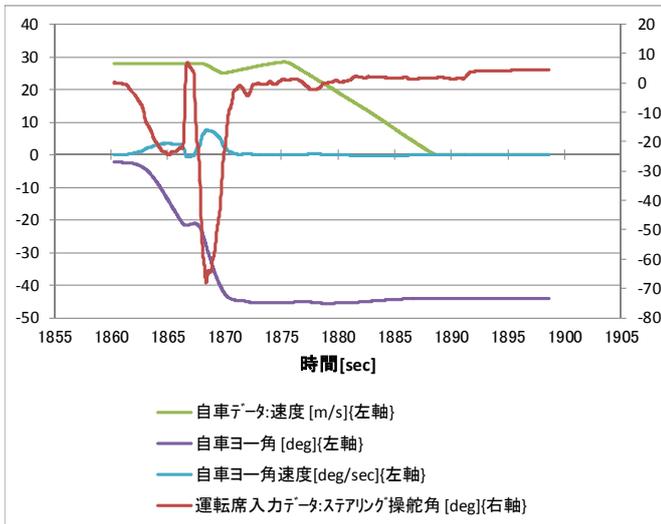
Sub.27 場面 1-b



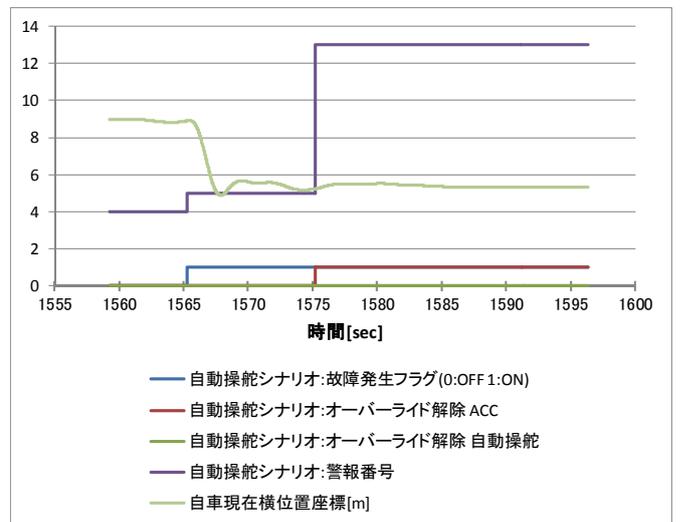
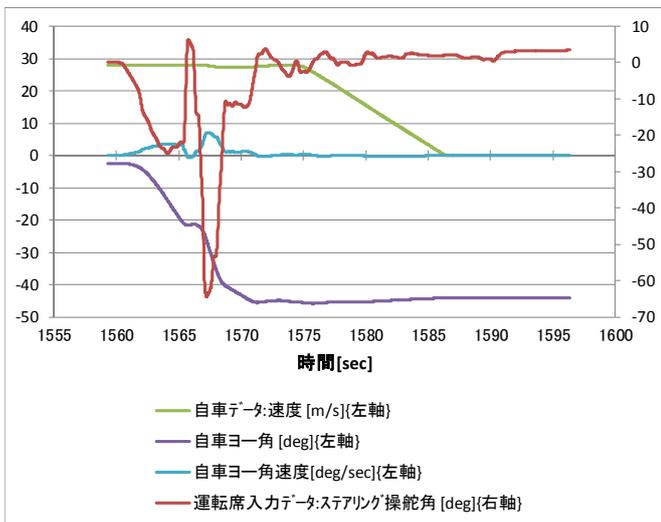
Sub.27 場面 1-c



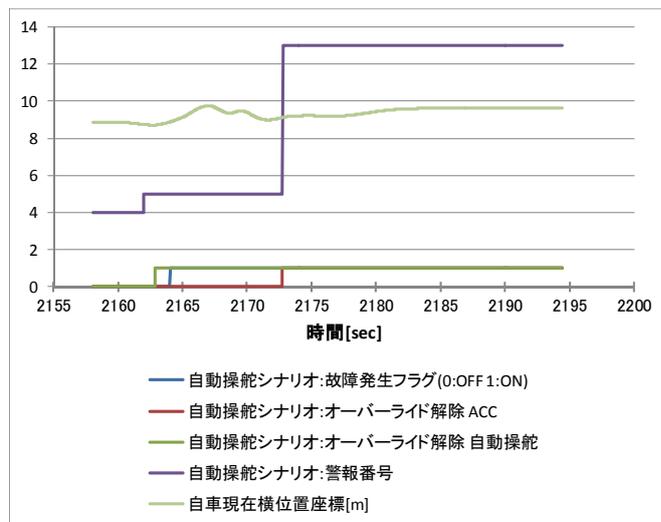
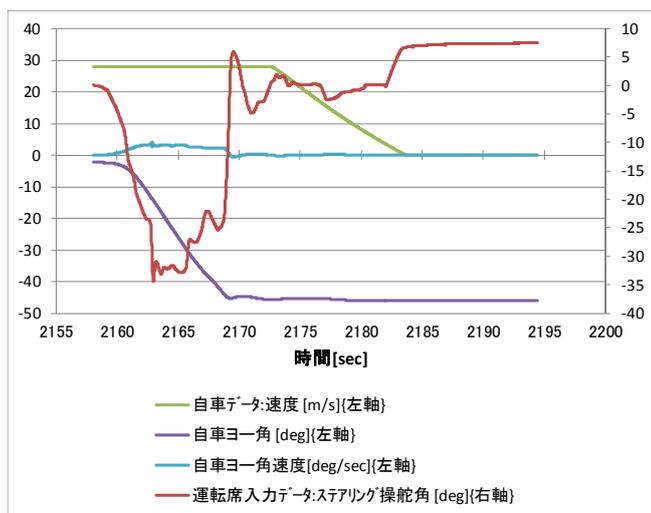
Sub.27 場面 1-d



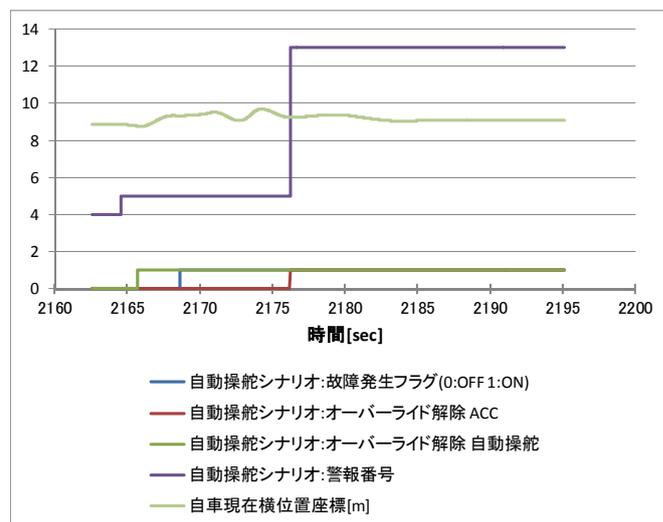
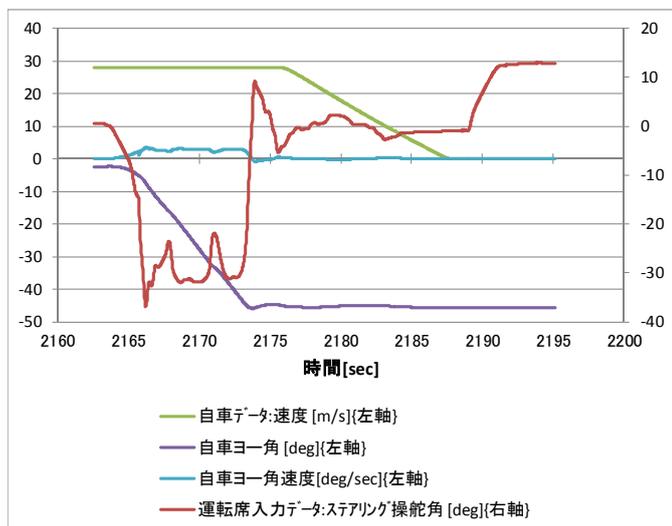
Sub.27 場面 1-e



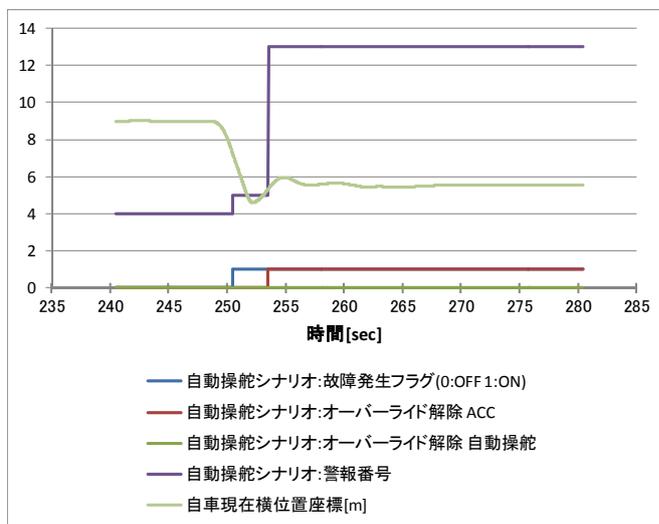
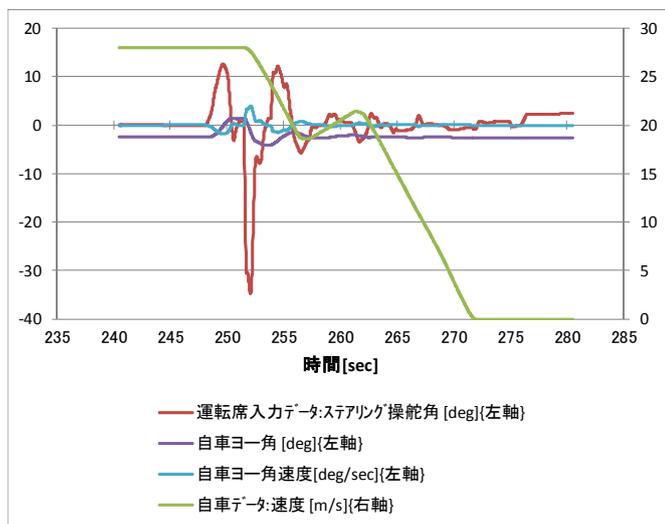
Sub.27 場面 1-f



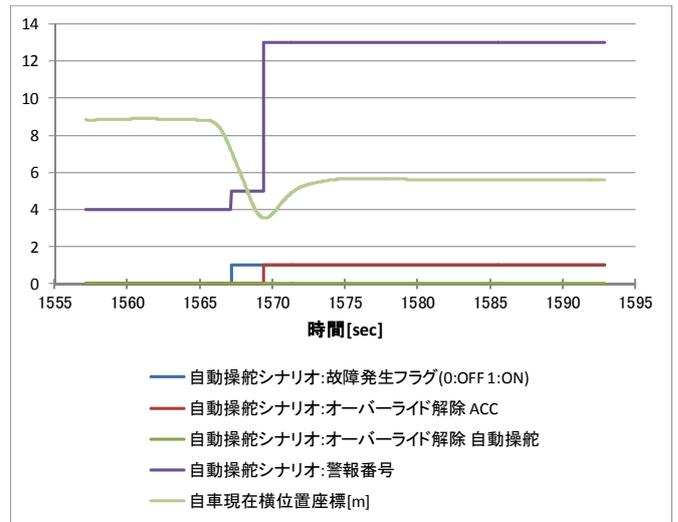
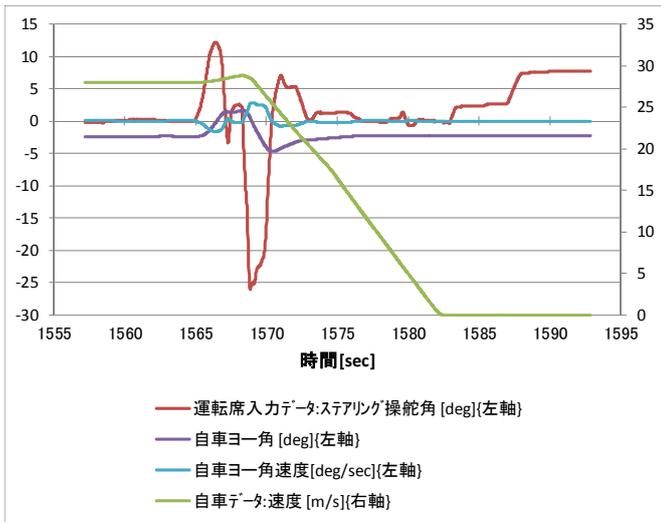
Sub.27 場面 1-g



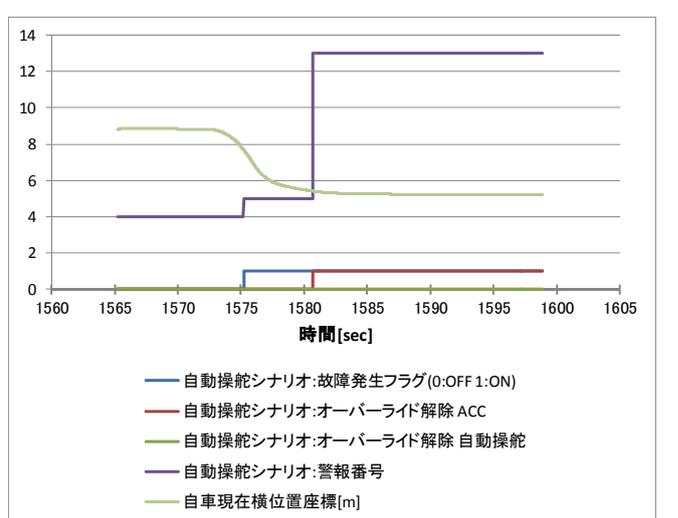
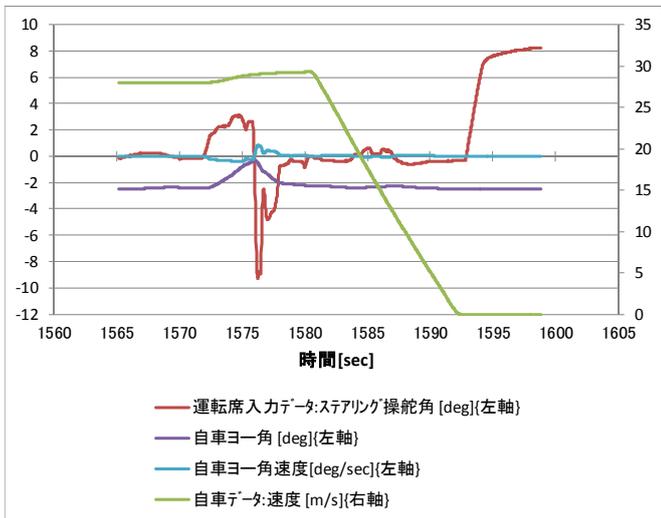
Sub.27 場面 2-a



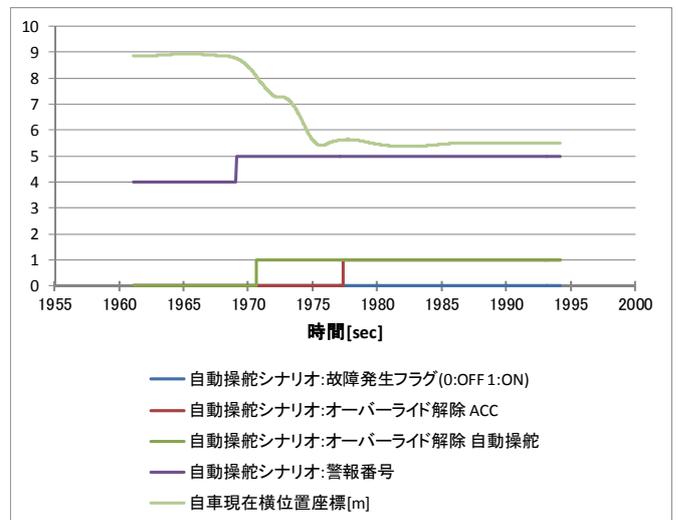
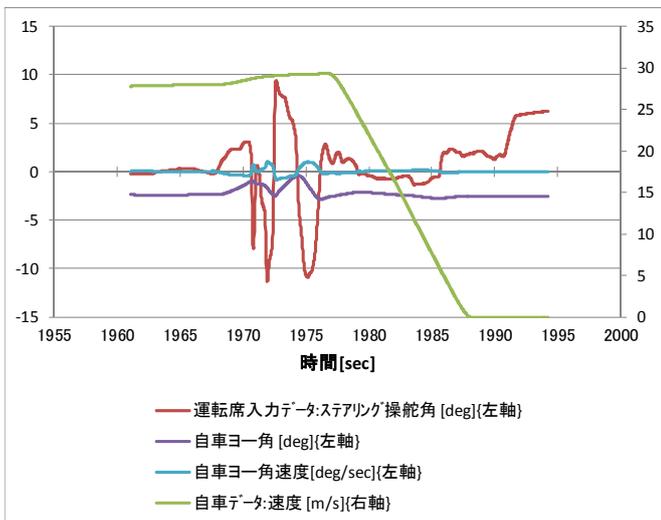
Sub.27 場面 2-b



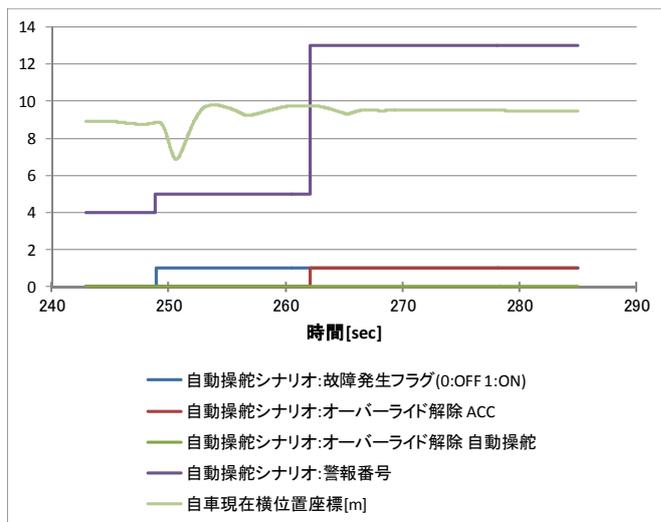
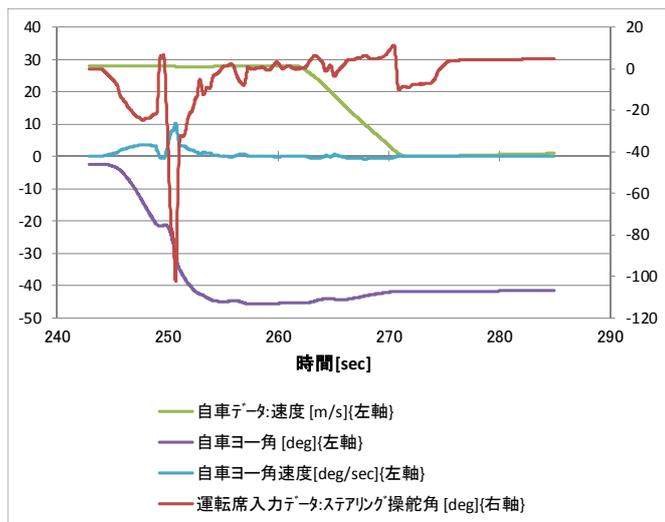
Sub.27 場面 2-c



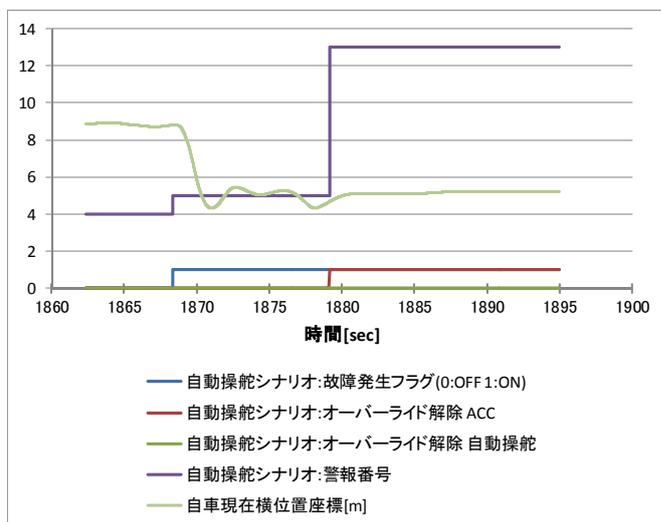
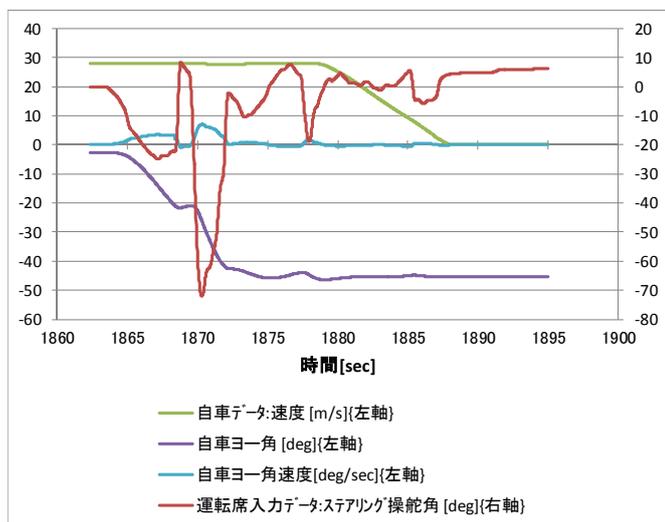
Sub.27 場面 2-d



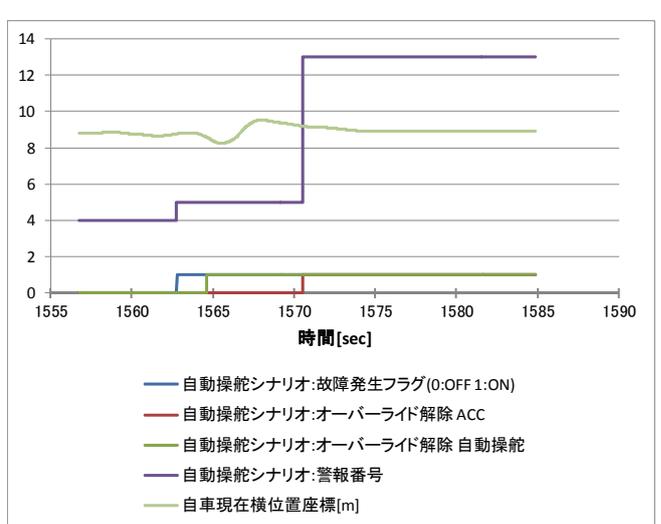
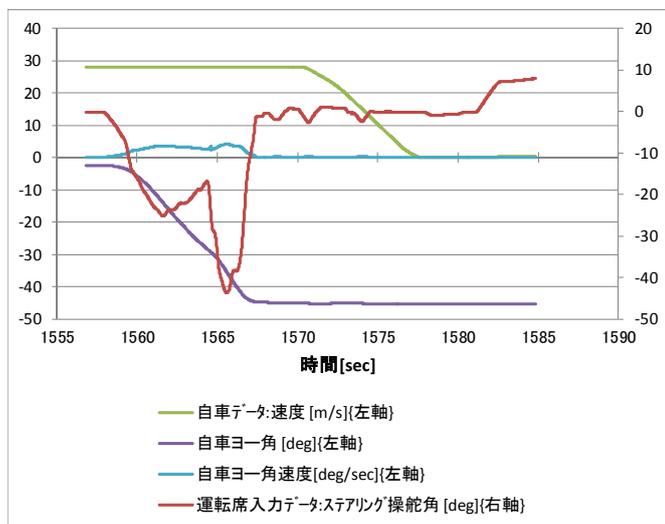
Sub.28 場面 1-a



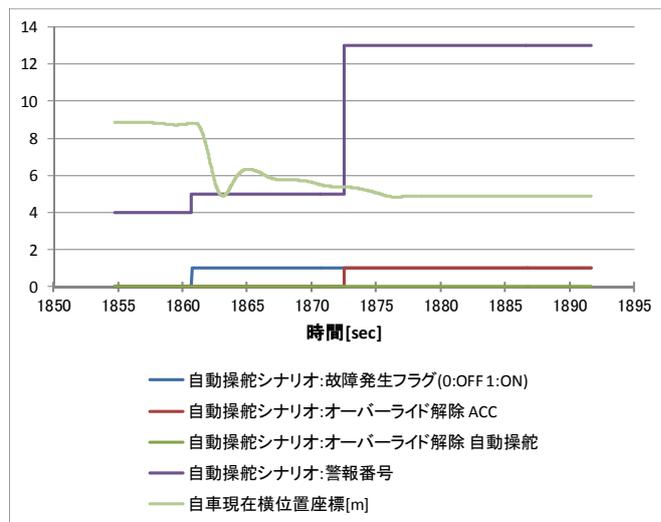
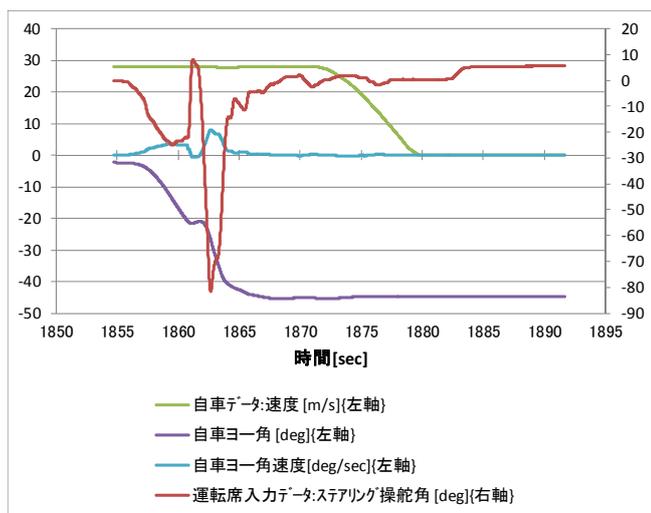
Sub.28 場面 1-b



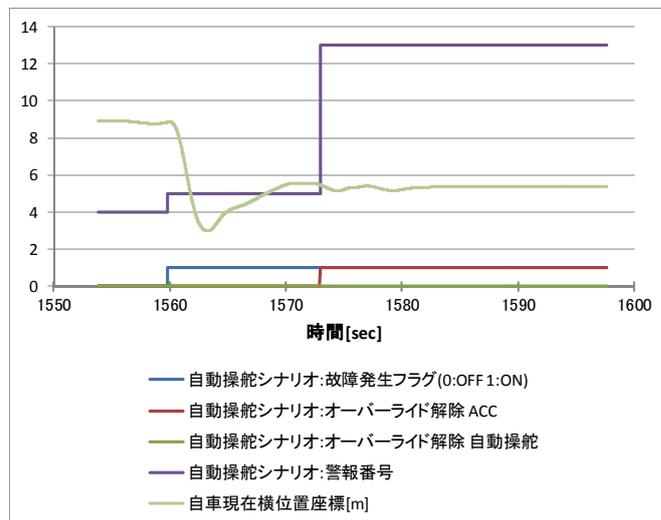
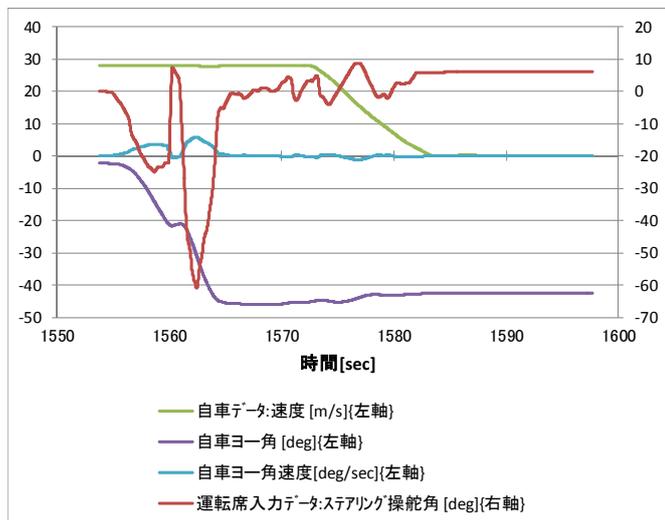
Sub.28 場面 1-c



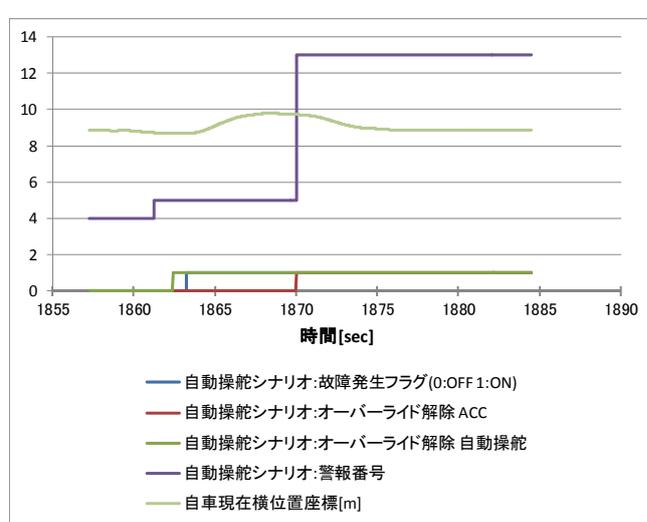
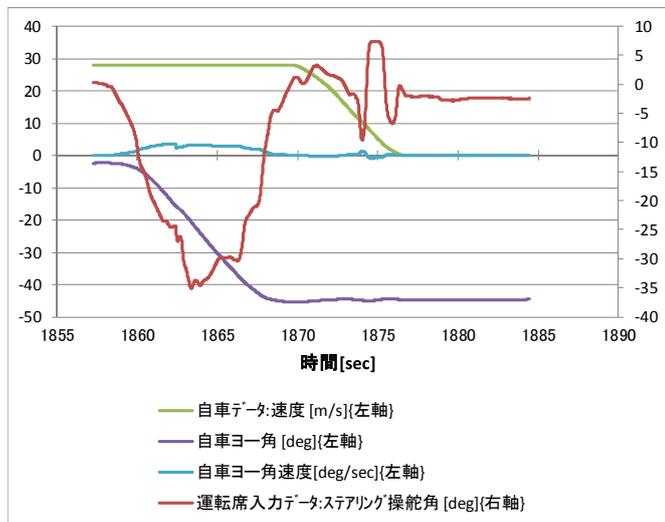
Sub.28 場面 1-d



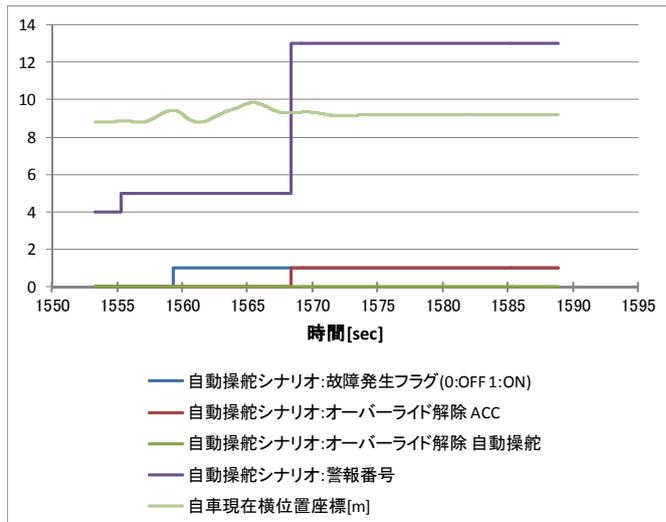
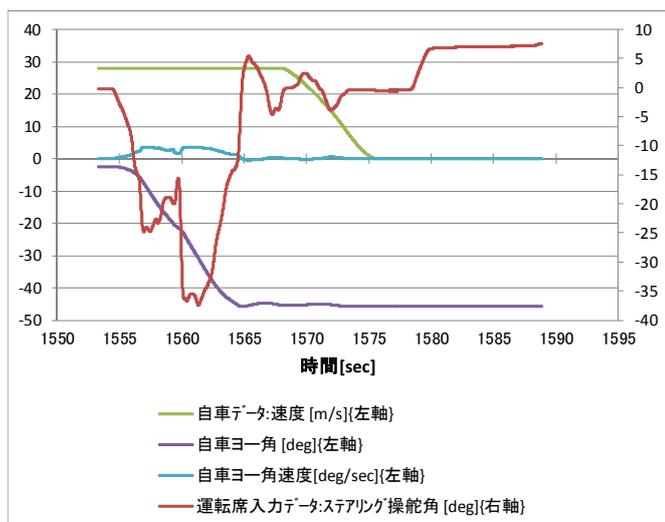
Sub.28 場面 1-e



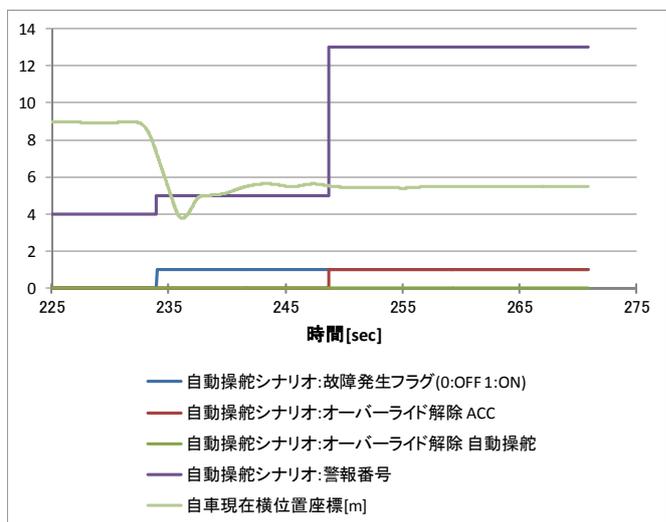
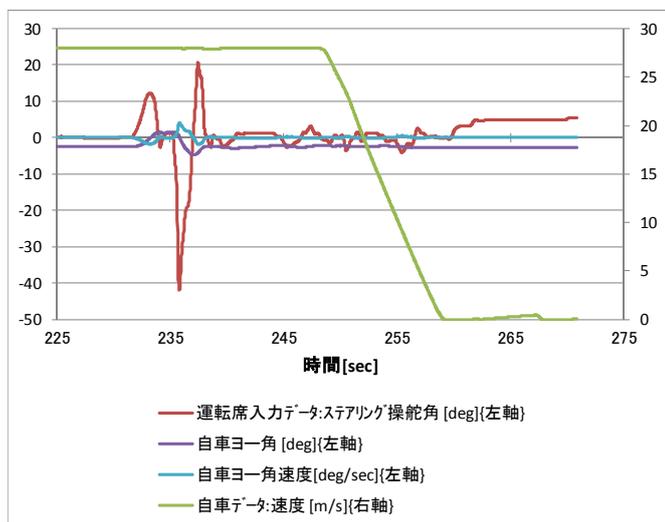
Sub.28 場面 1-f



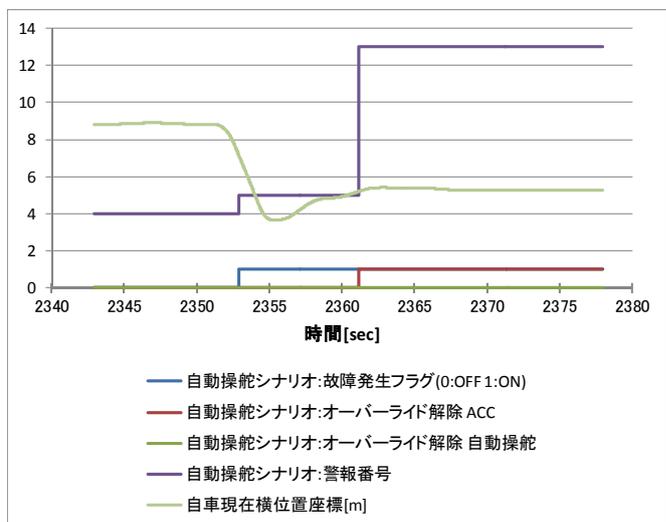
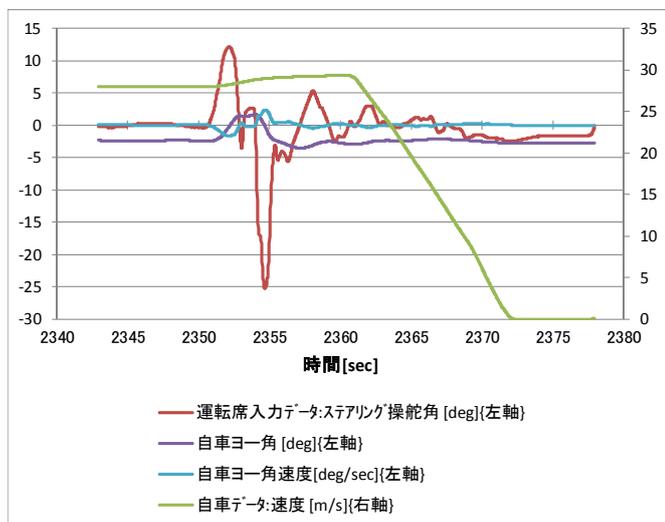
Sub.28 場面 1-g



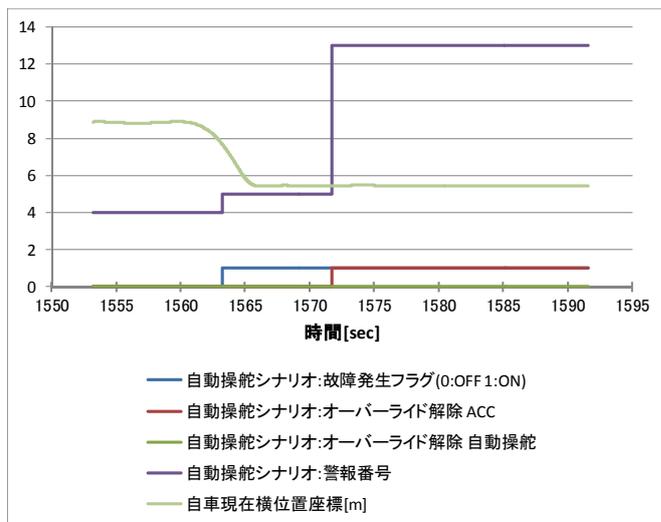
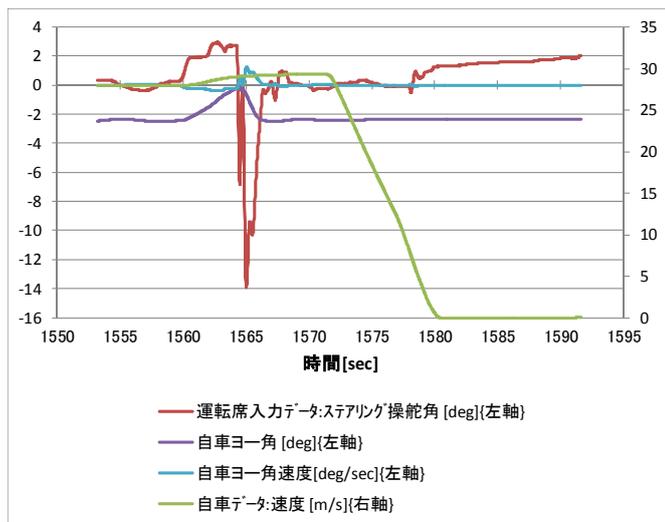
Sub.28 場面 2-a



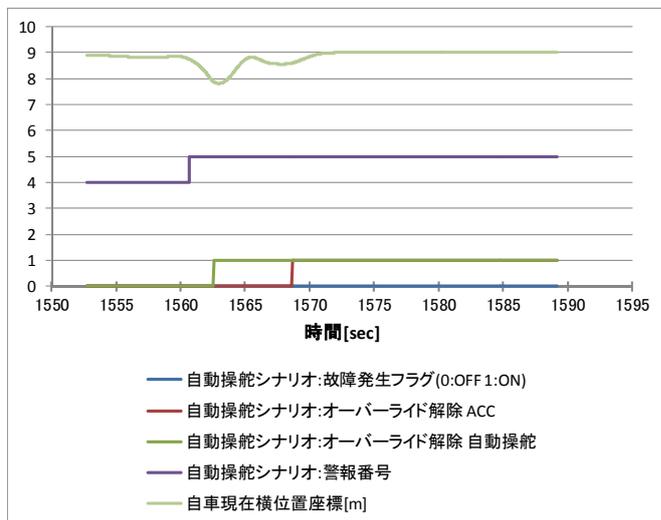
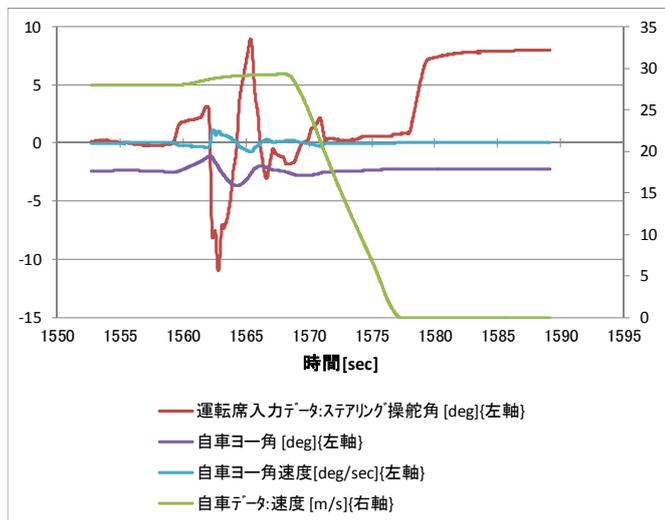
Sub.28 場面 2-b



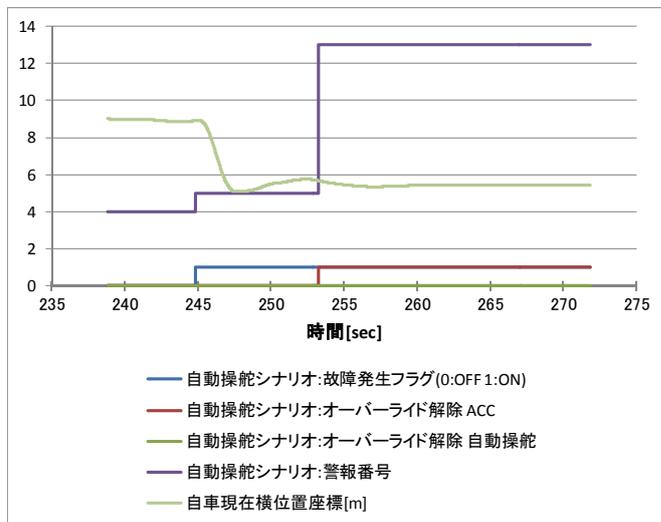
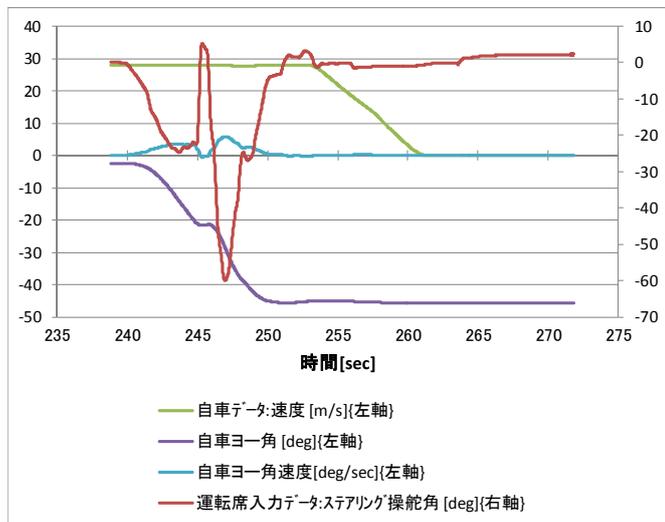
Sub.28 場面 2-c



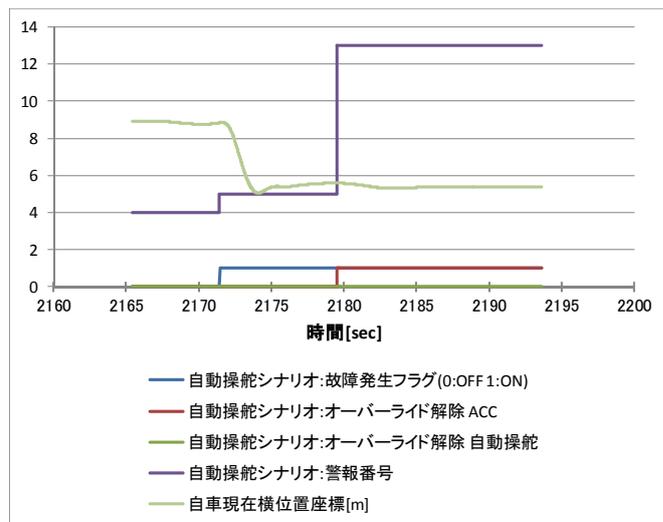
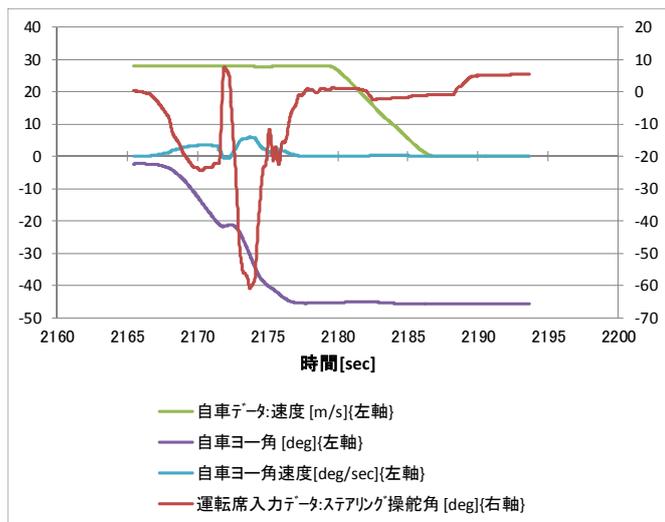
Sub.28 場面 2-d



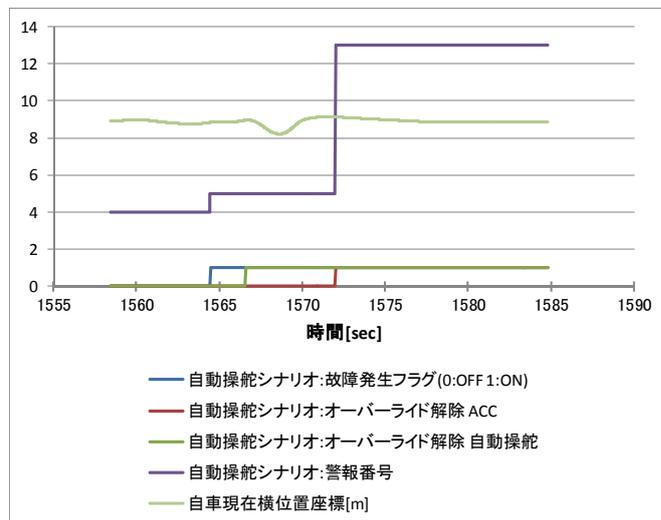
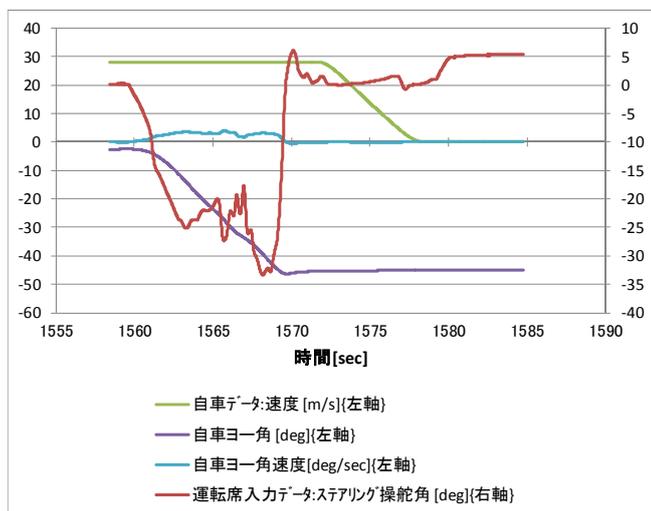
Sub.29 場面 1-a



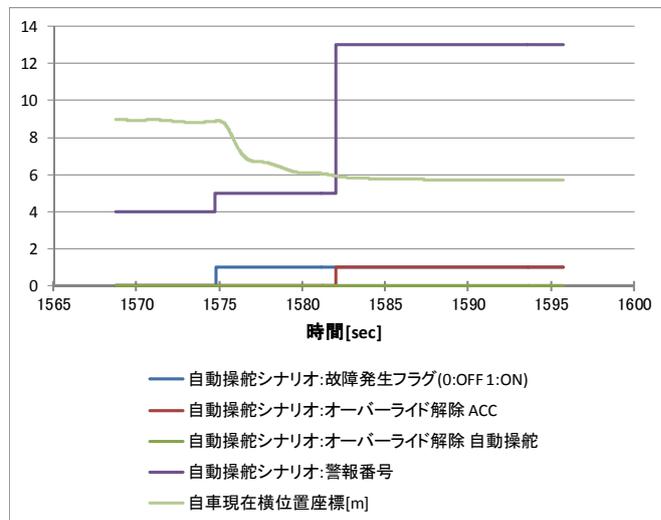
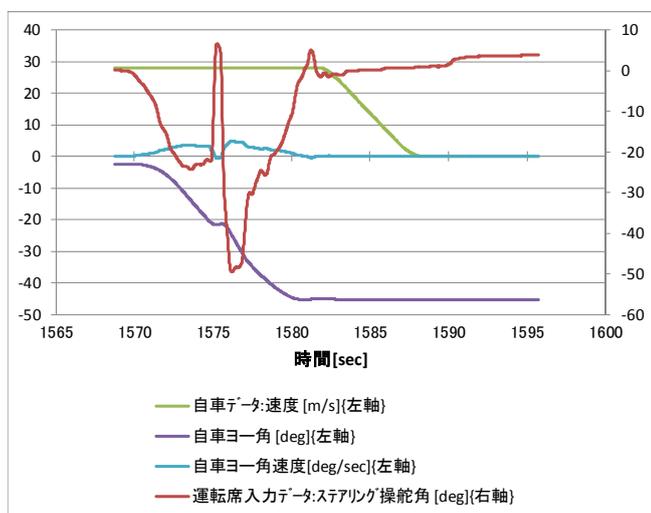
Sub.29 場面 1-b



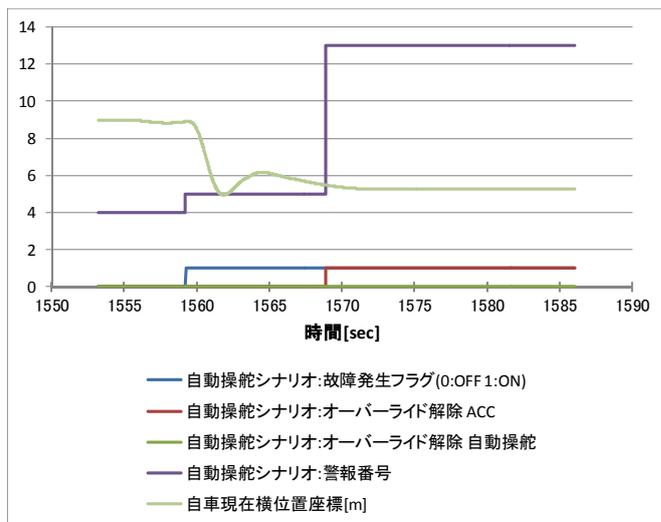
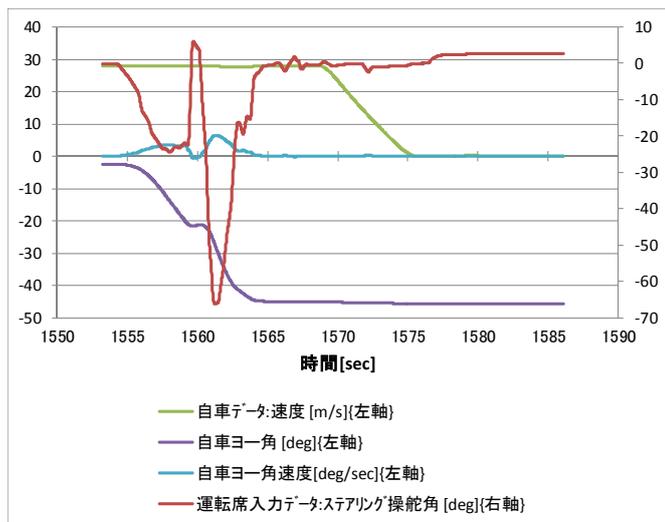
Sub.29 場面 1-c



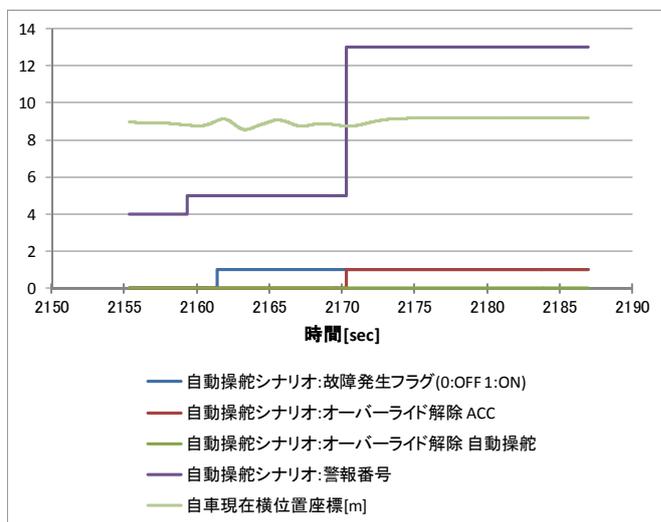
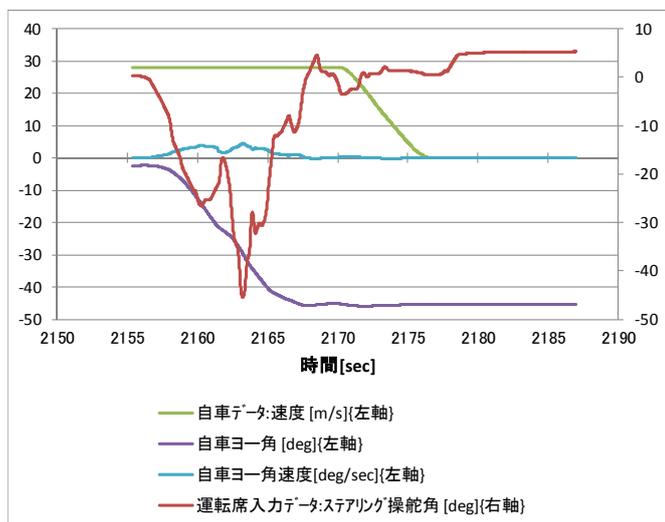
Sub.29 場面 1-d



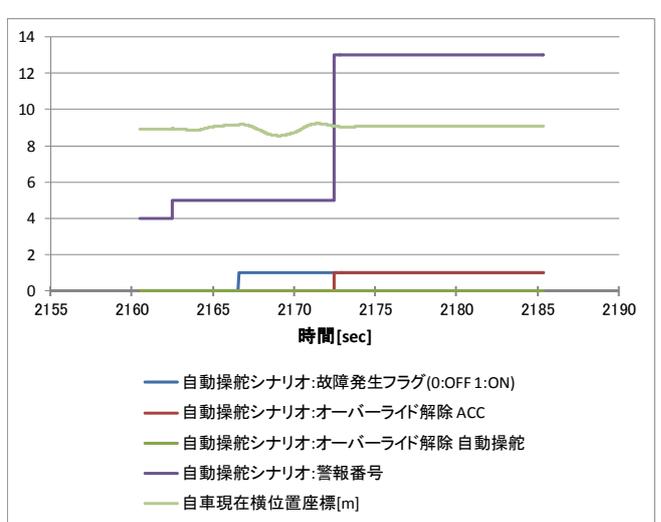
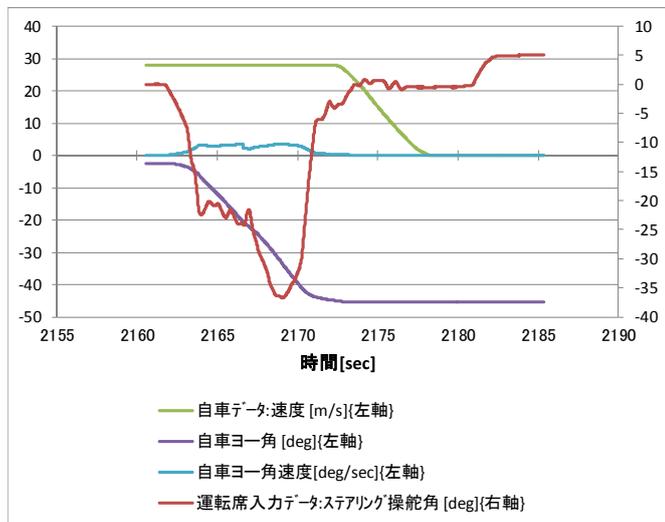
Sub.29 場面 1-e



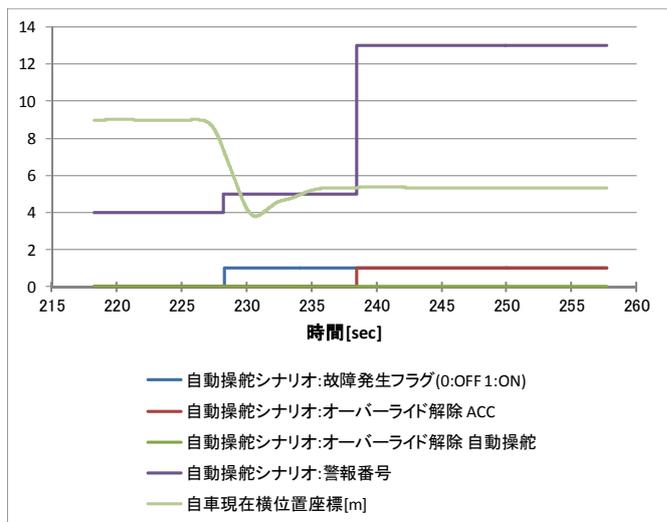
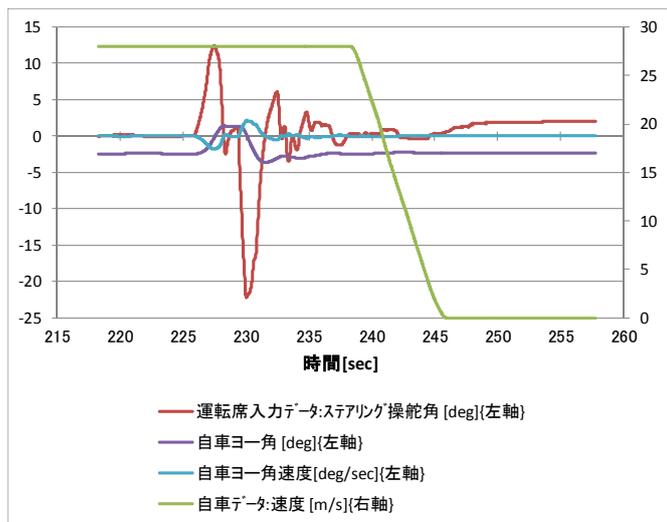
Sub.29 場面 1-f



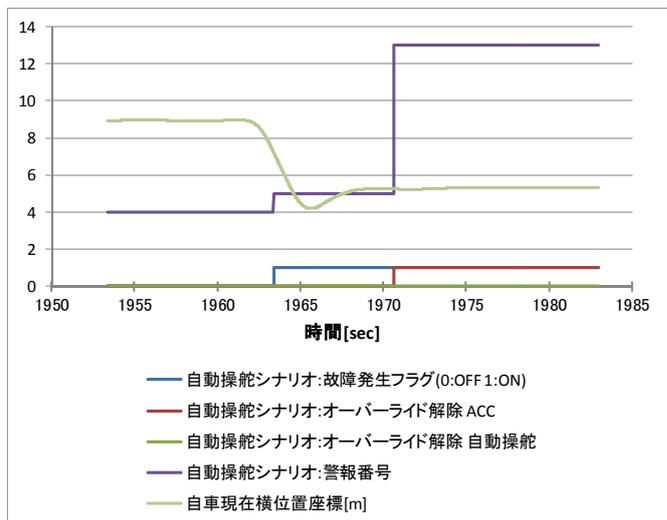
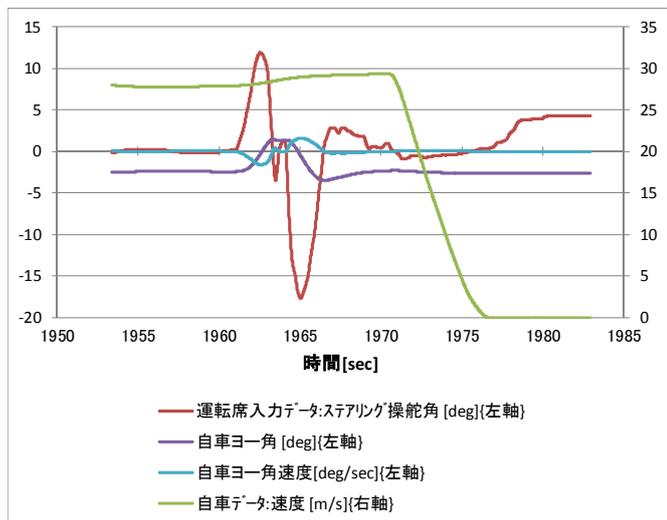
Sub.29 場面 1-g



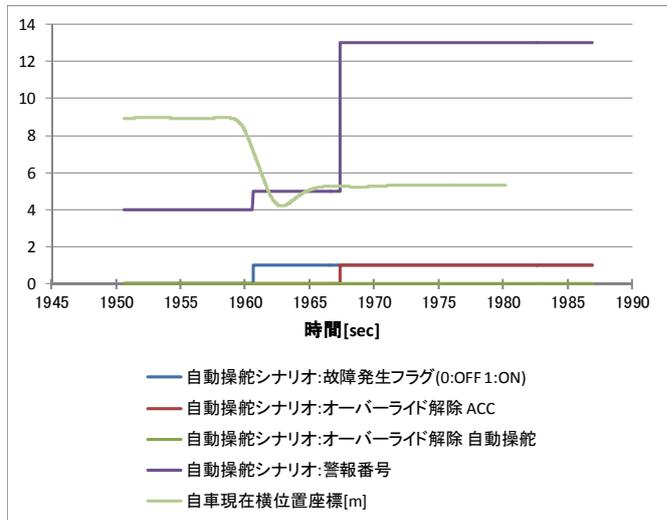
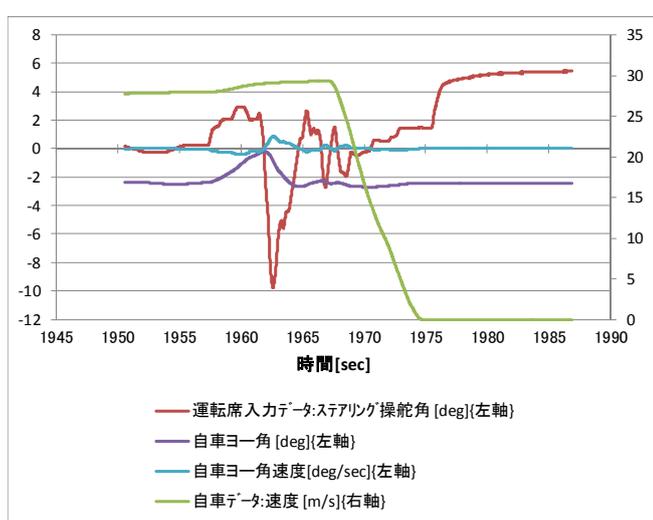
Sub.29 場面 2-a



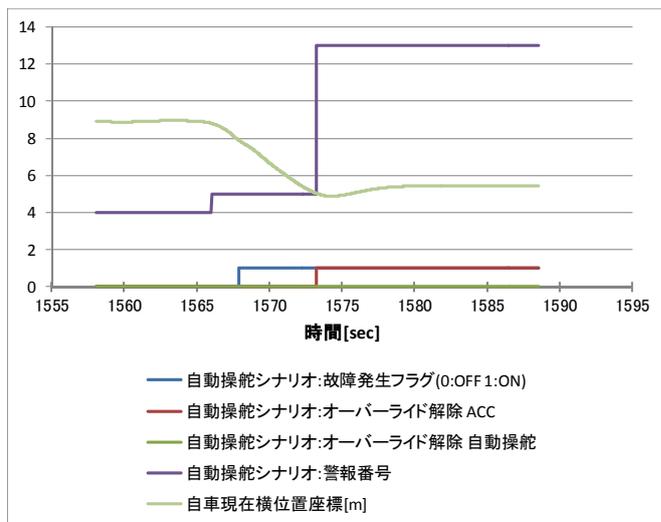
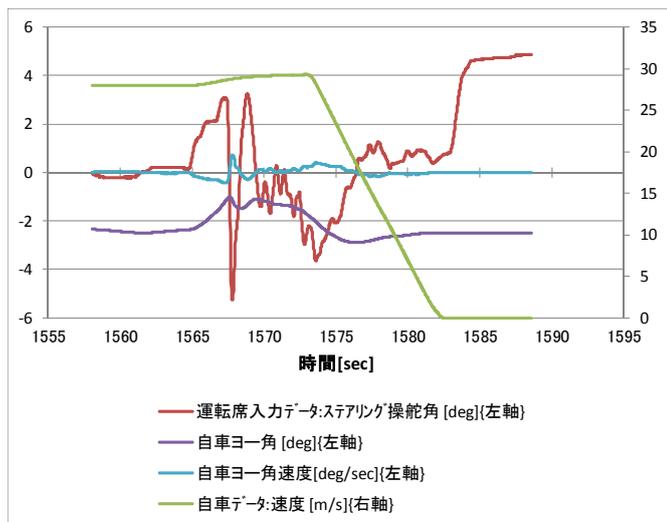
Sub.29 場面 2-b



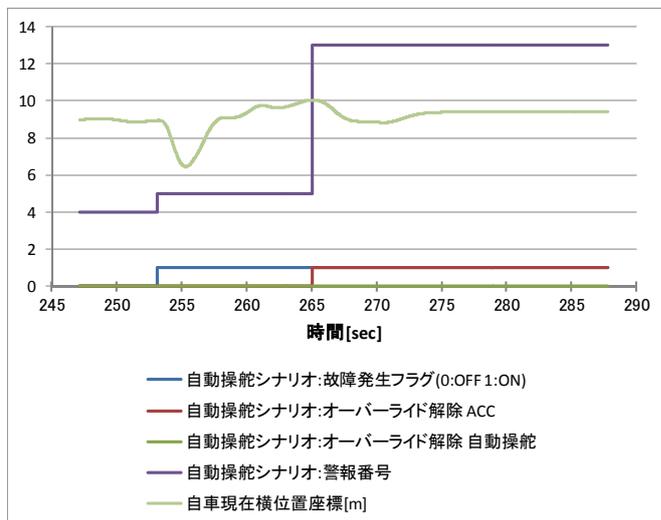
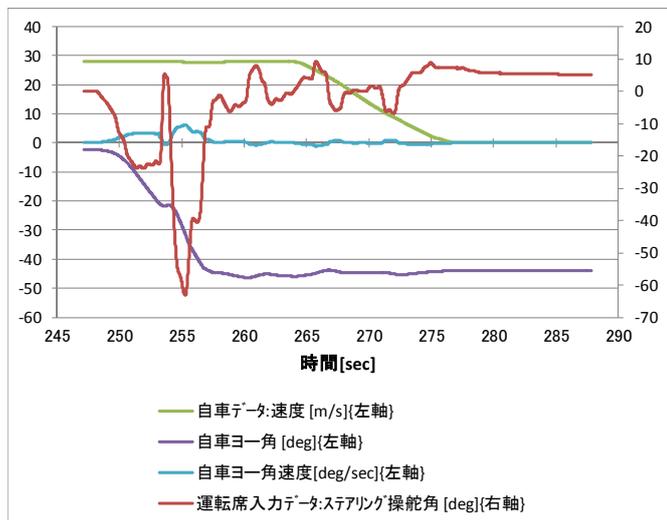
Sub.29 場面 2-c



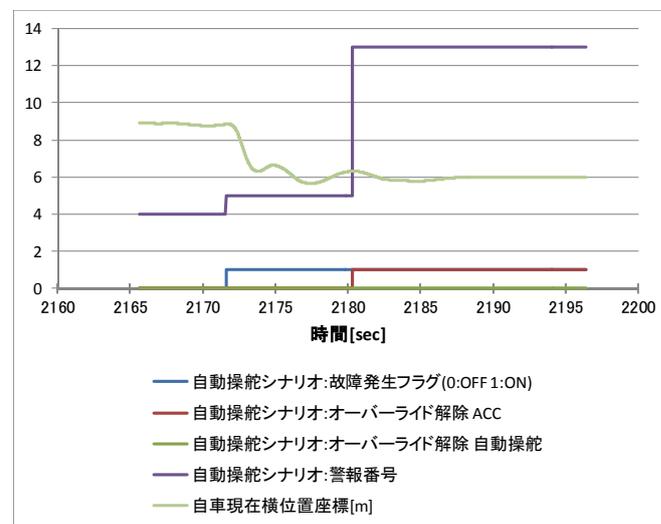
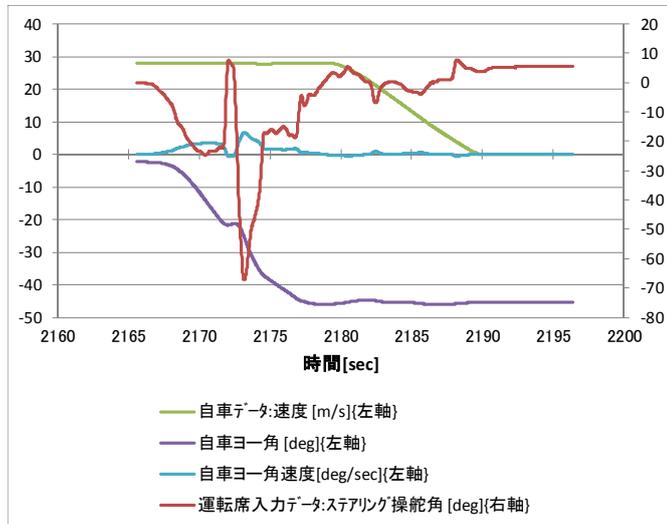
Sub.29 場面 2-d



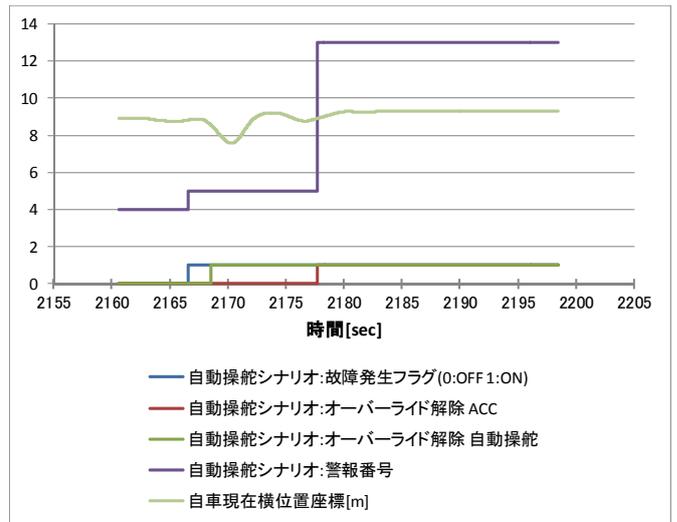
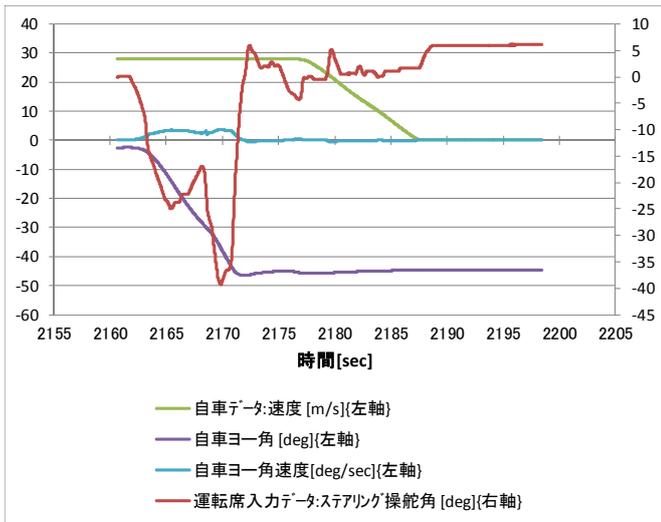
Sub.30 場面 1-a



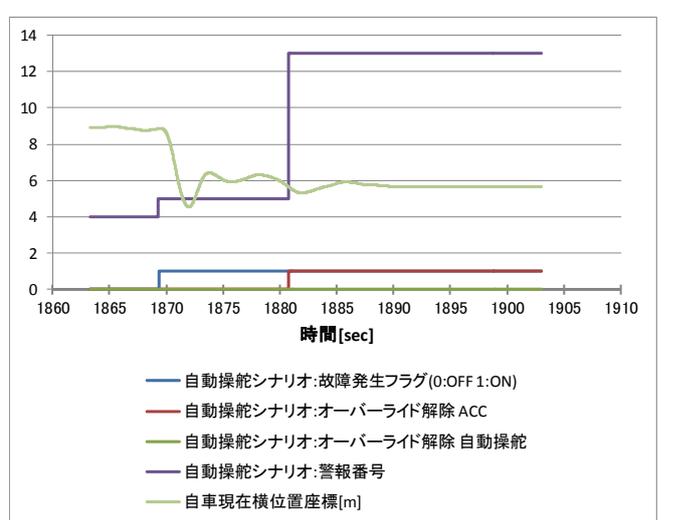
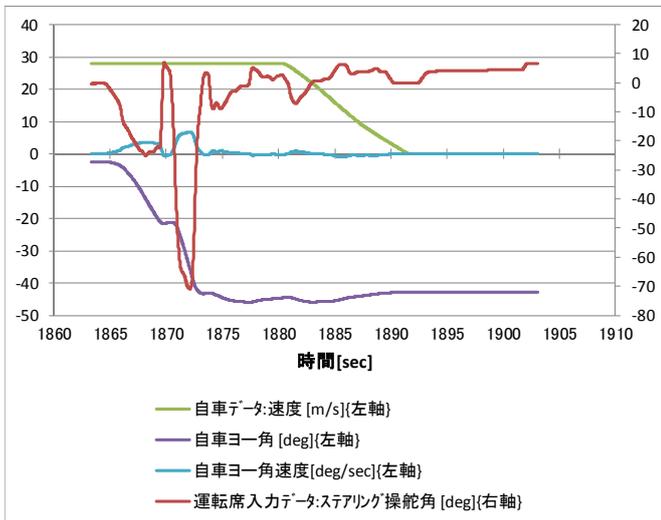
Sub.30 場面 1-b



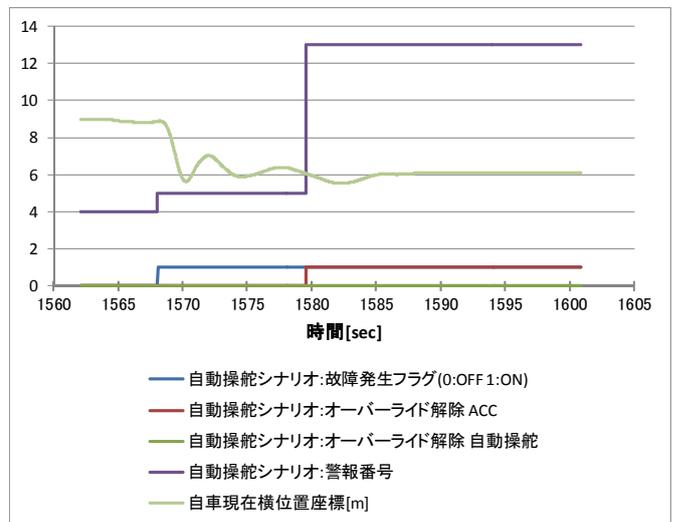
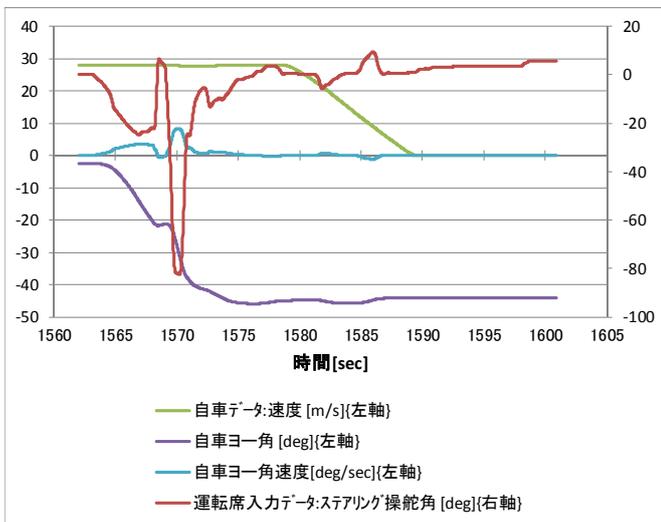
Sub.30 場面 1-c



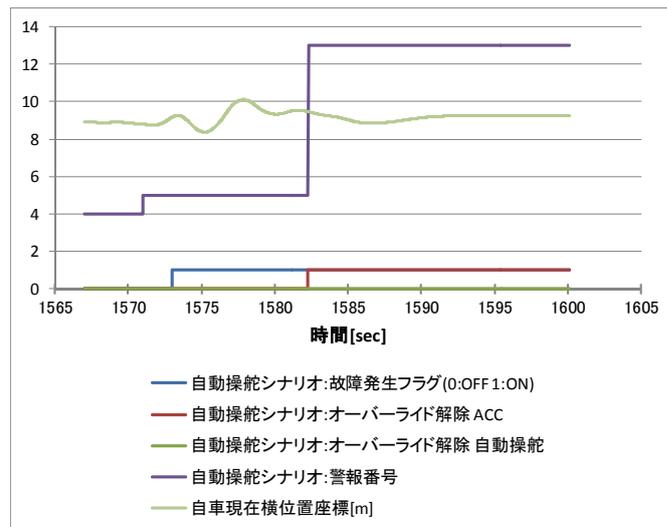
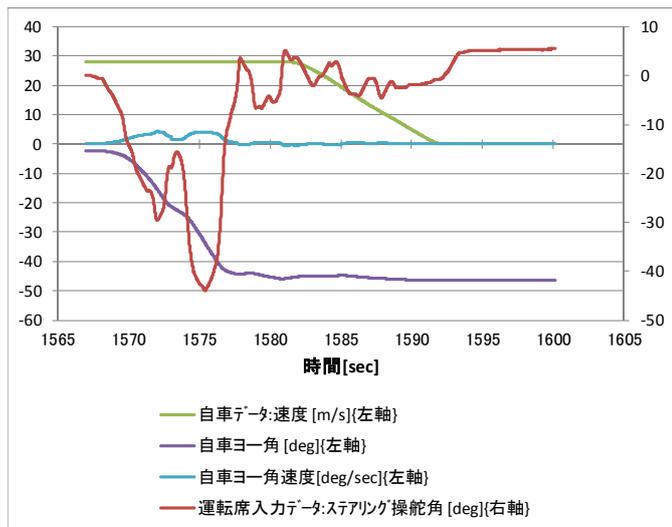
Sub.30 場面 1-d



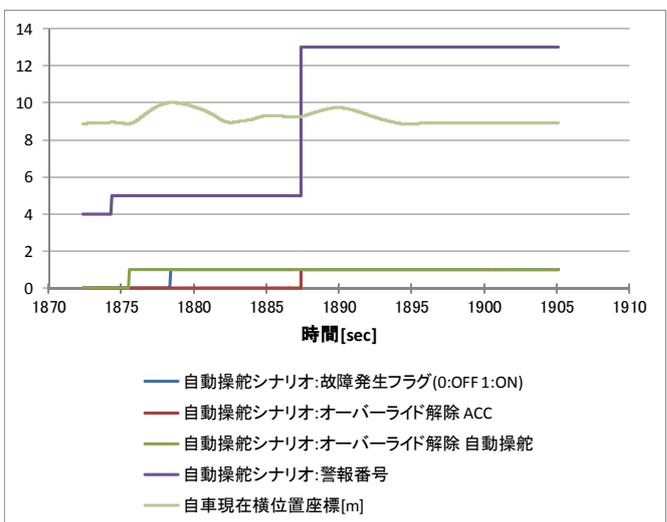
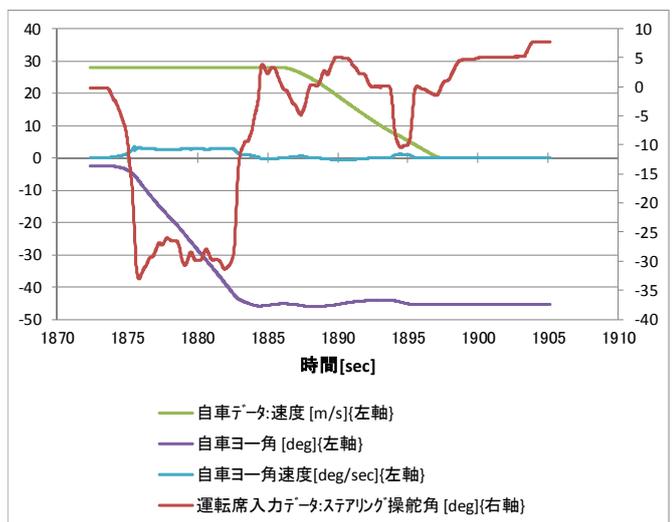
Sub.30 場面 1-e



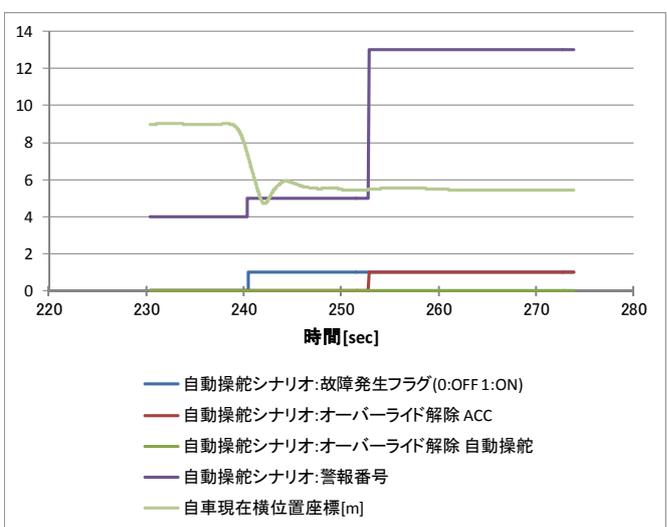
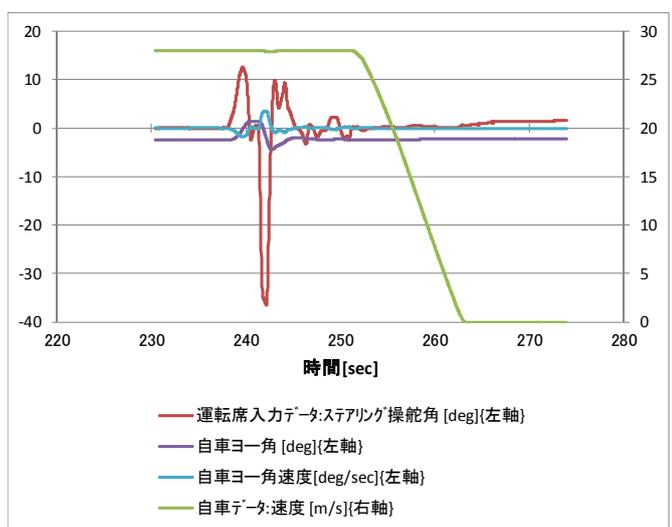
Sub.30 場面 1-f



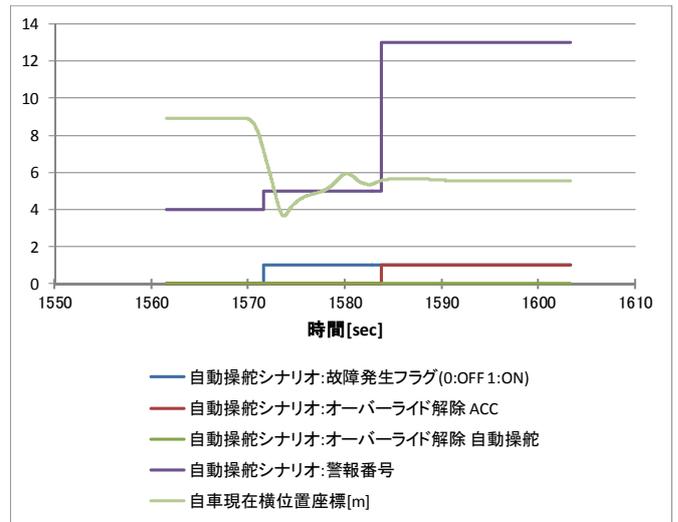
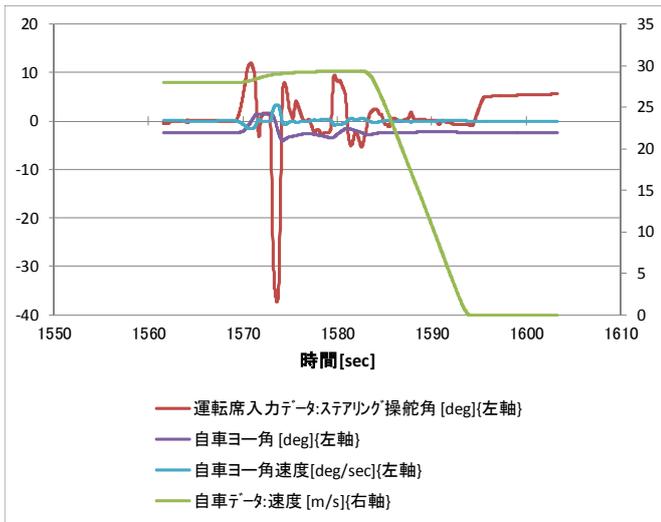
Sub.30 場面 1-g



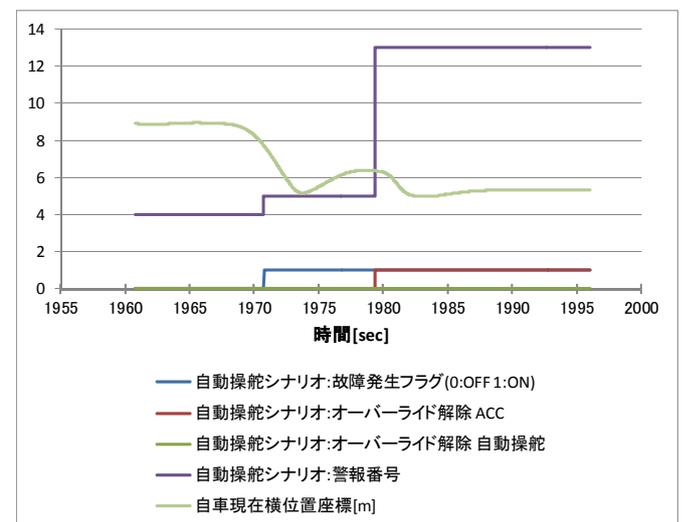
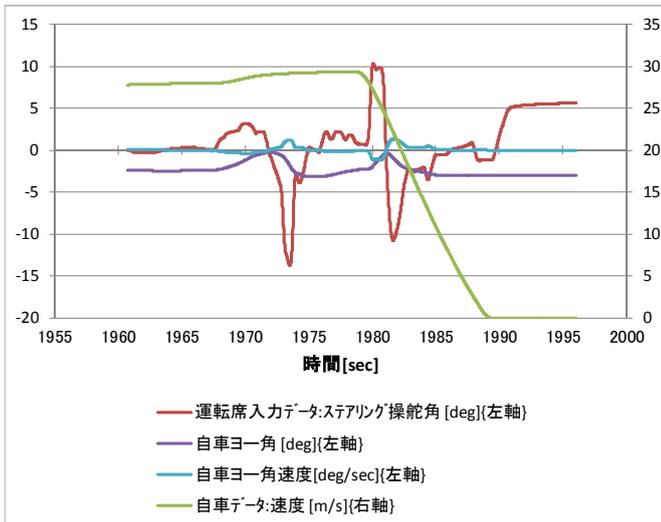
Sub.30 場面 2-a



Sub.30 場面 2-b



Sub.30 場面 2-c



Sub.30 場面 2-d

