

車内システムにおける非接触操作に対する慣れの検証

木戸瑛一^{†1} 天早健太^{†2} 杉原慶哉^{†2} 中道上^{†1} 渡辺恵太^{†3}

概要：完全自動運転が実現すれば、我々は車内で大型化されたディスプレイや Head-Up Display を操作する場合がある。車内などで大画面を直感的に操作するための方法として非接触操作が提案されている。本研究の目的は非接触操作に慣れることが可能であるか検証することである。実験では非接触操作に慣れるまでに必要な試行回数と操作時間を記録した。実験の結果、全ての実験参加者（31 人）が 10 回以内で非接触操作に慣れることができた。実験参加者が非接触操作に慣れるまでに要した回数の平均は 5.84 回であり、試行を重ねるごとに操作時間が減少した。

Evaluation of Adaption to Non-contact Operation in Car System

EIICHI KIDO^{†1} KENTA AMAHAYA^{†2} KEIYA SUGIHARA^{†2}
NOBORU NAKAMICHI^{†1} KEITA WATANABE^{†3}

Abstract: We need an operation of a large-screen display and Head-Up Display in a car when fully autonomous driving. Non-contact operation has been proposed as intuitive operation for the large-screen display. Purpose is evaluation of a possibility for the adaptation to non-contact operation in this study. The trial number and operational time required to non-contact operational by participants were recorded in the experiment. As the results, all experimental participants could be adapted to non-contact operation within 10 times. The experiment participants could be adapted on average 5.84 times under non-contact operational condition, furthermore, the operational time was reduced by the effect of trial repeat.

1. はじめに

現在、世界各国で自動運転技術の研究・開発が行われている。日本国内では 2025 年を目途に高速道路での完全自動運転システム（SAE レベル 4）の実現を目指している[1]。完全自動運転が実現すると、人から車に目的地や進路などの意思を伝える必要がある。その際に、移動中の車内でコミュニケーションツールとしてディスプレイを活用することが予想されている。また、HUD（Head-Up Display：ヘッドアップディスプレイ）の情報や、大型化したディスプレイを操作することが予想される[2]。図 1 は Mercedes Benz の 2030 年を想定したコンセプトカー「Mercedes-Benz F 015 Luxury in Motion[3]」である。車内はジェスチャーまたは、タッチによって操作できる 6 つのスクリーンに囲まれ、リラックスしたり仕事を行ったりすることができる空間になることが予想されている[3]。本研究では、完全自動運転車としてステアリング・ホイールがなく、人間が運転する必要がない車内環境を想定している。

車内において直感的に操作可能なシステムとして非接触操作システム[4]が提案されている。このシステムでは、視認対象と操作対象を同一にすることで操作間の移動距離を減少し、ドライバーの負担を軽減している。また、カー



図 1 メルセデスベンツ：F 015 Luxury in Motion[3]

Figure 1 Mercedes-Benz: F 015 Luxury in Motion[3].

ナビゲーションシステムのタッチパネルと非接触操作を用いて視認性、直感性、操作性、安全性の性能を比較する評価実験が行われている。その結果、非接触操作は視認性が高いが、直感性、操作性、安全性が低いことが明らかにされている。その要因として、スマートフォンの普及により日常的にタッチパネルを使用していることから、システムに対する慣れが結果に影響していることが考察されている。しかし、非接触操作に慣れることが可能であるか、また慣れに至るまでに必要な試行回数については明らかにされていない。

本研究では、非接触操作に慣れることが可能であるか検証実験により明らかにする。実験では非接触操作に慣れるまでに必要な試行回数と操作時間を記録し、分析を行った。

^{†1} 福山大学
Fukuyama University.

^{†2} 福山大学大学院
Graduate school of engineering, Fukuyama University

^{†3} 株式会社 DNP デジタルソリューションズ
DNP Digital Solutions Co., Ltd.

2. 関連研究

直感的な非接触操作システムを実現するために Remote Touch Pointing[5]が提案されている。これは、Kinect を使用し体の一部を基点、操作点としてその2点を結ぶ延長線をポインティングするポインティング手法である。デバイスを用いることなくポインティングするとともに、大画面を直感的に操作することも可能である。Remote Touch Pointing を応用し、ドライバーの負担を軽減するために、車内における非接触操作システム[4]が提案されている。車内で使用することを想定し、センサーは Kinect より精度が高く小型な Leap Motion Controller[6]を用いている。また、基点をヘッドレスト位置に固定し、操作点を右手としている。

直感的なカーナビゲーションシステムの操作手法として図2のBMWの「ジェスチャー・コントロール[7]」が挙げられる。「ジェスチャー・コントロール」では、操作者によってあらかじめ登録された手の動きを認識し、音量調節や受信電話の通話開始、通話拒否などを行うことができる。ディスプレイやスイッチに直接触れることなく操作できるため、大画面でも直感的に操作することが可能である。しかし、登録したジェスチャーを覚える必要がある。また、完全自動運転実現後に車内のコミュニケーションツールとして使用する場合、操作者全員で同じジェスチャーを使用する必要がある。

わき見運転を防止するために Panasonic の「非接触操作による車載向け入力システム[8]」が開発されている。図3は車載向け入力システムの使用イメージ[8]であり、ステアリング・ホイールを握った手の指でジェスチャー操作を行い、HUDに表示された情報を操作する技術である。超音波により指先に軽い刺激を与え操作が完了したことを伝えるハプティック機能が備わっている。しかし、わき見運転防止が目的であるため人間が運転中の使用を想定している。よって、完全自動運転でステアリング・ホイールが存在しない車で使用することはできない。

3. 非接触操作に対する慣れの検証実験

本研究では、非接触操作に慣れることが可能であるか検証するために、非接触操作に慣れるまでに必要な試行回数と慣れるまでの試行ごとの操作時間を記録した。実験は男性17名、女性15名の計32名に実施した。しかし、男性1名は Leap Motion Controller が実験参加者の手を認識出来なかったため分析対象から除いている。

3.1 実験環境

実験は三宅らの実験環境[4]を再現して実施した。使用したディスプレイの解像度に合わせ、タスクサイズとタイルサイズを変更した。また、実験を円滑に行うためタイルにナンバリングを行った。タスク画面上の1から4の数字が書かれた四角が「タイル」である。実験環境を図4と図5



図2 BMW: ジェスチャー・コントロール[7]

Figure 2 BMW: Gesture Control[7].



図3 パナソニック: 車載向け入力システム[8]

Figure 3 Panasonic: Input system for automotive vehicles[8].

に、タスク画面の仕様を表1に示す。近年、カーナビゲーションシステムの画面の大型化が進んでいるが、現在主流のカーナビゲーションシステムの画面サイズは7インチ[9]であるため、タッチパネルのタスク画面を7インチで表示した。現在主流のカーナビゲーションシステムのタッチセンサーは抵抗膜式と静電容量式である[10]。近年、静電容量式の採用が拡大し、今後さらに採用される予測があるため、実験では静電容量式タッチパネルを使用した。非接触操作のセンサーには小型で精度が高い Leap Motion Controller を使用した。

3.2 実験手順

実験の説明は口頭説明だけでは操作方法や実験手順が伝わりにくいため、実際にデモンストレーションを行いながら説明した。初めに非接触操作の説明を行い、その後タッチパネルの説明を行った。試行順序の違いを考慮し実験参加者番号が奇数の人は非接触操作から、偶数の人はタッチパネルから行った。

手順1 操作時間の計測

操作時間を「開始合図からタイル1」と「タイル1からタイル4」に分けて計測した。実験参加者は手を膝の上に置き、実験開始合図を聞いてから操作を行った。タイル1からタイル4をタッチまたはポインティングした時

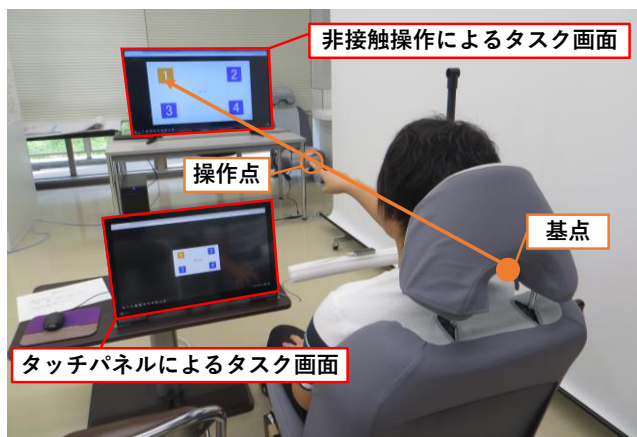


図 4 実験環境

Figure 4 Experiment Environment.

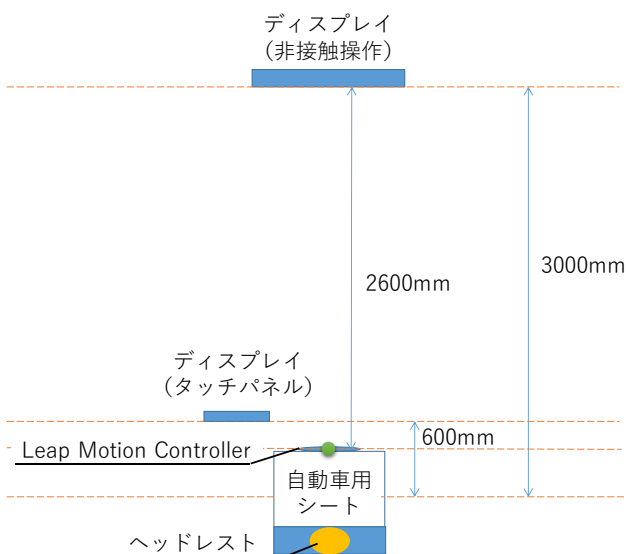


図 5 実験環境 (レイアウト)

Figure 5 Experiment Environment (Layout).

表 1 タスク画面の仕様

Table 1 Specification of Task Screens.

非接触操作	アスペクト比	16:9
	タスクサイズ	1398px×834px
	タイルサイズ	208px×207px
タッチパネル	アスペクト比	16:9
	タスクサイズ	575px×345px
	タイルサイズ	86px×86px

点で 1 タスク終了とする。操作試行タスクはタイル 1 からタイル 4 の順にタッチまたはポインティングする動作を 1 回とした。タッチパネルは左手人差し指でタッチし、非接触操作は右手人差し指でポインティングするよう設定した。タッチまたはポインティングが完了するとタイルの色が青からオレンジに変化し、視覚的に操作が完了したことがわかる。

手順 2 慣れの評価アンケート

1 タスク終了ごとに慣れの評価アンケートを行った。

慣れの評価基準を下記に示す。

1. 慣れていない
2. やや慣れていない
3. どちらともいえない
4. やや慣れた
5. 慣れた

アンケートの回答で「慣れた」が 2 回連続回答されると終了する。ただし、実験を早く終わるために「慣れた」と回答することを防ぐため、この条件は実験参加者には伝えずに行った。

4. 非接触操作の慣れの検証

非接触操作に慣れることが可能であることを検証するために、慣れるまでに必要な試行回数と操作時間を分析した。

4.1 慣れるまでの試行回数

今回の実験では、非接触操作とタッチパネルの操作に慣れるまでの試行回数を計測し、分析を行った。慣れたことを確認するため慣れの評価アンケートで「慣れた」が 2 回連続回答されると終了する条件で行った。本研究では 2 回連続で慣れたと回答された 2 回目を「慣れた」とする。試行ごとの慣れた人数を表 2 に示す。

非接触操作で最も早く慣れることができた人は 3 回目の試行、最も遅かった人は 10 回目の試行であった。平均 5.84 回の試行で慣れることができた。タッチパネルで最も早く慣れることができた人は 2 回目の試行、最も遅かった人は 7 回目の試行であった。平均 3.42 回の試行で慣れることができた。非接触操作はタッチパネルに比べ慣れるまでに必要な試行回数が多いが、全ての実験参加者が慣れることが可能であることが明らかとなった。

非接触操作の慣れの評価ごとの人数を表 3 に、タッチパネルの慣れの評価ごとの人数を表 4 に示す。慣れることができた人は実験を終了し、それ以降はまだ慣れることができていない人のみ行ったため試行回数によって人数が異なる。慣れの評価の経過を図 6 に示す。非接触操作は試行回数 1 回から 10 回の間に全ての人が「慣れた」と回答した。1 回目の試行で「慣れた」と回答した人は、2 回目の試行で「やや慣れていない」と回答したため、1 回目の「慣れた」は誤りであった。1 回目の試行では 22 名が「慣れていない」、「やや慣れていない」と回答した。しかし、5 回目の試行

表 2 試行回数ごとの慣れた人数

Table 2 Number of Adapted Participants in each trial.

試行回数	慣れた人数 (人)	
	非接触操作	タッチパネル
1	0	0
2	0	14
3	1	6
4	7	4
5	7	5
6	8	1
7	3	1
8	1	
9	2	
10	2	
平均試行回数	5.84	3.42
標準偏差	1.80	1.50

表 3 非接触操作の慣れの評価ごとの人数

Table 3 Number of participants in each Evaluation level using Non-contact Operation.

試行回数	非接触操作の慣れの評価ごとの人数					評価の 平均値
	1	2	3	4	5	
1	18	4	4	4	1	1.9
2	4	9	1	16	1	3.0
3	1	5	1	16	8	3.8
4	0	2	1	13	14	4.3
5	0	0	2	6	15	4.6
6	0	0	0	4	12	4.8
7	0	0	0	4	4	4.5
8	0	0	0	2	3	4.6
9	0	0	0	0	4	5.0
10	0	0	0	0	2	5.0

表 4 タッチパネルの慣れの評価ごとの人数

Table 4 Number of participants in each Evaluation level using Touch Panel.

試行回数	タッチパネルの慣れの評価ごとの人数					評価の 平均値
	1	2	3	4	5	
1	1	1	10	4	15	4.0
2	0	1	1	9	20	4.5
3	0	0	0	7	10	4.6
4	0	0	0	2	9	4.8
5	0	0	0	1	6	4.9
6	0	0	0	0	2	5.0
7	0	0	0	0	1	5.0

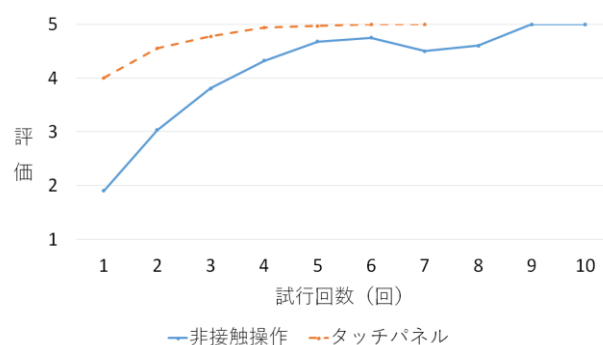


図 6 慣れの評価の経過

Figure 6 Progress of Evaluation of Adaption.

で「慣れていない」、「やや慣れていない」と回答した人は 0 名となり、10 回以内に全ての実験参加者が「慣れた」と回答した。よって試行回数を重ねると慣れることが可能であることが明らかとなった。タッチパネルは試行回数 2 回から 7 回の間に全ての実験参加者が慣れることができた。

4.2 慣れるまでの操作時間の経過

非接触操作とタッチパネルの操作に慣れるまでの試行ごとの操作時間を計測し、分析を行った。操作時間は「開始合図からタイル 1」と「タイル 1 からタイル 4」に分けて計測した。

操作時間（開始合図からタイル 1）を図 7 に示す。「開始合図からタイル 1」の非接触操作の平均操作時間は 4.90 秒、標準偏差は 4.69 であった。タッチパネルの平均操作時間は 1.64 秒、標準偏差は 0.72 であった。タッチパネルに比べ非接触操作の操作時間は長いことが明らかとなった。

操作時間（タイル 1 からタイル 4）を図 8 に示す。「タイル 1 からタイル 4」の非接触操作の平均操作時間は 3.41 秒、標準偏差は 1.35 であった。タッチパネルの平均操作時間は 2.73 秒、標準偏差は 1.08 であった。試行を重ねると非接触操作とタッチパネルの操作時間の差は小さくなることが明らかとなった。

操作時間（開始合図からタイル 4）を図 9 に示す。「開始合図からタイル 4」の非接触操作の平均操作時間は 8.31 秒、標準偏差は 5.12 であった。タッチパネルの平均操作時間は 4.43 秒、標準偏差は 1.51 であった。これらの結果から、非接触操作はタッチパネルに比べ操作時間が長く、ばらつきが大きいことが明らかとなった。

操作時間の経過（開始合図からタイル 1）を表 5 に示す。どちらの操作手法も試行回数を重ねると多くは減少したが増加することもあった。操作時間の経過（タイル 1 からタイル 4）を表 6 に示す。非接触操作の操作時間は多くは減少したが増加することもあった。タッチパネルは毎回減少した。操作時間の経過（開始合図からタイル 4）を表 7 に示す。どちらの操作手法も試行を重ねると多くは減少したが増加することもあった。

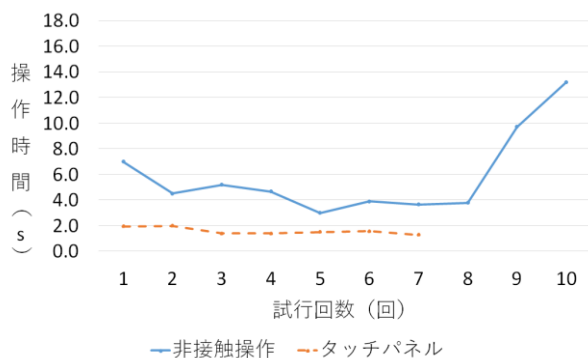


図 7 操作時間（開始合図からタイル 1）

Figure 7 Operation time (Start to Tile1).

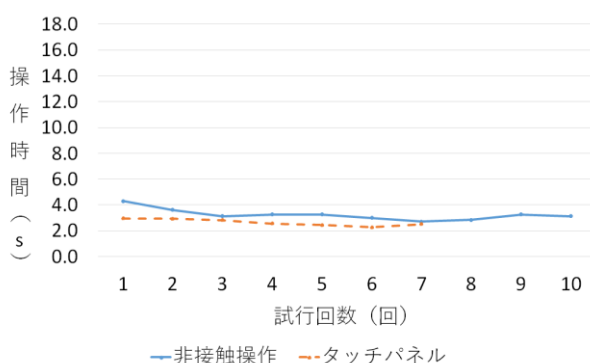


図 8 操作時間（タイル 1 からタイル 4）

Figure 8 Operation time (Tile1 to Tile4).

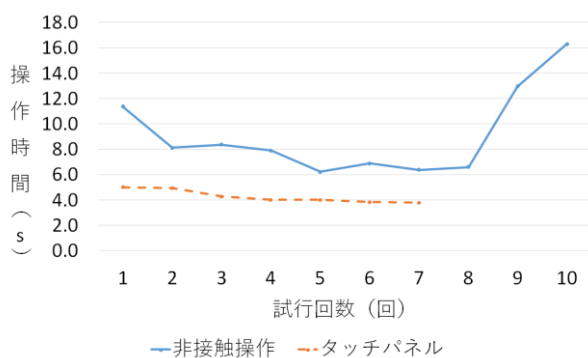


図 9 操作時間（開始合図からタイル 4）

Figure 9 Operation time (Start to Tile4).

5. 考察

非接触操作の慣れの検証結果を受けて、非接触操作に慣れるまでに必要な試行回数が多かった原因と使用頻度による慣れの影響、操作時間が慣れに与える影響について考察した。

表 5 操作時間の経過（開始合図からタイル 1）

Table 5 Progress of Operation time (Start to Tile1).

試行回数	非接触操作(s)	タッチパネル(s)
1 回目から 2 回目	-2.48	0.04
2 回目から 3 回目	0.68	-0.70
3 回目から 4 回目	-0.50	-0.16
4 回目から 5 回目	-2.81	0.14
5 回目から 6 回目	0.85	-0.28
6 回目から 7 回目	-1.41	0.22
7 回目から 8 回目	-0.45	
8 回目から 9 回目	5.50	
9 回目から 10 回目	-0.26	

表 6 操作時間の経過（タイル 1 からタイル 4）

Table 6 Progress of Operation time (Tile1 to Tile4).

試行回数	非接触操作(s)	タッチパネル(s)
1 回目から 2 回目	-0.69	-0.02
2 回目から 3 回目	-0.48	-0.33
3 回目から 4 回目	0.16	-0.64
4 回目から 5 回目	-0.09	-0.23
5 回目から 6 回目	-0.46	-0.21
6 回目から 7 回目	-0.08	-0.09
7 回目から 8 回目	-0.14	
8 回目から 9 回目	0.48	
9 回目から 10 回目	-0.50	

表 7 操作時間の経過（開始合図からタイル 4）

Table 7 Progress of Operation time (Start to Tile4).

試行回数	非接触操作(s)	タッチパネル(s)
1 回目から 2 回目	-3.26	-0.06
2 回目から 3 回目	0.24	-1.13
3 回目から 4 回目	-0.40	-0.82
4 回目から 5 回目	-2.89	-1.02
5 回目から 6 回目	0.44	-0.49
6 回目から 7 回目	-1.49	0.13
7 回目から 8 回目	-0.59	
8 回目から 9 回目	5.98	
9 回目から 10 回目	-0.77	

5.1 試行回数による慣れの考察

非接触操作に慣れるまでに必要な試行回数が多かった理由として、全ての実験参加者が Leap Motion Controller の使用経験がなかったことが考えられる。デモンストレーションを行いながら説明を行ったが、操作可能な範囲が見えないため実験参加者に伝わりにくかったことが考えられる。

日常的に非接触操作を使用することで、より早く慣れることができる可能性がある。

5.2 操作時間の経過による慣れの考察

非接触操作は「開始合図からタイル 1」の操作時間のばらつきが大きく、「タイル 1 からタイル 4」の操作時間のばらつきが小さかった。その理由として、センサーが手を認識するまでにかかる時間に差があった可能性が考えられる。早く慣れることができた人ほど 1 回あたりの操作時間が短い傾向がみられたため、操作時間が短いと慣れたと感じやすく、長いと慣れることができていないと感じやすいことが考えられる。また、長時間同じセンサーを使用すると反応が悪くなる場合があった。試行回数を重ね、慣れたにも関わらず操作時間が長くなっている原因として、センサーの不具合が考えられる。

タッチパネルは全ての実験参加者がタッチパネルの使用経験があり、既に慣れていたため素早く操作できた可能性が考えられる。実験参加者のコメントから爪が長いと操作が難しいとあったため、爪の長さが操作性に影響している可能性が考えられる。

6. まとめと今後の課題

本研究では、非接触操作に慣れることが可能であるか検証した。実験では非接触操作に慣れるまでに必要な試行回数と操作時間を記録した。実験の結果、非接触操作は平均 5.84 回の試行で慣れ、タッチパネルは平均 3.42 回の試行で慣れることができた。非接触操作はタッチパネルに比べ慣れるまでに必要な試行回数は多いが、全ての実験参加者(31 人)が 10 回以内に慣れることができた。よって非接触操作は慣れることが可能であることが明らかとなった。

慣れることができるまでの試行ごとの操作時間の経過を「開始合図からタイル 1」と「タイル 1 からタイル 4」に分けて計測した。「開始合図からタイル 1」の操作時間はばらつきが大きく、慣れることができて操作時間が短くならなかった。「タイル 1 からタイル 4」の操作時間は試行を重ねると短くなることが明らかとなった。

今後の課題として慣れることができた実験参加者を対象に性能評価アンケートを実施し、慣れる前の結果と比較する必要がある。また、体格差による影響を考慮し、センサーの取り付け位置の再検討や注視点の位置や動きを計測する必要があると考える。

謝辞 本研究は日本学術振興会の科学研究費補助金（若手研究（B）15K16108）の助成により実施いたしました。厚く御礼申し上げます。

参考文献

- [1] “官民 ITS 構想・ロードマップ 2017”.
<https://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/kettei/pdf/20170530/roadmap.pdf>, (参照 2017-012-23).
- [2] “The Wall Street Journal”.
<http://jp.wsj.com/articles/SB11603922512965864473104583218513401388172>, (参照 2017-12-23).
- [3] “Mercedes Benz”.
<https://www.mercedes-benz.com/en/mercedes-benz/innovation/research-vehicle-f-015-luxury-in-motion/>, (参照 2017-012-23)
- [4] 三宅雄太, 中道上, 渡辺恵太. 車内における直感的な非接触操作システムの提案. 公益社団法人自動車技術会 2015 年秋季大会学術講演会講演予稿集, pp. 263-266, 2015.
- [5] 渡辺恵太, 中道上, 山田俊哉, 尾関孝史. プレゼンテーションのための直観的ポインティングシステムの提案と評価. HCG シンポジウム 2014 論文集, pp. 545-552, 2014.
- [6] “Leap Motion Controller”. <https://www.leapmotion.com/>, (参照 2017-12-23)
- [7] “BMW”.
<https://www.bmw.co.jp/ja/all-models/7-series/sedan/2015/innovative-functionality.html>, (参照 2017-12-23).
- [8] “日刊工業新聞”.
<https://www.nikkan.co.jp/articles/view/00410000>, (参照 2017-012-23)
- [9] “株式会社オートバックスセブン”.
<https://www.autobacs.co.jp/images/data/news/2017/05/30/NuTjOD.pdf>, (参照 2017-12-23).
- [10] “株式会社矢野経済研究所”.
http://release.nikkei.co.jp/attach_file/0453107_01.pdf, (参照 2017-012-23).