

## 高度自動運転化に向けたエネルギー消費効率に関する検討

05000780 筑波大学 \*安東 弘泰 ANDO Hiroyasu 入会申請中 筑波大学 野口 宇宙 NOGUCHI Takahiro  
筑波大学 岡本 大河 OKAMOTO Taiga 05000694 筑波大学 高原 勇 TAKAHARA Isamu

### 1. はじめに

IoT/ビッグデータ/AI などの先進的情報技術の進化には、近年の計算機の著しい発展に依るところが大きい。特に先端のAI アルゴリズムではビッグデータと計算機を駆使することで高精度な情報処理を可能としている。一方で、膨大なデータを扱う演算には計算機のエネルギー消費の問題が避けられない。例えば、自動車の高度自動運転においては、車両の走行にかかるエネルギー消費を削減するために高度な知能化を追求し、この知能化自体に多くのエネルギーが消費されるという矛盾が生じてしまう。そこで、デジタル計算機にのみ依存しない計算リソースを検討することは意義がある。ここで人間の脳における情報処理や意思決定を広義の計算と捉え、人と機械の意思決定の役割分担を議論でき、工学のみならず経済学などのさまざまな分野において有益と考えられる。その一例として本研究では自動運転と手動運転のエネルギー効率を検討する。

これまでに自動運転車の走行のエネルギー効率に関する研究はいくつか存在する。例えば、[1]では自動運転を導入することにより、道路ネットワーク全体での車両密度や速度が向上し、各車両の走行効率が上がるため、結果的にネットワーク上の車両全体の走行距離が伸びることが想定されている。そのため GHG の排出量も増加する。一方、100%自動運転（高度自動運転）に対する 100%手動運転の電気自動車（高度自動運転）に対する 100%手動運転の電気自動車（高度自動運転）で GHG 排出を評価することで、自動運転より 7%の GHG 削減が示された。この GHG 排出には車両製造など走行以外での排出といったいわゆる LCA が考慮されている[2]。これは電気自動車の自動走行と手動走行のエネルギー効率を比較した研究であるが、シミュレーションによるモデル検討である。本研究では、27分の1スケールの実車両を自律走行させるシステムを構築し、これに対して人が手動運転する条件でのエネルギー消費を実験により比較する。

### 2. ミニチュア交通模型

図1は、本研究に使用したミニチュア交通模型とその走行コースである。詳細は文献[3]に委ねるが、車両は道路の磁気レーンを認識しステアリングを制御し、前方車両または信号を認識してアクセルとブ

レーキを制御する。最高速度は外部パラメータとして設定可能である。本実験では3車両を同時に走行させて、その各車両の消費電力を1秒ごとに計測し、さらに実寸の走行距離からエネルギー消費率 [Wh/km] を算出した。一方、手動運転車両については、自律運転に改造前のラジコン車両に対して消費電力計を搭載し、元の遠隔操作装置をそのまま利用して3台同時に走行させた。4名の被験者に対して、各々6試行実験した。走行パターンおよび車重は自律運転車両と手動運転車両で合わせた。



図1: ミニチュア交通模型

### 3. 実験結果

図2に自律運転の走行結果を示す。縦軸を電力消費率 [Wh/km] とし、横軸を走行距離 [mm] としている。過渡状態を除けば3台の消費率の中央値はおおよそ 0.025 [Wh/km] となった。ちなみに自律運転の消費電力は、駆動系に加えて制御系相当も含まれていることに注意する。

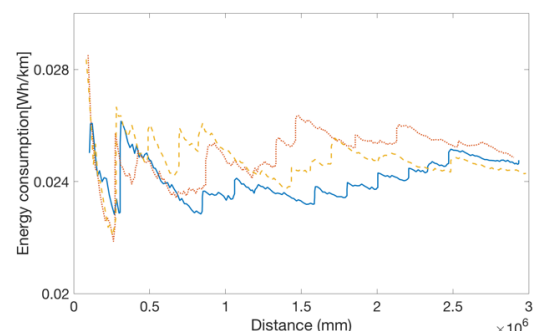


図2: 電力消費率系列

一方、表1に手動運転時の走行結果を示す。被験者ごとに異なる結果を得たが最も効率が良かった結果の電力消費率は 0.010 [Wh/km] となった。この結果は駆動系のみでの消費電力である。制御系も含めた自

律運転とその電力消費率を比較するとおよそ 40%に削減されている。ちなみに、自律運転の駆動系だけの電力消費率は 0.0158 [Wh/km] であり、手動運転において最も効率が悪かった被験者の結果と同等であることがわかる。さらに、図3には試行ごとの各被験者に関する電力消費率を示している。試行を重ねると電力効率が向上している、つまり被験者の学習が起こっていると理解できる。

表1: 手動運転結果 (ベストケース)

被験者	消費率 [Wh/km]
A	0.016
B	0.010
C	0.015
D	0.014

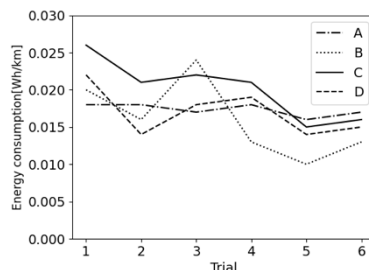


図3: 被験者の試行間遷移

#### 4. 環境負荷からの考察

まず、前節での結果における消費電力を二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)排出量相当で検討する。1kWhを発電するのに0.431kgのCO<sub>2</sub>が排出される[4]。したがって、自律運転走行におけるCO<sub>2</sub>排出量への換算は、0.0107 g/kmである。一方、手動運転では0.00431g/kmであり、自律運転よりも排出量は少ない。前述の通り、自律運転には駆動系と制御系の両方に電力消費があるが、手動運転においては、当然ながら駆動系だけに電力消費がある。後者の制御系は人であり、その消費エネルギーによる環境負荷は、人が排出するCO<sub>2</sub>に相当する。ミニチュアカーにおけるCO<sub>2</sub>換算量を実際の車両スケールで単純に計算すると130g/kmであり、人の呼気のCO<sub>2</sub>量は実験時間中の試算でおよそ0.36g/kmと無視しても問題ない。以上の考察により、低レベルでの自律運転電気自動車のミニチュア模型に関しては、環境負荷は手動運転車の方が低いという結果が得られた。本実験は実車と比較すると多くの仮定をおいているが、人間の計算過程のエネルギー効率の良さを示す実験結果と言える。

ここで注意すべきは、本研究の自律走行システムがそのまま実スケールに換算可能というわけではない。例えば、自動運転電気自動車のエネルギー消費においては全体の2.66%が制御系に使用されるという報告もある[5]。本実験では、制御系にはおおよそ380[mW]消費しており、これは駆動系の消費電力の中央値と比較して35%と大きい。また、Connected autonomous vehicles (CAVs)では、車車間通信や路車間通信を駆使することにより、手動運転よりも

eco-drivingを可能にするという報告もある[6]。本研究では周囲の環境認識のみで自律走行する車両における燃費を仮定して実験したものであり、路車間通信等を導入することでその燃費がどのように変わるかは今後の課題である。また手動運転では、被験者がコース全体を見渡すことができるという情報を有しているという意味では、集中的な制御も人間が同時に行なっていると考えることも可能であり、今回のミニチュア模型に通信や集中制御の機能を追加することにより、より公平な条件での比較が可能となる。

#### 5. おわりに

本研究では、27分の1スケールの実車両において、自律運転と手動運転のエネルギー消費を比較し、手動運転の方がエネルギー効率がよいという実験結果を得た。ただし、本研究の自律運転車両の装置は周囲の環境を認識して速度制御する一般的な機能を有するが、その実装は本車体に特有であり、実際の電気自動車と比較する場合は、さらに制御系の消費電力を比較検討する必要がある。また、人の計算によるエネルギー消費を脳波などの生体計測で測り、実際の消費電力に換算することも必要である。呼気のCO<sub>2</sub>容量に関しては、様々な実験が存在するため参考にすることが可能である。最後に、運転者の学習に必要なエネルギーと高度自動運転化の学習に必要なエネルギーも合わせて検討することが自動運転のエネルギー消費を総合的に考える上でも重要である。

#### 謝辞

本研究は JST 未来社会創造事業および筑波大学未来社会工学開発研究センターの助成のもと遂行した。

#### 参考文献

- [1] W. Gruel, J. M. Stanford, Transp. Res. Proc. 13 (2016), 18–29.
- [2] S. M. Patella et al., Transp. Res. D 74 (2019), 189–200.
- [3] 安東, 岡本, 野口, 第63回自動制御連合講演会 (2020) 2H1-1.
- [4] 中部電力ホームページ(2021年1月6日閲覧): [https://miraiz.chuden.co.jp/info/topics/120205\\_3\\_1939.html](https://miraiz.chuden.co.jp/info/topics/120205_3_1939.html)
- [5] C. Zhang et al. Applied Energy 254 (2019), 113597.
- [6] A. Vahidi, A. Sciarretta, Transp. Res. C 95, (2018) 822–843.