

神奈川工科大学

先進自動車研究所

研究報告

2020 年度

目次

- ・自動運転時代の権限移譲に関する研究

情報工学科 清原良三

- ・RTK・GPS を用いた人の運転挙動の計測と AI によるその特徴抽出
ー自動運転車両が混在する環境化での安全性の担保を目指してー

機械工学科 中根一朗

- ・車載用発電ユニット高効率化のための研究

自動車システム開発工学科 岡崎 昭仁、藤澤 徹

自動運転時代の権限移譲に関する研究

研究者名：情報工学科

氏名 清原 良三

1. 研究の目的

自動運転の研究開発が活発である。政府主導での導入、民間カーメーカー、部品供給を狙う IT 系部品メカなど様々なプレーヤが活発に研究開発している。しかしながら、法整備の観点からも最終責任者はドライバが負う可能性が高い。そのため、ドライバへの権限移譲が必須である。また、進化の中で、走行中にインフラの整備などの関係で権限を委譲し、手動運転となることも想定される。現状では、車の走行に関しての開発は多いものの、ドライバがどのような状態かを把握する研究は数少ない。また、道路や、車両の周辺の状況にも依存する。よって、ドライバ、周辺の車両状況、道路の状況などに応じて、権限を委譲しなければならないようなケースで本来どのような動作をさせるのが有効なのかという課題を解決しなければ、実際の運用に支障をきたすと考えられる。即ち、如何にドライバの状態、周辺の状況を把握するかが重要となる。

本研究の目的は、これらの背景に基づき、ドライバの状態を把握する手法を確立することである。そのために、ドライバの各種行動と脳内の活性化状況を比較し、その関係性を分析することにより、ドライバの真の状況を調べることから開始する。運転行動には 2 種類あり、反射神経的に行動を起こすことと、脳内でしっかり考えた上で行動を起こすケースである。このような生理的な側面と行動とをしっかりと分析した例は車に限ると筆者らの知る限りない。そこで、この関係を元に自動運転自動車の行動を決定する手法を確立する。

2. 研究の必要性及び従来の研究

前節で述べた背景より、本研究は安全な自動運転レベル 3 の自動車の運転には必要不可欠な内容である。関連する国内の学会では、自動車技術会、ITS ジャパン、情報処理学会、電気情報通信学会などがあり、多くの研究が実施されている。例えば、2018 年 12 月に開催された ITS Japan 主催 の ITS シンポジウムにおいて 100 件近くの発表がある中で、ドライバの状態に関する論文や、緊急事態を避けるための基礎的な研究に関する発表が数件あり、また 2018 年 9 月に開催された国際会議 ITS World Congress, IEEE Transaction of ITS においても若干あった。

しかし、それぞれ基礎的な研究段階であり、すべての車両が自動運転車両であったり、歩行者が全くいないことを前提にするなど仮定に無理があり、実際にそのまま適用できるものがないといった問題も多かった。また、2020 年度中には、自動運転レベル 3 の車両の市

場投入が可能になるような法改正も行われ、実際のホンダはレベル 3 対応車両を市場に投入している。初期の段階であるため課題も多いため、学会においても権限移譲に着目した研究発表が多数実施されるようになり、本研究の重要性も認識されてきていると考える。

3. 期待される効果

自動運転車両は、すべての車両が自動運転を想定した時の問題や、事故を回避する研究などは盛んであるが、手動運転との混在環境を想定した場合や、権限を委譲に関する研究は少なく、実際の現場に即した研究開発が少なく、出荷するにあたり課題となっている部分を研究することになるため、各手法の評価などは業界に対して重要な情報を提供することができると思われる。

4. 研究の経過及び結果・評価

権限を委譲するためには、ドライバの状態の把握、ドライバへの権限移譲の通知、権限移譲可能になったことの確認の3つのフェーズに整理した、図1のモニタリングと周辺状況確認技術を合わせたモニタリング技術としている。

モニタリング技術
(心拍、体温、汗、目線他)

周辺状況確認技術
(V2V, V2R)

覚醒

(警告音、音声、表示、
接触刺激他)

覚醒確認

(ハンドリング、ペダリング、
操作遅れ検知、目線など)



図1 権限移譲のための技術マップ

- (1) モニタリング技術に関しては、2018 年度までに、ドライバの状態、周辺の状況把握など基本的なところを実施済みである。
- (2) 権限を通知する覚醒技術に関しては 2019 年度中心的に実施した。視覚、聴覚、触覚などを利用する手法を検討した上で、聴覚を中心に、視覚を併用した上で、各種アラームの方式を検討した。その結果、秒読みカウントダウン方式が有用であることがわかった。特に視線の検知などを今年度は活用した。
- (3) 覚醒確認に関しては本年度に中心的に実施したが、実際には覚醒前の模擬状態を作ることが難しく、手法の提案と実装まではできるのであるが、評価がそれにとまっていなかったと考えている。覚醒そのものの追加として、シートベルトによる刺激を加えた上で、手動運転に移行したことをドライバに通知後に、ドライバの挙動を一定期間監視する。一定期間の間はドライバの意図どおりの操作をしてもシステムが危険と判断するとその通りは動作しない仕様としている。これらの監視において、一般道と高速道路ではその手法を変えなければならないことも判明した。

5. 今後の計画

2021 年度も引き続き、権限移譲に関して、3 つのフェーズをここに実施する。特に 2021 年度は、心理状態も含めたモニタリングと評価環境の課題を解決する予定である。

5. 研究成果の発表

橋本優汰, 鈴木孝幸, 清原良三, “レベル 3 自動運転時の権限移譲催促手法,” 情報処理学会第 83 回全国大会, 5T-03. 2021

中屋拓海, 鈴木孝幸, 清原良三, 清原 良三, “レベル 3 自動運転時の権限移譲完了確認手法,” 情報処理学会第 83 回全国大会, 5T-03. 2021

RTK-GPS を用いた人の運転挙動の計測と AI によるその特徴抽出 ー 自動運転車両が混在する環境化での安全性の担保を目指して ー

機械工学科 中根一朗

1. 研究の目的

現在、車両の自動運転技術の開発が盛んに行われており、もしも全車両が自動運転となれば、事故、渋滞等の車に関する問題は飛躍的に改善されることが見込まれる。しかしながら、そうなる以前には、人間の運転する車両と自動運転車両が混在する状況となり、互いの運転挙動の違いから事故の多発する可能性がある。例えば米国では、アップル社の自動運転車両が複数回のもらい事故にあっており、自動運転車両の合流時の走行速度が、人間の運転に比べて極めて低速であることによるものと考えられている。つまり、人の運転する車両と自動運転車両が混在する状況下においては、自動運転車両は人間の運転する車両と同様の挙動を取るべきであり、加えて、周囲の人間の運転する車両の挙動から、その危険性も察知して回避行動を取る必要もある。ただしこのためには、人間の目に相当するセンサーの精度を高くするだけではなく、人間が経験を通して身に付けた運転挙動や回避行動を、自動運転車両に学習させる必要がある。

本研究は、上記を鑑みて提案するものであり、5Hz、cm 単位での位置計測が可能な RTK-GPS を搭載した数台の車両を走行させて走行挙動を計測し、この計測結果に対して機械学習を行うことで人間の運転挙動の特徴を定量的に明確にすることを目的としている。ただし、機械学習により得られた結果が妥当であるかどうかを判断するため、その結果を基にした交通流のシミュレーションを行い、車両挙動を評価・検討する。また、このように、人間の運転挙動の特徴を明らかにすることで、自動運転車両が回避行動を取るべき「異常な人間の運転挙動」も明確になるものと考えられる。

2. 研究の必要性及び従来の研究

本研究の目的は上記の通りであり、具体的には以下の 4 項目を実施する。

- (1) 人間の運転挙動の RTK-GPS による計測
 - (2) AI による人間の運転挙動の特徴抽出
 - (3) 抽出した人間の運転挙動の特徴による車両挙動モデルの作成
 - (4) 作成したモデルを用いたシミュレーションによる抽出した特徴の妥当性の検討・評価
- つまり、「精度の高い計測→AI による分析→モデル化→モデルの評価・検討」という流れにより、本研究では人の運転挙動の特徴を明確にする。なお、本研究の場合、この目的以外にも交通流のモデル化、つまり、多体相互作用系に現れる巨視的現象のモデル化にも関連しており、複雑系の数理・物理問題としても研究意義のあるものである。

次に、管見において見出した同様の研究としては、その多くが上記した交通流のモデル化に関わる研究であり、本研究と同様の観点に立った報告は未だ見当たらない。ただし、交通流のモデル化に関しては、非常に多くの研究例が報告されている。

3. 期待される効果

上記した通り、本研究により人間の運転挙動が明確になることで、人間の運転に近い自動

運転挙動を実現化できる可能性があり、将来の自動運転化技術において非常に有益であると考えられる。加えて、交通流をモデル化してシミュレーションを行うことから、現在の交通問題である渋滞解決の一助になることも期待される。

4. 研究の経過及び結果・評価

前記の通り、我々は「(1)RTK-GPS による計測、(2)AI による分析、(3)モデル化、(4)モデルの評価・検討」により本研究を構成しており、これらを通して人の運転挙動を明確にすることを目的としている。そこで、この順に従い、研究の経過及び結果・評価を以下に記す。

4.1 人間の運転挙動の RTK-GPS による計測

本研究で使用した RTK-GPS モジュールは u-blox 社製の ZED-F9P であり、これに対応させるため、アンテナも u-blox 社製の ANN-MB-00-00 を使用した。計測に際しては、アンテナを接続した RTK-GPS モジュールをノート PC に USB 接続した上で、u-blox 社製のアプリである u-center と、オープンソースプログラムパッケージの RTKNAVI を使用した。また、基地局との通信のため、ポケット wifi も使用した。計測結果の一例を図 1 に示す。この結果は、4 台の車を連ねて計測した結果であり、赤、青紫、青、緑の各色のピンが各車両に対応している。同図より、各色のピンに位置ズレが無く、また、センターライン間隔(5m)から概算した車両速度が 35km/h 程度であることから正しく計測されていると判断出来る。

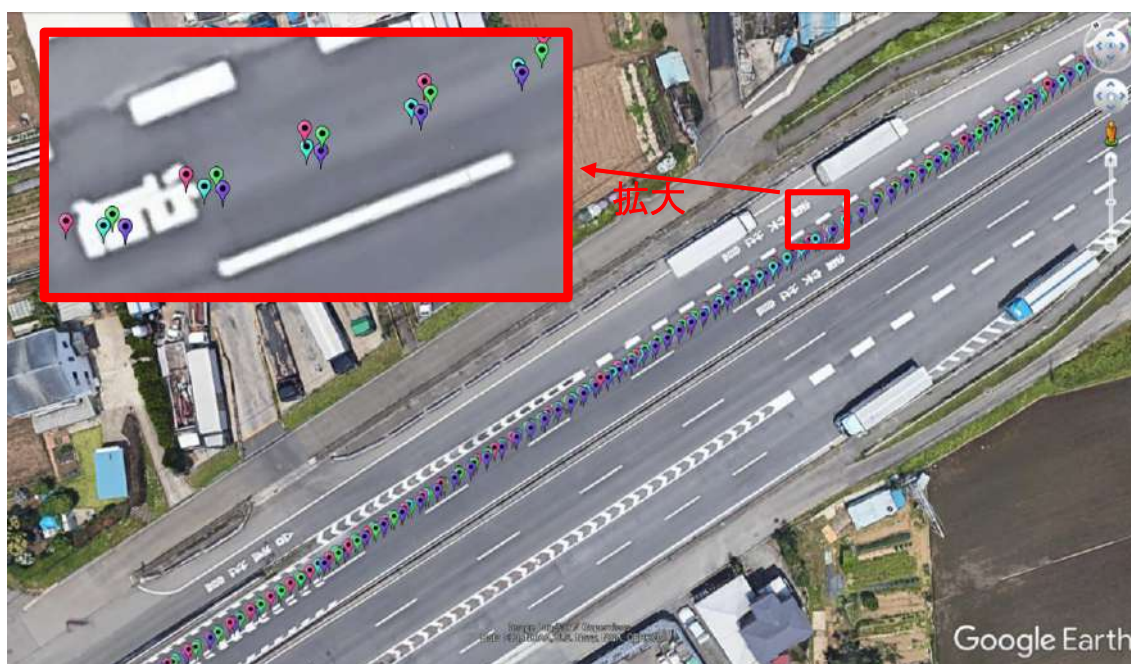


図 1 4 台の車による計測結果の 1 例

4.2 AI による人間の運転挙動の特徴抽出

上記の計測結果、つまり位置情報は緯度・経度・高度として保存されていることから、以下のヒュベニの公式を使用して 2 点間の距離差 ΔX を求め、これを基にして、各車両の速度・加速度、前方車両との車間距離・速度差等を算出した。

$$\Delta X = \sqrt{(Dy \cdot M)^2 + (Dx \cdot N \cdot \cos P)^2}$$

P : 2 点の緯度の平均、 Dx : 卯酉線曲率半径 6385328.221m、
 Dy : 子午線曲率半径 6356886.151m、

なお、RTK-GPS 計測において精度の良い結果を得るためには、全天に障害物の無いことが条件となる。しかも、この計測法は収束解を算出する手法であることから、計測した全データが全て完全に収束した解とはなっていない。このため、延時間で 20 時間以上の計測結果の中から全ての車両がなるべく正確に計測できている時間帯の結果を選出するとともに、不都合な点には線形補間を適用することで、AI 学習 (GoogleCloudPlatform の AutoMLTables) の要件を満たす 30 分間分の計測データ (各車両の速度、加速度、車間距離、速度差) を準備した。

この AI 学習による人間の運転挙動の特徴抽出の結果の一例を図 2 に示す。同図は、4 台の車両が並んで走行している際に、4 台目の車両速度 v_4 に影響を与える因子の重要度を表した結果である。同図より分かる通り、 v_4 に大きく影響しているのは、前車速度 v_3 、前車との速度差 dv_3 、先頭車両速度 v_1 、自車加速度 a_3 、前車との車間距離 dx_{34} の順となっており、通常は最も影響が大きいと考えられている dx_{34} の影響の少ないことが明らかとなった。また、4 台の車両を連ねて計測している関係上、車群を先導している先頭車両速度 v_1 の影響が大きくなっているが、これに関しては一般性は無いと判断している。

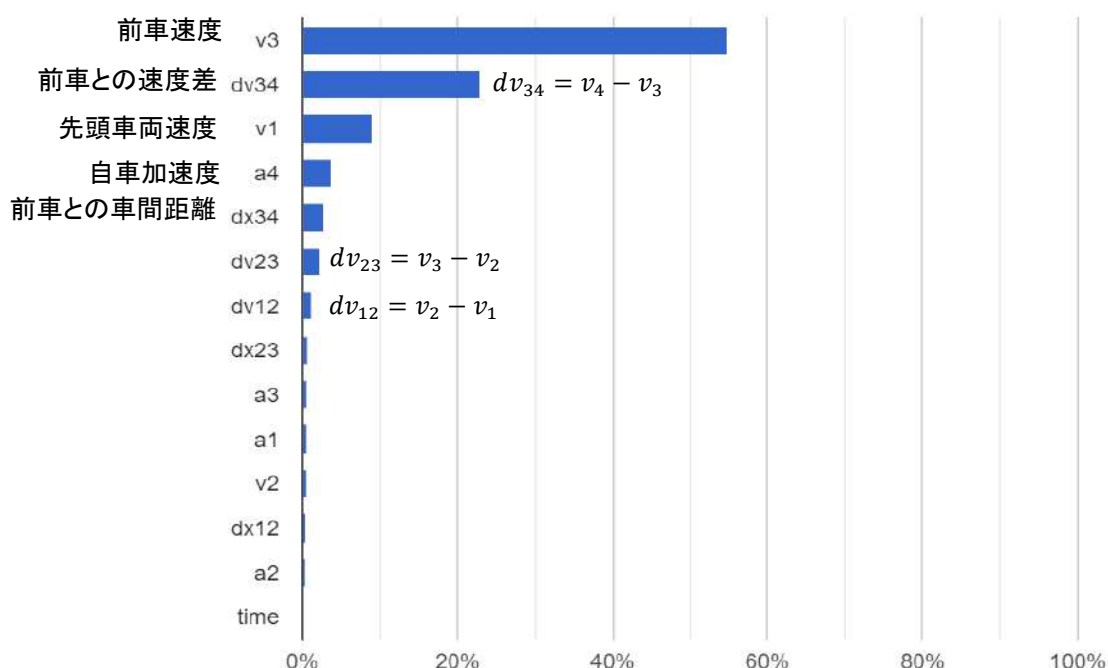
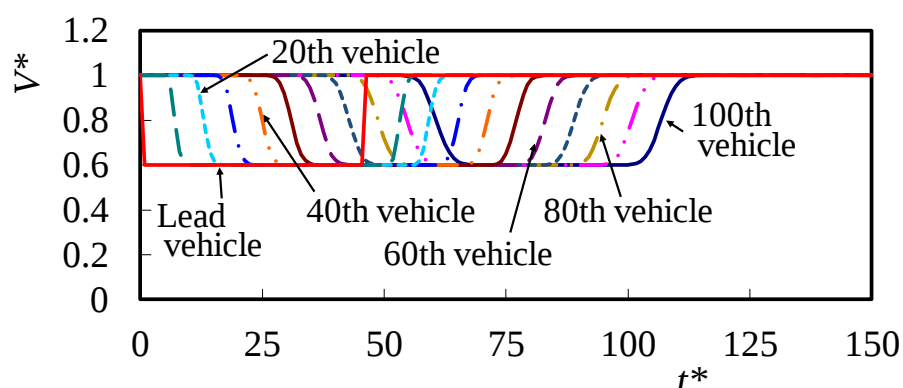


図 2 最後尾車両 (4 台目) の速度に影響する特徴量の重要度

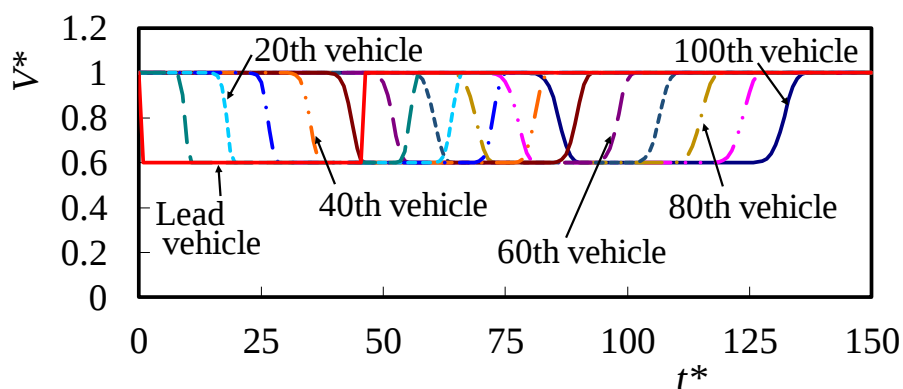
4.3 抽出特徴量による車両挙動モデルの作成とそれを用いたシミュレーション結果の評価

上記結果を踏まえ、その合算の重要度が約 8 割となる「前車速度」と「前車との速度差」による追従挙動モデルの作成を検討する。そこで、自車速度 V_n を常に前車速度 V_{n-1} に合わせるモデルとするが、その速度調整には必ず遅れ時間 Δt を伴うことから $V_n(t+\Delta t)=V_{n-1}(t)$ とする。また、問題となるのが速度差の反映である。そこで速度差のモデル化では、 $dv=V_n(t)-V_{n-1}(t)=V_n(t)-V_{n-1}(t)+V_{n-1}(t-\Delta t)-V_{n-1}(t-\Delta t)=V_n(t)-V_{n-1}(t-\Delta t)-\{V_{n-1}(t)-V_{n-1}(t-\Delta t)\} \doteq -\{V_{n-1}(t)-V_{n-1}(t-\Delta t)\}$ より、速度差を前車速度の速度変化分として考える。そして、この速度変化分を基準となる $V_n(t+\Delta t)=V_{n-1}(t)$ に組入れ、 $V_n(t+\Delta t)=V_{n-1}(t)-\alpha\{V_{n-1}(t)-V_{n-1}(t-\Delta t)\}$ とする。ただし、前式中の α が速度差を考慮する割合であり、現時点では、この考慮の割合が不明である。そこで、これ

を検討するため、速度変化分を 50%考慮する場合($\alpha=0.5$)と 5%考慮する場合($\alpha=0.05$)のシミュレーションを行った。この結果の一例が図 3 であり、この結果は、先頭車両の速度低下(速度を 6 割に低下させて 100s 間走行した後に元の速度に戻す)の後方への伝播をシミュレーションしたものである。また、この場合には、遅れ時間 2s、加速度上限 0.5m/s^2 、加速度下限 -1.0m/s^2 、車間時間 2.55s としたが、これらは計測結果より得ている。加えて、図 3 は、遅れ時間と最大速度により無次元化している。同図より分かる通り、前車の速度変化をより多く考慮した場合に、後車への速度低下の伝播が早く、また、後方車両の速度復帰も早くなされている。これらは、我々の感覚と一致しており、妥当な結果であると言える。



(a) 現在の前车速度に加えて前車の速度変化の 50%を考慮した場合



(b) 現在の前车速度に加えて前車の速度変化の 5%を考慮した場合

図 3 先頭車両が速度を 40%低下させることで後方に伝播する速度低下のシミュレーション結果

5. 今後の計画

昨年度は COVID-19 により、十分な研究を行うことが出来なかった。また、RTK-GPS も日進月歩であり、より高性能の機器が低価格でリリースされている。このため、本年度、新しい高性能な RTK-GPS を購入しており、現在、これを用いた計測の準備を行っている。

6. 研究成果の発表

現時点では未だ成果発表にいたっていない。

車載用発電ユニット高効率化のための研究

研究者名：自動車システム開発工学科 氏名 岡崎 昭仁、藤澤 徹

1. 研究の目的

喫緊の課題である地球温暖化対策のために自動車の電動化が推進されている。電力は多様性があるエネルギーであるが、移動体である自動車では、「充電時間が長い」、「航続距離が短い」といった問題があり、エンジンと併用するハイブリッド自動車（以下、HEV）が実用化され、設定車種・販売台数を増やしている。申請者らは、高膨張比サイクルを用いたエンジンの高効率化やソーラーにおける電力最大点活用法などの研究を行ってきた。今回、比較的低出力な自動車用発電ユニットへ、これらの研究知見を併せて適用することで、高効率化と性能向上が図れると考えた。そこで本研究では、電動自動車の問題を解決するために、車載用発電ユニットについて、シンプルな高膨張比デバイスを用いたエンジンの高効率化を行い、その性能を明らかにする。さらに、誘導発電機の自己励磁現象に着目し、特定の発電領域において、インバータを不要とする発電方法を検討し、性能を実証する。これらのことから、高効率な発電ユニットの基盤となる技術を示すことができ、自動車の電動化の可能性を拡げることが期待できる。

2. 研究の必要性及び従来の研究

日本は少子高齢化が進むことから、特に地方における公共交通機関の1つとして複数人が乗車できる小型電気自動車が研究され、一部では実証実験が開始されている。小型電気自動車に関しては、充電方法や車両運動、実用性などの研究が進められてきている。一方で、地方において高齢者が乗車することなどから、電欠による車両走行停止は避けなければならないし、利便性から航続距離や充電回数は減らしたい。バッテリーを沢山搭載すれば重量が増し、価格も高くなる。一方で抜本的な電池の性能向上は未だに見えておらず、高効率なエンジンを活用する方策は有効である。

本研究では、これまで研究が行われてこなかった、発電機と組み合わせる小型エンジンの熱効率を向上させて、上述した小型電気自動車の性能改善を図るものである。筆者らが知りうる限り同様な研究は行われていないことから、独自色の強い研究である。

また、本研究は小型電気自動車の性能向上だけでなく、排出ガス・燃費規制を受けていない定置用小型エンジン（出力19kW以下）の性能改善に新たな潮流を生み出すと共に、エンジンと発電機を最適化して高効率化を図り、温暖化ガス排出削減に寄与すると期待される。

加えて、小型エンジン製造会社、電動機製造会社などとの連携を促進して、エンジンを加えた電動化分野のさらなる発展を促すと想定している。

3. 研究の経過及び結果・評価

上述した研究目的、期待される効果を得るために、2020 年度は次の三点について研究を実施した。

(1) サイクルシミュレーションソフトにおけるエンジンモデルの一部改良

2019 年度に AVL Boost を用いて作成したエンジンモデルの改良を試みた。2019 年度モデルは、高膨張比サイクルに対応しておらず、この点の改良を行っている。継続して改良を行っているが、併せて実験データとの整合性を図り、モデルの玉成を行っていく。図 1 に改良中のエンジンモデルを示す。

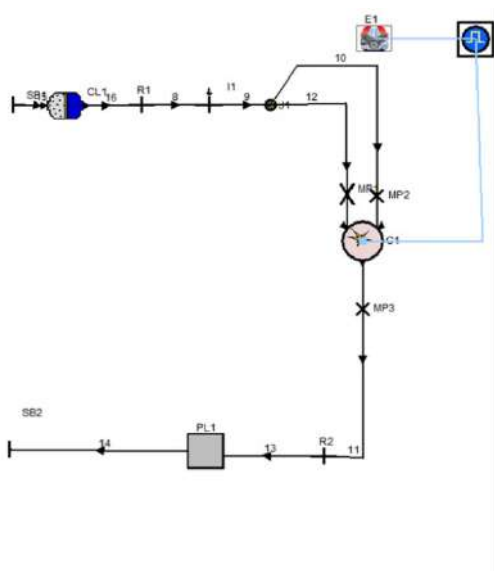


図 1 改良中のエンジンモデル

(2) 高膨張比サイクル実現のための外付け吸気抑止弁の設計と製作

過去に外付けの吸気抑止弁を設計・製作した。一方で当該品は大きく、重い、作動がスムーズでない等の問題点があり、使用を断念して新規に設計・製作を行った。図 2 に新規に設計・製作した弁の図面を外観を示す。エンジンのスロットル弁と同じ構造とし、360 度回転できるように工夫した。回転部をエンジンと共に回転させて、吸気弁が閉じる 10 度以前に、吸気を抑止して吸気量を減じて高膨張比を実現する。2021 年度、小型エンジンへ搭載して、高膨張比サイクルによる性能向上を確認する。なお、図 3 に示すように、従来試作品に比べてコンパクトにできている。

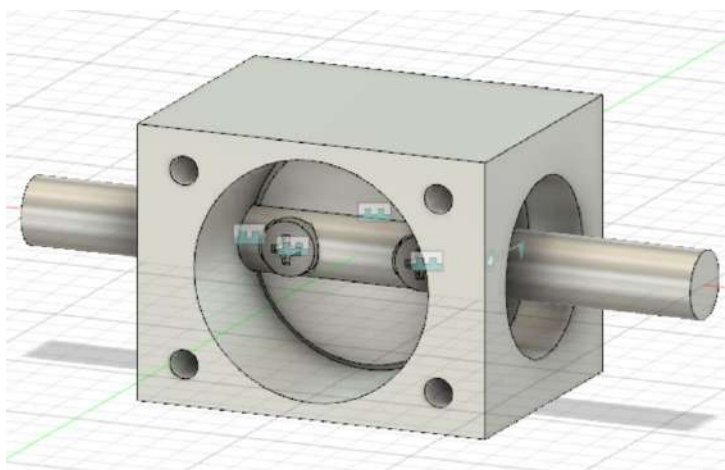


図2 新規に設計・製作した外付け吸気抑止弁



図3 外付け吸気抑止弁の新旧比較

(3) 自己励磁発電実験装置の製作とトライアル

図4に示す過去に製作した実験装置を一部改良して用いることにした。自己励磁現象は三相誘導機の各相間にコンデンサを追加することで発電電圧を昇圧させることができる現象であり、古くから知られているものの学術的な解明は少ない。2020年度は、コンデンサの容量を変数にして、発電実験を実施した。図5に実験結果を示す。使用した電動機の場合、コンデンサ容量 $5\mu\text{F}$ にて発電電圧が上昇する点があり、最大電圧点が見出せる可能性がある。これにより、MPPT制御 (Maximum Power Point Tracking 制御) を用いることができる可能性を見出すことができた。今後、実験を継続して、この制御方法に関する手法を構築する予定である。

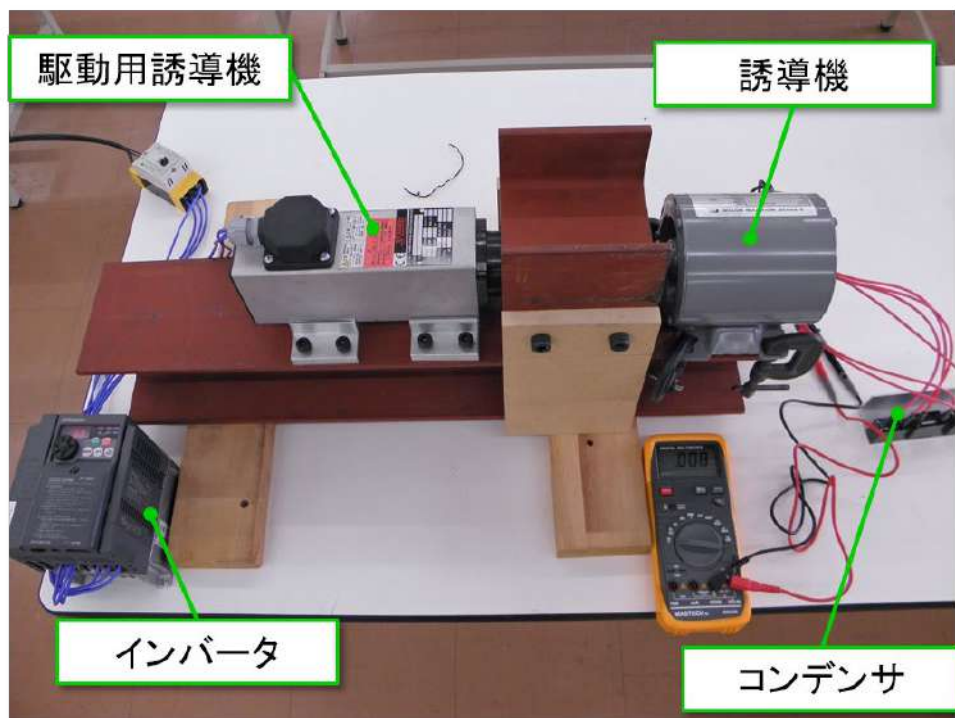


図3 自己励磁発電実験装置

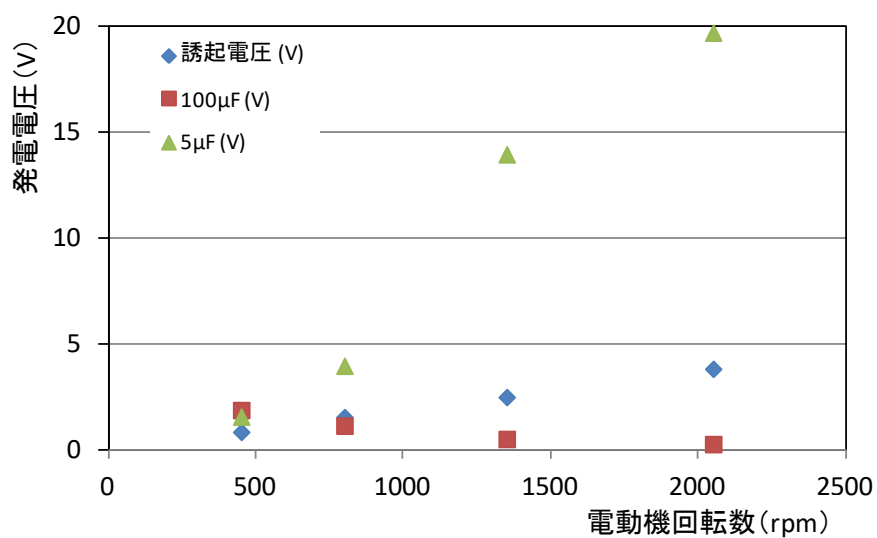


図4 自己励磁発電実験結果

5. 今後の計画

本研究テーマは継続して令和三年度の学内重点配分研究に採択されている。今後は残りの課題である、高膨張比デバイスのエンジンへの適用及び効果実証試験、自己励磁発電システムの実証試験、および、高膨張比エンジンと自己励磁発電システムを組み合わせた効果確認試験を実施する予定である。また、本研究テーマを発展させるために、同

テーマでの科研費申請を行う（基盤BかCを予定）。

6. 研究成果の発表

2020 年度は学外での発表は行っていない。本年度、国内発表三件を行う予定である。