

自動車の燃料消費試験への知的制御の適用

Intelligent Control System to Fuel Consumption Examination of Car

櫻井 敬紹 安信 誠二

Takatsugu Sakurai Seiji Yasunobu

筑波大学 システム情報工学研究科

Graduate School of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba

Abstract: An expert has carried out the fuel cost mode test run. The test run carries out so frequent that stress of the expert increases. Then, if we try to automate the test run using conventional control, it is very difficult to carry out the test run like the expert. In this paper, we applied an intelligent control to the fuel consumption examination, and confirmed the effectiveness.

1 はじめに

現在、CO₂の排出を抑えようとする動きが強くなってきている中で、ハイブリット車のような燃費の良い車が注目されている。燃費の良い車を開発する段階で必ず燃費を測定する必要があるが、現在行われているのは10・15モード燃費とJC08モード燃費の2種類の燃料消費試験[1]であり、その全てが試験の熟練者によって行われている。そして、開発段階ではロムやギアの設定を変更する度に試験を行うので、熟練者が何度も集中して走行することになり、かかる負担が大きい。そこで試験の無人化が図られている[2][3]。

しかし、従来の制御手法では熟練者のような良い燃費で走行することが難しい。それは、良い燃費で走行することが単なる速度追従と違い、非線形性を持つからであり柔軟な制御が必要となるからである。一方で、熟練者は効率よく走行する運転知識、つまり省エネ運転知識を用いてうまく走行することができる。

そこで、人間の感覚や知識などを取り入れた柔軟な制御が可能な知的制御の適用を考える。本論文では人間の考えを柔軟に取り込めるファジィ制御で熟練者の考えを取り入れてルールを作り、そのルールを組み込んだ省エネ運転システムを提案する。そして10・15モード燃料消費試験のうち市街地を想定した10モードの走行を1サイクル行い、PD制御と人間の運転の両者と提案するシステムを比較して有効性を検証する。

2 走行試験熟練者の運転

自ら燃料消費試験のシミュレーションを繰り返し行って得た経験と知識より、シミュレーションでは与えられた許容範囲を限界まで使ってよい燃費で走行できた。

これは経験によって、どのように運転したら良い燃費で走行することができるのかを学んで知っているからである。そして走行時に意識的又は無意識のうちに、この状態だとこのように動かすと効率良く運転ができるといった具合で知識を用いているからである。ここで以下の3つ

- 与えられた範囲内の速度で走行
- ゆるやかな加速
- 惰性走行

を省エネ運転知識として扱う。次にそれぞれの内容を具体的に説明する。

2.1 与えられた範囲内の速度で走行

人間は与えられた指示速度と許容範囲を見ながら走行し、許容範囲から逸脱しないようにアクセルを踏む力の強弱を決めている。具体的には、今は指示速度より早い速度だから少しアクセルを弱くしてみようとか、許容範囲の下限付近で逸脱しそうだからもう少しアクセルを強めに踏もうといった具合に考えて走行している。具体的には以下のような言語則として表す。

- (i) 速度が許容範囲の下限にとっても近い、指示速度が0でなく、一定速度でないならば、アクセルだけを強く踏む。
- (ii) 速度が許容範囲の上限にとっても近いならば、ブレーキだけを強く踏む。
- (iii) 指示速度が0の時、ブレーキだけを強く踏む。

2.2 ゆるやかな加速

ゆるやかな加速はギア比とエンジンの特徴に大きく関連している。車は特に発進時はギアが低く高回転になりやすいため、燃料を必要以上に消費

しやすい。急な加速を行おうとすれば高回転になり無駄に燃料を消費し燃費の悪化につながるため、できるだけ低速で加速し、なるべく早くギアを上げて高いギアで走行することが望ましい。そして、エンジンの特徴よりアクセルを踏んだ分だけ燃料は消費されてしまうので、余分な燃料を使わないように、また早くギアを上げるように許容範囲の下限近くで加速していく。具体的には以下のような言語則として表す。

- (iv) 速度が許容範囲の下限に少し近い、指示速度が0でなく、一定速度でないならば、アクセルだけを軽く踏む。
- (v) 速度が許容範囲の下限に近いならば、アクセルだけを少し強く踏む。
- (vi) 速度が指示速度の付近、指示速度が0でなく、一定速度でないならば、アクセルもブレーキも踏まない。
- (vii) 速度が許容範囲の上限に近いならば、ブレーキだけを軽く踏む。

2.3 惰性走行

惰性走行はドライバーがアクセルもブレーキも踏まずに自動車が進む走行である。惰性走行を使えばその間は燃費が非常に良くなるため、積極的に燃料消費試験に取り入れて走行する。具体的には加速して一定速度走行に移る時に、わざと速度を指示速度 2km/h の上限まで上げて減速が必要な状況を作り出し、それから惰性走行を行って燃料を使わない時間を増やすという走行を行っている。具体的には以下のような言語則として表す。

- (viii) 偏差が上限近くでなく、加速時、指示速度が0でなく、一定速度に入る手前、低速時なら、アクセルだけを強く踏む。
- (ix) 偏差が上限近くでなく、加速時、指示速度が0でなく、一定速度に入る手前なら、中速時なら、アクセルだけを少し強く踏む。
- (x) 偏差が上限近くでなく、加速時、指示速度が0でなく、一定速度に入る手前なら、高速時なら、アクセルだけをとても強く踏む。
- (xi) 偏差が少し下限に近く、減速時、指示速度が0でなく、一定速度中、アクセルだけを中程度踏む。
- (xii) 偏差が指示速度付近、減速時、一定速度中、アクセルもブレーキも踏まない。

3 知的制御を用いた省エネ運転システム

3.1 省エネ運転知識

シミュレーションにより得た知識をファジィルールで記述し、これを省エネ運転知識とする。ここで (a) 速度偏差 (km/h) と、(b) 現在の速度 (km/h) と (c) 現在の加速度 (km/h/s)、(d) 指示速度 (km/h) と (e) 指示加速度 (km/h/s) の 5 つを前件部とし、アクセル開度 (%) とブレーキ踏力 (N) を後件部とした。速度偏差は指示速度から現在の速度を引いた値とし、正 (positive) の場合は指示速度より遅い、そして負 (negative) の場合は指示速度より速いことを表す。用いたファジィルールとシングルトン後件部の値を以下に示し、前件部のファジィ集合を図 1 に示す。

【範囲内の速度で走行】

- (i) If 速度偏差が positive limit and 指示速度が zero でない
then アクセルを high2 and ブレーキを zero
- (ii) If 速度偏差が negative limit
then アクセルを zero and ブレーキを high
- (iii) If 指示速度が zero
then アクセルを zero and ブレーキを veryhigh

【ゆるやかな加速】

- (iv) If 速度偏差が positive and 指示速度が zero でない
then アクセルを mid and ブレーキを zero
- (v) If 速度偏差が little positive 指示速度が zero でない and 指示加速度が zero でない
then アクセルを low and ブレーキを zero
- (vi) If 速度偏差が mid and 指示速度が zero でない and 指示加速度が zero でない
then アクセルを zero and ブレーキを zero
- (vii) If 速度偏差が negative
then アクセルを zero and ブレーキを mid

【惰性走行】

- (viii) If 速度偏差が not negative and 速度が low speed and and 加速度が up 指示加速度が zero
then アクセルを high and ブレーキを zero
- (ix) If 速度偏差が not negative and 速度が mid speed and and 加速度が up 指示加速度が zero
then アクセルを high2 and ブレーキを zero

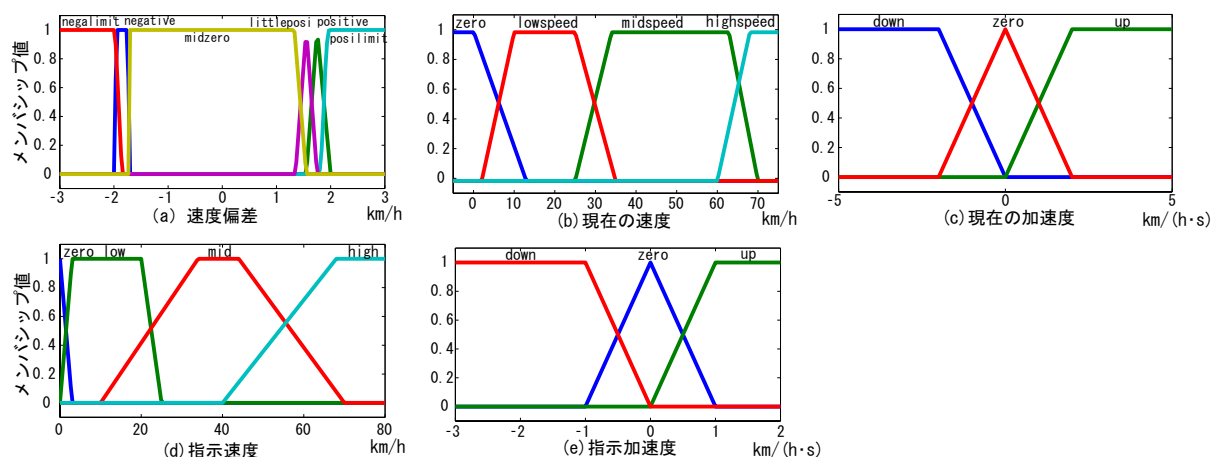


図 1: 前件部のファジィ集合

- (x) If 速度偏差が not negative and 速度が high speed and and 加速度が up 指示加速度が zero then アクセルを high3 and ブレーキを zero
- (xi) If 速度偏差が little positive and 加速度が down and 指示速度が zero でない and 指示加速度が zero then アクセルを midhigh and ブレーキを zero
- (xii) If 速度偏差が mid and 加速度が down and 指示加速度が zero then アクセルを zero and ブレーキを zero

【後件部の値】

<アクセル>

zero=0 low=7 mid=17 high=23
high2=25 high3=28

<ブレーキ>

zero=0 low=150 mid=300 high=450
veryhigh=550

これら 12 個のルールをファジィルールとして簡易ファジィ制御で制御器を作成した。

4 10・15 モード燃料消費試験

燃料消費試験はシャシーダイナモのローラーの上でタイヤを回転させ、実際の走行を模擬して行われる [5]。試験には細かい規定が定められているが、大まかには、暖機運転を行った後に市街地を想定した 10 モードと、郊外を想定した 15 モードの走行をそれぞれ 3 サイク

ルと 1 サイクル、計 4 サイクルを連続で行って燃費を計測するのが 10・15 モード燃料消費試験である。この燃費計測では、速度は上下 2 km/h、時間は上下 1 秒以内の許容範囲が設定されている。試験自体は屋内で行われるが、空気抵抗等はシャシーダイナモのローラーの抵抗として考慮されている。

5 シミュレーション実験

今回は 10・15 モード燃料消費試験の一部で市街地を想定した 10 モード走行のシミュレーションを、人間による走行と PD 制御の両者と本システムを比較して実験した。制御系設計支援ツール MATLAB/Simulink(The MathWorks Inc.) を用いて設計し、車両モデルは MATLAB/Simulink にて提供されているオートマチック自動車シミュレータ sf_car を用いた。このモデルに燃費計算部を付加し、燃費マップ (図 3) にエンジンの回転数とトルクを入力して得られた瞬間使用燃料の積算と走行距離から燃費を求めた。また、シミュレーションを図 2 の様に作成して行った。

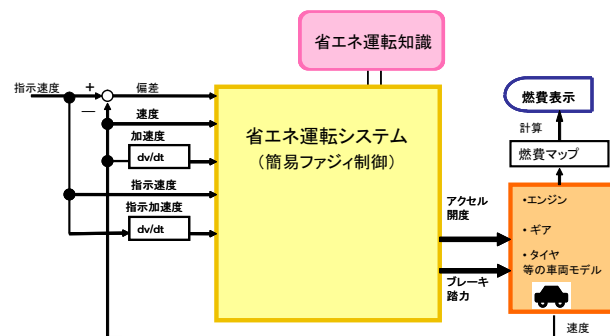


図 2: シミュレーション構成図

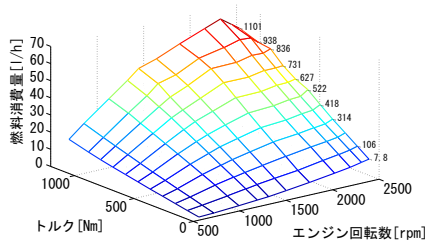


図 3: 燃費マップの例

5.1 人間による走行

獲得した省エネ運転知識を用いて人間による走行と提案するシステムの走行の違いを比較するために図 4 に示すハンドル、アクセルとブレーキ (GTForcePro(Logicoil Inc.)) を用いて何度も走行試験を行った。10 モード走行のシミュレーションにおいて、省エネ運転知識を踏まえながら走行し、燃費と速度推移の形状が安定した状態を自ら運転した実験における熟練とみなす。実験のサンプリング時間は 40msec である。



図 4: シミュレーション装置

今回用いたモデルでは図 5 のような山型の速度推移の時に最も燃費が良かったため、この形状を採用して実験を行った。真ん中の線が指示速度であり、上の線が指示速度 + 2km/h の上限、下の線が指示速度 - 2km/h の下限である。

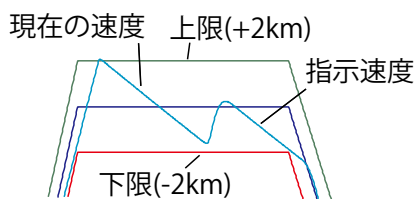
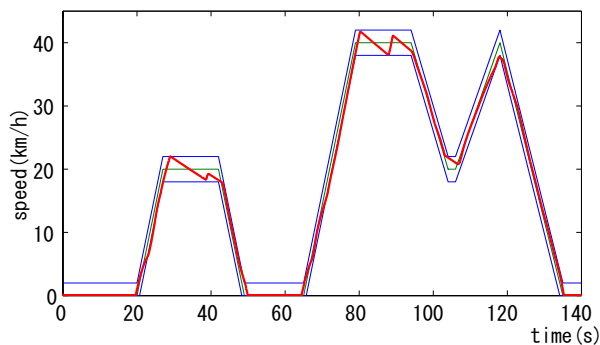
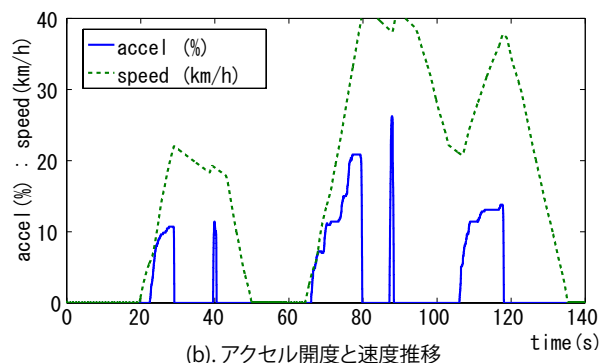


図 5: 今回行ったシミュレーションの一部

運転が熟練するまで百数十回繰り返した後に走行実験を 30 回行った結果、燃費の平均値が 7.9km/l であり、図 6 の走行結果とアクセル開度の時に燃費 8.1km/l となり最も良い燃費となった。



(a). 走行結果(燃費 8.1km/l)



(b). アクセル開度と速度推移

図 6: 熟練した人間による走行

5.2 PD制御による走行

省エネ運転知識を考慮しない追従制御の場合の燃費を示す。アクセルとブレーキの比例ゲインを各々 10(%/km/h) と 10(N/km/h)、微分ゲインを各々 1(%/(km/h/s)) と 1(N/(km/h/s)) に設定して走行を行った結果、図 7 のようになり燃費は 6.7km/l となった。速度推移は指示速度より 2km/h 低い限界近くを上手く通っているが、人間による運転に比べて約 2km/l 燃費が悪いという結果になった。

5.3 知的省エネ運転システムによる走行

簡易ファジィ制御を用いて、先に述べた省エネ運転知識を組み込み、走行試験を行った。図 8(a) の走行結果が示すように、許容範囲を逸脱することなく、加速時には許容範囲の下限を通り、一定速度時には惰性走行を取り入れて走行している。燃費は 7.9km/l となり、人間による走行の燃費とほぼ同じ燃費で走行することができた。図 8(b) にアクセル開度を示し、以下の表 1 に今回の実験の結果を示す。

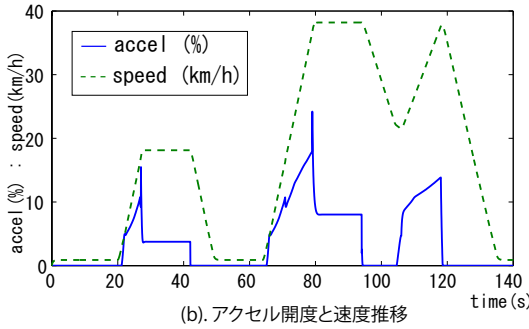
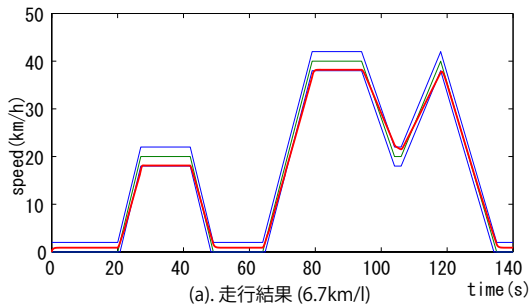


図 7: PD 制御による走行

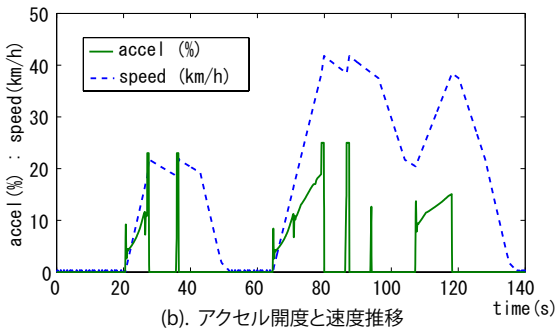
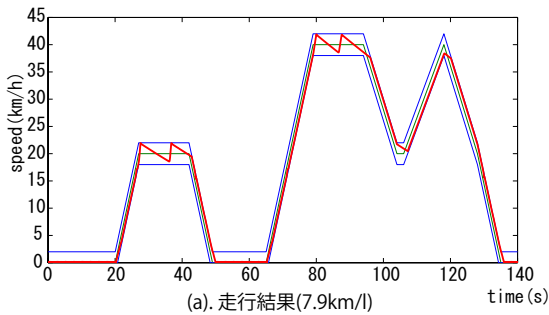
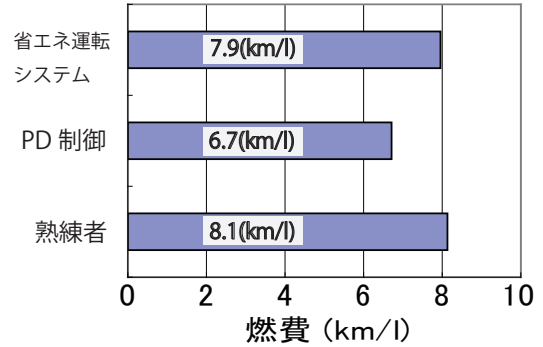


図 8: 省エネ運転システムによる走行

表 1: 実験により得られた各々の燃費



ることが難しいという欠点がある。知的制御は省エネ運転知識を走行に反映させ、人間による走行とほぼ同じ燃費で走行することができた。また、そのまま以下の図 9(a) に示す 15 モード走行 (9.2km/l) と図 9(b) に示す 10・15 モード走行試験 (8.6km/l) に適用し、汎用性と再現性があることを確認した。

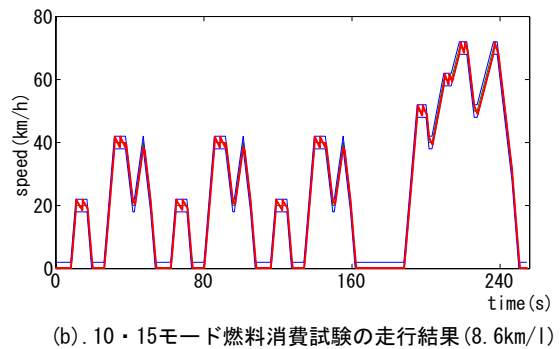
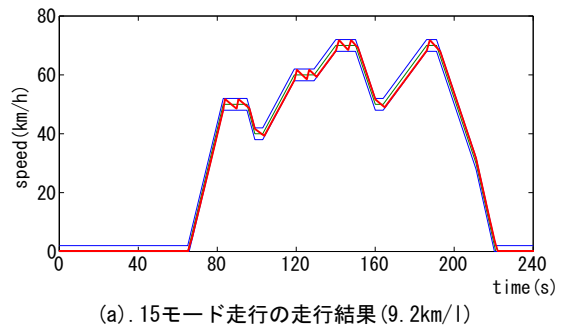


図 9: 省エネ運転システムによる他モード走行

6 考察

PD 制御は一定速度に入った時にも目標速度に追従して燃料を使い続けて走行してしまうため、省エネ運転を行うには限界がある。人間による走行は良い燃費で走行できたが、この値を出すまでに百数十回の実験回数を要した。また人間は毎回同じ良い燃費で走行す

7 おわりに

本論文では燃料消費試験における燃費の向上を目的とし、知的制御にて省エネ運転知識を組み込んだ省エネ運転システムを提案した。そして人間による走行と、知識を考慮しない PD 制御の両者と本システムを比較してシミュレーション実験を行った。その結果、知識

を組み込むことにより燃費が向上し、人間による走行と同様の燃費で走行することができ、知的制御は燃費の向上に有効であることを確認できた。

参考文献

- [1] 「燃費基準値の計測方法」
<http://www.priuslife.com/kentou/prius40.html>
- [2] 菅野正康「非ガスモード走行試験における運転ロボットの車速追従制御」, 24th Fuzzy system symposium pp411-412 (Osaka, September 3-5, 2008)
- [3] 山口伸平, 「専門家の運転知識を用いた省エネルギー知的自動車制御の構築」, 筑波大学システム情報研究科修士論文 2008
- [4] 「交通安全環境研究所」
(<http://www.ntsels.go.jp/sinsa/syaryou/syaryou02.html>)
- [5] 国土交通省自動車交通局技術安全部、独立行政法人・交通安全環境研究所監修, 「新型自動車審査関係基準集」, 交文社
- [6] 安信誠二, 「ファジィ工学」, 昭晃堂, 1991 .

連絡先

櫻井 敬紹

E-mail: sakurai_ics@edu.esys.tsukuba.ac.jp