

電子制御装置の故障に関する研究

— 電子制御スロットル使用車両におけるフェイルセーフ例の考察 —

自動車工業科

指導教員 成田 大祐

柿崎 陣

1 まえがき

ある装置が故障した場合に、暴走等の危険な状態にならないように安全な状態に制御をする機構がフェイルセーフである。自動車の場合、暴走はもちろん、道路の真ん中に停止してしまっても、危険な状態になる可能性がある。そこで、エンジン制御において、フェイルセーフ状態になると、致命的な故障でない限りは、低速でも何とか走行できるケースがほとんどである。

近年、自動運転を始め、自動ブレーキ等、自動車における電子制御化が急速に進んでいる。このような技術が普及するために重要な役割を果たしているのが、電子制御スロットルである。

電子制御スロットルを使用することで、従来のケーブル式では難しかったエンジン出力の微妙な調整が可能となった。今回、この電子制御スロットルを使用した車両において、特定のセンサが故障した場合に、どのようなフェイルセーフとなるか外部診断機を使用して実験を行った。

2 電子制御システム

2.1 電子制御スロットル

現在、電子制御スロットルが広く普及している。従来はアクセルペダルとスロットルを機械的にケーブルで繋いでいたが、これらを電氣的に接続したものである。

図1に示すようにアクセルの支点部分にアクセル・ポジション・センサを取り付け、電氣的にアクセル開度を検出し、コンピュータを介して図2に示すような電子制御スロットルに信号を送り、スロットル・バルブを電氣的に制御するものである。

この機構により、アイドル調整のためのISCV(アイドル・コントロール・バルブ)が不要となり、さらにTCS(トラクション・コントロール・システム)やECS(横滑り防止装置)が普及し、すべての新型車で標準装備となったことで、交通事故軽減に寄与している。

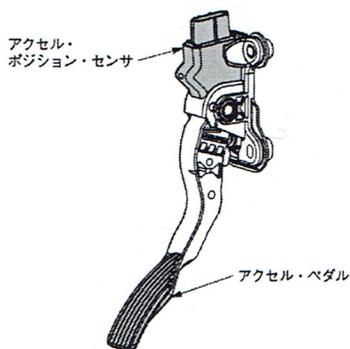


図1 アクセル・ポジション・センサ(文献リより引用)

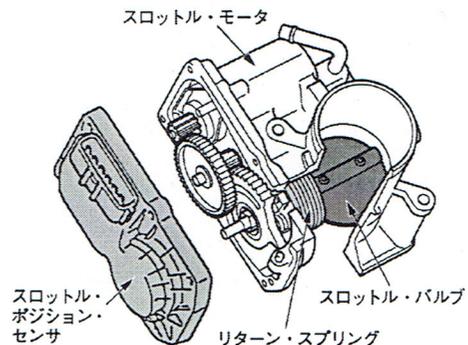


図2 電子制御スロットル(文献リより引用)

2.2 吸入空気量検出装置

空燃比を決めるには吸入している空気量を検出しなければならない。

現在、空気量検出方式には大きく分けて二つの方式がある。エア・フロー・メータを使用して直接空気量を検出する方式とバキューム・センサを使用して、インターク・マニホールド圧力から間接的に空気量を検出する方式である。

これらは基本方式を開発した会社の母国語であるドイツ語の頭文字を使用し、前者をLジェトロ、後者をDジェトロと呼ぶ。現行の車両はどちらの方式も存在するが、一般的には直接空気量を検出するLジェトロの方が、有利と言われ普及している。

さらに過去には、様々な種類のエア・フロー・メータが使われたが、現在は熱線式エア・フロー・メータが一般的である。

3 実 験

3.1 実験車両

実験では、電子制御スロットルを使用している実習車両である図3、表1に示すスズキワゴンRを使用した。この車両は図4、図5、表2に示すように最近多くなっているエア・フロー・メータとバキューム・センサ(表2ではプレッシャセンサと表記)の両方を使用している。新型車解説書²⁾に記載はないが、Lジェトロが主流の現在、この車両はLジェトロベースでバキューム・センサは補助的な役割を持っていると予想される。

今回の実験では、電子制御システムにおいて非常に大切であるこの二つのセンサが断線した場合におけるフェイルセーフに焦点をあてる。以前の実験³⁾でも行ったように、実際に配線を切断するわけにはいかないことから、コネクタを外す事で代用した。また、突然のエンジン停止を避けるため、アイドル・ストップ機能は解除して実験を行った。

表1 エンジン仕様(文献²⁾より引用)

仕様	NA
型式	R06A型
エンジン種類	ガソリン・4サイクル
気筒配列、気筒数及び配置	直列3気筒・横置き
燃焼室：形式	ペントルーフ形
弁機構	2カム4バルブ/チェーン駆動
総排気量	0.658L
ボア×ストローク	64.0×68.2mm
圧縮比	11.0
最高出力/エンジン回転速度(ネット)	38kW/6,000rpm
最大トルク/エンジン回転速度(ネット)	63N・m/4,000rpm



図3 スズキワゴンR(文献²⁾より引用)

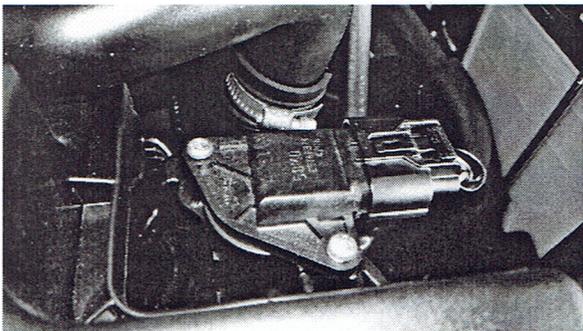


図4 エア・フロー・メータ

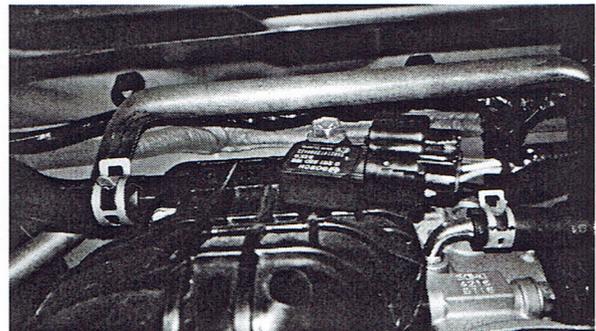


図5 バキューム・センサ

表 2 エンジン制御項目の一部(文献²⁾より引用)

制御項目	燃料噴射制御	点火時期制御	電子スロットル制御
入出力装置 (又は信号)			
イグニッション信号	●	●	●
インテークカム角センサ	●	●	●
エキゾーストカム角センサ	●	●	●
クランク角センサ	●	●	●
フレッシュセンサ	●	●	●
エアフローメータ	●	●	●



図 6 DENSO DST-2

3.2 外部診断機

今回の実験データを取得するにあたり、図 6 のような実習で使用している外部診断機である DENSO DST-2 を使用した。取得したデータは DST-2 と専用アプリケーションをインストールした PC を USB 接続することで転送し、解析を行った。

図 7 以降のグラフはこの専用アプリケーションを使用したものであり、測定データは各々の実験において、比較的重要と思われるものを選定している。

横軸は時間であり、縦軸に関してはスケールを変更した方が良いものもあるが、専用アプリケーションの都合上、簡単に変えることができないため、止むを得ず見難い値になっているものもある。

4 実験結果および考察

4.1 エア・フロー・メータが断線した場合

アイドリング中(以後同様)、約 16.5sec 時にエア・フロー・メータが断線した場合を図 7 に示す。横軸は 3sec/div であり、グラフ上の右側のデータは断線後の縦線のある部分のデータである。

左側のデータは断線前の正常時、真ん中の縦線のある部分のデータである。これらのデータより、ISCV 機能をも兼ねた電子制御スロットルの開度は 2.35% の開度であることが分かる。その他のデータに関しては一般的な他車と変わらないと思われる。

断線すると、メータパネル上の警告灯が図 9 のように点灯した。右端のチェックエンジン・ランプの点灯は容易に想像できるが、一見関係のない、右から ESP(横滑り防止装置)と RBS(衝突被害軽減ブレーキ)も同時に点灯した。実際に試してはいないが、警告灯が点灯していることから、フェイルセーフによりこれらの作動も停止したと思われる。なお、この時の故障コードは“P0102 エアフローメータ系統, P0113 吸気温センサ系統”の 2 つであった。P0113 に関しては、エア・フロー・メータ内に吸気温センサが内蔵されているために同時に記憶したものだと考えられる。

グラフでは分かりにくいですが、まず吸入空気量が 0.00g/sec となる。さらに、断線した瞬間に吸入空気温が、 -40°C となっていることが分かる。これは吸気温センサ本体でもあるサーミスタが断線したことにより、抵抗値が無限大となることで、コンピュータ自身が内部で設定する値であり、他メーカーでも用いられる最も一般的な値である。

また、断線した瞬間いくつかのデータに多少乱れがあるが、安定するとスロットル開度が 3.13% となり、それに合わせ回転速度は 1,023rpm と大きくなっている。しかし、それに反して、点火時期は 6.5° と遅くなっている。

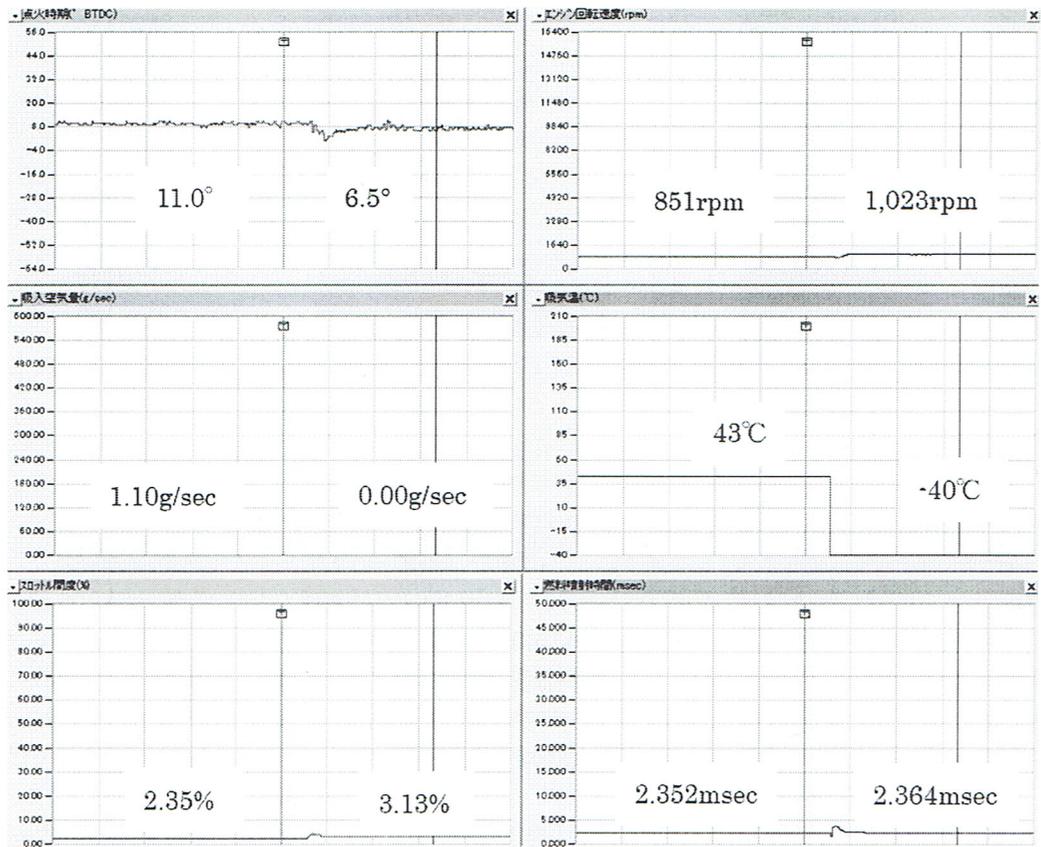


図 7 エア・フロー・メータが断線した場合

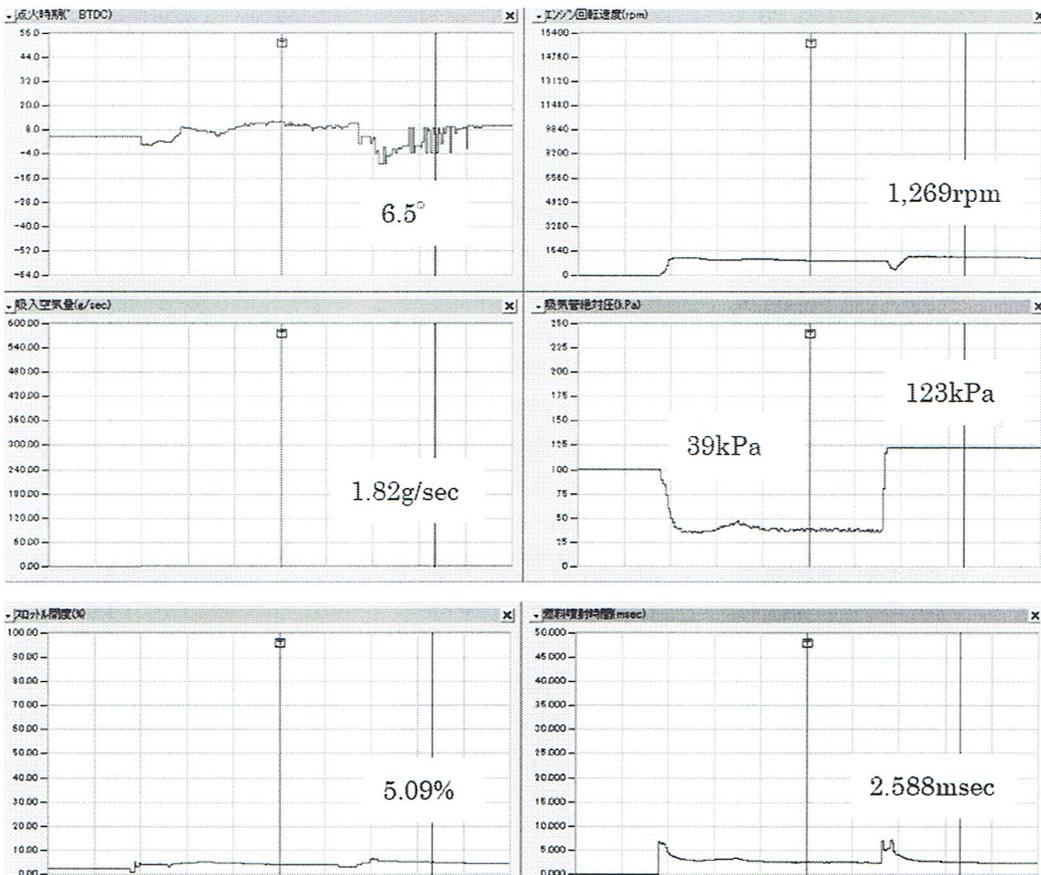


図 8 バキューム・センサが断線した場合

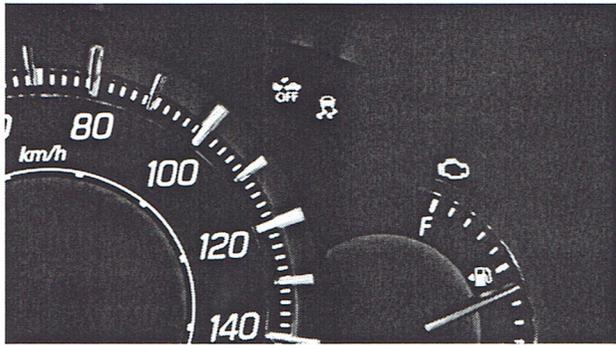


図9 警告灯1(エア・フロー・メータ断線時)

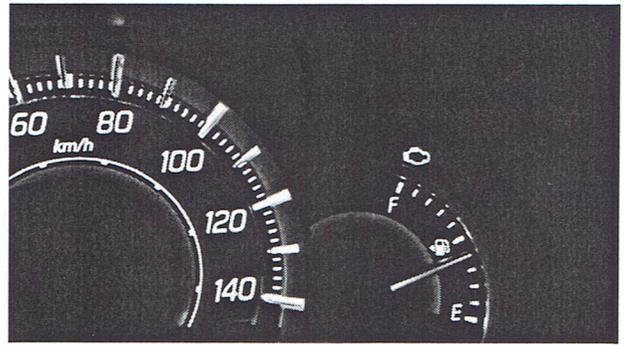


図10 警告灯2(バキューム・センサ断線時)

4.2 バキューム・センサが断線した場合

何度か行ったが、断線した瞬間にエンストしてしまった。なお、再始動は可能であった。たまたまエンストしなかった時のデータを図8に示す。横軸は3sec/divであり、このデータに関しては、約5sec時にエンジンを始動した様子も記録されている。実際に断線したのは約20sec時である。

断線すると、エア・フロー・メータ同様、図10のようにチェックエンジン・ランプが点灯したが、他のランプは点灯しなかった。なお、この時の故障コードは“P0108 プレッシュャセンサ系統”のみであった。この結果より、バキューム・センサよりもエア・フロー・メータの方が、システム上重要な役割を持っていると判断できる。

なお、エンストの原因は、以前の実験³⁾と同様にバキューム・センサを外した際に燃料が7msec程度の非常に濃い状態となったことだと思われる。エンストしなかった図8からも回転速度がかなり落ち込み、点火時期も乱れていることが分かる。この現象に関しては以前の実験³⁾でも検討したが、恐らくコネクタを外す際に発生したノイズが原因と思われる。このことから、センサ構造によるものなのか、エア・フロー・メータに比較して、断線時の影響が強いといえる。

さらに断線したことから、バキューム・センサの値は123kPaという正圧値に固定された。以前行った実験³⁾でもバキューム・センサ断線時に圧力が固定値になったのは同じだが、その値に見合った燃料噴射量(固定値)となるフェイルセーフであった。しかし今回、燃料噴射量は正常時とほとんど変わってないことが分かる。

また、スロットル開度が5.09%とかなり大きくなり、回転速度もそれに合わせて1,269rpmと大きくなっている。

4.3 エア・フロー・メータ、バキューム・センサの順に断線した場合

約36sec時にエア・フロー・メータが断線し、約46sec時にバキューム・センサが断線した場合を図11に示す。横軸は6sec/divである。

まず、エア・フロー・メータが断線した場合は4.1と同様である。その後バキューム・センサが断線すると、バキューム・センサのみ断線した4.2と違い、エンストすることは一度もなかった。燃料噴射量を見ても、断線した瞬間に濃くなる現象は見られなかった。

他のデータを見ても、エア・フロー・メータ断線時のデータと変化が見られないため、エア・フロー・メータ断線時のフェイルセーフ状態ではバキューム・センサ断線時の反応が正常時とは異なると思われる。

4.4 バキューム・センサ、エア・フロー・メータの順に断線した場合

約37sec時にバキューム・センサが断線し、約47sec時にエア・フロー・メータが断線した場合を図12に示す。横軸は6sec/divである。これも4.2同様、エンジ

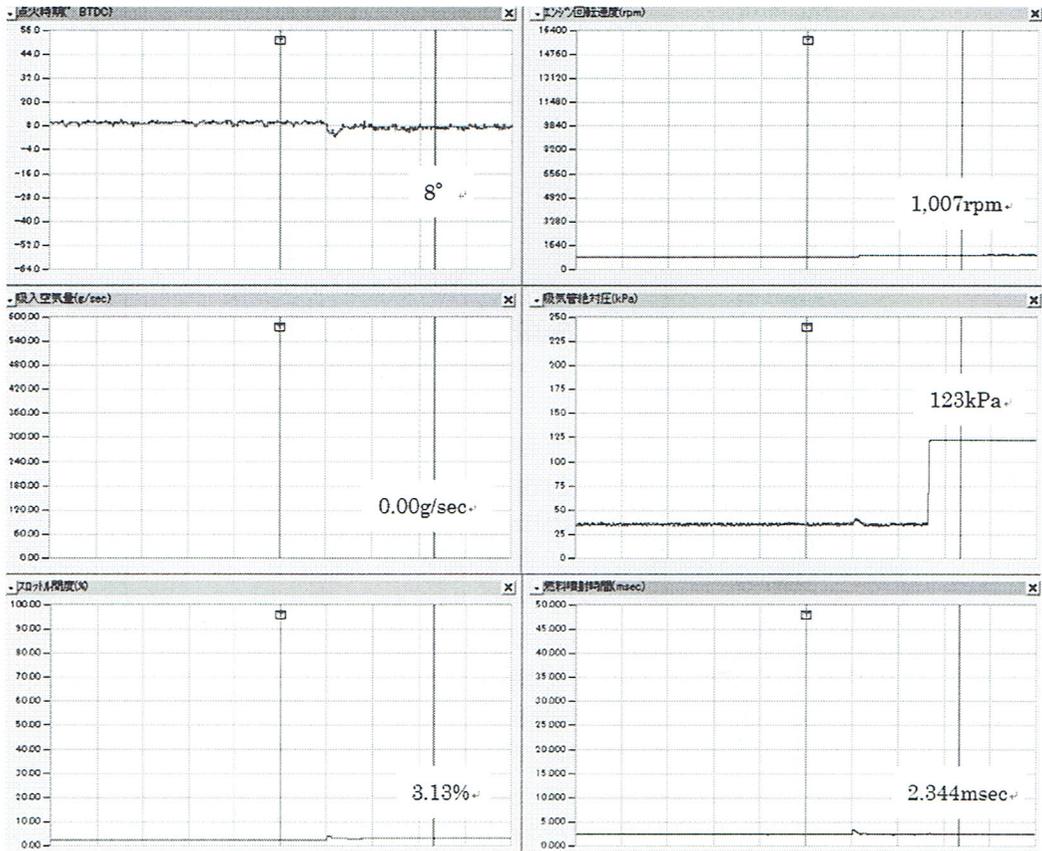


図 11 エア・フロー・メータ，バキューム・センサの順に断線した場合

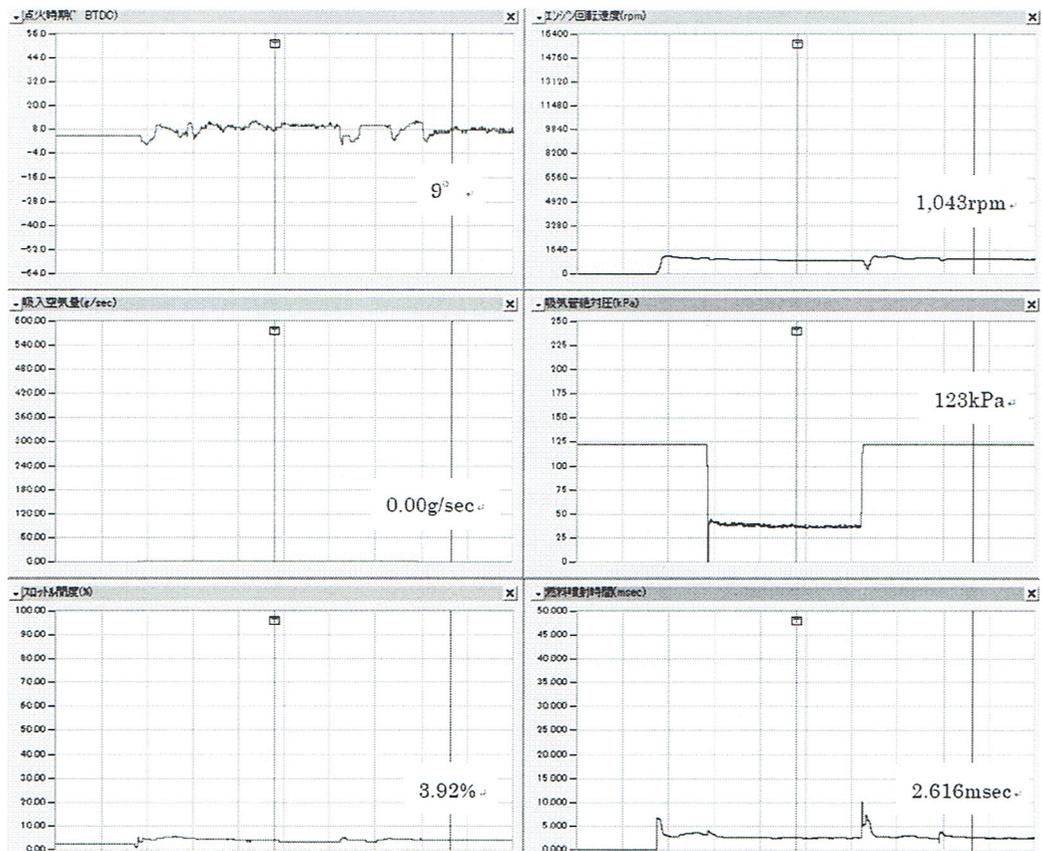


図 12 バキューム・センサ，エア・フロー・メータの順に断線した場合

ン始動時のデータも記録されている。

まず、バキューム・センサが断線した場合は 4.2 と同様に何度もエンストした。その後エア・フロー・メータが断線すると、エア・フロー・メータ単体が断線した 4.1 のように燃料噴射量が一瞬変化している。

その後のデータは、スロットル開度やエンジン回転速度等、4.1 に近いことが分かる。

警告灯に関しては、図 9 同様、エア・フロー・メータが断線した時点で、ESP と RBS が点灯した。

4.5 空ぶかし(二度アクセル全開)をした場合

図 13 は正常な状態、図 14 はエア・フロー・メータが断線した状態、図 15 はバキューム・センサが断線した状態、図 16 は両方断線した状態である。横軸は 1sec/div である。

ここでは、4つの状態を比較するためデータを同じグラフに記載している。主に比較を行うために、重要であると思われるアクセル開度、スロットル開度、エンジン回転速度、燃料噴射量、点火時期のデータを表記している。なお、変化度合いを比較するためのグラフなので、縦軸の各スケールは省略してある。

4つのデータを比較した限り、正常な状態との大きな違いは判別できなかった。

ただし、本学構内で積雪がない時期に実走テストを行った感じでは、正常状態以外の 3 パターンとも、40~50km/h 程度の通常走行には全く問題はなく、両方断線した場合の加速時に若干もたつきが見られた程度であった。以前の実験³⁾での、“なんとか走行できる”状態とは格段に異なることが判明した。

5. あとがき

今回使用した車両はエア・フロー・メータとバキューム・センサを装備した車両であるため、当初は 3.1 で述べた L ジェトロベースで、バキューム・センサはあくまで補助的な役割をするものというのは、警告灯の点灯状態からも、恐らく間違っていないと思われる。

しかし、実験結果より以前の実験³⁾で使用した D ジェトロ車のフェイルセーフとは全く異なり、どちらかのセンサが断線しても、また両方断線しても明らかに分かるようなフェイルセーフではなく、ほぼ通常走行に近い状態を維持するフェイルセーフとなることが判明した。

どちらか片方が断線した場合、残されたセンサで制御が可能であることは容易に予想できた。つまりエア・フロー・メータが故障した場合は D ジェトロになり、バキューム・センサが故障した場合は L ジェトロにという具合である。

しかしながら、両方外した状態でも、正常状態に近い制御ができるのは、恐らくスロットル開度とエンジン回転速度から、空気量を割り出す“スロットル・スピード方式⁴⁾”をフェイルセーフとして使用していることが考えられる。これはレーシングカー等特殊な車両に使われている方式とされている。細かい空燃比の計算ができないため通常、一般車両には利用されない方式であるが、フェイルセーフとしては十分使用可能であろう。特に今回のような電子制御スロットルを使用した車両であれば、従来のスロットル・ポジション・センサを使用したケーブル方式に比べ、より正確な制御ができると思われる。

本来は、時間が許せば走行状態でのデータ計測や、アクセル・ポジション・センサと電子制御スロットルのコネクタも外して実験を行いたかったが、コネクタの位置と形状の問題、時間的な問題もあり、できなかったのが残念である。

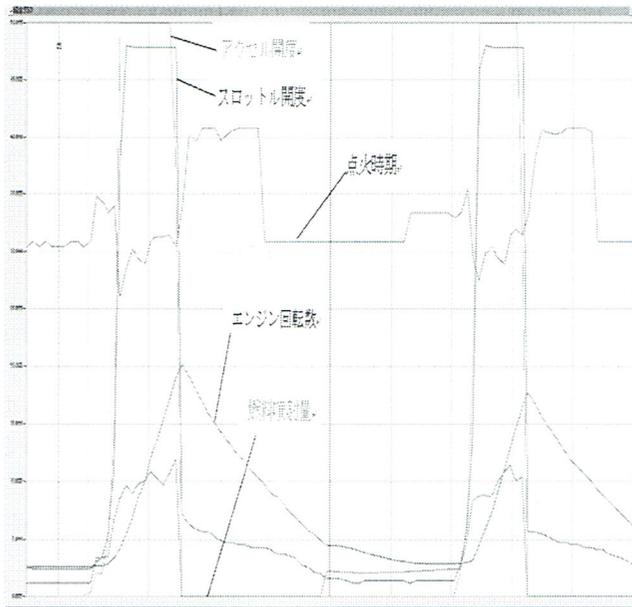


図 13 正常状態での空ぶかし

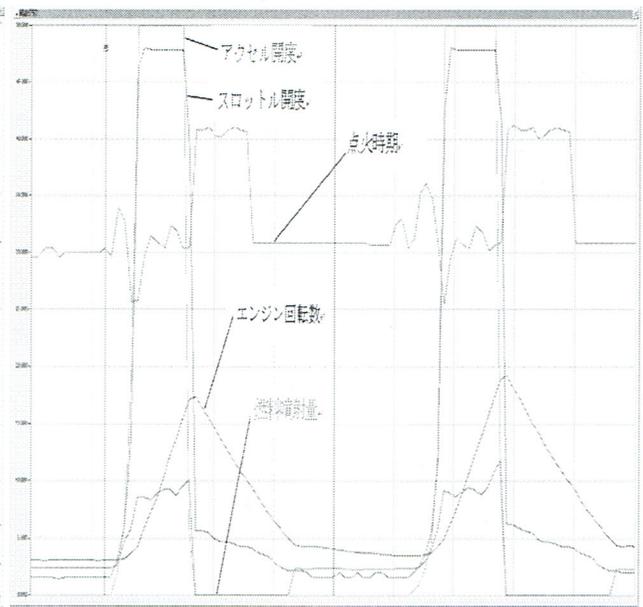


図 14 エア・フロー・メータ断線時の空ぶかし

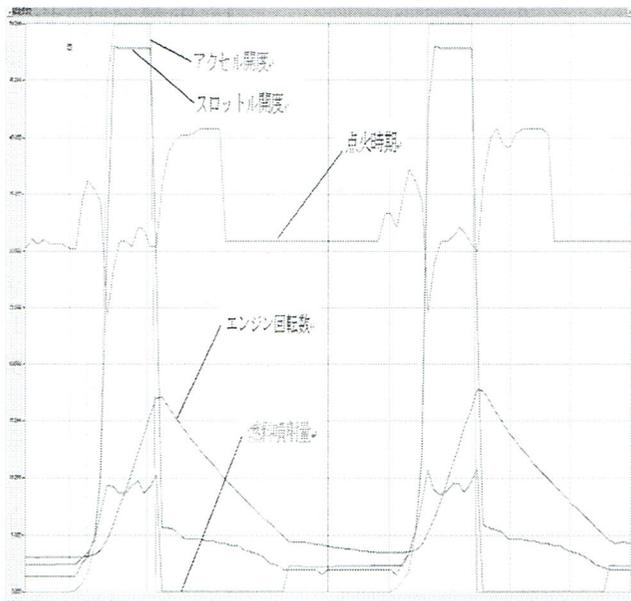


図 15 バキューム・センサ断線時の空ぶかし

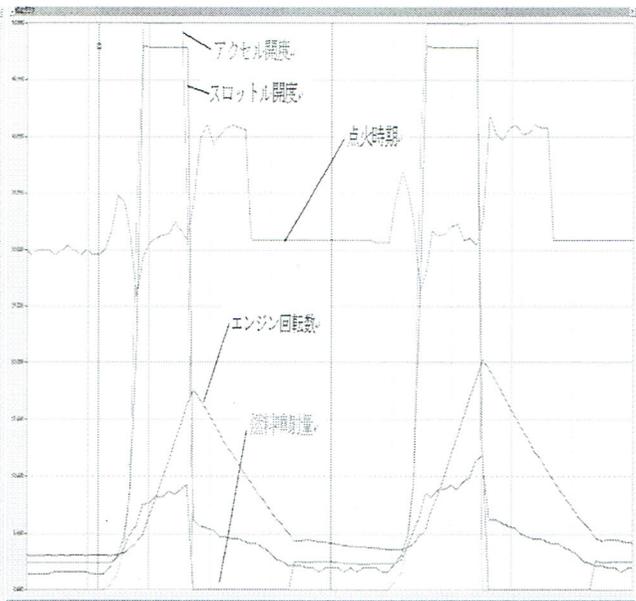


図 16 両センサ断線時の空ぶかし

謝

参考文献

- 1) 二級ガソリン自動車 エンジン編 日本自動車整備振興会連合会 (2015)
- 2) スズキ ワゴン R サービスマニュアル新型車解説書 スズキ株式会社 (2012)
- 3) 木村 誠他：電子制御装置の故障に関する研究
北海道自動車短期大学学生研究紀要第 33 号, 52-59 (2003)
- 4) 藤沢 英也他：新電子制御ガソリン噴射 山海堂 (1993)