

電子制御による駆動方式切替装置の開発

西山修二, 原田伸*
原田國男*

Development of Drive System Changing Device by Electronic Control

Shuji NISHIYAMA, Shin HARADA* and Kunio HARADA*

This paper relates to a drive system changing device of a four wheel drive vehicle enhanced running stability in emergent operations such as sudden braking and sharp turning. Weight of many automobiles are lighter at their rear portions in their structures with engine, thereby the front portion being heavier, so adopt a system by driving rear wheels and another system by driving front wheels. In this reason, many sports utility vehicles adopt four wheel drive system. Because the ordinary vehicle is heavier at the front portion and is lighter at the rear portion. A phenomenon in which the rear portion of a vehicle is swung by inertial force in a front or lateral direction making at a base point of front wheels of the vehicle is difficult to occur even in emergent operations even if the rear portion is lighter than that of front.

Key Words: Drive System Changing Device, Running Stability, Sudden Braking, Sudden Handling

本研究は、四輪駆動方式で走行する自動車の緊急操作時に、車両後部が振られる現象を解明し、一時的に前輪駆動方式又は後輪駆動方式に切り替える駆動方式切替装置を提案し、その原理について明らかにする。車両前部が重く、車両後部が軽い構造の自動車では、緊急操作を行った場合であっても、後部が軽い状態であれば、車両の前輪を基点として車両の後部が慣性力によって前方向や横方向に振られるような現象は起き難い。しかし、搭乗者人数が多い場合や積載貨物重量が重い場合は、車両後部が重くなるので緊急操作を行った場合に車両の前輪を基点として車両後部が慣性力によって前方向あるいは横方向に振られるという現象が起き易い。そして、これがスピンやロールオーバーの要因の一つとなっている。

キーワード：駆動方式切替装置、走行安定性、急ブレーキ、急ハンドル

1. 緒言

自動車の急ブレーキや急ハンドル等の緊急操作時や、事故の際の安全性向上のために、例えば、アンチロックブレーキシステム(ABS)や、エアバッグ等の安全対策がなされている。これら安全対策が施されているにもかかわらず、交通事故による死亡者は後を絶たない。特に、四輪駆動方式(4WD)のスポーツ多目的車(SUV)

は、普通自動車に比べて横転(ロールオーバー)事故の割合が高く、SUVの事故の6割以上が横転を伴っている。さらに、横転事故によって搭乗者が死亡する割合については普通自動車の約3倍も高いことが米国高速道路交通安全局(NHTSA: The National Highway Traffic Safety Administration)によって指摘されている。

多くの自動車は車両前部にエンジン等が配置され、車両前部が重く、車両後部が軽い構造となっている。後輪で駆動する方式(FR)や、前輪で駆動する方式(FR)

* (株)ハラダクニ(〒739-0046 広島市西区観音町17-3)

が採用されるほか、上記の SUV では 4WD が多く採用されている。

車両前部が重く、車両後部が軽い構造の自動車では、緊急操作を行った場合であっても、後部が軽い状態であれば、車両の前輪を基点として車両の後部が慣性力によって前方向や横方向に振られるような現象は起き難い。しかし、搭乗者人数が多い場合や積載貨物重量が重い場合は、車両後部が重くなるので緊急操作を行った場合に車両の前輪を基点として車両後部が慣性力によって前方向あるいは横方向に振られるという現象が起き易い。そして、これがスピンやロールオーバーの要因の一つとなっている。

本研究は、四輪駆動方式で走行する自動車の緊急操作時に、車両後部が振られる現象を理論的に解明し、一時的に前輪駆動方式又は後輪駆動方式に切り替える駆動方式切替装置を提案し、その原理について明らかにする。

おもな記号

m : 車両の質量

r : 車両の重心位置とタイヤ間の距離

ϕ : 車両の重心位置の回転角度

v_y : 横滑り速度

h_{CG} : 車両の重心高さ

g : 重力加速度

b : トレッドの幅

a_y : 車両の横滑り加速度

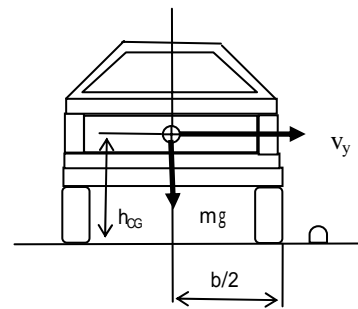
2. ロールオーバー

ロールオーバーはいったん起きると車両のダメージが大きい。乗員が車両内に留まればまだしも、車外に放出されると最悪の事態を招きかねない。ロールオーバーしても安全な車両や、ロールオーバーしにくい車両の研究はもちろん重要であるが、ロールオーバーに至る走行条件を明らかにすることも重要である。

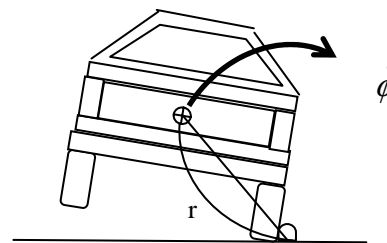
ロールオーバーは、大きく分けると、トリップトロールオーバー (tripped roll over) と、ハンドリングロールオーバー (handling roll over) に分けられる。これらのロールオーバーについて特徴および発生原理などについて述べる。

2・1 トリップトロールオーバーの力学 トリップトロールオーバーは、図 1 に示すように、横速度

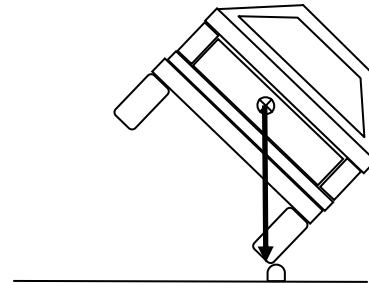
をもった車両が縁石などの障害物にタイヤを引っかけたときに、衝撃力が角運動量に変わることで発生する。



(a)車両が横滑りしている状態



(b)障害物にタイヤが衝突した瞬間



(c)横転の瞬間

図 1 トリップトロールオーバーの力学

図 1(a)は車両が右側に v_y で横滑りしている様子を示す。図 1(b)に示すように、車両のタイヤが縁石などに引っかかるとその点を支点として、横方向の力が角運動量に変換される。変換された角運動量が車両重量によるモーメントより大きくなると、図 1(c)に示すように車両は横転してしまう。

図 1(a)に示すように、速度 v_y で横滑りする重心高さ h_{CG} である質量 m の車両の衝撃力が角運動量に変換された場合、その角運動量は式(1)で表すことができる。

$$mr^2 \cdot \dot{\phi} = mv_y h_{CG} \quad \dots(1)$$

また、この場合のロールオーバーの条件は式(2)で表すことができる。

$$mg(r - h_{CG}) < \frac{1}{2}mr^2 \cdot \dot{\phi}^2 \quad \dots(2)$$

ここに、 $r = \sqrt{h_{CG}^2 + \left(\frac{b}{2}\right)^2}$

トリップトロールオーバーに関しては、事故、雪道、泥道など種々の発生要因が存在するため、これを防止することは非常に困難である。

2・2 ハンドリングロールオーバー ハンドリングロールオーバーは、乾燥平坦路上で非常に大きく速い操舵を行った場合や、緊急操作を行った場合に起こるロールオーバーである。ハンドリングロールオーバーは比較的重心が高いSUVに多く、高速道路などでの高速走行時にダブルレーンチェンジやJターン（操舵角、角速度の大きいステップ操舵）などを行ったときに発生し易い。

これらロールオーバーに関係する車両諸元としては、トレッドの幅と車両の重心高さの比 (b/h_{CG}) があり、この場合のロールオーバーの条件は式(3)で表すことができる。

$$\frac{b}{2h_{CG}} < \frac{ma_y}{mg} \quad \dots(3)$$

従って、ロールオーバーに至る初期横速度の条件は次式となる。

$$v_y^2 \geq 2g \cdot h_{CG} \left\{ 1 + \left(\frac{b}{2h_{CG}} \right)^2 \right\} \left\{ \sqrt{1 + \left(\frac{b}{2h_{CG}} \right)^2} - 1 \right\} \quad \dots(4)$$

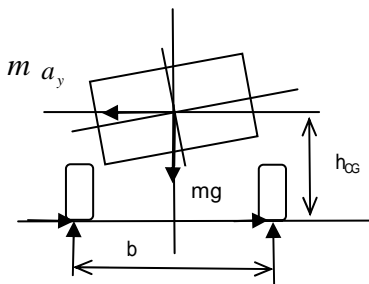


図2 ハンドリングロールオーバーの力学

すなわち、上記の式(2)および(3)において、左辺の値が右辺の値よりも大きい場合にはロールオーバーとはならないが、右辺の値が左辺の値を超えたとき、それぞれロールオーバーを起こす。

2・3 発生原因 ここで、4WDのSUVにおけるハンドリングロールオーバーの発生原因の一つについて考察する。通常、自動車が旋回するときは、4本のタイヤ間において回転差が生じるので、この回転差を解消し、各タイヤへの負担を軽くするために差動装置が装備されている。差動装置には前輪間の回転差を解消するためのフロント・デフ、後輪間の回転差を解消するためのリア・デフがある。また、特に4WD車においては、旋回時や悪路走行時等において前-後輪間で回転差が生じるので、これを解消するためセンター・デフが採用されている。

各差動装置が作動するためには、タイヤと路面間において抵抗が発生していなければならない。センター・デフを備えて前-後輪間の回転差を解消し、タイヤの負担の軽減を図っている。高速で走行する1tonを超える車体と、その回転差を解消しなければならない差動装置内部の抵抗は、タイヤにとって大きな負担となる。

また、フルタイム4WDにおいては、機械的に駆動系が繋がっているために制動時においてもエンジンからの駆動力が各タイヤに伝達してしまう。

特にSUVではタイヤのサイドウォール部分SWの長さの高いタイヤを装着している場合が多いため、前述してきたタイヤへの負担や駆動力などにより、急制動及び急操舵操作を伴う緊急操作を行った場合、旋回時の外側のフロントタイヤに大きな負担がかかる。この負担が旋回外側フロントタイヤのサイドウォール部SWの強度を超えた場合には、瞬間的にタイヤの形状が大きく歪み、異常変形状態となる。

図3はフロントタイヤの異常変形の様子を示す。このような異常変形状態に至ると車両は操縦不能状態となり、最悪の場合には前記したハンドリングロールオーバーとなってしまふ。

しかし、このようなSUVであっても、搭乗者が少ない状態や積載貨物重量が軽いときであれば、高速走行時から緊急操作を行った場合であっても、車重が比較的軽いために、旋回外側フロントタイヤに対する負担が比較的軽くなるので、図3に示すような、異常変形状態とはなり難い。そのため、比較的ハンドリングロールオーバーによる横転事故が発生しないことが統計上知られている。すなわち、搭乗者が多い状態や、

積載貨物重量が重いときに高速走行時から緊急操作を行った場合においてハンドリングロールオーバーとなり易い。

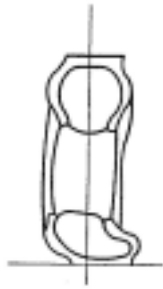


図3 フロントタイヤの異常変形

一方、FF車やFR車においては、前-後輪間において駆動力が連動していないために前記4WD特有の問題は発生せず、上記旋回外側フロントタイヤの異常変形を起こし難い。搭乗人数が多い場合や、積載貨物重量が重い場合であってもハンドリングロールオーバーによる横転事故は少ない。

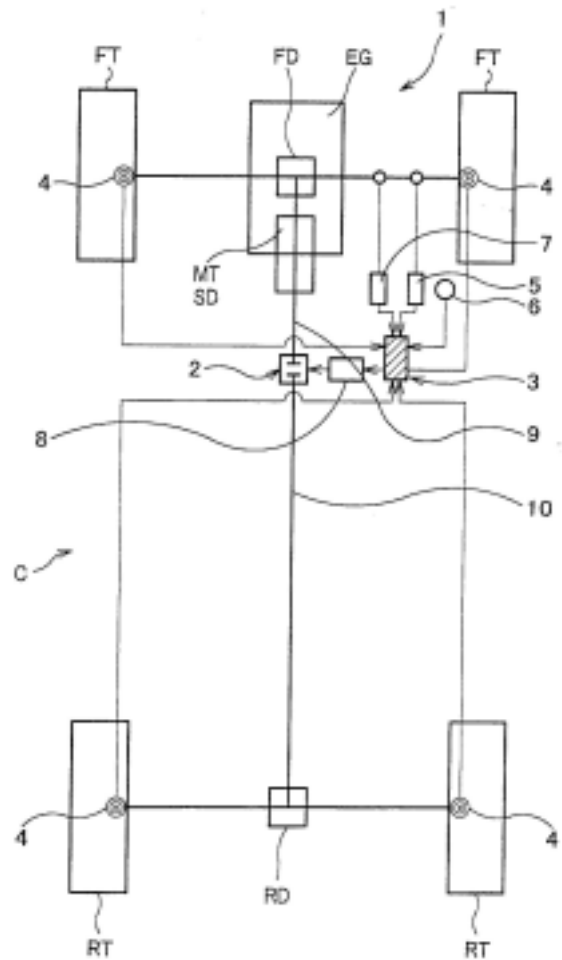
すなわち、搭乗者人数が多い場合や、積載重量が重い場合であっても、緊急操作時に4WDと前輪又は後輪の二輪駆動方式を一時的に切り替えれば安全性が向上すると考えられる。ハンドリングロールオーバーについては、このように対策を講ずることにより、発生を抑制することが可能であると考えられる。

3. 駆動方式切替装置の開発

ここで、四輪駆動方式と前輪または後輪駆動形式を一時的に切り替える方法としては、手動によって切り替える、いわゆるパートタイム方式の4WDシステムや、電子制御により切り替える方式⁽¹⁾が知られている。しかし、この方式は、普段はFRもしくはFFの二輪で駆動し、駆動輪以外のフロントタイヤまたはリアタイヤがスリップしそうなときに、前後輪の一方を駆動ベースとし、他方の車輪への伝達トルクを制御する四輪駆動車の駆動力配分制御装置である。この方式は、2WDでの走行中に加速旋回等を行い、車両の運動状態が限界警戒領域に達したとき、駆動方式を4WDとし、路面摩擦係数の変化に関わらず限界予知性の向上及び限界コントロール性の向上を図るものである。緊急操作時に4WDをFR又はFFの2WDに切り替えるものではない。緊急操作時に短時間の間に4WDをFRまたはFFの2WDに切り替える装置は調査する限りまだないようである。

3.1 ハードウェア 四輪駆動方式で走行する自動車の緊急操作時に、一時的に前輪駆動方式又は後輪駆

動方式に切り替える駆動方式切替装置を開発する。本研究により開発した駆動方式切替装置を図4に示す。ショックアブソーバーに取り付けられた車重検知装置4、車速を検知するための車速検知装置5、減速度を検出する減速度検知装置6、タイヤの操舵角度を検出する操舵角度検知装置7、各検知装置から得られた情報を基に駆動方式切替装置を作動させるか否かの演算処理を行う電子制御装置3、駆動力伝達部の一部を切離し及び連結を行う駆動力切離装置2、駆動力切離装置2を作動するための油圧ユニット8などから構成される。



- | | |
|---------------|----------------|
| 1: 駆動方式切替装置 | 2: 駆動力切離装置 |
| 3: 電子制御装置 | 4: 車重検知装置 |
| 5: 車速検知装置 | 6: 減速度検知装置 |
| 7: 操舵角度検知装置 | 8: 油圧ユニット |
| 9: 前側ドライブシャフト | 10: 後側ドライブシャフト |
| FT: フロントタイヤ | RT: リアタイヤ |
| FD: フロント・デフ | SD: センター・デフ |
| RD: リア・デフ | TM: ミッション |
| EG: エンジン | |

図4 駆動方式切替装置の概念図

さらに、図4において、9は前側ドライブシャフト、10は後側ドライブシャフトを示す。FT、RTはフロントおよびリアのタイヤを示す。FD、SD、RDはフロント・デフ、センター・デフおよびリア・デフをそれぞれ示す。また、TMはトランスミッション、EGはエンジンを示す。

3.2 ソフトウェア 図5は駆動方式切替方法のフローチャートを示す。今回開発した駆動方式切替方法では、車重検知ステップによって、搭乗者や積載貨物重量による車重の増加分を検知する。次いで、駆動方式切替作動判断ステップによって、その車重の増加分が、「車重が予め記録されている警戒範囲に達しているか否か」を判断する。軽い(No)と判断された場合には、駆動方式切替作動判断ステップ以降のステップには移行せず、「不作為」とする。本発明の駆動方式切替装置を実行しないこととなる。一方、重い(Yes)と判断された場合には、車速検知ステップによって、その走行時における車速を随時検知する。

そして、緊急操作時の急制動による減速度を減速度検知ステップによって検知する。また、同時にフロントタイヤの操舵角度を操舵角度検知ステップによって検知し、これら減速度と操舵角度の関係から、予め記録媒体に記録させた情報を基に演算処理を行い、フロントタイヤの状態が警戒範囲に達しているか否かを判断ステップの電子制御装置によって判断する。判断ステップによる判断の結果、「駆動方式を切り替える必要があるか否か」を判断し、駆動方式を切り替える必要がない場合(No)においては、再び車速検知ステップにループし、車両状態を監視し続ける。一方、駆動方式を切り替える必要がある(Yes)と判断された場合には、駆動力切離ステップを作動させ、4WD方式で走行していた車両を前輪あるいは後輪の二輪で駆動する方式に切り替える。

そして、上記電子制御装置による判断ステップにおいて「緊急操作が終了したか否か」を判断し、緊急操作が終了した「Yes」と判断された場合は、駆動方式復帰ステップによって駆動方式を4WD方式に戻し、その後はまた、車速検知ステップにループし、フロントタイヤの状態を監視し続ける。一方、緊急操作が終了していない(No)と判断された場合には、緊急操作が終了するまで判断ステップにループし、緊急操作が終了するまで確認が行われる。なお、上記駆動方式切替方法においては、車速検知ステップ、減速度検知ステップおよび操舵角度検知ステップを順を追って処理していく駆動方式切替方法として説明したが、これ

らの処理を平行して同時に処理することとしてもよいことは言うまでもない。

また、図6に示すフローチャートを参照して、駆動方式切替装置のシステムについて説明する。図6では、車重検知手段および駆動方式切替作動判断手段に関するプログラムを含むものであるが、このプ

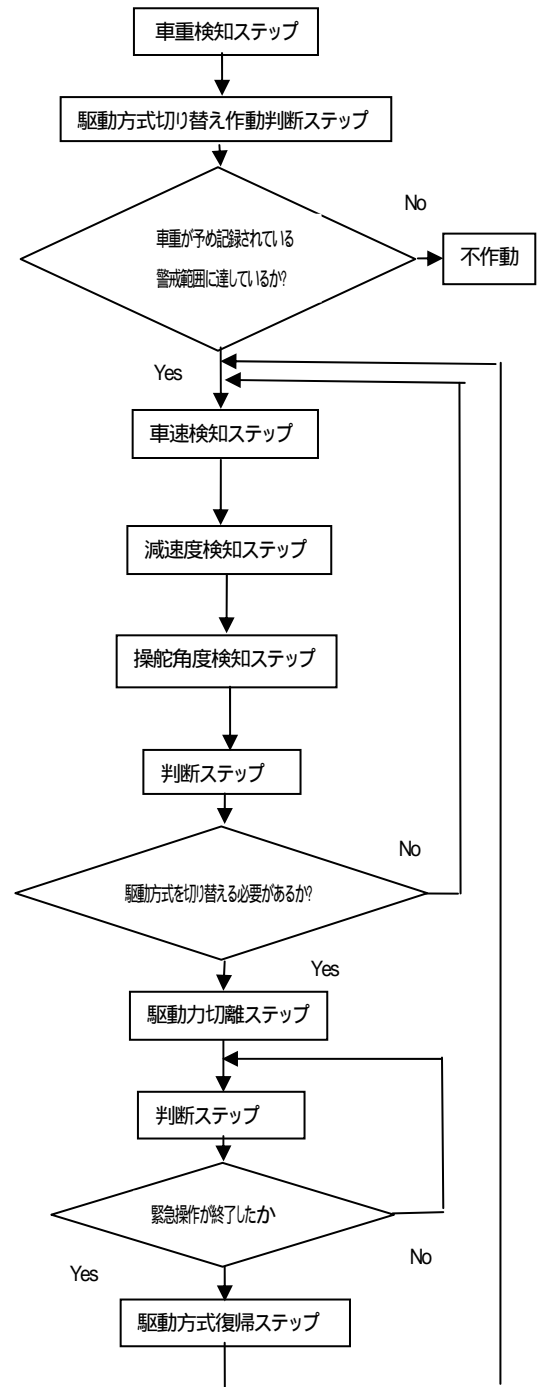


図5 駆動方式切替方法のフローチャート

プログラムが実行されると、電子制御装置は、車重検知手段から車重のデータを取得する。そして、本プログラムは、得られた前記車重のデータから、電子制御装置に「車重が予め記録されている警戒範囲に達しているか否か」を演算処理により判断する。

車重の増加分が少ないときは、このプログラムは電子制御装置に、駆動力切離装置へ「不動作」とする旨の信号を発信させる。

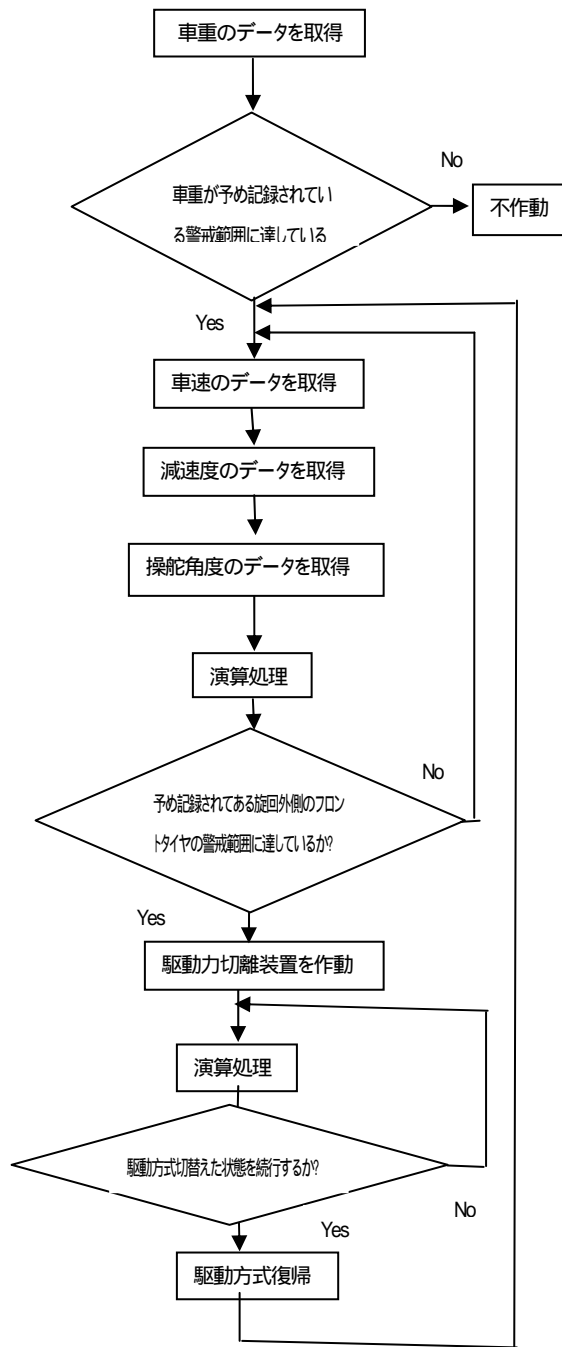


図6 システムのフローチャート

一方、車重の増加分が多いときは、プログラムは電子制御装置に、走行時の車速検知手段から車速のデータを取得させ、急制動時には減速度のデータを取得させ、また、その時の急操舵角度のデータを取得させる。そして得られた各データを基に電子制御装置に演算処理させ、予め記録させてある旋回外側のフロントタイヤの「警戒範囲に達しているか否か」の判断する。警戒範囲に達している(Yes)場合には、駆動力切離装置を作動させる旨の信号を発信させる。また、演算処理の結果、警戒範囲に達していない(No)と判断されたときは、プログラムは、電子制御装置によって駆動方式を切り替える旨の信号を発信させず、再び車速検知手段等のデータを取得させる。駆動力切離装置を作動させた場合、電子制御装置に演算処理させ、「駆動方式を切り替えた状態を続行するか」を判断させ、続行する必要がある(Yes)と判断された場合には、継続して切り替えた状態を維持し、駆動方式を切り替えた状態が必要でなくなるまで演算処理を繰り返させる。また、続行する必要がある(No)と判断された場合は、プログラムは電子制御装置に、駆動方式を4WD方式に復帰させるとともに、再び車速検知手段等のデータを取得させる。なお、車重増加分を検出しない場合であれば、車速のデータを取得させるところからプログラムが開始する。

3.3 作動原理 四輪駆動方式で走行する自動車の緊急操作時に、電子制御によって一時的に前輪駆動方式又は後輪駆動方式に切り替えることにより、ハンドリングロールオーバーによる横転事故を防ぐことができる。なお、本論において「緊急操作」とは、急制動操作及び急操舵操作を行うことをいい、緊急操作を行ったときの速度、時間、操舵角度等で規定することができる。また、「急制動」とは、ブレーキにより急な制動操作を行うことをいう。「急制動時」とは、急制動操作により加速度が負の閾値（例えば、 -0.8 g ~ -1.0 g ）を超えた時をいう。この値を検出するには、例えば加速度センサーや、自動車の速度計から検出することができる。

さらに、「急操舵」とは、速度との関係によって操舵操作によるフロントタイヤの操舵角度が一定の角度以上になる操作をしたことをいう。ある速度において急操舵操作を行ったときにフロントタイヤが異常変形する操舵角度を上限として、実験等によって速度毎に計測することにより、その角度を警告範囲として定めることができる。

さらに、「緊急操作後」とは、急制動操作及び急操舵操作を行ったと判断された後に、この操作の両方、あるいは、いずれか一方が解消された状態をいう。ま

た、「規定の車重」とは、例えば車検証に記載されている車重の乾燥重量をいう。「走行時の車重」とは、エンジン始動時に認識された車重や、走行中に随時認識される車重、すなわち、前記規定の車重に、搭乗者の体重や積載貨物重量、燃料、その他の装備が付加された車重をいう。

自動車、特にSUVの急ブレーキ及び急ハンドルによる緊急操作時において、急制動直前の車速を検知する。次いで急制動による負の加速度を検知し、さらに、その急制動時においてハンドルを操作したときの操舵角度を検知する。前記の各操作を検知した結果から、予想される緊急操作における警戒レベルに達しているか否かを判定する。その判定において、緊急操作において予想される警戒レベルに達していると判定された場合に、駆動力切離装置が作動する。4輪に伝達している駆動力伝達部の一部を切離すことにより、4WDで走行している自動車をFR又はFFのいずれかに切り替えることができる。また、これにより緊急操作時の旋回外側のフロントタイヤの異常変形を防ぐことができるので、結果的にロールオーバーの発生予防、および緊急操作時の走行安定性の向上を図ることができる。また、緊急操作後には切離した駆動力伝達部を繋げることによって、再び四輪駆動方式に復帰することができる。

4. 開発した装置の効果

駆動方式切替装置によれば、自動車、特にSUVの急ブレーキ及び急ハンドルによる緊急操作時において、急制動直前の車速を検知する。次いで急制動による負の加速度を検知し、さらに、その急制動時においてハンドルを操作したときの操舵角度を検知する。前記の各操作を検知した結果から、予想される緊急操作における警戒レベルに達しているか否かを判定し、その判定において、緊急操作において予想される警戒レベルに達していると判定された場合に、駆動力切離装置が作動し、4輪に伝達している駆動力伝達部の一部を切離す。4WDで走行している自動車をFR又はFFのいずれかに切り替えることができる。また、これにより上記緊急操作時の旋回外側のフロントタイヤの異常変形を防ぐことができるので、結果的にロールオーバーの発生予防、および緊急操作時の走行安定性の向上を図ることができる。また、緊急操作後には切離した駆

動力伝達部を繋げることによって、再び四輪駆動方式に復帰することができる。

駆動方式切替装置の制御を電子制御装置によって行うので、正確かつ迅速な駆動方式切替装置の制御を行うことが可能となる。

4. あとがき

駆動方式切替装置を開発した。本研究で明らかとなった事柄をまとめると次のとおりである。

- (1) ロールオーバーの発生メカニズムを明らかにした。
- (2) 急ハンドル、急旋回などの時に発生する各タイヤに発生する力の不均一を解消するために、駆動方式切替装置を開発しデータ処理方法について明らかにした。

今後の課題として、次のことが考えられる。

ハードウェアと直結したソフトウェアを開発し、性能評価および信頼性などについて検討することが必要である。

参考文献

- (1) 特開平 5-131856 号公報([0010]-[0024])
- (2) 景山克三, 自動車の操縦性・安定性, pp.10-18, 山海堂
- (3) 安部 正人, 自動車の運動と制御 [第二版], 山海堂, 2003 年 4 月 .
- (4) 亘理 厚, 自動車の運動に関する研究, 東京大学生産技術研究所報告
- (5) 酒井 秀男, タイヤ工学 入門から応用まで, グランプリ出版, 2002 .
- (6) 宇野 高明, 車両運動性能とシャシーメカニズム, 2001, グランプリ出版.
- (7) 近藤 政市, 基礎自動車工学 前編・後編, 1993, 養賢堂.
- (8) 山本 真規, ホイールアライメントと操安性, 自動車技術 Vol.54, No.11, 2000, 10-15.
- (9) Raymond J. Hughes, Lance K. Lewis and Barry M. Hare et al, A Dynamic Test Procedure for Evaluation of Tripped Rollover Crashes, SAE Technical Paper Series 2002-01-0693.
- (10) 本宮嘉弘, 車高の高いRV車の横転危険性,
- (11) 自動車技術会学術講演会前刷集 No.7309. pp.17-19.
- (12) J. W. Zellner, S. A. Kerschull and R. M. Van Auken, Analysis of Vehicle Tri Stability in Side Impact Tests, SAE Transactions (Society of Automotive Engineers) pp.2186-2197.