



# タイヤ空気圧を無線で運転者に知らせるモニタ・システムを開発する

——自動車へのMEMS センサの応用

松下 靖

## 第1章

ここではMEMS センサの応用事例として、自動車のタイヤ空気圧モニタ・システムを紹介する。タイヤの空気圧を測定し、低下すれば運転者に警告を出すというシステムである。本稿では、タイヤに直接、MEMS 圧力センサを取り付けて空気圧を測定し、そのデータを無線でECU に送信する方式を取り上げる。タイヤに設置するため、電池駆動で、かつ、10年間駆動し続けるセンサ・モジュールが必要となる。(編集部)

現在、高度な車両制御システムやセーフティ系システムが自動車に標準装備されるようになり、センサの搭載数も増加しています。これに伴い、センサの低価格化も進んでいます。その結果、機械的センサから量産効果の期待できるシリコンMEMS( micro electro mechanical systems )センサへの移行が着実に進行しています。現在では、エア・バッグ・システム用加速度センサや車両の姿勢制御に用いる角速度センサなどでMEMS 技術が導入されています。

「車載装置(または部品)」と言えば高い品質と信頼性が求められますが、MEMS センサも例外ではありません。これは、人命にかかわる用途でありながら、コスト面の問題から冗長性を持たせることに限界があるためです。そこで、

表1 直接式と間接式の比較

それぞれの方法にメリット( 緑の部分 )、デメリット( オレンジの部分 )がある。

性 能	直接式	間接式
精 度	10kPa 以内	CIP の30% 以内
複数タイヤの空気圧低減測定	可	不可
加速による影響	なし	あり
緩い地面による影響	なし	あり
速度範囲	0 ~ 最高速度	20km/h ~ 110km/h
システム・コスト	高	低
タイヤ取り付けプロセスに対する脆弱性	あり	なし
各ホイールの電源	必要	不要

部品としてのセンサに求められるのは異常の通知機能です。つまり、センサが故障した場合、センサがみずから異常をECU( electronic control unit )に伝え、運転者に警告する機能です。運転者がシステムの異常を知ることは、とても重要なことです。

## 1 タイヤ空気圧モニタ・システムとは

本稿では、MEMS 圧力センサの応用事例として、車のタイヤ圧力をモニタするTPMS( tire pressure monitoring system )を取り上げます。

TPMS は、タイヤの空気圧が低下することによって起こる問題を未然に防ぐためのシステムです。例えば、タイヤの空気圧が低下するとタイヤの寿命が短くなります。その状態で走行を続けた場合、タイヤがパンクしてしまう危険性があります。また、ブレーキをかけた際の制動距離が延びたり、コーナリング時のホールド性が低下したりします。

また、環境の問題についてもTPMS が貢献すると考えられています。タイヤが低圧力のまま車を走行させた場合、接地面積が大きくなり、摩擦が増大します。このため、燃費が低下します。さらに、最近はガソリン価格の高騰もあり、経済的な観点からもTPMS の効果が期待されています。

### ● ABS 応用方式とタイヤ空気圧の直接測定方式

タイヤの空気圧をモニタする方法は二つあります。一つは間接式でブレーキ制御に使われているABS( anti-braking system )を応用した方法です。もう一つは直接式で、タイヤの空気圧を直接測定する方法です。方式の違いにより、それぞれメリット、デメリットがあります( 表1 )。

## 1) 間接式

間接式は、ABSを拡張して判断する方法です。ABSは各タイヤの回転速度を測定し、それをブレーキ制御に利用します。制動時に、路面とタイヤの間の摩擦の大きさによってタイヤがロックした場合、ABSはブレーキの制動力をリアルタイムで制御し、ロックを回避します。では、これを応用してTPMSを実現する方法を説明しましょう。

タイヤの回転速度は車両の走行速度とタイヤの半径により決定されます(図1)。

$$\text{タイヤの回転速度} = \text{車両走行速度} \div 2 \pi r \dots \dots (1)$$

タイヤの空気圧が低下した場合、タイヤがつぶれるため、回転半径が小さくなります。その結果、空気圧の低下したタイヤだけ回転速度が速くなります。この回転速度の違いによってタイヤ空気圧を推定するわけです。

この方法は、既存のABSのソフトウェアを変更することで実現できるため、システム・コストの観点からは大きな魅力があります。しかし、計測精度の問題や4輪同時に圧力の低下が発生した場合の検出など、いくつかの問題点があります。とくにタイヤ空気圧が20%低下したことを検知しようとした場合、回転半径の変化は2%となり、正確な測定が難しくなります。

## 2) 直接式

直接式は、圧力センサをタイヤの内部に設置して直接圧力を測定する方法です。当然、タイヤは回転するので、センサを内部に設置するためには解決しなければならない問題があります。センサに対する電源供給の問題や測定した情報を車(運転者)に伝達する方法などです。

その一方で、間接式と比較して圧力のモニタの精度が高いという点は大きな魅力です。現在、要求される圧力測定の精度を間接式で達成することは困難で、直接式を採用する方向に動いています。

### ● 米国ではTPMSの搭載が法律により義務づけられる

TPMSは当初、高級車のアクセサリとして搭載されていました。この時点では、あくまでも車に「安心感」というオプションを付加することが目的でした。

その一方で、タイヤの信頼性向上を図るため、ランフラット・タイヤの市場投入により、スペア・タイヤをなくす取り組みが行われていました。ランフラット・タイヤは、異常が起きても(たとえタイヤ空気圧がゼロになっても)一

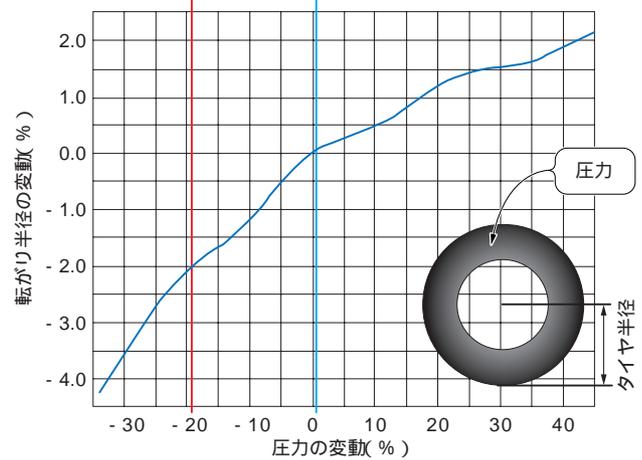


図1 タイヤ転がり半径と圧力の変動

回転半径が小さくなると、タイヤの回転速度は加速する。

定距離を走行できるタイヤですが、この異常の検出のためにTPMSは必要な要素となっていきました。

さらにTPMSの推進を決定づけたのが、2000年に開始された米国Bridgestone/Firestone社の一部のタイヤに対するリコール<sup>注1</sup>でした。その結果、2001年にはTREAD (Transportation Recall Enhanced Accountability Document)法<sup>注2</sup>が制定され、安全面での規制が厳しくなりました。2004年4月には、以下に示すようなTPMSに関する具体的な規制内容が法令化されました。この規制にはメーカーに対する罰則規定も含まれており、たいへん厳しい内容となっています。

- 空気圧が25%以上低下したら警告を行う
- いずれか1本のタイヤ(最大4本)搭載を推奨
- 50km/h ~ 100km/hで走行し始めてから20分以内に空気圧のモニタを開始する。ただし、スペア・タイヤは除外
- 50km/h ~ 100km/hで走行中の機能不良を20分以内に通知する
- 搭載率を3段階(2006年で50%、2007年で90%、2008年以降は100%)に分けて引き上げ

## 2 TPMS モジュールに必要な機能

こうした法令化に伴い、米国では好むと好まざるとにか

注1: 同社のタイヤを装着した米国Ford社の自動車(Explorer)がタイヤの空気圧の低減によって横転するという事故が起こったことがきっかけ。Ford社も該当する自動車のリコールを行った。

注2: 米国道路交通安全局(NHTSA: National Highway Traffic Safety Administration)の管轄で実施されている、自動車のリコールに関する規制。